

업무용 빌딩 내 사무실의 실내공기질 평가

정지연^{1†} · 이병규¹ · 피영규³

¹용인대학교 산업환경보건학과 · ²한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · ³노동부 산업안전보건국 산업환경보건팀

Assessment of Indoor Air Quality in Commercial Office Buildings

Jee Yeon Jeong^{1†} · Byung Kyu Lee¹ · Young Gyu Phee³

¹Department of Occupational Environment and Health, Yongin University

²Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

³Industrial Health & Environment division, Industrial Safety & Health Bureau Ministry of Labour

Recently, concerns regarding indoor air quality in offices have continued to increase. Thirty offices in five metropolitan commercial buildings were surveyed from February to April 2004. Sampling was performed during normal business hours. Thermal comfort factors such as temperature and relative humidity, carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO), formaldehyde (HCHO), respirable dust, PM₁₀ were sampled and analyzed to determine the mean, standard deviation, range, and correlation for each of those parameters. The data was then compared to office as standard of Ministry of Labor, and guideline applicable to the indoor environment. The results represented that the temperature was slightly higher than the standard of American Society of Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), the relative humidity was

lower than the standard of ASHRAE. The range of the 8-TWA concentration of CO₂ was 639 ~ 786 ppm, but 33.3% of the total thirty offices exceeded the 1000 ppm as ceiling concentration. The concentration of CO was less than 3 ppm, which was similar to that of offices in Japanese. The mean concentration of formaldehyde was 0.032 ppm, and only 2 % of total samples (193) exceeded the 0.1 ppm, standard of formaldehyde in office air. The concentration of respirable dust and PM₁₀ was not exceeded the standard of those parameters, 150 µg/m³. The concentration of those parameters in the office air was statistically correlated.

Key Words : Office, Indoor air quality, Comfort parameter, Carbon dioxide

I. 서론

사무실을 포함한 실내공기질은 중요한 사회적 건강 관심

사로 등장하고 있다. 특히 사회가 발전하면 할수록 현대인의 생활 대부분이 실내에서 보내는 시간이 늘어남에 따라 실내 공기질에 대한 관심은 점점 증대되고 있는 상황이다.

접수일 : 2006년 11월 13일, 채택일 : 2007년 1월 28일

† 교신저자 : 정지연 (경기도 용인시 용인대학교 자연과학대학 산업환경보건학과,

TEL: 031-330-3208, E-mail: jyjung@yongin.ac.kr)

Woods등(1989)이 600명의 사무직 근로자를 대상으로 실시한 결과를 바탕으로 추정된 결과에 의하면 미국 사무직 근로자의 20%가 빌딩증후군(sick building syndrome) 증상을 나타낼 수 있는 사무실 환경조건에서 근무하고 있다고 한다.

빌딩관련질환(building related illness)은 실내근무와 관련하여 의사의 임상적 진단에 의해 증상이 확인되고 사무실 내에 이러한 건강장해를 일으키는 원인, 즉 오염물질이 존재하는 질환을 말한다(OSHA, 1994).

화학물질과민증(multiple chemical sensitivity)은 실내공기 중에 존재하는 극히 낮은 농도의 화학물질 노출에 의해서도 화학물질 과민반응 증상이 나타나는 것을 말하며, 이러한 증상 반응은 화학적으로 서로 관련성이 없는 물질에 대해서도 동일한 증상을 나타내게 된다(Terr, 1996).

국내에서 실내공기질과 관련된 법은 중앙관리 방식의 공기정화설비를 갖춘 사무실을 적용대상으로 한 산업안전보건법(노동부, 2006), 공중이용시설(학원, 공연장, 업무시설등)에 대한 실내공기질을 관리하고 있는 보건복지부의 공중위생관리법(보건복지부, 2004), 기존 지하생활공간공기질관리법을 17개 대상시설(지하역사, 의료기관, 찜질방등)로 적용대상 시설을 확대한 환경부의 다중이용시설등의 실내공기질관리법(환경부, 2003), 그리고 학교를 적용대상으로 한 교육인적자원부의 학교보건법(교육인적자원부, 2004), 주차장(2,000 m² 이하)을 적용대상으로 한 건설교통부의 주차장법이 있다(건설교통부, 2004).

국외 경우 실내환경에 대한 규제 성격의 법이 있는 나라는 일본의 빌딩관리법 과 노동안전위생법이 있으며(후생노동성, 2001), 미국, 노르웨이, 핀란드, 캐나다 등 세계 여러 나라는 권고 성격의 실내공기질 기준을 제시하고 있다.

미국 Energy Information Administration이 미국 내의 모든 상업용 빌딩에 대한 에너지 소비실태 조사를 실시하면서 발표한 결과를 보면 우리나라 노동부의 산업안전보건법에서 규정하고 있는 사무실의 적용대상과 유사한 업무용빌딩의 수는 739,000개로 전체 빌딩 수의 15.9%, 근로자수는 약 2천9백만 명인 것으로 조사되었다(EIA, 1999).

국내 경우 실내공기질의 법적관리대상인 사무실이 있는 업무용 빌딩의 수가 어느 정도 되는지 발표된 자료도 없고 추정하기도 매우 어렵지만 건축물에 대한 현황통계를 발표하고 있는 건설교통부의 자료를 바탕으로 추정해보면 우리나라 상업용 빌딩 880,569개와 문화사회용 95,700개를 합친 976,276개의 건축물 중 일부가 업무용 빌딩일 것으로 추정된다(건설교통부, 2006).

본 연구는 지금까지 국내에서 별로 조사가 이루어지지 않은 업무용 빌딩 내 사무실을 대상으로 실내공기질을 측정하여 그 수준이 어느 정도 되는지를 평가하고, 이들 간의 상호

관련성이 어느 정도 있는지 알아보고자 실시한 것이다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

서울, 인천, 광주 및 부산지역에 각각 위치한 대형 업무용 빌딩 내의 사무실을 대상으로 사무실의 오염정도가 높은 것으로 예상되는 동절기(2월~4월)에 조사를 실시하였다.

2. 측정 방법

1) 온·습도, 일산화탄소, 이산화탄소

온·습도(TSI, Model 8672, USA), 일산화탄소 및 이산화탄소(TSI, Model 8762, USA)는 평가대상 사무실을 등 간격으로 나눠 4~6개 지점에서 출·퇴근시간 전후 30분을 포함하여 매 1시간 간격으로 동일지점에서 3회 반복측정하여 측정치들의 평균치를 동 시간대의 측정치로 활용하였다. 동일시간대에 실내환기를 위한 공조설비의 옥외공기 유입구가 설치된 지점 근처에서 1개 지점을 선정하여 실내와 동일한 방법으로 측정하였다. 가스상 물질 측정장비는 사용 전에 99.999%의 질소를 Zero 가스(0 ppm)로 사용하여 0점 보정을 하였고, Span 가스(일산화탄소: 29.8 ppm, 이산화탄소: 1470 ppm)를 사용하여 스펠보정을 실시한 후 사용하였다.

2) 호흡성분진, 미세먼지, 포름알데히드

호흡성분진은 직경 37mm의 PVC 여과지(pore size : 5 μ m)가 장착된 알루미늄 사이클론(SKC Cat. No. 225-01-2, USA)를 사용하여 2.5 L/분의 유량으로 6시간 이상 시료채취를 실시하였다. 미세먼지는 직경 37mm 인 PVC 여과지(pore size : 5 μ m)가 장착된 PM₁₀ 시료채취기(SKC Cat. No. 761-200, USA)를 사용하여 2.0 L/분의 유량으로 6시간 이상 시료를 채취하였다. 시료채취는 온·습도 측정지역과 동일한 지점에서 채취하여 1.0 μ g의 해독도(readability)를 가진 전자저울(Mettler UMT2, USA)을 사용하여 중량분석하였다(한국산업안전공단, 2004).

포름알데히드는 2,4-DNPH(2,4-Dinitrophenylhydrazine)가 코팅된 실리카겔관(SKC Cat. No. 119, USA)을 사용하여 입자상물질 측정지점과 동일한 지역에서 0.5 L/분의 유량으로 6시간 이상 시료를 채취하였으며, 채취된 시료는 질소인검출기가 장착된 가스크로마토그래피를 이용하여 분석하였다(Jeong and Paik, 2005).

3) 측정대상 인자의 관리기준

사무실과 같은 실내공기의 질에 영향을 미치는 여러 인자에 대한 관리기준은 제시기관에 따라 약간의 차이는 있지만 이번 연구에서 이용한 측정인자의 관리기준은 Table 1과 같다.

III. 결과 및 고찰

1. 측정인자 수준 및 농도 분포

1) 온·습도

온도와 상대습도는 사무직 근로자들에게 열적 편안감을 주는 중요한 요인으로 이번 조사에서 오전 08:30분부터 오후 06:30분까지 1시간 간격으로 측정한 사무실들의 전체 평균온도는 24.2℃(표준편차 : 1.0℃)였으며, 상대습도의 경우는 30.8%(표준편차 : 4.6%)였다. 이번조사 경우 빌딩마다

조사시점이 달라 계절적 특성이 약간 달라졌기 때문에 4개 빌딩에 대한 전체 평균자료를 가지고 온·습도를 평가하기에는 무리가 있다고 판단된다. 따라서 완전한 동절기 기간에 측정한 B빌딩의 온·습도 측정결과를 살펴보면 온도는 평균 23.9℃(편차 : 2.0℃)로 ASHRAE(American Society of Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)의 겨울철 적정 온도 권고기준인 21~23℃ 보다는 약간 높은 수준이었고, 평균상대습도는 30.8%(표준편차 : 4.6%)로 ASHRAE에서 권고하고 있는 겨울철 습도 권고기준인 20~30%범위 내에 있었다(ASHRAE, 1992).

그러나 전체적인 평균치와는 달리 개별 사무실별로 평가하면 다른 경향을 보이는데(Figure 1), B 빌딩의 경우 온도는 'a' 사무실이나 'b' 사무실 모두 ASHRAE의 겨울철 최저 권고기준인 21℃이상이나 상대습도의 경우 'a' 사무실의 경우 1일 평균 14.3%(범위: 7.8~22.6%)로 ASHRAE의 겨울철 권고기준의 하한치 20% 미만이었으며, 'b' 사무실의 경우가 1일 평균 상대습도가 19.7%(범위: 17.6~23.9%)로 권

Table 1. Air quality guideline used in this study

Unit	Guideline	Recommend Institute
Temperature(℃)	21~23(winter) 23~26(summer)	ASHRAE ¹⁾
Relative humidity(%)	20~30(winter) 50~60(summer)	
CO ₂	1,000	ASHRAE, MOL ²⁾
CO	10	MOL
Respirable dust(μg/m ³)	150	MOL
PM ₁₀ (μg/m ³)	150	MOE ³⁾
Formaldehyde(ppm)	0.1	MOL

¹⁾ASHRAE: American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers,

²⁾MOL: Ministry of Labour in Korea, ³⁾MOE: Ministry of Environment.

Table 2. Results of temperature and relative humidity measurement

Building	N ¹⁾	Indoor				Outdoor				Survey date
		Temp(℃)		RH ²⁾ (%)		Temp(℃)		RH(%)		
		AM ³⁾	SD ⁴⁾	AM	SD	AM	SD	AM	SD	
A	3	25.7	0.7	21.7	7.9	16.2	4.9	26.3	15.2	3.29~3.31
B	20	23.9	2.0	20.7	4.3	7.3	4.8	26.6	2.4	2.18~3.15
C	10	25.7	0.6	47.3	2.5	21.8	4.0	47.7	4.5	4.20~4.22
D.	3	21.6	0.7	33.6	3.7	20.4	4.1	35.5	10.6	4.27~4.29
Total	36	24.2	1.0	30.8	4.6	16.4	4.5	34.0	8.2	2.18~4.29

¹⁾N: Number of offices surveyed in each building, ²⁾RH: Relative humidity, ³⁾AM: Arithmetic mean, ⁴⁾SD: Standard deviation.

고기준 하한치에 약간 모자라는 수준이었다. 특히 'a' 사무실의 경우 근무시간이 시작되는 9시 이후부터 사무실내의 상대습도는 점점 낮아지다가 퇴근시간(18:00)이 가까워지면서 약간 습도가 올라가긴 하지만 거의 10%미만의 매우 낮은 상대습도를 보인 매우 건조한 실내공기 상태를 보였다. 'b' 사무실이 'a' 사무실에 비해 상대적으로 약간 높은 습도를 유지한 이유는 실내에 가습기를 이용하였기 때문이었다.

실내공기 중의 습도는 다른 공기오염물질과는 달리 너무 적어도 문제가 되고 또한 너무 많아도 문제를 일으키기 쉽다. 습기가 너무 적으면 사람의 호흡기계 기관이 과잉 건조를 일으키거나, 인플루엔자 바이러스의 활성도를 높이고, 건

조한 실내에서 자주 경험하는 정전기 자극이 심히 유발되기 때문에 심한 불편감을 준다. 반면에 사무실 내에서 습도가 너무 높게 되면 곰팡이, 진드기, 세균 등 미생물의 증식을 가져오게 되고 이 또한 사무실 공기질을 오염시키기 때문에 문제가 된다. 따라서 이러한 양면성 때문에 이상적인 적정 실내습도는 50% 전후의 극히 제한적인 범위를 제안하기도 한다(이케다코우이지, 2004).

그러나 우리나라 기후 특성상 사무실내의 상대습도를 50% 전후로 유지한다는 것은 현실적으로 극히 어려운 문제이다. ASHRAE에서 권고하고 있는 겨울철 상대습도 권고기준인 20~30%도 이러한 현실적인 어려움 때문에 이상적인 적정 실내습도 범위인 50% 전후와는 상당히 낮은 상대습도 범위

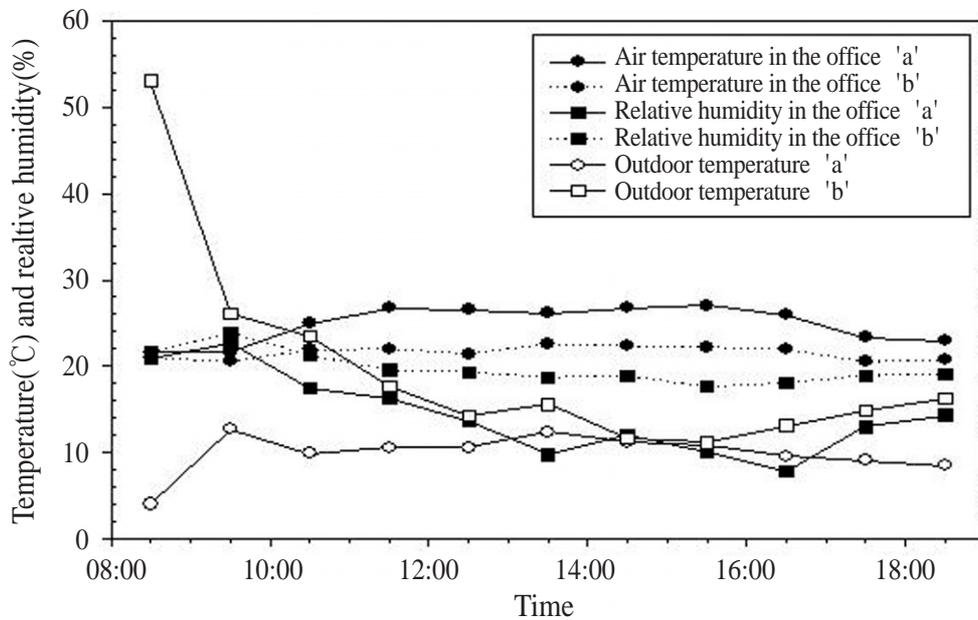


Figure 1. Changing patterns of temperature and relative humidity at offices 'a' and 'b' in commercial building B.

Table 3. Airborne CO₂ mean concentration by daytime

(Unit: ppm)

Building	N ¹⁾	L ²⁾	Time											Mean
			08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	
A	3	In	624	616	608	630	646	711	771	664	556	586	617	639
		Out	416	415	436	420	407	426	447	431	410	402	416	420
B	20	In	619	805	868	887	757	764	795	835	844	756	718	786
		Out	498	481	473	460	445	440	438	443	445	454	445	456
C	10	In	502	559	617	637	658	735	812	860	915	869	827	726
		Out	410	397	384	375	369	368	366	362	362	363	358	374
D	3	In	547	557	592	578	508	697	758	666	731	802	629	648
		Out	393	405	401	398	392	384	379	359	377	396	385	388

¹⁾N: Number of offices surveyed in each building, ²⁾L: Location.

를 제시하고 있다. 그러나 실내에서 상대습도가 30% 미만으로 떨어지면 피부 점막의 건조함을 야기하기 때문에 NIOSH의 경우 실내에서 최소한 상대습도를 30% 이상 유지토록 권고하고 있다는 점을 고려해보면(NIOSH and EPA, 1991), 이번 조사대상 빌딩 중 A와 B 빌딩 소재 사무실에 근무하고 있는 근로자들 경우 습도에 관한 많은 불편함을 느끼지 않았나 판단된다. 특히 조사대상 모든 빌딩이 온도 경우 상대적으로 ASHRAE 기준 보다는 약간 높게 유지하고 있는 경우가 많은데 이는 실내 상대습도를 더욱 낮추는 원인으로 작용했을 것으로 보인다.

2) 이산화탄소

이산화탄소 경우 사무실과 같은 실내에서는 다른 오염물질의 축적정도를 파악할 수 있는 지표물질로 사용되기 때문에 실내에서 이산화탄소 농도를 측정하는 것은 매우 중요한 의미를 지닌다.

이번 조사결과를 보면(Table 3) 조사대상 4개 빌딩 소재 사무실들의 이산화탄소 평균농도 수준은 639~786ppm으로 1일 평균농도에 있어서는 전형적인 사무실 내의 이산화탄소농도(600~800 ppm)수준이었고, 사무실 측정 시 동시에 측정할 옥외에서의 1일 측정치 평균농도는 374~456ppm으로 일반적인 대기 중의 이산화탄소 농도(300~400ppm) 보다는 약간 높은 수준을 보였다.

사무실 등 실내에서 이산화탄소의 주요발생원은 불완전 연소 시설물이나 실내에 있는 사람들의 호흡 시 배출되는 이

산화탄소가 주요 발생원이다. 실내에 있어서 이산화탄소농도 기준을 제시하고 있는 국내외 기관들의 기준치는 거의 모든 기관이 1,000ppm을 제시하고 있는데 그 근거가 되는 것이 ASHRAE 기준이다(ASHRAE, 2001).

ASHRAE에서 제시하고 있는 이산화탄소 기준은 이 기준 이하로 유지하면 실내에 존재하는 유해한 오염물질의 농도가 사람에게 유해한 수준이상으로 존재하지 않는 상태에서 근로자 대부분이 만족할 수 있다고 믿는 기준이다. 이 기준은 사무실 내에 근무하는 근로자당 적정한 실외공기를 공급하면 사무실 공기 중의 이산화탄소 농도를 항상 1,000 ppm 이하로 유지할 수 있다는 의미이다. 따라서 사무실 내에서 실내공기오염 지표물질로 사용되는 이산화탄소의 실내공기질 기준은 시간가중평균 개념이 아닌 최고노출치(Ceiling) 개념에서 해석되어야 한다고 본다. 산업안전보건법의 '사무실 오염으로 인한 건강장해예방 보건규칙편'에서 규정한 이산화탄소에 대한 관리기준은 8시간 시간 가중평균으로서 1,000ppm을 제시하고 있다. 이 기준을 적용시 이번 조사대상 사무실들 중 관리기준을 초과한 사무실은 한곳도 없는 것으로 나타났다. 그러나 사무실의 1일 측정치중 최고치 농도로 평가해보면 A 빌딩의 경우 3개 사무실 중 1곳, B 빌딩의 경우는 20개 사무실중 10개 사무실, D 빌딩의 경우는 3개 사무실 중 1개 사무실이 1,000ppm을 초과한 것으로 나타났으며, C 빌딩 소재 10개 사무실은 모두 1,000ppm 미만으로 나타났다(Figure 2).

Figure 3은 조사대상 사무실들의 1일 동안 시간대별 이산화

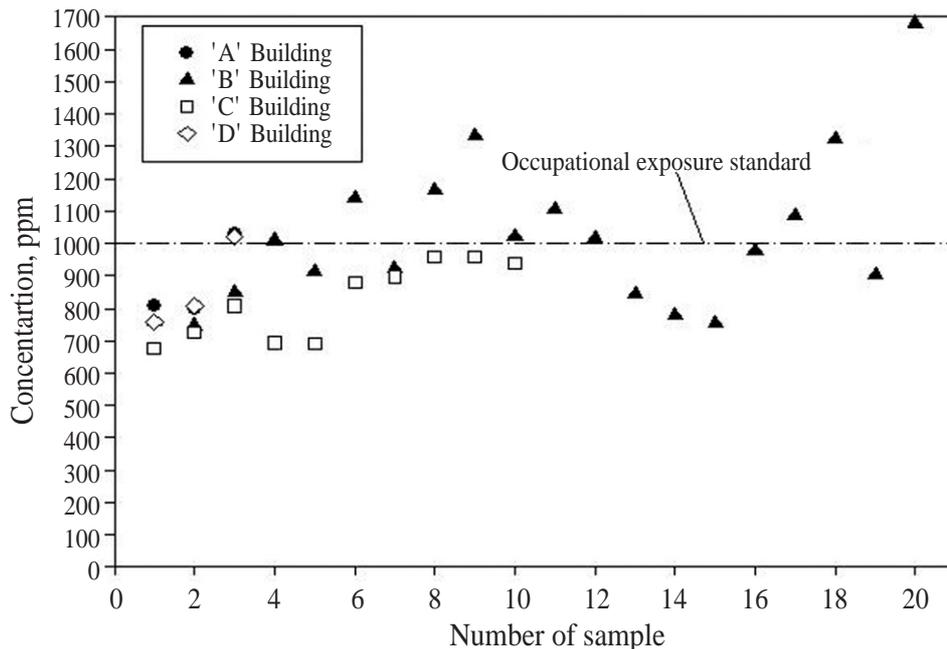


Figure 2. Distribution of the ceiling CO₂ concentration in offices.

탄소 농도변화 패턴을 보여주고 있는 그림이다. 옥외 경우 약 400 ppm 정도에서 시간에 따른 변화가 별로 없이 일정한 반면 사무실 경우 오전 11시 전후와 17시 전후로 이산화탄소 농도가 높게 나타나는데 이는 사무실에서 전형적인 이산화탄소 농도변화 패턴과 유사하였다(ASHRAE, 2003). 빌딩마다 약간 다른 패턴을 보인 이유는 각 빌딩의 실내공조 설비 운용조건과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

3) 일산화탄소

실내에서 주요발생원은 각종 개방형 연소기구, 그리고 흡

연을 들 수 있으며, 이와 함께 도로에 인접한 건물 경우 자동차 배기가스에 의한 일산화탄소도 영향을 미치며, 주차장이 설치된 빌딩의 경우도 자동차 배기가스가 적절히 배기되지 않는다면 실내의 일산화탄소 농도에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이번 조사결과 일산화탄소 1일 평균농도는 A 사무실 2.3 ppm(옥외 : 1.9 ppm), B 사무실 2.1 ppm(옥외 : 2.3 ppm), C 사무실 3.8 ppm(옥외 : 3.0 ppm), 그리고 D 사무실 2.3 ppm(옥외 : 2.3 ppm)으로 나타났다.

조사대상 모든 사무실이 현재 산업안전보건법에서 규정한 일산화탄소 관리기준인 10 ppm을 초과한 사무실은 없는 것

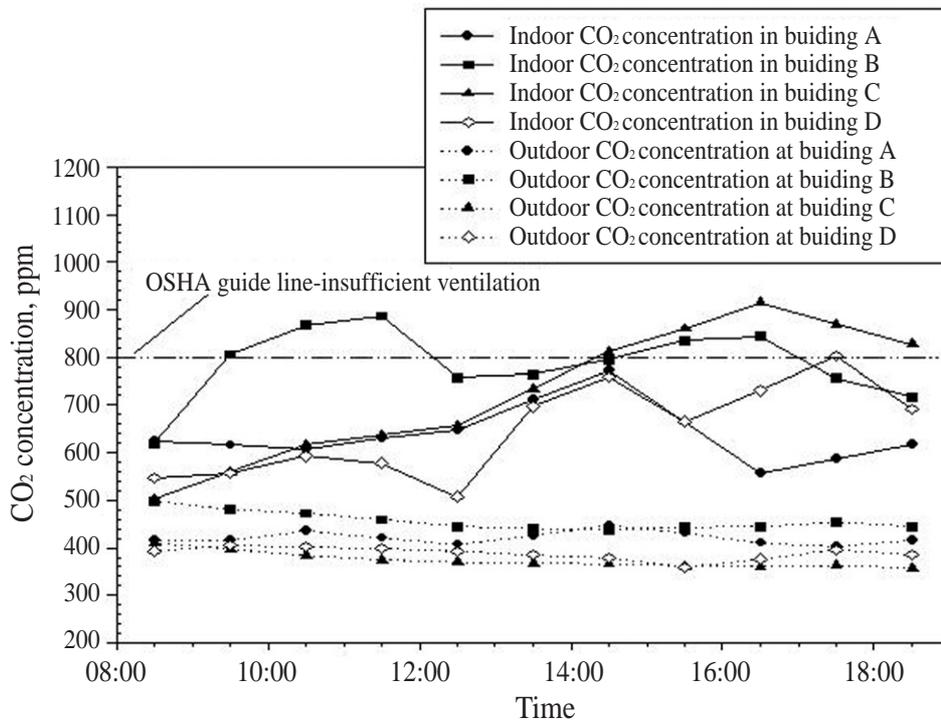


Figure 3. Changing pattern of CO₂ at daytime in offices.

Table 4. Airborne CO mean concentration by daytime

(Unit: ppm)

Building	N ¹⁾	L ²⁾	Time											Mean
			08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	
A	3	In	3.2	2.9	2.8	2.5	2.3	2.3	2.3	2.0	1.6	1.6	1.6	2.3
		Out	4.1	3.1	1.9	1.8	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.9
B	20	In	2.5	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.8	1.8	1.8	2.3	2.4	2.1
		Out	3.1	2.7	2.4	2.3	2.1	2.1	1.9	2.2	2.0	2.2	2.8	2.3
C	10	In	4.1	4.0	4.0	3.5	3.1	3.2	3.2	3.4	3.5	4.7	4.6	3.8
		Out	3.9	3.3	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	3.3	3.0
D	3	In	2.8	2.5	2.4	2.6	2.4	3.3	2.5	2.8	2.8	3.8	6.2	2.3
		Out	2.8	2.5	1.9	2.3	1.6	1.7	1.8	1.9	3.4	2.6	2.9	2.3

¹⁾N: Number of offices surveyed in each building, ²⁾L: Location.

으로 나타났다(노동부, 2006). 일반적으로 실내에서 일산화탄소 농도가 5 ppm을 초과하면 옥외로 적절히 배기되지 못하고 있는 연소 오염물질이 존재한다는 의미이다(Alberta, 2003). 이번 조사대상 사무실들의 경우 모든 지점에서 일산화탄소 농도는 5 ppm 미만이었으며, 현장조사 당시 역시 실내에서 연소기구를 사용하는 사무실은 한 군데도 없었다. 이번조사 결과는 1997년 일본 후생성(이케다코우이치, 2004)이 업무용빌딩을 대상으로 실시한 측정결과(기하평균 : 1.2 ppm, 범위 : 0.3~3.0 ppm)와 뉴욕소재 136개의 업무용빌딩의 사무실을 상대로 조사한 결과(기하평균 : 2.6 ppm, 범위 : 0.2

~10.3 ppm)와 비슷한 양상을 보였다(Springston et al, 2002).

4) 호흡성 분진, 미세먼지

이번조사에서 측정된 사무실 내의 호흡성분진과 미세먼지 농도분포를 평가한 결과 Figure 4에서 보는 바와 같이 대수정규분포 하는 것으로 평가되었다.

호흡성분진에 대한 조사대상 사무실의 8시간 시간가중평균농도 평가결과 A 빌딩 소재 사무실들의 평균이 기하평균값으로 20.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준편차 : 1.3), B 빌딩 소재 사무실은 42.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준편차 : 1.8), C 빌딩 소재 사무실은 31.9 μg

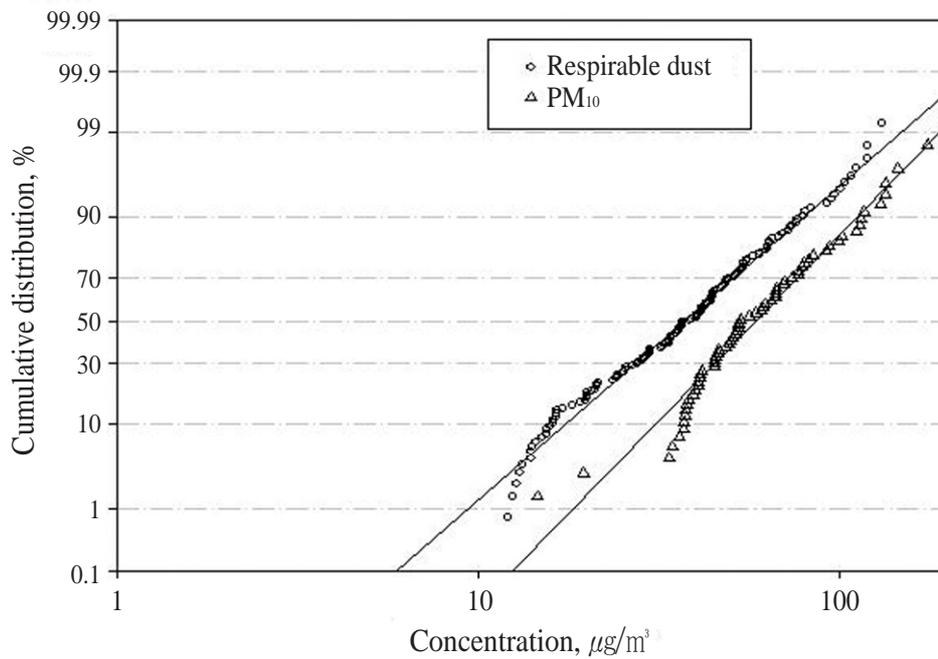


Figure 4. Airborne concentration distributions of respirable dust and PM₁₀.

Table 5. Airborne Respirable dust and PM₁₀ concentration

Building	Location	Respirable($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		N ¹⁾	GM ²⁾	GSD ³⁾	N	GM	GSD
A	Indoor	10	20.3	1.3	5	39.9	1.1
	Outdoor	3	59.5	1.4	2	185.3	1.0
B	Indoor	89	42.4	1.8	41	62.3	1.7
	Outdoor	18	50.3	1.9	18	95.9	2.0
C	Indoor	24	31.9	1.7	15	62.6	1.5
	Outdoor	9	43.9	1.7	5	100.7	1.4
D	Indoor	11	29.2	1.4	5	46.1	1.1
	Outdoor	3	34.5	1.1	2	47.7	1.1
Total	Indoor	134	37.0	1.8	66	58.9	1.6
	Outdoor	33	47.6	1.7	27	96.5	1.9

¹⁾N: Number of samples, ²⁾GM: Geometric mean, ³⁾GSD: Geometric standard deviation.

/m³(기하표준편차 : 1.7), 그리고 D 빌딩 소재 사무실은 29.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준편차 : 1.4)로 모두 산업안전보건법에서 규정한 관리기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만으로 평가되었다. 산업안전보건법에서는 미규정되어 있지만 환경부등 국내·외 실내공기질 관리기준에 설정되어 있는 미세먼지에 대한 측정결과 A 빌딩 소재 사무실들의 평균은 기하평균값으로 39.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준편차 : 1.1), B 빌딩 소재 사무실은 62.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준

편차 : 1.7) C 빌딩 소재 사무실은 62.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준편차 : 1.5), 그리고 D 빌딩 소재 사무실은 46.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하표준편차 : 1.1)로 평균농도에 있어서는 미세먼지 역시 관리기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만으로 평가되었다.

사무실과 옥외에서의 측정결과를 비교해 보면 전체적으로 호흡성분진은 사무실 농도가 옥외 농도의 77.7%였으며, 미세분진은 61.0%로 나타났다.

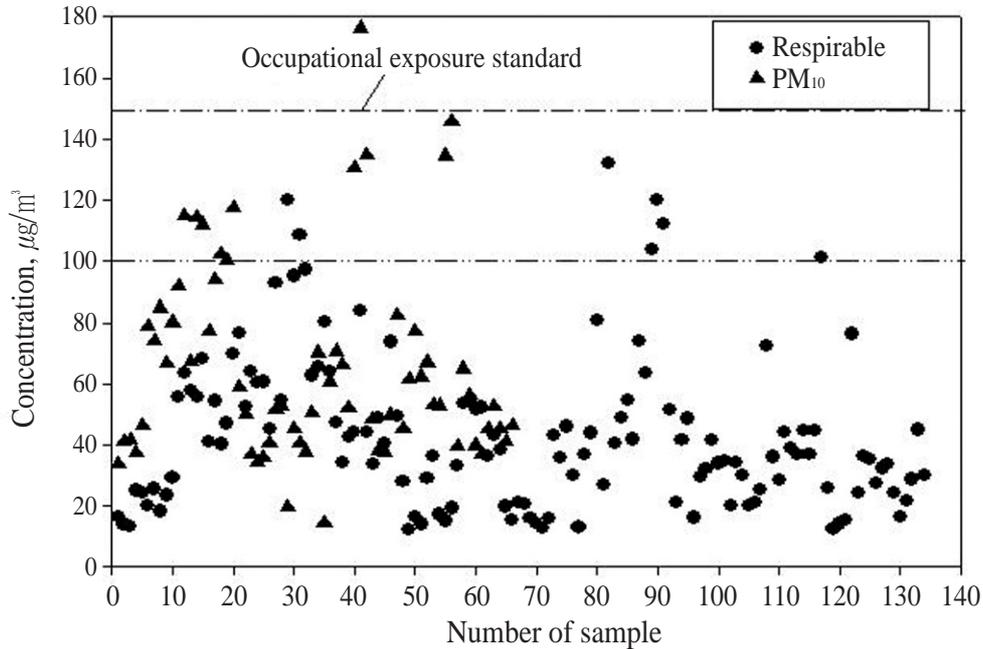


Figure 5. Distribution of airborne respirable dust and PM₁₀ concentration.

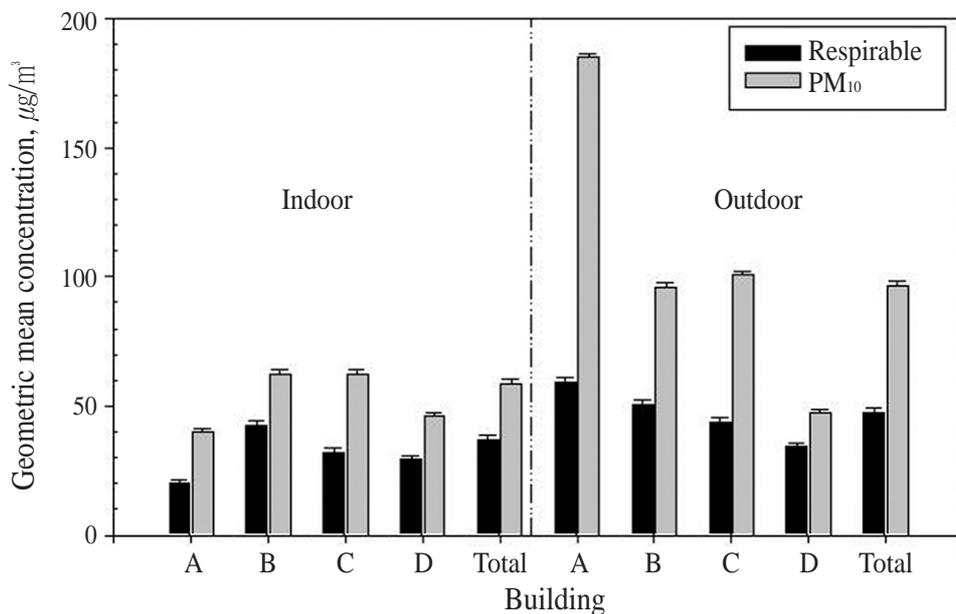


Figure 6. Comparison of airborne respirable dust and PM₁₀ at indoor and outdoor.

Figure 5는 사무실에 측정된 134개의 호흡성분진 측정치(8시간 시간가중평균치)와 66개의 미세먼지 측정치(8시간 시간가중평균치)의 분포도를 나타낸 것이다. 호흡성분진의 경우 관리기준($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)를 초과한 시료는 하나도 없었으나 미세먼지는 1건의 시료가 관리기준($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 것으로 나타났다. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 호흡성분진 시료는 전체 134개중 7개로 5.4%였으며, 미세분진은 전체 66개 시료 중 11개로 16.4%였다.

이번 조사 시 호흡성분진과 미세분진은 측정지점 및 시간이 동일하였기 때문에 각 시료채취기로 채취되는 공기 중 먼지의 입경별 분포는 모두 동일한 모집단이라 추정할 수 있으며, 따라서 이들 동일 모집단에서의 측정된 호흡성분진과 미세먼지의 측정결과는 직접비교가 가능하다고 판단된다. Figure 6에서 제시한 결과를 보면 A 빌딩 사무실의 호흡성분진 농도는 미세먼지 농도의 50.8%, B 빌딩 사무실은 68.1%, C 빌딩 사무실은 51.0%, 그리고 D 빌딩 사무실은 63.3%였으며, 4개 빌딩 사무실 전체로 보았을 때는 62.8%였다.

5) 포름알데히드

포름알데히드는 무색의 자극성 냄새를 갖는 수용성 가스로서 사무실에서 주요 발생원은 단열재, 실내가구, 칠, 각종 연기구의 연소가스, 접착제, 생활용품 및 흡연시 발생하게 된다(Godish, 2001). 포름알데히드는 우리나라 노동부 및 미국 산업위생전문가협회(ACGIH)에서는 발암성 추정물질로, 그리고 미국산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 발암성물질로 분류한 물질이다(노동부, 2002; ACGIH, 2006; NIOSH, 2005).

이번 조사에서 4개 빌딩 36개 사무실에서 총 151개의 포름알데히드 시료를 채취하였으며, 공기 중 농도분포를 알기위해 유의수준 5%에서 실시한 Shapiro & Wilk 검정결과 대수정규분포 하는 것으로 나타났다($p>0.05$). 사무실에서 측정된 모든 시료의 8시간 시간가중평균 값은 0.032 ppm(기하평균)이었고 옥외의 경우 전체 42개 시료를 채취하여 평가한 결과 0.007 ppm(기하평균)으로 실내가 옥외보다 4.6배 정도 높게 나타났으나 평균농도가 현행 산업안전보건법의 포름알데히드에 대한 사무실 관리기준인 0.1 ppm을 초과하지는 않았다.

Figure 7은 이번조사에서 측정된 총 193개(사무실내 : 151, 실외 : 42)의 포름알데히드 측정치 분포도를 나타낸 것으로 사무실내에서 측정된 151개의 시료 중 포름알데히드 관리기준(0.1 ppm)을 초과한 시료는 약 2%인 3개로 평가되었다.

조사대상 빌딩간 사무실에서 포름알데히드 측정치 평균을 보면 A 빌딩 사무실이 0.023 ppm, B 빌딩 사무실이 0.027 ppm, C 빌딩 사무실이 0.075 ppm, 그리고 D 빌딩 사무실이 0.029 ppm으로 A, C, D 빌딩 사무실의 포름알데히드 농도가 비슷하였으나, C빌딩 사무실은 다른 빌딩 사무실들에 비해 약 3배 정도 높게 나타났다. 사무실내에서 포름알데히드 농도에 영향을 미치는 요인으로는 첫 번째로는 포름알데히드 발생원의 발생량과 실내 환기율에 따라 차이가 나며, 온도가 증가할수록, 그리고 습도가 증가 할수록 발생원에서 포름알데히드 발생량이 증가하게 된다고 한다(Alberta, 2003). 따라서 C 빌딩 경우 평가당일 온도에 있어서는 다른 빌딩과 별 차이가 없었지만 습도의 경우 약 25% 정도 높았고, 또한 C 빌딩 사무실이 백화점 소재 사무실로 다른 빌딩에 비해 포름알데히드 발생원이 많았기 때문에 농도가 높았다고 판단된다.

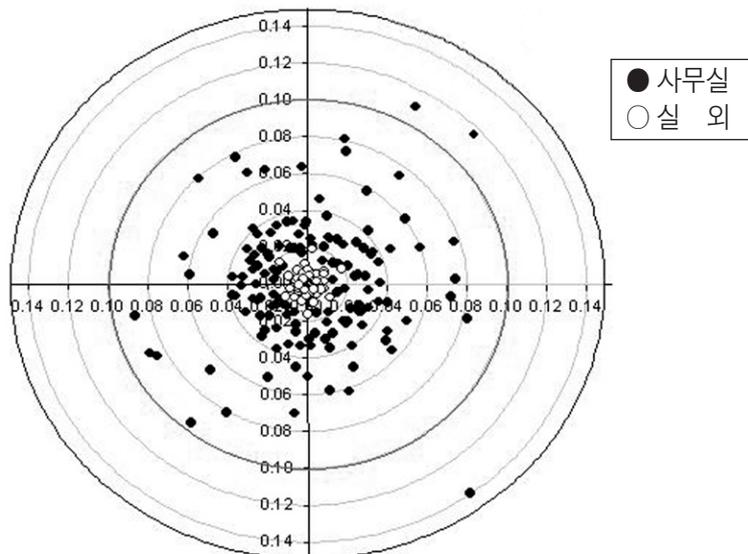


Figure 7. Distribution of airborne formaldehyde concentration.

2. 오염물질 농도 간의 상관관계

Table 7은 사무실에서 측정된 이산화탄소, 일산화탄소, 호흡성분진, 미세먼지, 그리고 포름알데히드 농도간의 상관관계를 본 것이다. 비교대상 측정치들은 동일한 시간대에 동일한 지점에서 측정된 55 쌍의 측정자료를 가지고 분석한 것이다. 분석결과 호흡성분진과 미세먼지 간에는 Pearson 상관계수가 0.754로 매우 유의한 상관관계를 보였으며(p<0.01), 이산화탄소 농도와 호흡성분진 및 포름알데히드 농도 간의 상관계수 값은 각각 0.454와 0.401로 어느 정도 관련성이 있는

것으로 평가되었으나 통계적 유의성이 있는 것은 이산화탄소 농도와 포름알데히드 농도였다(p<0.01). 일산화탄소와 다른 오염물질들 간에는 양의 상관관계가 있었으나 매우 약했고 또한 통계적 유의성은 없는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 각 오염물질들의 발생원 특성에 기인한 것으로 보인다. 즉, 이번 현장 조사사무실의 일산화탄소의 발생원은 주로 사무실 외부 요인에 기인한 반면 다른 요인은 그 발생원이 내부이거나 또는 외부에 동시에 존재하기 때문인 것으로 보인다.

Table 8은 사무실과 동일한 시간대에 옥외에서 측정된 자

Table 6. Formaldehyde concentration

Building	Location	Concentration(ppm)		
		N ¹⁾	GM ²⁾	GSD ³⁾
A	Indoor	14	0.023	1.64
	Outdoor	3	0.004	1.32
B	Indoor	96	0.027	1.77
	Outdoor	27	0.009	1.51
C	Indoor	29	0.075	1.37
	Outdoor	9	0.006	1.35
D	Indoor	122	0.029	1.15
	Outdoor	3	0.004	1.12
Total	Indoor	151	0.032	1.91
	Outdoor	42	0.007	1.63

¹⁾N: Number of samples, ²⁾GM: Geometric mean, ³⁾GSD: Geometric standard deviation.

Table 7. Correlation analysis of pollutants concentration at indoor

	CO ₂	CO	Respirable dust	PM ₁₀	Formaldehyde
CO ₂	1.0				
CO	0.102	1.0			
Respirable dust	0.454	0.096	1.0		
PM ₁₀	0.398	0.203	0.754**	1.0	
Formaldehyde	0.401**	0.107	0.107	0.209	1.0

** : p<0.01.

Table 8. Correlation analysis of pollutants concentration between indoor and outdoor

Indoor	Outdoor	CO ₂	CO	Respirable	PM ₁₀	Formaldehyde
CO ₂		-0.150	-0.102	-0.174	-0.167	0.401
CO		0.253	0.304*	0.205	0.212	0.312
Respirable		0.123	0.201	0.482*	0.440*	0.464*
PM ₁₀		0.154	0.196	0.520**	0.523**	0.655*
Formaldehyde		0.123	0.098	0.330*	0.069	0.110

** : p<0.01, * : p<0.05.

료를 가지고 실내와 실외의 각 측정항목 간에 상관관계를 본 것이다. 옥외 경우 동일날짜에 측정된 시료는 3개였기 때문에 3개 시료를 평균한 값을 실외 대표농도로 보고 동일 날짜의 실내측정 값에 이 평균농도를 대비시켜 상관분석을 실시하였다.

상관분석결과 이산화탄소 농도는 유의한 양의 상관관계가 없는 것으로 나타나 발생원이 실내에 있음을 말해주고 있으며, 일산화탄소 경우 양의 상관성이 약하긴 하지만 통계적 유의성이 있는 것으로 나타나 실내 일산화탄소 농도가 실외 농도에 어느 정도 영향을 받고 있음을 말해 주었다. 이번 조사대상 사무실에 대한 현장조사에 있어서도 사무실 내에 연소기구 등 일산화탄소의 특별한 발생원은 없었으며, 사무실 내의 일산화탄소 농도는 도로 또는 주차장의 자동차 배기가스 영향이 큰 것으로 파악되었다. 호흡성분진과 미세먼지 경우 모두 실내와 실외의 농도 간에는 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다. 이는 실외의 먼지농도가 사무실 내의 농도에 영향을 미치고 있음을 의미하는데, 주 원인이 실내공조시스템의 운용상의 문제인지에 대해서는 추가 연구가 필요한 부분으로 판단된다. 포름알데히드 경우 사무실내와 실외의 농도 간에는 유의성이 없어 실내에 포름알데히드 발생원이 있음을 상관분석을 통해서도 확인 할 수 있었다.

IV. 결론

서울, 인천, 광주 및 부산지역에 소재한 업무용 빌딩 내의 사무실을 대상으로 동절기(2월~4월)에 사무실 공기질 평가를 실시하여 도출한 이번 연구의 주요결과는 다음과 같다.

1. 온도 경우 ASHRAE에서 권고하고 있는 기준(겨울철: 21~23°C)보다는 약간 높게 유지되고 있는 사무실이 많았으며, 습도 경우 실내공조기를 통한 습도조절을 하고 있는 사무실은 한군데도 없고 모두 외기 습도에 의존하고 있었기 때문에 외기습도가 낮아지는 기간의 경우 실내습도는 ASHRAE 권고기준(겨울철:20~30%) 보다 낮은 건조한 상태로 사무실공기질의 쾌적성에 부정적인 영향을 미치고 있는 것으로 평가되었다.
2. 이산화탄소 경우 1일 8시간 시간가중평균으로 평가 시 사무실 이산화탄소 농도수준은 639~786 ppm으로 관리기준 1,000 ppm을 초과한 곳은 없었으나, 최고노출치로 평가 시는 총 36개 사무실 중 33.3%인 12개 사무실이 1,000 ppm을 초과하고 있는 것으로 평가되었다.
3. 일산화탄소에 대한 평가결과 대부분의 사무실은 3 ppm 내외로 일본에서 특정건축물을 대상으로 실시한 평가결과와

비슷한 수준이었으며, 사무실 내에 일산화탄소의 특별한 발생원(불완전 연소기구등)은 없는 것으로 평가되었고, 주로 사무실 내의 일산화탄소 농도는 도로변의 자동차 배기가스 및 건물 내의 주차장에서 배출되는 일산화탄소 농도에 영향을 받는 것으로 평가되었다.

4. 호흡성분진에 대한 평가결과 산업안전보건법의 관리기준인 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하고 있는 사무실은 없는 것으로 평가되었으며, 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 시료는 전체 134개중 5.4%인 7개 시료였고, 사무실 내의 농도는 옥외농도의 77.7% 수준으로 평가되었다. 호흡성분진 농도는 미세먼지 농도의 62.8% 수준이었다.

5. 포름알데히드 경우 총 193개의 측정시료 전체 평균농도는 0.032 ppm이었고 전체시료 중 약 2%인 3개 시료가 관리기준인 0.1 ppm을 초과한 것으로 평가되었다. 현 노출정도는 발암성을 제외하고 평가하면 눈과 같은 점막에 자극을 줄 수도 있는 수준으로 평가되었다.

6. 사무실 내에서 각 오염물질들 간의 상관분석결과 호흡성분진과 미세먼지, 그리고 이산화탄소 농도와 포름알데히드 농도 간에만 통계적으로 유의한 상관성을 보였다. 특히, 호흡성분진 농도와 미세먼지 농도 간에는 높은 상관성(상관계수: 0.754)이 있는 것으로 나타났다. 각 오염물질의 사무실 내와 실외 농도 간에 상관분석결과 이산화탄소와 포름알데히드를 제외한 일산화탄소, 호흡성분진, 그리고 미세먼지는 통계적으로 유의한 상관성을 나타냈다.

REFERENCES

건설교통부. 주차장법. 건설교통부, 2004.
 건설교통부. 건설교통 통계연보 2002. Available from <http://www.moct.go.kr>, 2006.
 교육인적자원부. 학교보건법. 교육인적자원부, 2004.
 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고시 제 2002-8호). 노동부, 2002.
 노동부. 산업안전보건법. 노동부, 2006.
 보건복지부. 공중위생관리법. 보건복지부, 2004.
 이케다코우이치. 실내공기오염의 원인과 대책. (주)수도프 리미엠펜지니어링출판부, p15-86, 2004.
 환경부. 다중이용시설등에 관한 실내공기질관리법. 환경부, 2003.
 후생노동성. 노동안전위생법. 노동조사회, 2001.
 한국산업안전공단. KOSHA Code A-1-2004. 한국산업안전공단, 2004.

- Alberta. Indoor air quality guideline. Alberta Infrastructure, 2003.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold Limit Value for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. ACGIH, 2006.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE). ASHRAE 55-1992, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, ASHRAE, INC, 1992.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers ASHRAE). ASHRAE 62-2001, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, ASHRAE, INC, 2001.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE). 2003 ASHRAE handbook-HVAC application. Atlanta, ASHRAE, INC, 2003.
- Energy Information Administration(EIA). 1999 Commercial buildings energy consumption survey. Available from <http://www.eia.doe.gov/emeu/cbecs/char99/intro.html>, 2004.
- Godish, T. Indoor environmental quality. CRC press, Florida, p267-280, 2001.
- Jeong, JY and Paik, NW. Laboratory and Field Validation of the GC-NPD Method for the Measurement of Formaldehyde in the workplace. J Occup Env Hyg 2005;2(4):244-250.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) and Environmental Protection Agency(EPA). Building air quality. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1991.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket guide to chemical hazard. DHHS(NIOSH) Pub. No. 97-140, NIOSH, 2005.
- Occupational Safety and Health Administration(OSHA). Indoor air quality-59 :15968-16039. OSHA, Available from:URL: <http://www.osha.gov/pls/oshaweb>, 1994.
- Springston, JP, Esposito,WA. Cleverly, KW. Baseline indoor air quality measurements collected from 136 metropolitan new york region commercial office buildings between 1997-1999. AIHA J, 1997;63:354-360.
- Terr, AI. Multiple chemical syndrome; In indoor air pollution and Health. Bardana, E. J., and Montanaro, A. editors. Marcel Dekker Inc., New York, p267-280, 1996.
- Woods, JE, Cone, JE, Hodgson, MJ. Problem building; building associated illness and sick building syndrome. Occup. Med. State Art Rev, 1989;4:753-770.