

PA18) 서울시 대기 중 총 가스상 수은의 농도와 수용원 모델을 이용한 오염원의 파악

Atmospheric TGM (Total Gaseous Mercury) Concentrations and Identifications of Source Areas using Hybrid Receptor Models in Seoul, Korea

이용미·이승묵

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

1. 서론

수은은 배출 후에 수체, 토양과 생물체 등의 거동 원리가 복잡하고 일정하지 않아 수은 연구에 많은 노력이 필요할 뿐만 아니라 우리나라의 경우 현재 수은 주배출 지역인 동북아 지역에 속해 있으며, 세계적으로 수은 오염이 가능한 생선의 섭취량은 높지만 미국, 유럽 등과 비교하여 수은 연구는 극히 드물기 때문에 지속적인 수은 측정 자료의 축적과 수은의 거동과 영향에 대한 연구가 시급한 실정이다.

수은은 자연적으로 토양이나 농장, 화산 등과 같은 곳에서 배출되므로 제어가 어렵고 일정 농도로 순환되어 균형을 이루고 있지만, 인위적으로 각종 화석 연료 연소기관과 소각로, 제련 등의 공장과 금광 등에서 배출되어 자연 내의 수은의 균형을 깨고 있다. 한번 배출된 수은은 자연 내에 그 성상을 달리하며 순환하게 되므로 그 처리보다는 배출원의 규제가 절실히 필요한 항목이라 할 수 있다. 수은은 대기 중으로 방출되어 대부분 반응성이 없는 Hg^0 (elemental mercury) 형태로 존재하고, 그 외에 Hg^{2+} (gaseous mercury and particulate mercury)로 대기 중에 존재하거나 침적 과정을 통해 이동하게 되는데, 반응성이 거의 없는 Hg^0 도 광화학 반응이나 열적 분해에 의해 Hg^{2+} 형태로 변환되어 토양이나 수생 생태로 이동되어 생물체 내에서 Methylation을 일으켜 독성을 일으키게 된다. 따라서 본 연구에서는 수은 cycle에 있어 중요한 원인을 갖고 있는 대기 중 수은의 양을 파악함으로써 환경 중 수은 농도 파악하고 수은의 이동과 주변지역의 오염원이 미치게 될 영향에 대해 살펴보고, 몇 가지 모델을 통해 그 가능한 오염지역을 파악해 보도록 할 것이다.

2. 연구 방법

2.1 시료채취 및 분석 방법

2004년 1월 말부터 6월 말까지 주기적으로 서울대학교 보건대학원 6층 옥상에서 포집하였다. 시료 포집 및 분석 방법은 The U.S. EPA Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium (U.S. EPA, 1994)에 따르고 있다.

시료는 500℃로 3시간 이상 강열한 quartz glass fiber filter를 넣은 Teflon filter pack에서 입자상 수은을 제거한 후 30~40℃로 유지되는 열판에 두 단의 Gold coated bead trap에 가스상 수은을 24시간동안 0.3LPM의 유량으로 포집한다.

분석 방법은 포집한 gold coated bead trap을 500℃로 열적으로 분해하여 high purity argon gas를 통해 cold-vapor atomic fluorescence (CVAFS) 분석기(Brooksrand Model III)로 흘려 253.7nm파장으로 분석한다.

QA/QC (Quality assurance and quality control) 방법도 The U.S. EPA Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium (U.S. EPA, 1994)을 따른다. 우선 standard calibration curve의 R^2 값이 0.9995이상 이어야하고 curve의 각 point는 slope 식에 대입하여 5%이내의 오차 범위 내에서 분석하였고, 6개 이상 샘플 분석시 control standard로 curve의 변화를 살펴보고 매 6개의 시료 채취 후에는 field blank를 실시하여 판리를 하였으며 같은 위치에 두 개의 sample 값을 비교하는 Side by side를 실시하여 두 개의 샘플 값의 차이가 5%이내의 차이를 보였다.

2. 2 Hybrid receptor models

Source-receptor relationship model에 적용하는 두 가지 Hysplit model중 하나는 backward wind trajectory model로서 advection을 가정한 Lagrangian framework를 이용한 모델이며, 자료 계산은 NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration) HYSPLIT4 (Hybrid Single-Particle Lagrangian Intergrated Trajectory 4)의 wind trajectory model이 사용되었다. 다음으로 LPDM (Lagrangian particle dispersion model)로서 advection 뿐만 아니라 dispersion, reaction 그리고 deposition까지 고려된 모델이다. 이것은 NOAA HYSPLIT4 dispersion model 이용하여 계산하였다. 이 두 가지 모델 모두 backward로 24시간을 분석한 것이고 trajectory는 10m에서 LPDM은 10~50m를 포함하는 위치를 기준으로 분석한 것이다.

이 두 가지 모델은 모두 PSCF (Potential Source Contribution Function)라는 Source-receptor relationship model에 적용하였는데, 이 모델은 화학 성분 자료와 기상 자료 이용한 모델로서 grid cell을 지나는 바람의 trajectory의 endpoint들 중 높은 농도의 trajectory의 endpoint의 비중을 이용하여 오염원 가능 지점을 파악해 보는 모델로서 서울시를 0.01×0.01(약 0.8km×1km)의 격자로 나누었고 서울시 종로구 연건동 보건대학원을 포함하는 위도 37.514와 경도 127.001에 적용하였다.

RTWC (Residence Time Weighted Concentration)모델은 PSCF가 1개의 criteria value를 주는 단점을 보완하여 각 grid에서 trajectory가 갖는 농도를 가중시킴으로써 오염원의 규모를 찾아 낼 수 있어 오염원 가능 지점 중 가장 유력한 지역만을 pinpoint 할 수 있게 된다.

이렇게 분석한 Source-receptor relationship model들은 ArcView program을 사용하여 서울시에 대한 GIS data 위에 가시적으로 나타내어 서울시의 정보를 포함하여 지역적 특성을 알아 볼 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

TGM의 분석 결과를 살펴보면, 전체 평균 농도는 3.47ng/m³으로 나타났고, 최고 농도는 2월 초에 나타난 7.64ng/m³였다. 일반적으로 TGM의 경우 주 구성성분인 elemental mercury의 반응성이 작아 대기 중 일정 농도를 나타내는 것으로 알려져 있다. 미국의 경우 background site에서의 측정농도가 1~4ng/m³ 정도인 것과 비교해 보면 평균농도는 거의 비슷한 양상을 나타내는 것을 알 수 있다. 그러나 Fig 3-1에서 살펴보면 2월과 6월에 TGM의 농도가 높은 값을 갖고 있음을 알 수 있다. 황사가 나타난 2~4월 사이 7일간은 주로 2~4ng/m³의 분포를 나타내며 비슷한 값을 갖고 있는데 이것은 TGM이 장거리 이동보다 국내 오염원에 의한 영향이 더 클 수 있다는 가능성을 생각해 볼 수 있다. 황사 시의 농도를 서울시의 시정 장애 현상이 나타났을 5회만을 이용하여 비교하여 보면 그 차이를 뚜렷이 알 수 있었다. 이렇게 시정 장애시 높은 농도의 TGM이 나타나는 것으로 보아 서울 주변 지역의 TGM 배출원이 존재하고 이것의 영향을 크게 받을 것이라고 가정해 볼 수 있을 것이다.

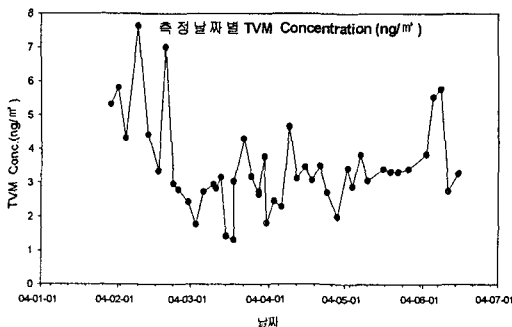


Fig. 1. 측정날짜별 TGM의 농도 분포.

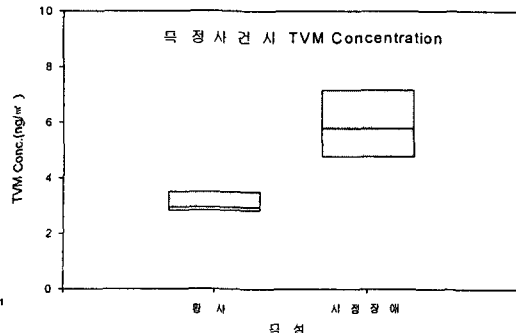


Fig. 2. 황사와 시정 장애시 TGM의 농도변화추이.

이러한 가정을 토대로 Source-receptor relationship model을 이용한 서울시 주변지역 오염원 가능 지점을 파악해 보면, 먼저 Backward trajectory를 이용하고 평균값으로 high value를 준 PSCF 그림은 Fig. 3과 같은데, 마포의 상암동 주변지역과 김포공항 주변지역 구로와 금천구의 공업 주변지역과, 송파 I.C.와 상봉 터미널, 동부화물자동차 터미널과 강남구, 서초구 등지의 교통량이 많은 지역과 인쇄 산업이 많은 중구 등지가 주요 오염원 가능지역으로 나타났다. RTWC의 결과는 Fig. 4와 같이 구로지역, 동대문 주변지역 그리고 중구 등의 서울시 공업지역과 용산, 송파, 강남, 광진구 등의 교통 중심지역을 pinpoint하여 나타내고 있다. LPDM을 이용한 결과 가장 유력한 지역으로 구로 지역이 나타남을 알 수 있었다.

지금까지 연구를 통해 서울시 대기 중 TGM은 배경농도 보다 높은 episode가 나타나고 있으며 이것은 서울시 주변 지역의 영향으로 생각해 볼 수 있었다. 보다 심층 연구를 위해서는 수은의 speciation에 따른 연구로 배출 특성과 함께 수은의 거동에 대한 연구가 필요할 것이다. 그리고 무엇보다 지속적인 수은 연구를 통해 보다 객관적 자료를 통해 model의 신뢰도를 높이고 그 결과를 통해 배출원을 파악, 규제할 수 있는 기초 자료로서 활용할 수 있을 것이다.

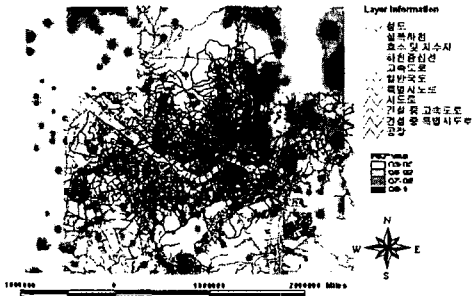


Fig. 3. PSCF result for TGM.

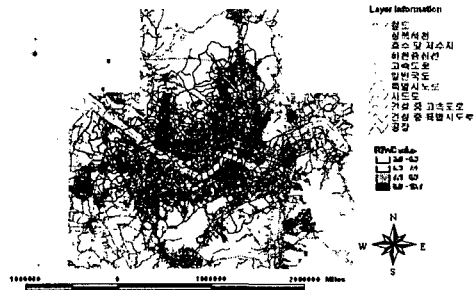


Fig. 4. RTWC result for TGM.

참 고 문 헌

- Han Young-ji (2003) Mercury in New York State : Concentrations and Source Identification Using Hybrid Receptor Modeling, Clarkson University
- Keeler, G. and Landis, M. (1994) Lake Michigan Mass Balance Methods Compendium : Standard operating procedure for analysis of vapor phase mercury, U.S. EPA
- 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.