

# Indoor air and human exposure assessment—needs and approaches

저자/Dimitris Kotzias

출처/Experimental and Toxicologic Pathology 57 (2005) 5-7

## 서론

유럽의 실내 공기질 측정 및 노출 평가 연구인 AIRMEX 프로젝트(Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Study)는 유럽 내 여러 도시에서 일부 휘발성 유기화합물(VOCs)에 대해 실내·외 농도와 개인노출 평가를 실시하였다. 이 프로젝트에서는 공공건물, 학교와 유치원 등에서 실내외 측정과 고용주나 교사를 대상으로 개인노출을 평가하였다. 개인노출을 평가할 때 모든 경우를 망라할 수 있도록 기준을 정했는데, 예를 들면, 흡연자와 비흡연자로 구분하거나 근무지(비흡연자와 흡연자가 있는 사무실과 출입구 또는 대기실로 구분)이다.

이 프로젝트에서 모든 측정은 확산식 포집기를 사용하였다. 개인노출 모니터링은 카르보닐 물질은 개인포집을 할 수 없기 때문에 휘발성 유기화합물만 포집하였으며, 여기에 포함된 물질로 VOC는 Hexane, Benzene, Toluene Ethylbenzene, m/p-Xylene, o-Xylene, 1,3,5-Trimethylbenzene, a-Pinene, D-Limonene이며, 카르보닐은 Formaldehyde, Acetaldehyde, Propanal, Hexanal이었다.

측정 기간은 주말을 포함한 주 1회로 하였고, 개인노출 모니터링 시간 즉, 개인이 확산

식 포집기를 착용하는 시간은 2-3일 동안이었다.

## 측정관련 고려사항

측정은 2003년 10월에 시작되었고, 2003년 12월까지 지속되었다. 세 번째 측정기간은 2004년 3월 첫째 주에 진행하였다. 도시들의 지리적 위치가 달라 일반적인 기상 상황이 다르고, 건물 구조들과 생활양식의 차이가 실내·실외 오염물질 농도와 개인노출 수준에 영향을 끼치는 것이 명확하나, 이런 차이에도 불구하고 여기서 얻은 자료는 해당 실내·실외 환경, 개인노출 오염수준에 대해서 전반적인 상황을 보여주고 있다. 측정 기간은 오염물질 형태, 수준, 발생원에 대한 정보를 신뢰할 수 있는 최적의 데이터를 얻기 위하여 계절 변동을 고려하여 2005년 동안, 일부 장소는 되풀이하여 계속되었다.

## 휘발성 유기화합물(공공건물의 실내·실외 농도)

일반적으로 공공건물 내 총 VOC 농도는 실내가 실외보다 높거나 비슷하였다. Arnhem

and Nijmegen시는 예외적으로 실내가 실외보다 훨씬 더 높았다. Athens와 Catania에 있는 시내 복판에 있는 건물은 실내와 실외 오염물질 농도의 차이가 거의 없었다. 사무실을 포함 공공건물 내에서 측정된 VOCs의 농도는 아주 소량(약  $8\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에서 약  $281\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 변하였다. 실외 농도는 약  $7-153\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 건물 내 사무실에서는 재실자의 행위(흡연·비흡연)에 따라 매우 높은 VOCs 농도를 나타냈다. Arnhem와 Nijmegen를 제외한 모든 장소에서 VOCs의 가장 큰 부분은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등 방향족 화합물로 나타났다. 벤젠 농도는  $2.9-63.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 농도는 Athens, Catania와 Thessaloniki에서 측정되었다. 실외 벤젠 농도는  $1.9-15.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 남부 유럽에 위치한 세 개의 도시(Athens, Catania, Thessaloniki)에서는 벤젠 농도가(실내·실외) 2010년까지 도달할 예정인 유럽연합 위원회 권고기준치인  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (연평균)을 초과하였다. (EU-Directive, 2000; WHO, 2000).

### 유치원에서 측정한 휘발성 유기화합물 농도

Catania에서 측정한 실내·실외 VOCs 농도는 유사하게 나타났는데, 약  $25-53\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였지만 아테네의 상황은 달랐다. 여기서는 유치원 내의 농도가 더 높았는데, 실외 농도보다 두 배 가량 높고, 한 케이스에서는 실외보다 약 10배 정도 더 높았는데, 이 경우는 실내에서 스프레이 캔을 사용했기 때문이었다. Arnhem와 Nijmegen에서 VOC 농도는 유치

원과 학교에서  $19-36\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실외 농도보다 2-4배 더 높게 나타났다. 또한, 네덜란드에서 포집된 시료를 제외하고 방향족 화합물(벤젠 포함)은 VOCs의 가장 큰 부분을 차지했다.

### 개인 휘발성 유기화합물 노출 농도

개인노출 농도는 확산식 포집기를 사용하여 자발적으로 참여한 고용주와 교사를 대상으로 한 곳을 제외한 전 장소에서 측정하였다. 일반적으로, 개인노출 농도는 실내·실외 지역 농도보다 높았다. 대부분의 경우 개인 농도는 실내 농도보다 두 배 정도 더 높았고, 실외 농도보다는 훨씬 높았다. 몇몇의 경우에는(Athens Guildhall, Petroupolis Kindergarten) 무려  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과했다. 공공건물과 유치원 내에서 측정된 벤젠의 개인노출 농도는  $5.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 95%tile은 기준치인  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 더 높은  $9.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 추정된다. 이것은 개인행위와 미세 환경에서의 활동 패턴이 노출에 큰 영향을 주는 것을 의미한다.

### 카르보닐 화합물

카르보닐 화합물은 실내와 실외 환경 둘 다에서 발생할 것으로 보이는 포름알데히드와 아세트알데히드 등을 분석을 하기 위해 포집하였다. 모든 장소에서 빌딩·유치원 내부의 알데히드기의 공기 농도는 실외보다 최고 7-8배 더 높게 나왔다. 대부분 포름알데히드는 실내에 발생원이 있을 것이라고 생각된다. 공공건물과 사무실내의 포름알데히드 농도는 약

3-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 유치원은 약 6-11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다(Arnhem/Nijmegen). Catania와 Athens에서 측정된 포름알데히드 농도는 최대치가 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다(Jurvelin, 2003).

## 결론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 내리고 있다.

- 벤젠, 포름알데히드와 같은 주요 오염물질의 개인노출 농도는 대부분의 경우 실외·실내 농도보다 더 높게 나타났다.
- 남부 유럽 도시에서는 실내·실외뿐만 아

니라 개인노출 농도가 중앙 유럽 도시보다 더 높게 나타났다.

- 학교와 유치원 내에서의 농도는 일반적으로 공공건물과 사무실보다 더 낮게 나타났다.
- 실제 개인노출은 정해진 지역에서 지역시료를 채취하여 결정할 수 없다. 이것은 실내·실외에서 존재하는 오염물질로 인한 건강상 영향을 평가하기 위해서는 개인노출 농도를 평가하여야 하고 이 경우, 미세환경 내에서의 활동 패턴과 개인 행위를 고려하여야 함을 의미한다. ☺

제공 / 가톨릭대의대 김현욱·박정순

## 참고문헌

- Cocheo V, Boaretto C, Sacco P. High uptake rate radial diffusive sampler suitable for both solvent and thermal desorption. Am. Ind. Hygiene Assoc. J. 1996;57:897.904.
- EU-Directive, 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air.
- Jurvelin JA. Personal exposures to volatile organic compounds and carbonyls: relationships to microenvironment concentrations and analyses of sources. Kuopio, Finland: National Public Health Institute. Department of Environmental Health; 2003.
- WHO. Air Quality Guidelines for Europe, European Series, No. 91, second ed. WHO Regional Publications; 2000.