

극초단파(Microwave)를 이용한 흰개미 탐지기술 적용연구

김대운* | 정선혜* | 이상환** | 정용재*¹
*한국전통문화학교 보존과학과, ** (주)비산문화재

Study on the Adaption Technique for Detection of Termites using Microwave

Dae Woon Kim* | Seon Hye Jeong* | Sang Hwan Lee** | Yong Jae Chung*¹

*Department of Conservation Science, Korean National University of Cultural Heritage, Buyeo, 323-812, Korea
**Beesan Co. LTD, Boeun, 376-802, Koarea

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

초록 국내에 서식하는 지중흰개미는 목재 내부에 공동화 현상이 발생되어 붕괴가 일어나기 직전까지도 외관상 특별한 변화가 발견되지 않는다. 이러한 흰개미의 활성을 비파괴적으로 측정하는 기술은 현재 국내에 적용된 사례가 없었다. 따라서 본 연구는 극초단파 탐지 장비(Termatrac, Australia)를 이용하여 목조 문화재의 비파괴 진단 기술을 정립하고자 한다. 연구 결과, 소나무의 경우 16cm(민감도 5, 6), 느티나무와 Douglas fir의 경우 17cm(민감도 5, 6)까지 측정이 가능하여 국내 대부분의 목조 건축물에 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 현장조사 결과 전국 목조건축물 231동 중 33.8%가 흰개미에 의한 손상을 입었으며, 7.8%인 총 18개 건물에서 흰개미 가해가 진행 중인 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과를 통해 목조 문화재의 비파괴 분석법으로서 적용이 가능할 것이라 예상된다.

중심어: 흰개미, 극초단파 탐지 장비, 터마트랙, 목조 건축물, 비파괴 진단 기술

ABSTRACT The damage from the underground termite cannot be discovered with peculiar appearance of building but hollow phenomenon will occur. But there is no case in Korea as a non-destructive measurement of termite activation. Therefore, this research constructs non-destructive diagnostic techniques for wooden cultural properties using microwave detector (Termatrac, Australia). Result of maximum distance were measured 16cm (Pine tree, sensitivity 5, 6), 17cm (Zelkova and Douglas fir, sensitivity 5, 6). These results are expected that can be applied in the field. Result of field test using microwave detector, 33.8% of the wooden cultural properties were damaged by termites, and until now 7.8% (18 buildings) are being damaged in nationwide (total 231 buildings). Based on the above results, microwave detector will be able to be utilized effectively for detecting termite, preventing intrusion in wooden structure, and making full use of monitoring system periodically. In addition, it could be of great worth in preventing insect and microorganism in wooden structure.

Key Words: Termite, Microwave detector, Termatrac, Wooden cultural properties, Non-destructive diagnostic techniques

1. 서 론

전통 목조 건축물은 축조된 후 외기에 노출된 상태로 매우 오랜 기간 동안 사용되면서 여러 요인에 의해 구조적 안정성에 영향을 받고 있으며, 특히 최근에는 지구온난화 및 주거 난방구조의 변화에 따라 흰개미목과 딱정벌레목 등 생물피해에 의한 목조 건축물의 피해가 증가하고 있는 실정이다.¹

특히 최근 언론 및 보도자료 등을 통하여 흰개미에 의한 목조 건축물의 피해 사례를 쉽게 접할 수 있다. 국내에 서식하는 흰개미는 습기가 있는 지하에 서식처를 만드는 지중 흰개미(Subterranean termite)로서 주택 및 목조 건축물의 목부재에 산발적으로 발생하여 막대한 금전적 피해와 함께 문화재의 돌이킬 수 없는 손상을 주고 있다.⁵

손상부위가 목재 표면으로 나타난 경우에는 육안으로 쉽게 탐지가 가능하나 내부가 손상된 경우에는 현재 국내에 적절한 탐지방법이 없는 실정이다. 지중흰개미에 의한 손상의 가장 큰 문제점 또한 건물의 외관상 특이한 변화를 발견할 수 없다는 것이다. 즉, 목부재의 내부가 텅 비는 공동화 현상이 발생하여 붕괴가 일어나기 직전까지도 육안으로 진단이 불가능하다는 것이다.

목조 건축물의 생물피해에 따른 손상에 대한 국내연구는 이 등(2000)이 “목조문화재의 원형보존을 위한 충해 방제방안”²과 이 등(2001)이 “목조건축물의 흰개미 모니터링 및 방제방법”에 대한 연구보고를 제외하고는 거의 전무한 실정이다. 특히 이 등은 2001년 보고서에서 생물피해 가해 원인으로 권연벌레, 넓적나무좀, 흰개미, 벌류, 목재 부후균, 그리고 균열·파손 등 6개 조건으로 구분하여, 인방, 마루, 보, 창방 등 건축물에 사용된 목부재 별 손상도 지수를 산정하였다.³ 그러나 주 연구가 이미 진행된 목재 가해충과 흰개미에 대해 이루어 졌을 뿐 현재 흰개미에 의한 피해 진행 여부에 대한 연구는 수행되어지지 않았다.

흰개미의 탐지를 위한 기술은 일본에서 흰개미의 서식처(집)를 탐지하는 방법으로서 가해충과 충체의 진동음을 전기진동음으로 변환하여 증폭한 다음 출력함으로 흰개미의 활동상황의 탐지와 방제효과 확인 등에 흰개미 탐지가 주로 이용되고 있으며, 또 흰개미에 의한 건조물의 피해 범위를 탐지할 목적으로 X선 촬영을 적용하였다.⁴

국내·외에서 목조문화재의 생물피해를 비파괴적으로 탐지하는 기술 연구는 주로 초음파 CT를 중심으로 이루어 졌다.^{5,9,10} 국립문화재연구소에서 2000년부터 2001년까지

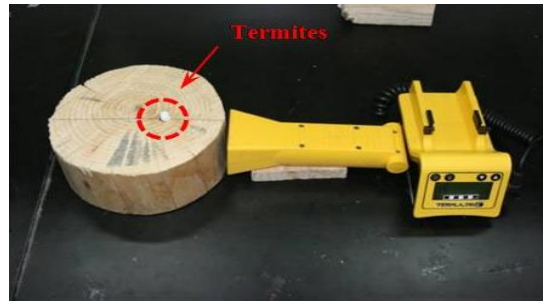


Figure 1. Detecting termites using microwave detector.

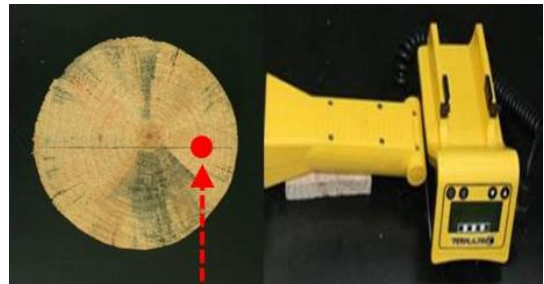


Figure 2. Increasing population of termites. (100, 200, 300/ hole).

흰개미에 의한 목조문화재의 손상이 급격하게 증가하고 있는 상황에서 목재강도 저하로 인한 붕괴를 사전에 예방하고 더 나아가 적절한 보수·보강 시점 및 방법을 제한할 수 있도록 하기위해 목조 초음파 CT장비를 개발하였으며, 한 (2005)등은 전통 목조건축물을 대상으로 초음파 CT와 드릴전기저항시험 방법을 적용하였고⁶, 장(1998) 등은 초음파와 진동을 이용하여 목재의 비파괴 시험을 실시하였다.⁷

또한 최근에 국립문화재연구소는 삼성생명과 함께 마약이나 폭발물을 탐지하는 탐지견을 이용 목조건축물에 발생한 흰개미의 탐지 실험을 실시한 결과, 흰개미 탐지의 정확성이 매우 높다고 보고하였다.¹ 하지만 이는 모두 목부재 내 공동화된 부위에 대한 손상 상태만을 분석할 수 있는 방법으로 흰개미의 활성을 비파괴적으로 측정하는 기술은 현재 국내에 적용된 사례가 없었다.

최근 재질 내부에 극초단파(microwave) 신호를 방출한 후 내부로 투과된 신호가 목재 내 가해충의 존재 유무에 따라 다른 값을 나타내는 것을 이용한 생물피해 조사방법이 개발되었다. 이는 투과된 신호가 목재 내 흰개미 활성에 의해 방해를 받는다면, 높은 값 또는 불규칙적인 값을 나타내게 되는 것을 이용한 것이다.

이에 본 연구는 극초단파(Microwave) 탐지장비를 이용한 우리나라 목조 건축물의 새로운 비파괴 진단기술을 구축 하였으며, 현재 국립문화재연구소와 삼성생명 탐지센터에서 연구 수행중인 흰개미 탐지견과 병행하여 현장 조사 실시를 통해 현장 적용가능성을 확인하였기에 이를 보고하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 목재시료 및 공시종

극초단파 탐지 장비의 적용을 위한 실험 재료는 소나무, Douglas fir, 느티나무 현생재를 지름 18cm 높이 9cm로 가공하여 제반 실험에 사용하였다. 실험 전 목재시료의 평형 함수율은(EMC) 18%였다.

흰개미는 한국전통문화학교 주변 야산에서 채집하여 곤충 배양기에서 25℃, 60%로 배양 후 일개미 및 병정개미 비율을 8 : 2로 하여 제반 실험에 사용하였다.

2.1.2. 극초단파 탐지기

극초단파 탐지 장비는 오스트레일리아 터마트렉사(Australia, Termatrec)에서 개발한 장비를 사용하였다.

모든 측정값은 극초단파 탐지 장비 LCD 표시창에 5mm 간격의 35mm 스케일을 놓고, 5mm씩 7구간으로 나누어 기록하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 목재 수중에 따른 민감도

실험은 소나무(지름 18cm, EMC 18%)를 이용하여 1cm 간격으로 17cm까지 천공한 후 각각의 구멍에 흰개미 30개체를 넣고 민감도 3, 4, 5, 6에서 측정하였다(Figure 1).

극초단파 탐지 장비는 흰개미의 움직임에 따라 피크 값이 계속적으로 변하기 때문에 10초 정도 응시한 후 최대값을 측정하였다. 극초단파 탐지 장비는 기계적 특성상 흰개미의 활성에 따라 결과에 많은 영향을 미치기 때문에 2~3회 측정 후에 활성이 강한 흰개미로 교체하여 실험하였다.

2.2.2. 흰개미 개체수에 따른 민감도

실험은 목재 수중에 따른 최대측정거리 산출과 동일한 방법으로 소나무(지름 18cm, EMC 18%)를 이용하여 1cm간격

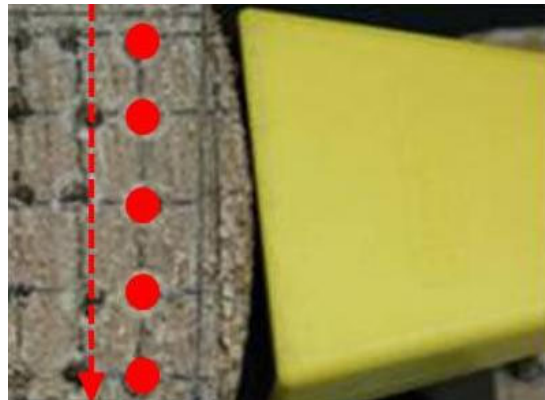


Figure 3. Increasingly filling with termites at same distance.

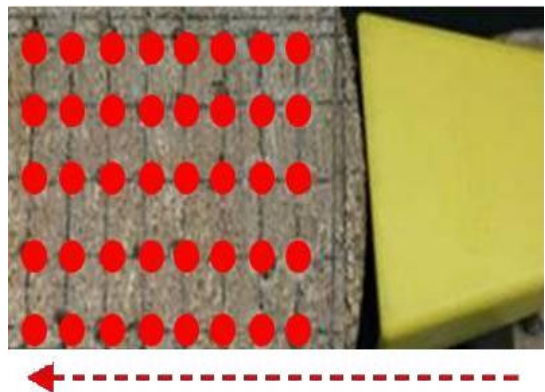


Figure 4. Increasing distance after filled with termites in all 5 holes.

으로 17cm까지 천공한 후 각각의 구멍에 흰개미 100, 200, 300개체를 넣고 민감도 3, 4, 5, 6에서 측정하였다(Figure 2).

2.2.3. 흰개미의 가해 면적에 따른 민감도

목재 시편을 횡단면의 수직 방향으로 지름 1cm의 구멍을 5개 천공한 후, 1개의 구멍에 흰개미 10개체씩을 점차적으로 넣어가며 측정하였다(Figure 3).

또한 극초단파(Microwave)가 진행되는 방향에서 흰개미의 가해가 진행되고 있을 경우 증척되는 반응이 어떻게 나타나는지를 확인하기 위해 같은 거리의 1cm의 구멍 5개에 흰개미 10개체씩을 모두 넣고 극초단파 송출구로부터 점차 거리를 늘려가며 측정하였다(Figure 4).

2.2.4. 목조건축물 현장 적용

실험실 데이터를 기초로 하여 전국 목조 건축물을 대상



Figure 5. Detecting termites in wooden structure.



Figure 6. Detecting termites in Hahoe Village.

Table 1. Survey location of field.

Survey city	Survey location	Amount of buildings
Seoul	Gyeong-bok Palace	5
Seoul	Jong-myoo	7
Yangsan	Tong-do Temple	22
Gimcheon	Jik-ji Temple	31
Jeonju	Pung-nam Gate	3
Yeonggwang	Bul-gap Temple	13
Goheung	Neung-ga Temple	5
Suncheon	Song-gwang Temple	31
Suncheon	Seonam Temple	19
Geoje	Geojehyeon Government office	4
Busan	Beomeo Temple	22
Yangsan	Yonghwa Temple	3
Hapcheon	Haein Temple	28
Ganghwa	Jeondeung Temple	12
Andong	Hahoe Village	12
Andong	Bongjeong Temple	14

으로 현장조사를 실시하였다. 조사 장소는 전국에 분포하는 주요 사찰의 목조 건축물을 중심으로 선정하였다.

현장조사는 현재 국립문화재연구소와 삼성생명 흰개미 탐지센터에서 연구 수행 중인 흰개미 탐지견과 병행하였다. 흰개미 탐지견은 기둥 또는 하방을 중심으로 냄새를 맡고 다니다 흰개미 가해 흔적을 찾게 되면 더 이상 움직이지 않고 그 곳을 응시하게 된다. 이러한 방식으로 전체 건물에 대해 흰개미 탐지견이 스크리닝한 후 반응이 나타난 부분에 대해 극초단파 탐지 장비로 측정을 실시하였다.

조사 기간은 흰개미가 활성이 강한 4월부터 8월까지 실

시하였으며, 조사 장소는 총 16개소, 총 건물수 231동에 대하여 흰개미 가해 여부와 현재 가해 진행상태를 진단하였다(Figure 5, 6, Table 1).

3. 결과 및 고찰

3.1. 극초단파의 표준측정 민감도

3.1.1. 목재 수종에 따른 최대 민감도

측정 결과 소나무는 민감도 3에서 4cm, 민감도 4에서 15cm, 민감도 5, 6에서 16cm까지 최대거리가 측정되었다. 또한 느티나무에서는 민감도 3에서 12cm, 민감도 4에서 14cm, 민감도 5, 6에서 17cm까지 최대거리가 측정되었다. Dougals fir는 민감도 3, 4에서 7cm, 민감도 5, 6에서는 17cm까지 최대거리가 측정되었다(Table 2). 이를 통해 최대 지름 34cm 내부까지 가해 중인 흰개미의 탐지가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

3.1.2. 개체수에 따른 최대 민감도

흰개미 개체수에 따른 최대 측정 거리는 두드러지는 값의 변화가 나타나지 않았다. 이는 극초단파 탐지 장비가 흰개미의 움직임을 포착하여 결과 값으로 나타내기 때문으로 사료된다. 즉, 협소한 공간에서는 흰개미 100개체나 200개체나 300개체나 그들이 움직일 수 있는 공간이 좁아지기 때문에 결과 값에는 큰 차이가 없었다.

3.1.3. 가해 면적에 따른 민감도

흰개미 가해 면적에 따른 극초단파 탐지 장비의 측정 결

Table 2. Measuring maximum distance according to the wood species.

Distance	Pine tree				Zelkova				Douglas fir			
	Sensitivity				Sensitivity				Sensitivity			
	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
1cm	2	3	4	7	1	2	3	4	1	3	3	5
2cm	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2
3cm	0	1	2	2	1	1	1	2	0	1	1	1
4cm	1	1	2	3	0	1	1	1	0	0	1	1
5cm	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
6cm	0	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1
7cm	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
8cm	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
9cm	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
10cm	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
11cm	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
12cm	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
13cm	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
14cm	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0	1	1
15cm	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
16cm	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
17cm	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1

Table 3. Measuring microwave detector peak in harmed area by termites(Sensitivity 6).

Distance	1hole	2holes	3holes	4holes	5holes
1cm	1	1	2	2	3
2cm	1	1	1	2	2
3cm	1	1	1	2	2

Table 4. Measuring microwave detector peak according to duplicated activation of termites.

Distance	Sensitivity 3	Sensitivity 4	Sensitivity 5	Sensitivity 6
1cm	1	1	2	3
2cm	1	1	2	3
3cm	1	1	2	3
4cm	1	1	2	3
.
.
17cm	1	1	2	3

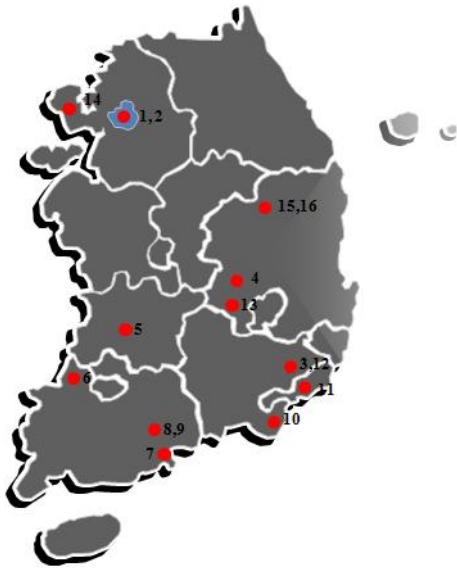
과 흰개미가 가해하는 면적이 넓으면 넓을수록 그 측정값이 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Table 3).

이는 앞서 언급한 흰개미 개체수에 따른 측정 결과에서와 동일하게 극초단파 탐지 장비가 흰개미의 움직임만을 측정하기 때문에 흰개미가 목재를 가해하여 이동할 수 있는 면적이 넓어지면 넓어질수록 측정되는 결과 값이 증가

하는 것으로 사료되었다.

흰개미에 의해 반응이 중첩되는 경우에는 모두 같은 결과 값이 측정되었다(Table 4).

이와 같은 결과는 극초단파 탐지 장비가 측정하는 거리에서 중첩되는 모든 측정값 중 최대로 측정된 값만을 LCD 표시창에 나타내기 때문이다. 따라서 극초단파 탐지 장비



1. Gyeong-bok Palace : 3buildings, 16point / 1buildings, 1point
2. Jong-myoo : 4buildings, 9point / 1building, 1point
3. Tong-do Temple : 7buildings, 15points / 2buildings, 4points
4. Jik-ji Temple : 3buildings, 5points / 2buildings, 3points
5. Pung-nam Gate : None / None
6. Bul-gap Temple : 2building, 2point / 1building, 1point
7. Neung-ga Temple : 1building, 2point / 1building, 1point
8. Song-Gwang Temple : 8buildings, 16points / 4buildings, 5points
9. Seonam Temple : 7buildings, 11points / None
10. Geojehyeon Government office : 2buildings, 6points / None
11. Beomeo Temple : 4buildings, 5points / None
12. Yonghwa Temple : 1building, 1point / None
13. Haein Temple : 13buildings, 20points / 4buildings, 7points
14. Jeondeung Temple : 4buildings, 5points / None
15. Hahoe Village : 11buildings, 25points / 2buildings, 3points
16. Bongjeong Temple : 8buildings, 12points / None

※ Termite-sniffing dog / Microwave detector

Figure 7. Termite damaging distribution of wooden structure in Korea.

Table 5. Statistical processing in the field.

Total building	Damaged building by termites (Termite-sniffing dog)	Now Damaging building by termites (Microwave detector)
231 buildings	78 buildings(33.8%)	18 buildings (7.8%)

Table 6. Statistical processing in the harmed area.

	Pillar	Sill	Etc.	Total
Termite-sniffing dog	115	13	17	150
Microwave detector	21	1	4	26

는 흰개미가 가해하는 목재의 깊이와는 무관하게 측정 가능 거리에서 움직임이 가장 많은 흰개미를 포착하여 그 활성만을 나타낸다.

3.2. 목조건축물의 흰개미 가해도

현장 조사 결과 전국 대부분의 목조 건축물에서 흰개미의 가해가 확인되었다. 조사한 231동 건물 중 흰개미 탐지견이 발견한 건물은 78개 건물, 극초단파 탐지 장비에 의해 탐지된 건물은 18개 건물이다.

위의 결과를 바탕으로 231개의 건물을 우리나라의 목조 건축물 전체라고 가정하면, 이미 한반도의 목조건축물은

33.8%가 흰개미에 의해 가해가 되었고, 7.8%가 아직도 가해가 진행 중이라는 사실을 알 수 있었다(Table 5).

또한 흰개미가 가해한 목조 건축물의 부재에 대한 통계 결과 하방보다는 기둥에서 흰개미에 의한 피해가 더욱 많이 탐지되었다(Table 6). 이는 탐지견이 일정 높이 이상 올라 탐지할 수 없는 한계를 감안하더라도 기둥 부재에 대한 흰개미의 선호도가 높다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

극초단파를 이용한 목조문화재의 분석은 이 등(2001)이 마이크로웨이브 오븐을 이용하여 급속 함수율 측정에 사

용된 바 있으나, 이는 생물피해 가해도 조사목적은 아니었다.⁸ 따라서 본 연구는 이미 유럽 등 선진국에서 비파괴 분석법으로 연구되고 있는 극초단파(Microwave)를 이용 우리나라 목조 건축물의 흰개미 손상도 탐색에 적용하고자 하였다.

연구결과 소나무, Douglas fir 그리고 느티나무 등 목재 3종에 대해서 최대 목재 지름 37cm까지 흰개미의 활성 측정이 가능하였다, 현재 우리나라의 목조 건축물 기둥지름은 공궤이 평균 40cm, 일반 목조 건축물이 27cm로 조사된 바 있다. 이를 감안할 때, 극초단파 탐지 장비가 대부분의 현장에서 적용이 가능할 것으로 확인되었다. 또한 흰개미의 가해면적이 넓을수록 탐지 민감도가 높게 나타나며 이를 통해 개체수와 측정 민감도와의 상관관계를 표준화하였다.

또한 목조 건축물에 대한 현장적용 조사를 통해 흰개미에 의한 목조건축물의 손상이 전국적으로 진행되고 있음을 극초단파 탐지장비를 통해 국내 처음으로 확인하였다. 특히 강한 반응이 나타난 장소에서는 육안으로 흰개미를 관찰할 수 있었다.

이상으로 본 연구를 통해 흰개미에 의한 목조건축물의 손상방지를 위해 극초단파를 이용한 비파괴 진단 기술을 구축하였으며, 현재 목조 문화재의 비파괴 분석법으로 일부 사용되고 있는 초음파 CT와 함께 극초단파를 이용한 탐지기술은 우리나라 목조건축물에 발생하고 있는 흰개미의 활성을 탐지하기 위한 새로운 층해 비파괴 진단 기술로서의 활용이 기대된다.

사 사

본 연구는 국립문화재연구소 2009년도 동산문화재복원 기술개발 연구 R&D 「목조문화재의 생물피해 방제기술 개발」 사업의 일환으로 수행되었으며, 본 연구를 도와주신 국립문화재연구소 보존과학연구실과 삼성생명 탐지센터에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김광훈, "목조문화재의 생물피해 방제기술 개발". 국립문화재연구소 용역연구사업 연구결과 보고서, p7-16, (2009).
2. 이규식, 정소영, 정용재, "목조문화재의 원형보존을 위한 층해 방제방안". *보존과학연구*, p5-55, (2000).
3. 이규식, 정소영, 정용재, "목조건축물의 흰개미 모니터링 및 방제방법". *보존과학연구*, p45-49, (2001).
4. Yamamoto, K., O. Sulaiman and R. Hashim, "Nondestructive detection of heart rot on Acacia mangium trees in Malaysia". p83-86, (1998).
5. 손동원, "비파괴 검사에 의한 전통목조건축물의 흰개미 열화 특성 조사". *한국목재공학회*, 36, p21, (2008).
6. 한소라, 이상준, 박천영, 이진제, "전통 목조건축물(여산향교 대성전)의 비파괴검사". *한국문화재보존과학회* 2005년도 제22회 학술대회 발표 논문집, p83-84, (2005).
7. 장상식, "초음파와 진동을 이용한 목재의 비파괴시험에 관한 연구". *한국과학재단 연구보고서*, 충남대 임산공학과, p3-12, (1998).
8. 이형우, 김경용, "마이크로웨이브를 이용한 금속 함수율 측정법에 관한 연구". *목재공학*, p17-19, (2001).
9. Andreas Hasenstab, Kurt Osterloh, "Defects in wood non destructive locating with low frequency Ultrasonic Echo Technique". *NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering*, p.214, (2009).
10. Fujii Yoshihisa, Fujiwara Yuko, Yanase Yoshiyuki, Okumura Shogo, Narahara Koichi, Ngatsuma Tadao, Yoshimura Tsuyoshi, Imamura Yuji, "Nondestructive detection of termites using a millimeter-wave imaging technique". *Forest Products Journal*, 57(10), p75-79, (2007).