

Metofluthrin계 방의제의 전통 목조건축물 적용 평가

Evaluation of Applicability to Metofluthrin-based Termiticide for the Traditional Wooden Buildings

윤새민¹, 박용건¹, 정진영², 황원중^{1*}

¹국립산림과학원 임산자원이용연구부 목재공학연구과, ²주식회사 팜클

Sae-Min Yoon¹, Yonggun Park¹, Jinyoung Chung², Wonjoung Hwang^{1*}

¹Wood Engineering Division, Forest Products and Industry Department, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

²R&D Center, Pharmcle Company Limited, Seoul 06325, Korea

Received August 31, 2021
Revised November 2, 2021
Accepted November 8, 2021

*Corresponding author

E-mail: wonjoung@korea.kr
Phone: +82-2-961-2734

Journal of Conservation Science
2021;37(6):679-688

<https://doi.org/10.12654/JCS.2021.37.6.07>

pISSN: 1225-5459, eISSN: 2287-9781

© The Korean Society of
Conservation Science for Cultural
Heritage

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 본 연구에서는 전통 목조건축물 적용을 위하여 살충제 주성분으로 사용되는 metofluthrin을 주성분으로 한 약제의 방의효력 및 단청 영향 평가를 실시하였다. 약제의 흰개미 사충효력을 평가하기 위하여 다양한 농도로 희석한 약제에 흰개미를 7일간 노출하였다. 그 결과, 약제 희석 정도에 따라 차이는 있었으나, 약제의 사충효력이 있는 것으로 나타났다. 다음으로 전통 목조건축물에 사용되고 있는 단청에 미치는 영향을 평가하기 위하여 약제 도포 횟수에 따른 단청의 재색 변화를 측정하였다. 그 결과, 희석 배율에 따른 차이는 있었으나 2 종류의 안료(분, 주홍)에서만 색차 값이 3.0 이상으로 측정되었다. 즉, 대부분의 안료가 단청 재색에 영향이 적은 것으로 나타났다. 마지막으로 목재 적용 시 약제의 흰개미 방의효력을 평가하였다. 그 결과, 10배와 20배 희석액을 도포한 시험편은 각각 2.83%, 6.28%로 낮은 질량감소율을 보였으며, 10배 희석액은 3% 미만의 질량감소율로 방의제 성능 기준을 충족하였다. 결과적으로, 본 실험에서 사용된 metofluthrin계 약제는 다양한 단청안료에 미치는 영향이 적을 뿐만 아니라 국내 전역에 분포하고 있는 *Reticulitermes speratus*에 방의효력을 갖기 때문에 국내 전통 목조건축물의 보존에 유용할 것으로 생각된다.

중심어 방의효력, 일본흰개미(*Reticulitermes speratus*), 단청, 메토플루트린(metofluthrin)

ABSTRACT In this study, we investigated the applicability of a termiticide based on metofluthrin for termite control on traditional wooden buildings. To evaluate their mortality, termites were exposed to the agent, diluted to various concentrations, for seven days; it was found that it had a sufficient insecticidal effect although there was a difference depending on the degree of agent dilution. Next, the effect on Dancheong, used in traditional wooden structures, was measured based on the color change according to the number of agent treatments. The results showed that only the color difference value of two pigments (i.e., Bun and Juhong) was measured as 3.0 or higher. However, there this varied according to the dilution ratio. Thus, it was found that most pigments had little effect on the color of Dancheong. Finally, the termiticidal efficacy of the agent when applied to wood was evaluated. We found that the specimens coated with 10-fold and 20-fold dilutions exhibited 2.83 and 6.28% mass loss, respectively. The 10-fold dilution satisfied the performance of termiticide as a mass loss of less than 3%. In conclusion, the metofluthrin-based agent used in this study has little effect on various Dancheong pigments and has a termiticidal effect against termites; it is therefore suggested that it may be used in preserving traditional wooden cultural properties in Korea.

Key Words Termiticidal efficacy, Termite(*Reticulitermes speratus*), Dancheong, Metofluthrin

1. 서론

우리나라 전통 건축물은 목재를 주요 재료로 하는 목조건축물이 다수를 차지하고 있다(Lee and Han, 2018). 문화재청의 조사에 따르면 우리나라 국가 및 시도지정문화재의 약 25%가 목조건축물로 목재가 차지하는 비중이 높은 편이다(Kim, *et al.*, 2019a). 목조문화재는 오랜 세월 동안 외부 환경에 그대로 노출되어 있어 자외선이나 수분 등의 물리적, 화학적 열화에 의해 손상될 뿐만 아니라, 흰개미와 같은 목재 가해 해충 및 부후균에 의한 생물학적 열화가 발생하기 쉽다(Kim, 2007; Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2019b; Seo *et al.*, 2015; Yoon *et al.*, 2020).

국내에 서식하고 있는 흰개미는 대부분 지중 흰개미의 일종인 *Reticulitermes speratus*로 목조 건축 문화재, 한옥, 목조주택을 중심으로 제주도, 울릉도 등 주요 도서 지역을 포함한 국내 전역에서 다수의 피해가 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2021; Park *et al.*, 2013). 흰개미에 의해 피해를 받은 목구조물은 외관상 잘 관찰되지 않고 목부재의 공동화가 많이 진행된 상태에서 발견되기 때문에 그 피해가 상당히 크다. 최근 국내에서는 기후 변화에 따른 흰개미 개체의 증가로 목구조물에 대한 흰개미 피해가 급증하고 있어 예방적 차원의 흰개미 방제 연구가 반드시 필요하다(NIoFS, 2017).

단청은 과거부터 목조건축물의 보존을 위해 목재에 직접적 처리 방법으로 사용되어왔으나 단청 성분 중 무엇이, 어떻게 목재를 보호하는지에 대해서는 보고된 바 없다(Kim, 2014). 단청에 관한 연구는 Lee *et al.*(2003)이 발표한 단청안료에 대한 방의효력평가가 유일하다. 그 결과, 단청안료마다 흰개미 사충율은 크게 다른 것으로 평가되었으며, 일부 안료의 경우 4주차에 사충율 100%로 보인 반면에 일부 안료의 경우 폭로 초기부터 방의효력이 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 즉, 단청이 흰개미 피해를 줄일 수 있다 하더라도 근본적인 흰개미 방제 방법은 될 수 없다.

현재는 목구조물의 해충 피해 예방 및 방제를 위하여 약제 처리, 토양 처리, 배이트(bait) 공법 등 다양한 처리 방법이 사용되고 있다(NIoFS, 2015). 그중, 약제처리는 목구조물에 대한 흰개미의 공격을 방지하는 주요 방법으로 메틸브로마이드(methylbromide), 염화불화탄소(chlorofluorocarbons) 등이 화학 살충제로 사용되어 온 것으로 알려져 있다. 그러나 이들은 오존층 파괴의 주범으로 현재는 규제에 따라 사용이 금지되었다(Cox *et al.*, 1995; Haverty and Sunden-Bylehn, 2000; Verma *et al.*, 2018; Waston *et al.*, 1992). 또한 화학 살충제의 끊임없는 사용으

로 인체 및 환경유해성 등과 같은 부정적인 인식이 증가함에 따라 흰개미로부터 목재부재를 보호하고, 환경적으로도 부하가 적은 방제 방법 개발에 관한 연구가 필요하다.

Metofluthrin은 다양한 형태의 모기살충제의 살충 주성분으로 사용되고 있으며, 현장 실험에서도 살충 효과가 매우 높은 것으로 보고된 바 있다(Lucas *et al.*, 2007). 기피 성분인 ethyl butylacetylaminopropionate (IR3535)는 여러 유형의 곤충에 효과적인 방충제로서 매우 낮은 독성과 동일한 효능 덕분에 전 세계적으로 30년이 넘게 사용되고 있다(Colombo and Souza, 2021). Metofluthrin과 IR3535는 지금까지 모기살충제와 기피제 등에 전 세계적으로 사용되고 있지만 아직까지 흰개미 방제에 적용하여 그 효능을 보고한 사례는 없다.

따라서 본 연구에서는 환경적으로 부하가 적은 흰개미 방제 약제 개발을 위하여 metofluthrin계 약제를 방의제로서 전통 목조건축물의 적용 가능성을 평가하였다. 이를 위하여, 개발된 약제의 흰개미 사충효력을 평가하였으며, 국내 목조문화재 및 목조건축물 적용에 영향을 줄 수 있는 단청 영향 평가를 실시하였다. 마지막으로 목재에 약제를 도포하여 실제 목재에서의 흰개미 방의효력을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

2.1.1. 흰개미

본 실험에 사용된 흰개미는 경기도 의정부시에 위치한 정문부 장군묘 공원에서 채집한 일본흰개미(*Reticulitermes speratus*)를 사용하였다. 채집된 흰개미는 시험에 사용되기 전까지 온도 25±3℃, 상대습도 80±5% 조건에서 사육하였다.

2.1.2. 공시 약제

본 실험에 사용된 약제는 유화성 약제로 약제의 조성비는 Table 1에 명시하였다. 제조된 약제는 실험 조건에 따라 다양한 농도(10, 20, 30, 40, 50, 60, 100배)로 희석하여 사용하였으며, 희석 용제는 증류수를 사용하였다. 대조군으로는 물과 현재 방부·방충 약제로 문화재 수리 현장에서 도포형 약제로 주로 쓰이고 있는 상용제품(유용성 약제)을 사용하였다.

Table 1. Composition of the agent (Registration No. 10-1748157; Hwang and Chung (2017))

Chemicals	Contents (%)
Metofluthrin	1
Ethyl butylacetylaminopropionate (IR3535)	20
Benzalkonium chloride (CAS: 68424-85-1)	0.8
Amines, C12-16-alkyldimethyl (CAS: 68439-70-3)	< 0.16
2-Methyl-4-isothiazolin-3-one (CAS: 2682-20-4)	0.5
Anionic surfactant	77.5

2.2. 시험 방법

2.2.1. 약제의 흰개미 사충효력 평가

약제의 흰개미 사충효력 평가방법은 현재 표준규격이 존재하지 않아 흰개미 토양관통시험을 인용하여 실시하였다(Figure 1). 실험은 아크릴로 제작한 (가로) 200 mm × (세로) 140 mm × (높이) 50 mm 사육용기에 멸균된 탈지면과 중성지를 사육용기의 양 끝에 각각 2g씩 배치하고, 사육용기 중앙에는 실험군과 대조군의 100 mm × 140 mm 한지를 배치하였다. 실험군은 한지에 20, 40, 60, 100배로 희석한 약제를 각 2g씩 도포한 것을 사용하였고, 대조군은 증류수 2g을 도포한 한지를 사용하였다. 사육용기는 약제 조건별로 5개씩 준비하였다. 각각의 약제가 도포된 한지를 넣은 사육용기에 채집한 흰개미를 155마리 (일개미 150마리, 병정개미 5마리)를 투입한 후, 온도 28±2°C, 상대습도 80±5% 조건에서 7일간 노출하여 흰개미의 활동성을 관찰하였다. 실험 종료 후, Eq. (1)에 따라 흰개미 사충율을 계산하였다.

$$\text{사충율(\%)} = \frac{(\text{투입된 흰개미수} - \text{살아있는 흰개미수})}{\text{투입된 흰개미수}} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

2.2.2. 약제의 단청 영향 평가

약제가 단청에 미치는 영향을 평가하기 위하여, 소나무(*Pinus densiflora*) (섬유방향) 1000 × (접선방향) 90 × (방사방향) 20 mm 판재에 단청을 처리하여 시험편을 제

작하였다. 시험편 제작 순서는 단청 제작 공정과 동일하게 면담기-포수-가칠-채색의 순으로 진행하였다. 우선, 사포(#220)를 이용하여 목재의 표면을 다듬고(면 담기), 단청의 채색이 제대로 이루어지기 위해서 포수를 거쳤다. 포수 작업은 단청공사 현장에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 아세트산 비닐 아크릴 공중합 수지(포리졸506)를 교착제로 사용하여(Kim, 2014), 포리졸506과 증류수를 1 : 2.5의 비율로 희석한 용액을 2회 도포하였다. 목재면의 바탕색을 동일하게 맞추기 위해서 가칠을 진행하였다. 가칠은 현장에서 가장 많이 사용되는 뇌록색 조채 방법으로 진행하였다. 뇌록색 조채 방법은 화학안료인 cyanine green, ultramarine blue, iron oxide yellow, 수성페인트(백색)에 교착제(포리졸506 : 증류수 = 1 : 2.5, 이하 포리졸 희석액으로 명명함)를 섞어 제조하였다. 채색은 현장에서 주로 사용되는 안료 조채를 기준으로 하였다. 조채 방법은 각 색을 내는 화학 안료(Table 2)에 교착제인 포리졸 희석액을 배합하여 조채하였다. 채색은 공시 약제가 단청에 미치는 영향을 관찰하기 위함이 목적이기 때문에 1회 채색 시 바탕이 비치는 색상은 2~3회 추가하여 채색하였다. 채색 후 건조과정을 거쳐 단청시험편을 완성하였다.

약제 도포는 20배, 40배, 60배 희석한 약제를 문화재 수리 표준명세서에 따라 시험마다 90 mL씩 24시간 간격으로 총 3회 스프레이 도포하였으며(Figure 2), 대조군인 물과 상용약제도 동일한 방법으로 도포하였다. 도포 후, 단청의 재색 변화를 육안으로 관찰하고, 색차계(CR-400,

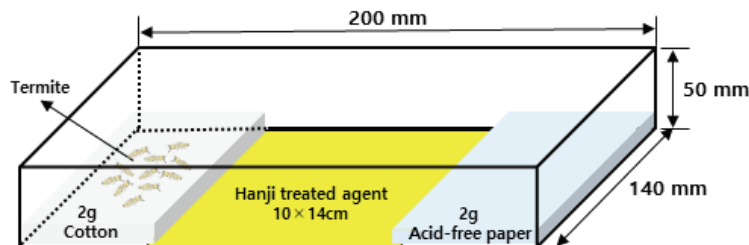
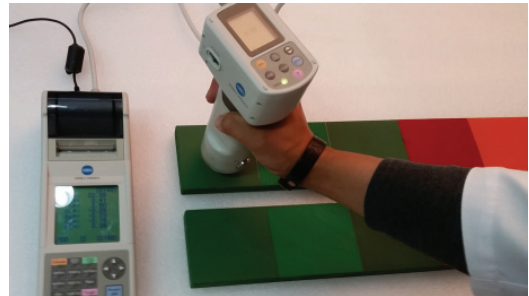


Figure 1. The container is manufactured for this test.

Table 2. Chemical materials of Dancheong pigments

No.	Pigment	Coloring material
1	Muk	Permanent black PR. colonyl
2	Bun	Water-based paint (white)
3	Hwang	Permanent yellow
4	Yangchung	Cobalt blue
5	Seokganju	Water-based paint (reddish-blue)
6	Jangdan	Lead red
7	Juhong	Cadmium red
8	Hayup	Chrome oxide green
9	Yanglok	Cyanine green, permanent yellow, Water-based paint (white)
10	Noilok	Cyanine green, ultramarine blue, iron oxide yellow, water-based paint (white)

**Figure 2.** Treatment using spray.**Figure 3.** Measuring the L^* , a^* , b^* of Dancheong.

Konica Minolta, JPN)로 L^* , a^* , b^* 값을 측정하였다(Figure 3). 색차(ΔE)는 약제 도포 전, 후에 측정한 L^* , a^* , b^* 값을 사용하여 Eq. (2)에 따라 계산하였다.

$$\Delta E(L^* a^* b^*) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

2.2.3. 목재 적용 방의효력 평가

본 실험에 사용한 수종은 국내목건축물에 가장 많이 사용되고 있는 소나무로 선정하였다. 시험편은 (섬유방향) 20 mm × (접선방향) 10 mm × (방사방향) 10 mm로 제작된 소나무 변재를 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 설정된 오븐에서 48시간 건조한 후 사용하였다.

목재 시험편의 약제 도포 및 방의효력 시험은 JIS K 1571(2010)에 준하여 실시하였다. 처리 시험편은 건조된 소나무 변재를 대상으로 10배, 20배, 30배, 40배, 50배, 그리고 60배로 희석한 약제를 각각 $110 \pm 10 \text{ g/m}^2$ 씩 붓으로 도포하였다. 약제 도포 후, 실온에서 20일간의 양생을 거친 시험편은 온도 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 48시간 건조한 후 그 무게

(W_1)를 측정된 다음 방의효력 시험에 사용하였다. 무처리 시험편은 증류수를 위와 동일한 방법으로 처리하여 사용하였으며 시험편은 각 처리 조건당 5개씩 준비하였다.

준비된 시험편은 치과용 석고로 바닥을 메워서 제작한 아크릴 용기(직경 80 mm, 높이 60 mm, 이하 사육용기)에 각각 한 개씩 넣은 후, 각 용기당 흰개미 205마리(일개미 200마리, 병정개미 5마리)를 투입하였다. 흰개미와 시험편이 투입된 각각의 사육용기는 바닥에 습윤면(탈지면 100g, 증류수 130~150 mL)이 깔린 상자 속에 넣은 후, 온도 $28 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 $80 \pm 5\%$ 조건의 어두운 곳에서 21일간 사육하였다(Figure 4). 21일간의 사육 경과 후, 각각의 시험편을 사육용기에서 꺼내 시험편 표면에 부착된 이물질을 솔로 제거하였다. 이물질을 제거한 후 시험편은 온도 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 48시간 건조한 후, 그 무게(W_2)를 측정하였고, Eq. (3)에 따라 시험편의 질량감소율을 평가하였다.

$$\text{질량감소율 (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \text{Eq. (3)}$$

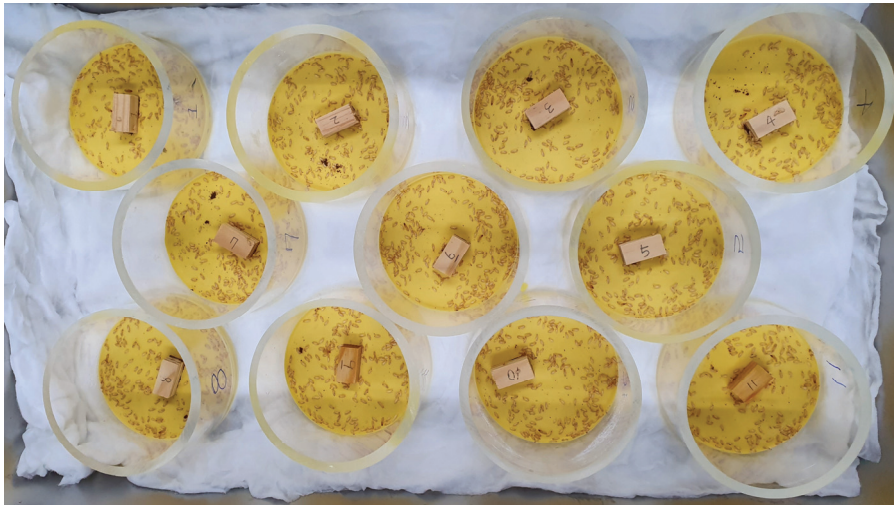


Figure 4. Termite test in this study.

3. 결과 및 고찰

3.1. 약제 농도별 흰개미 사충효력 평가

흰개미에 대한 Metofluthrin계 약제의 흰개미 저항 평가 결과를 Table 3에 제시하였다. 실험 개시 7일 후 흰개미의 이동 현상을 관찰한 결과, 증류수만 처리한 경우, 사충율이 0%로 나타났으며, 흰개미를 채집할 때 들어간 흙 등이 탈지면과 중성지에 모두 묻어 있는 것으로 보아 흰개미가 자유롭게 이동하고 있음을 나타내고 있다.

실험군의 경우, 가장 높은 농도인 20배 희석액의 사충율은 95%로 가장 높게 나타났다. 20배 희석액이 처리된 사육용기에 노출된 흰개미는 약제 처리된 한지를 이동하

기 위해 내려오는 즉시 대부분의 흰개미들이 떨림, 방향 감각 상실, 몸체수축 등과 같은 이상 현상을 보이며 대부분의 흰개미가 사충하였다. 40배 희석액 또한 사충율이 91%로 높게 나타났으며, 희석배율이 높아질수록 사충율은 89%(60배), 78%(100배) 순으로 나타났다. 즉, 약제 희석 정도에 따른 흰개미 사충율 차이는 있었으나, 본 실험에 사용된 metofluthrin계 약제는 방의 효력이 있는 것으로 판단된다.

3.2. 약제 농도에 따른 단청 영향 평가

3.2.1. 육안관찰을 통한 재색 변화 평가

Metofluthrin계 약제를 전통 목조건축물에 사용되고 있

Table 3. Mortality of termite according to a concentration of test agent

Immediately after exposure	7 th day of exposure				
	Control	Test agent			
	Distilled water	100 dilution	60 dilution	40 dilution	20 dilution
Mortality (%)	0	78	89	91	95

Table 4. The color difference of Dancheong pigments on coated 3 times

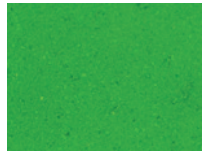

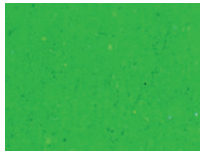



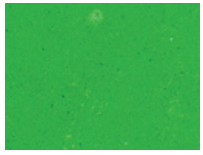

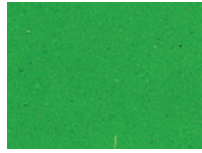
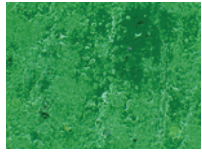
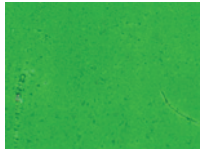
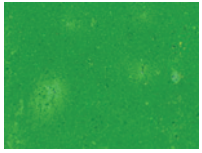
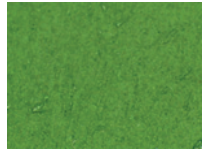
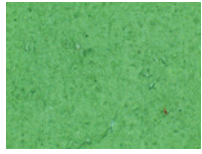
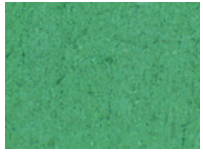

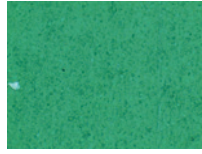
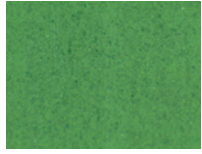
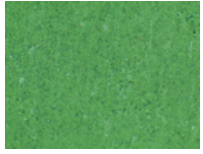

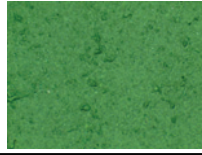

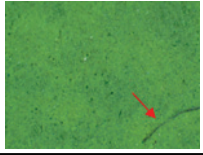
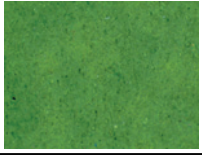
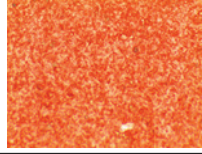
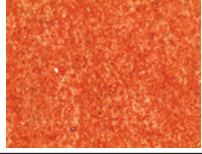
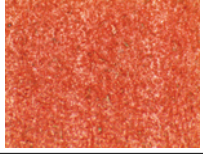
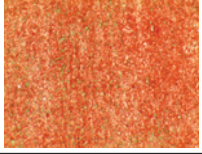
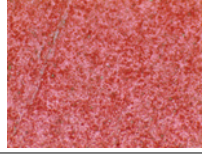
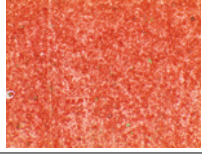
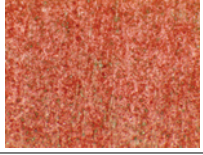
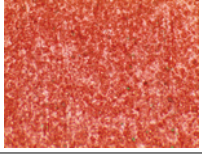




Treatment		Dancheong pigments									
		Muk	Bun	Hwang	Yang chung	Seok ganju	Jangdan	Juhong	Hayup	Yanglok	Noilok
No treated											
Test agent	20 dilution										
	40 dilution										
	60 dilution										
Control	Distilled water										
	Commer cial agent										

는 단청 위에 도포하였을 때 안정적인지 알아보기 위하여 본 실험을 수행하였다. 약제 도포 3회차를 모두 진행한 후 시험편의 단청 색상 변화를 육안으로 관찰한 결과를 Table 4에 제시하였다. Table 4에 나타난 바와 같이, 각각 20배, 40배, 60배 희석 약제를 도포한 단청 시험편은 약제를 처리하지 않은 단청과 육안상 색상 변화를 느낄 수 없었다. 반면, 상용약제를 도포한 단청의 경우 무처리 시험편과 비교하였을 때 양록과 뇌록의 색상 변화가 육안으로 관찰되었다. 육안으로 관찰된 색상 변화를 면밀하게 분석하기 위하여 실제 현미경을 사용하여 약제 도포 회차별 단청표면 상태를 관찰하였다. 그 결과, Table 5에 나타난 바와 같이, 양록에서는 1회차 도포 후 단청표면에서 안료가 들떠 얼룩 현상이 관찰되었으며, 뇌록에서도 1회차 도포에서부터 얼룩 현상을 확인할 수 있었다. 반면, 석간주는 육안관찰에서는 재색의 변화를 느끼지 못했지만, 개발 약제와 상용약제를 도포한 경우 표면 상태가 다르게 나타났다. Table 5에 나타난 바와 같이 상용약제를 도포한 석간주는 1회차 도포에서부터 안료가 녹아 표면이 매끈한 형태로 관찰되었다. 반면, 20배로 희석된 약제를 도포한 석간주는 물을 처리했을 때와 유사한 표면 상태를 갖는 것으로 관찰되었다. 이는 본 실험에 사용된 약제가 단청에 안정적인 사용 가능성을 보여준 것으로 판단된다.

3.2.2. 색차 측정을 통한 재색 변화 평가

약제 도포 횟수별 색차값을 Table 6에 제시하였다. Table 6에 나타난 바와 같이, 약제를 1차 도포했을 때, 주홍을 제외한 모든 단청에서 색차값(ΔE)이 대부분 3 이하로 나타났다. 반면 양성 대조군으로 사용한 상용제품은 먹, 양청, 하엽, 뇌록을 제외한 단청에서 색차가 3.0 이상으로 높게 나타났다. 미국 국가 표준국의 색차 판정 기준에 따르면 ΔE 값이 3.0 이상 6.0 미만의 수치가 나오면 감지할 수 있는 정도의 색상 변화가 있음을 의미하며, 6.0 이상이 되면 색상 변화가 뚜렷하다고 평가한다. 즉, 양성 대조군인 상용제품은 육안 결과에서 재색의 변화가 뚜렷하게 나타난 것과 동일한 결과를 얻었다. 이러한 재색 차이는 도포 횟수가 증가할수록 더 높게 나타났다. 약제 3회차 도포 후 색차 측정 결과를 Figure 5에 제시하였다. 본 실험에서 처리한 공시 약제의 경우, 20배 희석된 약제에서 주홍의 ΔE 값이 8.45로 가장 높았으며, 분과 황이 각각 3.23, 3.05로 감지할 수 있는 수준의 색차를 보였다. 40배 희석된 약제는 주홍과 분 안료의 ΔE 값이 각각 6.27, 3.61로, 오직 두 안료만이 3.0 이상의 ΔE 값을 보였다. 마지막으로 60배 희석된 약제는 대조군인 증류수를 처리한 시험편과 거의 유사한 ΔE 값을 보여 색상 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 대부분의 안료에서 눈에

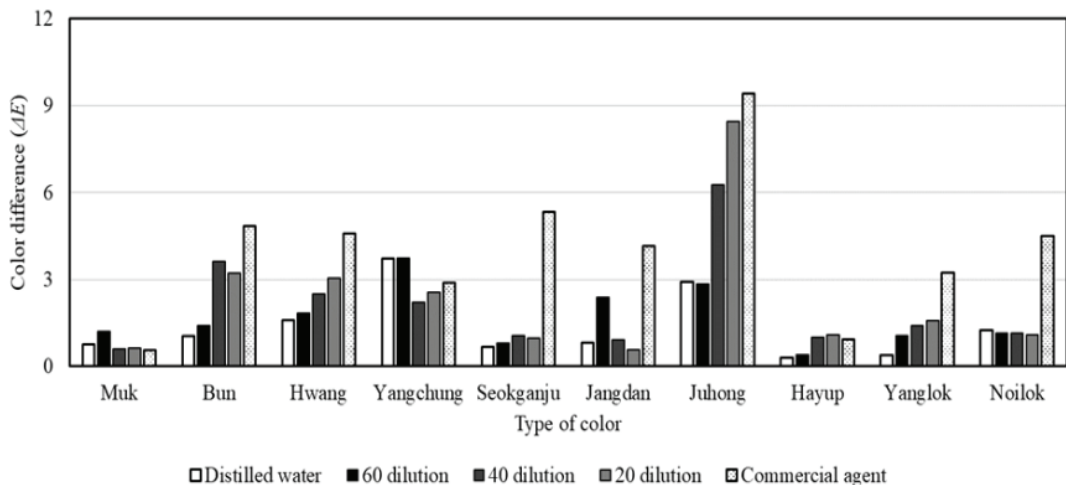
Table 5. Surface of Dancheong using stereoscopic microscope*

Condition	No coated	1 st coated	2 nd coated	3 rd coated
Yanglok				
Distilled water				
Test agent (20 dilution)				
Commercial agent				
Noilok				
Distilled water				
Test agent (20 dilution)				
Commercial agent				
Seokganju				
Distilled water				
Test agent (20 dilution)				
Commercial agent				

*A stereoscopic microscope with magnification power of 50

Table 6. Change of color difference according to the number of times of agent treatment

Pigments	Color difference (ΔE)														
	Test agent									Control					
	20 dilution			40 dilution			60 dilution			Distilled water (negative)			Commercial agent (positive)		
	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd
Muk	0.53	0.31	0.64	0.65	0.52	0.61	0.58	1.19	1.21	0.25	0.97	0.76	0.44	0.51	0.55
Bun	1.64	2.68	3.23	2.78	3.32	3.61	0.53	0.88	1.41	0.69	1.26	1.05	6.93	5.34	4.85
Hwang	1.09	1.93	3.05	0.99	1.76	2.51	0.73	1.06	1.83	0.23	1.00	1.60	4.62	5.83	4.59
Yangchung	1.37	1.13	2.55	1.84	1.72	2.22	0.55	2.84	3.72	2.47	3.40	3.72	1.49	2.06	2.89
Seokganju	1.10	1.04	0.97	0.98	1.20	1.07	0.60	0.66	0.81	0.66	0.73	0.66	6.01	6.18	5.33
Jangdan	0.86	1.04	0.57	0.74	0.93	0.93	1.94	2.04	2.40	1.25	1.30	0.81	5.90	4.19	4.14
Juhong	4.10	6.13	8.45	4.18	4.74	6.27	1.55	2.32	2.83	0.79	1.40	2.90	7.41	8.09	9.41
Hayup	0.76	0.80	1.08	0.77	0.91	1.00	0.56	0.41	0.40	0.31	0.37	0.30	1.39	1.37	0.93
Yanglok	0.53	1.08	1.59	0.47	0.65	1.41	0.32	0.50	1.06	0.41	0.31	0.38	4.32	2.73	3.24
Noilok	0.55	0.73	1.10	1.10	0.93	1.15	0.80	0.78	1.15	1.07	1.08	1.24	1.85	4.01	4.51

**Figure 5.** The color difference of Dancheong pigments on coated 3 times.

띄는 색차를 보인 상용제품 결과와 비교하였을 때, 실험에서 사용된 공시약제는 희석 배율에 대한 색차의 차이가 일부 안료에서 나타났으나, 이를 제외한 대부분의 안료에서는 안정적이라고 판단하였다. 또한, 목조문화재에서 흰개미 피해가 가장 많이 발생하는 목조기둥은 주로 석간주를 사용하여 단청처리를 하는데(Lee *et al.*, 2003), 본 실험에 사용된 약제는 희석 20배 조건에서 석간주의 색차가 미미하게 나타났다. 즉, 본 약제는 흰개미 피해가 많이 일어나는 목조문화재 기둥 및 다양한 부위에서 단청에 영향이 없이 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 목재 적용 시 약제의 흰개미 방의효력 평가

실제 목재에 각각의 농도로 희석된 공시 약제를 도포하여 목재에서의 방의 효력을 평가하였다. 우선, Figure 6에 제시한 바와 같이 대조군인 무처리 시험편은 15.26%의 질량감소율을 보였다. JIS K 1571(2010)에 따르면 무처리 시험편의 질량감소율이 15% 이상일 때 흰개미가 활력을 가지고 있다고 명시하고 있다. 즉, 본 실험에 사용된 흰개미의 활력은 유효함을 확인하였다.

약제 희석배율에 따른 시험편의 질량감소율은 약제가 많이 희석될수록 시험편의 질량감소율이 높아지는 경향

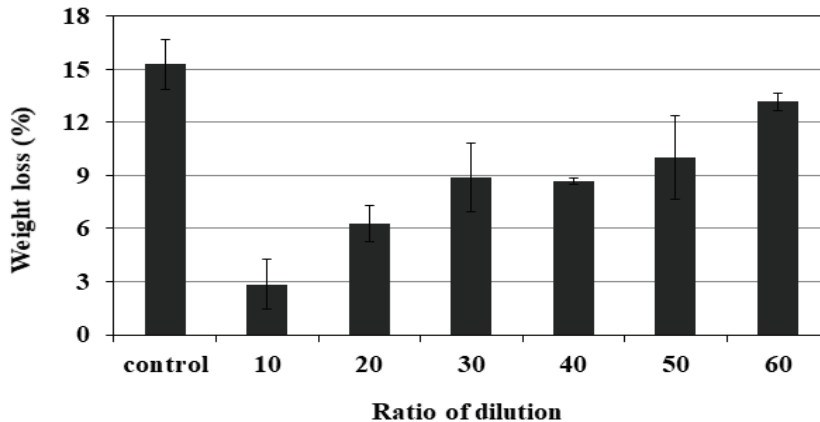


Figure 6. Termiticidal efficacy of test agent according to the ratio of dilution.

을 보였다. 10배 희석액을 도포한 시험편은 약 2.83%로 매우 낮은 질량감소율을 보였으며, 20배 희석액을 도포한 시험편 또한 6.28%로 낮은 질량감소율을 보였다. 30배와 40배 희석액을 도포한 시험편은 각각 8.88%, 8.69%로 유사한 질량감소율을 보였다. 50배 이상의 희석액을 도포한 시험편은 10% 이상의 질량감소율을 보였으며, 60배 희석액을 도포한 시험편은 13.16%의 질량감소율로 무처리 시험편과 유사한 수준의 질량감소율을 보였다. JIS K 1571(2010)에 따르면 3% 미만의 질량감소율을 가지면 그 약제가 도포형 방의제로서 성능을 갖는다고 명시하고 있다. 즉, 10배로 희석한 약제가 약 2.83%의 질량감소율을 보여 방의 효력이 있는 것으로 판단하였다. 또한, 10배 희석액의 사충 효력 평가는 진행되지 않았지만, 20배 희석액의 사충율이 95%인 것으로 보아 그보다 높은 흰개미 사충 효력을 가질 것이라 생각된다.

본 실험은 단청위에 도포하여 사용하는 목적으로 도포형 방의제의 효력 평가를 실시했다. 하지만, 땅속을 통해 이동하다 지면과 가까운 목조건축물에 유입하여 목재 내부를 공동화시키는 지중 흰개미의 생태적 습성을 고려하였을 때(Kim *et al.*, 2020), 향후 약제를 목재 내에 주입하여 방의 효력을 평가하는 실험이 진행될 필요가 있다고 생각한다.

4. 결론

지금까지 흰개미 방제에 사용되지 않은 모기살충제 성분으로 개발된 metofluthrin계 방의제를 대상으로 전통 목조건축물의 적용 가능성을 평가하였다. 다양한 농도로 희석한 약제를 이용하여 흰개미 저항성을 평가한 결과, 40배 희석액까지는 90% 이상의 사충율을 보였으며, 100배

희석액 또한 78%의 높은 사충율로 약제가 흰개미 저항성이 있음을 확인하였다. 모기살충제 유효성분이 포함된 약제를 목조건축물에 도포하였을 때 목조건축물에 사용되는 단청에 영향을 주는지 평가하였다. 그 결과, 일부 단청안료에서는 눈에 띄는 색차가 나타났으나, 대부분의 안료에서는 안정적인 색차를 보였으며, 약제를 도포하였을 때 단청표면에도 변화가 미미하였기 때문에 본 약제가 단청에 안정적인 것으로 확인하였다. 마지막으로, 약제를 실제 목재에 도포하여 흰개미 방의효력을 평가하였으며, 10배 희석액은 2.83%로 도포형 방의제의 성능 기준을 충족하였다.

모기살충제로 사용된 metofluthrin계 약제는 물에 희석하여 목재에 도포하였을 때도 일부 단청안료를 제외한 대부분의 단청안료에서 재색 변화가 크게 나타나지 않았으며, 육안상 관찰되는 단청표면 또한 변화가 관찰되지 않았다. 또한, 국내 전역에 분포하고 있는 흰개미(*R. speratus*)에 대한 방의효력을 갖는 것으로 확인되었다. 따라서, 본 약제는 흰개미로부터 단청 처리된 목조문화재뿐만 아니라 목조건축물을 보호하는 데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Colombo, R. and Souza, A.T., 2021, Degradation of ethyl butylacetylaminopropionate (IR3535) during chlorination: Tentative identification and toxicity prediction of its disinfection by-products. *Chemosphere*, 280, 130656.
- Cox, R.A., Rattigan, O.V. and Jones, R.L., 1995, Laboratory studies of BrO reaction of interest for the atmospheric ozone balance. *Special Publication-Royal Society of Chemistry*, 170(1), 47-64.

- Haverty, M. and Sunden-Bylehn, A., 2000, Finding alternatives to persistent organic pollutants (POPs) for termite management, In International Activities on Persistent Organic Pollutants (POPs) covered by the Stockholm Convention, Stockholm, Sweden.
- Hwang, W.J. and Chung, J.Y., Composition of controlling termites and method for controlling termites using the same. Registration No. 10-1748157. Republic of Korea.
- Japanese Industrial Standards, JIS K 1571, 2010, Wood preservatives-performance requirements and their test methods for determining effectiveness.
- Kim, D.M., Hong, S.I., Shin, H.B. and Moon, S.H., 2011, Basis and workings of safety inspections of architecture cultural property. National Research Institute of Cultural Heritage, Deajeon, 151-216.
- Kim, D.R., 2014, A study of dancheong technique for conservation of traditional wooden architecture in Korean - with focus on the bottom layer -. Master's dissertation, Kunkuk University.
- Kim, S.H, Lee, S.B. and Lim, I.G., 2020, Study of minimum passage size of subterranean termites (*Reticulitermes speratus kyushuensis*). Korean Journal of Heritage Studies, 53(4), 188-197.
- Kim, Y.H., Lim, B.A., Lee, J.M., Jo, C.W., Kim, S.J. and Park, J.H., 2019a, A study on the inspection of termite-damaged wooden buildings through the use of detection dogs and an analysis of environmental factors. Journal of Conservation Science, 35(6), 641-651.
- Kim, Y.K., 2007, Morphological characteristics and digestive enzyme properties of termite in Seoul, Korea. Master's dissertation, Kookmin University.
- Kim, Y.S., Kim, G.H. and Kim, Y.S., 2019b, Wood conservation science (revision). Chonnam National University Press, Gwangju, 39-181.
- Lee, M.J., Lee, D.H. and Son, D.W., 2003, Evaluation of fungicidal, anti-sapstain, and termiticidal efficacy of dan-chung treated blocks. Journal of Korea Forestry Energy, 22(2), 36-43.
- Lee, S.B., Im, I.G. and Kim, S.H., 2021, A history of termite control and improvements to prevent termites in wooden architectural heritage. Korean Journal of Cultural Heritage Studies, 54(2), 194-215.
- Lee, S. and Han, K.S., 2018, A study on the weathering resistance of fixatives used on conservation of painting layer of Korea wooden painting, Journal of Conservation Science, 34(5), 397-405.
- Lucas, J.R., Shono, Y., Iwasaki, T., Ishiwatari, T., Spero, N. and Benzon, G., 2007, US laboratory and field trials of metofluthrin (SumiOne®) emanators for reducing mosquito biting outdoors. Journal of the American Mosquito Control Association, 23(1), 47-54.
- National Institute of Forest Science (NloFS), 2015, Easy-to-understand guidebook of termite control. ISBN 978-89-8176-098-4, 7-15.
- National Institute of Forest Science (NloFS), 2017, Termite control and monitoring investigation on wooden structures. ISBN 979-11-6019-152-3, 1-3.
- Park, H.J., Bae, C.H., Lee, J.J., Shin T.S. and Park, H.C., 2013, A comparative phylogenetic analysis of *Reticulitermes speratus kyushuensis* (Isoptera: Rhinotermitidae) on Jeju island, Korea. Journal of Agriculture & Life Science, 47(1), 137-146.
- Seo, M.S., Jo, C.W., Kim, S.J., Kim, Y.H., Hong, J.Y., Lee, J.M. and Jeong S.Y., 2015, Characterization of termite inhibition environment on wooden cultural heritages. Journal of Conservation Science, 31(4), 387-393.
- Verma, M., Verma, S. and Sharma, S., 2018, Chapter 6, Eco-friendly termite management In Khan M.A. and Ahmad W. (ed.), In Termites and Sustainable Management Volume 2. Springer, Cham, 137-164.
- Waston, R.T., Albritton, D.T., Anderson, S.O. and Lee-Bapty, S., 1992, Methyl bromide: its atmospheric science, technology and economics. Montreal Protocol Assessment Suppl. United Nations Environmental Programme, Nairobi, Kenya, 243.
- Yoon, S.M., Park, Y.G., Jeon, W.S., Lee, H.M., Hwang, W.J., Nam, K.D. and Park, J.G. 2020, Evaluation of anti-stain efficacy of myoung-oil, traditional coating agent. Journal of Conservation Science, 36(6), 505-510.