한국환경보건학회지, 제45권 제6호(2019)
J Environ Health Sci. 2019; 45(6): 638-645

pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2019.45.6.638

원 저 | Original articles

국내 실외공기의 곰팡이 분포 및 노출에 따른 염증영향평가

윤원석† · 임재훈 · 김다사랑 · 김승현 · 이효선 · 김채봉 · 강주완* · 이근화* · 오인보 · 김양호** · 서정욱*** · 홍영습*** · 유 영****†**

고려대학교 천식환경보건센터, *제주대학교 환경보건센터, **울산대학교 환경보건센터, ***동아대학교 환경보건센터, ****고려대학교 의과대학 소아청소년과학교실

Evaluation of Distribution and Inflammatory Effects of Airborne Fungus in Korea

Wonsuck Yoon†, Jaehoon Lim, Dasarang Kim, Seunghyun Kim, Hyo-sun Lee, Chae-Bong Kim, Ju-Wan Kang*, Keun-Hwa Lee*, Inbo Oh, Yangho Kim**, Jung-Wook Seo***, Young-Seoub Hong***, and Young Yoo****†**

The Environmental Health Center, University of Korea
**The Environmental Health Center, Jeju National University*
***The Environmental Health Center, University of Ulsan College of Medicine*
****The Environmental Health Center, Dong-A University*
*****Department of Pediatrics, College of Medicine, Korea University*

ABSTRACT

Objectives: For the risk management of airborne fungal diseases, our aim was to evaluate airborne fungi and study the toxicity associated with fungal allergic diseases using fungal species native to Korea.

Methods: Fungi were isolated from outdoor air samples collected from Seoul, Incheon, Cheonan, Gwangju, Ulsan, Busan, and Jeju and tested for their cytotoxicity potential and their ability to induce proliferation and secretion of macrophage-derived chemokine (MDC) in human mast cells (HMC-1).

Results: More than 18 species of fungi were collected from outdoor air in Korea over one year, and the strains were identified and systematically analyzed. The results showed that the *Cladosporium* (59%) and *Alternaria* (22%) strains are the most common in outdoor air. Three of the collected strains (*Fusarium*, *Trichoderma*, and *Penicillium*) showed mild toxicity in cells involved in allergic inflammation, and twelve induced cell proliferation in HMC-1 cells. More importantly, many strains (*Edgeworthia*, *Trametes*, *Emmia*, *Irpex*, *Talaromyces*, *Penicillium*, *Periconia*, *Epicocum*, *Bipolaris*) induced the MDC protein in activated HMC-1 cells.

Conclusion: Nineteen percent of the tested strains caused cytotoxicity in mast cell lines, whereas, most of the non-toxic strains contributed to cell activity. Among the tested strains, more than 80% increased the expression of MDC protein, which contributes to the severity of atopic dermatitis, asthma, and rhinitis. It is, in fact, one of the markers for these conditions. Therefore, airborne fungus could be considered as an important marker for environmental risk management for allergic diseases in Korea.

Key words: Airborne fungus, Allergy, Fungal diversity, Toxicity

†Corresponding author: The Environmental Health Center, University of Korea, Korea, Tel: +82-2-920-6963, E-mail: biokorea@korea.ac.kr
†Co-corresponding author: Department of Pediatrics, College of Medicine, Korea University, The Environmental Health Center, University of Korea, Korea, Korea, Tel: +82-2-920-5090, E-mail: yoolina@korea.ac.kr
Received: 24 October 2019, Revised: 22 November 2019, Accepted: 25 November 2019

I. 서 론

최근 환경오염과 기후변화 등으로 다양한 질환에 환경적 요인이 중요시되고 있고, 미세먼지와 황사 등 대기 속 다양한 입자에 대해 많은 연구가 진행되고 있다.[1-3] 특히, 다른 질환보다 천식, 알레르기 비염 등의 알레르기 질환은 최근까지 급격히 증가하는 환경성 질환이다.[4] 환경요인에 의한 질환의 예방과 관리 측면에서 체내 요인인 유전과 면역 등의 요인 외에 기후변화, 환경, 감염인자의 관리가 중요하다.[5-7] 환경성 알레르기요인은 꽃가루, 집먼지진드기, 부유세균, 곰팡이 등이 중요하며, 특히 알레르겐의 반복적 노출에 의한 질환 영향이 크게 중요시되고 있다.[8-9]

미세먼지 증가 등의 환경변화에 의해 CO_2 농도 및 꽃가루, 곰팡이 등의 항원성이 증가되고 기온 및 습도 변화는 *Alternaria* 등의 곰팡이 증식을 촉진하고 일부의 경우 치명적인 천식 발작과 관련이 있으며 높은 포자 수를 보이는 날 천식으로 인한 사망률이 증가한다.[10-13] *Drechslera, Epicoccum, Leptosheria, Periconia* 등은 세계적으로 연중 대기중에 존재하며 호흡기 알레르기 증상과 관련이 있다고 알려져 있다.[14-15] 최근에는 영유아와 고령자 등 취약한 계층에서 유해 환경인자의 반복적인 노출이 알레르기 질환 발생에 영향을 줄 수 있다고 보고 되었다.[14] 특히, 천식환자에서 공기중 곰팡이에 노출될 때 폐기능의 이상과 호흡기 과민반응을 증가시킬 수 있다고 보고 되었다.[16] 그러나 실내와는 달리, 실외공기질의 곰팡이에 대한 연구는 아직 활성화되지 못하고 있다. 실외 곰팡이는 호흡이나 피부노출을 통해 알레르기 질환 등을 일으킬 수 있으며, 곰팡이 포자가 실내로 유입되어 건물 내 표면에 부착한 뒤 성장하며 지속적인 피해를 발생시키고 있어 전국을 대상으로 한 실외 부유 곰팡이 동정 및 그 영향에 대한 연구가 필요하다.[17] 이에 따라 향후 실외 공기의 부유곰팡이의 관리방안 마련에 필요한 자료를 마련하기 위해 국내 대기중에 존재하는 곰팡이를 전국적으로 포집하여 이들의 종류를 분석하고 알레르기질환에 영향을 미칠 수 있는 특성을 연구하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실외 공기중 곰팡이의 포집

곰팡이 수집은 미생물 샘플러(KAS-110, 켐익코퍼레이션)를 사용하여 지역별 환경보건센터 지정 장소를 고정하여 1 m 반경에 장애물이 없고 인체에 직접적 노출이 가능한 지표에서 1.3 m 높이에서 100 L의 실외 공기를 포집하여 추출된 균주를 배양 시험하였다. 대상 실외 공기 포집지역은 서울, 인천, 강원, 천안, 광주, 울산, 부산, 제주 등 8개지역의 환경보건센터(환경부지정)로 하였으며 공기중 곰팡이 포집을 2018년 10월에서 2019년 10월까지 매월 초 비가 하루 이상 오지 않고 직전년도 2017년 기상청 연보 기준 해당월의 평균 습도와 평균 기온과 유사한 조건의 날을 정해 수행하였다(Fig. 1). 포집에 사용된 배지는 MEA/str (Malt Extract Agar with streptomycin), PDA/str (Potato Dextrose Agar with streptomycin), PDA (Potato Dextrose Agar), SD (Sabouraud Dextrose), TSA (Tryptic Soy Agar) 배지를 사용하여 각각 1회 포집 하였다. 포집에 사용된 배지는 5일 동안 배양기로 28°C의 온도에서 배양하였다.

2. 공기중 곰팡이 유전자 염기서열을 이용한 군집분석

실외공기에서 포집한 균주를 부유시킨 증류수 100 μL를 100°C에서 10분간 중탕 후 4°C에서 13,000 rpm으로 5분간 원심분리하여 불순물을 침전시켜 균주 분석용 시료로 사용하였다. 미생물동정 서비스회사(Solgent Co. ltd. Korea)에서 제공하는 ITS1, ITS2를 대상으로 하는 서열분석을 ABI 3730XL DNA Analyzer (Applied Biosystems, Foster city, CA, USA)를 사용하여 양방향으로 염기서열을 분석하였다. 군집의 계통 분석은 NCBI Database 를 이용하여 phyloT online tool (phylot.biobyte.de)을 사용하여 분석하였다.

3. 비만세포주의 배양

인체비만세포주(HMC-1, a kind gift from Dr. HM.



Fig. 1. The sampling site of airborne fungus for 2018-2019. Air samples were collected from eight Environmental Health Centers (EHC) in Korea

Kim at Kyung hee University, Seoul, Korea)는 이들은 10% FBS, 1% penicillin 및 streptomycin이 첨가된 Isocove's modified Dulbecco's medium (IMDM) 배지로, 5% CO_2, 37°C 조건에서 포화된 습도가 유지되는 세포배양기(SANYO, JAPAN)로 배양하였다.

4. 곰팡이 입자에 의한 비만세포주 독성평가

각각의 배양된 곰팡이 샘플을 각각 PBS용액 (Phosphate Buffered Soline) 500 μL에 녹인 후 100°C의 온도에서 10분간 중탕 후 세포주에 대한 특성평가를 위한 시료로 사용하였다. 시료의 농도는 PBS 용액에 10^7 cfu/ml로 맞추어 실험에 사용하였다. 인체비만세포주(HMC-1) 세포를 배양하기 위하여 IMDM (90%): Foetal Bovine Serum (FBS) (10%): P/S (Penicillin Streptomycin Solution) (1%)의 비율로 배지를 제조하였다. HMC-1 세포를 37°C와 5%의 CO_2 농도를 유지하며 배양하였다. 배양된 HMC-1 세포주를 10^6 세포를 6 well plate에서 배양하고 포집 곰팡이 시료를 5 μL 첨가하여 24시간 배양 후 얻은 배양액에 대하여 EZ-LDH™ Cytotoxicity Assay Kit를 사용하여 LDH reaction mixture를 각 well에 100 μL를 첨가한 후, 450 nm에서 UV/VIS spectrophotometer를 사용하여 흡광도를 측정하고 제조사의 지시에 따라 세포 독성을 평가하였다. 독성의 백분율(% Cytotoxicity)은 각각의 배양액으로부터 유리된 LDH로 다음과 같은 공식을 이용했다. % Cytotoxicity =A−B/C−B*100, A: LDH (실험군)-Back ground control, B: LDH (대조군)-Back ground control, C: LDH (100% lysis 대조군)-Volume control.

5. 곰팡이 입자에 의한 비만세포주 활성평가

독성평가에 사용된 동일한 조건으로 포집 곰팡이 균주 부유액을 HMC-1 세포주에 첨가하여 48시간 배양한 후 MediFab (Korea) 사의 Viability Assay Kit를 사용하여 450 nm에서 UV/VIS spectrophotometer를 사용하여 흡광도를 측정하고 제조사의 지시대로 세포 활성도를 평가하였다. 세포활성의 백분율(% Proliferation)은 각각의 세포 미토콘드리아의 Dehydrogenases에 반응하는 formazan의 양을 이용하여 다음과 같은 공식을 이용했다. % Proliferation =WST-8 Formazan (실험군)−WST-8 Formazan (대조군)/WST-8 Formazan (대조군)*100.

6. 곰팡이 입자에 의한 염증성 물질 MDC의 발현양 조사

염증성 물질인 Macrophage derived chemokine (MDC)의 측정을 위해 PMA (50 ng/mL)/Ionomycin (1 μg/mL)을 처리하여 활성화된 HMC-1 세포주를 사용하였다. 독성시험에 사용된 동일한 조건으로 포집 균주 부유액을 5 μL 첨가한 활성화된 HMC-1 세포를 48시간 배양후에 수집된 세포배양액에 대하여 MDC Elisa kit (R&D System USA)를 사용하여 제조사의 지시에 따라 MDC단백질의 발현을 측정하였다.

7. 통계분석

본 실험에서 사용된 시험은 3회 반복하여 진행하였으며 각그룹간 평균은 SPSS version 23.0 (SPSS Inc., USA)를 이용한 분산분석을 사용하였다. 유의성은 신뢰구간 $p<0.05$ 수준에서 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

최근 미세먼지, 유기화합물질, 간접흡연 등과 같은 실내외 공기질에 대한 관심이 높아지고 있어 다양한 연구들이 시도되고 있다. 그러나 실내와는 달리, 실외 공기 곰팡이에 대한 연구는 아직 활성화되지 못하고 있다. 실외 곰팡이는 호흡이나 피부노출을 통해 알레르기 질환 등을 일으킬 수 있으며, 곰팡이 포자가 실내로 유입되어 건물 내 표면에 부착한 뒤 성장하며 지속적인 피해를 발생시키고 있어 전국을 대상으로 한 실외 부유 곰팡이 동정 및 그 영향에 대한 연구가 필요하다[2]. 곰팡이 포자와 관련해서 특정지역의 종합병원에서 측정한 보고에서는 *Alternaria* 균종이 36.9%로 농도가 가장 높았고, *Cladosporium* 균종이 다수 분포하였다.[3] 실외곰팡이와 실내곰팡이의 포자유형은 연구마다 다양하나 실외 부유 곰팡이 연구와 알레르기 질환 등의 건강관련성은 연관되어 있을 것이라고 보고되었다.[18] 본 연구에서는 2018년에서 2019년 동안 서울, 인천, 강원, 천안, 광주, 울산, 부산, 제주의 대기 중에서 포집한 곰팡이의 분석결과 신규발견 곰팡이를 제외한 현재 배양하여 분석 가능한 16종 이상의 곰팡이가 실외 공기에 포함되어 있는 것을 확인하고 알레르기염증 영향 시험에 사용하였다(Table 1). 지역별로 배양되는 곰팡이 종류는 다양 하였지만 국내 대기중에 가장 많이 존재하는 균종은 *Cladosporium, Alternaria* 순으로 확인되었고, 전체 균종의 81%를 차지하였다(Fig. 2). 국내 대기중 곰팡이 분석에서는 일반적으로 알레르기 질환에 관련된 *Aspergillus, Alternaria, Cladosporium* 이 모두 존재하였으며 그 외 15종 이상의 곰팡이가 전국 대기중에 상재하고 있음을 확인하였다. 본 연구에서 설정한 지역과 포집 측정의 환경적조건은 국내 지역별 다양한 온도, 습도와 장소에서 포집되어 환경적 차이가 발생할 수 있으나 인체에 노출되는 조건을 고려하여 설정하였다. 단, 실외 공기질의 연구는 현재 기준도 선행연구도 부족하여 본 연구의 조건도 하나의 지역분포 연구자료로 제시하였고 이 결과는 기존 국내 조건에서 제시된 연구들과 *Cladosporium*

Table 1. Airborne fungal diversity in selected eight sites of Korea

Species	Selected site							
	Gangwon	Seoul	Incheon	Cheonan	Ulsan	Gwangju	Busan	Jeju
Edgeworthia		○						
Penicillium		○					○	
Aspergillus		○						
Talaromyces							○	○
Alternaria	○	○			○	○		○
Stemphylium								○
Bipolaris			○					
Epicoccum				○	○	○		○
Periconia								○
Cladosporium	○	○	○	○	○		○	○
Arthrinium	○	○			○		○	
Trichoderma		○					○	
Fusarium								○
Trametes			○					
Emmia		○						○
Irpex								○

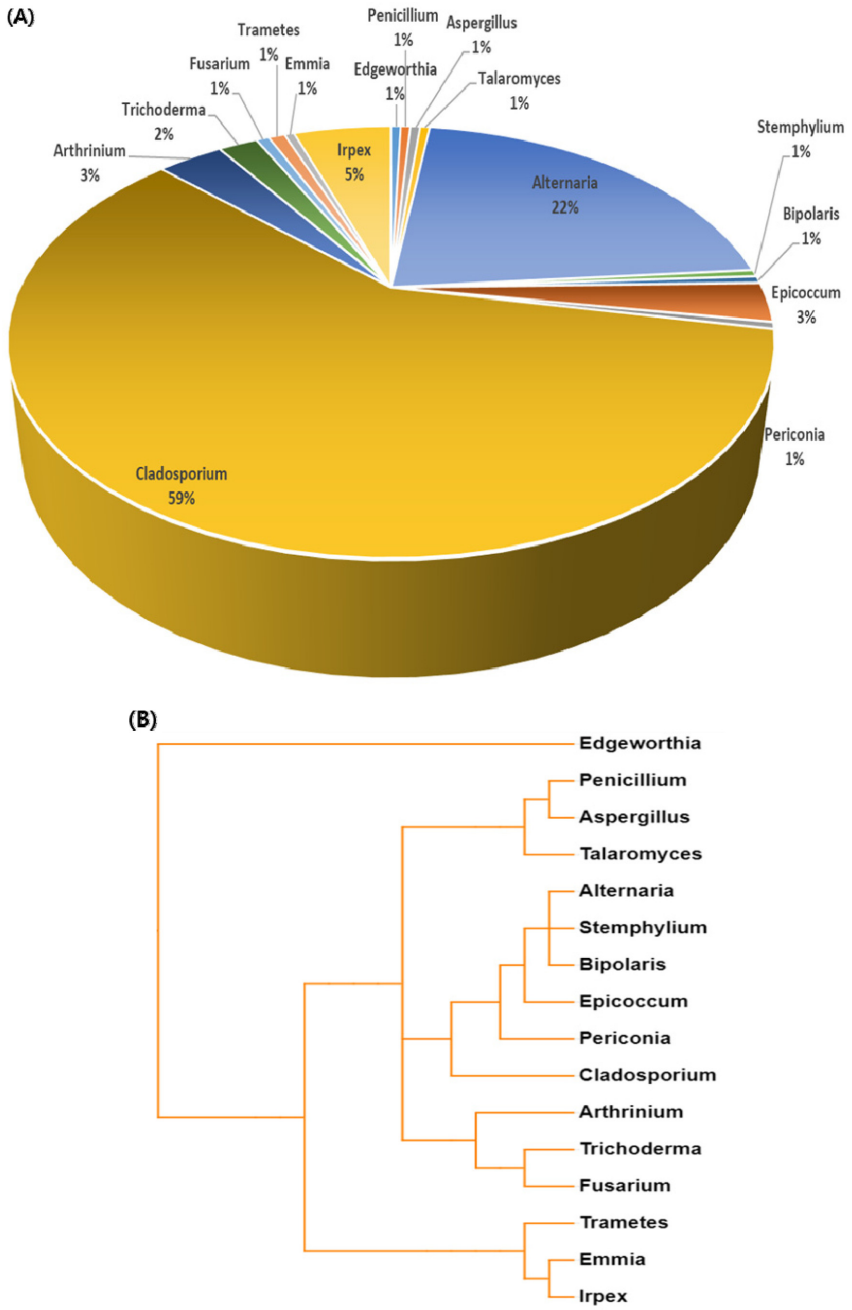


Fig. 2. The microbial distribution (A) and phylogenetic tree (B) of airborne fungus in Korea

균이 우점종으로 나오는 측면에서 유사하나 *Aspergillus* 균이 적게 분포하는 차이가 있다[19-20]. 해외 연구와 비교에서는 오히려 본 연구결과와 같이 실외공기에서 *Cladosporium*과 *Alternaria* 균종이 다수 분포하게 보고되고 있다. 본 연구에서는 이중 분석 가능한 16종의 국내 곰팡이를 분리 배양하여 이들의 알레르기 관련 독성 및 염증반응의 영향을 인체 비만세포(mast cell)를 통하여 시험하였다. 알레르기면역반응

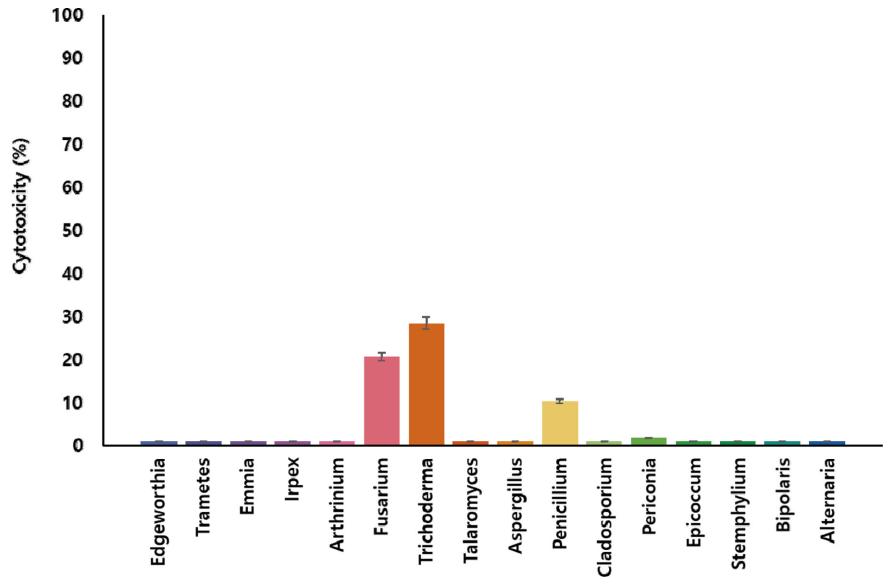


Fig. 3. Cytotoxic effects of airborne fungus in HMC-1 cells. Cell cytotoxicity were tested by LDH based Elisa kit in HMC-1 cells treated with different combinations of fungi after 24h

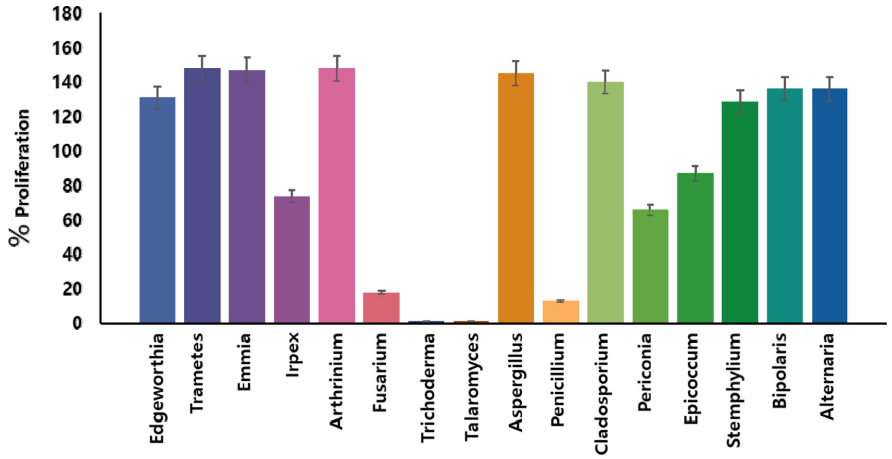


Fig. 4. Cell proliferative effects of airborne fungus in HMC-1 cells. Cell proliferation were tested by WST-8 based kit in HMC-1 cells treated with different combinations of fungi after 48 h

에 관여하는 인체비만세포주(HMC-1)에 미치는 곰팡이 입자의 영향은 LDH Assay Test를 기반으로 한 세포독성시험을 통해 *Fusarium*, *Trichoderma, Penicillium* 균주에서 세포독성이 일부 확인되었다(Fig. 3).

염증에 관련된 세포활성화 기전을 평가하기 위해서 비만세포주에 대해 세포증식정도를 시험하였다. 독성연구와 동일한 시료를 대상으로 비만세포주에 곰팡이 시료를 48시간 처리 후 비만세포주의 세포증식의 효과를 WST-8 Cell Viability Test를 통해 시험평가 하였다. 그 결과 *Edgeworthia, Trametes, Emmia, Irpex, Arthium, Fusarium, Aspergillus, penicillium, Caldosporium, Periconia, Epicocum, Stemphylium, Bipolaris, Alternaria* 등 대부분의 곰팡이 균주가 세포의 증식에 기여하는 것으로 확인되었다(Fig. 4).

염증세포에서의 곰팡이의 효과를 분석하기 위해서 알레르기면역반응 유사조건의 세포주 모델을 사용하

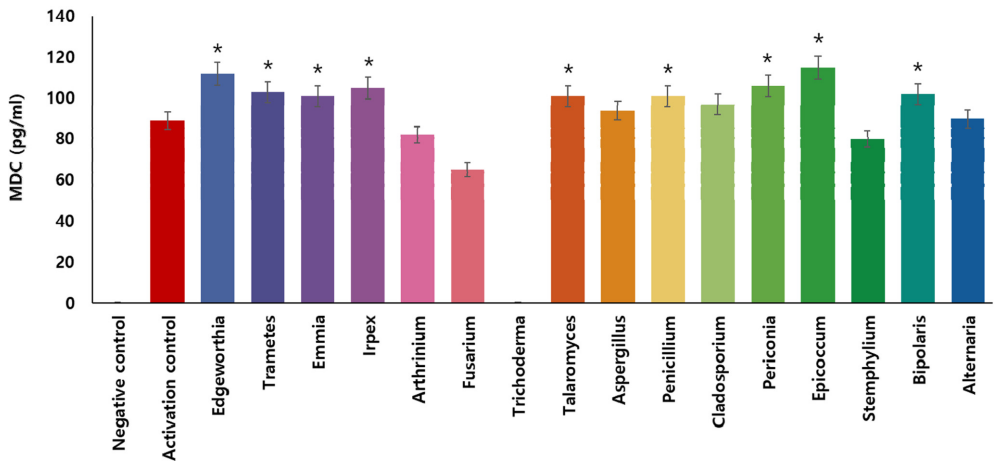


Fig. 5. Inflammatory effects of airborne fungus in activated HMC-1 cells. MDC secretion levels were tested by Elisa in activated HMC-1 cells treated with different combinations of fungi after 48 h. Activated cells for assay were treated by PMA/I, activated cells (activation control) were more expressed MDC protein than untreated cells (negative control). Significant (p< .05) differences between activation control cells (red bar) and cells treated with fungi are indicated by *.

여 곰팡이 입자의 효과를 시험하였다. PMA/Ionomycin을 처리하여 염증이 유도된 것과 같은 세포주 조건을 인체 비만세포주(HMC-1)에서 구성하였다. 독성과 세포증식시험과 동일조건의 곰팡이 시료를 48시간 처리하여 알레르기염증 관련 단백질인 MDC (Macrophage derived chemokine)의 발현을 측정하였다. *Edgeworthia. Trametes, Emmia, Irpex, Talaromyces, Penicillium, Periconia, Epicocum, Bipolaris* 균주 성분이 대조군 염증모델 HMC-1 세포주보다 MDC 발현을 더 증가시키는 것으로 확인되었다(Fig. 5). 이들 균주는 대부분 독성보다는 세포증식에 관련된 균주로 확인되었으며 이는 독성이 있는 곰팡이 균주보다 세포증식이 있는 대기중 곰팡이 균주가 알레르기 염증반응에 영향에 관련될 수 있음을 보여준다.

IV. 결 론

실내에 비해 연구가 미흡한 실외 공기질의 위해관리 지표로서의 곰팡이의 영향을 평가하기 위해서 국내 거점 병원들에 위치하여 있는 환경보건센터(서울, 인천, 강원, 천안, 광주, 울산, 부산, 제주)에서 포집, 추출, 배양한 곰팡이를 분석하였다. 국내 공기질에 서식하는 곰팡이의 종류는 18종 이상으로 검출되고 있으며 알레르기면역질환에 관련되어 있다고 알려진 *Aspergillus, Alternaria, Cladosporium* 균이 모두 검출되었다.

국내에서 포집, 추출, 배양된 16종의 곰팡이 균주에 대하여 알레르기면역질환에 대한 영향을 세포주를 통하여 분석한 결과, 시험한 균주의 19%의 곰팡이(*Fusarium, Trichoderma, Penicillium*)가 알레르기 면역반응과 관련된 비만세포주에서 약한 독성을 나타내는 것으로 확인되었다. 반면, 독성이 관찰되지 않는 균주들은 대부분 세포 활성에 기여하는 것으로 확인되었는데, 시험 균주의 88%의 곰팡이가 알레르기면역반응에 관련되는 인체 비만세포의 증식에 기여하는 것으로 측정되었다.

또한, 알레르기면역관련 세포주의 세포활성에 관여하는 균주의 경우 93%의 곰팡이 균주가 아토피피부염, 천식, 비염의 중증도에 기여하는 지표물질중의 하나인 MDC 단백질의 발현을 증가시켰다. 본 결과는 곰팡이의 독성이 없더라도 세포활성에 기여하는 곰팡이 균주가 알레르기질환이나 환경성 염증질환의 악화에 영향을 줄 수 있을 것을 추론할 수 있고 향후 추가적 연구와 실외 공기의 곰팡이를 이용한 환경위해 관리가 중요함을 제시한다.

감사의 글

이 연구는 환경부 환경보건센터가 지원하는 국가연구보조금(2019)에 의해 수행되었습니다. 이에 관련 기관의 지원에 감사드립니다.

References

1. Kim CH, Choi JY, Shon MH, Lee KE, Kim KE, Lee KY. Distribution of fungus spores in the air of outdoor and indoor environment from September to November 1999 in Seoul. *Korea J Asthma Allergy Clin Immunol*, 2001; 21: 970-976.
2. Bang JI, Jo SM, Ji SM, Sung MK. Analysis on Airborne Mold Infiltration into Apartment Buildings. *Architectural Institute of Korea*, 2018; 38(1): 472-473.
3. Park HJ, Park HS. A survey of airborne fungal spores in Seoul, Korea. *Korean J Asthma Allergy Clin Immunol*, 1995; 15: 216-222.
4. Lee PH. Analysis of Medical Trends of 'Environmental Diseases' in the Recent 5 Years, *HIRA Policy Trends*, 2016; 10(1): 59-65.
5. Park HS, Lee YM. Mold counts in outdoor and indoor environment. *Korean J Asthma Allergy Clin Immunol*, 2001; 21: 916-917.
6. Song JH, Min JY, Cho KA, Yoon YH, Baek NH. A Study on Airborne Microorganisms in Hospitals in Seoul, Korea, *J Environ Health Sci.* 2007; 33(2): 104-114.
7. Hwang MY, Ryu JM, Kown YM, Hong SY, Park CH. Seasonal Variations of Exposure to Environmental Chemicals: Implication from the Korean National Environmental Health Survey (2012-2014), *J Environ Health Sci.* 2018; 44(6): 572-580.
8. Eder W, Ege MJ, von Mutius E. The Asthma Epidemic. N Engl J Med, 2006; 355: 2226-2235.
9. Herr CE, Ghosh R, Dostal M, Skokanova V, Ashwood P, Lipsett M, et al. Exposure to air pollution in critical prenatal time windows and IgE levels in newborns. *Pediatric Allergy and Immunology*, 2011; 22: 75-84.
10. Kim BJ, Kwon JW, Seo JH, Kim HB, Lee SY, Park KS, et al. Association of ozone exposure with asthma, allergic rhinitis, and allergic sensitization. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2011; 107: 214-219.
11. O'Halloren MT, Yunginger JW, Offord KP. Exposure to an aeroallergen as a possible precipitating factor in respiratory arrest in young patients with asthma. *NEngl J Med*., 1991; 325: 206-208.
12. Targonshi PV, Persky VW, Ramekrishnan V. Effect ofenvironmental moulds on risk of death from asthma during the pollen seasin, *J Allergy Clin Immunol*, 1995; 95: 955-961.
13. Wayne P, Foster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P. Production of allergenic pollen by ragweed (Ambrosia artemisiifolia L.) is increased in CO_2-enriched atmospheres. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 2002; 88: 279-282.
14. Pulimood TB, Corden JM, Bryden C, Sharples L, Nasser SM. Epidemic asthma and the role of the fungal mold Alternaria alternata. *J Allergy Clin Immunol*, 2007; 120: 610-617.
15. Park HS, Lee YM. Mold counts in outdoor and indoor environment. *Korean J Asthma Allergy Clin Immunol*, 2001; 21: 916-917.
16. Byeon JH, Ri S, Amarsaikhan O, Kim E, Ahn SH, Choi IS, Kim HJ, Seo S, Yoon W, Yoo Y. Association Between Sensitization to Mold and Impaired Pulmonary Function in Children With Asthma. *Allergy Asthma Immunol Res.* 2017; 9(6): 509-516.
17. Solomon WR, Platts-Mills TAE. Aerobiology and inhalant allergens. Allergy; principles and practice 5th ed. 1998; 367-403.
18. O'Halloren MT, Yunginger JW, Offord KP. Exposure to an aeroallergen as a possible precipitating factor in respiratory arrest in young patients with asthma. *N Engl J Med*, 1991; 325: 206-208.
19. Cho SY, Myong JP, Kim WB, Park C, Lee SJ, Lee SH, Lee DG. Profiles of Environmental Mold: Indoor and Outdoor Air Sampling in a Hematology Hospital in Seoul, South Korea. *Int J Environ Res Public Health*, 2018; 15(11): 2560.
20. Caillaud D, Cheriaux M, Charpin D, Chaabane N, Thibaudon M. Outdoor moulds and respiratory health. *Rev Mal Respir*, 2018; 35(2): 188-196.

<저자정보>

윤원석(교수), 임재훈(연구원), 김다사랑(연구원),
김승현(교수), 이효선(교수), 김채봉(국장),
강주완(국장), 이근화(교수), 오인보(국장),
김양호(교수), 서정욱(국장), 홍영습(교수),
유 영(교수)