

IA5) VOCs의 위해성평가를 위한 노출분석 방법연구. The Development of Exposure Assessment Tools to Risk Assessment of Volatile Organic Compounds.

조성준

연세대학교 환경공해연구소

I. 서론

일반적으로 노출 평가(exposure assessment)는 발생원과 그 발생원으로부터 배출되는 발생량의 추정에서부터 시작한다. 그리고 발생된 오염물질의 환경중 소멸 과정(fate, chemical process) 및 이동 경로(transport, physical process) 추적 등으로 이어진다. 또한 이들 물질의 수용체인 인체나 혹은 인구 집단의 생활 행태(activity patterns)와 연결 지어 최종적으로 수용체 외부의 노출량 평가 그리고, 수용체 내부 전제 혹은 각각의 장기에서의 오염물질의 정량 등을 고찰하게 된다(Patrick, 1994). 궁극적으로 위해성 평가(risk assessment)가 이루어지기 위해서는 사회·경제적인 문제, 기술적인 문제 그리고 이를 포함하는 노출 평가 등이 체계적으로 이루어져야 한다.

노출 평가에 사용되는 일반적인 도구(tools)는 환경 측정(environmental measurement), 생체 모니터링(biological monitoring), 개인 노출량 측정(personal dosimetry) 및 모델링(mathematical modeling) 등이 사용되며, 큰 의미에서 이 모든 것이 모두 종합되어 이루어지는 것을 노출 평가라 한다. 이들 각각은 대상 장기의 내적 용량(dose) 측정과 더불어 노출 기간, 노출 빈도 및 노출 농도에 대한 다양한 가능성을 연계하여 이를 일괄적으로 처리하게 된다. 여기에서 중요한 것은 모든 개념 자체가 인체 중심이리라는 데 있다. 환경 노출량이 많더라도 노출 기회가 적거나 혹은 무시할 정도의 영향권 밖이라면 이는 중요한 관리의 대상이 아니라는 것이다. 하지만, 인간의 생활 형태와 행태 등의 다양성으로 각각의 인체가 받고 있는 환경 오염 물질에 의한 인체 부담(body burden) 때문에 일반화되는 model을 만들 수밖에 없다.

생체 모니터링(biological monitoring)은 인체 조직 및 장기 혹은 뇨와 같은 배설물에서 인체가 화학 물질에 노출되었다는 증거를 직접 혹은 간접적인 방법을 사용하여 분석하는 것이다. 많은 생체 매체 중에 가장 자주 이용되는 것이 혈액, 뇨 및 호기이다. 이들 매체 중에서 화학 물질을 노출된 형태 그대로(parent compounds) 분석할 수도 있고, 대사체(metabolites) 형태나 대용물(surrogates)을 측정하기도 한다. 후자의 경우 대부분의 생체 매체는 뇨가 된다. 하지만 혈액을 매체로 대용물을 측정하기도 한다.

이 논문에서는 VOCs의 노출평가를 위해 도구 즉, 환경노출, 개인노출 및 인체노출을 측정하기 위한 방법을 확립하고, 이를 기초방법으로 제시하고 한다.

II. 연구방법

인체 노출량 측정 방법 중 혈액과 뇨는 purge & trap 방법, 호기 측정은 tedlar bag collection & trap 방법, 개인 및 환경 노출량 측정 방법은 passive monitor 방법 그리고 환경 노출량 측정 및 인체 노출량 측정을 위해 복합 trap 방법을 기본으로 이들 방법을 응용하여 서로 결합하고, 보완 작업을 하였다. 이 과정에서 상황에 맞추어 시료 채취나 전 처리 장치를 만들어 사용하였다. 그리고, 이들 방법의 신뢰성을 여러방향에서 검증하였다.

분석에 사용한 주 장비는 HP5973, MSD가 장착된 HP6890 GC를 사용하였고, 주변 장비로는 auto desorber와 cryo-focusing module이 장착된 Tekmar AeroTrap 6000 desorber를 사용하였으며, 액체시료를 위해 liquid auto sampler를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

실내, 실외, 혈액, 뇨, 호기 측정을 위해 사용한 trap의 retention volume과 break through를 보기 위해서 2개의 trap (Tenax/Carbosieve S-III, 1g/1g)을 직렬로 연결하였다. 이를 일반 대기중에서 500ml/min

으로 7시간(420분) 동안 시료를 채취하여 총 180 l의 공기를 포집하였다. Benzene, dibromochloromethane, isocumene 및 tetrachloroethylene은 평균으로 보면 break through가 발생하지 않은 것으로 나타났다. 가장 break through가 많았던 대상 물질은 m,p-Xylene으로 92.7%의 break through가 발생하였다. 이 연구에 사용된 trap은 대상 물질에 따라 차이가 있겠으나, 대략 140 l의 포집 용량이 있을 것으로 예측할 수 있었다. 응용하기 위해서는 검출한계를 고려하여 1/3인 60 l을 포집하여 분석하는 것이 타당하기라 보며, 포집 속도도 100 ml/min으로 줄여 압력에 의해 추가적으로 생기는 break through를 방지하였다. 이는 EPA method(William, 1997)에서 제시되어있는 기준을 만족하였다.

Spike trap을 만들어 보관 하였다 0일, 10일, 20일, 30일, 45일 간격 이를 분석하였다. Spike trap을 만든 후 즉시 분석한 것에서는 69%(bromoform)~101% (1,1,1-trichloroethane) 범위의 회수율을 보였다. 또한 spike 후 10일 단위 (마지막 보관 일수는 15일 간격)로 분석한 trap에서 69%(10일 경과 후 1,1,2-trichloroethane)~130%(30일 경과 후 dibromochloromethane)의 범위의 회수율을 보였다. 보관 시간의 차이에 따른 회수율의 변화는 spike 시의 흡착 오차이거나 혹은 분석 오차라고 판단이 되지만, 이 연구의 범위 내에서는 확인할 수 없었다.

Benzene, bromobenzene 및 ethylbenzene이 trap당 0.31 μ g의 검출 한계를 보였으며, 가장 낮은 검출 한계를 보인 대상 물질은 trichloroethylene(0.24 μ g/trap)이었다. Dibromochloromethane은 0.93 μ g/trap으로 가장 높았다. 대상 물질 18종의 검출 한계의 범위는 0.24~0.93 μ g/trap로 0.545 μ g/trap의 평균 검출 한계를 보였다.

실내, 실외 및 개인 노출 측정을 위한 passive monitor(OVM 3520)를 사용하였다. OVM 3520(3M Co., USA) monitor 세트당 0.5 μ g이 되도록 spike 시켰다(3M,1991). Ethylbenzene과 styrene이 badge당 0.01 μ g으로 가장 낮은 검출 한계로 계산되었다. Trichloroethylene은 0.23 μ g/badge로 가장 높았으며, 평균 0.07 μ g/badge의 검출 한계를 보였다.

시료의 채취, 이동, 보관 및 분석 시의 회수율을 검토하기 위하여 저(0.5 μ g), 중(2.0 μ g) 및 고(10.0 μ g) 농도의 표준 물질을 passive monitor에 spike하여 두 실험실에서 각각 분석하여 이를 비교하였다. 채취 시, 이동 시, 보관 시의 회수율간에는 약간의 차이를 보였으나, 모든 대상 물질에서 평균 70%이상의 좋은 회수율을 보였다.

Passive monitor와 trap 방법을 비교하였다. Passive monitor와 Tenax/Carbosieve(1g/1g) trap을 사용하여 15군데에서 동시 측정하였다. Benzene의 경우 15개 시료의 평균이 passive monitor(11.8 μ g/m³)에서 active sampler(9.0 μ g/m³)보다 높았으나, toluene의 경우에는 active sampler (12.4 μ g/m³)가 passive monitor(9.1 μ g/m³)보다 높았다. 1,2-Dichloroethane과 1,1,1-trichloroethane은 passive monitor와 active sampler에서 각각 0.7 μ g/m³, 2.5 μ g/m³로 같은 농도로 검출되어 일치하는 결과를 얻었다.

두 시료 채취 방법에서 대상물질중 benzene, bromodichloromethane chlorobenzene, chloroform, 1,2-dichloroethene, dichloromethane, ethylbenzene trichloroethene 및 o-Xylene은 통계학적인 차이를 보였으나, 같은 장소에서 동시에 측정한 active와 passive monitor의 분석 물질 중이들을 제외한 것에서는 통계학적으로 유의한 차이를 볼 수 없었다.

또한 같은 실험군에서 위의 방법으로 환경(실내, 실외)노출, 개인노출, 인체노출(호기, 뇨, 혈액)량을 비교하여 각각의 측정매체 간에 높은 상관관계가 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- 1 Patric DR. Toxic air pollution handbook. Van Noatranb Reinhold. NC, 1994
- 2 EPA. Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air, Second Edition, Compendium method TO-17, determination of volatile organic compounds in ambient air using active sampling onto sorbent tubes: Center for environmental research information office of research and development: US EPA: Cincinnati OH, 1997
3. 3M. Instruction for use organic vapor monitors # 3520/3530. 3M occupational health and environmental safety division. Paul St, MN, 1991