

# 목조건축물의 흰개미 방제에 대한 국외 현황조사(Ⅱ)

— 일본의 사례를 중심으로

정소영<sup>1</sup>

국립문화재연구소 보존과학연구실

<sup>1</sup>Corresponding author : jsy1254@korea.kr

## 국문초록

전 세계적으로 분포하고 있는 약 2,900 종의 흰개미 중 23종의 흰개미가 일본에 서식하고 있으며, 이에 따라 1종의 흰개미만 분포하는 우리나라에 비해 더 심각한 피해를 주는 것으로 알려져 있다. 일본에서는 목조건축물에서 흰개미에 의한 피해가 발생하면 화학적 방제(훈증처리, 토양처리, 베이트 처리 등)나 비화학적 방제방법(저산소처리, 이산화탄소처리, 고온처리, 저온처리 등)을 이용해 방제 처리를 하게 된다. 특히, 훈증처리에 사용되는 메틸 브로마이드 훈증제의 생산과 소비를 2005년부터 전폐하기로 함에 따라 이를 대체하기 위한 다양한 방법들에 대한 검토가 이루어졌으며, 그 결과 실제로 피해 정도가 소규모이거나 장기간의 처리가 가능한 경우 등 일부 경우에는 약제를 사용하지 않는 비화학적 방법이 효과적이라는 것이 확인되었다.

주제어: 화학적 방제, 비화학적 방제, 훈증처리, 토양처리, 저산소처리, 이산화탄소처리, 고온처리, 저온처리

## 1. 서론

일반적으로 문화재를 가해하는 해충에는 좀목, 바퀴목, 흰개미목, 메뚜기목(뚝등이과, 귀뚜라미과), 다듬이벌레목, 딱정벌레목(수시렁이과, 개나무좀과, 넓적나무좀과, 빗살수염벌레과, 표본벌레과, 하늘소과, 바구미과, 왕바구미과), 벌목(구멍벌과, 개미과), 파리목, 나비목(곡식좀나방과) 등이 있으며, 유충이나 성충이 각종 재질의 문화재를 가해한다(한성희 외, 1998; 박물관과 유해생물 관리, 2008; 문화재생물학, 2013). 일본에서도 문화재를 가해하는 해충과 박물관에서 주로 발견되는 해충은 재질별로 약간 다르게 나타나는데(川越和四, 2011, Table 1), 최근 기후 온난화에 따라 생물

서식 종이 변화하면서 이러한 생물 피해가 지속적으로 확대되고 있다.

특히, 흰개미는 전 세계적으로 약 2,900 종이 기록되어 있으며, Mastotermitidae, Kalotermitidae, Termopsidae, Hodotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae, Termitidae의 7개 과(科)로 나뉜다(山野勝次, 2010). 대부분 열대·아열대 지역에, 일부가 온대 지역에 분포하는데, 우리나라의 경우, 겨울은 온도가 영하로 내려감으로써 건조하고 바람이 심하여 대체로 흰개미가 번식하기에 적당하지 않은 기후를 가지고 있었으나, 급격한 환경변화의 영향으로 겨울철에도 별로 춥지 않게 됨으로써 흰개미가 서식할 수 있는 기후 조건이 조성되었다고 할 수 있다(이규식 외, 2001). 흰개미의 경우, 다른

Table 1. Various pests damaging cultural heritage or discovered in museum in Japan.

대상 재질	일반적인 문화재 해충	박물관에서 발견되는 해충
목재	흰개미류, 빗살수염벌레류, 하늘소류, 넓적나무좀류, 긴나무좀류, 나무좀류, 개미류, 바퀴벌레류, 어리호박벌류	빗살수염벌레류, 바퀴벌레류, 드물게 하늘소류, 나무좀류, 바구미류
대나무	넓적나무좀류, 긴나무좀류, 흰개미류, 왕바구미류	긴나무좀류
지류	빗살수염벌레류, 좀류, 바퀴벌레류, 개미류, 다듬이벌레류, 흰개미류, 넓적나무좀류, 긴나무좀류	빗살수염벌레류, 좀류, 바퀴벌레류
섬유류	흰개미류, 좀류, 바퀴벌레류, 빗살수염벌레류	좀류, 바퀴벌레류, 빗살수염벌레류
건조식물류	빗살수염벌레류, 표본벌레류, 수시렁이류, 좀류	빗살수염벌레류, 좀류, 표본벌레류, 수시렁이류
가죽·모피류	수시렁이류, 바퀴벌레류, 좀류, 나방류, 다듬이벌레류	나방류, 빗살수염벌레류, 바퀴벌레류
모직물	나방류, 수시렁이류, 좀류	나방류, 수시렁이류, 좀류
견(비단)	바퀴벌레류, 좀류	바퀴벌레류, 좀류
건조동물류	수시렁이류, 바퀴벌레류, 개미류, 표본벌레류, 다듬이벌레류, 좀류	수시렁이류, 바퀴벌레류, 표본벌레류, 좀류
기타(오염)	흰개미류, 바퀴벌레류, 좀류, 파리류, 구멍벌류	바퀴벌레류, 좀류, 파리류
비고		* 다듬이벌레류는 어떤 재질에서도 확인됨

곤충과는 달리 겨울철의 저온기간에도 휴면을 하지 않아 활동과 생존에 있어서 온도 조건이 최대 결정요소가 된다. 흰개미의 최적온도는 종에 따라 다르게 나타나는데, 건재흰개미인 *Neotermes bosei* Snyder는 35°C가 최적온도이고 *Nasutitermes dunensis* Chatterjee & Thakur의 생존율은 25°C에서 최고를 나타내는 반면, *Coptotermes heimi*의 생존율은 15°C에서 최고로 나타난다(Collins, 1969; 이규식과 정소영, 2004). 흰개미는 주로 고사목을 먹이로 하지만, 그 외에도 떨어진 가지와 잎, 초본류, 지의류, 토양(토양 중의 유기물) 등 종에 따라 다양하며, 목재 및 목조건축물을 가해하는 것은 약 180종 정도로 알려져 있다(山野勝次, 2010).

이처럼 흰개미 등의 생물피해에 직접적으로 노출되어 있는 목조문화재를 효율적으로 보존 관리하기 위해서는 사후 방제에 의존하기 보다는 선제적으로 예방 보존 차원에서 접근하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 흰개미의 생태적 특성을 고려하여 흰개미가 서식하기에 적당한 환경이 조성되지 않도록 관리하는 것이 무엇보다 중요하며, 흰개미에 의한 피해가 발견되었을 경우에는 구체적인 피해 및 훼손 상태를 조사하고 주기적으로 모니터링 함으로써 데이터베이스화 해 관리할 필요가 있다.

이번 원고는 지난 2011년 보고한 바 있는 목조건축물의 흰개미 방제에 대한 국외 현황조사의 두 번째 사례로서, 우리나라와 서식 흰개미의 종류, 기후조건, 방제방법 등에서 많은 유사성을 나타내는 일본을 대상으로 살펴보고자 한다.

## 2. 일본의 흰개미 분포 현황 및 피해사례

### 2.1. 흰개미 분포 현황

일본에는 4과 12屬 23種의 흰개미가 서식하는 것으로 보고되어 있지만, 이 중에서 문화재를 가해하는 주요 종은 일본흰개미(*Reticulitermes speratus* (Kolbe))와 대만흰개미(*Coptotermes formosanus* Shiraki, 또는 집흰개미)이다(文化財害蟲事典, 2001). 일본흰개미는 홋카이도 북부를 제외한 일본 전역에 분포하고 있으며, 대만흰개미는 카나가와현 서쪽의 해안선을 따라 온난한 지역과 치바현 일부, 남서지역 섬 등 섬 지역을 위주로 분포한다(Fig. 1)<sup>1)</sup>. 그러나 최근 건재흰개미(drywood termite) 종류 중 다이코쿠건재흰개미(*Cryptotermes domesticus* (Haviland))와 서부건재흰개미(*Incisitermes minor* (Hagen))에 의한 피해가 증가하고 있으며(山野勝次, 2010), 이들 4종류 흰개미의 특징은 Table 2와 같다.

일본에 서식하는 23종의 흰개미 중 일본흰개미를 비롯한 일부 종만이 고유종으로 분류되고, 나머지는 외래종으로 분류되는데, 이러한 외래종의 분류 기준은 시간축 정의와 지리적 정의에 따라 다르게 구분된다. 메이지시대 이후에 일본 정착이 확인된 종류를 외래종으로 하는 시간축 정의를 적용하면 *Incisitermes*

1) 공익사단법인 일본흰개미대책협회(公益社団法人 日本しろあり対策協會) 누리집 (<http://www.hakutaikyoo.or.jp/faq/>) 에 문화재를 가해하는 주요 흰개미 종류 및 지역별 분포가 나타나 있음 (2004. 7월 조사 기준)

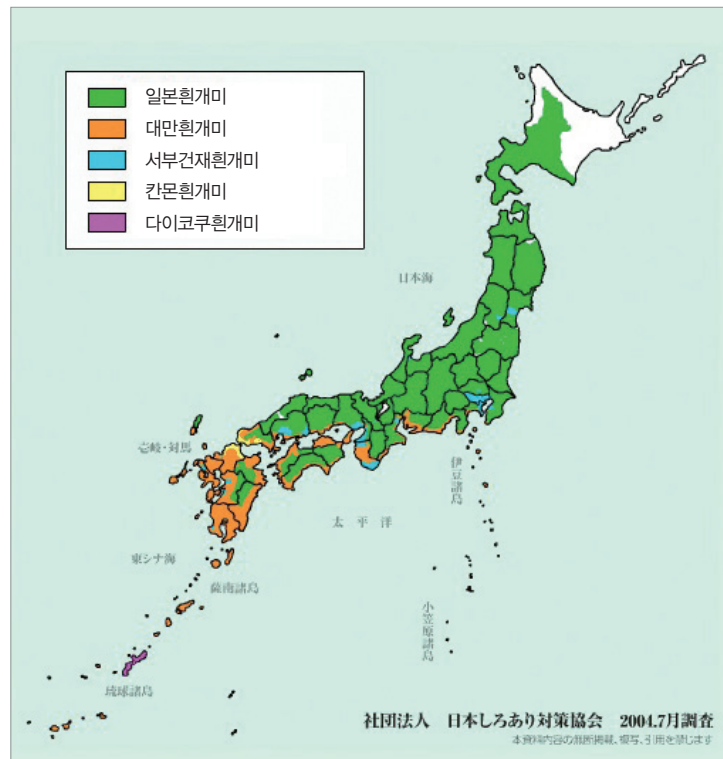


Fig. 1. Termite distribution in Japan<sup>1)</sup>.



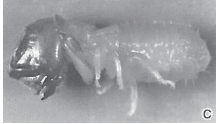

*minor* (Hagen), *I. immigrans* (Snyder), *Coptotermes vastator* Light, *Zootermopsis nevadensis* (Hagen)의 4종류가 외래종에 해당한다. 반대로 과거 또는 현재의 자연 분포 이외에 도입된(침입한) 종을 외래종으로 하는 지리적 정의를 적용하면 오가사와라(小笠原), 치치지마(父島) 등에서 맹위를 떨치는 *Coptotermes formosanus* Shiraki 및 야마구치(山口)~후쿠오카(福岡)의 한정된 지역에 서식하는 *Reticulitermes kanmonensis* Takematsu가 외래종으로 분류된다(大村和香子, 2010).

## 2.2. 흰개미에 의한 피해

일본의 신사(神社), 사원(寺院), 고성(古城) 등의 목조건축물을 시작으로 목조불상, 가구, 병풍, 서적 등에 이르기까지 다양한 문화재에서 흰개미에 의한 피해가 발견되었다(文化財の害蟲, 2003, Fig. 2 ~ Fig. 4).

목조문화재에 대부분의 피해를 주는 흰개미 2종(일본흰개미, 대만흰개미)의 서식 특성을 살펴보면, 일본흰개미는 추위에는 비교적 강하지만, 건조에 약하기 때문에 축축한 목재나 땅 속에서 생활하는 경우가 많아 건축물의 마루 밑이나 초석 등 건물 하부를 주로 가해한

Table 2. Typical termite species damaging wooden cultural heritage in Japan.

	Rhinotermitidae		Kalotermitidae	
	일본흰개미	대만흰개미(집흰개미)	다이코쿠건재흰개미	서부건재흰개미
종(種)명	<i>Reticulitermes speratus</i> (Japanese subterranean termite)	<i>Coptotermes formosanus</i> (Formosan subterranean termite)	<i>Cryptotermes domesticus</i> (Daikoku drywood termite)	<i>Incisitermes minor</i> (American common drywood termite)
형태적 특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 머리는 원통형에 가깝고, 몸 길이의 약 1/2을 차지한다.</li> <li>- 유백색의 점액을 방출하지 않는다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 머리는 알 모양(卵形)이고, 몸 길이의 약 1/3을 차지한다.</li> <li>- 건드리면 머리 끝의 액선에서 유백색 점액(방어물질)을 방출한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 머리 앞면이 잘린 모양(截斷狀)이고, 몸 길이의 약 1/4을 차지한다.</li> <li>- 유백색 점액을 방출하지 않는다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 머리가 일본흰개미와 유사한 형태(원통형)이고, 몸 길이의 약 1/3을 차지한다.</li> <li>- 더듬이의 3번째 마디가 다른 마디보다 길고 크다.</li> <li>- 유백색 점액을 방출하지 않는다.</li> </ul>
유시충 군비시기	4~5월 낮	6~7월 저녁~밤	3~11월 저녁~밤	6~9월 낮
군체 크기	최대 20,000~30,000마리	500,000~600,000 마리 (최대 1,000,000마리)	최대 수 천마리	최대 수 천마리
흰개미길 형성여부	흰개미길(shelter tube) 형성	흰개미길 형성	흰개미길 만들지 않음	흰개미길 만들지 않음
병정개미				

다. 일본흰개미에 의한 피해는 미생물에 의한 부후와 동시에 일어나는 경우가 많으며 식흔(食痕)이 축축하고 지저분하다. 반면 대만흰개미(또는 집흰개미)는 건물이나 땅 속에 큰 규모의 군체를 만들며, 가해속도도 빠르고 일본흰개미보다 피해도 심하게 나타난다. 따라서 건물 하부뿐만 아니라 건물 전체에 영향을 미치는 사례가 많다(文化財害蟲事典, 2001; 文化財の害蟲, 2003, Fig. 5 ~ Fig. 6).

### 3. 일본의 흰개미피해 진단 및 방제 방법

#### 3.1. 흰개미피해 진단

일반적으로 목질문화재(조각, 건축물 등)에서 해충에 의한 피해가 발생되었을 때 적절하게 보존관리 하기 위해서는 정확한 피해상태를 진단하는 것이 필수적이다. 피해가 계속 진행 중인지, 문화재에 대한 피해가 어느 정도인



Fig. 2. Temple damaged by termite.



Fig. 3. Book damaged by termite.



Fig. 4. A living tree damaged by termite.



Fig. 5. Damages by *Reticulitermes speratus* (Kolbe).

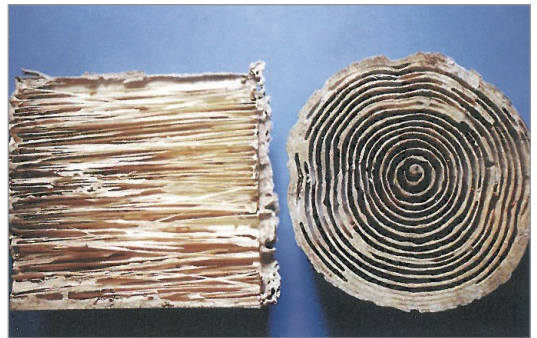


Fig. 6. Damages by *Coptotermes formosanus* Shiraki.

지 등 피해 상태에 따라 방제처리를 적용할 것 인지의 여부와 적용하는 방제 방법의 종류가 달라질 수 있기 때문이다. 목조건축물에서 흰개미에 의한 피해가 발생했을 경우, 1차적으로는 흰개미길(蟻道, mud tunnel), 가해흔적(食痕), 공동음(空洞音), 유시층의 날개, 건재흰개미의 배설물 등 육안관찰에 의해서 확인할 수 있으며, 가해 진행 여부 및 정밀상태 진단을 위해 음파, X-선 CT 등을 활용하여 추가적으로 진단하고 있다.

### 3.1.1. 음파(acoustic emission)

일반적으로 곤충에 의한 천공 여부, 목재가루 배출 여부 등 목재 표면에 대한 육안 조사를 통해 생물피해 여부를 판단하게 되는데, 일부 특수한 경우에 흰개미에 의한 피해가 현재 진행 중인지 여부를 조사하기 위해 음파(acoustic emission, AE)를 이용하기도 한다(藤井義久, 2001; 木川りか 외, 2009).

음파(AE)는 재료 내부의 미소부 파괴에 의

해 발생하는 탄성파로서, 흰개미나 나무좀류 등 목재가해곤충이 구기(口器)를 이용하여 목재를 손상시킬 때에도 발생한다(藤井義久, 2001).

AE 계측을 위한 실험장치를 만들어 일본 흰개미(*Reticulitermes speratus*), 대만흰개미(*Coptotermes formosanus*), 서부건재흰개미(*Incisitermes minor*) 등 3종류의 흰개미를 대상으로 AE 계측을 한 실험에서도 목재내부에서 진행 중인 생물피해를 비파괴적으로 진단하는데 AE 계측결과를 적용할 수 있음을 확인했다. 다만, AE 센서의 재질에 따라 신호를 받아들이는 감도가 조금씩 달라질 수 있고, 대상 해충 종류에 따라 AE 발생률이 차이가 나타나기도 하는 등 일부 개선해야 할 문제점도 드러났다(藤井義久, 2001).

### 3.1.2. X-선 CT 스캐너(X-ray CT scanner)

X-선 CT 스캐너는 2006년 규슈국립박물관에서 산업용 CT를 문화재 조사용으로 개량한 것으로서, CT를 이용하여 목재 내부의 피해 상태를 정밀 진단하기 위해 사용된다. 다만, X-선 CT 스캐너는 장치의 구조상 이동이 불가능하기 때문에 건축물의 현지 조사에는 활용할 수 없지만, 목재 일부를 대상으로 조사하는 것은 가능하다. 또한 목재 내부의 피해 양상, 유충의 수나 크기, 위치 등을 단시간 내에 비파괴적으로 조사가 가능하다는 장점이 있다. 주기적으로 반복 조사할 경우, 목재 내부의 피해 양상이 어떤 변화를 보이는지 모니터

링이 가능하므로, 음파나 전자파 등을 사용한 조사 방법과 더불어 상호 검증하기 위한 수단으로 활용이 가능하다(鳥越俊行 외, 2010)

## 3.2. 흰개미피해 방제 방법

목조문화재에 흰개미피해가 발생하였을 경우에는 피해상태에 따라 다양한 방법으로 방제처리를 적용하게 되는데, 훈증처리, 토양처리 등 약제를 사용하는 화학적 방법과 저산소농도처리, 이산화탄소처리 등 약제를 사용하지 않는 방법으로 구분할 수 있다.

### 3.2.1. 화학적 방법

#### 1) 훈증처리

1997년 제9회 몬트리올의정서 당사국회의에서 문화재의 훈증처리용 약제로 사용되던 메틸 브로마이드(Methyl bromide)의 생산과 소비를 2005년부터는 전폐하기로 합의함에 따라 메틸 브로마이드의 대체 약제(가스)를 이용하여 훈증처리를 하고 있다.

가스를 이용한 훈증처리는 처리할 당시 존재하는 해충이나 미생물을 죽일 수 있지만, 약제가 잔류하지 않기 때문에 처리 이후의 방충·방미 효과는 기대할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 약제를 이용하여 훈증처리를 하게 될 경우 가장 중요한 것은 어떤 용도의 약제를 사용할 것인지 정하는 것이다. 살충(殺蟲)인지, 방충(防蟲)인지, 살균(殺菌)인지, 방미(防黴)인지에 따라 사용하는 약제의 종류와 방

Table 3. Comparison among fumigants used in fumigation.

약제명		알프	아이오가드	에키흠 S	오키시흠 NF
성분		산화 프로필렌 + 아르곤	요오드화 메틸	산화 에틸렌 + HFC 134a	산화 에틸렌 + HFC 1125 + HFC 227ea
특징		- 침투성, 확산성 우수 - 저독성	- 난연성 - 침투성, 휘발성 우수 - 투입가스량이 소량	- 침투, 확산성 우수 - 오존층 파괴 화학물질 포함하고 있지 않음 - 불연성	
투약량 (g/m <sup>3</sup> )	살충	48 이상	20~60	60~100 (밀폐훈증 기준)	100~150 (밀폐훈증 기준)
	살균	48 이상	80~140	200 (밀폐훈증 기준)	300 (밀폐훈증 기준)
훈증 온도(°C)	살충	20	10~30	20~30	
	살균	20	10~30	20~30	
훈증 시간	살충	일반적으로 48시간	24시간		
	살균	일반적으로 48시간	24~72	25~30°C : 24시간 20~25°C : 48시간	

법이 달라진다(木川りか 외, 2000; 文化財の害蟲, 2003).

문화재의 훈증처리에 사용하는 훈증제는 불화설퍼릴(Sulfuryl fluoride), 산화 프로필렌(Propylene oxide), 산화 에틸렌 제제(Ethylene oxide), 요오드화 메틸(Methyl Iodide) 등이 있으며(Table 3)<sup>2)</sup>, (사)문화재충해연구소에서 인정한 약제를 사용하고 있다.

훈증방법은 상압훈증법과 감압훈증법으로 구분할 수 있으며, 피복의 정도에 따라 피복훈증, 밀폐훈증, 포장훈증, 훈증고훈증의 방법으로 처리할 수 있다.

## 2) 토양처리

토양처리는 토양 속을 이동해서 건축물에 도달한 후 건축물을 가해하는 흰개미를 막기 위해 건축물의 마루 밑이나 건축물 주변의 토

양을 대상으로 약제를 처리하는 방법이다. 대상산포법(帶狀散布法), 면상산포법(面狀散布法), 토양표면피막형성공법(土壤表面皮膜形成工法), 발포시공법(發泡施工法), 토양표면시트공법, 파이프흡착공법 등이 있다(しろあり防除施工における安全管理基準, 2010; 防除施工標準仕様書, 2012). 일반적으로는 토양 표면에 약제를 뿌려서 흰개미가 침투하지 못하도록 층을 형성하는 대상산포법이 많이 적용되나, 최근에는 방의(防蟻)효과 외에 토양의 수분증발을 막기 위한 목적으로 토양피막형성공법이나 시트공법도 사용되고 있다.

### ① 대상산포법(帶狀散布法)

토양 표면에 과립형 약제를 띠 모양으로 뿌려서 처리하는 방법으로, 기초석의 내부 및 주변, 배관 등의 20cm 폭의 띠 모양으로 처리한다.

### ② 면상산포법(面狀散布法)

토양 표면에 과립형 약제를 넓게 퍼서 면상으로 처리하는 방법이다.

2) 일본 액화탄산수식회사(液化炭酸株式会社), 일보화학(日寶化學)의 팜플렛에 제시되어 있는 자료를 정리하여 표로 구성하였음



③ 토양표면피막형성공법(土壤表面皮膜形成工法)

건축물 마루 밑의 토양 표면에 약제를 흡수시켜, 토양 표면에 피막을 형성하게 하는 방법이다.

④ 발포시공법(發泡施工法)

마루 밑의 토양 표면을 대상으로 발포용 흰개미 방제제를 물, 발포제와 혼합하여 토양 표면에 약제를 침투시키는 방법이다.

⑤ 토양표면시트공법

흰개미 방제 효력이 있는 시트를 마루 밑의 토양 표면에 설치하는 방법이다.

⑥ 파이프흡착공법

건축물 마루 밑에 특수흡성수지파이프를 배관하고 파이프의 시작 지점과 끝 지점을 하나로 연결한 후 특수 펌프를 이용하여 약제를 가압처리하는 방법이다.

3) 목재처리

목재처리는 목조건축물이나 목부재 표면에 화학 약제를 분무법, 도포법에 의해 처리하거나, 목재나 벽체를 천공하여 약제를 주입하는 방법으로 살충처리하는 것이다. 주로 문화재 외부에 서식하고 있는 해충에 대한 살충을 목적으로 적용하는 방법이며, 직접 문화재에 접촉하여 처리하기 때문에 문화재에 대한 오염 등을 막을 수 있는 약제를 선택하여 처리하는 것이 필요하다(文化財害蟲事典, 2001).

유기인계(Chlorpyrifos 등), 카바메이트계(BPMC 등), 피레스로이드계(permethrin 등), 나프탈렌계(monochloronaphthalene), Triazine계(TPIC 등), chloronicotinyl(imidacloprid 등) 등의 약제가 주로 사용된다(文化財害蟲事典, 2001).

4) 베이트(독먹이) 처리

베이트(독먹이) 처리는 흰개미 방제용 약제

Table 4. Chemical treatments according to regional classification in Japan.

종 별	지 역 명	처 리 방 법	
		목재	토양
I 중지역	오кина와(沖繩), 카고시마(鹿児島), 미야자키(宮崎), 오이타(大分), 쿠마모토(熊本), 나가사키(長崎), 사가(佐賀), 후쿠오카(福岡), 코치(高知), 에히메(愛媛), 토쿠시마(徳島), 코가와(香川), 아마구치(山口), 히로시마(広島), 오카야마(岡山), 호고(兵庫), 오사카(大阪), 와카야마(和歌山), 미에(三重), 아이치(愛知), 시즈오카(静岡), 카나가와(神奈川), 치바(千葉), 도쿄(東京)	목재처리 시행	토양처리 시행
II 중지역	돗토리(鳥取), 시마네(島根), 교토(京都), 나라(奈良), 시가(滋賀), 키후(岐阜), 나가노(長野), 야마나시(山梨), 도쿄(東京), 사이타마(埼玉), 이바라키(茨城), 토치기(栃木), 군마(群馬), 후쿠이(福井), 이시카와(石川), 토야마(富山), 니가타(新潟), 야마가타(山形), 미야기(宮城), 후쿠시마(福島), 아키타(秋田), 이와테(岩手), 아오모리(青森)	목재처리 시행	대부분의 경우, 토양처리 시행
III 중지역	홋카이도(北海道)	목재처리 시행	필요에 따라 토양처리 시행

를 혼합한 베이트를 흰개미가 섭취하도록 함으로써 흰개미 군체를 사멸시키는 방법으로, 다른 화학적 방법에 비해 소량(기존 약제의 1/1,000 정도)의 약제를 사용함으로써 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 방법이다. 베이트 처리는 흰개미가 좋아하는 먹이를 넣은 모니터링 스테이션(monitors station)을 지면에 매설한 다음 흰개미가 발견되었을 때 베이트로 교체하는 방법과 베이트를 넣은 베이트 스테이션(bait station)을 흰개미가 서식하는 지역 주변에 제한적으로 설치하는 방법의 두 가지로 구분된다(防除施工標準仕様書, 2012). 베이트는 곤충의 성장을 조절함으로써 흰개미를 사멸시키는 IGR(insect growth regulator) 성분의 약제를 사용하거나 독성(toxicant) 약제를 사용하는 방법이 있다.

### 3.2.2. 약제를 사용하지 않는 방법

약제를 사용하지 않는 처리법은 저산소농도 처리, 이산화탄소처리, 저온처리, 고온처리 등으로 구분할 수 있으며, 각각의 처리방법에 따라 적용 용도 및 처리 조건 등이 달라지므로 문화재의 재질과 피해상태를 고려하여 적절한 방법을 선택해야 한다.

#### 1) 저산소농도처리

이 방법은 산소가 부족한 상태에서 해충을 질식사시키는 방법으로, 1990년대부터 유럽과 미국을 중심으로 문화재의 살충처리에 응용하기 시작했다. 저산소농도조건을 맞추기 위해 질소나 아르곤 등의 불활성가스를 사용하는 방법과 탈산소제를 사용하는 방법으로 구분할

Table 5. Comparison among non-chemical methods.

처리방법	적용 용도	목질에 대한 영향	살충 효과	살균 효과	인체 안전성
저산소농도처리 (질소, 아르곤 등 불활성가스 사용)	전반적으로 가능	- 거의 영향이 없음 - 다만, 습도, 압력에 주의	○~△ (목재심부 등 적용되지 않는 대상 있음)	×	○~△ (산소농도 18% 이하에서 위험)
저산소농도처리 (탈산소제)	전반적으로 가능	- 탈산소제의 종류에 따라서 악영향을 미치는 것이 있음 - 종류, 사용량, 설치방법에 주의	○~△ (목재심부 등 적용되지 않는 대상 있음)	×	○
이산화탄소처리	채색이 없는 목제품, 축제품 등	- 일부 금속 및 안료에서 변색 발생 - 그 외에는 알려져 있지 않음	○ (일부 목재 해충에 대해서 주의)	×	△ (이산화탄소농도 1.5% 이상에서 위험)
저온처리 (-20~-40℃)	- 서적, 고문서, 모피, 직물 일부 - 동·식물표본 - 목제품	- 용도 이외에는 적용 곤란	○	×	○
고온처리 (50~60℃)	- 건축물 일부 - 목제품 일부	- 상세한 검토 필요 - 용도 이외에는 적용 곤란	○	△ (포자는 생존)	○

○: 높다 △: 경우에 따라서 낮다 X: 낮다 또는 안전하지 않다

수 있다. 밀폐공간 내의 산소농도를 0.3% 미만으로 낮춰야 하며, 0.1% 정도의 산소농도에서는 미생물의 생육을 제어할 수 있지만, 살균은 불가능하다(木川りか 외, 2000; 木川りか 외, 2001).

이 방법의 장점은 인체와 환경, 유물에 안전한 방법이라는 것이다. 다만, 처리시간이 길고 고도의 기밀성을 필요로 하기 때문에 대규모로는 적용이 곤란하다는 단점이 있다.

### 2) 이산화탄소처리

이 방법은 고농도(60%)의 이산화탄소 독성에 의해 해충을 사멸시키는 방법으로, 이산화탄소에 대한 내성은 해충 종류에 따라 다르지만, 살충의 목적으로 처리할 경우 60% 정도의 농도에서 처리한다.

이산화탄소처리의 장점은 앞에서 설명한 저산소농도처리에 비해 고도의 기밀성을 요구하지 않기 때문에 기존에 사용하던 텐트(타포린천 등)를 사용하여 처리가 가능하다는 것이고, 따라서 한번에 대규모로 처리할 경우 유용하게 활용할 수 있다. 다만, 고습 조건에서 처리할 경우 낱이 포함된 안료의 변색이 생길 수 있고, 이산화탄소가 일부 안료에 영향을 미칠 수 있어 채색 목제품 등을 처리할 때에는 주의가 필요하다(木川りか 외, 2000; 木川りか 외, 2001).

### 3) 고온처리

고온처리는 55~60℃ 정도의 고온에서 처리하는 방법으로, 살충을 목적으로 하는 경우에

는 속효성이 있는 확실한 처리방법이다. 그러나 55~60℃ 정도의 고온에서 처리할 수 있는 문화재 재질이 한정되어 있어 목제품 일부 및 건축물 등을 대상으로는 처리가 가능하지만, 고온에서 영향을 받는 왁스나 수지 등은 처리할 수 없다는 단점이 있다.

처리온도가 55~60℃ 일 경우, 살충에 필요한 시간은 1시간 정도이지만, 중심부가 처리 온도에 도달하기 위해서는 약간의 시간이 더 필요하므로 통상 처리시간은 1일 이내(8~18시간) 이다. 이 경우 살충효과는 양호하지만, 곰팡이 포자의 살균은 불가능하다(木川りか 외, 2000).

안전하게 고온처리를 하기 위해서는 열에 의해 재질이 건조해지지 않는 것이 필요하므로 수분이 통하지 않는 재질의 필름을 이용하여 밀봉하는 것이 효과적이다.

### 4) 저온처리

저온처리는 -20~-40℃ 정도의 저온에서 처리하는 방법으로, 살충효과가 높고 인체, 환경에 무해한 방법이지만, 일반적으로 급격한 온·습도 변화에 노출되므로 적용할 수 있는 재질이 한정되어 있다. 일반적으로 종이, 섬유, 목재의 단일재료로 만들어진 작품을 처리할 때 주로 이용한다. 살충처리하기 위해 -20~-40℃에서 3일~1주일 정도 유지해야 하고, -30℃ 이하에서는 5일 정도 처리하면 문화재 해충에 대한 살충이 가능하지만, 곰팡이는 살균할 수 없다(木川りか 외, 2000).

#### 5) 극초단파(microwave)처리

극초단파를 이용해 살충처리하는 방법이다. 환경에는 무해하지만, 처리시간 등 조건설정이 어렵고 재질에 따라 폭발 위험성도 있어서 실제로는 적용하기 곤란한 경우가 많다.

#### 6) 방사선처리

방사선을 이용해 문화재를 처리하는 방법으로, 프랑스나 폴란드, 체코 등 일부 국가에서 적용하고 있다. 그러나 원자력시설에 문화재를 넣어야 처리가 가능하고 살충·살균에 필요한 선량을 조사할 때 지류 등 일부 재질에서 열화가 일어날 수 있어 실제 처리는 곤란한 경우가 있다.

## 4. 결론

지금까지 일본의 흰개미 분포 현황 및 방제 방법에 대해 간략하게나마 살펴보았다. 일본의 경우에는 특히, 우리나라에 서식하는 흰개미와 동일한 종류의 흰개미가 분포하고 기후나 서식환경 등이 유사하다보니 처리하는 방법이나 대응방법도 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 생물피해가 발생했을 경우에 사용할 수 있는 약제의 종류나 절차, 예방 처리 등에서 약간의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

첫 번째로, 일본에서는 문화재에 생물피해가 발생했을 경우, 훈증처리, 토양처리 등의

화학적 방법과 탈산소처리, 이산화탄소처리 등 비화학적 방법을 적용하여 방제처리를 하고 있다. 그 중에서도 보편적으로 많이 적용되었던 방법은 훈증처리 등의 화학적 방제방법이었으나, 훈증용 약제(메틸 브로마이드)가 환경규제물질로 지정되면서 2005년부터 사용이 금지된 것을 계기로 약제를 사용하지 않는 처리법에 대한 종합적인 검토가 이루어졌다. 지금 현재는 문화재의 재질, 생물피해 정도 등을 고려하여 탈산소처리, 이산화탄소처리, 고온처리 등 다양한 방법들을 적용하고 있다. 이에 반해 우리나라에서는 훈증처리, 토양처리, 방충방부처리, 군체제거시스템 등 화학적 방제 방법은 일본과 매우 유사하지만, 처리약제의 종류가 제한적이라는 점에서 차이가 난다. 또한 탈산소처리나 방사선처리 등 약제를 사용하지 않는 처리방법을 문화재 살충처리에 적용할 수 있을지에 대한 효과 평가 및 적용성 연구는 이루어졌으나(오준석 외, 2012; 윤민철 외, 2011; 윤민철 외, 2012), 실제 목조건축물 등 대규모 문화재의 방제처리 현장에서는 아직까지 활발하게 적용되지 않고 있다. 이러한 차이는 일본과 우리나라에 서식하는 흰개미의 종류가 달라 적용할 수 있는 방법에서 차이가 나기 때문으로 판단된다.

두 번째로, 일본에서 목조문화재에 주로 피해를 주는 흰개미는 지중흰개미 2종(일본흰개미, 대만흰개미)과 건재흰개미 2종(서부건재흰개미, 다이코쿠건재흰개미)을 포함하여 4종류에 이른다. 특히 일본흰개미(*Reticulitermes*

*speratus*)와 대만흰개미(*Coptotermes formosanus*)에 의한 피해를 예방하기 위한 목적으로 신축 건축물의 경우에는 토양처리법과 목재처리법을 예방차원의 처리법으로 적용하기도 한다. 이러한 흰개미 예방처리는 그 건축물 전체가 흰개미 피해로부터 차단되는 효과가 있으며 일부의 경우 방부 효과가 있는 것도 있다(防除施工標準仕様書, 2012). 우리나라에서는 최근 흰개미 등 생물피해가 증가하면서 지자체, 소유자, 관리자 등에 의한 일상관리를 강화하고 있는 추세이며, 흰개미가 서식하기 좋은 환경조건을 만들지 않도록 일상관리를 실시함으로써 흰개미피해를 최소화하고자 노력하고 있다. 이에 따라 약제를 이용한 화학적 처리법을 예방차원의 처리로 적용하지는 않고 있다. 화학약제를 예방처리법으로 적용하는 것은 흰개미 피해를 사전에 예방하고 차단하기 위해 효과적인 수단처럼 보이지만, 실제로 화학약제의 효과 지속기간이 정해져 있어 일회성의 처리로 효과가 장기간 지속되지 않는다는 점과 화학약제에 의한 환경오염(특히, 토양이나 수질 오염 등) 가능성이 우려된다는 점에서 신중하게 고려해야 할 것으로 생각된다.

이상의 내용을 토대로 우리나라에 서식하고 있는 일본흰개미에 대한 방제방법을 제안해 본다면 소규모 문화재나 밀폐 훈증시에 메틸브로마이드 대체약제를 이용하여 적용해 보고 현장적용에서의 보완, 개선점에 대한 대책을 마련하는 것이 필요하다. 아직까지는 유예기간이고 정확하게 언제부터 메틸 브로마이드

훈증제가 사용 금지될 것인지 불확실하다 해도 조만간 메틸 브로마이드 훈증제를 사용하지 못하게 될 것이라는 것은 분명한 사실이기 때문이다. 더불어 방제 대상의 특성을 고려하여 탈산소처리, 이산화탄소처리, 고온처리, 저온처리 등을 선택적으로 적용해 볼 필요가 있다. 처리방법의 효과 평가를 위해 실험실 차원에서 적용해 본 것만으로 실제 문화재 현장에 적용하기에는 무리가 있다. 문화재 재질에 미치는 영향이나 처리목적(살충, 살균 등)에 따라 적절한 방법을 적용해 보고 실제로 우리나라 문화재를 대상으로 적용이 가능한지를 평가해 보는 것이 중요하다.

그러나 생물피해가 발생했을 때 어떤 방법으로, 어떻게 처리할 것인지를 정하는 것보다 더 중요하고 시급한 부분은 정확하게 흰개미 피해를 탐지하고 진단하는 것이다. 우리나라에 서식하는 흰개미는 대부분 군비를 할 때 사람들 눈에 띄기 때문에 평상시에는 피해 목부재(혹은 나무 그루터기) 내부를 확인하기 전까지는 육안으로 확인하기 어렵다. 아직까지는 흰개미 피해가 발생하기 전에 피해가 일어나지 않도록 완벽하게 예방하는 것이 거의 불가능하기 때문에 흰개미 피해를 최소화하기 위해 소유자, 관리자 등에 의한 일상관리 요령을 교육함으로써 적극적인 참여를 유도하고 있는 상황이다. 그나마 최근 우리나라에서는 흰개미 피해에 대한 탐지율을 높이고자 흰개미 탐지견을 조사에 적극적으로 활용하여 조사하고 있지만, 아직까지는 여러 가지 면에서 보완이 필요하다(김대운 외, 2010; 정소영, 2010). 우

리나라 이외에 미국, 일본, 호주 등 흰개미 피해가 발견되는 여러 나라에서도 음파(acoustic emission), 극초단파(microwave), X-선 CT 등 다양한 방법을 이용하여 생물피해를 진단하고 있지만, 각각의 진단법이 적용되는 범위가 달라 측정된 결과를 토대로 종합적인 검토가 필요하다.

따라서 향후 우리나라에서는 흰개미 피해 여부, 피해 정도 등에 대한 정확한 진단결과를 바탕으로 직접적인 방제처리에 적용할 수 있는 처리법을 좀 더 다양화함으로써 목조문화재의 피해상태 및 환경조건에 따라 선택적으로 적용할 수 있도록 방안이 마련되어야 할 것이다.

# Study of the present situation on the termite control of wooden structures(Ⅱ)

- Focused on the case of Japan

Soyoung Jeong<sup>1</sup>

Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

<sup>1</sup>Corresponding author : jsy1254@korea.kr

## Abstract

There are more than 2,900 different species of termites in the world, and just there are 23 species in Japan. They caused more severe infestation compared with Korea. When a structure has become infested with termites, it is important that appropriate action must be taken: the chemical pest control (fumigation, soil termiticide treatment, bait system etc.) or the non-chemical pest control (low oxygen treatment, carbon dioxide treatment, high/low temperature treatment etc.). Especially, there were attempts to make practical protocol of various alternatives since the fumigant(methyl bromide) had been phased out in 2005 in Japan, and practically non-chemical methods would be effective alternatives for some cases, where the scale of infestation is small and limited and when long treatment is possible. But most of all, it is important that the process of pest control is made according to each species of termites with consideration for different characteristics of termites.

**Keyword:** *chemical control, non-chemical control, fumigation, soil termiticide, low oxygen treatment, carbon dioxide treatment, high temperature treatment, low temperature treatment*

---

## 참고문헌

- 국립민속박물관, 2008, 박물관과 유해생물 관리, 10~14.
  - 김대운, 정선혜, 이상환, 정용재, 2010, 극초단파(microwave)를 이용한 흰개미 탐지기술 적용연구, 보존과학회지, 26(1), 77~83.
  - 오준석, 최정은, 이장목, 2012, 저산소 농도 살충 챔버 시스템 시제작 및 박물관 해충 살충 성능 평가, 보존과학회지, 28(4), 377~385.
  - 윤민철, 정용재, 강대일, 김익주, 김광훈, 이윤종, 이주운, 최종일, 2011, 목재 유물 돈개의 미생물 제어를 위한 몬테카를로 방법을 이용한 감마선 조사 연구, 보존과학회지, 27(2), 127~134.
  - 윤민철, 박병수, 김익주, 최종일, 2012, 감마선 조사에 의한 목재성질 변화에 관한 연구, 목재공학, 40(4), 229~236.
  - 이규식, 정소영, 정용재, 2001, 목조건축물의 흰개미 모니터링 및 방제방법, 보존과학연구, 제22집, 41~52.
  - 이규식, 정소영, 2004, 목조문화재의 보존을 위한 한국산 흰개미의 생태적 특성 연구, 문화재, 제37호, 327~348.
  - 정소영, 2010, 탐지견을 활용한 목조건축물의 흰개미피해 조사 연구, 보존과학연구, 제31집, 122~130.
  - 정용재, 2013, 문화재생물학, 주류성, 28~61.
  - 한성희, 이규식, 정용재, 1998, 한국 서식 흰개미의 특성과 방제, 보존과학연구, 제19집, 145~172.
  - 大村和香子, 2010, 日本に侵入するシロアリ, 森林防疫, 59(1), 15~21.
  - 獨立行政法人東京文化財研究所, 2001, 文化財害蟲事典, クバプロ, 34~44.
  - 木川りか, 三浦定俊, 山野勝次, 2000, 文化財の生物被害対策の現状 - 臭化メチル燻蒸の代替對應策について -, 文化財保存修復學會誌, 44, 52~69.
  - 木川りか, 宮澤淑子, 山野勝次, 三浦定俊, 後出秀聰, 木村廣, 富田文四郎, 2001, 低酸素濃度および二酸化炭素による殺蟲法 - 日本文化財害蟲についての實用的處理條件の策定 -, 文化財保存修復學會誌, 45, 73~86.
  - (社)文化財害蟲害研究所, 2003, 文化財の害蟲.
  - (社)日本しろあり對策協會, 2010, しろあり防除施工における安全管理基準.
  - (社)日本しろあり對策協會, 2012, 防除施工標準仕様書.
  - 山野勝次, 2010, 昆虫學講座 第3回: シロアリ目, 文化財の虫菌害, No. 60, 19~26.
  - 藤井義久, 2001, アコースティック・エミッション (AE) によるシロアリ食害の検出 - AE計測による樹木・木材加害昆虫の生態解析の可能性 -, 日本環境動物昆虫學會誌, 12(1), 21~31.
  - 鳥越俊行, 木川りか, 原田正彦, 小峰幸夫, 今津節生, 本田光子, 川野邊涉, 2010, X線CTによる被害材の調査と害蟲の活動検出への應用, 保存科學, 49, 191~196.
  - 川越和四, 2011, 建物における有害生物管理について, 文化財の虫菌害, No. 61, 10~17.
  - Collins, M.S., 1969, Water relations in termites, In K. Krishna and F.M. Weesner [eds]. The Biology of Termites, Vol. 1, Academic Press, New York, 433~456.
-