

## PB8) 미국 St. Louis 지역의 거대입자 기여도 추정 및 오염원의 위치 추정

### Estimation of Source Apportionments and Source Locations of Coarse Particles in St. Louis, Missouri

황인조<sup>1)2)</sup> · Philip K. Hopke<sup>2)</sup> · Joseph P. Pinto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>대구대학교 환경공학과, <sup>2)</sup>Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Clarkson University, Potsdam, NY, USA, <sup>3)</sup>U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA

#### 1. 서 론

미국 환경보호청은 1987년 PM<sub>10</sub>에 대한 환경기준을, 1997년에는 PM<sub>2.5</sub>에 대한 환경기준을 마련하여 현재까지 시행하고 있다. 최근에 미국 환경보호청은 거대입자(coarse particle; 공기역학적 직경이 10 $\mu$ m 보다 작지만 2.5 $\mu$ m보다는 큰 입자상 물질)에 대한 대기환경기준을 공표하였다. 이 기준은 도시지역의 대기질에 만 국한되며, 농업관련 오염원, 광산, 토양 오염원과 관련된 오염원들은 제외된다(Page, 2006). 거대입자에 대한 장기간 연구는 1970년대 미국 St. Louis 지역의 Regional Air Pollution Study(RAPS)를 제외하고는 미국을 비롯하여 전 세계적으로 매우 드문 실정이다(Alpert and Hopke, 1981). 이 연구는 1975년부터 1977년까지 약 2년 동안 St. Louis의 도심지역 10개 측정소(2개 측정소는 배경농도 측정소)에서 수행되었다. 본 연구는 거대입자에 대한 기초연구 차원에서, 거대입자의 오염원을 파악하고 각 오염원의 기여도를 추정하고자 하였다. 즉, 많은 연구자들은 PM<sub>10</sub> 또는 PM<sub>2.5</sub>에 대한 화학적 조성, 농도의 관련성, 인간의 건강에 미치는 영향, 그리고 입자상물질의 관리 및 제어를 위한 각 오염원의 기여도 평가 연구를 활발히 수행하였다. 그러나 거대입자에 대한 연구는 지난 십 수년 동안 거의 수행된 바 없는 실정이다. 거대입자는 PM<sub>10</sub> 또는 PM<sub>2.5</sub>와 비교하여 다른 오염원, 다른 화학적 조성, 대기 중에서 다른 거동 등을 나타낼 것으로 예상되며, 이러한 상황에서 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>에 대한 연구와 더불어 거대입자에 대한 연구 역시 필요성이 대두되고 있는 실정이다.

대기 중 입자상 및 가스상 오염물질에 대한 오염원을 파악하고 각 오염원의 기여도를 추정하기 위하여 수용모델(receptor model)이 이용되고 있다. 수용모델은 각종 응용통계학을 기반으로 한 계량화학적 분석기술로서, 일반대기 중 수용체에서 가스상·입자상 오염물질의 물리·화학적 특성을 분석한 후, 대기질에 영향을 미치는 오염원을 확인하고 기여도를 정량적으로 파악하여 대기오염 관리를 합리적으로 수행할 수 있는 통계적 방법이다(Hwang and Hopke, 2006).

본 연구에서는 채취한 거대입자 시료에 대한 오염원의 파악 및 각 오염원의 정량적 기여도를 추정하고자 하였다. 이를 위하여 수용모델 중에서 PMF(positive matrix factorization) 모델을 적용하였다. 또한 각 오염원의 기여도와 기상자료를 결합하여 본 연구지역에 존재하는 각 오염원의 위치를 파악하고자 CPF(conditional probability function) 모델과 NPR(non-parametric regression) 모델을 적용하였다.

#### 2. 연구내용 및 방법

연구 대상지역은 미국 super site 중의 하나인 Missouri 주의 St. Louis로서, 이 지역에는 총 10개의 측정 장소가 있다. 각 측정 장소에서는 2단 vertical impactor가 부착된 automated dichotomous sampler를 이용하여 PM<sub>2.4</sub>와 거대입자(PM<sub>2.4</sub>~PM<sub>20</sub>)를 채취하였다. 여지는 37mm cellulose ester membrane 여지를 사용하였다. 채취기간은 1975년 6월 16일부터 1977년 4월 1일까지이며, ED-XRF를 이용하여 Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Br, Rb, Sr, Cd, Sn, Sb, Ba, Hg, Pb 등의 총 27개 항목의 무기원소를 분석하였다. 또한 질량농도는  $\beta$ -gauge 측정법을 이용하여 측정하였다. 8개 측정 장소에서는 12시간 간격으로 시료를 채취하였으며, 나머지 2개 측정 장소(site 103, 105)에서는

6시간 간격으로 시료를 채취하였다. 특히 집중 측정기간(1975년 여름)에는 7개 장소(site 106, 108, 115, 118, 120, 122, 124)에서 6시간 간격으로, 그리고 3개 장소(site 103, 105, 112)에서는 2시간 간격으로 시료를 채취하였다. 각 측정 장소에 대한 PMF 모델링을 수행하였으며, 12시간 또는 6시간 간격으로 측정된 자료는 24시간 평균값을 사용하였다. 또한 원자료에 error flag이 있는 경우는 missing data로 처리하여 PMF 모델링을 수행하였으며, 채취시간의 50% 미만으로 채취된 시료는 제외하였다.

### 3. 결과 및 고찰

총 10개 측정 장소 중 8개 측정 장소(시골지역인 site 122와 124 제외)에서 토양, 시멘트 kiln/채석장, 철 관련(iron + steel), 자동차 오염원, 소각로, 페인트 공장, primary/secondary 납 제련소, 아연 제련소, 구리 생산 오염원 등과 같은 9개 오염원을 추정하였으며 각 측정소에 대한 각 오염원의 평균 기여도를 표 1에 나타내었다. Site 122의 경우는 토양 오염원, 시멘트 kiln/채석장 오염원, 자동차 오염원, 소각로 오염원, 아연 제련소 오염원 등과 같은 5개 오염원을 확인하였으며, site 124의 경우는 토양 오염원, 시멘트 kiln/채석장 오염원, 자동차 오염원, 소각로 오염원, primary/secondary 납 제련소 오염원, 아연 제련소 오염원 등과 같은 6개 오염원을 추정하였다. 토양 오염원( $6.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 29.3%)이 연구지역의 거대입자 농도에 가장 많은 영향을 주는 오염원으로 추정되었으며, 시멘트 kiln/채석장 오염원, 철 관련(iron + steel) 오염원, 그리고 자동차 오염원 역시 거대입자의 농도에 많은 기여를 하는 오염원으로 조사되었다( $5.27\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 25.1%;  $3.53\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 16.8%;  $2.72\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 12.9%).

Table 1. Comparison of average source contribution( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at each sampling site in St. Louis.

Site	Soil	Cement Kiln	Iron + Steel	Motor Vehicle	Incinerator	Lead Smelter	Zn Smelter	Pigment Plant	Cu Production	Sum
103	6.39	6.03	5.85	3.47	3.29	1.07	0.72	1.64	0.33	28.79
105	7.79	3.46	5.79	2.84	0.88	1.18	0.50	0.72	0.80	23.96
106	8.07	4.53	3.35	2.91	0.52	0.16	0.72	1.21	0.87	22.36
108	6.05	5.92	3.53	3.67	2.28	0.25	0.19	0.09	0.25	22.24
112	6.32	7.20	1.49	2.93	0.98	0.69	2.54	0.41	0.42	22.98
115	5.40	5.77	2.07	2.19	0.14	1.86	0.11	0.11	0.10	17.76
118	6.67	3.91	3.32	1.23	0.75	0.26	0.33	0.25	0.42	17.14
120	3.95	4.55	2.80	3.60	0.22	0.11	0.26	0.37	0.41	16.28
122	5.90	6.36	-	2.67	0.32	-	0.36	-	-	15.61
124	5.00	4.92	-	1.66	0.83	0.38	0.23	-	-	13.02
AVG	6.15	5.27	3.53	2.72	1.02	0.68	0.61	0.57	0.45	20.01

### 참고 문헌

- Alpert, D.J. and P.K. Hopke (1981) A determination of the sources of airborne particles collected during the Regional Air Pollution Study, Atmospheric Environment, 15, 675-687.
- Hwang, I.J. and P.K. Hopke (2006) Comparison of Source Apportionments of Fine Particulate Matter at Two San Jose Speciation Trends Network Sites, J. Air & Waste Manage. Assoc., 56, 1287-1300.
- Page, S. (2006) EPA's proposal to revise the PM standards, Environmental Managers. June, 2006, 11-14.