

유아교육시설 내 실내공기유해오염물질에 대한 어린이 건강위해성평가

고연정 · 김신도* · 박숙영 · 장성기†

국립환경과학원 실내환경과, *서울시립대학교 환경공학부
(2009. 2. 27. 접수/2009. 3. 16. 수정/2009. 3. 30. 채택)

Childrens' Health Risk Assessment on Indoor Hazardous Air Pollutants of Preschool Facility

Yeon-Jung Koh · Shin-Do Kim* · Suk-Young Park · Seong-Ki Jang†

Indoor Air Quality Division, National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea

*Department of Environmental Engineering, University of Seoul

(Received February 27, 2008/Revised March 16, 2008/Accepted March 30, 2008)

ABSTRACT

In this study, the hazard rate of the indoor environment of Children's Educational Facilities in Seoul was conducted, in order to determine how the indoor environments of these facilities, where infants and children spend the most time of their away from home day, can effect their health. The way of measurement and analysis were done according to the Indoor Air Quality Standard Method, and the Risk Assessment was accomplished with several significant ways - Hazard Identification, Exposure Assessment, Dose-response Assessment, Risk Characterization, which are deigned by National Research Council (NRC). On each exposure factors, documentary and questionnaire research such as Epidemiological study and Toxicological study were conducted. The result of the CTE (Central tendency exposure) of Formaldehyde and Benzene by Monte-Carlo simulation was 6.79×10^{-6} , 2.50×10^{-7} which in the case of Formaldehyde exceeded the permitted standard (10^{-6}) of the US EPA. The RME (Reasonable maximum exposure) was 7.31×10^{-5} , 2.65×10^{-6} which did not exceed 10^{-4} , the maximum permitted standards in the US EPA.

Keywords: children health risk assessment, indoor air quality, preschool facilities

I. 서 론

에너지 절약에 따른 건물 밀폐화 및 실내 거주시간의 증가로 실내공기오염은 새로운 환경문제로 대두되어 왔다.⁶⁾ 많은 연구 및 노력에도 환경오염에 따른 건강 위 해요인은 완전히 규명되지 않은 상태인 반면에 국민들의 환경에 대한 인식은 날로 증가하고 있다. 실내공기 오염에 의한 사망자수는 실외공기오염으로 인한 사망 자 수의 약 50%에 달하며, 특히 개도국인 경우 실내공 기오염이 영·유아 사망의 주요원인 중 하나임을 지적 하고 있다.⁷⁾ 실내공기오염에 의한 건강영향은 수용체별 로 다양한 양상을 갖게 되는데 그 중 노인, 영·유아,

어린이, 환자, 임산부 등과 같이 환경보건학적으로 약 자인 민감 집단에게 더 많은 피해가 갈 수밖에 없다. 특히 생후 수개월 동안에는 성인에 비해 신진대사가 완 활하지 못하며, 내분비, 면역, 신경 계통 시스템이 발달 해가는 과정이기 때문에 동일 환경에서 성인에 비해 더 큰 피해를 입는다.

어린이가 성인에 비해 환경오염물질에 더 취약하다는 것은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 성장과 발달 에 빠른 변화를 겪으며, 미성숙한 몸과 조직, 약한 면 역체계로 환경위험에 더욱 민감하다. 둘째, 체중에 비 해 많은 공기, 물, 음식을 섭취하고 옥외에서 뛰어놀기 때문에 많은 환경위험물질에 노출되어 있다. 셋째, 땅 이나 바닥을 기어다니는 등 자가보호가 약하여 환경오 염물질에 노출 우려가 높다. 영아기(1~3세) 및 유·소 년기(4~7세)의 흡입량은 성인흡입량보다 크며 활동적인 놀이 등으로 인한 높은 흡입량으로 상대적 불균형이 일

†Corresponding author : Indoor Air Quality Division,
National Institute of Environmental Research
Tel: 82-32-560-7360, Fax: 82-32-560-7013
E-mail : Skjang@korea.kr

어나며 공기중의 오염물질이 더 많이 흡입할 수 있는 가능성이 높다.¹⁶⁾

따라서 본 연구는 실내 환경 중 영·유아 및 미취학 어린이가 가장 많은 시간을 체류하는 유아교육시설을 대상으로 실내공기유해오염물질을 측정·분석하여 위해성 평가를 실시하였다. 이를 통해 어린이 건강 위해도를 확인하고 국내 영·유아 시설의 실내 환경적 문제와 건강상 문제를 파악하여 개선사항을 모색하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 2006년 1월부터 12월까지 서울지역 유아교육시설 총 29,233개 중 7개구 국공립기관 14개, 민간기관 13개를 대상으로 실내공기를 측정, 분석하였다. 계절별로 4차레 매 2회씩 측정하였으며, 영·유아의 활동량이 가장 많을 것으로 예상되는 측정지점인 놀이방 1지점 및 식당 또는 로비 1지점을 선정하여 2회씩 반복측정을 하였다.

2. 측정 및 분석방법

시료채취 위치는 벽으로부터 1 m 이상, 바닥으로부터 120 cm 높이에서 실시하였다. 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)은 고체흡착관(Tenax-TA 200 mg 충전)을 펌프(MP-Σ30H, Sibata, Japen)에 연결하여 100 ml/min 유량으로 30분간 2회에 걸쳐 측정하였다. 대상물질의 분석에는 가스크로마토그래피/질량분석기(GC/MS : GC-2010, Shimadzu, Japan)에 열탈착장치(Thermal desorber, TD)를 장착하여 분석하였다. 포알데하이드(Formaldehyde)의 시료채취는 2,4-DNPH-Costed Silica(1 mg/DNPH)를 충전된 Cartridge(Supelco, USA)에 오존의 간섭을 제거하기 위해 오존스크리버를 앞단에 장착하여 펌프(MP-Σ100H, Sibata, JP)로 500 ml/min 유량으로 60 min간 실시하였다. 채취된 시료는 추출장치(SPE vacuum manifold, Supelco, USA)에 장착하여 일정한 유속으로 추출하여 DNPH유도체의 분석은 고성능액체크로마토그래피(HPLC: LC-10Avp, Waters)를 이용하여 분석하였다.

TVOC와 Formaldehyde는 각각 액상표준물질(Japanese Indoor Air Standard Mix : TVOC, Supelco, CARB Carbonyl-DNPH Mix 1 : Formaldehyde, Supelco)를 사용하여 감응계수 및 검량선을 작성하여 농도를 정량하였다.

3. 건강 위해성 평가

실내오염도 특성 파악 및 건강 위해성 평가를 위해 온·습도, 영·유아의 활동상태, 환기상태 및 지리적 특성 등의 기초조사 및 시설을 이용중인 어린이들의 노출인자에 대해 현지조사 및 설문지 조사를 실시하였다.

1) 위해성 확인(Hazard Identification)

위험성 확인에 필요한 자료로는 역학자료(Epidemiological study), 독성자료(Toxicological study), 인체를 대상으로 한 인위적 실험자료(Controlled human experiments), 물리화학적 성질에 관한 자료 등으로 본 연구에서는 EPA의 IRIS(Integrated Risk Information System)를 이용하였다.⁸⁾

2) 노출평가(Exposure Assessment)

노출계수의 종류별 국내 자료 및 대상시설에서 작성된 설문지를 검토하여 본 연구에 활용된 노출계수 값의 선택 배경과 각 조건별 시나리오에 대한 설명은 다음과 같다.

체중은 2007년 질병관리본부, 대한소아과학회에서 발표한 “우리 아이 키, 몸무게 소아, 청소년 신체발육 표준치”와 “소아표준성장표”를 이용하였다. 보육시설 연령은 0세에서 7세의 분포를 보였으며, 단일 평가 분석치의 평균체중은 14.78 kg로 가정하였다. 몬테카를로 시뮬레이션에 이용된 그룹별 체중 분포 역시 같은 자료를 바탕으로 Triangle 분포를 가정하였다. 분포의 최대값은 보육시설 연령층 중 가장 큰 95%의 체중값을, 최소값은 5~6개월된 유아들의 5% 체중값을 그리고 최빈값은 평균 체중값으로 가정하였다.⁹⁾ 평생수명기준 위해도에 포함될 성인 체중지수는 산업자문부 기술표준원에서 발표된 “5차 한국인 인체치수조사사업 보고서”를 이용하였으며 소아, 청소년 자료와 같이 Triangle분포로 가정하였다.¹⁰⁾

평균수명은 “2006년 통계청 완전생명표”를 이용한 기준과 보육시설에 재학중인 어린이들의 최대 거주기간을 노출계수 값을 기준으로 각각 선정하였으며 호흡율은 EPA의 IRIS에서 규정하는 평균호흡율이 CTE(Central tendency exposure)일 경우 20 m³/day를, RME(Reasonable maximum exposure)일 경우 30 m³/day로 규정하고 있으나 모두 성인을 기준으로 하고 있어 어린이 호흡율 적용에 무리가 있다. 본 연구는 어린이 보육시설 시간표에 따른 활동 시간별 호흡율을 이용하기 위해 “서울시 정보 보육시설”에서 제시하는 “표준보육과정” 및 실측대상 보육시설의 설문자료바탕으로 시

Table 1. Summary of average inhalation rates by age group and activity levels

Age group	Activity level (m ³ /day)				
	Resting	Sedentary	Light	Moderate	Heavy
Young children* (3-5.9 year)	8.88	9.6	15.6	16.32	-
Children* (6-12.9 year)	10.8	11.28	22.8	41.76	53.52
Children**	7.2	9.6	24	28.8	45.6
Adults**	9.6	12	24	38.4	76.8
<1yr**	mean			4.5	
1-2yr**	mean			6.8	

*Adams (1993) Summary of Average Inhalation rates by Age Group and Activity Levels for Laboratory Protocols and Field Protocols.²⁾

**Layton (1993) Summary of recommended values for Inhalation short-term and Long-Term exposures Studies.³⁾

간표를 작성하였으며, 호흡율은 EPA의 “General Factors⁴⁾”에서 제시된 Adams²⁾과 Layton³⁾의 연구결과를 이용하여 어린이 보육시설 시간표에 따른 시간별 호흡율을 작성하였으며 몬테카를로 시뮬레이션에 이용된 분포는 정규분포로 가정하였다(Table 1).

보육시설 채실자의 실내 생활 습관 및 개인 일일 활동력에 따른 오염물질의 노출정도를 파악하기 위하여 보육시설 내 실내거주시간을 조사하여 노출빈도 및 노출기간을 도출하였다. 총 27개 시설 3743명을 대상으로 조사한 결과 어린이집 재학생 연령은 0세부터 7세까지로 나타났으며 시설 재학기간은 최소 1개월 이상 5년 6개월까지로 나타났다. 조사대상 어린이의 유동성을 고려하여 하루 평균 노출빈도는 9.4시간으로 조사되었다. 노출기간은 최소 0.5년 이상 보육시설 최대 재학기간인 6.5년으로 가정하였으며, 분포는 정규분포로 가정하였다.

비발암성물질의 위해도 결정에 이용되는 노출량은 일일평균용량(average daily doses : ADDs)으로 나타낼 수 있으며, 아래의 식에 의해 계산되어진다.

$$ADD(mg/kg \cdot day) = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT \times 1000 \times 60 \times 24}$$

Where :

- ADDs: average daily doses (mg/kg-day)
- C : contaminant concentration in inhaled air (µg/m³)
- IR : inhalation rate (m³/day)
- ED : exposure duration (year)
- EF : exposure time (min/day)
- BW : body weight (kg)
- AT : average time (year)

발암성물질은 인간이 오염물질에 노출이 평생 동안 일어나지 않더라도 발암작용은 지속될 수 있으므로 평

생노출로 가정하여 평생시간(life time : LT)을 사용한다.

$$LADDs(mg/kg \cdot day) = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times LT \times 1000 \times 60 \times 24}$$

Where :

- LADDs: lifetime average doses (mg/kg-day)
- LT : lifetime (year)

3) 용량-반응평가(Dose-response assessment)

오염물질의 위해성 확인을 위한 자료는 EPA에서 제공하는 IRIS의 데이터베이스를 이용하였으며, 발암성 및 비발암성 용량-반응평가를 위한 발암성 독성자료인 ‘unit risk, UR’과 비발암성 독성자료(Reference concentration, RfC)를 조사하였다. 또한 각 연구대상물질은 발암성 물질과 비발암성물질로 구분하여 EPA의 분류체계인 발암증거의 가중(Weighting of Evidence)에 따라 발암력을 분류하였고, NOAEL(No Observed Adverse Effect Level)와 LOAEL(Lowest Observed Adversed Effect Level) 등을 조사하였다.

4) 위해도 결정(Risk Characterization)

발암성물질은 용량-반응평가를 통해 산출된 발암잠재력(Cancer Potency Factor : CPF)을 어린이의 평균 체중 및 평균 호흡량으로 보정하였다. 단일 발암잠재력을 구하고 노출평가를 통해 산출된 LADDs 값과 곱하여 발암위해도를 산출한다. 산출된 발암위해도는 EPA(1992)에서 제시하고 있는 기준치와 비교하였다.⁵⁾

$$CR = LADDs \times CPF$$

- CR : cancer risk
- LADDs: lifetime average doses (mg/kg-day)
- CPF : cancer potency factor

비발암성물질의 경우, 참고치(Reference Dose : RfD)의 비를 통해 비발암 위해도지수(Hazard Index : HI)를 산출하였다.

$$HI = \frac{ADDs}{RfD}$$

HI : cancer risk
 ADDs : average dose(mg/kg-day)
 RfC : reference concentration(mg/kg-day)

4. 불확실성 평가

위해도 평가는 매우 복잡하고 모든 정보를 집대성하는 과정이기 때문에 모든 단계에서 불확실성이 발생할 수 있다. 정량적인 면이 수치로 간편하게 나타나지만 평가에 오류를 범할 가능성이 높아 결론에 대한 불확실성을 강조할 필요가 있다. 본 연구에 대한 불확실성을 다음과 같이 고려할 수 있다.

첫째로 용량-반응평가 과정에서의 불확실성을 들 수 있다. 본 연구에 사용된 Formaldehyde의 외삽모델은 선형화단계로 EPA에서 이용되는 가장 대표적인 모델로 적합하다 판단되나 위해성 평가에서는 예방적인 차원에서 동일 용량에서 더 높은 위해도를 산출하는 모델을 우선하기 때문에 다른 모델보다 높은 위해도가 산출되어 결과에 영향을 줄 수 있다.

둘째로 EPA에서 권장하는 불확실성과 가변성을 확인하는 수학적 모델을 적용한 불확실성 분석으로 Monte-Carlo simulation을 수행시 나타날 수 있는 입력 변수의 가정, 분포선택에서의 오류를 들 수 있다. 본 연구에 사용된 분포들은 분석결과에 따라 농도분포를 확인하여 사용하거나 외부자료를 사용시 선행연구들의

분포를 참고하여 사용하였다. 분석은 Crystal ball 2000(Decisioneering, Inc.)를 이용하여 모든 노출변수와 결과 값을 각각 100,000번씩 모의실험을 수행하였다.^{13,11)}

셋째로 평가자의 분석에 대한 불확실성을 들 수 있다. 위해성 평가는 여러 확률에서 임의의 값을 선택하여 노출시나리오를 선정 등의 과정을 거친 후 결과에 도달하기 때문에 연구자의 다른 요소들의 고려가 신뢰성 있는 평가에 중요한 영향을 미친다고 판단하여 여러 경우의 수에서 반복적으로 수행함으로써 오차를 줄이도록 하였다.

III. 연구결과 및 고찰

보육시설 노출기간 동안의 자세한 위해도 산정을 위해 최대 노출기간에 따른 위해도와 평생수명기준 위해도를 같이 제시하였다. 또, 나이별 위해도 확인을 위해 1군(0.5세-1세), 2군(2-4세), 3군(5-6.5세)로 분류하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 위해도를 제시하였다.

1. 실내공기유해오염물질(HAPs)의 농도분포

유아교육시설의 발암물질과 비발암물질에 대한 농도분포를 Table 2에 나타내었다.

발암성 유해화학물질인 Benzene은 평균 실내 농도는 3.859 µg/m³로 나타났으며 I/O(Indoor concentration/ Outdoor concentration)비는 1.2로 실내가 높게 나타났다. Formaldehyde의 경우 실내평균농도는 39.045 µg/m³, I/O비는 4.2로 나타나 실내에 Formaldehyde의 오염이 높음을 확인할 수 있다. 비발암성 유해화학물질의 평균농도는 Toluene 49.7 µg/m³, Ethyl benzene 6.258

Table 2. An overall summary of concentrations of VOCs & formaldehyde

Pollutant	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	m,p-Xylene	Styrene	o-Xylene	Formaldehyde	
In	Mean	3.859	49.713	6.258	11.485	3.290	39.045	
	S.D	3.392	26.310	4.156	7.119	4.406	31.038	
	Median.	3.219	43.991	5.261	10.657	1.802	27.391	
	Max.	13.123	127.813	20.204	33.911	20.924	11.875	161.312
	Min.	0.033	6.294	0.360	0.540	0.023	0.560	0.183
Out	Mean	3.300	29.314	3.405	5.351	1.187	1.743	9.385
	S.D	3.699	16.912	2.144	4.031	1.756	1.204	8.432
	Median.	1.644	27.125	3.235	5.210	0.100	1.697	6.586
	Max.	12.936	83.889	9.624	17.147	7.844	5.833	36.540
	Min.	0.110	0.290	0.360	0.540	0.100	0.560	0.180
I/O*	1.2	1.7	1.8	2.1	2.8	2.0	4.2	

I/O* = Indoor concentration / Outdoor concentration.

(Unit : µg/m³)

µg/m³, m,p-Xylene 11.485 µg/m³, Styrene 3.29 µg/m³, o-Xylene 3.455 µg/m³로 I/O비는 Styrene이 2.8로 가장 높게 나타났으며, m,p-Xylene(2.1) > o-Xylene(2.0) > Ethyl benzene(1.8) > Toluene(1.7) 순으로 나타났다.

2. 발암성물질의 위해성평가

유아보육시설의 실내환경오염에 영향을 주는 Formaldehyde와 Benzene의 노출에 따른 단위 위해도의 단일 평가치 분석 및 몬테카를로 분석 결과는 각각 보육시설 노출기간(6.5년) 동안의 위해도인 “노출기간 기준 위해도”와 “평생 수명기준 위해도”로 나누어 Table 3에 제시하였다.

EPA에서는 허용위해도(acceptable risk)를 자연적으로 발생할수 있는 10⁻⁶(백만명당 1명의 초과발암확률)으로 정하고 있다. 이 위해도는 무시해도 좋은 아주 작은 위해도로 이를 “de minimis risk”라 하며, 이 위해도에 상응하는 농도를 실제 안전용량(Virtually Safe Dose : VSD)이라 한다. 그러나 실제 환경성 발암물질의 법적 규제치는 약 10⁻⁵ 정도의 위해도에서 결정되는 경우가 대부분이다.

단일평가치 분석 결과는 변수들의 평균값을 이용한 중심경향노출(CTE)과 95 percentile 값을 이용한 최대

노출농도(RME)로 나타내었다. 실내공기 중 흡입에 의한 Formaldehyde의 단위 발암 위해도는 평생수명기준 CTE와 REM은 6.28×10⁻⁶, 9.21×10⁻⁶로 EPA기준 위해도가 있는 것으로 나타났다. Benzene는 평생수명기준 CTE와 REM은 2.31×10⁻⁷, 2.61×10⁻⁶으로 최대노출농도(REM)에서 위해도가 있게 나타났다. Formaldehyde의 노출기간기준(6.5년) CTE와 RME는 7.65×10⁻⁵, 1.05×10⁻³, Benzene은 2.82×10⁻⁶, 3.18×10⁻⁵로 위해도를 보였다. 어린이의 폐의 성장과 발달진행과정은 불완전한 메타볼릭 시스템(Metabolic System)으로 호흡성 병원체의 감염률이 높다. 어린이의 활동패턴은 보다 높은 대기오염 노출을 가져올 수 있으며, 더 많은 오염물질이 폐에 쌓인다. 선행연구에서는 어린이시절 폐 손상의 장기간 영향에 대해 강조하며 발달중인 폐가 오염에 노출되면 성인이 되어서까지 폐 기능을 저하시키며, 성인이 된 후에도 다른 오염원(담배, 직업적 노출 등)에 대한 민감성을 증대시킨다고 밝혔다.¹⁴⁾ 이러한 이유로 노출기간기준은 평생수명을 기준으로 하는 발암위해도 평가의 기준이 될 수는 없지만 영·유아의 오염물질의 노출이 평생노출에 큰 영향을 주므로 대상 시설의 이용자의 연령을 고려한 평가에 도움이 될 것으로 판단된다.

몬테카를로분석에 의해 산출된 확률론적 위해성 평가

Table 3. Comparison of fixed-point(CTE, RME) and monte carlo hazard index estimates on carcinogenic formaldehyde and benzene in preschool facility. (carcinogen)

Pollutants	Cancer risk									
	Fixed Point		Monte-Carlo							
	CTE*	RME**	Mean	Max	Min	Percentiles				
					20	40	60	80	100	
Exposure duration standard (노출기간 기준)										
HCHO	7.65E-05	1.05E-03	8.25E-05	8.77E-04	9.15E-06	9.15E-06	4.55E-05	8.72E-05	1.49E-04	8.77E-04
Benzene	2.82E-06	3.18E-05	3.06E-06	3.42E-05	2.45E-07	2.45E-07	1.61E-06	3.25E-06	5.65E-06	3.42E-05
Life time standard (평생수명기준)										
HCHO	6.28E-06	9.21E-06	6.79E-06	7.31E-05	7.68E-07	7.68E-07	3.74E-06	7.16E-06	1.23E-05	7.31E-05
Benzene	2.31E-07	2.61E-06	2.50E-07	2.65E-06	1.87E-08	1.87E-08	1.31E-07	2.64E-07	4.62E-07	2.65E-06

*CTE : Central tendency exposure / **RME : Reasonable maximum exposure.

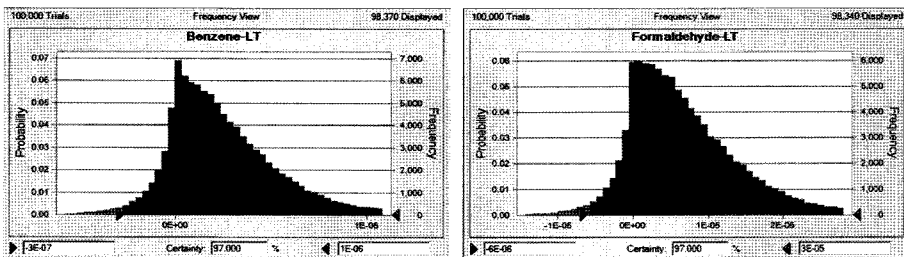


Fig. 1. Frequency charts of hazard index for exposure duration standard.

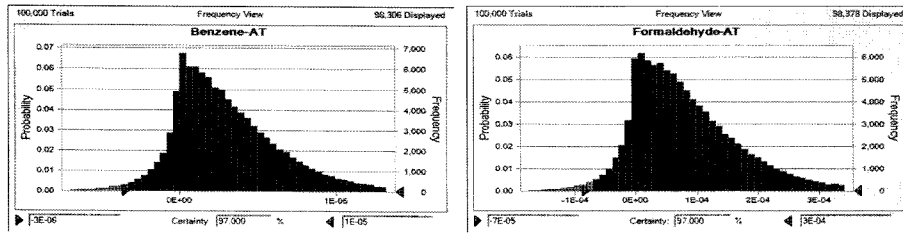


Fig. 2. Frequency charts of hazard index for Life time standard.

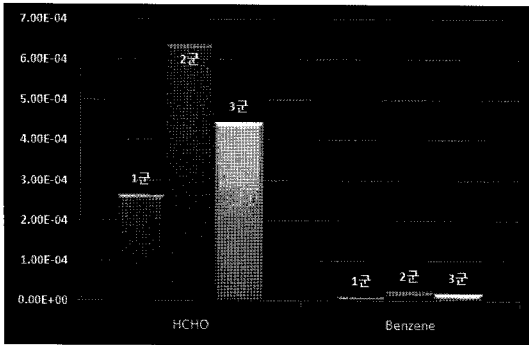


Fig. 3. The hazard rate by age group to carcinogenic in monte-carlo simulation percentiles 100%.

결과 중 Formaldehyde의 경우 단일 평가 분석치와 같이 여러 노출경위에서 위해도가 있는 것으로 나타났다. Benzene은 노출기간 기준시 평균 3.06×10^{-6} 로 최소 노출값은 2.45×10^{-7} 로 평생수명기준 평균값이 2.50×10^{-7} 로 위해도가 없는 것으로 나타났으며, 최대 노출값은 2.65×10^{-6} 으로 위해도가 있는 것으로 나타났다.

Fig. 3은 유아의 나이별 위해도 확인을 위해 1군(0.5-1세), 2군(2-4세), 3군(5-6.5세)로 분류하여 몬테카를로 분석 결과를 그래프로 나타낸 것이다. Formaldehyde의 평균값은 각각 1군 2.68×10^{-5} , 2군 6.58×10^{-5} , 3군

4.74×10^{-5} 로 2군 > 3군 > 1군의 순의 농도값이 나타나 2군에 해당하는 2-4세의 유아가 가장 높은 발암 위해도를 보이는 것으로 나타났으며 그 다음으로 활동량이 높은 3군(5-6.5세)이 높게 나타났다. Benzene의 경우도 1군 9.81×10^{-7} , 2군 2.42×10^{-6} , 3군 1.74×10^{-6} 으로 2군이 가장 높게 나타났다.

3. 비발암성물질의 위해성 평가

실내에 분포하는 휘발성유기화합물중 비발암물질에 대하여 위해도를 수행하여 Table 4에 나타내었다. 비발암성 물질의 노출에 따른 위해도 결정은 용량-반응 평가를 통해 산출된 흡입 참고치와의 비교를 통해 현 오염수준을 평생 동안의 일일 허용 가능량과 비교함으로써 현 오염수준이 '1'을 초과하는 경우에 유해영향(독성)이 발생할 가능성이 있음을 제시해주며 '1' 이하인 경우 발생할 가능성이 없음을 제시해 준다. 본 연구의 비발암 오염물질인 Toluene, o-Xylene, Ethyl benzene, m,p-Xylene, Styrene의 분석결과, 단일평가치 분석과 확률론적 분석 모두 '1'을 초과하지 않는 양호한 상태를 보였다.

노출기간 중 유아의 나이별 위해도 확인을 위해 1군(0.5-1세), 2군(2-4세), 3군(5-6.5세)로 분류하여 몬테카를로 분석한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 대부분의 비

Table 4. Comparison of fixed-point(CTE, RME) and monte carlo hazard index estimates on non-carcinogenic hazardous air pollutants in preschool facility. (non-carcinogen)

Pollutants	Non-cancer risk									
	Fixed Point		Monte-Carlo							
	CTE*	RME**	Mean	Max	Min	Percentiles				
						20	40	60	80	100
Toluene	4.87E-02	1.44E-02	7.73E-03	2.77E-02	2.46E-03	4.20E-03	6.58E-03	8.68E-03	1.12E-02	2.77E-02
Ethyl benzene	2.45E-03	5.68E-03	1.50E-03	7.33E-03	3.88E-04	3.88E-04	1.16E-03	1.81E-03	2.61E-03	7.33E-03
m,p-Xylene	1.55E-02	2.77E-03	1.30E-03	5.19E-03	2.66E-04	6.08E-04	1.07E-03	1.48E-03	1.97E-03	5.19E-03
o-Xylene	4.67E-04	9.69E-03	3.90E-03	1.63E-02	6.17E-04	1.71E-03	3.20E-03	4.50E-03	6.06E-03	1.63E-02
Styrene	8.23E-03	3.76E-02	1.28E-03	9.43E-03	3.70E-04	-	8.34E-04	1.69E-03	2.71E-03	9.43E-03

*CTE : Central tendency exposure / **RME : Reasonable maximum exposure.

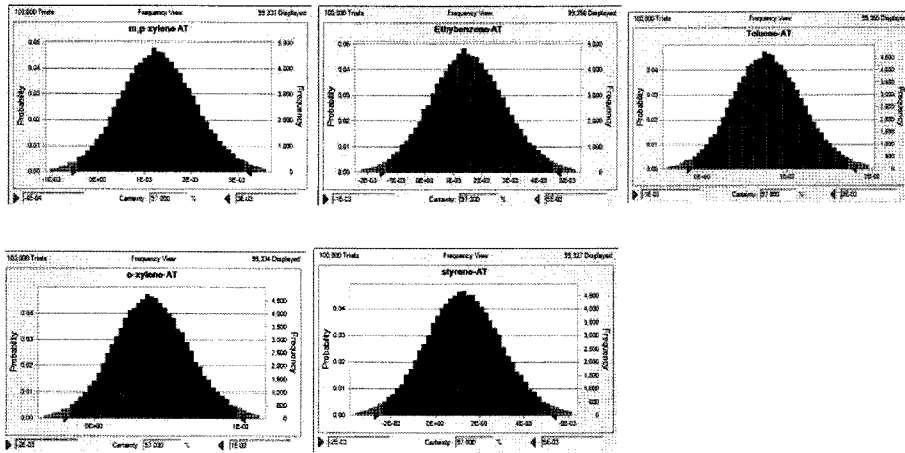


Fig. 4. Frequency charts of hazard index for VOCs.

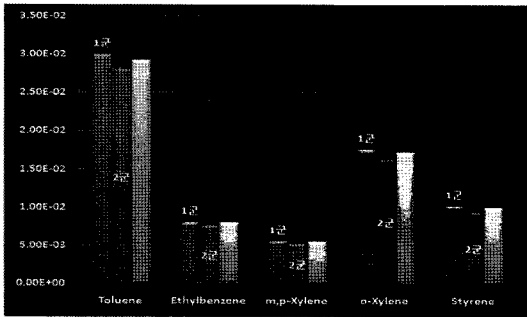


Fig. 5. The hazard rate by age group to non-carcinogenic in monte-carlo simulation percentiles 100%.

발암 물질이 1군이 가장 위해도가 높고 그 다음이 3군, 2군 순으로 나타났다. 1군과 3군의 경우 짧은 노출 기간에 비해 체중 당 호흡률비가 높게 나타나 노출기간이 2배인 2군보다 위해도가 높게 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 국내 미취학 어린이의 환경영향 관리를 위해 서울지역 유아교육시설에 대상으로 실내오염물질을 추정·분석하여 흡입에 의한 폼알데하이드, 벤젠의 발암위해도와 톨루엔, 에틸벤젠, m,p-자일렌, o-자일렌, 스티렌의 비발암위해도를 산출하였다.

어린이 건강 위해성 평가 결과 발암물질 중 Formaldehyde의 중심경향노출(CTE)에서 위해도가 나타났다. Benzene은 위해도가 없는것으로 나타났다. 그의 비발암성 물질들에서도 위해도는 나타나지 않았다. 위해성 평가는 발암물질에서의 위해도만을 중점적으로 논하여 평가하는 것보다는 비발암물질의 위해도를 포

함하여 평가를 하는 것이 바람직하며, 여러 가지의 경제적 손익, 공학적 처리기술, 분석기술에 대한 조건들이 감안되어야 한다. 또, 위해성 평가에서의 불확실성까지 고려한다면 유아교육시설의 전체적인 발암위해도 는 더 낮을 것이라 생각된다. 하지만 최근 연구에 의하면 저농도에서도 어린이의 알려지 반응이 증가할 위험성이 있다고 보고하였으며, 영·유아는 성인과 달리 신체성장기간이라는 것을 감안하여 유아교육시설은 다른 다중이용시설과 다른 별도의 관리 방안(기준)이 필요하다고 사료된다.¹⁵⁾

노출기간중의 연령별 노출 비발암위해도를 평가결과 0-1.5세가 가장 높았으며, 다음으로 5-6.5세가 높게 나타나, 노출인자 중 노출기간보다 호흡률 및 체중 등의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 특히 1군(0.5-1세)의 경우 짧은 노출기간이더라도 영향은 가장 높게 나타났으며 내분비, 면역, 신경계통의 시스템이 발달되는 기간이라는 것을 감안하여 유아교육시설 내에서도 별도의 관리 방안이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. Kim, J. C., Kim, Y. S., Roh, Y. M. and Hong, S. C. : Health risk assessment of indoor HAPs in new apartments. *Korea Journal of Environmental Health*, **33**(1), 1-10, 2007.
2. Adams, W. C. : Measurement of breathing rate and volume in routinely performed daily activities, Final Report. California Air Resources Board(CARB) Contract No. A033-205, 1993.
3. Layton, D. W. : Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments. *Health Physics* **64**(1), 23-36, 1993.

4. U.S. EPA : Exposure factor handbook Washington DC (Office of health and environmental assessment). EPA/600/P-95/ 002Fa, 1997.
5. U.S. EPA, Guiding principles for monte carlo analysis, EPA/630/R-97/001, 1-35, 1997.
6. Commission of the European Communities, Joint Research Center - Institute for the Environment. European Concerted Action Report No. 4. Sick Building Syndrome - A Practical Guide. 1989.
7. WHO, Guidelines for air quality. Geneva. 2000.
8. U.S. EPA, IRIS(Litegrated Risk Information System). <http://www.epa.gov/iris/>
9. Korea Center for Disease Control and Prevention, Korean Journal of Pediatrics, Normative National Growth References for Korean Children and Adolescents. 2007.
10. Korean Agency for Technology and Standards, 5th nationwide survey, 2004.
11. U.S. EPA : Guiding principles for monte carlo analysis, EPA/630/R-97/001, 1-35, 1997.
12. Jung, S. W., Yang, W. H. and Son, B. W. : Health Risk Assessment by Potential Exposure of NO₂ and VOCs in Apartments. *Korea Journal of Environmental Health*, **33**(4), 242-249, 2007.
13. Park, J. S., Kim, D. S. and Chung, H. W. : Analysis of Uncertainty and Variability in Environmental Epidemiology and Health Risk Assessment Studies in Korea. *Korea Journal of Environmental Health*, **29**(5), 101-109, 2003.
14. Ha, E. H. : WHO(World Health Organization)·EU(European Union) Children's Environmental health policy and cases. *Conference for Children's Environmental Health Policy Establishment*, 16-18, 2006.
15. Garrettet al. Allergy (1999). Increased Risk of Allergy in Children Due to Formaldehyde Exposure in homes.
16. Him, J. H. : Trends and Challenges of Children's Evironmental Health Policy in Korea. *Conference for Children's Environmental Health Policy Establishment*, 22-30, 2006.