

3D5) 수용 모델을 이용한 서울시 대기 중 습식침적량에 의한 총 수은의 오염원 가능 지역 위치 파악

Source Identification of Wet Deposition Flux of Total Mercury(TM) in Seoul, Korea Using Hybrid Receptor Modelling

서용석 · 허종배 · 최은미 · 조경덕 · 이승묵
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

1. 서 론

수은은 생태계에 축적되어 인간의 건강에 악영향을 미친다는 특성 때문에 수중 생태계에서도 상당한 관심을 불러일으키고 있는 오염물질 중의 하나이다. 특히 대기는 환경 중에 있는 수은의 순환에서 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀져 왔으며(Lindberg et al., 1991) Great Lakes 지역에 대한 연구에서는 자연 수에 수은이 유입되는 주요 경로가 대기의 습식침적이라고 결론 내렸다(Gerald J. Keeler et al., 1994). 또한 미국 EPA는 1994년 7월에서 1995년 10월까지 이루어진 Lake Michigan Mass Balance Study (LMMBS)의 한 부분으로 수은을 조사항목으로 지정하여 Lake Michigan에서 분석되는 수은의 대기 침적에 대한 기여도를 평가하고자 하였으며 이를 통해 습식침적(wet deposition)에 의한 대기 중의 수은 농도를 정량화함으로써 강수(precipitation)의 중요성을 밝히고자 하였다.

본 연구에서는 비나 눈이 오는 날의 습식침적에 의한 시료를 채취하여 서울시 대기 중 총 수은(Total Mercury, TM)의 계절적인 변화를 살펴보고 이의 습식 침적량 특성에 대해 살펴보았다. 또한 침적과 확산을 고려하여 얻어진 오염원-수용원 관계를 Potential Source Contribution Function(PSCF) 모델에 적용시켜 오염 가능한 지역을 파악하였으며 모델의 결과는 배출원 목록(emission inventory)과도 비교하여 고찰하였다.

2. 실험 방법

2006년 1월부터 2006년 12월까지 서울대학교 보건대학원 6층 옥상에서 modified MIC-B precipitation collector를 이용하여 습식침적 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 CVAFS(Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry) 기법을 사용하는 Tekran Inc.의 Series 2600을 이용하여 분석하였으며 시료 준비에 대한 세부사항은 Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium 내에 있는 Standard Operation Procedure for Sampling of Mercury in Precipitation(Gerald J. Keeler et al., 1994)을 따랐으며, 시료 분석에 대한 세부사항은 Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium 내에 있는 Standard Operation Procedure for Analysis of Mercury in Precipitation을 따랐다(Gerald J. Keeler et al., 1994).

3. 결과 및 고찰

본 연구 기간 동안 습식침적에 의한 서울시 대기 중 TM의 평균 volume-weighted concentration, wet deposition flux, rainfall depth의 월별 변화는 다음과 같다(그림 1 참조). 그림 1에서 보는 바와 같이, TM의 평균 volume-weighted concentration은 $10.89 \pm 24.21 \text{ ng L}^{-1}$ 이었고, 누적 wet deposition flux는 $19.32 \mu\text{g m}^{-2}$ 이었다. 이를 계절적으로 살펴보면, wet deposition flux는 여름철이 $8.50 \mu\text{g m}^{-2}$ 으로 가장 높았으며 rainfall depth와 wet deposition flux는 유사한 경향을 보였다.

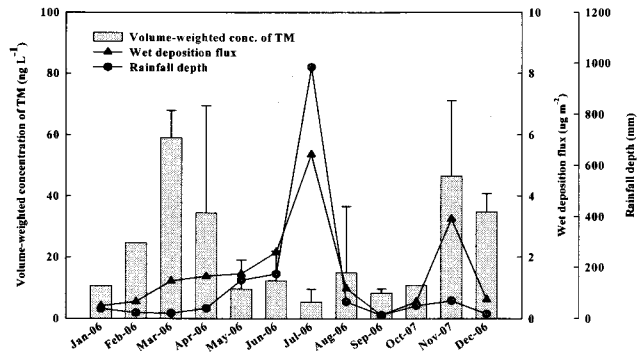


Fig. 1. Seasonal variation of precipitation depth, volume-weighted concentration of TM and wet deposition flux in Seoul, Korea(left).

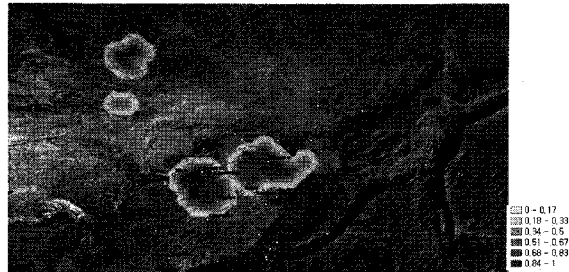


Fig. 2. Likely source areas impacting the TM wet deposition flux in Seoul, Korea over the study period using PSCF modeling.

본 연구에서의 습식침적량 결과를 바탕으로 수용원 모델을 이용하여 오염원 가능 지역을 살펴보았다. 서울을 포함한 아시아 지역의 영향을 고려하기 위하여 지역적 규모의 대상을 적용하여 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 의 격자로 나누어 back dispersion based PSCF 모델을 적용하였다. 본 모델에서는 NOAA의 HYSPLIT 4 모델을 이용하여 48시간의 역궤도 및 하루에 24회(1시간 간격)에 대하여 공기의 역궤도를 계산하였고, 역궤도 추적의 시작 고도는 500m를 적용하였다. Back dispersion based PSCF 모델의 경우는 물질의 확산과 반응 등의 여러 조건을 가정해야 하는데 본 연구에서의 습식침적에 의한 주요 수은 종이 산화상태이기 때문에 모든 수은은 $HgCl_2$ 로 가정하였다. 또한 오염원과 각 grid, deposition의 3가지 부분으로 조건을 가정해 주어야 하는데, 오염원의 경우 배출속도, 배출 시간, 배출 시작 시간 등을 고려하였고 특히 deposition 항목에서는 오염물질의 분자량과 surface reactivity ratio, Henry's constant, gas diffusivity, effective Henry's constant, in-cloud와 below-cloud 시의 습식 제거의 영향도 고려하였다. 모델에 적용된 농도는 상위 90%에 대하여 모델을 수행하였으며, ArcGIS를 이용하여 다음과 같이 가지적으로 오염원의 위치를 나타내었다(그림 2 참조). 그림 2에서 보는 바와 같이, back dispersion based PSCF 모델을 적용한 결과, 시료 채취 지점에서 TM의 wet deposition flux에 기여하는 주요 오염원이 화력발전소, 철강산업 등이 밀집되어 있는 Xiangtan, Nanchang, Nanjing, Hanghou, Shanghai 등 중국의 주요 산업지역을 오염원 가능 지역으로 나타내었으며 이는 수은이 주로 인위적인 활동에 의해 발생하는 오염물질임을 시사한다고 볼 수 있다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 '수은의 대기-수체 간 거동 평가 연구(과제번호: R01-2004-000-10890-0)'로

지원된 연구이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Gerald J. Keeler, Matthew S. Landis (1994) Standard Operation Procedure for Sampling of Mercury in Precipitation.
- Gerald J. Keeler, Matthew S. Landis (1994) Standard Operation Procedure for Analysis of Mercury in Precipitation.
- Lindberg, S., R. Turner, T Meyers, G. Jr. Taylor, and W. Schroeder (1991) Water Air Soil Pollut., 56, 577.