

## 2A5) 미국 Supersite에서의 준 실시간 PM<sub>2.5</sub>에 대한 기여도 추정 연구

### Estimation of Source Apportionment for Semi-Continuous PM<sub>2.5</sub> Data at Supersite, USA

황인조 · 김동술<sup>1)</sup> · Philip K. Hopke<sup>2)</sup>

대구대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>경희대학교 환경·응용화학대학 및 환경연구센터

<sup>2)</sup>Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Clarkson University, Potsdam, NY, USA

#### 1. 서 론

대기 중에 존재하는 입자상물질(particulate matter; PM)에 대한 측정 및 무기원소, 이온성분, 탄소성분, 유기물질 등에 대한 분석 연구는 대기 중 입자상물질의 오염원 파악 및 기여도 추정, 그리고 인체에 미치는 영향, 가시도 저하, 생태계에 미치는 영향 등을 이해하는데 필요한 기본 연구이다. 이러한 목적으로 미국의 경우 FRM(Federal Reference Method), STN(Speciation Trends Network), 그리고 IMPROVE(Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) 등과 같은 국가적 차원의 측정망을 운영하고 있다. 이러한 측정망의 경우 일반적으로 3일 또는 6일 간격으로 24시간 동안 입자상물질에 대한 시료를 채취하고 있다(Solomon and Sioutas, 2006). 미국 환경보호청(US Environmental Protection Agency; US EPA)는 1997년 PM<sub>2.5</sub>에 대한 대기환경기준(National Ambient Air Quality Standards; NAAQS)을 마련하고 공표하였으며, PM<sub>2.5</sub>에 대한 대기 중 농도 현황, 인체에 미치는 영향, 오염원-수용체(source-receptor)와의 관계 등에 대한 다양한 연구를 수행하고 있다. 그러나 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준에 대한 정확하고 확실한 이행을 위해서 PM<sub>2.5</sub>에 대한 좀 더 정확하고 세부적인 대기 중 농도와 그 구성성분에 대한 자료가 필요하게 되었다. 즉, 미국 환경보호청은 시간적, 공간적으로 다양한 범위에서 PM<sub>2.5</sub>의 농도와 그 구성성분, 그리고 대기 중에 존재하는 입자상물질의 입자 크기 분포 측정과 관련된 일반적인 측정 방법이 아닌 특별한 측정의 필요성을 느끼게 되었다. 이와 같은 이유로 미국 환경보호청은 1998년에 PM Supersite 프로그램을 수립하였다(Sioutas et al., 2004). PM Supersite 프로그램의 목적은 첫 번째, 준 실시간(semi-continuous), 실시간에 초점을 둔 입자상물질의 농도, 물리·화학적 특성을 확인하는 측정기술의 개발, 평가 및 향상 두 번째, 입자상물질이 인체에 미치는 영향 및 노출평가 연구에 대한 기초자료 제공 세 번째, 입자상물질의 오염원을 파악하여 대기질 개선을 위한 정책 마련 등이다. Supersite 프로그램은 두 개의 phase로 구분되는데, phase I은 Atlanta, GA와 Fresno, CA이며 phase II는 Baltimore, MD; Fresno, CA; Houston, TX; Los Angeles, CA; New York, NY; Pittsburgh, PA; 그리고 St. Louis, MO로 이루어져 있다.

본 연구에서는 미국 Supersite 중의 하나인 Missouri 주의 St. Louis에서 채취한 준 실시간 PM<sub>2.5</sub> 자료에 대한 오염원의 파악 및 각 오염원의 정량적 기여도를 추정하고자 하였다. 이를 위하여 수용모델 중에서 최근에 전세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 PMF(Positive Matrix Factorization) 모델을 적용하였다.

#### 2. 연구 및 방법

준 실시간 PM<sub>2.5</sub> 시료는 미국 Supersite 중의 하나인 Missouri 주의 St. Louis(위도: 38.6122; 경도: -90.1603)에서 채취하였다. 채취기간은 2001년 6월(6월 22일~6월 28일), 2001년 11월(11월 7일~11월 13일), 그리고 2002년 3월(3월 19일~3월 25일)이며, 1주일 간격으로 3회 채취하였다. 시료 채취기간동안 1시간 간격으로 총 504개의 시료가 채취되었다. 무기원소 분석을 위하여 SEAS(Semi-continuous Elements in Aerosol System)를 이용하여 시료를 채취하였으며, 채취된 시료는 AAS를 이용하여 준 실

시간으로 Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn 등과 같은 총 11개의 무기원소를 분석하였다. 원소탄소와 유기탄소(EC/OC)의 분석은 ACE-ASIA 분석법(NIOSH/TOT 분석법)을 이용하여 Sunset사의 현장용 EC/OC 분석장치로 측정하였다. 또한 이온성분의 경우는 PILS(particle-into-liquid sampler)를 이용하여 준 실시간  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  농도를 분석하였다. 측정장소에서 1시간 간격으로 채취된 총 435개 시료의 화학성분(총 15개 항목)을 입력자료로 활용하여 PMF 모델링을 수행하였다. 모델링 수행 시 FPEAK와 FKEY를 이용하여(Hwang and Hopke, 2007) 각 오염원을 확인하고 각 오염원의 정량적 기여도를 추정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

PMF 모델링 결과, 휘발유 자동차(gasoline vehicle), 도로 분진(road dust), 아연 제련소, 구리 생산 관련 오염원, secondary sulfate, 경유 자동차(diesel emission), secondary nitrate, 철 관련(iron+steel), 납 제련소 등과 같은 9개 오염원을 추정하였으며 각 측정소에 대한 각 오염원의 평균 기여도를 표 1에 나타내었다. Secondary sulfate와 secondary nitrate가 각각  $8.98\mu\text{g}/\text{m}^3$ (40.7%),  $7.74\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35.1%)로 가장 높은 기여도를 나타내는 것으로 조사되었다. 다음으로는 철 관련 오염원이  $2.93\mu\text{g}/\text{m}^3$ (13.3%)의 기여도를 나타내었다. 각 오염원에 대한 위치를 추정하기 위하여 기상자료와 기여도 자료를 결합하여 CPF(conditional probability function)분석을 수행하였으며, 1시간 간격의 오염원 기여도를 24시간 평균으로 계산하여 각 오염원의 기여도를 비교하고자 한다.

Table 1. Average source contributions for the St. Louis Supersite during sampling period.

	Average Source Contribution( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Standard Error)
Gasoline Vehicle	0.41(0.01)
Road Dust	0.25(0.05)
Zinc Smelter	0.88(0.11)
Copper Production	0.19(0.01)
Secondary Sulfate	8.98(1.07)
Diesel Emission	0.23(0.03)
Secondary Nitrate	7.74(1.67)
Iron+Steel	2.93(0.79)
Lead Smelter	0.42(0.03)

### 참 고 문 헌

- Hwang, I.J. and P.K. Hopke (2007) Estimation of source apportionment and potential source locations of  $\text{PM}_{2.5}$  at a west coastal IMPROVE site, Atmospheric Environment, 41, 506-518.
- Sioutas, C., S.N. Pandis, D.T. Allen, and P.A. Solomom (2004) Preface: Special issue of Atmospheric Environment on findings from EPA's Particulate Matter Supersites Program, Atmospheric Environment, 38, 3101-3106.
- Solomon, P. and C. Sioutas (2006) Continuous and Semi-continuous Methods for PM Mass and Composition, A&WMA's Magazine for Environmental Managers, April 2006, 17-23.