

4D3) 서울 지역 대기중 다환방향족탄화수소류의 발생원별 정량적 기여도 평가

Contributive Estimation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Emission Source in Seoul Area

박찬구 · 여인학 · 윤중섭 · 김민영
서울시보건환경연구원

1. 서 론

도시 대기중의 PAHs는 저 농도 수준으로 항상 대기중에 채류하고 있으며, 최초로 발암가능성에 대한 평가가 진행되어 왔던 대기오염물질중의 하나이기도 하다. 현재 화학 물질에 의한 발암가능성이 있는 물질들 중에서 단일그룹으로는 가장 큰 부류로 알려지고 있다. PAHs가 인체에 미치는 이러한 영향 때문에 많은 연구자들이 지속적으로 대기중 PAHs에 대한 관심을 가지고 있으나, 다양한 배출원에서 배출되는 PAHs가 대기중에 어떤 영향(기여)을 미치며, 이에 기인되어 나타나는 인체 영향을 파악하려는 시도는 매우 소수에 불과한 실정이다. 지난 수십 년 간의 연구에 의하면 PAHs는 연소방식(combustion source)과 연료에 따라 배출원에서 배출되는 PAHs 구성(composition)비는 큰 차이가 발생한다고 알려지고 있다. 다양한 발생원들에서 배출되는 PAHs 구성비에 대한 신뢰할 만한 자료가 확보되면, 이를 화학질량수지모델(CMB receptor model)이나 요인 분석(factor analysis)의 배출원 확인모델(source identification model)에 적용하게 되면, 각 발생원들에 대한 PAHs 배출특성(indicator, fingerprint)의 파악이 가능하게 된다고 알려지고 있다. 이 fingerprint를 요인분석이나, 화학질량수지모델에 적용하게 되면, 각 배출원에서 배출된 PAHs가 특정지역(수용체, receptor site) 대기중에 미치는 기여도를 정량적으로 평가할 수 있다고 알려지고 있다. 본 연구에서는 서울시 대기 중 PAHs 농도에 영향을 주는 발생원들과 이의 영향을 받는 수용체 지역(receptor site)과의 관계를 요인분석을 통하여 알아보려고 하였다.

2. 연구 방법

도시 대기에 영향을 주는 PAHs 배출원은 매우 다양하나 이들 배출원에서 배출되는 PAHs 배출특성에 대한 자료는 매우 한정되어 있다. 본 연구에서는 다양한 배출원들 중에서 도시 대기에 영향을 많이 미치는 배출원을 선정하고자 국외에서 연구된 자료들과 서울시에서 년 간 사용되는 연료사용량을 참조하여 다음과 같은 대상을 선정하여 분석하였다. 석유소비의 상당량을 사용하고 있는 이동오염원을 대표하는 자동차 배기가스의 영향을 알아보기 위하여 자동차 전용 터널을 선정하였다. 고정 오염원의 선정은 대기중 PAHs 농도에 기여도가 크며 단위당 배출량이 큰 소각시설(2지점)과, 산업활동 시설 중 도시가스(liquefied natural gas, 이하 LNG)와 중질유(heavy oil, 이하 B-C oil)를 사용하는 보일러 시설을 선정하였다. 선정된 배출원의 일반적인 자료(정보)는 Table 1에 나타내었다. 그러나 난방과 취사를 위하여 다양한 에너지를 사용하며, 특히 LNG 소비량의 상당량을 차지하고 있어 대기중 기여도가 클 것으로 예상되는 가정배출원은 다른 배출원에 비해서 그 절대량은 큰 반면 단위 당 발생량은 다른 발생원들에 비하여 극히 작아 시료채취와 분석에 어려움이 많아 제외시켰다.

3. 결과 및 고찰

서울지역에 소재하는 다양한 배출원들에서 나오는 PAHs 배출(emission) 농도와 PAHs 배출계수(emission factor)를 조사한 후 이를 이용하여 서울시 대기(수용체, receptor site)중 PAHs 농도에 가장 크게 영향을 주는 발생원이 무엇인지를 SAS의 통계도구(STAT)의 하나인 요인분석을 통하여 추정하였다. 먼저 각 변수들의 정규성을 파악하기 위하여 샤피로-윌크 검정(Shapiro Wilk Test)을 하였다. 도출된 자료를 검정한 결과 각 변수들의 정규성이 낮게 나타나 이를 지수변환(Log transformation)시켰다. 이 결과 대부분의 변수들이 $Pr < 0.05$ 이하로 나타나 정규분포화 함을 나타내었다. 이 지수변환된 자료들(직교인자모형)을 수용체의 농도를 종속변수로 하고, 모든 배출원의 농도를 예측변수로 하여 회

귀 분석을 한 결과 R^2 값이 대부분 0 ~ 1 사이에 존재하고 있어 이 자료에서 어떤 요인의 산정이 가능하다 판단되었다. 이 자료를 바탕으로 주 성분분석을 수행하였으며, 이 결과 16종의 PAHs 상관 계수 행렬을 구했다. 이러한 상관행렬을 바탕으로 기초요인행렬을 작성하였으나 이 자료에서는 어떤 변수들을 요약하는지 또는 변수들이 어떤 요인들을 주로 나타내는가의 정보가 아직 분명하게 나타나고 있지 않아 Varimax 회전을 하였다. 이 결과에서 분산치(variance, Eigenvalue)가 1이상인 것을 가진 것을 실행(retaining)하여 요인 적재량(factor loading)을 구하였다. 이 결과에서 요인 적재량이 0.80 이상인 것을 하나의 집단(group)으로 만든 후에 이것은 주요(major) PAH로 선정하였으며, 이 결과를 이용하여 각 발생원에서 배출된 PAHs가 수용체대기에 미치는 영향을 파악한 결과 다음과 같은 3가지 특성을 얻었다. Factor 1에는 주로 휘발유 차량과 디젤차량에 의한 배출관련 물질인 chrysene, pyrene, indeno(1,2,3-cd)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene 등에 대해서 높은 인자 부하량을 가지고 있는 것으로 나타났다. Factor 2에는 phenanthrene 과 Anthracene 이 높은 인자 부하량을 나타내었다. 이는 LNG 및 B-C oil 등 주로 화석연료를 사용하는 산업체등에서 나타나는 복합적인 배출원의 영향으로 판단되었다. Factor 3은 주로 도시쓰레기(MSW)를 소각하는 도시 소각시설이나, 노천소각(불법소각)등에서 주로 발생하는 dibenz(a,h)anthracene과 acenaphthene이 높은 인자 부하량을 나타내었다. 이러한 결과들에서 서울시 대기중 PAHs 농도에 영향을 주는 발생원은 이동 오염원인 자동차에 기인된 기여도가 약 64% 정도 설명될 수 있었으며, 화석연료 연소(산업체)에 기인하여 17%, 도시쓰레기 소각과 노천소각에 기인된 영향이 1% 전후로 이 3가지의 요인이 총 분산의 82%를 설명하였다. 이는 다른 연구자들과 기관(EPA, IARC)에서 조사된 결과들과 대부분 일치하고 있어, 이번 연구에서 나타난 결과는 어느 정도 적절하다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- Freeman D. J. and Cattell C. R. (1990) Wood burning as a source of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons. *Envir. Sci. Technol.* 24, pp.1581-1585.
- Daisey J. M., Leyko M. A. and Kneip T. J. (1979) Polynuclear Aromatic Hydrocarbons, *Ann Arbor Science, Michigan*, pp.201.
- Gordon G. E. (1988) Receptor models. *Envir. Sci. Technol.* 22, pp.1132-1142.
- Hsi-Hsien Yang, Wen-Jhy Lee, Shui-Jen Chen, Soon-Onn Lai (1998) PAHs emission from various industrial stacks, *Journal of Hazardous Materials* 60, pp.159-174.
- Nasrin R. Khalili, Peter A. Scheff and Thomas M. Holsen (1995) PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions, *Atmos. Environ.* 29(4), pp.533-542.
- Roy M. Harrison, D.J.T. Smith and L. Luhana (1996) Source Apportionment of Atmospheric PAHs Collected from an Urban Location in Birmingham, U.K., *Environ.Sci. Technol.* Vol.30, pp.825-832.
- U.S. EPA (1995) Locating and estimating air emission from sources of polycyclicmatter. External review draft report, Research Triangle Park, NorthCarolina, Radian No. 298, 130-43, September.
- Chan-Koo Park, Joong-Sup Yun, Min-Young Kim, Jong-Ryeul Sohn, Sae-Young Mo (2004) PAHs Source Fingerprints for Municipal Incinerator and Motor Vehicle Fuels and Industrial Boilers Emission, *J. KOSAE* 20.
- J.M. Skeaff, A.A. Dubreuil (1997) *Atmos. Environ.* 31, pp.1449.
- H.H. Wu (1996) The Application of Neural Network on Receptor Model, Master Thesis, Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University, pp.54-65.
- Hsi-Hsien Yang, Wen-Jhy Lee, Shui-Jen Chen, Soon-Onn Lai (1998) PAHs emission from various industrial stacks, *Journal of Hazardous Materials* 60, pp.159-174.