

광주지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 지구화학적 연구

김종균* · 박영석

조선대학교 자원공학과

Geochemical Study on Geological Groups of Stream Sediments in the Gwangju Area

Jong Kyun Kim* and Young Seog Park

Dept. of Resource Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759 Korea

The purpose of this study is to determine geochemical characteristics for stream sediments in the Gwangju area. We collect the stream sediments samples by wet sieving along the primary channels and dry these samples slowly in the laboratory and grind to under 200mesh using an alumina mortar for chemical analysis. Major elements, trace and rare earth elements are determined by XRF, ICP-AES and NAA analysis methods. For geochemical characteristics on geological groups of stream sediments, we separate geologic groups which are derived from Precambrian granite gneiss area, Jurassic granite area and Cretaceous Hwasun andesite area. Contents range of major elements for stream sediments in the Gwangju area are SiO_2 51.89~70.63 wt.%, Al_2O_3 12.91~21.95 wt.%, Fe_2O_3 3.22~9.89 wt.%, K_2O 1.85~4.49 wt.%, MgO 0.68~2.90 wt.%, Na_2O 0.48~2.34 wt.%, CaO 0.42~6.72 wt.%, TiO_2 0.53~1.32 wt.%, P_2O_5 0.06~0.51 wt.% and MnO 0.05~0.69 wt.%. According to the AMF diagram for stream sediments and rocks, the stream sediments are plotted on boundary of tholeiitic series and calc alkaline series, which shows that contents of Fe_2O_3 are higher in stream sediments than rocks. According to variation diagram of SiO_2 versus ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$), stream sediments are plotted on subalkaline series. Contents range of trace and rare earth elements for stream sediments in the Gwangju area are Ba 590~2170 ppm, Be 1~2.4 ppm, Cu 13~79 ppm, Nb 20~34 ppm, Ni 10~50 ppm, Pb 17~30 ppm, Sr 70~1025 ppm, V 42~135 ppm, Zr 45~171 ppm, Li 19~77 ppm, Co 4.3~19.3 ppm, Cr 28~131 ppm, Cs 3.1~17.6 ppm, Hf 5~27.6 ppm, Rb 388~202 ppm, Sb 0.2~1.2 ppm, Sc 6.4~17 ppm, Zn 47~389 ppm, Pa 8.8~68.8 ppm, Ce 62~272 ppm, Eu 1~2.7 ppm and Yb 0.9~6 ppm.

Key words : stream sediments, major & trace elements, geochemical characteristics, geological group, Gwangju area

이 연구에서는 광주지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 지구화학적 특성에 대해 규명 하고자 한다. 이를 위해 물이 흐르고 있는 1차 수계를 대상으로 하상퇴적물시료 104개를 채취하였고, 실험실에서 자연건조 시켰다. 화학분석을 위한 시료는 알루미늄 몰타르를 이용하여 200메쉬 이하로 분쇄하였고, XRF, ICP-AES, NAA분석을 실시하였다. 연구지역 하상퇴적물에 대해, 지질집단별 지구화학적 특성 비교와 기존 암석에 대한 연구에서 얻어진 암석화학적 특성과의 비교를 위해, 선캄브리아기 화강편마암 지역, 주라기 화강암 지역, 백악기 화순안산암 지역으로 분리하였다. 광주지역 하상퇴적물의 주성분원소 함량은 SiO_2 51.89~70.63 wt.%, Al_2O_3 12.91~21.95 wt.%, Fe_2O_3 3.22~9.89 wt.%, K_2O 1.85~4.49 wt.%, MgO 0.68~2.90 wt.%, Na_2O 0.48~2.34 wt.%, CaO 0.42~6.72 wt.%, TiO_2 0.53~1.32 wt.%, P_2O_5 0.06~0.51 wt.%, MnO 0.05~0.69 wt.%이다. 하상퇴적물과 암석에 대한 AMF 삼각도에서, 암석은 칼크-알칼리계열에 도시되는데 비하여, 하상퇴적물은 솔레아이트 계열과 칼크-알칼리계열의 경계부위에 도시된다. 이는 Fe_2O_3 함량이 암석에서보다 하상퇴적물에 더 많이 함유되어 있는 것과 관련이 있는 것으로 보인다. SiO_2 에 대한 $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ 의 비교그림에서, 하상퇴적물은 암석에서와 같이 subalkaline 계열에 점사된다. 하상퇴적물의 미량성분원소 및 희토류 원소 함량은 Ba 590~2170 ppm, Be 1~2.4 ppm, Cu 13~79 ppm, Nb 20~34 ppm, Ni 10~50 ppm, Pb 17~30 ppm, Sr 70~1025 ppm, V 42~135 ppm, Zr 45~171 ppm, Li 19~77 ppm, Co 4.3~19.3 ppm, Cr 28~131 ppm, Cs 3.1~17.6 ppm, Hf 5~27.6 ppm, Rb 388~202 ppm, Sb 0.2~1.2 ppm, Sc 6.4~17 ppm, Zn 47~389 ppm, Pa 8.8~68.8 ppm, Ce 62~272 ppm, Eu 1~2.7 ppm and Yb 0.9~6 ppm의 범위를 보인다.

주요어 : 하상퇴적물, 주성분 및 미량성분원소, 지구화학적 특징, 지질집단, 광주지역

*Corresponding author: kjkyun@lycos.co.kr

1. 서 론

지질작용과 풍화작용 및 환경의 변화는 지표물질내의 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소의 함량에 큰 영향을 미친다. 특정지역에 나타나는 원소들의 이상함량의 존재는 광상과 관련된 증거를 나타내기도 하며, 이러한 원소들의 특징을 이용한 지구화학 탐사는 광물탐사에 오래 전부터 이용되어지고 있다(전효택, 1991).

지구화학적 환경에서 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소의 분산특성은 인간의 삶과 밀접한 관련이 있으며, 특히 중금속들의 이동, 분산, 부화는 암석과 광석으로부터 퇴적물, 토양 그리고 순환수를 따라 이동하며, 각각의 환경계가 자정능력을 초과할 때 유해한 물질이 부화되어 생태계에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다(Davies and Ballinger, 1990).

소규모의 1-2차 수계에 분포하는 하상퇴적물들은 상류 집수분지 내에 발달되어 있는 암석과 토양으로부터 유래된 입자들이 수계를 타고 이동하여 모인 것으로, 인근지역의 지질특성을 축약하여 집약시켜 놓은 것이나 다름없고, 중금속과 미량성분원소를 잘 반영하고 있어, 주변 지표지질환경을 가장 잘 반영하는 대표적인 지질매체로 받아들여지고 있다(Darnley, 1990; Darnley *et al.*, 1995; FOREGS, 1998). 하상퇴적물을 이용해 작성된 지구화학도는 각 지질단위별 자연배경치 설정과 각 원소의 분산특성에 대한 정보를 제공하며, 토양 오염의 발생에 대한 정확한 평가기준치로서의 역할을 한다.

최근의 하상퇴적물을 이용한 연구는 광역적인 지구화학도 작성(신성천 등, 2000; 신성천 등, 2001)뿐만 아니라, 지질집단별 지구화학적 특성 연구(박영석 등, 2002), 지질집단별 자연배경치 연구(박영석 등, 2003), 하상퇴적물의 중금속 오염현황과 거동특성 연구(염승준 등, 2004), 희토류 원소를 이용한 하상퇴적물의 기원지 연구(이승구 등, 2003) 등으로 연구의 범위가 확대되고 있다.

이번 연구에서는 1:50,000 광주지형도폭지역의 하상퇴적물에 대해, 1:50,000 광주지질도폭(김규봉 등, 1990), 송정지질도폭(홍승호와 윤육, 1986), 기존의 연구와 야외조사를 통해 분포 면적이 넓은 대표적인 세계의 지질집단으로 분류하여, 지질집단별 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소에 대한 함량특성을 파악하고, 기존에 수행되었던 연구지역의 암석에 대한 지구화학적 특성 연구(김용준 등, 2002; 박영석 등, 1995)와도 비교하여 암석과 하상퇴적물에서의 원소들

의 분산특성을 비교분석하였다.

2. 연구지역의 지형 및 지질

2.1. 연구지역의 지형과 수계

연구지역은 1:50,000 지형도 중, 광주도폭에 해당하며, 광주광역시를 주로 하고 남동부에 전남 화순군, 북동부에 전남 담양군, 남서부에 전남 나주시, 북서부에 전남 장성군 일부지역을 포함하는, 동경 126°45'~127°00', 북위 35°00'~35°15' 지역이다.

수계는 소백산맥과 노령산맥에 연한 평야에서 이들과 평행하게 NE-SW방향으로 흐르는 영산강이 가장 두드러진다. 영산강은 서쪽에서 황룡강과 평동천의 지류를, 남쪽에서는 지석천(드들강), 그리고 동쪽에서는 광주천의 지류를 합류시키고 있다. 이중 황룡강은 노령산맥의 구성체인 화강편마암을 가로 질러 북쪽으로 뻗치고, 평동천은 중서부의 전담에 관로수로 역할을 하고 있으며, 지석천은 영산강 본류보다 강폭이 더 넓고 남반부에서 소백산맥의 남쪽 구성체인 유문암질암류를 횡단하여 동쪽으로 뻗친다. 지석천은 화순천, 도곡천, 노동천 및 대촌천등의 지천들을 합류하는데, 이들은 산맥의 방향에 대체로 일치되고 있다. 광주천은 시가지 중심을 거쳐 소백산맥의 북쪽 구성체인 안산암질암류와 화강암류를 가로 지르며, 여러 짧은 세천들과 연결되고 있다(김규봉 등, 1990).

2.2. 지질집단의 분류

광주지역 1차 수계(일부 2차 수계)에서 채취한 하상퇴적물에 대해 지질집단별 주성분원소와 미량성분원소 및 희토류원소 등의 특성을 알아보기 위해, 광주지질도폭(김규봉 등, 1990)과 송정지질도폭(홍승호와 윤육, 1986), 기존의 암석에 대한 지구화학적 연구(김용준 등, 2002; 박영석 등, 1995), 그리고 야외조사를 통해 연구지역의 기반암 및 수계 상부지역의 지질을 파악한 후, 선캄브리아기 화강편마암 지역, 쥐라기 화강암 지역, 백악기 화순안산암 지역으로 지질집단을 분류하였다(Fig. 1).

3. 시료채취 및 분석

3.1. 시료채취 대상수계의 선정 및 하상퇴적물 채취

시료채취 대상수계는 “국제 지구화학 지도 작성 프로그램”에서 제안한 표준안(Darnley *et al.*, 1995; UNESCO, 1990)을 준수하여, 발원지에 가까운 현재 물이 흐르고 있는 1차 수계(일부 2차 수계)를 대상으

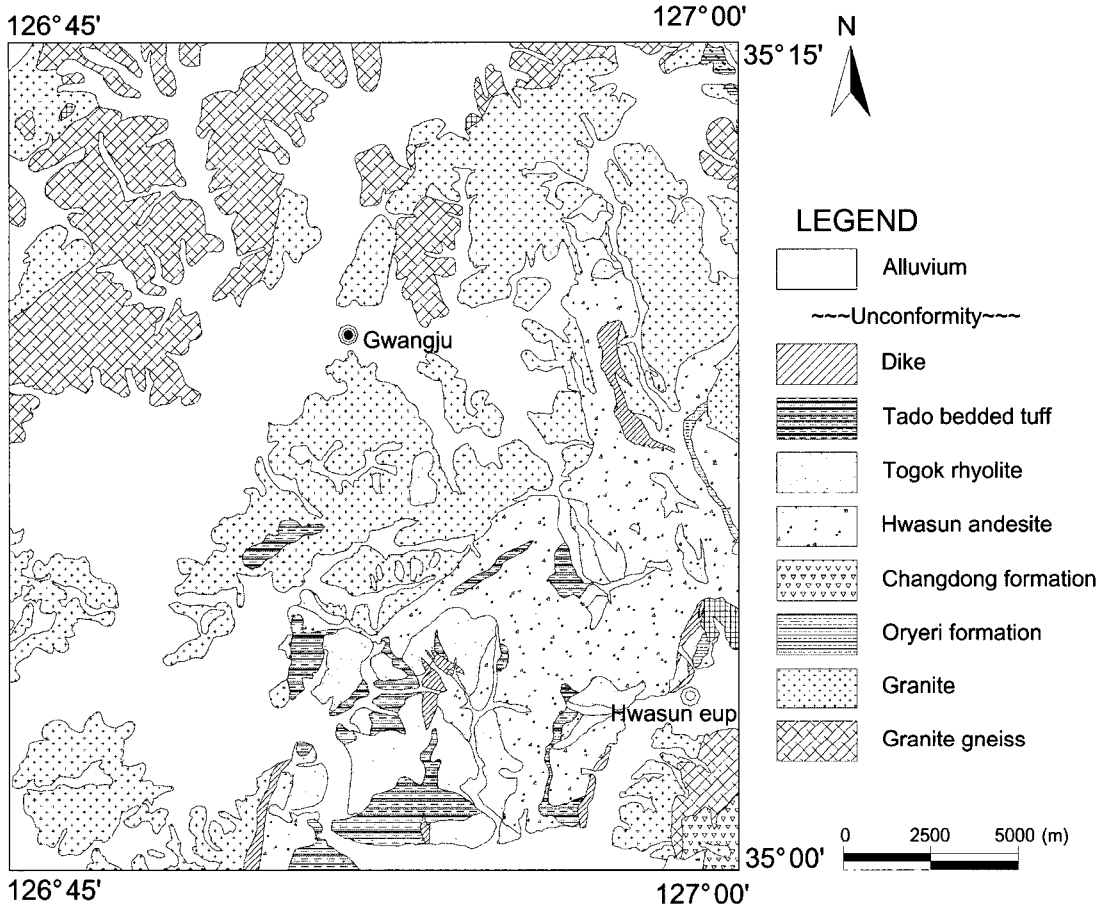


Fig. 1. Geological map of the Gwangju area. (modified from: Kim *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 2002; Hong and Yoon, 1986; Park *et al.*, 1995)

로 함을 원칙으로 하였으며, 1999년 4월부터 1999년 6월까지 야외조사 및 하상퇴적물 시료에 대한 채취가 이루어졌다(Fig. 2).

하상퇴적물 시료채취 시에는 스테인레스 스틸로 만들어진 시료채취용 삽을 사용하여 오염을 피하였고, 시료의 대표성을 높이기 위하여 가능하면 여러 군데에서 조금씩 채취하여 하나의 복합시료로 만들었다. 시료채취지점이 부근의 폐광산, 주거지, 산업시설, 쓰레기 처리장, 축산 시설 등에 의해 인위적으로 오염이 되었거나, 오염이 의심되는 채취지점에서는 오염의 영향이 없는 쪽으로 이동하여 시료를 채취해 최대한 오염을 배제시켰다.

3.2. 시료처리

채취된 하상퇴적물 시료는 100 mesh의 표준체를 이용하여, 채취된 수계에서 바로 습식체질 하였고, 체질 중에 시료가 오염되는 것을 완전히 배제하기 위하여

스테인레스로 제작된 100 mesh의 표준체를 이용하였으며, 고무장갑을 착용하였다. 반복적인 습식체질에 의하여 100 mesh의 표준체를 통과한 150 µm 이하의 세립질 입자만을 50~100 g 정도 수집하였다. 체질과정에서 발생하는 콜로이드상 부유물들은 부피에 비해 표면적이 매우 커 많은 양의 금속을 운반할 수 있는 것으로 알려져 있으므로(Thornton, 1983), 이 미립의 부유물을 제거하기 위해, 일정 시간 가라앉힌 후 물을 따라내고, PET병에 담았다.

채취된 하상퇴적물은 실내에서 자연건조 시킨 후 전체가 균질하게 되도록 잘 섞은 다음, 알루미늄 몰탈을 이용하여 74 µm(200 mesh) 정도가 될 때까지 미분쇄하여 화학분석용 시료를 만들었다.

3.3. 시료분석

하상퇴적물에 대한 화학분석은 한국지질자원연구원

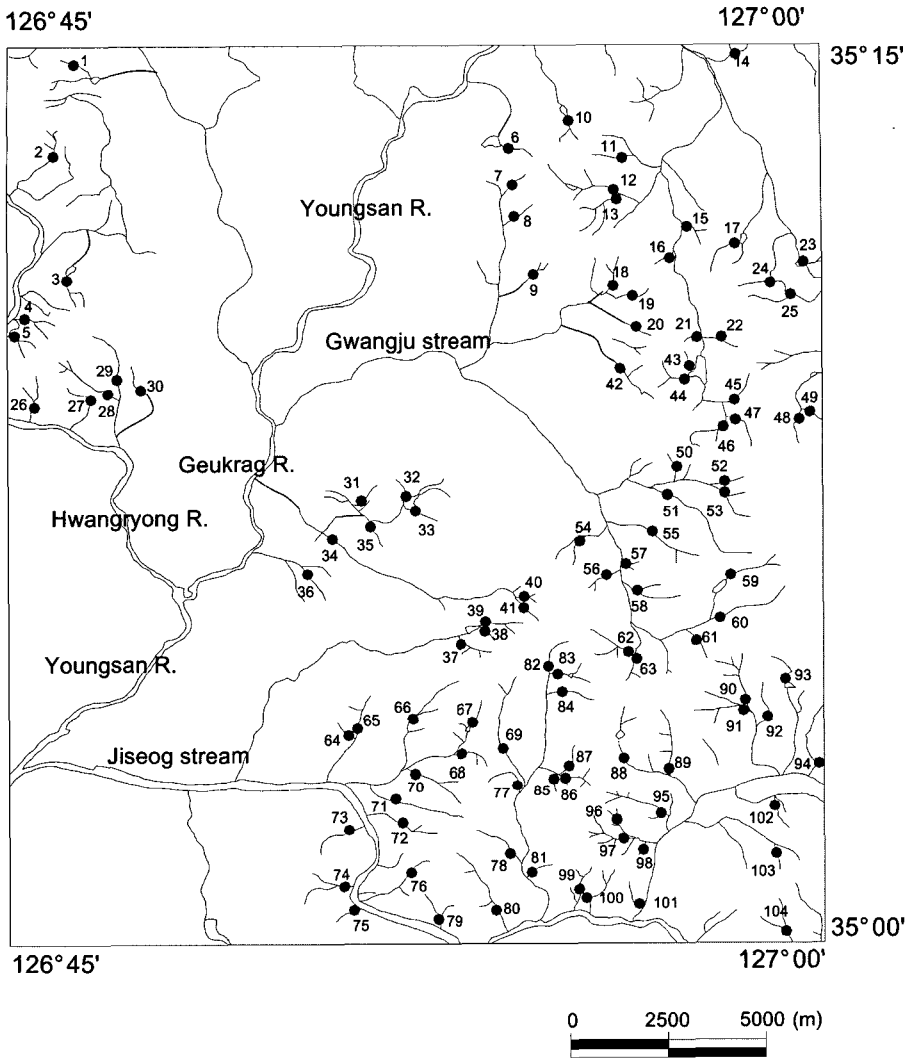


Fig. 2. Sampling sites map of the Gwangju area.

(sample number of granite gneiss area: 1, 14, 26~30, 93, 94, 102, 103)

sample number of granite area: 2~8, 10~13, 15~19, 22~25, 31~39, 43, 45~47, 104

sample number of Hwasun andesite area : 21, 40~41, 50~63, 66, 68, 74, 77, 82, 83~88, 90~92, 95, 97~101)

에서 실시하였다. 주성분원소인 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 는 X-선형광 분광법(XRF)으로 분석하였고, 사용된 기기는 일본 Shimadzu사 MXF-2100이다. 미량성분원소 가운데 Ba, Be, Cu, Li, Nb, Ni, Pb, Sr, V, Zr 등은 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법(ICP-AES)의 완전분해방법을 이용하여 분석하였고, 사용된 ICP 분광기는 Labtest UV25(미국 Labtest Equipment Co.)과 Jovin Yvon JY-38 plus(프랑스 Jovin-Yvon Equipment Co.)이다.

미량성분원소 가운데 Co, Cr, Cs, Sb, Rb, Zn, Sc, Ce, Yb, Hf, Eu 등은 중성자 방사화분석법(NAA)에 의

하여 실시하였다. 중성자 발생을 위한 조사는 한국원자력연구소에 있는 HANARO 원자로(Hi-flux Advanced Neutron Application Reactor)를 이용하였고, NAA 분석에서는 여러 종류의 방사선 가운데 감마선을 이용하였다. 감마선 검출은 한국지질자원연구원의 HPGe r-ray 검출시스템을 이용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 하상퇴적물의 지질집단별 주성분원소 특성
화강편마암 지역에서 하상퇴적물 시료는 11개, 화강

Table 1. Contents(wt.%) of major elements on geological groups of stream sediments in the Gwangju area.

		Min	Max	Mean	S.D.	G.M.	Median
SiO ₂	Ggn	51.89	68.37	58.95	4.99	58.76	57.06
	Gr	53.63	64.59	58.84	2.97	58.76	59.33
	Han	53.80	67.30	58.97	3.34	58.88	57.95
Al ₂ O ₃	Ggn	13.99	21.86	17.27	2.36	17.13	17.20
	Gr	13.19	20.77	17.11	1.83	17.01	17.48
	Han	12.91	16.19	14.95	0.68	14.94	14.95
Fe ₂ O ₃	Ggn	3.74	7.35	5.68	1.32	5.54	5.40
	Gr	4.59	9.89	5.96	1.21	5.85	5.82
	Han	3.61	9.34	7.03	1.35	6.89	6.93
CaO	Ggn	0.52	3.19	1.00	0.76	0.86	0.75
	Gr	0.42	2.54	1.10	0.49	1.01	1.03
	Han	0.65	3.15	1.91	0.76	1.74	1.97
MgO	Ggn	0.70	1.70	1.19	0.36	1.14	1.08
	Gr	0.69	1.47	1.12	0.21	1.10	1.10
	Han	0.79	2.90	1.77	0.51	1.69	1.74
K ₂ O	Ggn	3.00	4.45	3.81	0.39	3.79	3.82
	Gr	2.75	4.49	3.41	0.42	3.39	3.41
	Han	1.85	3.28	2.49	0.35	2.46	2.53
Na ₂ O	Ggn	0.70	1.27	0.99	0.20	0.97	1.09
	Gr	0.48	2.34	1.31	0.39	1.24	1.26
	Han	0.89	2.18	1.32	0.25	1.30	1.32
TiO ₂	Ggn	0.57	0.87	0.73	0.10	0.72	0.69
	Gr	0.53	1.01	0.78	0.11	0.78	0.79
	Han	0.76	1.32	1.04	0.12	1.03	1.03
MnO	Ggn	0.06	0.14	0.09	0.03	0.08	0.07
	Gr	0.05	0.69	0.13	0.11	0.11	0.11
	Han	0.07	0.17	0.12	0.02	0.11	0.12
P ₂ O ₅	Ggn	0.09	0.29	0.16	0.07	0.15	0.15
	Gr	0.06	0.29	0.16	0.06	0.15	0.15
	Han	0.12	0.35	0.22	0.05	0.22	0.22

Ggn : granite gneiss area. number of samples=11.

Gr : granite area. number of samples=34.

Han : Hwasun andesite area. number of samples=37.

Min : minimum, Max: maximum.

Mean : arithmetic average, S.D. : standard deviation.

G.M. : geometric mean.

암 지역에서 하상퇴적물 시료는 34개, 화순안산암 지역에서 하상퇴적물 시료는 37개이며, 지질집단별 주성분원소 함량의 범위는 Table 1과 같다.

하상퇴적물에 대한 지질집단별 주성분원소의 비교 (Fig. 3)에서는 SiO₂ 평균함량은 화강암 지역>화순안산암 지역>화강편마암 지역 순이지만 그 차이는 크지 않고, 화강편마암 지역과 화강암 지역에서는 SiO₂ 평균함량을 제외한 나머지 주성분원소의 평균함량은 거의 비슷한 값을 나타낸다. Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, TiO₂ 평균함량은 화순안산암 지역이 화강편마암 지역이나, 화강암 지역에 비해 상대적으로 높으나, Al₂O₃와

K₂O 평균함량은 낮은 값을 나타낸다(Fig. 3).

SiO₂ 함량은 세 지역에서 모두 비슷한 값을 보이는데, 이는 화강편마암 지역과 화강암 지역에서 기계적 풍화에 강한 석영입자가 상대적으로 큰 입자로 존재하므로 100 mesh(150 μm)이하의 체를 이용한 습식체질 과정에서 석영입자가 체를 통과하지 못하고 제외되어서 화순안산암 지역의 SiO₂ 함량과 유사한 것으로 보인다.

암석의 분화과정을 알아보기 위한 AMF삼각도에서 (Fig. 4) 기존에 수행되어진 암석에 대한 연구에서는 Irvine and Baragar(1971)가 구분한 칼크-알칼리계열에

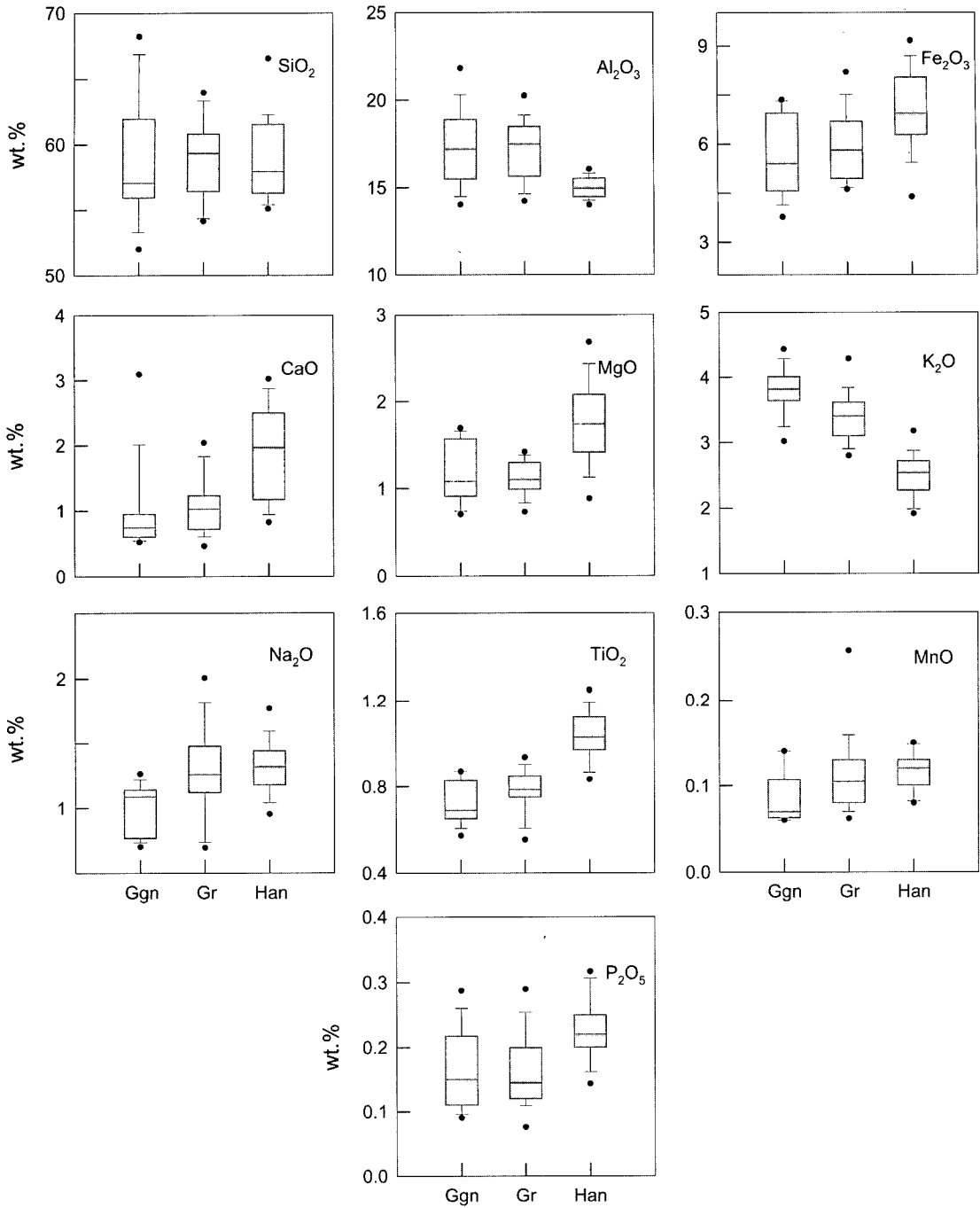


Fig. 3. Comparison diagrams of major element contents for geological groups of stream sediments in the Gwangju area. Ggn: granite gneiss area, Gr: granite area, Han: Hwasun andesite area.

속하는 일련의 분화 산물들로 이루어져 있음을 보여준다(김용준 등, 2002; 박영석 등, 1995). 그러나 하상퇴적물 시료에 대한 AMF삼각도에서는(Fig. 4), 솔레아

이트 계열과 칼크-알칼리계열의 경계부위에 도시된다. 이는 암석과 하상퇴적물의 함량 비교에서, Fe₂O₃가 상대적으로 암석보다 하상퇴적물에 더 많이 함유되어 있

는 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

SiO₂에 대한 K₂O+Na₂O의 비교그림에서, 암석계열을 분류하기 위하여 Irvine and Baragar(1971)의 구분

선을 적용하면, 광주지역의 하상퇴적물은 암석에서와 같이 subalkaline 계열에 점사된다(Fig. 5).

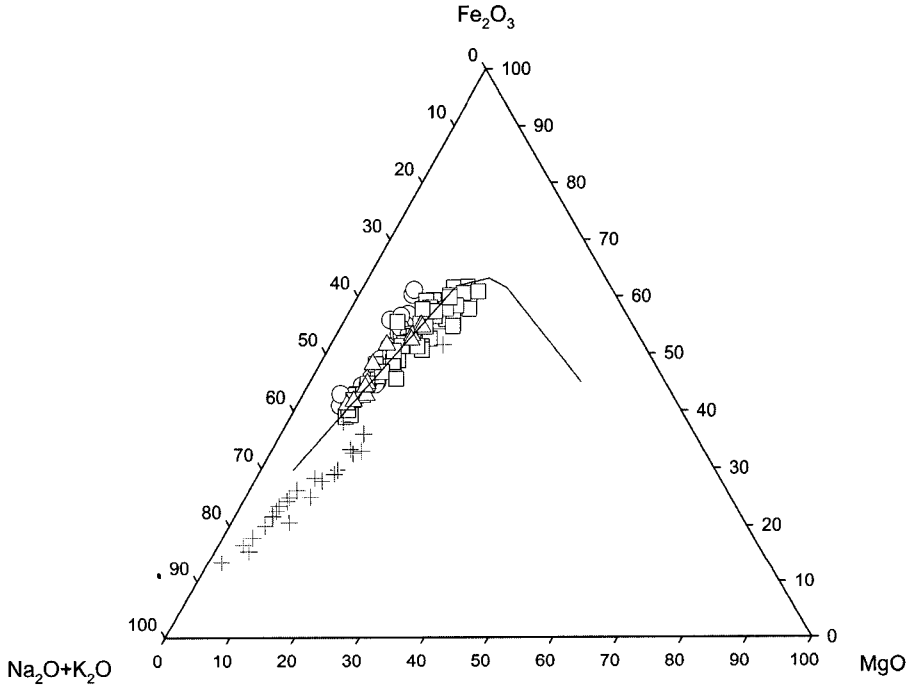


Fig. 4. AMF diagram for stream sediments and rocks in the Gwangju area.

- △ : stream sediments of granite gneiss area.
- : stream sediments of granite area.
- : stream sediments of Hwasun andesite area.
- +: rocks by Park *et al.*, 1995.

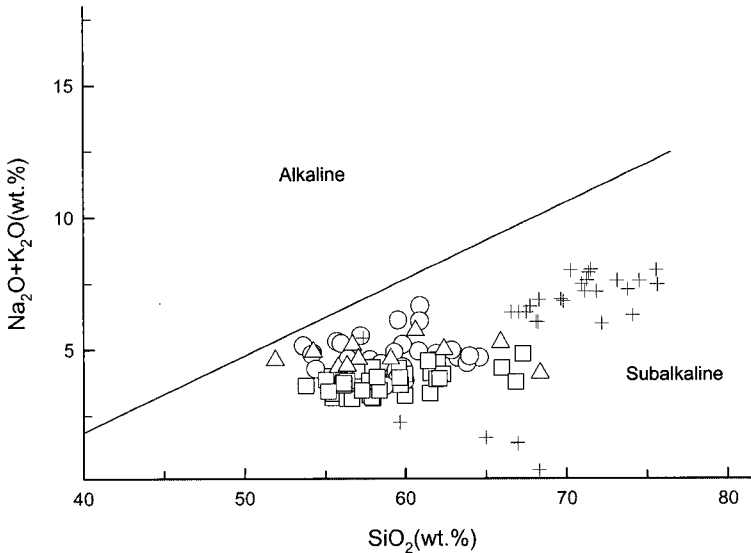


Fig. 5. SiO₂ versus (Na₂O+K₂O) diagram for stream sediments and rocks in the Gwangju area. Symbols are same as in Fig. 4.

4.2. 하상퇴적물의 지질집단별 미량성분원소 및 희토류원소 특성

화강편마암 지역, 화강암 지역, 화순안산암 지역에서 미량성분원소 및 희토류원소 함량의 범위는 Table 2와 같다.

Ba, Co, Cr, Hf, Rb, Zn, Pa, Ce, Yb 함량의 중앙값은 화강편마암 지역이 다른 두 지질집단 지역보다 높고, Sr, V, Zr 함량의 중앙값은 화순안산암 지역이 다른 지질집단 지역보다 높으며, Be, Cu, Nb, Ni, Pb, Li, Cs, Sb, Sc, Eu 함량의 중앙값은 세 지질집단에서 비슷한 값을 보인다(Table 2. Fig. 6).

4.3. 지질집단별 유해원소의 특성

4.3.1. 베릴륨(Be)

베릴륨은 생물에 비필수 원소로 분류되며, 지하에서는 2.8 ppm, 토양에서는 6 ppm, 화강암에서는 5 ppm 정도로 비교적 자연환경에서는 적게 포함하고 있지만 (Levinson, 1974), 아주 적은 양이라도 베릴륨 중독현상을 일으킬 수 있으며, 암을 일으킬 수 있는 금속 원소 중의 하나로 판명되었다(임연풍, 1996).

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 베릴륨함량은 1.1~1.9 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 1.4 ppm으로,

Table 2. Contents (ppm) of trace and rare earth elements on geological groups of stream sediments in the Gwangju area.

		Min	Max	Mean	STDEV	G.M.	Median
Ba	Ggn*	1160	2170	1635	281	1613	1730
	Gr*	960	2050	1407	263	1384	1400
	Han*	600	1770	1122	289	1088	1070
Be	Ggn*	1.1	1.9	1.5	0.3	1.5	1.4
	Gr*	1.1	2.4	1.5	0.3	1.5	1.5
	Han*	1.0	2.3	1.7	0.3	1.7	1.8
Cu	Ggn*	13	79	40	24	34	26
	Gr*	14	50	24	8	22	21
	Han*	17	60	28	9	27	26
Nb	Ggn*	21	33	27	4	27	28
	Gr*	20	33	26	3	26	26
	Han*	26	34	31	2	30	31
Ni	Ggn*	10	50	29	14	26	26
	Gr*	11	33	20	5	20	19
	Han*	14	30	22	4	21	22
Pb	Ggn*	17	27	22	3	22	21
	Gr*	19	30	23	3	23	23
	Han*	17	22	19	1	19	19
Sr	Ggn*	84	195	119	32	116	115
	Gr*	70	1025	155	157	133	120
	Han*	97	304	206	55	199	196
V	Ggn*	42	109	74	22	71	62
	Gr*	51	100	76	15	74	75
	Han*	44	135	97	21	94	98
Zr	Ggn*	49	118	69	22	67	58
	Gr*	45	142	89	28	84	88
	Han*	76	171	121	24	118	122
Li	Ggn*	19	47	34	10	33	35
	Gr*	20	51	35	7	34	34
	Han*	24	77	42	11	41	40
Co	Ggn**	5.0	17.8	13.3	5.4	12.1	16.4
	Gr**	7.9	19.3	11.1	3.2	10.7	9.9
	Han**	8.1	19.2	14.0	2.6	13.7	14.2
Cr	Ggn**	31	131	86	47	74	112
	Gr**	39	84	61	14	59	57
	Han**	36	111	70	18	68	69

Table 2. Continued.

		Min	Max	Mean	S.D.	G.M.	Median
Cs	Ggn**	5.6	8.0	6.9	0.9	6.9	7.1
	Gr**	4.0	10.7	6.5	2.0	6.2	6.6
	Han**	3.1	17.6	6.6	3.3	6.0	5.6
Hf	Ggn**	7.0	27.6	16.5	8.2	14.8	13.7
	Gr**	8.9	21.9	12.5	4.3	11.9	11.1
	Han**	5.2	14.6	7.7	2.2	7.5	7.0
Rb	Ggn**	135	202	164	24	162	159
	Gr**	79	171	125	29	122	118
	Han**	38	148	94	27	89	100
Sb	Ggn**	0.2	1.2	0.4	0.5	0.3	0.2
	Gr**	0.2	1.0	0.3	0.2	0.3	0.2
	Han**	0.2	0.8	0.3	0.2	0.3	0.2
Sc	Ggn**	7.8	16.3	13.2	3.8	12.7	15.5
	Gr**	9.0	15.0	11.4	1.9	11.3	11.1
	Han**	10.0	17.0	14.6	1.9	14.5	14.9
Zn	Ggn**	67	258	128	77	113	110
	Gr**	52	389	130	93	111	109
	Han**	56	192	95	31	91	89
Pa	Ggn**	14.7	68.8	39.7	21.9	34.5	33.3
	Gr**	16.4	42.6	24.1	7.9	23.1	20.0
	Han**	8.8	17.9	12.4	2.5	12.2	12.5
Ce	Ggn**	108	272	175	69	165	149
	Gr**	95	192	120	29	117	103
	Han**	80	124	100	14	99	98
Eu	Ggn**	1.3	2.1	1.8	0.3	1.8	1.9
	Gr**	1.1	2.0	1.5	0.3	1.5	1.4
	Han**	1.5	2.7	1.8	0.3	1.8	1.7
Yb	Ggn**	1.6	6.0	3.6	2.0	3.2	3.5
	Gr**	1.7	3.7	2.7	0.7	2.6	2.5
	Han**	0.9	3.1	1.9	0.6	1.8	1.7

Ggn : granite gneiss area, Gr : granite area, Han : Hwasun andesite area.
 Ggn* : number of data=11. Ggn** : number of data=5.
 Gr* : number of data=34. Gr** : number of data=11.
 Han* : number of data=37. Han** : number of data=19.
 Min : minimum, Max : maximum.
 Mean : arithmetic average, S.D.: standard deviation.
 G.M. : geometric mean.

선캠브리아기 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 2.4 ppm(신성천 등, 2001)보다 작은 값을 나타낸다. 화강암 지역에서 하상퇴적물의 베릴륨함량은 1.1~2.4 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 1.5 ppm으로, 쥬라기 화강암의 국내 자연배경치인 2.2 ppm보다 작은 값을 나타낸다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 베릴륨함량은 1.0~2.3 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 1.8 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 1.9 ppm(신성천 등, 2001)보다 적은 값을 나타내고 있어, 연구지역에서의 베릴륨오염현상은 없을 것으로 예상된다.

4.3.2. 구리(Cu)

구리는 모든 생물체에 필요한 미량원소로 분류되지

만 다량 섭취하면 독성이 있고, 반대로 토양 내에 구리함량이 너무 낮으면(5 ppm 이하) 농작물이나 나무에 결핍현상이 생길 수 있으며, 반추동물에서는 흑색소 결함 또는 골격 및 연골조직 결함이 생길 수도 있다(임연풍, 1996; Merian, 1991).

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 구리함량은 13~79 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 26 ppm으로, 선캠브리아기 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 28 ppm(신성천 등, 2001)보다 약간 낮은 값을 나타낸다. 시료 번호 26, 27, 28, 29, 30(광산구 운수동)지역은 상대적으로 높은 45~79 ppm을 나타내고 있으며, 이 지역은 1990년대 초까지 수십 년 동안 어등산 지역의 군사격장으로 운용되어온 결과로 오염되었을 가능성이 높다.

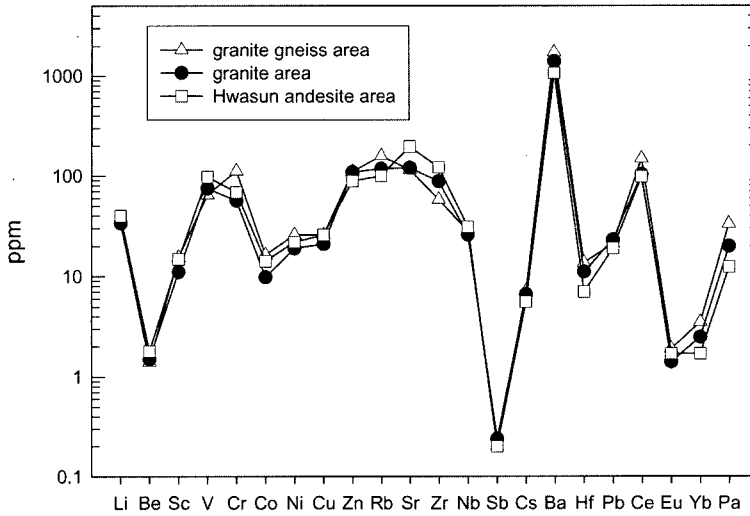


Fig. 6. Comparison diagram of trace and rare earth element contents for geological groups of stream sediments in the Gwangju area.

화강암 지역에서 하상퇴적물의 구리함량은 14~50 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 21 ppm으로, 유라기 화강암의 국내 자연배경치인 29 ppm(신성천 등, 2001)보다는 낮은 값을 나타낸다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 구리함량은 17~60 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 26 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 20 ppm(신성천 등, 2001)보다 약간 높은 값을 나타낸다.

4.3.3. 니켈(Ni)

니켈(Ni)은 몇몇 효소들의 신진대사 과정에 참여하여 인체의 정상적인 대사를 유지시키는데 필수원소이지만, 과량의 니켈은 인류와 동물에게 모두 독이 된다(임연풍, 1996).

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 니켈함량은 10~50 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 26 ppm으로, 선캠브리아기 화강암질편마암의 자연배경치인 15 ppm(신성천 등, 2001)보다 높은 값을 나타낸다. 화강암 지역에서 하상퇴적물의 니켈함량은 11~33 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 19 ppm으로, 암석(0.5 ppm)에서 보다는 훨씬 부화된 특성을 나타내지만, 유라기 화강암의 자연배경치(신성천 등, 2001)인 17 ppm과는 거의 비슷한 값을 나타낸다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 니켈함량은 14~30 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 22 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 15 ppm(신성천 등, 2001)보다 약간 높은 값을 나타낸다.

4.3.4. 납(Pb)

납(Pb)은 중금속으로 친동원소이며, 상부 대륙지대에서 20 ppm(Taylor and McLennan, 1995)이지만 분포는 상대적으로 집중되어 광상에 많이 모여 있다.

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 납함량은 17~27 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 21ppm으로, 선캠브리아기 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 23 ppm(신성천 등, 2001)보다는 약간 높다. 화강암 지역에서 하상퇴적물의 납함량은 19~30 ppm범위를 보이며, 중앙값은 23 ppm으로, 유라기 화강암의 국내 자연배경치인 30 ppm(신성천 등, 2001)보다 낮다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 납함량은 17~22 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 19 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 20 ppm(신성천 등, 2001)과 거의 같은 값을 나타낸다.

4.3.5. 코발트(Co)

토양과 목초지에서 코발트가 결핍되면 양들의 빈혈과 체중감량을 야기 시키는 관목병이 발병하고, 반대로 코발트 함량이 과다한 경우에는 철과 구리의 결핍을 초래하는 수가 많다(Merian, 1991; Reimann and Caritat, 1998).

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 코발트함량은 5.0~17.84 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 16.4 ppm으로, 선캠브리아기 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 16.4 ppm(신성천 등, 2001)과 같은 값을 나타낸다. 시료 번호 93(화순군 동구리 지역)은 5 ppm으로 심하게 결핍

되어 있어, 이 지역에 대해서는 추후 토양에 대한 정밀 재조사가 필요할 것으로 예상된다. 화강암 지역에서 하상퇴적물의 코발트함량은 7.9~19.3 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 9.9 ppm으로, 쥬라기 화강암의 국내 자연배경치인 7.9 ppm(신성천 등, 2001)보다 약간 높은 값을 나타낸다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 코발트함량은 8.1~19.2 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 14.2 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 10.3 ppm(신성천 등, 2001)보다 높은 값을 나타낸다.

4.3.6. 크롬(Cr)

토양과 천연수 중에 존재하는 적당량의 크롬은 인류 건강에 필수적인 원소이다. 크롬의 생물학적 성질 및 독성은 그 원자가 상태와 관계가 있어, Cr³⁺는 세포막을 통과하는 양이 매우 적어서 독성이 비교적 적고, Cr⁶⁺는 세포막에 대해 비교적 강한 침투력과 산화능력을 가지고 있으며 독성이 있어 과다한 양은 건강에 해를 끼친다(임연풍, 1996).

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 크롬함량은 31~131 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 112 ppm으로, 선캠브리아기 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 114 ppm(신성천 등, 2001)과 거의 같은 값을 나타낸다. 화강암 지역에서 하상퇴적물의 크롬함량은 39~84 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 57 ppm으로, 쥬라기 화강암의 국내 자연배경치인 60 ppm(신성천 등, 2001)보다 약간 낮은 값을 나타낸다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 크롬함량은 36~111 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 69 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 51 ppm(신성천 등, 2001)보다 높은 값을 나타낸다.

4.3.7. 아연(Zn)

아연은 생물에게 매우 중요한 필수 미량원소로 분류되며, 독성은 매우 낮아서 농도가 높아도 독성은 그다지 크지 않다. 아연함량이 심하게 높은 지역은 가축이나 식물성장에 해로울 수 있으나, 오히려 지나치게 결핍되면 사람이나 동식물에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다(Merian, 1991).

화강편마암 지역에서 하상퇴적물의 아연함량은 67~258 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 110 ppm으로, 선캠브리아기 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 106 ppm(신성천 등, 2001)과 거의 비슷한 값을 보인다. 화강암 지역에서 하상퇴적물의 아연함량은 52~389 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 109 ppm으로, 쥬라기 화강암

의 국내 자연배경치인 125 ppm(신성천 등, 2001)보다는 적은 값을 나타낸다. 화순안산암 지역에서 하상퇴적물의 아연함량은 56~192 ppm 범위를 보이며, 중앙값은 89 ppm으로, 백악기 중성화산암의 국내 자연배경치인 116 ppm(신성천 등, 2001)보다 적은 값을 나타낸다. 그러나 시료번호 29(광산구 운수동), 104(화순군 한천면 가암리), 90(화순읍 십곡리)부근에서 상대적으로 높은 258 ppm, 389 ppm, 192 ppm을 보이지만, Zn이상대와 관련된 Co, Cr, Rb과 같은 원소에서는 뚜렷하게 높은 함량을 보이는 정(+)의 상관관계를 보이지 않는다.

5. 결 론

1. 광주지역 하상퇴적물의 주성분원소 함량은, SiO₂ 51.89~70.63 wt.%, Al₂O₃ 12.91~21.95 wt.%, Fe₂O₃ 3.22~9.89 wt.%, K₂O 1.85~4.49 wt.%, MgO 0.68~2.90 wt.%, Na₂O 0.48~2.34 wt.%, CaO 0.42~6.72 wt.%, TiO₂ 0.53~1.32 wt.%, MnO 0.05~0.69 wt.%, P₂O₅ 0.06~0.51 wt.% 이다.

2. 미량성분원소 함량은, Ba 590~2170 ppm, Be 1~2.4 ppm, Cu 13~79 ppm, Nb 20~34 ppm, Ni 10~50 ppm, Pb 17~30 ppm, Sr 70~1025 ppm, V 42~135 ppm, Zr 45~171 ppm, Li 19~77 ppm, Co 4.3~19.3 ppm, Cr 28~131 ppm, Cs 3.1~17.6 ppm, Hf 5~27.6 ppm, Rb 388~202 ppm, Sb 0.2~1.2 ppm, Sc 6.4~17 ppm, Zn 47~389 ppm, Pa 8.8~68.8 ppm 그리고 희토류원소인 Ce, Eu, Yb 함량은 각각 62~272 ppm, 1~2.7 ppm, 0.96 ppm이다.

3. AMF삼각도에서 기존의 암석에 대한 연구에서는 칼크-알칼리 계열에 속하는 일련의 분화산물들로 이루어져 있음을 보여주는데 비해, 하상퇴적물에서는 슐레아이트 계열과 칼크-알칼리계열의 경계부위에 도시되는데, 이는 하상퇴적물의 Fe₂O₃ 함량이 암석에서의 함량보다 더 많은 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

4. 유해원소의 과다농집과 이상결핍지역은, Cu는 화강편마암 지역의 시료번호 26, 27, 28, 29, 30(광주광역시 광산구 운수동 부근)에서 상대적으로 높은 45~78 ppm을 나타내, 이 지역이 어등산 자락으로 1990년대 초까지 수십 년 동안 군사격장으로 운용되어온 결과로 오염되었을 가능성이 높다. Co는 화강편마암 지역인 시료번호 93(화순군 동구리 지역)에서 5 ppm으로 심하게 결핍되어 있어 이 지역에 대해서는 추후 토양에 대한 정밀재조사가 필요할 것으로 생각된다. Zn은

시료번호 29(광산구 운수동), 104(회순군 한천면 가암리), 90(회순읍 십곡리)에서 상대적으로 높은 258 ppm, 389 ppm, 192 ppm을 보이지만 Zn이상대와 관련된 Co, Cr, Rb과 같은 원소에서는 뚜렷하게 높은 함량을 보이는 정(+)의 상관관계를 보이지 않는다.

연구지역내에서 과다 농집과 이상결핍을 보이는 몇몇 원소들을 제외하고는, 대부분 원소들의 분산특성은 주변지질의 지질특성을 반영하고 있으며, 이번 연구를 통해 얻어진 결과를 토대로 광주지역에서 지구화학적 재해나 토양오염과 같은 환경오염이 발생하였을 때, 이를 정확히 평가할 수 있는 정성적이고 정량적인 기준치로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 논문을 읽고 유익한 조언을 해주신 전남대학교 건설지구환경공학부 이종운 교수님과 한국지질자원연구원 김재곤 박사님께 깊이 감사사를 드립니다. 이 연구는 2000년 조선대학교 학술 연구비 지원을 받아 연구되었으며, 이에 감사사를 드립니다.

참고문헌

- 김규봉, 이병주, 황상규 (1990) 광주도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- 김용준, 박재봉, 박병규 (2002) 무등산 지역에 분포하는 화성암류의 암석화학. 암석학회지, 11권, p. 214-233.
- 박영석, 노영배, 이창신 (1995) 광주·나주 지역에 분포하는 화강암류에 대한 Rb-Sr 동위 원소 연구. 한국지구과학회지, 16권, p. 247-261.
- 박영석, 김종균, 한민수, 김용준, 장우석, 신성천 (2002) 장흥지역 1차 수계 하상퇴적물의 지질집단별 지구화학적 특성과 하천수에 대한 연구. 자원환경지질, 35권, p. 509-521.
- 박영석, 장우석, 김종균 (2003) 구례지역 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치에 대한 연구. 자원환경지질, 36권, p. 275-284.
- 신성천, 염승준, 황상기 (2000) 지구화학적 재해 평가를 위한 지화학도 작성 및 기준치 설정. 지질재해 관측 및 방지기술 심포지엄, 2000년도 지질재해방재기술개발사업단·대한지질 공학회·대한지질공학회 공동학술발표회 논문집, p. 215-233.
- 신성천, 황상기, 염승준, 이평구, 박성원, 이수재, 송윤구, 박영석, 김용준, 진명식, 홍영국, 이병대, 김연기, 이진수, 김용욱, 윤욱, 박덕원, 김인준, 이재호, 최상훈, 김건한, 양명권, 심상권, 박진태, 이길용, 윤윤열, 천상기, 문상원, 박석록, 유연희, 강민주 (2001) 전라남도 지구화학 지도책: 한국 지구화학 지도책(1:700,000), 5집. 한국지질자원연구원, p. 70.
- 염승준, 이평구, 강민주, 신성천, 유연희 (2004) 주암댐 집수유역 내 하상퇴적물의 중금속 오염현황 및 거동특성. 자원환경지질, 37권, p. 311-324.
- 이승구, 양동윤, 홍세신, 박재호, 오근창 (2003) 회토류원소를 이용한 순창지역 섬진강 수 계내 하상퇴적물의 기원지 연구. 지질학회지, 39권, p.81-97.
- 임연풍(1996) 의학환경 지구화학. 도서출판 춘광.
- 전효택 (1991) 광물탐사를 위한 암석지구화학. 기전연구사, p. 23.
- 홍승호, 윤욱 (1986) 송정도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- Darnley, A.G. (1990) International geochemical mapping: a new global project. Journal of Geochemical Exploration, v. 39, p. 1-14.
- Darnley, A.G., Bjorklund, A., Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, K.A., Steinfeld, A., Tauchid, M., Xie X., Garrett, R.G. and Hall, G.E.M. (1995) A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management-Recommendations for International Geochemical Mapping: Final Report of IGCP Project 259, Earth Sciences 19, UNESCO Publishing, 122p.
- Davis, B.D. and Ballinger, R.C. (1990) Heavy metal soils in north Somerset, England, with special reference to contamination from base metal mining in the Mendips. Environ. Geochem. Health, v. 12, p. 291-300.
- FOREGS (Forum of European Geological Surveys) (1998) FOREGS Geochemical mapping field manual. Geological Survey of Finland Guide 47, p. 1-36.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.B. (1971) A guide to chemical classification of the common igneous rocks. Can. Jour. Earth Sci., v. 8, p. 523-548.
- Levinson, A.A. (1974) Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd., Maywood. 614p.
- Merian, E.(ed) (1991) Metal and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany, 1438p.
- Reimann, C. and Caritat, P. (1998) Chemical Elements in the Environment. Springer-Verlag, 398p.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. Rev. Geophys., v. 33, p. 241-265.
- Thronton, I. (1983) Applied Environmental Geochemistry. Academic Press, p.501. 23. UNESCO (1990) Geological Map of the World.(Scale 1:25,000,000; edited by O.Dottin.) Commission for the Geological Map of the World, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

2005년 6월 9일 원고접수, 2005년 8월 2일 게재승인.