

호남지역의 다중이용시설별 실내공기질 실태 조사

서병량[†] · 정만호 · 전준민*

순천제일대학 그린전남환경종합센터, *순천제일대학 토목환경과

Indoor Air Quality in Various Type of Public Facilities at Honam Province

Byeong-Ryang Seo[†] · Man-Ho Jeong · Jun-Min Jeon*

Green Jeonnam Environmental Complex Center, Suncheon First College

*Department of Civil & Environmental Engineering, Suncheon First College

(Received July 20, 2006/Accepted October 19, 2006)

ABSTRACT

This study was performed to investigate the characteristics of indoor air quality (IAQ) in 91 public facilities from September 2004 to March 2005 in the Honam province (Chonnam, Gwangju). The measured air pollutants are PM₁₀, formaldehyde (HCHO), CO, CO₂, and total suspended bacteria (TSB), the maintenance standard materials of IAQ management law established by ministry of environment in Korea (MOE). We also surveyed establishment and operation of ventilation equipment. It was measured 1.2 m~1.5 m on the floor between 8 o'clock AM and 7 o'clock PM. As the result, PM₁₀ and CO was showed the highest concentration, 188.89 µg/m³, 8.67 ppm, at the indoor parking. The concentration of HCHO was the highest in large store and steamer room. The concentration was respectively 118.70 µg/m³ and 113.21 µg/m³. The concentration of CO₂ was the highest at the reading room of the library on the condition of natural ventilation. The concentration of CO₂ was 1,816 ppm and higher than the IAQ standards established by MOE. The TSB was just measured in the hospital and silver town. It was the highest at the admission room of hospital. The concentration of TSB was 766 CFU/m³. The public facilities of this study were not exceed each maintenance standards except CO₂ but it was surveyed that the management will be needed about some air pollutant according to target facilities.

Keywords: public facility, indoor air quality (IAQ), maintenance standard materials, ventilation equipment

I. 서 론

현대인들은 하루 중 80~90% 이상의 많은 시간을 실내에서 생활하는 것으로 조사되고 있으며,^{1,2)} 이는 실내공기질 (indoor air quality: IAQ)이 인간의 건강과 매우 밀접한 관련이 있다는 것을 의미한다. 산업의 발달과 고도화는 인간생활에 있어 다양한 편리함과 많은 혜택을 주지만 환경오염과 같은 중요한 문제점을 야기시키고 있다.³⁾ 이러한 환경오염 중 실내오염의 문제는 실내에 존재하는 오염물질의 종류와 농도가 지속적으로 증가되고 이로 인해 재실자들의 건강상에 많은 영

향을 주기 때문에 대기환경과 더불어 중요하게 거론되고 있다.^{4,5)} 실내오염물질의 종류와 발생원은 매우 다양하며, 최근에는 인체에 발암성과 위해성을 갖는 휘발성 유기화합물 (volatile organic compounds: VOCs)과 포름알데히드 (formaldehyde: HCHO)를 비롯하여 유해 대기오염물질 (hazardous air pollutants: HAPs)에 대한 중요성이 부각되고 있다. 특히, 건축물에 사용되는 건축 내장재는 실내에서 VOCs와 HCHO의 중요한 발생원이며, 고농도로 방출되는 특징이 있어 빌딩증후군 (sick building syndrome: SBS)과 같은 문제를 유발하고 있다.^{6,7)} 이처럼 실내오염 문제는 실내의 다양한 발생원에서 발생하는 수많은 종류의 오염물질들에 의해 야기되며, 에너지 절약의 측면만을 강조하는 부적절한 환기설비 및 운영은 실내공기질 악화를 초래하는 원인이 되고 있다.^{8,9)} 이러한 실내공기질의 악화는 근무자

[†]Corresponding author : Green Jeonnam Environmental Complex Center, Suncheon First College
Tel: 82-61-740-1261, Fax: 82-61-740-1246
E-mail : brseo@hanmail.net

들의 작업능률 저하에 따른 생산성의 감소와 무기력 증대 뿐 만 아니라 재실자들에게는 각종 질병의 원인이 되고 있으므로 효율적인 실내공기질의 관리가 매우 중요하다.¹⁰⁾

환경부에서는 국민의 건강증진과 불특정다수가 이용하는 다중이용시설의 실내공기질을 보다 쾌적하게 확보하기 위하여 2003년 5월 29일 다중이용시설등의 실내공기질관리법(이하, 실내공기질관리법)을 공포하였으며, 2004년 5월 30일부터 17개 시설 군을 대상으로 유지기준 5개 항목과 권고기준 5개 항목에 대해 관리하고 있다.¹¹⁾ 현재까지 국내에서 실내공기질에 대한 연구는 대체로 수도권과 대도시 지역을 중심으로 수행되었을 뿐만 아니라 일부 다중이용시설에 대해서만 국한적으로 진행되어¹²⁻¹⁴⁾ 중·소도시 지역에 대한 기초자료가 매우 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 중·소도시 지역인 호남권(전라남도, 광주광역시)에 위치한 다중이용시설의 실내공기질에 대한 실태를 파악하기 위하여 실내공기질관리법에서 정하고 있는 다중이용시설을 대상으로 유지기준 5개 항목에 대한 오염도를 조사하였다. 본 연구의 결과는 향후 국내 다중이용시설의 쾌적한 실내공기질 유지 및 관리정책 수립에 있어 기초자료로 활용될 것으로 보인다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구대상 및 시료채취지점 선정

본 연구는 2004년 9월부터 2005년 3월까지 7개월 동안 환경부 실내공기질관리법에서 정하고 있는 다중이용시설 중 Table 1과 같이 호남권에 위치한 91개 시설(병원: 37곳, 실내주차장: 15곳, 대규모 점포: 13곳, 찜질방: 8곳, 도서관: 7곳, 노인복지시설: 3곳, 지하도상가: 2곳, 버스터미널: 2곳, 공항: 1곳, 미술관: 1곳, 박물관: 1곳, 장례식장: 1곳)을 대상으로 대상 시설별 환기설비의 설치 유·무 및 운영실태, 그리고 유지기준 5개 항목에 대해 다중이용시설 등의 실내공기질 공정시험방법(이하, 실내공기질 공정시험방법)에서 정하고 있는 주 시험 방법으로 측정하였다. 또한, 시료채취는 바닥면으로부터 1.2~1.5 m의 높이에서 주간 시간대인 오전 8시~오후 7시 사이에 실시하였으며, 해당시설의 실제 운영조건과 동일한 온도와 습도조건인 일반 환경상태와 자연환기구나 기계식 환기시스템에 의해 공기의 유동 및 기류발생에 대한 영향을 최대한으로 배제한 상태에서 측정하였다. 시료채취 지점은 실내공기질 공정시험방법에 명시되어 있는 방법에 준하여 대상 시설을 이용하는 사람이 많고 대상 시설의 오염도를 대표할 수 있는 2개 지점을 원칙으로 선정하였다.¹⁵⁾

Table 1. General characteristics of public facilities in this study

Public facilities	Number of facilities	Type of ventilation	Sampling site
Hospital	37	Mechanical(n=23)	Center of waiting room
		Natural(n=14)	Center of admission room
Indoor parking	15	Mechanical(n=11)	Center of indoor parking
		Natural(n=4)	
Large store	13	Mechanical(n=8)	Center of store
		Natural(n=5)	
Steamer room	8	Mechanical(n=7)	Center of resting room
		Natural(n=1)	Center of steamer room
Library	7	Mechanical(n=3)	Center of reading room
		Natural(n=4)	Center of stack room
Silver town	3	Mechanical(n=1)	Center of resting room
		Natural(n=2)	Center of bed room
Underground shopping center	2	Mechanical(n=2)	Center of store
			Center of shopping center
Bus terminal	2	Mechanical(n=2)	Center of waiting room
			Center of platform
Airport	1	Mechanical(n=1)	Center of waiting room
			Center of platform
Art gallery	1	Mechanical(n=1)	Center of exhibition hall
Museum	1	Mechanical(n=1)	Center of exhibition hall
Funeral parlor	1	Mechanical(n=1)	Lobby

2. 측정 및 분석방법

1) 미세먼지

미세먼지(PM₁₀) 측정은 소용량 공기채취법(mini volume air sampling method)을 이용하였으며, 본 연구에서는 mini volume air sampler(Air metrics, U.S.A)를 사용하여 5 l/min으로 8시간 동안 채취하였다.¹⁵⁾ PM₁₀ 측정에 사용한 필터(φ 47 mm, membrane filter, PALL, U.S.A)는 측정 전 20°C, 50% 조건의 데시케이터(5317-0180, Nalgene®, U.S.A)에 24시간 동안 보관하였다가 0.001 mg 이상의 감도를 갖는 분석용 저울(AT261, Mettler toledo, Switzerland)로 5회 반복하여 중량을 측정 후 그 결과를 평균하였다. 또한, 시료 채취가 끝난 필터는 시료 채취 전과 동일한 과정을 거친 후 중량을 측정하였으며, 측정 전·후 필터의 중량 차이를 측정유량으로 나누어 PM₁₀ 농도를 산출하였다. PM₁₀의 측정에 있어 중량법을 이용하여 농도를 산출할 경우 온도와 습도 등은 필터의 중량 측정에 오차를 발생시킬 수 있는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 이처럼 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위하여 본 연구에서는 시료 채취 전·후 필터의 중량 측정 시 3개의 blank 필터를 사용하여 blank 필터의 중량을 PM₁₀ 측정용 필터와 동일한 방법으로 측정하였으며, blank 필터 측정 전·후의 중량 차이를 각각의 시료 채취용 필터에 적용하였다.

2) 포름알데히드

포름알데히드(HCHO)는 실내공기 중에 존재하는 카르보닐화합물과 DNPH와의 반응에 의해 생성되는 DNPH 유도체를 분석하는 방법인 2,4-DNPH 유도체화합법을 이용하였다. 2,4-DNPH 카트리지(S10, Supelco, U.S.A)는 4 cm의 polypropylene 튜브에 고순도로 정제된 2,4-DNPH가 코팅되어 있는 흡착제가 충전 되어 있으며, 흡착제의 전·후에는 polyethylene 필터로 구성되어 있다. HCHO 시료 채취는 personal air sampler(Gilian, U.S.A)를 사용하여 350 ml/min으로 30분간 2회 측정 하였으며, 측정 전·후의 유량변화는 거의 모든 측정에서 5% 이내였다.

HCHO 측정시 공기중에 존재하는 오존(O₃)은 2,4-DNPH 유도체를 감소시키거나 2,4-DNPH가 오존과 반응하여 인위적인 불순물을 형성하는 등 방해물질로 존재한다.¹⁷⁾ 따라서 이러한 O₃을 제거하기 위하여 2,4-DNPH 카트리지 전단부에 KI가 채워져 있는 오존 스크럼버(Waters, U.S.A)를 설치하였다. 측정이 끝난 시료는 내부가 알루미늄으로 코팅된 저장용기에 개별 포장하여 용매추출 전까지 4°C 이하에서 냉장보관 하였다. 시료의 추출과 분석에 사용한 용매인 HPLC-grade

Table 2. Summary of instrumental and analytical condition of HPLC/UV

Variables	Conditions
HPLC	Acme, Younglin, Korea
Detector	UV/vis. 360 nm
Column	Nova-Pak® C ₁₈ 3.9 × 150 mm (Waters, U.S.A)
Mobile phases	Acetonitrile/Water (60/40 V/V)
Analysis time	10 min
Injection volume	20 µl
Column temperature	25°C
Flow rate	1.0 ml/min
Purge gas and flow	He (99.999%), 100 ml/min

acetonitrile(J.T. Baker, U.S.A)은 지용성 필터(φ 47 mm, 0.45 µm, PTFE, U.S.A)에 3회 이상 여과하였으며, 실험에 사용한 모든 실험 조차기구들은 acetonitrile로 세척하고 60°C에서 30분 이상 건조한 후 고순도 N₂ (99.999%)로 purging 하였다. 시료의 추출은 진공 추출장치(Supelco, U.S.A)에 2,4-DNPH 카트리지를 고정시키고 acetonitrile 5 ml를 이용하여 1 ml/min의 매우 느린 속도로 추출하였다. 카르보닐화합물과 DNPH의 반응에 의해 생성된 DNPH 유도체는 자외선 영역에서 흡광성이 있으며, 350~380 nm에서 최대 감도를 나타냄으로 UV 검출기를 이용하여 360 nm의 파장에 고정시킨 후 HPLC(Younglin, Korea)로 분석하였다. HPLC의 세부사항 및 HCHO의 분석조건은 Table 2와 같다.

3) 일산화탄소, 이산화탄소

일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO₂)는 실내공기질 공정시험방법의 주 시험방법이며, 측정상의 정확성과 측정·분석이 편리한 비분산적외선분석법(NDIR)을 이용하여 측정하였다.¹⁵⁾ NDIR 방법은 선택성 검출기를 이용하여 시료중의 CO와 CO₂에 의한 적외선의 흡수량 변화를 측정하여 시료 중에 존재하는 CO와 CO₂의 농도를 정량하는 방법으로 본 연구에서는 현장에서 측정 및 분석이 가능한 비분산적외선분석기인 300E(API, U.S.A)와 CD98(Environmental Science, U.K)을 이용하여 각각 CO와 CO₂의 농도를 산출하였으며, 1시간 동안 연속 측정하였다.

4) 총부유세균

총부유세균(TSB)은 실내의 공기를 일정량 흡입한 후 배지에 충돌시켜 공기 중의 TSB를 채취하는 방법인 충돌법을 이용하였다.¹⁵⁾ 본 연구에서는 biostage pump kit(SK, U.S.A)을 이용하여 TSB를 측정하였으며, biostage pump kit은 크게 biostage와 high flow

vacuum pump로 구성되어 있다. Biostage는 관성층들의 원리를 이용한 방법으로 알루미늄 재질로 되어 있으며, 400개의 구멍(ϕ 0.25 mm)으로 이루어져 있어 실내·외에서 박테리아, 곰팡이, 세균 등의 미생물을 측정할 수 있는 장비이다. 또한, biostage는 초음파 세척기(3210R-DTH, Branson, U.S.A)를 이용하여 세척하였고 고압증기멸균기(HB-506, Had bark autoclave, Korea)와 에틸알콜(70%, Sigma-Aldrich, U.S.A)을 이용하여 멸균하였으며, 현장에서는 에틸알콜을 묻힌 gauze로 닦은 후 사용하였다. TSB는 28.3 l/min의 유량으로 30분간 채취하였으며, 채취가 완료된 배지는 parafilm을 이용하여 밀봉한 후 아이스박스에 보관하였다. 현장에서 측정이 끝난 배지는 배양기(Mir-262, Sanyo, Japan)를 이용하여 30~35°C에서 배양하였고 배양 중 증식되는 세균의 확산으로 인해 계수가 곤란할 경우를 대비하여 24시간 단위로 증식상태를 관찰하였으며, 48시간 동안 배양한 후 colony counter(C-CC-1, Chang-shin scientific, Korea)를 이용하여 세균 집락수를 측정하였다. 또한, 단위 체적 당 집락 수(CFU/m³)의 산출은 측정된 세균 집락수를 채취한 공기의 유량으로 나누어 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. HPLC 최소검출한계 및 재현성 평가 결과

HPLC의 최소검출한계(minimum detection limit: MDL)와 재현성 및 선형성 평가를 위해 HCHO를 포함한 6종의 알데히드 성분이 혼합되어 있는 표준물질(Supelco, U.S.A)을 사용하였다. 재현성 평가는 알데히드류 분석 시 발생하는 오차의 정도를 평가하기 위하여 펌프의 성능을 나타내는 피크 보유시간(retention time)과 검출기의 감도를 나타내는 피크 면적(peak area)에 대해 실시하였다. 또한, 알데히드류의 최소검출한계(MDL)는 검출한계(DL)에 다다를 것으로 생각되는 표준물질의 농도를 7번 반복 분석한 후 이 농도 값을 바탕으로 얻은 표준편차에 3.14를 곱하여 산출하였으며,¹⁸⁾ HCHO 성분에 대한 액체상 시료 중의 검출한계

와 이들 농도들을 실제 공기 10.5 l로 채취한 것으로 가정하여 실내공기 중 농도로 환산한 결과는 Table 3과 같다.¹⁹⁾ HCHO의 선형성 평가는 300 mg/l 농도의 표준물질을 4단계(0.01, 0.05, 0.5, 1 mg/l)로 희석하여 실시하였고, HPLC의 보유시간과 면적에 대한 재현성 평가는 1 mg/l로 희석한 표준물질을 연속 3회 분석한 후 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)를 평가하였다.¹⁸⁾ 선형성 평가 결과 HCHO 성분의 검량선 상관계수(r^2)는 0.999 이상으로 매우 양호한 선형관계를 보였다. Table 3은 재현성 평가 결과를 나타낸 것으로서 피크 보유시간과 피크 면적에 대한 재현성은 각각 0.15%, 0.40% 이하로서 매우 우수한 재현성을 보였고, 재현성 평가를 위해 실시한 HPLC 분석 크로마토그램을 overlay한 것은 Fig. 1과 같다.

2. 측정대상 항목별 측정결과

1) 미세먼지 측정결과

미세먼지(PM₁₀)는 실내공기 중에 오랫동안 떠다니면서 기도를 통해 체내로 들어와 폐포에 도달하며, 각종 호흡기 계통의 질환을 일으키는 원인이 되어 보건학상 중요한 의미를 가진다.²⁰⁾ 따라서 이처럼 인간의 건강상에 영향을 미치는 PM₁₀는 실내공기질관리법에 다중이

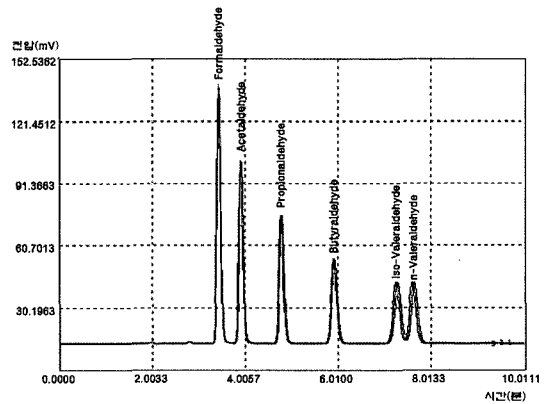


Fig. 1. Overlay chromatogram of aldehydes standard analyzed by HPLC/UV.

Table 3. Minimum detection limit and repeatability of aldehyde analyzed by HPLC/UV

Compounds	MDL			Repeatability			
	$\mu\text{g/ml}$	$\text{ng}^{\text{a)}$	$\text{ppbv}^{\text{b)}$	Retention time (min)		Repeatability (RSD %)	
				Mean \pm S.D.	Retention time	Peak area	
Formaldehyde	0.001	0.338	0.273	3.4383 \pm 0.0042		0.1229	0.3781

^{a)}estimated from 20 μl sample injection.

^{b)}estimated by air volume of 10.5 l and extraction volume of 5 ml.

Table 4. The result of concentrations from public facilities

Pollutants	Sites	Hospital			Silver town		Indoor parking		Large store			Steamer room		Library	
		Waiting room (n=37)	Admission room (n=37)	Resting room (n=3)	Bed room (n=3)	Indoor parking (n=30)	Ground (n=21)	Underground (n=5)	Resting room (n=8)	Steamer room (n=8)	Reading room (n=7)	Stack room (n=7)			
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mean	46.60	40.47	42.13	42.59	68.24	45.83	41.94	33.16	33.51	44.05	38.69			
	S.D.	17.35	19.26	25.47	22.24	44.42	13.03	8.24	3.10	5.72	12.1	12.48			
	Range	15.28~77.78	12.50~80.56	22.22~70.83	20.83~65.28	22.22~188.89	23.61~69.44	34.72~54.17	29.17~37.50	26.39~43.06	30.56~63.80	25.00~58.33			
	Standard	100	100	100	100	200	150	150	150	150	150	150			
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mean	27.29	28.19	27.58	24.55	18.43	32.86	25.69	47.74	32.07	28.36	18.95			
	S.D.	15.17	15.84	22.26	5.67	11.11	32.77	21.66	34.31	19.1	26.07	16.03			
	Range	7.69~64.29	6.83~69.96	13.29~53.22	18.48~29.70	6.63~52.45	4.12~118.70	12.67~64.06	3.89~113.21	3.79~62.04	2.30~67.85	2.71~44.96			
	Standard	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120			
CO (ppm)	Mean	0.85	0.83	1.23	0.74	2.73	1.71	2.24	2.25	2.32	1.85	1.48			
	S.D.	0.43	0.42	1.59	0.20	2.18	1.56	1.01	1.36	1.15	0.62	0.61			
	Range	0.20~2.40	0.10~2.10	0.22~3.06	0.58~0.97	0.20~8.67	0.19~6.10	1.18~3.42	0.20~3.94	0.50~3.9	0.80~2.81	0.90~2.46			
	Standard	10	10	10	10	25	10	10	10	10	10	10			
CO ₂ (ppm)	Mean	563	571	531	516	421	525	448	414	496	912	575			
	S.D.	146.56	146.61	208.46	146.07	66.90	156.54	82.70	55.06	86.48	411.6	117.93			
	Range	364~973	396~951	407~772	373~665	319~594	370~925	359~553	336~502	397~672	622~1,816	377~726			
	Standard	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000			
Total suspended bacteria (CFU/m ³)	Mean	194	209	95	172	-	-	-	-	-	-	-			
	S.D.	133.92	154.15	88.94	90.63	-	-	-	-	-	-	-			
	Range	25~568	33~766	19~193	84~265	-	-	-	-	-	-	-			
	Standard	800	800	800	800	-	-	-	-	-	-	-			

Table 4. Continued

Pollutants	Sites	Underground shopping center		Bus terminal		Airport		Art gallery		Museum		Funeral parlor	
		Store (n=2)	Shopping center (n=2)	Waiting room (n=4)	Waiting room (n=1)	Waiting room (n=1)	Platform (n=1)	Exhibition hall (n=2)	Exhibition hall (n=2)	Exhibition hall (n=2)	Exhibition hall (n=2)	Lobby (n=2)	
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mean	71.53	59.03	85.07	-	-	-	43.75	40.98	40.98	20.14		
	S.D.	2.95	16.69	27.25	-	-	-	4.91	0.98	0.98	2.94		
	Range	69.44~73.61	47.22~70.83	52.78~113.89	37.5	27.78	27.78	40.28~47.22	40.28~41.67	40.28~41.67	18.06~22.22		
	Standard	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		
HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mean	16.68	17.91	34.68	-	-	-	17.67	26.85	26.85	35.70		
	S.D.	3.24	8.53	27.41	-	-	-	6.17	0.91	0.91	8.24		
	Range	14.39~18.97	11.88~23.94	9.92~64.07	6.06	1.96	1.96	13.30~22.03	26.20~27.49	26.20~27.49	29.87~41.53		
	Standard	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120		
CO (ppm)	Mean	2.53	3.30	1.19	-	-	-	0.4	0.3	0.3	0.53		
	S.D.	0.31	0.95	0.62	-	-	-	0.04	0.04	0.04	0.08		
	Range	2.31~2.75	2.63~3.97	0.64~1.73	0.5	0.7	0.7	0.37~0.43	0.27~0.33	0.27~0.33	0.47~0.58		
	Standard	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
CO ₂ (ppm)	Mean	500	445	514	-	-	-	476	371	371	359		
	S.D.	39.6	4.95	75.59	-	-	-	4.24	1.41	1.41	9.19		
	Range	472~528	441~448	425~584	395	416	416	473~479	370~372	370~372	352~365		
	Standard	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		

용시설별(의료기관, 보육시설, 노인복지시설, 산후조리원: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 실내주차장: $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 그 밖의 다중이용시설: $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 그 기준이 다르게 설정되어 있으며, 유지기준 항목으로 관리되고 있다.¹¹⁾

PM₁₀ 측정결과는 Table 4에 나타내었으며, 대부분의 다중이용시설에서 각각의 유지기준 보다 낮았다. 또한, 측정대상 시설 중 의료기관과 버스터미널은 각각 유지기준에 비해 75% 이상의 농도 수준이었으며, PM₁₀ 최고 농도는 Fig. 2와 같이 실내주차장에서 $188.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 유지기준인 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 95% 수준이었다. PM₁₀의 농도가 가장 높았던 실내주차장은 환기설비가 설치 및 운영되고 있었으나, 환기설비의 노후에 따른 성능 저하와 이용자의 수가 가장 많은 주말에 측정되어 PM₁₀의 농도가 다른 대상 시설에 비해 비교적 높았던 것으로 사료된다.

의료기관의 대기실과 입원실에서의 PM₁₀ 농도 범위는 각각 $15.28\sim 77.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $12.50\sim 80.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 거의 유사하였으나, PM₁₀ 평균 농도는 이용자의 왕래가 많은 대기실이 입원실에 비해 높은 것으로 조사되었다. 또한, 의료기관 중 PM₁₀의 농도가 가장 높은 곳은 유지기준인 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 78% 수준으로 유지기준 보다 낮은 것이었으나 의료기관을 이용하는 이용자들의 특성을 고려한다면 PM₁₀에 대한 많은 관심과 주의가 필요하다고 하겠다.

버스터미널 대합실 중 PM₁₀의 농도가 가장 높은 곳은 유지기준 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 76%인 $113.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 농도의 범위는 $52.78\sim 113.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 호남지역에 위치한 버스터미널 중 실내공기질관리법에 해당되는 시설(연면적 $2,000 \text{m}^2$ 이상)은 2곳으로 주로 큰 도로변에 위치해 있어 차량의 통행량이 매우 많았다. 측정대상 버스터미널에서는 버스들이 주로 공회전 및 저속 운전을 하고 있었으며, 자동차의 운전모드 중 공회전 및 감속이 많은 저속모드에서는 불완전연소가 많아 오염물질이 높게 배출되는 특징이 있어²¹⁾ 대상 시설 주변지역 대기질의 체감 오염도는 매우 높았다. 또한, 버스터미널의 대합실은 급기와 배기방식으로 이루어진 1중 환기로 운영되고 있었으며, 급기 시 외부 공기를 여과하여 공급하고는 있었으나, 대합실의 PM₁₀ 농도가 다소 높은 것은 외기의 도입에 있어 여과기의 효율 저하와 측정시기가 겨울철임을 감안해 보았을 때 에너지 절약을 위한 부적절한 환기설비의 운영으로 예상된다.

본 연구의 PM₁₀ 측정 결과를 백 등¹²⁾과 김 등,¹³⁾ 김 등¹⁴⁾이 대구지역과 수도권 지역의 일부 다중이용시설을 대상으로 수행한 연구결과와 비교해 보았을 때 호남지역의 다중이용시설은 대구지역 및 수도권 지역에 비해

PM₁₀의 농도가 대체로 낮은 것으로 파악되었다.

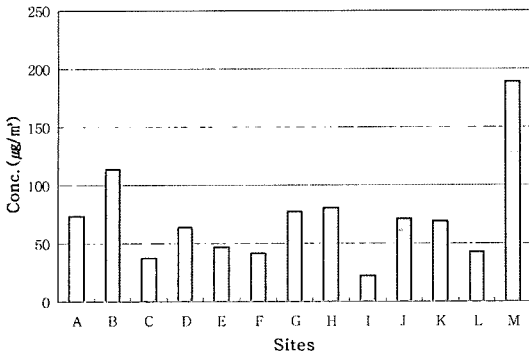
2) 포름알데히드 측정결과

포름알데히드(HCHO)의 발생원은 매우 다양하며, 건축 내장재 중 파티클보드(particle board)와 화이버보드(fiber board) 등의 합판류, MDF(medium density fiberboard)류, 우레아수지폼 단열재(urea formaldehyde foam insulation: UFFI), 페인트 등에서 많이 발생된다. 이처럼 건축 내장재로부터 발생하는 HCHO는 건축 내장재의 수명, 실내 온도 및 습도 조건 등에 많은 영향을 받으며, 일반적으로 생산 년 수가 짧고 높은 온도와 습도 조건에서 많은 양의 HCHO가 방출되는 것으로 보고되고 있다.²²⁻²⁴⁾ 또한, HCHO는 자극성이 강하여 흡입 시 코, 눈을 자극하고 유아의 경우에는 천식을 유발할 수 있으며, 동물실험결과 코에 암을 일으키는 물질로 알려져 있어 의심되는 발암성 물질(Group 2A)로 분류되고 있다.²⁵⁾ 국내에서는 실내공기질관리법에 HCHO 유지기준을 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하고 있으며, 모든 관리대상 다중이용시설들에 적용하고 있다.¹¹⁾

HCHO 측정결과는 Table 4와 같이 모든 측정대상 시설이 유지기준 보다 낮은 것으로 나타났으나 대규모 점포 중 한 곳과 점질방 휴게실 중 한 곳이 각각 유지기준의 약 95% 수준인 $118.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $113.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 조사되었다. HCHO의 농도가 $118.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았던 대규모 점포는 의류 매장으로 환기설비가 없었으며, 개방된 문을 통한 자연환기만이 이루어지고 있었다. 또한, 조사당시 이 대규모 점포는 실내 리모델링 공사가 약 5개월 전에 완료된 상태였으며, 점포들의 입주가 계속해서 진행되고 있었다. HCHO의 농도가 $113.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 측정대상 시설에 비해 상대적으로 높았던 점질방은 신축 건축물로 건축 내장재에서 HCHO가 발생되어 실내공간에 영향을 주었던 것으로 사료된다. 그리고 점질방은 휴게실의 평균 농도가 $47.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 점질실($32.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 높은 것으로 조사되었으며, 장례식장 $35.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 버스터미널 대합실 $34.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순이었다. 이처럼 점질방의 휴게실이 점질실에 비해 HCHO 농도가 상대적으로 높은 것은 휴게실의 경우는 간헐적인 환기 또는 환기설비가 정상적으로 작동되지 않았던 반면, 점질실은 지속적인 고온 상태 유지와 환기설비가 계속해서 운영되는 일종의 bake-out²⁶⁾이 진행되어 나타난 결과로 판단된다.

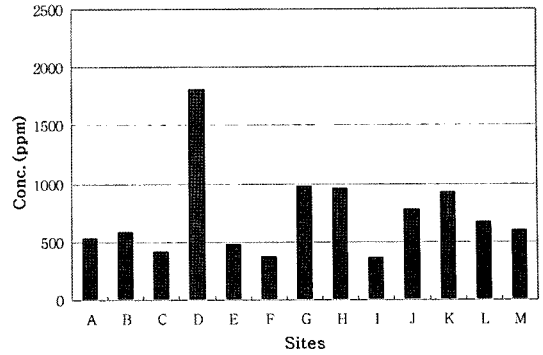
3) 일산화탄소 측정결과

일산화탄소(CO)는 난방, 주방 연료 등의 불완전연소와 흡연, 자동차 등으로부터 주로 발생되며, 이러한 CO는 헤모글로빈과 친화력이 강하여 인체에 대해서는 급성 또는 만성중독의 위험을 야기하는 것으로 알려져



A: Underground shopping center, B: Bus terminal, C: Airport, D: Library, E: Museum, F: Art gallery, G: Hospital(wating room), H: Hospital(admission room), I: Funeral parlor, J: Silver town, K: Large store, L: Steamer room, M: Indoor parking

Fig. 2. The maximum concentration of PM₁₀ in public facilities.



A: Underground shopping center, B: Bus terminal, C: Airport, D: Library, E: Museum, F: Art gallery, G: Hospital(wating room), H: Hospital(admission room), I: Funeral parlor, J: Silver town, K: Large store, L: Steamer room, M: Indoor parking

Fig. 3. The maximum concentration of CO₂ in public facilities.

있다.^{27,28)} 현재, CO는 인체에 미치는 영향 등을 고려하여 실내공기질관리법에 실내주차장의 경우는 25 ppm, 그리고 그 밖의 다중이용시설에 대해서는 10 ppm으로 유지기준이 각각 설정되어 관리되고 있다.¹¹⁾

CO 측정결과는 Table 4와 같이 본 연구에서는 실내 주차장 한 곳에서 CO의 농도가 8.67 ppm으로 가장 높았으나 유지기준의 약 1/3 수준이었다. 또한, 측정대상 시설별 CO의 최고 농도를 살펴보면, 실내에서 직접 난방 기구를 사용했던 대규모 점포의 경우는 6.10 ppm, 그리고 지하도 상가에 위치한 식당은 지하의 특성상 폭발의 위험성이 있는 가스연료의 사용이 제한되어 석유계 연료를 이용하고 있어 CO의 농도가 3.97 ppm으로 다른 대상 시설에 비해 다소 높았으나 모든 대상 시설에서 기준치보다는 매우 낮은 것으로 조사되었다. 김 등²⁹⁾은 식당과 주택의 주방을 대상으로 CO에 대한 연구를 수행하였으며, 식당과 주택의 주방에서 CO의 최고 농도는 각각 81.7 ppm, 23.4 ppm으로 매우 높아 1980년대에는 실내공기질에 있어 CO가 매우 큰 문제로 다루어지고 있었던 것을 알 수 있다. 그러나 백성욱과 김,¹²⁾ 김¹³⁾가 대도시 지역인 서울과 대구의 지하역사, 지하도 상가, 병원, 버스터미널, 지하주차장 등의 다중이용시설을 대상으로 조사한 연구결과를 살펴보면 CO의 농도 범위는 2~3 ppm, 그리고 최고 농도는 10 ppm으로 본 연구의 결과는 위의 연구결과와 매우 유사한 농도분포를 보였다. 실내에서 사용되는 난방기구의 연료는 1990년대 후반부터 최근까지 석유에서 가스로 많은 부분 전환되고 있으며, 공공장소와 다중이용시설에 대해서는 금연을 지정하거나 별도의 흡연 장소를 설

치하는 등 발생원에 대한 대책이 수립됨에 따라 실내 공간에서 CO의 농도는 지속적으로 낮아지고 있는 것으로 사료된다.

4) 이산화탄소 측정결과

이산화탄소(CO₂)는 인체에 미치는 영향으로서의 중요 정보보다는 실내공간의 환기상태 및 실내공기오염의 중요한 지표로 활용되고 있다.^{13,28)} 미국의 경우는 실내에서 CO₂ 농도를 2,000 ppm으로 권장하고 있으나, 우리나라는 실내공기질관리법에서 미국보다 강화된 1,000 ppm을 유지기준으로 설정하여 관리하고 있으며,¹¹⁾ 일본 역시 우리나라와 동일한 수준으로 관리하고 있다.

CO₂의 최고 농도는 Fig. 3과 같이 도서관 열람실의 한 곳에서 1,816 ppm으로 현행 실내공기질관리법의 유지기준을 초과하였으며, CO₂ 평균 농도는 도서관 열람실에서 912 ppm으로 본 연구의 대상 다중이용시설 중에서 가장 높은 것으로 조사되었다. 그리고 의료기관 중 대기실 한 곳과 입원실 한 곳, 대규모 점포 한 곳에서는 CO₂ 농도가 각각 973 ppm, 951 ppm, 925 ppm으로 실내공기질관리법의 유지기준에 근접한 농도 수준을 보이고 있었다. CO₂의 농도가 가장 높았던 도서관은 이용자의 수가 많았으며, 오래된 건물로 환기설비가 설치되어 있지 않았고 창문과 열람실 출입문을 통한 자연환기가 이루어지고 있었다. 또한, 측정당시에는 계절적으로 겨울이었으며, 실내의 일정한 온도를 유지하기 위하여 창문은 거의 밀폐된 상태였고 출입문만을 통한 약간의 환기가 진행되고 있었다. 본 연구의 대상 시설 중 도서관은 대부분 지방자치단체에서 운영하는 시립도서관으로 건물 년 수가 오래되었을 뿐만 아니라 이용자의 수가 많음에도 불구하고 주로 자연환기에 의

존하고 있었으며, 환기설비가 설치되어 있는 경우에도 대부분이 자연급기와 강제배기 방식인 3종 환기로 운영되고 있어 다른 다중이용시설에 비해 상대적으로 CO₂ 농도가 높았던 것으로 판단된다. 그리고 의료기관 중 CO₂ 농도가 높았던 시설은 도서관과 마찬가지로 환기설비가 설치되어 있지 않았거나 3종 환기 방식으로 운영되고 있었다.

Jeon 등³⁰⁾은 도시 학교시설의 밀폐 정도에 따른 실내 오염도 평가를 위해 CO₂를 조사한 결과 창문을 닫은 밀폐상태에서의 CO₂ 농도는 기준치(1,000 ppm)에 비해 약 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 또한, 신 등³¹⁾은 고등학교 교실을 대상으로 환기량에 따른 CO₂ 농도를 파악하였으며, 밀폐 시 CO₂의 최고 농도와 평균 농도는 각각 2,190 ppm, 1,791 ppm으로 기준치를 초과하였으나 환기량이 증가함에 따라 CO₂의 농도는 감소하는 것으로 보고하고 있다. 실내공간에서의 CO₂ 농도는 앞에서 언급한 바와 같이 사람들의 호흡에 의해 주로 발생되어 사람들의 활동과 호흡량에 절대적이며, 환기설비의 설치 유·무 및 정상적인 가동과 밀접한 관계가 있으므로 실내공간에서 CO₂ 농도의 감소와 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위해서는 적합한 환기설비의 설치 및 효율적인 운영이 필요하다고 사료된다.

5) 총부유세균 측정결과

실내공간에서 존재하는 세균은 크게 부유세균과 낙하세균으로 구분하며, 화학물질인 VOCs, HCHO와 더불어 사람의 건강과 건물에 중요한 영향을 미치기 때문에 실내공기질을 평가하는데 있어 중요한 고려사항으로 알려져 있다.³²⁾ 특히, 레지오넬라균은 주로 호흡기를 통해 재실자의 건강상에 악 영향을 미치며, 치사율이 매우 높은 것으로 보고되고 있다.³³⁾ 또한, 병원성 세균은 저항력이 약한 노약자와 어린이, 그리고 환자들에게 많은 영향을 주는 것으로 특별한 관리가 요구되고 있다. 따라서 우리나라에서는 병원성 세균에 노출되기 쉬운 사람들이 주로 이용하는 의료기관, 보육시설 및 노인복지시설, 산후조리원에 대해 총부유세균(TSB)의 유지기준을 800 CFU/m³으로 설정하여 관리하고 있다.¹⁾

본 연구에서는 의료기관과 노인복지시설에 대해서만 TSB를 측정하였으며, TSB 측정결과는 Table 4와 같이 의료기관의 한 입원실에서 유지기준의 95% 수준인 766 CFU/m³으로 가장 높았으나 모든 측정대상 시설에서는 기준치보다 낮은 것으로 조사되었다. TSB의 평균 농도와 최고 농도는 Fig. 4와 같이 의료기관이 노인복지시설에 비해 다소 높았으며, TSB의 농도가 가장 높았던 의료기관은 정신성 질환자들의 치료를 위한 특수 병원으로 측정대상 입원실은 환기설비가 설치되지 않

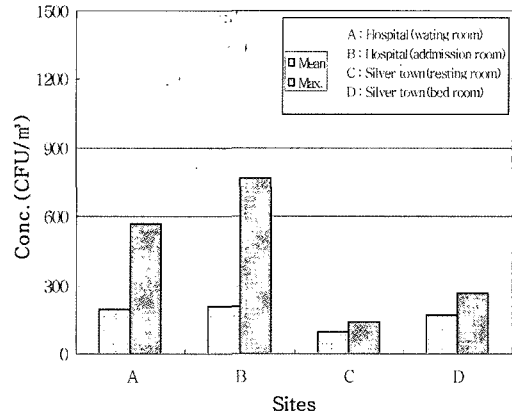


Fig. 4. Total suspended bacteria concentration of public facilities.

은 상태에서 자연환기에만 의존하고 있었다. 실내에서 존재하는 세균류들은 청결상태가 좋지 못하거나 환기가 충분하지 못한 조건에서 농도가 높게 나타나는 특성이 있으며, 이 의료기관의 경우는 환자들이 음식을 계속해서 섭취하고 있었을 뿐만 아니라 입원실과 환자들의 청결상태는 매우 좋지 않아 다른 의료기관에 비해 TSB의 농도가 높은 것으로 판단된다. 의료기관 중 정신병원과 노인복지시설 중 치매병원은 환자들 스스로가 청결에 대한 의식이 매우 부족할 뿐만 아니라 음식물의 무단방치가 빈번하게 이루어져 세균들이 활발하게 증식할 수 있는 여건이 조성될 수 있다. 따라서 이러한 시설들은 관리자들의 세심한 주의가 요구되며, 쾌적한 실내공기질 확보를 위해 보다 많은 노력과 관심이 필요하다고 하겠다.

IV. 결 론

본 연구는 호남지역(전라남도, 광주광역시)의 다중이용시설별 실내공기질 실태를 파악하기 위하여 2004년 9월부터 2005년 3월까지 7개월 동안 환경부 실내공기질관리법에서 정하고 있는 다중이용시설 중 91개 시설을 대상으로 유지기준 5개 항목에 대한 조사를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미세먼지(PM₁₀)는 대부분의 다중이용시설에서 유지기준 보다 낮았으며, PM₁₀ 농도가 가장 높은 곳은 실내주차장으로 188.89 µg/m³이었다. 또한, 의료기관의 대기실과 입원실에서의 PM₁₀ 농도 범위는 거의 유사하였으나 평균 농도는 이용자의 왕래가 많은 대기실이 입원실에 비해 PM₁₀의 농도가 높은 것으로 조사되었다. 또한, 의료기관 중 PM₁₀의 농도가 가장 높은 곳의 대

기실과 입원실에서의 PM_{10} 농도는 유지기준의 78% 수준이었으나, 의료기관 이용자들의 특성을 고려한다면 PM_{10} 에 대한 많은 관심과 주의가 필요하다고 하겠다.

2. 포름알데히드(HCHO)는 대규모 점포 한 곳과 찜질방 휴게실 한 곳에서 각각 유지기준 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 약 95% 수준인 $118.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $113.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 다른 모든 대상 시설은 유지기준 보다 매우 낮았다. HCHO의 농도가 $118.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았던 대규모 점포는 의류 매장으로 약 5개월 전에 실내 리모델링 공사가 완료된 상태였으며, 환기설비 없이 개방된 문을 통한 자연환기만이 이루어지고 있었다. 또한, HCHO의 농도가 $113.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 측정대상 시설에 비해 상대적으로 높았던 찜질방은 신축 건축물로 찜질실의 경우 실내 온도가 높을 뿐만 아니라 환기설비가 계속해서 운영되는 일종의 bake-out이 진행되고 있었으나 휴게실은 간헐적인 환기 또는 환기설비가 정상적으로 작동되지 않고 있어 HCHO의 농도가 비교적 높은 것으로 판단된다.

3. 일산화탄소(CO)는 실내주차장 한 곳에서 8.67 ppm으로 가장 높았으나, 유지기준의 1/3수준이었다. 그리고 실내에서 직접 난방 기구를 사용하는 대규모 점포 한 곳과 석유를 주방연료로 사용하는 지하도 상가 한 곳에서 각각 6.10 ppm, 3.97 ppm이었으며, 모든 측정대상 다중이용시설은 유지기준 보다 매우 낮아 CO에 대한 문제점은 거의 없는 것으로 보인다.

4. 이산화탄소(CO_2)는 환기설비가 없으며, 창문과 열람실의 출입문을 통해 자연환기가 이루어지고 있는 도서관 열람실 한 곳에서 최고 농도인 1,816 ppm이었으며, 의료기관 중 대기실 한 곳과 입원실 한 곳, 대규모 점포 한 곳에서 각각 973 ppm, 951 ppm, 925 ppm으로 실내공기질관리법의 유지기준에 근접한 농도 수준이었으나 기준을 초과하지는 않았다.

5. 총부유세균(TSB)은 의료기관과 노인복지시설에 대해서만 측정하였으며, 측정결과 한 의료기관의 입원실에서 유지기준의 95% 수준인 766 CFU/ m^3 으로 가장 높았으나, 모든 측정대상 시설에서는 기준치보다 낮은 것으로 조사되었다.

이러한 결과로 볼 때, 본 연구의 대상이 되는 다중이용시설은 CO_2 를 제외하고는 각각의 유지기준을 초과하지는 않았으나 대상 시설에 따라서는 일부 오염물질에 대한 관리의 필요성이 요구되는 것으로 조사되었다. 또한, 다중이용시설의 실내공기질 관리를 위해서는 우선적으로 오염물질의 발생원 파악이 무엇보다도 중요하며, 환기설비의 설치 및 적절한 운영 등 철저한 관리방안을 모색하여 쾌적한 실내공기질을 확보하는 것이 매

우 중요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Montoya, L. D. and Hildemann, L. M. : Evolution of the mass distribution of resuspended cat allergen(Fel d1) indoors following a disturbance. *Atmospheric Environment*, **35**, 859-866, 2001.
2. 김윤신, 이은규, 엽무중, 김기영 : 다중이용시설에서의 실내공기중 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **28**(1), 85-92, 2002.
3. Yuji Ataka, Shinsuke Kato, Shuzo Murakami, Qingyu Zhu, Kazuhide Ito and Tomohiro Yokota : Study of effect of adsorptive building material on formaldehyde concentrations: development of measuring methods and modeling of adsorption phenomena. *Indoor Air*, **14**(8), 51-64, 2004.
4. Kim, S.-M. and Kim, H.-J. : Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperature in under heating system; ONDOL. *Indoor Air*, **15**, 317- 325, 2005.
5. Kelly, T. J., Smith, D. L. and Satola, J. : Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in california homes. *Environmental Science Technology*, **33**, 81-88, 1999.
6. 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.
7. 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.
8. 하권철 : 실내 사무환경에서의 환경성담배연기(ETS) 중 일부 휘발성유기화합물(VOC)에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **27**(3), 87-98, 2001.
9. 이정주, 김신도, 부문자 : 박물관 실내공기질 변동에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **22**(4), 43-48, 1996.
10. Huang, H.-Y. and Fariborz Haghghat : Modeling of volatile organic compounds emission from dry building materials. *Building and Environment*, **37**, 1349-1360, 2002.
11. 환경부 : 다중이용시설등의실내공기질관리법, 2004.
12. 백성욱, 김윤신 : 도시지역 실내환경 유형별 공기질 특성 평가-가정, 사무실 및 식당을 중심으로-. 한국대기환경학회지, **14**(4), 343-360, 1998.
13. 김신도 : 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구. 2002.
14. 김윤신, 노영만, 홍승철, 이철민, 전형진, 김종철, 조정현 : 다중이용시설에서의 실내공기질 조사. 한국실내환경학회지, **1**(2), 144-155, 2005.
15. 환경부 : 실내공기질 공정시험방법, 2004.
16. Sirju, A. P. and Shepson, P. B. : Laboratory and field investigation of the DNPH cartridge technique for the measurement of atmospheric carbonyl compounds. *Environmental Science Technology*, **29**(2), 384-392, 1995.

17. Lawson, D. R., Biermann, H. W., Tuazon, E. C., Winer, A. M., Mackay, G. L., Schiff, H. L., Kok, G. L., Dasgupta, P. K. and Fung, K. : Formaldehyde measurement methods evaluation and ambient concentrations during the carbonaceous species methods comparison study. *Aerosol Science and Technology*, **12**, 64-76, 1990.
18. 환경부 : 악취공정시험방법, 2005.
19. 황윤정, 박상곤, 백성욱 : DNPH 카트리지와 HPLC를 이용한 대기 중 카르보닐화합물의 농도 측정. 한국대기환경학회지, **12**(2), 199-209, 1996.
20. 이용근, 김만구, 원정호 : Andersen 시료채취기를 이용한 도시대기 중 부유입자상물질의 입도 분포 측정. 한국대기환경학회지, **1**(1), 93-98, 1985.
21. 정성운, 류정호, 유영숙, 임철수 : 국내 다목적 자동차의 오염물질 배출특성 연구. 한국대기환경학회지, **22**(1), 127-134, 2006.
22. Rikke Bramming Jørgensen, Olav Bjørseth and Bjarne Malvik : Chamber testing of adsorption of volatile organic compounds(VOCs) on material surface. *Indoor Air*, **9**(1), 2-9, 1997.
23. Milton Meckler, P. E. : Indoor air quality design guidebook, Fairmont press, Inc., 3-8, 1991.
24. 서병량 : 실내 건축자재에서 발생하는 VOCs와 포름알데히드의 배출특성에 관한 연구. 서울시립대학교 석사학위논문, 2003.
25. International Agency for Research on Cancer(IARC) : IARC Monograph on the evaluation of carcinogenic risk to humans-Overall evaluations of carcinogenicity, supplement 7, IARC, 211-216, 1987.
26. 김신도 : T-Project 적용 마감재에 대한 실내 VOCs 오염물질의 방출특성 및 제어방안. 2001.
27. Manahan. and Stanley, E. : Environmental Chemistry. Lewis Publishers, 1994.
28. 한국실내환경학회 : 미적용 다중이용시설 및 소규모 시설 실태조사. 2006.
29. 김광진 : 지하시설물에 대한 환경오염도 조사 연구. 서울특별시 보건환경연구원보, **22**, 1986.
30. Jeon, E.-C., Jang, G.-S. and Kook, C. : Evaluation of indoor air quality in urban school. *The Environmental Education*, **12**(2), 73-80, 1999.
31. 신희수, 여창신, 변상현, 안영철, 이재근, 박효순, 김병순, 이감규, 강태욱 : 환기설비가 설치된 교실의 실내 공기질 평가. 한국실내환경학회지, **1**(2), 221-227, 2005.
32. 김성환 : 실내공기중의 미생물상. 한국대기환경학회 춘계학술대회, 264-265, 2004.
33. 방선재, 이철민, 김윤신, 선우영 : 중앙집중식 냉방시설의 냉각탑수중 레지오넬라균과 실내의 미생물 분포에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **28**(3), 39-48, 2002.