

聖德大王神鐘 撞木の 樹種과 劣化

姜 愛 慶[†]

國立慶州博物館 保存科學室

Species Identification and Weathering of Wooden Striker on the Divine Bell of King Songdok

Aekyung Kang[†]

Conservation Science Lab., Kyungju National Museum

요 약 성덕대왕신종 당목의 수종과 오랜 세월동안 외부적인 요인(태양빛, 수분, 온도, 공기)에 의한 열화를 조사하였다. 당목의 수종은 느티나무(느릅나무과, *Zelkova serrata*)로 밝혀졌다. 열화로 인한 변화를 육안으로 관찰하였을 때 표면변색, 할렬, 목재면의 거칠어짐이 나타났다. 미세형태학적인 변화는 열화형태에 따라 세 부분(I, II, III-spot)으로 나누어 관찰하였다. I-spot에는 채색으로 변색됨과 동시에 조직의 관찰이 불가능할 정도로 먼지층이 완전히 조직을 뒤덮고 있었다. 그와 달리 변색이 되었지만 조직의 관찰이 가능한 II-spot는 무수한 균사와 세포내강에 유입된 먼지 등의 오염물이 관찰되었다. 세포벽은 열화로 인해 물리적인 강도를 소실하여 약화되어 있으며 그로 인해 세포벽의 미세한 할렬과 찢김 등을 관찰할 수 있었다. 균사가 세포를 뒤덮고 있지만 그로 인한 목재 부후는 관찰되지 않았다. 표면에서 불과 0.5 mm 아래의 III-spot는 목재의 고유한 적갈색을 유지하고 있으며 세포벽은 건전재와 유사하였다. 이상의 변화들은 목재부후와는 구별되었으며 표면에서 불과 0.5 mm 이하의 지극히 표면적인 현상이라고 할 수 있다.

Abstract The wooden striker on the Divine Bell of King Seongdeok was examined to identify the species of the wood and the outdoor wood weathering caused by solar light, moisture, temperature and air. The species of the wooden striker was identified to *Zelkova serrata*. When observed the striker with naked eyes, the results were surface discoloration (graying), cracking and roughness. In order to examine the morphological changes according to deterioration type, the specimen were separated to three part(I, II, III-spot). The I-spot was discolored to gray and at the same time entirely covered with dust. So the observation was impossible. The II-spot was also discolored but its texture could be observed. On it could observe numerous fungal hyphae and dirt like dust flown into the cell lumens. The cell wall has been so weakened by weathering that it lost the physical intensity. This have made microchecks and splits on the cell wall. Although fungal hyphae covered the cell, they did not result in wood decay. The III-spot, located just 0.5 mm below the surface, was maintaining the natural red-brown color of the wood. Its cell wall was similar to that of sound wood. These changes are different from wood decay, and limited only to the surface of the striker-less than or equal to 0.5 mm below.

I. 서 론

統一新羅時代 惠恭王 7年(771년)에 완성된 국보 29호

인 성덕대왕신종은 약 1200여년 동안 사찰과 慶州邑城 等地的 백성들에게 시각을 알리고 福樂을 소원하는 梵鐘으로서의 기능을 충실히 수행하여 왔다.

그러나 일제시대에 신종이 경주박물관으로 옮겨져 유물로서 보존, 전시된 이래 해방이후에는 '제야의 종' 외에는 타종을 하지 않게 되었고 1975년에는 박물관의 신축이전에 따라 舊 東部洞의 목조 종각에서 현재의 시멘트 트로 건조된 종각으로 이전되었다.

[†]Corresponding author : Conservation Science Lab., Kyungju National Museum
Tel : 054) 740-7587
Fax : 054) 740-7545
E-mail : woodcon@hanmail.net

보관장소의 잦은 이전으로 인한 환경변화나 겨울철에 이루어지는 제야의 종 행사가 신종에 좋지 않은 영향을 끼칠 것이라는 우려가 대두되기에 이르렀다. 이에 1999년 신종에 대한 정밀 안전진단 및 종합적인 학술조사를 거친 후 2001년부터 일년에 한번씩 타종이 허락되어 현재에 이르고 있다.

신종과 관련된 시설 중에 빼놓을 수 없는 것 중의 하나가 당목(撞木)이라고 할 수 있지만 관련된 기록은 그다지 찾아볼 수 없다.

당목이 사용된 시기를 살펴보면 종각과 동일한 시기(1600年代)에 만들어진 것이거나 1차 이전(1460년, 世祖 6年) 장소인 靈妙(廟)寺에 있을 당시의 것일 가능성이 크다. 그 크기는 길이 145 cm, 최대 직경 30 cm, 무게 66 kg이며 수종은 소나무로 일부 갈라진 곳이 있으나 지금까지도 타종할 수 있을 만큼 상태가 좋다고 한다.¹⁾

2003년 3월 5일자 신문기사에 의하면 당목의 수종은 소나무이며 종과 맞닿은 부분이 오랜 타종으로 인해 노후화 되어 아름다운 종성을 충분히 낼 수 없으므로 당목을 교체하여야 한다는 기사를 접하였다.²⁾

실제 타종에 있어서 당목의 수종이 무슨 종류이건 무관하다고 할 수 있다. 그러나 앞으로 음향학적인 측면에서의 기초자료를 제공함에 있어 연구관 과제를 생각한다면 수종식별 등의 목질재료로서의 기본적인 데이터의 확보와 더불어 미세형태학적인 열화상태를 밝혀두는 것이 당연한 것이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 신종과 관련된 시설의 하나인 당목에 관한 정확한 수종을 밝히고 목재로서의 세포형태학적인 측면에서 당목의 상태를 파악해 두는 것에 의의를 두고 있다.

II. 재료 및 조사방법

성덕대왕신종 당목 시편은 Fig. 1에서 보듯이 타종 시에 종과 직접적으로 맞닿는 쪽의 횡단면상의 표면부에서 소량을 채취하였다.

수종식별용 시료를 제작하기 위해 실체현미경 및 육안으로 정확한 횡, 방사, 접선의 삼단면이 노출되도록 블록을 만들었다.

슬라이딩 마이크로톰(sliding microtome)으로 두께 20 μm의 절편을 제작하고 캐나다발삼으로 봉입하여 영구프레파라트를 제작하여 광학현미경으로 관찰하였다. 수종의 확인은 기 조사된 조직학적인 특징과 비교하여 수종을 식별하였다.³⁾

열화로 인한 미세형태학적인 변화를 관찰하기 위해 채취한 시편은 육안으로 부위를 분류하여 각각 관찰하였다. 즉, 먼저 변색과 함께 가장 먼지가 많이 덮여 있어 목재의 조직이 관찰되지 않는 부분(I-spot), 변색이



Fig. 1. The sampling point (O) was faced to the strike face of wooden striker.

되어 있지만 먼지가 많이 퇴적되어 있지 않아 목재의 조직이 확인되는 부분(II-spot)과 그 바로 아래 부분으로 표면에서 0.5 mm 아래 부분(III-spot)이다.

이들 시편은 실체현미경으로 관찰하면서 정확한 삼단면의 시편을 각각 제작하고 금증착(gold coating)후 주사전자현미경(SEM, Hitachi-3400)으로 관찰하였다.

III. 조사결과 및 고찰

1. 수종분석

성덕대왕신종 당목의 수종을 식별한 결과 느티나무(느릅나무과, *Zelkova serrata*)였으며 세포조직학적인 특징을 Fig. 2(a)-(d)에 나타내었다.

횡단면인 Fig. 2(a)에서 보듯이 공권부에는 1-2열의 대형관공과 공권외에는 다각형의 소형관공이 모여서 접선상 혹은 파상의 배열을 하는 집단관공을 이루는 환공재이다.

대형관공의 내부에는 타일로시스로 차 있으며 축방향 유조직은 주위상 또는 익상을 나타내고 있다.

방사단면에서는 도관요소와 목섬유의 종단면을 관찰할 수 있다. Fig. 2(b)에서처럼 도관요소의 이음부에는 단천공과 도관의 주위에는 도관상가도관이 존재하여 소도관에는 나선비후가 현저하게 분포한다. 도관과 방사조직이 직교하는 분야에는 교호상벽공이 존재한다. Fig. 2(c)에서처럼 방사조직은 다열의 평복세포와 상하의 1열이 방형세포로 이루어진 이성III형이다. 방사조직의 상하부에 있는 방형세포 내에는 다량의 능형결정이 관찰되었다.

접선단면에서는 Fig. 2(d)에서처럼 1-8세포폭의 방사조직이 관찰되며 도관상호간의 교호상벽공이 관찰된다. 방사유세포내에는 능형의 결정이 다수 관찰된다.

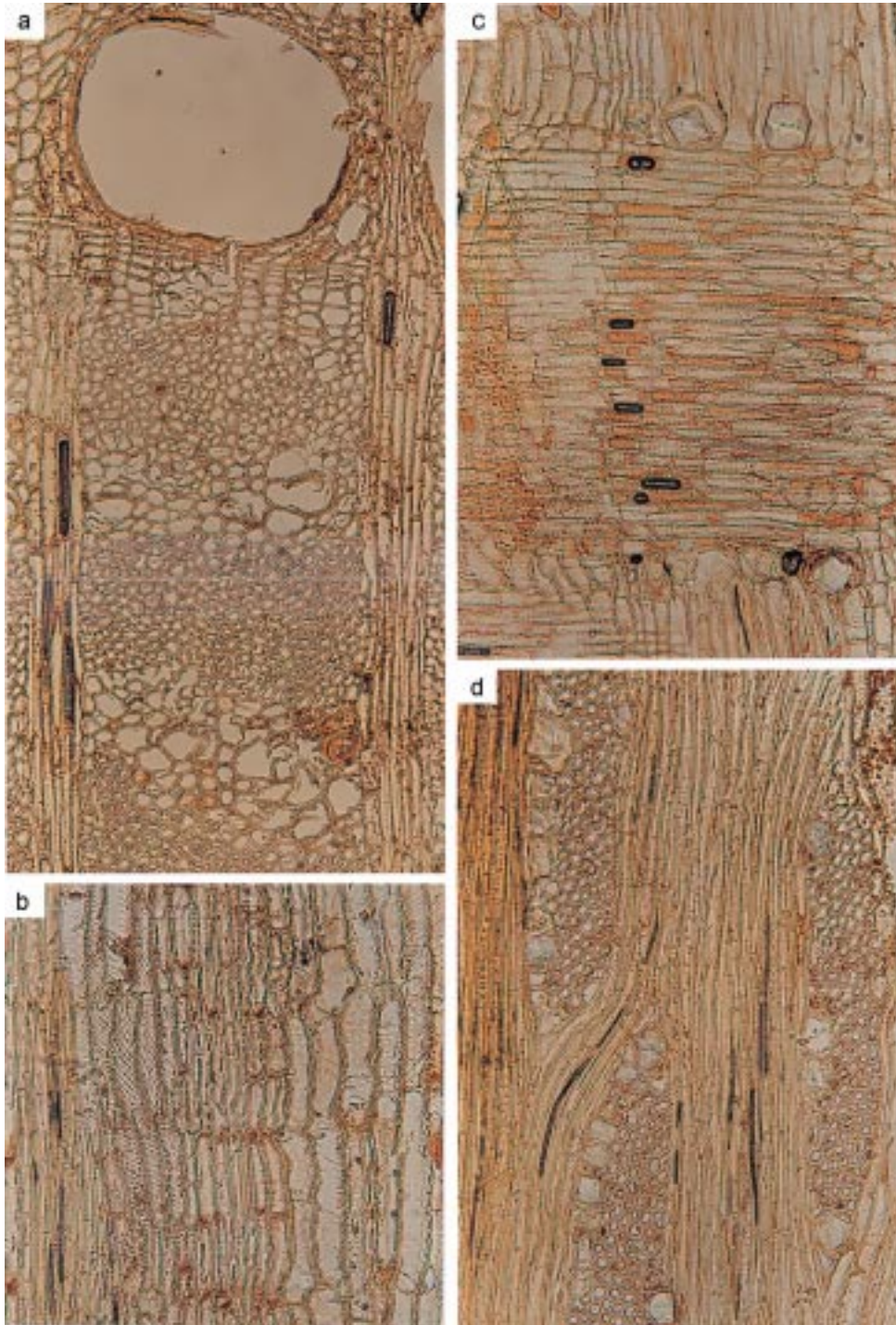


Fig. 2. Microscopic image of *Zelkova serrata*. Notes; (a): cross section, (b, c): radial section, (d): tangential section.

조직학적인 특징으로 이 수종은 느릅나무과의 느티나무로 식별할 수 있다.

느티나무는 전국적으로 자생하는 낙엽활엽교목으로 수고 26 m, 직경 3 m에 이르며 성장속도가 빠르다. 수명이 길고 수형이 단정하며 수관폭이 넓어서 정자목이나 녹음수로 훌륭하고 공원이나 거리에 심어도 좋다.

목재는 색조와 결이 아름답고 약간 윤이 나며 잘 썩지

않고 단단한 편이라 가공이 용이하다. 재질이 뛰어나서 무늬단판, 마루판, 기구재 등으로 다양하게 이용된다.

2. 당목의 열화(Weathering)

오랜 세월동안 옥외의 환경에 노출된 당목은 빛, 수분, 온도, 생물적인 요인에 의한 열화로 다양한 변화를 보였다.



Fig. 3. The strike cross section of wooden striker.



Fig. 4. The opposite cross section of wooden strike.



Fig. 5. Appearance of wooden striker to the southeastward.



Fig. 6. Appearance of wooden striker on the northwestward.

첫째 전체적인 당목의 외형을 육안으로 관찰해 보면 목재의 변색, 할렬, 목재 면의 거칠어짐 등을 알 수 있었다.

Fig. 3에서 보듯이 타종 면은 심하게 섬유가 일그러져 있고 약간 적갈색을 띄고 있었다. 타종 면과 반대면은 Fig. 4에서 보듯이 조재부의 대형관공이 있는 연륜부를 따라서 동심원상으로 골이 파져 있고 재색으로 변색되어 있었다. 또한 천장에 매어 두기 위해 박은 철제 구조물에 기인한 갈라짐이 관찰되었다.

목재의 재색은 Fig. 5에서 보듯이 고유한 재색인 적갈색을 잃고 잿빛을 띄고 있다. 이 부분은 태양 광에 직접적으로 많이 노출된 동남쪽의 면이므로 목재 면은 거칠어짐의 정도가 심하다. Fig. 6에서처럼 햇빛과 직접적인 접촉이 적은 북서쪽인 이 부분은 다소 적갈색이 남아 있으며 목재의 면도 매끈하였다. 이와 같이 동일한 장소에 노출되었더라도 태양 빛의 각도와 조사량에 따라서 열화의 정도에 큰 차이를 보인다는 것을 알 수 있었다.

그러나 이러한 광열화는 Fig. 1에서 보듯이 시편을 떼어낸 단면이 시편의 색과 달리 느티나무재의 건전재처럼 고유한 적갈색이 드러난 것으로 보아 변색은 표면에서만 일어남을 알 수 있다. 실제 다른 연구에서도 이러한 광열화의 깊이는 0.05~2.5 mm 정도의 목재 표면에만 한정되는 현상이라고 한다.⁴⁾

건전재(健全材, sound wood)인 느티나무는 적절한 연화처리를 해야 시편을 절단할 수 있는데 반해 당목의 시료는 연화를 거치지 않고도 슬라이딩 마이크로톰으로 시편의 절단이 가능하였다. 이것은 목재가 오랜 시간동안 옥외에 노출되어 열화로 인해 강도를 잃었기 때문으로 생각할 수 있다. 광분해는 목재의 주성분인 리그닌의 분해를 일으키는데 변색과 동시에 목재의 물리적인 강도를 손실하게 하는 원인이 된다고 할 수 있다.⁵⁾

또 하나의 육안적인 변화로 Fig. 7에서 보듯이 표면의 할렬을 관찰할 수 있다. 이 현상은 옥외에 노출된 목재의 열화를 일으키는 또 하나의 중요한 인자인 수분에



Fig. 7. Cracks were caused by moisture observed at the surface wood tissues.



Fig. 8. As weathering continues, erosion takes place.

의한 것이라고 할 수 있다. 목재는 고유한 물리적 특성으로 외기의 습도에 따라 흡습과 방습을 반복하며 급격히 습도가 변하게 되면 목재의 표면과 내부에는 함수율의 농도경사가 달라져 목재는 수축과 팽윤을 하며 이로 인해 할렬이 생기게 되는 것이다. 이것은 옥외노출 목재에서 발생하는 대표적인 열화의 현상이라고 할 수 있으며 외관에 영향을 끼치고 나아가 물리적인 강도의 약화를 가져오게 된다.

특히 Fig. 8에서처럼 조, 만재의 경계부를 따라서 움푹 패인 거칠거칠한 목리가 관찰된다. 조, 만재간의 광열화의 차이로 인해 약화된 부분의 열화가 지속되면서 외부적인 비바람, 토양분이나 먼지 등이 마치 연마제의 역할을 하면서 나아가 침식이 발생하여 표면이 거칠거칠해지게 된다.⁴⁾

이러한 물리적인 변화로써의 침식현상은 수종과 주변 환경에 따라 정도를 달리한다. 고비중의 목재일수록 침식율이 낮으며 침엽수재가 더 심하게 나타나며 조재부

가 더 빠르게 침식된다.⁴⁾

둘째 세포의 미세형태학적인 변화를 관찰하기 위해 I, II, III-spot으로 분류하여 주사전자현미경으로 관찰하였다.

먼저 I-spot은 Fig. 9에서 보듯이 시편의 가장 표면부로 변색과 함께 육안으로 확인이 될 정도로 세포의 조직이 두꺼운 먼지의 층으로 덮여져 있다. 이러한 외형적인 먼지는 퇴적될 뿐만 아니라 동시에 바람과 함께 마치 연마제로 작용하여 목재의 표면을 조금씩 침식시켜 나갈 수 있다.⁴⁾ 또한 퇴적된 먼지의 층은 습도가 높은 장마철 등에는 수분을 충분히 유지하여 증으로써 미생물의 생육에 좋은 조건을 제공할 수 있다.

다음으로 II-spot은 갈색으로 변색이 되어있지만 먼지가 두껍게 덮여있지 않아 목재 조직의 관찰이 가능한 부분이다.

육안으로 관찰하였을 때는 가장 바깥쪽보다는 열지만 역시 재색으로 변색되었고 먼지의 퇴적이 미미하여 세포의 조직을 관찰할 수 있었다.

미세형태학적인 변화를 관찰하였을 때 Fig. 10에서처

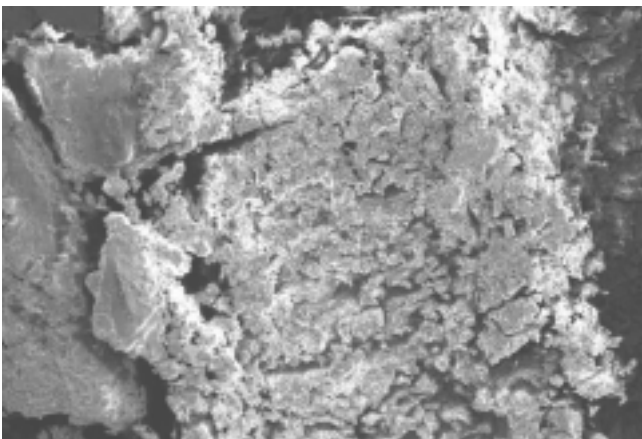


Fig. 9. The outer surface was covered with dirt (I-spot).

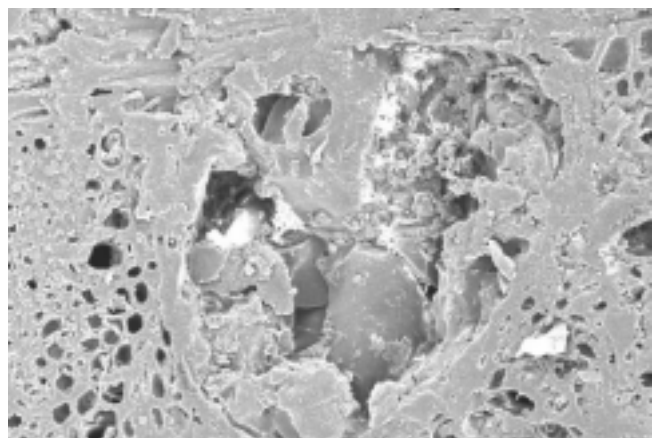


Fig. 10. The vessel lumen were occupied with dirt particles and tylosis in early wood (II-spot).

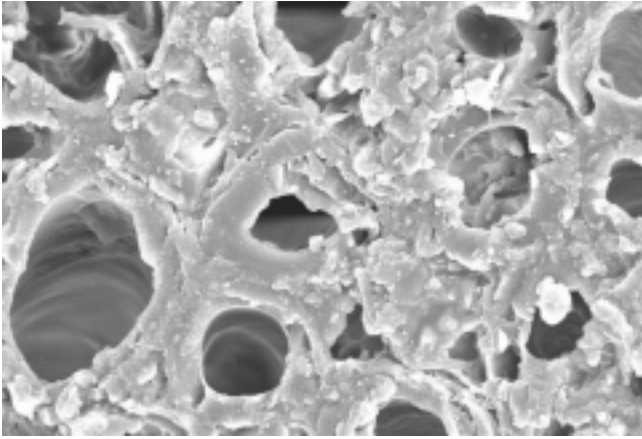


Fig. 11. Cell wall detached from compound middle lamella (II-spot).

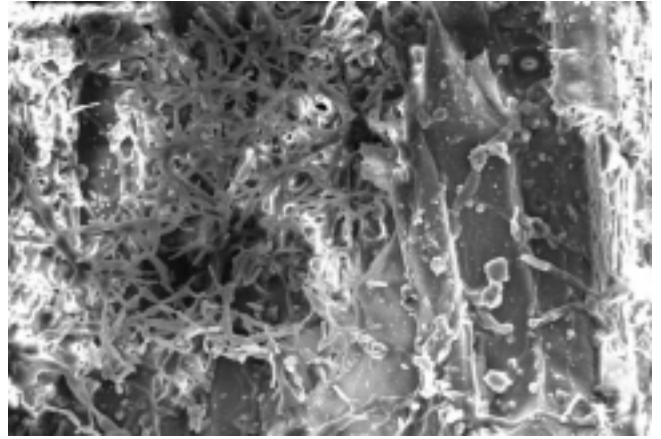


Fig. 12. External dirt and fungal hyphae were covered cells (II-spot).

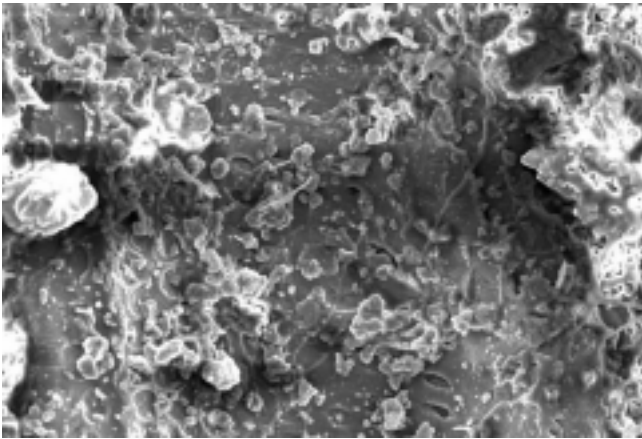


Fig. 13. The bundle of fungal hyphae were found and enlarged pit apertures (II-spot).

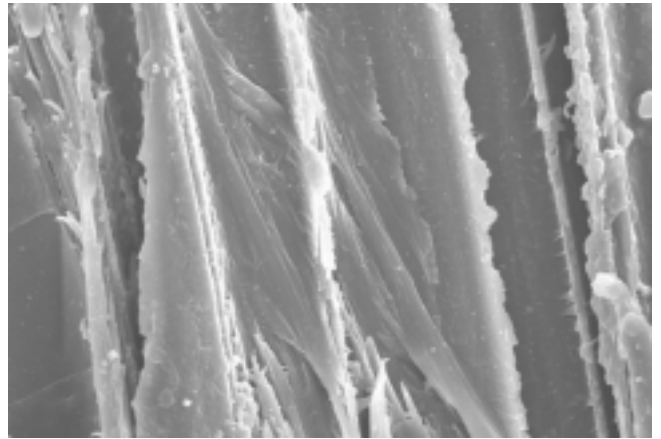


Fig. 14. Cracks appeared as spiral check in radial section, running parallel to the microfibril orientation (II-spot).

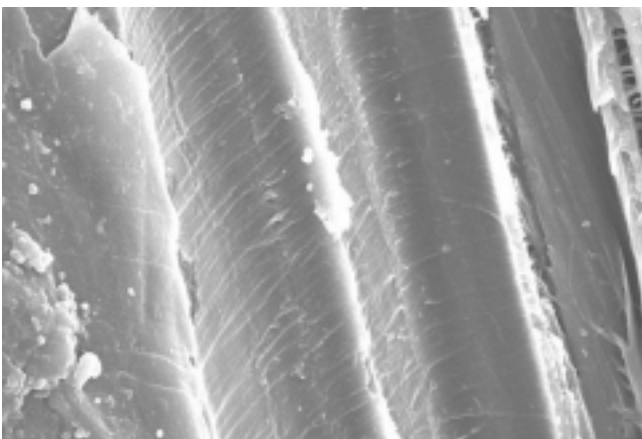


Fig. 15. Inner layer of cell wall were splitted (II-spot).

럼 대형 도관의 횡단면에서 보면 타일로스스와 함께 외부에서 유입된 먼지가 도관을 가득 메우고 있음을 관찰할 수 있다. Fig. 11에서처럼 리그닌의 광분해로 인

해 세포벽의 강도를 소실하여 세포상호간의 결합이 느슨해져 중간층과 분리됨을 알 수 있다. 약화된 목재의 시편을 제작하는 과정 중에 생긴 물리적인 손상도 고려할 수 있지만 일차적으로는 이미 리그닌의 분해로 세포가 강도를 손실하였기 때문에 생긴 현상이라고 할 수 있다.

Fig. 12, 13에서 보듯이 방사, 접선단면에서 보면 세포를 뒤덮고 있는 먼지와 균사를 쉽게 확인할 수 있다. Fig. 12에서처럼 균사는 많은 분지를 형성하여 다발을 이루고 있으며 Fig. 13에서처럼 외부에서 유입된 오염물질로 보이는 물질들이 세포벽에 퇴적되어 있음을 관찰할 수 있다.

세포벽의 종단면을 관찰해 보면 Fig. 14, 15에서처럼 microfibril의 경사각을 따라서 생긴 나선상의 활렬과 축방향으로 세포벽의 찢김(split)현상을 관찰할 수 있는데 이것은 광열화로 인해 리그닌의 분해로 세포벽이 약화되어 생긴 현상으로 생각된다.

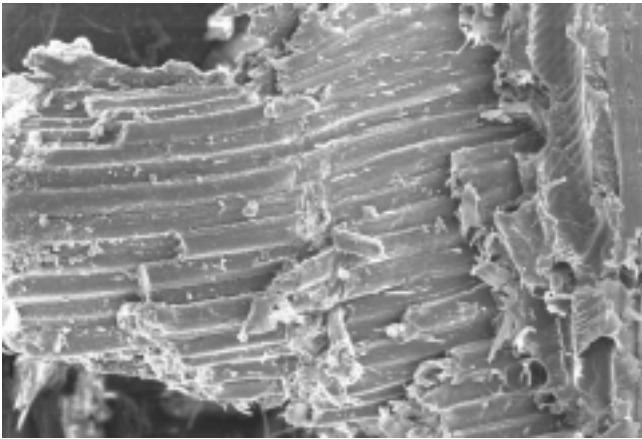


Fig. 16(a). Bundle of fungal hyphae were observed to ray parenchyma, especially (II-spot).

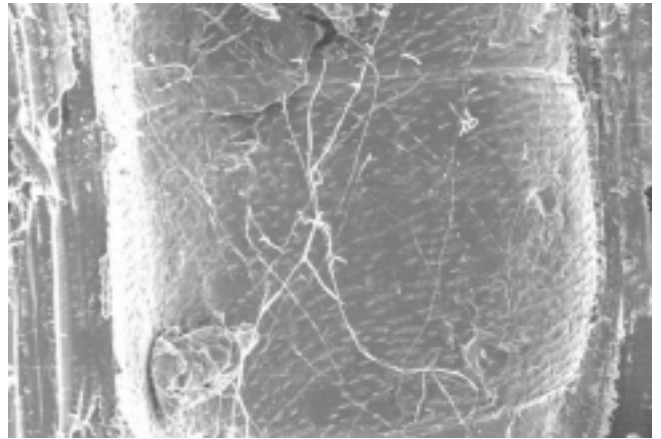


Fig. 16(b). Vessel lumen were examined to amounts of fungal hyphae and dirts (II-spot).

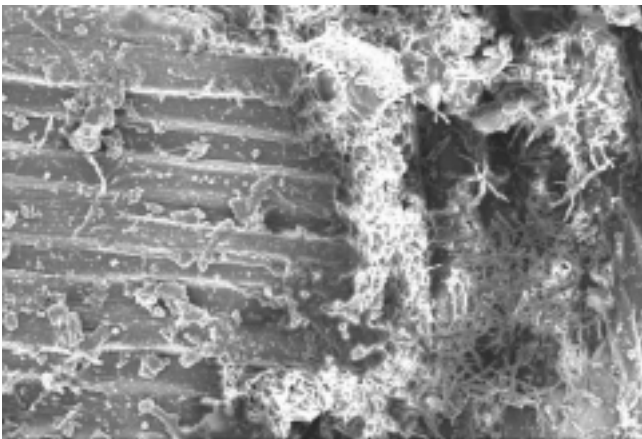


Fig. 17(a). No found fungal hyphae and dirts in ray parenchyma (III-spot).

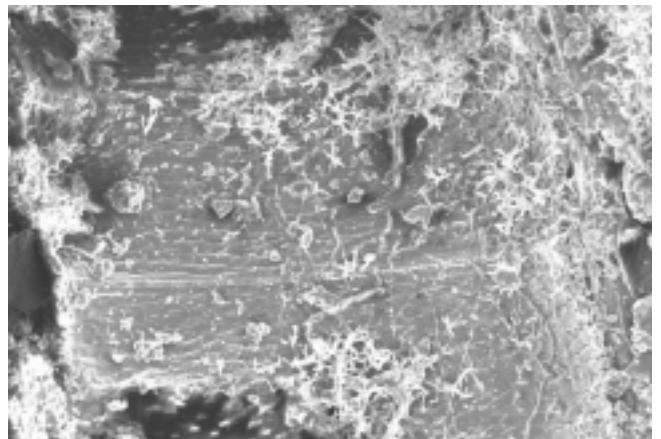


Fig. 17(b). Fungal hyphae were found in vessel lumen (III-spot).

특히 Fig. 16(a)에서처럼 미생물의 좋은 영양원으로 작용하는 방사유세포의 주변에서는 균사의 다발을 확인할 수 있으며 전체적으로 많은 균사의 존재를 확인할 수 있다. 방사유세포의 세포벽은 세포상호간에 분리가 일어나며 강도를 손실하여 외압에 의해 쉽게 찢겨짐을 알 수 있었다.

Fig. 16(b)에서처럼 대형 도관의 내강에는 특히 많은 균사의 다발과 먼지 등의 불순물이 확인되었다. 이는 도관은 내강이 크므로 이를 통해 균사와 먼지 등의 유입이 쉽기 때문으로 생각된다. 이들 곰팡이는 주로 변색균으로 목재의 표면에 한정되어 존재한다. 하지만 이들 변색균이 존재한다는 것은 다른 목재부후균이 침입하여 목재를 부후시킬 수 있는 여건을 조장할 수 있다고 할 수 있다. 세포내벽에는 microfibril 경사각과 일치하는 나선상의 할렬과 벽공구의 확장을 관찰할 수 있다.

III-spot인 표면에서 0.5 mm 아랫부분을 절단한 면을 관찰하였다.

육안으로 목재를 관찰하였을 때 표면부의 변색과는 달리 고유한 재색인 적갈색을 띄고 있으며 건전재와 다름없는 강도를 가지고 있었다.

미세형태학적인 관찰에서 세포내강에는 표면부와 비교하여 먼지 등의 불순물 없이 깨끗한 세포를 관찰할 수 있었다. Fig. 17(a)에서처럼 표면에서와 달리 방사유세포의 주변에서는 균사를 확인할 수 없었다. 그러나 Fig. 17(b)에서처럼 세포 중 가장 내강이 큰 대형 도관 내에는 균사를 확인 할 수 있었다. 목섬유와 도관의 벽은 건전재와 다름없으며 방사유세포의 축방향의 내벽을 관찰하였을 때도 세포벽에는 변화가 관찰되지 않았다.

IV. 결 론

성덕대왕신종의 수종을 분석한 결과 이미 알려진 사실과는 달리 느티나무(*Zelkova serrata*)로 확인되었다. 기록상의¹⁾ 내용에서 당목의 수종이 소나무라는 것은 또

하나의 당목이 존재할 리 없으므로 잘못 알려진 사실일 것이다. 현재 사찰에서 종의 당목을 교체하면서 흔히 사용되는 나무가 주로 침엽수재인 점을 감안하면 우리나라의 대표적 침엽수재인 소나무로 미루어 짐작한 결과가 아닌가 생각된다.

느티나무는 목재가 출토되는 어떠한 유적에서든 흔히 볼 수 있는 수종의 하나이다. 환공재로 가공 후 木理가 아름답고 잘 썩지 않으며 단단한 재질을 가지고 있어 다양한 용도로 사용되었을 것이다. 그러나 역사 속의 당목에 관한 구체적인 수종조사가 전무한 상태인 바 다른 어떠한 수종이 당목의 용도로 사용되었을 지에 관한 것은 알 수가 없다.

성덕대왕신종 당목의 열화를 살펴본 결과 미생물의 분해로 발생하는 목재부후(wood decay)와는 구분됨을 알 수 있었다.

육안으로 보았을 때 표면변색, 할렬, 목재 면의 거칠어짐, 물리적인 강도의 약화 등 옥의 노출목재의 전형적인 열화형태를 나타내었다.

미세형태학적인 변화를 관찰한 결과 I-spot에는 재색으로 변색됨과 동시에 조직의 관찰이 불가능할 정도로 먼지층이 완전히 조직을 뒤덮고 있었다.

그와 달리 변색이 되었지만 조직의 관찰이 가능한 II-spot는 무수한 균사와 세포내강에 유입된 먼지 등의 오염물이 관찰되었지만 목재 부후는 관찰되지 않았다. 세포벽은 열화로 인해 물리적인 강도를 소실하여 약화되어 있으며 그로 인해 세포벽의 미세한 할렬과 찢김 등의 변화를 관찰할 수 있었다.

그러나 표면에서 불과 0.5 mm 아래의 III-spot는 목재의 고유한 적갈색을 유지하고 있으며 건전재와 유사하

였다.

결론적으로 당목의 열화로 인한 변화는 육안으로 보았을 때 잿빛으로의 변색, 미세한 할렬, 목재의 거칠어짐, 광열화로 인해 목재주성분인 리그닌이 분해되어 물리적인 강도가 소실된 것 등을 들 수 있다.

미세형태학적인 관찰에서 미세한 먼지와 외부환경으로부터 유입된 먼지와 균사의 다발이 세포내강에서 관찰되지만 미생물에 의한 목재 부후는 관찰되지 않았다. 그러나 이러한 변화들은 목재표면에서 1 mm미만의 표면에만 한정되는 것이었다.

따라서 오랜 기간 타종으로 인해 종에 맞는 부분의 목재가 손상되어 고유한 鐘聲에 영향을 미친다면 다른 결론을 내릴 수 있겠지만 이를 배제하고 목재 자체로서의 당목의 사용여부를 논한다면 극심한 열화 없이 건전하다고 결론 내릴 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 朴方龍, 聖德大王神鍾의 來歷, 聖德大王神鍾 綜合論考集, 國立慶州博物館, 105-128 (1999)
2. www.shinmun.co.kr., 2003. 3월 5일 조선일보, “에밀레종 撞木 낚아서 아기울음소리 안들려”
3. 박상진, 이원용, 이화형, 목재조직과 식별, 향문사 (1987)
4. Roger, M. R. and R. J. Babour, Archaeological wood properties, chemistry and preservation (1988)
5. Highley, T. L., L. Muramanis, and J. G. Ralmer, Electron Microscopy of cellulose decomposition by brown rot fungi, Holzforung (1983)
6. 박소윤, 강애경, 박상진, 팔만대장경판의 세포벽열화, 한국목재공학회지 24(2), 55-60 (1996)
7. 강애경, 고목재의 미세형태학적인 변화, 경북대학교 대학원 석사학위논문 (1992)