

흰개미 토양처리제 효과 평가 및 시험방안 연구

임익균 | 정선혜 | 정용재¹

한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과

A Study on the Evaluation Method of Soil Treatment Termiticide

Ik Gyun Im | Seon Hye Jeong | Yong Jae Chung¹

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

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

초록 국내 목조문화재 흰개미 방제법 중 하나인 토양처리법에 적용되는 약제는 우천이나 지중의 수분 거동에 의해 방의 효력 저하가 진행되어 재처리가 요구되지만 현재 해당 기준 및 평가 방안은 전무한 실정이다. 이에 따라 약제의 방의 효력 평가 및 재처리 기간 산정을 위한 기초 실내 평가 방안을 제시하였다. 먼저 약제 방의력 평가를 위해 흰개미에 대한 기피성 및 접촉 독성을 실시하였다. 그 결과, 이번 실험에 사용된 약제는 비기피성이며, 접촉에 의한 사멸이 확인되었다. 이후 모의 강우 실험과 토양 관통 시험을 통해 토양 내 약제의 방의 효력 임계점을 산정하는 지속성 평가를 실시하였고 해당 자료를 기상 자료와 비교하여 재처리 기간을 산정하였다. 지속성 평가 결과, 약 160~170 mm 이상의 지속적인 수분 노출 이후에는 약제 처리 토양에 대한 흰개미의 천공이 확인되었다. 해당 결과를 최근 5년간 기상 자료와 비교한 결과, 본 실험에서 사용된 농도의 약제는 우리나라 장마철과 여름철 집중호우 기간이 지난 9월 이후 처리할 경우 약 1년 정도 방의 효력이 유지될 것으로 예상된다. 본 연구는 향후 국내 흰개미 방제를 위한 토양처리용 약제의 선정 매뉴얼 작성과 재처리 기간 산정을 위한 기초자료를 제공 할 수 있을 것으로 기대된다.

중심어: 흰개미, 토양처리법, 토양처리제, 재처리 기간

ABSTRACT A Termiticide that is applied to the soil treatment method, one of the methods for preventing termites in Korea's wooden cultural properties, will be subjected to the leaching of the effective ingredient in treated soil by the moisture behavior of rain. As a result, termiticide is deteriorated and needs to be reprocessed, but the standards and evaluation methods are nonexistent in Korea. Accordingly, a basic indoor evaluation measure was proposed for the evaluation of the effectiveness of the termiticide chamber and the calculation of the reprocessing period. First, avoidance and contact toxicity were assessed at two concentrations of the same termiticide as a method for assessing termiticide suitability. The evaluation of mortality revealed that the soil termiticide used in this experiment was non-repellent, and that death from contact was confirmed. Afterwards, artificial rainfall and soil penetration tests were conducted to determine efficacy of termiticide in soil and the approximate reprocessing period was calculated by comparing the weather data. Persistence evaluation revealed perforation by termites after continuous water exposure of more than about 160 to 170mm of water injection condition. Based on the results, compared with weather data for the last five years, the termiticide of concentration used in this experiment is expected to remain effective for about one year if treated after September. The purpose of this study was to provide basic data for the establishment of a manual for the selection of termiticide for soil treatment by calculating the efficacy for termite mortality and the duration of the leaching effectiveness by water behavior in soil.

Key Words: Termites, Soil treatment, Termiticide, Reprocessing period

1. 서론

최근 목조건축물에 대한 흰개미 피해가 증가하는 주원인으로는 산림 내 위치한 입지 조건, 지구 온난화로 인한 연중 기후의 상승, 난방 방식의 변화 등을 꼽을 수 있다(Son *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2001). 현재 국내에는 지중 흰개미인 일본흰개미 이종(*Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto)(Park and Bae, 1997)과 칸문흰개미(*Reticulitermes kanmonensis Takematsu*) 2종의 서식이 확인되었다(Lee *et al.*, 2015). 이러한 지중 흰개미에 의한 피해는 국가지정문화재 중 목조문화재를 대상으로 실시된 2016년도 목조문화재 가해 생물종 조사 결과, 전체 116건 중 114건에서 부분 혹은 전체적인 피해가 조사됨에 따라 국내 서식 지중 흰개미에 의한 목조문화재의 피해가 활발히 진행되고 있다는 것을 확인하였다(Cultural Heritage Administration, 2016).

이에 따라 목조문화재의 흰개미 피해를 막기 위하여 국내에서는 훈증처리, 방충방부처리, 군체 제거, 토양처리 등이 적용되고 있다(Lee *et al.*, 2001). 이중 토양처리법은 1930년대 이전부터 흰개미 방제를 위해 제안되던 방법으로(Kofoid and Termite investigations committee, 1934), 건물 주변 토양에 살충물질을 희석한 용액을 처리하여 지중에서 생활하는 지중 흰개미가 목조 건축물에 접근하지 못하도록 보호하는 역할을 수행한다(Su and Scheffrahn, 1990; Bläske *et al.*, 2003; Su, 2005).

하지만 해충 방제를 위해 토양에 처리되는 약제는 시간이 경과함에 따라 수분에 의한 분해 및 용탈, 광분해, 생분해, 반감기 등의 이유로 약제 자체의 효과가 감소된다(Oh *et al.*, 2000; Kang, 2001; Im *et al.*, 2004). 이에 따라 유효 성분의 용탈 및 생물학적 열화 등의 이유로 인하여 일정 기간마다 재처리가 요구되며 여러 선행 연구에서 지중 흰개미 등을 대상으로 약제 처리 토양의 처리 기간, 두께, 농도별 방의효력 변화 양상에 대한 연구가 진행되었다(Su and Scheffrahn, 1990; Su *et al.*, 1993, 1995; Gahlhoff and Koehler, 2001; Saran and Kamble, 2008; Acda, 2009; Gautam and Henderson, 2011; Thorne *et al.*, 2015). 또한 호주의 경우에는 흰개미 방제를 위한 실내 모의 평가 방안 및 처리 기준이 표준화되어 있으며(Standards Australia, 2000; 2014; 2014), 일본의 경우에는 흰개미 일본목재보존협회 '토양처리용 방의제 등의 성능 기준 및 그 시험 방법-JWPAS TS(1)'에 따라 토양처리 약제의 방의 효력을 시험하고 있다.

하지만 현재 국내에서는 약제 처리 시, 흰개미에 대한 생물학적 및 생태학적 특성을 고려하지 않은 방제 작업으

로 인해 살충 효과 및 살충제 오염, 남용에 따른 환경오염 문제가 야기되어 흰개미 방제에 대한 전면적인 수정이 시급하다(Park, 1985). 이와 더불어 문화재 수리표준시방서(Cultural Heritage Administration, 2014), 근대건축물 문화재 수리표준시방서(Cultural Heritage Administration, 2010) 및 문화재수리 표준 품셈(Cultural Heritage Administration, 2019)의 경우에도 체계적인 공정 및 재처리 기간 산정 방안 등이 명시되어 있지 않아 국내 목조문화재 흰개미 방제를 위한 처리 기준이 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 흰개미 방제 방안 중 토양처리법의 현장 적용 전, 기피성, 접촉독성 평가를 통해 토양처리 약제 선정을 위한 실내 방의력(흰개미 사멸 효력) 평가를 진행하였다. 또한 약제 처리 후 수분 유입에 따른 토양의 방의 효력 입계점 산출을 위하여 모의 강우 실험 및 토양 관통 시험을 실시하였다. 해당 결과와 최근 30년간 기상 자료를 비교하여 약제의 재처리 기간을 산정하였다. 이를 통해 국내 목조문화재 흰개미 방제를 위하여 토양처리에 적용되는 약제의 현장 적용 전, 실내 효과 판정 및 재처리 기간 산정 매뉴얼을 작성하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

2.1.1. 공시충

본 연구에서 사용된 흰개미는 일본흰개미 이종(*Reticulitermes speratus kyushuensis*)으로 현재 국내 전 지역에 걸쳐 고르게 분포하고 있는 흰개미 종을 선정하였다. 충남 부여군 일대 야산에서 흰개미 가해목을 채집하여 연구실 건물 내 보관 용기에 보관하였으며, 해당 목재를 해체하여 3명 이상의 성충 일개미(worker)를 채집하였다.

2.1.2. 토양

흰개미 가해목 채집 시, 주변 토양을 채취하여 공시 토양으로 사용하였다. 채집해 온 토양은 7일간 상온에서 음건시킨 뒤, 40 mesh 표준망 체로 체치고 멸균기(MaXterile™, Daihan Scientific, Korea)에서 121℃, 10 min 조건으로 멸균 후 열풍 건조기(ThermoStable™, Daihan Scientific, Korea)에 60℃ 조건으로 3일간 건조시켰다.

2.1.3. 토양처리제(Soil treatment termiticide)

현재 국내에 토양처리제로 시판되고 있는 약제A(2~6%

dinotefuran, 0.5~5% IPBC, 0.5~4% propiconazole)를 공시 약제로 사용하였다. 실험에 사용된 농도는 약제의 특허 정보(출원 번호: 1020120057978)에 기재된 방의 효력 검증 농도인 약제:증류수 1:50(v/v) 희석액과 이보다 상대적으로 높은 농도인 1:30(v/v) 희석액을 제조하여 실험에 사용하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 방의력 평가

2.2.1.1. 기피성 및 접촉 독성

약제에 대한 공시충의 기피(repellency) 유무를 관찰하기 위하여 실시하였으며, JWSA Standard 11(1)-1981을 참고하였다. 아크릴 컬럼(직경 80 mm, 높이 60 mm)의 바닥면을 치과용 석고(Yellow Stone, Yosino, Japan)로 만들어 수분의 유입이 일정하도록 하였다. Filter paper[HYUNDAI MICRO, Korea (직경 90 mm, No.53)]를 아크릴 컬럼의 내경 크기에 맞게 재단하여 절반으로 나눈 뒤, 약제 도포, 무도포 구역으로 나누고 도포 구역에만 약제를 처리하였다(Figure 1A).

약제 처리 후, 후드에서 24시간 동안 용매 및 휘발 성분 등을 휘발시켰다. 이번 연구에서 사용된 1:30, 1:50 희석액 중 상대적으로 고농도인 1:30 희석액을 실험 약제로 사용하였다. 일개미 100마리를 아크릴 컬럼 내부의 무처리 구역에 투입하였으며 2, 4, 6, 8일차에 아크릴 컬럼 내부를 관찰하였다. 시간 경과에 따른 사멸 및 아치사 상태를 관찰하였으며 아치사의 기준은 실험 개체 중 운동성이 없는 개체들을 핀셋으로 건드려 5초 이내 더듬이, 다리 등을 움직이는 것으로 설정하여 계속하였으며, 그 이후까지 움직임이 없는 개체는 사멸로 계속하였다. 실험은 3회 반복하였으며

총 실험 기간은 8일 동안 실시하였다.

약제의 표피 노출에 의한 약제의 경피 독성(dermal toxicity)을 관찰하기 위하여 접촉 독성 실험을 실시하였다. 기피성 평가와 동일한 아크릴 석고 컬럼을 제작하여 사용하였다. 농도별 접촉 독성에 의한 사멸 양상을 확인하기 위하여 1:30, 1:50 희석액 2가지 농도를 실험에서 평가하였다.

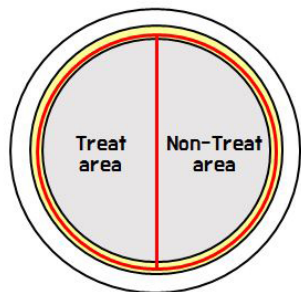
기피성 평가 조건과 동일하게 재단한 filter paper 전 구역에 조건별 약제 희석액을 도포하였다(Figure 1B). 일개미 50두를 아크릴 컬럼에 투입하고 실험 초기 24시간까지 2시간, 이후에는 4시간 간격으로 사멸한 일개미의 수를 기록하였다. 실험은 3일간 실시되었으며 각 농도 및 대조군은 5배수로 실시하였다.

2.2.2. 지속력 평가

약제 처리 토양의 수분 투입량에 따른 방의 효력의 임계점을 파악하기 위하여 지속력 평가를 실시하였다. 수분 투입 조건별 용탈된 처리 토양을 얻기 위하여 모의 강우 실험을 실시하였다. 이후 수분 투입 조건별 채취된 토양으로 일본목재보존협회 '토양처리용 방의제 등의 성능 기준 및 그 시험 방법-JWPAS TS(1)'의 내용을 참고하여 토양관통시험을 실시하였다.

수분 투입량은 기상청의 최근 5년(2012년~2016년)간 평균 강수량이 가장 많은 8월 전국 지역별 주요 도시 강수량을 30일로 나눠 일일 평균 강수량(10 mm)을 설정하였다(Table 3). 일일 평균 강수량을 기준으로 오픈 컬럼의 부피와 강수량을 곱해 1회 수분 투입량을 20 ml로 설정하였다. 처리 토양의 경우 전처리 과정을 거친 토양과 약제를 비율에 맞게 혼합하여 제조하였으며, 무처리 토양의 경우에는 증류수만을 동일 비율로 혼합하여 제조하였다.

(A)



(B)

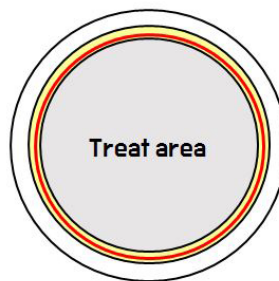


Figure 1. Evaluation of avoidance and contact toxicity. (A): Repellency test column, dividing the circular filter paper in half, applying the termiticide on the left, and not on the right. (B): Contact toxicity test column. Application of the termiticide to the entire filter paper area.

① 모의 강우 실험

원통형 오픈 컬럼(직경 50 mm, 높이 500 mm, 이하 오픈 컬럼)에 예비테스트를 실시하여 수분 투입 후, 침출이 가장 원활하게 이루어지는 비율을 확인하였다. 해당 실험에서는 1:30 희석액만을 처리 약제로 사용하여 토양과 혼합하였으며 무처리 토양의 경우 증류수만을 처리 토양과 동일한 양만큼 투입하였다. 향후 수분 투입 횟수별 약제의 용탈량을 분석하기 위하여 컬럼의 바닥면을 기준으로 50 mm 높이만큼 무처리 토양을 적재하였고 그 위에 100 mm 높이만큼의 약제 처리 토양을 적재하였다. 또한 토양 중 약제의 이동 특성을 평가한 선행 연구를 참고하여(An *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2009), 그 위에 무처리 토양 300 mm를 적재하였다.

총 10, 13, 16, 19, 22, 25회의 수분 투입 횟수 조건을 설정하여 수분을 투입하였다, 또한 실험 전 후 오픈 컬럼의 중량을 측정하여 투입된 수분이 오픈 컬럼 내부로 유입된 후 모두 침출되었는지 확인하였다. 실험은 각 조건별 3배 수씩 실시하였다.

② 토양 관통 시험

모의 강우 실험으로 얻은 수분 투입 조건별 약제 처리 토양을 대상으로 토양 관통 시험을 실시하였으며, 각 조건별 천공 양상이 가장 뚜렷한 실험군 2개의 연결부를 사진 촬영하고 천공 양상을 관찰하였다.

시험에 사용된 용기는 공시충을 투입하는 원형 용기(이하 사육실), 약제 처리 토양을 넣는 원통형 용기(이하 연결부), 먹이가 되는 목재를 투입하는 원형 용기(이하 먹이실)로 구성되었다. 건조된 무처리 토양과 증류수를 10:1(w/w)의 비율로 혼합 후 사육실에 투입하였고 조건별 약제 처리 토양과 증류수를 4:1(w/w)의 비율로 혼합하고 연결부를 채웠으며 먹이실에 소나무 시편을 위치시켰다. 일개미 100두를

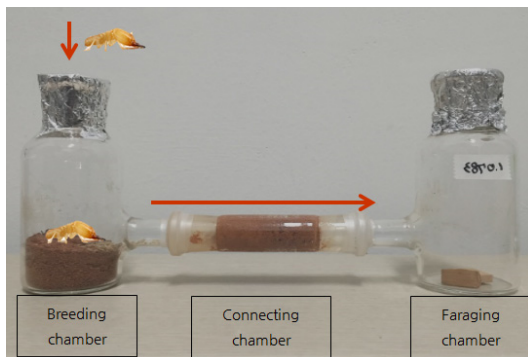


Figure 2. Structure and direction of soil penetration testing.

투입하고 조건별 연결부의 천공 양상을 3주간 관찰하였다. 실험은 조건별 5배수, 3회 반복으로 실시되었다(Figure 2).

2.2.3. 지속 기간 선정

기상청 발간 자료인 ‘2016년 기상 연감’ 및 기상 통계자료를 바탕으로 지난 30년간 국내 주요 도시별 강수량이 30 mm 이상, 2일 이상 30 mm인 횟수를 조사하였다. 지속성 평가를 통해 확인된 토양처리제의 방의 효력 임계점을 바탕으로 기상자료와의 대조를 실시하여 약제 효력의 지속 기간을 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 방의력 평가

3.1.1. 기피성 및 접촉 독성

기피성 평가 결과, 모든 공시충들이 약제 처리 지역에 대한 기피 행동 없이 석고 컬럼 내 전 지역에 고르게 분포하는 것이 확인되었다. 또한 2일차부터 공시충이 아치사 상태에 빠지는 것이 관찰되었다, 6일차 이후 모든 구역에서 아치사 및 사멸 개체가 확인되었으며, 8일차에는 모든 실험군의 개체가 100% 사멸하는 것이 관찰되었다(Figure 3). 약제에 대한 접촉 독성 평가 결과, 1:30(v/v) 희석액 52시간, 1:50(v/v) 희석액 56시간으로 모든 조건에서 48~56시간 이내 공시충이 약제의 표피 노출로 인한 경피 독성으로

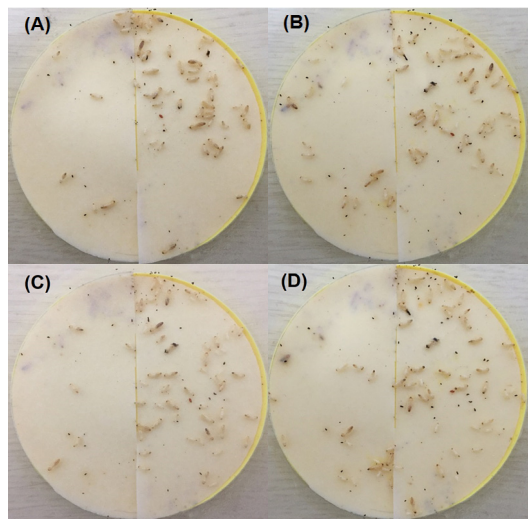


Figure 3. Observation of repellency behavior. (A): 2 days, (B): 4 days, (C): 6 days, (D): 8 days.

100% 사멸하는 것이 관찰되었다(Figure 4). 대조군의 경우에는 실험 기간 동안 약 20% 정도의 사멸율이 관찰되었다. 따라서 1:30(v/v) 희석액 조건에서 석고 컬럼 전 구역을 공시충이 활발하게 이동하는 것이 관찰됨에 따라 이번 연구에 사용된 약제의 1:30 희석액은 비기피성 약제인 것으로 판단된다. 또한 1:30, 1:50(v/v) 희석액 농도 조건 모두 2일 이내 모든 공시충이 사멸함에 따라 본 약제는 흰개미 표피를 통한 경피 독성이 있는 것으로 확인되었다. 해당 결과는 11가지 토양처리약제를 대상으로 개체 간 약제 접촉과 시간 경과에 따른 기피 유무 및 사멸 양상의 결과와 유사한 경향을 보였다(Su and Scheffrahn, 1990).

3.2. 지속력 평가

3.2.1. 모의 강우 실험

수분 투입 조건별 실험 전, 후 오픈 컬럼의 중량 측정 결과, 수분 투입 조건별로 투입된 수분이 내부에 소량 잔류하였거나 수분 용탈 시, 토양 입자가 수분과 함께 빠져 나와 중량변화율이 발생한 것으로 사료된다. 하지만 오픈 컬럼 내부로 투입된 수분이 전체 중량의 1~2% 정도의 오차만을 가지며 대부분 내부에 정체되지 않고 처리 토양을 지나 하부로 원활하게 용탈된 것이 확인되었다(Table 1).

3.2.2. 토양 관통 시험

13회(260 ml)조건까지는 모든 실험군에서 초기 약제 처

Table 1. Ratio of weight changes before and after testing

Number of times	Before (g)	After (g)	Rate of change (%)
4	1645.0±8.7	1628.0±16.3	1.0±0.4
7	1668.3±13.5	1636.3±17.0	1.9±0.2
10	1667.3±22.8	1643.0±13.0	1.4±0.5
13	1663.0±15.5	1630.3±20.5	1.9±0.3
16	1691.6±8.7	1687.6±20.2	1.1±0.7
19	1684.6±2.8	1661.0±28.1	1.5±1.2
22	1678.0±22.5	1679.3±1.1	1.0±0.5
25	1687.6±18.4	1666.0±10.5	1.2±0.8

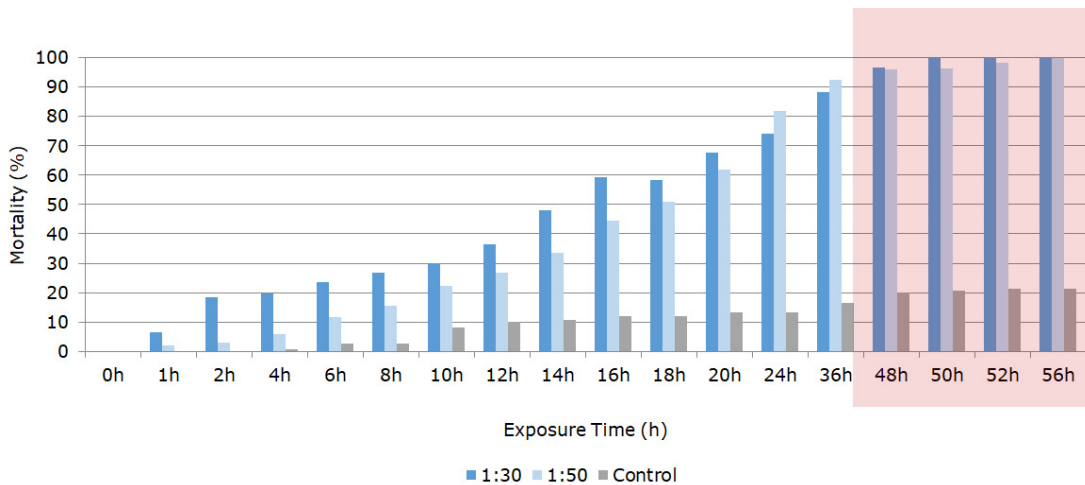


Figure 4. Mortality untreated and insecticide filter paper treated at different concentrations.

Table 2. Soil penetration according to water ingress volume







Number of times	Penetration tendency	Number of times	Penetration tendency
10 (200 ml)		13 (260 ml)	
16 (320 ml)		19 (380 ml)	
22 (440 ml)		25 (500 ml)	

Table 3. Monthly average precipitation over the last five years

Year \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
	2012	17.7	10.4	89	131.3	36.2	74.7	287.4	408.5	251.4	56.4	67.8	60.4
2013	28.5	50.4	59.7	75.5	129	101.2	302	164	120.8	52.9	57.4	21	1162.4
2014	10	28.7	74.1	85.6	56.2	77.6	152.7	369	119.6	118	56.8	26.2	1174.5
2015	25.1	25.5	40.5	126	56.5	95.5	180.3	111.2	55.1	64.3	128.2	40.2	948.4
2016	25.1	43.8	56.2	158.1	98.4	67.4	299.8	76.2	201.7	145.3	34.6	63.1	1269.7
Average	21.28 ±6.65	31.76 ±14.1	63.9 ±16.4	115.3 ±30.5	75.26 ±33.6	83.28 ±12.8	244.44 ±64.4	225.78 ±136.5	149.72 ±68.9	87.38 ±37.3	68.96 ±31.5	42.18 ±17.1	

(unit: mm)

Table 4. Average number of precipitation in the last four years

Year \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
	2013	6.1	8.1	7.4	10.3	7.8	10.2	16.3	10.6	10.1	5.6	10.8	7
2014	3.4	6.5	9.1	7.7	7.6	10.4	15.3	18.2	7.1	6.5	8.3	10.7	110.8
2015	9.4	6	5.1	14.2	6.6	9.6	14.2	10	7	5.8	15.1	9.9	112.9
2016	5.6	7.3	5.3	11.1	8.7	9.4	13.8	8.2	12.5	10.7	8.6	8.2	109.4
Average	6.12 ±2.14	6.97 ±0.79	6.72 ±1.64	10.82 ±2.31	7.67 ±0.74	9.90 ±0.41	14.90 ±0.97	11.75 ±3.82	9.17 ±2.28	7.15 ±2.07	10.7 ±2.71	8.95 ±1.44	

(unit: mm)

리 토양 접촉 후 토양을 관통하지 못하고 사육실 내부에 머물렀으며, 시간이 지남에 따라 사멸하는 것이 확인되었다. 이는 투입 초기 비기피성 약제를 처리한 연결부 토양을 천공하기 위하여 접촉 한 뒤, 약제 처리 토양의 접촉 독성으로 인해 개체가 사멸하는 것으로 판단된다.

그러나 16회(320 ml)부터 천공 양상이 관찰되기 시작하여 19회(380 ml) 이후부터는 모든 실험군에서 공시층에 의한 연결부의 천공 및 먹이실 이동이 관찰되었다(Table 2). 이는 16회 이후에는 토양에 약제가 방의 효력 임계점 이하로 잔류하는 것으로, 이는 유리 컬럼에 약제 처리 토양을 적재하여 수분 유입에 따른 약제 용탈 경향을 파악한 선행 연구 결과와 일치했다(Kyung *et al.*, 1998; An *et al.*, 2000). 해당 결과를 바탕으로 약제의 방의 효력 임계점인 16회(320 ml)를 강수량으로 환산한 결과, 약 160~170 mm의 강

수량이 약제 처리 토양에 투입될 경우 재처리가 필요할 것으로 확인되었다.

3.3. 지속 기간 산정

기상 통계자료에 따라 지난 30년간(1981년~2010년) 여름철 장마기간의 전국 평균 강수량이 356.1 mm이라는 점(Korea Meteorological Administration, 2016)과 2012년~2016년의 5년간 장마기간의 평균 총 강수량이 2015년(291.5 mm)을 제외한 나머지 연도에서 모두 350 mm 이상, 2013년~2016년까지 평균 강수 일 수가 14일 이내임이 확인되었다(Table 3, 4). 따라서 장마기간에 내리는 강수량의 약 50% 정도만 약제 처리 토양으로 흡수 및 용탈되더라도 약제 처리 토양의 방의 효력이 상당 부분 감소하여 흰개미

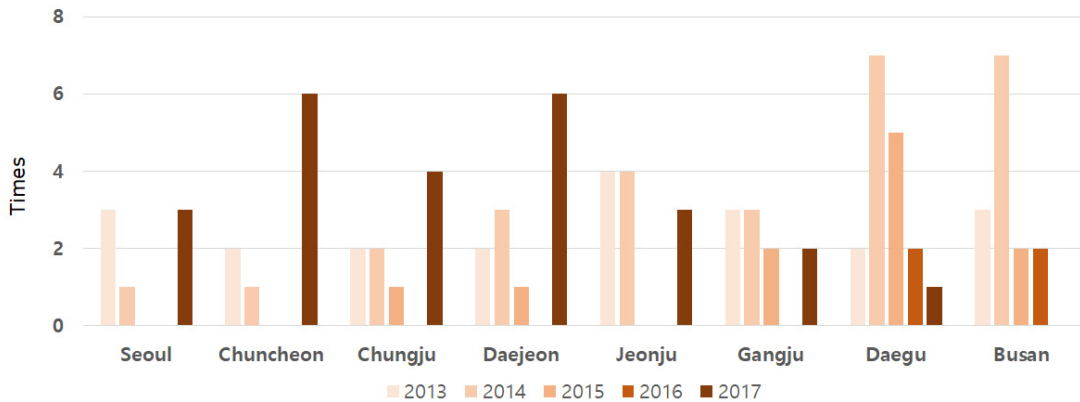


Figure 5. Number of days about daily precipitation more than 30 mm over the last five years(2013-2017).

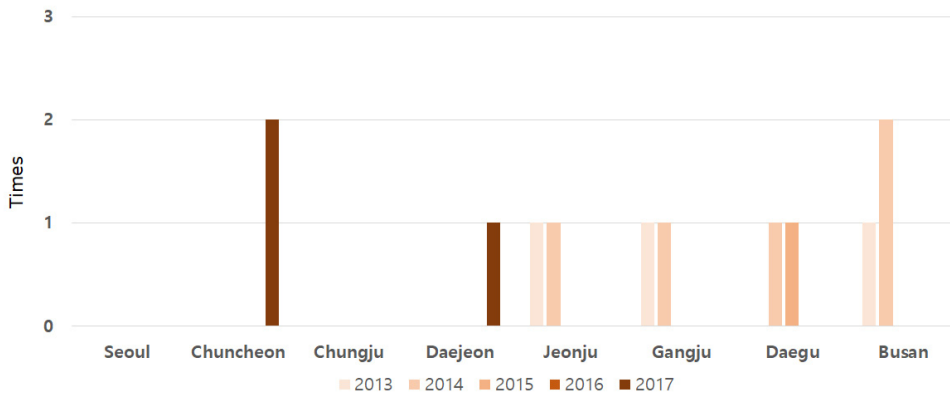


Figure 6. Number of days about two consecutive days of daily precipitation more than 30 mm for two days over the last five years(2013-2017).

에 의한 토양 천공이 가능할 것으로 판단된다.

또한 최근 5년(2013년~2017년) 동안 일 강수량이 30 mm 이상 계속된 일수는 연 평균 3~4회에서 최대 6~7회, 2 일 이상 연속으로 30 mm 이상의 강수량이 계속된 일수는 평균 0~1회, 최대 2회로 확인되었다(Figure 5, 6). 이는 연 평균 총 강수량이 1,000 mm 이상이며 장마기간(7월, 8월)의 총 평균 강수량이 356.1 mm인 점을 감안할 때, 연간 장마기간이 아닌 시기에도 총 650 mm 이상의 강수량이 30 mm 이하의 강수량으로 나뉘어 내리는 것으로 판단된다(Table 3, 4). 따라서 장마기간 이외의 기간에도 수분 유입에 의한 약제의 용탈이 꾸준히 진행될 것으로 사료된다.

그러나 토양이 일정 시간 당 흡수할 수 있는 흡수량을 초과한 경우 수분이 토양 내부로 유입되지 못하고 지면에서 흘러내리는 상황과 지면에 물이 고인 후, 주변 온도에 따라 증발되는 수분량 또한 충분히 고려되어야 될 것으로 사료된다.

이와 같은 여러 고려 요인들을 종합 해볼 때, 해당 약제의 방의 효력 임계점은 160~170 mm이지만 연간 평균 총 강수량이 1,000 mm 이상인 한국의 기후 특성상 해당 약제 처리 토양의 방의 효력 지속 기간은 1년 이내일 것으로 판단된다. 따라서 장마기간(7월, 8월)에 평균 356.1 mm의 비가 내리는 것으로 미루어 볼 때, 해당 약제의 1:30 희석액을 처리 약제로 사용할 경우에는 장마기간 이후 매년 재처리가 필요할 것으로 사료된다.

3.4. 토양처리제 평가 절차 모식도

토양처리제의 적정성 평가 및 재처리 기간에 대한 절차 및 기준을 설정하고자 평가 항목에 따른 평가 방법 및 목적으로 나눠 모식도를 작성하였다(Figure 7). 국내 서식 흰개미는 지중을 터널링하여 목조문화재의 목부재로 침입하는 생태적 특성을 가지고 있다. 이에 토양처리법은 약제 자체를 토양에 주입하여 지중흰개미의 침입을 막는 매우 효과적인 방제 방법이다(Su and Scheffrahn, 1990). 이에 따라 토양에 처리하는 약제의 기피 유무 및 접촉 독성 파악이 방의 효력 검증의 중요한 기준이 될 것으로 사료된다. 이와 더불어 토양에 처리하는 약제는 시간이 경과함에 따라 수분에 의해 용탈되며, 유효 성분이 수평, 수직적으로 확산되어 방의 효력이 저하된다(Oh *et al.*, 2000; Kang, 2001; Im *et al.*, 2004). 따라서 현장 적용 전 실내 단계에서의 수분 유입에 의한 1차적인 약제의 방의 효력 임계점 산출이 중요한 평가 사항일 것으로 판단된다.

또한 최근 5년(2013년~2017년)의 기상자료와의 비교를 통해 대략적인 약제 처리 토양의 방의 효력 지속 기간을 산정하여 재처리기간을 설정해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 약제에 대한 흰개미의 기피성, 접촉 독성 등의 방의력 평가와 모의 강우 실험, 토양관통시험을 통한

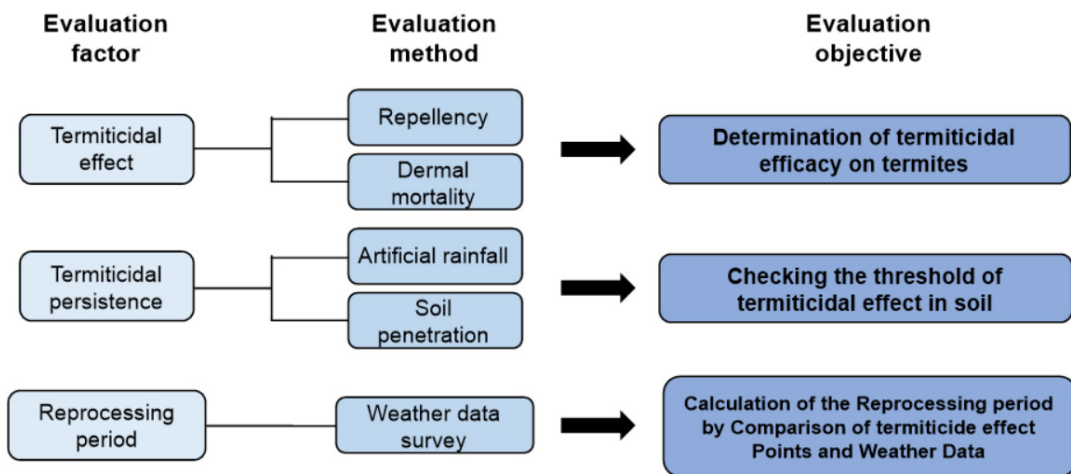


Figure 7. Evaluation diagram of soil liquid treatment method to prevent termites in Korea.

지속력 평가를 실시하였다. 이를 통해 약제의 토양처리제 적용 가능성 및 수분 유입에 의한 방의 효력 임계점을 산출하여 토양처리용 약제의 실내 평가 방안을 제안하고자 하였으며, 이와 동시에 기상 자료와의 비교를 통한 약제의 재처리기간 산출 방안을 제시하였다.

국내 강수 현상은 계절적으로 여름철에 집중되며, 이 기간 중에서도 장마는 국내 대표적인 강수발생 인자 중 하나이다. 약 30일 동안의 지속기간을 가지고 국내 연 강수량의 약 40%를 차지한다(Park *et al.*, 2008), 이러한 국내 기후 조건으로 장마에 의한 약제 용탈이 일어날 것으로 판단된다. 따라서 처리 현장의 토양과 적용 약제를 대상으로 방의력, 지속성 평가 등을 현장 적용 전에 실시하고 해당 결과를 바탕으로 적용 가능성 및 재처리 기간을 산정하여야 할 것으로 판단된다. 또한 이를 통해 적용 대상지 및 약제의 종류에 따른 지속적인 토양 처리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

현재 국외에서는 2000년 이후, 이전에 사용되던 유기인산계(organophosphates) 및 기피성 약제로 알려진 피레스로이드계(pyrethroids)(Su and Scheffrahn, 1990). 약제보다 토양 내 반감기가 상대적으로 짧고 위험성이 적은 네오니코티노이드계(neonicotinoids)의 시아메소젠크(thiamethoxam), 이미다클로프리드(imidacloprid) 및 페닐피라졸계(phenyl pyrazoles)의 피프로닐(fipronil) 등 다양한 살충 계열의 약제들이 흰개미 방제를 위한 토양처리에 사용되고 있다(Saran and Kamble, 2008). 하지만 국내에는 각 약제 계열별 국내 서식 흰개미를 대상으로 한 실내 평가 방안 및 기준이 없어 목조문화재 흰개미 방제 현장 적용에 어려움이 있다.

따라서 본 연구를 통해 국내 흰개미 방제 방안 중 하나인 토양처리법의 효과 검증 및 재처리 기간 산정을 위한 기초자료를 확보하였으며 향후 토양처리용 적정 약제 선정을 위한 약제 계열별 방의 효력 평가가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 이외에도 토양 내 약제는 가수분해, 용탈, 반감기, 생분해 등의 여러 환경적인 요인으로 약제 효과가 저감되기 때문에(Oh *et al.*, 2000; Kang, 2001; Im *et al.*, 2004), 향후 입도, 수분 투입량, pH 등의 환경 조건을 대상으로 약제 처리 토양의 방의 효력 검증 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Acda, M., 2009, Toxicity, tunneling and feeding behavior of the termite, *Coptotermes vastator*, in sand treated with oil

of the physic nut, *Jatropha curcas*, Journal of Insect Science, 9(64), 1-8.

An, K.C., Kyung, K.S. and Lee, J.K., 2000, Leaching of the herbicide quinclorac in soil columns. The Korean Journal of Pesticide Science, 4(4), 19-25. (in Korean with English abstract)

Bläske, V.U., Hertel, H. and Forschler, B.T., 2003, Repellent effects of isoborneol on subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae) in soils of different composition. Journal of Economic Entomology, 96(4), 1267-1274.

Cultural Heritage Administration, 2010, Standard specification for repair of cultural properties in modern architecture. (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 Standard quantity per unit for repairing cultural properties. (in Korean)

Gahlhoff, J.E. and Koehler, P.G., 2001, Penetration of the eastern subterranean termite into soil treated at various thicknesses and concentrations of dursban TC and premise 75. Journal of Economic Entomology, 84(2), 486-491

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.

Im, Y.B., Gyung, G.S., Kim, C.S., Choi, B.R., Hong, S.M. and Lee, J.G., 2004, Photolysis of the insecticide imidacloprid in water and water-paddy soil systems. The Korean Journal of Pesticide Science, 8(1), 38-45. (in Korean with English abstract)

Kang, S.O., 2001, Degradation characteristics of pesticides : For fenitrothion and EPN. Master's thesis, Jeju University, Jeju. (in Korean with English abstract)

Korea Meteorological Administration, 2016, Weather yearbook. (in Korean)

Kofoid, C.A. and Termite investigations committee, 1934, Termites and termite control. University of California

- Press, Berkeley.
- Kyung, K.S., Oh, K.S., Kwon, J.W., An, K.C. and Lee, J.K., 1998, Leaching behavior of the herbicide bentazon in soil column. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 2(1), 59-64. (in Korean with English abstract)
- 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)
- Lee, W.H., Choi, D.S., Ji, Y.J., Kim, N.H., Han, M.J., Park, S.H., Lee, S.J., Seo, M. S., Hwang, W.J., Forschler, B.T., Takematsu, Y. and Lee, Y.H., 2015, A new record of *Reticulitermes kanmonensis* Takematsu, 1999(Isoptera: Rhinotermitidae) from Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 18(3), 351-359.
- Lee, H.W., Lim, J.E., Kim, S.C., Kim, K.R., Kwon, O.K., Yang, J.E. and OK, Y.S., 2009, Transport of selected veterinary antibiotics(tetracyclines and sulfonamides) in a sandy loam soil: Laboratory-scale soil column experiments. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 31(12), 1105-1112. (in Korean with English abstract)
- Oh, K.S., Oh, B.Y., Park, S.S., Im, Y.B., Kyung, K.S. and Lee, J.K., 2000, Degradation of the herbicide dicamba under sunlight and in soil. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 4(3), 1-6. (in Korean with English abstract)
- Park, C.Y., Moon, J.Y., Cha, E.J., Yun, W.T. and Choi, Y.E., 2008, Recent Changes in Summer Precipitation Characteristics over South Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(3), 324-336. (in Korean with English abstract)
- Park, H.C., 1985, Effects of pyrethroid on the control of termites and the treatment of insecticides. *The Conference of the Korean Soil Zoology*, April, 9. (in Korean)
- Park, H.C. and Bae, T.W., 1997, Morphological description of *Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto (Isoptera : Rhinotermitidae) in southern part of Korea. *The Korean journal of Soil Zoology*, 2(1), 59-64. (in Korean with English abstract)
- Saran, R.K. and Kamble, S.T., 2008, Concentration-dependent degradation of three termiticides in soil under laboratory conditions and their bioavailability to eastern subterranean termites(Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 101(4), 1373-1383
- Son, D.W., Lee, D.H., Kang, C.H. and Kim, N.H., 1997, Evaluation on efficacy of preservative wood on outdoor termite repellent. *The Conference of the Korean Society of Wood Science & Technology*, April, 194-196. (in Korean)
- 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., 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.
- 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., Scheffrahn, R.H. and Ban, P.M., 1993, Barrier efficacy of pyrethroid and organophosphate formulations against subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology*, 86(3), 772-776.
- Su, N.Y., Wheeler, G.S. and Scheffrahn, R.H., 1995, Subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) penetration into sand treated at various thicknesses with termiticides. *Journal of Economic Entomology*, 88(6), 1690-1694.
- Thorne, B.L., Breisch, N.L. and Scherer, C.W., 2015, Impacts on *reticulitermes flavipes*(Infraorder Isoptera: Rhinotermitidae) by chlorantraniliprole applied to soil surrounding established tunnels. *Journal of Economic Entomology*, 108(5), 2414-2420.