

4B5) 서울시에서 장기간 측정된 대기 중 총 가스상 수은의 고농도 사례 특성과 장거리 이동에 의한 기여도 파악

Characteristics of High Concentration Event of Total Gaseous Mercury(TGM) and Contribution from Long-rang Transport in Seoul, Korea

최은미 · 서용석 · 손덕주 · 이승묵

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

1. 연구배경 및 필요성

전 세계적으로 인위적 활동으로 인해 배출되는 수은의 양은 약 2,000ton yr⁻¹ 내외로 보고되고 있다(Wilson et al., 2006). 그 중 아시아는 최대 수은 배출 대륙이며 전 세계 수은 배출량의 50% 이상을 배출하고 있다. 특히 세계 최대의 석탄 소비국(전체 중 30% 차지)이기도한 중국은 수은의 인위적인 배출이 전 세계의 약 30%에 이른다(Jiang et al., 2006). 수은은 대기 중으로 배출되어 산화·환원반응, 침적, 그리고 재비산 등의 과정을 거쳐 다른 환경 매체로 이동하는데 생지화화적인 순환과 생물축적(bioaccumulation)의 특성으로 인해 수생태계로 유입되고 인간에게까지 영향을 미친다. 인간이 이러한 수은에 노출되면 지각 이상, 시력 장애, 언어 장애, 기억력 상실, 운동실조증 등과 같은 신경 계통에 심각한 질병을 유발하게 된다(Cranmer et al., 1996). 대기 중의 수은은 미량으로 존재하나 비교적 긴 체류기간으로 인해(Hg⁰: 0.5~2년) 배출되어 장거리 이동이 가능하기 때문에 국지적 영향뿐만 아니라 지역적·지구적 영향을 줄 수 있다. 특히 우리나라는 중국의 풍하지역에 위치하여 그 영향이 상당할 것으로 예상된다. 본 연구의 측정 지점인 서울은 우리나라의 수도로 전체 인구의 1/4 정도가 거주하는 거대도시이므로 다양한 오염원들이 존재하고 있어 장거리 이동의 영향을 구분하는데 어려움이 있다. 따라서 여러 가스 상의 물질들과의 관계를 통하여 TGM의 고농도 특성을 파악하고 다양한 관점에서 오염원을 구분하고자 한다. 더 나아가 동북아시아의 수은 고농도 사례를 규명하여 최종적으로 우리나라 국민에 미칠 영향에 대한 기초 자료로써 활용이 기대된다.

2. 연구 방법

2005년 2월부터 2006년 12월까지 서울시 종로구 연건동에 위치한 서울대학교 보건대학원 5층(지상 17m, 위도37.514, 경도127.001)에서 총 가스 상 수은(Total gaseous mercury, TGM)을 측정하였다. 이는 Cold vapor atomic fluorescence spectrophotometry 기기인 Tekran사의 model 2537A로 5분 간격으로 실시간 자동 측정하였다. 1.5L min⁻¹의 일정한 유량으로 유입된 수은이 gold trap 카트리지에 흡착된 뒤 500℃의 열로 탈착된 후 검출기에서 분석된다. 수은 분석기기에 연결되어 있는 sample-line은 외기로 Teflon tubing하여 시료 채취하였다. 여기에 heating tape를 부착하여 30~40℃ 정도를 유지하며 soda lime trap을 기기 유입구 직전에 연결하여 수분으로 인한 손실을 최소화하였다. 기기의 정도판리는 24시간 간격의 automatic permeation source injection과 6개월 마다 시행된 manual injection을 통하여 이루어졌다. 또한 일정한 온도(약 16.6℃)에 포화된 수은 시료를 다양한 양으로 주입하여 99.2%의 회수율을 얻었으며, MDL은 0.04ng 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. 결과 및 고찰

측정기간 내의 TGM의 평균 농도는 3.44±2.13ng m⁻³으로 나타났다. 그 외 물질들의 평균 농도는 CO

가 $613.21 \pm 323.24 \text{ppbv}$, O_3 은 $18.63 \pm 17.18 \text{ppbv}$, NO_2 $33.62 \pm 16.51 \text{ppbv}$, SO_2 $5.95 \pm 3.16 \text{ppbv}$ 그리고 PM_{10} 이 $57.46 \pm 54.52 \mu\text{g m}^{-3}$ 으로 나타났다. 이 중 CO는 계절적으로나 일일 경향이 TGM과 상당히 유사하게 나타났다. 더군다나 CO는 TGM과 같이 대기 중 체류기간이 길며(~6개월) 대기 중에서 습식 침적으로 인한 제거 효율이 떨어지며 주로 화석 연료의 연소로 배출되어서 TGM의 고농도 사례를 설명하는데 중요한 추적자(tracer)로 활용하기에 적합하다.

TGM과 CO의 농도가 매월 평균 이상이면서 10시간 이상 지속된 고농도 사례는 총 154회로 나타났다. 이 중 국내에서 발생한 사례가 68회였고, 중국으로부터 장거리 이동한 사례가 68회였다. 이는 5일간의 back-trajectory를 분석하여 얻어진 결과이며 중국의 영향 $\Delta\text{TGM}/\Delta\text{CO}$ 이 $0.0052 \pm 0.0043 \text{ng m}^{-3} \text{ppbv}^{-1}$ 로 서울 지역의 $0.0005 \pm 0.0004 \text{ng m}^{-3} \text{ppbv}^{-1}$ 보다 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 $860.5 \pm 356.4 \text{ppbv}$, $908.0 \pm 410.0 \text{ppbv}$ 로 비교적 비슷하게 나타났다. 계절적으로 살펴보면 중국의 사례는 겨울철이 북반구 편서풍대의 영향으로 북서풍이 불어 가장 크게 받는 반면 국내의 영향의 경우는 계절에 상관없이 고농도 사례가 발생하는 것으로 나타났다. 여기에 중국으로부터 구해진 $\Delta\text{TGM}/\Delta\text{CO}$ 와 중국의 기존 CO 배출량으로 중국의 수은 배출량을 산정한 결과가 $620\text{--}755 \text{ton year}^{-1}$ 로 나타났다. 이는 중국의 2001년 575ton의 수은 배출량에 비해 8~27% 높은 값이긴 하나 중국의 수은 배출량이 해마다 증가하고 있다는 사실을 감안할 때 비교적 정확한 값이라 할 수 있다.

Table 1. Summary long-range transport events and local events.

	Long-range transport event				Local event
	China	Japan	Yellow sea	Russia	
Event(N)	68	11	5	2	68
Total time(h)	1060	163	68	27	1172
TGM conc.(ng m^{-3})	5.01 ± 2.20	3.84 ± 1.67	4.36 ± 2.35	4.38 ± 2.53	5.05 ± 3.10
CO conc.(ppbv)	860.5 ± 356.4	466.9 ± 169.3	484.2 ± 114.6	670.4 ± 297.2	908.0 ± 410.0
$\Delta\text{TGM}/\Delta\text{CO}(\text{ngm}^{-3}\text{ppbv}^{-1})$	0.0052 ± 0.0043	0.0158 ± 0.0163	0.0079 ± 0.0039	0.0083	0.0005 ± 0.0004
r^2	0.62	0.59	0.63	0.71	0.12

사 사

본 연구는 한국 과학 재단(수은의 대기-수체 간 거동 평가 연구, 과제 번호 R01-2004-10890-0)과 한국 환경기술진흥원의 차세대 핵심 환경기술개발사업(동북아시아 월경성 수은화합종의 발생원 및 우리나라에 미치는 영향에 관한 종합적 연구, 과제 번호 2007-1200-0050-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

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*.
- 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, 4621-4632.