

서울시 일부 지하철역 내 분포하는 부유 세균 및 입자상 오염물질 평가

김기연*,*** · 박재범* · 김치년** · 이경종*†

*아주대학교 의과대학 예방의학교실, **연세대학교 의과대학 산업보건연구소
***Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, Univ. of Cincinnati

Assessment of Airborne Bacteria and Particulate Matters Distributed in Seoul Metropolitan Subway Stations

Ki Youn Kim*,*** · Jae Beom Park* · Chi Nyon Kim** · Kyung Jong Lee*†

*Department of Preventive Medicine & Public Health, School of Medicine, Ajou University

**Institute for Occupational Health, College of Medicine, Yonsei University

***Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, University of Cincinnati

(Received May 10, 2006/Accepted August 9, 2006)

ABSTRACT

In activity areas of subway workers and passengers in Seoul metropolitan subway lines 1-4, mean concentrations of airborne bacteria were relatively higher in workers' bedroom and station precinct whereas concentrations of particulate matters, PM₁₀ and PM_{2.5}, were relatively higher in platform, inside train and driver's seat as compared with other activity areas. This result indicates that little correlation between airborne bacteria and particulate matters was found, which assumed that most airborne particulate matters distributed in subway consisted of mainly inorganic dust like a metal particles. Mean concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} in station precinct and platform exceeded the threshold limit value (PM₁₀: 150 µg/m³, PM_{2.5}: 65 µg/m³) but those in station office and ticket office were below it. The genera identified in all the activity areas of subway over 5% detection rate were *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus* and *Corynebacterium*, of which *Staphylococcus* and *Micrococcus* covered over 50% of total airborne bacteria and were considered as predominant genera distributed in subway.

Keywords: subway, airborne bacteria, PM₁₀, PM_{2.5}, underground, ground

I. 서 론

서울의 대도시화로 인한 대중교통의 중요성이 강조되고 있는 시점에 지하철의 이용률은 계속해서 증가되고 있는 상황이다. 따라서 약 1000만명 이상의 서울 시민들이 매일 이용하고 있는 지하철역 내의 실내 환경에 관한 사회적 관심이 여러 측면에서 표면화되고 있다. 특히 지하철역의 지리상 위치가 대부분 밀폐된 지하 공간이라는 특수한 입지 조건에 근거를 두고 있어 지상 공간에 위치하고 있는 여타 다른 공공건물의 실내 공

기 질보다 열악한 것은 자명한 사실이라 할 수 있다. 또한 수많은 사람들이 지하철을 탑승하거나 왕래하기 위해 지하철역 주변 지하 공간을 이용하기 때문에 부적절한 환기 시스템 가동시 사람들에 의해 유입되거나 지하철역 내부 공간 자체에서 발생하는 오염물질들이 원활히 외부로 배출되지 못하고 축적될 가능성이 상당히 높다. 따라서 지하철 승객 및 작업자들과 지하철역 주변 지하 공간을 이용하는 사람들이 이러한 공기 오염물질에 장기간 노출시 건강상의 위해도가 높아질 개연성은 다분하다.

최근 들어 지하철역 주변 실내 공기질과 관련한 기초 현장 조사가 국내에서 활발히 수행되었으나 대부분의 연구들이 포름알데히드, 라돈, SO₂, NO_x 등의 가스상 오염물질¹⁻³⁾과 PM₁₀, PM_{2.5}, 중금속, 석면 등의 입자상 오염물질⁴⁻⁸⁾의 측정 및 평가에 주로 초점을 맞

†Corresponding author : Center for Health Related Aerosol Studies, Department of Environmental Health, University of Cincinnati
Tel: 82-31-219-5292, Fax: 82-31-219-5084
E-mail : leekj@ajou.ac.kr

추였다. 지하철을 보유하고 있는 외국 도시들의 경우에도 지하철역 실내 환경 오염도 평가를 국내 경우와 마찬가지로 가스상 및 입자상 오염물질의 농도 및 특성을 규명하는 데 목적을 두었다.⁹⁻¹⁹⁾ 하지만 노출시 천식과 비염 등의 호흡기계 질환과 감염성 질환을 유발하는 것으로 인식되고 있는 부유 세균 등의 생물학상 오염물질에 대한 측정 및 평가는 국내외적으로 상당히 미진한 실정이다. 국내의 경우 몇몇 연구자들에 의해 지하철역 내 분포하는 생물학상 오염물질의 수준을 현장 조사한 보고가 있으나,^{20,21)} 소수의 역사를 대상으로 한 단편적 연구였고 승강장이나 역사내 주변 지역만을 대상으로 했기 때문에 상대적으로 실제 승객이 오랜 시간 동안 머물고 있는 지하철 내부의 생물학상 오염물질 농도가 전혀 평가되지 않았다. 또한 일반 지하철 이용객들의 건강 측면에서 주로 접근하였기 때문에 지하철 작업자들의 주요 활동 영역에 대한 생물학상 오염물질의 노출 평가가 요구되며, 농도 측정의 정량 평가만 수행되었기 때문에 지하철 내부에 우점하는 부유세균의 종류를 규명해내는 정성 평가 연구도 추가되어야 한다.

따라서 본 연구는 지하철 이용객과 작업자의 활동 영역의 실내 공간을 대상으로 생물학상 오염물질 중 부유세균의 정량 및 정성 평가와 더불어 생물학상 오염물질의 공기 중 매개체 역할을 담당하는 입자상 오염물질과의 연관성 여부도 파악하여 지하철 실내 공간에서의 이들의 분포 특성 및 기초 현장 조사 자료를 제공하는 데 목적을 두고 있다.

II. 실험방법

1. 대상

조사 시기는 2004년 11월~2005년 2월로 서울 지하철공사에서 운영하고 있는 지하철 1-4호선을 대상으로 총 22개 역사(역무 12개소, 승무 10개소)를 임의로 선정하였으며, 이 중 지상역사는 8개소, 지하역사는 14개소였다. 각 역사에 대해 지하철 작업자들의 주요 활동 영역인 역 사무실, 침실, 매표소, 운전석과 지하철 이용객들의 주요 이동 공간인 역 구내, 승강장, 지하철 객실을 측정 지점으로 하였으며, 지하철 실내 오염도의 상대적 비교 평가를 위해 측정 당일 외부 지점 1곳을 추가로 조사하였다. 측정 위치는 상부 약 150 cm 지점이었으며, 각 지점별로 2회 반복 측정하였다. 측정 시간대는 오전 10시에서 오후 4시 사이로 부유세균 측정 장비의 공간적 제한성으로 인해 지하철 이용객들이 많이 모여드는 출퇴근 시간대를 피하였다.

2. 방법

1) 부유세균

시료 포집은 분당 28.3 l/min의 유량으로 설정된 one-stage viable particulate cascade impactor(Model 10-800, Andersen Inc., USA)를 사용하여 10분 동안 공기를 포집하였다. 시료 채취 전 70% alcohol로 장비 내부를 소독처리한 후, 진균 성장을 억제하기 위해 cycloheximide 500 mg이 첨가된 Trypticase soy agar (Lot 2087730, Becton Dickinson and Company, USA) 배지를 장착하였다. 포집이 완료된 배지는 미생물 분석실로 즉시 운반하여 35±1°C 조건하의 배양기에서 1~2일 동안 배양하였다. 배양 후 배지에 형성된 집락(colony)을 계수한 값에 공기량(m³)으로 나누는 방법으로 부유 미생물의 농도(CFU/m³)를 산출하였다(식 1, 2 참조).

CFU (Colony Forming Unit)/m³

$$= \text{Colony counted on agar plate} / \text{Air volume (m}^3\text{)}$$

(1)

$$\text{Air volume (m}^3\text{)} = 28.3 \text{ l/min} \times \text{sampling time (min)} / 10^3$$

(2)

또한 배양된 모든 부유세균은 Bergey's manual 분류법에 따라 균종을 동정하였고, Gram 염색 후 자동화동정 시스템인 VITEK(Model VITEK 32 system, bioMerieux Inc., France)을 통해 biochemical test를 실시하여 균종을 추가 동정하였다.

2) 입자상 오염물질

입자상 오염물질인 PM₁₀과 PM_{2.5}는 직독식 측정기(Dustmate, Turnkey Instruments Ltd., Cheshire, England)를 이용하여 한 지점에 대해 2번 반복하여 측정할 수치의 평균치를 대표값으로 하였다.

3) 통계 처리

SAS package(SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 지하철 작업자와 이용객의 영역별 측정 장소에 따른 부유세균, 입자상 오염물질, 이산화탄소의 농도 차이는 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석 방법을 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 지하철 작업자들의 주요 활동 영역

Table 1에서 제시하는 바와 같이 지하철 작업자들의 주요 활동 영역인 역 사무실, 침실, 매표소, 운전석 내

Table 1. Concentrations of airborne bacteria and particulate matters in subway workers' activity areas

		Station office	Bedroom	Ticket office	Driver's seat	Outdoor
T.C.A.B. [†] (cfu/m ³)	GM	156 ^a	246 ^b	164 ^a	118 ^c	140
	GSD	87	168	69	16	39
	Max.	314	686	322	131	204
	Min.	26	28	49	94	28
PM ₁₀ (µg/m ³)	GM	75.1 ^a	84.4 ^a	93.2 ^a	271.2 ^b	154.5
	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 _{2.5} (µg/m ³)	GM	56.7 ^a	65.6 ^a	65.0 ^a	127.8 ^b	102.1
	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.

부유세균의 평균 농도는 각각 156 cfu/m³, 246 cfu/m³, 164 cfu/m³, 118 cfu/m³인 것으로 측정되었다. 통계적으로 침실이 가장 높고, 운전석이 가장 낮은 것으로 분석되었으나(p<0.05), 역 사무실과 매표소 간의 통계적 차이는 유의성이 없는 것으로 분석되었다(p>0.05). 부유세균의 실외 평균 농도는 140 cfu/m³으로 측정되어 운전석을 제외한 나머지 세 곳이 모두 실외 농도보다 높은 것으로 조사되었다.

지하철 작업자 활동 영역에 따른 농도 차이의 이유로 측정 당시의 직원 수, 창문 개폐 유무, 강제 환기시스템의 효율성 차이라 사료되는데, 현장 조사 결과 거주하는 직원 수가 상대적으로 많고 창문이 밀폐되어 자연환기가 원활히 이루어지지 않거나 환기시스템의 작동 효율성이 불량한 실내 공간일수록 부유세균의 농도가 높은 수준임이 관찰되었다. 이는 부유세균의 주요 발생원 중 하나가 실내 공간내 거주하는 사람이라는 점에 근거를 둘 수 있다.^{22,23} 침실의 경우 측정 당시 낮 시간대라 교대 근무자 외에는 수면을 취하고 있는 직원들이 거의 없었으나, 이불과 같은 침소도구가 치워지지 않고 방치되어 주변 환경이 청결치 못했으며 대부분 침실들의 천정 환기구가 닫혀 있거나 전혀 작동되지 않는 상태로 유지되고 있었기 때문에 가장 높은 부유세균의 농도를 보인 것으로 판단된다. 따라서 지하철 작업자의 침실 공간내 부유세균의 오염 수준을 명확히 평가하기 위해서는 향후 침실 환기구의 개폐 여부에 따른 부유 미생물 오염도 비교 평가의 사례별 연구(case by case study)가 수행되어야 할 것이라 생각된다. 현재까지 지하철 작업자의 활동 영역과 관련한 부유세균의 농도 수준을 보고한 국내의 연구 자료가 없기 때문에

지하철 작업자들의 부유세균 노출 수준을 객관적으로 평가할 수는 없으나 부유세균과 관련한 현행 다중이용시설의 실내 규제기준이 800 cfu/m³임을 감안하면 지하철 작업자 영역의 부유세균 오염수준은 매우 심각한 상황은 아니라 판단된다. 하지만 운전석을 제외한 나머지 세 공간 내 부유세균의 농도가 실외보다 높아 실내/외 농도 비율이 1 이상이므로 부유세균의 내부 발생원에 의해 실내 공기가 오염되었음을 추정할 수 있기 때문에^{24,25} 지속적인 실내 공기질 관리가 요구되는 바이다. 지하철 운전석의 경우 역 사무실, 매표소, 침실의 위치보다 더 지하 공간에 있어 상대적으로 높을 것이라 예측되었으나 조사 결과 더 낮은 수치를 나타내었다. 이는 지하철 운행 구간에서 발생하는 오염물질의 대부분이 부유세균의 영양 공급원인 유기성 물질이 아닌 금속 성분을 포함한 무기성 입자상 물질이라는 점^{10,16}과 지하철이 운행하는 지하 공간내 분포하는 바이오에어로졸(bioaerosol)이 총 에어로졸의 1% 이하라는 점²⁶에 근거하여 해석될 수 있다.

입자상 오염물질인 PM₁₀과 PM_{2.5}의 평균 농도는 역 사무실이 75.1 µg/m³과 56.7 µg/m³, 침실이 84.4 µg/m³과 65.6 µg/m³, 매표소가 93.2 µg/m³과 65.0 µg/m³, 운전석이 271.2 µg/m³과 127.8 µg/m³으로 측정되어 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 운전석이 가장 높았으며(p<0.05), 나머지 세 곳은 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되었다(p>0.05). 실외 PM₁₀과 PM_{2.5}의 평균 농도는 각각 154.5 µg/m³과 102.1 µg/m³로 측정되어 운전석을 제외한 나머지 세 곳 모두 실외보다 낮은 것으로 조사되었다.

역 사무실, 침실, 매표소에서 측정된 입자상 오염물질

의 농도는 기존의 국내외 연구 자료가 없어 상대적 수치 비교가 불가능하나, 법적 규제 기준과의 비교시 PM₁₀의 경우 실내 환경기준인 150 µg/m³ 이하인 것으로 조사되었다. PM_{2.5}는 아직 국내 규제기준이 제시되지 않아 미국 환경부에서 규정한 대기 하루 평균 환경기준인 65 µg/m³와 비교시 오차 범위내에서 비슷한 수준인 것으로 분석되었다. 하지만 운전석의 경우 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 위의 두 규제 기준을 초과하는 것으로 나타나 기준 이하라 보고한 광현석 등²⁷⁾의 연구 결과와는 상반된 것이었다. 지하철 1~4호선을 대상으로 조사한 본 연구와는 달리 광현석 등²⁷⁾은 6~8호선을 대상으로 하였으며, 측정 시간대 또한 달랐기 때문에 연구 결과간의 차이가 나타난 것으로 사료되며, 건설 년도가 오래된 지하철 1~4호선 운행 구간의 입자상 오염물질의 발생량이 6~8호선보다 더 높음을 알 수 있었다. 지하철 운행 구간내 분포하는 입자상 오염물질의 대부분이 지하철의 이동 및 정지에 따른 철로와의 마찰로 인해 공기 중으로 휘산된 철 등의 금속성 입자물질이라는 점^{16,19,26)}을 고려하면 1~4호선 지하철 운전 작업자의 입자상 오염물질 노출 수준을 기준 이하로 저감시키기 위해서는 남루한 철로의 정기적 점검, 급시동 및 급정지를 피하기 위한 운행 요령의 준수, 운행 중 보호구 착용의 의무화 등의 예방 지침 등이 조속히 강구될 필요가 있다.

2. 지하철 승객들의 주요 활동 영역

Table 2에서 나타난 바와 같이 지하철 승객들의 주요 활동 영역인 역 구내, 객실, 승강장 내 부유세균의 평

균 농도는 각각 224 cfu/m³, 165 cfu/m³, 134 cfu/m³인 것으로 측정되었으며, 통계적으로 역 구내가 가장 높은 것으로 나타났으나(p<0.05) 객실과 승강장 간의 농도 차이는 없는 것으로 분석되었다(p>0.05). 한편 실외의 평균 농도인 140 cfu/m³보다 높은 곳은 역 구내로 나타났으며, 객실과 승강장은 낮은 것으로 조사되었다. 지하철 작업자의 활동 영역에서 나타난 결과와 마찬가지로 다중이용시설내 부유세균 규제기준인 800 cfu/m³에 상당히 미달되는 것으로 조사되어 부유세균 노출에 의한 지하철 승객의 건강 위해성은 매우 낮은 것으로 분석되었다. 하지만 본 연구에서 이용된 부유세균 측정 장비는 지하철 승객들이 많이 붐비는 출퇴근 시간대에는 시료 채취가 현실적으로 불가능한 구조적 한계성이 있었다. 지하철 승객들의 옷, 머리 등에서 공기 중으로 방출되는 세균들이 실내 부유세균의 주요 발생원이라는 사실^{22,23)}에 근거하면 출퇴근 시간대에 부유세균의 농도가 상대적으로 높을 것이라 추정된다. 따라서 지하철 승객들의 부유세균에 대한 노출 수준을 정확히 평가하기 위해서는 출퇴근 시간대의 연구 조사가 향후 요구되는 바이다. 또한 실내에 분포하는 부유세균은 환기에 의한 공기 흐름으로 상당 수준 외부에서 유입될 수 있기 때문에^{23,28)} 본 연구가 수행된 겨울철은 사계절 중 외부 부유세균 농도가 가장 낮은 시기인 점²⁹⁾을 고려하면 지하철 승객들의 실질적인 노출 수준이 낮게 평가될 가능성도 배제할 수 없다. 그러므로 실외 부유세균의 농도가 겨울철과 다른 봄, 여름, 가을철에도 부유세균의 노출평가 조사가 추가적으로 수행되어야 할 것이라 생각된다.

Table 2. Concentrations of airborne bacteria and particulate matters in subway passengers' activity areas

	Station precinct	Inside train	Platform	Outdoor	
T.C.A.B.† (cfu/m ³)	GM	224 ^a	165 ^b	134 ^b	140
	GSD	102	32	36	39
	Max.	353	192	176	204
	Min.	111	121	91	28
PM ₁₀ (µg/m ³)	GM	182.1 ^a	311.5 ^b	359.0 ^b	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 _{2.5} (µg/m ³)	GM	87.7 ^a	125.5 ^b	129.0 ^b	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 bacteria

입자상 오염물질인 PM₁₀과 PM_{2.5}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 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 역 구내가 가장 낮았으며(p<0.05), 객실과 승강장 간에는 차이가 없는 것으로 분석되었다(p>0.05). 세 곳 모두 실외의 PM₁₀ 평균 농도보다 높은 것으로 나타났으나, PM_{2.5}의 경우에는 객실과 승강장만 실외의 평균 농도보다 높았고 역 구내는 낮은 것으로 조사되었다.

측정 결과 세 곳 모두 위에서 언급한 PM₁₀과 PM_{2.5}의 규제 기준을 모두 초과하는 것으로 나타나 운전석을 제외한 지하철 작업자들의 활동 영역보다 입자상 오염물질의 노출 정도가 더 높은 수준인 것으로 조사되었다. 지하철의 승강장과 객실에서의 입자상 오염물질 농도를 측정한 기존 국내의 연구 보고들과 비교시 (Table 3 참조) 본 연구를 포함한 각 연구 결과들간의 상당한 변이가 있음을 확인할 수 있는데 이는 측정 당시의 환경 조건들, 즉 측정 시간, 측정 장소, 측정 장비, 지하철 건설 년도 등의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 또한 계절 및 외부 기후 조건의 차이에 따른 영향도 배제할 수 없는 것으로 사료되는데, 이는 지하철 승강장 내 입자상 오염물질의 농도가 계절에 따라 변이가 크다고 보고한 Furuya 등(2001)의 연구 결과¹²⁾에 근거를 둘 수 있다. 역 구내의 PM_{2.5} 농도 수치를 제외하면 모두 실외보다 1.2~2.3배 더 높은 것으로 분석되어 지하철 객실과 승강장의 입자상 오염물질 농도가 실외보다 높은 것으로 보고한 기존의 연구 보고들^{8,31)}과 일치하였다. 지하철 운행 공간에 해당되는 승강장, 객실, 작업자의 운전석 중 승강장에서 입자상 오

염물질 농도가 가장 높게 나타난 이유는 객실과 운전석의 경우 지상으로의 운행기간 동안 자연환기에 의해 희석될 수 있는 기회가 있으며, 지하철 내부의 강제 환기효율이 승강장보다 상대적으로 높기 때문이라 판단된다.

지하철 작업자와 승객의 활동 영역을 포함해서 종합적으로 고찰했을 때 부유세균의 농도는 위생적으로 불결한 작업자의 침실과 상대적으로 많은 수의 사람이 왕래하는 역 구내에서, 입자상 오염물질의 농도는 지하철이 운행하는 공간인 승강장, 객실, 운전석에서 상대적으로 높은 경향을 나타내는 것으로 분석되었다. 이는 지하철 내 부유세균과 입자상 오염물질의 분포 양상간 서로 연관성이 없는 것을 의미하는 것으로 부유세균이 입자상 오염물질 표면에 흡착되어 공기 중에 운반되기 때문에 두 오염물질간의 양의 상관성이 있음을 보고한 Donaldson(1978)³²⁾과 Robertson과 Frieben(1984)³³⁾과는 상반된 연구 결과였다. 하지만 두 연구자들의 주장은 부유세균의 영양원인 유기성 분진이 상대적으로 많이 발생하는 축산시설을 대상으로 한 연구 결과에 근거했기 때문이라 생각되며, 따라서 본 연구를 통해 지하철 운행 구간에 분포하는 입자상 오염물질의 대부분이 부유세균의 발생과 관련 없는 금속 성분을 포함한 무기성 입자상 물질임을 유추할 수 있었다. 오토바이 이용자와 지하철 승객의 PM₁₀에 대한 노출 특성을 연구한 Sitzmann 등(1999)¹⁰⁾은 지하철 승객이 노출되는 PM₁₀의 수준이 오토바이 이용자보다 수적인 측면에서는 낮고 질량적 측면에서는 높아 지하철 내부 공간에는 지상보다 입자크기가 큰 PM이 상대적으로 많이 분포하고 있음을 보고하였는데, 이러한 큰 입자의 PM은 지하

Table 3. Comparison of PM₁₀ and PM_{2.5} concentration measured in this study with other reports

City	Country	Inside train		Platform		References
		PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	
(µg/m ³)						
Seoul	Korea	311.5	125.5	359.0	129.0	This study
Berlin	German	147	-	-	-	Fromme <i>et al.</i> ⁹⁾
Guangzhou	China	55.0	44.0	-	-	Chan <i>et al.</i> ¹⁴⁾
Helsinki	Finland	-	21.0	-	53.5	Aarnio <i>et al.</i> ¹⁸⁾
Hong Kong	China	44.0	33.0	-	-	Chan <i>et al.</i> ¹³⁾
London	England	-	247.2	-	-	Adams <i>et al.</i> ¹¹⁾
Mexico city	Mexico	-	61.0	-	-	Gomez-Perales <i>et al.</i> ¹⁷⁾
New York	USA	-	62.0	-	-	Chillrud <i>et al.</i> ¹⁶⁾
Seoul	Korea	144.0	118.4	125.8	111.1	Park <i>et al.</i> ⁸⁾
Stockholm	Sweden	-	-	470.0	260	Johansson and Johansson ¹⁵⁾
Tokyo	Japan	-	-	28~147	-	Furuya <i>et al.</i> ¹²⁾

철과 철허간의 이동 중 마찰에 의해 공기 중으로 휘산된 철 등의 중금속 물질이라 본 연구를 통해 추정된다. 또한 지하철 내부 공간에 분포하는 작은 입자 크기의 PM은 Chan 등(2002)¹³⁾의 보고대로 대부분 외부에서 유입된 자동차 배출물이라 판단된다.

3. 지하철 지하 역사에 분포하는 부유 세균의 종류

Table 4는 지하 역사의 지하철 작업자와 승객의 주요 활동 영역에서 동정된 부유세균의 종류(속)와 검출율을 보여주고 있다. 조사대상 모든 영역에서 *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium* 속은 전체 부유세균에 대해 각각 5% 이상의 검출율을 보인 부유세균으로 나타났으며, 이 중 *Staphylococcus*와 *Micrococcus*의 부유세균이 차지하는 비율은 50% 이상인 것으로 조사되었다. 전반적으로 *Staphylococcus* 속이 가장 높은 검출율을 보였으나, 침실과 승강장에서는 *Micrococcus* 속의 검출율이 가장 높았다. 이러한 부유세균의 분포 양상은 지하철이 아닌 다른 실내 공간을 대상으로 부유세균을 동정한 외국의 연구 보고들^{23,34-36)}과 거의 유사한 것으로 조사되었다.

동정된 부유세균의 전반적인 검출 유사성을 살펴보면 역 사무실, 매표소, 역 구내와 운전석, 객실, 승강장, 그리고 침실로 구분할 수 있다. 역 사무실, 매표소, 역 구내의 경우 1% 이하의 검출율을 보인 기타 부유세균으로 *Enterobacteriaceae* 속만이 동정된 반면 운전석, 객실, 승강장의 경우 *Enterobacteriaceae* 속은 검출되지 않고 대신 *Escherichia(E-Coli)*, *Pseudomonas*,

Aeromonas 속이 기타 부유세균으로 분석되었다. 침실은 검출율 1% 이하의 기타 부유세균으로 *Nocardia*와 *Pseudomonas* 속이 동정되었는데, 특히 *Nocardia* 속의 경우 다른 영역에서는 전혀 검출되지 않았다는 점이 특징이다. 이렇게 지하철 영역에 따라 종류가 다른 부유세균이 동정된 이유는 내부 발생원의 차이에 의한 것이라 추정된다. 즉 역 사무실, 매표소, 역 구내는 대부분 1층 지하에 위치하고 있고, 운전석, 객실, 승강장의 경우 지하철 운행 구간에 따라 운전석과 객실은 지상으로도 노출되기는 하나 대부분 2층 지하에 위치하고 있으며 특히 승강장의 경우 역에 따라 철로 하단에 배수되지 못하고 고여 있는 물도 새로운 종류의 세균을 공기 중으로 부유시키는 발생원으로 작용할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 침실의 경우 다른 장소와는 달리 여러 직원들이 사용하는 이불과 베개 등과 같은 침소도구가 청결하게 관리되지 못하면 이 또한 새로운 부유세균의 발생원으로서의 역할을 할 것이라 생각된다.

1% 이하의 낮은 검출율이긴 하나 기타 부유세균으로 분류된 것들 중 대부분이 병원성 세균(*Streptococcus* spp., *Enterobacteriaceae* spp.) 혹은 인체에 유해한 내독소를 생산해 내는 그람 음성 세균(*Escherichia* spp., *Pseudomonas* spp., *Aeromonas* spp.)인 것으로 알려져 있다. 따라서 향후에는 이들 노출에 따른 지하철 작업자와 승객의 건강 위해성을 심도있게 규명할 수 있는 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 지하철 영역내 분포하는 부유세균의 특성을 지금의 연구보다 명확히 파악하기 위해서는 입경별 부유세균의 농도 조사 및 속

Table 4. Genera of airborne bacteria identified in underground areas of subway station

%	Workers' area				Passengers' area		
	Station office	Bedroom	Ticket office	Driver's seat	Station precinct	Inside train	Platform
<i>Staphylococcus</i> spp.	42.8	16.2	50.5	35.2	55.8	33.8	30.5
<i>Micrococcus</i> spp.	26.3	62.4	24.6	30.2	16.4	28.5	32.9
<i>Bacillus</i> spp.	10.2	8.3	12.8	18.0	8.8	13.8	17.6
<i>Corynebacterium</i> spp.	9.5	6.3	6.2	5.2	7.3	9.3	4.3
<i>Enterococcus</i> spp.	5.3	-	1.8	2.8	3.2	7.4	3.5
<i>Streptococcus</i> spp.	0.8	2.8	0.5	0.8	1.2	1.5	2.3
<i>Enterobacteriaceae</i> spp.	0.3	-	0.9	-	0.8	-	-
<i>Nocardia</i> spp.	-	0.6	-	-	-	-	-
<i>Escherichia(E-Coli)</i> spp.	-	-	-	-	-	0.1	0.8
<i>Pseudomonas</i> spp.	-	0.2	-	-	-	-	0.4
<i>Aeromonas</i> spp.	-	-	-	0.4	-	0.3	-
<i>Other species</i>	4.8	3.2	2.7	7.4	6.5	5.3	7.7
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

(species)까지의 동정 확대, 지하철 내부 발생원의 작용 여부 판단을 위한 실외 시료의 동시 분석, 지하철 승객이 상대적으로 많이 이동하는 출퇴근 시간대의 측정이 추가로 적용되어야 할 것이다.

IV. 결 론

지하철 1-4호선을 대상으로 작업자와 승객의 활동 영역에서의 부유세균 농도는 위생적으로 불결한 작업자의 침실과 상대적으로 많은 수의 사람이 왕래하는 역 구내에서 상대적으로 높게 나타난 반면, 입자상 오염물질의 농도는 지하철이 운행하는 공간인 승강장, 객실, 운전실에서 높은 것으로 분석되었다. 이는 지하철 내부 부유세균과 입자상 오염물질의 분포 양상간 서로 연관성이 없는 것을 의미하는 것으로 지하철 운행 구간에 분포하는 입자상 오염물질의 대부분이 부유세균의 발생과 관련 없는 금속 성분을 포함한 무기성 입자상 물질이라 추정된다. 역 구내와 승강장은 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 의 평균 농도가 규제 기준치를 초과했으나, 역 사무실과 매표소는 초과하지 않는 것으로 조사되었다. 조사대상 모든 영역에서 *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Corynebacterium* 속은 전체 부유세균에 대해 각각 5% 이상의 검출율을 보인 부유세균이었으며, 이 중 *Staphylococcus*와 *Micrococcus*의 부유세균이 차지하는 비율은 50% 이상인 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 김종호, 김신도, 김동술, 김윤신, 신용배 : 서울시 지하철역의 가스상 오염물질 농도의 조사 연구. 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, 56, 1993.
2. 유정석, 이권수, 김동술, 김신도, 김윤신, 신용배 : 서울 지하철역 내에서의 라돈 농도 분포 및 저감 대책. 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, 57-60, 1993.
3. 김윤신, 신용배, 김신도, 김동술, 전준민 : 서울시 일부 지하철역내 대기오염물질에 대한 조사연구. 한국환경위생학회지, 20(1), 19-27, 1994.
4. 이태정, 김동술, 김신도, 김윤신, 신용배 : 서울시 지하철역의 분진의 농도분포 및 화학적 조성에 관한 연구. 대한환경공학회 춘계학술연구발표회 논문집, 53-55, 1993.
5. 김동술, 김신도, 김윤신, 신용배, 이태정 : 서울시 지하철역내 분진 오염원의 정량적 기여도의 결정. 대한환경공학회지, 16(3), 309-319, 1994.
6. Yu, I. J., Yoo, C. Y., Chung, Y. H., Han, J. H., Yhang, S. Y., Yu, G. M. and Song, K. S. : Asbestos exposure among Seoul metropolitan subway workers during renovation of subway air-conditioning systems. *Environmental International*, 29, 931-934, 2003.
7. 김진경, 백남원 : 서울시 지하철 역사의 실내 공기중 분포하는 먼지의 특성에 관한 연구. 한국환경보건학회지, 30(2), 154-160, 2004.
8. 박동욱, 윤경섭, 박수택, 하권철 : 서울 일부 지하철 객차와 승강장에서 측정된 PM_{10} 과 $PM_{2.5}$ 농도의 특성. 한국환경보건학회지, 31(1), 1-8, 2005.
9. Fromm, H., Oddoy, A., Piltoy, M., Krause, M. and Lahrz, T. : Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (Elemental carbon) inside a car and a subway train. *The Science of Total Environment*, 217, 165-173, 1998.
10. Sitzmann, B., Jendall, M., Watt, J. and Williams, I. : Characterization of airborne particles in London by computer-controlled scanning electron microscopy. *The Science of Total Environment*, 241, 63-73, 1999.
11. Adams, H. S., Nieuwenhuijsen, M. J. and Colville, R. N. : Determinants of fine particle personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *Atmospheric Environment*, 35, 4557-4566, 2001.
12. Furuya, K., Kudo, Y., Okinaga, K., Yamuki, M., Takahashi, S., Araki, Y. and Hisamatsu Y. : Seasonal variation and their characterization of suspended particulate matter in the air of subway stations. *Soil and Environment Science*, 19, 469-485, 2001.
13. Chan, L. Y., Lau, W. L., Lee, S. C. and Chan, C. Y. : Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 36, 3363-3373, 2002.
14. Chan, L. Y., Lau, W. L., Zou, S. C., Cao, Z. X. and Lai, S. C. : Exposure level of carbon monoxide and respirable suspended particulate in public transportation modes while commuting in urban area of Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*, 36, 5831-5840, 2002.
15. Johansson, C. J. and Johansson, P. A. : Particulate matter in the underground in Stockholm. *Atmospheric Environment*, 37, 3-9, 2003.
16. Chillrud, S. N., Epstein, D., Ross, J. M., Sax, S. N., Pederson, D., Spengler, J. D. and Kinney, P. L. : Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and iron from steel dust and New York city's subway system. *Environment and Science Technology*, 38, 732-737, 2004.
17. Gomez-Perales, J. E., Covile, R. N., Nieuwenhuijsen, M. J., Fernandez-Brem, A., Gutierrez-Avedoy, V. J., Paramo-Figueroa, V. H., Blanco-Jimenez, S., Bueno-Lopez, E., Mandujano, F., Benabe-Cabanillas, R. and Ortiz-Segovia, E. : Commuters' exposure to $PM_{2.5}$, CO and benzene in public transport in the metropolitan area of Mexico City. *Atmospheric Environment*, 38, 1219-1229, 2004.
18. Aarnio, P., Yli-Tuomi, T., Kousa, A., Makela, T., Hirsikko, A., Hameri, K., Raisanen, M., Hillamo, R., Koskentalo, T. and Jantunen, M. : The concentrations and composition of and exposure to fine parti-

- cles (PM_{2.5}) in the Helsinki subway system. *Atmospheric Environment*, **39**, 5059-5066, 2005.
19. Chillrud, S. N., Grass, D., Ross, J. M., Coulibaly, D., Slavkovich, V., Epstein, D., Sax, S. N., Pederson, D., Johnson, D., Spengler, J. D., Kinney, P. L., Simpson, H. J. and Brandt-Rauf, P. : Steel dust in the New York city subway system as a source of manganese, chromium and iron exposures for transit workers. *Journal of Urban Health*, **82**, 33-42, 2005.
 20. 정윤희, 홍준배, 장윤희 : 생활환경과 실내 공기의 미생물학적 오염에 관한 연구. *한국환경위생학회지*, **27**(2), 1-9, 2001.
 21. 김윤신, 이은규, 염무중, 김기영 : 다중이용시설에서의 실내공기중 미생물 분포에 관한 연구. *한국환경위생학회지*, **28**(1), 85-92, 2002.
 22. Otten, J. A. and Burge, H. A. : Bacteria. In: Macher, J. (Ed.), *Bioaerosols, Assessment and control*. ACGIH, Cincinnati, OH, pp. 200-214, 1999.
 23. Pastuszka, J. S., Paw, U. K. T., Lis, D. O., Wlazlo, A. and Ulfig, K. : Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment*, **34**, 3833-3842, 2000.
 24. Gallup, J., Kozak, P., Cummins, L. and Gilman, S. : Indoors mold spore exposure: characteristics of 127 homes in Southern California with endogenous mold problems. *Advance in Aerobiology*, **51**, 139-147, 1987.
 25. Nevalainen, A., Hyvarinen, A., Pasanen, A. and Reponen, T. : Fungi and bacteria in normal and mouldy dwellings. In: Samson, R.A., Flannigan, B., Flannigan, M.E., Verhoeff, A.P., Adan, O.C.G., Hoekstra, E.S. (Eds.), *Health Implications of Fungi in Indoor Environments*. Elsevier, Amsterdam, pp. 155-162, 1994.
 26. Birenzvige, A., Eversole, J., Seaver, M., Francesconi, S., Valdes, E. and Kulaga, H. : Aerosol characteristics in a subway environment. *Aerosol Science and Technology*, **37**, 210-220, 2003.
 27. 박현석, 진구원, 이성민, 양원수, 최상준, 박동욱 : 서울 지하철 5, 6, 7, 8호선 승무원석에서 모니터링한 PM₁₀, PM_{2.5}, 이산화탄소, 일산화탄소 농도의 특성. *한국산업위생학회 하계학술발표회 논문집*, 30-31, 2005.
 28. Wu, P. C., Su, H. J. and Lin, C. Y. : Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons. *The Science of Total Environment*, **253**, 111-118, 2000.
 29. Reponen, T. : Bioaerosol and particle mass levels and ventilation in Finish homes. *Environment International*, **15**, 203-208, 1989.
 30. Fromme, H., Oddoy, A., Piloty, M., Krause, M. and Lahrza, T. : Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and diesel engine emission (elemental carbon) inside a car and a subway train. *The Science of Total Environment*, **217**, 165-173, 1998.
 31. Praml, G. and Schirl, R. : Dust exposure in the Munich public transportation: A comprehensive 4-year survey in buses and trams. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, **73**, 209-214, 2000.
 32. Donaldson, A. I. : Factors influencing the dispersal, survival and deposition of airborne pathogens of farm animals. *Veterinary Bulletin*, **48**, 83-94, 1978.
 33. Robertson, J. H. and Frieben, W. R. : Microbial validation of ven filters. *Biotechnology and Bioengineering*, **26**, 828-835, 1984.
 34. Rahkonen, P., Ettala, M., Laukkanen, M. and Salkinoja-Salonen, M. : Airborne microbes and endotoxins in the work environment of two sanitary landfills in Finland. *Aerosol Science and Technology*, **13**, 505-513, 1990.
 35. DeKoster, J. A. and Thorne, P. S. : Bioaerosol concentrations in noncomplaint, complaint and intervention homes in the Midwest. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **56**, 576-580, 1995.
 36. Gorny, R. L., Dutkiewicz, J. and Krysinska-Traczyk, E. : Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, **6**, 105-113, 1999.