

PA36) 춘천시 대기 중 수은 종 농도 특성에 관한 연구

Characteristics of Atmospheric Speciated-mercury in Chuncheon, Korea

간 순영 · 한 영 지

강원대학교 환경과학과

1. 서 론

수은은 일반적으로 자연 및 인위적 오염원으로부터 무기수은의 형태로 대기 중으로 배출되나, 일반 대기 중에 존재하는 무기수은의 수 ng m^{-3} 수준의 농도는 높은 인체 및 생태 위해성을 지니고 있지 않다. 그러나 대기 중 무기 수은은 호수나 바다로 침적하여 수생태계 내에서 주로 박테리아(황 환원 박테리아)에 의해 높은 독성의 메틸수은으로 변형되고, 이는 먹이연쇄를 따라 높은 농도로 축적되어 먹이사슬의 상위에 위치해 있는 생물체에게 큰 위해를 가한다. 이미 기존의 연구들에 의해서 무기 수은의 대기 침적이 생물체 내 메틸수은 축적의 매우 중요한 유입원이라는 것은 널리 받아들여지고 있다. 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 파악하고 환경 매체 내에서의 수은의 순환 및 거동을 이해해야할 필요성이 존재한다. 수은이 환경 매체 내에서 존재하는 3가지 형태, 즉 Hg^0 , RGM(Reactive Gaseous Mercury; 가스상 Hg^{2+}), $\text{Hg}_{(p)}$ 는 물리-화학적 특성이 크게 달라 환경 매체 내에서의 순환 및 거동 양식도 크게 다르다(Schroeder and Munthe, 1998). 대기 중에서는 Hg^0 (elemental mercury)가 대부분을 차지하고 있고, 수개월에서 2년까지의 체류시간을 갖는다. 2가 수은인 RGM(Hg^{2+})과 $\text{Hg}_{(p)}$ 의 농도는 일반적으로 Hg^0 의 10%이하이지만, 건식 및 습식 침적 속도가 Hg^0 에 비하여 매우 크기 때문에 수체나 지표면으로의 이동량은 Hg^0 를 능가한다. RGM의 경우 $\text{Hg}_{(p)}$ 에 비해 체류시간이 더 짧기 때문에 배출원으로부터 50km 이내에 50% 이상이 침적되며(EPA, 1997), $\text{Hg}_{(p)}$ 는 주로 미세입자로 존재한다고 알려져 있으나 이에 대한 광범위한 연구가 진행되지 않았다. 본 연구에서는 춘천시 소양댐 부근의 대기 중 수은 농도를 측정하고, 다른 오염물질들의 농도와 비교하여 상관관계를 파악함으로써, 수은 종별 농도의 특성을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 강원도 춘천시 소양댐 부근에서 2006년 3월부터 현재까지 6일마다 1번씩 TGM(Total Gaseous Mercury; $\text{Hg}^0 + \text{Hg}^{2+}$), RGM 및 $\text{Hg}_{(p)}$ 에 대한 시료채취가 이루어지고 있다. TGM의 경우 gold sand trap을 이용하여 측정하고 있으며, 0.3 L/min의 유량으로 24시간 동안 두 개의 gold trap을 연결하여 시료를 채취하였다. 이는 breakthrough로 인해 포집되지 못하는 부분이 발생하기 않도록 하기 위함이다. RGM과 $\text{Hg}_{(p)}$ 의 경우 KCl로 코팅된 denuder(URG Inc.)와 Glass fiber filter를 넣은 filter pack을 이용하여 각각 측정되고 있고, 10 L/min의 유량으로 24시간 동안 측정되고 있다. 또한 계절마다 밤과 낮으로 나누어 시료를 채취하였다. 분석은 TGM은 BrooksRand 사의 Model III를 이용하여 분석하였고, RGM의 경우 Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrophotometry(CVAFS)으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

2006년 3월부터 현재까지 측정된 소양호의 TGM과 RGM의 농도는 각각 24시간 평균 $1.91 \pm 1.32 \text{ng/m}^3$, $3.04 \pm 3.53 \text{pg/m}^3$ 로 나타났다. 본 연구에서 측정된 TGM, RGM 농도는 일본의 오키나와(TGM: 2.04ng/m^3 , 4.5pg/m^3 , Jaffe et al.(2005)) 지역보다 약간 낮은 수준을 보이고 있다. 또한 RGM 농도의 경우 TGM 농도에 비하여 2% 미만으로 상당히 낮은 농도를 보이고, 이는 미국 배경농도 지역, 혹은 시골 지역에서 측정된 농도와 비교하여 보았을 때 비슷한 수준으로 선행 연구 결과와 일치하는 것을 볼 수 있

다(Lindberg et al., 1998). 그림 2에서 보는 바와 같이, TGM과 RGM을 계절별로 살펴보면, TGM은 2006년의 경우 겨울($1.88 \pm 0.32 \text{ ng m}^{-3}$) > 여름($1.77 \pm 0.91 \text{ ng m}^{-3}$) > 가을($1.58 \pm 0.49 \text{ ng m}^{-3}$) > 봄($1.33 \pm 0.43 \text{ ng m}^{-3}$), 2007년의 경우 겨울($2.98 \pm 3.08 \text{ ng m}^{-3}$) > 봄($2.18 \pm 1.28 \text{ ng m}^{-3}$) > 여름($1.95 \pm 0.68 \text{ ng m}^{-3}$) > 가을($1.11 \pm 0.52 \text{ ng m}^{-3}$) 순으로 나타났다. RGM은 2006년의 경우 봄($7.07 \pm 5.95 \text{ pg m}^{-3}$) > 가을($4.24 \pm 3.34 \text{ pg m}^{-3}$) > 여름($2.63 \pm 2.08 \text{ pg m}^{-3}$) > 겨울($1.85 \pm 1.10 \text{ pg m}^{-3}$), 2007년의 경우 봄($3.68 \pm 4.57 \text{ pg m}^{-3}$) > 여름($2.74 \pm 3.53 \text{ pg m}^{-3}$) > 가을($1.53 \pm 0.97 \text{ pg m}^{-3}$) > 겨울($1.26 \pm 0.85 \text{ pg m}^{-3}$) 순으로 나타났다. 계절적인 변화는 TGM과 RGM 모두 통계적으로 뚜렷한 상관관계가 보이지 않지만, TGM의 경우 겨울에 높은 농도를 보이고 여름에 낮은 농도를 보이는 반면, RGM의 경우 봄과 여름에 비교적 높은 농도를 보이고 겨울에 낮은 농도를 보인다.

본 연구에서 측정된 수은과 다른 오염물질과의 상관관계를 파악하였다. 수은과 PM_{10} 과의 상관성을 파악하기 위하여 대기환경기준인 $100 \mu\text{g m}^{-3}$ 을 기준으로 PM_{10} 농도가 $100 \mu\text{g m}^{-3}$ 보다 높은 날의 농도와, PM_{10} 농도가 $100 \mu\text{g m}^{-3}$ 보다 낮은 날의 수은 농도를 비교하여 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, PM_{10} 농도가 높은 날 TGM 농도도 함께 높고, PM_{10} 농도가 낮은 날 TGM 농도도 함께 낮고 것을 알 수 있었다. 반면 RGM 농도는 PM_{10} 농도와 상관없이 PM_{10} 농도가 높을 때나 낮을 때나 크게 차이가 나지 않았다. 그러나 TGM의 경우 춘천시 PM_{10} 농도를 증가시키는 오염원이 TGM의 농도 증가에도 영향을 미치는 것으로 파악된다. 따라서 지속적인 시료 채취로 춘천시 PM_{10} 농도에 영향을 미치는 중요한 오염원과 TGM의 주요 오염원을 파악해야 한다.

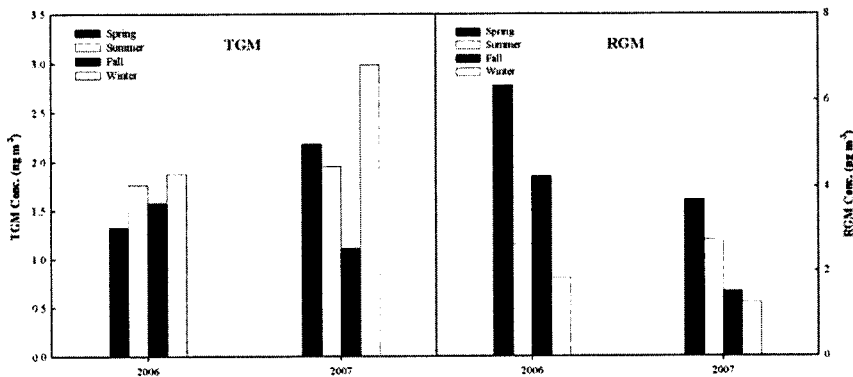


Fig. 1. Seasonal variation of TGM, RGM concentration during study period.

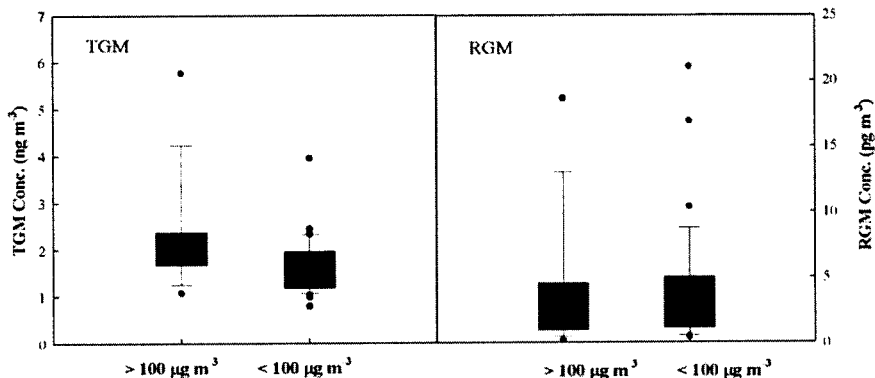


Fig. 2. Relationship between TGM, RGM and PM_{10} concentration.

참 고 문 헌

- Jaffe, D., E. Prestbo, P. Swartzendruber, P. Weiss-Penzias, S. Kato, A. Takami, S. Hatakeyama, and K. Yoshizumi (2005) Export of atmospheric mercury from Asia. *Atmospheric Environment*, 38, 3029-3038.
- Lindberg, S.E. and W.J. Stratton (1998) Atmospheric mercury speciation: concentrations and behavior of reactive gaseous mercury in ambient air, *Environmental Science Technology* 32, 49-57.
- Schroeder, W.H. and J. Munthe (1998) Atmospheric mercury—an overview, *Atmospheric Environment*, 32, 809-822.
- U.S. EPA (1997) Mercury Study Report to Congress, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development, EPA-452/R-97-005.