

연구논문

황사발생지역에서 토양입자의 화학적 특성

한진석 · 신선아 · 공부주 · 박문수* · 박순웅* · 김수진*

인천시 서구 경서동 종합환경연구단지 내 국립환경연구원 대기화학과, 서울대학교 지구환경과학부*
(2004년 6월 30일 접수, 2004년 12월 1일 승인)

Soil Chemical Properties in Asian Dust Source region in Northern China

J. S. Han · S. A. Shin · B. J. Kong · M. S. Park* · S. U. Park* · S. J. Kim*

Dept. of Atmospheric Chemistry, National Institute of Environmental Research,
School of Earth and Environmental Science, Seoul National University*

(Manuscript received 30 June 2004; accepted 1 December 2004)

Abstract

The chemical composition and properties of soil were determined at selected sites, such as Loess plateau, Gobi and sand deserts in northern China, where most dust storms occur. Although the transport of this sort of dust storms to Korean peninsula is a well-documented phenomenon, there is not enough information about the very source regions. In this reason, this study tried to measure the chemical composition, including soil elements, anthropogenic elements and ions for soil samples so that certain properties of some major source regions of Asian Dust can be provided. Furthermore, the results are classified into four types of soil like Loess, Loess & sand, Gobi, and sand in order to identify the characteristics and difference among the types. $(X/Al)_{\text{crust}}$ values for each soil type were also calculated in this study and compared with those of other references including Asian Dust material(ADM). The results indicated that Ca contribution was higher than Al in all the soil types of this study including ADM and, compared with the values of urban area, contribution of anthropogenic elements such as Cr, Pb, Zn was quite low. However, it must be noted that there is such a variation in the result of soil composition, but it is also certain that the very source region soil composition resolved from this study could support the enhanced study on Asian Dust phenomenon in Korea.

Key words : Asian Dust, source region, soil, chemical component

I. 서론

한반도에 영향을 미치는 황사가 주로 발생하는 지역은 중국 북부지역에 넓게 퍼져 있는 황토지대와 몽골 및 그 접경지역을 따라 자리한 모래사막과 고비사막으로 이들 지역에서 발생한 모래폭풍은 편서풍을 타고 장거리 이동하며, 중국동부의 산업지역에서 발생하는 오염물질들과 혼합되는 경우에는 우리나라에 미치는 황사의 영향은 더욱 증가하게 된다(Vedal, 1997). 장거리 이동되어온 황사가 한반도를 지나갈 당시의 에어로졸 성분특성은 그 당시의 기상조건 및 황사의 이동경로, 그리고 황사가 발생한 지역의 토양 특성과 함께 영향을 받는 지역의 대기조성과 같은 여러 가지 인자들의 복합적인 결과이다. 그 중에서도 발생지역의 토양 특성은 황사의 주요 성분인 토양성분의 특성을 결정하는 중요한 요소임에도 불구하고 현재 우리나라에는 이에 대한 자료가 충분히 확보되지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 황사발생원 지역의 토양 특성 및 발생원 형태에 따른 성분차이를 알아보고자 분석을 실시하였다. 분석을 위해 대표적인 황사 발생원으로 알려져 있는 중국 내륙의 황토지역과 북부 사막지역에 걸쳐 총 37개의 토양 시료를 중국에서 채취하였으며, 채취한 각 토양시료에 대한 분석을 통해 장거리 이동 후 한반도에 막대한 영향을 미치고 있는 중국의 황사토양입자에 대한 기본적인 특성을 파악하고자 하였다. 또한 향후 축적되어진 한반도 황사에 대한 정보와 더불어 종합적인 분석을 실시하는 경우 황사연구에 대한 보다 정확한 이해를 제공 할 수 있을 것으로 사료된다.

II. 실험방법

그림 1과 표 1은 분석에 사용한 각 토양시료들의 채취지점을 나타낸 것으로 총 37개의 황사 토양시료들은 위치와 성분의 특성을 고려하여 다음

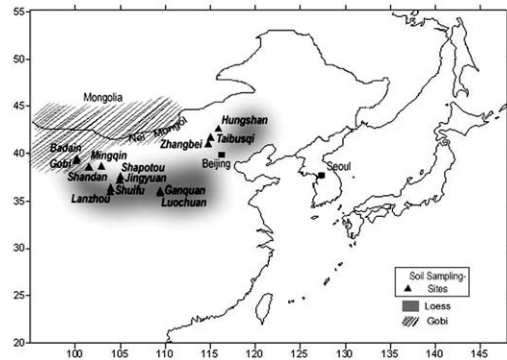


Fig. 1 Map of sampling sites showed with some primary source regions of Asian Dust in northern China.

과 같이 정리하였다. 먼저 위치별로 토양시료는 Shuifu, Jingyuan Shapotou, Minqin, Shandan, Badain, Gobi, Lanzhou, Luochuan, Ganquan, Zhangbei, Taibusqi, Hungshan의 13개 지역으로 나누어지며, 이때 각 채취지역은 지리적으로 크게 3지역으로 구분된다. Badain, Gobi를 포함하는 중국 북서부지역과 Minqin, Shandan, Shapotou, Jingyuan, Shuifu, Lanzhou, Ganquan, Luochuan을 포함하는 중국 중북부지역, 그리고 Hungshan, Taibusqi, Zhangbei를 포함하는 중국 동북부지역으로 나뉜다. 중국 중북부 지역은 특히 우리나라에 가장 많은 영향을 미치는 황사 발생지역으로 알려져 있으며, 또한 Xuan and Irina(2002)에 따르면 과거 30년 동안의 중국 기상청 기록을 토대로 중국 전체지역에 대한 모래폭풍 발생빈도를 조사한 결과, 앞에서 언급한 Minqin 등의 지역은 다른 황사발생지역에 비해 훨씬 높은 발생빈도(extra-high frequency)를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 해당 지역에서 가장 많은 8개 지점, 총 16개의 시료를 채취하여 지역별 특성분석에 중점을 두었다.

토양시료들의 채취지역을 표시한 그림 1에서 알 수 있듯이 몽골과 중국의 국경에 위치한 내몽골을 중심으로는 고비사막이 펼쳐져 있으며, 그 아래로 황토지역이 황하를 중심으로 광범위하게 분포하고, 두 지역사이에는 사막들이(Badain

Table 1. Classification and the location of sampling sites in addition to the size-segregated percents of soil.

Type	Sites	Longitude	Latitude	Number of Samples	Clay	silt	Sand
					unit : %		
Loess				5	21.7	53.6	24.7
	Shandan	101.50	38.45	2	9.2	26.3	64.6
	Luochuan	109.41	35.85	1	27.1	72.0	0.9
	Ganquan	109.40	36.73	2	28.9	62.5	8.7
Loess & Sand				2	9.7	73.3	17.1
	Shuifu	103.92	36.30	1	9.2	87.3	3.5
	Jingyuan	104.92	37.04	1	10.1	59.3	30.6
Gobi	Gobi	100.09	39.14	4	9.1	39.7	51.3
Sand				21	5.1	12.8	82.2
	Badain	100.15	39.38	4	6.0	18.5	75.5
	Minqin	102.89	38.57	3	5.6	24.7	69.7
	Zhangbei	114.87	41.29	2	8.9	14.1	77.0
	Shapotou	105.00	37.47	5	0.6	1.5	97.9
	Hungshan	116.45	42.15	7	4.2	5.0	90.8
Grass	Lanzhou	103.87	35.93	1	18.5	80.3	1.3
	Taibusqi	115.02	41.64	4	8.6	7.8	83.6

* Clay(<2 μ m); silt(2 μ m~60 μ m); Sand(60 μ m~1500 μ m)

Jaran, Tengger, Ulan Bhu, Hobq, Mu Us, Hunshandake Desert) 산재하고 있으며, 이번 연구의 대상지역들은 이러한 지역들 위에 다양하게 분포하고 있다. 따라서 각각의 시료 채취지역들은 토양 형태에 따라 다시 황토지역(Shandan, Luochuan, Ganquan, Lanzhou), 모래·황토지역(Shuifu, Jingyuan), 고비지역(Gobi), 그리고 모래지역(Badain, Minqin, Zhangbei, Shapotou, Hungshan, Taibusqi)으로 나뉘어 졌다(표 1). 그러나 Lanzhou와 Taibusqi의 경우 지리적으로 각각 황토지대와 사막지역에 해당하나 채취지점에 풀이나 초목이 존재하는 관계로 따로 분류하였다.

표 1에는 시료채취지역의 위치 및 각 지역별 시료 개수를 표시하였으며, 또한 황사토양의 입자 크기(soil texture)를 살펴보기 위해 토양 시료를 Clay(<2 μ m), Silt(2 μ m~60 μ m), Sand(60 μ m~1500 μ m)와 같이 크기별로 분류해 나타내었다. 토양 시료들의 입자 크기들은 시료가 채취된 지역과 채취한 토양의 형태에 따라 뚜렷이 구분되

어지고 있으며, Lanzhou를 포함한 Luochuan, Ganquan, Shuifu, Jingyuan와 같은 황토토양들은 silt가 가장 큰 구성을 이루고 있는 반면, Gobi와 Taibusqi를 포함한 Badain, Minqin, Zhangbei, Shapotou, Hungshan과 같은 지역들은 Sand 크기의 토양 입자들이 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있다. Bagnold(1941)에 따르면 60~80 μ m의 직경을 가지는 입자들에 의해 한계마찰속도(threshold friction velocity)가 결정되며, 따라서 같은 범위의 입자들이 토양의 초기 이동에 중요한 인자로 작용하게 된다. 큰 입자들은 강한 바람에 의해 상승한 후 발원지 부근에 다시 강하하고, 한반도에 도달하는 황사의 입자크기는 일반적으로, 약 3 μ m~5 μ m에서 가장높은 입자농도를 보인다(국립환경연구원, 2002b).

토양을 샘플링 할 때에는 모래언덕(sand dune)과 같은 경우 언덕의 양쪽 사면 및 높이에 따라 시료를 달리 채취하였으며, 모래사막에서는 다양한 색깔의 토양 시료를 채취하였고, 그 외 고비나

황토지역에서도 표층 및 하층을 구분한 시료들을 통해 비교적 다양한 발생상황을 반영할 수 있도록 하였다. 확보한 모든 토양시료들은 1g 정량한 후, 가장 보편적인 이온성분인 Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} 의 7가지와 Al, Ca, Fe, Mg, K, Na, Mn, V, Co, Cr, Ni, Cd, Cu, Pb, Zn의 총 15개의 금속성분을 분석대상으로 하였다. 음이온은 이온크로마토그래피(Ion Chromatography : Dionex DX-500, USA)를 사용하여 분석하였고, NH_4^+ 를 제외한 양이온분석에는 원자흡광광도기(Perkin Elmer, AA-800, Flame)을 사용하였으며, NH_4^+ 는 자외-가시선 분광광도계(Perkin Elmer, Lambda20)를 이용하여 인도페놀(indophenol)법으로 분석하였다. 금속성분의 경우 염산·질산 혼합액(1:1)을 이용해 시료를 추출한 후 분석 조건에 따라 원자흡광광도기(Perkin Elmer, AA-800, Flame)와 ICP(Inductively coupled plasma, Jobin-Yvon Inc., Model JY-70Plus)를 사용해 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

황사 발생원 지역의 토양 구성은 우리나라로 이동되어온 황사성분의 특성을 결정하는 가장 주요한 요인이며, 또한 이동경로 상에서 일어날 수 있는 변화를 해석하기 위해서도 발생원에 대한 분석 결과는 꼭 필요한 정보이다. 따라서 이번 연구에서는 황사 발생 지역들의 토양 특성과 지리적 위치 및 토양 형태에 따른 차이를 분석하기 위해 중국의 몇몇 황토지대와 사막, 고비지역에 걸쳐 토양 시료를 채취하여 주요 이온성분 및 금속 성분들에 대한 분석을 수행하였다(표 2).

토양시료의 이온성분을 분석한 결과 전체 질량 중에 이온성분이 차지하는 비중은 Shuifu를 제외하고는 모든 지역에서 약 1% 미만을 나타내었고, 전체적으로 sulfate, sodium, calcium 성분들이 다른 이온들에 비해 많이 검출 되었으며, 전체 13개 지역 중에서는 Shuifu에서 가장 높은 이온 농도를

보이고 있다. 금속성분의 경우 전체 질량에서 차지하는 비중이 0.04~15.04%로, 황토성분이 포함되어있는 Shandan~Jinyuan에서는 약 8~15%, Gobi에서는 7%, 그리고 Badain 및 Minqin 지역에서는 약 3~4%수준을 나타내었다. 모래성분이 많이 함유된 사막지역의 토양일수록 규소성분을 많이 포함하는 관계로 다른 금속성분들의 비중이 상대적으로 줄어드는 것을 볼 수 있다.

일반적인 토양성분에 해당하는 Al, Ca, Fe, Mg, K, Mn, Na과 같은 금속성분들이 전체지역에서 높은 조성을 보이고 있으며, 토양성분들 각각에 대한 산화물형태의 합으로 농도를 계산해본 결과 황토, 고비, 모래 각 지역의 토양에 대해 각각 29%, 20%, 6%의 질량비중을 차지하는 것으로 나타났다. Zhangbei, Shapotou, Hungshan, Lanzhou, Taibuqi를 제외한 지역에서는 Ca/Al값이 1보다 커지면서 상당히 높은 Ca 농도를 보이고 있다. 그 외 Fe, Mn, V은 Lanzhou에서, Mg, Na은 Shuifu에서 채취한 토양에서 각각 최고 농도를 나타내었다.

표 2의 성분 분석결과들을 토양형태에 따라 Shandan, Luochuan, Ganquan을 포함하는 황토지역(Loess)과 자갈 및 모래로 이루어진 고비사막 형태에 해당하는 고비지역(Gobi), 그리고 마지막으로 Badain, Minqin, Zhangbei, Shapotou, Hungshan을 포함하는 모래지역(Sand)의 세가지로 분류하여 평균값을 구한 후 그림 2와 같이 나타내었다. 그림에서 보듯이 이온성분 중에서는 sulfate, calcium 이온과 금속성분 중에서는 Al, Ca, Fe, Mg, K, Mn과 같은 토양성분들이 세 지역 모두에서 높은 조성을 보이고 있으며, 몇몇 이온성분을 제외한 거의 모든 물질들의 농도는 황토, 고비, 모래 지역의 순으로 감소하였다. 그 외에 미량으로 존재하는 금속성분들 역시 지역에 따른 차이를 보이고 있다. 그 중에서 V(Vanadium)은 토양과 같은 자연 발생원으로부터 50% 이상이 기원하는 것으로 알려져 있으며(Pacyna, 1998),

Table 2. Soil composition measured at 13 sampling sites. (unit : $\mu\text{g/g}$)

	Loess			Loess & Sand		Gobi	Sand					Grass	
	Shandan	Luochuan	Ganquan	ShuiFu	Jingyuan	Gobi	Badain	Minqin	Zhangbei	Shapotou	Hungshan	Lanzhou	Taibusqi
Cl ⁻	26.3	78.8	14.2	30900	22.2	218	78.6	110	5.7	9.6	4.3	528	10.1
NO ₃ ⁻	53.6	31.5	0.0	2760	0.0	149	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1230	323
SO ₄ ²⁻	340	263	21.2	24000	32.9	366	288	267	14.5	0.0	0.0	2050	41.0
NH ₄ ⁺	14.1	21.6	10.1	16.2	9.6	16.3	14.7	14.3	13.1	9.7	15.8	12.3	12.0
K ⁺	405	21.4	26.8	79.7	98.2	72.0	52.7	56.6	27.7	14.0	21.2	29.0	45.9
Na ⁺	61.9	200	50.0	14000	277	230	259	165	27.3	43.5	22.2	346	36.9
Ca ²⁺	461	508	379	5620	387	431	237	240	159	17.4	31.6	1380	162
Al	33300	35000	28800	24000	20500	20600	12100	11600	10600	12700	5500	32800	28700
Ca	103000	150000	90700	149000	84800	73900	36200	30700	4220	1220	396	31000	5100
Fe	27100	27600	25400	20200	17000	19900	11200	10600	7460	8450	4430	30600	24100
Mg	15600	14000	12800	18300	12800	13800	7520	6580	2470	3900	1050	14300	6530
K	3530	2250	1860	1870	1850	1550	879	955	655	828	567	2370	2410
Na	180	107	47.3	3040	118	113	99.7	73.1	25.4	30.0	39.3	132	48.2
Mn	479	454	504	440	432	421	259	250	116	144	61.0	636	319
V	29.2	33.1	29.0	23.7	20.9	24.2	15.7	12.9	12.7	11.1	7.3	36.9	35.0
Co	11.7	11.4	12.0	9.7	8.7	9.5	5.2	5.2	4.2	4.5	2.5	16.0	11.0
Cr	28.2	31.1	26.4	25.9	23.3	31.4	17.8	15.0	10.2	12.4	6.4	58.1	29.9
Ni	33.5			26.8	23.0		13.6	9.8	9.1	7.8	4.4		26.6
Cd	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	0.6	0.7	0.3	0.4	0.7	1.8	1.4
Cu	33.8	25.3	27.1	29.8	23.9	19.9	12.8	9.3	8.1	8.6	4.1	43.5	25.9
Pb	27.9	27.7	23.9	26.9	19.5	20.3	9.0	9.9	6.0	2.9	1.4	24.3	14.4
Zn	50.4	43.2	45.0	42.7	37.7	31.0	16.9	20.4	10.3	16.2	6.6	49.5	48.6

※ First and second low indicate the soil type and the name of each sample collected site.

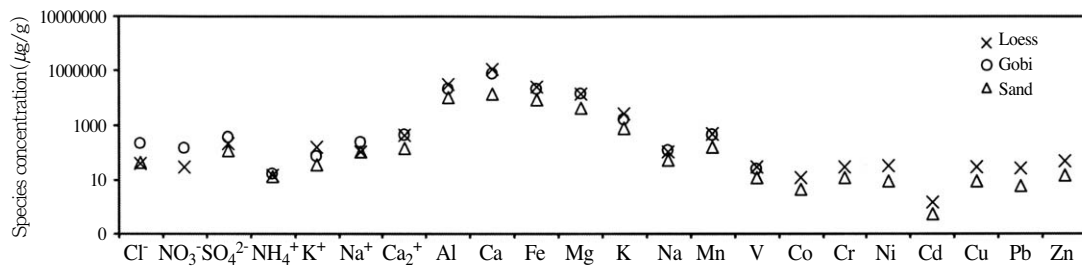


Fig. 2 Plot of average concentrations measured for Loess, Gobi and Sand type of soil.

토양형태에 따른 농도는 각각 30.4, 24.2, 11.9 $\mu\text{g/g}$ 의 값을 나타내었다.

토양은 그 시료를 채취한 위치 혹은 같은 위치 일지라도 그 깊이에 따라 다양한 구성성분을 보일 수 있으므로 어떤 지역의 토양성분을 규정하기는 용이하지 않다. 따라서 황사의 발원지 토양

에 대한 이번 실험결과를 기존의 다른 자료들과 비교해보기 위해 Asian Dust material(ADM) (Nishikawa, 2000) 외에 다른 기존의 자료들을 선정하여 표 3, 그림 3과 같이 정리해 보았다. ADM의 경우 Mg, Na, Co, Cd에 대한 분석결과들이 누락되어 있는 관계로 그 외 11가지 금속성분들에

Table 3. Soil Component Concentration compared with other studies.

(unit: $\mu\text{g/g}$)

	This study			A**	B**	C**	D**	E***	
	Loess	Gobi	Sand	ADM*	Seoul	Loess	Tungeori	Taylor	Korea
Cl ⁻	39.7	218	41.6	-	-	-	-	-	0.27
NO ₃ ⁻	28.4	149	0.0	-	-	-	-	-	0.0039
SO ₄ ²⁻	208	366	114	-	-	-	-	-	0.24
NH ₄ ⁺	15.2	16.3	13.5	-	-	-	-	-	0.18
K ⁺	151	72.0	34.4	-	-	-	-	-	0.14
Na ⁺	104	230	103	-	-	-	-	-	0.085
Ca ²⁺	449	431	137	-	-	-	-	-	-
Al	32400	20600	10500	60000	85400	73400	39200	81300	31000
Ca	115000	73900	14500	76000	17400	56700	48200	36300	12000
Fe	26700	19900	8430	29000	29000	53000	13000	50000	28000
Mg	14100	13800	4300	-	-	-	-	-	8000
K	2550	1550	777	21000	18000	6400	2300	25900	15000
Na	111	113	53.5	-	15800	20400	21200	28300	7200
Mn	479	421	166	530	660	630	720	1000	2000
V	30.4	24.2	11.9	60	70	65	58	120	-
Co	11.7	9.5	4.3	-	11	18	6	20	60
Cr	28.6	31.4	12.4	50	55	110	250	100	85
Ni	33.5	-	8.9	40	60	42	37	35	30
Cd	1.4	1.2	0.5	-	-	-	-	0.15	5
Cu	28.7	19.9	8.6	30	-	-	-	-	140
Pb	26.5	20.3	5.8	20	230	107	73	15	44
Zn	46.2	31.0	14.1	70	130	180	230	40	410

* : Nishikawa(2000).

** : Shin E. S.(2001).

*** : national institute of environmental research(1987).

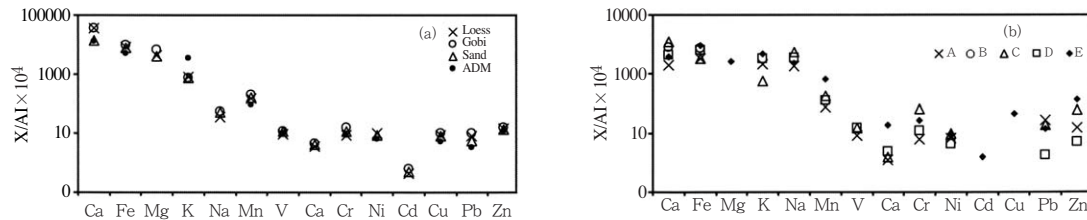


Fig. 3 Plot of elemental ratios relative to Al($X/Al \times 10^4$) for (a)Loess, Gobi, Sand and ADM (b) A(Seoul), B(Loess), C(Tungeori), D(Taylor)and E(Korea). ADM is from Nishikawa(2000), A~D are from Shin E. S.(2001) and E is from national institute of environmental research(1987).

대해서 표 3, 그림 3과 같이 비교하였다. 이번 연구결과 중에서 Loess에 대한 성분분석 결과를 ADM의 농도와 비교한 결과 Fe, Mn, Ni, Cu와 같은 물질들은 ADM에 비해 0.8~1.0정도의 범위를,

Ca와 Pb의 경우 1.3~1.5의 값을 나타내고 있다. 그 외 Al과 V, Cr과 같은 물질들은 0.5~0.6사이의 값을 보여주고 있으나, K의 경우 <0.2으로 ADM에 비해 상당히 낮은 수준을 나타내고 있다. 이런 차

이는 분석과정에서 발생할 수도 있으나, 위에서 언급한 바와 같이 시료채취지점 및 위치에 따라 구성비가 변화하는 토양성분의 다양성에 기인한다고도 할 수 있다. 그 예로 B(Loess), C(Tungeori)의 Al, V의 농도 수준이 ADM에 대해 본 연구결과보다 높은 0.7~1.2의 수준을 보여주고 있으나 K의 경우에는 0.3에도 미치지 않고 있다.

Al의 경우 비황사발생지역에 해당하는 표 3의 A(Seoul), D(Taylor), E(Korea)의 결과를 살펴보면 대체로 Ca에 비해 상당히 높은 농도를 보이고 있으나, 반면에 중국 토양을 분석한 사례에 해당하는 표 3의 황토, 고비, 모래지역(this study)과 C(Tungeori), ADM은 농도에서 보듯이 Ca/Al 값이 1보다 큰 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 에어로졸의 경우 황사 풍하지역에서의 Ca 감소 경향은 G. R. Carmichael에 의한 모델링 및 에어로졸 분석결과와도 일치하는 현상으로 알려져 있다(Liu et al., 2003). 그 외 물질들에 있어서는 상대적으로 좋은 비교결과를 나타내고 있으며, 그중에서 인위적인 오염물질(anthropogenic elements)에 해당하는 Cr, Pb, Zn을 살펴보면 황토(Loess), 고비(Gobi), 모래(Sand)지역 및 ADM에 대한 해당물질들의 분석결과가 A(Seoul), E(Korea)에 비해 낮다는 것을 알 수 있으며, 이는 도시와 사막지역의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다.

황토, 고비, 모래 토양에 대해 각각 다음과 같이 각 성분의 Al에 대한 비를 계산한 결과 그림 3과 같이 나타났다. 이때 측정된 각 토양 성분 조성비와 비교하기 위해 ADM(a) 및 기존 연구결과에 나와 있는 토양분석결과들의 조성비(b)를 함께 나타내었다.

결과를 비교하면 세 지역에서 채취한 토양의 분석결과는 ADM의 연구결과와 비교할때 Ca, Fe, Mn, Pb등의 성분에서 높은 값을 보였으나, 반면에 K/Al은 상당히 낮게 측정된 것을 알 수 있으며, 그 외의 성분에 있어서는 유사한 값을 보이고 있다. 토양의 $(X/Al)_{\text{crust}}$ 값은 에어로졸 성분들의

토양기원 가능성을 추정하기위해 사용하는 농축계수(Enrichment Factor)를 구하는 식에 응용되는 값이다. 다양한 환경조건에 따라 토양성분의 (X/Al) 값은 그림 3과 같이 다르게 나타나며, 따라서 조건에 따라 적절한 값을 사용하는 것이 요구된다 하겠다.

IV. 결론

이번 연구에서는 주요 황사 발생지역인 중국 북부의 황토지대와 사막지역으로부터 채취한 다양한 토양시료들에 대한 분석을 통해 한국에서 발생하는 황사현상의 발생원이 되는 중국 각 지역의 토양에 대한 성분특성을 보여주었다. 또한 분석결과를 토양형태에 따라 황토(Loess), 고비(Gobi), 모래(Sand)와 같이 3가지 형태로 분류하여 정리한 결과, 각 토양 형태에 따라 그 구성비가 뚜렷한 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 이 온성분 중에서는 sulfate, calcium 이온과 금속성분 중에서는 Al, Ca, Fe, Mg, K, Mn과 같은 토양성분들이 세 지역 모두에서 높은 조성을 보였으며, 몇몇 이온성분을 제외한 거의 모든 물질들의 농도는 황토, 고비, 모래 지역의 순으로 감소하였다. 이 외에도 에어로졸 성분들의 농축계수를 구하는 식에 많이 응용되는 $(X/Al)_{\text{crust}}$ 값을 각 토양에 대해 계산하였으며, 그 결과를 ADM을 비롯한 다른 기존의 연구결과들과 비교해 제시하였다.

토양은 그 시료를 채취한 위치 혹은 그 깊이에 따라 다양한 구성성분을 보일 수 있으며, 따라서 일정 지역의 토양성분을 규정하는 일은 용이하지 않다고 할 수 있다. 그러나 이런 다양성에도 불구하고 황사에 대한 연구를 수행하는 경우 기존의 에어로졸 자료들 외에 황사발생원 지역의 토양성분들에 대한 이번 연구결과들은 함께 분석한다면 향후 황사의 발생과 이동에 대한 보다 많은 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 국립환경연구원, 1987, 대기중 입자상물질의 생성 및 동태에 관한 연구, 국립환경연구원.
- 국립환경연구원, 2002a, 우리나라에서 관측된 황사현상에 대한 고찰, 국립환경연구원.
- 국립환경연구원, 2002b, 황사피해 최소화를 위한 대응대책 세미나, 국립환경연구원 & 시민환경연구소, 10-11.
- 신은상, 2001, 서울지역의 황사발생시 대기 부유분진중 미량원소의 특성평가, 건국대학교 환경공학과 박사학위 청구논문.
- Bagnold, R. A., 1941, *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*, Methuen, London.
- Kim, Ki-Hyun, Gyoo-Hoon Choi, Chang-Hee Kang, Jin-Hong Lee, J. Y. Kim, Y. H. Youn, S. R. Lee, 2003, The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events, *Atmospheric Environment*, 37, 753-765.
- Liu, C. L., J. Zhang and Z. B. Shen, 2002, Spatial and temporal variability of trace metals in aerosol from the desert region of China and the Yellow Sea, *J. Geophys. Res.*, 107, 10, 325-10, 333(D14).
- Liu, Wei, and Philip K. Hopke, 2003, Origins of fine aerosol mass in the western United States using positive matrix factorization, *J. Geophys. Res.*, 108(D23).
- Nishikawa, M., Q. Hao and M. Morita, 2000, Preparation and evaluation of certified reference materials for Asian mineral dust, *Global Environmental research*, 4(1), 103-113.
- Pacyna, J. M., 1998, Source inventories for atmospheric trace metals, in: Harrison, R. M., van Grieken, R. E. (ed.), *Atmospheric particles, IUPAC series on analytical and physical chemistry of environmental systems*, 5, Willey.
- Perry, K. D., T. A. Cahill, R. C. Schmel and J. M. Harri, 1999, Long-range transport of anthropogenic aerosols to the National Oceanic and Atmospheric Administration baseline station at Maunna Loa Observatory, Hawaii, *J. Geophys. Res.*, 104, 18, 521-534.
- Vedal, S., 1997, Critical review: Ambient particles and health-lines that divide, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 47, 551-581.
- Xuan, Jie and Irina N. Sokolik, 2002, Characterization of sources and emission rates of mineral dust in Northern China, *Atmospheric Environment*, 36, 4, 863-876.