

PA35) 춘천시 대기 중 가스상 수은 농도와 계절적 분포 Seasonal Variation of Atmospheric Mercury Concentrations in Chuncheon

간 순 영 · 한 영 지
강원대학교 환경학과

1. 서 론

수은은 EPA에 의해 독성 오염물질로 지정된 이후 전 세계적으로 수은을 감소하기 위한 관리가 이루어지고 있다. 이러한 관리가 이루어짐에도 불구하고, 현재까지 미국의 많은 수생태계 내에서의 수은 농도는 경각할 만한 수준에 이르고 있는 것으로 보고되었다(U.S. EPA, 1997). 이는 대기 중 무기수은의 침적이 수생태계내의 수은 농도의 가장 큰 영향을 미치기 때문이며, 이미 기존의 연구들에 의해서도 밝혀진 바이다. 무기 수은이 수체로 침적되면, 수생태계 내에서 주로 박테리아에 의해 높은 독성의 유기수은인 메틸수은으로 변형되고, 먹이연쇄를 따라 높은 농도로 축적되어 먹이사슬의 상위에 있는 인간에게 위해를 가하게 된다. 따라서 먹이사슬의 상위에 위치해 있는 생물체의 메틸수은 농도를 저감시키기 위해서는 대기 중의 무기 수은이 침적을 통하여 수생태계로 유입되는 경로를 차단하여야 하며, 이를 위해서는 대기 중 무기 수은 농도 특성을 파악해야할 필요성이 존재한다. 일반적으로 수은은 환경매체 내에서 0, +1, +2의 산화상태로 존재한다. 0가의 수은인 금속수은(Element mercury)은 화학적으로 안정하여 대기 중으로 배출되면 대기 중에서 0.5~2년으로 긴 수명을 유지하는 특성 때문에 광범위한 지역으로 이동이 이루어진다. 그러나 1가의 수은은 자연상태에서 거의 존재하지 않으며, 2가 수은인 가스상 산화수은(Reactive gaseous mercury; RGM)은 대기 중 반응성이 활발하여 체류시간이 수일로 짧고, 습식 및 건식침적으로 수체나 지표면으로의 이동량이 Hg^0 를 능가한다. 금속수은의 경우 대기 중에서 긴 체류시간을 유지한다는 점에서 세계적으로 고른 분포를 보이고 있으며, 다른 지역으로 이동되어 영향을 주는 등 월경성 오염의 지표로 이용되기도 한다. 본 연구에서는 춘천시의 대기 중 수은농도를 수은의 산화상태에 따라 각각 독립적으로 측정하고, 이를 바탕으로 계절적인 분포 및 기상요소와의 관계를 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 2006년 3월부터 2008년 7월까지의 강원도 춘천시 소양댐 부근(127.81N, 37.99E)에서 6일마다 1번씩, 2008년 8월부터는 춘천시 강원대학교 자연과학대상 옥상에서 3일마다 1번씩 TGM(total gaseous mercury; $Hg^0 + Hg^{2+}$), RGM 및 $Hg_{(P)}$ 에 대한 시료채취가 이루어지고 있다. TGM의 경우 gold sand trap을 이용하여 측정하고 있으며, 0.3L/min의 유량으로 24시간 동안 두 개의 gold trap을 연결하여 시료를 채취하였으며, 이는 breakthrough로 인해 포집되지 못하는 부분이 발생하기 않도록 하기 위함이다. TGM의 시료채취 방법은 미국환경청(U.S. EPA)의 미시간 호수 질량수지법 개요를 따른 것으로 가스상 수은의 포집에 있어서 99% 이상의 효율을 보이는 것으로 알려져 있다. RGM과 $Hg_{(P)}$ 의 경우 KCl로 코팅된 Denuder(URG Inc.)와 Glass fiber filter를 넣은 filter pack을 이용하여 각각 측정되고 있고, 10L/min의 유량으로 24시간 동안 측정되고 있다. 총 유량을 측정하기 위하여 dry gas meter를 이용하였다. 또한 계절마다 3일간 밤과 낮으로 나누어 시료를 채취하였다. 분석은 TGM은 BrooksRand 사의 Model III를 이용하여 분석하였고, RGM의 경우 Cold vapor atomic fluorescence spectrophotometry (CVAFS) 으로 이루어졌다.

3. 결과 및 고찰

소양호에서 측정된 총 가스상 수은(TGM)과 가스상 산화수은(RGM)의 농도의 범위는 0.79~10.75

ng/m³, 0.21~18.64pg/m³으로 나타났고, 평균 농도는 각각 2.00±1.34ng/m³, 2.94±3.34pg/m³으로 측정되었다(그림 1). 춘천에서 측정된 평균 농도는 서울이나 도심지역보다 TGM과 RGM은 각각 약 1.5배, 5배 낮은 농도를 보였다. 또한 측정된 가스상 산화수은의 농도는 총 가스상 수은에 비하여 2% 미만으로 상당히 낮은 농도를 보여주었다. TGM이 금속수은과 산화수은을 통칭한다는 점을 고려할 때, TGM의 대부분은 금속수은이 차지한다는 사실을 알 수 있다. 총 가스상 수은과 가스상 산화수은의 계절적 변이를 그림 2에 나타내었다. 본 연구에서 측정된 농도의 계절적 변이는 통계적으로 뚜렷한 변화를 보이지는 않았지만, 총 가스상 수은의 경우 겨울에 높은 농도를 보이고, 여름에 낮은 농도를 보인 반면 가스상 산화수은의 경우 여름에 높은 농도를 보이고, 겨울에 낮은 농도를 보였다. 특히 2007년의 경우 총 가스상 수은의 농도는 겨울(2.98±3.08ng/m³) > 봄(2.18±1.28ng/m³) > 여름(1.95±0.68ng/m³) > 가을(1.11±0.52 ng/m³) 순으로 높는데, 이는 선행 연구의 결과와도 일치하는 결과이다(Liu et al., 2006). 총 가스상 수은이 겨울철에 높은 농도를 보이는 것은 보일러 등의 난방, 혼합기의 변화로 인한 것으로 파악된다. 반면 가스상 산화수은이 여름이 높은 농도를 보이는 것은 강한 일사량과 함께 고농도로 존재하는 산화제(O₃, OH)로 인하여 Hg⁰가 Hg²⁺로 다량 산화되기 때문인 것으로 판단된다.

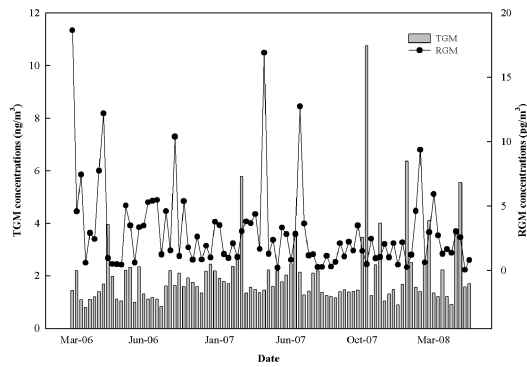


Fig. 1. TGM and RGM concentrations in this study.

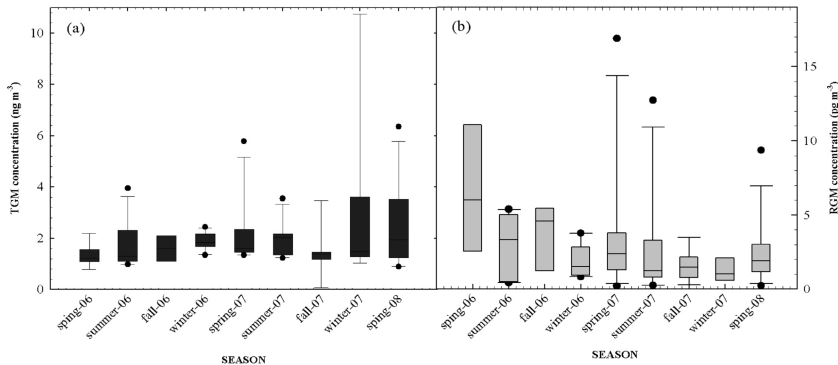


Fig. 2. Seasonal variation of TGM concentrations (a) and RGM concentrations (b).

참 고 문 헌

Liu, B., G.J. Keeler, J.T. Dvonch, J.A. Barres, M.M. Lynam, F.J. Marsik, and J.T. Morgan (2007) Temporal variability of mercury speciation in urban air. *Atmospheric Environment*, 41, 1911-1923.