Jour. Korean Earth Science Society, v. 27, no. 1, p. 49-60, February 2006

기반암에 따른 나주지역 하상퇴적물의 지구화학적 특성

박영석[1,*] · 김종균[1] · 정용화[2]

[1]조선대학교 자원공학과, 501-759, 광주광역시 동구 서석동 375번지
[2]국립해양유물전시관, 530-380, 전남 목포시 용해동 8번지

Geochemical Characteristics of Stream Sediments Based on Bed Rocks in the Naju Area, Korea

Young Seog Park[1,*], Jong Kyun Kim[1], and Young Hwa Jung[2]

[1]Department of Resource Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea
[2]The Korean National Maritime Museum, Mokpo 530-380, Korea

Abstract: The purpose of this study is to investigate geochemical characteristics for stream sediments in the Naju area. We collected 139 stream sediments samples from primary channels. Samples were dried slowly in the laboratory and chemical analysis was carried out using XRF, ICP-AES and NAA. In order to investigate geochemical characteristics, the geological groups categorized into granitic gneiss area, schist area, granite area, arenaceous rock area, tuff area, andesite area, and rhyolite area. Average contents of major elements for geological groups are SiO_2 58.37~66.06wt.%, Al_2O_3 13.98~18.41wt.%, Fe_2O_3 4.09~6.10wt.%, CaO 0.54~1.33wt.%, MgO 0.86~1.34wt.%, K_2O 2.38~4.01wt.%, Na_2O 0.90~1.32wt.%, TiO_2 0.82~1.03wt.%, MnO 0.09~0.15wt.%, P_2O_5 0.11~0.18wt.%. According to the comparison of average contents of major elements, Al_2O_3 and K_2O are higher in granitic gneiss area, Fe_2O_3, CaO, P_2O_5 are higher in tuff area, MgO and TiO_2 are higher in andesite area, Na_2O is higher in rhyolite area, SiO_2 and MnO are higher in arenaceous rock area. Average contents of minor and rare earth elements for geological groups are Ba 1278~1469 ppm, Be 1.1~1.5 ppm, Cu 18~25 ppm, Nb 25~37 ppm, Ni 16~25 ppm, Pb 21~28 ppm, Sr 83~155 ppm, V 64~98 ppm, Zr 83~146 ppm, Li 32~45 ppm, Co 7.2~12.7 ppm, Cr 37~76 ppm, Cs 4.8~9.1 ppm, Hf 7.5~25 ppm, Rb 88~178 ppm, Sc 7.7~12.6 ppm, Zn 83~143 ppm, Pa 11.3~37 ppm, Ce 69~206 ppm, Eu 1.1~1.5 ppm, Yb 1.8~4.4 ppm. According to the comparison of average contents of minor and rare earth elements for geological groups, Pb, Li, Cs, Hf, Rb, Sb, Pa, Ce, Eu, and Yb are higher in granitic gneiss area; Ba, Co, and Cr in schist area; Nb, Ni, and Zr in arenaceous rock area; Sr in tuff area; and Be, Cu, V, Sc, and Zn are such in andesite area.

Keywords: stream sediments, geochemical characteristics, major and minor elements, Naju area

요 약: 본 연구는 나주지역 하상퇴적물에 대한 지구화학적 특성 연구이다. 이를 위해 1차 수계를 대상으로 139개의 하상퇴적물 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 실험실에서 자연 건조시켰으며, XRF, ICP-AES, NAA를 이용하여 화학분석을 실시하였다. 기반암에 따른 지구화학적 특성을 알아보기 위하여, 화강암질편마암 지역, 편암류 지역, 화강암류 지역, 사질암 지역, 응회암 지역, 안산암 지역, 유문암 지역으로 분류하였다. 나주지역 하상퇴적물의 지질집단별 주성분원소 평균함량은 SiO_2 58.37~66.06wt.%, Al_2O_3 13.98~18.41wt.%, Fe_2O_3 4.09~6.10wt.%, CaO 0.54~1.33wt.%, MgO 0.86~1.34 wt.%, K_2O 2.38~4.01wt.%, Na_2O 0.90~1.32wt.%, TiO_2 0.82~1.03wt.%, MnO 0.09~0.15wt.%, P_2O_5 0.11~0.18wt.%이다. 주성분원소의 평균함량 비교에서 Al_2O_3와 K_2O는 화강암질편마암 지역에서, Fe_2O_3, CaO, P_2O_5는 응회암 지역에서, MgO와 TiO_2는 안산암 지역에서, Na_2O는 유문암 지역에서 높고, SiO_2와 MnO 함량은 사질암 지역에서 약간 높다. 미량성분 및 희토류원소의 지질집단별 평균함량은 Ba 1278~1469 ppm, Be 1.1~1.5 ppm, Cu 18~25 ppm, Nb 25~37 ppm, Ni 16~25 ppm, Pb 21~28 ppm, Sr 83~155 ppm, V 64~98 ppm, Zr 83~146 ppm, Li 32~45 ppm, Co 7.2~12.7 ppm, Cr 37~76 ppm, Cs 4.8~9.1 ppm, Hf 7.5~25 ppm, Rb 88~178 ppm, Sc 7.7~12.6 ppm, Zn 83~143 ppm, Pa 11.3~37 ppm, Ce

*Corresponding author: yspark@chosun.ac.kr
Tel: 82-62-230-7113
Fax: 82-62-232-2474

69~206 ppm, Eu 1.1~1.5 ppm, Yb 1.8~4.4 ppm이다. Pb, Li, Cs, Hf, Rb, Sb, Pa, Ce, Eu, Yb 평균함량은 화강암질편마암 지역에서, Ba, Co, Cr 평균함량은 편암류 지역에서, Nb, Ni, Zr 평균함량은 사질암 지역에서, Sr 평균함량은 응회암 지역에서 높고, Be, Cu, V, Sc, Zn 평균함량은 안산암 지역에서 다른 지질집단에서 보다 높다.

주요어: 하상퇴적물, 지구화학적 특성, 주성분과 미량성분원소, 나주지역

서 론

지진, 화산폭발, 산사태, 지반침하 등과 같은 동력학적-물리적 변위로 인해 발생하는 재해는 누구나 쉽게 인지할 수 있으며 이에 따른 복구는 많은 사람들의 관심 속에 빠른 시간에 해결을 위한 노력들을 보인다. 그러나 지질환경에 의하여 발생하는 지구화학적 재해는 쉽게 노출되지 않고 문제의 심각성을 인지할 수 없을 뿐만 아니라 특별한 대책 없이 방치되기가 쉬워 결국 오랜 시간에 걸쳐 사람이나 동식물에 악영향을 누적시키고 서서히 넓은 지역으로 확산되는 경우가 많아 그 피해의 심각성은 더욱 크다고 할 수 있다(신성천 외, 2000).

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).

최근의 하상퇴적물을 이용한 연구는 광역적인 지구화학도 작성(신성천 외, 2000; 신성천 외, 2001)뿐만 아니라, 지질집단별 지구화학적 특성 연구(김종균과 박영석, 2005; 박영석 외, 2002), 지질집단별 자연배경치 연구(박영석 외, 2003), 하상퇴적물의 중금속 오염현황과 거동특성 연구(염승준 외, 2004), 희토류 원소를 이용한 하상퇴적물의 기원지 연구(이승구 외, 2003) 등으로 연구의 범위가 확대되고 있다.

본 연구에서는 1:50,000 나주 지형도폭 내에 존재하는 1차 수계(일부 2차 수계)를 대상으로 하상퇴적물을 채취하여, 지질집단별로 구분하여 주성분원소, 미량성분원소, 희토류원소, 독성원소 등의 원소별 존재량과, 상호관계 및 원소의 거동 등의 지구화학적 특성을 파악하여 추후 이 지역에 지구화학적 재해가 발생할 때 이를 판단할 수 있는 정성적이고, 정량적인 기준치를 제공하고자 한다.

연구지역의 지형 및 지질

연구지역의 지형과 수계

연구지역은 1 : 50,000 지형도중, 나주도폭에 해당하며, 전라남도 나주시와 함평군을 주로하고 북동부에 광주광역시 광산구와 장성군, 북서부에 영광군 일부지역을 포함하는, 북위 35° 00'~35° 15', 동경 126° 30'~126° 45'의 지역으로서 1 : 50,000 지질도폭에서는 나주도폭(홍승호와 황상구, 1990) 전체와 영광도폭(최위찬 외, 1986)의 북부지역에 해당한다.

하천들은 북쪽에서 발원하여 남쪽으로 흘러가며, 함평천, 고막천, 문평천, 장성천은 비교적 곧은 수지상을 이루고 다소의 만곡을 수반하기도 하며, 백악기 이후 주로 화산암질 암체로 이루어진 산계 사이로 뻗고 있다(홍승호와 황상구, 1990).

연구지역은 기저를 이루고 있는 선캠브리아기의 화강암질편마암, 시대미상의 편암류, 쥬라기의 화강암류, 백악기의 퇴적암류 및 화성암류와 제 4기의 충적층으로 구성되어 있다(Fig. 1).

선캠브리아기의 화강암질편마암은 광주광역시 광산구 오운리 서쪽에서는 백악기 퇴적층인 저색 사질암층에 의하여 부정합으로 피복되어 있고, 광주광역시 광산구 용동 북쪽에서는 쥬라기 흑운모 화강암에 의하여 관입되어 있다. 편암류는 백악기 퇴적층과 단층으로 접촉되어 있고 쥬라기 흑운모 화강암에 의하여 포획되어 있다. 흑운모 화강암은 노안면 금안리 일대에서는 안산암에 의하여 관입되고 노안면과 문평면 일대에서는 저색 사질암층에 의하여 부정합으로 피복되어 있다. 화산암류는 안산암질 응회암과 안산암이

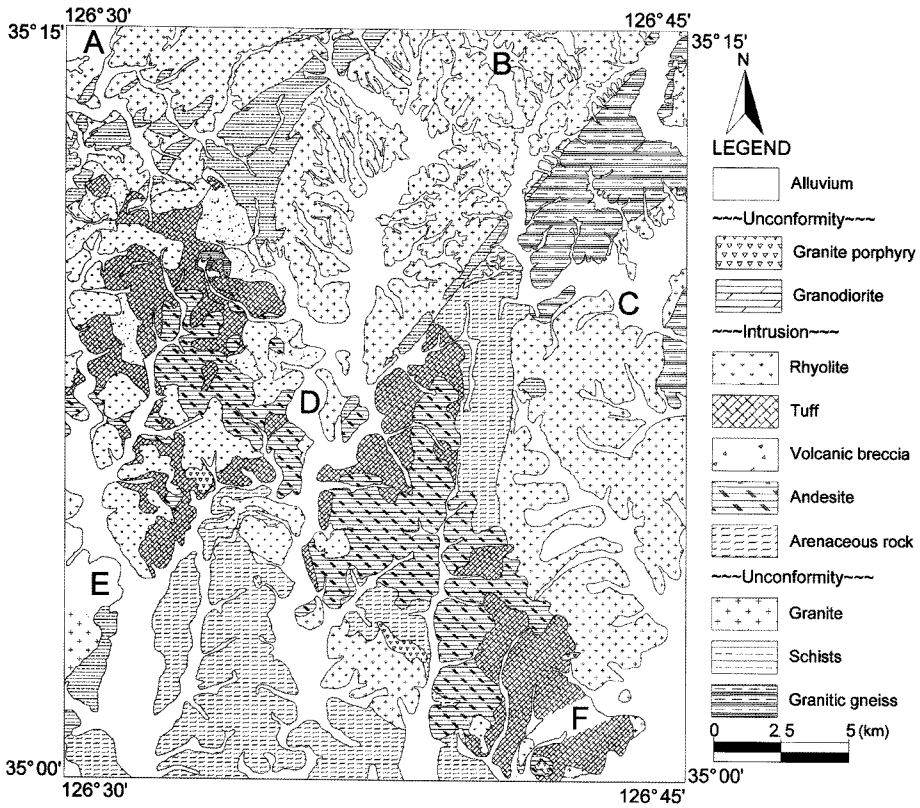

Fig. 1. Geological map of the Naju area (modified from: Choi et al., 1986; Hong and Choi, 1990). A: Younggwang-eup; B: Jangseong-gun; C: Gwangsan-gu, D: Nasan-myeon; E: Hampyeong-eup; F: Naju city.

넓게 분포되어 있으며, 호상유문암, 화산각력암, 유문암질응회암, 유문암질 용결응회암, 유문암이 소규모로 분포한다. 산성 암맥은 도폭 전반에 걸쳐 화강암류 및 화산암류를 소규모의 맥상으로 관입하였다. 충적층은 도폭 전반에 걸쳐 산곡과 하천을 따라 분포되기도 하지만 주로 평야 지대의 최상 피복층으로 넓게 놓여있다. 이층은 제4기 현생 퇴적층으로서 함평천, 고막천, 문평천, 장성천, 영산강 등 주변에 자갈, 모래, 점토 등으로 구성되는 미고결층으로 표토층을 이루고 있다(최위찬 외, 1986; 홍승호와 황상구, 1990).

지질집단의 분류

나주지역 1차 수계(일부 2차 수계)에서 채취한 하상퇴적물에 대해 지질집단별 주성분원소와 미량성분원소 및 희토류원소 등의 특성을 알아보기 위해, 나주도폭(홍승호와 황상구, 1990)과 영광도폭(최위찬 외, 1986)을 참고하고, 야외조사를 통해 연구지역의 기반암 및 수계 상부지역의 지질을 파악한 후, 화강암질 편마암 지역, 편암류 지역, 화강암 지역, 사질암 지역, 응회암 지역, 안산암 지역, 유문암 지역으로 지질집단을 분류하였다(Fig. 1).

시료채취 및 분석

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 대상으로 함을 원칙으로 하였으며, 1999년 5월부터 1999년 8월까지 야외조사 및 하상퇴적물 시료 139개에 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 오염

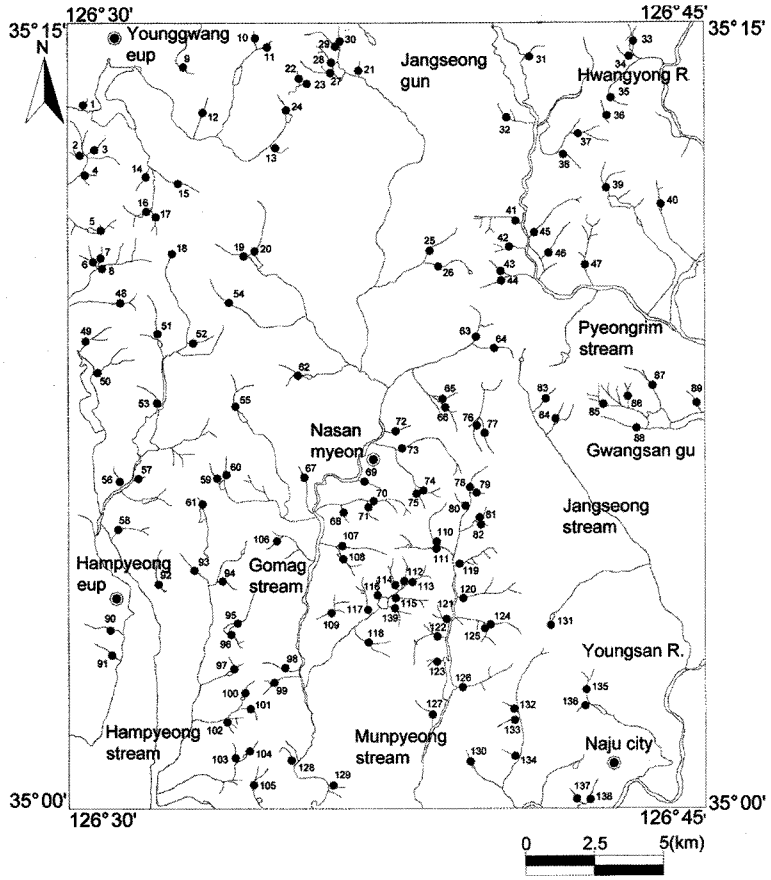

Fig. 2. Sampling sites map of the Naju area.

이 되었거나, 오염이 의심되는 채취지점에서는 오염의 영향이 없는 쪽으로 이동하여 시료를 채취해 최대한 오염을 배제시켰다.

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 발생되는 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 따라 내고, PET병에 담았다.

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

시료분석

하상퇴적물에 대한 화학분석은 한국지질자원연구원에서 실시하였다. 주성분원소인 SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MnO, MgO, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5는 X-선형광 분광법(XRF)으로 분석하였고, 사용된 기기는 일본 Shimadzu사 MXF-2100이었다. 미량성분원소 분석은 200 mesh 이하로 미분쇄된 0.5 g의 시료에 HNO_3과 $HClO_4$을 넣고 가열하여 완전분해한 후, Ba, Be, Cu, Li, Nb, Ni, Pb, Sr, V, Zr 등은 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법(ICP-AES)을 이용하였고, 사용된 ICP 분광기는 Labtest UV25(미국 Labtest Equipment Co.)과 Jovin Yvon JY-38 plus(프랑스 Jovin-Yvon

Equipment Co.)이었다.

Co, Cr, Cs, Sb, Rb, Zn, Sc, Ce, Yb, Hf, Eu 등은 중성자 방사화분석법(NAA)에 의하여 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.

결과 및 고찰

하상퇴적물의 지질집단별 주성분원소 특성

화강암질편마암 지역에서 하상퇴적물 시료는 10개, 편암류 지역에서 하상퇴적물 시료는 15개, 화강암 지역에서 하상퇴적물 시료는 23개, 사질암 지역에서 하상퇴적물 시료는 26개, 응회암 지역에서 하상퇴적물 시료는 16개, 안산암 지역에서 하상퇴적물 시료는 25개, 유문암 지역에서 하상퇴적물 시료는 13개이며, 지

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

Geological groups		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5
	Min	49.90	16.22	4.40	0.38	0.81	3.19	0.51	0.70	0.07	0.10
	Max	63.18	23.78	6.85	0.78	1.06	4.59	1.54	1.06	0.24	0.22
Gn	Mean	58.37	18.41	5.41	0.54	0.95	4.01	0.96	0.89	0.11	0.15
	S.D.	4.18	2.27	0.75	0.11	0.09	0.44	0.31	0.13	0.05	0.04
	Median	58.59	17.78	5.19	0.52	0.94	4.12	0.92	0.90	0.10	0.15
	Min	56.77	10.56	3.38	0.29	0.60	3.13	0.42	0.64	0.06	0.07
	Max	71.29	22.48	8.02	1.48	2.58	4.57	2.64	1.12	0.13	0.19
Sc	Mean	61.80	16.38	5.10	0.79	1.13	3.86	1.16	0.86	0.09	0.11
	S.D.	4.43	3.43	1.46	0.34	0.54	0.49	0.62	0.18	0.02	0.03
	Median	60.16	15.78	4.38	0.78	1.06	3.83	1.07	0.78	0.08	0.11
	Min	55.40	13.38	3.48	0.27	0.57	2.67	0.44	0.57	0.05	0.06
	Max	67.30	22.67	6.62	1.90	1.25	4.82	2.34	1.03	0.24	0.24
Gr	Mean	61.14	17.19	4.87	0.66	0.86	3.63	1.15	0.82	0.10	0.15
	S.D.	3.06	2.59	0.93	0.35	0.18	0.61	0.45	0.14	0.05	0.05
	Median	61.07	16.78	4.79	0.54	0.82	3.56	1.17	0.80	0.09	0.14
	Min	55.65	10.25	2.70	0.24	0.53	2.15	0.65	0.56	0.04	0.02
	Max	77.68	16.88	7.71	1.95	1.37	4.05	1.29	1.14	1.00	0.42
Ar	Mean	66.06	13.98	4.51	0.60	0.94	2.82	0.90	0.83	0.15	0.13
	S.D.	5.37	1.54	1.21	0.40	0.21	0.48	0.15	0.14	0.18	0.08
	Median	67.15	13.98	4.21	0.49	0.88	2.72	0.86	0.82	0.10	0.11
	Min	55.50	13.42	3.97	0.55	0.84	2.07	0.81	0.74	0.10	0.13
	Max	67.60	17.58	8.71	3.04	1.95	3.77	2.24	1.29	0.28	0.29
Tf	Mean	62.58	14.77	5.58	1.33	1.19	2.57	1.23	0.98	0.14	0.17
	S.D.	3.39	1.18	1.20	0.72	0.26	0.40	0.37	0.15	0.05	0.04
	Median	63.40	14.63	5.40	1.09	1.17	2.55	1.14	0.98	0.13	0.16
	Min	50.86	12.92	4.15	0.52	0.94	1.90	0.81	0.76	0.08	0.07
	Max	68.13	16.58	8.45	3.60	2.03	3.16	1.49	1.33	0.22	0.30
An	Mean	61.24	14.73	6.10	1.31	1.34	2.38	1.08	1.03	0.13	0.18
	S.D.	4.03	0.79	1.17	0.65	0.27	0.33	0.19	0.16	0.03	0.07
	Median	61.52	14.66	6.22	1.17	1.31	2.38	1.06	1.03	0.12	0.16
	Min	58.28	13.00	2.85	0.42	0.62	2.59	0.96	0.66	0.06	0.07
	Max	69.11	15.30	5.59	3.99	1.64	3.21	3.06	1.00	0.14	0.21
Rh	Mean	63.67	14.04	4.09	0.99	0.90	2.80	1.32	0.82	0.11	0.13
	S.D.	3.37	0.54	0.75	0.93	0.26	0.19	0.54	0.10	0.02	0.05
	Median	62.04	13.92	4.06	0.74	0.88	2.76	1.18	0.84	0.12	0.13

Gn: granitic gneiss; Sc: schists; Gr: granite; Ar: arenaceous rock; Tf: tuff; An: andesite; Rh: rhyolite; Min: minimum; Max: maximum; Mean: arithmetic average; S.D.: standard deviation.

질집단별 주성분원소 함량의 범위는 Table 1과 같다.

하상퇴적물에 대한 지질집단별 주성분원소의 비교에서(Table 1, Fig. 3), Al_2O_3와 K_2O는 화강암질편마암 지역에서, Fe_2O_3, CaO, P_2O_5는 응회암 지역에서, MgO와 TiO_2는 안산암 지역에서, Na_2O는 유문암 지역에서 높고, SiO_2와 MnO 함량은 사질암 지역에서 약간 높다. 대부분 지질집단에서 SiO_2 함량은 비슷한 값을 보여, 암석에서와는 다른 특징을 보여준다. 이는 기계적 풍화에 강한 석영입자가 상대적으로 큰 입자로 존재하므로 100 mesh 이하의 체를 이용한 습식체질 과정에서 석영입자가 체를 통과하지 못하고 제외되어 SiO_2 함량이 각 지질집단에서 유사한 값을 보이는 것으로 추정된다.

기존의 광주-나주 지역 암석에 대한 연구(박영석 외, 1995)에서 얻어진 결과를 토대로, 광주지역과 암석의 분포가 같은 나주지역의 화강암질편마암 지역,

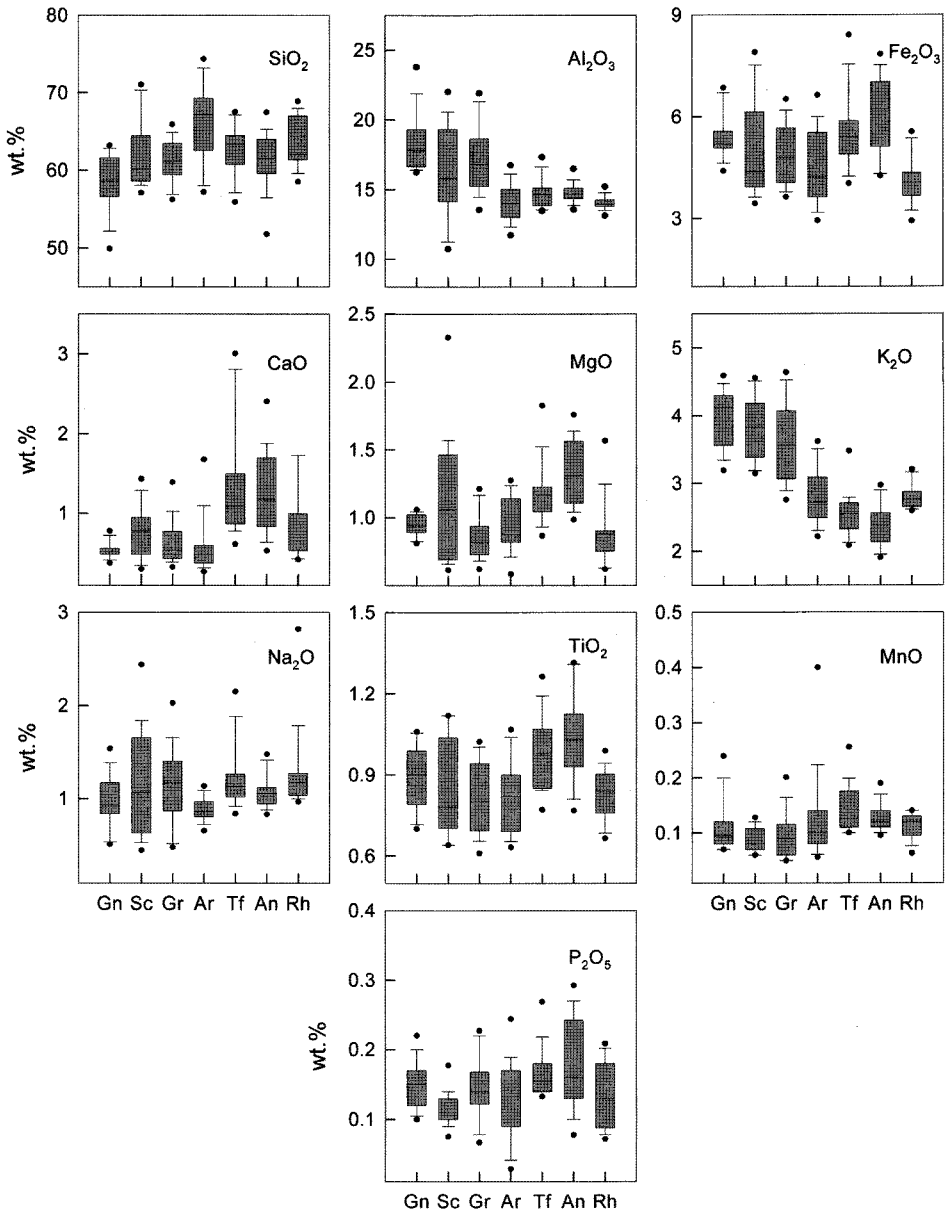

Fig. 3. Comparison diagrams of major elements contents for geological groups of stream sediments in the Naju area. Gn: granitic gneiss; Sc: schists; Gr: granite; Ar: arenaceous rock; Tf: tuff; An: andesite; Rh: rhyolite.

화강암 지역, 안산암 지역에 대해, 하상퇴적물에 대해서도 유사한 특징이 있는지를 알아보기 위해 나주지역 하상퇴적물과 광주지역 하상퇴적물(김종균과 박영석, 2005)의 주성분 원소에 대한 특성을 비교하여 보았다(Fig. 4).

나주지역과 광주지역 하상퇴적물에서 지질집단에 대한 주성분원소의 함량은 두 지역의 주성분 원소함량이 비슷한 값을 보이고 있음을 알 수 있었으며, 암석의 특성에 의해 화강암류 지역과 안산암 지역은 서로 대비되는 특성을 보여주고 있어, 암상이 다름을 지시한다.

암석의 분화과정을 알아보기 위한 AMF삼각도에서(Fig. 5) 기존에 수행되어진 암석에 대한 연구에서는 Irvine and Baragar(1971)가 구분한 칼크-알칼리계열

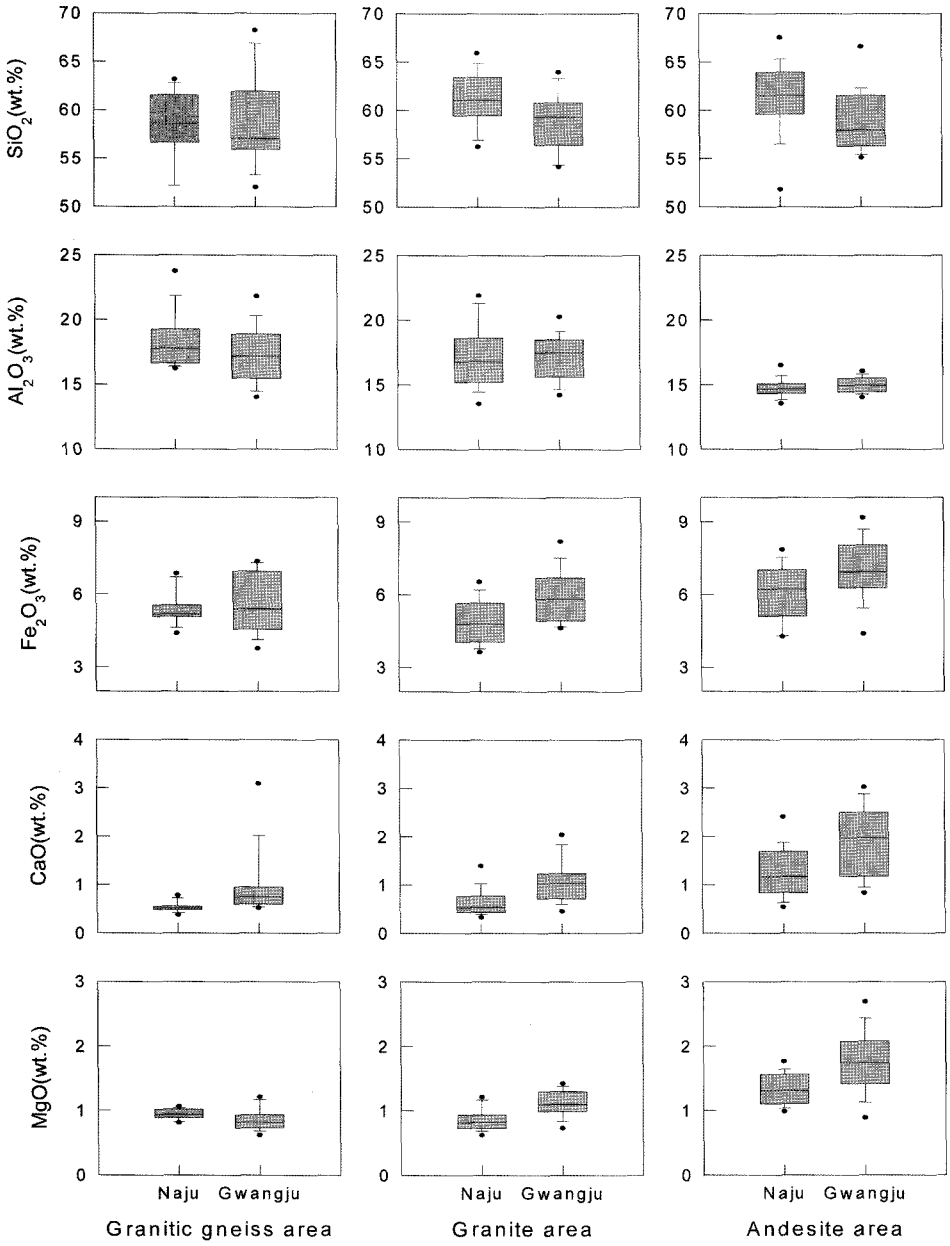

Fig. 4. Comparison diagrams of major elements between Gwangju and Naju area for granitic gneiss, granite, and andesite area. Gwangju data are from Kim and Park (2005).

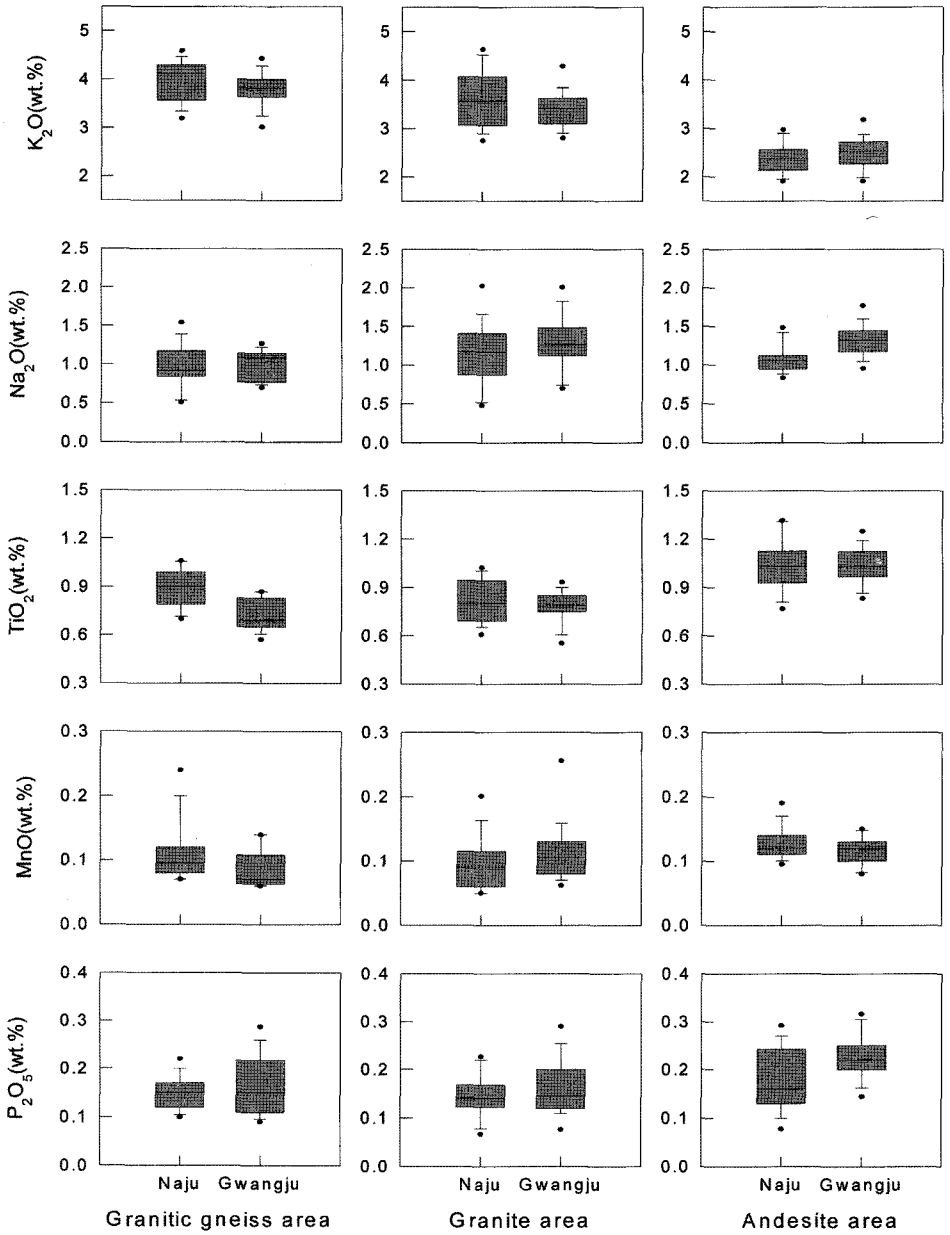

Fig. 4. Continued.

에 속하는 일련의 분화 산물들로 이루어져 있음을 보여준다(박영석 외, 1995). 그러나 하상퇴적물 시료에 대한 AMF삼각도에서는(Fig. 5), 나주지역과 광주지역 하상퇴적물 모두 솔레아이트 계열과 칼크-알칼리계열의 경계부위에 도시된다. 이는 암석에서 보다 하상퇴적물에, Fe_2O_3가 상대적으로 더 많이 함유되어 있는 것과 관련이 있는 것으로 보인다.

하상퇴적물의 지질집단별 미량성분원소 및 희토류원소 함량특성

화강암질편마암 지역, 편암류 지역, 화강암 지역, 사질암 지역, 응회암 지역, 안산암 지역, 유문암 지역에서 미량성분원소 및 희토류원소 함량의 범위는 Table 2와 같다. 특히 희토류원소는 암석학적 또는 광물들의 분결 과정에 따라 서로 다른 거동을 가지

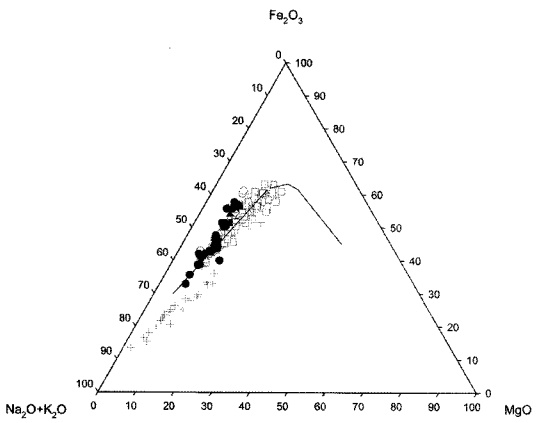

Fig 5. AMF diagram for stream sediments and rocks in the Gwangju and Naju area. △: stream sediments of granitic gneiss area in Gwangju (Kim and Park, 2005). ○: stream sediments of granite area in Gwangju (Kim and Park, 2005). □: stream sediments of andesite area in Gwangju (Kim and Park, 2005). ▲: stream sediments of granitic gneiss area in Naju. ●: stream sediments of granite area in Naju. ■: stream sediments of andesite area in Naju. +: rocks by Park et al., 1995.

므로 지각 또는 맨틀의 부분용융, 분별작용 및 마그마의 혼화와 같은 과정을 포함하는 화성암의 분화과정을 밝히는데 매우 중요하게 이용된다(Henderson, 1984).

Pb, Li, Cs, Hf, Rb, Sb, Pa, Ce, Eu, Yb 평균함량은 화강암질편마암 지역에서, Ba, Co, Cr 평균함량은 편암류 지역에서, Nb, Ni, Zr 평균함량은 사질암 지역에서 높고, Sr 평균함량은 응회암 지역에서 높고, Be, Cu, V, Sc, Zn 평균함량은 안산암 지역에서 다른 지질집단에서 보다 높다.

필수원소와 독성원소의 특성

지구화학적인 환경에서 원소들의 분산은 일반적으로 암석-토양-자연수-식물-동물 및 인간으로 진행되고 있다(전효택 외, 1998). 따라서 암석이나 토양 중에 분포하는 원소들은 지표수 및 지하수 또는 대기에 의해 이동, 분산되면서 동식물의 성장에 영향을 주며, 동식물과 인체에 축적됨으로써 심각한 건강장해를 일으킬 수 있으며(전효택, 1995; Brooks, 1983), 하상퇴적물은 이러한 독성원소들이 물 속에 재용출 될 수 있는 궁극적인 공간이다.

미량원소들은 과잉섭취 시에 유해한 독성원소(toxic element)와 사람이나 동식물의 생장에 있어서 지나치게 결핍 시에는 여러 가지 질병이나 재해를 가져다주는 필수원소(essential element)로 분류할 수 있다. Ba, Be, Bi, Cd, Pb, Sb, Co 등은 독성원소에 해당되며, Cu, Li, Mo, Ni, Co, Cr, Zn 등은 독성원소이면서, 한편으로는 결핍되어서도 안 되는 필수원소에 해당한다(Dissanayake and Rohana, 1999; GNHPR, 2001).

독성원소는 하천의 잔류퇴적물 내에 존재하는 점토, 유기물 및 산화물에 흡착되거나 침전되어 동식물과 인간에게 잠재적인 독성원으로 작용하며(Thornton, 1983), 지구화학적 특성과 환경적 관점에서 매우 중요시 된다.

이상결핍이나 과잉농집으로 인하여 인간의 건강에 영향을 미칠 수 있는 일부원소에 대해 살펴보면 다음과 같다.

베릴륨(Be)은 생물에 비필수 원소로 분류되며, 일반적으로 토양에서 베릴륨함량은 6 ppm 정도로 매우 낮은 함량을 보이지만, 암을 유발할 수 있으며 소량으로도 베릴륨 중독을 일으킬 수 있는 유독원소에 해당된다(임연풍, 1996). 나주지역에서 베릴륨의 지질집단별 평균함량은 1.1~1.3 ppm이고 최고치는 2.2 ppm이어서 안전하다고 볼 수 있다.

구리(Cu)는 5 ppm 이하로 결핍되거나, 과잉되면 각종 질병을 야기 시킬 수 있는 필수원소이자 유독원소에 해당하며, 나주지역에서 구리의 지질집단별 평균함량은 18~25 ppm으로 토양중의 평균함량인 20 ppm과 거의 비슷한 값을 보인다. 시료번호 31(장성군 임계면 백산마을)에서는 52 ppm으로 다른 지역보다 2배 이상 높은 값으로 검출되었지만 시료 채취시 특별한 오염원이 존재하지 않고, 토양의 오염과 관련되어 나타날 수 있는 중금속원소인 납, 니켈 등이 비교적 낮은 함량인 24 ppm, 32 ppm으로 검출되는 것으로 보아 오염이 아닌 것으로 판단되며, 토양 중의 금속원소 허용한계치인 Tolerable level(Kabata-Pendias and Pendias, 1984)의 기준치인 100 ppm 보다 작아 안전하다고 여겨지나, 향후 2차적인 오염에 의해 과잉농집되는 일이 없도록 지속적인 관리가 필요할 것으로 여겨진다.

니켈(Ni)도 필수원소이자 유독원소에 해당되는 원소로서 나주지역에서 니켈의 지질집단별 평균함량은 16~24 ppm으로, 퇴적물의 최저오염기준치인 20 ppm과 거의 비슷한 값을 보인다. 일부지역에서 33~37 ppm을 보이는 곳도 있으나, Tolerable level의 기준인

Table 2. Contents (mg/kg) of minor and rare earth elements on geological groups of stream sediments in the Naju area

Geological groups		Ba	Be	Cu	Nb	Ni	Pb	Sr	V	Zr	Li	Co	Cr	Cs	Hf	Rb	Sb	Sc	Zn	Pa	Ce	Eu	Yb
Gn	Min	970	1.1	14	28	16	24	63	54	100	36	8.0	35	7.7	9.0	143	0.2	7.6	39	25.9	108	1.5	2.3
	Max	1850	1.6	30	39	33	34	105	97	246	54	9.9	47	10.9	45.8	217	1.8	12.1	193	47.7	283	2.4	6.2
	Mean	1411	1.3	20	34	20	28	83	71	137	45	8.9	39	9.1	25.0	178	0.7	9.7	89	37.0	206	1.7	4.4
	S.D.	248	0.2	5	4	6	3	13	13	47	6	0.8	4	1.0	13.5	27	0.6	1.6	51	7.7	58	0.3	1.7
	Median	1435	1.2	18	34	19	28	81	70	120	45	9.1	38	8.9	20.2	181	0.8	10	72	37.6	213	1.6	4.8
Sc	Min	1020	1.0	9	14	9	14	50	44	65	27	8.2	24	6.8	8.1	103	0.2	8.2	89	12.4	69	1.5	1.7
	Max	2110	2.2	36	38	42	33	226	171	118	67	15.5	136	11.0	13.7	153	0.2	16.2	170	18.7	150	1.7	2.8
	Mean	1469	1.3	21	26	22	24	129	75	83	44	12.7	76	9.1	10.2	137	0.2	11.9	112	15.7	106	1.5	2.3
	S.D.	355	0.4	9	8	11	5	63	34	14	10	3.4	47	2.0	2.5	23	0.0	3.6	39	3.0	34	0.1	0.5
	Median	1450	1.0	22	26	19	24	112	58	83	42	13.6	71	9.2	9.4	147	0.2	11.6	95	15.8	102	1.5	2.3
Gr	Min	810	1.0	8	13	8	20	62	44	70	26	6.2	34	6.1	7.8	108	0.2	5.7	66	14.1	52	0.8	1.0
	Max	1790	1.7	52	36	36	31	200	96	225	67	13.4	47	7.6	30.0	162	1.0	12.9	109	34.5	154	1.8	5.6
	Mean	1400	1.2	23	27	20	25	110	66	116	38	9.3	39	6.8	13.7	143	0.4	9.1	83	22.9	90	1.4	2.5
	S.D.	272	0.3	10	7	7	3	36	13	37	8	3.7	6	0.6	9.3	24	0.4	2.7	17	8.2	42	0.4	1.8
	Median	1430	1.1	22	30	21	24	101	68	118	39	7.3	36	7.0	9.8	156	0.2	8.9	82	21.4	68	1.4	2.1
Ar	Min	1000	1.0	16	29	22	16	46	46	105	23	5.2	32	3.5	7.8	73	0.2	5.9	41	13.6	53	0.7	1.3
	Max	1640	2.1	29	44	35	27	159	107	188	53	8.4	47	12.6	17.2	185	0.9	9.0	217	20.5	129	1.5	2.8
	Mean	1278	1.3	22	37	25	22	92	70	146	37	7.2	39	7.2	11.9	118	0.3	7.7	124	16.0	80	1.1	2.2
	S.D.	178	0.3	4	4	3	3	27	19	23	8	1.3	7	3.2	3.6	34	0.3	1.2	64	2.4	27	0.3	0.5
	Median	1305	1.2	22	37	25	21	90	65	145	36	7.8	37	8.1	12.6	112	0.2	7.8	111	15.6	74	1.2	2.4
Tf	Min	1220	1.0	15	26	14	19	97	62	90	28	8.1	31	4.1	6.3	69	0.2	10.1	72	10.6	60	1.2	1.8
	Max	1700	1.8	34	36	28	27	233	137	156	51	9.6	54	6.9	9.1	125	0.2	15.0	269	13.6	96	1.7	3.4
	Mean	1413	1.3	23	30	22	22	155	89	121	36	8.9	37	5.5	7.5	107	0.2	11.5	143	12.4	78	1.4	2.6
	S.D.	132	0.2	4	2	4	2	37	21	20	7	0.5	8	1.0	1.0	22	0	1.8	86	1.1	16	0.2	0.6
	Median	1400	1.3	24	30	23	22	145	81	124	34	9.0	35	5.3	7.4	111	0.2	10.7	98	12.7	80	1.3	2.4
An	Min	1140	1.0	15	28	14	19	89	53	89	27	6.9	26	2.9	6.4	52	0.2	8.2	50	8.3	49	1.0	0.9
	Max	1600	2.0	50	37	37	24	232	146	161	53	16.1	82	8.8	9.7	119	0.2	16.6	326	16.6	100	2.0	2.6
	Mean	1339	1.5	25	32	24	21	150	98	124	37	10.6	43	4.3	7.8	88	0.2	12.6	141	11.3	69	1.5	1.9
	S.D.	120	0.3	7	3	4	1	42	24	19	6	3.1	14	1.7	0.9	22	0	2.3	103	2.0	15	0.2	0.5
	Median	1320	1.6	25	31	24	21	148	98	127	35	10	40	3.7	8.0	90	0.2	12.4	93	11.0	68	1.4	2.0
Rh	Min	1040	1.0	11	13	9	18	12	43	97	27	6.5	25	3.7	5.2	90	0.2	7.5	78	10.2	61	1.2	1.3
	Max	1870	1.3	24	34	24	25	293	91	152	43	9.5	47	6.2	10.0	138	0.6	11.7	185	19.8	151	1.7	2.7
	Mean	1413	1.1	18	25	16	21	117	64	128	32	7.4	39	4.8	7.7	115	0.3	9.2	106	15.5	116	1.4	1.8
	S.D.	260	0.1	4	7	5	2	63	14	14	5	1.3	9	0.9	1.7	19	0.2	1.6	45	3.5	35	0.2	0.5
	Median	1370	1.0	19	28	17	21	107	59	128	32	6.7	43	4.5	7.9	120	0.2	8.9	89	16.1	127	1.4	1.7

Gn: granitic gneiss; Sc: schists; Gr: granite; Ar: arenaceous rock; Tf: tuff; An: andesite; Rh: rhyolite; Min: minimum; Max: maximum; Mean: arithmetic average; S.D.: standard deviation.

50 ppm 보다는 낮은 값을 보인다.

납(Pb)은 매우 유독한 원소로서 나주지역에서 납의 지질집단별 평균함량은 21~28 ppm이며 일부지역에서는 평균치보다 높은 31~34 ppm도 보이나, 이는 퇴적물의 오염기준치인 40 ppm, Tolerable level의 기준치인 100 ppm 보다는 훨씬 낮은 값으로, 안전한 것으로 여겨진다.

코발트(Co)는 독성원소이면서 필수원소에 해당하는

원소로서 결핍되면 건강에 영향을 미치게 되며 신장을 통해 배설이 용이하므로 코발트의 농축현상은 드물지만 과량의 코발트는 유기체의 신진대사에 장애를 초래하는 것으로 알려져 있다(임연풍, 1996). 나주지역에서 코발트의 지질집단별 평균함량은 7.2~12.7 ppm으로 토양중의 평균함량은 8 ppm과 비슷한 함량을 나타낸다. 그러나 시료번호 104(함평군 학교면 선암제 부근)에서는 5.2 ppm으로 결핍되어 있어, 이 지역에 대해서는 추후 토양에 대한 정밀 재조사가 필요한 것으로 예상된다.

아연(Zn)은 식물과 동물에 있어서 생장발육과 건강에 중요한 역할을 하는 필수원소에 해당되며, 독성이 낮아 자연계에서 아연의 중독현상은 적게 나타나며, 그 독성은 그리 크지 않은 것으로 보고되고 있다(임연풍, 1996). 나주지역에서 아연의 지질집단별 평균함량은 83~143 ppm으로, 토양중의 평균함량인 50 ppm보다 비교적 높은 값을 보인다. 일부지역에서는 170~326 ppm으로 비교적 높은 값을 나타내기도 하지만, 독성이 크지 않고, Tolerable level인 300 ppm과 비교하면 그다지 높지 않은 것으로 나타나, 크게 문제되지 않을 것으로 여겨진다.

크롬(Cr)은 필수원소이면서, 과잉 섭취 시에는 유해한 원소로서 나주지역에서 크롬의 지질집단별 평균함량은 37~76 ppm이다. 시료번호 13(영광군 묘량면 연암마을)에서는 136 ppm으로 나주지역 지질집단별 평균 함량보다 2~3배 이상 높은 함량이 검출되었다. 그러나 크롬 외에 다른 독성원소들은 특이사항이 없는 것으로 나타나, 인위적인 오염에 의해 크롬이 농집 되었다기보다는 이 지역의 기반암인 편마암이 광화작용을 받아 크롬의 함량이 높아진 것으로 판단된다.

안티몬(Sb)은 질소족으로 강한 독성을 가져 과다 섭취 시 암을 유발할 수 있는 독성원소에 해당하는 원소로서, 나주지역에서 안티몬의 지질집단별 평균함량은 0.2~0.7 ppm이며, 시료번호 47(광주광역시 광산구 명도동 명곡마을 부근)에서 1.8 ppm으로, 지질집단별 평균 함량보다 높은 함량을 가지나 일반적인 퇴적물의 오염 한계인 5 ppm(Anon, 1977) 보다는 낮아 오염의 우려는 없는 것으로 판단된다.

결 론

나주지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 주성분원소 평균 함량은 SiO_2 58.37~66.06 wt.%, Al_2O_3 13.98~18.41 wt.%, Fe_2O_3 4.09~6.10 wt.%, CaO 0.54~1.33 wt.%, MgO 0.86~1.34 wt.%, K_2O 2.38~4.01 wt.%, Na_2O 0.90~1.32 wt.%, TiO_2 0.82~1.03 wt.%, MnO 0.09~0.15 wt.%, P_2O_5 0.11~0.18 wt.%이다. 미량성분 및 희토류원소의 지질집단별 평균함량은 Ba 1278~1469 ppm, Be 1.1~1.5 ppm, Cu 18~25 ppm, Nb 25~37 ppm, Ni 16~25 ppm, Pb 21~28 ppm, Sr 83~155 ppm, V 64~98 ppm, Zr 83~146 ppm, Li 32~45 ppm, Co 7.2~12.7 ppm, Cr 37~76 ppm, Cs 4.8~9.1 ppm, Hf 7.5~25 ppm, Rb 88~178 ppm, Sc 7.7~12.6 ppm, Zn 83~143 ppm, Pa 11.3~37 ppm, Ce 69~206 ppm, Eu 1.1~1.5 ppm, Yb 1.8~4.4 ppm이다.

필수원소와 독성원소에 대한 특성에서, 필수원소의 함량이 낮아서 결핍이 우려되는 일부 지역이 있고, 독성원소의 함량이 나주지역의 평균보다 높은 지역은 인위적인 오염이 아니라 지질학적인 특성에 의한 것으로 여겨진다.

이번 연구를 통해 얻어진 결과는 나주지역에서 지구화학적 재해나 토양오염과 같은 환경오염이 발생하였을 때, 이를 정확히 평가할 수 있는 정성적이고 정량적인 기준치로 사용 할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 논문에 대한 세심한 심사와 유익한 조언을 해주신 세명대학교 정명채 교수님과 익명의 심사위원님께 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 2000년 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구 되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

김종균, 박영석, 2005, 광주지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 지구화학적 연구. 자원환경지질, 제38권 4호, 481-492.

박영석, 노영배, 이창신, 1995, 광주-나주 지역에 분포하는 화강암류에 대한 Rb-Sr 동위원소 연구. 한국지구과학회지, 16(3), 247-261.

박영석, 김종균, 한민수, 김용준, 장우석, 신성천, 2002, 장흥지역 1차 수계 하상퇴적물의 지질집단별 지구화학적 특성과 하천수에 대한 연구. 자원환경지질, 35(6), 509-521.

박영석, 장우석, 김종균, 2003, 구례지역 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치에 대한 연구. 자원환경지질, 36(4), 275-284.

신성천, 염승준, 황상기, 2000, 지구화학적 재해 평가를 위

한 지화학도 작성 및 기준치 설정. 지질재해 관측 및 방지기술 심포지엄, 2000년도 지질재해방재기술개발사업단 · 대한지질 공학회 · 대한지질공학회 공동학술발표회 논문집, 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), 제 5집. 한국지질자원연구원, 70 p.

염승준, 이평구, 강민주, 신성천, 유연희, 2004, 주암댐 집수유역 내 하상퇴적물의 중금속 오염현황 및 거동특성. 자원환경지질, 37(3), 311-324.

이승구, 양동윤, 홍세선, 곽재호, 오근창, 2003, 희토류원소를 이용한 순창지역 섬진강 수 계내 하상퇴적물의 기원지 연구. 지질학회지, 39(1), 81-97.

임연풍(최석원, 김억수 역), 1996, 의학환경 지구화학. 도서출판 춘광.

전효택, 1995, 토양에서의 잠재적 독성금속원소들의 분산과 오염평가. 제11회 공동학술경연 회 발표논문집: 대한지질학회, 대한자원환경지질학회, 8-31.

전효택, 문희수, 김규환, 정명채, 1998, 환경지질학. 서울대학교 출판부, 529 p.

최위찬, 황상구, 김영범, 1986, 영광도폭 지질보고서. 한국자원연구소, 31 p.

홍승호, 황상구, 1990, 나주도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소. 22 p.

Anon, J., 1977, Ecological evaluation of proposed discharge of dredged or fill material into navigable water. Interim Guidance for Implementation of Section 404(b) of Public Low, 92-500.

Brooks, R.R., 1983, Biological methods of prospecting for minerals. John Wiley and Sons Inc., 321 p.

Darnley, A.G., 1990, International geochemical mapping: a new global project. Journal of Geochemical Exploration, 39, 1-14.

Darnley, A.G., Bjorklund, A., Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, K.A., Steenfelt, 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, 122 p.

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, 12, 291-300.

Dissanayake, C.B., and Rohana Chandrajith., 1999, Medical geochemistry of environments. Journal of Earth-Science Reviews, 47, 219-258.

FOREGS (Forum of European Geological Surveys), 1998, FOREGS Geochemical mapping field manual. Geological Survey of Filand Guide 47, 1-36.

GNHPR (Group for Natural Hazard Prevention Research), 2001, http://gis.paichai.ac.nj/geochem. Korea Institute of Geoscience and Mineral Research.

Henderson, P., 1984, Rare earth elements geochemistry. Elsvier Sciencd Publish Co. Inc., 510 p.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.B., 1971, A guide to chemical classification of the common igneous rocks. Can. Jour. Earth Sci., 8, 523-548.

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984, Trace elements in soil and plants, CRC Press INC., 315 p.

Thornton, I., 1983, Applied Environmental Geochemistry. Academic Press, 501 p.

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 Educatonal, Scientific and Cultural Organization, Paris.

2005년 10월 26일 접수
2005년 12월 14일 수정원고 접수
2005년 12월 14일 원고 채택