

2001년 황사기간 중 서울시 북동부지점에서 관측한 중금속성분의 농도분포

최규훈¹·강창희²·양규승¹·최여진¹·김기현^{1,3}
(세종대학교 지구정보과학과 대기환경연구실¹ ·
제주대학교 화학과² · 경희대학교 환경연구센터³)

1. 서론

산업활동의 발달로 인한 화석연료의 사용 등과 같은 인위적 오염원의 증가는 이들을 통해 배출되는 오염물질들의 이동·확산·침적이 국지적인 규모를 초월하여 광역적인 규모로 진행되는 현상을 촉진하는 것으로 나타나고 있다. 특히 우리가 속해있는 동북아시아 지역은 황사와 같은 대기오염물질의 장거리 이동현상이 주기적인 형태로 발생하고 있으며, 우리나라는 중위도의 편서풍지대에 위치하여 봄철에는 강한 서풍기류의 영향을 많이 받으므로, 중국에서 발생한 황사의 제 1차 침전지역이 되고 있다 (정용승, 1986). 황사를 통해 유입되는 분진내의 중금속 성분들은 도심지역에서 인위적 오염원들에 의해 발생하는 중금속 성분들의 분포형태에 일종의 영향을 미칠 것으로 예상되고 있다. 이처럼 부유분진의 대기 중 농도, 입경분포 등에 대한 정보는 대기오염현상을 연구하는데 중요한 단서를 제공하고 있으며 (Mizohata *et al.*, 1986), 부유분진의 화학적 성분에 관한 연구는 입자상 물질이 인체에 미치는 영향 등을 파악하는데 실질적인 자료를 제공할 뿐만 아니라 주요한 배출원을 규명하는데 유용한 기준으로 활용이 되고 있다.

2. 연구방법

입자상 물질 및 이들과 결합된 중금속성분들의 채취·분석은 서울시의 북동지역에 위치한 광진구 군자동의 세종대학교 내 5층 건물 영실관 옥상에서 이루어졌다. 시료채취는 2001년 3월 19일부터 같은 해의 4월 30일까지 봄철 황사현상이 빈번하게 발생하는 총 47일 동안 주중기간 29일을 택하여 수행하였다. 에어로졸의 금속 및 황 성분은 EPA Method 3051A의 방법에 따라 마이크로파 분해장치(CEM microwave digestion system, Model MARS-5)를 사용하여 산 용액으로 용출 시켰다. 시료가 채취된 필터를 테플론 용기에 넣고 진한 질산 9mL와 진한 염산 3mL를 가한 후 마이크로파를 조사하여 10분 동안 온도를 175℃로 올리고, 다시 이 온도에서 5분간 유지시켜 총 15분간 시료를 분해하였다. 마이크로파 분해를 거친 용액은 불용 물질을 거른(Whatman, 0.45 μm PVDF syringe filter) 후 최종적으로 50mL가 되도록 초순수로 표충하고, 이 용액을 분석용 시료로 사용하였다. 각종 금속 및 황(S) 성분들은 ICP-AES (Thermo Jarrell Ash, Model IRIS-DUO)법으로 분석하였다.

3. 결과 및 토론

본 연구대상 지역에서의 관측기간 동안 부유분진의 평균 농도치의 결과를 살펴보면, PM 2.5의 경우는 49.3 ± 29.2 (N=29) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM 10은 95.5 ± 46.1 (N=28) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 PM 10의 농도가 PM 2.5의 평균농도보다 2배 정도의 고농도를 유지하였으며, deviation 역시 PM 10에서 높게 측정되어 진동폭이 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 각각의 부유분진들에 포함된 중금속 성분들의 평균 농도 통계치는 다음과 같이 제시되었다. Na은 해염, 농작물 소각, 유리 제조업 등에 의해 발생하는 성분으로 (Hopke *et al*, 1985) 연구대상 지역인 세종대에서는 PM 2.5와 PM 10 내에서 각각 $309 \text{ ng}/\text{m}^3$, $699 \text{ ng}/\text{m}^3$ 으로 확인되었으며, K의 주요 오염원으로는 토양, 노천 소각, 유리 제조업, 석탄의 연소, 알루미늄 생산, 해염 등으로 (Hopke *et al*, 1985) 연구지점에서는 $435 \text{ ng}/\text{m}^3$, $1038 \text{ ng}/\text{m}^3$ 이었다. 또한 Cr은 혈암, 점토, 다른 종류의 진흙 등이 바람에 의해 침식되면서 생성되는 것으로 (환경부, 1999) $13.7 \text{ ng}/\text{m}^3$, $18.8 \text{ ng}/\text{m}^3$ 의 농도를 보였으며, Pb의 경우에는 $96.4 \text{ ng}/\text{m}^3$, $124 \text{ ng}/\text{m}^3$ 으로 자동차에 의한 배출이 반영되었다. 이들 중금속의 농도는 PM 2.5 내에서 $\text{Co} < \text{Mo} < \text{Cd} < \text{V} < \text{Sr} < \dots < \text{K} < \text{Ca} < \text{Al} < \text{Fe} < \text{S}$ 의 순이었고, PM 10은 $\text{Co} < \text{Mo} < \text{Cd} < \text{V} < \text{Sr} < \dots < \text{K} < \text{S} < \text{Fe} < \text{Ca} < \text{Al}$ 의 순으로 저농도를 유지하는 성분들은 비슷한 농도순을 보였으나 고농도의 성분들에서는 다소 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

본 연구대상지역의 중금속 농도분포를 다양한 관점에서의 분석을 위해 지각에서 기원되는 Al을 기준으로 하여 각 성분들의 부화계수 (Enrichment Factor)를 산정해 보았다. 대략 EF값이 수십 또는 수백을 초과할 때 부화의 정도가 심하다고 인정할 수 있다. PM 2.5, PM 10, 조대입자들 모두에서 EF값이 10 이상을 차지하는 성분들로는 Zn, Cr, Pb, Cu, Ni, Co, Mo 등으로 주로 인위적 오염원에서 배출되는 성분들인 것으로 나타났다.

본 연구와 과거의 결과들을 (서울 2 지점, 대전·대구·원주·경기 각각 1 지점)공간적인 관점에서 비교분석을 실시하였다. Fe는 비교대상지점들에 비해 최고 $1412 \text{ ng}/\text{m}^3$ 의 농도차이 (서울 불광동)를 보일 정도로 높고, Mn도 상대적으로 높게 나타났다. 반면 Cr은 대전의 공단지역 및 서울의 상업지역인 신촌에 비해 낮고, 주거지역인 원주나 서울의 불광동보다 고농도를 유지하였다. Pb의 경우는 $133 \text{ ng}/\text{m}^3$ 으로 상대적으로 모든 비교대상지점들에 비해 낮은 농도치를 보여주었다.

본 연구가 황사기간에 이루어져, 황사기간 (3/20~3/25, 4/7~4/12, 4/24,~4/26)과 비황사기간을 구분하여 중금속 농도를 분석하는 것도 의미를 부여할 수 있다. 황사기간 동안 Al이 비황사기간에 반해 PM 2.5와 PM 10 내에서 $1253 \text{ ng}/\text{m}^3$, $3380 \text{ ng}/\text{m}^3$ 의 높은 농도차이를 비롯하여 대부분의 중금속 성분의 경우 Al과 비슷한 경향을 확인할 수 있었다. 다만, Cr, Pb, Cu, Co, Mo, Cd, S의 경우에는 오히려 비황사기간에 미세하게 높은 농도를 보이는 것을 포함하여 황사기간을 통해 높은 농도를 보이는 현상은 확인할 수 없었다. 이들 성분들 중에서는 자동차에 의한 오염원으로 발생하는 Cu, Pb를 비롯하여 인위적

오염원에 의해 영향을 받는 성분들이 주를 이루고 있음을 볼 수 있다.

오염물질들간의 상호 연관성과, 기상인자들이 오염물질들에 미치는 영향을 살펴보기 위해 상관분석을 실시하였다. 분석결과에 따르면, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, Mn, Ba 등이 강한 양의 상관성을 보인 반면, 인위적 오염원의 기원인 Zn, Cr, Pb, Cu 등과는 강한 상관관계를 확인할 수 없었다. 즉 각기 오염원의 형태에 따라 중금속 성분들이 독립적인 변화양상을 진행한다는 것을 유추 할 수 있다. 또한 기상인자와는 일사량과 일부 중금속 성분들에서 강한 음의 상관관계가 나타났다.

연구대상지역인 세종대 지점은 상업지역, 주거지역, 자동차 도로에 의한 영향이 동시에 복합적으로 작용할 수 있어, 풍계의 변화시 중금속 성분들의 농도에 변화를 가져올 수 있을 것으로 판단되어 풍향에 따른 농도변화를 살펴보았다. 이들 결과에 의하면 토양기원과 자연적인 오염원에 의한 영향을 받는 중금속 성분들 (Al, Fe, Mg 등)은 풍계의 변화에 따른 큰 농도차이를 확인 할 수 없었지만, Zn, Pb 등의 인위적 오염원 기원인 성분들은 동풍계열에서 기타 풍계에 비해 높은 농도를 나타내 동쪽에 위치한 도로에 의한 영향을 받는 것으로 분석되어 진다.

사사

본 연구는 한국과학재단이 지원하는 SRC 기후환경시스템연구센터의 지원으로 이루어졌습니다.