

## 기반암에 따른 청풍지역 하상퇴적물의 지구화학적 특성

박영석<sup>1</sup> · 박대우<sup>1\*</sup> · 김종균<sup>1</sup> · 송영상<sup>2</sup> · 이장준<sup>3</sup>

<sup>1</sup>조선대학교 자원공학과, <sup>2</sup>전남대학교 치의학전문대학원, <sup>3</sup>국립문화재연구소

## Geochemical Characteristics of Stream Sediments Based on Bed Rocks in the Cheongpung Area

Young Seog Park<sup>1</sup>, Dae Woo Park<sup>1\*</sup>, Jong Kyun Kim<sup>1</sup>, Young Sang Song<sup>2</sup> and Jang Jon Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Resource Engineering, Chosun University, Gwangju, 501-759, Korea

<sup>2</sup>School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju, 501-746, Korea

<sup>3</sup>National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 305-380, Korea

The purpose of this study is to determine the geochemical characteristics of the stream sediments in the Cheongpung area. So that we can understand the natural background and predict the prospects of geochemical disaster, if any. We collected the stream sediments samples by wet sieving along the primary channels and slow dried the collected samples in the laboratory and ground them to pass a 200 mesh using an alumina mortar and pestle for chemical analysis. Mineralogical characteristics, major, trace and rare earth elements were determined by XRD, XRF, ICP-AES and NAA analysis methods. For geochemical characteristics on the geological group of stream sediments, the studied area was grouped into granitic gneiss area, metatectic gneiss area, Dado tuff area, Yuchi conglomerate area, and Neungju flow area in the Cheongpung area. Contents of major elements for the stream sediments in the Cheongpung area were SiO<sub>2</sub> 47.31~72.81 wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.26~21.88 wt.%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.83~8.39 wt.%, CaO 0.34~7.54 wt.%, MgO 0.55~3.59 wt.%, K<sub>2</sub>O 1.71~4.31 wt.%, Na<sub>2</sub>O 0.56~2.28 wt.%, TiO<sub>2</sub> 0.46~1.24 wt.%, MnO 0.04~0.27 wt.%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.02~0.45 wt.%. The contents of trace and rare earth elements for the stream sediments were Ba 700 ppm~8990 ppm, Be 1.0~3.50 ppm, Cu 6.20~60 ppm, Nb 12~28 ppm, Ni 4.4~61 ppm, Pb 13~34 ppm, Sr 65~787 ppm, V 4~98 ppm, Zr 32~164 ppm, Li 21~827 ppm, Co 3.68~65 ppm, Cr 16.7~409 ppm, Cs 2.72~37.1 ppm, Hf 4.99~49.2 ppm, Rb 71.9~649 ppm, Sb 0.16~5.03 ppm, Sc 4.97~52 ppm, Zn 26.3~375 ppm, Ce 60.6~373 ppm, Eu 0.82~6 ppm, Yb 0.71~10 ppm.

**Key words** : stream sediments, major & rare earth elements, geochemical characteristics, geological group, background

이 연구에서는 청풍지역 하상퇴적물에 대한 지구화학적 특성 규명을 통해, 주성분원소 및 미량원소에 대한 청풍지역의 자연배경치를 제시하고, 지구화학적 재해에 대해 예견하고자 한다. 이를 위해 물이 흐르고 있는 1차 수계를 대상으로 하상퇴적물시료를 채취하였고, 실험실에서 자연건조 시켰으며, 화학적 분석을 위해 알루미늄 몰타르를 이용하여 200메쉬 이하로 분쇄하였다. 주성분원소 및 미량성분원소는 XRD, XRF, ICP-AES, NAA를 이용하여 분석하였다. 청풍지역 하상퇴적물의 기반암에 따른 지질집단별 지구화학적 특성 비교를 위해, 화강암질편마암지역, 메타텍틱편마암지역, 다도동회암지역, 유치역암 지역, 능주용암지역으로 분류하였다. 청풍지역 하상퇴적물 전체에 대한 주성분원소 함량은 SiO<sub>2</sub> 47.31~72.81 wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.26~21.88 wt.%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.83~8.39 wt.%, CaO 0.342~7.54 wt.%, MgO 0.55~3.59 wt.%, K<sub>2</sub>O 1.71~4.31 wt.%, Na<sub>2</sub>O 0.56~2.28 wt.%, TiO<sub>2</sub> 0.46~1.24 wt.%, MnO 0.04~0.27 wt.%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.02~0.45 wt.%이다. 청풍지역 하상퇴적물 전체에 대한 미량성분원소 및 희토류원소 함량은 Ba 700~8990 ppm, Be 1.0~3.50 ppm, Cu 6.20~60 ppm, Nb 12~28 ppm, Ni 4.4~61 ppm, Pb 13~34 ppm, Sr 65~787 ppm, V 4~98 ppm, Zr 32~164 ppm, Li 21~827 ppm, Co 3.68~65 ppm, Cr 16.7~409 ppm, Cs 2.72~37.1 ppm, Hf 4.99~49.2 ppm, Rb 71.9~649 ppm, Sb 0.16~5.03 ppm, Sc 4.97~52 ppm, Zn 26.3~375 ppm, Pa 7.48~64.7 ppm, Ce 60.6~373 ppm, Eu 0.82~6 ppm, Yb 0.71~10 ppm의 범위를 보였다.

**주요어** : 하상퇴적물, 주성분 및 미량성분원소, 지구화학적 특성, 지질집단, 자연배경치

\*Corresponding author: ramese@nate.com

## 1. 서 론

집수분지(drainage basin)를 대표하는 소규모의 1-2 차 수계에 분포하는 하상퇴적물들은 상류 집수분지 내에 발달되어있는 암석과 토양으로부터 유래된 입자들이 수계를 타고 이동하여 모인 것으로, 인근지역의 지질특성을 축약하여 집약시켜 놓은 것이나 다름없고, 대표성이 뛰어나며, 중금속과 미량원소를 잘 반영하고 있어, 주변 지표지질환경을 가장 잘 반영하는 대표적인 지질매체로 받아들여지고 있다(Darnley, 1990; Darnley *et al.*, 1995; FOREGS, 1998). 최근의 하상퇴적물을 이용한 연구는 지질집단별 지구화학적 특성 연구(Kim and Park, 2005; Park *et al.*, 2002), 지질집단별 자연배경치 연구(Park *et al.*, 2003), 그리고 이를 이용해 작성된 광역적인 지구화학도는 각 지질단위별 자연배경치 설정과 각 원소의 분산특성에 대한 정보를 제공하며, 토양오염 및 지구화학적 재해발생시 이를 정확히 평가할 수 있는 기준치로서의 역할을 한다. 우리나라에서는 한국지질자원연구원을 중심으로 경기도, 충청북도, 충청남도, 전라북도, 전라남도 지구화학 지도책을 완성하여(Shin *et al.*, 2001a; 2001b; 2001c; 2001d; 2001e) 훌륭한 정보를 제공하고 있다.

이번 연구에서는 1:50,000 청풍지형 도폭에 해당하는 화순군-장흥군-나주시-영암군 지역에 대해, 지질도폭과 기존의 연구 그리고 야외조사를 통해 이 지역에서 넓게 분포하고 있는 암석을 기준으로 지질집단으로 분류하고, 주성분원소, 미량성분원소 및 희토류원소에 대한 지질집단별 함량특성을 알아보았으며, 이들 함량분포를 시료위치에 따른 자연배경치로 제시하고자 한다.

## 2. 연구지역의 지형 및 지질

### 2.1. 연구지역의 지형과 수계

연구지역은 화순군과 장흥군을 주로 포함하며, 북서부에 나주시 일부, 남서부에 영암군 일부를 포함하는, 동경 126°45'~127°00', 북위 34°45'~35°00'지역으로 한반도의 남서단에 위치하여 있다. 산지는 대부분이 해발 400 m 이상으로 여러 곳에서 400~500 m의 고지를 가진 봉들이 발견된다. 남부에서는 해발 300~350 m의 높이를 가진 평단면의 존재가 주목되며, 수계는 산계의 방향을 따르는 것과 이를 횡단하는 것으로 대표되며, 산계의 방향보다 지질경계선을 따른 하천으로는 탐진강이 있으며, 이 하천은 대체로 중생층과 화강암질 편마암의 경계선에 따라 흐르고 있다(Jung and Kim,

1966; Choi and Yoon, 1968).

### 2.2. 청풍지역의 암석기재

#### 2.2.1. 화강암질편마암

화강암질편마암이 발달되어있는 지역은 가지산과 용두산을 잇는 산계와 청풍면 봉미산을 중심으로 한 넓은 지역이며 또한 금성산, 화악산, 국사봉, 삼계봉등을 연한 선 부근에서 서쪽의 용암산층과 접하고 그 외에 서남부 장흥면 북동쪽과 영암군 군동면 까치내계 부근 소규모로 분포되어 있다. 화강암질 편마암은 천산면 운치에서는 우백화강암질편마암과 점이적 관계를 갖고, 장평면 북흥리 부근에서는 메타텍틱편마암으로 점변하여 점이적인 관계를 나타내지만 서측의 용암산층과의 관계는 비교적 명료한 편이다. 곳에 따라서는 편암이 포획되어 있는데 이들은 N30°~60°W, N20°~30°E 등의 방향이다(Jung and Kim, 1966; Choi and Yoon, 1968).

#### 2.2.2. 메타텍틱편마암

메타텍틱편마암은 금정면 입석 용흥리에서 오봉리, 금정면 활성산 일대와 장평면 내동리 부근으로 분포하고 있으며, 활성산 남측 영암읍 한대리 부근에서는 천운산층에 접이한다. 유치면 학송 부근에서는 유치역암에 의해 부정합으로 피복되어 있으며, 영암읍 월송정 부근에서는 복운모화강암에 의하여 관입 당하고 있다.

색깔은 백색내지 담황의 장식 무색의 석영 및 흑운모로 되어 있으며 이들로 인하여 전체적으로는 담황회색을 보여준다. 또한 대체로 고상구조를 보이나 때로는 중립 내지 조립의 석영, 장식 입자들을 흑운모가 포위하여 안구상구조를 나타내기도 한다. 흑운모의 양이 증가하여 흑운모편마암의 상을 나타내기도 하며, 백운모편암, 규암, 녹니석편암등을 협재하여 전체적으로 미그마틱한 편마암상을 나타내기도 한다(Jung and Kim, 1966; Choi and Yoon, 1968).

#### 2.2.3. 다도응회암

다도응회암의 주향은 북서부에서는 N30°E 내외이고 5°~15° 남동쪽으로 경사지며, 다도면 남부의 주요 분포지에서는 약간의 굴곡이 있다. 남동부에서는 일반 주향이 NS이고 10°~20° 서쪽으로 경사져 천태산 부근에서는 동서로 주향하고 20°~40° 북경하여 전체로는 큰 향사를 형성하였으며 북쪽으로 침강한 모양을 보여준다. 주로 자회색의 응회암으로 구성되어 있으나 암색의 변화는 불규칙하여 회색, 회백색, 자색등을 띄우는 곳도 있다. 세립의 응회질 각력을 함유하며 이들의

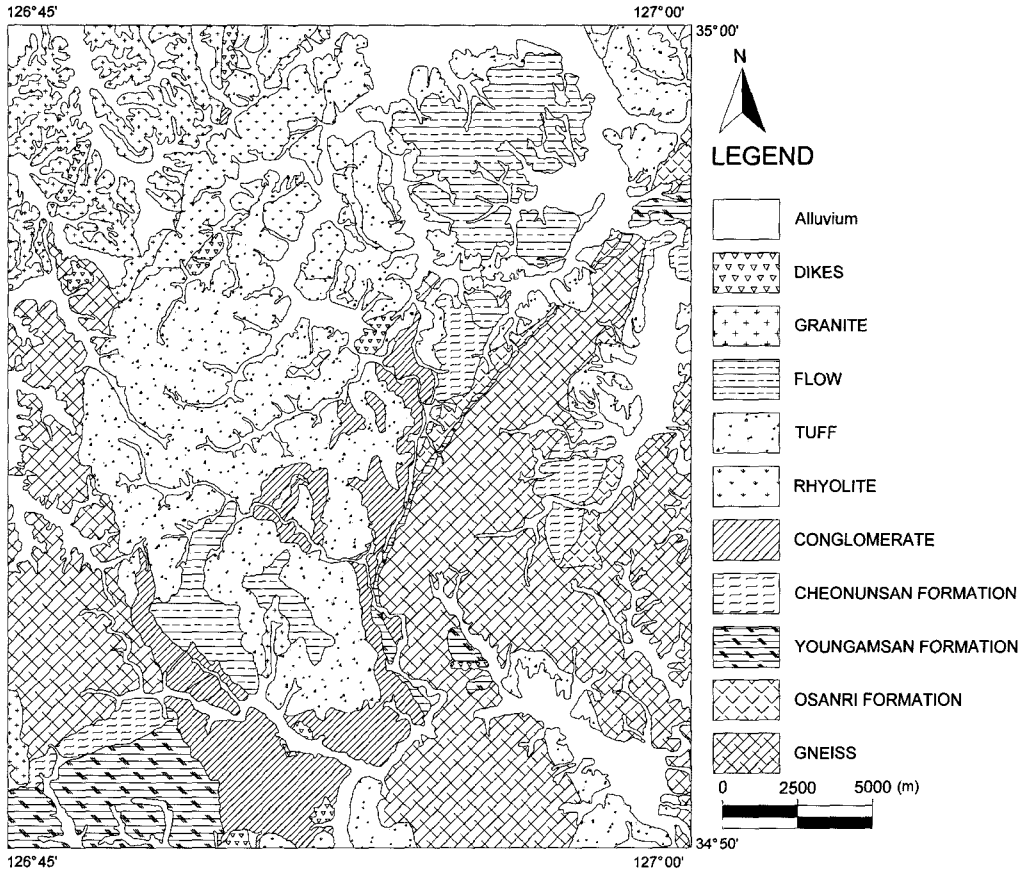


Fig. 1. Geological map of the Cheongpung area(Jung and Kim, 1966; Choi and Yoon, 1968).

크기는 0.5 mm-2 mm 정도이며 파쇄되어 있는 경우가 많다. 각력질응회암이라 불려야 할 부분도 곳곳에서 관찰되며, 견고 치밀하여 풍화에 강하므로 용결성 응회암으로 인정된다(Jung and Kim, 1966; Choi and Yoon, 1968).

#### 2.2.4. 유치역암

유치역암은 호암리와 암천리 부근에서 N40°E에서 N20°W의 주향변화를 가지며 10°-20°로 북서 내지 남서경한다. 서쪽의 인곡과 용천사이의 좁은 대상 분포 지대에서는 그 주향이 N10°E에서 N40°W로 변하며 5° 내지 15° 동경 또는 동북경한다. 또한 유치면의 옥사봉에서 관동리, 신월리, 단산리, 송정리, 보림사, 숙통을 이어 활 모양의 분포를 보여 향사구조를 이루고 있다. 최하부는 역암으로 구성되며 그 위에 응회암층이 놓이고 응회암위에 화산각력이 쌓여있다. 이와 같이 퇴적이 반복되어 역암, 응회암, 응회암질 세일, 각력암등이 호층을 이룬다. 역 내지 각력의 크기는 2-

3 cm에 달하는 것에서 26cm이상의 것 등이 있으며 화강암질편마암 및 하위의 응회암등으로 된 것들이 있어 다양하며 동시역도 포함되어 있다(Jung and Kim, 1966; Choi and Yoon, 1968).

#### 2.2.5. 능주용암

능주용암은 청풍지역 북동부에 넓게 분포되어있는 용암류로서 극부적인 변화는 있으나 대체로 N20°~60°E의 주향을 가지며 5°~15° 남동경한다. 이러한 방향은 궁원리 유문암의 주향 경사와 비슷한 것으로 능주용암도 그 북서방에 분출구를 가진 화산에서 남동쪽으로 유동한 용암이 고화한 것으로 생각된다(Jung and Kim, 1966; Choi and Yoon, 1968).

### 3. 시료채취 및 분석

#### 3.1. 시료채취 대상수계의 선정과 하상퇴적물 채취 및 분석

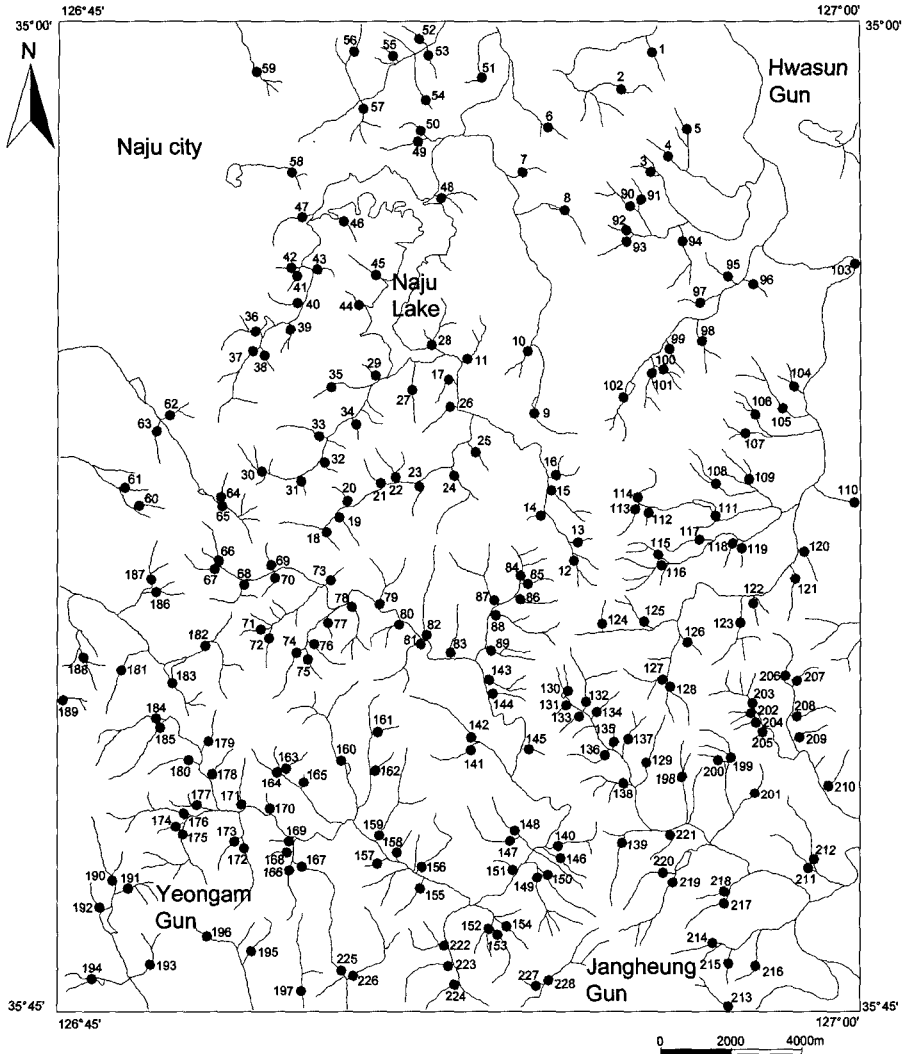


Fig. 2. Sampling site map of the Cheongpung area.

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 하상퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 2). 하상퇴적물 시료채취 시에는 물이 흐르고 있는 1차 수계를 대상으로, 스테인레스 스틸로 만들어진 시료채취용 삽을 사용하여 오염을 피하였고, 시료의 대표성을 높이기 위하여 가능하면 여러 군데에서 조금씩 채취하여 하나의 복합시료로 만들었다. 채취된 시료는 실험실에서 자연 건조 시켰으며, 화학적 분석을 위해 알루미늄 플타르를 이용하여 200메쉬 이하로 분쇄하였다.

### 3.2. 시료분석

하상퇴적물에 대한 화학분석은 한국지질자원연구원에서 실시하였다. 주성분원소는 X-선형광 분광법(XRF)으로 분석하였고, 사용된 기기는 일본 Shimadzu사 MXF-2100이다. 미량성분원소는 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법(ICP-AES)으로 분석하였고, 사용된 ICP 분광기는 Labtest UV25(미국 Labtest Equipment Co.)과 Jovin Yvon JY-38 plus(프랑스 Jovin-Yvon Equipment Co.)이다. 중성자 발생을 위한 조사는 한국원자력연구소에 있는 HANARO 원자로(Hi-flux Advanced Neutron Application Reactor)를 이용하였고, NAA 분석에서는 여러 종류의 방사선 가운데 감마선을 이용하

**Table 1.** Contents(wt.%) of major elements of geological group for stream sediments in the Cheongpung area.

Geological groups	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Gn	Min	47.31	12.17	3.75	0.35	0.83	2.60	0.56	0.62	0.04	0.06
	Max	69.58	19.53	8.39	1.62	3.59	4.02	1.45	1.15	0.27	0.27
	Mean	55.93	15.89	6.34	0.66	1.49	3.28	1.08	0.88	0.11	0.15
	STD	4.54	1.65	1.00	0.22	0.40	0.36	0.20	0.11	0.04	0.04
	G.M.	55.76	15.80	6.26	0.63	1.44	3.26	1.06	0.88	0.11	0.15
	Median	56.38	15.87	6.32	0.61	1.44	3.28	1.11	0.90	0.11	0.15
Me	Min	49.57	13.91	5.02	0.42	1.05	2.84	0.85	0.67	0.07	0.10
	Max	62.22	19.43	7.98	1.18	1.96	3.80	1.65	1.06	0.13	0.20
	Mean	57.43	16.09	6.53	0.78	1.55	3.23	1.16	0.83	0.09	0.16
	STD	3.35	1.66	0.83	0.25	0.23	0.33	0.22	0.13	0.02	0.03
	G.M.	57.34	16.01	6.48	0.74	1.53	3.22	1.14	0.82	0.09	0.16
	Median	57.87	15.90	6.46	0.81	1.58	3.16	1.16	0.77	0.09	0.17
Da	Min	53.73	11.26	2.83	0.32	0.57	2.83	1.02	0.46	0.05	0.02
	Max	72.81	18.43	8.22	2.81	2.50	4.04	1.66	1.13	0.22	0.31
	Mean	60.96	14.49	5.09	1.02	1.18	2.77	1.29	0.88	0.12	0.14
	STD	4.00	1.34	0.99	0.49	0.31	0.41	0.17	0.12	0.03	0.05
	G.M.	60.84	14.43	4.99	0.93	1.14	2.74	1.28	0.87	0.12	0.13
	Median	59.98	14.33	5.01	0.91	1.13	2.72	1.25	0.89	0.12	0.14
Yu	Min	54.53	12.44	3.59	0.40	0.71	2.67	0.81	0.65	0.06	0.09
	Max	68.14	15.97	5.61	1.31	1.19	3.84	1.29	0.89	0.19	0.20
	Mean	60.19	14.32	5.04	1.01	1.16	2.76	1.27	0.87	0.12	0.14
	STD	3.84	0.90	0.46	0.27	0.13	0.28	0.11	0.06	0.03	0.03
	G.M.	60.90	13.78	4.47	0.68	0.91	3.02	1.08	0.78	0.11	0.12
	Median	61.01	13.76	4.49	0.63	0.89	3.01	1.07	0.79	0.12	0.11
Ne	Min	57.50	14.45	4.33	0.35	0.61	2.63	0.63	0.70	0.08	0.05
	Max	67.56	17.14	8.05	1.30	1.64	3.69	1.54	1.24	0.26	0.23
	Mean	63.58	15.47	5.55	0.74	0.86	3.17	1.12	0.94	0.13	0.10
	STD	2.87	0.85	1.10	0.28	0.30	0.36	0.30	0.19	0.05	0.05
	G.M.	63.53	15.45	5.46	0.70	0.82	3.15	1.08	0.92	0.12	0.09
	Median	63.30	15.09	5.28	0.71	0.80	3.24	1.04	0.91	0.11	0.09

Gn : granitic gneiss area, Me : metatectic gneiss area, Da : Dado tuff area

Yu : Yuchi conglomerate area, Ne : Neungju flow area

였다. 하상퇴적물의 광물학적 특성 파악을 알아보기 위한 X-선 회절분석은 조선대학교 공동기기센터의 X'Pert PRO MPD를 이용하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 하상퇴적물의 주성분원소 특성

청풍지역 하상퇴적물 전체에 대한 주성분원소 함량은, SiO<sub>2</sub> 47.31~72.81 wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.26~21.88 wt.%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.83~8.39 wt.%, CaO 0.34~2.81 wt.%, MgO 0.55~3.59 wt.%, K<sub>2</sub>O 1.71~4.31 wt.%, Na<sub>2</sub>O 0.56~2.28 wt.%, TiO<sub>2</sub> 0.46~1.24 wt.%, MnO 0.04~0.27 wt.%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.02~0.45 wt.%의 범위를 보이며, 지질집단별 주성분원소 함량 범위는 Table 1, Fig. 3과 같다.

하상퇴적물에 대한 지질집단별 주성분원소의 비교에서 SiO<sub>2</sub> 함량에서 중앙값은 능주용암 지역 > 유치역암 지역 > 다도응회암 지역 > 메타텍틱편마암 지역 > 화강암질편마암 지역 순이지만 그 차이가 크지 않았고, 화강암질편마암 지역과 메타텍틱편마암 지역이 상대적으로 작은 값을 보이는 것은 기계적 풍화에 강한 석영입자가 상대적으로 큰 입자로 존재하므로 100mesh이하의 체를 이용한 wet sieving 과정에서 석영입자가 체를 통과하지 못하고 제외 되어 낮은 값을 보이는 것으로 예상된다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 함량 중앙값은 메타텍틱편마암 지역, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O 함량 중앙값은 화강암질편마암 지역, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, MnO 함량 중앙값은 다도응회암 지역, TiO<sub>2</sub> 함량 중앙값은 능주용암 지역에서 높은 값을 나타내며, Na<sub>2</sub>O와 TiO<sub>2</sub> 함량은 능주용암 지역에서

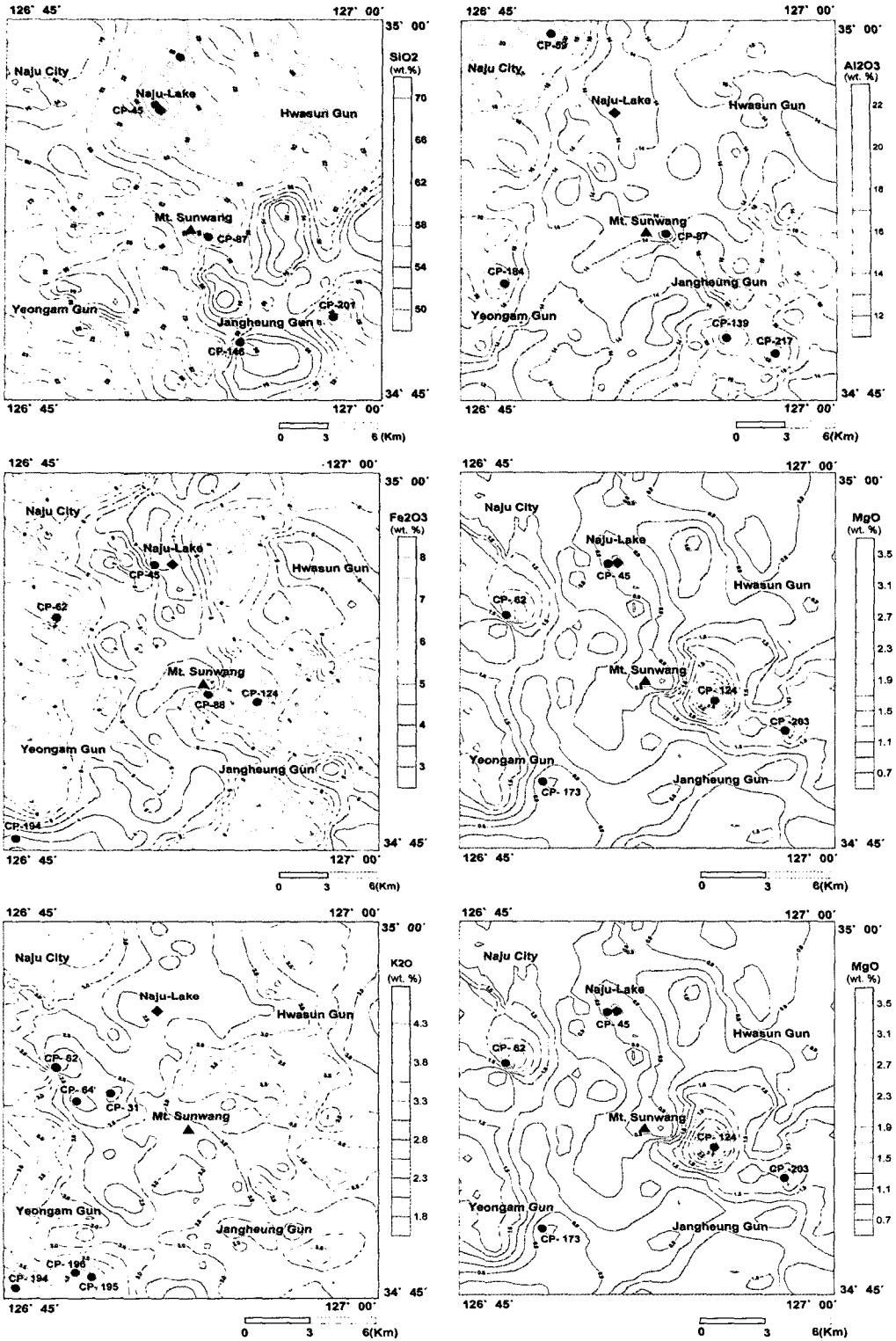


Fig. 3. Contour diagram for major elements in the Cheongpung area.

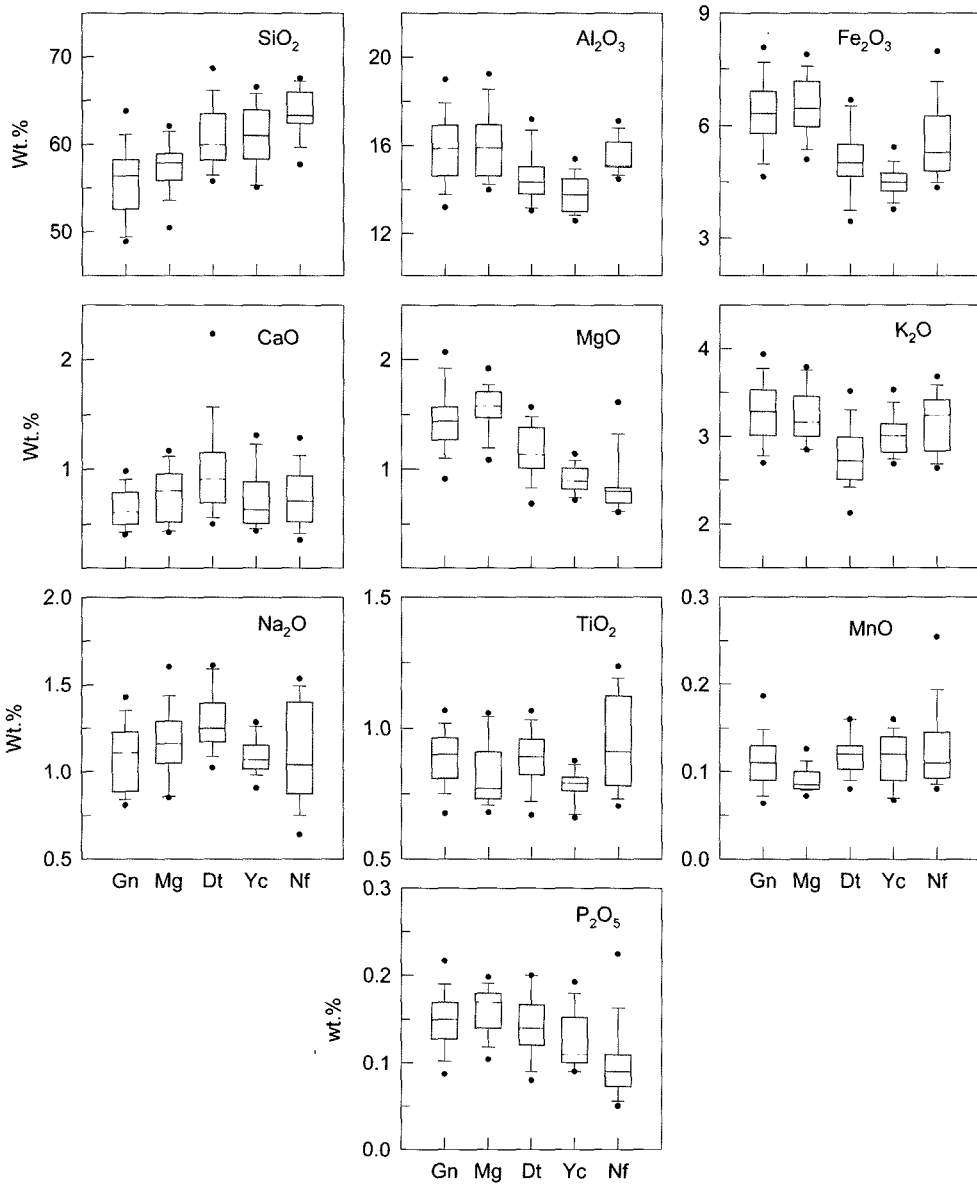


Fig. 4. Comparison diagram for geological groups in Cheongpung area.

는 함량범위가 넓게 분산되고 있음을 알 수 있고, 화강암질편마암 지역과 메타텍틱편마암 지역에서는  $Al_2O_3$  와  $Fe_2O_3$ 의 함량특성이 두 지역에서 거의 비슷함을 나타낸다(Fig. 4).

하상퇴적물의 광물의 형태와 광물학적 조성차이를 알아보기 위한 X-선회절 분석결과, 시료번호 126(화순군 이만리 부근)과 시료번호 127(화순군 목동마을 부근)은 석영, 백운모, 알바이트, clinocllore, 미사장석 등의 광물로 구성되어 있다(Fig. 5).

#### 4.2. 하상퇴적물의 지질집단별 미량성분원소 및 희토류 원소 특성

청풍지역 하상퇴적물 전체에 대한 미량성분원소 함량은, Ba 700~8990 ppm, Be 1.0~3.5 ppm, Cu 6~60 ppm, Nb 12~28 ppm, Ni 4~61 ppm, Pb 13~34 ppm, Sr 65~787 ppm, V 4~98 ppm, Zr 32~164 ppm, Li 21~83 ppm, Co 3.7~65.0 ppm, Cr 16~409 ppm, Cs 2.7~37.1 ppm, Hf 4.9~49.2 ppm, Rb 71~649 ppm, Sb 0.1~5.1 ppm, Sc 4.9~52.0 ppm, Zn 26

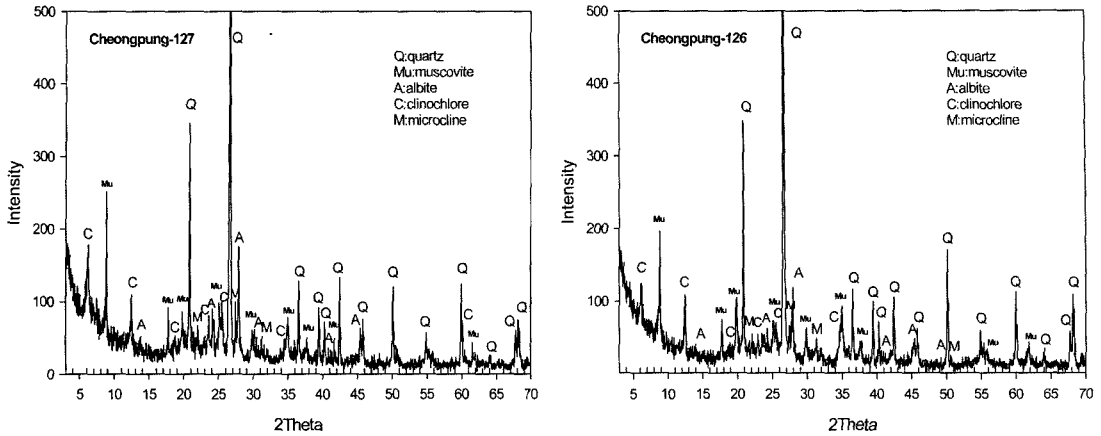


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of representative stream sediments.

Table 2. Contents(ppm) of trace and rare earth elements for geological group for stream sediments in the Cheongpung area.

Geological groups	Ba	Be	Cu	Nb	Ni	Pb	Sr	V	Zr	Li	Co	Cr	Cs	Hf	Rb	Sb	Sc	Zn	Ce	Eu	Yb	
Gn	Min	900	1.4	12	14	15	14	65	41	46	31	7.2	35	4.2	4.9	97	0.1	6.5	43	68	0.8	1.5
	Max	8990	3.5	57	28	61	24	787	87	144	80	65	409	37.1	31.5	649	3.9	52	375	373	6	10
	Mean	1384	2.1	21	21	29	19	132	63	72	53	20.5	135	13.7	11.7	227	0.6	18.7	126	124	1.9	3.4
	STD	1043	0.5	6	2	8	2	91	11	18	9	12.8	97	6.9	6.2	136	0.8	10.9	82	67	1.2	2
	G.M.	1278	2	21	21	28	19	122	62	71	52	17.9	114	12.2	10.6	201	0.4	16.7	108	112	1.7	3
	Median	1230	1.9	21	21	28	19	119	62	71	53	15.9	104	11.8	9.3	173	0.2	14.7	94	101	1.5	2.6
Me	Min	950	1.4	15	16	15	15	96	42	35	31	10.3	60	6.7	6.2	91	0.2	10.6	57	60	0.8	1.8
	Max	1350	3.2	35	24	38	31	199	79	85	74	21.5	141	14	13.3	205	1	18.1	121	120	1.9	4.4
	Mean	1141	2.2	22	21	27	19	128	60	54	53	14.1	94	10.4	9.5	146	0.3	13.6	78	85	1.3	3.2
	STD	158	0.6	5	2	6	5	30	14	15	13	3.1	23	2.3	2.4	36	0.2	2.2	17	21	0.3	0.7
	G.M.	1131	2.1	22	21	26	19	125	59	53	52	13.8	91	10.2	9.2	142	0.3	13.5	77	82	1.3	3.1
	Median	1140	2	22	22	28	18	119	59	51	54	13.4	91	10.3	8.5	142	0.2	13.2	77	78	1.3	3
Da	Min	700	1.1	6	14	8	13	68	19	69	21	3.8	25	3.2	5.5	71	0.1	4.9	35	62	0.9	1
	Max	1700	3.4	25	28	29	34	357	98	162	59	23.2	85	12.9	12.5	234	2.8	21.9	268	181	2.4	5.4
	Mean	1166	1.5	15	19	13	17	151	58	106	36	10.2	48	7.9	8.2	124	0.4	11.8	89	88	1.4	2.6
	STD	182	0.4	4	3	4	4	47	15	20	9	2.9	12	2.2	1.5	36	0.4	2.6	40	18	0.3	0.7
	G.M.	1152	1.4	15	19	13	17	145	56	104	35	9.8	47	7.6	8.1	119	0.3	11.5	82	86	1.4	2.5
	Median	1120	1.4	14	18	12	16	148	58	108	33	9.7	46	7.7	7.9	119	0.2	11.5	80	84	1.4	2.7
Yu	Min	900	1.1	10	17	9	14	97	4	70	23	4.6	16	2.7	6.9	83	0.1	5.2	39	74	1.1	0.7
	Max	1410	1.7	21	27	19	19	196	62	164	41	9.8	51	19.1	14.7	183	1.7	11.7	136	129	2.2	4.5
	Mean	1153	1.5	15	19	13	17	150	57	105	35	10.1	47	7.9	8.1	124	0.4	11.6	89	88	1.4	2.6
	STD	136	0.2	3	3	2	1	26	10	25	5	1.4	8	3.2	1.7	25	0.3	1.6	28	16	0.3	0.8
	G.M.	1090	1.4	13	22	12	16	129	39	114	31	7.3	36	8.7	9.1	122	0.2	9.4	77	97	1.4	2.4
	Median	1080	1.4	12	23	12	16	126	41	120	31	7.1	39	8.9	9.2	116	0.2	9.6	75	98	1.4	2.6
Ne	Min	830	1.2	11	12	4	15	68	42	74	23	7	22	6.3	7.4	72	0.2	8.5	44	66	0.8	1.3
	Max	1370	1.7	18	21	10	18	207	89	115	80	16.3	35	26	49.2	150	2.2	13.2	123	103	1.7	4.7
	Mean	1117	1.4	13	17	7	16	131	57	100	42	9.1	28	14.6	18.8	128	0.9	10.1	81	84	1.2	2.6
	STD	175	0.2	2	3	2	1	43	16	11	16	2.6	4	6.2	14.1	23	0.8	1.4	20	12	0.2	0.9
	G.M.	1104	1.4	13	17	7	16	125	55	99	39	8.8	27	13.3	15	125	0.6	9.9	79	83	1.2	2.5
	Median	1120	1.4	12	18	7	15	136	47	102	42	8.3	27	14.6	10.5	137	0.9	9.9	77	84	1.2	2.2

Gn : granitic gneiss area, Me : metatectic gneiss area, Da : Dado tuff area

Yu : Yuchi conglomerate area, Ne : Neungju flow area



~375 ppm, 희토류원소인 Ce, Eu, Yb 함량은 각각 60~373 ppm, 0.8~6.0 ppm, 0.7~10.0 ppm이며, 지질집단별 주성분원소 함량 범위는 Table 2와 같다.

Ba, Ni, Pb, V, Co, Cr, Rb, Sc, Zn, Ce, Eu 함량 중앙값은 화강암질편마암 지역이 다른 지질집단 지역보다 높고, Be, Cu, Li, Yb 함량 중앙값은 메타텍틱 편마암 지역이, Sr 함량 중앙값은 다도옹회암 지역이, Nb, Zr 함량 중앙값은 유치역암 지역이, Cs, Hf, Sb 함량 중앙값은 능주용암 지역이 다른 지질집단 지역보다 높게 나타난다(Table 2).

### 4.3. 지질집단별 유해원소의 특성

#### 4.3.1. 베릴륨(Be)

베릴륨은 생물에 비필수 원소로 분류되며, 지각에서

는 2.8 ppm, 토양에서는 6 ppm 정도로 비교적 자연환경에서는 적게 포함되어 있지만(Levinson, 1974), 아주 적은 양이라도 베릴륨 중독현상을 일으킬 수 있다. 특히 보크사이트와 베릴륨 광상부근의 토양 중에 베릴륨이 대량으로 집중되어 있어 곰사병을 초래할 수 있고, 동물에 행한 실험에서 베릴륨은 돌연변이와 발암작용을 일으킬 수 있는 것으로 나타났다(Choi and Kim, 1996).

베릴륨 함량은 시료의 위치에 따라 1.1~3.5 ppm 범위이다. 시료번호 187(영암군 용천마을과 학동마을), 188(영암군 다보마을), 191(영암읍 신월동), 203(장흥군 어곡마을), 206(화순군 북흥제 부근)에서는 3ppm이상으로 다른 지역에서보다 높은 함량을 보인다(Fig. 6).

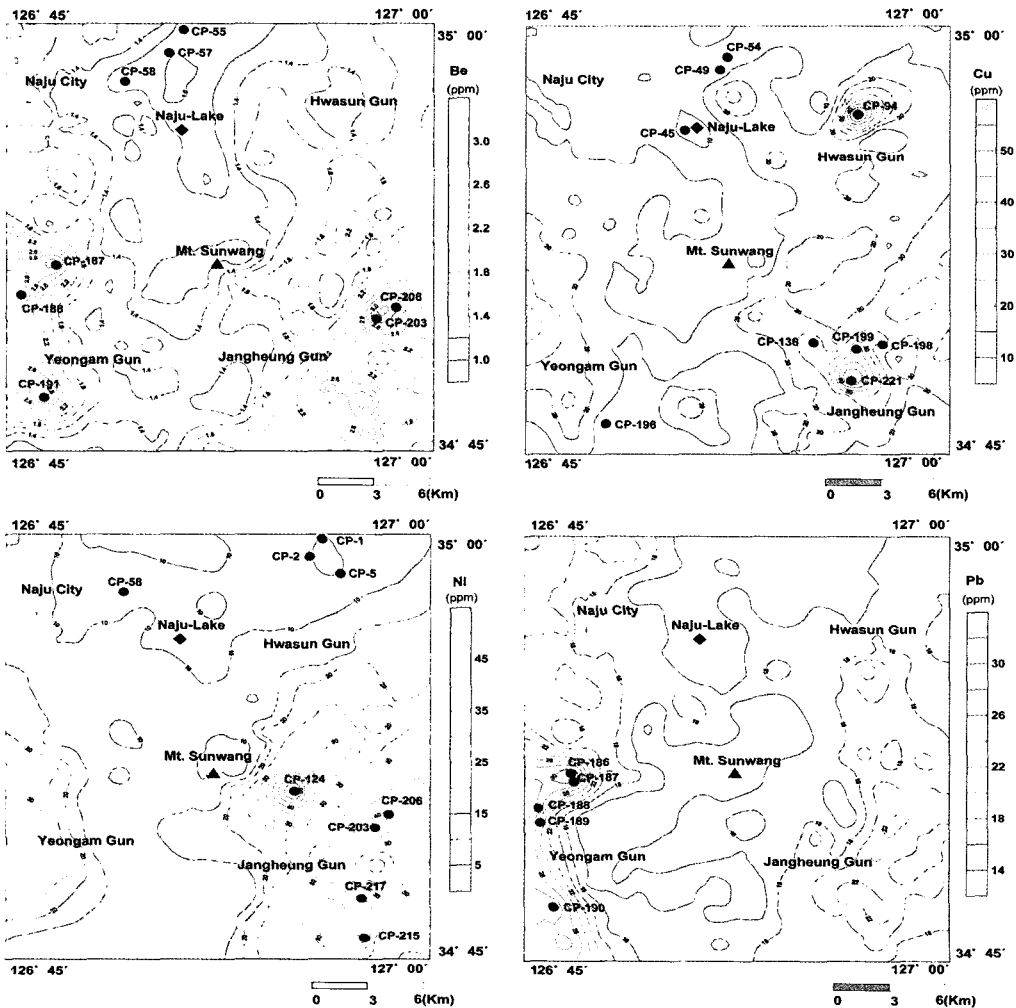


Fig. 6. Contour diagram for trace and rare earth elements of stream sediments in the Cheongpung area.

4.3.2. 구리(Cu)

구리는 모든 생물체에 필요한 미량원소로 분류되지만 다량 섭취하면 독성이 있고, 반대로 토양 내에 구리함량이 너무 낮으면(5 ppm 이하) 농작물이나 나무에 결핍현상이 생길 수 있으며, 반추동물에서는 흑색소 결함 또는 골격 및 연결조직 결함이 생길수도 있다(Choi and Kim, 1996). 상부 대륙지각에서 25 ppm, 토양에서 2~100 ppm(Levinson, 1974; Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995; Turekian and Wedephol, 1961)정도 함유되어 있다.

구리 함량은 시료의 위치에 따라 6~57 ppm이다. 시료번호 94(화순군 하곡마을), 221(장흥군 중구마을 부근)에서는 57~60 ppm으로 평균함량인 17 ppm, 토양의 평균함량인 20 ppm 보다 3~4배 높은 함량특성을

보인다(Fig. 6).

4.3.3. 니켈(Ni)

니켈은 몇몇 효소들의 신진대사 과정에 참여하여 인체의 정상적인 대사를 유지시키는데 필수원소이지만, 과량의 니켈은 인류와 동물에게 모두 독이 되며, 소와 양에서 나타나는 니맹증은 니켈이 각막에 가라앉아서 일어나는 현상이다(Choi and Kim, 1996). 상부 대륙지각에서 20 ppm, 토양에서 5~100 ppm(Levinson, 1974)정도 함유한다.

니켈 함량은 시료의 위치에 따라 4~61 ppm이다. 시료번호 124(화순군 학송리 부근)에서는 61 ppm으로 평균함량인 18 ppm 보다 3배이상 높았으며, 203(장흥군 어곡리 부근), 215(장흥군 여의제 부근), 217(장흥군 죽

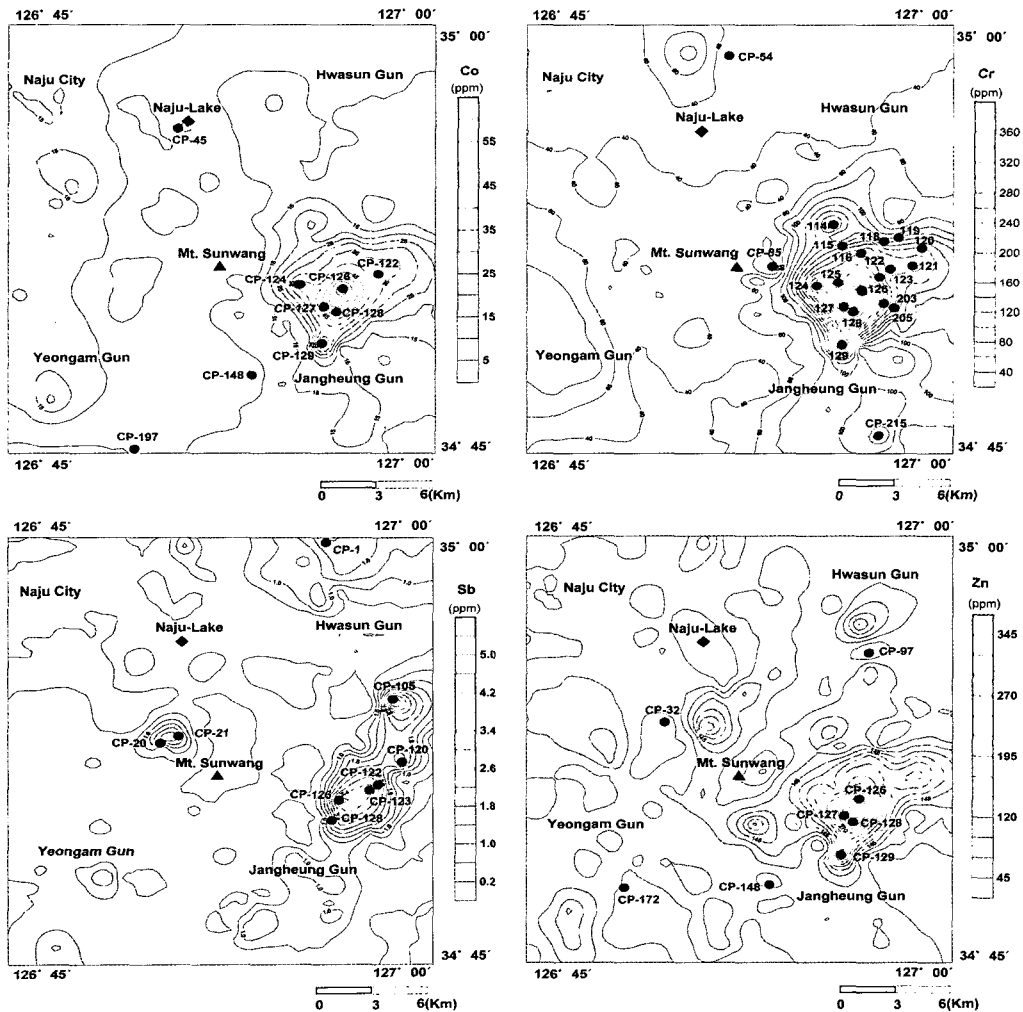


Fig. 7. Contour diagram for trace and rare earth elements of stream sediments in the Cheongpung area.

내리 부근), 206(장흥군 복흥제 부근)에서 40~44 ppm도 비교적 높은 함량특성을 보인다(Fig. 6).

#### 4.3.4. 납(Pb)

납은 중금속으로 친동원소이다. 상부 대륙지각에서 20 ppm(Taylor and McLennan, 1995)이지만 분포는 상대적으로 집중되어 광상에 많이 모여 있다.

납 함량은 시료의 위치에 따라 13~34 ppm이다. 시료번호 187(영암군 용천마을 부근), 186(영암군 학동마을 부근), 188(영암군 다보리 부근), 190(고려시멘트 연료 채석장 부근)에서는 30~34 ppm으로 평균함량인 17 ppm보다 상대적으로 많은 30 ppm이상의 함량특성을 보인다(Fig. 6).

#### 4.3.5. 코발트(Co)

코발트는 독성원소이면서 필수원소에 해당하는 원소로서 결핍되면 건강에 영향을 미치게 된다. 신장을 통해 배설이 용이하므로 코발트의 농축현상은 드물지만, 과량의 코발트는 유기체의 신진대사에 장애를 초래하는 것으로 알려져 있다(Choi and Kim, 1996). 상부 대륙지각에서 10 ppm, 토양층의 평균함량은 8 ppm정도이며, 비교적 염기성암에서 풍부하다(Levinson, 1974; Taylor, 1964; Taylor and McLennan, 1995, Turekian and Wedephol. 1961).

코발트 함량은 시료의 위치에 따라 3.8~65.0 ppm이다. 시료번호 126(화순군 이만리 부근), 127, 128(화순군 목동마을 부근)에서는 54~65 ppm으로 아주 높은 함량을 보이며, 122(화순군 회수교 부근), 124(화순군 학송리 부근), 129(장흥군 노루목 부근)에서는 34~54 ppm으로 평균함량인 13 ppm 보다 3~4배 높은 함량을 보여 과다농집 되어 있고, 45(나주시 나주호 부근), 148(장흥군 송림부근), 197(장흥군 신월리 부근)에서는 5 ppm 이하의 낮은 함량 값으로 결핍되어 있다(Fig. 7).

#### 4.3.6. 크롬(Cr)

크롬은 지각에서 110 ppm, 토양에서 100 ppm으로 지각 중의 함량과 토양에서의 함량이 대체로 일치하며, 암석에서는 비교적 초염기성암에 많이 분포한다. 토양과 천연수 중에 존재하는 적당량의 크롬은 인류 건강에 필수적인 원소이다(Choi and Kim, 1996).

크롬 함량은 시료의 위치에 따라 16~409 ppm이다. 시료번호 126(화순군 이만리 부근), 127, 128(화순군 목동마을 부근)에서 377~409 ppm으로 아주 높은 함량을 보이며, 122(화순군 회수교 부근), 124(화순군 학

송리 부근), 125(화순군 진전마을), 129(장흥군 노루목 부근)에서는 202~376 ppm으로 평균함량인 73 ppm보다 3~5배 높게 관찰되었다(Fig. 7).

#### 4.3.7. 안티몬(Sb)

안티몬은 질소족으로 강한 독성을 가져 과다 섭취 시 암을 유발할 수 있는 독성원소에 해당하는 원소이며, 비필수 미량원소로 분류된다. 천연수 안의 안티몬 함량은 아주 낮아 해수에는 0.33 µg/L, 하천수에는 0.1~0.5 µg/L이 포함되어 있다(Choi and Kim, 1996).

안티몬 함량은 시료의 위치에 따라 0.1~5.1 ppm이다. 시료번호 105(화순군 순지동 부근, 5.1 ppm), 126(화순군 이만리 부근), 123(청풍면 신석계 부근), 122(화순군 회수교 부근), 120(화순군 신리 부근)등 화순군 청풍면과 이양면 경계의 비교적 해발이 높은 지역에서 높게 나타난다(Fig. 7).

#### 4.3.8. 아연(Zn)

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

아연 함량은 시료의 위치에 따라 39~375 ppm이다. 시료번호 126(화순군 이만리 부근, 375 ppm), 127, 128(화순군 목동마을 부근), 129(장흥군 노루목 부근)에서는 369~375 ppm으로 평균함량인 97 ppm, 토양의 평균함량인 50 ppm보다 높게 관찰되었으며, 32(나주시 준적동 부근), 97(화순군 남덕동 부근), 172(영암읍 학송마을 상류부근)에서는 아연의 결핍이 관찰되었다(Fig. 7).

## 5. 결 론

1. 청풍지역 하상퇴적물 전체에 대한 주성분원소 함량은, SiO<sub>2</sub> 47.31~72.81 wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11.26~21.88 wt.%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.83~8.39 wt.%, CaO 0.342~2.81 wt.%, MgO 0.55~3.59 wt.%, K<sub>2</sub>O 1.71~4.31 wt.%, Na<sub>2</sub>O 0.56~2.28wt.%, TiO<sub>2</sub> 0.46~1.24 wt.%, MnO 0.04~0.27 wt.%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.02~0.45 wt.%의 범위이다.

2. 청풍지역 하상퇴적물 전체에 대한 미량성분원소 함량은, Ba 700 ppm~8990 ppm, Be 1.0~3.50 ppm, Cu 6.20~60 ppm, Nb 12~28 ppm, Ni 4.4~61 ppm, Pb 13~34 ppm, Sr 65~787 ppm, V 4~98 ppm, Zr

32~164 ppm, Li 21~827 ppm, Co 3.68~65 ppm, Cr 16.7~409 ppm, Cs 2.72~37.1 ppm, Hf 4.99~49.2 ppm, Rb 71.9~649 ppm, Sb 0.16~5.03 ppm, Sc 4.97~52 ppm, Zn 26.3~375 ppm, 희토류원소인 Ce, Eu, Yb 함량은 각각 60.6~373 ppm, 0.82~6 ppm, 0.71~10 ppm의 범위이다.

3. 유해원소의 과다농집과 이상결핍에 대한 특징은, 구리는 모든 시료위치에서 결핍현상 한계인 5 ppm을 넘어 결핍현상은 나타나지 않으며, 시료번호 94, 221에서는 평균함량인 17 ppm 보다 3~4배 높은 함량특성을 보인다. 이들은 토양의 tolerable level인 100 ppm보다는 낮은 수준이나, 향후 이들 지역에 대해서는 구리의 과잉농집 현상이 나타나지 않도록 세심한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 니켈은 시료번호 124에서 평균함량인 18 ppm 보다 3배이상 높았으며, tolerable level인 50 ppm 보다도 높은 함량을 나타내어 점오염 원일 가능성이 높은 것으로 추정된다. 시료번호 203, 215, 217, 206에서도 비교적 높은 함량특성을 보였으며, 이들 지역은 특별한 오염원이 없는 것으로 추정되어 지질적인 특성에 의한 것으로 예상되며, 이들 지역에 대해서는 니켈이 과다농집 되지 않도록 지속적인 관리가 필요하다. 납은 시료번호 187, 186, 188, 190에서 평균함량인 17 ppm보다 상대적으로 많은 30 ppm 이상의 함량특성을 보이지만, 퇴적물의 오염기준치인 40 ppm, tolerable level인 100 ppm 보다 훨씬 낮은 값으로, 안전한 것으로 판단된다. 코발트는 시료번호 126, 127, 128에서 아주 높은 함량을 보인다. 이 지역은 산골마을에 해당하는 지역으로 특별히 코발트 함량이 높을 수 있는 원인이 발견되지 않아, 지하심부에 광화대가 존재하는 것으로 판단되어, 추후 정밀 재조사가 필요한 것으로 추정된다. 시료번호 122, 124, 129에서 평균함량인 13 ppm 보다 3~4배 높은 함량을 보여 과다농집 되어 있고, 시료번호 45, 148, 197에서 5 ppm 이하의 낮은 함량 값으로 결핍되어 있다. 크롬은 시료번호 126, 127, 128에서 아주 높은 함량을 보이며, 이 지역은 산골마을에 해당하는 지역으로 특별히 크롬 함량이 높을 수 있는 원인이 발견되지 않아, 지하심부에 광화대가 존재하는 것으로 판단되어, 추후 정밀 재조사가 필요한 것으로 추정된다. 시료번호 122, 124, 125, 129에서 평균함량인 73 ppm 보다 3~5배 높고, 토양의 평균함량인 100 ppm보다 3~4배 높은 특성을 보여 이들 지역도 역시 광화대의 영향으로 추정되며, 이들 지역에 대해서도 집중적인 관리가 필요할 것으로 추정된다. 안티몬은 시료번호 105, 126,

123, 122, 120에서 화순군 청풍면과 이양면 경계의 비교적 해발이 높은 지역에서 높게 나타나 인위적인 현상이 아니라, 지질학적인 특성에 의해 높게 나타나는 것으로 추정된다. 아연은 시료번호 126, 127, 128, 129에서 청풍지역 아연의 평균함량인 97 ppm, 토양의 평균함량인 50 ppm보다 높게 나타나, 아연의 특성이 그다지 크지 않다는 성질과, tolerable level인 300 ppm과 비교하면 그다지 높지 않은 것으로 나타나 크게 문제되지 않을 것으로 여겨진다. 오히려 시료번호 32, 97, 172에서 아연의 결핍현상이 우려된다.

이번 연구를 통해 얻어진 결과를 통해 청풍지역 하상퇴적물에 대한 주성분원소, 미량성분 원소 및 희토류원소에 대한 각 시료위치에 따른 자연배정치로 설정하였고, 이를 토대로 청풍지역에서 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 익명의 심사위원님께 깊이 감사드립니다. 이 연구는 고가특수연구기기지원사업(고분해능 X선 회절분석기와 다기능 X선 회절분석기) 지원을 받아 연구 되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Choi, S.W. and Kim Y.S. (1996) Medical environmental of geochemical. Chungwang.
- Choi, Y.G. and Yoon H.D. (1968) Geological map of Korea: Jangheung sheet. Geological survey of Korea.
- Darnley, A.G (1990) International geochemical mapping: a new global project, *Journal of Geochemical Exploration*, 39, p. 1-14.
- 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 259, Earth Sciences 19, UNESCO Publishing, p. 122.
- FOREGS (Forum of European Geological Surveys). (1998) FOREGS Geochemical mapping field manual. Geological Surveys of Finland Guide, 47, p. 1-36.
- Jung, C.H. and Kim, K.C. (1966) Geological map of Korea: Neungju sheet. Geological survey of Korea.
- Kabata-Pendias, A and Pendias, H., (1984) Trace elements in soil and plants. CRC Press INC, 315p.

- Kim, J.K. and Park, Y.S. (2005) Geochemical Study on Geological Groups of Stream Sediments in the Gwangju Area. *Economic and Environmental Geology*, 38, p. 481-492.
- 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.
- Park, Y.S., Kim, J.K., Han, M.S., Kim Y.J., Jang W.S. and Shin S.C. (2002) Geochemical characteristics on the petrological groups of stream sediments and water in primary channels of the Jangheung area Korea. *Economic and Environmental Geology*, 35, p. 509-521.
- Park, Y.S., Jang, W.S. and Kim, J.K. (2003) The Study of Natural Background of Geologic Units for Stream Sediments in the Gurye Area. *Economic and Environmental Geology*, 36, p. 275-284.
- 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. (2001a) *Geochemical Atlas of Gyeonggi Province Korea: Geochemical Atlas of Korea(1:700,000), Series 1*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 78p.
- 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. (2001b) *Geochemical Atlas of Northern Chungcheong Province Korea: Geochemical Atlas of Korea(1:700,000), Series 1*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 82p.
- 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. (2001c) *Geochemical Atlas of Southern Chungcheong Province Korea: Geochemical Atlas of Korea(1:700,000), Series 1*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 76p.
- 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 1*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 79p.
- 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. (2001e) *Geochemical Atlas of Southern Jeolla Province Korea: Geochemical Atlas of Korea(1:700,000), Series 1*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 70p.
- 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 Wedephol, 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.