

PA29) 인천시 미세먼지의 특정조사 및 오염원의 기여도 평가 Investigation of Characteristics of Fine Particles in Incheon and Evaluation of Contribution of Particulate Sources

허화영 · 장기원 · 한세현 · 정용원
인하대학교 환경공학과

1. 서 론

인천시는 수도권의 외항으로 산업 발달과 함께 대기질 악화가 심화되고, 환경오염문제를 야기시키고 있다. 이로 인하여 일반 대기 중으로 다양한 오염원에 의한 각종 오염물질이 배출되고 있다. 그러나 인천시는 먼지오염원에 미치는 영향 파악을 체계적으로 파악한바가 없다. 대기중 먼지의 농도에 영향을 미치는 각종 오염원을 정성적으로 파악하고 그 영향을 정량화하는 작업은 먼지에 관련된 대기질의 관리 측면에서 매우 중요한 과정이다. 따라서 본 연구에서는 인천지역 중 남구지역에 위치한 인하대학교, 서부지역에 위치한 서곶파출소, 중구지역에 위치한 신흥여자중학교에서 일년간의 측정 자료를 통해 중량 농도와 화학적 조성을 조사하고 다변량 통계기법의 하나인 주성분 분석을 이용하여 $PM_{2.5}$ · PM_{10} 발생원의 기여도를 평가하고자 한다.

2. 연구 방법

2. 1 시료채취 및 분석방법

대기중의 먼지를 포집하기 위하여 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ inlet이 포함된 PM_{10} dichotomous air sampler(Thermo Andersen, SA241)를 사용하였다. PM_{10} dichotomous air sampler는 PM_{10} inlet를 통해 공기역학적 직경 10 μm 이하의 입자상물질을 유입한 후 virtual impactor에서 유량조절을 통해 공기역학적 직경 2.5 μm 이상(coarse)과 2.5 μm 이하(fine)의 입자를 분리·포집이 가능한 장치이다.

PM_{10} dichotomous air sampler를 이용하여 인천시의 대표지역이라고 판단되는 남구지역의 인하대학교, 서부지역의 서곶파출소, 중구지역의 신흥중학교에 설치하고, 16.7 ℓ /min의 유량으로 포집하였다. 측정 시 동일한 시간에 측정하기 위하여 측정시간은 오전 10시부터 다음날 오전 10시까지 24시간 채취하였다. 중금속 성분의 농도를 측정하기 위해서 Standard Method를 참고하여 마이크로웨이브 (Q15 MicroPrep, Q1104)를 이용하여 전처리 후 ICP-MS (Perkin Elmer Elan 6100)를 이용하여 Ca, Fe, K, Mg, Ni, Pb, Se, Si, V, Zn을 분석하였고, 이온 성분은 IC (Dionex, DX-500)를 이용하여 Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- 를 분석하였다.

2. 2 주성분 분석

주성분 분석은 많은 변수들의 상호관련성을 소수의 요인 (factor)으로 추출하여 전체변수들의 공통요인을 찾아내 가 변수가 받는 영향의 정도와 그 집단의 특성을 규명하는 통계분석방법이다. 주성분 분석을 평가하기 위해 SPSS를 이용하였으며, 인자의 수를 결정하기 위해서 각각의 인자로 설명할 수 있는 분산의 총합인 고유치 (eigenvalue)를 1이상인 인자를 채택하였으며, VARIMAX 법을 이용하여 인자부하량을 산출하였으며, 각각의 주성분에 대한 기여도를 계산하여 화학성분에 대한 발생원을 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

인천시의 지역별 대기중 PM_{10} 농도 중 $PM_{2.5}$ 가 차지하는 비율은 인하대학교, 신흥여자중학교, 서곶파출소 각각 69%, 73%, 76%로 측정되었다. 이 측정 결과 각 지역별로 비율의 차이는 있으나, 세 측정 지점에서 $PM_{2.5}$ 이하 미세입자($PM_{2.5}$)가 조대입자($PM_{2.5-10}$)보다 대기 중에 많이 존재하였다. 인천시는

PM_{2.5}에 대한 오염이 시작되고 있다고 사료된다. 또한 이 결과는 Dockery와 Pope(1994)가 북미에서 조사한 0.60의 값과 Fang 등(1999)이 대만에서 조사한 0.56보다 높은 결과를 보였다.

측정 지점의 보다 자세한 오염원을 조사하고자 측정 지점에 대하여 주성분 분석을 실시하였다. 조사 결과는 다음과 같다.

중구지역에 위치한 인하대학교에 대한 주성분 분석은 Table 1과 같이 3개의 주성분으로 나누어졌다. 첫 번째 요인은 토양에서 발생된 것으로 추정되는 Ca, Fe, K, Mg, Mn, Si고, 두 번째 요인은 연소에서 발생될 수 있는 Ni, V, SO₄²⁻며, 세 번째 요인은 자동차의 배출가스에서 발생되는 Pb, Zn, NO₃⁻로 분류되어졌다.

중구지역에 위치한 신흥여자중학교에 대한 주성분 분석은 Table 2와 같이 4개의 주성분으로 나누어졌다. 첫 번째 요인은 토양에서 발생할 수 있는 Ca, Fe, K, Mn, Si며, 두 번째 요인은 연소에서 발생될 수 있는 Ni, V며, 세 번째 요인은 해양의 영향으로 발생될 수 있는 Mg, Cl⁻며, 네 번째 요인은 자동차의 배출가스에서 발생되는 Pb, SO₄²⁻로 분류되어졌다.

Table 1. Result of principal component analysis of chemical elements in Inha University.

Variable	PC1	PC2	PC3
Ca	0.76	0.31	0.21
Fe	0.83	0.15	0.19
K	0.53	0.49	0.24
Mg	0.77	0.41	0.06
Mn	0.87	0.33	0.18
Ni	0.36	0.82	0.23
Pb	0.11	0.28	0.87
Se	0.18	0.70	0.27
Si	0.89	0.29	0.14
V	0.37	0.81	0.24
Zn	0.30	0.34	0.68
Cl ⁻	0.27	0.02	-0.01
SO ₄ ²⁻	0.30	0.33	0.22
NO ₃ ⁻	0.31	0.23	0.33
Eigenvalue	3.80	3.38	1.75
% of variance	29.2	26.0	13.5
Source type	Soil and road dust	Fuel combustion	Traffic related

Table 2. Result of principal component analysis of chemical elements in Sinhung Middle School.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Ca	0.91	0.16	0.06	0.12
Fe	0.86	0.30	0.09	0.07
K	0.80	0.06	0.29	0.16
Mg	0.51	0.10	0.74	0.19
Mn	0.87	0.17	-0.18	0.03
Ni	0.17	0.92	0.08	0.29
Pb	0.20	0.01	0.05	0.83
Se	0.14	0.37	0.15	0.11
Si	0.84	0.15	0.04	0.07
V	0.18	0.91	0.11	0.11
Zn	0.28	0.50	0.08	0.16
Cl ⁻	-0.10	0.11	0.95	0.07
SO ₄ ²⁻	0.27	0.09	0.12	0.90
NO ₃ ⁻	0.31	0.25	-0.03	0.62
Eigenvalue	3.50	2.32	1.65	1.44
% of variance	25.0	16.6	11.8	10.1
Source type	Soil and road dust	Fuel combustion	Marine aerosol	Traffic related

서부지역에 위치한 서곶파출소에 대한 주성분 분석은 Table 3과 같이 4개의 주성분으로 나누어졌다. 첫 번째 요인은 연소에서 발생될 수 있는 Ca, Ni, Se, V며, 두 번째 요인은 토양에서 발생될 수 있는 K, Si며, 세 번째 요인은 주물주강공장에서 발생되는 Fe, Mn, SO₄²⁻며, 네 번째 요인은 자동차에서 발생될 수 있는 Pb, Zn로 분류되어졌다.

각각 지역의 주성분 결과 인하대학교, 신흥여자중학교, 서곶파출소는 측정지점 주변 및 기상여건에 의한 영향을 받은 것으로 사료된다.

Table 3. Result of principal component analysis of chemical elements in Seokot Police Station.

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4
Ca	0.84	0.20	-0.20	0.18
Fe	0.19	0.48	0.72	0.20
K	0.16	0.84	-0.01	0.07
Mg	-0.09	0.28	0.24	0.06
Mn	-0.04	0.10	0.88	-0.01
Ni	0.85	0.16	0.20	0.18
Pb	0.30	0.22	0.17	0.17
Se	0.93	0.28	-0.02	0.83
Si	0.18	0.87	0.04	0.06
V	0.86	0.13	0.23	0.17
Zn	0.19	0.15	0.61	0.65
Cl ⁻	0.06	-0.07	0.06	0.20
SO ₄ ²⁻	-0.07	0.06	0.432	-0.09
NO ₃ ⁻	0.06	0.26	-0.26	0.18
Eigenvalue	3.29	2.29	1.74	1.33
% of variance	23.5	16.4	12.4	9.5
Source type	Fuel combustion	Soil and road dust	Smelter fine	Traffic related

사 사

본 연구는 서해연안환경연구센터(RRC)의 연구비 지원을 받아 수행중이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Chow J. C. (1995), Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles, 45(5), 320~423
 조용성 (2003) 서울 성동구 지역 미세먼지의 화학적 조성에 관한 연구, 한국환경과학지, 665~675.