

곰팡이 노출에 따른 건강영향 및 민감 시설 내 곰팡이 분포 현황

서 성 철* 

을지대학교 바이오융합대학 보건환경안전학과

Health Effects of Exposure to Indoor Mold and the Levels of Mold in Facilities with Susceptible Populations in Korea

SungChul Seo[†]

Department of Environmental Health and Safety, College of Health Industry, Eulji University

ABSTRACT

Objectives: Exposure to mold is strongly associated with adverse health effects (development or exacerbation of allergic diseases). We reviewed the health effects of mold exposure and explored to determine the annual distribution of indoor mold in facilities with susceptible populations.

Methods: The health effects of mold exposure were mainly summarized by reviewing related papers and WHO research reports. We selected 10 facilities, including daycare centers, postpartum care centers, medical institutions, and elderly care facilities within the Seoul Metropolitan. Mold sampling was performed once every week or once every quarter from February 2016 to 2017. In addition, fungal species analyses was performed, and distribution status by month and facility was analyzed in the same manner as concentration.

Results: Adverse health effects attributed to fungal exposure are largely divided into allergic symptoms, toxic effects, and infectious effects. Monthly mean concentrations of mold indoors and outdoors was 368.8 CFU/m³ (geometric mean 213.4 CFU/m³) and 496.0 CFU/m³ (327.9 CFU/m³), respectively. The indoor concentration has begun to increase in February, peaked in July, declined in August, increased again until October, and then decreased in November. About 36 genera of indoor fungal species were found in each facility. *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., and *Arthrinium* sp. were observed as the dominant species.

Conclusions: Our findings showed that the overall level of indoor mold was below the 500 CFU/m³ level recommended by the Ministry of Environment. The development of DNA-based assessment and expanding facilities to be monitored for mold would be necessary for preventive aspects.

Key words: Mold, daycare center, hospitals, elderly care facilities, postnatal care centers

I. 서 론

생활주변의 많은 환경유해물질 노출은 건강상의 악영향을 더욱 더 가중하고 있다.¹⁾ 특히, 많은 시간 실내에서 거주하는 현대 생활 패턴은 실내에서 발생하고 노출되는 환경유해인자에 대한 관리의 필요성

을 더욱 요구하고 있다.

많은 환경유해인자 중 세균, 곰팡이, 바이러스 등의 생물학적 유해인자에 대한 관리는 다른 유해인자에 비해 상대적으로 어려운 실정이다.²⁾ 미세먼지의 경우 환기장치(공기청정기, 중앙환기장치 등)의 사용, 외부에서 실내로의 유입차단 등 노출량 및 노출 빈

[†]Corresponding author: Department of Environmental Health and Safety, College of Health Industry, Eulji University, Seongnam, 13135, South Korea, Tel: +82-31-740-7143, Fax: +82-31-740-7355, E-mail: seo@eulji.ac.kr

Received: 16 July 2020, Revised: 11 August 2020, Accepted: 11 August 2020

도 등을 관리함으로써 상당부분 관리가 가능하다. 휘발성유기화합물의 경우 최근 친환경 소재 사용에 따른 저감, 설치 후 베이아웃(Bake-out) 등의 방법으로 발생량을 저감하고, 이후에는 일정 수준 이하로 관리가 가능하다. 하지만 생물학적 유해인자의 경우 99% 제거되더라도, 온도, 습도 등의 서식환경이 좋아지면 다시금 100, 1000% 이상 늘어날 수 있기 때문에 관리의 어려움이 많은 실정이다.³⁾ 특히 곰팡이의 경우 다른 생물학적 유해인자에 비해, 성장 및 개체수 증가에 있어서 온도, 습도 조건 등에 덜 민감하여, 우리 생활환경 주변에서 많이 발견되고 있다. 그만큼 완벽한 제거 및 관리에 어려움이 있는 유해인자이다.

곰팡이(Mold)는 햇빛이 적고, 습도가 높은 환경에서 서식하는 미세한 실 형태(Filamentous)의 미생물이다.⁴⁾ 약 7만여종이 있는 것으로 알려져 있으며, 식물 및 곤충을 제외하고는 다양성이 가장 큰 그룹이다. 곰팡이는 높은 습도, 수분, 적절한 온도와 먼지 등의 영양분이 있는 조건에서는 생물 및 물체의 표면에서 자랄 수 있다. 통상적으로 실내에서 많이 발견되는 ‘중(Geosis)’ 단위의 곰팡이는 *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Stachybotrys*, *Trichoderma*, *Alternaria* 등이 있다. 이중에서도 실내에서 가장 많이 발견되는 곰팡이는 *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* (실외는 *Alternaria*) 등이 있으며, ‘속(Species)’ 정도의 분류까지 한다면 더 많은 종류의 곰팡이가 있다. 특히 욕실 및 싱크대 등에서 발견되는 ‘검은 곰팡이(Black Mold, *Stachybotrys*)’는 공기 중에 노출될 경우 발암성의 위험이 높으며, 어린이 등에게 노출될 경우 사망에 까지 이르는 것으로 알려져 있다.⁵⁾

미국의 국립의학연구소(Institute of Medicine, National Academy)가 발표한 결과에 따르면, 실내곰팡이 노출로 인한 건강영향은 크게 알레르기증상, 독성영향, 감염성 영향으로 나누고 있다.⁶⁻⁸⁾ 즉, 곰팡이에 있는 알레르겐, 베타글루칸 등은 알레르기질환을 일으키는 물질로서 작용하여 공기 중 흡입 또는 섭취를 통해 천식 등의 알레르기질환 발생 혹은 증상을 악화하는 것으로 알려져 있다. 특히, 곰팡이가 성장하면서 발생하는 2차 대사물질인 마이코톡신(Mycotoxin)은 장시간 노출 시 암을 일으키는 물질로 알려져, 곰팡이 독성 영향에 대표적인 예시이다.⁹⁻¹²⁾

아울러 호흡기를 통한 곰팡이가 체내로 유입 시, 면역기능이 저하된 사람의 경우 곰팡이가 폐 내에 자라는 아스페르길루스증(*Aspergillosis*)을 유발하기도 한다(감염성 영향). 이 외에 곰팡이 유기화합물(Mold VOC; 일명 곰팡이 냄새) 등의 만성 노출은 구토, 소화불량, 머리 아픔 등의 Sick Building Syndrome 영향효과와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있다. 세계보건기구(WHO, 2009)에서 역시 곰팡이 노출이 천식 발생 및 증상악화 등에 매우 크게 관여하고 있다고 발표하고 있다.¹³⁾ 다만, 곰팡이 노출평가의 객관성 및 반복 재현성 등의 한계로, 천식 질환 등과의 심도 깊은 원인-결과 상관성을 밝히는데 어려움이 있는 것으로 보고하고 있다.

곰팡이 노출평가(Exposure assessment)의 경우 공기 중 곰팡이 포집 후, 배양 또는 현미경 관찰 후 곰팡이 포자 수(Spore count)를 세는 방식이 저비용 등의 이유로 주로 사용되고 있다. 하지만 이러한 분석방법은 4~5일 이상의 배양기간, 포자수를 세는데 있어서 연구자 주관성에 기인한 결과 오류 등의 여러 한계점을 지니고 있다. 또한 분석 결과, 동일한 장소, 동일한 시간이어도 측정 방법 및 사용하는 배지 차이 등은 결과값의 변화를 초래, 정확한 노출량 평가가 필요한 질환과의 상관성 연구에는 적절하지 않다.¹⁴⁾ 이에 WHO는 이러한 평가 방법의 상당한 오류를 지적, DNA 기반의 곰팡이 노출 평가 방법 사용을 강력히 권고하고 있는 실정이다. 이에 미국 EPA 등의 많은 나라에서는 분자생물학적 분석방법을 기반으로, 곰팡이 유전자를 분석하고, 주택 내 곰팡이 오염정도를 파악할 수 있는 ERMI (Environmental Relative Moldiness Index)를 개발, 사용하고 있다.¹⁵⁻²²⁾ ERMI 지수는 바닥면지에서 채취한 곰팡이 종을 물피해 환경에서 많이 발견되는 종(S1 그룹, 26종)과 물피해 등이 없는 주택에서 발견되는 곰팡이 종(S2, 10종)으로 구분, 이들 그룹의 DNA량 차이(ERMI = $\sum S1 - \sum S2$)를 통해 곰팡이 피해 여부를 판단한다. 즉, 물 피해가 많은 가정의 ERMI 값은 양의 값을 가지게 된다. ERMI 지수는 미국에서 소아 천식환자가 거주하는 주택의 곰팡이 노출 정도와 천식 중증도를 평가하는데 이용되는 등 신뢰도가 높은 방법으로 인식되고 있다. 하지만, 위·경도가 다른 나라마다 곰팡이 종 차이, 발생 빈도 차이 등의 현황을 고려, 자국(핀란드, 프랑스 등)의 환경조건에 맞게 미국의

ERMI 지수를 변형하여 지수를 개발하여 곰팡이 피해를 평가할 수 있는 척도로 활용하고 있다.^{23,25)} 국내에서도 한국지형에 맞는 ERMI 지수 DB를 구축하였으며, 이를 이용한 평가 방법을 개발하여, 유전자 기반의 곰팡이 노출 평가 방법의 적용을 시도하고 있는 실정이다.²⁶⁾

2000년대 이후 천식, 아토피피부염, 알레르기비염이 지속적으로 증가하는 추세이다.²⁷⁾ 이러한 알레르기질환은 면역력이 약한 어린이, 청소년 및 노인에게서 빈번하게 발병하고 있으며, 이에 알레르기질환의 증상 악화에 기여하는 곰팡이 관리의 중요성이 매우 커지고 있다. 특히 면역력이 상대적으로 약한 어린이, 노약자 등이 활동하는 유치원, 어린이집 등의 보육 및 노인 요양시설에 대한 곰팡이 관리가 매우 시급한 실정이다. 이에 본 연구에서는 다중이용시설 중 민감취약 시설 내 연중 실내 곰팡이 농도 및 종 분포 현황을 파악하고, 적절한 곰팡이 관리방안에 대한 의견을 제시하고자 하였다.

II. 연구 대상 및 연구 방법

1. 연구 대상의 선정

서울지역 내 다중이용시설 중 민감 취약계층 이용시설인 어린이집, 의료기관, 노인요양시설, 산후조리원을 조사 대상 시설로 선정하였다. 시설 유형 별 10개소를 선정하였고, 10곳 중 2곳은 매주 1회, 8곳은 분기에 1회 측정을 실시하였다.

2. 곰팡이 오염도 측정

부유 곰팡이 측정은 2016년 2월에서 2017년 2월에 걸쳐 수행되었다. 실내공기질공정시험법에 따라 1단 임팩터(One-stage Andersen sampler, SKC Inc., Eighty Four, PA, USA)를 사용하여 약 200 L의 유량으로 포집하였다. 바닥으로부터의 재 비산, 호흡기 노출 시나리오 등을 고려하여 바닥면으로부터 1.2 m의 상부에서 측정하였으며, 20분 간격을 두고 총 3회 실시하였다.

사용된 곰팡이 배지의 경우 항생제(Streptomycin sulphate (40 mg/L), Difco Laboratories, Detroit, Mich. Ann Arbor, MI, USA)를 넣어서 제조한 MEA (Malt extra agar)를 사용하였다. 실내 측정의 경우 거주자

의 사용빈도가 많은 곳에서의 측정을 원칙으로 하였다. 이에 어린이집의 경우 교실과 거실에서, 의료 기관의 경우 로비와 휴게실에서 측정을 실시하였다. 산후 조리원의 경우 산모가 거주하는 방과 거실에서 각각 측정을 실시하였다.

3. 곰팡이 분석 및 농도 환산 등

측정 이후 사용된 배지는 아이스박스를 이용해 실험실로 옮겨진 후, 약 25°C에서 4일 이상 배양하였다. 배양 중 증식되는 곰팡이 확산으로 인해 계수가 어려울 수 있으므로 24시간 단위로 증식 상태를 관찰하고 집락(Colony)수를 평가하였다. 4일 배양 후 최종 콜로니 수를 계수 한 후, 집락 계수 환산표(Positive Hole Conversion Table)를 사용하여 계수한 총 곰팡이의 집락수를 보정하였고, 사용된 공기 유량으로 나눈 후 최종 곰팡이 농도를 다음(수식 1)과 같이 산정하였다.²⁸⁾

$$\text{곰팡이 농도} \left(\frac{\text{CFU}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{modified CFU}}{\text{공기유량(L)}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \quad (1)$$

여기서, CFU: Colony Forming Unit

modified CFU: 집락 계수 환산표를 이용, 보정된 CFU

4. 곰팡이 종 분석

선정된 시설 내 곰팡이 종류를 파악하기 위하여, 중합연쇄효소반응(Polymerase chain reaction, PCR)을 사용하였다. 곰팡이 증폭용 PCR 프라이머(primer)는 전향적 프라이머로(forward prime), ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) 또는 ITS5 (TCCTCCGCTTATTGATATGC)를, reverse primer로서 ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC)를 사용하였다. 보다 세부적인 방법 내용은 이정섭 외(2017) 연구방법을 따랐다.²⁹⁾ 간략히 설명하면, 추출된 DNA를 이용하여 반응을 완료 후, 증폭된 DNA 염기서열을 분석하였다. 얻어진 염기 배열 정보는 GeneBank DNA sequence database (NCBI, National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine)의 탐색프로그램인 BLAST search 프로그램을 이용하여 종을 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시설의 부유 곰팡이 농도 분포 현황

선정된 조사 시설에 대한 월별 실내곰팡이 측정결과를 Fig. 1에 나타내었다. 전체 시설의 실내 및 실외(산술)평균 농도는 각각 368.8 CFU/m³(기하평균 213.4 CFU/m³), 496 CFU/m³(기하평균 327.9 CFU/m³)로 실내농도보다 실외농도가 더 높았다. 실내 농도는 2월부터 증가하기 시작하여 7월에 최고치를 보이며, 8월에 하락세를 보이다가 10월까지 다시 증가, 11월에는 감소하는 모습을 보였다. 유사하게, 실외농도는 2월부터 꾸준히 증가, 8월에 감소하였으나 9월부터 다시 증가, 10월에 최고치를 보였고 11월에는 감소하는 패턴을 보였다. 이는 최대치를 보인 달의 실내가 7월, 실외가 10월이라는 점을 제외하고는 전체적으로 유사한 경향성을 보였다.

국내에서 실내 및 실외에서 연중 곰팡이 농도를 조사한 연구는 거의 없는 실정이다. 2019년 황은설 외 연구는 공동주택 대상의 계절별 실내 곰팡이 농

도를 측정 한 것으로³⁰⁾, 가을(366.1 CFU/m³), 봄(343.8 CFU/m³), 여름(325.5 CFU/m³), 겨울(93.4 CFU/m³) 순으로 곰팡이 농도가 높은 것으로 나타나, 본 연구와 매우 유사한 패턴을 보였다. 습도 등이 많은 여름철이 오히려 공기중 곰팡이 농도가 높지 않고, 건조한 환경이 되는 가을철 농도가 높아 지는 것으로 여겨진다. 우리나라 서울과 위·경도가 유사한 지역 대상의 실외 곰팡이 농도를 보고한 매우 일부의 관련 연구를 비교하였다.³¹⁾ 약 12,000여개의 샘플을 분석한 이 연구에서도, 가을에 실외 곰팡이 농도가 가장 높았으며, 여름, 봄, 겨울 순으로 농도 수준이 낮아졌다. 앞서 설명한 바와 같이 여름에 풍부해진 곰팡이 포자는 건조한 가을이 되면서 상대적으로 공기중으로 비산이 잘 되었을 것으로 여겨진다.

각 기관별 월별 실내 곰팡이(산술)평균 농도를 살펴보면, 노인요양시설이 가장 높은 584.3 CFU/m³(기하평균 345.8 CFU/m³)이었으며, 산후조리원(427.6 CFU/m³, 기하평균 220.9 CFU/m³), 어린이집(419.1 CFU/m³, 기하평균 256.2 CFU/m³), 의료기관(277 CFU/m³, 기하평균 175.3 CFU/m³), 순의 결과를 보여주었다(Fig. 2). 거의 모든 시설에서 2월부터 실내 곰팡이 농도 증가세를 보여주었으며, 8월경에 다소 감소 후 10월까지 증가하는 추세를 보였다. 다만, 산후조리원의 경우 다른 시설과 다소 다르게 8월에서 10월까지 높은 농도를 보이는 특징이 관찰되었다. 과거 10년 정도의 논문에서 발표된 시설 별 곰팡이 농도를 살펴보면,³²⁾ 지난 10년간의 시설 별 농도가 의료기관 노인요양시설 234.4 CFU/m³, 산후조리원 226.9 CFU/m³, 어린이집 296.6 CFU/m³, 의료기관 182.0 CFU/m³로 전반적으로 본 연구 보다 낮은 농도를 보였지만, 곰팡이 농도가 대수정규분포(Log-normal distribution) 한다는 점(10과 100 사이의 차이는 대수 분포에서 1 차이)과 논문에 실린 자료의 비표준적인 샘플링 시기, 방법 등을 고려한다고 하면, 상당부분 유사한 결과를 보이는 것으로 여겨진다.

몇몇 연구에서 어린이집과 병원 대상의 공기중 곰팡이 농도 수준 평가 결과를 발표하고 있다.³³⁾ 허은혜 외(2012) 연구에 따르면 유치원은 66~1,100 CFU/m³(기하평균 400.9 CFU/m³), 어린이집 16~334 CFU/m³(기하평균 83.1 CFU/m³)의 농도 수준인 것으로 보고하고 있다.³²⁾ Oh et al. (2014) 연구에서는 10개

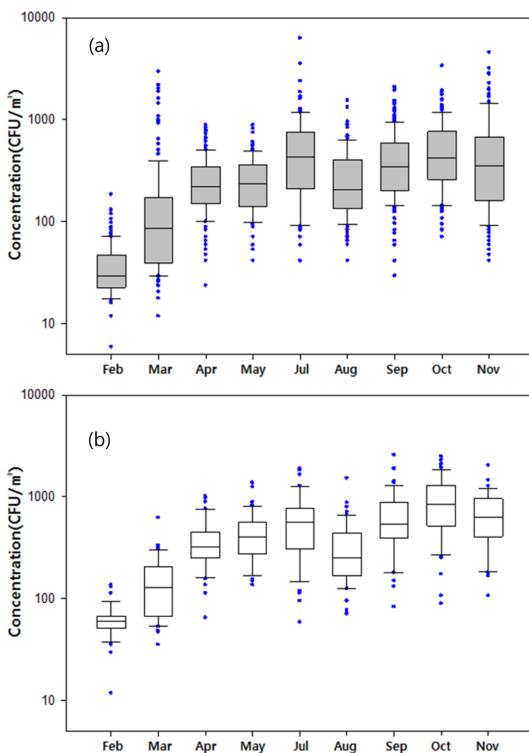


Fig. 1. The monthly level of airborne mold in (a) indoor and (b) outdoor, respectively

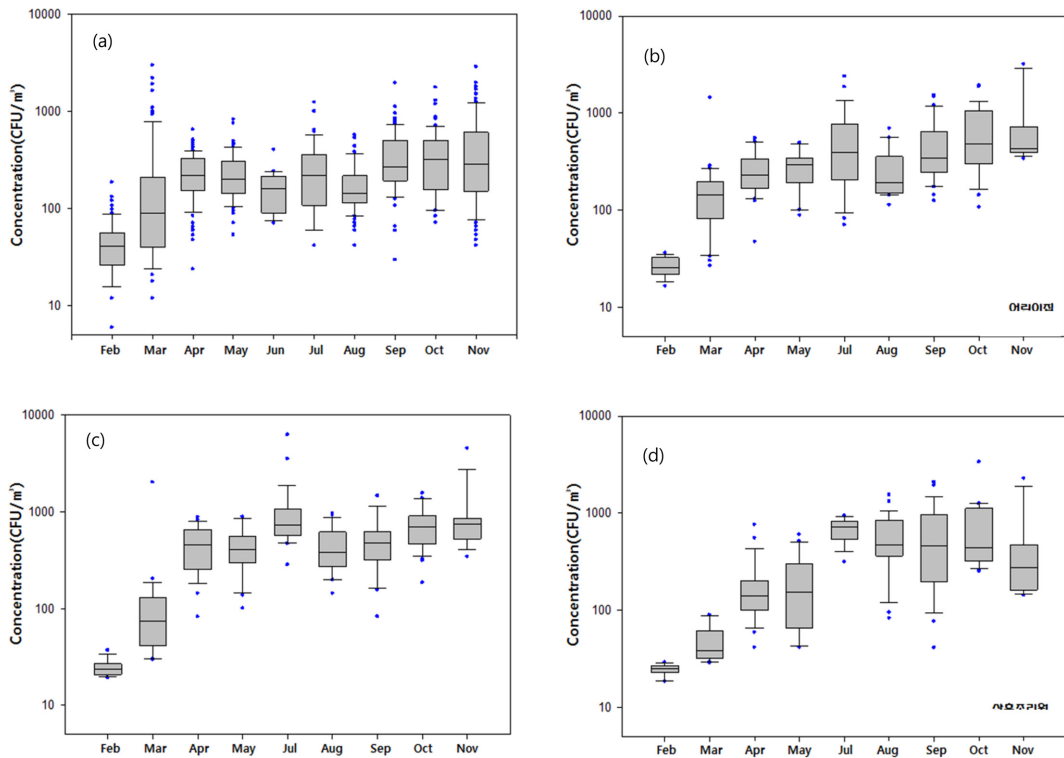


Fig. 2. The monthly level of airborne mold in indoor within each facility: (a) hospitals; (b) daycare centers; (c) the elderly care facilities; and (d) the postnatal care centers

의 어린이집에서 8~11월에 측정된 농도가 95.6~269.6 CFU/m³인 것으로 보여주고 있다.³⁴⁾ 병원의 경우 6~382 CFU/m³ (기하평균 79.6 CFU/m³)의 수준이었으며,³²⁾ 산후조리원의 경우 하나의 연구에서 평균 371.0 CFU/m³ 인 것으로 조사되었다.³⁵⁾ 앞서 언급한 바와 같이 실내공기질관리법 상의 곰팡이 농도 측정은 의무 혹은 권고 사항이 아닌 이유로 많은 연구가 수행되지 않았을 것이다. 하지만 본 연구에서 수행된 일부 시설의 연 평균 곰팡이 농도는 기존 연구와 유사한 농도 혹은 범위에 있는 것으로 분석된다(본 연구의 어린이집 농도 산술 평균, 419.1 CFU/m³, 기하평균 256.2 CFU/m³; 병원시설(의료기관) 농도, 277 CFU/m³, 기하평균 175.3 CFU/m³). 다만, 비교된 논문의 경우 연중 측정이 아닌 특정 시점의 결과, 측정된 장소의 개소 수, 측정 대상의 물리적 환경 등이 본 연구와 차이가 있어, 결과 해석에 유연성을 가질 필요가 있다.

본 연구에서 온도 및 습도와 부유 곰팡이 농도와

의 상관성을 분석하였다. 온도의 경우 온도가 높아 질수록 공기중 곰팡이 농도가 증가하는 것으로 관찰되었지만($p < 0.05$), 습도의 경우 반대의 결과가 확인되었다($p < 0.01$). 통상 실내 곰팡이 농도는 온도가 올라가는 여름철에 가장 높은 농도를 보인다. 하지만 국내의 경우 6월말 7월까지 이어지는 장마기간이 있어 다소 다른 농도 분포 현상을 보이는 것으로 여겨진다. 즉, 7월까지의 많은 수분량과 온도는 곰팡이 성장을 촉진시키는 역할을 하지만, 8월의 많은 수분량(습도)으로 인한 공기중 곰팡이 농도는 다소 감소하는 것으로 분석된다. Seo et al. (2007) 연구에 의하면, 높은 습도는 공기 중의 곰팡이 농도와 반비례한다는 결과를 보여주고 있어, 이러한 추정을 뒷받침한다 여겨진다.¹¹⁾ 반면 산후조리원의 경우 8월에서 10월까지의 높은 농도는 시설의 독특한 운영형태에 기인된 것으로 여겨진다. 통상 산후조리원에서는 산모와 아이에게 높은 실내 온도에서 생활하는 것을 선호하여 실내 온도를 상시 높은 상태로 유

Table 1. Types of airborne mold species found in each facility

	Hospitals		Daycare centers		Elderly care facilities		Postnatal care centers	
	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
<i>Cladosporium</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Penicillium</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Fusarium</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Alternaria</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Arthrinium</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Aspergillus</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Acremonium</i>								√
<i>Botryosphaeria</i> sp.		√		√				
<i>Burkholderia</i> sp.					√			
<i>Choanephora</i> sp.			√	√				
<i>Cochliobolus</i> sp.	√		√	√				
<i>Colletotrichum</i> sp.	√	√	√			√		
<i>Coniothyrium</i> sp.		√	√			√		
<i>Cryptococcus</i> sp.		√			√	√	√	
<i>Curvularia</i> sp.		√		√				
<i>Davidiella</i> sp.		√	√	√	√	√	√	√
<i>Davidiellaceae</i> sp.	√	√	√	√	√			
<i>Dothideomycete</i> sp.	√	√			√		√	√
<i>Epicoccum</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Geotrichum</i> sp.	√		√	√	√	√		
<i>Hypocrea</i> sp.	√	√						
<i>Hypocreales</i> sp.	√	√						
<i>Irpex</i> sp.	√	√					√	
<i>Isaria</i> sp.	√	√						
<i>Lacazia</i> sp.	√							
<i>Lecanicillium</i> sp.	√	√						
<i>Leptosphaerulina</i> sp.			√					
<i>Melampsora</i> sp.		√						
<i>Mucor</i> sp.	√	√			√	√		√
<i>Mycosphaerella</i> sp.	√							
<i>Microdochium</i> sp.					√	√		
<i>Neurospora</i> sp.	√	√	√	√		√	√	√
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	√	√						
<i>Phoma</i> sp.	√	√	√	√	√	√	√	√
<i>Pleosporales</i> sp.	√	√						
<i>Pteris</i> sp.	√	√		√		√		
<i>Rhizopus</i> sp.	√		√	√	√	√		√
<i>Rhodotorula</i> sp.	√		√	√	√	√		
<i>Trichoderma</i> sp.		√		√				

지, 상대적으로 곰팡이 등의 부유 미생물의 성장을 돕고, 높은 농도를 나타내는 것으로 여겨진다.

2. 시설의 부유 곰팡이 종 분포 현황

분석된 실내 곰팡이 종은, 의료기관 29속 80종, 어린이집 19속 41종, 노인요양원 19속 38종, 산후조리원 13속 33종이었다(Table 1). 이 중 *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Alternaria* sp., *Arthrinium* sp. 등의 10여 종의 우점종이 분류되었다. 이는 기존의 유사한 연구 결과보다^{36,37)} 의료기관의 경우 29속, 어린이집의 경우 34속, 노인요양시설의 경우 33속, 산후조리원의 경우 31속의 곰팡이 종이 더 관찰된 것이다. Shelton et al. (2002)의 연구에서도 *Cladosporium*, *Penicillium*, *nonsporulating fungi*, and *Aspergillus*. *Stachybotrys chartarum* 등의 실외 곰팡이의 우점종으로 보고하고 있어, 온, 습도가 유사한 지역의 곰팡이 종 분포 또한 비슷한 양상을 보이는 것으로 추정된다.³¹⁾

대부분의 시설에서 8, 9월의 온도가 올라감에 따라 다른 시기에 비해 곰팡이 종류도 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 온도, 습도 등에 따른 곰팡이 출현이 달라질 수 있음을 설명하는 것이라 여겨진다. 의료기관의 경우 본 연구의 대상시설 중에서 가장 많은 종류의 부유 곰팡이가 검출되었는데, 이는 의료기관 시료 채집이 매일 이루어지면서 다른 시설보다 시료수가 훨씬 많아 다양한 종류의 부유 곰팡이를 확보할 수 있었다고 생각된다. 특히 *Botryosphaeria* sp.와 *Trichoderma* sp.는 실외에서만 발견되어 향후 실외에서 실내로 유입되는 곰팡이의 정도 등을 가늠할 수 있는 참고 종(Reference genus)으로 활용이 가능할 것으로 여겨진다. 유사하게 *Mycosphaerella* sp. 및 *Leptosphaerulina* sp.는 실내에서만 발견되어 실내오염의 참고 종(Reference genus)으로서의 추가 조사가 필요할 것으로 여겨진다.

IV. 결 론

곰팡이 노출로 인한 건강상의 악(惡) 영향은 상시 발생하는 것은 아니다. 어린이, 노약자, 산모 등 면역력이 완전하지 않거나, 일시적 혹은 노령으로 인한 면역력이 약화된 대상 인구에 국한될 수 있다. 따라서 이러한 환경조건 취약인구가 생활하는 시설

에 대한 보다 적극적인 곰팡이 모니터링, 저감 방법 적용 등은 국민 건강 증진과 고령화 시대의 국민 삶의 질을 높이는 적절한 대응이라 여겨진다. 다행히 2018년부터 시행된 어린이집, 노인요양시설, 의료시설, 산후조리원 대상의 환경부 곰팡이 관리 정책은 이러한 노력의 시작이라 여겨진다. 다만, 만성 곰팡이 노출에 따른 건강영향을 최소화하기 위해서는 다양한 시설에서 곰팡이 관리가 필요하다. 관리 가이드라인 제시를 통한 실내공기질 내 곰팡이 농도 수준 유지와 중재방안 수행 시 기준 이하로 도달했는지 등의 평가를 위해서라도 향후 다양한 시설에서의 곰팡이 노출 수준 권고 기준 제시 또한 필요하다 여겨진다. 아울러 효과적인 정책적 효과 분석을 위해서는 정책 시행 이후의 실내 공간에서의 곰팡이 농도 변화 평가, 저감방법의 개발, 적용 시설군의 확대 등은 향후 해결해야 할 내용이라 생각한다. 특히, 최근 코로나바이러스 발생은 부유 미생물 노출에 따른 건강상의 우려가 국내를 넘어서, 전 세계적인 추세로 자리잡고 있다. 1회성, 단기간의 부유 미생물 평가의 경우 측정 결과의 대표성 부재, 선제적인 예방 대책 마련에 많은 한계를 갖고 있다. 이에 WHO, 미국 EPA 등의 기관에서 활용하고 있는 유전정보(DNA) 분석 기법을 활용한 관리 방안 마련도 매우 필요하다 여겨진다.

References

- Bernstein JA, Alexis N, Bacchus H, Bernstein IL, Fritz P, Horner E, et al. The health effects of non-industrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2008; 121(3): 585-591.
- Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *The Annals of Occupational Hygiene*. 2003; 47(3): 187-200.
- Burge HA. *Bioaerosols*: CRC Press; 1995.
- Harris SD. Cell polarity in filamentous fungi: shaping the mold. *International Review of Cytology*. 2006; 251: 41-77.
- Kuhn DM, Ghannoum MA. Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clinical Microbiology Reviews*. 2003; 16(1): 144-172.
- Clark N, Ammann H, Brunekreef B, Eggleston P, Fisk W, Fullilove R, et al. Damp indoor spaces and

- health. Washington, DC: Institute of Medicine of the National Academies. 2004.
7. Robbins CA, Swenson LJ, Nealley ML, Kelman BJ, Gots RE. Health effects of mycotoxins in indoor air: a critical review. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*. 2000; 15(10): 773-784.
 8. Seo S-C. Development and Application of a New Methodology for Separation and Analysis of Submicrometer-Sized Fungal Particles in Laboratory and Field Study: University of Cincinnati; 2007.
 9. Reponen T, Seo S-C, Grimsley F, Lee T, Crawford C, Grinshpun SA. Fungal fragments in moldy houses: a field study in homes in New Orleans and Southern Ohio. *Atmospheric Environment*. 2007; 41(37): 8140-8149.
 10. Seo S, Choung JT, Chen BT, Lindsley WG, Kim KY. The level of submicron fungal fragments in homes with asthmatic children. *Environmental Research*. 2014; 131: 71-76.
 11. Seo S-C, Reponen T, Levin L, Borchelt T, Grinshpun SA. Aerosolization of particulate (1→3)- β -D-glucan from moldy materials. *Applied and Environmental Microbiology*. 2008; 74(3): 585-593.
 12. Seo S-C, Reponen T, Levin L, Grinshpun SA. Size-fractionated (1→3)- β -D-glucan concentrations aerosolized from different moldy building materials. *Science of The Total Environment*. 2009; 407(2): 806-814.
 13. Heseltine E, Rosen J. WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould: WHO Regional Office Europe; 2009.
 14. Vesper S. Traditional mould analysis compared to a DNA-based method of mould analysis. *Critical Reviews in Microbiology*. 2011; 37(1): 15-24.
 15. Vesper S, Barnes C, Ciaccio CE, Johanns A, Kennedy K, Murphy JS, et al. Higher environmental relative moldiness index (ERMI) values measured in homes of asthmatic children in Boston, Kansas City, and San Diego. *Journal of Asthma*. 2013; 50(2): 155-161.
 16. Vesper S, McKinstry C, Ashley P, Haugland R, Yeatts K, Bradham K, et al. Quantitative PCR analysis of molds in the dust from homes of asthmatic children in North Carolina. *Journal of Environmental Monitoring*. 2007; 9(8): 826-830.
 17. Vesper S, McKinstry C, Cox D, Dewalt G. Correlation between ERMI values and other moisture and mold assessments of homes in the American Healthy Homes Survey. *Journal of Urban Health*. 2009; 86(6): 850-860.
 18. Vesper S, McKinstry C, Haugland R, Neas L, Hudgens E, Heidenfelder B, et al. Higher Environmental Relative Moldiness Index (ERMIsm) values measured in Detroit homes of severely asthmatic children. *Science of the Total Environment*. 2008; 394(1): 192-196.
 19. Vesper S, McKinstry C, Haugland R, Wymer L, Bradham K, Ashley P, et al. Development of an environmental relative moldiness index for US homes. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2007; 49(8): 829-833.
 20. Vesper S, Wakefield J, Ashley P, Cox D, Dewalt G, Friedman W. Geographic distribution of Environmental Relative Moldiness Index molds in USA homes. *Journal of Environmental and Public Health*. 2011; 2011.
 21. Vesper S, Wymer L, Meklin T, Varma M, Stott R, Richardson M, et al. Comparison of populations of mould species in homes in the UK and USA using mould-specific quantitative PCR. *Letters in applied microbiology*. 2005; 41(4): 367-373.
 22. Vesper SJ, Varma M, Wymer LJ, Dearborn DG, Sobolewski J, Haugland RA. Quantitative polymerase chain reaction analysis of fungi in dust from homes of infants who developed idiopathic pulmonary hemorrhaging. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2004; 46(6): 596-601.
 23. Täubel M, Karvonen AM, Reponen T, Hyvärinen A, Vesper S, Pekkanen J. Application of the environmental relative moldiness index in Finland. *Applied and Environmental Microbiology*. 2016; 82(2): 578-584.
 24. Méheust D, Gangneux J-P, Reponen T, Wymer L, Vesper S, Le Cann P. Correlation between Environmental Relative Moldiness Index (ERMI) values in French dwellings and other measures of fungal contamination. *Science of the Total Environment*. 2012; 438: 319-324.
 25. Méheust D, Le Cann P, Reponen T, Wakefield J, Vesper S, Gangneux J-P. Possible application of the Environmental Relative Moldiness Index in France: A pilot study in Brittany. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2013; 216(3): 333-340.
 26. Lee J, Hwang E, Lee J-Y, Ryu J, Seo S, Kwon M-H, et al. Establishment and Application of an Environmental Relative Moldiness Index for Dwellings in Korea. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020: 78-85.
 27. Kim DH, Park Y-S, Ji Jang H, Kim JH, Lim DH. Prevalence and allergen of allergic rhinitis in Korean children. *American Journal of Rhinology &*

- Allergy*. 2016; 30(3): e72-e8.
28. Verhoeff A, Van Wijnen J, Boleij J, Brunekreef B, Van Reenen?Hoekstra E, Samson R. Enumeration and identification of airborne viable mould propagules in houses: a field comparison of selected techniques. *Allergy*. 1990; 45(4): 275-284.
 29. Lee J-S, Kim SY, Choi KY, Ryu J, Hwang ES, Lee J, et al. Development of DNA-Based Assessment Method for Mold in Floor Dust of Dwellings in Korea. *Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene*. 2017; 27(4): 324-332.
 30. Eun-Seol Hwang J-SJ, In-Keun Shim, Jung-Sub Lee, and Jong-Chun Lee. Seasonal Airborne Fungal Concentration and Distribution in Apartment Buildings. *Journal of Korean Society of Living Environment*. 2019; 26(6): 825-833.
 31. Shelton BG, Kirkland KH, Flanders WD, Morris GK. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States. *Applied and Environmental Microbiology*. 2002; 68(4): 1743-1753.
 32. Huh E-H, Won D-H, Moon K-W. Trend in study of biological pollutants in indoor air quality in Korea. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2012; 38(4): 300-310.
 33. Song J-H, Min J-Y, Jo K-A, Yoon Y-H, Paik N-W. A study on airborne microorganisms in hospitals in Seoul, Korea. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2007; 33(2): 104-114.
 34. Oh H-J, Nam I-S, Yun H, Kim J, Yang J, Sohn J-R. Characterization of indoor air quality and efficiency of air purifier in childcare centers, Korea. *Building and Environment*. 2014; 82: 203-214.
 35. Park J-B, Kim K-Y, Jang G-Y, Kim C-Y, Lee K-J. Size distribution and concentration of airborne fungi in the public facilities. *Journal of Environmental Health Sciences*. 2006; 32(1): 36-45.
 36. Ministry of Environment RoK. Studies on Indoor Mold Management (III). 2008.
 37. Ministry of Environment RoK. Studies on Indoor Mold Management (V). 2010.

<저자정보>

서성철(교수)