

2C1) 2001년부터 2002년까지 고산에서 측정된 입자상 PAHs, 이온 및 원소 성분들의 주요 오염원 추정 Major Sources Affecting PAHs and Inorganic Species in Particles Measured between 2001 and 2002 at Gosan

이지이 · 김용표 · 강창희¹⁾ · 김영성²⁾

이화여자대학교 환경학과, ¹⁾제주대학교 화학과,

²⁾한국과학기술연구원 대기자원 연구센터

1. 서 론

1990년대에 들어서면서 대기 오염물질 중 PAHs (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)와 같은 잔류성 유기오염물질들을 오염원 추정 모델에 적용시켜 주요 오염원을 밝히고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나, PAHs는 모든 연소과정에서 배출되기 때문에 이들만을 통해 특정 오염원을 가려내기에는 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 제주도 고산에서 2001년 12월부터 2002년 11월까지 1년동안 측정된 입자상 PAHs 자료와 더불어 무기이온 및 원소 자료들을 함께 이용하여 고산지역의 주요 오염원을 추정하고자 한다.

2. 측정 및 분석 방법

고산측정소는 제주도의 서쪽 끝 지점(북위 33°17', 동경 126°10')인 제주도 북제주군 한경면 고산리 수월봉에 위치하고 있고, 제주 고층레이다기상대로부터 서쪽 방향으로 약 100 m 정도 떨어져 있다. 대기의 TSP PAHs를 채취하기 위한 장비로는 Graseby사의 고유량 채취기로 Model G/MB 2000H를 사용하였고, TSP 무기이온과 원소 성분의 측정에 사용한 고유량측정기는 자동입자채취기 (Kimoto Electric Co., Model 195A)이었다. PM_{2.5} 입자의 무기이온 성분을 측정하기 위해서는 2.5 μm 이하의 입자를 채취할 수 있는 테플론으로 코팅된 알루미늄 싸이클론식 분립장치 (URG-2000-30EH), 테플론 재질의 필터백 (Sarvillex-6T-473-4N)등으로 구성되어 있는 저유량 측정기를 사용하였다. 시료채취는 6일마다 오전 9시부터 다음날 오전 9시까지 24시간 채취하는 것을 원칙으로 하였다.

PAHs 분석은 우선 30분간 초음파추출 후 다시 Vortex mixer에서 진탕하였다. 이 과정을 2회 반복하고 membrane filter (Whatman PVDF syringe filter, 0.45 μm)로 여과한 후 여액을 풍건식 증발기 (Zymark, Model Turbovap 500)를 사용하여 농축하였다. 마지막으로 GC (Hewlett Packard, Model HP 5890 series II)/MSD (Hewlett Packard, Model HP 5972)를 사용하여 분석하였다. 전과정에서 걸친 회수율은 81.2~95.6%였다. 무기이온과 원소 분석에 관한 자세한 내용은 박민하 등 (2001)에 제시되어 있다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 상관분석

입자상 PAHs와 이온 및 원소 성분들의 관계를 이해하기 위하여 상관분석을 실시하였고, 크게 두 가지 특징을 찾았다. 우선, PAHs 중 자동차 배기가스에서 주로 배출되어진다고 알려진 Ind (Indeno (1,2,3-cd)pyrene), BghiP (Benzo(ghi)perylene), Phen (Phenanthrene), Anthr (Anthracene), Flt (Fluoranthene), Pyr(Pyrene) 성분들과 TSP와 PM_{2.5}내의 이온 성분들 중 K⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻과의 상관성이 높았다. 또한 이들 PAH 성분들과 S 및 Pb와 같은 원소 성분들간의 상관성이 높게 나타났다. NO₃⁻, SO₄²⁻는 자동차 및 화석연료 연소시에, S 및 Pb는 자동차 연소시와 석유 연료가 탈 때 주로 배출되어진다고 알려져 있다 (Harrison et al., 1996). 따라서, 위에서 제시된 PAH 성분들과 이온 및 원

소 성분들간의 높은 상관성은 화석 연료 연소의 영향을 의미한다. 다음으로는 PAH 성분들 중 분자량이 252로 동일한 BbF (Benzo(b)Fluoranthene), BkF (Benzo(k)Fluoranthene), BeP(Benzo(e)Pyrene) 및 BaP(Benzo(a)Pyrene)와 K, S, Pb, 및 Cd를 제외한 모든 원소 성분들과의 상관성이 높았다. BbF, Bk, BeP, 및 BaP들만의 주요 오염원은 찾을 수 없었지만, 원소 성분들 중 Al, Ca, Mg, Mn, Fe, 및 Ti 성분들이 토양 성분들로 알려져 있기 때문에, 이들의 상관성은 토양의 영향으로 해석된다.

3. 2 요인분석

보다 정확한 고산지역에서의 입자상 PAHs, 이온 및 원소 성분들의 발생기원을 확인하고, 그 특성을 조사하기 위한 또 하나의 방법으로 요인분석 (factor analysis)을 실시하였다. 요인분석은 변수들간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수들끼리 묶어주는 방법으로 대개 여러 변수들간의 상관 matrix에서 인자 적재값이 클수록 변수들간의 발생원이 유사하다고 추론할 수 있다. 본 연구의 요인분석에서 최적 인자의 수는 고유값 (eigenvalue) 1 이상을 기준으로 정하였고, 이 때 총 7개의 인자가 추출되었으며, 전체 인자 중 90.6%의 설명력을 보였다. 첫 번째 인자는 40.4%의 설명력을 보였고, Al, Fe, Ca, Ti, Mn, Ba, Sr, 및 Cr와 같은 원소 성분들이 높은 적재치를 보였다. 원소 성분들 중에는 Na^+ 와 Cl^- , PAH 성분들 중에는 BbF, BkF, BeP, 및 BaP들이 포함되었다. Al, Fe, Ca, Mn들은 토양 성분들이고, Na^+ 와 Cl^- 은 해염성분들이기 때문에 첫 번째 요인은 고산지역의 토양 및 해염성분들로 설명이 가능해진다. 두 번째 인자는 21.3%의 설명력을 보였고, 화석 연료 연소시 다량 배출되는 S, Zn, Pb등의 원소 성분들과 K^+ , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} 등의 이온 성분들이 포함되어 있다. 그런데, PAH 성분들 중에 휘발유 및 디젤 자동차의 지표물질로 알려진 Ind와 BghiP가 높은 적재치를 가지는 것으로 보아, 두 번째 요인은 여러 종류의 화석 연료 중 자동차 연소의 영향으로 해석되어진다. 세 번째 인자는 전체 변량의 13.7%를 설명하고 있고, 모든 PAH 성분들만이 포함되어 있기 때문에, 이 인자는 유기물질들의 특성을 나타낸다고 여겨진다.

요인분석을 통하여, 고산지역은 토양 및 해염성분의 영향을 가장 크게 받고, 그 다음으로 인위적 오염 성분 중 자동차에 의한 영향을 받는 것으로 나타났다.

사 사

이 연구는 환경부(과제번호: 2001-44001-8)와 기후 환경 시스템 연구센터 (SRC)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 박민하, 김용표, 강창희 (2001) 황사/비황사시의 입자 조성 변화:1993~1996년 봄철 고산 측정 자료, 한국대기환경학지, 17, 487-492.
- Harrison, R. M., Smith, D. J. T., Luhana, L. (1996) Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham. UK, Environ. Sci. Technol., 30, 825-832.