

RESEARCH ARTICLE

입지조건에 따른 목조 문화재의 부유 진균의 분포 및 다양성에 관한 비교 연구: 보은 법주사와 순천 선암사

홍진영, 이정민, 김영희, 김수지, 조창욱, 박지희^{*}

국립문화재연구소 복원기술연구실

Distribution and Diversity of Airborne Fungi in Wooden Cultural Heritages Located at Different Geographical Condition : Cases Studies on Seonamsa Temple, Suncheon and Bupjusa Temple, Boeun

Jin Young Hong, Jeung Min Lee, Young Hee Kim, Soo Ji Kim, Chang Wook Jo, Ji Hee Park^{*}

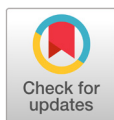
Restoration Technology Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

^{*}Corresponding author: siesta44@korea.kr

ABSTRACT

The Bupjusa and Seonamsa temples are located at places with geographically different condition, and therefore, differ with respect to building's structure and layout. In addition, evident difference can be appeared by the regional climate. For the 2 years, we studied the concentration and diversity of the seasonal airborne fungi inside and outside of the 2 temples. In Seonamsa temple, airborne fungi concentration in the indoor and outdoor air was higher and the species diversity in the indoor air was lower, whereas, concentration variation was larger than that of Bupjusa temple. A total of 173 fungal isolates (including 54 genera) and 162 isolated (including 49 genera) were obtained from the indoor air of Bupjusa and Seonamsa temple, respectively. Whereas, 80 fungal isolates (including 33 genera) and 74 isolates (including 39 genera) were collected from the outdoor air of Bupjusa and Seonamsa temple, respectively. However, more fungal varieties were observed to be distributed inside Bupjusa and outside Seonamsa temples. Amongst all the fungi identified, ascomycetes were more dominant (plus or minus 90% points), followed by basidiomycetes and zygomycetes; which more presented in outdoor air than in indoor air. The airborne fungi concentration in spring (month of April) and autumn was higher than in any other season, for Seonamsa and Bupjusa temples, respectively. Genus *Cladosporium* was isolated from each site and season, with its dramatic increase noted in autumn. In addition, the highest basidiospore(s) number was obtained after the rain. Consequently, the results suggest that Seonamsa temple was more susceptible to biological damage than Bupjusa temple was.

Keywords: Airborne fungi, Indoor and outdoor, Seasonal variations, Wooden cultural heritage



OPEN ACCESS

pISSN : 0253-651X
eISSN : 2383-5249

Kor. J. Mycol. 2019 June, 47(2): 131-42
<https://doi.org/10.4489/KJM.20190017>

Ji Hee Park
<https://orcid.org/0000-0001-9143-3239>

Received: April 30, 2019
Revised: June 13, 2019
Accepted: June 15, 2019

© 2019 THE KOREAN SOCIETY OF MYCOLOGY.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

곰팡이, 조류, 세균과 같은 많은 미생물은 문화재의 보존에 있어서 부정적인 영향을 줄 수 있다. 그 중에서 곰팡이는 공기 중에서 잘 생존하면서 군집화 능력이 뛰어나고 포자의 번식률도 높다 [1]. 또한 온도, 습도, 바람 그리고 지리적 위치와 같은 환경적 요인에 의한 영향을 받기 때문에 [2] 공기질 관리에 있어서 주의가 요구된다.

목조건축물은 대부분 옥외에 위치하기 때문에 기상 환경에 큰 영향을 받는다 [3]. 그 내부 역시 다양하게 변하는 기상 조건에 의해 영향을 받는데, 상대습도가 높아지거나 공기순환이 잘 이루어지지 않아 공기질이 정체된다면 미생물 피해에 쉽게 노출될 수 있다. 일반적으로 곰팡이는 재질에 오염물질을 만들고 효소를 분비하여 재질의 polymer를 끊고 분해시켜서 문화재에 손상을 일으킨다 [4]. 따라서 이러한 훼손을 방지하기 위해서 목조 건축물에서 미생물의 분포와 다양성에 대해 조사하는 일은 중요하다. 목조 건축물의 공기 중 부유 미생물의 분포와 다양성에 관한 연구는 해인사 장경판전 [5]과 여주 신륵사 [6], 창덕궁의 영화당과 주합루 [7], 순천 선암사 [8] 그리고 다양한 동산문화재를 보관하고 있는 각지의 보호각 [9] 등에서도 조사된 바 있다. 이와 같은 문화재 보관처에서는 *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria* 속 등과 같은 진균이 주로 분리된다. 이들은 실내·외 공기 등에 흔하게 분포하고 있지만 목재 표면을 변색시키는 표면 오염균으로 분류되어 [6] 문화재의 미적 가치에 손상을 일으키며 이들 중 *Aspergillus*와 *Penicillium* 속은 수분함량이 7-8%인 기질에서도 자랄 수 있기 때문에 특히 유해한 균주로 분류된다 [10].

법주사는 충북 보은군에 위치하고 있으며 +자형으로 배치되어 속리산이 경내를 감싸고 있는 형태이고 선암사는 전남 순천의 조계산에 위치한 고찰로 모두 신라시대에 창건되었다. 두 사찰은 모두 2018년 세계 문화유산에 등재될 만큼 다수의 중요 문화재를 보유하고 있는 유서 깊은 사찰들이다. 특히, 법주사에는 국내에 현존하는 유일한 5층 목탑인 팔상전이 국보 제 55호 지정되어 있으며 선암사에도 다양한 보물과 지정문화재가 다수 존재한다. 법주사와 선암사는 서로 다른 지형에 위치할 뿐 아니라 그에 따른 가람 배치를 형성하고 있다. 이와 같이 서로 다른 입지와 건물의 구조 및 배치가 공기질내 부유 진균의 분포에 미치는 영향이 다를 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 2017년과 2018년도의 봄, 여름 그리고 가을철에 법주사와 선암사의 전각 내부 및 외기 환경에서 수집된 부유 진균의 분포와 다양성 및 외기환경과의 연관성 그리고 지역과 계절에 따른 차이를 알아보고자 한다.

재료 및 방법

조사대상 및 시기 선정

공기질의 부유 진균에 대한 실내 조사 대상은 배치된 위치와 방향을 고려하여 각각 2개의 전각들을 선택하였다. 법주사에서는 삼성각과 팔상전을, 선암사는 지장전과 원통전을 선정하여 내부 공기질을 조사하였다. 삼성각과 팔상전은 모두 평탄한 곳에 자리 잡고 있으며 삼성각은 서쪽방향에 가장 안쪽에 위치하면서 북동방향에 주출입문이 있고 남동방향에 보조 출입문이 있다. 팔상전은 법당 앞뜰의 중심부에 위치해 있으며 사방에 창이 나 있는 구조의 5층 높이 건물로 삼성각과 팔상전은 방향과 위치가 서로 다르다. 선암사는 평탄한 지형에 위치한 법주사와 다르게 가파

른 지형에 여러 단(段)으로 깎고 그 단부에 축대를 쌓아 조성하였기 때문에 전각들이 높이가 다른 단(段)위에 위치하고 있다. 지장전은 가장 하단에 위치하면서 남서방향을 바라보고 있고 원통전은 그보다 3단 위에 높게 위치해 있고 남동방향에 출입문이 나있으며 좌측에 보조 문이 더 있는 구조로 이 두 건물은 위치와 높이 그리고 방향이 다르다. 조사 대상인 전각들의 위치는 Fig. 1에 나타내었다. 부유 진균의 수집은 2017년과 2018년도의 봄과 여름 그리고 가을철에 수행하였는데, 봄철에는 3월과 4월에 나누어 조사하였다.

부유 미생물의 조사 지점

실내 부유 미생물 조사는 내부 공간의 가운데 지점에서 공기를 수집하는 방식으로 이루어졌다. 단, 법주사의 팔상전과 선암사의 원통전은 중앙에 불단이 있는 구조이기 때문에 정면 좌측과 후면 우측의 두 곳을 조사 지점으로 삼았다. 외기 환경에 분포하는 진균은 법주사는 중앙 뜰에서, 선암사는 중간 높이의 단에서 수집하였다. 2018년도에는 외기 환경에서의 조사 지점을 추가하였는데 법주사의 경우 팔상전 앞뜰에서, 선암사는 지장전과 원통전 앞에서도 수집하여 위치와 높이에 따른 부유 진균의 농도를 비교하고자 하였다.

부유 미생물의 수집 및 분리

실내 및 외부 환경의 부유 진균은 공기를 포집하는 방식으로 수집하였으며 3 반복씩 수행하였다. Potato dextrose agar (PDA; Difco, MI, USA) 배지가 들어있는 plate를 에어 샘플러 (MAirT, Millipore, Burlington, MA, USA)에 장착하여 각각 250L의 공기를 포집하는 방법으로 수집하였다.

공기를 포집한 plate는 28°C의 조건에서 2-3일 배양한 뒤, 집락수를 세어 다음과 같은 식에 따라 공기 중 단위 체적당 집락수 (Colony Forming Units/m³)를 계산하였다. 부유미생물 CFU/m³ = 집락수 (CFU) / 흡인유량 (L) × 1,000 (L/m³). 공기 포집으로 수집한 미생물 중 배지상에서 성장한 미생물 군집(colony)의 표면형태, 크기, 색상 등을 관찰하여 단일 군집(single colony)을 분리하였다. PDA 배지에서 3일에서 2-3주 동안 순수 배양시킨 다음, 2차 형태 분류를 하였다. 분리한 진균들은 마크로젠 (Macrogen, Seoul, Korea)에 의뢰하여 다음과 같은 방법으로 염기서열을 분석을 통

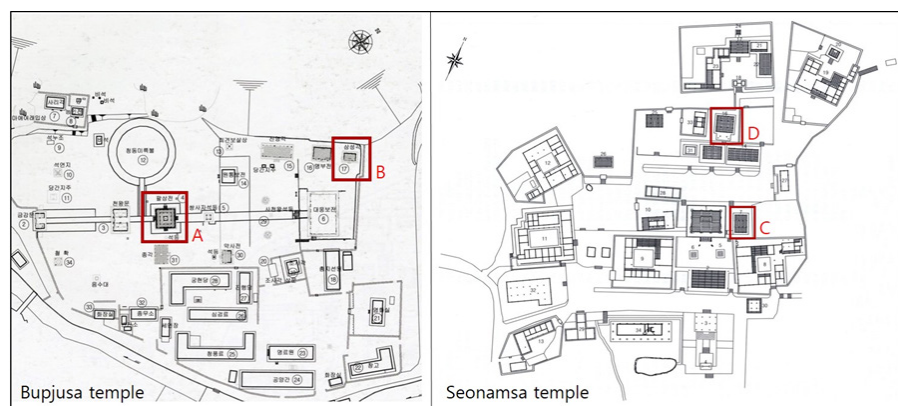


Fig. 1. Layout and direction of Bupjusa and Seonamas temples. A, Palsangjeon hall; B, Samsunggak; C, Jijangjeon hall; D, Wontongjeon hall.

해 중 동정하였다. 우선, ITS1과 ITS4 primers를 이용하여 PCR하였으며, 3730XL automated DNA sequencing system (Applied BioSystems, USA)을 이용하여 염기서열을 해독하였다. 해독된 결과는 NCBI (National Center for Biotechnology Information)의 데이터베이스 BLASTn Search 프로그램을 이용하여 종 동정하였다.

다양성 지수 (diversity index) 분석

염기서열 분석을 통해 동정된 진균을 대상으로 Shannon index 분석으로 두 사찰간의 종 다양성을 조사하고 비교하였다. 계산된 식은 Shannon Index (H) = $-\sum_{i=1}^k p_i \log p_i$. 와 같으며, p 는 발견된 특정 종(n), 개체의 비율(n/N)이며, k 는 종의 수를 나타낸다.

결과 및 고찰

법주사에서 실내 부유균의 농도

2017년과 18년도의 봄과 여름, 가을철에 삼성각과 팔상전에서 부유 진균을 수집하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다. 2017년 3월 봄철 조사 결과, 삼성각 내부 공기질에는 부유균이 110.67 CFU/m³의 농도로 조사되었고 팔상전의 좌측과 우측에서는 각각 113.33, 97.33 CFU/m³로 확인되어 두 곳에서 유사한 농도로 분포하였으며 2018년도에는 이보다 조금 낮아졌다. 4월에는 삼성각에서 157.33 CFU/m³, 팔상전의 좌측과 우측에서는 각각 154.67, 182.67 CFU/m³의 분포하여 3월에 비해 약 50% 이상 증가했던 한편, 2018년에는 3월보다 2배 이상 증가하여 200 CFU/m³ 가량의 농도로 17년 보다 더 높았다. 여름철에는 4월에 비해 부유균의 농도가 1.8배에서 2배가량으로 증가하였으며 대부분 담자균이 수집되어 다른 계절과 다른 분포양상을 나타냈다. 이와 같이 담자균류의 농도가 증가한 이유는 조사 당일에 내린 비로 인해 공기질의 상대습도가 많이 상승했기 때문으로 보여지는데, Pady and Kramer (1960)가 기술한 보고에서도 담자 포자의 농도가 가장 높았을 때는 6월에 비가 온 다음이었다고 하였다 [11]. 덧붙여 담자 포자는 높은 습도일 때 포자가 방출되어 일반적으로 새벽이나 밤시간에도 높은 피크를 보인다고 알려져 있다 [12]. 반면, 18년도 여름철 조사에서는 4월과 유사하거나 낮은 농도로 측정되었는데 삼성각에서 221.33 CFU/m³로 4월과 유사했고 팔상전에서는 각각 120 CFU/m³ 이하로 확인되어 4월보다 감소하여 전년도 여름철 조사와 다른 양상으로 나타났다. 17년도의 가을철 조사에서는 같은 해의 여름철보다 낮아졌지만 18

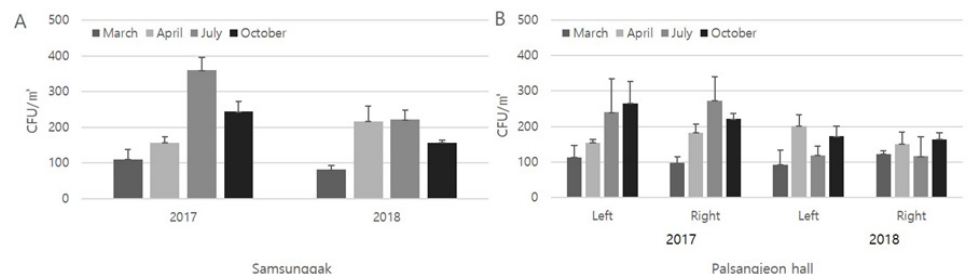


Fig. 2. Seasonal distribution of airborne fungi according to measurement sites in Bupjusa temple.

년도에는 그보다 더 낮아져 160 CFU/m³ 내외의 농도로 분포하였다.

법주사의 실내 공기질 부유 진균의 농도는 4월을 제외하고 17년 보다 18년에 더 감소하는 경향으로 나타났다. 두 번의 봄철 조사에서는 삼성각과 팔상전의 실내 공기질내 부유 진균의 농도가 유사했던 반면, 여름철과 가을철 조사에서는 팔상전보다 삼성각에서 더 높게 분포했다. 이는 구조와 공간적인 이유일 것으로 추정되는데, 삼성각은 구조상 정면과 측면에 출입문이 개방되어 있지만 면적이 다소 협소하며 덥고 습한 날씨에 참배객들의 잦은 출입으로 인해 내부 공기질의 진균의 밀도가 증가하는 것으로 보인다.

선암사에서의 실내 부유균의 농도

법주사와 동일한 시기에 선암사내 지장전과 원통전의 실내 공기질에서도 부유 진균을 수집하였다. 그 결과, 3월을 제외하고 전반적으로 법주사보다 부유 진균의 농도가 높은 것으로 나타났다. 17년도 3월 조사에서는 지장전에서는 102.67 CFU/m³, 원통전 좌측과 우측에서 각각 89.33, 85.33 CFU/m³의 부유균이 수집되어 두 지점의 격차도 크지 않았고 농도도 낮은 편이었다. 두 번의 3월 조사에 모두 일정한 농도를 보였던 법주사와 다르게 선암사는 18년도 3월에 약 50% 내외로 증가하였다. 17년도 4월에는 지장전에서 485.33 CFU/m³의 부유균이 수집되었고 원통전의 좌측과 우측에서 각각 481.33, 597.33 CFU/m³의 부유균이 분포하여 3월보다 5배 안팎으로 증가하였다. 그러나 여름철이 되자 50% 이하로 감소하였고 가을철에는 다시 증가하여 지장전에 220.00 CFU/m³, 원통전의 좌측과 우측에는 361.33, 1484.00 CFU/m³으로 분포하였다. 이때 원통전에서의 부유 진균 농도는 지장전 보다 높았으며 좌측에 비해 안쪽의 우측에서 5배 정도 높아 두 지점의 편차가 매우 크게 나타났다.

2018년도에는 부유균의 농도가 17년도보다 대체적으로 상승하였는데 특히, 4월 조사 시 강우로 인해 담자균류의 번식이 급격히 증가한 것으로 보인다. 특히, 원통전의 좌측과 우측에서 각각 901.33, 622.67 CFU/m³의 농도로 수집되어 3월보다 5배 이상 증가하였고 전년도 대비 2배 가까이 상승하여 분포하였다. 여름철 조사에서 지장전은 4월보다 감소하였지만 17년 여름철에 비해 2배 이상 증가하여 436.00 CFU/m³으로 나타났으며 원통전 내에서는 4월이 비해 70% 이상 감소하여 17년도 여름철과 유사한 농도로 분포하였다. 가을철에는 250 CFU/m³ 내외의 농도로 분포했다. 이와 같은 결과는 Fig. 3에 나타내었으며 선암사는 법주사보다 실내 전각들간에 공기질의 상태 편차가 높은 것으로 확인되었고 이러한 원인은 입지 조건에 따라 배치된 건물의 구조의 차이로 인한 것으로 추정된다.

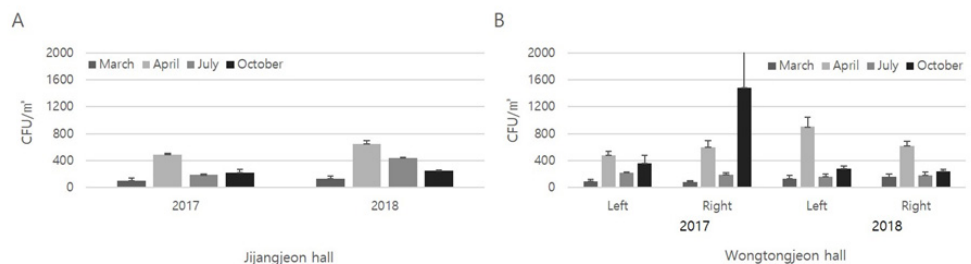


Fig. 3. Seasonal distribution of airborne fungi according to measurement sites in Seonamsa temple.

야외 환경에서의 부유 진균의 농도

법주사와 선암사의 외기 환경에서도 공기포집을 통해 부유 진균의 농도와 분포를 조사하였다 (Fig. 4). 17년도 3월 봄철에는 두 곳의 야외 공기질의 부유 진균 농도는 유사했지만 그 외 조사일에는 선암사의 공기질내 부유 진균의 농도가 법주사보다 높은 것으로 나타났다. 법주사의 경우, 17년도 여름철 조사 때 강우로 인해 대기의 상대습도가 상승하여 공기질내 진균의 농도가 높아질 것이라 예측했지만 4월 조사보다 더 낮은 농도로 확인되어 고농도였던 실내 공기질과 다른 경향을 나타내었다. 2년간 8번의 조사에서 가장 높은 농도를 나타낸 계절은 가을철로 17년도에는 276, 18년도에는 218.7 CFU/m³의 농도로 분포하였다.

선암사 외기환경의 부유 진균의 농도는 실내 공기질과 마찬가지로 법주사보다 높은 것으로 나타났다. 특히, 비가 내렸던 18년도 4월 조사 때에는 800 CFU/m³ 이상으로 가장 높은 농도를 기록하였고 17년도 4월에도 같은 해 가을철보다 3배 이상으로 높은 것으로 나타나 17년도와 18년도 모두 4월 공기질에 부유 진균이 가장 많이 분포하였다. 2년간의 조사를 통해 법주사는 가을철 공기질에, 선암사에는 4월 봄철 공기질에 부유 진균의 농도가 가장 높았으며 두 곳 모두 다른 계절에 비해 4월과 가을철에 많은 양의 부유 진균이 분포하였다. 18년도 여름과 가을철에 야외 공기질의 조사 지점을 추가하여 부유 진균을 수집한 결과, 농도와 다양성에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

김 등 (2012)은 서울시 대기 중 부유 진균의 농도를 매달 조사하였는데 우리의 결과와 유사하게 4월과 11월에 가장 높았다고 보고한 바 있다 [13]. 그러나 양 등 (2008)의 연구 결과를 포함하여 다른 많은 조사들은 다른 결과를 보고하기도 하였다. 이렇게 지역 특성에 따라 실외 부유 진균의 농도 분포에 차이가 나는 이유는 상이한 미생물 서식 환경, 측정 시간대, 시료채취 방법, 기후 조건의 차이 [14] 등 여러 가지 요인들을 제시할 수 있다. 또한, 봄과 가을철에 부유 진균의 농도가 높은 것은 미생물의 생존 조건 및 여러 환경 요인들의 작용에 의한 것이라 볼 수 있다 [13].

계절에 따른 분포 및 다양성

계절에 따라 공기 중에 부유하는 진균의 밀도는 다르며 다양한 포자 타입으로 존재한다. 계절에

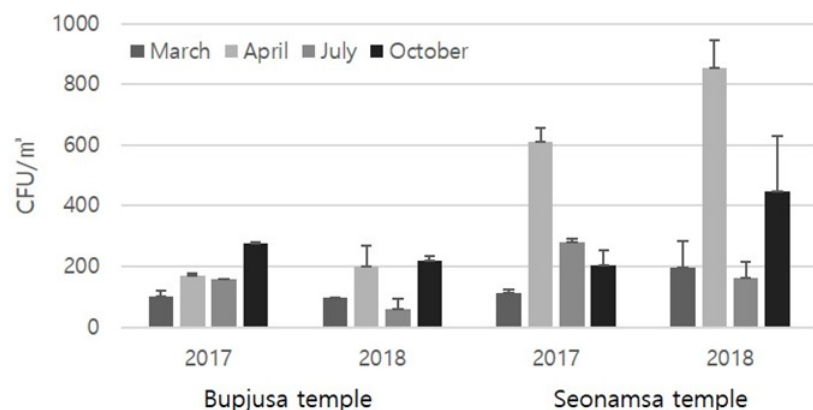


Fig. 4. Seasonal distribution of airborne fungi in the outdoor of Bupjusa and Seonamsa temple.

다른 진균의 농도와 분포에 관한 선행 연구는 국외에도 많이 진행되어 오고 있지만 나라마다 계절의 특성이 다르기 때문에 우리나라의 분포 양상과 상이할 수 있다. 국내에서도 우리의 조사와 일부 상이한 결과에 대해 보고되기도 하였다. 양 등 (2008)은 다중이용시설 부근의 외부 환경에서 매달 부유 진균을 포집하여 그 농도를 조사하였는데 그 결과, 11월에 가장 높아 9월과 10월인 가을철에 높았고 7월, 8월, 5월, 12월 순으로 낮아져 4월이 가장 낮았다고 보고하였다 [15]. 우리의 조사에서도 가을철에 높게 나타나 위의 보고와 일치하였지만 4월 봄철에도 함께 높은 농도로 확인되어 위의 결과와 일부 상반된 결과를 보이기도 하였다. 연도에 따라 계절별 농도 차이를 보였는데 법주사는 3월 봄철, 여름철, 가을철에는 17년도보다 18년도에 감소되는 경향을 나타낸 반면, 4월 봄철조사에서는 증가하였다. 이와 같은 경향은 외기 환경에서도 동일하게 나타났다. 실내 공기질간의 농도 차이는 계절에 따라 발생하였는데 Fig. 2에서 보듯이 법주사의 삼성각과 팔상전의 실내 부유 진균의 농도 격차는 여름철을 제외하면 크지 않았다. 그러나 선암사에서는 법주사와 다르게 실내 조사 지점간의 격차가 3월을 제외한 모든 계절에 발생되었는데 특히, 2018년도 4월 봄철과 여름철에 큰 격차가 벌어졌다. 실내와 실외 공기질에서의 연도별 증감에 대한 경향도 보이지 않았다. 진균의 농도 외에 포자의 타입도 계절에 따라 다르게 분포하는 것으로 확인하였다. *Cladosporium* 속은 모든 계절에서 분리되었지만 다른 계절에 비해 가을철 공기질에서 밀도 있게 존재하였다. *Cladosporium* 속은 평균 온도가 20.7°C, 습도 71.6%인 6월부터 자연계에서 증식하여 9월부터 대기 중으로 포자가 다량 방출되고, 바람이나 기류에 부상되어 실외의 농도가 증가한다고 보고된 바 있다 [15]. 또한, *Alternaria* 속과 함께 따뜻한 시기에 높은 농도를 나타낸다고 [16] 보고된 것처럼 4월 봄철 공기질에 높은 농도를 나타내는 경향을 보였다. *Penicillium* 속은 여름철에 실외보다는 실내 공기질에서 다수 분리되었으며 *Aspergillus niger*는 높은 농도는 아니지만 실내보다는 실외 공기질에 더 분포하였다. 이와 같은 진균들은 계절이나 기후에 따라 농도 차이만 나타낼 뿐 공기중에 흔하게 분포하는 것으로 알려져 있다. 법주사와 선암사는 산림과 계곡에 둘러싸여 있고 각각 보은과 순천의 평지보다 온·습도가 높은 환경에 노출되어 있기 때문에 [17] 진균의 서식에 더 좋은 조건이 될 수 있다. 특히, *Cladosporium*, *Penicillium* 등과 같은 자낭균 뿐만 아니라 담자균들은 목조건축물에 생물 피해를 발생시킬 가능성이 매우 높기 때문에 지속적인 모니터링과 관리가 요구된다.

지역적 비교

2년 동안의 겨울을 제외한 계절별 조사를 통해 공기 중에 분포하는 진균을 분리하였는데 법주사 실내에서는 총 54속 173점의 진균이 분리되어 41 taxa의 자낭균류, 12 taxa의 담자균류, 1 taxon의 접합균류로 분류되었고 선암사 실내에서는 49속 162점의 진균이 분리되어 39 taxa의 자낭균류, 10 taxa의 담자균류로 분류되었다. 그리고 실외 환경의 경우, 법주사에서는 33속 80점의 진균이 분리되어 26 taxa의 자낭균류, 4 taxa의 담자균류 그리고 3 taxa의 접합균류로 분류되었으며 선암사에서는 39속 74점의 진균이 분리되어 33 taxa의 자낭균류, 7 taxa의 담자균류로 분류되었다. 자낭균류가 가장 높은 비율을 차지하였고 담자균류, 접합균류로 순으로 낮아졌으며 진균의 다양성은 실외보다는 실내 환경에서 더 높은 것으로 나타났다. 실내 공기질에서는 법주사에서, 외기 환경에서는 선암사에서 더 다양한 진균이 분포하였다. 두 지역 간에 자낭균류가 차지하는 비율은 90% 내외로 유사하였지만 그 중에서 가장 높은 곳은 선암사의 외기 환경으로 91.89%를 차지하

였고 가장 낮은 곳은 선암사 실내 환경으로 88.89%였다. 담자균류는 실내보다는 실외 공기질에 더 많이 분포하였고 접합균류는 선암사의 실내·외 공기질에서 검출되지 않았다 (Table 1). 공기질에 높은 비율로 분포하는 자낭균류 중에서 가장 많이 분리된 진균은 *Cladosporium* 속으로, 농도의 차이는 보였지만 모든 시기와 조사지점에서 수집되었다.

실내 공기질에서의 분리된 빈도수를 조사 지점 별로 중복되지 않도록 조사하였으며 그 결과는 Table 2에 나타내었다. 대부분의 진균은 속 (genus) 수준에서 동정되었지만 일부 균주들에 대해서는 과 (family), 목 (order) 이나 강 (class) 수준에서 분류되었기 때문에 하단에 별도로 표시하였다. Table 2에서 보여지듯이 *Cladosporium* 속은 법주사에서 20번, 선암사에서 16번으로 가장 많이 검출되었고 그 다음으로 *Alternaria* 속과 *Penicillium*이 함께 각각 18번, 13번, *Arthrinium*이 10번, 7번 검출되었으며 이외에도 *Epicoccum*, *Aspergillus*, *Fusarium* 속이 여러 곳에서 다수 분리되었다. 위와 같이 빈도수가 높았던 진균들은 선암사보다 법주사에서 더 많이 검출되었으며 실외 환경 역시 실내 환경과 유사한 패턴으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 2년 동안의 수치를 나타낸 것으로 대부분의 진균들은 각각의 연도에 유사한 농도로 분리되었지만 몇몇은 격차를 보이기도 하였다. 그 중에서 법주사 공기질에서 분리된 *Aspergillus* 속이 가장 큰 격차를 보였는데 17년도에는 한 번만 검출되었던 반면, 18년도에는 7번이 검출되어 증가하였고 *Nigrospora* 속도 1개에서 4개로 증가하였다. 반면, *Epicoccum* 속은 8개에서 4개로, *Pestalotiopsis* 속도 5개에서 1개로 감소하였다. 선암사의 공기질에서는 *Trametes* 속이 17년도에 1개에서 18년도에 4개로 증가한 것 외에 다른 진균들은 유사한 빈도로 검출되었다. 법주사는 출현 빈도의 변화폭이 높은 진균들이 다양하게 존재하였고 실내에는 실외보다 22종의 다양한 진균이 더 분포하여 10종의 차이를 보였던 선암사에 비해 실내·외 간의 큰 격차를 나타냈다. 또한, Shannon's index 분석을 통해 두 사찰간의 다양성 지수를 조사하였는데 그 결과, 실내 환경에서의 법주사와 선암사에서의 Shannon 값이 각각 0.676과 0.658로 계산되었고 실외 환경에서도 각각 0.352와 0.347로 나타나 실내와 실외 환경에서 법주사가 선암사보다 다양성 지수가 더 높은 것으로 나타났다. Shannon 지수는 샘플에 존재하는 종의 다양성을 추정한 값으로 값이 클수록 다양성이 크다고 볼 수 있기 때문에 법주사가 선암사보다 더 다양한 진균이 분포하고 있음을 확인하였다. 그러나 선암사는 법주사보다 공기질에 내 부유하는 진균의 농도도 높을 뿐 아니라, 계절에 따라 혹은 비가 오는 대기상태에 놓일 때 법주사에 비해 담자균의 농도가 크게 증가하였다. 담자균은 주로 목재 부후를 일으키는 균류로 포자 상태에서 공기중이나 목재의 표면에 존재하여 적당한 수분과 온도가 주어진다면 발아하여 목재 조직내로 침입

Table 1. The numbers of fungal phyla isolated in Bupjusa and Seonamsa temples

Site	Fungal Phylum	Indoor		Outdoor	
		EA	%	EA	%
Bupjusa temple	Ascomycota	158	91.33	73	91.25
	Basidiomycota	14	8.09	4	5.00
	Zygomycota	1	0.58	3	3.75
	Total isolates	173	100	80	100
Seonamsa temple	Ascomycota	144	88.89	68	91.89
	Basidiomycota	18	11.11	6	8.11
	Zygomycota	0	0.00	0	0.00
	Total isolates	162	100	74	100

Table 2. The list of fungi (genus level) isolated in Bupjusa and Seonamsa temples

Genera	Fungal Phylum	Isolation no.	Identity (%)	Accession no.	Bupjusa		Seonamsa	
					In	Out	In	Out
<i>Agrocybe</i>	B	BP18080215	100	KM375928	1	-	-	-
<i>Alternaria</i>	A	SJI18032811	100	KY814634	18	8	13	8
<i>Antridiella</i>	B	BM18032709	99	LC149607	2	-	1	-
<i>Aphanocladium</i>	A	SWOUT18102405	99	JN809910	-	-	-	1
<i>Arthopyreniaceae</i> ¹	A	BM17032109	99	JQ388258	1	-	-	-
<i>Arthrimum</i>	A	BS18102310	99	KJ361492	10	5	7	1
<i>Arthrobotrys</i>	A	BP18080212	99	KU715138	1	-	-	-
<i>Ascochyta</i>	A	SJOUT18032819	98	EU167600	-	-	1	1
<i>Aspergillus</i>	A	BP18102308	96	JN709042	8	3	9	2
<i>Aureobasidium</i>	A	BPOUT18080208	99	KF367567	-	2	-	1
<i>Bionectria</i>	A	SWOUT18102407	99	KC890789	-	-	-	1
<i>Bjerkandera</i>	B	BMOUT170321B5	99	JQ388260	1	1	2	1
<i>Botryotinia</i>	A	SJOOUT17042611S	99	KF533035	-	-	-	1
<i>Botrytis</i>	A	BS18042708	99	KP671724	3	-	2	2
<i>Byssosclamyces</i>	A	BMOUT17042512S	91	KF028768	-	1	-	-
<i>Ceratobasidium</i>	B	BS17042509	100	KP715610	1	-	-	-
<i>Cerrena</i>	B	SJO18042301	98	JQ031127	-	-	1	1
<i>Chaetomium</i>	A	SJI18102415	100	MH474449	4	-	3	1
<i>Choanephora</i>	Z	BMOUT18080201	100	KJ461159	-	1	-	-
<i>Cladosporium</i>	A	BPOUT18102308	100	KY400091	20	8	16	6
<i>Colletotrichum</i>	A	BP17103124	90	KY697106	1	-	-	-
<i>Conidiobolus</i>	Z	BP18080220	99	NG027617	1	1	-	-
<i>Coniothyrium</i>	A	SW171102L7	95	KY318503	1	1	1	-
<i>Coniochaeta</i>	A	BP17072505	99	KT192359	1	-	-	1
<i>Coprinellus</i>	B	SJI18102408	99	KJ028784	-	-	1	-
<i>Cordyceps</i>	A	BS18080209	99	AB067709	1	-	-	-
<i>Corynespora</i>	A	SW18102402	93	KU898065	-	-	1	-
<i>Cryptococcus</i>	B	SJI18032806	97	HQ631032	-	-	1	-
<i>Curvularia</i>	A	BP18080211	100	KX013220	2	1	3	3
<i>Cylindrobasidium</i>	B	SJOOUT17042603B	92	KJ652553	-	-	-	1
<i>Daedaleopsis</i>	B	BS18080214	99	EU661889	1	-	-	-
<i>Diaporthe</i>	A	SW18042305	99	KU375736	-	-	2	-
<i>Diplodia</i>	A	BM18042712	96	EU080924	1	-	-	-
<i>Discosia</i>	A	BS17072511	99	KX611669	1	-	-	-
<i>Dothideomycetes</i> ³	A	BP17032111L	99	JQ988815	1	-	-	-
<i>Epicoccum</i>	A	BP18042707	96	KM977751	12	7	13	4
<i>Eupenicillium</i>	A	BMOUT18080210	99	EF413621	-	1	-	1
<i>Eurotiomycetes</i>	A	SW18032806	99	KP115714	-	-	2	-
<i>Exserohilum</i>	A	BS17103015	99	KT265257	1	-	-	1
<i>Flavodon</i>	B	BM17072508	99	FJ478126	1	-	-	-
<i>Fusarium</i>	A	SW18102404	100	MH910492	7	6	8	4
<i>Gibberella</i>	A	SJOOUT170426F6	98	HQ166398	-	-	-	1
<i>Glomerella</i>	A	BS17072506	93	JN672591	1	-	-	-
<i>Hydnophlebia</i>	B	BP17072502	99	KP715570	1	-	-	-
<i>Irpex</i>	B	SW18042303	99	JN615247	1	1	3	1
<i>Lecythophora</i>	A	BPOUT18102310	100	GQ377492	-	1	-	-
<i>Leptosphaerulina</i>	A	BMOUT18102318	94	KM668707	2	2	4	2
<i>Leptosphaeria</i>	A	SJI18102413	99	KX015980	1	-	2	2
<i>Letendrea</i>	A	BPOUT18102316	100	LT796897	-	1	-	-
<i>Magnaporthe</i>	A	BP18080217	100	KY825257	1	-	-	-

Table 2. continued

Genera	Fungal Phylum	Isolation no.	Identity (%)	Accession no.	Bupjusa		Seonamsa	
					In	Out	In	Out
<i>Moesziomyces</i>	B	BMOUT18102311	99	LC368624	-	1	-	-
<i>Metschnikowia</i>	A	SJI17072615	95	AB998398	-	-	1	-
<i>Microdiploia</i>	A	SJO18042312	93	HQ108003	1	-	2	-
<i>Microdochium</i>	A	BM18042707	98	AB255278	1	-	-	-
<i>Monilinia</i>	A	BS17042514	99	AY805571	1	-	-	-
<i>Monochaetia</i>	A	BMOUT17103114	93	JN222972	-	1	-	-
<i>Myrothecium</i>	A	BS17103011	99	HM043804	1	-	-	-
<i>Neopestalotiopsis</i>	A	BM17072504	100	KY319134	1	-	-	-
<i>Neurospora</i>	A	BS18032710	97	KY587311	1	-	-	-
<i>Nigrospora</i>	A	SW18102406	100	KU504313	5	3	3	1
<i>Paraphaeosphaeria</i>	A	SJO17042613	98	JX401954	-	-	1	-
<i>Penicillium</i>	A	BMOUT18102315	100	KY606558	18	6	13	6
<i>Peniophora</i>	B	SJI18042311	99	JN198493	-	-	2	-
<i>Periconia</i>	A	SJI18102414	99	MF435088	4	3	6	2
<i>Pestalotiopsis</i>	A	SWOUT18102414	99	EF451804	6	1	3	3
<i>Phanerochaete</i>	B	BMOUT170725B9	99	KJ668488	-	1	-	1
<i>Peyronellaea</i>	A	SJI17042609	97	KT192408	-	-	1	-
<i>Phaeosphaeria</i>	A	BP17042508R	98	KT264716	1	-	-	-
<i>Phaeosphaeriaceae</i> ¹	A	BS18102315	99	KY568988	1	-	-	-
<i>Phoma</i>	A	BP18102315	92	KT881552	6	5	6	2
<i>Phomopsis</i>	A	SJI18042313	99	EF432292	-	-	1	-
<i>Pleosporaceae</i> ¹	A	SJI18080605	99	HQ832799	-	-	1	-
<i>Pithomyces</i>	A	BMOUT18102317	99	MH857653	-	1	-	1
<i>Pleospora</i>	A	BPOUT18102314	99	KP334720	-	1	-	-
<i>Pleosporales</i> ²	A	BM18042714	99	KX096687	5	1	4	1
<i>Polyporales</i> ²	B	BP18032717	99	JQ312191	1	-	-	-
<i>Pseudonectria</i>	A	SJOUT17110207	99	KM231776	-	-	-	1
<i>Pseudopithomyces</i>	A	SW18102420	99	MF919624	-	-	1	-
<i>Psilogonium</i>	A	SJI17110204	100	KY378959	-	-	2	-
<i>Rhizoctonia</i>	B	BP17042515L	99	HQ853687	1	-	-	-
<i>Rhizopus</i>	Z	BMOUT180327B6	99	MF445258	-	1	-	-
<i>Septoria</i>	A	SJI17032213	99	KR873250	-	-	1	-
<i>Stachybotrys</i>	A	SW17032204R	99	KC305349	-	-	1	-
<i>Streptobotrys</i>	A	SW17042613R	98	KP161602	-	-	1	-
<i>Talaromyces</i>	A	SJIOUT18080606	100	KU203322	1	2	2	2
<i>Thanatephorus</i>	B	SJO17032209	99	EU326212	-	-	1	-
<i>Torula</i>	A	SW17032207L	94	FJ478093	-	-	1	-
<i>Trametes</i>	B	SW18042310	99	KC176325	2	-	5	1
<i>Trametopsis</i>	B	SW17032203L	98	KJ183186	-	-	1	-
<i>Trichoderma</i>	A	SPOUT18102413	99	JF736513	3	1	3	1
<i>Verrucobotrys</i>	A	SW18032808	96	KP749211	-	-	1	2
<i>Xylariales</i> ²	A	BMOUT18102306	98	AB255288	-	1	1	1
<i>Setophoma</i>	A	SJIOUT18102410	97	KT581744	-	-	-	1
<i>Davidiella</i>	A	BP18042701	99	HG935237	2	-	1	-
<i>Tritirachium</i>	A	BS17103002	100	JN084016	1	-	-	-
<i>Yuchengia</i>	B	BM18042704	99	KX081126	1	-	-	-
Total					173	80	162	74
No. of taxa					54	33	49	39

A, Ascomycota; B, Basidiomycota, Z, Zygomycota, -, not detect, ¹: family, ²: order, ³: class level

하여 손상을 일으키기 때문에 [18] 법주사보다 선암사가 생물피해 가능성에 노출될 위험이 더 클 것으로 보여진다.

적요

법주사와 선암사는 다른 지리적 조건에 위치하고 있으며 그에 따라 건물의 구조와 배치에도 차이를 보인다. 또한 지역적 기후 차이가 뚜렷한 것으로 나타나 두 곳의 실내·외 공기질에 분포하는 부유 진균의 농도와 다양성을 2년 동안 계절별로 비교하고자 하였다. 그 결과, 전반적으로 선암사의 실내·외 환경에서 부유 진균의 농도가 법주사보다 높았지만 실내의 경우, 종 다양성은 낮았으며 전각들간의 농도 편차는 컸다. 실내의 경우, 법주사에는 총 54속 173점의 진균이, 선암사에서는 총 49속 162점의 진균이 분리되었고 외기 환경의 경우, 법주사에서는 33속 80점의 진균이, 선암사에서는 39속 745점의 진균이 분리되어 법주사는 실내에서, 선암사는 외기 환경에 더 다양한 진균이 분포하였다. 두 곳의 공기질에는 자낭균류가 90% 내외로 가장 높은 비율을 차지하였고 담자균류와 접합균류 순으로 구성되어 있었으며 담자균류의 경우, 실내보다는 외기 환경에 더 많이 분포하였다. 두 곳 모두 다른 계절에 비해 4월 봄철과 가을철에 부유 진균의 농도가 높은 것으로 나타났으며 법주사는 특히 가을철에, 선암사는 4월 봄철에 더 높았다. 자낭균류인 *Cladosporium* 속은 모든 시기와 지점에서 검출되었으며 특히, 가을철 공기질에서 우점하였다. 또한, 비가 내려 대기가 습해진 공기질에는 담자균류의 번식이 급증하였는데, 이러한 대기 조건에 놓일 때, 선암사가 법주사보다 생물피해에 더 노출되기 쉬운 환경에 접해있는 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Convergence Research Project on Cultural Heritage, through the National Research Institute of Cultural Heritage (NRICH) in the Republic Korea.

REFERENCES

1. Wang W, Ma X, Ma Y, Mao L, Wu F, Ma X, An L, Feng H. Seasonal dynamics of airborne fungi in different caves of the Mogao Grottoes, Dunhuang, China. *Int Biodeter Biodegr* 2010;64:461-6.
2. Muhsin TM, Adlan MM. Seasonal distribution pattern of outdoor airborne fungi in Basrah city, Southern Iraq. *J Basr Res (Sci)* 2012;38:90-8.
3. Na WJ. Prediction of equilibrium moisture content and investigation of biodeterioration causes in the Korean traditional wooden architectures. [dissertation]. Chonnam National University; 2016.
4. Ravikumar HR, Shwetha SR, Karigar CS. Biodegradation of paints: a current status. *Indian J Sci Technol* 2012;5:1977-87.
5. Hong JY, Kim YH, Jung MH, Jo CW, Choi JE. Characterization of xylanase of fungi isolated from Janggyeong Panjeon in Haeinsa temple. *Kor J Mycol* 2011;39:198-204.
6. Kim SH, Lee HJ, Lee MY, Jeong SH, Chung YJ. Monitoring on biological distribution around historical wooden buildings adjacent to river-with the case study of Silleuksa temple, Yeosu

- city. J Conserv Sci 2017;33:267-74.
7. Kim MJ, Shin HK, Choi YS, Kim GC, Kim GH. An aeromycological study of various wooden cultural heritages in Korea. J Cult Herit 2016;17:123-30.
 8. Hong JY, Kim YH, Lee JM, Kim SJ, Jo CW, Park JH. Seasonal distribution and diversity of airborne fungi in a wooden cultural heritage site: a case study of the Seonamsa temple, Suncheon. Kor J Mycol 2018;46:122-33.
 9. Hong JY, Seo MS, Kim SJ, Kim YH, Jo CW, Lee JM. A survey for distribution of airborne microorganisms in storage of movable cultural properties. Conserv stud 2015;36:64-73.
 10. Kowalik R. Microbiodeterioration of library materials. Part 1. Restaurator 1980;4:99-114.
 11. Pady SM, Kramer CL. Kansas aeromycology. X. Basidiomycetes. Trans Kans Acad Sci 1960;63:125-34.
 12. Halbwachs H, Bässler C. Gone with the wind-a review on basidiospores of lamellate agarics. Mycosphere 2015;6:78-112.
 13. Kim KY, Kim DK. Distribution characteristics of airborne fungi in a partial area of Seoul city. J Environ Health Sci. 2012;38:407-14.
 14. Shaffer BT, Lighthart B. Survey of culturable airborne bacteria at four diverse locations in Oregon: urban, rural, forest and coastal. Microb Ecol 1997;34:167-77.
 15. Yang SY, Park SJ, Chung WH, Kim JH, Kim JM, Chung YH. A study on the biopollutants (fungi) of public facilities. Environmental Microbiology Division, Environmental Health and Safety Department, National Institute of Environmental Research. 2008.
 16. Hameed AA, Khoder MI, Yuosra S, Osman AM, Ghanem S. Diurnal distribution of airborne bacteria and fungi in the atmosphere of Helwan area, Egypt. Sci Total Environ 2009;407:6217-22.
 17. Kim MN, Lim BA, Lee MS, Jeong SY. Comparison of characteristics of local meteorological and particulate matter (TSP) on the Beopjusa temple and Seonamsa temple. J Conserv Sci 2017;33:283-95.
 18. Solár R, Kurjatko S, Mamon M, Košíková B, Neuschlová E, Výbohová E. Selected properties of beech wood degraded by brown-rot fungus *Coniophora puteana*. Drvna Ind 2009;58:3-11.