

충남 백동 사문암지역의 토양 및 식물체내 중금속 함량¹

- 소나무 및 리기다소나무를 중심으로 -

민일식² · 송석환³ · 김명희⁴ · 장관순⁵

Heavy Metal Concentration of Soils and Plants in Baekdong Serpentinite Area, Chungnam¹ - A Case of *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* -

Ell-Sik Min², Suck-Hwan Song³, Myung-Hee Kim⁴, Kwan-Soon Jang⁵

요 약

충남 홍성에 위치한 백동 사문암지역에서 암석 및 토양에 함유되어 있는 중금속 함량과 이 지역에서 생육하고 있는 소나무 및 리기다소나무에 의해 식물체의 부위별로 흡수된 중금속 농도를 다른 모암지역(각섬석 편암 및 편마암)과 비교하여 측정하였다. 암석의 경우 사문암의 Ni, Cr, Co, Fe 농도가 각섬석 편암 및 편마암에 비해 더 높았다. 상부토양도 암석과 매우 유사한 결과를 나타내고 있어서, 특히 Ni, Cr, Co, Fe는 사문암토양이 가장 높았고, Zn과 Sc는 각섬석 편암이 더 높았다. 소나무의 평균 중금속 함량은 사문암지역에서 Ni, Cr, Co, Au, As, Sb, W 농도가 가장 높았으며, 이 중 Ni, Cr, Co는 암석 및 토양내 높은 함량 변화와도 일치하였다. 그외에 Zn, Sc는 각섬석 편암지역이 높았으며, Fe, Mo는 편마암이 각각 높았다. 같은 사문암지역에 분포하는 두 수종을 비교하면 대부분의 원소에서 소나무보다 리기다소나무내 함량이 더 높았으며(Ni 및 W은 예외), 이로 보아 식물체로의 중금속 흡수량이 리기다소나무가 더 크다는 것을 알 수 있다. 식물체의 부위별로 비교해 보면 두 수종 모두 모암의 구별없이 대부분 원소에서 뿌리부분이 지상부보다 흡수량이 높았다. 사문암지역에서 대부분 원소(Ni, Cr, Co, Zn, Sc, Fe)의 상대적인 비(평균 식물체 함량/토양 함량)는 모두 사문암보다 각섬석 편암이나 편마암지역에서 더 높았다. 특히 편마암지역은 Zn을 제외하고 전 원소에서 가장 높게 나타났다.

주요어 : 풍화토양, 독성원소, 식물체 흡수

1 접수 9월 30일 Received on Sep. 30, 1998

2 중부대학교 자연과학대학 산림자원학과 Dept. of Forest Resource, College of Natural Science, Univ. of Joongbu, Chungnam, 312-940, Korea

3 중부대학교 공과대학 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, College of Engineering, Univ. of Joongbu, Chungnam, 312-940, Korea

4 중부대학교 자연과학대학 원예학과 Dept. of Horticultural Science, College of Natural Science, Univ. of Joongbu, Chungnam, 312-940, Korea

5 충남대학교 농과대학 산림자원학과 Dept. of Forest Resource, College of Agriculture, Univ. of Chungnam, Daejeon, 305-764, Korea

ABSTRACT

Heavy metal concentrations in rocks and soils from serpentinite(SP) and in plants (*Pinus densiflora*: PD and *Pinus rigida*: PR) were examined at Baekdong mine in Hongsung, Chungnam. Parent rocks were compared with amphibole schist(AS) and gneiss(GN) and plants divided the above grounds and roots were examined, respectively. In rocks, Ni, Cr, Co, Fe concentrations in SP were higher than those in AS and GN. The concentrations of top soils had the similar differences to their rocks; especially Ni, Cr, Co, Fe concentrations were the highest in SP. Zn and Sc concentrations, however, were the highest in AS. Average Ni, Cr, Co, Au, As, Sb, W concentrations of PD were the highest in SP and especially Ni, Cr, Co concentrations were accorded with changes of rocks and top soils. Zn and Sc concentrations in AS were higher and Fe and Mo concentrations in GN were higher than those in SP. Compared with two plants in the same serpentinite sites, most elements of PR were higher than those of PD. Therefore, these suggested PR absorbed much heavy metal than PD. Most element concentrations of roots in two plants and three rocks were higher than those of the above ground. Relative ratios (average plant concentration/soil concentration) of Ni, Cr, Co, Zn, Sc, Fe in AS and GN were higher than those of SP. Especially, relative ratios of most elements except Zn in GN were the highest.

KEY WORDS : WEATHERED SOIL, TOXIC ELEMENT, PLANT-ABSORPTION

서론

사문암 광물로부터 풍화된 토양은 광물 자체의 독특한 화학조성 때문에 자연 발생적인 중금속원소의 오염원으로 알려져 왔다. 이러한 유형의 토양은 초염기성광물, 특히 감람석, 휘석, 각섬석 또는 사문석 광물, 섬유질 각섬석, 활석 등의 2차 생성물로부터 유래된다. 사문석 광물은 총상규산염광물로서 점토광물의 일종으로 구성 화학식은 $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ 인데, 구성원소중의 Mg가 Ni, Co, Fe 등과 치환하여 합니켈철석이나 크롬철석을 생성하게 된다(Aumento, 1970; Douglas, 1970; Proctor and Woodell, 1975; Brooks, 1987).

사문암 풍화토양은 치환된 중금속에 의해 식물체에 독성을 나타내는데 이로 인해 생장이 제한되거나 적응하지 못한 식생의 생존을 제한하게 되어 생물군의 빈도가 매우 낮고 독특한 생태계를 구성하게 된다(Sultan *et al.*, 1986; Brooks, 1987). 이러한 독성은 가용성 Ni, Cr, Co의 농도가 높고 아울러 식물체의 양료가 되는 Ca, K, P, N, Mo 등의 함량이 낮기 때문이다(Whittaker, 1954; Proctor and Woodell, 1975)

우리나라의 사문암은 충남 서부지역(엄상호와 이

민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963)과 경상도의 울산(최수용 등, 1990) 및 안동지역(황진연 등, 1993) 등에 제한적으로 분포하고 있다. 이러한 사문암 분포지역의 특성에 대한 연구는 주로 암석학적, 광물학적 및 지화학적인 연구에 해당하고 있으며, 사문암 풍화토양의 원소함량과 식생군의 분포에 대한 연구는 국내에서는 거의 되어 있지 않는 실정이다. 극히 제한적인 연구로 김명희 등(1997)의 충남 홍성 및 광천지역에 분포하는 사문암 주변 토양 및 식생에 함유된 중금속 함량에 대하여 보고와 김택진 등(1997)의 안동 사문암지역의 식생에 관한 연구가 있다.

본 연구지역은 충남 서부 백동 사문암지역으로 과거 석면광 및 활석광으로 개발되던 곳이나 현재는 폐광되었다. 이곳의 식생분포는 매우 빈약하며 광천 및 홍성 사문암지역에 분포하는 대나무이 사문암체의 풍화토양 위에 우점종으로 성장하고 있는 지역이다(김명희 등, 1997). 이 사문암체 및 인접 지역에 대해서 지질학적 연구(강필중과 임주환, 1974)와 암석학적, 광물학적 및 지화학적 연구(Song *et al.*, 1997) 등이 극히 일부 진행되어 있는 상태이다. 따라서 본 연구는 충남 백동 사문암지역에서 암석 및 토양에 함유되어 있는 중금속 농도와 이 지역에서

생육하는 소나무 및 리기다소나무에 의한 중금속의 흡수 농도를 사문암 및 이와 인접하고 있는 다른 모암지역(각섬석 편암 및 편마암)과 비교하여 토양과 식물체 부위별 중금속 원소의 흡수관계를 밝히는데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구지역은 선캠브리아기의 편마암 복합체를 기반암으로 이와 관입 및 부정합관계로 있는 변성퇴적암류 및 중생대 퇴적암류 또한 이를 관입하는 후기의 관입암체들로 구성되어 있다(엄상호와 이민성, 1963; 이종혁과 김성수, 1963). 선캠브리아기의 편마암복합체 역시 시대미상의 반화강암질 편마암에 의해 관입되나 이 암석과 그 외 암석들과의 관계는 불분명하다. 편마암복합체 및 화강편마암은 흑운모, 호상, 압구상 편마암으로 구성되며, 이 편마암들은 석영, 사장석, 알칼리 장석, 흑운모, 각섬석, 석류석, 녹리석을 포함하고 부수적으로 규산석, 인회석, 저어콘, 자철석을 포함한다. 반화강암질 및 화강편마암은 사장석, 알칼리 장석, 흑운모와 부수적으로 각섬석, 자철석, 녹리석 등을 포함한다. 변성퇴적암류인 월현리층은 함-흑운모, 흑운모-각섬석 편암과 변성염기성 암을 포함하며, 월명산층은 중생대 퇴적암류 중 최하부층에 해당되는 층으로 역암, 흑색 사암, 흑색 함탄질 세일 등으로 구성되어 있고, 아미산층은 중립질의 흑색 및 함탄질 세일로 구성되어 있다. 또한 연구지역 북부에서는 이를 관입하는 홍성조립질 흑운모 화강암과 반화강암질 흑운모 화강암이 있는데 이 두 암석은 공히 흑운모 및 장석, 석영을 포함하나 전자가 후자에 비해 더욱 거정질 결정을 포함한다. 초염기성암의 변질암인 사문암은 EW 방향으로 신장되는 렌즈상 암체인데, 신선한 암석의 경우 Dunit에서 Harzburgite로 구성광물은 감람석, 사방회석, 각섬석, 침정석 등을 포함하며, 사문암화될수록 풍부한 녹리석, 사문석, 자철석의 양이 증가하는 경향을 보인다. 일반적으로 사문암화가 진행될수록 검은 색을 띠며 사문암화에 의한 변질대는 수 cm 폭으로 반복되어 나타나거나 또는 후기 관입암체 주변에서 두드러진다.

본 조사지의 사문암체에 분포하는 식물은 주로 대나물(*Gypsophila oldhamiana*), 개솔새(*Cymbopogon tortilis* var. *goeringii*) 및 개여뀌(*Per-*

sicaria blumei) 등이며, 사문암 풍화토 및 변성암 풍화토에는 상기한 3종 외에 비수리(*Lespedeza cuneata*), 참싸리(*L. cyrtobotrya*), 닭의장풀(*Commelina communis*) 등이 군생하고 있었고, 또한 패랭이꽃(*Dianthus sinensis*), 참억새(*Miscanthus sinensis*), 쑥(*Artemisia vulgaris*), 양지꽃(*Potentilla fragarioides* var. *major*), 산달래(*Allium grayi*), 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*) 등이 출현하고 있다. 폐광 후 복토한 지역에 식재한 아까시나무(*Robinia pseudo-acacia*)는 생육 상태가 매우 좋았다. 그러나 본 사문암체에 출현하는 식물종은 극히 제한적이었으며, 또한 사문암지역의 식생은 대체로 척박한 토양의 생육조건으로 빈약하였고 식물상 또한 다양하지 못했다.

2. 연구방법

본 조사지역에 대해 1997년 11월과 1998년 4월에 상세한 지질조사를 실시하였고 중금속 함량을 분석하기 위해 사문암 풍화토(Serpentinite: SP) 및 인접 변성암 풍화토지역(각섬석 편암; amphibole schist: AS와 편마암; Gneiss: GN)으로 나누어(Figure 1), 상부토양은 0~15cm깊이의 토층에서 1kg 정도의 시료를 모암별로 각각 채취하여 실험실 내에서 풍건시켜 2mm 체를 쳐서 분석 시료로 준비하였다. 암석시료는 상부토양 시료가 채취된 같은 장소에서 채취하여 분석시료로 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℃에서 반응이 멈출 때까지 약 2시간동안 용해시켜 액상(Aqua regia)을 만들어 냉각시키고 증류수 10ml를 첨가한 후 Thermo Jerrel Ash Enviro II ICP로 분석하였다(Hoffman, 1997). 식물체 시료는 사문암 및 변성암지역에 분포하고 있는 소나무(*Pinus densiflora*: PD; 6년생, 묘고 60cm) 및 리기다소나무(*Pinus rigida*: PR; 6년생, 묘고 75cm)를 채취하여 실험실에서 증류수로 세척을 거쳐 이물질의 최대한 제거한 후 실험실에서 3주간 충분히 말린 후에 근원부를 기준으로 지상부(잎과 줄기)와 지하부(뿌리)를 분리하여 캐나다의 ACTLABs에서 INAA(Instrumental Neutron Activation Analysis)로 분석하였다. 분석 방법은

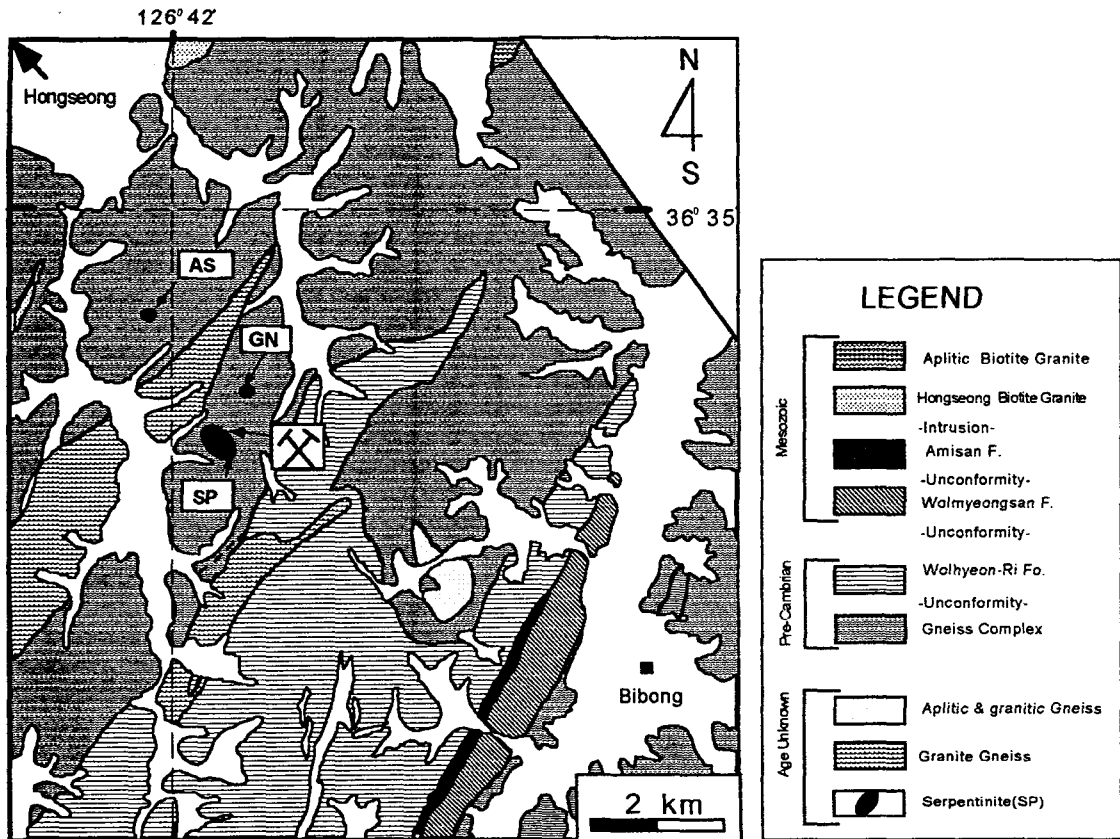


Figure 1. Geological map of the Baekdong mine area in the western part of Chungnam. Sample locations of rocks (abbreviations; SP for serpentinite, AS for amphibole schist and GN for gneiss)

시료를 90℃로 건조시켜 파쇄한 후 15g을 칭량하여 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 상부 토양의 중금속 함량

조사지역에서 채취된 암석 및 상부토양의 평균 중금속 함량을 Figure 2에 나타내었다. 암석의 경우 사문암의 Ni(2058ppm), Cr(2669ppm), Co(99ppm), Fe(6.664%) 농도가 각섬석 편암(위 원소순으로 122ppm, 580ppm, 40ppm, 2.939%) 및 편마암(9ppm, 12ppm, 2ppm, 0.951%)에 비해 더 높았다. 이는 초염기성암인 사문암의 특성인

Mg가 Ni, Co, Fe 등과 쉽게 치환한다는 결과와 일치하고 있으며(Aumento, 1970; Douglas, 1970; Proctor and Woodell, 1975; Brooks, 1987; O' Hanley, 1996), 지구 상부지각의 암석평균치(Ni: 20ppm, Co: 10ppm, Cr: 35ppm, Fe: 3.5%)와 비교할 때도 매우 높은 함량을 나타내고 있다(Taylor and McLennan, 1981). 이 외에 Zn과 Sc는 각섬석 편암에서 가장 높게 나타나고 있으며, 편마암에서는 분석된 대부분의 원소에서 가장 낮은 함량을 보이고 있다.

상부토양의 경우 암석과 매우 유사한 결과를 나타내고 있으며, 특히 Ni, Cr, Co, Fe는 사문암토양(1633ppm, 540ppm, 69ppm, 4.010%)이 각섬석 편암(18ppm, 41ppm, 9ppm, 3.100%) 및 편마암 토양(6ppm, 9ppm, 4ppm, 1.360%)보다 더 높았고, Zn과 Sc는 각섬석 편암(53ppm, 6ppm)이 사문암토양(46ppm, 4ppm) 및 편마암토양(31ppm, 1ppm) 보다 더 높아 암석의 경우와 일치

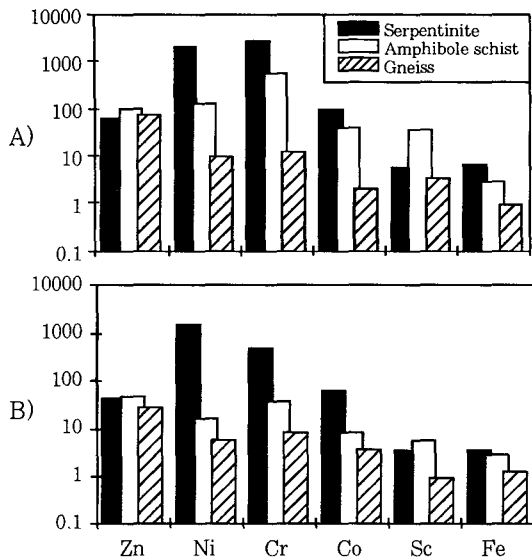


Figure 2. Average heavy metal concentrations of rocks(A) and soils(B) from the Baekdong mine area in the western part of Chungnam. All elements are in ppm except Fe(%). Scale is logarithm.

하고 있었다. 이로 보아 모암에서 풍화된 토양의 경우는 대부분의 원소에서 암석과 토양의 함량 변화가 같은 경향을 보이고 있어, 모암의 원소 구성에 따라 이로부터 풍화된 토양의 원소 함량이 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다.

2. 식물체의 중금속 함량

각 조사지역에서 채취된 소나무 및 리기다소나무의 중금속 평균함량치를 Figure 3에 나타내었다. 모암별로 비교할 때 소나무의 경우 평균 함량은 사문암 지역에서 Ni(23ppm), Cr(30ppm), Co(3.05ppm), Au(3.1ppm), As(0.83ppm), Sb(0.14ppm), W(0.17ppm) 농도가 각섬석 편암지역(4ppm, 5.95ppm, 2ppm, 1.85ppm, 0.5ppm, 0.085ppm, 0.105ppm) 및 편마암지역(3ppm, 11.1ppm, 2.3ppm, 1.65ppm, 0.67ppm, 0.1135ppm, 0.05ppm) 보다 더 높았으며, 이중 Ni, Cr, Co는 암석 및 토양내 높은 함량 변화와도 일치하였다. 그 외에 Zn, Sc는 각섬석 편암지역(30ppm, 1.535ppm)이 사문암지역(17.5ppm, 0.655ppm) 및 편마암지역(14.5ppm, 1.455ppm) 보다 높았으며, 또한 Fe, Mo는 편마암(0.4315%, 0.14ppm)이 사문암

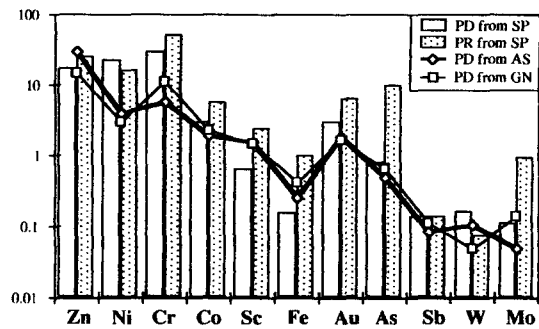


Figure 3. Average heavy metal concentrations of Pinus densiflora(PD) and Pinus rigida(PR) from Serpentine(SP), amphibole schist(AS) and gneiss(GN) from the Baekdong mine in the western part of Chungnam. All elements are in ppm except Fe(%). Scale is logarithm.

(0.158%, 0.11ppm) 및 각섬석 편암(0.260%, 0.05ppm) 보다 각각 높았다. 특히 Ni는 Serpentine factor로 알려진 원소인데, 이는 Cr는 가용성이 매우 낮고 Co는 Ni에 비해 비교적 함량이 낮기 때문에 Ni가 사문암의 특징을 가장 나타내는 원소라 할 수 있다 (Lee et al., 1977; Brooks, 1987).

한편 같은 사문암지역에 분포하는 두 수종을 비교하면 대부분의 원소에서 소나무보다 리기다소나무내 함량(Zn:25ppm, Cr:51.2ppm, Co:6.0ppm, Sc:2.385ppm, Fe:1.034%, Au:6.5ppm, As:10.2ppm, Sb:0.1425ppm, Mo:0.98ppm)이 더 높았으며(Ni:16.5ppm 및 W:0.075ppm은 예외), 이로 보아 식물체로의 중금속 흡수량이 리기다소나무가 더 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 수종간의 흡수량 비교는 성장실험 등을 통한 정량적인 비교를 통해 향후 규명해야 할 것으로 사료된다.

또한 식물체에 의한 중금속 흡수량을 근원부를 중심으로 지상부와 뿌리로 분류하여 Table 1에 나타내었다. 식물체 부위별로 비교해 보면 소나무와 리기다소나무 모두 모암의 구별없이 공히 거의 대부분 원소에서 뿌리부분이 지상부보다 흡수량이 높았다. 이는 다른 폐광산에 서식하는 야생식물(이재영 등, 1996) 및 전동싸리에서의 중금속 흡수량에 관한 연구(송승달 등, 1997; 박태규와 송승달, 1998)에서도 식물체 부위별 흡수량은 뿌리가 지상부보다 더 많았다고 하였다. 토양에 고정된 금속원소가 식물체의 뿌리로부터 이동되는 현상은 뿌리로부터의 Proton의 배출로 인한 근계 주변의 pH의 저하에 따른 금속원소의 용해

Table 1. Heavy metal concentrations of *Pinus densiflora*(PD) and *Pinus rigida*(PR) from Serpentinite(SP), amphibole schist(AS) and gneiss(GN) from the Baekdong mine in the western part of Chungnam. All elements are in ppm except Fe(%).

Element	Zn	Ni	Cr	Co	Sc	Fe	Au	As	Sb	W	Mo
SP-P-U	19	18	21.0	2.0	0.37	0.090	2.8	0.56	0.110	0.05	0.07
SP-P-L	16	28	39.0	4.1	0.94	0.226	3.4	1.10	0.170	0.29	0.15
SP-R-U	21	2	9.4	2.0	0.37	0.108	8.4	1.40	0.075	0.05	1.50
SP-R-L	29	31	93.0	10.0	4.40	1.960	4.6	19.00	0.210	0.10	0.46
AS-P-U	24	2	3.9	1.3	0.77	0.150	1.4	0.29	0.040	0.05	0.05
AS-P-L	36	6	8.0	2.7	2.30	0.370	2.3	0.71	0.130	0.16	0.05
GN-P-U	11	2	4.2	0.9	0.31	0.101	2.4	0.38	0.057	0.05	0.23
GN-P-L	18	4	18.0	3.7	2.60	0.762	0.9	0.96	0.170	0.05	0.05

Abbreviation: P(*Pinus densiflora*), R(*Pinus rigida*), U(Above-ground) and L(Root).

도가 증가되며(Crowley et al., 1991), 금속 킬레이팅 분자가 근권으로 분비되어 금속의 가용화되기도 하고(Romheld, 1991), 식물의 뿌리가 원형질막에 부착되어 있는 금속 환원효소를 통하여 금속을 유리시키는 등의 경로(Harter, 1983)가 있다. 식물체 세근의 표피를 통과한 금속 원소는 Apoplastic과 Symplastic 경로를 거쳐 중심부로 이동하며 다른 조직으로 목부나 사부를 통해서 재분배된다. 이때 목부는 세포벽이 매우 높은 양이온치환용량을 가지고 있어 금속이온의 이동을 제한하여 축적된다(Rovira and Davey, 1974; Huang and Cunningham, 1996).

일반적으로 사문암지역에 흔히 분포하는 지표종은 지역에 따라 다양하기는 하지만(Whittaker, 1954) *Quercus durata*, *Ceanothus jepsoni*, *Cupressus sargentii* 등으로 알려져 있으며(Kruckberg, 1951), 김명희 등(1997)은 충남 홍성 및 광천 사문암지역에서 대나무(*Gypsophila oldhamiana*)이 우점종으로 분포하고 있음을 밝힌 바 있다. 본 백동 사문암지역에서도 위의 대나무가 우점종으로 분포하고 있으며 그 외 다른 식생의 생장은 불량한 편이다. 사문암토양에서 식생의 생장이 빈약한 것은 Vlamins and Jenny((1948)는 Ca의 낮은 함량 때문이라 하였고, White(1967)는 주요 영양원소(N, P, K)의 결핍과 Mo의 낮은 함량 및 독성중금속 등의 영향이라고 하였다.

3. 토양과 식물체와의 중금속 함량 관계

각 모암별로 풍화토양과 식물체에 흡수된 중금속 평균함량과의 상대적인 비(평균 식물체 함량/토양 함

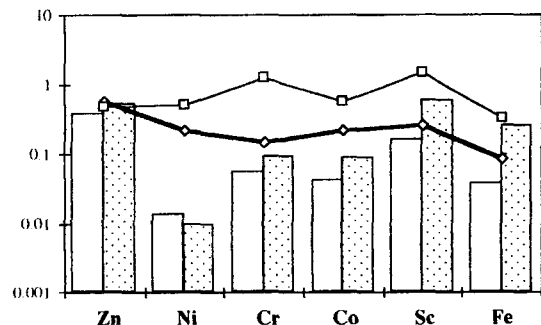


Figure 4. Relative ratio of average heavy metal concentrations between soils and plants from the Baekdong mine area, western part of Chungnam. (\square) for PD from SP, (\square) for PR from SP, (\square) for PD from AS and (\triangle) for PD from GN. Scale is logarithm. Abbreviations; PD for *Pinus densiflora*, PR for *Pinus rigida* SP for serpentinite, AS for amphibole schist and GN for gneiss. Scale is logarithm.

량)를 Figure 4에 나타내었다. 사문암지역에서 대부분 원소(Ni, Cr, Co, Zn, Sc, Fe)의 상대적인 비는 모두 사문암보다 각섬석 편암이나 편마암지역에서 더 높았다. 특히 편마암지역은 Zn을 제외하고 전 원소에서 가장 높게 나타났다. 이를 Figure 2에 나타난 토양내 함량과 비교해 볼 때 Ni, Cr, Co, Fe 농도가 사문암지역의 토양에서 매우 높은 요인으로 식물체내의 흡수량에 따른 상대적인 비는 낮게 나타난 결과이다.

또한 같은 사문암지역에서는 소나무에 비해 리기다소 나무가 중금속 흡수율이 더 높아 상대적으로 더 많이 흡수하였음을 알 수 있다. 그러나 토양내 원소별 함량에 따른 각 식물체의 흡수량 및 그에 따른 체내 임계농도 등의 중금속 축적종에 대한 Phytoremediation은 보다 더 정밀한 실내실험을 통하여 앞으로 연구되어야 할 과제라 사료된다.

인용문헌

- 강필중, 임주환(1974) 광천지질 도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 김명희, 민일식, 송석환(1997) 사문암지역에서 생육하는 대나무의 중금속 함량. 한국생태학회지 29(5): 385-391.
- 김택진, 김용범, 이남주, 심재국(1997) 사문암지역의 식생에 관한 연구. 한국생태학회 춘계학술발표논문초록집, 20~21쪽.
- 박태규, 송승달(1998) Pb 처리에 따른 전동싸리 유식물의 생장적응과 중금속의 조절. 한국생태학회지 21(3): 179-186.
- 송승달, 정화숙, 노광수, 송정석, 박태규(1997) 전동싸리의 생장과 질소고정 활성에 미치는 영향. 한국생태학회지 20(1): 35-41.
- 임상호, 이민성(1963) 대흥지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 이재영, 이인호, 이순영(1996) 금속 폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속오염에 대한 지화학적 연구- 달성 및 경산광산. 자원환경지질학회지 29(5): 597-613.
- 이종혁, 김성수(1963) 홍성지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 최수용, 황진연, 김정진, 이윤종(1990) 울산 사문암체의 광물학적 지구화학적 연구. 지질학회지 26: 105-118.
- 황진연, 김정진, 옥수석(1993) 안동지역 사문암광상의 구성광물 및 성인에 관한 연구. 광산지질학회지 26(1): 1-10.
- 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. 53-69.
- Brooks, R. R.(1987) Serpentine and its vegetation. Dioscorides Press, Portland, Oregon, 454pp.
- Crowley, D. E., Y. C. Reid and P. J. Scanisizio (1991) Mechanisms of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. Plant and soil 130: 179-198.
- Douglas, R. J. W.(1970) Geology and economic minerals of Canada. Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, Ontario, 376pp.
- Harter, R. D.(1983) Effects of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc and nickel. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 47-51.
- Hoffman, E. L.(1997) Instrumental Neutron activation in geoanalysis. J. of Geochemical Exploitation 44: 297-319.
- Huang, J. W. and S. D. Cunningham(1996) Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. New Phytol. 134: 75-84.
- Kruckberg, A. R.(1951) Intraspecific variability in the response of certain native plant species to serpentine soil. American Journal of Botany 38: 408-419.
- Lee, J., R. R. Brooks, R. D. Reeves, C. R. Boswell and T. Jaffre(1977) Plant soil relationships in a new caledonian serpentine flora. Plant and Soil 46: 675-680.
- O' Hanley, D. S.(1996) Serpentinities -records of tectonic and petrological history. Oxford University Press, Oxford, 269pp.
- Proctor, J. and S. R. J. Woodell(1975) The ecology of serpentine soils. Adv. Ecolo. Res. 9: 255-265.
- Romheld, V.(1991) The role of phydrospheres in acquisition of iron and other micronutrients in graminaceous species: an ecological approach. Plant and Soil 130: 127-134.
- Rovira, A. D. and C. B. Davey(1974) Biology of the rhizosphere. In: E. W. Carson(ed.), The plant root and its environment, Univ. press of Virginia, Charlottesville, pp. 153-204.
- 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. Envir, Geol. 30: 477-491.
- Sultan, M., R. E. Arvidson, and N. C. Strushino (1986) Mapping of serpentinities in the eastern desert of Egypt by using landsat thematic mapper data. Geology 14: 995-999.

- Taylor, S. R. and S. M. McLennan(1981) The composition and evolution of continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. *Phi. Tran. Roy. Soc. A301*, 381pp.
- Vlamins, J. and H. Jenny(1948) Calcium deficiency in serpentine soils as revealed by absorbent technique. *Science* 107: 549.
- White, C. D.(1967) Absence of nodule formation on *ceanothus cuneatus* in serpentine soils. *Nature* 215: 875.
- Whittaker, R. H. (1954) The ecology of serpentine soil IV. The Vegetational Response to Serpentine Soils, *Ecology* 35: 275-288.