

# 전동차내 부유 미생물 저감방안에 관한 연구

## A Research to Decrease Airborne Microorganism the Train

최성호†      최순기\*      손영진\*  
Sung-ho Choi      Soon-gi Choi      Young-Jin Son

### ABSTRACT

SeoulMetro(line number 1 to 4) for the first half of the year. Therefore air quality in the subway is very important. It is passengers, such as sneezing and respiratory vital activities, Suspended due to skin keratin microbial action, and Microbial contaminants such as viruses. Hypersensitivity disorders, an atopic dermatitis, infectious diseases, allergic diseases, and can cause respiratory diseases. Ministry of Environment and National Institute of Environmental Research is managed so the life bacteria. It is emerging as the occupational health problems. Introduction of an appropriate ventilation system for cooling and dehumidification is needed. In line number 2, commuting and normal trains are measured in-room floating microbes. Suspended bacteria and fungi suspended in 2011 for 85 ~ 385cfu / m<sup>3</sup>, 67 ~ 98cfu / m<sup>3</sup> is lower than baseline. Suspended to prevent microbial contamination and air conditioning equipment performance is a substantial improvement. Suspended micro-organisms and the impact on passenger room ventilation is increased. Electric car how to improve air quality substantially investigated.

### 국문요약

서울메트로 지하철 1~4호선 이용객은 하루 평균 450만명이 지하철을 이용(2010년 상반기 수송인원 현황)하고 있으며 이것은 서울시 인구 57%에(2009년도 서울시 인구 총1,046만명) 가까운 사람들이 지하철을 이용하고 있는 것으로 나타남에 따라 전동차에 쾌적한 실내공기질 유지 및 관리는 무엇보다 중요하다. 특히 전동차내 실내공기질에 영향을 미치는 요인으로는 승객의 재채기, 호흡과 같은 생체 활동 및 피부각질 등에 의한 부유 미생물 작용에 있다(권순박 등, 2011). 바이러스와 같은 미생물 오염 물질이 승객의 인체의 호흡기, 점막부위, 피부 등에 접촉 할 경우 과민성 질환, 아토피 피부염, 전염성 질환, 알레르기성 질환, 호흡기 질환을 유발할 수 있는(환경부-국립환경과학원 생활속 세균 이렇게 관리하세요) 산업 보건상의 문제로 대두되고 있어 적절한 환기 시스템 도입과 제습을 위한 냉방 등이 필요한 실정이다. 시민들의 관심과 보조를 맞추어 지하철 2호선 출·퇴근 및 평상시 전동차 객실내 부유 미생물을 측정된 결과 부유세균과 부유진균은 2011년도 85 ~ 385cfu/m<sup>3</sup>, 67 ~ 98cfu/m<sup>3</sup>로 기준치(별도의 법적 기준은 없으나, 부유세균은 국내 실내기준 800cfu/m<sup>3</sup>, 부유진균은 세계보건기구의 가이드라인 150cfu/m<sup>3</sup>) 보다 낮은 수준으로 나타났으나 유동인구가 많은 출·퇴근 시간대에는 미생물 오염 물질이 승객에게 쉽게 전염 될 가능성이 있을 것으로

† 최성호, 서울메트로 군자차량사업소  
E-mail : a9351089@hanmail.net

\* 최순기, 서울메트로 환경팀

\*\* 정희원 손영진, 서울과학기술대학교 자동차공학과 교수

사료됨에 따라 부유 미생물 오염방지를 위한 공기조화설비 성능개선 등 실질적인 개선방안을 찾는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 2004년 이후 부유 미생물 제어장치에 대한 연구 논문을 분석하여 부유미생물이 승객들에게 미치는 영향, 환기량 증대방안 등의 다양한 인자에 대한 분석을 통하여 전동차내 공기질을 실질적으로 개선할 수 있는 방법을 연구 하였다.

## 2. 연구 방법 및 개요

### 2-1 개요

2004년부터 2011년까지 지하철 운행구간(1~4호선)의 전동차 부유미생물 발생원인 및 환기량 증대방안을 연구한 논문을 토대로 분석하였으며, 해당 논문별 분석방법은 아래와 같다.

2-1-1 KTX 객실내 부유미생물 오염현황 조사(권순박, 박덕신, 조영민, 박재형, 김세영, 박은영, 김창수, 김기연, 한국실내환경학회지, 2011. 03)

#### 2-1-1-1 연구내용

2011년도 서울과 부산을 왕복하는 KTX 차량을 대상으로 객차 1칸당 내부 3곳(중앙 1지점과, 각 측면 2지점), 객차간 연결통로 1곳, 화장실 1곳으로 총 5곳에서 측정 지점으로 하여 총 30회(객차 6칸 × 측정지점 5곳)의 공기 시료를 채취하였으며, 부유세균과 부유진균을 측정하기 위한 장비는 MAS-100 Eco(MBV AG) 샘플러를 이용, 배양 조건은 부유세균인 경우 30~37℃, 24~28시간 동안 배양, 부유진균의 경우 실온조건(15~25℃)에서 72시간 이상 배양된 집락(colony) 수를 시료채취, 공기량(m<sup>3</sup>)으로 나눈 CFU/m<sup>3</sup>의 단위로 산출하였다.

측정자료는 SAS package(SAS/stat 9.1, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)를 이용 부유세균과 부유진균의 농도차이를 ANOVA 및 Duncan의 다중 비교 분석법을 통해 통계적 유의성을 검증 하였다.

2-1-2 실내부유 미생물에 대한 은 나노 입자의 항균 특성(윤기영, 배귀남, 이승재, 변정훈, 정효일, 황정호, 지준호, 박성관, 오상경 한국과학기술연구원, 대기자원연구센터, 연세대학교 기계공학과, 삼성전자 가전연구소, 2004.)

#### 2-1-2-1 연구내용

은나노 입자의 입경은 약 40nm이었으며 1, 10, 20, 30, 40, 50μg/mL 의 농도 조건을 갖도록 하였다. 시험 바이오 에어로졸로는 E coli를 사용, E coli를 배양하기 위하여 LB(Luria-Bertani) media를 사용하였으며, LB media는 고온, 고압 상태에서 멸균하였으며, LB media가 고형화 되기전에 은 나노 입자를 첨가하여 은 입자가 모든 배치상에서 고르게 분포하도록 고르게 잘 섞어 주었다. LB 배지는 각각 3개씩 배치하였다. E coli수는 분광편도계(spectrophotometer)를 사용해 측정된 광학적 밀도(optical density, O.D.)를 환산하여 계산한후 희석하였다.

2-1-3 지하철 역사내 부유물질 미생물 제어(김현건, 황기병, 임승현, 이대희, 이병욱, 건국대학교 공과대학 입자공학 및 생명공학 연구실, 2011)

### 2-1-3-1 연구내용

2010년 1월부터 5월까지 1호선 J, C, C(3,4), N, S 역사 및 2호선(K~D 구간) 전동차내를 대상으로 부유 미생물 실태를 조사하였다. 부유 미생물 측정은 역사는 외기, 대합실, 승강장 급기 부근에서 날씨, 계절, 사용인원 등 다양한 조건에서 비교측정, 객차는 중앙으로부터 1.5m 떨어진 곳에서 시료를 채취하였으며, TBC 시료채취 장치로는 RCS air sampler를 이용하였으며 일바세균(Agar srtip GK-A) 및 진균배지(Agar srtip HS)에 일정량의 공기를 흡입시켜 미생물을 흡착시킨후 일반 세균은 30~35℃에서 48시간 동안, 진균은 실온(25℃)에서 120시간 동안 배양 후 균집(colony)의 수를 세어 계산하였다, 또한 부유 미생물의 발생원인을 조사분석하여 부유 미생물 제어장치 시스템 개발 적용

## 3. 고찰

### 3-1 전동차내 환기 방식 및 구조

서울메트로 전동차(1,954량)는 내구연수에 따라 1985년부터 새로운 차량(696량)으로 교체되고 있으며, 최근 도입된 차량의 차종은 가변전압가변주파수(VVVF) 방식이다. 이러한 차량의 환기시스템은 지붕위에 2대의 환기(냉방)장치를 설치하고 천정내에 설치된 2열의 환기 취출구를 이용해 객실에 균등하게 분배하는 방식을 취하고 있으며, 객실 중앙부는 리턴그릴로 순환공기를 유입하여 제공급 한다. 1~4호선 전동차내 환기량은 1,980m<sup>3</sup>/h·량 (구형 전동차 720m<sup>3</sup>/h·량)으로 설계되어 혼잡시 필요 이론환기량인 1,200m<sup>3</sup>/h·량 이상으로 설계되어 있으며(서울메트로), 전동차내의 환기 흐름도는 그림 1과 같다.

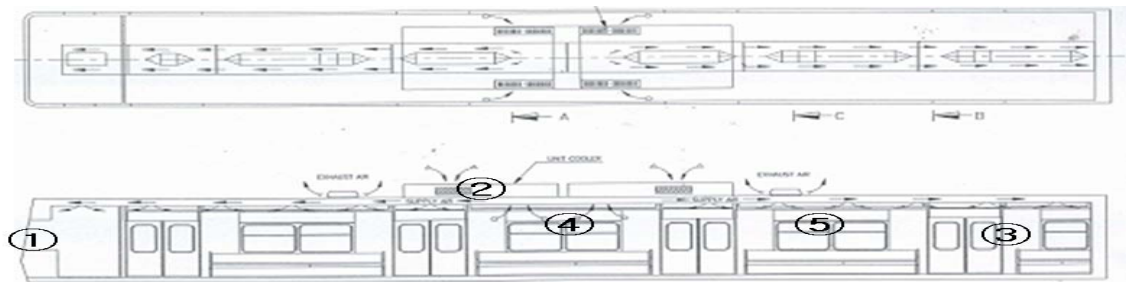


그림 1 전동차 환기 흐름도



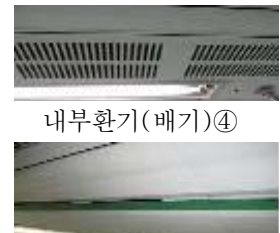
전동차 전면①



외부환기(냉방)②



내부환기(급기)③



내부환기(배기)④



내부환기(급기)⑤

3-2 전동차로 유입되는 오염원(부유 미생물) 현황 및 분석

3-2-1 전동차 위치별 오염물(부유 미생물) 발생원

전동차내에서는 바이러스와 같은 미생물 오염 물질이 승객의 인체의 호흡기, 점막부위, 피부 등에 접촉 할 경우 과민성 질환, 아토피 피부염, 전염성 질환, 알레르기성 질환, 호흡기 질환을 유발 할 수 있다



그림 2 전동차내 부유 미생물로 인한 오염 우려

3-2-2 지하철 역사내에서 객실로 부유 미생물 발생경로

외부에서 역사 출구, 대합실, 대합실 출입구, 승강장, 승강장 계단 등을 통한 객차로 부유 미생물 물질이 이동 및 존재한다

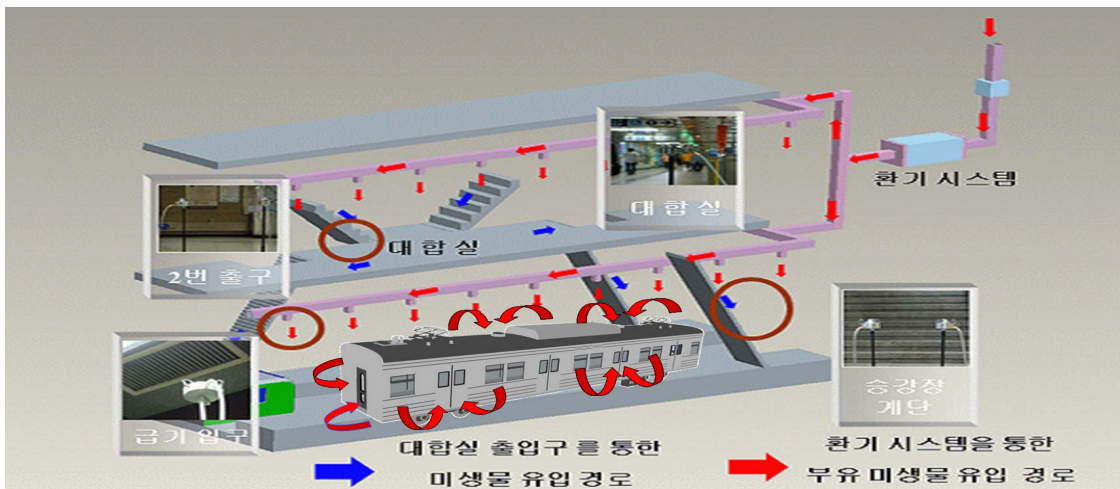


그림3 역사에서 객실로 부유 미생물 이동경로

3-2-3 법적근거 : 전동차내 법적 기준치는 없음

3-3 논문별 연구결과

3-3-1 KTX 객실내 부유미생물 오염현황 조사(권순박, 박덕신, 조영민, 박재형, 김세영, 박은영, 김창수, 김기연, 한국실내환경학회지, 2011. 03)

KTX 실내에서 측정된 부유세균과 부유진균의 농도분포는 표1과 같이 부유세균의 경우 104~185 cfu/m<sup>3</sup>의 범위로 나타났고, 부유진균의 경우 64~98cfu/m<sup>3</sup>로 KTX내 모든 측정 대상에서

부유세균 농도가 부유진균보다 높은 것으로 측정되었다. KTX 내부의 평균부유세균 농도는 157cfu/m<sup>3</sup>으로 나타나 총부유세균에 대한 국내 실내환경기준 800cfu/m<sup>3</sup>에 비하여 낮은 수준으로 나타났으며, 부유진균의 경우도 평균 84cfu/m<sup>3</sup>으로 조사되어 세계보건기구의 가이드라인 150cfu/m<sup>3</sup>를 초과하지 않았다(WHO, 1988) 본 연구 결과를 고찰해 보면 KTX 승객들이 객차 내부 바이오에어로졸 농도 증가에 영향을 주는 요인은 부유세균보다는 부유진균과의 연관성이 높다고 추정할 수 있다. 공기중 존재하는 바이러스의 경우 현재까지의 측정 및 분석 기술로는 모니터링하기가 쉽지 않기 때문에 이러한 유해 미생물에 대해서는 지속적인 관심과 연구가 필요하다

도표 1 Mean concentration of airborne bacteria and in the KTX

Sampling location	airborne bacteria (CFU/m <sup>3</sup> )	airborne fungi (CFU/m <sup>3</sup> )
KTX cabin	173±109	64±38
KTX gateway	166±101	97±39
KTX toilet	104±61	98±63
KTX cabin (empty)	185±93	76±34
<b>Average</b>	<b>157</b>	<b>84</b>

3-3-2 실내부유 미생물에 대한 은 나노 입자의 항균 특성(윤기영, 배귀남, 이승재, 변정훈, 정효일, 황정호, 지준호, 박성관, 오상경 한국과학기술연구원, 대기자원연구센터, 연세대학교 기계공학과, 삼성전자 가전연구소, 2004.)

그림4은 배지위에 자란 E coli의 모습을 나타낸 사진이고, 그림 2는 각 페트리 접시에 배양된 E coli의 수를 평균하여 나타낸 것이다 이러한 결과로 본 실험 조건에서 은 나노 입자가 50µg/mL, 이상인 농도에서 군집(colony) 수가 줄어드는 것을 알 수 있다 즉 나노 은 입자가 E coli에 대해 항균 특성이 있다고 생각된다.

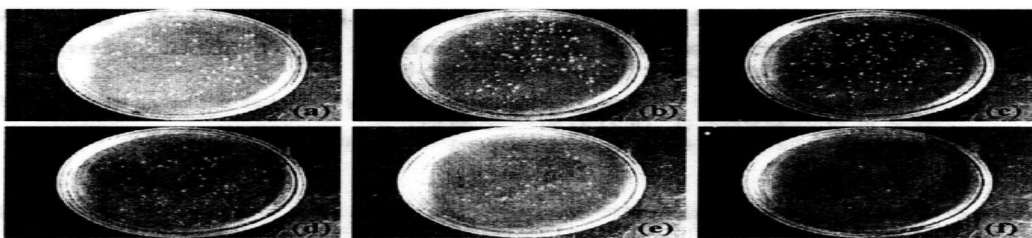
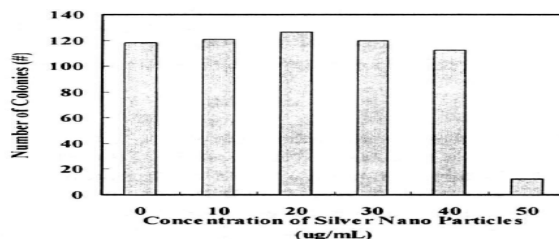


그림 4 LB plates containing different concentrations of silver nano particles.

(a)0, (b)10, (c)20, (d)30, (e)40, (f)50µg/mL

도표 2 Number of colonies as a function of the concentrations of silver nano particles



3-3-3 지하철 역사내 부유물질 미생물 제어(김현건, 황기병, 임승현, 이대희, 이병욱, 건국대학교 공과대학 입자공학 및 생명공학 연구실, 2011)

2010.5.18~5.22일 지하철 2호선 K~D 구간 전동차내를 대상으로 부유 미생물 실태를 조사한 결과 객차내 승객이 많을수록 부유세균의 농도가 증가되었으며, 부유진균의 경우 승객수에 관계없이 불규칙한 농도를 나타내었다.

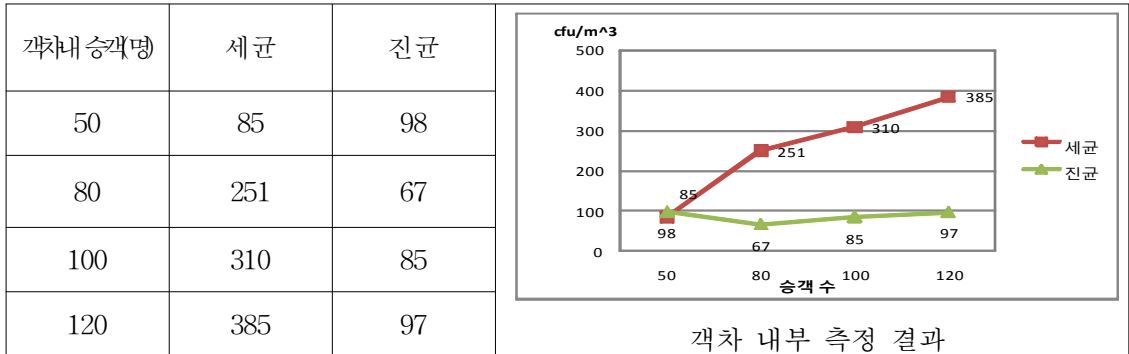


도표 3 객차내 부유 미생물 실태조사결과

특히 현재 세계적으로 27,000명 이상의 감염자가 발생한 신종플루로 인해 미국, 멕시코 등의 국가에서는 휴교 등의 조치가 이루어지고 있으며 외출시에는 마스크를 착용하고 있다, 아울러 우리나라 또한 50여명의 감염자가 발생하였고 이에 대한 대책이 필요하며, 많은 사람들이 이용하는 지하철의 특성상 신종플루 등의 전염병에 대한 신뢰성 확보가 필요하다[참고로 인플루엔자(H1N1)는 인간, 돼지, 조류에 의해 호흡으로 전파되며, 산성 및 70℃이상 가열시 소멸],

개발명 및 원리	제어장치	내부 온도분포
<ul style="list-style-type: none"> <li>열에너지 기술을 이용한 부유미생물 제어장치 개발</li> <li>공기 중의 부유 미생물을 제어장치 내부에 통과 시켜 100℃ 이상의 고열로 미생물을 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>열에너지를 이용</li> <li>소비전력 : 18KW, 최대히터온도 : 500℃, 풍량 : 최대3398L/min, 기타 : 크기감소, 특징 : Heat Wire 열선사용</li> </ul>	<p style="text-align: center;">개량형</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>자외선(UV)의 경우 에너지 소비율이 낮으면서 짧은 노출시간에서도 높은 효율을 나타냄</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>오존이라는 유해 부산물 발생</li> </ul>

도표 4 부유 미생물 제어장치 시스템 개발

#### 4. 결론

본 논문에서는 전동차내 실내공기질에 영향을 미치는 승객의 재채기, 호흡과 같은 생체 활동 및 피부각질 등에 의한 부유 미생물이 일시적으로 늘어나는 문제점을 분석하여 개선하려고 하였다. 최근 지하철 이용승객(하루 평균 450만명)이 매년 반기별 1.4% 증가되고 있으며, 출·퇴근시간대에는 전동차 정원인원(1량)인 160명을 초과하여 탑승으로 인하여 전동차 객실내 승객의 인체의 호흡기, 점막부위, 피부 등에 접촉 할 경우 과민성 질환, 아토피 피부염, 전염성 질환, 알레르기성 질환, 호흡기 질환을 유발할 수 있어, 부유 미생물이 증가되어 기준치[별도의 법적 기준은 없으나, 총부유세균에 대한 국내 실내환경기준은 800cfu/m<sup>3</sup>, 부유진균의 경우도 세계보건기구의 가이드라인 150cfu/m<sup>3</sup>(WHO, 1988)] 보다 초과하는 경우가 빈번할 경우 이를 해결 할 방안은 전동차 의자 하부에 향균 특성이 강한 은 나노 입자가 50 µg/mL 이상으로 침착된 소형 흡착장치와 열에너지 기술을 이용한 부유미생물 제어장치를 장착 가동하여 부유 미생물 농도를 최소화 하는 방안이 효과적이며, 이에 대한 연구 개발은 지속적으로 필요하다.

#### 참 고 문 헌

1. KTX 객실내 부유미생물 오염현황 조사(권순박, 박덕신, 조영민, 박재형, 김세영, 박은영, 김창수, 김기연, 한국실내환경학회지, 2011. 03)
2. 실내부유 미생물에 대한 은 나노 입자의 향균 특성(윤기영, 배귀남, 이승재, 변정훈, 정효일, 황정호, 지준호, 박성관, 오상경 한국과학기술연구원, 대기자원연구센터, 연세대학교 기계공학과, 삼성전자 가진연구소 ,2004.)
3. 지하철 역사내 부유물질 미생물 제어(김현건, 황기병, 임승현, 이대회, 이병욱, 건국대학교 공과대학 입자공학 및 생명공학 연구실, 2011)
4. 환경부-국립환경과학원, 생활속 세균 이렇게 관리하세요