

## 충남지역 미적용 다중이용시설의 실내공기질에 관한 연구

홍성철 · 조혜미 · 조태진 · 이치원 · 정용택 · 손부순\*

순천향대학교 환경보건학과

### A Study of Indoor Air Quality of Public Facilities in Chung-Nam Area

Sung-Chul Hong · Hye-Mee Jou · Tae-Jin Cho · Che-Won Lee · Yong-Taek Jung ·  
Bu-Soon Son\*

*Dept. of Environmental Health Science, Soonchunhyang University*

#### Abstract

In order to recommend criteria for the administration law on indoor air quality, this study was conducted to examine the distribution and the concentration of indoor air pollutants (PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, TBC, NO<sub>2</sub>, Rn, VOCs, asbestos, O<sub>3</sub>) in public facilities in the Chung-Nam area. The concentrations of indoor air pollutants were obtained from sixty seven public facilities such as a cinema, an office, a restaurant, a theater and an academy. This study was performed from August to December, 2005. The results of this study showed that the concentrations of indoor air pollutants such as PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, TBC, Rn and O<sub>3</sub> were less than the recommended limits. However, the average concentration of VOCs was 521.73 $\mu$ g/m<sup>3</sup> (GM : 221.69 $\mu$ g/m<sup>3</sup>), which was higher than the recommended limit of 400  $\mu$ g/m<sup>3</sup>. Moreover, the average concentration of NO<sub>2</sub> was 345.66ppb (GM : 69.95ppb), which was higher than the recommended limit of 50 ppb. The correlation between the concentrations of indoor air pollutants and the type of facilities with respect to CO<sub>2</sub>, TBC and Rn was statistically low (p<0.05). However, the correlation was high in terms of the CO and O<sub>3</sub> concentrations (p<0.01). No relationship between the indoor air pollutants and the type of facilities was observed for PM<sub>10</sub>, VOCs and NO<sub>2</sub>. The year of construction was compared to the concentrations of indoor air pollutants. Specifically, when the construction date was less than 3 years, the HCHO, VOCs and TBC concentrations were 44.75  $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 555.07  $\mu$ g/m<sup>3</sup> and 337.79 CFU/m<sup>3</sup>, respectively. These concentrations were 120  $\mu$ g/m<sup>3</sup> and 211.84 CFU/m<sup>3</sup> higher for VOCs and TBC than the concentrations obtained from the facilities more than 3 years. However, the concentration of HCHO was similar between the facilities older and younger than 3 years of age. Year, temperature, humidity and indoor air pollutant correlation analyses showed that temperature and humidity, temperature and TBC, temperature and O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub>, HCHO and VOCs, CO<sub>2</sub> and Rn had positive relationships. However temperature and Rn, humidity and CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub> and Rn had negative relationships. Accordingly, it will be necessary to manage the factors affecting indoor air quality so that the residents can have a more comfortable and healthier living environment. Ultimately, the results of this study are expected to be utilized as baseline data.

**Key words** : Public Facilities, Indoor air quality (IAQ), VOCs

\* Corresponding author E-mail : sonbss@sch.ac.kr

## I. 서론

산업의 발달과 고도화는 인간생활에 있어 질적 향상과 다양한 편리함 등 많은 혜택을 주지만 환경오염 등의 중요한 문제점을 야기하고 있다<sup>1)</sup>. 그 중 우리가 호흡하는 공기의 질은 인간의 건강에 직접적인 영향을 미치며 온도, 습도, 오염물질, 발생원, 환기 등 다양한 요소에 의해 변화 한다<sup>2)</sup>.

1970년대 석유파동으로 인한 에너지 위기 이후 건축물들의 단열성과 기밀성이 향상된 반면, 실내공기의 환기율이 감소하고<sup>3~4)</sup>, 실내에 오염물질이 축적되어 실내공기가 악화됨으로써 재실자들의 건강에 영향을 미치기 때문에 웰빙(well-being) 문화를 추구하는 현대인들의 실내공기질(indoor air quality : IAQ)에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>5)</sup>.

현대에 이르러서는 인간의 생활방식 및 거주환경 등에서도 많은 변화를 가져와 하루일과의 80~90%를 가정, 교통수단, 일반사무실, 실내작업장, 공공건물, 상점, 유흥업소 등의 실내에서 보낸다고 보고되고 있어 실내공기질이 건강에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있다<sup>6~9)</sup>.

일반적으로 짧은 시간에 많은 사람들이 이동하며 불특정 다수가 이용하는 다중이용시설은 재실자의 수가 일정하거나 재실자의 거주시간 등이 일정한 주택이나 사무실에 비해 다양한 오염물질에 노출될 수 있으므로 다중이용시설의 공기질은 매우 중요하다<sup>10)</sup>.

특히 신축건물과 다중이용시설을 이용하는 사람들의 경우 원인과 병명을 모른 채 구토를 일으키며, 머리, 목, 코가 아프다고 호소하는 빌딩증후군(sick building syndrom : SBS)이나 복합화학물질민감증(multiple chemical sensitivity : MCS)의 증상을 보이고 있어, 신축건물 및 다중이용시설과 같이 밀폐된 공간에 대한 실내공기관리대책이

국민건강 증진과 사회복지향상차원에서 우선적으로 수립되어야 한다<sup>11)</sup>.

실내공기의 오염원은 실내건축자재, 가구류, 생활용품, 흡연, 외기유입 등이며, 오염물질의 종류는 매우 다양하다. 최근에는 인체에 발암성과 위해성을 갖는 휘발성유기화합물(volatile organic compounds : 이하 VOCs), HCHO 및 석면 등에 대한 중요성이 부각되고 있다<sup>5,12~13)</sup>.

VOCs는 대부분 방향족 탄화수소이며 피부와 호흡기를 통하여 흡수되고 신경장해, 소화기장해, 호흡기장해, 간 장해, 조혈장해 등 광범위한 악영향이 있다고 보고되고, HCHO는 단기간 노출시 눈, 코, 목의 가려움증 및 자극 증상을 나타내고 장기간 노출시 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환 등을 유발하며 동물실험결과 발암성을 나타내었다고 한다. 또 석면에 노출되면 석면폐, 폐암, 중피종 등을 유발한다고 한다<sup>14~16)</sup>.

환경부는 다중이용시설을 이용하는 국민의 건강을 증진하고 쾌적한 실내공기질을 확보하기 위해 2003년 5월 29일 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」을 제정, 공포하였으며, 2004년 5월 30일부터 PM10, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, 총부유세균(이하 TBC) 등 유지기준 5개 항목과 NO<sub>2</sub>, 라돈(Rn), VOCs, 석면(asbestos), O<sub>3</sub> 등 권고기준 5개 항목을 지하역사, 지하도상가, 터미널, 공항, 항만, 도서관, 미술관, 박물관, 의료기관, 실내주차장, 철도역사, 보육시설 등 17개 시설군에 적용하고 있다<sup>17)</sup>.

지금까지 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에 적용되는 다중이용시설의 실내공기질에 대한 다양한 측정 및 조사, 연구가 이루어졌지만, 이 법이 적용되지 않는 영화관, 업무시설, 음식점, 공연장, 학원 등의 다중이용시설에 대해서는 이용인구가 많음에도 불구하고 연구가 미진한 실정이다<sup>15)</sup>.

본 연구에서는 「다중이용시설 등의 실

내공기질관리법」이 적용되지 않는 다중이용시설의 실내공기질을 측정, 조사하여 관리실태를 파악하고, 쾌적한 환경조성과 실내공기질 유지관리를 위한 정책수립의 기초 자료로 제공하고자 한다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 연구대상

연구기간은 2005년 8월 30일부터 12월23일까지 약 4개월간이고, 조사대상 시설은 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」이 적용되지 않는 충남지역의 영화관 4개소, 업무시설 23개소, 음식점 22개소, 공연장 4개소, 학원 14개소 등 총 67개소이다.

### 2. 측정 및 분석방법

조사 항목은 「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」에서 정한 유지기준 5개 항목(PM10, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, TBC)과 권고기준 5개 항목(NO<sub>2</sub>, Rn, VOCs, 석면, O<sub>3</sub>) 등 총 10개 항목이고, 다중이용시설의 실내공기질 공정시험법에 의거 측정, 분석하였다.

#### 2.1. PM10

PM10은 소용량공기포집법(mini volume air sampling method)으로 측정하였다. 즉 소용량공기포집기(MiniVol, Aivmetric)에 Pallflex membrane filter(47mm, Gelman Science사)를 장착하여 유속 5ℓ/min으로 8시간 동안 연속 측정하였다.

소용량공기포집기(mini volume portable air sampler)는 입경 10 μm 이상 먼지는 분립 장치의 공기유입구에 있는 충돌판에 관성충돌하여 제거되고, 입경 10 μm 미만의 먼지는 충돌판 위로 흐르는 공기 흐름을 따라 여과지에 포집된다.

여과지 무게는 흡인공기 중의 수분의 영향을 받기 때문에 측정 전후 데시케이터에 48

시간 이상 보관하여 건조하고 분석용 천칭(SATORIUS, CP2P-F, Germany)으로 칭량한다.

#### 2.2. HCHO

HCHO는 2,4-DNPH유도체화하여 HPLC로 분석하였다. 시료는 Personal air sampler (Gilian Air-3)를 이용하여 유속 0.5ℓ/min으로 30분씩 2회 채취하였다. HCHO 채취용 카트리지는 2,4-DNPH cartridge(Supelco S10, USA)로 코팅된 실리카겔을 포함하고 있으며, 분석 시 오존영향을 배제하기 위하여 2,4-DNPH cartridge 전단부에 고순도 요오드칼륨(KI)이 채워진 오존 스크러버를 설치하였다. 채취한 카트리지는 알루미늄포일로 감싸 빛을 차단하여 4℃ 이하의 냉암소에 보관한다.

시료분석은 먼저 2,4-DNPH 카트리지를 지용성필터로 여과한 아세트니트릴 5 mL로 용출한 후 고성능액체크로마토그래프(HPLC-10AVP Series, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다.

Table 1에 HPLC 분석조건을 나타내었다.

Table 1. Analysis conditions of HPLC.

Items	Analysis Conditions
Column	RP-18 GP 250-4.6(5 μm)
Detection	UV/vis. 360 nm
Mobile Phase	Acetonitrile : Water = 60 : 40
Flow Rate	1.2 ml/min
Injection Volume	20 μl
Analysis Time	10 min

#### 2.3. CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>는 비분산적외선법을 이용한 CO<sub>2</sub> 측정기(CD98pius, Environmental, England)를 사용하여 측정하였다.

비분산적외선법은 CO<sub>2</sub>에 의한 적외선 흡수량의 변화를 선택성 검출기로 측정해서 실내공기 중의 CO<sub>2</sub>농도를 연속 측정하는 방법이다.

2.4. CO

CO는 비분산적외선법을 이용한 CO 자동 측정기(300E, API, USA)를 사용하여 5분 간격으로 1시간이상 연속 측정하였다.

비분산적외선법이란 CO에 의한 적외선 흡수량의 변화를 선택성 검출기로 측정해서 실내공기 중의 CO 농도를 연속 측정하는 방법이다.

2.5. TBC

TBC은 충돌법으로 측정하였다.

시료는 Single stage air cascade sampler (Tisch environment Inv. TE-10-880)를 이용하여 실내공기를 유속 28.3ℓ/min로 5분간 채취하였다. 흡입한 실내공기를 장비내의 Blood Agar Plate(BAP)배지에 충돌시켜 실내공기 중의 부유세균을 채취한 후 부유세균이 흡착된 배지를 30~35 ℃에서 48시간 동안 배양기에서 배양하였다.

배양 중 증식되는 세균의 확산으로 인해 계수가 곤란할 수 있으므로 24시간 단위로

증식 상태를 관찰하고 세균수를 계수한다. 배양 종료 후 배지의 세균집락수를 측정하고, 세균집락수를 포집공기량으로 나누어 단위체적 당 집락수(CFU/m<sup>3</sup>)를 산출한다.

2.6. VOCs

VOCs는 고체흡착법으로 측정하였다. 즉 Tenax-TA(Supelco, USA)가 200 mg이상 충전된 스테인레스 흡착관을 이용하여 GC/MS로 분석하였다.

시료는 Personal air sampler(Gilian air-3)를 사용하여 유속 0.2ℓ/min으로 30분씩 2회 채취하였다. VOCs를 채취한 Tenax-tube 양 끝을 storage cap으로 막고 4 ℃ 이하의 냉암소에 보관하였다.

시료분석은 먼저 Turbomatrix ATD(Perkinelmer, UK)로 탈착해 가스크로마토그래프/질량분석계(GC-MSD, HP -6890, Agilent 5973 inert, USA)를 이용하여 분석하였다.

Table 2, 3에 ATD와 GC/MS의 분석조건을 나타내었다.

Table 2. Conditions of ATD.

Classification	Condition	Classification	Condition
ATD Model	PerkinElmer Turbomatrix ATD	Transfer line temp.	200 ℃
Desorb temp.	320 ℃	Desorb flow	90 ml/min
Desorb time	10 min	Min. pressure	14.4 psi
Valve temp.	200 ℃	Inlet split	splitless
Cold trap hold	5 min	Outlet split	5 ml/min
Cold trap high	350 ℃	Cold trap	Air
Cold trap low	-30 ℃		monitoring trap

Table 3. Analysis conditions of GC-MSD.

VOCs analysis condition	
GC	Capillary Column GC
Detector	MSD
Column	RTX-1 (105 m × 0.32 mm × 3 μm)
Carrier Gas and Flow	He (99.999 %)
Temperature Program	40 ℃(5 min) → 70 ℃(5 min) → 150 ℃(5 min) → 200 ℃(5 min) → 220 ℃(5 min) → 240 ℃(5 min)
MS Condition Mode	EI(Electron ion)
Electron Energy	70 ev
Detection mode	TIC(Scan), m/z : 35-350

### 2.7. O<sub>3</sub>

O<sub>3</sub>은 자외선광도법을 이용한 O<sub>3</sub> 자동측정기(400E, API, USA)를 사용하여 현장에서 측정하였다.

자외선광도법은 파장 254 nm 부근에서 자외선 흡수량의 변화를 측정하여 실내공기 중의 오존농도를 연속 측정하는 방법이다.

### 2.8. 석면(Asbestos)

석면농도는 멤브레인필터에 포집한 부유먼지 중의 석면섭유를 위상차현미경을 사용하여 계수하는 방법으로 측정하였다.

즉 시료를 low volume air sampler를 이용하여 유속 10ℓ/min으로 1시간 채취한 후 멤브레인필터를 용기에 넣고 파라필름으로 밀폐시켜 보관하였다.

시료분석은 아세톤-트리아세틴법을 사용했는데 먼저 아세톤증기 발생장치의 플라스크에 40~60 ml의 아세톤을 넣고 가열하여 아세톤증기가 충분히 발생하면 증기배출수의 마개를 열고 멤브레인필터를 2등분 또는 4등분하여 얹어놓은 슬라이드글라스를 15~25 mm 떨어진 위치에서 아세톤 증기 속으로 서서히 이동시켜 멤브레인필터면에 아세톤 증기가 균일하게 접촉하도록 하면, 멤브레인필터는 2~5초 사이에 투명하게 된다.

그리고 가능한 빨리 마이크로 피펫을 사용하여 트리아세틴 2~3방울을 멤브레인필터 중심부에 적하하고, 그 위에 커버글라스를 덮었다. 투명화가 늦으면 슬라이드를 표면온도 50 ℃의 가열판 위에서 투명화가 될 때까지 약 15분 동안 가열하였다. 만든 표본은 케이스에 보관하고 위상차현미경(Leica, DME, CHina)의 접안렌즈에 사용할 접안 그라티클을 넣어 그라티클의 선들이 깨끗하고 선명하게 보이도록 조정하였다.

그리고 스테이지 마이크로미터를 슬라이드 얹힘대 위에 놓고 초점을 맞추어 선들이 선명하게 보이도록 조정하였다. 스테이지 마이크로미터를 얹힘대에서 떼어내고 제작한 표본을

얹힘대 위에 놓은 후 저배율로 여과지에 포집된 먼지의 균일성을 확인하고 불균일하게 포집되어 있는 표본은 버렸다. 400배 이상의 배율에서 접안 그라티클에 있는 척도를 사용해 석면섭유를 계수하여 농도를 구하였다.

### 2.9. Rn

Rn은 Rn 연속 모니터측정기(RAD-7, Durrige, USA)를 사용하여 측정하였으며, 8시간 동안 연속 측정하였다. 시료채취지점은 기류, 환기장치 등에 의해 영향을 받지 않는 곳에 선정하고 직사광선이 비치거나 습도가 높은 곳은 설치하지 않았다.

### 2.10. NO<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub>는 화학발광법을 이용한 NO<sub>2</sub> 연속측정기(200E, API, USA)를 사용하여 5분 간격으로 1시간 이상 연속 측정하였다.

화학발광법은 시료공기 중의 NO<sub>2</sub>를 컨버터를 통해 NO로 변환시킨 후 O<sub>3</sub>와 반응시켜 NO<sub>2</sub>를 만드는데, NO<sub>2</sub>가 생성될 때의 화학발광도가 NO<sub>2</sub>농도와 비례관계가 있는 것을 이용해서 시료공기 중의 NO<sub>2</sub>농도를 측정하여 NO<sub>2</sub>양을 산출한다.

## 3. 통계처리

측정 및 설문자료처리는 SPSS 12.0 for Windows 통계프로그램을 이용하고, 측정 자료의 기술통계는 집단별 평균분석하였으며, 업종별 실내공기오염물질의 유의성은 Kruskal-Wallis 검정을 이용하였다.

그리고 연도별 실내공기오염물질의 유의성은 Mann-Whitney 검정을 이용하였으며 상관분석은 Spearman의 상관계수를 이용하여 비모수 통계분석하였다.

## III. 연구 결과

1. 실내공기오염물질의 농도분포

Table 4에 다중이용시설의 실내공기오염물질의 오염현황을 나타내었다.

분석항목의 측정농도를 다중이용시설의 오염물질기준과 비교하면 PM10(기준 100)은 59.24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , HCHO(기준 120)은 37.50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CO2(기준 1,000)는 753.95 ppm, CO(기준 10)는 1.58 ppm, TBC(기준 800)은 308.34 CFU/ $\text{m}^3$ , O3(기준 60)은 8.42 ppb, 석면(기준 4.0)은  $2.50 \times 10^{-3}$  f/cc 및 Rn(기준 4)은 0.58 pCi/ $\ell$ 로서 기준에 미

달되나, VOCs(기준 400)의 산술평균농도 521.73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 기준을 초과하고, 기하평균농도 221.69  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 는 기준미만이며, NO<sub>2</sub>(기준 50) 산술평균농도 345.66 ppb와 기하평균농도 69.95 ppb는 기준을 초과하였다.

조사대상 다중이용시설의 실내공기오염물질은 PM10, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, TBC, Rn, 석면 및 O<sub>3</sub>는 기준에 미달되나, VOCs의 산술평균농도는 기준을 초과하고 기하평균농도는 기준에 미달하며, NO<sub>2</sub>는 산술평균농도와 기하평균농도 모두 기준을 초과하므로 관리대책이 수립되어야 한다고 생각한다.

Table 4. Concentration of indoor air pollutants in public facilities.

	N	Mean	± SD	GM	Min	Max	Standard
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	64	59.24	± 42.89	44.44	5.87	219.05	100
HCHO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	60	37.50	± 40.48	19.02	0.44	200.00	120
CO <sub>2</sub> (ppm)	67	753.95	± 465.44	691.41	433.02	4014.13	1000
CO (ppm)	66	1.58	± 4.12	0.70	0.17	28.25	10
TBC (CFU/ $\text{m}^3$ )	67	308.34	± 382.20	205.97	15.00	3022.00	800
VOCs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	67	521.73	± 673.51	221.69	1.03	3344.61	400
O <sub>3</sub> (ppb)	67	8.42	± 11.81	3.88	0.25	60.00	60.00
Asbestos (f/cc) $\times 10^{-3}$	51	2.50	± 1.79	1.95	0.39	9.42	10.00
Rn (pCi/ $\ell$ )	66	0.58	± 0.58	0.42	0.10	3.06	4.0
NO <sub>2</sub> (ppb)	67	345.66	± 1086.19	69.95	0.84	6630.00	50.00

2. 업종별 실내공기오염물질의 농도

Table 5에 다중이용시설의 업종별 실내공기오염물질의 분포특성과 유의성을 나타내었다.

PM10농도는 영화관 33.58  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 업무시설 66.56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 식당 65.21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 공연장 40.85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 학원 51.78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 통계적으로 유의할만한 차이가 나타나지 않았다. 또한 조사대상시설의 86.4%가 기준치 적절한 인공환기 시설을 갖추어야 할 것으

이하의 농도를 나타내었는데 이 결과는 서<sup>18)</sup>등의 연구결과와 유사하다.

CO<sub>2</sub>농도는 영화관 642.96 ppm, 업무시설 688.38 ppm, 식당 606.21 ppm, 공연장 723.54 ppm, 학원 1134.26 ppm로서 통계적으로 유의할만한 차이(p<0.05)가 나타났으며, 그 중 학원이 높은 이유는 많은 학생들이 좁은 공간을 이용함에도 불구하고 환기시설이 충분히 갖추어지지 않았기 때문이며, 창문, 출입문 등을 통한 자연환기나

CO농도는 영화관 1.62 ppm, 업무시설 0.74 ppm, 식당 3.33 ppm, 공연장 0.44 ppm, 학원 0.63 ppm으로 통계적으로 유의할만한 차이(p<0.01)를 나타내었다. 식당의 농도가 다른 업종보다 높은 이유는 음식조리에 사용되는 연료의 연소에 의한 것으로, 조리대에 적절한 국소배기장치를 설치해야 할 것으로 판단된다.

TBC농도는 영화관 140.54 CFU/m<sup>3</sup>, 업무시설 349.30 CFU/m<sup>3</sup>, 식당 380.11 CFU/m<sup>3</sup>, 공연장 111.01 CFU/m<sup>3</sup>, 학원 232.57 CFU/m<sup>3</sup>로서 유의한 차이(p<0.05)를 보였다. 식당의 농도가 높은 이유는 실내의 습도가 높고 영양분이 휘발되어 미생물 증식에 적합한 환경이기 때문이라고 사료된다. 이러한 결과는 박<sup>19)</sup>등이 여름철 습도가 높을 때 미생물이 잘 증식하였다고 보고한 사실과 일치한다.

김<sup>10)</sup>이 사람의 왕래가 잦은 터미널과 지하철의 TBC농도가 높다고 보고하였는데,

이 청결 및 환기불량에 기인한다고 사료된다.

VOCs농도는 영화관 796.25 µg/m<sup>3</sup>, 업무시설 399.00 µg/m<sup>3</sup>, 식당 402.29 µg/m<sup>3</sup>, 공연장 863.33 µg/m<sup>3</sup>, 학원 63.33 µg/m<sup>3</sup>로 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 조사대상시설의 35.8%가 기준치 이상의 농도를 나타내었고, 특히 영화관, 공연장, 학원 등의 농도가 기준치의 2배정도이므로 친환경건축자재 사용, 환기 등 대책이 필요한 것으로 생각된다.

O<sub>3</sub>농도는 영화관 12.58 ppb, 업무시설 10.76 ppb, 식당 9.93 ppb, 공연장 1.16 ppb, 학원 3.08 ppb로 통계적으로 유의한 차이(p<0.01)가 나타났다. 업무시설의 농도가 높은 이유는 Monarca<sup>20)</sup>등이 보고한 바와 같이 고압전기를 사용하는 복사기, 프린터 등 사무기에서 오존이 발생되고, 극장의 높은 농도는 영사기에 기인한다고 판단된다.

Table 5. The concentration of indoor air pollutants industrial classification.

		Cinema(n=4)	Office(n=23)	Restaurant(n=22)	Theater(n=4)	Academy(n=14)	p-value
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Mean±SD	33.58±25.94	66.56±51.44	65.21±46.75	40.85±12.32	51.78±27.31	0.561
	GM	25.15	48.47	47.23	39.42	43.28	
HCHO (µg/m <sup>3</sup> )	Mean±SD	67.36±55.88	25.66±26.68	35.26±50.39	35.98±46.77	49.30±33.89	0.090
	GM	44.35	12.61	15.70	14.18	36.89	
CO <sub>2</sub> (ppm)	Mean±SD	642.96±236.79	688.38±171.05	606.21±126.53	723.54±238.03	1134.26±891.10	0.024*
	GM	612.03	668.60	594.61	697.88	956.32	
CO (ppm)	Mean±SD	1.62±1.41	0.74±0.93	3.33±7.00	0.44±0.20	0.63±0.36	0.010**
	GM	1.20	0.51	1.20	0.40	0.54	
TBC (CFU/m <sup>3</sup> )	Mean±SD	140.54±61.48	349.30±187.25	380.11±605.33	111.01±129.70	232.57±217.00	0.024*
	GM	128.29	279.12	238.76	64.77	157.93	
VOCs (µg/m <sup>3</sup> )	Mean±SD	796.25±622.48	399.00±488.74	402.29±599.46	414.21±498.52	863.33±984.00	0.069
	GM	475.06	203.60	142.02	81.27	550.03	
O <sub>3</sub> (ppb)	Mean±SD	12.58±12.23	10.76±14.10	9.93±12.60	1.16±1.27	3.08±3.80	0.004**
	GM	8.70	5.58	5.19	0.76	1.71	
Asbestos (f/c)×10 <sup>3</sup>	Mean±SD	1.86±1.34	2.51±1.89	2.41±2.02	2.16±1.94	3.08±1.22	0.611
	GM	1.37	1.93	1.84	1.67	2.86	
Rn (pCi/l)	Mean±SD	0.35±0.08	0.55±0.49	0.57±0.83	0.93±0.29	0.61±0.36	0.020*
	GM	0.34	0.42	0.34	0.89	0.51	
NO <sub>2</sub> (ppb)	Mean±SD	41.63±42.49	420.37±1259.52	172.35±196.96	92.94±152.73	654.34±1739.32	0.402
	GM	29.56	82.81	69.02	22.30	95.97	

\*p<0.05 \*\*p<0.01

본 연구에서 사람의 왕래가 잦은 영화관의 농도가 낮은 이유는 청결상태가 양호하기 때문이라고 판단된다. 반면, 업무시설의 농도가 높은 이유는 서<sup>18)</sup>등이 보고한 바와 같

Rn농도는 영화관 0.35p Ci/l, 업무시설 0.55p Ci/l, 식당 0.57 pCi/l, 공연장 0.93 pCi/l, 학원 0.61 pCi/l로 통계적으로 유의한 차이(p<0.05)를 나타냈지만 측정시설 모

두 기준치 미만이었다.

NO<sub>2</sub>농도는 영화관 41.63 ppb, 업무시설 420.37 ppb, 식당 172.35 ppb, 공연장 92.94 ppb, 학원 654.34 ppb로서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만 조사대상시설의 59.7%가 기준치를 초과하였다. NO<sub>2</sub>는 자동차 배출가스와 산업시설에서 배출되어 환경농도가 높기 때문에 난방 및 주방에서 연료의 연소나 적절한 환기만으로는 해결되기 어려우므로 생활 및 산업분야의

전반적인 대책이 수립되어야 한다고 생각된다.

위 사항을 종합하면 실내공기오염물질과 업종별 상관성은 CO<sub>2</sub>, TBC 및 Rn는 통계적으로 p<0.05의 유의한 차이를 나타내고, CO, O<sub>3</sub>농도는 p<0.01의 유의할만한 차이를 보였으며, PM<sub>10</sub>, VOCs 및 NO<sub>2</sub>는 유의할만한 차이가 나타나지 않았음을 알 수 있다.

Table 6. The concentration of indoor air pollutants in construction year.

	Previous 2002.(n=16)			Since 2003.(n=34)			p-value
	Mean	± SD	GM	Mean	± SD	GM	
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	58.57	± 63.87	31.27	57.58	± 33.68	47.53	0.245
HCHO (μg/m <sup>3</sup> )	43.38	± 48.74	17.04	44.75	± 42.44	26.47	0.312
CO <sub>2</sub> (ppm)	659.91	± 148.45	644.52	713.09	± 265.29	674.59	0.827
CO (ppm)	2.27	± 4.70	0.86	1.66	± 4.84	0.66	0.462
TBC (CFU/m <sup>3</sup> )	211.84	± 131.38	165.88	337.79	± 198.54	262.09	0.032*
VOCs (μg/m <sup>3</sup> )	433.73	± 553.61	159.06	555.07	± 666.73	246.56	0.270
O <sub>3</sub> (ppm)	0.01379	± 0.01768	0.00702	0.00855	± 0.01001	0.00448	0.360
Asbestos (f/cc)	0.00227	± 0.00131	0.00187	0.00253	± 0.00165	0.00202	0.631
Rn (pCi/l)	0.72	± 0.81	0.47	0.50	± 0.52	0.39	0.616
NO <sub>2</sub> (ppm)	0.44492	± 1.43396	0.04787	0.18617	± 0.41309	0.06536	0.486

\*p<0.05

### 3. 건축물 사용기간에 따른 실내공기오염물질

개업 또는 리모델링 후 3년 정도 경과한 다중이용시설의 실내공기오염물질 발생량을 비교하기 위해 측정시점으로부터 개업 또는 리모델링하여 3년 이상 경과한 시설과 3년 미만 시설의 실내공기오염물질 분포특성과 유의성을 검정하여 Table 6에 나타내었다.

3년 미만 시설의 HCHO농도는 44.75 μg/m<sup>3</sup>이고, VOCs농도는 555.07 μg/m<sup>3</sup>, TBC농도는 337.79 CFU/m<sup>3</sup>이고, 3년 이상 경과한 시설의 HCHO농도는 43.38 μg/m<sup>3</sup>,

TBC농도와 건축물사용기간 사이에 통계적으로 유의한 차이(p<0.05)를 나타낸 것은 손<sup>22)</sup>등의 보고와 상반된다.

VOCs농도는 433.73 μg/m<sup>3</sup>, TBC농도는 211.84 CFU/m<sup>3</sup>로서, 3년 미만 시설의 VOCs농도와 TBC농도가 각각 120 μg/m<sup>3</sup>와 211.84 CFU/m<sup>3</sup>씩 높게 나타나고, HCHO농도는 비슷하였다.

이러한 결과는 이<sup>21)</sup>가 개업 또는 리모델링 후 HCHO과 VOCs 방출량이 6개월 경과 시에는 처음보다 80.6%와 39%, 12개월 후에는 62%와 14.6%, 22개월 후에는 26.5%와 8.5%로 급격히 저하되었다는 사실과 유사하다.

### 4. 건축물 사용기간, 온도, 습도 및 실내공기오염물질의 상관성 분석



Table 7에 건축물 사용기간, 온도, 습도 및 오염물질간의 상관성 분석결과를 나타내었다.

상관성이 높은(p<0.05) 물성은 HCHO와 CO<sub>2</sub>, 습도, 석면이고 TBC와 습도, 건축물 사용기간, O<sub>3</sub> 및 PM10과 O<sub>3</sub>이고, 상관성이 약간 높은(p<0.01) 물성은 온도와 습도, TBC 및 O<sub>3</sub>, PM10과 TBC 및 NO<sub>2</sub>, HCHO와 VOCs, CO<sub>2</sub>와 Rn이었다. 반면 상관성이 낮은(p<0.05) 물성은 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 및 HCHO, 온도와 CO<sub>2</sub>, TBC와 Rn이고, 상관

성이 약간 낮은 물성은(p<0.01) 온도와 Rn, CO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 및 습도, O<sub>3</sub>과 Rn이었다.

실내온도와 습도간의 상관성이 높은 것은 온도가 상승함에 따라 포화습도가 높아지기 때문이고, PM10과 NO<sub>2</sub>간의 상관성이 높은 것은 연료의 연소생성물들로서 공통적인 배출원이 존재하기 때문이며, 이러한 결과는 송<sup>23)</sup>등의 보고와 일치한다.

실내온도와 연소생성물간의 상관성이 낮은 것은 기온이 상승하면 난방연료 사용량이 감소하여 연소생성물이 줄어들기 때문이다.

Table 7. Year, temperature, humidity and indoor air pollutants correlation analysis.

	Year	Temp	Humd	PM <sub>10</sub>	HCHO	CO <sub>2</sub>	CO	TBC	VOCs	O <sub>3</sub>	Asbestos	Rn	NO <sub>2</sub>
Year	1.000												
Temp	-.198	1.000											
Humd	-.253	.537*	1.000										
PM <sub>10</sub>	.126	.160	.162	1.000									
HCHO	.027	.252	.143	-.228	1.000								
CO <sub>2</sub>	.044	-.385*	-.488**	-.081	.278*	1.000							
CO	.011	-.279	.021	.030	.119	.205	1.000						
TBC	.292*	.447*	.350*	.488**	-.032	-.025	-.074	1.000					
VOCs	.165	.108	.350*	.075	.409**	.117	.149	.129	1.000				
O <sub>3</sub>	-.040	.657*	.331	.288*	.098	-.458**	-.108	.267*	.156	1.000			
Asbestos	-.057	-.156	.077	-.014	.118	-.131	-.044	.150	.277*	.063	1.000		
Rn	-.085	-.507**	-.091	-.247	.073	.342**	.189	-.257*	.163	-.533**	.217	1.000	
NO <sub>2</sub>	.228	-.077	-.085	.396**	-.271*	.237	.128	.217	-.126	-.260*	-.161	.122	1.000

Temp. = Temperature

Humd. = Humidity

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

#### IV. 결론

「다중이용시설 등의 실내공기질관리법」이 적용되지 않는 충남지역의 영화관, 업무시설, 음식점, 공연장, 학원 등 다중이용시설 67곳을 대상으로 2005년 8월부터 4개월 동안 실내공기오염물질을 측정 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 실내공기오염물질인 PM10, CO<sub>2</sub>, CO, HCHO, TBC, Rn, 석면 및 O<sub>3</sub>는 기준에

미달되나, VOCs의 산술평균농도는 기준을 초과하고 기하평균농도는 기준에 미달하며, NO<sub>2</sub>는 산술평균농도와 기하평균농도 모두 기준을 초과하였다.

2. 실내공기오염물질과 업종별 상관성은 CO<sub>2</sub>, TBC 및 Rn는 통계적으로 p<0.05의 유의한 차이를 나타내고, CO, O<sub>3</sub>농도는 p<0.01의 유의할만한 차이를 보였으며, PM10, VOCs 및 NO<sub>2</sub>는 유의할만한 차이가 나타나지 않았다.

3. 건축물을 개업 또는 리모델링한 후 3

년 미만인 시설의 HCHO농도는  $44.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이고, VOCs농도는  $555.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , TBC농도는  $337.79 \text{CFU}/\text{m}^3$ 로서, 3년 이상 경과한 시설에 비해 VOCs농도와 TBC농도가 각각  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 와  $211.84 \text{CFU}/\text{m}^3$ 씩 높고, HCHO 농도는 비슷하였다.

4. 상관성이 높은( $p < 0.05$ ) 물성은 HCHO와 CO<sub>2</sub>, 습도, 석면이고 TBC와 습도, 건축물 사용기간, O<sub>3</sub> 및 PM<sub>10</sub>과 O<sub>3</sub>이고, 상관성이 약간 높은( $p < 0.01$ ) 물성은 온도와 습도, TBC 및 O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>과 TBC 및 NO<sub>2</sub>, HCHO와 VOCs, CO<sub>2</sub>와 Rn이었다. 반면 상관성이 낮은( $p < 0.05$ ) 물성은 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 및 HCHO, 온도와 CO<sub>2</sub>, TBC와 Rn이고, 상관성이 약간 낮은 물성은( $p < 0.01$ ) 온도와 Rn, CO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 및 습도, O<sub>3</sub>과 Rn이었다.

### 참고문헌

1. 서병량, 정만호, 정경훈, 전준민 : 다중이용시설에서의 실내공기질 실태 파악, 한국대기환경학회 2005 춘계학술대회 논문집, 55-56, 2005
2. 전형진 : 공동주택내 휘발성유기화합물과 포름알데히드 특성 및 발생원 추정에 관한 연구, 한양대학교 공학대학원 석사논문, 2005.
3. 손장열, 윤동원 : 실내 공기환경에서 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 특성과 제어 방법, 공기조화냉동공학회지, 24(1), 44-55
4. 하권철 : 실내사무환경에서의 환경성담배연기(ETS) 중 일부 휘발성유기화합물(VOC)에 관한 연구, 환경위생학회지, 27(3), 87-98, 2001.
5. 김종철 : 신/구 공동주택내 실내유해공기오염물질(HAPs)의 기준설정을 위한 위해성평가 적용에 관한 연구, 한양대학교 공학대학원 석사논문, 2005.
6. 김윤신 : 실내공기오염, 대한의학협회지, 32: 1279-1286, 1989.
7. 강경희 : 산업체 작업환경에서 실내공기의 세균오염도에 관한 연구, 고신대학교 보건대학원 석사논문, 1996.
8. Montoya, L. D. and Hildemann, L. M. : Evolution of the mass distribution of resuspended cat allergen(Feld1) indoors following a disturbance, Atmospheric Environment, 35, 859-866, 2001.
9. 김윤신, 이은규, 엽무중, 김기영 : 다중이용시설에서의 실내공기중 미생물 분포에 관한 연구, 한국환경보건학회지, 28(1): 85-92, 2002.
10. 김윤덕 : 다중이용시설의 실내공기환경 실태에 관한 측정 연구, 대한건축학회 논문집, 22(11): 289-296, 2006.
11. 김태우, 김현태, 서상목, 홍원화 : 다중이용시설의 실내공기질 측정 및 평가에 관한 연구, 대한건축학회 창립 60주년기념 학술발표대회논문집, 25(1): 471-474, 2005.
12. Steven, S. Cox., Dongye Zhao and John, C. Little : Measuring partition and diffusion coefficients for volatile organic compounds in vinyl flooring, Atmospheric Environment, 35, 3823-3830, 2001.
13. Yang, X., Chen, Q., Zhang, J. S., An, Y., Zeng, J. and Shaw, C. Y. : A mass transfer model for simulating voc sorption on building materials, Atmospheric Environment, 35, 1291-1299, 2001.
14. 김윤신 : 실내 공기질과 건강, 한국인간온열환경학회지, 1(2): 109-114, 1994.
15. 김윤신 : 생활속의 실내공기오염과 관리 대책, 환경연구, 13(2): 138-151, 1994.
16. 김윤신 : 실내공기오염 연구의 현황과 전

- 망, 한양의대학술지, 19(2): 1-13, 1999.
17. 환경부 : 다중이용시설등의 실내공기질관리법, 36-38, 2004.
  18. 서병량, 정만호, 전준민 : 호남지역의 다중이용시설별 실내공기질 실태조사, 한국환경보건학회지, 32(5), 387-397, 2006.
  19. 박경수, 최상곤, 홍진관 : 다중이용시설의 실내공기 미생물 오염실태에 관한 연구, 설비공학논문집, 18(8): 620-626, 2006.
  20. Monarca, S., Feretti, D., Zanardini, A., Moretti, M., Villarini, B., Spiegelhalder, I., Zerbini, U., Gelatti and Lebbolo : Monitoring airborne genotoxicants in the rubber industry using genotoxicity tests and chemical analyses, *Mutant. Res.*, 490, 159-169, 2001.
  21. 이용준 : 공동주택의 실내공기질(IAQ) 기준 설정에 관한 연구, 서울산업대학교 주택대학원 석사논문, 2006.
  22. 손종렬, 노영만, 손부순 : 국내 일부학교 건축물의 실내공기질 평가, 한국환경보건학회지 32(2), 140-148, 2006.
  23. 송희봉, 민경섭, 홍성희, 김종우 : 대구지역 공중이용시설의 실내외 공기중 기준성오염물질과 영향인자, 대한환경공학회지, 18(9), 1027-1044, 1996.