

부산시내 지하생활권의 공기오염도와 온열인자에 관한 조사연구

최성용 · 문덕환 · 이종태 · 송인혁 · 이채언 · 이승민¹
인제대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업의학연구소, 보건대학원¹

= Abstract =

A Study on Air Pollution and Thermal Factors in Underground Shopping Center of Pusan Area

Sung Yong Choi, Deog Hwan Moon, Jong Tae Lee,
In Hyuk Song, Cha Eun Lee, Sung Min Lee¹

*Department of Preventive Medicine, College of Medicine
and Institute of Industrial Medicine, Graduate School of Public Health¹, Inje University*

For the purpose of preparing the fundamental data on air pollution in underground shopping center and also contributing to the health improvement of residents, the authors measured the level of SO₂, NO₂, TSP, CO, CO₂ and also some related factors as air temperature, air movement, relative humidity and mean radiation temperature at inside and outside of underground shopping center in Pusan from January to February and from July to August 1994.

The results were as follows:

1. The mean concentration of CO within the underground shopping center was 3.1 ± 1.3 ppm in winter and 2.1 ± 0.9 ppm in summer. There was a negative correlation ($p < 0.01$) between inner CO concentration and temperature in summer and no correlation between inner CO concentration and outer CO concentration in underground shopping center.
2. The mean concentration of CO₂ within the underground shopping center was 876 ± 353 ppm in winter and 757 ± 125 ppm in summer. There was a negative correlation ($p < 0.01$) between inner CO₂ concentration and air movement in summer and positive correlation ($p < 0.05$) between inner CO₂ concentration and outer CO₂ concentration in underground shopping center.

* 본 연구논문은 1993년도 인제연구장학재단 연구비보조에 의한 것임.

3. The mean concentration of SO₂ within a underground shopping center was 0.036 ± 0.019 ppm in winter and 0.040 ± 0.013 ppm in summer. There was a positive correlation (p < 0.01) between inner SO₂ concentration and temperature in summer and positive correlation between inner SO₂ concentration and outer SO₂ concentration in summer and winter in underground shopping center.
4. The mean concentration of NO₂ within a underground shopping center was 0.052 ± 0.038 ppm in winter and 0.042 ± 0.016 ppm in summer. There was a no correlation between inner NO₂ concentration and thermal factors in summer and winter and low correlation between inner NO₂ concentration and outer NO₂ concentration in underground shopping center.
5. The mean concentration of TSP within a underground shopping center was 430 ± 214 μg/m³ in winter, 366 ± 73 μg/m³ in summer, and very in excess of the atmospheric environmental quality standards of Korea (150 μg/m³ ↓). There was low correlation between inner TSP concentration and temperature in summer and high correlation between inner TSP concentration and outer TSP concentration in underground shopping center.

Key words: underground shopping center, air pollution, thermal factors

서 론

국가산업의 발달과 인구의 도시 집중화 현상은 도시지역의 인구, 자동차, 공장, 주택, 빌딩 등의 증가와 도시민의 생활수준을 향상시킨 반면 각종 연소 연료의 소비가 증대됨으로써 많은 양의 오염물질이 대기 중으로 배출되어 도시지역의 대기는 괄목할만한 수준으로 오염되고 있는 실정이다(권숙표 등, 1979; 김정균 등, 1983; 윤웅찬 등, 1984; 김용완 등, 1986; 김준연 등, 1989; 이채언 등, 1989). 더욱이 최근에 이르러서는 도시 생활인들의 대부분이 하루 24시간중 80% 이상을 실내에서 생활하고 있고(Szala, 1972; Docky & Spengler, 1981; Chapin, 1984) 지하공간에서의 생활시간도 증가되는 경향을 보이고 있어 실내환경의 일부분인 지하 공간내 공기오염의 건강영향에 대한 관심이 고조되고 있다(김윤신, 1983). 우리나라에서도 지하시설물중의 일부분인 지하상가는 1967년 서울 시청 앞 지하상가를 시작으로(이민희 등, 1985) 대도시에 신설된 많은 지하상가는

통로로서 사람의 왕래가 많고 또한 쇼핑센터, 음식점, 상점 등이 있어 도시생활자들이 항상 이용하는 중요한 생활공간으로서 점차 정착되어가고 있는 실정이다(김민영 등, 1986). 그러나 이러한 지하공간의 급 배기 및 온 습도의 조절을 인공적으로 실시하고 있어(유영식, 1987) 특히 겨울철에는 에너지 절약의 한 이유로써 실온유지를 위한 불충분한 환기로 인하여 외부와의 공기순환이 잘 이루어지지 않아 각종 오염물질이 조금만 발생되더라도 그대로 축적되어가고 있는 실정에 있으며 이들 공기를 호흡하고 있는 지하공간 내에서 근무하는 근로자들은 물론 지하공간을 이용하는 일반시민들에게까지도 그 피해가 우려되므로 공중위생학적인 입장에서 볼 때 관심의 대상이 아니 될 수 없다(Caceres 등, 1983; 김민영 등, 1986; 이채언 등, 1989; 김동술과 김형석, 1990).

현재 지하상가에 대한 조사는 매우 미약한 실정에 있으며 일부 실내공기오염물질들은 일반대기오염보다 높은 농도를 나타냈다(Kim 등, 1986; Kim 등, 1986; 김윤신, 1989; 김윤신, 1992). 실내

공기 오염물질 가운데 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 부유분진(TSP), 탄산가스(CO₂) 등이 중요하게 다루어지는 공기 오염물질이며 이러한 실내공기 오염 물질로 일반 가정과 사무실 등의 난방이나 취사용 연료 연소 시 많이 발생하고 자동차 연료의 연소과정에서 배출되는 배기가스나 외부에서 공기가 실내로 유입되는 과정에서 발생하며(김윤신과 박상희, 1989), 이 결과 인체에 호흡기증상과 관련된 각종 질환을 유발하며 폐암 등 악성종양을 일으키기도 한다(김용완, 1986; 김윤신과 박상희, 1989; 한국산업안전공단, 1990).

대도시의 대기오염에서 산업시설과 교통수단의 증가에 기인한 오염을 제외하고 가장 영향을 많이 주는 요소는 온열인자로 알려져 있으며 통계적으로 볼 때도 기상과 대기오염 농도 사이에는 상당한 관계가 있다(나진균 등, 1985; 국립노동과학연구소, 1988; 박일수 등, 1991). 따라서 어느 지역의 오염물 농도의 예측 및 대기오염의 예방을 위해서는 오염물의 배출량을 줄이는 노력과 함께 기상이 대기오염에 미치는 영향을 분석함이 필요하다고 사료된다.

이에 본 연구자는 날로 확장되어 가는 지하공간의 공기오염 실태와 오염에 영향을 주는 온열인자를 파악하기 위하여 부산지역의 지하상가를 대상으로 여러 공기 오염물질들에 대하여 그 농도를 측정하고 실내 환경에서 주로 취급되는 기온, 상대습도, 기류, 복사열 등 온열인자와의 관련성 유무 및 외부오염물질과의 상관관계를 규명하여 지하상가 공기오염의 저감 대책 수립과 추후 이들 분야의 기초자료를 마련할뿐 아니라 시민들의 건강 증진을 위하여 본 조사를 시행하였다.

조사대상 및 방법

1. 조사시기와 조사장소

조사대상지역은 부산지역 모 지하상가의 내부 2개 지점과 상가 출입구로부터 약 5m 정도의 외

부 2개 지점을 측정지점으로 하였다. 조사기간은 1994년 1월부터 2월, 7월부터 8월까지 약 4개월 동안 일중 오전(09~10시), 오후(13~14시), 야간(19~20시)의 3회에 걸쳐 시행하였다.

2. 조사항목

아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂) 및 부유분진(TSP), 기온(temperature), 기습(humidity), 기류(air movement) 및 평균복사온도(MRT)를 본 조사의 대상항목으로 정하였다.

3. 측정방법

SO₂는 개인용 공기포집 펌프(Gillian, USA)를 이용하여 시료대기를 1.5 L/min의 평균유량으로 흡수액(Formaldehyde buffer solution)에 흡수시켜 채취하였으며 채취시간은 50분씩으로 하였다. 농도분석은 Rosalnine 법에 준하여 측정하였다.

NO₂는 개인용 공기포집 펌프(MP-50 WT; SIBATA, JAPAN)를 이용하여 시료대기를 0.4 L/min의 평균 유량으로 흡수액(0.1% NEDA 용액)에 흡수시켜 채취하였으며 채취시간은 40분씩으로 하였다. 농도분석은 Naphthyl Ethylenediamine 법에 준하여 측정하였다.

CO는 검지관 펌프(GASTEC, JAPAN)를 이용하여 검지관에 흡수시켰으며 채취시간은 4분(2 stroke)으로 하였다.

CO₂는 검지관 펌프(GASTEC, JAPAN)를 이용하여 검지관에 흡수시켰으며 채취시간은 2분(1 stroke)으로 하였다.

TSP 측정은 분진에 의한 광산란을 이용한 자동분진측정기(Sibata P-5, JAPAN)를 이용하여 약 15분 정도를 작동시켰다.

실내, 외부의 기후조건 즉 기온, 습도 및 평균복사온도는 WBGT(RSS-214, CANADA)와 아스만 건습구 통풍온도계를 사용하였고 기류는 열선풍속계(V-01-AND; I.D ENSHI, JAPAN)를 사용하여 측정하였다.

4. Data 처리방법

모든 자료의 검증은 SAS (Statistical Analysis System) 통계 Package 를 사용하여 검증하였다.

결 과

1. 오염물질의 평균농도

SO₂는 지하상가 외부평균농도(동절기 0.047 ± 0.036 ppm, 하절기 0.041 ± 0.014 ppm)가 내부(동절기 0.036 ± 0.019 ppm, 하절기 0.040 ± 0.013 ppm)보다 높았으나 통계적으로 유의하지않았다(P > 0.05). 두 계절 모두 우리나라의 대기환경기준치(연평균 0.05 ppm 이하)에 미달하였다.

NO₂는 지하상가 내부(동절기 0.052 ± 0.038 ppm, 하절기 0.042 ± 0.016 ppm)의 평균농도가 외부(동절기 0.029 ± 0.018 ppm, 하절기 0.035 ± 0.011 ppm)보다 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 시현 하였다(동절기 P < 0.01, 하절기 P < 0.05). 겨울철 내부농도는 우리나라의 대기환경기준치(연평균 0.05 ppm 이하)를 약간 상회하였다.

TSP의 지하상가 내부의 평균농도(동절기 430 ± 214 μg/m³, 하절기 366 ± 73 μg/m³)와 외부의 평균농도(동절기 429 ± 242 μg/m³, 하절기 344 ± 66 μg/m³)의 차는 경미하며 우리나라의 대기환경기준치(연평균 150 μg/m³ 이하)를 훨씬 초과하였다.

CO는 지하상가 내부(동절기 3.1 ± 1.3 ppm, 하절기 2.1 ± 0.9 ppm), 외부(동절기 1.5 ± 1.2 ppm, 하절기 2.2 ± 0.6 ppm)이며 동절기 내부평균농도가 외부평균농도보다 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 시현 하였으나(P < 0.01) 여름철에는 유의한 차이가 없었다. 내 외부의 각 시간대별 평균농도는 공히 우리나라의 대기환경기준치(연평균 8 ppm 이하)에 훨씬 미달하였다.

CO₂는 지하상가 내부(동절기 876 ± 353 ppm, 하절기 757 ± 125 ppm), 외부(동절기 404 ± 73 ppm, 하절기 636 ± 99 ppm)로 동절기 하절기모두

내부 평균농도가 외부보다 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 시현하였다(P < 0.01) (Tabel 1-1, 1-2 참조).

2. 온열인자

기류는 지하상가 동하절기 모두 내 외부의 기류 차가 심하였고(P < 0.01), 내부는 우리나라 지하시설의 위생관리 기준인 0.5%에 훨씬 미달하였다.

기온은 하절기(내부 31.1 ± 1.0℃, 외부 31.2 ± 3.2℃), 동절기(내부 18.6 ± 3.80℃, 외부 5.7 ± 3.7℃)차이가 심하며 동절기에 지하상가 내 외부의 온도차가 심하였고 통계적으로 유의한 차이를 시현하였다(P < 0.01).

기습은 하절기(내부 73.04 ± 15.88%, 외부 73.06 ± 17.16%)가 동절기(내부 50.39 ± 14.92%, 외부 44.72 ± 19.85%)보다 높았으나, 내외부 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 동절기의 지하상가 내부평균습도는 우리나라 지하시설의 보사부 위생관리기준인 40~70%에 적합하였으나 하절기의 내부 습도는 약간 상회하였다.

평균복사온도는 하절기(내부 32.0 ± 1.5℃, 외부 39.2 ± 15.0℃)가 동절기(내부 19.4 ± 3.5℃, 외부 8.8 ± 5.3℃)보다 높았으며 내, 외부 차이도 통계적으로 유의하였다(P < 0.01) (Table 2-1, 2-2 참조).

3. 오염물질과 온열인자와의 상관 관계

오염물질과 온열인자와의 상관 관계는 동절기 지하공간에서 TSP와 기류, CO₂와 기온 습도, CO와 기류, SO₂와 기온이 유의한 상관관계를 보였으며(P < 0.05), 하절기 지하공간에서 TSP와 기류, 기온, 기습, 그리고 CO₂와 평균복사온도, CO와 평균복사온도, SO₂와 기류, 기습이 유의한 상관관계를 보였다(P < 0.05). 그러나 동절기 하절기에 모두 유의한 상관관계를 보이는 것은 CO₂와 기온 뿐이었다(P < 0.05). 외부오염물질과 온열인자와의 상관관계역시 계절별로 다르게 나타

Table 1-1. The mean concentration of air pollutants by site and time (winter)

pollutant	Site	No.	Morning	Afternoon	Night	Total
SO ₂ (ppm)	inside	39	0.044 ± 0.025	0.030 ± 0.012	0.034 ± 0.014	0.036 ± 0.019
	outside	39	0.061 ± 0.053	0.039 ± 0.023	0.042 ± 0.020	0.047 ± 0.036
NO ₂ ** (ppm)	inside	39	0.056 ± 0.040	0.049 ± 0.031	0.051 ± 0.043	0.052 ± 0.038
	outside	39	0.028 ± 0.017	0.023 ± 0.020	0.036 ± 0.014	0.029 ± 0.016
TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	inside	38	553 ± 313	349 ± 73	397 ± 150	430 ± 214
	outside	38	538 ± 326	326 ± 103	421 ± 207	429 ± 242
CO** (ppm)	inside	36	3.0 ± 1.5	2.8 ± 1.0	3.4 ± 1.2	3.1 ± 1.3
	outside	37	1.4 ± 1.3	1.3 ± 1.1	1.8 ± 1.3	1.5 ± 1.2
CO ₂ ** (ppm)	inside	36	609 ± 102	892 ± 343	1075 ± 379	867 ± 353
	outside	37	416 ± 85	378 ± 39	415 ± 83	404 ± 73

**: P < 0.01

Table 1-2. The mean concentration of air pollutants by site and time (summer)

pollutant	Site	No.	Morning	Afternoon	Night	Total
SO ₂ (ppm)	inside*	36	0.042 ± 0.013	0.036 ± 0.014	0.040 ± 0.014	0.040 ± 0.013
	outside	36	0.047 ± 0.014	0.032 ± 0.010	0.043 ± 0.014	0.041 ± 0.014
NO ₂ * (ppm)	inside	36	0.047 ± 0.010	0.042 ± 0.013	0.038 ± 0.023	0.042 ± 0.016
	outside	36	0.029 ± 0.010	0.034 ± 0.010	0.041 ± 0.012	0.035 ± 0.011
TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	inside	36	396 ± 69	334 ± 72	369 ± 71	366 ± 73
	outside	36	373 ± 60	306 ± 60	325 ± 63	344 ± 66
CO (ppm)	inside	36	1.9 ± 0.6	2.2 ± 1.0	2.3 ± 1.1	2.1 ± 0.9
	outside	36	2.0 ± 0.7	2.2 ± 0.7	2.5 ± 1.0	2.26 ± 0.6
CO ₂ ** (ppm)	inside	36	683 ± 94	792 ± 131	796 ± 121	757 ± 125
	outside	36	621 ± 99	633 ± 94	654 ± 110	636 ± 99

*: P < 0.05

**: P < 0.01

Table 2-1. The mean value of thermal factors by site and time (winter)

thermal factor	Site	No.	Morning	Afternoon	Night	Total
Air Movement** (m/sec)	inside	38	0.14 ± 0.09	0.17 ± 0.08	0.13 ± 0.09	0.15 ± 0.08
	outside	39	0.81 ± 0.41	1.05 ± 0.53	0.81 ± 0.39	0.89 ± 0.45
Temperature** (°C)	inside	38	15.6 ± 4.5	20.2 ± 2.7	19.8 ± 2.1	18.6 ± 3.8
	outside	39	2.4 ± 3.7	9.1 ± 4.5	5.5 ± 3.5	5.7 ± 4.7
Mumidity (%)	inside	38	54 ± 17	49 ± 14	48 ± 14	50 ± 15
	outside	39	51 ± 20	37 ± 18	46 ± 20	44 ± 20
MRT** (°C)	inside	38	16.2 ± 3.8	20.8 ± 2.4	21.0 ± 2.0	19.4 ± 3.5
	outside	35	7.2 ± 3.3	12.2 ± 2.3	6.5 ± 3.6	8.8 ± 5.3

MRT: mean radiation temperature

**: P < 0.01

Table 2-2. The mean value of thermal factors by site and time (summer)

thermal factor	Site	No.	Morning	Afternoon	Night	Total
Air Movement** (m/sec)	inside	36	0.21 ± 0.32	0.22 ± 0.29	0.14 ± 0.12	0.19 ± 0.25
	outside	36	0.90 ± 0.51	1.12 ± 0.78	1.02 ± 0.39	1.02 ± 0.56
Temperature** (°C)	inside**	36	30.8 ± 1.3	31.5 ± 1.2	31.0 ± 1.8	31.1 ± 1.0
	outside**	36	30.3 ± 2.9	33.1 ± 3.2	30.1 ± 2.6	31.2 ± 3.2
Mumidity (%)	inside	36	74 ± 13	74 ± 19	72 ± 16	73 ± 16
	outside	36	71 ± 15	74 ± 19	74 ± 18	73 ± 17
MRT** (°C)	inside**	36	31.9 ± 1.3	32.0 ± 1.5	32.0 ± 1.8	32.0 ± 1.5
	outside**	36	37.5 ± 14.5	48.0 ± 19.2	32.0 ± 23.2	39.2 ± 15.0

MRT: mean radiation temperature

**: P < 0.01

났다(Table 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 참조).

4. 지하상가내 오염물질과 외부오염물질과의 상관관계

동종의 외부오염물질과 내부오염물질과의 상관분석결과동절기에는 CO₂(r=0.41), SO₂(r=0.55), TSP(r=0.79)로 유의한 상관관계에 있으며 CO(r=-0.20)와 NO₂(r=0.25)는 낮은 상관관계를 보였다. 하절기에는 SO₂(r=0.56), TSP(r=0.85)는 유의한 상관관계에 있으며 CO(r=-0.23), CO₂(r=-0.10)와 NO₂(r=0.18)는 낮은 상관관계를 보였다(Tabel 4-1, 4-2 참조).

고 찰

도시의 대기 오염원으로 중요한 것은 교통기관

을 비롯하여 산업장, 발전소, 주택, 빌딩 등을 들 수 있으며 각종 대기 오염물질은 이러한 오염원이 필요로 하는 에너지의 생산에 사용되는 연료의 연소, 상품의 제조 및 폐기물의 처리과정을 통하여 주로 대기 중으로 배출되어 기상학적 및 지형학적 요인들과 연계되어 결국 대기오염이 초래하게 된다(김용완 등, 1986).

최근에는 우리의 생활환경이 지하공간에까지 발달하여 각종 연료의 연소는 물론 지하철 운행 및 많은 사람들의 왕래 등에 의해 지하의 공기마저 오염이 더욱 심화 되어가고 있는 실정에 있다(이채연 등, 1990). 이렇게 공기를 오염시키는 오염물질 가운데 SO₂는 불연성의 비 폭발성 무색가스로서 인공 배출원에 의하여 연간 약 100×10~146×10톤이 전세계적으로 배출되고 이중 70%는 유향을 함유하는 석탄의 연소시에 그리고 16

Table 3-1. Correlation coefficient between air pollutants and thermal factors in subground area (winter)

	TSP	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
AM	-0.32*	-0.24	-0.39*	-0.08	0.12
TEMP	-0.03	0.28*	0.17	-0.29	0.05
HUM	0.06	0.33*	-0.13	-0.07	-0.23
MRT	-0.05	0.23	0.17	-0.25	0.04

AM: air movement, MRT: mean radiation temperature, HUM: humidity, TEMP: temperature

*: P < 0.05

** : P < 0.01

Table 3-2. Correlation coefficient between air pollutants and thermal factors in subground area (summer)

	TSP	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
AM	0.14	-0.53**	-0.08	0.05	-0.16
TEMP	0.34*	0.37*	-0.49**	0.49**	0.03
HUM	-0.08	-0.12	0.34*	-0.17	-0.11
MRT	0.19	0.21	-0.19	0.24	-0.10

AM: air movement, MRT: mean radiation temperature, HUM: humidity, TEMP: temperature

*: P < 0.05

** : P < 0.01

Table 3-3. Correlation coefficient between air pollutants and thermal factors outside of underground area (winter)

	TSP	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
AM	-0.18	-0.37*	-0.49**	-0.13	-0.45**
TEMP	-0.08*	0.02	-0.09	-0.25	-0.04
HUM	0.56**	0.29*	0.30*	-0.15	0.08
MRT	-0.09	0.11	0.05	-0.22	-0.00

AM: air movement, MRT: mean radiation temperature, HUM: humidity, TEMP: temperature
 *: P < 0.05
 **: P < 0.01

Table 3-4. Correlation coefficient between air pollutants and thermal factors outside of underground area (summer)

	TSP	CO ₂	CO	SO ₂	NO ₂
AM	0.27*	-0.22	-0.01	0.33*	0.04
TEMP	0.36*	-0.27	-0.23	0.27	0.15
HUM	-0.30*	0.08	0.04	-0.29*	-0.19
MRT	0.20	-0.30*	-0.28*	-0.00	0.09

AM: air movement, MRT: mean radiation temperature, HUM: humidity, TEMP: temperature
 *: P < 0.05
 **: P < 0.01

Table 4-1. Correlation coefficient between inside air pollutants and outside air pollutants (winter)

Outside/Inside	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂	TSP
CO	-0.20	-0.40*	-0.03	0.41*	-0.48*
CO ₂	0.28	0.41*	-0.24	-0.52**	0.41*
SO ₂	0.25	0.05	0.55**	0.89**	-0.39*
NO ₂	-0.21	-0.47*	-0.08	0.25	-0.38
TSP	0.56**	0.54**	0.47*	-0.13	0.77**

*: P < 0.05
 **: P < 0.01

%는 석유의 연소에 기인한다고 하며 (Perkins, 1974), 인체의 영향에 관해서는 특히 입자상 물질과 습기가 공존 시에 더욱 심하다고 하며 호흡기

질환의 빈도가 높아지고 사망률이 증가하는 것을 대표적으로 들 수 있다 (Wark 등, 1981; Caveres 등, 1983; 이채연 등, 1986).

Table 4-2. Correlation coefficient between inside air pollutants and outside air pollutants (summer)

Outside/Inside	CO	CO ₂	SO ₂	NO ₂	TSP
CO	-0.23	-0.22	-0.56*	-0.07	-0.46
CO ₂	0.03	-0.10	-0.34	0.12	-0.24
SO ₂	-0.57*	-0.35	0.56*	0.25	0.52*
NO ₂	-0.68**	-0.48*	0.03	0.18	-0.19
TSP	-0.18	-0.13	0.68**	0.16	0.85**

*: P < 0.05

** : P < 0.01

본 조사의 경우 SO₂ 평균농도는 지하상가 외부(동절기 0.047 ± 0.036 ppm, 하절기 0.041 ± 0.014 ppm)가 내부(동절기 0.036 ± 0.019 ppm, 하절기 0.040 ± 0.013 ppm)보다 높았고, 내 외부의 농도가 유의한 정상관 관계를 나타내고 있으며, 일중 오전이 가장 높게 나타났다. 이런 결과 외부 SO₂의 지하공간내 SO₂에 대한 상관계수가 높은 것으로 설명되며 오전 교통량의 증가와 기온역전 등에 의한 외부의 SO₂ 농도 증가에 기인하는 것으로 사료된다.

NO₂는 교통기관과 발전소, 공장, 주택 등의 각종 동력용 연료의 연소과정에서 공기중의 질소 혹은 연료자체의 질소 성분이 연료와 공기 혼합비에서 과연료 상태의 비교적 고온하에서 많이 발생하며(Perkins, 1974; Wark 등, 1981), 0.25 ppm에서 시정의 감소를 초래하고 1 ppm 이상 존재는 적갈색의 가스로 육안으로 관찰할 수 있으며, 특히 0.01 ppm 이하에서도 2~3세 소아들의 기관지염이 증가된다고 하며, 미국의 대기오염 방지국(Air Pollution Control Office)은 0.06 ppm 이상의 NO₂ 농도로서 건강장해가 초래되며, 도시지역의 연 평균 NO₂ 농도는 도시 인구의 크기와 관련이 높다고 하였다(Shy, 1980).

본 조사에서 NO₂의 평균농도는 지하상가 내부(동절기 0.052 ± 0.038 ppm, 하절기 0.042 ± 0.016 ppm)가 외부(동절기 0.029 ± 0.018 ppm, 하절기 0.035 ± 0.011 ppm)보다 훨씬 높았고 통계적으로

유의한 차이를 시현 하였으며(동절기 P < 0.01, 하절기 P < 0.05) 온열인자와는 통계적으로 유의한 상관관계를 가지지 못했다. TSP는 분진의 농도, 입자의 크기 및 분진의 구성 성분과 성질에 따라서 진폐와 암종의 발생 등의 인체장해, 환경 온도 및 식물 성장속도의 변화, 기상의 변동 등을 초래하므로, 보건학적 측면에서 간과해서는 아니 될 중요한 오염물질이며(Perkins, 1974; Wark 등, 1981; 김용완 등, 1986), 특히 환기가 불충분한 지하공간에서의 분진이야말로 저농도 일지라도 만성적인 호흡기 질환을 유발시킬 수 있으므로 보다 종합적인 관리 대책이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

본 조사의 경우 지하상가 내 외부 모두 대기환경기준치의 2배 이상을 초과하고 있으며 내부(동절기 $430 \pm 214 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하절기 $366 \pm 73 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 외부(동절기 $429 \pm 242 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하절기 $344 \pm 66 \mu\text{g}/\text{m}^3$)보다 높았으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 그러나 이러한 차이는 지하상가 내부가 외부보다 사람의 통행량이 월등히 많으며 폐쇄적인 공간으로서 환기마저 불충분하여 지하내 분진을 더욱 축적시킨 것으로 사료되며 이 등(1990년)의 부산지역 지하상가 내의 분진농도 $201 \pm 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 월등히 높은 것은 조사대상 및 분석방법 등의 차이와 조사시기가 4년이 경과하여 그동안 지하상가내 부유분진이 더욱 축적된 것에 기인한 것으로 사료된다. 일중 오전(동절기 $555 \pm 313 \mu\text{g}$

/m³, 하절기 396 ± 69 μg/m³)과 야간(동절기 397 ± 150 μg/m³, 하절기 369 ± 71 μg/m³)이 오후(동절기 349 ± 73 μg/m³, 하절기 334 ± 72 μg/m³)보다 높은 것은 출퇴근 시간이라 사람들의 통행량이 월등히 많은 것에 기인한 것으로 사료된다. CO는 자연 발생원을 통하여 연간 30 × 10⁸~80 × 10⁸톤이, 그리고 인공적으로는 304 × 10⁸톤이 각각 전 세계적으로 배출된다고 추정되며(Perkins, 1974), 인공적 배출량 중 약 85%가 교통기관의 배기가스에서 배출되었다고 할만큼 CO 발생은 자동차 연료의 연소와 관련이 높아 교통량이 많고 인구가 조밀한 도시지역에서는 더욱 주의를 기울여야 할 오염물질로 평가되고 있으며. 빈혈이나 심폐질환 등의 질환자나 CO에 감수성이 큰 사람들은 특히 관심을 가져야 할 것이다(이채연 등, 1989).

본 조사의 경우 평균 CO 농도에서 지하상가 내부(동절기 3.1 ± 1.3 ppm, 하절기 2.1 ± 0.9 ppm) 동절기가 외부(동절기 1.5 ± 1.2 ppm, 하절기 2.2 ± 0.6 ppm) 동절기 보다 높았으며 통계적으로 유의한 차이를 시현 하였다(P < 0.01). 평균농도는 지하상가 내 외부 모두 대기환경기준치를 초과하지 않고 있어 아직까지 부산지역의 지하공간에 대하여는 과히 염려하지 않아도 될 것으로 사료되나 계속적인 실태조사는 이루어져야 할 것으로 사료된다.

CO₂는 실내공기 오염을 확인할 때 비교적 중요한 항목으로 사용되고 있으나 비독성이므로 대기오염물질로는 규정하고 있지 않으며, 청정한 공기 중에서도 0.03~0.04%가 함유되어 있다. 그러나 다수의 사람이 환기가 불충분한 공간에서 장시간 체재할 경우 고농도를 나타내며 군집독의 원인물질이 된다(권이혁, 1963).

본 조사에서 CO₂ 평균농도는 지하상가 내부(동절기 876 ± 353 ppm, 하절기 757 ± 125 ppm)가 외부(동절기 404 ± 73 ppm, 하절기 636 ± 99 ppm)보다 훨씬 높았으며, 지하상가 내부의 야간(동절기 1075 ± 3793 ppm, 하절기 796 ± 121 ppm)은 일중 특히 높게 나타났다. 이는 폐쇄적인 지하

공간에서 환기부족과 더불어 통행량의 증가에 기인한 것으로 사료된다.

지하상가내 오염물질과 온열인자와의 상관관계는 CO₂와 기온에서 정상관 관계를 보였고 그의 오염물질은 계절에 따라 상관관계의 유의성이 다르게 나타났다. 이는 여러 요인이 복합적으로 작용하기 때문이라 사료되며 오염발생원과 급배기 시설 통행량 등에 대한 종합적인 연구가 이루어지면 더욱 확실한 요인이 판명될 것으로 사료된다.

지하상가내 오염물질과 외부의 오염물질과의 상관관계에서는 동, 하절기 공히 내부의 SO₂ 농도와 외부의 SO₂ 농도 및 TSP 농도간에 그리고 내부의 TSP 농도와 외부의 TSP 농도간에 유의한 정상관계를 보였으며 이는 외부의 SO₂ 농도와 TSP가 지하상가내로 유입되어 불충분한 환기 등에 의해 농도가 증가하는 것으로 사료되어진다.

본 연구논문에서 지하상가내 공기오염의 정도를 파악하기 위하여서 우선 선행되어야 할 지하상가내의 공기오염원, 급, 배기시설 가동정도 및 사람들의 통행량 등에 대하여 관리자들의 비협조에 의해 이루어지지 못함으로써 보다 확실한 오염의 원인을 파악하기에는 미흡하였으며, 추후 이들에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

결 론

부산시내지하상가의 공기오염물질중 인체에 대하여 특히 유해한 것으로 알려진 SO₂, NO₂, TSP, CO, CO₂의 농도를 조사하고 이러한 공기오염물질에 영향을 미칠 수 있는 온열인자인 온도, 습도, 기류, 평균복사온도와 외부 오염물질을 비교 고찰함으로써 공기오염물질들의 저감 대책 수립에 기초 자료를 제공하고자 함은 물론 시민들의 건강증진에 도움이 되고자 부산시내 일부 지하상가를 대상으로 하여 1994년 1월부터 2월까지, 7월부터 8월까지 각각 2개월간 지하상가

내, 외부의 일중 농도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 지하상가 내부의 CO 농도는 동절기 3.1 ± 1.3 ppm, 하절기 2.1 ± 0.9 ppm이었으며 여름철에 기온과 역상관 관계를 보였고 ($p < 0.01$) 외부의 CO 농도와는 무관하였다.
2. 지하상가 내부의 CO₂ 농도는 동절기 876 ± 353 ppm, 하절기 757 ± 125 ppm로 하절기에 기류와 역상관관계를 보였고 ($p < 0.01$), 외부의 CO₂와 정상관관계를 보였다 ($p < 0.05$).
3. 지하상가 내부의 SO₂ 농도는 동절기 0.036 ± 0.019 ppm, 하절기 0.040 ± 0.013 ppm으로 하절기에 기온과 정상관관계를 보였고 ($p < 0.01$), 동, 하절기 모두 외부 SO₂와 정상관관계를 보였다 ($p < 0.01$).
4. 지하상가 내부의 NO₂ 농도는 동절기 0.052 ± 0.038 ppm, 하절기 0.042 ± 0.016 ppm로 두 계절 모두 온열일자와는 상관성이 없었으며 외부의 NO₂ 농도와도 상관관계가 낮게 나타났다.
5. 지하상가 내부의 TSP 농도는 동절기 $430 \pm 214 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 하절기 $366 \pm 73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 우리나라 대기환경기준치(연평균 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)를 훨씬 초과하였고 하절기에 기온과 낮은 상관관계를 보였고 외부 TSP와는 높은 상관관계를 나타내었다.

참고 문헌

- 국립노동과학연구소. 유해위험물질편람 1988; 48(88-7)
- 권숙표, 정 용, 임동구. 서울시 대기중 유해 부유분진의 성분-부유분진의 중금속에 관하여, 예방의학회지 1979; 12(1): 45-55
- 권이혁. 공중보건학, 동명사, 1963; 14-31
- 김동술, 김형석. Pattern Recognition을 이용한 지하상가에서의 대기오염물질의 농도 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지 1990; 6(1): 1-10
- 김민영, 김광진, 박성배. 생활공간으로서의 지하 환경대기의 중금속 오염도에 관한 연구, 서울특별시 보건환경연구소보 1986; 22: 293-315
- 김용완, 이채언, 문덕환, 김준연, 전진호, 신해림, 이종태, 이명철, 김성천, 배기택. 부산의 대기 오염도 조사, 예방의학회지 1986; 19(2): 252-262
- 김윤신. 우리나라 실내공기질에 관한 고찰, 대한보건협회지 1992; 18(1): 147-165
- 김윤신, 박상희. 이산화질소의 지하 환경내 농도 및 교통경찰의 개인 피폭량에 관한 연구, 대한보건협회지 1989; 15(2): 77-81
- 김윤신. 서울시 일부 지역에서의 실내 라돈 농도에 관한 조사, 한국위생학회지 1989; 15: 11-18
- 김윤신. 실내 공기오염에 관한 보건학적 고찰, 대한보건협회지 1983; 9: 27-39.
- 김정균, 임경택, 윤일, 강신원, 홍성수, 최문환. 부산의 대기에 있어 NO_x 오염에 관한 연구, 부산대학교 환경연구보 1983
- 김준연, 문덕환, 김성천, 배기택, 김용완, 김정균. 택시 운전수들의 혈중 vanadium 함량에 관한 조사 연구, 인제논총 1986; 2(1): 89-98
- 나진균, 김양균, 권영수, 이석조, 김명식, 유춘식, 김진규, 김기준. 대기오염예측을 위한 대기안정도와 혼합도 분석에 관한 연구(II), 국립환경연구소보 1985; 6: 17-33
- 박일수, 이덕길, 강인구. 서울지역 겨울철 SO₂ 농도를 지배하는 기상인자, 한국대기보전학회지 1991; 7(2): 96-104
- 유영식. 빌딩 지하상가의 공기성상 및 분진의 변이원성, 한국대기보전학회지 1987; 3(2): 46-52
- 윤용찬, 윤 일, 김정균, 김민숙, 김종면. 부산의 공업단지 및 교통 중심지의 오존 농도 측정조사, 부산대학교 환경연구보 1984; 2: 45-49
- 이민희, 한의정, 원양수, 신찬기, 정해동, 한자경. 지하 환경의 대기오염물질 규제에 관한 조사연구, 국립환경연구소보 1985; 7: 63-74
- 이채언, 문덕환, 이종태, 조규일, 김정호, 박복녀, 김성천, 박형중. 부산지역지하생활권 내의 공기 오염도에 관한 조사 연구, 인제의학 1990; 11(1): 99-114
- 이채언, 문덕환, 조병만, 김준연, 배기철. 부산지역 지하상가의 대기오염에 관한 조사연구, 한국대기보전학회지 1989; 5(1): 22-31
- 한국산업안전공단. 화학물질 유해성 편람 하권, 유해 90-112-1. 1990
- Air Pollution Control Office. Air quality criteria for nitrogen oxide, publication AP-84, 1971
- Arthur CS, Richard WB, Turner DB, Donald LF. Fundamentals of Air Pollution, 2nd ed, Academic Press Inc., New York, 1984; 166
- Caceres T, Soto H, Lissi E. Indoor house pollution: Ap-

- pliance emission and indoor ambient concentrations, Atmospheric Environments, 1983; 17: 1009-1015*
- Chapin FS. *Human activity patterns in the city, A Wiley Interscience Publ, NY, 1984*
- Derek ME. *Atmospheric Pollution, 2nd ed, Blackwell Pub., Oxford UK, 1987 :50-51*
- Docky Dw, Spengler JD. *Personal exposure to respirable particulates and sulfate, J Air Poll Contr assoc, 1981; 31: 153-159*
- Kim YS, Spengler JD, and Y. Yanagisaws. *Measurements of indoor and personal exposures to nitrogen dioxide in Korea, Environ Int. 1986; 12: 401-406*
- Kim YS and Stock TH. *House-specific characterization of indoor and outdoor aerosols, Environ Int, 1986; 12: 75-92*
- Perkins HC. *Air pollution, McGraw-Hill, Inc, 1974*
- Shy CM. *The chattanooga school children study, Effect of community exposure to nitrogen dioxide, Air Pollut Contr Assoc, 1980; 20*
- Szala A. *The use of time: Daily activities of urban Mout on and CD, The Hague, Netherland, 1972*
- Wark K, Warner CF. *Air pollution-it's origin and control, 2nd Ed. New York, Haper Row Publisher, 1981*
- Wilkins ET. *Air pollution in a London Smog, Mechanical engineering, 1954; 426-429*
-