

금산의 화강암 및 함탄질 셰일 지역 토양내 식물체의 중금속 함량 특성

송석환*, 강영립¹⁾, 김일출¹⁾

중부대학교 환경공학과, 중부대학교 화장품 과학과¹⁾

Evaluation of Heavy Metal Contents in the Floras Derived from Granite and Coal Bearing Shale Areas in Keumsan

Suck-hwan Song*, Young-Rib Kang¹⁾, Il-Chool Kim¹⁾

Dept. of the Environmental Engineering, Joongbu Univ., Keumsan, 312-940, Korea.

¹⁾Dept. of the Cosmetic Science and Technology, Joongbu Univ., Keumsan, 312-940, Korea.

ABSTRACT

Three different floras(*M. sinsinsis*, *A. vulgaris*, *Robinia pseudo-acacia*) were collected from the granite(GR) and coal bearing shale area(CB) and analysed for their heavy metal elements with the representative soils. Regardless of the flora species, the CB were high in average contents. Among the correlation relationships, the CB were more distinctive than the GR, and the *A. vulgaris* showed higher correlations than the *M. sinsinsis*. In the same soils, the *A. vulgaris* showed high contents than the *M. sinsinsis* and *Robinia pseudo-acacia*, and the *M. sinsinsis* were high relative to the *Robinia pseudo-acacia*. In the comparisons of the flora, root parts were high in most of the elements except for Zn. In the soils, the CB were high in most of elements while As and Mo showed different contents between the GR and CB. In the comparison between soil and flora, soils of the GR were high in the V and Sc contents and low in Zn and Cu, while those of the CR were high in the Cr, V and Sc contents, and low in the Zn contents. Comparing with the soil contents, the *M. sinsinsis* in the GR were similar to Co and V contents while, in the CB, the *M. sinsinsis* were similar to the Ni, Cr, Co, Zn, Mo contents, and the *Robinia pseudo-acacia* were similar to the Ni, Zn, Cu contents. Overall results suggested that the *M. sinsinsis* and *A. vulgaris* should be eligible for the bioremediation of the soils polluted by heavy metal such as the CB.

Key words : Keumsan, granite, coal bearing shale, flora, heavy metal elements

서언

식물체의 일반적인 이화학적 조성은 토양내의 특성을 반영한다. 따라서 토양의 다양한 화학적

조성은 식물체의 원소 흡수량에 영향을 줄 수 있으며 특히 중금속의 경우 이런 특성이 다른 원소에 비해 두드러진다(Salmon 등, 1995). 일부 연구들은 다양한 토양 환경내에 중금속을 축적

* 교신저자 : E-mail : shsong@mail.joongbu.ac.kr

할 수 있는 축적종 (hyperaccumulator)이 있음을 지적하고 오염된 토양의 정화에 식물 이용의 필요성과 식물 종 선정의 필요성을 언급하고 있다(김규식, 1980; Ebbs 등, 1997; Nanda 등, 1995).

이화학적 특징에 대한 식물체와 토양내의 중금속 관계가 국내의 경우 독특한 토양 지역인 사문암 지역에 대해 다수 연구자들에 의해 진행된 바 있다(김 등, 1999; 민 등, 1999). 경북 안동 사문암 지역의 연구에서 민 등(1999)은 참억새, 쑥, 소나무의 전이원소 함량에서 사문암토양에서 생육하는 것들이 인접 화강암 지역에 비해 두드러지게 높았음을 언급했고, 김 등(1999)은 울산 사문암 지역의 연구에서 사문암 지역내 참억새 및 쑥이 대부분 전이원소 함량에서 인접 유문암 지역에 비해 두드러지게 높았음을 지적했다.

특정 식물체들이 중금속을 고농도로 축적할 수 있는 있음을 알고 Baker와 Brooks (1989)는 Cd, Co, Cu, Pb, Ni, Mn 축적종에 대한 taxa와 family를 분류한 바 있다. 토양으로부터 중금속을 제거하기 위한 식물이용의 필요성에 대해 Nanda 등(1995)은 *B. juncea*가 Pb에 대해 우수한 축적능을 보인다고 했고, Ebbs 등 (1997)은 *Brassica spp.*와 *Thlaspi caerulescens* 중 *Brassica spp.*가 Zn, Cd를 제거하는데 효율적이라 했다. 김 등 (1980)은 은시원 사시나무, 해바라기, 왕골 중 Cd 흡수량이 은시원 사시나무에서 제일 높았음을 지적했다.

이런 많은 연구들에도 불구하고 금산지역의 토양과 식물체의 관계는 거의 연구가 되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 금산 지역의 두 대표적인 토양인 금산군 북부 지역인 옥천대 내 창리층의 함탄질 흑색세일과 남부 지역의 중생대 화강암 지역을 택하여 대표적인 식물로서 억새, 쑥, 아카시아를 선정하고 토양차이에 따른 중금속 흡수 정도의 차이를 알아보며 종에 따른 원소 흡수량과 관계를 고려해보았다. 이 연구는 식물체를 이용한 환경복원의 기초자료로서 제공 될 수 있

으리라 생각된다.

재료 및 방법

조사지 개황

연구 지역(Fig. 1)은 하부로부터 선캠브리아기에서 초기 고생대로 추측되는 옥천 누층군을 기반암으로 하여 이를 관입하는 주라기와 백악기의 화성암류로 구성되어 있다(김옥준, 1968; 손치무, 1970). 이 옥천 누층군은 하부로부터 마전리층, 창리층, 문주리층, 대덕리층으로 구성되며 창리층의 흑색세일 내에는 2 매에서 3 매의 무연탄층이 협재되어 있다(홍과 최, 1978).

마전리층은 결정질 석회암, 석회규산염암과 석회암 등으로 되어 있다. 결정질 석회암은 주로 암회색 또는 회백색을 띠며 풍화면에 부분적으로 충식상을 보여 주고 대부분이 방해석으로 구성되어 있다. 석회규산염암대는 소량의 흑색 이질암과 교호되기도 하며, 암녹색 또는 암회색과 백색의 호상구조를 이루기도 한다. 석회암대는 대부분이 결정질이며 호상구조를 이루는 것이 많다. 90% 이상이 방해석으로 구성되어 있으며 석영, 백운모, 탄질물질들이 소량 포함 된다

창리층은 상하부가 뚜렷한 암상차이를 보이는데 하부는 암회색 및 암갈색 편암 및 사질 천매암으로 된 부분과 천매암질 점판암, 흑색세일, 탄층 및 석회암 박층으로 구성되어 있는 부분이 있다. 반면 상부는 녹색 내지 담녹색의 천매암 및 편암으로 구성되며 결정질 석회암이 협재되어 있다. 상하부에 관계없이 천매암 및 편암은 석영, 장석, 흑운모를 주로 포함하고 각섬석, 녹염석, 녹리석, 견운모, 탄질물, 방해석, 자철석, 황철석, 황동석 등을 부수적으로 포함한다.

문주리층은 석영 흑운모 편암과 사질 천매암으로 구성되어 있으며 소량의 녹리석 편암 및 석영편암을 포함하기도 한다. 석영 흑운모 편암은 풍화 면에서 사암 또는 석회암과 비슷한 모습을 보여주며 구성 광물은 석영, 흑운모, 견운모, 불

투명광물 등이 있다.

대덕리층은 규암을 다수 협재하는 사질의 녹회색 천매암으로 구성되어 있다. 천매암은 주로 석영, 흑운모를 포함하며 부수적으로 각섬석, 장석류, 백운모, 녹염석, 황철석, 녹니석, 견운모, 저어콘, 불투명광물들을 함유한다. 한편 규암은 주로 모자이크 및 봉합상 조직을 보이는 석영을 포함하며 부수적으로 백운모, 견운모, 저어콘과 스펀을 함유한다.

주라기 흑운모 화강암은 금산 지역의 대부분을 차지하며 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모를 포함하며 부수적으로 백운모, 저어콘, 불투명 광물 등을 함유한다. 백악기의 석영반암은 석영, 미사장석, 사장석, 정장석을 주로 포함하며 백운모 및 불투명광물을 포함하기도 한다. 그 외에도 염기성에서 산성에 이르는 다수의 맥암류가 연구 지역을 도처에서 관입하고 있다.

시료 채취 및 분석

토양 시료는 식물이 채취된 직 하부의 토양인 밭토양(Field soil)과 그 지역을 대표하는 상부 토양(Upper soil)으로 구분해서 채취했다(Fig. 1). 토양시료는 측구별로 3지점에 대해 500g 정도씩을 채취, 실험실에서 6주 이상 충분히 건조시킨 후 혼합하여 대표시료로 하였다. 분석방법은 토양 시료 0.5g을 질산과 염산 (0.6ml conc, HNO₃, 1.8ml con. HCl)을 사용해 95℃에서 반응이 멈출 때까지 약 2시간 동안 용해시켜 액상으로 만들어 냉각시켜 증류수 10ml을 첨가한 후 ICP(Thermo Jerrel Ash Enviro II, Hoffman, 1997)로 분석하였다. 식물체 시료는 측구별로 역세 및 썩은 3지역 모두에서, 아카시아는 한 지역에서 시료를 채취하였다. 각 지점 당 각 5-6개의 시료를 채취하여 상, 하부로 분리하여 6주 이상 실험실에서 충분히 풍건시킨 후 대표 시료로 하였다. 분석 방법은 시료를 90℃의 건조기에 건조시켜 파쇄한 후 15g을 칭량하여 약 30ton 으로 압착시켜 제조한 briquette에 15분 간 $7 \times 10^{12} \text{nm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 파장으로 빛을 조사하고 7일

후 부식 된 시료에 대해 gamma ray spectra를 이용하여 INAA(Instrumental Neutron Activation Analysis)로 정량화시켰다(Hoffman, 1997).

경하에서 밭 토양 시료는 두 지역에서 두드러진 특성 차이를 나타냈다. 즉 세일 지역은 탄질물, 흑운모, 각섬석, 녹니석을 포함하고 부수적으로 자철석 등의 불투명광물, 황철석, 황동석 등의 유화광물을 포함하는 반면 화강암 지역은 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모 및 불투명광물과 이들의 풍화 산물인 점토광물을 포함하였다.

결과 및 고찰

식물체의 원소 함량

평균값의 비교: 지역 별 비교에서 역세는 모든 원소의 상대적인 비(화강암지역/함 탄질지역)에서 1 이하 값을 보였고 가장 큰 값이 Co에서, 작은 값이 Mo에서 나타났다(Table 1). 썩은 거의 모든 원소의 상대적인 비에서 1 이하 값을 보였고 가장 큰 값이 Sc에서, 작은 값이 Mo에서 나타났다. 아카시아의 지역 별 비교에서도 모든 원소의 상대적인 비에서 1 이하 값을 보였고, 가장 큰 값이 Co에서, 작은 값이 Mo에서 나타났다. 이 결과는 식물체의 종류에 관계없이 함 탄질 지역 식물이 화강암 지역에 비해 높은 원소 함량을 보이며 원소 별 절대 함량 차이에서 Mo 이 가장 큰 차이를 보였음을 지시한다.

절대 함량에서 명확한 차이가 Ni (화강암 지역 9-17 ppm, 함 탄질 지역 88-248 ppm), V (화강암 지역 16 ppm 이하, 함 탄질 지역 46-579 ppm), Zn(화강암 지역 57-180 ppm, 함 탄질 지역 289-938 ppm), Mo (화강암 지역 1.1-21.6 ppm, 함 탄질 지역 59.8-353 ppm) 에서 나타났다.

원소별 부 및 정의 상관관계에서 함탄질 지역이 화강암 지역에 비해 두드러졌고 썩 및 역세의 비교에서는 썩이 더욱 많은 원소에서 높은 상관

Table 1A. Chemical compositions of the floras (*A. vulgaris* M. *sinensis*) from the Keumsan area(in ppm)

		Ni	Cr	Co	V	Sc	Zn	As	Pb	Cu	Mo	Cd
<i>M. sinensis</i> Granite(gr)	Up1	<5	<10	0.92	<10	0.5	172	<3	2.4	49.0	2.2	0.34
	Ro1	13	<10	10.5	16	3.2	81	<3	7.0	39.8	1.5	1.08
	av(Mgr)1	-	-	5.71	-	1.85	126.5	-	4.7	44.4	1.85	0.71
	Up2	<5	<10	4.38	<10	0.9	213	<3	2.4	63.2	2.6	0.38
	Ro2	18	10	13.2	16	3.7	133	4	7.6	44.4	1.7	1.07
	av(Mgr)2	-	-	8.79	-	2.3	173	-	5.0	53.8	2.15	0.725
	Up3	<5	<10	2.78	<10	0.6	133	3	1.8	42.1	30.7	0.68
	Ro3	16	<10	15.6	12	3.2	125	4	8.2	105.0	21.6	1.84
	av(Mgr)3	-	-	9.19	-	1.9	129	3.5	5	73.6	26.15	1.26
	av(Mgr)	-	-	7.90	-	2.02	142.83	-	4.90	57.27	10.05	0.90
<i>A. vulgaris</i> Granite(gr)	Up1	6	<10	2.4	<10	0.7	166	<3	3.2	57.5	1.3	3.57
	Ro1	12	<10	9.81	<10	2.7	122	<3	8.5	61.4	1.2	3.42
	av(Agr)1	9	-	6.015	-	1.7	144	-	5.85	59.45	1.25	3.495
	Up2	<5	<10	2.53	<10	0.6	201	<3	1.6	60.2	0.8	3.11
	Ro2	9	<10	8.04	<10	1.9	180	<3	4.8	105.0	1.1	4.27
	av(Agr)2	-	-	5.285	-	1.25	190.5	-	3.2	82.6	0.95	3.69
	Up3	9	<10	4.38	<10	1.0	217	4	7.2	125.0	5.1	5.59
	Ro3	17	<10	7.22	<10	3.3	57	35	8.9	33.6	1.5	0.92
	av(Agr)3	13	-	5.8	-	2.15	137	19.5	8.05	79.3	3.3	3.255
	av(Agr)	-	-	5.70	-	1.70	157.17	-	5.70	73.78	1.83	3.48
<i>M. sinensis</i> Coal(cb)	Up1	13	11	1.7	<10	0.7	330	5	15.5	42.9	44.1	1.89
	Ro1	88	49	13.4	208	5.9	363	80	31.4	102	170	8.4
	av(Mcb)1	50.5	30	7.55	-	3.3	346.5	42.5	23.45	72.45	107.05	5.145
	Up2	17	12	2.43	18	1	345	9	18.6	38.9	39.8	1.42
	Ro2	102	71	14.1	343	9	409	75	46.6	142	185	4.86
	av(Mcb)2	59.5	41.5	8.265	180.5	5	377	42	32.6	90.45	112.4	3.14
	Up3	90	<10	6.94	13	1.2	987	5	19.2	74	43.1	10.1
	Ro3	140	96	19.9	579	10.8	315	116	40.7	104	246	6.33
	av(Mcb)3	115	-	13.42	296	6	651	60.5	29.95	89	144.6	8.22
	av(Mcb)	75.0	-	1.75	-	4.77	458.17	48.33	28.67	83.97	121.35	5.50
<i>A. vulgaris</i> Coal(cb)	Up1	98	<10	10.3	<10	0.8	1360	7	6.8	192	59.2	32.7
	Ro1	223	33	49.2	228	6.7	736	54	38.2	363	146	55.8
	av(Acb)1	160.5	-	29.75	-	3.75	1048	30.5	22.5	277.5	102.6	44.25
	Up2	113	<10	26.3	14	1.5	1260	8	17.8	269	46.3	22.7
	Ro2	243	17	111	61	8.2	938	22	42.1	593	59.8	46.7
	av(Acb)2	178	-	68.65	37.5	4.85	1099	15	29.95	431	53.05	34.7
	Up3	86	10	14.2	18	1.8	883	13	11.8	192	77.3	36.9
	Ro3	248	35	81.1	155	6.2	652	39	40.6	564	120	86.2
	av(Acb)3	167	22.5	47.66	86.5	4	767.5	26	26.2	378	98.65	61.55
	av(Acb)	168.5	-	48.69	-	4.20	971.50	23.83	26.22	362.17	84.77	46.83

#Abbreviations : Up for above ground parts, Ro for under ground parts, A for *A. vulgaris*, M for *M. sinensis*, and same alphbet for same locality.

Table 1B. Chemical compositions of the *Robinia pseudo-acacia* from the Keumsan area(in ppm)

area		Ni	Cr	Co	V	Sc	Zn	As	Pb	Cu	Mo	Cd
Granite	Up1	8	<10	2.18	<10	0.8	168	7	3.6	62.8	0.7	0.23
	Ro1	17	<10	7.21	<10	2.2	140	8	7.2	70.8	4.0	0.27
	av(Rgr)1	12.5		4.695		1.5	154	7.5	5.4	66.8	2.35	0.25
Coal	Up1	239	19	11.9	33	2.1	446	17	14.3	219	192	2.33
	Ro1	117	18	9.78	46	5.3	289	20	36.8	120	343	4.46
	av(Rcb)1	178	18.5	10.84	39.5	3.7	367.5	18.5	25.55	169.5	267.5	3.395
	Rcb/Rgr	14.24	-	2.31	-	2.47	2.39	2.47	4.73	2.54	113.83	13.58

#Abbreviations : Up for above ground parts, Ro for under ground parts. Same alphabet means same locality.

Table 2A. Correlation coefficients of the heavy metal contents for the *A. vulgaris* and *M. sininsis* from the granite area

		<i>A. vulgaris</i>						
		Co	Sc	Zn	Pb	Cu	Mo	Cd
<i>M. sininsis</i>	Co		0.68642	-0.91660	0.72434	-0.81131	0.34338	-0.64185
	Sc	0.49680		-0.91991	0.99857	-0.13177	0.91869	-0.99822
	Zn	0.44948	0.99856		-0.93957	0.50992	-0.69023	0.89490
	Pb	0.99447	0.58521	0.54082		-0.18460	0.89624	-0.99360
	Cu	0.81319	-0.10110	-0.15437	0.74757		0.27049	0.07243
	Mo	0.59686	-0.39981	-0.44845	0.50929	0.95232		-0.94060
	Cd	0.60738	-0.38769	-0.43663	0.52059	0.95626	0.99991	

Table 2B. Correlation coefficients of the heavy metal contents for the *A. vulgaris* and *M. sininsis* from the coal bearing shale area

		<i>A. vulgaris</i>								
		Ni	Co	Sc	Zn	As	Pb	Cu	Mo	Cd
<i>M. sininsis</i>	Ni	0.99483	0.98759	0.28665	-0.99594	0.98972	0.94791	-0.95402	-0.48456	
	Co	0.99985		0.96654	0.18791	-0.98165	0.99913	0.97535	-0.91865	-0.39324
	Sc	0.85616	0.84709		0.43355	-0.99772	0.95498	0.88613	-0.98925	-0.61592
	Zn	0.99927	0.99978	0.83585		-0.37175	0.14669	-0.03344	-0.56065	-0.97695
	As	0.98833	0.99082	0.76748	0.99342q		-0.97282	-0.91538	0.97713	0.56135
	Pb	0.35928	0.34306	0.78981	0.32345	0.21295		0.98372	-0.90134	-0.35447
	Cu	0.54820	0.53364	0.90150	0.51594	0.41443	0.97746		-0.80884	-0.18068
	Mo	0.99999	0.99980	0.85766	0.99916	0.98789	0.36198	0.55063		0.72449
	Cd	0.86191	0.87057	0.47594	0.88061	0.92909	-0.16354	0.04843	0.86044	

관계를 보였다(Table 2). 한편 쑥 및 억새에서 함탄질 지역은 Ni-Co, Sc, Co-Sc, Sc-Pb, Cu, As-Mo 쌍에서, 화강암 지역은 Co-Pb 쌍에서 높은 상관관계를 보였다.

같은 토양 내 식물체의 상대적인 비 : 화강암 지역은 억새와 쑥의 비(억새/쑥)에서 Co, Sc와 Mo는 1 이상 값을, Zn, Pb, Cu, Cd는 1 이하 값을 보였다 (Table 1). 특히 가장 큰 비율의 차이가 Mo에서 작은 차이가 Cd에서 나타났다. 아카시아와 쑥의 비(아카시아/쑥)에서 Mo이 1 이상 값을 보였으며 Sc, Zn, Pb, Cu, Cd 원소들은 1 이하 값을 보였다. 가장 큰 비율 차이가 Mo에서, 작은 차이가 Cd에서 나타났다. 억새와 아카시아의 경우(억새/아카시아) Co, Sc Mo, Cd는 1 이상 값을 보여 Zn, Pb, Cu는 1 이하 값을 보였다. 특히 큰 차이가 Mo과 Cd에서 나타났다. 이 결과들은 억새 및 아카시아에 비해 쑥이 대부분 원소에서 상대적으로 높은 흡수량을 보이며 억새와 아카시아의 비교에서는 억새가 높은 흡수량을 보였음을 암시한다. 또한 Mo의 경우 아카시아와 억새가 쑥에 비해 높은 흡수량을 보였음을 암시한다.

함탄질 지역의 경우 억새와 쑥의 비에서 Sc, As, Pb와 Mo는 1 이상 값을 보였으며 Ni, Co, Zn, Cu, Cd는 1 이하 값을 보였다(Table 1). 특히 가장 큰 비의 차이가 As에서, 작은 차이가 Cd에서 나타났다. 아카시아와 쑥의 비에서 Ni, Mo가 1 이상 값을 보였으며 Co, Sc, Zn, As, Pb, Cu, Cd 원소들은 1 이하 값을 보였다. 또한 가장 큰 차이가 Mo에서, 작은 차이가 Cd에서 나타났다. 억새와 아카시아 비에서 Sc, Zn, As, Pb, Cd는 1 이상 값을 보였고 Ni, Co, Cu, Mo는 1 이하 값을 보였다. 특히 큰 차이가 As와 Cd에서 나타났다. 이 결과는 억새 및 아카시아에 비해 쑥이 대부분 전이원소에서 높은 흡수량을 보이나, Sc, Zn, As, Pb, Cd는 억새가 아카시아에 비해, Ni, Co, Cu, Mo는 아카시아가 억새에 비해 토양으로부터 높은

흡수량을 보이고 있음을 암시한다.

즉 화강암 및 함탄질 지역에 관계없이 대부분 원소에서 쑥이 억새 및 아카시아에 비해 상대적으로 높은 원소 함량을 보이며 억새와 아카시아의 비교에서는 억새가 높은 원소 함량을 보임을 암시한다. 송 등(1999)은 사문암과 편마암 지역 식물체 원소함량의 상대적 비에서 참억새가 쑥보다 대부분 원소에서 낮은 값을 보였음을 지시했다. 또한 척박한 사문암지역에서는 쑥이 억새보다 높은 축적량을 보이고 비옥한 천매암 토양에서는 참억새가 쑥에 비해 높은 중금속 축적량을 보임을 지적했다.

식물체의 부위별 비교 : 상하부의 비(하부/상부)에서 지역에 관계없이 Zn을 제외한 대부분의 원소가 1 이상의 값을 보이는데 이는 식물체의 상부에 비해 하부가 비교적 높은 원소 함량을 보이고 있음을 암시한다 (Table 1). 하지만 상하부의 비에서 지역적, 원소별 차이가 두드러졌는데 화강암 지역의 경우 쑥에 비해 억새가 Ni, Sc, Pb, Cd에서 높은 값을 보여 이들 원소의 경우 억새의 상부보다 하부에 높은 축적량을 보이고 있음을 지시한다. 아카시아는 억새 및 쑥에 비해 상, 하부의 비에서 Sc는 낮은 값을 보였고 Mo는 두드러지게 높은 값을 보였다. 즉 아카시아 Mo 함량의 경우 하부에서 쑥 및 억새에 비해 높은 축적량을 보이고 있음을 지시한다.

함탄질 지역의 경우 억새는 쑥에 비해 V, Sc, As, Mo이 높은 값을 보여 이들 원소의 경우 억새의 하부에서 높은 축적량을 보이고 있음을 지시한다. 아카시아는 억새 및 쑥에 비해 상하부 비에서 Ni, Co, V, Sc, As, Cu가 낮은 값을 보였다. 즉 상부는 함탄질 지역에서 아카시아가 쑥 및 억새에 비해 이들 원소들이 높은 축적량을 보이고 있음을 지시한다.

지역의 차이는 있지만 경북 안동 사문암 지역에 대한 연구(민 등, 1999)에서 사문암 지역 참억새, 쑥, 소나무 중 대부분 전이원소가 뿌리에서 높은 함량을 보이고 있음을 지적하고 있다.

또한 충남 서부의 사문암 지역 식물체의 연구(송 등, 1999)에서도 참억새와 쑥의 경우 하부가 상부에 비해 대부분의 전이원소에서 높은 원소 함량을 보이고 있음을 지적하고 있다.

토양의 원소 함량

밭 토양의 경우 Co, Zn, Pb를 제외한 대부분 원소에서 합 탄질 지역이 화강암지역에 비해 높았고 상대적인 비(합 탄질 지역/화강암 지역)

에서 큰 차이가 Cr, V, As, Cu, Mo에서 나타났다(Table 3A). 절대 함량 관계에서 화강암 지역은 V, Zn, Pb, Co, Sc 순으로, 탄질 지역은 V, Cr, Mo, As, Cu, Ni, Sc, Co 순으로 감소하였다. 합 탄질 토양 원소 쌍들의 상관관계에서 Ni-Cr, Co, V, Sc, Cu, Mo Cr-Co, V, Sc, Cu, Mo, Co-V, Sc, Cu, Mo, V-Sc, Cu, Mo, Sc-Cu, Cu-Mo에서 정의 상관관계를 보였고 As-Ni, Co, V, Cu, Mo에서

Table 3A. Chemical compositions of soils from the Keumsan area

	Ni	Cr	Co	V	Sc	Zn	As	Pb	Cu	Mo	
Field	FR-GR1	<20	<20	19.87	103.52	9	79.47	<5	58.40	14.11	<2
	FR-GR2	<20	<20	19.19	85.84	8	70.74	<5	75.16	<10	<2
	FR-GR3	<20	<20	13.04	76.43	6	73.77	<5	52.07	10.48	<2
	avg	-	-	17.37	88.59	7.67	74.66	-	61.88	-	-
Soil(FR)	FR-CB1	126.82	424.87	17.09	4230	24	139.61	41.71	57.81	135.83	255.5
	FR-CB2	59.38	299.06	8.97	2740	21	<30	168.84	<5	71.85	238.01
	FR-CB3	124.05	444.50	15.00	4010	25	36	143.00	10.12	120.35	249.96
	avg	103.42	389.48	13.69	3660	23.33	-	117.85	-	109.34	247.824
Upper soil(UR)	UR-GR1	<20	<20	14.55	79.32	8	70.61	<5	50.81	23.30	<2
	UR-GR2	<20	<20	12.96	79.95	8	83.05	<5	45.12	12.08	<2
	UR-GR3	<20	27.34	15.12	96.17	9	93.27	<5	64.79	23.48	<2
	avg	-	-	14.21	85.15	8.33	82.31	-	53.57	19.62	-
Soil(UR)	UR-CB1	56	455	9	4010	25	<30	167	<5	71	267
	UR-CB2	27	228	9	1820	19	150	43	153	78	193
	UR-CB3	113	484	16	4430	24	<30	178	<5	108	265
	avg	75.32	389.25	11.15	3420	22.67	-	129.22	-	85.81	214.475

#GR for granite and CB for coal bearing shale.

Table 3B. Correlation coefficients of the heavy metal contents for field soils from the coal bearing shale area

	Ni	Cr	Co	V	Sc	As	Cu
Cr	0.98707						
Co	0.97716	0.93045					
V	0.99491	0.96590	0.99359				
Sc	0.96137	0.99306	0.88091	0.92875			
As	-0.68411	-0.55835	-0.82349	-0.75410	-0.45691		
Cu	0.98052	0.93635	0.99986	0.99532	0.88857	-0.81405	
Mo	0.96139	0.90485	0.99791	0.98422	0.84851	-0.85841	0.99672

부의 상관관계를 보였다(Table 3B).

토양의 경우도 함 탄질 지역에 비해 화강암 지역에서는 Co, Zn, Pb 함량이 높았고 그 외 대부분 원소들은 함 탄질 지역이 높았다. 상대적인 비에서 커다란 함량차이가 V, As, Mo에서 나타났다. 절대 함량 관계에서 화강암 지역은 V, Zn, Pb, Cu, Co, Sc 순으로 감소하였고 함 탄질 지역은 V, Cr, Mo, As, Cu, Ni, Sc, Co 순으로 감소하였다. 전과 정(1991)은 금산 및 옥천 인접 지역의 창리층내 흑색셰일이 높은 중금속 함량을 보이고 이런 특징이 주변의 암석과 뚜렷한 차이를 보이고 있음을 지적했다.

토양과 식물체와의 원소 함량 비교

토양과 식물체 뿌리와의 함량 관계에서 화강암의 경우 토양 조성이 식물체에 비해 전 3 지역에서 V, Sc는 높았고 Zn, Cu는 낮았으며 Cd는 두 지역에서 높았다. 함 탄질 지역의 경우 식물체에 비해 토양 조성이 3 지역에서 Cr, V, Sc는 높았고, Zn은 낮았으며, 두 지역에서 As, Mo는 높았고 Co, Pb는 낮았다(Table 1). 토양과 식물체 뿌리와의 함량에서 화강암토양의 경우 역세는 3 지역 모두 Co, V가 토양의 조성에 가까웠으며, Sc, Zn, Cu는 두 지역에서 높았다. 함 탄질 토양의 경우 Ni, Cr, Co, Zn, Mo는 역세가, Pb는 썩이, 아카시아는 Ni, Zn, Cu가 토양 조성에 가까웠다. 기존 이 등(1996)의 연구도 옥천계내 흑색셰일 토양내의 높은 중금속 함량과 식물체내의 높은 원소 함량을 언급하고 있다.

경북 울산 사문암 지역의 연구(김 등, 1999)에서는 Ni, Cr, Co, As, Sc를 포함한 대부분 원소가 토양이 썩 및 참역세에 비해 높았으나 Zn의 경우는 토양과 식물체가 비슷하거나 높았다. 또한 Cr, As 농도는 토양과 차이와 적은 것으로 보아 썩 및 참역세가 이들 원소를 효과적으로 흡수함을 암시하였다.

적요

금산지역 두 다른 토양내 식물체의 중금속 함량은 식물체의 종류에 관계없이 함 탄질 지역이 높은 원소 함량을 보이고 있었으며 원소별 상관관계에서 함 탄질 지역이 화강암 지역에 비해 두드러지게 높았다. 지역에 관계없이 대부분 원소에서 썩이 역세 및 아카시아에 비해, 역세는 아카시아에 비해 상대적으로 높은 원소 함량을 보여 썩이 대부분 원소에서 상대적으로 높은 흡수량을 보임을 지적하고 있다. 또한 대부분 원소에서 식물체의 상부에 비해 하부가 비교적 높은 원소 함량을 보이고 있다. 이런 관계들을 종합해 볼 때 금산의 셰일 지역과 유사한 토양의 정화시 썩 및 역세가 좋은 중금속의 축적 종으로서 이용 가능성이 있으며 역세에 비해 썩이 선호될 수 있는 종임을 암시한다.

인용문헌

- 김규식. 1980. 토양 중 중금속의 생물학적 제거방법 시험. 농업기술 연구소보 pp.37-50.
- 김명희, 민일식, 송석환. 1999. 울산시의 사문암 및 유문암 지역 표토와 식물체의 중금속 함량 비교. 한국 환경 생태학회지 13(2) : 176-183.
- 김옥준. 1968. 충주, 문경간의 옥천계 층서와 구조. 광산 지질학회지 1 : 35-46.
- 민일식, 송석환, 김명희. 1999. 경상북도 안동 사문암 지역의 모암, 토양 및 식물체의 중금속 함량. 한국 환경 생태학회지 13(3) : 288-294.
- 손치무. 1970. 옥천층군의 지질시대에 대한 토론. 광산지질학회지 3 : 3-4.
- 송석환, 김명희, 민일식, 장인수. 1999. 충남 서부 백동 사문암 지역 식물체의 중금속 함량. 한국토양 환경학회지 4(2) : 113-125.
- 이진수, 전효택, 김경웅. 1996. 충주 지역 흑색셰일 분포지역에서의 잠재적 독성원소들의 분산과 부화. 자원환경지질학회지 29(3) : 495-508.

전효택, 정명채. 1991. 함 우라늄 흑색셰일에서의 유독성 원소들의 분산에 대한 지구화학적 연구. 광산지질학회지 24(3) : 245-360.

홍승호, 최위찬. 1978. 금산도폭. 자원개발 연구소.

Baker, A.J.M. and R.R. Brooks. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic element-A review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery 1 : 81-126.

Ebbs, S.D., M.N. Lasat, D.J. Brady, J. Cornish, R. Gorden and L.V. Kochian. 1997. Phytoextraction of Cadmium and Zinc from a contaminated soil. J. Environ. Qual. 26 : 1424-1430.

Hoffaman, E.L. 1997. Instrumental neutron activation in geoanalysis. J. Geochem. Explor. 44 : 297-319.

Nanda Kumar, P.B.A., D. Viatcheslav, M. Harry and R. Ilya. 1995. Phytoextraction : The use of plants to remove heavy metals from soils. Environ. Sci. Technol. 29 : 1232-1235.

Salmons, W., U. Forstner and P. Mader. 1995. Heavy metals : Problems and solutions. Springer-Verlag, Berlin.

(접수일 2005. 1. 17)

(수락일 2005. 3. 30)