

## 2C4) PMF2를 이용한 대전 1·2 공단 분진오염원의 정량분석 Quantitative Analysis of Sources of Ambient Particles at the 1st and 2nd Industrial Complex of Daejeon by PMF2

임증명 · 이현석 · 이진홍  
충남대학교 환경공학과

### 1. 서 론

교통수단의 발달과 경제활동이 활발해짐에 따라 많은 오염문제가 발생하였는데, 특히 대도시내의 산업단지에서 발생하는 오염물질들은 주거지역과 인접하여 위치하고 있기 때문에 대도시 시민들의 생활과 밀접한 관계를 맺고 있다고 하겠다. 우리나라에서는 2001년부터 대기환경기준에서 TSP항목을 삭제하고 PM10으로 단일화하여 규제를 실시하였으며 이러한 PM10은 인체의 호흡기 계통에 치명적인 악영향을 주는 것으로 오래전부터 밝혀져 왔다. 그러므로 분진의 발생을 억제하여 인간 활동에 불편이 없도록 하기 위해서는 분진의 발생원을 정확히 파악하고 이에 대한 대책을 마련해야 한다.

이에 본 연구는 대전 1·2산업단지에서 2000년부터 2002년까지 3년 동안 매주 대기분진을 채취하고 상호 보완적인 동시 다원소 분석방법인 INAA와 ICP-MS를 이용하여 약 30여종의 대기분진 내 원소농도를 분석 하였고, 이를 바탕으로 2차원의 Positive Matrix Factorization(PMF2)를 사용하여 오염원을 평가하고자 한다.

### 2. 연구 방법

#### 2. 1 시료의 채취

대기 중 PM10 시료는 대전 1·2산업단지의 남쪽 하단에 위치한 대화동사무소 건물 옥상(지상 약 6.5m)에서 high-volume air sampler(Graserby Andersen SAUV-10H Model)를 이용하여 채취하였고 여지는 기계적 강도가 강하고 압력강하가 작은 cellulose-fiber 여지(Whatman 41, 8"×10")를 사용하였는데, 이 여지는 미량금속에 대해 화학적으로 매우 적은 바탕농도를 갖고 있어 미량금속의 분석에 효율적인 것으로 판단된다. 시료채취를 위해 샘플러의 유속을 0.85 m<sup>3</sup>/min 으로 24시간 운전하여 시료 당 공기량이 약 1,200 m<sup>3</sup>가 유지되도록 하여 채취하였다. 채취된 시료는 항량 과정을 거쳐 무게를 잰 후, 시료 분석 전까지 데시케이터에 보관하였다. 시료 채취기간은 2000년 4월 6일부터 2002년 12월23일까지 24시간씩 총 136개의 PM 10 시료를 채취하여 기기중성자 방사화분석법(INAA)과 유도결합플라즈마 질량분석법(ICP-MS)으로 분석하였다.

#### 2. 2 INAA

채취된 PM10 시료의 원소분석을 위해 한국원자력연구소의 연구용원자로(HANARO)에 설치된 공압이송조사공(PTS)을 사용하여 조사( $\Phi_n$ :  $2.95 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ )하였다. 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. 계측된 데이터로부터 원소의 농도를 계산하기 위하여 Labview로 작성한 중성자방사화분석용 함량 계산프로그램을 사용하였다.

#### 2. 3 ICP-MS

시료의 전처리 방법으로 마이크로파 시료용해법(MLS-MEGA model)을 적용하였으며 이 방법은 hot

plate를 이용하는 방법보다 100배 이상의 빠른 분해 시간, 270℃의 가열 온도, 적은 시료 오염, 휘발성 원소 손실의 극소화, 그리고 자동화 시설과 같은 장점을 지니고 있다. 전처리 방법은 세척과정을 마친 각 용기에 분진 시료를 1/10 정도의 크기로 잘라 혼합산(질산:과염소산 = 4:1)을 넣고 장치를 세팅한 후 프로그램을 입력하여 250 W에서 5 min, 400 W에서 5분, 650W에서 10분, 250W에서 5분 동안 산 분해 하였다. 이렇게 산분해한 시료를 꺼내어 식힌 후, 1 % 질산 용액으로 수회 씻어 폴리에틸렌 용기에 옮기고 산도를 맞춘 후에 저울에서 50g로 표정한 후 ICP-MS 분석용으로 보관하고, 충남대학교 공동실습관이 보유한 ICP-MS (Perkins Elmer ELAN-6000 Model)를 이용하여 분석하고 대기 중 농도로 환산하였다.

### 3. 결과 및 고찰

PMF2 모델링에 사용될 원소자료의 선별작업을 수행하였는데 비교적 큰 불확도를 갖고 있는 Hf, Lu, Rb, Yb의 4가지 원소는 제외시키고 총 136개의 시료에서 31개의 원소농도 자료를 이용하였다. PMF2 모델을 이용하여 평가한 오염원의 분류는 인자부하량이 큰 성분들을 모두 포함하는 오염원을 선별하여 인자부하량이 가장 큰 성분에 대해 내림차순으로 정렬하고, 선별된 오염원 중 data quality가 높은 A~C 등급을 고려하여 정성적인 평가가 이루어졌다. PMF2 모델링을 통해 재생산한 분진농도와 측정된 분진의 농도와의 관계를 다음의 그림 1에 나타내었는데, 두 값 사이의 결정계수는 0.83으로 계산된 값이 실제 농도의 83% 정도를 설명하는 것으로 나타났고 PMF2를 이용한 오염원의 기여도 정량이 잘된 것으로 판단할 수 있다. PMF2 모델에 의해 설명된 각 오염원의 질량기여도를 보면 Cement와 Fuel oil combustion이 가장 큰 19%를 나타내었고, 지각기원의 SiO<sub>2</sub>, soil dust가 각각 15%와 11%로 나타났다. Road dust와 automobile exhaust에 의한 기여도는 각각 5%와 8%이고, metal alloy, As-related, sulfide smelter등의 공정관련 오염원은 각각 8%, 5%, 2%, 폐기물 소각에 의한 오염원 기여는 8%로 나타났다. 결과적으로 지각성분들의 비산에 의해 발생하는 오염원은 총 26%를 차지하고 건설현장이나 시멘트 공장에 의해 발생하는 분진량은 총량의 19%로 큰 비율을 나타냈다. 또한 화석연료의 사용에 의한 발생량도 19%를 차지하고 있었다.

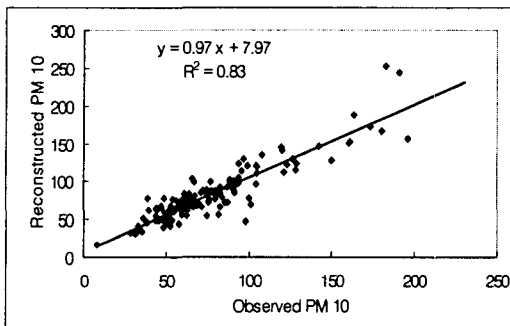


Fig. 1 .Scatter plot of observed PM10 and modeled PM10 mass concentration

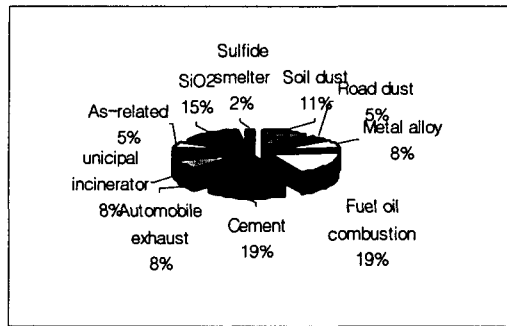


Fig. 2. Average source contribution for the whole period

### 참고 문헌

- Hopke P.K.(1989) *Factor Analysis To Apportion Sources In Aerosols user's manual*, Programs for Target Transformation Factor analysis, Clarkson University.
- Lee Eddie, Chak K. Chan, Pentti Paatero (1999) Application of positive matrix factorization in source apportionment of particulate pollutants in Hong Kong, *Atmospheric Environment*, 33, 3201-3212.