보성-화순지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 지구화학적 특성

박영석¹ · 김종균^{2,*}

¹조선대학교 에너지자원공학과, 501-759, 광주광역시 동구 필문대로 309

²조선대학교 공동실험실습관, 501-759, 광주광역시 동구 필문대로 309

Geochemical Characteristics on Geological Groups of Stream Sediment in the Boseong-Hwasun Area, Korea

Young Seog Park¹ and Jong Kyun Kim^{2,*}

¹Department of Energy and Minerals Resource Engineering, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

²Center for Scientific Instruments, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

Abstract: We study the natural background and geochemical characteristics on geological groups of stream sediment in the Boseong-Hwasun area. We collected 186ea stream sediment samples along the primary channels and dried them naturally in laboratory. The contents of major, trace and rare earth elements were determined by XRF, ICP-AES and NAA analysis methods. In order to know the natural background and geochemical characteristics of geological groups, we classified the studied area into granitic gneiss (GGn) area and porphyroblastic gneiss (PGn) area. The contents range of major elements for GGn area is SiO₂ 45.5-73.09 wt.%, Al₂O₃ 12-20.76 wt.%, Fe₂O₃(T) 3.72-8.85 wt.%, K₂O 2.38-4.2 wt.%, MgO 0.75-2.77 wt.%, Na₂O 0.78-1.88 wt.%, CaO 0.27-2.1 wt.%, TiO₂ 0.56-1.72 wt.%, P₂O₅ 0.06-0.73 wt.% and MnO 0.03-0.95 wt.%, and for PGn area it is SiO₂ 43.74-70.71 wt.%, Al₂O₃ 11.54-25.05 wt.%, Fe₂O₃(T) 3.44-13.46 wt.%, K₂O 2.08-3.86 wt.%, MgO 0.65-2.99 wt.%, Na₂O 0.63-1.7 wt.%, CaO 0.35-2.07 wt.%, TiO₂ 0.68-4.17 wt.%, P₂O₅ 0.1-0.31 wt.% and MnO 0.07-0.33 wt.%. The contents range of hazard elements for GGn area is Cr 41.7-242 ppm, Co 7.6-25.1 ppm, Ni 12-61 ppm, Cu 10-47 ppm, Zn 48.5-412 ppm, Pb 17-215 ppm, and for PGn area, it is Cr 29.6-454 ppm, Co 5.9-53.7 ppm, Ni 8.7-287 ppm, Cu 6.4-134 ppm, Zn 43.6-370 ppm, Pb 15-37 ppm area. There is a good correlation between Cr and MgO and Co among Al₂O₃, Fe₂O₃(T), MgO and Ni among Fe₂O₃(T), CaO, MgO whereas Cu, Zn and Pb have a low correlation for major elements in GGn area. Generally Cr, Co, Ni, and Cu have a good correlation with major elements, but a low correlation with Zn and Pb in PGn area.

Keywords: stream sediment, major and hazard elements, geochemical characteristics, geological groups, Boseong-Hwasun area

요 약: 보성-화순지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 자연배경치와 지구화학적 특성에 대해 연구하였다. 이를 위해 1차 수계를 따라 하상퇴적물시료 186개를 채취하였고, 실험실에서 자연건조 시킨 후, XRF, ICP-AES, NAA분석을 실시하였다. 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치와 지구화학적 특성을 알기 위해, 시료를 화강암질편마암(GGn)지역과 반상변정질편마암(PGn)지역으로 분리하였다. 화강암질편마암지역의 주성분원소 함량은 SiO₂ 45.5-73.09 wt.%, Al₂O₃ 12-20.76 wt.%, Fe₂O₃(T) 3.72-8.85 wt.%, K₂O 2.38-4.2 wt.%, MgO 0.75-2.77 wt.%, Na₂O 0.78-1.88 wt.%, CaO 0.27-2.1 wt.%, TiO₂ 0.56-1.72 wt.%, P₂O₅ 0.06-0.73 wt.% and MnO 0.03-0.95 wt.%이고 반상변정질편마암지역의 주성분원소 함량은 SiO₂ 43.74-70.71 wt.%, Al₂O₃ 11.54-25.05 wt.%, Fe₂O₃(T) 3.44-13.46 wt.%, K₂O 2.08-3.86 wt.%, MgO 0.65-2.99 wt.%, Na₂O 0.63-1.7 wt.%, CaO 0.35-2.07 wt.%, TiO₂ 0.68-4.17 wt.%, P₂O₅ 0.1-0.31 wt.% and MnO 0.07-0.33 wt.%이다. 화강암질편마암지역 하상퇴적물의 위해원소 함량은 크롬 41.7-242 ppm, 코발트 7.6-25.1 ppm, 니켈 12-61 ppm, 구리 10-47 ppm, 아연 48.5-412 ppm, 납 17-215 ppm이고 반상변정질편마암지역은 크롬 29.6-454 ppm, 코발트 5.9-53.7 ppm, 니켈 8.7-287 ppm, 구리 6.4-134 ppm, 아연 43.6-370 ppm, 납 15-37 ppm이다. 화강암질편마암지역에서 크롬은 MgO와 코발트

*Corresponding author: kjkyun@lycos.co.kr

Tel: +82-62-230-7232

Fax: +82-62-232-2474

는 Al_2O_3 , $Fe_2O_3(T)$, MgO 와 니켈은 $Fe_2O_3(T)$, CaO , MgO 와 높은 상관성을 가지나, 구리, 아연, 납은 비교적 낮은 상관성을 보였다. 반상변정질편마암지역에서 일반적으로 크롬, 코발트, 니켈, 구리는 주성분원소와 대부분 높은 상관성을 보였으나, 아연과 납은 낮은 상관성을 보였다.

주요어: 하상퇴적물, 주성분과 위해원소, 지구화학적 특징, 지질집단, 보성-화순지역

서 론

지구환경에서 암석은 물리적, 화학적 풍화의 영향을 받고, 풍화작용에 의해 생성된 쇄설물들 또한 지속적인 풍화작용과 침식작용을 받으며 이동되어 진다. 이들 쇄설물 안에 포함된 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소들은 지표환경과 인간 및 동식물의 환경에 많은 영향을 끼치고 있으며, 각각의 환경계가 자정능력을 초과할 때 유해한 물질이 부화되어 생태계에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있다(Davies and Ballinger, 1990).

집수유역 내 1, 2차 하천수계로 이동되어 퇴적된 하상퇴적물은 해당 집수유역에 분포한 암석과 토양의 화학적 특성을 반영하므로 오염되지 않는 토양의 미량원소에 대한 자연 배경값으로 받아들일 수 있다(이평구 외, 2008).

하상퇴적물을 이용한 연구는 광역적인 지구화학적 작성(신성천 외, 2001)뿐만 아니라, 지질집단별 지구화학적 특성 연구(박영석 외, 2006; 김종균과 박영석, 2005; 박영석 외, 2002), 지질집단별 자연배경치 연구(박영석 외, 2003, 2009), 하상퇴적물의 중금속 오염현황과 거동특성 연구(염승준 외, 2004), 희토류 원소를 이용한 하상퇴적물의 기원지 연구(이승구 외, 2003), 주암호 집수유역 내 용존 및 입자상 미량원소의 거동 특성(이평구 외, 2008), 광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염(김주용 외, 1999), 광주광역시 풍암매립지 주변 하상퇴적물과 물의 지구화학적 특성(안건상 외, 2003) 등이 있다.

이번 연구에서는 1:50,000 복내 지형도폭지역 하상퇴적물에 대해, 1:50,000 보성 지질도폭(황인전과 정창형, 1968), 복내 지질도폭(이상만과 김형식, 1966)과 야외조사를 통해 분포 면적이 넓은 대표적인 두 개의 지질집단으로 분류하여, 기존의 전라남도 지구화학 지도책(신성천 외, 2001)에서의 광역적인 지구화학 보다 더 세밀하게 지질집단별 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소에 대한 함량특성과 위해원소들에 대한 특성을 규명하여, 추후 이들 지역에 오염

이 발생했을 때 필요한 기준으로 제시하고자 한다.

시료채취 및 분석

지형과 수계

연구지역은 1:50,000 지형도 중, 복내도폭에 해당하며, 주암호를 기준으로 북서부는 전남 화순군과 장흥군 일부이고, 남동부는 전남 보성군을 주로 하는 동경 127°00'-127°15', 북위 34°45'-35°00' 지역이다. 수계는 동서-북동 방향의 주암호와 동-서 방향의 보성강으로 크게 나눌 수 있다.

시료채취 대상수계의 선정 및 하상퇴적물 채취

시료채취 대상수계는 “국제 지구화학 지도 작성 프로그램”에서 제안한 표준안(Darnley et al., 1995)을 준수하여, 발원지에 가깝고 현재 물이 흐르고 있는 1차 수계(일부 2차 수계)를 대상으로 함을 원칙으로 하였다. 야외조사와 하상퇴적물 시료채취는 1999년 5월부터 1999년 6월까지 이루어졌다(Fig. 1).

하상퇴적물시료 채취시에는 스테인레스 스틸로 만들어진 시료채취용 삽을 사용하여 오염을 피하였고, 시료의 대표성을 높이기 위하여 한 시료 채취 지점에서 여러 지점을 선정하여 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 오염원을 배제시켰다.

시료처리

하상퇴적물 시료는 현장수계에서 100메쉬의 표준체를 이용하여, 반복적인 습식체질에 의하여 100메쉬의 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(Thronton, 1983), 이 미립의 부유물을 제거

Fig. 1. Sampling sites map of the Boseong-Hwasun area (solid circle: granitic gneiss area, open circle: porphyroblastic gneiss area).

하기 위해, 일정 시간 가라앉힌 후 물을 따라 내고, PET병에 담았다.

채취된 하상퇴적물 시료는 실내에서 자연건조되었고, 잘 섞어 전체가 균질하게 되도록 한 후, 알루미늄 몰탈을 이용하여 200메쉬 정도가 될 때까지 미분쇄하여 화학분석용 시료로 만들었다.

시료분석

하상퇴적물 시료에 대한 화학분석은 한국지질자원 연구원에서 실시되었다. 주성분원소인 SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, CaO , Na_2O , K_2O , MgO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 는 X-선형광 분광법(XRF)으로 분석하였고, 사용된 기기는 일본 Shimadzu사 MXF-2100이다. 미량성분

원소 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, Rb, Zn, Sc, Ce, Hf, Eu 등은 중성자 방사화분석법(NAA)으로 분석하였다. 중성자 발생을 위한 조사는 한국원자력연구원에 있는 하나로 원자로를 이용하였고, NAA분석은 여러 종류의 방사선 가운데 감마선을 이용하였다. 감마선 검출은 한국지질자원연구원의 HPGe r-ray 검출 시스템을 이용하였다.

Fig. 2. Geological map of the Boseong-Hwasun area.

결과 및 고찰

지질집단별 암석특성

화강암질편마암(GGn): 화강암질편마암은 담회색 내 지 암회색을 띠며 흔히 각섬석편마암이나 흑운모편암 등을 포획하고, 화강암질편마암의 세맥이 큰 포획암의 편리를 따라 주입되어 있다. 반상변정질편마암과의 인접한 부분에서는 얼마간의 반상변정이 포함되어 있다. 현미경관찰에서 조성광물은 사장석, 석영과 흑운모이며, 부조성광물은 견운모, 피다이트, 조이사이트, 저콘, 스펀 및 불투명광물로 되어 있다(김용준, 1988).

반상변정질편마암(PGn): 반상변정질편마암은 변성퇴적암을 관입한다(김정빈과 박영석, 1996). 반상변정질편마암은 입상의 사장석, 석영 및 흑운모에 거정으로 된 장석반정이 포함되어 있어 반상조질을 이룬다. 반상변정질편마암은 부분적으로 녹니석이 우세한 반상변정질녹니석편마암으로 점이적인 변화를 보이며 특히 혼성편마암이나 화강암질편마암과 접촉한 곳에서 뚜렷이 관찰된다. 이는 후기에 혼성암질편마암을 형성시킨 동력변성작용과 밀접한 관계가 있는 것으로

사료된다. 현미경관찰에서 조성광물은 사장석과 흑운모이며 얼마간의 석영이 이들 사이를 충전하고 있다. 부조성광물로는 녹니석, 견운모, 조이사이트, 스펀, 불투명광물 및 방해석이 관찰된다(김용준, 1988). 반상변정질편마암은 흑운모의 배열로 인하여 약한 편마상조질을 보이거나 만일 반정을 뺀다면 화강암질편마암의 암상과 유사하다. 반정변정질편마암은 화강암질편마암과 비교해 볼 때 석기의 구성광물과 조직의 유사성이 모두 포획암을 가지고 있고 또 관입경계를 보이는 점 등으로 미루어 보아 동원마그마의 분화산물들로 추정된다(김용준, 1988).

하상퇴적물의 지질집단별 주성분원소 특성

하상퇴적물시료는 화강암질편마암지역에서 101개, 반상변정질편마암지역에서 85개이다(Fig. 1, Fig. 2).

화강암질편마암지역에서 주성분원소함량은 SiO_2 45.5-73.09 wt.%, Al_2O_3 12.00-20.76 wt.%, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ 3.72-8.85 wt.%, CaO 0.27-2.10 wt.%, MgO 0.75-2.77 wt.%, K_2O 2.38-4.20 wt.%, Na_2O 0.78-1.88 wt.%, TiO_2 0.56-1.72 wt.%, MnO 0.03-0.95 wt.%, P_2O_5 0.06-0.73 wt.%이고, 반상변정질편마암지역에서 주성분원소함량은 SiO_2 43.74-70.71 wt.%, Al_2O_3 11.54-25.05

Table 1. Contents (wt.%) of major elements on geological groups of stream sediment in the Boseong-Hwasun area

		Min	Max	Mean	S.D.	G.M.	Median
SiO ₂	GGn	45.50	73.09	56.92	5.99	56.62	56.93
	PGn	43.74	70.71	53.69	5.64	53.41	52.73
Al ₂ O ₃	GGn	12.00	20.76	15.83	1.54	15.75	15.98
	PGn	11.54	25.05	16.54	2.47	16.38	16.88
Fe ₂ O ₃ ^(T)	GGn	3.72	8.85	6.19	1.03	6.11	6.22
	PGn	3.44	13.46	6.88	1.81	6.62	7.43
CaO	GGn	0.27	2.10	0.75	0.27	0.70	0.72
	PGn	0.35	2.07	1.02	0.39	0.95	0.90
MgO	GGn	0.75	2.77	1.54	0.35	1.50	1.56
	PGn	0.65	2.99	1.64	0.55	1.54	1.71
K ₂ O	GGn	2.38	4.20	3.24	0.28	3.23	3.3
	PGn	2.08	3.86	3.06	0.33	3.04	3.07
Na ₂ O	GGn	0.78	1.88	1.27	0.28	1.24	1.26
	PGn	0.63	1.70	1.16	0.22	1.14	1.14
TiO ₂	GGn	0.56	1.72	0.87	0.16	0.86	0.87
	PGn	0.68	4.17	1.10	0.41	1.05	1.10
MnO	GGn	0.03	0.95	0.12	0.09	0.11	0.11
	PGn	0.07	0.33	0.12	0.04	0.11	0.11
P ₂ O ₅	GGn	0.06	0.73	0.18	0.08	0.16	0.17
	PGn	0.10	0.31	0.20	0.05	0.19	0.20

GGn: granitic gneiss area. number of samples=101, PGn: porphyroblastic gneiss area. number of samples=85, Min: minimum, Max: maximum, Mean: arithmetic average, S.D.: standard deviation, G.M.: geometric mean.

Table 2. Correlation coefficients of each major elements for GGn area

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^(T)	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
SiO ₂	1.000	-0.427**	-0.526**	-0.414**	-0.316**	-0.092	0.209*	-0.253*	-0.320**	-0.316**
Al ₂ O ₃		1.000	0.727**	0.253*	0.608**	0.590**	0.213*	0.244*	0.035	-0.005
Fe ₂ O ₃ ^(T)			1.000	0.497**	0.823**	0.396**	0.155	0.511**	0.158	0.151
CaO				1.000	0.650**	0.055	0.301*	0.473**	0.112	0.476**
MgO					1.000	0.351**	0.475**	0.452**	0.001	0.195
K ₂ O						1.000	0.201*	0.140	0.047	0.019
Na ₂ O							1.000	-0.186	-0.196*	0.012
TiO ₂								1.000	0.095	0.485**
MnO									1.000	0.171
P ₂ O ₅										1.000

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

wt.%, Fe₂O₃(T) 3.44-13.46 wt.%, CaO 0.35-2.07 wt.%, MgO 0.65-2.99 wt.%, K₂O 2.08-3.86 wt.%, Na₂O 0.63-1.7 wt.%, TiO₂ 0.68-4.17 wt.%, MnO 0.07-0.33 wt.%, P₂O₅ 0.1-0.31 wt.%이다(Table 1).

지질집단별 주성분원소의 비교(Fig. 3)에서는 SiO₂, K₂O, Na₂O의 평균함량은 화강암질편마암지역에서, Al₂O₃, Fe₂O₃(T), CaO, MgO, TiO₂, P₂O₅의 평균함량은 반상변정질편마암지역에서 높고, MnO는 같은 함량을 나타낸다(Fig. 3).

비유동원소인 Al₂O₃에 대한 주성분원소의 상관관계에서 Fe₂O₃(T), MgO, K₂O는 화강암질편마암지역에서는 0.727, 0.608, 0.590, 반상변정질편마암지역에서는 0.631, 0.553, 0.810으로 상대적으로 높은 상관관계를 보이고, CaO, Na₂O, MnO, P₂O₅는 화강암질편마암지역에서 0.253, 0.213, 0.035, -0.005, 반상변정질편마암지역에서 0.379, 0.178, -0.137, 0.142로 낮은 상관관계를 보인다. 이는 모암 초기함량비와 풍화, 운반 및 퇴적의 과정에서 특성원소의 이동성과

Table 3. Correlation coefficients of each major elements for PGn area

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ^(T)	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
SiO ₂	1.000	-0.491**	-0.630**	-0.399**	-0.522**	-0.320**	0.053	-0.311	-0.061	-0.427**
Al ₂ O ₃		1.000	0.631**	0.379**	0.553**	0.810**	0.178	0.163	-0.137	0.142
Fe ₂ O ₃ ^(T)			1.000	0.382**	0.904**	0.432**	0.122	0.766**	0.014	0.479**
CaO				1.000	0.574**	0.341**	0.561**	0.165	0.037	0.404**
MgO					1.000	0.412**	0.352**	0.668**	-0.013	0.454**
K ₂ O						1.000	0.377**	-0.036	-0.098	0.058
Na ₂ O							1.000	-0.016	-0.100	-0.080
TiO ₂								1.000	0.120	0.460**
MnO									1.000	0.241*
P ₂ O ₅										1.000

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

잔류 등의 원인에 의한 것으로 판단된다(Table 2, 3).

하상퇴적물의 지질집단별 미량성분원소 및 희토류 원소 특성

보성-화순지역 하상퇴적물의 미량성분원소 및 희토류 원소함량은 화강암질편마암지역에서 Li 32-64 ppm, Be 1.1-2.8 ppm, Sc 8.4-21.6 ppm, V 38-970 ppm, Rb 93-283 ppm, Sr 72-189 ppm, Zr 35-190 ppm, Nb 12-40 ppm, Sb 0.21-1.87 ppm, Cs 6.2-19.2 ppm, Ba 110-1420 ppm, Ce 77-2390 ppm, Eu 1.1-4.6 ppm, Hf 5.2-132 ppm이고, 반상변정질편마암지역에서 Li 23-73 ppm, Be 1.0-3.7 ppm, Sc 8.2-29.8 ppm, V 39-172 ppm, Rb 94-261 ppm, Sr 77-232 ppm, Zr 40-162 ppm, Nb 21-43 ppm, Sb 0.18-1.32 ppm, Cs 4.0-20.9 ppm, Ba 920-1860 ppm, Ce 85-470 ppm, Eu 1.1-5.9 ppm, Hf 6.5-41.5 ppm이다(Table 4).

Li, Be, Sc, V, Sr, Zr, Ba, Ce 함량의 중앙값은 화강암질편마암지역이 높고, Rb, Hf 함량의 중앙값은 반상변정질편마암지역이 높으며, Nb, Sb, Eu 함량의 중앙값은 두 지질집단에서 같거나 비슷한 값을 보인다(Table 4, Fig. 4).

하상퇴적물의 지질집단별 위해원소의 특성

보성-화순지역 하상퇴적물의 위해원소들과 주성분 원소들의 상관관계를 비교해 보면, 구리는 SiO₂에 대해 정(+)의 거동을 보이는 것이 일반적인 특징이지만(이현구 외, 1999), 연구지역에서는 -0.294와 -0.320으로 부(-)의 상관관계를 보였다. 화강암질편마암지역에서 크롬은 MgO와 코발트는 Al₂O₃, Fe₂O₃(T), MgO와 니켈은 Fe₂O₃(T), CaO, MgO와 높은 상관성을 가지나, 구리, 아연, 납은 비교적 낮은 상관성을

Fig. 3. Comparison diagrams of major element contents for geological groups of stream sediment in the Boseong-Hwasun area (GGn: granitic gneiss area. PGn: porphyroblastic gneiss area).

보였다. 반상변정질편마암지역에서 크롬, 코발트, 니켈, 구리는 주성분원소와 대부분 높은 상관성을 보였

Table 4. Contents (ppm) of trace and rare earth elements on geological groups of stream sediment in the Boseong-Hwasun area

		Min	Max	Mean	S.D.	G.M.	Median
Li	GGn	32	64	49	6	48	49
	PGn	23	73	49	13	47	52
Be	GGn	1.1	2.8	1.8	0.3	1.8	1.8
	PGn	1.0	3.7	2.2	0.5	2.1	2.3
V	GGn	38	970	79	92	69	65
	PGn	39	172	72	21	69	75
Cr	GGn	41.7	242	112	31	108	109
	PGn	29.6	454	108	57	95	112
Co	GGn	7.6	25.1	16.1	3.4	15.7	16.1
	PGn	5.9	53.7	16.9	6.9	15.4	18.0
Ni	GGn	12	61	33	7	32	32
	PGn	8.7	287	40	32	33	39
Cu	GGn	10	47	26	7	25	25
	PGn	6.4	134	23	14	20	22
Zn	GGn	48.5	412	111	49	104	99
	PGn	43.6	370	112	45	105	102
Rb	GGn	93	283	184	38	180	181
	PGn	94	261	167	39	162	168
Sr	GGn	72	189	108	20	106	106
	PGn	77	232	138	32	134	134
Zr	GGn	35	190	70	24	67	64
	PGn	40	162	87	32	82	76
Nb	GGn	12	40	25	5	24	26
	PGn	21	43	27	4	27	26
Sb	GGn	0.21	1.87	0.38	0.38	0.29	0.23
	PGn	0.18	1.32	0.33	0.31	0.27	0.23
Cs	GGn	6.2	19.2	10.6	1.9	10.5	10.4
	PGn	4.0	20.9	9.9	3.1	9.3	10.1
Ba	GGn	110	1420	985	236	947	955
	PGn	920	1860	1301	204	1286	1290
Ce	GGn	77	2390	219	276	162	133
	PGn	85	470	154	66	144	147
Eu	GGn	1.1	4.6	1.8	0.6	1.7	1.6
	PGn	1.1	5.9	1.9	0.6	1.8	1.8
Hf	GGn	5.2	132.0	18.0	17.9	14.0	12.6
	PGn	6.5	41.5	13.9	7.4	12.5	11.5
Pb	GGn	17	215	57	67	34	22
	PGn	15	37	23	4	22	23

으나, 아연과 납은 낮은 상관성을 보였다(Table 5). 위해원소간의 상관관계는 화강암질편마암지역에서 니켈에 대해 크롬과 코발트가 높은 상관관계를 보였으며, 아연과 납은 다른 원소들에 대해 낮은 상관관계를 보였다. 반상변정질편마암지역에서 코발트는 크롬과 니켈, 니켈은 크롬과 코발트, 구리는 크롬, 코발

트, 니켈과 높은 상관관계를 보였으나 아연은 다른 원소들에 대해 매우 낮은 상관성을 보였고, 납은 다른 원소들에 대해 비교적 낮은 상관성을 보였다(Table 6).

크롬은 화강암질편마암지역에서 41.7-242 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 109 ppm으로, 화강암질

Fig. 4. Comparison diagram of trace and rare earth element contents on geological groups of stream sediment in the Boseong-Hwasun area.

편마암의 국내 자연배경치인 114 ppm(신성천 외, 2001) 보다는 낮고, 전남지역 중앙값인 61 ppm(신성천 외, 2001) 보다는 높은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역에서는 29.6-454 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 112 ppm으로, 반상변정질편마암의 국내 자연배경치인 97 ppm(신성천 외, 2001), 전남지역 중앙값인 61 ppm(신성천 외, 2001) 보다 높은 값을 나타내고, 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치(Kabata-Pendias and Pendias, 1984)인 100 ppm 보다 높고, 각 지질의 국내 자연배경치보다 높은 값을 나타낸다. 히스토그램상에서 함량에 따라 비교적 골고루 분포하고 있으나, 200 ppm을 넘는 지역이 여러 곳 있다(Fig. 5). 화강암질편마암지역중 화순군 남면 봉갑리 부근(시료번호 62, 63, 64)에서 136, 144, 163 ppm, 화순군 남면 대원사부근(시료번호 74, 76)에서 146, 150 ppm, 보성군 북내면 진봉리 부근(시료번호 100, 101, 102, 103, 104, 106)에서 183, 148, 130, 128, 119, 133 ppm, 보성군 북내면 일봉리 부근(시료번호 159, 160, 161)에서 123, 102, 139 ppm으로 이상치를 나타내고, 반상변정질편마암지역중 보성군 북내면 유정리 부근(시료번호 113)에서 133 ppm, 보성군 울어면 유신리 부근(시료번호 107, 115, 116, 117)에서 134, 131, 125, 144 ppm, 보성군 울어면 울어리 부근(시료번호 125, 128, 129)에서 168, 151, 128 ppm, 보성군 울어면 주암리 부근(시료번호 134, 135, 136, 137)에서 142, 132, 153, 145 ppm, 보성군 울어면 금천리 상방마을, 하방마을 부근(시료번호 139,

140, 141, 142)에서 170, 159, 157, 145 ppm, 보성군 겸백면 석호리 지포마을 부근(시료번호 143)에서 191 ppm, 보성군 문덕면 양동리 부근(시료번호 145)에서 188 ppm, 보성군 문덕면 동산리 부근(시료번호 146)에서 209 ppm, 보성군 문덕면 구산리 경당골 부근(시료번호 148)에서 130 ppm, 보성군 미력면 삼덕제 부근(시료번호 168)에서 118 ppm, 보성군 미력면 음덕리 부근(시료번호 169, 170, 171)에서 454, 110, 143 ppm, 보성군 미력면 미력리 장동제 부근(시료번호 172)에서 130 ppm, 보성군 득량면 용산리 다동마을과 금곡마을 부근(시료번호 179, 180)에서 124, 125 ppm, 보성군 겸백면 사곡리 곡제제 부근(시료번호 181)에서 157 ppm, 사곡리 소암마을 부근(시료번호 182)에서 118 ppm, 석호리 부근(시료번호 183)에서 136 ppm로 이상치를 나타나는 곳이 많이 보이는데 이들 지역은 암석 중에 포함된 흑운모, 견운모 및 스피넬 등의 조암광물의 성분이 반영된 것으로 추정된다. 토양환경보전법 시행규칙 토양오염우려 기준 및 대책기준에서는 6가크롬에 대한 기준만 제시되어 있어서 본 연구지역과의 단순비교는 어려울 것으로 판단되며 6가크롬에 대한 조사가 필요할 것으로 여겨진다.

코발트는 화강암질편마암지역에서 7.6-25.1 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 16.1 ppm으로, 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 16.4 ppm(신성천 외, 2001)과 비슷하고, 전남지역 중앙값인 11.5 ppm(신성천 외, 2001)보다는 높은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역에서는 5.9-53.7 ppm 함량 범위를 보이며,

Table 5. Correlation coefficients between major and hazard elements

	GGn area						PGn area					
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
SiO ₂	-0.182	-0.504**	-0.482**	-0.294**	-0.340**	0.339**	-0.438**	-0.571**	-0.364**	-0.320**	-0.112	-0.525**
Al ₂ O ₃	0.349**	0.631**	0.530**	0.200*	-0.016	-0.301**	0.309**	0.550**	0.217*	0.144	-0.113	0.617**
Fe ₂ O ₃ ^(T)	0.586**	0.818**	0.773**	0.446**	-0.011	-0.268**	0.880**	0.932**	0.784**	0.702**	0.005	0.473**
CaO	0.596**	0.458**	0.648**	0.490**	0.124	-0.014	0.259*	0.294**	0.135	0.009	-0.078	0.159
MgO	0.821**	0.677**	0.840**	0.390**	-0.130	-0.127	0.851**	0.828**	0.698**	0.570**	-0.030	0.333**
K ₂ O	0.176	0.251*	0.179	0.182	-0.021	-0.163	0.132	0.320**	-0.006	-0.032	0.030	0.586**
Na ₂ O	0.431**	0.201*	0.272*	0.107	-0.267**	0.296**	0.118	0.086	0.011	-0.094	-0.256*	-0.085
TiO ₂	0.539**	0.376**	0.492**	0.183	0.091	-0.288**	0.894**	0.818**	0.956**	0.920**	-0.063	0.087
MnO	-0.066	0.264**	0.134	0.334**	0.323**	-0.107	0.073	0.126	0.146	0.178	0.309**	0.132
P ₂ O ₅	0.405**	0.026	0.224*	0.271**	0.276**	-0.068	0.445**	0.453**	0.388**	0.397**	0.396**	0.335**

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

Table 6. Correlation coefficients of each hazard elements

	GGn area						PGn area					
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Cr	1.000	0.535**	0.756**	0.309**	-0.162	-0.078	1.000	0.918**	0.931**	0.860**	-0.002	0.203
Co		1.000	0.727**	0.376**	-0.055	-0.229*		1.000	0.891**	0.838**	-0.003	0.419**
Ni			1.000	0.486**	-0.060	-0.121			1.000	0.962**	-0.068	0.144
Cu				1.000	0.123	0.078				1.000	0.063	0.185
Zn					1.000	-0.206*					1.000	0.529**
Pb						1.000						1.000

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

중양값은 18 ppm으로, 반상변정질편마암의 국내 자연배경치인 15.8 ppm(신성천 외, 2001), 전남지역 중양값인 16.4 ppm(신성천 외, 2001)보다 높은 값을 나타내고 있다. 연구지역에서 코발트 함량은 화강암질편마암지역 모든 시료에서 코발트의 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치(Kabata-Pendias and Pendias, 1984)인 50 ppm 보다 낮은 값을 보이고, 반상변정질편마암지역 또한 낮은 값을 보이나 보성군 미력면 음덕리 부근(시료번호 169)에서만 53.7 ppm을 나타내나 우려할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

니켈은 화강암질편마암지역에서 12-61 ppm 함량 범위를 보이며, 중양값은 32 ppm으로, 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 31 ppm(신성천 외, 2001)과 비슷하고, 전남지역 중양값인 18 ppm(신성천 외, 2001) 보다는 높은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역에서는 8.7-287 ppm 함량 범위를 보이며, 중양값은 39 ppm으로, 반상변정질편마암의 국내 자연배경치인 30 ppm(신성천 외, 2001), 전남지역 중양값인 18 ppm(신성천 외, 2001)보다 높은 값을 나타내고 있다.

구리는 화강암질편마암지역에서 10-47 ppm 함량

범위를 보이며, 중양값은 25 ppm으로, 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 28 ppm(신성천 외, 2001)보다는 낮고, 전남지역 중양값인 20 ppm(신성천 외, 2001)보다는 높은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역에서는 6.4-134 ppm 함량 범위를 보이며, 중양값은 22 ppm으로, 반상변정질편마암의 국내 자연배경치인 27 ppm(신성천 외, 2001)보다 낮고, 전남지역 중양값인 20 ppm(신성천 외, 2001)보다 높은 값을 나타내고 있다. 화강암질편마암지역중 화순군 남면 운곡리 청운마을과 석동마을(시료번호 65, 67), 화순군 남면 대원사 아래 강각동(시료번호 74), 보성군 노동면 거성리 중의제 부근(시료번호 233)에서 각각 43, 46, 43, 47 ppm으로 비교적 높은 값을 나타내나 이들은 구리의 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치(Kabata-Pendias and Pendias, 1984)인 100 ppm 및 토양환경보전법 시행규칙 제20조 관련 토양오염대책 기준(가지역)인 125 ppm보다 훨씬 낮으나, 토양환경보전법 시행규칙 제1조의 5관련 토양오염우려기준인 50 ppm과는 비슷한 값을 나타내고 있어, 이들 지역은 추후 각별한 주의가 필요할 것으로 여겨진다. 반상변

정질편마암지역중 보성군 미력면 음덕리 부근(시료번호 169)에서 134 ppm으로 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치(Kabata-Pendias and Pendias, 1984)인 100 ppm, 토양환경보전법 시행규칙 제20조 관련 토양오염대책기준(가지역)인 125 ppm, 토양환경보전법 시행규칙 제1조의 5관련 토양오염우려기준인 50 ppm 보다 매우 높은 값을 나타내나 앞서 설명한 구리, 크롬등도 높은 값을 나타내는 것으로 보아 조암광물의 영향 또는 광화대가 존재하는 것으로 추론된다.

아연은 화강암질편마암지역에서 48.5-412 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 99 pm으로, 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 106 ppm(신성천 외, 2001) 보다 작고, 전남지역 중앙값인 99 ppm(신성천 외, 2001)과 같은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역에서는 43.6-370 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 102 ppm으로, 반상변정질편마암의 국내 자연배경치인 139 ppm(신성천 외, 2001), 전남지역 중앙값인 99 ppm(신성천 외, 2001)보다 낮은 값을 나타내고 있다. 화강암질편마암지역중 보성군 문덕면 용암리 부근(시료번호 72)에서 189 ppm, 화순군 남면 대원사 부근(시료번호 74)에서 200 ppm, 화순군 이양면 어시랑계 부근(시료번호 84)에서 235 ppm, 장흥군 장평면 진산리(시료번호 226)에서 227 ppm, 보성군 노동면 옥마리 벽옥마을(시료번호 230)에서 199 ppm, 보성군 노동면 옥마리 오동계 부근(시료번호 232)에서 412 ppm, 보성군 노동면 거석리(시료번호 235)에서 191 ppm으로 높은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역 중 보성군 울어면 울어중학교 부근(시료번호 139)에서 160 ppm, 화순군 남면 양동리 봉천계 부근(시료번호 145)에서 170 ppm, 화순군 남면 정당골 아래 부근(시료번호 147)에서 276 ppm, 보성군 조성면 봉능리 봉산계 부근(시료번호 203)에서 216 ppm, 보성군 득량면 옥정리(시료번호 213)에서 370 ppm의 높은 값을 나타낸다. 이들 지역은 주변에 확실한 오염원이 없고 아연을 주로 가져오는 광물이 흑운모(Ure and Berrow, 1982)인 것으로 보아 화강암질편마암과 반상변정질편마암의 조성광물인 흑운모와 광화대의 영향을 받은 것으로 추론된다.

납은 화강암질편마암지역에서 17-215 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 22 pm으로, 화강암질편마암의 국내 자연배경치인 23 ppm(신성천 외, 2001)보다 낮고, 전남지역 중앙값인 19ppm(신성천 외, 2001)보다 높은 값을 나타낸다. 반상변정질편마암지역에서는

Fig. 5. Histograms of hazard elements in the Boseong-Hwasan area.

15-37 ppm 함량 범위를 보이며, 중앙값은 23 ppm으로, 반상변정질편마암의 국내 자연배경치인 21 ppm(신성천 외, 2001), 전남지역 중앙값인 19 ppm(신성천 외, 2001)보다 높은 값을 나타내고 있다. 히스토그램 상에서 화강암질편마암지역에서는 50 ppm 이하가 대부분이지만 150 ppm 이상도 여러 곳 있으며, 마치 두 부분으로 나누어지는 것처럼 나타난다(Fig. 5). 화강암질편마암지역중 화순군 한천면 오산수원지 상류 지역(시료번호 2)에서 148 ppm, 화순군 한천면 산울마을(시료번호 5)에서 189 ppm, 한천면 고시리 고시계 부근(시료번호 12, 13, 14, 15, 16)과 터전리(시료번호 20)에서 189, 196, 196, 184, 179, 190 ppm, 한천면 고시리 말머리골과 이석골 부근(시료번호 17, 18, 19)에서 153, 150, 164, 한천면 고시리 동성계와 동산마을 상부지역(시료번호 21, 22, 23, 24)에서 177, 194, 155, 147 ppm, 한천면 정우리 사우동 마을 상부지역(시료번호 26, 27)에서 215, 182 ppm, 한천

면 용산리 선방마을(시료번호 28)에서 170 ppm, 화순군 남면 대원동마을(시료번호 35, 36)에서 176, 192 ppm, 화순군 남면 대곡리 대곡제 부근(시료번호 37, 38)에서 191, 195 ppm, 화순군 남면 한수목교 부근(시료번호 40)에서 158 ppm을 나타내고, 반상변정질편마암지역에서는 15-37 ppm의 비교적 일정한 값을 보인다. 화강암질편마암지역에서 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치(Kabata-Pendias and Pendias, 1984) 및 토양환경보전법 시행규칙 제1조의 5 관련 토양오염우려기준(가지역)인 100 ppm보다 높은 값을 나타내는 지역은 화순군 한천면과 남면에 집중적으로 분포하는 특징을 보인다. 이들 지역은 과거 석탄을 개발하던 지역으로, 퇴적암 가운데 납 함량이 가장 높은 암상은 흑색셰일이고 이는 납이 유기물과 강한 친화력을 가짐을 말해준다(Wedepohl, 1974)는 이론과 잘 일치하여, 기반암의 영향인 것으로 판단된다.

결 론

1. 보성-화순지역의 크롬 함량은 이상치를 나타내는 곳이 많이 있으며, 이들 지역은 암석 중에 포함된 흑운모, 견운모 및 스펀 등의 조암광물의 성분이 반영된 것으로 추정되며, 6가크롬에 대한 조사가 필요할 것으로 여겨진다.

2. 보성-화순지역의 코발트 함량은 화강암질편마암지역의 모든 시료에서 코발트의 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치인 50 ppm 보다 낮은 값을 보이고, 반상변정질편마암지역 또한 낮은 값을 보이나 보성군 미력면 음덕리 부근(시료번호 169)에서만 53.7 ppm을 나타내나 우려할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

3. 보성-화순지역의 구리 함량은 화강암질편마암지역의 일부지점에서 43, 46, 43, 47 ppm으로 비교적 높은 값을 나타내나 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용 한계치인 100 ppm 및 토양환경보전법 시행규칙 제20조 관련 토양오염대책기준(가지역)인 125 ppm보다 훨씬 낮으나, 토양환경보전법 시행규칙 제1조의 5 관련 토양오염우려기준인 50 ppm과는 비슷한 값을 나타내고 있어, 이들 지역은 추후 각별한 주의가 필요할 것으로 여겨진다. 반상변정질편마암지역인 보성군 미력면 음덕리 부근(시료번호 169)에서 134 ppm으로 매우 높은 값을 나타내나 코발트, 크롬등도 높은 값을 나타내는 것으로 보아 조암광물의 영향 또

는 광화대가 존재하는 것으로 추론된다.

4. 보성-화순지역의 아연 함량은 화강암질편마암지역인 보성군 문덕면 용암리 부근에서 189 ppm, 화순군 남면 대원사부근에서 200 ppm, 화순군 이양면 어시랑계 부근에서 235 ppm, 장흥군 장평면 진산리에서 227 ppm, 보성군 노동면 옥마리 벽옥마을에서 199 ppm, 보성군 노동면 옥마리 오동계 부근에서 412 ppm, 보성군 노동면 거석리에서 191 ppm으로 높은 값을 나타내고, 반상변정질편마암지역인 보성군 울어면 울어중학교 부근에서 160 ppm, 화순군 남면 양동리 봉천계 부근에서 170 ppm, 화순군 남면 정당골 아래 부근에서 276 ppm, 보성군 조성면 봉능리 봉산계 부근에서 216 ppm, 보성군 득량면 옥정리에서 370 ppm의 높은 값을 나타낸다. 이들 지역은 주변에 확실한 오염원이 없고 아연을 주로 가져오는 광물은 흑운모인 것으로 보아 화강암질편마암과 반상변정질편마암의 조성광물인 흑운모와 광화대의 영향을 받은 것으로 추론된다.

5. 보성-화순지역의 납 함량은 화강암질편마암지역인 화순군 한천면과 남면에서 토양 및 퇴적물의 환경오염 허용한계치 및 토양환경보전법 시행규칙 제1조의 5 관련 토양오염우려기준(가지역)인 100 ppm 보다 높은 값이 집중적으로 분포하는 특징을 보인다. 이들 지역은 과거 석탄을 개발하던 지역으로, 퇴적암 가운데 납 함량이 가장 높은 암상은 흑색셰일이라는 이론과 잘 일치하여, 기반암의 영향인 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2009학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음. 논문에 대한 세심한 심사와 유익한 조언을 해주신 김정빈 교수님과 홍세선 박사님께 감사를 드립니다. 그리고 자료정리에 도움을 준 한국광물자원공사의 김우경 석사에게도 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김정빈, 박영석, 1996, 벌교지역에 분포하는 심성암류의 암석화학과 지질시대에 대한 연구. 한국지구과학회지, 17, 227-240.
- 김주용, 정철환, 오강호, 고영구, 문정준, 유경아, 1999, 광주부근 영산강과 광주천의 하상퇴적물의 중금속 오염. 한국지구과학회지, 20, 96-100.

- 김용준, 1988, 보성-순천지역에 분포하는 정편마암류의 지질시대와 성인에 대한 연구. 광산지질, 21, 69-83.
- 김종균, 박영석, 2005, 광주지역 하상퇴적물에 대한 지질집단별 지구화학적 연구. 자원환경지질, 38, 481-492.
- 박영석, 박대우, 김종균, 2009, 함양-산청지역 하상퇴적물의 자연배경치 및 부화특성. 자원환경지질, 42, 195-206.
- 박영석, 김종균, 정용화, 2006, 기반암에 따른 나주지역 하상퇴적물의 지구화학적 특성. 한국지구과학회지, 27, 49-60.
- 박영석, 장우석, 김종균, 2003, 구례지역 하상퇴적물의 지질집단별 자연배경치에 대한 연구. 자원환경지질, 36, 275-284.
- 박영석, 김종균, 한민수, 김용준, 장우석, 신성천, 2002, 장흥지역 1차 수계 하상퇴적물의 지질집단별 지구화학적 특성과 하천수에 대한 연구. 자원환경지질, 35, 509-521.
- 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. 한국지질자원연구원, 70 p.
- 안건상, 박천영, 신인현, 배종필, 2003, 광주광역시 풍암매립지 주변 하상퇴적물과 물의 지구화학적 특성. 한국지구과학회지, 24, 290-302.
- 염승준, 이평구, 강민주, 신성천, 유연희, 2004, 주암댐 집수유역 내 하상퇴적물의 중금속 오염현황 및 거동특성. 자원환경지질, 37, 311-324.
- 이상만, 김형식, 1966, 복내도폭 지질보고서. 국립지질조사소, 44 p.
- 이승구, 양동윤, 홍세선, 박재호, 오근창, 2003, 희토류원소를 이용한 순창지역 섬진강 수계내 하상퇴적물의 기원지 연구. 지질학회지, 39, 81-97.
- 이평구, 지세정, 염승준, 2008, 주암호 집수유역 내 용존 및 입자상 미량원소의 거동특성. 자원환경지질, 41, 405-425.
- 이현구, 조애란, 이찬희, 1999, 입도분포에 따른 하상퇴적물의 지구화학적 분산 및 부화. 자원환경지질, 32, 247-260.
- 황인전, 정창형, 1968, 보성도폭 지질보고서. 국립지질조사소, 29 p.
- Darnley, A.G., Bjorklund, A., Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, K.A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xuejing, 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 Science 19, UNESCO Publishing, 122 p.
- Davis, B.D. and Ballinger, R.C., 1990, Heavy metal soils in north Somerest, England, with special reference to contamination from base metal mining in the Mendips. Environ Geochem Health, 12, 291-300.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.B., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984, Trace elements in soil and plants. CRC Press INC, UK, 315 p.
- Thronton, I., 1983, Applied environmental geochemistry. Academic Press, MA, USA, 501 p.
- Ure, A.M. and Berrow, M.L., 1982, The elemental constituents of soils. In Bowen, H.J.M. (ed.), Environmental Chemistry. Royal Society of Chemistry, London, UK, 94-205.
- Wedepohl, K.H., 1974, Handbook of Geochemistry. Springer, NY, USA, 82C-82K.

2011년 8월 18일 접수

2011년 10월 20일 수정원고 접수

2011년 12월 15일 채택