

PB2) 대전지역 대기분진(PM_{2.5}/PM₁₀)에 대한 통계적 오염원 평가 Statistical Assessment of Emission Source for Air Pollution in Daejeon Region

박광원 · 문종화 · 김선하 · 정용삼
한국원자력연구소

1. 서론

PM₁₀ 대기먼지는 자연적이고 인위적인 발생원에 의해 다양한 미량원소들을 함유하고 있기 때문에 흔히 대기질 관리나 환경영향 평가를 위한 대기관측시료로 이용되고 있으며, 특히 PM_{2.5} 먼지의 질량농도와 특정원소의 농도가 높을 때, 장·단기적으로 인체 보건에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 중성자방사화분석법은 핵반응을 통해 생성시킨 방사성동위원소로부터 방출되는 방사선을 검색하여 절대적으로 성분원소를 정량하는 핵분석기술(Nuclear Analytical Techniques)중의 하나로서 소량의 시료로부터 미량원소의 비파괴, 동시 다원소 분석이 가능하고 분석감도($10^3 - 10^7 \mu\text{g}$)가 탁월한 분석기술이다. 따라서 대기먼지중의 극미량 원소분석에 적합한 것으로 평가되어 있으며[1], 1970년대에 Dams 등[2] 과 Zoller 등[3]이 대기먼지중의 원소분석에 이용하였으며 지금까지 많은 연구보고가 있다. 분석결과들은 역학연구, 발생원 규명, 장거리 이동현상의 연구, 인체보건 연구 등에 이용되고 있으며, 대기오염을 관리하기 위한 저비용 분석기술로 평가되고 있다. 최근에 IAEA에서는 핵분석기술의 활용증대와 유용화를 위해 지속적인 대기오염 연구에 적용하여 오고 있다.[4]

본 연구는 장기적인 대기오염 관측자료의 축적과 장거리 이동현상 및 오염원의 규명연구를 목적으로 중성자방사화분석법을 대기먼지의 미량원소분석에 응용하기 위하여 원소의 농도 및 발생원이 다를 것으로 예상되는 대전의 두 지역을 선정 한 후, 수집된 시료를 정량하여 입자별 각 원소들의 농도를 측정하였으며 오염발생원을 암시할 수 있는 통계정보를 얻기 위하여 먼저 Enrichment Factor를 구하여 비교하였고, 선형회귀분석을 하였다. 각 원소와 대기분진과의 상관성 및 EF를 계산하는데 사용한 기준원소 Sc 과 다른 원소간의 상관성을 알아보기 위해 분산도표를 작성하였다. 또한, 분석결과로부터 SPSS 통계프로그램을 이용하여 주성분 인자분석을 수행하였다.

2. 실험 및 방법

대기먼지의 수집을 위하여 대전지역의 대화공단과 연구단지내 한곳을 선정하였고, 2000년10월부터 2001년9월까지 저유량 Gent SFU 분진수집기로 미세입자(<2.5 μm)와 조대입자(2.5-10 μm)로 구분하여 방사화분석에 적합한 Polycarbonate Membrane Filter(47mm ϕ , Nuclepore)상에 수집하였다. 시료 수집시기의 환경 기상조건들을 기록하고, 유속은 18 l/min 로 조정하여 24시간동안 격주 2회, 주중 및 주말(근무일과 휴무일로 분류) 수집하였다. 수집된 필터는 분석을 하기전에 Smoke Stain Reflectometer(Model 43D)를 이용하여 반사율을 측정하여 Black Carbon의 농도를 계산하는데 이용하였다.

시료분석을 위하여 한국원자력연구소의 연구용원자로, HANARO의 공압이송관($\Phi_{th} = 1.7 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$) 조사장치와 고순도의 게르마늄 반도체 검출기(EG&G ORTEC, 25% relative efficiency, 1.9 keV FWHM at 1332 keV ⁶⁰Co, Peak to Compton ratio: 45 to 1)와 16K-Multichannel Analyzer(GammaVision, EG&G ORTEC)을 사용하였다. 에너지 및 검출효율의 교정은 디스크형 복합 표준선원(NEN Products)을 사용하였다. 계측된 데이터로부터 원소의 농도를 계산하기 위하여 Labview로 작성한 중성자방사화분석용 계산프로그램을 사용하였다.

3. 결과 및 토의

오염발생원을 분류하는 간단한 방법중의 하나는 Enrichment Factor, EF를 구하는 것이다. 각 원소의 EF값은 시료중의 목적원소와 기준원소의 비를 기준물질(e.g. 암석, 토양, 해수 등)중의 목적원소와 기준

원소의 비로 나눈 값이다. EF값이 10 이상일때는 인위적인 발생원으로 간주한다. 본 연구에서는 Mason의 데이터[5]와 기준원소로 Sc를 이용하여 EF를 계산하였다. 그림 1에는 두 지역의 각 원소 및 입자크기에 따른 EF값을 나타냈으며 두 부류의 방출원으로 분류됨을 알 수 있었으며 두 지역 모두 중금속 원소의 EF값 크게 나타났고 인위적인 요인으로 추정할 수 있다. 입자별 EF값의 비교에서 중금속 원소와 같은 인위적 원소는 미세입자의 경우가 조대입자보다 더 크게 나타났다. 상관성 분석을 위하여 EF값에 의한 오염발생원으로 분류한 두 집단에서 각각 대표적인 4원소를 선정하여 TSPM과 원소별 상관계수를 구하여 상관성을 고찰하였다. 또한 분석 결과로부터 미량원소의 배출원 조사를 위해 SPSS통계 프로그램을 이용하여 인자분석을 수행하였다(표1). PM₁₀에서 대화공단과 연구단지의 오염발생원을 추정할 수 있는 인자가 각각 6개, 7개추출되었다.

참 고 문 헌

1. A. Alian and B. Sansoni, 'A Review on Activation Analysis of Airborne Particulate Matter', *J. Radioanal. and Nucl. Chem., Articles*, **89**, (1985) 191.
2. R. Dams, J. A. Robbins, K. A. Rahn and J. W. Winchester, *Anal. Chem.*, **42**, (1970) 861.
3. W. H. Zoller and G. E. Gordon, *Anal. Chem.*, **42**, (1970) 257.
4. IAEA, 'Sampling and Analytical Methodologies for Instrumental Neutron Activation Analysis of Airborne Particulate Matter', Training Course Series No.4, IAEA-TCS-4, Vienna, 1992.
5. B. Mason ; *Principles of Geochemistry*, 3rd ed. 1966.

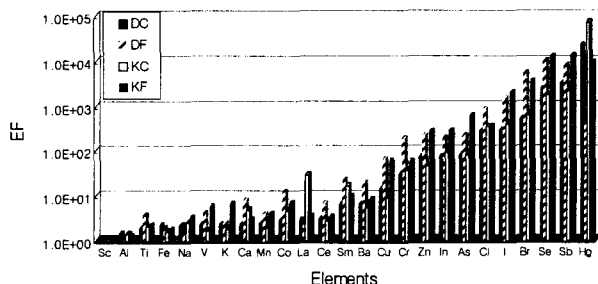


Fig. 1 Enrichment Factor of elements for DC(Daehwa Coarse), DF(Daehwa Fine), KC(KAERI Coarse) and KF(KAERI Fine)

Table 1 The Results of factor analysis for PM10

DAEWHA	Factor						communality		KAERI	Factor							communality
	1	2	3	4	5	6				1	2	3	4	5	6	7	
Al	0.92	0.06	0.24	-0.02	0.10	0.04	0.92	Al	0.97	0.09	0.10	-0.03	-0.09	-0.05	-0.08	0.98	
As	0.35	0.23	0.51	0.11	0.38	0.29	0.88	As	0.51	0.05	-0.27	0.05	0.54	-0.09	-0.18	0.88	
Ba	0.81	0.20	0.02	-0.04	0.13	0.22	0.82	Ba	0.87	0.06	0.11	0.07	-0.03	0.03	-0.03	0.79	
Br	0.05	0.80	0.40	-0.10	0.21	0.00	0.85	Br	-0.18	-0.21	-0.23	-0.30	0.25	-0.70	0.11	0.78	
Ca	0.90	0.00	0.21	-0.05	-0.01	-0.01	0.86	Ca	0.08	-0.08	0.28	-0.05	-0.02	0.06	0.64	0.37	
Ce	0.89	-0.10	0.27	-0.14	-0.18	0.11	0.93	Ce	0.96	0.01	0.06	-0.15	-0.15	-0.03	-0.10	0.98	
Cl	-0.01	-0.14	0.04	0.81	-0.04	-0.08	0.69	Cl	0.04	-0.16	0.73	-0.05	0.48	0.27	-0.11	0.88	
Co	0.50	0.78	0.20	-0.06	0.11	0.09	0.93	Co	-0.05	0.98	0.02	0.04	0.07	0.01	0.07	0.99	
Cr	0.09	0.95	-0.07	0.01	-0.03	-0.02	0.92	Cr	-0.08	0.98	-0.01	0.02	0.14	0.04	0.06	0.99	
Cu	0.78	0.19	-0.12	0.21	0.33	0.06	0.81	Cu	0.44	-0.20	-0.22	-0.37	0.06	0.29	0.35	0.63	
Fe	0.87	0.37	0.13	-0.02	-0.02	0.08	0.91	Fe	0.96	0.14	0.01	-0.16	-0.13	-0.02	-0.11	0.99	
Hg	0.10	-0.02	-0.07	0.62	-0.61	0.04	0.76	Hg	0.12	0.03	-0.07	-0.14	-0.41	0.38	0.37	0.50	
I	0.27	-0.07	0.12	-0.57	-0.19	-0.09	0.45	I	0.51	0.03	0.12	0.79	0.03	-0.03	0.19	0.94	
In	0.11	-0.10	-0.01	-0.03	0.06	0.94	0.91	In	0.10	-0.11	-0.29	0.11	0.25	0.55	-0.42	0.66	
K	0.63	0.20	0.36	-0.29	0.15	0.65	0.87	K	0.95	-0.08	0.84	-0.18	0.01	-0.14	-0.01	0.95	
La	0.70	0.23	0.84	-0.05	0.02	0.06	0.96	La	-0.13	0.98	0.03	0.02	0.11	-0.01	0.07	0.99	
Mn	0.90	0.21	0.18	0.02	0.19	0.07	0.93	Mn	0.87	0.08	0.05	0.03	-0.09	-0.06	-0.04	0.96	
Na	0.11	0.06	0.62	0.66	-0.16	-0.08	0.87	Na	-0.34	-0.20	0.60	-0.30	0.51	0.02	0.21	0.92	
Sb	0.38	0.50	0.20	0.00	0.20	0.68	0.85	Sb	0.45	-0.11	-0.63	-0.01	0.39	0.13	0.15	0.80	
Sc	0.88	-0.13	0.28	-0.17	-0.15	0.09	0.92	Sc	0.91	0.17	0.10	-0.04	-0.20	-0.10	-0.20	0.96	
Se	0.16	0.12	0.07	0.01	0.88	0.14	0.84	Se	0.38	-0.41	0.00	0.71	0.15	-0.13	0.25	0.92	
Sm	0.88	0.19	0.71	-0.04	0.10	0.00	0.88	Sm	-0.07	0.97	0.02	0.01	0.11	-0.06	0.07	0.98	
Ti	0.93	0.05	0.21	-0.10	-0.08	0.06	0.94	Ti	0.83	0.07	0.13	0.03	-0.14	-0.01	-0.06	0.90	
V	0.81	0.35	0.08	0.03	0.25	0.14	0.88	V	0.99	0.08	-0.01	0.00	-0.02	-0.03	0.01	0.98	
Zn	0.73	0.26	-0.01	0.06	0.29	0.34	0.84	Zn	0.73	0.07	-0.45	-0.06	0.20	0.12	0.24	0.86	
variance(%)	40.07	12.68	18.05	6.97	7.38	7.84	88.08	variance(%)	35.33	19.71	9.20	7.21	7.12	4.95	4.90	85.42	