

## MA15)

### 생활 폐기물 소각시설에서의 수은 배출특성에 관한 연구

#### A Study on the Emission Characteristics of Mercury from Municipal Solid Waste Incineration

강경희, 홍지형, 최양일, 박일수, 차준석, 석광설, 김대곤

국립환경연구원 대기공학과

#### 1. 서론

수은은 상온에서 액체상태로 존재하는 유일한 금속으로서, 증기압이 매우 높기 때문에 가장 쉽게 휘발될 수 있는 중금속이다. 다른 중금속들은 거의 입자 상태로 변환되기 때문에 전기 집진기 등과 같은 일반적인 입자 제어시설에서 98% 이상이 제거되지만, 증기압이 매우 높은 수은은 다단계 습식 스크러버, 활성탄을 사용하는 전기집진기/습식 스크러버가 결합된 특정한 방지시설에 없는 한 거의 대부분이 그대로 배출된다. 또한 수은은 호흡기 등으로 인체에 흡입되면 용해되지 않고 거의 그대로 장거나 신경계에 고도로 축적되어 수은 중독을 일으키게 되는데 이로 인해 운동장애, 언어장애, 난청 등의 현상이 나타난다. 주요 수은 배출원으로는 석탄연소시설 (발전소), 생활 폐기물 소각시설 (MSWI), 의료용 폐기물 소각시설 (MDWI), 염소-알칼리 공장, 구리·납 제련소, 시멘트 제조시설 등이 있는 것으로 알려져 있다. 수은 배출량 자체로 보면 석탄 화력발전소가 가장 큰 배출원이긴 하지만 소각장의 경우 발전소에서 사용하는 화석연료보다 폐기물속의 수은 함유 비율이 크기 때문에 배출농도가 높고 또한 주거지역 인근에 위치하기 때문에 인체에 더 큰 영향을 미치게 된다. 건전지, 형광등, 페인트, 온도계 등에 포함되어 있는 수은은 인체에 노출되지 않아 유해하지 않지만, 소각로에서 고온으로 연소되면 기체 수은으로 변환된다. 수은의 주된 배출형태는  $Hg^0$ 와  $HgCl_2$ 인데, 수용성인  $HgCl_2$ 는 비가 올 경우에는 소각로 주변에 고농도로 침적되고 비수용성인  $Hg^0$ 은 장거리까지 확산된다. 현재 국내 소각시설의 수은 배출특성에 대한 연구는 매우 미진한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 생활 폐기물 소각시설을 대상으로 대기중으로 배출되는 수은의 배출특성을 연구하였다.

#### 2. 연구 방법

수은 분석을 위한 배출가스의 시료채취는 EPA Method 101A에 따라 실행하였다. EPA Method 101A는 가스상 수은뿐만 아니라 입자상 수은도 함께 채취하므로 먼지시료를 채취할 때와 마찬가지로 등속흡인을 하게 되는데 배출원으로부터 등속으로 흡입된 입자상 수은은 여과지에, 가스상 수은은 산성 과망간산칼륨 용액에 채취되고,  $Hg^{+2}$  형태로 채취된 수은은  $Hg^0$ 으로 환원된 다음 광학셀에 있는 용액에서 기화되어 원자흡광광도계 파장 253.7 nm로 분석하게 된다. EPA Method 101A의 시료채취장치는 먼지 채취장치와 유사하여 흡인노즐, 시료채취관, 피토펜, 차압게이지, 임핀저 트레인, 가스 흡인 및 유량측정부 등으로 구성된다. 흡수액은 4% 과망간산칼륨/10% 황산을 사용하였고, 흡수액 50ml를 넣은 흡수병 1개와 흡수액 100ml를 넣은 흡수병 2개로 채취하였으며, 사용되는 모든 유리기구는 미리 50% 질산, 물, 8N 염산, 물의 세척단계를 거친 후 최종적으로 증류수로 세척하여 건조시킨 것을 사용하였다.

여과지와 시료 흡수액 각각에 대해 전처리를 행하였는데 여과지의 전처리에 있어서는 20~30 ml의 산성 과망간산칼륨 용액을 가한 100 ml 유리 용기에 여과지를 담아 실험실까지 운반하였다. 여과지를 포함한 이 내용물을 각각 250 ml 비이커에 담고 수욕상 (steam bath)에서 액체의 대부분이 증발할 때까지 가열하였다. 20 ml의 진한 질산을 비이커에 넣고 시계접시로 뚜껑을 덮은 후 hot plate에서 2시간 동안 70°C로 가열한 용액을 Whatman No.40 여과지로 여과하였다. 시료 흡수액의 전처리에 있어서는 갈색의 이산화망간을 제거하기 위해서 시료 흡수액을 250 ml 용량 플라스크에 넣고 Whatman No.40 여과지로 여과한 다음 48시간 이내에 분석하였다.

배출가스의 시료채취와 동시에 채취한 소각재는 석영관연소 금아말감법을 이용하여 수은을 분석하였다. 이 방법은 시료를 연소, 기화시켜 시료중의 수은증기를 금아말감에 채취한 후 가열하여 수은을 검출하는 방법이다.

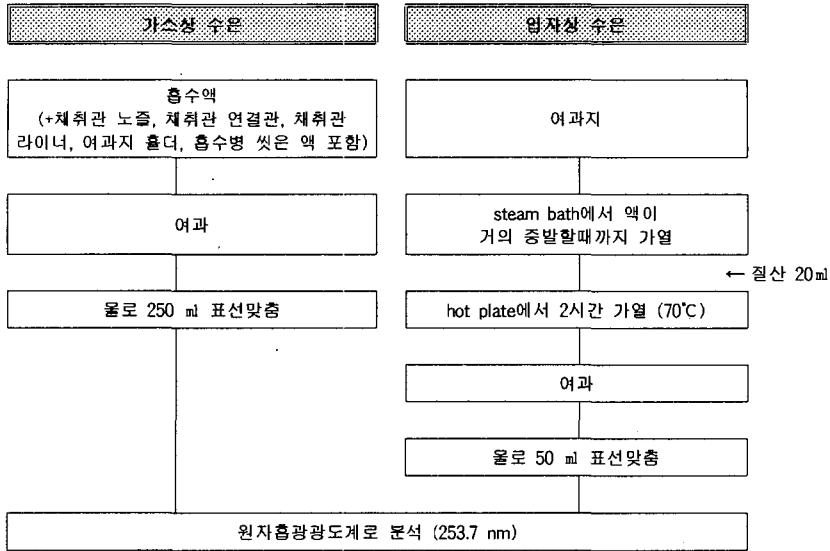


Fig 1. The procedure of pretreatment & analysis of samples for mercury in the flue gas

### 3. 결과 및 고찰

수은은 배출가스중에서 아주 미량으로 존재하는데다가 입자상과 가스상으로 함께 배출되기 때문에 시료 채취방법이 배출특성에 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구에서는 시료 채취방법에 따른 수은 농도 변화를 고찰하기 위해 시료 채취속도를 저속에서 등속흡인속도까지 변화시켜 보았다. 그 결과 등속흡인으로 시료채취를 했을 경우에는 등속흡인을 하지 않았을 경우와 비교해볼 때 상대적으로 높은 농도를 나타냄을 알 수 있었다. 또한 입자상 수은과 가스상 수은을 각각 따로 채취하여 분석해본 결과 대부분이 가스상 수은으로 배출되는 것으로 나타났다. 소각장에서 측정된 수은의 배출농도를 토대로 수은 배출량과 수은 배출계수를 산정하였으며, 폐기물 연소시의 수은의 물질수지를 통해 수은의 배출특성을 조사하였다.

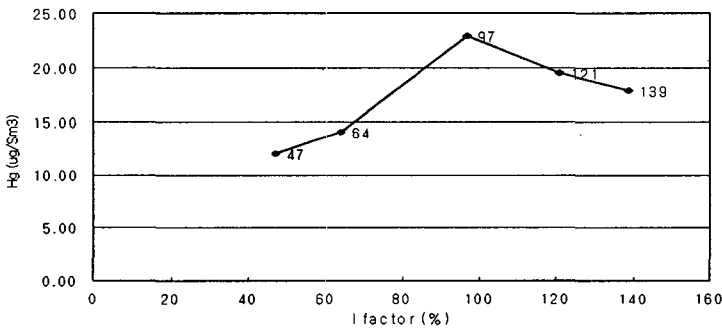


Fig 2. The variation of mercury concentrations for I factor change

### 참고 문헌

- U.S EPA (1997) CFR Test Method 101A
- 전미경, 박석순, 환경영향평가 제7권 제 2호, 「소각장 영향평가지 수은 배출계수에 관한 연구」