

1C1) 서울시 미세입자 특성 및 CMB 모델을 이용한 배출원 기여도 산정 Characteristics of the Fine Particle and Source Apportionments using the CMB model in Seoul Area

강충민¹⁾ · 이학성¹⁾ · 강병욱²⁾ · 이상권³⁾ · 선우영

건국대학교 환경공학과, ¹⁾서원대학교 환경과학과, ²⁾청주과학대학 환경공학과,

³⁾한국의국어대학교 환경생명공학부

1. 서 론

대기중 입자상 물질은 대기중에서 발견될 수는 고체 및 액체상 물질로서 여러 가지 형태를 띠고 있다. 이러한 입자상 물질은 다양한 배출원인 자동차, 공장굴뚝, 가정난방 등과 같은 화석연료 연소시설과 토양, 도로먼지, 건설현장, 해양입자 등과 같은 비 연소시설에서 배출되어 직접적으로 대기중으로 유입되기도 하며, 대기중 기체상 물질들이 태양광선 및 수증기의 존재하에서 화학반응을 일으켜 생성되는 이차입자도 있다. 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서는 대기중 입자상 물질을 입경에 따라 두가지 형태인 PM_{2.5}와 PM₁₀으로 분류하였다. PM_{2.5}는 먼지의 입경이 2.5 μm 보다 작거나 같은 입자상 물질로서 미세입자로 정의하고 있으며, PM₁₀은 먼지의 입경이 10 μm 보다 작거나 같은 입자상 물질로서 조대입자로 정의하고 있다 (US EPA, 1987). 또한 1997년 7월에는 수많은 연구결과를 근거로 PM_{2.5}에 대한 새로운 환경기준을 설정하여 미세입자에 대한 관리를 강화하였다.

미세입자인 PM_{2.5}는 도시지역에서 인체에 호흡기질환과 같은 직접적인 영향을 비롯하여 시정장애, 일사량 감소 등과 같은 도시환경에 악영향을 주는 주요한 오염물질이다. 또한 일사량에 직·간접적인 영향으로 지구기후변화에도 영향을 준다는 연구결과도 보고되었다 (Charlson et al., 1992). 이러한 도시지역에서의 미세입자 농도저감을 위해서 수행되어야 할 일은 미세입자의 화학적 특성을 파악하고 각각 배출원에 대한 기여도를 산정하여 적절한 관리방안을 마련해야 한다. 반면에, 국내에서는 1990년대 중반에 이르러 미세입자에 대한 연구가 진행되기 시작하였으며, 수도권지역에서의 배출원 기여도를 산정을 위한 연구는 매우 미미한 수준이다. 또한 정확한 배출원 기여도 산정을 위해 선행되어야 할 국내에 적합한 배출원 구성성분비의 개발을 위한 연구는 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 서울시의 미세입자의 화학적 특성을 평가하고, 국내에 적합한 배출원 구성성분비 (source profile)를 개발하였다. 또한 이를 이용해서 수용모델인 CMB8 (chemical mass balance version 8)을 실행하여 서울시에서의 미세입자 배출원 기여도를 산정하였다.

2. 연구 방법

본 연구를 위하여 미세입자와 산성오염물질을 동시에 측정할수 있는 3세트의 Annuar Denuder System(ADS)를 사용하여 미세입자의 구성성분인 이온, 원소 및 탄소성분을 측정하였다. ADS는 절단입경이 2.5 μm 인 사이클론에 의해서 분리된 미세입자를 포집하기 위한 테프론필터(1 μm pore size; Gelman Science사제)와 테프론필터에서 휘발되는 질산염(NO₃⁻)를 포집하기 위한 나일론 필터(1 μm pore size; Gelman Science사제), 산성오염물질을 포집할 수 있는 3단의 디누더(각각 0.1% NaCl용액, 1% Na₂CO₃ 용액 및 1% citric acid용액으로 코팅)로 이루어져 있다 (Lee et al., 1999). 첫 번째 ADS에서 얻어진 테프론필터는 이온성분 분석용으로서 이온성분인 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺ 및 Ca²⁺를 IC (Ion Chromatograph, DX-100)를 이용하여 분석하였고, 두 번째 ADS에서 얻어진 테프론필터는 Na부터 U까지 40여가지 원소를 PIXE (Proton-Induced X-ray Emissions)를 이용하여 분석하였다. 또한 세 번째 ADS에서 얻어진 석영유리 섬유필터는 유기탄소와 원소탄소를 TOR (Thermal/Optical Reflectance) 법을 이용하여 분석하였다. 수용지점에서의 대기중 측정은 서울시 광진구에 위치하고 있는 건국대학교 공과대학 옥상(지상 15m)에서 수행되었으며, 측정기간은 봄철에는 2001년 4월 9일부터 5월 13일까지, 여

름철에는 2001년 7월 26일부터 9월 5일까지, 가을철에는 2001년 10월 12일부터 11월 23일까지, 겨울철에는 2002년 1월 2일부터 2월 8일까지였으며, 각 계절별 15회씩 (총 60회) 측정되었고, 측정당일 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 24시간 동안 16.7 ℓ /min으로 시료채취 하였다.

또한 배출원 구성성분비의 개발을 위하여, 토양 및 도로먼지, 자동차 배기가스, 도시폐기물 소각로, B-C 유를 주연료로 하는 산업시설 등지에서 각 배출원별 적합한 방법으로 미세입자를 채취하여 이온, 원소 및 탄소성분을 대기측정시료와 동일한 방법으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1은 측정일별 미세입자의 배출원 기여도를 계절별로 평균하여 나타낸 것이다. 표에 나타난 T-statistics, Degree of freedom, Chi-square, R-square 및 percent mass는 각 배출원 기여도에 대한 타당성을 평가하기 위한 것이다. 각 계절별 주요 배출원은 자동차 배기가스, "Chinese aerosol", Field burning 및 이차생성입자 등으로 나타났다.

Table 1. Average PM_{2.5} CMB source contribution estimates ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Source type	Spring	Summer	Fall	Winter	Total
Soil	4.88±0.91	0.00±0.00	1.39±0.28	1.16±0.27	1.86±0.37
Road dust	2.87±0.88	0.09±0.01	1.06±0.27	1.31±0.36	1.34±0.38
Gasoline vehicles	7.36±4.93	11.37±1.93	15.35±6.74	11.94±3.57	11.51±4.29
Diesel vehicles	7.55±2.04	6.80±1.21	8.06±1.72	3.47±0.93	6.47±1.47
Municipal incinerator	0.57±0.15	0.00±0.00	0.56±0.08	0.16±1.45	0.32±0.08
Field burning	7.40±2.79	0.47±0.21	18.26±7.21	10.04±4.83	9.04±3.76
Marine aerosol	0.93±0.14	0.46±0.06	0.57±0.14	0.52±0.09	0.62±0.11
(NH ₄) ₂ SO ₄	8.29±0.93	2.09±0.40	7.83±2.38	6.02±0.92	6.06±1.16
NH ₄ NO ₃	3.93±1.13	2.03±0.29	15.22±1.70	8.58±0.95	7.44±1.02
Chinese aerosol	9.74±2.97	1.82±0.34	15.05±5.93	15.69±4.13	10.57±3.35
Calculated mass	53.5±4.9	25.0±1.7	83.4±6.6	58.9±4.1	55.2±4.3
Measured mass	48.8±2.3	22.9±2.4	75.2±13.7	51.6±6.8	49.6±4.5
T-statistic	6.99	5.27	5.01	4.86	5.57
Degree of freedom	8	10	9	10	9
Chi square	2.16	3.58	2.30	3.04	2.77
R-square	0.99	0.92	0.97	0.96	0.96
Percent mass	109.5	107.8	112.2	112.5	110.5
# Observation	15	15	15	15	60

Note) The values in source contributions indicate mean±standard error.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000-00340-0)지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- Charlson, R.J, Schwartz, S.E., Hales, J.M., Cess, R.D., Coackley jr., J.A., Hansen, J.E. and Hofman, D.J. (1992) Climate forcing by anthropogenic aerosols, *Science*, 25, 423-430.
- Lee, H.S., C.M. Kang, B.W. Kang and H.K. Kim (1999) Seasonal variations of acidic air pollutants in Seoul, South Korea, *Atmospheric Environment*, 33, 3143-3152.
- US EPA (1987) *Protocol for applying and validating the CMB model*, EPA-450/4-87-010