

3B1) PMF모형을 이용한 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 오염원 확인과 상대적 기여도의 추정

Identification of Atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} Sources and Estimating Their Contributions by Using the PMF Model

이형우 · 이태정 · 황인조¹⁾ · 김동술

경희대학교 환경 · 응용화학대학 대기오염연구실, ¹⁾대구대학교 환경공학과

1. 서 론

1990년대 이후 집중적으로 추진되고 있는 대기오염 규제정책에도 불구하고, 수도권 대기오염도 수준은 시정거리의 경우 일평균 수 km에 불과하여 시민들이 느끼는 체감 대기오염도는 매우 높아졌고, 대기오염에 대한 우려는 더욱 심각해졌다. 이는 수도권 지역의 급속한 인구증가와 도시집중화에 따른 대기질이 지속적으로 악화된 결과이다. 따라서 도시의 체감오염도는 개선될 여지를 보이고 있지 않으며, 대기환경을 개선하기 위한 사회적 비용은 해마다 증대되고 있다.

다양한 오염원에서 배출되는 분진은 시정악화 및 산성침착 등과 같은 지역규모의 대기오염문제와 오존층 파괴, 온실효과 등과 같은 지구규모의 대기오염문제를 유발하며, 더 나아가 인간의 건강과 복지에도 심각한 악영향을 미치고 있는 실정이다(Zhao and Hopke, 2004; 황인조와 김동술, 2003). 따라서 대기환경이나 인체에 지대한 영향을 미치는 PM₁₀ 및 PM_{2.5}에 의한 대기오염 문제를 해결하기 위하여, 이에 대한 화학성분을 분석하여 오염원 확인 및 그에 대한 기여도를 추정할 필요가 있다.

본 연구에서는 수원시와 용인시 경계에 위치한 경희대학교 국제캠퍼스에서 PM₁₀ 및 PM_{2.5}를 채취하고 화학적 분석을 실시하였다. 또한, 수용방법론을 통하여 분진에 대한 오염원 확인과 그에 대한 기여도 평가를 수행하였다. 특히, 수용모델 중에서 오염원 분류표(source profile)가 확보되어 있지 않은 우리나라 실정에 적합한 양행렬인자분석법(Positive Matrix Factorization; PMF)을 이용하였다.

2. 연구 방법

시료의 채취는 2007년 5월부터 2008년 4월까지 12개월간에 걸쳐 이루어졌으며, 시료는 수원시와 용인시의 경계에 위치한 경희대학교 공과대학 6층(지상 20m)에서 채취되었다. 본 연구를 위한 PM₁₀과 PM_{2.5}의 채취는 high-volume air sampler(PM₁₀: General Metal Works, Model IP10, USA, PM_{2.5}: Thermo Electron Corp., Model GV2360, USA)를 사용하여 PM₁₀은 평균 1.3m³/min, PM_{2.5}는 1.2m³/min의 유량으로 각각 24시간 동안 시료를 채취하였다. 시료의 채취에 사용된 여지는 수정섬유여지(quartz microfiber filter, QM-A, 8"×10", Whatman)를 사용하였다. 미세먼지(PM₁₀)의 특성성분을 위하여 미세먼지중 무기원소, 이온, 탄소성분을 분석하였다. 무기원소의 분석을 위하여 전처리된 시료는 ICP-AES 분석법(DRE ICP, Leeman Labs Inc.)을 이용하여 Al, Mn, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Si, Ti, Ba, Ag 등 14개 항목을 분석하였다. 수용성 이온성분의 농도를 분석하기 위하여 이온 크로마토그래피(Dionex사, Model DX-400)를 이용하였으며, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등 8개 항목을 분석하였다. 시료 중에 포함되어 있는 탄소성분은 DRI/OGC 분석기를 사용하여 TOR/IMPROVED(Thermal Optical Reflectance/Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) protocol 법에 의해 분석하였다. 이 방법을 통해 OC1, OC2, OC3, OC4, OP, EC1, EC2, EC3 등 8가지 항목의 탄소성분을 측정할 수 있다. 탄소성분 분석을 통하여 자동차 오염원을 가솔린 자동차와 디젤 자동차 오염원가 가능하였다. 이와 같은 방법으로 분석된 자료를 PMF 모델에 적용시켜 분진의 오염원을 확인하고 그에 대한 상대적 기여도를 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 PM₁₀와 PM_{2.5}의 오염원을 확인하고 그에 대한 기여도를 추정하기 위해 각각 106개의 시료, 30종의 화학성분과 107개의 시료, 29종의 화학성분을 이용하여 PMF 모델을 수행하였다. 그림 1은 PMF모델의 반복수행을 통하여 확인된 오염원을 나타내었다. PM₁₀의 경우, 추정된 오염원은 secondary sulfate(13.8%), diesel vehicle(9.6%), oil combustion(8.0%), gasoline vehicle(4.5%), coal combustion(1.8%), Industrial related(10.3%), biomass burning(7.3%), soil related(21.3%), secondary nitrate(17.7%), sea salt(5.8%)으로 총 10개의 오염원으로 분석되었다. 각 오염원에 대한 일별 기여도의 경향과 CPF의 결과를 통하여 오염원을 보다 정확히 추정할 수 있었다(그림 2, 그림 3, 그림 4). 측정된 PM₁₀의 농도와 추정된 PM₁₀의 농도 사이의 R²은 0.93으로 높은 상관성을 보였다. 또한, PSCF모델을 이용하여 장거리 오염물질의 오염원의 위치를 확인하고자 하였다. 많은 참고문헌을 검토하여 오염원에 대한 정확한 결과를 도출하고, 본 연구결과는 해당지역의 미세먼지 개선방안을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

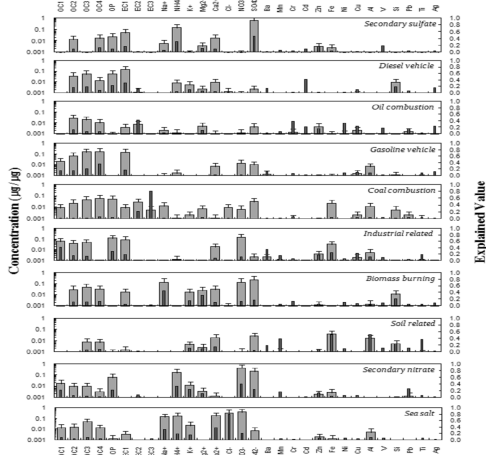


Fig. 1. Source profiles resolved from PM₁₀ samples.

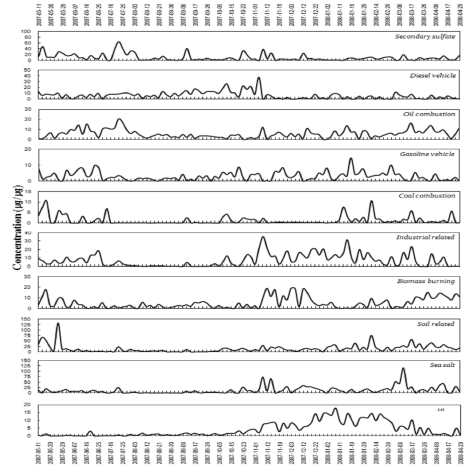


Fig. 2. Time series plot of source contributions.

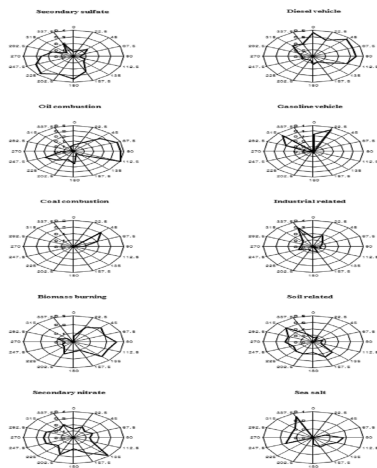


Fig. 3. CPF plots for the highest 20% of the mass contributions.

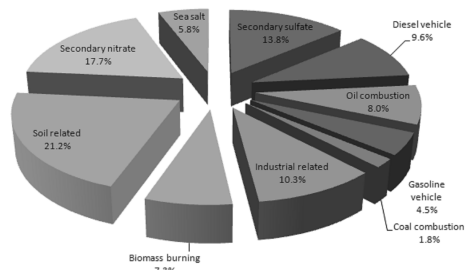


Fig. 4. Relative contributions of the identified sources to the PM₁₀.

사 사

본 연구는 2008년 경기지역 환경기술개발센터 『용인시 대기환경 개선방안 연구(08-III-1)』의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

황인조, 김동술 (2003) PMF 모델을 이용한 대기중 PM10 오염원의 정량적 기여도 추정, 경희대학교 대학원 환경학과 박사논문.

Weixiang Zhao and Philip K. Hopke (2004) Source apportionment for ambient particles in the San Gorgonio wilderness, Atmospheric Environment 38, 5901-5910.