

# 경상북도 안동 사문암지역의 모암, 토양 및 식물체 내 중금속 함량<sup>1</sup>

민일식<sup>2</sup> · 송석환<sup>3</sup> · 김명희<sup>4</sup>

## Heavy Metal Concentrations of Rocks, Soils and Plants from the Serpentine Area in Andong, Kyungsangbuk-do<sup>1</sup>

Ell-Sik Min<sup>2</sup>, Suck-Hwan Song<sup>3</sup>, Myung-Hee Kim<sup>4</sup>

### 요 약

경상북도 안동 사문암지역 및 부근의 화강암지역에 분포하는 암석, 토양 및 식물체에 함유되어 있는 원소의 농도를 조사한 결과는 다음과 같다. 본 조사지역에 분포하는 사문암에 함유되어 있는 주요 전이원소 함량(Ni 1,164ppm, Cr 366ppm, Co 109ppm, Fe 7.48%) 및 다른 대부분의 전이원소(Sc, Mn, Cu)도 화강암보다 높았으며, 우리 나라 다른 지역의 사문암에 함유되어 있는 농도와 비교하여 볼 때 매우 유사한 경향을 보이고 있다. 사문암토양의 경우 암석풍화토양 및 산림토양 모두 화강암토양에 비해 Ni, Co, Cr, Fe, Sc, Mn, Cu, Mg, Zn 농도가 높았으며, Pb는 반대의 경향을 나타내었다. 토양 내 원소 함량은 이들의 모암에 함유되어 있는 원소 함량의 변화와 일치하고 있으며, 같은 모암인 경우 산림식생의 영향에 따라 몇 원소들의 차이가 다소 나타났다. 식물체 내 원소의 농도는 토양의 농도에 비해 모두 낮았다. 참억새, 쑥, 소나무에 함유되어 있는 원소별 평균 농도는 모두 동일종간 대부분의 전이원소(Ni, Co, Cr, Fe) 및 As 농도가 화강암토양에 비해 사문암토양에서 더 높았다. 사문암토양에서 생육하는 식물체 3종 모두 대부분의 원소(Ni, Co, Cr, As, Sc, Fe) 함량이 지하부에서 더 높았으며, Zn과 Mo는 지상부와 지하부의 농도 차이가 크게 나타나지 않았다. 화강암토양에서 생육하는 식물체의 경우 원소별 지상부 및 지하부의 농도 차이는 사문암토양에 비해 크지 않았다.

주요어 : 사문암토양, 참억새, 쑥, 소나무

### ABSTRACT

A research has been made to investigate the heavy metal concentrations of the rocks, soils and plants distributed the serpentinite and granite area in Andong, Kyungsangbuk-do. It is founded that the serpentinite had very high concentrations of most transitional elements such

1 접수 9월 30일 Received on Sept. 30, 1999

2 중부대학교 생명자원학부 산림자원학 전공 Major of Forest Resource, Div. of Life Resource Science, Univ. of Joongbu, Chungnam 312-940, Korea(esmin@joongbu.ac.kr)

3 중부대학교 기술공학부 환경공학 전공 Major of Environmental Engineering, Div. of Applied Science & Technology, Univ. of Joongbu, Chungnam 312-940, Korea(shsong@joongbu.ac.kr)

4 중부대학교 생명자원학부 원예학 전공 Major of Horticultural Science, Div. of Life Resource Science, Univ. of Joongbu, Chungnam 312-940, Korea(mhkim@joongbu.ac.kr)

as Ni(1,164ppm), Cr(366ppm), Co(109ppm), Fe(7.48%), as well as Sc, Mn, Cu, in comparison to the granite. These high element accumulations showed the similar trend with other serpentine area in Korea. Weathered soils and forest soils from the serpentine had higher concentrations of Ni, Co, Cr, Fe, Mn, Cu, Mg, Zn than those of the soils from granite, while Pb showed the opposite tendency. The concentrations of the elements in the soils showed similar variations similar to the parent materials. In the case of the same parent material, forest vegetation slightly influenced some element concentrations in the soils. The element concentrations of plants were lower than those of soils without an exception. The average element(Ni, Co, Cr, Fe, As) content of *Miscanthus sinensis*, *Artemisia vulgaris* and *Pinus densiflora* in the serpentine area were higher within same species than those of the granite area. Ni, Co, Cr, As, Sc, Fe content of three species in the serpentine area were higher in the root parts than in the above-ground parts, while Zn and Mo content were not different between two parts. The element concentrations in the aboveground parts and roots of the serpentine plants were not compared to the granite area.

**KEY WORDS :** SERPENTINE SOIL, *Miscanthus Sinensis*, *Artemisia Vulgaris*, *Pinus Densiflora*

## 서론

경상북도 안동군 풍천면에 사문암화되어 있는 암체가 분포하고 있으며, 현재 이곳에는 풍천광산명으로 채굴이 진행되고 있고, 생산된 골재는 철용재로 이용되고 있다.

사문암은  $\text{SiO}_2$  함량이 매우 낮은 초염기성암으로 분류되며, 광물구성은  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ 인데, 구성원소 중의 Mg가 Ni, Co, Cr, Fe 등과 치환하여 합니켈황철석이나 크롬철석을 생성하게 된다. 사문암 광물로부터 풍화된 토양은 광물 자체의 독특한 화학 조성 때문에 자연발생적인 중금속원소의 오염 원인으로 알려져 왔다. 이러한 유형의 토양은 초염기성광물, 특히 감람석, 휘석, 각섬석 또는 사문석광물, 섬유질 각섬석, 활석 등의 2차 생성물에서 유래된다(Aumento, 1970; Douglas, 1970; Proctor and Woodell, 1975; Brooks, 1987). 사문암토양은 발달과정에서 광물조성에 의한 치환으로 인한 중금속들의 함량이 높기 때문에 이곳에 분포하는 사문암식생은 생장이 제한되어 종구성이 빈약하고 생장도 저조한 것으로 보고되고 있다(Sultan *et al.*, 1986; Brooks, 1987; Baker *et al.*, 1992; Chiarucci, 1996; Chiarucci *et al.*, 1998). 사문암토양에서 생육하는 식생의 적응성에 대한 연구는 Prat(1934)에 의해 중금속 함량이 높은 사문암광산 폐기물 위에 분포하는 식생(mine-taxa)에 대한 연구를 시작으

로 그 후 여러 학자들(Bradshaw, 1952; Gregory and Bladshaw, 1965; Antonovics *et al.*, 1971)에 의해 연구되어 왔으며, 이 지역의 식생은 facultative taxa로서 오랜 적응기간을 거쳐 사문암 지역과 같은 특이환경에 neoendemism을 형성한다고 하였다.

우리 나라의 사문암은 충남 서부지역(이중혁과 김성수, 1963), 경상도의 울산(최수용 등, 1990)과 안동지역(황진연 등, 1993; 김용범, 1998) 및 경기도 가평지역(명진광산) 등에 제한적으로 분포하고 있다. 이들 연구는 주로 사문암에 대한 암석학적, 광물학적 및 지화학적 연구이고, 이에 반해 사문암토양 및 분포식생에 대한 원소 함량이나 식생구성에 대한 연구는 국내에서는 거의 되어 있지 않는 실정이며, 최근 김명희 등(1997; 1998)이 충남 홍성, 광천 및 울산 사문암지역, 민일식 등(1998) 및 송석환 등(1998)의 충남 백동 사문암지역에 대한 토양 및 식생에 함유된 중금속 함량에 대한 연구 등이 일부 보고되고 있다. 이 중 안동지역의 사문암체는 안동지층에 연하여 타원상의 형태로 관입하였고, 암체의 길이는 약 3.5km이고 폭은 약 1.2km에 이르며, 열수변질작용을 받은 초염기성암으로 구성광물은 리차르다이트, 크리소타일, 안티고라이트 등이 나타난다(김봉균 등, 1988; 황진연 등, 1993).

본 연구는 경상북도 안동 사문암 및 주변 화강암지역에 분포하는 암석, 토양 및 식생에 함유되어 있는

주요 중금속원소들의 농도를 분석하고, 국내 다른 사문암 토양 및 식생과 비교 연구하여 중금속 오염지역에 대한 phytoremediation을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 실시되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개황

본 연구지역은 시대미상의 편마암류와 이를 관입하는 쥬라기 화강암류 그리고 이와 부정합 관계로 놓여 있는 백악기 경상누층군인 퇴적암류가 분포하고 있다(김봉균 등, 1988). 편마암류는 반상변정질 편마암, 호상편마암, 화강암질 편마암으로 구성되어 있으며, 쥬라기 화강암류는 두드러진 흑운모 함량과 지역에 따른 장석의 반정이 특징적이다. 백악기 퇴적암류는 하부로부터 하산동층, 진주층, 일직층으로 구성되어 있다. 하산동층은 역암, 역질사암, 자색세일 등으로 구성되어 있고, 진주층은 흑색 및 회색세일, 사암, 역질 사암, 역암, 실트암 등으로 구성되어 있다. 일직층은 주로 역암, 사암, 세일 등으로 구성되어 있다. 사문암과 접하는 진주층은 N30 ~ 70° W 주향과 10~35° NE 경사를 갖고 있다. 이외에도 다수의 반화강암과 세맥들이 연구지역을 도처에서 관입하고 있다. 경상북도 안동군 풍천면에 분포하는 사문암체로 안동지층에 연하여 타원상의 형태로 관입하였고, 암체의 길이는 약 3.5km이고 폭은 약 1.2km에 이른다. 주요 구성광물로는 감람석, 투각섬석, 사문석이 있고, 부수적으로 녹리석, 방해석, 활석, 휘석이 있다(김봉균 등, 1988; 황진연 등, 1993).

본 연구지역에 분포하는 식생을 보면 광산 개발 후 광미에 의한 영향을 받은 지역은 잣나무(*Pinus koraiensis*), 소나무(*Pinus densiflora*) 및 아까시나무(*Robinia pseudo-acacia*) 등이 식재되어 있으며, 그외 강아지풀(*Setaria viridis*), 개솔새(*Cymbopogon tortilis* var. *goeringii*), 참억새(*Miscanthus sinensis*)와 쑥(*Artemisia vulgaris*), 개억피(*Persicaria blumei*), 매듭풀(*Kummerowia striata*), 오이풀(*Sanguisorba officinalis*), 패랭이꽃(*Dianthus sinensis*), 장구채(*Mlandryum firmum*), 개쑥부쟁이(*Aster ciliolus*), 큰달맞이꽃(*Oenothera lamarckiana*) 및 썩바귀(*Ixeris dentata*) 등과 같은 초본식물이 낮은 빈도로 출현하고 있다.

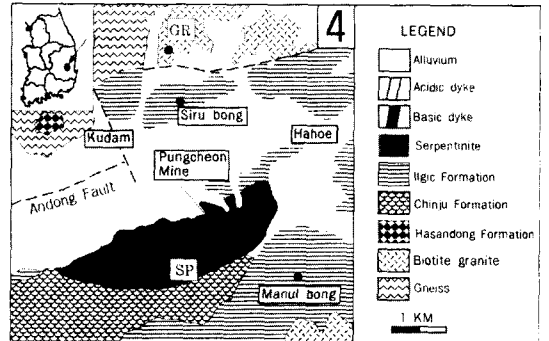


Figure 1. Geological map of the Andong mine area. Abbreviations: SP for sample sites of serpentinite area, GN for those of gneiss area and GR for those of granite area

### 2. 시료 채취 및 분석

본 조사지역에 분포하는 사문암지역과 이와 인접하고 있는 화강암지역에 대해 1997년 11월과 1998년 4월에 상세한 지질조사를 실시하였다. 특히 사문암지역은 삼림이 사문암토양에 미치는 영향을 평가하기 위하여 사문암에서 직접 풍화된 토양과 산림이 조성되어 있는 지역의 토양으로 분류하였으며, 그외 화강암지역은 암석에서 직접 풍화된 토양으로 채취하였다. 상부토양 시료는 각 실험조사구별로 지형, 모암, 표고, 방위, 배수상태, 침식상태 등의 입지환경에 관한 사항들을 현지에서 고려하여 동질적인 요소들로 구성된 대표적인 입지 내에서 전체를 대표하는 지점을 선정하여 토양단면을 조사한 후 표토로부터 약 10cm 깊이에서 식생의 영향을 받지 않은 모재로부터 직접 풍화된 토양을 대상으로 채취하였고, 산림토양은 A층(10cm 깊이)에서 약 1kg 정도의 시료를 모암별로 3지점에서 각각 채취하여 실험실 내에서 풍건시켜 2mm 체로 쳐서 분석 시료로 준비하였다. 암석 시료는 상부토양 시료가 채취된 같은 장소에서 채취하여 분석 시료로 사용하였고, 광물 특성을 알기 위해 박편제작을 하여 광물조합을 파악하였다.

위의 암석 및 토양 시료는 캐나다의 ACTLABs (Activation Laboratories Ltd.)에서 ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometry)로 분석하였다. 분석 방법은 0.5g의 시료를 질산(0.6ml)과 염산(1.8ml)을 사용하여 95°C에서 반응이 멈출 때까지 약 2시간 동안 용해시켜 액상(Aqua regia)을 만들어 냉각시키고 증류수 10ml를

첨가한 후 Thermo Jerrel Ash Enviro II ICP로 분석하였다. 식물체 시료는 사문암 및 화강암지역에 분포하고 있는 소나무(*Pinus densiflora*), 참억새(*Miscanthus sinensis*) 및 쑥(*Artemisia vulgaris*)을 각 3분씩 채취하여 실험실에서 증류수로 세척을 거쳐 이물질을 최대한 제거하고 완전 건조시킨 후에 근원부를 기준으로 지상부(잎과 줄기)와 지하부(뿌리)를 분리하여 INAA(Instrumental Neutron Activation Analysis)로 분석하였다. 분석 방법은 시료를 90°C로 건조시켜 파쇄한 후 15g을 량하여 약 30ton으로 압축시켜 제조한 고상탄에 15분간  $7 \times 10^{12} \text{ n} \times \text{cm}^2 \times \text{s}^{-1}$ 의 파장으로 빛을 조사하고 7일 후 부식된 시료를 INAA를 이용하여 분석하였다(Hoffman, 1997).

## 결과 및 고찰

### 1. 암석 및 토양 내 원소 함량

본 조사지역에 분포하는 사문암과 이와 인접하는 화강암 및 이들의 각 풍화토양에 함유되어 있는 원소 함량은 Figure 2 및 3과 같다. 전이원소 중에서 Ni, Cr, Co, Fe는 사문암의 특성을 나타내는 사문암 요소로서 광물구성 원소 중 Mg가 치환하여 광물 내에 매우 높게 부화되어 있는 원소로서(Brooks, 1987), 본 조사지역에서도 사문암에 각각 1,164ppm, 366ppm, 109ppm, 7.48%이며, 화강암에 각각 16ppm, 12ppm, 4ppm, 0.94%으로, 우리나라 다른 지역의 사문암에 함유되어 있는 농도와 비교하여 볼 때 매우 유사한 경향을 보이고 있다(김규한 등, 1993; 황진연 등, 1993; 김명희 등, 1997; 김명희 등, 1998; 민일식 등, 1998; 송석환 등, 1998). 다른 전이원소들은 대부분 사문암(Sc: 8ppm, Mn: 972ppm, Cu: 34ppm)이 화강암(Sc: 1ppm, Mn: 164ppm, Cu: 7ppm)보다 높게 나타났으며, Mo는 두 암석에서 0.2ppm으로 차이가 없었다. 이는 김규한 등(1993)이 울산 사문암지역의 보고에서 일반적으로 변성암대에서 산출되는 사문암은 초염기성암류의 변질과정에서 생성되는 전이원소가 부화되며, 이 중 Ni, Co, Cr 함량이 매우 높았다는 보고와 일치하고 있다. 이외에 다른 원소들은 사문암에 각각 Mg 9.99%, Zn 50ppm, As 21ppm이었으며, 화강암에 Mg 0.22%, Zn 20ppm, As 10ppm이 함유되어 있었고, Pb 함량은 사문암(2ppm)이 화강암(28ppm)에 비해 낮았다. 초염기성암의 전이원소

함량이 높은 것은 Ni와 Co의 이온반경(Ni:  $r=0.069\text{nm}$ , Co:  $r=0.072\text{nm}$ )이 초염기성암에 풍부한  $\text{Mg}^{2+}$ 의 이온반경과 유사하여 이온치환이 일어나기 때문이며, Cr 함량은  $\text{Cr}^{3+}$ ( $r=0.064\text{nm}$ )이  $\text{Fe}^{3+}$ ( $r=0.067\text{nm}$ ) 광물에 쉽게 치환되기 때문이다(Brooks, 1987).

사문암토양의 경우 암석풍화토양 및 산림토양의 전이원소 함량은 각각 Ni 1,326ppm, 1,226ppm, Co 159ppm, 160ppm, Cr 232ppm, 309ppm, Fe 5.91%, 9.11%, Sc 4ppm, 10ppm, Mn 1,359ppm, 1,420ppm, Cu 253ppm, 74ppm이었으며, 화강암토양은 Ni 18ppm, Co 6ppm, Cr 20ppm, Fe 1.94%, Sc 3ppm, Mn 141ppm, Cu 8ppm으로 모두 사문암토양이 높았다. 다른 원소들은 사문암 풍화토양 및 산림토양에서 Mg 9.71%, 8.93%, Zn 56ppm, 82ppm이었고, 화강암토양은 Mg 0.31%, Zn 45ppm으로 나타났으며, As는 두 지역 모두 10ppm으로 차이가 없었고 Pb는 암석과 마찬가지로 사문암토양(6ppm, 10ppm)이 화강암토양(29ppm)보다 낮았다. 이것으로 볼 때 대부분의 전이원소 및 Mg의 함량이 높게 나타나는 것은 사문암의 특성을 잘 나타낸다고 할 수 있다(황진연 등, 1993). 또한 Figure 3과 같이 토양 내 원소들의 함량 변화는 이들의 모암에 함유되어 있는 원소 함량의 변화와 일치하고 있으며, 같은 모암지역이라도 산림식생의 영향에 따라 몇 원소들에서 함량 차이가 나타나고 있으나 이에 대한 조사는 향후 더 자세한 연구

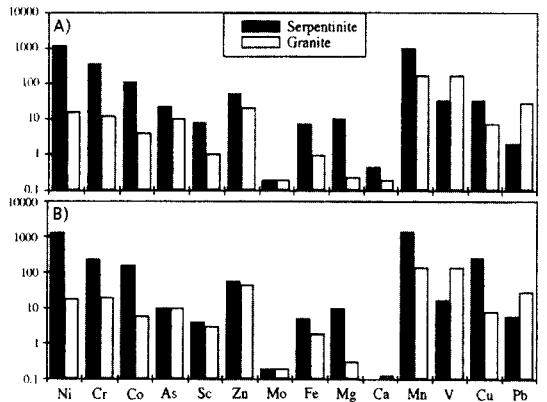


Figure 2. Heavy metal concentrations of rocks(A) and soils(B) from the Andong serpentine area. Scale is logarithm. Fe, Mg and Ca are in wt % and the other elements are in ppm

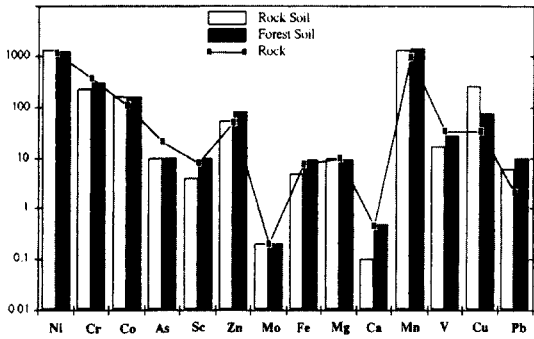


Figure 3. Element concentrations of serpentinite rocks and their soils from the Andong serpentinite area. Scale is logarithm. Fe, Mg and Ca are in wt % and the other elements are in ppm

가 필요한 것으로 사료된다. 본 지역에 분포하는 사문암토양과 다른 지역의 보고를 비교해 보면 충남 광천지역(강길남, 1999)은 Ni 농도가 1,490ppm, 경북 울산지역(김명희, 1998)은 1,227~1,524ppm 및 충남 백동지역(민일식, 1998)은 1,663ppm으로 다른 사문암지역에서도 유사하게 부화되어 있음을 알 수 있다.

## 2. 식물체 내 원소 함량

Figure 4는 사문암토양 및 화강암토양에서 생육하고 있는 썩, 참역새 및 소나무 내 함유되어 있는 원소들의 평균 함량을 나타낸 것이며, 전체적으로 전원소 공히 토양 내 함량보다 식물체 내 함량이 낮게 나타났다. 조사된 3종 모두 동일종간 대부분의 전이원소(Ni, Co, Cr, Sc, Fe) 및 As 함량은 사문암토양에서 생육하는 식물체가 화강암토양에 비해 더 높았다. 즉, 사문암토양의 경우 참역새는 Ni 82.50ppm, Co 12.30ppm, Cr 256.0ppm, Sc 3.21ppm, Fe 0.99% 및 As 0.59ppm이었고, 썩은 Ni 15.50ppm, Co 3.86ppm, Cr 26.30ppm, Sc 0.37ppm, Fe 0.19% 및 As 0.51ppm이었고, 소나무는 Ni 40.00ppm, Co 6.75ppm, Cr 71.00ppm, Sc 0.52ppm, Fe 0.41% 및 As 0.47ppm이었다. 이와 비교하여 화강암토양의 경우 참역새는 Ni 2.00ppm, Co 1.30ppm, Cr 13.35ppm, Sc 0.79ppm, Fe 0.55% 및 As 1.40ppm이었고, 썩은 Ni 4.50ppm, Co 2.00ppm, Cr 14.00ppm, Sc 0.41ppm, Fe

0.14% 및 As 5.10ppm이었고, 소나무는 Ni 2.00ppm, Co 1.05ppm, Cr 8.45ppm, Sc 0.21ppm, Fe 0.07% 및 As 2.15ppm이었다. 그러나 Zn 및 Mo 함량은 반대의 경향을 나타내었다.

Figure 5는 사문암토양 및 화강암토양에서 생육하는 식물체의 지상부 및 지하부에 함유되어 있는 원소의 함량을 나타낸 것이다. 사문암토양에서 생육하는 식물체 3종 모두 대부분의 원소(Ni, Co, Cr, As, Sc, Fe) 함량이 지하부에 더 많았다. 즉, 사문암토양의 경우 참역새는 지상부 및 지하부 내 함량이 각각 Ni 15, 150ppm, Co 3.6, 21ppm, Cr 32, 480ppm, As 0.4, 0.78ppm, Sc 0.32, 6.1ppm, Fe 0.186, 1.81%이었고, 썩은 각각 Ni 2, 20ppm, Co 1.3, 6.4ppm, Cr 9.6, 43ppm, As 0.49, 0.54ppm, Sc 0.15, 0.59ppm, Fe 0.078, 0.306%이었으며, 소나무는 Ni 10, 70ppm, Co 1.5, 12ppm, Cr 12, 130ppm, As 0.35, 0.6ppm, Sc 0.15, 0.9ppm, Fe 0.079, 0.747%이었다. 그러나 Zn 및 Mo 함량은 지상부와 지하부의 농도 차이가 크게 나타나지 않았다.

화강암토양에서 생육하는 식물체는 사문암의 경우와 다르게 나타났다. 참역새는 대부분의 원소(Co 지상부 0.5ppm 및 지하부 2.1ppm, Cr 5.7, 21ppm, As 0.9, 1.9ppm, Sc 0.19, 1.4ppm, Zn 18, 30ppm)에서 지하부가 더 높았으나, Fe(0.65, 0.452%)는 지상부에 더 많이 함유되어 있었다. 썩은 Co(1.5, 2.5ppm), Cr(12, 16ppm), As(4.9, 5.3ppm), Sc(0.25, 0.57ppm), Fe(0.1, 0.183%)는 지하부가 더 높았으며, Ni(7, 2ppm), Zn(46, 42ppm), Mo(0.09, 0.05ppm)는 지상부에서 더 높았다. 소나무는 Sc(0.18, 0.25ppm)와 Fe(0.074, 0.076%)를 제외하고, Co(1.2, 0.9ppm), Cr(9, 7.9ppm), As(2.6, 1.7ppm), Zn(30, 21ppm), Mo(0.26, 0.05ppm)는 지상부가 더 높았다. 그러나 대부분의 원소에서 지상부 및 지하부의 농도 차이는 사문암토양에 비해 크지 않았는데, 이는 화강암토양 자체의 함량이 작기 때문으로 사료된다.

또한 다른 폐광산지역에서 서식하는 야생식물(이재영 등, 1996) 및 전동짜리의 중금속 흡수에 관한 연구(송승달 등, 1997; 박태규와 송승달, 1998)에서는 식물체 부위별 흡수량은 뿌리부분이 지상부보다 많았다고 하였다. 하지만 식물종에 따른 토양으로부터 원소 흡수량 및 부위별 원소축적량의 차이는 원소에 따라 잎, 줄기 및 뿌리에 선택적으로 축적된다는 보고가 있다(Kabata-Pentias, 1984; MacNaeidhe and

## 인용 문헌

- 강길남(1999) 충남 광천 사문암지역에 분포하는 암석, 토양 및 식생의 중금속 함량. 중부대학교 산업과학대학원 석사학위논문, 47쪽.
- 김규한, 박재경, 양종만, 佐竹洋(1993) 울산철광산 지역의 사문암의 사문석화 작용에 관한 연구. 한국광산지질학회지 26(3):267-278.
- 김명희, 민일식, 송석환(1997) 사문암지역에서 생육하는 대나무의 중금속 함량. 한국생태학회지 29(5): 385-391.
- 김명희, 민일식, 송석환(1998) 사문암 분포지역별 암석, 토양 및 식물체의 Ni, Cr, Co Fe의 동태. 중부대학교 자연과학연구논문집 7:9-19.
- 김봉균, 이하영, 김수진, 정지곤(1988) 한국지질도 (1:50,000) 안동도폭 지질도 및 설명서. 한국동력자원연구소, 32쪽.
- 김용범(1998) 안동 사문암지대의 식생구조에 관한 연구. 중앙대학교 박사학위논문, 110쪽.
- 대한광업진흥공사(1989) 광상시추조사보고, 9호-12호.
- 민일식, 송석환, 김명희, 장관순(1998) 충남 백동 사문암지역의 토양 및 식물체 내 중금속 함량 - 소나무 및 리기다소나무를 중심으로. 환경생태학회지 12(3): 271-278.
- 박태규, 송승달(1998) Pb 처리에 따른 전동싸리 유식물의 성장적용과 중금속의 조절. 한국생태학회지 21(3):179-186.
- 송석환, 민일식, 김명희(1998) 충남 서부 백동 사문암 지역 식물체의 알칼리 및 전이원소 함량. 중부대학교 자연과학연구논문집 7:51-60.
- 송승달, 정화숙, 노광수, 송정석, 박태규(1997) 전동싸리의 성장과 질소고정 활성에 미치는 영향. 한국생태학회지 20(1):35-41.
- 이재영, 이인호, 이순영(1996) 금속 폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속 오염에 대한 지화학적 연구 - 달성 및 경산광산. 자원환경지질학회지 29(5): 597-613.
- 이종혁, 김성수(1963) 홍성지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 33쪽.
- 최수용, 황진연, 김정진, 이윤종(1990) 울산 사문암체의 광물학적 지구화학적 연구. 한국지질학회지 26: 105-118.
- 황진연, 김정진, 옥수석(1993) 안동지역 사문암광상의 구성광물 및 성인에 관한 연구. 자원공학학회지 26(1):1-10.

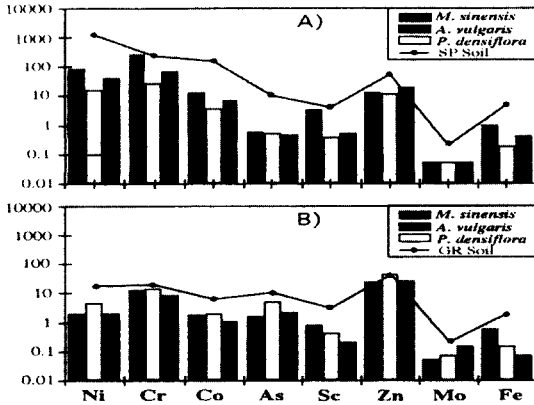


Figure 4. Element concentrations of *Miscanthus sinensis*, *Artemisia vulgaris* and *Pinus densiflora* from serpentine(A) and granite(B) soils. Scale is logarithm. All elements are in ppm except Fe(wt %)

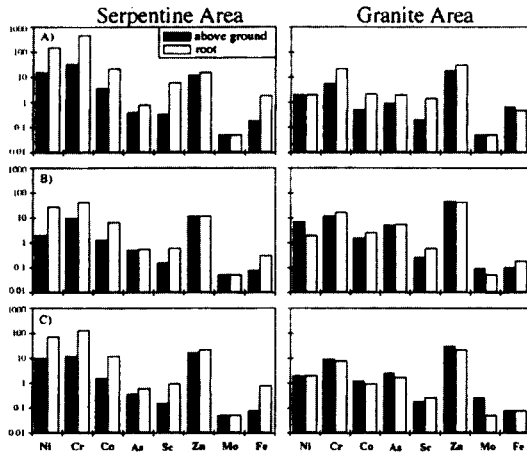


Figure 5. Element concentrations of *Miscanthus sinensis*(A), *Artemisia vulgaris*(B) and *Pinus densiflora*(C) from serpentine and granite soils. Scale is logarithm. All elements are in ppm except Fe(wt %)

Fleming, 1988; Baker *et al.*, 1992; Nanda *et al.*, 1995). 향후 사문암식생의 원소흡수량의 변화는 보다 정밀한 조사가 필요하다고 사료된다.

- Antonovics, J., A. D. Bradshaw and R. G. Turner (1971) Heavy metal tolerance in plants. *Adv. Ecol. Res.* 7:1-85.
- Aumento, F.(1970) Serpentine mineralogy of ultrabasic intrusions in Canada and on the Mid-Atlantic Ridge. Geological Survey of Canada, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Ontario. pp. 59-69.
- Baker, A. J. M., J. Proctor and R. D. Reeves(1992) The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. Intercept Ltd. Andover. 324pp.
- Bradshaw, A. D.(1952) Populations of *Agrostis tenuis* resistant to lead and zinc poisoning. *Nature* 169: 1098.
- Brooks, R. R.(1987) Serpentine and its vegetation. Dioscorides Press, Portland, Oregon. pp. 8-118.
- Chiarucci, A.(1996) Species diversity on plant communities on ultramafic soils in relation to pine afforestation. *Journal of Vegetation Science* 7: 57-62.
- Chiarucci, A, Maccherini, I. Bonini and V. De Dominicis(1998) Effects of nutrient addition on species diversity and ground cover of serpentine vegetation. *Plant Biosystems* 132(2):1-8.
- Douglas, R. J. W.(1970) Geology and Economic Minerals of Canada. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, Ontario, 376pp.
- Gregory, R. P. G. and A. D. Bradshaw(1965) Heavy metal tolerance in populations of *Agrostis tenuis* Sibth, and other grasses. *New Phytol.* 64:131-143.
- Hoffman, E. L.(1997) Instrumental Neutron Activation in Geoanalysis. *J. of Geochemical Exploration* 44:297-319.
- Kabata-Pendias, A.(1984) Trace elements in soils and plants. CRC Press Inc., Boca Raton. 315pp.
- MacNaoidhe, F. S. and G. A. Fleming(1988) A response in Spring cereals to foliar sprays of zinc on Ireland. *Irish J. Agric. res.* 27:91-97.
- Nanda, K. P. B., A. D. Viatcheslave, M. Harry and R. Ilya(1995) Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Tech.* 29:1232-1235.
- Prat, S.(1934) Die Erblichkeit der Resistenz gegen Kupfer. *Berlin Dt. Bot. Ges.* 52:65-67.
- Proctor, J. and Woodell, S. R. J.(1975) The ecology of serpentine soils. *Adv. Ecol. Res.* 9:255-265.
- Sultan, M., R. E. Arvidson and N. C. Strushiro(1986) Mapping of serpentinites in the eastern desert of Egypt by using landsat thematic mapper data. *Geology* 14:995-999.