

## 4A3) 서울시의 PM<sub>2.5</sub> 및 화학적 구성성분의 특성 파악

### Characterization of the Major Chemical Species in PM<sub>2.5</sub> in Seoul

김현선 · 허종배 · 서용석 · 김승희 · 양은경 · 이승욱

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

#### 1. 서 론

PM<sub>2.5</sub>는 시정장애, 산성비 및 건식침적으로 인한 호수와 토양의 산성화를 초래하는 등의 환경적인 영향을 미친다. 또한 인체에 유해한 방향족탄화수소와 같은 유해화학물질이나 중금속이 함유되어있고 호흡기 계통의 유병률과 사망률과도 관계가 있으며, 실내 대기질의 60% 이상 영향을 주는 등의 보건학적인 영향도 있다. 이에 따라 전 세계적으로 미세먼지를 저감하기 위한 다각적인 노력을 기울이고 있는데 특히, 미국 EPA에서는 1997년 PM<sub>2.5</sub> 기준(24시간 평균 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연평균 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )을 신설, PM<sub>10</sub>과 함께 사용하고 있으며, 화학적 조성에 대한 정량적인 평가와 발생원 규명을 통한 규제를 마련하고 있다. 하지만 우리나라는 PM<sub>2.5</sub>의 지속적인 모니터링과 분석이 부족하여 PM<sub>2.5</sub>의 물리화학적 특성 파악과 오염원 기여도 산정자료가 부족한 실정이다. 이로 인해 PM<sub>2.5</sub> 및 구성성분과 인체영향에 대한 연구는 더욱더 미흡한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 미세먼지의 정성/정량적 분석결과를 통한 미세먼지의 농도 및 물리·화학적 특성을 파악하고, 실시간 PM<sub>2.5</sub> 농도와 미기상과 관계를 살펴보고자 한다. 또한 receptor model을 통해 오염원 위치와 오염도에 대한 배출원의 기여도를 살펴본 후, 서울시 미세먼지의 오염원 분포 특성을 파악하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

2003년 3월부터 2005년 2월까지 서울시 종로구 연건동 서울대학교 보건대학원 옥상(지상 17 m)에서 URG사의 Annular Denuder System (ADS) 및 filter pack을 이용한 4 channel system을 이용하여 대기 중 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)에 포함된 이온 성분, 미량 원소 및 탄소 성분을 측정하였다. 이온성분은 Ion Chromatography (Dionex DX-120)로 분석하였고, 미량원소는 Proton Induced X-ray Emission (PIXE), 탄소성분은 Thermal/optical Transmittance (TOT) 방법을 통해 분석이 이뤄졌다.

2004년 9월부터는 R&P사의 Tapered Element Oscillating Microbalance Filter Dynamics Measurement System (TEOM FDMS)를 통해 실시간 PM<sub>2.5</sub> 측정이 이뤄졌으며, 이 기기는 휘발성 성분이 보정되어 보다 정확한 PM<sub>2.5</sub>의 농도 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

이렇게 분석된 결과들은 Potential Source Contribution Function (PSCF)과 Residence Time Weighted Concentration (RTWC)과 같은 역궤도 분석이 조합된 receptor 모델을 적용하여 오염원의 위치와 분포 특성을 파악하였다. 이 모델에 필요한 대기의 역궤도는 Hybrid single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) 4 Model을 사용하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

2003년 3월부터 2005년 2월까지 2년간 총 195개의 시료가 채취되었으며 분석된 미세먼지의 결과 PM<sub>2.5</sub>의 평균 농도가 42.75±23.25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 입자상 이온들의 평균 농도는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (7.54±6.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (7.08±6.19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (5.49±4.14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )였으며, 탄소성분의 평균 농도는 OC (10.16±5.41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )와 EC (4.14±2.55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )이었다. 2003년의 PM<sub>2.5</sub> 평균은 42.63±23.52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2004년은 42.85±16.94  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 2년 모두 미국 EPA 연평균 기준치 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높았고, 전체 샘플 기간 중 EPA의 24시간 평균 기준치 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 날은 전체 샘플기간 중 총 27일이 있었다. 그림 1은 연도별 구성성분의

특성을 나타낸 것으로 2003년의 총 샘플 86개 중 스모그가 짙은 날(smog event)이 13일, 황사가 2일 있었으며, 2004년의 경우 총 샘플 109개, 스모그 14일, 황사가 8일이 있었다. 2003년과 2004년 모두 스모그일 때가 non smog event(총 샘플 중 스모그와 황사를 뺀 날)와 황사일 때보다 PM<sub>2.5</sub> 농도 및 수용성 이온성 물질들의 농도가 상대적으로 높았을 뿐 아니라 OC와 EC의 농도도 크게 차이가 났다. 전체 샘플 기간 중 PM<sub>2.5</sub>의 농도가 겨울>봄>가을>여름의 순으로 겨울철의 농도가 높게 나타나는 것과는 달리 스모그일 때 PM<sub>2.5</sub> 농도 및 수용성 이온성 물질의 변화를 계절별로 살펴보면 2003년, 2004년 모두 여름철 농도가 높은 경향을 보였다. 이것은 태양광이 강한 여름철에 sulfate, nitrate와 같은 secondary aerosol이 photochemical reaction에 의해 생성되어 스모그일 때의 PM<sub>2.5</sub> 농도에 큰 영향을 미치는 것으로 생각되며 secondary aerosol의 경우 대기 중 life time이 비교적 길어서 장거리 이동이 가능하므로 서울시내의 국소적인 오염원뿐만 아니라 일본이나 중국 등 지역적 영향을 생각해 볼 필요가 있다. smog event 전 후의 back trajectory를 분석해 보면 그림 2와 같이 수용원 지점에 도착한 공기 패도들은 스모그가 있기 하루 전날의 공기패도보다 더 많은 중국의 주요산업지역을 통과하고, 이 지역을 통과할 때의 공기흐름의 속도도 비교적 느렸다. 또한 전체 샘플 기간 중 실시간 측정된 PM<sub>2.5</sub>의 PSCF 모델 결과 smog event 때와 마찬가지로 중국의 주요산업지역을 주요 오염원으로 나타내고 있다(그림 3).

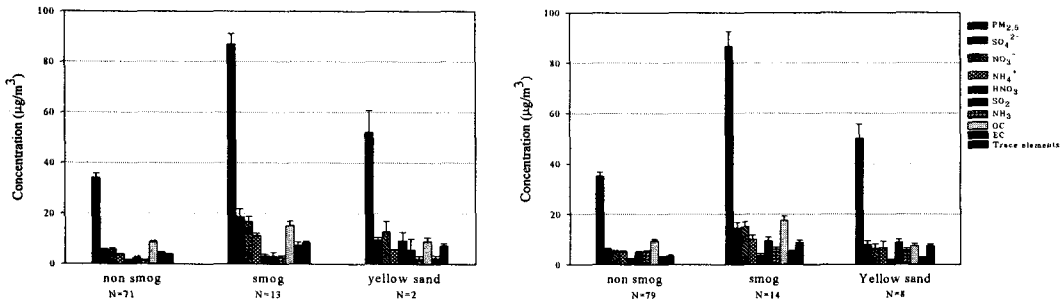


Fig. 1. Comparison of PM<sub>2.5</sub> component in 2003(left) and 2004 (right)

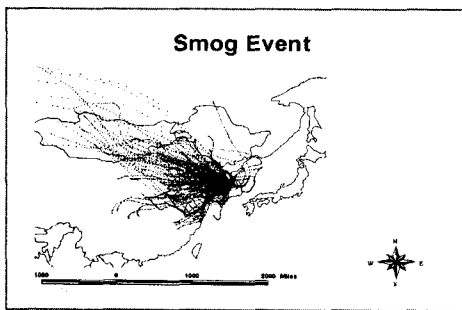


Fig. 2. Trajectory analysis for smog event

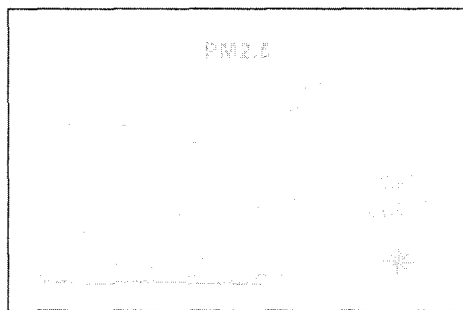


Fig. 3. PSCF result for PM<sub>2.5</sub>

## 사 사

본 연구는 한국 환경기술진흥원의 '차세대 핵심 환경기술개발사업 (과제번호: 2004-09001-0020-0, 과제번호: 2004-09001-0032-0)'으로 지원된 연구이며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

U.S. EPA, (1999) Compendium Method IO-4.2

Wang, Y., Zhuang, G., Tang, A., Yuan, H., Sun, Y., Chen, S., Zheng, A., 2005. The ion chemistry and the source of PM<sub>2.5</sub> aerosol in Beijing. *Atmospheric Environment* 39, 3771-3784

Seinfeld, J. H., 1986. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*, Wiley/Interscience, New York.