

PA59) 대도시 PM_{2.5}의 물리화학적 조성에 관한 연구

Study on the Characteristics on Physical and Chemical Properties of PM_{2.5}

안준영 · 김현재 · 전하은 · 오 준 · 박승명 · 이상욱 · 김정수
국립환경과학원 대기환경연구과

1. 서 론

미세먼지의 주요성분은 수용성이온, 탄소, 금속 및 water vapor로 이루어져 있으며, PM_{2.5}는 이차생성오염물질인 이온성분과 탄소성분이 주성분이라고 할 수 있다. 그 중에서 주요이온성분들은 대기중에서 화학반응에 의해 생성된 이차생성오염물질로써 강우의 pH에 직접적인 영향을 미치며, 건성 및 습성산성강하물의 형태로 토양에 침적된다. 또한 PM_{2.5}를 구성하는 주성분 중 하나인 탄소성분들은 크게 유기탄소(Organic Carbon, OC)와 무기탄소(Elementary Carbon, EC)로 나눌 수 있다. OC 농도의 계절적 변동에 비해 EC 성분의 계절적, 지역적 변동은 작다. OC 성분은 연료의 연소등에 의해 공기중으로 직접적으로 배출되는 일차오염물질이고 대기중에서 화학반응에 의해 입자상물질로 생성되는 이차오염물질이기도 하다. 반면, EC 성분은 주로 연소과정에서 발생하는 일차오염물질로 알려져 있다. 대기 중의 OC와 EC는 같은 오염원으로부터 배출되므로 EC의 농도는 탄소성분의 기원을 해석하는 중요한 인자로 활용되고 있다.

본 연구에서는 전국 주요 대도시인 서울, 인천, 대전, 광주, 대구, 부산, 울산 7개 도시의 PM_{2.5} 농도 현황을 파악하고 주요 구성성분인 이온, 탄소, 금속성분을 분석하여 각 성분의 조성에 관하여 살펴보았다.

2. 연구 방법

본 연구는 환경 대기 중 PM_{2.5}의 농도수준을 파악하기 위해 서울을 비롯하여 7개 광역시를 대상으로 측정지점을 선정하였고, PM_{2.5} 중 성분별 농도수준을 파악하기 위해 상시 측정기간을 두어 매 6일마다 1일간 채취하였다. 그리고 상시측정기간 외에 계절별로 봄철, 여름철, 가을철, 겨울철로 일정기간의 집중측정기간을 선정하여 수행하였다.

측정기간 중 PM_{2.5}의 채취는 Impactor type의 입경분리기를 사용한 중량법으로 측정하였다. 채취된 PM_{2.5}는 다음과 같이 분석하였다. 이온성분의 분석은 음이온성분(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) 분석은 이온크로마토그래피(Dionex, ICS-3000)를 사용하여 분석하였고, 양이온 중 암모니아 성분은 인도페놀법을 이용하여 연속자동흡광광도계로(Westco, SmartChem 140) 분석하였다. 나머지 양이온 성분(Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺)은 ICP-MS(Perkin Elmer, Elan DRC-e)로 분석하였다. 금속성분 분석을 위해 Microwave를 사용하여 추출하여 ICP-MS로 분석하였다. 또한, 탄소 성분을 분석하기 위해서 미국의 공인기관인 DRI(Desert Research Institute)에 의뢰하여 PM_{2.5}의 OC와 EC를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

'08년 7개 광역시의 PM_{2.5} 평균농도는 34 μ g/m³로 나타났다. 서울 40 μ g/m³, 인천 43 μ g/m³, 대전 36 μ g/m³, 광주 33 μ g/m³, 대구 35 μ g/m³, 부산 26 μ g/m³, 울산 29 μ g/m³으로 수도권 지역이 가장 높은 농도가 나타났다. 미국과 서유럽의 경우 연평균은 대체로 15~20 μ g/m³ 수준이며, 중국의 경우 2005년 주요도시 평균 105 μ g/m³, 아시아 지역 주요도시는 대부분 50 μ g/m³ 이상인 것으로 나타나고 있다. PM_{2.5} 농도는 계절적으로는 가을과 겨울에 높은 농도가 나타났으며 여름에 가장 낮은 농도가 나타났다. 서울의 가을, 겨울 농도는 54 μ g/m³, 48 μ g/m³, 인천은 67 μ g/m³, 47 μ g/m³로 나타났다. 인천은 연평균 43 μ g/m³로 가장 높았으며 4계절 모두 가장 높은 평균값을 보였다.

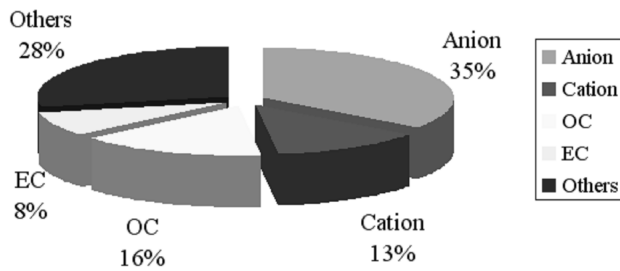


Fig. 1. PM_{2.5} Chemical components.

PM_{2.5} 구성성분 중 이온 성분이 PM_{2.5}의 각 지역별로 질량대비 44~55%으로 가장 큰 조성비를 차지하였고, 봄·겨울에는 SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ 등의 순으로 나타났으며 여름·가을에는 SO₄²⁻, NH₄⁺, NO₃⁻ 등의 순으로 나타났다. 측정지역 PM_{2.5}의 평균 34μg/m³ 중 이온 성분은 음이온 성분 12.1μg/m³, 양이온 성분 4.5μg/m³으로 각각 질량농도의 35.2%, 13.0%로 나타났다. 이온 성분 중 SO₄²⁻의 농도가 7.6μg/m³으로 가장 높았으며 NO₃⁻는 4.2μg/m³, NH₄⁺는 3.45μg/m³의 순으로 높게 측정되었다. 지역별로 이온의 농도를 살펴보면, 서울과 인천이 약 20μg/m³, 대구, 대전, 광주지역이 약 17μg/m³, 부산과 울산이 12~13μg/m³으로 나타났다. 이는 전체 PM_{2.5}의 질량농도 중 이온 성분이 차지하는 비율은 대략 48% 수준이었다. Shannkar 등이 일본 삿포로에서 5월에서 7월 사이에 측정한 결과를 살펴보면, SO₄²⁻, NH₄⁺, NO₃⁻ 등의 농도 순서를 보이며 각각 5.2μg/m³, 1.7μg/m³, 2.5μg/m³을 나타냈고, PM_{2.5} 질량대비 총 이온의 비율이 약 48%로 우리나라와 비슷한 분포특성을 보였다. Hiroaki 등의 일본의 동경에서 1994년부터 2006년까지 측정결과에서는 이온 성분의 함량은 대략 37%로 약간 낮았다.

측정기간 동안의 PM_{2.5} 성분 중 탄소성분의 평균농도는 유기탄소(Organic Carbon, OC) 5.4μg/m³, 무기탄소(Element Carbon, EC) 2.6μg/m³이었다. 총탄소(Total carbon, TC)는 8.0μg/m³였으며 PM_{2.5} 농도가 30μg/m³ 이하인 부산과 울산은 5.7, 5.5μg/m³으로 평균값보다 낮은 농도로 나타났다. 인천의 경우 PM₁₀ 농도는 악화되고 있는 것으로 나타나고 있는데, 본 연구에서 PM_{2.5}중 탄소성분의 농도는 11.0μg/m³으로 나타나 평균보다 3.0μg/m³ 높았으며 특히 EC의 농도가 타 지점의 2배 가량 나타나 EC의 조성이 높은, 즉 자동차 및 직접적인 연소에 의한 배출영향이 큰 것으로 판단된다. 아시아 지역의 다른 연구결과들과 비교하면 배경 지역으로 판단할 수 있는 몽고의 Ulan-Bator 지역은 OC 2.3μg/m³, EC 0.4μg/m³(He et al., 2004)와 일본의 교토 OC 5μg/m³, EC 1.3μg/m³보다는 낮은 수준이었으며, 중국의 여러 지역들보다는 매우 낮은 수준이며, 홍콩의 OC 5.3μg/m³, EC 3.2μg/m³과 유사한 수준으로 나타났다.

OC의 계절별 평균농도는 봄 5.8μg/m³, 여름 3.8μg/m³, 가을 7.1μg/m³ 그리고 겨울이 6.3μg/m³이었으며 EC의 경우 각각 2.2μg/m³, 1.6μg/m³, 4.1μg/m³, 3.2μg/m³로 나타났다. 여름철에 낮고 가을과 겨울이 높은 경향이 나타났으며 특히 가을철에 OC와 EC가 모두 가장 높은 농도를 나타내었다. PM_{2.5}의 농도가 가장 높은 인천지역의 경우 OC/EC의 비율이 가장 낮은 비를 나타내었다. 특히, 가을철 인천의 OC/EC 비는 1.3으로 2.0 미만이었으며 측정기간 중 최대값 역시 1.8로 2.0보다 낮은 비를 나타내고 있고 인천지역 PM_{2.5}의 탄소 성분이 주변지역에서 배출되는 오염원의 영향을 받고 있음으로 생각된다.

금속성분의 분석 결과, 미량 trace marker인 As, V, Se의 경우에 전체지점의 평균농도가 각각 3.2ng/m³, 3.4ng/m³, 2.0ng/m³을 나타내었다. As는 울산이 6.4ng/m³으로 가장 높았고 광주가 1.9ng/m³으로 가장 낮았으며, 서울, 인천 등은 2.3~3.3ng/m³의 농도 분포를 보였다. V는 부산과 울산이 5.7ng/m³, 4.7ng/m³으로 가장 높은 수준을 나타내었고 인천이 3.6ng/m³, 서울, 대전, 광주, 대구가 2.1~2.9ng/m³으로 비슷한 수준이었다. Se는 대구와 대전이 2.9ng/m³, 2.8ng/m³으로 다른 지역에 비해 다소 높은 수준을 보였고 서울, 부산 등 다른 지역들은 1.4~1.8ng/m³의 농도 분포를 보임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

환경부 (2009) 대기환경연보.

Hiroaki Minoura and Katsuyuki Takahashi (2006) Multi-year trend in fine and coarse particle mass, carbon, and ions in downtown Tokyo, Japan, Atmospheric Environment, Vol. 40.

Kim, Y.J. and J.-H. Woo (2009) Chemical Characteristics of Long-range Transport Aerosol at Background site in Korea, Atmospheric Environment, j. atmosenv. 2009. 03. 062.

Shankar Gopala Aggarwal and kimitaka kawamura (2009) Carbonaceous and inorganic composition in long-range transported aerosols over northern Japan: Implication for aging of water-soluble organic fraction, Atmospheric Environment, Vol. 43.

Steven J. Dutton and James J. Schauer (2009) PM_{2.5} characterization for time series studies: Pointwise uncertainty estimation and bulk speciation methods applied in Denver, Atmospheric Environment, Vol. 43.