

# 黃砂의 量的推定을 위한 基礎研究

## Basic Research on the Quantitative Estimation of Yellow Sand

김 동 술

경희대학교 수원 캠퍼스 자연과학대학 환경학과  
(원고접수: 1990. 1. 31)

Dong-Sool Kim

Dept. of Environmental Science, Kyung Hee University, Suwon Campus  
(Received 31 January 1990)

### Abstract

To quantitatively estimate the effect of yellow sand(loess) from the Northern China, various soil sources having similar chemical compositions to yellow sands should be separated and identified. After that, mass contribution for yellow sand can be calculated. The study showed that it was impossible to solve this problem by the traditional bulk analyses. However, particle-by-particle analysis by a CCSEM(computer controlled scanning electron microscope) gave enormous potentials to solve it. To perform this study, seven soil source data analyzed by CCSEM were obtained from Texas, U.S.A. Initially, each soil date was classified into two groups, coarse and fine particle groups since the particle number distribution showed a minimum occurring at  $5.2\mu\text{m}$  of aerodynamic diameter. Particles in each group were then classified into one of the 283 homogeneous particle classes by the universal classification rule which had been built by an expert system in the early study. Further, mass fractions and their uncertainties for each class in each source were calculated by the Jackknife method, and then source profile matrix for the 7 soil sources was created. To use the profile matrix in the study of source contribution, it is necessary to test the degree of collinearity among sources. The profiles were tested by the singular value decomposition method. As a result, each soil source characterized by artificially created variables was totally independent each other and is ready to use in the source contribution studies as a receptor model.

### 1. 緒 論

황사현상을 양적으로 분석하기 위해서는 황사만이 가지고 있는 독특한 변수를 선정하여야

한다. 황사는 일종의 토양오염원으로서, 토양오염의 분리 및 확인은 대기오염연구의 난제 중의 하나이다. 황사는 광역한 지역에 영향을 미치고 있는데, 영향을 받고 있는 지역의 토양과

황사는 화학적 성질이 유사하여, 이들을 통계적으로 분리하기에는 어려움이 있다. 또한 대기중 분진에는 비산분진(flyash)과 같은 토양분진과 화학적으로 유사한 분진이 많이 존재하기에 어려움은 가중된다. 본 연구는 황사의량의 분석을 위한 기초연구로서 受容모델(receptor model)의 적용가능성을 應用統計學을 이용하여 분석 연구하였다.

중국에서의 황사의 운송과 퇴적은 한냉전선과 이와 관련한 대기의 활동과 밀접한 관계가 있다. 시베리아와 남공고에서 발달한 한냉전선과 강풍에 의해, 고비사막의 土壤粉塵은 쉽게 상승되며, 亂流擴散에 의해 남동쪽으로 운송된다. 결국 이 분진은 황하중류와 북중국에 침강하게 된다. 이 과정은 anticyclone 현상에 의한 超 高氣壓과도 관계가 있는데, 이 분진은 한국을 포함하여 동아시아 전반에 영향을 주고 있다. 다시말해, 중국에서 봄에 먼지 폭풍이 가장 심한 이유는 적은 강수량, 한냉전선과 관계한 강한 地風의 영향 때문이다. 황사의 근원지는 연강수량 200mm이하의 건조지역으로 10-30mm의 지역도 포함하고 있다. 또한 이 지역은 돌풍 다발지역으로 연간 10일 이상 100일 이하의 돌풍발생 빈도를 갖는다. 폭풍발생 빈도수는 황사의 근원지인 북서 중국 사막에 가까울수록 많아지며, 최고의 빈도를 보이는 시기는 4월로 이달에 발생하는 폭풍발생확률은 30%에서 50%를 차지하고 있다.<sup>1)</sup> 따라서, 한국에서 視覺的 황사현상은 3월부터 5월에 집중되어 있지만, 그밖의 미약한 영향을 겨울과 봄사이에 받을 수 있다. 겨울철에 TSP(總浮遊粉塵) 농도가 높은 한국에서, 장거리 수송에 의한 황사의 TSP 奇與度 연구는 중요하다. 황사의 장거리 운송에 대한 많은 연구는 文獻을 통해 살펴볼 수 있다.<sup>1,9)</sup> 특히 Shaw<sup>4)</sup>는 逆投射法(back trajectory analysis)을 이용하여, 중국에서 발생한 모래 폭풍이 단지 하루만에 韓半島를 통과하는 것을 圖式的으로 보여주었다.

최근들어, 대기오염의 합리적 제어 방편으로 受容 모델이 많이 이용되고 있다. 수용모델(receptor models) 또는 수용방법(receptor methods)이란 受容子의 위치에서 채집 측정된 분진이 물리 화학적 정보에 의하여, 汚染源의 寄與

度를 양적으로 계산하는 방법으로, 質量保存의 法則(law of mass conservation)과 질량수지(mass balauce)에 이론적 기초를 두고 있다. 수용모델에 대한 개요와 이론적 배경은 여러 문헌에서 찾을 수 있다.<sup>10,13)</sup> 수용모델연구는 분진의 채집서부터 시작한다. 채집된 분진의 분석방법에 따라 화학적분석법과 현미경적 분석법으로 나눌 수 있는데, 화학적분석법은 中性子 活性法(neutron activation), x-yay 螢光法(x-ray fluorescence), 原子 吸光法(atomic absorption), PIXE(proton-induced x-ray emission)와 같은 기자재를 이용하여, 채취된 시료(sample)의 全量分析(bulk analysis)을 二次的으로 수행한다. 여기서 얻은 화학적 분석자료를 여러가지 응용통계학을 이용하여, 최종 대기오염의 寄與度를 추정하는 것인데, TTFA(target transformation factor analysis)<sup>14)</sup>와 CMB(chemical mass balance)<sup>15)</sup>는 가장 우수한 모델로 알려져 있다. 또한, 현미경적 분석은 입자별 분석을 통하여 오염원확인 및 검증에 중요한 역할을 하고 있다. 최근에 개발된 CCSEM은 각 분진입자의 크기, 모양 및 화학적조성등의 정보를 짧은 시간내에 제공하고 있다. 이들 화학적 방법과 현미경적 방법은 서로 관련없이 개발되고 발전되어 왔으나, 최근 粒子群保存의 法則(PCB; particle class balance) 모델<sup>16,17)</sup>은 두 방법의 단점을 보완하여 연결통로를 만들었으며, 화학적 방법중 최대 弱点이었던 collinearity 문제를 해결하였다.

## 2. 資料의 應用處理方案

### 2.1. 資料의 構造

본 연구를 수행하기 위해, 필요한 자료는 미국 환경청(U.S. EPA)<sup>18)</sup>과 ETC(Energy Technology Consultants)<sup>19)</sup>에서 입수하였다. U.S. EPA에서는 16개의 토양분진을 전량으로 분석한(bulk analysis)자료를 입수하였으며, 표1은 이들 자료의 채취장소와 분진 크기의 선별여부를 보여주고 있다. 이 자료는 미국전역에서 측정된 자료로서, 일부는 TSP에 의한 것이고, 일부는 미세입자(fine particle)와 거대입자(coarse particle)를 분리하여 원소분석한 것이

**Table 1.** Soil source information obtained from the USEPA. All the Sources were analyzed by bulk analyses.

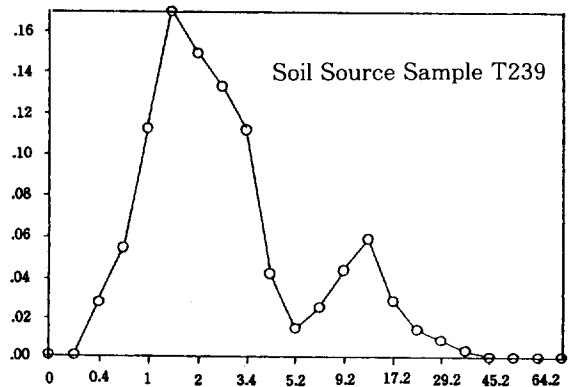
ID	Samplng Location	Fine	Coarse	TSP
301	Des Moines, Iowa		X	X
302	Seattle, Washington	X		X
303	Visalia, California			X
304	South Bend, Indiana	X	X	X
305	Houston, Texas		X	X
306	East Helena, Montana	X	X	
308	Creston, Iowa		X	X
309	Council Bluffs, Iowa		X	X
310	Sioux City, Iowa		X	X
311	Cedar Rapids, Iowa		X	X
312	Davenport, Iowa		X	X
313	Spokane, Washington	X	X	
314	Boise, Idaho	X		
315	Bakersfield, California			X
318	Medford, Oregon	X	X	
319	Portland, Oregon	X	X	

다. 표 2는 토양분진의 TSP를 전량분석에 의해 측정된 것으로  $\mu\text{g/g}$  단위로 보여주고 있다. 전량분석은 최근까지 분진의 화학적 조성분석에 보편적으로 이용되는 분석법으로 filter 단위의 분석법이라고도 한다. ETC에서는 미국 텍사스 엘파소의 7개 토양분진을 CCSEM으로 분석한 자료를 입수하였다. 표 3에는 이들 7개 토양자료의 채취장소가 나열되어 있다. 이 토양분진자료는 High Volume Air Sampler를 이용하여 cellulose나 유리섬유여과지(glass fiber filter)위에 채집된 분진을 nucleopore filter위에 再沈着(redesposition)시킨 후 CCSEM으로 분석한 것이다. 각 sample의 자료는 700개 이상의 입자로 구성되어 있고, 각 입자는 25가지의 물성치를 가지고 있다. 여기에서는 6가지의 물리적 물성, 즉, 최대 및 최소직경, 直徑比率, 질량, 空氣力學的 直徑(aerodynamic diameter), 유효질량과 19가지의 x-ray에 의한 화학적 물성치, 즉 Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Zn, Pb와 Br등의 조성을 가지고 있다. 이 자료에 대한 구체적인 분석방법과 설명은 여러 文獻에서 찾을 수 있다<sup>20,22)</sup>.

## 2. 粒子의 크기별 分類

分散分布가 알려져 있지 않은 대규모 자료를 분석할 경우, 단순 一次 變數分析法(univariate analysis)은 측정분석치의 분포 및 原資料(raw data sets)의 통계값을 살펴보는 데 많은 도움을 준다. 또한 대부분의 응용통계를 이용할 경우, 정규화(normality) 또는 최소한의 대칭분포를 요구하기 때문에 一次 變數分析法은 중요하다. 본 연구는 이러한 과정을 수행하기 위해, 원자료를 입자의 크기에 따라 頻度分布를 알아 보았다. 분포도는 상당히 치우쳐 있었으며, 雙極分布(bimodal distribution)를 보여주었다. 따라서, 이 분포를 좌우 대칭형으로 만들기 위해 여러가지 變換을 시도해 보았다. 제곱근 변환과 logarithm 변환 결과 좋은 대칭형의 분포를 얻었으며, 두 방법 중 일반적으로 많이 통용되어 온 logarithm 변환을 이용하기로 하였다.

그림 1은 텍사스에서 입수한 토양분진 자료 중 하나로서 쌍극분포를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 7개의 토양오염원 자료는 모두 空氣力學的 直徑  $5.2\mu\text{m}$ 에서 최소점을 가지고 있었다. 즉, 이 최소점을 기준으로 巨大粒子와 微細粒子로 분리되므로, 모든 토양분진 汚染源을  $5.2\mu\text{m}$  보다 크고 작은 두 그룹으로 나눌 수 있었다.



**Fig.1.** Frequency distribution of aerodynamic diameter in a soil source sample T239.

### 2.3 粒子分類法則(Universal Classification Rule)의 利用

기존의 PCB Model(particle class balance model)<sup>16,17)</sup>은 TSP에 의하여 모델을 개발하고, 이를 일반 대기분진에 적용하여 기여도를 추정하였다. 하지만, 全量分析에 의한 CMB 모델보다는 우수한 결과를 얻었지만 오염원이 장거리에 존재할 때 완벽한 결과를 얻을 수 없었다.

따라서 장거리 수송에 의한 황사의 기여도를 산출하기 위해서는 분진의 크기별 분석을 시행하여 진보된 모델 개발을 할 필요가 있다. 또한, 토양분진은 대부분 거대입자 영역의 입자들이므로 미세입자에 의한 왜곡된 기여도 산출을 피하기 위해서도 입경별 분석에 의한 수용 모델의 개발은 필요하다.

토양분진을 분류하기 위해 전문가 시스템에

**Table 2.** Elemental concentration of TSP soil samples as  $\mu\text{g/g}$ .  
(source information : USEPA<sup>18)</sup>)

Element	Source ID									
	301	303	304	305	308	309	310	311	312	315
Al	3.717	5.000	7.581	5.600	3.109	6.160	4.926	1.906	2.333	4.700
Si	15.63	19.70	30.66	17.20	13.03	21.69	20.69	7.171	7.958	14.00
P	.108	.000	.000	.000	.105	120	.094	.040	.057	.000
S	.746	.300	.302	.000	.824	.629	.220	.895	.663	.500
Cl	.192	.200	.171	.000	.262	.198	.100	.360	.314	.200
K	.596	1.500	1.500	.900	.786	1.138	1.055	.821	.602	1.500
Ca	10.00	2.500	2.030	7.000	15.19	7.225	3.998	25.80	20.42	1.800
Ti	.197	.200	.416	.400	.199	.287	.319	.088	.163	.200
V	.017	.050	.016	.000	.014	.019	.021	.005	.009	.050
Cr	.017	.050	.032	.000	.020	.016	.017	.005	.011	.050
Mn	.092	.050	.120	.060	.072	.068	.153	.138	.070	.050
Fe	3.950	3.000	3.535	2.800	3.390	2.301	3.011	.865	1.502	3.200
Co	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
Ni	.006	.050	.006	.000	.006	.006	.007	.005	.007	.050
Cu	.027	.050	.000	.500	.018	.008	.005	.003	.014	.050
Zn	.044	.050	.071	.300	.047	.064	.035	.029	.060	.050
As	.009	.000	.000	.000	.018	.005	.005	.001	.008	.000
Br	.006	.050	.003	.000	.003	.015	.002	.002	.003	.050
Rb	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.050
Sr	.028	.000	.000	.000	.047	.026	.018	.026	.052	.050
Zr	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.050
Ag	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.050
Cd	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.050
Sn	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.050
Sb	.001	.000	.000	.000	.000	.209	.001	.000	.000	.050
Cs	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.050
Ba	.033	.300	.000	.000	.039	.049	.114	.000	.000	.200
Ce	.000	.300	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.200
Hg	.000	.300	.000	.000	.002	.000	.000	.000	.000	.200
Pb	.066	.200	.000	.040	.037	.069	.042	.029	.123	.200

**Table 3.** Reference soil source samples collected in the El Paso and used for the study. (source information : Energy Technology Consultants<sup>19)</sup>)

Sample ID	TACB ID	Number of Particle	Sampling Location
T219	5	735	Univ. of Texas, El Paso
T239	8	735	IB & BC near Monitoring Site
T242	3	735	Dirt Road, Ascarate/Valencia
T256	41	750	Dixie Ethyl 정제공장지역
T266	35	750	Newell Salvage
T268	37	735	IB & WC Monitor
T272	45	709	Phelps Dodge (Copper Refinery)

TACB : Texas Air Control Board

근간을 둔 粒子分類法則<sup>23)</sup> program을 이용하였다. 이 분류법칙은 다음과 같은 통계응용단계를 거쳐 개발된 것이다.

- 변수사이의 相關關係 조사를 위한 변수의 選定 단계.
- 측정자료의 雜音除去(noise reduction)단계.
- 對稱型 分布로 만들기 위한 자료의 log 변환 단계.
- 大略的 分類를 위한 cluster 분석법 적용 단계.
- 純粹粒子群(homogeneous particle class)결정단계.
- 전문가 시스템의 적용과 粒子分類法則 創造 단계.
- 分類法則 검증단계.

이 입자분류법칙을 이용하면 19개의 화학원소로 특성화된 일반 분진입자는 이미 법칙화된 283개 순수입자군중의 하나로 쉽게 분류될 수 있다. 따라서, 각 토양오염원의 분진입자는 거대 및 미세입자 그룹으로 분리된 후, 위에 제시된 여러 단계의 자료처리 과정을 거칠 필요

없이 단지, 잡음제거 및 자료의 logarithm 변환과정만을 겪게 된다. 이 입자분류법칙에 의하여 각 오염원의 입자는 순수입자군 중의 하나로 재분류될 수 있다. 분류된 입자는 소속한 순수입자군별로 재배치되고, 해당 순수입자군별로 質量分率을 계산할 수 있다. 따라서, 각 토양오염원은 미세입자 그룹과 거대입자 그룹별로 질량분율을 계산이 가능하다.

### 3. 結果 및 考察

#### 3.1. Jackknife 技法 應用

CCSEM은 입자의 여러가지 물리적 변수를 제공하기 때문에 각 순수입자군에 대한 질량분율을 쉽게 계산할 수 있다. 하지만, 한가지惹起되는 문제는 위에서 계산된 질량분율의 불확실성(uncertainty)조사이다. 따라서, 각 질량분율의 불확실성을 추정하기 위해 Jackknife 기법이 응용되었다. Jackknife의 기본개념은 해당 자료를 각각의 獨立된 subsets로 分裂시키고, 모든 자료와 각 subset 사이의 통계치(statistic)차이를 이용하여 변화도(measure of variability)를 계산하는 것이다. 다시말해, 모든 자료에서 한번에 한개의 자료를 제거하고 통계치를 결정하는 방법이다. 이 방법은 자신의 分布函數와 관계없이 자체자료에 의하여 변화도를 계산할 수 있다. 각 순수입자군의 질량분율에 대한 불확실성을 조사하기 위해 Tukey의 Jackknife기법<sup>24)</sup>을 이용하였다. 한 예로서 표 4는 거대입자 그룹의 순수입자군에 대한 질량분율과 불확실도를 보여주고 있다. 이 도표들을 오염원분류표라고 하며, 토양분진의 기여도 추정시 직접 이용할 수 있다.

#### 3.2. 污染源 分類表의 Collinearity 調査

PCB 모델이나 CMB 모델이나 기본 개념은 質量保存의 法則과 質量收支에 바탕을 두고 있다. 즉, 수용자 위치에서 측정된 원소질량의 합은 오염원의 전체 기여 질량의 합과 같다는 가정에서 시작된다. 수학적으로 이 모델들은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$X = CF \quad (1)$$

**Table 4.** Mass fraction and its uncertainty for the coarse particle group of sample T272.

Particle Class	Class ID	Mass Fraction	Uncertainty
Na-Mg-Si-Ca	C 6	.00064	.00064
Na-Al-Si	C 11	.01273	.00243
Na-Al-Si-S-Ca	C 14	.00097	.00097
Na-Al-Si-K	C 17	.02254	.00428
Na-Al-Si-K-Ca	C 18	.00812	.00112
Na-Al-Si-K-Ca-Fe	C 19	.00799	.00141
Na-Al-Si-K-Fe	C 20	.00345	.00345
Na-Al-Si-Ca	C 22	.01797	.00257
Na-Al-Si-Ca-Fe	C 23	.00364	.00364
Na-Al-Si-Fe	C 25	.00264	.00264
Na-Si-S-Ca	C 30	.00537	.00135
Na-Si-Ca	C 33	.00626	.00626
Mg-Al-Si	C102	.00527	.00527
Mg-Al-Si-K-Ca	C109	.00851	.00210
Mg-Al-Si-K-Ca-Fe	C110	.04742	.00551
Mg-Al-Si-K-Fe	C111	.02753	.00502
Mg-Al-Si-Ca	C112	.02711	.00428
Mg-Al-Si-Ca-Fe	C113	.01707	.00297
Mg-Al-Si-Fe	C116	.02920	.00922
Mg-Si-Ca	C136	.01561	.00252
Al-Si-S-K-Fe	C205	.00251	.00251
Al-Si-S-Ca-Fe	C207	.00314	.00314
Al-Si-S-Fe	C208	.0072	.00072
Al-Si-K	C212	.06325	.00586
Al-Si-K-Ca	C213	.04515	.00525
Al-Si-K-Ca-Fe	C214	.13000	.00897
Al-Si-K-Ca-Fe-Mn	C215	.00301	.00301
Al-Si-K-Fe	C217	.05696	.00610
Al-Si-Ca	C223	.13305	.00707
Al-Si-Ca-Fe	C224	.03476	.00522
Al-Si-Fe	C229	.01572	.00278
Si	C301	.04589	.00496
Si-Al	C305	.01288	.00352
Si-S-Ca	C313	.00552	.00552
Si-S-Fe	C330	.00151	.00151
Si-K-Ca-Fe	C328	.00105	.00105
Si-Ca	C334	.00264	.00264
Si-Ca-Fe	C335	.00715	.00715
Si-Fe-Mn	C345	.00079	.00079
Ca	C520	.03306	.00511
Ca-Mg	C522	.00304	.00304
Ca-Si	C524	.07039	.00738
Ca-S	C525	.00627	.00627
Others	C999	.05149	.00751

여기서,  $X$ 는 입자군의 總平均質量으로  $n \times m$  matrix이며,  $C$ 는 입자군의 질량분율로서  $n \times p$  matrix,  $F$ 는 오염원의 質量寄與度로서  $p \times m$  matrix이다.  $n$ 은 순수입자군의 숫자이고,  $m$ 은 sample의 숫자가 되며,  $p$ 는 오염원의 숫자가 된다. 일반적으로 PCB와 CMB 모델에서는  $X$ 와  $C$ 는 각 각 총평균질량 및 오염원분류표로서 既知의 정보가 되고,  $F$ 는 기여도로서 추정하려고 하는 未知의 정보가 된다. 식(1)을 푸는 방법에는 여러가지가 있을 수 있으나, 수학적으로나 통계학적으로 무리가 없어야 한다. 어느 解法으로 식(1)을 해결하든, 선결 조건은  $C$  matrix의 說明變數(explanatory variable)의 일부 또는 전부가 collinear 되어서는 안된다. 만약 collinear 되었을 때, 回歸係數(regression coefficient)를 얻기위해 最小자승법(least square method)을 이용한다면, 계산불능이 되거나 계산이 되더라도 부정확한 결과를 갖게 된다. 따라서,  $C$  matrix에 대한 collinearity test는 중요하며, 모델의 유효성 검증이나 다름이 없다.

Singular Value Decomposition(SVD)

Belsley, Kuh, and Welsch<sup>25)</sup>은 說明變數 사이의 collinearity 존재와 확인을 위한 방법을 개발하였다. 그들에 의하면, collinearity는 matrix  $C$ 와 관계있을 뿐, 1차 회귀 모델의 통계적인 면과는 관계가 없다고 했다. Collinearity 정도를 시험하기 위해서, singular value decomposition(SVD) 방법이 사용되었으며 matrix  $C$ 는 다음과 같이 분해할 수 있다.

$$C = UDV^T \quad (2)$$

$U$ 는  $n \times n$  直交 matrix이고,  $V$ 는  $p \times p$  直交 matrix이며,  $D$ 는  $n \times p$  matrix로서 對角要素(diagonal elements)를 가진다. 이들 대각요소,  $d(k)$ ,  $k=1 \dots p$ 는  $C$  matrix의 특이값(singular value)으로 불린다. 일반적으로 특이값  $d(k)$ 가 작은 때, collinearity의 존재 가능성이 있다. Belsley 등은 최대 특이값,  $d(\max)$ , 와 각 특이값,  $d(k)$ , 의 상대적 比(ratio)로서 條件指數(C.I.:condition index)라는 경험적 기준을 제시하여 線形 從屬의 정도를 결정할 수 있게했다.

$$C.I. = d(\max)/d(k) \quad k=1, \dots, p \quad (3)$$

즉, C.I 가 5에서 10 사이에 있을 때 弱한 從屬이고, C.I.가 30에서 100사이에 있을 때, 비교적 강한 從屬, 즉, collinearity가 심할 때이다. 또한 그들은 collinearity의 정도가 약할 때, 이 들을 분리 결정하기 위해서, 分散分解比率(variance-decomposition proportion) 이라는 개념을 소개했다. 여기서는 자세한 수학적 배경을 생략한다. 하지만, 이 개념을 SVD개념과 함께 사용했을 때, 분산분해비율이 0.5보다 큰 값을 갖는 지의 여부에 따라, 該當 subset의 collinear 정도를 결정할 수 있다.

粒子的 크기별 分類에 따른 粒子群의 境遇

앞에서, CCSEM으로 조사된 7개의 토양분진 오염원을 대상으로, 각 오염원을 5.2 $\mu$ m 기준으로 거대입자와 미세입자로 분류한 후, 통계적 자료변환을 거쳐, 입자분류법칙에 의하여 각 오염원의 입자를 순수입자군이라는 인위적 변수에 분류시켰다. 각 순수입자군에 대한 질량분율과 불확실도를 계산한 후 7개 오염원에 대한 오염원분류표를 작성하였고, 이들의 독립.종속 여부를 SVD를 이용하여 검증을 시도하였다.

표 5와 표6은 각각 미세입자와 거대입자에 대한 조건지수(C.I.)와 분산분해비율 matrix의 계산된 결과이다. 거대. 미세입자의 각 경우 5보다 낮은 조건지수 값을 보여, 미세입자의 경우 최대값 1.27, 거대입자의 경우 최대값 2.46을 보였다. 따라서, 입자의 크기별 분류에 의한 순수입자군의 경우 collinearity 현상을 발견할 수 없었으며, 7개의 토양오염원은 각 독립된 個體로 분리되었다. 이와 같이 분리 및 확인된 오염원들은 직접 토양분진이 일반 대기중에 공현하는 質量寄與度 추정에 이용될 수 있다. 다시말해, 식(1)에서 일반 대기분진의 측정값  $X$ 만 있다면, 확인된  $C$ 값에 의해 質量寄與度  $F$ 는 單純回歸 分析으로 쉽게 구할 수 있다.

본연구에 이용된 자료는 텍사스 El Paso에서 측정된 7개의 토양분진 오염원이었다. 각 오염원의 장소는 서로 근접해 있으며, 유사한 화학조성을 가지고 있었지만, 인위적으로 창조된

**Table 5.** Condition indexes and Pi matrix(variance-decomposition profiles)for the fine particle group.

ID	C.I	T219	T239	T242	T256	T266	T268	T272
T219	1.12	.9958	.0274	.0528	.0467	.0320	.0399	.9805
T239	1.00	.0000	.0000	.0005	.0038	.0189	.0009	.0043
T242	1.11	.0013	.2179	.1047	.9266	.9019	.1912	.0000
T256	1.27	.0000	.0000	.0176	.0000	.0001	.0223	.0069
T266	1.25	.0008	.5076	.4318	.0000	.0000	.5449	.0000
T268	1.17	.0003	.2449	.3918	.0050	.0000	.1382	.0005
T272	1.16	.0018	.0022	.0008	.0178	.0472	.0225	.0078

**Table 6.** Condition indexes and Pi matrix(variance-decomposition profiles)for the coarse particle group.

ID	C.I.	T219	T239	T242	T256	T266	T268	272
T219	1.00	.6123	.9076	.2130	.6824	.0005	.9997	.9394
T239	2.46	.0020	.0000	.0185	.2403	.9990	.0000	.0000
T242	1.19	.0018	.0007	.0011	.0003	.0001	.0000	.0000
T256	1.48	.0042	.0015	.0030	.0001	.0003	.0000	.0606
T266	1.32	.0101	.0000	.0182	.0002	.0000	.0001	.0000
T268	1.37	.3579	.0626	.7387	.0743	.0000	.0000	.0000
T272	1.40	.0117	.0275	.0075	.0025	.0001	.0002	.0000

283개의 변수에 의해 특성화되어 완전히 다른 독립된 개체로 분리되었다. 따라서, 이 같은 개념은 한국에서 황사의 영향을 양적으로 분석할 때, 직접 이용할 수 있다.

#### 全量分析의 境遇

全量分析은 최근까지 대기분진의 화학적 분석에 가장 보편적으로 이용되어온 분석법이다. CMB 모델은 여기서 측정된 무기원소의 농도를 이용하여, 각 오염원의 기여도를 추정하는 방법이다. 본 연구는 CMB 모델을 이용할 경우, 즉, 全量分析法를 이용할 경우, 황사의 양적 분석에는 적합치 않음을 통계적으로 보여주고자 한다.

전 항에서 언급한 대로, 미국환경청(U.S. EPA)에서 입수된 전량분석에 의해 분석된 토양분진오염원의 자료<sup>18)</sup>를 조사하였다. 미국 전

역에서 측정된 자료로서 일부는 TSP에 의한 것이고, 일부는 미세입자와 거대입자별로 분류되어 원소분석한 것이다. 입수된 자료가 오염원 추정에 이용될 수 있는 지를 조사하기 위해 일차적으로 SVD 기법에 의한 collinearity 검사를 시도하였다. 결과적으로 각 오염원에 대한 C.I.는 무한대 값을 보여 구체적인 값은 알 수 없었다. 즉, 이들은 서로 극심한 collinearity 현상을 보여 각 오염원을 분리할 수 없었다. 이 현상을 구체적으로 확인하기 위해서, 각 오염원의 相關關係(correlation)를 조사하였다. 미세입자, 거대입자, TSP에 대한 오염원까지의 相關關係數 matrix를 계산한 결과 표 7, 8, 9와 같았다. 대부분의 相關關係數가 0.9를 넘어 서로 從屬關係에 있음을 알 수 있었으며, 全量分析에 의한 토양오염원의 분석은 수용모델에 응용시 무의미함을 보여준다.



**Table 7.** Correlation coefficient matrix for the fine soil particle group.

ID	302	304	306	313	314	318	319
302	1.000	—	—	—	—	—	—
304	.967	1.000	—	—	—	—	—
306	.999	.969	1.000	—	—	—	—
313	.999	.965	1.000	1.000	—	—	—
314	.989	.975	.993	.991	1.000	—	—
318	.998	.967	.999	.998	.993	1.000	—
319	.996	.953	.994	.996	.975	.994	1.000

**Table 8.** Correlation coefficient matrix for the coarse soil particle group.

ID	301	304	305	306	308	309	310	311	312	313	318	319
301	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
304	.86	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
305	.97	.94	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—
306	.86	.99	.94	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—
308	.95	.68	.87	.67	1.00	—	—	—	—	—	—	—
309	.96	.97	.99	.95	.84	1.00	—	—	—	—	—	—
310	.92	.99	.98	.98	.77	.99	1.00	—	—	—	—	—
311	.70	.28	.56	.26	.89	.51	.39	1.00	—	—	—	—
312	.78	.38	.65	.37	.93	.60	.49	.99	1.00	—	—	—
313	.84	.99	.93	1.00	.64	.94	.98	.23	.34	1.00	—	—
318	.47	.44	.51	.54	.40	.43	.45	.21	.27	.56	1.00	—
319	.86	1.00	.94	.99	.67	.96	.99	.26	.36	.99	.45	1.00

**Table 9.** Correlation coefficient matrix for the total suspended particulate group.

ID	301	303	304	305	308	309	310	311	312	315
301	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
303	.898	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—
304	.870	.997	1.000	—	—	—	—	—	—	—
305	.975	.964	.949	1.000	—	—	—	—	—	—
308	.953	.727	.687	.874	1.000	—	—	—	—	—
309	.962	.978	.967	.993	.846	1.000	—	—	—	—
310	.925	.997	.992	.979	.772	.990	1.000	—	—	—
311	.711	.343	.291	.567	.889	.523	.405	1.000	—	—
312	.785	.444	.393	.655	.935	.613	.503	.994	1.000	—
315	.894	.995	.990	.961	.722	.968	.989	.333	.436	1.000

#### 4. 結論(Conclusions)

본 연구는 황사의 양적분석을 위한 기초연구로서, CCSEM(computer controlled scanning electron microscope)분석에 의한 7개 土壤粉塵汚染源 자료와 성분분석에 의한 16개의 土壤粉塵 汚染源자료를 이용하였다. 성분분석법을 검토한 결과 화학적으로 유사한 이들 토양오염원은 심한 상관관계를 보여 분리시킬 수는 없었다. 하지만, 입자의 크기별 분류와 함께 입자의 원소성분에 의한 粒子群 分析을 한 결과, 화학적으로는 類似하였지만, 통계적으로 완전히 독립함을 알 수 있었다. 이를 위해 입자분류법칙을 이용하여 순수입자군을 분류하였으며, 분류된 입자에 대한 질량분율과 불확실도를 계산하여 새로운 오염원분류표(source profile)를 작성하였다. 이 분류표를 singular value decomposition 방법으로 collinearity를 조사한 결과, 새로운 변수로 인위적으로 특성화된 유사토양오염원은 서로 獨立하여 완벽하게 분리됨을 알 수 있었다. 따라서, 분진의 입자별 분석법은 황사의 양적 추정을 가능하게 할 수 있는 방법으로 思料된다. 한국에서 황사의 양적 분석을 위해, 오염원의 기여도를 바탕으로 한 체계적 정책수립을 위해, 추후 국제분쟁시 제시되어야 할 기본자료의 확보를 위해, 또한, 수용모델의 보급 및 확산을 위해 조속히 해결되어야 할 점은 한국 실정에 맞는 오염원분류표를 작성하는 것이다.

(본 연구의 일부는 환경과학연구협의회에서 발표되었으며, 협의회의 연구보조로 이루어 졌음).

#### 參 考 文 獻

1. Tungsheng L., (1988), Loess in China, 2nd Ed., China Ocean Press, Springer-Verlag, Berlin.
2. Duce R.A., Unni C.K., Ray B.J., (Sep. 1980), Long-Range Atmospheric Transport of Soil Dust from Asia to the Tropical North Pacific : Temporal Variability, Science, 206,26, 1522-1524.
3. Rahn K.A., Borys R.D., Shaw G.E., (1980), Asian Desert Dust Over Alaska, Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 186, 37-70.
4. Shaw G.E., (1980), Transport of Asian Desert Aerosol to the Hawaiian Islands, J. Appl. Meteorol., 19, 1254-1259.
5. Uematsu M., et al, (1983), Transport of Mineral Aerosol from Asia Over the North Pacific Ocean, J. of Geophys. Res., 88,c9, 5343-5352.
6. Uematsu M., et al, (1985), Short-Term Temporal Variability of Eolian Particles in Surface Waters of the Northwestern North Pacific, J. of Geophys. Res., 90, c1, 1167-1172.
7. Darzi M., Winchester J.W., (1982), Aerosol Characteristics at Mauna Loa Observatory, Hawaii, After East Asian Dust Storm Episodes, J. of Geophys. Res., 87, c2, 1251-1258.
8. Darzi M., Winchester J.W., (1982), Resolution of Basaltic and Continental Aerosol Components During Spring and Summer Within the Boundary Layer of Hawaii, J. of Geophys. Res., 87, c9, 7262-7272.
9. Parrinton J.R., Zoller W.H., Aras N.K., (1983), Asian Dust : Seasonal Transport to the Hawaiian Islands, Science, 220, 195-197.
10. Cooper J.A., (1980), Receptor-Oriented Methods of Air Particulate Source Apportionment, JAPCA, 30, 1116-1125.
11. Watson J.G., (1982), Overview of Receptor Model Principles, in Receptor Models Applied to Contemporary Pollution Problems, SP-48, APCA, Pittsburgh, PA, U.S.A.
12. Hopke P.K., (1985), Receptor Modeling in Environmental Chemistry, John Wiley & Sons, Inc., New York.
13. Gordon G.E., (1988), Receptor Models, ES & T, 22, 10, 1132-1142.
14. Roscoe B.A., et al, (1982), The Use of Prin-

- Principal Components Factor Analysis to Interpret Particulate Compositional Data Sets, JAPCA, 32, 637-642.
15. Watson J.G., (1979), Chemical Element Balance Receptor Model Methodology for Assessing the Source of Fine and Total Suspended Particulate Matter in Portland, Oregon, Ph. D. Thesis, Oregon Graduate Center, Beaverton, Oregon, U.S.A.
  16. Kim Dong-Sool, Hopke P.K.,(1988), The Classification of Individual Particles Based on Computer-controlled Scanning Electron Microscopy Data, Aerosol Sci. and Tech., 9, 2, 133.
  17. Kim Dong-Sool, Hopke P.K., (1988), Source Apportionment of the El Paso Aerosol by Particle Class Balance Analysis, Aerosol Sci. and Tech., 9, , 221
  18. USEPA,(1987), Receptor Model Technical Series, Vol III, EPA-450/4-83-014 R.
  19. Casuccio G.S.,(1986), Personal Communication.
  20. Casuccio G.S., et al,(1983), Measurement of Ambient Hi-Vol Filters by Microscopic and Bulk Chemistry Methods, Reprint from the 76 th Annual Meeting of the APCA, Atlanta, Georgia, U.S.A.
  21. ETC,(1983), Identification of the Sources of TSP and Particulate Lead in the El Paso Area by Quantitative Microscopic Analysis, Vol. I and Vol. II, Final Report Prepared for the TACB, Austin, Texas, ETC.
  22. Dattner S.L., et al, (1983), Identifying the Sources of TSP and Lead in El Paso Using Microscopy and Receptor Models, Reprint from the 76 th Annual Meeting of the APCA, Atlanta, Georgia, U.S.A.
  23. Kim Dong-Sool, (1987), Particle Class Balance for Apportioning Aerosol Mass, Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, U.S.A.
  24. Miller R.G., (1974), The Jackknife-A Review, Biometrika, 61, 1-17.
  25. Belsley D.A., Kuh E., Welsch R.E., (1980), Regression Diagnostics, John Wiley & Sons, Inc., New York.