

취약계층 거주시설에 대한 실내공기 오염 특성 및 개선방안연구

조은정[†] · 곽진 · 김민경
대기보전과

A Study on Distribution Characteristics and Improvement of Indoor Air Quality in Socially Disadvantaged Class

Eun-Jeong Cho[†], Jin Kwak and Min-Kyeong Kim
Air Preservation Division

Abstracts

The indoor air quality (IAQ) was measured in Children and Senior welfare houses in Busan

Air pollutants measured in this study included airborne bacteria, airborne fungi, PM10, total volatile organic compounds (TVOCs) and carbonyl compounds.

Average concentrations of most of chemical pollutants were lower than the recommendation levels of IAQ at pre-occupation stage in new apartment. However, the concentrations of toluene, xylene and formaldehyde in some houses exceeded the current standards due to their new furniture or raw materials used in renovation.

As the results of investigation for the children and senior resident welfare facilities, TVOC and bacteria in indoor air are considered as the major indoor pollutants in these facilities.

The concentrations of indoor air pollutants in residential detached and multiplex/terraced houses were shown to be related with as follows : 1) features of a house such as construction ages, floors and its location 2) living habits of dwellers like patterns of ventilation, regularity of home cleaning and smoking 3) interiors for instance purchasing new furniture and elements used in building materials.

Key words : IAQ, TVOC, airborne bacteria, airborne fungi, PM10

서론

현대 사회는 인구의 증가와 함께 각종 산업이 급격하게 발달되어 왔지만, 부수적으로 많은 환경오염의 문제점이 제시되고 있으며, 특히 일상생활 중 대부분의 시간을 여러 형태의 실내공간에서 생활하기 때문에 우리에게 실내 환경은 더욱 중요한 의미를 지니고 있다. 산업화 시대를 지나 정보화 시대에 이르러 인간의 생활방식 및 주거환경 등에도 많은 변화를 가져오게 되었다. 특히 현대사회로 접어들면서 정신적으로 풍요롭고 육체적으로 건강한 삶의

방식으로 자연친화적 생활을 추구하는 웰빙(well-being) 문화가 등장하였고, 또한 최근에는 국민들의 환경인식도가 높아져 대기오염, 수질오염 못지않게 새로운 환경문제로써 실내공기오염(indoor air pollution)에 대한 높은 관심도를 나타내고 있다¹⁾.

실내공기오염은 집, 학교, 사무실 공공건물, 병원, 지하 시설물, 교통수단 같은 다양한 실내공간에서 발생하고, 매우 복합적인 요소들에 의해서 일어날 수 있고 실내에 거주하는 사람들에게 생명에 위협을 미칠 정도로 치명적이며 사람의 건강에 악영향을 준다²⁾. 그 이유는 현대인들

[†] Corresponding author, E-mail : cej1272@korea.kr

Tel : +82-51-888-6816, Fax : +82-51-888-6817

의 생활 중 실내공간체류시간이 차지하는 시간 비중이 무려 80 ~ 90 %를 실내에서 보냄으로써 실내공기오염물질에 노출되기 때문이며³⁾, 이로 인해 두통, 현기증, 메스꺼움, 졸음, 눈의 자극, 집중력 감소 등을 호소하는 빌딩증후군(Sick Building Syndrom : SBS), 복합화학물질민감증(Multiple chemical Sensitivity : MCS) 등이 발생하여 환경·경제적 측면에서 사회적으로 문제시 되고 있다⁴⁾

많은 연구 및 노력에도 환경오염에 따른 건강 위해요인은 완전히 규명되지 않은 상태인 반면에 시민들의 환경에 대한 인식은 날로 증가하고 있다. 세계보건기구(World health Organization, WHO)는 실내공기오염에 의한 사망자수는 실외공기오염으로 인한 사망자 수의 약 50 %에 이르는 것으로 보고하고 있는데, 이는 실내공기 오염물질이 실외공기 오염물질보다 폐에 전달 될 확률이 약 1,000 배가량 높기 때문인 것으로 추정 보고하였고, SBS를 질병으로 인정하였다⁵⁾. 이에 실내공기 오염도를 20 %만 줄여도 급성기관지 질환 사망률을 최소 4 ~ 8 %를 줄일 수 있는 것으로 보고하였다. 특히 개도국인 경우 실내공기오염이 영유아 사망의 주요원인 중 하나임을 지적하고 있다⁶⁾.

실내공기오염에 의한 건강영향의 가능성은 수용체 별로 다양한 양상을 갖게 되는데 그 중 노인, 영·유아, 어린이, 환자, 임산부 등과 같이 환경보건학적으로 약자인 민감 집단에게 더 많은 피해가 갈 수 밖에 없다⁷⁾. 특히 어린이들은 신체와 정신의 성장발육이 왕성한 시기에 있으며, 몸과 마음이 계속 발육상태에 있어 일반 성인들에 비해 약한 면역체계를 가져 천식, 비염 등 호흡기계 질환에 시달리고 있다. 어린이가 성인에 비해 환경오염물질에 더 취약하다는 것은 다음과 같이 정리 할 수 있다. 첫째, 성장과 발달에 빠른 변화를 겪으며, 미성숙한 몸과 조직, 약한 면역체계로 환경위험에 더욱 민감하다. 둘째, 체중에 비해 많은 공기, 물, 음식을 섭취한다. 셋째, 영·유아의 흡인량은 성인 흡인량 보다 크며 활동적인 놀이 등으로 인한 흡인량에 있어 상대적인 불균형이 일어나며 공기 중의 오염물질이 더 많이 흡입할 수 있는 가능성이 높다⁸⁾.

대한소아알레르기 호흡기학회에 따르면 실내공기질의 오염이 원인일 수 있는 어린이들의 천식, 알레르기 비염, 아토피 피부염 등이 1996년 이후 꾸준히 증가하고 있다. 쾌적한 환경조성과 재실자들의 건강유지를 위하여 건물에서의 실내공기질 관리는 반드시 필요하다. 실내 공기오염물질이 인체에 미치는 영향이 밝혀지면서 공기질 관리의 필요성이 대두되었으며 특히 면역력이 약한 영·유아 및 노

인들의 거주시설에서의 실내공기질 관리는 매우 중요하다.

현재 실내공간 거주자 및 이용자의 건강보호를 다루는 국내의 실내공기질 관리는 환경부에서 다중이용시설과 신축공동주택을, 노동부에서 사무실과 작업장을, 교육과학기술부에서 학교를, 보건복지가족부에서 학원, 업무시설, 공연장 등 공중이용시설을, 국토해양부에서 총면적 2,000 m² 이하의 주차장을 각각 관리하는 등 5개 부처에서 분산관리되고 있으며, 관리대상 시설과 관리방법이 서로 달라 획일적인 의사결정과 정책결정에 많은 어려움이 있다⁹⁾.

“다중이용시설등의 실내공기질관리법”의 대상시설이 아닌 미적용 다중이용시설인 공중이용시설은 “공중위생관리법”에 의해 관리되고 있으나 건물의 시설규제 측면이 강하고 오염허용기준의 항목 미비와 측정방법 등이 완전하게 정립되어 있지 못하며 공중이용시설의 실내공기질 자가측정 의무화 부재 등 관리제도의 미비로 인하여 효과적인 시설관리가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 “다중이용시설등의 실내공기질 관리법” 및 “공중위생관리법” 사각지대에 있는 취약계층 거주시설에 대하여 실내공기오염물질 특성을 조사하고, 이를 통해 효과적인 실내공기질 개선방법을 모색하고자 하였다.

재료 및 방법

연구대상시설 및 측정오염물질

본 연구의 조사대상은 부산지역 “아동복지시설” 중 보호를 필요로 하는 아동을 입소시켜 보호·양육하는 것을 목적으로 하는 “아동양육시설” 19개소와 노인복지법에 의거하는 노인의 삶의 질을 향상시키기 위해 필요한 서비스 및 프로그램의 제공을 목적으로 마련된 “노인요양시설”로 10개소를 대상으로 실내공기오염도 특성을 조사하였다.

일반적으로 아동복지기관은 부모를 잃었거나 부모로부터 양육을 받을 수 없는 고아, 기아, 장애아, 결혼가정, 빈곤가정의 아동과 같이 보호를 필요로 하는 아동들을 대상으로 이들의 생활, 치료 및 재활 등의 서비스를 제공하는 생활의 장이며, 노인요양시설은 치매·중풍 등 노인성질환 등으로 심신에 상당한 장애가 발생하여 도움을 필요로

Table 1. Target compounds selected for this study

VOCs	Carbonyl Compounds	Bioaerosol	Particulate matter
Benzene	Formaldehyde	Bacteria	PM10
Toluene	Acetaldehyde	Fungi	
Ethylbenzene	Acetone		
m,p-Xylene	Propionaldehyde		
o-Xylene	Butyraldehyde		
Styrene	Benzaldehyde		
TVOC			

하는 노인을 입소시켜 무료 또는 저렴한 요금으로 급식·치료, 그밖에 일상생활에 필요한 편의를 제공함을 목적으로 하는 시설을 말한다.

실내공기오염물질 중의 세균과 곰팡이는 호흡성질환, 과민성질환, 감염성질환 및 알레르기 등을 일으키는 원인 물질로 선행연구를 통해 보고되어 왔다¹⁰⁾. 폼알데하이드는 흡입에 의해 인체로 유입 되면 영·유아에게 주로 코와 눈 자극(염증, 가려움, 목 따가움)을 유발할 수 있다. 저농도의 폼알데하이드에 노출되면 눈, 코, 목 및 피부를 자극하며, 천식에 보다 민감할 수 있다고 보고된 바 있다¹¹⁾. PM10에 대한 연구에서도 민감·취약계층(영·유아, 노인)이나 심장질환, 호흡기 질환을 가지고 있는 사람이 일반성인보다 인체영향(사망률 포함)이 높으며, 특히 어린이에게 있어 저농도의 노출에도 급성 폐 기능 감소를 나타낼 수 있다고 하였다. 접착제나 완구류, 다양한 교육도구, 건축자재, 페인트 등은 휘발성유기화합물의 발생원이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 민감·취약계층의 건강에 영향을 미치는 주요 실내오염물질인 휘발성유기화합물, 카보닐화합물, 미생물 및 미세먼지 등을 조사대상오염물질로 선정하였다(Table 1).

시료채취 및 분석방법

휘발성유기화합물(VOCs)

휘발성유기화합물의 시료채취는 소용량펌프(MP-Σ 30H, Sibata, Japan)를 사용하여 100 mL/min 유량으로 30분간 2회 Tenax-TA 180 mg이 충전된 고체흡착관(6 mm × 17.8 cm, Gerstel)을 이용하여 채취하였다. 본 연구에 사용된 흡착관은 자동 전처리 장치인 Tube

conditioner를 이용해 고순도 질소가스가 분당 100 mL로 흐르는 조건 하에서 300 °C에서 2~3시간 전처리하여 사용하였다.

시료채취가 끝난 흡착관은 4 °C이하에서 보관하였다. 시료채취 시마다 현장 공시료(Field blank)와 실험실내 공시료(Lab blank)를 마련하여 시료채취 및 운반·보관기간 동안 발생할 수 있는 오염 정도를 확인하였다.

VOCs의 농도 정량을 위한 검량선(Calibration curve)은 액상표준물질(Custom VOC standards 9 compounds, Accu, USA)을 이용하여 5단계 농도 표준시료를 이용하였다. TVOC는 액상표준물질을 이용한 외부보정법으로 톨루엔 검량식에 대입하여 농도를 구하였으며, 그 외 개별 VOC는 각 해당되는 표준물질에 감응계수를 이용하여 농도를 정량하였다. 이때 감응계수 및 검량식에 사용된 물질별 피크면적은 총 이온크로마토그램(TIC)을 이용하였다.

표준시료 및 현장시료에 함유된 VOC 대상물질의 분석에는 자동열탈착장치(Gerstel, Germany)가 가스크로마토그래프(GC)칼럼(HP-5 60 m×0.25 mm×1.0 μm)으로 직접 연결된 가스크로마토그래프/질량분석기(Agilent HP6890/5973, USA) 시스템을 사용하였다. 흡착관에 채취된 분석대상 VOC는 일차적으로 260 °C에서 운반가스 He에 의해 60 mL/min의 유량으로 5분간 열 탈착된다. 탈착된 시료는 다시 -30 °C의 저온응축트랩에서 농축 후 300 °C에서 이차 열 탈착되어 GC의 분석칼럼으로 주입되게 된다. VOC시료 분석에 사용된 열탈착장치 운전 조건은 Table 2에 나타내었으며, GC/MS의 운전조건은 Table 3과 같다.

Table 2. Operating condition of thermal desorber for VOCs analysis (TDSG, Gerstel, Germany)

Parameter	Condition
Desorption time and flow	5 min, 60 mL/min
Desorption temperature	260 °C
Cold trap low temperature	- 30 °C
2nd desorption temperature	300 °C
Cold trap holding time	10 min
Cold trap packing	Tenax TA
Split/Splitless	Splitless
Valve temperature	260 °C
Transfer line temperature	260 °C

Table 3. Operating condition of GC/MS for VOCs analysis (HP6890/5973, Agilent, USA)

Parameter	Condition
GC Column	HP-5 (60 m × 0.25 mm × 1.0 μ m)
Initial temperature	60 °C (3 min)
Oven rate 1	3 °C/min (60 ~ 150 °C)
Oven rate 2	7 °C/min (150 ~ 230 °C)
Final temperature	230 °C (7 min)
Column flow	1.5 mL/min
MS source temperature	230 °C
Detector type	EI (Quadrupole)
MS range	35 ~ 270 amu
Electron energy	70 eV

카보닐화합물

카보닐화합물의 시료채취는 전단부에 Ozone scrubber (Waters, USA) 를 장착한 2,4-DNPH 카트리지 (Supelco, USA)를 소용량펌프(MP-Σ100H, Sibata, Japan)에 연결하여 500 mL/min 유량으로 30분간 2회 실시하였다.

시료채취가 끝난 카트리는 내부가 알루미늄으로 코팅된 저장용기에 개별 포장하여 4 °C이하에서 냉장 보관 하였다. 시료채취 시 마다 현장 공시료(Field blank)와 실험실 공시료(Lab blank)를 마련하여 시료채취 및 운반 보관기간 발생할 수 있는 오염도를 확인하였다.

DNPH와 반응하여 형성된 유도체는 일정한 유속으로 5 mL의 acetonitrile (Merck, Germany)로 추출하였다. 추출액은 갈색바이알에 담은 후 테프론 테이프를 밀봉하여 보관하였다. 추출된 DNPH 유도체의 분석은 고성능액체크로마토그래피(HPLC, Agilent 1100 series, USA)를 이용하였다. DNPH 유도체는 350~380 nm에

서 최대감도를 가지게 되므로 본 연구는 파장을 360 nm 에 고정시켜 카보닐화합물을 분석하였다. 이때 이동상은 분당 1.2 mL로 하였다. 위와 같은 분석조건에서, CARB Carbonyl-DNPH Mix 1(Supelco, USA)을 희석하여 5 개의 표준용액을 제조하여 검량선을 작성하였다. HPLC 의 분석 조건은 Table 4에 나타내었다.

미생물

미생물 시료채취는 부유세균 측정장비(Bio air sampler) 를 사용하여 100 L/min 유량으로 1분간 TSA (Tryptic Soy Agar), SDA (Sabouraud Dextrose Agar) 배지를 사용하여 채취하였다. 부유세균류를 포함한 TSA배지는 35 °C Incubator에서 48시간 배양한 후 colony를 계수하고 sample volume (m³)으로 환산하여 CFU/m³ 단위로 평가하였다. 곰팡이를 포함한 SDA 배지는 25 °C Incubator에서 72시간 배양한 후, 부유세균과 동일하게 평가하였다(Table 5).

Table 4. Operating condition of HPLC for Carbonyl compounds analysis (Agilent 1100 series, USA)

Type	Condition
Injector	Autosampler
Column	ODS-3 C-18 (5 μ m \times 4.6 mm \times 250 mm)
Detector	UV-VIS
Mobile phase	A : Water, B : Acetonitrile
Gradient elution	0 ~ 9 min : A/B = 60/40 9 ~ 20 min : A/B = 60/40 \rightarrow 100/0 20 ~ 25 min : A/B = 100/0 \rightarrow 60/40 25 ~ 30 min : A/B = 60/40(hold)
Detection	Absorbance at 360 nm
Flow rate	1.2 mL/min
Injection volume	20 μ L
Oven temperature	30 $^{\circ}$ C

Table 5. Sampling method of bioaerosol

	Bioaerosol	
	Bacteria	Fungi
Sampling flow	100 L/min	100 L/min
Sampling time	1 min	1 min
Media	TSA (Tryptic Soy Agar)	SDA (Sabouraud Dextrose Agar)
Incubator	35 $^{\circ}$ C, 48 hr	25 $^{\circ}$ C, 72 hr

미세먼지(PM10)

미세먼지는 시료채취용 여지(Pure Quartz Filter, pore size 2.0 μ m, Φ 47 mm)가 장착된 Mini-Volume Air sampler를 사용하여 3.0 L/min 유량으로 6시간 동안 채취하였다. 시료채취에 사용된 모든 여지는 시료채취 전 온도(20 ± 2 $^{\circ}$ C)와 습도(50 ± 2 %)가 일정하게 유지된 항온-항습장치(desiccator)에서 48시간 이상 보관 후 무게를 측정하였다. 채취한 시료는 현장에서 PTFE 재질의 테이프로 밀봉한 다음 실험실로 운반 후 항온 항습 테시케이터에 시료를 48시간 동안 보관한 뒤 여지를 0.001 mg 이상을 칭량할 수 있는 전자미세저울을 이용하여 무게를 측정하여 시료채취 전후의 무게차에 의해 중량 농도를 산출하였다.

결과 및 고찰

대상시설의 특성

대상시설 특성을 파악하기 위하여 건축년도, 연면적, 지리적 위치, 재실자수, 벽 재질 등을 조사한 결과를 Table 6에 정리하였다.

연면적의 경우 1000 m³ 이상인 시설은 조사대상 전체 29개소 중 15개소로 조사되었으며, 1000 m³ 미만인 시설은 14개소로 조사되었다.

건축년도는 2000년 이전이 대다수이나 2007년 이후 조사대상 시설의 과반수 이상이 증개축 공사를 한 것으로 나타났다. 대상시설 중 1곳을 제외한 전시설이 주거지역에 위치하고 있는 것으로 나타났다.

대상시설의 내부마감재로는 벽면은 55.2 %가 벽지로 마감되었으며, 바닥은 75.9 %가 리놀륨 소재의 바닥으로 마감되었다.

시설의 재실자 및 이용자수가 30~60명인 시설은

31.0 %, 61~90명인 시설은 27.6 %, 91~120명인 시설은 20.7 %를 나타냈다. 기계환기장치는 대부분의 시설이 화장실, 조리실에만 설치하고 있어, 환기설비의 설치가 열악한 실정이고, 공기청정기의 경우 전체의 73.7 %가 보유하고 있는 것으로 조사되었다.

시설 주변의 교통량을 왕복 6차로 이상 대로변에 100 m 이내에 위치한 시설, 왕복 2차로 이하 도로변 100 m 이내에 위치한 시설, 주택가 이면 골목에 위치한 시설 등 3

단계로 분류하였을 때, 차량이동이 많은 곳은 29개소 중 2개소로 조사되었고, 중간정도의 교통량으로 조사된 곳은 29개소 중 11개소, 교통량이 적은 곳은 29개소 중 16개소로 조사되었다.

실내공기오염도 실태조사결과

휘발성유기화합물

VOCs는 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되고 물

Table 6. The description of sampling sites

Classification	Area (m ²)	Age (Year of opening)	Remodeling	Use district	Type		No. of occupancy	Traffic
					Wall	Floor		
Child	2337	2003	2008	Rural	Wallpaper	floor paper	91	Low
Child	1598	1987	1997	Residential	Wallpaper	floor paper	123	Medium
Child	1973	1973	2004	Residential	Paint	Wood	350	Medium
Child	2279	1974	2003	Residential	Paint	floor paper	374	Medium
Child	955	2000	2007	Residential	Wallpaper	floor paper	53	Low
Child	396	1979	2005	Residential	Paint	floor paper	32	High
Child	811	1984	2009	Residential	Wallpaper	floor paper	39	Medium
Child	1670	1956	2008	Residential	Wallpaper	Wood	51	Medium
Child	600	1979	2004	Residential	Paint	floor paper	91	Medium
Child	1330	1969	2004	Residential	Paint	Wood	51	Medium
Child	1159	1994	2009	Residential	Wallpaper	floor paper	46	Low
Child	350	1972	2008	Residential	Wallpaper	floor paper	34	High
Child	2650	1987	2007	Residential	Wallpaper	floor paper	98	Low
Child	798	1984	2008	Residential	Wallpaper	floor paper	55	Low
Child	1050	1970	2006	Residential	Wallpaper	floor paper	70	Medium
Child	282	1987	2006	Residential	Wallpaper	floor paper	15	Medium
Child	1057	1957	2005	Residential	Wallpaper	floor paper	76	Low
Child	1102	1970	2005	Residential	Paint	floor paper	71	Low
Child	158	2004		Residential	Paint	floor paper	7	Low
Senior	1595	1975	2006	Residential	Paint	floor paper	95	Medium
Senior	1233	2003	2009	Residential	Wallpaper	Wood	86	Medium
Senior	986	1964	2003	Residential	Paint	floor paper	98	Low
Senior	640	1998	2009	Residential	Wallpaper	Wood	46	Low
Senior	471	1995	2006	Residential	Wallpaper	Wood	88	Low
Senior	729	1999	2009	Residential	Wallpaper	Wood	71	Low
Senior	1980	1998	2002	Residential	Paint	floor paper	165	Low
Senior	760	1986	2005	Residential	Paint	floor paper	76	Low
Senior	1007	1992	2006	Residential	Paint	floor paper	82	Low
Senior	990	2002		Residential	Paint	floor paper	95	Low

Table 7. The effect of VOCs in human

항목	유발 질병
Benzene	암, 환각, 두통, 마취효과
Chlorobenzene	구토, 환각, 피로감
Acetate	두통, 목의 따가움, 눈 자극, 무력감
Toluene, Xylene	구토, 환각, 멀미, 무력감
Styrene	생식력 저하, 구토, 암 유발

질에 따라 인체에 발암성을 보이고 있으며 대기 중에서는 광화학 반응을 일으켜 오존 및 PAN 등 광화학 산화성물질을 생성시켜 광화학 스모그를 유발하는 물질로 많이 알려져 있다. 액체연료, 파라핀, 올레핀, 방향족화합물 등 생활 주변에서 흔하게 사용되는 유기물질들이 거의 휘발성유기화합물이며 실내에서는 주로 건축자재와 마감재료, 건물 유지관리를 위한 각종 세척제, 복사기 및 프린터 토너 등으로부터 발생한다.

Benzene의 경우 백혈구 감소증에 의한 뼈 및 골수조직 위축으로 인해 적혈구, 백혈구, 혈소판의 감소 및 재생불량성 빈혈을 유발할 수 있다. Toluene의 경우, 중추신경계의 자극으로 구토 및 신경계통의 이상을 유발할 수 있다. Ethylbenzene의 경우, 고농도 흡입 시 폐와 중추신경계에 영향을 미치며, 저농도 장기노출시 내장기관에 영향을 미칠 수 있다. Xylene의 경우, 신경자극, 화학적 진폐증, 열, 오심, 두통, 기억력 저하, 의욕상실 등을 유발한다.

피부에 흡수되기 쉽고 피부에 직접 닿지 않더라도 호흡기로 흡입될 수 있고 이로 인해 눈, 코, 인후, 피부 등에 자극증상이 발생하고 실내에서 저농도에 장기 노출 시 일부물질은 암을 유발하기도 한다. Table 7에 총휘발성유기화합물이 인체에 미치는 영향을 나타내었다¹²⁾.

실외공기오염에 의한 실내공기 오염도 영향 및 실내오염원 존재 유무를 파악하기 위하여 실내공기 오염물질에 대하여 실내/실외 농도비를 계산하여 Table 8에 나타내었다. I/O ratio가 높은 물질일수록 실내에서 더 많이 발생하는 물질임을 알 수 있으며, 1에 가까울수록 실내에 오염원이 없거나, 실외 영향을 받는다고 판단할 수 있다.

이번 조사에서의 VOCs I/O ratio는 3.8 ~ 16.0 범위로 나타나 실내의 오염물질 농도가 실외보다 높게 나타났으며, styrene은 16.0으로 나타나 실외보다 실내 방출원에서 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 권명희의 연구에 의하면 I/O ratio는 1.4 ~ 73.8 범위로 보고¹³⁾하였으며, 이번 조사결과와 비교 시 styrene(73.8)과 TVOC(9.1)는 더 높은 I/O ratio가 나타났다. 이와 같은 결과는 주로 건축자재와 실내가구 등의 목질접착제와 피혁제품, 의류 등 일상용품에서 발생된 총휘발성유기화합물이 실내공기 농도의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

Table 9와 Fig. 1에서는 취약계층 주거시설에서 총휘발성유기화합물(TVOC)의 실내공기 분포특성조사 결과를 나타내었다. TVOC의 평균농도는 $241.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 16.4%가 보육시설 권고기준인 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 것으로 나타났다. TVOC의 외기 평균농도는 $32.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 조사되었다.

민감계층군이 이용하는 보육시설 등을 대상으로 한 임지혜¹²⁾의 연구에서 보육시설 및 복지시설내의 TVOC 평균농도는 $304.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $301.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었으며, 27.7%, 21.8%가 권고기준을 초과한 것으로 조사되었다. 고재춘의 연구에서는 어린이집내의 TVOC를 측정된 결과 평균농도가 $1222.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사¹⁴⁾되어 모든 측정지점에서 권고기준을 초과하였다. 이번 연구결과는 임지혜 및 고재춘의 TVOC 연구결과보다 낮은 경향을 보였다.

개별 VOC 중에서는 톨루엔의 평균 농도가 $29.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 것으로 조사되었으며, m,p-Xylene

Table 8. Concentrations ratio of VOCs in indoor & outdoor air

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pollutant	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	m,p-Xylene	Styrene	o-Xylene	TVOC
Indoor	3.9	29.4	4.5	5.7	3.2	2.3	241.3
Outdoor	0.6	3.6	1.2	1.4	0.2	0.5	32.7
I/O	6.5	8.2	3.8	4.1	16.0	4.6	7.4

Table 9. The distribution of VOCs concentrations in indoor air (Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pollutant	Mean	S.D	Max	Median	Min
Benzene	3.9	0.9	10.8	2.7	0.0
Toluene	29.4	30.2	231.5	13.1	1.0
Ethyl benzene	4.5	2.3	20.0	2.7	0.1
m,p-Xylene	5.7	3.1	34.1	3.0	0.0
Styrene	3.2	4.0	20.2	2.1	0.0
o-Xylene	2.3	1.1	15.1	1.7	0.0
TVOC	241.3	204.7	905.8	181.6	67.9

$5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 벤젠 $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 스티렌 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순으로 나타났다.

휘발성유기화합물의 경우 리모델링 및 증개축 시 많이 발생하는 물질로서 체계적인 환기가 이루어지지 않았기 때문에 다량의 휘발성유기화합물이 방출된 것으로 사료된다. 휘발성유기화합물은 약 3~4년 동안 계속적으로 방출되므로 리모델링 및 증개축 시 친환경 건축자재를 이용하고 지속적인 베이크 아웃(Bake Out)과 다양한 환기 시스템을 설치함으로써 취약계층에게 노출되는 양을 줄여야 할 것으로 판단된다.

Fig. 2는 취약계층 주거시설에서 측정된 휘발성유기화합물의 구성비를 나타내고 있다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 톨루엔이 12.2 %로 가장 높은 것으로 조사되었으며, m,p-Xylene (2.3 %), Ethylbenze (1.9 %), Benzene (1.6 %)순으로 나타났다. 반면 o-Xylene의 구성비는 1

% 미만이었다. 또한 이번 연구에서 확인하지 않은 미확인 VOC가 79.7 %를 차지하였다.

카보닐화합물

실내공기 중에서 발생하는 오염물질 중 특히 폼알데하이드(Formaldehyde : HCHO)는 환경에서 가장 많이 알려진 카보닐화합물 중 하나이다. 폼알데하이드의 주된 발생원은 파티클보드(particle board), 중비중섬유판(Medium Density Fiberboard : MDF), 합판(plywood), 레진(resins), 접착제(adhesives)와 같은 건축자재에서 많이 발생되고 또한 실내가구의 칠, 난방연료의 연소과정, 흡연, 생활용품, 접착제, 의약품 등에서도 방출된다¹⁵⁾. 최근에는 발암성으로 사용이 금지되었으나 건물의 단열을 보완하기 위하여 벽 구멍에 주입되었던 UFFI (urea formaldehyde foam insulation)도 HCHO의 발생원이다.

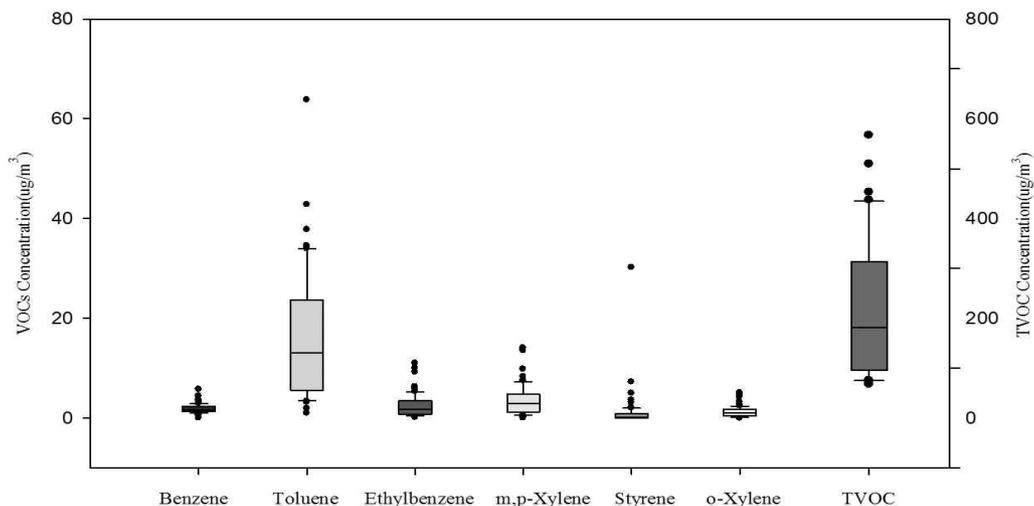


Fig. 1. Concentration of volatile organic compounds in indoor air.

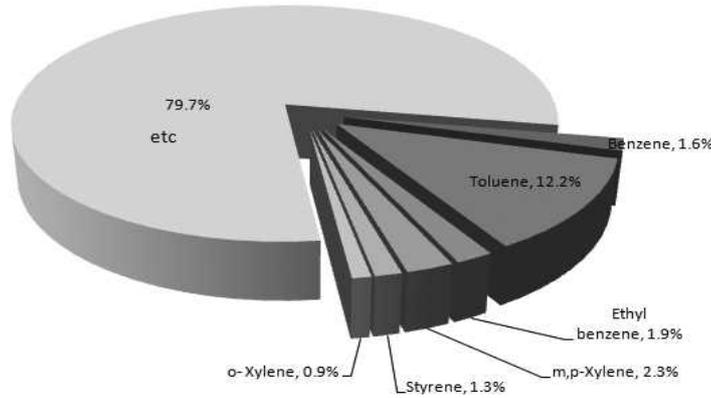


Fig. 2. Composition ratio of Volatile organic compounds in indoor air.

HCHO는 건축물과 관련된 질환을 나타내는 화학물질로서, HCHO가 사람에게 미치는 영향은 호흡기, 소화기, 피부를 통한 경로로 침투되고, 이중 호흡에 의한 독성이 가장 높은 것으로 알려져 있다. 폼알데하이드는 동물실험에서 발암성에 충분한 증거가 밝혀졌으며 인간에게는 제한적인 증거를 가지고 있어 미국 환경보호청에서 B1 (Probable human carcinogen), 우리나라 산업안전보건법에서는 A2(발암성물질로 추정)로 구분하고 있다¹⁶⁾. 일반 실내환경 노출에 따른 사람의 발암성 보고는 아직 없으며 이동주택(mobile home)의 실내 HCHO 농도와 비인두(nasopharyngeal) 암의 유의한 상관성을 Vaughan 등이

보고한 사례가 있다¹⁷⁾. 또한 유전적 변이원성을 나타내고 호흡기성 질환, 알레르기성 질환, 중추신경성 질환, 폐수종 및 폐간질염, 여성의 월경불순을 일으키는 것으로 조사되었다¹⁸⁾. 특히 주택의 단열재로 우레아수지폼 단열재를 사용한 주택에 살고 있는 주민 등을 대상으로 조사한 결과 장기간 HCHO에 노출되었을 경우 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 나타내었다. 호흡기성 질환의 발생에 대하여 약 3 ppm 정도의 HCHO 농도까지는 영구적인 호흡기 손상을 자제하지 않는 것으로 보고되었다¹⁹⁾.

특히 건축자재에서 발생된 폼알데하이드는 건축자재의 수명, 실내온도 및 습도 등에 따라 그 방출량이 좌우되며,

Table 10. The effect of Formaldehyde in human

농도(ppm)	인체영향
0.1~5	눈의 자극, 최루성, 상부기도의 자극
1이하	눈, 코, 목의 자극
0.25~5	기관지 천식이 있는 사람에게 심한 천식발작
10~20	기침, 머리가 무거움, 심장박동이 빨라짐
50~100	폐의 염증, 사망, 구토, 설사, 현기증, 경련, 의식불명

Table 11. The distribution of carbonyl compounds concentrations in indoor air

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pollutant	Mean	S.D	Max	Median	Min
Formaldehyde	20.5	12.3	74.1	18.4	3.2
Acetaldehyde	6.9	6.1	37.8	5.3	0.4
Acetone	25.7	19.1	127.9	23.6	0.9
Propionaldehyde	4.5	4.5	27.2	3.2	0.0
Butyraldehyde	1.2	1.5	7.7	0.8	0.0
Benzaldehyde	3.7	3.2	12.5	2.5	0.0

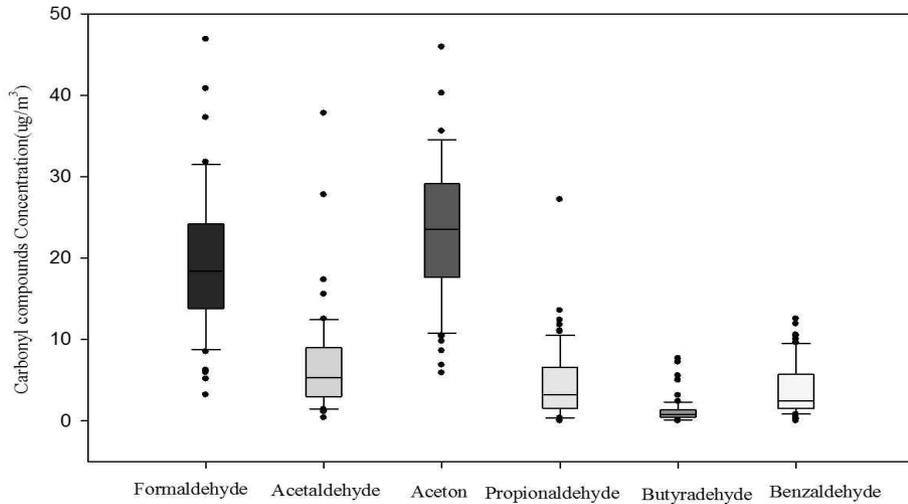


Fig 3. Concentration of carbonyl compounds in indoor air.

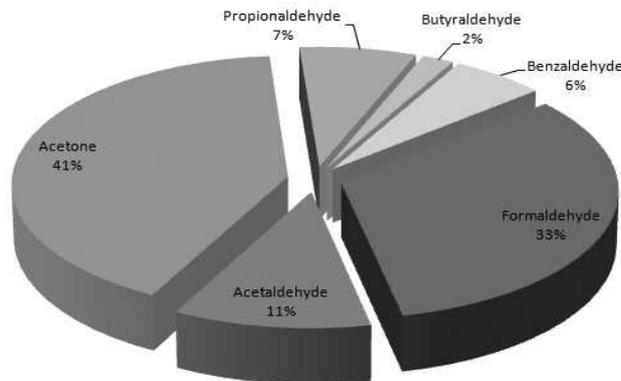


Fig 4. Composition ratio of carbonyl compounds in indoor air.

일반적으로 방출되는 기간은 4.4년으로 추정된다고 한다. Table 10에 폼알데하이드가 인체에 미치는 영향을 나타내었다.

카보닐화합물의 취약계층 주거시설 실내공기 분포 특성 조사결과를 Table 11과 Fig. 3에 나타내었다. 폼알데하이드의 평균 농도는 $20.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세톤 $25.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세트알데하이드 $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 프로피온알데하이드 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 폼알데하이드의 실외 농도는 $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다.

I/O 농도비가 높은 물질일수록 실내에서 더 많이 발생하는 물질임을 알 수 있으며, 1에 가까울수록 실내에 오염원이 없거나 실외 영향을 받는다고 판단할 수 있다. 이번 취약계층 주거시설의 폼알데하이드 실내/실외 농도비

(I/O ratio)는 2.7로 조사되었다. 카보닐화합물의 민감시설 선행연구에서의 I/O ratio는 폼알데하이드가 2.3, 아세톤이 1.6으로 대부분의 물질이 실내에서 높게 나타난 것으로 보고²⁰⁾하였으며, 신축공동주택 폼알데하이드의 입주전 I/O는 8.2였고, 입주 후 I/O는 33.0으로 카보닐화합물 물질중 실내와 실외 농도차가 가장 큰 것으로 보고²¹⁾되어 실내의 다양한 요인들로 인하여 폼알데하이드의 많은 양이 방출되고 있는 것으로 나타났다. 또한 일본 도쿄 신축공동주택을 대상으로 한 연구보고에서도 외기에 비해 실내농도가 더 높은 것으로 평가되었다²²⁾. 이와 같이 실내의 방출 오염원에 의해 실내공기중으로 오염물질이 다량 방출됨으로 건강상에 악영향을 끼칠 수 있다. 따라서 실내에서 방출되는 오염원을 추정하여 발생원의 오

Table 12. The distribution of total suspended bacteria and fungi concentrations in indoor air

(Unit : CFU/m³)

Pollutant	Mean	S.D	Max	Median	Min
Total suspended Bacteria	451.3	339.3	2148.0	336.8	78.2
Fungi	234.4	195.1	836.7	164.5	10.1

염물질 방출을 관리해야 할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

대상 시설의 실내공기 중 카보닐화합물의 구성비는 Fig 4와 같다. 이번조사에서는 아세트론이 가장 높은 비율인 41 %로 나타났으며, 폼알데하이드 33 %, 아세트알데하이드 11 %순으로 나타났다. 기타 카보닐화합물의 비율은 2~7 %의 범위로 나타났다.

총 부유미생물

총 부유미생물은 실내 환경에 존재하는 대표적인 생물학적 유해인자로 알려져 있으며, 세균류와 진균류가 주류를 이루고 있다. 이들 미생물은 공기 중에 부유하여 인체의 호흡기, 점막부위, 피부 등에 접촉할 경우 과민성질환, 알레르기, 아토피피부염, 건강한 성인에 비하여 실내에서 생활하는 시간이 많은 면역력이 약한 노인이나 영·유아에 특히 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 공기 중에 부유하지 않더라도 실내에 부착하여 서식할 경우 악취와 미

관취손, mVOCs (microbial volatile compounds) 물질을 발생시켜 두통과 불쾌감을 유발하고, 음식물이나 급수에 오염된 경우 식품의 부패와 더불어 식중독을 일으킬 수도 있다. 실내공기 중에 부유하고 있어 이중 실내공기 오염과 관계가 깊은 것은 총 부유세균(Bacteria)과 총 부유곰팡이(Fungi)이다.

총 부유세균은 먼지나 수증기 등에 미생물들이 부착되어 생존하고 있으며, 주로 호흡기관에 균주화 되어 영향을 주고 세균수가 먼지 농도에 비례한다고 보고들로 미루어보아 공기청정도와 밀접한 관계가 있다. 실내 환경에 존재하고 있는 미생물들은 다습하고 환기가 불충분하며 공기질이 나쁠 경우 잘 증식하고 생활용품, 애완동물과 밀접한 관련이 있다. 미생물이 성장하기 위해서는 온습도 조건과 영양분이 충족되어야 하는데 실내 환경의 경우 미생물 성장에 필요한 탄소, 질소, 황, 인 등을 포함하고 있는 건축자재와 가구 등으로 이루어져 있어 미생물이 더욱 잘 증식한다.

총 부유진균류(Fungi)는 일명 곰팡이라고 하며, 광합

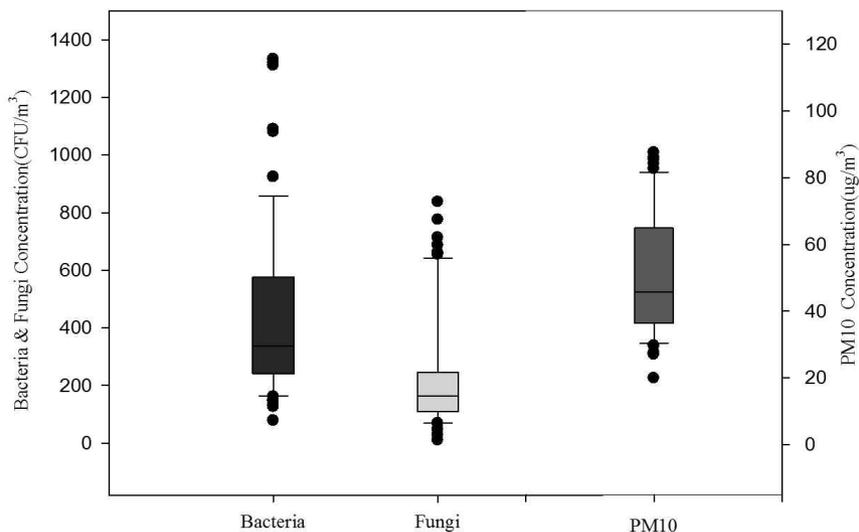


Fig 5. Concentration of particle pollutants in indoor air.

성 능력이 없어서 이미 합성된 유기물을 이용해 살아가는 종속영양생물이다. 자연에서 이들은 공생 또는 기생하며 광범위하게 분포하고 있어서 예로부터 인류 생활과 밀접한 이해관계를 가지고 있다. 진균의 감염 경로는 숙주가 특정 진균 항원에 침착됨으로써 알레르기가 발생하는 경우와 사람에게 직접 또는 간접적으로 생산할 수 있는 유독한 독소를 모르고 섭취함으로써 독소에 노출되며 중독 현상이 발생한다. 실내는 대부분 곰팡이가 쉽게 자랄 수 있는 습도와 영양원이 되는 각종물질(나무, 종이, 카펫, 음식 등)이 매우 풍부하기 때문에 실내에서 지나친 습기 등이 제거되지 않고 남아 있을 때 곰팡이가 쉽게 자라게 된다. 실내에 번식된 모든 곰팡이나 곰팡이 포자를 제거할 수 있는 간단한 방법은 없다. 따라서 성장을 억제하는 가장 효과적인 방법은 습도를 적당하게 관리하는 것이다.

실내에서의 미생물 발생을 경감시키기 위한 해결 방안은 부엌과 욕실같이 습기나 미생물이 좋아하는 영양분이 많은 곳은 오염된 공기를 실외로 배출하는 배기 팬을 달아 가동시킨다. 수분을 많이 발생하는 빨래는 가능하면 실외에서 말리는 것이 좋다.

습기의 축적이 우려되는 곳은 환기를 시켜 습도가 50% 이하로 유지되게 하고 에어컨, 냉장고 등 습기를 배출하는 기기는 자주 청소하는 것이 좋다. 먼지, 진드기, 꽃가루 등의 오염물질은 완전히 제거할 수 없지만 정기적으로 정소하여 최소화하도록 한다. 지하실이 있는 건물에서는 바닥 배수구 청소, 누수부위 보수, 환기시설 등을 갖추어 오염물질 발생을 최소화 하여야 한다.

취약계층이 주거하고 있는 시설에서의 총 부유미생물 분포특성은 Table 12와 같다.

총 부유세균(bacteria)의 경우 평균농도는 451 CFU/m³ (78 ~ 2,148 CFU/m³)으로 나타났다. 이 농도는 실내공

기질관리법의 다중이용시설(의료기관, 보육시설, 국공립 노인요양시설 및 노인전문병원, 산후조리원)의 실내공기 질 유지기준 800 CFU/m³의 약 56 % 수준이며, 약 10 %가 기준을 초과하였다.

국립환경과학원 연구²³⁾에 따르면 오래된 주택의 부유미생물 중 세균의 평균농도는 1,302 CFU/m³ (173~7,283 CFU/m³)로 다중이용시설 유지기준을 초과하는 세대가 많았으며(67%), 특히 온·습도가 높아 유기물이 부패하기 쉬운 여름철과 세탁을 자주 하지 않는 세대에서 높은 농도를 나타내었다. 다른 연구에서 노인요양 시설에서의 총 부유세균 농도는 426 CFU/m³ (44 ~ 1,140 CFU/m³)로 보고하였고, Shun Chen Lee²⁴⁾에 따르면 홍콩 주거공간에서의 총 부유세균 농도는 800 CFU/m³ (400 ~ 1,100 CFU/m³)로 보고하였다.

총 부유곰팡이의 경우 평균 농도는 234 CFU/m³ (10.1 ~ 836 CFU/m³)으로 나타났으며, 이 농도는 WHO 권고기준치인 500 CFU/m³의 53 %수준으로 나타났다.

국립환경과학원 연구²³⁾에 따르면 오래된 아파트 곰팡이 평균농도는 407 CFU/m³ (27~5,000 CFU/m³)로 WHO 권고 기준을 초과하는 세대가 22 %로 나타났으며, 주로 곰팡이 포자가 많이 번식하는 봄철과 저층 아파트에서 높게 나타났다. 다세대주택의 경우 층수에 따라 부유곰팡이의 농도가 440 ~ 1,078 CFU/m³으로 편차가 크게 나타나 지하세대에서는 부유곰팡이 관리에 특히 주의를 기울여야 할 것으로 나타났다. 다른 연구에서는 요양 시설의 평균농도는 409 CFU/m³, 종합병원 평균농도 101 CFU/m³로 보고²⁵⁾하고 있다.

실내 습도가 60 % 이상인 주택에서는 그 이하인 주택보다 총부유세균의 평균농도가 1.3배, 총부유곰팡이는 2.7

Table 13. Health effect by PM10

Concentration (ug/m ³)	Exposure time	Effect of human body
80~100	Yearly	Death rate increase
100	Yearly	Chronic organ disease rate increase
100~135	-	Increase of chronic respiratory disease
150	24 hours	Weakness and old person death rate increase
300	1 hour	Weakness and old person death rate increase
more than 300	-	Respiratory disease rate is becoming worse

Note)Source : US EPA(1997), NAAQS (National Ambient Air Quality Standard)

Table 14. The distribution of PM10 concentrations in indoor air

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Pollutant	Mean	S.D	Max	Median	Min
PM10	51.2	18.1	87.5	45.7	19.9

배 높아 천식을 유발할 수 있는 부유곰팡이의 번식을 막기 위해서는 실내 습도의 조절이 매우 중요하다(미국 산업안전보건청(OSHA) 실내 습도 권고 기준 : 20 ~ 60 %).

또한 외기에 의한 실내공기 오염도 영향 및 실내오염원 존재 유무를 파악하기 위한 연구¹³⁾ 자료에 따르면 총 부유세균의 실내/실외 농도비는 13.7로 나타나 실내오염원이 있는 것으로 나타났고, 반면 곰팡이는 0.6으로써 실내보다는 실외에 오염원이 있는 것으로 나타났다.

미세먼지 (PM10)

공기 중에 부유되어 있는 고체나 액체의 입자(particle)들을 총칭하여 입자상물질 또는 에어로졸(aerosol)이라고 한다. 대기환경에서는 PM (particulate matter)으로 나타나며 입자크기는 대부분 0.001~10 μm 의 범위이다. 이 정도의 입자크기를 가진 PM은 대부분 사람의 호흡기를 통해서 공기와 함께 흡입 노출될 수 있기 때문에 건강 영향 측면에서 중요하다. PM10은 “particles less than 10 microns in aerodynamic diameter”의 약자로 호흡기에 흡입되어 축적될 수 있다. 10 μm 는 머리카락 두께의 1/7정도이다.

입자상물질은 방향족탄소화합물, 중금속, 질산염 및 황산염을 포함한 유기 및 무기물질의 혼합물로 구성되어 있으며 발생원이 다르며 그 구성성분도 다르다. 이와 같이 입자상물질의 이질적인 본성 때문에 특정 화합물의 노출과 건강영향 관계를 밝히는 것은 쉽지 않다.

실내에서 미세먼지의 발생은 크게 실내바닥에서 발생하는 먼지, 담뱃재, 각종 연소과정에서 발생하는 입자상물질 및 주방에서 요리하는 동안 조리기구 사용 시 나오는 먼지, 오염된 실외공기에서 유입된 먼지로 나눌 수 있다.

입자 입경이 10 μm 이하인 미세먼지(PM10)는 호흡기계 질환이 있는 사람이 입을 통해 호흡하는 경우 Table 13에 나타낸 바와 같이 심각한 영향을 미칠 수 있다. 일반적으로 실외 대기의 호흡성 분진에 대한 노출연구는 실내 환경에 비해서 많이 이루어지고 있으며, 역학연구도 대부분 실외 대기의 입자상물질에 대한 노출 및 건강영향에 관한 것이다. 입자상 물질의 노출은 실내 환경에서 많은

시간을 보내는 것을 고려할 때 실외보다는 실내에서 더 높게 노출될 수 있지만 상대적으로 보고된 연구는 매우 적다. Pope et al.은 1986년에서 1987년의 겨울철 기간 동안 미국의 Utah Valley 지역에서 조사한 결과 미세먼지가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소할 때 소아에서 천식과 기관지염으로 병원을 입원하는 경우가 4.2 % 감소하는 것으로 보고²⁶⁾ 하였다. Schwartz et al.과 Sunyer et al.의 미국 Seattle의 천식으로 인한 응급실 방문과 Barcelona에서의 만성 호흡기 질환으로 인한 응급실 방문과의 관련성 연구에서도 공기중의 먼지 농도와 응급실 방문건수는 관련성이 있는 것으로 보고하였다. 또한 Dockery et al.은 호흡기질환 증상과 대기오염의 관련성에 관한 연구에서 개개인의 위험인자를 보정하여 조사한 결과 공기중의 먼지농도와 호흡기증상이나 질환과의 관련성이 있다고 보고하였으며 특히 만성기침, 기관지염 등과 관련성이 큰 것으로 보고하였다. 또한 미세먼지가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 기관지염이나 만성기침이 5 ~ 25 % 정도 증가하는 것으로 보고하였다.

취약계층이 거주중인 시설의 미세먼지 분포특성을 Table 14에 나타내었다. 평균농도는 51.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (19.9 ~ 87.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 나타났다.

이는 Keeler.(2002)의 연구에서 천식을 앓고 있는 아이들이 거주하는 실내에서 PM10의 평균농도는 52.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 본 연구와 유사하였다. 장성기의 연구에서 노인요양시설의 실내 PM10 평균농도는 72.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 본 연구결과보다 1.2배 높게 나타났으며, 임지혜의 사회복지시설의 실내 PM10 평균농도는 36.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고하여 본 연구결과보다 낮았다.

실외공기에 의한 실내공기 오염도 영향 및 실내오염원의 존재 유무를 파악하기 위하여 연구한 자료에 따르면 미세먼지의 실내/외 농도비는 평균 0.8로 나타나 실외 미세먼지농도가 높은 것으로 보고하였다²⁰⁾. 이는 미세먼지의 오염원이 실내오염원에 의한 것보다는 실외오염원에 영향을 받고 있다는 것으로 나타났다. 박지연 등²⁷⁾에 따르면 PM10은 실외가 평균 53.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 실내평균 46.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 높은 농도를 나타내었다. PM10 농도가 실내보다 실외가 높은 곳이 78.6 %인 것으로 보고하였다. Kirchner et al.²⁸⁾의 경우 주택에서의 실내/외

미세먼지 농도의 비가 0.7~1로 조사 보고하였다. 실외의 오염원은 도로비산먼지, 도로의 이동오염원에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다.

실내공기오염 저감방법

환기의 정의는 건물에서 실내의 오염된 공기를 신선한 외기와 교체하는 것을 환기라 하며, 환기의 목적으로는 ① 실내의 인간에게 필요한 산소공급, ②실내의 연소기구의 연소에 필요한 산소 공급, ③ 실내오염물질의 배출 및 유지기준치 충족, ④ 주방, 화장실 등에서 발생하는 열, 연기, 수증기, 냄새 등을 배출, ⑤ 실내쾌적성 유지가 있다.

환기방식에는 공기의 밀도차 및 풍압이 구동력이 되어 발생하는 자연환기(natural ventilation)방식과 환기팬이나 송풍기 등의 기계를 이용하는 기계환기(mechanical ventilation)방식이 있으며, 일반적으로 사무실에서는 후자의 기계환기방식을 채택하여 강제적인 환기를 실시하며, 일반주거시설에서는 자연환기방식과 기계환기방식을 병행하여 사용하고 있다.

필요 환기량은 실내에서 사람이 쾌적하게 생활하거나 안전하게 활동할 수 있는 공기질을 유지하는데 필요한 환기량을 말하며, 열배출, 수증기 배출, 오염물질 배출(CO₂, 냄새) 등을 위한 필요환기량 산정식은 아래와 같다.

$$V \frac{dc}{dt} = -Q(c - c_s) + M - E$$

V : 실내체적(m³)

c, c_s : 실내오염물질농도 및 도입공기중의 농도(mg/m³)

Q : 환기량(m³/h)

M : 오염물질발생량(mg/h)

E : 공기청정장치 등에 의한 오염물질 제거량(mg/h)

이 식을 통해 정상상태에서의 필요환기량을 구하기 위해 t를 무한대로 보내고, 기기에 의한 오염물질 제거량을 (E=0) 0 이라 가정하면 아래의 식과 같다.

$$Q = \frac{M}{C - C_s}$$

이 식을 통해 알수 있는 실내공기 오염물질 제어방안은 다음과 같다.

- 1) 실내오염물질의 발생원 자체를 제거 또는 감소시키는 방안

실내공기오염은 건축자재, 건물내의 각종 기구 및 인간

의 활동에 의해 발생되므로 오염물질이 없는 공간을 만드는 것은 현실적으로 한계가 있지만, 최근에는 오염물질의 발생량을 최소화한 건축자재의 개발이 이루어지고 있으며, 실내활동에 의한 오염물질의 발생량도 최소화 하려고 노력하고 있다.

- 2) 실내오염물질을 공기 청정 장치에 의하여 제거하는 방법

현재 대부분의 건물에서는 공기조화 시스템이 설치되어 실내에서 발생하는 오염물질은 외부로 배출되어 제거되고 있으며, 외기는 공조기의 에어필터를 거쳐 정화되어 실내로 공급되고 있다. 또한 실내로 재순환되는 공기에 대해서도 실내의 급배기구에 필터를 설치하여 정화시키고 있다. 최근에는 각종 공기청정기가 개발되어 실내에서 자체 제거하는 방법도 개발되어 주택, 사무실 등에서 사용하고 있다.

- 3) 실내의 오염된 공기를 외부의 신선한 공기를 도입하여 희석시키는 방법

실내의 오염된 공기를 외부의 신선한 공기를 도입함으로써 희석시키는 환기방법이 있으며, 환기는 실내공기의 제어방법으로 가장 중요하고 효과적인 방법이라 할 수 있다.

휘발성유기화합물, 총 부유세균과 총 부유곰팡이가 높게 측정된 시설에서 가장 효과적으로 실내공기 오염물질을 개선-저감시키는 방안은 환풍기, 후드 및 환기설비설치이며, 다음으로는 공기청정기를 설치하여 실내공기오염을 최소화해야한다. 공기청정기 제품특성상 오염물질 저감율이 각각 달라질 것이므로, 시설 특성에 맞는 장치를 사용하여야 할 것이다. 오염물질 저방출 마감자재의 사용은 자체의 방출량은 적지만, 접착제와 시공방법 등 여러 가지 조건에 영향을 받으므로 변경 시 주의하여야 한다. 또한 환기설비 설치, 자제변경 등이 실시된 리모델링은 자연환기량의 증가와 기계환기 등에 의하여 장기적으로 오염물질 감소율이 높을 것으로 예상되었다.

실내공기질의 오염원과 방출특성이 다양하여 시설에서 문제가 되는 부분을 객관적으로 파악하여 개선대책을 수립하여야 할 것으로 판단된다.

결론

본 연구는 다중이용시설 실내공기질 관리대상에서 제외되고 있으나 실내공기 오염에는 민감하게 반응하는 영유아와 노인들이 거주하는 시설에 대해 다중이용시설 실내공기질 관리법을 적용하여 오염물질 분포특성을 파악하고 이에 대한 개선방안을 제시를 목적으로 하고 있으며 그 결론은 다음과 같다.

1. 영유아와 노인들이 거주하는 시설의 실내공기 오염도를 조사한 결과 총휘발성유기화합물과 총부유세균이 주요오염물질로 조사되었다.
2. TVOC의 평균농도는 $241.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 16.4%가 보육시설 권고기준인 $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 것으로 나타났다. 톨루엔의 평균 농도가 $29.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 것으로 조사되었으며, m,p-자일렌 $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 벤젠 $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 스티렌 $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순으로 나타났다. TVOC는 실외보다 실내에서 농도가 높은 것으로 조사되었다.
3. 카보닐화합물 중 폼알데하이드의 평균 농도는 $20.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세톤 $25.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 아세트알데하이드 $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 프로피온알데하이드 $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. 폼알데하이드와 아세톤 농도는 실외보다 실내에서 높은 것으로 나타났다.
4. 총 부유미생물중 세균류(bacteria)의 경우에는 평균농도가 $451 \text{CFU}/\text{m}^3$ ($78 \sim 2,148 \text{CFU}/\text{m}^3$)로 다중이용시설(의료기관, 보육시설)의 실내공기질 유지기준 $800 \text{CFU}/\text{m}^3$ 를 초과하는 시설이 약 10%로 조사되었다. 총 부유곰팡이의 경우 평균 농도는 $234 \text{CFU}/\text{m}^3$ ($10.1 \sim 836 \text{CFU}/\text{m}^3$)으로 나타났으며, 이 농도는 WHO 권고기준치인 $500 \text{CFU}/\text{m}^3$ 의 53% 수준으로 나타났다. 총 부유세균은 실내오염원에 의해 높은 농도를 나타내고, 반면 총 부유곰팡이는 실내보다는 실외에 오염원이 있는 것으로 나타났다. 미세먼지의 평균농도는 $51.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($19.9 \sim 87.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 나타났다.
5. 대부분의 시설에서 실내 오염물질 농도는 외기보다 높아, 실내의 공기질오염의 원인은 외부적인 요인보다 실내에서의 요인이 큰 것으로 나타났다. 휘발성유기화합물, 총 부유세균과 총 부유곰팡이가 높게 측정된 시설에서의 실내공기 오염물질을 가장 효과적으로 저감시키는 방안은 환풍기, 후드 및 환기설비설치이며, 다음으로는 공기청정기를 설치하여 실내공기오염을 최소화

해야한다. 실내공기질은 건물의 특성, 생활습관, 실내 환경 등 다양한 인자에 따라 영향을 받으므로, 각 시설에서는 주기적인 환기와 청소, 적정 온·습도 유지 등의 올바른 생활습관과 관심을 가지고 실내 오염원을 줄이는 노력을 하여야 할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 전형진, 김운신, 노영만, 이철민, 김기연, 박화미, 김종철, “민감시설의 실내공기질 특성 및 건강영향에 관한 연구”, 환경공동학술대회논문집, pp.323~326(2007).
2. 임태빈, “사무소 건물의 실내 공기환경 실태”, 공기청정기술, 제8권 제3호(1995).
3. Maroni M, Seifert B and Lindvall T, “Indoor air quality a comprehensive reference book”, Amsterdam, Elsevier(1992).
4. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Introduction to indoor air quality(1991).
5. American Lung Association, <http://www.lungusa.org/>(2009).
6. WHO, Guidelines for Air Quality, Geneva(2000).
7. 김운신, 노영만, 이철민, 김기연, 김종철, 전형진, 최동민, 김민희, 박윤주, “일부 유치원 교실내 실내공기오염물질의 기준초과비 조사에 관한 연구”, 한국실내환경학회지, 4(1), pp.14~22(2007).
8. 고연정, 김신도, 박숙영, 장성기, “유아교육시설 내 실내공기유해오염물질에 대한 어린이 건강위해성평가”, 한국환경보건학회지, 35(2), pp.78~85(2009).
9. 환경부(2009), 실내공기질 관리 기본계획, 관계부처합동(2009~ 2013).
10. ATSDR, 1999a. Toxicological profile for lead, Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Available from : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>.
11. Pastuazka, J.S., et al. Bacterialand fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland, Atmospheric Environment, 34, pp.3833~3842(2000).
12. 임지혜, “영유아 대상시설의 실내공기질 특성과 개선방안”, 한양대학교박사학위논문(2011).
13. 권명희, 장성기, 류정민, 서수연, 원수란, 정세진, 임종호, “주거공간별 실내공기질 관리방안연구(I)”,

- 국립환경과학원(2010).
14. 고재춘, “아동복지시설의 실내공기질 특성 및 건강위해성 평가 연구”, 호서대학교박사학위논문(2011).
 15. ToxFAQs, ASTDR, “Agency for Toxic Substances and Disease Registry Formaldehyde”(1999).
 16. U.S. Environmental Protection Agency(EPA), Introduction to indoor air quality(1991).
 17. Vaughan, T.L., Strader C., Davis S. et al., “Formaldehyde and cancers of the pharynx, sinus, and nasal cavity II : Residential exposures”, International Journal of cancer, vol.38(5), pp.685~688(1986).
 18. Wadden R.A. & Scheff P.A., "Indoor air pollution", Environmental Science and Technology (1983).
 19. 환경부, 1999, 실내공기질 관리방안에 관한 연구.
 20. 장성기, 임호주, 박숙영, 유주희, 전영재, 윤상렬, “노인요양시설 실내공기 실태조사 및 오염 특성 연구”, 국립환경과학원(2007).
 21. 류정민, 조태진, 장성기, 손부순, “신축공동주택의 실내공기 중 카보닐화합물의 방출특성에 관한 연구”, 한국환경과학회지, 19(7), pp.807~818(2010).
 22. Iwata,T., Tsukahara, H.T., Hori, M., Aldehydes and VOCs in newly-buit unoccupied houses in Tokyo, Health Buildings International Conference(2003).
 23. 권명희, 최경희, 서수연, 류정민, 원수란, 임중호, 구진희, 장성기, 한진석 “주거공간별 실내 공기질 관리 방안 연구(Ⅱ)”, 국립환경과학원(2011).
 24. Shun Cheng Lee, Wai-Ming Li and Chio-Hang Ao, “Investigation of indoor air quality at residential homes in Hong Kong-case study”, Atmospheric Environment, Vol36, No.2 pp.225~237(2002).
 25. 송주희, 민진영, 조경아, 윤영희, 백남원 “서울시 일부 종합병원의 공기중 미생물 농도 분포” 한국환경보건학회지 vol. 33, No. 2, pp.104~114(2007).
 26. Pope C.A., “Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill” Utah vally, Am J Pub. health, pp.623~628 (1989).
 27. 박지연, 서혜경, “주택실·내외에서의 PM10, PM2.5 농도와 호흡기계증상과의 관련성 조사”, 한국생활환경학회지, 1(2) pp.228~235(2005).
 28. Kirchner, S., Bailloit, O., Collignan, B., Flori, J.P., Garret, O., Laurent, A.M., LeMoullec, Y., O’Kelly, P., Ramalho, O., Sauvaget, M., Villenave, J.G. and Vedel, C., “ Experimental Study on the Transfer Conditions of Local Atmospheric Pollution to Indoor Dwelling Environment, CSTB(2001).
 29. Lee SC and M. Chang LY, “Indoor air and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong”, Chemosphere, pp.109~113(2000).
 30. U.S. Environmental Protection Agency(EPA), Indoor Air Pollution : Introduction for Health professionals(2005).
 31. WHO, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/en/>(2005).