

## 황토고원 표층 시료의 원소분포 특성

윤윤열\* · 권영인 · 조수영 · 이길용

한국지질자원연구원

(2007. 9. 27. 접수. 2007. 10. 23. 승인)

### Element distribution of the surface sediments from the loess plateau in China

Yoon Yeol Yoon\*, Young Ihn Kwon, Soo Young Cho and Kil Yong Lee

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), 30 Gajung-dong,

Yusung-gu, Daejeon 305-350 Korea

(Received September 27, 2007; Accepted October 23, 2007)

**요 약:** 중국 황토고원 표층 시료에 대한 원소분포를 조사하였다. 10개 지역의 시료에 대한 주성분의 함량변화는 거의 없으나 3번 시료는 타지역에서 채취한 시료에 비해 Si 및 Fe, P, Na, Ti의 함량이 낮고 Ca, Mg, LOI의 함량이 높으며 미량원소도 Ba, Cr, Nb, Pb, Rb, Zr, V의 함량이 낮게 나타났다. 대륙지각 상부 원소함량 UCC(Upper Continental Crust)과 비교한 결과 대부분의 원소들이 0.5-1.5×UCC 범위 이내 였으나 Ca은 함량이 높게 나타났다. 희토류원소 분석결과 콘드라이트 표준화 시킨 희토류원소의 분포는 모든시료에서 경희토류가 중희토류에 비해 부화되었고 Eu은 부(-)의 이상을 나타내어 황토고원의 표층 시료는 유사한 지역으로부터 유입되었고 풍화작용에 크게 영향을 받지 않았음을 알 수 있었다.

**Abstract:** The chemical composition distribution of the surface samples collected from the loess plateau in China were estimated. Major elements concentration distribution difference between 10 different sampling site were not found except sample 3. This sample had higher contents of Ca, Mg, LOI and lower contents of Si, Fe, P, Na, Ti. And also, minor element contents such as Ba, Cr, Nb, Pb, Rb, Zr, V were lower than other samples. UCC-normalized abundances of the most elements were within 0.5-1.5×UCC and Cr showed enrichment aspect. Rare-earth element (REE) analysis results showed light REE enriched pattern compared to heavy REE with negative Eu anomaly in condrite-normalized REE pattern.

**Key words:** Loess Plateau, element distribution

### 1. 서 론

최근 중국의 산업 발달로 인해 사막화가 가속화

되며 과거에 비해 황사의 빈도와 양이 증가하고 있다. 중국에서 발생한 황사는 편서풍의 영향으로 우리나라는 물론 태평양 건너 미국에서도 관찰된 경

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)42-868-3654 Fax : +82-(0)42-868-3393

E-mail : yyyoon@kigam.re.kr

우도 있다. 이러한 황사는 다량의 유해원소를 함유하는 경우가 있어 국민보건 차원에서 발원지부터 유해원소 및 중금속 함량에 대한 정보를 확보해야만 한다.

우리나라에 영향을 미치는 황사는 중국과 몽골의 경계에 걸친 드넓은 건조 지역과 그 주변에 있는 반건조지역으로 1990년대까지만 해도 황하 상류와 중류 지역에서 발원한 황사가 우리나라에 주로 영향을 주었으나, 최근에는 이 지역보다 훨씬 동쪽에 위치한 내몽골고원에서도 황사가 발원하여 우리나라에 큰 영향을 주고 있다.<sup>1</sup> 중국에서 발생하는 황사는 대체로 타클라마칸(Taklimakan)사막과 고비사막, 황하강 유역의 황토고원 등에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 발원지에서는 안개처럼 뿌연 황사가 아니라 무시무시한 모래폭풍이 일어난다. 발원지에서 배출되는 먼지량을 100%이라 할 때 보통 30%가 발원지에 재침전되고, 20%는 주변지역으로 수송되며, 50%는 장거리까지 수송돼 한국, 일본, 태평양 등에 침전된다. 우리나라 황사현상의 발원지중 하나인 황토고원은 중국의 황하 중류에 걸쳐 넓게 분포된 황토지구를 가리키는 황토층으로 덮여 있는 중국 북부의 고원을 말한다. 면적 약 40만 km<sup>2</sup>. 톈링산맥·웨이허평원 북쪽, 만리장성 남쪽, 타이항산맥 서쪽, 우차오링·타오허강 동쪽에 해당하고 간쑤성의 중부·동부, 닝샤후이족 자치구 남동부, 산시성 북반부, 산시성 전역, 허난성 서부의 광대한 지역을 포함한다. 평균해발고도 800~2000 m이며 해발고도 2500 m의 산도 있다. 황토는 계절풍에 의해 운반된 미세한 모래가 쌓인 것이며 오성황토·이석황토·마란황토의 3층으로 구분되며 그 두께는 보통 50~80 m이나 간쑤성 동부에서 산시성 북부에는 150 m나 되는 곳도 있다.<sup>2,4</sup>

황사의 경우 국내에서 대기 시료를 채취하여 유해원소 및 미량원소를 연구한 경우는 많으나<sup>5-11</sup> 발원지인 사막시료에 대한 연구는 극히 미미한 실정이다. 근래 황사 발원지중 타클라마칸과<sup>12</sup> 오도스 및 알라산 사막 표층시료의 지화학 특성에 관한 연구가<sup>13</sup> 발표되었으나 우리나라에 가장 큰 영향을 끼치는 황토고원의 독성 및 미량원소 분포에 대한 연구 결과는 거의 없는 실정이다. 이번 연구는 근래 우리나라에 가장 영향을 끼치는 황사의 근원지인 황토고원의 중남부 지역의 표층시료를 채취한 후 원소들을 분석하여 타 지역의 사막 표층 퇴적물과의 구분할 수 있는 근거자료를 확보하고 황사 발생 근원지의 미량 및 유해원소의 분포 특성을 알고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료준비

시료를 채취한 황토고원의 위치는 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 황토고원 중심남부 10개 지역에서 채취한 표층시료는 토양에 함유된 수분을 제거하기 위해 전기로에서 105°C로 24 시간 건조시켰다. 건조된 시료는 수분함량을 알기 위해 다시 무게를 측정된 후 원소분석을 위해 알루미늄분쇄기로 분말로 만든 후 습도변화가 없는 데시케이터안에 보관하였다. 시료중 주원소는 XRF (Shimadzu, MXF-2300)를 사용하여 분석하였으며, 미량원소들은 ICP/AES (GBC SDS-270)와 중성자방사화분석을, 희토류 원소는 ICP/MS (Perkin Elmer DRC-II)를 이용하여 분석하였다.

### 2.2. 중성자조사

준비된 시료 약 200 mg을 중성자조사용 PE vial에 넣고 밀봉한 후 절대분석에서 함량계산을 위해 필요한 중성자선속 측정용 monitor인 Au (Au/Al alloy wire : 0.1274 % of gold, R/X, USA)와 Co (Co/Al alloy

Table 1. Location of Loess Plateau desert sampling site

Sample No.	Latitude	Longitude	Height(m)
S1	N34° 29' 28"	E109° 28' 46"	377.5
S2	N34° 29' 46"	E109° 33' 11"	405.8
S3	N35° 6' 56"	E109° 6' 8"	924.4
S4	N35° 39' 19"	E109° 21' 22"	953.3
S5	N35° 53' 34"	E107° 58' 18"	1027.8
S6	N35° 20' 42"	E108° 1' 38"	1157.1
S7	N35° 19' 6"	E108° 12' 47"	1034.5
S8	N35° 19' 6"	E108° 12' 47"	1034.5
S9	N34° 33' 25"	E108° 14' 4"	748.5
S10	N34° 24' 32"	E109° 14' 59"	415.4

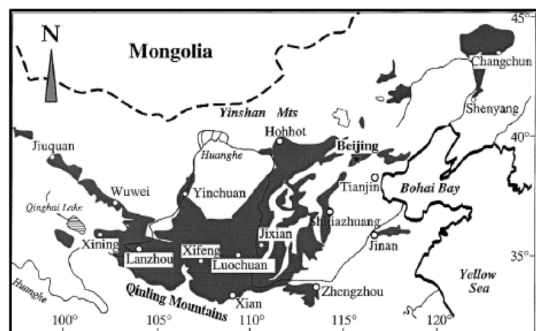


Fig. 1. Location map of the Loess Plateau in China<sup>15</sup>.

wire : 1 % of cobalt, Degussa, FRG)로서 내부 시료 용기의 측면에 감싸주는 형태로 부착하여 중성자선 속의 차이에 의한 분석 불확도를 최소화하고자 하였다. 준비된 시료 용기는 중성자조사용 PE rabbit 용기에 넣고 또한 분석의 정확도를 측정하기 위해 NIST 2709 퇴적물 표준시료와 함께 원자력 연구소 HANARO PTS 조사공에서 20 분간 중성자 조사시켰다. 조사시 열중성자 선속은  $2.3 \times 10^{14} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  이었다.

### 2.3. 분석조건

주원소분석을 위하여 시료 1 g에 lithium tetraborate 5.5 g을 혼합한 후 전기로에서 용융시켜 glass disc를 만든 다음 XRF를 사용하여 주원소를 분석하였다. 미량원소는 분쇄된 시료 50 mg을 HF/HCl/HNO<sub>3</sub> 혼산을 사용하여 녹인후 최종 산농도는 1 % v/v HNO<sub>3</sub>로 한 후 ICP/AES를 사용하여 Ba, Be, Sr, Co, Cr, Cu, Mo, Nb, Ni, Pb, V, Zn을 분석하였으며, 희토류원소들은 ICP/MS를 사용하여 분석하였다.

Table 2. Major element compositions of Loess Plateau surface samples (wt.%)

Element	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
SiO <sub>2</sub>	60.84	63.01	50.76	62.86	56.47	58.83	61.03	57.67	58.13	61.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.47	11.72	9.95	10.56	10.92	12.15	12.76	13.28	12.14	12.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.20	4.27	3.68	3.88	3.94	4.63	4.68	5.31	4.62	4.72
CaO	7.58	6.52	11.72	7.97	10.60	8.07	6.50	7.39	8.67	6.49
MgO	2.29	2.14	5.09	2.05	2.32	2.46	2.24	2.55	2.29	2.38
K <sub>2</sub> O	2.24	2.36	2.03	2.02	2.23	2.50	2.59	2.82	2.40	2.45
Na <sub>2</sub> O	1.76	1.85	1.28	1.82	1.95	1.67	1.51	1.38	1.55	1.73
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.70	0.56	0.73	0.61	0.66	0.68	0.65	0.65	0.71
MnO	0.08	0.08	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.12	0.08	0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.19	0.12	0.18	0.15	0.18	0.17	0.17	0.16	0.19
LOI	8.44	7.31	15.24	7.99	11.09	9.15	8.01	8.95	9.55	7.64

Table 3. Minor element compositions of Loess Plateau surface samples

(unit : mg/kg)

Element	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
As	12.7	12.5	12.8	14.8	13.3	16	14.3	15.5	16.5	17.3
Ba	337	369	298	282	329	355	357	368	368	367
Be	1.9	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8	1.9	2.1	1.9	1.9
Co	11.7	11.3	10.4	10.3	11.5	13	13.1	14.2	12.6	12.8
Cr	86.5	82.5	68.4	91.9	75.1	84.7	78.9	77.8	86.0	84.6
Cs	7.61	7.04	6.97	5.88	7.52	8.03	7.92	11.0	9.14	7.83
Cu	31	30	30	25	27	27	24	24	20	18
Hf	10.2	10.5	6.97	18.3	9.44	9.03	6.79	4.88	7.14	8.33
Mo	4.5	17	3.9	4.8	5.4	1.6	7.7	4.5	7.2	1.4
Ni	22	21	18	20	20	25	25	27	24	23
Nb	21	17	15	17	16	18	18	18	18	18
Rb	100	110	85.9	98.2	90.4	116	110	123	110	116
Pb	31	34	21	25	25	29	24	30	27	28
Sr	260	226	475	180	240	212	217	232	232	254
Sc	13.2	12.8	10.9	12.1	11.5	13.2	12.9	13.3	13.1	12.7
Sb	2.08	1.84	1.67	2.93	2.06	1.71	1.95	2.53	2.75	2.13
Ta	1.7	2.34	1.57	1.17	1.09	1.46	1.48	1.31	1.35	1.64
Th	14.4	14.2	11	13.7	11.7	13.2	11.8	11.2	13.2	13.1
U	2.75	2.66	2.69	2.59	2.99	2.29	2.12	2.18	2.48	2.77
V	52	57	46	53	54	60	60	69	65	63
Zn	119	119	101	95.2	101	128	138	137	93.2	101
Zr	103	169	66	195	118	113	91	146	88	194

중성자방사화 분석은 조사가 끝난 시료를 3일간 냉각시킨 다음 측정용기로 옮긴 후 HPGe(relative efficiency; 30 %, FWHM; 1.9 keV at 1.33 MeV, EG&G) 반도체 검출기를 사용하여 1000초 동안 중반감기 핵종인  $^{76}\text{As}$ ,  $^{42}\text{K}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{122}\text{Sb}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{239}\text{Np}$ (U)을 측정하고, 20일 냉각 후 5000초 동안 장반감기 핵종인  $^{141}\text{Ce}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{181}\text{Hf}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{46}\text{Sc}$ ,  $^{182}\text{Ta}$ ,  $^{160}\text{Tb}$ ,  $^{233}\text{Pa}$ (Th),  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ 를 측정하였다. 시료에 함유되어 있는 무기 원소들의 함량계산은 분석방해 보정이 포함되어 있는 단일비교체법(SCM-IF)을 사용하였다.

### 3. 결과 및 토의

황토고원 시료에 대한 주성분 및 미량성분 분석 결과는 Table 2와 3 및 Fig. 2와 3에 나타내었다. LOI(loss on ignition)는 7-15 % 내외로 다소 높게 나타나며 CaO의 함량과 매우 밀접한 관계를 나타내었다. 지역에 따른 대부분의 시료에서 성분의 함량차이가 크지 않으나 3번 시료는 타지역에서 채취한 시료에 비

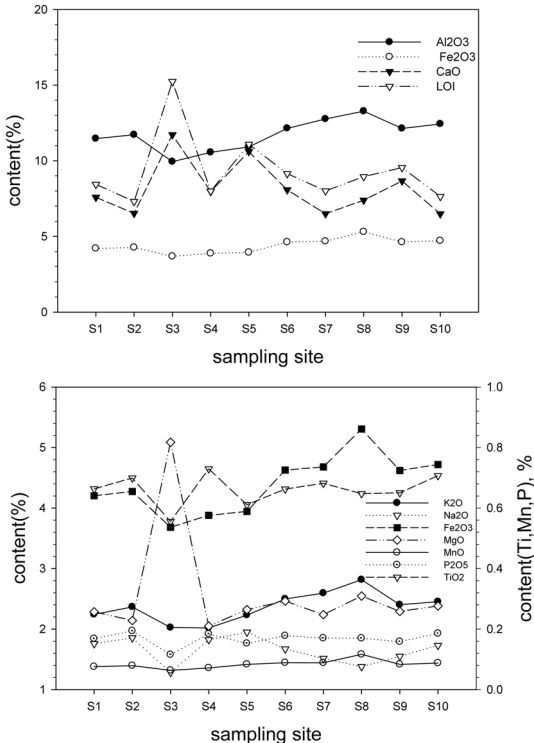


Fig. 2. Major element concentrations of the Loess Plateau samples in China.

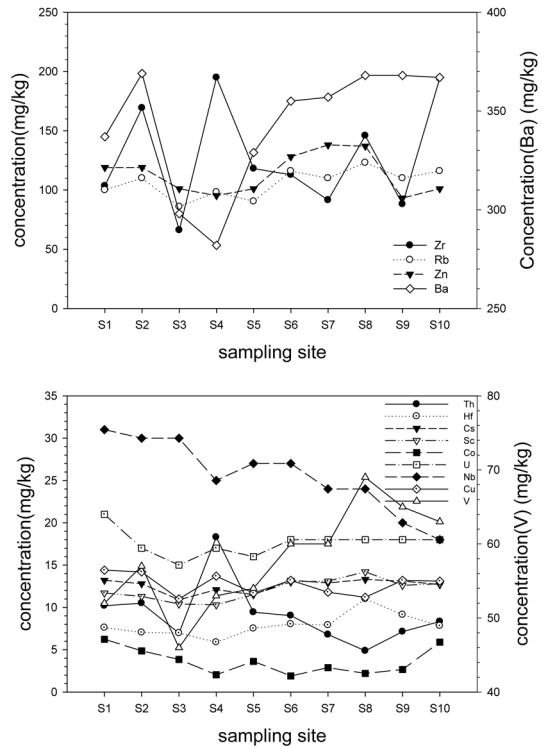


Fig. 3. Minor element concentrations of the Loess Plateau samples in China.

해 Si 및 Fe, P, Na, Ti의 함량이 낮고 Ca, Mg, LOI의 함량이 높게 나타났다. 미량원소 분석결과 대부분 시료 채취 지역에 따른 원소별 함량 차이가 나타나지 않으나 3번 시료의 경우 Ba, Nb, Rb, Zr, V의 함량이 타지역에 비해 낮게 나타나고 있다. 시료 채취 지역에 따라 V의 경우 함량이 증가하는 경향을 나타내며, 반대로 Cu는 감소하는 경향을 나타내었다.

황사 발생시 인체에 영향을 미치는 독성원소의 분석결과를 나타낸 Fig. 4에서 As, Ni, Sb의 경우 지역에 따른 함량변화가 크지 않으나 Cr과 Pb의 경우 주원소와 미량원소 분석결과와 같이 3번 지역에서 채취한 시료에서 가장 낮은 값을 나타내었다.

황토고원의 지표시료가 황사 발생시 이동하여 우리나라에 영향을 미칠 때의 영향을 고려하여 주원소들의 함량을 지표면의 상층 퇴적물 평균 함량(UCC; Upper Continental Crust)을 구한 Talyor<sup>14</sup> 값과 비교한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Nesbitt의<sup>15</sup> 실험에 의하면 지표시료가 풍화되면 U, K, Sr, Na, Mg, Ca등은 쉽게 이동하여 부(-)의 경향을 나타내는 경우가 있다고 한다. 황토고원 시료에 대한 결과에서는 Na, K의

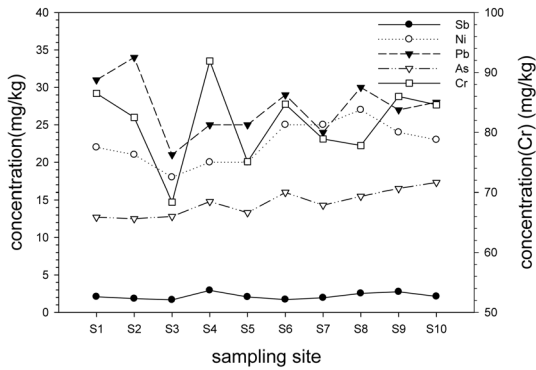


Fig. 4. Toxic element concentrations of the Loess Plateau samples in China.

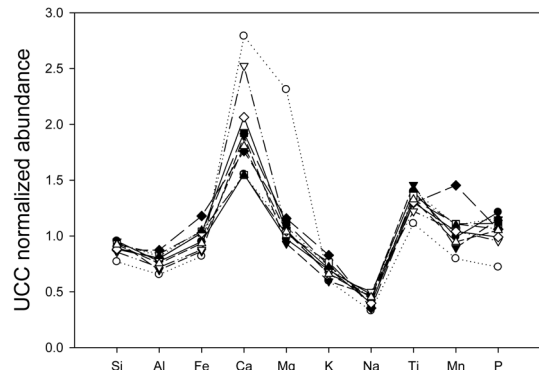


Fig. 5. UCC-normalized spidergram for the Loess Plateau samples in China.

경우 Nesbitt의 실험 결과와 일치하게 부의 경향을 나타내나 Ca의 함량이 높게 나타나는 것은 황토고원에 퇴적되는 시료들이 높은 탄산염을 함유하고 있는 것과 연관이 있다. 이것은 LOI의 결과와 비교하면 잘 일치하고 있다. 그 외 대부분의 원소들은 0.5-1.5×UCC 범위 내에서 존재하여 대부분의 원소들 함량이 지구의 평균 표준함량과 거의 유사함을 알 수 있었다.

희토류 원소는 외적요인에 의한 변성 및 풍화작용의 영향을 덜 받으며 3가의 원자가를 가지며 상호간 물리화학적 성질이 유사하여 지구환경에서 발생된 모든 환경에서 규칙성을 가지고 거동한다. 이러한 성질

을 이용하여 퇴적물의 기원 등을 알 수 있는 지표로 희토류 원소를 이용한다. 황토고원 시료에 대한 희토류 원소분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 또한 희토류 원소의 분포는 Leedey 운석에<sup>16</sup> 존재하는 희토류 원소 함량값과 비교하여 규격화시킨 희토류 원소의 분포도로 비교를 하는데 황토고원의 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 희토류 원소의 분석결과 황토고원에서 채취한 시료에 함유된 총 희토류 양은 지역과 상관없이 거의 비슷한 값을 가지고 경희토류와 중희토류의 비율을 나타내는 (La/Yb)<sub>N</sub> 값은 9.17-10.84의 범위를 나타내었다. 또한 Eu 이상을 나타내는 Eu/Eu\* 값은 0.57-

Table 4. Rare earth element concentrations of Loess Plateau surface samples

(unit : μg/kg)

Element	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Y	28.5	29.2	24.9	31.9	27	28.7	28.3	28.4	28.4	28.9
La	36.7	37.5	29.8	41.7	32.9	35.7	34.3	33	35.1	37.5
Ce	70.2	72.2	56.5	80.4	63.1	68.6	66.1	65.4	66.4	71.2
Pr	8.06	8.37	6.57	9.37	7.35	7.88	7.59	7.4	7.82	8.24
Nd	32.1	33.3	26.4	37.8	29.5	31.8	30.6	30.2	31.5	32.8
Sm	6.36	6.57	5.29	7.41	5.9	6.25	6.06	5.99	6.22	6.54
Eu	1.19	1.24	1.02	1.3	1.12	1.21	1.2	1.13	1.18	1.25
Gd	5.53	5.72	4.7	6.43	5.3	5.67	5.37	5.29	5.46	5.78
Tb	0.76	0.79	0.67	0.89	0.76	0.8	0.76	0.75	0.78	0.82
Dy	4.27	4.35	3.92	4.96	4.35	4.45	4.28	4.28	4.35	4.45
Ho	0.86	0.93	0.79	1.05	0.89	0.94	0.87	0.89	0.9	0.94
Er	2.3	2.46	2.11	2.99	2.34	2.47	2.37	2.38	2.42	2.5
Tm	0.34	0.37	0.31	0.41	0.35	0.38	0.36	0.37	0.37	0.37
Yb	2.23	2.34	1.99	2.62	2.26	2.3	2.24	2.37	2.26	2.44
Lu	0.31	0.34	0.29	0.37	0.31	0.34	0.32	0.33	0.33	0.33
(La/Yb) <sub>N</sub>	10.84	10.56	9.86	10.48	9.59	10.22	10.09	9.17	10.23	10.12
Eu/Eu*	0.60	0.61	0.62	0.57	0.61	0.62	0.64	0.61	0.61	0.61

\*(La/Yb)<sub>N</sub> : condrite-normalized La/Yb ratio

Eu/Eu\* : condrite-normalized Eu anomaly value

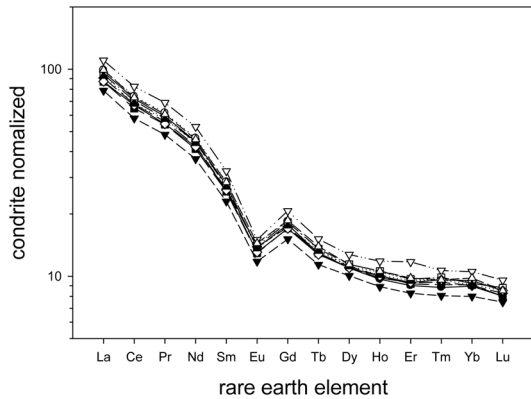


Fig. 6. Chondrite normalized REE distribution patterns for the Loess Plateau samples in China.

0.64로서 지각상부시료의 Eu 이상과 비슷한 값을 나타내었다. 황토고원 표층시료의 희토류원소 분포는 모든시료에서 경희토류가 중희토류에 비해 부화되었고 Eu은 부(-)의 이상을 보여준다. 이러한 희토류원소 분포특성은 비슷한 지역의 loess를 분석한 Jahn의<sup>17</sup> 결과와도 잘 일치하고 있다. 이상의 결과로부터 황토고원의 표층시료는 유사한 지역으로부터 유입된 것으로 여겨진다. 또한 희토류원소는 지표지각의 희토류 원소 분포와 유사하며, 풍화작용에 크게 영향을 받지 않았음을 나타낸다.

#### 4. 결 론

황사의 발원지중 한국인 중국 황토고원의 표층시료를 10개 지역에서 채취하여 원소분포특성을 조사하였다. 시료를 채취한 지역에 상관없이 대부분의 주원소 및 미량원소의 함량은 비슷하였으나 3번 시료의 경우 타지역 시료와 비교해서 Si 및 Fe, P, Na, Ti의 함량이 낮고 Ca, Mg, LOI의 함량이 높게 나타났다. 또한 미량원소의 경우 Ba, Cr, Nb, Pb, Rb, Zr, V의 함량이 타지역에 비해 낮게 나타나고 있다. 황토고원 시료 원소들의 함량을 상부지각 원소들의 함량과 비교한 결과 대부분 0.5-1.5×UCC 범위로 거의 비슷한 함량값을 나타내었다. 풍화의 특성을 알기 위해 희토류원소를 분석한 결과 시료에 함유된 총 희토류량은 지역과 상관없이 거의 비슷한 값을 가지고 경희토류와 중희토류의 비율을 나타내는 (La/Yb)<sub>N</sub> 값은 9.17-10.84의 범위를 나타내었다. 그리고 콘드라이트 표준화 시킨 희토류원소의 분포는 모든시료에서 경희토류가 중희토류에 비해 부화되었고 Eu은 부(-)의 이상을 나타내

어 황토고원의 표층시료는 유사한 지역으로부터 유입되었고 풍화작용에 크게 영향을 받지 않았음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 “한반도 단주기/돌발 지구환경변화 과거 복원 및 미래예측기반 구축(07-3314)” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. J. Y. Lim and Y. Chun, *Global and Planetary Change*, **52**, 231-247 (2006).
2. 오경섭 과학동아, **77**, 48-55 (1992).
3. 전영신, 그린삼성, **74**, 35-37 (2005).
4. 조경두, 환경연회지, **43** (2002).
5. 김민영, 김광래, 이민환, 한국지구과학회지, **24**, 315-324 (2003).
6. 최규훈, 강창희, 김기현, 한국지구과학회지, **23**, 514-525 (2002).
7. 김민영, 신재영, 조석주, 한국지구과학회지, **22**, 480-490 (2001).
8. 신선아, 한진석, 홍유덕, 한국대기환경학회지, **21**, 119-129 (2005).
9. 김기현, 강창희, 이진홍, 한국대기환경학회지, **20**, 833-838 (2004).
10. 김희갑, 정경미, 김동진, 한국환경독성학회지, **17**, 333-339 (2002).
11. Y. Hao, Z. Guo, Z. Yang, M. Fang and J. Feng, *Atmos. Res.*, **85**, 27-37 (2007).
12. 권영인, 이승구, 김건한, 신재봉, 유강인, 지질학회지, **40**, 383-393 (2004).
13. 권영인, 이승구, 유강인, 신재봉, 김건한, 지질학회지, **40**, 119-132 (2004).
14. S. R. Talyor and S.M. McLennan, *Rev. Geophys.*, **33**, 241-265 (1995).
15. H. W. Nesbitt, G. Markovics and R.C. Price, *Geochim. Cosmochi. Acta*, **44**, 1659-1666 (1980).
16. A. Masuda, N. Nakamura and T. Tanaka, *Geochim. Cosmochi. Acta*, **37**, 239-248 (1973).
17. B. Jahn, S. Gallet and J. Han, *Chemical Geology*, **178**, 71-94 (2001).