수계에 인접한 목조건축물의 생물분포 모니터링 연구 - 여주 신륵사를 중심으로 -

김시현 | 이현주* | 이민영** | 정선휘* | 정용재*¹

국립문화재연구소 안전방재연구실, *한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과,
**한국전통문화대학교 문화재예방보존연구소

Monitoring on Biological Distribution Around Historical Wooden Buildings Adjacent to River - With the Case Study of Silleuksa Temple, Yeosu City -

Si Hyun Kim | Hyun Ju Lee* | Min Young Lee** | Seon Hye Jeong* | Yong Jae Chung*¹

Safety and Disaster Prevention Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon, 34122, Korea

*Department of Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage,

Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 33115, Korea

**Institute of Preventive Conservation for Cultural Property,

Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo, 33115, Korea

¹Corresponding Author: iamchung@nuch.ac.kr, +82-41-830-7365

초 록 여주 신륵사는 남한강과 인접하여 습도가 높고 안개일수가 많으며 산림과 인접하여 생물피해가 우려되는 곳이다. 이에 문화재 보존관리 계획 수립에 필요한 기초자료 확보를 위해 신륵사 목조건축물의 생물분포와 주변 산림의 흰개미 분포를 3년 동안 모니터링 하였다. 그 결과 문화재 가해곤충인 구명벌이 지속적으로 확인되었으며, 계절과 연차별 곤충 분포가 다양하게 나타났다. 이는 대상지의 입지특성과 당해 연도의 기후 변화가 함께 반영되었기 때문으로 추정된다. 배후 산림에서는 전제적으로 흰개미 군체가 확인되었고, 분포 양상은 매년 다르게 나타났다. 미생물 조사 결과 건물의 출입 여부에 따라 종별 분포와 오염도가 다르게 나타났으며, 목재부후균도 분리·동정되었다. 따라서 보존환경과 생물분포에 대한 지속적인 모니터링과 함께 목재가해생물종의 추가적인 유입을 막기 위한 조치가 필요하다.

중심어: 생물분포, 목조건축물, 모니터링, 흰개미, 미생물

ABSTRACT The Silleuksa temple in Yeosu city is adjacent to the South Han River and often has high humidity and fog days. In addition, its proximity to forests renders it prone to damage by insects and microorganisms. In order to obtain the basic data necessary for the establishment of a cultural property preservation management plan, the biological distribution of the wooden buildings and the termite distribution in the surrounding forests were monitored for three years. The wood-boring bee, an insect known to inflict damage to heritage structures, was confirmed, and the distribution of insects varied annually and seasonally, presumably due to the location characteristics of the site and the climate change during the year. In the forest behind, termite colonies were identified as a whole and their distribution pattern was different every year. As per the results of the microorganism survey, the species distribution and pollution degree were different at the entrance of the building. Therefore, it needs continuous biological distribution and conservation environment monitoring to mitigate the effects of wood-damaging organisms. were different according to the entrance of the building.

Key Words: Biological distribution, Historical wooden building, Monitoring, Termite, Microorganism

1. 서 론

야의 목조건축물은 외부환경에 노출되어 다양한 원인에 의해 손상되며, 특히 천연재료인 목재의 특성으로 인해 곤충과 미생물은 매우 중요한 손상원인이다. 다양한 생물 열화인자 중에서도 흰개미와 목재부후균에 의한 생물피해는 목조건축물의 외형을 손상시킬 뿐 아니라 재료의 강성을 저하시켜 목조건축물 전체의 구조적인 변형에 문제를 일으키는 원인 중 하나로 알려져 있다(Son and Lee, 2008; Seo *et al.*, 2015).

이러한 목조건축물의 생물피해는 주변 환경과 밀접한 연관을 가지고 있으며, 특히 온도와 습도 및 강수량 등이 목재함수율과 목재가해생물의 활성에 직접적인 영향을 미친다(Na, 2012). 기온은 곤충의 분포범위, 활동기간, 생장 속도, 대사속도, 먹이 섭취량 등에 직접적인 영향을 미치며(National Research Institute of Cultural Heritage, 2013) 기온과 습도, 강수량과 강수일수가 목재부후균의 활성에 큰 영향을 미치기 때문에 과거 기상자료를 토대로 국내 지역별 목재부후위험지수(Wood Decay Hazard Index)를 계산하기도 하였다(Kim *et al.*, 2011; Kim and Ra, 2013).

따라서 적절한 문화재 보존관리 계획 수립을 위해 당해 문화재 주변의 생물분포와 보존환경을 함께 조사하였다. 다량의 유물을 보관하는 전시관 실내의 보존환경과 미생물의 분포를 함께 조사하거나(Seo *et al.*, 2013), 공주 송산리 고분군과 같이 밀폐된 공간 내부의 미생물 분포와 보존환경을 함께 연구하였다(Lee *et al.*, 2014). 또한 해인사 장경판전의 보존관리계획 수립을 위해 판전 내외 보존환경과 주변 생물 분포를 모니터링한 사례도 있다(Korea National

University of Cultural Heritage, 2015).

여주 신록사는 현존하는 대부분의 중요 사찰들이 산중에 위치한 것과 다르게 평지에 입지하였으며 남한강변에 위치한 사찰이다. 이곳의 입지특성으로 인해 주변지역보다 습도가 높게 나타나고 안개발생일수가 많은 곳으로(Jeong *et al.*, 2016) 목조문화재의 생물피해가 발생할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 신록사 경내 목조건축물 주변의 생물분포와 주변 산림의 흰개미 분포를 3년간 모니터링하여 문화재 보존관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구 대상 및 방법

2.1. 연구 대상

신록사는 경기도 여주시 천송동에 위치한 고찰로 경내에 여주 신록사 조사당(보물 제180호) 등 다수의 문화재들이 소재하고 있다(Table 1). 국내 주요 사찰들이 산중에 입지한 것과 다르게 남한강과 매우 인접하여 있으며 사찰 배후 지역은 산림으로 다양한 목재가해곤충과 목재부후균 등이 유입될 수 있는 지역이기도 하다(Figure 1A). 본 연구는 신록사 경내 후면에 위치한 여주 신록사 조사당(보물 제180호), 여주 신록사 극락보전(경기도 유형문화재 제128호), 주변 산림 등에서 수행되었다(Figure 1B).

2.2. 연구 방법

신록사 목조건축물의 생물분포를 확인하고자 조사당과 극락보전 내·외부에서 곤충과 미생물 모니터링을 실시하

Table 1. List of national-designated cultural heritages within Silleuksa temple site

No.	Name of cultural heritage	Classification
Treasure 180	Josadang shrine of Silleuksa temple	Wood
Treasure 225	Multi-story stone pagoda of Silleuksa temple	Stone
Treasure 226	Multi-story brick pagoda of Silleuksa temple	Stone
Treasure 228	Bell-shaped stupa of buddhist monk boje at Silleuksa temple	Stone
Treasure 229	Stele for buddhist monk boje at Silleuksa temple	Stone
Treasure 230	Stele for the construction of Daejanggak depositories of Silleuksa temple	Stone
Treasure 231	Stone lantern in front of the stupa of buddhist monk boje at Silleuksa temple	Stone

Figure 1. Location and specific map of Silleuksa temple(Source of map: <http://map.daum.net/>), plan of Silleuksa temple(Yeou-si, 2016).

Table 2. Insect distribution monitoring period

	2012			2013			2014		
	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall	
Period	8.17 ~9.13 (28 days)	10.15 ~10.27 (13 days)	5.22 ~5.29 (8 days)	8.1 ~8.9 (9 days)	10.3 ~10.10 (8 days)	5.9 ~5.23 (14 days)	8.9 ~8.21 (13 days)	10.11 ~10.23 (13 days)

Figure 2. Location of monitoring site in Josadang shrine(A) and Geungnakbojeon(B)(Source of plan: Cultural Heritage Administration, 2005; Yeou-si, 2016).

였다. 또한 목조건축물 중요 가해곤충인 흰개미의 분포범위를 확인하고자 신륵사 배후 산림을 조사하였다.

2.2.1. 신륵사 목조건축물의 곤충 분포 모니터링

곤충의 분포는 기후와 직접적인 관련성이 있으며 동일 지역에서도 연간 기후에 따라 달라질 수 있다. 따라서 곤충

분포 조사에서 보다 의미있는 결과를 얻기 위해서는 다양한 채집방법과 빈도를 높이는 것이 중요하다(Park and Cho, 2007). 이에 본 연구에서는 동일 지역을 계절별로 3년 동안 조사하여 조사의 정확도를 높이고자 하였다. 곤충 분포 모니터링은 조사당과 극락보전 내·외부에서 3년동안 계절별로 총 8회 실시하였다(Table 2). 1차년 여름(2012.

8.17.~ 9.13./28일), 가을(2012.10.15.~10.27./13일), 2차년 봄(2013. 5.22.~5.29./8일), 여름(2013.8.1.~8.9./9일), 가을(2013.10.3.~ 10.10./8일), 3차년 봄(2014.5.9.~5.23./14일), 여름(2014.8.9.~ 8.21./13일), 가을(2014.10.11.~10.23./13일)에 조사를 실시하였다. 비행곤충 포획을 위해 지면 위에 설치하는 C-trap, 비행곤충 포획을 위해 기둥 상부 또는 공포 주변에 설치하는 F-trap을 사용하였으며 조사당에는 C-trap 8개와 F-trap 2개, 극락보전에는 C-trap 8개와 F-trap 4개를 설치하고 채집된 곤충을 분류하였다(Figure 2A, 2B).

2.2.2. 신록사 배후 산림의 흰개미 분포 모니터링

목조건축물의 중요가해곤충인 흰개미의 분포 범위를 확인하고자 2012년 8월, 2013년 8월, 2014년 5월 신록사 주변 산림에서 흰개미 분포 조사를 실시하였다. 신록사 조사당에서 산림 방향으로 약 50 m 떨어진 여주 신록사 보제 존자석종을 중심으로 좌·우측 산림을 3개 구역으로 구분하였다. 벌목된 목재 그루터기와 고사목, 적재된 간벌목 등의 수피를 제거하여 흰개미 군체의 서식 여부를 확인하여 변화양상을 파악하였다.

2.2.3. 신록사 목조건축물의 미생물 분포 모니터링

여주 신록사 경내에 위치한 조사당과 극락보전을 대상으로 미생물 분포 조사를 실시하였다. 조사는 미생물 생장 빈도가 높은 여름철(8월)에 실시하였고 3년간(2012~14) 총 3회 모니터링 하였다. 미생물 분포는 조사당과 극락보전 내·외부에 분포하는 공기 중 부유미생물을 포집하였다(Figure 2A, 2B). 공기포집기(BUCK, APB-708000, USA)를 이용하여 공기 100 L가 PDA(Potato Dextrose Agar, Difco, USA)를 통과하도록 하였다. 포집한 미생물은 미생물 배양기(26±2℃, 50±10%)에서 약 3~7일간 배양하였다. 배양 후 미생물의 CFUs(Colony Forming Units)를 측정하여 개체수를 확인하였고, 곰팡이는 PDA 배지, 세균은 NA(Nutrient Agar, Difco, USA) 배지에 접종하여 분리·배양하였다. 순수 분리된 미생물은 종(species)을 확인하기 위해 유전자 분석을 실시하였다. 미생물의 gDNA는 i-genomic BYF DNA Extraction Mini Kit(iNtRON)로 추출하였고, PCR(Polymerase Chain Reaction)은 Lifepro Thermal Cycler(Hangzhou Bioer Technology Co., Ltd)를 이용하여 곰팡이 18S rRNA region과 세균 16S rRNA region을 증폭하였다. PCR 산물은 전기 영동하여 DNA band를 확인한 후 MEGAquick-spin Total Fragment DNA

Purification kit(iNtRON)로 정제하였다. 염기서열 분석은 (주)마크로젠에 의뢰하였으며 결과는 미국 국립생물정보센터 사이트의 BlastN Search 프로그램을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 신록사 목조건축물의 곤충 분포 모니터링

3년간의 모니터링 결과 1, 2차년에는 조사당에서 극락보전보다 다소 많은 종이 포획되었으며 3차년에는 극락보전에서 더 많은 곤충들이 확인되었으나 특정한 경향을 확인하기에는 어려웠다(Table 3). 계절간 비교에서는 1, 2차년에 여름철 가장 다양한 곤충이 확인된 것과 다르게 3차년에는 봄철에 가장 많은 곤충들이 포획되었으며 오히려 여름철에 가장 적은 곤충들이 나타났다. 포획된 곤충들 중 문화재 가해곤충으로 알려진 종은 구멍벌 뿐이었으며, 이 중은 1~3차년 모두 포획되었고 기둥 등 목부재에서 천공흔이 다수 확인되었다. 구멍벌은 목재 표면을 천공하고 집을 만드는데 그 깊이가 깊지 않기 때문에 재료의 구조적 손상을 발생시키지는 않지만, 부재 표면의 외관이 훼손되고 수분과 목재부후균 등이 목재 내부 방향으로 유입되는 원인이 될 수 있다.

연차별 비교에서는 1차년에 가장 적은 종이 포획되고 3차년에 가장 많은 곤충 종이 확인되었다(Table 3). 1차년에는 그리마, 꼽둥이 등이 주로 나타났으며 2차년에는 하늘소, 꽃매미, 먼지벌레, 강도래, 비단벌레 등 1차년에 확인되지 않았던 곤충들이 다수 나타났다. 3차년에는 노린재와 매미충, 등에 등의 곤충들이 최초로 확인되었다. 이 중 2차년에는 하늘소와 같은 산림곤충과 먼지벌레·민강도래 등 수서곤충이 함께 나타났다. 수서곤충들이 목조건축물에 직접적인 손상을 입힌다는 연구결과는 보고된 바 없으나 수변에 위치하며 산림과도 인접한 신록사의 입지 특성이 반영된 결과가 나타났다. 그러나 3차년에는 수서곤충들이 확인되지 않았는데, 이는 2014년이 2012, 2013년과 비교하여 강수량이 적고 상대습도도 낮았던 기후적 특성의 영향(Jeong *et al.*, 2016)으로 추정된다. 이처럼 동일 지역에서도 기후에 따라 다양한 곤충 분포가 나타나므로 향후 장기적인 모니터링을 위해서는 지표곤충 선정 뒤 개체수 변화를 지속적으로 관찰해야할 것으로 사료된다.

Table 3. Captured insects in Josadang shrine and Geungnakbojeon

Site	Date	2012			2013			2014		
		Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall	Spring	Summer	Fall
Josadang shrine	Order	-	5	6	8	8	7	7	2	6
	Family	-	7	7	8	8	8	17	3	11
	Species	-	9	9	11	12	10	20	3	14
Geungnak-bojeon	Order	-	7	6	6	8	7	11	2	5
	Family	-	7	6	7	8	7	25	4	14
	Species	-	8	6	8	13	9	27	5	19

Table 4. CFUs of airborne microorganisms in Josadang shrine and Geungnakbojeon

Site	Date	2012			2013			2014		
		Fungi	Bacteria	Total	Fungi	Bacteria	Total	Fungi	Bacteria	Total
Josadang shrine	Outdoor-front	39	6	45 (67%)*	9	3	12 (39%)	27	13	40 (63%)
	Outdoor-back	40	2	42 (63%)	11	2	13 (43%)	27	13	40 (63%)
	Inside	22	1	23 (35%)	6	12	18 (59%)	14	9	23 (37%)
Geungnak-bojeon	Outdoor-front	7	5	12 (26%)	16	3	19 (43%)	28	18	46 (47%)
	Outdoor-back	19	2	21 (47%)	19	3	22 (49%)	28	14	42 (43%)
	Inside	27	1	28 (63%)	22	2	24 (54%)	29	24	53 (55%)

*Proportion of each value among total CFUs

3.2. 신록사 배후 산림의 흰개미 분포 모니터링

1차년 조사에서는 조사당에서 보제존자석종으로 이어지는 등산로 주변과 보제존자석종 주변에서 다수의 흰개미 군체가 확인되었으며, 2차년 조사에서는 배후 산림 전체에서 28개의 조사구 중 11곳에서 흰개미 군체의 서식이 확인되었다. 특히 보제존자석종 주변의 수목을 제거하면서 생긴 목재 그루터기에서 다수의 흰개미 군체가 확인되어 1차년과 유사한 양상을 보였다. 3차년 조사에서는 32개의 조사구 중 10개에서 흰개미 가해흔이 확인되고, 조사 당시 1개에서 흰개미 군체의 서식이 확인되었다. 지난 1, 2차년 조사 결과와 다르게 보제존자석종 주변의 수목에서 가해흔은 다수 확인하였으나 실제 서식중인 흰개미 군체 대신 천적인 검은개미가 다수 나타나 주변 지역으로 이동해가는 과정 중인 것으로 추정되었다.

흰개미의 분포 범위는 종별 생태적 특성에 따라 해당 지

역의 온도와 습도에 따라 주로 결정된다. 국내 전역에 서식하는 흰개미 종인 *Reticulitermes speratus kyushuensis* 종은 수분보유능이 다른 흰개미 종에 비해 약하기 때문에 (Hare, 1934; Shimizu, 1970), 어둡고 습한 환경이 유지되는 지중이나 목재 내부 등에 주로 서식하며 지중에서 접근하기 쉽고 함수율이 높은 목재를 주로 가해한다.

산림 지역은 간벌재나 고사목, 낙엽 등 흰개미의 먹이가 풍부하며 산림 고유의 수분을 보유하는 능력과 적은 일조량 등으로 흰개미가 서식하기 적합한 곳이다. 산림에서 서식하는 흰개미 군체가 주변으로 먹이를 찾는 과정(foraging)에서 주변의 목조건축물이나 구조물 등이 피해를 입게 된다. 이때 목재의 함수율이 높을수록 흰개미 피해가 빈번하게 발생한다(Lee, 2003; Seo *et al.*, 2015). 수계와 인접하여 공기 중 상대습도가 높고 안개발생일수가 많아 일조량이 적은 신록사의 환경 특성에 따라 목부재의 전체적인 목재함수율이 높게 유지되고, 이는 흰개미 피해로 이어질 수 있다.

Table 5. Gene analysis of airborne microorganisms inside Geungnakbojeon and Josadang shrine

Date		Sampling site of microorganisms	
		Geungnakbojeon inside	Josadang shrine inside
2012	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium equiseti</i>	<i>Alternaria</i> sp.
	<i>Arthrobacter</i> sp.	<i>Leptosphaerulina chartarum</i>	<i>Bacillus aryabhattai</i>
	<i>Aschersonia</i> sp.	<i>Penicillium</i> sp.	<i>Colletotrichum-gloeosporioides</i>
	<i>Cladosporium oxysporum</i>	<i>Penicillium citreonigrum</i>	<i>Peniophora incarnata</i>
	<i>Cochliobolus geniculatus</i>	<i>Schizophyllum commune</i>	<i>Schizophyllum commune</i>
	<i>Colletotrichum-gloeosporioides</i>	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp.
	<i>Colletotrichum boninense</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Trichoderma harzianum</i>
	<i>Curvularia fallax</i>	<i>Bacillus aryabhattai</i>	
	<i>Curvularia trifolii</i>	<i>Bacillus cereus</i>	
2013	<i>Aspergillus flavus</i>	<i>Bacillus megaterium</i>	<i>Bacillus megaterium</i>
	<i>Choanephora infundibulifera</i>	<i>Daldinia chlidiae</i>	<i>Cladosporium-cladosporioides</i>
	<i>Cladosporium-cladosporioides</i>	<i>Eurotium rubrum</i>	<i>Curvularia inaequalis</i>
	<i>Curvularia inaequalis</i>	<i>Periconia byssoides</i>	<i>Eurotium rubrum</i>
		<i>Phoma glomerata</i>	<i>Phoma glomerata</i>
2014	<i>Ascomycota</i> sp.	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Aspergillus bridgeri</i>
	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Alternaria brassicae</i>	<i>Cochliobolus-verruculosus</i>
	<i>Epicoccum</i> sp.	<i>Clostridium butyricum</i>	<i>Microbacterium</i> sp.
	<i>Fusarium equiseti</i>	<i>Pestalotiopsis</i> sp.	<i>Microdochium</i> sp.
	<i>Nigrospora</i> sp.	<i>Sphingomonas</i> sp.	<i>Sphingomonas</i> sp.
	<i>Sphingomonas-phylosphaerae</i>	<i>Trichoderma atroviride</i>	

실제로 2014년 국립문화재연구소의 목조문화재 가해 생물종 조사 결과 신록사 조사당에서는 기둥 6개 중 5개에서, 극락보전에서는 활주를 포함한 기둥 16개 중 4개에서 흰개미 탐지견의 탐지 반응이 나타났으며, 주변의 적목당과 십검당, 산신각, 구룡루 등에서도 경미한 탐지 반응이 나타났다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2014). 이미 경내에 흰개미 군체의 피해가 확인되고 주변 산림에서도 다수의 흰개미 군체 분포가 확인되었으므로, 향후 흰개미 군체의 서식범위 파악과 배후 산림지역에서의 추가적인 유입을 방지하기 위한 방제처리가 필요하다.

3.3. 신록사 목조건축물의 미생물 분포 모니터링

3.3.1. 미생물 개체수 측정

측정된 개체수는 건축물 내·외부 전체에서 내부와 외부(정면, 배면의 평균)가 각각 차지하는 비율을 백분율로 나누어 비교하였다(Table 4). 조사당 내·외부의 공기 중 부유 미생물 포집 결과 2012년(평균 37개체), 2014년(평균 34개체), 2013년(평균 14개체) 순으로 미생물이 많이 포집되었다. 건축물 외부는 내부보다 미생물이 높게 측정되었는

데, 2012년도가 30%로 가장 차이가 높게 나타났고 그 다음으로 2014년 26%, 2013년 18%로 확인되었다. 건축물 외부 정면과 후면에서 포집되는 미생물 개체수 차이는 0~3개체로 큰 차이가 없었다.

극락보전 내부는 외부보다 미생물 개체수가 많이 포집되었고, 미생물 개체수의 차이는 2012년도가 26%로 가장 차이가 높게 나타났고, 그 다음으로 2014년도 10%, 2013년도 8%로 확인되었다. 극락보전 내부 공간의 미생물 오염도가 높게 나타난 것은 지속적으로 출입하는 신도들 및 환기를 위해 개방하는 출입문 등이 원인으로 판단된다. 건축물 외부의 정면과 배면에서 포집된 미생물의 개체수 차이는 3~9개체로 조사당과 마찬가지로 큰 차이가 없었다.

3.3.2. 공기 중 부유미생물의 동정

2012년도 여주 신록사 극락보전과 조사당에서 포집된 곰팡이는 22종, 세균 5종으로 확인되었다. 2013년도 조사 시에는 곰팡이 11종, 세균 6종이 동정되었고, 2014년에는 곰팡이 21종, 세균 6종이 동정되었다(Table 5). 2013년에 포집된 미생물 종은 17종으로 가장 적었고, 2012년과 2014년에는 27종의 동일한 종 수가 동정되었다. 극락보전

과 조사당 내부에서는 *Alternaria* sp., *Trichoderma* sp., *Bacillus* sp.이 우점균으로 나타났으며, 우점종을 제외한 균주 간에는 유의성이 나타나지 않았다.

Alternaria sp.은 토양, 실내외 공기 등에 분포하는 자낭균류로 목조건축물 주변의 토양 및 공기에서 분리된 것으로 판단된다. *Trichoderma* sp. 또한 분리되는 장소는 *Alternaria* sp.과 유사하나 썩은 나무, 그루터기, 낙엽 등의 유기물을 분해하는 특성이 있어 극락보전과 조사당에 발생할 수도 있는 가능성을 확인하였다. 또한, *Alternaria* sp.과 *Trichoderma* sp.은 동정된 *Aspergillus* spp., *Penicillium* sp.과 함께 목재 표면을 변색시키는 표면오염균으로 분류된다. 표면오염균은 목재 표면의 먼지, 당분 등을 영양원으로 하지만 목재의 강도에 대한 영향은 미미하다. 그러나 공기 중 상대습도가 95% 이상인 장마철에는 빠르게 성장하여 목조건축물의 외관을 손상시킬 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다(Kim, 2004). 변재변색균인 *Cladosporium* spp.과 *Fusarium* spp.도 목재의 강도에 영향은 크게 미치지 않지만, 녹청색 등의 색상을 띠어 목조건축물의 가치에 영향을 미칠 수 있다(Kim, 2004; Heo *et al.*, 2007).

이 외에도 목재부후균 *Peniophora incarnata*와 *Schizophyllum commune*가 2012년도에 포집되었다. 백색부후균에 속하는 두 균주는 셀룰로오스와 리그닌을 분해하며 목조건축물의 기둥 및 지붕 등에 서식하여 목재를 부후시킬 가능성이 높다. 2013년과 2014년도 모니터링에서는 목재부후균에 의한 부후 여부 및 균주가 확인되지 않았지만 주기적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 여주 신록사 목조문화재의 보존관리에 필요한 기초자료 수집을 위해 신록사 조사당과 극락보전, 주변 산림 등에서 3년간 곤충과 미생물의 분포 변화를 모니터링하였다. 목조건축물 내외의 곤충 모니터링 결과 조사당과 극락보전 두 대상 간 명확한 차이는 확인하기 어려웠으며 문화재 가해곤충인 구멍벌이 지속적으로 확인되었다. 연차와 계절별에 따라 포획되는 곤충의 종 분포는 다양하게 나타났는데, 이는 곤충 분포는 대상지의 입지특성이 반영되면서도 연차별 기후에 따라 곤충의 분포가 매우 달라진다는 선행 연구들과 유사한 결과이다. 따라서 적절한 지표곤충 선정 후 주기적인 모니터링이 필요할 것으로 생각된다.

흰개미 분포조사 결과 신록사 주변 산림 전 지역에서 다수의 흰개미 군체가 확인되었으며, 개미 등 천적곤충의 출현 등에 따라 분포 양상은 지속적으로 변화하고 있었다. 산림은 흰개미 군체가 서식하기 좋은 환경이며 사찰 목조건축물과의 거리가 가까워 봄철 군비를 통한 유입이 우려되었다. 실제로 경내에서 흰개미 피해가 확인되었으므로 향후 적합한 방제처리가 필요하다.

조사당 내부는 외부보다 미생물 오염도가 낮았고, 극락보전의 내부는 외부보다 미생물 오염도가 높았다. 조사당과 극락보전 모두 조사 시기(8월)에 상시적으로 문을 개방한 열린 공간이었지만, 극락보전에 출입하는 신도의 수가 많아 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다. 포집한 미생물은 토양 및 공기 중에 분포하는 *Alternaria* sp., *Trichoderma* sp., *Bacillus* sp.이 우점균으로 확인되었고, 목재부후균인 백색부후균도 확인되었다. 이에 미생물의 부후여부에 대한 주기적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

기후변화 등으로 목재부후위험지수는 점점 높아지는 추세이며(Kim and Ra, 2014) 향후 목조건축물의 생물피해가 더욱 심각한 문제가 될 것으로 전망된다(Seo *et al.*, 2015). 이 지역은 수계와 인접하여 습도가 높고 안개발생 일수가 잦은 특징이 있어 목재가해곤충 및 부후균의 활동이 활발히 일어날 수 있는 곳이다. 실제로 신록사 조사당은 2014~15년 기둥 이상 해체복원 시 기둥 6개 중 3개의 손상이 심하여 동바리 이음 하였다(Yeosu-si, 2016). 따라서 적절한 일상관리와 모니터링을 통해 문화재의 원형을 보존할 수 있도록 적합한 보존관리계획수립이 필요하다.

본 연구를 통해 이 지역의 장기적인 생물상 변화 모니터링을 위한 기초자료를 확보하였으며, 향후 보존환경과 생물분포, 당해문화재 주요 부재의 생물피해조사를 병행하여 주변 환경과 목조건축물의 생물피해 양상을 경년변화에 따라 추적해볼 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 문화유산융합연구(과제번호 NRICH-1307-B07F)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Cultural Heritage Administration, 2005, Measurement report of Josadang shrine of Silleuksa temple, Daejeon.

140. (in Korean)
- Hare, L., 1934, Caste determination and differentiation with special reference to the genus *Reticulitermes* (Isoptera). *Journal of Morphology*, 56(2), 267-293.
- Heo, B.S., Park, S.C. and Lee, Y.S., 2007, The characteristics of cultural conditions for the mycelial growth of sapstain fungi. *Journal of Agricultural & Life Sciences*, 38, 27-32. (in Korean with English abstract)
- Jeong, S.H., Kim, S.H., Han, Y.B., Lee, M.Y., Lee, H.J. and Chung, Y.J., 2016, Impact of a large water control on environment of surrounding cultural heritage. *Journal of Conservation Science*, 32(3), 395-402. (in Korean with English abstract)
- Kim, T.G., Ra, J.B., Kang, S.M., and Wang, J., 2011, Determination of decay hazard index (Sheffer index) in Korea for exterior above-ground wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 39(6), 531-537. (in Korean with English abstract)
- Kim, T.G. and Ra, J.B., 2013, Decay hazard (Scheffer) index values in Korea for exterior aboveground wood. *Forest Products Journal*, 63(3-4), 91-94.
- Kim, T.G. and Ra, J.B., 2014, Change of decay hazard index (Scheffer index) for exterior above-ground wood in Korea. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 42(6), 732-739. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.S., 2004, Conservation science of wood. Chonnam National University Press, Gwangju. (in Korean)
- Korea National University of Cultural Heritage, 2015, Study on conservation of Tripitaka Koreana and Janggyeong Panjeon in Haeinsa buddhist temple, Hapcheon, 36-136. (in Korean)
- Lee, G.S., 2003, Morphological characteristics and control of termites (Isoptera: Rhinotermitidae), and biodegradation of structural timbers in Korea. Master's thesis, Miryang National University, Miryang, 25-33. (in Korean with English abstract)
- Lee, M.Y., Kim, D.W. and Chung, Y.J., 2014, Conservation environmental assessment and microbial distribution of the Songsan-ri ancient tombs, Gongju, Korea. *Journal of Conservation Science*, 30(2), 169-179. (in Korean with English abstract)
- Na, W.J., 2012, Study of the pattern in moisture content changes of the important traditional wooden architecture according to weather conditions. Master's thesis, Chonnam National University, Gwangju. 2-10. (in Korean with English abstract)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2013, Midium-and long-term planning research of harmful organism for outdoor lumber cultural assets at climate change response, 9-27. (in Korean with English abstract)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2014, Annual report of biological damages in wooden cultural heritages, 610-626. (in Korean)
- Park, G.H. and Cho, S.W., 2007, Comparison of insect diversity in relation to the sampling method, time and window. *Korean Journal of Applied Entomology*, 46(3), 375-383. (in Korean with English abstract)
- Seo, M.S., Lee, S.M. and Hong, J.Y., 2013, The characteristic study of the microbial habitat in the Muwisa museum, Gangjin. *Journal of Conservation Science*, 29(4), 333-343. (in Korean with English abstract)
- Seo, M.S., Jo, C.W., Kim, S.J., Kim, Y.H., Hong, J.Y., Lee, J.M. and Jeong, S.Y. 2015, Characterization of termite inhabitation environment on wooden cultural heritages. *Journal of Conservation Science*, 31(4), 387-393. (in Korean with English abstract)
- Shimizu, K., 1970, Studies on the caste differentiation of the supplementary reproductives of the supplementary reproductives of the Japanese termite, *Reticulitermes speratus* (Kolbe). *Bulletin of the Faculty of Agriculture, University of Miyazaki*, 17, 1-46.
- Son, D.W. and Lee, D.H., 2008, Evaluation on termite damage of the traditional wooden building by non-destructive methods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 36(1), 21-29. (in Korean with English abstract)
- Yeoju-si, 2016, Repair report of Josadang shrine of Silleuksa temple, Yeoju, 348-452. (in Korean)
-