

암석의 풍화과정 및 도자기 제조과정에 따른 희토류원소 분포도의 변화: 토양화학 및 고고학적 응용을 위한 기초연구

이승구¹ · 김건한² · 김진관²

¹한국지질자원연구원 지하수지열연구부, ²한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

Variation of Rare Earth Element Patterns during Rock Weathering and Ceramic Processes: A Preliminary Study for Application in Soil Chemistry and Archaeology

Seung-Gu Lee^{1,*}, Kun-Han Kim² and Jin-Kwan Kim²

¹Groundwater and Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,
Daejeon 305-350, Korea

²Geological and Environmental Hazard Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,
Daejeon 305-350, Korea

요약: 지표지질의 지구화학적 변화 추적과 고고학 유물의 원료(점토질 토양)의 기원지를 밝혀내기 위한 도구로서의 희토류원소의 역할을 확인하고자 하였다. 실험용 지질시료로는 화강암과 편마암 그리고 이들로부터의 화학적 풍화과정을 거친 풍화암과 풍화토양을 선택하여 이들의 화학조성변화를 비교하였고, 고고학적 응용을 위한 시료로는 점토질 토양과 이를 이용하여 제조한 토기 및 도기를 채취하여 이들의 화학조성변화를 비교하였다. 연구결과에 의하면, 일반적인 화학조성간의 상대적인 비교로는 암석-풍화암-토양 혹은 점토질 토양-토기-도기로의 변화에 따른 지구화학적 특성변화의 상관성이 없는 반면에 PAAS(Post Archean Australian Shale)로 규격화한 희토류원소 분포도는 거의 동일한 양상을 띄었다. 이는 희토류원소의 분포도가 다른 지구화학적 연구기법에 비해 퇴적물의 기원물질 혹은 고고학적 유물의 재료를 밝혀내는데 더 유용함을 시사해준다고 볼 수 있다.

핵심어: 암석, 토양, 도자기, 희토류원소, 기원물질

Abstract: On the basis of chemical composition of granite, gneiss and their weathering products, in this paper, rare earth elements (REEs) was estimated as tracer for clarifying a geochemical variance of earth surface material during weathering process. The chemical composition of clay, clay ware and pottery also were measured for testifying usefulness of REE geochemistry in clarifying the source material of pottery. It was observed that there was no systematic variation of chemical composition among source rock, weathered rock and soil during weathering process. The chemical composition of clay, clay ware and pottery also did not show systematic variation by baking pottery. However, PAAS (Post Archean Australian Shale)-normalized REE patterns of rock-weathered rock-soil and clay-clay ware-pottery are similar regardless of weathering process or ceramic art. Our results confirm that REE geochemistry is powerful tool for clarifying the source materials of surface sediment or archaeological ceramic products.

Key words: Rock, Soil, Pottery, Rare earth element, Source material

서 언

이미 잘 알려진 바와 같이, 희토류원소는 유사한 물

리적/화학적 특성과 더불어 자연계 내에서 규칙성이 매우 강하기 때문에, 지각 혹은 맨틀의 생성 및 진화와 관련된 해석뿐만 아니라 토양, 해수, 지하수와 같은 지

*Corresponding author: Tel. 82-42-868-3376, E-mail. sgl@kigam.re.kr

구구성물질 및 지구의물질(운석)의 성인연구 등 범지구화학적 환경변화를 해석하는 데 아주 중요한 도구로 사용되어 왔다(Masuda *et al.*, 1973; Taylor and McLennan, 1985; Lipin and McKay, 1989; Johanneson *et al.*, 1997; Dia *et al.*, 2000; Monecke *et al.*, 2007). 최근 희토류원소 지구화학의 응용은 상기에 언급된 전통적인 암석지구화학적 혹은 수리지구화학적 연구영역뿐만 아니라, 퇴적물의 근원지 규명과 같은 지표환경변화과정(권영인 외, 2004a, 2004b; Minařík *et al.*, 1998; Aubert *et al.*, 2001; Kimoto *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2006; Benson *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008), 광산에서의 산성폐수처리(Merten *et al.*, 2005) 및 토양과 곡물사이의 원소분화 혹은 비료가 토양에 미치는 영향 등과 같은 농학적 활용도구(Otero *et al.*, 2005; Ding *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2008)와 같이 더욱 광범위한 분야로 넓혀지고 있다. 아울러 활성단층지역에서의 과거지진기록을 추적하는 지시자로서도 활용되고 있다(Carcaillet *et al.*, 2008). 이와 같이 희토류원소의 존재도 변화가 토양학, 농학 그리고 고고학의 영역에 까지 널리 사용되어질 수 있는 것은, 다른 원소들의 지구화학적 특성과 비교해볼 때, 희토류원소가 풍화 혹은 변질작용과 같은 지질학적 현상의 변화에 대해서도 일정한 특성을 가지고 분화되기 때문이다(Aubert *et al.*, 2001; Ding *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2008).

최근, 선사시대 혹은 과거에 제조된 토기 및 도자가 어느 지역의 토양으로부터 만들어 졌는지를 밝혀내기 위한 고고학적 관심사를 지구과학적 접근법으로 해석하고자 하는 시도가 점차적으로 확대되어 가고 있다(양동윤 외, 2001; 김주용 외, 2002, 2007). 특히 양동윤 외(2001)는 신석기시대부터 철기시대에 이르는 선사시대에 제작된 유적물중 토기의 원료산지를 밝혀내는데 있어서 토기의 광물조성 및 화학조성의 비교에 의한 지구과학적 연구방법을 적용하고자 하였으며, 희토류원소의 지구화학적 특성이 중요한 역할을 할 수 있다고 지적하였다. 그리고 송석환 외(2006)은 고려인삼과 토양과의 상관성에 대해 보고한 바 있다. Lee *et al.*(2008)은 희토류원소 분포도가 하천퇴적물의 근원지 즉 근원암을 밝혀내는데 유용하다고 보고하였다.

상기와 같이, 국내의 경우, 부분적으로 암석지구화학 이외 분야에서 희토류원소를 이용한 지구화학적 활용 결과가 보고되고 있지만, 실제로 암석이 풍화되면서 풍화단계별로 어떠한 변화를 가져오는지에 대한 체계적인 연구 결과는 아직 없다. 따라서 이 연구에서는 암석으로부터 토양으로 변해가는 각 단계에서의 희토류

원소 분포도의 변화를 검토하고, 아울러 점토질 토양과 이를 이용하여 만든 토기 그리고 유약을 바른 후 가마에서 구워낸 완성된 도자기에서의 희토류원소 분포도 변화를 관찰함으로써, 향후 희토류원소 지구화학의 연구방법이 국내의 지질학 연구 분야 뿐만 아니라 토양학 및 농학 그리고 고고학의 영역에 까지 넓힐 수 있는 근거를 확보하고자 한다.

시료채취 및 분석방법

Lee *et al.*(2008)은 우리나라의 대표적인 도자기 산지중의 하나인 이천지역의 화강암 및 편마암 및 주변 풍화암과 토양의 지구화학적 특성에 대해 보고한 바 있다. 따라서 이 연구에서는, Lee *et al.*(2008)이 보고한 자료를 토대로, 추가로 암석의 토양화 과정에 따른 희토류원소의 분포도 변화를 살펴보기 위해서, 화강암의 경우 월악산 화강암체중 도로개설공사로 인해 절단된 부분에서의 풍화가 전혀 진행되지 않은 암석과, 풍화가 이미 상당히 진행되어 손으로도 부스러지는 풍화암석, 그리고 이미 토양으로 변한 부분을 채취하였다(WAWR13). 변성암은 강원도 임원 주변의 우백질 화강편마암내에 포획되어 있는 흑운모 편마암과 이로부터 풍화되어 토양화된 시료를 택하였다(IWGn). 이 연구에서의 시료지역 선택은 화강암, 편마암 모두 현재 도로공사가 진행되고 있는 지역 중 풍화의 진행이 빠르게 진행되고 있는 지역의 시료를 택하고자 하였다. 하지만 편마암의 경우, 풍화도가 너무 빨리 진행된 관계로 신선한 암석과 토양화된 편마암토양시료와의 중간인 풍화암석을 수집하지 못하였다. 최근 이승구와 염승준(2008)은 대전지역에 떨어진 황사의 희토류원소분포도를 보고하면서, 대전 한국지질자원연구원 주변의 토양에서의 희토류원소 분포도를 보고한 바 있다. 따라서 이 토양과의 비교를 위해 지질자원연구원 주변의 화강암에 대한 희토류원소 분포도를 비교자료로 활용하였다. 그리고 고고학적 활용 가능성을 검토하기 위해서 도자기를 굽는 과정에 있어서의 점토질 토양, 유약을 바르기 전에 건조시킨 토기 및 유약을 칠한 후 구워서 완성된 도자기 등 3단계로 구분된 시료를 택하였다(Table 1 참조).

채취된 암석, 토양시료 그리고 도자기의 주성분원소는 한국지질자원연구원의 XRF(Shimadzu MXF-2300), 희토류원소와 미량원소는 ICP-MS(Elan 6100, Perkin-Elmer Ltd.)를 이용하여 분석하였다. 주성분의 분석오차는 3% 이내이고 미량원소와 희토류원소의 경우 분석오차는 모두 10% 이내인 것으로 판단된다. 희토류

Table 1. Concentrations of major elements (wt.%), trace and rare earth element (ppm) of rock, weathering products and ceramic product (Small “w” and “s” mean weathered and soil, respectively.)

Rock type	Granite			Gneiss		Soil	Clay ware	Pottery
	No.	WAWR13	WAWR13w	WAWR13s	IWGn-WR	IWGn-s	ICH-s	ICH-Togi
SiO ₂	78	77.3	75.4	54.7	60.3	63.3	62	73
Al ₂ O ₃	12.4	12.6	13.7	21.2	18	22.4	23.4	17.6
total Fe ₂ O ₃	0.8	0.83	1.12	12.4	8.62	2.42	2.36	2.38
CaO	0.5	0.4	0.52	0.59	0.35	0.95	0.8	2.38
MgO	0.09	0.09	0.12	2.94	1.49	0.58	0.56	0.54
K ₂ O	4.18	4.73	4.17	3.21	4.24	2.39	2.48	2.54
Na ₂ O	3.16	2.85	3.17	1.43	1	0.64	0.63	0.46
TiO ₂	0.1	0.1	0.11	0.82	0.81	0.43	0.42	0.66
MnO	0.06	0.07	0.08	0.12	0.06	0.04	0.04	0.04
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.07	0.09	0.05	0.06	0.04
Ig. loss	0.42	0.65	1.29	2.17	5.05	6.64	7.07	0
total	99.72	99.63	99.69	99.65	100.01	99.84	99.82	99.64
Rb(ppm)	495.8	559	534.4	310.6	393.2	-	-	-
Sr	26.4	25.8	27.7	138.2	129.9	-	-	-
Th	42	38.7	43.6	26	25.4	-	-	-
U	9.02	12.8	14.2	2.07	7.85	-	-	-
Ta	10.8	12.2	14.9	-	-	-	-	-
Zr	224.4	179.5	177.7	-	-	-	-	-
Nb	36	46.5	58.4	17.7	18.3	-	-	-
Ba	57.6	101.2	80.4	593.5	865	-	-	-
Sc	11.8	10.8	11.5	32.1	13.8	7.02	7.2	-
Y	61.6	95.4	114.3	68.4	30.7	15	17.4	26.4
La	31.1	28.4	32.6	78.6	74.8	30.4	30.8	44.2
Ce	64.8	59.7	70	138.9	132.9	59.8	59.7	81.4
Pr	7.99	7.79	8.75	16.2	15.4	6.92	7.04	9.65
Nd	30	30.1	34.5	62.5	59.1	2.45	25.1	3.42
Sm	7.61	8.76	10.2	11.3	10.3	4.85	5.05	6.63
Eu	0.176	0.194	0.232	1.5	1.62	0.96	0.98	1.26
Gd	6.79	8.38	9.95	10.3	8.74	7.91	4.95	10.1
Tb	1.38	1.92	2.29	1.5	1.08	0.64	0.82	0.94
Dy	8.86	13.1	15.5	9.99	5.51	0.33	3.9	4.95
Ho	1.89	2.94	3.51	2.38	1.1	0.62	0.79	0.99
Er	5.49	8.79	10.3	6.91	3	1.85	2.3	2.89
Tm	0.93	1.47	1.77	1.05	0.43	0.31	0.41	0.44
Yb	5.97	9.26	11.2	6.88	2.84	2.32	3.12	3.02
Lu	0.89	1.36	1.7	0.98	0.43	0.34	0.48	0.45
ΣREE	173.9	182.2	212.5	349.0	317.3	119.7	145.4	170.3
(La/Sm) _N	0.60	0.48	0.47	1.03	1.07	0.92	0.90	0.98
(Gd/Lu) _N	0.70	0.56	0.54	0.96	1.86	2.13	0.94	2.05
(La/Yb) _N	0.38	0.23	0.21	0.84	1.94	0.97	0.73	1.08
Eu/Eu* ¹⁾	0.11	0.11	0.11	0.65	0.80	0.68	0.91	0.69

¹⁾Eu/Eu* is defined as the ratio of observed Eu abundance to that which would fall on the Sm-Gd join in PAAS-normalized REE patterns.

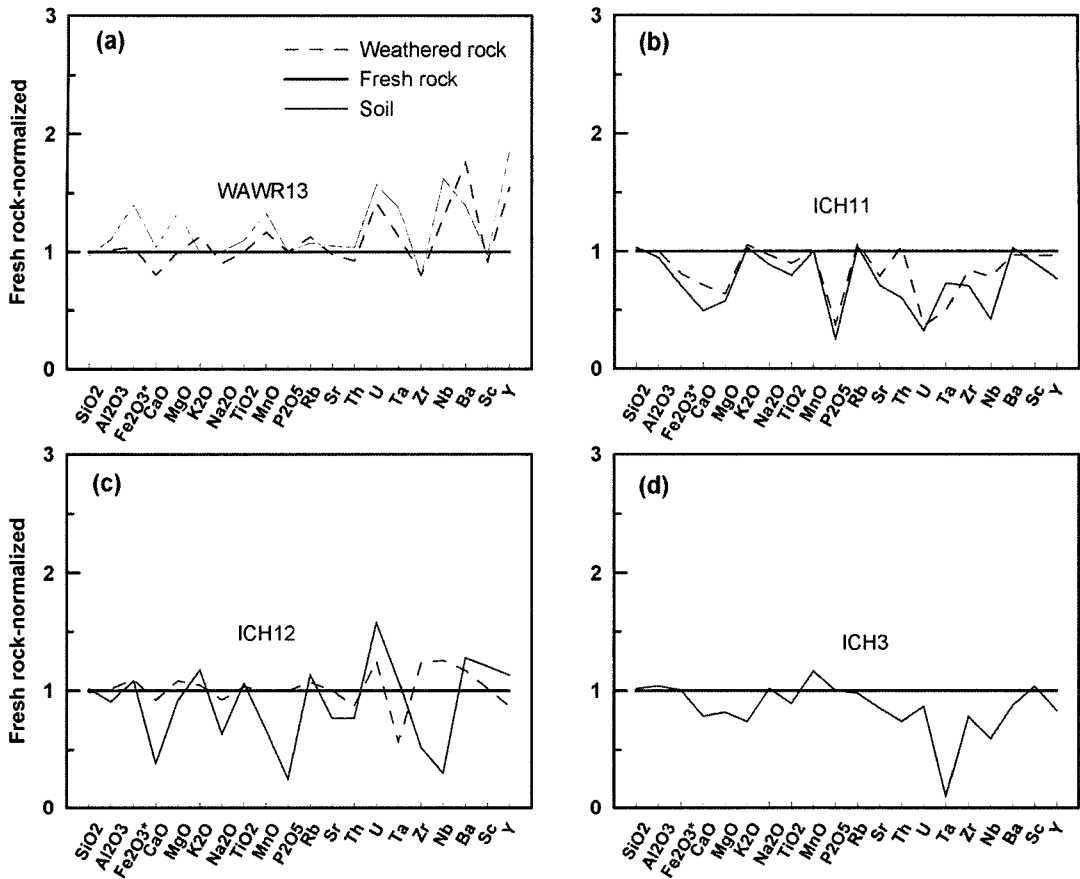


Fig. 1. Compositional variation diagram of major and some trace elements in the weathered rock and weathered soil against the fresh granite rock. The samples ICH3, ICH11, ICH12 were selected from the data of Lee *et al.* (2008).

원소의 실험방법은 김건한과 음철현(2004)에 기재되어 있다.

연구결과

이번 연구에 사용된 화강암 및 편마암 암석시료, 풍화암석 및 토양 그리고 도자기에 사용된 점토질 토양과 토기 및 도자기에 대한 주성분 및 희토류원소와 기타 미량원소의 함량은 Table 1에 기재되어 있다. 주성분을 보면, 화강암(WAWR13)의 경우, 암석-풍화암-토양으로 가면서 SiO₂는 감소하고 Al₂O₃, Fe₂O₃ 등은 증가하는 경향을 보이지만, 그 변화가 분석오차(3%)내에 포함되므로 특별한 의미를 부여하는 것은 무리라고 판단된다. 점토-토기-도자기의 주성분을 분석결과를 보면, 암석-풍화암-토양에 비해 SiO₂, Al₂O₃, CaO의 변화

가 비교적 현저하다. 희토류원소를 포함한 미량원소 함량 또한 암석-풍화암-토양에 비해 점토-토기-도자기의 경우가 현저하게 변화하고 있다. Fig. 1에서 4는 금번 연구에 사용된 각각의 화강암(WAWR13)과 편마암(IWGn) 및 기존 발표자료(ICH7, ICH11, ICH12; Lee *et al.*, 2008)에서의 신선한 암석과 풍화암 그리고 이들로부터 생성된 토양에서의 화학조성에 대해, 각각의 신선한 암석의 화학조성을 기준으로 하여 규격화한 값을 도면화 한 것이다. Fig. 1과 Fig. 3의 도면을 보면, 화강암과 편마암 양 시료에서의 풍화도에 따른 풍화암과 토양에서의 성분변화가 주성분 및 일부 미량성분의 경우 규칙성이 없음을 알 수가 있다. 반면에 Fig. 2와 4의 희토류원소 분포도를 보면, 주성분 혹은 미량성분에 비해 희토류원소(La-Lu)는 비교적 일정한 규칙성을 가지고 변화하고 있다.

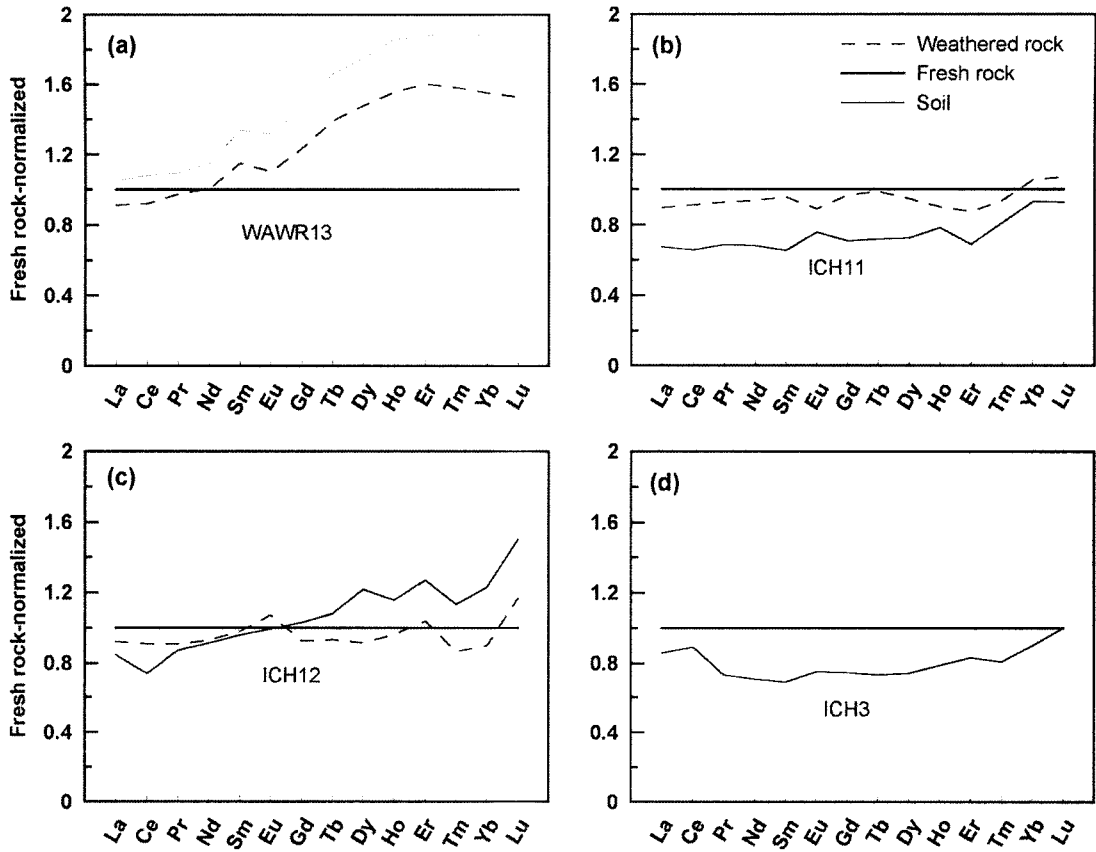


Fig. 2. Compositional variation diagram of rare earth elements in the weathered rock and weathered soil against the fresh granite rock. The samples ICH3, ICH11, ICH12 were selected from the data of Lee *et al.* (2008).

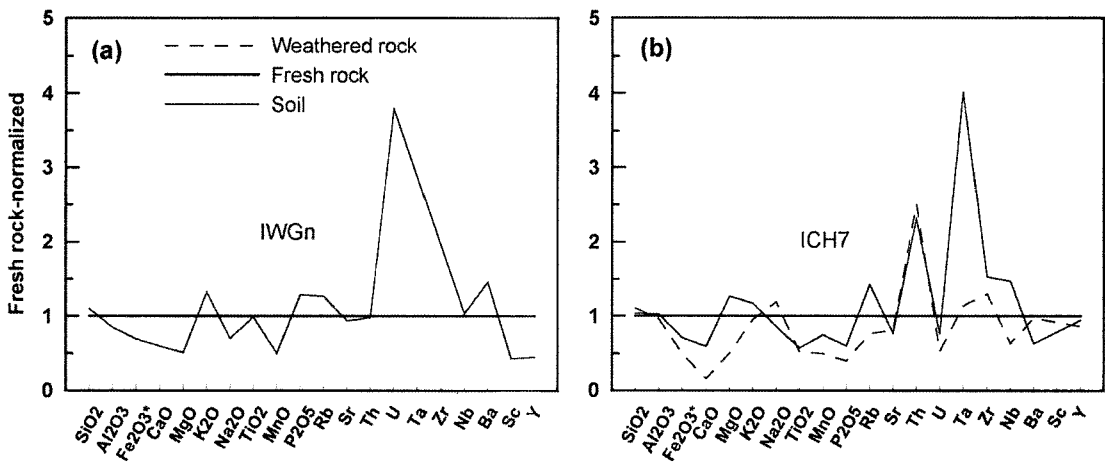


Fig. 3. Compositional variation diagram of major and some trace elements in the weathered rock and soil against the fresh gneiss. The samples ICH7 was selected from the data of Lee *et al.* (2008).

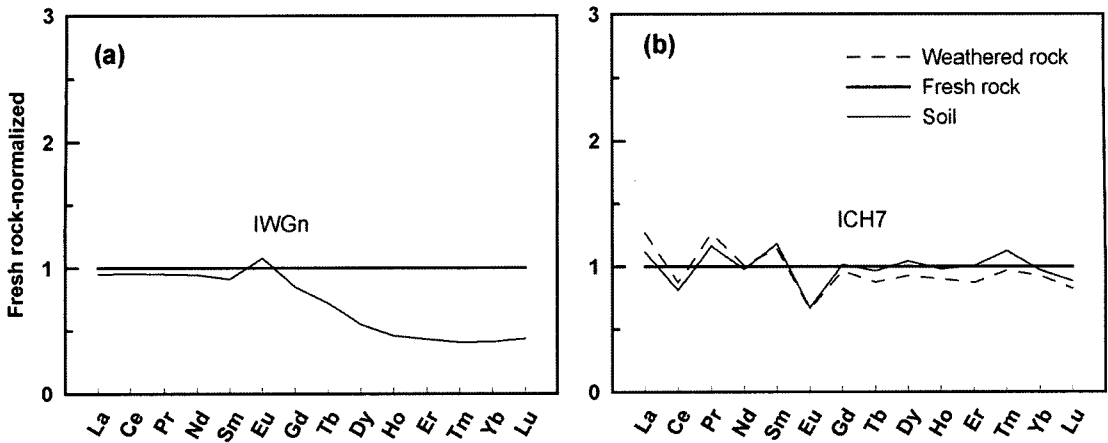


Fig. 4. Compositional variation diagram of rare earth elements in the weathered rock and soil against the fresh gneiss. The samples ICH7 was selected from the data of Lee *et al.* (2008).

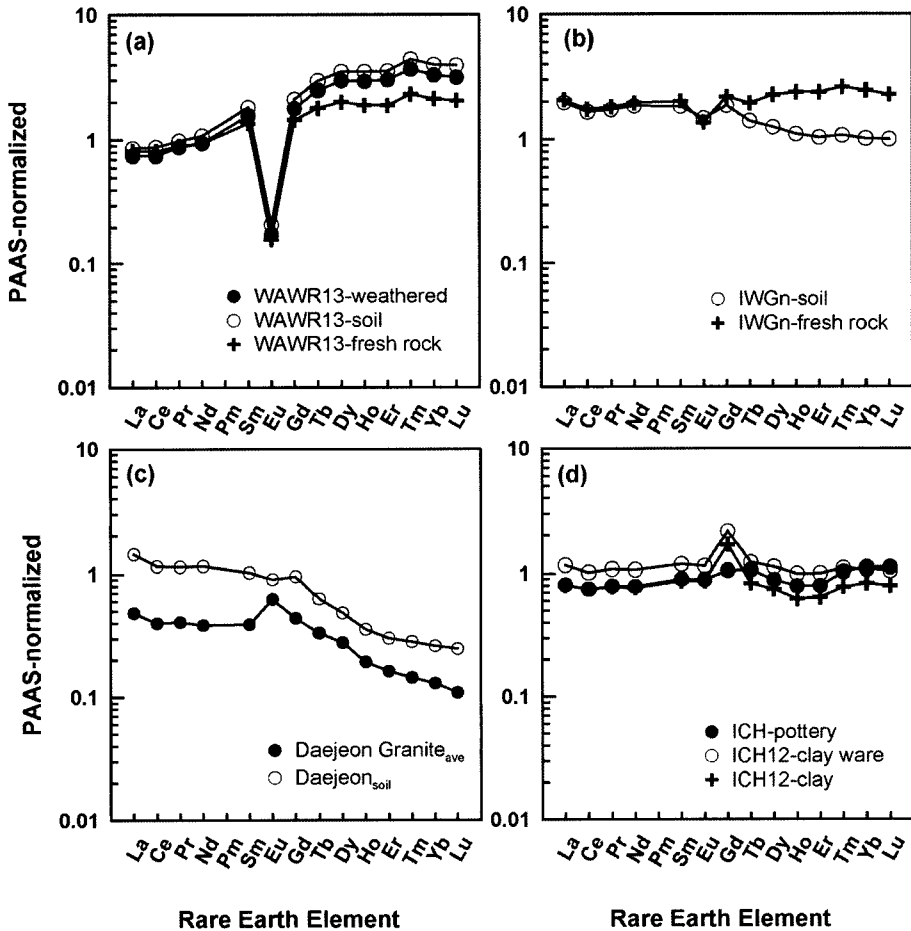


Fig. 5. PAAS (Taylor and McLennan, 1985) normalized REE patterns of the granite, gneiss, soil and pottery. ICH 3 in (c) was cited from Lee *et al.* (2008).

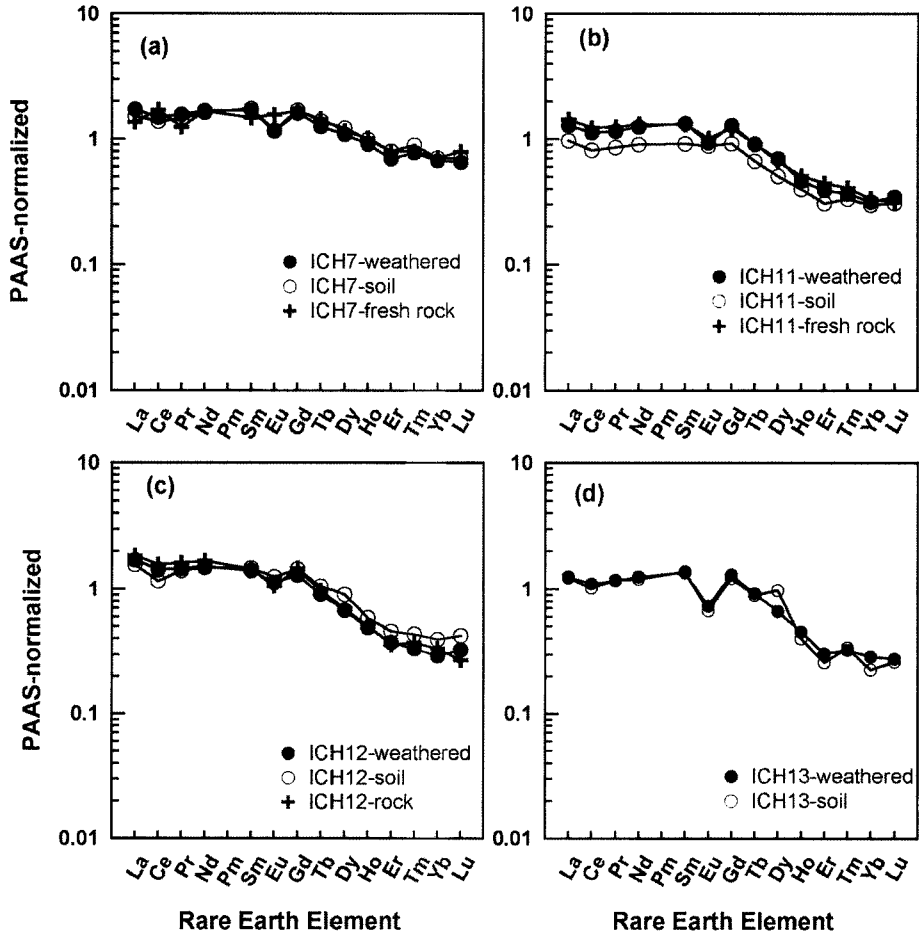


Fig. 6. PAAS (Taylor and McLennan, 1985) normalized REE patterns of the gneiss, granite and their weathering products. All data were cited from Lee *et al.* (2008).

토 의

Fig. 1에서 4는 암석이 풍화암-토양과 같이 지표에서의 풍화과정을 거쳐가면서 일어나는 화학조성상의 변화를 잘 보여준다. 절대농도비 즉 함량비만으로는 볼 때, 비록 풍화암과 토양은 서로 간에 유사한 분포도를 보여주면서도 기원물질인 원암과는 매우 다른 분포도를 갖는다. 이는 풍화가 진행되면서, 각각의 화학조성비가 이미 크게 변화하였음을 시사해주는 것이다. 그럼에도 불구하고 Fig. 2와 4는, 풍화된 암석과 토양의 주성분 혹은 희토류원소 이외의 미량성분들은 불규칙하게 증가하거나 감소하는 경향을 갖는 반면에, 희토류원소는 비교적 동일한 경향을 가지고 증가 혹은 감소하는 경향을 갖고 있음을 잘 보여준다.

서언에서 언급한 바와 같이, 최근 희토류원소 지구

화학의 응용은 전통적인 암석지구화학적 혹은 수리지구화학적 연구영역뿐만 아니라, 황사와 같은 풍성 퇴적물의 근원지 규명과 같은 지표환경변화과정, 토양과 곡물사이의 원소분화 혹은 비료가 토양에 미치는 영향 등과 같은 농학적 활용도구, 활성단층지역에서의 과거의 지진기록을 추적하는 지시자로서도 활용되고 있다 (권영인 외, 2004a, 2004b;; Minarik *et al.*, 1998; Aubert *et al.*, 2001; Otero *et al.*, 2005; Ding *et al.*, 2006; Kimoto *et al.*, 2006; Song *et al.*, 2006; Benson *et al.*, 2008; Carcaillet *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2008). 이는 희토류원소가 기타 다른 원소들에 비해 비교적 일정한 규칙을 가지고 변하기 때문이다.

Fig. 5은 이 연구를 위하여 채취된 화강암, 편마암 및 도기류에 대해 PAAS(Post Archean Australian

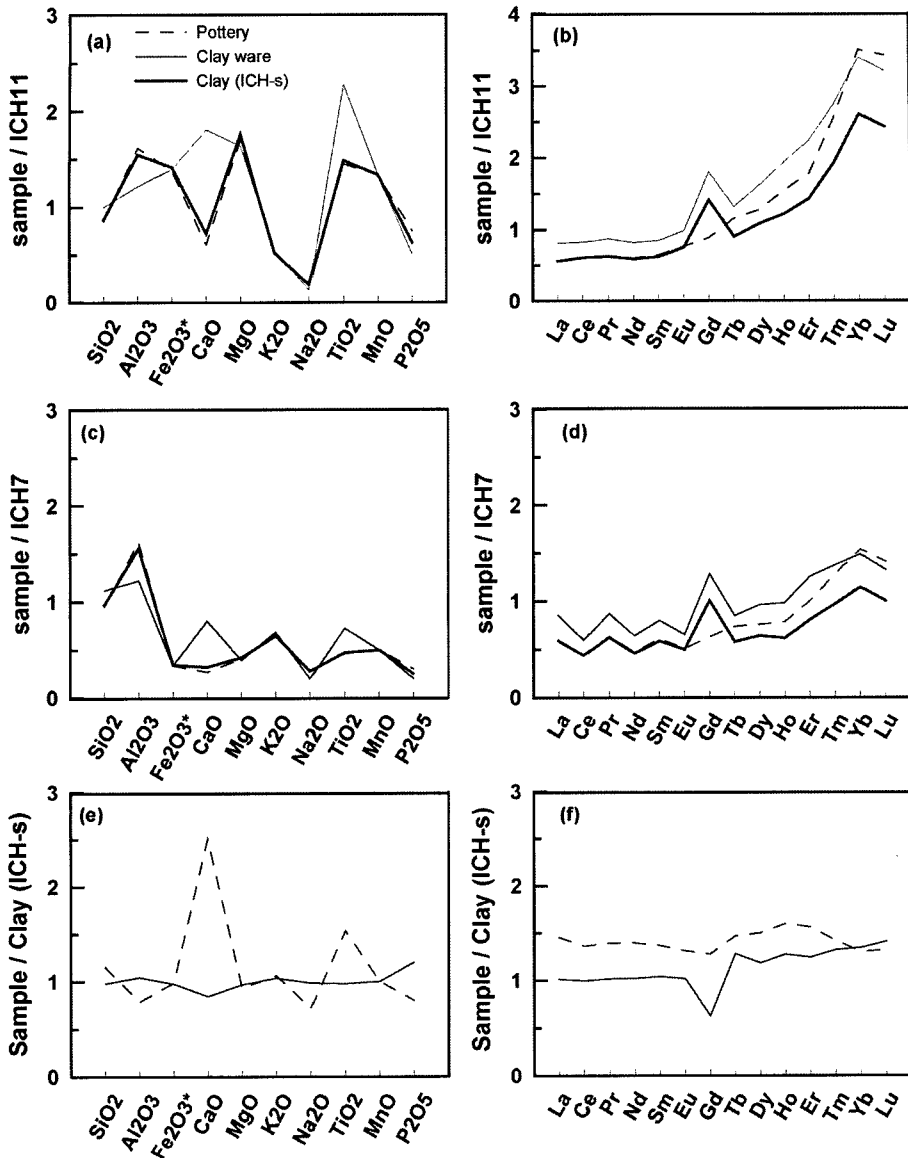


Fig. 7. Compositional variation diagram of chemical composition in the clay, clay ware and pottery against granite (ICH11) and gneiss (ICH7). (a)-(d) were drawn under assumption that the clay soil was derived from the granitic rock such as ICH11 or the gneiss rock such as ICH7.

Shale, Taylor and McLennan, 1985)로 규격화한 희토류원소 분포도이다. Fig. 5a에서 5c는 화강암과 편마암에서의 희토류 원소 분포도로서, Fig. 5a는 암석이 형태상으로는 현저하게 바뀌었음에도 불구하고, 암석 고유의 희토류원소 분포도를 유지하고 있음을 잘 보여준다. Fig. 5c의 대전 지질자원연구원 주변 토양 및 암석의 평균치에 대한 희토류원소 분포도 또한 Eu의 이상

을 제외하면, 전반적으로 유사한 분포도 양상을 보여주는 것으로 해석할 수가 있다. Fig. 5b의 편마암의 경우 신선한 부분과 토양에서의 중희토류(Gd-Lu)의 분포도가 약간의 변형이 발생되어졌다. 이는 기원암의 차이에 의한 것이라기보다는 암석 혹은 토양분쇄시료 중 토양과 암석시료내에서의 저어콘의 존재여부에 의한 차이로 해석할 수가 있다.

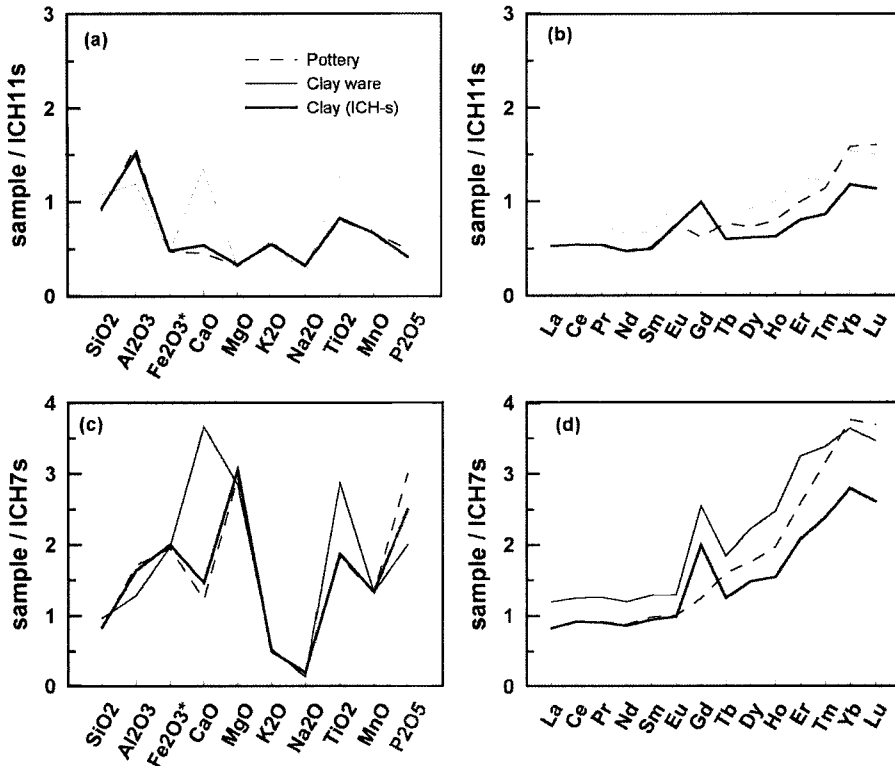


Fig. 8. Compositional variation diagram of chemical composition in the clay, clay ware and pottery against soil derived from granite (ICH11) and gneiss (ICH7), respectively.

Fig. 5d는 토기와 도자기 그리고 이를 구운 점토질 토양에 대한 희토류 원소 분포도이다. Fig. 5d를 보면 Fig. 5c와 마찬가지로 Eu의 이상을 제외하면 토양, 토기, 도자기 모두 매우 유사한 분포도 양상을 보여준다. Fig. 6은 경기도 이천지역에 분포하는 화강암류에 대해서 PAAS(Post Archean Australian Shale, Taylor and McLennan, 1985)로 규격화한 희토류원소 분포도이다(Lee *et al.*, 2008). Fig. 6을 보면 풍화의 진행도에 관계없이 희토류원소의 분포도가 거의 유사하게 나타난다. 이와 같은 특성을 토대로 Lee *et al.*(2008)은 경기도 이천지역의 남한강지류에서 채취된 하상퇴적물의 근원암을 추적하였다. Fig. 5와 6의 희토류원소 분포도를 보면, 동일기원 물질의 경우, 시료의 내외적인 변형 혹은 화학적인 변화에 관계없이 희토류 원소 분포도가 일정성을 유지하고 있음을 알 수 있다. 이는 희토류원소의 분포도 즉 지구화학적 특성이 퇴적물의 근원암 혹은 도자기의 원료산지 즉 기원암을 추적하는데 유용할 수 있음을 시사해주는 것이라 볼 수 있다.

Fig. 7과 8은 도자기 제조에 실제로 사용된 점토, 토

기 및 도자기에서의 주성분 조성과 희토류원소 조성을 토대로 토기 혹은 도자기의 근원물질을 추적해 갈 수 있는지를 검토하기 위한 도면이다. 금번 연구에 사용된 도자기의 생산지는 경기도 이천지역이다. 따라서, 토기, 도자기 그리고 이들을 구운 점토토양이 이천지역에 분포하는 암석들로부터 유래되었을 것이라는 가정 하에 이천지역의 대표적인 화강암(ICH11)과 편마암 시료(ICH7)을 각각 기준으로 설정한 후 규격화하여 Fig. 7 및 8과 같이 도시하였다. 이중 Fig. 7e와 f는 토기와 자기의 원료로 사용된 점토질 토양을 기준으로 하여 각각의 주성분 및 희토류원소에 대해 규격화한 도면이다. Fig. 7과 8을 보면, 주성분의 경우 화강암 혹은 편마암 어느 암상을 기준으로 한 것인지에 관계없이 각각의 원소에 따라 매우 불규칙한 변화를 보여준다. 이는 토기와 도자기를 구운 원료인 점토를 기준으로 하여 규격화한 Fig. 7e에서도 동일하게 나타난다. 이는 주성분 화학조성으로는 토기 혹은 도자기의 제조물질 즉 토양을 추적하는 것이 어렵다는 것을 시사해준다고 볼 수 있다.

반면에 희토류원소 분포도는 Eu의 이상의 존재여부를 제외하면, Fig. 7b, 7d, 7f 및 8b, 8d와 같이 비교적 일정한 규칙성이 있음을 잘 나타내주고 있다. 특히 유약을 바르기 전인 토기(얇은 실선)와 이를 만든 점토(굵은 실선)는 매우 유사한 분포도 양상을 갖는다. 그리고 화강암내 희토류원소 함량으로 규격화한 Fig. 7b와 편마암내 희토류원소 분포도로 규격화한 Fig. 7d를 비교해 볼 때, 화강암으로 규격화한 Fig. 7b의 경우가 편마암내 희토류원소 분포도로 규격화한 Fig. 7d에 비해 보다 더 유연한 분포도를 보여준다. 특히 토양시료로 규격화한 Fig. 8b를 보면 전체적인 희토류 원소 분포도에 있어서 Fig. 8d보다 편평한 양상을 보여준다. 이는 희토류원소가 거의 유사하면서 일정한 원자 반경 변화 및 동일한 물리화학적 특성을 갖고 있다는 점을 고려하면, 급변 연구에 사용된 점토의 기원물질은 화강암일 가능성이 크다고 본다. 그러나 실제로 도자기의 원료로 쓰인 점토의 기원물질이 화강암인지 혹은 편마암인지 아니면 두 암상의 혼합물인지에 대한 결론은 Nd, Pb 동위원소비와 같은 방사성 동위원소비의 지구화학적 연구기법을 함께 적용할 경우 보다 더 객관적이고 타당성 있게 유추해 낼 수 있을 것이다.

결 론

맨틀의 분화과정 혹은 지각과 이를 구성하는 암석들의 분화과정을 설명하는 데 주로 사용되어온 희토류원소의 분포도 특성을 지표지질물질의 지구화학적 풍화 과정에 따른 퇴적물의 근원암 규명 혹은 도자기의 원재료 즉 토양생성지를 밝혀내는 고고학적 응용에 활용할 수 있는 근거를 마련하고자 하였다. 연구방법으로는 화강암과 편마암 시료의 풍화과정에 따른 풍화암과 토양에서의 주성분 변화와 희토류원소를 포함하는 미량원소 조성변화를 살펴보았다. 연구결과, 풍화가 전혀 진행되지 않은 신선한 암석의 화학조성은 풍화가 진행되면서 현저하게 변하고 있음을 확인할 수가 있었다. 반면에 희토류원소 분포도는 풍화의 진행도와 관계없이 비교적 일정한 양상을 갖고 있으며, 특히 도자기를 굽는데 사용된 점토 토양과 완성된 토기 및 도자기의 희토류원소 분포도 양상이 Eu의 이상의 크기를 제외하면 거의 일정하였다. 이는 희토류원소 지구화학의 연구기법이 지구과학 뿐만 아니라, 고고학의 연구영역에서도 매우 유용하게 활용되어 질 수 있음을 지시해주는 것이다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구의 기관고유연구사업인 “행성지질시범연구:지구형행성의 분화과정과 표면원격탐사연구(08-3611)” 및 자체연구개발사업인 “지구화학/우주화학/지구환경변화연구를 위한 최신 다중 동위원소질량분석기 구축 기획연구(07-7516)”의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사를 드린다. 그리고, 이 논문의 초고를 읽고 세심하면서도 건설적인 비평을 해주신 부경대학교의 박계현 교수님과 한국지질자원연구원의 이승렬 박사께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- 권영인, 이승구, 유강민, 신재봉, 김건한, 2004a. 지화학 특성으로 살펴본 풍성퇴적물의 근원지와 특징: 중국 오도스 및 알라산 사막 표층시료의 경우. *지질학회지*. 40/2, 119-132.
- 권영인, 이승구, 김건한, 신재봉, 유강민, 2004b. 중국 타클라마칸 사막 중동부 지역 표층시료의 지화학 특성. *지질학회지*. 40/4, 383-393.
- 김건한, 음철현, 2004. 유도결합 플라즈마 질량분광법에 (ICP-MS)에 의한 암석표준물질 중의 Lanthanides, Y, Th, U 분석. *한국지질자원연구원 논문집*, 8, 43-53.
- 김주용, 이현동, 양동윤, 2002. 남한의 구석기 유적의 제4기 지층, 형성환경 및 형성시기연구. *한국구석기학보*, 6, 164-180.
- 김주용, 최승엽, 양동윤, 오근창, 김진관, 2007. 동해안 망상동 기곡 구석기 유적의 제4기 지질연구. *한국구석기학보*, 16, 1-22.
- 송석환, 민일식, 유선균, 2006. 금산인삼과 토양의 희토류원소 함량관계. *고려인삼학회지* 30, 31-40.
- 양동윤, 김주용, 한창균, 이승구, 2001. 자연과학적 방법을 통한 앙덕리 토기의 원료산지분석. *고문화* 58, 3-24.
- 이승구, 염승준, 2008. 대전지역 황사(아시아 먼지)내 희토류원소 분포도의 지구화학적 특성-근원지 규명을 위한 초기연구. *암석학회지*, 17, 44-50.
- Aubert, D., Stille, P., Probst, A., 2001. REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotope evidence. *Geochim. Cosmochim. Acta* 65, 387-406.
- Benson, L.V., Taylor, H.E., Peterson, K.A., Shatuck, B.D., Ramotini, C.A., Stein, J.R., 2008. Development and evaluation of geochemical methods for the sourcing of archaeological maize. *J. Archaeol. Sci.* 35, 912-921.
- Carcaillet, J., Manighetti, I., Chauvel, C., Schlagenhauf, A., Nicole, J.-M., 2008. Identifying past earthquakes on an active normal fault (Magnola, Italy) from the chemical

- analysis of tita exhumed carbonate fault plane. *Earth Planet. Sci. Lett.* 271, 145-158.
- Dia, A., Gruau, G., Olivie-Lauquet, G., Riou, C., Molenat J. and Curmi, P., 2000. The distribution of rare earth elements in groundwaters: Assessing the role of source-rock composition, redox changes and colloidal particles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 4131-4151.
- Ding, S-M., Liang, T., Zhang, C-S., Wang, L-J., Sun, Q. 2006. Accumulation and Fractionation of Rare Earth Elements un a Soil-Wheat System. *Pedosphere* 16, 82-90.
- Johannesson, K.H., Stetzenbach, K.J. and Hodge, V.F., 1997. Rare earth elements as geochemical tracers of regional groundwater mixing. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 3605-3618.
- Kimoto, A., Nearing, M.A., Zhang, X.C. Powell, D.M., 2006. Applicability of rare earth element oxides as a sediment tracer for coarse-textured soils. *Catena* 2006, 214-221.
- Lee, S-G., Kim, J-K., Yang, D-Y., Kim, J-Y., 2008. Rare earth element geochemistry and Nd isotope composition of stream sediments, south Han River drainage basin, Korea. *Quat. Inter.* 176-177, 121-134.
- Liang, T., Ding, S., Song, W., Chong, Z., Zhang, C., Li, H., 2008. A review of fractionation of rare earth elements in plants. *J. Rare Earth* 26, 7-15.
- Lipin, B.R. and McKay, G.A., 1989. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. The Mineralogical Society of America, 348 p.
- Masuda, A., Nakamura, N. and Tanaka, T., 1973. Fine Structure of mutually normalized rare-earth patterns of chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 239-248.
- Merten, D., Geletneky, J., Bergmann, H., Haferburg, G., Kothe, E., Büchel, G., 2005. Rare earth element patterns: A tool for understanding processes in remediation of acid mine drainage. *Chimie Erde Geochem.* 65, 97-114.
- Minařík L., Žigová., Bendl, J., Skřvan, P., Štátný M., 1998. The behaviour of rare-earth elements and Y during the rock weathering and soil formation in the Říčaný granite massif, Central Bohemia. *Sci. Tot. Environ.* 215, 101-111.
- Monecke, T., Dulski, P. and Kempe, U., 2007. Origin of convex tetrads in rare earth element distribution patterns of hydrothermally altered siliceous igneous rocks from the Zinnwald Sn-W deposit, Zermany. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 71, 335-353.
- Otero, N., Vit?ria, L., Spler, A., Canals, A., 2005. Fertiliser characterization: Major, trace and rare earth elements. *Appl. Geochem.* 20, 1473-1488.
- Song, Z., Liu, C., Gulin, H., Wang, Z., Zhu, Z., Yang, C., 2006. Enrichment and Release of Rare Earth Elements during Weathering of Sedimentary Rocks in Wujiang Catchments, Southwest China. *J. Rare Earth*. 24, 491-496.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985. *The continental crust: Its composition and evolution*. Geoscience Texts, Blackwell, Oxford, 312 p.

2008년 7월 10일 접수

2008년 7월 12일 심사개시

2008년 8월 22일 채택