

전국 다중이용시설의 실내공기 부유 곰팡이의 현황 및 특성 분석

박용성^{1,2} , 권순현^{1,2} , 박송이³ , 기선호³ , 윤원석^{1,2*}

¹고려대학교 알레르기면역연구소, ²고려대학교 의과대학 실내공기생물학특성유해인자 건강영향평가 사업단, ³고려대학교 의과대학 미생물학교실

An Analysis of the Current Status and Characteristics of Airborne Fungi in Indoor Air in Multi-Use Facilities Nationwide

Yongsung Park^{1,2}, Soonhyun Kwon^{1,2}, Song-Yi Park³, Sun-Ho Kee³, and Wonsuck Yoon^{1,2*}

¹Allergy Immunology Center, Korea University, ²Air microbiome Health Research Institute, College of Medicine, Korea University, ³Department of Microbiology, College of Medicine, Korea University

ABSTRACT

Background: Airborne fungi are ubiquitous in the air and exposure to an airborne fungus can be a significant risk factor. The composition of fungi has been potentially important for human health, especially for respiratory diseases like asthma and atopic dermatitis. Therefore, we attempted to ascertain what kind of airborne fungi affect human health at a nationwide level.

Objectives: This study was carried out to provide information on indoor fungi distribution at multi-use facilities throughout South Korea.

Methods: We classified our data by region and public facility after collection, cultivation, and identification via the sequencing of the ITS (internal transcribed spacer) region. We investigated whether or not the proliferation of HaCaT cells was affected by the identified airborne fungi.

Results: In our data, the most isolated airborne fungi by region were *Penicillium* spp (Seoul, Daegu), *Periconia* sp (Gyeonggi-do), *Iprex* sp (Gangwon-do), *Phanerochaete* sp (Busan), *Bjerkandera* sp (Gwangju), and *Aspergillus* sp (Jeju-do). In the public facilities, the most detected fungi were *Cladosporium* sp (public transport), *Penicillium* sp (apartment house, retail market, financial institution, karaoke room), *Bjerkandera* sp (underground parking lot, public toilet, medical institution), *Periconia* sp (retail store), and *Fusarium* sp (general restaurant). Next, we selected twenty airborne fungi to examine their cytotoxicity and proliferation of human skin cells. In this experiment, the proliferation of the cells was influenced by most of the identified fungi. In case of the cytotoxicity test, most genera except for *Rhodotorula* sp and *Moesziomyces* sp showed cytotoxicity in HaCaT cells.

Conclusions: The distribution of mold in the indoor air in multi-use facilities in South Korea differs from region to region, and this is an indicator that should be considered in future health impact studies. In addition, as a result of culturing about 20 types of bacteria dominant in indoor air, it was found that most (90%) inhibit the growth of skin cells, which can be harmful to health. An in-depth study of the health effects of floating fungi is needed.

Key words: Airborne fungi, multi-use facilities, fungal diversity

Received August 23, 2022

Revised September 30, 2022

Accepted October 13, 2022

Highlights:

- Fungi species and distribution are important in public health.
- From 563 multi-use facilities in seven cities in Korea, 133 strains were identified.
- Most abundant airborne fungi are: *Penicillium* (Seoul, Daegu), *Periconia* (Gyeonggi-do), *Iprex* (Gangwon-do), *Phanerochaete* (Busan), *Bjerkandera* (Gwangju), and *Aspergillus* (Jeju-do).
- Toxicity test showed that most airborne fungi limited the growth of skin cells.

*Corresponding author:

Air microbiome Health Research Institute, College of Medicine, Korea University, 76 Goryeodae-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02855, Republic of Korea
Tel: +82-2-920-5464
E-mail: biokorea@korea.ac.kr

I. 서 론

코로나-19 팬데믹 기간동안 사회적 거리두기 등으로 인해 실내생활은 더 증대되어가고, 갈수록 심해져가는 도시화에 따른 주거환경의 변화로 실내에서의 환경인자들이 인체에 노출되는 주요 환경인자가 되어가고 있다.¹⁻⁵⁾ 이에 따라 실내공기질 관리의 필요성은 꾸준히 증가되어왔다. 최근 코로나-19의 전세계적 확산으로 공기 중 부유미생물들에 대한 주의가 요구되는 시점에서 실내공기질 관리에 있어 부유미생물들의 건강영향에 대한 연구가 필요한 실정이다. 실내공기 중 부유미생물의 기준은 나라마다 다르며 국내에서도 그간 일부 지역 및 일부 다중이용시설을 대상으로 한 지엽적인 분석은 진행되었으나 전국적 현황과 실태에 대한 연구는 부족한 실정이다.^{1,4)} 실내공기 중 유해인자와 국민건강과는 밀접한 연관성이 있기 때문에, 우리나라는 1986년 보건복지부에서 “공중위생법”, 1992년 건설교통부에서 “건축설비기본법”, 1996년에는 “지하생활공간공기질관리법”을 제정하여 실내공기질을 관리해오고 있다.⁶⁻⁸⁾ 2000년 이후로는 환경부에서 “실내공기질 관리기본계획”을 제정하여 환경정책으로 시행하고 있다.⁷⁾

실내공기의 오염원은 다양하다. 오염이 되는 경로들은 실외로부터 유입되거나 실내에서 생겨날 수 있다. 따라서 오염원들은 미세먼지(사람들이 경제 활동, 또는 생활 활동을 하면서 나오는 분진이나 생활먼지 등), 휘발성유기화합물(새로 산 가구, 부유 세균, 부유 곰팡이들에서 발생됨) 등으로 대표될 수 있다.⁹⁾ 이것들에 대한 대응방안은 위에서 언급한 시행규칙이나 법에서 명시화되어 있고, 잘 분류되어 있다.^{5,10)} 실내에서 미세먼지와 습도는 곰팡이의 발생에 중요한 요소이면서 휘발성유기화합물의 생성은 곰팡이에 의해서 유도되기 때문에, 실내공기의 오염에 서로 밀접하게 연관되어 있다. 그러나 공기 중에는 미생물이나 곰팡이 포자들이 존재하고 있다는 것은 널리 알려진 사실임에도 불구하고,^{11,12)} 이들 생물학적 유해인자들에 대한 대응방안이나 관리는 명확하게 규정되어 있지 않다.

실내공기질에 영향을 주는 유해인자들은 환기장치의 사용, 외부에서 실내로의 유입차단, 노출빈도를 관리함으로써 대부분 위험도를 낮추는 것이 가능하다.¹³⁾ 하지만, 생물학적 유해인자의 경우 온도 습도 등의 환경이 좋아지면 급격하게 개체수가 증가할 수 있기 때문에 관리의 어려움이 생겨난다.¹⁴⁾ 생물학적 유해인자의 엄격한 관리가 필요한 이유이다. 여기에 더하여, 국내에서 가장 많이 확인되는 부유 곰팡이들은 대부분 *Aspergillus*속, *Cladosporium*속, *Penicillium*속으로 알려져 있으며,¹⁵⁾ 연구방향 또한 습기가 많이 발생하는 장소인 일반음식점 주방, 지하주차장, 창고, 화장실이거나, 취약계층이 많이 왕래하는 병원, 요양시설, 유아관련시설, 사람들의 주된 생활공간인 공동주택에 국한하거나, 아니면 일부 지역에 국한하여 실내 곰팡이를 포집, 분리, 배양하여 연구하고 있다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 따라서 대

한민국 전 지역에서 인구가 밀집한 지역을 대상으로 각 지역의 다중이용시설들에서 발생하는 부유 곰팡이의 종류와 발생빈도에 대한 지역별, 시설별 분류를 할 필요성이 요구되고 있다.

최근 호흡기 질환의 발생이 생물학적 유해인자 중의 하나인 곰팡이와 관련이 있다는 보고들이 있어왔다.¹⁸⁾ 이들 곰팡이들은 실내공기 속에 항상 존재하는 곰팡이들이기 때문에, 잠재적인 위험인자이지 직접적 원인 곰팡이로 지목하고 있지는 않다. 한편에서는 신생아일 때 노출된 곰팡이 환경에 의해서 호흡기 질환(천식, 비염, 아토피 피부염 등)의 유발정도가 다르다는 견해를 보이기도 하며,¹⁹⁻²¹⁾ 다른 한편에서는 장내 곰팡이 환경과 면역세포를 연결시켜주는 사이토카인인 Interlukin-17이 관여한다는 견해를 보이기도 하지만²¹⁾ 공기 중에 존재하는 곰팡이에 의한 천식유발이 개인적인 차이를 보이는 이유에 대한 메커니즘을 설명하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 인구가 밀집되어 있으며, 지역적인 거리가 있는 곳을 대상으로 곰팡이의 종류와 발생빈도를 확인하여 호흡기 질환과의 연관성을 파악하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 우리나라 전국의 인구가 밀집한 지역의 다중이용시설을 대상으로 생물학적 유해인자 중의 하나인 곰팡이의 분포를 확인하고, 지역 사이의 분포에 차이가 있는지 확인하고자 하였다. 그리고 확인된 곰팡이를 포집, 분리, 그리고 배양하여 이들 부유 곰팡이 인자의 세포주에서의 영향을 연구하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상

포집 지역은 서울, 경기 지역, 강원 지역, 대전, 광주, 부산, 제주 지역 7개 지역의 563곳의 다중이용시설에서 수집하였으며, 2021년 10월에서 2022년 5월 사이에서 실시하였다. 측정장소는 모두 건축법 시행령 별표1에서 명시한 대로 분류하여 통계 처리에 사용하였다. 자세한 분류는 다음과 같다: 교통시설(기차역 실내 플랫폼, 지하철 플랫폼, 터미널 대합실), 공동주택(아파트, 연립주택, 빌라), 지하주차장(대형마트, 백화점, 아파트), 소매점(마트, 빵집, 카페, 키즈 카페, 편의점, 핸드폰 대리점), 일반 음식점(백화점 음식점가, 부페, 쇼핑몰 음식점가, 패스트푸드 음식점, 휴게소 음식점, 마트 음식점), 공중화장실(휴게소, 등), 소매시장(대형마트, 대형 쇼핑몰, 대형슈퍼, 백화점, 휴게소). 각각의 다중이용시설에서 부유 곰팡이를 측정할 장소들은 모두 순서대로 다음과 같다: 교통시설(102곳), 공동주택(70곳), 지하주차장(56곳), 소매점(41곳), 일반 음식점(43곳), 공중화장실(40곳), 소매시장(32곳). 측정할 시간은 오후 1시부터 4시 사이에서 실시하였다.

2. 실내공기 중 곰팡이의 포집 및 배양

곰팡이 수집은 미생물 샘플러(KAS-110, 캄익코퍼레이션, 한국)를 사용하여 1 m 반경에 장애물이 없고 인체에 직접적 노출이 가능한 지표에서 1.3 m 높이에서 100 L의 공기를 포집하여 추출된 균주를 배양 시험하였다.²²⁾ 포집에 사용된 배지는 PDA 아가 한천 배지(Potato Dextrose Agar, MB-P1102-P50, 기산바이오(주), 한국)를 사용하여 각각 1회 포집하였다. PDA 플레이트는 실내온도를 기준으로 25~28°C로 고정하고, 3일 동안 배양하여 균사체의 직경이 1 cm가 되었을 때 유전자 염기서열을 이용한 균집분석을 하였다. 세포활성을 측정하기 위하여 선정된 20 균종은 모두 PDA 아가 평판배지에 접종하고 균사체가 형성될 때까지 기다린 후 PBS 5 mL를 배지에 넣고 스프레더를 이용해서 부유 곰팡이 포자를 용액상태로 모은 후 Miracloth를 사용한 포자만을 모아서 세포실험에 사용하였다. 실험하기 전에 부유 곰팡이 포자를 100°C에서 10분간 비활성화시켜 사용하였다.

3. 실내공기 부유 곰팡이 유전자 염기서열을 이용한 균집분석

실내공기에서 포집한 균주를 3일 동안 28°C에서 배양한 후 부유 곰팡이를 새로운 PDA 아가 평판배지에 다시 옮겨서 순수 배양한 곰팡이의 균체를 Loop를 이용하여 100 µL 증류수에 현탁하고, 100°C에서 10분간 비활성화시킨 후 솔젼트사에서 미생물 동정 서비스를 수행하였다. 곰팡이 동정을 위하여 사용한 서열은 18S rDNA의 ITS 부분이었다. 분석된 곰팡이 균주를 지역별, 다중이용시설별로 마이크로소프트 엑셀 소프트웨어에서 매칭하고, 분류를 하였다. 이어서 분류된 실내곰팡이

의 균집계통분석을 위하여 NCBI taxonomy database를 이용하여 phyloT online tool (<http://phylo.t.biobyte.de>)에서 지역별 또는 다중이용시설별 Newick format으로 변환하고, 이 파일형식을 이용해서 iTOL online tool (<http://itol.embl.de>)에 입력하여 Fig. 1에서 보는 것처럼 분석하였다.^{23,24)}

4. 피부표피세포주의 배양

인체피부세포주 HaCaT cell은 American Type Culture Collection (ATCC, Rockville, MD, USA)에서 구입하였으며 10% FBS, 100 units/mL penicillin과 100 µg/mL streptomycin이 포함된 DMEM 배지를 이용하여 37°C, 5% CO₂ 조건의 incubator에서 배양하였다. 모든 실험과정에서 세포는 80~90%의 confluence 범위에 도달하도록 배양하여 사용하였다.

5. MTT assay

세포 생존율을 측정하기 위해 HaCaT cell을 96 well plate에 1×10^4 cells/well로 분주하여 24시간 배양한 후에, 균주 추출물을 10^8 cfu/mL로 처리한 뒤 24시간 배양하였다. 배양 배지는 걸어내고 phosphate-buffered saline (PBS)로 세척한 세포에 MTT (Sigma chemical Co., St. Louis, MO, USA) 용액을 최종 농도 0.5 mg/mL로 첨가하여 37°C에서 2시간 반응시킨 후 생성된 formazan을 DMSO로 녹여 microplate reader (SpectraMax Plus384, Molecular devices, San Jose, CA, USA)를 사용하여 570 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다.²²⁾ 세포 생존율은 대조세포에 대한 백분율로 다음과 같은 수식에 의해 계산하였다.

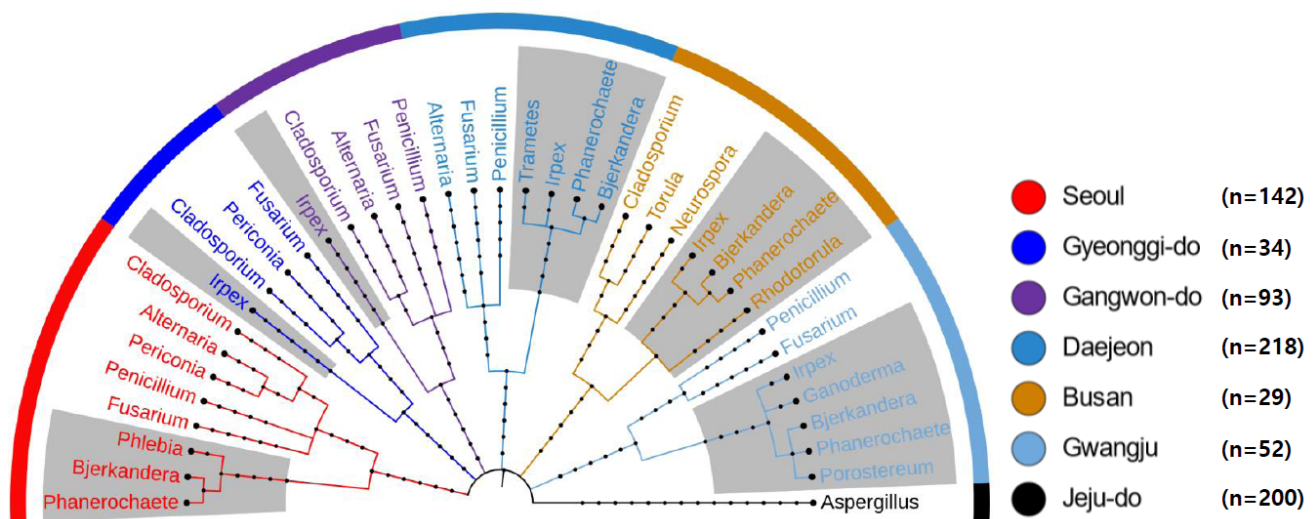


Fig. 1. The phylogenetic tree of airborne fungi identified at the public facilities and the regions in Korea. The gray block indicates the phylum Basidiomycota and the others indicate the phylum Ascomycota.

$$[\text{cell viability (\%)} = 100 \times (\text{absorbance of treated sample}) / (\text{absorbance of control})]$$

III. 결과 및 고찰

전국 7개 도시 563곳의 다중이용시설에서 포집한 부유 곰팡이 포집하여 균주를 동정하였다. Fig. 2와 Table 1은 각 지역의 선정된 다중이용시설에서 측정된 부유 곰팡이의 지역적인 분포를 나타낸 것이다. 모든 지역에서 4% 이상 검출된 곰팡이 속을 보여주고 있다. 지역별로 많이 나온 곰팡이를 살펴보면, 서울시에서는 *Penicillium*속 18.31%였고 경기도는 *Periconia*속 32.35%, 강원도는 *Iprex*속 20.43%, 대전시는 *Penicillium*속 14.22%, 부산시는 *Phanerochaete*속 13.79%, 광주시는 *Bjerkandera*속 17.31%로 가장 많이 발견되는 것으로 확인되었다.

지역별로 균종의 차이가 확인되는 것뿐 아니라 시설별로도 부유 곰팡이의 종류에는 차이가 확인되었다. Table 2에서 지역별로 분류한 데이터를 다중이용시설별로 분류하였을 때, 검출되는 부유 곰팡이의 종류를 살펴보았다. 검출되는 부유 곰팡이의 빈도수는 교통시설, 공동주택, 지하주차장, 소매점, 일반 음식점 순서로 증가하였으며, 검출되는 부유 곰팡이는 대부분이 *Cladosporium*속, *Penicillium*속, *Bjerkandera*속, *Fusarium*속이었다. 이 결과는 다른 문헌에서 보이는 결과와 같지만 특이할 점은 *Bjerkandera*속이 많이 검출된다는 것이었다. *Bjerkandera*속은 호흡기 질환과는 연관이 없으며, 지하주차장과 공동화장

실에서 검출빈도가 높은 특징을 보였다. 이러한 결과들은 유동인구가 많은 곳과 사람의 거주공간에서 곰팡이가 검출된다는 사실을 추측할 수가 있다. 이러한 추측을 바탕으로 각 다중이용시설에서 검출된 부유 곰팡이를 다시 지역별로 분류를 시도하였다(Table 3). 교통시설의 경우 서울 지역에서 검출빈도가 다른 지역에 비하여 상대적으로 높은 것이 확인되었다. 또한 공동주택의 경우에도 지역간 차이가 발생하여 강원도, 대전, 서울에서는 비교적 높은 분포로 부유미생물이 검출되었으며 경기, 광주, 부산, 제주에서는 상대적으로 낮은 빈도로 검출되었다.

다중이용시설을 대상으로 하여 지역별 분류를 하였을 때 지역적인 편차를 보이는 시설은 공동화장실, 소매점이었다. 공동주택, 소매점, 일반음식점은 상대적으로 지역적인 편차를 보이지 않았다. Table 1~3을 통하여 지역별, 다중이용시설별, 그리고 다중이용시설에서 다시 지역적인 분류를 하였을 때 대한민국의 주요 7개 시도지역의 인구가 밀집한 지역에서 부유 곰팡이의 분포를 파악할 수 있는 근거를 제공한다는 점에서 의미가 있었다.

이러한 결과는 환경보건분야에서 국민의 건강을 관리할 수 있는 기본적인 자료를 제공할 수 있으며, 호흡기 질환 발병에 대한 감시지시자로서 역할을 할 수 있기 때문에 중요할 것이라 생각할 수 있다. 또한 기존의 연구는 일부 지역 및 취약계층이 사용하는 시설에 대한 지역적인 분석을 하고 있지만 본 연구에서는 주요 7개 시도지역 대상으로 부유 곰팡이의 분포를 제공했다는 점에서 의미를 가진다고 할 수 있다. 물론, 이 결과는 코

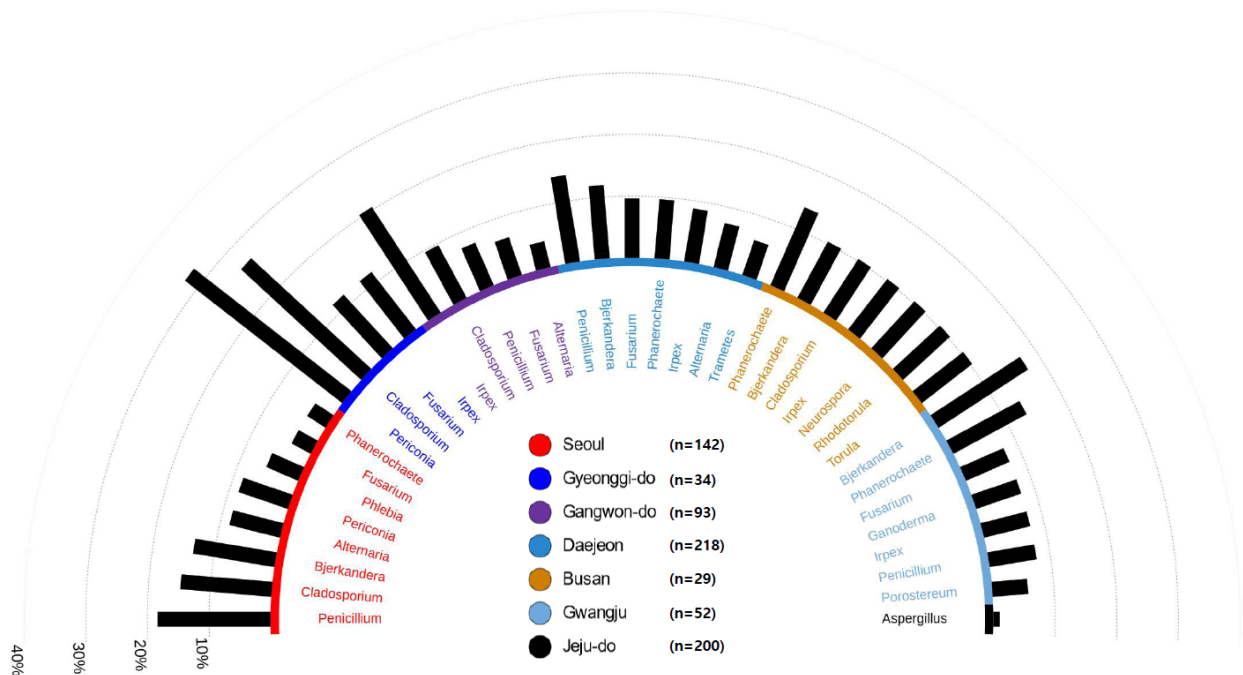


Fig. 2. The fungal distribution of airborne fungi identified at the regions and the public facilities in Korea

Table 1. The airborne fungal distribution at 7 regions in Korea

	Relative abundance of airborne fungal taxa (%)						
	Seoul (n=142)	Gyeonggi-do (n=34)	Gangwon-do (n=93)	Daejeon (n=218)	Busan (n=29)	Gwangju (n=52)	Jeju-do (n=200)
<i>Penicillium</i>	18.31	Periconia	Irpx	Penicillium	Phanerochaete	Bjerkandera	Aspergillus
<i>Cladosporium</i>	14.79	Cladosporium	Cladosporium	Bjerkandera	Bjerkandera	Phanerochaete	
<i>Bjerkandera</i>	13.38	Fusarium	Penicillium	Fusarium	Cladosporium	Fusarium	
<i>Alternaria</i>	8.45	Irpx	Fusarium	Phanerochaete	Irpx	Ganoderma	
<i>Periconia</i>	8.45	Alternaria	Alternaria	Irpx	Neurospora	Irpx	
<i>Phlebia</i>	5.63		Alternaria	Alternaria	Rhodotorula	Penicillium	
<i>Fusarium</i>	3.52		Trametes		Torula	Porostereum	
<i>Phanerochaete</i>	3.52						

Table 2. The airborne fungal distribution at multi-use facilities in Korea

	The classification of airborne fungi according to the public facilities (%)						
	Transportation facility (n=102)	Apartment house (n=70)	Underground parking lot (n=56)	Retail store (n=41)	General restaurant (n=41)	Public toilet (n=40)	Retail market (n=32)
<i>Cladosporium</i>	21.57	Penicillium	Bjerkandera	Periconia	Fusarium	Bjerkandera	Penicillium
<i>Penicillium</i>	13.73	Irpx	Irpx	Fusarium	Periconia	Cladosporium	Trametes
<i>Periconia</i>	11.76	Bjerkandera	Penicillium	Phanerochaete	Phanerochaete	Phanerochaete	Bjerkandera
<i>Bjerkandera</i>	10.78	Fusarium	Coprinellus	Penicillium	Talaromyces	Alternaria	Cladosporium
<i>Phlebia</i>	5.88	Cladosporium	Fusarium	Alternaria	Bjerkandera	Fusarium	Irpx
<i>Phanerochaete</i>	4.90	Phanerochaete	Phanerochaete	Bjerkandera	Cladosporium	Moesziomyces	Phanerochaete
<i>Fusarium</i>	3.92	Phlebia	Porostereum	Cladosporium	Alternaria	Penicillium	Rhodotorula
<i>Alternaria</i>	2.94	Alternaria	Alternaria	Alternaria	Irpx	Periconia	Torula
<i>Phoma</i>	2.94	Peniophora	Ganoderma	Ganoderma	Penicillium		
<i>Cordyceps</i>	1.96	Porostereum	Trametes	Trametes			
<i>Ganoderma</i>	1.96	Trametes	Phoma				
<i>Talaromyces</i>	1.96						
<i>Trametes</i>	1.96						

Table 3. Fungal distribution based on region at the public facilities in Korea

	Fungal distribution based on region at the public facilities in Korea (%)						
	Seoul	Gyeonggi-do	Gangwon-do	Daejeon	Busan	Gwangju	Jeju-do
Transportation facility	58.80	5	2	28	6	0.10	0.10
Apartment house	21.20	2.90	42.90	20	4.30	8.60	0.10
Underground parking lot	32.10	5.40	3.60	33.70	0.10	25	0.10
Retail store	4.80	19.50	7.30	31.70	9.80	26.80	0.10
General restaurant	11.50	11.70	30.20	20.90	7	14	4.70
Public toilet	27.50	15	2.50	32.40	7.50	15	0.10
Retail market	37.50	0.10	9.37	34.38	12.50	6.06	0.10

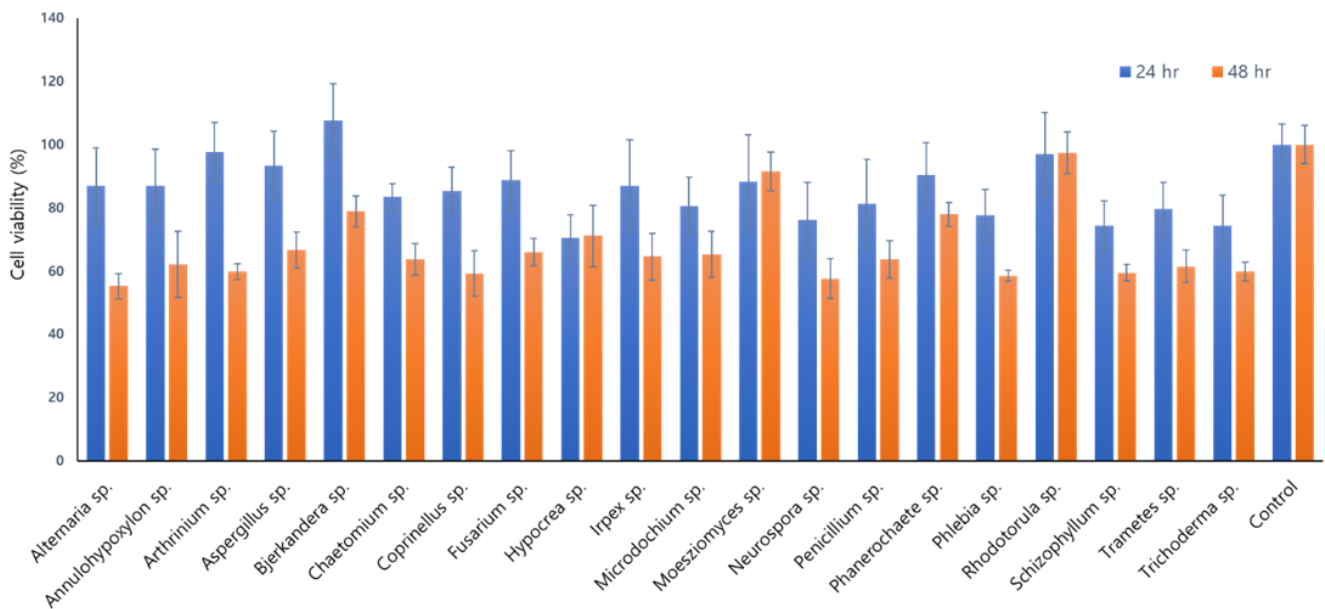


Fig. 3. Comparison of cell activity of airborne fungi in indoor air in domestic multi-use facilities

로나-19의 창궐로 말미암은 사회적 거리두기와 마스크를 대부분 사용하는 환경특성으로 말미암아 실제 부유세균양 및 종류가 평년에 비해 제한적일 수 있으나 전국규모의 조사결과로서 향후 국내 부유미생물 현황을 파악하는 데는 기여할 것이다.

실내 부유 곰팡이의 계통적인 분류측면에서는 Fig. 1에서 보는 것처럼, 각 지역에서 검출, 분리된 균주는 주로 담자균(Basidiomycetes)문과 자낭균(Ascomycota)문에 속하는 곰팡이들로 분류된 것으로 나타나는 특징이 확인되었는데 추후 이들의 인체영향에 대한 특성에 대해서는 연구가 많이 진행되지 않아 건강영향에 대한 주요 대상으로 연구가 필요하다. 본 연구팀은 이에 각 지역에서 포집, 분리, 배양된 부유 곰팡이 중에서 가장 많이 검출되는 부유 곰팡이를 대상으로 20종을 선택하고, 이들을 곰팡이를 이용해서 이들의 알레르기 관련 독성 및 염증반응의 영향을 인체피부세포(HaCaT cell)를 통하여 시험하

였다. 우선 진균에 대해 직접적인 노출과 감각이 일어나는 세포에서의 반응 및 독성에 대한 기초자료를 확보하기 위하여, 곰팡이에 의해 노출되기 쉬운 인체피부세포에 선택된 부유 곰팡이를 처리하여 세포증식에 영향을 주는지 시험하였다.

실내공기 중 주요 검출 부유 곰팡이에 특성에 대해서는 Fig. 3에서 보이는 결과처럼, 모든 균종에서 세포주에 대한 세포성장 억제효과, 일종의 독성반응이 유도되었다. 전국 7개 지역에서 확인된 부유 곰팡이 균주 중 다수로 존재하는 20종의 균종 중 90% (18/20)의 곰팡이류에서 피부세포활성 억제가 관찰되었다. 특히 48시간 노출에서의 세포활성 억제는 약 40% 수준의 억제효과가 발생하여 피부면역 및 피부건강에 유해할 수 있음을 보여주었다. 물론 Rhodotorula 균종은 인간 피부세포의 성장에 영향을 주지 못하였지만, 이 균종은 드물게 진균 혈증에 관여한다고 알려져 있어 특이점을 보였다. 구체적인 균류

분석결과 *Alternaria alternata*, *Annulohyphoxylon truncatum*, *Arthrinium camelliae-sinensis*, *Aspergillus niger*, *Bjerkandera adusta*, *Chaetomium globosum*, *Coprinellus radians*, *Fusarium fujikuroi*, *Fusarium incarnatum*, *Fusarium proliferatum*, *Hypocrea lutea*, *Irpex lacteus*, *Microdochium albescens*, *Neurospora tetrasperma*, *Penicillium brasilianum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium glabrum*, *Penicillium oxalicum*, *Penicillium rolsfii*, *Penicillium sclerotiorum*, *Penicillium crustosum*, *Phanerochaete sordida*, *Phlebia tremellosa* 균종의 독성이 확인되었다.

특히, 본 연구에서 시험한 실내공기 유래 곰팡이 입자들의 경우, 균주를 불활성화를 유도하는 제한된 조건에서 시험하였음에도 불구하고 세포활성을 저해하는 효과를 보여 주었다. 특히, 정상환경조건에서는, 활성 미생물과 비활성 미생물이 혼합되어 있다고 가정하면, 실제 노출에 의한 효과는 더 증대될 수도 있어 실내공기 중 곰팡이의 유해성을 보다 심도 있게 연구될 필요성이 제기된다.

IV. 결 론

본 연구는 서울, 경기 지역, 강원 지역, 대전, 부산, 광주, 제주 지역 등 전국범위의 실내공기 부유 곰팡이 포집분석의 결과로 기존의 개별기관의 연구된 자료와 비교해서 *Penicillium*속과 *Cladosporium*속이 우점종이라는 점에서 유사하나 지역별로 이들의 분포의 차이가 나타나며 지역에 따른 우점종의 분포도 일부 차이가 나타남이 확인되었다. 또한 이들 부유 곰팡이들 중 우점종인 20종의 피부 세포주 독성시험에서는 이 중 90%의 균종에서 세포주 성장억제효과가 확인되었다. 이러한 연구 결과는 실내공기 부유 곰팡이들의 지역별, 시설별 관리와 인체 건강영향연구의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 그리고 계속해서 신뢰성 제고를 위한 보다 많은 측정, 모니터링 등이 필요하다.

감사의 글

This work was also supported by Korea Environment Industry and Technology Institute (KEITI) through Technology Development Project for Biological Hazards Management in Indoor Air, funded by Korea Ministry of Environment (MOE) (RQ202101495).

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Bang J, Jo S, Ji S, Sung M. Analysis on airborne mold infiltration into apartment buildings. *Proc Annu Conf Archit Inst Korea*. 2018; 38(1): 472-473.
- Cho Y, Ryu S, Choi M, Seo S, Choung J, Choi J. Airborne fungi concentrations and related factors in the home. *J Environ Health Sci*. 2013; 39(5): 438-446.
- Hwang S, Hong S, Seok J, Yoon C. Seasonal and environmental influences on culturable airborne fungi levels in microbiology laboratories. *J Environ Health Sci*. 2016; 42(1): 19-26.
- Kim C, Choi J, Shon M, Lee K, Kim K, Lee K. Distribution of fungus spores in the air of outdoor and indoor environments from September to November 1999 in Seoul, Korea. *J Asthma Allergy Clin Immunol*. 2001; 21(5): 970-976.
- Lee C, Park G, Joo S, Yoon S, Goung S, Lee YJ, et al. Literature review for influential factors on species distribution of airborne fungi in indoor air. *J Odor Indoor Environ*. 2013; 10(3): 157-171.
- Korean Association of Air Conditioning Refrigerating and Sanitary Engineers. Public health act. *JKARSE*. 1986; 3(8): 94-102.
- Office for Government Policy Coordination. Basic Plan for Indoor Air Quality Management. Seoul: Office for Government Policy Coordination; 2004.
- Joen JI, Lee HW, Choi HJ, Jeon HJ, Lee C. The distribution of indoor air pollutants by the categories of public-use facilities and their rate of guideline violation. *J Environ Health Sci*. 2021; 47(5): 398-409.
- Choi S. Indoor air quality: an overview of emission sources and control strategies. *J Nakdonggang Environ Res Inst*. 1996; 1(1): 113-134.
- Kim S. The status of Mold Contamination in indoor air. *Air Clean Technol*. 2008; 21(3): 20-31.
- Seo SC. Health effects of exposure to indoor mold and the levels of mold in facilities with susceptible populations in Korea. *J Environ Health Sci*. 2020; 46(4): 359-367.
- Seo SC. Development of environmental monitoring and response platform technology for indoor air biohazard factors. In: The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry. editor. Abstracts Presented at the 63th KSIEC Meeting. Seoul: The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry; 2021. p.102-103.
- Yuan C, Wang X, Pecoraro L. Environmental factors shaping the diversity and spatial-temporal distribution of indoor and outdoor culturable airborne fungal communities in Tianjin University campus, Tianjin, China. *Front Microbiol*. 2022; 13: 928921.
- Ramachandran G, Adgate JL, Banerjee S, Church TR, Jones D, Fredrickson A, et al. Indoor air quality in two urban elementary schools--measurements of airborne fungi, carpet allergens, CO₂, temperature, and relative humidity. *J Occup Environ Hyg*. 2005; 2(11): 553-566.
- Kim K, Park J, Kim C, Lee K. Distribution of airborne fungi, particulate matter and carbon dioxide in Seoul metropolitan subway stations. *J Prev Med Public Health*. 2006; 39: 325-330.
- Kim R, Seo S, Kim J, Kim D. Generation characteristics of airborne

- fungi and fungal volatile organic compounds in single person households. *J Odor Indoor Environ.* 2017; 16(3): 259-264.
17. Lee S, Chung H, Park S, Choe B, Kim J, Lee B, et al. Identification and phylogenetic analysis of culturable bacteria in the Bioaerosol from several environments. *Microbiol Biotechnol Lett.* 2015; 43(2): 142-149.
 18. Rosenbaum PF, Crawford JA, Anagnost SE, Wang CJ, Hunt A, Anbar RD, et al. Indoor airborne fungi and wheeze in the first year of life among a cohort of infants at risk for asthma. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2010; 20(6): 503-515.
 19. Caillaud D, Leynaert B, Keirsbulck M, Nadif R; mould ANSES working group. Indoor mould exposure, asthma and rhinitis: findings from systematic reviews and recent longitudinal studies. *Eur Respir Rev.* 2018; 27(148): 170137.
 20. Rick EM, Woolnough KF, Seear PJ, Fairs A, Satchwell J, Richardson M, et al. The airway fungal microbiome in asthma. *Clin Exp Allergy.* 2020; 50(12): 1325-1341.
 21. van Tilburg Bernardes E, Gutierrez MW, Arrieta MC. The fungal microbiome and asthma. *Front Cell Infect Microbiol.* 2020; 10: 583418.
 22. Yoon W, Lim J, Kim D, Kim S, Lee H, Kim C, et al. Evaluation of distribution and inflammatory effects of airborne fungus in Korea. *J Environ Health Sci.* 2019; 45(6): 638-645.
 23. Letunic I, Bork P. Interactive Tree Of Life (iTOL) v5: an online tool for phylogenetic tree display and annotation. *Nucleic Acids Res.* 2021; 49(W1): W293-W296.
 24. Federhen S. The NCBI Taxonomy database. *Nucleic Acids Res.* 2012; 40(Database issue): D136-D143.

〈저자정보〉

박용성(연구원), 권순현(연구원), 박송이(교수),
기선호(교수), 윤원석(교수)