

한반도 내 흰개미의 분포 현황 분석

An Analysis of the Distribution of Termites in the Korean Peninsula

Min Ji KIM¹ · Soo-Jeong SHIN¹ · Soowon CHO² · Hohun KI² · Jeong-wook SEO¹ · Kug-Bo SHIM^{1,†}

¹Department of Wood & Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

²Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

초록 : 본 연구는 우리나라에 서식하고 있는 흰개미의 분포와 종을 분석하였다. 조사는 85개의 지역을 선정하였으며, 한 지역당 3개의 군체에서 지중흰개미를 채취하였다. 수집된 흰개미의 형태, 유전적 종 분석 결과 *Reticulitermes speratus kyushuensis*, *Reticulitermes kanmonensis*, *Reticulitermes speratus speratus*로 총 3종이 분석되었다. 경남 창원 진해구에서 발견된 마른나무 흰개미는 *Incisitermes minor*로 분석되었다. 흰개미의 서식 온도와 우리나라의 기온, 지중온도를 살펴본 결과 분석된 흰개미 모두 우리나라에서 서식하기 적합한 것으로 확인되었다. 지구온난화에 따라 기온이 더욱 상승한다면 흰개미의 활동 일수와 새로운 흰개미 종의 유입이 증가할 것이라 판단된다. 따라서 기존에 서식하는 지중흰개미와 마른나무를 가해하는 외래흰개미종에 의해 목조문화재, 목조시설, 목조건축물 등에 대한 피해가 우려되며 이에 따른 방안 대책이 필요하다.

1. 서론

전 세계적으로 인위적 요인에 의한 기후변화의 결과로 지구의 온도가 상승하고, 대기의 건조화와 기상이변이 심화하고 있다. 우리나라에서는 기온과 강수량이 상승하고 있으며, 생물 종의 활동에 변화가 발생하는 등 생태계에 영향을 미치고 있다. 이러한 영향은 우리나라에 서식하는 흰개미의 서식에도 변화를 가져오고 있다. 식물을 분해하는 흰개미는 전국적으로 서식하게 되었고, 우리나라 우점 흰개미의 활동기간은 16일 증가했다(Kim *et al.*, 2023). 이에 따라 목조건축물 특히 목조문화유산의 피해가 점차 증가되고 있다. 그동안 우리나라에 서식하는 흰개미는 *Reticulitermes speratus kyushuensis*, *Reticulitermes speratus speratus*, *Reticulitermes kanmonensis*로 기록되어 있고, 2021년 여서도에서 *Glyptotermes nakajimai*가 발견되었다. 2023년 서울 강남의 주택 내부에서 *Cryptotermes domesticus*와 경남 창원시에서 *Incisitermes minor* 종이 발견되었다(Kim, 2023). Kim *et al.*(2023)은 *Cryptotermes domesticus* 종에 대해 종 분포 모델기법을 활용하여 우리나라와의 기후 적합성이 전반적으로 낮을 것이라 예측하였지만 정착 및 확산 가능성이 있다고 보고하였다.

2016~2019년에 실시된 ‘목조문화재 가해 생물종 조사’는 87.6%의 문화재에서 흰개미 탐지견의 반응을 확인하였고, 51.1%에서 육안으로 확인 가능한 흰개미 피해가 확인되었다. 특히 전북, 전남의 목조문화유산이 수도권, 충북권, 경북권의 목조문화유산에 비해 흰개미 피해 정도가 높았다(Kim and Chung, 2022). Bak *et al.*(2023)은 한옥에 존재하는 다양한 장점은 보존하되 현대에 적합한 건축방법을 강구하기 위해 흰개미 피해 입은 전통건축의 사례와 문제점을 분석하였다. 흰개미 피해에 대한 목조문화유산의 보존이 중요해짐에 따라 X선 검사 등 여러 방법이 사용되고 있다(Lee and Kim, 2022).

흰개미의 목조건축 가해는 우리나라뿐만 아니라 세계 각국에서도 발생하고 있다. 중국의 자금성도 흰개미의 침입이 확인되어 발견된 종에 적합한 화학적 방제를 실시하였다(Zhang *et al.*, 2022). 흰개미 피해는 세계적으로 일반 목조 주택에도 발생하고 있다. 호주에서는 목조주택의 흰개미 피해가 매년 증가하고 있다. 인도네시아의 경우 흰개미 공격으로 인한 경제적 손실이 8.7조에 달한다(Subekti *et al.*, 2024). 따라서 목재를 가해하는 흰개미 종의 분포와 습성에 대한 연구가 지속적으

로 수행되고 있다(Reid, 2009). 주택 중 목조주택이 약 58.9%를 차지하는 일본의 경우에도 습재, 건재 흰개미가 모두 목조주택을 가해하고 있다(Seo, 2016). 일본은 친환경 살충제로 토양과 목재부재를 처리하고 있으며, 적절한 방제를 위해 흰개미의 생태에 대해 연구하고 있다(Tsunoda, 2005). Duquesne and Fournier(2024)은 세계적으로 무역이 활발해지고 지구 온난화에 따라 흰개미의 이동이 쉬워질 것으로 판단하여 10종의 흰개미를 침입 분포 모델링 한 결과 열대 아열대는 물론이고 온대까지도 흰개미의 유입이 증가할 것이라 보고하였다.

지중 흰개미는 습하고 빛이 적은 조건에서 서식하며 기온이 낮아지면 땅속으로 들어간다(Han et al., 1998). 지중 흰개미에 대한 피해를 예방하기 위해서는 활동 범위를 파악하고 흰개미의 군체를 식별하는 것이 중요하다(Lee et al., 2023). 우리나라에 분포하는 흰개미는 총 5종으로 알려져 있다. 그러나 남한 전역을 대상으로 지역별 지중 흰개미의 분포 현황을 조사하고 분석한 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에서 85개 지역에 서식하는 흰개미 종을 분석하고자 하였다.

탄소중립 2050 국가 목표 달성을 위해 탄소배출을 줄일 수 있는 목조건축을 활성화하기 위한 노력이 공공과 민간 부문에서 폭넓게 이루어지고 있다. 본 연구의 흰개미 한반도 분포 현황 조사는 우리나라에서도 가능한 목조건축의 흰개미 피해 예방을 위해 필요한 기초자료로 이용할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지 선정과 흰개미 표본 채집

우리나라의 흰개미의 분포 현황을 조사하기 위해 기상청에서 기후자료를 수집하는 지역을 선정하여 흰개미 표본을 채집하였다. 우리나라의 가장 북쪽인 철원과 가장 남쪽인 제주도를 포함한 85개 지역(Table 1)에서 채집한 흰개미의 종을 분석하였다. 흰개미는 각 지역에서 산림 또는 산림이 인접한 장소에서 지역당 3 군체를 채집하였다. 한 군체에서 일흰개미, 병정흰개미, 여왕흰개미를 모두 채집하고자 하였다. 식재 수목을 함께 채취하였으며, 채집 장소의 주소, 고도, 위도와 경도를 기록하였다. 채집 시기가 2023년 9월 말에서 11월 초까지의 기간으로 상대적으로 흰개미의 활동이 활발하지 않은 시기였기 때문에 채집에 어려움이 있었으나 서식하는 종의 차이는 없었을 것으로 판단하였다.

2.2. 흰개미의 종 분류 방법

흰개미의 종 분류를 위하여 채집된 흰개미는 DNA의 손상을 막기 위해 모두 99% EtOH에 담아 보관했다.

2.2.1. 형태학적 분석

형태학적 특징을 분석하기 위해 병정계급의 흰개미로 건조표본을 제작한 후 Leica Microscope(MSV266)로 촬영하고, Zerene stacker(Zerene System)로 이미지를 합성했다. 병정흰개미의 머리 길이와 너비, 큰턱의 길이를 측정하고, 머리, 큰턱, 더듬이, 앞가슴등판, 앞다리의 형태적 특징을 관찰하였다.

2.2.2. 분자생물학적 분석을 통한 분류 방법

흰개미 유전자 분석을 위해 흰개미의 한쪽 가운데 다리와 뒷다리를 마쇄봉을 이용해 마쇄하였다. 이후 DNA extraction 과정은 Quiazen사의 DNeasy® Blood & Tissue Kit(USA)의 protocol을 따라 사용하였다. PCR은 다음 표와 같이 COI; LCO1490, HCO2198(Folmer et al., 1994), COII; TL2-J-3037(Liu and Beckenbach, 1992), TK-N-3785(Simon et al., 1994) primer를 사용해 진행했다. 이후 DNA sequencing을 통해 GenBank에 기록된 염기서열과 비교하여 종 동정을 실시하였다(Table 2). 집단 간 유전적 차이를 분석하기 위해 종 동정에 사용한 mitochondrial genes(COI : 658 bp and COII : 747 bp, 742 bp)를 이용해 MEGA11 프로그램으로 phylogenetic tree 분석을 진행하였다. Phylogenetic tree 분석은 GTR + G + I 모델을 적용한 maximum likelihood로 진행하였다(bootstrap rep. 1000).

3. 결과 및 고찰

3.1. 우리나라에 서식하는 흰개미의 종류

본 연구에서 조사한 85개의 지역에서는 발견된 흰개미는 *Reticulitermes speratus kyushuensis*, *Reticulitermes kanmonensis*, *Reticulitermes speratus speratus*, *Incisitermes minor*로 총 4종이었다. 분류한 216마리의 흰개미는 *R. speratus kyushuensis* 종이 187개, *R. speratus speratus* 종이 27개, *R. kanmonensis* 종이 1개, *Incisitermes minor* 종이 1개로 구성되었다(Figs. 1 and 2). 일본 흰개미라 불리는 *R. speratus kyushuensis* 종의 경우 오래전부터 우리나라에 서식하는 것으로 알려져 있지만

첫 출현에 대한 기록은 없다. *R. kanmonensis* 종은 1999년 전라북도과 충청남도에서 발견되어 형태, 유전학적으로 *R. speratus kyushuensis* 종과 차이가 있는 것으로 확인되어 기록되었다(Lee et al., 2015). *R. speratus speratus* 종은 2023년 발견된 아종으로 우리나라의 우점종인 *R. speratus kyushuensis* 종과 유전적 차이를 보이는 것으로 확인되었다(Lee et al., 2023). 이번 연구에서 분석된 *Incisitermes minor* 종은 흔히 미국서부마른나무흰개미라 불리며, 분석된 다른 흰개미 종과 달리 마른나무를 식해하는 흰개미 종이다.

우리나라의 북부와 중부 지역에는 대부분 *R. speratus kyushuensis* 종이 서식하는 것으로 확인되었다. *R. speratus speratus* 종은 비교적 온도가 높은 북부의 강화지역과 남부지역에 서식하는 것으로 나타났다. *R. speratus kyushuensis* 종과 *R. speratus speratus* 종이 함께 서식하는 곳은 11개 지역으로 분석되었다. 본 연구에서 유일하게 발견된 *R. kanmonensis* 종은 군산지역에서 *R. speratus kyushuensis*, *R. speratus speratus* 종들과 함께 서식하는 것으로 조사되었다(Fig. 3). 2023년 창원시 진해구의 아파트 단지 내 시설물(야외 정자)에서 *Incisitermes minor* 종에 의한 피해가 확인되었다(Lee et al., 2024). 이 종은 건조한 곳에 잘 적응하며, 나무를 통해 수분을 얻거나 산화대사를 통해 스스로 물을 생산한다. 또한 0.1~0.15 g의 펠릿을 생성하는 특징을 가지고 있다(Cabera and Scheffrahn, 2001). 선행연구에 따르면 번재부의 조재를 먼저 선택하여 가해하는 것으로 알려져 있다(Himmi, 2017).

3.2. 우리나라의 기후와 흰개미의 서식 관계 분석

겨울철 최저온도와 여름철 최고온도는 흰개미의 서식에 큰 영향을 미친다(Houseman et al., 2001). 최저기온에서 흰개미는 생존을 위해 탄수화물과 대사를 조절하여 체수분 함량과 지질의 균형을 맞춘다(Choi et al., 2016). 본 연구에서 흰개미를 채집한 지역의 1991~2020년간 월평균 온도(Fig. 4)를 살펴보면 평창의 1월이 -6.9℃로 가장 낮게 나타났으며, 양산의 8월이 27.4℃로 가장 높게 기록되었다. 온도별 흰개미(*R. speratus kyushuensis*)의 생존율은 25℃에서 가장 높았으며, 35℃ 이상과 -4℃ 이하에서 생존하지 못하였다(Lee and Jeong, 2004). 미국서부마른나무 흰개미의 경우 섭식활동이 왕성한 온도는 약 35℃이며 서식한계 온도는 명확히 밝혀진 바가 없다(Yuliat et al., 2007). 따라서 모든 지역의 평균 최고 기온이 35℃를 넘지 않아 고온에 의해 흰개미가 서식 불가능한 지역은 없었다. 1월의 최저기온은 평창, 파주, 제천, 인제, 철원, 춘천에서 -4℃보다 낮게 나타나 일부 지역에서는 서식이 어려울 것으로 판단되었다(Fig. 4). 그러나 선행연구에서 실제 흰개미의 서식환경을 조사한 결과 외부환경을 건지기 위해 나무의 뿌리 밑으로 서식지를 생성하였다(Takata et al., 2023). 따라서 지중 흰개미의 생육 특성상 더운 여름철엔 땅속에 개미 길을 생성하여 높은 온도를 피하고, 겨울철엔 땅 속에서 생활하기 때문에 평균기온에 의한 서식지의 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

우리나라(측정지역- 지표 -0.3 m: 춘천, 강릉, 서울, 인천, 수원, 서산, 대전, 부산, 여수, 제주, 0.5~5 m: 춘천, 강릉, 서울, 인천, 대전, 부산, 여수, 제주)의 1973~2023년 월평균 지하온도는 1월이 0.2℃로 가장 낮았으며, 28.1℃를 기록한 8월이 가장 높게 나타났다. 지면과 가까운 지중 0.05 m 위치의 온도는 1월에 0.9℃로 가장 낮았고, 8월에는 27.6℃로 가장 높았다. 가장 깊은 5 m의 경우 13.7℃~18.0℃로 저온과 고온의 온도 차이가 가장 적게 나타났다. 따라서 땅속으로 깊이 내려갈수록 추운 겨울에 저온 피해 없이 생활할 수 있음을 확인하였다(Fig. 5). *Reticulitermes* 속은 지중 1 m 이상에서 서식하면 겨울철 추위를 피할 수 있다고 보고한 연구결과와 같다고 할 수 있다(Cabrera and Kamble, 2001).

1973년부터 2023년까지의 연평균 지중온도는 기후변화로 인해 높아지는 경향이 있으며 지중 5 m까지의 온도는 13.1~17.1도로 기록되었다(Fig. 6). 지면과 지중 깊이는 뚜렷한 관계를 나타내지 않았으나 대부분 지면과 지면 가까이에서 낮은 온도를 나타냈고, 0.05 m에서 5 m까지 높은 온도가 측정되었다.

수분은 흰개미의 서식을 결정하는 중요한 인자이다. *Reticulitermes* 속의 흰개미들은 토양의 온도와 수분에 따라 섭식량을 결정한다(Janowiec and Vargo, 2021). 흰개미의 서식에 영향을 미치는 우리나라의 대기 중 상대습도는 점차 감소하는 경향을 보였다. 즉 기후변화의 결과로 건조도가 높아지고 있다고 할 수 있다(Fig. 7).

우리나라의 1990년대, 2010년대 토양의 수분량은 1월과 12월에 낮았으며, 7월과 8월에 높았다. 1990년대 1월을 제외한 모든 달이 1990년대와 비교해서 2010년대 수분량이 더 높게 나타난 것으로 보아 시간에 따라 토양의 수분량이 증가하고 있다(Fig. 8). 토양의 수분은 생태계에 변화를 야기한다(Deng et al., 2020). 따라서 변화하는 토양수분량은 땅속에 서식하는 흰개미의 생태에 영향을 미칠 것으로 판단되었다.

기상청에서 보고한 기후변화시나리오(Shared Socio-economic Pathways, 기상청)는 어떠한 시나리오를 적용하더라도 우리나라의 기온과 강수량은 점차 상승할 것으로 보고하고 있다. 변화하는 기후에 따라 우리나라에 서식하는 흰개미의 종과 수의 변화가 예측되며, 이는 목재 또는 목구조물에 대한 흰개미의 영향이 현재보다는 클 것이라고 예상된다.

기존 우리나라에 서식하던 지중 흰개미와 다른 나무를 식해하는 미국서부마른나무 흰개미가 발견됨에 따라 흰개미의 종별 특성에 따른 방제방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 흰개미는 화학적 방법 또는 물리적 방법으로 방제할 수 있다. 화학적 방제는 효과가 일시적이고 인체에도 악영향을 미치기 때문에 베이트 공법, 터마이트 매쉬 등의 물리적 방제방법이 제안되고 있다(Gu and Cheon, 2018). 국내 흰개미의 물리적 방제방법은 흰개미 진입 장벽을 개발하기 위해 흰개미의 최소 통과 직경에 대한 연구를 진행하고 있다(Kim et al., 2020). 또한 흰개미의 영역을 파악하기 위해 염료를 이용한 모니터링 방법 등이 진행되고 있다(Im and Han, 2021). 미국의 경우 지중, 건재, 습재 흰개미 등 다양한 흰개미가 존재하여 흰개미의 특성에 따라 다른 방제방법을 적용한다(Jeong, 2011). 최근 친환경 방제 방안으로 식물 줄기의 추출물을 이용하는 연구도 진행되고 있다(Zalsabila et al., 2024). 현재 우리나라에서 발견된 흰개미는 *Reticulitermes speratus kyushuensis*, *Reticulitermes speratus speratus*, *Reticulitermes kanmonensis*, *Glyptotermes nakajimai*, *Cryptotermes domesticus*, *Incisitermes minor*으로 총 6종이 확인되었다. 기후의 변화로 서식할 수 있는 흰개미의 종과 활동일수가 증가할 것으로 예상되어 우리나라에서도 목조건축의 활성화에 걸림돌이 되는 흰개미 피해를 막기 위해서 친환경적이고 유용한 방제 방안이 구축되어야 한다.

4. 결론

본 연구에서는 국내 흰개미 피해를 방지하기 위한 일환으로 전국을 대상으로 85개 지역에서 흰개미의 서식 분포 지역과 종을 조사하였다. 조사 지역으로 선정한 모든 지역에서 흰개미의 서식을 확인하였으며, 단일 종이 아닌 *R. speratus kyushuensis*, *R. speratus speratus*, *R. kanmonensis*, *Incisitermes minor* 4종이 단독 또는 함께 서식하는 것을 확인하였다. 우리나라의 최저 온도를 기록하는 겨울에도 지중 1 m의 온도가 흰개미의 서식에 적합한 온도를 기록한 만큼 겨울철에도 흰개미의 서식은 충분히 가능한 것으로 나타났다. 우리나라에 기온이 점차 상승하는 만큼 서식하는 흰개미의 활동 일수와 육상 활동이 증가할 것으로 예상되어 이에 따른 피해도 증가할 것으로 판단된다. 기후변화와 국제무역 증가에 따른 영향으로 기존에 서식하고 있는 흰개미의 활동량이 증가할 뿐만 아니라 새로운 종의 출현도 예상된다. 따라서 목조건축의 확산에 잠재적인 위험요소인 흰개미를 제어하기 위한 종합적인 대책 수립이 필요할 것으로 판단된다.