

어린이 주요활동공간 중 소규모학원 내 유해물질 노출 평가

김호현 · 이정훈* · 안선민* · 이재영** · 최인석*** · 유시은**** ·
정다영**** · 이철우**** · 박충희****†

평택대학교 ICT융합학부 ICT환경융합전공, *평택대학교 생활 및 산업 환경R&D 센터,
경희대학교 생명자원과학연구원, *한국건설생활환경시험연구원 정밀화학분석센터,
****국립환경과학원 환경보건연구과

Exposure Assessment of Hazardous Substances in Small Academy of Children's Activity Zones

Ho-Hyun Kim, Jeong-Hun Lee*, Sun-Min An*, Jae-Young Lee**, In-Seak Choi***,
Si-Eun Yoo****, Da-Young Jung****, Chul-Woo Lee****, Choong-Hee Park****†

*Department of Information, Communication and Technology Convergence,
ICT Environment Convergence, Pyeongtaek University*

**Life & Industry Environmental R&D Center in Pyeongtaek University*

***Institute of Life Sciences & Resources, in KyungHee University*

****Health & Environment Laboratory Chemical Analysis Center, Korea Conformity Laboratories*

*****Environmental Health Research Division, National Institute of Environment Research, Incheon, Korea*

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted to identify hazardous factors that reflect the characteristics of the academy and to provide basic data of environmental safety standard.

Methods: Heavy metals, volatile organic compounds, formaldehyde, pesticides and phthalates were measured in 20 academies, which were supplementary, music, art and physical education institutes.

Results: In case of heavy metals, the 12 locations were detected for lead (Pb) over the standard value, and 15 locations were exceeded for the total heavy metal. In six locations, the concentrations of volatile organic compounds were exceeded the standard value of 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and two locations for formaldehyde were exceeded the standard value of 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The most commonly detected agents in the air dust were chlorpyrifos and diazinon. The concentrations of DEHP, DINP, and DBP were detected and exceeded in several academies, The risk assessment results showed that HCHO as carcinogen had a safety level of 10⁻⁷ to 10⁻⁶, and DEHP and DINP as non-carcinogens had a safety level as assessed to be under than 0.1.

Conclusions: Through the investigation of long-term environmental and health effects related laws on academies, indoor air quality management might be needed because there were cases of exceeding standard.

Keywords: Children's activity zones, Academy, Environmentally hazardous substance, Risk assessment, Indoor air

†Corresponding author: National Institute of Environment Research, Incheon 22689, Korea, Tel: +82-32-560-7126, Fax: +82-32-568-2035, E-mail: whoispch@korea.kr

Received: 17 June 2018, Revised: 18 June 2018, Accepted: 20 June 2018

I. 서 론

최근 건축물의 고기밀화에 따른 환기 부족, 건축 자재의 화학물질 사용증가 등으로 인한 실내공기 오염문제가 증대되고 있다¹⁾. 특히, 전 연령계층이 이용하고 다양한 영업형태를 보이는 다중이용시설의 경우²⁾ 실내공기질 관리가 매우 중요한 실정이다. 그 중 학원, 어린이집 및 유치원 등 어린이활동공간에서 환경유해인자 노출로 인한 건강 피해를 예방하기 위해 환경보건법 제23조 환경안전관리기준에 따라 관리하고 있으나 어린이활동공간에 대한 보다 다양한 환경안전관리가 시행되고 있지 않아 관리기준 및 법의 보완이 필요하다. 또한 실내공기오염물질에 취약계층인 청소년이 많은 시간을 거주하고 있는³⁾ 학원의 경우 환경보건법 및 타 법에서도 환경안전관리가 이루어지지 않고 있어 중금속(heavy metal) 등 환경안전관리기준 항목, 다중이용시설 관리 대상항목, 최근 국내외에서 부각되고 있는 연소부산물에 대한 전방위 조사가 필요하다. 그러나 실내공기질관리법상 1000 m² 이하 공간만 조사하도록 되어 있고, 실제 어린이(초등학생 등)의 이용 빈도가 높은 소규모 학원의 경우 범미규제 시설로서 관리되지 못하고 있는 실정이다⁴⁾.

휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)과 알데하이드류(aldehydes)의 경우 미적용 다중이용시설을 대상으로 진행된 건강위해성 평가가 선행되었고 폼알데하이드(Formaldehyde, HCHO) 및 벤젠(benzene)의 발암성물질에 대한 관리와 비발암물질 중 톨루엔(toluene)과 자일렌(xylene)의 관리가 필요하다고 조사되었다⁵⁾. VOCs의 경우 실외의 산업활동 및 실내 건축자재 및 내장재 등에서 발생하며 공간 주변거주지역의 경우 휘발성유기물질의 배출로 인해 추가적인 노출이 될 수 있다고 보고되었다²⁾⁶⁾. 유기인계 살충제(pesticide)의 경우 미취학 아동에게 주로 음식을 통해 노출되었으며 인체에 노출이 과다하게 되거나 체내에 축적이 지속되게 되면 호르몬의 변형 및 파괴를 일으키는 것으로 조사되었다⁷⁻⁹⁾. 중금속은 신장, 간, 뼈 등에 축적되는 특성을 지니고 있어 인체에 큰 영향을 미치고 있어¹⁰⁾, 국내의 경우 환경보건법 제 23조에 의해 어린이활동공간의 경우 시설의 도료나 마감재료 중 목재, 모래 등 토양, 합성고무 재질 바닥재의 성분을 분석하여

주요 중금속(납(Pb), 카드뮴(Cd), 비소(As), 수은(Hg), 6가크롬(Cr⁶⁺))의 함량을 제한하고 있다. 프탈레이트류(phthalates)의 경우 가소제로 사용되는 화합물로 인체에 발육과 생식에 영향을 주는 것으로 나타났다. 구체적으로 면연역이 약할수록(아토피, 천식, 알레르기) 혹은 사춘기 발달시기 시 phthalate에 노출되었을 경우 발달은 저해하거나 알레르기를 악화시키는 결과를 초래했다고 조사되었다¹¹⁾. 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5})의 경우 Metal을 포함한 유해물질을 포함하고 있으며 호흡기를 통한 흡입으로 체내에 침착되고¹²⁾. 특히 초미세먼지(PM_{2.5})는 미세먼지(PM₁₀) 보다 입자 크기차이로 인해 초과사망발생위험 가능성이 더 높은 것으로 보고되고 있다¹³⁻¹⁴⁾.

따라서, 본 연구는 실내공기질관리법과 환경보건법상 어린이활동공간 대상시설이 아닌 학원 시설의 현행 환경안전관리기준 및 신규 환경유해인자의 노출 실태를 파악하여 어린이활동공간의 환경 안전 관리 방안의 기초자료 제공에 그 목적이 있다.

II. 실험방법

1. 연구대상 및 기간

측정 시기는 2017년 6월~8월까지였고, 수도권지역의 총 20개 학원을 평가 대상으로 선정하였다. 측정 대상은 20개 학원을 ‘16년 어린이 시공간 활동양상(국립환경과학원, 2016) 중 학원 종류별 이용률이 높게 분석된 보습학원(영어학원, 수학학원, 독서토론학원(8개소)), 체육학원(태권도학원(5개소)), 음악학원(4개소), 미술학원(3개소)과 같이 4종류로 구분하여 섭외 후 수행하였다(Table 1).

2. 측정 방법

2.1. 측정 물질 선정

환경안전관리기준 항목인 중금속(Pb, Cd, Hg, Cr),

Table 1. The number of subjects by academy type in Seoul metropolitan region (Seoul, Gyeonggi-do)

Categorize	Seoul	Gyeonggi-do
Supplementary educational institute	4	4
Physical educational institute	3	2
Art educational institute	3	0
Music educational institute	3	1
Total	13	7

VOCs, HCHO와 국외에서 어린이 민감물질로 규정되고 국내에서는 신규 환경유해인자로 고려되는 Pesticides (클로로피리포스(chlorpyrifos), 다이아지논(diazinon), 디클로르보스(dichlorvos), 사이퍼메트린(cypermethrin)), Phthalates (DEHP, DBP, BBP, DNOP, DINP, DIDP)로 총 5개 항목을 대상으로 환경 실태조사를 수행하였다.

2.2. 측정 물질 분석

규정된 시험방법이 있는 중금속은 기본검사(환경유해인자 공정시험기준)로, VOCs, HCHO는 실내공기질 공정시험기준(오염물질방출)에 준하여 수행하였고, 규정된 시험방법이 없는 Pesticides, Phthalates는 각각 US EPA에서 권장하는 OSHA(2016) 표준공정 62, PV 2063, 국내 논문지인 냄새 및 실내환경확화지의 “아동시설에서의 프탈레이트 노출에 대한 건강 위험 평가”의 측·분석 방법에 준하여 수행하였다.

2.3. 위해성평가

기존 연구에서 어린이에 대한 정의를 조사하고, 어린이의 노출 특성을 포괄적으로 설명할 수 있는 연령대를 선별하여 만 7~13세 어린이를 직접 노출 측정 대상으로 선정하였다. 대상 물질은 Pesticides 2

종, Phthalates 3종, HCHO에 대한 위험성분류를 통해 용량-반응자료를 검토하였다.

발암성 및 비발암독성 물질의 정량적 독성 정보는 가능한 어린 시기 노출에 의한 독성 연구 자료를 일차적으로 선정하나, 부재 시에는 성인 자료를 활용하였다. 대상물질 중 자료 고찰에 의해 인체 발암성 가능 물질은 발암성 물질로, 영아 및 유아시기에 성장 독성 등 민감한 비발암 독성 영향이 유발될 수 있는 것으로 평가되는 물질의 경우 비발암 어린이 민감 영향 물질로 분류하여 평가하였다.

대상물질의 건강위해성 평가를 위한 용량-반응 자료는 US EPA의 IRIS (Integrated Risk Information System) 및 WHO (World Health Organization)에서 공식적으로 제시하고 있는 독성 자료들을 수집하여 결정하였다.

연구의 평가 대상 물질에 대한 노출경로는 흡입과 섭취 노출을 통한 노출 두 가지로 구분하여 수행하였다. HCHO는 학원의 오염된 실내공기로부터 호흡기를 통해 흡입될 수 있고 dichlorvos 등을 비롯한 pesticides는 실내공기, 바닥(먼지) 등과의 호흡 및 섭취 경로를 통해 노출될 수 있다. 따라서 총 노출은 HCHO를 제외하고 호흡 및 섭취 노출을 고려하여 산정하였고, 호흡과 노출에 대한 노출량 산정수식을 표에 나타내었다(Table 2 and 3).

Table 2. Inhalation exposure calculation formula for HCHO

Categorize	Formular
exposure calculation formula	$E_{inh,ame} = C_{ame} * T_e * IR_{inh} * CF_T$ inhalation exposure dose =: Concentration of indoor air * Exposure time for exposure scenario * Inhalation rate for exposure scenario
Detailed formulas	$LADD = ((C_{indoor} * 0.001) * BR_m * (ET_{indoor} / 24) * EF_{fac} * ED_{fac}) / (BW * AT)$
Contact Media	Indoor air

$E_{inh,ame}$: inhalation exposure dose (mg/kg/day), C_{ame} : Concentration of indoor air (mg/m³)
 T_e : Exposure time for exposure scenario (hr/day), IR_{inh} : Inhalation rate for exposure scenario (m³/hr)

Table 3. Oral uptake exposure calculation formula for DEHP, DINP

Categorize	Formular
exposure calculation formula	$E_{ingest,soil,k,e} = C_{dust,k} * IR_{dust} * T_{dust,k,e}$ Ingestion exposure dose = Concentration of indoor dust * Dust oral uptake rate * Exposure time for exposure scenario
Detailed formulas	$LADD = ((C_{dust} * 0.001) * IR * (ET_j / 24) * EF_{fac} * ED_{fac}) / (BW * AT)$
Contact Media	Floor dust

$E_{ingest,soil,k,e}$: Ingestion exposure dose (mg/kg/day), $C_{dust,k}$: Concentration of indoor dust (mg/m³),
 $T_{dust,k,e}$: Exposure time for exposure scenario (hr/day)

만 7~12세군 대상으로 시설별, 물질별, 경로별로 인체 위해도를 산정하였다. 대상 물질 중 인체 발암 물질(HCHO, dichlorvos 등)은 반응-용량자료를 통해 평생평균인체노출량(Lifetime Average Daily Dose, LADD)과 발암잠재력(Cancer Potency Factor, CPF)을 이용하여 평생초과발암위해도(Excess Cancer Risk, ECR)를 산출하였다. 평생평균인체노출량을 산출하기 위해서, 비발암 물질(phthalates 등)은 위험성 평가에서 어린 시기 노출 시 민감한 독성 영향이 유발될 수 있는 것으로 분류된 물질을 최종 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 측정 물질 분석 결과

1.1. 중금속

학원 20곳의 중금속의 환경안전진단(*어린이활동공간 환경안전관리기준 항목) 조사를 수행한 결과, 20개소 중 12개소에서 Pb (506~101, 500 mg/kg)이

검출 초과되었고, Cd 2개소(506, 595 mg/kg), Cr 2개소(4,645, 2,995 mg/kg)에서 검출되었다.

학원 유형별로 살펴보면 중금속 측정결과 미술학원, 보습학원, 체육학원, 음악학원 순으로 검출 농도가 높았다(Table 4). 2016년 환경부 보도 자료에 따르면, 2016년 어린이활동공간 환경안전관리 기준 점검 결과 전국 18,217곳의 어린이활동공간 중 2,431곳의 시설에서 기준 위반사항이 나타났다고 조사되었다. 그 중 2,414 (99%)곳이 도료나 마감재의 중금속 기준을 초과한 사례로 나타났고(환경부 보도자료, 2016), 본 연구에서도 중금속 초과 사례 중 벽은 35%, 문은 29%로 벽과 문의 도료나 페인트에서 중금속 노출빈도가 높게 검출되었다. 김호현 등(2012)의 소규모학원 선행조사결과에 따르면 실내공기중 중금속의 농도는 실내공기의 경우 크롬의 농도 (0.039 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 가장 높게 검출되었다고 보고하였고, 본 연구에서의 마감재 등 조사결과에서는 납이 검출율이 높았고, 크롬은 2개소에서 검출된 바 있다. 이는 학

Table 4. The concentration of heavy metal by academy type

Academy type	Heavy metal				
	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Mercury (mg/kg)	Hexavalent chrome (mg/kg)	
Supplementary educational institute	N	8	6	-	8
	mean	984	71.5	-	118
	S.D	1,310	41.3	-	48.8
	min	77	13	-	128
	max	3,980	128	-	3978
Music educational institute	N	4	4	-	4
	mean	423	94.8	-	152
	S.D	174	26.6	-	-
	min	186	66	-	252
	max	590	128	-	825
Art educational institute	N	3	-	-	3
	mean	40,500	-	-	3,820
	S.D	53,700	-	-	1,170
	min	215	-	-	215
	max	102,000	-	-	106,145
Physical educational institute	N	5	5	-	5
	mean	744	278	-	316
	S.D	243	256	-	149
	min	516	42	-	835
	max	1,100	595	-	2131

원 내 제품의 특성, 설치시기 등에 따라 상이할 수 있는 것으로 판단된다.¹⁵⁾

1.2. VOCs

VOCs의 경우 20개소 중 어린이활동공간 환경안전진단 기준인 400 µg/m³ 이상 초과한 개소는 6개소로 나타났다. 초과사례가 있었던 6개소의 특성을 살펴보면, 체육학원 2곳, 미술학원 1곳, 보습학원 2곳 및 음악학원 1곳이었다. 2016년 개업한 1곳을 제외하고는 모두 최근 2년 이후에 지어진 건물로서 신축시설로 인한 영향은 없었으며, 설문조사와 농도 결과 사이에서는 택시 승강장이 100 m 이내 일 때 농도 값이 유의하게 나타났다.

학원 유형별로 살펴보면 VOCs은 보습학원, 음악학원, 미술학원, 체육학원 순으로 나타났다(Table 5). 학원 내 다소 협소한 교육공간의 특성을 가지는 보습학원과 음악학원에서 높은 경향성을 보이며, 학습권 보장을 위해 환기 등이 적절하게 이루어지지 않는 특성으로 파악되었다. 김호현 등(2011)의 소규모

학원 선행조사결과에 따르면 학원 VOCs 물질 중 톨루엔의 평균검출량이 가장 높았고, 평균 39.02 µg/m³ (최대 116.91)이었으며, 학원종류별 중 미술학원이 높은 경향성을 보였고, 출입문 및 책상 페인트 내부 작업, 협소한 공간 내 각종 미술재료 및 기계식 환기장치 부족으로 인한 문제점 등을 지적하였다.¹⁶⁾

1.3. HCHO

HCHO의 경우 어린이활동공간 환경안전진단 기준인 100 µg/m³ 이상 초과한 개소는 2개소로 나타났으며, 20개소에 대한 평균 농도는 59.8 µg/m³로 나타났다. 초과사례가 있었던 2개소의 특성을 살펴보면, 보습학원 1곳, 음악학원 1곳 이었다(Table 6). 2016년 개업한 1곳을 제외하고는 신축시설로 인한 영향은 없었으며, 최근 목질상판재질에 대한 HCHO 규제를 통해 초과사례가 줄어든 것으로 판단된다.

보건복지부(2009)“학원 등의 실내공기질 실태와 건강영향조사”과제의 결과보고서를 살펴보면 서울과 충남에 위치한 학원시설을 대상으로 현행 관리기준

Table 5. The concentration of VOCs by academy type

Academy type	VOCs (µg/m ³)	
Supplementary educational institute	N	8
	mean	3,130
	S.D	8,040
	min	160
	max	23,013
Music educational institute	N	4
	mean	542
	S.D	595
	min	202
	max	14,30
Art educational institute	N	3
	mean	423
	S.D	536
	min	56
	max	1,040
Physical educational institute	N	5
	mean	250
	S.D	203
	min	59
	max	486

Table 6. The concentration of HCHO by academy type

Academy type	HCHO (µg/m ³)	
Supplementary educational institute	N	8
	mean	95.0
	S.D	67.2
	min	10.9
	max	243
Music educational institute	N	4
	mean	48.1
	S.D	39.2
	min	16.8
	max	100.7
Art educational institute	N	3
	mean	38.0
	S.D	9.45
	min	28.5
	max	47.4
Physical educational institute	N	5
	mean	26
	S.D	12.1
	min	6.6
	max	39.2

인 연면적 2,000 m² 이상 10곳과 관리대상에서 제외되고 있는 2,000 m² 미만 10곳을 선정하였고 공중위생관리법상 측정항목 4종인 PM₁₀, 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), HCHO와 VOCs, 총부유세균 2개 항목을 추가로 측정하였다. 결과를 살펴보면, HCHO는 20개의 학원 중에서 2곳에서 관리기준을 초과하였다. 본 연구대상인 어린이가 주로 이용하는 학원의 형태는 아니나, 유사한 초과율을 보이는 것으로 사료된다. 김호현 등(2012)의 소규모학원 선행조사 결과에 따르면 학원의 HCHO가 120 µg/m³ 기준 적용시 24.6%초과하였고, 실내외농도비(I/O ratio)가 1.3~22.8의 범위로 HCHO의 실내오염원이 학원 내 존재하는 것으로 보고한바 있다.¹⁷⁾

1.4. Pesticides

Pesticides의 경우 실내환경 내 신규유해인자 특히 살충물질(chlorpyrifos, diazinon, dichlorvos를 포함하는 유기인계 물질과 cypermethrin을 포함하는 피레

트로이드계 물질)에 대한 검출조사를 1차, 2차로 나누어 시행한 결과 유기인계 물질 중 chlorpyrifos와 diazinon은 공기와 먼지 두 형태 모두에서 검출된 반면 dichlorvos와 cypermethrin은 공기와 먼지 두 형태 모두에서 검출되지 않았다.

Chlorpyrifos는 공기와 먼지에서 전체 검출률 80%와 70%의 높은 수준을 보여준 반면 diazinon은 공기와 먼지에서 20% 이하의 검출률을 보여주었다. 특히 diazinon은 1차 측정에서 전혀 검출되지 않고 2차 측정에서만 검출되었으나 chlorpyrifos는 1차, 2차 측정에서 대상시설 모두에서 검출되었다. Dichlorvos와 cypermethrin이 검출되지 않은 것에 대해서는 단순히 생활공간 내 오염원으로 작용을 하지 않았던 것인지 또는 물질특성에 의해 실내환경에서 빠르게 분해 또는 잔존하지 않았던 것인지에 대해서는 추가적인 조사가 필요한 것으로 판단된다.

미국 ACGIH (Association Advancing Occupational and Environmental Health)은 성인의 작업공간에 대

Table 7. The concentration of Organophosphorous pesticide by academy type

Academy type	Organophosphorous				
	Chlorpyrifos		Diazinon		
	Air	Dust	Air	Dust	
Supplementary educational institute	N	5	6	1	2
	mean	113.0	76.7	51.3	54.2
	S.D	43.7	25.6	-	10.0
	min	42.26	53.7	51.3	47.4
	max	151.9	116.8	51.3	61.3
Music educational institute	N	4	2	1	1
	mean	49.5	69.7	60.5	51.3
	S.D	24.3	41.9	-	-
	min	26.3	40.1	60.5	51.3
	max	82.4	99.3	60.5	51.3
Art educational institute	N	2	2	-	-
	mean	37.5	35.7	-	-
	S.D	4.7	17.1	-	-
	min	34.15	23.64	-	-
	max	40.83	47.76	-	-
Physical educational institute	N	5	4	2	-
	mean	101.7	48.7	59.2	-
	S.D	55.5	48.3	4.7	-
	min	22.7	12.7	55.9	-
	max	156.7	118.0	62.6	-

한 기준을 설정하면서 공간 내 살충물질의 노출 허용기준(Permissible Exposure Limit, PEL)과 최고노출허용기준(Threshold Limit Value, TLV)을 설정하였다¹⁸⁾. 설정기준에 의하면 PEL과 TLV는 각각 1.0 mg/m³ 그리고 0.1 mg/m³이고, 대상 학원 모두 대상 물질에 대한 노출허용기준 이하의 농도를 보였다. 하지만 최고노출허용기준을 적용할 때 공기는 6개소, 먼지는 2개소에서 허용농도 이상의 물질함량이 검출되었다. 또한 상기 기준은 성인을 기준으로 설정하였기 때문에 어린이에 대해서는 이보다 엄격한 기준의 설정이 필요할 것으로 판단된다.

Table 7에서는 Pesticides를 학원 유형별 결과를 나타내었고, 살펴보면 주로 chlorpyrifos (공기) 농도가 높게 나타났으며 보습학원, 체육학원, 음악학원, 미술학원 순으로 나타났다. Chlorpyrifos는 공기에서의 노출이 Diazinon은 먼지에서의 노출이 높게 나타났다. VOCs 및 HCHO와 유사하게 학원 내 다소 협소한 교육공간의 특성을 가지는 보습학원이 높은 경향성을 보였다.

1.5. Phthalates

Phthalates의 경우 선행 환경부 ‘2010 환경부 어린이활동공간 위해성평가사업-학교, 학원 및 주거, 교통, 공공시설 중심’ 학원 실태조사 결과보다는 다소 높은 경향성을 보였다. 또한 본 연구에서는 주로 DEHP가 검출되었다. DEHP의 경우 일반적으로 PVC (polyvinyl chloride)제품에 가소제로 쓰이는 대표적인 물질이다. Mannsville Chemical Products Corporation (1999)에 따르면, PVC제품의 가소제로써 95% 이상 DEHP를 사용하며, 일반적인 제품으로 비닐벽지(vinyl-wall covering), 테이블보(tablecloths), 마루타일(floor-tiles), 가구 장식품(furniture upholstery) 등에 포함되는데 학원 내 이러한 제품에 기인하여 다소 높은 경향성을 보인 것으로 판단된다. 선행 학원조사 결과를 살펴보면, ‘2010 환경부 어린이활동공간 위해성평가사업-학교, 학원 및 주거, 교통, 공공시설 중심’ 보고서 내용에서 학원시설의 건축 년수에 따른 Phthalates 농도 분석 중 신축 건물의 DEHP 농도는 249.33 µg/g(dust), 11년 이상 시설 BBZP (butyl benzyl phthalate) 농도는 217.11 µg/g(dust)로 각각 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<0.05). 본 대상시설 학원에서도 2016년 개업한 체육학원 1곳을

Table 8. The concentration of Phthalates by academy type

Academy type	Phthalates (mg/kg)	
		DEHP
Supplementary educational institute	N	8
	mean	4706.4
	S.D	2966.9
	min	561.2
	max	9848.7
Music educational institute	N	4
	mean	3033.4
	S.D	5478.7
	min	201.5
	max	11250.7
Art educational institute	N	3
	mean	1172.7
	S.D	1668.6
	min	112.8
	max	3096.1
Physical educational institute	N	5
	mean	1617.7
	S.D	2294.4
	min	202.8
	max	5564.6

제외하고는 2010년 이전에 개업한 시설들이 대부분 이므로 개업시기 후 제품사용으로 인한 노후화 등으로 인한 영향으로 판단된다.

Phthalates의 경우 대표적이고 검출률이 가장 높은 DEHP에 대해 학원 유형별 분석을 하였으며, 보습학원, 음악학원, 체육학원, 미술학원 순으로 농도가 높게 나타났다(Table 8). 소규모학원 선행조사결과에서도 본 연구와 동일하게 DEHP의 검출율이 높은 것으로 보고하였다(김호현 등 2012).¹⁹⁾

2. 위해성평가 결과

총 위해성평가 대상 물질 중 위해성평가 결과는 발암물질 HCHO, 비발암물질 Phthalates 중 검출률이 50%이상인 DEHP, DINP류만 평가하였다. PBDEs의 경우 20개 학원 내 노출평가 결과 불검출되었고, Pesticides 중 DDVP의 경우 불검출, Pesticides 중 dichlorvos와 cypermethrin의 경우 불검출로, chlorpyrifos와 diazinon의 경우 독성자료의 부재로

Table 9. The risk of carcinogenesis of formaldehyde by academy type

HCHO	Risk level	Indoor air	
		LADD	Mean
Art educational institute	50%th	1.89E-05	8.61E-07
	95%th	3.52E-05	1.60E-06
Supplementary educational institute	50%th	3.76E-05	1.70E-06
	95%th	7.34E-05	3.33E-06
Music educational institute	50%th	4.17E-05	1.89E-06
	95%th	6.13E-05	2.78E-06
Physical educational institute	50%th	4.82E-05	2.19E-06
	95%th	1.55E-04	7.07E-06

Table 10. The risk of carcinogenesis of DEHP by academy type

DEHP	range	Dust	Mean
		LADD	
Art educational institute	50%th	1.89E-05	0.0006
	95%th	3.52E-05	0.0009
Supplementary educational institute	50%th	3.76E-05	0.0024
	95%th	7.34E-05	0.0077
Music educational institute	50%th	4.17E-05	0.0097
	95%th	6.13E-05	0.0168
Physical educational institute	50%th	4.82E-05	0.0174
	95%th	1.55E-04	0.0270

Table 11. The risk of carcinogenesis of DINP by academy type

DINP	range	Dust	Mean
		LADD	
Art educational institute	50%th	-	0.0000
	95%th	-	0.0000
Supplementary educational institute	50%th	9.03E-04	0.0188
	95%th	2.75E-03	0.0574
Music educational institute	50%th	1.63E-03	0.0341
	95%th	4.08E-03	0.0850
Physical educational institute	50%th	2.51E-04	0.0052
	95%th	4.53E-04	0.0094

평가하지 못했다.

발암성 물질의 대상 학원 시설분류별 결과는 Table 9과 같다. 연령군별(저학년, 고학년) 결과는 특별한 해석상 의미를 가지지 않으므로 구분 없이 결과를 제시하였다.

총 초과발암위해도 50th percentile 값은 10^{-7} ~ 10^{-6} 로 위해수준이 산출되었으며, 총 초과발암위해도 95th percentile 값은 10^{-6} 로 위해수준이 산출되었다.

학원 종류별 위해도 수준의 경우 미술학원의 경우 10^{-7} ~ 10^{-6} 로 위해수준, 보습학원, 음악학원 및 체육학원의 경우 10^{-6} 로 위해수준의 안전역으로 평가되었다.

비발암성 물질의 대상 학원 시설분류별 결과는 다음과 같다. 연령군별(저학년, 고학년) 결과는 특별한 해석상 의미를 가지지 않으므로 구분 없이 결과를 제시하였다(Table 10 and 11).

총 초과발암위해도 50th percentile 값은 0.1 이하로 위해수준이 산출되었으며, 총 초과발암위해도 95th percentile 값도 0.1 이하의 위해수준으로 산출되었다.

학원 종류별 위해도 수준의 경우 미술학원, 보습학원 및 음악학원의 경우 0.01 이하의 위해수준, 체육학원의 경우 0.1 이하로 성인의 기준은 1의 10배 이하 수준인 0.1로 산출되어 안전역 수준 이하로 평가되었다.

IV. 결 론

본 연구에서 수도권 20개의 학원을 대상으로 한 환경유해인자 노출 실태 조사 결과 중금속의 경우 납(Pb)의 노출농도가 높게 나타났으며 전체적으로 미술학원에서 많은 양의 중금속이 검출되었다. VOCs의 경우 평균 농도가 $1484.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (55.8~23013)로 기준치 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였고, 학원 20개소 중 보습학원 2곳, 체육학원 2곳, 음악 및 미술학원이 각 1곳 총 6곳에서 초과한 것으로 나타났다. HCHO는 평균 $59.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.6~243.0)로 20곳 중 3곳이 기준치($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과하였고, 학원 유형별로 보습학원 2곳, 음악학원이 1곳 초과사례가 나타났다. Pesticides는 chlorpyrifos와 diazinon만이 검출되었으며, chlorpyrifos는 높은 검출률을 보였다. 또한 두 물질의 평균농도는 공간 내 살충물질의 노출 허용기준인 $1.0 \text{mg}/\text{m}^3$ 을 넘지 않았으나, chlorpyrifos의 경우 공기와 먼지에서 최고노출허용기준인 $0.1 \text{mg}/\text{m}^3$ 을 넘는 곳 각각 6곳과 2곳으로 나타났으며, 각각의 평균 최고농도의 경우 $0.157 \text{mg}/\text{m}^3$ 및 $0.118 \text{mg}/\text{m}^3$ 로 나타났다. Phthalates의 경우 DEHP가 주로 검출되었으며, DEHP는 모든 학원에서 112.8~11,250 mg/kg 범위로 검출되었고, 14개소에서는 DINP가 524.4

~35,439 mg/kg 범위로 검출되었으며, 또한 5개소에서 DBP가 검출되었다.

본 연구 대상물질에 대한 위해성평가 결과 발암물질인 HCHO의 경우 총 초과발암위해도 50th percentile과 95th percentile에서 모두 10^{-6} 을 넘지 않는 위해수준으로 산출되어 안전역으로 평가되었고, 비발암물질인 Phthalates 중 DEHP와 DINP의 경우 총 초과발암위해도 50th percentile과 95th percentile에서 0.1 이하의 위해수준으로 산출되었다.

사 사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIER-SP2017-118).

References

1. Kang SA, Shin SS, Kim YS. An Investigation and Analysis into the Architectural Conditions and Indoor Air Quality of Senior Citizens Public Welfare Institution in Incheon. *J. Korea Inst. Ecol. Archit. And Environ.* 2009; 9(2): 59-64.
2. Kim HH, Yang JY, Park CS, Shin DC, Sohn JR, Lim YW. Health Risk Assessment of VOCs in The Public Facilities under Uncontrolled Korean-IAQ Regulation. *Indoor Environment and Technology.* 2007; 4(1): 42-52.
3. Jung SK, Kim NS, Lee DJ, Hwangbo Y, Son BS, Lee BK. The Association of Subjective Symptoms of Students and Indoor Air Quality in Private Academic Facilities. *J. Env. Hlth. Sci.* 2009; 35(6): 468-477.
4. Ministry of Environment Korea, Indoor air quality control in public-use facilities, etc. act, Article 2, 2016.
5. Yang JY, Kim HH, Shin DC, Kim YS, Sohn JR, Lim JH, et al. Health Risk Assessment of Occupants in the Small-Scale Public Facilities for Aldehydes and VOCs. *Journal of Environmental Science International.* 2008; 17(1): 45-56.
6. Chan C.Y, Chan LY, Wang XM, Liu YM, Lee SC, Zou SC, et al. Volatile organic compounds in roadside microenvironments of metropolitan Hong Kong. *Atom. Environ.* 2002; 36: 2039-2047.
7. Bae SG, Kim BG, Cho SY, Lee YM, Lee DH, Yang WH, et al. Serum Concentration and Exposure History of Dioxins and Organochlorine Pesticides among Residents around the Camp Carroll Area. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene.* 2016; 26(3): 277-285.
8. Fenske RA, Kedan G, Lu C, Fisker-Andersen JA, Curl CL. Assessment of organophosphorous pesticide exposures in the diets of preschool children in Washington State. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2002; 12(1): 21-28.
9. Hosie S, Loff S, Witt K, Niessen K, Waag KL. Is there a correlation between organochlorine compounds and undescended testes? *Eur J Pediatr Surg.* 2000; 10(5): 304-309
10. Cooke JA, Andrews SM, Johnson MS. Lead, zinc, cadmium and fluoride in small mammals from contaminated grassland established on flourspar tailings. *Water Air Soil Poll.* 1990; 50(1-2): 43-54.
11. Sathyanarayana S, Karr CJ, Lozano P, Brown E, Calafat AM, Liu F, et al. Baby care products: possible sources of infant phthalate exposure. *Pediatrics.* 2008; 121(2): e260-e268.
12. Choi JH, Kim JS, Kim YC, Kim YS, Chung NH, Cho MH. Comparative study of PM2.5 - and PM10 - induced oxidative stress in rat lung epithelial cells. *J Vet Sci.* 2004; 5(1): 11-18.
13. Elliott CT, Copes R. Burden of mortality due to ambient fine particulate air pollution (PM2.5) in interior and Northern BC. *Can J Public Health.* 2011; 102(5): 390-393.
14. Bae HJ. Effects of Short-term Exposure to PM10 and PM2.5 on Mortality in Seoul. *J Environ Health Sci.* 2014; 40(5): 346-354.
15. Kim HH, Lim YW, Lee CS, Park JH, Hong SH, Lee GW, et al. Health risk assessment of trace elements exposure through multi-pathways in children's facilities : focused on elementary-schools and academies. *Journal of Korean Society for Indoor Environment.* 2012; 9(3): 213-228.
16. Kim HH, Lim YW, Lee CS, Kim TH, Park JH, Jeon MJ, et al. Health risk assessment of VOCs in the activities space of children : Focused on elementary-schools and academies. *Journal of Korean Society for Indoor Environment.* 2011; 8(4): 263-274.
17. Kim HH, Yang JY, Lee CS, Park JH, Shin DC, Lim YW. Health risk assessment for aldehydes exposure associated with elementary-schools and academies. *Journal of Korean Society for Indoor Environment.* 2012; 9(1): 19-31.
18. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological

- Exposure Indices. ACGIH, Cincinnati, OH 2014, p. 5.
19. Kim HH, Yang JY, Lee YJ, Lee CS, Lee GW, Park JH, et al. Health risk assessment of phthalate exposure in children's facilities: focused on elementary-schools and institutes. *Journal of Korean Society for Indoor Environment*. 2012; 9(4): 367-381.