

# 서울시 일부 지하철역 내 부유 진균, 입자상 물질, 이산화탄소의 분포 양상

김기연<sup>1),3)</sup>, 박재범<sup>1)</sup>, 김치년<sup>2)</sup>, 이경중<sup>1)</sup>

아주대학교 의과대학 예방의학교실<sup>1)</sup>, 연세대학교 의과대학 산업보건연구소<sup>2)</sup>, 신시내티대학교 환경위생학교실<sup>3)</sup>

## Distribution of Airborne Fungi, Particulate Matter and Carbon Dioxide in Seoul Metropolitan Subway Stations

Ki Youn Kim<sup>1),3)</sup>, Jae Beom Park<sup>1)</sup>, Chi Nyon Kim<sup>2)</sup>, Kyung Jong Lee<sup>1)</sup>

Department of Preventive Medicine & Public Health, Ajou University School of Medicine<sup>1)</sup>, Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University<sup>2)</sup>, Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, Univ. of Cincinnati<sup>3)</sup>

**Objectives :** The aims of this study were to examine the level of airborne fungi and environmental factors in Seoul metropolitan subway stations and to provide fundamental data to protect the health of subway workers and passengers.

**Methods :** The field survey was performed from November in 2004 to February in 2005. A total 22 subway stations located at Seoul subway lines 1-4 were randomly selected. The measurement points were subway workers' activity areas (station office, bedroom, ticket office and driver's seat) and the passengers' activity areas (station precincts, inside train and platform). Air sampling for collecting airborne fungi was carried out using a one-stage cascade impactor. The PM and CO<sub>2</sub> were measured using an electronic direct recorder and detecting tube, respectively.

**Results :** In the activity areas of the subway workers and passengers, the mean concentrations of airborne fungi were relatively higher in the workers' bedroom and station

precinct whereas the concentration of particulate matter, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, were relatively higher in the platform, inside the train and driver's seat than in the other activity areas. There was no significant difference in the concentration of airborne fungi between the underground and ground activity areas of the subway. The mean PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentration in the platform located at underground was significantly higher than that of the ground ( $p < 0.05$ ).

**Conclusions :** The levels of airborne fungi in the Seoul subway line 1-4 were not serious enough to cause respiratory disease in subway workers and passengers. This indicates that there is little correlation between airborne fungi and particulate matter.

J Prev Med Public Health 2006;39(4):325-330

**Key words :** Subway, Airborne fungi, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Underground, Ground

## 서론

도시의 양적 팽창과 이에 따른 교통 혼잡은 현대인들의 지하철 이용을 계속해서 촉진시키는 원인이 되고 있다. 서울 지하철, 특히 14호선의 경우 설립된 지 10년이상이 되어 부대시설 및 환기시설이 노후화됨에 따라 지하철 이용객에게 유해한 영향을 줄 수 있는 여러 종류의 오염물질들이 상당량 외부로 배출되지 못하고 실내에 축적될 것으로 예측된다. 또한 대부분의 서울 시민들이 매일 지하철을 이용

하고 있기 때문에 이용객들의 지하철 실내 공기오염물질 노출에 따른 건강 위험성은 높은 수준이라 추정된다. 더불어 실내공기에 대한 현대인들의 사회적 관심 또한 계속해서 증가 추세에 있다 [1].

지하철 실내에서 발생하는 여러 종류의 공기오염물질 중 생물학상 오염물질인 부유진균의 경우 장기간 노출 시 천식, 비염, 기관지염 등과 같은 알러지성 호흡기계 질병을 유발하는 것으로 보고되고 있다 [2-5]. 특히 성인에 비해 면역성이 약한 아나노인의 경우 부유진균에 노출되면

천식 증상의 발병 확률이 상대적으로 높은 것으로 알려져 있다 [6-8]. 호흡에 의해 인간의 몸에 유입된 진균 포자는 진균의 조성, 농도, 크기에 따라 폐에 흡착되는 위치가 달라지며, 이에 따라 발생하는 호흡기계 증상의 종류 및 강도도 차이가 난다 [9]. 예를 들어, 입자 크기가 10  $\mu\text{m}$  이상의 진균 포자는 호흡기계의 상부 위치인 후두나 인두에 흡착되어 고열 증상을 유발하며 10  $\mu\text{m}$  이하, 특히 5  $\mu\text{m}$  이하의 미세한 진균 포자는 폐 속 깊숙이 침투되어 알레르기나 천식과 같은 심각한 과민성 호흡기계 증상을 초래한다 [10].

하지만 지하철 실내 오염물질에 대한 기

존 국내외 연구들 대부분이 주로 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, 중금속, 석면 등의 입자상 물질 [10-14] 과 포름알데히드, 라돈, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 가스상 오염물질 [16-19] 의 측정 및 평가에 대부분 국한되고 있을 뿐 부유 진균에 대한 연구는 상대적으로 미비한 상황이다. 지하철 역사를 대상으로 부유 진균의 실내 오염도를 현장 조사한 몇몇 국내 연구 보고는 있었으나 [20,21], 10개 미만의 역사를 대상으로 하여 일반화하기에는 무리가 있으며 승강장이나 역사내 주변 지역만을 대상으로 했기 때문에 실제 지하철 이용객이 오랜 시간 동안 체류하고 있는 지하철 내부에 분포하는 부유 진균의 발생 특성과 여타 다른 공기 오염 물질간의 농도 비교 평가가 검토되지 않았다. 또한 일반 지하철 이용객들의 건강 측면에서만 접근하였기 때문에 지하철 근무자들의 주요 활동 영역에 대한 부유 진균의 노출 평가가 시급히 요구되는 바이다.

따라서 본 연구는 지하철 이용객과 근무자의 활동 영역의 실내 공간, 지하 역사와 지상 역사의 실내 공간을 대상으로 부유 진균의 농도를 현장 조사하였으며, 동시에 공기 중에 부유 진균을 흡착하여 운반하는 역할을 하는 입자상 물질과 부유 진균의 발생원으로 보고되고 있는 사람의 밀집도와 이동 양상을 간접적으로 추정할 수 있는 이산화탄소의 농도를 측정하여 부유 진균 노출에 따른 지하철 이용객과 근무자의 건강 피해를 최소화하기 위한 기초 조사 자료를 제공하는 데 목적을 두고 있다.

## 연구방법

### 1. 대상 선정

조사 시기는 2004년 11월~2005년 2월로 서울 지하철공사에서 운영하고 있는 지하철 1기인 1-4호선을 대상으로 지하철 관계자의 의견에 따라 지하철 승객들과 근무자들의 왕래가 상대적으로 높은 22개 역사(역무 12개소, 승무 10개소)를 선정하였으며, 이 중 지상역사는 8개소, 지하역사는 14개소였다. 각 역사에 대해 지하철 근무자들의 주요 활동 영역인 역 사무실, 침실, 매표소, 운전석과 지하철 이용객들의 주

요 이동 공간인 역 구내, 승강장, 지하철 객실을 측정 지점으로 하였으며, 지하철 실내 오염도의 상대적 비교 평가를 위해 측정 당일 지하철 역사와 1m 정도 떨어진 외부 지점 1곳을 추가로 조사하였다. 측정 위치는 상부 약 150 cm 지점이었으며, 각 지점별로 2회 반복 측정하였다. 측정 시간대는 오전 10시에서 오후 4시 사이로 부유 진균 측정 장비의 공간적 제한성으로 인해 지하철 이용객들이 많이 모여드는 출퇴근 시간대를 피하였다.

## 2. 측정 방법

### 1. 부유 진균

시료 포집은 분당 28.3 l의 유량으로 설정된 one-stage viable particulate cascade impactor (Model 10-800, Andersen, Maumee, USA)를 사용하여 10분 동안 공기를 포집하였다. 시료 채취 전 70% alcohol로 장비 내부를 소독처리 한 후, 세균의 성장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100 mg이 첨가된 Sabouraud dextrose agar (Lot 3111376, Becton-Dickinson, Sparks, MD, USA) 배지를 장착하였다. 포집이 완료된 배지는 미생물 분석실로 즉시 운반하여 실온 조건(20~25 °C) 하에서 3~5일 동안 배양하였다. 배양 후 배지에 형성된 집락(colony)을 계수한 값에 공기량(m<sup>3</sup>)으로 나누는 방법으로 부유 미생물의 농도(CFU/m<sup>3</sup>)를 산출하였다.

### 2. 입자상 물질과 이산화탄소

입자상 물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>는 직독식 측정기 (Dustmate, Turnkey Instruments, Northwich, Cheshire, England)를 이용하여 한 지점에 대해 2번 반복하여 측정한 수치의 평균치를 대표값으로 하였다. 이산화탄소는 검시관 (No 21C, Gastec Corp, Ayase-City, Kanagawa, Japan)을 이용하여 측정하였다.

### 3. 통계 처리

SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute, Cary, USA)를 이용하여 지하철 근무자와 이용객의 영역별 측정 장소에 따른 부유 진균, 입자상 물질, 이산화탄소의 농도 차이는 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 이용하였으며, 지하역사와 지상역

사 간의 농도 차이는 t-검정 방법을 이용하여 통계적 유의성을 분석하였다.

## 연구결과 및 고찰

### 1. 지하철 근무자들의 주요 활동 영역

Table 1에 나타난 바와 같이 지하철 근무자들의 주요 활동 영역인 역 사무실, 침실, 매표소, 운전석 내 부유 진균의 평균 농도는 각각 89 cfu/m<sup>3</sup>, 114 cfu/m<sup>3</sup>, 82 cfu/m<sup>3</sup>, 64 cfu/m<sup>3</sup>으로 측정되었다. 침실이 가장 높고, 운전석이 가장 낮은 것으로 나타났으나 (p<0.05), 역 사무실과 매표소 간의 통계적 차이는 유의성이 없었다 (p>0.05). 부유 진균의 실외 평균 농도는 53 cfu/m<sup>3</sup>으로 측정되어 조사대상 네 곳 모두 실외 농도보다 높은 것으로 조사되었다.

지하철 근무자 활동 영역에 따른 부유 진균 농도의 상이함은 측정 당시의 직원 수, 창문 개폐 유무, 강제 환기시스템의 효율성 차이에 기인한 것으로 추정되는데, 실내 공간 내 거주하는 사람이 곧 부유진균의 주요 발생원이 될 수 있으며 [22], 조사 시기가 겨울철이라 모든 창문이 거의 밀폐된 상태인 점을 고려하면 자연환기가 원활히 이루어지지 않거나 환기시스템의 작동 효율성이 불량한 실내 공간일수록 부유 진균의 농도가 높아지기 때문이다 [23,24]. 측정 당시의 시간대가 낮이므로 교대 근무자 외에는 침실에서 수면을 취하고 있는 직원들을 거의 찾아볼 수 없었으나, 이불 등의 침소도구가 치워지지 않아 주변 환경이 청결치 못했으며 천정 환기구가 대부분 닫혀 있거나 전혀 작동되지 않는 상태로 유지되고 있었기 때문에 부유 진균의 농도가 높게 측정된 것이라 판단된다. 그러므로 침실 내 부유 진균의 오염 정도를 객관적으로 평가하기 위해서는 향후 침실 환기구의 개폐 여부에 따른 case by case 연구가 수행되어야 할 것이다. 현재까지 지하철 근무자의 활동 영역과 관련하여 부유 진균의 수치를 보고한 국내외 연구 자료가 전혀 없기 때문에 본 연구를 통해 나타난 부유 진균 농도의 위험성을 쉽게 판단내리기는 어려우나, 일반 실내 환경 내 부유 진균의 농도가 10-104 cfu/m<sup>3</sup> 이라는 사실에 근거하면 [25-27] 지

**Table 1.** Concentrations of airborne fungi, CO<sub>2</sub> and particulate matters in subway workers' activity areas

		Station office	Bedroom	Ticket office	Driver's seat	Outdoor
T.C.A.F. <sup>†</sup> (cfu/m <sup>3</sup> )	GM	89a	114b	82a	64c	53c
	GSD	53	96	27	4	25
	Max.	207	459	128	67	103
	Min.	22	26	35	58	9
CO <sub>2</sub> (ppm)	GM	357a	328a	362a	316a	310a
	GSD	21	18	30	11	12
	Max.	415	356	423	337	321
	Min.	322	315	331	306	298
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	GM	75.1a	84.4a	93.2a	271.2b	154.5c
	GSD	33.3	56.9	38.9	105.5	55.0
	Max.	146.3	293.3	167.3	425.3	253.5
	Min.	38.2	36.2	40.7	185.9	78.6
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	GM	56.7a	65.6a	65.0a	127.8b	102.1c
	GSD	45.4	33.7	31.9	51.9	43.7
	Max.	120.9	160.4	138.9	184.8	174.2
	Min.	29.2	26.7	38.7	79.3	41.3

\*: a, b, c means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.  
†: Total culturable airborne fungi

**Table 2.** Concentrations of airborne fungi, CO<sub>2</sub> and particulate matters in subway passengers' activity areas

		Station precinct	Inside train	Platform	Outdoor
T.C.A.F. <sup>†</sup> (cfu/m <sup>3</sup> )	GM	117a	93a	105a	53
	GSD	36	19	34	25
	Max.	157	110	144	103
	Min.	71	71	62	9
CO <sub>2</sub> (ppm)	GM	358a	337a	325a	310a
	GSD	53	18	17	12
	Max.	423	376	354	321
	Min.	322	312	306	298
PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	GM	182.1a	311.5b	359.0b	154.5
	GSD	97.2	6.6	171.3	55.0
	Max.	310.1	316.1	480.1	253.5
	Min.	122.6	306.8	237.8	78.6
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	GM	87.7a	125.5b	129.0b	102.1
	GSD	39.0	14.5	67.0	43.7
	Max.	126.8	135.7	176.3	174.2
	Min.	48.9	115.2	81.6	41.3

\*: a, b, c means that averaged values within the row by the same letter are not significantly different.  
†: Total culturable airborne fungi

하철 근무자 영역의 부유 진균 오염수준은 심각한 정도는 아니라고 판단된다. 하지만 네 영역 모두 부유 진균의 농도가 실외보다 높아 실내/외 농도 비율이 1 이상이면 부유 진균의 내부 발생원에 의해 실내 공기가 오염되었음을 간접적으로 추정할 수 있다는 연구 보고에 근거한다면 [28] 지속적인 지하철 실내 공기질 관리가 요구되는 바이다. 지하철 운전석의 경우 역사 사무실, 매표소, 침실의 위치보다 더 지하 공간에 있어 상대적으로 높을 것이라 예측되었으나 조사 결과 더 낮은 수치를 나타내었다. 지하철 운행 구간에서 발생하는 오염물질의 대부분이 부유 진균의 영양원 역할을 할 수 없는 금속 성분 등의 무기성 입자상 물질이라는 점 [14,29]과 지하철 운행 공간내 분포하는 에어로졸 중 부유 진

균 등의 생물학상 입자물질은 1% 이하를 차지한다는 기존의 연구 결과 [30]에 근거한다면 대부분 지하 공간에 위치하고 있는 지하철 운전석 내 낮은 부유 진균 농도의 원인을 유추할 수 있다.

이산화탄소의 평균 농도 범위는 310~370 ppm으로 네 곳 간의 통계적 차이는 없는 것으로 분석되었으며 (p>0.05), 환경부와 노동부에서 고시한 사무실 실내 공기질의 이산화탄소 규제 기준인 1,000 ppm에 훨씬 못 미치는 것으로 나타나 이산화탄소 노출에 의한 지하철 근무자들의 건강 위험성은 없는 것으로 조사되었다.

입자상 물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 평균 농도는 역 사무실이 75.1 μg/m<sup>3</sup>과 56.7 μg/m<sup>3</sup>, 침실이 84.4 μg/m<sup>3</sup>과 65.6 μg/m<sup>3</sup>, 매표소가 93.2 μg/m<sup>3</sup>과 65.0 μg/m<sup>3</sup>, 운전석이 271.2 μg/m<sup>3</sup>과

127.8 μg/m<sup>3</sup>으로 측정되어 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 운전석이 가장 높았으며 (p<0.05), 나머지 세 곳은 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되었다 (p>0.05). 실외의 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 평균 농도는 각각 154.5 μg/m<sup>3</sup>과 102.1 μg/m<sup>3</sup>로 측정되어 운전석을 제외한 나머지 세 곳 모두 실외보다 낮은 것으로 조사되었다.

역 사무실, 침실, 매표소에서 측정된 입자상 물질의 농도는 법적 규제 기준과 비교했을 때 조사된 모든 역 사무실과 1개소를 제외한 침실과 매표소의 PM<sub>10</sub>의 농도는 실내 환경기준인 150 μg/m<sup>3</sup>를 초과하지 않았다. PM<sub>2.5</sub>는 아직 국내 규제기준이 설정되지 않고 있으나 미국 환경부에서 규정한 65 μg/m<sup>3</sup>와 비교시 오차 범위내에서 모두 비슷한 수준이었다. 하지만 운전석의 경우 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 위의 두 규제 기준을 초과하는 것으로 나타나 규제기준을 초과하지 않는다고 보고한 광현석 등 [31]의 연구 결과와는 상반되었다. 이러한 결과 차이는 지하철 1~4호선을 대상으로 한 본 연구와는 달리 광현석 등은 건립년도가 최근인 지하철 2기의 6~8호선을 대상으로 하였기 때문에 입자상 물질의 발생량이 상대적으로 적었기 때문이라 판단된다. 또한 측정 시간대의 상이함도 하나의 이유라 추정된다. 따라서 지하철 1~4호선 운전 근무자의 입자상 물질 노출 수준을 기준 이하로 유지하기 위해서는 노후철로의 교체 및 보수공사, 정기적 점검, 급시동 및 급정지를 피하기 위한 운행 요령의 준수, 운행 중 보호구 착용의 의무화 등의 예방 지침 등이 빠른 시일 내에 마련되어야 할 것이라 사료된다.

**2. 지하철 승객들의 주요 활동 영역**

Table 2에서 나타난 바와 같이 지하철 승객들의 주요 활동 영역인 역 구내, 객실, 승강장 내 부유 진균의 평균 농도는 각각 117 cfu/m<sup>3</sup>, 93 cfu/m<sup>3</sup>, 105 cfu/m<sup>3</sup>인 것으로 측정되어 역 구내가 가장 높고 객실이 가장 낮은 것으로 조사되었으나 통계적으로 유의하지 않았다 (p>0.05). 하지만 본 연구에서 이용된 측정 장비의 구조적 한계성으로 인해 지하철 승객들이 많이 붐비는 출퇴

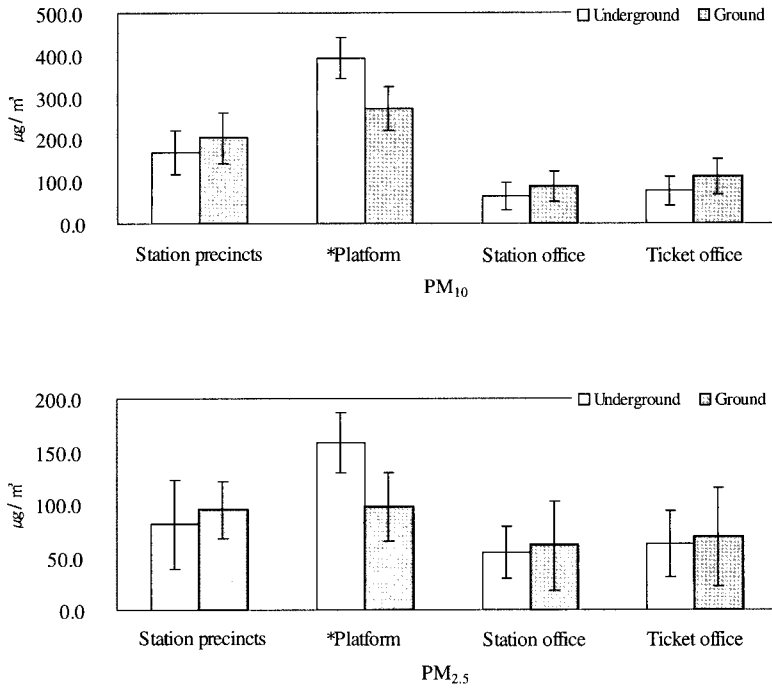


Figure 1. Comparison of concentrations of airborne fungi, PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> between underground and ground subway station areas. (\*: p<0.05).

근 시간대에는 시료 채취가 현실적으로 불가능하였기 때문에 지하철 승객들의 옷, 머리 등에서 공기 중으로 방출되는 진균들이 실내 부유 진균의 주요 발생원이라는 사실 [22]을 고려하면 지하철 승객들의 부유 진균에 대한 노출 수준을 명확히 규명하기 위해서는 출퇴근 시간대의 조사가 추후 수행되어야 할 것이다. 또한 실내 부유 진균은 공기 흐름에 의해 상당량 외부에서 유입되고 [22,32], 본 연구가 수행된 겨울철은 사계절 중 외부 농도가 가장 낮은 시기인 점 [33]을 감안하면 지하철 승객들의 노출 수준이 실제보다 낮게 평가되었을 가능성을 배제할 수 없는 일이며, 이는 앞에서 전술한 지하철 근무자들의 노출 수준 평가에서도 동일하게 적용되어야 할 것이다. 따라서 겨울 이외의 다른 계절 조건하에서도 지하철 내 부유 진균의 농도 조사가 추가적으로 수행되어야 좀 더 명확한 노출 평가의 결론을 도출할 수 있을 것이라 사료된다.

이산화탄소의 평균 농도 범위는 320~360 ppm으로 세 곳 간의 통계적 차이는 유의하지 않았으며 (p>0.05) 이산화탄소의 실내 공기질 기준인 1,000 ppm 이하인 것으로 조사되었다.

지하철 승객들의 활동 영역에서 이산화탄소의 농도가 낮게 나타난 이유는 출퇴근 시간대가 아닌 비교적 지하철 이용객들의 왕래가 적은 시간대에 측정되어 실내 이산화탄소의 주요 발생원인 사람의 호흡량에 크게 영향을 받지 않은 것으로 판단된다.

입자상 물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 평균 농도는 역 구내가 182.1 µg/m³과 87.7 µg/m³, 객실이 311.5 µg/m³과 125.5 µg/m³, 승강장이 359.0 µg/m³과 129.0 µg/m³으로 측정되어 통계적으로 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub> 모두 역 구내가 가장 낮았으며 (p<0.05), 객실과 승강장 간에는 차이가 없는 것으로 분석되었다 (p>0.05). 세 곳 모두 실외의 PM<sub>10</sub> 평균 농도보다 높은 것으로 나타났으나, PM<sub>2.5</sub>의 경우에는 객실과 승강장만 실외의 평균 농도보다 높았고 역 구내는 낮은 것으로 조사되었다.

측정 결과 세 곳 모두 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 규제 기준을 모두 초과하는 것으로 나타나 운전석을 제외한 지하철 근무자들의 활동 영역보다 입자상 물질의 노출 정도가 더 심각한 수준임을 알 수 있었다. 역 구내의 PM<sub>2.5</sub> 농도 수치를 제외하면 모두 실외보다 1.2~2.3 배 더 높은 것으로 분석되어 지

하철 객실과 승강장의 입자상 물질 농도가 실외보다 높은 것으로 보고한 기존의 연구 보고들 [11,34]과 일치하였다. 지하철 운행 공간에 해당되는 승강장, 객실, 운전석 중 승강장에서 입자상 물질 농도가 가장 높게 나타났는데, 이는 객실과 운전석의 경우 지상으로의 운행기간 동안 자연 환기에 의해 희석될 수 있으며, 지하철 내부의 강제 환기효율이 승강장보다 상대적으로 높았기 때문이라 추정된다.

지하철 근무자와 승객의 활동 영역을 포함하여 종합적으로 고찰하여 보면 이산화탄소의 농도는 측정대상 모든 영역에서 실내 규제기준치 이하의 비슷한 수준인 것으로 조사되었고, 부유 진균의 농도는 청소 상태가 불량하고 부적절한 환기 시스템으로 인해 통풍이 원활히 잘 안 되고 있는 근무자의 침실과 상대적으로 많은 수의 사람이 왕래하는 역 구내에서, 입자상 물질의 농도는 지하철이 운행하는 공간인 승강장, 객실, 운전석에서 상대적으로 높은 경향을 나타내는 것으로 조사되었다. 이는 지하철 내 부유 진균과 입자상 물질의 분포 양상이 서로 연관성이 없음을 보여주는 것으로 부유 진균과 입자상 물질간의 양의 상관성이 있음을 보고한 Donaldson [34]과 Robertson과 Frieben [36]의 연구 결과와는 상반된 것이었다. 하지만 두 연구자들의 주장은 부유 진균의 영양원인 유기성 분진이 상대적으로 많이 발생하는 축산시설을 대상으로 한 연구 결과였기 때문에 본 연구를 통해 지하철 구간 내 존재하는 입자상 물질의 대부분이 금속 성분을 포함한 무기성 입자상 물질임을 추정할 수 있었다.

### 3. 지하 역사 (14개소)와 지상 역사 (8개소)의 실내 농도

Figure 1은 지하와 지상구간에 위치한 역 구내, 승강장, 역 사무실, 매표소에서의 부유 진균, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 농도를 비교한 것이다. 부유 진균 농도의 경우 역 구내와 매표소는 지하구간에서, 승강장과 역 사무실은 지상구간에서 더 높은 것으로 나타났으나, 지상과 지하 간 차이는 통계적으로

유의하지 않았다 ( $p>0.05$ ).  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 경우 승강장을 제외하고는 지하보다는 지상구간에 위치한 곳의 농도가 더 높은 것으로 나타났으나 통계적 차이는 유의하지 않았다 ( $p>0.05$ ). 하지만 승강장에서의  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 농도는 지상보다 지하구간에 위치한 곳의 농도가 높았으며 통계적으로도 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다 ( $p<0.05$ ).

본 연구 결과를 통해 지하철 영역 내 부유 진균의 농도는 지상과 지하구간의 위치 여부에 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다. 하지만 입자상 물질의 경우 승강장에서 지상과 지하간 농도의 급격한 차이를 나타내 외국의 연구 결과 [13,15]와 동일한 것으로 분석되었다. 이는 전차의 노후화 및 철로간의 마찰로 인해 발생하는 금속성 분진 등이 외부로 배출되지 못하고 지하 내부에 정체해 있어 지하구간의 승강장내 입자상 물질의 농도를 증가시킨 원인으로 작용했으리라 판단된다. 지상과 지하 구분에 상관없이 역 구내와 승강장은  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 평균 농도가 규제 기준치를 초과했으나 역 사무실과 매표소는 초과하지 않는 것으로 조사되었다.

### 요약 및 결론

지하철 14호선을 대상으로 근무자와 승객의 활동 영역에서의 부유 진균 농도는 위생적으로 불결한 근무자의 침실과 상대적으로 많은 수의 사람이 왕래하는 역 구내에서 상대적으로 높게 나타난 반면, 입자상 물질의 농도는 지하철이 운행하는 공간인 승강장, 객실, 운전석에서 높은 것으로 분석되었다. 이산화탄소의 경우 활동 영역에 관계없이 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 따라서 본 연구 결과에 근거하면 지하철 내 부유 진균의 분포 양상은 입자상 물질과 이산화탄소와 서로 연관성이 없는 것으로 분석되었다. 지상과 지하구간 영역에 따른 부유 진균의 농도 차이는 통계적으로 유의하지 않아 위치 조건에 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었으며, 지상 지하 모두 규제 기준치를 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 입자

상 물질의 경우 승강장에서 지상보다 지하에 위치한 곳이 통계적으로 유의한 높은 농도를 나타냈다. 지상과 지하 구분에 상관없이 역 구내와 승강장은  $PM_{10}$ 과  $PM_{2.5}$ 의 평균 농도가 규제 기준치를 초과했으나, 역 사무실과 매표소는 초과하지 않는 것으로 조사되었다.

### 참고문헌

1. Kim HS, Park YW. Study on indoor air pollution. *Korean J Prev Med* 1984; 17(1): 137-143 (Korean)
2. Nevalainen A, Pasanen AL, Nininen M, Reponen T, Kalliokoski P, Jantunen MJ. The indoor air quality in Finish homes with mold problems. *Environ Int* 1991; 17(4): 299-302
3. Lacy J, Dutkiewicz J. Bioaerosols and occupational lung disease. *J Aerosol Sci* 1994; 25(8): 1371-1404.
4. Verhoeff AP, Burge HA. Health risk assessment of fungi in home environments. *Ann Allergy Asthma Immunol* 1997; 78(6): 544-556
5. Su HJ, Wu PC, Chen HL, Lee FC, Lin LL. Exposure assessment of indoor allergens, endotoxin, and airborne fungi for homes in southern taiwan. *Environ Res* 2001; 85(2): 135-144
6. Cuijpers CEJ, Swaen GMH, Wesseling G, Sturmans F, Wouters EFM. Adverse effects of the indoor environment on respiratory health in primary school children. *Environ Res* 1995; 68(1): 11-23
7. Kauffman HF, Tomee JFC, Van Der Werf TS et al. Review of fungus-induced asthmatic reactions. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151(6): 2109-2116
8. Hu FB, Persky V, Flay BR, Richardson J. An epidemiological study of asthma prevalence and related factors among young adult. *Br Med J* 1997; 314(1): 67-76
9. Lin WH, Li CS. Size characteristics of fungus allergens in the subtropical climate. *Aerosol Sci Technol* 1996; 25(2): 93-100
10. Homer WE, Helbling A, Salvaggio JE, Lehrer SB. Fungal allergens. *Clin Microbiol Rev* 1995; 8(2): 161-179.
11. Park DU, Yun KS, Park ST, Ha KC. Characterization of  $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$  levels inside the train and in platform of subway. *Koreqn J Env Health* 2005; 31(1): 1-8 (Korean)
12. Adams HS, Nieuwenhuijsen MJ, Colville RN. Determinants of fine particle personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Atmos Environ* 2001; 35(27): 4557-4566
13. Furuya K, Kudo Y, Okinaga K, Yamuki M,

- Takahashi S, Araki Y, Hisamatsu Y. Seasonal variation and their characterization of suspended particulate matter in the air of subway stations. *Soil Environ Sci* 2001; 19(4): 469-485
14. Chillrud SN, Epstein D, Ross JM, Sax SN, Pederson D, Spengler JD, Kinney PL. Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust and New York city's subway system. *Environ Sci Technol* 2004; 38(3): 732-737
15. Aarnio P, Yli-Tuomi T, Kousa A, Makela T, Hirsikko A, Hameri K, Raisanen M, Hillamo R, Koskentalo T, Jantunen M. The concentrations and composition of and exposure to fine particles  $PM_{2.5}$  in the Helsinki subway system. *Atmos Environ* 2005; 39(28): 5059-5066
16. Kim YS, Shin EB, Kim SD, Kim DS, Jeon JM. Measurements of carcinogenic air pollutants in Seoul metropolitan subway stations. *Korean J Env Health* 1994; 20(1): 19-27 (Korean)
17. Fromm H, Oddoy A, Piltoy M, Krause M, Lahrz T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (Elemental carbon) inside a car and a subway train. *Sci Total Environ* 1998; 217(2): 165-173
18. Chan LY, Lau WL, Zou SC, Cao ZX, Lai SC. Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmos Environ* 2002; 36(38): 5831-5840
19. Gomez-Perales JE, Covile RN, Nieuwenhuijsen MJ, Fernandez-Brem A, Gutierrez-Avedoy VI, Paramo-Figueroa VH, Blanco-Jimenez S, Bueno-Lopez E, Mandujano F, Benabe-Cabanillas R, Ortiz-Segovia E. Commuters' exposure to  $PM_{2.5}$ , CO and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico city. *Atmos Environ* 2004; 38(8): 1219-1229
20. Chung YH, Hong JB, Chang YH. A study on the microbial air pollution of urban living and indoor environment. *Kor J Env Health* 2001; 27(2): 1-9
21. Kim YS, Lee EG, Yup MJ, Kim KY. Distribution and classification of indoor concentration of microorganisms in public buildings. *Korean J Env Health* 2002; 28(1): 85-92 (Korean)
22. Pastuszka JS, Paw UKT, Lis DO, Wlazlo A, Ulfig K. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmos Environ* 2000; 34(22): 3833-3842.
23. Hunter CA, Grant C, Flannigan B, Bravery AF. Mould in buildings: The air spora of domestic dwellings. *Int Biodeter* 1988; 24(1): 81-101

24. Hargreaves M., Parappukaran S., Morawska L., Hitchins J., He C. and Gilbert D. : A pilot investigation into associations between indoor airborne fungal and non-biological particle concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. *Sci Total Environ* 2003; 312(1), 89-101
25. Verhoeff A, van Wijnen J, Boleij J, Brunekreef B, van Reenen-Hoekstra E, Samson R. Enumeration and identification of airborne viable mould propagules in houses. *Allergy* 1990; 45(3): 275-284
26. Pasanen AL, Niininen M, Kalliokoski P, Nevalainen A, Jantunen M. Airborne Cladosporium and other fungi in damp versus reference residences, *Atmos Environ* 1992; 26B(1): 121-124
27. Gallup J, Kozak P, Cummins L, Gilman S. Indoors mold spore exposure: characteristics of 127 homes in Southern California with endogenous mold problems. *Adv Aerobiol* 1987; 51(2): 139-147
28. Sitzmann B, Jendall M, Watt J, Williams I. Characterization of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *Sci Total Environ* 1999; 241(1): 63-73
29. Birenzvige A, Eversole J, Seaver M, Francesconi S, Valdes E, Kulaga H. Aerosol characteristics in a subway environment. *Aerosol Sci Technol* 2003; 37(3): 210-220
30. Kwag HS, Chin KW, Lee SM, Yang YS, Choi SJ, Park DU. Characterization of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, CO<sub>2</sub>, CO levels inside the subway driver cabin. *Proceedings Kor Soc Occup Environ Hyg* 2005; p. 30-31
31. Wu PC, Su HJ, Lin CY. Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons. *Sci Total Environ* 2000; 253(2): 111-118
32. Reponen T. Bioaerosol and particle mass levels and ventilation in Finish homes. *Environ Int* 1989; 15(3): 203-208
33. Praml G, Schirl R. Dust exposure in the Munich public transportation: A comprehensive 4-year survey in buses and trams. *Int Arch Occup Environ Health* 2000; 73(3): 209-214
34. Donaldson AI. Factors influencing the dispersal, survival and deposition of airborne pathogens of farm animals. *Vet Bull* 1978; 48(1): 83-84
35. Robertson JH, Friebe WR. Microbial validation of ven filters. *Biotechnol Bioeng* 1984; 26(8): 828-835