

## 중성자 방사화 분석을 이용한 하천 침전물의 깊이에 따른 원소의 함량분포 연구

김현수<sup>★</sup> · 임혜란<sup>\*</sup> · 김용은<sup>\*</sup> · 문종화<sup>†</sup>

경기대학교 물리학과, 수원 442-760

<sup>\*</sup>충북대학교 물리학과, 청주 361-763

<sup>†</sup>한국원자력연구소, 대전 305-600

(2002. 7. 26 접수, 2003. 5. 2 승인)

### Study on Distribution of Elemental Concentration with a Different Depth of River Sediment using Neutron Activation Analysis

Hyeon-Soo Kim<sup>★</sup> · Hye-Ran Im<sup>\*</sup> · Yong-Uhn Kim<sup>\*</sup> · Jong-Hwa, Moon<sup>†</sup>

Department of Physics, Kyonggi University, Suwon 442-760, Korea

<sup>\*</sup>Department of Physics, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

<sup>†</sup>Korea Atomic Energy Research Institute, 150 Dukjin-Dong, Yusong, Daejeon, 305-600, Korea

(Received Jul. 26, 2003, Accepted May. 2, 2003)

**요 약 :** 청주시 석남천 유역의 4개 지점, 미호천 유역의 1개 지점, 석남천과 미호천 합류지역의 1개 지점 등 6개 지점을 기준지점으로 택하고, 각 지점의 상층, 중층, 하층에서 침전물을 채취하여 조사용 시료를 제작하였다. 한국원자력연구소의 연구용 원자로(HANARO)의 중성자 선을 이용한 중성자 방사화 분석법으로 원소함량을 분석하였다. 미국 표준연구원(NIST)의 인증표준물질을 이용하여 시료 중의 30 개 원소들의 함량을 비교법으로 분석하였다. 그 분석 결과로부터 하천오염원 지역에서 하류로 이어지는 지역의 침전물 오염도분포조사 및 예측시 오염물질의 원소비중과 유속을 고려해야 하며 하천침전물의 함량분석을 위한 시료를 채취할 때 시료의 지역적 대표성을 확립하기 위해서는 원소의 비중과 유속 등을 고려하여 수직적 범위를 정할 필요가 있음을 알았다.

**Abstract :** The river sediments were collected from 4 points of Seoknam river, one point of Miho river and one point of the joining area of two rivers. For preparation of sample, three sediment samples were collected for the surface, middle and lower part of the sediment at each sampling point. The elemental concentrations were analyzed by neutron activation analysis using HANARO research reactor at Korea Atomic Energy Research Institute, and the concentrations of 30 elements were determined by the relative method using standard reference material of NIST. As a result of analysis, it was found that when the examination and prediction of contamination distribution about the site where the contamination site of river is connected to the lower river is done, the specific gravity of elements

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)31-249-9623 Fax : +82+(0)31-249-9605

E-mail : kimsa3377@hanmail.net

which is contained in the sediment and the speed of a current of river should be considered and also found that when the samples for concentration analysis in the river sediments are collected, for the establishment of regional representatives in samples, the range of sampling depth should be determined considering the specific gravity of elements and the speed of a current.

**Key words** : NAA, sediment contamination, relative method

## 1. 서 론

최근에는 환경오염에 대한 관심이 커지면서 토양, 수질, 대기오염도 측정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 중 수질오염은 하천생태계에 직접적인 큰 영향을 주고 있기 때문에 활발한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 그러한 수질상태에 의하여 영향을 받고있는 하천침전물의 오염에 관한 연구는 미흡한 수준에 머무르고 있다. 하천침전물의 오염은 수질오염과 함께 하천 생태계에 큰 영향을 주기 때문에 그에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

청주 석남천은 시의 서부지역을 남에서 북으로 관통하여 흐르다 미호천에 합류한다. 하천유역에는 상류에서부터 주거지역, 공단지역 그리고 농촌지역이 있다. 이들 지역 환경에서 배출된 오·폐수와 함께 하천으로 유입된 물질이 석남천 바닥에 침전되고 있다.

본 연구에서는 청주시 석남천의 수계환경을 고려하여 표본지역을 선택하고 선택된 지역에서 깊이를 달리 하여 침전물을 채취하여 시료들을 제작하였으며 이들 시료내의 원소함량을 중성자 방사화 분석(neutron activation analysis, NAA)의 비교법으로 분석하여 침전물의 깊이, 원소의 비중 그리고 하천의 유속에 따르는 침전물내의 원소의 함량 분포를 연구하였다. 이러한 NAA는 지질시료<sup>1</sup>, 환경시료<sup>2</sup>, 핵관련 재료<sup>3</sup>, 의·약학관련 시료<sup>4</sup>, 고고학관련 시료<sup>5</sup> 등 고감도가 요구되는 극미량원소를 분석하는데 매우 효과적인 방법으로 알려져 있다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료채취 및 제작

석남천유역의 다양한 수계환경 중에서 주거지역, 공단지역, 농업지역의 특성을 뚜렷이 보여주는 4개 지점, 석남천과 미호천의 합류지역의 1개 지점 및 미호천유

역의 1개 지점을 표본 채취지점으로 선택하였다. 이 지점들을 주거지역의 S1, 폐수처리 전 공단지역의 S2, 폐수처리 후 공단지역의 S3, 농촌지역의 S4 그리고 석남천과 미호천의 합류유속이 느린 지역의 SM, SM에 대한 미호천상류지역의 M1으로 구분하였다. 침전물의 표본 채취시기는 8월 중순이었으며 채취방법은 일반적으로 알려진 토양 채취기준에 따라 각 지점에서 기준점을 중심으로 4방위로 5 m 거리에 있는 지점을 선정하여 총 5개 지점에서 채취하였다. 각 지점에서 채취한 표본을 하천바닥에서부터 깊이가 0~5 cm(I), 5~10 cm(II), 10~15 cm(III)인 표본을 나누어 동일한 깊이의 시료들을 혼합한 후, No. 100 mesh 채로 걸렀다. 채로 걸러낸 혼탁액을 3일간 침전시키고 다시 건조기에서 내부온도를 60 °C로 유지시키면서 3일간 건조시켰다. 건조된 침전물을 분쇄하여 No. 250 mesh의 채로 거른 다음 화학청청으로 수명이 짧은 핵종 분석용으로 10 mg, 수명이 긴 핵종 분석용으로 400 mg을 칭량하여 각각 18개의 폴리에틸렌 용기에 담아 조사용 시료를 제작하였다.

### 2.2. NAA에 의한 함량 분석법

절대법에 의한 물질 내의 원소의 함량  $m(g)$ 은 다음과 같은 식으로 구한다.<sup>1</sup>

$$m = \frac{CM}{\epsilon p_x \omega N_A \sigma \Phi [1 - \exp(-\lambda t_i)] \exp(-\lambda t_d)} \quad (1)$$

여기에서  $C(cps)$ 는 감마선의 계수율,  $M(g)$ 은 성분 원소의 원자량,  $\epsilon(cps/dps)$ 은 검출기의 검출효율,  $p_x(\%)$ 는 감마선 방출율,  $\omega(\%)$ 는 동위원소의 자연 존재비,  $N_A$ 는 아보가드로수,  $\sigma(barn)$ 는 표적핵의 열중성자 흡수단면적,  $\Phi(n/cm^2 \cdot s)$ 는 열중성자속,  $\lambda(s^{-1})$ 는 붕괴상수,  $t_i(s)$ 는 중성자 조사시간,  $t_d(s)$ 는 조사 후 경과한 시간이다. 이러한 절대법은 측정시 핵데이터의

불확실성과 실험장비에 의한 오차가 발생한다. 따라서 본 실험에서는 정밀한 측정을 위하여 인증표준물질을 분석시료와 동일한 조건으로 방사화시켜 원소의 함량을 구하는 비교법을 사용하였고, 이와 함께 인증표준물질과 분석시료 간의 측정시간의 차인 붕괴보정과 중성자선속 보정을 실시하여 보다 정밀한 측정이 되도록 하였다. 비교법에 의한 원소함량은 식(1)에 의해 다음과 같이 표현된다.

$$m_{\text{시료}} = m_{\text{표준}} \frac{A_{\text{시료}} \cdot (e^{-\lambda t})_{\text{표준}}}{A_{\text{표준}} \cdot (e^{-\lambda t})_{\text{시료}}}$$

(2)

여기에서  $m(\text{g})$ 은 성분원소의 원소함량 이고,  $A$  (cps)는 계측된 방사능,  $\lambda(\text{s}^{-1})$ 는 붕괴 상수,  $t(\text{s})$ 는 조사 후 경과시간을 나타낸다.

### 2.3. 중성자 방사화 분석

비교법에 의한 원소함량 측정을 위해 인증표준물질은 NIST SRM-2704와 SRM-2709를 선택하였다. 이것은 본 실험에서 사용한 분석시료의 성분과 유사할 것으로 추측된다. 인증표준물질과 석남천의 침전물 전처리로 제작한 분석시료는 중성자 방사화 분석용 공압 이송장치 (pneumatic transfer system : PTS)에 의해 열 중성자선속이  $1.0 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 인 HANARO의 중성자 조사공 (NAA1)으로 이송되어 방사화되었다. 조사된 시료는 감마선 스펙트럼 측정장치로 이송되어 일정 시간 동안 냉각된다. 시료에서 방출되는 감마선을 동축형 HPGc 검출기와 다채널 파고분석기 및 PC로

구성된 감마선 검출시스템으로 측정·분석하였다. 이 검출기의 상대효율은 25%이고  $^{60}\text{Co}$ 의 1332 keV 피크에 대한 분해능이 1.9 keV이다. 감마선 피크는 IAEA에서 중성자 방사화 분석용 프로그램으로 추천한 GANAAS로 분석하였고, 함량분석에 windows 98용 graphic code를 이용하였다.

실험시료를 조사공에서 조사시킨 시간과 조사 후 냉각시킨 시간, 감마선을 측정하는 시간은 Table 1에 나타내었으며 각 시료에 대해 2회 반복하여 실험을 하였다.

## 3. 측정 결과 및 토의

### 3.1. 침전물의 깊이별, 지역별 함량분석

석남천 유역에서 채취하여 제작한 분석시료의 NAA에서는 짧은 수명 핵종 5종, 중간 수명 핵종 10종, 긴 수명 핵종 15종의 함량을 구하였다. 그 결과를 깊이별로 구분하여 Table 2에 상층의 결과를, Table 3에 중층의 결과를, 그리고 Table 4에 하층의 결과를 정리하였다.

### 3.2. 원소함량의 지역적 특성 분석

Table 2로 부터 상층을 기준으로 한 원소함량의 지역별 특성을 분석하여 S1에 대한 S2, S2에 대한 S3, S3에 대한 S4, S4에 대한 SM의 함량변화율을 비중의 크기에 따라 평균값으로 Fig. 1에 나타내었다. 첫째로 Fig. 1에 보여지는 바와 같이 정화되지 않은 중금속이 포함된 공장폐수가 다량 방류되는 S2의 원소함량이 S1

Table 1. The conditions of irradiation, cooling, and measurement times for NAA

Sample		Irradiation time ( $t_0$ )	Exp.	Cooling time ( $t$ )	Measurement time ( $t_M$ )	Remark
Number	Weight					
S1- I, II, III						
S2- I, II, III			1st	20 min	500 sec	For the NAA of short lived nuclides
S3- I, II, III	10 mg	2 min				
S4- I, II, III						
SM- I, II, III			2nd	40 min	1000 sec	
M1- I, II, III						
S1- I, II, III						
S2- I, II, III			1st	15 days	3600 sec	For the NAA of long lived nuclides
S3- I, II, III	400 mg	10 hr				
S4- I, II, III						
SM- I, II, III			2nd	30 days	7200 sec	
M1- I, II, III						

Table 2. NAA results of sediment samples which was from surface layer, 0 to 5cm depth, sediment ( in mg/kg units)

Nuclide	Element	Specific gravity	S1- I	S2- I	S3- I	S4- I	SM- I	MI- I	
Np-239	U	M	18.9	5.89±1.12	16.50±3.00	14.50±2.90	7.05±1.39	5.05±0.96	4.50±0.73
Ta-182	Ta	L	16.6	1.55±0.21	5.31±0.58	3.24±0.45	1.51±0.18	1.24±0.15	1.38±0.14
Hf-181	Hf	L	13.1	14.20±0.80	44.90±2.50	28.90±1.90	10.80±0.70	10.20±0.60	10.80±0.50
Ti-51	Ti	S	11.9	5444.00±762.00	15942.00±2136.00	9144.00±1353.00	5982.00±849.00	4395.00±606.00	6170.00±703.00
Pa-233	Th	L	11.7	52.30±4.70	212.00±17.00	125.00±13.00	34.30±3.20	20.10±1.70	30.90±2.00
Lu-177	Lu	M	9.84	0.75±0.06	1.92±0.16	1.30±0.13	0.42±0.04	0.37±0.03	0.84±0.06
Co-60	Co	L	8.9	7.97±0.23	15.60±0.40	10.60±0.40	15.40±0.50	12.50±0.40	14.60±0.20
Dy-165	Dy	L	8.54	4.96±0.25	28.00±1.00	9.63±0.64	5.66±0.29	4.74±0.21	6.29±0.19
Tb-160	Tb	L	8.27	1.29±0.19	4.04±0.56	2.64±0.42	0.84±0.13	0.66±0.10	1.10±0.15
Fe-59	Fe	L	7.86	25427.00±1017.00	50479.00±1514.00	36366.00±1818.00	36536.00±1461.00	33200.00±1162.00	43442.00±1086.00
Sm-153	Sm	M	7.54	15.60±0.80	58.90±2.70	37.10±1.90	10.60±0.50	6.83±0.31	11.20±0.40
Mn-56	Mn	M	7.43	438.00±9.00	1612.00±24.00	733.00±24.00	535.00±15.00	638.00±14.00	1213.00±15.00
Cr-51	Cr	L	7.19	65.20±3.90	150.00±8.00	108.00±7.00	80.90±4.80	97.40±5.30	70.70±3.10
Zn-65	Zn	L	7.14	92.40±4.60	261.00±10.00	159.00±9.00	186.00±9.00	135.00±6.00	160.00±7.00
Nd-147	Nd	L	7	96.20±5.80	375.00±21.00	232.00±16.00	72.50±4.80	38.00±2.30	65.60±3.10
Ce-141	Ce	L	6.78	228.00±20.00	958.00±76.00	559.00±55.00	162.00±14.00	97.70±8.30	153.00±9.00
La-140	La	M	6.7	125.00±6.00	530.00±23.00	310.00±17.00	80.50±4.10	49.70±2.30	77.50±2.60
V-52	V	S	5.8	57.10±1.10	86.10±1.60	67.20±2.10	74.70±2.20	71.00±1.70	89.40±1.50
As-76	As	M	5.72	7.22±0.79	6.82±0.68	3.56±0.45	3.29±0.38	3.47±0.37	5.81±0.46
Eu-152	Eu	L	5.26	1.66±0.07	3.57±0.12	2.59±0.13	1.60±0.07	1.31±0.05	1.82±0.05
Ba-139	Ba	M	3.5	1018.00±91.00	958.00±67.00	898.00±84.00	1023.00±75.00	923.00±66.00	858.00±51.00
Sc-46	Sc	L	3	7.81±0.31	13.00±0.50	10.40±0.30	10.40±0.50	9.97±0.40	12.10±0.40
Al-28	Al	S	2.7	97751.00±2932.00	92473.00±2311.00	79438.00±3256.00	94054.00±3385.00	91296.00±2784.00	102787.00±2055.00
Sr-85	Sr	L	2.6	227.00±11.00	171.00±7.00	192.00±11.00	194.00±10.00	170.00±8.00	154.00±6.00
Cs-134	Cs	M	1.87	4.35±0.21	5.96±0.23	4.03±0.24	5.64±0.28	5.42±0.24	7.05±0.21
Mg-27	Mg	S	1.74	6319.00±316.00	11248.00±529.00	8779.00±526.00	9936.00±566.00	10132.00±529.00	10599.00±509.00
Ca-49	Ca	S	1.55	14200.00±568.00	14130.00±423.00	15158.00±666.00	11094.00±377.00	10786.00±345.00	10828.00±324.00
Rb-86	Rb	L	1.53	147.00±9.00	142.00±6.00	136.00±10.00	147.00±7.00	141.00±7.00	150.00±8.00
Na-24	Na	M	0.97	17227.00±647.00	10635.00±531.00	13402.00±548.00	10757.00±580.00	11544.00±512.00	9907.00±423.00
K-42	K	M	0.86	30443.00±2435.00	22246.00±1401.00	32085.00±2855.00	23118.00±1664.00	22484.00±1517.00	20048.00±1443.00

Table 3. NAA results of sediment samples which was from medium layer, 5.0 to 10 cm depth, sediment ( in mg/kg units)

Nuclide	Element	Specific gravity	S1- II	S2- II	S3- II	S4- II	SM- II	M1- II	
Np-239	U	M	18.9	10.80±2.10	14.90±2.40	12.40±2.50	5.04±0.92	22.30±4.20	10.80±2.10
Ta-182	Ta	L	16.6	2.44±0.28	4.32±0.45	7.66±0.92	1.67±0.23	3.82±0.42	1.74±0.23
Hf-181	Hf	L	13.1	27.60±1.60	29.10±1.80	31.90±2.10	12.00±0.70	72.40±4.30	34.30±1.60
Ti-51	Ti	S	11.9	6929.00±770.00	11969.00±1064.00	11616.00±976.00	6275.00±710.00	1588.00±102.00	8103.00±810.00
Pa-233	Th	L	11.7	133.00±11.00	218.00±22.00	136.00±12.00	49.80±3.30	389.00±34.00	94.50±8.90
Lu-177	Lu	M	9.84	0.95±0.09	1.19±0.10	0.96±0.09	0.50±0.05	1.67±0.15	0.69±0.06
Co-60	Co	L	8.9	10.20±0.20	13.10±0.40	11.10±0.40	12.10±0.30	9.51±0.29	12.90±0.50
Dy-165	Dy	L	8.54	17.50±0.90	22.20±0.70	17.10±0.60	5.90±0.25	38.00±1.90	12.80±0.80
Tb-160	Tb	L	8.27	2.30±0.31	3.79±0.60	2.46±0.37	0.97±0.13	6.40±0.92	1.95±0.29
Fe-59	Fe	L	7.86	31409.00±1256.00	42881.00±1072.00	36760.00±1102.00	31970.00±1119.00	37711.00±1508.00	40639.00±2032.00
Sm-153	Sm	M	7.54	36.30±1.90	60.70±2.70	39.00±1.90	12.00±0.40	83.50±3.80	27.60±1.30
Mn-56	Mn	M	7.43	635.00±21.00	1099.00±16.00	808.00±16.00	435.00±5.00	1170.00±25.00	1127.00±32.00
Cr-51	Cr	L	7.19	106.00±5.00	117.00±7.00	165.00±7.00	91.30±5.00	218.00±13.00	68.70±4.80
Zn-65	Zn	L	7.14	112.00±4.00	220.00±11.00	163.00±7.00	149.00±9.00	121.00±5.00	124.00±6.00
Nd-147	Nd	L	7	216.00±10.00	381.00±23.00	235.00±16.00	86.50±4.90	651.00±43.00	159.00±10.00
Ce-141	Ce	L	6.78	541.00±34.00	950.00±81.00	581.00±52.00	200.00±16.00	1566.00±141.00	372.00±37.00
La-140	La	M	6.7	305.10±17.10	533.00±24.00	327.00±16.00	98.00±5.00	676.00±34.00	184.00±6.00
V-52	V	S	5.8	61.70±1.40	82.80±2.40	79.30±1.40	69.30±2.10	76.20±1.40	88.30±1.80
As-76	As	M	5.72	3.97±0.32	6.30±0.70	6.52±0.76	2.26±0.29	1.65±0.17	7.23±0.80
Eu-152	Eu	L	5.26	2.46±0.09	3.06±0.08	2.56±0.09	1.64±0.07	4.27±0.20	2.63±0.13
Ba-139	Ba	M	3.5	858.00±51.00	811.00±58.00	1021.00±76.00	953.00±89.00	755.00±523.00	656.00±59.00
Sc-46	Sc	L	3	9.65±0.49	11.10±0.40	10.10±0.40	9.65±0.30	10.70±0.40	12.30±0.60
Al-28	Al	S	2.7	82537.00±2517.00	94802.00±3413.00	77990.00±3197.00	83174.00±2079.00	66510.00±1995.00	102384.00±2048.00
Sr-85	Sr	L	2.6	212.00±10.00	176.00±7.00	210.00±11.00	244.00±13.00	222.00±10.00	189.00±9.00
Cs-134	Cs	M	1.87	4.61±0.18	5.38±0.27	3.95±0.12	4.56±0.21	3.24±0.16	5.37±0.32
Mg-27	Mg	S	1.74	6464.00±323.00	10146.00±487.00	8291.00±497.00	8168.00±384.00	9092.00±473.00	9051.00±516.00
Ca-49	Ca	S	1.55	13727.00±411.00	11357.00±363.00	17457.00±594.00	13398.00±589.00	13968.00±419.00	11467.00±459.00
Rb-86	Rb	L	1.53	143.00±7.00	149.00±7.00	130.00±9.00	145.00±6.00	95.20±4.90	131.00±8.00
Na-24	Na	M	0.97	14520.00±566.00	11073.00±620.00	13729.00±628.00	12857.00±583.00	7819.00±385.00	9350.00±461.00
K-42	K	M	0.86	32400.00±2187.00	25347.00±1824.00	27100.00±2412.00	25372.00±1598.00	16790.00±1343.00	19898.00±1433.00

Table 4. NAA results of sediment samples which was from lower layer, 10 to 15 cm depth, sediment ( in mg/kg units)

Nuclide	Element	Specific gravity	S1-III	S2-III	S3-III	S4-III	SM-III	M1-III	
Np-239	U	M	18.9	19.30±3.70	11.50±2.30	11.90±2.20	7.10±1.45	15.10±2.50	8.74±1.66
Ta-182	Ta	L	16.6	5.81±0.76	2.44±0.26	3.80±0.42	1.54±0.22	3.28±0.38	1.62±0.19
Hf-181	Hf	L	13.1	21.20±1.40	26.90±1.60	29.10±1.40	13.20±0.80	61.60±3.80	25.10±1.40
Ti-51	Ti	S	11.9	6661.00±623.00	7619.00±827.00	9598.00±1124.00	5879.00±657.00	12619.00±1068.00	6802.00±599.00
Pa-233	Th	L	11.7	121.00±11.00	126.00±11.00	118.00±8.00	54.60±5.60	232.00±21.00	64.10±5.20
Lu-177	Lu	M	9.84	0.95±0.09	0.86±0.08	0.82±0.06	0.51±0.04	1.52±0.16	0.57±0.05
Co-60	Co	L	8.9	11.00±0.30	10.60±0.40	10.40±0.40	12.40±0.40	9.90±0.30	13.80±0.20
Dy-165	Dy	L	8.54	20.60±0.90	16.10±0.80	9.55±0.63	8.08±0.41	14.70±0.40	8.71±0.31
Tb-160	Tb	L	8.27	2.44±0.32	2.24±0.34	2.08±0.29	0.96±0.15	4.13±0.61	1.45±0.22
Fe-59	Fe	L	7.86	29986.00±1049.00	33578.00±1343.00	34540.00±1727.00	34684.00±1387.00	33683.00±842.00	41725.00±1252.00
Sm-153	Sm	M	7.54	36.10±1.70	37.10±1.30	33.10±1.50	12.80±0.60	56.30±2.90	20.80±1.10
Mn-56	Mn	M	7.43	727.00±16.00	724.00±24.00	763.00±9.00	446.00±9.00	861.00±13.00	1114.00±31.00
Cr-51	Cr	L	7.19	78.80±3.90	91.10±5.50	98.50±6.90	143.00±9.00	125.00±7.00	69.50±3.10
Zn-65	Zn	L	7.14	107.00±4.00	165.00±10.00	155.00±8.00	160.00±7.00	115.00±5.00	129.00±6.00
Nd-147	Nd	L	7	217.00±13.00	236.00±11.00	208.00±12.00	90.8.00±5.4.00	405.00±278.00	118.00±8.00
Ce-141	Ce	L	6.78	540.00±46.00	574.00±57.00	514.00±46.00	203.00±18.00	980.00±62.00	270.00±22.00
La-140	La	M	6.7	305.00±17.00	324.00±16.00	290.00±10.00	102.00±5.00	459.00±23.00	136.00±6.00
V-52	V	S	5.8	63.20±1.50	69.40±1.40	67.00±1.20	72.80±2.30	74.30±1.30	87.90±2.60
As-76	As	M	5.72	3.58±0.42	4.27±0.47	4.55±0.46	2.53±0.32	2.37±0.19	7.79±0.85
Eu-152	Eu	L	5.26	2.36±0.11	2.33±0.09	2.29±0.12	1.62±0.07	3.15±0.08	2.26±0.08
Ba-139	Ba	M	3.5	962.00±69.00	982.00±92.00	883.00±65.00	956.00±86.00	914.00±55.00	689.00±48.00
Sc-46	Sc	L	3	9.37±0.38	9.61±0.31	9.60±0.34	10.20±0.40	10.10±0.50	12.50±0.60
Al-28	Al	S	2.7	82559.00±2972.00	88268.00±2648.00	81778.00±2044.00	88618.00±3633.00	74783.00±1496.00	104674.00±3193.00
Sr-85	Sr	L	2.6	191.00±11.00	175.00±7.00	215.00±10.00	227.00±11.00	246.00±12.00	172.00±9.00
Cs-134	Cs	M	1.87	4.66±0.19	4.76±0.24	3.92±0.24	5.06±0.25	3.55±0.16	5.74±0.17
Mg-27	Mg	S	1.74	7661.00±398.00	9859.00±562.00	7901.00±379.00	8503.00±400.00	7307.00±438.00	9163.00±458.00
Ca-49	Ca	S	1.55	11796.00±377.00	14112.00±621.00	15059.00±512.00	12136.00±485.00	14104.00±423.00	10352.00±311.00
Rb-86	Rb	L	1.53	142.00±6.00	143.00±7.00	140.00±6.00	147.00±9.00	113.00±8.00	136.00±7.00
Na-24	Na	M	0.97	13692.00±569.00	12773.00±534.00	14921.00±612.00	13123.00±599.00	10411.00±411.00	9454.00±386.00
K-42	K	M	0.86	36134.00±3216.00	33572.00±2685.00	29173.00±2100.00	25284.00±1707.00	19310.00±1390.00	19824.00±1248.00

보다 높았으며 폐수정화처리된 후 방류되는 지점 S3의 원소함량은 S2보다 전반적으로 낮게 측정되었는데 비중이 큰 원소일수록 함량변화가 큰 폭으로 나타나는 경향을 보였다. 둘째로 Fig. 1에 표현된 바와 같이 S3에서 특별한 오염원이 없는 지점 SM에 이르기까지 원소의 함량분포를 보면 비중이 큰 원소(비중이 5이상의 원소)는 함량이 큰 폭으로 작아지는 경향이 강했으며 비중이 작은 원소(비중이 5이하의 원소)는 경향이 뚜렷하지 않았다. 일반적으로 비중이 작은 원소들은 침전성보다는 하류로의 이동성이 강하고 비중이 큰 원소들은 하류로의 이동성보다는 침전성이 강하다. 따라서 S1에서 S3에 이르기까지 비중이 큰 원소들의 함량에 큰 변화가 발생하는 것은 중금속을 위주로 이루어지는 폐수정화처리 여부와도 관계가 있지만, 비중이 큰 원소의 강한 침전성 때문으로 분석되었다. 또한 위에서 논의된 S3에서 SM에 이르기까지의 함량분포는 하천수가 이동되는 시간동안 비중이 큰 원소의 강한 사전 침전효과 때문으로 분석되었다.

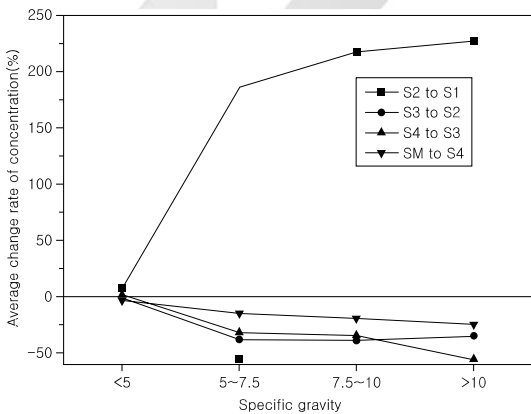


Fig. 1. Average change rates of concentration in S2 to S1, S3 to S2, S4 to S3, SM to S4, which is plotted according to the specific gravity in the surface layer.

3.3. 원소 함량의 깊이별 특성 분석

Table 2, 3, 4로부터 하천 침전물의 깊이별 특성을 분석하여 Fig. 2에 각 지점에서 원소 비중에 따른 상층에 대한 중층의 함량 평균변화율을 그래프로 나타내었다. 첫째로 Fig. 2를 보면 S2에서는 상층의 원소 함량이 중층의 함량보다 높게 나타났다. 이것은 S2에서

는 공단 지역의 폐수가 다량 유입되어 상층일수록 침전된 원소의 양이 유실되는 원소의 양 보다 많기 때문에 나타난 결과이다.

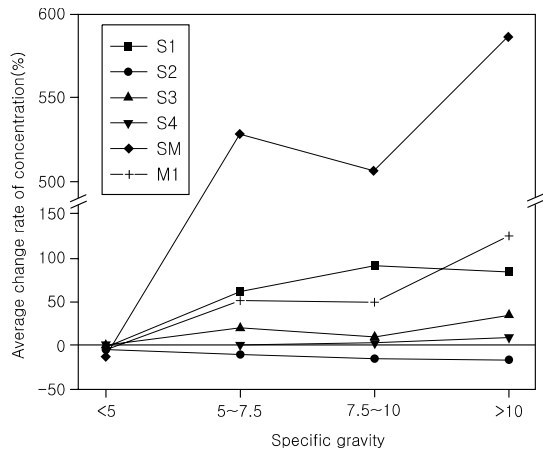


Fig. 2. Average change rates of concentration in the medium layer to surface layer which is plotted according to the specific gravities and sites.

둘째로 하천수의 수질 변화가 가장 크게 발생하는 지점 S1과 S2를 선택하여 S1에 대한 S2의 함량변화를 Fig. 3에서와 같이 깊이별, 비중별로 알아보았다. 깊이별 분석결과, Fig. 3을 보면 상층에서는 예상대로 S1에 대한 S2의 함량 증가폭이 크게 나타나 수질 변화에 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었으나 하층부로 이동할수록 함량변화의 일정한 경향성을 발견할 수가 없었다. 따라서 하층은 수질 변화로부터 거의 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있었다. 이것은 S2에서와 같이 다량 폐수가 유입되어 그 침전물이 상층에 쌓인 후 하층으로 형성되어갈수록 침전물 내의 오염물질을 이루는 원소들이 하류로 이동할 수 있는 시간이 길어져 상층에서 유입된 원소들은 대부분 하류로 유실되기 때문이다. 또한 비중별 분석 결과, Fig. 3에서 보여지는 바와 같이 비중이 작은 원소의 경우 깊이별 S1에 대한 S2의 함량 변화량은 비중이 큰 원소보다 상대적으로 적게 나타나 수질 변화의 영향을 상대적으로 적게 받고 있음을 발견할 수가 있었다. 이것은 비중이 작은 원소의 경우 침전성보다는 이동성이 강하기 때문에 그 지역의 침전물의 원소 함량에 큰 변화를 주지 않기 때문이다.



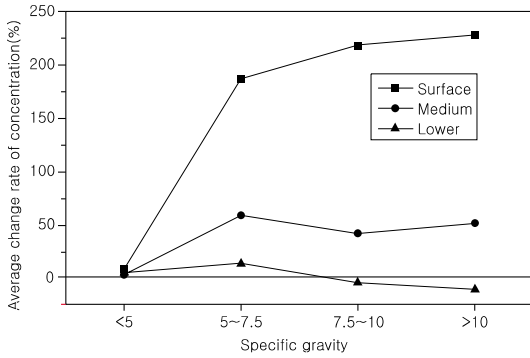


Fig. 3. Average change rates of concentration in S2 to S1 which is plotted according to the specific gravities and sites in each layer.

셋째로 Fig. 2를 보면 S2를 제외한 전 지점에서 상층에서부터 중층에 이르기까지 원소함량이 증가했다. 또한 비중이 큰 원소일수록 이러한 현상은 더욱 두드러지는 것으로 나타났다. 일반적으로 하천내의 임의의 일정한 조건 하에서 비중이 큰 물질일수록 유실되는 양과 침전되는 양을 일정하게 유지시키는 임계유속이 커지며 비중이 작은 물질일수록 임계유속은 작아진다. 이에 따라 침전물의 깊이에 따르는 침전물 내의 하천 유속이 임계유속 보다 작을 때는 함량이 증가하게되며 임계유속 보다 클 때는 함량이 감소하게된다. 따라서 비중이 큰 원소 경우 침전물의 깊이 따라 감소된 유속은 증가된 임계유속 보다 훨씬 작아져 상층보다 중층의 함량이 더욱 증가하게되나 비중이 작은 원소 경우 유속은 작아진 임계 유속과 비슷한 상태가 유지되어 상층과 중층의 함량에 대한 변화가 상대적으로 적은 것으로 분석되었다. 특히 SM에서는 이러한 현상이 다른 지점 보다 상당히 두드러지게 나타났는데 이것은 유속이 느려진 지점 SM의 상층에서 중층에 이르기까지 침전물 내의 하천유속이 더욱 감소되어 임계유속과 큰 차이를 보이게되고 이에 따라 유실되는 양보다 침전되는 양이 더욱 많아지기 때문이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 NAA를 이용하여 석남천의 침전물에 포함된 30 종의 원소 함량을 깊이별로 측정·분석하였다. 그 결과 첫째 오염원지역으로부터 방출된 원소의 함량은 상층의 경우 비중이 큰 원소일수록 하류로

흐름에 따라 큰 폭으로 감소하였고 하층의 경우 지역에 따른 수질변화의 영향을 크게 받고있지 않은 것으로 분석되었다. 둘째 침전물에 포함된 원소 함량은 상층보다 중층에서 더 높은 상태의 수직적인 분포를 지닌 것으로 분석되었고 이것은 원소의 비중이 크고 유속이 느릴수록 더욱 두드러졌다. 이러한 결과로부터 오염원지역으로 부터 하류로 이어지는 하천침전물의 오염도분포조사 및 예측시 오염물질의 원소비중을 고려해야하며, 하천침전물의 함량분석을 위한 시료를 채취할 때 시료의 지역적 대표성을 확립하기 위해서는 원소의 비중과 유속 등을 고려하여 수직적 범위를 정할 필요가 있음을 알 수 있었다.

따라서 오염원이 멀리 떨어져있는 지역일지라도 원소의 비중과 유속의 작용으로 침전물은 상당히 오염이 될 수 있고 그 오염도가 수직적 분포를 지니기 때문에 동일수계의 여러 지역에서 침전물을 채취한 후 그 수계의 원소함량분포를 나타낼 때에는 분석원소의 비중과 하천유속을 고려한 침전물의 깊이 등이 확실하게 제시되어야 할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국 학술진흥재단 연구보조금(KRF-210-005-D00010)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

#### 참고 문헌

- Nicholas Tsoufanidis, "Measurement and Detection of Radiation", 475, Christine Flint and Elizabeth Dugger, Ed., Hemisphere Publishing Corporation, U.S.A., 1976.
- D. F. Covell, *Anal. Chem.*, **31**, 11(1989).
- M. J. A. Armelin, V. A. Maihara, M. B. A. Vasconcellos, D. I. T. Favaro, V. F. Nascimento, *J. Radio. Anal. Chem.*, letters **164** (2), 265-274(1992).
- F. Girardi, G. Guzzi and J. Pauly, *Anal. Chemistry*, **37**, 1085(1965).
- E. J. Uwah, R. J. Rosenberg, *J. Radiational. Nucl. Chem.*, **175**, 229-241(1993).
- "방사화 분석 이용 연구", KAERI/RR-1745/96, 142-145, 한국원자력연구소, 1997.