

가평 사문암 지역의 토양 별 식물체내 희토류 원소 함량 차이: 역세, 쑥, 산딸기를 근거로

송석환 · 신병철*

중부대학교 토목공학과, *중부대학교 환경조경학과
(2009년 2월 5일 접수; 2009년 4월 14일 수정; 2009년 5월 13일 채택)

Differences of Rare Earth Element Concentrations of Plants in Top Soils of Gapyeong Serpentine Area: Based on the *M.* *sinensis*, *A. vulgaris* and *R. crataegitolius*

Suckhwan Song and Byung-Cheol Shin*

Department of Civil Engineering, Joongbu University, Keumsan 312-702, Korea

*Department of Environmental Landscape Architecture, Joongbu University, Keumsan 312-702, Korea

(Manuscript received 5 February, 2009; revised 14 April, 2009; accepted 13 May, 2009)

Abstract

Rare earth contents(REE) were analysed for the plants, *M. sinensis*, *A. vulgaris* and *R. crataegitolius*, from two different soils serpentine area consisting of serpentinite(SP) and non-serpentine area, containing amphibole schist(AS) of Gapyeong area, and were compared with soils and host rocks. The AS were high with the differences of several times in the top soils, and with the differences of several to ten times in the host rocks relative to the SP. In the same area, the SP were high in the soil, but the rocks for the AS. In the plants, the *A. vulgaris* were high, but low in the *R. crataegitolius*. Root parts were higher than the upper parts. Differences between the upper and root parts were big in the SP rather than the AS, and were big in the *R. crataegitolius*, but small in the *M. sinensis*. Among the parts of the plants, high elements were shown in the *R. crataegitolius* of the SP, and the *A. vulgaris* and *M. sinensis* of the AS. In the correlation coefficients, most of the REE showed positive relationships among the element pairs, especially high positive correlation coefficients in the upper parts of the SP. Differences of the soils and plants(average) were smaller in the *M. sinensis* and big in the *R. crataegitolius*. In the upper parts, contents of the *A. vulgaris* were close to the soils while the *R. crataegitolius* showed large discrepancies with the soils. In the root parts, contents of the *A. vulgaris* showed discrepancies with the soils regardless of soil types, but close in the *R. crataegitolius* of the SP and *M. sinensis* of the AS.

Key Words : Rare earth element, *M. sinensis*, *A. vulgaris*, *R. crataegitolius*, Serpentinite, Amphibole schist

1. 서론

많은 토양학적, 식물학적 연구들은 타 토양에 비
해 사문암 지역이 매우 두드러진 특징을 보이고 있

음을 언급하고 있다^{1,2)}. 또한 이들 연구들은 식물의 이화학적 특성이 토양의 특성을 반영하기 때문에 토양의 이화학적 함량차이에 따라 식물의 조성도 차이가 있음을 지적하고 있다^{3,4)}. 본 연구 지역은 경기도 가평 사문암 지역의 토양 및 식물학적 연구로, 기존에 활석광산으로 개발되었던 곳이나 현재는 폐광되어 방치되어 있다.

이런 사문암체의 모암은 초염기성암으로, 선캠브리아기 지역⁵⁾ 및 현생대 조산운동대⁶⁻⁸⁾와, 현재 또는 기존의 판정계부⁹⁾ 및 조산운동지역, 화산호 지역, 해령 또는 변환단층대를 따라 분포하고 있다^{10,11)}.

이 대규모적인 사문암체는 지구조 운동과 관련하여 있어, 그 지역의 지구조사^{5,12)}에 대한 중요한 정보를 제공하는 바 알파인형 초염기성암으로 불리워지고 있다^{13,14)}.

한반도에도 옥천대와 경기 편마암 복합체내의 접촉 부 중 경기 편마암 복합체 부분¹⁵⁻¹⁷⁾, 경기편마암 복합체와 임진강 벨트가 마주치는 부분 중 경기편마암 복합체 쪽¹⁸⁾에 사문암체가 분포하고 있다. 이들 암체는 세계의 여타 지역에서 지구조적인 운동과 더불어 노출된 초염기성암과 유사한 산상 및 암석학적, 광물학적, 지화학적, 특징을 보인다¹⁹⁻²¹⁾, 토양의 화학 조성, 식물의 빈도, 토양과 식물체의 원소 함량과의 관계에서도 유사한 특징을 보인다²²⁾.

택동 지역의 사문암 연구²²⁾에서는 사문암지역 식물체들이 Ni, Cr, Co 함량에서 높았고, 인접 비 사문암 지역 식물들은 Fe, Zn 함량에서 높았다. 상부지각 암석 평균치와 비교할 때 사문암 지역의 썩과 참역새는 상부지각 암석 평균치보다 Ni, Cr 함량에서 높아, 사문암 지역 식물체내에는 이들 원소들이 과량 축적했음으로 해석되었다. 광천의 사문암 지역 연구²³⁾는 사문암 지역에 생육하는 대나물(*Gypsophola oldhamian*)의 Ni, Cr, Co 함량이 비사문암 지역인 편마암 지역에서 생육되는 것들보다 두드러지게 높은 원소 함량을 보임을 지적했다.

따라서 본 연구는 가평 사문암 지역의 식물체에 대한 희토류 원소(Rare Earth Elements, REE)에 대해 이화학적으로 접근하려 한다. 이 원소는 원자번호 57에서 71 까지이며, Pm 을 제외하고 지각 구조의 모든 암석에서 산출 된다²⁴⁾. 이 원소들은 유사한 화

학적 물리적 특성을 보이고, 유사한 크기를 갖는 3 가 형태로서 안정되며, 풍화 과정 중 화학적으로 크게 영향을 받지 않는다²⁴⁾.

위 연구들을 근거로 했을 때, 가평 사문암체 지역의 식물체의 원소 함량도 토양의 함량의 영향을 받아 인접 지역과 비교해서 이화학적 특성에서 차이가 있음이 명확하다.

따라서 본 연구에서는 두 비교 토양, 사문암 지역 및 인접 비 사문암 지역인 가섬석 편암 지역을 택하여 토양시료와 함께 썩, 산딸기, 역새 시료를 채취하여, 희토류 원소를 분석하였다. 이 결과를 근거로 식물내의 흡수 함량, 식물체 부분에 따른 흡수 함량 차이, 이들 식물체와 토양의 이화학적 특성과의 차이에 대해 알아보려 한다. 이 연구는 이들 식물 및 토양에 따른 희토류 원소의 함량관계를 규명하는데 도움이 되리라 확신한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역의 개황

본 지역은 크게 선캠브리아기의 편마암 복합체를 기반암으로 하여 이와 관입 및 부정합 관계에 있는 변성암 및 변성퇴적암류, 이를 관입하는 전기의 화성암체, 그리고 중생대의 관입암체들로 구성되어 있다¹⁸⁾.

용문산 호상편마암은 호상구조가 뚜렷하고, 일부 지역에는 유백색 내지 황갈색 규암층이 신장되어 분포하기도 한다. 용두리 편마암 누층군은 하부로부터 석영-장석질 편마암류, 흑운모 편마암 및 편암층, 장락 층군, 의암 층군으로 구성되었다. 장락 층군은 하부로부터 편마암 층과 호층을 이루는 장락 규암 층과, 흑운모-석영-장석 편암류로 구성된 삼산리 층, 대부분이 흑운모 편마암인 석산리 층, 호상 편마암이 우세한 길곡리 층으로 구성되어 있다.

의암 층군은 변성 퇴적암층으로, 하부로부터 유백색 내지 담녹색의 규암으로 이루어진 의암 규암층, 최하부는 석영질 안구상 편마암과 암녹색 내지 흑색 각력암이, 상부는 담회색 석회암, 우백질 및 우흑질 편마암, 흑운모 편암 등이 호층을 이루는 강촌 층이 있다. 이어서 주로 안구상 편마암인 구곡리 층, 우백질 또는 우흑질 입상 변성암인 방곡리 층, 석영,

장석, 흑운모로 된 호상편마암으로 대표되는 창촌리 층, 우백질 또는 우흑질의 입상 변성암이 주된 추곡리 층, 하부는 안구상 편마암이, 상부는 호상 편마암층이 우세하게 나타나는 동산 층으로 구성되어 있다.

고생대 화성암류로 암녹색을 띠며 의암층군을 관입하는 각섬암류와, 유문암질 응회암이 변성된 변질 응회암질암이 있다. 그리고 화강편마암으로 장락층군의 삼산리층을 관입하는 우백질 화강편마암이 있다. 중생대 화성암류로 중립 내지 조립질 흑운모 화강암인 춘천화강암이 있으며, 그 외에 다수의 섬록암류와 기타 관입암들이 있다.

연구 대상 사문암체는 용문산 호상편마암층의 남쪽인 설악면 위곡리에서 산출된다. 암녹색, 황녹색, 담녹색을 띠며, 초염기성암이 사문암화 되어 생성된 것으로 생각된다. 이 암체는 위곡리 일대의 사방수 km 범위 안에서 3 개의 암체로 흩어져 있다. 남쪽 암체는 민가 주변에 위치하고 있어 일부는 민가 및 가축 방목장으로 이용되고 있고, 중간 암체는 광산 지역이 휴업 중으로 폐석터미가 그대로 쌓여 있고, 북쪽 암체는 일부는 민가가, 일부는 밭으로 전환되어 있다.

본 지역은 산능선 부변을 경계로 정상부에는 소나무 (*Pinus densiflora* forest, 표고층 4-5 m), 리기다소나무 림(*Pinus rigida* plantation, 교목층 수고 4-8 m), 신갈나무림(*Quercus mongolica* forest) 및 굴참나무림(*Quercus variabilis* forest)이 분포하고 있고, 광산 개발로 인해 모암인 사문암이 노출된 지역에는 관목류(산딸기나무 *Rubus crataegifolius*, 진달래 *Rhododendron mucronulatum*, 철쭉나무 *Rhododendron schlippenbachii*, 싸리나무 *Lespedeza maximowiczii*) 등과 초본류(참억새 *Miscanthus sinensis*, 쑥 *Artemisia vulgaris*, 잔디 *Zoysia japonica*, 새 *Arundinella hirta*, 개솔새 *Cymbopogon tortilis* var. *goeringii*, 솔새 *Themeda triandra* var. *japonica*, 강아지풀 *Setaria viridis*, 개여뀌 *Persicaria blumei*, 개쑥부쟁이 *Aster ciliosus*) 등이 분포한다.

2.2. 시료 채취 및 분석

2004년 8월부터 2005년 6월까지 5회에 걸쳐 지질 조사를 실시하여 연구지역을 사문암 풍화토와 인접

비 사문암인 각섬석 편암을 포함하는 변성암 풍화토 지역으로 나누어 식물체, 상부토양 및 모암시료를 채취하였다.

식물체 시료는 사문암과 변성암 풍화토에서 쑥 (*A. vulgaris*), 산딸기(*Robus crataegitolius*), 참억새 (*M. sinensis*) 5-8 개 개체를 뿌리와 함께 채취하였다. 또한 식물이 채취된 직 하부 토양에서 20 개소의 상부 토양 시료를 원추 사분법으로 채취하여 혼합한 후 약 1 kg 정도를 실험실로 운반, 분석 시료로 사용하였다²⁵⁾.

암석시료는 상부토양과 동일한 곳에서 채취하였고, 모암 시료는 상부 토양시료가 채취된 근접한 지점의 암석 중 가장 신선한 부분을 파쇄, 대표시료로 하였으며, 박편을 제작하여 광물조합을 관찰하였다.

식물체 시료는 실험실에서 증류수로 8 회 이상 세척 후, 이물질을 최대한 제거하고, 풍건장치가 있는 Dry-oven에서 90℃로 향량이 될 때까지 건조시켰다. 이어서 지상부(잎과 줄기)와 지하부(뿌리)로 분리하였고, 특정 개체의 변이성을 피하기 위하여 건조시료를 혼합한 뒤 분쇄하여 1 지점 시료로 하였다.

이 식물 시료를 90℃로 건조시켜 파쇄한 후 15 g 을 칭량하고 약 30 ton으로 압축시켜 제조한 고상탄에 15 분간 $7 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 파장의 빛을 조사하고, 7 일 후 부식된 시료를 INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis)를 이용(Canberra Series 95 MCA; Ge detector, 12% efficient high purity; Resolution, 1.72 keV at 1332 keV photopeak; software, Apogee peak search routines)하여 캐나다의 ACTLABS (Activation Laboratories Ltd.)에서 분석하였다²⁶⁾.

토양 시료는 실험실내에서 8 주간 풍건 시킨 후 2 mm 체로 쳐서 4 분하여 대표시료로 하였다. 이 토양 시료를 암석과 같이 분쇄하여 미립으로 만든 후, 0.5 g의 시료를 질산(0.6 ml)과 염산(1.8 ml)을 사용하여 95℃에서 반응이 멈출 때까지 약 2 시간 동안 용해시켜 액상으로 만들었다. 이어서 이것을 냉각시키고 증류수 10 ml를 첨가한 후 Jarrel Ash Enviro II ICP/OES (RF generator: 0.6-1.7 KW, 27 MHz, Source: 6000 K argon plasma, Gas flow : 15-45 PSIG)로 분석하였고, 각 시료별 분석은 3 반복하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 상부토양 및 암석의 원소 함량

일반적으로 토양 및 암석에 관계없이 각섬석 편암 지역이 높았다. 즉 상부 토양에서 각섬석 편암 지역이, 사문암 지역에 비해, 전 원소가 1.07-1.65 배로 높았고, 암석에서는 각섬석 편암 지역이 사문암 지역에 비해 전 원소가 수 배에서 수십 배 차이로 높았다(Table 1). 동일 지역의 토양과 암석의 함량 비교에서 사문암 지역은 토양이, 각섬석 편암 지역은 암석이 높았다.

각각을 살펴보면 토양의 경우 사문암 지역이 La(9.05 ppm), Ce(23.06 ppm), Pr(1.96 ppm), Nd(8.27 ppm), Sm(1.70 ppm), Eu(0.41 ppm), Gd(1.52 ppm), Tb(0.25 ppm), Dy(1.44 ppm), Ho(0.30 ppm), Er(0.82 ppm), Tm(0.13 ppm), Yb(0.82 ppm), Lu(0.12 ppm)에서 낮았고, 암석의 경우 각섬석 편암 지역이 La(14.14 ppm), Ce(33.11 ppm), Pr(3.99 ppm), Nd(18.84 ppm), Sm(4.48 ppm), Eu(1.55 ppm), Gd(4.62 ppm), Tb(0.76 ppm), Dy(4.21 ppm), Ho(0.86 ppm), Er(2.28 ppm), Tm(0.33 ppm), Yb(1.97 ppm), Lu(0.27 ppm)에서 높았다.

상부토양의 경우 원자 번호 57에서 71번까지까지 갈수록 지그제그 형태로 짝수가 높고, 홀수가 낮은 함량이나 전체적으로 중희토류가 경희토류보다 낮은 경향을 보였다. 암석의 경우도 각섬석 편암은 유사한 경향을 보였다.

자연계에서 이 원소는 홀수원소와 짝수원소 사이에서 지그제그 형태의 증감 변화를 보여준다^{24,27}. 이런 변화는 결합에너지와 핵의 안정도의 변화에 의해서 발생한다. 양성자 수가 짝수일 때 가장 안정적이고, 홀수일 때 덜 안정적이다. 따라서 원자 번호가

홀수일 때 보다 짝수일 때 더욱 풍부한 함량을 보인다.

토양과 암석의 함량 비교에서 사문암 지역은 토양이 수 배에서 수십 배 차이로, 각섬석 편암 지역은 La(1.06)를 제외하고 암석이 수 배 차이(1.12-2.66)로 높았다.

이들 관계는 풍화 과정을 거치며 일부 원소가 용출된 토양과 그렇지 않은 원래 모암의 특성 차이로 설명이 될 듯하다. 사문암 지역의 경우 모암을 구성하는 감람석, 휘석, 각섬석과 같은 광물^{24,27}들은 매우 낮은 분배계수를 지나나, 풍화 과정 중 형성된 운모류와 점토와 같은 2 차 광물 들은 비교적 많은 희토류 원소²⁷를 함유한다. 이 결과 토양과 암석 사이의 차이를 크게 했을 가능성이 있다. 하지만 각섬석 편암 지역의 경우, 비록 녹리석 같은 2 차적인 광물들의 영향이 있기는 하지만, 풍화에 관계없이 유사한 광물 조합을 보였기 때문으로, 사문암 지역에 비해 토양과 암석 사이의 차이가 적었을 것으로 해석 된다.

3.2. 식물체의 원소 함량 및 상관관계

전체적으로 식물체는 토양 차이별 함량 차이가 명확했다. 지역에 관계없이 식물체의 상, 하부 및 평균값에서 썩이 높았고, 산딸기 지역이 낮았다. 하, 상부 비(하/상부)에서 전 식물이 1 이상을 보였고, 산딸기가 제일 높은 값을, 역세가 제일 낮은 값을 보였다. 각각의 식물체 비교에서 하/상부 비는 사문암 지역이 각섬석 편암 지역보다 컸다.

3.2.1. 동 지역별 식물체 차이 비교

1)사문암 지역: 평균값 전 원소는 원자 번호 57에서 71번까지까지 갈수록 지그제그 형태로 짝수가

Table 1. Analytical results of the top soils(Abb: T) and host rocks(Abb: R) from the Gapyeong area (Unit: ppm)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
TS	9.052	23.062	1.960	8.269	1.700	0.414	1.521	0.249	1.443	0.298	0.822	0.132	0.819	0.119
TAM	14.975	29.587	2.515	10.650	2.044	0.581	1.895	0.308	1.743	0.361	0.960	0.146	0.905	0.128
TAM/TS	1.654	1.283	1.283	1.288	1.202	1.404	1.246	1.235	1.208	1.212	1.168	1.101	1.105	1.070
RS	0.603	1.227	0.108	0.383	<0.1	0.050	<0.1	<0.1	0.056	<0.1	<0.1	0.050	<0.1	0.040
RAM	14.135	33.105	3.996	18.836	4.477	1.548	4.615	0.756	4.214	0.856	2.281	0.331	1.973	0.272
RAM/RS	23.457	26.970	37.002	49.187	-	30.960	-	-	75.183	-	-	6.614	-	6.810
TS/RS	15.02	18.79	18.15	21.59	-	8.28	-	-	25.74	-	-	2.65	-	2.98
RAM/TAM	0.94	1.12	1.59	1.77	2.19	2.66	2.43	2.46	2.42	2.37	2.38	2.27	2.18	2.13

#Abbreviations: S for Serpentinite and AM for Amphibole schist

높고, 흡수가 낮은 함량이나, 전체적으로 중 희토류가 경희토류보다 낮은 경향을 보였다(Table 2).

평균값에서 산딸기에 비해 익세는 1.01-1.93 배가, 쑥은 2.90-3.82 배가 높았다(Table 2). 각각을 살펴보면 쑥이 La(15.82 ppm), Ce(33.10 ppm), Pr(3.70 ppm), Nd(14.80 ppm), Sm(3.19 ppm), Eu(0.84 ppm), Gd(3.43 ppm), Tb(0.50 ppm), Dy(2.72 ppm), Ho(0.54 ppm), Er(1.58 ppm), Tm(0.21 ppm), Yb(1.30 ppm), Lu(0.19 ppm)에서 높았고, 산딸기가 La(5.11 ppm), Ce(11.40 ppm), Pr(1.17 ppm), Nd(4.73 ppm), Sm(0.99 ppm), Eu(0.27 ppm), Gd(1.10 ppm), Tb(0.15 ppm), Dy(0.77 ppm), Ho(0.14 ppm), Er(0.42 ppm), Tm(0.05 ppm), Yb(0.34 ppm), Lu(0.05 ppm)에서 낮았다.

중간 비교에서 상부의 경우 쑥이 La(5.71 ppm), Ce(11.99 ppm), Pr(1.30 ppm), Nd(5.21 ppm), Sm(1.11 ppm), Eu(0.29 ppm), Gd(1.21 ppm), Tb(0.18 ppm), Dy(0.95 ppm), Ho(0.19 ppm), Er(0.54 ppm), Tm(0.07 ppm), Yb(0.45 ppm), Lu(0.07 ppm)에서 높았고, 산딸기가 La(1.98 ppm), Ce(3.45 ppm), Pr(0.40 ppm), Nd(1.48 ppm), Sm(0.28 ppm), Eu(0.08 ppm), Gd(0.31 ppm), Tb(0.04 ppm), Dy(0.19 ppm), Ho(0.04 ppm), Er(0.10 ppm), Tm(0.01 ppm), Yb(0.08 ppm), Lu(0.01 ppm)에서 낮았다(Table 2).

하부의 경우 쑥이 La(25.93 ppm), Ce(54.21 ppm),

Pr(6.10 ppm), Nd(24.40 ppm), Sm(5.28 ppm), Eu(1.38 ppm), Gd(5.66 ppm), Tb(0.83 ppm), Dy(4.48 ppm), Ho(0.90 ppm), Er(2.63 ppm), Tm(0.34 ppm), Yb(2.16 ppm), Lu(0.32 ppm)에서 높았고, 산딸기가 La(8.24 ppm), Ce(19.36 ppm), Pr(1.95 ppm), Nd(7.99 ppm), Sm(1.70 ppm), Eu(0.46 ppm), Gd(1.89 ppm), Tb(0.26 ppm), Dy(1.34 ppm), Ho(0.25 ppm), Er(0.75 ppm), Tm(0.10 ppm), Yb(0.61 ppm), Lu(0.09 ppm)에서 낮았다(Table 2).

하, 상부 비(하/상부)에서 익세, 쑥, 산딸기 각각, 2.27-5.67배, 4.52-4.97배, 4.16-7.51배로 전 식물이 1 이상을 보였고, 이들 식물 중 많은 원소에서 산딸기가 높은 값을, 익세가 낮은 값을 보였다(Table 2).

기존에도 토양으로부터 식물체에 흡수되는 원소 함량에 영향을 주는 요소에 대해 많은 연구가 진행되어 있다. 대표적인 예로 토양에서 흡수되는 원소 함량과 뿌리표면의 울혈과의 관계²⁸⁾, 뿌리에 흡착되는 원소기작에 의한 영향²⁹⁾, 토양수분 pH 변화가 주는 영향, 식물체내 각 기관에 흡수 축적되는 과정^{30,31)}, 축적되는 원소함량과 원소들의 특징차이³²⁾ 등이 있다.

즉 연구 지역 식물체의 종별, 부분별 원소 흡수 정도 차이는, 원 토양의 광물학적 특성, 식물체의 선택적 흡수 정도의 차이, 뿌리 주변의 물리화학적 변화, 식물체 부분별 축적되는 비율의 차이 등으로 설

Table 2. Element contents of the plants from the serpentinite soils(S) of the Gapyeong area (Unit: ppm)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SM-U	3.044	6.595	0.806	3.163	0.729	0.166	0.768	0.120	0.632	0.103	0.273	0.032	0.203	0.028
SM-O	8.576	20.322	2.172	8.356	1.930	0.377	2.038	0.335	1.968	0.382	1.151	0.166	1.121	0.161
SMAv	5.81	13.46	1.49	5.76	1.33	0.27	1.40	0.23	1.30	0.24	0.71	0.10	0.66	0.09
R/O	2.82	3.08	2.70	2.64	2.65	2.27	2.65	2.80	3.11	3.70	4.21	5.15	5.53	5.67
SA-U	5.707	11.990	1.299	5.207	1.109	0.289	1.208	0.176	0.952	0.185	0.539	0.072	0.445	0.065
SA-O	25.930	54.206	6.100	24.398	5.276	1.382	5.655	0.827	4.483	0.897	2.627	0.343	2.158	0.324
SAAv	15.82	33.10	3.70	14.80	3.19	0.84	3.43	0.50	2.72	0.54	1.58	0.21	1.30	0.19
R/O	4.54	4.52	4.70	4.69	4.76	4.78	4.68	4.70	4.71	4.84	4.88	4.75	4.85	4.97
SC-U	1.982	3.452	0.397	1.476	0.280	0.075	0.310	0.039	0.193	0.035	0.100	0.013	0.080	0.012
SC-O	8.240	19.357	1.952	7.985	1.701	0.462	1.894	0.260	1.341	0.252	0.750	0.096	0.606	0.090
SCAv	5.11	11.40	1.17	4.73	0.99	0.27	1.10	0.15	0.77	0.14	0.42	0.05	0.34	0.05
R/O	4.16	5.61	4.92	5.41	6.08	6.14	6.10	6.62	6.94	7.25	7.51	7.26	7.54	7.35
SMAv/SCAv	1.14	1.18	1.27	1.22	1.34	1.01	1.27	1.52	1.69	1.70	1.68	1.82	1.93	1.85
SAAv/SCAv	3.09	2.90	3.15	3.13	3.22	3.11	3.11	3.34	3.54	3.78	3.73	3.82	3.79	3.81

#Abbreviations: M for *M. sinensis*, A for *A. vulgaris*, C for *R. crataegitoli*, U for upper part, O for root part and Av for average values

명이 될 수 있을 듯하다.

2)각섬석 편암 지역: 평균값에서 전 원소는 원자 번호 57에서 71번까지 까지 갈수록 지그제그 형태로 짝수가 높고, 홀수가 낮은 함량이나, 전체적으로 중 희토류가 경희토류보다 낮은 경향을 보였다 (Table 3).

평균값에서 산딸기에 비해 역세는 1.98-2.67 배가, 썩은 3.58-4.67 배 높았다(Table 3). 각각을 살펴보면 썩이 La(17.32 ppm), Ce(41.69 ppm), Pr(4.01 ppm), Nd(15.50 ppm), Sm(3.32 ppm), Eu(0.89 ppm), Gd(3.61 ppm), Tb(0.52 ppm), Dy(2.67 ppm), Ho(0.49 ppm), Er(1.39 ppm), Tm(0.18 ppm), Yb(1.14 ppm), Lu(0.16 ppm)에서 높았고, 산딸기가 La(4.76 ppm), Ce(8.93 ppm), Pr(0.96 ppm), Nd(3.74 ppm), Sm(0.78 ppm), Eu(0.25 ppm), Gd(0.90 ppm), Tb(0.12 ppm), Dy(0.61 ppm), Ho(0.12 ppm), Er(0.35 ppm), Tm(0.05 ppm), Yb(0.29 ppm), Lu(0.05 ppm)에서 낮았다.

종간 비교에서 상부의 경우 역세가 La(8.57 ppm), Ce(16.79 ppm), Pr(1.77 ppm), 썩이 Nd(6.79 ppm), Sm(1.41 ppm), Eu(0.41 ppm), Gd(1.61 ppm), Tb(0.23 ppm), Dy(1.14 ppm), Ho(0.21 ppm), Er(0.61 ppm), Tm(0.08 ppm), Yb(0.45 ppm), Lu(0.07 ppm)에서 높았고, 산딸기가 La(1.59 ppm), Ce(3.09 ppm), Pr(0.33 ppm), Nd(1.25 ppm), Sm(0.25 ppm), Eu(0.08 ppm),

Gd(0.28 ppm), Tb(0.04 ppm), Dy(0.18 ppm), Ho(0.04 ppm), Er(0.10 ppm), Tm(0.01 ppm), Yb(0.08 ppm), Lu(0.01 ppm)에서 낮았다(Table 3).

하부의 경우 썩이 La(26.50 ppm), Ce(68.28 ppm), Pr(6.32 ppm), Nd(24.22 ppm), Sm(5.24 ppm), Eu(1.37 ppm), Gd(5.60 ppm), Tb(0.81 ppm), Dy(4.20 ppm), Ho(0.76 ppm), Er(2.18 ppm), Tm(0.29 ppm), Yb(1.83 ppm), Lu(0.26 ppm)에서 높았고, 산딸기가 La(7.93 ppm), Ce(14.78 ppm), Pr(1.59 ppm), Nd(6.23 ppm), Sm(1.30 ppm), Eu(0.43 ppm), Gd(1.51 ppm), Tb(0.21 ppm), Dy(1.04 ppm), Ho(0.20 ppm), Er(0.59 ppm), Tm(0.08 ppm), Yb(0.49 ppm), Lu(0.08 ppm)에서 낮았다(Table 3).

하, 상부 비(하/상부)에서 역세, 썩, 산딸기 각각, 1.65-2.61배, 3.26-4.52배, 4.79-6.04배로 전 식물이 1 이상을 보였고, 이들 식물 중 많은 원소에서 산딸기가 높은 값을, 역세가 낮은 값을 보였다(Table 3).

비록 토양은 다르나 금산 지역에 대한 희토류 연구³³⁾는 토양별 인삼의 원소 함량 차이를 언급하고 있다. 즉 금산 인삼이 연생 및 지역에 관계없이 지상부가 지하부 보다 높은 원소 함량을 보였고, 지상, 지하부에 대한 비에서 LREE 비가 HREE 비에 비해 컸다. 타 지역 동일 연생의 비교에서 연생에 관계 없이 천매암 지역은 대부분 원소가 지상부에서 높

Table 3. Element contents of the plants from amphibole schist soils(AM) of the Gapyeong area (Unit: ppm)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AMM-U	8.566	16.790	1.768	6.563	1.254	0.313	1.416	0.177	0.831	0.152	0.433	0.055	0.343	0.050
AMM-O	14.099	30.917	3.172	12.598	2.561	0.695	2.810	0.380	1.944	0.370	1.078	0.141	0.878	0.131
AMMAv	11.33	23.85	2.47	9.58	1.91	0.50	2.11	0.28	1.39	0.26	0.76	0.10	0.61	0.09
R/O	1.65	1.84	1.79	1.92	2.04	2.22	1.99	2.15	2.34	2.44	2.49	2.55	2.56	2.61
AMA-U	8.131	15.103	1.708	6.785	1.412	0.406	1.613	0.227	1.144	0.210	0.605	0.075	0.449	0.067
AMA-O	26.502	68.277	6.319	24.217	5.237	1.373	5.601	0.806	4.196	0.761	2.178	0.293	1.825	0.258
AMAAv	17.32	41.69	4.01	15.50	3.32	0.89	3.61	0.52	2.67	0.49	1.39	0.18	1.14	0.16
R/O	3.26	4.52	3.70	3.57	3.71	3.39	3.47	3.55	3.67	3.62	3.60	3.91	4.07	3.84
AMC-U	1.593	3.086	0.328	1.247	0.252	0.084	0.279	0.038	0.182	0.035	0.102	0.013	0.081	0.013
AMC-O	7.928	14.778	1.592	6.232	1.303	0.426	1.513	0.205	1.043	0.204	0.591	0.077	0.491	0.078
AMCAv	4.76	8.93	0.96	3.74	0.78	0.25	0.90	0.12	0.61	0.12	0.35	0.05	0.29	0.05
R/O	4.98	4.79	4.86	5.00	5.16	5.07	5.43	5.43	5.72	5.78	5.82	5.81	6.04	5.86
AMMAv/AMCAv	2.38	2.67	2.57	2.56	2.45	1.98	2.36	2.30	2.26	2.18	2.18	2.17	2.13	2.00
AMAAv/AMCAv	3.64	4.67	4.18	4.15	4.27	3.49	4.03	4.26	4.36	4.06	4.02	4.06	3.97	3.58

#Abbreviations: M for *M. sinensis*, A for *A. vulgaris*, C for *R. crataegitolius*, U for upper part, O for root part and Av for average values

았다.

3.2.2. 등 식물체별 지역 차이 비교

전체적으로 식물체 부분에 따른 토양별 차이 비교(각섬석 편암/사문암)에서 대부분 원소가 산딸기는 사문암 지역이 높았고, 역세와 쑥은 각섬석 편암 지역이 높았다(Table 4).

각각을 살펴보면 상부, 하부, 평균값에 관계없이 역세의 경우 일부 HREE를 제외한 나머지 원소가 각섬석 편암이 높음을 암시한다. 즉 하부의 Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, 평균값의 Tm, Yb, Lu가 사문암 지역이 높음을, 그 외 원소 대부분은 각섬석 편암이 높음을 암시한다. 쑥의 경우 상부, 하부, 평균값에 관계없이 하부의 Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, 평균값의 Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu가 사문암 지역이 높음을, 그 외 원소 대부분은 각섬석 편암이 높음을 암시한다. 산딸기의 경우 상부의 Eu, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu를 제외한 전 원소가 사문암지역에서 높았다.

기존의 일부 연구 들은 식물체의 종에 따른 흡수량의 차이와 부분에 따른 함량차이에 대해 다양한 의견을 제시하고 있다.

임 등³⁴⁾은 폐광지역에서는 쑥, 도꼬마리, 망초 및 달맞이꽃 등이 중금속을 많이 축적한다는 사실을 밝혀냈다. 정기채 등³⁵⁾은 광산 주변 식물체의 연구에서 식물의 종류 및 중금속 종류에 따라 흡수력과 내성의 차이가 있으며 특히 Cu는 속새과 식물, Zn은 마디풀과 식물이 높은 체내 함량을 보이고 있음을 지적했다. 양액을 이용한 실험을 통하여 Homer

등³⁰⁾은 *Alyssum troodii*가 Pb 함량에서 뿌리에서 높은 축적량을 보였으며, Nanda 등³²⁾은 *B. juncea*가 Co 함량에서 뿌리에 비해 잎에서 높은 축적량을 보임을 지적했다. 이는 토양 중에서 종에 따른 원소 흡수량이 차이가 있음을 암시한다.

한편 토양의 이화학적 특성이 식물체의 함량에 영향을 준다는 것을 전제로 했을 때³⁶⁾, 지역간의 토양내의 광물 특성과, 이들로부터 원소들의 용출에 영향을 줄 수 있는 지중에서의 물리 화학적 특성이 식물체의 함량에 영향을 줄 수 있다고 생각 된다.

3.2.3. 식물체의 상관관계

전 희토류 원소에 대한 상관관계가 Tables 5, 6에 있다. 전체적으로 지역에 관계없이 대부분 희토류 원소에서 정의 상관관계를 보였다. 아래의 결과에 대한 고찰은 5% 수준에서 유의적인 차이가 있는 원소 쌍들간의 상관관계를 나타낸 것이다.

각각을 살펴보면 사문암 지역의 경우 상, 하부 전체 및 평균값에서 0.9 이상의 정의상관 계수를 보였다. 각섬석 편암 지역의 경우도 상, 하부 전체 및 평균값에서 0.9 이상의 정의상관 계수를 보였다. 하지만 사문암 지역에 비해 각섬석 편암 지역의 상부에서는 낮은 상관 계수 값을 보였다. 즉 위 결과는 지역 및 식물체에 관계없이 식물체들 희토류 원소함량에서, 각각의 원소쌍들과 정의 관계로 함량을 가짐을 암시한다.

연구 지역의 원소 쌍들 간에는 우세한 정의 상관관계는 희토류 원소의 특성으로 설명될 수 있다. 이 원소는 바닥상태(ground state)에서 바깥쪽의 전자

Table 4. Relative ratios for each parts of the plants from the Gapyeong area

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AMM/SM-U	2.815	2.546	2.193	2.075	1.721	1.887	1.842	1.479	1.314	1.466	1.584	1.721	1.690	1.772
AMM/SM-O	1.644	1.521	1.460	1.508	1.327	1.841	1.379	1.136	0.988	0.966	0.937	0.851	0.783	0.815
AMM/SMAv	1.951	1.772	1.658	1.663	1.435	1.855	1.506	1.226	1.067	1.073	1.061	0.992	0.922	0.958
AMA/SA-U	1.425	1.260	1.315	1.303	1.274	1.403	1.335	1.292	1.202	1.136	1.122	1.036	1.008	1.031
AMA/SA-O	1.022	1.260	1.036	0.993	0.993	0.994	0.990	0.976	0.936	0.849	0.829	0.853	0.845	0.796
AMA/SAAv	1.095	1.260	1.085	1.047	1.042	1.065	1.051	1.031	0.983	0.898	0.879	0.884	0.873	0.836
AMC/SC-U	0.803	0.894	0.826	0.845	0.903	1.115	0.898	0.959	0.944	1.015	1.017	1.011	1.010	1.080
AMC/SC-O	0.962	0.763	0.816	0.780	0.766	0.920	0.799	0.787	0.778	0.810	0.788	0.809	0.809	0.862
AMC/SCAv	0.931	0.783	0.817	0.791	0.786	0.948	0.813	0.809	0.799	0.835	0.815	0.834	0.833	0.888

#Abbreviations: M for *M. sinensis*, A for *A. vulgaris*, C for *R. crataegitolius*, U for upper part, O for root part and Av for average values

Table 5. Correlation coefficients of the plants from serpentinite soils of the Gapyeong area

		Upper													
A)		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Root	La		.9957	.9814	.9826	.9574	.9869	.96714	.9472	.9444	.9852	.9935	.9985	.9985	.9985
	Ce	.9999		.9950	.9956	.9800	.9976	.98651	.9728	.9707	.9968	.9998	.9993	.9993	.9993
	Pr	.9999	.9997		.9999	.9950	.9995	.99795	.9911	.9899	.9998	.9969	.9904	.9904	.9904
	Nd	.9999	.9999	.9996		.9944	.9997	.99755	.9903	.9891	.9999	.9973	.9912	.9912	.9912
	Sm	.9992	.9995	.9999	.9993		.9914	.99936	.9994	.9991	.9927	.9840	.9716	.9716	.9716
	Eu	.9961	.9954	.9929	.9958	.9916		.99548	.9865	.9850	.9999	.9988	.9942	.9942	.9942
	Gd	.9998	.9999	.9999	.9999	.9998	.9943		.9976	.9970	.9964	.9898	.9795	.9795	.9795
	Tb	.9954	.9961	.9978	.9957	.9985	.9830	.9969		.9999	.9881	.9775	.9631	.9631	.9631
	Dy	.9849	.9862	.9897	.9854	.9911	.9657	.9879	.9970		.9868	.9756	.9608	.9608	.9608
	Ho	.9850	.9863	.9898	.9855	.9912	.9658	.9880	.9970	.9999		.9983	.9930	.9930	.9930
	Er	.9827	.9840	.9878	.9832	.9894	.9623	.9859	.9959	.9999	.9999		.9982	.9982	.9982
	Tm	.9636	.9655	.9712	.9644	.9736	.9361	.9683	.9848	.9953	.9953	.9965		.9999	.9999
	Yb	.9518	.9540	.9606	.9527	.9633	.9208	.9572	.9768	.9905	.9904	.9922	.9992		.9999
	Lu	.9598	.9618	.9678	.9606	.9704	.9311	.9648	.9823	.9939	.9938	.9952	.9999	.9996	
		Average													
B)		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	
	Ce	.9996													
	Pr	.9983	.9995												
	Nd	.9994	.9999	.9997											
	Sm	.9963	.9983	.9996	.9987										
	Eu	.9983	.9963	.9932	.9957	.9896									
	Gd	.9982	.9995	.9999	.9997	.9997	.9930								
	Tb	.9870	.9911	.9947	.9920	.9971	.9759	.9949							
	Dy	.9786	.9839	.9888	.9851	.9926	.9648	.9892	.9989						
	Ho	.9831	.9878	.9921	.9889	.9952	.9707	.9923	.9997	.9997					
	Er	.9831	.9878	.9921	.9889	.9952	.9707	.9923	.9997	.9997	.9999				
	Tm	.9684	.9750	.9812	.9765	.9862	.9522	.9817	.9959	.9990	.9977	.9977			
	Yb	.9624	.9696	.9765	.9713	.9821	.9449	.9770	.9936	.9977	.9959	.9959	.9997		
	Lu	.9753	.9811	.9865	.9824	.9906	.9608	.9868	.9981	.9999	.9993	.9993	.9996	.9986	

배치가 $5d^16s^2$ 인 La, 이어서 계속해서 $4f$ 부껍질을 채우는 Ce에서 Yb 까지의 원소와, 전자 배치가 $4f^145d^16s^2$ 인 Lu 로 구성 되어 있다. 즉 이 $4f$ 전자들은 $5s^2$ 와 $5p^6$ 부껍질에 의해 숨겨져 있기 때문에 $4f$ 부껍질내 전자수의 차이가 있어도 화학적인 반응에 의해 크게 영향을 받지 않는다. 이 결과 이 원소들은 유사한 물리화학적 특성을 보인다²⁷⁾.

기존의 금산 인삼 재배 지역³³⁾에서도 토양 및 인삼의 연생, 부분에 관계없이 대부분 희토류 원소에서 높은 상관계수를 보였다. 하지만 지상부 부분에 비해 뿌리 부분이 더욱 높은 상관계수를 보여 뿌리 부분에서 흡수되는 원소들 사이에서 더욱 좋은 상관성을 보임을 암시한다. 지상부의 상관관계에서 2

년생의 경우 La-Tm, Yb, Lu, Lu-Pr, Nd 쌍을 제외한 원소 쌍에서 정의 상관관계를 보였다. 또한 LREE-LREE 쌍과, HREE-HREE 쌍은 일반적으로 높은 상관관계를 보였다.

3.3. 상부 토양과 식물체의 상호관계

전체적으로 토양에 따라 식물 중 및 식물의 부분별 차이가 명확하였다(Tables 7, 8). 각각을 살펴보면 평균값의 상대 비(식물/토양)의 경우 지역에 관계없이 쉰은 1 이상을 보였고, 역세 및 산딸기는 거의 대부분 원소에서 1 이하를 보였다. 역세 및 산딸기 중 산딸기가 상대 비에서 낮은 값을 보였다. 상대 비에서 큰 값이 하부가, 작은 값이 상부에서 나타났다. 지역에 관계없이 평균값에 대한 함량관계에서

Table 6. Correlation coefficients of the plants from amphibole schist soils of the Gapyeong area

		Upper													
A)		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Root	La		.9984	.9998	.9957	.9831	.9372	.9822	.9514	.9293	.9164	.9221	.9775	.9394	.9250
	Ce	.9994		.9971	.9888	.9711	.9158	.9699	.9323	.9068	.8921	.8986	.9639	.9183	.9018
	Pr	.9999	.9994		.9973	.9865	.9438	.9857	.9572	.9363	.9241	.9295	.9814	.9459	.9322
	Nd	.9997	.9983	.9997		.9959	.9656	.9954	.9759	.9596	.9497	.9541	.9929	.9672	.9563
	Sm	.9999	.9998	.9999	.9993		.9852	.9999	.9917	.9812	.9742	.9773	.9996	.9862	.9789
	Eu	.9981	.9996	.9980	.9963	.9989		.9860	.9991	.9998	.9985	.9992	.9897	.9999	.9994
	Gd	.9999	.9998	.9998	.9992	.9999	.9990		.9923	.9821	.9753	.9784	.9997	.9870	.9799
	Tb	.9992	.9999	.9991	.9979	.9996	.9998	.9997		.9979	.9951	.9965	.9950	.9993	.9971
	Dy	.9986	.9998	.9985	.9971	.9993	.9999	.9993	.9999		.9994	.9998	.9863	.9996	.9999
	Ho	.9995	.9999	.9994	.9984	.9998	.9996	.9999	.9999	.9998		.9999	.9802	.9981	.9998
	Er	.9996	.9999	.9996	.9987	.9999	.9994	.9999	.9999	.9997	.9999		.9830	.9989	.9999
	Tm	.9987	.9999	.9986	.9971	.9993	.9999	.9994	.9999	.9999	.9998	.9997		.9906	.9843
	Yb	.9991	.9999	.9990	.9977	.9996	.9998	.9996	.9999	.9999	.9999	.9999	.9999		.9992
	Lu	.9982	.9997	.9981	.9965	.9989	.9999	.9990	.9998	.9999	.9996	.9995	.9999	.9999	

		Average												
B)		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
	Ce	.9970												
	Pr	.9995	.9990											
	Nd	.9995	.9989	.9999										
	Sm	.9959	.9999	.9983	.9982									
	Eu	.9884	.9973	.9928	.9926	.9981								
	Gd	.9961	.9999	.9984	.9983	.9999	.9980							
	Tb	.9899	.9980	.9940	.9938	.9987	.9999	.9986						
	Dy	.9863	.9962	.9911	.9909	.9971	.9999	.9970	.9997					
	Ho	.9862	.9961	.9912	.9908	.9971	.9999	.9970	.9997	.9999				
	Er	.9890	.9975	.9933	.9931	.9983	.9999	.9982	.9999	.9998	.9998			
	Tm	.9874	.9967	.9920	.9918	.9976	.9999	.9975	.9999	.9999	.9999	.9999		
	Yb	.9859	.9959	.9910	.9905	.9970	.9999	.9968	.9996	.9999	.9999	.9998	.9999	
	Lu	.9833	.9945	.9887	.9884	.9957	.9995	.9955	.9992	.9999	.9999	.9994	.9997	.9999

토양에 가까운 값은 역세가. 큰 차이가 산딸기에서 나타났다.

3.3.1. 사문암 지역

평균값의 상대 비에서 역세는 0.58-0.92 배, 쭉은 1.44-2.26 배, 산딸기는 0.41-0.73 배의 비율로 토양과 차이를 보였다(Table 7). 종의 차이에 따른 평균 함량과의 비교에서 역세의 전 원소에서 작은 차이를, 쭉의 Ce, Tm, 산딸기의 La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu에서 큰 차이를 보였다(Tables 1, 2). 위 결과는 지역에 관계없이 평균값에서 역세가 대부분 원소에서 토양에 가깝고, 산딸기가 대부분 원소가 토양과 함량과 큰 차이를 보임을 암시한다.

상부 상대 비 경우 역세는 0.24-0.51 배, 쭉은

0.52-0.80 배, 산딸기는 0.10-0.22 배의 비율로 토양과 차이를 보였다(Table 7). 종의 차이에 따른 토양과 상부의 함량 비교 시, 산딸기가 큰 차이가, 쭉이 작은 차이가 나타났다(Tables 1, 2). 위 결과는 상부 함량에서 쭉이 전 원소에서 토양에 가까운 값을, 산딸기가 전 원소에서 큰 차이를 보임을 암시한다.

하부 상대 비 경우 사문암 지역의 역세는 1 이하를 보이는 La, Ce, Eu,를 제외한 원소가 1.01-1.40 배, 쭉은 전원소가 2.35-3.72 배, 산딸기는 1 이상을 보이는 Sm, Eu, Gd, Tb를 제외한 원소가 0.72-0.99 배의 비율로 토양과 차이를 보였다(Table 7). 종의 차이에 따른 토양과 하부의 함량 비교 시, 역세의 La, Ce, Nd, Eu, Tm. 산딸기의 Pr, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho,

Table 7. Relative ratios of the plants from serpentinite soils(S) of the Gapyeong area with their soils

Nura,	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
SM-U/TS	0.336	0.286	0.411	0.382	0.429	0.401	0.505	0.480	0.438	0.347	0.333	0.243	0.248	0.238
SM-O/TS	0.947	0.881	1.108	1.011	1.136	0.911	1.340	1.343	1.364	1.285	1.400	1.253	1.368	1.351
SMAv/TS	0.64	0.58	0.76	0.70	0.78	0.66	0.92	0.91	0.90	0.82	0.87	0.75	0.81	0.79
SA-U/TS	0.631	0.520	0.663	0.630	0.652	0.698	0.795	0.706	0.660	0.622	0.655	0.545	0.543	0.547
SA-O/TS	2.865	2.350	3.113	2.950	3.104	3.337	3.719	3.315	3.107	3.012	3.195	2.593	2.634	2.716
SAAv/TS	1.75	1.44	1.89	1.79	1.88	2.02	2.26	2.01	1.88	1.82	1.93	1.57	1.59	1.63
SC-U/TS	0.219	0.150	0.202	0.179	0.165	0.182	0.204	0.158	0.134	0.117	0.121	0.099	0.098	0.103
SC-O/TS	0.910	0.839	0.996	0.966	1.001	1.117	1.245	1.045	0.929	0.845	0.912	0.722	0.740	0.754
SCAv/TS	0.57	0.50	0.60	0.57	0.58	0.65	0.73	0.60	0.53	0.48	0.52	0.41	0.42	0.43

#Abbreviations: M for *M. sinensis*, A for *A. vulgaris*, C for *R. crataegitolius*, U for upper part, O for root part and Av for average values

Er, Yb, Lu에서 작은 차이를, 쑥은 전 회토류 원소에서 큰 차이를 보였다(Tables 1, 2). 위 결과는 하부에서 쑥이 전 원소에서 토양 함량과 큰 차이를, 산딸기는 대부분 원소에서 작은 차이를 보임을 암시한다.

익에서 언급한 바와 같이 연구 지역 토양에 따른 식물체들은 종별, 부분별로 차이를 보였다. 즉 이는 토양 내 광물 조성 및 조합의 차이, 식물체의 선택적 흡수 정도 차이, 뿌리 주변의 물리화학적 변화, 식물체 부분별 축적되는 비율의 차이 등으로 설명이 될 수 있을 듯하다³⁶⁾.

기존의 금산 인삼 지역³³⁾ 연구에서 토양과 인삼 평균치의 지역적 비교 시 작은 비율 차이가 세일에서, 큰 차이가 천매암 지역에서 나타났다. 또한 지역에 관계없이 토양/지상부 비보다 토양/지하부 비가

컸고, 대체로 LREE 보다 HREE의 비율 차이가 컸다.

3.3.2. 각섬석 편암 지역

평균값의 상대 비에서 억세는 0.67-1.12 배, 쑥은 1.26-1.91 배, 산딸기는 0.30-0.47 배의 비율로 토양과 차이를 보였다(Table 8). 종의 차이에 따른 평균 함량과의 비교에서 쑥의 La, Tm, Yb, Lu에서, 억세의 Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er에서 작은 차이가, 쑥의 Sm, Gd, Tb에서 산딸기의 La, Ce, Pr, Nd, Eu, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu에서 나타났다(Tables 1, 3). 위 관계는 평균값에서 억세의 대부분 원소가 토양에 가깝고, 산딸기의 대부분 원소에서 토양의 함량에서 차이를 보임을 암시한다.

상부의 상대 비 경우 억세는 0.38-0.70 배, 쑥은 0.50-0.85 배, 산딸기는 0.09-0.15 배의 비율로 토양

Table 8. Relative ratios of the plants from amphibole schist soils(AM) of the Gapyeong area with their soils

Nura,	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
AMM-U/TS	0.572	0.567	0.703	0.616	0.614	0.538	0.747	0.574	0.476	0.420	0.451	0.380	0.379	0.394
AMM-O/TS	0.942	1.045	1.261	1.183	1.253	1.195	1.483	1.235	1.115	1.024	1.123	0.969	0.970	1.029
AMMAv/TS	0.76	0.81	0.98	0.90	0.93	0.87	1.12	0.91	0.80	0.72	0.79	0.67	0.67	0.71
AMA-U/TS	0.543	0.510	0.679	0.637	0.691	0.698	0.851	0.738	0.656	0.582	0.630	0.513	0.496	0.527
AMA-O/TS	1.770	2.308	2.513	2.274	2.562	2.362	2.955	2.620	2.407	2.109	2.269	2.008	2.016	2.022
AMAAv/TS	1.16	1.41	1.60	1.46	1.63	1.53	1.90	1.68	1.53	1.35	1.45	1.26	1.26	1.27
AMC-U/TS	0.106	0.104	0.130	0.117	0.124	0.144	0.147	0.123	0.105	0.098	0.106	0.091	0.090	0.104
AMC-O/TS	0.529	0.499	0.633	0.585	0.638	0.732	0.798	0.666	0.598	0.565	0.615	0.530	0.542	0.608
AMCAv/TS	0.32	0.30	0.38	0.35	0.38	0.44	0.47	0.39	0.35	0.33	0.36	0.31	0.32	0.36

#Abbreviations: M for *M. sinensis*, A for *A. vulgaris*, C for *R. crataegitolius*, U for upper part, O for root part and Av for average values

과 차이를 보였다(Table 8). 종의 차이에 따른 상부 함량과의 비교에서 역세의 La, Ce, Pr과, 쑥의 나머지 전 원소에서 작은 차이를, 산딸기의 전 희토류 원소에서 큰 차이를 보였다(Tables 1, 3). 위 결과는 상부에서 쑥이 대부분 원소에서 토양에 가깝고, 산딸기가 전 원소에서 토양의 함량과 큰 차이를 보임을 암시한다.

하부의 상대 비 경우 역세는 1 이하를 보이는 La, Tm, Yb를 제외한 원소가 1.02-1.48 배, 쑥은 1.77-2.96 배 산딸기는 0.50-0.80 배의 비율로 토양과 차이를 보였다(Table 8). 종의 차이에 따른 하부 함량과의 비교에서 산딸기 Gd 와 역세의 기타 전 원소에서 작았고, 쑥의 전 원소에서 크게 나타났다(Tables 1, 3). 위 관계는 하부에서 쑥이 전 원소에서 토양 함량과 제일 큰 차이를, 역세가 작은 차이를 보임을 암시한다.

위 결과에서와 같이 연구 지역은 평균값에서 역세의 경우 대부분 원소가 토양에 가깝고, 산딸기는 대부분 원소에서 커다란 차이를 보였다.

위와 같이 서로 다른 토양에서 자라는 식물들 중 같은 종이 유사한 화학 조성의 특성을 보임은, 일반적으로 식물의 화학 조성이 토양의 이화학적 특성을 영향을 줄 수도 있지만, 토양 차이에 관계없이 역세 및 산딸기에서 희토류 원소들의 선택적 흡수 정도, 부분별 축적되는 비율의 차이 등이 유사함을 암시한다.

기존의 금산 인삼 재배지역³³⁾ 연구에서 2 년생의 토양/인삼 지상 부 비 차이는 1.33-6.65 배로서, 가장 큰 차이가 Lu에서, 가장 작은 차이가 Gd에서 나타났다. 한편 토양/인삼 지하부 비 차이는 2.14- 8.24배로, 가장 큰 차이가 Lu에서, 가장 작은 차이가 La에서 나타났다. 이 비율은 인삼의 지하부가 지상부 보다 토양과 큰 차이가 있음을 암시한다.

4. 결 론

이상의 연구 결과는 아래와 같다.

토양 및 암석 모두에서 각섬석 편암 지역이 높았다. 즉 각섬석 편암 지역이, 사문암 지역에 비해 상부 토양에서 수 배 차이로, 암석에서 수 배 에서 수십 배 차이로 높았다. 동일 지역의 토양과 암석의 함량 비교에서 사문암 지역은 토양이, 각섬석 편암

지역은 암석이 높았다.

식물체의 원소 함량에서 토양별 함량 차이가 명확했다. 지역에 관계없이 식물체의 상, 하부 및 평균값에서 쑥이 높았고, 산딸기 지역이 낮았다. 하, 상부 비교는 전 식물이 하부가 높음을 암시하고, 사문암 지역이 각섬석 편암 지역보다 상, 하부 차이가 크며, 식물체 중 산딸기가 큰 차이를, 역세가 작은 차이를 보임을 암시한다.

식물체 부분에 따른 토양별 차이 비교에서 대부분 원소가 산딸기는 사문암 지역이 높았고, 역세와 쑥은 각섬석 편암 지역이 높았다.

상관관계에서 지역에 관계없이 대부분 희토류 원소에서 정의 상관관계를 보였다. 사문암 지역에 비해 각섬석 편암 지역의 상부가 낮은 상관 계수 값을 보이는 원소가 많았다. 위 결과는 지역 및 식물체에 관계없이 식물체들 희토류 각각의 원소 쌍들과 정의 관계로 함량을 가짐을 암시한다.

종의 차이에 따른 토양의 함량과 식물체의 평균 함량 비교에서 지역에 관계없이 역세가 토양에 가깝고 산딸기가 토양과 큰 차이를 보임을 암시한다. 두 비교 지역 공히 상부에서 쑥이 토양에 가깝고, 산딸기가 큰 차이를 보이며, 하부는 쑥이 큰 차이가 나타났다. 또한 하부는 사문암 지역은 산딸기가, 각섬석 편암 지역은 역세가 작은 차이를 보임을 암시한다.

참 고 문 헌

- 1) Storozheva M. M., 1954, Teratological Phenomena in *Pulsatilla patens* under the Conditions of Nickel Ore Field(in Russ.), *Trudy Biogeokhim. Lab.*, 10, 64-75.
- 2) Susuki J., 1952, Ultrabasic rocks and associated ore deposits of Hokkaido Japan, *J. Fac. Sci. Hokk. Univ. Ser.*, 8, 175-210.
- 3) Baker A. J. M., Protocor J., Reeves R. D., 1992, The Vegetation of Ultramafic (Serpentinite) Soils, *Intercepts Ltd.*, Andover, United Kingdom, 234pp.
- 4) Brooks R. R., 1987, *Serpentine and its vegetation; A multidisciplinary approach*, Dioscorides Press, Portland, Oregon, 454pp.
- 5) Dymek R. F., Brothers S. C., Schiffries C. M., 1988, Petrogenesis of ultramafic metamorphic rocks from 3800 Ma Isua supracrustal belt, western Greenland, *J. Petrol.*, 29, 1353-1397.
- 6) Hebert R., Serri G., Hekinian R., 1989, Mineral chemistry of ultramafic tectonites and ultramafic to gab-

- broic cumulates from the major oceanic basins and northern Apennine ophiolites (Italy): A comparison, *Chemical Geol.*, 77, 183-207.
- 7) Mittsede S. K., Stoddard E. F., 1989, Ultramafic Rocks of the Appalachian Piedmont. (ed.), *Geol. Soc. Amer. Spec. Pub.*, 231, 103pp.
 - 8) Spell T. L., Norrell G. T., 1990, The Ropes Creek assemblage: Petrology, geochemistry and tectonic setting of an ophiolitic thrust sheet in the southern Appalachians, *Amer. J. Sci.*, 290, 811-842.
 - 9) Moores E. M., Jackson E. D., 1974, Ophiolites and oceanic crust, *Nature*, 250, 136-138.
 - 10) Girardeau J., Mercier J. C. C., 1988, Petrology and texture of the ultramafic rocks of the Xigaze ophiolite (Tibet): Constraints for mantle structure beneath slow-spreading ridges, *Tectonophy.*, 147, 33-58.
 - 11) Mevel C., Canat M., Gente P., Marion E., Auzende J. M., Karson J. A., 1991, Emplacement of deep crustal and mantle rocks on the West median valley, Wall of the mark area (MAR), 23° N, *Tectonophy.*, 190, 31-53.
 - 12) Bodinier J. L., 1988, Geochemistry and petrogenesis of the Lanzo peridotite body, western Alps, *Tectonophy.*, 149, 67-88.
 - 13) Den T. E., 1969, Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history: A contribution to the discussion of the paper, "The origin of ultramafic and ultrabasic rocks" by P. J. Wyllie. *Tectonophy.*, 7, 457-488.
 - 14) Rampone E. M., Hofmann A. W., Piccardo G. B., Vanuggi R., Bottazzi P., Ottolini L., 1995, Petrology, mineral and isotope geochemistry of the external Liguride peridotites (Northern Apennines, Italy), *J. Petrol.*, 36, 81-105.
 - 15) 송석환, 송윤섭, 2001, 충남 서부 신곡 지역에 분포하는 초염기성암의 광물 조성 및 지구화학, 자원환경지질, 34, 395-415.
 - 16) 오창환, 최선규, 송석환, 2002, 백동지역의 변성염기성암과 주변 편마암의 변성진화과정과 지구조적 의미, 암석학회지, 11, 103-129.
 - 17) 우영균, 최석원, 박기화, 1991, 충남 예산지구 활석광산의 성인에 대한 연구, 광산지질, 24, 363-378.
 - 18) 김옥준, 김서운, 유병화, 박병권, 1974, 한국 지질도 (1:50000), 가평 도록 및 설명서, 한국자원연구소, 26pp.
 - 19) Wee S. M., Choi S. G., So C. G., 1994, Preliminary study on ultramafic rocks from the Chungnam Province, Korea, *Econ. Environ. Geol.*, 27, 171-180.
 - 20) Yun S. P., Moon H. S., Song Y., 1994, Mineralogy and Genesis of the Pyoungan and Daheung Talc Deposits in Ultramafic Rocks, the Yoogoo Area, *Econ. Environ. Geol.*, 27, 131-145.
 - 21) Song S. H., Choi S. G., Woo J. G., 1997, Genetic implications of ultramafic rocks from the Bibong area in the Kyeonggi gneiss complex, *Econ. Environ. Geol.*, 30, 477-491.
 - 22) 송석환, 김명희, 민일식, 장인수, 1999, 충남 서부 백동 사문암지역 식물체내 중금속 함량, 한국토양환경학회지, 4, 113-125.
 - 23) 김명희, 민일식, 송석환, 1997, 사문암지역에서 생육하는 대나물(*Gypsophola oldhamian*)의 중금속 함량, 한국생태학회지, 20, 385-391.
 - 24) Rollinson H. R., 1993, Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific. Technical., UK, 352pp.
 - 25) 농촌진흥청, 1988, 토양화학분석법. -토양, 식물체, 토양미생물-, 농업기술연구소, 450pp.
 - 26) Hoffman E. L., 1977, Instrumental Neutron Activation in geo-analysis, *J. Geochemical Exploration*, 44, 273-319.
 - 27) Henderson P., 1984, Rare Earth Element Chemistry, Elsevier, Amsterdam, New York, 510pp.
 - 28) Nesbitt H. W., 1979, Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of granodiorite, *Nature*, 279, 206-210.
 - 29) Taylor S. R., McLennan S. M., 1981, The Composition and Evolution of Continental Crust: Rare Earth Element Evidence from Sedimentary Rocks, *Phil. Tran. Roy. Soc.*, A301, 381pp.
 - 30) Homer F. A., Morrison R. S., Brooks R. R., Clemens J., Reeves R. D., 1991, Comparative Studies of Nickel, Cobalt and Copper Uptake by Some Nickel Hyperaccumulators of the Genus *Alyssum*, *Plant and Soil*, 138, 195-205.
 - 31) Chaney R. L., Malik M., Lee Y. M., Brown S. L., Angle J. S., Baker A. J. M., 1997, Phytoremediation of soil metals, Manuscript for Current opinions in biotechnology, 248pp.
 - 32) Nanda K. P., Viatcheslave D., Harry M., Ilya R., 1995, Phyto-extraction: The use of Plants to Remove Heavy Metals from Soils, *Environ. Sci. Technol.*, 29, 1232-1235.
 - 33) 송석환, 민일식, 유선균, 이용규, 2006, 금산 인삼과 토양의 희토류 원소 함량 관계, 고려인삼학회지, 30, 31-40.
 - 34) 임수길, 김정규, 김동엽, 1996, 유용식물을 이용한 오염토양 정화기술 개발, 제1회 농업과학 심포지엄 21세기 농업과학 연구의 발전방향, 교육부 농업과학 심사평가위원회, 236-241.
 - 35) 정기채, 김복진, 한상국, 1993, 야연광산 인접지역 야생식물층의 중금속함량 조사, 한국환경농학회지, 12, 105-111.
 - 36) Alina K. P., Henryk P., 1985, Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 315pp.