

PA64) 도심, 배경 농도 지역에서의 대기 중 수은의 침적량(건식 및 습식) 특성에 관한 연구

Characteristics of Atmospheric Deposition Flux (Dry and wet) of Mercury in Urban, Background Areas, Korea

정영재 · 한진수 · 서용석 · 이승목

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 알려져 있다(Lindberg et al., 1991).

일반적으로 대기 중 수은의 대부분은 (>95%) Hg^0 이나 침적속도가 낮은 반면, 활성 가스상 수은(Reactive Gaseous Mercury, RGM)과 입자상 수은(Particulate Mercury, Hg_p)은 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 나타났고, Lindberg et al.(1992)에 의하면 건식침적에 의한 수은의 양이 습식침적에 의한 수은의 양에 비해 높은 결과가 나타났다. 한편 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 대기 중 수은의 습식 침적량을 정량화하였다.

본 연구에서는 서울대학교 보건대학원 6층 옥상과 강화도 석모리 국가배경농도지역에서 수은 중(RGM 및 Hg_p)의 건식침적 시료와 총 수은(Total Mercury, TM)의 습식침적 시료를 채취하여 도심지역인 서울과 배경 농도 지역인 강화도의 대기 중 수은의 건식 및 습식 침적량 특성에 대하여 알아보려고 하였다.

2. 실험 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~현재)을 채취하였다. Hg_p 의 건식침적 측정을 위해 quartz filter를 이용하였고, KCl로 코팅한 quartz filter를 이용하여 RGM과 Hg_p 를 채취하였다. 각 filter에 채취한 수은중(RGM 및 Hg_p)은 filter holder에 넣고 tube furnace에서 열탈착 시킨 후 Tekran 2537A에 연결하여 1.5L/min의 유량으로 분석하였다. 따라서 각 수은 중의 건식 침적량은 각 filter 간의 침적량 차이를 이용하여 산출하였다. 총 수은의 습식침적(2007년 1월~현재)은 modified MIC-B wet only sampler를 이용하여 시료를 채취하였다. 배경농도지역인 강화도 지점(위도: 37.422, 경도: 126.162)에서는 건식/습식침적 시료 채취기(Dry and Wet sampler)를 이용하여 대기 중 수은 중의 건식침적 및 총 수은의 습식침적(2008년 2월~현재) 시료를 채취하였다.

총 수은의 습식침적 시료 분석은 CVAFS(Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry) 기법을 사용하는 Tekran Inc.의 Series 2600을 이용하여 분석하였으며 시료 분석에 대한 세부사항은 Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium 내에 있는 Standard Operation Procedure for Analysis of Mercury in Precipitation을 따랐다(U.S. EPA, 1994).

3. 결과 및 고찰

2008년 3월부터 2009년 8월까지 서울대학교 보건대학원 옥상에서 측정된 RGM과 Hg_p의 평균 건식침적량은 각각 $5.80 \pm 2.60 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, $5.15 \pm 4.08 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 이었다. 특히 RGM의 건식 침적량의 경우, 2009년 4월이 $9.45 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 로 가장 높았고, Hg_p의 평균 건식침적량은 2009년 2월이 $17.35 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 로 가장 높았다. 또한 RGM과 Hg_p의 일별 건식 침적량의 차이를 파악하기 위해, 낮과 밤을 따로 구분하여 비교해 보았다. RGM의 건식 침적량은 낮이 $6.70 \pm 6.57 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, 밤이 $5.06 \pm 3.94 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 로 나타났으며, Hg_p의 건식 침적량은 낮이 $4.95 \pm 4.29 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, 밤이 $3.99 \pm 2.67 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 로 나타나 RGM과 Hg_p의 모두 밤에 비해 낮의 건식 침적량이 높았다. 특히 RGM의 경우, 낮 시간에 고농도로 존재하는 산화제(eg; O₃, OH)로 인한 반응으로 Hg⁰가 RGM으로 산화되어 대기 중에서 침적되기 때문인 것으로 추측된다. 2008년 3월부터 2009년 8월까지 강화군 석모리 국가배경농도를 측정하는 지점에서 측정된 RGM과 Hg_p의 평균 건식 침적량은 각각 $0.50 \pm 0.593 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$, $0.266 \pm 0.143 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 이었다. 2009년 봄철 RGM 평균 농도를 살펴보면, $0.719 \pm 0.09 \text{ ng m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ 로 다른 계절에 비해 고 농도의 값을 가졌다. 이는 중국으로부터 넘어오는 황사와 관련이 있을 것으로 사료된다. 서울과 강화도 자료에 각각 겨울철 농도 값이 저 농도로 나왔는데 이는 2008년도 12월달 농도 값으로 겨울철 농도를 대표하였기 때문이다.

2007년 1월부터 2009년 8월까지 서울시 종로구 연건동 서울대학교 보건대학원 6층 옥상에서 측정된 대기 중 습식침적 시료 중 총 수은의 평균 volume-weighted concentration은 2007년 2008년 2009년 각각 $16.65 \pm 16.68 \text{ ng L}^{-1}$, $14.39 \pm 11.86 \text{ ng L}^{-1}$, $7.38 \pm 12.5 \text{ ng L}^{-1}$ 이며 누적 습식 침적량은 각각 $20.24 \mu\text{g m}^{-2}$, $18.57 \mu\text{g m}^{-2}$, $7.33 \mu\text{g m}^{-2}$ 이었다. 2007년, 2008년, 2009년 계절별 농도 값을 살펴보면, 겨울철 평균 농도 값($33 \pm 7.92 \text{ ng L}^{-1}$)과 봄철 평균 농도 값($16.99 \pm 7.15 \text{ ng L}^{-1}$)이 여름, 가을 농도 값($11.22 \pm 5.3 \text{ ng L}^{-1}$, $11.33 \pm 1.79 \text{ ng L}^{-1}$)보다 높은 농도 값을 나타내었다. 봄에 고 농도를 보이는 것은 중국에서 넘어오는 황사와 관련이 깊을 것으로 사료되고 여름에 저 농도를 보이는 것은 한국 특성상, 여름철 집중호우로 비가 많이 내리기 때문이라고 사료된다. 특히 RGM의 경우 용해도와 반응성이 커 물에 잘 녹기 때문에 강우 시 대기 중 농도가 급격히 감소한다고 알려져 있다(Malcolm and Keeler, 2002). 총 수은의 습식 침적량은 2007년과 2008년 여름에 각각 $9.66 \mu\text{g m}^{-2}$, $12.22 \mu\text{g m}^{-2}$ 로 다른 계절에 비해 고 농도를 보인다. 이는 습식 침적량 산출인자인 총 수은의 volume-weighted concentration이 평균 농도(2007년 8월: $17.09 \pm 16.08 \text{ ng L}^{-1}$, 2008년 7월: $18.23 \pm 10.46 \text{ ng L}^{-1}$)에 비해 높았을 뿐만 아니라 다른 달에 비해 빗물 양이(2007년 8월: 281.51 mm , 2008년 7월: 512.98 mm) 상대적으로 훨씬 높았기 때문인 것으로 보인다. 또한 2007년과 2008년 겨울에 각각($1.22 \mu\text{g m}^{-2}$) ($1.58 \mu\text{g m}^{-2}$) 농도로 총 수은의 습식 침적량이 가장 낮았는데 이는 총 수은의 농도뿐만 아니라 채취한 빗물 양도 상당히 적었기 때문에 습식 침적량 또한 낮았던 것으로 보인다.

2008년 3월부터 2009년 8월까지 강화군 석모리 국가배경농도를 측정하는 지점에서 측정된 대기 중 습식 침적 시료 중 총 수은의 평균 volume-weighted concentration은 2008년과 2009년이 각각 $6.58 \pm 5.55 \text{ ng L}^{-1}$, $7.64 \pm 7.94 \text{ ng L}^{-1}$, 누적 습식 침적량은 각각 $8.54 \mu\text{g m}^{-2}$, $4.81 \mu\text{g m}^{-2}$ 이었다. 2008년도 겨울 평균 농도 값과 2009년 봄 평균 농도 값(18.62 ng L^{-1} , 13.20 ng L^{-1})이 고 농도를 보인다. 봄철에 황사의 영향과 겨울철 화석 연료 사용의 증가로 인한 고 농도 현상을 보이는 것으로 사료된다.

사 사

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

참 고 문 헌

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.