

PF3) 총 가스상 수은의 장거리 이동 특성 파악: 강화도와 서울 지역 농도를 바탕으로

Characteristics of Total Gaseous Mercury(TGM) Long-range Transport: Based an Measured TGM Concentration in GangHwa and Seoul, Korea

최은미 · 서용석 · 손덕주 · 이승목

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

1. 연구배경 및 필요성

수은은 대기 중으로 자연 및 인위적 오염원으로부터 무기수은의 형태로 배출되며 이는 인체나 생태계에 크게 위협적이지 않다. 그러나 대기 중 무기 수은이 호수나 바다로 침적하여 수생태계 내에서 주로 박테리아(황 환원 박테리아)에 의해 독성이 강한 메틸수은으로 전환되어 먹이연쇄를 따라 고농도 축적이 이루어져 먹이사슬의 상위에 위치해 있는 생물체에게 큰 피해를 가한다. 이와 같이 수은의 생지화학적 순환과 생물축적(bioaccumulation)의 특성으로 인한 인체에 미치는 영향들은 지각 이상, 시력 장애, 언어 장애, 기억력 상실, 운동실조증 등과 같은 신경 계통의 질병들로 보고되고 있다(Cranmer et al., 1996). 이처럼 이미 대기의 무기수은 침적이 생물체 내 메틸수은 축적의 중요한 유입원이라는 사실은 널리 알려져 있다(Landis and Keeler, 2002). 전 세계적으로 인위적 활동으로 인해 배출되는 수은의 양은 약 2000 ton yr⁻¹ 내외로 보고되고 있으며(Wilson et al., 2006) 이 중 최대 수은 배출 대륙은 아시아이며 전체의 50% 이상을 배출하고 있다. 특히 세계 최대의 석탄 소비국(전체 중 30% 차지)인 중국은 인위적인 배출량이 전 세계의 약 30%에 이르고 있다(Jiang et al., 2006). 대기 중 수은은 3가지 형태로 주로 존재하는데, 즉 원소 수은(Gaseous Elemental Mercury: Hg⁰), 가스상 2가 수은(RGM: Reactive Gaseous Mercury: Hg²⁺), 그리고 입자상 2가 수은(HgP)으로 존재한다. RGM은 배출원에서 다량이 배출되지만 높은 습식 및 건식 침적 속도로 인해 쉽게 대기 중에서 제거되므로 일반 대기 중에서는 농도가 매우 낮다. 그러나 Hg⁰는 낮은 침적 속도와 용해성으로 인해 대기 중에서 대부분을 차지하며(95% 이상) 장거리 이동성이 강하다. 우리나라는 중국의 풍하지역에 위치하여 수은의 영향이 상당할 것으로 예상된다. 본 연구의 측정 지점인 서울은 우리나라의 수도로 전체 인구의 1/4 이상이 거주하는 거대도시이므로 다양한 오염원들이 존재하고 있어 장거리 이동 영향과 구분하는데 어려움이 있다. 따라서 서울지역과 배경농도 지역인 강화도에서 TGM의 고농도 특성을 파악하고 다양한 가스상 물질들과의 관계를 통하여 오염원을 구분하고자 한다.

2. 연구 방법

2008년 2월부터 2008년 7월까지 서울시 종로구 연건동에 위치한 서울대학교 보건대학원 5층(지상 17m, 위도 37.514, 경도 127.001)과 강화도 석모리 배경농도 지역에서 동시에 총 가스상 수은(Total gaseous mercury, TGM)을 측정하였다. TGM은 Cold vapor atomic fluorescence spectrophotometry 기기인 Tekran사의 model 2537A로 5분 간격으로 실시간 자동 측정하였으며 이는 1.5 L min⁻¹의 일정한 유량으로 유입된 수은이 gold trap 카트리지에 흡착된 뒤 500°C의 열로 탈착된 후 검출기에서 분석되는 방식이다. 수은 분석기기의 sample-line은 외기로 Teflon tubing으로 연결하여 하였고 채취하였고 여기에 heating tape를 부착하여 30-40°C 정도를 유지하며 soda lime trap을 기기 유입구 직전에 연결하여 수분으로 인한 손실을 최소화하였다. 기기의 정도관리는 24시간 간격의 automatic permeation source injection과 6개월 마다 시행된 manual injection을 통하여 이루어졌다. 또한 일정한 온도(약 16.6°C)에 포화된 수은 시료를 다양한 양으로 주입하여 99.2%의 회수율을 얻었으며, MDL은 0.04 ng m⁻³으로 나타났다. TGM 이외의 대기 중의 가스 상 물질들은 본 샘플링 지역의 1km 내에 위치한 종로구 효제동의

지역 대기 측정망 자료를 이용하였다. 이렇게 측정된 물질들 사이에는 일정한 배출비(enhancement ratio)가 존재하므로 서울에 영향을 주는 여러 오염원들을 분류하고 해당 지역의 배출 강도를 정량적으로 파악하고자 하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

측정기간 내의 서울의 TGM의 농도는 $4.03 \pm 1.69 \text{ ng m}^{-3}$ 이었고, 강화도는 $2.42 \pm 0.83 \text{ ng m}^{-3}$ 로 나타났다. 서울의 그 외 물질들의 평균 농도는 CO가 $610 \pm 320 \text{ ppbv}$, O₃은 $18.6 \pm 17.2 \text{ ppbv}$, NO₂ $33.6 \pm 16.5 \text{ ppbv}$, SO₂ $6.00 \pm 3.16 \text{ ppbv}$ 그리고 PM₁₀이 $57.5 \pm 54.5 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 나타났다. 서울의 경우 CO는 계절적으로나 일일 경향이 TGM과 가장 유사한 것으로 나타났다. CO는 대기 중 체류기간이 길며(6개월 이상) 대기 중에서 습식 침적으로 인한 제거 효율이 떨어지며 주로 화석 연료의 연소로 배출 등 기존 연구들에서 이미 밝혀진 바와 같이 TGM의 특성과 상당히 유사하여 고농도 사례를 설명하는데 적합한 추적자(tracer)이다. 서울에서 TGM과 CO의 농도가 매월 평균 이상이면서 10시간 이상 지속된 고농도 사례는 총 26회로 나타났다 이 중 국내에서 발생한 사례가 12회였고, 중국으로부터 장거리 이동한 사례가 14회였다. 이는 5일간의 back-trajectory를 분석하여 얻어진 결과이며 특히 중국의 영향의 경우 강화도 배경농도 지역에서 동시 측정된 TGM의 농도 경향과 일치하는 경우에 한에 결정되었다. 중국으로부터의 $\Delta\text{TGM}/\Delta\text{CO}$ 이 $0.005 \pm 0.0041 \text{ ng m}^{-3} \text{ ppbv}^{-1}$ 로 서울 지역의 $0.0004 \pm 0.001 \text{ ng m}^{-3} \text{ ppbv}^{-1}$ 보다 약 10배 이상으로 높게 나타났다. 그러나 두 사례의 TGM 농도는 각각 $5.01 \pm 2.20 \text{ ng m}^{-3}$ 과 $5.05 \pm 3.10 \text{ ng m}^{-3}$ 이고 CO의 농도도 각각 $861 \pm 356 \text{ ppbv}$, $908 \pm 410 \text{ ppbv}$ 로 비교적 비슷하게 나타났다.

사 사

본 연구는 한국 과학 재단(다중 매체 간 수은 거동의 통합적 이해를 통한 수은 관리기반 구축, 2007-12001-0050-1)과 한국 환경기술진흥원의 차세대 핵심 환경기술개발사업(동북아시아 월경성 수은화합종의 발생원 및 우리나라에 미치는 영향에 관한 종합적 연구, 2007-1200-0050-1)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Cranmer, M., S. Gilbert, and J. Cranmer (1996) Neurotoxicity of mercury indicators and effects of low-level exposure: overview, *Neurotoxicology*, 17, 9-14.
- Jiang, G.B., J.B. Shi, and X.B. Feng (2006) Mercury Pollution in China—an overview of the past and current sources of the toxic metal. *Environmental Science & Technology*.
- Landis, M.S. and G.J. Keeler (2002) Atmospheric mercury deposition to Lake Michigan during the Lake Michigan mass balance study, *Environ. Sci. & Tech.*, 36, 4518-4524.
- Wilson, S.J., F. Steenhuisen, J.M. Pacyna, and E.G. Pacyna (2006) Mapping the spatial distribution of global anthropogenic mercury atmospheric emission inventories, *Atmospheric Environment*, 40, 462-4632.