

PA12) 춘천시 대기 중 수은농도 연구

Investigation of Atmospheric Mercury Concentrations in Chuncheon

박상영 · 한영지

강원대학교 환경학과

1. 서론

환경 내에 존재 하는 수은은 여러 화학종을 가지며 다매체간의 순환을 갖는다. 수은은 크게 3가지 형태로 나누어 볼 수 있는데 Hg^0 (Element Mercury), Hg^{2+} (Reactive Gaseous Mercury, RGM), $Hg(p)$ (입자상수은) 이다. 먼저 Hg^0 의 특징으로는 난용성 및 휘발성과 강한 안정성을 들 수 있다. 대기 중 전체 수은의 98%를 차지하며 반응성이 낮고 체류시간이 길어(약 1년) 장거리 이동이 가능하다. 다음으로 Hg^{2+} 은 반응성이 매우 높고 물에 잘 녹으며 체류시간이 짧아 침적량이 0가 수은을 능가한다. 직접 배출되거나 대기 중에서 산화된 Hg^{2+} 은 지표나 수체에 침적되며, re-emission에 의해 다시 대기로 유입되기도 한다. 수체로 유입된 이가 수은은, 광환원 반응에 의해 환원되어 다시 대기로 배출되며 다매체간을 순환하게 된다. 이처럼 수은은 다른 중금속과는 달리 일단 환경에 배출되면 대기과 수체 간에 지속적인 침적(deposition)과 배출(emission)을 반복하며 순환을 한다는 특징을 가지고 있다.

이중 메틸수은은 중추 신경계에 영향을 미치며 bioaccumulation으로 인해 인간의 건강에 큰 위협을 준다. 유기 수은의 경우 높은 생체 축적률로 먹이사슬을 통한 상위 소비자로 갈수록 그 축적률이 높아지고 오염된 물고기의 섭취로 인해 인간의 건강에 악영향을 미칠 수 있다. 대기 중의 무기 수은이 침적을 통하여 수생태계로 유입되는 경로를 차단하여야 하며, 이를 위해서는 대기 중 무기 수은 농도 특성을 파악해야할 필요성이 존재한다. 본 연구에서는 춘천시의 대기 중 수은농도 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 역시 6일마다 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, 0.3 L/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. RGM(Reactive Gaseous Mercury)과 $Hg(p)$ 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. 총 유량을 측정하기 위하여 dey 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

춘천에서 측정된 총 가스상 수은(TGM)과 가스상 산화수은(RGM)의 농도의 범위는 $0.07 \sim 10.75 \text{ ng/m}^3$, $0.01 \sim 85.90 \text{ pg/m}^3$ 으로 나타났고, 총 가스상 수은(TGM)과 가스상 산화수은(RGM) 평균농도는 각각 $2.08 \pm 1.48 \text{ ng/m}^3$, $3.94 \pm 7.31 \text{ pg/m}^3$ 으로 측정되었다(표 1) 춘천에서 측정된 평균 농도는 서울이나 도심지역보다 TGM과 RGM은 각각 약 1.5배, 5배 낮은 농도를 보였다. 계절적으로 살펴보면(그림 1), 가장 높은

TGM 평균 농도는 2009년 가을($2.59 \pm 2.07 \text{ ng/m}^3$)에 측정되었고, 가장 낮은 TGM 평균 농도는 2007년 가을($1.38 \pm 0.56 \text{ ng/m}^3$)에 측정되었다. 또한 RGM 평균 농도가 가장 높을 때는 2009년 여름($11.83 \pm 26.77 \text{ pg/m}^3$)이고, 가장 낮을 때는 2007년 가을($1.57 \pm 1.59 \text{ pg/m}^3$)로 나타났다. 본 연구에서 측정된 농도의 계절적 변이는 통계적으로 뚜렷한 변화를 보이지는 않았지만, TGM의 경우 겨울에 높은 농도를 보이고, 여름에 낮은 농도를 보인 반면 RGM의 경우 여름에 높은 농도를 보이고, 겨울에 낮은 농도를 보였다. TGM이 겨울철에 높은 농도를 보이는 것은 겨울철 북반구에서의 화석연료 사용의 증가(Rotty, 1987), 혼합고의 변화로 인한 것으로 파악된다. 반면 RGM이 여름에 높은 농도를 보이는 것은 강한 일사량과 함께 고농도로 존재하는 산화제(O_3 , OH)로 인하여 Hg^0 가 Hg^{2+} 로 산화되기 때문인 것으로 판단된다.

Table 1. Summarized table for TGM and RGM concentrations.

Year	TGM(ng/m^3)				RGM(pg/m^3)				
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter	
2006	Ave.	1.43 ± 0.48	1.83 ± 0.88	1.38 ± 0.56	1.72 ± 0.16	6.76 ± 7.25	2.60 ± 2.12	4.24 ± 3.62	1.74 ± 0.89
	Range	0.79~2.19	0.98~3.95	0.29~2.19	1.57~1.88	0.59~21.04	0.03~5.39	0.65~10.30	0.83~2.62
2007	Ave.	2.15 ± 1.24	2.02 ± 0.67	1.46 ± 0.73	2.58 ± 2.41	3.78 ± 4.48	2.97 ± 3.99	1.57 ± 1.59	1.63 ± 1.30
	Range	1.19~5.77	1.24~3.55	0.08~3.46	1.25~10.75	0.21~16.90	0.25~12.87	0.02~5.78	0.48~4.54
2008	Ave.	2.56 ± 1.91	2.45 ± 2.23	2.41 ± 1.37	2.47 ± 1.73	3.11 ± 3.00	2.57 ± 2.20	3.64 ± 2.79	2.43 ± 1.89
	Range	0.49~7.40	0.89~9.86	0.07~4.82	0.08~5.31	0.01~13.14	0.04~6.37	0.54~9.84	0.93~6.41
2009	Ave.	1.61 ± 0.73	1.74 ± 0.67	2.59 ± 2.07	2.08 ± 1.31	5.84 ± 6.79	11.83 ± 26.77		
	Range	0.58~2.93	0.83~2.80	0.07~7.01	0.88~5.16	0.22~22.98	0.55~85.90		

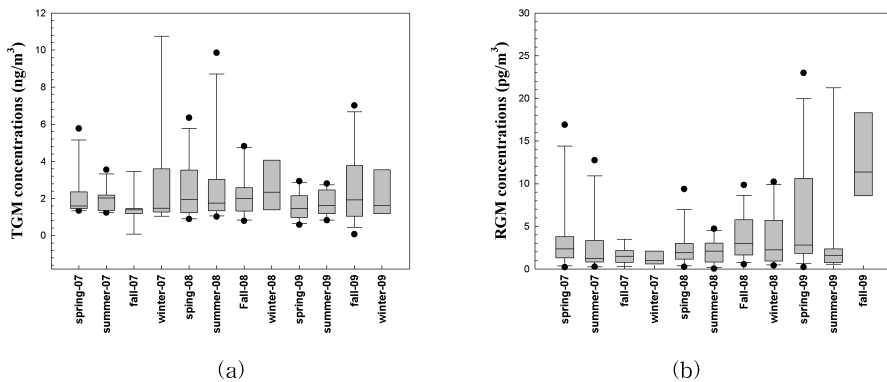


Fig. 1. Seasonal variation of TGM concentrations (a) and RGM concentrations (b).

참고 문헌

- Liu, B., G.J. Keeler, J. Dvonch, T., 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.
- Rotty, R.M. (1987) Estimates of seasonal variation in fossil fuel CO_2 emission. *Tellus* 39B, 184-202.