

운봉지역 하상퇴적물과 암쇄상화강암류의 지구화학적 특성 비교연구

박영석¹ · 박대우^{1*} · 김종균² · 김성원³

¹조선대학교 자원공학과, ²조선대학교 공동실험실습관, ³조선대학교 에너지자원신기술연구소

Comparative Study on Geochemical Characteristics of Stream Sediments and Mylonitic Granites in the Unbong Area

Young Seog Park¹, Dae Woo Park^{1*}, Jong Kyun Kim² and Sung Won Kim³

¹Dept. of Resource Engineering, Chosun University, Gwangju, 501-759, Korea

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

³Energy and Resources Technology Research Institute, Chosun University, Gwangju, 501-759, Korea

The present study investigation the geochemical characteristics of the stream sediments in the Unbong area was conducted to enable a understanding the natural background and a prediction the prospects of geochemical disaster as a result of that bed rocks(mylonitic granites, Kim *et al.*, 1992). We systematically collected seventy three stream sediments samples by wet sieving along the primary channels. Major, trace and rare earth element(REE) concentrations, combined with mineralogical characteristics, were determined by XRD, XRF, ICP-AES and NAA analysis methods. Major element concentrations for the stream sediments in the Unbong area were SiO₂ 36.94~65.39 wt.%, Al₂O₃ 10.15~21.77 wt.%, Fe₂O₃ 3.17~10.90 wt.%, CaO 0.55~5.27 wt.%, MgO 0.52~4.94 wt.%, K₂O 1.38~4.54 wt.%, Na₂O 0.49~3.36 wt.%, TiO₂ 0.39~1.27 wt.%, MnO 0.04~0.22 wt.%, P₂O₅ 0.08~0.54 wt.%. Trace and REE concentrations for the stream sediments were Cu 4.8~134ppm, Pb 24.2~82.5ppm, Sr 95.9~739ppm, V 19.9~124ppm, Zr 52.9~145ppm, Li 25.2~93.3ppm, Co 3.87~50.0ppm, Cr 17.4~234ppm, Hf 3.93~25.2ppm, Sc 4.60~20.6ppm, Th 3.82~36.9ppm, Ce 45.7~243ppm, Eu 0.89~2.69ppm, Yb 1.42~5.18ppm. According to the comparison of average major element concentrations, CaO, Na₂O and K₂O contents are higher in stream sediments than in bed rocks(mylonitic granites, Kim *et al.*, 1992) Al₂O₃ and SiO₂ contents show good correlation both stream sediments and bed rocks(mylonitic granites, Kim *et al.*, 1992). Yb and Eu in the stream sediments show a positive correlation with SiO₂. In contrast, the stream sediments display a negative correlation.

Key words : Stream sediments, Geochemical disaster, Background, Mylonitic granites, Correlation.

운봉지역 하상퇴적물에 대한 지구화학적 특성규명을 통해, 주성분원소 및 미량원소에 대한 자연 배경치를 제시하고, 그 기반암(암쇄상화강암, Kim *et al.*, 1992)과의 비교를 통해 지구화학적 재해에 대해 예견하고자 한다. 73개의 하상퇴적물시료를 물이 흐르고 있는 1차 수계를 대상으로 채취하였고, XRD, XRF, ICP-AES, NAA를 이용하여 주성분원소 및 미량성분원소를 분석하였다. 운봉지역의 주성분원소 함량은 SiO₂ 36.94~65.39wt.%, Al₂O₃ 10.15~21.77wt.%, Fe₂O₃ 3.17~10.90wt.%, CaO 0.55~5.27wt.%, MgO 0.52~4.94wt.%, K₂O 1.38~4.54wt.%, Na₂O 0.49~3.36wt.%, TiO₂ 0.39~1.27wt.%, MnO 0.04~0.22wt.%, P₂O₅ 0.08~0.54wt.%의 범위를 보이며, 미량성분 및 희토류원소 함량은, Cu 4.8~134ppm, Pb 24.2~82.5ppm, Sr 95.9~739ppm, V 19.9~124ppm, Zr 52.9~145ppm, Li 25.2~93.3ppm, Co 3.87~50.0ppm, Cr 17.4~234ppm, Hf 3.93~25.2ppm, Sc 4.60~20.6ppm, Th 3.82~36.9ppm, Ce 45.7~243ppm, Eu 0.89~2.69ppm, Yb 1.42~5.18ppm의 범위를 보인다. 주성분원소의 함량비교에서 CaO, Na₂O, K₂O 함량은 하상퇴적물에서 기반암(암쇄상화강암류, Kim *et al.*, 1992)인 암쇄상화강암류보다 높게 나타난다. 그리고 Al₂O₃ 와 SiO₂는 하상퇴적물과 기반암(암쇄상화강암류, Kim *et al.*, 1992) 모두에서 높은 상관관계를 보인다. 하상퇴적물에서는 SiO₂ 함량이 높아질수록 희토류원소 함량도 같이 증가하는 특징을 보이나, 암쇄상화강암류에서는 SiO₂ 함량이 높아질수록 희토류원소 함량은 감소하는 특징을 보인다.

주요어 : 하상퇴적물, 지구화학적 재해, 자연배경치, 암쇄상화강암류, 상관분석

*Corresponding author: ramese@nate.com

1. 서 론

현대 사회에서는 산업화 및 도시화를 통하여 많은 지구화학적 재해들이 발생되고, 이에 대한 심각성이 사회 빌랄과 더불어 인류가 해결해야 할 가장 중요한 문제 중의 하나가 되었다. 지화학적 재해는 자연환경 속에서 연속적으로 이동되고 아주 오랜 시간에 걸쳐 사람과 동식물에게 악영향을 누적시키고, 눈에 잘 띄지 않고 서서히 진행되어 넓은 지역으로 확산되는 경우가 많아 그 피해의 심각성은 매우 커 이들에 대한 체계적이고 정확한 기초조사와 방지대책의 수립이 필요하다. 또한 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). 이러한 지구화학적 재해를 해결하기 위해서는 무엇보다도 환경을 구성하고 영향을 주는 근본적인 원인에 대해서 보다 체계적이고 정확한 기초 조사가 이루어져야 한다.

지질학적 재해의 연구에 있어 선진국에서는 자국의 지표 환경에 대한 각 원소의 존재량과 분포상태를 파악하기 위하여 지화학도(geochemical map) 작성 사업을 국가 차원에서 실시하고 있으며, 이미 미국, 영국, 노르웨이, 독일 등에서는 이러한 사업을 통해 유해원소의 이상농집과 필수원소의 결핍과 같은 일차적인 자료를 확보함으로써 현재 또는 앞으로 발생 가능한 이차적인 오염 평가의 기준치로 이용하고 있다.

이번 연구에서는 1:50,000 운봉지형도폭지역의 하상 퇴적물에 대해 지화학적 재해를 평가하기 위한 기초적인 자료를 수집하며, 운봉지역의 기반암류중 하나인 암쇄상화강암류에 대한 기존연구(Kim et al., 1992)와 비교하여 주성분, 미량성분 및 희토류원소들의 함량특성에 대해 비교 분석 하고자 한다.

2. 운봉지역의 지형 및 지질

2.1. 운봉지역의 지형과 수계

운봉지역은 지리산주봉을 도폭동남우에 두고 이에서 서로 뻗는 주연봉(화개장도폭, 지역내)의 북부에 위치한다. 행정구역으로는 경남 함양군, 전북 남원군, 장수군 등의 일부와 경남 산청군, 전남 구례군 등의 극소부분이 속한다. 산계는 지리산 주연봉(화관장도폭지역

내)에서 분파되는 세 건의 지맥과 지역중앙을 흘러 북서방향에서 북동방향으로 하는 낙동강 지류를 경계로 하여 그 북부에서 또는 동북동방향에 뻗는 두 개의 연봉이 있다. 수계는 지역중앙을 남북방향에서 남동방향으로 우회하고 다시 지역중동부에서 동북방향으로 우회하여 산청도폭지역 내에 유입하는 낙동강지류가 주간이 되고 지역 북동부에서 동북동방향으로 함양도폭지역과 산청도폭지역 내에 유입하는 두 건의 하천이 있다(Kim et al., 1964; Son et al., 1964).

2.2. 운봉지역의 암석기재

2.2.1. 반려암

반려암은 운봉지역의 거의 중앙부인 마천면 군자리, 삼정리 일대 및 가홍군, 구양리 일대와 산내면 백일리 일대에 넓게 분포되며, 분포지 북변에서 흑운모편마암을 동변에서는 화강암질편마암과 혼성 페그마타이트질 편마암을 각각 관입접촉하고 있다. 따라서 월평리 남부의 흑운모편마암 분포지의 폭은 매우 좁아진다. 반려암은 부분적으로 미약한 선상구조(lineation)가 발달되어 대체로 각섬암, 사장암, 소량의 흑운모를 포함하고 반려암조직을 보이나 암장분화의 결과 각섬암 대신에 흑운모를 다량 함유한 암흑색의 부분 또는 dioritic 한 부분이 있어 암질은 매우 불균질하다. 또한 반려암은 분포연변부에서는 접촉암을 동화하여 혼성대를 이루기도 한다(Kim et al., 1964; Son et al., 1964).

2.2.2. 화강암질편마암

기존의 운봉지역 연구에서의 암쇄상화강암류(mylonitic granites)을 본 연구지역의 화강암질편마암과 함께 비교하였다. 암쇄상화강암류는 송립변동의 구조동시 심성암류(syntectonic plutons)로 생각되는 남원화강암체의 일부 지역이 대보운동을 받아 우수주향이 동단충운동을 일으키면서 연성변형을 받아 만들어진 것으로 사료된다(Kim et al., 1992).

화강암질편마암은 반상변정편마암과 혼성 페그마타이트질편마암이 각각 접하며 엽상구조는 매우 미약하나 대체적인 주향과 경사는 N30°~55°E, 35°~55°NW 내지 SE로 반성변정편마암의 엽상구조와 거의 일치하여 완경사의 습곡을 이루면서 어떤 구조적인 지배를 받는 경우를 제외하고는 항상 반상변정편마암의 상부에 위치하고 있다. 장항리 부근에서는 인월리단층과 와운단층에 속하여 흑운모편마암과 직접 접하고 있으며 군자리, 삼정리, 의중동 일대에서는 본체를 관입한 반려암질암과 접하고 추성리 일대에서는 백무동단층과 광

점동단층으로 인하여 반상변정편마암 및 혼성 페그마タイト질편마암과 각각 직접한다(Kim *et al.*, 1964; Son *et al.*, 1964).

2.2.3. 흑운모편마암

흑운모편마암의 염리의 일반적인 주향과 경사는 덕두산-삼봉산-태관리 부근에서는 N30°~60°E, 35°~55°S, 내지 NW, 옥녀봉, 월석리 부근에서는 N60°~80°E, 60°~80°SE 내지 NW, 장항리 부근에서는 N10°~25°W, 55°~80°NE로 주향의 변화가 기하여 수회의 습곡을 반

복한다. 본층을 구성하는 암석은 대부분이 흑운모화강암으로써 호상편마암, 주입편마암, 안구상편마암등으로 구성된 준편마암이며, 운모편암, 규암등의 박층을 협재하기도 한다. 산내면 삼화 남부에서는 유색광물대와 장석대가 각각 1cm~5cm의 폭으로 호층을 이루는 전형적인 주입편마암을 볼 수 있고 산내면 한발에서는 미세한 호상구조의 호상편마암이 현저하며, 함양군 산곡동 북부에서는 장석의 안구를 갖는 안구상편마암이 특징적이다(Kim *et al.*, 1964; Son *et al.*, 1964).

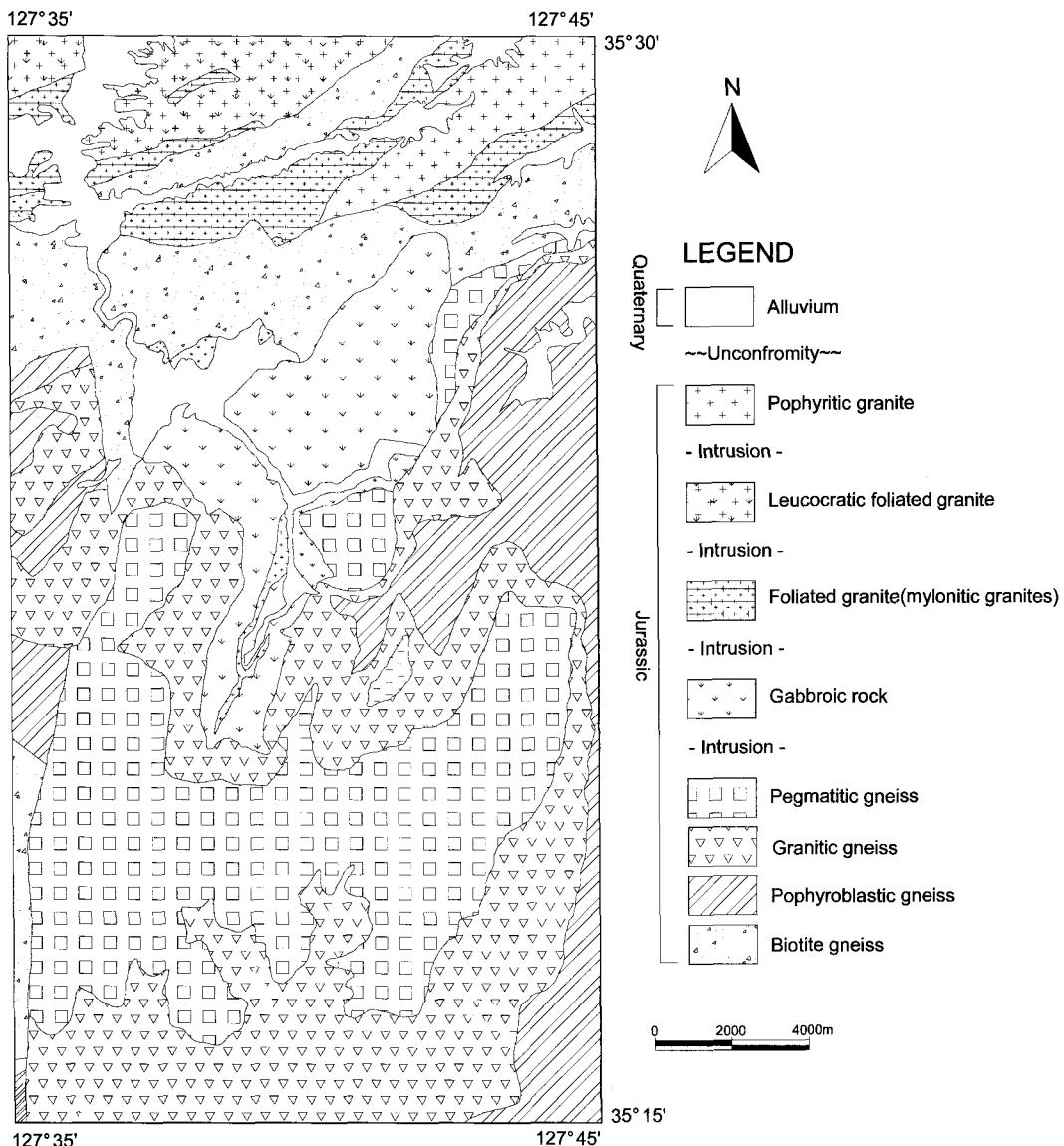


Fig. 1. Geological map of the Unbong area(modified by Kim *et al.*, 1964; Son *et al.*, 1964).

2.2.4. 엽리상화강암(압쇄상화강암, Kim et al., 1992)

엽리상화강암은 지역북부에서 함양군 남평리, 구룡리, 죽림리, 동서, 성산리 일대와 장수군 번암면 남부 일대에 거의 동서방향에서 동북방향으로 본역북부의 동단에서 남단에 까지 걸쳐 분포되어 있다. 반성변정의 유무에 의하여 2개지역으로 구분하여, 남평리, 죽림리, 성산리지역에서는 흑운모화강암을 관입하고 다시 우백화강편마암과 반상화강암에 의하여 관입되며, 하구락 남방과 성산리 등지에서는 반려암질암을 포획하고 있다. 비교적 엽리상구조가 잘 발달되어 있으나 반상화강암과의 접촉부에서는 미약하며 일반적인 주향과 경사는

$N60^{\circ}\sim70^{\circ}W$, $50^{\circ}\sim70^{\circ}SE$ 로서 흑운모편마암과의 상호접촉부 부근에서는 거의 엽상구조와 거의 일치된다. 번암면 남부일대에서는 우백편상화강암과 반상화강암에 의하여 관입되며 엽리상구조는 회미하고, 1cm×2cm의 장석이 반정을 이루며 콩알정도 크기의 둥근 석영이 비교적 많이 형성되어 있다. 이를 반정은 아마 이차적으로 형성되었을 것이다(Kim et al., 1964; Son et al., 1964).

3. 시료채취 및 분석

시료채취 대상수계는 시료채취지점의 상류 또는 부

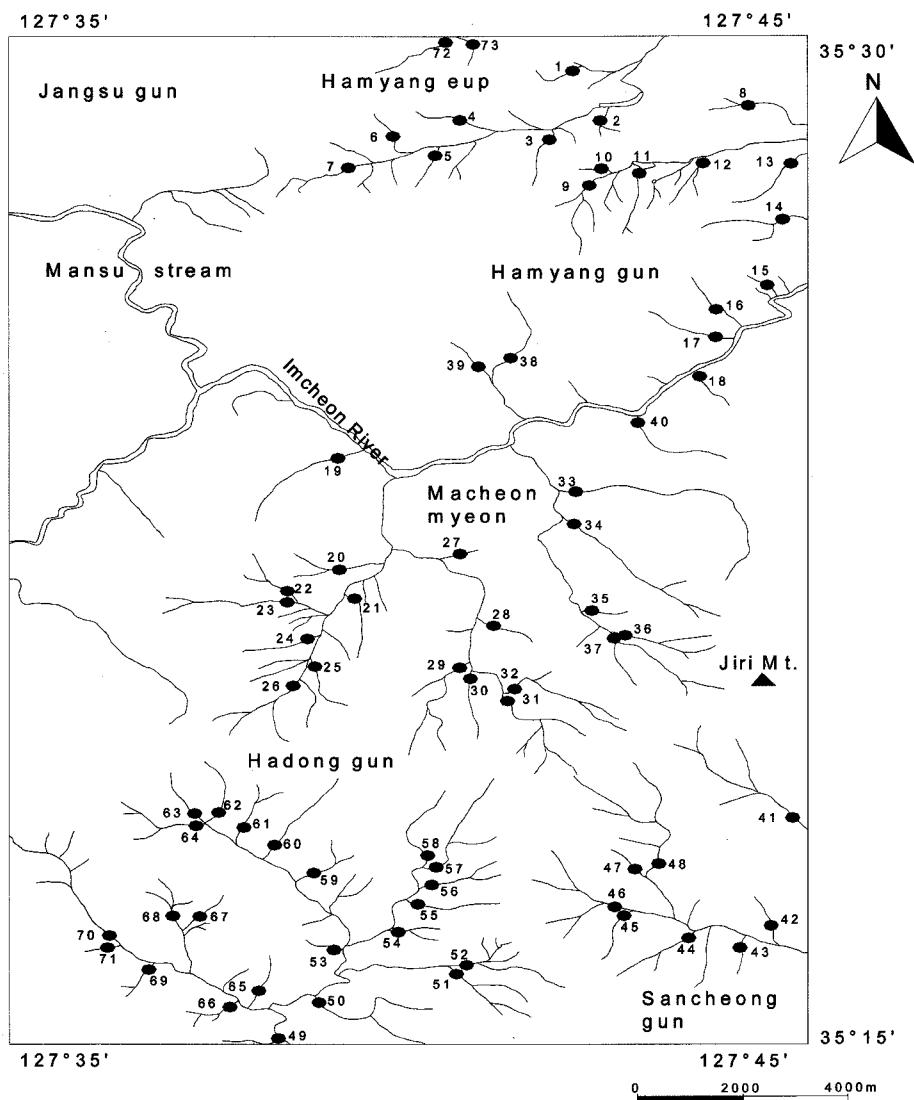


Fig. 2. Sampling site map of stream sediments in the Unbong area.

근에 폐광산, 주거지, 산업시설, 쓰레기 처리장, 축산 시설 등과 같이 인위적으로 수계의 오염이 이루어졌거나, 오염이 의심되는 지역에서는 이러한 시설물의 영향이 없는 상류 쪽에서 “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, 하상퇴적물 시료 73개를 채취하였다(Fig. 2). 하상퇴적물 시료채취 시에는 스테인레스 스틸로 만들어진 시료채취용 솝을 사용하여 오염을 피하였고, 시료의 대표성을 높이기 위하여 가능하면 여러 군데에서 조금씩 채취하여 하나의 복합시료로 만들었다. 채취된 73개의 하상퇴적물에 대한 화학분석은 한국지질자원연구원에서 실시하였다. 주성분원소는 X-선 형광 분광법(XRF)

으로, 미량성분원소는 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법(ICP-AES)으로 분석하였다. 중성자 발생을 위한 조사는 한국원자력연구원에 있는 HANARO 원자로(Hi-flux Advanced Neutron Application Reactor)를 이용하였고, NAA 분석에서는 여러 종류의 방사선 가운데 감마선을 이용하였다. 하상퇴적물의 광물학적 특성 파악을 알아보기 위한 X-선 회절분석은 조선대학교 공동 실험실습관의 XPert PRO MPD를 이용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 주성분원소 특성

운봉지역 하상퇴적물의 주성분원소 함량은 SiO_2 36.94~65.39wt.%, Al_2O_3 10.15~21.77wt.%, Fe_2O_3 3.17

Table 1. Statistics for the Contents(wt.%) of major elements in the stream sediments and bed rocks(mylonitic granites, Kim *et al.*, 1992) in the Unbong area.

		Min.	Max.	Mean	S.D.	G.M.	Median
SiO_2	stream sediments	36.94	65.39	48.65	5.48	48.35	48.64
	bed rocks*	60.12	74.69	68.58	3.51	68.49	68.70
	N. Jeolla**	32.9	83.9	61.0	5.6	-	61.1
Al_2O_3	stream sediments	10.15	19.61	16.29	1.75	16.18	16.44
	bed rocks*	11.77	17.54	15.11	1.27	15.06	15.01
	N. Jeolla**	6.3	28.6	15.3	2.2	-	15.0
Fe_2O_3	stream sediments	4.12	10.90	8.04	1.07	7.96	8.01
	bed rocks*	2.96	8.35	5.39	1.47	5.19	5.22
	N. Jeolla**	1.4	39.8	5.2	1.9	-	4.9
CaO	Stream sediments	0.55	4.75	1.85	1.06	1.58	1.66
	bed rocks*	0.47	5.30	1.51	1.36	1.39	1.93
	N. Jeolla**	0.14	14.4	1.28	1.08	-	0.96
MgO	stream sediments	0.65	4.63	2.29	0.87	2.13	2.06
	bed rocks*	0.05	2.85	1.83	0.74	1.23	1.72
	N. Jeolla**	0.15	11.82	1.25	0.77	-	0.18
K_2O	stream sediments	1.55	4.54	2.54	0.51	2.49	2.45
	bed rocks*	1.85	6.12	2.84	1.49	3.77	4.09
	N. Jeolla**	0.8	6.5	3.2	0.7	-	3.2
Na_2O	stream sediments	0.49	2.54	1.19	0.49	1.10	1.07
	bed rocks*	1.11	4.54	4.07	1.01	2.65	3.22
	N. Jeolla**	0.3	4.6	1.6	0.6	-	1.5
TiO_2	stream sediments	0.61	1.27	0.93	0.14	0.92	0.92
	bed rocks*	0.32	0.83	0.52	0.15	0.50	0.47
	N. Jeolla**	0.18	4.19	0.77	0.26	-	0.73
MnO	stream sediments	0.04	0.22	0.11	0.03	0.10	0.11
	bed rocks*	0.04	0.14	0.08	0.03	0.07	0.06
	N. Jeolla**	0.02	0.98	0.11	0.06	-	0.10
P_2O_5	stream sediments	0.10	0.54	0.23	0.08	0.21	0.22
	bed rocks*	0.03	0.16	0.07	0.04	0.07	0.07
	N. Jeolla**	0.02	3.70	0.16	0.11	-	0.14

*Kim *et al.*(1992), **Shin *et al.*(2001).

~10.90wt%, CaO 0.55~5.27wt%, MgO 0.52~4.94wt%, K₂O 1.38~4.54wt%, Na₂O 0.49~3.36wt%, TiO₂ 0.39~1.27wt%, MnO 0.04~0.22wt%, P₂O₅ 0.08~0.54wt%의 범위를 보인다(Table 1).

하상퇴적물의 주성분원소 함량에 대한 히스토그램에서 SiO₂는 정규분포를, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO는 부적분포를, K₂O, MgO, Na₂O, CaO, P₂O₅는 정적분

포를 이루는 것으로 확인된다. 또한 CaO, K₂O, P₂O₅의 히스토그램에서는 어떤 특정지역에서 이들 원소들의 함량이 연구지역 내의 다른 지역에 비해 과다하게 농집되어 있음을 보여주고 있다(Fig. 3).

하상퇴적물중 지질구분이 엽리상편마암류(압쇄상화강암류)에 해당되는 시료 56개의 주성분원소 함량에 대해 기존에 연구(Kim et al., 1992)되어진 운봉지역 압

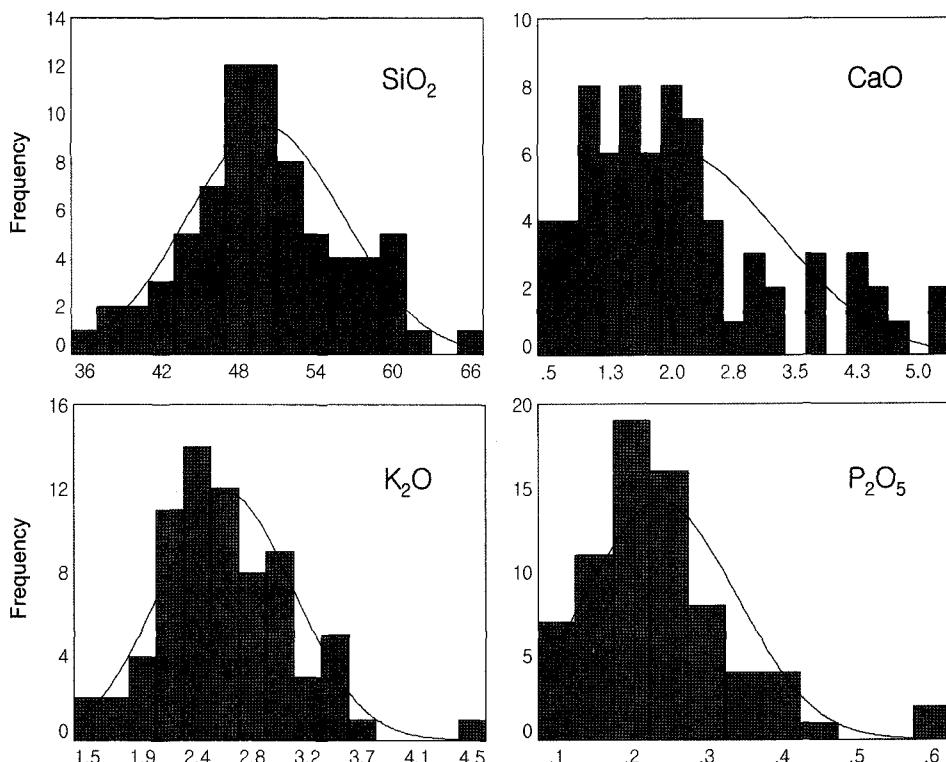


Fig. 3. Histograms of major element in the Unbong area(unit in wt.%).

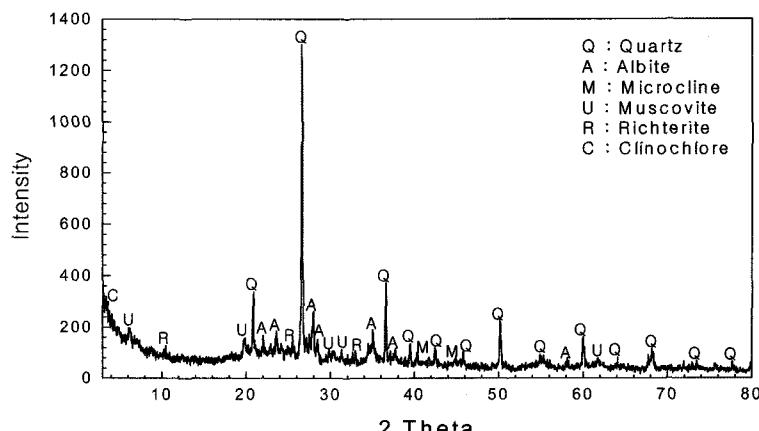


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of representative stream sediments in the Unbong area(sample No. 64).

쇄상화강암류와 비교하였다. 그 결과 하상퇴적물의 CaO , Na_2O , K_2O 함량은 암쇄상화강암류의 평균함량보다 높았으며, 그 외 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , MnO , P_2O_5 함량은 암쇄상화강암류에서 더 낮았다(Table 1, Fig. 3).

하상퇴적물의 광물형태와 광물학적 조성을 알아보기 위한 X-선회절 분석결과 대부분은 석영(Quartz), 조장석(Albite), 미사장석(Microcline), 백운모(Muscovite), 리히테라이트(Richterite), 사누리석(Clinochlore)등의 광물로 구성되어 있다(Fig. 4).

4.2. 미량성분 및 희토류원소 특성

운봉지역 하상퇴적물의 미량 및 희토류원소 함량은 Cu 4.8~134ppm, Pb 24.2~82.5ppm, Sr 95.9~739 ppm, V 19.9~124ppm, Zr 52.9~145ppm, Li 25.2~93.3ppm, Co 3.87~50.0ppm, Cr 17.4~234ppm, Hf

3.93~25.2ppm, Sc 4.60~20.6ppm, Th 3.82~36.9ppm, 희토류원소인 Ce, Eu, Yb 함량은 각각 45.7~243ppm, 0.89~2.69ppm, 1.42~5.18ppm의 범위를 보인다(Table 2).

히스토그램을 이용하여, 하상퇴적물의 미량성분의 함량이 과다하게 농집 되거나 이상 결핍된 지역의 존재 여부를 확인하였다. 그 결과 구리(Cu)의 토양내 함량이 5ppm 이하이면 나무 및 농작물의 결핍현상이 생길 수 있는데(Merian, 1991), UB-09 (함양군 휴천면 월평리)시료는 4.8ppm으로 이상결핍된 지역으로 확인되며, 기존 연구들에서 구리(Cu)는 상부 대륙지각에서 25 ppm, 토양에서 2~100ppm(Levinson, 1974; Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995; Turekian and Wedepohl, 1961)정도 함유되어 있지만 UB-32 (거창군 위천면 강천리)시료에서 134ppm으로 과다농집된 지역으로 확인된다. 크롬(Cr)의 평균함량은 지각에서

Table 2. Statistics for the Contents(ppm) of trace and rare earth elements in the stream sediments collected from the Unbong area.

		Min	Max	Mean	S.D.	G.M.	Median
Cu	stream sediments	4.8	134	26.1	15.3	23.2	26.6
	N. Jeolla*	4	493	21	20	-	18
Pb	stream sediments	24.2	82.5	32.4	8.63	31.8	31.0
	N. Jeolla*	6	88	21	5	-	21
Sr	stream sediments	95.9	739	240	134	212	190
	N. Jeolla*	15	1693	151	88	-	133
V	stream sediments	19.9	124	85.4	21.8	81.2	91.2
	N. Jeolla*	4	962	61	32	-	51
Zr	stream sediments	52.9	145	81.7	20.7	79.4	75.6
	N. Jeolla*	9	570	82	38	-	75
Li	stream sediments	25.2	93.3	58.2	14.5	56.3	58.6
	N. Jeolla*	7	347	65	24	-	61
Co	stream sediments	3.87	50.0	21.2	9.83	18.4	22.2
	N. Jeolla*	1.2	77.5	11.7	8.1	-	9.6
Cr	stream sediments	17.4	243	112	58.4	92.0	113
	N. Jeolla*	7	384	60	39	-	49
Hf	stream sediments	3.93	25.2	11.0	4.88	10.1	9.81
	N. Jeolla*	3	165	14	13	-	10
Sc	stream sediments	4.60	20.6	14.8	3.53	14.2	14.9
	N. Jeolla*	2.6	61.3	11.5	6.6	-	10.0
Th	stream sediments	3.82	36.9	20.5	7.28	19.0	20.3
	N. Jeolla*	6	347	25	25	-	18
Ce	stream sediments	45.7	243	131	47.0	122	128
	N. Jeolla*	29	1880	124	120	-	100
Eu	stream sediments	0.89	2.69	1.69	0.37	1.65	1.61
	N. Jeolla*	0.4	9.7	1.5	1.8	-	1.3
Yb	stream sediments	1.42	5.18	2.45	0.94	2.30	2.15
	N. Jeolla*	0.7	25.9	3.4	2.5	-	2.7

*Shin et al.(2001).

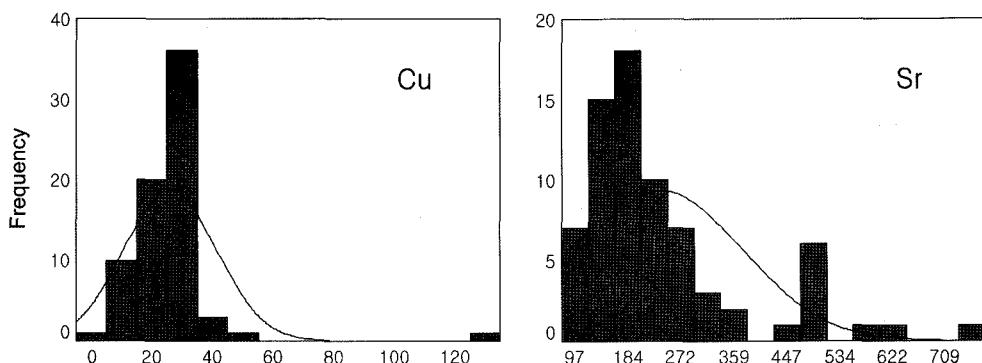


Fig. 5. Histograms of minor element in the Unbong area(unit in ppm).

Table 3. Correlation coefficients of major and minor element in the stream sediments collected from the Unbong area.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Cu	-0.470**	-0.364**	0.129	-0.150	-0.069	-0.309*	-0.368**	0.071	0.470**	0.417**
Li	-0.139	0.119	0.167	0.013	0.225	-0.230	-0.231	0.256	0.188	0.021
Pb	-0.121	0.225	0.205	-0.260	-0.081	-0.071	-0.281*	0.083	-0.191	-0.140
Th	0.592**	0.386*	-0.392*	-0.203	-0.228	0.490**	0.297	-0.056	-0.387*	-0.529**
Cr	-0.364*	0.189	0.546**	0.160	0.642**	-0.488**	-0.423*	0.431*	0.174	0.165
Co	-0.595**	-0.106	0.469**	0.089	0.374*	-0.605**	-0.462**	0.251	0.746**	0.534**

**Correlation is significant at the 0.01 level.

*Correlation is significant at the 0.05 level.

110ppm(Levinson, 1974), 토양에서 100ppm으로 대체로 일치하는데, UB-57(하동군 화계면 대성리)시료에서 평균함량의 2배가 넘는 243ppm의 높은 값을 가지는데, 이 지역에 대하여 세포막에 대한 침투력과 산화능력을 가지고 있으며 독성을 가지는 Cr⁶⁺의 부존에 대한 추가적인 조사가 필요하다고 본다. 스트론튬(Sr)은 지각에서 11ppm, 화강암에서 5ppm, 현무암에서 38ppm(Levinson, 1974)정도 함유되어 있지만 UB-09 (함양군 휴천면 월평리)시료에서 4.6ppm으로 이상결핍된 지역으로 확인되는데, 이 지역은 구리(Cu) 이상결핍지역과 동일한 지역이다(Fig. 5).

지질구분이 엽리상편마암류(암쇄상화강암류)에 해당되는 지역 미량성분 및 희토류원소 함량을 기준에 연구(Kim et al., 1992)되어진 운봉지역 암쇄상화강암류와 비교하였다. 하상퇴적물들의 미량성분원소 및 희토류원소들의 함량은 Sr 96~639ppm, V 39~124ppm, Zr 56~145ppm, Ce 64~224ppm, Eu 0.89~2.59ppm, Yb 1.42~5.18ppm값을 보이며, 암쇄상화강암류미량원소 및 희토류원소들의 함량은 Sr 64~373ppm, V 16~373ppm, Zr 7~174ppm, Ce 37~217ppm, Eu 0.5~1.2ppm, Yb 0.8~0.1ppm값이었다(Kim et al., 1992). 미량성분과 희토류원소들의 함량은 하상퇴적물

이 암석에 비하여 높은 값을 보여준다.

4.3. 하상퇴적물 성분간의 상관분석

다른 원소보다 이동성이 큰 Cu는 SiO₂의 함량이 증가할수록 Cu의 함량도 증가하는 정(+)의 거동을 보이는 것이 일반적인 특징이지만(Lee et al., 1999), 연구 지역에서는 상관계수가 -0.470**로 부(-)의 중간정도의 상관성을 가지는 특징을 보여준다. 또한 Co는 염기성암석에 풍부한 원소로 SiO₂가 증가함에 따라 낮은 함량을 갖는 것으로 알려져 있는데(Taylor and McLennan, 1995), 연구지역에서는 상관계수 -0.595**로 부(-)의 중간정도의 상관성을 가지는 특징을 보여주고 있다(Table 3, Fig. 6).

4.4. 기반암과의 상관분석

운봉지역 하상퇴적물의 지질구분이 암쇄상화강암류 분포 지역에 해당되는 각 원소별 상관관계와 암쇄상화강암류의 각 원소별(Kim et al., 1992) 상관관계를 비교하기 위해 상관분석(correlation)을 실시하였다. 주성분 가운데 풍화, 속성 및 변성작용에 안정한 비유동원소인 Al₂O₃(Hendricks and Whitting, 1968)의 함량변화에 따른 상관분석에서는 하상퇴적물에서는 SiO₂와

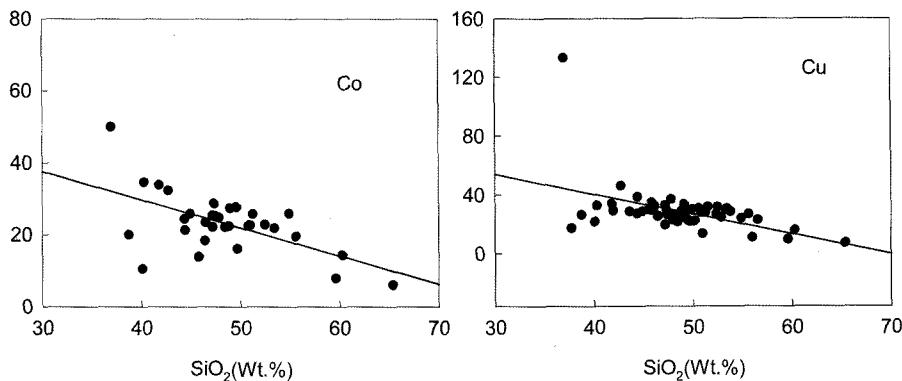


Fig. 6. Correlation of trace element against SiO_2 (Wt.%) for stream sediments in the Unbong area.

Table 4. Correlation coefficients of each element in the stream sediments(S.S.) and bed rocks(mylonitic granites, Kim *et al.*, 1992) in the Unbong area.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5
Al_2O_3	S.S.	0.491**	1	0.041	0.024	0.220	0.272*	0.073	0.312**	-0.137
	bed rocks	-0.808**	1	0.472**	0.505**	0.472**	-0.330	0.282	0.593**	0.657**
Fe_2O_3	S.S.	-0.579**	0.041	1	0.009	0.348**	-0.567**	-0.451**	0.712**	0.124
	bed rocks	-0.738**	0.472**	1	0.219	0.851**	-0.029	-0.236	0.765**	0.797**
Sr	S.S.	-0.010	0.018	0.008	0.882**	0.805**	-0.266*	0.532**	-0.025	0.338
	bed rocks	-0.385	0.276	-0.029	0.814**	-0.195	-0.578**	0.684**	0.120	0.134
V	S.S.	-0.387**	0.186	0.726**	0.271*	0.623**	-0.666**	-0.311*	0.689**	0.293*
	bed rocks	-0.804**	0.504*	0.936**	0.267	0.887**	-0.021	-0.195	0.830**	0.749**
Zr	S.S.	-0.112	0.032	0.285*	-0.113	0.046	-0.255	-0.127	0.323*	0.177
	bed rocks	-0.200	0.170	-0.130	0.477*	-0.125	-0.400	0.393	-0.030	-0.020
Eu	S.S.	0.312	0.501**	-0.131	0.605**	0.485**	0.009	0.547**	0.158	0.087
	bed rocks	-0.443*	0.449*	-0.026	0.829**	-0.170	-0.670**	-0.787**	0.218	0.200
Ce	S.S.	0.526**	0.349	-0.362*	-0.026	-0.135	0.323	0.366*	-0.182	-0.263
	bed rocks	0.003	0.291	-0.383	0.241	-0.361	-0.294	0.453*	-0.073	-0.078
Yb	S.S.	0.696**	0.252	-0.639**	-0.018	-0.374*	0.646**	0.656**	-0.326	-0.314
	bed rocks	-0.731**	0.603**	0.463*	0.879**	0.214	-0.643**	0.615**	0.513	0.688**

**Correlation is significant at the 0.01 level.

*Correlation is significant at the 0.05 level.

0.491**로 정(+)의 상관관계를 가지며, 암쇄상화강암류에서는 0.808**로 부(-)의 상관관계로 하상퇴적물과 암쇄상화강암류에서 정(+)과 부(-), 높은 상관관계를 보인다.

반면에 SiO_2 와 나머지 원소들에 대해서는 하상퇴적물에서는 낮은 상관관계를 가지나, 암쇄상화강암류에서는 대체적으로 높은 상관관계를 가지는 특징을 보여준다. 또한 하상퇴적물에서는 Fe_2O_3 원소도 높은 상관성을 나타낸다. 특히 TiO_2 와 0.712**으로 정(+)의 상관관계를 보여주는데, 이는 Fe_2O_3 이 침침석과 적철석 등의 철산화물 형태인 이차적 부산물로 존재, 잔류하기 때문으로 보인다. 그리고 암쇄상화강암류에서의 Fe_2O_3 ,

원소는 MgO , TiO_2 , SiO_2 , MnO 에서 높은 상관관계를 보여주고 있다(Table 4, Fig. 7).

주성분원소와 미량성분의 상관분석결과, 스트론튬(Sr)에서는 하상퇴적물과 암쇄상화강암류 모두에서 CaO 에서 각각 0.882**, 0.814**의 아주 높은 정(+)의 상관관계를 보이며, Na_2O 및 P_2O_5 에서도 높은 상관관계를 보여주고 있다. 그러나 MgO 에서는 하상퇴적물에서는 높은 정(+)의 상관관계를 보여주나, 암쇄상화강암류에서는 낮은 부(-)의 상관관계를 보여준다. 바나듐(V)에서도 둘 모두에서 Fe_2O_3 에서 각각 0.726**, 0.936**으로 가장 높은 정(+)의 상관관계가 관찰되며, MgO 와 TiO_2 에서도 또한 높은 상관관계를 보여주고 있다. 특히, 암

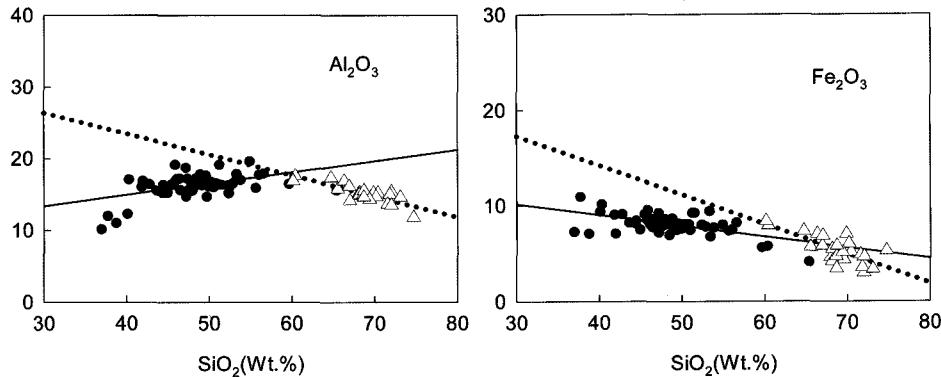


Fig. 7. Correlation of major element against SiO_2 (Wt.%) for stream sediments in the Unbong area. (close circle : stream sediments, open triangle : bed rocks(mylonitic granites, Kim et al., 1992)).

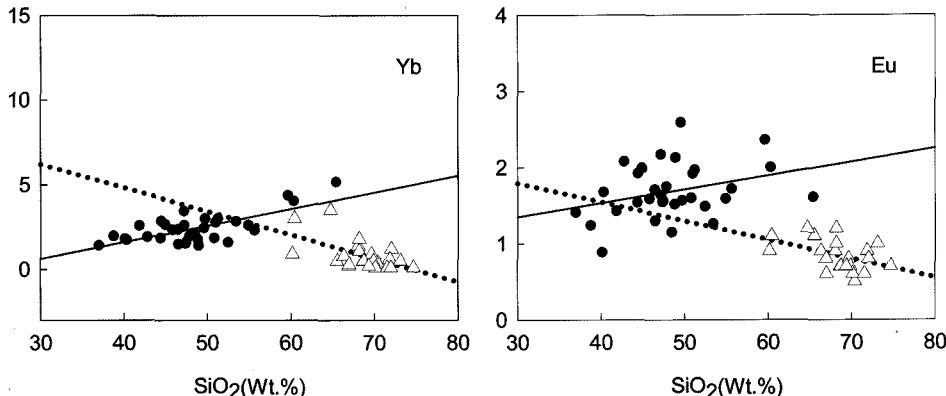


Fig. 8. Correlation of REE against SiO_2 (Wt.%) for stream sediments in the Unbong area. (close circle : stream sediments, open triangle : bed rocks(mylonitic granites, Kim et al., 1992)).

쇄상화강암류에서는 주성분 10개원소중에서 6개 원소가 상당히 높은 상관관계를 보여주는 것을 관찰할 수 있다. 지르코늄(Zr)에서는 하상퇴적물 내에서는 주성분 원소들과 특별한 상관관계를 보여주지 않으며, 암쇄상화강암에서만 P_2O_5 , CaO 에서 각각 0.496*, 0.477*으로 다소 높은 (+)의 상관관계를 보여주고 있다(Table 4).

사질퇴적물 속에는 적게 함유되어 있어 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소 함량은 감소(Lee et al., 1999) 하는 것으로 보고 되어있으나, 하상퇴적물과 암쇄상화강암류에 대하여 비교 분석한 결과, 하상퇴적물에서는 Eu, Ce, Yb원소 각각 0.312*, 0.526**, 0.696**으로 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소 함량이 오히려 같이 증가하는 특징을 보이지만, 암쇄상화강암류에서는 Eu, Ce, Yb원소 각각 -0.443*, 0.003, -0.731**으로 하상퇴적물과 반대로 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소 함량은 감소하는 것을 보여준다(Table 4, Fig. 8).

5. 결 론

1. 운봉지역의 하상퇴적물시료 73개에 대한 분석결과를 종합하면, 주성분원소 함량은 SiO_2 36.94~65.39wt.%, Al_2O_3 10.15~21.77wt.%, Fe_2O_3 3.17~10.90wt.%, CaO 0.55~5.27wt.%, MgO 0.52~4.94wt.%, K_2O 1.38~4.54wt.%, Na_2O 0.49~3.36wt.%, TiO_2 0.39~1.27wt.%, MnO 0.04~0.22wt.%, P_2O_5 0.08~0.54wt.%의 범위를 보이며, 하상퇴적물과 암쇄상화강암류의 주성분 원소의 비교결과에서는 하상퇴적물의 CaO , Na_2O , K_2O 함량은 암쇄상화강암류의 평균함량보다 높았으며, 나머지 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , MnO , P_2O_5 함량은 암쇄상화강류가 더 낮다.

2. 운봉지역의 하상퇴적물에 대한 미량 및 희토류원소 함량은 Cu 4.8~134ppm, Pb 24.2~82.5ppm, Sr 95.9~739ppm, V 19.9~124ppm, Zr 52.9~145ppm,

Li 25.2~93.3ppm, Co 3.87~50.0ppm, Cr 17.4~234 ppm, Hf 3.93~25.2ppm, Sc 4.60~20.6ppm, Th 3.82 ~36.9ppm, 희토류원소인 Ce, Eu, Yb 함량은 각각 45.7~243ppm, 0.89~2.69ppm, 1.42~5.18ppm의 범위를 보인다. 구리(Cu)는 UB-09(함양군 휴천면 월평리) 시료에서는 이상결핍이, UB-32(거창군 위천면 강천리) 시료에서는 과다농집이 관찰되었다. 크롬(Cr)은 UB-57 (하동군 화계면 대성리) 시료에서는 과다농집이 관찰되므로, 독성을 가지는 Cr^{6+} 에 대한 추가적인 조사가 필요하다고 본다. 스트론튬(Sr)은 UB-09(함양군 휴천면 월평리) 시료에서 이상결핍 지역이 확인되는데, 이 지역은 구리(Cu) 이상결핍지역과 같은 지역이다.

3. 하상퇴적물 내의 미량성분 상관분석에서는 구리(Cu)는 SiO_2 의 함량이 증가할수록 Cu의 함량도 증가하는 정(+)의 거동을 보이는 것이 일반적인 특징이지만 연구지역에서는 부(-)의 거동을 하는 특징을 보여준다. 또한 Co는 염기성암석에 풍부한 원소들로 SiO_2 가 증가함에 따라 낮은 함량을 갖는 것으로 알려져 있으며, 연구지역에서도 상관계수 부(-)의 상관성을 가지는 특징을 보여주고 있다.

4. 하상퇴적물과 압쇄상화강암류(Kim et al., 1992)의 주성분원소 상관분석에서는 안정한 비유동원소인 Al_2O_3 는 하상퇴적물의 SiO_2 와 압쇄상화강암류의 SiO_2 모두에서 높은 정(+)의 상관관계를 보여주며, 하상퇴적물의 Fe_2O_3 원소는 높은 상관성을 보인다. 특히 TiO_2 와 높은 상관관계를 보여주고 있다. 이는 Fe_2O_3 가 침침석과 적철석 등의 철산화물 형태인 이차적 부산물로 전류하기 때문으로 보인다.

5. 하상퇴적물과 압쇄상화강암류의 미량성분 및 희토류원소 상관분석에서는 스트론튬(Sr), 바나듐(V)이 하상퇴적물과 압쇄상화강암류의 주성분원소들과 높은 상관관계를 관찰할 수 있으며, 특히 압쇄상화강암류의 바나듐(V)은 10개의 주성분원소 중 6개에서 상당히 높은 상관관계를 보여주고 있다. 지르코늄(Zr)에서는 압쇄상화강암류에서만 높은 상관관계를 관찰할 수 있다. 사질퇴적물속에는 적게 함유되어 있어 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소 함량은 감소하는 것으로 보고 되는데, 하상퇴적물에서는 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소 함량이 오히려 증가하는 특징을 보이나, 압쇄상화강암류에서는 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소 함량은 감소하는 특징을 보인다.

이번 연구를 통하여 운봉지역 하상퇴적물에 대한 주성분원소, 미량성분 원소 및 희토류원소에 대한 자연배경치를 제시하였고, 나아가 그 기반암인 압쇄상화강

암류와의 비교를 토대로 운봉지역에서 지구화학적 재해나 토양오염과 같은 환경오염이 발생하였을 때, 이를 정확히 평가할 수 있는 정성적이고 정량적인 기준치를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 논문에 대한 세심한 심사와 유익한 조언을 해주신 김용준 심사위원님과 익명의 심사위원님께 깊이 감사드립니다. 이 논문은 2007년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Darnley, A. G., Bjorklund, A., Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P.V., Plant, K.A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xie Xuejing, 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 Earth, 259p.
 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.
 Hendricks, D.M. and Whitting, L.D. (1968) Andesite weathering . Geochemical changes from to saprolite. Journal of Soil Science, v. 19. p. 147-153.
 Kim, O.J., Hong, M.S., Yun, S.K., Park, H.I., Park, Y.D., Kim, K.T., Lee, H.Y., Y. S. (1964) Geological Map of Korea: Unbong sheet. Kyeong-sang namdo, Korea, p. 6-12.
 Kim, Y.J., Park, J.B. and Kim, J.B., (1992) Chemical Changes for Mylonitic Granites in Unbong-Ayoung Area. Journal of the Geological Society of Korea, v. 28. p. 403-409.
 Lee, H.K., Cho, A. and Lee, C.H. (1999) Geochemical Dispersion and Enrichment of Fluvial Sediments Depending on the Particle Size Distribution. Econ. Environ. Geol, v. 32. p. 247-260.
 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.
 Shin, S.C., Hwang, S.K., Yeom, S.J., Lee, P.K., Park, S.W., Moon, S.H., You, J.H., Lee, H.K., Yoon, S.T., Hong, Y.K., Ji S.J., Jin, M.S., Lee, J.S., Yeon, B.W., Kim, T.K., Park, J.K., Kim Y.W., Lee, H.Y., Ko, S.M., Lee C.B., Park D.W., Kim, Y.K., Cho, B.W., Lee, B.D., Hong, S.S., Kim, I.J., Choi, S.H., Kim, K.H., Yang, M.K., Shim, S.K., Park, J.T., Lee K.Y., Yoon, Y.Y., Cheon, S.K., Moon, S.W., Park, S.R., You, Y.H. and Kang, M.J. (2001d) Geochemical Atlas of Northern Jeolla Province Korea: Geochemical Atlas of Korea(1:700,000),

- Series 4. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 76p.
- Son, C.M., Lee, S.M., Won, C.G., Chang, K.H. and Kim, Y.C. (1964) Geological Map of Korea: Hwagae sheet. Kyeong-sang namdo, Korea, p. 1-12.
- Taylor, S.R. (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 28. p. 1273-1285.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geophys.* v. 33. p. 241-265.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. America Bull.* 72, p. 175-192.
- 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.

2007년 9월 28일 원고접수, 2007년 12월 6일 게재승인.