

# 민감계층 이용시설 실내 환경질환 영향물질 조사

진용균\*, 임종성, 이현주, 이병옥, 박선영, 길혜진, 이범열, 방준상, 이충대, 권문주  
인천광역시보건환경연구원 생활환경과

## Investigation of substances affecting indoor environmental diseases in public facility used by vulnerable people

Yong-Gyun Jin\*, Jong-Sung Lim, Hyeon-Ju Lee, Byeng-Ok Lee, Sun-Young Park, Hye-Jin Kil,  
Boem-Yeol Lee, Joon-Sang Bang, Choong-Dae Lee, Mun-Ju Kwon

Indoor Environment Division, Incheon Research Institute of Public Health and Environment

### Abstract

Indoor air pollution is liable to affect the human body, since modern people spend most of their time indoors. Especially, vulnerable people are easily influenced by indoor air pollution and infected environmental diseases, such as respiratory diseases.

The aims of this study were to discuss the relationship between indoor air pollution and environmental impact factors for facility used by vulnerable people, and provide basic data to improve the indoor air quality(IAQ).

The concentration of indoor air pollutants was varied depending on environmental impact factors. Particulate matter was measured high in old facilities and concentration of formaldehyde was detected high in facilities that ventilation time was insufficient or interior wall was decorated with wallpaper. The smaller area was, or longer hours the air cleaner operated, the total airborne bacteria was higher level in facilities. If it was a lot of users, or the air cleaner was operated for a long time, or long-term ventilation was done, there was more fungi. No trend for carbon dioxide concentrations was found by facility. It was examined high proportion of heavy metals were originated from crust(Al, Fe, Mg) and paint(Cr, Zn).

The result of the correlation analysis showed necessity of customized management of indoor air quality(IAQ), because there were different correlations between indoor air pollutants and environmental impact factors in each facility. In addition, the results presented here showed that heavy metals contained in paint, or finishing materials were released through enrichment factor(EF) analysis. Because heavy metals have potential to cause human health effects, EF evaluation, an indicator of heavy metal release, emphasizes management of household supplies made up of indoors.

**Key words** : Environmental diseases, Indoor air pollutants, Vulnerable people, Enrichment factor, Heavy metals

## I. 서론

현대인은 하루에 80~90 % 이상을 실내에서 생활하고 있기 때문에 실내공기의 오염이 인체에 영향을 미칠 가능성이 매우 크다.

특히 어린이, 노인 등 실내공기 오염물질에 취약한 민감계층은 동일한 환경에서도 호흡기 질환 발병률 및 사망률이 높기 때문에 특별 관리에 대한 필요성이 제기되고 있다. 또한, 세계보건기구(WHO)에서도 공기질 기준 및 규제수준 설정 시 노출에 취약한 민감계층을 고려해야함을 제안하였다.

국내에서는 『실내공기질관리법』 다중이용시설 중 민감계층이 이용하는 시설군에 대해서는 보다 엄격한 기준을 적용하고 있으나, 일부 물질에만 국한되어있는 실정이다.

실내에서 발생하는 오염물질은 크게 입자상 오염물질과 가스상 오염물질, 미생물성 오염물질로 분류할 수 있다. 입자상 오염물질로는 미세먼지, 중금속 등이 있으며, 가스상 오염물질로는 사람의 호흡에 의해 발생하는 이산화탄소와 건축자재에서 많이 발생하는 폼알데하이드가 있다. 또한, 미생물성 오염물질은 실내공기 중에 부유하는 부유세균과 곰팡이가 있다(환경부, 2002).

이러한 오염물질 중 미세먼지는 공기 중 장시간 부유하면서 호흡기를 통해 폐포에 침착되어 각종 호흡기 질환을 일으키는 원인이 되며, 비표면적이 클수록 중금속 등의 흡착이 더 잘 일어나기 때문에 인체가 유해물질에 노출될 가능성이 커지는 것으로 알려져 있다(환경부, 2002).

따라서 본 연구에서는 민감계층이 주로 이용하는 다중이용시설을 대상으로 선정하여 시설별 주요 오염물질을 도출하고자 하였다. 실내공기오염물질은 미세먼지(PM-10, PM-2.5), 폼알데하이드, 총부유세균, 곰팡이, 이산화탄소, 중금속을 분석하였고, 실내공기오염물질의 종류와

농도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 현장조사와 설문조사를 실시하였다.

실내공기오염물질 농도와 환경영향인자 간 상관관계 분석과 중금속의 농축계수법(Bridnet factor, BF)으로 산출한 값을 기반으로 시설별 주요 오염원을 도출하여 민감계층 이용시설의 실내공기질 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## II. 이론적 고찰

### 2.1. 실내공기오염물질의 정의 및 특성

일반적으로 실내공기오염은 생활용품, 사무용품, 건축자재 등에서 방출되는 화학물질에 의한 내부적 요인과, 오염된 대기의 유입 등 외부적 요인으로 인해 유발된다.

실내공기오염의 지표가 될 수 있는 대표적인 물질로는 미세먼지, 폼알데하이드, 미생물 등이 있으며, 세계보건기구(WHO)에 따르면 장시간 노출되었을 경우 호흡기 질환과 같은 만성질환을 유발한다고 알려져 있다.

#### 2.1.1. 미세먼지(PM-10, PM-2.5)

미세먼지는 눈에 보이지 않을 정도로 아주 가늘고 작은 직경 10  $\mu\text{m}$  이하의 먼지 입자를 말하며, 입자의 크기에 따라 지름이 10  $\mu\text{m}$ 보다 작은 미세먼지(PM-10)와 지름이 2.5  $\mu\text{m}$ 보다 작은 초미세먼지(PM-2.5)로 나뉜다. 사람의 머리카락 지름(50 ~ 70  $\mu\text{m}$ )과 비교했을 때, PM-10이 약 1/5 ~ 1/7정도로 작은 크기라면, PM-2.5는 약 1/20 ~ 1/30에 불과할 정도로 매우 작다(환경부, 2016).

이러한 미세먼지는 숨을 쉴 때 호흡기관을 통해 폐로 들어와 폐의 기능을 떨어뜨리고 면역력을 약하게 만들며, 천식, 기침, 호흡곤란 등 호흡기 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다(환경부, 2002).

#### 2.1.2. 폼알데하이드

폼알데하이드는 강한 자극성 냄새를 가진 무색 투명한 기체로 수용성이 강하며, 살충,

살균제, 합성수지 원료 등으로 사용된다. 폼알데하이드는 흡입, 흡수, 피부를 통해 인체로 유입되며, 이중에서 흡입에 의한 독성이 강한 것으로 알려져 있다. 농도가 1 ppm이하에서 눈, 코, 목의 자극을 주며, 발암성 물질로 알려져 있다(환경부, 2002).

### 2.1.3. 미생물(총부유세균, 곰팡이)

부유세균, 곰팡이와 같은 미생물성 실내공기 오염물질은 전염성 질환, 알레르기 질환, 피부 질환, 호흡기 질환, 폐 질환, 기관지 질환, 폐암을 비롯한 각종 질병을 유발시키는 것으로 알려져 있다(환경부, 2002).

부유세균은 먼지나 수증기 등에 미생물들이 부착되어 있는 것으로, 주로 호흡기관에 영향을 주고 병원성 감염 등을 초래할 수 있다.

부유곰팡이의 경우 인간에게 이로운 곰팡이도 있지만, 특정 곰팡이는 가려움증, 습진, 피부반점, 무좀 등의 증상을 일으킬 수 있다.

### 2.1.4. 이산화탄소

실내에서의 이산화탄소는 주로 인간의 호흡에 의해 생성된다. 대기 중 이산화탄소 농도는 보통 0.04 % 수준이며, 실내공기질 관리 측면에서는 환기상태의 적절성 판단 지표로 사용되고 있다. 실내공간에서 이산화탄소의 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 두통, 어지럼증, 현기증 등의 증상을 유발할 수 있다(환경부, 2002).

### 2.1.5. 중금속

중금속의 주요 발생원은 연소과정, 산업과정, 채광, 목재난로의 연소, 담배연기 등이 있으며, 가장 큰 발생원은 화석연료를 사용하는 자동차로 알려져 있다(T.I. Fortoul et al., 2015).

중금속은 사람이 호흡하면 인체의 조직, 기관, 세포 등에 영향을 미치게 되어 각종 질환을 유발하게 되며, 공기 중 중금속은 입자상물질에 흡착되어 부유하며, 이들 유해 중금속은 위장과 신장, 혈관계 및 신경계 등에 치명적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다(T.I. Fortoul et al., 2015; 오윤희 등, 2013).

## 2.2. 환경질환의 정의

환경질환이란 역학조사 등을 통하여 환경 유해인자와 상관성이 있다고 인정되는 질환을 말하며, 『환경보건법』에서 다음 총 6가지의 관리목록을 제시하고 있다.

『물환경보전법』에 따른 수질오염물질로 인한 질환, 『화학물질관리법』에 따른 유해화학물질로 인한 중독증과 신경계 및 생식계 질환, 석면으로 인한 폐 질환, 환경오염사고로 인한 건강장해, 『실내공기질관리법』에 따른 오염물질 및 『대기환경보전법』에 따른 대기 오염물질과 관련된 호흡기 및 알레르기 질환, 가습기 살균제에 포함된 유해화학물질로 인한 폐 질환을 관리 목록으로 제시하고 있다.

본 연구에서는 『실내공기질관리법』에 따른 오염물질과 이와 관련된 호흡기 및 알레르기 질환을 다음과 같이 조사하였다(Table 1).

Table 1. Environmental diseases of indoor air pollutants.

Substances	Environmental diseases
PM-10 / PM-2.5	asthma, dyspnoea, hematogenesis reaction
TAB <sup>1)</sup>	allergosis, respiratory disease
Fungi	allergosis, dermatopathy, respiratory disease
HCHO	cough, chest pain, shortness of breath, respiratory system symptom
CO <sub>2</sub>	drowsiness, headache, dizziness
Heavy metals	silicosis, pneumoconiosis, anthracosis

1): Total Airborne Bacteria

## 2.3. 국내 실내공기질관리법

『실내공기질관리법』에서 다중이용시설 유지 및 권고기준을 정하여 관리하고 있으며, 이중 민감계층이 주로 이용하는 다중이용시설에 대해서는 더욱 엄격한 공기질 유지기준을 적용하고 있다(Table 2, 3).

Table 2. Mandatory standards of indoor air quality for vulnerable people.

Substances	Standard
PM-10	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM-2.5	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCHO	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TAB <sup>1)</sup>	800 CFU/ $\text{m}^3$
CO <sub>2</sub>	1,000 ppm
CO	10 ppm

1): Total Airborne Bacteria

Table 3. Guidelines of indoor air quality for vulnerable people.

Substances	Guidelines
NO <sub>2</sub>	0.05 ppm
Rn	148 Bq/ $\text{m}^3$
TVOC	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Fungi	500 CFU/ $\text{m}^3$

### Ⅲ. 조사대상 및 방법

#### 3.1. 조사 대상

관내 다중이용시설 중 민감계층이 이용하는 어린이집(Child-care centers, C) 15개소, 의료기관(Medical institutions, M) 15개소, 노인요양시설(Sanatoriums for older persons, S) 10개소, 산후조리원(Postnatal care centers, P) 10개소, 총 50개 시설을 조사대상으로 선정하였다.

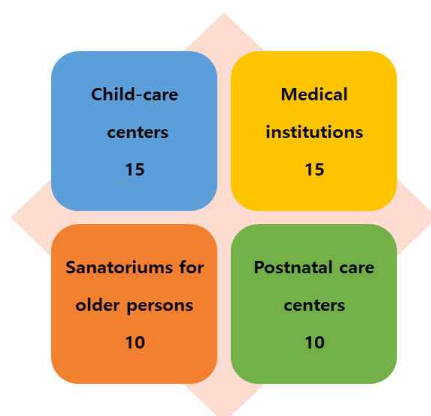


Fig. 1. Location of target facilities for vulnerable people.

#### 3.2. 조사 방법

##### 3.2.1. 현장조사

실내공기오염물질의 발생원은 건축자재, 주방 조리시설, 가구나 교육용품 등 다양하며, 주변 환경에 많은 영향을 받는다. 실내공기오염 물질을 적절히 실외로 배출하지 못할 경우 실내 공기 중의 오염물질 양이 많아지게 된다.

본 연구에서는 이러한 실내오염에 영향을 주는 요인에 관한 자료를 수집하기 위하여 시료채취 시 현장조사 및 설문조사를 수행하였다(Table 4).

Table 4. Category of field research.

No.	Category
1	Construction year
2	Area
3	The number of users
4	Ventilation time
5	Air cleaner operating time
6	Interior wall material

##### 3.2.2. 분석항목

본 연구에서는 『실내공기질관리법』에서 규정하고 있는 다중이용시설 실내공기질 유지기준 항목 중 미세먼지(PM-10, PM-2.5), 폼알데하이드, 총부유세균, 이산화탄소 등 5종, 동법 실내공기질 권고기준 항목 중 곰팡이 1종 및 중금속 23종 등 총 29종의 오염물질을 분석항목으로 선정하였다.

##### 3.2.3. 시료채취 및 분석방법

시료채취 및 분석방법은 『실내공기질관리법』에서 규정하고 있는 실내공기질 공정시험방법에 준하였고, 중금속성분에 대한 분석방법은 국립환경과학원의 『미세먼지(PM2.5) 성분분석 가이드라인』을 토대로 하였다.

### (1) 실내 온·습도

실내 온도와 습도는 실내공기 관리용 온습도계(testo-622, Testo AG, DE)를 이용하여 데이터를 기록하였다.

### (2) 미세먼지

미세먼지는 실내공기질 공정시험기준 ES 02302.1c에 준하여 수행하였으며, 측정장비(KMS-4100, Kemik, KR) 내부에 PTFE여과지(Tisch, US)를 장착 후 5 L/min의 유량으로 24시간 동안 채취하여 채취 전후의 여과지 중량의 차이로 실내 공기 중 미세먼지 농도를 측정하였다.

### (3) 폼알데하이드

폼알데하이드는 실내공기질 공정시험기준 ES 02601.1c에 준하여 수행하였으며, 펌프(MP-Σ100H, Sibata, JP)에 오존 스크러버(Supelco, US)를 장착한 2,4-DNPH 카트리지(Supelco, US)를 연결하여 0.5 L/min의 유량으로 30분 동안 시료를 채취하고 채취된 시료는 전처리 과정을 거쳐 HPLCM2965, WATERS, US)를 이용하여 분석하였다.

### (4) 미생물

총부유세균과 곰팡이는 각각 실내공기질 공정시험기준 ES 02701.1c와 ES 02702.1a에 준하여 수행하였으며, 부유세균 측정 장비(MAS100eco, MERCK, US)로 일정량을 흡입하여 장비 내에 미리 준비된 부유세균배지(TSA)와 곰팡이배지(PDA)에 충돌시켜 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 배양기(IR-150, KR)에서 배양하여 증식된 균의 집락수를 디지털 세균계수기(HYC-560, KR)로 세어 포집한 공기의 단위 체적당 균수(CFU/m<sup>3</sup>)로 산출하였다.

### (5) 이산화탄소

이산화탄소는 실내공기질 공정시험기준 ES 02905.1a에 준하여, 이산화탄소의 특정 파장의 적외선을 흡수하는 특성을 적용한 비분산적외선 분석법으로 분석하였으며, 이산화탄소 측정기기(IR-CO<sub>2</sub>, KR)를

이용하여 이산화탄소 농도를 연속자동 측정하였다.

### (6) 중금속

중금속은 『국립환경과학원 미세먼지(PM2.5) 성분분석 가이드라인』을 토대로 수행하였다. 미세먼지가 포집된 PTFE 필터를 Teflon vessel에 넣고 5 % 질산 15 mL를 첨가 후 마개를 닫고 microwave oven(ETHOS EASY, Milestone, IT)에 넣은 후, 1500 W로 180 °C 까지 단계적으로 온도를 상승시키고 유지하여 필터에 포집된 시료를 질산용액에 용출시켰다. 추출액은 0.45 μm의 필터(Advantec, JP)로 필터링하여 15 mL tube(Dhscience, KR)에 옮겨 담았다. 이후 ICP-MS(7800, Agilent, JP)를 이용하여 23개 중금속성분(Li, Be, Mg, Al, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, Ba, Tl, Pb)을 분석하였다.

### (7) 통계분석

본 연구에서 측정한 미세먼지 등의 실내 공기오염물질과 실내 온·습도 등 환경영향인자 간 상관성을 파악하기 위하여 SPSS for windows 18.0을 이용하여 통계분석을 실시하였다. 분석방법은 피어슨상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 이용한 상관분석(Correlation analysis)을 실행하였고, 유의수준(p)은 0.05이하로 유의성 여부를 판단하였다.

#### 3.2.4. 농축계수법을 통한 중금속 기여도 산정

대기오염 모델은 오염물질의 확산, 대류, 화학반응, 침적 등을 고려하여 해당지역의 오염 농도, 침적량, 체류시간 등을 추정하고, 최종적으로 오염원의 효율적인 제어와 방지대책, 대기질 관리방안 수립 등을 제시하는 종합적인 도구이다(황인조 등, 2013).

이중 오염원이 대기환경에 미치는 영향을 파악하기 위해 가장 많이 사용되는 기법은 수용모델이다. 수용모델은 각종 응용통계학을 기반으로 한 계량 화학적 분석기술이다. 일반

대기 중 수용체에서 가스상 및 입자상 오염 물질의 물리·화학적 특성을 분석한 후, 대기질에 영향을 미치는 오염원을 일차적으로 확인하고 그 기여도를 정량적으로 파악하여 합리적 대기오염 관리방안을 제시하는 통계적, 수학적 방법론(methodology)이다. 이중 농축계수법은 특정원소를 특정오염원과 1:1로 대응시켜 그 영향을 정성적으로 평가하는 방법론으로 오염원의 수가 한정적일 경우 유용하게 활용될 수 있다(황인조 등, 2013).

본 연구에서는 수용모델 중에서 농축계수법(Enrichment factor, EF)을 이용하여 미세먼지 중 주요 중금속을 산정하였다(식 1).

$$EF = \frac{(C_i/C_{PM-2.5})_{sample}}{(C_i/C_{Fe})_{crust}} \quad (1)$$

여기서,  $(C_i/C_{PM-2.5})_{sample}$ 은 PM-2.5 중 중금속 함량을 나타내며,  $(C_i/C_{Fe})_{crust}$ 는 Mason and Moore(1982)가 제시한 평균 지각 함량을 Fe을 기준으로 나타낸 것이다.  $C_{Fe}$ 는 기준원소로, 일반적으로 지각 기원 지표물질로 사용되는 Fe을 사용하였다(Deely et al., 1994).

EF값이 1보다 낮으면 지각으로부터의 배출에 기반을 둔 원소이며, 10보다 크면 인위적 기원으로부터의 배출되는 기여도가 상당한 부분을 차지한다는 것을 나타낸다(변진여 등, 2018; 심인근 등, 2017).

#### IV. 결과 및 고찰

본문에서는 시설그룹명과 실내공기오염물질 중 총부유세균을 약어로 표기하였다. 어린이집은 C, 의료기관은 M, 노인요양시설은 S, 산후조리원은 P, 총부유세균을 TAB로 나타내었다. 또한, 현장조사 결과물 (Table 5), 실내공기오염물질 측정결과물 (Table 6, 7)에 시설의 특성별로 요약하여 나타내었다.

##### 4.1. 현장조사 결과

건축연도는 1981년부터 2019년까지로 조사되었으며, 어린이집 5곳, 의료기관 1곳을 제외하고 대상시설 대부분 2000년 이후의 시설로 조사되었다.

면적은 445 ~ 23,682 m<sup>2</sup>로 분포하였다. 이중 어린이집의 93 %와 산후조리원의 70 %는 1000 m<sup>2</sup> 미만으로써 대부분 소규모 시설이었고, 의료기관과 1곳을 제외한 노인요양시설은 모두 1000 m<sup>2</sup> 이상의 면적으로 조사되었다.

이용자 수는 직원을 포함한 하루 평균의 이용자 수로 산출하였다. 시설별 평균 이용자 수는 어린이집이 90명, 의료기관이 262명, 노인요양시설이 82명, 산후조리원이 23명으로, 상대적으로 의료기관은 많은 이용자수를, 산후조리원은 적은 이용자수를 나타내었다.

창문을 통한 자연환기는 하루 평균을 기준으로 하였으며, 최소 1시간부터 최대 영업종료 시까지 상시로 환기를 한다고 조사되었다. 환기시간이 5시간 미만인 시설은 산후조리원과 노인요양시설이 각각 100 %와 60 %의 높은 비율로 조사되었다. 반면 어린이집은 10시간 이상의 시설이 60 %의 높은 비율로 조사되었다.

공기청정기의 가동시간이 10시간 이상의 상시가동 방식을 수행했던 시설은 어린이집과 의료기관의 15곳 중 각각 14곳, 9곳, 노인요양시설과 산후조리원의 10곳 중 각각 9곳, 6곳으로 대부분이 10시간 이상의 상시가동 방식을 하고 있는 것으로 조사되었다. 5시간 미만으로 가동한 시설 6곳 중 5곳은 산후조리원으로 높은 비율을 차지하였다.

실내벽면재질은 벽지가 전체 시설 중 66 %로 대부분을 차지하였으며, 페인트가 16 %, 페인트와 벽지의 혼합이 12 %, 기타 소재가 6 %로 조사되었다. 기타 소재는 대리석과 타일로, 의료기관의 각각 2곳, 1곳에서 사용한 것으로 조사되었다.

Table 5. Characteristics of studied facilities.

		C <sup>1)</sup>	M <sup>2)</sup>	S <sup>3)</sup>	P <sup>4)</sup>
Construction year	1980s	1	1	-	-
	1990s	4	-	-	-
	2000s	6	7	2	4
	2010s	4	7	8	6
Area (m <sup>2</sup> )	< 500	7	-	-	-
	500 ~ 1000	7	-	1	7
	1000 ~ 2000	1	1	8	2
	≥ 2000	-	14	1	1
The number of users	< 50	4	-	1	10
	50 ~ 100	4	3	8	-
	≥ 100	7	12	1	-
Ventilation time (hr)	< 5	4	7	6	10
	5 ~ 10	2	3	3	-
	≥ 10	9	5	1	-
Air cleaner operating time (hr)	< 5	-	2	-	4
	5 ~ 10	1	4	1	-
	≥ 10	14	9	9	6
Interior wall material	wallpaper	7	7	9	10
	paint	5	2	1	-
	mixture <sup>5)</sup>	3	3	-	-
	etc.	-	3	-	-

1): Child-care centers, 2): Medical institutions, 3): Sanatoriums for older persons, 4): Postnatal care centers, 5): wallpaper & paint

## 4.2. 측정 및 분석결과

실내온도는 평균 23.5 °C, 실내습도는 평균 43.1 %로 측정되었고, 어린이집에서 각각 25.5 °C와 51.5 %로 가장 높게 측정되었고, 의료기관은 23.0 °C, 41.8 %, 노인요양시설은 22.5 °C, 41.0 %, 산후조리원은 23.1 °C, 37.2 %로 나타났다(Fig. 2).

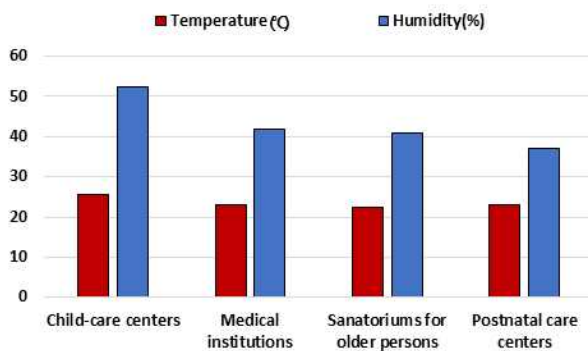


Fig. 2. Indoor temperature-humidity by facility.

조사된 실내공기오염물질 중 유지기준 오염물질인 PM-10, PM-2.5, 폼알데하이드, 총부유세균, 이산화탄소 및 권고기준 오염물질인 곰팡이 모두 기준치 이내의 값을 나타내었다. 시설별로는 어린이집과 노인요양시설에서 실내공기오염물질이 높게 측정되었고, 상대적으로 의료기관과 산후조리원은 낮은 수치를 나타내었다(Fig. 3).

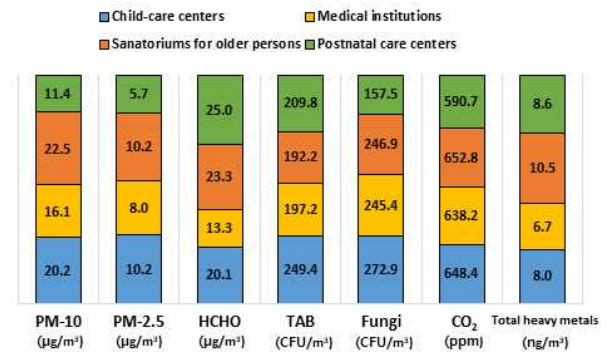


Fig. 3. Average concentration of indoor air pollutants by facility.

미세먼지는 PM-10과 PM-2.5 모두 측정치의 경향이 일치하였다.

미세먼지 중 PM-10의 평균농도는 17.4 μg/m<sup>3</sup> 이었으며, 노인요양시설이 22.5 μg/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 농도를 보였다. 그 다음으로는 어린이집이 20.2 μg/m<sup>3</sup>, 의료기관이 16.1 μg/m<sup>3</sup>, 산후조리원이 11.4 μg/m<sup>3</sup>순이었다(Fig. 4).

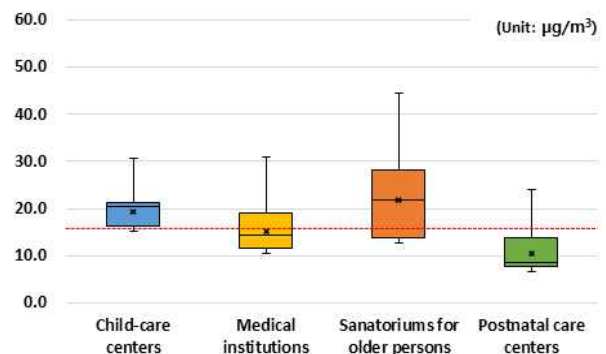


Fig. 4. Concentration of PM-10 by facility.

미세먼지 중 PM-2.5의 평균농도는  $8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 어린이집과 노인요양시설이  $10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도를 보였다. 의료기관은  $8.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 산후조리원은  $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다(Fig. 5).

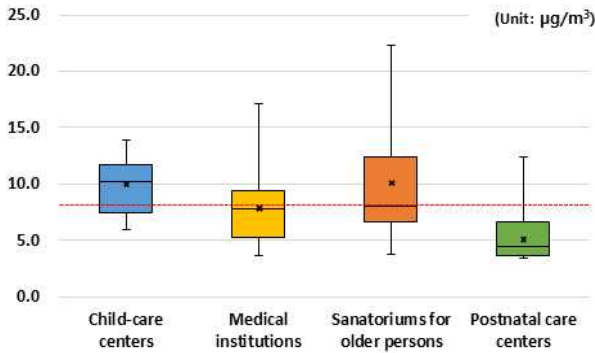


Fig. 5. Concentration of PM-2.5 by facility.

폼알데하이드의 평균농도는  $19.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 산후조리원이  $25.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도를 보였다. 그 뒤로 노인요양시설은  $23.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 어린이집이  $20.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 의료기관이  $13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순이었다(Fig. 6).

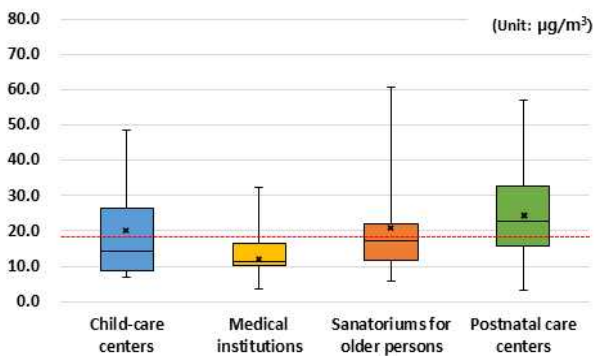


Fig. 6. Concentration of formaldehyde by facility.

총부유세균의 평균농도는  $212.6 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 이었으며, 어린이집이  $249.4 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도를 보였다. 그 다음으로는 산후조리원이  $209.8 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 의료기관이  $197.2 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 노인요양시설이  $192.2 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 순으로 나타났다(Fig. 7).

곰팡이의 평균농도는  $237.7 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 이었으며, 어린이집이  $272.9 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 값을 보였다. 노인요양시설은  $246.9 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 의료기관은  $245.4 \text{ CFU}/\text{m}^3$

으로 나타났고, 산후조리원이  $157.5 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮게 나타났다(Fig. 8).

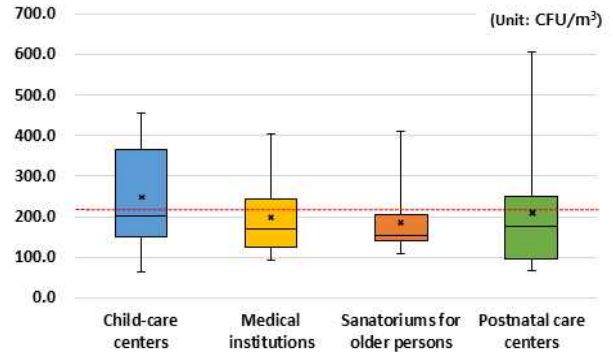


Fig. 7. Concentration of TAB by facility.

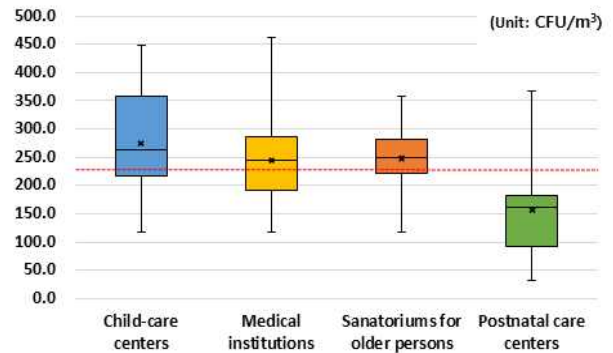


Fig. 8. Concentration of fungi by facility.

이산화탄소의 평균농도는  $634.3 \text{ ppm}$ 이었으며, 노인요양시설이  $652.8 \text{ ppm}$ , 어린이집이  $648.4 \text{ ppm}$ , 의료기관이  $638.2 \text{ ppm}$ , 산후조리원이  $590.7 \text{ ppm}$ 으로 시설별로 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다(Fig. 9).

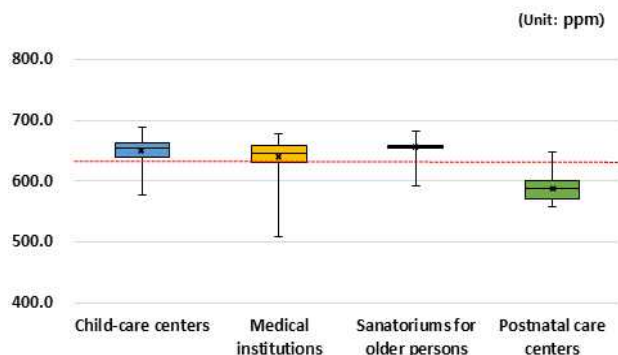


Fig. 9. Concentration of carbon dioxide by facility.



중금속의 전체 평균농도는 8.2 ng/m<sup>3</sup>이었으며, 노인요양시설이 10.5 ng/m<sup>3</sup>으로 가장 높은 값을 보였다. 그 뒤로 산후조리원이 8.6 ng/m<sup>3</sup>, 어린이집이 8.0 ng/m<sup>3</sup>, 의료기관이 6.7 ng/m<sup>3</sup> 순이었다(Fig. 10).

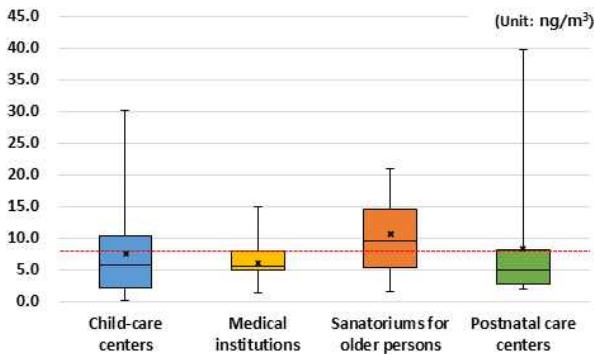


Fig. 10. Average concentration of total heavy metals.

중금속의 평균농도는 Al > Fe > Zn > Mg > Ca > Cr 순으로 높게 나타났고, 이외 중금속은 10.0 ng/m<sup>3</sup> 이하로 낮은 값을 보였다. 앞서 제시된 중금속들의 세부 농도는 다음과 같다(Fig. 11).

Al은 평균 82.8 ng/m<sup>3</sup>이었으며, 노인요양시설에서 113.4 ng/m<sup>3</sup>으로 전체 중금속 중에서 가장 높게 조사되었다. 뒤이어 어린이집이 91.7 ng/m<sup>3</sup>, 의료기관이 83.6 ng/m<sup>3</sup>, 산후조리원이 63.9 ng/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

Fe은 평균 41.3 ng/m<sup>3</sup>이었으나, 산후조리원이 75.5 ng/m<sup>3</sup>으로 평균을 상회하는 높은 값을 나타내었다. 그 뒤로 어린이집이 37.7 ng/m<sup>3</sup>, 노인요양시설이 33.7 ng/m<sup>3</sup>, 의료기관이 26.9 ng/m<sup>3</sup> 순으로 조사되었다.

Zn은 평균 21.1 ng/m<sup>3</sup>으로 앞선 Al과 Fe에 비해 낮은 값을 보였으나, 어린이집이 88.2 ng/m<sup>3</sup>의 높은 수치를 나타내었다. 이외 시설은 노인요양시설이 15.0 ng/m<sup>3</sup>, 의료기관이 13.0 ng/m<sup>3</sup>, 산후조리원이 12.1 ng/m<sup>3</sup> 순으로 나타났다.

Mg의 평균농도는 14.3 ng/m<sup>3</sup>으로 조사 되었으며, 노인요양시설이 38.5 ng/m<sup>3</sup>, 어린이집이 15.6 ng/m<sup>3</sup>, 산후조리원이 6.4 ng/m<sup>3</sup>, 의료기관이 5.7 ng/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

Ca은 평균 11.9 ng/m<sup>3</sup>, 노인요양시설이 27.1 ng/m<sup>3</sup>, 산후조리원이 11.7 ng/m<sup>3</sup>, 어린이집이 10.5 ng/m<sup>3</sup>, 의료기관이 6.5 ng/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

Cr은 평균 4.5 ng/m<sup>3</sup>로 앞선 중금속과 비교하여 낮은 결과를 보였으나, 산후조리원에서만 11.6 ng/m<sup>3</sup>으로 10 ng/m<sup>3</sup> 이상의 농도를 나타내었다(Fig. 11).

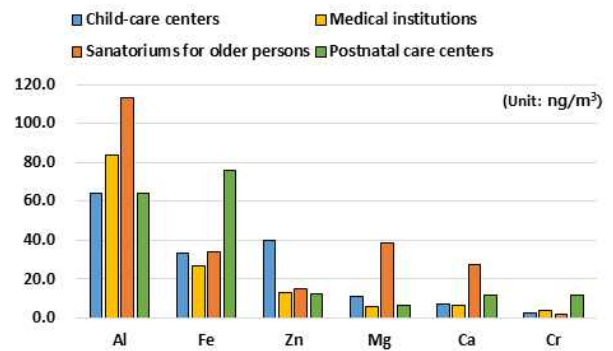


Fig. 11. Average concentration of main heavy metals.

전체시설의 PM-2.5에 포함된 중금속 중 상위 비율을 차지하는 항목은 Al, Fe, Cr, Zn, Mg, Ca 등 총 6종으로 조사되었다. 앞서 제시된 중금속은 전체 비율의 92 %를 차지하였으며, 각각 35 %, 27 %, 12 %, 8 %, 5 %, 5 %의 비율을 나타내었다. 상위 6종의 중금속의 비율은 시설별로 상이하게 조사되었다. 어린이집은 Al이 37 %, Fe이 24 %, Zn이 21 %, Mg이 7 %, Ca이 4 %의 비율을 보였다. 의료기관은 다른 시설에 비해 Cr이 35 %의 높은 비율을 나타내었고, Al이 35 %, Fe이 12 %, Zn이 6 %, Mg이 2 %로 나타났다. 노인요양시설은 Al이 49 %, Fe이 14 %, Mg이 13 %, Ca이 10 %, Zn이 7 %이었다. 산후조리원은 Fe이 44 %, Al이 29 %, Ca이 6 %, Zn과 Cr이 5 %, Mg이 4 %로 나타났다. 상위 6종의 중금속 이외에 1 % 이상의 비율로 나타난 성분은 V와 Cu가 의료기관에서 2 %, Pb가 의료기관, 노인요양시설, 산후조리원에서 각각 1 %, 2 %, 1 %, As가 산후조리원에서 1 %의 비율로 조사되었다(Fig. 12).

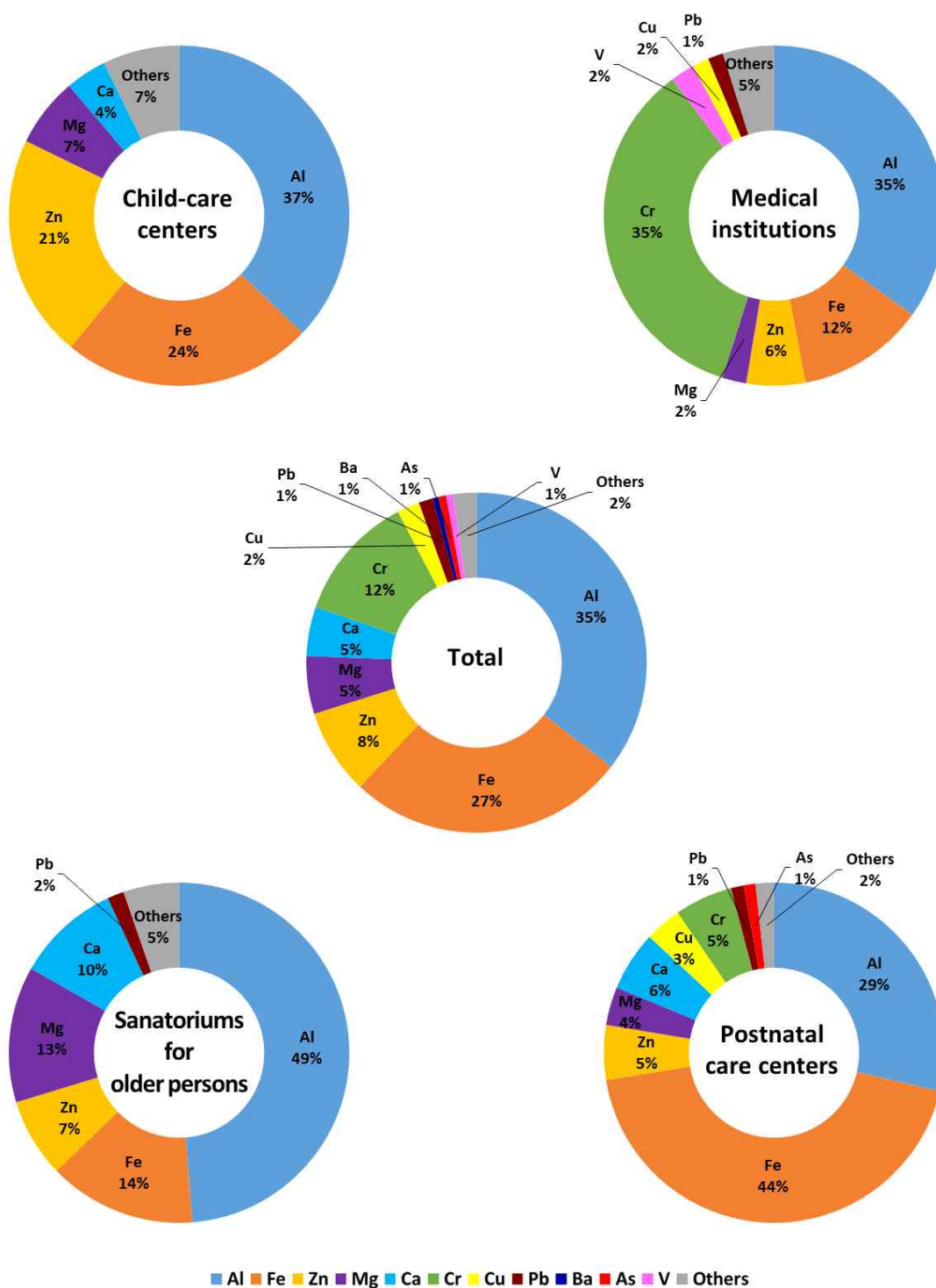


Fig. 12. Proportion of heavy metals by facility.

### 4.3. 주요 실내공기오염물질 추정

#### 4.3.1. 실내공기오염물질 특성 평가

측정된 실내공기오염물질을 시설의 특성별로 세분화하여 농도의 특성을 평가하였다(Table 6, 7).

PM-10의 농도는 환경영향인자 중 건축연도에 따른 변동을 보였다. 건축연도가 1980년대인 곳은  $29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1990년대는  $17.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2000년대는  $17.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2010년대는  $16.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 건축연도가 오래된 시설일수록 높은 값을 보였다.

PM-2.5는 건축연도가 1980년대인 곳은  $13.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 1990년대는  $10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2000년대는  $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2010년대는  $7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 PM-10과 동일하게 건축연도가 오래된 시설일수록 높은 값을 나타내었다.

선행연구에 따르면 PM-2.5는 오래된 아파트에서 높은 농도를 보인다고 한다(권명희 등, 2009). 이러한 선행연구를 기반으로 민감계층 이용시설에 대한 미세먼지 농도를 조사한 결과, PM-10, PM-2.5 모두 노후된 시설일수록 높은 농도를 나타냄을 확인하였다.

폼알데하이드는 환기시간 및 공기청정기 가동시간이 5시간 미만인 시설에서 각각  $22.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $24.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 측정되었다. 이는 폼알데하이드의 농도가 환기수준에 따라 영향을 받을 수 있음을 나타낸다. 또한, 실내벽면재질이 벽지인 곳에서 폼알데하이드가 가장 높은 농도를 보였는데, 이는 벽지를 벽면에 부착하기 위해 사용한 접착제에서 방출이 된 것으로 사료된다.

총부유세균은 시설면적이  $500 \text{ m}^2$  미만의 소규모 시설에서  $243.9 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 값을 보였고, 공기청정기 가동시간이 5시간 미만인 곳이  $132.8 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 5시간 이상, 10시간 미만인 곳이  $186.8 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 10시간 이상인 곳이  $229.2 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 로 공기청정기 가동시간이 긴 시설일수록 높은 값을 보였다. 이는 총부유세균 농도 변화에 있어, 시설면적과 공기청정기 가동시간이 영향인자일 가능성을 보여준다.

곰팡이는 이용자수와 공기청정기 가동시간에 따라

변동이 있었다. 이용자 수가 100명 이상인 시설이  $271.4 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 값을 보였고, 그 뒤로 50명 이상, 100명 미만인 곳이  $251.5 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 50명 미만인 곳이  $178.9 \text{ CFU}/\text{m}^3$  순으로 이용자 수가 많을수록 높게 나타났다. 공기청정기 가동시간에 따라서는 5시간 미만이  $212.0 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 5시간 이상, 10시간 미만이  $252.4 \text{ CFU}/\text{m}^3$ , 10시간 이상이  $276.1 \text{ CFU}/\text{m}^3$ 로 가동시간이 긴 시설에서 높은 값을 보였다.

선행연구에 의하면 습도가 51 % 이상시 미생물성 오염물질인 총부유세균과 곰팡이가 높은 농도를 보인다고 한다(권명희 등, 2009). 본 연구에서는 습도가 51 % 이상의 시설은 대체로 공기청정기 가동시간이 긴 것으로 조사되었고(Fig. 13), 환기시간이나 공기청정기 가동시간이 가장 긴 시설에서 미생물성 오염물질이 높게 측정되었다. 이와 같은 결과는 실내 공기 중 미생물성 오염물질 관리에 있어 주기적인 환기뿐만 아니라 적정 습도 유지나 필터 교체 등 공기청정기의 적절한 관리가 필요함을 강조한다.

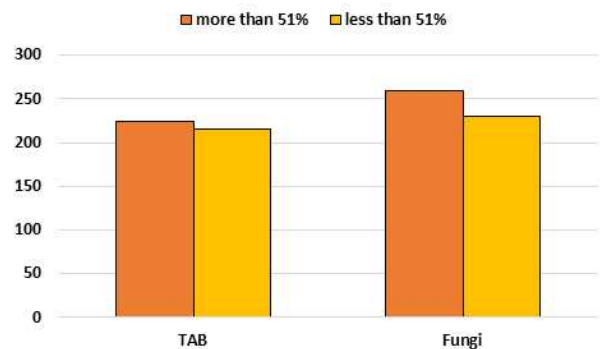


Fig. 13. Microbial concentration by humidity.

이산화탄소는 시설면적이  $500 \text{ m}^2$  미만의 소규모 시설에서  $657.8 \text{ ppm}$ 으로 가장 높게 나타났고, 이용자수가 50명 미만인 시설에 비해 50명 이상인 시설에서 높은 값을 나타내었다. 이 결과를 통하여 인구 밀집도가 이산화탄소의 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

중금속은 미량으로 측정되어 환경영향인자와 농도 사이의 연관성이 관찰되지 않았다.

Table 6. Average concentration of indoor air pollutants by environmental impact factors – 1.

		n	PM-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM-2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	HCHO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	TAB $\text{CFU}/\text{m}^3$	Fungi $\text{CFU}/\text{m}^3$	CO <sub>2</sub> ppm
Construction year	1980s	2	29.6	13.0	23.5	138.5	228.5	666.5
	1990s	4	17.8	10.4	27.4	203.9	232.3	655.1
	2000s	19	17.3	8.8	20.3	235.8	265.0	626.2
	2010s	25	16.5	7.6	17.3	202.3	218.5	634.5
Area (m <sup>2</sup> )	< 500	7	18.5	9.3	20.7	243.9	245.1	657.8
	500 ~ 1000	15	15.8	8.0	20.3	217.8	231.8	606.1
	1000 ~ 2000	12	21.7	10.3	26.6	229.8	247.2	651.3
	$\geq$ 2000	16	15.3	7.3	12.9	181.1	232.8	637.5
The number of users	< 50	15	14.6	7.3	25.2	207.6	178.9	617.0
	50 ~ 100	15	21.1	9.9	18.3	196.8	251.5	649.4
	$\geq$ 100	20	16.8	8.4	16.1	228.1	271.4	635.9
Ventilation time (hr)	< 5	27	15.3	7.5	22.8	213.4	212.0	642.8
	5 ~ 10	8	20.6	10.5	15.7	148.4	252.4	581.8
	$\geq$ 10	15	19.6	9.4	15.7	245.2	276.1	646.9
Air cleaner operating time (hr)	< 5	6	12.4	6.7	24.8	132.8	174.9	619.2
	5 ~ 10	6	19.8	8.8	12.8	186.8	189.8	655.9
	$\geq$ 10	38	17.8	8.8	19.7	229.2	255.1	633.2
Interior wall material	wallpaper	33	17.1	8.4	21.7	214.4	219.4	635.0
	paint	8	20.9	10.0	17.7	215.6	279.0	634.0
	wallpaper & paint	6	16.8	8.3	13.5	241.5	229.4	619.9
	etc.	3	12.5	6.5	12.2	126.5	344.7	655.5

Table 7. Average concentration of indoor air pollutants by environmental impact factors – 2.

(unit: ng/m<sup>3</sup>)

		n	Li	Be	Mg	Al	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Mo	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
Construction year	1980s	2	0.0	0.0	9.2	82.1	6.3	0.7	0.2	3.4	2.6	34.1	0.0	0.5	3.5	28.9	1.0	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	1.2	0.0	2.6
	1990s	4	0.0	0.0	8.6	74.3	4.0	0.4	0.3	2.9	1.8	23.1	0.0	0.3	2.4	6.6	0.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	0.0	2.0
	2000s	19	0.1	0.0	14.4	83.8	12.1	0.7	0.2	4.6	1.4	41.0	0.0	0.5	3.6	21.0	1.4	0.2	0.6	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.9
	2010s	25	0.1	0.0	14.8	83.2	11.9	0.7	0.2	4.7	1.5	42.9	0.0	0.5	3.7	21.6	1.4	0.2	0.6	0.2	0.1	0.3	1.3	0.0	2.9
Area (m <sup>2</sup> )	< 500	7	0.0	0.0	10.9	75.2	7.2	0.4	0.3	2.6	1.7	21.5	0.0	0.3	2.2	44.8	1.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.6	0.0	2.4
	500 ~ 1000	15	0.1	0.0	9.3	69.3	9.1	0.5	0.2	6.0	1.0	51.6	0.0	0.5	3.7	28.4	1.6	0.1	0.4	0.2	0.1	0.2	1.0	0.0	2.5
	1000 ~ 2000	12	0.1	0.0	17.2	88.2	13.6	0.6	0.2	4.9	1.0	45.5	0.0	0.5	3.3	24.1	1.4	0.1	0.7	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.6
	≥ 2000	16	0.1	0.0	8.6	79.5	8.4	0.7	0.2	5.0	1.5	41.0	0.0	0.6	3.9	22.3	1.4	0.1	0.4	0.2	0.1	0.3	1.0	0.0	2.8
The number of users	< 50	15	0.1	0.0	20.2	68.5	16.5	0.5	0.2	6.6	0.7	45.2	0.0	0.6	4.3	11.7	1.7	0.2	0.8	0.3	0.1	0.3	0.6	0.0	2.9
	50 ~ 100	15	0.1	0.0	15.3	86.7	12.2	0.7	0.2	4.8	1.6	43.4	0.0	0.6	3.8	21.6	1.4	0.1	0.6	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.8
	≥ 100	20	0.1	0.0	8.6	79.5	8.4	0.7	0.2	5.0	1.5	41.0	0.0	0.6	3.9	22.3	1.4	0.1	0.4	0.2	0.1	0.3	1.0	0.0	2.8
Ventilation time (hr)	< 5	27	0.1	0.0	14.3	82.8	11.9	0.7	0.2	4.5	1.4	41.3	0.0	0.5	3.6	21.1	1.4	0.2	0.6	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.8
	5 ~ 10	8	0.1	0.0	16.0	84.6	13.2	0.6	0.2	4.9	0.9	43.4	0.0	0.5	3.4	22.8	1.4	0.1	0.6	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.8
	≥ 10	15	0.1	0.0	9.0	72.0	8.4	0.7	0.2	5.2	1.6	42.9	0.0	0.6	4.0	23.2	1.5	0.2	0.4	0.2	0.1	0.3	1.1	0.0	2.9
Air cleaner operating time (hr)	< 5	6	0.1	0.0	8.6	76.4	7.9	0.7	0.2	5.5	1.7	45.8	0.0	0.6	4.2	23.6	1.5	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	1.1	0.0	2.8
	5 ~ 10	6	0.1	0.0	9.1	74.7	8.5	0.6	0.2	5.6	1.7	44.8	0.0	0.6	4.4	24.0	1.5	0.1	0.4	0.2	0.1	0.3	1.0	0.0	2.8
	≥ 10	38	0.1	0.0	14.3	82.8	11.9	0.7	0.2	4.5	1.4	41.3	0.0	0.5	3.6	21.1	1.4	0.2	0.6	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.8
Interior wall material	wallpaper	33	0.1	0.0	14.9	84.3	12.0	0.7	0.2	4.7	1.5	43.3	0.0	0.6	3.7	21.8	1.4	0.1	0.6	0.2	0.1	0.3	1.2	0.0	2.9
	paint	8	0.1	0.0	9.1	83.7	8.3	0.6	0.2	5.4	1.7	43.5	0.0	0.6	4.2	23.0	1.4	0.1	0.4	0.2	0.1	0.3	1.0	0.0	2.8
	wallpaper & paint	6	0.1	0.0	9.0	83.5	7.3	0.8	0.2	3.6	2.3	34.6	0.0	0.6	3.3	30.1	1.0	0.1	0.3	0.2	0.1	0.3	1.4	0.0	2.6
	etc.	3	0.1	0.0	6.6	96.3	5.2	0.9	0.2	4.2	3.4	31.0	0.0	0.8	4.9	10.5	1.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	1.3	0.0	3.3

### 4.3.2. 실내공기오염물질과 환경영향인자간 상관분석

본 연구에서는 실내공기오염물질과 환경영향인자 간 상관계수를 통해 상관관계를 살펴보았다. 상관계수는 두 변수간의 관계의 밀접도를 알려주는 지표로 1에 가까울수록 밀접하고, 0에 가까울수록 관계가 없는 것으로 간주된다. 변수는 실내공기오염물질과, 환경영향인자로 하였으며, 실내공기오염물질 항목은 PM-10, PM-2.5, 폼알데하이드, 총부유세균, 곰팡이, 이산화탄소이며, 환경영향인자는 실내온도(E1), 실내습도(E2), 준공연도(E3), 면적(E4), 이용자수(E5), 환기시간(E6), 공기청정기 가동시간(E7), 실내벽면재질(E8)로 정하였다.

상관분석은 그룹을 나누어 수행하였다. 면적이 1000 m<sup>2</sup> 미만인 시설이 전체 50개 시설 중 22곳, 1000 m<sup>2</sup> 이상인 시설이 28곳으로 비교 표본 수가 상응하였기 때문에, 전체시설을 면적 1000 m<sup>2</sup>을 기준으로 하였다.

전체 상관분석결과 상관계수는 실내습도와 PM-2.5가 0.390(p < 0.01), 실내습도와 PM-10이 0.337(p < 0.05), 준공연도와 PM-2.5가 -0.311(p < 0.05), 실내습도와 이산화탄소가 0.309(p < 0.05), 공기청정기 가동시간과 곰팡이가 0.291(p < 0.05), 환기시간과 곰팡이가 0.288(p < 0.05), 이용자수와 폼알데하이드가 -0.279(p < 0.05)로 통계적으로 유의하였다(Table 8).

Table 8. Pearson correlation coefficient.

	PM-10	PM-25	HCHO	TAB	Fungi	CO <sub>2</sub>
E1	.051	.120	.106	.140	.029	.128
E2	.337*	.390**	-.059	-.173	.213	.309*
E3	-.246	-.311*	-.226	.125	-.176	-.156
E4	.114	.079	-.209	-.087	-.106	.103
E5	-.034	-.049	-.279*	-.032	.181	.160
E6	.160	.166	-.183	.152	.288*	.273
E7	.173	.178	.042	.229	.291*	.061
E8	-.067	-.049	-.243	-.075	.260	.009

※ p-value : \*\* < 0.01, \* < 0.05, / numbers of data : 50

면적이 1000 m<sup>2</sup> 이상인 시설들의 상관계수는 곰팡이가 실내벽면재질과 0.493(p < 0.01), 환기시간과 0.422(p < 0.05)순으로 나타났고, 실내습도와 PM-2.5가 0.386(p < 0.05)로 통계적으로 유의하였다(Table 9).

Table 9. Pearson correlation coefficient (Area ≥ 1000 m<sup>2</sup>).

	PM-10	PM-25	HCHO	TAB	Fungi	CO <sub>2</sub>
E1	-.116	-.082	.056	.143	-.115	.053
E2	.296	.386*	-.031	.044	-.015	.356
E3	-.183	-.251	-.031	.116	-.044	.066
E4	.107	.096	-.249	-.087	-.207	.008
E5	-.128	-.130	-.336	-.037	.175	.021
E6	.005	.018	-.227	.106	.422*	.141
E7	.194	.186	.084	.079	.149	.160
E8	-.222	-.212	-.313	-.343	.493**	-.205

※ p-value : \*\* < 0.01, \* < 0.05, / numbers of data : 28

면적이 1000 m<sup>2</sup> 미만인 시설들의 환경영향인자에 따른 상관계수는 다음과 같다(Table 10). 실내온도는 PM-10, PM-2.5, 이산화탄소와 각각 0.444(p < 0.05), 0.480(p < 0.05), 0.524(p < 0.05), 실내습도는 PM-10, PM-2.5, 이산화탄소와 각각 0.566(p < 0.01), 0.503(p < 0.05), 0.494(p < 0.05), 준공연도는 PM-10, PM-2.5, 폼알데하이드, 이산화탄소와 각각 -0.427(p < 0.05), -0.450(p < 0.05), -0.464(p < 0.05), -0.459(p < 0.05), 시설 면적은 이산화탄소와 -0.559(p < 0.01), 이용자수는 곰팡이와 0.476(p < 0.05), 환기 시간은 PM-10과 0.464(p < 0.05), 이산화탄소와 0.491(p < 0.05), 공기청정기 가동시간은 곰팡이와 0.514(p < 0.05)로 통계적으로 유의하였다(Table 10).

면적 전체로 상관분석 결과를 진행하였을 때 보다 면적별로 나누어 분석한 경우 더 높은 상관관계를 보였다. 면적이 1000 m<sup>2</sup> 이상인 시설과 비교하여 1000 m<sup>2</sup> 미만인 시설에서 더 높은 상관계수를 나타냈는데, 이는 시설 규모가 큰 곳보다 작은 곳에서 실내공기오염물질이 환경영향인자의 영향을 더 받음을 나타낸다.



Table 10. Pearson correlation coefficient (Area < 1000 m<sup>2</sup>).

	PM-10	PM-25	HCHO	TAB	Fungi	CO <sub>2</sub>
E1	.444*	.480*	.131	.080	.145	.524*
E2	.566**	.503*	-.149	-.385	.394	.494*
E3	-.427*	-.450*	-.464*	.169	-.277	-.459*
E4	-.283	-.348	-.016	.024	.195	-.559**
E5	.275	.355	-.100	.164	.476*	.252
E6	.464*	.415	-.156	.166	.200	.491*
E7	.221	.198	-.087	.380	.514*	.118
E8	.316	.358	-.070	.258	.011	.247

※ p-value : \*\* < 0.01, \* < 0.05, / numbers of data : 22

#### 4.3.2. EF값을 활용한 주요 중금속 도출

환경부에 따르면 실내 환경에서의 중금속은 벽면이나 생활용품 등에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 어린이집이나 유치원에서 사용하는 크레파스나 색연필, 물감, 장난감에 Sb, Ba, Cd, Pb이 검출되고, 조리 시 사용하는 냄비 등 주방용품 및 싱크대에서 Pb, As, Zn 등이 검출된다고 한다. 또한, 손잡이에서 Ni, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd이, 페인트칠이 된 벽에서 Pb이, 책상 표면에서 Cu, Mn, Pb, Cr, Zn, Se 등이 검출된다고 알려져 있다(환경부 케미스토리).

본 연구에서 조사한 50개 시설의 중금속 분석결과, 지각기원 대비 산출된 EF값은 0.0 ~ 15000.2의 범위를 보였다. EF값이 10이상으로 높게 측정된 중금속은 Se, Sb, As, Cd, Zn, Pb, Mo, Cu, Cr, Tl, Ni이었는데, 이는 중금속이 실내 벽면이나 생활용품 등 실내 환경을 구성하는 인공적인 요인에 의해 유출되었음을 의미한다.

특히 (Table 11)에서 보여지는 것처럼 산후조리원은 Se, Sb, As, Pb, Mo, Cu, Cr, Tl, Ni 등 여러 중금속의 EF값이 다른 시설에 비해 높은 것으로 나타났고, 폼알데하이드의 농도 또한 다른 시설에 비해 높았다. 산후조리원의 환기시간이 다른 시설에 비해 부족했던 현장조사결과는 환기부족이 중금속 등 실내공기오염 물질의 축적에 영향을 주었을 가능성을 시사한다.

Table 11. Average of EF.

	C <sup>1)</sup>	M <sup>2)</sup>	S <sup>3)</sup>	P <sup>4)</sup>
Se	830.3	2108.4	1761.0	3679.7
Sb	486.9	1322.7	650.0	2042.9
As	314.6	496.4	260.2	1445.6
Cd	206.7	431.4	338.9	247.3
Zn	559.7	132.0	124.5	174.2
Pb	90.0	184.9	140.9	220.3
Mo	48.7	85.6	65.2	354.6
Cu	24.0	47.4	17.2	148.6
Cr	26.5	22.4	11.8	129.4
Tl	12.7	24.5	21.8	37.3
Ni	1.4	5.2	4.0	13.4
Li	1.9	2.6	2.2	4.3
Be	3.6	1.6	1.0	2.0
Ba	1.9	2.3	2.7	1.2
Sr	0.8	0.5	1.5	1.7
Co	0.6	0.8	0.6	1.4
Fe	0.5	0.4	0.3	2.1
V	1.1	0.7	0.4	1.0
Mn	1.1	1.2	0.6	0.0
Al	0.5	0.7	0.7	0.8
Mg	0.4	0.2	0.7	0.4
Ca	0.2	0.1	0.3	0.4
Ti	0.1	0.2	0.1	0.1

1): Child-care centers, 2): Medical institutions, 3): Sanatoriums for older persons, 4): Postnatal care centers

## V. 결론

본 연구는 환경질환 취약계층이 이용하는 민감계층 이용시설 4개 시설군(어린이집, 의료기관, 노인요양시설, 산후조리원)을 대상으로 환경질환을 유발하는 실내공기오염물질과 환경영향인자간의 상관관계가 도출될 수 있도록 설계 및 분석을 하였다. 또한, 시설의 특성에 따른 실내공기오염물질의 평가를 통해 시설별 특성에 맞는 실내공기질 관리 방안의 필요성을 검토하였다. 연구의 수행을 통해 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 환경영향인자는 시설별로 다른 특성을 나타내었다. 조사대상 중 어린이집과 산후조리원은 대다수가 소규모시설인데 반해, 의료기관과 노인요양시설은 상대적으로 대규모시설이 주를 이루었다. 어린이집은 전반적으로 소규모시설임에도 불구하고, 면적대비 높은 이용자수를 보였다. 노인요양시설과 산후조리원은 평균 환기시간이 짧게 나타났지만, 어린이집은 환기시간과 공기청정기 가동시간이 전반적으로 길게 조사되었고, 실내 온도 및 습도는 높게 측정되었다.
2. 실내공기오염물질 분석결과를 시설별로 전반적으로 비교하였을 때 큰 차이를 보이지는 않았으나, 세부적으로는 어린이집과 노인요양시설이 의료기관과 산후조리원에 비해 높게 조사되었다. 어린이집은 미세먼지(PM-10, PM-2.5), 총부유세균, 곰팡이가 높게 조사되었고, 노인요양시설은 미세먼지(PM-10, PM-2.5), 폼알데하이드, 중금속이 높은 값을 나타내었다. 산후조리원에서는 폼알데하이드의 농도가 높았으며, 이산화탄소의 농도가 가장 낮게 조사되었다. 의료기관은 다른 시설군에 비해 낮은 오염 물질 농도를 나타내었다.
3. 시설의 종류에 따라서 내·외부 상황이 상이하여 일반적인 결과 도출은 어렵지만 실내공기오염

물질의 농도에 기여하는 정도가 상대적으로 높은 환경영향인자는 다음과 같다. 미세먼지(PM-10, PM-2.5); 실내습도와 건축연도, 폼알데하이드; 환기시간, 공기청정기 가동시간, 실내벽면재질, 총부유세균; 실내습도, 시설면적, 환기시간, 공기청정기 가동시간, 곰팡이; 실내습도, 이용자수, 환기시간, 공기청정기 가동시간, 이산화탄소; 시설면적과 이용자수로 나타났다.

4. EF값을 토대로 산정한 인위적 요인에 의해 배출된 중금속은 주로 실내 활동공간의 물품이나 건축자재에 사용되는 도료, 또는 마감재료 속에 함유된 물질인 것으로 조사되었다. 따라서 실내공간에서 사용하는 가구 등 생활용품과 건축자재의 적절한 관리방안이 요구된다.

위와 같이 본 연구에서는 민감계층 이용시설에서 발생하는 실내공기오염물질의 실태를 파악하여 국내 민감계층 이용시설의 주요 실내공기오염물질 연구를 위한 기초자료를 마련하였다. 상관분석을 통해 밝혀진 주요 환경영향인자와 EF값으로 도출한 주요 중금속은 데이터추적을 통해 향후 맞춤형 실내공기질 관리의 정책 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.



## VI. 참고문헌

1. 환경부, (2019), 실내공기 제대로 알기 100문 100답, 12-14.
2. 국립환경과학원, (2009), 환경성질환의 이해와 국내 동향.
3. 환경부, (2016), 미세먼지, 도대체 뭘까?.
4. 심인근, 권명희, 원수란, 지현아, 이유미, 류정민, 이정섭, 이재원, 김성미, 조양석, 강윤경, 정준식, 김아롱, 권이슬, 김가현, 김경영, 유주희, 정현미, (2017), 다중이용시설 실내 미세먼지(PM2.5) 발생 원 및 기여도 조사(II), 국립환경과학원.
5. 국립환경과학원, (2014), 미세먼지(PM2.5) 성분분석 가이드라인, 국립환경과학원.
6. 환경부, (2011), 어린이집·아동복지시설 실내 공기질 관리매뉴얼.
7. Byun, J.Y., Cho, S.H., Kim, H.W., Han, Y.G., (2018), Long-term Characteristics of PM2.5 and Its Metallic Components in Chuncheon, Korea, journal of Korean Society for Atmospheric Environment 34(3), 406-417.
8. 환경부, (2019), 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼.
9. Hwang, I.J., Kim, D.S., (2013), Research Trends of Receptor Models in Korea and Foreign Countries and Improvement Directions for Air Quality Management, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment 29(4), 459-476.
10. Mason, B., & Moore, C. B. (1982). Principles of Geochemistry, Wiley, New York.
11. Deely J. M. and J. E. Fergusson, (1994), Heavy metal and organic matter concentrations and distributions in dated sediments of a small estuary adjacent to a small urban area. Sci. Total Environ. 153, 97-111.
12. Oh, Y.H., Nam, I.S., Kim, S.D., Kim, D.S., Park, D.S., Kim, J.H., Sohn, J.R., (2013), Health Risk Assessment for Heavy Metals in Particulate matter(PM10, PM2.5) of Indoor Air in Subway Station, Journal of The Korean Society of Living Environmental System 20(1), 29-36.
13. T.I. Fortoul, V. Rodriguez-Lara, A. Gonzalez-Villalva, M. Rojas-Lemus, L. Colin-Barenque, P. Bizarro-Nevares, I. García-Peláez, M. Ustarroz-Cano, S. López-Zepeda, S. Cervantes-Yépez, N. López-Valdez, N. Meléndez-García, M. Espinosa-Zurutuza, G. Cano-Gutierrez and M.C. Cano-Rodríguez (2015). Health Effects of Metals in Particulate Matter, Current Air Quality Issues, Farhad Nejadkoorki, IntechOpen.
14. 환경부, (2002), 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구.
15. 권명희, 장성기, 류정민, 서수연, 원수란, 정세진, 임종호, (2009), 주거 공간별 실내 공기질 관리 방안 연구(I), 국립환경과학원.