

## 국내 주요 쓰레기 소각시설로 부터 발생하는 수은의 대기 배출량에 관한 연구

### Release of Airborne Mercury from Major Waste Incineration Systems in Korea

김 기 현 · 송 동 응

상지대학교 환경과학연구소

(1996년 10월 10일 접수, 1996년 11월 13일 채택)

Ki-Hyun Kim, Dong-Woong Song

*Institute of Environmental Science, Sang Ji University*

(Received 10 October 1996; accepted 13 November 1996)

#### Abstract

The environmental consequences of airborne mercury (Hg) release from waste incineration system are well-perceived. To provide some insights into those phenomena, we have assessed annual emission rates of Hg for several major incineration systems in Korea following the procedures developed abroad. The results of our computation, derived on the basis of dividing the whole amounts of annually incinerated wastes into municipal solid wastes (MSW) and medical solid wastes (MDW), indicate that the extent of Hg release may be significant nationwide, possibly approaching a few tonnes of Hg per year basis. Knowing that the airborne transport and the resulting deposition of Hg can exert serious pollutions to the aquatic ecosystems, of particular fisheries, we are obliged to establish a stringent measure to confine the amount of Hg released via incineration.

**Key words :** airborne mercury, incineration, transport, deposition

#### 1. 서 론

인류의 산업활동이 계속되는 한 주변환경의 지속적인 오염이 불가피하겠지만, 환경오염에 대한 경각심의 확산과 정확에 대한 노력의 결실이 어느 정도 현실화되는 경우도 드물지 않게 발견되고 있다. 특히 대기오염의 민감한 지표로 인식되는 이산화황이나 납과 같은 물질들의 오염상태저감이 가시화되고 있다는 사실은 비록 부분적이고 제한적이긴 하지만, 고무적인 현상이 아닐 수 없다(김기현, in press; Kim and Song, in press).

오염물질들의 양이나 부피를 물리적으로 줄이는데 대한 관심의 증대와 함께, 쓰레기 소각장 등의 설치사태가 눈에 띄게 증가하고 있다. 이런 시설물들로부터 배출되는 주변환경오염인자로서 다이옥신과 같은 물질들이 민감한 사안으로 이미 많은 관심을 받은 바 있다(이우근, 1995). 그러나 이에 못지않게 중요한 환경위해요소로 중금속류에 해당하는 수은의 방출을 예로 들지 않을 수 없다(Pirrone *et al.*, 1996). 실제 1950년대 일본의 미나마타에서 일어난 수은유출과 관련된 환경오염사건은 -폐수 중에 방류된 수은이 물고기 등으로 전이되고, 그 다음 단계로 사람들의 체내축적의 과정을 거치며 인체에

치명적인 위해 요소로 작용한 사실이-잘 알려진 바 있다. 그러나 이런 직접적인 전이단계를 거치는 과정에 못지않게, 쓰레기소각 등의 결과로 다량의 수은이 대기환경계로 유출된다는 사실은 수은의 환경동태를 감안할 때 대단히 위해한 요소로 고려될 수 있다. 쓰레기 소각시에 방출되는 수은은 높은 증기압으로 인해 대기 중에서 쉽게 확산할 수 있고, 일단 대기 중에서 확산되면, 높은 화학적 안정도로 인해 1년여에 달하는 장기간의 대기체류를 하는 것으로 밝혀진 바 있다(Kim *et al.*, 1995; Lindberg *et al.*, 1995). 따라서 그 오염의 확산정도가 엄청나게 심각하게 진행될 수 있다는 특성을 지니고 있다. 실제 스웨덴 등지에서는 산업시설물로부터 동떨어진 청정지역의 호수에 서식하는 어류군에서조차 고농도의 수은이 검출되어, 대기오염물질의 장거리이동현상에 대한 경각심이 고조된 바 있다.

아직 국내에서는 쓰레기소각과 관련하여 유출되는 수은의 방출현상에 대한 인식이 부족한 상황이지만, 일부 학자들의 전초적인 연구결과들은 쓰레기소각이 수은에 의한 대기오염의 주변수로 작용할 수 있음을 잘 보여주고 있다. 예를 들어, Sohn *et al.*(1996)의 연구결과에 따르면, 소각장이 위치한 목동지역의 수은농도는 소각장이 실제 활발히 작동되는 야간대와 작동이 중지되는 주간대 간의 농도변화가 뚜렷하게 구별될 수 있다는 것을 입증하였다: 이들의 결과는  $36.7 \text{ ng m}^{-3}$ 대를 유지하던 주간대의 농도가 야간대에는 약 2배 가까운  $71.3 \text{ ng m}^{-3}$ 로 증가한다는 것을 밝혔다. 이에 덧붙여, 목동지역의 연구와 거의 동 시간대에 이루어진 주변 원근 지역의 농도 분석결과, 또한 목동지역의 오염상태가 가장 심각하다는 것을 보여 주었다. 그 예로, 목동지역의 일평균 농도가 약  $53 \text{ ng m}^{-3}$ 에 달하는데 반해, 당산동은  $22 \text{ ng m}^{-3}$  또 신탄동은  $42 \text{ ng m}^{-3}$ 대에서 관측되었다. 참고로 주변에 뚜렷한 인위적인 오염원이 존재하지 않는 배경 대기환경에서는 수은의 농도가 대개  $2 \text{ ng m}^{-3}$ 대에서 발견되는 것으로 잘 알려져 있다(Kim and Kim, in press; Kim *et al.*, 1995; Kim and Lindberg, 1994).

강한 휘발성을 띤 수은은 오염원이 존재하지 않는 자연환경계에서조차 상당한 양의 방출이 이루어지고 있다고 한다(Kim *et al.*, 1995). 산업혁명 등을 기점으로 사람들의 산업활동이 왕성해지며, 인위적인 오염원들로부터 배출되는 수은의 양이 날로 증가하여 왔다. 지금은 그러한 오염원으로부터 방출되는 총량이 자연적인 배출량을 앞지르는 상태에 도달하기에 이르렀다. Fitzgerald (1995) 등의 산출에 의하면, 해수면과(또는 토양

등과) 같은 자연환경계로부터 대기 중으로 방출되는 수은의 양이 연간 약 2,000톤 정도에 달하고, 인위적인 생성원에 의해 대기로 방출되는 수은의 양은 연간 약 3,000톤에 달한다고 한다. 인위적인 생성원으로 부터 대기로 유실되는 3,000톤의 수은은 대개 화력발전 등에 소요되는 화석연료의 연소, 쓰레기 소각과 같은 오염원, 납 또는 아연광의 채광 및 제련 등과 같은 과정 들이 중요한 생성원인 것으로 인지되고 있다. 본 연구에서는 국내 일부 쓰레기소각장에서 소각되는 쓰레기 양과 소각시 배출될 수 있는 수은배출량과의 관계를 단순하게 계산해 봄으로써, 수은오염의 잠재적 위해성에 대한 평가를 시도해 보았다.

## 2. 연구방법

국내의 쓰레기소각장에서 소각되는 쓰레기의 총량에 대한 구체적인 정보가 파악되지 않은 이유로, 환경부 등에서 밝힌 일부 주요 쓰레기소각장의 소각총량자료를 이용해 각 시설물들로부터 대기로 배출되는 수은의 양을 표 1에 개략적으로 산출해 보았다. 국내의 경우, 쓰레기의 조성비 및 개개 쓰레기 구성물질들의 수은배출계수(emission factor)에 대한 선행연구가 미약한 상황으로, 본 연구에서는 주요 쓰레기 소각시설물로부터 대기로 배출되는 수은의 총량을 Pirrone *et al.*(1996)의 방식을 따라 단순정량화하는 식으로 접근해 보았다. 이들은 쓰레기의 총량에 대한 정보를 이용하여, 전체의 쓰레기를 일반 고형물 도시쓰레기(municipal solid waste: MSW)와 상대적으로 미량임에도 불구하고 수은의 함유율이 대단히 높은 의료용 고형물 쓰레기(medical solid waste: MDW)로 양분하는 방법을 이용하였다(우리 현실과 어느 정도의 차이는 있을 수 있지만, 구미대륙의 MSW 대 MDW의 생성비인 1.4:0.02의 비율을 적용하면, 일반적인 쓰레기소각장에서 소각되는 쓰레기의 총량 정보로부터 두 가지 성분의 조성비를 간단히 분리해 낼 수 있다.). MSW의 소각시 약 60% 정도의 수은이 배출부의 정화시설에 의해 걸러진다고 가정하면, US EPA (1993) 등의 기준으로부터 1톤의 MSW형 쓰레기 당 약 1.2g 정도의 수은이 배출된다고 가정할 수 있다. 이에 반해 MSW보다 수은의 함량비가 수십배로 높은 MDW의 배출비는 톤당 대략 30g 정도의 배출이 가능하다(US EPA, 1994). 이를 개별 쓰레기류의 배출총량에 직접 곱해주면, 표 1에 나타난 각각의 주요 소각시설물들로부터 발생하는 연간배출량으로 환산이 가능해진다.

Table 1. Estimated emission rate of Hg from some major waste incinerating facilities in the Republic of Korea.

Site	Total Amount of Incineration (ton)	Operation Periods (days (year))	MSW <sup>(1)</sup> (ton)	MDW <sup>(2)</sup> (ton)	Hg Emission <sup>(3)</sup> (kg yr <sup>-1</sup> )
Mok Dong, Seoul	47,582	361 (1993)	46,912	670	76
Eoh Jong Bu	10,551	234 (1993)	10,402	149	17
Sung Seo, Dae Gu	53,832	276 (1993)	53,074	758	86
Sung Nam*	6,498	128 (1994, 1~6)	12,813	183	21
Ahn Yang*	5,584	31 (1994, 10)	66,064	944	108

<sup>(1)</sup> MSW: municipal solid wastes, <sup>(2)</sup> MDW: medical solid wastes, and <sup>(3)</sup> estimated emission rate on annual basis.

\* Total emissions of Hg were calculated assuming that wastes were incinerated for the entire periods of the year 1994.

### 3. 토 론

위의 가정을 통해 계산하면, 국내에서 가동 중인 일부 소각시설들로부터 배출되는 수은의 양이 약 수백 kg대에 달할 수 있음을 쉽게 파악할 수 있다. 물론 자료의 정확한 파악이 어려워 성남이나 안양지역과 같은 곳의 배출량 산출은 소각장이 1년 365일 전체 가동할 수 없었음에도 불구하고, 한 달 30 내지 31일 동안 쉬지않고 가동된 수치를 1년 배출량계산에 적용하였으므로 그 수치가 다소 과대평가되었다고 볼 수도 있을 것이다. 그러나 그 외의 지역들로부터 산출한 추정치는 연 간소각량에 기준한 수치이므로 배출치에 대한 상대적인 신뢰도가 높다고 할 수 있다.

이들 시설물의 소각 가동량이 점차적으로 증가하는 경향이란 점과 이들 시설물의 설치가 날로 늘어나고 있다는 여건을 감안하면, 국내의 전체적인 규모로 볼 때 쓰레기소각과 관련하여 배출되는 수은의 총량이 수 톤대에 달할 수 있다는 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 캐나다와 같은 국가에서조차 쓰레기소각으로 인한 수은의 방출량이 연간 3톤대에 달한다는 점을 고려하면, 국내 소각 시설물들로부터 배출되는 수은의 총량이 막대하다는 것을 알 수 있다. 대기를 통한 장거리 이동이 가능한 수은의 경우, 배출 자체가 주변 및 원거리 지역의 토양과 수질환경계의 오염에 중요한 변수로 작용할 수 있다. 특히 자연상태에서 가장 활발하게 수은을 흡착하는 것으로 알려진 수환경계의 어류들은 무기물형태의 수은을 받아들이면, 체내에서 methylation을 통해 유기수은류와 같이 인체에 치명적인 독성물질을 발생시킨다는 점을 감안하면 (Rudd, 1995), 쓰레기소각장의 설치, 운영, 유지 등에 있어 수은과 같은 오염물의 확산방지대책은 절실한 과제가 아닐 수 없다. 비록 본문에서 사용된 계산방식을 통해 구한 수치에 대해 절대적인 의미를 부여하기는 어렵겠지만, 소각과 관련된 수은의 배출량을 개략적으로

파악하는 데는 크게 문제가 없을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

Contribution No. 96-0801 for the Institute of Environmental Science, Sang Ji University.

### 참 고 문 헌

- 김기현 (in press) 주요 대기오염물에 대한 농도변화 관측: 원주시 1992-1994년, 한국지구과학회지.
- Sohn, D.H., J.E. Shin, S.Y. Jung, and W.T. Jung (1995) Mercury concentration in urban and rural atmospheres of Korea, 한국대기보전학회지, 11E, 55-62.
- 이우근 (1995) 쓰레기 소각로에서 배출되는 다이옥신 문제: 도시쓰레기의 소각기술과 문제점, 제2회 상지대학교 환경과학 심포지움, 1995년 12월, 강원도 원주시 상지대학교, 86-99.
- Fitzgerald, W.F. (1995) Is mercury increasing in the atmosphere? The need for an atmospheric mercury network (AMNET), Water, Air and Soil Pollut, 80, 245-254.
- Kim, K.H. and M.Y. Kim (1996) Preliminary measurements of atmospheric mercury in mountainous regions of Korea, Journal of Environmental Science and Health, A31(8), 2023-2032.
- Kim, K.H. and S.E. Lindberg (1994) High-precision measurements of mercury vapor in air: Design of a six-port-manifold mass flow controller system and evaluation of mass flow errors at atmospheric pressure, Journal of Geophys. Res, 99, 5379-5384.

- Kim, K.H. and D.W. Song (in press) The concentration of lead in urban and nonurban atmospheres of Won Ju city, Korea, *Water, Air and Soil Pollut.*
- Kim, K.H., S.E. Lindberg, and T.P. Meyers (1995) Micrometeorological measurements of mercury vapor fluxes over background forest soils in eastern Tennessee, *Atmos. Environ.*, 29(2), 267-282.
- Lindberg, S.E., K.H. Kim, and J. Munthe (1995) The precise measurement of concentration gradients of mercury in air over soils: A review of past and recent measurements, *Water, Air and Soil Pollut.*, 80, 383-392.
- Pirrone, N., G.J. Keeler, and J.O. Nriagu (1996) Regional differences in worldwide emissions of mercury to the atmosphere, *Atmos. Environ.*, 30(17), 2981-2987.
- Rudd, J.W.M. (1995) Sources of methylated mercury to freshwater ecosystems: A review, *Water, Air and Soil Pollut.*, 80, 697-713.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993) Locating and estimating air emissions for sources of mercury and mercury compounds, Interim Report.
- U.S. Environmental Protection Agency (1994) Mercury study report to congress. Vol. 1, EPA/600/P-94/002Aa, Interim Report.