

방염 처리 고목재의 미생물 분해의 미시형태적 특징

위승곤 · 김익주* · 박영만** · 김윤수

전남대학교 임산공학과, 광주광역시 북구 용봉동

*국립해양유물전시관, 전라남도 목포시 용해동

**국립광주박물관, 광주광역시 북구 매곡동

Micromorphological Characteristics of Buddhist Temple Woods Treated with Fire-retardant

Seung Gon Wi, Ik-Joo Kim*, Young Man Park** and Yoon Soo Kim

Department of Forest Products & Technology, Chonnam National University,
Gwangju 500-757, KOREA

*National Maritime Museum, Mokpo 530-170, KOREA

**Gwangju National Museum, Gwangju 500-150, KOREA

요 약

화재를 예방하고자 방염 처리 한 일부 고건축재에서 발견된 미생물에 의한 고목재의 분해를 전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 방염 처리한 고건축 부재는 2차벽 중층에 마이크로배열 방향과 동일한 동공을 가지고 있는 전형적인 연부후를 보였다. 또한 주사형 및 투과형 전자현미경을 사용하여 관찰한 결과 일부 세포벽은 세균에 의해 분해된 것으로 나타났다. 방염 처리한 고건축재에서 나타난 이같은 부후형태는 수분으로 포화된 수침 고목재에서 나타나는 전형적인 부후 형태이다. 부후 형태로부터 본 연구에 사용된 고건축 부재는 방염 처리 후 흡수성이 급격히 증가하였으며, 이같은 함수율의 증가는 사용된 방염제 때문인 것으로 생각된다. 본 연구 결과 사찰 및 궁궐 등 고건축물에 사용하고 있는 방염제에 대한 보다 더 체계적이고 심도있는 연구가 필요함을 보여주었으며 아울러 방염제가 목재의 흡수성과 강도에 미치는 영향에 대한 연구가 뒤따라야함을 제시하였다. 본 논문은 또한 기상 열화에 의한 일부 목재의 표층부에 나타난 중간층의 분해에 대해서도 논의하였다.

중심어: 사찰, 방염제, 미생물부후, 연부후, 침식형 박테리아

Following the recommendations made by the cultural authorities the wooden cultural properties (WCP) had been treated with fire-retardants for fire protection. However, visual inspections of some of the WCPs treated with fire-retardants showed microbial decay. The work was extended to examine the micromorphological characteristics of the WCPs in a Buddhist temple which had been treated with fire-retardant. Microscopic examination

showed the presence of typical soft rot cavities along the length of microfibrils in the secondary wall. Bacterial attack was also observed by scanning and transmission electron microscopy. It is interesting that the decay patterns observed in the Buddhist temple were very similar to those observed in the waterlogged woods. Presumably chemicals in the fire-retardants used rendered the wood susceptible to attack by soft-rot and bacterial decay by causing an increase in the moisture content of wood. Further studies are needed to investigate the effect of fire-retardants used currently on the hygroscopicity and the strength of wood materials in the WCPs. Microbial attacks caused degradation of the secondary cell walls and in some cases also of the middle lamella. In addition, the cell walls in the outer parts of wood were also degraded due to weathering, and cell separation occurred from total disintegration of the middle lamella.

Key words: Buddhist temple, fire retardant, microbial decay, soft rot, erosion bacteria.

1. 서 론

문화재청에 등록된 상당수의 목조문화재는 사찰 및 궁궐의 목재 건축물들이다. 국보로 지정된 목재문화재 21 개중 13 개가 사찰이거나 궁궐이며 이 같은 경향은 보물로 지정된 목재문화재에서도 마찬가지이다. 즉 118 개의 보물 목재문화재 중 64 개가 사찰과 궁궐에 속한다¹. 이들 사찰과 궁궐의 목재 건축물들은 함수율이 20% 이하를 유지하고 있기 때문에 소위 건조 고목재(dry archaeological wood)에 분류한다. 이들 건조 고목재는 기건 상태에서 장기간 놓여 있으므로 목재 부후균의 피해로부터는 자유로우나 곤충의 피해를 받는다². 그럼에도 불구하고 최근의 조사 결과 우리나라의 문화재급 목조 건축 부재와 사찰 등은 부후균의 피해와 함께 흰개미의 피해를 받고 있는 것으로 나타나고 있다^{3,4,5}.

그러나 건조 고목재인 사찰 및 궁궐의 목조문화재의 가장 큰 적은 화재이다. 그것은 생물 열화의 경우 부분적인 보수 등을 통해 목조문화재의 가치 손상을 최소한으로 하는 선에서 교체할 수도 있지만, 일단 화재의 피해를 받은 고건축물은 그 원형 보존뿐 아니라 교체가 불가능해진다. 따라서 문화재 당국과 사찰 관계자들은 항시 화재의 위협성에 노출되어 있는 사찰과 궁궐 등의 목재 문화재를 화재에 대비하고자 방염(fire retardant) 처리를 실시하고 있다. 고건축 부재는 화재 이외에도 자외선에 의한 기상 열화(weathering)의 가능성에 노출되어 있지만 화재의 위협 정도에 비한다면 비교할 수 없을 정도로 미미하다 하겠다.

최근 우리 연구팀은 방염 처리된 고건축재에서 예상치 않게 미생물에 의한 부후를 발견하였던 바 여기에 보고하고자 한다. 연구 결과 방염 처리한 건축 부재는 전남 신안 앞바다에

서 인양된 신안선과 같이 목재가 수분으로 완전히 포화되어 있는 수침(waterlogged) 고목재에서나 볼 수 있는 부후 형태를 나타내었다. 본 연구는 방염 처리한 고건축 부재의 미생물 열화의 미시형태적 특징을 파악하고 아울러 이 같은 피해 원인이 무엇인지를 알아보기 위해 착수하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 시편은 전남 순천시 소재 모 사찰의 대웅전(보물 제 804 호)에 있는 것으로 2000 년 10 월 방염 처리한 마루판과 창틀이다. 사찰로부터 방염 처리 후 마루판에서 양말이 적시고 많은 물을 흡수내야 했다는 보고를 청취하고 사찰의 협조를 얻어 2001 년 8월 시편을 채취하였다.

2.2 방법

함수율은 전기 저항식 함수율 측정기를 사용하여 측정하였다. 현미경용 시편은 면도칼을 사용하여 마루 바닥과 창틀에서 절편을 채취한 후 glutaraldehyde(3%)(in sodium cacodylate buffer)용액으로 고정한 다음 완충액으로 세척한 후 알코올 계열 탈수한 다음 London Resin White에 포매하여 광학 현미경, 투과 및 주사형 전자현미경 사용하여 채취한 시편의 분해 형태를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 함수율

함수율은 전기 저항식 수분계의 측정 범위를 넘는 것으로 최소한 80% 이상으로 추정되었다.

3.2 현미경 관찰

마루판과 창틀에 사용된 목재는 수지구와 소나무형 창상 벽공을 갖는 경송류이었다. 시편의 횡단면 관찰에서 조재와 만재와 구별없이 모든 부분에서 2 차벽에서의 동공(cavity)이 관찰되었다(Figs. 1, 2). 일부 세포벽들은 중간층만 남기고 2 차벽이 완전 분해되었거나, 2 차벽의 박벽화 현상을 보이기도 했다(Fig. 3). 전자현미경 관찰 결과 이들 시편의 경우 중간층은 분해되지 않았으나 그럼에도 불구하고 세포벽의 부후 정도는 상당히 심하게 나타났다

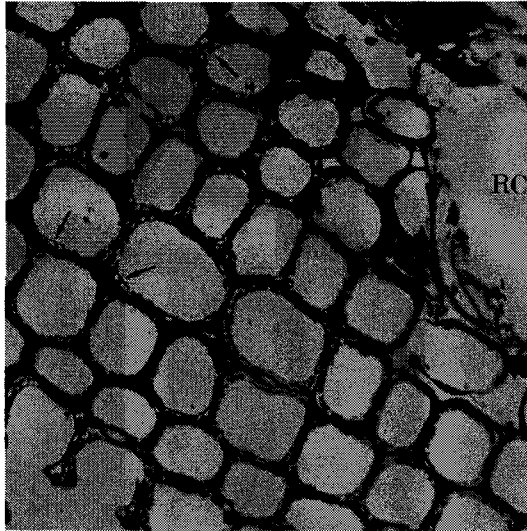


Fig. 1. Wood degraded by soft rot fungi. Cavities(arrows) in the secondary cell walls of *Pinus* spp. Light micrograph. RC: resin channel. ($\times 400$).

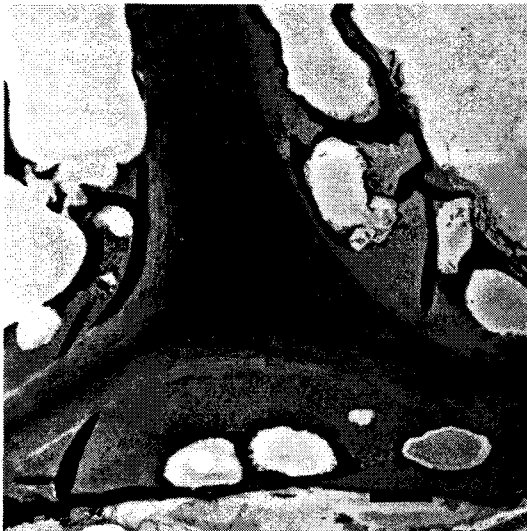


Fig. 2. Wood degraded by soft rot fungi. Cavities in the S2 layer. TEM micrograph. bar = 1 μ m.

(Fig. 4). 주사형 전자현미경 관찰 결과 이 동공은 S2층의 마이크로 파이버릴 배향각과 동일하게 나타났다(사진 생략).

현미경 관찰 결과 대부분의 방염 처리 목재는 전형적인 연부후(soft-rot decay)의 피해

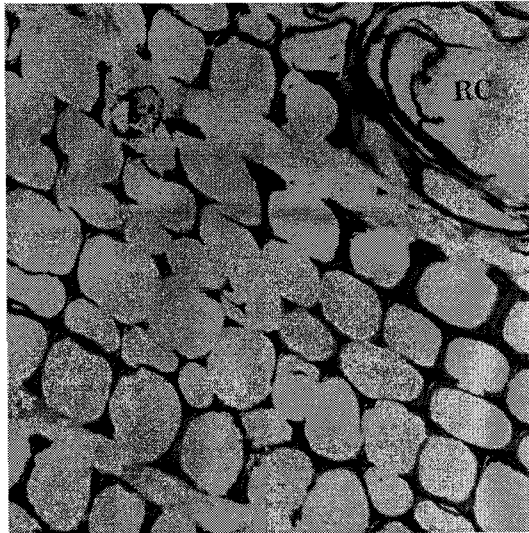


Fig. 3. Wood degraded by white rot fungi. The secondary cell walls are extensively degraded., but the middle lamella is degraded only in some places. RC: resin channel. Light micrograph. ($\times 400$).

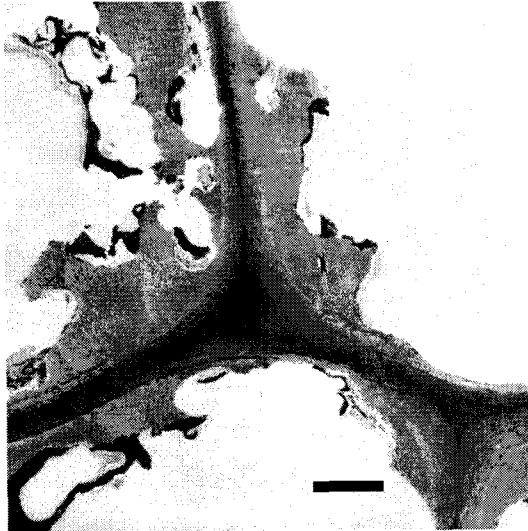


Fig. 4. Wood degraded by soft rot fungi. The secondary cell walls are heavily degraded but the middle lamella is intact. TEM micrograph. bar = 2 μm .

(Figs. 1, 2, 4)를 보였으며 부분적으로 백색 부후(white-rot decay)의 형태(Fig. 3)를 나타냈지만 백색 부후를 나타낸 부위는 많지 않았다. 목재는 목재 내의 함수율에 따라 생물 열

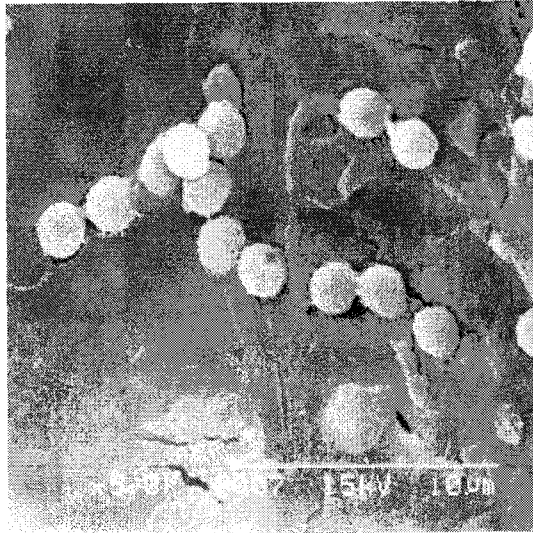


Fig. 5. Bacterial presence indicating wood cell wall degradation by these organism. SEM micrograph. bar = 10 μ m.

화의 종류가 달라진다는 것은 잘 알려진 사실이다⁶. 연부후는 항상 수분과 접촉하고 있는 목재 냉각탑⁷이나, 수침 고목재에서 나타나는 전형적인 피해 양태이다⁸. 특히 수침 고목재의 경우 연부후와 함께 세균의 피해도 동시에 관찰되는 것이 혼함으로^{8,9} 전자현미경을 사용하여 피해부분을 재 관찰한 결과 연부후 이외에도 구상의 세균이 관찰되었으며, 이들 세균에 의한 세포벽의 침식(erosion)도 확인되었다(Fig. 5).

본 연구에 사용된 방염 처리한 사찰의 목재는 이론적으로는 항상 건조한 상태를 유지하는 건조 고목재인 고건축재이다. 그럼에도 불구하고 수침 고목재나 냉각탑에서나 관찰되는 연부후와 세균에 의한 피해가 발생했다는 것은 방염 처리한 목재의 수분이 매우 높은 상태를 유지했기 때문인 것으로 판단된다. 문제는 이 같은 고습수율이 왜 발생했느냐는 것이다. 방염 처리 전에는 매우 건조한 상태를 유지했었다는 사찰측의 보고 등을 종합해 본다면 본 시편에서 나타난 고습수율은 방염 처리한 방염 처리제의 화학적 성분에 기인할 것으로 사료된다.

이 사찰의 방염 처리에 사용된 방염제의 화학적 조성은 확실히 밝혀지지 않고 있으나 붕소(boron)가 주 구성 성분인 것으로 전해지고 있다. 붕소(borax 또는 boric acid)를 함유하는 난연제를 처리한 목재의 경우 용탈성(leachability)과 흡수성(hygroscopicity)의 증가가 단점으로 지적되고 있다. 따라서 붕소가 함유된 방염제의 이같은 단점을 보완하기 위해 방염 처리한 목재를 정상적인 방법으로 피복처리(coating system)해도 용탈과 흡수성의 증가를 방지하기는 힘든 것으로 나타나고 있다¹⁰. 무기염으로 방염 처리한 목재는 일반적으로 흡

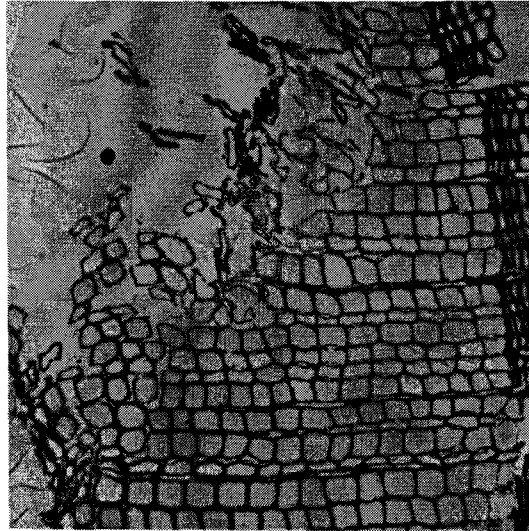


Fig. 6. Separation of wood fibers and total degradation of middle lamella in the outer part of wood due to weathering. Light micrograph. ($\times 200$).

수성이 증가한 것으로 나타나고 있다¹¹. 특히 고농도의 난연제로 사용할 경우 이 같은 현상은 상대습도가 높을 경우 더욱 그러하다¹². 흡습성의 증가는 미생물에 의한 건축 부재의 피해를 촉진하게 된다.

본 연구에서 사용된 시편의 고건축재의 흡수율이 지나치게 높은 것은 이 목조 사찰의 화재 예방을 위해 사용한 난연제에 들어있는 붕소 성분의 화학적 작용 때문으로 추측되는 바, 방염 처리제의 화학적 조성이 밝혀진다면 이 고건축재의 열화 원인에 대한 보다 상세한 논의가 가능할 것으로 예상된다.

최근 난연제 사용으로 단청의 색상에 부정적인 영향을 끼치고 있다는 사례들도 이야기되고 있는바 목조 문화재가 갖는 미적 가치를 고려한다면 난연제의 선택과 사용에 보다 신중을 기해야할 것으로 사료된다. 따라서 난연제가 목재의 흡수성, 강도, 도장에 미치는 영향에 대한 보다 과학적이고 체계적인 연구 결과가 나타나기 전까지는 사찰과 궁궐의 건물에의 난연제의 사용을 일단 중단하는 것도 바람직할 것으로 사료된다.

한편 난연제를 처리한 창틀의 경우 창틀 표면 부위에서 중간층이 분해되어 나타났다(Fig. 6). 이 같은 분해가 방염 처리 후에 나타난 것인지, 아니면 방염 처리 전부터 있었던 것인지를 또 다른 조사를 통해서 밝혀질 것이나, 방염 처리 전부터 이미 자외선에 의한 소위 기상 열화(weathering)에 의해 발생한 것으로 생각된다.

4. 결 론

방염 처리한 순천 모 사찰의 대응전의 마루판과 창틀을 조사한 결과, 마루판은 연부후와 세균의 피해가 심하게 나타났으며, 창틀은 기상열화에 의한 피해가 나타났다. 본 연구 결과 목재 고건축재를 방염 처리할 경우 그 방염제의 부작용이 무엇인지에 대한 고찰이 필요한 것으로 나타났다. 또한 고목재의 방염 처리 후 건조 방법의 개선 및 보존 처리 방법에 대한 논의가 있어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kim, Y.S. and S.G. Wi. 2001. Current status of wooden cultural properties in Korea with particular regard to deterioration agents and preservation policies. In: Korea-Japan Joint Seminar on Effective Inspection and Maintenance Technologies to Prevent Biodeterioration of Wooden Cultural Properties. Pusan, Oct. 16-18, 2001. pp. 85-91.
2. Nilsson, T. and G. Daniel. 1990. Structure and the aging process of dry archeological wood. In: R.M. Rowell and R.J. Barbour Eds. Archaeological Wood. Adv. Chem. Ser. 225, Am. Chem. Soc. Washington, D.C. pp. 67-86.
3. 이동흡, 강창호, 손동원. 1998. 국내에서 흰개미 분포 및 피해 사례 조사. 한국 목재공학회 '98 학술발표 논문집. pp. 216-220.
4. 이동흡, 강창호, 손동원. 1999. 목조사찰문화재의 생물열화 피해실태 조사. 한국 목재공학회 '99 학술발표 논문집. 144-149.
5. 한성희, 이규식, 정용재. 1998. 한국 서식 흰개미의 특성과 방제. 보존과학연구 19:145-172.
6. Blanchette, R.A. 1995. Biodeterioration of archaeological wood. Biodeterioration Abstract 28: 113-127.
7. Daniel, G. & T. Nilsson. 1998. Developments in the study of soft rot and bacterial decay. In: A. Bruce & J.W. Palfreyman: Forest Products Biotechnology, Taylor & Francis, London. pp. 37-62.
8. Kim, Y.S. & A.P. Singh. 2000. Micromorphological characteristics of wood biodegradation in wet environments: A review. IAWA Journal Vol. 21(2): 135-155.
9. Singh, A.P. and J.A. Butcher. 1991. Bacterial degradation of wood cell walls: a review of degradation patterns. J. Inst. Wood Sci. 12: 143-157.
10. Richardson, B.A. 1993. Wood Preservation, 2nd. Edition, E & FN Spon, London. pp. 226.
11. Nicholas, D.D. ed. 1973. Wood Deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. 1. Syracuse Univ. Press.
12. Goldstein, I.S. and W.A. Dreher. 1961. A non-hydroscopic fire retardant treatment for wood. Forest Products Journal 11(5): 235-37.