한국환경생태학회지 15(2) : 139~152, 2001
Kor. J. Env. Eco. 15(2) : 139~152, 2001

충남 서부 활석광산 주변의 지표수 및 하상 퇴적물의 중금속 함량[1]

송석환[2] · 김명희[3] · 민일식[3]

Heavy Metal Contents of the Surface Water and Stream Sediments from the Talc Mine Area, Western Part of Chungnam[1]

Suck-Hwan Song[2], Myung-Hee Kim[3], Ell-Sik Min[3]

요 약

충남 서부 활석광산 주변의 수계에 대한 원소 함량특성에 대해 알아보고자 대흥 및 광천광산에 대해 수질 및 하상 퇴적물 시료와 함께 광산 주변 토양 및 모암 시료를 채취 · 비교하였다. 대흥지역 퇴적물은 대부분 원소에서 SP가 GN에 비해 높았는데 이는 퇴적물 내 유색 및 무색 광물 함량 차이로 판단된다. 절대 함량 비교에서 광물 결정구조 내 쉽게 Mg와 치환하는 원소는 낮은 비율을, Fe와 치환하는 원소는 높은 비율을 보였는데 이는 퇴적물 내 주 구성광물 내 원소 치환특성을 반영하기 때문으로 판단된다. 절대 함량의 감소 순서와 타원소들과 높은 상관관계(>0.85)의 빈도를 보이는 원소들 사이의 차이는 퇴적물 화학 조성에 이차 광물과 비정질 광물 등의 조성도 반영되었음을 암시한다. 대흥지역 지표수는 대부분 원소에서 MSP가 SP와 GN의 중간값을, MSG는 LGN과 MSP의 중간값을 보여 수계의 혼합특성을 반영하는 것으로 판단된다. 절대 함량관계에서 SP는 GW1과 유사했고 GN은 LGN과 유사했으며, 절대 함량은 (Mg, Fe), (As, Sc), (Mo, V, Se) 순서로 낮아졌다. 광천지역은 갱내수가 천부 지하수에 비해 대부분 원소에서 높은 함량을 보였는데, 이는 갱내수가 더욱더 많은 물-암석 반응을 거친 때문으로 판단된다. 절대 함량은 Mg, Br, Fe, (Sc, Cr), (Zn, Ni, V) 순서로 감소하였다. 갱내수의 지역간 원소 함량 차이는 사문암화가 우세한 광천지역과 활석화가 우세한 대흥지역 모암들 사이의 물-암석 상호반응의 차이를 보여주는 것으로 판단된다. 두 지역의 상부 토양 및 모암 조성에서 SP가 GN에 비해 높은 *Mg* 비, Ni, Cr, Co 등 함량을 보였는데 이는 사문암 지역 내 Mg, Ni, Cr 등이 풍부한 광물들 탓으로 판단된다. 퇴적물과 수질 사이에서는 함량경향은 뚜렷하지 않았고 원소에 따라 서로 다른 함량 차이를 보였는데, 이는 퇴적물 원소 함량이 수계 조성을 반영하는 것이 아님을 나타낸다. 상부 토양-암석-수계의 조성 관계에서 대흥지역 지표수 중 SP 조성이, 광천지역은 갱내수가 지하수의 조성에 가까웠다.

주요어 : 활석광산, 수질, 퇴적물, 상부 토양, 물-암석 상호반응

ABSTRACT

This study is for chemistry of stream systems adjacent to the talc mine, Daeheung and Kwangcheon, western part of Chungcheongnam-Do. For this, water(surface-, mine- and shal-

---

* 본 연구는 중부대학교 교내 연구 개발비에 의하여 이루어짐
1 접수 5월 20일 Received on May 20, 2001
2 중부대학교 기술공학부 Division of Applied Science and Technology, Joongbu Univ., Chungnam, 312-940, Korea
3 중부대학교 생명자원학부 Division of Life Resources Science, Joongbu Univ., Chungnam, 312-940, Korea

low ground-) and stream sediment samples with top soils and their host rocks are collected and compared. Within the Daeheung area, the SP is higher than the GN in the stream sediments, suggestive of abundance differences among mafic and felsic minerals. In the comparisons of total element contents, elements easily substituted with Mg and Fe within the mineral structures show low and high ratios, respectively, suggestive of the substitution characteristics of elements within major constitutional minerals of the sediments. Differences between decrease orders of total element contents and of elements showing abundances of high correlation coefficent (>0.85) with others suggest that chemistry of sediments also reflect secondary and amorphous minerals. In the surface water of the Daeheung area, contents of the MSP is between SP and GN, and those of the MSG is between LGN and MSP, suggestive of mixing characteristics among the stream system. Total element contents show that the SP is similar to the GW1, GN is to the LGN, and order is decreased from (Mg, Fe), (As, Sc) to (Mo, V, Se). Comparing with shallow groundwater, mine water is high in the most of elements within the Kwangcheon area, relative to the ground waters, suggestive of higher water-rock interaction. Total element contents of the ground waters decrease from the Mg, Br, Fe, (Sc, Cr) to (Zn, Ni, V). Mine waters from two areas show differences in the element contents, suggestive of differences of water-rock interaction between Kwangcheon area dominated by the serpentinization and Daeheung area dominated by talcification. In the top soil and host rock, the SP shows high *Mg* ratios, and Ni, Cr and Co contents relative to the GN, suggestive of existences of minerals containing high Mg, Ni and Cr contents in the SP. Comparisons between stream sediments and waters show ambiguous trends in the element contents, suggesting that chemistry within the waters do not reflect those of the stream sediments. Comparing among the top soils, rock and waters, chemistry of the top soils reflect the SP of the surface water in the Daeheung area and mine water to in the Kwangcheon area.

KEY WORDS : TALC MINE, WATER, STREAM SEDIMENT, TOP SOIL, WATER-ROCK INTERACTION

서 론

이 연구는 충남 서부 활석광산 주변의 수계 및 퇴적물 내의 중금속 원소 함량특성에 대해 알아보기 위해 시도되었다. 이를 위해 지표수 및 천부 지하수 시료를 채취하였고 이들과의 관계를 알아보기 위해 광산 주변의 상부 토양 및 이들의 모암 시료도 채취 · 비교하였다. 이 활석광산들의 모암은 초염기성암으로 변질 및 변성에 의해 사문암화 및 활석화되며 우세 정도에 따라 활석광산과 사문암 광산으로 개발되었다.

기존의 전세계적인 연구들은 이 초염기성암 지역 토양이 척박하고 토양 내 높은 중금속 원소 함량을 보이고 있으며(Brooks, 1987), 이들 지역에 생존하는 생물상의 종류 및 빈도가 빈약함을 언급하고 있다(Baker *et al.*, 1992).

이런 이유로서 초염기성암 지역 토양 내의 광물은 우세한 입상조직을 보이고, 토양 함수량의 낮으며, 다른 지역들에 비해 토양층 내에 점토광물 함량과 이온치환능력이 낮은 것으로 알려져 있다(Kruckberg, 1951).

지화학적 연구들은 초염기성암 토양에서 Fe, Mg, Cr 및 Ni 등과 같은 중금속 함량이 높고(Derry, 1980; 송석환 등, 1999) Ca, N, P, K 등과 같은 영양염류 함량은 낮은 것으로 언급하고 있고(O' Hanley, 1996) 생태학적 연구들은 이런 특성들이 식물체에 반영되어 나타난다고 언급하고 있다(Baker *et al.*, 1994; Homer, 1991; Lee *et al.*, 1975).

한국의 경우 이런 초염기성암체가 충남 서부지역(Wee *et al.*, 1994) 및 경기도 북부 가평지역과 한국 남동부의 울산 등지에 분포하고 있다(최수용 등, 1990; 황진영 등, 1993). 특히 충남 서부에는 20여 개 암체가 광천, 청양, 예산 인근지역에 분포하고 있는데, 이들의 형태는 안구상으로서 수백 미터 신장되어 산출되고 있다(엄상호과 이민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963) .

지금까지 충남 서부 초염기성암 지역에 대한 연구는 주로 암석학적, 광물학적, 지화학적(Song *et al.*, 1997) 및 광상학적(윤상필 등 1994; Song 과 Moon, 1991) 접근이었고 제한적이나마 토양과 이곳에 서식하는 식물체 내 중금속 함량과의 관계가 홍성 및 광천 등에서 수행된 바 있다(김명희 등, 1997, 2000). 이런 연구들에도 불구하고 한국의 경우 초염기성암 지역 수계에 대한 종합적인 연구는 거의 없다.

따라서 본 연구는 대흥 및 광천 초염기성암 지역을 택하여 수계 및 하상 퇴적물의 중금속 함량특성에 대한 연구를 진행하였다.

조사 및 분석 방법

1. 조사지 개황

연구 지역은 선캄브리아기의 경기 편마암 복합체 및 변성 퇴적암류와, 중생대 퇴적암류 및 이를 관입하는 후기의 관입암체들로 구성되어 있다(엄상호와 이민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963). 일반지질을 간략하면 아래와 같다.

기반암인 편마암복합체는 주로 흑운모, 호상, 안구상 편마암 등으로 구분되며 석영, 장석, 흑운모, 각섬석, 석류석 등을 포함한다. 이와 관입 및 부정합 관계로 놓여 있는 변성 퇴적암류인 월현리층은 석영, 장석, 흑운모, 각섬석을 포함하는 함-흑운모, 흑운모-각섬석 편암과 각섬석, 흑운모, 사장석을 주로 포함하는 변성 염기성암으로 구성되어 있다.

선캄브리아 암석들과 부정합 관계인 중생대 퇴적암류로 월명산층, 아미산층, 백운사층이 있다. 최하부로부터 월명산층은 역암, 흑색사암, 흑색 함탄질 세일 등으로, 아미산층은 중립질의 흑색 및 함탄질 세일로, 그리고 백운사층은 암회색 사암, 흑색 세일, 역암, 역암질 사암, 탄층으로 구성되어 있다. 이들 중 세일은 석영, 장석, 흑운모, 각섬석 및 기타 불투명 광물 등을 포함하고 사암은 모래 입자에서 자갈 입자로 점이적인 변화를 변한다.

이외에도 쥐라기 말부터 백악기에 해당되는 핑크색 장석화강암, 페그마타이트, 반화강암과 염기성암인 각섬암과 같은 다수의 관입암체들이 분포하고 있다.

연구 대상인 초염기성암체는 렌즈상 암체로 주변 편마암류와는 거의 수직 단층으로 접하며, 변질에 의해 대부분 활석화 및 사문암화(우영균 등, 1991; 윤상필 등, 1994)되었으나 일부 신선한 암석의 경우 사방휘석, 각섬석, 첨정석 등을 포함한다. 두 연구 대상 광산인 대흥 및 광천광산은 석면, 활석, 사문암 광산으로 개발되었으나(김규봉, 1972; 지정만, 김규봉, 1977), 현재는 폐광되었다.

현재 대흥광산은 완전히 복원되어 리기다 소나무(*Pinus rigida*) 등이 식재되어 광산 흔적이 나타나지 않고 있다. 광천지역은 광산 개발 후 일부만이 복토되고 식재되어 있고 따라서 광산 일대지역의 식물상은 다양하지 않으나, 광산지역에는 대나물(*Gypsophila oldhamiana*), 개솔새(*Cymbopogon tortilis* var. *goeringii*) 참억새(*Miscanthus sinensis*) 등의 출현 빈도가 높고, 싸리(*Lespedeza bicolor*) 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*) 등도 출현하였다(김명희 등, 1997).

한편, 주변 변성암 지역에서는 박주가리(*Metaplexis japonica*), 인동덩굴(*Lonicera japonica*), 쑥(*Artemisia vulgaris*), 비수리(*Lespedeza cuneata*), 노박덩굴(*Celastrus orbiculatus*) 등이 출현하고 있다

2. 시료 채취 및 분석

(1) 시료 채취

연구를 위해 대흥과 광천지역에 대해 3회에 걸쳐 야외 조사를 실시하여 시료 채취 지점을 선택하였다.

대흥지역은 광산으로부터 민가가 멀리 떨어져 있고 광산을 따라 주변의 수계가 잘 발달되어 있어 상부에서 하부까지 지표수 시료를 채취하였다. 지표수를 채취한 지점에서 하상 퇴적물 시료를 채취하였고 갱내수 시료도 채취하였다. 또한 광산의 대표적 토양과 주변암인 편마암류 토양이 채취되었고, 토양이 채취된 인접부에서 모암 시료가 채취되었다.

상부 토양의 경우 각 처소에서 3지점을 잡아 1~10cm의 깊이 표토층에서, 퇴적물은 각 처소에서 4지점의 시료를 각각 1kg 이상 채취 · 혼합하여, 대표 시료로 하였고, 수계 시료는 각 처소에서 4회에 걸쳐 반복 채취 · 혼합하여 대표 시료로 하였다.

본 연구를 위해 대흥지역 수계의 경우(Figure 1) 기반암이 초염기성암인 지역(Serpentinite area, SP1, SP2), 기반암이 변성암인 지역(Gneiss area, GN1, GN2), SP 및 GN 수계가 합쳐지는 기반암이 초염기성암 지역(Mixed Serpentinite area, MSP1, MSP2), MSP 수계와 합쳐지는 인접 마을로부터 온 하부의 기반암이 변성암인 지역

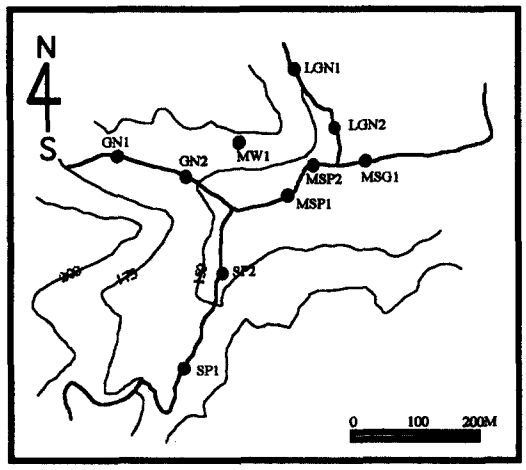

Figure 1. Sample localities of the stream sediments from the Daeheung mine area. All abbreviations are in the text

(Low Gneiss area, LGN1, LGN2), MSP와 LGN 수계가 합쳐지는 혼합지역(Mixed Serpentinite and Gneiss area, MSG) 그리고 초염기성암 지역의 갱내수계(Mine water, mw1)로 나누었다.

광천지역(Figure 2)은 광산 인접지역에서 천부지하수 시료(Shallow Groundwater, sg1, 2, 3, 4)와 갱내수(Mine water, mw5)도 시료를 채취하였다.

(2) 시료 분석

물 시료는 시료 채취 후 0.4% 질산으로 산 처리하여 캐나다 ACTLABs(Activation Laboratories Ltd.)에 보내어 ICP/MS로 분석하였다.

채취된 하상 퇴적물의 시료는 실내에서 3주일 간 풍건시킨 후 2mm 체를 통과한 것에 대하여 시료로 선택하였다. 상부 토양은 약 1kg을 채취하여 잘 혼합시킨 후 실험실로 운반, 3주 간 풍건시킨 후 2mm 체로 쳐서 시료로 준비하였다. 암석 시료는 상부 토양과 동일한 곳에서 채취하였다. 상부 토양 및 퇴적물은 광물특성 및 조합을 알아보기 위해 박편을 제작하여 광물조합을 관찰하였다.

준비된 퇴적물, 상부 토양 및 암석 시료는 캐나다 ACTLABs에 보내어 ICP로 분석하였다. 분석 방법은 0.5g의 시료를 질산(0.6ml)과 염산(1.8ml)을 사용하여 95℃에서 반응이 멈출 때까지 약 2시간 동안 용해시켜 액상(Aqua regia)을 만들어 냉각시킨 후, 증류수 10ml를 첨가시켜 Themo Jerrel Ash Enviro Ⅱ ICP로 분석하였다(Hoffmann, 1997).

(3) 시료 특성

대흥 하상 퇴적물의 경우 경하에서 각 대조구별 퇴적물 조합 차이가 두드러졌다. 기반암이 초염기성암 지역(SP)은 퇴적물 내에 사문석 및 활석 파편과 트레모라이트, 휘석, 녹리석, 금운모 파편이 우세하였고, 기반암이 변성암(GN)인 지역은 편마암류의 파편과 장석, 흑운모, 녹리석, 석영 파편이 우세하였다. GN과 SP 수계가 합쳐지는 MSP 지역은 두 지역 특성이 혼합되어 유색 및 무색 광물이 공존하며 하부의 변성암 수계인 LGN은 GN과 유사하였다. LGN과 MSP가 합쳐지는 MSG 지점은 MSP에 비해 무색 광물의 양이 소량 증가하였고, 활석광체로부터 유래되는 소량의 유색 광물을 함유하였다. 상부 토양의 경우 광산지역은 대부분 활석, 각섬석, 휘석, 불투명 산화 광물과 점토광물을 포함하는 반면

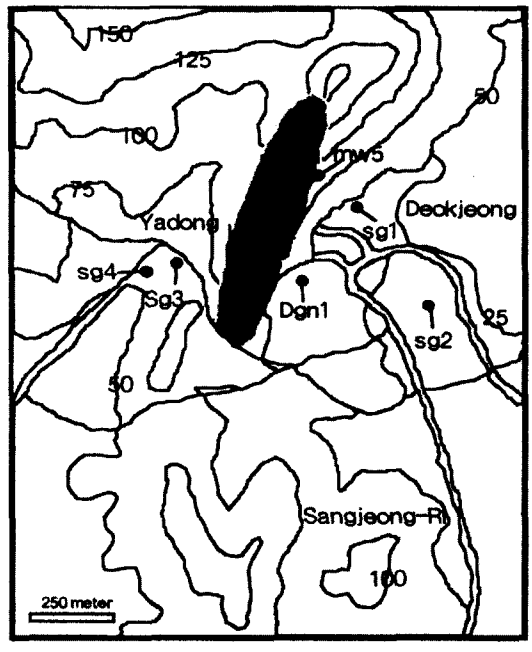

Figure 2. Sample localities of the water and soil from the Kwangcheon area, western part of Chungnam. Shadow area is mine site. All abbreviations are in the text

변성암 지역은 녹리석화된 흑운모 및 각섬석 외에 석영, 장석과 이들로부터 유래된 점토광물을 주로 포함하였다.

전체적으로 광천지역 상부 토양 시료는 대흥지역과 유사했으나, 이 지역은 활석화보다는 사문암화 및 석면화가 더욱 진행되어 토양 내에 풍부한 사문석과 석면을 포함하였고, 휘석류가 거의 발견되지 않았으며, 비교적 풍부한 운모류를 포함하고 있었다. 변성암 지역은 대흥지역에 비해 풍부한 각섬석류 및 사장석을 포함하고 있었고 드물게 석류석의 결정도 포함하였다.

결과 및 고찰

1. 퇴적물 특성

대흥지역 수계의 퇴적물 분석 결과는 Table 1과 같고 Figure 3에 도시하였으며, 각 원소 쌍들과의 상관관계는 Table 2에 나타난 바와 같다. 전체적으로 수계는 대조구 사이의 지역적 차이가 두드러졌다.

하상 퇴적물은 대부분 원소에서 SP가 GN 및 LGN에 비해 높았고, MSP의 경우 Mg, Fe, Ni, Cr, Co, As, Sc 등 일부 원소들이 SP와 GN 사이의 중간값을 보였으며, MSG 또한 일부 원소 등이 MSP와 LGN 사이의 중간값을 보였다(Table 1). SP와 GN 사이의 명확한 차이는 SP 내의 풍부한 유색 광물과 GN의 높은 무색 광물 함량 차이 때문으로 판단된다.

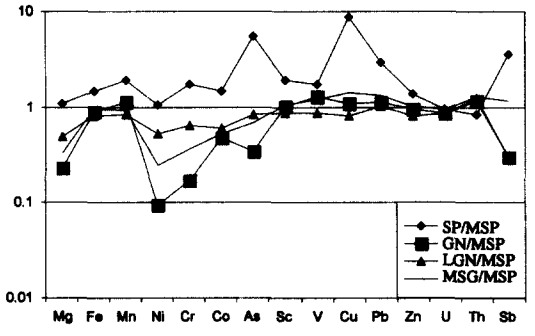

Figure 3. Concentrations of the steam sediments from the Daeheung talc mine area. All abbreviations are in the text. Scale is logarithm

퇴적물 사이의 절대 함량 차이를 비교하기 위해 MSP로 나눈 각 지역별 원소 함량비에서(Figure 3) GN, LGN 및 MSG의 경우 광물 결정구조 내에서 (Deer *et al.*, 1966) Mg와 쉽게 치환하는 Ni, Co, Cr 등에서 낮은 비율을, Fe에 쉽게 치환하는 광물들은 Mn, Sc, V, Cu 등은 높은 비율을 보였다. 이는 퇴적물 내의 각섬석, 흑운모, 금운모 등의 유색 광물 및 자철석 등의 결정구조 내의 치환특성을 반영하기 때문으로 판단된다. 특히 SP의 경우 U, Th를 제외한 대부분의 원소에서 MSP가 높은 값을 보이는 원인은 SP 내의 휘석, 활석, 사문석, 녹리석 등의 높은 함량 때문으로 판단된다.

전지역 시료를 비교해볼 때 절대 함량은 (Mg, Fe), Mn, (Cr, Ni), (V, Zn, As), (Pb, Cu, Co), (Th, Sc, U), (Be, Sb) 순으로 감소하였다(Table 1). 각 원소들의 상관관계에서(Table 2) 많은 원소들과 높은 상관관계(>0.85)를 보이는 빈도는 Fe, (Sb, Be), Mn, (Zn, Cu, Cr), (Pb, Co, As, Sc), (V, U), (Mg, Th) 순서였다. 이들 중 Th와 Be는 높은 부의 상관관계를 보였다.

이런 절대 함량 차이와 높은 상관관계를 보이는 원소들 사이의 관계에서 보면 절대 함량이 크다고 해서 반드시 높은 상관관계를 보이지 않음을 알 수 있다. 이는 퇴적물의 화학 조성이 위에서 언급한 광물격자 구조 내에서의 관계뿐만 아니라 그 외에도 이차광물 및 비정질 광물 등의 조성이 화학 조성에 영향을 준 것으로 판단된다. 예로 이런 사문암 지역 내에서 존재할 수 있는 광물로는 녹리석, 몬모릴로나이트, 사포나이트, 논트로나이트, 탄산염광물, 함철 산화-수산화물 및 겔 침전물 등이 있을 수 있다(O' Hanley, 1996; Velde, 1995).

2. 수질 특성

채취된 수질의 분석 결과는 Tables 3, 5에 나타난 바와 같고 각 원소 쌍들과의 상관관계는 Tables 4, 6에 나타난 바와 같다. 대흥지역의 경우 연구에 대한 명확한 비교를 위해 김명희 등(2000)의 수질 분석치도 첨부하여 비교하였다.

대흥지역은 전체적으로 수계의 혼합특성이 명확하였고 SP 영향의 수계와 GN 영향 수계 사이의 차이가 두드러졌다.

대부분의 원소에서 MSP는 SP와 GN의 중간값을 보였고 MSG는 LGN과 MSP의 중간값을 보였다. 또한 사문암 영향권하의 수계인 SP는 GW1과, GN은 LGN과 각각 유사했으며 전자 두 지역은 후자에

Table 1. Concentration of the stream sediments from the Daheung talc mine area, Chungnam(in ppm)

	Mg	Fe	Mn	Ni	Cr	Co	As	Sc	V	Cu	Pb
ssp1	56,963	63,699	1,304	320	906	45	234	22.8	133	85	25
ssp2	55,416	43,768	752	377	566	33	73	11.2	77	180	82
avg	56,190	43,734	1,028	348.5	736	39	153.5	17	105	132.5	53.5
sgn1	12,082	33,250	650	32	78	13	10	9.2	82	16	20
sgn2	11,413	33,363	562	30	66	13	9	9.2	74	17	21
avg	11,748	33,307	606	31	72	12.5	9.5	8.2	78	16.5	20.5
smsp1	85,003	44,780	668	549	655	40	33	9.8	62	14	14
smsp2	17,734	28,558	112	112	181	13	22	8.0	61	16	22
avg	51,369	36,669	532.5	330.5	418	26.5	27.5	8.9	61.5	15	18
slgn1	31,775	31,266	489	236	300	19	12	8.1	55	12	19
slgn2	19,632	28,977	402	117	232	13	34	7.4	52	12	18
avg	25,704	30,122	445.5	176.5	266	16	23	7.75	53.5	12	18.5
smsg	17,202	34,917	486	82	155	14	19	9.5	75	21	24

Table 1. (Continued)

	Zn	U	Th	W	Au	Sb	Se	Be	Ag	Cd
ssp1	62	2.3	6.5	〈3	〈5	3.7	〈3	1	〈0.4	-
ssp2	69	3.1	11.2	〈3	〈5	6.1	〈3	2	〈0.4	〈0.5
avg	65.5	2.7	8.85	-	-	4.9	-	1.5	-	-
sgn1	43	2.6	11.7	〈3	〈5	0.5	〈3	2	〈0.4	〈0.5
sgn2	49	2.3	13.1	〈3	〈5	0.3	〈3	2	〈0.4	〈0.5
avg	46	2.45	12.4	-	-	0.4	-	2	-	-
smsp1	53	3.0	10.3	〈3	6	1.3	〈3	2	〈0.4	〈0.5
smsp2	43	2.6	10.8	〈3	〈5	1.4	〈3	2	〈0.4	〈0.5
avg	48	2.8	10.55	-	-	1.35	-	2	-	-
slgn1	40	2.8	13.1	〈3	〈5	0.3	〈3	2	〈0.4	〈0.5
slgn2	38	2.1	13.3	〈3	〈5	0.5	〈3	2	〈0.4	〈0.5
avg	39	2.45	13.2	-	-	0.4	-	2	-	-
smsg	49	2.7	13.8	〈3	〈5	1.6	〈3	2	〈0.4	〈0.

* s means stream sediments. ssp for average contents of stream sediments from the SP. sgn for those from GN, msp for those from MSP, lgn for those from LGN, mag for those from MSG. SP, GN, MSP, LGN and MSG abbreviations are in the text

Table 2. Calculated Pearson correlation coefficent for the stream sediment from Daeheung talc mine

	Mg	Fe	Mn	Ni	Cr	Co	As	Sc	V	Cu	Pb	Zn	U	Th	Sb
Fe	.753														
Mn	.606	.899													
Ni	.991	.671	.529												
Cr	.935	.840	.794	.918											
Co	.941	.898	.834	.906	.987										
As	.726	.886	.944	.681	.915	.910									
Sc	.666	.933	.953	.604	.861	.874	.982								
V	.339	.852	.921	.238	.562	.624	.814	.891							
Cu	.639	.894	.969	.580	.853	.860	.990	.992	.886						
Pb	.573	.882	.955	.512	.807	.813	.974	.990	.910	.995					
Zn	.638	.982	.934	.551	.786	.839	.907	.964	.930	.935	.937				
U	.676	.648	.252	.639	.530	.581	.342	.412	.246	.303	.291	.535			
Th	-.888	-.865	-.842	-.834	-.893	-.946	-.821	-.787	-.625	-.785	-.725	-.795	-.490		
Sb	.712	.952	.911	.653	.878	.892	.965	.990	.854	.966	.965	.967	.527	-.782	
Be	-.658	-.880	-.968	-.605	-.869	-.871	-.994	-.985	-.863	-.998	-.988	-.916	-.279	.800	-.956

비해 높은 값을 보였다(Table 3, Figure 4). 이런 특성은 수계의 원암특성 차이와 이동 중의 수계들의 혼합특성을 반영하는 것으로 판단된다.

수질 시료 사이의 절대 함량관계를 비교하기 위해 MSP로 나눈 결과를 도시한 결과(Figure 4)에서 보면 GN이 LGN에 비해 높은 값을 보였다. 전지역 시료를 비교해 볼 때 절대 함량은 (Mg, Fe), (As, Sc), (Mo, V, Se), (Cr, U, Ni), (Sb, Co) 순으로 감소하였다. 다른 원소들과 높은 상관관계 (>0.85)를 보이는 빈도는 (Ni, Se), (U, Mg, Mo, As), (Co, Sb), (Sc, V, Fe) 순으로 낮아졌다

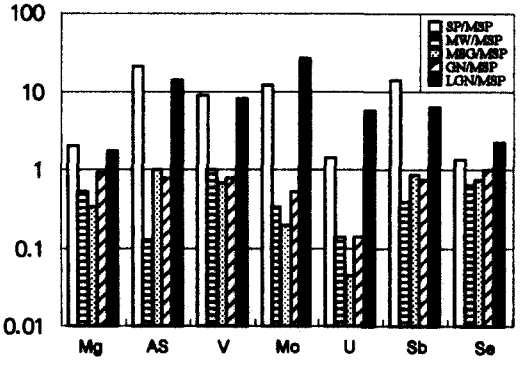

Figure 4. Concentrations of the waters from the Daeheung talc mine area. All abbreviations are in the text. Scale is logarithm

(Table 4).

전세계 지표수 평균(Reimann과 Caritat, 1998, Table 3)과 비교해 SP가 대부분 원소에서 높았고 Fe, Sc, W를 제외한 대부분의 원소에서 GN이 높았다. 또한 Finland 평균치와 비교해 SP가 Mg, Ni, Cr, As, V, Mo, U, Sb, Se에서 높았고 Fe, Mn, Co, Pb에서 낮았다. SP와 해수 평균의 비교에서는 SP는 Mn, Co, Ob, Zn, U는 낮았고 Mg, Fe, Ni, Cr, As, Sc, V, Mo는 높았다.

광천지역은 천부 지하수 사이의 함량 차이가 두드러지지 않았으나 갱내수와 천부 지하수 사이에는 차이를 보였다. 전지하수 시료를 비교할 때 절대 함량은 Mg, Br, Fe, (Sc, Cr), (Zn, Ni, V), (Cu, Mn, Mo), (Se, U, Co, W, Sb) 순서로 감소하였다 (Table 5). 타원소들과 높은 상관관계를 보이는 원소들은(Fe, Sb, Se), (Th, Mn), (Mg, Ni, U), Co, (As, Zn, Cu), V, (Mo, Sc) 순서였다(Table 6).

광천지역 지하수 및 갱내수의 비교에서 갱내수는 지하수 평균에 비해 거의 대부분의 원소에서 높았는데(Figure 5), 이는 천부 지하수에 비해 갱내수가 높은 물-암석 반응을 거친 때문으로 판단된다. 전세계 지표수 평균(Reimann과 Caritat, 1998)과 비교하면 광천지역 천부 지하수의 평균치는 Mg, Ni, Cr, Sc, V, Cu, Mo, U, W, Se에서 높았고 Fe, Mn, Co, As, Pb, Zn에서 낮았다. 하지만 갱내수와 비교해 전세계 평균지표수는 As를 제외한 대부분의 원소에서 낮았다.

Table 3. Concentration of the stream waters from the Daheung talc mine area, Chungnam(in ppb)

	Mg	Fe	Mn	Ni	Cr	Co	As	Sc	V	Pb	Zn
wsp1	11,500	269	0.3	1.56	1.1	0.154	21.5	6.5	5.31	⟨0.1	6.8
wsp2	9,560	202	0.1	0.61	1.8	0.108	71.8	5.0	1.45	⟨0.1	⟨0.5
avg	10,530	235.5	0.2	1.085	1.45	0.131	46.7	5.5	3.38	-	-
wgn1	3,060	76	⟨0.1	0.11	⟨0.5	0.041	0.69	8	0.42	⟨0.1	⟨0.5
wgn2	2,560	67	⟨0.1	0.12	⟨0.5	0.042	1.04	7	0.32	⟨0.1	4.7
avg	2,810	71.5	-	0.115	-	0.0415	0.865	7.5	0.37	-	-
wmsp1	5,240	120	⟨0.1	0.34	0.6	0.063	5.87	6	0.38	⟨0.1	1.5
wmsp2	5,410	131	⟨0.1	0.7	0.5	0.073	7.87	6	0.37	⟨0.1	⟨0.5
avg	5,325	125.5	-	0.52	0.55	0.068	6.87	6	0.375	-	-
wlgn1	1,820	40	⟨0.1	0.1	0.6	0.029	1.7	7	0.27	⟨0.1	⟨0.5
wlgn2	1,830	46	⟨0.1	0.2	⟨0.5	0.031	11.9	6	0.24	⟨0.1	⟨0.5
avg	1,825	43	-	0.15	-	0.030	6.8	6.5	0.255	-	-
wmsg	4,780	121	⟨0.1	0.37	0.5	0.065	5.32	6	0.3	⟨0.1	3.7
mw1	9,060	153	⟨0.1	12.1	1.1	0.152	957	11	3.05	⟨0.1	⟨0.5
Sea water(*)	1,290,000	2	0.2	0.56	0.3	0.02	3.7	0.0006	2.5	0.03	4.9
S.W.(W)	4,100	40	4	0.3	0.7	0.2	4	0.004	0.9	3	
15S.W.(F)	1,390	680	29	0.52	0.5	0.17	0.36		0.63	0.23	3.6

Table 3. (Continued)

	Mo	U	Th	W	Au	Sb	Se	Ag	Cd	Hg	Tl
wsp1	14	2.463	⟨0.003	4.07	⟨0.002	9.32	0.7	⟨0.2	0.03	⟨0.2	0.016
wsp2	4.2	1.098	⟨0.003	1.84	⟨0.002	3.63	0.4	⟨0.2	⟨0.01	⟨0.2	0.012
avg	9.1	1.781	-	2.955	-	6.475	0.55	-	-	-	0.014
wgn1	0.3	0.254	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.34	0.3	⟨0.2	0.05	⟨0.2	⟨0.005
wgn2	0.2	0.093	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.04	0.2	⟨0.2	⟨0.01	⟨0.2	⟨0.005
avg	0.25	0.174	-	-	-	0.19	0.25	-	—	-	
wmsp1	0.5	1.884	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.34	0.4	⟨0.2	0.052	⟨0.2	0.012
wmsp2	1.0	0.591	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.62	0.4	⟨0.2	⟨0.01	⟨0.2	0.009
avg	0.75	1.238	-	-	-	0.48	0.4	-	-	-	0.011
wlgn1	0.1	0.065	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.41	0.3	⟨0.2	⟨0.01	⟨0.2	⟨0.005
wlgn2	0.2	0.047	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.41	0.3	⟨0.2	0.36	⟨0.2	⟨0.005
avg	0.15	0.056	-	-	-	0.41	0.3	-	-	-	-
wmsg	0.4	0.172	⟨0.003	⟨0.02	⟨0.002	0.35	0.4	⟨0.2	⟨0.001	⟨0.2	⟨0.005
mw1	20	7.174	⟨0.003	1.04	⟨0.002	3.01	0.9	⟨0.2	0.07	⟨0.2	0.071
Sea water(*)	10	3.2	0.001	0.1	0.004	0.24	0.2	0.04	0.11	0.03	0.019
S.W.(W)	.5	0.04	⟨0.1	0.03		⟨0.1	⟨0.2	0.05	0.02	0.05	0.04
S.W.(F)	0.15	0.073				0.028	0.067	⟨0.01	⟨0.02	-	⟨0.015

* Fe, Mn, Ni, Cr, Co, Sc, Cu, Zn data from Kim *et al.*(2000). w means water. wsp for average contents of surface waters from the SP. wgn for those from GN, wmsp for those from MSP, wlgn for those from LGN, wmsg for those from MSG and mwl for those from mine. SP, GN, MSP, LGN and MSG abbreviations are in the text. Bold Character data is median value, from Reimann and Caritat(1998). Sea water(*) for Worldwide Sea water, S.W.(W) for Stream water and S.W.(F) for for Stream water of Finland

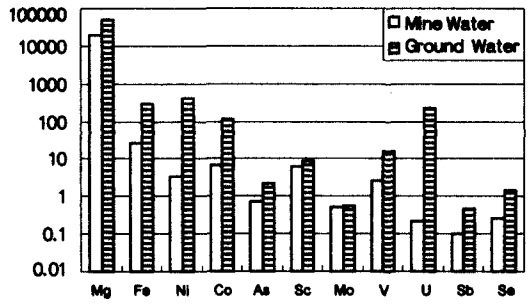

Figure 5. Comparisons of heavy metal element contents between the mine water and shallow groundwater(avg.) from the Kwangcheon mine area. Scale is logarithm

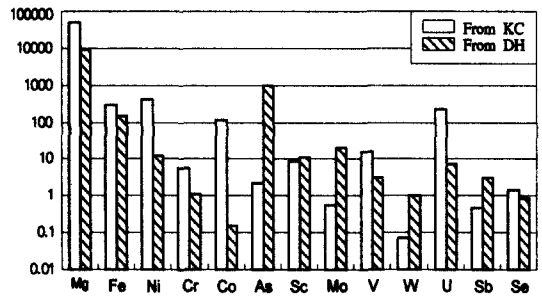

Figure 6. Comparisons of heavy metal element contents between the mine waters from the Kwangcheon(KC) and Daeheung(DH) mine areas. Scale is logarithm

대흥과 광천지역 갱내수의 비교에서(Figure 6) 대흥지역은 Mg, Fe, Ni, Cr, Co, V, U 등 많은 원소에서 낮았는데, 이는 모암 차이와 이에 따른 물-암석 상호반응의 차이를 보여 주는 것으로 판단된다. 즉 광천지역은 상대적으로 사문암화가 심하게 진행되어 높은 사문석($Mg_3(Si_2O_5)(OH)_4$), 각섬석류($Ca_2(Mg,Fe)_5(Si_8O_{22})(OH,F)_2$, (Deer *et al.*, 1966) 등을 포함하고 있어서 물-암석 반응 결과 활석류($Mg_6(Si_8O_{20})(OH)_4$), (Deer *et al.*, 1966)를 더욱더 포함하는 대흥지역에 비해 높은 전이원소 함량을 보이기 때문으로 판단된다.

3. 상부 토양 및 암석

대흥 및 광천지역 상부 토양과 모암의 분석 결과는 Table 7에 나타난 바와 같다. 전체적으로 상부 토양 및 암석에서는 SP와 GN 사이의 원소 함량 차이가 두드러졌다.

상부 토양의 경우 *Mg* 비(=Mg/((Mg+Fe)*100)에서 SP 지역은 평균 70.4로 GN의 14.8에 비해 커다란 차이를 보였고 Ni, Cr, Co, As은 수배에서 수십 배 정도의 차이로 높았다. 하지만 Mn, Sc, V, Cu, Pb, Zn은 GN이 SP에 비해 수배의 차이로 높았다. 이는 두 지역의 구성광물 차이 및 구성광물 내의 성분 차이로 설명이 가능하다. 즉 초염기성암 지역은 Mg, Ni, Cr 등이 풍부한 휘석, 사문석, 활석, 금운모 및 기타 이차 광물 등이 우세한 반면, GN 지역은 Fe, Sv, V 등이 풍부한 흑운모, 각섬석 및 이차광물 등이 우세한 결과이기 때문이다. 한편 광천 및 대흥지역 사이의 Mg 차이는 변질의 차이, 즉 사

Table 4. Calculated Pearson Correlation coefficent for the stream waters from Daeheung Talc mine

	Mg	Fe	Ni	Co	As	Sc	V	Mo	U	Sb
Mg										
Fe	.956									
Ni	.539	.275								
Co	.959	.838	.753							
As	.511	.242	.999	.732						
Sc	.228	-.053	.920	.486	.932					
V	.931	.831	.630	.940	.611	.385				
Mo	.782	.567	.929	.921	.920	.762	.872			
U	.662	.418	.982	.841	.975	.853	.724	.962		
Sb	.891	.893	.297	.798	.274	.019	.927	.628	.422	
Se	.794	.591	.928	.928	.915	.715	.813	.972	.964	.565

Table 5. Concentration of the shallow ground-and mine-waters from the Kwangcheon mine area, chungnam(in ppb)

	Mg	Fe	Mn	Ni	Cr	Co	As	Sc	V	Cu	Pb	Zn	Mo
sg1	8,695	26	0.64	3.24	5.5	0.065	0.60	7	3.72	3.5	0.408	106	0.13
sg2	32,231	23	0.69	0.96	7.8	0.050	0.85	2	1.97	1.3	0.609	3.8	1.31
sg3	18,356	31	1.75	8.2	7.2	0.170	0.79	7	2.47	0.7	0.237	2.5	0.45
sg4	20,221	29	1.59	1.52	7.0	0.177	0.72	8	2.73	4.0	5.030	12	0.17
mw5	50,586	288	878	430	5.7	110.3	2.13	9	15.3	167	7.408	1,015	0.57

	U	Th	W	Au	Sb	Se	Br	Cs	Ag	Cd	Hg	Tl
sg1	0.381	0.005	0.02	<0.002	0.084	0.2	76	0.043	<0.1	<0.01	<0.2	<0.005
sg2	0.117	0.005	0.26	<0.002	0.127	0.3	75	0.204	<0.1	<0.01	<0.2	<0.005
sg3	0.260	0.007	0.03	<0.002	0.128	0.2	77	0.015	<0.1	<0.01	<0.2	<0.005
sg4	0.153	0.005	0.01	<0.002	0.058	0.3	99	0.002	<0.1	<0.01	<0.2	<0.005
mw5	219.7	0.04	0.07	<0.002	0.480	1.5	37	0.190	<0.1	<0.01	<0.2	<0.005

*sg for shallow groundwater(<50m depth) from adjacent Kwangcheon mine area. mw for mine water

문암, 활석화의 차이에 의한 토양 내의 우세한 광물 조성 차이로 설명이 가능하다.

모암의 경우 *Mg* 비(=Mg/((Mg+Fe)*100)에서 SP 지역은 평균 79.5로 GN의 29.3에 비해 커다란 차이를 보였고 Ni, Cr, Co, As에서 수배에서 수십 배 정도의 차이로 높았으며 Mn, Sc, V, Cu, Pb, Zn은 GN이 SP에 비해 수배의 차이로 높았다. 이는 상부 토양의 경우에서처럼 두 대조구 사이의 구성 광물 차이 및 구성광물 내의 성분 차이로 설명이 가능하다.

이들 결과치를 상부내륙지각 및 총지구평균치(Taylor, 1997, 1982; Taylor and McllLennan, 1981)와 비교했을 때 초염기성암들은 매우 높은 Mg, Ni, Cr, Co 값을 보였고 변성암 지역은 전체 원소함량 범위에 해당되었다.

Table 6. Calculated Pearson correlation coefficent for the ground and mine waters from Kwangcheon mine area

	Mg	Fe	Mn	Ni	Cr	Co	As	Sc	V	Cu	Pb	Zn	Mo	U	Th	W	Sb
Fe	.848																
Mn	.854	1.000															
Ni	.851	1.000	1.000														
Cr	-.039	-.529	-.527	-.528													
Co	.854	1.000	1.000	1.000	-.527												
As	.915	.988	.989	.989	-.399	.989											
Sc	.071	.515	.497	.502	-.680	.497	.407										
V	.793	.994	.994	.994	-.619	.994	.966	.555									
Cu	.849	.999	1.000	1.000	-.537	1.000	.987	.505	.995								
Pb	.698	.798	.794	.789	-.364	.794	.775	.627	.788	.801							
Zn	.810	.994	.995	.995	-.604	.995	.971	.519	.999	.996	.775						
Mo	.505	.035	.051	.047	606	.051	.172	-.814	-.039	.039	-.186	.001					
U	.853	1.000	1.000	1.000	-.528	1.000	.989	.497	.994	1.000	.793	.995	.051				
Th	.850	.999	.998	.999	-.516	.998	.990	.508	.991	.998	.779	.992	.047	.998			
W	.403	-.063	-.044	-.050	.562	-.044	.061	-.882	-.120	-.052	-.237	-.079	.973	-.044	-.058		
Sb	.882	.984	.985	.986	-.446	.985	.991	393	.968	.982	.698	.974	.173	.985	.989	.060	
Be	.886	.995	.996	.995	-.478	.996	.991	.462	.984	.996	.824	.987	.094	.996	.992	.004	.978

Table 7. Heavy metal contents of the top soil and host rock from Daeheung talc mine area(ppm excep Mn, Fe, and Mg(wt %))

	Type	Area	S. Num	Mg	Fe	Mn	Ni	Cr	Co
Soil	SP	Daeheung	dsp1	7.48	5.29	0.069	734	687	69
			dsp2	8.14	4.96	0.066	1,006	661	63
			dsp3	9.55	3.46	0.034	1,376	336	73
		Kwangcheon	ksp1	12.55	3.13	0.066	1,430	662	62
			ksp2	10.97	3.65	0.078	1,420	781	85
		Avg.		9.74	4.09	0.063	1,193.2	625.0	70.4
	GN	Daeheung	dgn1	0.75	4.26	0.063	43	50	16
		Kwangcheon	dgn1	0.76	4.43	0.095	57	61	24
		Avg.		0.755	4.35	0.079	50.0	55.5	20
Rock	SP	Daeheung	rdsp1	25.29	7.69	0.150	1,382	1257	67
			rdsp2	19.27	3.87	0.049	1,257	939	46
		Kwangcheon	rksp1	22.77	6.12	0.053	2,067	2059	115
			rksp2	23.28	5.66	0.072	2,648	2259	100
		Avg.		22.65	5.84	0.081	1,838.5	1,628.5	82
	GN	Daeheung	rdgn1	2.763	5.36	0.106	44	52	22
		Kwangcheon	rdks2	0.462	2.42	0.053	8	9	5
		Avg.		1.613	3.89	0.080	26.0	30.5	13.5
Upper Continental Crust*				1.32	3.5	0.06	20	35	10
Bulk Crust*				2.10	5.83	0.11	30	55	25

Table 7. (Continued)

	Type	Area	S. Num	As	Sc	V	Cu	Pb	Zn	*Mg* ratio
Soil	SP	Daeheung	dsp1	171	11	50	37	36	100	58.6
			dsp2	10	37	40	21	45	62.1	
			dsp3	71	6	18	22	13	55	73.4
		Kwangcheon	ksp1	9	4	13	6	3	37	80.0
			ksp2	10	5	26	34	9	42	75.0
		Avg.		54.2	7.2	28.8	27.9	16.4	55.8	70.4
	GN	Daeheung	dgn1	29	8	47	21	14	76	14.9
		Kwangcheon	dgn1	17	7	105	65	40	90	14.6
		Avg.		23.0	7.5	76.0	43.0	27.0	83.0	14.8
Rock	SP	Daeheung	rdsp1	7	11	61	5	11	66	76.7
			rdsp2	4	7	30	6	6	40	83.3
		Kwangcheon	rksp1	5	5	14	9	10	41	78.8
			rksp2	5	3	8	10	8	46	80.4
		Avg.		5.3	6.5	28.3	7.5	8.8	48.3	79.5
	GN	Daeheung	rdgn1	2	18	40	61	25	89	34.0
		Kwangcheon	rdks2	1.5	4	32	41	18	57	16.0
		Avg.		1.8	11.0	36.0	51.0	21.5	73.0	29.3
Upper Continental Crust*				1.5	11	60	25	20	71	27.4
Bulk Crust*					30	175	60	-	-	26.5

* *Mg* ratios=Mg/(Mg+Fe)*100. Upper Continental Crust and Bulk Crust data from Taylor(1977), (1982), and Taylor and McLennan(1981)

4. 퇴적물-상부 토양-물과의 상관관계

퇴적물-수질 분석치 사이의 원소 함량관계는 Figure 7에 나타난 바와 같다. 전체적으로 보면 퇴적물과 수질의 함량과는 명확한 함량경향을 보이지 않았으며 원소에 따라 서로 다른 함량 차이를 보였다.

퇴적물-수질 분석치 관계에서 Ni, Co, Fe, V는 10^6배 이상의 차이를 보였고 Mg, As, Sc, U, Sb는 대부분 지역에서 10^4배 이하의 차이를 보였다. 또한 퇴적물/수계 조성비를 고려해 볼 때 AS, Sb를 제외한 대부분 원소에서 LGN이 제일 높았고 SP와 GN의 비교에서는 SP는 Mg, Ni, Sc는 낮고 Fe, Co, As, V, U, Sb는 높았다(Tables 1, 3).

즉 이런 특징들은 일반원소들의 용해도와 관련해서 설명이 가능하지는 않다. 즉 이들 수계의 pH(6.7~7.3), (김명희 등, 2000)를 고려할 때 일반적으로 pH의 감소에 따라 초염기성암 지역 여건하에서 Co나 Ni는 Cr이나 Fe에 비해 더욱 높은 용해도를 보여(Brooks, 1987) 퇴적물 내의 Co, Ni의 함량이 Cr이나 Fe에 비해 낮아야 하고 수계에서는 높아야 하나 사실은 그렇지 않다. 이는 퇴적물의 원소 함량이 수계의 조성을 대변하는 것이 아니며, 수계의 조성 또한 충분한 물-암석 상호반응을 반영하는 것이 아님을 나타낸다.

상부 토양-암석-수계 조성과의 관계를 보면 (Figure 8), 대흥지역의 경우 갱내수에 비해 지표수 중 SP=조성이 토양 및 암석조성과 유사했고, 광천지역은 지하수에 비해 갱내수가 토양 및 암석조성에 가까웠다. 대흥지역의 경우 Fe 및 Sc를 제외한 나머지 원소가 지표수 중 GN과 유사한 경향을 보였다.

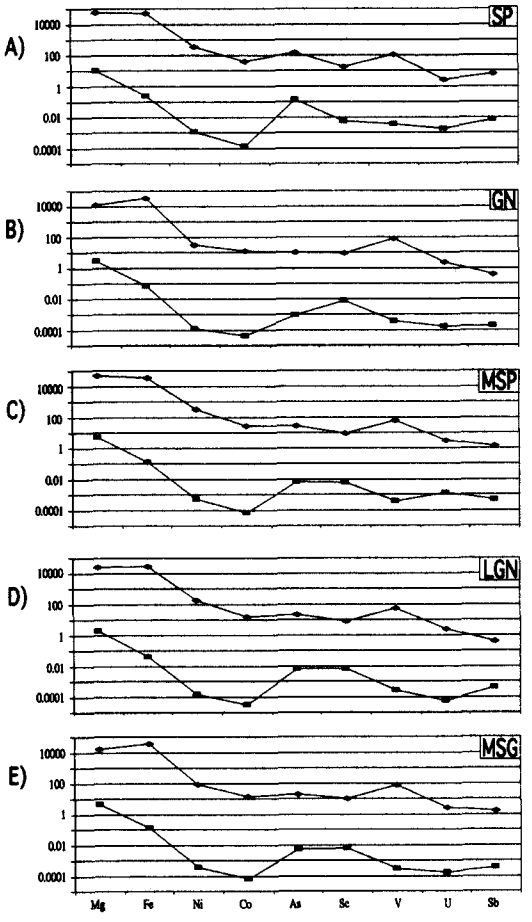

Figure 7. Comparisons between stream sediments and waters from the Daeheung talc mine area. All elements are in ppm. Stream sediments(◆) and waters(▪). All abbreviations are in the text. Scale is logarithm

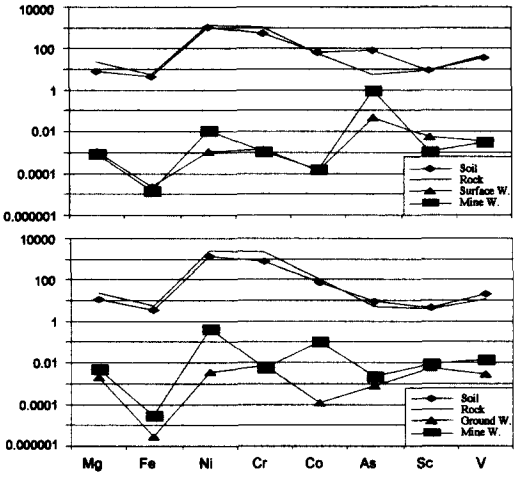

Figure 8. Comparisons among compositions or rock, soil and waters for the Daeheung(A) and Kwangcheon(B) mine areas. Fe, and Mg are wt % and the other elements are in ppm. Soil and rock data from Type SP(Table 7). In the A), surface water from wsp(avg, Table 3) and in the B), ground water from sg(avg, Table 5). Scale is logarithm

결 론

위 연구 결과는 아래와 같다.

1. 퇴적물에서 대부분 원소가 SP가 GN에 비해 높았는데 이는 유색 및 무색 광물 함량 차이로 판단되며, 퇴적물 사이의 절대 함량 차이의 비교에서 지역별 원소 함량 차이는 주 구성광물의 결정구조 내 치환특성을 반영하기 때문으로 판단된다.

2. 퇴적물에서 절대 함량 감소 순서와 타원소들과 높은 상관관계(>0.85) 빈도를 보이는 원소 순서에서 차이는 퇴적물 화학 조성에 이차 광물 및 비정질 광물들 등의 조성이 반영되었기 때문일 수 있다.

3. 수계에서 대흥지역의 원소 함량은 지점별로 차이를 보였고, 수계의 혼합특성을 반영하였다. 절대 함량 차이의 비교에서 SP는 GW1과, GN은 LGN과 유사했고, 절대 함량의 감소순서와 타원소들과 높은 상관 관계를 보이는 빈도는 차이를 보였다.

4. 수질의 비교에서 광천지역은 대부분 원소에서 갱내수가 높았는데 이는 물-암석 반응 정도의 차이 때문으로 판단된다. 갱내수 비교에서 나타나는 차이는 두 지역 모암들에서 보여주는 사문암화 및 활석화 정도 차이와 이에 따른 물-암석 상호반응 차이 때문으로 판단된다.

5. 상부 토양 및 모암 사이의 비교에서 SP와 GN 사이의 원소 함량 차이는 사문암 지역 내 Mg, Ni, Cr 등이 풍부한 광물들 탓으로 판단된다. 퇴적물과 수질 사이의 함량경향의 균질하지 않은 차이는 퇴적물 원소 함량이 반드시 수계 조성을 반영하지 않음을 보여 준다.

6. 상부 토양-암석-수계 조성과의 관계에서 대흥지역은 갱내수에 비해 지표수 중 SP 조성이 토양 및 암석 조성과 유사했고, 광천지역은 지하수에 비해 갱내수가 토양 및 암석 조성에 가까웠다.

인 용 문 헌

김규봉(1972) 한국의 활석광산. 지질광상조사연구보고. 국립지질조사소 14: 5-121.

김명희, 민일식, 송석환(1997) 사문암 지역에서 생육하는 대나물(*Gypsophola oldhamian*)의 중금속 함량. 한국생태학회지 20(5): 385-391.

김명희, 송석환, 민일식, 장인수(2000) 충남 사문암 지역 토양 식물체 및 계류의 중금속 오염. 한국환경생태학회지 14(2): 119-126.

송석환, 김명희, 민일식, 장인수(1999), 충남 서부 백동사문암 지역 식물체의 중금속 함량. 한국토양환경학회지 4(2): 113-125.

엄상호, 이민성(1963) 1/5만 대흥지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소.

우영균, 최석원, 박기화(1991) 충남 예산지역 활석광상 성인에 관한 연구. 한국광물지질학회지 24(4): 363-378.

윤상필, 문희수, 송윤구(1994) 초염기성암 기원의 평안 및 대흥활석광상의 성인과 광물화학. 자원환경지질 27(2): 131-145.

이종혁, 김성수(1963) 1/5만 홍성지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소.

지정만, 김규(1977) 사문석의 활석화 과정에 관한 연구. 광산지질 10: 67-74.

최수용, 황진연, 김정진, 이윤종(1990) 울산사문암체의 광물학적, 지구화학적 연구. 지질학회지 26: 105-118.

황진연, 김정신, 옥수석(1993) 안동지역 사문암 광상의 구성광물 및 성안에 대한 연구. 광산지질 26(1): 1-10.

Baker, A. J. M., S. P. McGrath, C. M. D. Sidoli and R. D. Reeves(1994) The possibility of in sit heavy metal decontamination of polluted soils using crops metal accumulating plants. Resources Conservation and Recycling 11: 41-49.

Baker, A. J. M., J. Protocor, and R. D. Reeves(1992) The Vegetation of Ultramafic (Serpentinite) Soils. Intercepts Ltd., Andover, United Kingdom.

Brooks, P. R.(1987) Serpentine and its Vegetation: A Multidisciplinary Approach. 1st Edition, Dioscorides Press, Portland.

Deer, W. A., R. A. Howie and J. Zussman(1966) An introduction to the rock-forming minerals. Longman Group Ltd., London.

Derry, D. R.(1980) World Atlas of Geology and Mineral deposits. Mining Journal Books, London.

Hoffman, E. L.(1977) Instrumental Neutron Activation in geo-analysis. J. of Geochemical Exploritation 44: 273-319.

Homer, F. A., R. S. Morrison, R. R. Brooks, J. Clemens and R. D. Reeves(1991) Comparative Studies of Nickel, Cobalt and Copper Uptake by Some Nickel Hyperaccumulators of the Genus Alyssum. Plant and Soil 138: 195-205.

Kruckeberg, W. R.(1984) Calofornia Serpentines: Flora, Vegetation, Geology, Soils, and Mana-

gement Problems. University of California Press, Berkeley.

Lee J., R. R. Brooks, R. D. Reeves and C. R. Boswell (1975) Soil Factors Controlling a New Zealand Serpentine Flora. Plant and Soil 42: 153-160.

O' Hanley, D. S.(1996) Serpentinites: Records of Tectonic and Petrological History. Oxford University Press. Inc., New York.

Reimann, C. and P. Caritat(1998) Chemical elements in the environment. Springer, New York.

Song, S. H., S. G. Choi and J. G. Woo(1997) Genetic Implications of Ultramafic Rocks from the Bibong Area in the Kyeonggi Gneiss Complex. Econ. Environ. Geol. 30(5): 477-491.

Song, Y. and H. S. Moon(1991) Supergene Chloritiza tion and Vermiculitization in Horn-blende Gneiss, the Cheongyang Area. J. Korean Inst. Mining Geol. 24(3): 233-244.

Taylor, S. R.(1977) Island arc models and the composition of the continental crust. AGU Ewing Series 1. 325.

Taylor, S. R.(1982) Planetary Sciencs: A Lunar Perspective. Lunar and Planetary Inistiute, Houston, Texas: 481.

Taylor, S. R. and S. M. McLennan(1981) The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. Phil. Trans. Royal. Soc. A301: 391.

Velde, B.(1995) Origin and Mineralogy of Clays: Clay and the Environment. Springer, New York. 334.

Wee, S. M., S. G. Choi and C. G. So(1994) Preliminary Study on Ultramafic Rocks from the Chungnam Province, Korea. Econ. Environ. Geol. 27(2): 171-180.