한국환경분석학회지 제16권 (제2호) 123~131, 2013
J. of the Korean Society for Environmental Analysis

회귀분석을 이용한 다중이용시설 실내오염물질 특성 연구

이세행† · 정숙경 · 이경석 · 민경우 · 김현승 · 김도술 · 강영주 · 배석진
광주광역시 보건환경연구원 환경연구부

A Study on Characteristics of Indoor Air Pollutants Using Regression Analysis in Public Facilities

Se-Haeng Lee†, Suk-Kyung Jeong, Kyoung-Soek Lee, Kyong-Woo Min, Hyun-Seung Kim, Do-Sool Kim, Yeong-Ju Kang, and Seok-Jin Bae

Gwanju Metropolitan Health & Environment Research Institute, Department of Environmental Engineering, Gwangju 502-270, Korea

Received May 9, 2013/Revised June 14, 2013/Accepted June 27, 2013

The aim of this study is to understand the characteristics of indoor air pollutants and provide information about the present Indoor Air Quality(IAQ) in 104 public facilities from January 2011 to December 2012. The measured air pollutants are PM_{10}, HCHO(formaldehyde), CO, CO_2, and total airborne bacteria(TAB). And the effects of environmental factors such as temperature, humidity and construction characteristics were analyzed in relation to the measured concentrations. The results of this study showed that the mean concentration of PM_{10}, CO_2, HCHO, CO, and TAB were 55.3 /, 558.6 ppm, 31.0 /, 1.2 ppm, and 561.3 CFU/, respectively. The correlation analysis showed that CO_2 and HCHO ($r=0.497$, $p<0.01$), CO_2 and TAB ($r=0.468$, $p<0.01$), and PM_{10} and CO ($r=0.342$, $p<0.01$) were significant. The result of regression analysis was found that the influence factors associated with the concentration of PM_{10}, HCHO, and TAB were the year of building construction, the temperature and the humidity

Key words: Indoor Air Quality (IAQ), Public facilities, Correlation analysis, Regression analysis

1. 서 론

최근 천식·아토피 등 환경성 질환이 급속하게 증가됨에 따라 실내공기질은 인간의 건강문제와 직접적으로 연계되는 매우 중요한 환경요소의 하나로 다루어지게 되었다.[1] 실내공기 오염은 주택, 학교, 사무실, 공공건물, 병원, 지하시설물, 교통수단 등 다양한 실내공간의 공기가 오염된 상태를 말하며 매우 복합적인 원인들에 의해 야기될 수 있는데, 그 영향은 실내 거주자들의 생명을 위협할 정도는 아닐지라도 장기적으로 볼 때 건강에 나쁜 영향을 미치고 있음에 틀림없다.[2] 세계보건기구(World Health Organization, WHO)에서도 실내공기오염에 의한 사망자가 실외공기오염으로 인한 사망자 수의 약 50%에 이르는 것으로 보고하고 있으며, 실내공기 오염도를 20%만 줄여도 급성기관지 질환 사망률을 최소 4~8%를 줄일 수 있는 것으로 보고하였다.[3]

일반적으로 실내공기 오염이 대기오염보다 더 심각한 이유는 대기오염은 자연적인 희석률이 크고, 기후변화와 함께 자연정화가 가능하나, 실내공기는 한정된 공간 속에서 기계적인 설비를 통해 오염된 공기를 계속 순환시키거나 아예 그런 설비가 없는 밀폐지역에서 오랫동안 생활함으로써 각종 오염물질에 무방비 상태로 노출되어 있기 때문이다. 또한 1970년대 이후 에너지 효율을 높이기 위해 건물이 밀폐되고 에너지 회수장치가 설치된 건물이 늘어남에 따라 실내에 오염물질이 계속 축적되고, 새로운 건축자재와 다양한 생활용품 사용의 증가로 새

†To whom correspondence should be addressed.
Tel: 82-62-613-7594, Fax: 82-62-613-7619, E-mail: sehang@korea.kr

로운 오염물질이 발생됨에 따라 실내공기질의 관리의 중요성이 강조되고 있다.[4-6)]

선진국에서는 실내공간의 오염물질과 건강영향에 대한 많은 연구를 진행하고 있으며, 일본에서는 실내에 장기간 거주하는 사람에게 나타나는 증상으로 머리가 무겁고, 목이 아프거나, 기분이 나빠지는 증상들을 유발하는 Sick House 문제가 부각되어, 1996년 7월 건설성, 후생성, 통산성을 중심으로 건강주택연구회가 조직되어 주택의 화학물질 오염에 대한 지침이 제정되었다. 특히, 미국에서는 실내공기오염을 가장 시급히 처리해야 할 5대 환경문제 중의 하나로 간주하여 다양한 연구를 수행하고 있다.[7-9)]

우리나라에서도 1980년대 후반부터 실내공기질에 대한 연구가 시작되었으며,[10-14)] 최근에는 실내공기질에 대한 관심과 중요성이 더욱 인식됨에 따라 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에서 적용대상 시설을 17개 시설군에서 영화관, PC방 등 4개 시설군을 추가하여 21개 시설군을 관리하고 있다.[15)]

실내공기질의 중요성이 인식되기 시작한 것은 거주자들이 실내에 머무는 동안 일시적 또는 만성적인 건강유해 증상들이 나타나면서 부터라 할 수 있으며, 실내공기질은 실외와는 달리 실내의 오염원과 실외 오염물질의 유입에 의해 오염될 경우 쉽게 정화되지 않을 뿐만 아니라 재실자들의 건강까지도 위협하고 있다.[16,17)] 또한 실내에서 발생되는 오염물질은 종류와 발생원이 매우 다양하며, 비록 저농도라 하더라도 거주자가 실내에서 보내는 시간이 길기 때문에 건강측면에서도 더욱 중요한 의미를 지니게 된다.[18,19)] 이러한 점을 감안할 때 사람들이 주로 이용하는 다중이용시설에 대한 실내공기질 실태 및 특성 파악이 무엇보다 중요하다고 하겠다.

이에 본 연구에서는 다중이용시설 21개 시설군에서 대부분을 차지하고 있는 의료기관, 보육시설, 실내주차장, 대규모 점포 등 7개 시설군에 대하여 미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소, 포름알데히드 등의 오염현황 및 특성을 파악하고 이들 물질간의 상호관련성을 조사하여 다중이용시설의 실내공기질 개선 및 대책수립에 기여하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 연구대상 및 기간

본 연구는 2011년 1월부터 2012년 12월까지 2년에 걸쳐 광주지역에 있는 다중이용시설 104개 시설(병원: 33개소, 보육시설: 27개소, 실내주차장: 14개소, 대규모 점포: 12개소, 찜질방: 7개소, 지하역사: 6개소, 도서관: 5개소)을 대상으로 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」에서 제시하고 있는 유지기준 5개 오염물질(미세먼지, 이산화탄소, 일산화탄소, 포름알데히드, 총부유세균)을 조사하였다.

다중이용시설은 Table 1과 같이 7개 시설군에 따라 건축 경과년수별로 구분해 선정하였으며, 시설의 총면적, 이용객 수, 환기 종류 등을 조사하였다.

2.2. 측정 및 분석방법

다중이용시설의 실내 오염물질 조사는 실내공기질 공정시험기준[20)]에 근거하여 조사하였으며, 측정지점은 주변시설에 의한 영향과 측정 장애가 없고, 대상시설의 오염도를 대표할 수 있는 지점으로 시설을 이용하는 사람이 많은 곳에서 2~4개 지점을 선정하였다. 측정위치는 내벽, 천정에서 1 m 이상 떨어지고 바닥 면에서 1.2~1.5 m 위치를 잡아 측정하였다.

각 오염물질별 분석방법을 살펴보면 미세먼지는 Mini-volume Air Sampler를 이용하여 5 L/min으로 6시간 동안 채취한 후 데시케이터에 24시간 동안 보관하였다가 0.001 mg 이상의 감도를 갖는 분석용 저울로 3회 반복하여 중량을 측정하였으며, 미세먼지 농도는 측정 전

Table 1. Classification on seven public facility by year of building construction

Public facilities	Year of building construction			Total
	≤ 5 years	6-10 years	≥ 11 years	
Total	33	29	42	104
Hospital	18	6	9	33
Child care facilities	10	5	12	27
Indoor parking	3	3	8	14
Large store	2	3	7	12
Steamer room	-	6	1	7
Subway station	-	6	-	6
Library	-	-	5	5

후 필터의 중량 차이를 측정유량으로 나누어 산출하였다.

이산화탄소와 일산화탄소는 비분산적외선법(NDIR)을 이용하여 측정하였으며, 본 연구에서는 현장에서 측정 및 분석이 가능한 비분산적외선분석기인 48i(Thermo, U.S.A)와 300E(Teledyne, U.S.A)를 이용하여 각각 1시간 동안 이산화탄소와 일산화탄소의 농도를 산출하였다.

폼알데하이드는 실내공기 중에 존재하는 카르보닐화합물과 DNPH와의 반응에 의해 생성되는 DNPH 유도체를 분석하는 2,4-DNPH 유도체화 분석법을 이용하였으며, 시료채취는 오존의 방해를 최소화하기 위해서 KI가 채워진 오존스크러버를 2,4-DNPH 카트리지의 전단부에 설치하고 유량 변화가 적은 펌프를 이용하여 1.0 L/min으로 30 L를 채취하였다. 시료채취가 끝난 시료에 대해서는 추출과 분석 전까지 알루미늄 호일로 개별 포장하여 4°C 냉장고에 보관한 후 아세트나이트릴로 용출하여 HPLC(Agilent, U.S.A)로 분석하였다. 분석조건은 Table 2와 같다.

총부유세균은 실내의 공기를 일정량 흡입한 후 배지에 충돌시켜 공기 중의 총부유세균은 채취하는 방법인 충돌법을 이용하였다. 시료채취는 Sampler에 TSA(Tryptic Soy Agar) 배지를 장착하여 100 L/min으로 250 L의 공기 중 시료를 포집한 후 35°C에서 배양하였고 배양 중 증식되는 세균의 확산으로 인해 계수가 곤란할 경우를 대비하여 24시간 단위로 증식상태를 관찰하였다. 48시간 동안 배양기에서 배양한 후 집락수를 세어 공기 중 단위 용량당 집락수(CFU/m^3)를 계산하였으며, 각 오염물질별 시료 채취방법과 채취시간, 사용된 장비는 Table 3에 나타냈다.

Table 2. Summary of instrumental and analytical conditions of HPLC

HPLC System	Agilent 1100
Column	ZORBAX ODS(C18), 4.6×250 mm, 5 μm
Flow rate	1.0 mL/min
Elution	60:40 (Acetonitrile:water)
Injection volume	20 μL
Detector	UV@360 ㎚, Diode array detector

2.3. HPLC 최소검출한계 및 재현성 평가

폼알데하이드의 분석결과에 대한 정밀·정확도를 확인하기 위해 실내공기질공정시험기준에 따라 측정 전에 폼알데하이드의 재현성, 방법검출한계 실험을 실시하였다.

검량선은 DNPH-유도체화 폼알데하이드 표준용액을 아세토나이트릴로 희석하여 5개 표준시료(50 ng, 100 ng, 200 ng, 400 ng)을 조제하여 실제 시료 분석시와 동일한 조건으로 분석하였다. 시료분석시 매번 검정곡선을 작성하였으며, 직선성 평가 결과 결정계수(r^2)가 0.999 이상으로 나타났다.

HPLC에 의한 폼알데하이드의 재현성, 방법검출한계를 4회 평가한 결과, 재현성은 머무름 시간에 대한 상대표준편차가 1.0 % 이하, 피크면적에 대한 상대표준편차는 5.0% 이하로 재현성이 좋게 나타났으며, 방법검출한계도 0.001 μg/m^3 이하로 매우 양호하게 나타났다.

2.4. 결과분석

본 연구에서는 다중이용시설의 실내공기 오염물질을 시설군별로 평균, 표준편차, 최소값, 최대값을 산출하였으며, 실내공기 오염물질과 환경인자들과의 관계를 분석하기 위해 다변량 통계분석을 이용하였다. 다변량 통계분석은 조사한 변수가 여러 개인 경우 한 변수와 다른 여러 변수간의 관계를 파악할 때 사용하는 분석방법으로 통계프로그램 SPSS 20.0을 이용하여 분산분석, 상관분석, 다중회귀분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 다중이용시설의 실내공기질 특성

광주지역 다중이용시설 104개소에 대하여 실내공기 중 미세먼지(PM_{10})와 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 폼알데하이드(HCHO), 부유세균(TAB: Total Airborne Bacteria)을 조사하여 Table 4에 나타내었고, 이 결과를

Table 3. Sampling and analyzing conditions of indoor air pollutants

Air Pollutant	Sampling/Analyzing Method	Sampling Time	Sampler or Analyzer	Maker
PM_{10}	Gravimetric method	6 hrs	TAS	Airmetrics
Carbon monoxide	Non-dispersive Infrared spectrometer	1 hr	300E	Teledyne
Carbon dioxide	Non-dispersive Infrared spectrometer	1 hr	410i	Thermo
Formaldehyde	2,4-DNPH cartridge and HPLC	30mins×2times	MP-100	Sibata
Total airbone bacteria	Impactor	2.5mins×3times	MAS100	Merck

Table 4. The result of measurements from public facilities

Sites	Pollutants	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	CO_2 (ppm)	HCHO ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)	TAB (CFU/m^3)
Total (n=104)	Mean	55.3	558.6	31.0	1.2	561.3
	S.D.	17.9	144.6	28.9	1.0	253.0
	Range	29.9~137.9	355.9~986.9	3.5~170.4	0.4~7.0	77.8~1,151.6
Hospital (n=33)	Mean	49.8	610.2	34.5	0.9	449.2
	S.D.	8.5	153.0	24.8	0.2	236.6
	Range	34.5~72.3	355.9~986.9	7.9~96.1	0.4~1.5	77.8~1,124.3
	Standard	100	1,000	100	10	800
Childcare facilities (n=27)	Mean	52.1	579.6	27.2	0.8	698.3
	S.D.	13.1	156.1	33.1	0.3	202.3
	Range	31.8~80.6	408.7~919.7	3.5~170.4	0.5~1.6	205.8~1,151.6
	Standard	100	1,000	100	10	800
Indoor parking (n=14)	Mean	76.2	486.6	19.6	2.8	-
	S.D.	20.5	57.7	11.8	1.5	-
	Range	52.5~137.9	405.5~592.1	5.8~40.8	1.4~7.0	-
	Standard	200	1,000	100	25	-
Large store (n=12)	Mean	45.4	555.6	50.4	1.4	-
	S.D.	9.0	95.3	35.0	1.5	-
	Range	29.9~56.3	379.4~683.4	13.3~118.9	0.4~5.9	-
	Standard	150	1,000	100	10	-
Steamer room (n=7)	Mean	41.1	410.4	20.3	0.9	-
	S.D.	4.3	38.5	10.0	0.4	-
	Range	34.0~46.1	364.5~455.9	11.3~39.6	0.5~1.7	-
	Standard	150	1,000	100	10	-
Subway station (n=6)	Mean	92.6	419.9	4.9	0.8	-
	S.D.	11.1	9.1	0.5	0.2	-
	Range	77.9~109.9	410.8~435.1	4.2~5.5	0.6~1.1	-
	Standard	150	1,000	100	10	-
Library (n=5)	Mean	49.7	687.0	61.5	0.8	-
	S.D.	11.1	153.7	36.9	0.2	-
	Range	36.7~61.6	528.9~904.9	27.4~121.1	0.6~1.0	-
	Standard	150	1,000	100	10	-

다중이용시설 실내공기질 관리법의 유지기준과 비교한 것은 Fig. 1에 나타내었다.

3.1.1. 미세먼지

미세먼지(PM_{10})는 실내공기 중에 오랫동안 떠다니면서 기도를 통해 체내로 들어와 폐포에 도달하며, 각종 호흡기 계통의 질환을 일으키는 원인이 된다. 미세먼지가 유발하는 질환으로는 천식이 대표적이며, 천식은 만성 호흡기 질환으로 기침, 호흡곤란, 흉부 압박감 등의 증상을 초래한다. 이에 환경부에서는 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」을 제정하여 다중이용시설별로 미세먼지 기준을 다르게 설정하여 관리하고 있다.

다중이용시설의 미세먼지 농도를 살펴보면 전체 평균 55.3 $\mu g/m^3$(29.9~137.9 $\mu g/m^3$)으로 유지기준보다 낮게 나타났으며, 유지기준과 농도비에서도 평균 0.37(0.20~0.92)로 양호하게 나타났다. 시설군별로 비교해 보면, 지하역사가 92.6 $\mu g/m^3$으로 가장 높게 나타났으며, 다음은 실내주차장 76.2 $\mu g/m^3$, 보육시설 52.1 $\mu g/m^3$ 순으로 나타났다. 유지기준과의 농도비에서도 지하역사가 0.62로 가장 높았고, 보육시설이 0.52, 의료기관이 0.50 순으로 나타났다.

지하역사에서 미세먼지가 높은 이유는 지하역사를 이용하는 이용객에 의해 생성되기도 하지만, 대부분 전동차가 진입시 터널내 공기가 승강장으로 유입되기 때문이다. 이처럼 터널내 공기가 지하역사로 유입되고, 지하역사내에 지속적으로 머물게 되면 미세먼지 농도가 높게 나타날 수 있다. 이에 미세먼지가 지하역사내에 축적되지 않도록 적절히 환기시키고, 주기적으로 청소하는

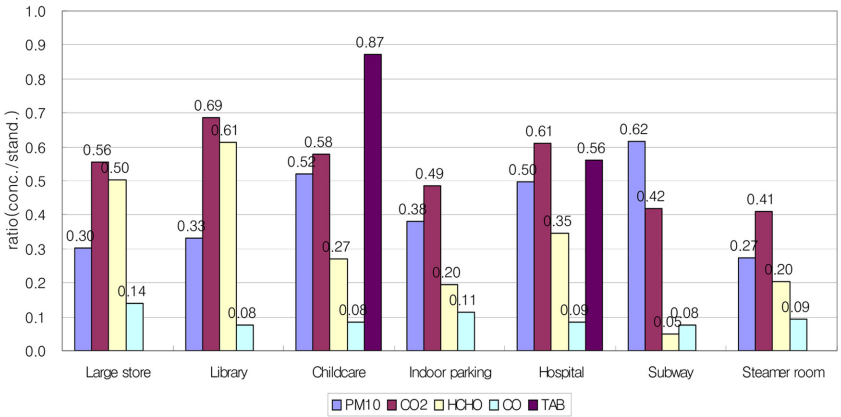

Fig. 1. The ratio of indoor air pollutants to IAQ standards.

등 미세먼지를 저감시키기 위한 노력이 필요하다. 또한 주차장에서는 차량의 매연이나 타이어의 흙먼지로 인해 미세먼지 농도가 높게 나타날 수 있으므로 주차장 바닥에 먼지가 쌓이기 않도록 청소를 주기적으로 실시하고, 보육시설은 어린이들이 주로 활동하는 공간으로 신발, 가방, 의류 등에서 미세먼지가 발생하므로 많은 관심과 관리가 필요하다.

3.1.2. 이산화탄소

이산화탄소는 무색, 무미, 무취의 기체로 지구온난화의 주요 원인물질로 주목받고 있다. 또한 이산화탄소(CO_2)는 실내공간의 환기상태 및 실내공기오염의 중요한 지표로 활용되고 있으며, 사람의 호흡에 의해 주로 배출되고 연료의 연소시 발생되는 물질이다. 실내공기 중에 이산화탄소 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 호흡곤란, 두통 등을 유발함에 따라 일산화탄소와 함께 중요한 실내오염의 지표로 이용되고 있다. 이에 우리나라와 일본에서는 이산화탄소 기준을 1,000 ppm으로 설정하여 관리하고 있다.

다중이용시설의 이산화탄소 농도를 살펴보면 전체 평균 558.6 ppm(355.9~986.9 ppm)으로 유지기준보다 낮게 나타났으며, 유지기준과 농도비에서도 평균 0.56 (0.36~0.99)로 양호하게 나타났다. 시설군별로 비교해 보면, 도서관이 687.0 ppm으로 가장 높게 나타났으며, 다음은 의료기관 610.2 ppm, 보육시설 579.6 ppm 순으로 나타났다. 유지기준과의 농도비에서도 도서관이 0.69로 가장 높았고, 지하역사가 0.62, 의료기관이 0.61 순으로 나타났다.

CO_2의 농도가 가장 높았던 도서관은 이용자의 수가 많았으며, 대부분 오래된 건물로 창문과 열람실 출입문을 통한 자연환기가 이루어지고 있었다. 또한, 실내의 일정한 온도를 유지하기 위하여 창문은 거의 밀폐된 상태였고 출입문만을 통한 약간의 환기가 진행되고 있었다. 실내공간에서의 CO_2 농도는 사람들의 호흡에 의해 주로 발생됨에 따라 사람들의 활동과 호흡량에 따라 좌우되며, 환기설비의 설치 유·무 및 정상적인 가동과 밀접한 관련이 있으므로 실내공간에서 CO_2 농도의 감소와 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위해서는 적합한 환기설비의 설치 및 효율적인 운영이 필요하다.

3.1.3 폼알데하이드

폼알데하이드(HCHO)는 자극성 냄새를 갖는 가연성 무색 기체로 인화점이 낮아 폭발의 위험성이 있으며, 살균 방부제로도 이용된다. 실내에서 폼알데하이드는 온도와 습도, 건축물의 수명, 실내 환기율에 따라 크게 좌우되며, 건축 내장재 중 파티클보드(particle board)와 화이버 보드(fiber board) 등의 합판류, MDF(medium density fiberboard)류, 우레아수지폼 단열재(urea formaldehyde foam insulation: UFFI), 페인트 등에서 많이 발생된다. 폼알데하이드는 급성독성, 피부자극성, 발암성 등의 인체 유해성을 가지고 있으며, 우리나라에서는 실내공기질관리법에 폼알데하이드 유지기준을 100 $\mu g/m^3$으로 규정하고 있다.

다중이용시설의 폼알데하이드 농도를 살펴보면 전체 평균 31.0 $\mu g/m^3$(3.5~170.4 $\mu g/m^3$)으로 대부분 유지기준보다는 낮게 나타났으나 일부시설(보육시설 1개소, 도서관 1개소, 대규모점표 2개소)에서 유지기준을 초과하였다. 시설군별로 비교해 보면, 도서관이 61.5 $\mu g/m^3$으로

가장 높게 나타났으며, 다음은 대규모점포가 50.4 μg/m^3, 의료기관이 34.5 μg/m^3 순으로 나타났다. 유지기준과 농도비에서는 평균 0.31(0.04~1.70)로 도서관이 0.61로 가장 높았고, 대규모점포가 0.50, 의료기관이 0.35 순으로 나타났다.

폼알데하이드의 농도가 높게 나타난 도서관과 보육시설은 시설 개·보수로 인해, 대규모점포에서는 상품 진열이나 전시를 위한 잦은 공사로 인해 높게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 폼알데하이드는 급성독성, 피부자극성, 발암성 등의 인체 유해성을 가지고 있고 실내가구, 연소과정, 접착제, 흡연, 생활용품, 의약품, 접착제 등에서 발생됨에 따라 시설을 개·보수하거나 새로운 가구나 생활용품이 들어올 경우 충분히 환기시키고 베이크아웃(Bake-out)등의 방법으로 폼알데하이드를 저감시킬 필요가 있다.

3.1.4 일산화탄소

일산화탄소(CO)는 난방, 주방 연료 등의 불완전연소와 흡연, 자동차 등으로부터 주로 발생되며, 이러한 일산화탄소는 체내에 산소를 운반하는 역할을 하는 혈액 중의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈(COHb)을 만들어 혈액의 산소운반능력을 저하시켜 농도에 따라 사망에 이를 수 있다. 현재, 일산화탄소의 실내공기질 유지기준은 실내주차장의 경우 25 ppm, 그 밖의 다중이용시설에 대해서는 10 ppm으로 규정하고 있다.

다중이용시설의 일산화탄소 농도를 살펴보면 전체 평균 1.2 ppm(0.4~7.0 ppm)으로 유지기준보다 낮게 나타났으며, 유지기준과 농도비에서도 평균 0.12(0.04~0.70)로 양호하게 나타났다. 시설군별로 비교해 보면, 실내주차장이 2.8 ppm으로 가장 높게 나타났으며, 다음은 대규모 점포 1.4 ppm, 의료기관 0.9 ppm 순으로 나타났다. 유지기준과의 농도비에서도 대규모점포가 0.14로 가장 높았고, 실내주차장이 0.11, 의료기관과 찜질방이 0.09 순으로 나타났다.

일산화탄소의 농도가 가장 높은 실내주차장은 자동차로 인해 높게 나타났으며, 대규모점포는 실내에서 직접 난방기구를 사용함에 따라 다른 시설보다 높게 나타난 것으로 조사되었다. 하지만 1990년대 후반부터 난방연료가 석유에서 가스로 전환되고, 공공장소와 다중이용시설에 대해서는 금연을 지정하거나 별도의 흡연 장소를 설치하는 등 발생원에 대한 대책이 수립됨에 따라 실내공간에서 일산화탄소 농도는 낮아지고 있는 것으로 판단된다. 또한 백 등[12], 김 등[13], 김 등[14] 대도시 지역인 서울과 대구의 지하역사, 지하도 상가, 병원, 버스터미널, 지하주차장 등의 다중이용시설을 대상으로 조사한 연구결과를 살펴보면 CO의 농도 범위는 2~3 ppm, 그리고 최고 농도는 10 ppm으로 본 연구결과와 유사한 농도분포를 보였다.

3.1.5. 총부유세균

실내공기 중에 부유하고 있는 세균은 먼지나 수증기 등에 미생물들이 부착되어 생존하고 있으며, 화학물질인 VOCs, HCHO와 더불어 사람의 건강과 건물에 중요한 영향을 미치기 때문에 실내공기질을 평가하는데 있어 중요한 고려사항으로 알려져 있다. 또한, 세균은 저항력이 약한 노약자와 어린이, 환자들에게 많은 영향을 주는 것으로 특별한 관리가 요구되고 있다. 따라서 우리나라에서는 어린이, 환자, 노약자들이 주로 이용하는 보육시설, 의료기관, 노인복지시설 등에 대해 총부유세균을 800 CFU/m^{3}으로 설정하여 관리하고 있다.

본 연구에서는 보육시설과 의료기관에 대해서만 총부유세균을 측정하였으며, 측정결과를 살펴보면 전체 평균 561.3 CFU/m^3(77.8~1,151.6 CFU/m^3)으로 대부분 유지기준보다 낮게 나타났으나 일부시설(보육시설 3개소, 의료기관 1개소)에서 유지기준을 초과하였다. 유지기준과 농도비에서도 평균 0.70(0.10~1.44)로 나타났다. 시설군별로 비교해 보면, 보육시설이 698.3 CFU/m^{3}으로 높게 나타났으며, 의료기관이 449.2 CFU/m^{3}으로 나타났다. 유지기준과의 농도비에서도 보육시설이 0.87, 의료기관이 0.56으로 나타났다.

총부유세균의 농도가 높은 보육시설은 환기설비가 설치되어 있지 않고 자연환기에만 의존하고 있었으며, 보육실 내에 화장실이 있거나, 교육자재, 이불, 가방 등 실내공기질 관리가 소홀해 농도가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 총부유세균은 온도와 습도가 높은 곳에서 번식을 하며, 아이들이 많이 활동하는 보육시설이나 병원체가 상시 존재하는 병원시설에서 대체적으로 높게 나타나므로 해당시설 관리자들은 쾌적한 실내공기질 확보를 위해 보다 많은 노력과 관심이 필요하다.

3.2. 측정결과의 통계분석

3.2.1. 실내오염물질간의 상관성

광주지역 보육시설, 의료기관, 실내주차장 등의 104개 다중이용시설 전체에 대하여 실내공기 오염물질간의 상관성을 분석하기 위해 통계프로그램 SPSS로 Pearson correlation analysis을 실시하였으며, 그 결과를 Table 5

Table 5. Results of correlation analysis of each pollutant in public facilities

	PM_{10}	CO_2	HCHO	CO	TAB	Temp.	Hum.
PM_{10} (μg/m^3)	1.000						
CO_2 (ppm)	-0.153	1.000					
HCHO (μg/m^3)	-0.330**	0.497**	1.000				
CO (ppm)	0.342**	-0.050	-0.013	1.000			
TAB (CFU/m^3)[a]	-0.006	0.468**	0.324*	0.092	1.000		
Temp. (^{o}C)[b]	-0.332**	0.043	0.394**	0.091	0.157	1.000	
Hum. (%)[c]	-0.378**	0.068	0.432**	-0.063	0.281*	0.452**	1.000

[a]TAB: Total airborne bacteria, [b]Temp.: Temperature, [c]Hum.: Humidity
$^{*}p<0.05$, $^{**}p<0.01$

Table 6. Results of variance analysis of indoor air pollutants by construction year

	Mean ± Standard deviation			F	p-value
	≤ 5 years	6~10 years	≥ 11 years		
PM_{10}	51.0±11.4	58.1±22.2	56.8±18.5	1.47	0.235
CO_2	589.9±137.8	510.7±156.3	567.0±136.1	2.51	0.086
HCHO	30.3±25.4	32.7±38.8	30.5±23.8	0.07	0.935
CO	1.0±1.1	1.2±0.7	1.3±1.1	1.08	0.34
TAB	519.4±208.5	562.9±361.6	616.4±243.1	0.88	0.421

에 나타내었다. 분석결과, 이산화탄소와 폼알데하이드 사이에서 가장 높은 상관관계(r=0.497)를 보였으며, 유의수준 0.01에서 유의한 것으로 분석되었다. 이는 조사대상 시설의 실내환경에 대한 구체적인 조사는 이루어지지 않았지만 시설내의 건축자재, 환기시간 등의 영향으로 상관성이 있는 것으로 추정된다. 다음은 이산화탄소와 총부유세균이(r=0.468, $p<0.01$), 미세먼지와 일산화탄소가(r=0.342, $p<0.01$), 미세먼지와 폼알데하이드가(r=-0.330, $p<0.001$) 상관성이 있는 것으로 조사되었다. 또한 실내오염물질과 온·습도와의 상관성을 분석한 결과, 미세먼지는 음의 상관관계, 폼알데하이드는 양의 상관관계를 나타났다. 이는 추운 겨울에는 낮은 온도로 인해 환기 부족으로 미세먼지 농도가 증가하고, 실내 온도가 높은 여름에는 실내의 가구나 생활용품에 함유되어 있는 폼알데하이드가 온도가 높을수록 많이 방출됨에 따라 폼알데하이드가 증가하는 것으로 나타났다.

3.2.2. 건축 경과년수 및 이용객수와 실내오염물질간의 상관성

다중이용시설의 실내오염물질과 건축 경과년수와의 상관성을 알아보기 위해 일원배치 분산분석을 실시하였으며, 분석결과를 Table 6에 나타내었다. 건축 경과년수는 5년 이하, 6년 이상 10년 이하, 11년 이상으로 나누어 분석하였다.

분석결과, 미세먼지는 5년 이하의 건물에서 51.0 μg/m^3, 6년 이상된 건물에서는 58.1 μg/m^3, 56.8 μg/m^{3}으로 건축 경과년수에 따라 미세먼지 농도는 약간 증가하지만 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 조사되었으며, 일산화탄소와 총부유세균도 11년 이상된 건물이 1.3 ppm, 616.4 CFU/m^{3}으로 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

또한 실내오염물질과 이용객 수와의 상관성을 알아보기 위해 Table 7과 같이 시설 이용객 수를 100명 이하, 101명 이상 1,000명 이하, 1001명 이상으로 나누어 분산분석을 실시한 결과, 미세먼지는 이용객 수가 1001명 이상일 경우 64.0 μg/m^{3}으로 가장 높게 나타나 이용객이 많을수록 미세먼지 농도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 하지만 이산화탄소, 폼알데하이드, 일산화탄소, 총부유세균은 시설 이용객 수와 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

3.2.3 실내오염물질과 환경인자와의 관계

다중이용시설의 건축 경과년수, 총면적, 이용객 수, 온·습도 등 환경인자가 실내오염물질의 농도에 미치는 영향 정도를 판단하기 위해 다중회귀분석을 실시하여 각 영향인자에 대한 회귀 방정식 및 결정계수를 Table 8과 같이 구하였으며, 환경인자 중 총면적은 1000 이상인 경우와 초과한 경우로, 건축년수는 5년 이하인 경우와 초과한 경우로, 이용객 수는 500명 이상인 경우 초과한 경우로 나누어서 회귀분석을 실시하였다.

Table 7. Results of variance analysis of indoor air pollutants by the number of users

	Mean ± Standard deviation			F	p-value
	≤ 100 persons	101~1000 persons	≥ 1001 persons		
PM_{10}	48.9±9.9	53.1±16.2	64.0±21.8	4.38	0.015
CO_2	583.7±162.0	571.8±154.4	512.1±96.8	1.76	0.178
HCHO	49.1±46.8	28.6±24.3	30.5±30.6	2.26	0.109
CO	0.9±0.3	1.1±1.1	1.4±1.0	1.39	0.254
TAB	671.4±302.3	536.0±240.7	702.6	1.37	0.264

Table 8. Results of multiple regression analysis between pollutants and environmental factors

	Parameter	Coefficients	p-value	r^2
PM_{10}	construction year	8.030	0.035	0.267
	temperature (°C)	-0.959	0.024	
	humidity (%)	-0.338	0.004	
HCHO	temperature (°C)	1.830	0.009	0.258
	humidity (%)	0.645	0.001	
TAB	area (m^2)	-246.631	0.002	0.249
	number of users	203.424	0.050	
	humidity (%)	6.385	0.010	

미세먼지 농도에 영향을 미치는 인자는 건축 경과년수와 온·습도로, 건축 경과년수가 5년 이상인 경우 8.030 μg/m^3씩 농도가 올라가고, 온도 1°C 올라갈 때마다 0.959 μg/m^3씩, 습도가 1% 올라갈 때마다 0.338 μg/m^3씩 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 결정계수(r^2)는 0.267으로 추정된 회귀식에 의해 전체 미세먼지 농도의 26.7%를 설명할 수 있으며, 유의수준 0.05에서 유의한 것으로 나타났다.

폼알데하이는 온도 1°C 올라갈 때마다 1.830 μg/m^3씩, 습도가 1% 올라갈 때마다 0.645 μg/m^3씩 농도가 높아져 온·습도가 영향을 미치는 인자로 분석되었으며(r^2=0.258, $p<0.05$), 총부유세균은 이용객 수가 500명 이상인 경우 203.424 CFU/m^3, 습도가 1% 올라갈 때마다 6.385 CFU/m^3씩 농도가 높아지고, 총면적이 1000 m^2 이상인 경우 246.631 CFU/m^3가 낮아져 이용객 수, 습도, 총면적이 영향을 미치는 인자로 분석되었다(r^2=0.249, $p<0.05$).

4. 결 론

본 연구는 광주광역시의 다중이용시설별 실내공기질 실태를 파악하기 위하여 2011년 1월부터 2012년 12월까지 2년 동안 실내공기 오염물질 5개 항목에 대한 조사를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

다중이용시설 실내공기 중 미세먼지는 평균 55.3 μg/m^3, 이산화탄소는 558.6 ppm, 폼알데하이드는 31.0 μg/m^3, 일산화탄소는 1.2 ppm, 총부유세균은 561.3 CFU/m^3으로 대부분 유지기준보다 낮게 나타났으나 일부 시설에서 유지기준을 초과하여 주기적으로 환기나 소독, 베이크아웃 등의 방법으로 실내오염물질을 저감시킬 필요가 있다.

실내오염물질 간의 상관성을 분석한 결과, 이산화탄소와 폼알데하이드 사이에서 가장 높은 상관관계(r=0.497, $p<0.01$)를 보였다. 이는 조사대상 시설의 실내환경에 대한 구체적인 조사는 이루어지지 않았지만 시설내의 건축자재, 환기시간 등의 영향으로 상관성이 있는 것으로 추정된다. 또한 미세먼지와 일산화탄소가, 이산화탄소와 총부유세균이 상관성이 있는 것으로 조사되었다.

다중이용시설의 건축 경과년수, 이용객 수, 온·습도 등 환경인자가 실내오염물질의 농도에 미치는 영향 정도를 판단하기 위해 다중회귀분석을 실시한 결과, 미세먼지는 건축 경과년수와 온·습도가, 폼알데하이는 온·습도가, 총부유세균은 이용객 수, 습도, 총면적이 영향을 미치는 인자로 분석되었다.

이와 같이 본 연구는 전체 다중이용시설 중 일부 시설만 조사 연구한 것이므로 모든 다중이용시설을 대표할 수 없으나, 일부 다중이용시설에서 유지기준을 초과함에 따라 실내오염물질에 대한 관리의 필요성이 요구되며, 다중이용시설의 실내공기질 관리를 위해서는 오염물질의 발생원, 환기설비 등 적절한 관리방안을 모색하는 것이 매우 중요하다고 판단된다. 또한 향후 지속적인 실태조사로 시민들이 안전하게 이용할 수 있는 생활공

간이 되도록 관리방안을 마련하는데 기초 자료로 활용될 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 광주광역시보건환경연구원의 2012년도 연구사업 지원으로 수행하였습니다.

참고문헌

1. Y. Ataka, S. Kato, S. Murakami, Q. Zhu, K. Ito and T. Yokota, *Indoor Air 2004*, **2004**, 14(8), 51-64.
2. S. C. Lee and M. Chang, L. Y., *Chemosphere*. **2000**, 109-113.
3. WHO, **2002**, The world health report, Reducing risks promoting healthy life.
4. National Academy of Sciences (NAS), **1993**, Human exposure assessment for airbone pollutants, Washington DC.
5. 김성신, *한국생활환경학회 춘계학술지*, **1997**, 54-55.
6. 김미경, *한국환경위생학회지*, **1989**, 15(2), 1-9
7. 원윤재, 우승순, 오근찬, 홍낙기, 임병찬, 이석종, 방명렬, 김영진, 남기현, *강원도보건환경연구원보*, **2006**, 17, 67-73
8. 김윤신, *대한의학학회지*, **1989**, 32(12), 1279-1285.
9. 이주상, 원정일, 이철민, 김윤신, *대한위생학회지*, **2002**, 17(3), 67-74.
10. 류인철, 부경대학교 공학박사학위논문, **2010**.
11. 서울시정개발연구원. **2004**, 서울시 다중이용시설의 실내공기질 실태조사 및 관리방안에 대한 연구.
12. 백성옥, 김윤신, *한국대기환경학회지*, **1998**, 14(4), 343-360.
13. 김신도, **2002**, 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구.
14. 김윤신, 노영만, 홍승철, 이철민, 정형진, 김종철, 조정현, *한국실내환경학회지*, **2005**, 1(2), 144-155.
15. 환경부, **2010**, 다중이용시설 등의 실내공기질관리법.
16. Kim, S.-M. and Kim, H.-J., *Indoor Air 2005*, **2005**, 15, 317-325.
17. Kelly, T. J., Smith, D. L. and Satola, J., *Environmental Science Technology*, **1999**, 33, 81-88.
18. Maroni M., Seifert B., Lindvall T., **1992**, Indoor air quality - a comprehensieve reference book. Amsterdam, Elsevier.
19. Nazaroff W.W., Weschler C.J., *Indoor Air 2001*, **2001**, 11, 143-144.
20. 환경부, **2010**, 실내공기질공정시험기준.