

RESEARCH ARTICLE

목조문화재에서 계절에 따른 부유 진균의 분포 및 다양성에 관한 연구: 순천 선암사를 중심으로

홍진영, 김영희, 이정민, 김수지, 조창욱, 박지희*

국립문화재연구소 복원기술연구실

Seasonal Distribution and Diversity of Airborne Fungi in a Wooden Cultural Heritage Site: A Case Study of The Seonamsa Temple, Suncheon

Jin Young Hong, Young Hee Kim, Jeung Min Lee, 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 Seonamsa temple is located on steep terrain surrounded by forests and valleys, and is a place that the temple is scared of biological damage because it has high humidity and low wind levels. Therefore, we investigated a concentration and diversity of airborne fungi in indoor and outdoor by collecting air each season. The outdoor fungal load was far higher in spring (276 CFU/m³), autumn (196 CFU/m³), summer (128 CFU/m³) than in winter (24 CFU/m³). The lowest located Jijangjeon and upper located Wontongjeon showed the highest distribution of 337.4 CFU/m³ in summer and 333.4 CFU/m³ in autumn, respectively. Summer is the season with large variations in the concentration of airborne fungi between indoor and outdoor, a concentration of airborne fungi in indoor was maximum three times higher than these in outdoor with 128 CFU/m³. Although the most fungi were collected in spring, fungal diversity was richer in summer and autumn with 28 genera 45 species and 25 genera 47 species, respectively. In particular, the concentration of airborne fungi was the most highest in all sampling sites in autumn, of which Ascomycota members accounted for 86% and *Cladosporium* genus was dominated. The most kind of *Penicillium* (16 species) was mainly distributed in indoor air in summer, autumn and winter.

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

OPEN ACCESS

Kor. J. Mycol. 2018 June, 46(2): 122-133
<https://doi.org/10.4489/KJM.20180016>

pISSN : 0253-651X
 eISSN : 2383-5249

Received: March 12, 2018

Revised: May 28, 2018

Accepted: May 29, 2018

© 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

국내에는 많은 목조건축물들이 존재하는데 대부분 오랜 시간 외부환경에 노출되면서 다양한 손상을 받고 있다. 특히, 온·습도와 같은 환경요인은 생물 열화원 특히, 곰팡이의 활성화와 분포에 큰 영향을 주기 때문에 목조건축물의 손상을 더 악화시킨다. 이러한 손상을 방지하기 위

해 목조문화재에서 곰팡이의 분포와 다양성에 대해 조사하는 것은 중요하다.

일반적으로, 곰팡이의 포자와 균사체는 공기 중에 떠다니면서 기류에 의해 확산되며 공기 중의 포자는 일변화(diurnal change) 뿐 아니라 계절별, 지역적, 글로벌한 패턴을 보여줄 수 있다[1]. 외부 공기질의 곰팡이 농도와 종류는 지역과 계절에 따라 다양하게 변하고[2, 3] 바람, 온·습도, 강우, 고도 및 주변 식생 등과 연관되어 있다[4]. 또한, 실내 공기질의 곰팡이 오염은 유기 물질이 있거나 실내의 온·습도와 환기 상태 그리고 외기 환경의 곰팡이 농도에도 영향을 받으므로[2, 3] 실내와 외부 공기질에서 진균의 농도 및 다양성은 매우 밀접하게 관련되어 있다[5]. 공기질에 분포하는 진균들 중에서 *Alternaria*속, *Aspergillus*속, *Fusarium*속, *Penicillium*속, *Trichoderma*속, *Ulocladium*속, *Chaetomium*속이 목재와 같은 유기질에 손상을 일으키는 대표 종이며, 이들 중, *Aspergillus*속과 *Penicillium*속은 수분함량이 7~8%인 기질에서도 자랄 수 있기 때문에 특히 유해한 균주로 분류된다[6].

목조문화재의 보존 환경을 포함한 건조물 내·외부 환경에 대한 진균상 조사는 지속적으로 이루어지고 있다. Kim 등 [7]은 영화당과 주합루에서 개방 여부에 따른 부유 곰팡이에 대해 조사하였으며 공주 송산리 고분[8]과 다양한 동산문화재 다량 보관처 및 전시실에서도 미생물의 분포 및 서식환경[9,10]에 대해 보고된 바 있다. 이 외에도 가정이나 병원, 학교 등과 같은 생활 장소 및 다중 이용시설에서도 공기 중 곰팡이의 분포를 조사하고 계절에 따른 변화 추이를 보고하기도 하였다[11-16].

선암사는 전라남도 순천의 조계산에 위치한 고찰로 신라시대에 창건되었고 많은 화재로 인해 여러 차례 중건되었으며 다수의 중요 문화재가 있어 역사적 가치가 큰 사찰이다. 계곡 지형에 위치하여 있고 연평균 온·습도가 12.8°C와 78.5%이며 바람은 평균 0.4 m/s의 풍속으로 남동풍이 분다[17]. 같은 시기의 순천 지역의 연평균 온·습도는 12.6°C와 71.1%였고 풍속은 1.2 m/s인 것과 비교하면 선암사의 평균 온·습도는 평지보다 높았고 바람의 세기는 약한 것으로 나타났다. 선암사의 가람 배치는 가파른 지형을 여러 단(段)으로 깎고 그 단부에 축대를 쌓아 조성하였기 때문에 전각들이 높이가 다른 단(段) 위에 위치하고 있으며 남동 방향을 바라보고 있다(Fig. 1). 건물 뒤편이 축대로 막혀있는 구조로 통풍이 원활하지 않고 해가

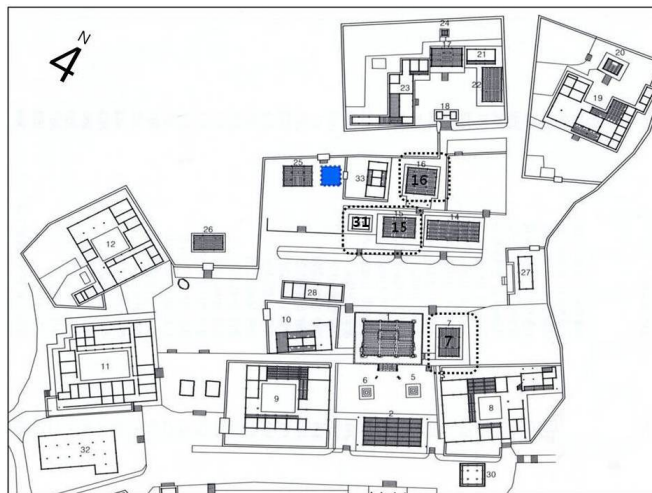


Fig. 1. Layout and direction of Seonamsa temple. 7, Jijanjeon hall; 15, Buljojeon hall; 16, Wontongjeon hall; 31, Josadang shrine.

들지 않는 조건으로 생물 피해가 우려된다. 따라서 본 연구에서는 선암사에서 전각들의 내부와 외부 공기질에 대한 부유 진균의 농도와 분포를 조사하고 가람 배치에 따른 차이와 계절에 따른 변화를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

부유 진균의 조사 지점

조사 대상으로 선정된 4개 전각은 지장전과 불조전, 조사당, 원통전이며 각각은 서로 다른 높이의 단(段) 위에 위치하고 있다. 지장전은 대웅전의 우측에 직각 방향으로 대웅전을 향하여 배치되어 있으며 불조전과 조사당은 대웅전의 뒤편에 한단 높게 나란히 위치해 있고 원통전은 그 뒤편에 한단 더 높게 대웅전을 향하여 위치하고 있다. 실내 부유 진균의 조사는 좌측과 우측에서 3번씩 실내 공기를 수집하는 방식으로 이루어졌으며 양쪽 벽에서 1m 떨어진 지점에서 수행하였다. 단, 원통전은 중앙에 불단이 있는 구조이기 때문에 정면 좌측과 후면 우측을 조사 지점으로 삼았다. 겨울철 원통전의 실내 조사는 계속되는 예불로 인해 출입이 불가하였기 때문에 조사대상에서 제외시켰다. 외기 환경에서의 진균 수집은 불조전 앞쪽에서 실시하였다.

부유 진균의 수집 및 분리

실내 환경의 부유 진균은 내부의 좌측과 우측에서 공기를 포집하는 방식으로 수집하였으며 3번씩 수집하였다. potato dextrose agar (PDA; Difco, Detroit, MI, USA) 배지가 들어있는 plate를 에어샘플러 (MAirT; Millipore, Burlington, MA, USA)에 장착하여 각각 250 L의 공기를 포집하였으며 외기 환경에서도 동일한 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 Unit/m³)를 계산하였다. 부유 진균 CFU/m³ = 집락수(CFU) / 흡인유량(L) × 1,000 (L/m³).

공기 포집으로 수집한 진균 중 배지상에서 성장한 미생물 군집(colony)의 표면형태, 크기, 색상 등을 관찰하여 단일 군집(colony)을 분리하였다. PDA 배지에서 3일에서 3~4주 동안 순수 배양시킨 다음, 2차 형태 분류를 하였다. 분리한 균들의 종 동정은 ribosomal DNA의 internal transcribed spacer 영역(ITS rDNA)의 염기서열 분석을 통해 NCBI (National Center for Biotechnology Information)의 데이터베이스 BLASTn Search 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

실내 부유 진균의 농도 및 분포

선암사에서 조사 지점으로 선정한 네 곳의 실내에서 봄과 여름, 가을 그리고 겨울철에 공기질을 포집하여 96개의 샘플링 플레이트를 얻었으며 이로부터 진균을 분리하였다. 분리된 진균들은 39 taxa의 자낭균류, 13 taxa의 담자균류 그리고 1 taxon의 접합균류로 분류되었다. 1년 동안 4번의 조사로 원통전에서는 820.7 CFU/m³로 가장 많은 부유균이 수집되었고 조사당,

지장전, 불조전에서는 각각 720.9 CFU/m³, 676.0 CFU/m³, 598.3 CFU/m³이 부유하고 있음을 확인하였다. 선암사의 가람 배치에서 가장 하단에 있는 지장전의 경우, 여름철 조사에서 337.4 CFU/m³를 나타내 다른 전각들보다 부유 진균의 농도가 가장 높았고 봄, 가을, 겨울철 조사에서는 가장 낮았다. 봄철 조사에서는 가장 높은 농도를 보인 곳은 조사당으로 315.4 CFU/m³의 진균이 분포하였고 원통전, 불조전, 지장전 순으로 낮아졌다. 가을에는 원통전에서 333.4 CFU/m³의 농도로 분포하였으며 조사당에서는 191.4 CFU/m³, 지장전과 불조전에서는 130 CFU/m³ 수준의 분포 농도를 나타내었다. 마지막으로 겨울 조사에서는 실내·외 공기질에서 전체적으로 낮은 농도(30 CFU/m³ 이하)의 진균이 분포하는 것으로 나타났다.

또한, 봄철에는 1~2종의 부후균이 플레이트를 대부분 차지하고 있었던 반면, 여름철에는 소수의 자낭균이 우점하여 두 계절이 대비되었는데, 이러한 분포 양상은 지장전 내부 환경에서만 관찰되었다. 지장전은 가장 하단에 위치하면서 기타 전각들과는 다르게 출입문이 북서 방향으로 나있고 그 외에 다른 창이 없는 구조로 되어 있기 때문에 외부로부터 받는 영향이 다를 것으로 생각된다. 또한, 선암사 내에는 주로 남동풍이 불기 때문에 따뜻하고 습한 공기가 내부에 정체되어 그 외의 전각들과는 다른 분포 양상을 보였을 것으로 생각된다. 조사 대상 중 가장 높은 위치에 있는 원통전은 가을철 조사에서 가장 높은 농도의 분포율을 보였으며 자낭균류가 다수를 이루었다. 조사 사이트에서의 단위 면적당 부유 진균의 농도는 Table 1에 나타내었다.

실외 환경에서의 부유 진균 조사

외기 환경에서 부유 진균을 포집한 결과, 봄에는 276 CFU/m³, 여름에는 128 CFU/m³, 가을에는 196 CFU/m³ 그리고 겨울에는 24 CFU/m³로 나타나 봄철에 부유 진균의 농도가 가장 높았고 가을, 여름, 겨울 순으로 낮아졌다(Table 1). 봄철 야외 공기질에는 *Peniophora*속의 담자균과 *Arthriniium*속, *Pleosporales*속, *Coniothyrium*속 등의 자낭균이 분포하여 실내 공기질, 특히, 조사당의 내부 환경과 유사한 분포도를 보였다. 가을 조사에서는 봄이나 여름철과는 다르게 *Cladosporium*속의 분포수가 확연하게 증가하여 우점하였고 소량의 *Penicillium*속과 *Alternaria*속 등의 기타 자낭균과 담자균이 함께 확인되었다.

이러한 결과는 Sautour 등[14]이 실외 공기 중 진균의 농도는 가을에 가장 높았으며 여름, 봄, 겨울 순으로 낮아졌다고 한 보고와 Kim 등[7]이 여름보다는 봄에 진균의 다양성이 높았

Table 1. Seasonal distribution of airborne fungi according to measurement sites in Seonamsa temple

Site / Seasons		Airborne Fungi, CFU/m ³			
		Spring	Summer	Autumn	Winter
Indoor	Jijangjeon hall	190	337.4	130	18.7
	Josadang shrine	315.4	183.4	191.4	30.7
	Buljojeon hall	257.3	183.4	136	22
	Wontongjeon hall	290.7	196.7	333.4	-
Outdoor		276	128	196	24

-, not detect.

으며 여름철에 많은 담자균이 공기 중에 분포하고 있다고 보고한 결과들과 비교하면 일부 상이한 부분이 존재한다. 우리의 조사에서는 진균의 농도와 분포도가 봄철과 여름철 조사에서 유사하게 나타났는데 그 이유는 조사 당시의 기상조건 때문인 것으로 보인다. 일반적으로 봄철은 대기가 건조하지만 조사 전날 하루 종일 내린 비로 인해 조사 당일에 대기의 상대습도가 70% 내외로 상승하였다. 이에 여름철과 유사하게 다습한 대기 조건이 형성되어 담자균의 포자 번식이 활발했을 것으로 짐작된다. 또한, 7월에 비가 내린 후 담자균이 최고로 증가하였다 [18]라는 보고로 미루어보아 여름철의 대기 상태나 비가 내리는 기상조건이 담자균의 번식에 크게 영향을 미치는 것으로 보인다. 또한, Pavan 과 Manjunath [15]도 비가 내린 직후에는 CFU/m³가 증가하였다고 보고한 바 있다. 여름철 외기 환경에서 분포하는 진균의 종류도 비가 와서 대기가 습했던 봄철 조사와 유사하게 나타날 것으로 예상했지만 담자균보다는 *Hypocrea*속, *Cladobotryum*속, *Trichoderma*속 등의 자낭균이 더 많이 분포하였다. 따라서 선암사 내 공기 중 담자균은 여름철보다는 비가 왔던 봄철 공기질에 더 분포하고 있음을 확인하였다. 겨울철의 공기질 속에는 다른 계절보다 진균의 농도는 낮았지만 종 다양성은 봄철보다 높은 것으로 나타났다. Sautour 등[14]은 겨울철 외기 환경에서 *Penicillium*속과 *Aspergillus*속이 많이 분포하였고 *Cladosporium*속은 적은 농도로 검출되었다고 보고하였지만 선암사의 겨울철 공기질에서는 특이적으로 높은 분포율을 나타내는 진균은 없었고 검출된 모든 진균이 낮은 농도를 보였다.

계절적 다양성

전각들 내부에서 포집된 전체 집락수를 합산하여 계절에 따른 분포를 알아본 결과, 봄철에 1053.3 CFU/m³의 농도로 가장 많은 진균이 포집되었으며 담자균인 *Irpex*속과 자낭균인 *Arthrinium*속이 우점종인 것으로 나타났다. 여름에도 900.6 CFU/m³로 비교적 많은 진균이 부유하고 있었지만, 지장전의 경우에는 *Irpex*속이 대다수 분포했던 봄철 조사와는 다르게 *Penicillium*속이 다량 분포하였다. 그 외 다른 전각들에서는 봄철과 유사한 분포를 나타내면서 *Aspergillus*속이나 *Penicillium*속과 같은 자낭균의 분포가 소량 증가함을 확인하였다. 가을에는 790.6 CFU/m³로 진균의 전체 농도는 감소하였지만 *Cladosporium*속 등을 포함한 자낭균의 비율이 뚜렷하게 증가하여 여름철과 전혀 다른 분포 양상을 보였다. 이러한 변화는 곰팡이 중에서 mold나 staining fungi들의 포자 번식이 늦여름이나 가을에 확산된다[19]라는 보고와 일치한다. 겨울에는 원통전을 제외한 세 전각에서 71.4 CFU/m³의 진균이 수집되어 공기 중 부유 진균의 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

이번 조사에서 공기질에 분포하는 진균의 종 다양성은 대기의 상대습도가 70%로 높았던 봄과 여름철에는 조사당에서 높았고 가을에는 지장전 그리고 겨울에는 외부 공기질에서 높은 것으로 확인되었다. 네 계절 중에서 봄철에 가장 많은 수의 부유균이 수집되었지만 종 다양성은 가장 낮은 것으로 조사되어 개체수의 증가가 종의 다양성을 높이지는 않았다. Table 2와 Table 3은 지점에 따라 분리된 진균 종(species)의 수를 정리한 것으로 가을철에 대부분의 조사 지점에서 부유 진균의 분포도가 가장 높았으며 그 중에서 자낭균(ascomycota)이 86%를 차지하였다. 또한, 조사당에서 가장 많은 종의 부유 진균이 수집된 것으로 확인되었다. 계절에 따른 종 다양성은, 여름에 28속(45종), 가을에 25속(47종), 겨울에는 21속(36종) 그리고 봄

에 18속(20종)이 분리되어 여름과 가을철 공기질에서 가장 다양성이 높았으며 겨울, 봄 순으로 감소하였다. 선암사의 공기질에서 분리된 진균들 중에서 동일한 속(genus)에서 가장 높은 종다양성을 나타낸 균은 *Penicillium*속으로 16종이 확인되었고 외부 환경에서보다는 여름과 가을, 겨울철의 실내에서 주로 검출되었다.

다른 계절에서는 검출되지 않고 한 계절에만 분리되는 종도 있었는데 봄과 여름, 가을, 겨울에 각각 4속, 7속, 7속, 6속이 분리되었으며 동정 결과는 Table 4에 나타내었다. 반면, 계절마다 분포율의 차이는 보였지만, *Arthrinium*속과 *Alternaria*속, *Cladosporium*속, *Penicillium*속, *Pestalotiopsis*속의 자낭균들은 모든 계절에서 공통적으로 검출되었으며 배양된 plate 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 또한, 각 계절에 따라 분리된 진균들 중에서 담자균류는 Table 5에 나타냈으며 자낭균류는 실내와 실외에 대해 각각 Table 6과 Table 7에 나누어 표기하였다.

Table 2. The numbers of species of airborne fungi according to sampling sites and seasons in Seonamsa temple

Sites / Seasons		Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
Indoor	Jjangjeon hall	2	13	18	10	43
	Josadang shrine	8	17	16	10	51
	Buljojeon hall	5	8	17	13	43
	Wontongjeon hall	5	14	16	-	35
Outdoor		6	9	8	14	37
Total		26	61	75	47	209

-, not detect.

Table 3. The numbers of fungal phyla in each season in Seonamsa temple

Sites	Division	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
Indoor	Basidiomycota	7	7	4	4	22
	Ascomycota	12	45	63	29	149
	Zygomycetes	1	0	0	0	1
Outdoor	Basidiomycota	1	2	1	1	5
	Ascomycota	5	7	7	13	32
	Zygomycetes	0	0	0	0	0
Total		26	61	75	47	209



Fig. 2. Colony characteristics of airborne fungi isolated in all seasons on potato dextrose agar. A, *Cladosporium* sp.; B, *Alternaria* sp.; C, *Arthrinium* sp.; D, *Pestalotiopsis* sp.; E, *Penicillium* sp.

Table 4. Airborne fungi isolated only in each season

Seasons	Sites	Isolation no.	Accession no.	Fungal identity
Spring	Indoor	SJO15042	AF250818	<i>Phaeosphaeriopsis</i> sp.
		SJO150412	EF174448	<i>Phlebiopsis</i> sp.
		SW15044	NG017189	<i>Umbelopsis</i> sp.
		SJO15076	KJ588263	<i>Schizophyllum</i> sp.
	Outdoor	SBL1504F7	HM595564	<i>Peniophora</i> sp.
Summer	Indoor	SJI1507R14	JX045723	<i>Adisciso</i> sp.
		SBL1507L6	HM595561	<i>Coprinellus</i> sp.
		SJO1507L1	JQ638521	<i>Flavodon</i> sp.
		SJO1507R1	KF990146	<i>Phanerochaete</i> sp.
		SJI1507R13	JN003682	<i>Pycnoporus</i> sp.
	SJO1507R7	HQ608047	<i>Robillarda</i> sp.	
	Outdoor	SBL1507F1	NR111426	<i>Cladobotryum</i> sp.
	SBL1507S1	AY216474	<i>Oudemansiella</i> sp.	
Autumn	Indoor	SJI1511L15	JQ753706	<i>Cochliobolus</i> sp.
		SW1511L5	AB734792	<i>Didymellaceae</i> sp.
		SJO1511L6	HQ909081	<i>Montagnulaceae</i> sp.
		SJI1511L9	KF535916	<i>Myrothecium</i> sp.
	Outdoor	-	-	-
Winter	Indoor	SJO1602L2	FJ613650	<i>Antrodiella</i> sp.
		SJO1602R3	KF532990	<i>Botryotinia</i> sp.
		SBL1602L7	FJ946490	<i>Doratomyces</i> sp.
	Outdoor	SBL1602L7	FJ946490	<i>Doratomyces</i> sp.
		SBL1602S9	KR873250	<i>Septoriella</i> sp.
		SBL1602F1	KF626506	<i>Stachybotrys</i> sp.
		SBL1602F5	NR132929	<i>Torula</i> sp.

-, not detect.

Table 5. Basidiomycota isolated from indoor and outdoor in each season

	Genera	Isolation no.	Accession no.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
Indoor	<i>Antrodiella</i>	SJO1602L2	FJ613650	-	-	-	Js	1
	<i>Bjerkandera</i>	SJO1602L3	KF208520	-	Js	All	Js, B	7
	<i>Coprinellus</i>	SBL1507L6	HM595561	-	B	-	-	1
	<i>Irpex</i>	SBL15048	JX290578	Jj, B	-	-	-	2
	<i>Perenniporia</i>	SJO1507L5	FJ627262	-	Js	-	-	1
	<i>Phanerochaete</i>	SJO1507R1	KF990146	-	Js	-	-	1
	<i>Phlebiopsis</i>	SJO150412	EF174448	Js	-	-	-	1
	<i>Porostereum</i>	SW1507L1	AB809163	B	Js, W	-	-	3
	<i>Pycnoporus</i>	SJI1507R13	JN003682	-	Jj	-	-	1
	<i>Schizophyllum</i>	SJO15076	KJ588263	Js, B	-	-	-	2
	<i>Trametes</i>	SBL15045	FJ608587	B	-	-	Jj	2
	Outdoor	<i>Bjerkandera</i>	SJO1602L3	KF208520	-	-	-	○
<i>Irpex</i>		SBL15048	JX290578	-	○	-	-	1
<i>Oudemansiella</i>		SBL1507S1	AY216474	-	○	-	-	1
<i>Peniophora</i>		SBL1504F7	HM595564	○	-	-	-	1
<i>Perenniporia</i>		SBL1511F8	FJ627262	-	-	○	-	1
Total				8	9	5	5	27

Jj, Jijangjeon hall; B, Buljojeon hall; Js, Josadang shrine; W, Wontongjeon hall; All, all indoor; -, not detect.

Table 6. Ascomycota isolated from indoor in each season

No.	Genera	Isolation No.	Accession No.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
1	<i>Adisciso</i>	SJI1507R14	JX045723	-	Jj	-	-	1
2	<i>Alternaria</i>	SJI1507R16	GQ169496	Js	All	All	B	17
3	<i>Arthrinium</i>	SBL1504F1	KC867281	Js,W	W	Js, B, W	B, Jj	9
4	<i>Aspergillus</i>	SW1507R6	JN709042	-	Jj, B, W	Jj, B W	Js	8
5	<i>Bipolaris</i>	SJI1511R12	AB179834	-	-	Jj	-	1
6	<i>Botryotinia</i>	SJO1602R3	KF532990	-	-	-	Js	1
7	<i>Chaetomium</i>	SBL1511L11	JN650595	-	-	B	Jj	2
8	<i>Cladosporium</i>	SJI1511L10	KJ361498	W	Js, B	All	Jj, Js, B	15
9	<i>Cochliobolus</i>	SBL1504L5	JQ753706	Js, B	-	Jj	-	3
10	<i>Coniothyrium</i>	SBL1504F6	EU622266	Js	-	Jj, W	Js	4
11	<i>Corynespora</i>	SJO1504R2	JN974462	Js	W	-	-	2
12	<i>Curvularia</i>	SBL1511F10	JN712458	-	Js	Jj, Js, W	-	4
13	<i>Didymellaceae</i>	SW1511L5	AB734792	-	-	W	-	1
14	<i>Discostroma</i>	SJO1507L13	EU030327	-	Jj, Js	-	-	2
15	<i>Doratomyces</i>	SBL1602L7	FJ946490	-	-	-	B	1
16	<i>Dothideomycetes</i>	SJI1602R3	FJ946490	-	Js	-	Jj	2
17	<i>Epicoccum</i>	SJI1511L8	KP721574	-	W	Jj, W	B	4
18	<i>Fusarium</i>	SJO1507L10	KJ567463	-	Jj, Js	B	-	3
19	<i>Hypocrea</i>	SBL1507B1	FR872742	-	Js, W	Jj	-	3
20	<i>Leptosphaeriaceae</i>	SJI15043	EF694661	Jj	-	-	-	1
21	<i>Leptosphaerulina</i>	SW1507R11	HQ608046	-	Js, B, W	B	-	5
22	<i>Montagnulaceae</i>	SJO1511L6	HQ909081	-	-	Js	-	1
23	<i>Myrothecium</i>	SJI1511L9	KF535916	-	-	Jj, Js	-	2
24	<i>Nigrospora</i>	SJO1511L17	KF924041	-	-	Js, B	-	2
25	<i>Paecilomyces</i>	SJI1511R11	AB217857	-	-	Jj	-	2
26	<i>Paraconiothyrium</i>	SBL1602R14	KC510275	-	-	-	Js, B	2
27	<i>Penicillium</i>	150430S9-4	EU142904	W	All	All	Jj, Js, B	30
28	<i>Periconia</i>	SJO1511R6	KC954160	-	B, W	Jj, Js	B	5
29	<i>Pestalotiopsis</i>	SBL1511R5	KF228021	W	W	B, W	Js	7
30	<i>Phoma</i>	SBL1602R6	GU395508	-	-	-	B	1
31	<i>Pleosporales</i>	SJO1504R3	JQ619818	Js	-	Jj	-	2
32	<i>Robillarda</i>	SJO1507R7	HQ608047	-	Js	-	-	1
33	<i>Talaromyces</i>	SW1507R13	NR120008	-	W	Js	-	2
34	<i>Trichoderma</i>	SBL1507S4	GQ497168	-	Jj, Js, B	-	-	3
35	<i>Umbelopsis</i>	SW15044	NG017189	W	-	-	-	1
Total (Indoor)				13	45	63	29	150

Jj, Jijangjeon hall; B, Buljojeon hall; Js, Josadang shrine; W, Wontongjeon hall; All, all indoor; -, not detect.

Table 7. Ascomycota isolated from outdoor in each season

No.	Genera	Isolation no.	Accession no.	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
1	<i>Alternaria</i>	SJI1507R16	GQ169496	-	-	○	-	2
2	<i>Arthrimum</i>	SBL1504F1	KC867281	○	-	○	○	3
3	<i>Chaetomium</i>	SBL1511L11	JN650595	-	-	-	○	1
4	<i>Cladobotryum</i>	SBL1507F1	NR111426	-	○	-	-	1
5	<i>Cladosporium</i>	SJI1511L10	KJ361498	○	○	○	○	6
6	<i>Coniothyrium</i>	SBL1504F6	EU622266	○	-	-	-	1
7	<i>Doratomyces</i>	SBL1602L7	FJ946490	-	-	-	○	1
8	<i>Epicoccum</i>	SJI1511L8	KP721574	-	-	-	○	1
9	<i>Fusarium</i>	SJO1507L10	KJ567463	-	-	○	-	1
10	<i>Hypocrea</i>	SBL1507B1	FR872742	-	○	-	-	1
11	<i>Pestalotiopsis</i>	SBL1511R5	KF228021	-	○	-	○	2
12	<i>Phoma</i>	SBL1602R6	GU395508	-	-	-	○	1
13	<i>Phaeosphaeriopsis</i>	SJO15042	AF250818	○	-	-	-	1
14	<i>Penicillium</i>	150430S9-4	EU142904	-	-	○	○	3
15	<i>Pleosporales</i>	SJO1504R3	JQ619818	○	-	-	○	2
16	<i>Stachybotrys</i>	SBL1602F1	KF626506	-	-	-	○	1
17	<i>Septoriella</i>	SBL1602S9	KR873250	-	-	-	○	1
18	<i>Torula</i>	SBL1602F5	NR.132929	-	-	-	○	1
19	<i>Trichoderma</i>	SBL1507S4	GQ497168	-	○	-	-	2
Total (Outdoor)				5	7	7	13	32

○, detect; -, not detect.

이처럼 높은 농도의 진균이 분포하고 있고 이중에서 특히, *Cladosporium*속은 목조 문화재에서 분리 빈도가 높은 균으로 보고되고 있으며 [7] 유기질 표면에 변색을 일으키는 진균으로 분리되어 목재 표면의 변색 정도에 대해 연구된 바 있다[6]. *Peniophora*속과 *Irpex*속 같은 담자균은 대부분 목재 부후균으로 목재내부에 침투하여 조직을 분해시키는데, 특히나 상대습도가 높은 환경에 노출된 유기질은 이들의 공격을 받기 쉽기 때문에 주의가 요구된다. 또한, 가장 종 다양성이 높은 *Penicillium*속은 *Cladosporium*속, *Arthrimum*속과 함께 전라남북도에 위치하는 목조문화재 표면에서 높은 빈도율을 보이는 균주 중의 하나로 보고되었다[20].

실내와 실외 환경의 연관성

일반적으로 사찰 내 전각들은 낮 동안에 출입문을 개방하여 방문객들의 출입이 가능하도록 하고 있기 때문에 전각들의 내부 공기질은 외부 환경의 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 조사를 수행하는 동안에는 사람들의 출입이 거의 없었기 때문에 그로 인한 오염 가능성은 배제하였다. 개방된 출입문을 통해 외부 공기질이 내부로 유입되므로 내부와 외부 공기질에 존재하는 부유 진균의 종 분석을 통해 외부로부터 받는 영향을 평가하였다. 우선, 계절마다 실내·외 환경에 공통으로 검출된 진균을 조사하였는데 그 결과, 가을에 4속 6종의 진균이 공통적으

로 분포하여 가장 다양하였으며 *Arthriniaceae*속, *Alternaria*속, *Cladosporium*속, *Penicillium* 속으로 확인되었다. 겨울에는 5속의 진균이 분포하였고 *Chaetomium*속, *Doratomyces*속, *Epicoccum*속, *Cladosporium*속, *Bjerkandera*속이었다. 또한, 봄에는 3속으로 *Arthriniaceae*속, *Pleosporales*속, *Cladosporium*속이었고 여름철에는 2속 3종의 진균이 공통적으로 분포하였으며 *Cladosporium*속과 *Trichoderma*속인 것으로 나타났다. 또한, 공기 중 진균의 밀도는 여름철에는 실내의 모든 곳에서 외부보다 높았고 봄철에는 지장전을 제외하면 외부와 유사하거나 높은 것으로 나타났다. 이러한 이유는 전날 비가 내렸던 봄철 조사와 여름철에는 가을과 겨울보다 대기가 다습하며 특히, 여름철의 풍속은 가을과 겨울철보다 낮아[16] 환기 상태가 불량해지기 때문인 것으로 보인다. 따라서 내부 공기질은 외부로부터 영향을 적게 받게 되고 실내 공기질의 오염은 누적될 가능성이 높다.

이와 같이 선암사는 다수의 부유균이 존재하고 있으며 기후에 따라 내외부의 공기 교류가 원활하지 않을 수 있기 때문에 진균에 의한 피해가 우려된다. 더욱이 한반도는 온도와 강수량 증가 등의 기후 변화로 인해 목재 부후 위험이 점점 증가하는 추세이므로[21] 지속적인 모니터링을 통해 기후 인자와 진균 피해와의 관계를 조사하고 예측하여 관리하는 것이 요구된다.

적 요

순천 선암사는 산림과 계곡으로 둘러싸여 가파른 지형에 위치하고 있으며 평지보다 온·습도는 높고 바람의 세기가 약하여 생물 피해가 우려되는 곳이다. 이에 계절마다 진균상 조사를 통해 실내·외 공기질에 분포하는 진균의 농도와 다양성을 조사하였다. 외부 공기질에 분포하는 진균의 농도는 봄(276 CFU/m³)에 가장 높았고, 가을(196 CFU/m³), 여름(128 CFU/m³), 겨울(24 CFU/m³) 순으로 감소하였다. 가장 하단에 위치한 지장전은 여름철에 337.4 CFU/m³, 가장 상단에 위치한 원통전은 가을철에는 333.4 CFU/m³의 가장 높은 농도를 나타냈다. 실내·외 공기질에서 부유균 농도의 차이가 컸던 계절은 여름철이었으며 128 CFU/m³인 외부보다 실내 공기질에 최소 0.5배에서 최대 3배 정도의 많은 진균이 부유하고 있었다. 부유 진균이 가장 많이 수집된 계절은 봄철이었지만 다양성은 여름과 가을철 공기질에서 더 높았는데 여름에는 28속 45종, 가을에는 25속 47종의 진균이 확인되었다. 특히, 가을철에는 모든 조사 지점에서 부유 진균의 분포도가 가장 높았는데 그 중에서 자낭균이 86%를 차지하였고 *Cladosporium*속이 우점하였다. *Penicillium*속은 16종이 검출되어 종다양성이 가장 높았고 야외보다는 여름과 가을, 겨울철의 실내 공기질에 주로 분포하였다.

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. Southworth D. Introduction to the biology of airborne fungal spores. *Ann Allergy* 1973;32:1-22.
2. Medrela-Kuder E. Seasonal variations in the occurrence of culturable airborne fungi in outdoor and indoor air in Cracow. *Int Biodeterior Biodegradation* 2003;52:203-5.
3. Oliveira M, Ribeiro H, Abreu I. Annual variation of fungal spores in atmosphere of Porto: 2003. *Ann Agric Environ Med* 2005;12:309-15.
4. Topbas M, Tosun I, Can G, Kaklikkaya N, Aydin F. Identification and seasonal distribution of airborne fungi in urban outdoor air in an eastern Black Sea Turkish town. *Turk J Med Sci* 2006;36:31-6.
5. Shin HK. Airborne fungi in wooden cultural heritages in Korea: diversity and their discoloration characteristics [dissertation]. Seoul: University of Korea; 2015.
6. Kowalik R. Microbiodeterioration of library materials. Part 1. *Restaurator* 1980;4:99-114.
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. Lee MY, Kim DW, Chung YJ. Conservation environmental assessment and microbial distribution of the Songsan-ri ancient tombs, Gongju, Korea. *J Conserv Sci* 2014;30:169-79.
9. Seo MS, Lee SM, Hong JY. The characteristic study of the microbial habitat in the Muwisa museum, Gangjin. *J Conserv Sci* 2013;29:333-43.
10. 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.
11. Lee SM, Lee SP. Classification and epidemiology of allergic rhinitis. *Korean J Med* 2013;85:445-51.
12. Yeom JG. Assessment on air quality of university hospital lobbies-focused on airborne bacteria, gram-negative bacteria and fungi levels [dissertation]. Seongnam: University of Kyungwon; 2012.
13. de Ana SG, Torres-Rodriguez JM, Ramirez EA, Garcia SM, Belmonte-Soler. Seasonal distributions of *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* and *Penicillium* species isolated in homes of fungal allergic patients. *J Investig Allergol Clin Immunol* 2006;16:357-63.
14. Sautour M, Sixt N, Dalle F, L'Ollivier C, Fourquet V, Calinon C, Paul K, Valvin S, Maurel A, Aho S, et al. Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital. *Sci Total Environ* 2009;407:3766-71.
15. Pavan R, Manjunath K. Qualitative analysis of indoor and outdoor airborne fungi in cowshed. *J Mycol* 2014;2014:Article ID 985921.
16. Akanda MR, Akhter MS, Mahboob MG, Maya MA, Hossain MM. Seasonal variation of fungal population dynamics and their interactions in brinjal field soil. *Bangladesh J Plant Pathol* 2009;25:31-5.
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. Pady SM, Kramer CL. Kansas aeromycology X. Basidiomycetes. *Trans Kans Acad Sci*

1960;63:125-34.

19. Morris PI. Understanding biodeterioration of wood in structures. Delta: British Columbia Building Envelope Council; 1998.
20. Kim SJ, Jo CW, Lee JM, Jeong SY, Kim YH, Hong JY. Changes in microorganisms' distribution pattern of wooden cultural heritage in Jeolla-do. *Conserv stud* 2017;38:5-16.
21. Kim T, Ra JB. Change of decay hazard index (Scheffer index) for exterior above-ground wood in Korea. *J Korean Wood Sci Technol* 2014;42:732-39.