

琴湖江下流의 底泥中 重金屬 含量分布

권 오 역

신일전문대학 환경관리과

Distribution of Heavy Metal Contents in Sediment of the Lower Kumho River

Oh-Oeg Kwon

Department of Environmental Management, Shinil Junior College

ABSTRACT

This study was performed to investigate the contents of six heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) with respect to the particle sizes and depths in sediment collected at nine sites of the lower Kumho river. The mean Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn contents in sediment of all sites ranged from 1.59~5.32 mg/kg, 17.4~301.7 mg/kg, 23.2~399.9 mg/kg, 9.48~116.8 mg/kg, 31.1~294.1 mg/kg and 74.2~964.3 mg/kg, respectively. The highest heavy metal contents was generally found to be Zn and lowest was Cd. The mean contents of heavy metal by particle sizes (1.0~0.5, 0.5~0.25, <0.25 mm) was the highest in particle sizes less than 0.25 mm, but the coefficients of variation was lowest in particle sizes less than 0.25 mm. Mean contents and coefficient of variation by depths (0~5 cm, 5~10 cm, 10~15 cm) were generally found to be higher in the upper parts of sediment than in the lower parts of sediment. Organic substances were found to be higher as the particle sizes become more small. Moreover, contents of heavy metal increased with the amounts of organic substances in sediment.

Keywords : Heavy metal contents, sediment, particle sizes, depths, coefficients of variation, organic substances.

I. 서 론

최근 우리나라의 도시하천은 환경기초시설의 부족으로 인하여 도시하수 및 산업폐수가 충분히 처리되지 않은 상태로 방류됨으로써 수질이 날로 악화되고 있는 실정이다. 수질오염 원인중에는 하,폐수에 함유된 침강성 고형물질이 퇴적되어 저니를 형성하고 저니중에 함유된 오염물질들은 수환경 변화에 따라 하천수로 재용출됨으로써 하천오염의 중요한 인자가 되기도 한다.^{1,2)}

퇴적된 저니에 의한 여러 오염물질중 특히 중금속은 다른 오염물질과는 달리 보전성 물질로서 미생물에 의한 분해가 극히 어려울 뿐만 아니라 저니중의 무기성분등에 의한 흡착 및 유기물과 반응하여 배위공유결합에 의한 안정한 착화합물을 생성함으로써 장기간 잔류, 축적된다. 이러한 오염은 먹

이연쇄를 통하여 인체에 까지 영향을 미치기 때문에 문제시되고 있다.³⁾

저니중의 중금속은 규산염 점토광물에 의한 흡착,⁴⁾ 유기체의 분해과정에 의해 생성된 유기산과 강한 결합력,⁵⁾ 휴민의 일부에서 농축된 상태로 존재하는 등 물리화학적 및 전기적 결합에 의해 존재하기 때문에⁶⁾ 일단 중금속으로 오염된 저니로부터 이들을 제거하기란 용이하지 않다. 또한 저니가 산성화될 경우에는 각종 중금속류의 용해도가 증가되어 유해도는 더욱 심화된다.⁷⁾ 그러므로 저니중의 중금속오염에 관한 기본적인 해결책을 모색하기 위해서는 오염지역의 저니에 대한 중금속 분포상태를 정확히 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 오염도가 심각한 금호강하류의 저니중에 함유된 중금속의 입도 및 심도별 오염상태를 조사하여 그 제거대책을 강구하기 위한 기초자료를

제시하고자 한다.

II. 실험방법

1. 조사지점 및 시기

조사지점은 지류가 금호강 본류에 유입되어 충분히 혼합되는 지점중의 본류 5개 지점과 인근에 오염원이 위치하고 있는 각 지류에서 본류에 유입되기전의 지점중에서 가장 적합하다고 판단되는 4개 지점 등 총 9개 지점을 선정하였으며 그 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 조사시기는 본 조사실시전에 예비 조사를 행한 후 1994년 2월 6일에 실시하였다.

2. 시료채취 및 조제

하천수는 각 지점의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 좌우 수면폭을

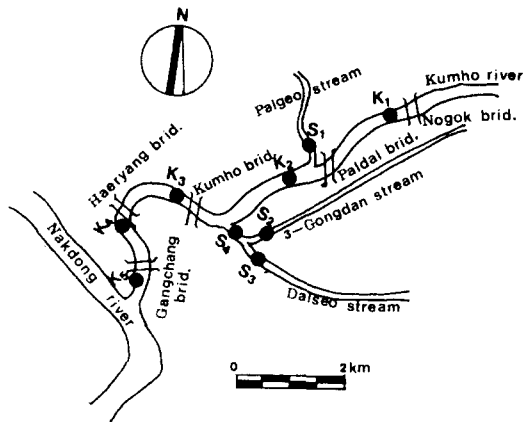


Fig. 1. Sampling sites.

2등분한 지점의 수면에서 1.5l의 polyethylene병을 이용하여 채수하였다. 하상에 퇴적된 저니의 채취는 입도 및 심도분포에 따른 오염형태를 조사하기 위하여 직경 50 mm, 길이 500 mm로 제작한 acryl제의 원통형 core를 이용하여 각 지점에서 20회 정도 random sampling 하였다. 채니한 후에는 5 cm 간격으로 일정하게 분리, 혼합하여 충분히 자연건조시킨 후 1.0 mm, 0.5 mm, 0.25 mm의 표준체로 각각 분리한 저니를 분석시료로 하였다.

3. 분석방법

금호강하류의 본류와 지류에서 각각 채취한 하천 수중의 수온과 DO는 DO meter(YSI-model 58), pH는 pH meter(TOA-model HM-7E)로 각각 측정하였으며 저니중의 강열감량은 건조저니 20 g을 취하여 항량으로 유지한 자재도가니에 넣고 전기로를 이용하여 $600 \pm 25^\circ\text{C}$ 에서 30분간 강열한 다음 desiccator에서 방냉후 강열전, 후의 무게로써 산출하였다.⁸⁾ 또한 중금속분석은 하천수 100 mL, 건조저니 5 g을 각각 취하여 질산과 과염소산을 첨가하여 분해한 다음⁹⁾ 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 그 여액을 Australia Labtam사(model 8440)의 ICP(Inductively Coupled Plasma)spectrometer로 정량하였다.

III. 결과 및 고찰

I 조사지점의 수질

금호강하류의 본류 및 지류에 대한 조사지점별 수질결과는 Table 1과 같다. 수온은 $4.1 \sim 12.7^\circ\text{C}$ 의 범위였으며 이 중 S₃(3공단천)지점에서 동절기임에도 불구하고 수온이 가장 높게 나타나는 것은 3공

Table 1. Results of water quality on each sampling site of Kumho river during the period of sediment sampling

Items Sites	W.T. (°C)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	Heavy metals (mg/l)					
					Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
K ₁	5.3	7.2	3.62	38.2	ND**	0.009	0.014	0.052	0.010	0.272
K ₂	4.1	7.3	1.80	42.5	ND	0.015	0.018	0.025	0.018	0.426
K ₃	7.2	7.8	1.75	186.6	ND	0.014	0.026	0.029	0.012	0.266
K ₄	7.0	7.7	1.53	152.9	ND	0.032	0.024	0.021	0.021	0.258
K ₅	6.8	7.4	1.36	128.3	ND	0.026	0.019	0.016	0.018	0.262
S ₁	11.2	7.5	1.14	172.6	ND	0.016	0.028	0.011	0.014	0.244
S ₂	5.1	7.7	1.98	210.4	ND	0.018	0.020	0.026	ND	0.215
S ₃	12.7	8.6	1.05	385.2	ND	0.056	0.051	0.067	0.016	0.476
S ₄	6.9	8.0	0.98	150.6	ND	0.028	0.027	0.048	0.008	0.216

*W.T.: Water temperature, **ND: Not detected.

Table 2. The contents of heavy metal on each sampling site with respect to the particle sizes and depths in sediment of Kumho river1 (Units : mg/kg, dry wt.)

Depths	Sites particle sizes (mm)			Cd			Cr			Cu			Ni			Pb			Zn		
				Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
	1.0~0.5	0.5~0.25	<0.25	0.9	1.2	1.4	9.5	14.3	11.7	18.5	26.1	25.4	5.4	5.6	5.2	18.5	20.2	20.8	52.6	32.2	22.4
K ₁	1.2	1.8	1.6	17.1	16.1	18.5	35.2	45.8	49.2	7.2	22.5	84.8	71.3	64.9	78.4	143.2	118.4	36.9	143.2	118.4	78.4
K ₂	1.1	1.3	1.2	18.1	8.2	8.6	20.8	16.4	15.8	9.8	5.8	4.2	26.8	24.5	22.6	80.2	40.2	38.6	80.2	40.2	38.6
K ₃	1.3	1.4	1.3	32.7	13.9	10.4	42.6	45.8	13.6	9.6	32.5	36.9	32.2	132.1	75.9	70.4	87.6	132.1	75.9	70.4	87.6
K ₄	2.5	2.4	1.8	86.8	32.5	24.2	166.2	82.5	60.5	40.3	24.8	12.2	68.1	50.2	36.4	152.9	104.8	87.6	152.9	104.8	87.6
K ₅	1.3	1.9	1.9	15.6	25.5	31.4	24.9	42.8	47.4	12.4	17.6	18.8	28.3	35.2	36.0	90.4	108.6	138.2	90.4	108.6	138.2
S ₁	1.5	1.7	1.9	23.8	31.2	40.2	43.2	46.5	49.2	18.6	18.0	19.7	33.0	38.2	38.5	150.2	216.4	194.2	150.2	216.4	194.2
S ₂	2.8	3.5	3.7	25.4	40.3	43.8	59.6	98.2	90.6	20.9	23.4	29.2	45.2	65.4	60.7	185.7	256.5	214.8	185.7	256.5	214.8
S ₃	1.8	4.5	4.8	21.5	232.8	149.6	38.9	256.3	168.4	12.7	138.2	89.0	49.0	90.6	84.2	167.2	1052.0	846.2	167.2	1052.0	846.2
S ₄	5.4	5.2	5.3	137.6	257.4	206.5	200.3	279.2	217.5	90.4	154.8	128.2	86.1	88.4	79.2	752.6	1120.0	942.5	752.6	1120.0	942.5
S ₅	5.8	5.7	5.8	191.4	286.6	236.9	235.0	316.2	257.9	116.6	174.2	143.4	100.6	90.1	97.4	975.2	1215.0	1021.0	975.2	1215.0	1021.0
S ₆	3.4	3.2	3.0	22.8	19.6	20.6	24.8	19.8	22.1	14.2	13.6	14.7	46.8	40.2	43.8	74.5	70.2	64.4	74.5	70.2	64.4
S ₇	3.6	3.5	3.5	24.3	23.5	24.0	25.1	20.9	22.6	15.4	14.9	15.6	52.2	48.2	47.5	82.9	76.2	70.2	82.9	76.2	70.2
S ₈	4.0	3.8	3.8	28.5	30.3	38.5	26.2	21.5	25.5	19.6	16.2	16.8	56.8	58.3	58.0	86.4	80.1	76.6	56.8	58.3	58.0
S ₉	1.3	1.9	2.1	13.2	20.3	34.2	18.6	34.2	52.8	7.2	10.6	16.5	30.3	46.5	30.6	121.5	192.4	132.4	121.5	192.4	132.4
S ₁₀	2.0	2.4	2.4	20.9	26.2	42.5	38.6	58.2	84.6	11.4	14.2	20.4	48.2	60.2	35.7	230.6	298.5	288.6	230.6	298.5	288.6
S ₁₁	2.1	2.6	2.8	25.6	28.8	46.2	44.2	70.6	258.4	13.5	16.5	36.7	51.4	72.8	62.5	240.9	302.4	382.2	240.9	302.4	382.2
S ₁₂	2.8	2.5	3.4	24.6	26.4	33.5	50.3	46.2	63.5	19.2	20.4	25.6	30.6	48.5	50.5	156.2	146.6	232.4	156.2	146.6	232.4
S ₁₃	2.9	3.1	3.6	28.2	36.2	45.6	52.0	56.4	71.2	21.0	21.8	25.9	31.2	53.2	61.7	181.4	160.8	245.6	181.4	160.8	245.6
S ₁₄	3.2	3.5	3.9	33.5	40.6	46.8	57.9	68.6	72.9	23.5	24.6	26.5	33.5	59.9	70.4	205.6	210.2	262.4	205.6	210.2	262.4
S ₁₅	5.6	3.3	4.3	327.4	145.0	165.4	513.2	110.8	141.6	112.5	78.9	94.2	420.6	106.5	125.7	923.2	564.1	580.4	923.2	564.1	580.4
S ₁₆	5.9	5.6	5.2	410.2	360.6	187.3	632.5	478.5	218.9	145.6	90.5	118.9	436.2	310.7	193.5	1325.0	990.2	758.2	1325.0	990.2	758.2
S ₁₇	6.0	6.5	5.5	524.6	384.2	210.5	720.8	552.4	230.6	163.2	126.2	120.8	460.5	391.6	201.4	1466.0	1107.0	964.8	1466.0	1107.0	964.8
S ₁₈	2.0	2.2	2.2	62.4	65.2	68.3	46.5	40.2	52.1	46.2	43.6	55.7	40.2	36.5	34.8	256.8	220.6	210.4	256.8	220.6	210.4
S ₁₉	2.5	2.3	2.4	64.8	68.1	73.5	68.7	52.4	64.6	61.5	58.2	59.4	50.6	46.5	41.2	302.7	251.4	265.0	302.7	251.4	265.0
S ₂₀	3.8	3.9	4.3	97.4	102.7	106.4	121.4	135.2	110.4	88.4	90.8	104.8	76.4	66.3	60.2	421.4	380.4	360.1	421.4	380.4	360.1

*Upper : 0~5 cm, middle : 5~10 cm, lower : 10~15 cm.

Table 3. Mean contents of heavy metal in particle sizes of <1.0 mm on each sampling site in sediment of Kumho river (Unit : mg/kg, dry wt.)

Sites	Elements	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
K ₁		1.78	17.4	46.8	9.5	31.1	74.2
K ₂		1.59	26.2	51.6	14.6	36.7	87.0
K ₃		2.24	30.8	55.8	19.8	42.3	172.8
K ₄		4.92	191.1	218.9	116.4	85.1	782.2
K ₅		3.53	25.8	23.2	15.7	50.2	75.7
S ₁		2.18	28.7	73.4	16.3	48.7	243.3
S ₂		3.21	35.0	59.9	23.2	48.8	200.1
S ₃		5.32	301.7	399.9	116.8	294.1	964.3
S ₄		2.84	78.8	76.8	67.6	50.3	296.5

단천내에 배출되는 폐수중 비교적 수온이 높은 염색폐수 유입이 많았기 때문이라 사료된다. pH는 7.2~8.6으로서 중성 또는 약알칼리성을 나타내었으며 특히 3공단천의 pH가 높게 나타나는 것도 염색폐수등의 영향이라 추정된다. DO는 0.98~3.62 mg/l의 범위로서 포화 DO값 보다 매우 부족한 상태이며 BOD는 38.2~385.2 mg/l의 범위로서 이중 오염된 각 지류가 유입되어 합류된 직후의 지점인 K₃(금호교)지점에서 BOD농도가 급격히 증가하였으며 이후의 하류지점인 K₄(해량교)지점과 K₅(강창교)지점으로 갈수록 다소 낮아지는 경향을 보였다. 또한 하천수중의 중금속 농도를 보면 각 지류에 함유된 중금속 농도가 높기 때문에 합류된 후의 본류에서는 중금속 농도가 증가하였다.

2. 조사지점별 중금속함량

각 조사지점별 저니중의 입도 및 심도별 중금속 함량결과를 Table 2에 나타내었다. 이 결과를 이용하여 각 지점별 1.0 mm이하의 저니입자에 대한 중금속 평균함량은 Table 3과 같다. Table 3에서 보는 바와 같이 각 지점별 중금속 평균함량은 각각 Cd 1.59~5.32 mg/kg, Cr 17.4~301.7 mg/kg, Cu 23.2~399.9 mg/kg, Ni 9.48~116.8 mg/kg, Pb 31.1~294.1 mg/kg, Zn 74.2~964.3 mg/kg 범위였으며 이중 금호강 본류에서는 K₄(해량교)지점이 Cd 4.92 mg/kg, Cr 191.1 mg/kg, Cu 218.9 mg/kg, Ni 116.4 mg/kg, Pb 85.1 mg/kg, Zn 782.2 mg/kg으로 가장 높았다. 그리고 K₁(노곡교)지점에서 Cr 17.4 mg/kg, Ni 9.48 mg/kg, Pb 31.1 mg/kg, Zn 74.2 mg/kg, K₂(팔달교)지점에서 Cd 1.59 mg/kg, K₅(강창교)지점에서 Cu 23.2 mg/kg으로 가장 낮았다.

이와 같이 팔거천, 달서천 및 3공단천이 합류된

직후인 K₃(금호교)지점 보다 K₄(해량교)지점에서 중금속 함량이 높은 것은 중금속을 함유하는 침강성 부유물질이 비교적 유속이 빠른 K₃(금호교)지점 보다 유속이 느린 K₄(해량교)지점으로 이동하여 침적하였거나 수중의 중금속이 유기물질에 의한 흡착이나 광물입자로의 흡수 및 중금속의 재침전 등으로¹⁰⁾ 인하여 중금속 함량이 높게 나타난 결과로 사료된다. 각 지류별 저니중의 평균함량은 폐수의 배출량이 많은 S₃(3공단천)지점에서 각각 Cd 5.32 mg/kg, Cr 301.7 mg/kg, Cu 399.9 mg/kg, Ni 116.8 mg/kg, Pb 294.1 mg/kg, Zn 964.3 mg/kg으로 가장 높고 S₁(팔거천)지점에서 Cd 2.18 mg/kg, Cr 28.7 mg/kg, Ni 16.3 mg/kg, Pb 48.7 mg/kg, S₂(달서천)지점에서 Cu 59.9 mg/kg, Zn 200.1 mg/kg으로 가장 낮았다. 특히 가정하수가 주인 S₂(달서천)지점에서 비교적 중금속 함량이 높게 나타나는 것은 배출수중에 중금속을 고농도로 함유하는 폐수유입이 많았기 때문이라 추정된다. 또 달서천과 3공단천이 합류되는 지점(S₄)에서 중금속 함량이 다소 낮은 것은 유역면적이 넓어지고 유속이 빠르기 때문에 저니의 침식과 희석작용으로 인하여 수중의 중금속이 저니에 대한 고정성이 제한된 결과로¹¹⁾ 사료된다. 그리고 각 조사지점의 중금속 원소별 평균함량을 보면 전반적으로 Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>Cd 순으로 Zn이 가장 높고 Cd이 가장 낮았다.

3. 입도별 중금속함량

조사지점의 저니입도별 중금속 함량을 검토하기 위하여 각 지점에서 채취한 저니를 표준체로서 3 단계로 세분화 시킨후 전 조사지점의 중금속 함량을 평균하여 입도별로 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. 입도별 중금속 평균함량은 1.0~0.5 mm 입자에서

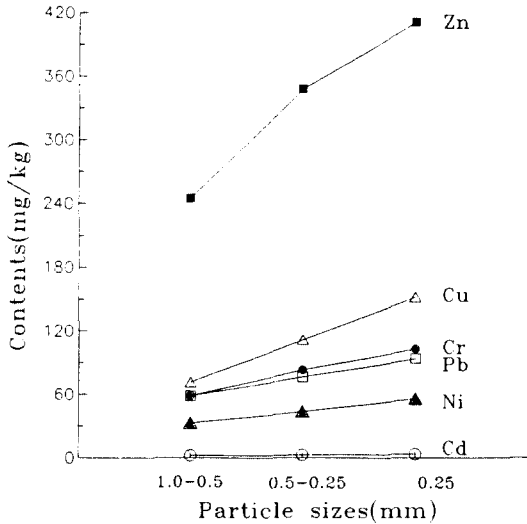


Fig. 2. Mean contents of heavy metal with respect to the particle sizes in sediment of Kimho river.

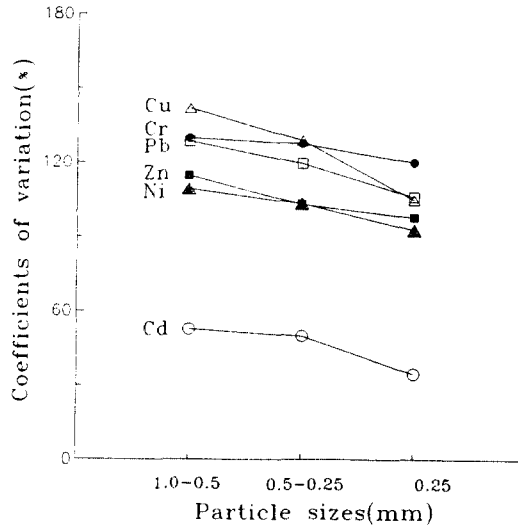


Fig. 3. Coefficients of variation of heavy metal contents with respect to the particle sizes in sediment of Kumho river.

각각 Cd 2.43 mg/kg, Cr 59.1 mg/kg, Cu 71.8 mg/kg, Ni 33.3 mg/kg, Pb 58.8 mg/kg, Zn 245.0 mg/kg이며 0.5~0.25 mm 입자에서 각각 Cd 2.98 mg/kg, Cr 83.0 mg/kg, Cu 111.6 mg/kg, Ni 43.9 mg/kg, Pb 76.5 mg/kg, Zn 348.2 mg/kg이었다. 또한 0.25 mm이하의 입자에서 각각 Cd 3.76 mg/kg, Cr 103.0 mg/kg, Cu 152.0 mg/kg, Ni 56.1 mg/kg, Pb 93.7 mg/kg, Zn 411.1 mg/kg이었다. 이상의 결과에서 볼 때 대상 중금속 함량은 입자가 작을수록 높게 나타났다. 이는 입자가 작으면 작을수록 입자의 비표면적이 더 크기 때문에 중금속 함량이 더 높게 나타나는 것으로^{12,13)} 하상 저지의 입도에 따른 중금속 함량의 분포경향이 일치하고 있음을 시사한다.

다음에 전 조사지점에 대한 입도별 중금속 변동계수를 Fig. 3에 나타내었다. 입도별 중금속 변동계수는 1.0~0.5 mm 입자에서 각각 Cd 52.7%, Cr 129.9%, Cu 141.9%, Ni 109.3%, Pb 128.6%, Zn 114.7%이며 0.5~0.25 mm 입자에서 각각 Cd 50.0%, 127.7%, 128.9%, Ni 103.4%, Pb 119.6%, Zn 103.2%이었다. 또한 0.25 mm 하의 입자에서 각각 Cd 34.6%, Cr 120.1%, Cu 104.9%, Ni 92.7%, Pb 106.1%, Zn 97.8%로서 입도별 중금속 변동계수는 입자가 작을수록 감소하였으며 또한 Cd를 제외한 다른 원소들은 변동계수가 높게 나타났다. 이와같이 조사지역의 변동계수가 높다는 것은 중금속 함량분포가 불균일함을 의미하며 이러한 현상은 저니모체에 자연상태

로 존재하는 것 보다 외부의 오염이 강하게 작용한 결과임을 알 수 있다.

4. 심도별 중금속함량

조사지점의 저니심도별에 따른 중금속 함량을 조사하기 위하여 각 지점에서 채취한 저니를 5 cm 간격으로 일정하게 분리한 후 1.0 mm이하의 입자에 대한 중금속 평균함량결과를 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 보는 바와 같이 심도별 중금속 평균함량은 상층(0~5 cm)의 경우 S₃(3공단천)지점에서 각각 Cd 5.83 mg/kg, Cr 420.7 mg/kg, Cu 622.2 mg/kg, Ni 140.4 mg/kg, Pb 439.1 mg/kg, Zn 1238.0 mg/kg으로서 대상 중금속 모두 최고치를 나타내었으며 K₁(노곡교)지점에서 각각 Cd 1.5 mg/kg, Cr 16.6 mg/kg, Ni 10.5 mg/kg, K₅(강창교)지점에서 Cu 25.4 mg/kg, Zn 81.3 mg/kg, S₂(달서천)지점에서 Pb 31.8 mg/kg으로 가장 낮았다. 중층(5~10 cm)은 S₃(3공단천)지점에서 각각 Cd 5.13 mg/kg, Cr 296.6 mg/kg, Cu 380.6 mg/kg, Pb 269.6 mg/kg으로 가장 높고 Ni과 Pb는 K₄(해량교)지점에서 각각 155.7 mg/kg, 1129.0 mg/kg으로 가장 높았다. 또 K₂(팔달교)지점에서 각각 Cd 1.7 mg/kg, Cr 18.2 mg/kg, Zn 73.6 mg/kg, K₁(노곡교)지점에서 Ni 10.5 mg/kg, Pb 28.8 mg/kg, K₅(강창교)지점에서 Cu 20.7 mg/kg으로 가장 낮았다. 그리고 하층(10~15 cm)에서는 상층의 경향과는 다르게 K₄(해량교)지점에서 각각 Cd 5.3

Table 4. Mean contents of heavy metal in particle sizes of <1.0 mm with respect to the depths in sediment of Kumho river (Unit : mg/kg, dry wt.)

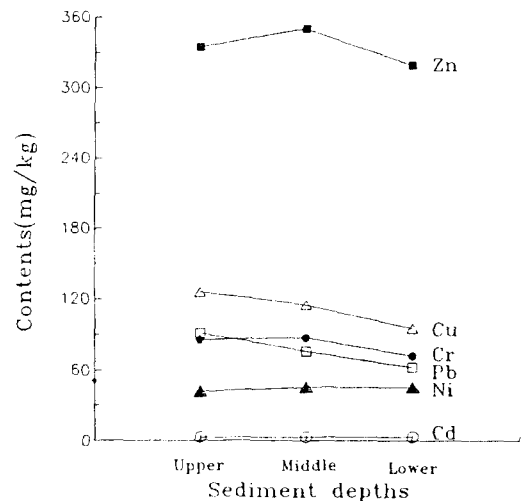
Sites	Cd			Cr			Cu		
	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
K ₁	1.5	1.9	1.9	16.6	18.6	17.2	38.7	52.1	49.6
K ₂	1.6	1.7	1.4	45.9	18.2	14.4	76.5	48.2	30.0
K ₃	1.9	2.4	2.5	20.6	32.3	38.5	42.6	62.5	62.4
K ₄	4.3	5.1	5.3	116.8	258.9	197.7	158.1	283.9	214.6
K ₅	3.7	3.5	3.4	25.2	24.5	27.7	25.4	20.7	23.4
S ₁	1.8	2.3	2.4	19.9	25.1	41.0	33.8	54.3	131.9
S ₂	3.0	3.0	3.6	28.8	34.4	42.0	53.4	57.1	69.2
S ₃	5.8	5.1	5.0	420.7	296.6	187.7	622.2	380.6	197.0
S ₄	2.8	2.8	3.0	74.9	78.7	82.7	78.9	75.9	75.7

Sites	Ni			Pb			Zn		
	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
K ₁	10.5	10.5	7.4	37.8	28.8	26.7	93.5	74.0	55.2
K ₂	21.6	13.4	8.7	42.5	37.2	30.4	121.7	73.6	65.5
K ₃	17.3	19.7	22.6	35.5	46.3	45.1	142.1	193.8	182.4
K ₄	73.2	155.7	120.2	78.6	89.7	86.9	631.7	1129.0	936.6
K ₅	16.4	14.9	15.7	51.9	48.9	49.8	81.3	75.5	70.4
S ₁	10.7	13.8	24.5	43.3	59.8	42.9	197.7	264.4	267.7
S ₂	21.2	22.3	26.0	31.8	53.9	60.9	181.1	172.5	24.68
S ₃	140.4	98.5	111.3	439.1	269.6	173.5	1238.0	887.1	767.8
S ₄	65.4	64.2	73.3	55.7	49.8	45.4	327.0	284.1	278.5

mg/kg, Cr 197.7 mg/kg, Cu 214.6 mg/kg, Ni 120.2 mg/kg, Zn 936.6 mg/kg으로 가장 높았으며 Pb는 S₃(3공단천)지점에서 173.5 mg/kg으로 가장 높았다. 또 K₁(노곡교)지점에서 Ni 7.37 mg/kg, Pb 26.7 mg/kg, Zn 55.2 mg/kg, K₂(팔달교)지점에서 Cd 1.43 mg/kg, Cr 14.4 mg/kg, K₅(강창교)지점에서 Cu 23.4 mg/kg으로 가장 낮았다.

중금속원소별 평균함량은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 Cd는 하층에서 3.18 mg/kg으로 가장 높고 Cr, Ni, Zn은 중층에서 각각 87.5 mg/kg, 45.9 mg/kg, 350.4 mg/kg, Cu와 Pb는 상층에서 각각 125.5 mg/kg, 90.7 mg/kg으로 가장 높게 나타났다. 이와같이 Cd, Cr, Ni 및 Zn의 함량이 상층에 비해 중층과 하층에서 높다는 것은 과거보다 최근에 이들 중금속의 배출농도가 감소되었음을 시사한다.

다음에 저니심도별 중금속 변동계수를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 저니심도별 중금속변동은 상층(0~5 cm)에서 각각 Cd 47.1%, Cr 143.3%, Cu 143.1%, Ni 98.3%, Pb 136.6%, Zn 106.8%이며 중층(5~10 cm)에서 각각 Cd 38.7%, Cr 118.3%, Cu 103.6%, Ni 104.6%, Pb 92.5%,

**Fig. 4.** Mean contents of heavy metal with respect to the depths in sediment of Kumho river.

Zn 103.8%이었다. 또 하층(10~15 cm)에서 각각 Cd 39.0%, Cr 93.1%, Cu 69.9%, Ni 91.9%, Pb 68.4%, Zn 93.9%로서 Ni를 제외하고는 전반적으로 상층에

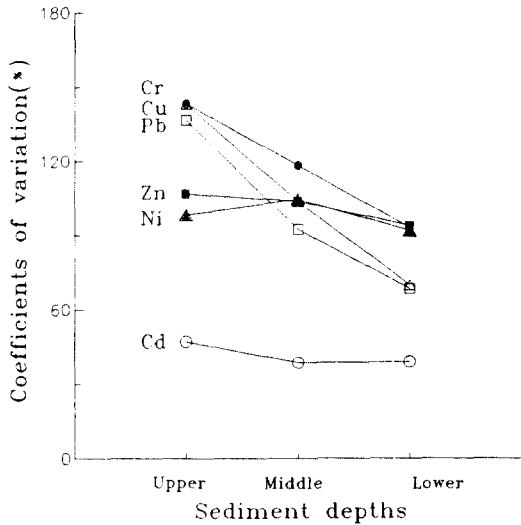


Fig. 5. Coefficients of variation of heavy metal contents with respect to the depths in sediment of Kumho river.

서 높고 하층에서 낮게 나타났다. 이는 상층의 경우 외부에 유입되는 수중의 중금속이 저니입자 표면으로의 흡착과 하상에 퇴적된 저니의 침식이 강하게 작용하기 때문에 변동이 크며 하층으로 갈수록 변동이 적은 것은 상층과 같이 외부의 오염이 하층에서는 직접 작용하지 않고 침전, 흡착 및 킬레이트과정 등의 내적작용에 의해 중금속이 안정한 상태로 존재^{14, 15)}하기 때문이라 사료된다.

5. 유기물질량과 중금속 함량과의 관계
유기물질량의 지표로 이용되고 있는 강열감량과

중금속 함량과의 관계를 검토하기 위하여 각 조사 지점의 저니에 대한 입도 및 심도별 강열감량을 조사하여 그 결과를 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 보는 바와 같이 강열감량은 입자가 작을수록 높다는 것을 알 수 있으며 전술한 입도별 중금속 함량과의 관계에서 미세한 입자에 중금속 함량이 많이 존재한다는 사실과 비교할 때 유기물질량과 중금속함량 상호간에는 상관이 있음을 보여준다. 이러한 결과는 강열감량이 높을수록 저니중의 medium 직경은 더 작아지며 입경이 작을수록 입자의 상대적 표면적은 더 커지기 때문에 강열감량이 높게 함유된 작은 입자는 중금속함량이 많이 존재하는 것으로¹⁶⁾ 사료된다. 또 저니심도별에 따른 강열감량은 먼저 퇴적한 하층에서 보다 상층에서 높게 나타났다.

IV. 결 론

가정하수 및 산업폐수로 오염된 금호강하류의 저니를 입도 및 심도별에 따른 중금속 함량을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 조사된 지점의 저니중 중금속 평균함량은 Cd 1.59~5.32 mg/kg, Cr 17.4~301.7 mg/kg, Cu 23.2~399.9 mg/kg, Ni 9.48~116.8 mg/kg, Pb 31.1~294.1 mg/kg, Zn 74.2~964.3 mg/kg의 범위였으며 중금속 원소별 평균함량은 전반적으로 Zn>Cu>Cr>Pb>Ni>Cd순으로 Zn이 가장 높고 Cd이 가장 낮았다.
- ② 입자크기를 3단계(1.0~0.5 mm, 0.5~0.25 mm, <0.25 mm)로 구분하여 조사한 결과 중금속 평균함량은 0.25 mm이하의 입자에서 가장 높게 나

Table 5. Analytical values of ignition loss on each sampling site with respect to the particle sizes and depths in sediment of Kumho river (Units : %)

Particle sizes depths sites	1.0~0.5 mm			0.5~0.25 mm			<0.25 mm		
	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower	Upper	Middle	Lower
K ₁	10.5	12.4	12.0	13.8	13.0	11.2	16.9	15.7	15.2
K ₂	13.6	12.8	12.5	13.6	13.3	13.3	18.3	18.1	17.6
K ₃	16.1	15.9	15.7	17.9	17.1	16.9	21.0	20.8	20.1
K ₄	31.4	30.6	29.4	38.7	39.3	36.5	41.7	44.2	39.5
K ₅	15.5	15.2	14.6	16.8	16.1	15.8	18.4	17.7	17.3
S ₁	11.1	13.3	11.0	12.6	16.1	11.8	15.4	16.5	15.8
S ₂	13.8	13.8	15.1	13.8	13.8	15.5	13.9	13.6	15.8
S ₃	19.3	19.1	17.8	27.3	22.3	18.5	30.1	23.5	18.5
S ₄	10.7	10.1	9.8	11.4	11.0	10.2	15.6	14.2	13.6
Mean	15.7	15.9	15.3	18.4	18.0	16.6	21.3	20.5	19.3

타났으며, 그 함량은 각각 Cd 3.76 mg/kg, Cr 103.0 mg/kg, Cu 152.0 mg/kg, Ni 56.1 mg/kg, Pb 93.7 mg/kg, Zn 411.1 mg/kg이었다. 그러나 입도별 변동계수는 0.25 mm이하의 입자에서 가장 낮았으며 그 수치는 각각 Cd 34.6%, Cr 120.1%, Cu 104.9%, Ni 92.7%, Pb 106.1%, Zn 97.8%이었다.

- ③ 심도별 중금속 평균함량은 Cd는 하층(10~15 cm)에서 3.18 mg/kg, Cr, Ni 및 Zn은 중층(5~10 cm)에서 각각 87.5 mg/kg, 45.9 mg/kg, 350.4 mg/kg으로 가장 높고 Cu와 Pb는 상층(0~5 cm)에서 각각 125.5 mg/kg, 90.7 mg/kg으로 가장 높았다. 그리고 중금속 변동계수는 Ni를 제외하고 상층에서 가장 높았으며 그 수치는 각각 Cd 47.1%, Cr 143.3%, Cu 143.1%, Pb 136.6%, Zn 106.8%이었다.
- ④ 유기물질량과 중금속 함량의 상호관계를 비교한 결과 입자가 작을수록 유기물 질량과 중금속 함량이 높게 나타났다.

참고문헌

- 1) Martynova, M. V. : Bottom sediment as source of nitrogen and phosphorus in water, Institute of water problems, Academy of Sciences of the USSR, Translated from Vodnye Resursy, No. 1, 164-182, 1981.
- 2) Forstner, U. and Wittmann, G. T. W. : Metal pollution in the aquatic environment, Springer-Verlag, Berlin, 486, 1979.
- 3) Friberg, L. and Vostal, J. : Mercury in the environment, CRS press (Cleveland), 1st, 17, 1972.
- 4) Leriche, H. H. and Weir, A. H. : Method of studying trace elements in soil fractions. *J. Soil Sci.*, **14**, 225-235, 1963.
- 5) Harding, S. C. and Broun, H. S. : Distribution of selected trace elements in sediments of Pamlico river estuary, North Carolina. *Environ. Geol.*, **1**, 181-189, 1975.
- 6) Charles, B. P. and Richard T. D. G. : Lead concentration in soil, sediment and clean samples from the Pungo river peatland area of North Carolina, USA. *Environ. Pollut.*, **43**, 301-311, 1987.
- 7) Stum, W. *et. al.* : Interaction of metal ions with hydrous oxides surfaces. *Croat. Chem. Acta.*, **48**, 491-504, 1976.
- 8) 환경청 : 수질오염 폐기물 공정시험법. 동화기술, 1991.
- 9) APHA, AWWA, WPCF : Standard method for examination of water and wastewater, 16th. Ed., 1985.
- 10) Boyden, C. : Distribution of some trace metals in Poole Harbour, Dorset. *Mar. Pollut. Bull.*, **6**, 180-187, 1975.
- 11) Macpherdon, J. M. : Response to urbarnization of the Avon-Heathcote Estuary, Christchurch, New Zealand. *Environ. Geol.*, **3**, 23-27, 1979.
- 12) Perhac, R. M. : Water transports of heavy metals in solution and by different particle size of particular soils, Office of Water Resources Research, National and Technical Information Service, US Department of Commerce, PB Report PB-232427, 1974.
- 13) Helmke, P. A. *et al.* : Determination of trace element contamination of sediments by multielement analysis of clay-size fraction. *Environ. Sci. and Technol.*, **11**, 984-989, 1977.
- 14) Teda, F. *et al.* : Distrution of heavy metals in bottom mud of upper river in Japan. *Eisei Kagaku*, **24**, 65-70, 1978.
- 15) Talbot, V. and Chegwiddden, A. : Heavy metals in the sediment of Cockburn Sound Western Australia, and its surrounding areas. *Environ. Pollut.*, **5**, 187-205, 1983.
- 16) Nissenbaun, A. and Swaine D. J. : Organic matter-metal interaction in recent sediment: The role of humic substances. *Geochin. Acta.*, **40**, 809-816, 1976.