

대구지역 공중이용시설의 실내·외 공기 중 기준성오염물질의 농도

Concentrations of Criteria Pollutants in Indoor and Ambient Air of Public Facilities in Taegu Area

송희봉 · 민경섭 · 한개희 · 김종우 · 백성옥¹⁾
대구광역시 보건환경연구원, ¹⁾영남대학교 환경공학과
(1996년 1월 20일 접수, 1996년 8월 20일 채택)

Hee-Bong Song, Kyung-Sub Min, Gae-Hee Han, Jong-Woo Kim, Sung-Ok Baek¹⁾

Public Health and Environment Institute of Taegu City

¹⁾*Department of Environmental Engineering, Yeungnam University*

(Received 20 January 1996; accepted 20 August 1996)

Abstract

A comprehensive air quality monitoring was carried out in this study to investigate the concentrations of criteria air pollutants in indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area. Four different kinds of public facilities were selected as sampling sites, which are underground stores, stations & terminals, general hospitals, and department stores. Each group of the public facilities was consisted of three different sampling sites. As a consequence, a total of 12 different sampling sites were surveyed throughout this study. Sampling was conducted simultaneously indoors and outdoors, three times per day (in the morning, afternoon, and evening) and four times per year (spring, summer, fall, and winter) at each sampling site during the period of October 1994 to July 1995. A range of criteria pollutants were measured in order to obtain a broad profile of indoor and ambient air quality, including total suspended particles (TSP), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), formaldehyde (HCHO), sulfur dioxide (SO₂), and nitrogen dioxide (NO₂). In addition, temperature, relative humidity, and air current were measured on site together with those air pollutants.

Results of this study indicated that the indoor levels of TSP, CO, SO₂, and NO₂ appeared to be generally higher in stations/terminals and underground stores than those in department stores and hospitals. However, HCHO and CO₂ were found to have higher levels in the department stores and hospitals than other places, indicating that the effects of indoor sources for these pollutants are significantly different from other combustion related pollutants such as TSP, CO, and SO₂. It was also found that there are marked seasonal and daily variations both in indoor and outdoor air quality. In general, combustion related pollutants such as CO, SO₂ and NO₂ showed a typical pattern of higher levels in winter than in summer, and also higher in the morning and/or in the evening than in the afternoon. However, the seasonal and daily patterns of HCHO appeared to be opposite to the combustion related pollutants, i.e., higher both in summer and in the afternoon, implying the effect of temperature on the volatilization from indoor sources of HCHO. Results of correlation analyses between indoor and outdoor air quality also indicated that the effects of outdoor sources on the indoor levels of TSP, SO₂, CO, and NO₂ are much significant, whilst no significant correlations between indoor and outdoor levels were found for HCHO and CO₂.

Key words : indoor and outdoor air, public facilities

1. 서 론

실내공기오염은 경제발전, 인구의 도시집중, 건축기술의 진보 등에 따라 도시지역을 중심으로 각종 건물이 고층화, 대형화되어 실내공간을 사용하거나 이용하는 사람들이 늘어나면서 70년대 이후 구미, 일본 등 선진국에서는 빌딩관련질병 즉 “빌딩증후군”(sick building syndrome, SBS 현상)이 보고됨으로써 사회적인 문제의 관심사로 대두되었다. 이후 80년대 접어들면서부터 실내공기질(indoor air quality, IAQ)에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되어 오고 있지만, 우리나라에서는 90년대를 전후해서 부분적으로나마 연구가 진행되어 오고 있는 실정이다. 한편, 정부에서 시행하고 있는 실내공기질에 대한 조사는 환경처가 1989년도에 한국환경과학연구협의회를 통하여 “지하공간의 공기오염 및 공기중 미량유해물질에 관한 연구” 사업을 실시하였으며, 이들 자료를 바탕으로 1990년도에 지하공간의 환경, 위생관리 개선을 위하여 “지하공간 환경기준 권고치”를 제정(환경처, 1990)하여 오염도를 정기적으로 측정하여 활용하고 있고, 또한 대다수의 인원이 밀집되어 활동하는 시설 즉, 공중이용시설에 대한 위생적 환경의 확보를 기하기 위하여 공중위생법령을 개정(보사부, 1990)하여 시행해 오고 있다. 그리고 최근 정부(환경부)에서는 지하철역, 지하상가 등 지하생활공간의 규모나 이용객의 수가 급증함에 따른 실내공기오염에 대한 심각성이 사회적으로 인식됨에 따라 전국적으로 실내공기질 관리개선 방안수립에 반영하고자 1995년 초에 각 지방자치단체 및 유관기관과 협조하여 공기질관리실태를 조사한 바도 있다. 이러한 노력에도 불구하고 최근 대도시 지역의 대기오염도는 날로 심각해지고 있으며, 이런 오염된 외부공기는 실내공기에도 커다란 영향을 미칠 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 대기보전 및 쾌적한 실내환경을 유지하는데 기초자료를 제시하고자 대구시민이 가장 많이 이용하는 공중이용시설물을 대상으로 하여 실내와 실외의 공기오염도를 동시에 조사하여 각 기준에 제시된 오염물질(이하 기준성오염물질)의 배출원과 지역별, 계절별, 시간대별 특징 등을 알아보고자 하였다. 또한 실외공기가 실내공기에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실내와 실외 대기오염물질간의 상관관계 등을 규명하여 향후 공중이용시설의 환경개선을 위한 기술적인 관련 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 측정지역 및 기간

대구시내 중심가에 위치하고 있는 공중이용시설물에 대한 실내 및 실외공기의 오염도를 동시에 파악하기 위하여 선정된 측정지점들은 각 지역의 특성을 고려하여 지하상가, 백화점, 병원, 역 터미널의 4종류 시설물로 구분하고 각 시설물당 3개소씩 총 12개 장소를 대상으로 하여 1994년 10월부터 1995년 7월까지 각 계절별로 총 48개 장소에서 측정 조사하였다.

2.2 측정지역의 특성

각 측정지점의 주변 환경에 대해 살펴보면 지하상가 3개소는 모두 주변에 교통량이 많고 심한 차량정체를 보이는 곳에 인접해 있으며 또한 지하철 공사장이 인근에 위치하고 있다.

그리고 역·터미널 주변은 교통량은 많지만 주도로와는 약 50~100 m 정도 떨어져 있으며, 장거리운행을 위한 대형버스가 많이 주·정차하는 지역이다. 또한 병원과 백화점 주변은 주도로와는 약 100 m 이상으로 비교적 멀리 떨어져 있지만, 이들을 이용하는 이용객의 차량이 매우 많은 시내 중심 상업지구내에 위치하고 있다. 이들 각 측정지점에 대한 건물용도별로 특징을 조사하여 표 1에 요약하였으며, 결과해석에 보조자료로 활용될 것으로 생각되는 건물년수, 환기 및 냉난방기동상태, 출구의 형태, 인구밀도 등을 함께 조사하였다.

2.3 측정 및 분석방법

2.3.1 총부유분진(TSP)

각 측정지점에서의 총부유분진은 공기의 오염도를 대표할 수 있는 장소라고 판단되는 건물(1층)내부의 4개 지점과 건물외부의 출입구앞 4개 지점을 선정하여 지상 1.5 m 정도에서 측정하였다. 총부유분진(TSP)은 high volume air sampler(HVAS)에 비해 소음이 적고 실내공기의 인위적인 환기효과를 일으키지 않으며, 또한 모터에 의해 발생한 열이 샘플러 주변에 있는 입자의 분포를 변화시키지 않는 low volume air sampler(LVAS)를 이용하였다. LVAS는 pump(Millipore, USA), filter holder(Millipore, 47 mm, USA)와 적산 flowmeter(DC-2A, Japan)의 조립형을 사용하였으며, 분당 약 28ℓ의 유량으로 일반대중이 가장 많이 이용하는 시간대인 10:00에서 20:00의 10시간 동안 연속포집하였다. 또한 각각의 포집여지는 시료채취 전에

데시케이터에 넣어 함량이 될 때까지 약 72시간 이상을 보관 후 사용하였으며, nitrocellulose membrane filter (Millipore, 47mm, 0.8 μm pore size, USA)를 사용하였다. 시료채취 후에도 동일한 방법으로 처리하여 시료채취 전후의 무게를 electronic analytical balance (OHAUS Galaxy 160D, England)로 0.01mg까지 측정하여 각 지점별로 4개 시료의 평균농도를 산출하여 그 지점의 대표치로 간주하였다.

2.3.2 가스상물질

각 측정지점은 공기의 오염도를 대표할 수 있는 건물(1층)내부의 중앙부분 1개소 및 건물의부 출입구 앞 1개소의 지상 1.5 m 정도에서 각각 일중 오전(10:00~11:00), 오후(14:30~15:30), 저녁(19:00~20:00) 3회에 걸쳐 1시간씩 측정하였다. 일산화탄소(CO)와 이산화탄소(CO₂)는 정전위전해식(CO의 경우)과 비분산적외선식(CO₂의 경우)의 원리를 이용한 CO/CO₂ Indicator (Gastec CMCD-10P, Japan)를 사용하여 각 지점별로 현장에서 15분간 연속측정한 4개 측정치의 평균치를 계산하여 1시간 대표치로 간주하였다. 또한 아

황산가스(SO₂)와 이산화질소(NO₂)는 handy sampler (Kimoto HS-7, Japan)를 사용하여 분당 500 ml의 유량으로 20분 동안 10 l 용량의 tedlar gas sampling bag (SUPELCO, 10 l, USA)에 시료공기를 채취한 다음 실험실로 옮겨 pulsed fluorescence SO₂ analyzer (Thermo Environmental Model 43A, USA)와 chemiluminescence NO-NO₂-NO_x analyzer (Thermo Environmental Model 42, USA)를 사용하여 자동분석 측정하였다.

포름알데히드(HCHO)는 개인용 공기포집기 즉, handy sampler (Kimoto HS-7, Japan)를 사용하여 흡수용액에 1 l/분의 유량으로 60분 동안 통과시킨 용액을 분석용시료로 하여 대기오염공정시험방법의 크로모트 로핀산법에 따라 UV/VIS spectrophotometer (Kontron UVIKON 930, Italy)를 사용하여 파장 570 nm에서 흡광도를 측정하여 농도를 산출하였다.

2.3.3 기상인자

각 측정지점은 공기의 오염도를 대표할 수 있는 건물(1층)내부의 중앙부분 1개소의 지상 1.5m 정도에서 일

Table 1. Identification of sampling sites.

Sampling Site		Area (m ²)	Building Age (year)	Ventilation	Air Conditioning	Population (persons/day)	Exit Status	Population Density (person/m ² /day)
Facility	No.							
Station & Terminal	1	15,372	26	Natural	No	40,000	Open	0.48
	2	1,718	7	Natural	No	2,000	Open	
	3	533	20	Natural	No	2,500	Open	
Underground Store	1	9,923	19	Forced	Yes	10,000	None	2.31
	2	9,036	10	Forced	Yes	15,000	None	
	3	1,430	17	Natural	No	20,000	None	
Department Store	1	4,357	11	Forced	Yes	6,000	Close	2.21
	2	2,858	9	Forced	Yes	7,000	Close	
	3	949	22	Forced	Yes	5,000	Close	
General Hospital	1	1,745	3	Forced	Yes	5,000	Close	4.31
	2	552	25	Forced	Yes	4,000	Close	
	3	374	14	Forced	Yes	2,500	Close	

Table 2. Summary of indoor meteorological conditions in sampling sites.

Parameter	Temperature, °C		Humidity, %		Air Current, m/sec	
	Range	Mean ± S.D.	Range	Mean ± S.D.	Range	Mean ± S.D.
Station & Terminal	4.7~28.7	20.8 ± 6.9	22.7~56.7	37.7 ± 8.2	0.18~0.59	0.25 ± 0.08
Underground Store	8.7~29.3	21.1 ± 6.6	28.0~54.3	35.7 ± 11.3	0.16~0.44	0.32 ± 0.12
General Hospital	20.0~27.7	23.8 ± 2.3	20.7~57.7	39.0 ± 12.1	0.11~0.23	0.18 ± 0.04
Department Store	20.7~28.7	25.2 ± 2.7	22.7~56.0	36.0 ± 11.5	0.12~0.34	0.22 ± 0.07

* Sample size for each mean is 36.

중 오전(10:00~11:00), 오후(14:30~15:30), 저녁(19:00~20:00) 3회에 걸쳐 1시간씩 측정하였다. 온도 및 습도의 측정에는 아우구스트 건습구온도계(佐藤計量器製作所, Japan)를 사용하였고, 기류는 Kata 온도계(佐藤計量器製作所, Japan)를 이용하여 20분씩 측정·산출한 3개 측정치의 평균치를 계산하여 1시간 대표치로 간주하였다. 이들에 대한 평균치를 각 건물 용도별로 나타내면 표 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지역별 실내와 실외의 대기오염물질의 농도

표 3에서 나타난 바와 같이 각 지역별로 측정된 실내·외 대기오염물질의 평균농도, 농도비(I/O) 및 각 오염물질의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

TSP와 NO₂의 평균농도는 역·터미널과 지하상가에서 병원과 백화점보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 이는 주변의 지역적인 교통상황에 의한 것으로 많은 통행 차량에서 배출되는 오염물질과 지하철공장에서 비산되는 먼지 등으로 인해 대기오염이 더욱 가속화되었기 때문인 것으로 추측된다. 특히, TSP의 경우는 역·터미널과 지하상가에서 우리나라의 대기환경기준치와 실내환경기준치인 150 µg/m³을 상회한 190, 175 µg/m³과 187, 154 µg/m³로 나타나 오염상태의 심각성을 보여준다. 또한 NO₂의 경우에도 역·터미널과 지하상가에서 우리나라의 대기환경기준치인 50 ppb를 상회하거나 육

락하는 67 ppb와 44 ppb로 나타났다. CO와 SO₂의 평균농도는 모든 지역에서 대기환경기준치인 9 ppm과 30 ppb 그리고 실내환경기준치와 지하공간권고치인 10 ppm과 150 ppb를 상회하지는 않았다. 그러나 측정지역 중 지하상가와 백화점이 병원과 역·터미널보다는 높게 나타났음을 알 수 있다. 이는 CO의 경우 실내의 음식점에서 사용하는 각종 취사도구에 의한 연료의 연소에 기인한 것으로 생각되며, 실외의 경우 지하상가는 주변의 많은 차량에서 배출되는 오염물질에 의한 기어로 생각되나 백화점은 실내·외 평균 I/O비가 약 1.4배로 실내가 실외보다 오염원은 더 많이 존재하지만, 실외의 주변에 특별한 배출원이 없음에도 불구하고 농도가 높게 나타난 사실로 미루어 볼 때, 좀 더 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 그리고 CO₂의 평균농도는 실내에서 병원과 백화점이 지하상가나 역·터미널보다 두드러지게 높은 농도와 농도비(I/O)인 986 ppm, 832 ppm 및 약 2.2배, 약 1.9배로 나타나 우리나라의 실내환경기준치인 1,000 ppm에 거의 육박하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 밀폐된 좁은 공간 속에 충분한 환기작용이 이루어지지 않는 상태에서 많은 상주인과 이용객의 호흡을 통해 CO₂가 다량 배출되었기 때문으로 공중이용시설에서 적정용량의 환기시설을 설치하는 것이 매우 중요하다는 점을 시사해 준다. 그러나 실외에서의 CO₂는 모든 지역에서 437~468 ppm으로 측정되어 거의 일정한 양상을 나타낸 점과는 큰 차이를 보이고 있다. 한편, HCHO의 평균농도는 우리나라의 지하공간권고치인 100 ppb를 상회한 지역은 없었지만, 실내에서

Table 3. Summary statistics for indoor and outdoor air quality in public facilities in Taegu area.

Pollutants	Station & Terminal			Underground Store			General Hospital			Department Store			Total		
	Indoor	Outdoor	I/O	Indoor	Outdoor	I/O	Indoor	Outdoor	I/O	Indoor	Outdoor	I/O	Indoor	Outdoor	I/O
TSP (µg/m ³)	190±71 (90~358)	187±77 (86~375)	1.0*	175±57 (93~310)	154±48 (44~215)	1.1*	147±45 (60~211)	143±58 (50~258)	1.0*	109±51 (34~184)	128±70 (48~253)	0.9*	155±63 (34~358)	154±66 (44~375)	1.0*
CO (ppm)	1.5±0.4 (0.8~2.2)	1.5±0.4 (0.9~2.1)	1.0	2.6±0.9 (1.1~4.0)	3.4±1.6 (1.8~6.7)	0.8*	1.7±0.6 (0.7~2.8)	1.7±0.6 (0.9~3.1)	1.0*	2.7±1.5 (0.8~5.9)	2.0±1.1 (0.6~3.4)	1.4	2.1±1.1 (0.7~5.9)	2.1±1.3 (0.6~6.7)	1.0*
CO ₂ (ppm)	628±126 (479~860)	437±42 (330~492)	1.4	692±200 (460~1195)	468±48 (411~556)	1.5*	986±218 (551~1362)	445±54 (362~543)	2.1*	832±161 (607~1124)	442±35 (395~521)	1.9	785±223 (460~1362)	448±46 (330~556)	1.8
HCHO (ppb)	21±14 (12~61)	18±6 (8~28)	1.2*	25±18 (5~65)	15±7 (7~30)	1.6	20±7 (11~34)	13±4 (9~22)	1.6*	43±32 (16~121)	14±6 (7~27)	3.1	27±21 (5~121)	15±6 (7~30)	1.8*
SO ₂ ** (ppb)	11±9 (4~31)	13±8 (4~26)	0.8*	12±6 (5~22)	22±15 (5~53)	0.6*	7±5 (2~15)	13±9 (4~32)	0.6*	11±8 (5~26)	19±16 (4~40)	0.6*	10±7 (2~31)	17±12 (4~53)	0.6*
NO ₂ ** (ppb)	60±28 (35~125)	67±40 (20~145)	0.9*	40±8 (28~50)	44±13 (28~67)	0.9*	29±6 (20~38)	34±9 (22~50)	0.9	32±8 (21~45)	33±13 (20~57)	1.0*	40±19 (20~125)	45±25 (20~145)	0.9*

** : Sample size for each mean is 9 (36 for total), otherwise the size is 12 (48 for total).

* : Indicates that indoor and outdoor mean levels are different at a significance level of 0.05.

백화점과 지하상가가 병원과 역·터미널 보다 두드러지게 높은 농도와 농도비(I/O)인 43 ppb, 25 ppb 및 약 3.1배, 약 1.7배로 나타났다.

HCHO는 문헌상(Meyer, 1979)에 의하면 4.4년 이상된 건물에서는 단열재(urea-formaldehyde foam insulation, UFFI)인 건축자재를 사용한 건물자체에서의 HCHO 발생이 거의 없다고 조사보고 되어 있는데, 본 연구의 조사대상시설은 건물연수가 평균 15년 이상된 것으로 조사되어 건물자체에서의 HCHO 발생은 어느 정도 배제할 수 있었다. 따라서, 이들의 실내공간에 진열된 각종 가구, 의류, 화장품 등과 같은 생활용품이나 음식점에서 사용하는 주방연료의 연소과정 혹은 외부로부터의 유입 등 다양한 오염원에 의해서 많이 배출되었기 때문인 것으로 추측된다. 그리고 실외에서의 HCHO는 역·터미널과 지하상가가 백화점과 병원보다는 약간 높은 18 ppb와 15 ppb로 나타나, 이는 주변의 많은 통행차량에서 배출된 대기 중의 탄화수소(HC)가 광화학 반응을 일으켜 비교적 높게 나타난 것으로 보여지므로 좀더 명백하게 검토할 필요가 있다고 생각된다.

한편 표 3에서 보는 바와 같이 본 연구에서 측정된 모든 지역의 평균농도와 농도비(I/O)로서 실내와 실외의 대기오염물질의 배출원을 살펴보면, TSP와 CO, NO₂는 평균 I/O비가 약 0.9~1.0배로 나타나 실내와 실외에 모두 오염원이 존재하는 것으로 나타난 반면에, CO₂와 HCHO는 평균 I/O비가 각각 약 1.8배로 나타나 실외보다는 실내에서 주된 오염원이 존재하는 것으로 나타났다. 그러나, 이와 반대로 SO₂는 평균 I/O비가 약 0.6배로 나타나 실내보다는 실외에서 주된 오염원이 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 이와 같은 결과는 지금까지 문헌상(Yocom, 1982)에서 알려진 것과 매우 일치하는 결과를 보였다.

3.2 계절별 실내와 실외의 대기오염물질의 농도

표 4에서 나타낸 바와 같이 각 계절별로 나타난 실내·외 대기오염물질의 평균농도와 특징에 대해 살펴보면 다음과 같다.

대기오염물질의 농도변화 추이는 연료의 사용이나 기상변화에 밀접한 관련이 있는 것으로 보여진다. 연료연소와 관련이 있는 것으로 알려진 TSP와 CO, SO₂의 평균농도는 실내·외 모두 전형적인 동고하저형으로 난방기인 겨울철이 비난방기인 여름철보다 높게 나타났음을 알 수 있다.

이는 계절별 특성의 원인으로 겨울철에 각종 화석연료

의 사용량이 많은 난방가동이 집중적으로 이루어졌기 때문으로 사료된다. 특히, 진폐증을 일으키는 물질로 알려진 TSP의 경우 여름철을 제외한 가을철과 겨울철의 실내·외 평균농도는 우리나라의 대기환경기준치와 실내환경기준치인 150 µg/m³을 약간 상회하거나 육박한 것으로 나타났다. 그러나, 실내·외가 기준치를 더욱 상회한 200 µg/m³ 이상으로 대부분 측정된 봄철이 가장 높게 나타난 이유는 본 연구의 측정기간 중에 총 7일간의 황사가 발생된 것이 관측되어 우리나라의 지리적 조건에서 오는 빈번한 황사현상의 영향이 지속적으로 머물렀기 때문으로 여겨진다. 또한 CO의 경우는 모든 계절에 있어서 대기 및 실내환경기준치인 9 ppm과 10 ppm에 훨씬 미치지지는 않았지만, 특히, 겨울철이 다른 계절과는 달리 주변에 교통량이 많은 지하상가를 제외하고는 평균 I/O비가 약 1.2~1.6배로 실내가 실외보다 높게 나타난 것은 실내난방을 위한 연료의 연소과정에 의해 실외보다 영향을 더 많이 받은 것으로 생각되었다. 그리고 SO₂의 경우는 실내와 실외가 겨울철이 각각 평균농도가 17 ppb(9~20 ppb)와 29 ppb(21~39 ppb)로 나타나 여름철의 각각 평균농도인 5 ppb(4~6 ppb)와 6 ppb(4~7 ppb)보다 실내가 약 3.4배, 실외가 약 4.8배로 두드러지게 높게 나타나는 특성을 보였다. 그러나, 발암성(특히 비암)물질로 알려진 HCHO의 평균농도는 전 계절에 걸쳐 실내환경기준치인 100 ppb를 상회한 계절은 없었지만 연료연소와 관련이 있는 물질과는 달리 실내·외 모두 여름철이 겨울철보다는 높게 나타났음을 알 수 있다. 특히, 실내에 있어서 여름철이 평균농도는 42 ppb(19~78 ppb)로 나타나, 겨울철의 평균농도 18 ppb(14~22 ppb)보다 약 2.3배 정도 높게 나타났음이 주목할 만하다.

이는 기온상승 등 기상조건의 영향으로 인하여 실내 내부에 산재해 있는 여러가지의 다양한 오염원들의 휘발성이 더욱 강하게 작용했기 때문에 많이 방출된 것으로 여겨진다. 그리고 신진대사의 활동과 관련이 있는 것으로 알려진 CO₂의 평균농도는 실내에 있어서 모든 계절에 걸쳐서 병원이 1,042 ppm과 1,103 ppm으로 나타난 봄철과 여름철을 제외하고는 실내환경기준치인 1,000 ppm을 상회하지는 않았지만 가을철이 다른 계절에 비해서는 실내가 전반적으로 낮게 나타났음을 알 수 있었다. 이는 본 연구의 측정기간 중에 모든 지역에서 냉난방을 가동하지 않는 관계로 출입문의 전면 개방으로 인하여 실외 외기의 낮은 CO₂가 실내로 직접적인 유입이 많아 희석율이 높았을 것으로 보여준다. 그러나, 실외에서의 CO₂는 전 계절에 걸쳐 실내의 경우와는 달리 농도차이

Table 4. Comparison of seasonal average concentrations of criteria pollutants in indoor and outdoor air.

Sampling Sites	Seasons	TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		CO(ppm)		CO ₂ (ppm)		HCHO(ppb)		SO ₂ (ppb)		NO ₂ (ppb)	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Station & Terminal	Spring	219	217	1.6	1.7	629	459	13	14	9	12	51	54
	Summer	126	135	1.2	1.3	603	469	19	19	5	7	54	80
	Fall	200	195	1.2	1.4	519	418	31	22	-	-	-	-
	Winter	213	201	1.9	1.5	759	402	22	17	20	21	76	66
Underground Store	Spring	249	205	2.8	3.7	819	525	24	14	12	24	46	48
	Summer	123	102	2.3	2.5	648	449	42	16	6	7	35	39
	Fall	170	166	2.8	4.3	616	426	19	21	-	-	-	-
	Winter	159	145	2.5	3.1	686	474	14	10	17	34	38	46
General Hospital	Spring	196	217	2.0	2.1	1,042	473	18	11	8	13	30	36
	Summer	130	100	1.0	1.4	1,103	474	30	16	4	5	32	40
	Fall	134	154	1.5	1.7	829	428	19	16	-	-	-	-
	Winter	128	103	2.1	1.7	970	406	15	10	9	21	26	28
Department Store	Spring	167	208	2.5	2.5	829	486	38	15	8	13	35	42
	Summer	62	55	1.6	0.7	868	404	78	14	5	4	24	22
	Fall	84	88	2.5	2.0	732	435	36	16	-	-	-	-
	Winter	121	163	4.1	2.6	902	442	21	11	20	39	36	34

가 거의 없는 것으로 나타났다. 또한, 저농도에서도 만성폐질환을 일으키는 물질로 알려진 NO₂의 평균농도는 실내의 경우 겨울철이 평균농도 44 ppb (26~76 ppb)를 나타내어 여름철의 평균농도 36 ppb (24~54 ppb)보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 이는 각종 난방용 연료사용량의 증가로 인한 것으로 추측된다. 하지만, 현대 도시인들이 과거에 비해 약 80% 이상을 실내공간에서 생활하는 것으로 조사보고 (Chapin, 1974) 되어 있으므로 지하공간권고치인 150 ppb에는 훨씬 미치지 않지만, 대기환경기준치인 50 ppb와는 육박하는 수치이기 때문에 인체에 미치는 유해성은 결코 간과할 수 없다. 그리고 실외에서의 NO₂는 봄철, 여름철 및 겨울철의 평균농도가 45 ppb (36~54 ppb), 45 ppb (22~80 ppb) 및 44 ppb (28~66 ppb)로 나타나, 계절별로 농도차이가 거의 없는 것으로 측정되어 기준치인 50 ppb에 거의 육박한 것으로 나타나 TSP의 경우처럼 심각한 오염수준을 보여주고 있다. 한편, 실외의 NO₂는 계절별로 변화양상을 뚜렷이 나타내지 않고 있는데, 그것은 SO₂의 경우와는 반대로 청정연료 대체와 황합량규제 등 연료정책으로 인한 효과가 없음을 의미하는 것으로 해석된다. 그 이유는 NO₂의 가장 큰 배출원인 자동차가 꾸준히 증가하고 있는 것과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

3.3 시간대별 실내와 실외의 대기오염물질의 농도

각 시간대별로 측정된 실내와 실외의 대기오염물질의

평균농도로서 오후시간대를 1.0으로 기준해서 오전과 저녁시간대에 대한 농도비를 구하여 표 5에 나타내었다.

표 5에서 보는 바와 같이 모든 측정항목에 대해서는 실내와 실외가 모두 통계학적으로 상당히 유의성이 있는 것으로 조사되었다. 시간대별로 나타난 대기오염물질의 특징을 살펴보면, 연료연소와 관련이 있는 CO, SO₂, NO₂는 실내·외 모두 오후시간대 보다 오전과 저녁시간대가 높게 나타났음을 알 수 있다. 이러한 이유는 하루 중 차량의 운행이 집중되는 출퇴근시간대의 교통량이 많은데서 영향을 미친 것과 특히 겨울철의 난방용보일러 가동시간대 (09:00~10:00, 18:00~19:00)에 집중적인 난방용연료의 사용으로 인하여 높게 나타난 것으로

Table 5. Daily variations of indoor and outdoor air quality with respect to the afternoon measurements.

Pollutants	Indoor (n=48)			Outdoor (n=48)		
	(M/A) ^a	A ^b	(E/A) ^c	(M/A) ^a	A ^b	(E/A) ^c
CO	(1.1)***	1.0	(1.3)***	(1.2)***	1.0	(1.4)***
CO ₂	(0.9)***	1.0	(0.9)***	(1.1)*	1.0	(1.0)***
HCHO	(0.8)***	1.0	(0.9)***	(0.9)*	1.0	(0.9)***
SO ₂ [†]	(1.3)***	1.0	(1.7)***	(1.9)**	1.0	(1.7)***
NO ₂ [†]	(1.1)***	1.0	(1.1)***	(1.3)***	1.0	(1.2)***

^a : Morning/Afternoon Conc. ratio

^b : Afternoon

^c : Evening/Afternoon Conc. ratio

* : P<0.05, ** : P<0.01

***: P<0.001 compared with Afternoon

[†] : sample size(n) = 36

추측된다. 그리고 특기할 것은 SO₂가 1.1~1.4 범위의 농도비를 나타낸 CO와 NO₂의 경우와는 달리 농도비가 1.3~1.9 범위로 더 높게 나타났음이 주목할 만하다. 이러한 결과는 SO₂가 연료소비량에 따라 CO나 NO₂ 보다는 상대적으로 뚜렷한 농도차이를 나타내어 국부적으로 영향을 미치는 것이 아닌가 추측된다. 그리고 시간대별로 나타난 HCHO는 연료연소와 관련이 있는 물질(CO, SO₂, NO₂)과는 반대로 실내·외 모두 오후시간대가 오전과 저녁시간대보다 높게 나타났음을 알 수 있다. 이는 HCHO 발생량이 기상조건과 밀접한 연관이 있는 것으로 보인다. 즉 일중 일사량이 적고 습도가 높으며 기온이 낮은 오전과 저녁시간대보다는 일사량이 많고 습도가 낮으며 기온이 높은 오후시간대에 대기 중에 존재하는 탄화수소(HC)가 기온상승 등으로 인하여 광화학반응이 활발하게 진행되었기 때문에 HCHO 농도가 높게 나타난 것으로 추측된다. 이러한 결과는 미국 Los Angeles에서 광화학스모그시 나타난 낮시간대의 최대치와 거의 같은 경향을 보여준다. 한편, CO₂는 실내의 경우 하루 중 사람들이 실내에서의 활동이 오전과 저녁시간대보다는 낮에 더 많이 이용하여 봄비기 때문에 오후시간대가 어느 정도 높게 나타난 것이 아닌가 추측된다. 그러나, 실외에서의 CO₂는 오후와 저녁시간대보다는 오전시간대가 약간 높기는 하지만 전반적으로 시간대별 비슷한 농도분포를 보여주고 있다.

3. 4 대구지역의 대기환경수준과 본 연구의 실측치와의 비교

대구지방환경관리청에서 측정한 대기질 관련자료(월별 대기환경수준현황, 1994~1995)와 본 연구에서 계절별로 1년간 측정된 실외 대기오염물질의 결과치를 서로 비교하여 표 6에 나타내었다. 일반적으로 측정하고자 하는 대기오염물질의 농도는 측정지역, 측정방법 그리고 측정위치, 기상조건 등의 차이로 인하여 측정결과치가 상이하게 나타나는 경우가 많이 있다.

표 6에서 보는 바와 같이 환경부 측정치는 SO₂가 연간환경기준치인 30 ppb를 약간 상회한 34 ppb를 나타내었지만, 이와 반대로 본 연구의 실측치는 TSP와 NO₂가 연간환경기준치인 150 µg/m³와 50 ppb를 약간 상회하거나 육박하는 154 µg/m³과 45 ppb를 나타내었다. 그리고 특히, 여기서 주목할 만한 것은 TSP와 CO, NO₂는 본 연구의 실측치가 환경부의 측정치보다 약 2배 정도 높게 나타났다는 사실이다. 이것은 측정위치의 차이에서 주된 원인이 있는 것으로 생각되는 바, 본 연구는 인간의 호흡(체감)높이인 지상 1.5 m 정도에서 측정이 이루어진 반면에 환경부는 건물옥상(지상 약 10 m 정도)에서 측정이 이루어졌기 때문에 지표면부근의 측정이 건물옥상보다 오히려 각종 대기오염물질의 유입이 많은데서 원인이 있는 것으로 보인다. 그러나, SO₂는 TSP나 CO, NO₂와는 반대로 환경부의 측정치가 본 연구의 실측치보다 약 2배 정도 높게 나타났음을 알 수 있었다. 이것은 측정지역의 차이에서 주된 원인이 있는 것으로 생각되어진 바, 본 연구는 경유나 LPG 등의 청정연료 사용지역인 시내중심가에서만 측정이 이루어진 반면에 환경부는 공업지역을 포함한 대구 전지역의 결과치이기 때문에 국지적오염의 기여로 인하여 높게 나타난 결과라고 보아진다. 따라서, 도심지역의 SO₂ 농도 분포는 도시가스공급과 황합량규제 등 연료변환정책의 효과로 인하여 오염도가 상당히 양호하게 개선된 것으로 판단된다.

3. 5 실내와 실외 대기오염물질간의 상관관계

실외공기오염도가 실내공기오염도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내와 실외의 대기오염물질(TSP, CO, CO₂, HCHO, SO₂, NO₂) 농도간의 상관성을 구하여 그림 1에 나타내었다.

그리고 이들 대기오염물질에 대해서 통계학적으로 유의성을 검증해 본 결과로는 모든 오염물질이 유의한

Table 6. Comparison of ambient air quality measured in this study with data from ambient air quality monitoring network.

Pollutants	LTAAQS*	Spring		Summer		Fall		Winter		Annual	
		This Study	AAQMN**	This Study	AAQMN	This Study	AAQMN	This Study	AAQMN	This Study	AAQMN
TSP	150 µg/m ³ /year	212	83	98	56	151	79	153	84	154	76
CO	9 ppm/8 hrs	2.5	1.0	1.5	0.6	2.4	0.8	2.2	1.4	2.1	1.0
SO ₂	30 ppb/year	16	34	6	20	-	37	29	43	17	34
NO ₂	50 ppb/year	45	29	45	21	-	24	44	29	45	26

* : Long term ambient air quality standard, ** : Ambient air quality monitoring network

($p < 0.05$) 상관관계를 나타내었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 연료연소와 관련이 있는 물질인 TSP와 CO, SO₂, NO₂는 상관계수가 각각 약 0.81과 0.54, 0.74, 0.78로 나타나 전반적으로 비교적 양호한 상관성을 보였다. 이러한 결과는 CO의 경우 이민희 등(1985)에 의해 조

사된 서울지역 지하환경에서의 실내와 실외의 높은 상관성($r=0.83$)의 연구결과와도 다소 일치함을 알 수 있었다. 이것은 연료연소와 관련있는 물질들이 실외공기의 오염도가 높을 수록 실내공기의 오염도도 높아질 수 있다는 것을 시사해주고 있다. 그러나, CO₂와 HCHO는

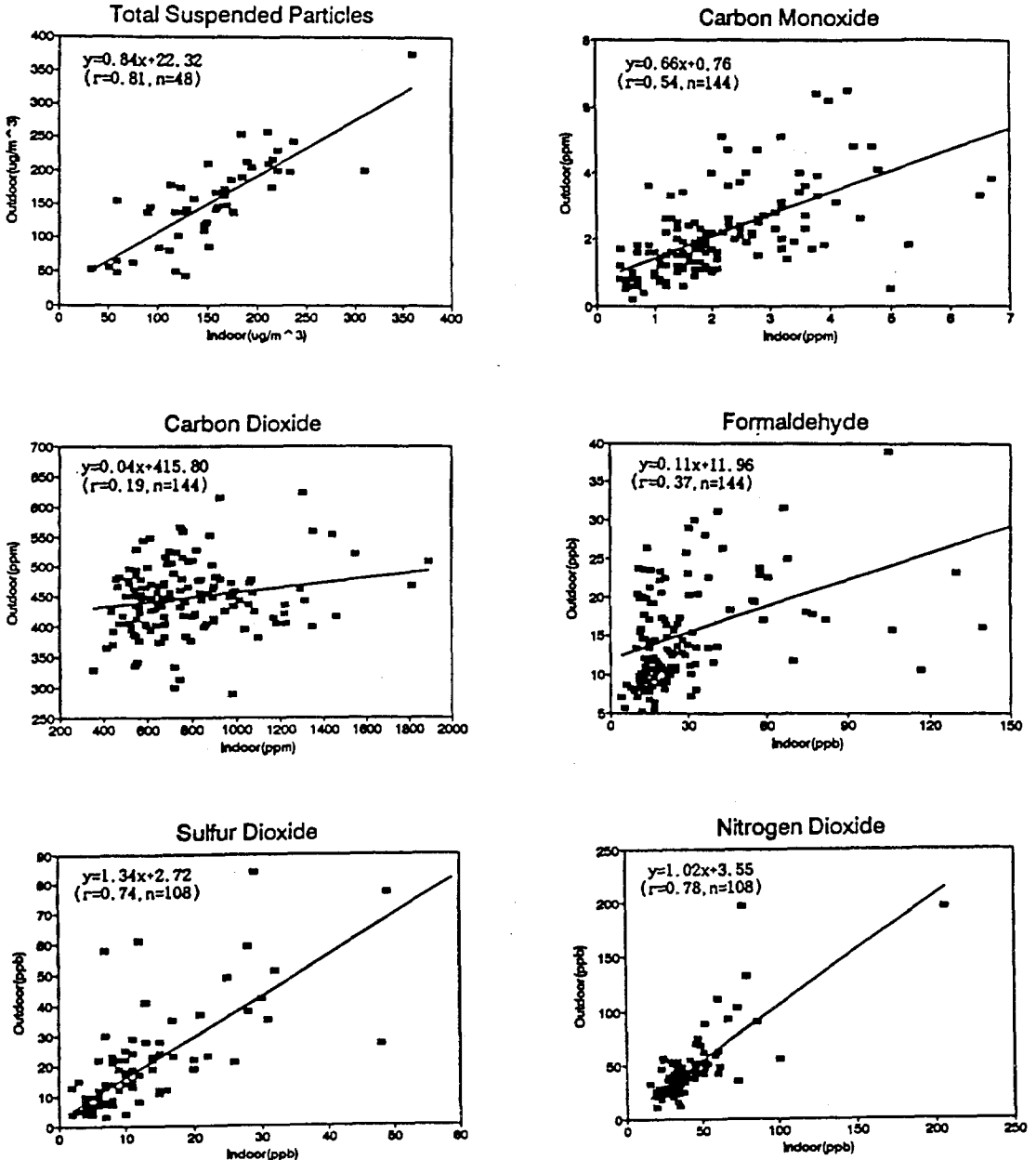


Fig. 1. Relationships between indoor and outdoor air pollutants.

실내에 주된 오염원이 있는 물질들로 상관계수가 약 0.19와 0.37로 나타나 비교적 낮은 상관성을 보였다. 이러한 결과는 HCHO의 경우 김윤신 등(1989)에 의해 조사된 서울지역 지하시설에서의 실내와 실외와의 낮은 상관성($r=0.38$)의 연구결과와도 매우 일치함을 알 수 있었다. 이것은 CO₂와 HCHO의 실내농도가 실외농도에 영향을 크게 받지 않는다는 것을 시사하고 있는 것이다. 따라서 이상의 결과로 볼 때, 실내공기는 실외 외부공기의 영향을 무시할 수 없음을 알 수 있었다. 즉, 실내공기오염도는 실외 대기오염도의 영향을 많이 받고 있음을 짐작할 수 있다.

3.6 실내 대기오염물질과 기상조건간의 상관관계

실내공기질 (IAQ)은 건물내부의 기상조건과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 기상인자가 실내공기오염도에 미치는 영향을 알아보기 위해 본 연구의 조사대상지점에서 측정된 실내 기상조건(표 2)을 이용하여 실내 대기오염물질과 상관성을 검증해 본 결과는 표 7과 같다.

표 7에서 보는 바와 같이 온도는 TSP, SO₂ 및 NO₂와는 상관계수가 -0.30, -0.46 및 -0.22로 역상관성을 나타내고 있는데, 이는 기온이 낮아지면 난방용연료의 사용량 증가에 따른 이들 오염물질의 배출량도 많아지기 때문으로 생각된다. 이와 같은 결과는 신찬기 등(1992)이 서울지역의 대기오염농도와 기상인자의 관련성 연구에서 TSP와 SO₂가 각각 -0.36과 -0.51의 역상관관계를 나타낸 것과 다소 일치하는 결과였다. 이와는 반대로 CO₂와 HCHO는 상관계수가 0.21과 0.37로 정상관성을 나타내었는데, CO₂의 경우는 실내에서 활동(호흡) 인구수의 증가에 따른 CO₂의 배출량이 많아짐과 아울러 온도가 상승하는 요인으로 사료된다. 그리고 HCHO의 경우는 표 5에서 언급한 시간대별 HCHO의 농도변화 추세에서 처럼 온도가 가장 높은 시간대에 HCHO 농도가 최대치를 나타내고 있는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 습도는 HCHO ($r=0.34$)를 제외

하고는 모든 오염물질에 대해 역상관관계(TSP와 SO₂의 경우 -0.35와 -0.44)로 나타나, 신동천 등(1990)이 서울 신촌지역의 병원내 사무실에서 조사한 역상관관계(TSP와 SO₂의 경우 각각 -0.23)의 연구결과와도 비슷한 결과를 보였다.

한편, 기류는 HCHO, SO₂, NO₂ 등과는 유의한 상관관계를 나타내지는 않았지만, TSP와는 상관계수가 0.27로 나타나 신동천 등(1990)의 연구결과($r=0.57$)와 같은 정상관성을 보였다. 그리고 CO₂와는 상관계수가 -0.33으로 역상관성을 나타내었는데, 이것은 공기의 흐름이 느린 높은 농도의 실내 CO₂와 공기의 흐름이 빠른 낮은 농도의 실외 CO₂와의 희석으로 인한 확산효과와 관련성이 있는 것으로 사료된다.

3.7 공중이용시설 공기질관리의 문제점 및 과제

본 연구의 조사대상시설은 모두 공조(환기)시스템을 갖추고는 있었지만, 경비절감을 위해서 혹은 관리미흡 등으로 인하여 가동하지 않고 일부만 가동하고 있는 실정이었다. 지금까지의 공조시스템은 밀폐된 실내공간에 냉·난방 목적으로 공기를 공급하기 위해서 단순히 외부공기를 강제적(기계적)으로 air filter를 거쳐서 온·습도를 조절하여 실내에 보내지는 것으로도 실외공기보다 쾌적하고 신선한 공기를 공급하는 것으로 알려져 있다. 하지만, 실내에서 신선한 공기를 유지하고 있는가의 관점에서 본다면 본 연구의 실내·외 오염물질간의 상관성을 검토해 본 조사결과에서 알 수 있듯이 실외공기가 실내공기에 많은 영향을 미치는 것으로 나타나 현행 공조시스템이 상당한 문제가 있음을 지적할 수 있었다. 즉, 현행 공조시스템은 기계적으로 실외의 오염된 공기를 끌어들이어 실내로 공급하는 단순한 필터링만으로는 외부공기의 각종 오염물질의 제거가 곤란하다는 점이다. 그래서 공중이용시설 이용자의 건강을 고려하여 쾌적하고 인체에 무해한 실내공기질을 유지하기 위해서는 실내 대기오염물질의 특성과 배출량, 그리고 외부공기의 오염도를 동시에 조사하여 가장 적절한 공조시스템, 즉 종래의 공

Table 7. Correlation coefficients between indoor air pollutants and meteorological conditions.

Parameter	TSP(n=48)	CO(n=144)	CO ₂ (n=144)	HCHO(n=144)	SO ₂ (n=108)	NO ₂ (n=108)
Temperature	-0.30*	0.08	0.21*	0.37*	-0.46*	-0.22*
Humidity	-0.35*	-0.27*	-0.05	0.34*	-0.44*	-0.07
Air Current	0.27*	-0.13*	-0.33*	-0.02	0.02	0.01

Each value represents the correlation coefficient.
* : P<0.05 compared with indoor air pollutants

조방식인 온도·습도조절, 여과 등과 같은 단순 공조시스템을 탈피하여 경제성과 성능, 사후관리측면에서 우수한 HEPA (high efficiency particulate air) filter 및 chemical filter, 플라즈마 화학처리기술 (SPCP) 등의 최신 신기술 공조시스템을 적극적으로 도입하여 미세입자나 유해가스도 제거해야 한다고 생각된다.

따라서, 정부와 건물의 소유주 및 관리자는 앞으로 더 많은 관심을 가지고 철저한 관리와 투자 노력이 병행되어야 할 것으로 본다. 그리고 또한 환경관련 연구자들은 공기질의 변화와 특징을 보다 더 정확하게 파악하여 적절히 대처하기 위한 보다 다양한 대기질 조사와 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

4. 결 론

대구지역 공중이용시설물(역·터미널, 지하상가, 병원, 백화점 등 각 3개소)에 대한 실내·외 공기오염도 및 그 특성을 조사하기 위하여 1994년 10월부터 1995년 7월까지 약 1년간에 걸쳐 각 계절별로 총 48개 장소에서 입자상물질 (TSP)과 가스상물질 (CO, CO₂, HCHO, SO₂, NO₂)을 실내와 실외에서 동시에 측정하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 대기오염물질의 배출원을 살펴보면, TSP와 CO, NO₂는 실내·외 모두, 그리고 CO₂와 HCHO는 실내에서, SO₂는 실외에서 오염원이 많이 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 TSP와 CO, NO₂는 외부의 영향도 많이 받고 있는 것으로 판단된다.
- 2) 지역별로 오염물질의 특징을 살펴보면, 연료연소와 관련있는 TSP와 CO, SO₂, NO₂ 농도는 주변에 교통량이 많은 역·터미널과 지하상가에서 전반적으로 높게 나타났지만, HCHO 농도는 특히 다양한 오염원이 많은 백화점내부에서 높게 나타났고, 신진대사의 활동과 관련있는 CO₂ 농도는 백화점과 병원내부에서 특히 높게 나타났다.
- 3) 계절별로 오염물질의 특징을 살펴보면, TSP와 CO, SO₂, NO₂ 농도는 각종 화석연료의 사용량이 많은 겨울철이 여름철보다 높게 나타났지만, 기상조건과 관련있는 HCHO 농도는 여름철이 겨울철보다 특히 높게 나타났고, CO₂ 농도는 계절별로 차이가 없었다.
- 4) 시간대별로 오염물질의 특징을 살펴보면, 연료연소와 관련있는 CO와 SO₂, NO₂ 농도는 출퇴근시간대인 오전과 저녁이 오후 보다 높게 나타났지만, 기온상승과 관련있는 HCHO 농도는 오후가

오전과 저녁보다 높게 나타났고, CO₂ 농도는 시간대별로 차이가 거의 없었다.

- 5) 실내·외 오염물질간의 상관성을 검토해본 결과, TSP와 CO, SO₂, NO₂는 비교적 양호한 상관성을 나타내었지만, CO₂와 HCHO는 상관성이 낮게 나타났다.
- 6) 실내 오염물질과 기상조건간의 상관성을 검토해본 결과, 온도는 TSP, SO₂ 및 NO₂와 역상관, CO₂와 HCHO와는 정상관관계를 보였으며, 습도는 HCHO를 제외하고 TSP, SO₂ 등과 역상관관계를 나타내었고, 기류는 TSP와 정상관, CO₂와는 역상관관계를 나타내었다.

이상의 연구결과를 종합해보면, 실내공기오염은 실외 공기오염에 의해 영향을 많이 받고 있는 것으로 추측되며, 또한 실내에서의 기상조건에 의해서도 오염이 가중되는 것으로 판단되었다. 따라서 쾌적한 실내환경을 유지하기 위해서는 외부의 신선한 공기를 유입시켜 실내의 충분한 환기가 이루어져야 하지만 외부공기 자체가 오염되어 있는 실정이므로 적절한 공기청정장치 (air cleaner)를 사용하여 유입되는 외부공기를 정화시켜야 한다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 김광영 (1994) 실내공기질의 개선 기술, 냉동공조기술, 11(8), 39-48.
- 김윤신, 김미정 (1989) 실내의 포름알데히드농도에 관한 조사연구, 한국환경위생학회지, 1(15), 98-114.
- 김윤신, 스타크 토마스 (1987) 주요 오염물질에 대한 가정에서의 실내외 농도비교, 한국대기보전학회지, 3(2), 27-32.
- 김희강, 김동술, 김신도, 김윤신, 나진균, 이종범, 정일래, 홍민선 (1993) 대기오염개론, 동화기술, 56pp.
- 권우택 (1994) 지하상가 실내외 및 지하철의 온도와 습도에 따른 formaldehyde 거동 (II), 대한위생학회지, 9(1), 67-75.
- 문덕환, 이현우, 이채연 (1991) 부산지역 4개 백화점의 공기오염도에 관한 조사연구, 한국산업위생학회지, 1(2), 164.
- 박일성, 이동배 (1992) 대전지역 지하상가 공기오염도 및 종사자들의 자각증상, 충남대학교 환경문제연구소보, 10, 98-114.
- 백남원, 김윤신, 김광중 (1989) 지하공간의 공기오염 및

- 공기중 미량유해물질에 관한 조사연구, 한국환경과학연구협의회.
- 백성욱 (1994) 실내오염물질의 측정방법, 냉동공조기술, 11(8), 49-55.
- 삼성종합건설 (1992) 클린룸 재료기기의 동향 및 구조설계, 대한설비공사협회, 2, 80-85.
- 신동천, 이효민, 김종만, 정 용 (1990) 일부지역의 실내 공기오염도와 건강에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 6(1), 73-84.
- 신찬기, 한진석, 김윤신 (1992) 대기오염농도와 기상인자의 관련성 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 213-220.
- 이동인, 이지연 (1994) 지하 대기중의 CO 및 CO₂의 일 변화 특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3(4), 85-95.
- 이민희, 황의정, 원양수, 신찬기, 정해동, 한자경 (1985) 지하환경의 대기오염물질규제에 관한 조사연구, 국립환경연구소보, 7, 63-74.
- 이채언, 문덕환, 조병만, 김준연, 배기철 (1989) 부산지역 지하상가의 대기오염도에 관한 조사연구, 한국대기보전학회지, 5(1), 22-32.
- 유영식 (1987) 빌딩지하상가의 공기성상 및 분진의 변이 원성, 한국대기보전학회지, 3(2), 46-52.
- 환경처 (1991) 대기오염공정시험방법, 195-198pp.
- 환경처 (1994) 전환기의 대기보전정책, 57-83pp.
- Meyer, B. and K. Hermanns (1985) Reducing indoor air formaldehyde concentrations, JAPCA, 35(8), 816-821.
- Meyer, B. (1979) *Urea-Formaldehyde Resins*, Addison-Wesley, Publishers, Reading, MA.
- Meyer, B. (1983) *Indoor Air Quality*, Addison-Wesley, Publishers, Reading, MA.
- Chapin, E.S. (1974) *Human Activity Patterns in the City: Things People Do in Time and in Space*, John Wiley and Sons, New York.
- Weschler, C.J., S.P. Kelty, and J.E. Lingousky (1983) The effect of building fan operation on indoor-outdoor dust relationships, JAPCA, 33(6), 624-629.
- Ken, S. (1985) A survey of indoor air monitoring services : Is there a private demand for healthful indoor air quality?, JAPCA, 35(6), 626-631.
- Moschandreas, D.J. (1982) Indoor-outdoor air quality relationships : A critical review, JAPCA, 32(9), 904-907.
- Lioy, P.J., A. Michael, H. Ronald, A. Thomas, and J.M. Daisey (1985) A pilot indoor-outdoor study of organic particulate matter and particulate mutagenicity, JAPCA, 35(6), 653-659.
- Rowe, D.R., K.H. Al-Dhowalia, and M.E. Mansour (1989) Indoor-outdoor carbon monoxide concentrations at four sites in Riyadh, Saudi Arabia, JAPCA, 39(8), 1100-1102.
- Samet, J.M. and J.D. Spengler (1991) *Indoor Air Pollution*, Johns Hopkins University Press, London.
- Yocom, J.E. (1982) Indoor-outdoor air quality relationships : A critical review, JAPCA, 32(5), 500-520.