

2D3) 발생원별에 따른 PAHs 배출특성 PAH Source Fingerprints for Municipal Incinerator and Motor Vehicle Fuels and Industrial Boilers Emission

박찬구 · 윤중섭 · 김민영 · 김명희
서울시보건환경연구원

1. 서 론

국내에서의 PAHs 연구결과 들은 아직도 측정·분석방법의 평가 등에 관한 수준에 머무르고 있으며, 전국적인 PAHs의 배출원 조사와 배출량 추정 등 체계적인 배출상태조사(emission inventory)와 배출특성 등에 관한 조사·연구 사례는 전무한 실정이다. 더욱이 오래 전부터 이 분야에 많은 관심을 가진 나라에서도 이 분야에 대한 연구가 입자상 물질에 흡착되어 있는 PAHs에 국한되고 있는 실정이다. 그러나 조사된 자료들에 따르면 16종 PAHs 중 고리가 3개 이하인 물질들은 대부분이 가스 상태로 체류하며, 고리수가 3개 이상인 물질들에서도 상당 부분이 가스 상으로 존재하고 있다고 알려지고 있다. 즉 각 배출원들에서 배출되는 PAHs의 정확한 배출특성을 파악하기 위해서는 입자상으로 존재하는 PAHs뿐만 아니라 가스상으로 존재하는 PAHs도 동시에 채취하여 분석하여야 한다. 본 연구에서는 도시 대기에 큰 영향을 미치는 도시 고형폐기물소각장 등 주요 PAHs 배출원을 선정하여 각 발생원별 PAHs 배출특성을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 1896개의 이성체가 존재한다고 알려진 PAHs중, EPA, IARC, NTP, EU, WWF등의 기관이나 국가에서 인체에 변이원성 및 발암을 일으킬 가능성이 크다고 추정하는 방향족 고리가 2개인 Naphthalene부터 고리가 6개인 Benzo(g,h,i)perylene까지 16종을 검토의 대상으로 선정하였다. 또한 도시 대기에 큰 영향을 주는 PAHs 배출원을 선정하기 위하여 국외에서 연구된 자료들과 서울시에서 연간 사용되는 연료사용량을 참조하여 다음과 같은 대상을 선정하였다. 석유소비의 상당량을 사용하고 있는 이동오염원을 대표하는 자동차 배기가스의 영향을 알아보기 위하여 자동차 전용 터널을 선정하였다. 고정 오염원의 선정은 대기중 PAHs 농도에 기여도가 크며 단위 배출량이 큰 소각시설(2지점)과, 산업활동 시설 중 도시가스(Liquefied natural gas, 이하LNG)와 중질유(heavy oil, 이하 B-C oil)를 사용하는 보일러 시설을 선정하였다. 그러나 난방과 취사를 위하여 다양한 에너지원을 사용하며, 특히LNG소비량의 상당량을 차지하고 있어 대기중 기여도가 클 것으로 예상되는 가정 배출원은 다른 배출원에 비해서 그 절대량은 큰 반면 단위 당 발생량은 다른 발생원들에 비하여 극히 작아 시료 채취와 분석에 어려움이 많아 제외시켰다. 시료채취는 자동차 전용터널에서는 미국 EPA에서 준 휘발성 유기화합물의 포집을 위해 특별히 고안되어 상용시판하고 있는 PS-1(General Metal Works Inc.) 샘플러에 기체상 PAHs시료 채취를 위해 제작된 유리칼럼 (ID : 6cm×L : 9cm)안에 Polyurethane foam (PUF)을 사이에 두고 약50g의 XAD-2 (Sigma, 20/60 mesh) 수지를 가운데 충전 후 사용하였다. 이 흡착칼럼의 입구 부분에는 입자상 물질의 채취를 위해서 석영섬유여지 (Whatman QMA, 4")를 사용하였다. 필터상에서 공기시료가 통과하는 여과 속도인 약 2.25 cm/sec와 같은 수준으로 유지하도록 하기 위하여, 채취유량을 180 l/min으로 조정하여 시료 당 6~8시간 연속 채취하였다. 산업체와 소각장에서 시료채취는 CAE(clean air express) Isokinetic stack sampling system 장비를 사용하여, 입자상 시료는 원통여지 (thimble filter: 88R 25×90 Toyo Roshi Kaisha, Ltd.)에, 가스상 상태의 시료는 XAD-2와PUF에 흡착되도록 하였다. 배출구(stack) 측정공의 배출가스 유속은 연들의 종류에 따라 8.7~12.5m/sec범위를 나타내었다. 시료채취는 등속흡입 상태(약 10 l/min)로 5~6시간 동안 3~4m' 정도의 시료를 채취하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 이동오염원의 PAHs 농도 배출특성

도심지역 대기중 PAHs 농도에 많은 영향을 주는 자동차 배기가스의 영향을 알아보기 위한 방법은

직접 차량의 배기관에서 오염물질을 측정하는 방법(Dynamometer testing)과 자동차 전용 터널에서 시료를 채취하여 분석하는 방법(Tunnel testing) 두 가지로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 대기 중 PAHs 농도에 영향을 주는 이동오염원의 PAHs 배출특성을 파악하기 위하여 서울시내에 위치하며 자동차 통행량이 많고, 동력을 이용한 환기방식을 채택한 자동차 전용터널 2개소를 선택하였다. 각각의 터널내부에서 5~7회에 걸쳐 PUF가 장착된 중 용량 공기 채취기(Medium Volume Sampler)를 사용하여 시료를 채취하였다. 시료채취기간중의 자동차 통행량은 총 77,308/day 이었으며, 가솔린 차량이 약 40,000대 디젤 차량이 약 37,000대로 통과량은 비슷한 상태로 나타났다. 차량사고 등으로 비 정상적인 상태에서 측정된 자료를 제외하면, 측정된 두 지점에서의 물질들간의 농도 차이가 크지 않았으며(SD = ±18.7%) 터널 내의 16종 PAHs 총 농도는 400 ng/m³ 수준이었다. 터널 내의 각 물질들의 농도는 phenanthrene이 101.27 ng/m³로 가장 높은 농도를 나타내었으며, pyrene, fluoranthene, anthracene, naphthalene이 비교적 다른 물질에 비하여 고농도를 나타내었다. 터널내의 PAHs 농도특성은 고리 4개 이하의 이성체들이 대부분을 차지하였으며 5-6개의 고리를 가진 분자량이 큰 성분들은 낮은 농도를 나타내었다.

3. 2 고정발생원의PAHs 배출특성

B-C 연료를 사용하는 배출원에서의 총 PAHs 농도는 11,056.61 ng/Sm³ 이었으며, 가장 많이 배출되는 물질은 naphthalene으로 전체 배출량의 88.61% 를 차지하였다. phenanthrene, anthracene, acenaphthylene, pyrene등이 다른 물질들에 비해 비교적 높은 농도로 나타내었으며, 고리 4개를 가진 pyrene을 제외하면 대부분 고리 3개 이하의 물질들이 주로 배출되는 특성을 나타내었다. LNG 를 연료로 사용하는 보일러의 PAHs 배출특성은 고리2-3개 이하의 구조들이 대부분 배출되고 있음을 알 수 있었으며, 총 PAHs 농도는 B-C 유류 연료로 사용하는 보일러의 약 절반 수준인 6,582.57ng/Sm³ 이었다. 주로 배출되는 PAHs를 농도순으로 나열하면 naphthalene, phenanthrene, anthracene, acenaphthylene, fluorene 순으로 나타났다. 이 구성비는 B-C 연료에서 1.26%를 차지한 고리 4개인 pyrene이 거의 검출되지 않은 반면 고리 3개인 fluorene의 양이 크게 증가된 특성을 나타내었다. 고정오염원 중 소각시설에서의 PAHs 배출특성을 파악하기 위하여 서울시 263개소의 소각시설의 1일 소각량 501 ton 중 95% 이상인 476 ton을 소각하는 두 곳의 자원회수시설에서 배기가스를 채취하여 분석하였다. 두 지점에서의 총 PAHs 농도와 물질들 간 차지하는 백분율에서 그 차이는 크지 않았으며, 총 PAHs 농도는 조사된 배출원 중에서 가장 높은 농도인 11,672.19ng/Sm³이었다. 가장 많이 배출되는 물질은 배출량의 90% 이상을 차지한 naphthalene 이었다. 다음으로 Acenaphthene이 높은 농도를 나타내었는데 이는 다른 배출원들과 비교해 큰 차이를 나타내었다. 비교적 높은 농도를 나타낸 PAHs 는 acenaphthylene, phenanthrene, anthracene, fluorine, pyrene 순으로 나타났다.

도시 대기중 PAHs 농도에 기여도가 큰 배출원들의 배출특성을 파악하기 위해 도시고형폐기물소각장 등의 배출원들을 선정하여 복합적으로 배출되는 대기중의 PAHs의 발생원별 배출특성을 파악한 결과, 이동오염원을 포함한 각 배출원에서 배출되는 PAHs 는 각기 고유한 배출특성을 나타내고 있음을 파악할 수 있었다.

참 고 문 헌

- U.S. EPA, Locating and estimating air emission from sources of polycyclic organic matter. External review draft report, Research Triangle Park, North Carolina, Radian No. 298, (1995), pp. 130-43, September.
- 제 41회 서울 통계연보, 서울특별시, (2001).
- Nasrin R. Khalili, Peter A. Scheff and Thomas M. Holsen , PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions, Atmos. Environ. 29(4), (1995), pp.533-542.
- R.K. Nasrin, A. S. Peter, and M.H. Thomas, Atmos. Environ., 28, (1994), pp.2380-2386.
- W. Roger, and L. Hang, Environ. Sci. Technol., 28, (1994), pp. 965-972.