

4B2) 서울시 대기 중 수은의 대기 침적량(건식 및 습식) 특성에 관한 연구

Characteristics of Atmospheric Deposition (Dry and Wet) of Mercury in Seoul, Korea

서용석 · 허종배 · 김승희 · 김현선 · 양은경 · 이승묵
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

1. 서 론

수은은 생태계에 축적되어 인간의 건강에 악영향을 미친다는 특성 때문에 수중 생태계에서도 상당한 관심을 불러일으키고 있는 오염물질 중의 하나이며, 특히 대기는 환경 중에 있는 수은의 순환에서 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀져 왔다(Lindberg et al., 1991). 미국 EPA는 1994년 7월에서 1995년 10월까지 이루어진 Lake Michigan Mass Balance (LMMB) 연구의 한 부분으로 수은을 조사항목으로 지정하여 Lake Michigan에서 분석되는 수은의 대기 침적에 대한 기여도를 평가하고자 하였다. 하지만 국내에서는 수은에 관한 국제적인 규제의 움직임이 일고 있는 것을 인식하고 이에 대한 연구가 시급하다는 것을 공감하고 있으나, 기존의 연구가 대기 중의 총 가스상 수은(Total Gaseous Mercury, TGM)의 농도에 관한 연구 등 단편적인 연구만 이루어져 왔을 뿐 대기 침적(건식 및 습식)에 대한 연구는 없는 실정이다. 수은의 대기 침적 중 건식침적의 중요성도 높아지고 있는데 Pai et al. (1997)의 연구결과에 의하면 미국 대부분의 지역에서 연간 측정된 수은의 건식침적의 양이 습식침적의 절반 정도 되는 것으로 나타났다고, Lindberg et al. (1992)에 의하면 건식침적에 의한 수은의 양이 습식침적에 의한 수은의 양에 비해 높다는 결과가 나타났다. 하지만 수은의 건식침적을 직접적으로 측정하는 장비가 없기 때문에 이를 측정하는 것은 상당한 불확실성을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 MIC-B precipitation collector를 이용하여 비나 눈이 오는 특정한 날의 총 수은(Total Mercury, TM) 측정을 통한 습식침적 시료 채취를 하고, Knife-Edge Surface Sampler (KSS)를 이용하여 건식침적 시료 채취를 하여 측정방법의 정도관리(Quality Assurance / Quality Control)를 확립하고, 확립된 정도관리를 통하여 얻어지는 자료들을 활용하여 수은의 대기 침적 특성에 대하여 알아보는 것을 목적으로 한다.

2. 실험 방법

습식침적의 경우, 2004년 11월 말부터 서울대학교 보건대학원 6층 옥상에서 시료 채취가 이루어지고 있다. MIC-B precipitation collector를 이용하여 시료채취를 하게 되는데 본 기기는 sensor grid 상에 있는 비나 눈을 감지하여 작동하게 되며, 특히 적은 양의 비나 눈을 감지하여 강수가 시작된 직후에 발생 가능한 강수의 손실을 최소화하여 대기 중의 습식침적 시료의 채취를 가능하게 한다. 본 기기에 맞게 아크릴 재질의 삽입구를 설치할 수 있게 되어 있는데 이는 2개의 수은 sampling trains와 2개의 중금속 sampling trains로 구성되어 있어 대기 중에 존재하는 극미량의 수은 및 중금속을 포함하고 있는 강수시료를 채취할 수 있다. 시료 준비에 대한 세부사항은 Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium 내에 있는 Standard Operation Procedure for Sampling of Mercury in Precipitation을 따르고 있다(Gerald J. Keeler et al., 1994). 수은 분석은 Tekran Inc.의 Series 2600을 이용하여 이루어지며, 모든 분석절차는 clean bench 내에서 이루어지며, 분석에 이용되는 가스들은 초순도 등급을 사용하였다. 수은 분석에 대한 세부사항은 Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium 내에 있는 Standard Operation Procedure for Analysis of Mercury in Precipitation을 따르고 있다(Gerald J. Keeler et al., 1994).

건식침적의 경우, 2005년 10월부터 서울대학교 보건대학원 6층 옥상에서 시료의 채취가 이루어지고

있다. 시료 채취는 KSS를 이용하게 되며 이는 cover, ring, base, gold filter, gold-coated quartz filter로 구성되어 있다. 모든 채취기기는 900℃의 높은 온도에서도 견딜 수 있는 재질로 만들어졌으며 분석은 1 L min⁻¹의 유량으로 Tekran Model 2537A mercury vapor analyzer를 이용하여 분석한다.

3. 결과 및 고찰

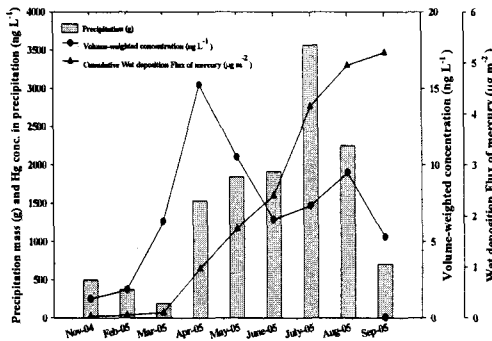


Fig. 1. Monthly Concentration and Cumulative Wet deposition Flux of Mercury

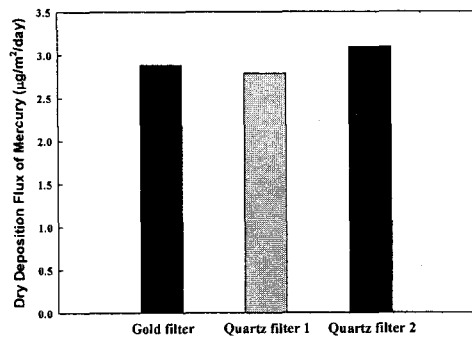


Fig. 2. Daily Dry deposition Flux of Mercury

본 연구 기간 동안 습식침적에 의한 서울시 대기 중 강우 내 총 수은의 농도 범위는 0.39 ~ 22.67 ng L⁻¹ 이었고 평균 농도는 8.21 ± 7.09 ng L⁻¹ 이었으며, 누적 습식 침적량은 5.21 µg m⁻² 이었다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 강우 내 총 수은의 평균 농도는 2005년 4월이 15.24 ± 7.12 ng L⁻¹로 가장 높았고, 이를 계절별로 살펴보았을 때 봄 > 여름 > 겨울 순으로 나타났다. 누적 습식 침적량의 경우 2005년 4월에서 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 침적량 산출시 주요 인자인 강우 양과 총 수은 농도가 3월에 비하여 상당히 높아 이에 따라 누적 침적량도 증가하였기 때문인 것으로 보인다. 계절별로 살펴보았을 때, 누적 습식침적량은 총 수은 농도와는 달리 여름 > 봄 > 겨울 순으로 나타났다. 이는 봄철에 비하여 여름철의 강우 내 총 수은 농도가 낮기는 하나, 강우 양이 상대적으로 훨씬 많았기 때문인 것으로 보인다. 이를 Masahiro Sakata et al. (2005)이 일본에서 10개 지역에 대해 조사한 자료와 비교하여 보았을 때, 총 수은 농도의 경우, 2개의 외곽지역과 3개의 산업 및 도시지역 보다 낮았고, 1개의 배경농도 지역과, 4개의 외곽지역보다 높았고, 누적 습식 침적량은 1개의 배경농도 지역보다 높았다. 또한 미국의 Mercury Deposition Network (MDN) 사이트 중 4개의 남부지역과 4개의 북부지역과 비교하여 보았을 때, 강우 내 총 수은 농도의 경우 남부 및 북부의 모든 지역보다 농도가 낮았으며, 누적 습식 침적량도 남부 및 북부 지역보다 낮았다. 그림 2에서 보는 바와 같이, 수은의 건식침적은 gold filter와 gold-coated quartz filter를 이용하여 시료를 채취하고, 또한 낮과 밤으로 구분하여 하루 중의 변이를 살펴보고자 하며, 분석의 정확성을 기하기 위해 side by side 실험을 실시한다.

수은은 장거리에 걸쳐 대기를 경유하여 재분배되기 때문에 오염원과 환경영향과의 관계는 상당히 복잡하며 자연적이고 인위적으로 야기된 수은의 대기 침적은 수체에 직접적인 침적과 빗물의 수체에 유입되는 등과 같이 대부분의 수중 생태계의 주요 오염원이다. 이러한 대기 중 수은의 배출량이 아시아가 전 지구적 규모로 볼 때 상당한 양을 배출하는 지역으로 인식되고 있음에도 불구하고 아시아 지역의 수은 중에 대한 측정 자료는 절대 부족한 실정이다. 따라서 본 연구결과를 통하여 이러한 격차를 줄일 수 있고 대기환경의 관리 및 위해성 평가의 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다. 또한 국내에서는 이루어지지 않은 이러한 수은의 습식 및 건식 침적량에 대한 연구를 통하여 측정방법의 정도관리(Quality Assurance / Quality Control)를 확립하는데 기본이 될 수 있을 것이다. 향후 이러한 수은 중에 대한

자료 및 다른 수은 종에 대한 자료의 축적 후 모델링을 통하여 수은의 순환과정을 효과적으로 이해하고 오염원과 이후에 발생하는 수중 생태계의 침적 간의 관계를 규명하여 인간 건강의 영향을 최소화 하는 방안도 마련할 수 있을 것이다.

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

- Lindberg, S., Turner, R., Meyers, T., Taylor, G., Jr., 1991. Schroeder, W. Water Air Soil Pollut. 56, 577.
- 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.E., Meyers, T.P., Taylor Jr., G.E., Turner, R.R. and Schroeder, W.H., 1992. Atmospheric-surface exchange of mercury in a forest: results of model and gradient approaches. Journal of Geophysical Research 97, 2519-2528.
- Pai, P., Karamchandani, P., Seigneur, C., 1997. Simulation of the regional atmospheric transport and fate of mercury using a comprehensive Eulerian model. Atmospheric Environment 31, 2717-2732.
- Masahiro Sakata and Kohji Marumoto, 2005. Wet and dry deposition fluxes of mercury in Japan, Atmospheric Environment