

4B2) 동북아시아 월경성 수은으로 인한 도심 및 배경농도 지역에서의 대기 중 수은의 침적량(건식 및 습식) 특성에 관한 연구

Characteristics of Atmospheric Deposition(Dry and Wet Depositions) of Mercury in Urban and Background Areas in Korea by Trans Boundary Mercury Emitted from Northeast Asia

정영재 · 한진수 · 서용석 · 이승묵

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

1. 서 론

수은은 생태계에서 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 알려져 있다(Lindberg et al., 1991).

일반적으로 대기 중 수은의 대부분은 (>95%) Hg^0 이나 침적속도가 낮은 반면, 활성 가스상 수은과 입자상 수은은 대기 중에서 상당히 낮은 비율을 차지하고 있지만 상대적으로 Hg^0 에 비해 침적 속도가 크다. Luigi et al.(2000)에 의하면, 습식침적에 비하여 건식침적으로 인해 수은이 육상이나 수체 환경에 침적되는 양은 상당히 적은 것으로 알려져 있으나, Pai et al.(1997)의 연구결과에 의하면 미국 대부분의 지역에서 연간 측정된 수은의 건식침적의 양이 습식침적의 절반 정도 되는 것으로 나타났다.

한편 미국 EPA는 1994년 7월에서 1995년 10월까지 이루어진 Lake Michigan Mass Balance Study (LMMBS)의 한 부분을 수은을 조사항목으로 지정하여 Lake Michigan에서 분석되는 수은의 대기 침적에 대한 기여도를 평가하고자 하였으며 이를 통해 대기 중 수은의 습식 침적량을 정량화하였다.

본 연구에서는 도심지역과 배경농도지역에서 측정된 수은 화학종의 건식 침적과 총 수은 습식 침적과 TGM 농도를 사용하여 동북아시아 월경성 수은으로 인한 대기 중 수은의 침적량 특성을 알아보려고 하였다.

2. 연구 방법

도심지역은 서울시 종로구 연건동 서울대학교 보건대학원 6층 옥상(위도: 37.514, 경도: 127.001)에서 dry deposition plate (DDP)를 이용하여 대기 중 수은 중의 건식침적(2008년 3월~2009년 12월)을 채취하였다. Hg_p 의 건식침적 측정을 위해 quartz filter를 이용하였고, KCl로 코팅한 quartz filter를 이용하여 RGM과 Hg_p 를 채취하였다. 각 filter에 채취한 수은종(RGM 및 Hg_p)은 filter holder에 넣고 tube furnace에서 열 탈착 시킨 후 Tekran 2537A에 연결하여 1.5 L/min의 유량으로 분석하였다. 따라서 각 수은 중의 건식 침적량은 각 filter 간의 침적량 차이를 이용하여 산출하였다. 총 수은의 습식침적(2008년 1월~2009년12월)은 modified MIC-B wet sampler를 이용하여 측정하였다. 배경농도지역인 강화도 지점(위도: 37.422, 경도: 126.162)에서는 건식/습식침적 시료 채취기(Wet and Dry sampler)를 사용하여 대기 중 수은 중의 건식침적 및 총 수은의 습식침적(2008년 2월~2009년 12월)을 측정하였다. 또한 Total Gaseous Mercury(TGM)의 농도는 도심 및 배경농도지역에서 5분 간격으로 실시간으로 측정을 하였다.

총 수은의 습식침적 시료 분석은 CVAFS기법을 사용하는 Tekran Inc.의 Series 2600을 이용하여 분석하였으며 시료 분석에 대한 세부사항은 LMMBS 내에 있는 Standard Operation Procedure for Analysis of Mercury in Precipitation을 따랐다(U.S. EPA, 1994).

3. 결과 및 고찰

2008년 3월부터 2009년 12월까지 서울대학교 보건대학원 옥상에서 측정된 RGM과 Hg_p의 평균 건식 침적량은 각각 $5.06 \pm 2.88 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, $4.64 \pm 4.42 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 이었고, 2008년 3월부터 2009년 12월까지 강화군 석모리 국가배경농도를 측정하는 지점에서 측정된 RGM과 Hg_p의 평균 건식 침적량은 각각 $0.40 \pm 0.60 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, $0.23 \pm 0.11 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 이었고 도심 지역과 배경농도지역의 평균 TGM 농도는 각각 $3.75 \pm 2.48 \text{ ng/m}^3$ 이었고 $1.98 \pm 0.85 \text{ ng/m}^3$ 이었다.

2008년 1월부터 2009년 12월까지 서울시 종로구 연건동 서울대학교 보건대학원 6층 옥상에서 측정된 대기 중 습식침적 시료 중 총 수은의 평균 volume-weighted concentration은 2008년 2009년 각각 $19.22 \pm 12.33 \text{ ng L}^{-1}$, $17.93 \pm 11.57 \text{ ng L}^{-1}$ 이며 누적 습식 침적량은 각각 $18.57 \text{ } \mu\text{g m}^{-2}$, $14.57 \text{ } \mu\text{g m}^{-2}$ 이었다. 2008년 3월부터 2009년 12월까지 강화군 석모리 국가배경농도를 측정하는 지점에서 측정된 대기 중 습식침적 시료 중 총 수은의 평균 volume-weighted concentration은 2008년과 2009년이 각각 $10.11 \pm 5.12 \text{ ng L}^{-1}$, $11.96 \pm 5.64 \text{ ng L}^{-1}$, 누적 습식 침적량은 각각 $9.05 \text{ } \mu\text{g m}^{-2}$, $8.43 \text{ } \mu\text{g m}^{-2}$ 이었다.

Total Gaseous Mercury(TGM)는 체류시간이 길어 장거리 이동이 가능하고, 화석연료의 연소에서 많이 발생하므로 화석연료 사용량이 최대 규모인 중국으로부터 우리나라는 장거리 이동성 수은의 영향을 받을 것으로 예상된다. 화석연료로부터 배출되고 TGM과 체류시간이 비슷한 CO의 농도와의 상관관계를 이용하여 수은의 장거리 이동성을 판단하는 방법을 이용하였다(Jaffe et al., 2005). TGM이 고농도인 시기를 선별하여 건식 및 습식 침적량과 비교하고 Hysplit 4.9를 이용한 공기 역학적 분석을 바탕으로 오염물질의 유입을 모사해본 결과 중국의 대단위 산업단지에서의 오염물질이 우리나라 수은 침적량에 일정부분 영향을 주는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국 환경기술진흥원의 차세대 핵심 환경기술개발사업(동북아시아 월경성 수은화학종의 발생원 및 우리나라에 미치는 영향에 관한 종합적 연구, 과제번호 2008-12001-0050-1)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Jaffe, D., E. Prestbo, P. Swartzendruber, P. Weiss-penzias, S. Kato, A. Takami, S. Hatakeyama, and Y. Kajii (2005) Export of atmospheric mercury from Asia. *Atmospheric Environment*, 39, 3029-3038.
- Lindberg, S.E., R.R. Turner, T.P. Meyers, G.E. Taylor, and W.H. Schroeder (1991) Atmospheric concentrations and deposition of Hg to A deciduous forest atwalker branch watershed, Tennessee, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*, 56, 577-594.
- Luigi, F., M.H. Ian, and P. Nicola (2000) Elemental gas phase atmospheric mercury as it interacts with the ambient aerosol and its subsequent speciation and deposition. *The Science of The Total Environment*, 259, 211-222.
- Pai, P., P. Karamchandani, and C. Seigneur (1997) Simulation of the regional atmospheric transport and fate of mercury using a comprehensive Eulerian model. *Atmospheric Environment*, 31, 2717-2732.
- U. S. EPA (1994) Standard Operation Procedure for Analysis of Mercury in Precipitation.