

AA2) 입자상 PAHs의 건식 침적량과 건식 침적 속도 추정 Estimation of Dry Deposition Fluxes and Velocity for Particulate PAHs in Korea

이지이 · 배수아 · 이승득¹⁾ · 김용표

이화여자대학교 환경학과, ¹⁾Dept. of Civil and Env. Eng., Clarkson Univ, USA.

1. 서론

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(다환방향족 탄화수소류, 이하 PAHs)는 두 개 이상의 벤젠 고리로 구성되어 있는 반휘발성 유기물질로서 가스상과 입자상에 모두 존재한다. PAHs는 주로 불완전 연소에 의해서 생성되며, 주요 고정 오염원은 주거 난방, 코크 산업, 소각이고, 주요 이동오염원은 자동차 엔진이다. PAHs에는 강한 발암성 혹은 돌연변이원성을 가진 화합물들이 포함되어 있고, 주변 대기에 널리 분포되어 있을 가능성이 높기 때문에 일반 대중이 쉽게 노출될 수 있다.

입자상과 기체상의 오염물질은 강우나 강설 현상 없이도 대기 중에서 지표면으로 이동한다. 이러한 대기 오염물질의 건식 침적은 대기 오염물질이 대기에서 지표로 이동하는 중요한 방법이다. 대기중 입자의 건식 침적량을 파악하는 방법으로 직접 측정 이외에도 모델을 통하여 침적 속도를 산출하여 입자의 대기중 농도와 함께 결합하여 건식 침적량을 산출하는 간접 측정 방법이 있다. 대기중 입자상의 총 농도에 대표되는 하나의 건식 침적 속도를 이용하여 건식 침적량을 추정하는 것은 거대입자의 건식 침적 속도를 과소 평가하여 항상 측정값보다 낮은 건식 침적량을 추정해내었다. 최근의 연구는 미세 영역과 거대 영역의 입자가 모두 침적에 영향을 미치며, 계산되는 건식 침적량은 몇몇의 크기 단계들로부터의 부분 건식 침적량의 합으로부터 계산되어야 한다는 것을 보여주고 있다. 이러한 실측과 추정된 건식 침적량의 비교를 통해서 건식 침적 속도 모델의 적용 가능성을 파악할 수 있으며, 모델이 건식 침적량의 추정에 적합하다면 과거에 측정된 많은 입자상 화학물질의 농도값을 이용해서도 각 물질에 대한 건식 침적량을 추정해 볼 수 있을 것이다.

본 연구에서는 비규제 유해대기오염물질중의 하나인 PAHs의 대기중 입경별 농도 측정결과를 이용하여 침적모델에서 산출한 침적량과 측정된 침적량을 비교하여, 침적모델을 우리나라에 적용하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 입자상 PAHs 건식 침적량 계산

다단식 충돌채취기 (Anderson 1 ACFM Nonviable Ambient Particle Sizing Sampler)와 CPRI(Coarse Particle Rotary Impactor)를 사용하여 10단계의 입경별로 측정된 PAHs 농도(C_i)와 Sehmel-Hodgson 모델을 통해 추정된 입경별 건식 침적 속도($V_{d,i}$)로부터 각 입경별 PAHs의 건식 침적량을 계산한 후 이들의 합으로 PAHs의 건식 침적량을 계산하였다. 사용한 다단계 모델의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{Total particles dry deposition flux} = \sum_{i=1}^{10} V_{d,i} C_i$$

2.2 입자상 PAHs 건식 침적 속도 산정

입자상 PAHs의 측정된 대기중 건식침적량과 입경별 농도를 통하여 PAHs에 대한 건식 침적 속도를 직접 산출하여 보았다. 직접 산출하는 방법에는 두 가지가 있다. 직접 입자상 물질의 건식 침적 속도를 산출하는 첫 번째 방법은 직접 측정된 PAHs의 건식 침적량을 직접 측정된 PAHs의 농도로 나누어서 PAHs에 대한 건식 침적 속도를 계산(calculation method)하였다. 다음은 PAHs의 농도와 건식 침적량 간의 단순 회귀 분석을 통한 기울기로서 건식 침적 속도를 결정(regression method)하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PAHs 건식 침적량 계산

추정한 건식 침적 속도를 이용하여 건식 침적량을 예측한 결과 10 μm 이상의 거대입자영역의 입자상 PAHs의 농도가 전체의 약 10%정도밖에 되지 않음에도 불구하고 건식 침적량의 최소 50%에서 최대 90%를 차지하고 있었다. 이를 통해 거대 입자가 건식 침적에 미치는 기여도가 큼을 알 수 있고, 건식 침적 연구에서는 미세 입자와 함께 거대 입자도 중요한 요소임을 알 수 있다.

직접 측정된 건식 침적량과 다단계 모델을 이용하여 계산한 건식 침적량을 비교하여 Fig.1에 나타내었다. 양평을 제외한 모든 지역에서 계산에 의해서 추정된 건식 침적량과 직접 측정된 값이 비교적 잘 일치하고 있다. 양평의 경우에는 입자상 PAHs의 건식 침적량의 측정값이 계산에 의한 추정값보다 크게 나타났다. 이는 양평 측정소 부근에서 이루어진 소각에 의해 입자상 PAHs의 건식 침적량이 과대 측정되었기 때문이라고 생각한다. 서울지역의 경우 여름과 가을 두 계절에 대해 모두 예측값과 측정값이 거의 같게 나타나고 있다. 따라서 Sehmel-Hodgson 모델이 PAHs의 건식 침적 속도 추정에 적합하게 이용되고 있다고 생각되어진다.

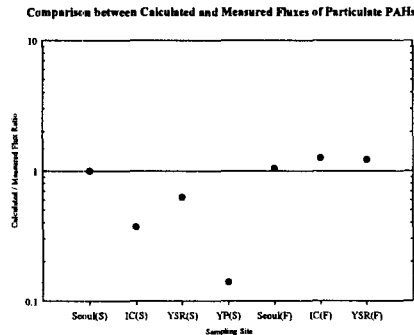


Fig 1. The ratio of the calculated and the measured total particulate PAHs fluxes

3.2 PAHs의 건식 침적 속도 산정

이번 연구에서는 직접 측정된 PAHs의 건식 침적량을 직접 측정된 PAHs의 농도로 나누어서 PAHs에 대한 건식 침적 속도를 계산한 결과 0.35 ± 0.48 cm/sec의 건식 침적 속도가 계산되었다. PAHs의 건식 침적 속도를 계산한 기존의 다른 연구 결과와는 유사한 범위 내에 있지만 비교적 낮은 값을 보였다.

PAHs의 농도와 건식 침적량 간의 단순 회귀 분석을 통한 기울기로서 건식 침적 속도를 결정하는 방법 (regression method)은 두 측정값 사이의 상관관계를 고려함으로써 잘못된 시료가 건식 침적 속도에 결정적인 영향을 미치는 것을 파악할 수 있는 장점을 지니고 있다. 입자상 물질의 경우 10 μm 를 전후하여 건식 침적 속도가 크게 달라지므로 그래프에 의한 방법으로 건식 침적 속도를 산출할 때 cascade impactor로 측정된 미세 입자의 PAHs와 CPRI를 이용하여 측정된 거대 입자의 PAHs로 나누어 산출하였다. 전체 영역의 PAHs에 대해서는 0.071 cm/sec의 건식 침적 속도를 보이고 있다. 이 결과값은 계산에 의한 방법으로 구해진 건식 침적 속도보다 약 1/4정도로 작았다. 미세 입자 PAHs에 대해서는 0.075 cm/sec의 건식 침적 속도를 거대 입자의 PAHs 영역에 대해서는 0.66 cm/sec의 건식 침적 속도를 보이고 있어 거대 입자 PAHs의 건식 침적 속도가 미세 입자 PAHs에 비해서 8.8배 정도 큼을 보여준다. 이는 입자상 PAHs의 농도값이 거대 입자 영역에 비해 미세 입자영역이 높은값을 가지지만 건식 침적량에 있어서는 거대 입자 영역의 영향이 크다는 사실을 입증한다.