

AA6) 대기 중 입자상 중금속의 건식 침적량에 관한 연구 Study of Atmospheric Dry Deposition Fluxes of Heavy Metals

윤희정, 이승묵¹⁾, 김용표

이화여자대학교 환경학과, ¹⁾Dept. of Civil and Env. Eng., Clarkson Univ, U.S.A.

1. 서 론

대기로부터 침적된 물질로 인해 토양오염과 수질오염 현상이 심화될 뿐만 아니라 환경 생태계도 영향을 받는다는 것이 밝혀지면서 대기 침적 현상에 대한 관심이 커지고 있다. 침적은 대기 중의 여러 미량 물질들이 환경계에 미치는 영향과 그들의 이동을 조절하는 중요한 기작 중 하나이다.

중금속은 가장 오래전부터 알려진 독성물질로서, 약 30가지 금속이 사람에게 독성을 발현하는 것으로 알려져 있고, 그 중 일부 중금속은 발암성을 가지고 있다. 또한 중금속은 조직내 그들의 지속성 때문에 다른 유기성 발암물질에 대해 촉진제 또는 공동 발암원으로도 작용할 수 있다. 대기 중 중금속은 광역적인 입자의 근원지를 추적할 뿐만 아니라 대기오염의 주요 측도로도 활용된다.

건식 침적량은 건식 침적 속도와 농도의 곱으로 나타내어지며, 건식 침적량을 직접 측정하는 방법 이외에 측정된 TSP나 PM2.5 농도와 건식 침적 속도로부터 건식 침적량을 추정하는 방법이 있다. 이 연구에서는 직접 측정 방법으로 부드러운 칼날 모서리를 지닌 판 (smooth knife-edge plate)을 사용하여 건식 침적량을 측정하였고, 추정 방법으로 침적량과 동시에 측정된 대기 중 입경별 농도와 Sehmel-Hodgson 모델을 사용하여 건식 침적 속도를 추정하여 건식 침적량을 계산하였다.

국내에서는 건식 침적에 관한 연구 뿐만 아니라 대표적인 독성물질인 중금속의 특성에 관한 연구도 미비한 실정이다. 본 연구에서는 중금속의 건식 침적량과 농도분포 특성을 알아보고 건식 침적 속도를 적용하여 건식 침적량의 실측치와 모델을 통한 추정치를 비교하고자 한다.

2. 연구 방법

시료채취 장소는 한반도의 중심부에 있는 경기도 군포시에서 실시하였다. 주변환경은 주거지역 및 상업지역의 혼합지역 형태이고 차량 통행 뿐만 아니라 유동 인구의 수가 많은 인구밀집 지역이다. 시료채취 기간은 2000년 2월부터 10월까지 4차례에 걸쳐서 실시하였고, 각 시기별 3일에서 10일간 낮, 밤을 구분하여 실시하였다.

건식 침적은 부드러운 칼날 모서리를 지닌 건식 침적판을 이용하여 측정하였다. 침적입자의 재비산을 막기 위해 그리스를 얇게 입힌 마일라 세편을 판의 상부에 설치하여 시료채취 표면으로 사용하였다. 또한 입경별 농도 분포는 다단식 충돌 채취기 (Anderson 1 ACFM Nonviable Ambient Particle Sizing Sampler)를 사용하여 10 μm 이하 입경별 농도와 CPRI (Coarse Particle Rotary Impactor)를 사용하여 10 μm 이상의 입경별 농도 분포를 각각 측정하였다.

채취한 중금속은 핵산으로 추출한 후 Microwave를 이용하여 45분간 질산으로 용출시킨 다음 ICP-MS(Varian Ultramass 700)로 분석하였다.

분석의 정확도를 위해 시료의 각 성분별 방법검출한계 (Method Detection Limits, MDLs)를 측정하였고 분석의 신뢰도를 위해 SRM (Standard Reference Material)을 실시하였다. 각 성분별 MDL은 0.129 ppb (Cd) ~ 3.512 ppb (Al)까지의 범위를 나타냈고, SRM은 대부분의 성분들이 79 ~ 117 %로 비교적 양호한 회수율을 보였다.

3. 결과 및 고찰

측정한 중금속 성분의 건식 침적량은 그림 1과 같다. 시료채취 기간동안 대체로 Al과 Ca은 높은 건식 침적량을 나타내었고, 인위적 중금속들은 Zn, Pb, Mn, Ni과 Cu의 순으로, As과 Cd은 아주 낮은 침적량을 나타내었다. 인위적 중금속들은 측정시기 따라 순서가 변화하였다. 일반적으로 자연발생 중금속인 Al

과 Ca은 인위적인 중금속들보다 10에서 100배 정도 높은 건식 침적량을 나타내었으며, 낮 시간대에는 밤 시간대보다 2에서 4배 정도 높은 건식 침적량을 나타내었다. 낮 시간대가 밤 시간대보다 높은 건식 침적량을 나타내는 것은 선행 연구와 거의 비슷한 결과인데 이는 풍속이 밤 시간대보다 낮 시간대에 높고 (1.47 m/s vs. 2.23 m/s), 낮 시간동안의 불안정한 대기가 입자의 와류운동을 활발히 하여 침적량이 많아지는 것으로 생각된다. 자연발생 중금속 중 Ca이 낮 시간대에 Al보다 2배 정도 높은 건식 침적량 (9월 제외)을 나타내었는데, 이는 인위적인 발생원에서 배출된 석회성분에 의한 것으로 생각된다. 인위적인 중금속 중 Cu는 측정시기 변화에 관계없이 거의 일정한 분포를 나타내었으며, Ni은 9월 낮 시간대에 다른 측정시기보다 약 3에서 10배 정도 높은 건식 침적량을 나타내었다.

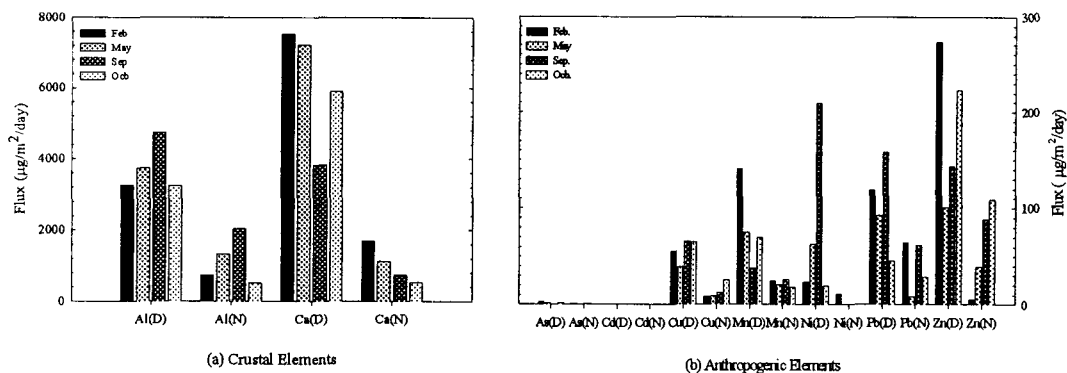


Fig. 1. Measured elemental fluxes at Kunpo during the four periods in 2000.

(D) : Daytime, (N) : Nighttime

대기 중 중금속의 입경별 분포는 전반적으로 1.0에서 10.0 μm 에서 높은 농도를 나타내었다. 자연발생 중금속의 입경 분포는 두 개의 피크를 나타내었으며, 인위적인 중금속은 작은 입자 부분에서 한 개의 피크를 나타내었다. 10 μm 를 기준으로 작은 입자와 큰 입자를 나누어 농도 분포를 살펴보았을 때, 전체 농도 중 작은 입자는 60 ~ 90 %, 큰 입자는 10 ~ 40 %를 차지하였다.

Sehmel-Hodgson 모델에서 추정된 건식 침적 속도를 이용하여 건식 침적량을 예측한 결과 10 μm 이상의 큰 입자 부분에서 높은 건식 침적량을 보였다. 이는 큰 입자가 전체 농도 중 10 ~ 40%정도밖에 차지않음에도 불구하고 높은 건식 침적량을 보인 것으로 큰 입자가 건식 침적에 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 그림 2는 직접 측정된 건식 침적량과 다단계 모델을 이용하여 계산한 건식 침적량을 각 물질별로 비교한 것이다. 추정된 건식 침적량이 직접 측정된 건식 침적량보다 대체적으로 낮게 평가 되어졌다.

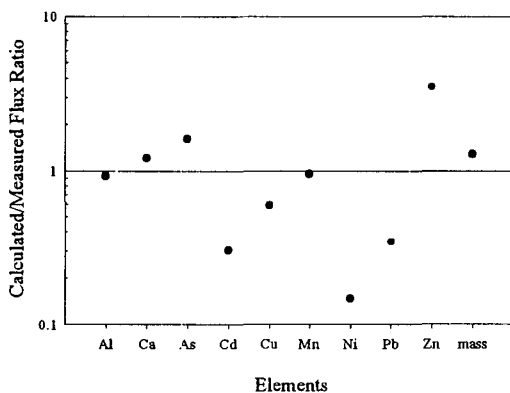


Fig. 2. The ratio of the calculated and the measured fluxes.