

1C3) 대기 중 PM-10 오염원의 정량적 기여도 추정을 위한 PMF 모델의 적용

Application of the PMF Model for Estimating Quantitative Source Contributions of Ambient PM-10

황인조, 김동술¹⁾

경희대학교 산학협력기술연구원

¹⁾경희대학교 환경융용화학대학 대기오염연구실 및 환경연구센터

1. 서론

대기 중 입자상 및 가스상 오염물질에 대한 오염원의 영향을 확인하고 기여도를 정량화하기 위하여 수용방법론(receptor methods)이 이용되고 있다. 수용방법론은 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. 또한 수용방법론은 입자상 및 가스상 오염물질의 분석에 다각도로 응용할 수 있으며, 합리적인 대기오염 관리를 유도하는 기초기술이라 할 수 있다(황인조 등, 2001).

수용방법론에서 대기 중 오염물질의 자료(X 행렬)와 오염원 분류표(A 행렬)를 확보할 수 있다면 오염원에 대한 정량적 기여도를 추정할 수 있다. 그러나 각 지역, 각 나라의 수많은 오염원에 대하여 모든 오염원을 모두 확인(identification)하는 작업은 어려운 일이며, 또한 지역적으로 배출되는 오염물질의 배출성분을 모두 측정, 분석하는 것도 시간적으로, 경제적으로 어려운 일이다. 이러한 제약점은 수용방법론 중 PMF, TTFA, UNMIX 모델 등과 같은 다변량 분석법을 이용하여 해결할 수 있으며, 현재 미국을 중심으로 미주지역 각 나라들의 수용방법론 연구 경향은 상기의 다변량 분석법을 이용한 오염원 기여도 추정 연구에 많은 노력들을 기울이고 있다(Hopke, 2000). 이 중에서 PMF 모델은 가장 최근에 개발된 모델로서, 오염원 분류표의 부재시에 적용할 수 있는 즉, 우리나라의 실정에 적합한 수용방법론이라 할 수 있다.

본 연구에서는 채취한 PM-10 시료에 대한 분진농도 및 무기원소, 이온성분, 탄소성분 등을 분석하여 본 연구지역의 일반 대기질 현황을 파악하고자 하였다. 또한 수용방법론 중에서 PMF 모델을 적용하여 본 연구지역 주변 오염원의 정량적 기여도를 파악하고자 하였다. 또한 각 오염원의 기여도를 바탕으로 본 연구지역의 대기질을 개선하기 위한 각 오염원의 효율적 제어 방안과 관리방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

시료의 채취기간은 1999년 3월부터 2001년 12월까지이며, 시료의 채취장소는 경기도 용인시에 위치한 경희대학교 자연과학대학 옥상(5층)에서 시료를 채취하였다. 대기 중 PM-10의 채취는 고용량 시료채취 장치인 high-volume air sampler (USA, General Metal Works, Model IP10)를 사용하여 평균 1.13 m³/min의 유량으로 평균 24시간동안 시료를 채취하였다. 시료의 채취에 사용된 여지는 수경성유여지(quartz microfiber filter, QM-A, 8"×10", Whatman)를 사용하였다. 여지는 시료채취 전후로 3일간 환온, 항습상태의 전자 메시게이터(Sanplatec Corp., Model Oyin 09678BN) 내에 보관하여 항량시킨 후 0.01 mg의 감도를 갖는 전자저울(A&D Co., Model HM-202)로 칭량하였다. 칭량 전후의 무게차를 분진의 무게로 간주하였으며 이를 유량으로 나누어 분진농도를 계산하였다. 전처리가 끝난 시료는 ICP-AES 분석법(DRE ICP, Leeman Labs Inc.)을 이용하여 Al, Mn, Ti, V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Ba, Ce, Pb, Si 등 16개 항목을 분석하였으며, 수용성 이온성분은 이온 크로마토그래피(Dionex사, Model DX-400)를 사용하여 Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ 등 8개 항목을 분석하였다. 또한 PM-10 중 입자상 탄소성분은 원소 분석기(EA, Elemental Analyzer; Model Flash EA 1112,

ThermoQuest CO.)를 이용하여 분석하였다.

PM-10 오염원의 정량적 기여도를 파악하기 위하여 PMF 모델링을 수행하였으며, 먼저 입력 변수들에 변화를 주어 최적의 PMF 모델링 조건을 도출하였다. 이러한 최적 조건을 바탕으로 오염원을 확인한 후, 각 오염원의 오염원 분류표를 계산하여 기여도를 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

최적의 모델링 변수를 이용하여 PMF 모델링을 수행한 결과 최적의 오염원 수를 11개로 결정하였으며, Fpeak test를 거쳐 G 행렬이 산출되면 다중회귀 분석을 수행하여 최종적으로 scaled F 행렬과 scaled G 행렬을 결정한다. 다음으로 오염원 분류표를 의미하는 scaled F 행렬을 이용하여 11개 오염원을 확인하였으며 각 오염원의 기여도를 의미하는 scaled G 행렬을 이용하여 각 오염원의 계절별, 월별, 비황사시와 황사시의 정량적 기여도를 추정하였다. 본 연구지역에서 1999년부터 2001년까지의 전체 평균 기여도는 2차 입자 관련 오염원이 28.8 % ($26.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 기여도를 나타내어 연구지역의 대기질에 가장 많은 영향을 미치는 오염원으로 조사되었으며, 다음으로는 토양 관련 오염원이 16.8 % ($15.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 쓰레기 소각 오염원 11.5 % ($10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 불법소각 오염원 11.0 % ($9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 화석연료 연소 오염원 10.8 % ($9.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 산업공정 관련 오염원 8.3 % ($7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 자동차 관련 오염원 7.9 % ($7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 기름, 석탄 연소 오염원 4.4 % ($4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 비철금속 관련 오염원 0.3 % ($0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 해염 오염원 0.2 % ($0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 순으로 기여도를 나타내었다.

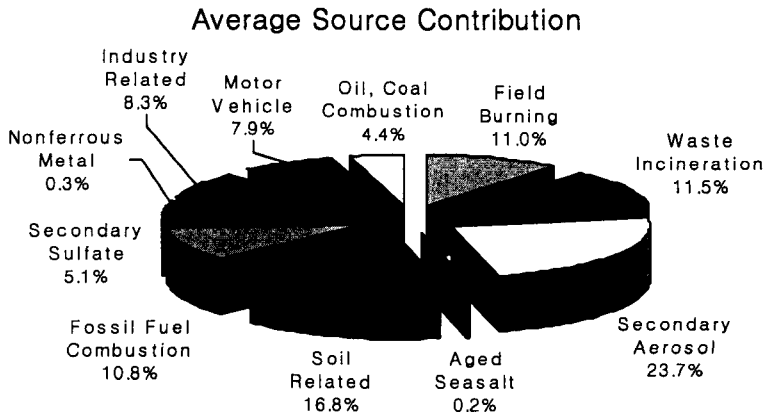


Fig. 1. Average source contribution for the whole period of sampling using the PMF model in Suwon area.

참고 문헌

황인조, 김태오, 김동술 (2001) PMF 방법론을 이용한 수원지역 PM-10의 오염원 확인, 한국대기환경학회지, 17(2), 133-145.
 Hopke, P.K. (2000) A guide to Positive Matrix Factorization, in *Workshop on UNMIX and PMF as applied to PM2.5*. Edited by R.D. Willis, RTP, NC, EPA 600/A-00/048.