

조창욱, 김영희
홍진영, 김수지
이정민, 최정은

목재부후균이 흰개미 서식에 미치는 영향

08»

목재부후균이 흰개미 서식에 미치는 영향

조창욱*, 김영희*¹, 홍진영*, 김수지*, 이정민*, 최정은**

국립문화재연구소 보존과학연구실



Influence of Wood Decaying Fungi for Termite Ecology

Chang-Wook Jo*, Young-Hee Kim*¹, Jin-Young Hong*, Soo Ji Kim*,
Jeung-Min Lee*, Jung-Eun Choi**

*Conservation Science Division, National Research Institute of Cultural Heritage

**Planning and Coordination Division, National Research Institute of Cultural Heritage

¹Corresponding Author : kimyh93@hanmail.net

| 초록 |

백색부후균(*Trametes versicolor*)과 갈색부후균(*Tyromyces palustris*)은 목조문화재 및 건축물 등의 목재 조직의 건조, 부패과 균열, 스펀지화, 변색 등 다양한 손상을 발생시켜 구조적, 미학적인 관점에서 심각한 문제를 나타내고 있다. 그리고 가장 피해를 많이 주는 해충인 흰개미(*Reticulitermes speratus* Kyushuensis Morimoto)는 목조건축물의 옥외 기둥이나 대들보 등의 표층을 얇게 남겨두고 내부를 침해함으로써, 결국은 속이 빈 기둥이 되어 건축물이 무너져버리는 피해를 줄 수 있다. 대표적 피해 미생물인 목재부후균이 흰개미의 서식에 미치는 영향을 파악하기 위하여 부후균이 만연된 곳에 흰개미를 넣어 공존 가능성을 실험해 보았다. 목재의 중량으로 피해율을 산정한 결과, 전반적인 총질량은 두 종류의 부후균에서 모두 감소하였다. 목재의 질량은 백색부후균에서는 모두 감소하였으나, 갈색부후균에서는 오히려 증가한 경향을 볼 수 있었다. 그리고 섭식량을 측정하기 위한 목재의 건조 후 질량에서는 갈색부후균에 넣었던 목재의 질량 감소가 더 크게 나타났다.

검색어: 목재부후균, 백색부후균, 갈색부후균, 흰개미

| ABSTRACT |

The white-rot fungus (*Trametes versicolor*) and brown-rot fungus (*Tyromyces palustris*), which cause damage to a variety of wooden cultural properties and buildings, such as drying of the wood tissue, decay and cracks, sponge, and discoloration, give rise to serious structural and aesthetic problems. Moreover, pest

* 접수 : 2012. 9. 30. * 수정 : 2012. 10. 29. * 게재확정 : 2012. 10. 30.

termites (*Reticulitermes speratus kyushuensis* Morimoto) can cause damages like hollowing the outdoor beams or pillars of wooden buildings and finally causing such buildings to collapse due to the termites' destruction of the inside of the beams or pillars, leaving only a thin layer on their surfaces. This study was conducted to determine the impact of the wood-decay fungus, a representative damage-causing microorganism, and of insects and termites on the termite ecology. The damage ratio was calculated as the weight of the timber, and the overall total mass was reduced from two kinds of rot fungi. The white-rot fungi reduced the total wood mass, but the brown-rot fungi were observed to have had an increasing tendency to do so. The wood mass was measured after drying to determine the destruction capacity of termites. As a result, the wood mass consumed by the brown-rot fungi was shown to be greater.

Keyword: Wood decaying fungi, White rot fungus, Brown rot fungus, Termite

1. 서론

건축물에 사용되어지는 목재는 미생물이나 곤충에 의한 생물적 열화와 풍화·노화·마모 등에 의한 비 생물적 열화를 받지만, 비 생물적 열화는 진행이 완만하기 때문에 내부 깊숙하게까지는 피해를 입히지 못하므로 그것만으로 구조적인 내구성에 영향을 미치지 못한다. 또 목재의 곤충에 의한 열화 즉 충해 중에서 벌목이나 가루나무좀 등에 의한 피해는 그 생리·생태적인 특징 때문에 건조한 활엽수재를 중심으로 하여 구조적인 큰 피해를 주진 못한다. 결국 목조건축물 구조부재의 깊숙한 부분까지는 피해를 끼치지 못하므로 내구성을 저하시키는 열화인자는 부후와 흰개미에 의한 피해가 되며, 그 발생과 진행의 원인이 되는 것은 수분에 의한 침식이 된다. 목조건축물에는 여러 가지 기법이 있지만, 여러 목조건축물도 지면으로부터 위로 올려서 사용하고 있기 때문에 토양 수분을 직접 흡수하지는 않는다. 건축물의 기본

적 구조의 하나는 수분의 침입을 막아줌으로써 거주자의 생활을 지켜주는데 있으며, 어떠한 기법이라도 이에 따라서 설계되는 것이 절대적인 원칙이다. 수분의 침투를 완전하게 방지하지 않아도 침입된 물을 빨리 배제시킬 수 있도록 한 설계도 여기에 포함된다. 그러므로 원리적으로는 건축물에 사용되는 목재에는 수분이 작용할 수 없도록 되어야 하며, 그 상태가 지속되는 한 목재는 부후되지 않고, 흰개미의 활동도 크게 억제 되어진다(이동흡 외 2003). 그러나 현실적으로 방수재료가 해를 거듭할수록 열화 되고, 시공불량, 결로, 유지관리의 소홀 등의 다양한 원인에 의해서 점차 수분에 침식 되며, 흰개미나 미생물류 등이 서식하기 위한 조건을 갖추어 감으로써 그에 대한 피해를 초래 하게 된다.

그중 목재부후균은 목재를 부후시키는 균류의 총칭이다. 목재부후균은 자낭균에 속하는 것도 약간 있으나 90% 이상이 담자균류이다(Ains 외 1973). 담자균류는 영양분을 섭취하는 균사체(mycelium)와 번식을 담당하는 자실체(fruit

body)가 중요기관으로 목재 속에서 균사는 계속 번식하고 세포막을 관통하여 목재내부까지 만연함으로써 세포막이 파괴, 분해된다. 직접 부후에 관여하는 것은 균사의 작용이다.

목재부후균에 필요한 영양분은 탄소원, 질소원, 무기염류 등이며 탄소원으로는 cellulose, pentosan, lignin 등을 이용한다. 균사가 생육할 수 있는 최적공기 습도는 95~99%이고 목재의 함수율이 30~60%에서 최적 조건이며, 150~200% 이상에서는 목재부후균에 의한 부후가 발생하지 않는다. 부후균의 생육 최적온도는 저온균이 24℃ 이하 중온균이 24~32℃ 이상이며, 일반적으로 저온에서 잘 견디나 고온에는 대단히 약하며 균사는 70℃에서 30~60분이면 거의 사멸한다. 목재부후균은 호기성으로 목재용적에 대해 20% 이상의 공기를 필요로 하고 이산화탄소량이 80% 이상이면 생육이 정지된다. 대체로 목재부후균은 산성에서 생육이 양호하고 pH 4.0~6.0의 범위가 적당하다. 또한 이들은 일반적으로 광에 약하다. 목재의 부후는 변색으로 초기에 발견할 후 있으며 이것은 부후균이 분비하는 효소에 의해 phenol 성 물질이 산화착색반응을 받은 결과이다. 부후가 진행되면 세포막 구성성분인 cellulose, hemicellulose, lignin 등이 분해되기 시작하고 목재내에 cellulose를 분해하는 갈색부후균 (Douglas 외, 1991, Lee 외, 1997), cellulose 및 lignin을 주로 분해하는 백색부후균 (Tuor 외, 1995)으로 구분한다. 보통 목재의 부후는 대부분 갈색 부후이다.

흰개미는 목재의 구성성분인 cellulose와 hemicellulose를 후장에 공존하는 원생동물에 의하여 glucose로 변화시켜 영양원으로 이용하고 (Yamaoto 외, 1992, Itakura 외, 1997) lignin은 그대로 배출하여 집을 구성하는데 이용한다. 흰개미는 수천~수만이 군체를 형성하며 거

의 모든 수종을 가해하나 특히, 소나무류에 대해 심하다. 이들은 목재의 표층을 얇게 남겨놓고 내부를 침해기 때문에, 특히 목조 건축물의 기둥 등을 가해하여 그 속을 공동화 시켜 심하면 건축물의 기둥이 무너지게 되는 큰 피해를 미칠 수 있다. 목조건축물의 부후나 흰개미 피해에 의한 열화는 건물의 내용연수를 단축시키고, 강풍이나 지진에 대한 구조안정성을 손상시키므로 사용 중인 건물에 있어서 열화발생의 유무나 진행정도를 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다 (김영숙 외, 2007(I), 김영숙 외, 2007(II)). 그리고 이들이 함께 발생하여 복합적으로 피해를 줄 경우 피해 정도 및 상호보완적인 관계를 파악하는 것 또한 중요하다 (Abe 외, 1979). 따라서 본 연구에서는 부후균의 작용 기작에 따른 피해 정도의 차이는 있으나 흰개미와 함께 발생하였을 시에 그 피해 정도를 파악하고자 본 실험을 진행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 목재부후균과 흰개미

실험에 사용된 백색부후균 (*Trametes versicolor*, KFRI 20256)과 갈색부후균 (*Tyromyces palustris*, KFRI 21055)은 충남대학교 임산공학과에서 분양받아 페트리디쉬 (120×90mm, SPL)에 넣어 28℃, 관계습도 70%의 인큐베이터 (TH-ME 100, Jeio Tech, Korea)에서 한 달 간 배양하여 본 실험에 사용하였다 (Fig. 1). 흰개미 (*Reticulitermes speratus* Morimoto)는 대전광역시 유성구 문지동 국립문화재연구소 뒷산에서 채집한 흰개미를 암실에서 22℃의 조건에서 누대 사육하여 실험에 사용하였다.

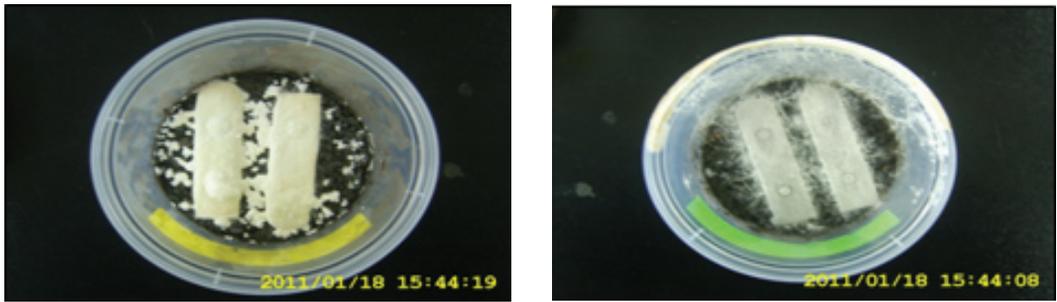


Fig. 1. Cultivated *Trametes versicolor* (Left) and *Tyromyces palustris* (Right)

2.2. 목재시편

흰개미의 섭식량을 관찰하기 위하여 흰개미를 채집하며 서식지 근처에 있는 소나무를 채취하여 사용하였다. 그 이유는 실험에 있어서 흰개미의 서식환경을 안정적으로 맞추기 위하여 흰개미가 서식 했던 곳의 소나무를 선정하였다. 채취한 소나무는 손으로 만져도 부서질 정도의 부후가 진행된 상태였으며 흰개미가 가해하기 매우 쉬운 상태인 것을 선정하여 실험에 사용하였다. 산에서 채취한 소나무 조각을 약 80×50×30mm(가로×세로×높이)의 크기로 잘라놓는다. 그 후 실험 전 순수 목재의 무게를 재기 위하여 120℃의 건조기(OF-11E, Jeio Tech, Korea)에 넣어 24시간 동안 빠르게 건조한 후 전자저울을 이용하여 무게를 측정 후, 습한 목재를 가해하는 흰개미의 특성 때문에 실험에 사용하기 전에 1차 증류수가 담긴 데시게이터(Nalgene, USA)에 소형 진공펌프(Rocker 300, Gaeseong Sci co., Korea)로 압력을 가하여 약 한 시간가량 목재에 수분을 함침 시켜 무게를 측정하였다.

2.3. 실험방법

두 종의 균을 배양한 페트리디쉬에 나무 조각

과 흰개미 50마리(일개미 45마리, 병정개미 5마리)를 넣고 페트리디쉬 뚜껑을 닫아 밀봉한 후 22℃의 인큐베이터(TH-ME 100, Jeio Tech, Korea)에 넣어 진행하였다. 두 종의 균을 3반복씩, 1주 간격의 관찰주기로 총 12주 동안 실험을 진행하고, 습도유지를 위하여 6주 후에 각각의 페트리디쉬에 1차 증류수를 3ml씩 넣어 주었다. 측정은 매주마다 페트리디쉬의 총무게를 재었고, 실험 전 나무 조각의 건조 전과 후 무게, 실험 종료 후 나무조각의 건조 전과 후 무게를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 목재부후균과 흰개미의 상호관계

백색부후균과 갈색부후균의 경우 목재 부후에 있어서 작용 기작이 다르며, 육안으로 관찰했을 때 균이 자라는 모습과 형태 또한 다르게 나타난다. 한 달간 배양한 백색부후균과 갈색부후균의 경우, 백색부후균은 솜뭉치를 뭉쳐놓은 것처럼 희고 둥근 모양으로 자라고 갈색부후균은 얇고 가는 흰색의 실로 누에가 번데기를 만들 듯 자라는 모습이다(Fig. 1). 한 달 동안 잘 배양한 목재

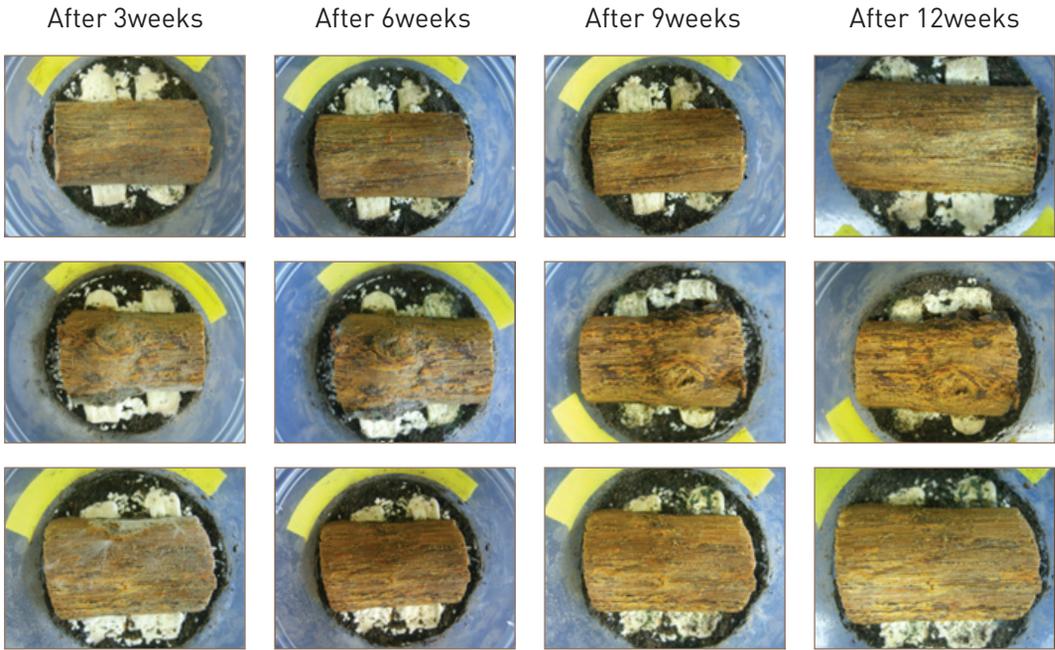


Fig. 2. The testing process of *Trametes versicolor*



Fig. 3. The testing process of *Tyromyces palustris*

부후균에 섭식 실험을 위한 목재 시편을 넣고 흰개미 50마리(일개미 45마리, 병정개미 5마리) 함께 배양하면서 주기적으로 관찰하였다(Fig. 2와 3). 그 결과 백색부후균의 경우 시간이 경과하여도 부후균의 자라는 표면적이며 색이 변하지 않는 반면에 갈색부후균의 경우는 균이 자라는 모습이 잘 보이지 않을 뿐만 아니라 처음 흰색의 균들이 보이지 않는 것을 알 수 있었다.

이것은 백색부후균과 갈색부후균의 작용 기작이 다른 것에서 사료된다. 백색부후균은 목재의 구성성분인 cellulose와 lignin 모두를 분해하지만 갈색부후균은 cellulose를 분해하지만 lignin을 분해하지 못한다. 시편 목재의 색은 점점 짙어 지는데 갈색부후균의 영향이 아닌, 주변 목재의 색이 수분에 침식당하며 짙은 갈색을 띠는

것으로 판단된다. 여기에 흰개미가 목재를 섭식한 후 cellulose와 hemicellulose를 분해하여 영양원으로 사용하지만 lignin는 섭식 후 배출하게 됨으로써 lignin을 분해하지 못하는 갈색부후균에서 lignin의 축적량이 많아지므로 표면의 색이 변하는 것으로 판단된다.

3.2. 백색부후균에서의 목재 중량 감소율

백색부후균 내에서 흰개미 섭식에 따른 시편 목재의 중량 감소율을 측정하였다. 그 결과 주간 감소율은 적지만 12주 동안 측정한 결과에서는 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 4).

목재부후균의 부후 매커니즘에 따르면 주변 수분이 많은 환경에서 잘 성장하면서 목재내의 기존

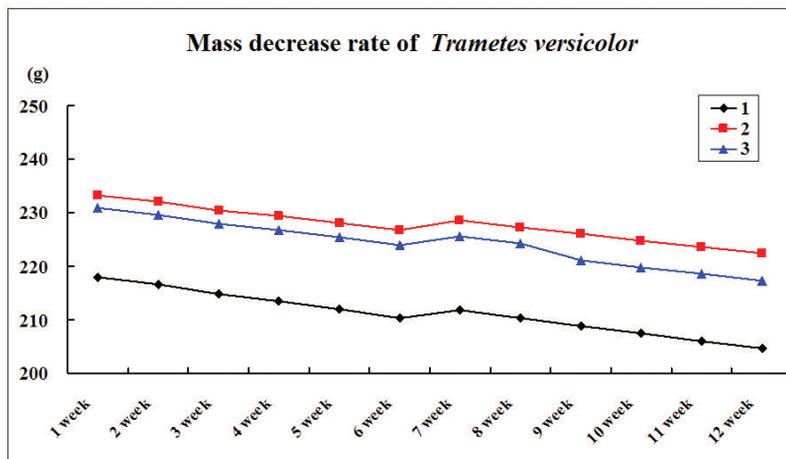


Fig. 4. Mass decrease rate of *Trametes versicolor*

Table 1. Mass decrease rate of wood rate piece after impregnation

After impregnation	Before exp(g)	After exp(g)	decrease rate(%)	avg(%)
<i>Trametes versicolor</i>	42.74	40.09	6.20	3.96
	56.08	55.41	1.20	
	53.69	51.42	4.49	

Table 2. Mass decrease rate of wood rate piece after dehydration

Dehydration	Before exp(g)	After exp(g)	decrease rate(%)	avg(%)
<i>Trametes versicolor</i>	12.07	10.67	3.31	7.21
	16.05	14.47	9.84	
	14.72	13.47	8.49	

수용성물질이 녹아들어 가수 분해되는 물질이 분해되고 그 다음으로 cellulose와 lignin이 분해되게 되는데 이것은 흰개미의 섭식 속도보다 느리게 작용하게 된다. 그러므로 부후균에 의해 목재 시편에 수분이 공급되면 흰개미가 섭식이 용이하게 되고 다음으로 서서히 균에 의한 cellulose와 lignin이 분해되는 과정을 거치게 될 것이다.

위의 Table 1과 2에서 수분을 제거하지 않은 목재 시편의 중량 변화를 측정한 결과 평균 3.96%의 중량 감소율을 나타내었고, 목재를 건조시켜 수분을 제거한 후 초기 무게와 비교한 결과 목재의 중량 감소율은 평균 7.21%로 나타났다.

3.3. 갈색부후균에서의 목재 중량 감소율

갈색부후균 내에서 흰개미 섭식에 따른 시편 목재의 중량 감소율을 측정하였다. 그 결과 주간 감소율은 적지만 12주 동안 측정한 결과에서는 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 5).

위의 결과는 갈색부후균에서의 흰개미 섭식량을 실험한 결과이다(Table 3과 4). 백색부후균과 마찬가지로 갈색부후균의 경우 수분을 배제하지 않고 목재의 중량 변화를 측정한 결과 평균 2.93%로 목재의 무게가 증가하였고, 목재를 건조시켜 수분을 제거한 후 초기 무게와 비교한 결과 평균 9.03%로 감소하였다. 갈색부후균의 경

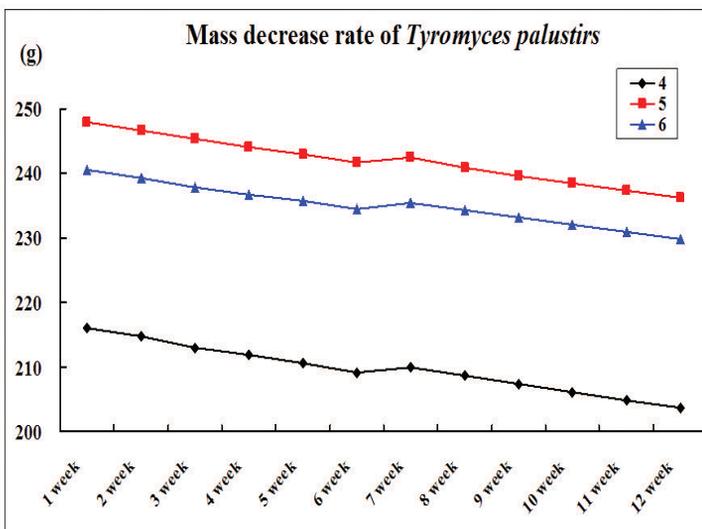


Fig. 5. Mass decrease rate of *Tyromyces palustris*

Table 3. Mass decrease rate of wood rate piece after impregnation

After impregnation	Before exp(g)	After exp(g)	decrease rate(%)	avg(%)
<i>Tyromyces palustris</i>	43.12	41.15	4.57	+2.93
	65.72	68.86	+4.48	
	61.73	67.22	+8.90	

Table 4. Mass decrease rate of wood rate piece after dehydration

Dehydration	Before exp(g)	After exp(g)	decrease rate(%)	avg(%)
<i>Tyromyces palustris</i>	11.37	9.90	12.93	9.03
	14.83	13.54	8.70	
	17.78	16.81	5.46	

우는 균사 밖으로 2차 대사산물을 분비함으로써 목재를 더욱 연질화 시켜 목재 깊숙이 침투한다. 그러므로 수분 함유량의 증가로 목재의 중량이 증가하였으나 이는 흰개미의 목재 섭식을 매우 용이하게 함으로써 건조 목재의 중량이 현저히 감소하게 되었다. 따라서 갈색부후균이 있는 환경에 흰개미가 서식할 경우, 갈색부후균에 의한 목재의 물리적 강도가 저하될 뿐만 아니라 이것은 흰개미에 의한 피해를 가속시키는 원인이 될 것이라고 판단된다.

4. 결론

목재부후균은 목재를 부후시키는 균류의 총칭이다. 목재부후균은 자낭균에 속하는 것도 약간 있으나 90% 이상이 담자균류이다. 부후가 진행되면 세포막 구성성분인 cellulose, hemicellulose, lignin 등이 분해되기 시작하는데 목재 내에 cellulose를 주로 분해하는 갈색부후, cellulose 및 lignin을 주로 분해하는 백색부후로 크게 구별된다. 부후균의 작용 기작에 따른 피해

정도의 차이는 있으나 흰개미와 함께 발생하였을 시에 그 피해 정도를 파악하고자 본 실험을 진행하였다. 목재의 중량으로 피해를 산정한 결과, 전반적인 총질량은 두 종류의 부후균에서 다 감소하였다. 목재의 질량은 백색부후균에서는 모두 감소하였으나, 갈색부후균에서는 오히려 증가한 경향을 볼 수 있었다. 그리고 섭식량을 측정하기 위하여 목재의 건조 후 질량에서는 갈색부후균에 넣었던 목재의 질량 감소가 더 크게 나타났다. 결과적으로 갈색부후균이 목재를 더 부후시키며 수분 함유량 또한 증가시켜 흰개미 섭식에 도움을 주는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 갈색부후균에 의해 수분이 증가하게 되면 흰개미의 유인과 동시에 섭식도 용이하게 함으로써 목조 건축물 피해를 증가시킬 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화유산융복합연구 (R&D)사업의 일환으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김영숙, 윤정희, 강호양, 박상진., 2007. 목재문화재 열화 및 보존기술에 관한 연구 (제1보) 장경각 구조부재중 큰기둥의 생물적 열화 특성. 목재공학 34(1), 51-63.
- 김영숙, 한상미., 2007. 민경희, 안희균., 1981. 목재문화재 열화 및 보존기술에 관한 연구 (제2보) 장경각 구조부재중 실내 판가 기둥의 생물적 열화 특성. 목재공학 34(1), 64-72.
- 이동흡, 유동표., 2003. 흰개미의 생태와 방제. 임업연구원 연구자료 제206호.
- Abe T, and Matsumoto T., 1979. Studies on the distribution and ecological role of termites in a lowland rain forest of West Malasia (3) Distribution and abundance of termites in Pasoh Forest Reserve. Jap. J. Ecol. 29, 337-351.
- Ains worth GC, Sparrow FKS, and Sussman AS., 1973. The fungi. IV B. Academic press. 303-476.
- Douglas S, Flournoy T, Kent K, and Highley TL., 1991. Wood decay by brown-rot fungi: changes in pore structure. Holzforschung 45(5), 383-388.
- Itakura S, Tanaka H, and Enoki A., 1997. Distribution of cellulases, glucose and related substances in the body of *Coptotermes formosanus*. Mat. Org. 31, 17-29.
- Lee JW, Kim HY, Koo BW, Choi DH, Kwon M, and Choi IG., 2008. Enzymatic saccharification of biologically pretreated *Pinus densiflora* using enzymes from brown-rot fungi. J. Biosci. Bioeng. 106, 162-167.
- Tuor U, Winterhalter K, and Fiechter A., 1995. Enzymes of white-rot fungi involved in lignin degradation and ecological determinants for wood decay. J. Biotechnol. 41, 1-17.
- Yamaoka I, and Murakami R., 1992. Symbiotic cellulose digestion system in the termites: distribution of methanogenic bacteria. Zool. Sci. 9, 1280.