

PM₁₀ 개인노출과 공중이용시설내 농도에 관한 연구

김 만 구 · 정 영 립 · 임 양 석
강원대학교 환경학과
(1997년 1월 20일 접수)

Personal Exposure to PM₁₀ and its Concentration in Public Facilities

Man-Goo Kim, Young-Rim Jung, and Yang-Suk Lim
Dept. of Environmental Science, Kangwon National University
(Manuscript received 20 January 1997)

PM₁₀ concentrations were measured in underground stores located in 4 major cities, Chunchon, Wonju, Donghae and Sockcho, in Kangwon-Do using scattering light integrated type digital dust indicator. Personal exposure to PM₁₀ for two women(housekeeper and graduate student) and a man(undergraduate student) were measured also.

The dimensional conversion factors for mass concentrations(K) showed some difference among underground stores which were 2.0, 2.7, 3.4, 2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ in chunchon, Wonju, Donghae and Sockcho, respectively. Average PM₁₀ concentrations at underground stores were 178 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Chunchon, 141 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Wonju, 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Donghe and 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Sockcho. The portion of PM₁₀ in total suspended particles was about 50~ 60 % as weight.

The exposure of graduate student, housekeeper and undergraduate to PM₁₀ during 12 hours were 1004.3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$), 907.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$) and 691.2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$), respectively. Personal exposure to PM₁₀ showed very different according to their activity pattern and they had more than 90 % of their PM₁₀ exposure at indoor environment.

1. 서 론

대기 중의 입자상 물질은 직경 0.001~1000 μm 의 광범위한 분포를 가지고 있으며, 입경에 따른 분진의 제반 물리, 화학적 특성은 대기질 및 인체의 건강 측면에서 중요한 변수로 작용한다(신훈중 등, 1996). 입자의 크기가 감소함에 따라 입자의 표면적은 급증하기 때문에, 유해성 가스 및 As, Ni, Cr, Pb와 같은 중금속을 쉽게 흡착하여 인체에 전달하는 매체가 되기도 한다(김희강 등, 1993). 이제까지는 총먼지(TSP)에 대한 규제와 환경기준치가 설정되어 있었는데 입자의 크기에 따라 폐속으로 유입된 정도가 다르다. 특히 직경이 10 μm 이하인 미세 먼지는 인체에 침투되기 때문에 보건학상 중요한 의미를 가지고 있어 PM₁₀에 대한 연구가 최근 활발하게 이루어지고 있다. PM₁₀은 실외보다 실내에서 더 높은 농도를 나타내며 사람들이 많이 드나드는 공공시설 내에서 특히 높게 나타난다. 최근에는 폐속으로 침투되는 직경 2.5 μm 이하의 미세 먼지에 대한 중요성이 부각되어 외국에서는 PM_{2.5}를 규제하기 시작했고, 영국의 대기질 전문가 회의에서는 PM_{2.5}의 권고치를 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24시간 평균)으로 정했다(J.L. Battarbee et al., 1997).

지금까지 각 시·도 보건환경연구원 등에서 공공이용

시설물에 대한 환경오염도 실태 조사를 많이 해 왔다(배은상 등, 1989; 배도연 등, 1990; 최춘석 등, 1989). 그러나 PM₁₀에 대한 환경기준치는 1995년 1월부터 시행되어 이전의 조사들은 TSP만 측정하였다. 또한, 공공시설 중 지하역사, 지하도상가 등은 관리대상에서 제외됨에 따라 지하생활공간에서의 공기 오염문제가 사회적 문제로 대두되었다. 이에 미국이나 일본 등 선진국의 실내공간 관련 기준을 고려하여 각 지하시설별(지하역사, 지하상가, 터널 등)로 구분하여 1989년 9월 지하공간 환경기준치(TSP의 경우 지하공간 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{일}$, 터널 2,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{일}$)를 마련하여 공중위생법 등 관계법령에 반영하도록 요청하는 한편, 시·도로 하여금 정기적으로 지하생활공간의 공기질 실태를 파악함과 아울러 적절한 대책을 수립하도록 하였다(환경부, 1997).

최근에는 실내오염이 사람들의 건강 영향에 미치는 영향을 보다 정확히 분석하기 위하여, 개인의 하루 24시간별 활동(Time activity pattern)에 따른 특정 오염물질에 노출되는 정도(Personal exposal level)를 측정하고 있다. 따라서 주요 오염물질별 개인 노출정도를 측정하기 위한 기구(Personal monitor)가 개발되어, 건강 위험평가(Risk assessment)방법이 시도되고 있다

(Ott, 1985; Wallace et al., 1986). 그리고 최근에는 대기 중에 존재하는 복합오염물질을 한가지로 취급하여 위해성 평가를 하려는 움직임이 있다.

대기환경기준법에 의하면 미세 먼지(PM₁₀)의 측정방법을 베타선 흡수법(β -Ray Absorption Method)으로 정하고 있다. 그러나 베타선 흡수법에 사용되는 기기는 크기가 크고 무거워 휴대하기가 불편하다. 따라서 본 연구에서는 시간과 장소의 제약이 없고 측정시간이 1~10분으로 짧아 휴대하기 간편한 광산란식 디지털 분진계를 이용해 강원도내 4개 도시의 지하상가내 PM₁₀ 농도를 조사하였다. 또한 남, 여 대학생 각 1명과 주부 1명을 대상으로 하루 활동시간 중 각 장소에서의 PM₁₀ 농도를 조사하였고, 이를 기초로 하여 개인별 PM₁₀ 노출을 조사하였다.

2. 연구방법

2.1 공공시설내 PM10 농도 측정

일반 공공시설중 강원도내 주요 4개도시 춘천, 원주, 동해, 속초의 지하상가(춘천시 제일 백화점, 원주 중앙시장, 동해시 동해프라자, 속초시 아남프라자)를 선정했다. 측정기간은 1995년 3월 7일에서 10일까지 4일 동안 각 지하상가별로 하루동안 측정하였다. 춘천과 동해의 지하상가에는 주로 식당과 스낵코너가 주를 이루고 있으며, 각각 한 개의 슈퍼마켓이 있다. 원주의 지하상가에는 악세사리와 의류매장이 주를 이루고 있고, 속초의 지하상가에는 대형 슈퍼마켓으로 모두 생활필수품매장이 있다. PM₁₀ 농도는 각 지하상가내 대표지점으로 사각형의 각 모서리 부분 네지점과 중앙 한 지점, 총 다섯 지점을 선정해서 디지털 분진계(P-5H2, Sibata, Japan)를 사용하여 오전 10시부터 오후 6시까지 매 시간마다 3분간 적산치를 측정하였다. 그리고 PM₁₀ 농도 측정시 각 지점의 흡연자수, 환기시설 유무, 외부로부터의 밀폐 여부, 주변 사람들의 수와 거동상태 등 장소의 특성을 함께 조사하였다.

현재 우리나라의 입자상 물질 농도에 관해 규정하고 있는 공중위생법, 환경보전법, 산업안전보건법에서는 여과채취에 의해서 모인 입자상물질의 질량을 채취한 공기의 부피로 나눈 질량농도 단위로 표준 측정법을 채택하고 있다. 때문에 상대 농도계에서 얻어진 상대농도는 입자의 질량농도만이 아니고 입경분포, 밀도, 형태, 광학적 성질 등에 의해 정해진 값이기 때문에 질량농도로 변환시키기 위해서는 이러한 여러 인자를 고려한 질량농도 변환계수를 구하여 환산하여야 한다(김만구 등, 1995).

따라서 질량농도 변환계수를 구하기 위해서 Low volume air sampler(Model L-30 Sibata, Japan) 2대 중 한대는 총먼지(TSP; Total suspended particles)를 채취했고 나머지 한대에는 PM₁₀ cutter(C-30형)를 설치해 PM₁₀을 채취하였다. Low volume air sampler는 각 지하상가내 대표지점 5곳 중 한 곳에 설치하여 30 l/min의 유량으로 약 6시간에서 10시간정도 입자상 물질을 채취했다. 입자상 물질을 채취하기 위한 여과지(glass fiber filter, GF/B, Dia. 110mm, Whatman)는 실

온에서 상대습도 50 %로 조절한 대시게이터 속에서 48시간 이상 방치시킨 후 0.01 mg까지 평량할 수 있는 전기식 지지저울(Sautor 424, Sweden)을 사용하여 정확히 평량한 것을 사용하였다. 입자상물질을 채취한 여과지도 같은 방법으로 항온항습시킨 후 평량하여 질량농도를 구하였다.

2.2 개인노출농도 측정

대학생 남, 여 각 1명과 주부 1명을 대상으로 1995년 5월에서 6월 사이에 하루 중 활동시간동안 조사하였다. 각 조사 대상자의 기상시간에서 취침시간까지 활동시간 중에 디지털 분진계(P-5H2, Sibata, Japan)를 휴대하고 다니면서, 1시간을 기준으로 장소를 옮길 때마다 1분간 적산한 PM₁₀ 농도를 측정하였다. 여자 대학생은 14.92시간(08:00~24:00), 남자 대학생은 16.83시간(06:35~23:00) 그리고 주부는 14.80시간(07:00~22:00) 동안의 PM₁₀ 노출량을 조사하였다. 또한 측정시간과 환기시설 유무, 실내 체류자 수 등 장소의 특성도 함께 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 질량농도 변환계수(K)

산란광 광량 적산식 디지털 분진계는 공기 중에 부유하고 있는 입자에 빛을 조사하면, 입자의 물리적 성질이 같은 조건일 경우 입자에 의한 산란광량은 질량농도에 비례하는 원리를 응용하여 대기중 입자상 물질의 상대 질량농도를 산란정량의 적산치 CPM(Count Per Minute)로 나타낸다. Low volume sampler에서 채취한 입자상 물질의 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 디지털 분진계에서 측정된 상대농도(CPM)를 가지고 다음 식(1)으로 질량농도 변환계수를 구하였다.

$$K = \frac{C}{R - B} \quad (1)$$

여기서, K는 질량농도변환계수($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$), C는 여과채취장치로 얻은 농도값 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), R은 디지털분진계로 측정된 농도값 (CPM), B는 기기의 바탕농도값 (CPM)으로 4를 이용하였다.

질량농도 변환계수는 춘천이 $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 으로 가장 작았고, 동해가 $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 로 가장 큰 값을 나타냈다. 원주와 속초는 각각 $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 과 $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 으로 비슷한 값을 나타냈다. 이는 각 지하상가내 PM₁₀의 조성이 다르다는 것을 의미하는 것으로, 흡연자가 가장 많았던 춘천의 지하상가에서는 담배연기 때문에 질량에 비해 산란광량이 많아 질량농도 변환계수가 가장 낮게 나타난 것으로 생각된다. 김만구 등(1995)에 의하면 대학교 학생회관내에서 PM₁₀ 채취기(HVS-500-10, Sibata, Japan)와 디지털 분진계를 이용해 얻은 질량농도 변환계수(K)는 $3.33 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 이며, 비교적 청정지역인 바닷가에서는 $1.87 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 으로 보고하고 있다. 이와 같이 각 장소의 특성에 따라 질량농도 변환계수값이 다르게 나타났다.

3.2 공공시설내 PM10 농도 비교

Table 1. PM₁₀ concentration of the underground stores in Kangwon-Do

Site	Conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	Mean	Max.	Min.
Chunchon	178	195	158
Wonju	141	188	98
Donghae	125	146	100
Sockcho	59	63	55

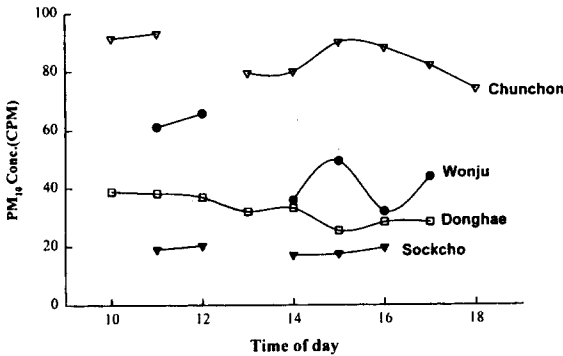


Fig. 1. The variation of PM₁₀ concentrations at underground stores in Kangwon-Do.

표 1은 강원도내 4개 도시의 지하상가에서 측정된 PM₁₀ 농도를 질량농도로 환산하여 평균값과 시간별 최대 최소값을 나타낸 것이다.

속초시 아남프라자 지하상가의 PM₁₀ 평균이 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮은 농도를 나타냈고, 춘천시 제일백화점내 지하상가에서는 178 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 아남프라자보다 3배정도 높게 나타났다. 원주 중앙시장과 동해시 프라자내의 지하상가도 속초시 아남프라자내 지하상가보다 각각 2.4배, 2.1배나 높은 PM₁₀ 농도를 나타냈다. 측정시 각 지하상가의 환경상태를 보면 춘천의 건물이 가장 노후되었고, 다른 세 지역의 지하상가에서는 금연구역과 흡연구역이 구분되어 있는 반면 춘천시 제일백화점내 지하상가에서는 흡연지역 구분이 없어 지하상가 내 곳곳에 흡연자가 많았다. 춘천시 제일백화점내 지하상가가 다른 곳에 비해 높은 PM₁₀ 농도를 나타낸 주요인은 지하상가내 환기 시설의 노후정도와 흡연이라고 생각된다. 원주 중앙시장 지하상가의 경우는 시내 중심도로의 교차로 지하에 위치해 있기 때문에 자동차에서 배출되는 가스나 먼지 등이 많이 유입되어 높게 나타난 것으로 생각된다.

각 지하상가내에서 공기 중 총먼지에 대한 PM₁₀의 질량비는 원주, 속초의 경우 0.5였고, 춘천, 동해의 경우는 0.6으로 나타나 지하상가내에서 사람의 인체내로 유입되는 호흡성 먼지인 PM₁₀이 총먼지에 대해 약 50~60 (wt/wt)%를 차지하고 있었다.

그림 1은 각 지하상가내의 시간에 따른 PM₁₀ 농도 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 오전 시간대가 오후 시간대보다 높은 PM₁₀ 농도를 나타냈다. 이는 오전시간에

상점개시를 위한 사람들의 활동이 많았고, 사람들의 지하상가 이용도가 높아 출입자와 체류자가 많았기 때문으로 생각된다.

속초시 아남프라자 지하상가의 경우는 평균 22.7 CPM으로 시간에 따른 농도변화가 거의 없었는데 이는 신축된 건물에 환기시설이 잘되어 있어 PM₁₀ 농도가 낮게 나타났다. 원주 중앙시장 지하상가의 경우는 오후 2시에서 5시 사이에 시간에 따른 농도변화차가 크게 나타났다. 오후 3시의 측정결과 외부와 연결된 출입구 두 지점에서의 농도가 오후 2, 4시에서 측정된 값에 비해 약 1.8배 높게 나타났고, 지하상가내 중심지점에서 오후 2, 3, 4시에 모두 같은 값을 나타냈다. 오후 2, 4시에 비해 오후 3시경에는 지하상가내에서 외부로 드나드는 사람수가 현저히 많았고, 지하상가가 교차로의 지하에 위치하여 차량통행으로 인해 발생하는 먼지들이 출입문을 통해 지하상가내로 쉽게 유입되기 때문에 오후 3시경에 높은 농도를 나타낸 것으로 생각된다.

춘천 제일백화점의 지하상가에는 출입구가 두 개 있는데, 한 개는 다른 상가로의 통로로 이용되고 있어 주로 한 개의 출입구로만 사람들이 드나들었다. 또한 다른 지역의 지하상가에 비해 상가내 공간면적이 작고 환기 시설수는 1/3배로 매우 적었으며 노후된 건물로 인해 외부와의 환기가 잘 안되는 상태였다. 따라서 외부에서 유입되는 먼지보다는 내부에서 발생된 먼지가 높은 농도를 나타낸 것으로 생각된다.

동해프라자의 경우는 환기시설이 양호한 편으로 원주나 춘천에 비해 낮은 농도값을 나타냈으며 농도변화폭이 적었지만 오전시간에 오후시간보다 높은 농도를 나타냈다.

지하상가내 PM₁₀ 농도의 일변화는 최대농도값에서 최소농도값을 뺀 값을 평균농도값으로 나누어 비교했는데 속초에서 0.14로 가장 적었고, 원주의 경우가 0.61로 가장 크게 나타났다.

3.3 개인노출농도

남녀 대학생 각 한명과 주부 한명이 각각 하루 중 활동시간동안 생활하면서 지낸 각 장소의 PM₁₀ 농도와 시간을 연속적으로 그림 2에 나타냈다.

그림 2-(a)의 여자 대학생의 경우 학교건물내 로비에서 57 CPM으로 가장 높은 PM₁₀ 농도에 노출되었고, 과사무실에서 10 CPM으로 가장 낮은 PM₁₀ 농도의 공기에 노출되었다. 학교건물내 로비의 창문은 측정시 닫혀 있었고, 반대편 계단쪽은 개방되어 있었다. 그리고 측정자 주변 가까이에 3명이 모여서 흡연을 하고 있었다. 이에 반해서 학생회관내 식당에서는 약 30명의 사람이 있었고 식당 구석에 위치해 있는 매점 앞에 5명의 사람들이 모여 있는 곳에서 측정한 결과 28 CPM으로 나타났다. 식당 내에서는 금연이라 주변에 흡연자가 없었다. 로비와 학생회관내 식당을 비교해 보면 체류자 또는 드나드는 사람의 수, 혼잡한 정도 등은 오히려 식당이 로비보다 높은 입자상 농도를 나타낼 수 있는 조건이나 단지 3명의 흡연으로도 비흡연자인 측정자에게 미치는 입자상 물질의 농도는 식당의 약 2배 정도로 높은 값을 나

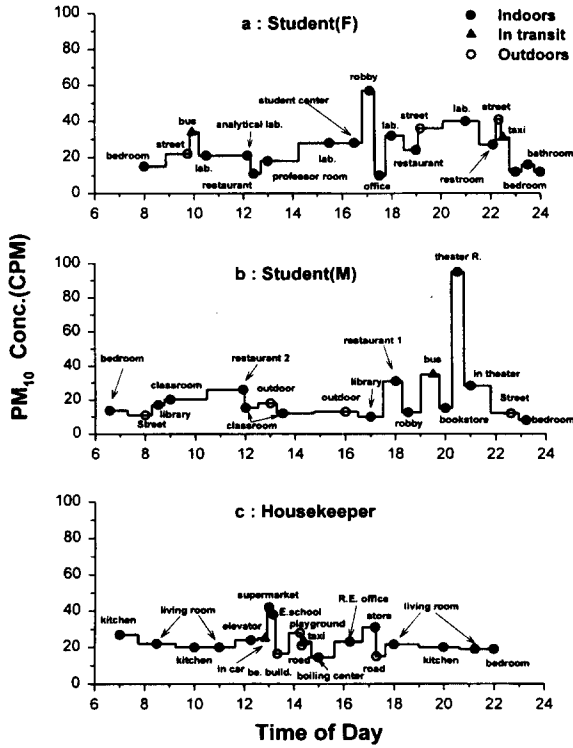


Fig. 2. Variability of personal exposure to PM₁₀ depend on individual activity patterns. (a): a female graduate student, May 10, 1995., (b): a male undergraduate student, May 3, 1995., (c): a housekeeper, July 1, 1995.

타내 흡연이 PM₁₀ 농도에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 따라서 여자 대학생의 경우는 간접 흡연으로 인해 하루중 가장 높은 PM₁₀ 농도에 노출되었다. 미국에서는 흡연 가정의 어린이가 기관지염, 폐렴, 기관지 천식 등의 발생률이 높고(U. S. DHHS, 1986), 일본의 한 연구는 하루에 한갑이상 흡연하는 남편을 가진 비흡연 부인에게서 폐암 사망확률이 그렇지 않은 여성보다 2.1배가 높다고 밝힌 바 있다(Hirayana, 1984). 로비에서의 상대농도를 질량농도로 환산하면 189.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 PM₁₀ 일 평균 기준치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.3배나 높은 농도이다. 여기서 상대농도(CPM)를 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 환산하기 위해 적용한 질량농도 변환계수는 3.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{CPM}$ 로서 이 값은 김만구 등(1995)이 학생회관에서 측정된 여과채취장치와 디지털 분진계의 값에서 산출된 것이다. 이 값을 적용한 이유는 학생회관이 개방적이라 실내와 실외의 중간적인 특성을 갖고 있기 때문이다.

그림 2-(b)의 남자 대학생의 경우는 공공시설인 영화관 휴게실에서 95 CPM으로 가장 높은 PM₁₀ 농도에 노출되었고, 침실에서 8 CPM으로 가장 낮은 PM₁₀ 농도의 공기에 노출되어, 하루동안 노출된 공기 중 PM₁₀ 농도가 12배 정도 차이를 나타냈다. 실외에서 노출된 PM₁₀

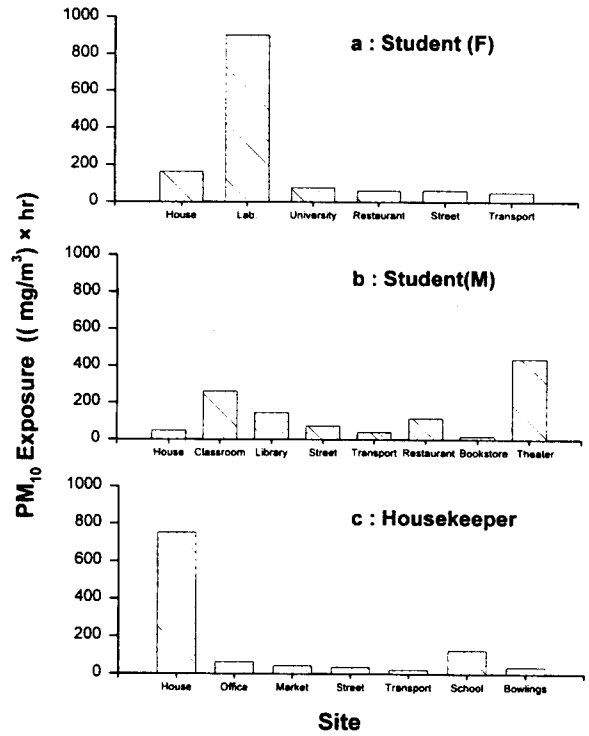


Fig. 3. Exposure to PM₁₀ in microenvironments.

농도는 12 CPM ~ 18 CPM으로 실내에 비해 매우 낮은 농도를 나타냈다. 그리고 남자 대학생의 경우도 흡연 구역이 구분되지 않아 흡연자가 많은 영화관 휴게실에서 간접흡연으로 인해 가장 높은 PM₁₀ 농도에 노출되었다.

그림 2-(c)의 주부의 경우는 두 대학생에 비하여 하룻 동안 노출된 각 장소의 PM₁₀ 농도 변화가 작았다. 주부는 오후 1시경 들린 슈퍼마켓에서 42 CPM으로 가장 높은 PM₁₀ 농도에 노출되었고 불링장이 14.5 CPM으로 노출된 장소 중 가장 낮은 PM₁₀ 농도를 나타냈다. 주부의 경우 특이할 만한 것은 주방에서 노출되는 PM₁₀ 농도가 높고, 특히 조리를 많이 한 아침에 주방에서 27 CPM으로 하룻동안 노출된 다른 실내의 장소보다 비교적 높은 농도에 노출되었다. 주방은 조리시 요리에서 방출되는 입자상 물질로 인한 것으로 생각되며, 햄버거 등 굽고 튀기는 요리가 많은 미국 로스앤젤레스의 경우는 요리과정에서 대기중으로 방출되는 입자상물질이 전체의 21%를 차지한다는 보고도 있다(Wolfgang F. Rogge et al., 1991). 반면 사람들이 많이 있고 활동성이 큰 공공시설인 불링장에서는 14.5 CPM으로 하루 중 가장 낮은 PM₁₀ 농도에 노출되었는데, 이는 불링장이 새 건물로 환기시설이 적절히 갖추어져 있고 흡연구역과 금연구역이 효과적으로 분리되어 운영되고 있기 때문으로 생각된다.

그림 3은 개인별로 각 장소에서 PM₁₀에 노출된 량($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{hr}$)을 나타냈다. 각 장소의 체류시간은 연속적이지 않더라도 같은 부류에 속하는 장소에서의 시간을

Table 2. Personal exposure to PM₁₀ during 12 hours

	Exposure (($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr)		
	Student(F)	Student(M)	Housekeeper
08:00-12:00	301.0	238.4	289.0
12:00-16:00	282.4	194.4	330.3
16:00-20:00	420.9	258.4	287.7
Total	1004.3	691.2	907.0

Table 3. Comparison of PM₁₀ exposure between indoor and outdoor environment

	Indoor		Outdoor	
	exposure (($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr)	residence time (hour)	exposure (($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr)	residence time (hour)
Student(F)	1257.8	14.42	62.2	0.5
Student(M)	1059.8	15.17	73.7	1.7
Housekeeper	1040.0	14.22	35.2	0.6

합하여 계산하였다. 그리고, 각 장소에서의 PM₁₀ 노출량은 아래 식(2)에 의해 산출하였다.

$$\begin{aligned}
 & \text{PM}_{10} \text{ 노출량}((\mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \text{hr}) \\
 &= \sum_i \{(\text{체류시간}(hr))_i \times (\text{상대농도}(CPM))_i\} \\
 & \quad \times 3.33 \text{ CPM} \cdot \mu\text{g}/\text{m}^3 \} \quad (2)
 \end{aligned}$$

그림 3-(a)의 여자 대학생은 하루 14.92시간의 활동시간중 56%인 8.33시간을 PM₁₀ 평균농도 32.8 CPM인 실험실에 머물러 902 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되어 총 노출의 68%를 차지했다. 그림 3-(b) 남자 대학생의 경우는 활동시간중 32%인 5.5시간을 강의실에 머물러 261 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되었으며, 이는 활동시간중 총 노출의 23%에 해당한다. 반면 영화관에서는 활동시간의 13%인 2.2시간동안 총 노출의 39%에 상당하는 437 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되었다. 그림 3-(c) 주부의 경우에는 하루 활동시간의 73%인 10.75시간동안 총 노출의 70%인 752 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되었다. 체류시간에 비해 많은 PM₁₀에 노출된 곳은 초등학교로 1.0시간동안 125 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되었다.

조사 대상자들이 가정에서의 노출된 PM₁₀은 체류시간이 가장 길었던 주부, 여자 대학생, 남자 대학생의 순으로 각각 752 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr, 165 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr, 48 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr 였으며, 단위 시간당 PM₁₀ 노출농도도 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 현격한 차이를 나타냈다. 이는 체류시간의 차이 외에도 가정의 주된 생활공간이 다르기 때문으로 생각된다. 즉, 주부는 가정 내에서 PM₁₀ 농도가 높은 주방에서 활동하는 시간이 길고, 여학생이 남학생보다 주방 등 PM₁₀ 농도가 높은 공간에서 지내는 시간비율이 높기 때문이라고 설명할 수 있다.

세 사람의 각기 다른 활동시간중 서로 일치하는 시간대를 대상으로 아침 8에서 12시까지를 오전시간대, 정

오 12시에서 16시까지를 오후시간대, 16시에서 20시까지를 저녁시간대 나누어 시간대별 PM₁₀노출을 비교하여 표 2에 나타냈다.

12시간 동안 PM₁₀ 노출은 여자대학생, 주부, 남자대학생 순으로 각각 1004.3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr, 907.0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr, 691.2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr로 많은 차이를 나타냈다.

남녀 대학생들은 저녁시간대에 가장 많은 PM₁₀에 노출된 데 비해 주부의 경우는 오후시간대에 여대생의 1.2배, 남자 대학생의 1.7배나 많은 330.3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되었다. 이는 하루 중 오전과 저녁시간대에는 평균 PM₁₀ 농도가 21.2 CPM으로 나타난 가정 내에서 주로 활동한데 비해 오후시간대에 슈퍼마켓(30.7 CPM)과 초등학교내(38.0 CPM) 등 비교적 PM₁₀ 농도가 높은 실내에서 노출되었기 때문으로 생각된다.

여자 대학생은 저녁시간대에 오후시간대의 1.5배 많은 420.9 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr의 PM₁₀에 노출되었다. 실험실내의 PM₁₀ 농도는 오전, 오후, 저녁시간대에 21 CPM, 28 CPM, 32 CPM로 점점 높아지는 것으로 나타났다. 오후 시간대에는 많은 학생의 출입과 활동으로 오전시간대에 비해 PM₁₀ 농도가 높아졌고, 저녁시간대에는 실험실내에서의 흡연으로 인해 PM₁₀ 농도가 오전시간대에 비해 1.5배 높아진 것으로 생각된다. 그러므로 같은 장소에서의 PM₁₀에 대한 노출도 실내환경의 관리상태에 따라 매우 달랐다.

남자 대학생은 저녁시간대에 오후시간대의 1.3배인 258.4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) · hr으로 가장 많은 PM₁₀에 노출되었다. 이는 오후시간대의 88%를 강의실에서 보냈는데 평균 PM₁₀농도가 13.7 CPM으로 실내에서도 비교적 낮은 PM₁₀농도에 노출되었기 때문에 이 시간대에 가장 적은 노출을 나타냈다.

표 3은 실내, 실외에서의 개인별 PM₁₀노출을 나타낸 것이다. 하루의 활동시간중 총 PM₁₀노출의 평균 95%

가 실내에서 노출된 것으로 나타났다.

노출은 각 장소에서의 PM₁₀농도와 체류시간으로 산출되기 때문에 체류시간과의 상관성을 갖는다. 세 사람 중 실외보다 실내에서의 PM₁₀노출이 97 %로 가장 많은 주부의 경우는 실내에서 하루의 활동시간중 96 %를 체류했다. 이에 비해 남자 대학생의 경우는 실내에서 PM₁₀에 노출된 비율은 93 %, 체류시간의 비율은 90 %로 나타났다. 이는 주부에 비해 실외에서 활동한 시간이 1.7시간으로 주부보다 2.5배 길지만 실외의 PM₁₀ 평균농도가 13.4 CPM으로 실내보다 낮기 때문에 실내에서 PM₁₀에 노출된 비율이 체류시간 비율과 차이가 나는 것으로 생각된다. 총 PM₁₀노출을 비교해 보면 가정과 실험실이라는 주요 활동공간이 있는 주부나 여자 대학생이 장시간 많은 PM₁₀에 노출되고 있는데 반해 남자 대학생은 영화관이라는 특정장소에서만 높은 PM₁₀ 농도에 폭로되었다. 그래서 평소에도 다른 두 사람에 비해 비교적 적은 PM₁₀에 노출될 것으로 생각된다.

4. 결 론

광산란식 디지털 분진계를 이용해 강원도내 4개 주요 도시의 지하상가를 대상으로 PM₁₀의 농도를 측정하고 남, 여 대학생과 주부를 대상으로 하루 활동시간중에 PM₁₀에 개인적으로 노출되는 농도에 관해 연구를 한 결과 실내 PM₁₀농도에 가장 큰 영향을 주는 요인으로는 흡연과 환기시설로 나타났다.

춘천시 제일백화점의 지하상가는 흡연구역의 구분이 없고 환기시설이 노후되어 조사대상 지하상가 중에서 가장 높은 PM₁₀농도를 나타냈다. 강원도내 4개 주요 도시의 지하상가내에서 총먼지(TSP)의 평균농도는 125.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였으며, 그중 PM₁₀이 중량비로 50~60 %를 차지하고 있었다.

하루 활동시간중 PM₁₀ 노출은 개인의 활동패턴에 따라 매우 다르게 나타났다. 여자 대학원생의 경우 하루 활동시간중 56 %를 보내는 실험실에서 902 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)·hr의 PM₁₀(총 노출의 68 %)에 노출된 것으로 나타났다. 남자 대학생의 경우는 하루 활동시간중 32 %를 보내는 강의실에서 261 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)·hr의 비교적 적은 PM₁₀(총 노출의 23 %)에 노출된 것에 비해 단 2시간 10분간(하루 활동시간의 13 %) 머물렀던 영화관내에서는 1.7배나 많은 436.7 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)·hr의 PM₁₀(총 노출의 39 %)에 노출된 것으로 나타났다. 주부의 경우는 하루 활동시간중 73 %를 보내는 가정 내에서 총 노출의 70 %를 차지하는 752 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)·hr의 PM₁₀에 노출된 것으로 나타났다.

조사대상자들이 가정에서 PM₁₀에 노출되는 강도는 이들이 가정 내에서 지내는 주된 공간에 따라 매우 달랐다. 가정 내에서도 주로 주방에서 지내는 시간이 많은 주부는 남자 대학생에 비해 2.7배 많은 PM₁₀에 폭로되고 있었다. 한편, 남녀 대학생들은 오후시간대에 가장 적은 PM₁₀에 노출되었고 저녁시간대에 많이 노출된 것으로 나타난 반면, 주부는 하루중에서 오후시간대에 가장 많은 PM₁₀에 노출되어, 대학생과 주부간의 PM₁₀에 폭로되는 시간대가 매우 다르게 나타났다.

그리고 조사대상자 3명은 하루에 노출되는 PM₁₀의 95 %정도가 실내에서 노출된 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 김만구, 권영진, 조현호, 1995, 광산란식 digital particle counter에 의한 공공시설 실내중 입자상물질 농도의 일변화, 제19회 추계대기보전학술대회 요지집, 131-132.
- 김만구, 권영진, 정영립, 1997, 산란광 광량 적산식 digital dust indicator에 의한 도서관 과 학생회관내 PM₁₀ 농도의 일변화, Vol. 13, No. 2, 115-122.
- 김만구, 정영립, 임양석, 1996, PM-10 개인노출농도와 공중이용시설내 농도에 관한 연구, 1996년도 한국 대기보전학회 춘계학술대회 요지집, 197-199.
- 김윤신, 1989, 실내공기오염, 대한의학협회지, Vol. 32, No. 12, 1279~1285.
- 김희강, 김동술, 김신도, 김윤신, 나진균, 이종범, 정일래, 홍민선, 1993, 대기오염개론, 동화기술, p. 67~89.
- 배도연, 안재형, 김상배, 김영길, 김진천, 1990, 대구시내 지하상가의 부유분진 및 유해 물질 함유량에 관한 조사, 대구직할시 보건환경연구소보 제 3권, p. 85~100.
- 배은상, 윤동연, 김승남, 김영환, 1989, 일부 지하공간 입자의 돌연변이원성 조사 연구, 의학기술논집, Vol 16, No. 1, 89~97.
- 신훈중, 이태정, 김동술, 1996, 대기부유분진 중 미량 금속원소의 입경별 농도분포에 관한 연구, 대기보전학회지, Vol 12, No. 1, 67~77.
- 최춘석, 이제만, 김덕기, 최동식, 1989, 공중이용 시설물에 대한 환경오염도 실태조사, 인천직할시 보건환경연구소보 제 3권, p. 75~105.
- 환경부, 환경백서(1997), p.433-436.
- Battarbee, J. L., N. L. Rose, X. Long, 1997, Atmos. Environ., Vol. 31, 171~181.
- Hirayana, T., 1984, Cancer Mortality in Nonsmoking Woman with Smoking Husbands Based on a Large-Scale Cohort Study in Japan, Prev. Med. 13: 680-690.
- Ott, W. R., 1985, Total human exposure, Environ. Sci. Tech., Vol. 19, 880~886.
- U. S. Department of Health and Human Sewicer (DHHS), 1986, The Health Consequences of Involuntary Smoking, A Reputed of the Surgeon General, Washington, D. C. DHHS Publication No.(CDC) 87-8398.
- Wolfgang F. Rogge, Lynn M. Hildemann, Monica A. Mazurek, Bernd R. T. Simonelt and Glen R. Cass, 1991, Sources of Fine Organic Aerosol. 1. Charbroilers and Meat Cooking Operations, Environ. Sci. Technol., Vol. 25, No. 6, 1112-1125.