

흑색세일 분포지역 암석-토양-작물 시스템에서의 Se 및 관련원소들의 분산과 이동

박민, 전효택¹⁾

1. 서론

흑색세일에는 U, V, Mo, As, Zn, Cu, Cd 등이 지구화학적으로 양호한 수반관계를 보이고 상대적으로 부화되어 있으며, 이를 기반암으로 하는 잔류 토양에는 잠재적인 독성원소들이 점토, 유기물질 및 합금속 유기화합물에 흡착되거나 침전되어 농집되므로 이러한 토양에서 성장하는 동식물 및 인간은 잠재적인 독성에 노출되어 있다(Thornton, 1983). 옥천계 흑색세일, 흑색점판암이 분포하는 지역에서 암석, 토양, 식물을 대상으로 잠재적인 독성원소의 부화와 이동을 규명하고 환경지구화학적 관점에서 잠재적 위험성을 평가한 바 있다(Kim and Thornton, 1993; Chon *et al.*, 1996). 특히 옥천계 흑색세일과 같은 함우라늄 흑색세일을 기반암으로 하는 토양 중에는 다른 미량원소와 함께 Se 역시 부화된 사실이 보고되고 있고, Swaine(1978)에 의해서는 675 mg/kg의 높은 Se 함량이 보고되기도 했다.

이 연구의 목적은 앞서 연구된 흑색세일 분포지역인 충청북도 괴산군 청천면 덕평리 일대와 대전리 일부의 토양, 작물을 대상으로 Se의 부화 상태를 규명하고 생물학적 흡수계수(Biological Absorption Coefficient, BAC)를 토대로 토양에서 작물로의 Se 이동을 규명하고자 하였으며, 환경지구화학적 관점에서 잠재적 위험성을 평가하는데 있다.

2. 시료채취 및 분석방법

본 연구에서는 2000년 5월, 8월, 10월, 세 차례에 걸쳐 덕평지역 중에 흑색세일 및 점판암이 분포하는 지역에서 산토양 시료 17개(심부토양 3개 포함), 논토양 7개, 밭토양 시료 6개를 채취하였고, 비교지역으로 결정질 석회암이 분포하는 지역에서 산토양 3개, 논토양, 밭토양 각각 1개씩을 채취하였다. 작물 시료는 벼 줄기 및 현미 6개, 배추 3개를 채취하였다. 채취한 모든 시료는 Se이 휘발되는 것을 방지하기 위해서 50℃를 넘지 않은 상태에서 건조한 후 캐나다의 Activation Laboratories Ltd.(Actlabs)에 분석을 의뢰하였고, 암석과 토양 시료의 경우 4-acid(HCl + HNO₃ + HF + HClO₄) digestion을 이용한 유도결합플라즈마 분광분석기(ICP), 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS), 중성자활성분석기(INAA)를 이용하여 59개 원소(Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Eu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, Ir, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Rb, Re, S, Sb, Sc, Se, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr)를 분석하였고, 식물 시료의 경우는 INAA를 이용하여 45개 원소(Au, Ag, As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, K, La, Mo, Na, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, U, W, Yb, Zn)에 대해서 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 결론

흑색세일 지층이 분포하고 있는 덕평지역의 산토양 중 Se 평균함량은 9.8 mg/kg으로 비교지역보다 약 20배 이상 높은 함량을 보이고 Kabata-Pendias and Pendias(1984)가 제시한 토양 중의 평균 Se 함량과 비교할 경우도 마찬가지로 결과를 보인다. 경작지 토양의 경우는 평균 밭토양 1.7 mg/kg, 논토양

3.1 mg/kg 정도로 비교적 높은 함량을 보인다(Table 1). 특히 과거 우라늄 탐사로 인해 형성된 채굴적 주위에서 72.6 mg/kg 이상의 높은 함량을 보이고 있다. 토양 중의 Se 함량과 U 함량을 이용하여 Se 및 U 지구화학도를 도시한 결과 유사한 양상을 보인다(Fig. 1)

분석된 결과를 토대로 Se과 다른 원소들간의 지구화학적 수반관계를 조사한 결과 Cu, Mo, U과는 높은 상관성을 As, Ni, V, Zn과는 비교적 좋은 상관성을 보인다. 반면 기존에 Se과 상관성이 비교적 좋은 원소로 알려진 Cd, Pb, S, Te 등과는 낮은 상관성을 보이거나 뚜렷한 결과를 얻지 못하였다.

Table 1. Selenium concentration in soils and plants from the Dukpyung area.

(unit : mg/kg, N : number f samples)

		Sample Types(N)	Se Concentration	
			Range	Average
Soils	Study Area	Mountain Soils(12)	0.5-72.6	9.8
		Farmland Soils(9)	0.7-3.5	1.7
		Paddy Soils(7)	0.7-5.4	3.1
	Control Area	Mountain Soils(2)	0.4-0.5	0.45
		Farmland Soils(1)	0.5	-
		Paddy Soils(1)	0.5	-
Crop plants	Rice	Stalks(6)	0.8-3.9	2.2
		Grains(6)	0.1-0.9	0.4
	Chinese Cabage	(3)	3.6-5.9	5.0

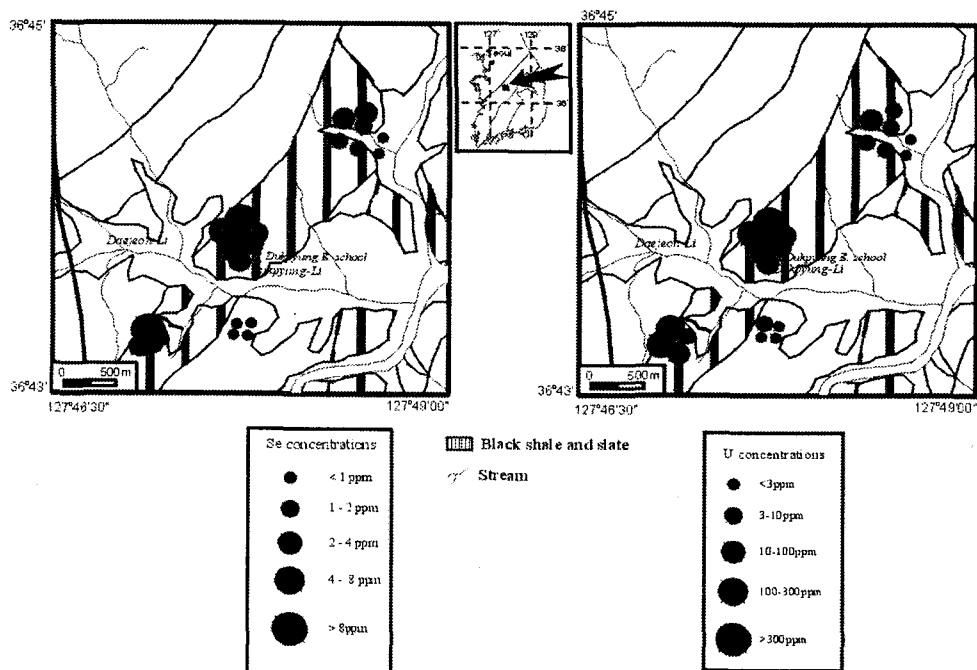


Fig. 1 Concentrations of Se and U in soils from the Dukpyung area.

연구지역에서 재배되는 작물을 분석한 결과 벼 줄기 2.2 mg/kg, 현미 0.4 mg/kg, 배추 5 mg/kg으로, 이는 Kabata-Pendias (1984)가 제시한 식용 작물의 평균 함량보다 매우 높은 함량을 보인다(Table 1). Kabata-Pendias (1984)에 따르면, 식용 작물의 경우 Se의 함량이 0.1 mg/kg을 넘지 않는다. 토양 중 Se의 작물로의 이동을 규명하기 위해서 생물학적 흡수계수(BAC)를 도출한 결과 배추, 벼 줄기, 현미 순서로 나타났다. 이는 배추와 같은 잎이 발달한 식물이 벼와 같은 곡물 작물보다 토양 중의 Se을 잘 흡수한다는 것을 나타낸다(Fig. 2).

작물(벼, 배추) 중의 Se 함량을 통해 연구지역 주민(여성)의 일일 Se 섭취량을 도출하면, 48.7 μ g/day 정도로 예상된다. 연구지역 주민들이 다른 경로, 예를 들면 토양, 식수, 어패류, 기타 채소 등으로 Se을 섭취하는 것을 고려하더라도 잠재적으로 큰 위험은 없는 것으로 판단된다.

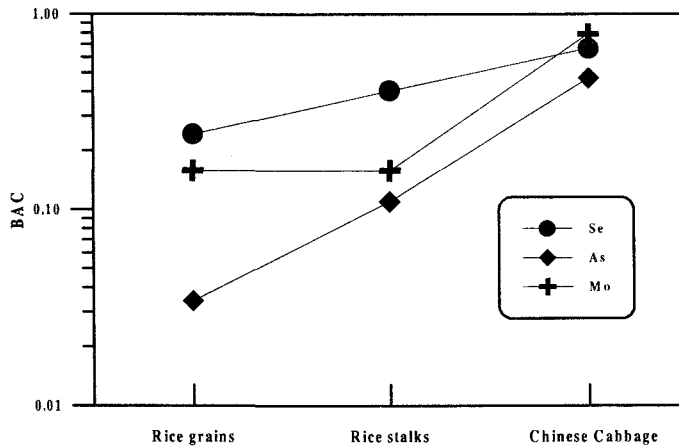


Fig. 2 BAC (Biological Absorption Coefficient = C_p/C_s) of crop plants from the Dukpyung area (C_p : Se, As and Mo concentrations in plants, C_s : Se, As and Mo concentrations in soils).

4. 참고문헌

- 1) Chon, H.T., Cho, C.H., Kim, K.W. and Moon, H.S., 1996, The occurrence and dispersion of potentially toxic element in areas covered with black shales and slate in Korea, *Applied Geochemistry*, Vol.11, pp.69-76.
- 2) Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., 1984, *Trace elements in soils and plants*, CRC Press, Boca Raton, p.315.
- 3) Kim, K.W. and Thornton, I., 1993, Influence of Ordovician uraniumiferous black shales on trace element composition of soils and food crops in Korea, *Applied Geochemistry*, Suppl. Issue No.2, pp.249-255.
- 4) Swaine, D.J., 1978, Selenium: From Magma to Man, *Trace Substance in Environmental Health*, Vol.12, p.129-133.

주요어 : 옥천대, 흑색셰일, 생물학적 흡수계수, 환경지구화학

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부