

4C1) 도로변 대기 중 호흡성분진(PM10)의 오염원 기여도 평가

Source Apportionment of Respirable Particulate Matter (PM10) at Roadside Area

임종명 · 김성진 · 이진홍 · 정용삼¹⁾

충남대학교 환경공학과, ¹⁾한국원자력연구소 하나로 이용기술개발부

1. 서 론

일반적으로 대기 중 부유분진의 발생원은 토사의 재 비산이나 해염 입자, 화분 등과 같은 자연적인 발생원과 산업시설, 조각시설, 난방, 수송수단의 이용 등의 인간 활동에 의한 인위적인 배출원으로 대별되며 인위적인 배출원의 영향은 자연적 발생원에 비해 그 영향이 보다 폭넓고 중요하게 다루어지고 있다. 특히, 화석연료의 연소와 관련이 있는 각종 산업시설의 증가 및 대형 디젤 자동차의 급격한 증가는 대기 중 부유분진의 농도를 증가시키는 중요한 요인이 되고 있다. 도로변에서의 호흡성분진 농도는 산업단지 또는 주거단지 내에서 발생하는 호흡성분진과 다른 특성을 지니고 있는 것으로 보고되어 왔다. 그러나 국내에서 호흡성분진의 가장 큰 오염원으로 인식되고 있는 차량에 의한 호흡성분진의 특성을 수용점을 기준으로 조사한 예는 많지 않다. 그러므로 본 연구는 대전시에서 교통량이 가장 많은 지역 중의 하나인 충남대학교 정문 교차로에서 호흡성분진(PM10) 시료를 채취하고 금속원소와 무기이온을 정량 분석하여 도로변에서 금속원소의 분포특성을 파악하고자 하며 최종적으로 이러한 분진의 오염원 기여도를 정량적으로 평가하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 시료채취

본 연구에서는 호흡성분진(PM10) 시료를 2000년 3월 29일부터 2002년 5월 24일까지 대전시에서 교통량이 가장 많은 지역 중의 하나인 충남대학교 정문 옥상에 PM-10 대량 공기채취기 (Sierra Andersen : SAUB-10H Model)를 이용하여 유량을 약 0.85 m³/min, 시료당 공기량이 약 1,150 m³가 유지되도록 하여 총 182개의 시료를 채취하였다. High volume air sampler의 유속 변화에 따른 공기 흡입량은 시료채취 시작시와 종료시의 유량을 측정하여 보정하였고, 500시간 경과하여 motor brush를 교환할 때마다 orifice calibrator(GMW-25)를 이용하여 유속을 보정하였다. 여지는 기계적 강도가 좋고 압력강하가 적은 Whatman No. 41 (8"×10", cellulose-fiber)를 사용하고, 채취된 시료는 항량 과정을 거쳐 무게를 잰 후, 시료 분석 전까지 데시케이터에 보관하였고, 중성자방사화분석과 Ion Chromatography를 이용하여 22종의 중금속과 3개의 이온성분이 분석되었다.

2.2 조성원소 분석

금속원소의 분석은 중성자방사화분석을 사용하였는데 분석시료의 방사화를 위해 한국원자력연구소의 연구용 원자로인 HANARO의 기송관($\Phi_{th} = 2.95 \times 10^{13}$ n/cm²·sec) 조사시설을 이용하였으며 조사된 시료의 방사능계측에는 고순도 게르마늄 반도체 검출기(EG&G ORTEC, 25% relative efficiency, 1.85 keV FWHM at 1332 keV ⁶⁰Co, 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. 모든 시료는 동일한 기하학적 조건에서 조사, 계측하여 분석오차를 최소화 시켰으며 기기 중성자방사화분석을 이용한 대기분진 분석의 분석 정도관리를 위해 대기분진 인증표준물질(NIST SRM 2783)을 사용하였다. 이온성분은 초음파 세척기(Branson 8210, USA)를 이용하여 30분간 초음파 추출하고 0.2 μ m syringe filter(Nalgene, USA)로 여과하는 전처리과정을 거쳤다. Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺의 분석에 사용된 이온크로마토그래프는 Metrohm사의 761 Compact IC model이며 검량선 작성 및 QA/QC를 위한 표준용액은 Multi-Component Standard 용액(음이온:

IC-MAN-18-1, 양이온: IC-MCA-02-1, AccuStandard Inc.)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

연구대상지역에서의 PM10의 계절 평균농도는 봄 163 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 여름 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 겨울 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 건조한 기상조건과 황사의 영향으로 봄에 PM10의 농도가 가장 높게 나타났다. 특히 황사가 발생한 날의 PM10 농도(18개 시료)는 평균 370, 최대 1585 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 보여 황사가 발생하지 않은 날의 평균 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 매우 높았다. PM10내 금속원소 성분들의 농도는 자연적 발생원에 의한 Al, Ca, Fe, K, Mg, Na가 높게 나타났으며, 특히 Al과 Fe가 가장 높은 2612, 2412 ng/m^3 을 나타내었으며 EF(Enrichment factor) 분석 결과 인위적인 발생원으로 판단되는 Cl의 농도가 2625 ng/m^3 로 높은 농도를 보였다. 또한 연구대상지역인 도로변에서 As의 산술평균은 5.7 \pm 5.5 ng/m^3 , Mn는 61.6 \pm 187.2 ng/m^3 , Se은 2.1 \pm 1.8 ng/m^3 , V은 5.5 \pm 6.5 ng/m^3 , Zn는 120 \pm 66 ng/m^3 였고, 이온성분들의 농도는 NO_3^- 의 산술평균이 4.3 \pm 5.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, SO_4^{2-} 는 7.3 \pm 5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NH_4^+ 는 4.4 \pm 3.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. IC로 분석된 수용성 Cl⁻의 농도는 2.0 \pm 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 INAA에 분석된 총 Cl의 농도 2.6 \pm 1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮았으며 두 농도군의 상관계수(slope = 0.77 \pm 0.09, $r^2=0.85$)는 매우 높게 나타났다.

다음의 그림 1에 일부 원소들의 상관분석 결과를 나타내었으며 PMF2 모델을 이용하여 호흡성분진의 오염원을 평가하였다. 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 분진농도와의 결정계수는 0.85로 나타나 PMF2를 이용한 오염원의 기여도 정량이 잘된 것으로 판단할 수 있다. PMF2 모델에 의해 설명된 각 오염원은 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , road dust, soil dust, vehicle exhaust, fossil fuel combustion, sea-salt로 분류되었고 각각의 오염원 기여도는 측정된 PM10 농도를 PMF2 모델에 포함시키고 scaling factor를 구하여 계산되었다.

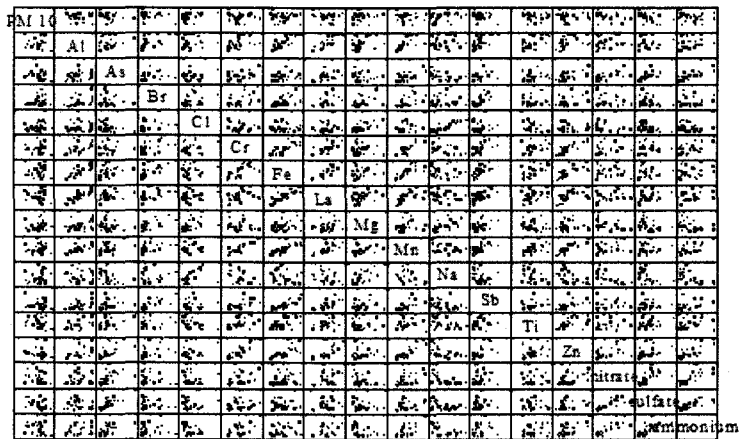


Fig. 1. Results of correlation analysis between elements

참고 문헌

- Landsberger, S. and Creatchman, M. (1999) *Elemental Analysis of Airborne Particles*, Gordon and Breach Science Publishers, U.S.A., 323 pp.
- 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,