

곤양지역 하상퇴적물에 대한 지구화학적 특성

박영석 · 박대우*

조선대학교 자원공학과

Geochemical Characteristics of Stream Sediments in the Konyang Area

Young Seog Park and Dae Woo Park*

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

The purpose of this study is to determine the geochemical characteristics for the stream sediments in the Konyang area. So we can estimate the environment contamination and understand geochemical disaster. We collect the stream sediments samples by wet sieving along the primary channels and slowly dry the collected samples in the laboratory and grind to pass a 200mesh using an alumina mortar and pestle for chemical analysis. Mineralogy, major, trace and rare earth elements are determined by XRD, XRF, ICP-AES and NAA analysis methods. For geochemical characteristics on the geological groups of stream sediments, the studied area was grouped into quartz porphyry area, sedimentary rock area, anorthosite area and gneiss area. Contents of major elements for the stream sediments in the Konyang area were SiO₂ 41.86~76.74 wt.%, Al₂O₃ 9.92~30.00 wt.%, Fe₂O₃ 2.74~12.68 wt.%, CaO 0.22~3.31 wt.%, MgO 0.34~3.97 wt.%, K₂O 0.75~5.93 wt.%, Na₂O 0.25~1.92 wt.%, TiO₂ 0.40~3.00 wt.%, MnO 0.03~0.21 wt.%, P₂O₅ 0.05~0.38 wt.%. The contents of trace and rare earth elements for the stream sediments were Cu 7~102 ppm, Pb 15~47 ppm, Sr 48~513 ppm, V 29~129 ppm, Zr 31~217 ppm, Li 14~94 ppm, Co 5.6~32.1 ppm, Cr 23~259 ppm, Cs 1.7~8.7 ppm, Hf 2.1~109.0 ppm, Rb 34~247 ppm, Sc 4.5~21.9 ppm, Zn 24~609 ppm, Sb 0.8~2.6 ppm, Th 3~213 ppm, Ce 22~1000 ppm, Eu 0.7~5.3 ppm, Yb 0.6~6.4 ppm. Generally, the contents of Al₂O₃ and SiO₂ had a good relationships with each other in rocks but it had a bad relationships in stream sediments for this study area. The contents of Fe₂O₃, CaO, MnO and P₂O₅ had a good relationships with major and minor elements in stream sediments of this study area. The contents of Co and V in the stream sediments had a good relationships with other toxic elements.

Key words : Stream sediments, Major and trace elements, Geochemical characteristics, Geological group, Relationships

이 연구에서는 곤양지역 하상퇴적물에 대한 지구화학적 특성을 규명하고 환경오염과 지질재해에 대해서 이해하고자 한다. 이를 위해 물이 흐르고 있는 1차 수계를 대상으로 하상퇴적물시료 178개를 채취하였고, 실험실에서 자연건조 시켰다. 시료는 알루미늄 몰타르를 이용하여 200메쉬 이하로 분쇄하였고, XRD, XRF, ICP-AES, NAA분석을 실시하였다. 연구지역 하상퇴적물 지질집단별 지구화학적 특성 비교를 위해, 석영반암 지역, 퇴적암류 지역, 아노르도사이트 지역과 편마암류 지역으로 분류하였다. 곤양지역 하상퇴적물의 주성분원소 함량은 SiO₂ 41.86~76.74 wt.%, Al₂O₃ 9.92~30.00 wt.%, Fe₂O₃ 2.74~12.68 wt.%, CaO 0.22~3.31 wt.%, MgO 0.34~3.97 wt.%, K₂O 0.75~5.93 wt.%, Na₂O 0.25~1.92 wt.%, TiO₂ 0.40~3.00 wt.%, MnO 0.03~0.21 wt.%, P₂O₅ 0.05~0.38 wt.%이다. 하상퇴적물의 미량성분원소 및 희토류원소 함량은 Cu 7~102 ppm, Pb 15~47 ppm, Sr 48~513 ppm, V 29~129 ppm, Zr 31~217 ppm, Li 14~94 ppm, Co 5.6~32.1 ppm, Cr 23~259 ppm, Cs 1.7~8.7 ppm, Hf 2.1~109.0 ppm, Rb 34~247 ppm, Sc 4.5~21.9 ppm, Zn 24~609 ppm, Sb 0.8~2.6 ppm, Th 3~213 ppm, Ce 22~1000 ppm, Eu 0.7~5.3 ppm, Yb 0.6~6.4 ppm의 범위를 보인다.

주요어 : 하상퇴적물, 주성분과 미량성분원소, 지구화학적 특징, 지질집단, 상관관계

*Corresponding author: ramese@nate.com

1. 서 론

현대 사회는 산업화와 도시화로 인하여 수많은 환경 문제가 야기되고, 이에 대한 심각성이 사회 발달과 더불어 인간이 해결해야 할 가장 중요한 과제 중 하나로 떠오르게 되었다. 이러한 환경문제를 해결하기 위해선 무엇보다도 환경을 구성하고 영향을 주는 근본적인 원인에 대해서 보다 체계적이고 정확한 기초 조사가 이루어져야 한다.

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).

지구화학지도 작성과 지구화학적 기준치를 설정시 하상퇴적물 입자의 크기는 100mesh 표준체로 체질하여 통과하는 150 μm 보다 미세한 무기질 실트-점토입자를 대표시료로 하는 것이 가장 효율적인 것으로 알려져 있고(신성천 등, 2000; Darnley *et al.*, 1995), 다양한 크기의 표시시료를 비교 분석한 결과 우리나라의 경우에도 100mesh 이하의 입자들이 원소함량을 반영하는데 가장 적합한 것으로 나타났다(이현구 등, 1999).

최근의 하상퇴적물을 이용한 연구는 지질집단별 지구화학적 특성 연구(김중균과 박영석, 2005; 박영석 등, 2002), 지질집단별 자연배경치 연구(박영석 등, 2003)

가 있다. 이러한 연구를 토대로 곤양지역 1:50,000 곤양지형도폭지역의 하상퇴적물에 대해, 1:50,000 진교지질도폭(김남장과 강필중, 1965)과 단성지질도폭(최유구와 정창희, 1964) 등의 기존연구와 야외조사를 통해 네 개의 지질집단으로 분류하여, 지질집단별 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소에 대한 함량특성 및 원소별 정규분포를 도시하여 자연배경치를 제시하고 상관관계를 통해 하상퇴적물에서의 원소들의 분산특성을 비교분석하고자 한다.

2. 연구지역의 지형 및 지질

2.1. 연구지역의 지형과 수계

연구지역은 1:50,000 지형도 중, 곤양도폭에 해당하며, 지리산맥인 하동군을 중심으로 북으로는 산청군, 남서쪽으로 광양시 남동쪽으로는 사천시를 포함하는 동경 127°45'~128°00', 북위 35°00'~35°15'지역으로 한반도의 남단에 위치하여 있으며, 북쪽으로 소백산맥의 남단에 위치한 지리산의 남동쪽, 남쪽은 남해와 달해 있는 지역에 위치하여 비교적 북고남저의 장년기말 내지 노년기 지형을 보여준다. 수계는 수지상(dendritic drainage pattern)으로 크게 2분된다. 중앙 및 서부는 북에서 남으로 흘러 섬진강에 유입되는 황천을 비롯한 크고 작은 하천 및 이명산을 분수령으로 남류하여 진교만으로 유입하며, 동부는 대야천, 초양천을 따라 북서에서 동남 방향으로 흘러 광포만에 유입되고, 그 중 일부는 덕천강을 따라 남강에 유입된다(김남장과 강필중, 1965).

Table. 1. Rock name and sample number for geological groups.

Geological groups	Rock name	Sample No.
Qp	Qp(Quartz porphyry)	4, 12, 26, 97, 98, 116, 117
	Go(Grano diorite)	146~148, 155, 156, 169
Se	Mm(Madong formation)	51~57, 62~69, 92, 100~115,
	Mw(Wonji formation)	118~129, 152, 154, 157~168, 170
An	An(Anorthosite)	30, 37, 38, 45~47, 71, 87~89, 93
Gn	Gnp(Porphyroblastic gneiss)	
	Gnm(Massive granitic gneiss)	
	Gnl(Leucocratic granitic gneiss)	
	Gnhl(Leucocratic hornblende gneiss)	1~3, 5~11, 13~29
	Gnb(Hornblende biotite gneiss)	31~36, 39~44, 48~50
	Gns(Spotted gneiss)	58, 63~70, 72~86, 90, 91
	Gnme(Metatectite gneiss)	94~96, 130, 132, 134~145
	Gnh(Hornblende gneiss)	149~151
	Gng(Gray granitic gneiss)	
	Sch(Meta sediments)	
Grn(Granulite)		

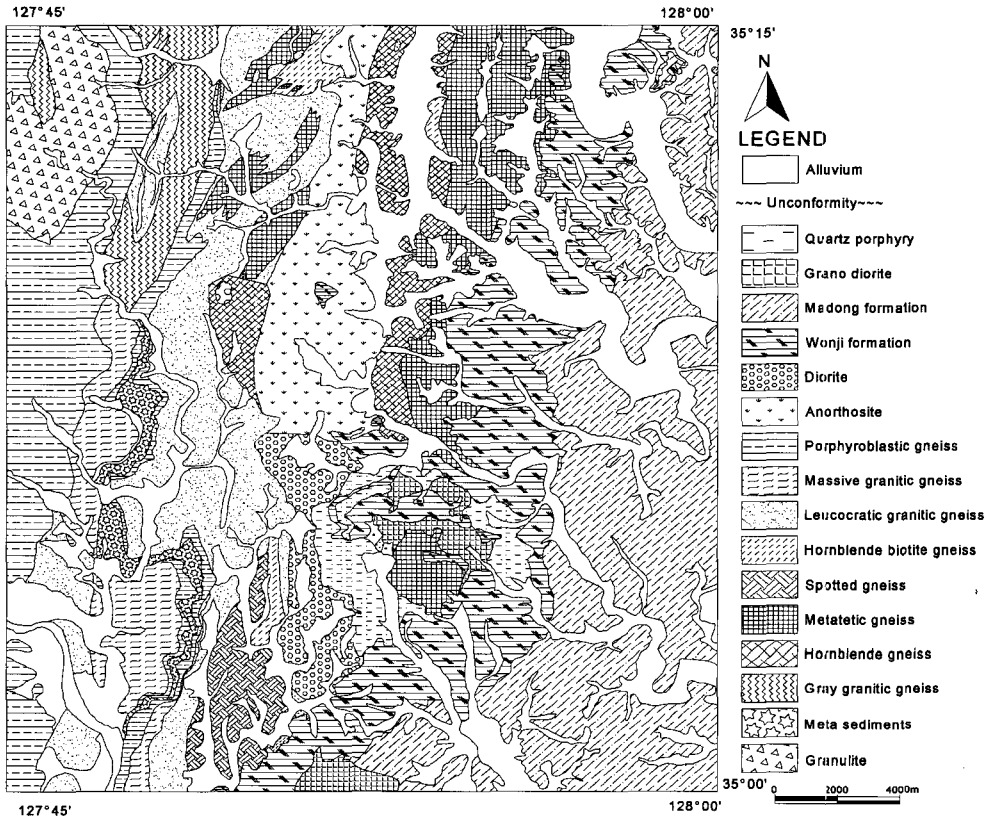


Fig. 1. Geological map of the Konyang area.

2.2. 기반암에 따른 분류

곤양지역의 1차 수계(일부 2차 수계)에서 채취한 하상퇴적물에 대해 지질집단별 주성분원소와 미량성분원소 및 희토류원소의 특성을 알아보기 위해서 진교지질도폭(김남장과 강필중, 1965)과 단성지질도폭(최유구와 정창희, 1964), 그리고 야외조사를 통해 연구지역의 기반암 및 수계 상부지역의 지질을 파악한 후에 암석분포 면적이 넓은 4개 집단으로 분류하여, 석영반암 지역, 퇴적암류 지역, 아노르도사이트 지역과 편마암류 지역으로 지질집단을 분류하였다(Table 1, 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 가깝고 현재 물이 흐르고 있는 1차 수계(일부 2차 수계)를 대상으로 하상퇴적물 시료에 대한 채취가 이루어졌다(Fig. 2).

하상퇴적물 시료채취 시에는 스테인레스 스틸로 만들어진 시료채취용 삽을 사용하여 오염을 피하였고, 시료의 대표성을 높이기 위하여 4~9군데에서 100~200g 씩 채취하여 하나의 복합시료로 만들었다.

3.2. 시료분석

하상퇴적물에 대한 화학분석은 한국지질자원연구원 에서 실시하였다. 주성분원소인 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O 및 P₂O₅는 X-선형광 분광법(XRF)으로 분석하였고, 사용된 기기는 일본 Shimadzu사 MXF-2100이다. 미량성분원소 가운데 As, Ba, Be, Cd, Cu, Li, Mo, 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, Th, Sc, Ce, Yb, Hf, Eu 등은 중성자 방사화분석법

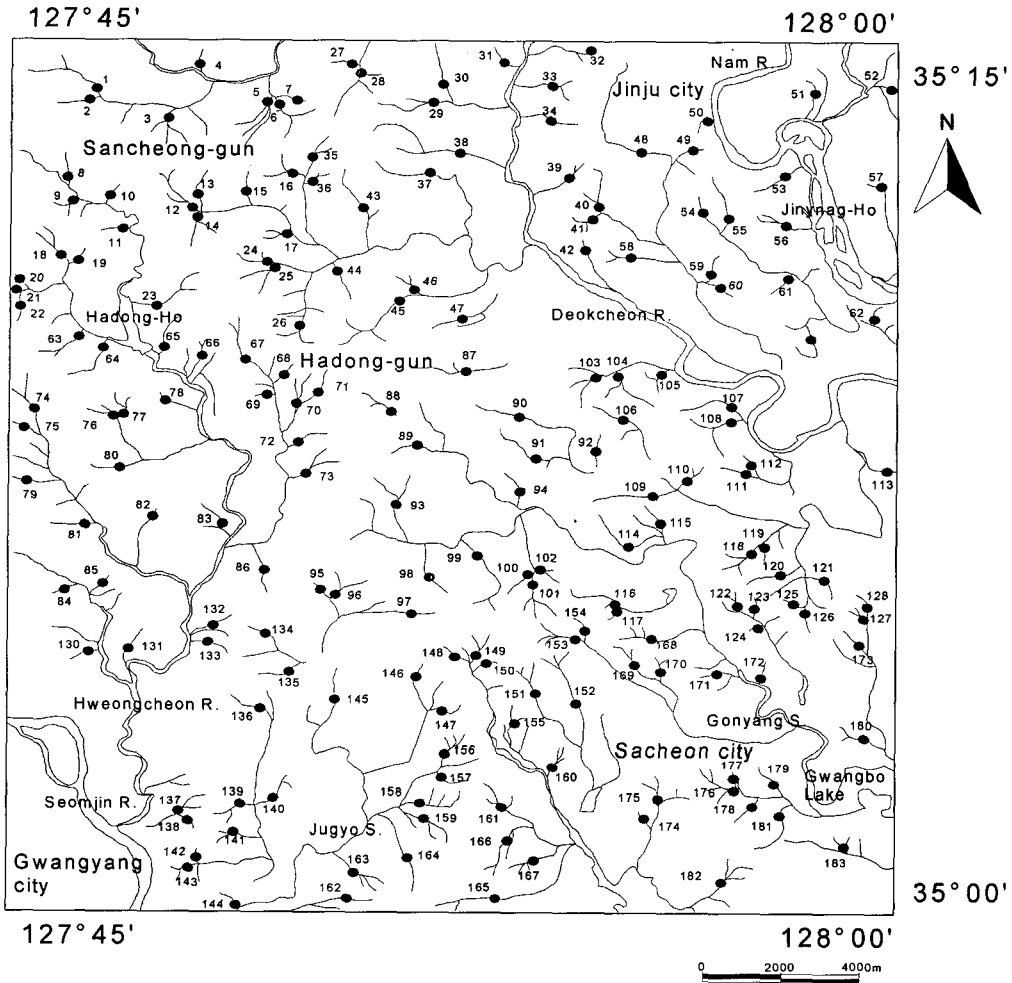


Fig. 2. Sampling site map of the Konyang area.

(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. 퇴적물의 광물감정을 위한 X-선 회절분석(XRD)은 조선대학교 공동기기센터의 X'Pert PRO MPD를 이용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 하상퇴적물의 주성분원소 특성

하상퇴적물은 총 178개의 시료가 채취되었으며, 그 중 석영반암 지역 하상퇴적물의 시료는 13개, 퇴적암류 지역은 67개, 아노르도사이트 지역은 11개 그리고 편

마암류 지역은 87개이며, 지질집단별 주성분원소 함량의 범위는 Table 2과 같다. 하상퇴적물에 대한 지질집단별 주성분원소의 비교에서는 SiO_2 평균함량은 퇴적암류 지역 > 석영반암 지역 > 편마암류 지역 > 아노르도사이트 지역 순이지만 그 차이는 크지 않고, Al_2O_3 , CaO , MnO 함량 중앙값은 아노르도사이트 지역, Fe_2O_3 , MgO , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 함량 중앙값은 편마암류 지역, SiO_2 , Na_2O 함량 중앙값은 퇴적암 지역에서 높은 값을 나타낸다. 석영반암 지역은 주성분원소의 중앙값에는 높은값을 갖지는 못하였지만, 비교적 함량범위가 넓게 분산되어 있다(Fig. 3). 이러한 주성분원소의 함량특성은 지질집단별로 각 암석들의 구성성분에 차이가 날 뿐만 아니라, 형성시기가 선캠브리아기부터 중생대 화강암에 이르기까지 많은 차이가 있으므로 해서 기계적·화학적 풍화의 정도가 각기 다르기 때문

Table 2. Contents(wt.%) of major elements of the stream sediments for the geological groups in the Konyang area.

Elements	Geological groups	Min	Max	Mean	S.D.	G.M.	Median
SiO ₂	I	47.19	71.35	60.56	7.88	60.07	60.35
	II	53.22	76.74	69.67	5.34	69.46	71.25
	III	46.81	56.71	49.97	3.28	49.87	49.20
	IV	41.86	73.36	53.58	5.48	53.31	53.07
Al ₂ O ₃	I	12.81	19.45	16.10	1.93	15.99	15.78
	II	9.92	19.46	13.16	2.15	13.00	12.71
	III	17.04	30.00	24.20	3.99	23.89	24.01
	IV	12.20	23.69	17.70	1.94	17.60	17.49
Fe ₂ O ₃	I	3.16	9.51	5.72	2.53	5.24	4.56
	II	2.84	7.83	4.26	1.05	4.16	3.99
	III	4.90	9.76	7.37	1.49	7.23	7.31
	IV	2.74	12.68	8.09	2.24	7.72	8.60
CaO	I	0.23	2.98	0.97	0.79	0.73	0.79
	II	0.22	1.38	0.43	0.22	0.39	0.35
	III	1.29	3.31	2.20	0.59	2.13	2.11
	IV	0.29	2.74	1.03	0.43	0.95	1.01
MgO	I	0.41	2.70	1.16	0.73	0.96	1.00
	II	0.34	1.76	1.07	0.29	1.02	1.09
	III	1.09	3.97	1.71	0.84	1.59	1.48
	IV	0.51	2.94	1.45	0.51	1.35	1.55
K ₂ O	I	2.02	4.96	2.69	0.77	2.61	2.49
	II	1.93	3.55	2.43	0.32	2.42	2.39
	III	0.75	3.80	1.38	0.90	1.21	1.08
	IV	1.08	5.93	3.33	0.81	3.22	3.31
Na ₂ O	I	0.40	1.88	0.81	0.44	0.73	0.62
	II	0.25	1.68	0.73	0.27	0.69	0.72
	III	0.31	0.73	0.59	0.14	0.57	0.62
	IV	0.27	1.61	0.66	0.28	0.61	0.61
TiO ₂	I	0.40	1.18	0.72	0.26	0.68	0.62
	II	0.46	1.18	0.79	0.12	0.78	0.80
	III	0.43	1.33	0.85	0.25	0.81	0.93
	IV	0.51	3.00	0.98	0.34	0.93	0.98
MnO	I	0.06	0.14	0.11	0.03	0.10	0.11
	II	0.03	0.16	0.08	0.03	0.07	0.07
	III	0.07	0.17	0.12	0.03	0.11	0.12
	IV	0.03	0.21	0.11	0.03	0.10	0.11

I: quartz porphyry area. number of samples=13.
 II: sedimentary rock area. number of samples= 67.
 III: anorthosite area. number of samples= 11.
 IV: gneiss area. number of samples= 87.

인 것으로 본다.

연구지역 주성분원소들의 히스토그램을 살펴보면 SiO₂ 성분은 정규분포, 나머지 원소들은 정적분포를 이루고 있으며, CaO, MgO는 시료번호 87(하동군 정수리 부근 3.31 wt.%, 3.97 wt.%), K₂O는 시료번호 145(하동군 양보면 박달리 부근 5.93wt.%), 그리고 TiO₂는 시료번호 31(하동군 옥종면 두양리 부근 3.0 wt.%)에서 성분의 함량이 연구지역 내의 다른 지역에 비해

과다하게 농집되어 있음을 히스토그램을 통해 관찰할 수 있다(Fig. 4). 그리고 하상퇴적물의 광물의 형태와 광물학적 조성을 알아보기 위한 X-선회절 분석결과 시료번호 87(하동군 옥종면 정수리 부근)은 석영, 리이베카이트, 사장석, 미사장석, 일라이트, 몬모릴로나이트, 녹니석 등의 광물로 구성되어있고, 시료번호 178(사천시 서포면 외구리 부근)은 석영, 조장석, 사장석, 미사장석, 몬모릴로나이트, 일라이트 등의 광물로 구성되어 있다(Fig. 5).

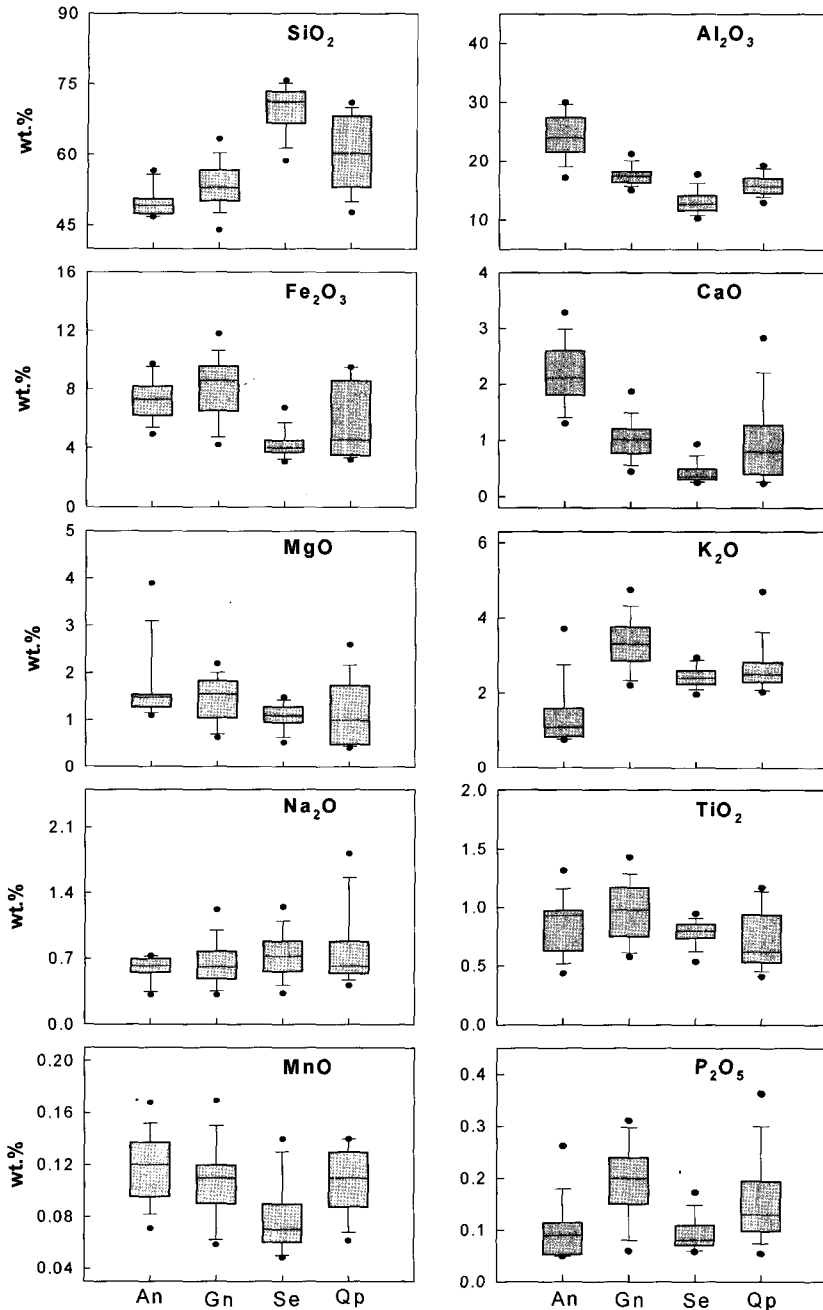


Fig. 3. Comparison diagram for the geological groups in Konyong area. An : anorthosite area. Gn : gneiss area. Se : sedimentary rock area. Qp : quartz porphyry area.

4.2. 하상퇴적물의 지질집단별 미량성분원소 및 희토류원소 특성

아노르도사이트 지역, 편마암류 지역, 퇴적암류 지역, 석영반암 지역 지역에서 미량성분원소 및 희토류원소 함량의 범위는 Table 3와 같다.

편마암류 지역에서는 Cu, Ce, Eu, Li, Rb, Sr, Th, Yb, Zn 함량의 중앙값이 다른 지질집단 지역에 비해 높은 중앙값을 보이고 있으며, 이 중에서 Ce, Rb, Th, Yb, Zn 원소들이 다른 지질집단보다 비해 특히 더 높은 함량을 보이고 있는 것으로 관찰되었으며, 퇴적암

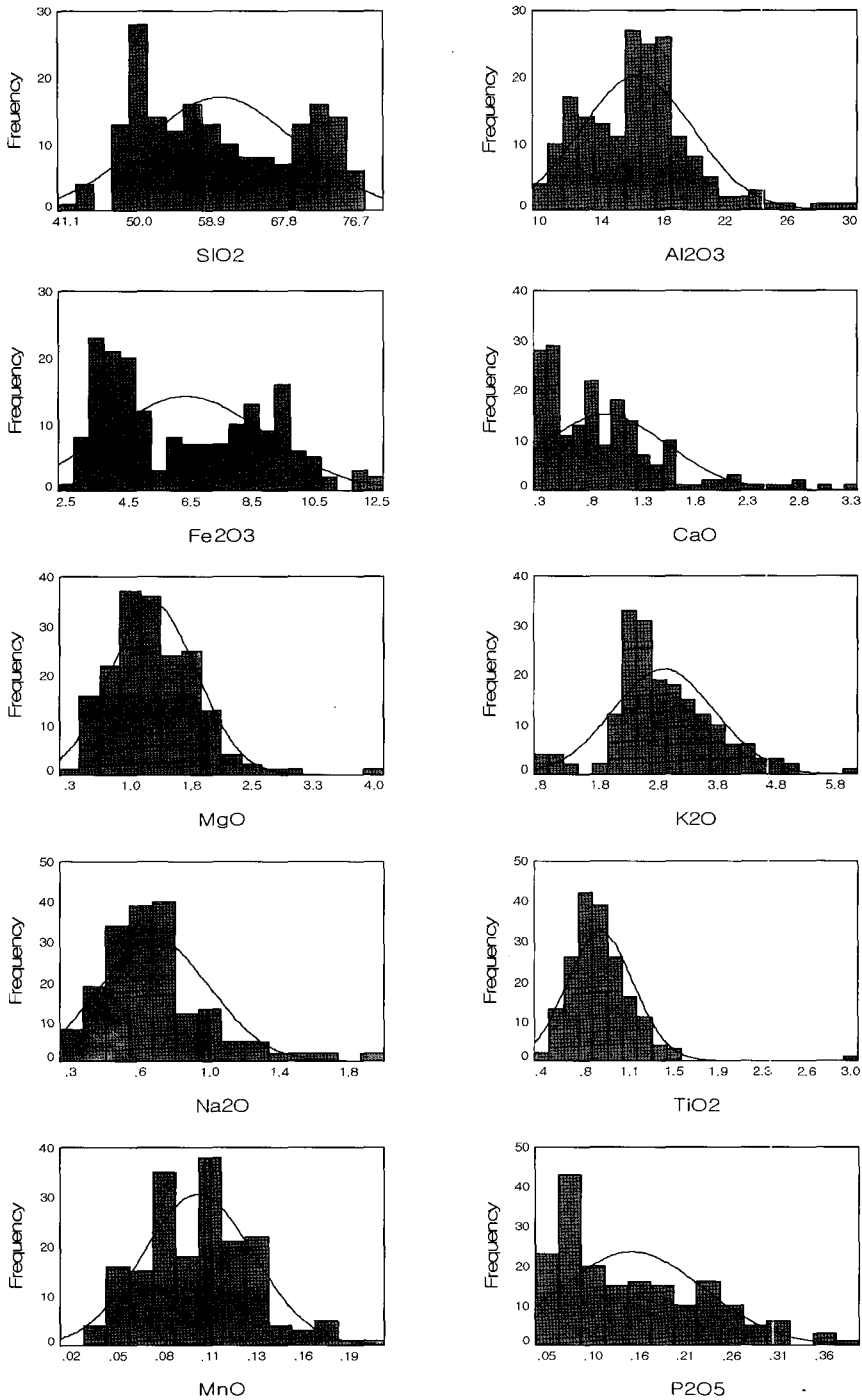


Fig. 4. Histograms of major elements in the Konyang area(unit in wt.%).

류 지역에서는 Zr, Cr, Cs, Hf, Sc 함량의 중앙값이, 아노르도사이트 지역에서는 Pb, Co 함량의 중앙값이 각각 다른 지질집단 지역보다 높은 함량을 보이고 있

는 것으로 관찰되었고, V 함량의 중앙값은 아노르도사이트 지역과 편마암류 지역이 함께 높게 관찰되었다 (Table 3).

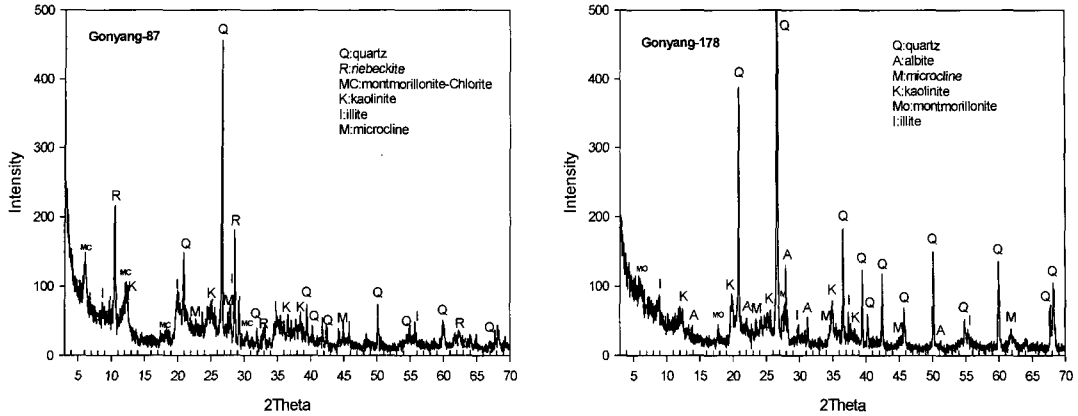


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of representative stream sediments.

Table 3. Contents(mg/kg) of trace and rare earth elements of the stream sediments for the geological group in the Konyang area.

Geological groups	Cu*	Pb*	Sr*	V*	Zr*	Li*	Co**	Cr**	Cs**	Hf**	Rb**	Sc**	Zn**	Th**	Ce**	Eu**	Yb**	
Qz	Min	8	22	50	31	63	6.3	36	3.1	5.2	58	4.5	41	8	79	0.8	1.4	
	Max	42	33	513	112	100	28.9	138	6.0	8.4	164	19.7	138	21	161	3.0	3.2	
	Mean	19	26	176	62	79	16.7	73	4.2	6.3	105	10.9	96	12	105	1.5	2.1	
	STD	17	26	140	57	78	14.4	65	4.0	6.2	99	9.6	88	11	101	1.3	2.0	
	G.M.	16	26	146	55	77	16.2	69	3.4	5.8	98	9.9	104	10	98	1.3	2.0	
	Median	10	3	131	26	11	24	9.6	42	1.4	1.2	43	6.0	39	6	34	0.9	0.7
Se	Min	8	15	48	32	56	8.5	41	2.9	6.5	90	5.6	24	12	72	0.7	1.1	
	Max	102	33	234	129	217	24.2	259	8.7	22.3	203	15.8	609	24	193	5.3	3.5	
	Mean	23	23	91	64	84	12.9	118	5.0	11.2	126	9.5	79	16	116	1.3	2.2	
	STD	12	4	38	17	21	3.5	47	1.4	3.4	31	2.1	105	3	24	0.8	0.6	
	G.M.	21	23	85	63	82	12.5	110	4.8	10.7	122	9.3	59	15	114	1.2	2.2	
	Median	21	23	83	63	81	23	12.5	114	4.6	11.1	119	9.0	55	15	110	1.2	2.2
An	Min	16	27	123	48	32	13.7	43	1.7	2.1	34	10.8	34	3	22	0.8	0.6	
	Max	28	47	231	125	86	32.1	252	4.3	13.4	147	19.9	147	18	74	1.9	3.4	
	Mean	21	36	161	75	67	20.3	113	3.1	5.4	80	14.0	66	6	40	1.4	1.4	
	STD	4	6	31	22	15	5.3	57	0.8	4.2	42	2.7	33	5	17	0.3	0.8	
	G.M.	21	35	159	73	65	32	19.7	103	3.0	4.5	70	13.8	61	5	37	1.4	1.3
	Median	22	35	161	72	68	25	19.5	97	3.3	3.6	67	14.1	58	4	32	1.5	1.3
Gn	Min	7	22	64	29	31	7.3	37	2.1	4.4	100	6.7	41	4	34	0.8	1.0	
	Max	54	43	312	127	137	26.2	126	8.7	109	247	21.9	250	213	1000	2.9	6.4	
	Mean	27	31	156	75	75	16.7	82	4.3	15.3	162	15.3	107	28	174	1.8	3.1	
	STD	11	5	48	22	20	4.7	23	1.2	18.4	38	3.9	39	38	174	0.5	1.2	
	G.M.	25	31	149	72	72	16.0	78	4.2	11.1	158	14.8	100	19	133	1.7	2.9	
	Median	24	30	144	72	76	17.1	81	4.5	9.3	162	16.1	99	17	142	1.7	3.1	

Qz: quartz porphyry area. (*number of samples=13, **number of samples=5)

Se: sedimentary rock area. (*number of samples=67, **number of samples=30)

An: anorthosite area. (*number of samples=11, **number of samples=10)

Gn: gneiss area. (*number of samples=87, **number of samples=39)

4.3. 지질집단별 유해원소의 특성

4.3.1. 구리(Cu)

구리는 대표적인 친동원소인 중금속으로 염기성 마그마의 초기 결정단계에서 마그마로부터 유리되어 나

오므로 규산염 광물에는 들어갈 수 없는 특징을 가진다(Wager and Mitchell, 1951). 또한 모든 생물체에 필요한 미량원소로 분류되지만 다량 섭취하면 독성이 있고, 반대로 토양 내에 구리함량이 너무 낮으면(Sppm

이하) 농작물이나 나무에 결핍현상이 생길 수 있으며, 반추동물에서는 흑색소 결합 또는 골격 및 연결조직 결합이 생길수도 있다(최석원과 김역수, 1996; Merian, 1991).

상부 대륙지각에서 25 ppm, 토양에서 2~100 ppm (Levinson, 1974; Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995; Turekian and Wedephol, 1961)정도 함유되어 있다.

구리의 함량을 지질집단별로 살펴보면, 아노르도사이트 지역에서 16~28 ppm, 편마암류 지역에서 7~54 ppm, 퇴적암류 지역에서 8~102 ppm, 석영반암 지역에서 8~42 ppm이다. 모든 지역이 한계인 5 ppm 보다 높게 관찰되어 결핍지역은 없음이 예상되며, 구리함량 평균치(25 ppm)은 상부 대륙지각의 25 ppm와 일치하였다. 시료번호 128(경남 사천시 곤양면 목곡리)은 102 ppm으로 토양의 tolerable level인 100 ppm보다 높은 함량특성을 가진다. 이 지역은 퇴적암(마동층)이며, 동일한 site에 위치한 시료번호 127(18 ppm), 시료번호 173(15 ppm)는 구리의 평균함량치보다 낮은 것으로 보아, 모암의 풍화 운반 및 퇴적의 과정에서 특히, 원소의 이동과 잔류에 의해 과잉 농집된 것으로 생각된다.

4.3.2. 바나듐(V)

바나듐은 중성암과 산성암에 비해 염기성암에 특징적으로 부화되고, 칼크 아카리형·알카리형·솔레아이트형을 위시한 초기 마그마형은 대체로 유사한 함량을 가지며(Taylor, 1964), 사암(20 ppm)과 석회암(15 ppm)에서 낮고, 셰일(130 ppm)등 이질암에서 현저하게 높고 화강암(20 ppm)에는 적게 함유된다(Levinson, 1974; Taylor, 1964; Turekian and Wedephol, 1961). 또한 동식물과 인체내 지방에 광범위하게 존재하며 유기체내 적당량의 바나듐은 지방 신진대사와 콜레스테롤의 분해에 유리하고, 바나듐의 결핍은 동물과 조류의 성장에 영향을 끼치며 해모글로빈의 농도를 저하시킨다(최석원과 김역수, 1996).

바나듐의 함량을 지질집단별로 살펴보면, 아노르도사이트 지역에서 48~125 ppm, 편마암류 지역에서 29~127 ppm, 퇴적암류 지역에서 32~129 ppm, 석영반암 지역에서 31~112 ppm이다. 바나듐의 함량 평균치와 중앙값은 70 ppm, 65 ppm으로 관찰되었으며, 시료번호 178(사천시 서포면 외구리 부근)은 129 ppm으로 가장 높은 함량 특성을 가지는데, 이 지역은 퇴적암(마동층)으로 단속적인 역암 내지 함력 조립사암과 사

암, 셰일, 석회암으로 구성되어 있어 높은 함량치를 가진다.

4.3.3. 코발트(Co)

코발트는 중금속이며 희유원소이다. Co²⁺이온의 이온크기(0.74Å)는 Fe²⁺이온(0.77Å)과 거의 같으므로 Co²⁺는 Fe²⁺화합물속에 위장되어 있다. 그러나 Co:Fe의 비율은 마그마 분화초기에 만들어진 광물에서 가장 크고 분별작용이 진행됨에 따라 점차 감소하는 경향이 있으며(Mason and Moore, 1982), 토양과 목초지에서 코발트가 결핍되면 양들의 빈혈과 체중감량을 야기시키는, 관목병이 발병하고, 반대로 코발트 함량이 과다한 경우에는 철과 구리의 결핍을 초래하는 수가 많다(Merian, 1991; Reimann and Caritat, 1998).

상부 대륙지각에서 10 ppm, 토양중의 평균함량은 8 ppm정도이며, 비교적 염기성암에서 풍부하다(Levinson, 1974; Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995; Turekian and Wedephol, 1961).

코발트의 함량을 지질집단별로 살펴보면, 아노르도사이트 지역에서 13.7~32.1 ppm, 편마암류 지역에서 7.3~26.2 ppm, 퇴적암류 지역에서 8.5~24.2 ppm, 석영반암 지역에서 6.3~28.9 ppm이다. 모든 지역이 한계인 5 ppm 보다 높게 관찰 되어 결핍지역은 없음이 예상되며, 시료번호 87(하동군 옥종면 정수리 부근)에서 32.1 ppm으로 곤양지역의 평균함량인 15.8 ppm 보다 2배 높은 함량을 보여 과다농집이 되어 있다. 이 지역은 일제시대부터 코령토광산이 개발되었는데, 코령토의 초기 함량비와 풍화, 운반 및 퇴적의 과정에서 특히 원소의 이동과 잔류 등의 원인에 의한 것으로 사료된다.

4.4. 주성분원소와 유해원소의 상관관계

4.4.1. 상관관계와 상관계수

상관관계(Correlation)분석이란 연구하고자 하는 변수들 간의 관련성을 분석하기 위해 사용하는 분석 방법으로서, 하나의 변수가 다른 변수와 관련성이 있는지, 있다면 어느 정도의 관련성이 있는지를 알아보기 위한 분석기법이다. 변수들 간의 관련성을 알아보기 위해 상관계수인 피어슨(Pearson) R계수를 이용해 관련성의 유무와 정도를 파악한다. 변수들 간의 상관관계 분석은 연구의 이론적 체계의 도입된 변수들 간의 관계를 개관할 수 있고, 설정된 가설의 검증관계를 예측할 수 있는 선행 자료가 된다는 점에서 중요하게 다루어진다(윤영선, 2000).

4.4.2. 주성분간의 상관계수

하상퇴적물의 시료의 원소변화는 암석에서와 달리 다양한 상관관계 특성을 보이므로 이를 고려하여 곤양 지역 주성분원소간의 상관관계를 알아보기 위해 상관관계분석을 실시하였다(Table 4).

SiO₂와 Al₂O₃에 대해 좋은 상관성을 보이는 암석에서의 주성분원소와 같이 하상퇴적물에서도 높은 상관관계가 나타났으며, 나머지 Fe₂O₃, CaO, MnO, P₂O₅

에 대해서도 높은 상관성을 보인다. 상관계수의 대부분이 부(-)의 상관관계로 나타내며, Fe₂O₃ 성분도 높은 상관성을 나타낸다. 특히 Fe₂O₃와 SiO₂에서는 가장 높은 -0.809**를 보이며, Na₂O, MgO, MnO, P₂O₅에서도 높은 상관성을 보여주는데; 이는 모암 중의 초기 함량비와 풍화, 운반 및 퇴적의 과정에서 특히 원소의 이동과 잔류 등의 원인에 의한 것으로 사료된다. 또한 Fe₂O₃ 성분이 자철석과 적철석 등의 철 산화물 형태인

Table 4. Correlation coefficients of each major elements of the stream sediments in the Konyang 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
SiO ₂	1.000	-0.734**	-0.809**	-0.0684**	-0.568**	-0.107	0.147*	-0.426**	-0.623**	-0.627
Al ₂ O ₃		1.000	0.465**	0.699**	0.317**	0.000	-0.050	0.091	0.361**	0.172*
Fe ₂ O ₃			1.000	0.521**	0.656**	0.173*	-0.283**	0.734**	0.683**	0.755**
CaO				1.000	0.634**	-0.214**	0.191**	0.327**	0.520**	0.328**
MgO					1.000	-0.257**	0.093	0.580**	0.541**	0.408**
K ₂ O						1.000	-0.003	-0.060	-0.067	0.310**
Na ₂ O							1.000	-0.201**	-0.169**	-0.129
TiO ₂								1.000	0.551**	0.497**
MnO									1.000	0.582**
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)

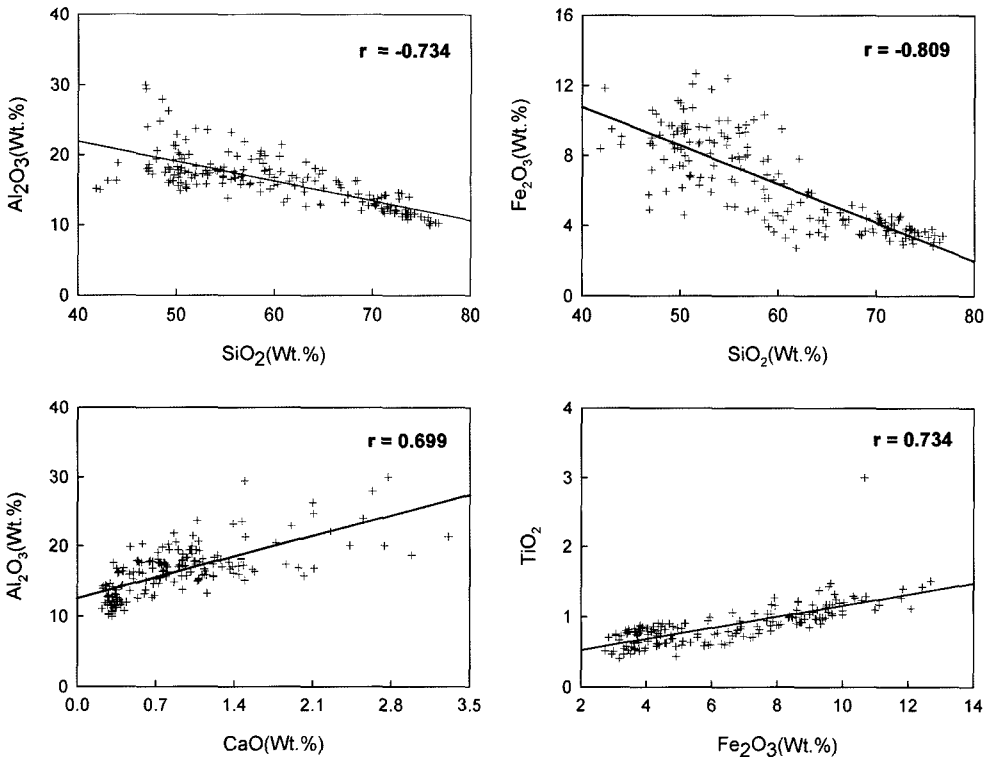


Fig. 6. Correlation between major element against major element for the stream sediments in the Konyang area.

이차적 부산물로 존재, 잔류하기 때문에 추측된다 (Fig. 6).

주성분원소 가운데 풍화, 속성 및 변성작용에 안정한 비유동원소인 Al_2O_3 함량 변화에 따른 상관표를 살펴보면 Al_2O_3 의 함량이 증가함에 따라 SiO_2 는 높은 부(-)의 상관관계를 보이며, Fe_2O_3 , CaO 는 중간정도 정(+)의 상관관계를 보였고, MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 성분은 특별한 상관관계를 보이지 않았다. 그리고 K_2O 성분은 상관관계가 전혀 없는 것으로 분

석되었다(Table 4).

4.4.3 주성분간과 유해원소간의 상관계수

일반적으로 사질퇴적물 속에는 적게 함유되어 있어 SiO_2 함량이 높아질수록 희토류원소의 함량은 감소(이찬희 등, 1999)하게 되나, 연구 지역에서도 리튬, 납, 바나듐은 SiO_2 함량과 부(-)의 높은 상관성을 보여 준다(Table 5).

다른 원소들보다 이동성이 큰 구리는 SiO_2 의 함량

Table 5. Correlation coefficients between major and toxic elements of the stream sediments in the Konyang area.

	Cu	Li	Pb	Th	Cr	Co	Zn	V
SiO_2	-0.371**	-0.543**	-0.659**	-0.100	0.225*	-0.615**	-0.210	-0.534*
Al_2O_3	0.074	0.368**	0.731**	-0.095	-0.167**	0.454**	-0.005	0.248*
Fe_2O_3	0.516**	0.567**	0.558**	0.253*	-0.113**	0.738**	0.323**	0.638*
CaO	0.131	0.291**	0.500**	-0.020	0.005	0.548**	0.063	0.407*
MgO	0.555**	0.377**	0.312**	0.188	0.382**	0.781**	0.161	0.793*
K_2O	-0.083	0.167**	0.165*	0.126	-0.493**	-0.341**	0.168	-0.294*
Na_2O	-0.224**	-0.172*	-0.151*	-0.015	-0.085	-0.205	-0.059	-0.129
TiO_2	0.443**	0.297**	0.240**	0.464**	0.079	0.563**	0.312**	0.638*
MnO	0.401**	0.367**	0.372**	0.257*	0.014	0.669**	0.367**	0.586*
P_2O_5	0.388**	0.445**	0.364**	0.392**	-0.272*	0.372**	0.485**	0.420*

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

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

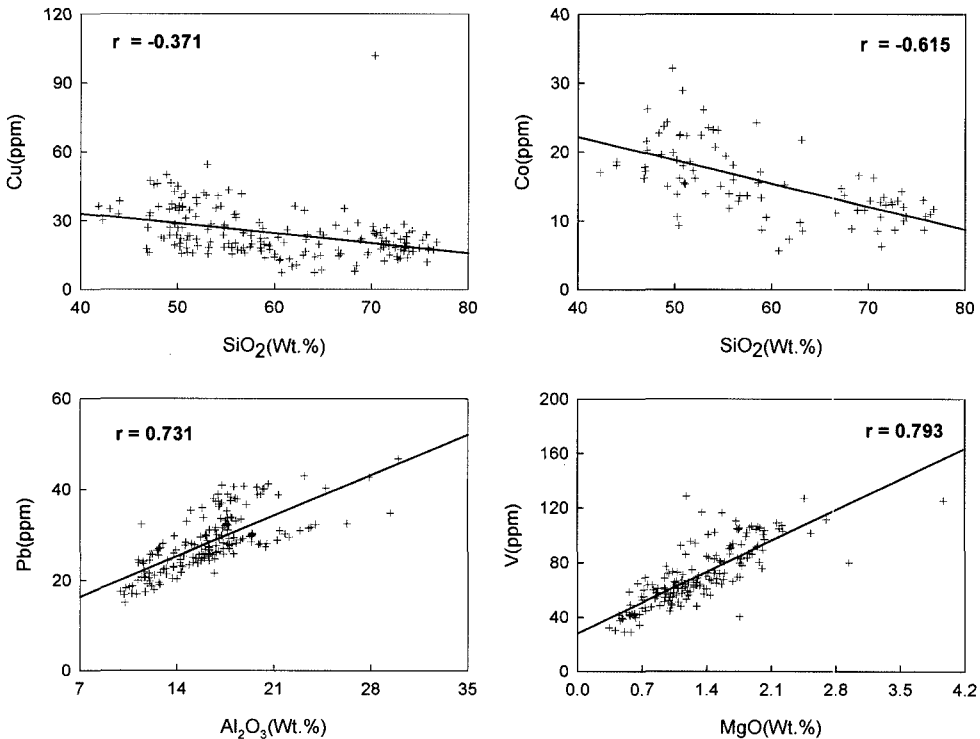


Fig. 7. Correlation between major element against toxic element for the stream sediments in the Konyang area.

이 증가할수록 구리의 함량도 증가하는 정(+)의 거동을 보이는 것이 일반적인 특징이지만(이현구 등, 1999), 연구지역에서는 상관계수가 -0.371**로 부(-)의 거동으로 낮은 상관성을 가지는 특징을 보여주며, 코발트는 염기성암석에 풍부한 원소들로 SiO₂가 증가함에 따라 낮은 함량을 갖는 것으로 알려져 있는데 (Taylor and McLennan, 1985), 연구지역에서도 상관계수 -0.615**로 부(-)의 거동으로 높은 상관성을 보여주고 있다(Fig. 7). 또한 Al₂O₃에 대해서는 납, 코발트 함량변화에 높은 상관관계를 보이며, 아연에서는 극히 낮은 상관성을 보여준다. MgO와 바나듐은 가장 높은 상관성(r=0.793**)을 가지는 것으로 관찰된다(Table 5).

4.4.4. 유해원소간의 상관계수

하상퇴적물에서 유해원소들에 대한 상관분석을 실시한 결과 대부분 정(+)의 상관성을 가지고 있으며, 이 중 코발트와 바나듐의 상관계수는 0.839**로 상당히 높은 상관관계를 보여주고 있다. 그 다음으로는 구리와 코발트, 구리와 바나듐이 각각 0.760**, 0.694*의 상관계수를 갖는다. 그리고 부(-)의 상관성을 보여주는 것들은 낮은 상관관계를 관찰할 수 있다(Table 6, Fig. 8).

5. 결 론

1. 지질집단별 주성분원소 SiO₂ 평균함량은 퇴적암류 지역> 석영반암 지역> 편마암류 지역> 아노르도사이트 지역 순이다. Al₂O₃, CaO, MnO 함량 중앙값은 아노르도사이트 지역, Fe₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂, P₂O₅ 함량 중앙값은 편마암류 지역, SiO₂, Na₂O, 함량 중앙값은 퇴적암류 지역에서 높은 값을 나타내며, 석영반암 지역에서 주성분원소의 중앙값은 높은 값을 갖지는 않았지만, 비교적 함량범위가 넓게 분산되어 있다.

2. 지질집단별 미량성분은 편마암류 지역에서는 Cu, Ce, Eu, Li, Rb, Sr, Th, Yb, Zn 함량의 중앙값이 다른 지질집단 지역에 비해 높은 중앙값을 보이고 있으며, 이 중에서 Ce, Rb, Th, Yb, Zn 원소들이 다른 지질집단보다 비해 특히 더 높은 함량을 보이며, 퇴적암류 지역에서는 Zr, Cr, Cs, Hf, Sc 함량의 중앙값이, 아노르도사이트 지역에서는 Pb, Co 함량의 중앙값이 각각 다른 지질집단 지역보다 높은 함량특성을 보인다.

3. 유해원소의 과다농집과 이상결핍지역은, 구리는 결핍지역은 파악되지 않았으며, 시료번호 128(경남 사천시 곤양면 목곡리)에서 모암의 풍화 운반 및 퇴적의

Table 6. Correlation coefficients of each toxic elements of the stream sediments in the Konyang area.

	Cu	Li	Pb	Th	Cr	Co	Zn	V
Cu	1.000**	0.417**	0.291**	0.287**	0.204	0.760**	0.301**	0.694*
Li		1.000	0.591**	0.135	-0.174	0.405**	0.063	0.442*
Pb			1.000	0.120	-0.192	0.447**	0.151	0.375*
Th				1.000	-0.022	0.081	0.014	0.235*
Cr					1.000	0.308**	-0.035	0.287*
Co						1.000	0.299**	0.839*
Zn							1.000	0.282*
V								1.000*

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

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

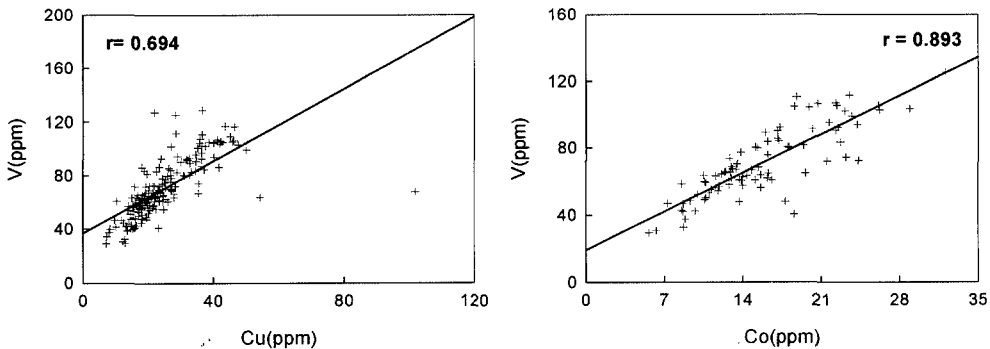


Fig 8. Correlation between toxic elements and vanadium for the stream sediments in the Konyang area.

과정에서 특히 원소의 이동과 잔류에 의해 과잉 농집이 나타났으며, 바나듐은 시료번호 178(사천시 서포면 외구리 부근)에서 퇴적암(마동층)으로 단속적인 역암 내지 함력 조립사암과 사염, 세일, 석회암으로 구성되어 있어서 높은 함량치를 보이는 것으로 판단된다. 코발트는 시료번호 87(하동군 옥종면 정수리 부근)에서 과다농집이 관찰되는데, 이는 일제시대부터 고령토광산이 개발되었는데, 고령토의 초기 함량비와 풍화, 운반 및 퇴적의 과정에서 특히 원소의 이동과 잔류 등의 원인에 의한 것으로 사료된다.

4. 주성분원소 상호간의 상관관계에서는 Al_2O_3 함량이 증가함에 따라 SiO_2 는 부(-)의 높은 상관관계를 나타내며, Al_2O_3 의 함량 변화에 따라 Fe_2O_3 , CaO , MnO , P_2O_5 에 대해서도 높은 상관성을 보여주었다. Fe_2O_3 의 함량 변화에 따라서는 SiO_2 에서 가장 높은 -0.809**를 보여주며, Na_2O_3 , MgO , MnO , P_2O_5 에서도 높은 상관성을 보여준다.

5. 주성분원소와 유해원소에서는 다른 원소들보다 이동성이 큰 구리와 SiO_2 의 상관관계는 일반적인 특징과 다르게 상관계수가 -0.371**로 부(-)의 거동으로 낮은 상관성 가지며, 코발트와 SiO_2 도 상관계수 -0.615**로 부(-)의 거동으로 높은 상관성을 보여주고 있다. Al_2O_3 에 대해서는 납, 코발트 함량변화에 높은 상관관계를 보이며, 아연에서는 극히 낮은 상관성을 보여주고 있으며, MgO 와 바나듐이 가장 높은 상관성($r=0.793$ **)을 가진다.

6. 유해원소 상호간의 상관분석을 실시한 결과 대부분 정(+)의 상관성을 가지고 있으며, 이 중 코발트와 바나듐의 상관계수는 0.839**로 상당히 높은 상관관계를 보여주고 있다. 그 다음으로는 구리와 코발트, 구리와 바나듐이 각각 0.760**, 0.694*의 상관계수를 갖는다.

이번 연구를 통하여 근양지역의 지표 지질환경을 가장 잘 대표하고 있는 1차 수계(일부 2차 수계 포함)의 하상퇴적물을 대상으로 주성분과 미량성분 및 희토류 원소에 대한 화학분석이 이루어짐으로서, 연구 지역의 자연배경치를 설정할 수 있는 지구화학적 자료를 확보하였고, 근양지역의 지표환경에 대한 오염의 평가 기준과 향후 연구지역의 지표환경에 오염이 발생되었을 경우, 오염원의 파악 및 오염에 대한 대책 마련에 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

사 사

본 논문에 대한 세심한 심사와 유익한 조언을 해주

신 한국지질자원연구원 김재곤 박사님과 익명의 심사위원님께 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 2000년 조선대 학교 학술연구비 지원을 받아 연구 되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김종균, 박영석 (2005) 광주지역 하상퇴적물에 대한 지질 집단별 지구화학적 연구. *자원환경지질*, 38권 p. 481-492.
- 김남장, 강필중 (1965) 한국지질도 진교도폭. 국립지질조사소.
- 박영석, 김종균, 한민수, 김용준, 장우석, 신성천 (2002) 장흥지역 1차 수계 하상퇴적물의 지질 집단별 지구화학적 특성과 하천수에 대한 연구. *자원환경지질*, 제35권, 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·대한지질공학회·대한지질공학회 공동학술발표회 논문집, p. 215-233.
- 윤연선 (2000) 상관분석, 교육과학사.
- 이찬희, 이현구, 조애란 (1999) 삼광 금-은광산 일대의 하상퇴적물과 토양내 함유된 환경적 독성원소의 지구화학적 부화과 이동. *자원환경지질*, 31권, p. 111-125.
- 이현구, 조애란, 이찬희 (1999) 입도분포에 따른 하상퇴적물의 지구화학적 분산 및 부화. *자원환경지질*, 32권, p. 247-260.
- 조동룡, 김용준, Richard Armstrong (2002) 영남육괴 지리산 지역의 동북 화강편마암에 대한 SHRIMP U-Pb 저온 연대와 이의 선클브리아 지체구조적 의미, 한국암석학회·한국광물학회 공동 학술발표회, 한국암석학회 창립 10주년 기념 국제 학술발표회, p. 31-33.
- 최석원, 김역수 (1996) 의화환경 지구화학. 도서출판 춘광.
- 최유구, 정창희 (1964) 한국지질도 단성도폭. 국립지질조사소.
- 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. (1990) 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, p. 122.
- 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.
- Levinson, A.A. (1974) Introduction to Exploration Geochemistry Applied Publishing Ltd. Maywood, p. 614
- Mason, B. and Moore, C.B. (1982) Principles of geochemistry. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- 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. (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim, Cosmochim, Acta* v. 28, p. 1273-1285.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1985) *The Continental Crust Its Composition and Evolution*. Blackwell Scientific Publ. Oxford, England, p. 312.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Rev. Geophys* v. 33, p. 241-265
- Turekian, K.K. and Wedephol, K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc, America Bull*, v. 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.
- Wager, L.R. and Mitchell. (1951) R.L. The distribution of trace elements during strong fractionation of basic magma. *Geochim Cosmo. Acta*. v. 1, p. 1-27.

2006년 4월 20일 원고접수, 2006년 6월 13일 게재승인.