

서울지역 일부 다중이용시설(찜질방)의 휘발성유기화합물(VOCs) 농도특성

소음진동팀

조현석 · 류인철 · 김창모 · 이지영 · 이호찬
이진 · 한규문 · 전재식 · 김주형 · 김민영

The Concentration Characteristics of VOCs within the Indoor Air Environment of Public Facilities(Jjimjilbang) in Seoul

Noise and Vibration Team

**Hyun-seok Cho, In-cheol Ryu, Chang-mo Kim, Ji-young Lee,
Ho-chan Lee, Jin Lee, Gyu-mun Han, Jae-sik Jeon,
Joo-hyung Kim and Min-young Kim**

Abstract

Jjimjilbang, a Korean style sauna, is a unique Korean culture within public facilities, with various indoor air pollutants as emission sources. However, the assessment of the indoor air quality in jjimjilbangs has rarely been investigated and reported. Therefore, the characteristics of volatile organic compounds(VOCs) were investigated within 49 jjimjilbangs in Seoul. Jjimjilbang environments were divided into indoor(ground floor and underground floor) and outdoor environments; I and O, respectively. As a result, the mean VOC concentrations, such as benzene, toluene, *m*, *p*-xylene, ethylbenzene, *o*-xylene, 1, 2, 4-trimethylbenzene and 1, 3, 5-trimethylbenzene, were 503.10, 5.23, 83.68, 29.90, 14.96, 17.37, 2.43 and 8.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The I/O ratios of the VOCs, benzene, toluene, *m,p*-xylene, ethylbenzene, *o*-xylene, 1, 2, 4-trimethylbenzene and 1, 3, 5-trimethylbenzene were 4.56, 2.19, 3.02, 4.12, 2.49, 3.75, 3.34 and 3.39, respectively. The VOC concentrations of jjimjilbang located underground were higher than those located at ground level. The indoor VOC concentrations were higher in winter compared to the other three seasons.

Key words : IAQ(indoor air quality), VOCs(volatile organic compounds)
I/O ratio(indoor/outdoor ratio), public facilities, jjimjilbang

다중이용시설은 특성상 많은 사람들이 이용하는 공간으로 실내환경이 쾌적하게 유지되지 못하면 실내오염물질은 지속적으로 증가하여 근무자나 이용객 모두에게 건강상 나쁜 영향을 미칠 수 있기에 실내 환경에 대한 적절한 관리는 관심의 대상이다(1). 이런 이유로 환경부에서는 다중이용시설 등의 실내공기질관리법을 시행하여 대상시설을 17개군으로 분류하여 10가지 항목의 실내공기오염물질 기준치를 제시하고 있다(2). 17개군 중 특히 찜질방은 우리나라에만 있는 독특한 문화로 많은 사람들이 이용하는 각종 레저시설이 들어간 복합여가공간이다. 그러나 찜질방 대부분이 환기가 잘되지 않는 밀폐구조로 되어 있기 때문에 실내 환경관리가 잘 이루어지지 않는다면 각종 레저시설에서 발생하는 다양한 오염물질이 실내에 축적되어 일반인 이용자 및 근무자의 건강을 해칠 수 있으므로 시설내의 실내공기질 실태에 대한 평가는 매우 중요하고 필요시기라고 판단된다. 지금까지의 연구결과를 조사해보면 신축공동주택이나 보육시설, 지하역사 등과 같은 다중이용시설은 많은 연구가 진행되었으나 찜질방에 대한 연구보고는 현재까지는 매우 부족한 실정에 있다(3~10).

그러므로 본 연구에서는 서울 일부 지역 찜질방을 연구대상으로 하여 실내공기질 평가하고자 실내공기오염물질 중 휘발성유기화합물(VOCs)의 각 개별 농도특성을 조사하여 그 특성을 분석함으로써 실내공기질 관리 및 예방 대책의 기초자료를 제공하고자 한다.

1. 연구대상시설 및 오염물질

본 연구는 2007년 3월부터 2008년 2월까지 서울지역에 소재하고 있는 찜질방 49개소를 지상 및 지하층으로 구분하여 선정하였으며, 대상 실내오염물질은 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 등 개별 휘발성유기화합물(VOCs)과 총휘발성유기화합물(TVOC)농도를 측정 분석하였다.

2. 시료채취 및 분석 방법

휘발성유기화합물의 시료채취는 환경부의 실내공기질 공정시험법을 근거로 바닥면으로부터 1.2~1.5 m의 높이에서 주간 시간대인 오전 11시~오후 3시 사이에 스테인레스강 재질의 튜브(1/4"×9cm, Supelco)에 Tenax-TA를 충전한 흡착튜브와 MP-Σ30H(Sibata, Japan) 펌프를 사용하여 100 mL/min 유량으로 30 min 간 채취하였으며. 해당시설의 실제 운영조건과 동일한 온도와 습도 조건인 일반 환경상태와 자연환기구나 기계식 환기시스템에 의해 공기의 유동 및 기류발생에 대한 영향을 최대한으로 배제한 상태에서 측정하였다. 시료분석은 열탈착장치(STD 1000, Dani, Italy)와 가스크로마토그래프/질량분석기(GC/MS-QP2010, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다. 시료채취 지점은 실내공기질공정시험방법에 명시되어 있는 방법에 준하여 오염도를 대표할 수 있는 2개 지점을 원칙으로 선정하였다(11). 또한 시료채취 방법은 표 1, 분석조건은 표 2와 같으며 표준물질의 크로마토그램은 그림 1에 나타났다.

Table 1. Sampling method and equipments

Pollutants	Method	Sampling method & equipment
VOC	Thermal desorption	· Sampling rate 100 mL/min, sampling time 30 min · Sampling time between AM 11 and PM 15 · Model : MPΣ30H(Sibata), Tenax-TA tube(Supelco) GC/MS-QP2010(Shimadzu)
	GC/MSD	

Table 2. Analysis conditions of thermal desorption and GC/MSD

STD 1000 (Dani, Italy)		GC/MSD (GCMS-QP2010)	
Parameter	Analysis conditions	Parameter	Analysis conditions
Desorption temp.	280°C	GC column	VB-1(60 m×0.32 mm×1.0μm)
Desorption time	15 min	Column oven temp.	40°C →10°C/min → 250°C
Desorption flow	50 mL/min	Column flow	1.5 mL/min
Cold trap low temp.	-10°C	Ion source temp.	200°C
Cold trap high temp.	280°C	Interface temp.	250°C
Cold trap hold time	15 min	Detector type	EI(Quadrupole)
Valve temp.	200°C	Mass range	35~350 amu
Transfer line temp.	240°C	Electron energy	70 eV

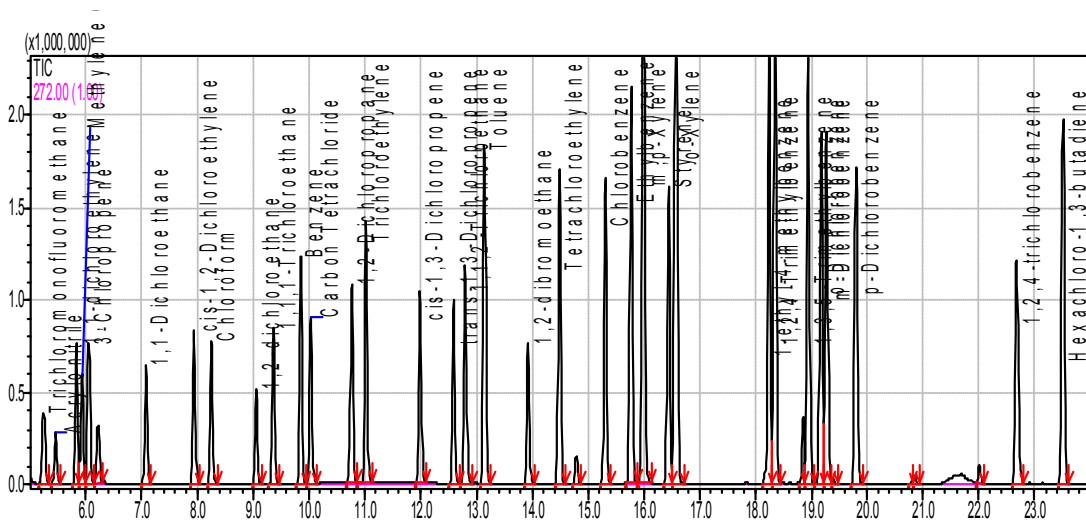


Fig. 1. Chromatogram of standard mixture gas.

결과 및 고찰

1. 주요 실내오염물질 농도 분포

서울지역에 소재하는 점질방에서 측정 분석된 개별 VOCs 34종 중 검출빈도가 높은 개별 VOCs 9종의 오염물질 농도결과를 통계분석하기 위하여 산술평균값(Mean), 표준편차(S.D.), 최대값(Max.), 최소값(Min.)으로 구분하였고 오염물질의 발생원

을 확인하기 위한 실내오염물질의 실내/실외 평균 농도비(I/O ratio)를 표 3에 정리하였다. 측정결과, TVOC의 평균농도는 $503.10 \pm 324.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 특히 지하층에 위치한 점질방의 경우 다중이용시설등의 실내공기질 관리법에서 제시하고 있는 권고기준 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 측정된 개별 VOCs는 톨루엔 $83.68 \pm 48.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, m,p-자일렌 $29.90 \pm 34.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$,

o-자일렌 17.37±19.12 µg/m³, 에틸벤젠 14.98 ±13.29 µg/m³, 1,3,5-트리메틸벤젠 8.51±11.60 µg/m³ 순으로 높은 농도를 나타내었다. 일반적으로 오염물질의 실외에서 실내환경으로의 유입을 추론하기 위해 사용되는 실내/실외 평균 농도비인 I/O 비는 모두 1.0 이상이었으며, 대략 2.19~4.12의 범위를 나타냈다. 톨루엔은 3.02, 에틸벤젠 2.49, *o*-자일렌 3.75, 1,3,5-트리메틸벤젠은 3.39이며, *m,p*-자일렌은 4.12로 가장 높은 I/O비를 나타내었고, 벤젠은 2.19로 가장 낮은 I/O비를 나타내었다. 이 연구에서, 찜질방 실내·외에서의 VOCs 농도를 비교하였을 때 실내에서의 농도가 상대적으로 높았으며, 이것은 오염물질의 상당량이 찜질방 내부에서 방출되고 있음을 보여준 중요한 결과이다. 즉, 찜질방에는 헬스클럽, 네일아트, 수면실, 노래방, 식당, TV·비디오·DVD 감상실, 인터넷 카페, 라이브공연에 이르기까지 각종 레저시설이 들어간 복합여가공간을 갖추고 있기 때문에 다양한 오염물질들이 많이 방출되고 있었는데 이는 인테리어에 사용된 건축자재, 페인트, 주방에서의 LP 가스 사용 및 세정제, 드라이클리닝 한 세탁물, 네일아트에서 사용하는 유기용제 등의 영향으로 판단된다.

2. 실내공기오염물질의 층별 농도비교

표 4에 나타난 바와 같이, 찜질방의 위치에 따라 지상층과 지하층으로 구분하였을 때 TVOC, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자일렌, *o*-자일렌 등 실내환경에 영향을 주는 오염물질 모두 지하층의 농도가 지상층보다 높은 농도수준을 보였고, 유의적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$). 이는 찜질방 내부에 설치된 각종 레저시설 및 식당에서 방출된 오염물질들이 지상층보다 환기 및 실내공기관리가 상대적으로 미흡한 지하층에서 외부로 배출되지 못한 채 실내에 장기간 존재하고 있기 때문으로 사료된다. 또한 지상층은 창문을 통한 자연환기가 가능한 구조를 갖추고 있지만 지하층은 창문이 거의 밀폐된 상태로 자연환기 마저 원활하지 않은 구조가 많아 지하층의 오염물질농도를 높이는 원인으로 사료된다.

3. 실내공기오염물질의 계절별 농도비교

이산화탄소(CO₂)는 환기상태와 실내공기오염의 지표로 사용되고 있다. 이에 다중이용시설 등의 실내공기질관리법에서는 1,000 ppm으로 유지기준이 설정되어 관리되고 있다. 실내공기오염물질의

Table 3. Distribution of mean concentrations for VOCs in jjimjilbang

Pollutants	Concentration (µg/m ³)					I/O ²⁾ ratio (n=49)
	Mean	S.D.	Max.	Median	Min.	
TVOC	503.10	324.02	1686.42	424.66	120.85	4.56
Benzene	5.23	3.13	13.68	4.32	0.87	2.19
Toluene	83.68	48.44	291.63	73.29	13.95	3.02
Ethylbenzene	14.96	13.29	94.52	11.49	0.94	2.49
<i>m,p</i> -Xylene	29.90	34.90	164.50	17.85	0.71	4.12
<i>o</i> -Xylene	17.37	19.12	109.69	11.35	0.75	3.75
1,2,4-TMB ¹⁾	2.43	2.27	15.43	1.52	N.D	3.34
1,3,5-TMB	8.51	11.60	93.57	5.22	N.D	3.39

¹⁾ TMB : trimethylbenzene.

²⁾ I/O ratio : ratio of indoor to outdoor concentration.

Table 4. Distribution of concentrations for VOCs by floor in jjimjilbang

Pollutants	Ground floor (n=15)		Underground floor (n=34)		p-Value
	Mean±S.D.	Range	Mean±S.D.	Range	
TVOC	383.60±244.35	120.85~1113.19	571.93±344.52	128.92~1686.42	1.38E-05
Benzene	4.07±1.96	0.87~9.43	5.90±3.47	0.91~13.68	3.93E-06
Toluene	65.67±34.49	23.31~343.20	100.45±63.92	13.95~291.63	1.55E-06
Ethylbenzene	8.63±3.98	2.99~19.15	18.61±15.28	0.94~94.52	1.29E-10
<i>m,p</i> -Xylene	17.05±17.23	2.82~94.54	37.30±40.05	0.71~164.50	1.92E-06
<i>o</i> -Xylene	10.44±10.59	2.24~60.73	21.37±21.67	0.75~109.69	4.17E-06
1,2,4-TMB	1.27±0.94	N.D~4.59	3.10±2.54	N.D~15.43	1.52E-11
1,3,5-TMB	4.15±2.73	0.96~13.08	11.02±13.83	N.D~3.57	3.12E-07

p<0.05 (t-test).

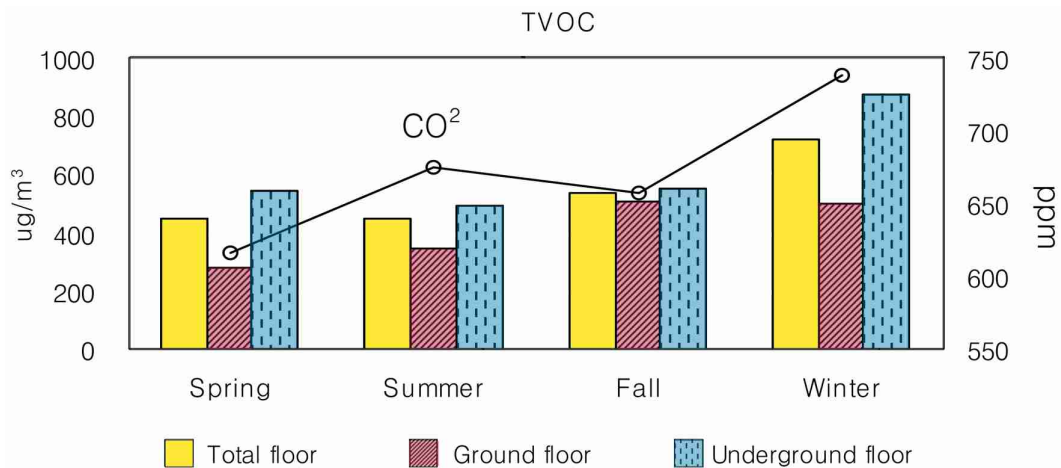


Fig. 2. Seasonal variation of TVOC and CO₂ mean concentration in jjimjilbang.

계절에 따른 농도를 비교하기 위하여 측정된 계절별 TVOC의 평균농도와 계절에 따른 CO₂ 평균농도를 그림 2에 나타냈으며, 각 VOCs의 계절별 특성을 그림 3에 나타냈다.

지상층과 지하층의 계절별 TVOC, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자일렌, *o*-자일렌, 1,2,4-트리메틸벤젠, 1,3,5-트리메틸벤젠 농도는 여름철과 겨울철에 농도가 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 CO₂ 평균농도는 여름철과 겨울철이 봄과 가을에 비해 상대적으로 높았다. 이는 여름과 겨울

울철에 냉난방시스템 작동으로 인한 실내온도 환기부족 결과로 판단된다. 특히 겨울에 지하층에 위치한 찜질방에서 TVOC 농도와 CO₂ 평균농도가 가장 높게 나타났다. 이는 찜질방 특성상 겨울철에 이용객이 많고 24시간 운영과 아울러 지속적인 고온상태를 유지하고 있기 때문으로 판단된다. 따라서 환기량이 부족할 경우 실내에서의 오염물질 축적은 계속 증가하여 이용객과 근무자의 건강에 영향을 미칠 수 있기에 적절한 실내환경관리가 필요할 것으로 사료된다.

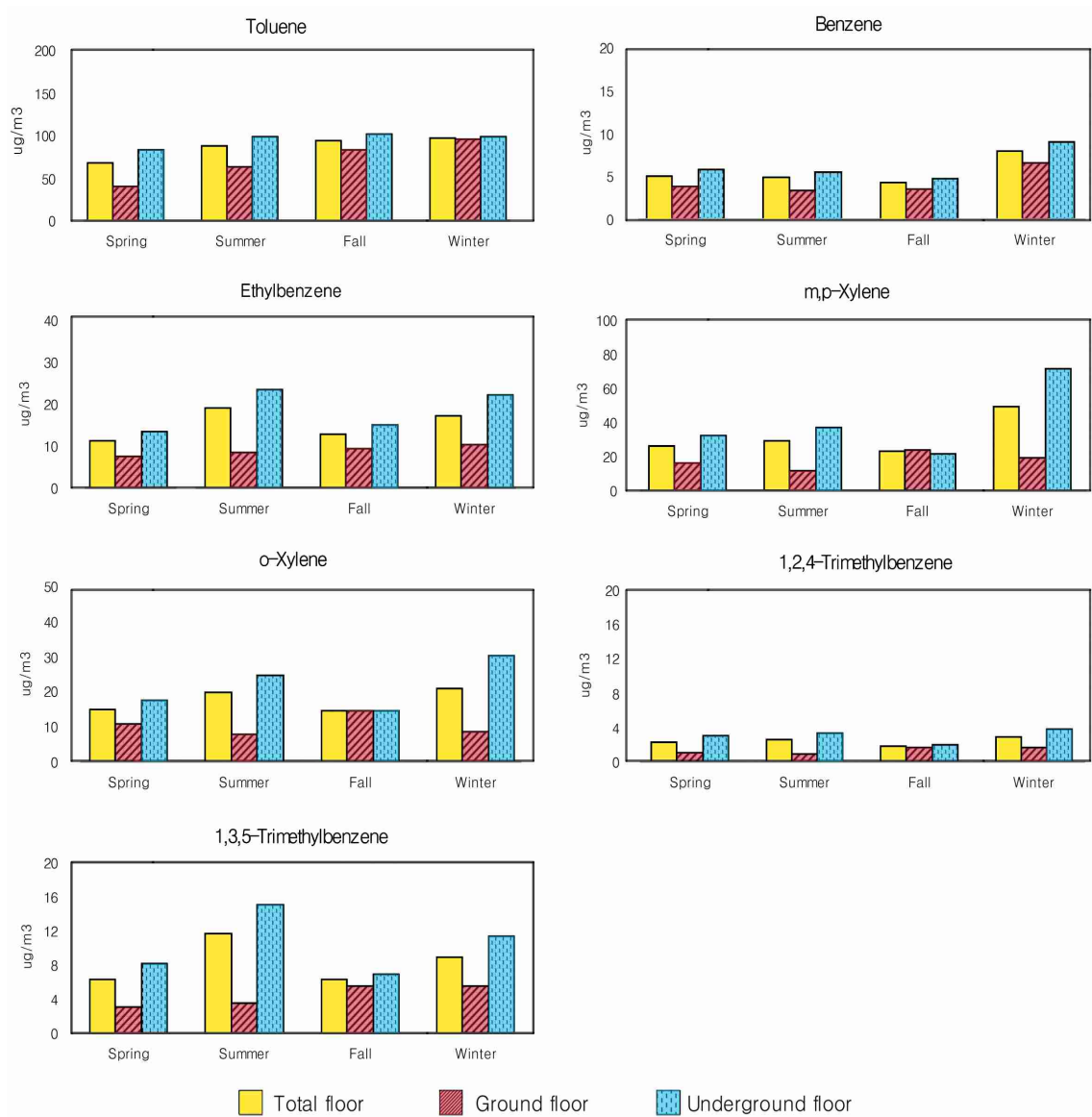


Fig. 3. Seasonal variation of VOCs mean concentration in jjimjilbang.

결론

본 연구에서는 다중이용시설 중 49개 찜질방의 지상층과 지하층을 대상으로 실내공기오염물질 농도 실태조사를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TVOC의 평균농도는 $503.10 \pm 324.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 특히, 지하층에 위치한 찜질방의

경우 다중이용시설등의 실내공기질관리법에서 제시하고 있는 권고기준 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 측정된 개별 VOCs는 톨루엔 $83.68 \pm 48.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *m,p*-자일렌 $29.90 \pm 34.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, *o*-자일렌 $17.37 \pm 19.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 에틸벤젠 $14.98 \pm 13.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,3,5-트리메틸벤젠 $8.51 \pm 11.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 높은 농도를 나타내었다. 평균 실내/

실외(I/O)비는 평균적으로 2.19~4.12의 범위를 가졌다. 톨루엔은 3.02, 에틸벤젠 2.49, *o*-자일렌 3.75, 1,3,5-트리메틸벤젠은 3.39이며, *m,p*-자일렌은 4.12로 가장 높은 I/O비를 나타내었고, 벤젠은 2.19로 가장 낮은 I/O비를 나타내었다.

2. 찜질방의 위치에 따라 지상층과 지하층으로 구분하였을 때 TVOC, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자일렌, *o*-자일렌 등 실내환경에 영향을 주는 오염물질 농도는 지하층의 농도가 지상층보다 높은 농도수준을 보였고, 유의적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$).
3. 실내공기오염물질의 지상층과 지하층의 계절별 TVOC, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *m,p*-자일렌, *o*-자일렌, 1,2,4-트리메틸벤젠, 1,3,5-트리메틸벤젠 농도는 여름철과 겨울철에 농도가 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 CO₂ 평균농도는 여름철과 겨울철이 봄과 가을에 비해 상대적으로 높았다

이상의 결과로 볼 때, 여름철과 겨울철에 지하층에 위치하고 있는 찜질방에 대한 관리의 필요성이 요구되는 것으로 조사되었으며, 특히 겨울철에 효과적인 환기운영을 통해 안전하고 쾌적한 실내환경을 유지해야 할 필요성이 있음을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서는 서울지역의 일부 찜질방의 실내공기오염실태를 조사한 것이므로 향후 장기적이고 지속적인 실태조사를 수행하여 필요한 관리대책을 세워야 할 것이다.

참고문헌

1. 박정균, 윤재웅 : 다중 공중이용시설의 실내환경 관리 수준과 영향요인의 분석. 환경관리학회지, 9:49~56, 2003.
2. 환경부 : 다중이용시설등의실내공기질관리법. 2004.
3. 손부순, 이종대, 양원호, 정순원, 전용택, 송미라 : 아산 및 서울 일부 신축주택에서의 실내오염물질의 특성에 관한 연구. 한국실내환경학회지, 2:263~267, 2005.
4. 조현, 최종문, 김우재 : 신축공동주택의 실내 휘발성유기화합물(VOCs) 실태조사 및 습도 변화에 따른 발생 특성 평가. 한국생활환경학회지, 13:283~289, 2006.
5. 장성기, 천재영, 이태형, 임수길, 류정민, 서수연, 임정연 : 신축 공동주택에서 실내공기오염물질(휘발성유기화합물 및 카보닐화합물) 농도분포 특성. 분석학회지, 20:387~397, 2007.
6. 서병량, 정만호, 전준민 : 호남지역의 다중이용시설별 실내공기질 실태조사. 한국환경보건학회지, 23:387~397, 2006.
7. 김운수 : 서울시 다중이용시설 실내공기질 실태조사 및 관리방안 연구. 서울시정개발연구원, 94~130, 2004.
8. 김윤신, 노영만, 홍승철, 이철민, 전형진, 김종철, 조정현 : 다중이용시설에서의 실내공기질 조사. 한국실내환경학회, 1:144~155, 2005.
9. 손종렬, 이용식, 김종혁, 윤승욱, 김운수 : 서울시 일부 다중이용시설 및 공동주택 실내공기질 실태조사. 한국실내환경학회, 2:272~276, 2005.
10. 손부순, 전용택, 양호원, 이종대, 정용택 : 서울지역 일부 보육시설 실내공기중 휘발성유기화합물(VOCs)의 농도분포 특성. 한국실내환경학회, 2:268~271, 2005.
11. 환경부 : 실내공기질 공정시험방법. 2004.

1. 박정균, 윤재웅 : 다중 공중이용시설의 실내환경 관리 수준과 영향요인의 분석. 환경관리학