

보육시설의 실내공기질 유지관리 실태

Indoor Air Quality in daycare facilities



박 준 석 / 한양대 공과대학 건축공학부 교수
Park, Jun-Seok / Professor, Hanyang University
junpark@hanyang.ac.kr

1. 서론

우리나라에는 약 30,000개소 이상의 국공립 및 민간 보육시설이 있으나, 대부분의 보육시설이 연면적 430m² 또는 100인 이하의 소규모 시설로, 환경부에서 규정하고 있는 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”이 적용되고 있는 시설은 전체의 약 2%에도 못 미치는 실정이다. 유아와 어린이의 경우, 성인보다 실내공기 오염물질에 보다 민감할 수 있으며 일부 실내공기오염물질의 아토피나 천식의 원인이 될 수 있다. 또한 가정 내 영유아의 양육이 점차 보육시설로 옮겨가고 있음에 따라 보육시설의 쾌적하고 건강한 환경을 유지하는 것은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 본 투고에서는 2008년 환경부의 용역으로 실시된 “보육시설의 실내공기질 진단 및 개선 시범사업”의 결과를 바탕으로 우리나라 보육시설의 실내공기 오염 실태와 함께 개선방안에 대하여 소개하고자 한다.

2. 실내공기질 유지관리 기준

보육시설은 영유아보육법에 의거하여 보호자의 위탁을 받아 영유아를 보호·교육하는 시설이며 0~6세의 미취학 아동을 원칙으로 하고 있다. 보육시설의 종류는 설립주체에 따라 구분되어 지며 설립주체가 국가 또는 지방단체인 국공립시설과 법인, 단체 또는 개인이 설립주체인 민간보육시설이 있다. 설립주체가 개인인 경우 보육규모 5~20인으로 가정보육시설 및 부모협동보육시설로 구분된다. 운영 특성에 따라 방과 후, 영아 전담, 장애 전담, 야간·24시간 보육시설 등이 있다. 보육시설의 설치기준은 영유아보육법

제15조와 영유아보육법 시행규칙 제9조에서 제시되고 있으며, 보육시설은 보육수요, 보건, 위생, 급수, 안전, 교통 및 환경 등을 충분히 고려하여 쾌적한 환경의 부지를 선정해야 하며 위험시설로부터 50m 이상 떨어진 곳에 위치해야 하여야 한다. 영유아보육법 시행령에 아동 관련 시설로 분류되며 단독주택, 공동주택에 설치할 수 있다.

환경부에서 시행하고 있는 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”에 따르면 실내공기질 관리 시설은 국공립의 경우 430m² 이상, 민간보육시설의 경우 860m²을 대상으로 하고 있다. 으며, 실내공기 오염물질에 대한 유지 또는 권고 기준은 표 2와 같다. 관리대상 실내공기 오염물질은 10가지 항목으로, 오염물질에 따라 유지기준과 권고기준으로 나누어 제시하고 있으며, 다중이용시설의 소유자 등은 실내공기질 관리에 관한 교육을 환경부장관이 위탁하는 교육기관에서 받도록 의무화하고 있다.

표 1. 실내공기질 관련 보육시설 설치기준

공간명	설치 기준
보육실	<ul style="list-style-type: none"> • 보육실은 건축법령상의 층수와 관계없이 사실상의 1층(당해 층 4면의 100분의 80 이상이 지상에 노출되어 있고, 주출입구의 하단이 지표면으로부터 1m 이내인 경우를 말한다)에 설치하여야 한다. 단 여성가족부장관이 인정하는 경우에는 2층과 3층에 보육실을 설치할 수 있다. • 보육시설은 환기, 채광, 조명, 온습도가 적절히 유지관리 되도록 하여야 한다. • 보육실은 바닥난방시설을 갖추어야 한다.
조리실	<ul style="list-style-type: none"> • 조리실은 채광이 잘 되도록 하고 기계환기시설을 하여 청정한 실내환경을 유지하도록 하며, 창문에는 방충망을 설치하여야 한다.
화장실	<ul style="list-style-type: none"> • 화장실은 수세식 유아용 변기를 설치하고, 보육실과 동일한 층의 인접한 공간에 설치하여야 한다.

표 2. 보육시설 실내공기 오염물질 기준

구분	오염물질	
유지기준	일산화탄소, CO, [ppm]	10 이하
	이산화탄소, CO ₂ , [ppm]	1,000 이하
	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	100 이하
	총부유세균 [cfu/m ³]	800 이하
	폼알데하이드 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	120 이하
권고기준	라돈, Rn, [pCi/l]	4.0 이하
	오존, [ppm]	0.06 이하
	VOC, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	400 이하
	석면 [개/cc]	0.01 이하
	일산화질소, NO, [ppm]	0.05 이하

3. 실내공기오염 실태

3.1 실태조사 및 대상 시설 개요

2008년 환경부의 용역으로 실시된 “보육시설의 실내공기질 진단 및 개선 시범사업”에서는 보육시설의 실내공기질과 유지관리 현황을 파악하기 위하여 환경부 및 보건복지부를 통해 100여개 시설의 참여 신청을 받았다. 참여 신청 시설 중 서울, 경기, 인천지역의 보육시설을 대상으로 규모, 운영주체, 지역 등을 고려하여 61개 시설을 대상으로 실내공기오염 실태와 유지관리 현황에 대한 설문조사를 실시하였다. 지역별로는 서울 26개 시설, 경기 22개 시설, 인천 13개 시설이며, 운영주체별로는 민간 37개 시설, 국공립 23개 시설, 직장 내 부속 1개시설로 구성되었으며, 규모별로는 소규모 21개 시설, 중규모 22개 시설, 대규모 18개 시설이며, 영유아수별로는 100인 미만인 시설 41개, 100인 이상 200인 미만인 시설 13개, 200인 이상인 시설 7개 시설이다. 건물 유형별로는 단독건물 44개 시설과 건물 내 부속시설 17개 시설을 대상으로 하였다. 표 3은 대상 보육시설의 유형별 구분을 정리하여 나타낸다.

표 3. 대상 보육시설의 유형별 구분

유형	구분			합계
지역	서울 : 26	경기 : 22	인천 : 13	61개 시설
운영주체	민간 : 37	국공립 : 23	직장 : 1	
규모*	소 : 21	중 : 22	대 : 18	
영유아 수	100인미만: 41	200인미만:13	200인이상: 7	
완공연도	5년미만 : 14	15년미만 : 28	15년이상 : 19	
건물유형	단독건물 : 44		건물 내 부속 : 17	

* 대: 연면적 800m² 이상, 중: 연면적 400m²~800m²미만, 소: 연면적 400m²미만

3.2 실내공기오염물질 농도

표 4는 조사 대상 61개 시설에서의 실내공기 오염물질의 농도와 기준 초과비율을 정리하여 나타낸다. 보육시설

의 실내 평균 온도는 23℃, 상대습도는 35%로 나타났다. 일산화탄소(CO)의 평균 농도는 0.6 [ppm]으로 나타났으며 기준치(다중이용이산화탄소 분포설 등의 실내공기질 관리법 유지기준)를 초과하는 시설은 없었다. 그러나 이산화탄소(CO₂)의 평균농도는 1328 [ppm]으로 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 기준치를 초과하였으며 조사 대상 시설 중 53 %의 시설이 기준치를 초과하였다.

미세먼지(PM10)의 경우 평균 농도는 134 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]이었으며 대상 시설 중 65%의 시설이 기준치를 초과하였다. 총부유세균의 경우 16 개 시설에서 측정하였으며 평균 농도는 298 [cfu/m³]이었고 기준치를 초과하는 시설은 없는 것으로 조사되었다. 폼알데하이드(HCHO)의 경우 27 개 시설에서 측정하였으며 평균 농도는 42 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]이었고 조사 대상 시설 중 1 시설이 기준치를 초과하였다. 총휘발성유기화합물(TVOC)의 경우 33개 시설에서 측정하였으며 평균 농도는 190 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]이었고, 2개 시설이 기준치를 초과하였다.

표 4. 보육시설에서의 실내공기 오염물질 농도

오염물질	평균±표준편차	기준 초과율
실내온도 [℃]	22.6±3.7	-
실내 상대습도[%]	34.6±6.3	-
일산화탄소, CO, [ppm]	0.6±0.8	0%
이산화탄소, CO ₂ , [ppm]	1315.5±901.6	53%
PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	134.3±63.3	65%
총부유세균 [cfu/m ³]	298.1±154.5	0%
폼알데하이드 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	41.7±23.9	4%
VOC, [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	189.7±137.1	6%

3.3 실내공기질 유지관리 실태

[그림 1]과 [그림 2]는 현장조사 및 설문조사를 이용한 유지관리 실태를 나타낸다. 조사 대상 시설 중 87%의 시설에서 화장실, 조리실, 보육실 등에 기계환기(3종)가 설치되어 있었으며, 79%의 시설의 보육실에서 실내 공기청정기가 설치되어 있었다. 또한 32%의 시설에 곰팡이가 발생하였으며 28%의 시설에서 결로가 발생하였다. 전체 보육 시설 중 44%의 시설이 아동이 하원한 후 1회 청소한다고 응답하였으며 3회 이상 청소 하는 시설이 16%로 가장 적었으며, 43%의 시설이 1년에 정기적으로 13~24회 소독을 하는 것으로 나타났다.

보육시설의 실내공기질에 대하여 62%의 응답자가 만족하는 편이라고 응답하였으며, 18 %의 응답자가 불만족 하는 것으로 나타났다. 실내 환기정도에 대해서는 약 46%의 응답자가 만족하는 편이라고 응답하였으며 약 17%의 시설에서는 실내 환기정도에 불만족 하는 것으로 조사되었

다. 실내공기질 관리에 대하여 얼마나 알고 있는지에 대한 설문조사 결과 약 36%의 응답자가 알고 있다고 응답한 반면 약 29%의 응답자가 “모르는 편이다” 혹은 전혀 “모른다”라고 응답하였고, 실내공기질에 대한 정보를 얻는 수단은 약 58%의 응답자가 TV, 신문 및 잡지, 23%가 강연 및 세미나라고 응답하였다.



그림 1. 보육시설에서의 실내공기질 유지관리 현황

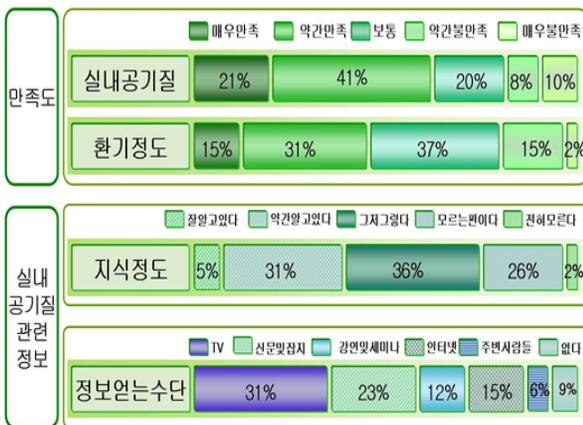


그림 2. 보육시설에서의 실내공기질 만족도

3.3 소결

영유아와 보육시설 종사자의 활동에 의하여 발생하는 이산화탄소와 미세먼지의 경우, 50% 이상 시설의 농도가 기준치(다중이용시설 등의 실내공기질 관리법 유지기준)를 초과하여 환기부족에 따른 실내공기질의 오염이 심각한 것으로 나타났다. 또한 건축자재, 가구, 페인트, 교육용품 등에서 발생하는 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물의 경우 평균 농도는 기준치를 초과하지 않았으나 일부 시설의 농도가 기준치를 초과하는 것으로 조사되어, 표 5에 제시한 것과 같이 보육시설의 실내공기질 개선을 위해서는 각 오염물질의 발생원별로 유지관리 대책이 필요한 것으로 조사되었다.

표 5. 보육시설의 실내공기질 현황

실내환경	오염원	분포	실내기준	적절성*
실내온도 [°C]	-	17~27	-	○
상대습도 [%]	-	24~57	-	○
이산화탄소 [ppm]	영유아 및 보육시설종사자	617~5226	1000	●
부유분진 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	사자	54~374	100	●
일산화탄소 [ppm]	외기 및 유지관리	0.08~4.63	10	○
부유세균 [cfu/ m^3]	유지관리	84~541	800	●
폼알데하이드 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	마감재 가구,	1~108	100	●
TVOC [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	교육용품 등	14~659	400	●

* 적절성 표시 기호 - ○:양호 ●:오염되어 있음 ●:오염이 심각함(평균값이 기준치 초과)

4. 실내공기질 개선 방안 및 효과

4.1 실내공기 오염상태에 따른 개선방안

앞서 조사된 보육시설의 실내공기상태와 원인 분석을 통하여 도출된 오염원인과 방지대책을 표 6에 정리하여 나타낸다. 주요 개선 방안은 환기를 통하여 실내오염물질의 배출과 신선외기의 도입으로 미세먼지와 함께 이산화탄소 농도를 개선할 수 있을 것으로 판단되었으며, 환기설비 설치가 불가능한 경우 제한적이지만 공기청정기의 도입을 검토할 필요가 있는 것으로 나타났다. 또한 지하공간의 경우 결로와 미생물 오염을 방지하기 위하여 환기설비 또는 제습장치와 같이 실내 습기를 제어하기 위한 방안이 필요한 것으로 조사되었다. 또한 신축시설이나 교육자재로부터 발생하는 폼알데하이드와 VOC를 제어하기 위해서는

표 6. 보육시설의 주요 오염물질과 개선방안

주발생원	오염물질	오염상태	방지대책
영유아 및 보육시설 종사자	미세먼지	겨울철: 54-374 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 여름철: 32-145 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	환기, 공기청정기, 필터링, 청소
	이산화탄소	겨울철: 617-5,226 [ppm] 여름철: 640-2,775 [ppm]	환기
건축자재, 페인트, 가구, 교육용품 등	폼알데하이드	겨울철: 10-108 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 여름철: 19- 93 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	오염원제어 환기
	총휘발성 유기화합물	겨울철: 14-659 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] 여름철: 70-784 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	오염원 제어 환기
외부유입, 교육활동, 에어컨, 카펫, 화장실, 조리실	부유 미생물	(총부유세균) 겨울철: 88-541 [cfu/ m^3] 여름철: 550-4,420[cfu/ m^3]	환기, 실내 습도 조절 공기청정기 청소

교육시설의 실내공기질

환기뿐 아니라 오염물질의 방출량이 적은 친환경 자재의 사용이 필요한 것으로 조사되었다.

4.2 개선방안에 따른 실내공기오염물질 저감 효과

표 6에서 제시된 개선방안의 효과를 검토하기 위하여 표 3의 조사대상 시설 중에서 12개 시설을 선정하여, 각각의 개선방안을 도입한 후 실내공기질의 개선효과를 측정하였다. 개선방안 효과 조사에서는 대상 시설을 공통된 오염원 별로 그룹화 하여, 4개 시설(20%)은 친환경 건축자재로 마감재를 변경, 4개 시설(20%)은 환기계획 및 환기설비설치, 8개 시설(40%)은 공기청정기 지원, 나머지 4개 시설은 각각 지하공간 제습, 살균 및 소독 등 총 5개 군으로 개선을 실시하였다.

[그림 3]은 환기계획 변경 또는 환기장치를 설치한 시설에 있어 실내공기 오염물질의 농도 변화를 나타낸다. 이산화탄소와 미세먼지는 각각 약 26%, 14%의 저감효과를 보였으며, 환기설비 도입 후 실내 이산화탄소와 미세먼지

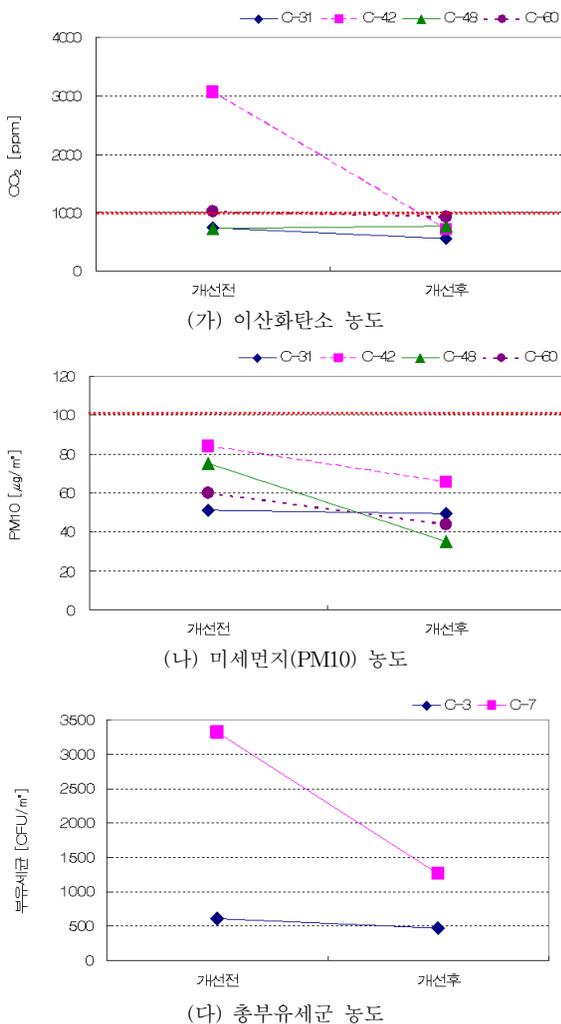


그림 3. 환기설비 도입에 따른 보육시설 실내공기질 개선 효과

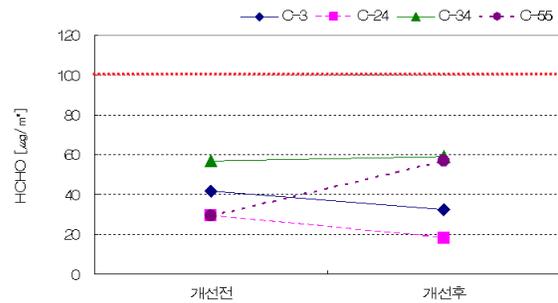


그림 4. 친환경 건축자재 마감에 따른 실내공기질 개선 효과

농도가 유지기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한 지하공간의 미생물오염에 있어서도 환기설비 설치 후 오염농도가 크게 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 아동의 활동량은 많으나 시설 내의 환기량이 부족할 경우 환기계획 변경 및 환기설비를 설치가 보육시설의 실내공기질 개선에 효과적인 것을 알 수 있다.

[그림 4]는 친환경 자재 시공에 따른 실내 폼알데하이드 농도의 개선효과를 나타낸다. 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물의 개선 전, 후의 농도를 비교해 본 결과 전체 시설 4개 시설 중 1개 시설에 개선효과가 높은 것으로 나타났고 1개 시설에서는 개선효과가 없는 것으로 나타났다. 따라서 보육시설에서의 실내공기질 개선을 위해서는 오염원 제어 뿐 아니라 적정 환기계획이 수립되어야 개선효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 소결

보육시설을 대상으로 친환경 마감자재 사용, 환기계획 변경 및 환기설비 설치, 지하공간 습기문제 개선, 공기청정기 설치, 보육실 및 가구, 놀이비품의 살균 소독을 실시한 결과 17개 시설에서 실내공기질 개선 효과가 나타났다. 환기계획 및 환기설비 설치, 지하공간 습기문제 개선에서 가장 높은 효과가 나타났으며, 개선사업 만족도에 대한 설문조사 결과 대부분의 종사자들이 만족한다고 응답하였다. 또한 일부 시설의 종사자들은 실내공기질개선 사업을 통하여 실내공기질 관리의 중요성을 알게 되었다고 응답하였고, 향후 보육시설 종사자가 활용할 수 있는 실내공기질의 기본적 이해와 유지관리를 위하여 보육시설에서의 실내공기질 유지관리 지침서의 개발과 보급이 필요할 것으로 판단된다.

5. 요약

본 투고에서는 2008년 환경부의 용역으로 실시된 “보육

시설의 실내공기질 진단 및 개선 시범사업”의 결과를 바탕으로 우리나라 보육시설의 실내공기 오염 실태와 함께 개선방안, 그리고 개선효과에 대하여 소개하였다.

서울, 경기, 인천 지역의 61개 시설을 대상으로 실내공기질 측정과 설문조사를 실시한 결과 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물은 일부시설에서 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 반면 이산화탄소와 미세먼지는 조사 대상 시설 중 50% 이상이 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 보육시설의 실내공기질 개선을 위해서는 각 오염물질의 발생원별로 유지관리 대책이 필요한 것으로 조사되었다.

또한 오염원인별 분석결과, 대부분 시설의 실외오염물질 농도가 실내보다 낮게 나타나 외기의 오염이 실내에 미치는 영향은 미비한 것으로 나타났으며, 계절에 따른 실내공기 오염은 동절기에 낮은 외기온도로 인하여 실내를 하기 때문에 하절기에 비해 더 높게 나타났다. 공간에 따른 오염물질의 농도는 이산화탄소와 미세먼지의 경우 아동이 늘 상주하는 교실의 오염이 가장 심한 것으로 나타났으며 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물의 경우 놀이실의 오염도가 교실에 비해 더 높게 나타났다. 개선방안별 개선효과에 있어서는 환기계획 및 환기설비 설치, 지하공간 습기 문제 개선에서 가장 높은 효과가 나타났다. 향후 보육시설의 쾌적하고 건전한 실내환경의 유지관리를 위해서는 보육종사자들이 활용할 수 있는 유지관리 지침 또는 매뉴얼에 대한 보급이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 유형규, 박진철, 이연구, 건축자재 적용방안에 따른 실내공기 오염물질 방출량 비교 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제22권 제5호, pp.247~254, 2006
- 백용규, 방승기, 카페트에 의해 오염된 공기질과 생산성, 한국생활환경학회지, 13(4), 277-282, 2006
- 강해진, 유형규, 박진철, 이연구, 공동주택 실내공기질 개선 방안 효과에 관한 실험적 연구, 대한설비공학회 하계학술발표논문집, pp.795~780, 2005
- 최정민, 이경희, 박창섭, 박민용, 신축공동주택 동계시공 마감공정에 따른 실내공기질 측정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, pp.47~50, 2005
- 성민기, Seich Tanabe, 이중훈, 이승민, 신축공동주택의 실내 화학오염물질 측정사례, 대한건축학회 학술발표논문집, pp.597~599, 2004
- 권경우, 윤창현, 박준석, 개별마감제의 유효확산계수를 이용한 복층마감 후의 VOCs 방출량 예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제23권 제7호, pp.269~276, 2007
- 정수연, 윤창현, 권경우, HB마크 건축자재 마감에 따른 공동주택에서의 폼알데하이드와 VOCs 장기농도 변화에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제23권 제7호, pp.277~286, 2007
- J. S. Park and K. Ikeda, Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 years in new and older homes, *Indoor Air*, 16, pp.129~135, 2006
- J.S. Park and K. Ikeda, Exposure to the mixtures of organic compounds in homes, *Indoor Air*, 14, pp.413~420, 2004