

어린이집 실내공기 중 주요 오염물질의 특성 및 환기에 관한 연구

A Study on Characteristics of Main Indoor Air Pollutants and Ventilation in Nursery Facilities

김상철* · 강병창 · 이상욱 · 김기두 · 서원호 · 김종헌

대전광역시 보건환경연구원

(2014년 1월 10일 접수, 2014년 2월 24일 수정, 2014년 3월 10일 채택)

Sang Cheol Kim*, Byeong-Chang Kang, Sang-Uk Lee, Gi-Doo Kim,
Won-Ho Seo and Jong-Heon Kim

Daejeon Institute for Health and Environment

(Received 10 January 2014, revised 24 February 2014, accepted 10 March 2014)

Abstract

As the number of nursery facilities and infants who stay there is continuously increasing, IAQ (Indoor Air Quality) of nursery facilities should be managed strictly and thoroughly because infants are more susceptible to infections due to their low resistivity. In this study the characteristics of IAQ and ventilation associated factors were investigated for suggesting a desirable condition for IAQ management. Environmental factors were not much related to IAQ characteristics rather than internal factors such as structures of the room. And the positive effect of ventilation on IAQ was obvious and seemed to hinge on factors related to window area especially window/wall ratio. Results of this study indicate that the structure with broader window area of a room and frequent ventilation can be an effective way for keeping IAQ of nursery facilities clean and safe.

Key words : Indoor air quality, Ventilation, Nursery facilities

1. 서 론

어린이집 및 보육아동의 수가 매년 증가함에 따라 성인에 비해 면역기능과 독성 물질에 대한 방어 능력이 약해 오염물질에 취약한 아동의 건강보호를 위해 실내공기질이 엄격히 관리될 필요가 있다(Son *et*

al., 2008).

그러나 2010년도 다중이용시설의 실내공기질 점검결과 시설별 유지기준 초과율은 어린이집이 가장 높은 14.2%로 뒤를 이은 지하도상가 6.9%에 비해 2 배 이상 높은 것으로 나타났으며, 주요 항목의 시설별 평균오염도에서 TAB (Total Airborne Bacteria)가 655.9 CFU/m³로 어린이집에서 가장 높은 것으로 나타났다(KMOE, 2011). 또한 2012년도 점검결과 전국 어린이집 1,321개소 중 172개소 약 13%에서 실내공기질 기준을 초과하였으며, 이 중 기준을 초과한 항

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)42-870-3374, Email : whitebear@korea.kr

목의 98.2% (169개소)가 총부유세균으로 확인되었다 (KMOE, 2013).

부유세균은 인체의 호흡기나 피부 등에 접촉할 경우 알레르기성 질환, 호흡기 질환 등을 유발하는 것으로 알려져 있다. 어린이집의 실내공기 중 세균에 대해 수행된 연구에서 “18개 어린이집에서 동정된 세균 78종 중 7종이 면역력이 약한 어린이 또는 노인들에게 병을 일으킬 수 있는 BSL2 등급임을 알 수 있었다”고 밝혔다(Ahn, 2011). CO₂는 재실자의 호흡과 환기에 따라 많은 영향을 받는 물질로 호흡 중의 농도가 4% 이상이면 두통과 같은 증상을 일으켜 실내공기질 관리에 있어 중요성을 갖는다(Choi, 2011; Park *et al.*, 2011).

이처럼 실내공기 오염물질은 어린이들의 건강에 심각한 위협요소가 될 수 있기 때문에 실내공기질 관리를 위한 다양한 방법이 연구되고 있다. 보육시설의 실내공기질 개선을 위해 건축자재의 변경, 공기청정기 설치, 환기 등의 다양한 방법을 적용한 결과 환기계획의 변경이나 환기설비의 구비가 CO₂와 총부유세균 농도 개선에 유용함을 확인했다(Jang, 2009). 또한 실내공기 오염은 환경적인 요인보다 구조에 크게 기인하는 것으로 자연환기를 통해 실내공기질을 청정하게 유지할 수 있는 것으로 나타났다(Lim, 2011).

본 연구에서는 어린이집 실내공기의 주요 오염물질인 CO₂ 및 TAB 특성을 규명하고 실내공기질의 유용한 관리 방법으로 확인된 환기의 효과 및 관련인자를 분석함으로써 어린이집의 실내공기질 관리를 위한 바람직한 조건을 도출하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 대상시설 및 측정방법

본 연구에서는 『다중이용시설 등의 실내공기질관리법』의 적용을 받는 연면적 430m² 이상의 어린이집 중에서 5개소(A~E)를 선정하여 각 시설별로 동일한 교실에서 다음 방법에 따라 온·습도 및 CO₂, TAB의 농도를 측정하였다. 우선 오염물질이 계절에 따른 환경인자의 영향을 받는 지를 파악하기 위해 1년을 크게 춘·추계, 하계, 동계로 구분하고 각각 5월, 8월, 12월에 각 항목을 측정하였다.

동시에 환기 효과 및 영향인자 분석을 위해 각 계

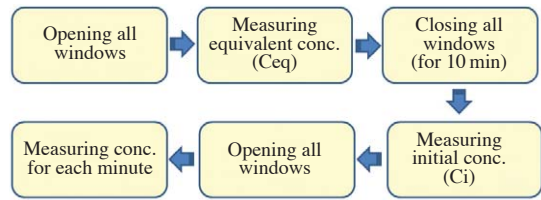


Fig. 1. Procedure of measuring pollutants.

절별로 그림 1의 절차에 따라 오염물질의 농도 변화를 측정하였다. 먼저 교실의 모든 창문을 개방하여 CO₂의 농도변화가 10ppm 이내로 3분 이상 안정화 되었을 때의 CO₂ 및 TAB의 농도(평형농도, Ceq)를 측정하였다. 이후 모든 창문을 닫고 10분간 유지시킨 뒤 CO₂ 및 총부유세균 농도(초기농도, Ci)를 측정한다. 다음 창문을 전면 개방하여 CO₂ 농도가 평형농도에 도달할 때 (도달시간, T_i)까지 일정한 간격(1~3분)으로 CO₂ 농도를 측정하고 총부유세균을 시료에 포함하였다.

2.2 측정장비

각 보육시설별로 측정된 항목은 보육시설내의 온·습도, CO₂, 총부유세균의 4가지 항목이다. CO₂는 KINSCO Technology에서 제작한 Airwell+III를 이용하여 현장에서 직접 측정하였고, 총부유세균은 Merck에서 제작한 Mas-100 Eco Air-sampler를 이용해 충돌법으로 시료 100L를 TSA (Tryptic Soy Agar)배지에 채취하였다. 이후 배양기에서 35°C로 48시간 배양시킨 후 계수 및 보정을 통해 공기의 단위 체적당 집락수(CFU/m³)를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 오염물질 특성 분석

3.1.1 평형농도

각 대상시설의 계절별 환경인자와 오염물질의 평형농도는 표 1과 같이 나타났는데 대부분의 경우 CO₂ 및 TAB는 유지기준 이하로 양호하게 나타났다. 그러나 B는 춘·추계 및 동계, E는 하계 및 동계의 부유세균 평형농도가 유지기준을 초과할 정도로 실내공기의 오염도가 높고 시설별 편차가 컸다.

환경인자의 영향을 확인하기 위해 온·습도와 각 오염물질에 대해 Pearson 상관분석을 실시한 결과 온도와 CO₂, TAB 사이의 상관계수는 각각 -0.3821, -0.1039로 뚜렷한 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 습도와 CO₂, TAB 평형농도 사이에서도 상관계수는 -0.4593 (p-value > .05), -0.011로 상관관계는 확인할 수 없었다.

우리나라 대기 중 CO₂의 배경농도가 약 400 ppm 전후인 점을 고려할 때 평형농도가 큰 차이가 나는 것은 교실구조 등의 내부인자에 의해 실내공기질이 시설별로 다르게 형성됨을 보여준다(Cho *et al.*, 2005).

3. 1. 2 초기농도

대상시설에서 각 계절별 실내온도와 오염물질의 초기농도를 분석한 결과 표 2와 같이 나타났다. CO₂와 TAB의 초기농도는 총 측정횟수의 각각 33.3%, 73.3%가 유지기준을 초과했고 특히 부유세균의 경우 법적 기준의 약 3.5배 이상의 농도를 보이는 곳도 있었다.

온·습도와 각 오염물질 초기농도에 대해 Pearson 상관분석을 실시한 결과 온도와 CO₂의 상관계수는 -0.299로 상관관계가 거의 없었으나 TAB와의 상관계수는 0.5180으로 나타나 양의 상관관계가 있었고, p-value도 일반적인 유의수준(0.05) 이하였다. 이 같

Table 1. Equivalent concentrations of CO₂ and TAB in each facility. (*: over legal limit)

Facilities	Spring/Fall				Summer				Winter			
	Temp. (°C)	Humidity (%)	CO ₂ (ppm)	TAB (CFU/m ³)	Temp. (°C)	Humidity (%)	CO ₂ (ppm)	TAB (CFU/m ³)	Temp. (°C)	Humidity (%)	CO ₂ (ppm)	TAB (CFU/m ³)
A	25.5	40	702	*1,422	27.1	49	720	*842	19.8	23	845	752
B	23.7	42	815	*1,039	30.3	56	507	687	20.9	34	*1,480	*1,531
C	24.2	51	481	*818	29.1	61	544	225	20.1	28	562	218
D	23.5	43	394	221	29.7	62	465	460	19.0	33	575	622
E	27.1	32	708	682	29.8	63	502	*1,755	20.1	38	656	*1,935
Avg.	24.8	41.6	620	836	29.2	58.2	547	793	19.9	31.2	823.6	1,011.6

Table 2. Initial concentration of CO₂ and TAB in each facility. (*: over legal limit)

	Spring/Fall				Summer				Winter			
	Temp. (°C)	Humid. (%)	CO ₂ (ppm)	TAB (CFU/m ³)	Temp. (°C)	Humid. (%)	CO ₂ (ppm)	TAB (CFU/m ³)	Temp. (°C)	Humid. (%)	CO ₂ (ppm)	TAB (CFU/m ³)
A	25.5	40	*1076	*1,987	27.1	49	*1,079	*2,403	19.8	23	*1,080	643
B	23.7	42	*1157	*1,866	30.3	56	*1,039	*2,862	20.9	34	*1,907	*1,581
C	24.2	51	816	*1,988	29.1	61	960	*951	20.1	28	*1,142	*923
D	23.5	43	668	*1,415	29.7	62	712	*1,084	19.0	33	882	*967
E	27.1	32	885	*1,537	29.8	63	935	*2,009	20.1	38	922	*1,363
Avg.	24.8	41.6	920.4	1,758.6	29.2	58.2	945.0	1,861.8	19.9	31.2	1,186.6	1,095.4

Table 3. The number of people, volume and T_r of target facilities at each season. (Vol.: m³, T_r: min)

	Vol.	Season									Avg.	
		Spring/Fall			Summer			Winter				
		People	Vol./Capita	T _r	People	Vol./Capita	T _r	People	Vol./Capita	T _r	People	T _r
A	110.5	15	7.4	15	19	5.8	6	19	5.8	10	18	10.3
B	57.7	11	5.2	21	9	6.4	8	8	7.2	9	9	12.7
C	41.4	8	5.2	8	10	4.1	6	11	3.8	5	10	6.3
D	97.0	10	9.7	8	13	7.5	4	10	9.7	5	11	5.7
E	135.9	21	6.5	15	24	5.7	10	6	22.6	4	17	9.7
Avg.	-	13		13.4	15		6.8	10.8		6.6	12.9	8.9

Table 4. CO₂ and TAB concentration according to ventilation time. (CO₂: ppm, TAB: CFU/m³, underline: conc. at T_r)

Facility	A						B						C						D						E							
	S/F		S		W		S/F		S		W		S/F		S		W		S/F		S		W		S/F		S		W			
	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB	CO ₂	TAB		
Initial	1076	1987	1079	2403	1080	643	1157	1866	1039	2862	1907	1581	816	1988	960	951	1142	923	668	1415	712	1084	882	967	885	1537	935	2009	922	1363		
1	1042	920	2241	1026	544	1142	941	1881	1521	749	886	928	665	623	534	511	749	858	867	871	854	1264	871	854	1264	871	854	1264	871	854	1264	
2	978	841	1531	1035	524	1128	814	1252	1728	1422	652	1090	742	685	729	318	576	502	460	297	683	651	872	806	1540	721	869	677	504	677	504	
3	921	1927	752	1328	1006	524	1149	1725	759	1718	1372	571	690	642	189	508	470	297	657	286	829	2698	759	663	642	648	425	663	642	648	425	
4	906	<u>717</u>	1389	976	604	1138	630	810	1723	1272	532	918	643	327	591	169	472	321	<u>460</u>	-	647	266	806	641	641	641	641	641	641	641	641	
5	872	860	1896	927	505	1126	581	1683	1262	503	581	555	449	426	291	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406	406
6	860	1896	908	544	1154	1846	544	400	1657	1302	486	868	544	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
7	854	839	839	485	1048	1011	1543	978	952	943	1785	934	936	921	1664	902	913	890	1210	886	843	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812
8	839	839	839	485	1048	1011	1543	978	952	943	1785	934	936	921	1664	902	913	890	1210	886	843	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812
9	826	1664	839	485	1048	1011	1543	978	952	943	1785	934	936	921	1664	902	913	890	1210	886	843	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812
10	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817	817
11	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812	812
12	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553	793	1553
13	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782	782
14	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726	726
15	<u>683</u>	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
16	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
17	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
18	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
19	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
20	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
21	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473	683	1473
T _r (min)	15	4	8	21	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

은 결과는 창문을 닫아 외부공기의 유입이 극히 적은 상태에서 실내온도가 부유세균 증식에 영향을 미치는 중요한 인자임을 보여준다. 습도와 오염물질 농도 사이의 상관관계는 확인할 수 없었다.

3. 2 환기효과 및 영향인자

3. 2. 1 오염물질 농도 변화

각 대상시설에서 계절별로 측정된 환기시간에 따른 CO₂ 및 TAB의 농도는 표 4와 같았다. 모든 시설에서 환기시작과 동시에 CO₂의 농도는 전반적으로 꾸준히 감소하여 일정시간 경과 후 대부분 유지기준 이하로 내려갔다. TAB 농도 역시 환기에 의해 뚜렷하게 감소하는 것으로 나타났으나 단위시간당 감소속도가 달라 CO₂가 유지기준을 만족시키는 경우에도 TAB의 농도는 기준을 초과하는 경우가 있었다. 오염물질의 농도 변화는 계절보다 시설에 따라 감소속도 및 도달시간이 다른 특성을 보여 어린이집 실내공기 오염물질은 구조적 인자에 크게 기인하는 것으로 나타났다.

3. 2. 2 환기 영향인자

환기에 의해 오염물질 농도가 확연히 저감되는 것을 확인함에 따라 환기에 영향을 미칠 것으로 예상되는 주요 인자와 도달시간으로 표현되는 환기속도와의 관계분석을 통해 효율적 환기를 위한 조건을 도출하고자 하였다.

가. 재실자 수

사람은 CO₂와 TAB의 주된 배출원이기 때문에 재실자가 적을수록 단위시간당 배출되는 오염물질이 적어 도달시간이 줄어들 것으로 판단하여 재실자 수와 도달시간과의 관계를 분석하였다. 보육교사, 어린이 그리고 연구참여자 모두를 재실자로 간주하였으며 재실자 수와 도달시간은 표 3과 같았다. Pearson 분석결과 재실자 수와 도달시간의 상관계수는 0.3054, 대상시설별 평균 재실자 수와 평균 도달시간의 상관계수는 0.2317로 상관관계가 약해 재실자 수는 환기속도에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

나. 교실체적

교실체적이 작을수록 환기가 용이할 것으로 예측하여 교실체적 및 재실자 1인당 체적을 관련 인자로 선정하였고 각 대상시설의 수치는 표 3과 같았다. 교

Table 5. Window area of each facility and T_r.

	Window area (m ²)	Window/vol. ratio (%)	Window /wall ratio (%)	Mean T _r (min)
A	1.16	1.05	1.84	10.3
B	0.72	1.25	1.74	12.7
C	3.64	8.79	8.97	6.3
D	5.95	6.14	9.95	5.7
E	3.77	2.77	5.22	9.7

Table 6. Results of correlation analysis between window area factors and T_r.

Factor	Correlation coefficient	p-value
Window area	-0.8716	0.0542
Window/vol. ratio	-0.8880	0.0442
Window/wall ratio	-0.9539	0.0119

실체적 관련 인자와 평균 도달시간과의 관계에 대해 Pearson 상관분석을 실시한 결과 교실체적과 시설별 평균 도달시간의 상관계수는 0.1045, 1인당 체적과 도달시간의 상관계수는 -0.1779로 뚜렷한 상관관계를 확인할 수 없었다.

다. 창문면적

창문과 관련인자로 창문면적, 체적대비 창문면적 비율, 벽 대비 창문면적 비율을 고려하여 도달시간과의 관계를 분석하였다. 창문면적이 동일하더라도 교실체적, 벽에서 차지하는 비율 등에 따라 환기에 미치는 영향이 다를 것으로 예상하여 3가지 관련인자를 활용해 연구를 진행하였다.

창문면적은 창틀의 크기가 아니라 개방할 경우 실질적으로 공기가 통하는 면적으로 산정하여 표 5와 같이 조사되었고, 각 인자와 도달시간에 대해 Pearson 상관분석을 실시한 결과는 표 6과 같았다. 창문면적과 관련된 인자 모두 도달시간과 매우 강한 음의 상관관계를 형성하고 특히 벽 대비 창문면적 비율이 가장 강한 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 어린이집 실내공기 오염물질의 특성을 파악하고 환기 효과 및 영향인자를 분석함으로써 실내공기질 관리를 위한 바람직한 조건을 도출하기 위해 수행되었으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 실내공기 오염물질의 평형농도 및 초기농도는 환경인자와 상관관계가 거의 없고, 시설별로 편차가 커 오염물질이 환경인자보다 구조 등 내부인자에 따라 다르게 형성되는 것으로 나타났다.
- (2) 환기 시작과 동시에 CO₂ 및 TAB는 지속적으로 떨어져 모든 시설에서 CO₂ 농도가 유지기준 이하로 내려가 환기가 실내공기 관리에 있어 유용함을 확인하였다. 환기에 영향을 미칠 것으로 생각되는 주요 인자와 도달시간으로 대표되는 환기속도의 상관관계를 분석한 결과 창문면적 특히 벽 대비 창문면적 비율이 도달시간과의 상관관계에서 상관계수 -0.9539로 매우 강한 음의 관계를 나타냈다.
- (3) 따라서 어린이집 실내공기질 관리를 위해서는 환기를 자주 하고 벽에서 창문의 비율이 큰 구조를 유지하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 대전보건환경연구원 연구조사사업을 바탕으로 작성된 것임.

References

Ahn, G.R. (2011) Study on the Concentration and Diversity of Bacteria in Indoor Air of Daycare Centers, Dankook University, 24-26. (in Korean with English abstract)

Cho, C.B., S.-N. Oh, K.-J. Park, B.-C. Choi, M.-K. Park, and

K.-R. Kim (2005) The Distribution Characteristics of Atmospheric CO₂ in the Korean Peninsula and the Expectations on its Annual Growth Trend by the year 2015, Journal of the Korean Meteorological Society, 41(3), 371-385. (in Korean with English abstract)

Choi, I.-S. (2011) A study of Indoor Air Quality in Various Types of Public Facilities in Seoul, University of Seoul, Korea, 12-13. (in Korean with English abstract)

Jang, M.S. (2009) Measuring and Improving Methods for Indoor Air Quality in Childcare centers, Hanyang University, 51-53. (in Korean with English abstract)

Korean Ministry of Environment (2010) Standard methods for indoor air quality.

Korean Ministry of Environment (2011) Management of IAQ in nursery facilities found to be inadequate, 1-4.

Korean Ministry of Environment (2013) Management of IAQ found to be inadequate in 172 of nursery facilities and newly-built collective housing, 1-2.

Lim, J.H. (2011) Analysis and Methods of Improving Current Conditions for Indoor Air Quality in Child Care Centers, Hanyang University, 153-154. (in Korean with English abstract)

Park, J.-H., J.-C. Park, and E.-K. Rhee (2011) A Study on the Field Measurement and Survey of the IAQ in the Child Care Center, Journal of Architectural Institute of Korea, 27(3), 282-283. (in Korean with English abstract)

Son, J.R., M.G. Kang, H.C. Kwak, and S.H. Kim (2008) Assessment of Indoor Air Quality on Upbringing Facilities in National Capital Region, Proceeding of the 46th Meeting of Korean Soc. Atmos. Environ., 530-531.