

3D2) 유아교육시설 내 실내공기 중 폼알데하이드에 대한 어린이 인체 위해성 평가

Health Risk Assessment for Children on Formaldehyde in Indoor Air in Preschool Facility

고연정 · 김신도¹⁾ · 박숙영 · 장성기

국립환경연구원 실내환경과, ¹⁾서울시립대학교 환경공학부

1. 서 론

산업화 시대를 지나 정보화 시대에 이르러 인간의 생활방식 및 거주환경 등에도 많은 변화를 가져오게 되었다. 에너지 절약에 따른 건물 밀폐화 및 실내 거주시간의 증가는 실내공기오염을 새로운 환경문제로 대두되게 만들었다(장성기 등, 2005).

실내공기오염에 의한 건강영향은 수용체별로 다양한 양상을 갖게 되는데 그 중 노인, 영·유아, 어린이, 환자, 임산부 등과 같이 환경보건학적으로 약자인 민감 집단에게 더 많은 피해가 갈 수밖에 없다. 영·유아 및 어린이는 성장과 발달에 빠른 변화를 겪으며, 미성숙한 몸과 조직, 약한 면역체계 등의 이유로 환경위험에 더욱 민감하다. 특히 생후 수개월 동안에는 성인에 비해 신진대사가 원활하지 못하며, 내분비, 면역, 신경 계통 시스템이 발달해가는 과정에 있어 같은 환경에서 성인에 비해 더 큰 피해를 입을 수 밖에 없다. 이에 민감 취약 계층인 어린이의 환경영향 관리가 무엇보다 중요하며 그를 위해서 위해성 관리(Risk Management)가 이루어져야한다고 판단된다(Roberts et al., 1993).

본 연구에서는 국내 미취학 어린이의 환경영향 관리를 위해 필요한 어린이 건강 위해성 평가를 위해 실내 환경 중 영·유아 및 어린이가 가장 많은 시간을 체류하는 유아교육시설(서울지역) 총 27개소를 대상으로 폼알데하이드(Formaldehyde, HCHO)를 측정·분석하여, 발생오염물질에 따른 어린이 건강 위해성 평가방안을 모색하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구는 '실내공기질 공정시험방법'에 준하여 [다중이용시설 실내공기질 시험방법]으로 측정된 서울 지역 유아교육시설 총 29,233개 중 7개구 국공립기관 14개, 민간기관 13개를 대상으로 실내공기 중 폼알데하이드를 측정, 분석하였다.

건강 위해성 평가 절차는 미국국가연구위원회(National Research Council, NRC)에 의해 고안된 위해성 확인(Hazard identification), 용량-반응평가(Dose-response assessment), 노출평가(Exposure assessment), 위험도 결정(Risk Characterization)의 주요단계로 수행하였다. 실내공기 중 발암성물질인 폼알데하이드에 대한 위해성 확인 및 용량-반응평가 자료는 U.S. EPA의 IRIS(Integrated Risk Information System)을 이용하였으며, 노출평가 및 노출계수 선정을 위해 각 시설별로 현지조사 및 설문지조사를 실시하였다. 또, 보다 신뢰도 높은 데이터 산출을 위해 돌연변이 유발성 작용형태(Mutagenic Mode Of Action, MMOA)를 고려한 나이보정계수(Age Dependent Adjustment Factors, ADAFs)를 적용하여 추가 평가하고 기존 평가방법과 비교, 분석하여 문제점을 도출하였다(U.S. EPA, 2008).

마지막으로 불확실성과 가변성을 분석하는데 유용한 통계적 틀(Viable statistical tools)로써 수학적 모델을 적용한 몬테카를로 분석(Monte Carlo Analysis: MCA)를 실시하였으며, 그 외 평가단계에서 나타날 수 있는 오류에 대하여 좀더 신뢰도 높은 결과를 얻고자 각 단계에서 발생할 수 있는 불확실성을 고려하였다(U.S. EPA, 1997).

3. 결과 및 고찰

유아교육시설의 실내환경에 영향을 주는 폼알데하이드의 단일 평가치 분석 결과는 각각 보육시설 노출기간동안의 위해도를 알아보기 위한 “노출기간 기준 위해도”와 “평생 수명기준 위해도”로 나누어 표 1에 제시하였으며, 초기 연령군에 대해 나이보정계수(ADAFs)를 보정하여 돌연변이 유발성 작용형태(MMOA)를 고려하여 별도로 나타내었다. U.S. EPA에서의 허용위해도(acceptable risk)는 자연적으로 발생할 수 있는 10^{-6} (백만명당 1명의 초과발암확률)으로 정하고 있으나, 실제 환경성 발암물질의 경우, 여러 가지의 경제적 손익, 공학적 처리기술, 분석기술에 대한 조건들이 감안되어 법적 규제치는 약 10^{-5} 정도의 위해도에 상응하는 농도에서 결정되는 경우가 대부분이다.

본 연구의 단일평가치 분석 결과는 변수들의 평균값을 이용한 중심경향노출(Central Tendency Exposure, CTE)과 95 percentile 값을 이용한 최대노출농도(Reasonable Maximum exposure, RME)로 나타내었다. 실내공기 중 흡입에 의한 폼알데하이드의 단위발암위해도는 노출기간기준 CTE, RME 각각 $7.65E-05$, $1.05E-03$ 로 나타났으며, 돌연변이성을 고려한 ADAFs를 보정하였을때의 CTE와 REM은 $4.12E-04$, $4.49E-03$ 로 나타났다. 평생수명기준의 CTE와 REM은 $6.28E-06$, $9.21E-06$, ADAFs 보정시 CTE와 REM은 $3.64E-05$, $3.97E-04$ 로 여러 가지의 경제적 손익, 공학적 처리기술, 분석기술에 대한 조건들이 감안되어 기준에서 평생수명기준으로 기존의 평가법에서의 값은 위해도가 없는 것으로 나타났으며 ADAFs를 보정시에는 위해도가 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Comparison of Fixed-point(CTE, RME) on carcinogenic Formaldehyde.

Pollutants	Fixed Point	
	CTE*	RME**
Exposure duration standard (노출기간 기준)		
HCHO	$7.65E-05$	$1.05E-03$
HCHO(ADAFs)	$4.12E-04$	$4.49E-03$
Life time standard (평생수명기준)		
HCHO	$6.28E-06$	$9.21E-06$
HCHO(ADAFs)***	$3.64E-05$	$3.97E-04$

* U.S. EPA 위해도허용기준치 : 10^{-6} / 최대허용기준치 : 10^{-4}

*CTE : central tendency exposure, **RME : reasonable maximum exposure,

***ADAFs : Age Dependent Adjustment Factors

참 고 문 헌

- 장성기, 이우석, 김미현, 이홍석, 임준호, 장미, 서수연 (2005) 벽지에서 발생하는 오염물질 방출특성, 한국분석학회지, 18(6), 542-551.
- Roberts, J.W., W.T. Budd, J. Chuang, and R.G. Lewis (1993) Chemical contaminants in house dust: occurrences and sources, EPA/600/A-93/215.Washington, DC.
- U.S. EPA (1997) Guiding principles for monte carlo analysis, EPA/630/R-97/001, 1-35.
- U.S. EPA (2008) Incorporation of Early-Life Exposure in Human Health Risk Assessments, DEQ-07-LQ-019.