

일부지역의 실내공기오염도와 건강에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Indoor Air Pollution Level and Its Health Significance in Working and Living Spaces

신동천 · 이효민¹⁾ · 김종만¹⁾ · 정 용

연세대학교 의과대학 예방의학 교실 및 ¹⁾환경공해연구소
(원고접수: 1990. 3. 2)

Dong-Chun Shin, Hyo-Min Lee¹⁾, Jong-Man Kim¹⁾, Yong Chung

Department of Preventive Medicine and Public Health, Yonsei University College of Medicine

¹⁾The Institute for Environmental Research, Yonsei University

(Received 2 March 1990)

Abstract

The study was carried out to investigate the extent of indoor air pollution in living rooms of apartment houses(residential area) and offices(traffic area A : no smoking space, B : smoking space) in Seoul and to determine the health significance of indoor air pollution.

Indoor and outdoor concentrations of major air pollutants were observed simultaneously from February 13 to 17, and July 24 to 28, 1988.

The concentrations of carbon monoxide(CO), nitrogen oxides(NO_x), sulfur dioxide(SO₂), carbon dioxide(CO₂) and total suspended particulate(TSP) in living room and offices were measured and the results were summarized as follows :

1. Both in summer and in winter, the indoor concentrations of CO, CO₂, and TSP in offices were higher than the outdoor concentrations, on the other hand, SO₂ was higher in the outdoors and NO_x was lower than the outdoor concentration only in office A where smoking is not permitted.
2. The indoor and outdoor pollution of offices in winter was significantly higher than that in summer, and the concentrations of CO, NO_x and SO₂ in indoor and outdoor air in living room in winter were also higher than those in summer.

These results suggest that indoor levels of air pollutants are affected by smoking and winter heating systems.

1. 서 론

도시의 대기오염 악화 뿐만아니라 동절기와 하절기에 난방과 냉방에 쓰여지는 에너지의 절감

효율을 높이기 위하여 실내를 밀폐하는데서 인하는 실내 공기오염의 심화로 선진 구미 각국에서는 70년대를 전후하여 이미 몇몇 오염물질의 농도가 실외에서 보다 실내에서 높게 나타남을 입증하여 실내 공기오염이 인체에 미

치는 건강장해 및 공중보건학적 문제에 대하여 관심을 집중하고 있는 실정이다.

현대인의 대부분이 하루중 80% 이상의 시간을 실내에서 생활하고 있으며 특히 어린이나 노약자, 병약자들의 경우 대부분의 시간을 실내에서 보내고 있으므로 실내 공기오염이 인체에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다.¹⁾ 이러한 실내공기의 상태는 일차적으로 외부공기의 영향을 받게 되고 이차적으로는 담배연기, 스토브, 오븐, 시멘트, 건축자재, 페인트 및 벽면의 입자상 물질 등과 같은 실내오염원으로부터 영향을 받아 오염상태가 심해진다.

즉 대도시의 외부공기는 인구와 산업시설의 증가 그리고 교통량의 팽창으로 인하여 오염되어 있으므로 여기에 실내오염이 가중된다면 실외 및 실내공기오염으로 인한 인체 위해성은 더 커지리라 생각된다. 건강에 영향을 미치는 실내 공기오염물질로서는 carbon monoxide (CO), nitrogen oxides(NO_x), 담배연기 성분들, 부유분진(totoal suspended particulates(TSP)와 respirable particles(RP)), sulfur oxides(SO_x), hydrocarbons, lead, asbestos, formaldehyde (HCHO), ozone(O₃) 및 radon(Rn⁻²²²) 등이 포함되고 있으며 carbon dioxide(CO₂), odor-causing chemicals 등이 또한 관심의 대상이 되고 있다.

실내공기오염의 중요성을 감안할 때 오염으로 인한 인체의 건강피해를 대기오염만으로 평가해서는 안되고 실내 공기오염도와 함께 총괄

적으로 평가하여야 한다. 따라서 실내 공기오염에 의한 건강위해도 평가에 근거하여 우리나라 실정에 맞는 실내공기오염 기준의 설정이 가능하게 되면 기준치에 적합한 실내 환경유지를 위한 대책이 마련될 수 있을 것이다.

최근 미국을 비롯해 유럽 여러나라에서는 실내에서 발생하는 polycyclic aromatic hydrocarbons, arsenic, nicotine, acrolein 이외에도 각종 돌연변이원성 물질과 발암성물질을 생성하는 유력한 실내 공기오염원이 담배연기임을 밝혀 흡연에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.

본 연구에서는 일반적인 현대인의 생활공간에서 실내 공기오염의 주원인이 되는 흡연을 고려하여 담배를 피우는 일반 사무실과 담배를 피우지 않는 일반 사무실을 대상으로 하여 그리고 주거지역으로 대표적인 아파트 실내를 택하여 오염도를 측정하고 또한 일정 실내공간에서 흡연과 환기가 실내 공기오염에 미치는 영향을 관찰하였으며 각 측정지점에서의 실외 환경조사를 동시에 실시하여 그 오염도를 비교 평가하였다.

2. 연구방법

2.1 측정지점 및 항목

일반 사무실로는 서울시에서 교통혼잡지역인 신촌지역의 중류층 근로자가 근무하는 모병원 내의 사무실 2지점을 정하여 측정하였으며, 주

Table 1. Indoor experimental conditions in offices and apartment house.

Sites	Conditions	Number of window	Total size of window(m ²)	Number of ventilation fan	Total size of ventilation fan(m ²)
	Space(m ³)				
Office A	306	9	15.66	2	0.12
Office B	286	9	15.30	2	0.12
Living room	165	1	7.62	1	0.11

Sites	Conditions	Number of persons		Smoking persons	Amount of smoking (cigarettes/hr x persons)
		Ventilation, Air Changes (mins/hr)	man		
Office A		10-15	12	3	-
Office B		6-11	12	1	5
Living room		5-10	4	2	3

거지역으로는 불광동의 전형적인 주거지역내 모아파트 1층을 선정하여 아파트 실내의 오염도를 측정하였다. 각 측정지점 모두 인위적인 환기는 하지 않았으며 자연스러운 환기조건을 유지한 상태로 측정하였다. 사무실의 경우 실내 공기오염원의 주요원인으로 추정되는 담배연기의 영향여부를 알아보기 위하여 두지점의 사무실을 흡연이 허용되지 않는 사무실 A와 흡연이 허용되는 사무실 B로 구분하여 측정하였으며 사무실의 실내공기 비교지점은 그 건물의 현관으로 정하였다.

주거지역인 아파트에서는 가족들의 주요 생활공간인 거실을 대상으로 측정하였으며 아파트 실내의 주요 오염원으로서는 전기스토브, 가스렌지, 흡연 등이 있었고 아파트 실내의 비교지점으로는 아파트 현관을 정하였다.

사무실 A와 B는 흡연이외에 되도록 모든 조건이 동일한 공간을 택했으며, 중앙난방을 하고 있었으므로 스토브와 같은 난방기구 등의 기타 오염원은 배제할 수 있었고 교통혼잡지역의 사무실이기는 하나 주요 간선도로(10차선)에서 20m 이상 떨어진 곳이었다. 사무실과 아파트 모두 실내원들에 의한 자연적인 환기를 하고 있었고 환기량은 매시간마다 환풍기 가동시간을 측정하여 평균값을 구한 것이며 동절기 모두 중앙 냉·난방을 하고 있었으므로 창문을 통한 환기는 거의 없었고 아파트의 경우는 여름철에 창문을 통한 환기를 자연스럽게 한 상태로 측정하였다.

사무실과 아파트의 실내 공기오염도 측정시기 및 기간은 동절기에는 1989년 2월 13일부

터 17일까지 매일 09시부터 17시까지 1일 8시간씩 5회 행해졌으며 하절기에는 1989년 7월 24일부터 7월 28일까지 역시 매일 09시부터 17시까지 1일 8시간씩 5회 행해졌다. 따라서 CO, NO_x, SO₂, CO₂ 및 TSP 각 항목마다 총 40개의 자료를 얻었다.

실내 공기오염물질의 측정과 함께 실내외의 기후조건 즉 기류 및 습도는 각각 kata 한란계와 아스만 건·습구 통풍 온도계를 이용하여 측정·산출하였으며 실험시 사무실과 아파트 및 습도와 기류조건은 표 2와 같았다.

2.2 실험방법

CO는 검지관 펌프(unico 400)를 이용하여 검지관에 흡수시켰으며 채취시간은 4분(2 stroke)으로 하였다.

NO_x는 air sampler를 이용하여 시료대기를 1.5L/min의 평균유량으로 흡수액(수산화나트륨 용액)에 흡수시켜 채취하였으며 채취시간은 50분씩으로 하였다. 농도분석은 환경오염공정시험법²⁾의 야콥스호호하이저법에 준하여 측정하였다.

SO₂는 air sampler를 이용하여 시료대기를 평균 1.5L/min의 유량으로 흡수액(0.04 M TCM, 용액)에 흡수시켜 채취하였으며 채취시간은 50분씩하였다. 농도분석은 환경오염공정시험법²⁾의 파라로자닐린법에 준하여 측정하였다.

CO₂는 검지관펌프(unico 400)를 이용하여 검지관에 흡수시켰으며 채취시간은 3분(1

Table 2. Seasonal climate conditons of each site.

Sites	Summer		Winter	
	humidity(%)	air current(m/sec)	humidity(%)	air current(m/sec)
Office A	97.4	0.25	76.7	0.11
Office B	96.6	0.15	78.2	0.17
Office outdoor	94.9	0.54	72.7	1.66
Living room	95.9	0.20	77.5	0.05
APT outdoor	95.9	0.84	85.5	0.04

Each value represents the mean

stroke)으로 하였다.

사무실과 아파트에서의 TSP측정은 분진에 의한 광산란을 이용한 자동분진측정기를 이용하였으며 약 2-3분 정도를 작동시켰다.

모든 자료의 검증은 SPSS(Statistical package for the social science)통계 package를 사용하여 검증하였다.

3. 연구결과

3.1 사무실과 아파트의 실내외 공기오염도

하절기에 사무실과 아파트에서의 실내외 공기오염도를 측정한 결과 일산화탄소(CO)의 경우 사무실 A,B에서 각각 평균 1.4ppm, 2.0ppm의 농도를 나타내어 흡연이 허용되는 사무실이 허용되지 않는 사무실에 비하여 유의하게 높게 나타났다.

아파트의 거실과 현관의 CO 오염정도가 가장 높은 경우 7.0ppm을 보일 때도 있었다.

질소산화물의 경우 사무실과 아파트 실내외 공간에 통계학적으로 유의한 차이는 없었으나 거실의 경우 NO_x 농도의 차이가 시간에 따라 커서 그 범위가 2.0ppb-44.1ppb이었고 최

고 농도인 44.1ppb는 전 측정지점에서 가장 높은 수치였다.

이산화탄소(CO₂)에 의한 실내외 공기오염 정도는 사무실 A, B에서 각각 646ppm, 806ppm의 농도를 나타내어 흡연이 허용되는 공간에서의 CO₂ 농도가 통계학적으로 유의하게 높게 나타났으며 어떤 경우에 있어서는 1,290ppm 정도의 높은 CO₂ 농도를 보인 때도 있었으며 실외 공기인 현관과 비교해서는 사무실 A, B 모두 유의하게 CO₂ 농도가 높았다. 한편 아파트 거실과 현관간에도 통계학적으로 유의한 차이가 있어 거실의 CO₂ 농도가 더 높았으며 사무실과 아파트 거실과의 비교에 있어서는 사무실 A, B 모두 아파트 거실에 비해 통계학적으로 유의하게 CO₂ 농도가 높았다.

실내공기의 부유분진(TSP)에 의한 오염정도는 사무실 A, B 각각 86 μ g/m³, 139 μ g/m³의 농도를 나타내어 흡연이 허용되는 공간인 사무실 B가 통계학적으로 유의하게 높았으며 실외 공기인 현관과의 비교에 있어서는 유의하게 높았다. 아파트 거실과 현관과의 비교에서는 거실이 보다 더 높게 나타나 통계학적으로 유의한 차이가 있었으며 사무실과 거실과의 비교에

Table 3. The concentrations of air pollutants in indoor/outdoor offices and apartment house in summer.

Pollutants Sites	CO(ppm)	NO _x (ppb)	SO ₂ (ppb)	CO ₂ (ppm)	TSP(μ g/m ³)
Office A	1.4 \pm 0.4 ^b (0.6-3.0)	13.6 \pm 7.8 ^a (6.5-20.1)	ND	646 \pm 148 ^b (400-1,080)	86 \pm 25 (49-100)
Office B	2.0 \pm 0.9 ^b (0.8-4.1)	17.5 \pm 6.1 (9.6-29.3)	ND	806 \pm 186 ^{**b} (480-1,290)	139 \pm 104 ^{**a} (40-500)
Office outdoor	0.5 \pm 0.2 (0.1-1.8)	15.3 \pm 5.7 (7.1-24.0)	11.5 \pm 2.6 (8.7-24.1)	462 \pm 63 (360-600)	73 \pm 45 (10-200)
Living room	0.4 \pm 0.2 (0.1-1.9)	16.8 \pm 9.4 (2.0-44.1)	6.7 \pm 1.3 (4.6-18.1)	467 \pm 58 (390-600)	94 \pm 73 (40-380)
APT outdoor	1.2 \pm 0.8 (0.5-7.0)	13.9 \pm 8.2 (2.1-29.7)	5.2 \pm 2.0 (1.4-11.0)	436 \pm 66 (300-550)	61 \pm 23 (30-120)

Each value represents the mean \pm S.D.(range)

ND : Not detected, below limit in the determination

* : P<0.05 ** : P<0.01 compared with office A

a : P<0.05 b : P<0.01 compared with living room

있어서는 사무실 B만이 거실보다 높아 유의한 차이를 나타내었다.

동절기에 사무실과 아파트의 실내외 공기오염정도는 사무실 A, B의 경우 각 3.1ppm, 4.5ppm의 평균농도를 나타내어 흡연이 허용되는 공간에서의 CO 오염도가 더 높게 나타났으며 이와같은 결과는 하절기와 일치하였고 사무실 A, B의 비교지점인 현관과의 비교에서도 사무실 B만이 유의하게 높게 나타났다.

NO_x의 실내공기 오염정도는 사무실 A, B의 경우 흡연이 허용되는 공간인 사무실 B에서 유의하게 높게 나타났으며 외부공기인 현관과의 비교에서는 사무실 B가 33.4ppb로 현관의 31.2ppb에 비해 유의한 차이는 없었으며 흡연이 허용되지 않는 공간인 사무실 A에 비해서는 현관이 유의하게 높게 나타났다.

사무실 A, B의 SO₂ 농도는 각각 45.6ppb, 48.8ppb를 나타내어 유의한 차이가 없었으며 실외공기인 현관의 경우 SO₂ 농도의 범위가 41.2ppb-240.0ppb로 시간별 SO₂ 오염정도에 큰 차이가 있었고 그 평균농도는 109.2ppb를 나타내어 사무실 A, B에 비해 유의하게 높게 나타났다. 아파트 거실과 현관의 비교에서도

각각 8.8ppb, 30.7ppb를 나타내어 현관이 통계학적으로 유의하게 높게 나타났다.

동절기에 사무실 A, B의 CO₂ 농도간에는 유의한 차이가 없었으며 사무실 현관과 실내공기와는 사무실 A, B의 CO₂ 농도가 높아 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다.

실내외 공기의 TSP 오염정도의 양상을 보면 사무실 A에 비하여 사무실 B의 TSP 농도가 225µg/m³로 유의하게 높았으며 현관과의 비교에서는 사무실 A, B 모두 통계학적으로 유의하게 높아 실내공기의 TSP 오염정도가 더 크게 나타났다. 또한 사무실과 아파트 거실간의 비교에서도 사무실 A, B가 모두 통계학적으로 유의하게 높았다.

3.2 계절(하절기와 동절기)에 따른 사무실과 아파트의 실내외 공기오염도

하절기와 동절기간 CO의 실내외 공기오염도는 전측정지점에서 모두 하절기에 비해 동절기에 통계학적으로 유의하게 높았다. 실내외의 경우 흡연이 허용되는 사무실 B에서의 CO 평균농도가 동절기에 4.5ppm의 평균농도를 나타내어 하절기에 비해 2.7배 높아 가장 큰 차이를

Table 4. The concentrations of air pollutants in indoor/outdoor offices and apartment house in winter.

Sites \ Pollutants	CO(ppm)	NO _x (ppb)	SO ₂ (ppb)	CO ₂ (ppm)	TSP(µg/m ³)
Office A	3.1±1.7 ^b (0.9-12.0)	22.9±9.8 ^a (15.0-39.0)	45.6±21.9 ^b (19.7-88.7)	741±185 ^b (510-1,360)	137±41 ^b (70-210)
Office B	4.5±2.5 ^{**b} (1.2-15.0)	33.4±17.0 ^a (12.7-56.8)	48.8±25.2 ^b (16.4-91.5)	680±175 ^b (470-1,250)	225±92 ^{**b} (100-490)
Office outdoor	3.4±2.1 (0.8-11.0)	31.2±12.1 (16.6-48.0)	109.2±68.7 (41.2-240.0)	365±65 (310-520)	97±30 (50-170)
Living room	1.2±0.7 (0.5-4.0)	19.5±4.6 (10.0-35.2)	8.8±6.3 (4.1-29.4)	554±121 (400-810)	109±38 (50-320)
APT outdoor	2.5±0.9 (0.7-4.1)	24.5±14.4 (9.8-67.5)	30.7±17.9 (4.0-80.2)	328±106 (260-750)	96±14 (70-150)

Each value represents the mean±S.D.(range)

ND : Not detected, below limit in the determination

* : P<0.05 ** : P<0.01 compared with office A

a : P<0.05 b : P<0.01 compared with living room

나타내었다(그림 1).

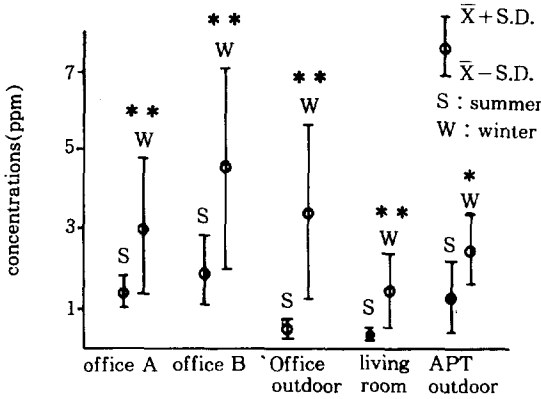


Fig. 1. Seasonal carbon monoxide indoor/outdoor concentrations in offices and living room.
 * : P<0.01 ** : P<0.001 compared with summer season

NO_x에 의한 실내의 공기오염도는 전측정지점에서 모두 동절기에 높게 나타났으며 아파트 거실을 제외하고는 전측정지점에서 모두 하절기에 비해 동절기에 통계학적으로 유의하게 높았다. 하절기 동절기 포함하여 가장 높은 평균 농도를 나타낸 곳은 흡연공간의 사무실 B였다(그림 2).

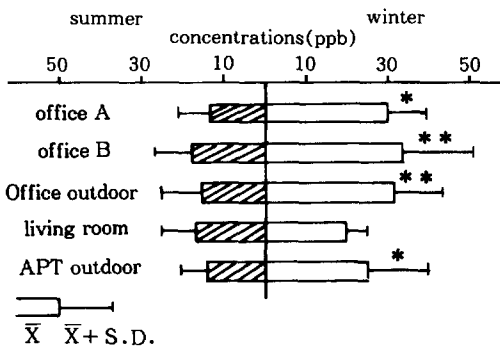


Fig. 2. Seasonal nitrogen oxides indoor/outdoor concentrations in offices and living room.
 * : P<0.05 ** : P<0.01 compared with summer season

하절기와 동절기간에 실내의 SO₂ 공기오염도는 전측정지점에서 모두 통계학적으로 유의

한 차이를 나타내었다(그림 3).

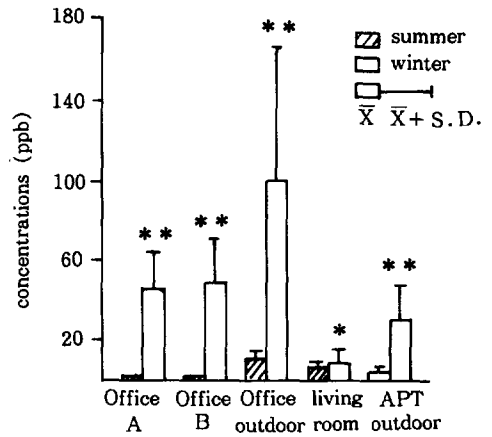


Fig. 3. Seasonal sulfur dioxide indoor/outdoor concentrations in offices and living room.
 * : P<0.05 ** : P<0.001 compared with summer season

실내의 공기의 CO₂ 농도 역시 전측정지점에서 하절기와 동절기간에 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다. 가장 높게 측정된 곳은 하절기의 흡연이 허용되는 공간인 사무실 B로 그 평균 CO₂ 농도가 806ppm이었고 가장 낮게 측정된 곳은 동절기의 아파트 현관으로 그 평균 농도는 338ppm이었다(그림 4).

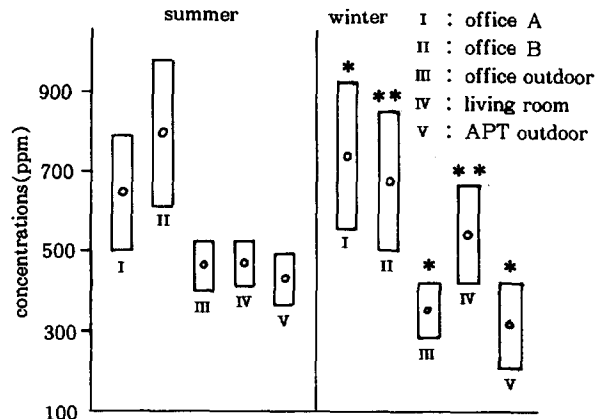


Fig. 4. Seasonal carbon dioxide indoor/outdoor concentrations in offices and living room.
 * : P<0.05 ** : P<0.01 compared with summer season

하절기와 동절기간 TSP에 의한 실내외 공기 오염도 차이는 아파트 거실을 제외하고는 전측 정지점에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내어 하절기보다 동절기에 높았다. 전측정지점에서 가장 높은 농도를 나타낸 곳은 동절기의 사무실 B로 그 평균농도가 225 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(그림 5).

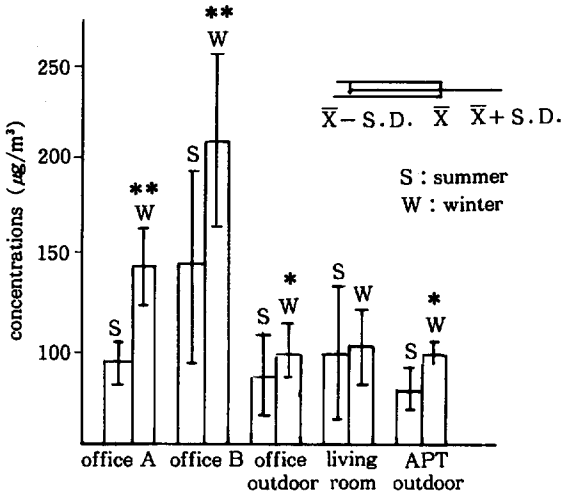


Fig. 5. Seasonal total suspended particulates indoor/outdoor concentrations in offices and living room.

* : $P < 0.05$ ** : $P < 0.01$ compared with summer season

3.3 흡연에 의한 실내 공기오염도의 비교

사무실에서 흡연에 의한 실내 공기오염도를 비교하기 위해 흡연이 허용되지 않는 공간인 사무실 A와 흡연이 허용되는 공간인 사무실 B의 각 오염물질 농도 중 낮은 곳의 농도를 1로 놓고 높은 곳의 오염물질 농도를 각 항목마다 계절별로 환산하여 보면 다음 표 5와 같다.

표 5에서 보는 바와 같이 동절기의 CO₂에 의한 실내 공기오염도를 제외하고는 하절기 동절기 모두 흡연이 허용되는 공간인 사무실 B에서의 오염물질 농도가 흡연이 허용되지 않는 공간인 사무실 A에 비해 각 항목 모두 1.1배 - 1.6배 정도 높게 나타났다. 특히 그 오염도의 차이가 큰 항목은 TSP로 나타났고 가장 낮은 항목은 SO₂로 나타났다.

3.4 직장 및 가정의 실내 공기오염도 비교

직장을 가지고 있는 근로자 1인과 직장을 가지고 있지 않고 가정에서 거주하는 1인이 실내 공기오염물질에 노출되었을 때의 위험도의 차이를 사무실 A, B를 직장으로 간주하고 아파트 거실을 가정으로 간주하여 구하였다. 즉 각 오염물질의 농도가 가장 낮은 곳을 1로 놓고 높은 곳의 오염물질 농도를 각 항목마다 계절별로 환산하여 보면 다음 표 6과 같다.

Table 5. The differences of indoor air pollution between no smoking space and smoking space.

Pollutants Seasons	CO(ppm)		NO _x (ppb)		SO ₂ (ppb)		CO ₂ (ppm)		TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W
Office A (no smoking space)	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1
Office B (smoking space)	1.4	1.5	1.3	1.5	-	1.1	1.3	1	1.6	1.6

S : summer : winter

Each value represents higher site concentration (mean)/lower site concentration (mean) = 1 in two sites

Table 6. The differences of indoor air pollution between offices(A, B) and living room.

Sites	CO(ppm)		NO _x (ppb)		SO ₂ (ppb)		CO ₂ (ppm)		TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	S	W	S	W	S	W	S	W	S	W
Office A (no smoking space)	1.2	1.3	1	1	—	1.5	1.5	2.3	1.4	1.4
Office B (smoking space)	1.7	1.8	1.3	1.5	—	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4
Living room	1	1	1	1.1	—	1	1	1	1	1

S : summer : winter

Each value represents higher site concentration (mean)/the lowest site concentration (mean) = 1 in three sites

흡연이 허용되는 공간인 사무실 B가 아파트 거실에 비해 CO를 비롯한 각 오염물질의 농도가 1.3배-2.4배 정도 흡연이 허용되지 않는 공간인 사무실 A가 1.2배-2.3배 정도 높게 나타나 가정에서 보다 직장에서의 실내 공기오염도가 대체로 더 높았다. 그 차이는 하절기에 보다 동절기에 더 큰 것으로 나타났으며 가장 큰 차이를 보인 오염물질은 사무실 B의 동절기 TSP로 아파트 거실에 비해 2.4배 정도 높았다.

3.5 환풍기 가동수에 따른 실내 공기 아황산가스(SO₂) 농도의 차이

사무실에 있어서 하절기와 동절기를 포함하여 실외 공기오염도가 실내 공기오염도에 비하여 높은 오염물질은 SO₂로 나타났고 특히 그

Table 7. The difference of indoor sulfur dioxide concentrations by operating number of ventilation fan.

Operating number	Sites	
	Office A	Office B
0	86.0	51.8
1	41.2*	44.5
2	20.1 ^b	26.0 ^a

Each value represents the mean

* : P < 0.05 compared with nonventilation condition

a : P < 0.05 b : P < 0.01 compared with nonventilation condition

차이는 오염도가 높은 동절기에 더 큰 것으로 나타나 동절기의 사무실 A, B를 대상으로 환풍기 가동수에 따른 실내 SO₂ 농도의 차이를 살펴본 결과 표 7과 같은 결과를 얻었다.

표 7에서 보는 바와 같이 사무실 A, B 모두 환풍기 가동에 의해 실내 SO₂ 오염도가 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 사무실 A에서 환풍기 2개를 모두 가동시켰을 경우 가장 낮은 오염도인 20.1ppb의 평균농도를 나타내었고 환풍기를 전혀 가동시키지 않았을 때의 86.0ppb는 이것의 4.3배 정도의 높은 수치였다. 환풍기 가동수 1과 2간에는 유의한 차이가 없었다.

3.6 기후조건이 실내 공기오염도에 미치는 영향

기후조건(기류와 습도)이 실내 공기오염도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 가장 기후조건이 변화가 심한 동절기의 흡연이 허용되는 공간 사무실 B를 대상으로 실내 공기오염물질과 기류 및 습도와 상관성 검증을 한 결과 다음과 같은 통계량을 얻었다(표 8).

실내 공기오염도가 기류 및 습도에 의한 영향을 받는지의 여부를 알아본 결과 기류의 경우 모든 오염물질에 대해 통계량 0.436-0.565(상관관계) 정도를 나타내어 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 습도에 있어서는 상관성있는 결과를 얻지 못했다.

Table 8. Variation of indoor air pollution by air current and humidity.

Climate conditions	Pollutants				
	CO	NO _x	SO ₂	CO ₂	TSP
Air current	0.479*	0.436*	0.466*	0.479*	0.565**
Humidity	-0.157	-0.121	-0.234	-0.161	-0.230

Each value represents the correlation coefficient

* : P<0.01 ** : P<0.001 compared with concentration of air pollutants in office B

4. 고 찰

본 실험에서 선정한 각 측정지점에서의 하절기, 동절기 CO 농도를 살펴보면 하절기보다는 연료사용이 많은 동절기에 모두 실내의 CO 농도가 높아 그 차이가 2.1배-6.8배의 범위였다. 흡연을 오염원으로 하고 있는 사무실 B는 사무실 A나 거실에 비하여 하절기, 동절기 모두 CO 농도가 유의하게 높았다. 또한, 주거지역인 아파트 거실과 현관을 비교할 때 하절기 동절기 모두 현관이 높게 측정된 이유는 아파트 거실내의 오염원으로 스토브와 가스렌지 및 흡연 등이 존재한다 할지라도 흡연횟수나 취사횟수 및 시간 등이 매우 적었고 창문이나 환풍기를 이용한 환기를 자유롭게 한 상태였기 때문인 것으로 생각되며 아파트 주변지역에 위치한 주택들의 연료사용으로 인해 전체적으로 아파트 거실에 비해 현관이 더 높은 CO 농도를 유지한 것으로 보여진다.

Coburn³⁾에 의하면 일정공간에서 CO에 의한 정량적인 위해도 평가를 한 결과 11.5mg/m³의 CO 즉 10ppm에서 8시간 노출하였을 때 사무직에 근무하는 사람의 혈중 COHb 형성정도가 1.7%인 것을 예측하면서 CO에 의한 단기노출(5-15분)에서의 COHb 함량은 말초혈관보다 관상혈관에 더 높게 난다고 지적하였다. 이와 같은 결과는 말초혈액내의 COHb %로부터 예측된 위해도 평가가 실제로 느끼는 건강장해에 비해 과소평가 되어지는 허점을 지적하고 있으며 또한, Coburn은 정량적인 위해도 평가를 목적으로 Coburn formula를 구하여 수동흡연 즉 비흡연군의 COHb % 수준이 2.5-3%를 초과

하지 말아야 한다고 정하고 다음과 같이 그 권고기준을 정하였다. 실내 환경중 CO 농도가 인체의 혈중 COHb %에 반영되는데는 4시간-12시간이 걸리므로 통상 환경중 CO 농도에 의한 인체위해성 정도는 평균 8시간의 농도로 표현되어진다.

Table 9. Predicted concentrations of carboxy-hemoglobin of blood(COHb %) by Coburn formula according to exposed time and concentration of carbon monoxide.

Concentrations of carbon monoxide(ppm)	Exposed time	Predicted COHb (%)
87	15 mins	1.2-2.8
50	30 mins	1.1-2.6
25	60 mins	1.1-2.2
10	8 hrs	1.5-1.7

이처럼 Coburn formula에 따르면 비흡연군에서 COHb 수준이 2.5-3%를 초과하지 않으려면 사무실에서 8시간 근무하는 근로자의 경우 8시간 동안 10ppm을 초과하지 말아야 한다. 그러나 동절기의 사무실 A, B나 현관의 경우 10ppm을 초과하는 경우가 자주 있었고 특히 일반적인 비흡연군의 평균 COHb %는 약 1.2-1.5%이고 흡연군에서는 3-4%이며 심한 흡연자는 약 10%에 달한다는 내용⁴⁾을 감안해 볼 때 사무실 B에 있어 흡연자의 혈중 COHb%가 예측에 비해 더욱더 높아질 것으로 여겨진다. 일부보고에 의하면 낮은 CO 농도에 노출된 사람에게서 혈중 COHb %가 10% 이하에서 관찰되는 건강장해를 4가지 형태로 분류하여 건강에 미치는 효과를 나타냈다⁵⁾.

이 자료에 의하면 흡연자의 혈중 COHb %가 3-4%라고 할 때 정상인에게는 피로감의 가중과 협심증 환자에게는 운동량의 감소 및 협심통을 느끼는 횟수의 증가 등이 나타나는 것으로 알려지고 있다.

NO_x는 비록 저농도일지라도 반복하여 장기간 폭로시는 폐기능의 감소와 특히 소아들에게는 기관지염, 천식 및 폐질환 등의 호흡기질환

발생율이 높다고 하였다⁶⁻⁷⁾.

일반 사무실과 아파트를 대상으로 NO_x 오염도를 비교해 본 결과 하절기에 비해 동절기의 오염도가 전 측정지점에서 높게 측정되어 동절기의 연료소비량이 하절기에 비해 많은 것이 주원인임을 알 수 있었다.

동절기 사무실 A와 B의 NO_x 오염도를 비교해 볼 때 흡연이 허용되는 공간인 B에 비해 사무실 A에서 유의하게 낮게 측정되어, 담배한개비의 연소시 방출되는 연기중 NO 농도가 80-120ppb 정도 포함되어 있으며⁸⁾ 일정 공간(30m³)에서 5-10개비의 흡연시 NO와 NO₂가 각각 0.19-0.36ppm, 0.02-0.04ppm 정도 검출되는 것으로 보고된 결과⁹⁾들을 고려해 볼 때 사무실 A는 흡연이란 오염원이 배제되었기 때문인 것으로 사료된다. 한편 아파트 거실과 현관과의 비교에서 동절기의 NO_x 오염도가 각각 19.5ppb, 24.5ppb의 평균농도를 나타내고 하절기에는 각각 16.8ppb, 13.9ppb를 나타내어 동절기 서울시내 일부 가정을 대상으로 NO₂ 농도를 측정하여 거실이 41.8ppb 실외가 30.1ppb로 나타난 김¹⁰⁾의 연구결과와 비교해 볼 때 측정된 오염 정도의 차이와 동절기 실내공기가 실외공기보다 낮게 측정된 점 등은 김¹⁰⁾의 연구에서도 시사했던 것처럼 부엌, 난방연료의 연소과정 또는 주택구조물의 형태 및 환기량이나 기타 흡연 등의 요소에 따라 달라진다는 내용에 부합하는 것으로 취사시간 때의 일시적이고 농도의 NO_x 배출이나 일시적인 흡연 혹은 환기시의 급격한 NO_x 오염도 저하 등이 변수로 작용했기 때문으로 여겨진다.

본 연구에서 채택한 사무실 A, B는 중앙 냉·난방을 하고 있었고 실내에서 SO₂를 발생할 만한 오염원이 존재하지 않았으므로 하절기에는 실내의 SO₂ 오염이 거의 없었으나 동절기에는 실외공기인 사무실 현관의 약 42%-45% 정도의 오염도를 사무실에서 나타내어 동절기 SO₂ 오염도가 높은 실외 공기의 유입을 예측할 수 있었다.

실내 공기중 이산화탄소(CO₂)의 주요오염원은 각종 난방시설 및 인간의 호흡활동에 따른 생성물로서 저농도의 CO₂에서는 인체에 미치는 영향이 비교적 적은 편이다. 이와같은 실내

CO₂ 농도는 실내체적, 실내인원, 난방여부 및 환기장치 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려지고 있다¹¹⁾. 일반적으로 보고된 바에 의하면 인체에 불쾌감을 느끼게 하는 CO₂ 농도는 1,000ppm-2,000ppm 범위로서 공중위생상 허용농도는 1,000ppm으로 정하고 있으며, 실내환경을 대상으로 CO₂ 농도를 측정시 860ppm 정도라고 보고한 Wang의 결과¹²⁾와 Kusuda¹³⁾의 결과인 250ppm-600ppm과는 차이가 있으나 여러가지 실내조건을 감안해 볼 때 측정되는 CO₂의 범위는 더욱더 커지리라 예측된다.

본 연구의 각 측정지점에서 측정된 CO₂ 농도의 범위는 하절기, 동절기 모두 실외보다 실내에서의 CO₂ 농도가 높게 측정되었고 실외공기를 제외하고는 사무실 A, B와 아파트거실 모두 동절기의 CO₂ 농도가 더 높게 나타나 이는 동절기의 환기의 부족 등이 원인으로 생각되어진다. 또한 사무실 A, B의 경우 하절기, 동절기 모두 1,000ppm을 초과하는 경우가 수회 있었으며 하절기 사무실 B의 평균농도는 806ppm으로 공중위생상 안전하다고 볼 수는 없었다.

실내 공기중 부유분진(TSP)은 실내 공기오염물질 중 중요한 부분을 차지하고 있으며 다른 가스상 물질들이 단일물질인데 반하여 많은 오염물질들이 함유된 복합체이다.

본 연구에서 밝혀진 부유분진의 농도는 실내외간에 매우 좋은 상관성(relationship)을 보이는 것으로 나타나 실내 공기중의 TSP 오염도에 미치는 외부공기의 영향을 무시할 수 없다.

실내 공기중의 TSP 발생원인으로는 실외 공기로부터의 유입¹⁴⁾ 이외에도 흡연으로 인해 발생하는 입자상물질, 난방 및 냉방으로 인해 발생하는 먼지, 실내원들의 의류 및 가구 등과 건축자재에서 발생하는 먼지 등이 알려져 있다¹⁵⁾. 일반적으로 공기중의 돌연변이원성 물질이나 발암물질 등은 TSP를 매개체로 호흡기를 통해 인체에 침투하게 되며 폐조직에 침착되는 정도는 분진의 입경과 호흡의 강도에 의해 영향을 받게 되고 Klaassen 등¹⁶⁾에 의하면 확산을 통해 폐포에 가장 많이 도달할 수 있는 분진의 크기 1 μ m 이하로서 이보다 큰 분진은 침전되어 기관에서 세기관지까지 침착된다고 한

다.

본 연구결과 전 측정지점에서 모두 하절기에 비해 동절기의 TSP 양이 더 크게 나타났고 사무실 A, B를 비교해 볼 때 흡연이 허용되는 공간에서의 TSP 농도가 월등하게 높은 것으로 나타나 동절기 난방연료로 인한 영향과 흡연으로 인한 영향 등을 배제할 수 없었다.

5. 요 약

서울시 일부지역에 소재한 일반 사무실과 주거지 아파트를 대상으로 실내 공기오염도를 측정하고 이로 인한 건강 위해성을 파악하고자 실내 공기오염의 지표로 사용되고 있는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 아황산가스(SO₂), 이산화탄소(CO₂) 및 총부유분진(Total Suspended particulate; TSP)을 실내와 실외에서 측정하였으며 사무실에서의 흡연과 동절기 난방에 의한 실내 공기오염의 영향을 관찰하였다. 동절기에는 1989년 2월 13일부터 2월 17일까지 하절기에는 1989년 7월 24일부터 7월 28일에 걸쳐 측정한 결과를 분석하면 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 흡연을 허용하지 않는 사무실(사무실 A)과 흡연을 허용하는 사무실(사무실 B) 모두에서 실외공기에 비해 CO, CO₂, TSP 등의 농도가 하절기와 동절기 모두 높았으며 SO₂ 농도만이 실외공기에서 더 높았고 NO_x는 흡연이 허용되지 않는 사무실 A에서만 실외공기에 비해 낮았다.
2. 아파트 거실의 경우 하절기, 동절기 모두 실외공기에 비해 유의하게 높게 측정된 실내공기 오염물질 CO₂ (하:467ppm, 동:554ppm)와 TSP(하:94 μ g/m³, 동:109 μ g/m³)였으며, 낮게 측정된 항목은 CO (하:0.4ppm, 동:1.2ppm)와 동절기의 SO₂(8.8ppb)로 나타났다.
3. 사무실 B에서 하절기, 동절기 모두 CO(하:2.0ppm, 동:4.5ppm), NO_x(하:17.5ppb, 동:33.4ppb), CO₂(하:806ppm, 동:680ppm), TSP(하:139 μ g/m³, 동:225 μ g/m³)의 오염도가 사무실 A보다 1.3-1.6배 정도 높아 흡연이 허용되는 사무실의 실내 공기오염도

가 더 높은 것을 알 수 있었다.

4. 교통혼잡지역에 위치한 사무실 A, B와 주거지역에 위치한 아파트 거실의 실내 공기오염도를 비교한 결과 사무실 A, B에서의 실내 공기오염도가 1.2-2.3배 정도 더 높았으며 그 차이는 하절기에 CO, CO₂, 동절기에 CO, SO₂, CO₂ 및 TSP 등에서 더 뚜렷하였다.
5. 사무실 A, B 및 실외공기의 동절기 오염도는 하절기에 비해 모든 항목에서 유의하게 높았으며 아파트 거실의 실내외 공기에 있어서도, CO, NO_x 및 SO₂ 등이 하절기에 비해 동절기에 유의하게 더 높았다.

이상의 결과로 보아 실내 공기오염도가 실외 공기오염도에 비해 대체로 높으며 흡연과 난방여부에 따라 그 오염정도가 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 우리나라의 일반사무실과 주거지의 실내 공기오염도를 파악하고 흡연의 위해성을 제시하는 기초자료가 되었다고 생각되며 앞으로 실내공기오염이 인체에 미치는 영향의 연구와 함께 실내공기오염의 중요성을 인식하여 이에 따른 예방대책이 강구되어야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. Chapin E.S., (1974), Human activity patterns in the city: Things people do in time and in space. John Wiley and Sons, New York.
2. 환경청, (1986), 환경오염공해공정시험법.
3. Coburn R.F., (1965), Considerations of the physiological variables that determine the blood carboxyhemoglobin concentration in man. Journal of clinical investigation, 165, 44, 1899-1910.
4. Air quality guidelines for Europe, (1987), WHO Regional Publications, 23, 210-220.
5. Air quality criteria for carbon monoxide and Revised evaluation of health effects associated with carbon monoxide exposure, (1979, 1984), US EPA, Washington DC.

6. Melia R.J.W., et al., (1977), Association between gas cooking and respiratory disease in children. *Brit Med J*, 2, 149-152.
7. Melia R.J.W., et al., (1979), The relation between respiratory illness in primary school children and the use of gas for cooking I, Results from a national study. *Int J Epid*, 8, 333-338.
8. Oxides of nitrogen, (1977), WHO, Geneva.
9. Dockery D.W., Spengler J.D., (1981b), Indoor-outdoor relationship of respirable sulfates and particles. *Atmos Environ*, m15, 335-343.
10. Kim Y.S., (1984), Air pollution in the Republic of Korea. *J Air Poll Control Assoc*, 34, 841-843.
11. Richard A.W. & Peter A.S., (1983), Indoor air pollution, A Wiley-Interscience Publication.
12. Wang T.C., (1975), A study of bioeffluents in a college classroom. *ASHRAE Trans*, 81, 32-44.
13. Kusuda T., (1976), Control of ventilation to conserve energy while maintaining acceptable indoor air quality. *ASHRAE Trans*, 82, 1169-1181.
14. Spengler J.D., (1983), Indoor air pollution. *Science*, 221, 9-17.
15. Hoegg U.R., (1972), Cigarette smoke in closed spaces. *Environ Health Perspec*, 2, 117-128.
16. Klaassen C.D., et al., (1986), *Toxicology* 3rd Ed, Macmillan Publishing Company.