

청주지역 미세먼지(PM_{2.5})의 수용모델 적용 Application of Receptor Modeling for Fine Particles(PM_{2.5}) in Chongju area

강병욱 · 이학성¹⁾ · 김희강²⁾

국립청주과학대학 환경공학과

¹⁾서원대학교 환경과학과

²⁾건국대학교 환경공학과

1. 서 론

대기중 미세먼지는 인체에 위해를 초래할 뿐만 아니라 시정(visibility)의 악화, 재산상의 피해 및 동·식물에의 피해를 유발하는 대기오염물질로 인식되고 있으며 특히, 미세먼지의 상당량이 이차 입자상물질이며 호흡기 계통의 질병율과 사망율은 1차 오염물질인 SO₂ 가스 보다 에어로졸 상태로 존재하는 산성 오염 물질(SO₄²⁻, H⁺ or acid mist concentrations)과 밀접한 관련성이 있음이 밝혀지고 있다(Dockery et al., 1996; Spengler et al., 1990). 또한, 미세먼지는 실내 대기질에 주는 영향도 매우 커서 실내 대기가 실내 공기에 60%이상 영향을 준다는 보고도 있다(Lee et al., 1997; Sexton et al., 1984).

미세입자에 대한 제어가 성공적으로 수행되어지기 위해서는 대기오염물질 및 그 배출원에 대한 여러 가지 특성의 파악과 더불어 각종 오염원에서 배출되는 대기오염물질의 양과 수용지점 농도 사이의 관계가 규명되어야만 합리적이며 경제적인 통제 정책이 수행될 수 있다. 더구나 미세먼지는 계절에 따른 농도와 화학 조성 변화가 큰 것으로 알려져 있기 때문에(Solomon et al., 1989; Willison et al., 1985), 미세먼지의 계절별 농도 및 각 구성요소의 성분비에 관한 자료가 필수적인 요소가 된다.

배출원의 규명을 위해서는 일반적으로 수용모델(Receptor Model)의 적용이 필요하며, 우리나라의 경우 오염원에 대한 배출원 구성물질 성분비(Source Fingerprint)가 전무한 상태이며, 또한 수용모델의 적용과 관련된 여러 가지 현실적 제약성으로 인하여 이에 대한 연구 및 적용사례가 미흡한 상태이다. 따라서 이에 대한 연구가 증진되기 위해서는 무엇보다도 배출원 구성물질 성분비의 개발을 비롯하여 실제 적용사례가 필요하다.

2. 실험방법

청주지역의 배출원을 분석한 결과 미세먼지의 배출량이 상대적으로 많다고 생각되는 배출원으로 토양, 가솔린자동차, 디젤자동차, 경유연소시설, 중유연소시설등 다섯가지 항목으로 분류하고 실측을 통하여 배출원 구성물질 성분비의 개발을 시도하였다.

토양의 경우, 청주지역의 주요 풍향인 북서(NW), 서(W), 남서(SW)방향의 3지점에서 채취된 시료와 혼합한 시료등 4가지를 실내챔버에서 재부유시켜 dichotomous sampler를 이용하여 미세먼지에 대한 시료를 포집하였으며 포집된 시료는 PIXE를 이용하여 분석하였고 각 금속성분의 무게%를 구하였다. 가솔린자동차의 배출원 구성물질 성분비 개발을 위한 시료는 가솔린자동차 배기관에서 배출되는 먼지의 농도가 너무 낮아 CVS-75mode에 의해서 포집된 먼지량이 PIXE분석에 의해서 검출된 원소의 수가 4개에 불과하기 때문에 본 연구에서 측정된 결과만으로 성분구성비를 확정하기에는 부적합하다고 판단되어 자동차 배출물질중 미세먼지에 대한 배출원 구성물질 성분비 연구자료로서 최근의 자료인 미국의 Phoenix자료와 비교, 검토하여 본 연구에서 측정되지 못한 원소는 Phoenix자료를 이용하였다(Watson et al., 1994). 디젤자동차의 배출원 구성물질 성분비도 최근에 미세먼지에 대한 연구자료인 Phoenix자료와 비교한 결과 거의 유사한 값을 나타내었다. 경유 및 중유의 배출원 구성물질 성분비를 작성하기 위한 시료는 원통여과지를 이용하여 시료를 포집하고 ICP를 이용하여 분석하였으나 시료채취 및 분석조건상 불충분하다고 판단되어 측정하지 못한 성분의 구성비는 외국자료(Hopke, 1985)를 이용하여 실측자료와 혼합하여 경유 및 중유의 배출원 구성물질 성분비를 작성하였다.

3. 결과 및 고찰

전체 측정기간에 대한 CMB분석결과는 표 1과 같다. 전체 측정기간에 대하여 배출원을 추정한 결과 토양, 가솔린자동차, 디젤자동차, 경유연소시설, 중유연소시설이 각각 $1.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5}에 대하여 2.60%), $6.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5}에 대하여 15.40%), $3.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5}에 대하여 8.96%), $12.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5}에 대하여 28.79%), $0.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{2.5}에 대하여 1.54%)으로 나타났으며, 배출원 기여도의 크기는 경유연소시설(28.79%) > 가솔린자동차(15.4%) > 디젤자동차(8.96%) > 토양(2.60%) > 중유연소시설(1.54%) 순으로 나타났다. Residual OC(PM_{2.5}에 대하여 1.56%), Residual SO₄²⁻(PM_{2.5}에 대하여 10.20%), Residual NO₃⁻(PM_{2.5}에 대하여 7.97%) 등을 포함하여 CMB분석에 의한 전체 미세입자에 대한 기여도는 77.0%로 나타났다.

Table 1. Summary of the CMB analysis($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Component	Mean	SD ^a	Min.	Max.	% ^b
CMB category					
Soil	1.15	1.67	0.00	8.33	2.60
Gasoline	6.81	4.49	0.00	21.63	15.40
Diesel	3.96	4.66	0.00	25.74	8.96
Light oil	12.73	6.83	2.24	33.12	28.79
Heavy oil	0.68	1.56	0.00	8.46	1.54
Total predicted ^c	25.33	10.90	4.66	58.20	57.28
Other categories					
Residual OC	0.69	1.53	-1.58	5.75	1.56
Residual SO ₄ ²⁻	4.51	6.06	-1.87	30.08	10.20
Residual NO ₃ ⁻	3.52	3.22	0.21	15.68	7.96
unexplained ^d	10.17	10.66	-11.37	35.52	23.00
PM _{2.5}	44.22	19.51	13.40	95.40	

^a Standard deviation

^b Contribution percentage of the PM_{2.5}

^c Sum of source coefficients=soil+gasoline+diesel+light oil+heavy oil

^d Unexplained=PM_{2.5}-(Predicted+Residual OC+Residual SO₄²⁻+Residual NO₃⁻)

참고 문헌

- Dockery, D.W., J. Cunningham, A.I. Damokosh, L.M. Neas, J.D. Spengler, P. Koutakis, J.H. Ware, M. Raizenne and F.E. Speizer (1996) Health effects of acid aerosols on north America children : Respiratory symptoms, *Environmental Health Perspectives*, 104(5) 500-505.
- Hopke, P.K.(1985) Receptor modeling in environmental chemistry, John Willey & Sons, Inc., 289.
- Sexton, K., J.D. Spengler and R.D. Treitman (1984) Personal exposure to respirable particles: A case study in Waterbury Vermont, *Atmos. Environ.*, 18, 1385-1398.
- Solomon, P.A., T. Fall, L. Salmon, G.R. Cass, H.A. Gray and A. Davidson (1989) Chemical characteristics of PM₁₀ aerosols collected in the Los Angeles area, *JAPCA*, 39(2), 154-163.
- Spengler, J.D., M. Brauer and P. Koutrakis (1990) Acid air and health, *Environ. Sci. Technol.*, 24(7), 946-956.
- Watson, J.G., J.C. Chow, D.H. Lowenthal, L.C. Pritchett and C.A. Frazier(1994) Differences in the carbon composition of source profiles for diesel- and gasoline-powered vehicles, *Atmos. Environ.*, 28(15), 2493-2505.
- Willison, M.J., A.G. Clarke and E.M. Zeki (1985) Seasonal variation in atmospheric aerosol concentration at urban and rural sites in northern England, *Atmos. Environ.*, 19, 1081-1089.