

PA9) 소양호 대기 중 수은 농도 및 강우 내 수은 농도의 고찰

Investigation of Mercury in the Lake So-yang: Both Hg in Ambient Air and Hg in Precipitation

간순영 · 안명찬 · 한영지
강원대학교 환경과학과

1. 서 론

수은은 중추신경계에 장애를 일으키는 독성물질로서, 일반적인 중독 경로는 사람들이 수은에 오염된 어류를 섭취함으로써 일어난다. 수은의 환경 내에서의 거동 및 작용들은 수은의 화학종에 따른 물리 화학적 성질에 의해 결정된다. 수은의 화학종은 Hg^0 , Hg^{2+} , $Hg(p)$ 이 있다. Hg^0 의 특성은 난용성과 강한 휘발성이다. 이 때문에 대부분 대기 중에 분포하며 그 체류시간 또한 1~2년 정도로 길다. Hg^{2+} 의 특성은 높은 반응성과 빠른 침적 속도를 들 수 있다. Hg^{2+} 형태로 배출되거나 대기 중 광화학적 반응에 의해 Hg^0 가 Hg^{2+} 로 산화되면 이것들은 바로 지표로 침적되게 된다. 따라서 인위적 오염원 주변에는 2가 수은의 오염이 심하며 그 침적 속도는 HNO_3 와 비슷한 1~5cm의 범위를 갖는다. 이러한 수은은 수체내로 이동하게 되며, 수체 내에서 무기 수은이 메틸화에 의해 유기수은으로 변형된다. 유기 수은은 높은 생체 축적률을 가지고 있어 상위 어류에서 높은 농도를 나타내며, 이를 섭취함으로써 인간의 건강에 악영향을 미친다. 수은의 수체로의 유입은 대부분 대기의 건식 침적, 습식 침적, 대기 수체 가스 교환으로 일어나게 된다. 이러한 부분들을 평가하기 위하여 대기 수은의 종별 농도를 측정 하였으며, 강우 내 수은의 농도를 측정하였다.

2. 연구 방법

대기 중 수은의 측정은 TGM(total gaseous mercury, Hg^0 , Hg^{2+})과 RGM(reactive gaseous mercury, Hg^{2+}) 그리고 $PM_{2.5}$ Hg(p)와 Total Hg(p)를 측정 하였다. TGM의 측정은 300ml/min의 유량으로 gold-coated-sand-trap을 이용하여 채취하였으며 trap의 유입부에 필터팩을 달아 유리섬유여과지를 설치하여 총 입자상 수은을 채취하였다. RGM은 포화 KCl용액으로 코팅된 annular denuder를 이용하여 채취하였다. 이때 denuder의 유입부에 impactor를 설치하여 $PM_{2.5}$ 이상의 입자를 제거한 후, denuder의 유출부에 필터팩을 달아 $PM_{2.5}$ Hg(p)을 채취하였다. 이때 유량은 10L/min으로 하고 코팅된 KCl의 대기 중 수분에 의한 가수 분해를 막기 위해 코팅부위를 heater로 따뜻하게 보호 하였다. 또한 낮과 밤의 일변화를 알아보기 위해 하루 2번의 측정을 실시하였다. 강우 내 수은의 측정은 auto-rain-sampler를 이용하여 빗물을 수집하고 총 수은을 분석하였다. 강우 채취 시 사용되는 모든 용기는 산세척을 하였으며, EPA의 Lake michigan mass balance study compendium에서 제시하는 방법을 따랐다(Keeler and Landis, 1994b).

3. 결과 및 고찰

대기 중 수은의 측정은 2006년 3월 말부터 시작 하여 6일에 1번씩 측정을 하였으며 intensive sampling을 정하여 하루 2회의 측정을 실시하였다. 현재까지의 측정된 시료의 분석 결과를 그림 1에 나타내었다. 총 기간 동안의 TGM과 RGM의 평균 농도는 각각 $1.671 \pm 1.477 ng/m^3$, $2.281 \pm 3.131 pg/m^3$ 이다. 결과로 보았을 때 RGM/TGM의 비율이 0.002~1.703%로서 약 2% 미만의 비율 이었다. 이러한 결과는 다른 연구결과와 비슷한 결과이며, 수은의 주 오염원이 없는 춘천의 환경을 보았을 때 타당하다 사료된다. 그림 1에서 보면 낮과 밤의 농도차를 보이는 날이 많이 보인다. 전체 낮 과 밤 농도 측정 set이 12개 이며, 이중 RGM의 농도가 낮에 높고 밤에 낮은 값을 나타내는 것이 총 8번이었다. RGM의 존재가 오염원의 직접적 배출도 있지만 대기 중 광화학 산화제인 O_3 나 OH 등에 의해 0가 수은이 산화되어

생성되므로 낮에 높은 농도를 나타내는 것이 타당하며, 이번 연구 결과 또한 같은 양상을 보였다. (Lindberg and Stratton, 1998) 또한 RGM이 Hg⁰의 산화에 의한 생성이 상당부분 차지하므로 Hg⁰(TGM-RGM)의 농도는 RGM의 농도와 반비례 할 것이다. 이 상관성은 월별 Hg⁰와 RGM의 기하 평균을 구하여 그림 1에 상관그래프를 나타내었다(p-value=0.027, α=0.05, r_s=-0.55).

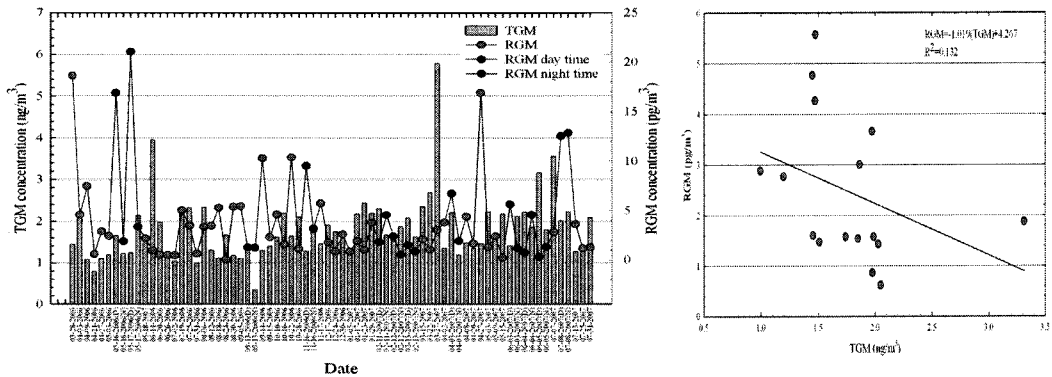


Fig. 1. RGM and TGM concentrations in Lake So-Yang(left) and relationship of TGM and RGM monthly geomean concentrations.

또한 현재 까지 측정하고 분석한 강우 내 수은의 결과를 그림 2에 나타내었다. 분석된 기간은 06년 8월부터 11월까지 이며 이 기간 동안 수은의 총 Flux는 2.24μg/m²이었다. Flux의 계산은 다음과 같다.

$$\text{Flux}(\mu\text{g}/\text{m}^2) = \text{강우 내 총 수은의 농도}(\text{ng}/\text{L}) \times \text{강수량}(\text{mm})$$

분석 결과 중 1회의 눈 event가 있었는데 비 시료와 비교 하였을 때 매우 높은 농도 값을 나타냈다(비: 7.09ng/L, 눈: 48.9ng/L). 소양호의 습식 침적량은 미국의 다른 지역과 비교 하였을 때 높은 값을 나타냈다. 표 1은 미국 지역의 1년 동안의 습식침적 data이다. 이번 연구의 결과값이 약 4개월 임을 감안한다면 표 1의 data와 비교 하여 매우 높은 값이다. 이는 소양호 주변에 주 오염원이 없는 상황으로 보아 수은의 장거리 이동에 의한 결과라 사료된다(Matthew w. Landis, et al., 2002).

Table 1. Comparison of wet deposition to USA.

Country	Site	Station	Flux (μg/m ²)	Rain Depth (mm)
KOREA	Chun-Cheon	So-yang Dam	2.24	223.87
USA*	Maine	Greenville Station	2.72	464.97
	New York	Huntington Wildlife	1.65	414.53
	Florida	Chassahowitzka National Wildlife Refuge	6.88	496.57

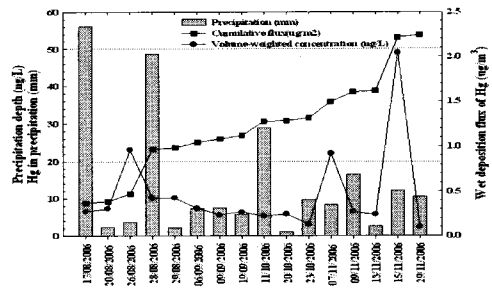


Fig. 2. Measured items of wet deposition in Lake So-Yang.

참고 문헌

U.S. EPA, G. Keeler, and M. Landis (1994b) Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium; Standard Operating Procedure for Sampling of Mercury in Precipitation, <http://www.epa>.

gov/glnpo/lmmb/methods/umfield.pdf

Lindberg, S.E. and W.J. Stratton (1998) Atmospheric Mercury Speciation: Concentrations and Behavior of Reactive Gaseous Mercury in Ambient Air, *Environmental Science and Technology*, 32, 49-57.

Matthew w. Landis, F.V. Alan, and Gerald J. Keeler (2002) Atmospheric Mercury in the Lake Michigan Basin: Influence of the Chicago/Gary Urban Area, *Environmental Science and Technology*, 36, 4508-4517.