한국환경보건학회지, 제46권 제6호(2020)
J Environ Health Sci. 2020; 46(6): 757-763

pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2020.46.6.757

원 저 Original articles

운행 중 대중교통차량 내 부유진균 농도 분석

김홍기* · 조은민** · 전보일*** · 이정훈*** · 김호현***,**** · 권혁구*†
*호서대학교 환경공학과, **서경대학교 화학생명공학과,
***평택대학교 생활 및 산업 환경R&D 센터, ****평택대학교 ICT융합학부 ICT환경융합전공

Concentration of Airborne Fungi in Public Transportation during Operation

Hong-Gi Kim*, Eun-Min Cho, Bo-Il Jeon***, Jeong-Hun Lee***, Ho-Hyun Kim***,****, and Hyuk-ku Kwon*†**

**Department of Environmental Engineering, Hoseo University*
***Department of Chemical and Biological Engineering, Seokyeong University*
****Life & Industry Environmental R&D Center in Pyeongtaek University*
*****Department of Information, Communication and Technology Convergence, ICT Environment Convergence, Pyeongtaek University*

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to evaluate the concentrations of airborne fungi in public transportation from autumnl 2016 to summer 2017.

Methods: This study measured the concentrations of airborne fungi on six subway lines and intercity buses in Seoul.

Results: The concentration of fungi in the air in public transportation was found to be lower than the standard (500 CFU/m^3) for vulnerable group facilities among public use facities. In summer, the concentration of airborne fungi was relatively higher than in autumn. The concentrations of airborne fungi in subway (252.0 CFU/m^3) and train (45.1 CFU/m^3) were high tendency during non-rush hours in summer, while intercity bus was high-tendency during rush hours in summer (111.9 CFU/m^3). The major types of airborne fungi in public transportation were *Cladosporium*, *Penicillium*, and *Aspergillus*.

Conclusions: The harmful airborne fungus were detected though they did not exceed the standard in all public transportation. As a result, further studies on the analysis of the distribution of airborne fungi by ventilation and the characterization of indoor environments are needed to propose effective management of airborne fungi in public transportation.

Key words: Airborne fungi, indoor air quality, intercity bus, public transportation, subway

I. 서 론

산업화와 도시화로 인하여 녹지가 감소하고, 화석연료 사용으로 인한 대기오염이 증가함에 따라 실외의 공기질 뿐만 아니라 실내의 공기질에 대한 관심도 높아지고 있다. 대기오염이 증가함에 따라 대중교통 이용을 권장하고 있으며, 대중교통을 이용하는 승객도 꾸준히 증가하는 추세를 보인다.[1] 실내공기

†**Corresponding author:** Department of Environmental Engineering, Hoseo University, 20, Hoseo-ro79beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnam-do, 31499, Republic of Korea, Tel: +82-41-540-9625, E-mail: hkkwon@hoseo.edu
Received: 30 November 2020, Revised: 18 December 2020, Accepted: 19 December 2020

질 관리법상 여러 대중교통수단 중 도시철도, 시외버스, 고속철도차량을 다중이용시설로 지정하여 관리하고 있다. 다중이용시설은 미세먼지(PM_{10}), 초미세먼지($PM_{2.5}$), 이산화탄소, 총부유세균(Total Airborne Bacteria, TAB) 등의 오염원에 대한 기준을 마련하여 관리하고 있다. 이러한 실내공기오염물질 중 생물학적 인자인 부유세균, 곰팡이와 같은 바이오에어로졸은 일부 독성, 감염성, 알레르기 등의 자극성 물질이 포함되어 체내 흡입 시 비염을 유발하고, 알레르기를 유발하는 것으로 알려져 있다.[2,3] 현대인들의 생활 특성상 실내에 머무르는 시간이 많아지고 있으며,[4] 그에 따라 실내에 오래 머무름으로써 발생하는 빌딩증후군(Sick Building Symptoms, SBS) 증상이 발현되기도 하는데, 바이오에어로졸이 빌딩증후군을 심화시키는 원인이 되기도 한다.[5] 특히 어린이, 노인, 환자 등 취약계층은 바이오에어로졸로 인한 만성질환에 노출될 가능성이 높으며,[6] 취약계층이 이용하는 공간에는 상대적으로 바이오에어로졸에 대한 노출 정도가 높은 것으로 보고되고 있다.[7,8] 이에 따라 WHO (World Health Organization)에서도 부유세균, 곰팡이 등과 같은 바이오에어로졸과 관련한 실내공기질 가이드라인을 제공하고 있다.[9] 국내에서는 다중이용시설의 경우 환경부에서 취약계층이 이용하는 시설에 대해 부유진균의 유지기준을 정하여 관리하고 있다. 하지만 노약자, 어린이들도 이용하는 대중교통차량에 대해서는 기준치가 정해지지 않은 상태이다. 계절별로 적정 온·습도를 유지하도록 권장하고 있으며, 차량 내 냉난방 및 환기필터를 주기적으로 청소 및 교체하도록 권장하여 차량 내의 곰팡이의 발생원을 제거하도록 하고 있다.[10] 또한, 지하철역,[11] 학교[12]와 같은 다중이용시설과 병원,[13] 어린이집[14] 등과 같은 취약계층시설에 대한 선행연구가 있으나, 대중교통수단의 부유진균에 대한 선행연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구를 통해 대중교통 중 다중이용시설로 관리 중인 지하철, 철도차량, 시외버스에 대한 부유진균의 농도를 조사하여 오염정도를 평가하고, 부유진균으로 인한 실내오염을 예방하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 실험방법

1. 연구대상 및 기간

연구대상은 대중교통차량 중 환경부의 실내공기질 관리법상 적용되는 다중이용시설에 포함되는 도시철도, 철도차량, 고속 및 직행형 시외버스를 대상으로 하였다. 도시철도는 서울시 지하철 6개 노선을 선정하였고, 철도차량은 고속형 기차, 시외버스는 고속형 시외버스를 선정하여 측정하였다. 측정 기간은 2016년 10~12월, 2017년 1~3월, 4~6월, 7~9월로 각각 추계, 동계, 춘계 하계로 구분하여 측정하였다. 총 368개의 측정결과를 분석하였으며, 교통수단별 측정 횟수를 Table 1에 나타내었다.

2. 실험 방법

2.1. 시료채취방법

지하철의 경우, 혼잡시간대를 고려하여 이용객의 불편함을 초래하지 않도록 객실 내 최소 공간을 사용하고, 외기의 영향을 최소화할 수 있도록 휠체어석이 있는 곳을 선정하였다. 기차의 경우, 외기의 영향과 유동 승객의 영향을 최소화할 수 있는 객차 내 가장 가운데 지점을 선정하였다. 고속버스의 경우, 외기의 영향을 최소화할 수 있고 고속버스 내를 가

Table 1. Number of detailed sample per public transport

Transportation	Season				Sum (n)
	Fall, 2016 (n)	Winter, 2017 (n)	Spring, 2017 (n)	Summer, 2017 (n)	
Subway	29	9	29	9	76
	29	9	29	9	76
Train	5	10	10	10	35
	5	10	10	10	35
Intercity bus	17	16	20	20	73
	17	16	20	20	73
Sum (n)	102	70	118	78	368

Table 2. Detailed of Specifications of airborne fungi measuring equipment

Parameter	Description
Device name	KAS-110
Flow range	0~30 LPM
Impacter size	74 mm (H)×105 mm (D)
Impacter hole	400 hole/0.25 mm diameter

장 대표할 수 있는 객차 내 중간 지점의 복도측 좌석에 측정기기를 설치하여 측정하였다.

시료채취는 혼잡시간대와 비혼잡시간대로 구분하여 진행하였다. 지하철은 7:30~9:30, 18:00~20:00을 혼잡시간대로 설정하였고, 9:30~18:00을 비혼잡시간대로 설정하였다. 시외버스와 기차는 혼잡시간대를 주말 7:30~9:30, 18:00~20:00로 설정하였고, 비혼잡시간대를 평일 9:30~18:00로 설정하였다.

공기 중 진균류를 포집하기 위한 장치로 관성충돌 포집법에 의한 Microbial air sampler (Kemik Co., Korea)을 이용하였으며(Table 2), 바닥으로부터 1 m 높이에 펌프를 설치하고 미리 준비된 곰팡이 배양용 배지(Sabouraud Dextrose Agar, SDA)에 28.3 L/min의 유량으로 6분 동안 10회 포집하였다.

2.2. 시료분석방법

포집이 완료된 배지를 25~27°C로 유지되는 배양기 안에서 약 72시간 동안 배양 후 증식된 균 colony를 세어 공기의 단위 체적 당 균수(CFU/m^3)로 산출하였다.

총 농도 분석이 완료된 배지에서 분석할 대상의 진균 colony를 단일 colony로 분리하기 위해 새로운 배지에 옮겨 배양한 후 광학현미경을 사용하여 균사와 포자의 형태를 관찰하여 부유진균의 종 분석을 하였다. 분리한 단일 colony를 배양 후 배지에 나타난 진균 세포를 확보하여 DNA를 추출 후 진균 검출용 universal primer인 ITS 영역 증폭용 primer set (ITS5 primer, ITS4 primer)를 이용하여 중합연쇄효소반응(Polymerase chain reaction, PCR)을 수행하였다. 중합연쇄효소반응 완료 후, 각각의 증폭 산물은 agarose gel을 이용하여 크기를 확인하였다. 그 후, 중합연쇄효소반응 산물을 정제 후 염기배열분석을 수행하였으며, 얻어진 염기 배열 정보를 GeneBank DNA sequence database (NCBI)의 탐색프로그램인 BLAST search 프로그램을 이용하여 identity가 가장 높은 종을 확인하여 종을 결정하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 부유진균 농도 분석 결과

대중교통차량의 경우 『실내공기질 관리법』 상 대중교통차량의 관리·운행 권고기준을 통해 초미세먼지($PM_{2.5}$)와 이산화탄소(CO_2)에 대해 관리하고 있지만 부유진균에 대한 기준은 없는 상태이다. 다른 다중이용시설의 경우 취약계층시설에 대해 관리기준(500 CFU/m^3)을 마련하고 있다. 통계청 조사결과 서울시 지하철과 버스 이용객 중 8.4%가 60세 이상으로[5] 대중교통을 이용하는 취약계층을 고려하기 위해 다중이용시설 중 민감군시설 관리기준(500 CFU/m^3) 초과 여부를 검토하였다. 측정한 대중교통 차량에서 모두 다중이용시설 중 민감군시설 관리기준인 500 CFU/m^3 이하로 나타났다. 지하철 실내의 부유진균 평균농도는 혼잡시간대, 비혼잡시간대 순으로 춘계에 36.3, 59.8 CFU/m^3, 하계에 204.6, 252.0 CFU/m^3, 추계에 159.0, 129.7 CFU/m^3, 동계에 96.7, 81.4 CFU/m^{3}로 나타났다. 고속버스 실내의 부유진균 평균농도는 혼잡시간대, 비혼잡시간대 순으로 춘계에 21.6, 49.0 CFU/m^3, 하계에 35.3, 45.1 CFU/m^3, 추계에 11.6, 17.1 CFU/m^3, 동계에 21.4, 14.7 CFU/m^{3}로 나타났다. 기차의 경우 실내 부유진균 평균농도가 혼잡시간대, 비혼잡시간대 순으로 춘계에 14.6, 36.4 CFU/m^3, 하계에 111.9, 28.3 CFU/m^3, 추계에 64.3, 98.1 CFU/m^3, 동계에 6.8, 5.9 CFU/m^{3}로 나타났다. 측정대상 대중교통 모두 부유진균의 농도가 4계절 중 하계에 높은 농도를 보였다. 측정대상 고속버스와 기차에서도 모두 다중이용시설 민감군시설 관리기준 이내로 측정되었다(Table 3, 4). 다른 다중이용시설의 부유진균을 조사한 선행연구결과와 비교해보면, 지하철 역사의 부유진균 농도를 조사한 선행연구결과 총부유진균의 평균농도가 실내·외 각각 112.85, 135.74 CFU/m^{3}로 본 연구에서 조사된 지하철 내 부유진균의 농도와 비슷한 결과를 보였다.[16] 또한 다른 다중이용시설과 비교하였을 때 노인복지시설, 어린이복지시설, 병원 등 취약계층시설을 조사한 연구에서 부유진균의 농도가 200 CFU/m^3 내외로 나타나 대중교통의 부유진균 농도가 다른 다중이용시설에 비해 낮은 것으로 보여진다.[17] 이는 다른

Table 3. The average value of airborne fungi in rush hours

Transportation	Mean (CFU/m^3)	SD	Min (CFU/m^3)	Max (CFU/m^3)
		Fall, 2016		
Subway	159.0	69.4	48.5	324.7
Train	11.6	9.8	4.9	34.4
Intercity bus	64.3	43.1	14.6	152.5
		Winter, 2017		
Subway	96.7	57.8	34.4	184.1
Train	21.4	23.1	0	63.0
Intercity bus	6.8	7.3	0	9.8
		Spring, 2017		
Subway	36.3	25.3	4.9	73.8
Train	21.6	18.8	4.9	49.2
Intercity bus	14.6	8.7	4.9	29.1
		Summer, 2017		
Subway	204.6	55.1	137.7	285.9
Train	35.3	15.6	4.9	49.2
Intercity bus	111.9	123.1	14.8	354.2

Table 4. The average value of airborne fungi in non-rush hours

Transportation	Mean (CFU/m^3)	SD	Min (CFU/m^3)	Max (CFU/m^3)
		Fall, 2016		
Subway	129.7	93.1	49.3	364.0
Train	17.1	7.7	4.9	29.4
Intercity bus	98.1	71.5	24.5	260.7
		Winter, 2017		
Subway	81.4	31.0	59.0	142.7
Train	14.7	19.9	0	54.1
Intercity bus	5.9	6.7	0	9.8
		Spring, 2017		
Subway	59.8	60.3	9.8	231.2
Train	49.0	34.6	19.7	112.6
Intercity bus	36.4	48.4	4.8	132.9
		Summer, 2017		
Subway	252.0	99.4	147.6	408.3
Train	45.1	35.9	14.8	113.1
Intercity bus	28.3	32.8	0	88.1

다중이용시설과 달리 대중교통차량이 운행 중에는 환기시스템이 작동하여 외부 공기의 유입으로 내부의 공기를 희석한 후 다시 외부로 배출되는 과정에서 차량 내의 부유 미생물 농도를 저감시키기 때문일 것으로 사료된다.[18]

2. 혼잡도별 부유진균 농도 분석 결과

부유진균의 농도와 승객수의 연관성을 분석하기 위해 혼잡시간대와 비혼잡시간대의 부유진균의 농도를 비교하였다. 혼잡 및 비혼잡시간대와 부유진균 농도의 연관성은 찾아보기 어려웠다. Heo and Lee(2016)

의 연구에 따르면, 부유세균은 승객수에 의한 영향이 크지만, 부유진균은 계절과 인간의 활동에 의한 영향이 큰 것으로 보고되고 있다.[19] 본 연구에서는 부유진균의 농도를 승객수에 따라 구분하여 측정하였으며, 실외농도와의 비(I/O ratio), 온도, 습도, 승강장의 깊이, 환기 시스템 등의 환경적 요인과의 분석에는 한계점이 있다. 따라서, 실외농도 등 외부 환경적 요인에 대한 추가적인 조사와 분석이 필요하다고 생각된다.

3. 계절별 부유진균 농도 분석 결과

측정한 전체 계절에서 부유진균의 평균농도가 민감군시설 실내공기질 관리기준인 500 CFU/m^{3}을 초과하는 사례는 나타나지 않았다. 대중교통 차량의 부유진균 농도를 계절별로 분석하였을 때, 측정대상 대중교통 차량에서 전반적으로 하계에 습도로 인하여 부유진균의 농도가 다른 계절에 비해 높은 경향성을 보였다. 교통수단마다 부유진균의 농도가 가장 낮은 계절은 달랐으나 측정한 3종류의 교통수단 모두 동계에 낮은 경향성을 보였다. 지하상가, 지하역사, 버스터미널 등의 다중이용시설을 계절별로 조사한 선행 연구결과에서는 지하상가, 지하역사와 같이 기계환기설비가 있는 실내에서는 부유진균의 농도가 하계에 높고 동계에 낮은 경향을 보였다. 반대로 환기가 잘 이루어지지 않는 도서관, PC방과 같은 실내공간에서는 하계에는 에어컨 사용으로 인하여 부유진균의 농도가 낮고 동계에는 온풍기 사용으로 인하여 부유진균의 농도가 높게 나타나는 경향을 보였다.[20] 대중교통의 경우 운행 시 기계환기설비가 상시 작동하여 환기가 잘 이루어지는 실내와 실내환경이 비슷하여 유사한 경향을 보인 것으로 생각된다.

4. 균종 분석 결과

부유진균의 주요 우점종으로 알려진 *Cladosporium*속, *Aspergillus*속, *Penicillium*속에 대하여 대중교통 차량에서의 분포를 분석하였다. 서울지하철에서는 계절과 상관없이 분석한 주요 우점종들이 전체의 50% 이상을 차지하는 결과를 나타내었다. 고속버스와 기차의 경우는 2016년 추계에 분석한 주요 우점종들이 전체의 50% 이상의 점유를 나타내었다. 측정대상 교통수단에서 부유진균의 농도에 기여하는 종의 순서는 *Cladosporium*>*Penicillium*>*Aspergillus* 순으로 나타났다(Table 5). 다른 다중이용시설을 조사한 선행연구결과를 살펴보면 도서관과 병원의 부유진균

Table 5. Species distribution of airborne fungi at seasonal

Transportation	Species			
	Cladosporium spp. (%)	Aspergillus spp.(%)	Penicillium spp.(%)	Total (%)
Fall, 2016				
Subway	57.2	2.5	7.6	67.2
Train	33.3	11.1	27.8	72.2
Intercity bus	49.6	1.5	0.6	51.6
Winter, 2017				
Subway	21.4	2.2	53.8	77.5
Train	35.1	2.7	10.8	48.6
Intercity bus	30.8	0	0	30.8
Spring, 2017				
Subway	26.0	2.6	43.9	72.4
Train	22.2	0	2.8	25.0
Intercity bus	17.3	1.9	1.9	21.2
Summer, 2017				
Subway	2.4	0.6	38.8	41.8
Train	17.1	2.4	12.2	31.7
Intercity bus	8.4	2.1	2.1	12.6

균종을 조사한 결과에서는 균종 비율이 *Penicillium* >*Cladosporium*>*Aspergillus* 순으로 나타났다.[21] 어린이집, 병원, 보건소를 조사한 선행연구결과에서는 병원과 보건소의 경우 균종 비율이 *Penicillium*> *Cladosporium*>*Aspergillus* 순으로 나타났다. 이와는 다르게 어린이집의 경우 균종 비율이 *Cladosporium* >*Penicillium*>*Aspergillus* 순으로 나타나 본 연구대상인 대중교통차량과 비슷한 결과를 보였다.[22] 측정결과가 다중이용시설 민감군시설 관리기준을 초과하는 사례는 없었다. 하지만 WHO에서 위해성이 높은 종으로 분류되는 *Aspergillus fumigatus*와 *Aspergillus flavus* 또는 *Aspergillus niger*가 모든 대중교통수단과 모든 계절에서 발견되었다.[23] 일반적으로 *Aspergillus*는 인체에 유해한 영향을 주지 않으나, 180여 종의 *Aspergillus* 중 40종 정도가 면역력이 약한 사람에게 Aspergillosis를 일으키는 것으로 알려져 있으며, Aspergillosis를 일으키는 대표적인 *Aspergillus* 종으로 *A. fumigatus, A. flavus, A. niger, A. terreus*가 있다.[24] 이러한 *Aspergillus* 종은 면역력이 약한 사람들의 폐, 피부에 노출되면 알레르기 증상 및 염증을 유발한다.[25,26] *Aspergillus* 종은 실내환경에서 먼지를 통해 폐와 피부에 감염되므로 먼지가 많은 공간에서는 마스크를 착용하거나, 먼지를 제거하여 노출을 예방하도록 권장하고 있다.[24] 따라서 부유진균의 총 농도와 상관없이 진균의 위해성에 주목하여 관리가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구결과에서 가을철에 *Aspergillus*종의 점유 분포가 높은 경향성을 보이므로 여름철 냉방기 사용 후 차량의 전반적인 청소, 필터 교체 등 주기적인 관리가 필요하다고 생각된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 법적 다중이용시설로 분류된 대중교통차량인 지하철, 철도차량, 시외버스를 대상으로 2016년 동계부터 2017년까지 추계까지 조사하였으며, 각 계절별로 혼잡시간대와 비혼잡시간대를 구분하여 차량 내의 부유진균을 측정하였다.

지하철 측정결과 하계 혼잡시간대, 비혼잡시간대의 부유진균 평균농도가 각각 204.6, 252.0 CFU/m^3로 4계절 중 하계에 가장 높게 나타났다. 고속버스는 하계 혼잡시간대, 비혼잡시간대의 부유진균 평균농도가 각각 111.9, 28.3 CFU/m^3로 4계절 중 하계에 높은 경향성을 보였으며, 동계 혼잡시간대 6.8 CFU/m^3, 비혼잡시간대 5.9 CFU/m^3로 4계절 중 동계에 가장 낮게 나타났다. 기차의 경우 하계 혼잡시간대 35.3 CFU/m^3, 비혼잡시간대 45.1 CFU/m^3로 4계절 중 하계에 높은 경향성을 보였으며, 추계 혼잡시간대 11.6 CFU/m^3, 비혼잡시간대 17.1 CFU/m^3로 4계절 중 추계에 가장 낮게 나타났다. 부유진균의 농도가 여름에 높은 경향성을 보였고, 겨울에 낮은 경향성을 보였다. 측정한 전체 데이터에서 부유진균의 농도가 민감군시설 실내공기질 관리기준인 500 CFU/m^3을 초과하는 사례는 나타나지 않았다. 다른 다중이용시설을 측정한 기존 연구결과와 비교하였을 때 지하역사, 어린이집과 같이 환기가 잘 이루어지는 공간과 농도 및 균종 분포가 비슷하게 나타났다. 본 연구에서는 대중교통차량의 환기유무를 구분하여 측정하지 못하였다는 한계점이 있으나, 추가적인 연구를 통해 자연환기 및 기계환기 유무에 따른 실내공간 특성에 따라 부유진균의 농도 및 균종 분포를 분석한다면 효율적인 관리방안 마련에 도움이 될 것으로 판단된다. 균종 분석 결과에서 위해성이 높은 것으로 판단되는 *Aspergillus fumigatus*와 *Aspergillus flavus* 또는 *Aspergillus niger*가 모든 대중교통수단과 모든 계절에서 출현하였고, 이에 대한 취약계층에 대한 위해성을 고려하여 부유진균의 총 농도와 상관없이 노출 위해도를 추가 고려하여 관리할 필요성이 있을 것으로 보인다.

References

1. Korean Statistical Information Service (KOSIS). Number of public transportation use_1 week. Available: URL:http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=116&tblId=DT_MLTM_5719 [accessed 20 Nov 2020].
2. Pastuszka JS, Kyaw Tha Paw U, Lis DO, Wlazlo A, Ulfig K. Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmospheric Environment*. 2000; 34(22): 3833-384.
3. Owen MK, Ensor DS, Sparks LE. Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmos Environ*. 1992; 26(A): 2149-2162.
4. Neil E, William C, Wayne R, John P, The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental

pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmentla Epidemiology*. 2001; 11: 231-251.
5. Larsen FO, Meyer HW, Ebbehoy N, Gyntelberg F. Are fungi-specific IgE found in stuff suffering from nonallergic sick building syndrome? *Inflamm Res*. 1997; 46(Suppl.1): 79-80.
6. Lee CM. A Study on the Concentration Standards of Airborne bacteria in Public Facilities. *Air Cleaning Technoloy*. 2019; 32(2): 30-37.
7. Kim HP. Status of Indoor Air Quality Management in Sensitive Group. *Air Cleaning Technology*. 2019; 32(2): 21-29.
8. Jdal AA, Nsanze H, Ameen AS, Banat IM, Mogheth AA. Hospital airborne microbial pollution in a desert country. Environ Int. 1997; 23(2): 167-172.
9. World Health Organization (WHO). guidelines for indoor air quality: dampness and mould. 2006.
10. Ministry of Environment (ME). Operating Vehicle Indoor Air Quality Management Manual. 2018.
11. Kim KY, Kim CN, Lee KJ, Park JB. Assessment of Airborne Bacteria and Particulate Matters Distributed in Seoul Metropolitan Subway Stations. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2006; 32(4): 254-261.
12. Kim MK. Determinations of Total Culturable Bacteria in the University Spaces. *Journal of Korea Society of Environmental Administration*. 2014; 20(2): 43-48.
13. Kim KY, Lee CR, Kim CN, Won JW, Noh JH. Size-based characteristics of airborne bacteria and fungi distributed in the general hospital. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*. 2006; 16(2): 101-109.
14. Kim SC, Kang BC, Lee SW, Kim KD, Seo WH, Kim JH. A Study on Characteristics of Main Indoor Air Pollutants and Ventilation in Nursery Facilities. *Journal of KOSAE*. 2014; 30(3): 245-250.
15. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). A Survey on the Utilization of Transportation Methods. 2015.
16. Jeon BH, Hwang IY. Concentrations of total culturable microorganisms and Its Identification in Public Facilities. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 2015; 16(1): 868-876.
17. Kim DJ, Jang HN. Evaluation of Indoor Air Quality of Vulnerable Class Facility in Public-Use Facility. *Journal of Korea Society of Environmental Administration*. 2019; 25(2): 49-56.
18. Lee CR, Kim KY, Kim CN, Park DW, Noh JH. Investigation on Concentrations and Correlations of Airborne Microbes and Environmental Factors in the General Hospital. *Journal of Korean Soc Occup Environ Hyg*. 2005; 15(1): 45-51.
19. Heo KJ, Lee BW. Seasonal variation in the concentrations of culturable bacterial and fungal aerosols in underground subway systems. J*ournal of Aerosol Science*. 2016; 92: 112-129.
20. Park KS, Choi SG, Hong JK. The Study On the Distribution of Indoor Concentration of Microorganism in Commercial Building. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*. 2006; 18(8): 620-626.
21. Koh YJ, Gong YW, Lee JM, Go JM, Kim YH, Jegal S. Distribution of Airborne fungi in the Public Facilities. *Journal of Environmental and Sanitary Engineering*. 2007; 22(4): 77-85.
22. Park JB, Kim KY, Jang KY, Kim CN, Lee KJ. Size Distribution and Concentration of Airborne fungi in the Public Facilities. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2006; 32(1): 36-45.
23. David W, Alex P, Donald C. Global burden of chronic pulmonary aspergillosis as a sequel to pulmonary tuberculosis. Bulletin of the World Health Organization. 2011; 89(12): 853-928.
24. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Aspergillosis Risk & Prevention. Available: URL: https://www.cdc.gov/fungal/diseases/aspergillosis/risk-prevention.html [accessed 20 Nov 2020].
25. Agarwal R, Chakrabarti A, Shah A, Gupta D, Meis JF, Guleria R, et al. Allergic bronchopulmonary aspergillosis: review of literature and proposal of new diagnostic and classification criteriaexternal icon. *Clin Exp Allergy*. 2013; 43(8): 850-873.
26. Van Burik JA, Colven R, Spach DH. Cutaneous aspergillosisexternal icon. *J Clin Microbiol*. 1998; 36(11): 3115-3121.

<저자정보>

김홍기(대학원생), 조은민(교수), 전보일(연구원),
이정훈(연구원), 김호현(교수), 권혁구(교수)