

흰개미 가해 목조건축물의 급속 방제를 위한 분말형 약제(Termite Dust) 평가 기준 연구 Study on the Evaluation Criteria of Termite Dust for Rapid Control of Wooden Structures Damaged by Termites

임익균, 정용재*

한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과

Ik Gyun Im, Yong Jae Chung*

Department of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, Buyeo 33115, Korea

Received May 14, 2019

Revised June 08, 2019

Accepted June 17, 2019

*Corresponding author

E-mail: iamchung@nuch.ac.kr

Phone: +82-41-830-7365

Journal of Conservation Science
2019;35(3):227-235

<https://doi.org/10.12654/JCS.2019.35.3.05>

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.

초 록 국내에서는 목조건축물의 흰개미 방제를 위하여 여러 방제 방안이 적용되고 있다. 하지만 목부재를 내부를 가해하고 있는 개체에 빠르게 독성 물질을 접촉시킬 방법이 없어 방제 기간 장기화에 따른 목조건축물의 손상을 지켜볼 수밖에 없는 실정이다. 이에 목부재에 직접적인 천공을 실시하여 내부 개체에 직접적으로 독성물질을 접촉·전이시켜 빠른 방제 효과를 일으키는 분말형 약제의 국내 도입을 위한 실내 평가 기준 연구를 수행하였다. 먼저 국내 서식 흰개미에 대한 방의 효력의 평가 기준 설정을 위하여 접촉 독성, 전이력 평가를 실시하였다. 접촉 독성 평가 결과 3종의 약제 모두 접촉 후 24시간 이내 100% 사멸이 확인되었으나, 아치사 단계로의 전이 시간에는 차이가 발생하였다. 또한 전이력 평가 결과, 1:9, 1:25 비율 조건에서는 사멸율이 점차 감소하였으나, 약제의 종류에 따라 감소율의 차이가 확인되었다. 이와 더불어 약제 분사 시 목부재 천공의 압축강도 변화 평가를 실시한 결과, 대조군 및 1~3회 천공 조건 간 측정값의 차이가 5% 이내로 나타나 목재의 압축 강도에는 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 분말형 약제의 선정 기준 및 평가 방안과 처리법의 안정성을 평가하여 향후 국내 목조건축물의 흰개미 급속 방제를 위한 해당 방안의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

중심어 흰개미, 흰개미 방제, Termite dust, 분말형 방제제, 목조건축물

ABSTRACT In Korea, various methods are applied to prevent wooden structures from being damaged by termites. However, since there is no way to quickly bring toxic substances in contact with the termites inside the timber, it leads to the damage of wooden cultural property due to the prolonged period of controlling the termites. Accordingly, an indoor evaluation criteria study was conducted for the introduction of powder-type termiticides in Korea, which produced rapid control effects by drilling wood and directly contacting and transferring toxic substances inside the timber. First, contact toxicity and transfer ability of termite dusts were evaluated to establish the criteria for evaluation of effectiveness against *Reticulitermes speratus*. The contact toxicity confirmed 100% mortality of fipronil, deltamethrin and cyfluthrin termite dusts within 24 h of contact; however, differences occurred in the active ingredient transfer time to the sublethal. In addition, in the case of transfer ability evaluation, the rate of mortality gradually decreased under 1:9 and 1:25 ratio conditions; however, the difference in the reduction rate was identified depending on the type of termite dust. The results of the evaluation of compressive strength of the wood showed that the difference in the measured values between the control group and the conditions of perforation 1 to 3 times, which does not significantly affect the compressive strength of wood. In this study, the criteria of termite dust selection and evaluation method of dust-type termiticides were presented and the applicability of the method was identified.

Key Words Termites, Termite control, Termite dust, Dust type termiticide, Wooden structure

1. 서론

국내 국가지정문화재 중 목조문화재는 2018년 기준 국보 33건, 보물 281건, 민속문화재 189건, 사적 42건, 등록문화재 170건으로 총 715건이 지정되어 있으며, 이는 국가지정, 등록문화재 전체 4,641건 중 약 15.4%에 해당하는 수치이다(Cultural Heritage Administration, 2019). 이러한 목조문화재는 오랜 시간 외부의 환경적인 요인들에 노출되면서 수명이 단축되고 훼손이 일어나게 된다. 또한 유기물인 목재의 특성 상 다양한 생물학적 피해가 일어나게 되며 그 중 충해는 곤충에 의하여 문화재 자체 재질이 곤충 생장 및 번식에 영양분으로 쓰여 훼손되는 것을 말한다. 일반적으로 재질이 목재 및 지류, 섬유질인 문화재를 가해하는 곤충은 흰개미목(isoptera), 딱정벌레목(coleoptera), 좀목(thysanura), 바퀴벌레목(blattaria), 벌목(hymenoptera), 다듬이벌레목(psocoptera) 등 6목이 존재하고 흰개미목과 딱정벌레목에 의한 가해도는 매우 큰 편이다(Han *et al.*, 1998).

국보, 보물, 국가민속문화재를 대상으로 실시된 2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과, 국내 주요 목조문화재 116건 중 피해가 없는 것으로 확인된 2건을 제외한 114건의 대상지에서 목조 건축물의 전부 혹은 부분적인 흰개미 피해가 확인되었다(Cultural Heritage Administration, 2016). 이에 따라 목조문화재의 상당수에서 흰개미 피해가 이미 진행되었거나 진행 중인 것으로 나타났다. 이렇게 목조건축물이 지중흰개미에 의한 손상을 받았을 경우, 건물의 외관상 특이한 변화를 발견할 수 없지만 목부재의 내부는 속이 비는 공동화 현상이 일어나 건물의 하중을 주요 목부재가 견디지 못하고 붕괴되는 최악의 경우가 발생할 수 있다(Han *et al.*, 1998).

따라서 국내에서는 지중흰개미 방제를 위하여 훈증처리(fumigation), 방충방부처리(wood preservative), 토양처리(liquid soil treatment), 군체제거(colony elimination)와 같은 흰개미 방제 방안이 현장에 적용되고 있다. 하지만 훈증처리의 경우, 처리된 목조건축물에서 약제가 휘발되면 흰개미가 재침입하는 단점이 있다(Lee *et al.*, 2001). 토양처리의 경우에는 지중 흰개미 군체의 탐색 영역(foraging range)이 넓어짐에 따라 지중흰개미 방제에 큰 영향을 주지 못한다(Su and Scheffrahn, 1988). 또한 시간이 지남에 따라 탐색개체(forager)와 생식 계급의 개체 수가 계속해서 증가하여 주변 지역에 퍼져 간다(Su, 2005). 군체제거의 경우, 흰개미의 생태적 특징인 영양교환(trophallaxis)에서 착안한 방제 방안으로 군체 전체에 약제의 유효성분 전달을 통한 군체제거가 가능하지만, 6개월 이상의 상대적으로 긴 처리기간이 소요된다(Cultural Heritage Administration, 2013).

이에 따라 목부재 내부를 가해하는 흰개미의 급속 방제를 위한 대체 방제 방안으로 국외에서는 분말 상 약제인 termite dust(이하 분말형 약제)가 1930년대 이전부터 연구되어 왔다(Grace and Abdallay, 1990; Grace, 1991; Madden, 1999; Madden *et al.*, 2000; Gautam and Henderson, 2011, 2012). 유기 살충제(organic insecticide)와 훈증 소독을 이용한 흰개미 방제 방안이 개발되지 않은 1940년대 이전에는 무기질 분말 살충제(inorganic insecticidal dust)가 습제흰개미(Kalotermitidae)와 지중에서 서식하며 군체를 형성하는 흰개미(Rhinotermitidae, Termitidae)의 방제에 일반적으로 사용되었다(Kofoid and Termite investigations committee, 1934). 이후 1940년대부터는 유기 염소계 토양처리제가 도입되었고 해당 살충 물질들은 1980년대 후반 미국환경보전국(Environmental Protection Agency, EPA)에 의해 해당 물질들이 미치는 부정적인 영향이 발표되기 전까지 전 세계에서 지배적으로 흰개미 방제에 사용되었다(Gautam *et al.*, 2012). 이후 유기 염소계 토양처리제의 사용이 감소함에 따라 1990년대에는 DOT(disodium octaborate tetrahydrate), 붕산아연(zinc borate), 붕산(boric acid) 등의 분말형 약제를 대만흰개미(*C. formosanus* Shiraki), 미국동부지중흰개미(*R. flavipes*)와 같은 지중흰개미 방제에 적용하였다(Grace and Abdallay, 1990; Grace, 1991). 이와 더불어 비소 및 곤충의 키틴 합성을 억제하여 탈피를 막아 흰개미에게 사멸을 일으키는 BPU(benzoyl phenylurea)계 약제 분말을 이용한 흰개미 방제도 활발히 연구되었다(Madden, 1999; 2001; Madden *et al.*, 2000). 이후 2010년대에는 비기피성 약제에 대한 활용도가 높아지며 phenylpyrazole계 살충 물질인 fipronil을 유효성분으로 한 분말형 약제의 농도별 지중흰개미 방제 연구가 진행되었다(Gautam *et al.*, 2012; Gautam *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2016).

해당 방제 방안은 목재의 크기별로 1 mm~13 mm 정도의 천공 후, 내부로 약제를 분사하여 살충 물질에 노출된 개체를 사멸에 이르게 한다. 이러한 분말형 약제는 흰개미가 목재 내부에 섭식을 통해 만들어 놓은 통로만을 이용하여 움직이기 때문에 이동이 제한적이라는 생태적 특성을 이용한 방제 방안이다. 살포 후에 개체들의 이동을 통해 분말화된 살충 물질이 일부 개체들의 표피에 부착되고 군체 개체 간 그루밍(grooming)과 영양교환을 통해 다른 개체들에게 퍼져 목부재 내 흰개미 개체 수를 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

이에 본 연구에서는 목조건축물의 목부재 내부에 서식하는 흰개미의 급속 방제를 위한 분말형 약제를 국내 목조건축물 흰개미 방제 방안으로 도입하고자 접촉 독성, 전이력 등의 평가를 실시하여 실제 현장 적용 전 약제의 1차적

인 실내 방의 효력 평가 기준을 제안하였다. 또한 약제 살포를 위해서는 천공이 필수적이기 때문에 약 3 mm 천공에 따른 목재 강도의 변화 유무를 평가하기 위해 압축 강도 평가를 실시하여 천공 후 목부재의 재질 안정성을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

2.1.1. 공시충

공시충은 충남 부여군 소재 3곳(호암리, 합정리, 진변리)의 야산에서 2018년 5월~9월까지 흰개미 가해목을 채집하여 사용하였다. 채집한 흰개미 가해목을 실험실로 옮긴 뒤, 플라스틱 용기에 흙을 깔고 그 위에 가해목을 담아 일정 기간마다 증류수를 분무하고 온도 24±3℃, 상대습도 80±10%의 암실 조건에서 배양하였다. 또한 실험에 사용할 때에는 가해목을 분해하여 3명 이상의 일개미를 사용하였다.

2.1.2. 공시 약제

현재 국외 전자상거래 사이트에서 흰개미 전용으로 판매되고 있는 분말형 방제 제품 중 다양한 선행 연구를 통해 해외 서식 지중흰개미에 대한 방의 효력 및 군체 제거력이 확인된 살충물질을 유효성분으로 하는 제품들을 1차적으로 선정하였다(Gautam *et al.*, 2012; Gautam *et al.*, 2014; Todd, 2014; Singh *et al.*, 2016).

조사 결과, Phenylpirazole계 살충 물질인 Fipronil(C₁₂H₄Cl₂F₆N₄OS₂)을 유효성분으로 하는 제품 1종(이하 피프로닐 분말 약제)과 Pyrethroid계 살충 물질인 Cyfluthrin(C₂₂H₁₈Cl₂FNO₃)과 Deltamethrin(C₂₂H₁₉Br₂NO₃)을 각각 유효성분으로 하는 제품 2종(이하, 싸이플루스린, 델타메스린 분말 약제)을 선정하여 총 3종의 분말형 약제를 대상으로 실험을 실시하였다.

2.1.3. 압축강도 측정용 시편

소나무 육송(*Pinus densiflora*) 시편(가로 30 mm, 세로 30 mm, 높이 105 mm)을 제작하였다. 제작된 시료를 최대한 균질한 조건으로 맞추기 위하여 수(목재 중심부)로부터 10 겹 이후부터 시료로 사용하였다. 또한 각 시료의 연륜폭을 0.3 mm~0.5 mm 이내의 것으로 2차적으로 선별하였고 흰개미 가해에 의한 목리 방향 천공을 인위적으로 만들어 주기 위하여 목리방향으로 정중앙 1곳, 각 모서리 1곳 총 5곳에 직경 5 mm 천공을 실시하였다. 또한 약제 분무를 위한 천공 횟수별 압축강도의 변화 양상을 확인하기 위하여 목리와 직각 방향에 직경 2 mm 크기로 0~3회의 천공을 실시하였다. 중량 감소율을 초기 중량에서 모두 약 10% 줄여 사용하였다(Figure 1). 이후 열풍건조기에서 80℃ 조건으로 함수율이 6±1% 조건이 될 때까지 건조 처리하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 접촉 독성

약제를 목부재 내부로 분사하여 가해 중인 흰개미의 표피에 직접 묻히거나 통로에 묻혀 이동 중 표피에 묻히는 방식인 해당 방제 방안의 특성 상 약제 종류별 접촉에 따른 공시충의 사멸 양상을 확인하였다. 원형 플라스틱 페트리디쉬(직경 90 mm, 높이 15 mm) 바닥에 분말형 약제를 종류별로 약 15 mg씩 넣은 뒤, 뚜껑을 닫고 흔들어 페트리디쉬 바닥면에 골고루 약제가 퍼지도록 한다. 공시충 50두를 넣고 1분 동안 페트리디쉬 내부 공간을 자유롭게 활동하도록 한다(Figure 2). 1분 경과 후, 활성이 가장 좋은 공시충 5두를 선정하여 바닥면을 치과용 석고(New Hi Stone, Yoshino, JPN) 25 g과 증류수 6 ml로 혼합한 석고액으로 바닥면을 만들어 지속적인 습도가 유지되는 원통형 아크릴 용기(직경 80 mm, 높이 60 mm, 두께 6 mm)에 1두씩 투입한다. 투입 후, 아치사(sublethal) 및 사멸 양상을 1, 2, 6, 12, 24, 36, 48시간 간격으로 육안관찰 및 사진 촬영을 통해 확인하였다. 실험은 5배수씩 3회 반복 실시하였다.

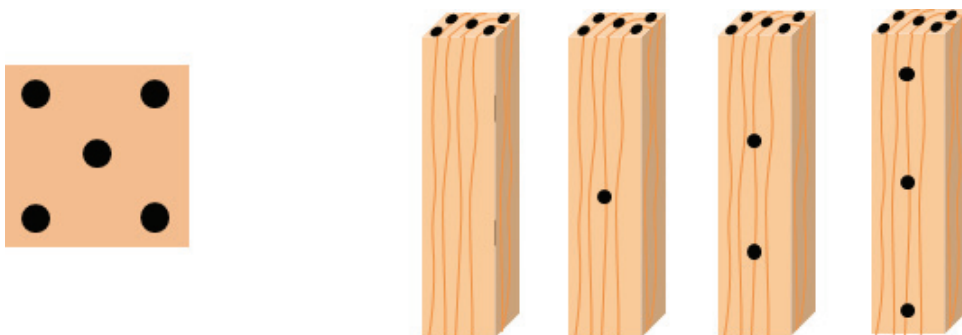


Figure 1. Sample form for compressive strength evaluation. (Left) Floor plan, (Right) Shape by number of drilling conditions.

2.2.2. 전이력 평가

약제 종류별 처리 후, 약제 처리 개체(doner)로부터 무처리 개체(recipient)에게로 전이되는 전이 효율을 확인하기 위하여 전이력 평가를 실시하였다. 약제 종류별로 페트리 디쉬(직경 90 mm, 높이 15 mm)에 약 15 mg의 약제를 도포하고 뚜껑을 덮은 후 흔들어 약제가 고르게 퍼질 수 있도록 한다. 이후 공시충 100두를 넣고 1분 동안 자유롭게 이동할 수 있도록 한다(Figure 2). 처리 개체와의 원활한 구분을 위하여 0.1% Nile Blue A 염색약을 첨가한 페이퍼디스크(직경 10 mm, 두께 8 mm, ADVANTEC, JPN)를 7일간 무처리 개체에게 섭취시켜 염색시킨다. 약제 처리 개체와 무처리 개체의 비율을 1:1, 1:4, 1:9, 1:25로 설정하고 비율 조건에 따라 바닥을 치과용 석고로 만든 습기 유지 원통형 쪼렘에 투입시킨다(Figure 3). 초기 24시간은 12시간 간격, 이후 24시간 간격으로 7일간 관찰하였고, 5배수씩 3회 반복 실시하였다.

2.2.3. 압축 강도 평가

분말형 약제 살포를 위한 목재 천공에 따른 목재의 강도 저하 유무를 확인하기 위하여 압축강도 평가를 실시하였

다. KS규격(KS F 2206 목재의 압축 시험 방법)을 참고하여 실시하였다. 시편의 10 mm 높이를 시작 지점으로 30 mm 높이를 간격으로 직경 약 3 mm의 구멍을 천공하였으며 천공 횟수 조건에 따라 1~3회까지 실시하였다(Figure 1). 이후 선별 및 전처리가 끝난 시료를 대상으로 만능 재료 시험기(AGS-50kNXD, SHIMADZU, JPN)를 사용하여 조건별 10배수씩 압축 강도 시험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 접촉 독성

접촉 독성 평가 결과, 3종의 약제 모두 노출 6시간 이후부터 사멸하는 개체가 확인되었으며, 12시간까지 사멸하는 개체의 증가폭이 가장 크게 나타났다. 또한 24시간 이후에는 모든 공시충이 100% 사멸하는 것이 확인되었다(Figure 4). 하지만 약제별 유효성분의 차이에 따라 공시충이 아치사 단계에 접어드는 시간에 차이가 나타나는 것이 확인되었다. 싸이플루스린과 델타메스린의 경우, 파란 영역과 같이 약제 노출 1시간 이내에 모든 공시충이 아치사 단계에 접어든 뒤, 6시간 이후부터 24시간까지 아치사 단계에 빠진 개체들이 시간이 지남에 따라 사멸하여 사멸율이 증가하는 경향이 확인되었다. 피프로닐의 경우, 빨간 영역과 같이 노출 2시간 이후부터 아치사 단계에 접어드는 개체가 발견되기 시작하여 6시간 이후에 최대치를 보였고 노출 12시간, 24시간까지 개체의 사멸에 따른 사멸율 증가가 확인되었다(Figure 5).

이는 3종의 분말형 약제를 대상으로 대만흰개미(*Coptotermes formosanus* Shiraki)와 빈대(*Cimex lectularius*)에게 적용하여 24시간 이내 100% 사멸하는 양상을 확인한 선행 연구들과 유사한 결과로(Su and Scheffrahn, 1990; Gautam et al., 2012; Todd, 2014; Singh et al., 2016) 해당 약제들 모두 국내 서식 지중흰개미에게 접촉 독성을 확인할 수 있었다. 그러나 피프로닐은 싸이플루스린과 델타메스린과 달리

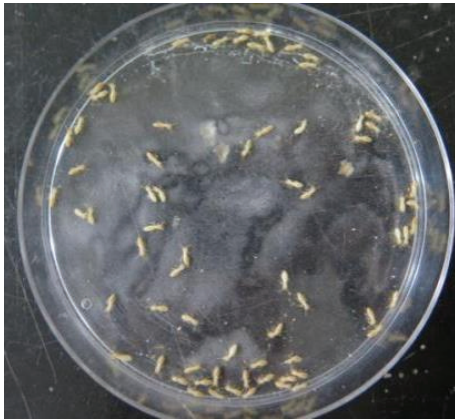


Figure 2. Test method for contact toxicity of termite dust.

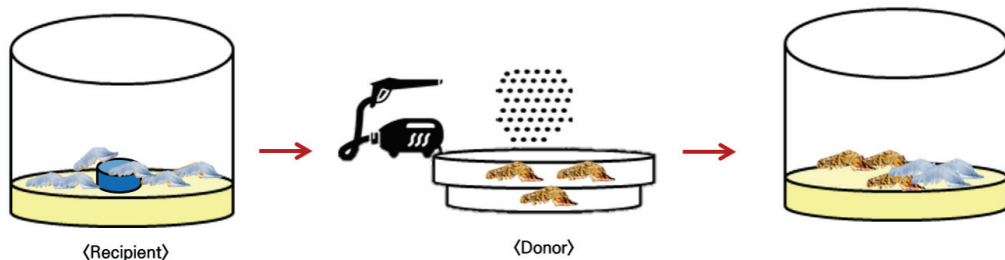


Figure 3. Test method for 1st transfer efficiency of termite dust.

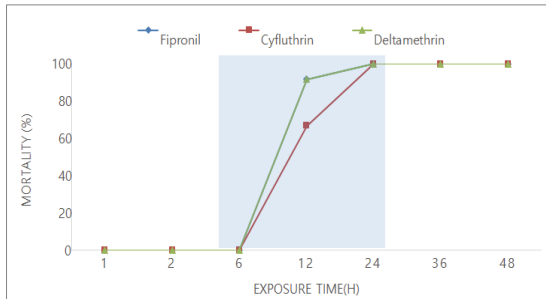


Figure 4. Mortality of termites as exposure time pass.

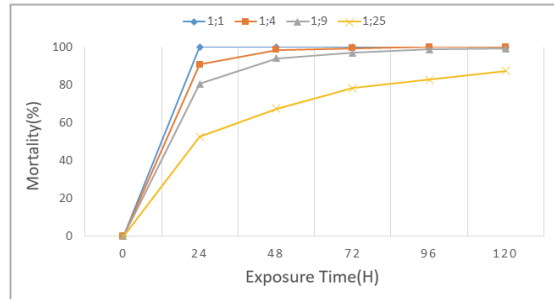


Figure 6. Mortality of fipronil by ratio as exposure time.

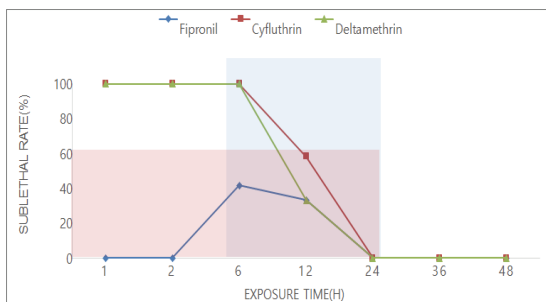


Figure 5. Sublethal rate of termites as exposure time pass.

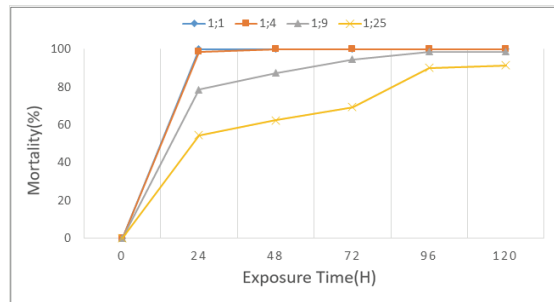


Figure 7. Mortality of cyfluthrin by ratio as exposure time.

아치사 단계로 접어드는 시간의 차이가 확인되었다. 이것은 피프로닐이 중추신경계에 경련을 일으키는 살충 기작으로 살충 효과가 느리게 나타내는 지효성 약제이기 때문에(Bagnères *et al.*, 2009) 싸이플루스린, 델타메스린보다 상대적으로 긴 아치사 단계 진입 시간이 소요된 것으로 판단된다.

3.2. 전이력 평가

유효 성분의 종류별 전이에 따른 사멸 양상 평가 결과, 유효 성분 종류별 1:1, 1:4, 1:9, 1:25 모든 비율 조건에서 초기 24시간 이내 가장 높은 사멸율이 확인되었다. 하지만 무처리 개체의 비율이 높아져 약제 처리 개체의 수가 감소함에 따라 초기 24시간 이내 유효 성분 전이에 의한 무처리 개체의 사멸율이 감소하는 양상이 관찰되었다. 피프로닐과 싸이플루스린의 경우 1:25 비율 조건까지 약제 노출 120시간 이내 80% 이상의 사멸율이 확인되었으나, 델타메스린의 경우에는 1:25 비율 조건에서 50% 미만의 사멸 양상이 확인되었다(Figure 6~8).

이는 분말형 약제의 경우 전이력 평가에서 약제 처리 개체의 비율이 감소함에 따라 100% 사멸 시간이 증가한다는 보고와 일치하였다(Gautam *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2016). 또한 델타메스린의 경우, 1:25 조건에서 약제 노출 120시간

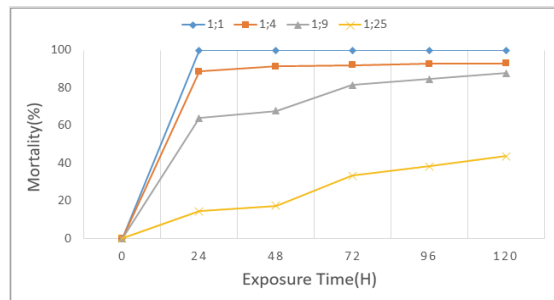


Figure 8. Mortality of deltamethrin by ratio as exposure time.

까지 50% 이하의 사멸율이 확인되었다. 이러한 결과는 약제 처리 개체의 수가 감소함에 따른 노출 약제량과 기피 양상에 따른 접촉 빈도의 감소 때문인 것으로 판단된다.

3.3. 압축강도 평가

약제 살포를 위한 목재 천공이 강도에 미치는 영향을 파악하기 위한 압축강도 평가 결과, 0회(대조군) 422.38±18.71 kgf/cm², 1회 425.32±12.83 kgf/cm², 2회 437.08±21.95 kgf/cm², 3회 444.92±26.06 kgf/cm²로 측정되었다. 0회와 가장 측정값이 높은 3회 천공 조건 사이의 강도 차이가 5.07%로 확인되었다(Table 1, Figure 9).

Table 1. Compressive strength by number of penetration conditions

Number of perforations	0	1	2	3
Average (kgf/cm ²)	422.38	425.32	437.08	444.92
Standard deviation (kgf/cm ²)	18.718	12.838	21.952	26.068

이는 선행연구에서 보고된 우리나라 소나무의 정상재 종압축강도 430 kgf/cm², 392 kgf/cm²와 유사한 값이 측정되어(Nakai and Yamai, 1982; Forestry Research Institute, 1994), 본 압축강도에 사용된 시편은 국내 소나무 로 정상재 시편으로 판단된다.

0회 천공조건부터 3회 천공 조건까지 압축 강도값이 서서히 증가하는 경향이 확인되었으나 0회에서 3회 조건까지 평균 측정값의 차이가 5.07%로 10% 미만의 강도 차이를 보였다. 이는 조건별 압축강도 차이를 비교한 여러 선행 연구 결과에서 조건별 약 10% 정도의 압축 강도 차이에도 압축 강도에는 큰 차이가 없음이 확인된 바(Byun *et al.*, 2008a; 2008b; Yoon *et al.*, 2009), 본 압축 강도 시험의 경향은 천공에 의한 것이 아닌 목재 시편 자체의 강도 차이로 판단된다.

3.4. 분말형 약제 선정 기준

분말형 약제의 국내 적용을 위한 약제 선정 평가 방안 및 기준을 관련 국외 선행 연구들의 평가 조건들을 조사하여 제시하였다(Grace and Abdallay, 1990; Grace, 1991; Madden *et al.*, 2000; Madden, 2001; Green *et al.*, 2008; Gautam *et al.*, 2012; Gautam *et al.*, 2014; Todd, 2014; Li *et al.*, 2016; Singh *et al.*, 2016). 접촉 독성 평가는 접촉 후, 공시층의 90% 사멸이 48시간 이내에 나타남과 동시에 2시간 이상 24시간 이내에 90% 아치사가 나타나는지 여부를 나눠 평가하도록 하였다. 이를 통해 약제 접촉 후 일정 시간 동안 약제를 타 개체에 전달할 시간을 확보할 수 있을 것으로 사료된다. 전이력 평가의 경우, 처리 개체와 무처리 개체의 비율을 1:1에서 최대 1:25까지 차이를 두고 120시간 동안의 사멸율을 관찰하도록 하였다. 해당 평가 기준에 따라 각 약제의 비율별 전이 효율을 실내에서 확인하여 대략적인 적정 약제 도포량 및 횟수를 산출할 수 있을 것으로 판단된다.

위의 방의력 평가 기준에 따라 3종의 분말형 약제를 평가한 결과, 피레스로이드계 약제 2종은 접촉 독성이 강해 아치사 단계로 접어드는 시간이 2시간 이내로 매우 짧고 델타메스린의 경우 1:25전이 비율 조건에서 50% 미만의 사멸율을 보여 기준치보다 낮은 사멸율이 나타났다. 하지만 피프로닐의 경우, 접촉 독성, 전이력의 기준치에 부합되는 결과가 확인되었다(Table 2).

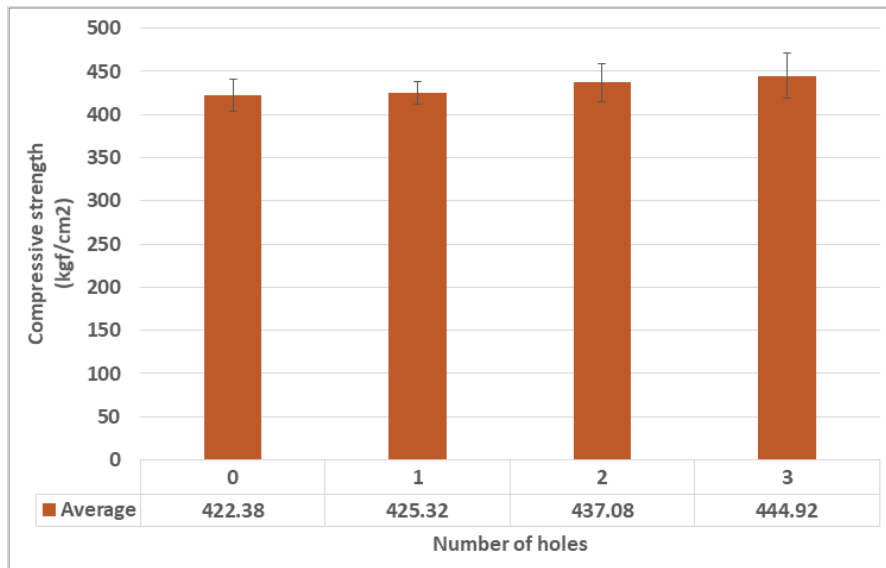


Figure 9. Compressive strength by number of penetration conditions.

Table 2. Termite dust selection criteria table by evaluation method

		Fipronil	Cyfluthrin	Deltamethrin	Criteria
Contact toxic	LD ₉₀	O	O	O	90% mortality rate within 48h of contact
	SLD ₉₀ (Sublethal)	O	X	X	90% sublethal rate more than 2h and within 24h
Transfer efficiency	1:1	O	O	O	At least 70% of the total mortality rate for 120 hours according to 1:1, 1:4, 1:9, 1:25 ratio
	1:4	O	O	O	
	1:9	O	O	O	
	1:25	O	O	X	

4. 결론

현재 국내에서 흰개미 방제에 적용되고 있는 방제 방안들 중 토양처리, 군체제거 등은 목조건축물 주변에 흰개미의 침입 방지 및 제거를 목적으로 실시되고 있다. 또한 목조건축물 내부에 이미 흰개미가 침입하여 가해 중인 경우에는 흰개미를 제거하기 위하여 훈증을 실시하지만, 건물의 크기와 살충 가스의 휘발에 따라 적용에 한계가 존재한다. 따라서 목조건축물 내부 서식 흰개미의 급속 방제 방안으로 훈증보다 상대적으로 손쉽고 효과적으로 실시할 수 있는 방제 방안이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 현재 국외에서 상용화되어 목조건축물 내부의 흰개미 급속 방제에 적용되고 있는 분말형 약제 3종을 대상으로 해당 방제 방안의 국내 도입을 위한 적정 약제의 선정 기준을 제안하였다(Table 2). 이와 더불어 분말형 약제 적용을 위한 약 2 mm~3 mm의 천공이 처리 목부재의 강도에 영향을 줄 것인가에 대한 검증 을 위하여 압축 강도 실험을 실시하였다. 해당 실험에서 사용된 목재 시편(가로 30 mm, 세로 30 mm, 높이 100 mm)이 실제 목조건축물의 기둥과 비교하여 두께 및 길이가 축소된 형태라는 점을 감안할 때, 약제 살포를 위한 직경 3 mm 정도의 천공은 실제 적용될 목재 기둥의 강도에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단되어 적용이 가능할 것으로 판단된다. 이와 더불어 실제 기둥 내부에서 흰개미에 의한 강도 저하가 지속적으로 일어나고 있는 상황에서 방제 처리가 목조문화재의 외부나 표면에만 실시된 채 내부 개체에 이루어지지 않는다면 결국 소중한 목조문화재는 계속해서 훼손되어 갈 것이라고 생각된다. 이에 따라 국소 부위의 천공을 통한 분말형 약제의 처리로 내부 개체의 사멸 및 섭식 억제를 일으켜 보다 효과적인 흰개미 방제가 이루어져야 될 것으로 사료된다.

국내에서 수행된 흰개미 방제 방안별 연구로는 훈증소독법의 경우, 문화재수리표준시방서에 공정별로 세분화되어 기재가 되어 있다(Cultural Heritage Administration, 2014).

또한 대체 훈증가스 훈증처리 매뉴얼을 정립하여 훈증 약제의 종류와 처리 방안에 대한 연구가 진행되었다(National Research Institute of Cultural Heritage, 2009). 토양처리법 관련 연구로는 토양처리제 적용기술 개발(National University of Cultural Heritage Cultural Heritage Prevention and Preservation Laboratory, 2017)이 수행되었으며, 군체제거법은 일본흰개미 아종 모니터링 및 군체제거를 위한 예찰제거기 개발 연구가 수행되었다(National University of Cultural Heritage Cultural Heritage Prevention and Preservation Laboratory, 2013). 그러나 분말형 약제의 경우에는 국내 서식 흰개미에 대한 방의 효력과 적용 방안에 대한 국내 선행 연구 및 평가기준이 전무한 실정이다. 국외의 경우 호주와 일본에서는 AS 3660.1, AS 3660.2, AS 3660.3과 JWPAS-TS(1) 등의 흰개미 방제별 표준 시험법이 정립되어 있어 흰개미 방제 방안에 대한 검증 방안 및 처리 방법이 기재되어 있다. 하지만 해당 표준 시험법들은 각 나라별 목조건축물의 구조와 환경에 특화된 표준시험법으로 국내 상황에 맞춘 방제 방안별 표준시험법 정립이 요구된다.

따라서 기존 국외 선행 연구들에서 수행되었던 접촉 독성, 전이력 등의 평가 방법들을 국내 서식 흰개미에 적용하고 처리 공정에 대한 적용 가능성을 확인하여 국내 목조건축물의 분말형 약제 도입을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 향후 연구에서는 약제 선정 평가 과정에서 약제의 유효성분에 대한 처리 목재의 이화학적 안정성 평가 방안에 대한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Bagnères, A.G., Pichon, A., Hope, J., Davis, R.W. and Clément, J.L., 2009, Contact versus feeding intoxication by fipronil in *Reticulitermes* termite (Isoptera: Rhinotermitidae): Laboratory evaluation of toxicity, uptake, clearance and transfer among individuals. *Journal of Economic Entomology*, 102(1), 347-356.

- Byun, H.S., Park, J.H., Park, H.M., Park, B.S. and Jung, S.H., 2008a, Performance and hardness of compressive strength of heat-treated wood. The Korean Wood Science and Technology, Jinju, April 17-18, 169-170. (in Korean)
- Byun, H.S., Park, J.H., Yoon, S.R., Park, H.M. and Kim, J.G., 2008b, Compressive strength performance of damaged pine wilt disease. The Korean Wood Science and Technology, Jinju, April 17-18, 143-144. (in Korean)
- Cultural Heritage Administration, 2013, Manual for biological damage management of cultural properties. (in Korean)
- Cultural Heritage Administration, 2014, Standard specification for repair of cultural properties. (in Korean)
- Cultural Heritage Administration, 2016, A report on the survey of species affected by wooden cultural heritage. (in Korean)
- Cultural Heritage Administration, 2019, A statistical heritage 2019. (in Korean)
- Forestry Research Institute, 1994, The properties and use of major wood in Korea. Research data from the Forestry Research Institute, 95, 120-141. (in Korean)
- Gautam, B.K. and Henderson, G., 2011, Effect of soil type and exposure duration on mortality and transfer of chlorantraniliprole and fipronil on Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). Journal of Economic Entomology, 104(6), 2025-2030.
- Gautam, B.K., Henderson, G. and Davis, R.W., 2012, Toxicity and horizontal transfer of 0.5% fipronil dust against Formosan subterranean termites. Journal of Economic Entomology, 105(5), 1766-1772.
- Gautam, B.K., Henderson, G. and Wang, C., 2014, Localized treatments using commercial dust and liquid formulations of fipronil against *Coptotermes formosanus*(Isoptera: Rhinotermitidae) in the laboratory. Insect Science, 21(2), 174-180.
- Grace, J.K. and Abdallay, A., 1990, Termiticidal activity of boron dusts(Isoptera, Rhinotermitidae). Journal of Applied Entomology, 109, 283-288.
- Grace, J.K., 1991, Response of eastern and Formosan subterranean termites to borate dust and soil treatments. Journal of Economic Entomology, 84(6), 1753-1757.
- Green, F., Arango, R.A. and Esenther, G.R., 2008, Transfer of termiticidal dust compounds and their effects on symbiotic protozoa of *Reticulitermes flavipes*(Kollar). International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 08-10661, 1-9.
- Lee, K.S., Jeong, S.Y. and Chung, Y.J., 2001, Termite monitoring and control managements for wooden building. Conservation Studies, 22, 41-52. (in Korean with English abstract)
- Li, Q., Zhu, Q., Fu, S., Zhang, D., Huang, H. and Yuan, J., 2016, Efficacy of 1% fipronil dust of activated carbon against subterranean termite *Coptotermes formosanus* Shiraki in laboratory conditions. Sociobiology, 63(4), 1046-1050.
- Madden, W.R., 1999, Efficacy of triflumuron dust for eradication of subterranean termite(Isoptera, Rhinotermitidae) colonies. International Conference on Urban Pests, Prague, 391-398.
- Madden W., Hadlington, P. and Hill, M., 2000, Efficacy of triflumuron dust against *Schedorhinotermes intermedius* (Isoptera: Rhinotermitidae). International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 00-30226.
- Madden, W., 2001, Intrigue dust -A new method of eradicating subterranean termite(Isoptera: Rhinotermitidae) colonies. International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 01-10396.
- Nakai, T. and Yamai, R., 1982, Properties of the important Japanese woods. The mechanical properties of 35 important Japanese woods, Bull Forestry and Forest Products Res Inst, 319, 13-46. (in Japanese)
- National Research Institute of Cultural Heritage, 2009, Development of application technology for soil treatment. (in Korean)
- National University of Cultural Heritage Cultural Heritage Prevention and Preservation Laboratory, 2017, Development of application technology for soil treatment. (in Korean)
- National University of Cultural Heritage Cultural Heritage Prevention and Preservation Laboratory, 2013, Applicability study on *Reticulitermes speratus kyushuensis*(Isoptera: Rhinotermitidae) colony eliminator to preserve wooden cultural heritage. (in Korean)
- Kofoed, C.A. and Termite investigations committee, 1934, Termites and termite control. University of California Press, Berkeley.
- Singh, N., Wang, C., Wang, D., Cooper, R. and Zha, C., 2016, Comparative efficacy of selected dust insecticides for controlling *Cimex lectularius*(Hemiptera: Cimicidae). Journal of Economic Entomology, 109(4), 1819-1845.
- Standards Australia, 2000, AS 3660.2 : Termite management Part 2: In and around existing buildings and structures guidelines.
- Standards Australia, 2014, AS 3660.1 : Termite management Part 1: New building work.
- Standards Australia, 2014, AS 3660.3 : Termite management Part 3: Assessment criteria for termite management systems.
- Su, N.Y. and Scheffrahn, R.H., 1988, Foraging population and territory of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in an urban environment. Sociobiology, 14(2), 353-359.

- Su, N.Y. and Scheffrahn, R.H., 1990, Comparison of eleven soil termiticides against the Formosan subterranean termite and eastern subterranean termite(Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 83(5), 1918-1924.
- Su, N.Y., 2005, Response of the Formosan subterranean termites(Isoptera: Rhinotermitidae) to baits or nonrepellent termiticides in extended foraging arenas. *Journal of Economic Entomology*, 98(6), 2143-2152.
- Todd, R.G., 2014, Efficacy of bed bug control products in lab bioassays: Do they make it past the starting gate?. *American Entomologist*, 52(2), 113-116.
- Yoon, S.R., Park, J.H., Park, H.M., Kim, J.G. and Byeon H.S., 2009, The nematode density and compressive strength property of pine wilt disease damaged trees by soaking and fumigating treatment 1. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 37(3), 200-207. (in Korean with English abstract)
- Han, S.H., Lee, K.S. and Chung, Y.J., 1998, Characteristic of termite inhabits in South Korea and the control. *Conservation Studies*, 19, 133-158. (in Korean with English abstract)

