

# 서울지역 대기중 수은의 거동에 관한 연구

환경조사과

오석률·이상철·고한성·신덕영·김홍기·임성철·고현욱·김광진

## Study on Behavior of Atmospheric Mercury in Seoul

*Division of Environment Research*

Seok-Ryul Oh, Sang-Chil Lee, Han-Sung Ko, Deog-Young Shin, Hong-gi Kim,  
Sung-Chul Lim, Hyen-Ug Ko, Kwang-jin Kim

### = Abstract =

This study investigated the behavior of atmospheric mercury in Seoul. from July 1997 to April 1998. Atmospheric mercury was measured by a mercury air monitor(Mercury Monitor AM-2). The mercury was measured using cold vapor atomic absorption spectroscopy. The results were summarized as follows:

1. The concentrations of atmospheric Hg measured at Yangjae-dong were in the range of 0.14 to 34.15ng/m<sup>3</sup> and showed relatively high concentrations in summer and winter. The mean and S.D. of the all data was 8.00±3.7ng/m<sup>3</sup>.
2. In comparison with Hg distribution in some sites in seoul, the measured Hg levels were not showed the large differences. This was considered as the effects of Hg dispersion and atmospheric circulation.
3. The daily variations in atmospheric mercury concentrations were showed high concentrations during night time at Yangjae-dong and day time at Nambu station.

## 서론

수은은 다른 금속에 비하여 매우 높은 휘발성과 저용해성 등 고유의 화학적 특성을 지니고 있으며, 수은은 인위적 또는 자연적인 요인으로서 대기권, 수권, 토양권 그리고 생물권 등의 무기유기적 환경생태계를 순환하는 가장 움직임이 큰 중금속으로 인식되고 있다.<sup>1)</sup> 대기 중에 공급되는 수은은 자연적인 요인과 인

위적인 요인으로 구별할 수가 있다.

자연계활동에서 유래하는 수은은 지하의 마그마 활동에서 유래하는 것으로서 화산가스나 분출가스에서 수반하여 방출되는 수은과 토양에서 기화하는 수은이 있다. 토양에서 기화되는 수은량은 토양 중 수은농도, 지온, 통기성, 점토광물이나 부식물질량, 토양 pH, 미생물활동 등에 의존하는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 대기 중으로의 수은의 인위적인 공급은 수은사용에 수반한 것과 열적과정에 따른 수은 함유물에서의 탈리 등이

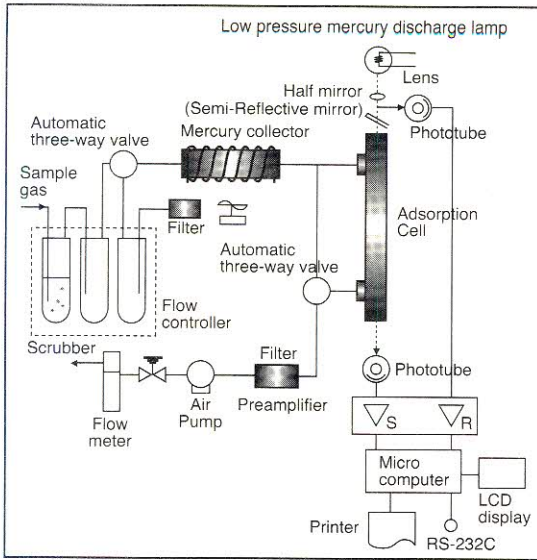


Fig. 1. Schematic diagram of the mercury analyzer (Sampling Step)<sup>7)</sup>

생각될 수 있으며 전자는, 예를 들면 수은법 염소-알칼리 공장에서 금속수은의 기화에 의한 것을 들 수 있고, 후자는 화석연료의 연소나 광석의 가열공정, 전지, 형광등, 안료 등의 폐기물의 소각으로 인한 대기 중의 방출이다.<sup>7)</sup> 전세계적으로 인위적인 요인으로부터 배출되는 수은의 양은 연간 약 6,000-7,500ton 정도 되는 것으로 보고되고 있다.<sup>11)</sup> 대기중의 수은은 가스상 및 입자상 형태로서 존재하는데 수은화합물의 높은

휘발성 때문에 인위적요인으로부터 배출되는 대부분의 수은은 가스상 형태로 대기중에 존재하는 것으로 알려져 있다. 석탄연소 화력발전소는 대기 중의 주요한 수은 발생원이다. 특히 연탄 연소로 인하여 함유되어 있는 수은의 90-98%가 가스상 수은으로 변하는 것으로 보고 되고 있다.<sup>3)4)</sup> 수은 화합물에 노출되었을 때 중추신경장애와 골장애와 같은 만성중독증상과 복통, 구토, 순환기장애와 같은 급성 중독을 일으키는 것으로 알려져 있으며<sup>9)</sup> 각종 산업활동의 증가로 수은 배출 부하량이 증대되고 있는 실정으므로 수은 거동을 파악할 필요성이 있어 본 실험을 행하였다. 본 실험은 서울지역(양재동 측정소, 남부터미널, 강남터미널, 동서울터미널)의 대기 중의 수은농도를 측정하였다.

## 실험 방법

본 조사지점은 양재동측정소에서 1997년 7월 - 1998년 4월, 남부터미널, 강남터미널, 동서울터미널에서 1998년 3월-4월에 각각 1-2주씩 Mercury Monitor(AM-2/Nippon Instrument사 제품)을 사용하여 60분 단위로 유량은 0.5 l/min으로 대기중의 수은을 측정하였다.

장치는 Fig. 1.에서와 같이 세정, 채취부, 수은포집부, 검출부로 구성되어 있다. 시료가스는 디지털타이머로 설정된 시간동안만 펌프에 의하여 일정한 유량으로 흡입된다. 시료가스는 전자냉각장치에서 강제로 냉

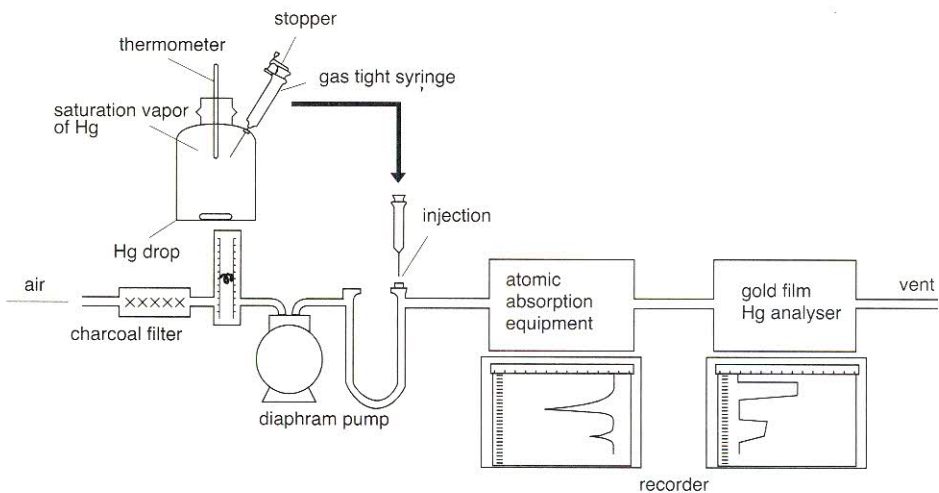


Fig 2. Calibration method of the equipment by Hg vapor standard.

각된 가스세척병(gas impinger)과 제습병을 통과시키며 여기서 시료가스는 표준완충액(pH 6.86을 물과 1:1로 희석)을 넣은 가스세척병에서 주로 산성가스가 세척제거된 다음 냉각,제습된다. 시료가스는 수은포집제를 통과하여 수은만이 금아말감으로서 채집되고, 다른 가스상 물질은 흡수셀을 통과하지 않고 배출되며 금아말감 형태로 포집된 수은은 가열되어 원자상 수은이 금아말감에서 유리되어 253.7nm의 흡수파장대에서 냉원자흡광광도법에 의하여 흡광도가 측정된다.

감도는 수은으로 0.01ng이고, 단위체적당 수은량을 계산할수 있도록 되어있다. 장치의 교정은 Fig. 2.에서와 같이 포화 수증기가 들어 있는 Calibration Chamber에서 100  $\mu$ l gas tight syringe로서 일정량을 취하여 행하였다.

### 결과 및 고찰

환경 대기중의 수은 농도는 최근의 여러 문헌에 의하면 도시 대기에서는 24시간 평균치로서 수십ng/m<sup>3</sup>의 측정치가 보고되고 있으며 또한 background지역에서는 1 - 5ng/m<sup>3</sup>의 농도가 제시 되고 있다.<sup>4)5)10)</sup>

양재동 측정소에서 측정한 대기중 수은 농도는 Table 1과 같이 97년 7월에 농도 범위는 4.16 - 34.15ng/m<sup>3</sup>, 평균농도가 9.91ng/m<sup>3</sup>로 가장 높게 나타났으며, 10월에 농도 범위는 0.14 - 24.8ng/m<sup>3</sup>, 평균농도가 4.73ng/m<sup>3</sup>로 가장 낮게 나타났다. 기온이 높은 여름철의 도시대기중 수은농도는 기온의 상승

이나 일사량의 강도에 따라 자연발생의 영향으로 농도가 상승하고, 겨울철은 계절변동에 따른 연료의 증가와 더불어 연소계 발생원의 영향과 함께 11월부터 형성되는 대기 안정도가 증가하므로써 빈번히 발생하는 지표 역전현상을 크게 받는 것으로 보고 하는 것처럼<sup>4)</sup> 본 조사에서도 계절별로 나누어 비교하면 여름과 겨울에 비교적으로 높은 농도를 보였다. 환경 대기중에서의 수은이 제거되는 과정은 크게 강우나 강설에 의하여 지표에 침착하는 습성침착(wet deposition)과 먼지등의 강하에 의한 건성침착(dry deposition)이 있으며 비교적 강우량이 높은 여름철에 강우의 세정효과에 의하여 대기중 수은양이 낮아졌지만, 그후에는 재회산하여 농도가 높아지는 것으로 보고 되고 있다.<sup>6)</sup> 이와같이 대기중 수은농도는 기온의 고·저, 강우 현상에 의한 세정효과 및 배출량에 따른 연관성이 매우 큰 것으로 사료된다.

98년 3월과 4월중에 각각 1-2주씩 남부터미널, 강남터미널, 동서울터미널에서 측정한 대기중 수은 평균 농도는 각각 7.87ng/m<sup>3</sup>, 7.42ng/m<sup>3</sup>, 5.25ng/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 이 농도치는 거의 일년동

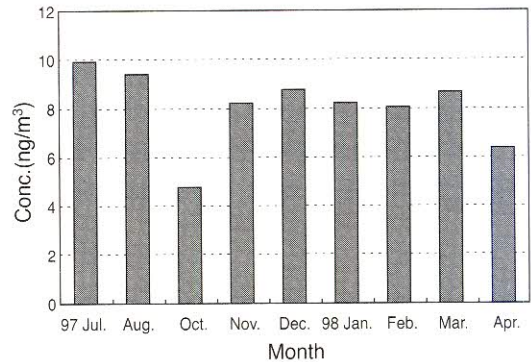


Fig. 3. Monthly variation of mercury concentration in ambient (Yangjae-dong).

Table 1. Monthly variation of mercury concentration in ambient (Yangjae-dong).

Month	Mean±S.D.	Min	Max	C.V.(%)
97. Jul.	9.91±4.3	4.16	34.15	67.5
Aug.	9.38±3.8	1.25	32.25	54.2
Oct.	4.73±2.6	0.14	24.80	25.6
Nov.	8.15±3.5	3.09	26.36	43.5
Dec.	8.75±4.8	2.95	28.52	43.2
98. Jan.	8.15±5.3	2.53	24.50	35.4
Feb.	7.98±4.1	2.91	27.14	24.6
Mar.	8.58±2.5	4.77	17.82	38.5
Apr.	6.37±2.6	2.07	20.62	27.6
Ave.	8.00±3.7	2.65	26.24	40.0

unit : ng/m<sup>3</sup>

Table 2. Monthly variation of mercury concentration in ambient.

Site	Mean±S.D.	Min	Max	C.V.(%)
Nambu station	7.87±3.7	2.84	21.3	29.8
Kangnam station	7.42±2.7	3.75	17.3	45.2
Dongseoul station	5.25±1.8	2.73	15.8	32.5

unit : ng/m<sup>3</sup>

안 양재동 측정소에서 측정한 대기중 평균수은농도 8.00ng/m<sup>3</sup>와 비교하여 볼 때 큰차이는 보이지 않았다. 이것은 손등<sup>10)</sup>에 의해 서울 도심 중앙으로부터 반경 5, 10, 15km에서 각각 측정 지점을 선정하여 대기중 수은 농도를 측정한 결과 도심 중앙에서 멀어질수록 큰 차이는 보이지 않으나 수은 농도가 감소하는 것으로 보고하였으나, 본 조사에서는 도심 외곽 지역인 양재동에서 보다 높은 농도치를 나타냈다. Jernelov와 wallin<sup>8)</sup>에 의하여 스웨덴의 염소-알칼리 전해공장 주변의 눈에 의한 수은강하량을 측정한 결과 대기중에 방출된 수은의 대부분은 넓은지역에 확산하여 배경농도를 높이는데 기여하고 또한 쓰레기 소각장과 화력발전소에서 대기중에 방출된 수은의 대부분은 방출원에서 수십km에 걸쳐 대기중에 존재한다고 보고하고 있는 것처럼, 다른 금속에 비하여 매우 높은 휘발성을 갖는 수은의 높은 환경유동성 때문에 수은 배출원으로부터 대기중에서 수은의 확산과 대기의 순환으로 인하여 서울 대기중의 수은의 거동도 이러한 특성을 보이는 것으로 여겨진다.

Fig. 4.는 97년 11월에서 98년 3월까지 양재동 측정소에서 대기중에 존재하는 수은의 시간적 분포특성을 나타내고 있다. 조사 결과 18시부터 4시경까지의 야간 시간대에 대기중 수은농도가 상대적으로 높은 농도치를 나타내는 것을 볼수 있는데, 이것은 양재동 측정소 주변이 식물재배를 위한 비닐하우스와 주거지역으로 이루어져 있어 야간시간에 증가하는 난방연료의 사용으로 이와같은 수은의 거동을 보이는 것으로 사료된다.

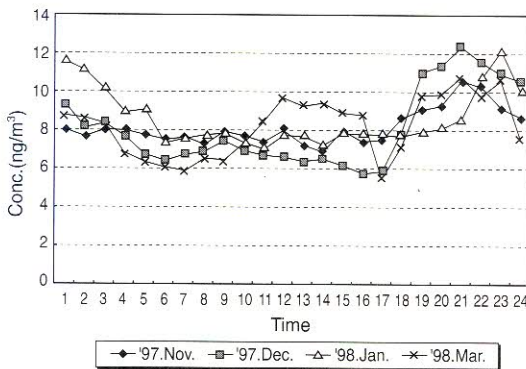


Fig. 4. Comparison of Hg concentration changes as function of time(Yangjae-dong).

Fig. 5.는 98년 4월 에 남부, 강남, 동서울터미널에서 대기중에 존재하는 수은의 시간적 분포 특성을 나타내고 있다. 이들 지역중 남부터미널에서는 비교적 낮시간대에 높은 농도치를 나타내고 있다. 이것은 주변의 상업시설과 주간시간대의 빈번한 교통량으로 인해 이러한 거동을 보이는 것으로 사료되며, 강남터미널에서는 오전7시에 높은 농도치를 나타내다가 감소하였고, 동서울터미널은 일중 변화없이 거의 일정하게 낮은 농도를 나타냈다.

## 결 론

수은을 금아말감으로 포집한후 냉원자흡광광도법을 이용하여 서울지역 대기중의 가스상 수은 농도를 연속 측정 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 97년 7월부터 98년 4월까지 양재동 측정소에서 측정한 대기중 평균 수은 농도는  $8.00 \pm 3.7\text{ng/m}^3$ 이었다. 계절별로 나누어 보면 여름과 겨울에 비교적 높은 농도를 보였다.
2. 서울지역내의 일부지점을 선정하여 대기중의 수은농도를 측정한 결과 지역별로 큰 농도차이는 보이지 않았다. 이것은 수은 배출원으로부터 수은의 높은 환경유동성으로 인해 수은의 확산과 대기의 순환의 영향으로 여겨진다.
3. 양재동측정소, 남부, 강남, 동서울터미널에서의 수은의 시간별 분포특성을 분석한 결과 양재동 측정소에서는 주간시간대와 비교하여 야간시간

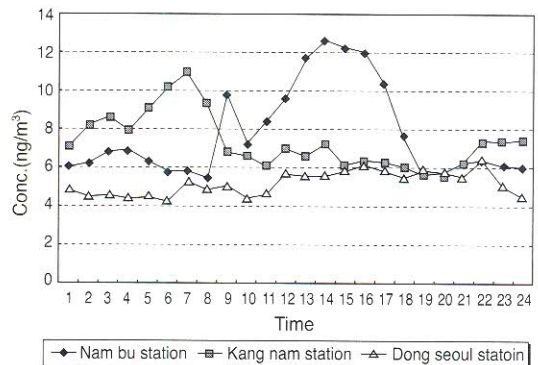


Fig. 5. Comparison of Hg concentration changes as function of time.

대에 상대적으로 높은 농도치를 보였고, 남부터미널에서는 주간시간대에 높은 농도치를 나타냈다.

### 참 고 문 헌

1. Schroeder, W.H. and Jackson, R.H., An Instrumental Analytical Technique for Vapor-Phase Mercury Species in Air, *Chemosphere* 13, pp.1041-1051 (1984)
2. Anderson, A., Mercury in Soil In : The Biogeochemistry of Mercury in the Environment, Nriagu, J.O., Elsevier, Amsterdam, p 79-112(1984)
3. Billings, C.E., Sacco, A.M., Matson, W.R., Griffin, R.M., Coniglio, W.R., and Harley, R.A., Mercury Balance on a Large Pluverized Coal-Fired Furnace, *J. Air Pollut. Control Assoc.*, 23, p 773-777(1973)
4. Kim, M.Y., Park, S.H., and Park, S.B., Study on the Behavior of Gaseous Mercury and its Influencing Factors in Urban Ambient Air, *J. KAPRA*, 5(1) 11-21(1989)
5. Sohn, D. H., Cho, K.Y., and Hahn, Y.M., Mercury Concentration in Urban Ambient Air, *The Pharmaceutical Society of Korea*, 30(6), 281-287(1986)
6. 유승성의 3인, 습성 침착물중의 수은의 극미량 분석법에 대한 연구, 서울특별시보건환경 연구원 보 (1994)
7. 김민영, 미기상학적방법에 의한 지표면과 대기간의 수은플럭스 해석, 단국대학교 박사 학위논문 (1998)
8. Jernelov, A. and Wallin, T., Air-Borne Mercury Fallout on Snow around Five Swedish Chlor-Alkali Plants, *Atmos. Environ.*, 7, 209-214(1973)
9. Tsubaki, T., Irukayama, K., Minamata Disease: Methylmercury Poisoning in Minamata and Niigata Japan, Kodansha, Tokyo(1977)
10. Sohn, D. H., Shin, J.E., Jung, S.Y., and Jung, W.T., Mercury Concentration in Urban in Rural Atmospheres of Korea, *J. KAPRA*, 11(E) 55-62(1995)
11. Mason R.P., W.F. Fitzgerald, F.M.M. Morel, The biochemical cycling of elemental mercury : anthropogenic influences, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58(15), 3191(1994)