

대구지역 공중위생법 규제대상시설의 실내공기 중 입자상 오염물질의 계절별 및 지점별 농도분포 특성

Seasonal and Locational Concentrations of Particulate Air Pollutants in Indoor Air of Public Facilities in Taegu Area

백성옥 · 송희봉¹⁾ · 신동찬¹⁾ · 홍성희¹⁾ · 장혁상
영남대학교 환경공학과, ¹⁾대구광역시 보건환경연구원

(1997년 3월 26일 접수, 1998년 4월 15일 채택)

Sung-Ok Baek, Hee-Bong Song¹⁾, Dong-Chan Shin¹⁾
Sung-Hee Hong¹⁾, Hyuk-Sang Chang

Dept. of Environmental Engineering, Yeungnam University, Kyungsan

¹⁾Public Health and Environment Institute of Taegu City

(Received 26 March 1997; accepted 15 April 1998)

Abstract

In this study, airborne particle samples were obtained to determine the concentrations of particulate air pollutants in indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area. Total of 12 public facilities, regulated by the Public Sanitary Law, were selected as sampling sites, which include three underground arcades, one railway and two bus terminals, three general hospitals, and three department stores. In each place, sampling was carried out seasonally during the period of October 1994 to July 1995, and four samples per each site per season were collected both indoors and outdoors simultaneously. After determination of suspended particulate matter (SPM) mass concentrations, the particle samples were divided into two parts for subsequent chemical analysis; one for the analysis of trace elements and the other for water soluble ions. Seasonal levels of SPM appeared to be the highest in spring and the lowest in summer both indoors and outdoors, while locational variations of highest in station/terminals, and lowest in department stores. SPM concentrations indoors and outdoors did not show any significant differences each other in most places. However, there were significant correlations between indoor and outdoor levels of SPM and other chemical species. These results indicates that indoor SPM levels are likely to be significantly affected by outdoor sources in many places. The most significant source of SPM was estimated to be the resuspension of soil/road dust both indoors and outdoors. The concentrations of toxic heavy metals (Pb, Cd, Cr, Cu) in underground arcades appeared to be very much lower than the established air quality guidelines for underground environments. In addition, it is likely that micro-environmental parameters such as temperature, humidity, and air velocity, play a less significant role than outdoor air quality as a factor affecting the levels of particulate pollutants in indoor environments of public facilities in Taegu area.

Key words : Public Facilities, Indoor Air Quality (IAQ), Suspended Particulate Matter (SPM), Trace Elements, Heavy Metals, Underground Arcades

1. 서 론

대기중에 존재하는 부유먼지는 여러가지 형태의 유해물질을 함유하고 있다. 즉 중금속을 포함한 미량원소성분, 수용성 무기이온성분 및 다환방향족탄화수소(PAH)를 포함하는 유기성분 등이 함유되어 있다. 따라서 이들물질들로 인한 인체 및 환경오염에 미치는 악영향의 측면에서 많은 연구와 관심의 대상이 되어왔다. 일반적으로 대기 중의 부유먼지의 발생원은 토사나 도로먼지의 재비산이나 해암입자 등과 같은 자연적인 것과 연료유의 연소, 자동차배출가스 등과 같은 인위적 배출원으로 구분되며 이 외에도 대기 중에서의 화학(혹은 광화학)반응에 의해 생성되는 이차생성입자의 기여분도 매우 중요하다(백성우과 횡승만, 1992).

국내의 경우 대기질 관리의 역사가 짧고 대부분의 조사연구가 실외 공기질의 조사에 집중되어 있었으며 1980년대 중반까지만 해도 실내공기오염이라는 용어조차 생소한 실정이었다. 그러나 1980년대 후반부터 소수의 연구자들에 의해 지하공간과 같은 특수한 실내 환경을 중심으로 실내공기질에 대한 부분적인 연구가 수행된 바 있다. 국내의 실내 공기오염에 관한 조사연구는 1990년 이전에는 주로 이산화질소, 분진, 일산화탄소, 라돈, 포름알데히드 등과 같은 기준성오염물질에 관한 조사 연구가 부분적으로 수행되어 왔으며, 1989년에 서울시 지하철 역구내의 실내환경을 대상으로 분진, 라돈 등에 대한 비교적 광범위한 조사가 수행된 바 있다(김동술 등, 1994, 1993; 김윤신, 1994). 그리고 1990년대 이후에 들어서면서 석면, 중금속, 다환방향족탄화수소, 휘발성 유기화합물 등과 같은 미량 유해성 오염물질에 대한 측정 자료도 점차 보고되기 시작하였다.

한편, 정부에서 시행하고 있는 실내공기질에 대한 조사는 환경처가 1989년도에 한국환경과학연구협의회를 통하여 “지하공간의 공기오염 및 공기중 미량 유해물질에 관한 조사연구” 사업(백남원 등, 1989)을 실시하였으며, 이들 자료를 바탕으로 1990년도에 지하공간의 환경, 위생관리 개선을 위하여 “지하공간 환경기준 권고치”를 제정하여 오염도를 정기적으로 측정하도록 하고 있다. 보사부에서는 일반대중이 밀집되어 활동하는 시설 즉, 공중이용시설

에 대한 위생적 환경유지를 위하여 공중위생법령을 개정하여 각 시도 보건환경연구원을 통해 정기적인 조사를 시행해 오고 있다. 그리고 1996년 말에는 지하철역, 지하상가 등 지하생활공간의 규모나 이용객 수의 급증에 따른 실내공기오염에 대한 심각성이 사회적으로 인식됨에 따라 ‘지하생활공간 실내공기질 관리법’이 국회를 통과하여 1998년부터 시행할 예정으로 현재 환경부에서는 지하공기질 허용기준과 공정시험법을 마련 중에 있다.

대구지역 공중이용시설의 실내공기질에 대한 연구로서는 송희봉 등(1996a, b)이 대구시의 지하상가, 백화점, 병원, 역·터미널 등 4개 종류의 공중이용시설 각 3개소를 대상으로 공중위생법에서 규정한 기준성 오염물질을 대상으로 4계절별로 광범위한 조사를 수행하여 특히 부유먼지의 오염정도가 다른 기준성 오염물질에 비하여 심각함을 파악한 바 있다. 이 연구에 의하면 공중이용시설 실내공기 중 먼지오염의 주원인은 주변의 국지적 특성에 따라 도로상 통행차량에서 배출되는 오염물질과 조사 대상지점 인근지역의 지하철 공사장 등에서 비산되는 먼지 등인 것으로 추정되었다.

본 논문에서는 이미 발표된 연구(송희봉 등, 1996a, b)와 연계하여 대구광역시에서 일반대중이 일상적으로 이용하는 노심내 12개 주요 공중이용시설을 대상으로 부유먼지의 농도분포와 먼지에 함유된 중금속 등 미량유해물질과 기타 주요 화학성분의 농도분포 특성을 파악하여 입자상 물질의 오염 실태를 조사하고자 하였으며, 나아가 먼지농도에 영향을 미치는 각종 발생원의 영향을 평가하고자 하였다. 또한 조사대상 공중이용시설의 먼지시료를 실내와 실외에서 동시에 계절별로 포집함으로서 실내·외 공기 중 먼지농도의 계절변동 특성과 실외 공기가 실내공기질에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 이와 같은 연구의 결과는 향후 강화될 실내 생활공간의 환경관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2. 1 측정지점 및 기간

본 연구의 조사대상지점은 대구지역에 위치한 주요 공중이용시설로서 모두 현행 공중위생법의 규제

대상에 포함된다. 각 측정지점들은 용도특성을 고려하여 역·터미널, 지하상가, 백화점, 병원의 4 종류의 유형으로 구분하고 각 유형별로 대표적인 3개소를 선정하여 총 12개 장소에 대하여 조사 to 수행하였다. 각 측정지점별 실내·외 공기 중 먼지시료는 '94년 10월부터 '95년 7월까지의 기간 중 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절별로 각 1회씩 포집하였으며 각 측정지점의 주변환경과 측정당시의 기상자료 등에 관한 상세한 사항은 이미 발표된 문헌에 나타나 있다(송희봉 등, 1996a).

2.2 먼지시료 포집방법

각 측정지점에서의 부유먼지 시료는 공기오염도를 대표할 수 있는 장소라고 판단되는 건물내부(지상건물일 경우 모두 1층에서)의 4개 지점과 출입구 전면을 포함한 건물 주위의 4개지점을 선정하여 지상 1.5m 높이에서 총 8대의 동일한 샘플러를 이용하여 포집하였다. 먼지시료의 포집은 공중위생법상 시험법에 규정된 low-volume sampling 방법(평균 유량 28 l/min)을 이용하여 사람이 가장 많이 이용하는 시간대인 오전 10시에서 저녁 8시까지의 10시간 동안 연속으로 수행하였다. 샘플러는 필터홀더와 펌프 및 유량계로 구성되어 있으며(송희봉 등, 1996a), 포집여지는 세로로스 필터(직경 47mm, 0.8 µm pore size, Millipore Inc., USA)를 사용하였다. 시료포집 전후의 여지무게는 전자식 화학천칭(OHAUS Galaxy 160D, England)으로 0.01 mg까지 측정하였으며 각 지점별로 하루 중 실내와 실외에서 포집된 4개의 먼지시료의 평균농도를 각각 그 지점의 실내·외 측정대표치로 간주하였다. 먼지농도의 측정 저한계는 천칭 측정저한계의 10배인 0.1 mg까지를 유효측정치라고 가정할 경우 16.8 m³의 공기포집량을 기준으로 할 때 약 6 µg/m³ 정도일 것으로 추정할 수 있다. 실제 본 연구에서 측정된 최저 먼지농도는 34 µg/m³으로서 측정저한계의 약 5배 이상인 수준으로 나타났다.

2.3 중금속 및 기타 원소성분의 분석

먼지에 함유된 화학성분의 분석에 있어서 특히 미량 중금속 성분의 분석감도상 문제를 피하기 위하여 먼지농도 측정 후 시료여지 4장을 모두 합한 후 일정한 분량으로 절단하여 미량원소와 수용성

무기이온 성분을 분석하는데 각각 사용하였다. 중금속 등 미량원소성분은 질산-염산법 및 ultrasonication 방법(백성우과 황승만, 1992; Scheff, 1984)으로 추출한 후 ICP (Jobin Tvon ICP, JY 50P, France)를 이용하여 14개 항목(Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, V, Ca, Fe, Al, K, Mn, Na, Mg, Cr)에 대하여 분석하였다. 추출된 미량원소성분의 농도는 공시료에 대하여 각각 보정한 후 포집된 공기량으로 나누어 실내·외 공기 중의 농도를 산출하였다. 또한 본 연구에서 채택한 산추출법에 의한 미량원소성분의 농도자료에 대한 신뢰성을 검증하기 위해 미국 NIST의 표준참조물질 SRM 1648 (urban particulate matter standard)을 이용하여 분취된 시료 10개에 대한 회수율 실험을 수행하였다. 그 결과 Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, V, Fe, Mn, Cr 등 중금속 원소들은 회수율이 81~115% (상대표준편차 0.9~7.3%) 수준으로 나타난 반면 Al, K, Ca, Mg 등은 상대적으로 40~60%의 낮은 회수율을 나타내었다. 이와 같은 각 항목별 회수율 평가 결과는 중금속 항목의 경우 본 연구에서 채택한 염산-질산추출법과 동일한 분석조건으로 행한 미국 EPA의 Harper 등(1983)의 실험 결과치(회수율 평균 64~114%, 상대표준편차 1.1~9.0%)와 비교할 때 비교적 양호한 결과를 나타낸 것으로 사료되어 본 논문에서는 중금속 등 원소성분 농도계산에 있어서 회수율을 특별히 보정하지는 않았다. 따라서 본 논문에 수록된 Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, V, Fe, Mn, Cr 등 중금속류의 원소성분 농도는 그 자체로 절대적인 농도치로 볼 수 있으나 Al, Ca, K, Mg, Na 등의 농도는 회수율의 보정에 따라 농도가 달라질 수 있는 상대농도치이므로 본 연구에 수록된 자료의 인용과 해석시에 주의가 요구된다. 후자의 경우 중금속류에 비해서 위해성이 거의 없으므로 본 논문에서는 측정농도의 절대적 의미보다는 단지 먼지의 발생원 파악을 위한 보조자료로서 이용하고자 하였다.

2.4 수용성 이온성분의 분석

부유먼지에 함유된 무기성 이온성분의 추출은 포집된 시료여지의 일정분량(1/2)을 절취하여 크로마토그래피용 탈이온수 50 ml로 약 30분간 초음파추출을 한 후 65°C에서 3시간동안 방치하고 다시 이과정을 반복하여 추출된 용액을 분석용시료로 하여 수용성 음이온 성분(Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻)은 이온크로

마토그래피 (Waters ILC, Millipore, USA)로 분석하였다 (Lodge, 1988). 수용성 양이온 성분인 NH_4^+ 은 우리나라 환경공정시험법의 인도페놀법에 따라 UV/VIS Spectrophotometer (Kontron, UVIKON 930, Italy)를 사용하여 파장 640 nm에서 흡광도를 측정하여 농도를 산출하였다.

2.5 온도, 습도 및 기류의 측정

측정지점 실내·외의 온도와 습도는 아우구스트 건습구온도계를 사용하여 측정하였으며 기류는 공 중위생법상 시험법에 규정된 Kata온도계를 사용하여 측정하였다. 이들 자료의 측정에 관한 보다 상세한 설명은 송희봉 등 (1996a)의 논문에서 기술한 바 있다. 한편 옥외의 풍속자료는 측정당일의 대구기상대 측정치를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 부유먼지의 계절별 및 지점별 농도분포

실내공기오염은 실외공기의 오염물질이 실내로 유입되거나 실내공간 자체에서 발생되는 여러 가지 형태의 오염물질(인간의 활동, 연소기구의 사용, 생활용품 및 건축물의 건축자재 등)이 많을수록 오염 정도가 심각하게 나타난다. 표 1에는 본 연구에서 측정된 대구지역 주요 공중이용시설에서의 실내와

실외공기 중 부유먼지 농도를 지점별 및 계절별로 구분하여 나타내었다. 또한 서로 다른 조건의 실내 환경에서의 먼지오염정도를 상호 비교하기 위하여 실내공기 중 먼지농도를 실외공기의 농도로 나누어 실내/실외의 농도비 (I/O ratio)로 나타내었으며, 아울러 paired t-test에 의한 실내·외 농도간의 유의적인 차이를 평가한 결과도 함께 수록하였다.

표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 전체 측정자료 48개 중 26개 측정치가 현행 공중위생법 먼지 기준인 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하였으며 자하공간의 경우 지하상가 #1의 봄철 측정치가 현행 환경부 지하공간에서의 대기질 권고기준인 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과한 것으로 나타났다. 또한 전체 자료의 절반에 해당하는 24개 지점에서 실외의 먼지농도가 실내보다 높은 것으로 나타나 실외공기질의 영향이 심각한 것으로 조사되었다.

12개 측정지점 전체에 대한 부유먼지의 계절별 평균농도를 살펴보면, 실내와 실외에서 모두 봄철 ($208 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 실외 $211 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 겨울철 ($155 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 가을철 ($147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $151 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 여름철 ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 나타났으며, 가장 낮은 농도를 보인 여름철에 비해 봄철이 실내와 실외 농도가 각각 1.9배와 2.2배, 겨울철이 각각 1.4배와 1.6배 그리고 가을철이 각각 1.3배와 1.5배 정도 높은 농도를 나타내고 있다. 특히 봄

Table 1. Seasonal and locational concentrations (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) of suspended particulate matter in indoor and ambient air of public facilities in Taegu area.

	Spring		Summer		Fall		Winter		Total		I/O	
	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out		
Department store	# 1	184	253	60	48	34	53	123	174	100 ± 67	132 ± 100	0.8
	# 2	150	209	75	62	59	65	113	178	99 ± 41	129 ± 76	0.8
	# 3	167	161	51	56	160	145	127	137	126 ± 53	125 ± 47	1.0
Underground Shopping center	# 1	310	199	128	44	214	174	146	109	200 ± 82	132 ± 70	1.5*
	# 2	215	215	93	145	159	167	174	185	160 ± 51	178 ± 30	0.9
	# 3	221	199	147	117	136	157	158	141	166 ± 38	154 ± 35	1.1
General Hospital	# 1	211	258	102	85	175	138	119	50	152 ± 50	133 ± 91	1.1
	# 2	184	188	112	80	167	171	149	121	153 ± 31	140 ± 49	1.1
	# 3	194	204	176	135	60	155	118	137	137 ± 61	158 ± 32	0.9
Terminal/Station	# 1	189	212	90	136	169	147	129	141	144 ± 44	159 ± 36	0.9
	# 2	237	242	168	167	221	229	358	375	246 ± 80	253 ± 88	1.0
	# 3	232	198	121	101	211	210	151	86	179 ± 52	149 ± 64	1.2
Total Mean \pm S.D.		208 \pm 41	212 \pm 28	110 \pm 40	98 \pm 42	147 \pm 63	151 \pm 51	155 \pm 67	153 \pm 80	155 \pm 41	153 \pm 35	1.0 \pm 0.2

* indicates that indoor and outdoor mean concentrations are different at a significance level of 0.05 by the paired t-test.

철의 부유먼지 농도가 가장 높게 나타난 원인은 본 연구의 측정기간 중에 대구지역에 총 7일간의 황사 현상이 발생한 것과 연관이 있을 것으로 추정된다 (송희봉 1996a). 또한 겨울철이 높은 원인은 대구지역 뿐만 아니라 국내 도시지역에서는 매우 일반적인 현상으로서 난방용 화석연료 사용량의 증가와 동절기 중 대기환경용량의 감소 등과 같은 복합적인 요인에서 기인한 것으로 보아진다(환경부, 1996; 백성우과 황승만, 1992). 한편 여름철이 다른 계절에 비해 가장 낮은 농도를 보인 것은 연료사용에 관련된 대기오염물질 발생량 자체가 감소하고 하절기 중 찾은 강우에 의한 세정효과로 전반적인 먼지 농도가 감소하였을 것으로 사료된다. 이와 같은 계절별 먼지농도 자료의 유의적인 차이를 평가하기 위하여 ANOVA (SCEFFE's multiple range test)를 적용하였으며 그 결과 봄철과 여름철만이 서로 유의적인 ($p=0.05$) 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그러나 봄철을 제외한 나머지 세 계절과 여름철을 제외한 나머지 세 계절의 먼지농도는 서로간에 유의적인 차이를 보이지는 않는 것으로 나타났다.

총 48개의 측정된 먼지농도자료 전체의 평균농도는 실내가 $155 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 실외가 $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타나 전반적으로 대구지역 공중이용시설에서의 먼지농도는 실내와 실외에서의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다 ($P > 0.05$). 그러나 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 부분적으로는 공중이용시설의 유형에 따라 실내와 실외의 먼지농도가 큰 차이를 보이는 곳이 있으며, 계절에 따라서도 실내·외의 농도변동이 서로 상이하게 나타나는 지점이 많음을 알 수 있다. 측정지점별로 조사된 부유먼지의 평균농도를 살펴보면 실내와 실외에서 모두 역·터미널 ($190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $187 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 지하상가 ($175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 병원 ($147 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $143 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > 백화점 ($109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 나타났다. 즉, 가장 낮은 농도를 보인 백화점의 실내와 실외 농도에 비해 역·터미널이 각각 1.8배와 1.5배, 지하상가가 각각 1.6배와 1.2배 그리고 병원이 각각 1.4배와 1.1배 정도 높은 농도를 나타내었다. 특히 역·터미널과 지하상가가 백화점이나 병원보다 높은 농도를 보인 것은 이들 지역 주변에 자동차 통행량이 많고 지하철 공사장이 인접해 있어 이로부터 배출되는 비산먼지로 인한 영향이 상대적으로 많았을 것으로 사료된다. ANOVA

에 의한 각 그룹별 먼지농도를 비교평가한 결과 역·터미널과 백화점은 서로 유의적인 차이를 나타내었으나 역·터미널을 제외한 나머지 3개 지점과 백화점을 제외한 나머지 3개 지점의 먼지농도는 서로간에 통계적인 ($p=0.05$) 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 측정 지점별 실내·외 농도비 (I/O)의 측면에서 보면 지하상가 #1 지점이 다른 측정지점에 비해서 매우 높은 값(평균 농도비로서 1.5)을 보였는데, 이는 이 지점의 출입구나 건물의 낸수 및 구조 형태가 다른 지하상가 혹은 다른 측정지점과 매우 상이하기 때문인 것으로 보아진다. 이 지점은 대구지역에서 가장 오래된 지하상가(1978년 개점)이며 10여년전 까지만 해도 대구지역에서 가장 사람의 통행이 빈번한 지역에서 상가로서의 역할 뿐만 아니라 지하도보로서의 역할도 커던 지점으로서 매우 비좁을 뿐만 아니라 시설과 구조면에서도 상당히 낙후된 지하상가이다. 따라서 지상의 자동차 통행과 보행자들의 통행 등에서 기인한 외부먼지가 실내로 유입되는 기여분과 지하상가에서 발생한 각종 오염물질이 낙후된 공조시설로 인하여 제대로 정화되지 못하고 지하공간 내부에 침적되게 된 결과로 실내에서의 먼지 농도가 실외 대기보다 높게 나타난 것으로 추측된다. 이와 같이 공중이용시설에서의 부유먼지의 농도분포 특성을 설명하기 위해서는 기상조건이나 화석연료의 사용 등에 차이를 보이는 계절별 요인과 함께 주변지역의 교통상황이나 건물의 낸수와 구조형태 등에 관련된 공간적 특성 양자를 모두 고려하여야 할 것으로 사료된다.

3.2 부유먼지에 함유된 화학성분의 농도 분포

표 2에는 본 연구에서 분석된 실내와 실외에서 포집된 부유먼지에 함유된 화학성분 자료 전체에 대한 평균농도, 표준편차, 최소·최대값 및 실내·외 평균농도비 (I/O)를 나타내었다. 또한 실내·외 측정치간의 차이를 평가하기 위한 척도로서 paired t-test의 유의수준도 함께 수록하였다. 분석된 화학성분의 평균농도를 비교해 보면 전반적으로 황산염과 질산염이온과 같은 수용성 음이온 성분의 농도가 수 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준의 높은 농도로 나타났으며 금속성분 중에는 Fe, Ca, Al, Na 등이 역시 수 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준의 농도로 나타남을 알 수 있다. 그러나 Pb, Cr, Cd, Cu

Table 2. Summary statistics for the concentrations (in ng/m³) of chemical components associated with SPM in the air of public facilities in Taegu area.

Component	Indoor (n=48)		Outdoor (n=48)		I/O Ratio	Paired t-test P
	Mean±S.D.	Range	Mean±S.D.	Range		
Pb	267±181	19~705	315±171	66~780	0.8*	0.027
Cd	38±27	N.D~98	43±28	3~112	0.9	0.142
Cu	155±131	15~777	145±145	7~654	1.1	0.555
Zn	224±133	27~647	193±94	7~462	1.2	0.102
Ni	134±179	12~970	168±272	10~1546	0.8	0.360
V	53±110	N.D~709	56±113	N.D~644	0.9	0.888
Al	1940±1332	80~7826	2044±1143	296~6136	0.9	0.587
Ca	3976±3452	19~16593	3975±3560	113~21240	1.0	0.998
Fe	4613±5930	188~29518	5071±6544	443~25851	0.9	0.477
Mn	329±712	7~4220	363±791	2~3536	0.9	0.614
Na	2221±1456	87~6028	2230±1323	62~4961	1.0	0.966
K	891±546	N.D~2380	846±520	N.D~2429	1.1	0.615
Mg	660±469	12~2313	764±697	114~4775	0.9	0.317
Cr	232±318	N.D~1554	236±268	N.D~890	1.0	0.903
Cl	1540±1637	24~11500	1616±1626	14~10937	1.0	0.510
NO ₃ ⁻	2979±2021	89~9151	3917±2457	739~11224	0.8*	0.003
SO ₄ ²⁻	5511±3641	N.D~17701	6598±4564	1176~21815	0.8*	0.020
NH ₄ ⁺	591±425	N.D~1852	804±580	N.D~2720	0.7*	0.000

* indicates that indoor and outdoor mean values are different at a significance level of 0.05 by the paired t-test.

등과 같은 유해성이 높은 중금속 성분은 대체로 수십 혹은 수백 ng/m³ 수준의 저농도로 나타나 중금속에 대한 환경부의 지하공간 공기질 권장기준치에는 크게 못 미치는 농도를 보이고 있다. 또한 실내 공기 중 입자상 오염물질의 평균농도는 전반적으로 실외공기의 평균농도보다는 약간 낮은 수준을 보이고 있으나, Pb와 NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺ 등을 제외하고는 5% 유의수준에서 양자간에 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

그림 1에서 4에는 전체 평균농도자료를 보다 세 분화하여 중금속 등 주요 오염물질에 대한 측정지점별 및 계절별로 구분하여 실내와 실외 각각에 대한 평균농도를 비교한 결과를 나타내었다. 먼저 측정 지점별 특징을 살펴보면(그림 1과 2), 역·터미널의 경우는 다른 지역에 비해 각 화학성분에 대한 실내농도와 실외농도 사이에 통계적으로 유의적인(5% 수준에서) 차이가 없이 전반적으로 비슷한 농도를 보이고 있다. 이는 중앙공조시설이 설치되지 않은 역·터미널의 실내에 중금속 등을 배출하는 특별한 오염원이 존재하지 않은 상태에서 출입구의 개방이 빈번하여 실내와 실외공기의 직접적인 혼합이 많은데 원인이 있다고 본다. 이와는 대조적으로

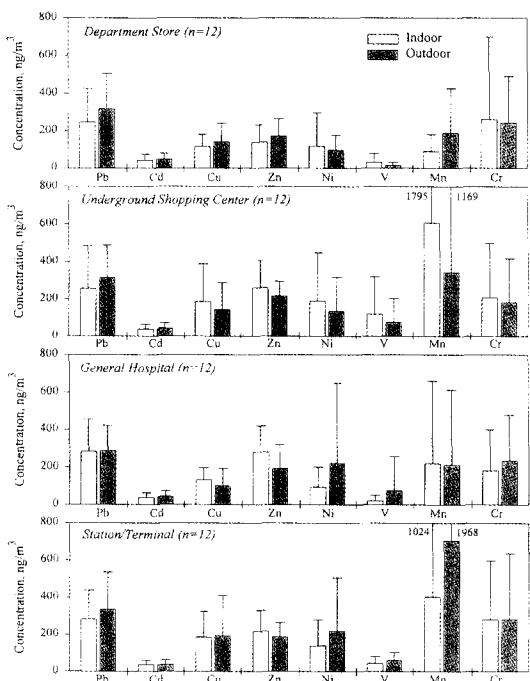


Fig. 1. Locational variations of mean concentrations of heavy metals associated with SPM in indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area.

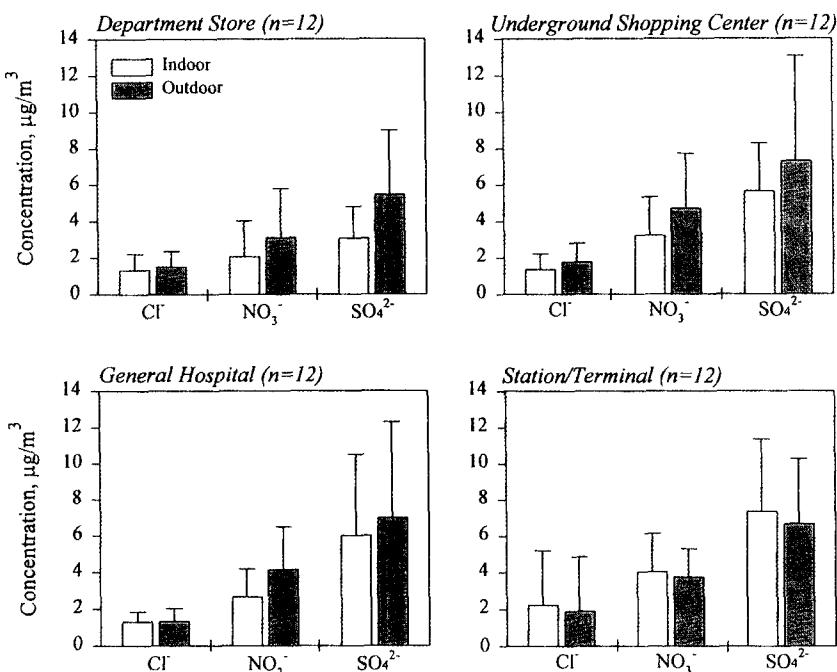


Fig. 2. Locational variations of mean concentrations of water soluble anions associated with SPM in indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area.

지하상가의 경우에는 다른 측정 지점과는 달리 각 화학성분에 대한 농도차이에 있어서 실외보다는 실내에서 전반적으로 더 높은 농도를 보이고 있다. 이와 같은 원인은 표 2에서 나타낸 바와 같이 지하상가의 경우 먼지농도 자체가 실외보다는 실내에서 높게 나타난 사실과 관련지를 수 있으며 결과적으로 먼지에 함유된 화학성분의 절대농도 역시 실내에서 높게 나타난 것으로 보아진다.

한편, 의류나 잡화를 주로 취급하는 상가로 구성되어 있다는 점에서 실내오염원의 형태는 유사하지만 옥외의 주변환경 조건이 서로 상이한 지하상가와 백화점을 대상으로 입자상 오염물질의 실내와 실외의 농도를 비교해 보면 각 화학성분들이 백화점보다는 지하상가가 전반적으로 높은 농도를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히, 주목할만한 것은 석유류의 연소와 관련이 있는 Ni과 V의 경우에 지하상가가 백화점보다 실내에서 각각 2.0배와 3.8배, 실외에서 각각 1.3배와 2.8배 정도 두드러지게 높은 농도차이를 나타내고 있다. 이것은 상가 내부의 국지적인 난방연료사용과도 어느정도 관련이 있을 것

으로 사료된다. 실제 지하상가의 경우 낙후된 공조시설로 인하여 대부분의 상점에서 겨울철에 환기덕트가 별도로 설치되지 않은 등유난로를 사용하고 있는 것으로 조사되었다. 또한 본 연구에서 조사된 백화점 3곳 중 2개 지점의 주변지역이 주거지역인 반면에 지하상가는 주변환경이 모두 교통 밀집지역 일 뿐만 아니라 3개 중 2개 지점은 대구 북서부의 대규모 공단지역과 직선거리로 2km 정도 떨어져 있어 겨울철에는 북서풍의 영향으로 공단지역의 오염영향권에 포함된다는 점과도 관련지어 설명할 수 있다(대구광역시, 1995). V과 Ni 이외의 항목에 있어서도 지하상가가 백화점보다 토사 혹은 도로의 비산먼지와 관련 있는 성분인 Al, Ca, Fe, Mn, K, Na 등은 실내에서 1.2~6.7배 정도, 실외에서 1.2~1.6 배 정도, 이차생성물질인 NO₃⁻와 SO₄²⁻은 실내·외 모두에서 1.6~1.8배 정도 높은 농도를 보인다. 이와 같은 결과는 주변지역을 통행하는 휘발유 및 경유 자동차의 통행량과 관련지를 수 있다. 즉, 주변상황을 고려해 볼 때, 대구지역의 주 간선도로와 인접해 있는 지하상가 주변에서의 출·퇴근 시 간대의

극심한 차량정체와 교차로에서의 신호대기차량 등으로부터 배출되는 자동차 배기ガ스 및 운행중인 자동차로 인한 도로상 먼지의 재비산 등의 직접적인 영향을 받는데 원인이 있다고 사료된다. 이와는 대조적으로 폐기물 소각과 관련이 있는 Pb, Cd, Cu, Cr, Zn 등과 같은 미량 중금속 성분의 농도는 모든 측정지점의 실내와 실외에서 뚜렷한 농도차이가 없이 비슷한 농도분포를 보이고 있다. 이로 미루어 볼 때 본 연구의 조사대상지점들은 시설의 용도별 특성에 따른 특징적인 배출원의 영향을 받지는 않으며 전반적으로 대구지역의 배경농도와 유사한 수준을 나타내고 있다고 보아진다(최진수 등, 1995; 대구광역시, 1995). 특히 환경부의 지하공간 공기질 권장기준이 설정된 항목인 Pb(기준치 $3\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), Cd($2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), Cu($10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), Cr($1.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) 등의 농도는 권장기준치에 크게 못 미치는 수준으로 나타나 기준치 설정의 타당성을 현실적으로 재고할 필요가 있다고 보아진다.

먼지에 함유된 화학성분 농도의 계절별 특징을 살펴보면(그림 3과 4), 측정지점에 따른 변동과는 달리 각 계절에 따라 각 성분의 농도도 크게 차이를 나타낼 수 있다. 전반적으로 볼 때, 각 화학성분들의 농도는 겨울철이 여름철보다는 실내·외에서 모두 높은 농도를 보이는 특징이 있다. 특히, 연료유의 연소와 관련이 높은 Ni과 V은 겨울철이 여름철보다 실내에서 각각 5.1배와 5.0배, 실외에서 각각 11.1배와 9.4배 정도 두드러지게 높은 농도차이를 나타내고 있다. 이러한 이유는 계절의 특성상 난방용 석유류의 사용량이 급증하는 동절기에 외기 중의 농도가 증가하게 되고 그에 따라 실내공기 중의 농도도 간접적으로 상승하게 된 것으로 사료된다. 또한 Cd, Cu, Cr 등과 같은 소각관련 중금속 성분들도 겨울철이 여름철보다는 실내에서 2.6~9.5배, 실외에서 3.1~5.7배 정도 높은 농도차이를 보이는데, 이는 측정대상지점 인근지역에서 국지적인 노천 폐기물소각 또는 건설 공사장에서의 부정기적인 쓰레기 소각의 영향 등이 있었을 가능성을 보여 준다. 그리고 이온성분 중 NH_4^+ 와 Cl^- 의 계절적 변동은 겨울철이 여름철보다 1.2~1.4배 정도 높은 것으로 나타나 앞서 언급한 연소관련 성분들만큼은 계절변동이 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 이와는 반대로 이온성분 중 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 계절적

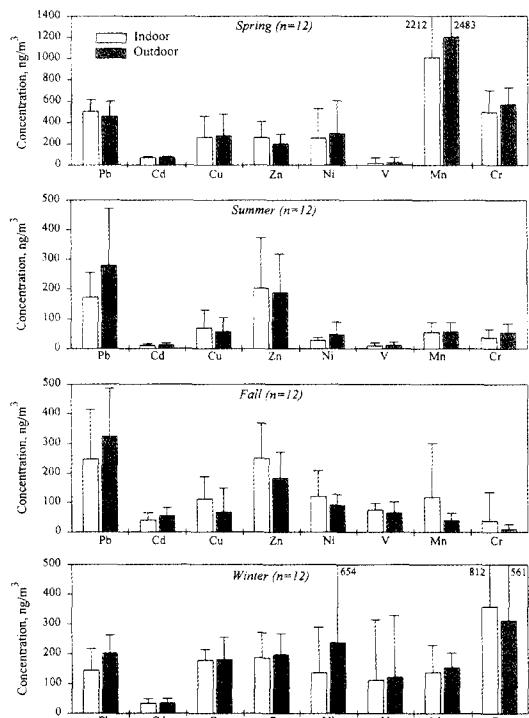


Fig. 3. Seasonal variations of mean concentrations of heavy metals associated with SPM in indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area.

변동은 NH_4^+ 와 Cl^- 와는 상반되는 변화양상을 보이고 있다. 즉 여름철이 겨울철보다 실내에서 2~3배, 실외에서 2~4배 정도 농도가 높게 나타나고 있는데, 이와 같은 결과는 여름철에 자동차 배기ガ스로 인한 질소산화물과 공단지역 등에서 배출된 아황산 가스 등이 광화학 반응을 통한 이차생성입자로 변환되었을 가능성과 관련지어 설명할 수 있다. 그러나 지금까지 외국의 문헌에서 보고된 일부 연구결과(Meszaros and Horvath, 1984; Kadawaki, 1976)와는 대조적으로 다른 경향을 나타내고 있으므로 일의적인 결론을 내리기는 어려우며 보다 명확한 해석을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 본다.

3.3 실내·외 입자상 오염물질 농도의 상관성 분석

일반적으로 실외공기질은 실내공기질에 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Baek *et al.*,

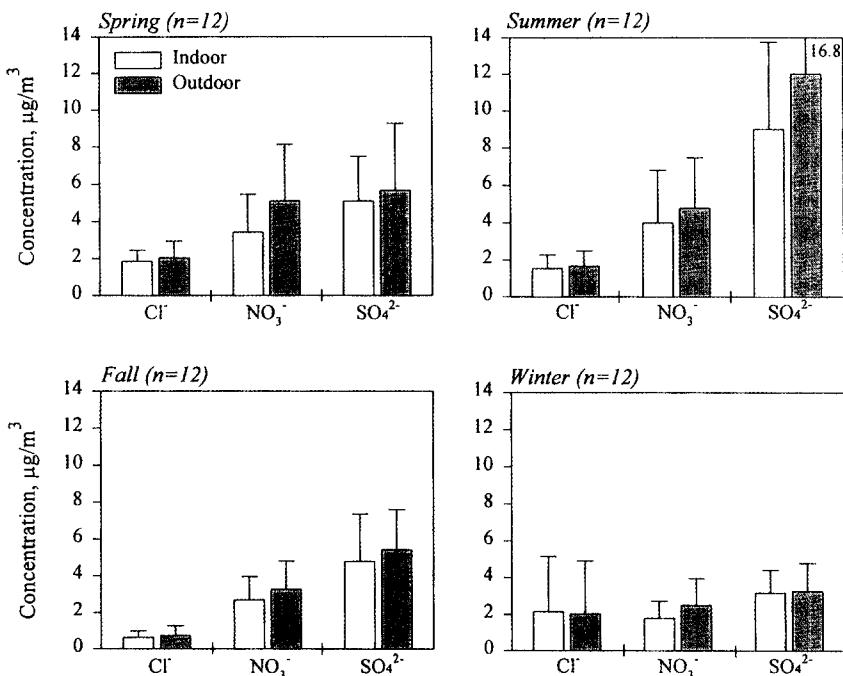


Fig. 4. Seasonal variations of mean concentrations of water soluble anions associated with SPM in indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area.

1997; Alzona *et al.*, 1979). 본 연구에서는 실외의 입자상 오염물질 농도가 실내의 오염물질 농도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실내·외 농도에 대한 상관성 분석을 수행하였으며, 회귀분석 결과 입자상 오염물질 중 V을 제외하고는 모두 통계적으로 유의성 있는 ($P < 0.05$) 양의 상관관계를 보임을 알 수 있다. 특히, 부유먼지 ($r=0.81$)와 Fe, Mn, Cr 및 Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ 등은 실내·외간의 상관계수값이 0.7 이상으로 나타났으며, Pb, Cd, Cu 등과 같은 유해성 중금속의 상관계수는 0.6~0.7 정도로 나타나 비교적 양호한 상관성을 보이고 있다. 반면에 Zn과 Ni, Al, Na, K, Mg 등은 0.5 이하의 낮은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 미루어 볼 때, 대체적으로 공중이용시설 실내공간에서의 먼지 농도는 옥외의 먼지농도에 큰 영향을 받으며 특히 토양 혹은 도로먼지의 재비산 성분(Ca, Fe, Mn 등), 소각이나 연소관련 먼지성분(Pb, Cd, Cu, Cr 등) 및 이차생성입자(SO_4^{2-} , NH_4^+) 등이 큰 영향을 미치는 요인인 것으로 사료된다(최진수 등, 1995).

부유먼지와 먼지에 함유된 화학성분 상호간의 관

련성을 검토하기 위하여 실내와 실외 자료를 대상으로 상관분석한 결과는 표 3과 4에 각각 수록하였다. 변수들간의 전반적인 상관성은 실내·외가 대체로 유사한 양상을 보이고 있으나 실내의 경우가 실외보다 약간 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이들 각 성분별 상관성에 대한 특징을 살펴보면, 부유먼지는 V, SO_4^{2-} 등 일부 성분을 제외하고는 대부분의 화학성분들과 유의적인 상관성을 나타내고 있다. 특히 토사의 비산먼지 성분과 관련이 있는 항목들과 먼지농도간에는 비교적 높은 상관성이 있음을 알 수 있다. 즉 실내와 실외에서 먼지농도와 Al간에는 각각 0.66과 0.67, Fe와는 각각 0.67과 0.57, Ca과는 각각 0.70과 0.45의 상관성을 보이고 있다. 일반적으로 토양관련 성분인 Fe, Ca, Mn, Mg, K, Al, Na 등의 상관성에서는 실내와 실외에서 Fe과 Mn간에 각각 0.77과 0.84, Ca와 Mg간에 각각 0.83과 0.93, Ca과 K간에 각각 0.65와 0.71 등의 높은 상관계수값도 이들이 같은 무리를 이루는 즉 토양 혹은 도로의 재비산먼지 등에서 유래된다는 사실을 보여준다. 또한 Mg와 K간에는 각각 0.70과 0.67, K

Table 3. Correlation coefficients among particulate pollutants measured in the indoor air of public facilities in Taegu area (n=48).

	SPM	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	V	Al	Ca	Fe	Mn	Na	K	Mg	Cr	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺
SPM	1.00																		
Pb	0.47*	1.00																	
Cd	0.45*	0.60*	1.00																
Cu	0.55*	0.45*	0.37*	1.00															
Zn	0.44*	0.32*	0.23	0.40*	1.00														
Ni	0.49*	0.48*	0.32*	0.81*	0.26	1.00													
V	0.10	-0.11	-0.05	0.18	0.11	0.29*	1.00												
Al	0.66*	0.35*	0.43*	0.37*	0.21	0.29*	0.17	1.00											
Ca	0.70*	0.24	0.13	0.46*	0.50*	0.37*	0.06	0.37*	1.00										
Fe	0.67*	0.55*	0.30*	0.77*	0.27	0.78*	0.07	0.46*	0.52*	1.00									
Mn	0.52*	0.52*	0.34*	0.86*	0.33*	0.86*	0.08	0.28	0.50*	0.77*	1.00								
Na	0.64*	0.53*	0.48*	0.34*	0.47*	0.23	0.04	0.39*	0.47*	0.36*	0.38*	1.00							
K	0.68*	0.37*	0.17	0.42*	0.57*	0.25	-0.01	0.34*	0.65*	0.48*	0.39*	0.52*	1.00						
Mg	0.77*	0.24	0.03	0.37*	0.52*	0.30*	0.14	0.46*	0.83*	0.48*	0.43*	0.52*	0.70*	1.00					
Cr	0.51*	0.46*	0.27	0.58*	0.15	0.71*	0.04	0.36*	0.30*	0.83*	0.53*	0.25	0.32*	0.22	1.00				
Cl ⁻	0.49*	0.06	0.09	0.17	0.10	0.06	-0.07	0.35*	0.42*	0.46*	0.10	0.14	0.37*	0.47*	0.41*	1.00			
NO ₃ ⁻	0.19	0.12	0.03	-0.18	-0.02	-0.09	-0.21	0.01	0.12	-0.08	0.00	0.10	0.18	0.22	-0.06	0.14	1.00		
SO ₄ ²⁻	0.17	0.01	0.23	-0.10	0.32*	-0.10	-0.20	0.04	0.30*	0.08	0.01	0.00	0.35*	0.35*	-0.15	0.08	0.55*	1.00	
NH ₄ ⁺	0.44*	0.22	0.12	0.23	0.09	0.25	0.00	0.16	0.19	0.25	0.27	0.26	0.31*	0.27	0.36*	0.25	0.47*	0.37*	1.00

* significant at a level of 0.05

Table 4. Correlation coefficients among particulate pollutants measured in the outdoor air of public facilities in Taegu area (n=48).

	SPM	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	V	Al	Ca	Fe	Mn	Na	K	Mg	Cr	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺
SPM	1.00																		
Pb	0.28	1.00																	
Cd	0.42*	0.29*	1.00																
Cu	0.33*	0.22	0.45*	1.00															
Zn	0.18	0.20	0.13	0.08	1.00														
Ni	0.23	0.08	0.32*	0.54*	-0.06	1.00													
V	0.04	-0.18	0.10	0.20	-0.02	0.69*	1.00												
Al	0.67*	0.11	0.18	0.25	0.32*	0.14	0.10	1.00											
Ca	0.45*	-0.08	-0.02	0.12	0.31*	0.02	-0.01	0.70*	1.00										
Fe	0.57*	0.43*	0.43*	0.73*	0.10	0.48*	-0.01	0.34*	0.23	1.00									
Mn	0.38*	0.31*	0.40*	0.85*	-0.04	0.62*	0.07	0.20	0.15	0.84*	1.00								
Na	0.42*	0.24	0.12	0.36*	0.32*	0.13	0.05	0.52*	0.46*	0.34*	0.33*	1.00							
K	0.37*	0.17	-0.19	0.18	0.20	0.09	0.00	0.57*	0.71*	0.18	0.20	0.61*	1.00						
Mg	0.34*	0.01	-0.06	0.02	0.30*	-0.06	-0.03	0.72*	0.93*	0.14	0.06	0.48*	0.67*	1.00					
Cr	0.61*	0.26	0.39*	0.65*	0.06	0.54*	0.07	0.47*	0.17	0.74*	0.67*	0.39*	0.28	0.08	1.00				
Cl ⁻	0.48*	0.03	-0.09	0.06	0.20	0.09	-0.01	0.43*	0.31*	0.25	0.14	0.27	0.52*	0.24	0.50*	1.00			
NO ₃ ⁻	0.33*	0.32*	0.13	-0.08	0.28	0.04	0.01	-0.01	0.02	0.07	-0.01	0.11	0.06	-0.04	0.09	0.12	1.00		
SO ₄ ²⁻	-0.03	0.08	-0.32*	-0.26	0.19	-0.19	0.18	-0.28	0.01	-0.11	-0.13	-0.11	0.04	-0.08	0.23	0.02	0.73*	1.00	
NH ₄ ⁺	0.28	0.17	0.09	0.16	0.23	0.17	0.14	-0.19	0.01	0.13	0.08	0.22	0.09	-0.02	0.31*	0.13	0.60*	0.32*	1.00

* significant at a level of 0.05

와 Na간에는 각각 0.52와 0.61 등으로 대체적으로 높은 상관계수값을 보이는 것은 이들 물질들이 동일한 발생원(예를 들면 토사나 도로상 비산먼지 성

분)과 연계되어 있다는 사실을 뒷받침해 주고 있다. 실내·외의 부유먼지 농도와 연소관련 중금속 성분(V, Pb, Cd, Cu, Ni 등) 및 이차생성입자(SO₄²⁻ 및

NO_3^-)들의 농도사이에 상관성이 낮게 나타난 이유는 본 연구에서 측정된 먼지의 입도분포 특성과 관련지을 수 있다. 즉, 본 연구에서는 먼지시료의 포집에 있어서 미세먼지와 조대먼지를 구분하지 않고 총부유먼지로서 측정하였다. 따라서 비교적 조대입자 영역에 포함되는 토사나 도로상으로 부터 비산되는 먼지성분이 전체 먼지농도의 크기에 큰 영향을 주는 반면, 연소과정에서 생성되는 입자 및 이차생성입자들은 대체로 입경이 $1\mu\text{m}$ 내외의 매우 미세한 크기이므로(최진수 등, 1995; 최금찬 등, 1994; Christian and Georg, 1993) 전체 먼지농도에 기여하는 정도가 미약하기 때문인 것으로 추정할 수 있다.

한편, 연료유 연소와 관련있는 성분인 Ni과 V간의 상관성을 실내가 0.29, 실외가 0.69로 나타났으며, 폐기물소각관련 성분인 Cr과 Cu는 실내가 0.58, 실외가 0.65의 상관계수를 보이고 있다. 또한 이차생성입자 성분간의 상관성을 유의성 있는($P < 0.05$) 비교적 양호한 상관관계를 보이지만 다른 금속성분들과는 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 특히, 양호한 상관성을 나타낸 것은 실내와 실외에서 SO_4^{2-} 과 NO_3^- 간에 각각 0.55와 0.73, NH_4^+ 와 NO_3^- 간에 각각 0.47과 0.60, NH_4^+ 와 SO_4^{2-} 간에 각각 0.37과 0.32의 상관계수값을 나타내었다.

그러나 전반적으로 보아 토사관련 성분과는 달리 유해성 중금속 성분간에는 상관성이 실내·외 모두에서 뚜렷한 특징 없이 매우 산만하게 나타나고 있어 본 연구에서 얻어진 결과만으로 먼지의 농도를 특정 발생원과 연계지어 설명하는데는 무리가 있다고 사료된다. 그 주된 이유는 첫째, 본 연구에서 얻어진 중금속 성분의 농도는 포집된 시료량의 측면에서 볼 때 매우 미량이어서 분석 측정상의 불확실성이 하이볼륨 샘플링에 의한 측정치에 비해 상대적으로 클 수 있다는 점을 들 수 있다. 다시 말하면 제한된 시료수와 미량 유해성분의 분석상의 불확실성으로 인해 변수들간의 상관성이 왜곡될 수 있다는 점이다. 둘째, 본 연구의 상관분석에 이용된 자료수 자체는 총 48개로서 적지 않은 숫자이나 실제 한 지점에서 4회의 측정으로 얻어진 자료들로 구성되어 있으므로 오염물질 변수들의 시간변동성을 제대로 반영하지 못하고 있다는 점이다. 즉, 특정된 측정일의 특수한 경우(예를 들면 인근지역의 노천소각의 유무)로 인한 영향이 전체 상관성에 큰 영향

을 줄 수 있는 가능성을 배제하기 어려운 문제점이 내재되어 있다.

3. 4 온도, 상대습도 및 기류와의 관련성

현행 공중위생법에서 기준이 설정된 항목은 TSP, CO , CO_2 등 오염물질 3항목과 온도, 상대습도, 기류, 조도 등 실내공간의 쾌적성에 관련된 4가지 항목을 포함하여 총 7개 항목이다. 표 5에는 본 연구에서 측정된 입자상 오염물질의 농도와 온도, 습도 및 기류와의 상관관계를 나타내었다. 온도와 상대습도는 실내와 실외에서 대부분의 오염물질 항목과 음의 상관관계를 보이지만, 이차생성물질인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 와는 양의 상관관계를 나타내고 있다. 이는 먼지 및 연소관련 중금속 성분 등은 온도가 높은 하절기에 농도가 감소하는 반면 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 경우, 상대습도가 높고 온도가 높을수록 NO_x 와 SO_2 로부터의 산화반응을 통한 화학적 변환이 촉진된 결과로 보아진다(Stelson and Seinfeld, 1982).

한편, 기류(실외의 경우 풍속)의 경우에는 오염물질과의 상관성이 있어서 흥미롭게도 실내와 실외에서의 양상이 대조적으로 다르게 나타났다. 즉, 실외의 경우, 풍속이 커질수록 오염물질 농도가 감소하게 되므로 양자간에 음의 상관을 보이는 것은 일반적인 현상이라고 할 수 있다. 그러나 예상과는 달리 실내에서는 공기유동이 클수록 전반적으로 오염물질의 농도가 증가하는 양의 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 내부적 요인과 외부적 요인 양자에 복합적으로 관련되어 있을 것으로 추정된다. 먼저 내부적 요인으로는 오염물질의 희석 용량이 제한된 실내공간에서 공기 유동이 커지게 되면 바닥이나 내부구조물 표면 등에 침적된 먼지가 공기 중으로 재비산되어 결과적으로 부유먼지의 농도가 증가할 수 있게 된다는 점을 들 수 있다. 또한 외부적 요인으로는 정화되지 못한 외부공기의 실내공간으로의 유입과 관련지어 설명할 수 있다. 실내공기의 유동과 관련된 기류의 경우 현행 공중위생법에서는 0.5 m/s 이하로 기준을 설정해 두고 있으며 이 기준이 의도하는 근본적인 목적은 공조설비를 통하여 실내공간으로 공기를 배급할 때 거주자의 활동과 쾌적성에 영향을 주지 않을 정도로 적절한 설계를 하여 넓은 지역에 골고루 분배되게 하고자 함이다. 따라서 중앙공조설비가 마련된 건물

Table 5. Correlation coefficients between particulate pollutants and aerometric parameters in the indoor and outdoor air of public facilities in Taegu area.

Pollutant	Indoor (n=48)			Outdoor (n=48)		
	Temperature	R.H.	Air Current	Temperature	R.H.	Wind Speed
SPM	-0.30*	-0.35*	0.27	-0.18	-0.41*	-0.21
Pb	0.09	-0.22	0.03	0.24	-0.08	-0.33*
Cd	-0.13	-0.51*	-0.05	-0.21	-0.37*	-0.25
Cu	-0.36*	-0.39*	0.29*	-0.26	-0.43*	-0.13
Zn	-0.17	0.05	0.14	0.01	-0.09	-0.16
Ni	-0.28	-0.33*	0.34*	-0.23	-0.26	-0.19
V	-0.62*	-0.27	0.39*	-0.33*	-0.14	0.06
Al	-0.31*	-0.36*	0.13	-0.48*	-0.35*	0.09
Ca	-0.18	-0.01	0.36*	-0.06	-0.07	-0.05
Fe	-0.26	-0.33*	0.23	0.03	-0.42*	-0.19
Mn	-0.16	-0.20	0.39*	-0.01	-0.37*	-0.23
Na	-0.18	-0.26	0.17	-0.07	-0.39*	-0.19
K	-0.08	-0.06	0.28	0.04	-0.15	-0.08
Mg	-0.18	0.01	0.47*	-0.11	-0.07	-0.04
Cr	-0.26	-0.39*	-0.02	-0.24	-0.54*	-0.19
Cl	-0.16	0.02	-0.03	-0.00	-0.15	0.07
NO ₃ ⁻	0.23	0.39*	-0.11	0.38*	0.10	-0.54*
SO ₄ ²⁻	0.31*	0.60*	0.01	0.65*	0.43*	-0.35*
NH ₄ ⁺	-0.16	-0.06	0.01	-0.10	-0.26	-0.39*

* significant at a level of 0.05

에서는 대부분의 외부공기가 공조설비를 통하여 실내로 유입되게 되는데 이때 여과장치를 통과하게 되어 먼지를 함유한 외부공기는 어느정도 정화되게 된다. 반면에 중앙공조설비가 설치되어 있지 않거나 환기용량이 충분치 못한 건물에서는 출입구나 창문 등을 통하여 외부공기가 정화되지 못한 채 실내로 유입되게 된다. 즉, 이와 같은 건물의 내부에서 공기의 유동이 크다는 것은 정화되지 못한 외부공기의 유입이 원활하다는 것을 의미하며 이러한 현상이 결과적으로 표 7에 나타난 바와 같이 기류가 끌수록 실내공기 중 오염물질의 농도가 증가하는데 부분적으로 기여를 한 것으로 추정된다.

그러나 표 5의 상관분석 결과에서 나타난 바와 같이 전반적으로 변수들간의 상관성이 낮고 유의성도 낮아 본 연구에서 얻어진 결과만을 놓고 볼 때는 온도와 습도 및 기류 등과 같은 공기의 물리적 특성이 입자상 오염물질의 농도에 결정적인 영향을 주지는 않는 것으로 보아진다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 1994년 10월부터 1995년 7월까지 각 계절에 걸쳐 대구지역에 위치하고 있는 공중이용시설(역 · 터미널, 지하상가, 병원, 백화점 등 각 3개소) 총 12개 장소에서 측정된 실내 · 외 부유먼지(SPM) 와 부유먼지 중에 함유된 중금속과 수용성 무기이온성분 등 입자상 오염물질 18개 항목을 분석하여 이를 물질의 지점별, 계절별 농도분포와 그에 영향을 미치는 요인들을 파악하고자 하였으며 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 총 48개 부유먼지 측정치 중 절반이 넘는 26 개 측정치가 현행 공중위생법의 먼지기준 150 µg/m³ 을 초과한 것으로 나타났으며 전체 평균농도는 실내에서 155 µg/m³, 실외에서 154 µg/m³로 나타났다. 또한 노후된 지하상가 1곳을 제외하고는 전반적으로 실내와 실외의 평균농도는 유의적인 차이가 없는 것으로 조사되었다. 계절별 농도분포는 봄철 > 겨울철 > 가을철 > 여름철 순으로 나타났으며 측정지점별로는 역 · 터미널 > 지하상가 > 병원 > 백화점 순으로 나타났다.

2) 부유먼지 농도에 미치는 각종 발생원의 영향을 먼지에 함유된 화학성분들의 농도와 연계하여 추정해 본 결과 측정지점에 따라 이들 지역의 먼지 농도에 미치는 각종 발생원의 영향은 국지적으로 매우 다양한 양상을 보이는 것으로 나타났으며 그 중에서 특히 토사나 도로먼지의 비산성분의 영향이 가장 주된 요인으로 나타났다. 이외에도 각 지점 및 계절에 따른 발생원별 기여도의 특징은 측정지점의 주변환경, 기상조건 그리고 대구지역의 공단배치와 같은 지형적인 특성 등이 농도변화에 중요한 영향 인자로 작용한 것으로 보인다.

3) 먼지에 함유된 화학성분 중 유해성이 높은 중금속의 경우 본 연구에서 측정된 농도수준은 전반적으로 대구지역의 배경농도 수준과 유사한 것으로 나타났다. 특히 지하상가의 경우 환경부의 지하공간 공기질 권장기준이 설정된 항목인 Pb, Cd, Cu, Cr 등의 농도는 권장기준치에 크게 못 미치는 수준으로 나타나 기준설정 항목 및 기준치 자체에 대한 과학적 근거를 합리적으로 재고할 필요가 있다고 사료된다.

4) 총 48회의 실내 · 외 측정자료 중 절반에 해당

하는 24회의 측정치가 실내보다 실외의 먼지농도가 높은 것으로 나타났으며, 측정대상물질의 실내와 실외 농도간의 상관분석 결과 대체적으로 대구지역 공중이용시설 실내공간에서의 먼지농도는 옥외의 먼지농도에 큰 영향을 받으며 특히 토양 혹은 도로 먼지의 재비산 성분, 소각이나 연소관련 먼지성분 및 이차생성입자 등이 주된 영향을 미치는 요인으로 나타났다. 따라서 실내공기질의 개선에 앞서 무엇보다도 옥외의 대기질 개선이 중요한 과제인 것으로 사료된다.

5) 입자상 오염물질 농도와 온도, 습도 및 기류 등 실내환경의 미세기후인자들과의 관련성을 분석해 본 결과 전반적으로 변수들간의 상관성이 낮고 유의성도 낮아 본 연구에서 얻어진 결과만을 놓고 볼 때는 온도와 습도 및 기류 등과 같은 공기의 물리적 특성이 입자상 오염물질의 농도에 결정적인 영향을 주지는 않는 것으로 보아진다.

참 고 문 헌

- 김동술, 김윤신, 김신도, 신웅배, 김성천, 유정석 (1993) 서울시 지하철역내의 라돈농도 분포 및 저감대책. *한국대기보전학회지*, 9, 271-277.
- 김동술, 김신도, 김윤신, 신웅배, 이태정 (1994) 서울시 지하철역내 분진오염원의 정량적 기여도의 평가. *대한환경공학회지*, 16, 309-319.
- 김윤신, 신웅배, 김신도, 김동술, 전준민 (1994) 서울시 일부 지하철역내 대기오염물질에 관한 조사연구. *한국환경위생학회지*, 20, 19-27.
- 대구광역시 (1995) 대구지역 대기개선 종기계획. 420 p.
- 백남원, 김윤신, 김광종 (1989) "지하공간의 공기오염 및 공기 중 미량유해물질에 관한 조사 연구". *한국환경과학연구협의회*.
- 백성옥, 황승만 (1992) 주성분/중화귀분석을 이용한 대구 지역 대기 중 부유분진의 발생원별 특성 평가. *한국대기보전학회지*, 8, 179-190.
- 손동현, 허문영 (1986) 도시대기중 부유입자상물질, 염화물, 질산염 및 황산염의 농도와 입경분포. *한국대기보전학회지*, 2, 27-33.
- 송희봉, 민경섭, 한개희, 김종우, 백성옥 (1996a) 대구지역 공중이용시설의 실내·외 공기 중 기준성 오염 물질의 농도. *한국대기보전학회지*, 12, 429-439.
- 송희봉, 민경섭, 홍성희, 김종우 (1996b) 대구지역 공중이용시설의 실내·외 공기 중 기준성 오염물질과 영향인자. *한국환경공학회지*, 18, 1027-1044.
- 최금찬, 박정호, 임경택 (1994) 대기에어로졸중 음이온성분에 대한 입경분포의 변화특성. *한국대기보전학회지*, 10, 124-129.
- 최진수, 황승만, 백성옥 (1995) 대구지역 대기중 부유먼지에 함유된 화학성분의 입도별 분포 특성. *한국환경공학회지*, 17, 1245-1259.
- 환경부 (1996) 1996년도 환경통계연감.
- Alazona, J., B.L. Cohen, H. Rudolph, H.N. Jow, and J.O. Frohlicher (1979) Indoor-outdoor relationships for airborne particulate matter of outdoor origin. *Atmos. Environ.*, 13, 1-12.
- Baek, S.O., Y.S. Kim, and R. Perry (1997) Indoor air quality in homes, offices, and restaurants in Korean urban areas: indoor/outdoor relationships. *Atmos. Environ.*, 31(4), 529-544.
- Christian, M. and S. Georg (1993) Concentrations of total suspended particulates, fine particles and their anionic compounds in ambient air and indoor Air. *Environ. Sci. Tech.*, 14, 869-875.
- Harper, S.L., J.F. Walling, D.M. Halland, and L.J. Pranger (1983) Simplex optimization of multi-element ultrasonic extraction of atmospheric particulates. *Anal. Chem.*, 1553-1557.
- Kadowaki, S. (1976) Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate particulates in the Nagoya area. *Atmos. Environ.*, 10, 39-43.
- Lodge, J.P. (1988) *Methods of Air Sampling and Analysis*, 3rd Edition. Lewis Publisher, Inc.
- Meszaros, E. and L. Horvath (1984) Concentration and deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds in Hungary. *Atmos. Environ.*, 18, 1725-1730.
- Scheff, P.A. (1984) Quantitative assessment of Chicago air pollution through analysis of covariance. *Atmos. Environ.*, 18, 1623-1631.
- Stelson, A.W. and J.H. Seinfeld (1982) Relative humidity and Temperature dependence of the ammonium nitrate dissociation constant. *Atmos. Environ.*, 16, 983-992.