

국가지정 목조건축문화재의 흰개미(*R. speratus kyushuensis*) 피해 현황 분석

김시현* 국립문화재연구원 안전방재연구실 학예연구사

정용재 한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 교수

*Corresponding Author: shkim1242@korea.kr

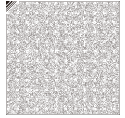
국문초록

흰개미는 사회성 곤충의 일종으로 목조건축문화재의 주요 손상 원인 중 하나이다. 흰개미 피해는 문화재의 원형 가치와 구조적 안정성을 저해하므로 흰개미 피해가 발생하기 전 예방하는 것이 중요하다. 본 연구는 목조건축문화재 흰개미 피해 예방을 위한 기초 연구로, 전국에 분포한 국가지정 목조건축문화재의 흰개미 피해 현황을 파악하고자 하였다. 국가지정 목조건축문화재 362건(국보 25건, 보물 157건, 국가민속문화재 180건), 1,104동을 대상으로 국립문화재연구원이 2016~2019년 실시한 '목조문화재 가해 생물종 조사' 결과를 통해 각 문화재별 흰개미 피해 현황을 정성적·정량적으로 확인하고 지역별로 비교 분석하였다. 그 결과 362건 중 317건(87.6%)의 문화재에서 흰개미 탐지견의 반응이 확인되었으며, 185건(51.1%)에서 육안으로 확인 가능한 흰개미 피해가 나타났고 두 방법(탐지견, 육안 조사) 중 하나라도 피해가 확인된 대상은 324건(89.5%)에 달했다. 1,104동의 건물 중 668동(60.5%)에서 흰개미 탐지견의 반응이 확인되었으며, 339동(30.7%)에서 육안으로 확인 가능한 흰개미 피해가 나타났고 두 방법 중 하나라도 피해가 확인된 대상은 702동(63.6%)에 달했다. 전국을 9개 지역(수도권·강원·충북·충남권·전북·전남·경북권·경남권·제주)으로 구분하여 흰개미 피해율과 각 문화재의 피해 정도를 확인하였다. 그 결과 모든 지역에서 70% 이상의 문화재들이 흰개미 탐지견 반응이 나타났으며 육안 피해는 수도권(32.1%)과 강원(21.4%)이 적고 충남권(65.6%), 전남(67.3%), 경남권(68.2%)이 높은 피해율을 보였다. 총 부재 중 흰개미 피해가 발생한 부재의 비율로 각 문화재의 흰개미 피해 정도를 정량화한 결과 전국 문화재의 평균 흰개미 피해 정도는 9.2%로 나타났으며, 각 지역별 분산분석 결과 전북·전남의 문화재들은 수도권·충북·경북권의 문화재들에 비해 통계적으로 유의미하게 높은 흰개미 피해 정도가 나타났다. 본 논문을 통해 전국의 국가지정 목조건축문화재 흰개미 피해 현황을 세부적으로 파악하였으며, 이 결과는 향후 문화재 보존관리 정책에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 목조문화재, 목조건축문화재, 흰개미, 탐지견, 기후변화

투고일자 2022. 2. 10. | 심사일자 2022. 4. 18. | 게재확정일자 2022. 5. 11.





I. 서론

흰개미는 개미, 벌과 같은 진사회성 곤충(eusocial insect)의 일종이다. 지구상에서 가장 번성한 생물 중 하나이며 그 생물량(biomass)은 4.45억톤에 달한다(Sanderson 1996: 543). 흰개미의 조상은 고생대 말기에 출현한 것으로 알려져 있으며, 과거에는 흰개미목(Isoptera)이라는 독립된 목으로 분류되었으나 분자생물학의 발달로 최근에는 바퀴목(Blattodea) 하위의 흰개미아목 또는 흰개미고과(Termitoidea)로 정립되고 있다(Eggleton 외 2007: 564).

흰개미는 살아 있는 나무를 포함하여 모든 종류의 식물성 재료를 섭식하여 영양원으로 사용한다. 여기에 각종 목조건축물이나 구조물, 가로수, 농작물 등이 포함되어 막대한 경제적 손실을 입힌다(Brune 2014: 168). 흰개미로 인해 유발되는 경제적 손실과 각종 비용은 매년 400억 달러에 달하며 이 대부분은 지중흰개미에 의해 발생한다(Rust · Su 2012: 356).

흰개미는 경제적 피해 뿐 아니라 목조건축문화재의 주요 손상 원인이기도 하다. 일본에서는 흰개미(*Reticulitermes speratus*)와 집흰개미(*Coptotermes formosanus*)가 우점종이며 다수의 목조문화재에서 흰개미 피해가 확인된다(Takahashi · Yoshimura 2002: 13). 중국에서도 남부 지역을 중심으로 문화재의 흰개미 피해가 다수 발생하며(Zhong · Liu 2002: 25, Tong 외 2014: 110) 대만에서도 다수의 목조문화재에서 흰개미 피해가 발생한다고 알려져 있다(Li 외 2011: 575).

우리나라에서는 1920년대에 흰개미 서식이 확인되었으며 1980년대부터 문화재 피해 사례가 확인된 바 있다(한성희 외 1998: 145). 1986년 김제 금산사 미륵전(국보)의 안전점검 시 흰개미 피해가 확인되었으며(문화재관리국 1987: 191) 1999년 전국에 소재한 85동의 목조건축문화재에 대한 조사 결과 14건에서 흰개미 피해가 확인되었다(이규식 외 2000: 5). 이후 5대궁과 종묘(이규식 외 2001: 41), 해인사(정소영 외 2002: 77,

Kim 외 2021: 1) 등 중요 문화재에서 흰개미 피해가 확인되었다.

현재까지 국내 서식이 확인된 흰개미 종은 흰개미(*R. speatus*)의 아종인 *R. speratus kyushuensis*(박현철 · 배태웅 1997: 59, Park 외 2006: 89, Kim 외 2012: 97), *R. speratus speratus*(배태웅 · 박현철 1996: 13, Son 외 2019: 45), *R. kanmonensis*(Lee 외, 2015: 351), *Glyptotermes nakajimai*(Shim 외 2021: 1266) 등이며, 이 중 *R. speratus kyushuensis*가 전국적으로 오랜 기간 분포하였기 때문에 대부분의 문화재 피해는 이 종에 의한 것으로 추정된다(Kim · Chung 2022: 465).

문화재 흰개미 피해에 효과적으로 대응하기 위해서는 먼저 국내 흰개미의 서식 범위, 문화재 피해 현황 등을 정확히 파악할 필요가 있다. 따라서 흰개미 피해 증가 대응을 위해 2000년대 후반부터 흰개미 탐지견, 극초단파 탐지장비 등을 활용한 조사가 시작되었다. 국립문화재연구소에서 2007~09년 전국 31개소 270동을 대상으로 흰개미 피해를 조사하였으며(정소영 2010: 121) 2009년 한국전통문화대학교에서 전국 16개소 231개동의 목조건축물을 대상으로 조사를 실시한 바 있다(김대운 외 2010: 77). 2013년부터는 국립문화재연구소에서 매년 국가지정 목조건축문화재를 대상으로 다양한 생물종 피해 현황을 조사해 오고 있다. 또한 2018년과 2019년 실시된 국립문화재연구소의 목조문화재 가해생물종 조사와 국가지정문화재 정기조사, 각 지역 문화재돌봄사업단의 조사 결과를 종합하여 전국 목조문화재를 대상으로 흰개미 피해 현황을 분석하기도 하였다(임익균 외 2021: 191). 그러나 기존 조사들은 조사 대상의 범위, 조사 인력의 전문성, 조사 방법 등의 한계로 전국적인 국가지정문화재 흰개미 피해 현황을 정확히 파악하기에 어려움이 있었다. 따라서 이번 연구는 전국의 국가지정 목조건축문화재에 대한 흰개미 피해 현황을 면밀히 파악하여 문화재 보존관리 정책과 흰개미 방제 관련 연구의 기초자료를 확보하고자 수행되었다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상은 국가지정 목조건축문화재 362건(국보 25건, 보물 157건, 국가민속문화재 180건)이다. 여러 동의 목조건축물이 한 건의 문화재로 지정된 경우가 많아 전체 건물의 수량은 1,104동이다. 각 지역별, 지정별 조사 대상의 수량은 아래 <표 1>과 같다.

표 1 조사 대상의 지역별, 지정별 분포(괄호 안은 건물 수량)

	국보	보물	국가민속문화재	계
수도권 (서울, 경기, 인천)	6(6)	40(52)	10(30)	56(88)
강원	1(1)	7(7)	6(72)	14(80)
충북	1(1)	4(4)	15(78)	20(83)
충남권 (충남, 대전, 세종)	1(1)	13(13)	18(92)	32(106)
전북	2(2)	17(17)	5(31)	24(50)
전남	5(5)	14(14)	33(138)	52(157)
경북권 (대구, 경북)	6(6)	47(48)	82(412)	135(466)
경남권 (경남, 부산)	3(3)	13(13)	6(40)	22(56)
제주	-	2(2)	5(16)	7(18)
계	25	157(170)	180(909)	362(1104)

2. 연구 방법

1) 문화재별 흰개미 피해 현황 파악

각 문화재별 흰개미 피해 현황은 국립문화재연구소에서 실시한 '목조문화재 가해생물종 조사'를 통해 파악하였으며(국립문화재연구소 2017a: 11~245, 2017b: 11~242, 2017c: 10~94, 2017d: 17~606, 2017e: 11~305, 2018a: 15~361, 2018b: 10~231, 2018c: 22~775, 2019a: 10~221, 2019b: 10~249, 2019c: 8~226, 2019d: 12~351, 2019e: 10~250, 2020a: 10~380, 2020b: 8~148) 연차별 조사 지역은 다음의 <표 2>와 같다. 위 조사는 모든 국가지정문화재를 대상으로 3년 마다 실시되었다(2022년 현재는 5년 주기로 변경됨). 2016년부터 2019년까지 대부분의 국가지정문화재를 대상으로 동일한 조사 방법(흰개미 탐지

견, 육안 조사)을 통해 조사하여 전국적인 흰개미 피해 현황을 파악하기가 적절하였다.

표 2 연차별 조사 지역 및 수량

연도	조사 지역 및 수량	소계
2016	강원: 12, 대전: 1, 전북: 18, 전남: 43, 경북: 20, 제주: 5	99
2017	경북: 97, 경남: 15	112
2018	수도권: 51, 충북: 17, 충남권: 31, 경북권: 12, 경남권: 4	115
2019	수도권: 5, 강원: 2, 충북: 3, 전북: 6, 전남: 9, 경북: 6, 경남: 3, 제주: 2	36
계	362	

조사된 결과는 정성적(흰개미 피해 여부)·정량적 분석(흰개미 피해 정도)으로 분석되었다. 정성적 분석에서는 각 지정문화재의 흰개미 피해 유무를 확인하였으며, 하나의 문화재가 여러 동의 건물로 구성된 경우에는 한 동에서만 흰개미 피해가 확인되어도 흰개미 피해가 나타난 것으로 간주하였다. 정량적 분석에서는 각 문화재의 흰개미 피해 정도를 파악하고자 하였으며, 총 부재(기둥과 하인방) 중 흰개미 피해가 확인된 부재의 비율로 산출되었다. 한 문화재가 여러 동의 건물로 구성된 경우에는 모든 건물의 총 부재 수량과 흰개미 피해 부재의 수량을 합산하여 산출하였다.

2) 지역별 흰개미 피해 정도 비교 분석

지역별 흰개미 피해는 전국을 9개 지역(수도권, 강원, 충북, 충남권, 전북, 전남, 경북권, 경남권, 제주)으로 구분한 뒤 정성적·정량적으로 분석하였다. 정성적 분석에서는 각 지역의 문화재 중 흰개미 피해가 발생한 문화재의 비율을 확인하였다. 정량적 분석에서는 각 지역의 조사법(흰개미 탐지견, 육안 조사) 별 흰개미 피해 정도를 확인한 뒤 두 값을 합산하여 지역별 평균 문화재 흰개미 피해 정도를 산출하였다. 산출된 지역별 문화재 흰개미 평균 피해 정도값은 일원배치 분산분석(ANOVA)을 실시하여 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였다. 분석에 사용된 통계패키지는 SPSS 21(IBM, 미국)이다.



Ⅲ. 연구 결과

1. 전국 문화재 흰개미 피해 현황

1) 문화재 흰개미 피해율

총 362건의 국가지정 목조건축문화재 중 317건(87.6%)에서 흰개미 탐지견의 반응이 확인되었으며 185건(51.1%)에서 육안 피해가 확인되었다. 두 방법 중 하나라도 흰개미 피해가 확인된 대상은 324건(89.5%)이며 두 방법 모두 흰개미 피해가 확인되지 않은 대상은 불과 38건(10.5%)에 불과하였다.

개별 건물 단위의 흰개미 피해는 1104동 중 668건(60.5%)에서 흰개미 탐지견의 반응이 나타나고 339건(30.7%)에서 육안 피해가 확인되었다. 두 방법 중 하나라도 흰개미 피해가 확인된 대상은 702건(63.6%)이며 두 방법 모두 흰개미 피해가 확인되지 않은 대상은 402건(36.4%)으로 개별 건물 단위에서도 약 2/3에서 흰개미 피해가 나타났다.

2) 문화재 흰개미 피해 정도

지정문화재 362건의 흰개미 피해 정도는 탐지견 조사 결과 평균 9.2%, 중위수 7.0%로 나타났으며 10% 미만의 경미한 피해가 나타난 대상이 전체의 51.9%, 10~20%인 대상이 24.3%, 20%~30%인 대상이 8.6%, 30% 이상인 대상이 2.8%로 나타났다. 육안 조사 결과 전체 문화재의 평균 피해 정도는 2.8%, 중위수는 0.5%로 나타났다. 피해가 없는 대상이 48.9%이며 10% 미만의 경미한 피해가 확인된 대상이 44.2%, 10% 이상의 피해가 확인된 대상이 6.9%로 나타났다(표 3).

표 3 지정문화재 흰개미 피해 정도(피해 부재 수 / 총 부재 수, 단위: 건)

피해 정도	흰개미 탐지견	육안 조사
피해 없음	45(12.4%)	177(48.9%)
~10%	188(51.9%)	160(44.2%)
10~20%	88(24.3%)	17(4.7%)
20~30%	31(8.6%)	4(1.1%)
30% 이상	10(2.8%)	4(1.1%)
계	362(100%)	362(100%)

개별 건물 1,104건의 흰개미 피해 정도는 탐지견 조사 결과 평균 9.0%, 중위수 4.3%로 나타났으며 피해가 없는 대상이 39.5%, 10% 미만의 경미한 피해가 나타난 대상이 30.7%, 10~20%인 대상이 17.9%, 20% 이상이 11.8%로 나타났다. 개별 건물에 대한 육안 조사 결과 각 문화재별 평균 피해 정도는 2.8%, 중위수는 0으로 나타났으며 피해가 없는 대상이 69.3%, 10% 미만의 경미한 피해가 나타난 대상이 22.8%, 10% 이상인 대상이 7.9%로 나타났다(표 4).

표 4 전체 건물 흰개미 피해도 분포(피해 부재 수 / 총 부재 수, 단위: 동)

피해 정도	흰개미 탐지견	육안 조사
피해 없음	436(39.5%)	765(69.3%)
~10%	339(30.7%)	252(22.8%)
10~20%	198(17.9%)	50(4.5%)
20~30%	62(5.6%)	23(2.1%)
30% 이상	69(6.2%)	14(1.3%)
계	1,104(100%)	1,104(100%)

2. 지역별 흰개미 피해 정도 비교 분석

1) 지역별 문화재 흰개미 피해율

지정문화재는 탐지견으로 흰개미 피해를 확인한 문화재가 71.4%(수도권)에서 95.8%(전북)으로 나타났으며, 21.4%(강원)에서 68.2%(경남권)의 육안 피해가 확인되어 지역별로 차이가 나타났다. 수도권과 강원 지역은 피해가 확인된 비율이 71.4%, 78.6%로 다른 지역에 비해 상대적으로 낮으며 전북, 전남, 경북권, 경남권은 90%가 넘는 피해가 확인되었다(표 5).

표 5 지정문화재 흰개미 피해 정도(피해 문화재 수 / 총 문화재 수, 단위: 건)

지역	흰개미 탐지견	육안 조사
수도권	40/56(71.4%)	18/56(32.1%)
강원	11/14(78.6%)	3/14(21.4%)
충북	17/20(85.0%)	12/20(60.0%)
충남권	27/32(84.4%)	21/32(65.6%)
전북	23/24(95.8%)	13/24(54.2%)
전남	48/52(92.3%)	35/52(67.3%)
경북권	125/135(92.6%)	64/135(47.4%)
경남권	20/22(90.9%)	15/22(68.2%)
제주	6/7(85.7%)	4/7(57.1%)
계	317/362(87.6%)	185/362(51.1%)

전체 건물에 대한 흰개미 피해는 강원, 전북, 전남, 경남권에서 탐지건 탐지 비율이 높았으며 충북, 충남권, 제주의 탐지 비율이 낮았다. 육안 조사 결과에서는 전북, 전남, 제주의 피해율이 높고 충북, 경북권은 낮은 경향을 보였다. 강원 지역은 탐지건의 탐지 비율은 높은 반면 육안 피해는 평균과 유사하여 최근 피해가 확산되는 양상을 보이며 충북, 경북권은 탐지건과 육안 피해가 모두 낮게 나타나 다른 지역에 비해 피해가 적은 것으로 나타났다. 전북과 전남은 탐지건과 육안 피해 모두 평균보다 높게 나타나 가장 큰 피해를 보였다(표 6).

표 6 전체 건물 지역별 흰개미 피해율(피해 건물 수 / 총 건물 수, 단위: 동)

지역	흰개미 탐지건	육안 조사
수도권	52/88(59.1%)	23/88(26.1%)
강원	69/80(86.3%)	22/80(27.5%)
충북	32/83(38.6%)	19/83(22.9%)
충남권	43/106(40.6%)	34/106(32.1%)
전북	43/50(86.0%)	26/50(52.0%)
전남	115/157(73.2%)	78/157(49.7%)
경북권	266/466(57.1%)	113/466(24.2%)
경남권	39/56(69.6%)	17/56(30.4%)
제주	9/18(50.0%)	7/18(38.9%)
계	668/1104(60.5%)	339/1104(30.7%)

2) 지역별 문화재 흰개미 피해 정도

지역별 정량분석 결과 지정문화재에서는 강원, 전북, 전남, 경남권에서 전국 평균보다 높은 흰개미 탐지건 탐지율을 보였고 수도권, 충북, 충남권, 제주가 평

표 7 지정문화재 지역별 흰개미 피해 정도

지역	흰개미 탐지건	육안 조사
수도권	5.1%	2.3%
강원	15.2%	0.9%
충북	3.4%	1.4%
충남권	7.5%	4.1%
전북	17.2%	2.7%
전남	12.1%	5.2%
경북권	8.7%	1.6%
경남권	12.3%	6.6%
제주	7.1%	3.1%
전국평균	9.2%	2.8%

균보다 낮은 탐지율을 보였다. 육안 조사 결과에서는 충남권, 전남, 경남권이 평균보다 높은 탐지율을 보였고 강원, 충북, 경북권이 낮은 피해율을 보였다(표 7).

전체 건물에서는 강원, 전북, 전남이 평균보다 높은 탐지건 탐지율을 보였고 수도권, 충북, 충남권, 경북권, 제주가 낮은 탐지율을 보였다. 육안 조사 결과에서는 편차가 크지 않으나 강원, 전남이 높은 피해 정도가 확인되고 수도권, 충북은 낮은 피해 정도가 확인되었다(표 8).

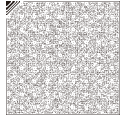
표 8 전체 건물 지역별 흰개미 피해 정도

지역	흰개미 탐지건	육안 조사
수도권	4.4%	2.0%
강원	32.7%	4.7%
충북	3.0%	1.3%
충남권	5.0%	3.4%
전북	13.5%	3.1%
전남	10.1%	5.1%
경북권	7.1%	1.9%
경남권	8.3%	3.0%
제주	5.5%	2.8%
계	9.0%	2.8%

지역별 흰개미 피해 정도를 통계적으로 분석한 결과 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다($P=.000$). 사후검정을 통해 각 지역별로 비교한 결과 수도권은 전북, 전남보다 피해율이 낮았으며 충북은 전북, 전남, 경북권보다 피해율이 낮고, 경북권은 전북, 전남보다 피해율이 낮게 나타났다. 정성적 분석, 정량적 분석, 분산 분석 결과를 종합하면 전북, 전남이 다른 지역에 비해 전반적인 흰

표 9 지역별 흰개미 피해 정도의 분산 분석 결과(% , M+SD) *** $P<.001$

수도권 (a)	강원 (b)	충북 (c)	충남권 (d)	전북 (e)	전남 (f)
7.4 ±10.4	16.1 ±15.3	4.8 ±3.5	11.7 ±11.9	19.9 ±10.7	17.3 ±13.9
경북권 (g)	경남권 (h)	제주 (i)	F	P	사후검정 (Tamhane)
10.4 ±8.6	18.9 ±21.4	10.2 ±8.8	6.551	.000***	a(e,f c(e,f,g e)g f)g



개미 피해가 심하며 수도권과 충북, 경북권은 전반적인 피해가 적은 것으로 나타났다(표 9).

3. 조사 방법에 따른 비교

지정문화재와 개별 건물에 대한 조사 모두 흰개미 탐지견을 이용한 조사와 육안 조사의 결과에서 큰 차이가 나타났다. 조사 방법에 따른 차이를 보면, 지정문화재는 두 조사 방법 모두 피해가 확인된 것이 178건(49.2%), 두 방법 모두 피해가 확인되지 않은 것이 38건(10.5%), 탐지견은 탐지하였으나 육안으로는 확인되지 않은 것이 139건(38.4%), 탐지견은 탐지하지 못하였으나 육안으로는 피해가 확인된 대상이 7건(1.9%)으로 나타났다(표 10).

표 10 조사 방법별 지정문화재 흰개미 피해 조사 결과

	흰개미 탐지견 반응 나타남	흰개미 탐지견 반응 없음
육안 피해 확인	178/362(49.2%)	7/362(1.9%)
육안 피해 없음	139/362(38.4%)	38/362(10.5%)

전체 건물에서 두 조사 방법 모두 피해가 확인된 것이 305건(27.6%), 두 방법 모두 피해가 확인되지 않은 것이 402건(36.4%), 탐지견은 탐지하였으나 육안으로는 확인되지 않은 것이 363건(32.9%), 탐지견은 탐지하지 못하였으나 육안으로는 피해가 확인된 대상이 34건(3.1%)으로 나타났다(표 11).

표 11 조사 방법별 전체 건물 흰개미 피해 조사 결과

	흰개미 탐지견 반응 나타남	흰개미 탐지견 반응 없음
육안 피해 확인	305/1104(27.6%)	34/1104(3.1%)
육안 피해 없음	363/1104(32.9%)	402/1104(36.4%)

IV. 고찰 및 결론

이 논문에서는 목조건축문화재의 흰개미 피해 예방을 위한 기초연구로 전국에 분포한 국가지정 목조건축문화재의 흰개미 피해 현황을 총괄적으로 파악하고

자 하였다. 그 결과 국가지정 목조건축문화재 362건(국보·보물·국가민속문화재) 중 317건(87.6%)에서 탐지견 반응이 확인되고 185건(51.1%)에서 육안으로 확인 가능한 피해가 확인되었다. 전체 건물 1,104동 중 668건(60.5%)에서 흰개미 탐지견의 반응이 나타나고 339건(30.7%)에서 육안 피해가 확인되었다.

기존의 문화재 흰개미 피해 조사 결과와 비교해 보면, 한국전통문화대학교의 2009년 흰개미 피해 조사 결과 조사 대상 16개소 231동의 건물 중 탐지견 반응이 나타난 건물이 78동(33.8%)이었으며(김대운 외 2010: 위의 논문), 국립문화재연구소의 2007~09년 흰개미 피해 조사 결과 31개소 270동의 건물 중 탐지견 반응이 나타난 건물이 93동(34.4%)이고 육안 피해가 확인된 대상이 113동(41.9%)이었다(정소영 2010: 위의 논문). 또한 국가지정문화재와 지방지정문화재를 합산한 2,805건 중 육안으로 흰개미 피해가 확인된 대상은 486건(17.3%)으로 나타났다(임익균 외 2021: 위의 논문). 위 결과들을 본 연구에서 확인한 지정문화재 전체 건물의 흰개미 피해와 비교하면 흰개미 피해가 발생한 건물의 비율이 증가하였다고 볼 수 있다.

이는 10년간 흰개미 피해가 실제로 증가하였을 가능성과 함께 조사 대상의 차이, 조사 방법, 조사원의 일관성 등에서 기인한 것으로 보인다. 호주 CSIRO의 조사 결과 건물의 연대가 오래될수록 흰개미 피해가 증가하는 경향이 나타났는데(Cookson · Trajstman 2002: 1) 문화재의 경우 연대가 오래되어 흰개미 피해가 발생할 가능성이 높지만 주변 신축 건물의 경우 상대적으로 흰개미 피해가 발생할 가능성이 낮다. 따라서 기존 조사에서는 지정문화재와 그 주변 건물들을 함께 조사하여 아직까지 흰개미 피해가 발생하지 않은 건물들이 다수 포함되어 상대적으로 피해율이 낮게 나타났다. 반면 본 연구에서는 문화재 건물만을 대상으로 조사를 수행하여 피해율이 높게 나타난 것으로 보인다.

흰개미 탐지견과 육안 조사 결과를 비교해 보면 탐지견 반응이 나타난 대상이 317건, 육안으로 피해가

확인된 대상이 185건이며 두 방법 모두 피해가 확인된 대상은 178건이다. 탐지견은 흰개미의 페로몬 및 분비물을 탐지하는데, 개별 탐지의 정확도가 높고 여러 부재를 빠르게 조사할 수 있는 장점이 있지만 흰개미의 피해 정도나 활성은 확인하기 어렵다(정소영 2010: 위의 논문). 육안 조사는 이미 흰개미 피해가 진행되어 부재 외부에서 육안으로 피해가 확인 가능하거나 타진 시 공동음이 나타났을 때 확인이 가능한 방법이다(서민석 외 2015: 387). 따라서 두 방법 모두 피해가 확인된 178건은 이미 피해가 어느 정도 진행되었으며, 비교적 최근에도 흰개미 개체가 활동하였을 위험이 있으므로 우선적인 조치가 필요하다. 또한 육안 피해는 확인되지 않았으나 탐지견 반응이 나타난 139건은 비교적 손상 초기 단계에 있으므로 추가적인 손상 예방을 위한 방제가 필요할 것으로 판단된다.

여러 선행 연구들을 통해 국내 전 지역에 흰개미가 분포하며 다수의 목조건축문화재에서 흰개미 피해가 확인된 바 있다. 또한 본 연구 결과를 통해 대부분의 국가지정 목조건축문화재에서 흰개미 피해가 발생하였거나 진행되고 있을 가능성을 확인하였다. 우리나라는 상당량의 목재를 외국에서 수입하고 있어 외래흰개미(*invasive termite*)의 유입 위험성이 높다. 또한 유입된 외래흰개미가 기후변화로 인한 겨울철 최저 기온 상승으로 토착화될 위험이 점차 증가하고 있다(김시현·이상빈 2019: 139). 실제로 최근 건재흰개미(*drywood termite*)의 일종인 통짜흰개미(*G. nakajimai*)가 전남 완도군 여서도에서 확인되었으며(Shim 외 2021: 1266), 향후 기후변화에 따라 집흰개미(*Coptotermes formosanus*) 또한 국내에 서식이 가능할 것으로 추정된다(Lee 외 2020: 431). 따라서 향후 문화재 보존관리 정책 수립에 있어 기

존의 특정 건물이나 대상을 위주로 하는 방제에서 벗어나 모든 목조건축문화재를 대상으로 예방적인 흰개미 관리 방안을 수립하고 실행할 필요가 있다.*

* 본 논문은 국립문화재연구원 안전방재연구실에서 수행 중인 '문화재 재해영향 분석 및 피해저감 연구'과제의 일환으로 수행되었으며(과제번호: NRICH-2205-A65F-1), 주저자의 한국전통문화대학교 이학박사 학위논문(제목: 목조건축문화재 예방보존을 위한 한국 지중흰개미 공간적 방제 연구) 중 일부를 수정·보완한 것이다.

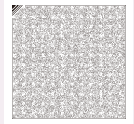


참고문헌

- 국립문화재연구소, 2017a, 『2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 강원도』, pp.11~245.
- 국립문화재연구소, 2017b, 『2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 경북 경주』, pp.11~242.
- 국립문화재연구소, 2017c, 『2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 대전, 제주』, pp.10~94.
- 국립문화재연구소, 2017d, 『2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 전라남도』, pp.17~606.
- 국립문화재연구소, 2017e, 『2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 전라북도』, pp.11~305.
- 국립문화재연구소, 2018a, 『2017년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 경북 안동』, pp.15~361.
- 국립문화재연구소, 2018b, 『2017년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 경상남도』, pp.10~231.
- 국립문화재연구소, 2018c, 『2017년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 경상북도』, pp.22~775.
- 국립문화재연구소, 2019a, 『2018년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 경기, 인천』, pp.10~221.
- 국립문화재연구소, 2019b, 『2018년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 경북, 대구, 부산』, pp.10~249.
- 국립문화재연구소, 2019c, 『2018년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 서울』, pp.8~226.
- 국립문화재연구소, 2019d, 『2018년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 충남』, pp.12~351.
- 국립문화재연구소, 2019e, 『2018년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서: 충북, 대전, 세종』, pp.10~250.
- 국립문화재연구소, 2020a, 『2019년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서 I』, pp.10~380.
- 국립문화재연구소, 2020b, 『2019년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과보고서 II』, pp.8~148.
- 김대운·정선혜·이상환·정용재, 2010, 「극초단파를 이용한 흰개미 탐지기술 적용연구」, 『보존과학회지』 26(1), (사)한국문화재보존과학회, pp.77~83.
- 김시현, 2022, 「목조건축문화재 예방보존을 위한 한국 지중흰개미 공간적 방제 연구」, 한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 박사학위논문, pp.1~94.
- 김시현·이상빈, 2019, 「외래흰개미의 유입에 따른 목조문화재의 위협」, 『문화재방재학회논문집』 4(2), (사)문화재방재학회, pp.139~147.
- 문화공보부 문화재관리국, 1987, 『금산사 실측조사보고서』, pp.1~545.
- 박현철·배태웅, 1997, 「남부지방에 분포하는 흰개미인 *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto (Isoptera: Rhinotermitidae)의 형태적 기재」, 『한국토양동물학회지』 2(1), (사)한국토양동물학회, pp.59~64.
- 배태웅·박현철, 1996, 「한국산 흰개미목(Isoptera)의 분류학적 재정리」, 『한국토양동물학회 학술발표대회』, (사)한국토양동물학회, pp.13.
- 서민석·조창욱·김수지·김영희·홍진영·이정민·정소영, 2015, 「목조문화재 흰개미 서식환경 특성 연구」, 『보존과학회지』 31(4), (사)한국문화재보존과학회, pp.387~393.
- 이규식·정소영·정용재, 2000, 「목조문화재의 원형보존을 위한 총해 방제방안」, 『보존과학연구』 21, 국립문화재연구소, pp.5~55.
- 이규식·정소영·정용재, 2001, 「목조건조물의 흰개미 모니터링 및 방제방법」, 『보존과학연구』 22, 국립문화재연구소, pp.41~52.
- 임익균·차현석·강원철·이상빈·한규성, 2021, 「국내 목조문화재에 대한 지중 흰개미 피해 및 모니터링 현황」, 『보존과학회지』 37(3), (사)한국문화재보존과학회, pp.191~208.
- 정소영, 2010, 「탐지견을 활용한 목조건축물의 흰개미 피해 조사 연구」, 『보존과학연구』 31, 국립문화재연구소, pp.121~130.
- 정소영·이규식·정용재, 2002, 「해인사의 흰개미 모니터링 및 방제 방안」, 『보존과학연구』 23, 국립문화재연구소, pp.77~93.
- 한성희·이규식·정용재, 1998, 「한국 서식 흰개미의 특성과 방제」, 『보존과학연구』 19, 국립문화재연구소, pp.133~158.

참고문헌

- Brune, A., 2014, 'Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts', *Nature Reviews Microbiology* 12(3), Nature Publishing Group, pp.168~180.
- Cookson, L.J. · Trajstman, A.C., 2002, 'Termite survey and hazard mapping', *Technical report(CSIRO forestry and forest products) 137*, The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation(CSIRO), pp.1~50.
- Eggleton, P. · Beccaloni, G.W.. · Inward, D.J.G., 2007, 'Response to Lo et al.', *Biology Letters* 3(3), Royal Society Publishing, pp.564~565.
- Lee, S.B. · Tong, R.L. · Kim, S.H. · Im, I.G. · Su, N.Y., 2020, 'Potential pest status of the Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki(Blattodea: Isoptera: Rhinotermitidae), in response to climate change in the Korean peninsula', *Florida Entomologist* 103(4), Florida Entomological Society, pp.431~437.
- Kim, M. · Choi, Y. · Lee, J. · Kim, J., 2012, 'Molecular characteristics of subterranean termites of the genus *Reticulitermes* (Isoptera: Rhinotermitidae) from Korea', *Annals of the Entomological Society of America* 105(1), Entomological Society of America, pp.97~102.
- Kim, S. · Chung, Y., 2022, 'Analysis of factors affecting termite damage to wooden architectural heritage buildings in Korea', *Forests* 2022, 13(3), MDPI, p.465.
- Kim, S. · Lee, H. · Jeong, S. · Chung, Y., 2021, 'Biological distribution and environmental monitoring for the conservation of Janggyeong panjeon Depositories and Daejanggyeongpan(Printing Woodblocks of the Tripitaka Koreana) of Haeinsa temple in Korea', *International Biodeterioration&Biodegradation* 156(105131), International Biodeterioration&Biodegradation, pp.1~7.
- Lee, W. H., Choi, D. S., Ji, J. Y., Kim, N. H., Han, J. M., Park, S. H., Lee, S. J., Seo, M. S., Hwang, W. J., Forschler, B. T., Takematsu, Y., Lee, Y. H., 2015, 'A new record of *Reticulitermes kanmonensis* Takematsu, 1999(Isoptera: Rhinotermitidae) from Korea', *Journal of Asia-Pacific Entomology* 18(3), Korean Society of Applied Entomology, pp.351~359.
- Li, H.F. · Su, N.Y. · Wen-Jer, W. · Err-Lieh, L., 2011, 'Termite pests and their control in taiwan', *Sociobiology* 57(3), Universidade Estadual de Feira de Santana, pp.575~586.
- Park, Y. · Katade, O. · Schwarz, M. · Kim, J. · Kim, W., 2006, 'Intraspecific molecular phylogeny, genetic variation and phylogeography of *Reticulitermes speratus*(Isoptera: Rhinotermitidae)', *Molecules and Cells* 21(1), The Korean Society For Molecular And Cellular Biology, pp.89~103.
- Rust, M.K. · Su, N.Y., 2012, 'Managing Social Insects of Urban Importance', *Annual Review of Entomology* 57(1), Annual Reviews, pp.355~375.
- Sanderson, M.G., 1996, 'Biomass of termites and their emissions of methane and carbon dioxide: A global database', *Global Biochemical Cycles* 10(4), advancing earth and space science, pp.543~557.
- Shim, J. · Park, H. · Ju, H. · Song, J., 2021, 'First record of the termite family Kalotermitidae(Blattodea: Termitoidea) in Korea', *Journal of Asia-Pacific Entomology* 24(4), Elsevier, pp.1266~1269.
- Son, S. · Lee, H. · Lee, W., 2019, 'A new record of *Reticulitermes speratus* speratus(Kolbe)(Isoptera: Rhinotermitidae) from Korea', *2019 Fall Conference of Korean Society of Applied Entomology*, Korean Society of Applied Entomology, p.45.
- Takahashi, M. · Yoshimura, T., 2002, 'Recent development in the control of Japanese subterranean termites', *Sociobiology* 40(1), Universidade Estadual de Feira de Santana, pp.13~24.
- Tong-tong, H. · Qun-ya, G. · Qian, C., 2014, 'Termite damage to wooden cultural heritage object and in-situ conservation treatment', *Sciences of conservation and archaeology* 26(3), pp.110~116.
- Zhong, J.H. · Liu, L.L., 2002, 'Termite fauna in China and their economic importance', *Sociobiology* 40, Universidade Estadual de Feira de Santana, pp.25~32.



An Analysis of Termite(*R. speratus kyushuensis*) Damage to Nationally Designated Wooden Architectural Heritage in Korea

KIM Sihyun* Researcher, Safety and Disaster Prevention Division, National Research Institute of Cultural Heritage
CHUNG Yongjae Professor, Dept. of Heritage Conservation and Restoration, Korea National University of Cultural Heritage,
Graduate School of Cultural Heritage

*Corresponding Author: shkim1242@korea.kr

Abstract

Termites are a group of social insects that are one of the primary causes of damage to wooden architectural heritage. Since termite damage impairs the authenticity and structural stability of cultural heritage, it is imperative to prevent it. This study examines the extent of termite damage to wooden architectural heritage as part of efforts to prevent termite damage to nationally designated wooden architectural heritage sites across the country. The extent of termite damage to each cultural heritage was assessed qualitatively and quantitatively and comparatively analyzed by region using the results of the “Investigation on Biological Damage to Wooden Architectural Heritages” conducted by the National Research Institute of Cultural Heritage from 2016 to 2019. It involved 362 nationally designated wooden architectural heritages(25 national treasures, 157 treasures, 180 national folklore cultural heritages) and 1,104 buildings.

The results were as follows: termite detection dogs reacted at 317(87.6%) of the 362 wooden heritages, with visible termite damage observed in 185 cases(51.1%). Furthermore, termite damage was confirmed using one of two methods(detection dogs or visual inspection) in 324 cases(89.5%). Of the 1,104 buildings, termite detection dogs reacted at 668(60.5%), while 339(30.7%) showed visible termite damage. Employing one of the two methods, damage was confirmed in 702 buildings(63.6%). The country was categorized into nine regions(Seoul Metropolitan Area, Gangwon, Chungbuk, Chungnam, Jeonbuk, Jeonnam, Gyeongbuk, Gyeongnam, and Jeju) to examine the termite damage rate and the degree of damage to each cultural heritage according to location. Termite detection dogs reacted to more than 70% of the cultural heritage in all regions. Visible damage was minimal in the Seoul metropolitan area(32.1%) and Gangwon(21.4%) but severe in Chungnam(65.6%), Jeonnam(67.3%), and Gyeongnam(68.2%). By quantifying the degree of termite damage of each cultural heritage as a ratio of the absence of termite damage among the total absence, the average termite damage of the cultural heritage across the country was 9.2%. Regional variance analysis showed that the cultural heritage in Jeonbuk and Jeonnam showed a statistically significantly higher degree of termite damage than the cultural heritage in the Seoul metropolitan area, Chungbuk, and Gyeongbuk.

This paper comprehensively analyzed termite damage to nationally designated wooden architectural heritage. The findings are expected to be valuable in establishing policies for the preservation and management of cultural heritage sites in the future.

Keywords wooden cultural heritage, wooden architectural heritage, termite, termite detection dog, climate change

Received 2022. 2. 10. | Revised 2022. 4. 18. | Accepted 2022. 5. 11.

