

5C4) 전주지역 대기 중 다환방향족탄화수의 거동 특성 Atmospheric Behavior of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Cheonju Area

김형섭 · 김영성 · 김종국¹⁾

한국과학기술연구원 대기자원연구센터, ¹⁾전북대학교 환경공학과

1. 서 론

오염원으로부터 배출된 PAHs는 주변의 대기환경 조건에 따라 입자상과 가스상으로 분배된다. 이때 유기화합물들이 갖는 증기압에 따라 가스/입자 분배 평형에 따라 다른 비율과 시간이 차이를 보이게 된다. 가스/입자 분배는 대기중 입자상의 크기에도 영향을 받는다. 입자 크기는 건/습식 침적 등을 통한 PAHs의 제거에도 중요하며, 입자 크기에 따라 인체 내 폐 안에서의 침착 메커니즘과 침착 위치도 달라진다. PAHs를 비롯한 대기중 반 휘발성 유기화합물의 대기 중 거동 특성을 파악하기 위한 연구들은 주로 가스/입자 상분배, 입자크기 분포, 광화학적 손실 등에 초점이 맞춰져 왔다. 본 연구에서는 PUF (polyurethane foam) 카트리지가 장착된 대용량 공기채취기를 이용하여 환경 대기중 PAHs의 농도를 입자상과 가스상으로 나누어 측정하였으며, 다단식충돌 채취기 (cascade impactor)를 이용하여 입경별 PAHs 농도를 조사하였다. 시료는 전라북도 전주시 전북대학교 공과대학 캠퍼스 내 5층 건물의 옥상에서, 2002년 6월부터 11월까지 총 4회에 걸쳐 연속 강우가 없는 기간으로 5일간 채취하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 대용량 공기채취기 (Sibata HV-1100)를 이용하여 평균 유속을 200 L/min로 5일간 누적유량을 1000m³내외로 채취하였으며, PUF의 포화 누출을 방지하기 위하여 PUF 사이에 XAD-2 (Supelco) 수지를 샌드위치 형태로 삽입하였다. 다단식 충돌 채취기 (Sibata AH-600)는 566 L/min의 유속으로 흡입되어 절단 입경(cut-size)은 공기역학적 입경 기준, <1.1 μ m, 1.1~2.0 μ m, 2.0~3.3 μ m, 3.3~7.0 μ m, >7.0 μ m 등 5단으로 분리하였다. GC/MSD (HP5890/HP5973)로써 정성/정량되었으며, GC 분석용 컬럼은 DB-5를 사용하였고, MS 검출기는 SIM (selected ion monitoring) 모드로 운용하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 대기 중 농도

본 연구에서 PUF 카트리지가 장착된 대용량공기 채취기를 이용하여 검출된 대기 중 Σ_{24} -PAHs의 농도는 66~102 ng/m³로, 평균값은 84 ng/m³이었다. 개개 화합물의 평균 농도는 0.02ng/m³에서 33.4ng/m³이었다. Pery의 농도가 가장 낮았으며, 가장 높은 농도를 보이는 화합물은 NaP으로 전체 PAHs의 약 30%를 차지하였다. 또한 methyl 기로 치환된 NaP계열의 화합물의 비율이 높았으며 Flu, PhA, FluA, Pyr 등도 높았다. 가스상과 입자상의 평균 Σ_{24} -PAHs의 농도는 각각 79, 4.8ng/m³으로 가스상이 약 90%를 차지하였다.

3. 2 가스/입자 분배

대기중 가스/입자 분배는 입자 표면에서 흡착과 흡수에 의해서 이루어진다. 가스/입자상 분배현상은 식(1)과 같은 분배계수 K_p 로 표시될 수 있으며, 식(2)와 같이 액상증기압(P_L^0)에 대한 함수이다.

$$K_p = \frac{C_p}{TSP \cdot C_g} \quad (1)$$

$$\log(K_p) = b_r + m_r \log(P_L^0) \quad (2)$$

이 때 C_p 는 입자상(ng/m^3), C_g 는 가스상 농도이며(ng/m^3), $\text{TSP}(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 는 총 부유먼지 농도, b_r 와 m_r 은 $\log(K_p)$ 와 $\log(P_L)$ 을 플롯하였을 때 선형 회귀식의 절편과 기울기이다. 가스상과 입자상 농도가 평형일 때 이론적으로 기울기 m_r 은 -1 값을 갖게 된다(Pankow, 1994). 그러나 m_r , b_r 등 회귀변수는 주위 환경에 따라 많은 차이를 보이며, 본 연구의 -0.48~-0.63을 비롯하여 다른 조사에서도 기울기 m_r 은 -1 보다 낮은 값을 나타내고있다. 본 연구에서 기울기가 -1의 값을 가지지 못하는 이유로는 (1) 느린 흡착 속도와 (2) 입자상 분배가 어려운 PAH 성분의 존재, (3) 샘플링 과정에서 가스/입자 분배의 왜곡현상 등이 추정되었다. 가스/입자 분배가 비록 평형이 아니라도 ($m_r \neq -1$) 절편 b_r 는 여전히 입자의 표면적에 따라 변한다. 본 연구에서 절편은 -5.2~-5.8로 변화폭이 작았으며, 이는 측정기간 동안 먼지의 표면적이 크게 변하지 않았음을 말해주는 것으로 해석되었다(Pankow and Bidleman, 1992).

3. 3 입자 크기 분포

먼지의 질량 농도는 1~7 μm 입경 범위에서 높은 반면, PAHs 농도는 2.0 μm 이하의 미세 먼지에 59~71%가 분포되었다. 특히 분자량이 높아 휘발성이 낮은 고리수 4-6개 그룹의 PAHs 화합물은 약 60~80%가 2 μm 이하의 미세 먼지에 존재하였다. 그러나 고리수 2개의 저분자량대 PAHs 화합물들은 전체 부유먼지에 비교적 고르게 분포되었고, 고리수 3개의 PAHs 화합물은 고리수 2개와 고리수 4-6개 화합물을 혼합한 형태의 분포를 보였다. PAHs는 보통 미세입자를 배출하는 연소시설에서 함께 배출된다. 따라서 주로 미세입자에 흡착되어 있거나 기체상으로 배출된다. 미세입자에 존재하는 저분자량대의 PAHs는 휘발에 의해 조대입자로 이동·응축이 가능한 반면 고분자량대의 PAHs는 휘발이 어려워, 주로 오염원에서 배출된 상태 그대로 미세 입자에 존재한다(Allen et al., 1996).

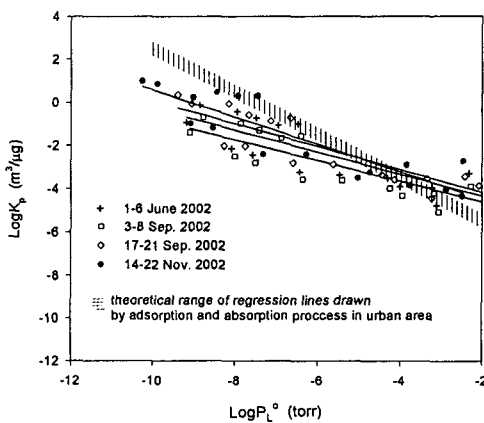


Fig. 1. $\log(K_p)$ vs $\log(P_L)$ for PAHs.

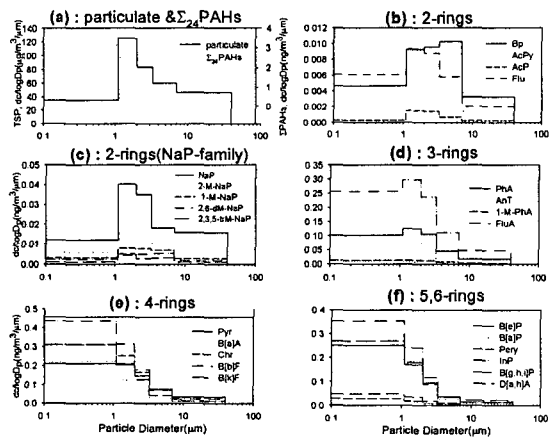


Fig. 2. Size distribution of particulate mass & PAHs.

사 사

본 연구는 과제번호 2001-44001-8인 환경부 차세대핵심환경기술개발사업과 한국과학기술연구원의 금수강산 21사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Allen, J.O., Dookeran, N.M., Smith, K.A., Sarofim, A.D., Taghizadeh, K., Lafleur, A.L. (1996) Measurement of PAHs associated with size segregate atmospheric aerosols in Massachusetts, *Environ. Sci. Technol.*, 30, 1023-1031.

- Pankow, J.F. (1994) An absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere, *Atmos. Environ.*, 28, 185-188.
- Pankow, J.F., and Bidleman, T.F. (1992) Interdependence of the slopes and intercepts from log-log correlations of measured gas-particle partitioning and vapor pressure-I. Theory and analysis of available data, *Atmos. Environ.*, 26A, 1071-1080.