

## 大邱市 公衆利用施設 地下駐車場の 總浮遊粉塵, 呼吸性粉塵 및 重金屬 濃度

이현주 · 정재열\* · 이종영 · 송희봉\*\* · 홍성철\*\*\*

경북대학교 대학원 보건학과

\*원광대학교 한의학전문대학원 산업보건

\*\*대구광역시 보건환경연구원

\*\*\*제주의대 예방의학교실

## The Concentrations of TSP, PM10 and Heavy Metal at Underground Parking Lots of Public Facilities in Taegu City

Hyun Joo Lee, Jae Yeal Jeung\*, Jong Young Lee, Hee Bong Song\*\* and Sung Chul Hong\*\*\*

*Graduate School of Public Health, Kyungpook National University*

*\*Department of Occupational Health, Professional Graduate School of Oriental Medicine, Wonkwang University*

*\*\*Institute of Health and Environment in Taegu, Korea*

*\*\*\*Department of Preventive Medicine, Jaeju National University*

### ABSTRACT

This study was performed to investigate the concentrations of TSP, PM10 and heavy metals(Pb, Cd, Hg, Ni, Zn) of underground parking lots in Taegu city. The samples were collected from 3 department stores and 1 central park in the winter and the summer, 1997. The samples of 3 department stores were divided into sale period and non-sale period in the winter and the summer. The concentrations of TSP and PM10 were  $109.6 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and  $93.3 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In TSP, the zinc was the highest level,  $287.1 \pm 1.7 \text{ng}/\text{m}^3$  and the cadmium was the lowest,  $2.4 \pm 2.1 \text{ng}/\text{m}^3$  and in PM10, the zinc was the highest level,  $193.6 \pm 1.5 \text{ng}/\text{m}^3$  and the cadmium was the lowest,  $0.6 \pm 3.9 \text{ng}/\text{m}^3$ . The correlation coefficient between the concentration of TSP and PM10 was  $0.982(p < 0.05)$ . The correlation coefficients of corresponding heavy metal in TSP and PM10 were 0.863 for lead, 0.617 for mercury, 0.890 for nickel and 0.850 for zinc( $p < 0.05$ ). The concentrations of TSP, PM10 and cadmium of PM10 in the winter were higher than those of the summer. However, the concentration of Hg of PM10 in the summer was higher than that of the winter. The concentrations of TSP and PM10 in sale period was higher than those of non-sale period and the concentrations of heavy metal in TSP and PM10 were not significantly different between sale and non-sale period. The proportions of PM10 to TSP were above 60% in dust, lead, nickel, and zinc and less than 40% in cadmium and mercury. The concentrations of TSP, PM10 and heavy metal in the underground parking lots were comparatively lower than those of general atmosphere. However, this kind of research to PM10 in the underground parking lots must be continued because it is very important particulate matter that affects human being's health.

**Keywords :** TSP, PM10, Heavy metals

### I. 서 론

입자상 물질 가운데 총부유먼지(total suspended particles: 이하 TSP로 표시한다)는 환경기준의 설정과 환경오염의 지표로 널리 이용되고 있으며 TSP중 입도가  $10 \mu\text{m}$  이하인 먼지는 호흡과정을 통하여 폐포에 흡입, 침착되므로 호흡성 먼지(이하 PM10으로 표시한다)로 분류한다.

입도가  $10 \mu\text{m}$  이상인 입자는 입과 코의 점막에서 일

차적으로 여과되고  $10 \mu\text{m}$  이하인 호흡성 먼지는 호흡 기관 깊숙이 들어가 기관지와 폐포에 침착되어 폐의 정상적인 공기유통을 교란시키며 폐에 공급되는 혈관을 이완시켜서 만성적인 폐질환을 악화시키는 등 염증, 섬유증(fibrosis)과 같은 폐질환의 원인이 되기도 한다(Mathai 등, 1988; Pope 등, 1991; Abbey 등, 1995; Dusseldorp 등, 1995). 특히 PM10은 EPA 환경기준으로 1987년에 지정되어 아직 그 연구가 초기단계에 불과하다.

PM10이 사망률에 미치는 영향에 관한 연구는 다수 보고된 바 있으며(Dockery 등, 1992; Ito 등, 1996; Ostro 등, 1996) 특히 Dockery 등(1992)은 1985년 9월과 1986년 8월에 걸쳐 St. Louis와 Kingston/Harriman 두 지역의 복합공기오염물질과 일일 총사망률 사이의 관련성을 조사하여 각각의 연구지역의 일일 총사망률이 PM10과 PM2.5와 관련성이 있고, 두 도시에서 일일 PM10이 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 당 총사망률이 16-17% 증가한다고 보고하였다. 또한 Thurston(1996)은 PM10에 의한 급성영향은 일반인구에서 뿐만 아니라 노인인구와 호흡기질환 환자에서 현저히 높다고 보고하였다.

특히 직경이 2.5  $\mu\text{m}$  이하인 미세입자(fine particle)는 상대적으로 비표면적이 커서 각종 중금속과 유해 대기 오염물질과의 흡착이 용이하므로 큰 입자에 비해 인체에 미치는 영향이 크며(John 등, 1990; Pope 등, 1991; Simpson, 1992) 이들은 자동차와 같은 이동오염원과 화학적 공정 등과 같은 고정 오염원에 의해 주로 인위적으로 방출된다(Hernandez 등, 1992).

도시의 교통량의 증가는 주차난과 함께 운전자의 지하주차장의 이용빈도를 증가시킨다. 자동차 배기가스에서 배출되는 유해물질에는 일산화탄소, 탄화수소류, 질소산화물, 납, 니켈 그 외에 입자상 물질 등이 있고, 아연은 자동차의 타이어의 마모와 윤활유의 연소에 의해 배기가스와 함께 배출된다(Hopke, 1985; 김범수, 1985). 지하주차장은 종래의 노상주차나 공시주차와는 달리 대기에 면하지 못하는 폐쇄공간이므로 지하주차장에서는 자동차 배기가스로 인한 실내오염이 일반대기에 비해 심하다(이성환, 1989). 따라서, 지하주차장은 자동차의 배출가스로 인한 PM10 농도와 중금속농도가 높을 것으로 생각된다. 특히 PM10은 국내에서도 1995년 환경기준 항목으로 설정하여 PM10 농도 조사연구가 수행된 바 있으나(임영옥 등, 1989; 박상태, 1995; 이해문 등, 1996) 이들은 모두 일반 대기를 대상으로 한 것으로 자동차 배출가스가 주요오염원인 지하주차장을 대상으로 한 것은 아니었다. 주차장을 포함한 지하시설에 대한 TSP에 대한 연구(이민희 등, 1986; 안상영, 1990; 권택규, 1998)가 일부 소개된 바 있으나 지하주차장의 PM10과 중금속에 대한 연구는 보고된 바 없다.

본 연구는 지하주차장내 TSP와 PM10을 측정하고 이들중 납, 카드뮴, 수은, 니켈과 아연의 농도를 측정함으로써 지하주차장의 대기의 질을 평가하고 지하공간 대기의 질 관리를 위한 기초자료로 활용하기 위하여 시행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상 및 시료채취시기

대구시내에 위치하고 있는 3개의 백화점과 1개의 공원 지하주차장을 대상으로 1997년 1월의 세일기간과 비세일기간, 7월의 세일기간과 비세일기간에 걸쳐 시료를 채취하였고(전체 32개), 공원의 경우는 1월과 7월의 비슷한 기간에 걸쳐 시료 채취를 하였다(전체 8개).

### 2. 시료채취방법

PM10은 공기의 오염도를 대표할 수 있는 장소라고 판단되는 지하주차장 내부의 중앙부분 1개 지점(다층의 경우 3층)을 선정하여 지상 1.5 m(인체의 호흡기 영역)에서 포집하였다. 포집장비는 high volume air sampler(ECOTEC, Australia)에 PM10 inlet 장치를 부착하여 사용하였으며, 지하주차장 이용자가 가장 많은 시간대인 10:00~20:00시 사이의 10시간 동안 연속포집하였다. 포집여지는 quartz micro filter(Whatman, QM-A, 20.3×25.4 cm(8×10 in), England)를 사용하였으며, 시료채취전에 상대습도 50%의 테시게이터에 넣어 항량이 될 때까지 약 72시간 이상 보관 후 사용하였다. 포집유량은 1.1~1.3  $\text{m}^3/\text{min}$ 이었다.

TSP는 low volume air sampler(Sibata, SL-15P, Japan)로 분당 유량은 28.3 l, 포집여지는 nitrocellulose membrane filter(Millipore, 55 mm, 0.8  $\mu\text{m}$  pore size, U.S.A)를 사용하여 PM10과 동일한 방법으로 시료포집하였다.

시료포집 후 포집여지는 시료포집 전후의 무게를 electronic analytical balance(OHAUS Galaxy 160D, Australia)로 0.01 mg까지 측정하여 대표치( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 간주하였다. PM10과 TSP의 농도계산은 시료포집 유량, 시료포집시간, 포집여지의 전후 무게, 그리고 공시료 여지의 무게를 보정하여 이루어졌다.

### 3. 중금속 분석방법

포집여지를 환경공정시험법에 준하여 질산-염산혼합액에 의한 초음파 추출법으로 전처리하고, Pb, Cd, Ni은 원자흡광광도계(AA-680G, Shimadzu)를 본체로 한 원자화 무염광로를 이용하여 분석하였다. Hg은 원자흡광광도계에 hydride vapor generator(HVG-1, Shimadzu)를 부착하여 반응용액으로 0.4%  $\text{NaBH}_4$ 와 5M HCl과 argon을 carrier gas로 사용하여 분석하였다. Zn은 원자흡광광도계(AA-6601F, Shimadzu)를 이용하여 불꽃원자화방법으로 분석하였다. 5가지의 중금속에 대한 보정곡선중 대표적으로 아연과 납에 대한 것을 제시하면 Fig.

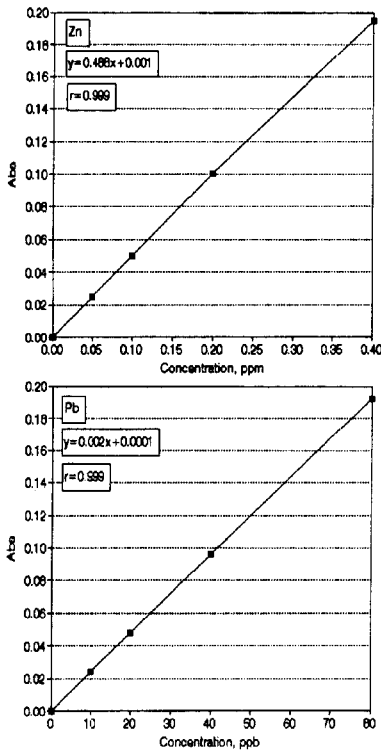


Fig. 1. Calibration Graphs for Zn, Pb.

과 같다.

4. 통계학적 분석

지하주차장의 TSP, PM10 및 중금속 농도의 기하평균치와 기하표준편차를 구하였으며 TSP와 PM10, 및 중금속농도의 상관관계를 구하였다. 자료의 처리는 윈도우용 SPSS 8.00을 이용하였다.

III. 결 과

1. TSP, PM10 및 중금속 농도

TSP의 평균농도는 109.6±1.5 µg/m<sup>3</sup>, 범위는 52.0-252.0 µg/m<sup>3</sup>였다. TSP중 중금속 농도는 아연과 납의 평균농도가 287.1±1.7 ng/m<sup>3</sup>, 210.9±1.8 ng/m<sup>3</sup>, 범위는 각각 89.8-1103.6 ng/m<sup>3</sup>, 95.2-609.0 ng/m<sup>3</sup>로 다른 중금속에 비해 높았으며 니켈이 14.2±2.6 ng/m<sup>3</sup>, 수은이 13.4±1.9 ng/m<sup>3</sup>, 카드뮴이 2.4±2.1 ng/m<sup>3</sup> 순이었다.

PM10의 평균농도는 93.3±1.5 µg/m<sup>3</sup>, 범위는 45.0-220.0 µg/m<sup>3</sup>였다. PM10중 중금속 농도는 아연과 납의 평균농도가 193.6±1.5 ng/m<sup>3</sup>, 144.9±1.7 ng/m<sup>3</sup>, 범위는 각각 76.8-449.5 ng/m<sup>3</sup>, 54.7-331.4 ng/m<sup>3</sup>로 다른 중금

Table 1. TSP, PM10 and heavy metal concentrations of underground parking lots

|                          | Arithmetic mean ± SD | Geometric mean ± GSD | Range       |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| TSP(µg/m <sup>3</sup> )  | 118.1 ± 48.6         | 109.6 ± 1.5          | 52.0-252.0  |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 250.1 ± 157.5        | 210.9 ± 1.8          | 95.2-609.0  |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 2.8 ± 1.3            | 2.4 ± 2.1            | 0.3-5.6     |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 15.8 ± 8.2           | 13.4 ± 1.9           | 3.4-30.6    |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 20.0 ± 15.3          | 14.2 ± 2.6           | 1.3-62.0    |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 335.0 ± 219.5        | 287.1 ± 1.7          | 89.8-1103.6 |
| PM10(µg/m <sup>3</sup> ) | 100.4 ± 42.1         | 93.3 ± 1.5           | 45.0-220.0  |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 165.6 ± 83.0         | 144.9 ± 1.7          | 54.7-331.4  |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 1.1 ± 1.0            | 0.6 ± 3.9            | 0.02-3.1    |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 6.3 ± 5.4            | 4.6 ± 2.3            | 0.8-20.4    |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 14.8 ± 13.0          | 10.7 ± 2.5           | 0.9-56.7    |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 210.1 ± 87.7         | 193.6 ± 1.5          | 76.8-449.5  |

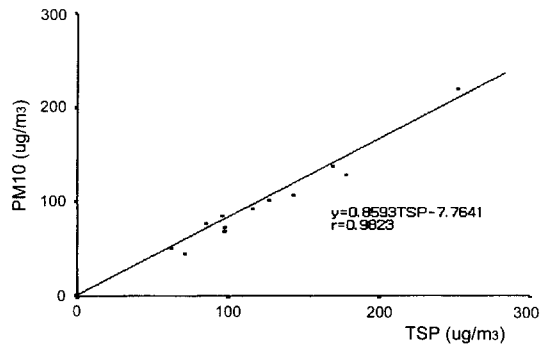


Fig. 2. Regression between TSP(X<sub>1</sub>) and PM10(Y<sub>1</sub>) concentration.

속에 비해 높았으며 니켈, 수은, 카드뮴이 각각 10.7±2.5 ng/m<sup>3</sup>, 4.6±2.3 ng/m<sup>3</sup>, 0.6±3.9 ng/m<sup>3</sup>로 TSP중 중금속과 유사한 경향을 보였다(Table 1).

2. TSP, PM10 및 중금속 농도의 상관관계

TSP와 PM10의 회귀식을 계산한 결과 Y(PM10) = 0.8593×TSP - 7.7641(R<sup>2</sup>=0.9649)였다(Fig. 2). TSP와 PM10중 동일 중금속의 농도는 납, 수은, 니켈, 아연의 상관계수가 각각 0.863, 0.617, 0.890, 0.850으로서 유의한 상관관계가 있었으나 카드뮴은 0.203으로 낮은 상관관계를 보였다. 동일 TSP내에서는 납과 수은의 상관계수가 0.530, 니켈과 아연의 상관계수가 0.631로 상관성이 높게 나타났다(p<0.05). 동일 PM10내의 수은과 니켈, 니켈과 아연의 상관계수가 각각 0.597, 0.792로 상관성이 높게 나타나(p<0.05) 아연과 니켈은 모든 시

**Table 2.** Correlations of heavy metal in TSP, PM10, and between TSP and PM10

|      | TSP    |       |        |        |        |                     |
|------|--------|-------|--------|--------|--------|---------------------|
|      | Pb     | Cd    | Hg     | Ni     | Zn     |                     |
| Pb   | 0.863* | 0.361 | 0.530* | 0.122  | 0.051  |                     |
| Cd   | 0.169  | 0.203 | 0.041  | 0.367  | 0.134  |                     |
| PM10 | Hg     | 0.068 | -0.365 | 0.617* | -0.115 | -0.292 (within TSP) |
|      | Ni     | 0.310 | -0.265 | 0.597* | 0.890* | 0.631*              |
|      | Zn     | 0.162 | 0.052  | 0.178  | 0.792* | 0.850*              |

\*: p<0.05.

**Table 3.** TSP, PM10 and heavy metal concentrations of underground parking lots by sampling site

|                          | Geometric mean ± Geometric standard deviation |                    |                    |             |
|--------------------------|---|--------------------|--------------------|-------------|
|                          | Department store A                            | Department store B | Department store C | Park        |
| TSP(μg/m <sup>3</sup> )  | 94.0 ± 1.4                                    | 142.4 ± 1.4        | 109.9 ± 2.1        | 112.3 ± 1.1 |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 156.5 ± 1.3                                   | 448.1 ± 1.4        | 109.6 ± 1.2        | 284.4 ± 1.4 |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 2.4 ± 2.5                                     | 3.2 ± 1.3          | 1.2 ± 2.1          | 2.8 ± 1.1   |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 10.7 ± 1.9                                    | 22.3 ± 1.2         | 11.8 ± 2.9         | 12.4 ± 1.6  |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 13.7 ± 2.2                                    | 22.8 ± 2.6         | 7.1 ± 5.3          | 14.3 ± 1.5  |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 292.5 ± 1.8                                   | 348.6 ± 1.5        | 177.5 ± 2.5        | 318.6 ± 1.2 |
| PM10(μg/m <sup>3</sup> ) | 82.6 ± 1.5                                    | 101.7 ± 1.4        | 92.0 ± 1.9         | 98.1 ± 1.3  |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 146.7 ± 1.7                                   | 223.2 ± 1.5        | 71.5 ± 1.3         | 187.9 ± 1.2 |
| Cd(ng/v)                 | 0.4 ± 9.4                                     | 0.5 ± 1.7          | 0.9 ± 1.7          | 0.9 ± 5.3   |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 3.0 ± 2.4                                     | 7.0 ± 2.6          | 5.0 ± 2.7          | 4.3 ± 1.8   |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 12.0 ± 1.7                                    | 21.7 ± 2.0         | 3.8 ± 2.9          | 13.4 ± 1.4  |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 202.4 ± 1.2                                   | 212.1 ± 1.8        | 140.5 ± 1.7        | 233.0 ± 1.2 |

료에서 상관성이 높은 것으로 나타났다(Table 2).

**3. 대상장소의 TSP, PM10 및 중금속 농도**

TSP중의 납농도는 백화점A, 백화점B, 백화점C, 공원에서 각각 156.5 ± 1.3 ng/m<sup>3</sup>, 448.1 ± 1.4 ng/m<sup>3</sup>, 109.6 ± 1.2 ng/m<sup>3</sup>, 284.4 ± 1.4 ng/m<sup>3</sup>로 백화점B에서 높게 나타났으며, PM10중의 납농도 역시 백화점A, 백화점B, 백화점C, 공원이 각각 146.7 ± 1.7 ng/m<sup>3</sup>, 223.2 ± 1.5 ng/m<sup>3</sup>, 71.5 ± 1.3 ng/m<sup>3</sup>, 187.9 ± 1.2 ng/m<sup>3</sup>로 백화점B에서 높게 나타났다(Table 3).

**4. 계절별, 세일여부에 따른 TSP, PM10 및 중금속 농도**

TSP농도가 여름보다 겨울이 101.0 ± 1.4 μg/m<sup>3</sup>와 152.2 ± 1.5 μg/m<sup>3</sup>로 높게 나타났고, PM10농도도 여름보다 겨울이 각각 76.8 ± 1.4 μg/m<sup>3</sup>와 113.4 ± 1.4 μg/m<sup>3</sup>로

**Table 4.** TSP, PM10 and heavy metal concentrations by season

|                          | Geometric mean ± Geometric standard deviation |             |
|--------------------------|---|-------------|
|                          | Summer  | Winter      |
| TSP(μg/m <sup>3</sup> )  | 101.0 ± 1.4                                   | 152.2 ± 1.5 |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 211.4 ± 1.8                                   | 209.6 ± 1.8 |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 2.3 ± 2.2                                     | 2.9 ± 1.6   |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 14.1 ± 1.8                                    | 10.9 ± 2.4  |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 12.9 ± 2.8                                    | 20.7 ± 1.7  |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 275.5 ± 1.8                                   | 339.0 ± 1.3 |
| PM10(μg/m <sup>3</sup> ) | 76.8 ± 1.4                                    | 113.4 ± 1.4 |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 127.8 ± 1.9                                   | 164.1 ± 1.6 |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 0.3 ± 3.9                                     | 1.5 ± 2.0   |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 6.9 ± 2.7                                     | 3.1 ± 1.4   |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 11.2 ± 3.5                                    | 10.2 ± 1.7  |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 179.3 ± 1.8                                   | 209.1 ± 1.8 |

**Table 5.** Concentrations of TSP, PM10 and heavy metal in TSP and PM10 during sale and non-sale period

|                          | Geometric mean ± Geometric standard deviation |             |
|--------------------------|---|-------------|
|                          | Sale  | Non-sale    |
| TSP(μg/m <sup>3</sup> )  | 135.4 ± 1.5                                   | 80.3 ± 1.3  |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 206.8 ± 1.9                                   | 191.3 ± 1.8 |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 2.6 ± 2.0                                     | 1.9 ± 2.5   |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 13.6 ± 2.0                                    | 13.5 ± 2.1  |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 16.2 ± 2.9                                    | 11.7 ± 2.7  |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 273.8 ± 1.7                                   | 294.2 ± 2.1 |
| PM10(μg/m <sup>3</sup> ) | 110.5 ± 1.6                                   | 76.3 ± 1.4  |
| Pb(ng/m <sup>3</sup> )   | 160.4 ± 2.0                                   | 110.0 ± 2.0 |
| Cd(ng/m <sup>3</sup> )   | 0.5 ± 5.1                                     | 0.7 ± 2.6   |
| Hg(ng/m <sup>3</sup> )   | 5.2 ± 1.8                                     | 4.3 ± 3.4   |
| Ni(ng/m <sup>3</sup> )   | 9.3 ± 3.5                                     | 10.6 ± 2.5  |
| Zn(ng/m <sup>3</sup> )   | 172.2 ± 1.6                                   | 192.4 ± 1.6 |

비교적 높게 나타났다(Table 4).

계절별 TSP중 중금속 농도는 여름과 겨울의 평균농도가 각각 니켈이 12.9 ± 2.8 ng/m<sup>3</sup>, 20.7 ± 1.7 ng/m<sup>3</sup>, 아연이 275.5 ± 1.8 ng/m<sup>3</sup>, 339.0 ± 1.3 ng/m<sup>3</sup>로 여름보다 겨울이 비교적 높게 나타났다(Table 4). PM10중 중금속 농도는 여름과 겨울의 평균농도가 각각 납이 127.8 ± 1.9 ng/m<sup>3</sup>, 164.1 ± 1.6 ng/m<sup>3</sup>, 카드뮴이 0.3 ± 3.9 ng/m<sup>3</sup>, 1.5 ± 2.0 ng/m<sup>3</sup>로 여름보다 겨울이 높게 나타났으며 수은은 6.9 ± 2.7 ng/m<sup>3</sup>, 3.1 ± 1.4 ng/m<sup>3</sup>로 여름이 겨울보다 높았다(Table 4).

TSP와 PM10의 세일여부에 따른 농도비교로는 TSP,

**Table 6.** Proportions of PM10 to TSP

|         | Mean | SD   | Median | Range     |
|---------|------|------|--------|-----------|
| Dust(%) | 79.1 | 8.1  | 80.2   | 63.4-90.6 |
| Pb(%)   | 67.0 | 19.2 | 65.4   | 42.0-98.7 |
| Cd(%)   | 36.9 | 30.4 | 35.2   | 0.6-91.8  |
| Hg(%)   | 42.7 | 24.2 | 35.9   | 17.5-96.7 |
| Ni(%)   | 79.3 | 19.6 | 88.8   | 26.3-94.7 |
| Zn(%)   | 73.9 | 14.4 | 73.4   | 50.4-90.2 |

Proportions were calculated by PM10/TSP.

PM10 모두 세일기간의 농도가 비세일기간에 비해 높았으나(Table 5), 중금속 농도는 PM10중 납농도가  $160.4 \pm 2.0 \text{ ng/m}^3$ ,  $110.0 \pm 2.0 \text{ ng/m}^3$ 로 세일기간이 비세일기간에 비해 약간 높았을 뿐 다른 중금속은 큰 차이를 보이지 않았다(Table 5).

#### 5. TSP에 대한 PM10의 농도 함유율

TSP에 대한 PM10의 농도 함유율을 보면 먼지와 납, 니켈, 아연의 경우는 각각  $79.1 \pm 8.1\%$ ,  $67.0 \pm 19.2\%$ ,  $79.3 \pm 19.6\%$ ,  $73.9 \pm 14.4\%$ 로 비교적 높게 나타났고, 카드뮴과 수은은 각각  $36.9 \pm 30.4\%$ ,  $42.7 \pm 24.2\%$ 로 나타났다(Table 6).

### IV. 고 찰

TSP는 대기중에 부유하는  $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$  정도의 입경을 갖는 먼지를 총칭하며, PM10은 TSP중 입경이  $10 \mu\text{m}$  이하의 호흡성 먼지로서 주로 연소과정 등의 인위적인 배출원에서 발생되며 대기중에서 비교적 체류시간이 길고 시정거리를 감소시키는 인자로 알려져 있다. 특히 입경이  $2.5 \mu\text{m}$  이상인 입자는 호흡시 인체의 비강경로에서 침적여과되나 입경이  $2.5 \mu\text{m}$  이하인 입자는 자동차오염물질, 2차 생성물질 등과 같이 화석연료의 연소과정에 의해 인위적으로 배출되며 비표면적이 커서 각종 유해물과 유기물, 중금속의 흡착가능성이 높아 인체에 흡입되는 경우 호흡기질환과 같은 각종 질병을 일으킬 수 있다(Mathai 등, 1988).

환경부는 폐통과 및 침적정도에 관한 연구결과와 입자구성, 호흡기 질환의 위해성, 측정방법의 신뢰성 등과 같은 여러 요인을 고려하여 입경이  $10 \mu\text{m}$  입자를 기준으로 1987년 PM10 환경기준치를 연평균  $50 \mu\text{g/m}^3$  이하, 24시간평균  $150 \mu\text{g/m}^3$  이하로 설정하였고, TSP는 1971년에 설정하였고, 1987년 기하연평균  $75 \mu\text{g/m}^3$  이하, 24시간평균  $260 \mu\text{g/m}^3$  이하로 개정하였다(Mathai

등, 1988). 국내의 환경기준치는 PM10을 1995년 연평균  $80 \mu\text{g/m}^3$  이하, 24시간 평균  $150 \mu\text{g/m}^3$  이하로 정하였고 TSP는 1983년 연평균  $150 \mu\text{g/m}^3$  이하, 24시간 평균  $300 \mu\text{g/m}^3$  이하로 정하였다.

본 조사에서의 지하주차장의 TSP 평균농도는  $109.6 \mu\text{g/m}^3$ 이고  $52.0 \sim 252.0 \mu\text{g/m}^3$ 의 범위로 나타났으며 PM10농도는  $93.3 \mu\text{g/m}^3$ 이고  $45.0 \sim 220.0 \mu\text{g/m}^3$ 의 비교적 넓은 범위를 가지는 것으로 나타났다. 서울지역의 상업 및 교통혼잡지역인 신촌동과 주택지역인 불광동을 대상으로 한 임영욱(1989)이 보고한 신촌동의 TSP  $179.77 \mu\text{g/m}^3$ , PM10  $152.59 \mu\text{g/m}^3$ 보다 높았으나 불광동의 TSP  $130.43 \mu\text{g/m}^3$ , PM10  $112.56 \mu\text{g/m}^3$ 와는 큰 차이를 보이지는 않았다. 대구지역을 대상으로 한 박상태(1995)의 연구결과 TSP, PM10의 농도가 주거지역  $127 \mu\text{g/m}^3$ ,  $86 \mu\text{g/m}^3$ , 상가지역  $139 \mu\text{g/m}^3$ ,  $99 \mu\text{g/m}^3$ , 공업지역  $177 \mu\text{g/m}^3$ ,  $119 \mu\text{g/m}^3$ , 전원지역  $106 \mu\text{g/m}^3$ ,  $74 \mu\text{g/m}^3$ 로 지역간 다소 차이가 있긴 하나 본 조사결과와 비슷한 농도를 나타내고 있다. 대기환경기준과의 비교에서는 TSP는 연평균과 24시간 평균치보다 낮았으며, PM10의 경우는 연평균치는 초과하였으나 24시간 평균치보다 낮았다. 임영욱(1989), 박상태(1995)의 연구결과와 대기환경기준은 일반대기를 대상으로 하였으므로 지하주차장의 TSP, PM10과 직접적으로 비교하기는 어렵다. 권택규(1998)가 주장하듯이 지하주차장의 TSP와 PM10이 도시의 환경기준치보다 낮게 나타난 것은 지하주차장은 실내에 오염원이 있다고는 하나 입자상 물질의 경우 외부공기의 영향을 배제할 수 없고 특히 공기정화장치에 의해 실외공기가 실내로 유입될 때 PM10 뿐 아니라 특히 입자가 큰 TSP는 어느 정도 여과에 의해 제거되었기 때문으로 생각된다.

PM10과 TSP간의 상관계수는 0.98로 박상태(1995)의 공업지역, 상가지역, 주거지역, 전원지역의 대기중 TSP와 PM10 농도의 관련성에서 보고한 상관계수 0.85-0.96와 비슷한 양상을 보여 지하주차장의 TSP농도만으로도 PM10농도 추정이 가능할 것으로 생각된다.

계절에 따른 TSP, PM10의 농도는 TSP, PM10 모두 여름보다 겨울의 농도가 높게 나타났다. 이는 신동찬(1997), 황승만(1992) 이혜문 등(1996)이 보고한 일반대기중의 부유먼지에서의 결과와 일치하며, 이러한 계절적 차이는 특히 지하주차장의 경우 자동차 배기가스가 주된 오염원이 되므로 동절기에는 일반적으로 자동차의 출발시 공회전이 많아서 배기가스의 배출이 증가하는 것과 관련이 있는 것으로 보여지며(권택규, 1998), 특히 하절기에 비해서 동절기의 상대습도의 감소로 인하여 먼지가 수증기입자와 결합하여 낙하하는 것보다

비산하는 비율이 증가한 때문이라 생각된다.

세일여부에 따른 TSP와 PM10의 농도변화는 TSP, PM10 모두에서 세일기간이 비세일기간보다 높은 농도를 보였으며, 이는 백화점 주차장을 이용하는 차량 대수의 증가로 차량 배출가스가 증가하였을 뿐 아니라 이용객의 상대적인 증가로 인한 재비산 먼지의 증가가 원인인 것으로 보여진다.

일반환경에서의 납은 대표적으로 자동차 배기가스를 통하여 배출되며, 본 조사에서 나타난 납 농도는 TSP에서 210.9 ng/m<sup>3</sup>, PM10에서 144.9 ng/m<sup>3</sup>로 나타났고 각각의 범위는 95.2-609.0 ng/m<sup>3</sup>, 54.7-331.4 ng/m<sup>3</sup>를 나타내고 있으나 지하공간(주차장)의 납에 대한 24시간 공기질 기준 50,000ng(50 µg)/m<sup>3</sup>를 초과하지는 않았다(환경부, 1999). TSP중의 납 농도는 서울지역의 대기질 중심으로 한 이민희 등(1982)과 정용 등(1987)의 293 ng/m<sup>3</sup>, 271 ng/m<sup>3</sup>보다 약간 낮은 농도를 보이고 있으며, PM10중의 납 농도는 임영욱 등(1989)이 보고한 신촌동과 불광동의 농도가 각각 214 ng/m<sup>3</sup>, 167 ng/m<sup>3</sup>를 나타내어 역시 불광동의 경우와는 비슷한 농도를 나타내고 있다.

특히 납은 측정지점별로도 차이를 보였고 백화점 B의 경우 가장 높은 농도(448.1 ng/m<sup>3</sup>)를 나타내었고 백화점 C는 가장 낮은 농도 (109.6 ng/m<sup>3</sup>)를 나타내었다. PM10중의 납의 경우도 TSP와 마찬가지로 백화점 B가 가장 높은 농도인 223.2 ng/m<sup>3</sup>, 백화점 C가 가장 낮은 농도인 71.5 ng/m<sup>3</sup>로 나타났다. 이는 백화점 B의 경우 건물연수가 13년으로 다른 대상장소에 비해 오래되었고, 주차 용적당 최대 주차대수도 0.0099 car/m<sup>3</sup>로 다른 대상장소(백화점 A: 0.0073 car/m<sup>3</sup>, 백화점 C: 0.0084 car/m<sup>3</sup>, 공인 : 0.0091 car/m<sup>3</sup>)보다 상대적으로 많은 것에 기인한 것으로 생각되며, 백화점 C는 건물연수가 1년 된 신축건물로서 적절한 환기시스템의 가동으로 인하여 가장 낮은 농도를 나타낸 것으로 생각된다.

계절에 따른 납 농도는 PM10에서 여름보다 겨울이 약간 높았고, 세일여부에 따라서도 PM10에서 비세일기간보다 세일기간이 높았다. 이는 여름보다 겨울이, 비세일기간보다 세일기간의 PM10 상대농도가 높았기 때문으로 생각된다.

니켈은 석유계 연료중 중유의 연소과정에서 생성되는 먼지의 약 0.5%정도 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며 nickel mist나 nickel carbonyl 화합물 등에 만성적으로 노출되는 경우 폐암 등을 유발할 수 있다는 보고도 있다(Doll 등, 1977; Sunderman, 1981). 아연은 합석판, 연료, 아연광 등이 배출원으로 알려져 있으며, 석탄 및 기름연료의 사용, 자동차 타이어 마모, 자동차

브레이크 라이닝 마모, 윤활유 등이 주요 오염원이다(Hopke, 1985).

니켈의 평균농도는 TSP에서 14.2 ng/m<sup>3</sup>로, 서울대기를 대상으로 한 이민희 등(1982)과 정용 등(1987)의 연구인 TSP중 니켈 농도 59 ng/m<sup>3</sup>, 75 ng/m<sup>3</sup>보다 낮았고, PM10에서도 10.7 ng/m<sup>3</sup>로 검출되어 임영욱 등(1989)의 연구결과 신촌동, 불광동의 니켈 농도 43 ng/m<sup>3</sup>, 32 ng/m<sup>3</sup>보다 낮았다. 아연은 분석한 중금속에서 최고 농도로 TSP, PM10중에서 각각 287.1 ng/m<sup>3</sup>, 193.6 ng/m<sup>3</sup>로 나타났으나 정용 등(1987)의 TSP중 아연농도 976 ng/m<sup>3</sup>보다 낮은 값이며 임영욱 등(1989)의 PM10중 아연농도가 신촌동과 불광동의 각각의 농도 317 ng/m<sup>3</sup>, 321 ng/m<sup>3</sup>와도 차이를 보이고 있다. 카드뮴의 평균농도도 TSP, PM10에서 각각 2.4 ng/m<sup>3</sup>, 0.6 ng/m<sup>3</sup>를 나타내었는데 이는 서울지역의 대기질 중심으로 한 임영욱 등(1989)의 신촌동과 불광동의 각각의 PM10의 카드뮴 농도 6.6 ng/m<sup>3</sup>, 8.9 ng/m<sup>3</sup>보다 낮은 수치를 나타내고 있으며 이혜문 등(1996)의 1992년도의 농도 1.2 ng/m<sup>3</sup>와는 비슷한 결과를 보인다. 수은을 제외한 중금속의 농도가 일반대기를 대상으로 한 연구보다 낮은 농도를 보이는 것은 부유먼지의 농도가 상대적으로 낮은 것에 기인한 것으로 생각된다.

특히 아연과 니켈은 TSP, PM10 모두에서 상관관계가 높게 나타나 아연과 니켈은 동일한 오염원에서 집중적으로 발생하는 것으로 생각되며 이들 물질이 자동차관련 배출물질인 것을 뒷받침한다.

수은의 평균농도는 TSP, PM10에서 각각 13.4 ng/m<sup>3</sup>, 4.6 ng/m<sup>3</sup>로 나타나 임영욱(1989)의 PM10중 수은농도 신촌동, 불광동이 각각 0.26 ng/m<sup>3</sup>, 0.44 ng/m<sup>3</sup>와는 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 다른 중금속에 비해 수은이 대기중 농도보다 높게 나타난 것은 지하공간의 온도가 일반대기보다 높고 특히 수은은 상온에서 쉽게 기화하므로 일반대기보다 높은 농도로 나타난 것으로 추정할 수 있으나 이에 대한 확실한 연구가 필요하다. 특히 수은의 농도는 겨울보다 여름철의 농도가 높게 나타났다으며 이 또한 온도의 영향으로 생각된다.

TSP에 대한 PM10의 함유율을 보면 먼지의 경우 79.1%(63.4-90.6%)로 박상태(1995)의 대구지역의 일반대기를 대상으로 측정한 TSP중 PM10의 함유율 68%보다 높은 농도를 보이고 있다. 이는 미세먼지가 많이 포함된 자동차 배기가스가 주요 오염원인 지하주차장의 특성상 나타난 수치로 생각된다. 중금속의 경우는 납, 니켈, 아연이 67.0%, 79.3%, 73.9%로 비교적 높은 함유율로 나타났고 카드뮴과 수은은 각각 36.9%, 42.7%로 비교적 낮은 함유율로 나타났다.

이상의 결과로 볼 때 본 연구에서 시료포집한 지하주차장의 경우 TSP와 PM10은 환경기준치보다 낮았다. 수은을 제외한 중금속 농도도 일반대기보다 낮았다. 그러나 지하주차장의 중금속, 특히 PM10중의 중금속은 시료의 수가 적고, 특히 주차장 시설이 비교적 깨끗하게 관리되고 있는 대규모 지하주차장을 선택하였기 때문에 지하주차장 전체의 중금속 오염도를 대표하기는 어렵다. 또한 지하주차장은 TSP중 PM10의 함유율이 일반대기보다 높기 때문에 동일 농도라면 지하주차장의 대기가 보다 건강에 유해할 수 있다. 따라서 소규모, 환기시설이 불충분한 지하주차장을 포함한 지하주차장의 대기질에 관한 계속적인 연구가 필요하다.

## V. 요약 및 결론

대구시 지하주차장의 TSP, PM10과 중금속 농도를 조사하기 위하여 백화점 3개소와 공원 1개소를 대상으로 1997년 1월의 세일기간과 비세일기간, 7월의 세일기간과 비세일기간의 대기시료를 포집, 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. TSP의 평균농도는  $109.6 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 범위는  $52.0\text{-}252.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. PM10의 평균농도는  $93.3 \pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 범위는  $45.0\text{-}220.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2. TSP중 중금속 농도는 아연이  $287.1 \pm 1.7 \text{ng}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 납, 니켈, 수은, 카드뮴 순이었다. PM10중 중금속 농도는 아연이  $193.6 \pm 1.5 \text{ng}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고 TSP중 중금속 농도와 같은 경향이었다.

3. 상관계수는 TSP와 PM10농도가 0.982, 납 0.863, 수은 0.617, 니켈 0.890, 아연 0.631이었고, 동일 TSP 내에서는 납과 수은이 0.530, 동일 PM10내에서는 수은과 니켈이 0.597이었다.

4. 계절에 따라서는 TSP, PM10과 PM10중 카드뮴 농도가 겨울이 여름보다 높았고, PM10중 수은은 여름이 겨울보다 높았다.

5. 세일여부에 따라서는 TSP, PM10 농도 모두 세일기간이 비세일기간보다 높았고, 중금속의 농도는 큰 차이를 보이지 않았다.

6. TSP에 대한 PM10의 함유율은 먼지, 납, 니켈, 아연은 60% 이상의 높은 함유율을 나타내었고, 카드뮴과 수은은 40% 이하의 함유율을 나타내었다.

이상의 결과로 볼 때 시료 포집한 지하주차장의 TSP, PM10 및 중금속농도는 일반대기보다 낮았으나  $10 \mu\text{m}$  이하 입자가 일반대기보다 높은 비율을 차지하고 있으므로 지하주차장의 호흡성 먼지에 대한 연구가 계속해서 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- 1) 권택규 : 대구지역 대규모 지하주차장의 공기질 조사에 관한 연구. 석사학위논문, 영남대학교 환경대학원, 1998.
- 2) 김범수 : 자동차배출 Pb와 Zn에 대한 Sink로써의 도시공원수목에 관한 연구. 석사학위논문, 건국대학교 대학원, 1985.
- 3) 박상대 : 대기중 TSP와 PM10 농도의 상관성. 석사학위논문, 영남대학교 환경대학원, 1995.
- 4) 신동찬 : 대구지역 공중이용시설의 실내·외 공기중 입자상 미량유해물질의 농도. 석사학위논문, 영남대학교 환경대학원, 1997.
- 5) 안상영 : 대구시내 일부 지하시설의 대기오염도. 석사학위논문, 경북대학교 보건대학원, 1992.
- 6) 이민희, 심용기, 김양근, 한의정, 원양수, 조연순 : 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사연구. 국립환경연구소보, 4, 27-47, 1982.
- 7) 이민희, 한의정, 신찬기, 정해동, 한자경 : 지하환경의 대기오염물질 규제에 관한 조사연구. 대한위생학회지, 1(1), 47-58, 1986.
- 8) 이성환 : 지하주차장 환기설비 개선에 관한 연구사례 조사를 통한 기준 건축물의 실태현황을 중심으로-. 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원, 1989.
- 9) 이혜문, 김동술, 이진홍 : PM-10 내 중금속의 장기간 평균농도 및 위해도 평가. 한국대기보전학회지, 12, 555-566, 1996.
- 10) 임영옥, 정 용 : 호흡성분진중의 중금속 오염도에 관한 조사연구. 한국대기보전학회지, 5(1), 68-78, 1989.
- 11) 정 용, 장재연, 주의조 : 도시 대기중 중금속에 관한 연구 -서울시 신촌지역을 중심으로-. 한국대기보전학회지, 3(2), 18-26, 1987.
- 12) 한천길, 김용수, 신도철, 이상철, 이연수, 신재영, 이규남 : 서울시 터널내 공기오염 도조사연구(제7보). 서울특별시 보건환경연구원보, 27, 238-247, 1991.
- 13) 환경부 : 지하생활공간 공기질 관리 업무편람, p. 2, 1999.
- 14) 황승만 : 대구지역 대기중 부유분진에 함유된 화학성분의 입도별 특성. 영남대학교 대학원 환경공학과 대기관리전공 석사학위 1992.
- 15) Abbey DE, Hwang BL, Burchette RJ, Vancuren T, Mills PK: Estimated long-term ambient concentrations of PM10 and Development of Respiratory Symptoms in a nonsmoking population. *Arch Environ Health*, 50(2), 139-152, 1995.
- 16) Dockery DW, Schwartz J, Spengler JD: Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols. *Environ Res*, 59(2), 362-373, 1992.
- 17) Doll R, Mathews JD, Morgan LG: Cancers of the lung and nasal sinuses in nickel workers : reassessment of the period of risk. *Br J Industr Med*, 34, 102-106, 1977.
- 18) Dusseldorp A, Kruijer H, Brunekreef B, Hofschreuder P, de Meer G, van Oudvorst AB: Associations of PM10 and airborne iron with respiratory health of adults living near a steel factory. *Am J Respir Crit Care Med*, 152, 1932-9, 1995.

- 19) Hernandez E, Martin F, Valero F: Statistical forecast models for daily air particulate iron and lead concentration for Madrid, Spain. *Atmos Environ*, **26B**, 107-116, 1992.
- 20) Hopke PK: Receptor modeling in Environmental chemistry, John Wiley & Sons, New York, 1982.
- 21) Ito K, Thurston GD: Daily PM10/mortality associations : an investigation of at-risk subpopulations. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, **6**(1), 79-95, 1996.
- 22) John W, Wall SM, Ondo JL, Winklmay W: Modes in the size distribution of atmospheric inorganic aerosol. *Atmos Environ*, **24A**(9), 2349-2359, 1990.
- 23) Mathai CV, Stomefield DH: PM10 : Implementation of standards. 1988, pp. 2-11.
- 24) Ostro B, Sanchez JM, Aranda C, Eskeland GS: Air pollution and mortality : results from a study of Santiago, Chile. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. **6**(1), 97-114, 1996.
- 25) Pope CA 3rd, Dockery DW, Spengler JD, Raizenne ME: Respiratory Health and PM10 Pollution. A daily time series analysis. *Am Rev Respir Dis*, **144**, 668-674, 1991.
- 26) Simpson RW: A statistical analysis of particulate data sets in Brisbane. *Australia Atmos Environ*, **26B**(1), 99-105, 1992.
- 27) Sunderman FW: Recent research on nickel carcinogenesis, *Environ Health Perspect*, **40**, 131-141, 1981.
- 28) Thurston GD: A critical review of PM10-mortality time-series studies. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, **6**(1), 3-21, 1996.