

## 3D2) 대전지역 미세먼지의 오염원 분석과 장거리 이동 평가

### Source Apportionment of PM<sub>2.5</sub> and Air Parcel Backward Trajectories in the Daejeon Area

임종명 · 김성진 · 정진희 · 이진홍 · 정용삼<sup>1)</sup>

충남대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>한국원자력연구소 하나로 이용기술개발부

#### 1. 서 론

인체에 유해한 영향을 끼치는 대기 오염물질에는 아황산가스, 질소산화물, 분진, 오존 등 기준성 오염물질(criteria pollutants)뿐만 아니라, 대기 중으로 배출되는 수많은 유해 대기오염물질(hazardous air pollutants)이 있다. 특히, 급속한 산업화, 도시화로 인한 수 백 여종의 유해화학물질에 의한 영향은 생태계에서의 잔류성으로 더욱 문제의 중요성이 강조되고 있으며, 특히, 이 중 인간의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있는 오염물질에 대한 관리는 시급한 실정이다. 호흡성 분진 중 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)는 오염된 도심지역 분진수의 90-99%에 이르는 높은 비율을 보이고 있고, 폐 깊숙이 침투하여 폐암을 비롯한 폐질환을 일으킬 수 있다. 더욱이, 동일 질량의 입자인 경우 입자의 크기가 감소함에 따라 미세입자의 표면적은 급증하기 때문에 As, Br, Cr, Mn, Se, V, Zn 등과 같은 독성금속을 쉽게 흡착하여 호흡성 분진 중 미세입자가 인체에 미치는 영향은 거대입자에 비하여 매우 크다. 본 연구는 2005년에서 2006년까지 대전지역을 대상으로 계절별 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)를 집중적으로 채취하고 중성자방사화분석법과 이온크로마토그래피를 이용하여 대기 중 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 내 미량금속 26종 및 무기이온(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)을 분석하여 PMF를 적용, 오염원 기여도를 정량적으로 평가하였다. 또한 HYSPLIT을 적용한 PSCF(Potential Source Contribution Function) 모델의 적용방법 및 응용방법을 개발하여 국토의 중심에 위치한 대전지역을 중심으로 미세먼지의 장거리 이동 현상을 규명하고자 하였다.

#### 2. 연구 방법

##### 2.1 시료채취

대기 중 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)는 충남대학교 제 3 공과대학 옥상(지상 15m)에 설치한 Denuder air sampler(URG, 3000C model)를 이용하여 2005년 8월부터 2006년 4월까지 계절별로 각 15일씩 집중적으로 채취하였다. 설치된 sampler 중 한 대는 무기이온 분석용으로 1단에는 teflon filter(1 $\mu$ m pore size, Gelman Science)를 사용하고 휘발하는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 분석하기 위해 2단에는 중성의 nylon filter(1 $\mu$ m pore size, Gelman Science)를 사용하였다. 그리고 금속 원소분석을 위해 다른 한 대의 sampler는 미량원소에 대해 화학적으로 매우 적은 바탕농도를 갖고 있어 미량원소의 분석에 효율적이고 작은 크기의 입자를 채취하는데 효율적인 polycarbonate membrane filter( $\phi$ 47mm, 0.4 $\mu$ m pore size, Whatman)를 사용하였다. 두 sampler의 유속은 약 16.7 L/min으로 하여 시료 당 공기량이 약 24,000 L가 되게 24시간씩 채취하였다. 여지는 항온(25 $^{\circ}$ C), 항습상태(50%)의 저장고에서 1일간 보관한 후 전기적 하전을 중화시키기 위해 210Po 선원을 넣어 둔 저울(Mettler, readability: 1 $\mu$ g)에서 칭량한 후, 시료분석 전까지 데시케이터에 보관하였다.

##### 2.2 조성원소 분석

금속원소의 분석은 중성자방사화분석을 사용하였는데 분석시료의 방사화를 위해 한국원자력연구소의 연구용 원자로인 HANARO의 기송관( $\phi$ th = 2.95 $\times$ 10<sup>13</sup> n/cm<sup>2</sup>·sec) 조사시설을 이용하였으며 조사된 시료의 방사능계측에는 고순도 게르마늄 반도체 검출기(EG&G ORTEC, 25% relative efficiency, 1.85 keV FWHM at 1332 keV <sup>60</sup>Co, Peak to compton ratio: 45 to 1)와 16K Multichannel Analyzer(Gamma Vision, EG&G, ORTEC)를 사용하였다. 또한 에너지 및 검출효율의 교정은 디스크형 표준선원(GF-ML 7500, Isotope Products Lab.)을 사용하였다. 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사, 계측하여 분석오차를 최소화 시켰으며 분석 정도관리를 위해 대기분진 인증표준물질(NIST SRM 2783)을 사용하였

다. 이온성분은 초음파 세척기(Branson 8210, USA)를 이용하여 30분간 초음파 추출하고 0.2  $\mu\text{m}$  syringe filter(Nalgene, USA)로 여과하는 전처리과정을 거쳤다.  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ 의 분석에 사용된 이온크로마토그래프는 Metrohm사의 761 Compact IC model이며 검량선 작성 및 QA/QC를 위한 표준용액은 Multi-Component Standard 용액(음이온: IC-MAN-18-1, 양이온: IC-MCA-02-1, AccuStandard Inc.)을 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

연구대상지역에서 PM<sub>2.5</sub>의 농도는  $31.6 \pm 14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 최대, 최소 농도는 각각  $64.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $9.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 계절별로는 봄  $42.9 \pm 14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 여름  $20.2 \pm 10.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 가을  $29.0 \pm 7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  겨울,  $34.3 \pm 14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 계절적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.001$ ). 이러한 결과는 미국의 연 평균 PM<sub>2.5</sub> 기준인  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였으며 2006년 3월의 2회 황사 발생일의 경우에 일평균기준인  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 근접하였다. PM<sub>2.5</sub> 내 금속원소 성분들의 농도는 자연적 발생원에 의한 Al, Ca, Fe, K, Mg, Na가 높게 나타났으며, 독성금속인 As의 산술평균은  $2.1 \pm 1.4 \text{ ng}/\text{m}^3$ , Mn는  $14.1 \pm 7.4 \text{ ng}/\text{m}^3$ , Se은  $1.2 \pm 0.9 \text{ ng}/\text{m}^3$ , V은  $1.4 \pm 0.7 \text{ ng}/\text{m}^3$ , Zn는  $53.7 \pm 30 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. 이온성분들의 농도는  $\text{NO}_3^-$ 의 산술평균이  $7.3 \pm 4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $7.5 \pm 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{NH}_4^+$ 는  $4.2 \pm 3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 반사율을 이용하여 측정된 black carbon의 농도는  $5.7 \pm 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

대기오염이 국지적 영향범위에 국한되어 있는 것이 아닌 광역적 오염현상이기 때문에 고차원 수용모델링 중 air parcel back trajectory와 PMF를 결합하여 수용점의 미세분진 농도에 영향을 줄 수 있는 가능한 오염원 지역과 오염물질의 이동 경로 등을 평가하는 PSCF 모델의 적용이 중요하다. 그러므로 본 연구에서는 Excel-VBA를 이용, PSCF 계산 모형을 제작하여 모델링을 수행하였다. 고농도와 저농도의 구분 기준은 각 오염원 기여도분포의 75백분위수 고농도를 사용하였고 역제적의 run time 72시간, 종점 고도 500m, 시료채취일 중 4개의 시간(UTC 3 9 15 21)을 starting time으로 하였으며 계산격자의 크기는  $110^\circ \sim 140^\circ$ ,  $25^\circ \sim 50^\circ$ 이고 격자의 간격이  $0.5^\circ$ (약 50km)로 각 격자에 할당되는 endpoints의 수를 구하고 전체 격자에 대해 PSCF 값을 계산하였다. PMF2 모델에 의해 설정된 각 오염원은  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , road dust, soil dust, vehicle exhaust, fossil fuel combustion, sea-salt로 분류되었고 각 오염원의 기여도 값에 근거하여 PSCF값을 계산하였다. 그림 1은 측정된 PM<sub>2.5</sub>와 sulfate의 PSCF값을 나타내고 있는데 외부 유입되는 위치와 경로는 중국의 동북방 공업지대인 것으로 나타났다.

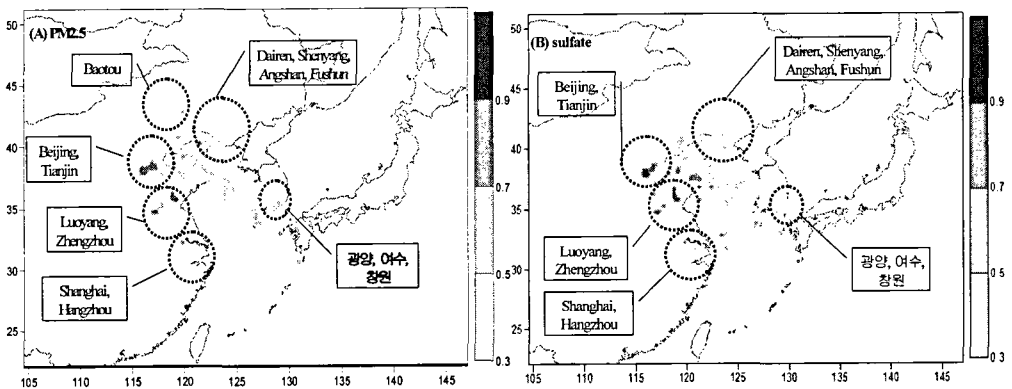


Fig. 1. Plot of the potential source contribution function values for (a) PM<sub>2.5</sub>, (b) sulfate.

### 참 고 문 헌

Begum, B.A, Kim, E., Jeong, C.H., Lee, D.W., Hopke, P.K. (2005) Evaluation of the potential source contribution function using the 2002 Quebec forest fire episode, Atmospheric Environment, 39, 3719-3724.