5A3) 공공발전 시설의 연료별 PAHs 배출특성

Emission Characteristics of PAHs from Various Types of Fuel in Power Plant

김민정 · 박정민 · 김민수 · 송덕종 · 김형천 · 이상보 · 김종춘 · 이석조
국립환경과학원 대기제어연구과

1. 서 론

산업의 발달로 인해 오염물질이 증가하고 있으며 특히 화석연료의 소비증가, 합성화학물질의 생산과 이들 제품의 사용, 교통량의 증가 등은 환경 중에서 잔류시간이 길며, 먹이사슬을 통해 동식물의 체내에 축적되고, 독성이 강한 잔류성유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)의 배출을 증가시키고 있다. POPs 중 하나인 다환방향족탄화수소류는 탄소와 수소로 이루어진 2개 이상의 고리를 가진 방향족 화합물로 변이원성과 발암성을 일으키는 물질로 다양한 경로를 통해 환경 중으로 배출되고 있으며 주요 발생원은 석탄, 석유로 대표되는 화석연료 등의 불완전연소과정에 의한 것으로 보고되어 있다. 또한 알루미늄제조업, 산불, 소각장, 코크스와 아스팔트제조공정, 식품의 조리, 담배연기 등의 불완전 연소가 일어나는 과정 중에서 PAHs의 생성도 많은 것으로 지적되고 있다. 미국 EPA에서는 PAHs의 배출원을 크게 연료연소, 소각 및 기타연소, 이동배출원, 서비스업, 제조업, 기타 배출원 등으로 나누어 관리하고 있으며, 이 배출원들을 다시 세분화하여 105개 분야(연료연소 20개 분야, 소각 및 기타 8개 분야, 이동배출원 3개 분야, 서비스업 7개, 고무 및 플라스틱 제조 5개, 금속산업 9개, 목재 및 제지 8개, 비금속산업 4개, 석유 및 코크스산업 7개, 섬유산업 1개, 의약품산업 1개, 장비제조업 3개, 화학물질 제조 14개, 기타산업 9개, 그리고 기타 미분류배출원 등)로 나누어 배출량 산정 등의 평가를 하고 있다. 그러나 국내에는 PAHs에 대한 연료나 공정의 특성을 고려한 배출원 및 배출량 산정의 체계적이고 세부적인 자료가 없으며 일부 산발적으로 PAHs에 대한 배출농도와 특성 등이 평가되어져 있는 정도이다. 따라서 본 연구에서는 국내 공공발전 시설을 대상으로 사용연료별로 PAHs의 배출특성을 알아보고 국가 유해대기오염물질 배출 인벤토리 구축을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 연구 방법

연구대상 시설은 공공발전시설에 속하는 사업장 중 3개의 사업장을 선정하여 공정과 연결되어 있는 방지시설에서 측정을 하였다. 발전시설의 방지시설은 탈질설비, 탈황설비, 전기집진기를 갖추고 있었다.

2.1 시료채취

반휘발성인 PAHs는 흡착제와 흡수액을 이용하여 가스상 PAHs 시료를 채취하였고, 입자상 PAHs는 먼지 시료채취방법과 동일하게 등속흡인으로 채취하였다.

2.2 시료전처리 및 분석

방지시설 전단과 후단에서 포집한 원통형 여지, XAD 수지를 각각 US EPA TO-13A에 준하여 전처리하였고 흡수액은 Hexane으로 시료와 용매를 10:1의 비율로 두 번 액-액 추출하여 XAD 수지로 구성된 기체상 시료에 합하여 전처리하였다. 시료 채취한 XAD 수지, 원통형 여지를 Dichloromethane, Hexane을 각각 50:50의 비율로 섞어 용매로 하여 24시간 이상(4 cycles/hr 이상) 속실렛을 이용하여 추출하였다. 이 추출액을 회전 농축기를 사용하여 2~3 ㎖로 농축하여 Hexane으로 액-액 추출한 흡수액과 XAD 수지의 추출액을 합하여 기체상 시료로 하였다. 시료의 정제를 위해 185℃에서 16시간 이상 가열하여 활성화시킨 실리카겔 4 g을 Pentane을 용매로 하여 슬러리 상태로 충진하였다. 추출시료를 10 ㎖로 농축 mass up하여 그 중 5 ㎖만 컬럼에 로딩하고 Pentane과 Dichloromethane(v:v=6:4) 혼합용매를 이용하여 최종 용출하였다. 나머지 5 ㎖의 시료는 따로 보관하였다. 이렇게 정제한 시료를 다시 회전 감

압 농축기와 질소 농축기를 사용하여 최종 시료의 부피를 1 ㎖가 되도록 농축하고 Internal Standards(naphthalene-d_{10}, acenaphthene-d_{10}, phenanthrene-d_{10}, chrysene-d_{10}, perylene-d_{10})의 총량이 0.5 ㎍이 되도록 첨가하였다. 전처리가 완료된 시료의 분석은 GC/MSD를 이용하여 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

물질별로 살펴보면 대표적인 PAHs 화합물 중 하나로써 원료유나 방향족화합물 제품의 불순물로 존재할 수 있는 나프탈렌이 다른 물질에 비해 전반적으로 높은 농도로 조사되었다. 특히 등유(B)와 중유(C)를 원료로 하는 시설보다 유연탄(A)을 이용하는 시설이 더 많이 조사되었다. 이는 naphthalene이 여러 개의 벤젠 고리를 가지는 PAHs 중에서 가장 기본적인 화학구조를 가지고 있기 때문이며 조사 대상 물질 중 벤젠 고리가 4개 또는 5개이고, 그 구조가 구모양에 가까운 PAHs일 수록 그 배출 농도가 낮은 것으로 나타났다. benzo(a)pyrene과 dibenz(a,h)anthracene은 독일의 경우 HAPs로 분류하고 국가 배출기준을 두고 있으며 배출량이 0.5 g/hr일때 100 ㎍/Sm^3으로 설정되어 있다. 조사대상 시설의 benzo(a)pyrene과 dibenz(a,h)anthracene 배출농도 범위는 N.D.~21.26 ㎍/Sm^3로 독일의 HAPs 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 폐기물소각시설(2.521~26.399 ㎍/Sm^3)에 비해서 평균 농도합이 높고, 하수슬러지 소각시설(1.153~189.449 ㎍/Sm^3) 비교적 낮게 배출되는 것으로 조사되어 산업공정에 따른 PAHs 형성 메카니즘에 대한 자세한 규명을 위한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

소각시설별 배출되는 물질의 양과 원료에 포함된 오염물질의 양을 이용하여 적절한 관리방안을 도출하기 위하여 물질수지를 산정하였다. mass balance는 원료에 포함된 대상물질의 양을 산정하여 계산하였다. 원료에 어떠한 물리적 감소나 감량이 없는 이론적인 mass balance는 100%로 하였으며, mass balance는 A, B시설을 대상으로 산정하였으며, 전단은 환경 중으로 배출되는 값은 아니나 방지시설의 효율과 물질의 이동에 대해서 고찰하기 위하여 산정하였다.

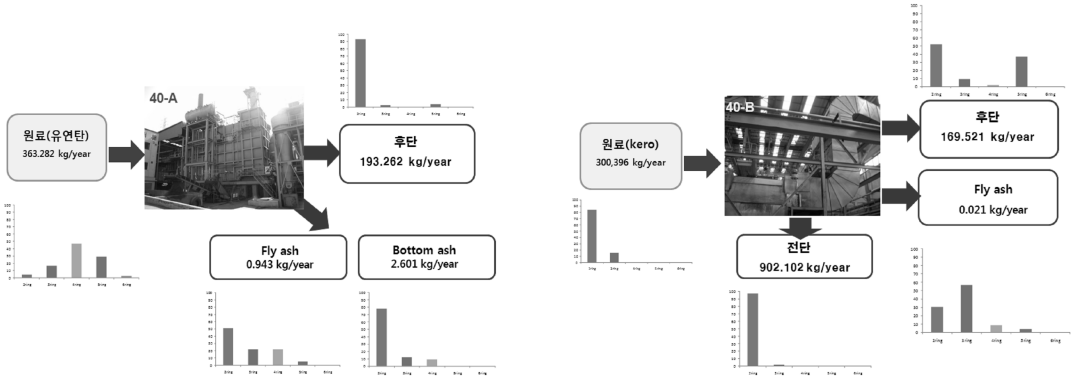

Fig. 1. Mass balance of PAHs in power plant.

참 고 문 헌

국립환경과학원 (2008) 고정오염원에서의 유해대기오염물질 배출원 조사(Ⅴ).

Foan, Heidelore Fiedler (2003) PCB and PAH releases from power stations and waste incineration processes in the UK, Chemosphere, 50, 469-480.

Li, C.T., H.H. Mi, W.J. Lee, W.C. You, and Y.F. Wang (1999) PAH emission from the industrial boilers. Journal of Hazardous Material, 69, 1-11.