

목조건축문화재의 예방 보존을 위한 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용

김시현 국립문화재연구원 안전방재연구실 학예연구사

정용재* 한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 교수

*Corresponding Author: iamchung@nuch.ac.kr

국문초록

우리나라에 남아 있는 목조건축문화재들은 다양한 생물학적 요인에 의해 손상된다. 이 중 흰개미는 목재 내부를 손상시켜 문화재의 구조적 안정성과 진정성에 악영향을 미친다. 국내 전 지역에서 목조건축문화재의 흰개미 피해가 발생하고 있으며, 기후변화로 인해 그 피해는 더욱 증가할 것으로 추정된다. 문화재의 흰개미 피해는 돌이킬 수 없으므로 예방보존이 매우 중요하다. 이에 본 논문은 목조건축문화재의 효과적인 흰개미 예방을 위해 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 문화재 적용을 위한 기초자료를 제시하고자 수행되었다. 먼저 국내 목조건축문화재의 입지 특성을 이해하기 위해, 공간정보시스템(GIS)을 이용하여 국가지정 목조건축문화재(국보, 보물) 182건의 인접한 산림과의 거리, 주변 산림 면적을 분석하였다. 또한 2003~2020년 실시된 국가지정문화재 방충사업 내역과, 종합적 흰개미 관리(ITM)의 구성요소 4가지에 따라 국내 문화재 흰개미 방제의 특성을 확인하였다. 이를 바탕으로 문화재와 주변 공간을 세 영역으로 구분하고 각 영역별로 적합한 흰개미 방제 방안을 제안하였다. 또한 목조건축문화재들의 입지(도심, 외곽, 산림)와 건물 수량(단일, 복합)에 따라 6가지 유형으로 구분하여 각 유형별 흰개미 방제 영역을 구분하였다.

이 연구에서 제시된 공간적 종합 방제의 개념은 최근 문화재청에서 발표한 '목조문화재 흰개미 방제 종합 방제대책' 등에서 주변 환경 개선 등으로 일부 반영해 적용되고 있다. 이에 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용 또한 일부 대상에 시범적으로 적용한 뒤 그 결과를 면밀히 분석하여 문화재 보존관리 정책 수립에 반영할 필요가 있다.

주제어 목조건축문화재, 흰개미, 공간적 흰개미 관리, 예방보존, 기후변화

투고일자 2022. 5. 9. | 심사일자 2022. 7. 22. | 게재확정일자 2022. 8. 18.





I. 서론

흰개미는 진사회성 곤충(Eusocial insect)의 일종으로 열대와 아열대, 온대 지방까지 폭넓게 분포한다(Eggleton 2010:1). 흰개미는 다양한 식물성 재료를 영양원으로 삼기 때문에 생태계에서는 분해자로 중요한 역할을 수행하지만, 인간에게는 각종 목조건축물과 농작물 등을 가해하는 해충이기도 하다(Brune 2014:168). 흰개미로 인한 경제적 손실은 미국에서만 연간 110억 달러(Subeki 외 2015:783)이며 전 세계적으로는 400억 달러에 이른다(Rust · Su 2012:355).

흰개미는 경제적 손실을 입힐 뿐 아니라 목조건축문화재의 주요 손상 원인이기도 하다. 일본(Takahashi · Yoshimura 2002:13), 중국(Zhong 외 2002:25), 대만(Li 외 2011:575), 동남아시아(Kuswanto 외 2015:227) 등에서 다수의 목조건축문화재들이 흰개미 피해를 입었다고 보고되었다. 우리나라에서도 1980년대 양산 통도사, 안동 하회마을, 강릉향교, 김제 금산사 미륵전 등에서 흰개미 피해가 보고되었으며(문화재관리국 1987:191, 한성희 외 1998:133), 이후에도 다수의 문화재에서 흰개미 피해가 보고되고 있다(이규식 외 2001:41, 정소영 2010:121, 김대운 외 2010:77, 임익균 외 2021:191, 김시현 · 정용재 2022:102).

흰개미 피해는 목조건축물의 구조적 안정성을 저해할 뿐 아니라 문화재 원형을 훼손시키므로, 사전에 예방하는 것이 중요하다. 그동안 목조건축물의 흰개미 방제를 위해 주로 사용된 방법은 건물과 그 주변 토양에 살충제를 처리하는 것이었다(Su · Scheffrahn 1998:1). 이 방식은 다량의 약제를 사용하기 때문에 환경과 인체에 악영향을 미치고, 약제가 처리된 토양에 접촉하는 흰개미 개체들은 제거할 수 있지만 생식계급을 포함한 흰개미 군체 전체를 제거할 수 없는 한계가 있다. 따라서 1990년대 군체제거제가 상용화된 이후에는 토양처리제와 군체제거제가 함께 사용되고 있다(Su 2019:115). 이 같은 방제 약제나 기술의 발달과 함께

흰개미 방제의 공간적 범위 개념도 변화하고 있다.

기존의 흰개미 방제는 특정 대상(건물)의 보호를 목적으로 하며, 원래 있던 흰개미 군체가 제거되더라도 인접한 곳에서 새로운 흰개미 군체가 유입될 수 있어 전반적인 흰개미 위협 수준은 계속해서 유지된다(Osbrink 외 2011:1009). 따라서 친환경적이면서 다수의 목조건축물을 효과적으로 보호할 수 있도록 종합적 흰개미 관리(Integrated Termite Management, ITM)와 공간 차원에서의 흰개미 관리(Area Wide Management, AWM) 등 새로운 흰개미 방제 개념이 대두되고 있다(이상빈 외 2021:202).

종합적 흰개미 관리(ITM)는 농업 분야의 종합적 해충 제어(Integrated Pest Management, IPM)에서 유래한 개념으로, 흰개미 방제의 비용과 이익을 함께 고려하여 다양한 방제법을 종합적으로 적용해 흰개미를 방제하는 것이다(Forschler 외 2007:89). 공간적 흰개미 관리(AWM)는 일정 공간 내 모든 해충의 개체수를 낮게 유지하여 피해 위험 자체를 낮추는 방식이다(Vreysen 외 2007:5). 군체제거제의 개발로 넓은 공간에서 다수의 흰개미 군체를 제어할 수 있게 되면서, 칠레 산티아고(Smith 외 2006:253), 미국 뉴올리언스의 프렌치 쿼터(Guillot 외 2010:311)와 암스트롱 파크(Su 외 2016a:1326) 등에서 공간적 흰개미 관리(AWM)의 현장 적용 사례가 축적되고 있다. 최근에는 공간적 흰개미 관리(AWM)와 종합적 해충 제어(IPM)를 결합한 공간적 통합 해충 제어(AW-IPM)의 개념이 확대되고 있으며(Vreysen 외 2007:3), 이를 흰개미에 적용한 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용 사례가 보고되기도 하였다(Shults 외 2021:1).

본 연구에서는 문화재의 예방적 보존(preservation)을 위해 Forschler(2011)가 제시한 종합적 흰개미 관리(ITM)의 4가지 요소(피해를 입히는 흰개미 종(identity knowledge), 흰개미 피해와 관련된 건축 방법(construction practice), 경관 조건(landscape condition), 흰개미의 주요 침입 지점(entry point)에 따라 흰개미 방제와 관련된 국내 목조건축문화재의 특성을 분석하였다. 또한 과거 문화재 방충

사업 내역과 변화하는 문화재 흰개미 방제 정책의 현황을 파악하고, 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용 방안을 제안하였다.

II. 재료 및 방법

1. 국가지정 목조건축문화재의 인접 산림 면적 및 거리 분석

1) 분석 대상

흰개미의 주 서식처는 산림이므로 산림의 흰개미가 인접한 목조문화재에 피해를 줄 수 있다(서민석 외 2015:392). 또한 산이 아니면서도 다수의 수목이 있는 공원, 도심의 숲 등에도 흰개미가 나타날 수 있다. 다만 우리나라 목조문화재의 경우 상당수가 산중에 위치하며, 문화재 주변의 산림 면적이 흰개미 피해 정도에 통계적으로 유의미한 영향을 주는 요인이다(Kim · Chung 2022:7). 따라서 본 연구에서는 목조건축문화재 주변의 산림 면적과 인접한 산림과의 거리를 분석하기 위해 공간정보시스템(Geographic Information System, GIS) 분석을 실시하였다. 분석 대상은 정밀실측조사 등을 통해 공간정보시스템(GIS) 분석에 필요한 자료가 구축된 국가지정문화재 182건 196동(국보 25건, 보물 157건)을 대상으로 하였다.

2) 분석 방법

문화재별 위치정보와 소재지 정보를 이용하여 각 건물도형을 작성하고, 환경부에서 제공하는 환경공간 정보서비스(<https://egis.me.go.kr/>)에서 수급한 2019년도 세분류토지피복지도를 중첩시켰다. 각 문화재마다 반경 1km 내의 토지를 도심·농지·산지·초지·습지·나지·수계로 분류한 뒤 각 유형별 면적을 산출하여 문화재별 주변 산림 비율을 확인하였다. 이와 더불어 토지피복도 상의 대부분류가 '산림'인 곳과 문화재 간의 최단 거리를 추출하였다. 사용된 공간정보시스템(GIS) 프로그램은 ArcGIS 10.3(ESRI Co., USA)이다.

2. 문화재 흰개미 방제의 특성 분석

1) 기존 문화재 방충사업 내역

기존 문화재 방충사업의 특징과 내역을 파악하기 위해 문화재청에서 발표한 '목조문화재 생물피해 방제 종합대책'(2012. 3.), '목조문화재 흰개미 피해방제 종합대책'(2021. 7.)에서 2003년부터 2020년까지 국가지정(국보, 보물, 국가민속자료, 사적) 및 등록문화재를 대상으로 실시된 연도별 방충사업 내역을 확인하였다. 위 자료에서 확인된 기존 문화재 흰개미 방제법을 방제 범위(공간), 방제 시점(시간), 방제 방법(수단)의 세 관점에서 분석하였다.

2) 문화재 흰개미 방제의 특성 분석

서론에서 언급된 종합적 흰개미 관리(ITM)의 네 요소(흰개미 종, 흰개미 피해와 관련된 건축 방법, 경관 조건, 흰개미의 주요 침입 지점)를 통해 문화재 흰개미 방제의 특성을 분석하였다. 공간정보시스템(GIS) 분석을 실시한 대상들의 국가지정문화재 정기조사서, 정밀실측조사보고서 등을 통해 각 문화재의 특성을 파악하였다.

3. 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 문화재 적용

앞에서 도출된 국내 목조건축문화재의 특성과 흰개미 방충사업의 한계에 대한 대안으로, 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 문화재 적용방안을 검토하였다. 먼저 문화재와 주변 공간을 흰개미가 유입되는 과정에 따라 주변 산림-건물 외부 토양-건물 내부의 3단계로 구분하고, 각 단계마다 적용할 수 있는 방제법을 제시하였다.

우리나라 목조건축문화재는 사찰, 궁궐, 성곽, 고가, 관아, 서원·향교, 누·정·각, 사묘재실, 서당 등 건물 유형에 따라 분류되지만(문화재청 2022:23) 입지에 따라 분류한다면 도심, 외곽, 산림으로 구분할 수 있다. 또한 건물의 수량으로 구분한다면 당해 문화재와 주변 건물의 수량 등에 따라 단일, 복합으로 구분할 수 있다.



위 두 가지 기준에 따라 목조건축문화재를 6가지 유형(단일-도심, 단일-외곽, 단일-산림, 복합-도심, 복합-외곽, 복합-산림)으로 구분하고 각 유형별 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용 방안을 제시하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 국가지정 목조건축문화재의 인접 산림 면적 및 거리 분석

공간정보시스템(GIS) 분석 결과 우리나라 목조건축문화재는 인접한 산림과의 거리가 평균 65.0m(표준편차 124.5m), 중위수 17.2m이며 74.5%의 문화재가 50m 이내에 산림이 있다(표 1). 서울 흥인지문 등 도심에 위치한 문화재들이 산림과의 거리가 멀어 전체 평균을 높인 것으로 나타났다. 문화재 반경 1km 내 토지 중 산림 비율은 평균 52.5%, 중위수 60.7%로 나타났다(표 1).

문화재와 인접한 산림과의 거리와 주변 산림 면적에 대한 분석 결과 궁궐처럼 도심에 위치한 문화재는 산림과의 거리가 91.9m, 주변 토지 중 산림 비율이 15.5%로 가장 낮고, 대부분의 사찰처럼 산림에 위치한 문화재들은 인접한 산림과의 거리가 16.4m, 주변 산림 비율이 82.8%로 높게 나타났다(표 2). 이 두 가지 지표를 통해 우리나라의 국가지정 목조건축문화재들은 대

부분 산림에 위치해 있으며, 일부 도심에 위치한 문화재들을 제외하고 산림과의 거리가 가깝고 주변에 산지 비율 또한 높은 것을 알 수 있다.

이와 같은 목조건축문화재의 입지는 흰개미 피해 확대에 영향을 미친다. 산림은 일사가 차단되어 높은 습도가 유지되고(Fiorucci 외 2008:700) 유기물이 많아 흰개미의 먹이가 많다(Eggleton 2000:25, Clement 외 2021:1). 따라서 산림에 있는 흰개미들이 인접한 목조문화재로 유입될 위험이 있으며, 흰개미 피해를 받은 문화재들은 대부분 산림과 인접하다고 보고된 바 있다(김민선 · 김충식 2020:33).

2. 국가지정(등록)문화재 방충사업 내역과 방제 정책의 변화

2003년부터 2020년까지 국가지정 및 등록문화재를 대상으로 수행된 방충방부사업은 총 365건이며 사용된 예산은 총 104억 원이다(표 3). 2003년부터 2011년까지 9년간 실시된 문화재 방충사업이 99건, 사용된 예산이 20.86억 원(국비 기준)이다. 반면 2012년부터 2020년까지 9년간 실시된 문화재 방충사업은 266건, 사용된 예산은 83.32억 원으로 사업 건수와 예산이 모두 큰 폭으로 증가한 것을 알 수 있다. 이는 문화재 생물피해의 중요성에 대한 인식이 확대되고 관련 정책이 변화하기 시작한 시점과 관련된다. 문화재 흰개미 피해가 다수 확인됨에 따라 2010년대 초반부터 문화재 생물피해 조사 및 방제 사업이 다수 실시되었다. 2011년부터 국립문화재연구원에서 ‘목조문화재 가해생물종 조사’를 시작하였으며, 문화재돌봄사업단이 지역별로 선정되어 문화재 일상관리 및 모니터링 활동을 시작하였다. 또한 2012년 문화재청은 ‘목조문화재 생물피해 방제 종합대책’을 발표하였으며, 각종 조사 결과에 따라 문화재 생물피해 방제 사업이 확대되었다(김민선 · 김충식 2020:31).

또한 방충사업의 세부 내역을 확인한 결과 우리나라 국가지정문화재에서 실시되는 생물방제법은 흰개미 균체제거(bait), 토양처리(soil treatment), 방충방부제(wood

표 1 국가지정 목조건축문화재의 주변 산림과의 거리와 주변 산림의 비율

	문화재와 인접한 산림의 거리(m)	문화재 반경 1km의 산림 비율(%)
평균±표준편차	65.0±124.5	52.5±34.1
최소값	0	0.3
25분위수	7.9	18.1
중위수	17.2	60.7
75분위수	52.5	87.6
최대값	752.5	99.0

표 2 문화재 입지에 따른 주변 산림과의 거리와 산림 비율

입지	도심	산림
대표적인 건축문화재 유형 (국가지정문화재 수량)	궁궐(29건)	사찰건축(94건)
인접한 산림과의 거리(m)	91.9	16.4
반경 1km 이내 토지의 산림 비율(%)	15.5	82.8

표 3 국가지정문화재 방충사업 내역

연도	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	소계
수량(건)	14	16	8	6	8	13	17	11	6	99
예산 (백만원, 국비 기준)	175	400	200	100	200	200	200	250	361	2,086

연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	소계
수량(건)	23	20	48	31	22	31	31	29	31	266
예산 (백만원, 총액)	1,203	635	1,501	1,340	684	893	817	629	630	8,332

preservative) 처리, 훈증(fumigation)의 4가지 이다.

이처럼 문화재 생물피해 방제가 확대되고 있으나, 기존의 문화재 흰개미 방제 사업을 분석해보면 크게 방제 시점, 방제 범위, 방제 방법의 한계점이 확인된다. 기존의 문화재 흰개미 방제는 흰개미 피해 인지(소유자 및 관리자, 각종 조사 결과)-방제 처리 결정-국고 예산 지원-방제 처리 실시 순으로 시행된다. 이로 인해 흰개미 피해 초기에 인지하지 못하는 경우들이 있으며, 피해를 인지하고 방제가 될 때까지 최소 수개월 이상의 기간이 소요된다.

이러한 사후처리 방식은 이미 흰개미 피해가 발생한 이후 방제가 실시되므로 문화재 손상이 필연적으로 나타난다. 또한 방제 처리는 당해 문화재를 중심으로 이루어지는데, 주변의 흰개미 군체를 제거하거나 유입을 방지하는 효과가 있더라도 일정한 시간이 지나면 새로운 흰개미 군체가 유입되므로 잠재적인 유입 위험(potential risk)이 높게 유지된다(Su 외 2016b:809). 마지막으로 현재 문화재에 적용하는 흰개미 방제법은 목조건축물 주변에 일정 거리를 두고 군체제거제를 설치하거나 토양처리를 실시하는 방식이다. 건물 외부에 토양처리를 실시하면 새로운 흰개미 군체의 유입은 막을 수 있지만 기존에 이미 유입된 흰개미 군체는 제거하기 어려우므로 추가적인 문화재 피해가 발생할 수 있다. 건물 외부의 군체제거는 이미 유입된 흰개미 군체를 제거할 수 있지만, 흰개미 군체의 위치를 특정하지 못한 상황에서 군체제거제로 흰개미들이 유입되기까지 추가적인 시간이 필요한 문제가 있다.

문화재청에서는 위 문제를 인지하고 2021년 ‘목조문화재 흰개미 종합 방제대책’을 수립하였다. 이 대책에는 주변 환경 정비, 상시 모니터링 체계 구축, 신규 방제기술 도입 등 다양한 방안이 포함되어 있다. 먼저 흰개미들이 목조문화재 쪽으로 유입될 위험을 낮추기 위해 주변 환경을 정비하도록 하고 있다. 또한 흰개미 피해를 조기에 확인할 수 있도록 돌봄사업단 등을 통해 상시 모니터링 및 관리 체계를 구축하고, 모니터링 결과에 따른 후속 방충조치가 적시에 이루어질 수 있도록 하였다. 물리적 유입 방지장치(physical barrier) 등 흰개미 피해 자체가 발생하지 않도록 예방할 수 있는 예방적 방제 기술의 도입과 IOT 기술을 이용한 진단 기술의 개발 등이 포함되어 있다.

3. 국내 목조문화재 흰개미 방제의 특성

1) 국내 흰개미 종

종합적 흰개미 관리(ITM)의 4가지 구성요소를 이용하여 국내 목조건축문화재의 흰개미 방제와 관련된 특성을 분석하였다(표 4). 현재까지 국내 서식이 확인된 흰개미는 3종이며, 이 중 흰개미(*R. speratus*)가 전국적으로 분포한다(Morimoto 1968:43, Park 외

표 4 종합적 흰개미 관리(ITM)의 4가지 구성요소(Forschler(2011))로 분석한 한국 문화재의 흰개미 방제 특성

구성 요소	특징	흰개미 방제에 미치는 영향
흰개미 종	- 흰개미(<i>R. speratus</i>): 전국 분포, 우점종 - 칸몬흰개미(<i>R. kanmonensis</i>): 금강 일대에 분포 - 통짜흰개미(<i>G. nakajimai</i>): 남해 여서도에서 최근 발견	문화재 피해는 지중흰개미에 의해 발생
건축 공법 (기법)	기단 내부, 벽체, 지붕 내부가 흠으로 채워져 있음	지중흰개미가 토양, 군비 등 여러 경로를 통해 목조 문화재로 유입되고 생존할 수 있음
경관 (환경) 조건	- 대부분의 문화재가 산림과 인접 - 다수의 목조건축물이 서로 인접해 있음	- 산림의 흰개미가 지속적으로 유입될 수 있음 - 특정 건물에 흰개미 피해가 발생하면 인접한 건물도 위험
주요 침입 경로	지면과 접해 있는 부분: 하인방, 기둥 등	적용 가능한 방제법의 제한(부재에 영향을 주는 방법은 적용이 어려움)
기타	문화재를 구성하는 재료 자체가 역사적 가치를 가지고 있음	



2006:89, Kim 외 2012:97). 이 외에도 칸몬흰개미 (*R.kanmonensis*)는 금강 일대에서(Lee 외 2015:351), 통짜흰개미(*G.nakajimai*)는 완도군 여서도에서 확인되었으며(Shim 외 2021:1266) 두 종 모두 비교적 최근에 한정적인 장소에서 발견되어 전국적인 문화재 가해종으로 보기는 어렵다. 따라서 대부분의 목조건축문화재 피해를 흰개미(*R.speratus*)에 의한 것으로 추정되며, 이 종은 지중흰개미(subterranean termite)의 일종이므로 여기에 적합한 방제법이 필요하다.

2) 목조건축문화재의 건축적 특징

우리나라 목조건축문화재는 지중흰개미가 유입될 수 있는 건축적 요소들이 많다. 기단의 양식은 토축, 전축, 장대석, 가구식 등 다양하지만 그 내부는 모두 흙으로 채워져 있다. 따라서 외부의 지중흰개미들이 기단을 지나 목조건축물까지 도달할 수 있다.

기단을 통과한 흰개미들이 목조건축물에 실질적인 피해를 입히는 데는 지면과 목부재의 접촉 방식이 큰 영향을 미친다. 우리나라 목조건축문화재들의 지면과 목부재의 접촉 방식은 목재와 지면의 인접도에 따라 크게 세 유형으로 나눌 수 있으며, 이 요인이 온도·주변 산림비율과 함께 흰개미 피해 정도에 영향을 미친다(Kim·Chung 2022:7). 목부재가 지면과 직접 접해있는 유형(Direct), 목부재가 지면보다 높은 곳에 있으나 벽체·구들 등 흙 재료와 접해 있는 유형(Indirect), 목부재가 지면보다 높은 곳에 있으며 초석, 고막이석 등으로 완전히 분리되어 있는 유형(Separation) 등이 있

다(표 5). 우리나라의 국가지정 목조건축문화재 182건(196동) 중 첫 번째 유형은 3동(1.5%)에 불과하며 두 번째 유형이 129동(65.8%), 세 번째 유형이 64동(32.7%)으로 나타났다. 따라서 약 2/3가 흰개미들이 지중에서 목부재로 접근하기 좋은 조건이라고 볼 수 있으며, 이를 감안한 방제 계획을 수립해야 한다.

3) 주변 경관(환경)

우리나라 목조건축문화재의 주변 환경은 Ⅲ.1에서 살펴본 것과 같이 산림과 인접하고 주변에 산지의 비율이 높아 산림의 흰개미가 문화재 쪽으로 유입될 위험이 있다.

또한 다수의 목조건축물들이 모여 있는 경우가 많다는 점도 흰개미 방제에 영향을 미치는 환경적 특성으로 볼 수 있다. 우리나라 목조건축문화재들은 지정문화재를 중심으로 주변에 비지정 또는 신축 건물들이 함께 있거나(사찰, 궁능, 관아 등) 다수의 건물들이 하나의 문화재로 일괄 지정된 경우(민속마을)가 많다. 따라서 하나의 건물에 흰개미가 유입되면 주변의 목조건축물로 피해가 확산되므로, 흰개미 방제 방안은 단일 건물이 아닌 주변 건물까지 포괄적으로 수립되어야 한다.

4) 흰개미 유입 지점 및 기타 사항

국내 우점 흰개미는 지중흰개미이며 목조건축문화재의 기단을 통해 유입되므로 지면 또는 고막이벽과 인접한 하인방, 기둥 하부 등이 주로 피해를 입는다(이광석 2004:30, 이규식 2004:39). 이 외에도 다양한 유입 경로를 통해 피해가 심화되면 지붕부의 대들보, 서까래까지 가해되는 사례도 있다(그림 1).

이 외에 일반적인 목조건축물과 목조건축문화재의 흰개미 방제는 매우 중요한 차이점이 있다. 문화재는 구성하는 재료 자체가 역사적 가치를 가지고 있으며 문화유산에 진정성을 부여하는 필수적인 요소 중 하나이므로(ICOMOS 1994:47), 현재 상태에서 개별 부재에 손상을 주지 않는 방제법만을 적용해야 한다는

표 5 한국 목조건축문화재의 지면과 목재의 접합 방식

지면과 목재의 접합 방식	구분	국보·보물 중 수량
직접 (Direct)	지면-목재가 직접적으로 접함	3
간접 (Indirect)	지면-목재가 고막이, 구들 등 흰개미가 통과할 수 있는 재료로 접함	129
분리 (Separation)	지면과 목재가 완전히 분리되거나, 흰개미가 지나갈 수 없는 재료(석재 등)로 연결됨	64
Total		196



그림 1 중요 정전 서월랑의 흰개미 피해 A: 기둥 상부 결구부의 흰개미 피해, B: 대들보 결구부의 흰개미 피해, C: 서까래 상면의 흰개미 피해

점이다. 문화재는 이미 건물이 건립된 상태이므로 사전 방제법의 적용이 어렵고, 개별 부재에 영향을 주지 않아야 하므로 가압주입 등의 적용이 어려운 특징이 있다. 따라서 흰개미가 목조문화재에 유입되지 않도록 예방하고 근처의 흰개미 군체를 제거하는 것이 일반적인 목조건축물보다 더욱 중요하다.

4. 문화재 영역 구분과 공간별 흰개미 방제 방안

1) 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 특징

일반적으로 종합적 흰개미 관리(ITM)는 흰개미 방제를 통한 이익/비용을 추정하여 방제가 이익이 될 경우 시행한다. 그러나 문화재의 경우는 흰개미 피해가 발생할 경우 돌이킬 수 없는 비가역적 손상이 발생한다. 흰개미 방제를 통해 얻는 이익(문화재 원형보존)은 매우 크고 손실(예산)은 제한적이므로 종합적 흰개미 관리(ITM)의 적용이 합리적이다(이상빈 외 2021:207). 따라서 앞서 제기된 문화재의 특성을 감안하여 보다 효율적인 흰개미 방제를 위해 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)를 적용하기 위한 기초자료를 제안하였다(표 6).

먼저 방제 범위(공간)는 문화재 주변의 산림과 인접 건물의 밀집도를 고려하여 단일 건물이 아닌 주변 건물과 인접 산림까지 포함한 방제 계획을 수립해야 한다.

다음으로 방제법은 기존의 화학적 방제법과 함께 일상관리, 물리적 방제법 등을 통합적으로 적용해야 한다. 기존 흰개미 방제법 중 토양처리제는 지속적인 재처리가 필요하고, 흰개미가 우회하여 건물 하부로 유

입되면 제어할 수 없다. 또한 기존에 사용된 군체제거제는 내구성이 약해 장기간 효력이 유지되기 어려우며 흰개미가 유입되기까지 시간이 필요한 한계가 있다. 따라서 일상관리를 통해 흰개미의 유입 확률을 낮추고, 기존의 화학적 방제법을 통해 목조건축물의 유입을 차단하며, 물리적 방제법을 통해 최종 방어벽 역할을 할 수 있도록 한다면 목조건축물의 흰개미 피해를 현저히 감소시킬 수 있다.

마지막으로 방제 시점에서 기존 문화재 흰개미 방제법은 이미 문화재가 건립되어 있는 상태이므로 사후처리(post-construction treatment) 위주로 수행할 수밖에 없었다. 이러한 방식은 문화재의 손상이 불가피하므로 사전 처리(pre-construction treatment)를 병행해야 한다. 문화재 건물의 해체보수나 문화재 주변의 신축건물 건립 시 물리적 방어벽(physical barrier)을 설치하거나 기단 상면에 토양처리제를 처리한다면 이미 기단 하부까지 유입된 흰개미가 건물에 피해를 입히는 것을 효과적으로 차단할 수 있다(이상빈 외 2021:208). 최근 문화재청에서 물리적 유입 방지 장치의 도입을 추진 중이므로 향후 현장 적용 시 문화재 피해를 저감하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

표 6 문화재의 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM) 적용에 따른 기대 효과

	방제 공간	방제 방법	방제 시점
현재 (As-Is)	개별 건물에 초점 - 새 흰개미 군체 유입	화학적 방제법 - 지속가능하지 않음	사후 처리 위주 - 문화재 피해 발생
최근 경향	공간적 관리 (Area-Wide Management) - 특정 공간 내 모든 건물의 관리	종합적 흰개미 관리(ITM) - 다양한 방제법의 통합적 적용 - 사전/사후 처리 적용	
미래 (To-Be)	공간적 범위 확대 - 전체 흰개미 밀도 감소	통합적 흰개미 관리 - 지속적인 흰개미 관리	예방적 보존 - 흰개미 피해 사전 예방

2) 문화재와 주변 공간의 영역별 구분 및 적용 방제법

공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 실제 문화재 적용을 위해서는 영역별 적절한 방제법 선택이 필

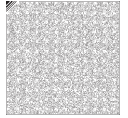


표 7 문화재와 주변 영역 구분과 영역별 흰개미 방제법

영역	방제 방법 및 목적
목조건축문화재 (Zone 1)	<ul style="list-style-type: none"> - 사전 처리: 흰개미가 기단에서 목조건축물로 유입되는 것을 차단 <ul style="list-style-type: none"> · 물리적 방어벽(Physical Barrier) · 기단 상면의 토양처리 - 모니터링 및 일상관리: 흰개미 피해 조기 확인, 환경 개선 - 지상형, 유체형, 분말형 군체제거제: 이미 유입된 흰개미 군체의 제거 - 훈증처리: 건물 내부의 흰개미, 기타 총해, 부후균 등을 일시에 제거
주변 토양 (Zone 2)	<ul style="list-style-type: none"> - 군체제거제, 토양처리: 외부 흰개미의 유입 차단, 군체 제거 - 일상관리: 환경 개선
주변 수림 (Zone 3)	<ul style="list-style-type: none"> - 흰개미 모니터링: 종, 분포 범위, 밀도 등

요하다. 문화재와 그 주변 공간을 세분화하고 각 영역별 방제법을 정리한 결과는 <표 7>과 같다. 문화재 건물(Zone 1)은 사전 방제를 실시하여 기단 하부에서 올라오는 흰개미의 침입을 차단하고, 일상관리와 정기적인 조사를 통해 흰개미 유입 및 피해 현황을 파악해야 한다. 또한 흰개미 군체의 피해나 서식이 확인된다면 대상의 상황에 따라 유체형 군체제거제(fluid bait, Su 외 2018:1806), 분말형 군체제거제 등의 적용을 고려할 필요가 있다. 이 방식은 흰개미 군체가 확인된 곳에 약제를 직접 처리하기 때문에, 약제의 전달 시간을 단축시킬 수 있다. 흰개미 군체를 제거하는데 필요한 CSI(Chitin Synthesis Inhibitor, 키틴합성저해제)의 양은 극히 미량이며, 일단 흰개미 군체에 약제가 전달되는 것 자체가 가장 중요하므로(Gordon 외 2022:1) 직접적인 약제 처리는 수개월 이내 흰개미 군체가 쇠퇴하거나 제거되는 효과를 기대할 수 있다. 당해 건축물에 흰개미와 다른 총해, 부후균 등에 의한 손상이 진행 중이라면 훈증처리도 고려할 수 있는 방안이다.

문화재 주변 토양(Zone 2)에서는 군체제거제를 이용하여 흰개미 유입 모니터링 및 방제처리를 실시하고 필요 시 토양처리를 실시한다. 기존 문화재 방제에서 사용된 군체제거제는 지속적인 모니터링과 교체가 필요하여 장기간 유지하기가 어려우므로, 설치 후 수년 이상 효력이 유지되는 고 내구성 군체제거제(durable

bait, Su 외 2016a:1326)의 적용을 고려해야 한다.

문화재 주변 수림(Zone 3)은 그동안 흰개미 방제의 대상 공간으로 고려되지 않았다. 그러나 수림은 흰개미 군체의 서식 밀도가 높고 이곳의 흰개미들이 문화재 방향으로 유입될 수 있다(서민석 외 2015: 391). 따라서 수림 내 흰개미를 모니터링한다면 현재 서식 중인 흰개미 종, 분포 범위, 개체 밀도 등을 확인하여 문화재 흰개미 방제에 유용한 정보를 수집할 수 있다.

5. 문화재 유형별 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용

우리나라 국가지정 목조건축문화재들의 입지와 주변 환경을 고려하여 목조건축문화재를 6가지 유형으로 나누고, 각 유형별로 흰개미 방제를 위한 공간 구분을 적용하였다(표 8). 문화재 주변에 다른 건물이 없거나 소수만 있는 경우 당해 문화재를 중심으로 각 영역의 설정이 필요하며, 문화재 주변에 다수의 목조건축물들이 있는 경우는 가장 외곽에 있는 건물을 따라 외부 방향으로 영역을 설정하여 적절한 방제법을 적용해야 한다.

주변 수림의 영역 설정은 당해 문화재나 외곽 목조건축물에서 30m로 설정하였으나 이는 가변적인 범위이다. 국내 우점 흰개미(*R. speratus*)의 먹이탐색 범위(foraging territory)와 개체수에 대한 선행 연구 결과 일본에서는 야외 군체의 먹이탐색범위가 직선거

표 8 문화재 유형에 따른 공간적 통합 흰개미 관리(AW-ITM)의 적용

구분	단일			복합		
	도심	교외	산림	도심	교외	산림
주요 문화재 유형	가옥, 소규모 관아	가옥, 농, 소규모 서원·향교	소규모 사찰	궁궐, 중규모 이상 관아	민속마을, 읍성, 중규모 이상 서원·향교	중규모 이상 사찰
주변 토양의 범위	당해 문화재 주변			모든 목조건축물 주변		
주변 수림의 범위	문화재-도심지경계 내부	당해 문화재 반경 30m 이상		문화재 구역 내부 수림	건물군 외곽에서 30m 이상	

리로 10m 이하, 면적으로는 6.0~56.6m²이며 개체 수는 109,400~466,400마리로 나타났다(Tsunoda 외 1999:604). 또한 중국에서는 먹이탐색범위가 직선거리로 26.6~94.4m, 면적으로는 396~3,040m² 였으며 개체수는 670,000~3,960,000마리로 나타났다(Yin 외 2017:466). 이처럼 흰개미(*R. speratus*)는 군체마다 개체 수나 먹이탐색범위가 매우 다양하므로 일률적인 기준을 적용하기에는 어려움이 있다. 또한 문화재마다 각각의 건축적 특성이나 주변 지형, 온도나 상대습도 등 환경적 요인이 각기 다르므로 각 문화재의 상황에 따라 예산 등을 고려하여 지속적으로 실시할 수 있는 범위 내에서 적절한 방제 구역을 설정해야 한다.

IV. 결론

본 논문에서는 우리나라 목조건축문화재의 흰개미 피해 예방을 위해 문화재의 특성과 기존 흰개미 방제법의 한계를 분석하고 대안으로 공간적 종합 흰개미 방제의 적용을 제안하였다. 국가지정 목조건축문화재 182건에 대한 공간정보시스템(GIS) 분석 결과 약 75%의 문화재는 50m 이내에 산림이 있어 대부분 산림과 인접하며, 이로 인해 흰개미가 문화재 방향으로 유입될 위험이 있다.

2003~2020년 국가지정 및 등록문화재를 대상으로 실시된 생물방제 사업 내역을 확인한 결과 총 365건, 104억 원의 예산이 사용되었으며 적용된 방제법은 흰개미 군체제거, 토양처리, 방충방부제(목재보존제) 처리, 훈증처리법이다. 또한 당해 문화재를 대상으로 화학적 방제법이 사후 처리 위주로 진행된 것을 알 수 있었다. 문화재청에서는 이에 대한 개선으로 2021년 관련 규정 개정과 종합 대책을 마련하였으며, 여기에는 흰개미 상시 모니터링 및 적시 방제, 예방적 방제·

진단 기술의 개발이 포함되어 있다.

기존 문화재 흰개미 방제법을 개선하고자 종합적 흰개미 관리(ITM)의 구성요소들로 국내 목조건축문화재의 특성을 분석하고 문화재 유형별, 영역별로 적합한 방제법을 제시하였다. 주요 가해종은 지중흰개미의 일종인 흰개미(*R. speratus*)이며, 건축적·환경적 특징으로 지중흰개미가 유입되기 쉬우며 피해는 주로 지면과 인접한 하인방·기둥 하부 등에서 발생하고 드물게 축부나 지붕부에서도 발견된다. 그리고 문화재와 주변 공간을 당해 문화재-주변 토양-주변 수림의 3개 영역으로 구분하여 각 영역별로 적합한 방제 방안을 제시하였다. 또한 문화재의 입지와 건물 수량에 따라 6가지 유형으로 분류하고 적절한 방제 범위를 제안하였다.

이번 연구에서는 흰개미 방제의 공간적 범위를 확대하고 다양한 방제법을 통합적으로 적용하는 방안을 제안하였다. 문화재청과 지방자치단체들은 목조문화재 주변 환경정비를 통해 흰개미 서식처의 범위를 제한하고, 흰개미 서식 및 활동의 조기 발견과 방제를 위해 각종 조사와 모니터링 활동들을 수행하고 있다. 또한 최근 수년간 하회마을, 낙안읍성, 고성 왕곡마을 등 다수의 목조건축물들이 밀집한 곳에서는 개별 건물이 아닌 전체 목조건축물을 목적으로 범위를 설정하여 연차별로 방제를 실시하고 있다. 공간적 통합 방제는 문화재와 주변 공간의 전체적인 흰개미 밀도를 지속적으로 낮게 유지하여 흰개미 피해 위험도 자체를 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

문화재 보존관리 정책은 명확한 원칙 아래 지속성 있게 유지되어야 하며, 공간적 방제의 확대는 초기에 필요한 예산과 인력이 증가할 수 있다. 따라서 급격한 변화보다는 일부 문화재를 대상으로 소규모 실증 시험을 거쳐 그 결과에 따라 문화재 보존관리 정책에 반영이 필요하다.*

* 본 논문은 주저자의 한국전통문화대학교 이학박사 학위논문(제목: 목조건축문화재 예방보존을 위한 한국 지중흰개미 공간적 방제 연구) 중 일부를 수정·보완한 것임을 밝힌다.



참고문헌

- 김대운 · 정선혜 · 이상환 · 정용재, 2010, 「극초단파를 이용한 흰개미 탐지기술 적용연구」, 『보존과학회지』 26(1), (사)한국문화재보존과학회, pp.77~83.
- 김민선 · 김충식, 2020, 「숲가꾸기 사업과 흰개미 피해를 받은 문화재와의 관련성에 관한 연구」, 『문화재』 53(2), 국립문화재연구원, pp.24~35.
- 김시현 · 정용재, 2022, 「국가지정 목조건축문화재의 흰개미(*R. speratus kyushuensis*) 피해 현황 분석」, 『문화재』 55(2), 국립문화재연구원, pp.102~111.
- 문화공보부 문화재관리국, 1987, 『금산사 실측조사보고서』, 문화재관리국, pp.1~545.
- 문화재청, 2012, 「목조문화재 생물피해 방제 종합대책」, pp.1~17.
- 문화재청, 2021, 「목조문화재 흰개미 피해방제 종합대책」, pp.1~57.
- 문화재청, 2022.3, 『통계로 보는 문화유산』, 문화재청, pp.1~170.
- 서민석 · 조창욱 · 김수지 · 김영희 · 홍진영 · 이정민 · 정소영, 2015, 「목조문화재 흰개미 서식환경 특성 연구」, 『보존과학회지』 31(4), (사)한국문화재보존과학회, pp.387~393.
- 이광석, 2004, 「한국산 흰개미(Isoptera: Rhinotermitidae)의 형태학적 특징, 생물열화 현상 조사 및 흰개미 방제」, 부산대학교 대학원 석사학위논문, pp.1~50.
- 이규식, 2004, 「목조문화재 보존을 위한 한국산 흰개미의 생태적 특성 및 방제에 관한 연구」, 중앙대학교 대학원 박사학위논문, pp.1~85.
- 이규식 · 정소영 · 정용재, 2001, 「목조건조물의 흰개미 모니터링 및 방제방법」, 『보존과학연구』 22, 국립문화재연구소, pp.41~52.
- 이상빈 · 임익균 · 김시현, 2021, 「국내의 흰개미 방제 기술의 발달 과정과 목조건축문화재의 흰개미 피해 저감을 위한 방안」, 문화재 54(2), 국립문화재연구소, pp.194~215.
- 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 목조건조물의 흰개미 피해 조사 연구」, 『보존과학연구』 31, 국립문화재연구소, pp.121~130.
- 한성희 · 이규식 · 정용재, 1998, 「한국 서식 흰개미의 특성과 방제」, 『보존과학연구』 19, 국립문화재연구소, pp.133~158.
- 환경부 환경공간정보서비스, <https://egis.me.go.kr>(접속일: 2021.08.23.)
- Brune, A., 2014, 'Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts', *Nature Reviews Microbiology* 12(3), Nature Publishing Group, pp.168~180.
- Clement, R.A. · Flores-Moreno, H. · Cernusak, L.A. · Cheesman, A.W. · Yatsko, A.R. · Allison, S.D. · Eggleton, P. · Zanne, A.E., 2021, 'Assessing the Australian Termite Diversity Anomaly: How Habitat and Rainfall Affect Termite Assemblages', *Frontiers in Ecology and Evolution* 9:657444, pp.1~13.
- Eggleton, P., 2000, *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology*. Springer, Dordrecht, Netherland, pp.25~51.
- Eggleton, P., 2010, 『Biology of Termites: a Modern Synthesis』, Springer, Dordrecht, Netherland, 2010, pp.1~26.
- Fiorucci, P. · Gaetani, F. · Minciardi, R., 2008, 'Development and application of a system for dynamic wildfire risk assessment in Italy', *Environmental Modelling and Software* 23(6), International Environmental Modelling and Software Society, pp.690~702.
- Forschler, B.T., 2011, 「Chapter 9: Sustainable termite management using an integrated pest management approach」, 『Urban Pest Management: An Environmental Perspective』, Elsevier, pp.133~144.
- Forschler, B.T. · Jones, S.C. · Kard, B. · Baumann, G.J. · Henderson, G. · Suiter, D., 2007, 'Subterranean termite management: Still an ongoing process', *Pest Control* 75, pp.88~95.

참고문헌

- Gordon, J.M. · Velenovsky, J.F. · Chouvenc, T., 2022, 'Subterranean termite colony elimination can be achieved even when only a small proportion of foragers feed upon a CSI bait', *Journal of Pest Science* 95(3), Springer Verlag, pp.1~10.
- Guillot, F. · Ring, D. · Lax, A. · Morgan, A. · Brown, K. · Riegel, C. · Boykin, D., 2010, 'Area-Wide Management of the Formosan Subterranean Termite, *Coptotermes formosanus Shiraki* (Isoptera: Rhinotermitidae), in the New Orleans French Quarter'. *Sociobiology* 55(2), Universidade Estadual de Feira de Santana, pp.311~338.
- International Council on Monuments and Site(ICOMOS), 1994, 'The Nara Document on Authenticity', pp.46~48.
- 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 built heritage buildings in Korea', *Forests* 13(3): 465, pp.1~9.
- Kuswanto, E. · Ahmad, I. · Dungani, R., 2015, 'Threat of subterranean termites attack in the Asian countries and their control: A review', *Asian Journal of Applied Science* 8, pp.227~239.
- 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. · Forscher, 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.
- Morimoto K., 1968, 'Termites of the genus *Reticulitermes* of Japan and Taiwan', *Bulletin of the Government Forest Experimental Station* 217, pp.43~73.
- Osbrink, W.L.A. · Cornelius, M.L. · Lax, A.R., 2011, 'Areawide field study on effect of three chitin synthesis inhibitor baits on populations of *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes flavipes* (Isoptera: Rhinotermitidae)', *Journal of Economic Entomology* 104(3), Entomological Society of America, pp.1009~1017.
- 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.
- Pribadi, T. · Raffiudin, R. · Harahap, I., 2011, 'Termite community as environmental bioindicator in highlands: A case study in eastern slope of Mount Slamet, Central Java', *Biodiversitas* 12, pp.235~240.
- Rust, M.K. · Su, N.Y., 2012, 'Managing Social Insects of Urban Importance', *Annual Review of Entomology* 57(1), Annual Reviews, pp.355~375.
- 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), Korean Society of Applied Entomology, pp.1266~1269.
- Shults, P. · Richardson, S. · Eyer, P.-A. · Chura, M. · Barreda, H. · Davis, R.W. · Vargo, E.D., 2021, 'Area-wide elimination of subterranean termite colonies using a Novaluron bait', *Insects* 12(192), pp.1~12.
- Smith, J. · Su, N.Y. · Escoba, R., 2006, 'An area-wide population management project for the invasive eastern subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in a low-income community in Santiago, Chile'. *American Entomologist* 52(4), Entomological Society of America, pp.253~260.
- Su, N.Y., 2019, 'Development of baits for population management of subterranean termites'. *Annual Review of Entomology* 64, Annual Reviews, pp.115~130.



참고문헌

- Su, N.Y. · Scheffrahn, R.H., 1998, 'A review of subterranean termite control practices and prospects for *integrated pest management programmes*'. *Integrated Pest Management Reviews* 3(1), pp.1~13.
- Su, N.Y. · Guidry, E. · Cotonne, C., 2016a, 'Sustainable management of subterranean termite populations (Isoptera: Rhinotermitidae) in Armstrong Park, New Orleans, with durable baits', *Journal of Economic Entomology* 109(3), The Entomological Society of America, pp.1326~1332.
- Su, N.Y. · Guidry, E. · Mullins, A.J. · Cotonne, C., 2016b, 'Reinvasion dynamics of subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) following the elimination of all detectable colonies in a large area', *Journal of Economic Entomology* 109(2), The Entomological Society of America, pp.809~814.
- Su, N.Y. · Yokum, B. · Mullins, A. · Bordes, E. · Cottone, C. · Riegel, C., 2018, 'Field Evaluations of Fluid Baits against Colonies of the Formosan Subterranean Termite (Blattodea: Rhinotermitidae)', *Journal of Economic Entomology* 111(4), The Entomological Society of America, pp.1806~1812.
- Subekti, N. · Yoshimura, T. · Rokhman, F. · Mastur, Z., 2015, 'Potential for subterranean termite attack against five bamboo species in correlation with chemical components', *Procedia Environmental Sciences* 28, pp.783~788.
- 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.
- Tsunoda, K. · Matsuoka, H. · Yoshimura, T. · Tokoro, M., 1999, 'Foraging populations and territories of *Reticulitermes speratus* (Isoptera: Rhinotermitidae)', *Journal of Economic Entomology* 92(3), The Entomological Society of America, pp.604~609.
- Vreysen, M.J.B. · Robinson, A.S. · Hendrichs, J. · Kenmore, P., 2007, 'Area-Wide integrated Pest Management (AW-ITM): Principles, practice and prospects', 'Area-Wide Control of Insect Pests: from research to field implementation', Springer, Dordrecht, Netherland. pp.3~33.
- Yin, H. · Siu, X.F. · Ciu, Q.L. · Li, P.G. · Wang, X.S., 2017, 'Survey of foraging populations and territories of *Reticulitermes speratus* in the field', *Chinese Journal of Vector Biology and Control* 28(5), Chinese Center for Disease Control and Prevention, pp.466~469.
- 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.

A Study on Area-Wide Integrated Termite Management for the Preservation of Wooden Built Heritage

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: iamchung@nuch.ac.kr

Abstract

A number of wooden built heritage remain in Korea, and most have been damaged by various biological factors including termite. Owing to the irreversible damage caused by termites, wooden built heritage are losing their authenticity and structural stability. In this study, Area-Wide Integrated Termite Management(AW-ITM) was proposed to prevent termite damage. First, to understand the locational characteristics of these sites, the distance from adjacent forests and surrounding forest areas was analyzed for 182 national designated wooden built heritage(national treasures, treasures) using the Geographic Information System(GIS). By analyzing existing pest control projects(2003-2020) and the components of the ITM, the characteristics of termite control for cultural heritages were determined. Based on these results, the cultural heritage sites and their surrounding spaces were divided into three areas, and the types of cultural properties were divided into six types according to the location and number of buildings. Along with this, termite control measures were proposed for each area and type. The concept of AW-ITM has been partially applied to the “Comprehensive Control of Termites in wooden built heritages Sites” by the Cultural Heritage Administration. Caution must be taken with regard to the establishment of a cultural heritage management policy; AW-ITM should be applied on a trial basis with the results then being carefully analyzed and reflected in the establishment of policies pertaining to the conservation management of cultural heritage.

Keywords wooden built heritage, termite, area-wide management, preservation, climate change

Received 2022. 5. 9. | Revised 2022. 7. 22. | Accepted 2022. 8. 18.

