

## 선암사 조사당의 흰개미 피해 및 환경 특성 통계 분석

### Statistical Analysis of Termite Damage and Environmental Characteristics of the Josadang Shrine in Seonamsa Temple

임보아\*, 김명남, 김영희, 이정민, 조창욱, 정소영  
국립문화재연구소 복원기술연구소

Bo A Lim\*, Myoung Nam Kim, Young Hee Kim, Jeung Min Lee, Chang Wook Jo, So Young Jeong

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

Received March 28, 2019  
Revised June 03, 2019  
Accepted June 17, 2019

\*Corresponding author  
E-mail: boaring@korea.kr  
Phone: +82-42-860-9417

Journal of Conservation Science  
2019;35(3):197-208

<https://doi.org/10.12654/JCS.2019.35.3.02>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of  
Conservation Science

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**초록** 목조문화재의 생물피해는 보존환경과 밀접한 관계가 있고, 급속한 기후변화로 인해 피해가 가속화될 수 있으므로 문화재 보존을 위해서는 환경 특성을 파악하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 순천 선암사의 조사당을 대상으로 흰개미 피해 현황과 미기상, 중기상, 국지기상의 주요 환경인자 특성을 관찰하였다. 그 결과, 조사당 북서쪽 기둥에서 뚜렷한 육안피해와 흰개미 탐지견 반응이 있었고, 북동쪽 기둥에서 흰개미 탐지반응이 추가되었다. 이 기둥들은 전면에 위치한 기둥보다 표면온도가 낮고 표면 수분량과 함수율이 높은 특징이 있었다. 각 기상의 전체 시간 평균온도는 비슷하였으나 상대습도는 차이가 있었고, 미기상은 70% 이상의 높은 상대습도가 빈번히 나타났다. 특히 조사당 내부에서 흰개미 활동 일수가 가장 많았던 것으로 산출되었다. 통계 분석 결과에서는 F 비를 통해 세 기상 간 차이가 있음을 확인하였다. 또한 온도와 상대습도의 t 통계량을 통해 환경인자 간의 차이는 온도보다 습도가 더 크고, 중기상과 국지기상에서는 상대습도 차이가 더 큰 것이 확인되었다.

**중심어** 목조문화재, 환경 특성, 흰개미 피해, 선암사, 통계 분석

**ABSTRACT** Biological damages of wooden cultural properties are closely related to the preservation of the environment; these damages can be accelerated because of rapid climate change. Therefore, to preserve cultural properties, it is important to understand environmental characteristics. This study aims to investigate the status of termite damage and the characteristics of major environmental factors such as micro-meteorology, meso-meteorology, and local-meteorology of the Josadang shrine in the Seonamsa temple at Suncheon. Damage was confirmed by visual observation and the response of the termite detection dog at the north-west corner. Also another damage was observed by the termite detection dog at the north-east corner. These pillars had lower surface temperature and higher moisture content compared with the pillars in the front. The mean temperature of the entire time was similar for the meteorologies; however, the relative humidity differed. High relative humidity, greater than 70%, was observed frequently. In particular, it was determined that the termite activity days were the most inside the Josadang shrine. The statistical analysis confirmed that there was a difference between the meteorology events through the F ratio. In addition, the difference of environmental factors with relative humidity and temperature was identified more great difference in relative humidity through the t-statistics of temperature and relative humidity. And then relative humidity was confirmed most great in the difference of meso-meteorology and local-meteorology.

**Key Words** Wooden cultural heritage, Environmental characteristics, Termite damage, Seonamsa temple, Statistical analysis

## 1. 서론

최근, 기후변화에 의한 기온상승이 문제가 되고 있다. 기후변화는 약 10년 정도에 걸쳐 나타나는 평균적인 기후의 변화를 의미하는데, 1880년부터 2010년까지의 평균기온 증가율은  $0.062^{\circ}\text{C}$ 이나, 1970년 이후의 10년 평균기온 증가율은  $0.17^{\circ}\text{C}$ 로, 최근에 가까울수록 증가율이 높아지며 기온이 급상승하는 것으로 확인되었다(Kim, 2014). 특히 동아시아 지역의 기온상승은 지구 평균보다 빠르고(Hulme *et al.*, 1994; Jin and Park, 2015; Park, 2017), 동아시아 지역 중에서도 한반도 인근의 기온상승은 더욱 빠르다는 연구 결과가 도출되었다(Lee and Kang, 1997; Jin and Park, 2015). 온열환경은 동일한 위도상 지역이라도 지리적 위치와 지형에 따라 서로 상이하기도 하며(Kim and Yee, 2007), 한 공간에서도 온도변화는 위치에 따라 차이가 난다(Lee and Jung, 2012). 급속한 한반도의 기후변화와 위치적, 공간적 환경의 차이로 인해 문화재의 피해는 가속화될 수밖에 없는 실정이다. 이에 문화재 보존을 위한 환경 변화를 관찰하고 분석하는 것이 중요해지고 있다.

목조문화재는 석조문화재와 달리 유기질 재료의 특성상 생물에 의한 피해가 쉽고 환경에 영향을 받는 특징이 있다(Kim, 2016). 우리나라 목조건축물의 주요 재료인 소나무는 다공질 특성으로 인해 대기에 노출되어 열화되면 내구성에 영향을 주고, 환경오염에 의하여 단청의 손상과 열화가 촉진되기도 한다(Kim, 2019). 일반적으로 장마철의 고온 다습한 환경에서는 결로가 발생하고, 습도가 높아지면 목재의 흡수율이 높아져 미생물이 발생하기 좋은 환경이 조성된다. 목조물에 과한 수분의 공급은 변형과 부후가 발생하고, 급작스러운 온도의 변화는 목재의 뒤틀림이 발생하게 하여 목재 자체가 크게 열화 된다.  $20^{\circ}\text{C}$  이상의 기온과 목재의 높은 흡수율은 부후균의 생육을 왕성하게 하므로 부후된 목재로 인해 흰개미 피해가 커질 수 있다. 국내 전역에 분포하는 일본흰개미는 문화재나 수목, 전선류 등을 가해하며, 대부분의 문화재에 피해를 끼치고 있다(You, 2000; Korea Forest Research Institute, 2003). 또한 목조 문화재 피해 생물인 흰개미로부터 방출되는 메탄과 이산화탄소 등의 오염물질이 지구온난화에 영향을 미친다는 연구 결과(Khalil *et al.*, 1990)가 제시되기도 하였다. 이렇듯 목조문화재의 피해와 환경은 밀접한 관계에 놓여있으므로 목조문화재의 보존을 위해서는 환경에 대한 영향 연구가 동반되어야 한다.

따라서 국내 주요 목조문화재와 보존환경 연구를 위하여 2018년 유네스코 세계문화유산에 등재되었고, 주요 목재문화재가 있는 순천 선암사를 대상으로 선정하였다. 주

요 목조건축물의 생물피해와 보존환경의 관계를 살펴보고자 육안으로 생물피해가 확인되는 조사당을 대상으로 하여 대표 유해 생물인 흰개미 피해 현황을 조사하고 주요 환경 인자를 모니터링하여 환경 특성을 관찰하고 분석하였다.

## 2. 연구 대상 및 방법

### 2.1. 연구대상

본 연구는 전라남도 순천시 승주읍에 위치한 선암사의 조사당을 대상으로 하였다. 순천 선암사는 사적 제 507호로 다수의 주요 문화재가 산재해 있는 사찰이다. 조사당은 북위  $34^{\circ}59'48.10''$ , 동경  $127^{\circ}19'51.40''$ 에 위치한 남동향의 정면 1칸, 측면 1칸의 소형 전각이다. 가람의 형태로 보면, 주축을 이루는 대웅전 영역 후면에 자리 잡고 있는 원통전 영역에 속하며, 불조건 및 팔상전과 같은 단부에 위치하고 있다. 좌측과 후면은 건물의 기둥 높이까지 석축이 있고, 우측에 전라남도 유형문화재인 순천 선암사 불조건이 위치하고 있어, 석축과 건축물에 둘러싸여 있는 구조이다.

### 2.2. 연구방법

#### 2.2.1. 흰개미 피해 현황 조사

조사당의 흰개미 피해 현황을 알아보기 위해 육안조사와 흰개미 탐지견 반응 조사를 실시하였다. 탐지견 반응 조사는 삼성에스원 탐지견센터의 도움을 받아 수행하였다. 2015년과 2016년에 1회씩, 각 기둥의 피해흔을 관찰하고 흰개미 탐지견의 반응을 통해 조사당의 흰개미 피해 정도를 살펴보았다.

#### 2.2.2. 환경 특성 조사

환경 특성은 목조 환경과 기상 환경으로 구분하여 조사하였다. 목조 환경은 목조 기둥의 온도와 수분 인자를 조사하였고, 기상 환경은 미기상(micro-meteorology), 중기상(meso-meteorology), 국지기상(local-meteorology)으로 구분하여 온열환경을 살펴보았다. 이 연구의 데이터는 충분한 조사시간이 확보되어 장기간의 종합 현상을 나타내는 기후로 정의할 수 있으나, 시간별 변화를 관찰한 부분으로 인하여 기후가 아닌 기상으로 정의하였다. 미기상은 지표면과 가까운 대기의 미세한 기상 현상으로 수  $\text{m}^2$ 에서 수  $\text{km}^2$ 의 규모와 작은 단위의 시간 규모를 갖는 기상을 말하며, 농업에서는 1.5 m 이하의 공간 기상을 의미하기도 한다. 국지기상은 2 km에서 2,000 km의 규모의 국지적인 기상을 의미한다(American Meteorological Society, 2019; Doosan

Encyclopedia, 2019). 따라서 본 연구에서는 조사당 내·외부의 기상은 20 m 이하 규모의 *micro-γ scale*의 미기상, 선암사 사찰을 대표하는 기상은 2 km 이하의 규모인 *meso-γ scale*의 중기상, *meso-β scale*의 기상관측자료는 국지기상으로 정의하였다.

**목조 환경**

2015년 6월부터 2017년 5월까지의 기간 동안 15회에 걸쳐서 목조 환경을 측정하고, 실시간으로 목조 기둥 표면온도를 측정하였다. 목조 환경은 2015년은 6월부터 10월까지 5회, 2016년은 3월부터 10월까지 8회, 2017년은 3월과 4월, 2회에 걸쳐 조사하였다. 흰개미 피해가 육안으로 뚜렷하게 보이는 조사당 건물 기둥의 표면수분량, 함수율, 표면온도 그리고 기둥 근접 위치에서의 대기 온열환경을 조사하였다. 표면온도는 2015년 6월부터 2017년 5월까지의 연구 기간 동안 데이터 로거(176-T4, TESTO, DEU)를 이용하여 실시간 모니터링하였고, 표면수분량은 기준급 온습도계(635, TESTO, DEU)에 표면수분량 측정센서(0636 0393, TESTO, DEU)를 부착하여 조사하였다.

**기상 환경**

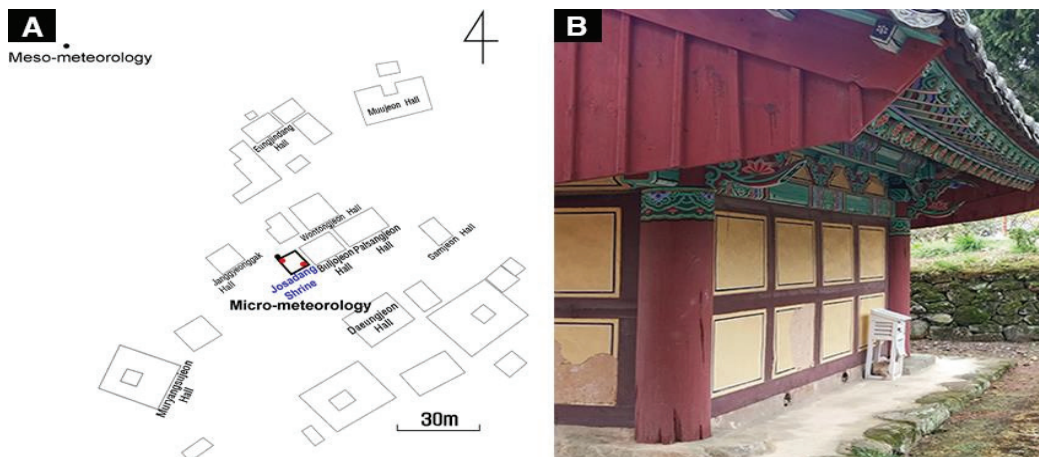
선암사 조사당의 흰개미 피해 환경을 살펴보기 위해 실시간 온·습도 모니터링 시스템을 설치하여 건축물 내·외의 미기상과 사찰을 대표하는 중기상을 모니터링하였고 (Figure 1A), 순천 지역을 대표하는 국지기상은 기상청의 기상관측자료인 순천의 데이터를 사용하였다. 모든 기상자료는 1시간 단위로 매시 정각의 데이터를 사용하였다. 수집된 환경 데이터는 평균값, 최솟값, 최댓값, 계절 평균 등의 일반적인 사항과 결로 조건과 흰개미 활동 일수를 산

출하고 비교하였다. 흰개미 활동 일수는 흰개미가 섭식 활동이 가능한 조건의 환경을 의미하며, 본 연구에서는 10℃ 이상의 온도를 24시간 유지하는 날을 흰개미 활동 온도 일 (Lee, 2004)로, 70% 이상의 습도 조건(Jevanandam *et al.*, 2013)을 24시간 유지하는 날을 흰개미 활동 습도 일로 정의하였다. 환경 데이터의 신뢰도 확보와 기상 간 차이 특성을 확인하기 위해 실시한 통계적 고찰은 Excel 2013의 통계 프로그램을 활용하였다. 통계처리 과정에서는 상대적인 비교가 가능하도록 미기상, 중기상, 국지기상의 데이터가 동시에 측정된 시간의 데이터만을 선정하였다.

조사당의 미기상은 전각 내부와 외부의 온열환경으로 구분하여 조사하였다. 전각 내부에는 북서쪽(좌후측) 기둥상단과 남동쪽(우전측) 기둥 상단에 2기의 온·습도 모니터링 장치(U12-011, HOBO, USA)를 설치하였다. 전각 외부는 북서쪽 기둥 옆에 별도의 백엽상을 설치하여 모니터링 장치를 설치하였다. 백엽상 내부에 설치된 온·습도 측정기(KH210-AO, KIMO, FRA)는 대기의 온도와 상대습도를 실시간 모니터링하였다(Figure 1B). 모니터링 장치는 매시 정각에 온도와 습도를 수집하도록 하였고, 전각 내부의 데이터는 평균값을 적용하였다.

순천 선암사를 대표하는 중기상의 조사를 위해 기상자동측정기(Vantage Pro2 Plus, Davis Instrument, USA)를 사찰 외부에 설치하였다. 조사기간 동안 온도, 상대습도, 강수량, 강수일수를 모니터링 하였으나, 2015년 8월 4일 14시부터 2015년 8월 5일 12시, 2016년 11월 2일 13시부터 2016년 12월 5일 21시까지의 데이터는 장비의 문제로 수집되지 않았다.

국지기상은 선암사와 4.3 km 떨어진 기상청 국가기상종합정보의 기상관측자료를 활용하였다. 이 자료는 전라남



**Figure 1.** Environmental monitoring equipments in the Seonamsa temple. (A) Installed location of the equipments, (B) Micro-meteorology(outdoor air) monitoring site.

도 순천시 승주읍 평지길 87 순천자동기상관측소(북위 35°01', 동경 127°41')에서 관측되었다. 순천자동기상관측소 지점번호는 174번, 지점명은 순천으로 현재 데이터는 기상관서에서 운용하는 2009년에 도입한 종관기상관측장비(ASOS)로부터 관측되고 있다(Korea Meteorological Administration, 2017). 관측 데이터는 기상청 웹사이트(www.weather.go.kr)에서 실시간으로 제공되고 있으므로 제공된 도시별 현재 날씨 데이터를 활용하였다(Korea Meteorological Administration, 2019).

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1. 흰개미 피해 현황

선암사 조사당은 목재 기둥이 4개인 작은 전각이다. 이 중 북서쪽에 위치한 4번 기둥은 흰개미 피해흔이 뚜렷하였고 피해범위가 상당히 큰 것을 확인할 수 있었으며(Figure 2B), 2015년과 2016년에 탐지견 반응이 있었다. 3번 기둥은 2016년에 신규로 흰개미 탐지견 반응이 추가되었으나, 전면에 위치한 두 기둥에서는 흰개미 피해가 없는 것으로 관찰되었다(Figure 2A).

#### 3.2. 목조 환경

조사당의 목조 환경 조사 시 기둥 근처의 대기온도 평균은 20.3°C이었고, 최소 0.8°C에서 최대 29.5°C 범위였다. 상대습도 평균은 59.0%로, 26.8%에서 96.0%의 범위였고, 이때의 기둥 표면온도는 20.4°C로, 대기의 온도와 유사하였다. 평균 표면수분량은 11.6%이었고, 평균 함수율은 43.7%로 나타났다. Table 1은 조사당 기둥별 환경인자의 결과를 보여준다. 전면에 위치한 1번과 2번 기둥의 표면온도는 후면보다 높았고, 표면수분량과 함수율은 작은 값을 보였는데, 특히 1번 기둥은 이러한 특징이 뚜렷하게 나타났다. 흰개미 탐지견 반응이 나타난 3번 기둥과 피해 양상이 뚜렷한 4번 기둥은 대기온도와 표면온도가 낮고 수분인자 값이 컸으며, 목조물 환경인자는 전면 기둥과 반대의 경향을 보였다. 특히 3번 기둥은 표면수분량과 함수율이 높은 특징이 있었다. 흰개미 피해 현황과 목조 환경 특성을 종합해보면, 조사당 후면 기둥의 높은 수분인자 값은 전면의 기둥에 비해 흰개미가 활동하기 좋은 고습 환경을 유지되고 있으며, 흰개미의 발생 방향은 북쪽이나 서쪽에 많이 발생하는 것으로 보고된 연구(Korea Forest Research Institute, 2003)와 동일한 경향이 확인되었다.

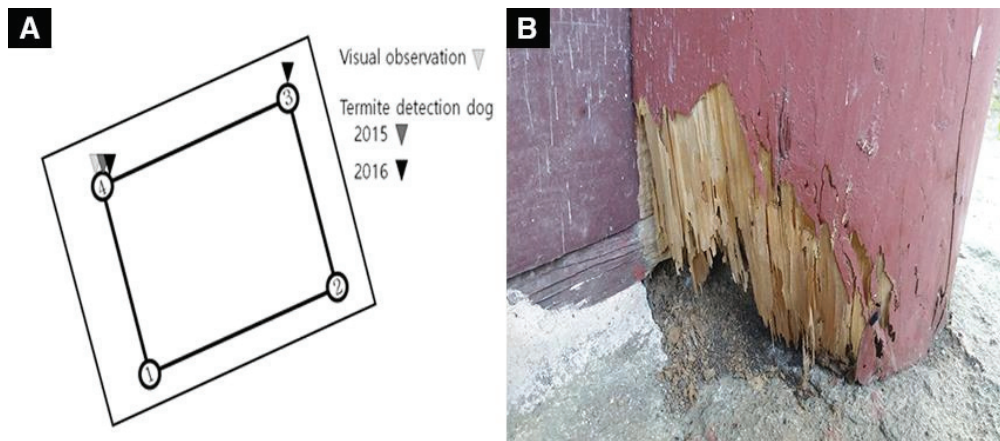
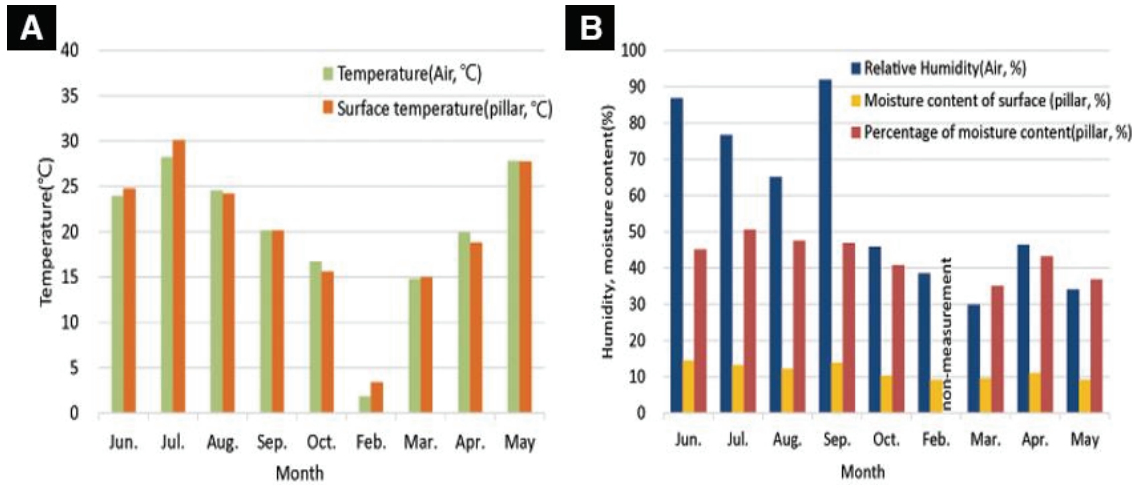


Figure 2. Termite damage status of the Josadang shirine. (A) Damaged location, (B) Image of the damaged fourth pillar.

Table 1. Mean of environmental factors at atmospheric and pillars

Pillar No.	Air		Pillar		
	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Surface temperature (°C)	Moisture content of surface (%)	Percentage of moisture content (%)
1	20.5	58.7	21.0	8.8	35.3
2	20.7	58.5	21.9	11.8	44.9
3	20.3	58.8	19.3	13.2	47.7
4	20.0	59.8	19.5	12.5	46.9



**Figure 3.** Monthly mean of environmental factors around pillars and pillars of the Josadang shirine. (A) Temperature, (B) Relative humidity and moisture content.

외부에 노출된 4번 기둥에서 실시간 모니터링한 표면온도의 평균은 13.7°C 이었고, 최소 -9.6°C에서 최대 32.2°C로 조사되어 온도 범위는 41.8°C로 산출되었다. 중앙값은 14.7°C, 최빈값은 20.7°C, 표준편차는 9.0으로 조사되었다. 대기온도와 기둥 표면온도의 월별 평균은 비슷한 경향을 보였고, 7월 이후에 점차 낮아지다가 2월을 기점으로 점차 증가하였다. 대기 상대습도와 기둥 표면수분량의 월별 평균은 비슷한 패턴으로 나타났다. 그러나 기둥의 흡수율은 상대습도와 기둥 표면수분량이 가장 높았던 6월과 9월에도 급격한 상승 없이 완만한 변화를 보였다(Figure 3). 조사 기간 중 봄철, 가을철, 겨울철의 표면온도 평균은 각각 12.8°C, 15.7°C, 2.5°C로, 두 해의 계절별 평균값이 거의 유사하였다. 그러나 2015년 여름철은 22.9°C, 2016년 여름철은 24.7°C로, 2016년의 표면온도가 1.8°C 높은 것으로 기록되었다.

흰개미가 서식하는 기둥 내부와 표면 그리고 대기는 열전도율과 열확산률의 차이로 인해 온도의 차이가 발생한다. 온도변화에 따른 소나무의 열확산율은 0.178 mm<sup>2</sup>/s (Kang et al., 2006)이므로 순간의 온도변화에 의한 영향이 기둥 내부로 도달하기 위해서는 시간이 필요하다. 그러나 목조건축물 특성상 기둥 심재 부분의 온도변화를 측정할 수 없으므로 표면온도로 대신하였다. 흰개미 활동 가능 환경을 비교하기 위해 기둥 표면온도가 10°C 이상의 조건이 지속되는 흰개미 활동 일수와 영하의 온도에 도달하여 흰개미가 활동하기 어려운 날의 수를 산출하였다. 그 결과, 731일의 총 기간 중 84.1%가 영상이었고, 15.9%가 영하에 도달하였다. 흰개미 활동 기둥 표면온도 일수는 415일로 56.8%를 차지하였다. 흰개미 활동이 저해되는 조건으로 기둥

표면온도가 10°C 미만의 날은 316일이었고, 여름은 0.0%, 가을은 6.6%, 겨울은 24.6% 그리고 봄은 12.0%를 차지하였다. 흰개미 활동 저해 표면온도 일수는 2015년과 2016년 겨울에 90일이었고, 2015년 가을철과 2016년 봄철은 각각 19일과 40일이었는데, 2016년 가을철과 2017년 봄철에 비해 8일 이상 증가하여 전년도의 환경에서 흰개미가 활동하기 좋은 조건이 더 많았음을 확인할 수 있었다.

### 3.3. 미기상

연구 기간 동안의 실내·외 미기상 데이터는 각 인자별로 17544개가 측정되었다. 조사당 내부 미기상의 온열환경 평균값은 21.7°C, 72.2%이었고, 온도 범위는 10.2°C, 상대습도 범위는 53.4%이었다. 조사당 외부 미기상의 평균 온열환경은 19.9°C, 78.1%로, 내부 미기상보다 1.8°C 낮고 5.9% 높은 값으로 조사되어, 온도의 경우는 내부 미기상에서 상대습도의 경우는 외부 미기상에서 높은 경향을 보였다. 또한 내부 미기상보다 외부 미기상의 분산과 표준편차가 컸으며, 온도보다 습도가 더 큰 분산과 표준편차를 갖는 것으로 분석되었다(Table 2). 또한, 조사당 외부 온도는 기둥 표면온도보다 더 낮은 최솟값과 더 높은 최댓값을 갖는 것으로 확인되었다.

조사당 온열환경의 월별 평균은 Table 3에 나타내었다. 전각 내·외부의 온도차가 가장 큰 시기는 2015년 10월 (3.0°C 차이)이었고, 상대습도는 2016년 8월과 9월에 8.0%의 가장 큰 차이를 보였다. 내·외부 미기상의 온도 차이는 가을과 겨울에 크고 여름에는 작은 것으로 조사되었다. 내·외부 미기상의 상대습도는 2016년 여름철에 6.7%의

**Table 2.** Descriptive statistics on the micro-meteorology of Josadang shirine

		Mean	Min.	Max.	Median	Mode	Stdev	Variance
Indoor	Temp.	21.7	15.5	25.6	21.8	21.9	1.7	2.9
	R.H.	72.2	34.1	87.5	74.9	80.0	9.4	88.0
Outdoor	Temp.	19.9	11.4	27.6	19.6	19.6	2.9	8.4
	R.H.	78.1	23.0	94.0	83.0	87.1	13.8	189.9

Temp.: Temperature (°C), R.H.: Relative humidity (%).

**Table 3.** Mean of temperature and relative humidity inside and outside of the Josadang shirine

Year	2015				2016				2017			
Index	Temp.		R.H.		Temp.		R.H.		Temp.		R.H.	
Place	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor	Indoor	Outdoor
Jan.	-	-	-	-	2.1	0.0	66.5	68.8	3.4	0.9	62.5	67.2
Feb.	-	-	-	-	4.0	1.9	62.2	62.6	4.2	1.8	57.1	61.3
Mar.	-	-	-	-	9.1	7.1	59.9	62.0	8.6	6.3	53.1	55.3
Apr.	-	-	-	-	15.5	13.5	63.3	69.4	15.6	13.6	57.5	59.8
May	-	-	-	-	19.1	17.2	64.3	70.8	20.0	18.0	58.2	61.6
Jun.	21.7	19.9	72.2	78.1	22.6	20.8	75.9	82.6	-	-	-	-
Jul.	24.6	23.2	80.7	80.3	26.1	24.6	81.6	86.9	-	-	-	-
Aug.	25.7	23.7	76.8	77.4	28.0	25.6	<b>72.0</b>	<b>80.0</b>	-	-	-	-
Sep.	21.9	19.4	73.2	75.5	23.1	20.9	<b>78.8</b>	<b>86.8</b>	-	-	-	-
Oct.	<b>17.8</b>	<b>14.8</b>	66.6	69.7	17.7	15.9	77.9	82.1	-	-	-	-
Nov.	12.6	10.7	77.0	81.9	10.9	8.4	68.1	73.0	-	-	-	-
Dec.	6.5	4.3	71.9	73.8	6.4	3.9	65.1	70.2	-	-	-	-

Temp.: Temperature (°C), R.H.: Relative humidity (%).

큰 차이를 보였고, 2015년과 2016년 겨울철에 상대적으로 작은 차이를 보였다. 조사당 내·외부 온열환경의 계절별 차이는 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 2015년 가을의 온도를 제외한 대부분은 2015년보다 2016년 여름, 가을, 겨울의 차이가 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 전각 내부의 온도는 6월에서 9월까지의 2015년보다 2016년이 높았으나, 10월에서 12월까지의 2015년이 높았다. 상반기의 온도는 2016년 3월을 제외하고 2017년이 높았다. 연도별 전각 외부의 온도 패턴은 전각 내부와 비슷하였으나, 6월부터 10월까지의 2015년보다 2016년이 높았고, 2016년 2월이 2017년 2월보다 낮았다. 상대습도의 경우 6월에서 10월까지의 2016년이 높았고, 11월과 12월은 2015년의 값이 큰 것으로 나타났다. 1월에서 5월까지의 2016년이 2017년보다 높은 상대습도를 보였는데, 특히 2016년 3월에서 5월까지의 값의 차이가 큰 것을 확인할 수 있었다.

Figure 4는 조사당 미기상의 범위별 빈도율과 적산분포

를 나타낸 것이다. 조사당 내·외부의 온도는 20~25°C의 구간에서 빈도가 가장 높은 것으로 나타났다. 전각 내부는 30°C 이하의 영상 기온이 주로 나타났고, 외부는 내부와 비슷하였으나 내부 온도보다 낮은 범위인 -5~0°C 구간에서 8.1%의 비교적 높은 빈도를 보였다. 특히 5~10°C 구간은 내부 미기상에서 18.2%의 빈도율로 나타나, 10~20°C 구간보다 높은 빈도수를 보인 반면, 실외에서는 0~5°C 구간과 유사하나 0.4% 낮은 비율을 보이는 특징이 있었으며, 조사당 내·외부 온도의 적산분포는 비슷한 기울기를 갖는 것으로 확인되었다. 상대습도의 빈도는 저습 구간에서 고습 구간으로 갈수록 점차 증가하였다. 내부에서는 70~80% 구간, 외부에서는 80~90% 구간에서 가장 높은 빈도를 보였고, 이 구간 이후에는 빈도가 감소하는 추세였다. 특히 외부에서 80~100% 구간의 상대습도의 빈도율은 42.0%로, 17.0%의 빈도율이었던 내부보다 높은 빈도를 나타내었다. 이로써 온도는 내·외의 차이가 크지 않으나, 상

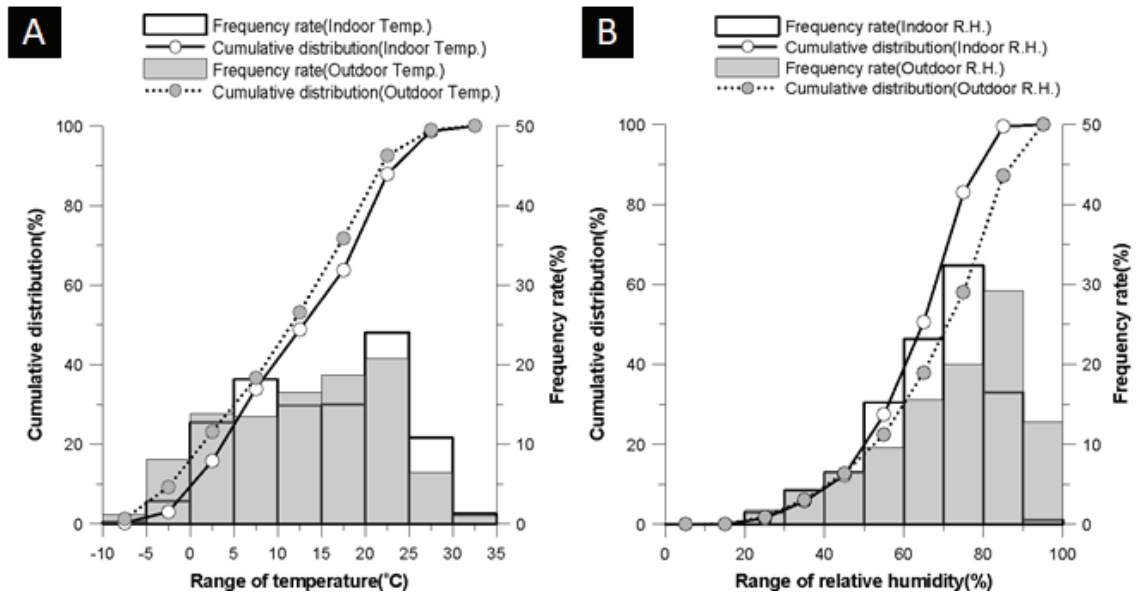


Figure 4. Cumulative distribution and frequency rate. (A) Temperature, (B) Relative humidity.

대습도는 50% 이상의 고습 상태에서 내·외부 차이가 크고, 특히 외부보다 내부의 상대습도 변화가 큰 것을 관찰할 수 있었다.

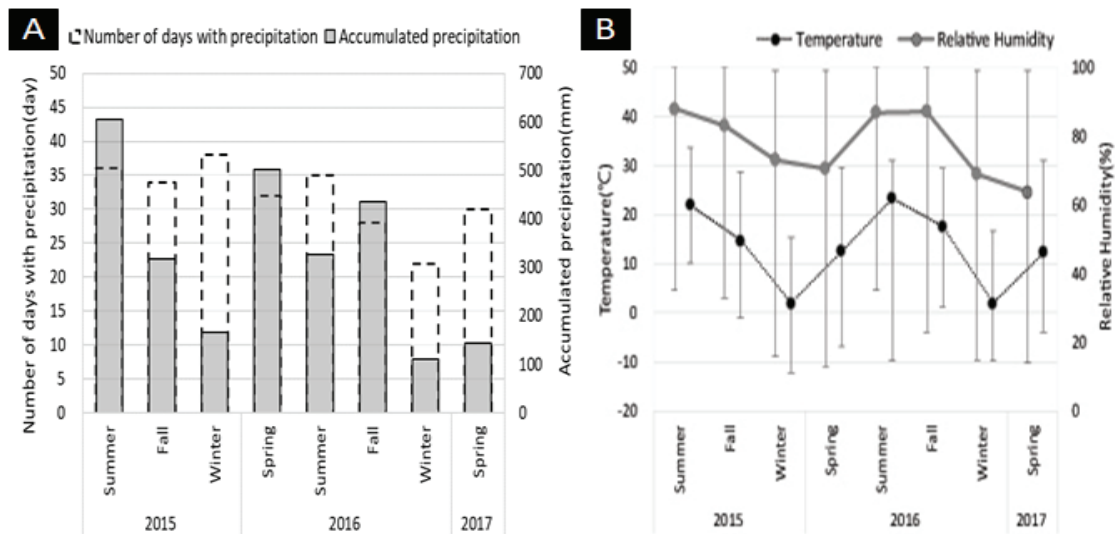
미기상을 흰개미 활동 조건과 비교하여 살펴보면, 전체 기간인 731일 중 내부의 흰개미 활동 온도 일은 429일로 58.7%이었고, 흰개미 활동 습도 일은 216일로 29.5%를 차지하였다. 외부 미기상의 흰개미 활동 온도 일은 381일로 52.1%이었고, 흰개미 활동 습도 일은 175일로 23.9%가 흰개미 활동에 유리한 환경 조건에 해당되었다. 이를 통해 조사당 내부가 흰개미 활동은 더 좋은 조건이 형성됨을 확인할 수 있었다. 앞선 조사당 내부 미기상의 20~30°C 구간 빈도율과 50~80% 상대습도 구간의 높은 빈도율 역시 조사당 외부 미기상보다 내부 미기상에서 흰개미 활동에 유리한 환경이 조성되는 것을 말한다. 이렇듯 미기상의 특성 분석 결과는 조사당의 전각 내 피해 발생 가능성에 대한 근거를 뒷받침해주고 있다.

외부 미기상의 온열환경과 조사당 4번 기둥의 표면온도로 도출한 이슬점 온도를 통해 목조 기둥의 수분 노출 정도를 파악해 본 결과, 결로 조건이 나타난 날은 10일로 전체 기간 중 1.4%를 차지하였고 결로 조건이 관측된 시간은 48시간이며, 전체 측정 시간 대비 0.3%의 비율을 차지하였다. 결로 발생 조건은 주로 1월에서 3월 사이에 나타난 것으로 기록되었고 결로의 발생 빈도는 주로 2016년 12월에 최대로 나타났다. 그러나 여름철인 2016년 7월에도 결로 발생 조건이 형성되었는데, 이러한 현상은 95.7% 이상으로 기록된 높은 상대습도에 기인한 것으로 추정되며 근접시간대보다 급상승한 상대습도의 영향으로 판단되었다.

### 3.4. 중기상

선암사 경내에 설치한 자동기상측정기로 조사한 중기상의 평균온도는 13.2°C이었고, 최소 온도 -12.2°C에서 최대 온도 35.2°C의 범위로 확인되었다. 평균 상대습도는 77.3%이었고, 최소 13.0%에서 최대 100.0%의 범위로 기록되었다. 미기상과 비교하면, 평균온도는 1.7°C 낮았고, 평균습도는 10.3% 높은 것으로 조사되었다. 온도와 습도의 범위 역시 미기상에 비해 넓은 분포를 갖는 것으로 나타났다. 모니터링 결과를 토대로 한 중기상의 흰개미 활동 온도 일은 364일로 52.1%이었고, 10°C 미만의 환경은 47.9%를 차지하였다. 또한, 흰개미 활동 습도 일은 190일로 27.2%의 빈도율을 갖는 것을 확인하였다. 각 여름철 흰개미 활동 온도 일은 전체 조사일 대비 총 25.4%의 가장 높은 비율을 보였고, 가을철은 총 16.3%, 봄철은 총 9.6%의 비율로 조사되었다. 또한 2016년에 비해 2015년의 계절별 비율이 더 큰 것을 확인할 수 있었다. 흰개미 활동 습도 일 비율은 여름철이 12.8%, 가을철이 3.4%로 조사되었고, 두 계절 모두 2016년의 비율이 높았다.

중기상은 총 698일의 조사일 중 16일에서 결로 발생이 가능한 환경 조건이 형성된 것으로 확인되었다. 주로 7월에 빈번하게 발생하였고, 2015년과 2016년 7월은 각 4일씩 나타났으며, 2015년 10월은 1일, 2016년 9월은 2일, 2016년 10월은 5일에 걸쳐 나타났다. 이처럼 결로 현상을 보인 시간대에서는 미기상과 마찬가지로 수분량이 높은 조건이었으며, 특히 중기상은 미기상보다 높은 상대습도(100.0%)가



**Figure 5.** Seasonal characteristics of meso-meteorology. (A) Accumulated precipitation and number of days with precipitation, (B) Distribution of temperature and relative humidity.

형성된 것으로 관측되었다. 주로 1월과 3월에 발생한 미기상과는 달리 중기상은 사계절 중 여름철의 결로가 61.4%의 비율로 가장 빈번하게 나타났으며, 대부분 오전에 발생하였다.

조사기간 동안의 총 강수일은 255일로 데이터 획득 일의 36.5%가 강수를 보였다. 누적강수량이 가장 많은 계절은 2015년의 여름철로 605.6 mm의 누적량을 보여 강수가 가장 많았고, 강수일수가 가장 많은 계절은 38일로 관측된 2015년의 겨울이었다. 2015년의 강수량은 점차 감소하였으나, 겨울철 강수일수가 많아지는 특징을 보였다. 2016년 봄의 누적강수량은 502.8 mm로 2016년에 가장 높은 강수를 보였고, 비가 많이 내릴 것으로 예측되는 여름철은 강수일수는 35일로 많았으나, 누적강수량이 적었다. 또한 2016년 가을철에 강수량이 증가하는 경향이 있었다. 강수량 및 강수일수와 온열환경과의 관계를 살펴보면, 상대습도의 변화는 강수일수보다 누적강수량과 더 관계가 있는 것으로 확인되었다(Figure 5).

### 3.5. 국지기상

순천자동기상관측소에서 측정되어 제공된 순천의 기간 평균온도는 13.5°C로 -9.8°C에서 36.9°C의 범위였고, 상대습도 평균은 69.0%로 10.0%에서 100.0%의 범위로 관측되었다. 국지기상의 온도는 미기상 및 중기상과 비슷하였다. 국지기상의 평균온도는 미기상 평균에 비해 0.3°C 높았고 미기상의 최솟값보다 -1.8°C, 최댓값보다 3.5°C 높았다. 상대습도는 미기상과 중기상보다 낮았고 최소 관측 값이 가

장 작았으며, 최대 범위는 90.0%로 가장 넓은 범위로 조사되었다. 조사기간 동안의 국지기상의 총 누적 강수는 2727.2 mm로, 중기상보다 많은 강수가 확인되었다. 강수일수는 총 731일 중 239일로 조사일의 32.7%에서 강수가 있었던 것으로 조사되어 중기상과 유사한 비율임을 알 수 있었다. 계절별 최대 누적 강수는 2016년 가을철로 683.7 mm의 강수가 있었고, 2016년 겨울에는 111.4 mm의 가장 적은 강수를 보였다. 2016년은 봄철, 여름철, 가을철에 특히 많은 강수를 보였고, 여름과 가을철은 전년 대비 각각 1.3배, 1.8배 큰 값으로 나타났다. 여름철 강수일수는 40일 이상으로 가장 많았다. 전년 대비 강수일수는 여름과 가을철은 증가하였고, 겨울과 봄철은 감소하는 경향을 보였다.

### 3.6. 기상 간 통계 분석

미기상, 중기상, 그리고 국지기상의 온도, 상대습도 간의 분산 차이가 통계적으로 유의한지를 확인하기 위해 분산분석(ANOVA)을 수행하였다. 그 결과, 온도와 상대습도의 95% 신뢰수준에서 유의확률은  $P < 0.05$ 로 분석되어 유의한 결과임이 확인되었다. 각 기상의 분산분석 결과에서 분산은 내부 미기상의 온열환경이 제일 작았고, 국지기상이 제일 크게 나타났다(Table 4). F 비와 P 값의 도출 결과를 통해 ‘집단 간 차이가 없다’라는 귀무가설을 기각하였다. 또한 F 비가 F 기각치보다 크므로 기상 간 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 통해 미기상 내·외부의 차이로 인한 기상 간 차이가 있었을 것으로 추정하고 조사당 외부의 기상



**Table 4.** Results of ANOVA test between micro-meteorology, meso-meteorology, and local-meteorology

Site	Descriptive statistic analysis		F-test				
	Mean	Variance	F	P(F≤f) one-tail	F crit		
Temp.	Micro-meteorology	Indoor	15.1	75.7	134.7	<0.05	2.6
		Outdoor	13.5	83.6			
	Meso-meteorology		13.2	85.9			
	Local-meteorology		13.8	97.8			
R.H.	Micro-meteorology	Indoor	66.9	200.1	1002.8	<0.05	2.6
		Outdoor	72.4	293.9			
	Meso-meteorology		77.3	388.8			
	Local-meteorology		69.1	463.5			

Temp.: Temperature (°C), R.H.: Relative humidity (%).

**Table 5.** ANOVA test results among the factors of temperature and relative humidity

Source of variation	df	F	P-value	F crit	
Temperature	Treatment	2	<b>16.8</b>	0.00	<b>3.0</b>
	Residual	50076			
Relative humidity	Treatment	2	<b>737.3</b>	0.00	<b>3.0</b>
	Residual	50076			

들의 분산분석을 비교하였다(Table 5). 조사당 외부 미기상, 중기상 그리고 국지기상을 대상으로 각 인자의 기상 간 분산분석 결과, 자유도 2, 50076의 F 기각치가 3.0이고, F비는 각각 16.8과 737.3으로 기각역에 포함되어 적어도 두 개의 모평균은 다르다는 결론을 얻게 되었다. 따라서 세 기상 중 두 기상 간의 평균 차이를 비교하여 기상 간 차이를 확인하기 위해 t-검정을 수행하여 각 기상 간의 관계를 확인하였다.

t-검정에 앞서, F-검정을 실시하여 등분산도를 살펴보았다. 그 결과, 전각 외부 미기상과 중기상의 검정 결과에서만 등분산이 확인되었고, 그 외의 대부분은 이분산인 것으로 확인되어 등분산에는 t-검정: 등분산 가정 두집단, 이분산에는 t-검정: 이분산 가정 두집단의 프로그램을 사용하여 검정하였다. t 통계량은 모두 양측검정의 t 기각치 이상이었고, 유의확률이 모두 <0.05로 산출되어 유의한 것으로 확인되었다(Table 6). 관측된 기상인자 값으로 t-검정 통계분석을 통하여 각각의 기상 관측 장소에 따른 기상인자 값을 비교하였다. 온도의 t 통계량은 16.8로, 미기상의 실내가 높게 나타났으며, 상대습도는 음의 값인 -31.7로 실내가 낮게 나타나는 것으로 확인되었다. 미기상과 중기상의 온도와 상대습도 비교 값 역시 온도는 미기상이 높게 나타났고,

상대습도는 미기상이 낮게 나타났다. 그러나 중기상과 국지기상을 비교한 결과, t 통계량은 중기상의 온도가 -5.6로 낮게 나타났으며, 상대습도는 36.1로 중기상이 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 미기상, 중기상과 국지기상의 비교에서 t 통계량의 차이가 큰 것으로 분석되었다. 온도는 미기상 실내·외 비교에서 차이가 컸고, 상대습도는 중기상과 국지기상 비교에서 차이가 컸다. 그리고 온도와 상대습도의 t 통계량은 미기상과 중기상에서 같은 경향성을 나타낸 반면, 중기상과 국지기상은 서로 반대 경향성을 나타내었다. 이로써 지리적 위치, 지형 및 공간에서의 온열환경은 차이를 보인다는 연구(Kim and Yee, 2007; Lee and Jung, 2012)와 일치하는 결과가 도출됨을 확인할 수 있었다. 2차년에 걸친 시간별 온열환경 데이터의 연도별 t-검정 수행 결과에서는 전체 기상의 온도와 미기상의 습도의 t 통계량은 음의 값으로 산출되었고, 중기상과 국지기상의 상대습도는 양의 값으로 도출되었다(Table 7). 표준오차를 고려한 기상 간 평균의 연도별 차이를 비교하면, 모든 기상에서 온도는 2차년이 컸으며, 미기상의 상대습도는 2차년, 중기상과 국지기상의 상대습도는 1차년의 평균이 큰 것으로 나타났다. 특히 연도별 차이는 중기상과 국지기상보다는 내부 미기상에서 두드러진 차이를 보였다.

**Table 6.** T-test results between micro-meteorology, meso-meteorology, and local-meteorology

	Micro-meteorology		Meso-meteorology	Local-meteorology	t-test	
	Indoor	Outdoor			t Stat	P(T≤t) two-tail
Temp.			✓	✓	-5.6	1.7E-08
		✓	✓		2.1	3.2E-02
	✓	✓			16.8	3.1E-63
R.H.			✓	✓	36.1	2.7E-280
		✓	✓		-24.2	4.7E-128
	✓	✓			-31.7	5.2E-217

Temp.: Temperature (°C), R.H.: Relative humidity (%).

**Table 7.** T-test results of annual data

			Temperature (°C) <sup>***</sup>			Relative humidity (%) <sup>***</sup>		
			Mean	Variance	t Stat	Mean	Variance	t Stat
Micro-meteorology	Indoor	Prim.*	14.5	73.8	-11.5	65.5	232.4	-7.6
		Second.**	16.1	80.5		67.3	170.5	
	Outdoor	Prim.*	13.3	80.0	-4.2	71.6	267.6	-2.0
		Second.**	14.0	91.0		72.2	330.7	
Meso-meteorology		Prim.*	13.2	83.1	-3.5	77.7	367.7	5.7
		Second.**	13.7	92.5		75.9	423.8	
Local-meteorology		Prim.*	13.9	90.3	-2.2	69.6	460.2	5.6
		Second.**	14.2	109.6		67.6	479.6	

\* Prim.: Primary Jun. 2015~May 2016.  
 \*\* Second.: Secondary Jun. 2016~May 2017.  
 \*\*\* P<0.05.

#### 4. 결론

목조건축물의 생물피해와 보존환경의 관계를 살펴보고 자 선암사 조사당을 대상으로 흰개미 피해 현황 조사와 환경 모니터링을 실시하고 환경 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

북서쪽에 위치한 4번 기둥은 뚜렷한 육안피해와 2년에 걸친 탐지견 반응이 있었고, 북동쪽에 위치한 3번 기둥은 육안피해는 관찰되지 않았으나 2016년에 신규 탐지견 반응이 추가되었다. 후면에 위치한 3번과 4번 기둥 주변의 대기온도와 기둥 표면온도는 전면보다 낮았고, 기둥의 표면수분량과 함수율은 높은 경향을 보였다. 또한 조사기간 동안의 계절별 표면온도의 평균값은 여름철을 제외하고 대부분 유사한 특징이 있었는데, 이러한 결과를 통해 흰개미 발생 방향이 북쪽 또는 서쪽에서 많이 발생한다는 기존 연구의 결과와 부합함을 확인할 수 있었다.

조사당 외부 미기상, 중기상, 국지기상의 온도는 비슷하

였으나, 조사당 내부 미기상 온도는 상대적으로 높았다. 상대습도는 조사당 내부 미기상<국지기상<조사당 외부 미기상<중기상의 순으로 높은 특징을 보였다. 미기상 내·외부 온도의 적산 분포는 비슷한 기울기를 보였고, 가을과 겨울에 내·외부 차이가 크고 여름에 작았으며, 20~25°C의 빈도가 가장 높았다. 상대습도는 70% 이상의 구간에서 가장 높은 빈도를 보였고 저습 구간에서 고습 구간으로 갈수록 점차 증가하여, 선암사의 환경은 일정한 영상 온도 분포와 높은 상대습도가 빈번히 나타남을 확인할 수 있었다. 기상인자로 살펴본 흰개미 활동 일은 조사당 내부 미기상에서 가장 많은 것으로 산출되어, 전각 내부는 다른 기상 조건에 비해 흰개미가 활동하기 좋은 조건이 많이 조성되는 것을 보여주었다. 흰개미 피해 현황과 미기상 특성을 종합해 볼 때, 후면 기둥의 높은 표면수분량과 함수율, 적절하게 유지되는 내부 미기상의 온도와 외부 미기상의 높은 상대습도는 조사당이 흰개미 활동에 유리한 환경이 조성되고 있음을 보여주어, 조사당의 환경은 흰개미로

부터의 피해가 진행, 가중될 수 있는 조건이 빈번하게 발생됨을 증명해주었다.

생물피해 환경 데이터의 신뢰성 확보와 기상 간 차이 비교를 위해 실시한 통계분석 결과에서 모든 분석은 유의한 것으로 확인되었다. 앞서 살펴본 세 기상 간의 차이를 통계적으로 분석하기 위하여 실시한 분산분석에서 F 기각치와 F 비를 통해 기상 간 차이가 있음을 확인하였다. 즉, F 비가 F 기각치보다 크다는 것은 집단 내 차이보다 집단 간 차이가 크다는 것으로서 세 기상 간 차이가 크다는 것을 의미한다. 그러므로 환경조사 시 조사대상과 근접한 위치에서 조사할 필요가 있다. 기상인자별 차이를 비교하기 위해 t-검정을 실시한 결과, 기상인자 간의 차이는 온도보다 습도가 더 크고, 특히 증기상과 국지기상에서 상대습도 차이가 더 크게 나타났다. 또한 온도에 있어서 전각 외부 기상 간 차이보다 내·외부 차이가 더 크게 나타났다. 따라서 생물피해 환경조사를 위해서는 피해의 진행 여부와 동시에 조사대상과 가장 가까운 위치의 환경을 선택하고 조사하여 관찰하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 그러나 기상 간 차이가 상대적으로 적은 온도 인자에 한해서는 접근하기 용이한 데이터를 활용하는 것이 가능할 것으로 보인다.

이 연구에서는 흰개미 활동에 직·간접적인 영향을 주는 기상에 대해 통계 분석하였다. 그러나 향후 목조건축물의 흰개미 피해와 환경과의 상관성 분석을 위한 종합적인 조사를 위해서는 기상뿐만 아니라, 흰개미의 주요 서식지인 토양 환경 등 다양한 환경인자와 흰개미 활동 특성을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소 문화유산 조사연구(R&D) 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

American meteorological society, 2019, Glossary of meteorology-mesometeorology. <https://www.ametsoc.org/> (May 22, 2019)

Doosan encyclopedia, 2019, Micrometeorology. <http://www.doopedia.co.kr/> (May 22, 2019)

Hulme, M., Zhao, Z.C. and Jiang, T., 1994, Recent and future climate change in East Asia. *International Journal of Climatology*, 14, 637-658.

Jevanandam, N., Goh, A.G. and Corlett, R.T., 2013, Climate warming and the potential extinction of fig wasps, the obligate pollinators of figs. *Biology Letter*, 1-4.

Jin, M.J. and Park, S.Y., 2015, Temperature changes of climatic solar terms and their spatiotemporal characteristics in South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, 50(1), 23-36. (in Korean with English abstract)

Kang, H.Y., Park, J.H. and Park, B.S., 2006, Thermal conductivity and electrical resistance of pine, nut pine and larch. *The Korean Wood Science and Technology*, Sokcho, April 20-21, 164-165. (in Korean)

Khalil, M.A.K., Rasmussen, R.A., French, J.R.J. and Holt, J.A., 1990, The influence of termites on atmospheric trace gases: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CHCl<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub>, and light hydrocarbons. *Journal of Geophysical Research*, 95(4), 3619-3634.

Kim, B.Y., 2014, Earth's atmosphere and climate change. Hakjin Books, Seoul, 147-176. (in Korean)

Kim, H.Y. and Yee, J.J., 2007, Preparation the standard weather data and TAC map for heating and cooling load calculation in the 17-provinces of Korea. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 23(9), 197-204. (in Korean with English abstract)

Kim, S.H., 2016, A study on the effect of the wooden architecture heritage building by the micro climate: Focused on the Wanju Hwamsa temple by the CFD analysis. Ph.D. dissertation, Mokwon University, Daejeon, 6-7. (in Korean with English abstract)

Kim, Y.K., 2019, A study of weather resistance on dancheong ground treatment of traditional wooden building in Korea. Master's thesis, Konkuk University, Chungju, 106-107. (in Korean with English abstract)

Korea Forest Research Institute, 2003, Termites ecology and their control. Seoul, 207, 302. (in Korean)

Korea Meteorological Administration, 2017, Annual report 2017. 80-84, 431, 479. (in Korean)

Korea Meteorological Administration, 2019, Forecast homepage. <http://www.weather.go.kr/> (February 15, 2019)

Lee, K.S., 2004, Ecological characteristics of termite (*Reticulitermes speratus kyushuensis*) and its control for preservation of wooden cultural properties. Ph.D. dissertation, Chungang University, Seoul. (in Korean with English abstract)

Lee, M.G. and Jung, K.K., 2012, Optimal measuring point selection method of indoor temperature using CFD analysis. *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 16(7), 1559-1566. (in Korean with English abstract)

Lee, M.I. and Kang, I.S., 1997, Temperature variability and warming trend in Korea associated with global warming. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 33(3), 429-443. (in Korean with English abstract)

Park, B.I., 2017, Synoptic characteristics of intra-seasonal fluctuation patterns appeared in wintertime daily mean temperature change in East Asia. *Journal of Climate Research*, 33, 111-132. (in Korean with English abstract)

You, S.C., 2000, A study on establishment of environmental design code in museum storage. Master's thesis, Hongik University, Seoul, 28-33. (in Korean with English abstract)