Journal of the Korean Chemical Society
2000, *Vol. 44, No. 6*
Printed in the Republic of Korea

낙동강 중·상류지역 하천의 표류수 및 퇴적층의 중금속 및 수질분석

李 彰 燮
계명대학교 자연과학대학 화학과
(2000. 8. 22 접수)

Analysis of Water Quality and Heavy Metals for Surface Water and Sediments of Upstream and Midstream in Nakdong River

Chang-Seop Ri
Department of Chemistry, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Received August 22, 2000)

요 약. 대구·경북지역의 상수원 및 공업용수로서 사용되고 있는 낙동강 중·상류지역 하천 표류수의 수질을 분석하고, 하상 퇴적층에 함유된 중금속과 유기물의 종류 및 함유량을 분석하였다. 시료 채취는 갈수기 중 6월 22, 23 양일간 안동댐 상류 청량산 도립공원 양삼교 밑을 제 1지점으로 하여, 경북 지방을 통과하는 낙동강의 최하단인 고령군 고령교까지, 주로 공단의 전후 및 하천의 합류 지점을 대상으로 총 10개 지점에서 실시하였다. 표류수의 분석은 표류수의 시험항목 중 암모니아성 질소, 아질산성 질소, COD 등 총 22개 항목에 대하여 수행하였으며, 퇴적층은 trichloroethylene 등의 유기물과 중금속 등 11개 항목에 대하여 분석하였다. 퇴적물 시료는 용출시험법 및 산분해법으로 각각 분석하여 결과를 비교하였으며, 시료 중 중금속 성분은 유도결합 플라스마 방출분광법으로 분석하였고, 기타 성분은 환경부기준 공정시험방법에 의하여 분석하였다.

ABSTRACT. The surface water in the upstream and midstream of Nakdong river, which is being used as tap water and industrial water supply in Daegu city and Kyungpook province, was analyzed in its water quality. In addition, the sediments of which was analyzed in terms of heavy metal and organic substance contents. All the sampling was done in the drought season for 2 days of June 22-23 and carried out in 10 sampling sites. The sites cover the whole Kyungpook provincial region, starting from Yangsam Bridge in Chyeong Ryang Provincial Park as the upper end, to the Ko Ryung Bridge as the lower end sampling site of Nakdong river that flows through Kyungpook province. The 22 items including NH_4^+, NO_2^- and COD were analyzed for surface water and 11 items including organic constituents(trichloroethylene, etc) and heavy metals were analyzed for sediments. The sediments samples were analyzed by elution testing method and acid dissolution method and then the results were compared with each other. All heavy metals in samples were determined by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy(ICP-AES) and other constituents were analyzed by standard testing methods of the Korean Ministry of Environment.

서 론

최근 산업의 발달과 더불어 환경오염 문제가 심각해지고 있으며, 특히 상수원으로 이용되는 수역의 오염에 대해서는 범국민적인 관심의 증가로 인해 많은 조사와 연구가 이루어지고 있다.[1,2] 낙동강은 강원도 태백에서 발원하여 안동, 구미 등 경북지방 및 대구를 거쳐 부산까지 이어진다. 이 수원은 구미공단, 대구시 등 산업

단지 및 주거지역을 통과하면서 금호강 등의 크고 작은 하천에 의해 생활하수와 산업폐수가 유입되는데, 이는 수질에 큰 영향을 미치고 이에 따른 오염도는 상류에서 하류로 갈수록 증가하며, 표층부가 심층부에 비해 오염도가 높다고 보고된 바 있다.[3] 하상퇴적물 중 중금속 원소의 함량은 표류수의 중금속함량 및 폐수의 양과 관계가 있다. 따라서 표류수의 수질분석으로 유입되는 폐수의 위치 및 종류를 검증할 수 있으며, 동시에 하상퇴적물 중 중금속 원소의 함량을 예측할 수도 있기 때문에, 하천의 표류수 및 퇴적층의 성분분석이 매우 중요하게 인식되고 있다.

현재 낙동강은 안동, 점촌, 구미, 왜관, 대구 등지에서 각종 산업폐수와 생활하수가 유입되므로 하천의 수질과 수역이 심하게 오염되고 있으며, 상류 발원지의 지질학적 특성 또한 하천 오염에 중요한 영향을 미치고 있는 실정이다. 중금속오염에 대한 인체의 보건학적 영향은 이미 잘 알려져 있으며, 그 대표적인 예로서 산업선진국이라 할 수 있는 이웃 일본의 공단지역에서 발생한 수은에 의한 미나마타병과 카드뮴에 의한 이따이이따이 병을 들 수 있다.[4] 낙동강은 대구, 경북지역의 중소도시 및 공단지역들을 유하하면서 각종 생활하수 및 공장폐수 등이 유입되고 있는 하천이다. 특히 상류부에서 반변천, 내성천, 위천, 감천 등을 지나면서 생활하수가 대부분 유입되고, 구미공단, 대구시의 분뇨처리장에서 배출되는 분뇨처리수, 이현공단 및 3공단의 산업폐수가 금호강을 통해 낙동강으로 유입되고있는 실정이다. 이를테면 구미공단은 시료를 포집한 지점들을 지도상에 나타낸 *Fig.* 1에서 7지점으로서, 이후부터 유속이 완만해지면서 동시에 폐수가 집중적으로 유입되므로 표류수뿐 아니라 퇴적층에서도 중금속이 침전, 흡착하여 축적될 가능성이 높다.[5,6] 특히 마지막 지점인 10지점에서는 각종 물질들의 오염도가 상대적으로 높을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 많은 지천들이 합류되는 낙동강의 상류로부터 경북 고령군 고령교까지 폭넓은 지역에 대하여, 오염발생원에 가깝거나 또는 오염물질의 농도가 높아지는 지점중 10 곳을 선정하여 시료를 채취하고 수질, 중금속 함량 및 유기물을 분석하였다. 또한 표류수와 퇴적층 분석을 통해 상관관계의 정도를 파악하여, 대구시 및 부산시가 상수, 공업용수 및 수산용수로 사용하고 있는 낙동강의 종합적인 오염방지 대책수립에 필요한 기초자료를 분석하였다.

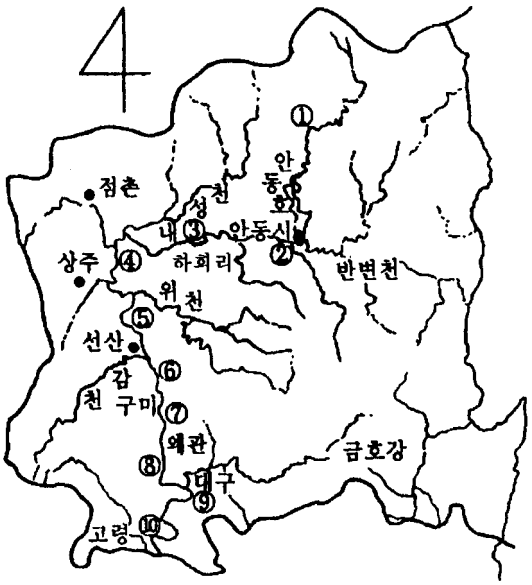

Fig. 1. Map of the study area showing the sampling sites of Nakdong Riverside.

실 험

시료 채취 및 전처리. 본 실험에서는 *Fig.* 1에 나타낸 바와 같이 낙동강 중·상류에서 오염관심지역 10개 지점을 중심으로 표류수의 수질 및 퇴적층의 성분조사를 실시하였다.

표류수는 각 지점에서 1.5 L 크기의 polyethylene 병 또는 유리병을 사용하여 표류수로 수 회 세척한 후, 하천 단면에서 수심이 가장 깊은 수면의 지점과 그 지점을 중심으로 좌우 수면폭을 2등분한 각 지점의 수면으로부터 채수하였다. 채수한 시료는 수질오염 공정시험법[11]에 의해 각 항목마다 시료보존처리를 한 후 냉장보관하였다.

하상에 퇴적된 퇴적층시료의 채취는 각 지점마다 사행선 방법으로 여러 곳에서 퇴적층을 부작위 채취하여 갈색 유리병에 1000 g 정도의 시료를 냉장, 밀봉, 보관한 후 실험실로 운반하여 분석에 사용하였다. 실험실로 운반된 퇴적층은 그늘진 곳에서 3주간 충분히 자연건조시킨 다음 분석시료로 사용하였다.

분석방법. 낙동강의 표류수 및 퇴적층에 대한 분석방법은 수질오염 공정시험법[11] 및 폐기물 공정시험법[12]에 의해 수행하였으며, 그 내용을 *Table* 1, 2에 나타내었다.

Table 1. The method and instrument used for the analysis of surface water

Sample Items	Methods and instrument
온도	온도계
pH	pH meter (ORION model 290 A)
DO	Winkler Azide 법
COD	수질오염 공정 시험방법
Cl	수질오염 공정 시험방법
페놀류	UV(KONTRON UVIKON 860)
표류수암모니아성 질소	UV(SHIMADZU 1201)
아질산성 질소	"
인산염 인	"
T-N	"
T-P	"
CN, F	"
중금속류	ICP(Jobin Yvon JY50P)

표류수의 수질분석. 수온, pH는 휴대용 기기를 사용하여 현장에서 3회 측정하였고, DO(용존산소)는 현장에서 고정시켜 실험실에서 분석하였다. COD(화학적 산소 요구량) 및 염소는 수질오염 공정시험방법에 의하여 분석하였으며, 페놀류, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 인산염 인, T-N, T-P는 UV/Visible 분광광도법으로 분석하였고, 중금속류는 프랑스제 Jobin Yvon JY50P 모델을 사용하여 유도결합 플라스마 원자방출분광법(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES)으로 분석하였다. 측정시 각 중금속별 파장은 Zn: 213.9 nm, Pb: 217.9 nm, Cd: 228.8 nm, Fe: 248.3 nm, Mn: 279.5 nm, Cu: 324.7 nm, Cr: 357.9 nm에서 수행하였다.

퇴적층 분석. 퇴적층의 함수율은 채취한 퇴적층을 약 40 g정도 취하여 중량을 알고있는 증발접시에 넣고 Dry-oven에서 105~110 °C로 항량이 될 때까지 건조하여 Dessicator로 방냉 후 중량법으로 구하였다. 또한 퇴적층은 1 L 삼각 flask에 시료 100 g을 채취하여 증류수 900 mL를 가한 후 3000 rpm으로 1시간동안 교반하였다. 이를 여과지(5A)에 여과한 후 100 mL를 취하고 여기에다 HNO_3 5 mL를 가하여 5~10 mL 정도가 될 때까지 가열하였다. 이를 방냉한 후 증류수를 가하여 100 mL를 만들어 분석하는 용출 시험법과, 시료 5 g을 취하여 킬달 flask에 넣고 HNO_3 10 mL와 $HClO_4$ 20 mL를 넣어 유기물이 완전히 분해되도록 5~10 mL 정도가 될 때까지 가열하여 이를 방냉한 후 증류수를 가하여 100 mL를 만들어 분석하는 산분해법 두 가지 방법으로 나누어 분석하였다. trichloroethylene, tetrachloroethylene은 용출시험법에 의해 분리해낸 상등액을 50 mL 취하여 바이알에 넣고, 여기에 hexane을 가하여 수 분간 교반한 후, 가스크로마토그래피(Traco 9000 series, U.S.A.)로 분석하였으며, 실험에 사용한 시약들은 시약중 포함된 불순물에 의한 오염을 방지하기위하여 모두 일본 Junsei사 제품과 미국의 Sigma 및 Aldrich사의 특급시약을 사용하였다.

결과 및 고찰

하천의 수질. 낙동강의 수질을 조사하기 위하여 *Fig.* 1에 나타낸 각 조사 지점에 대한 표류수의 수질을 *Table* 1, 2에 나타낸 방법으로 분석하였으며, 그 결과를 *Table* 3, 4에 나타내었다.

Table 3에서 보는 바와 같이 표류수의 평균 수온이 26.8 °C였으며, pH는 8.4로서 약알칼리성을 나타내었다. DO는 모든 지점에서 호기성 상태였으며, 8지점인 왜관에서 CODMn값이 38 mg/L로 높은 수치를 보이고 있으므로 이 지점에서 상당한 공장폐수의 유입이 추정되며, 이하 낙동강 본류에 영향을 미칠 것이라 추측된다. 또한 표류수 중의 중금속 성분별 평균농도는 각각 Zn: 0.019 mg/L, Cd: 0.0005 mg/L, Fe: 0.23 mg/L, Mn: 0.0369 mg/L, Cu: 0.014 mg/L 였고, Pb는 검출되지 않았으며 Cr은 5지점에서 약간 검출되었을뿐, 기타 지점에서는 검출되지 않았다. 이 분석결과는 낙동강 수질에 대한 음용수 수질 기준이 Zn: 1.0 mg/L, Fe: 0.3 mg/L, Mn: 0.3 mg/L, Cu: 1.0 mg/L, Pb: 0.1 mg/L, Cr: 0.05 mg/

Table 2. The method and instrument used for the analysis of sediments

Sample	Items	Methods and instrument
퇴적층	함수율	Weighing method(105-110 °C)
	trichloroethylene	GC(Traco 9000 series)
	tetrachloroethylene	"
	중금속류	ICP(Jobin Yvon JY 50p)
	F, CN	UV(KONTRON UVIKON 860)

Table 3. Analytical results in water quality for the surface water collected at the 10 sites in upstream and midstream in Nakdong River

Items \ 지점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
온도 (℃)	26.6	21.1	22.9	22.95	29.62	26.2	25.2	30.8	27.87	28.0
pH	8.59	7.87	7.92	8.63	8.53	8.65	8.41	9.02	8.47	8.07
DO (mg/l)	0.113	8.715	9.723	9.326	9.123	9.527	8.514	7.908	7.906	6.895
COD (mg/l)	4	9	11	4	2	6	12	38	23	19.6
암모니아성 질소 (mmol/m^3)	ND	5	20	16	17	16	2	12	59	42
아질산성 질소 (mg/l)	0.24	0.24	0.29	0.23	0.22	0.24	0.27	0.65	0.56	1.24
인산염 인 (mg/g)	12.7	10.9	11.8	12.8	12.1	11.9	11.5	12.8	11.3	12.6
T-N (mg/l)	0.07	0.08	0.09	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.17	0.35
T-P (mg/l)	4.4	3.8	4.1	4.4	4.2	4.1	4.0	4.4	3.9	4.4
페놀류 (mg/l)	ND	0.0001	0.0001	0.0003	0.0009	0.0013	0.0016	0.001	0.0007	0.002
CN (mg/l)	0.001	0.0015	0.001	0.001	0.0015	0.006	0.002	0.003	0.003	0.005
F (mg/l)	0.53	0.55	0.43	0.42	0.32	0.38	0.34	0.47	0.63	0.50

Table 4. Analytical results in water quality for the sediments collected at the 10 sites in upstream and midstream in Nakdong River

Zn (mg/kg)	ND	0.0502	ND	0.0505	0.0102	0.0189	0.0027	ND	0.0588	ND
Pb (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cd (mg/kg)	ND	0.0001	0.0015	0.0011	ND	0.0021	ND	ND	ND	0.0004
Fe (mg/kg)	0.0947	0.2804	ND	ND	0.909	0.322	ND	ND	0.561	0.127
Mn (mg/kg)	0.0562	0.0025	0.0065	ND	0.0069	0.0091	0.0035	0.0127	0.0897	0.1887
Cu (mg/kg)	0.0133	0.0259	0.0194	0.0054	0.016	0.0138	0.0043	0.0106	0.0207	0.0148
Cr (mg/kg)	ND	ND	ND	ND	0.0224	ND	ND	ND	ND	ND

*Detection limits(mg/kg)
Cr: 3×10^{-1}, Pb: 2×10^{-1}, Cd: 2×10^{-1}, Fe: 3×10^{-1}, Cu: 1×10^{-1}

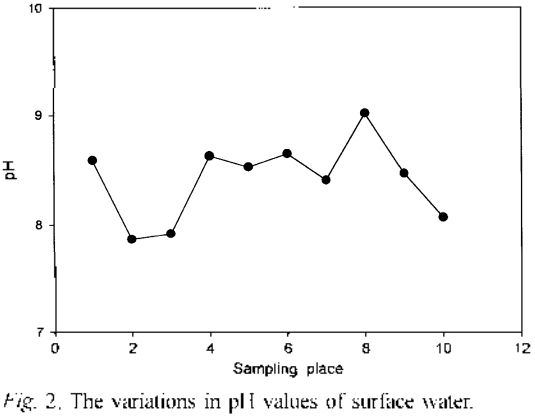

Fig. 2. The variations in pH values of surface water.

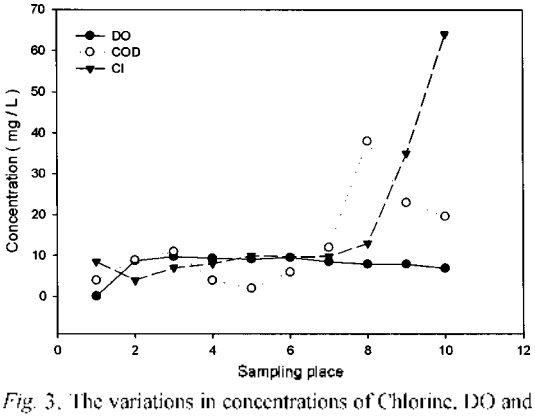

Fig. 3. The variations in concentrations of Chlorine, DO and COD values in surface water.

L인 것에 비하여 아주 낮은 수치를 보이고 있는데, 이것은 중금속들이 환경변화에 따라 침전, 치환 및 흡착 등으로 퇴적층 입자표면으로 빠르게 이동하였기 때문이라 생각되며, 또한 갈수기의 시료 채취시점 낭시 폐수 방출이 상대적으로 적었기 때문인 것으로 추정된다.

Fig. 2~7에는 각 지점별 표류수의 수질에 대한 분석결과를 항목별로 나타내었으며, *Fig.* 8에는 표류수 중에 포함된 중금속의 농도를 도시하였다.

퇴적층에 대한 분석결과. *Fig.* 1에 나타낸 각 조사지점에서 퇴적층을 채취하여 퇴적층의 색상, 냄새, 함

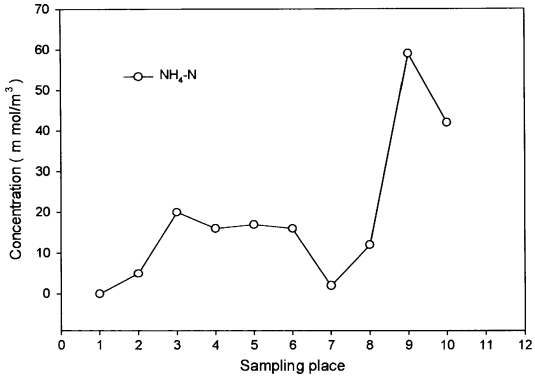

Fig. 4. The variations in concentrations of organic nitrogen (ammonia) in surface water.

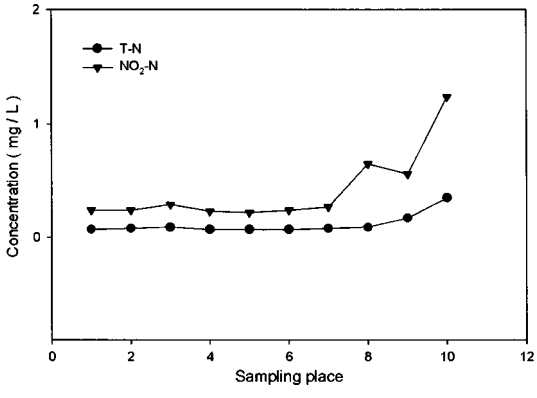

Fig. 5. The variations in concentrations of organic nitrogen (nitrite) in surface water.

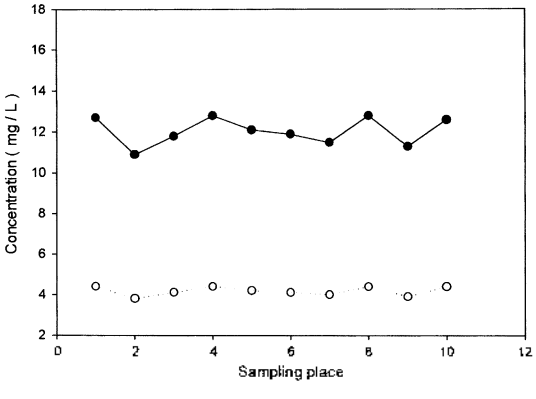

Fig. 6. The variations in concentrations of phosphate and T-P in surface water.

수율 및 trichloroethylene, tetrachloroethylene을 분석하였으며, 그 결과를 *Table* 5에 나타내었다. *Table* 5

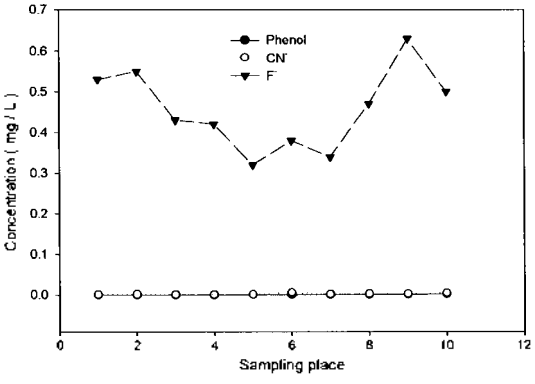

Fig. 7. The variations in concentrations of phenols, cyanate and fluorine in surface water.

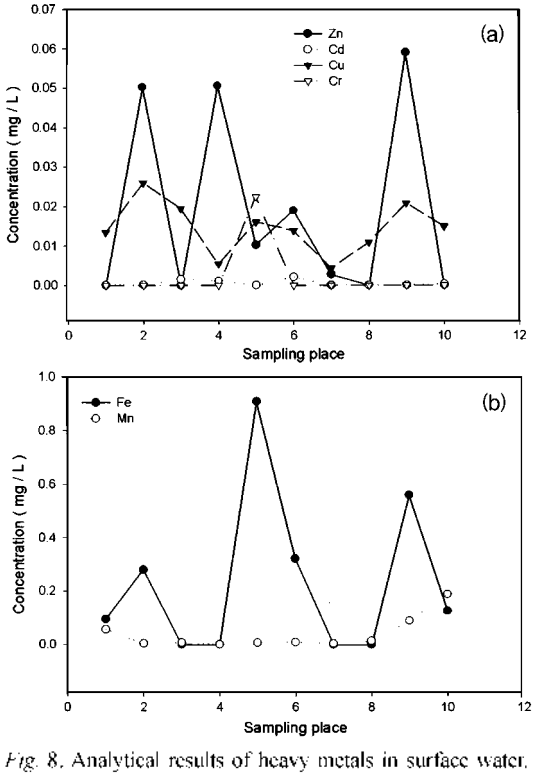

Fig. 8. Analytical results of heavy metals in surface water.

에 나타난 각 조사지점별 퇴적층에 따른 색상을 보면 도시를 경유한 6지점 하류쪽인 8, 9, 10 지점에서 흑갈색을 나타내었으며, 상류지역은 비교적 유기물이 적고 주변토양과 비슷한 갈색을 나타내었다. 함수율은 하류로 내려가면서 유기물의 증가에 따라 다소 높아지는 경향이 있었지만 대체로 비슷한 수준이었다.

퇴적층에 포함된 중금속 성분과 함량을 용출시험법

Table 5. Chemical characteristics and analytical results of sediments

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Color	갈색	갈색	갈색	갈색	흑갈색	갈색	갈색	흑갈색	흑갈색	흑갈색
Odor	×	×	×	×	○	×	×	×	○	○
함수율	18.6	19.7	21.6	20.3	22.4	21.2	20.7	22.6	24.3	26.9
Trichloroethylene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachloroethylene	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Particle Shape	Light brown sand	Light brown sand	Light brown sand	Light brown sand	Dark gray sand	Brownish gray sand	Brownish gray sand	Dark gray sand	Dark brown sand	Dark gray clay
F	ND	ND	ND	ND	0.265	0.123	0.841	0.221	0.383	0.154
CN	ND	ND	ND	ND	0.0062	ND	ND	0.0024	0.0012	0.003

Table 6. Analytical results of heavy metals tested by elution testing method and acid dissolution method

Items \ 지점		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cr (mg/kg)	용 출	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.004
	산분해	2.53	1.843	1.479	2.6	4.021	0.261	3.922	5.72	6.405	6.123
Zn (mg/kg)	용 출	0.885	0.0612	0.2169	0.5095	0.2781	0.5876	0.3378	0.3714	0.4819	0.5866
	산분해	94.659	24.433	23.123	8.333	15.011	9.859	7.81	11.812	7.958	34.773
Pb (mg/kg)	용 출	ND	0.364	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	산분해	12.311	5073	8.554	4.019	8.102	6.637	4.671	4.233	3.891	9.866
Cd (mg/kg)	용 출	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	산분해	1.594	0.131	0.121	0.095	0.122	0.078	0.089	0.041	0.061	0.103
Fe (mg/kg)	용 출	5.378	4.389	ND	2.855	9.792	0.489	ND	5.354	29.199	8.881
	산분해	4971	1971	2932	1948	4397	2715	2154	2799	2386	4226
Mn (mg/kg)	용 출	3.8767	1.169	1.128	1.445	0.249	1.362	0.276	0.313	2.53	2.7885
	산분해	301	1.7	129	68	95	101	115	73	125	91
Cu (mg/kg)	용 출	ND	ND	ND	0.058	0.132	0.092	0.125	0.108	0.105	0.114
	산분해	3.587	1.189	1.179	0.928	2.072	1.109	1.304	1.602	1.157	6.418

및 산분해법으로 분석하였으며, 이를 *Table* 6에 나타내었다. 퇴적층 시료의 분석은 폐기물공정시험방법에 의해 용출시험법이나 함유시험법 중 어느 방법으로도 분석 결과를 표시할 수 있으나, 실험결과의 신뢰성을 위하여 본 실험에서는 용출시험법 및 산분해법 두 가지 방법을 모두 적용하였다. 여기서 용출시험법은 산분해법과 달리 시료를 10배의 묽은 산용액으로 추출하여 추출된 용액을 다시 산분해법으로 분석한 값이므로, 용출시험법에 의한 분석결과는 10배로 희석된 농도값으로 표시되어 산분해법으로 분석한 결과보다 10배 이상의 낮은 값으로 나타나거나 검출불능으로 나타났다.

Table 6에 나타낸 바와 같이, 각 중금속별로 두 가지 방법에 의해 검출된 분석농도비(산분해법/용출법)의 모든 지점들에 대한 평균값을 보면 각각 Zn 83.0, Fe 516, Mn 141 및 Cu 19.4로 나타났으며, 용출법이 10배의 묽은 산용액에 의한 분석결과임을 고려하면, 각각 Zn 8.3, Fe 51.6, Mn 14.1 및 Cu 1.94로서 Cu의 경우를 제외하고는 대체로 산분해법이 용출법보다 높은 분석결과를 보였다. 이는 용출법이 시료 중 중금속 성분을 묽은 산용액으로 단순 추출하는 방법이므로 시료 중에 있는 목적성분이 시료 matrix 성분에 따라 충분히 용출되지 않을 수도 있기 때문이라 생각되며, 반면에 산분해법은 시료를 용액상태가 될 때까지 완전히 분해하여 분석하기 때문에 시료 중 목적성분이 비교적 그대로 분석될 수 있었기 때문이라 생각된다.

Fig. 9에 각 지점별 퇴적층에 대한 용출시험법과 산분해법에 의한 중금속 성분의 분석 결과를 나타내었으며, *Fig.* 10에는 중금속 성분 중 Cu에 대한 산분해법

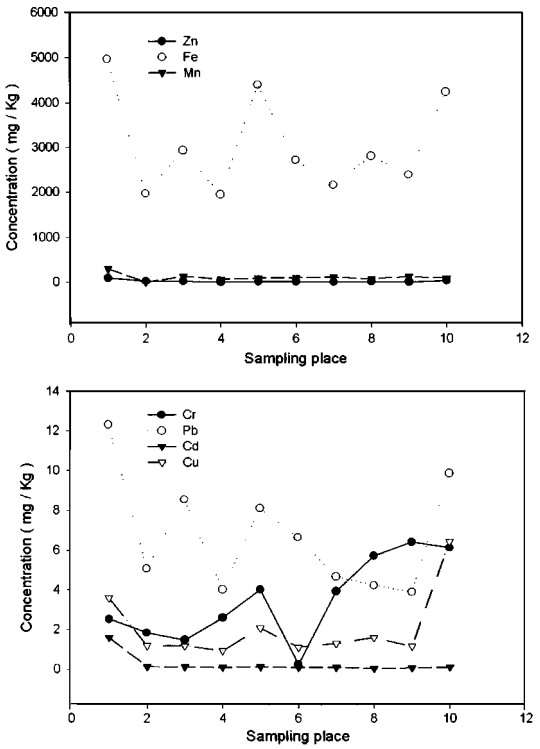

Fig. 9. Analytical results of heavy metals in sediments.

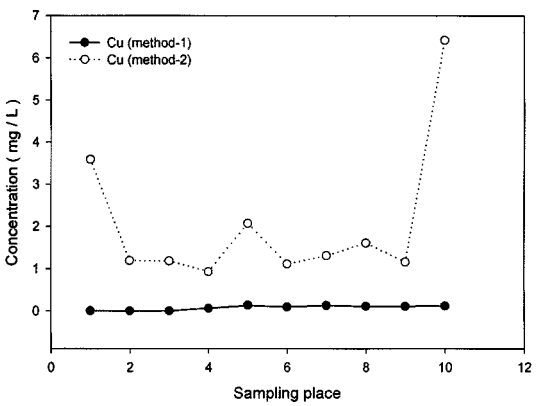

Fig. 10. Comparison of analytical results for the Cu concentration in acid dissolution method (I) and elution testing method (II).

과 용출시험법에 의한 분석결과를 비교하여 나타내었다. 산분해에 의한 분석 결과를 기준으로 보면 중금속 성분의 농도는 1 지점에서 대체로 높은 농도를 보이는데, 이는 강원 및 경북 북부지방의 폐광산에 의한 영향으로 추측된다. 또한 중금속 성분의 농도는 4 지점에서 최소값을 나타내었다가 하류로 내려갈수록 다시 농도가 상승하였으며, 10 지점에서는 Zn 34.77 mg/kg, Pb 9.87 mg/kg, Cd 0.103 mg/kg, Fe 4226 mg/kg, Cu 6.418 mg/kg으로 나타나 하류로 내려갈수록 폐수가 장기적으로 유입되어 광물입자로의 흡착 및 Zn, Fe, Cu의 재침전 등으로 인해 퇴적층 중 중금속의 농도가 높게 나타나는 것으로 추정된다. 비교적 공장이 적고 주택이 대부분인 3, 4 및 7 지점에서는 중금속 성분이 비교적 낮은 수치를 나타내었다. 그러나 5 지점에서는 모든 항목이 높은 농도를 나타내고 있는데, 이는 지형 상 물의 흐름이 기의 정체되고 퇴적층 중에 유기 물질이 다량 함유되어 있어 유기물질에 의한 흡착 및 중금속의 재침전 등으로 인해 중금속 성분의 농도가 높게 나타나는 것으로 추정된다.

표류수와 퇴적층간의 중금속 상관관계. 표류수와 퇴적층 중에 포함된 중금속의 농도는 서로 상관관계가 있으며, 이는 오염성분의 발생원 및 이동 메카니즘의 규명 등에 중요한 자료가 되므로 이를 분석하였다. 피어슨의 상관계수의 성질에 의하면 상관계수(r)는 $-1 \le r \le 1$의 값을 가지며, r 값이 1에 가까우면 강한 양의 선형 관계를, −1에 가까우면 강한 음의 선형 관계를 나타내고, r 값이 0에 가까울수록 선형관계는 약해진다. 크기 n인 자료를 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \ldots, (x_n, y_n)$라고 하면, 표본 상관계수(r)는 다음과 같이 정의되며, 이 식을 사용하여 표류수와 퇴적층에 포함된 중금속의 성분별 상관관계를 계산하고, 그 결과를 *Fig.* 11~12에 나타내었다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})}}$$

일반적으로 하천의 표류수 중에 포함된 중금속의 종류 및 함량은 계절별로 오염원 및 각종 인자 등에 따라 수시로 변화가 발생될 소지가 많으나, 퇴적층은 표류수에 있는 오염된 물질이 장기간에 걸쳐 지니층에 침전 또는 흡착되어 형성됨으로써, 일시적인 시점에서 측정한 표류수와 퇴적층 중에 포함된 중금속 성분의 함량 면에서 상관관계가 반드시 일정한 경향을 갖지는 않는다. 본 실험에서는 표류수의 수질과 퇴적층의 상관관계를 분석해 본 결과 Zn, Fe 및 Cd은 각각 r=−0.357, r=0.29, r=−0.21로 낮은 상관관계를 나타내었으며,

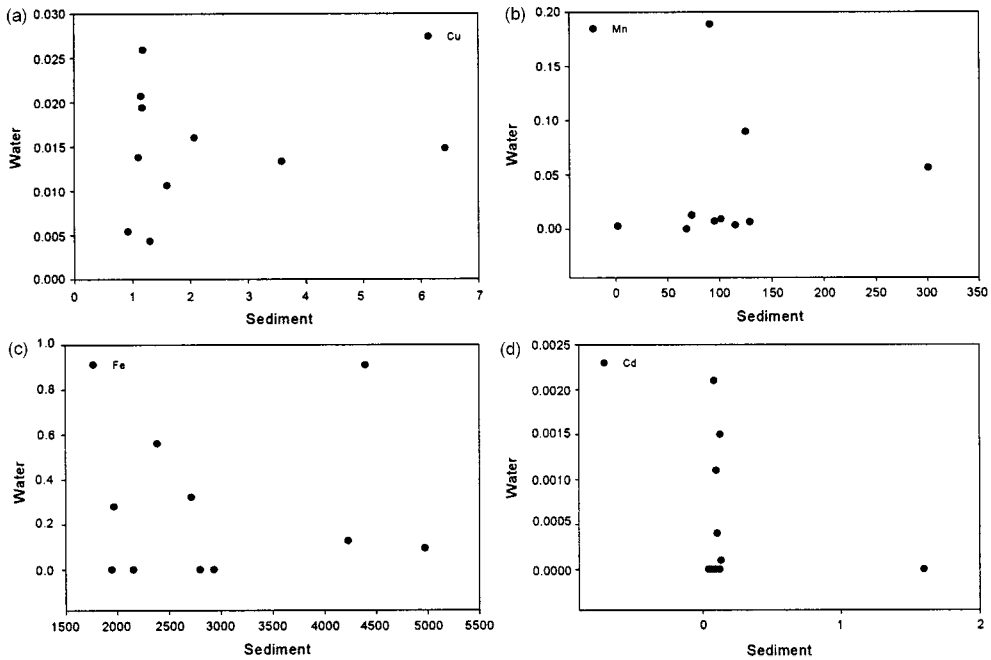

Fig. 11. Relationships in concentrations of heavy metals in surface water and sediments. (a) Cu, (b) Mn, (c) Fe, (d) Cd

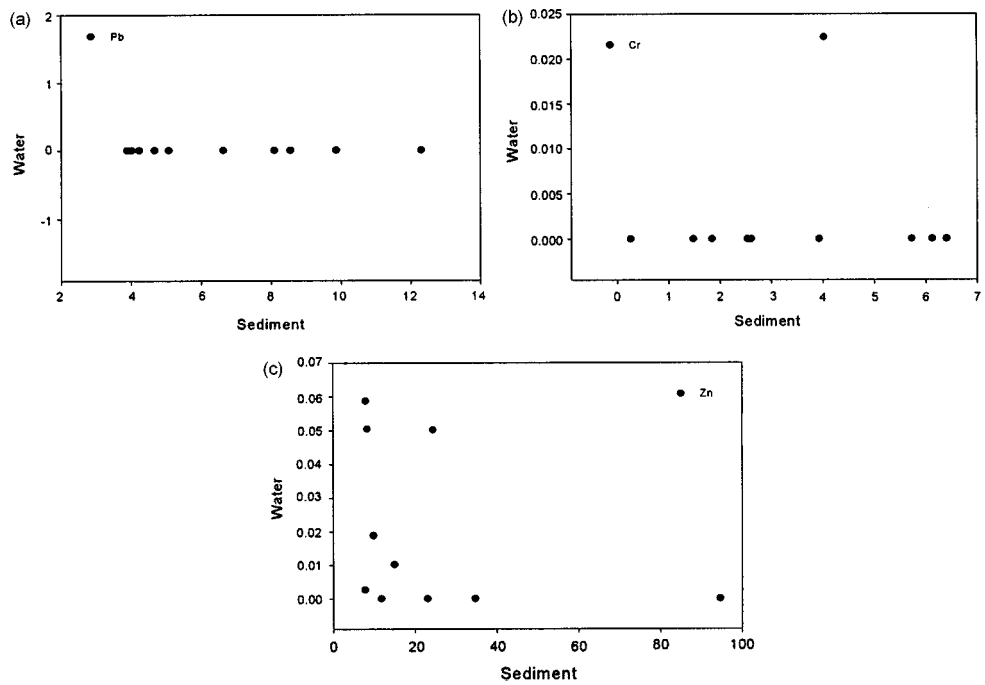

Fig. 12. Relationships in concentrations of heavy metals in surface water and sediments in heavy metals. (a) Pb, (b) Cr, (c) Zn

Mn과 Cu의 경우에는 각각 r=0.111, r=0.04로서 거의 선형관계를 갖지 못하였다. 이는 Mn과 Cu가 생활하수나 공장 폐수의 유입으로 인한 것이 아니라 자연발생적인 원인에 의한 것임을 시사하고 있다.

결 론

낙동강 중·상류지역 하천 중 청량산 도립공원 양산교에서부터 고령군 고령교까지, 하천의 합류지점 등 지형적 영향을 받는 지점과 생활하수, 공장폐수 등의 유입으로 오염이 예상되는 10개 지점의 표류수 및 퇴적층을 채취하여 분석하였으며, 분석결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 표류수 및 퇴적층에 포함된 중금속의 함량과 함수율은 상류에서 하류로 내려갈수록 증가하는 경향을 보였으나 예외로 나타난 지점(site 1,2)도 있었으며, 이는 강원 및 경북 북부지방의 폐광에 의한 영향으로 생각된다.

2) 표류수 중 중금속의 평균함량은 각각 Zn 0.019 mg/L, Cd 0.0005 mg/L, Fe 0.23 mg/L, Mn 0.0369 mg/L, Cu 0.014 mg/L이었고, Cr은 5 지점에서만 미량 검출되고, Pb는 불검출로 나타났으며, 이는 모두 음용수 수질기준 이하의 값이었다. 퇴적층 중에 포함된 중금속 함량은 Zn 23.78 mg/L, Pb 6.8 mg/L, Cd 0.24 mg/L, Fe 3350 mg/L, Mn 120.5 mg/L, Cu 2.06 mg/L, Cr 3.49 mg/L로 나타났다.

3) 5지점에서 표류수 및 퇴적층의 중금속 농도가 높은 수준으로 나타난 것은 불의 정체현상 때문인 것으로 추정되며, 6, 7지점에서 표류수 및 퇴적층 중 중금속 성분의 농도 감소가 이에 원인을 두고 있는 것으로 추정된다.

4) 표류수와 퇴적층에 포함된 중금속간의 상관관계를 검토해 본 결과, 모든 항목에서 낮은 상관관계를 보였으며, 이는 각 지천에서 유입되는 하천에 의한 중금속의 오염이 거의 없음을 나타낸다.

인 용 문 헌

1. 양경린; 이 철; 박참묵; 서기림; 김낙배; 이인종; 정혜순. *한국유수학회지*, **1975**, *8*, 23.
2. 서유수; 문화회; 김인기; 김학화; 김성환; *국립환경연구원소보*, **1982**, *4*, 199.
3. Ra, J. K. *Pollution of heavy metals on the sediments of the lower Nakdong river*. Yeungnam University; Ms. thesis, 1986, p 36.
4. Study Group on Minamate Disease *Minamate Disease*; Kumamoto Univ; Japan, 1968.
5. Pardo, R.; Barrad, E.; Perez, L.; Vega, M. *Water Research*, **1990**, *24*(3), 373.
6. Hurumay, H.; Ohgaki, S. *Water Research*, **1989**, *23*(6), 677.
7. Fox, I.; Malati, M. A.; Pery, R. *Water Research*, **1989**, *23*(6), 725.
8. Suh, S. D. *Characteristics of heavy metals in sediments of small streams polluted by industrial waste water*. Yeungnam University; Ms. thesis, 1991; p 1.
9. Boyden, C. R. *Mar pollut. Bull.*, **1975**, *6*, 180.
10. Perhac, R. M. in *Water transports of heavy metals in solution and by different particle size of particular solids*; Office of Water Resources Research; National and Technical Information Service, vs Department of Commerce, 1974; PB-report PB-232427.
11. *수질오염 공정시험법*; 환경부; 대한민국, 1992.
12. *폐기물 공정시험법*; 환경부; 대한민국, 1992.