

함우라늄 黑色세일 分布地域에서의 有毒性元素들의 分散에 관한 地球化學的 研究

全孝澤* · 鄭明採 *

Dispersion of Toxic Elements in the Area Covered with Uranium-Bearing Black Shales in Korea

Hyo-Taek Chon* and Myung-Chae Jung*

ABSTRACT: Surficial dispersion patterns of heavy metals and toxic elements (U, Mo, Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Cr, V, Ni, Pb, and Cd) were investigated in the Dukpyungri, Goesan area covered with low grade uranium-bearing black shales. Maximum abundance of U in the black shale was 455ppm. Radioactivity was counted at a maximum of 7cps in black shales, and was less than 0.5cps in shales, slates, and oil shales of the control areas. Enrichment of Mo, V, Cu, Zn, Cd, and Pb in black shales is particularly characteristic compared with shales, slates, and oil shales of the control areas, whereas contents of Mn, Cr, Co, and Th in all rock samples tend to be almost similar. Residual top soils (0~15cm depth) over black shales show high contents of Mo, Cu, Zn, Ni, Cd, and V in comparison with the control areas. Contents of trace elements in subsoils (15~30cm depth) were higher about one and half times than those in topsoils. Average contents of Mo, Cu, Pb, Zn, Cd and V in garden soil and playground soil of an elementary school in Dukpyungri, Goesan area, were high about two to fifteen times compared with the control areas. Contents of trace elements in stream sediments were higher from two to eight times than those in residual soils. Sodium, Al, K, V, Cr, and Fe were more enriched in the roots of pine than in the twigs of pine. Contents of Li, Al, V, Ni, Cd, Fe, and Co were higher in the roots of azalea than in the twigs of azalea. Enrichment of P, Ca, and Mg was remarkable in the twigs of both pine and azalea. Biological absorption coefficients for essential elements (Zn, P, Mn, Ca and K) tend to be high, whereas those for the non-essential elements (Ba, Ti, V, and Mo) and toxic elements (Cr, Co, Pb and Ni) be low. Less mobile elements (Pd, Cd, and Co) tend to show anomalies with higher contrast than more mobile elements (Mo, V, Zn, Cu and Ni) in the area covered with black shales.

서 론

본 연구는 저품위 함우라늄 흑색세일이 분포하는 충북 괴산군 청천면 덕평리 지역에서 암석, 토양, 하상퇴적물 및 식물을 채취, 분석하여 중금속 및 유독성 원소들의 분포 형태와 분산특성을 조사하고 이들이 환경에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 비교지역으로는 충북 청원군 미원면 금관리, 충북 보은군 내북면 이원리

및 전남 해남군 황산면 우항리 지역의 점판암 및 오일세일 분포지역을 선정하였다.

덕평리 지역의 함우라늄 흑색세일에 대한 최근 연구로는 주로 우라늄 광상의 탐사와 관련하여 옥천계 함우라늄 탄층중에 존재하는 우라늄의 성인(김옥배·전용원, 1980), 미원 동북부지역 우라늄광상 조사 연구(박중권 등, 1983), 흑색세일중의 다원소 함량 자료에 대한 통계적 해석(김을수, 1979), 옥천대 함우라늄 지층중의 U 과 타성분과의 상관성(이민성·전효택, 1980), 옥천층군내 우라늄 광물에 대한 광물학적 연구(김문영·이동진, 1984), 함우라늄 흑색 점판암의 지구화학 및 성인

* 서울대학교 자원공학과(Dept. of Mineral and Petroleum Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

(김종환, 1989) 등이 있다. 그러나 본 지역에 대한 기존의 연구는 주로 저품위 우라늄의 탐사와 관련된 광물 광상학적 성인 연구와 지구화학적 연구가 대부분이며 지질학적 물질중의 방사성 원소 및 중금속 원소 등 유독성원소들의 분포형태 및 분산 특성을 환경지구 화학적 측면에서 시도한 연구는 거의 없었다.

본 연구에서는 지난 70년대에 활발하게 우라늄탐광 작업을 실시하여온 충북 괴산지역의 함우라늄 흑색세일 분포지역에서 암석, 토양, 하상퇴적물 및 식물(소나무와 진달래)을 대상으로 중금속 및 유독성원소들의 분포패턴과 일차 및 이차분산 특성을 규명하고자 하며, 아울러 이러한 유독성원소들의 분포 및 분산 특성이 환경에 미치는 영향을 규명하고자 한다. 본 연구의 결과 자연적인 지질학적 환경에서 기대되는 원소들의 평균함량 또는 배경값, 중금속이 부화된 암석과 그 주변에서 성장하는 식물체내의 유독성원소들의 이상함량, 토양중의 유독성원소들의 산출 상태 및 지표수 혹은 지하수를 통한 원소와 화합물의 이동, 유독성 원소들의 분산이 주변환경에 미치는 영향등이 규명될 것이며, 이러한 연구결과는 특히 환경지구화학 분야의 연구에 활용가능할 것이다.

지 질

지질 개요

연구대상 지역이 포함된 옥천계는 남한 중부에 약 80km의 폭을 가지고 남서해안에서 북동해안까지 거의 동북방향의 주향으로 연장되어 있다(Fig. 1). 북동부는 대부분 고생대 지층이 분포하고 중생대 지층이 좁게 나타나며, 남서부에는 소위 옥천계로 알려진 변성퇴적암류가 분포하며 천매암, 녹니석편암, 각섬암으로 구성되어 있어 북동부의 고생대층과 층서, 암상, 변성도에 있어 큰 차이가 있으며(김옥준 등, 1982), 옥천계에 대한 상하 지층구조, 지질시대 및 기원암에 대한 해석은 학자에 따라 다소 차이가 있다. 연구대상지역의 함우라늄 흑색세일층은 이대성(1974)의 옥천층군 분류중에서 중부에 속하는 암회색 천매암 혹은 점판암중에 협재되어 있으며, 옥천계 북부지역이 중부지역과 같이 구룡산층, 남부지역에서는 창리층으로 명명되고 있다.



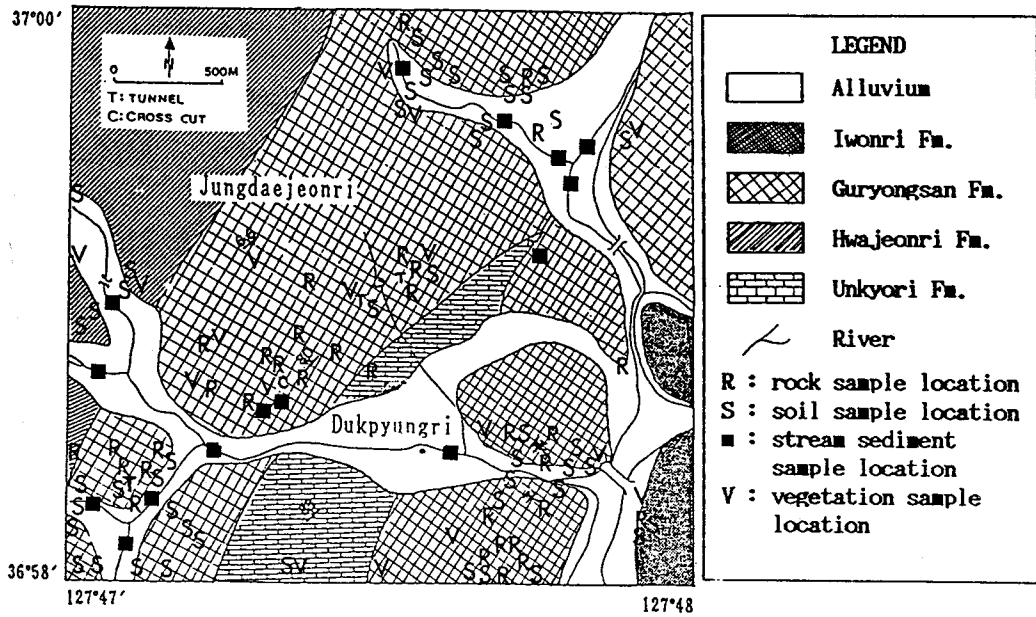
Fig. 1. Index map showing the Okchon zone(shaded area) and the studied areas.

덕평리 지역

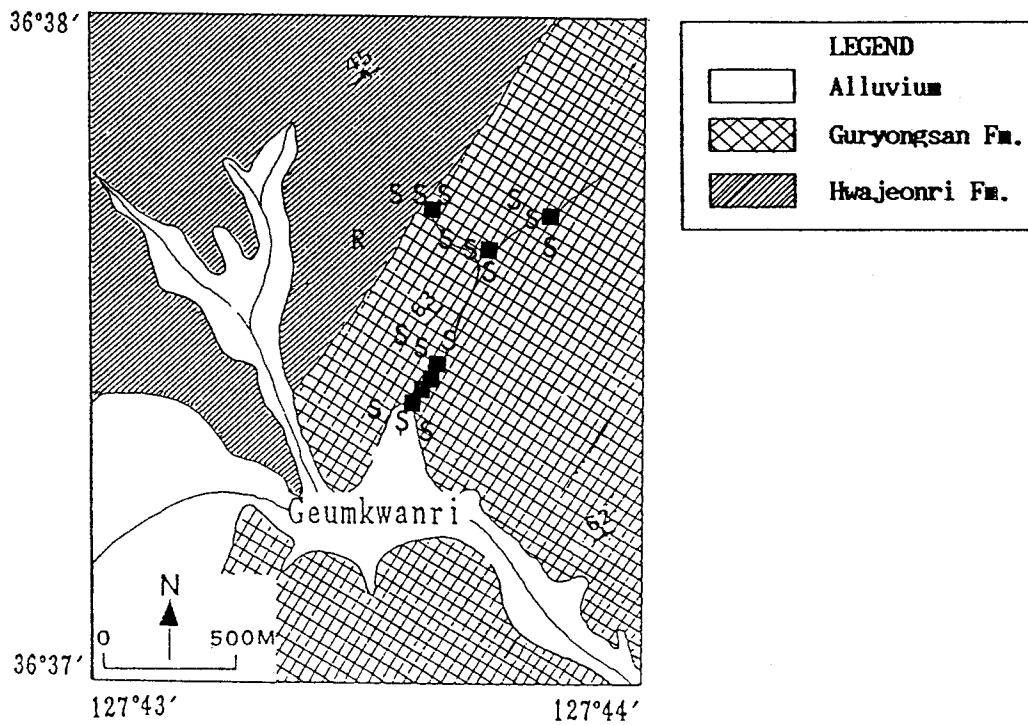
본 지역은 행정구역상 충북 괴산군 청천면 덕평리이며 북위 $36^{\circ}57'40''\sim 36^{\circ}59'25''$, 동경 $127^{\circ}46'54''\sim 127^{\circ}48'54''$ 에 위치하고 있다. 덕평리 지역은 오르도비스기의 이원리층(함력 사질 천매암, 구룡산층(흑색 점판암 또는 세일) 및 화천리층(결정질 석회암, 석탄질 점판암)이 분포하며, 운교리층(사질 천매암)이 구룡산층을 양분하고 있고 주향은 $N10^{\circ}\sim 40^{\circ}E$, 경사는 $40\sim 75^{\circ}NW$ 이다(Fig. 2-a). 흑색 세일 주변은 암회색의 토양이 분포하며(soil color chart 10YR 5/6) 이원리층 및 화천리층의 토양에서는 밝은 갈색 내지 암회색(soil color chart 10YR 3/3)을 띤다.

금관리 지역

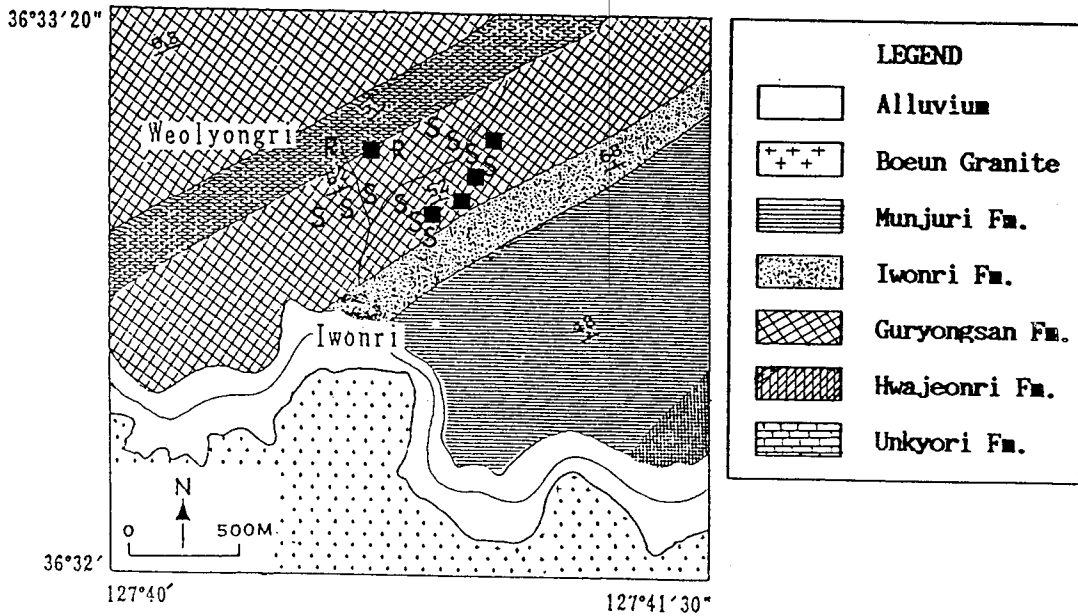
본 지역은 행정구역상 충북 청원군 미원면 금관리이며 북위 $36^{\circ}37'00''\sim 36^{\circ}38'00''$, 동경 $127^{\circ}42'\sim 127^{\circ}$



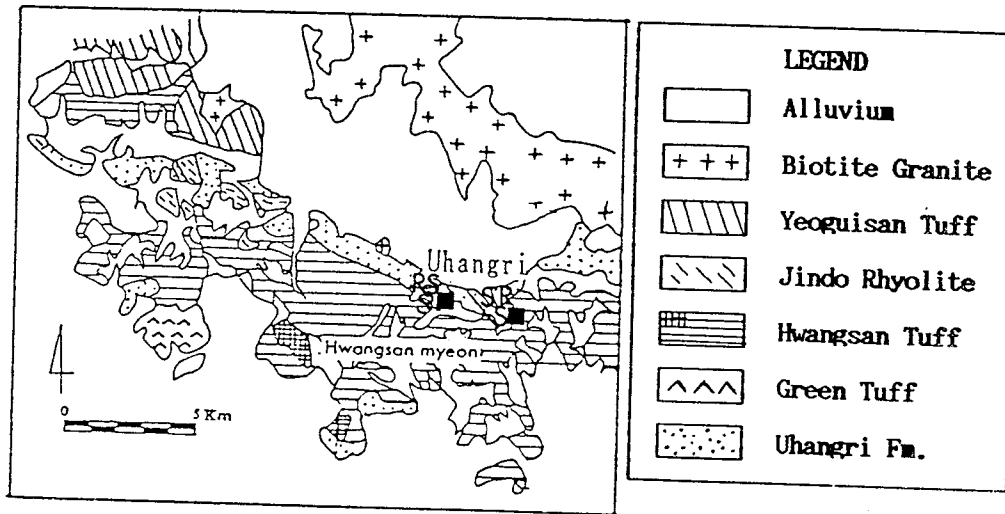
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 2. Geological map of studied areas. (a); Dukpyungri area (from Lee et al., 1972), (b); Geumkwanri area (from Lee et al., 1980), (c); Iwonri area (from Lee et al., 1980), and (d); Uhangri area (from Lee et al., 1979).

44'에 위치하고 있다. 금관리 지역은 주로 구룡산층으로 이루어져 있으며, 흑색 점판암이 분포하고 주향은 N10°~40°E, 경사는 40~60°NW이다(Fig. 2-b). 덕평리 지역에서 나타나는 구룡산층에 협재된 함우라늄 흑색세일은 거의 존재하지 않으며, 다소 변성된 점판암 내지 천매암이 주종을 이루고 있다(이종혁 등, 1980). 본 지역의 상부토양(0~15cm심도)은 회색내지 암회색(soil color chart 10YR 3/1)을 띠며 하부토양(15~30cm심도)은 밝은 갈색(soil color chart 10YR 3/2)을 띤다.

이원리 지역

본 지역은 행정구역상 충북 보은군 내북면 이원리이며 북위 36°32'~36°33', 동경 127°40'~43'에 위치하고 있다. 이원리 지역은 구룡산층, 운교리층, 이원리층 및 후기 오르도비스기의 문주리층(천매암)이 분포하며 주라기의 보은화강암이 분포하고 있다(Fig. 2-c). 문주리층의 주요 구성암은 이질원암인 연녹회색 천매암 또는 점판암이며 그밖에 약간의 탄질물이 함유된 흑색세일도 상부에 협재하며(이종혁 등, 1980), 토양의 색깔은 금관리의 토양과 유사하다(soil color chart 10YR 3/3).

우항리 지역

본 지역은 행정구역상 전남 해남군 황산면 우항리로 북위 35°00'~36°00', 동경 126°25'00"~126°27'30"에 위치한다. 본 지역의 우항리층은 화원반도에서 황산면 북부와 남부해안, 운내면의 북부와 동부 해안 및 진도군의 군내면 북부에 분포하며 대부분 해안선을 따라 노출되어 있으며 오일세일층, 처어트질 박층 및 응회암질 사암 등이 호층을 이루며 세일층에는 엽층이 잘 발달된다(이대성 윤현수, 1979, Fig. 2-d). 토양은 밝은 갈색(soil color chart 10YR 3/3)을 띤다.

시료 채취 및 화학분석

채취한 암석(총42개)은 -200mesh로 미분쇄하여 캐나다의 Activation Laboratories Ltd. (ACTLAB)에서 화학분석을 수행하였다. 화학분석방법은 0.5g의 암석시료를 왕수(aqua regia)로 처리하여 ICAP로 총

34개 원소를 분석하였다.

토양시료는 4개 지역에서 총23개의 측선을 따라 상부 토양(0~15cm 심도)과 하부토양(15~30cm 심도)을 오거(auger)를 사용하여 총 271개를 채취하였으며, 각 측선에서 1개의 시료에 대해 soil color chart를 이용하여 색깔을 구분 기재하였다. 또한 덕평리, 미원리, 금관리 지역에서는 1m 심도의 웅덩이를 파서 토양의 수직단면에 대한 시료를 채취하였다. 그리고 덕평리, 금관리, 이원리 등 3개 지역에서는 국민학교 운동장 토양내 유독성 원소함량을 조사하기 위하여 0~5cm 심도의 토양을 채취하였다. 모든 토양 시료는 30 cm 간격으로 9개의 시료를 모아 1개의 대표시료로 하였으며 80 mesh 로 체질한 후 0.5g 을 왕수로 처리하여 ICAP로 총30개 원소를 분석하였다(캐나다의 Acme Analytical Ltd. 에서 분석). 하상퇴적물(총42개)은 계절적 변화를 고찰하기 위하여 건기와 우기로 나누어 채취하여 토양과 동일한 방법으로 처리 분석하였으며, 지질매체로부터 식물로의 원소농축을 고찰하기 위하여 덕평리 지역에서 우세하게 나타나는 소나무와 진달래(총 26개)를 채취하여 증류수로 깨끗이 세척하여 건조시킨후 뿌리와 줄기로 구분하여 미분쇄 하였다. 분쇄한 건조시료를 105°C 에서 HNO₃와 HClO₄로 처리하여 영국 런던대학교의 ICAP로 분석하였고 암석, 토양, 하상퇴적물 및 식물내의 유기물 함량을 측정하기 위하여 유기분석(CHN recorder) 을 실시하였다.

분석결과

암석

유기분석 결과(Table 1), 흑색세일에는 H와 N은 거의 함유되어있지 않고(0.5% 이하), 유기탄소는 21.45% 함유되어 있으며, 세일에는 0.66%의 유기탄소가 함유되어 있다. Table 2는 흑색세일, 세일, 점판암 및 오일세일의 평균 함량과 함량범위 및 표준편차를 보여준다. 가이거 계수기(Geiger Counter)로 측정된 흑색세일의 방사능값은 저품위 우라늄의 방출에 의해 최고 7 cps(counter per second), 기타의 암종에서는 0.5 cps를 보이며, 오일세일에서는 방사능값이 측정되지 않았다. 주성분 원소(Al, Fe, Ca, Mg, Na, K 등)

Table 1. C,H, and N contents in rock, soil, stream sediment, and vegetation overlying black shale, shale, and slate.

	C (%)	H (%)	N (%)
rock (black shale)	21.45	n. d.	n. d.
rock (shale)	0.66	n. d.	n. d.
top soil (black shale)	3.85	1.04	n. d.
topsoil (shale)	3.55	1.01	n. d.
stream sediment (black shale)	1.71	n. d.	n. d.
stream sediment (shale)	1.17	n. d.	n. d.
pine root (black shale)	42.59	6.07	n. d.
pine twig (black shale)	51.00	5.77	0.91
azalea root (black shale)	45.61	5.49	0.67
azalea twig (black shale)	45.31	5.85	n. d.
pine root (shale)	56.05	3.19	1.28
pine twig (shale)	51.08	2.88	0.77
azalea root (shale)	51.07	2.65	0.63
azalea twig (shale)	51.73	2.66	1.05

n. d. : not determined

Table 2. Radioactivity and average content, range, and standard deviation of elements in rock samples.

	*RADIO cps	Al ppm	Fe ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm	Ti ppm	Mn ppm	P ppm	Ba ppm	Cr ppm	Cu ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	V ppm	Sr ppm	Co ppm	Mo ppm	Ag ppm	Cd ppm	Sb ppm	Th ppm	AS ppm	Bi ppm
Black Shale	AVG. 2.67	1.62	1.82	871	3168	99	2079	323	46	1066	2107	56	240	163	124	394	938	56	8	213	5	11	19	19	41	29
	MIN. 0.75	0.26	0.22	80	270	20	720	38	8	38	110	9	120	6	19	42	70	16	3	18	1	< 1	< 5	< 10	< 5	< 5
	MAX. 7.00	3.70	4.40	4100	6200	420	7300	630	110	2600	6000	120	510	380	440	1100	1900	240	20	650	8	36	45	60	110	65
	STD. 2.13	1.01	1.41	1176	1865	120	2020	215	31	777	1648	43	130	124	126	369	701	66	5	191	-	-	-	-	-	-
Slate	AVG. 0.50	1.37	1.92	1919	3907	353	3243	438	106	175	716	27	72	20	18	60	56	20	6	11	1	< 1	< 5	22	17	< 5
	MIN. 0.00	0.16	0.30	80	100	20	690	11	2	24	25	4	16	1	9	7	5	1	1	1	< 1	< 1	< 5	< 10	< 5	< 5
	MAX. 1.25	3.60	9.90	10000	1800	2000	15000	1700	626	480	8700	83	190	71	50	137	350	240	29	80	4	4	15	110	210	15
	STD. 0.41	1.13	2.10	3318	4948	541	3239	478	144	145	1722	21	43	19	9	33	73	45	6	15	-	-	-	-	-	-
Slate	AVG. 0.60	1.80	1.79	23400	6120	1134	8020	660	250	216	82	27	57	21	16	69	47	60	7	8	< 1	< 1	< 5	56	8	11
	MIN. 0.25	0.49	0.83	3000	2400	1800	1800	20	200	80	27	7	26	6	8	44	16	9	3	2	< 1	< 1	< 5	< 10	< 5	< 5
	MAX. 1.00	2.50	2.70	63000	0000	14000	14000	1400	350	290	170	40	140	41	30	90	86	170	12	24	< 1	< 1	25	80	15	35
	STD. 0.34	0.72	0.63	23070	2419	4970	4970	440	55	74	50	13	44	11	7	19	23	60	3	9	-	-	-	-	-	-
Oil Shale	0.0	0.80	1.20	520	4200	1600	1600	260	100	200	76	14	64	48	11	43	10	3	12	8	< 1	< 1	< 5	< 10	< 5	< 5
**Shale	0.0	10.45	3.33	25300	3400	22800	22800	4500	670	700	800	100	57	95	20	80	130	450	20	2	0.1	0.3	-	11	6.6	0.01

* Radio: Radioactivity determined by Geiger counter.

**Shale: from Govett, 1983

함량은 세일과 점판암에서 비교적 높으며 부성분 원소에 있어서 Ti, Mn은 세일에, P와 Ba는 흑색세일에서 높은 함량을 보인다. 흑색세일중의 U, Mo, V, Cu, Ni, Zn, Cd등의 함량은 세일이나 점판암에 비해 2배에서 최고 20배 이상 부화되어 있으나 Cr, Co, Th등은 각 암종에 따른 변화가 적었다.

토양

토양의 수직단면(soil profile)

덕평리와 금관리 및 이원리 지역에서 채취한 토양의 심도별 함량분포(Table 3)에서 보는 바와 같이 덕평리 지역에서는 심부로 가면서 Cu, Mn 등의 함량은 증가

Table 3. Element contents in residual soils with depth.

Region	depth cm	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Ca %	P %	La ppm	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	B ppm	Al %	Na %	K %
Dukpyungri	0-15	4	26	25	61	0.4	28	13	288	3.1	26	5	13	8	0.2	13	5	48	0.03	0.01	31	32	0.5	161	0.03	5	3.13	0.01	0.11
	15-30	3	25	27	62	0.1	26	11	213	3.1	20	5	12	8	0.2	9	2	46	0.03	0.01	29	30	0.5	143	0.03	4	3.14	0.01	0.11
	30-45	4	29	19	63	0.4	28	11	199	3.2	22	5	14	7	0.2	11	4	47	0.02	0.01	30	29	0.5	143	0.04	8	2.97	0.01	0.11
	45-60	3	32	28	59	0.2	24	10	225	2.9	21	5	12	6	0.2	10	2	43	0.01	0.01	29	24	0.4	139	0.04	4	2.53	0.01	0.11
	< 60	4	31	17	59	0.5	23	12	266	2.8	21	5	13	7	0.2	13	2	44	0.01	0.01	28	21	0.3	157	0.04	4	2.30	0.01	0.11
Iwonri	0-15	2	36	38	127	0.4	43	25	1149	4.2	25	13	6	11	0.3	12	10	36	0.07	0.06	41	40	0.9	102	0.05	2	3.01	0.01	0.18
	15-30	1	31	27	135	0.4	36	21	824	4.3	29	5	12	11	0.2	13	2	36	0.04	0.06	39	35	0.9	110	0.06	4	3.13	0.01	0.23
	30-45	1	32	25	138	0.1	34	23	924	4.4	27	5	9	11	0.3	11	3	34	0.05	0.07	44	34	0.9	106	0.06	9	3.06	0.01	0.24
	< 45	1	28	29	128	0.1	31	21	844	4.1	21	5	9	11	0.2	6	2	32	0.05	0.06	39	32	0.9	108	0.07	3	2.76	0.01	0.25
Geumkwari	0-15	1	37	33	108	0.1	45	26	660	5.7	23	5	16	23	0.3	14	2	100	0.16	0.02	43	84	1.9	229	0.23	6	5.66	0.01	0.87
	15-30	1	19	26	85	0.1	37	24	572	4.9	24	5	21	18	0.7	14	2	105	0.11	0.03	47	85	1.6	222	0.22	2	5.77	0.01	0.70
	30-45	1	18	26	85	0.1	37	22	553	4.7	24	5	20	17	0.4	14	2	106	0.11	0.02	55	85	1.6	213	0.20	4	5.30	0.01	0.63
	45-60	1	48	30	101	1.1	45	29	648	6.2	25	13	19	18	1.7	11	2	108	1.11	1.02	43	90	2.1	237	0.27	2	6.43	0.01	1.14

Table 4. Average content, range, and standard deviation of elements in residual top samples (1-15cm depth).

		Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	V ppm	Ca %	P %	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	Al %	Na %	K %
over. black. shale.	AVG.	24	89	46	148	59	21	421	4.6	26	53	11	17	0.5	139	0.07	0.05	47	0.79	665	0.06	3.07	0.01	0.20
	MIN.	1	26	12	60	24	8	26	2.1	8	5	4	4	0.2	39	0.01	0.01	15	0.05	73	0.01	1.24	0.01	0.04
	MAX.	134	403	370	462	141	40	938	13.5	61	780	22	99	7.2	736	0.45	0.31	100	1.44	6361	0.15	4.67	0.01	0.49
	STD.	33	70	58	88	26	8	213	1.8	10	143	3	19	1.1	175	0.07	0.05	16	0.32	1274	0.03	0.68	0.00	0.11
over. shale.	AVG.	2	42	45	98	39	18	564	4.2	22	5	11	13	0.3	59	0.11	0.04	52	1.09	194	0.10	3.64	0.01	0.40
	MIN.	1	23	8	58	21	9	202	2.6	2	5	2	5	0.2	29	0.02	0.01	19	0.33	76	0.02	2.06	0.01	0.09
	MAX.	17	144	995	289	106	31	1034	6.1	113	14	28	30	0.7	97	0.31	0.12	179	2.90	692	0.25	5.87	0.02	0.96
	STD.	3	23	130	37	14	5	182	0.9	18	2	5	6	0.1	18	0.07	0.02	23	0.54	109	0.06	0.83	0.00	0.25
over. slate, or. oil shale.	AVG.	3	41	36	107	36	18	621	3.6	27	7	8	15	0.3	46	0.13	0.05	35	0.94	134	0.08	3.10	0.01	0.29
	MIN.	1	12	9	37	6	5	181	1.7	7	5	3	6	0.2	20	0.04	0.00	8	0.19	48	0.02	1.56	0.01	0.10
	MAX.	8	72	140	216	72	58	1943	5.4	41	22	22	47	1.2	97	0.79	0.22	80	1.80	302	0.24	5.23	0.04	0.99
	STD.	2	16	19	36	15	8	351	0.9	1.14	4	4	7	0.2	17	0.11	0.03	17	0.40	56	0.05	0.78	0.00	1.21

하고, Fe, Ni, Co, Cr 등의 함량은 감소하는 경향을 보인다. 그러나 Mo, V, Zn, Cd, P, Th 등의 함량은 심도별 변화가 적다. 이원리 지역에서는 토양의 상부(0~15cm) 및 심부(45~60cm)에서 Zn, Mn, Fe, Ni, Cu 등의 함량이 높은 반면, 15~45cm 심도에서는 P, Th 등의 함량이 높다. 금관리 지역에서는 Zn, Cd 외에는 이 원리와 유사한 경향을 보여준다.

상부 토양(topsoil)

상부토양의 화학분석결과에 대한 평균값, 범위 및 표준편차를 Table 4에 나타내었다. 토양의 각 원소별 함량분포는 암석과 비슷한 경향을 보여 흑색세일 상부의 토양에서는 Mo, Cu, Zn, Ni, U, Cd 등의 함량이 높

고, 세일과 점판암 주변의 토양에서는 Fe, Mn의 함량이 높으며, Co, Th, Pb 및 유기원소 등은 각 지역에 따른 변화가 미약하다.

하부 토양(subsoil)

하부토양의 화학분석결과에 대한 평균값, 범위 및 표준편차를 Table 5에 나타내었다. 하부토양에서 채취한 시료들의 원소함량분포는 상부토양과 비슷한 경향을 보여주고 있으며 흑색세일 분포 지역에서 Mo, Cu, Zn, Ni, U, Cd, V 등 대부분의 미량원소는 평균함량이 높고 넓은 함량범위를 보이는 반면, Mn, Fe, Th, Pb 등의 변화는 미약하다. 원소의 평균함량은 상부토양에 비해 하부토양에서 높고 원소의 함량분포범위가 넓게 나타

Table 5. Average content, range, and standard deviation of elements in residual subsoil samples (15-30cm depth).

		Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	Fe	As	U	Th	Sr	Cd	V	Ca	P	Cr	Mg	Ba	Ti	Al	Na	K
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	%	ppm	%	%	%	%
over. black, shale.	AVG.	27	82	38	192	70	28	625	5.4	34	29	12	18	0.5	123	0.08	0.05	48	0.87	512	0.08	3.06	0.01	0.24
	MIN.	4	32	15	56	22	8	54	3.6	17	5	7	6	0.2	45	0.02	0.02	20	0.09	104	0.01	1.39	0.01	0.06
	MAX.	104	230	70	542	189	48	1581	11.4	52	117	17	90	2.8	364	0.17	0.11	116	1.76	2820	0.18	4.11	0.01	0.68
	STD.	29	47	15	114	35	10	382	1.7	9	33	3	17	0.7	88	0.05	0.03	18	0.41	687	0.04	0.68	0.00	0.14
over. shale.	AVG.	3	39	42	124	40	19	620	4.1	24	7	10	16	0.4	62	0.14	0.04	50	1.19	201	0.12	3.42	0.01	0.43
	MIN.	1	17	13	53	21	7	267	2.9	12	5	2	7	0.2	33	0.03	0.01	19	0.30	88	0.03	2.22	0.01	0.11
	MAX.	15	81	309	940	74	35	1249	5.5	42	20	18	28	5.5	114	0.29	0.13	87	2.89	712	0.23	5.14	0.02	1.04
	STD.	3	12	54	134	10	5	183	0.8	7	4	4	5	0.8	20	0.07	0.02	17	0.54	106	0.06	0.69	0.00	0.24
over. slate, or. oil shale.	AVG.	3	40	50	101	37	19	747	3.8	24	5	9	15	0.2	44	0.12	0.04	38	0.93	148	0.08	3.03	0.01	0.25
	MIN.	1	8	15	30	6	5	246	1.5	8	5	3	7	0.2	20	0.03	0.01	10	0.17	49	0.02	1.50	0.01	0.08
	MAX.	8	90	67	192	76	81	3247	5.2	45	6	19	68	0.6	89	0.60	0.14	92	1.86	378	0.19	4.61	0.07	0.60
	STD.	2	16	9	31	15	11	549	0.9	9	0	3	10	0.1	14	0.10	0.02	16	0.38	72	0.05	0.72	0.01	0.14

Table 6. Element contents in garden soil samples (0-5cm depth).

Region	No.	Mo	Cu	Pb	Zn	Ag	Ni	Co	Mn	Fe	As	U	Th	Sr	Cd	Sb	Bi	V	Ca	P	La	Cr	Mg	Ba	Ti	B	Al	Na	K
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	%	%	%
Dukpyungri	1	10	42	28	172	0.3	40	15	608	3.5	25	5	6	19	1.0	10	2	67	0.23	0.14	25	38	0.8	291	0.09	10	2.33	0.01	0.31
	2	10	50	27	194	0.4	43	17	722	3.9	26	5	6	19	0.7	10	2	75	0.26	0.08	28	45	0.9	397	0.10	6	2.76	0.01	0.36
	3	31	73	87	291	0.6	48	16	840	3.6	24	73	5	69	1.6	9	2	175	0.80	0.19	30	47	0.9	1702	0.08	12	2.56	0.02	0.37
Geumkwari	1	9	48	31	189	0.6	40	16	676	3.5	13	5	4	27	0.5	7	2	70	0.30	0.14	25	45	0.9	404	0.11	2	2.75	0.01	0.37
	2	2	50	34	171	0.2	34	19	1233	3.4	13	5	6	64	0.7	4	2	47	1.09	0.22	25	44	0.9	303	0.08	8	3.03	0.01	0.49
	3	2	47	24	123	0.1	29	16	836	3.3	14	5	5	25	1.2	5	3	40	0.27	0.19	28	36	0.9	189	1.07	5	2.82	1.01	0.32
	4	2	36	21	95	0.2	28	15	708	3.2	12	5	5	18	0.4	7	2	41	0.24	0.08	28	37	0.9	156	0.08	2	2.74	0.01	0.32
Iwonri	1	1	46	31	179	0.1	43	23	1187	4.2	76	5	6	60	0.5	7	2	36	0.79	0.14	27	36	0.8	186	0.05	10	3.24	0.02	0.30
	2	2	59	31	215	0.3	50	20	970	4.0	16	5	4	64	0.7	7	2	52	0.79	0.27	29	58	1.2	249	0.12	10	3.51	0.02	0.55
	3	2	55	39	246	0.1	30	15	1430	2.9	9	5	2	105	0.4	2	2	35	1.42	0.29	21	35	0.7	342	0.07	13	2.39	0.02	0.38

났다.

정원 토양 (garden soil)

연구대상지역의 주택에서 상추, 파, 마늘, 고추 등을 재배하는 정원의 토양을 0~5cm 심도에서 채취하여 분석한 결과 (Table 6), 흑색세일이 분포하는 덕평리의 정원토양이 비교 지역(이원리 및 금관리)에 비해 Mo(15배), Cu(1.5배), Pb(2.5배), Zn(1.5배), Cd (2~3배), V(3.5배) 등이 높게 나타났다. 특히 인간에게 유독하다고 알려진 원소인 Pb, Cu, Zn 및 Cd는 덕평리 지역의 세일 주변에 비해 2~5배 이상 부화되어 있다. 이는 화학비료 및 농약의 사용으로부터 부화되었거나 흑색세일 주변의 토양을 정원 토양으로 사용하고 있어서 흑색세일에 함유된 유독성 원소가 이동 분산된 것으로 생각된다. 이러한 토양에서 성장한 식물을 장기간 섭취할 경우 인체에 유해한 영향을 미치므로 다른 지역에 비

해 유독성 원소의 영향이 더욱 심각할 수 있다. 비교 지역인 금관리와 이원리의 정원 토양에서는 유독성원소의 함량이 유사하며 이원리 지역에서 다소 높은 경향을 보여준다.

국민학교 운동장 토양

연구대상지역중에서 덕평리, 금관리, 이원리에 소재하는 국민학교 운동장 토양을 0~5cm심도로 채취하여 분석한 결과 (Table 7), 각 원소의 함량 분포에 있어 정원토양에서와 유사한 경향을 보여주었다. 즉 흑색세일이 분포하는 덕평리의 국민학교 운동장의 토양에서 Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Cd, V, Cr 등의 함량이 높게 나타났으며, 특히, Cu, Pb, Zn 및 Cd 등의 유독성원소가 각 지역에서 높게 나타났는데, 이들의 분진이 성장기 어린이의 호흡기에 흡입되거나 음식물섭취로 인해 체내에 농축된다면 매우 유해한 영향을 초래할 수 있을 것

Table 7. Element contents in playground soil samples (0-5cm depth) collected from elementary schools.

Region	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Ca %	P %	La ppm	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	B ppm	Al %	Na %	K %
Dukpyungr	9	40	29	164	0.1	36	13	513	3.5	14	5	12	30	0.4	5	5	61	0.81	0.04	21	35	0.7	312	0.09	3	2.13	0.02	0.29
Geumkwanri	2	28	30	96	0.1	28	13	507	3.1	16	5	8	18	0.2	5	3	36	0.40	0.04	24	30	0.7	125	0.06	2	2.48	0.01	0.22
Iwonri	1	9	25	115	0.10	5	9	669	0.40	6	5	22	68	0.2	5	4	39	0.48	0.13	62	6	0.7	132	0.17	4	2.84	0.01	0.53

Table 8. Average content, range, and standard deviation of elements in stream sediments overlying black shale, shale, and oil shale.

		Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	V ppm	Ca %	P %	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	Al %	Na %	K %
black shale.	AVG.	59	640	31	968	154	42	1004	13.7	33	164	21	43	15.6	110	0.32	0.06	39	0.69	445	0.08	3.59	0.01	0.27
	MIN.	3	41	7	107	48	17	327	3.7	11	5	10	11	0.5	13	0.03	0.03	7	0.05	89	0.01	2.02	0.01	0.03
	MAX.	140	3580	61	2735	337	104	2595	31.8	78	558	62	112	50.1	288	0.75	0.11	79	1.78	1497	0.22	6.53	0.02	0.89
	STD.	49	1183	14	895	95	24	714	8.6	17	186	17	35	17.3	88	0.27	0.03	23	0.59	394	0.07	1.33	0.00	0.26
shale	AVG.	5	52	26	135	47	21	597	4.8	17	8	11	15	1.2	69	0.20	0.04	66	1.31	215	0.14	3.08	0.01	0.48
	MIN.	1	30	13	84	34	14	376	3.4	8	5	7	8	0.2	43	0.11	0.03	46	0.82	86	0.07	1.83	0.01	0.20
	MAX.	17	80	44	246	59	30	1063	6.2	32	29	17	30	4.5	104	0.45	0.11	103	2.05	333	0.24	4.30	0.03	0.95
	STD.	4	13	9	43	8	4	159	0.7	7	6	3	5	1.1	18	0.08	0.02	15	0.32	65	0.04	0.63	0.01	0.20
slate	AVG.	5	70	33	130	57	26	535	5.2	28	5	16	17	0.6	57	0.18	0.05	51	1.33	134	0.11	3.04	0.01	0.25
	MIN.	3	62	27	116	47	20	446	4.5	22	5	10	10	0.2	45	0.08	0.03	39	1.06	120	0.07	2.42	0.01	0.08
	MAX.	8	84	43	163	67	30	674	6.5	33	5	26	23	1.2	78	0.23	0.06	76	1.72	143	0.18	4.19	0.01	0.60
	STD.	2	8	6	19	8	4	86	0.8	4	0	6	5	0.4	14	0.06	0.01	15	0.24	9	0.04	0.70	0.00	0.14
oill shale	AVG.	3	57	28	124	43	21	478	6.2	34	5	24	10	0.3	66	0.09	0.03	64	1.48	121	0.15	3.49	0.01	0.64
	MIN.	2	46	22	117	36	18	404	5.3	30	5	17	7	0.2	57	0.05	0.03	56	1.22	91	0.12	2.85	0.01	0.50
	MAX.	5	67	32	147	46	22	611	7.3	36	5	34	16	0.6	73	0.13	0.04	73	1.63	148	0.18	3.79	0.01	0.76
	STD.	1	7	4	11	4	2	76	0.8	2	0	7	3	0.2	6	0.03	0.00	6	0.14	19	0.02	0.36	0.00	0.10

이다.

하상 퇴적물

계절적 변화를 고려하여 우기와 건기로 구분하여 채취한 하상퇴적물 시료의 화학분석결과에 대한 평균값, 범위 및 표준편차를 Table 8에 나타내었다. 토양에 비해 대부분 높은 함량을 보여주며 흑색세일 주변, 저품위 우라늄 탐사용 cross cut 및 터널입구의 퇴적물시료에서 Mo, Cu, Zn, Ni, Mn, Fe, U, Cd, V 및 유기탄소 등의 함량은 높은 반면 Pb, Co, Cr 등은 각 지역에서 유사한 함량분포를 보여 암석과 토양의 함량분포 형태와 유사한 경향을 보인다.

식물

지질매체에 함유된 원소가 식물에 농축되는 기구를 고찰하기 위하여 덕평리 지역에 넓게 분포하는 소나무

(*Pinus densiflora*)와 진달래(*Rhododendron mucronulatum*)를 채취하여 화학분석한 결과에 대한 평균값, 범위 및 표준편차를 Table 9에 나타내었다. 소나무의 뿌리에서는 Na, K, Al, V, Cr, Fe 등의 함량이 높으며 줄기 성장에 필수 원소인 P와 광합성에 필수원소인 Mg 및 Ca는 줄기에서 높다. 식물내의 유기탄소함량은 50%내외이며, H의 함량은 흑색세일상부의 토양에서 성장하는 식물에서 다소 높았다 (Table 1). 흑색세일 주변 지역에서 성장하는 소나무에서는 다른 지역에 비해 Na, Ni, Cd, Co, Cr 등의 함량이 다소 높으나 암석과 토양의 함량과는 완전히 일치하지 않는다. 이는 암석에서 원소의 이동은 자연수의 흐름, Eh, pH 등의 지질환경과 깊은 관련이 있지만, 식물은 성장에 필수적인 원소를 선택적 (능동적)으로 흡수하므로 중금속이 주변 식물에 미치는 영향은 암석이나 토양의 원소함량 뿐만 아니라 각 지역의 식생, 온도, 강수량, 시간, 토양의 특성 등 다양한 요인으로 해석되어야 한다. 진달래 뿌리에서는 Li, Al, V, Ni, Cd,

Table 9. Average content, range, and standard deviation of elements in vegetation (dry weight in ppm).

		Li	Na	K	Rb	Mg	Ca	Sr	Ba	Al	La	Ti	V	Cr	Mo	Mn	Fe	Co	Ni	Ag	Zn	Cd	Pb	P
* GROUP1	AVG.	0.19	44.5	2949	8.8	860	1536	8.5	6.6	609	1.4	12.5	1.28	3.3	0.36	195	291	0.99	2.9	0.5	32.2	1.26	2.48	603
	MIN.	0.02	6.9	1783	6.0	527	1090	5.0	5.2	125	0.4	1.6	0.13	0.9	0.15	66	49	0.38	0.8	0.1	19.9	0.26	0.75	239
	MAX.	0.34	96.0	3867	16.5	1211	2131	13.3	9.2	1077	2.4	21.7	2.10	5.6	0.58	404	538	2.05	4.2	1.3	56.0	2.43	5.38	1676
	S. D.	0.11	32.4	640	3.5	266	323	3.1	1.3	325	0.7	7.9	0.70	1.7	0.14	109	172	0.57	1.2	0.4	10.8	0.93	1.51	454
GROUP2	AVG.	0.12	17.3	2328	9.7	844	1629	10.3	8.3	523	1.5	11.3	0.77	2.8	0.26	222	269	0.70	2.0	0.3	36.0	0.37	1.85	525
	MIN.	0.02	14.1	1330	4.5	659	1194	7.8	6.9	282	0.5	3.0	0.38	0.7	0.20	99	81	0.28	0.7	0.1	23.6	0.16	1.50	292
	MAX.	0.25	20.6	3375	15.5	1067	2351	13.2	10.3	846	4.7	32.9	1.28	6.3	0.38	439	636	1.55	3.4	1.2	65.0	0.56	3.75	761
	S. D.	0.09	2.5	800	4.1	180	403	2.0	1.2	192	1.6	11.5	0.34	2.1	0.07	116	195	0.47	1.0	0.4	14.8	0.13	0.79	190
GROUP3	AVG.	0.07	37.5	3018	6.3	872	3260	13.9	10.4	483	0.4	5.3	0.75	1.4	0.42	223	139	0.51	2.9	0.2	32.7	0.66	2.56	785
	MIN.	0.02	10.9	2372	3.0	526	2381	4.7	6.4	283	0.3	2.3	0.35	0.7	0.20	135	62	0.30	1.1	0.1	24.5	0.20	1.50	386
	MAX.	0.11	64.5	3685	12.0	1047	5290	31.9	15.0	651	0.7	8.4	2.06	1.9	1.03	436	197	0.88	5.3	0.4	52.2	1.86	3.75	1303
	S. D.	0.03	19.7	455	2.7	159	971	8.6	3.0	129	0.1	1.8	0.55	0.4	0.27	95	40	0.20	1.2	0.1	8.3	0.51	0.79	268
GROUP4	AVG.	0.08	23.4	2746	7.5	873	3422	14.5	9.3	480	0.4	6.5	0.60	1.6	0.29	284	160	0.43	1.8	0.1	30.5	0.25	2.71	777
	MIN.	0.05	12.5	953	3.0	418	1787	7.0	6.4	224	0.3	3.5	0.31	0.6	0.15	57	96	0.23	1.0	0.1	17.4	0.06	1.75	220
	MAX.	0.14	44.3	3443	14.0	1116	4633	19.4	11.7	958	0.8	10.3	1.53	2.9	0.48	580	247	0.80	2.9	0.2	42.4	0.50	4.38	1251
	S. D.	0.03	12.6	846	3.9	238	868	3.8	1.9	229	0.2	2.6	0.42	0.8	0.11	156	56	0.20	0.6	0.0	7.7	0.15	1.10	315
GROUP5	AVG.	0.30	10.7	1358	7.9	576	1626	6.6	12.7	1105	2.9	19.3	4.17	8.6	0.66	584	638	1.16	5.7	0.2	65.0	0.20	3.27	380
	MIN.	0.17	5.5	1240	4.0	439	1219	4.1	7.0	604	1.1	11.0	0.64	4.2	0.20	164	293	0.38	2.6	0.1	31.8	0.08	1.63	218
	MAX.	0.70	19.4	1603	12.5	771	2208	10.4	16.5	1783	6.7	25.5	14.28	18.2	2.08	875	1273	2.23	8.5	0.5	164.7	0.51	4.63	476
	S. D.	0.17	5.2	120	2.9	101	343	2.0	3.1	338	1.7	6.2	4.43	5.3	0.61	233	292	0.70	1.9	0.1	44.0	0.24	0.91	94
GROUP6	AVG.	0.17	12.9	1543	5.8	661	1823	8.5	10.5	607	2.7	13.8	0.77	4.6	0.25	645	404	0.62	3.5	0.2	57.1	0.23	2.77	462
	MIN.	0.03	9.1	605	3.0	564	1547	6.7	9.2	115	0.3	3.0	0.21	1.6	0.20	301	147	0.20	1.3	0.1	32.2	0.05	0.75	286
	MAX.	0.41	17.3	2130	10.0	783	2610	12.0	11.5	1205	8.0	32.8	1.19	12.6	0.35	1444	861	0.98	6.5	0.5	95.8	0.54	5.88	722
	S. D.	0.16	3.0	485	2.3	69	364	1.9	0.8	378	2.9	11.2	0.38	3.8	0.05	367	251	0.24	1.9	0.2	24.9	0.17	1.59	143
GROUP7	AVG.	0.02	11.2	1293	6.4	666	2300	8.1	11.3	108	0.3	3.0	0.55	1.6	0.38	659	87	0.24	2.4	0.1	45.7	0.06	2.89	432
	MIN.	0.02	3.0	964	2.0	467	1378	5.1	6.5	45	0.2	1.4	0.18	0.9	0.15	269	46	0.08	1.3	0.1	18.3	0.04	1.50	295
	MAX.	0.05	22.3	1696	12.5	904	3185	11.9	14.1	226	0.5	6.2	2.01	2.2	1.40	1373	164	0.63	4.1	0.1	83.9	0.10	4.63	622
	S. D.	0.01	5.8	238	3.2	157	593	2.5	2.4	54	0.1	1.6	0.58	0.4	0.39	323	38	0.16	0.8	0.0	21.4	0.02	1.10	105
GROUP8	AVG.	0.02	12.4	1347	6.1	693	1862	7.1	9.4	78	0.5	2.2	0.18	1.2	0.22	560	62	0.18	1.6	0.1	35.5	0.06	2.99	456
	MIN.	0.02	6.6	1255	2.0	576	1144	3.9	7.8	41	0.2	1.3	0.13	0.7	0.20	329	37	0.08	0.9	0.1	10.8	0.03	1.25	387
	MAX.	0.03	19.6	1538	12.0	895	2477	16.1	12.1	152	2.0	4.2	0.25	1.6	0.25	738	82	0.35	4.2	0.1	94.6	0.13	7.75	557
	S. D.	0.00	4.1	97	3.0	98	413	3.8	1.6	36	0.6	1.0	0.04	0.3	0.02	131	17	0.11	1.1	0.0	26.2	0.03	2.18	67

*GROUP1: pine root growing over black shale, 2: pine root growing over slate, shale, and phyllite, 3: pine twig growing over black shale, 4: pine twig growing over slate, shale, and phyllite 5: azalea root growing over black shale, 6: azalea root growing over slate, shale, and phyllite, 7: azalea twig growing over black shale, 8: azalea growing over slate, shale, and phyllite

Fe, Co 등의 함량이 진달래의 줄기에 비해 상대적으로 높다. 소나무와 진달래에 있어 식물 성장에 필수적인 원소 (P, K, Ca, Na 등) 의 함량은 유사한 반면 Cr, V, Mo, Ni, Zn 등의 원소는 소나무에 비해 진달래에서 높는데, 이는 진달래가 소나무에 비해 유독성원소에 대한 저항력이 낮음을 보여주는 예이다.

덕평리 지역에서 성장한 버를 건식법으로 분석한 결과에 따르면 이삭(grain)에서 Cd(최고 1.13ppm), Pb(최고1.25ppm), Zn(최고28.73ppm), Cu(31.39 ppm)의 함량이 높으며, 줄기(stalk)에서는 이삭에 비해 Cd는 약 4배, Pb는 약 6배, Zn은 약 2배, Cu는 약 1.5배 높았다. 이러한 분석결과는 본 지역의 흑색세일과 같은 지질물질이 주변의 농작물의 성장에 큰 영향

을 주고 있음을 시사 해 준다.

각 시료에서의 원소들의 분산 특징

암석과 토양

총 42개의 암석과 주변의 상부토양(0~15cm심도)과의 상관관계를 Fig. 3에 나타내었다. 덕평리 지역 자연수의 Eh는 +100~200 mV, pH는 5~7로 산성 및 산화환경이다. 이러한 환경에서 이동성이 좋은 원소는 암석 주변의 토양에 넓게 분산되며 이동성이 불량한 원소는 암석 주변의 토양에 정체되거나 이차산화물에 흡착되어 부분적으로 이동된다(Rose et al., 1979). 본 연구대상

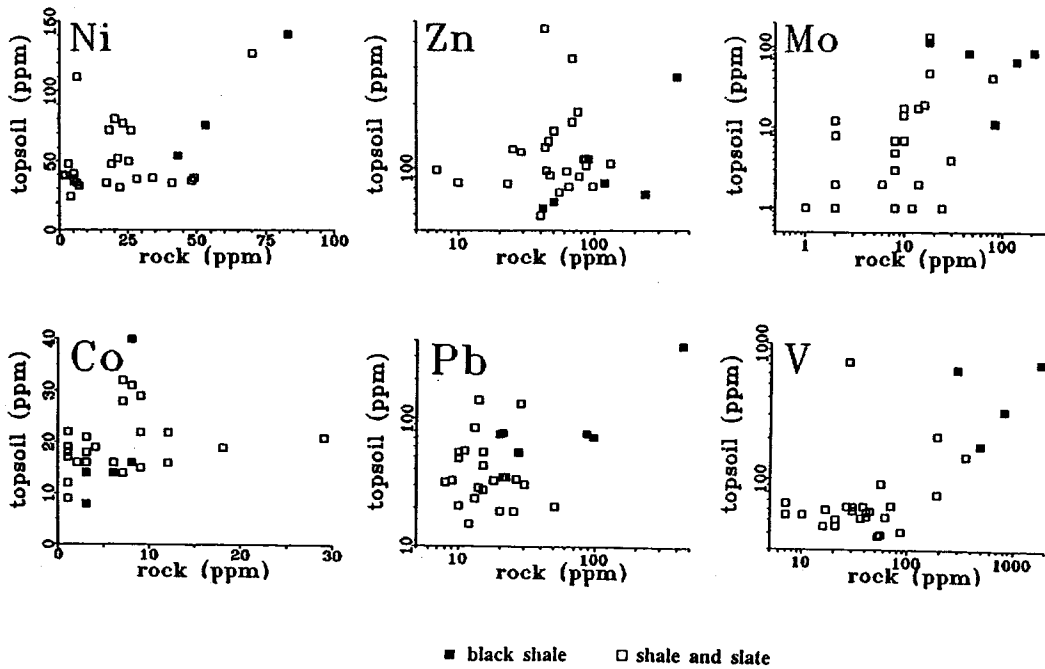


Fig. 3. Relationship between element content of rock and associated residual topsoil in Dukpyungri area.

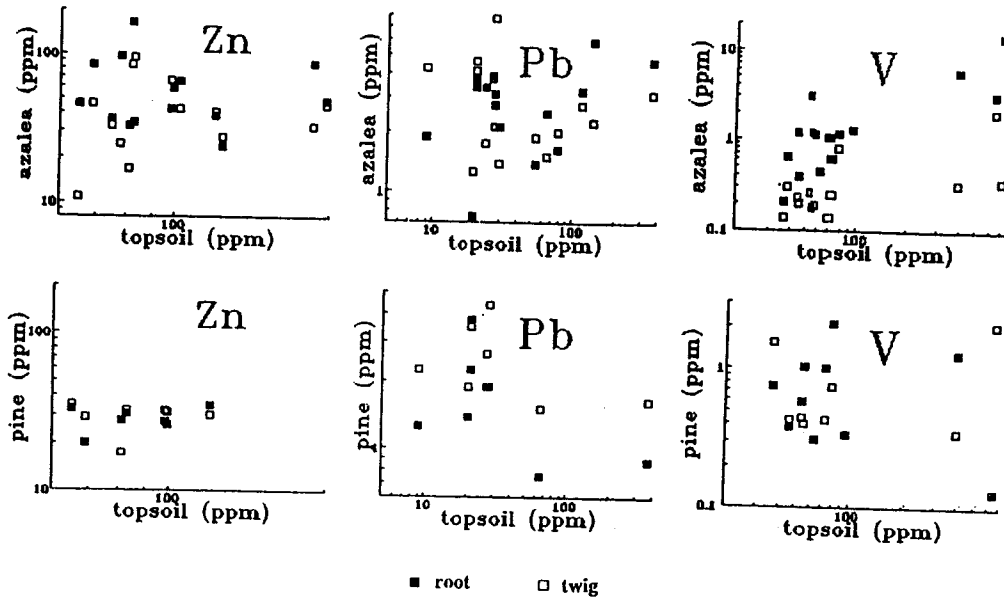


Fig. 4. Relationship between element content of residual topsoil and associated vegetation in Dukpyungri area.

지역의 암석과 토양에서는 Ni, Zn과 같은 이동성이 좋은 원소는 넓게 분산되는 경향을 보이며 이동성이 좋은 Mo, V는 비교적 양호한 양의 상관관계를 보인 반면 이동성이 낮은 Co, Pb는 암석과 토양의 상관성이 낮았다.

토양과 식물

덕평리 지역의 암석에서 높은 함량을 보이는 Zn, Pb, V에 대한 토양과 식물의 함량을 도시하였다(Fig. 4). Zn은 소나무에서는 토양중의 함량과 관계없이 일정한 함량(약 35ppm)을 보이며 진달래의 뿌리부분이 다른 식물 조직에 비해 농축되어 있다. Pb와 V는 소나무에서보다 진달래에서 뚜렷한 경향성을 보이며, 줄기보다는 뿌리에서 원소의 함량이 상대적으로 높다. 특히 진달래에 함유된 V와 토양중의 V함량은 높은 양의 상관관계를 보인다.

토양

덕평리 지역의 상부토양(0~15cm심도)에서의 Mo, V, Ni, Pb, Zn, Cd 등 대표적 원소들의 분산형태를 Fig. 5에 나타내었다. 수반성이 좋은 Mo와 V의 분산은 거의 동일한 분포를 보이며 비교적 이동성이 좋은 Zn도 넓게 분산된 형태를 보여준다. 그러나 Zn과 수반성은 높지만 산화환경 및 산성환경(pH 5~7)에서 이동성이 작은 Cd는 흑색세일이 분포하는 지역의 주변토양에서 높고 그 분산상이 좁게 나타나고 있다. 이러한 경향은 Pb와 같이 이동성이 낮은 원소의 분산상에서도 확인된다. 상부토양에 대한 원소들의 분산은 암석의 함량과 상관성이 높으며, 그 분산상은 각 원소의 이동성과 밀접한 관계를 갖는다. 하부토양(15~30cm심도)은 상부토양에 비해 분산형태가 잘 나타나지는 않으며 원소의 농축에 의해 각 원소의 함량은 상부토양에 비해 높다.

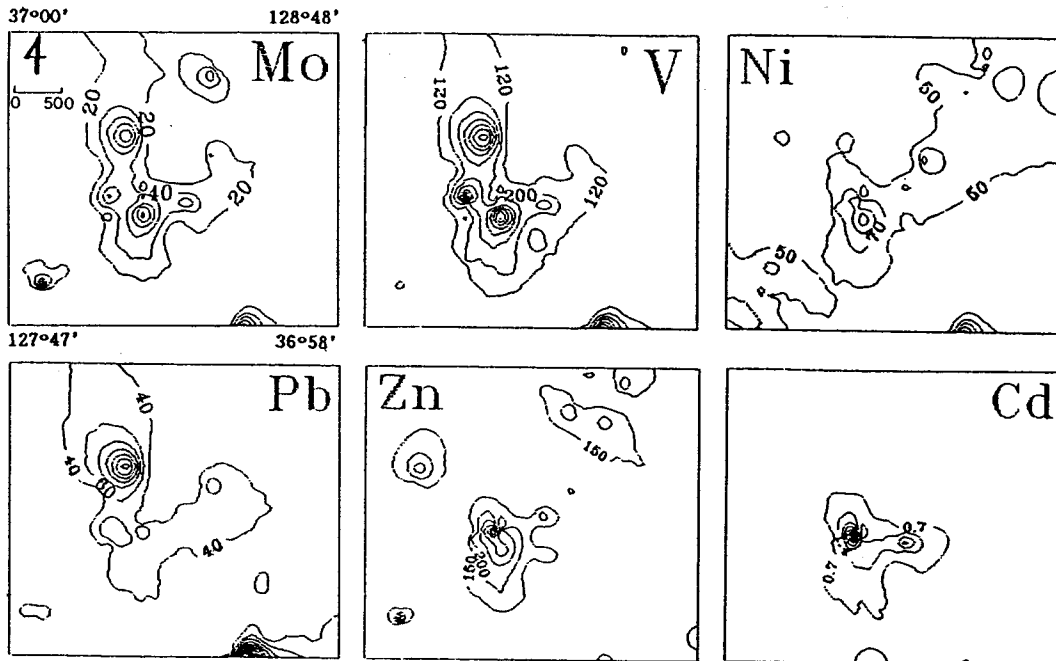


Fig. 5. Contour map of Mo, V, Ni, Pb, Zn, and Cd in residual topsoil at the Dukpyungri area (all data in ppm).

Table 10. Biological absorption coefficients for elements in Dukpyungri area.

organs	K	Mg	Ca	Sr	Ba	Al	Ti	V	Cr	Mo	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Cd	Pb	P
growing over black shale	*PR 1.3715 PT 2.3962 AR 1.0300 AT 1.0231	0.1882 0.3443 0.2754 0.3229	4.803 9.907 6.820 9.203	0.1133 0.1720 0.1133 0.1480	0.0012 0.0024 0.0026 0.0022	0.0044 0.0173 0.0212 0.0030	0.0080 0.0200 0.0555 0.0110	0.0002 0.0032 0.0048 0.0031	0.0220 0.0171 0.0045 0.0537	0.0013 0.0090 0.0045 0.0122	7.922 4.275 17.157 12.804	0.0024 0.0065 0.0279 0.0043	0.0271 0.0214 0.0271 0.0107	0.0148 0.0537 0.1407 0.0481	0.2884 0.4203 1.2188 0.6609	4.4500 2.1500 0.5000 0.2500	0.0024 0.0044 0.0125 0.0085	0.1318 0.2575 0.1491 0.1956
growing over shale	*PR 0.3461 PT 0.2802 AR 0.1449 AT 0.1294	0.0450 0.0405 0.0337 0.0382	2.363 5.380 2.336 4.347	0.8111 1.5667 0.6111 0.8867	0.0098 1.0184 0.0217 0.0186	0.0181 0.0063 0.0203 0.0034	0.0087 0.0022 0.0060 0.0021	0.0269 0.0095 0.0149 0.0103	0.0742 0.0288 0.0625 0.0261	0.0750 1.0500 0.0250 0.0625	0.550 0.387 1.137 1.685	0.0068 0.0024 0.0055 0.0023	0.0294 0.0167 0.0250 0.0125	0.0711 0.0289 0.0684 0.0368	0.2908 0.2525 0.7500 0.3363	1.3000 1.0000 0.1610 0.3750	0.1786 0.1667 0.1267 0.1964	0.7967 1.2967 0.7267 1.0600
growing over slate	*PR 1.1587 AR 0.9261 AT 0.5609	0.0693 0.0732 0.0679	11.583 3.868 4.895	3.2333 1.2000 0.9333	0.1449 0.1436 0.1192	0.0106 0.0224 0.0035	0.0064 0.0205 0.0026	0.0098 0.0197 0.0033	0.0440 0.2520 0.0240	0.2000 0.2000 0.2000	1.113 1.951 2.042	0.0056 0.0160 0.0022	0.0220 0.0400 0.0067	0.0516 0.2097 0.0290	0.1527 0.4656 0.1737	1.2500 1.3500 0.3250	0.0295 0.0420 0.0161	8.3000 9.0250 5.8125
Brooks(1973)	0.3000	0.0850	0.350	0.3250	0.3000	0.0008	0.0008	0.0015	0.0075	0.100	1.0000	0.0300	0.0500	0.0750	2.2500	0.0250	1.0000	2.2000

*PR :pine root, PT : pine twig, AR : azalea root, AT : azalea twig

식물에서의 원소이동

식물에서의 원소함량과 이동을 비교하는 방법중에서 주로 사용되는 생물학적 흡착계수 (BAC:Biological Absorption Coefficient)는

$$BAC = C_p / C_s$$

로 정의된다 (Brooks, 1983). 여기서, Cp는 식물을 450~550°C의 고온으로 회화시켜 얻은 회분(ash)을 화학분석하여 구한 값이며, Cs는 기질(주로 토양)의 원소 함량을 나타낸다. 덕평리지역에서 채취한 소나무와 진달래를 뿌리부분과 줄기부분으로 분리하여 분석하였고 그 하부의 토양에 함유된 원소의 함량으로 나눈 BAC를 Table 10에 제시하였다(일반적으로 고온 회화에 의한 화학분석값은 105°C에서 처리한 것에 비해 약 20배 정도 높으며 이를 고려하여 계산하였다). Mn, Ca, K, Zn 및 P의 BAC는 10~0.1의 범위에 있고 식물성장에 비교적 영향이 적은 Ba, Ti, V, Mo등의 BAC는 낮다. 특히 식물의 성장에 유해한 원소인 Cr, Co, Ni, Pb 등의 BAC는 0.1 이하의 낮은 값을 보여준다.

유독성 원소들의 분산 및 이동

암석중의 원소함량이 토양, 하상퇴적물 및 식물에로의 이동분산되는 정도를 Fig. 6~10에 나타내었다.

Zn

Zn은 Cu, Fe, Se, Cd와 상호반응자 역할(antagonist element)을 하여 식물에 과다하게 농축되면 이들 원소의 흡수를 방해한다(Thornton, 1983).

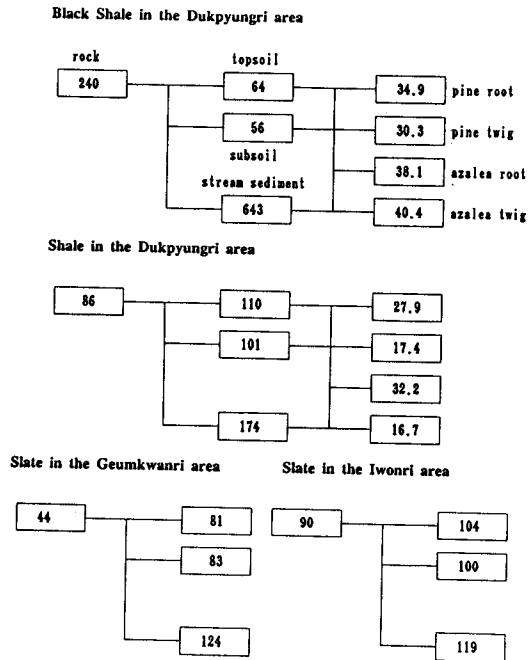
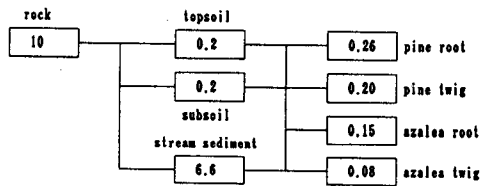
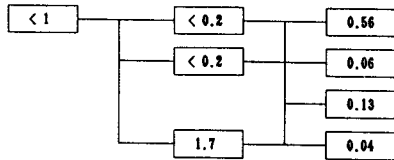


Fig. 6, Dispersion of Zn in rock, soil, stream sediment, and vegetation at the studied areas (unit in ppm).

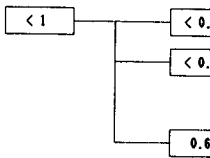
Black Shale in the Dukpyungri area



Shale in the Dukpyungri area



Slate in the Geumkwanri area



Slate in the Iwonri area

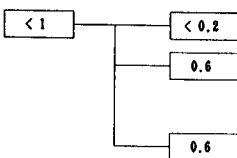
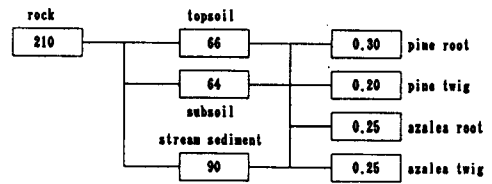
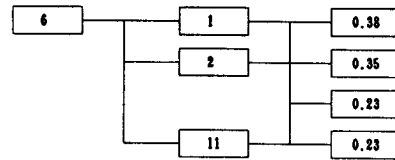


Fig. 7. Dispersion of Cd in rock, soil, steam sediment and vegetation at the studied areas(unit in ppm).

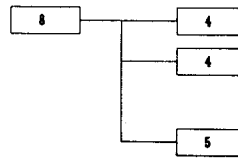
Black Shale in the Dukpyungri area



Shale in the Dukpyungri area



Slate in the Geumkwanri area



Slate in the Iwonri area

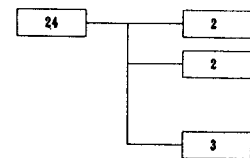
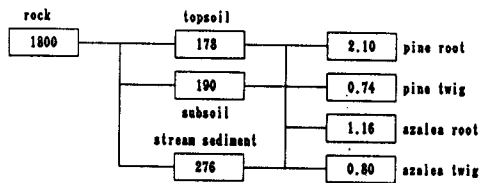
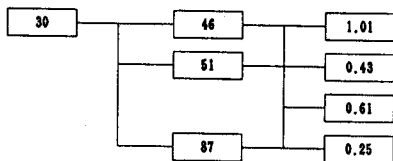


Fig. 9. Dispersion of Mo in rock, soil, steam sediment and vegetation at the studied areas(unit in ppm).

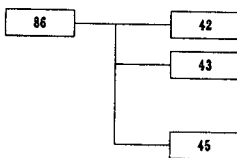
Black Shale in the Dukpyungri area



Shale in the Dukpyungri area



Slate in the Geumkwanri area



Slate in the Iwonri area

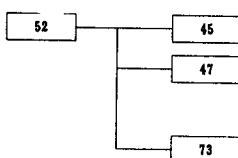
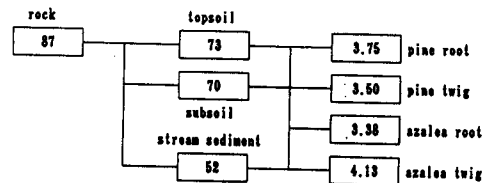
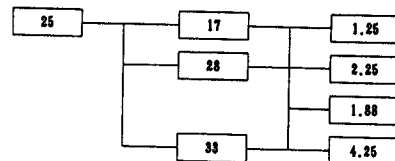


Fig. 8. Dispersion of V in rock, soil, steam sediment and vegetation at the studied areas (unit in ppm).

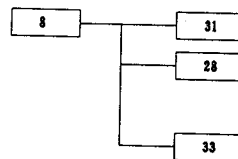
Black Shale in the Dukpyungri area



Shale in the Dukpyungri area



Slate in the Geumkwanri area



Slate in the Iwonri area

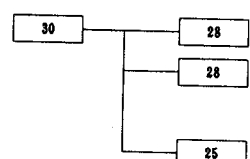


Fig. 10. Dispersion of Cd in rock, soil, steam sediment and vegetation at the studied areas(unit in ppm).

흑색세일(240ppm Zn) 주변의 하상퇴적물에 이동 농축되며, 세일(86ppm Zn)과 점판암(44~90ppm Zn) 주변의 토양에서도 이동 분산된다. 식물에서는 뿌리 부분의 농축성이 강하다(Fig. 6).

Cd

Cd가 인체에 농축되면 신진대사가 마비되고 혈압이 상승하는 cardiovascular병(심장의 혈관기능이 마비되는 병)을 유발시킨다(Bowie and Thorton, 1985). 흑색세일(10ppm Cd) 주변의 토양과 하상퇴적물에서 Cd의 함량이 높으며(6.6ppm), 세일(<1ppm Cd), 점판암(<1ppm Cd) 주변의 하상퇴적물에서 그 함량이 높다. 식물에 있어서는 뿌리부분이 줄기에 비해 농축되어 있다(Fig. 7).

V

V가 동식물에 미치는 영향에 관한 연구보고는 비교적 적다. 흑색세일(1800ppm V) 주변토양과 하상퇴적물에서 V의 함량이 높으며, 식물성장과는 무관한 원소이므로 상대적으로 식물에 의한 흡수율은 낮다(Fig. 8).

Mo

Mo는 Fe, Cu를 조절하는 원소(antagonist element)이며 주로 습윤한 토양에서 자라는 식물에 농축된다. Mo가 풍부한 지역은 동식물의 Fe, Cu의 흡수를 방해하여 성장을 저해시킨다(Thornton, 1983). 흑색세일(210ppm Mo) 주변의 토양에서는 64~66ppm, 하상퇴적물에서는 90ppm이 함유되고, 식물에서는 평균 0.25ppm 함유된다. 세일(6ppm Mo), 점판암(8~24 ppm Mo) 주변의 토양과 하상퇴적물에서도 그 함량이 높으며, 소나무가 진달래에 비해 함량이 다소 높다(Fig. 9).

Pb

Pb는 동식물의 성장에 유해한 원소이며 특히 Hg, Cd, Cr 등과 더불어 인체에 매우 유해한 원소이다. 흑색세일 주변의 토양이나 하상퇴적물에서 함량이 높으며

(52 ~73 ppm), 이러한 환경에서 성장한 식물을 장기간 섭취하면 신경계와 신장의 기능이 저하(Goyer and Mehlman, 1977)된다(Fig 10).

결 론

습우라늪 흑색세일이 분포하는 충북 괴산군 청천면 덕평리 지역과 그 비교지역으로 충북 청원군 미원면 금관리, 충북 보은군 내북면 이원리 및 전남 해남군 황산면 우항리 지역에서의 암석, 토양, 하상퇴적물 및 식물에 나타나는 중금속 및 유독성원소들의 분포형태와 분산특성을 연구한 결과는 다음과 같다.

1) 가이거 계수기를 이용하여 측정된 흑색세일의 방사능값은 최고 7 cps, 기타 암층은 0.5cps를 보이며, 오일세일에서는 방사능값이 나타나지 않았으며 흑색세일에서의 우라늄 함량은 최고 455ppm 이었다. 흑색세일에서는 세일, 점판암 및 오일세일에 비해 Mo, V, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb 등의 함량이 수배에서 수십배 이상 높으며, Mn, Cr, Co, Th 등은 유사한 함량을 보인다.

2) 흑색세일 주변의 상부토양(0~15cm심도)에서는 Mo, Cu, Zn, Ni, Cd, V 등의 함량이 높으며 하부토양(15~30cm 심도)은 상부토양에 비해 대부분의 미량원소함량이 높다. 그리고 다른지역보다 덕평리지역의 정원토양과 국민학교 운동장토양에서 Mo, Cu, Pb, Zn, Cd, V 등의 함량이 높았으며, 하상퇴적물의 계절적 변화는 미약하고 토양보다는 미량원소의 함량이 높다.

3) 덕평리지역의 식물을 화학분석한 결과, 소나무의 뿌리에서는 Na, Al, K, V, Cr, Fe 등의 함량이, 줄기에서는 P, Mg, Ca 등의 함량이 높고, 진달래의 뿌리에서는 Li, Al, V, Ni, Cd, Fe, Co 등의 함량이, 줄기에서는 소나무에서와 같이 P, Mg, Ca 등의 함량이 높다.

4) 상부토양에서의 분산패턴을 보면, Mo, V, Ni, 등은 넓은 분산상을, Pb, Cd 등은 좁은 분산상을 보인다. 식물의 생물학적 흡수계수(BAC)는 식물성장에 필수원소(Zn, P, Mn, Ca, K 등)에서 높고(0.1~10) 성장과 무관하거나 유독한 원소(Cd, Cr, Co, Pb, Ni 등)에서는 낮다.

5) 암석, 토양, 하상퇴적물 및 식물에서의 분산형태

를 고찰한 결과, Ni 은 세일, 점판암주변의 토양에서, Zn, Cd, V, Mo, P, Pb 등은 흑색세일주변의 토양과 하상퇴적물에서 그 함량이 높다.

사 사

본 연구는 1990년도 서울대학교 대학 발전기금 포함
제철학술연구비에 의해 이루어졌다.

참고문헌

- 김문영, 이동진(1984) 옥천층군내 우라늄 광물에 대한 광물학적 연구. 한국동력자원연구소 조사보고서, 83-광물자본-4-12, p. 129-155.
- 김옥배, 전용원(1980) 옥천계 함우라늄 탄층중에 존재하는 우라늄의 성인에 관한연구. 대한광산학회지, 17권, p. 57-66
- 김옥준 등(1982) 한국의 지질과 광물자원. 김옥준교수 정년퇴임 기념 논문집, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 33-44.
- 김을수(1979) 충북 괴산지역 우라늄 광상의 지화학 탐사를 위한 통계학적 연구. 서울대학교 석사학위 논문, 40p.
- 김종환(1989) Geochemistry and genesis of the Guryongsan(Ogcheon) uraniferous black slate. 광산지질, 22권, p. 35-63.
- 박중권 등(1983) 미원 동북부지역 우라늄 광상조사연구. 한국동력자원연구소 조사보고서, 82-핵연자료-2-14, p. 7-56
- 이대성(1974) 옥천계 지질시대 결정을 위한 연구. 연세논총. 제 11권 p. 299-332.
- 이대성, 윤현수(1979) 해남지역에 분포된 우항리층내 흑색세일의 유기 지구과학적 연구. 광산지질, 12권, p. 207-221
- 이민성, 전효택(1980) 옥천대 함우라늄 지층중의 U과 타성분과의 상관관계. 광산지질, 13권, p. 241-246.
- 이종혁, 김정환(1972) 한국지질도 괴산도폭. 국립지질조사소.
- 이종혁, 이민성, 박봉순(1980) 한국지질도 미원도폭. 자원개발 연구소.
- Bowie, F. R. S., S. H. U. and Thornton(1985) Environmental geochemistry and health. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, 140p.
- Brooks, R. R. (1983) Biological methods of prospecting for minerals. John Wiley & Sons, 321p.
- Goyer, R. A. and Mehlman, M. A. (1977) Toxicology of trace elements. John Wiley & Sons, 303p.
- Kim, K. W. and Thornton, personal communication.
- Rose A. W., Hawkes H. E., and Webb J. S. (1979) Geochemistry in Mineral Exploration. Academic Press, 655p.
- Thornton, I. (ed.) (1983) Applied environmental geochemistry. Academic Press, London, 501p.

1991년 4월 23일 원고접수