

1E4) 제주도 고산에서 측정된 대기 중 입자상 다환방향족 탄화수소의 농도 특성

Characteristics of the Particulate Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) at Gosan in Jeju island

이지이 · 김용표 · 강창희¹⁾

이화여자대학교 환경학과, ¹⁾제주대학교 화학과

1. 서 론

벤젠고리의 수가 2 ~ 3개인 저분자 PAHs는 대체적으로 급성 독성을 나타내고, 고분자인 벤젠고리 4 ~ 6개의 PAHs들은 대부분 발암성 및 돌연변이성 물질로 알려져 있다. 이러한 PAHs들은 화석연료의 불완전 연소 등에 의해 발생되고, 대표적인 오염원으로는 석탄, 자동차, 가정 난방 등이 있다. 대기 중의 다환방향족탄화수소(PAHs) 농도는 지역별, 계절별로 큰 차이를 나타내며, 일반적으로 차량 통행이 많은 대도시나 공단지역이 높고 계절적으로는 연료사용이 많은 겨울철에 높은 농도를 보인다. PAHs는 다양한 고정 배출원 및 이동배출원에서 발생하기 때문에 동일 배출원에 영향을 받더라도, 지역에 따라 농도 및 조성비가 달라질 수 있다 (백성옥, 1999; Simcik et al., 1999). 이와 같이 유해성이 큰 PAHs의 농도를 청정지역에서 측정된 결과는 대기오염물질의 배경농도 수준을 평가할 수 있으며, 농도 변화를 풍향, 풍속 등의 기상자료와 연계시켜 비교하면 오염물질의 장거리 이동 현상을 규명하기 위한 목적으로도 이용될 수 있다. 본 연구는 국내 도시지역이나 공단지역에서 유해성 문제가 논란이 되고 있고, 일부 도심지역에서는 측정이 되고 있으나 청정지역에서는 아직 연구가 미흡한 극미량의 PAHs 화합물들을 우리나라의 대표적인 배경지역인 고산에서 채취, 분석하여 그 특성을 이해하기 위한 것이다.

2. 실험 및 분석 방법

2. 1 측정 설비 및 기기

고산측정소는 제주도의 서쪽 끝 지점(북위 33°17', 동경 126°10')인 제주도 북제주군 한경면 고산리 수월봉에 위치하고 있고, 제주 고층레이다기상대로부터 서쪽 방향으로 약 100m 정도 떨어져 있다. 측정소는 바다와 인접해 있으면서 해발고도가 약 78m인 언덕 위에 위치하고 있다. 대기 중의 입자상 PAHs 성분을 채취하기 위한 장비로는 Graseby사의 High Volume Air Sampler로 Model G/MB 2000H를 사용하였다. 이 high volume air sampler는 현장의 컨테이너 옥상에 설치하였고, 시료 채취용 필터는 quartz microfiber filter (Whatman, QM-A, 20.3 × 25.4 cm)를 사용하였다.

2. 2 입자상 PAHs 채취 및 분석

입자상 PAHs를 채취하기 위하여 high volume air sampler의 공기 유량을 대략 1,000 ~ 1100 Lpm이 되도록 조절하였다. 시료는 2001년 11월부터 2002년 11월까지 1년간 24시간 단위, 6일 간격으로 채취하여 총 48개의 에어로졸 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 methylene chloride (Fisher, HPLC grade)를 가하여 30분간 초음파추출 후 다시 Vortex mixer에서 30분간 진탕하였다. 이 과정을 2회 반복하고 membrane filter (Whatman PVDF syringe filter, 0.45 μm)로 여과한 후 여액을 풍건식 증발기(Zymark, Model Turbopap 500)를 사용하여 농축하였다. 전처리된 시료는 자동주입기가 부착된 GC/MSD를 사용하여 분석하였으며, GC는 Hewlett Packard, Model HP 5890 series II 이고, MS는 quadrupole type으로 HP 5972 MSD이다. 또한 17종 PAHs 화합물의 정량분석은 Supelco사의 EPA 610 Polynuclear Aromatic Hydrocarbon Mix를 적절한 농도로 희석한 표준용액과 Phenanthrene-D₁₀ 내부표준물질을 사용하여 내부표준법으로 수행하였다. 정확도 평가는 미국 NIST(National Institute of Standard &

Technology)의 표준물질인 SRM 1649a (urban dust/organics)를 사용하였고, 상대표준편차는 6.0% ~ 21.8%의 범위를 보였다. 회수율은 분진이 채취된 quartz filter를 사용하여 측정하였고, PAHs 화합물들의 평균 회수율은 81.2 ~ 95.6%의 범위였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 입자상 PAHs의 총농도 및 성분별 농도 분포

제주도 고산측정소에서의 총농도는 평균 $3.31 \pm 2.88 \text{ ng/m}^3$ 이었고, 이는 미국의 비도심지역인 체사피크 베이, 레이크 슈페리어 및 미시간의 입자상 PAHs 농도와 비교시 높은 수준이었다. PAH 각 화합물별 입자상 평균 농도는 $0.74 \text{ ng/m}^3 - 13.38 \text{ ng/m}^3$ 이었고, PAH 성분들 중 Nap, Flt, Pyr, Phen, Chry, BbF, Ind, BghiP들이 농도가 높았고, NaP를 제외한 나머지 성분들의 상관관계도 높았다. 이는 석탄, 자동차 및 천연가스 연소에 의한 영향이라고 판단된다. 대기 중 입자상 PAH 성분의 요인분석을 실시하였고, 첫 번째 인자는 61.9%의 설명력을 보였고, Anthr, Flu, Phen, Ind, DahA, BghiP 등이 높은 적재치를 나타내었다. 이는 석탄과 자동차의 연소에 기인한 오염물질들의 영향으로 보인다. 두 번째 인자는 13.0%로, Acy, Chry, Pyr, BaA, 등이 높은 적재값을 나타내었고, 이는 난방에 사용되는 천연가스에 의한 영향으로 판단된다.

3. 2 입자상 PAHs의 총농도 및 성분별 농도의 계절적 특성

입자상 PAHs를 계절별로 농도 변화를 비교해 본 결과 봄, 여름, 가을, 겨울철 PAHs의 총 평균농도는 각각 3.26, 1.50, 2.26, 5.80 ng/m^3 로 겨울철에 높고 여름철에 가장 낮았다. 겨울철에는 대체적으로 각 PAH 성분들의 농도값이 다른 계절에 비해 높게 분포하고 있고, 그 중 Phen, Pyr, Flt이 특히 높았고, 이는 난방 연료의 사용 증가로 높아졌음을 암시한다. 여름철에는 PAH 각 성분들의 농도가 매우 낮고, 농도 분포가 다른 세 계절과는 다른 양상을 띄고 있는데, 이는 여름철 온도 상승으로 인한 이들 물질들의 휘발과 잦은 강우로 인한 습식 침적 때문인 것으로 판단되어진다.

3. 3 입자상 PAHs 농도의 일변화

2001년 11월부터 2002년 11월까지 총 48일에 대해 입자상 PAHs 농도분포를 시간에 따라 살펴 본 결과, 총 농도가 5 ng/m^3 이상인 경우는 총 16일이었다고, 이 중 역계적 분석을 통해 중국지방으로부터 대기의 이동이 있었던 날을 확인한 결과 14일이었다고, 황사 현상이 관측된 날은 3일이었다. 입자상 PAHs 총 농도가 높았던 날과 입자상 PAHs 총농도가 높지 않았던 날의 PAH 성분별 조성비를 살펴본 결과, 총 농도가 높았던 날에는 PAH 성분들 중 Phen, Flt, Pyr, Ind, BghiP 등의 농도가 높았고, 총농도가 높지 않았던 날에는 대부분 기체상으로 존재하는 저분자량의 Nap 에서 Flu까지가 높았다. 이는 고산지역의 입자상 PAHs가 중국의 영향을 받고, 황사현상과도 관련이 있을 가능성을 제시해준다.

사 사

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업, 한국과학기술연구원 및 기후환경 시스템 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 백성욱, 최진수 (1996) 환경대기중 다환방향족탄화수소의 출현양상과 거동(I)-지역적 및 계절적 농도 분포, 한국대기환경학회지, 18, 465-480.
- Simcik, M.F., S.J. Eisenreich, and P.J. Liroy (1999) Source apportionment and source/sink relationships of PAHs in the coastal atmosphere of Chicago and Lake Michigan, Atmospheric Environment, 33, 5071-5079.