

충남 금산 폐탄광지역의 토양 및 식물체내 알칼리 및 금속원소의 함량

김명희 · 송석환* · 민일식** · 장인수***
중부대학교 원예학과, 중부대학교 환경공학과*,
중부대학교 산림자원학과**, 대전대학교 생물학과***

Alkali and Metal Element Concentrations in Soil and Plant from Daesung Coal Mine in Keumsan, Chungnam

Kim, Myung-Hee, Suck-Hwan Song*, Ell-Sik Min** and In-Soo Jang***

Department of Horticultural Science, Joongbu University

Department of Environmental Engineering Science, Joongbu University*

Department of Forest Resource Science, Joongbu University**

Department of Biology, Taejon University***

ABSTRACT

The research has been made for alkali and metal element concentrations in top soils and plants from the abandoned coal mine, Keumsan, Chungnam Province. Samples of the top soil and plant (*Miscanthus sinensis* and *Pinus rigida*) were collected from the mine area in which was divided into two regions; the polluted region influenced by the coal mining and the non-polluted region.

pH of the top soils was 3.16~4.33 in the polluted region. Ca, Sr and P concentrations were high in the polluted soils, and Al and Ba concentrations were high in the non-polluted soils. No differences were found in K, Na and Ti concentrations. *M. sinensis* was higher in the element concentrations than *P. rigida*. In the average concentration of the alkali and metal element, *M. sinensis* showed high Cs and Na in the polluted region, and high Ba, Ca, K, Sr and Rb concentrations in the non-polluted region. *P. rigida* had high Cs, Na and Rb concentrations in the polluted region. *M. sinensis* and *P. rigida* were higher in the root than above-ground part in the most element, but Ca and K. Ca, K and Na concentrations within both plants had higher than those of soils.

Key words: Abandoned coal mine, Soil, *Miscanthus sinensis*, *Pinus rigida*, Alkali and metal element.

서론

우리나라 석탄광은 옥천지향사대 북동-남서방향을 따라 주로 분포하고 있으며, 약 20,000,000 ton/yr 이상이 생산되었으나, 최근에는 에너지 소비 유형의 변화로 수요가 급격히 감소하고 있다. 따라서, 정부는 석탄산업합

리화사업을 실행하여 지속적인 채탄활동이 어려운 석탄광을 대상으로 1989년부터 5년 동안 303개소의 석탄광을 폐광했으며, 탄광과 생산량은 각각 약 80% 및 61%가 감소되었다. 그러나, 사업시행 후 폐광지역에 대한 충분한 보완 없이 단기간에 폐광함에 따라 탄광폐수의 유출, 폐석의 유실 등과 같은 광해가 발생되어 주변의 경관 뿐만 아니라 토양, 하천, 지하수 등이 크게 오염되

어 사회적인 문제로 대두되었다 (민 등 1995).

석탄광의 기반암인 흑색세일은 쇠설성 변성퇴적암이며 점토광물을 다량 함유하고 있어서 지구환경학적으로 중요한 미량원소들이 농집되어 있다 (Turekian and Wedepohl 1961, Vine and Tourtelot 1970). 이로부터 풍화된 토양에는 독성원소들이 점토, 유기물 및 함유속 유기화합물 등에 흡착 또는 침전으로 농집되어 있으므로 이런 토양에서 생육하는 식물들은 잠재적인 독성에 노출되어 있다 (Brown and Swaine 1964, Swaine 1992, Thornton 1983).

이러한 토양은 중금속 독성원소에 대한 문제 뿐만 아니라 알칼리 및 금속원소들도 식생의 생육에 큰 영향을 미친다 (Kabata-Pendias and Pendias 1984).

따라서, 본 연구는 폐탄광 주변지역의 토양과 식물체 내에 함유된 알칼리 및 금속원소의 함량을 각각 분석하여 폐석탄이 폐광지역 환경에 미치는 영향을 규명하는데 그 목적이 있다.

조사지 개황

본 조사지역은 충남 금산군 복수면 수영리 (북위 36° 09'~36° 10', 동경 127° 22'~127° 24')에 위치하며 대전 서부를 흐르는 유등천의 상류에 해당하는 지역이다 (Fig. 1). 조사지에 위치하는 대성탄광은 1960년대 중반에 개발이 시작되어 폐광되기 전인 1980년대 후반까지는 생산이 활발하였다. 그러나, 본 조사지는 폐광후 적절한 복구조치가 실행되지 않아서 산성광산폐수 (acid mine drainage)로 인하여 토양, 토양수 및 지표수 등에 오염이 계속 발생하고 있다 (김 등 1997, 민 등 1997, 송 등 1997).

본 지역의 지질은 기반암인 옥천누층군의 변성퇴적암류와 이를 관입하는 주라기와 백악기의 화성암류로 구성되어 있다 (김 1968, 손 1970). 조사지의 암석과 토양은 다양한 종류의 중금속과 독성원소 등이 함유되어 있고 이들이 주변에 생육하는 식물체에 미치는 영향이 크게 나타났다 (민 등 1997, 이 등 1996, 전과 정 1991). 본 지역 주변에는 작은 골과 큰 골이라는 두 계류가 각각 남쪽과 남서쪽으로 흐르는데 (Fig. 1), 현재는 폐광후 잔존해 있는 폐탄더미가 큰 골을 따라 흘러 내려가 계류지역에 산재하고 있으며, 또 산중턱에도 노천광으로 개발되었던 흔적이 남아 있다.

주변의 식생은 탄광개발 이전에 산림화재나 전답의 개간으로 크게 교란되었으며, 폐광후 약 1 ha의 면적이

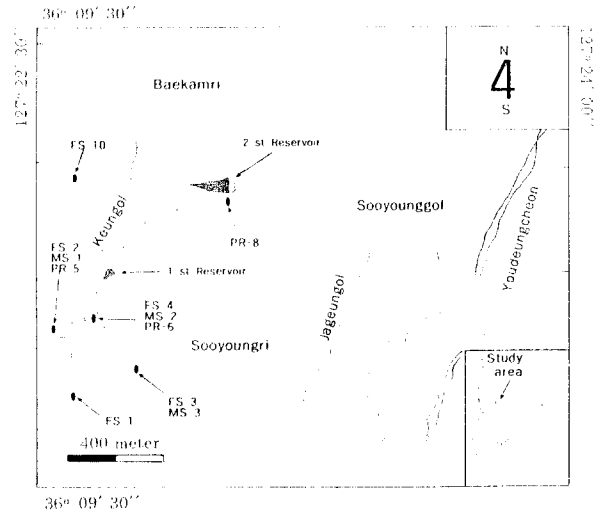


Fig. 1. Sample localities of forest soil (FS), *M. sinensis* (MS) and *P. rigida* (PR) from Daesung coal mine area, Keumsan, Chungnam. Range of coal mine area(○).

복토되었고 아까시나무 (*Robinia pseudo-acacia*), 짜리 (*Lespedeza bicolor*), 산오리 (*Alnus hirsuta*), 일본잎갈나무 (*Larix leptolepis*) 및 리기다소나무 (*Pinus rigida*), 잣나무 (*P. densiflora*) 등이 복토지역과 그 주변에 식재되어 있다. 또한 쑥 (*Artemisia* ssp.), 개망초 (*Erigeron annuus*), 개쑥부쟁이 (*Aster ciliolus*), 비수리 (*Lespedeza cuneata*), 강아지풀 (*Setaria viridis*), 참억새 (*Miscanthus sinensis*), 개솔새 (*Cymbopogon tortilis* var. *goeringii*), 마디풀 (*Polygonum bellardi* var. *effusum*) 및 칩 (*Pueraria thunbergiana*) 등이 도처에서 군생하고 있다.

조사방법

토양시료 채취

토양시료는 폐탄의 직접적인 영향을 받은 지역 (이하 오염지역 ; FS-2, 4)과 직접적인 영향은 받지 않은 지역 (이하 비오염지역 ; FS-1, 3, 10)으로 구분하여 1996년 3월부터 1997년 10월까지 연 2회씩 각 측구별로 토양단면을 조사하고 토양을 채취하였다 (Fig. 1). FS-2는 산중턱의 노천광이었던 지점으로 탄질물을 많이 함유하고 있으며, FS-4는 폐탄더미의 영향으로 지하

수계 및 강우시 지표수에 의하여 산성폐수 (김 등 1997)가 계류에 직접 유입되는 지역이다. FS-1은 노천광 상부의 식생이 양호한 혼효림 지역이며, FS-3와 FS-10은 폐탄의 오염이 미치지 않는 계곡상의 산림지역으로 일본잎갈나무가 식재되어 있다.

토양분석

토양내 원소 함량은 측구별로 3 지점의 상부토양 (0~15 cm)을 각각 500 g씩 채취, 혼합하여 시료로 조제한 후 Canada의 ACTLABS (Activation Laboratories Ltd.)에서 분석하였다. 분석은 토양시료 0.5 g을 질산과 염산 (0.6 ml conc. HNO₃, 1.8 ml con, HCl)을 사용해 95℃에서 반응이 멈출 때까지 약 2시간 동안 용해시켜 액상으로 만들고, 냉각시켜 증류수 10 ml을 첨가한 후 Thermo Jerrel Ash Enviro II ICP로 Al, Ba, Ca, K, Na, P, Sr 및 Ti 등을 분석하였다 (Hoffman 1997).

식물체 분석

식물체의 각 원소의 함량을 측정하기 위하여 참억새 (*Miscanthus sinensis*; MS)와 리기다소나무 (*Pinus rigida*; PR)를 각각 오염지역 (MS-1, 2, PR-5, 6)과 비오염 지역 (MS-3, PR-8)에서 지상부 (줄기+잎)와 지하부 (뿌리)로 구분하여 채취하였다 (Fig. 1).

이들 각 시료에 대한 Ba, Ca, Cs, K, Na, Rb 및 Sr 등의 원소함량은 Canada의 ACTLABS에서 분석하였다. 분석 방법은 시료를 90℃의 건조기에서 건조시켜 마쇄한 후 15g의 시료를 칭량하여 약 30ton으로 압착시켜 제조한 briquette에서 15분간 7×10¹² n cm⁻²s⁻¹의 파장으로 빛을 조사하고, 7일후 부식된 시료에 대해 gamma ray spectra에 의해 측정하는 INAA (Instrumental

Neutron Activation Analysis) 방법으로 정량화시켰다 (Hoffman 1997).

결과 및 고찰

토양내 원소 함량

각 토양시료의 pH는 비오염지 (FS-1, 3 및 10)가 4.50~5.85 범위인 반면에 오염지인 FS-2와 FS-4는 각각 4.33과 3.16으로 매우 낮았다. 이는 송 등 (1997)과 민 등 (1997)에 의하면 조사지의 토양내 탄질물에 함유되어 있는 SO₄²⁻의 영향에 의한 것으로서 황동석이나 황철석과 같은 황화광물의 분포에 기인한다.

토양내 원소 함량의 분석 결과는 Table 1과 같다. Ba은 비오염지와 오염지간에는 뚜렷한 차이가 없었는데, Ba은 탄질물에 의한 영향과 (송 등 1997), 토양모재를 구성하는 알칼리장석류인 정장석과 미사장석 및 흑운모의 영향이 복합적으로 작용한 때문으로 사료된다 (Culler 1988). Kabata-Pendias와 Pendias (1984)는 토양의 Ba은 여러 조건하에서 쉽게 이동되기 때문에 농도의 변화가 매우 심하다고 하였다.

Ca와 Sr은 오염지에서 각각 0.09~0.13 ppm과 11~29 ppm이었고, 비오염지는 0.02~0.09 ppm과 4~18 ppm 이었는데, 이 원소들은 탄질물을 함유한 토양의 SO₄²⁻에 의한 산성 조건에 의해 쉽게 용출되는 특성을 갖고 있으며 이들의 함량은 탄질의 등급에 따라 매우 유동적이다 (Kabata-Pendias and Pendias 1984). Al은 오염지 (1.62~2.22 ppm)보다 비오염지 (2.26~2.77 ppm)에서 다소 높게 측정되었다. 이는 비오염지토양이 알루미늄이 풍부한 장석, 운모류와 같은 규산염광물이 풍부하기도 하고 오염지토양에서 Al 성분이 토양의 SO₄²⁻에 의해 용탈된 때문이다. Al의 용해도는 중성에서 산성으

Table 1. Average concentrations of alkali and metal element in the top soils from the Daesung coal mine

Site	Site characteristics	pH	Ba (ppm)	Ca (%)	Sr (ppm)	Al (%)	P (ppm)	K (%)	Na (ppm)	Ti (%)	Cs* (ppm)	Rb* (ppm)
FS2		4.33	158.00	0.09	11.00	2.22	1150.00	0.11	0.01	0.02	—	—
FS4	polluted site	3.16	88.00	0.13	29.00	1.62	1500.00	0.09	0.01	0.01	—	—
	average	3.75	123.00	0.11	20.00	1.92	1325.00	0.10	0.01	0.01	—	—
FS1	non-	5.85	91.00	0.09	18.00	2.77	664.00	0.07	0.01	0.02	—	—
FS3	polluted site	5.61	215.00	0.03	5.00	2.34	409.00	0.10	0.01	0.01	—	—
FS10		4.50	168.00	0.02	4.00	2.26	227.00	0.13	0.01	0.02	—	—
	average	5.32	158.00	0.04	9.00	2.45	433.33	0.10	0.01	0.01	—	—

* Cs and Rb concentrations are below detective limits.

로 진행될 때 급격히 증가하며 (Lindsay 1979), David 등 (1984)은 산성토양의 침출수에서 Al의 함량이 매우 높았다고 하였다. P는 오염토양 (1,150~1,500 ppm)이 비오염지 (227~664 ppm)에 비해 매우 높게 나타났다. Swaine (1995)은 석탄, 세일 및 토양내 P 함량이 각각 10~3,000 ppm, 700 ppm 및 30~5,300 ppm이라고 보고하였으며, Finkelman (1981)도 석탄속에는 P가 풍부하다고 하였다. 따라서 본 조사에서도 오염지에 함유된 탄질물의 영향으로 P의 함량이 높게 나타난 것으로 사료된다 (Swaine and Goodarzi 1995). 그러나 K, Na 및 Ti는 오염지와 비오염지 사이에 차이를 보이지 않았으며 Cs와 Rb는 검출한계 이하였다.

식물체내 원소 함량

Fig. 2는 참억새와 리기다소나무의 체내 원소함량을 오염지역과 비오염지역으로 구분한 평균치를 나타낸다. 참억새의 Na와 Cs의 평균함량은 오염지 (1,749 ppm, 1.16 ppm)가 비오염지 (681 ppm, 0.53 ppm)보다 높았던 반면에 Ba, Ca, K, Rb 및 Sr의 함량은 비오염지에

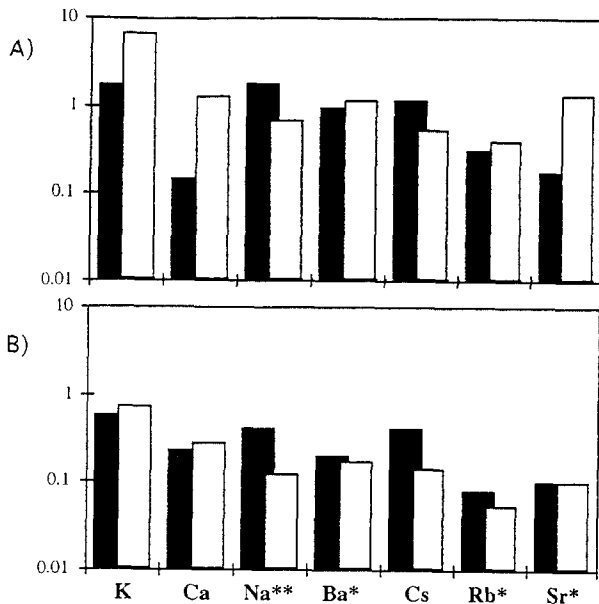


Fig. 2. Alkali and alkali earth element content (avg.) of *M. sinensis* (A) and *P. rigida* (B) from the Daesung coal mine area. K and Ca are wt % except the other element (ppm). * for an element divided by 100 and ** for an element divided by 1000. Filled rectangular means polluted area while open rectangular means non-polluted area. Scale is logarithm.

서 114 ppm, 1.25%, 6.85%, 39 ppm 및 133.5 ppm으로 오염지 (93.5 ppm, 0.14%, 1.72%, 31.25 ppm 및 17.5 ppm)보다 높게 측정되었다. 리기다소나무는 오염지에서 Na, Cs, Ba 및 Rb 함량 (420 ppm, 0.42 ppm, 20 ppm, 8 ppm)이 비오염지 (123 ppm, 0.14 ppm, 17 ppm, 5.5 ppm)에 비해 높았으며, K와 Ca는 비오염지에서 약간 높았고 Sr 함량은 두 지역간에 큰 차이는 없었다.

즉, Na는 토양내 함량이 매우 적음에도 불구하고 산성토양 환경에서 쉽게 이온화되어 식물체에 흡수되는 것을 알 수 있다. Cs는 산화 상태나 산성토양에서 풍화시 비교적 쉽게 거동하며 (Panov 1980), 또한 석회나 유기물을 사용하면 식물체에 의한 이 원소의 흡수량은 제한 받는 것으로 알려졌다. (Souty 1975, Yuditseva 1979). 또한 오염지에서 식물체에 의한 Ca과 K 흡수는 미약함을 알 수 있다.

조사지역의 참억새와 리기다소나무에 대한 각각의 원소함량을 비교하면, 오염지와 비오염지의 두 지역에서 참억새에 의한 원소 흡수량이 높았다. 식물종에 따라 중금속의 흡수율을 매우 상이하다 (임 등 1980, 정 등 1993). 임 등 (1980)은 식물체에 의한 중금속의 흡수정도를 조사하여 은사시나무, 왕골, 해바라기 순으로 흡수량이 많았고, 폐광지역에서는 쭉, 도꼬마리, 망초 및 달맞이꽃 등이 중금속을 많이 축적한다고 하였다.

Table 2는 참억새와 리기다소나무의 지상부 및 지하부의 원소 함량을 나타낸 것이다. 참억새에 의한 원소 흡수량은 오염지역은 Ca과 K, 비오염지역은 K가 지하부보다 지상부가 더 높은 것을 제외하고는 지하부의 함량이 높았다. 리기다소나무에 의한 원소 흡수량은 오염지와 비오염지역에서 Ca와 K는 지상부의 함량이 높았으며, Ba, Cs 및 Na는 지하부의 함량이 높았다. 전과정 (1991)은 함우라늪 흑색세일지역 소나무의 분석결과 Na, Al, Cr, Fe 등의 함량은 뿌리에서 높았으며 P, Mg, Ca 등은 줄기에서 높았다고 하였다.

참억새 지하부의 Na 흡수량은 매우 높으나 지상부로 이동은 적은 것으로 나타났다. 또한 참억새의 뿌리에서 지상부로 Sr 이동도 미약하였다. 뿌리에 의한 Sr의 흡수는 주로 mass-flow와 exchange diffusion에 의해 진행된다 (Elgawary 1972), 뿌리에서 줄기 부위로의 이동은 높은 농도일 경우 외에는 쉽게 이동되지 않는다 (Shacklette 1967, Wallace and Romney 1971). Sr과 Ca는 지화학적, 생화학적으로 유사하게 거동하는 원소로서 이들 원소의 상대적인 비는 생물권에서 비교적 안

Table 2. Average concentrations alkali and metal element in *M. sinensis* and *P. rigida* from the Daesung coal mine

species	site characteristics	vegetation parts	Ba	Na	Cs	Rb	Sr	Ca	K
			(ppm)						(%)
<i>M. sinensis</i>	polluted site	G ⁺	14.5	53.9	0.18	29.0	10.0	0.17	2.30
		R ⁺⁺	172.5	3445.0	2.15	33.5	25.0	0.11	1.14
	non-polluted site	G ⁺	78.0	192.0	0.24	36.0	57.0	1.20	7.40
		R ⁺⁺	150.0	1170.0	0.83	42.0	210.0	1.30	6.30
<i>P. rigida</i>	polluted site	G ⁺	5.5	257.0	0.22	7.5	10.0	0.37	0.64
		R ⁺⁺	34.5	584.5	0.62	8.5	10.0	0.09	0.54
	non-polluted site	G ⁺	10.0	115.0	0.08	6.0	10.0	0.40	1.0
		R ⁺⁺	24.0	131.0	0.21	5.0	10.0	0.17	0.46

G⁺ : above-ground parts, R⁺⁺ : under-ground parts

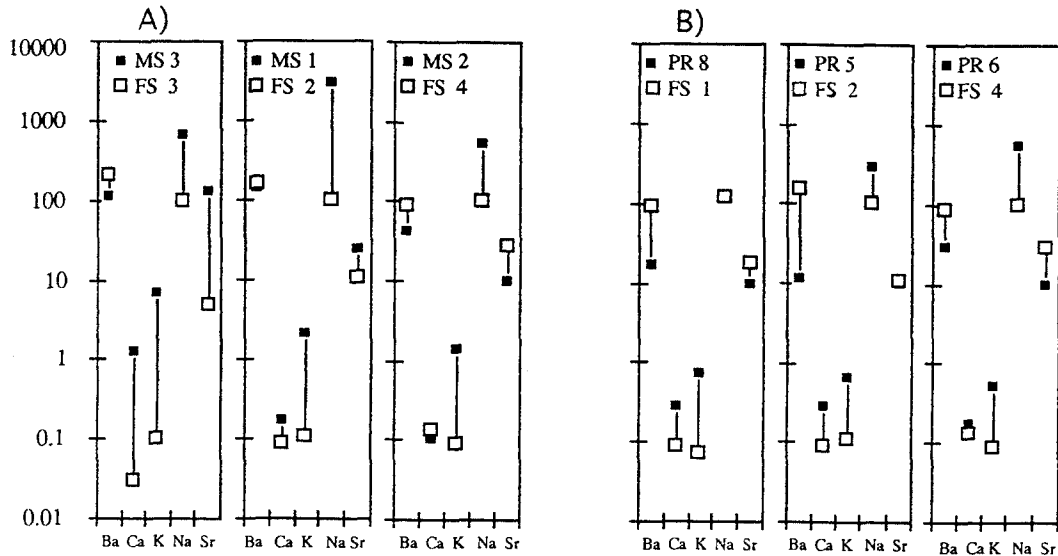


Fig. 3. Comparisons of alkali and alkali earth element content among the *M. sinensis* (MS, A), *P. rigida* (PR, B), and adjacent forest soil (FS) from Daeseong Coal Mine, Keumsan. Ba, Na and Sr are in ppm and the others are in wt %. Scale is logarithm.

정하다. Ba, Rb, Cs 등은 식물조직의 필수성분은 아니나 식물에 쉽게 흡수된다. Rb는 화학적으로 K와 일부 치환되고 화학적으로 유사할지라도 K의 대사기능은 대신할 수 없으며, 식물체에 의한 흡수와 이동도 서로 다르다 (Kabata-Pendias and Pendias 1984).

Fig. 3은 참억새와 리기다소나무내의 평균 원소함량과 토양내 평균 함량을 비교하였다. 전반적으로 토양과 참억새와의 비교치가 토양과 리기다소나무와의 비교치에 비하여 함량 차이가 크게 나타났다. 이는 참억새에 의한 각 원소의 흡수량이 더 많음을 의미한다. 참억새와 리기

다소나무내 Ca, K, Na 함량은 토양내의 농도보다 매우 높았다. 또한 비오염지역에 비하여 오염지역 (FS2, 4)에서 토양과 참억새의 원소함량 차이가 크지 않은 것은 폐탄의 오염으로 인하여 흡수량이 감소된 것으로 사료된다. 리기다소나무는 지역간의 차이가 참억새에 비하여 크지 않았다.

적 요

본 연구는 충남 금산 대성 폐탄광 지역의 토양과 식물체, 즉 참억새 (*M. sinensis*)와 리기다소나무 (*P. ri-*

gida)내의 알칼리 및 금속원소 함량을 분석한 결과이다. 조사지역내 오염지 토양의 pH는 3.16~4.33이었다. Ca, Sr 및 P의 함량은 오염토양에서 높았고, Al과 Ba 함량은 비오염토양에서 높았으나 K, Na, Ti는 두 지역간에 차이가 없었다. 식물체내 원소 함량은 전체적으로 참억새가 리기다소나무보다 높았다. 참억새의 Cs, Na 흡수는 오염지역에서 높고 Ba, Ca, K Sr, Rb 흡수는 비오염지역에서 높았다. 리기다소나무에 의한 Cs, Na, Rb 흡수는 오염지에서 높았다. 참억새와 리기다소나무의 지상부와 지하부의 원소 함량은 Ca과 K을 제외하고는 대체로 지하부의 함량이 높았다. 참억새와 리기다소나무의 Ca, K 및 Na의 함량은 토양내의 함량보다 더 높았다.

인 용 문 헌

- 김명희, 민일식, 송석환. 1997. 금산 폐광지역의 오염 지하수에 미치는 영향. 한국임학회지. 86 (4): 435-442.
- 김옥준. 1968. 충주 문경간의 옥천계 층서와 구조. 광산지질학회지. 1: 35-46.
- 민일식, 김명희, 송석환. 1997. 충남 금산 폐탄광지역의 토양, 하상퇴적물 및 토양수의 이화학적 특성. 한국임학회지. 86: 324-333.
- 민정식, 권광수, 조원재, 홍영국, 홍성규, 정영욱. 1995. 폐광에 따른 광산지역 환경개선 연구. 석탄산업합리화사업단. pp. 7-102.
- 송석환, 민일식, 김명희, 이현구. 1997. 금산 대성탄광 산성폐수에 의한 오염. 자원환경지질학회지. 30: 105-116.
- 손치무. 1970. 옥천층군의 지질시대에 대한 토론. 광산지질학회지. 3: 3-4
- 이진수, 전효택, 김경용. 1996. 충주지역 흑색셰일 분포지역에서의 잠재적 독성원소들의 분산과 부화. 자원환경지질학회지. 29: 495-508.
- 전효택, 정명채. 1991. 함우라늪 흑색셰일에서의 유독성 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구. 광산지질학회지. 24: 245-260
- 홍영국. 1996. 국내 광산 폐수의 환경지구화학적 특징 및 대책. 대한자원환경지질학회 제29차 학술발표회 발표논문 요약집. 61 p.
- Brown, H.R. and D.J. Swaine. 1964. Inorganic constituents in Astralian coals. J. Inst. Fuel. 37: 422-440.
- Culler, R.L. 1988. Mineralogical and chemical changes of soil and stream sediment formed by intense weathering of the Danburg granites. Geogia. USA Litho. 21: 301-314.
- David, M.B. and C.T. Driscoll. 1984. Aluminum specification and equilibria in soil solutions of Haplorthod in the Adirondack Mountains (New York, U.S.A) Geoderma V. 33: 297-319
- Finkelman, R.B. 1981. Models of occurrence of trace elements in coal, US Geol. Surv. Open-file Rep. 81-99, 312 p.
- Hoffman, E.L. 1997. Instrumental neutron activation in geoanalysis. J. of Geochemical Exploration. 44: 297-319.
- Kabata-Pendias, Alina and H. Pendisa. 1984. Trace elements in soils and plants. CRS Press Boca Raton. pp. 93-125.
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. Wiley-Interscience, New York. 420 p.
- Panov, E.N. 1980. Behavior of minor elements under the treatment of microcline by solution of organic acids. Geokhimiya. 10: 1568.
- Shacklette, H.T., J.A. Erdman and T.F. Harms. 1978. Trace elements in plant foodstuffs, in Toxicity of heavy metals in the environments, Part I. ED. by Ochme Marcel Dekker, New York. 25 p.
- Souty, N., R. Guennelon and C. Rode. 1975. Quelques observations sur l'absorption du potssium, du rubidium-86 et du césium-137 par des plants cultivés sur solutions nutritives. Ann. Agron. 26: 58-64.
- Swaine, D.J. 1992. Environmental aspects of coal trace elements. Energia. 3: 1-4.
- Swaine, D.J. 1995. The contents and some related aspects of trace lelements in coal. In Swaine, D.J. and F. Goodarzi (eds.), Environmental aspects of trace elements in coal. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. pp. 5-23.
- Thornton, I. 1983. Applied environmental geochemistry. Academic Press, London. 501 p.
- Turekian, K.K. and K.H. Wedepohl. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geolocal society of America Bulle-

- tine. 72: 175-192.
- Vine, J.D. and E.B. Touetelot. 1970. Geochemisry of black shale deposits. A summary report. Econ. Geol. 65: 253-272.
- Wallace, A. and E.M. Romney. 1971. Some interactions of Ca, Sr and Ba in plants. Agrom. J. 3: 245.
- Yudintseva, E.V., L.A. Mamontova and E.M. Levins. 1979. Accumulation of radiocesium in the yield of plants depending on the application of lime, peat and shes. Dokl. Vses. Akad. Ska. Nauk. 8: 27-32.

(1998년 8월 26일 접수)