

영유아 교육시설에서의 실내공기질 평가

The Evaluation of Air Quality in Educational Child Care Centers

임지혜* 방승기** 손장열***
Lim, Ji-Hye Pang, Seung-Ki Shon, Jang-Yeul

Abstract

It is indispensable for child care centers to investigate and manage indoor air quality (IAQ) because they perform education and day care for children who usually have weak immunity. Nevertheless, there is insufficient research being done, given its importance. This study aims to investigate indoor pollutants' concentration and to seek the causes in order to improve the air quality conditions. Also it aims to secure data which can be used for further researches.

Measurements were performed for air temperature, relative humidity, carbon dioxide, carbon monoxide, fine particle mass, formaldehyde and volatile organic compounds. Temperature, humidity, CO and CO₂ were measured 30times(1min/time) and PM₁₀ was measured 10times (3min/time). Formaldehyde and volatile organic compounds were measured and analyzed based on The Indoor Air Quality Official Test Method.

The results show that the temperatures were within the comfort zone in over half of the centers. CO₂ was found to be the main pollutants as its concentration exceeded the IAQ standard. The concentrations of TVOC and PM₁₀ exceeded the standard, by 32% and 24% respectively, whereas those of HCHO and CO were under the standard. HCHO and CO concentrations were under the guideline. 24% of child care centers for education were found to exceed the standard in 2 or more of the pollutants. 82% of were found to exceed the standard by 1 or more. Therefore it is requested for IAQ to manage and improve in child care center for education.

키워드 : 영유아교육시설, 실내공기질, 실내공기오염물질, 온열환경

Keywords : Child care center for education, Indoor air quality, Indoor air pollutant, Thermal environment

1. 서론

실내오염물질이 인체에 미치는 영향이 밝혀지면서 실내공기질을 쾌적하게 하기 위한 관심이 높아지고 있다. 이에 따라 선진국뿐만 아니라 국내에서도 실내공기질에 관한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 지금까지 국내에서 진행된 실내공기질에 관한 연구는 대부분 신축공동주택과 다중이용시설 중 병원, 학교 (초,중,고)에 치중되어 있으며, 그 외의 건물에 대해서는 몇몇 연구가 있지만 그 수가 공동주택에 비해 상대적으로 적어, 현황 파악 및 오염원인 등의 기초적인 연구가 부족한 실정이다.

특히 성인에 비해 면역력이 약한 영유아가 오

랜 시간 머무르는 장소인 보육 및 교육시설의 경우 더욱 실내공기질의 관리가 중요한데 비하여, 이에 대한 연구는 매우 적으며 실태 및 현황 파악도 제대로 되어있지 않은 실정이다.

영유아의 신체의 체적당 흡입하는 공기량은 400ml/min·kg으로 성인의 흡입량인 150ml/min·kg과 비교하여 체중 당 많은 공기를 흡입하기 때문에¹⁾ 공기 중의 오염물질이 성인보다 영유아에게 더

* 한양대학교, 건축환경공학과

** 경민대학, 건축인테리어 학부

*** 한양대학교, 건축공학부

1) LeRoy M. Graham, All I Need is the Air that I Breathe; Outdoor air quality and asthma/PAEDIATRIC RESPIRATORY REVIEWS, 5(suppl A), 2004

많은 영향을 미쳐 아토피, 천식등과 같이 실내공기오염에 의한 영향이 부정적으로 건강에 작용할 수 있다.²⁾ 또한 실내공기의 오염은 재실자들의 학습능력을 떨어뜨릴 수 있기 때문에, 영유아의 원활한 학습을 위해서는 쾌적한 실내환경 조성이 필수적이다.³⁾ 실내의 공기오염물질은 크게 가스상의 물질과 입자상의 물질이 있는데 가스상 물질인 이산화탄소는 영유아의 집중력을 감소시킬 수 있고, 입자상 물질인 미세먼지는 호흡기 관련 질환을 일으킬 수 있으며, 그 밖의 실내공기오염에 따른 다양한 증상이 나타나게 되면 수업에 대한 집중과 학습성과 또한 낮아 질 수 있다.⁴⁾ 따라서 영유아 대상시설에서의 쾌적한 실내공기질을 유지하는 것은 영유아의 건강뿐만 아니라 학습능력 향상에도 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 논문은 국내의 영유아를 대상으로 한 교육시설에서 쾌적한 실내공기질의 유지를 위한 연구의 일환으로서, 영유아 교육시설 53개소의 91개 교실을 대상으로 실내공기질을 측정하여 오염정도를 파악하고, 추후의 연구에 활용할 수 있는 기초데이터를 확보하는 것을 목적으로 한다.

2. 실내공기질 관련 기준 및 국내 기존연구

2.1 실내공기질 관련기준

‘영유아’란 6세 미만의 취학 전 아동을 말하며, ‘보육시설’이란 영유아보육법에 의거하여 보호자의 위탁을 받아 영유아를 보호·양육 및 발달 특성에 맞는 교육을 제공하는 시설을 말한다. 본 논문에서 대상으로 하는 ‘영유아 교육시설’은 영유아 전용시설인 보육시설들 중 주로 교육을 목적으로 하는 시설로 측정대상을 한정하였다.

영유아 교육시설은 환경부가 2004년 5월부터 시행하고 있는 「다중이용시설등의 실내공기질관리법」에 의하여 2007년까지는 연면적 1,000㎡ 이상의 국공립 시설에 적용되었으며 전국의 시설 중 25 개소(약 0.1%)만이 대상으로 한정되어 있었

다. 그 후 2008년부터 국공립 시설의 경우 연면적 430㎡ 이상(100인 이상) 시설, 민간 시설의 경우 연면적 860㎡ 이상(200인 이상) 시설로 확대 적용되고 있다. 표1에 영유아 교육시설의 포함되는 보육시설을 비롯한 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법의 오염물질 기준을 나타내었다.

2.2 국내의 기존연구

국내에서 실내공기질의 실태를 파악한 연구로, 공동주택 및 주택을 대상으로 한 연구는 여름철 49세대, 겨울철 96세대의 측정 및 설문을 통해 대표적인 오염원이 휘발성유기화합물 (톨루엔 및 에틸벤젠),

폼 알데하이드인 것으로 조사되었고⁵⁾, 신축공동주택 5개 단지 37세대의 실태를 파악한 한 조사

표1. 다중이용시설 등의 실내공기질관리법의 오염물질 기준

다중이용시설	지하역사, 지하도상가, 여객자동차, 터미널의 대합실, 철도역사의 대합실, 공항시설 중 여객터미널, 항만시설 중 대합실, 도서관·박물관 및 미술관, 장례식장, 목욕장, 대규모점포		의료기관, 보육시설(영유아 교육시설), 국공립 노인 요양시설 및 노인 전문병원, 산후조리원		실내주차장	
	유지	권고	유지	권고	유지	권고
PM10 (µg/m³)	150 이하		100 이하		200 이하	
CO ₂ (ppm)	1000 이하		1000 이하		1000 이하	
HCHO (ppm)	100 이하		100 이하		100 이하	
총부유세균 (CFU/m³)	-		800 이하			
CO (ppm)	10 이하		10 이하		25 이하	
TVO C (µg/m³)	-	500이하	-	400 이하	-	1000 이하
NO ₂ (ppm)		0.05 이하		0.05 이하		0.30 이하
Rn (pCi/l)		4.0 이하		4.0 이하		4.0 이하

2) 손기영, 방광식, 황현희, 윤봉식, 이수진, 김명아, 박재용, 김규연, 장광천, 2005년 경기도 일산지역 초등학교의 알레르기 질환 유병률 및 환경변화에 따른 증상 변화, 소아알레르기 호흡기 제17권 제4호, 2007

3) 한입순, 유아교육개론, 동명사, 1988

4) 차동원, 실내공기오염, 기문당, 2007

5) 전정운, 박준석, 손장열, 서울시 주택내 휘발성 유기화합물 공기오염농도의 계절변화에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권 3호, 2005

석면 (개 /cc)	0.01 이 하	0.01 이 하	0.01 이 하
오존 (ppm)	0.06 이 하	0.06 이 하	0.08 이 하

연구에서는 폼 알데하이드의 농도를 종속변수로 하고 측정위치, 온도, 습도를 독립변수로 하여 인과관계를 근거로 예측 모형을 구성하기 위해 선형회귀식을 작성하였다.⁶⁾ 전국대도시의 신축공동주택 36세대의 실내공기질 오염 측정결과, 측정시기와 마감재의 종류와 상관없이 톨루엔과 폼알데하이드가 기준치를 초과한 것으로 나타났다.⁷⁾ 서울지역의 신축을 한지 1-2년이 경과한 공동주택의 18세대를 대상으로 포름알데히드와 휘발성유기화합물을 측정한 조사연구의 결과에 따르면, 신축 1-2년이 경과 후에도 주요 실내공기오염물질이 적정수준 이하로 유지되기 어렵다는 것이 파악되었다.⁸⁾⁹⁾ 서울 및 수도권에 위치한 29개단지 387세대를 대상으로 휘발성유기화합물 및 포름알데히드의 농도의 조사연구 결과를 보면, 톨루엔의 경우 조사대상의 약 30%가 실내공기질 관리 기준치인 1,000ug/m³을 초과하고, 포름알데히드는 38%가 기준치인 210ug/m³을 초과하는 것으로 파악되었다.¹⁰⁾ 주택의 온열환경에 관한 연구로 아파트 20세대의 겨울철 실내온열환경 실태조사 결과, 실내온도 평균은 21.2~27.2℃로 측정되었고 중앙난방 박식의 4~6개 주택이 온열환경쾌적기준을 초과하는 상태로 나타났으며, 상대습도 평균은 19.5~58.8%로 대체로 건조한 상태로 나타났다.¹¹⁾

주택 외의 대표적 다중이용시설인 지하철역사

6) 이윤규, 한길원, 공동주택의 포름알데히드농도특성 분석에 관한연구, 대한건축학회논문집 계획계 19권 10호, 2003

7) 조현, 최중문, 김우재, 신축공동주택의 실내 휘발성유기화합물 실태조사 및 습도변화에 따른 발생특성평가, 한국생활환경학회지 13권 4호, 2006

8) 이윤규, 실내공기중의 휘발성유기화합물 농도변화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 4권 3호 2004

9) 이윤규, 김장남, 기존공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정 연구, 대한건축학회논문집 계획계 20권 11호, 2004

10) 한길원, 김현진, 정창현, 김윤덕, 이윤규, 신축 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 9호 2006

11) 최윤정, 정영홍, 아파트의 겨울철 실내온열환경 실태와 생활요인분석, 한국주거학회논문집 19권 4호, 2008

와 종합병원의 실내공기질 연구결과로는, 개찰구와 승강장 각 1개소에서 측정하여 미세먼지와 이산화질소가 기준치를 초과한 사례가 있었으며, 종합병원에서 병실 1개소와 대기실 1개소에서 측정을 실시하여 라돈이 기준치를 초과한 사례가 있었다. 또한 양쪽 시설에서 휘발성유기화합물질 중 톨루엔이 가장 높게 측정된 것으로 나타났다.¹²⁾ 학교건물에 대한 연구의 경우, 초등학교 2개소, 중학교 1개소의 일반교실과 특별교실에서 측정을 실시한 결과, 휘발성유기화합물과 폼알데하이드가 기준치를 초과하고 있다고 연구되어졌으며¹³⁾, 부산지역의 신축 초등학교 3개소, 중학교 2개소에서 측정 결과에서는 이산화탄소, 미세먼지가 실내공기질 관리법의 기준치 이상으로 나타나, 학교건물의 주 오염물질인 것으로 평가되었다.¹⁴⁾

영유아 대상시설의 경우, 유치원 실내외 환경과 건강안전에 대한 설문조사 결과에서는 설립유형과 지역에 따른 실내 환경의 연관성은 나타나지 않았으나, 국공립유치원의 실외 환경에 대한 만족도가 높게 나타난 연구 결과가 있었다.¹⁵⁾ 인천지역의 1개의 영유아 전용시설에서 실내공기질을 측정한 결과 휘발성유기화합물, 폼알데하이드, 부유세균, 이산화탄소가 기준치를 초과한 것으로 나타났다.¹⁶⁾

국내의 실내공기질 연구는 대부분 공동주택 및 신축건물에 치중되어 있으며, 그 외의 건물에 대해서는 위와 같이 몇몇 연구가 있지만 그 수가 매우 적으며, 현황파악 및 오염원인 등의 기초적인 연구가 부족한 것으로 파악된다. 특히 영유아 대상시설을 대상으로 한 실내공기질에 대한 연구는 단순히 운영자에 대한 설문조사만 실시되었거나, 단일시설에서의 실내환경 측정을 하여 국내

12) 김윤덕, 다중이용시설의 실내공기환경 실태에 관한 측정 연구, 대한건축학회논문집, 계획계 22권 11호, 2006

13) 김태우, 김현태, 홍원화, 학교 건축물의 실내공기질 측정 및 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 4호, 2006

14) 이정재, 김석근, 최석용 부산지역의 신축학교 실내공기질 현장측정, 대한건축학회논문집 계획계 21권 6호 2005

15) 백미열, 이옥주, 황혜경, 영유아교육연구 제6권, 2003

16) 김윤덕, 임수영, 교육시설, 한국교육시설학회지 14권 2007

영유아 보육시설의 일반적인 특징으로서 해석할 수 없다는 한계가 있었다.

이에 본 논문에서는 국내 대다수의 영유 교육 시설에서 실내공기질의 오염정도를 파악하기 위하여 53개 시설을 선정하여 실내공기질을 측정하였다.

3. 연구방법

3.1 측정대상

영유아 교육시설은 영유아 전용시설인 보육시설 중 주로 교육을 목적으로 하는 시설로, 대표성을 가질 수 있도록 건물의 구조, 형태, 규모 등을 다양하게 하여 선정하였다. 대상시설의 실내공기질의 오염정도를 파악하고자 경인지역 및 부산경남지역의 53개의 시설에서 실내공기중의 오염물질 농도 실태를 조사하였다. 표2에 나타낸 바와 같이 서울시 16개소, 인천광역시 18, 경기 12, 부산 및 경남은 각각 4개소와 3개소를 대상으로 하였다. 조사대상으로 한 영유아 교육시설들의 전국적인 분포와 위치는 그림1에 나타내었으며, 측정시설의 설립주체, 면적, 교육인원, 종사자수 및 시설 개설년도는 표3에 나타내었다.

표2. 대상시설의 구분

설립주체 지역	설립주체			소계
	국공립	민간	법인(외 기타)	
서울	12	4		16
인천	8	7	3	18
경기	7	3	2	12
부산		4		4
경남		2	1	3
총계	27	20	6	53

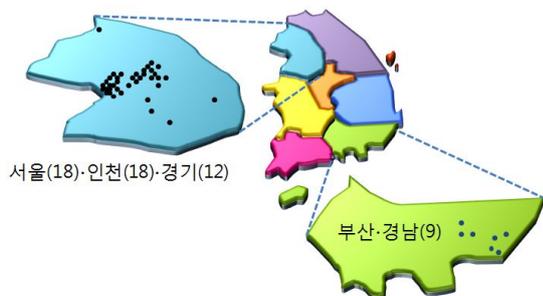


그림1. 조사대상 영유아 교육시설 위치 분포

표3. 조사대상 영유아 교육시설 기본정보

No.	지역	시설 구분	면적 (m ²)	영유아 수	종사자수	시설 개설연도
1	서울	국공립	561	133	14	1986
2	서울	국공립	523	96	13	1999
3	서울	민간	85	2	3	1996
4	광명	국공립	521	80	14	1999
5	서울	국공립	142	47	5	2003
6	인천	민간	210	160	20	-
7	인천	법인의	1276	163	22	2003
8	하남	국공립	496	97	12	2005
9	서울	국공립	609	120	17	2006
10	서울	국공립	527	120	16	1985
11	서울	민간	163	56	10	1996
12	서울	국공립	1320	62	8	2009
13	서울	국공립	587	105	16	2005
14	서울	국공립	596	77	13	-
15	서울	민간	594	120	20	2002
16	서울	국공립	479	99	16	1998
17	서울	국공립	541	80	12	1993
18	서울	국공립	443	84	11	1997
19	서울	민간	66	5	2	1997
20	인천	민간	171	34	6	2004
21	인천	국공립	1172	83	20	2005
22	인천	국공립	493	80	10	1981
23	인천	국공립	186	100	15	1999
24	인천	법인	382	96	10	1991
25	인천	민간	495	81	9	2000
26	인천	법인	957	158	20	-
27	인천	국공립	464	87	17	1998
28	인천	국공립	597	119	14	1981
29	인천	민간	124	116	10	2005
30	인천	민간	598	117	10	2007
31	인천	국공립	590	124	13	1993
32	인천	민간	433	87	6	2005
33	인천	국공립	565	80	13	2008
34	인천	민간	250	140	12	2006
35	수원	민간	1219	160	26	2001
36	시흥	법인	525	97	12	1998
37	안성	국공립	462	96	10	-
38	오산	국공립	495	70	19	-
39	구리	국공립	540	120	16	2008
40	연천	국공립	545	49	6	2006
41	여주	법인	1063	98	9	1997
42	이천	국공립	363	98	13	1991
43	부산	민간	79	9	2	2001
44	부산	민간	84	16	4	2008
45	부산	민간	165	33	6	2003
46	부산	민간	187	32	5	2008
47	창원	민간	293	60	8	2007
48	창원	법인	376	38	19	2001
49	밀양	민간	198	44	10	2000
50	안양	민간	112	17	6	2008
51	서울	국공립	651	99	11	1994
52	인천	국공립	598	97	13	2005
53	파주	민간	198	37	6	1999

3.2 측정 방법 및 내용

측정대상시설에서의 측정 항목은 실내의 온열 환경요소(온도, 습도), 입자상 실내오염물질(미세먼지)과 가스상의 실내공기오염물질(휘발성유기화합물, 폼알데하이드, 일산화탄소 및 이산화탄소)로

하였다.

측정은 교육대상인원이 수업을 하고 있는 교실을 대상으로 2009년 1월부터 2월까지 2개월간 실시하였으며, 53개의 대상시설에서 1개 혹은 2개의 교실 (총 91교실)에서 측정하였다. 측정지점은 아동의 호흡선을 고려하여 교실중앙의 바닥에서 1.0~1.2m높이에서 실시하였다.

온도, 습도, 일산화탄소(Carbon monoxide, CO), 이산화탄소(Carbon dioxide, CO₂)의 측정은 직독식으로 30분간 1분씩 30회 측정하였고, 미세먼지(Particulates, PM10)은 3분씩 10회 측정하였다. 폼알데하이드(Formaldehyde, HCHO)와 휘발성유기화합물은(Volatile Organic Compounds, TVOC) “다중이용시설등의 실내공기질관리법”의 실내공기질공정시험법에 따라 진행하였다. 공정시험법은 측정의 정확성 및 통일을 유지하기 위하여 측정대상과 오염물질별로 시료채취와 분석방법 등의 필요한 제반사항에 대하여 규정지은 시험방법으로, 시험방법은 주간시간대(오전8시~오후7시)에 대상시설의 오염도를 대표할 수 있다고 판단되는 곳의 내벽 및 바닥표면에서 1m 이상 떨어진 곳에서 2개소 이상 측정하는 방법이다. 시료채취 시공기의 포집은 Mini pump(SIBATA MP-Σ100, MP-Σ30)을 사용하여 30분간 1개 혹은 2개의실에서 2회씩 연속 실시하였다. HCHO는 DNPH 카트리지를 통하여 유속 500mL/min으로 포집 후 HPLC(WATERS) 를 이용하여 분석하였고, TVOC는 TENAX-TA를 통하여 유속100mL/min으로 포집 후 GC/MS (Varian- SATURN2200/Shimadzu-QP2010)를 이용하여 분석하였다.

측정항목별 측정기와 측정에 사용한 방법은 표4에 나타내었다.

표4. 측정항목별 측정기기 및 방법

측정항목	측정기기 및 분석장비	측정기 사진	측정(샘플링)시간
온도(°C) / 습도(%)	SATO/SK-L20 0THII		1분씩 30회 / 평균

CO / CO ₂	IAQ Meter Model 7545(TSI)		1분씩 30회/ 평균
PM10	분진계3421, MINI VOLUME SAMPLER		3분씩 10회 / 평균
HCHO	MP-Σ100H / DNPH Cartridge HPLC		유속:300~1 000 ml/min 포집시간 : 30min 포집량 :15L 2회/평균
TVOC	MP-Σ30 / TENAX-TA GC/MS		유속:50~200 ml/min 포집시간 :30 min 포집량 :3L 2회/평균

4. 측정결과

(1) 온도, 습도

온열환경 요소인 온도, 습도에 대한 측정결과, 측정된 교실에서 온도는 최고 26.9°C, 최저 16.1°C로 나타났으며, 상대습도는 최고 54.3%, 최소 20.8%로 나타났었다. 온도와 습도 각각의 평균은 21.5°C, 27.0%로 나타났었다.

그림2는 습공기 선도를 이용하여 측정된 교실의 실내 온·습도 분포와 미국에서 활용하고 있는 온열환경 쾌적범위를 나타내었다. ASHRAE에서는 겨울철 쾌적범위를 “ANSI/ASHRAE Standard 55-1992”에 온도는 20.0~23.5°C, 습도는 노점온도 1.7°C~상대습도 60%로 제시하고 있다.

대상 91개 교실 중 49개 교실(53%)은 겨울철 쾌적온도범위인 20~23.5°C사이에 분포하고 있었으며, 23개 교실(25%)은 쾌적습도범위인 30~60%로 측정되었다. 온도와 습도가 모두 쾌적 범위 내로 측정되어 온열환경 기준을 만족하고 있는 교실은 전체 91개 중 14개 교실(15%)로 나타났었다.

Pressure: 101325 Pa

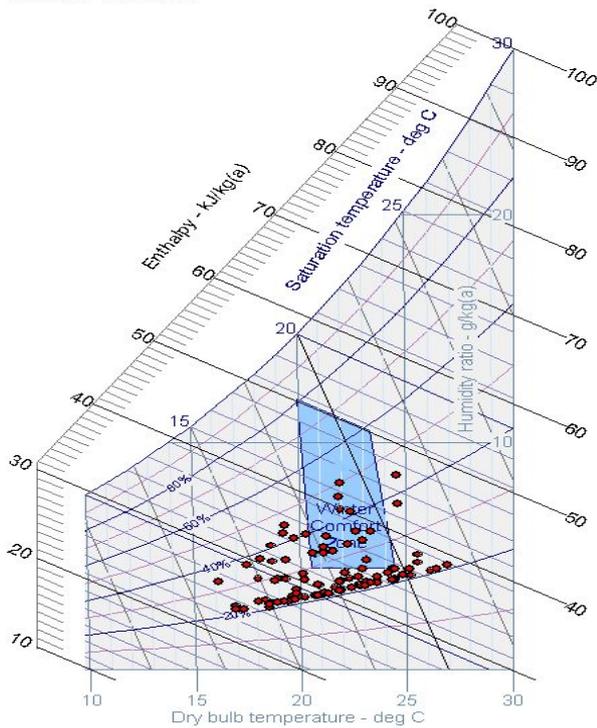


그림2. 영유아 교육시설의 실내 온습도 분포

(2) 총휘발성유기화합물(TVOC)

그림3은 각 교육시설에서 측정된 TVOC의 농도 분포를 나타낸 것이며, 그림4는 TVOC의 농도에 따른 교육시설의 분포현황을 표현하였다.

최대 측정값은 $843.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 나타났으며, 최소값은 $63.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 평균은 $333\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 이 중 최대값은 권고기준인 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 2배 이상으로 오염의 정도가 심각한 수준이었다. 총 평가 교실 중 29개 교실(32%)에서 관련기준을 초과하고 있는 것으로 나타났다.

TVOC 농도가 $800\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 상회하는 시설들은 측정일을 기준으로 6개월 이내에 실내벽지 및 바닥자재를 변경한 시설들인 것으로 조사되었다. 이는 교체한 마감재에서 오염물질 초기 방출농도가 높아, 타 시설들에 비해 TVOC 농도가 높게 측정된 것으로 판단된다.

대부분의 시설(62개 교실)에서 측정된 TVOC 농도분포는 오염정도가 낮은 $100\mu\text{g}/\text{m}^3\sim 400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 사이에 집중되어 있었다. 기준치 이상으로 측정된 29개 교실(32%) 중 17개 교실은 기준치와 근접한 $400\sim 500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 분포되어있어, 실내공기질에 대한 약간의 관리로 기준치 이하로 유지될 수 있을 것으로 사료된다.

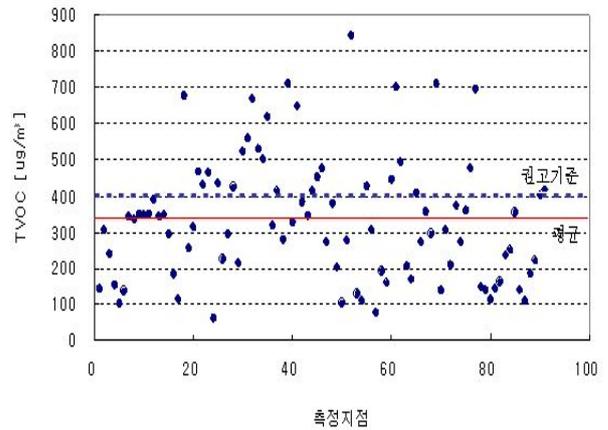


그림3. TVOC 측정결과

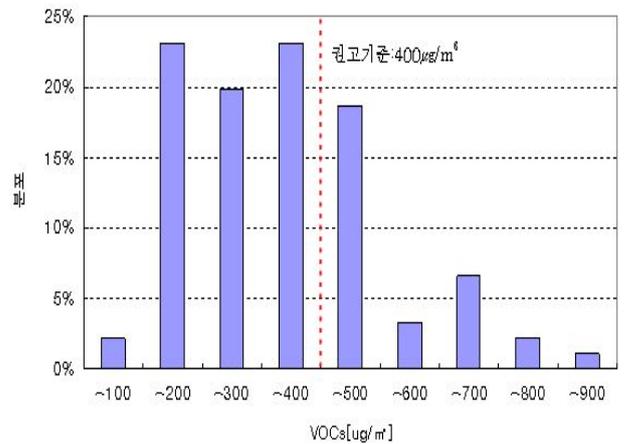


그림4. TVOC 농도구간별 분포

(3) HCHO

대상으로 한 영유아 교육시설 각 교실에서의 HCHO의 농도는 그림5와 같이 나타났으며, 측정된 농도구간에 따른 영유아 교육시설의 분포는 그림6과 같이 나타났다.

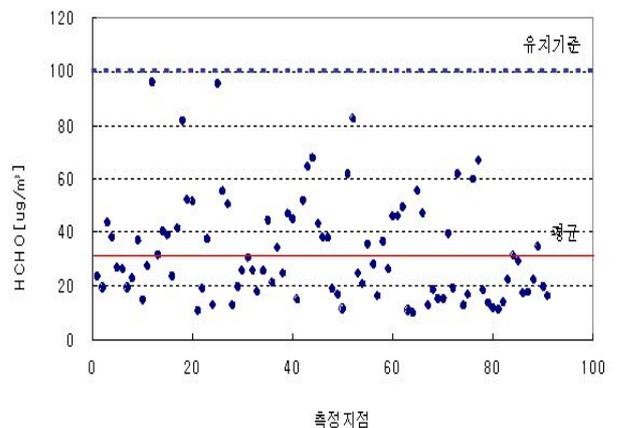


그림5. HCHO 측정결과

평균값은 $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 최대값이 $96.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치인 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 측정된 시설이 없었다. 측정교실 중 82개(90%)에서 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 나타나 HCHO에 의한 오염은 타 평가항목에 비해 매우 양호한 것으로 나타났다.

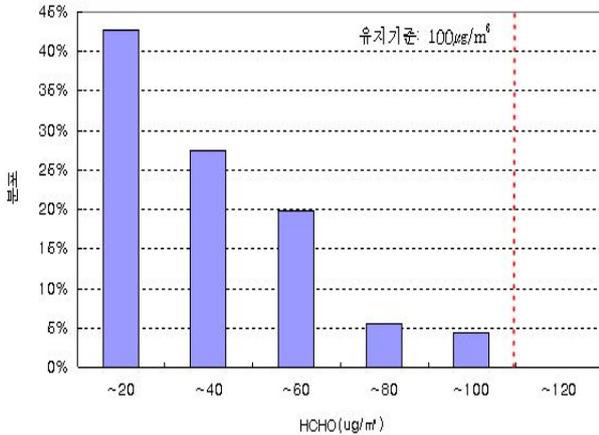


그림6. HCHO 농도구간별 분포

(4) PM10

그림7과 그림8은 각각 대상 교실에서의 PM10의 농도와 측정된 PM10 농도의 구간에 따른 영유아 교육시설의 분포를 나타내었다.

PM10의 평균은 $82\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 측정치 최대/최소값은 각각 $239.2\mu\text{g}/\text{m}^3$, $21.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 기준치인 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 교실은 전체의 23개(25%)로 나타났으며, PM10이 $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 초과하는 두 시설 중 한 시설은 1970년대에 완공된 건물로 1981년도에 개설한 시설로, 건물의 노후화에 의하여 농도가 높게 측정된 것으로 판단되었다.

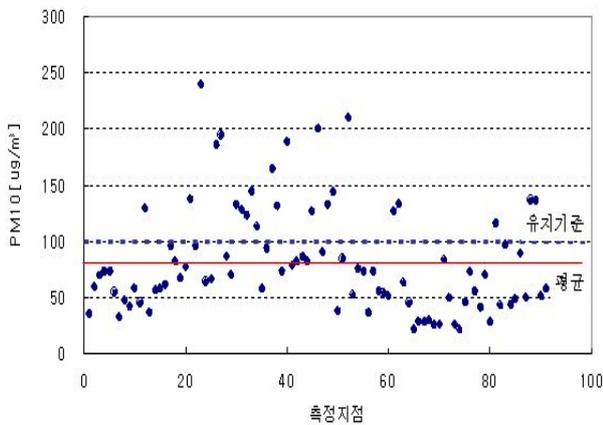


그림7. PM10 측정결과

PM10의 농도구간별 분포로는 $40\sim 60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정된 교실이 24개(26%)로 가장 많았으며, 기준치를 초과하는 23개 시설 중 60%인 14개소가 $100\mu\text{g}$

$/\text{m}^3\sim 140\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다.

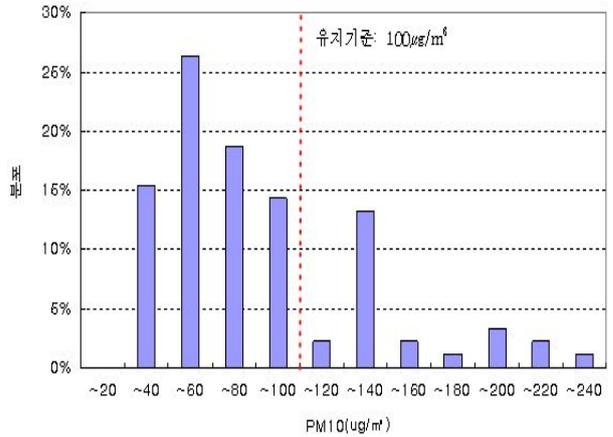


그림8. PM10의 농도구간별 분포

(5) CO₂

각 교실에서 측정된 CO₂의 농도와 측정된 CO₂의 농도구간에 따른 영유아 교육시설의 분포는 그림9와 그림10에 나타내었다.

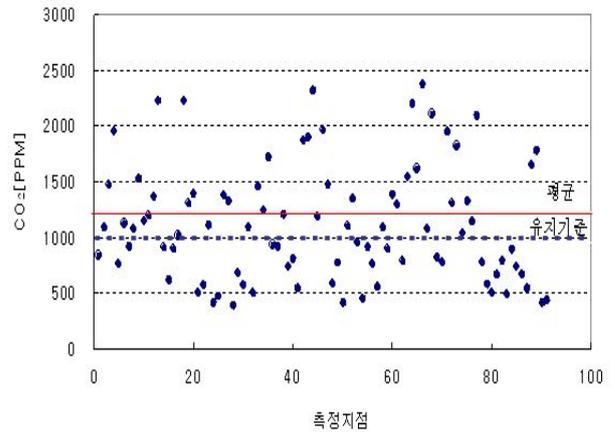


그림9. CO₂ 측정결과

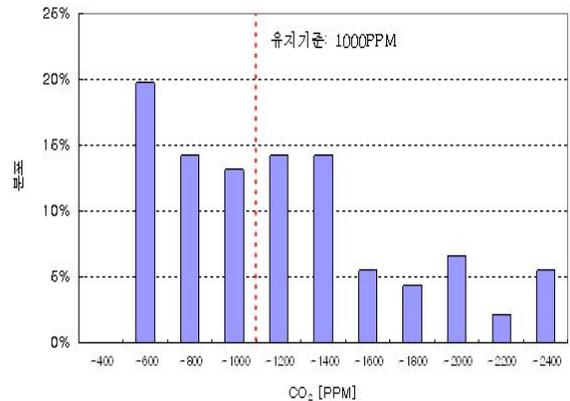


그림10. CO₂의 농도구간별 분포

측정된 교실에서의 CO₂의 평균값은 관리기준치

이상인 1,124ppm으로 나타났고, 최대/최소 농도는 2381.0ppm, 401.0ppm로 나타났으며, 그 중 48개 교실(53%)이 관리기준을 초과하여, 측정항목 오염물질 중 관리기준을 가장 많이 초과하는 것으로 나타났다. 특히, 2000ppm이상으로 측정된 7개소 중 6개의 시설은 측정 당시 많은 영유아가 재실하여 수업 중이었으며, 측정 교실별로 영유아 1명당 점유면적이 각각 1.2m², 2.3m², 1.6m², 1.9m², 1.4m², 2.5m²인 것으로 나타났다. 이는 영유아 관련법에서 규정하고 있는 시설 주요공간별 구조 및 설비설치 기준에서 영유아 1명당 실 점유면적을 2.64m²이상으로 규정하고 있는 것과 비교하여 매우 좁은 면적으로, 협소한 공간에서 영유아들의 교육을 실시된 것에 의한 것으로 판단되었다. 측정된 CO₂농도의 구간별 분포는 400~600 μ g/m³ 사이에 18개 교실(20%)로 가장 많이 분포되어 있었으며, 기준치인 1000ppm을 초과한 48개 교실 중 1000~1200ppm 사이와 1200~1400ppm 사이에 각각 13개 교실(22%)씩 측정되어 기준치에 근접하여 분포된 것으로 나타났다.

(6) CO

그림11은 대상 영유아 교육시설의 각 측정교실의 CO 농도를 나타내었으며, 그림12는 CO의 농도의 구간에 따른 영유아 교육시설의 분포를 나타내었다.

CO의 경우, 타 오염물질에 비하여 오염의 정도가 가장 양호한 항목으로 유지기준인 10ppm을 넘는 시설은 없었으며, 평균값은 0.1ppm 최고 1.2ppm으로 대상교실 중 80곳(88%)이 0.2ppm이하로 측정되었다.

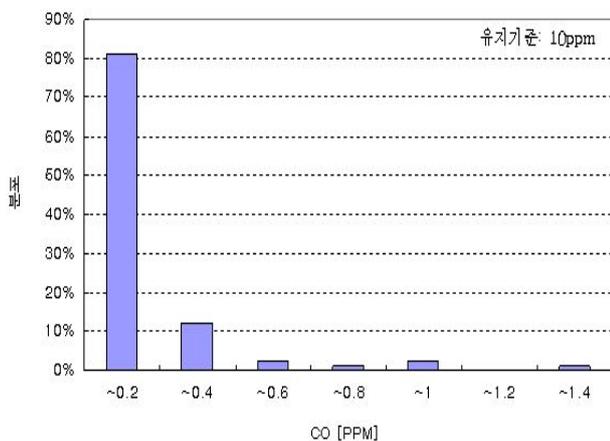


그림10. CO의 농도구간별 분포

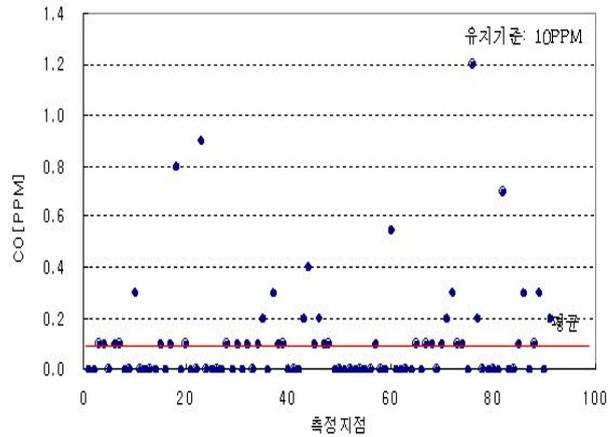


그림11. CO의 측정결과

국내 영유아 교육시설 53개소의 1~2개의 교실 (총 91개 교실)에서 온열환경 요소인 온도와 습도, 실내공기오염물질인 TVOC, HCHO, PM10, CO₂의 측정결과와 요약 통계는 표5에 [다중이용시설 등의 실내공기질 관리법]유지기준의 영유아 교육시설에서의 기준치와 함께 나타내었다.

표5. 영유아 교육시설에서 실내공기오염물질 측정결과 요약 통계

측정항목	기준값	최대	최소	평균	초과교실[%] (초과교실)
측정온도 (°C)	-	26.9	16.1	21.5	-
측정습도 (%)	-	54.3	20.8	27.0	-
TVOC (μ g/m ³)	400	843.4	63.9	333.0	31.8(29)
HCHO (μ g/m ³)	100	96.3	9.9	33.0	0(0)
PM10 (μ g/m ³)	100	239.2	21.0	82.0	25.27(23)
CO ₂ (ppm)	1000	2381.0	401.0	1124.7	52.75(48)
CO (ppm)	10	1.2	0.0	0.1	0(0)

5. 결론

영유아 교육시설은, 영유아가 오랜시간 동안 머물며 기초적인 보육과 교육활동이 이루어지고 주 사용대상이 면역력이 약한 0세에서 6세 미만이라는 점에서 타 시설에 비해 실내공기질에 대한 현황 파악 및 관리가 매우 중요시 되고 있다.

본 논문은 영유아 대상 교육시설에서의 실내공기질 오염정도를 파악하고 이에 대한 기초데이터를 확보하는 것을 목적으로, 53개 시설 각각 1~2개의 교실(총 91교실)에서 수업진행 중 온도, 습도, HCHO, TVOC, PM10, CO₂, CO를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내의 영유아 교육시설은 측정된 교실의 53%가 이상이 쾌적온도범위로 유지되고 있었으나, 쾌적습도범위를 유지하고 있는 교실은 25%로 그 수가 매우 적어 대부분의 시설이 건조한 것으로 나타났으며, 온도와 습도가 모두 겨울철 쾌적범위에 있는 교실은 15%로 소수에 불과하였다.

2) 실내공기질 오염 항목으로는 CO₂에 의한 오염이 가장 빈번하게 일어나는 것으로 나타났으며, TVOC, PM10 순으로 오염정도가 심각하게 나타났다. HCHO는 모든 시설들이 관리기준 이하로 측정되어 오염 정도가 양호했으며, CO는 대부분의 시설에서 측정값이 매우 작거나 거의 측정되지 않았다.

3) CO₂의 농도가 기준치인 1000ppm의 2배 이상으로 측정된 오염의 정도가 매우 심각한 시설은 영유아 1인당의 실 점유면적이 매우 협소하여 CO₂의 농도가 높게 나타났으며, 재실인원에 대한 관리가 필요할 것으로 판단되었다.

4) TVOC 농도가 높은 시설들은 최근에 바닥, 벽, 천정의 실내 마감자재를 교체한 시설로, 자재 교체 후 초기에 다량 방출되는 오염물질에 의한 것으로 나타났다. 그리고 타 시설과 비교하여 PM10농도가 매우 높게 측정된 시설은 건물완공과 개설년도가 오래된 시설로, 건물의 노후화에 의한 것으로 판단되었다. TVOC와 PM10의 경우 관리기준 이상으로 측정된 시설들은 대부분 기준치와 근접하게 유지하고 있어, 실내공기질에 대한 약간의 관리만으로 기준치 이하로 유지할 수 있는 가능성이 높은 것으로 나타났다.

5) TVOC와 CO₂가 동시에 기준치 이상이었던 교실은 전체의 14%로 나타났고, TVOC와 PM10이 동시에 초과하는 시설은 13%로 나타났다. CO₂와 PM10이 기준치 이상인 시설은 12%였다. 측정 항목 중 두 가지 이상의 오염물질이 기준치를 초과한 시설은 총 24%로 나타났지만 오염물질 중 한 항목 이상이 기준치 이상으로 측정된 시설은

82%에 달하였다.

국내 영유아 교육시설에서 측정된 실내공기질 오염물질에 복합적으로 오염된 시설은 많지 않았으나, 대부분 단일 물질에 의하여 실내공기질이 오염되어 있어, 실내공기질에 관리 및 개선이 요구되는 것으로 나타났다.

본 논문은 영유아 교육시설의 실내공기질을 쾌적하게 유지하기 위한 연구의 일환으로 실태를 파악하였으며, 추후 교육시설에서 효과적으로 활용할 수 있는 실내공기질 개선 방법에 대한 연구를 진행할 것이다. 대상시설 중 실내공기질의 오염이 심각한 시설을 선정하여 실내공기질에 대한 정밀진단과 재실자들의 만족도, 건축적 조건, 유지관리 조건에 대한 설문 조사를 실시할 것이다. 개선작업을 실시한 후, 재정밀진단 및 설문조사를 실시하여 개선안에 따른 오염물질의 농도저감효과와 만족도에 대하여 연구할 계획이다.

참고문헌

1. LeRoy M. Graham, All I Need is the Air that I Breathe; Outdoor air quality and asthma/PAEDIATRIC RESPIRATORY REVIEWS, 5(suppl A), 2004
2. 손기영 외, 2005년 경기도 일산지역 초등학교의 알레르기 질환 유병률 및 환경변화에 따른 증상 변화, 소아알레르기 호흡기 제17권 제4호, 2007
3. 한임순, 유아교육개론, 동명사, 1988
4. 차동원, 실내공기오염, 기문당, 2007
5. 전정운, 박준석, 손장열, 서울시 주택내 휘발성 유기화합물 공기오염농도의 계절변화에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권 3호, 2005
6. 이윤규, 한길원, 공동주택의 포름알데히드 농도 특성 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 19권 10호, 2003
7. 조현, 최종문, 김우재. 신축공동주택의 실내 휘발성유기화합물 실태조사 및 습도변화에 따른 발생특성평가, 한국생활환경학회지 13권 4호, 2006
8. 이윤규, 실내공기중의 휘발성유기화합물 농도 변화에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집 4권 3호 2004

9. 이윤규, 김창남, 기존 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 측정 연구,
대한건축학회논문집 계획계 20권 11호, 2004
10. 한길원, 김현진, 정창현, 김운덕, 이윤규, 신축 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 9호 2006
11. 최윤정, 정연홍. 아파트의 겨울철 실내온열환경 실태와 생활요인분석, 한국주거학회논문집 19권 4호, 2008
12. 김운덕, 다중이용시설의 실내공기환경 실태에 관한 측정 연구, 대한건축학회논문집, 계획계 22권 11호, 2006
13. 김태우, 김현태, 홍원화, 학교 건축물의 실내공기질 측정 및 평가에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 22권 4호, 2006
14. 이정재, 김석근, 최석용 부산지역의 신축학교 실내공기질 현장측정, 대한건축학회논문집 계획계 21권 6호 2005
15. 백미열, 이옥주, 황혜경, 영유아교육연구 제6권, 2003
16. 김운덕 임수영, 교육시설, 한국교육시설학회지 14권 2007

(논문투고일 : 2010.4.8, 심사완료일 : 2010.6.4,
게재확정일 : 2010.6.19)