

茶戶里出土 木材의 分解狀態와 保存處理

李容喜[†] · 金洙喆

國立中央博物館 保存科學室

Conservation Treatment and Degradation Patterns of Woods Excavated from Daho-ri

Yong-hee Yi[†] and Soo-choul Kim

Conservation Science Lab., The National Museum of Korea

요약 다호리 출토 목재의 수종은 전체 24점 모두 활엽수 8종류로 상수리나무류(37.7%), 밤나무(8.3%), 벗나무속(8.3%), 감탕나무속(4.1%), 오리나무류(25%), 산복사류(4.1%), 느티나무(4.1%), 물푸레나무속(8.3%)으로 식별되었다. 출토목재의 물리적 특성은 현생재에 비해 높은 함수율과 수축율 그리고 현저한 밀도 감소를 나타내었다. 분해상태는 편광현미경 관찰결과 현생재에 비해 모든 출토목재의 도관을 제외한 나머지 부분에서 북굴절현상 감소가 뚜렷하게 나타났으며 주사전자현미경 관찰에서는 목섬유의 2차 세포벽을 포함한 구성조직이 현저하게 분해되었다. 분해가 많이 된 목재는 개방성이 확대되어 약제의 침투·확산이 용이하므로 처리기간이 짧고, PEG#4000(MW:3,350)을 적용한 고분자약제 함침처리가 유리하며 고농도의 함침처리가 요구된다.

Abstract 24 wooden objects excavated from Daho-ri were identified into 8 categories such as *Quercus* spp. (37.7%), *Castanea crenata* (8.3%), *Prunus* (8.3%), *Ilex* (4.1%), *Alnus* spp. (25%), *Prunus* spp. (4.1%), *Zelkova serrata* (4.1%) and *Fraxinuse* (8.3%). Physical properties of the above high water content, high contraction rate and significant density reduction. As for degradation pattern, observation with polarizing microscope showed significant decrease of double reflection phenomenon in most of the excavated objects excluding vessel compared to other kinds of objects, and observation with SEM showed remarkable degradation of organization structure including the 2nd cell wall of wood. Reagent can be easily penetrated and diffused into the objects with high degradation rate, so it's beneficial to treat them with polymers such as PEG#4000(MW:3,350), but in order to prevent contraction and change in shape, high concentration of Reagent is required in treatment to hold wood organization structure.

I. 서론

목재는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌 등으로 구성된 유기물로 시간이 지나면서 균의 침해를 받아 분해되어 없어지게 된다. 그러나 공기가 차단된 개펄이나 토탄층에서는 균이 생육할 수 있는 산소가 없기 때문에 목재의 분해가 매우 더디게 진행되어 오랜 시간이 지나면서 목재 조직이 물로 포화된 상태로 변하게 되며 이

러한 목재를 일반적으로 수침목재 또는 수침고목재라 부른다¹⁻³⁾.

수침고목재의 보존처리는 취약하고 불안정한 상태의 출토수침목재에 물리·화학적 안정성을 부여하는 것으로 치수안정제함침법^{4,5)}, 유기용매치환법, 동결건조법^{6,7)} 등 다양한 방법들이 이용된다. 이러한 수침고목재의 보존처리에서 만족할 만한 결과를 얻기 위해서는 적용된 약제의 종류, 처리농도 및 기간, 건조방법 등 제반 조건들이 처리 대상의 수침고목재 재질상태에 적합한 것이어야 한다. 따라서 수침고목재의 수종과 조직의 분해상태 등 재질상태를 사전에 면밀히 조사하고 검토하는 일이 매우 중요하다.

수침고목재의 분해상태는 매장환경조건과 분해에 관

[†]Corresponding author : Yong-hee Yi, Conservation Science Lab., The National Museum of Korea
Tel : (02) 398-5145
Fax : (02) 398-5130
E-mail : consrv1@museum.go.kr

여한 부후균과 세균^{8,9)}, 그리고 수종에 따라 차이가 있지만 목재의 물리적 특성 조사나 셀룰로오스와 리그닌 같은 주요 조성성분의 분석¹⁰⁾ 그리고 목재조직의 미세경적인 관찰을 통하여 파악할 수 있다.

이번 조사에서는 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 다호리에서 출토된 가공목재 7점과 자연목재 17점의 수종을 식별하고 목재의 함수율, 밀도, 수축율 등 물리적 특성과 편광현미경 및 주사전자현미경을 이용한 미세경적 조직관찰로 분해상태를 조사 검토하여 보존처리를 위한 기초자료로 삼고자 하였다.

본고는 본관 고고부 다호리 발굴보고서에 발표될 예정에 있으며 그 결과에 분해상태를 보강하여 재정리 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

경남 창원 다호리 토탄층(약 2,000년 전 이상)에서 출토된 가공목재 7점과 자연목재 17점등 총 24점에 대해 수종조사를 하였고 식별된 수종 중 자연목재 5점에 대하여 물리적 특성과 분해상태를 관찰하였다.

2. 방법

2.1. 수종식별

출토된 목재의 수종을 확인하기 위해 시편(5×5×5 mm)을 채취하고 강고성을 주기 위하여 PEG(MW: 2,000)로 포매 후 로터리마이크로톰으로 두께 10~20 μm로 절편하여 샤프라닌으로 염색한 후 영구 프레파아트를 만들어 광학현미경으로 관찰하여 수종식별을 하였으며 숲의 경우는 시편을 전건시킨 후 금코팅을 하여 주사전자현미경(HITACHI S-3500N)으로 관찰하고 목재 조직 및 식별, 한국산 목재의 구조, 조선목재의 식별 등을 참조하여 식별하였다¹¹⁻¹⁸⁾.

2.2. 물리적 특성

최대함수율(Maximum Moisture Content)과 비중(Actual Density)을 측정하기 위해 시편(1×1×1 cm)을 절단 후 증류수가 담긴 비이커에 담겨 탈기시킨 후 용액중 중량, 대기중 중량을 측정한 후 105°C 건조기에 넣어 항량에 도달할 때까지 건조시켜 최대함수율과 비중을 측정하였다. 다음의 식에 넣어 계산하였다¹⁸⁾.

$$\text{최대함수율(\%)} = \frac{\text{포수재의 건조전 중량}}{(\text{포수재의 건조후 중량} - 1)} \times 100$$

$$\text{비중} = \frac{\text{전건중량}}{(\text{대기중 중량} - \text{용액중 중량}) / \text{용액비중}}$$

수축율측정은 각각의 시편을 섬유방향으로 두께 5 mm

원편을 자른 후 횡단면상에 측정용 핀(직경 0.5 mm)을 꽂아 방사방향과 접선방향으로 구분하여 건조 전과 건조 후 핀의 간격을 측정하였다. 다음 식으로 계산하였다¹⁸⁾.

$$\text{방사} \cdot \text{접선방향 수축율(\%)} = \frac{(\text{건조전 길이} - \text{건조후 길이})}{\text{건조전 길이}} \times 100$$

$$\text{횡단면수축율(\%)} = \{R + T - (R \times T / 100)\}$$

R : 방사방향 수축율, T : 접선방향 수축율

2.3. 분해상태

분해상태는 편광현미경으로 출토목재와 동일 수종의 현생재조직을 비교 관찰하는 방법으로 하였으며 또한 보다 세밀한 조사를 위해 도관, 목섬유, 유세포, 방사조직 등 목재 세부조직을 주사전자현미경으로 조사 관찰하였다¹¹⁾.

수종별 분해상태를 관찰하기 위해 현생재와 분해된 조직의 영구 프레파아트를 제작하여 편광장치가 장착된 편광현미경(Leica M10)을 이용하여 삼단면의 복굴절현상을 비교하였으며¹⁸⁾, 분해된 목재의 세포벽 관찰은 시편을 사방 0.5×0.5×0.5 cm 크기로 절단하여 알코올 시리즈로 탈수시킨 후 진공동결건조하였다. 건조된 시편을 SEM시료대에 고정시킨 후 gold coating하여 주사전자현미경(SEM)으로 미세조직을 관찰하였다^{2,11)}.

III. 결 과

1. 수종식별

전체 24점 중 가공목재 7점과 자연목재 17점을 식별한 결과 모두 활엽수 8종류로 식별되었다. 가공목재는 상수리나무류, 밤나무, 뽕나무속이며 자연목재는 상수리나무류, 감탕나무속, 오리나무류, 산복사류, 느티나무, 물푸레나무속 등으로 식별되었다(Table 1).

2. 물리적 특성

저습지 출토목재는 목재부후균과 세균에 의해 분해되

Table 1. Identification results

Species	Number	Ratio
<i>Quercus</i> spp.	9	37.5%
<i>Castanea crenata</i>	2	8.3%
<i>Prunus</i>	2	8.3%
<i>Ilex</i>	1	4.1%
<i>Alnus</i> spp.	6	25%
<i>Prunus</i> spp.	1	4.1%
<i>Zelkova serrata</i>	1	4.1%
<i>Fraxinus</i>	2	8.3%

어 세포벽에 빈 공간이 만들어지고 수분을 흡수하여 과포화수분 상태의 수침고목재로 변하게 된다. 일반적으로 수침고목재가 가지고 있는 수분은 목질의 손실량에 비례하게 되므로 분해가 진행됨에 따라 현생재에 비해

목재 함유율이 크게 높아진다. 반면 목재 밀도가 낮아지면서 기건수축율이 커지게 된다.

산복사류의 경우 최대함수율이 1015%로 횡단면수축율이 77%이며 동일수종의 현생재에 비해 밀도가 18/100로 낮아진 것으로 나타났으며 최대함수율이 530%인 상수리나무류는 횡단면 42%로 현생기건 수축율의 2.4배이고 밀도는 31/100이었다(Table 2). 동일 출토지 수침고목재임에도 불구하고 수종별 물리적 특성이 다양하게 나타났다.

Table 2. Physical properties of species

Species	Actual Density (Fresh wood)	Maximum Moisture Content	Cross Shrinkage (Fresh wood)
<i>Alnus</i> spp.	0.095(0.5)	657%	64.81(11.11)%
<i>Prunus</i>	0.110(0.59)	1015%	77.04(-)%
<i>Zelkova serrata</i>	0.195(0.64)	974%	56.95(12.01)%
<i>Quercus</i> spp.	0.242(0.78)	530%	42.63(17.38)%
<i>Fraxinuse</i>	0.157(0.65)	625%	58.13(13.21)%

3. 조직의 분해 상태

목재의 세포벽은 1차벽과 2차벽으로 구성되어 1차벽

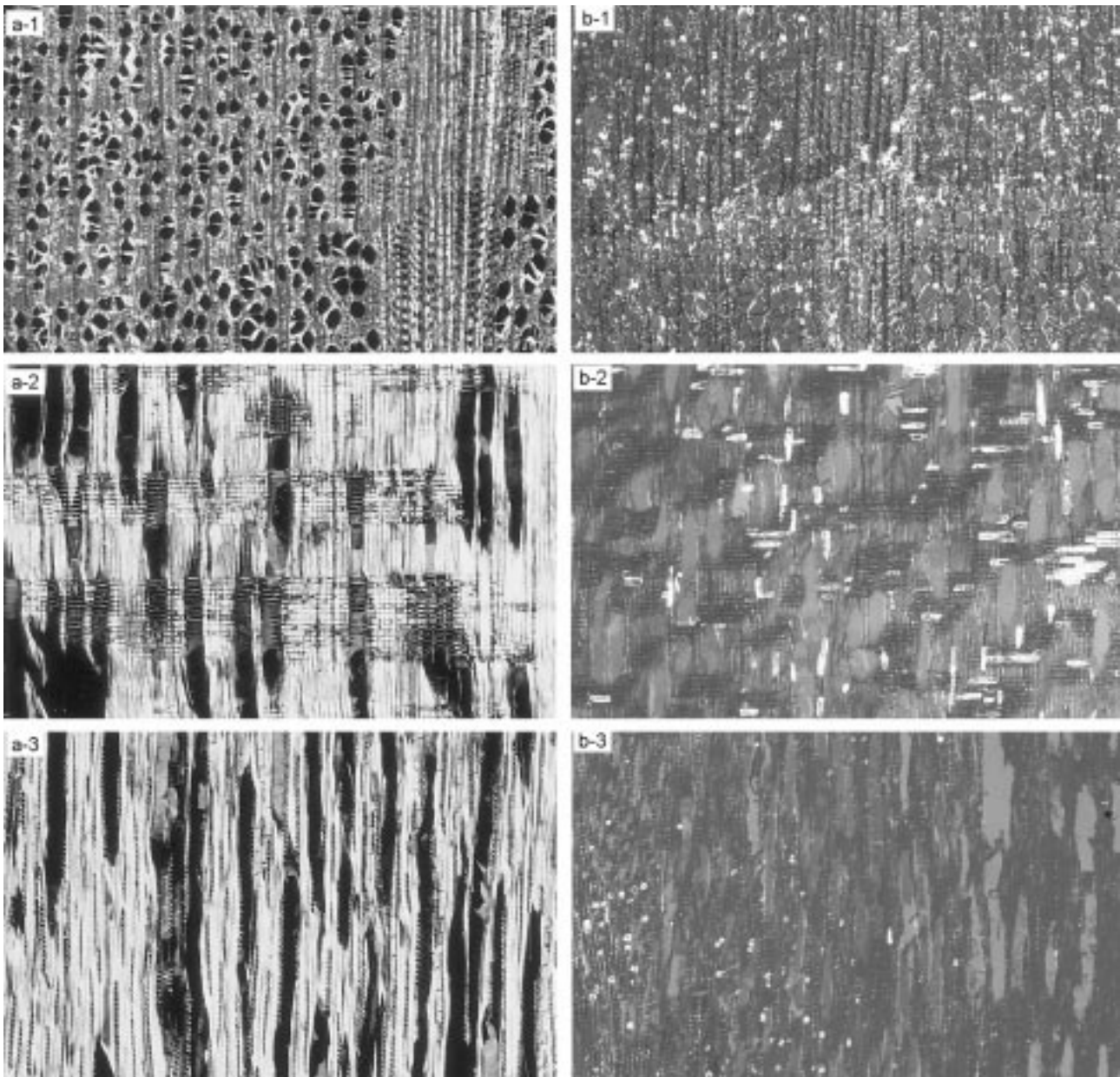


Photo 1. *Alnus* spp., ×50, Cross nicol, Fresh wood(a), Archaeological wood(b), Cross section a-1 b-1, Radial section a-2 b-2 and Tangential section a-3 b-3.

의 경우 세포벽 바깥쪽에 존재하며 마이크로피브릴의 배열이 불규칙하고 매우 얇다. 반면에 2차벽은 마이크로피브릴의 배열이 규칙적이고 S_1 층, S_2 층, S_3 층으로 구분되며 이중 S_2 의 두께가 가장 두껍고 셀룰로오스를 가장 많이 함유하고 있다. 편광현미경을 이용해 직교니콜 하에서 횡단면상 세포벽을 관찰해 보면 2차벽의 S_1 층이 복굴절 현상으로 다른 부분보다 밝게 보인다¹⁰⁾. 이와 같은 복굴절은 마이크로피브릴 배향에 따라 다르게 나타나며 수침고목재경우는 현생재에 비해 복굴절 현상이 현저하게 감소된다.

편광현미경으로 관찰한 결과 오리나무 현생재의 경우 목재 구성요소인 도관, 목섬유, 유세포 등의 세포벽이

복굴절 현상으로 밝게 보이는 반면에 출토 목재는 횡단면상 도관 주위와 방사단면상 유세포를 제외한 나머지 부분에서는 이와 같은 현상이 뚜렷하게 나타나지 않았다(Photo 1). 느티나무 현생재는 모든 목재 구성요소들이 밝게 관찰되었으나 출토목재의 경우에는 삼단면 모두 조직 전체가 어둡게 보였다(Photo 2). 상수리나무류의 현생재는 도관 주위와 유세포에서 복굴절현상이 관찰되었으나 출토목재의 경우 횡단면과 방사단면상 일부 도관 주위와 유세포에서만 나타났다(Photo 3). 물푸레나무의 현생재는 대부분의 목재 구성요소에서 복굴절 현상이 나타났으나 출토목재의 경우 횡단면상 유세포 부분에 한하여 약간의 복굴절현상이 관찰되었다(Photo 4).

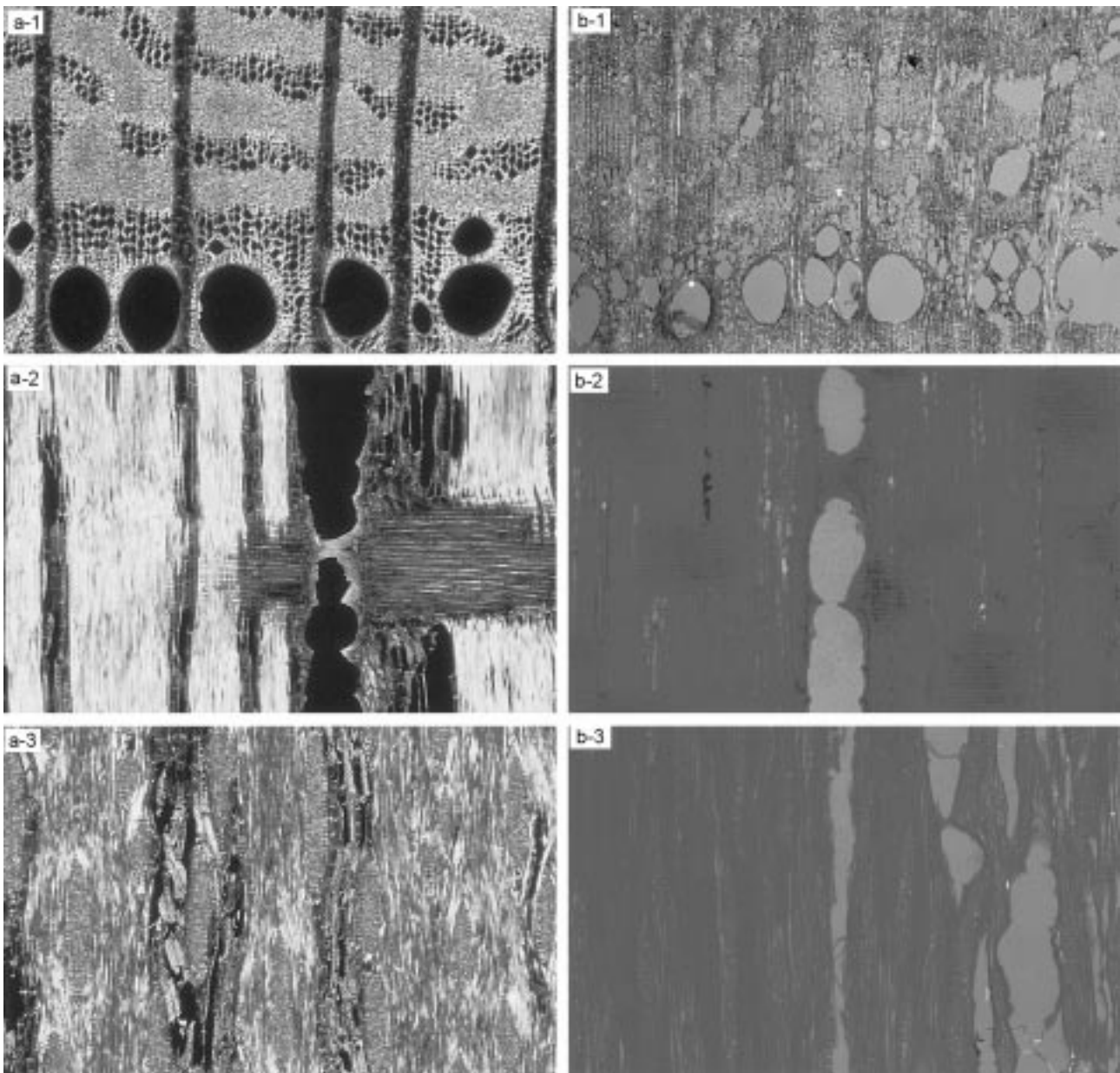


Photo 2. *Zelkova serrata*, $\times 50$, Cross nicol, Fresh wood(a), Archaeological wood(b), Cross section a-1 b-1, Radial section a-2 b-2 and Tangential section a-3 b-3.

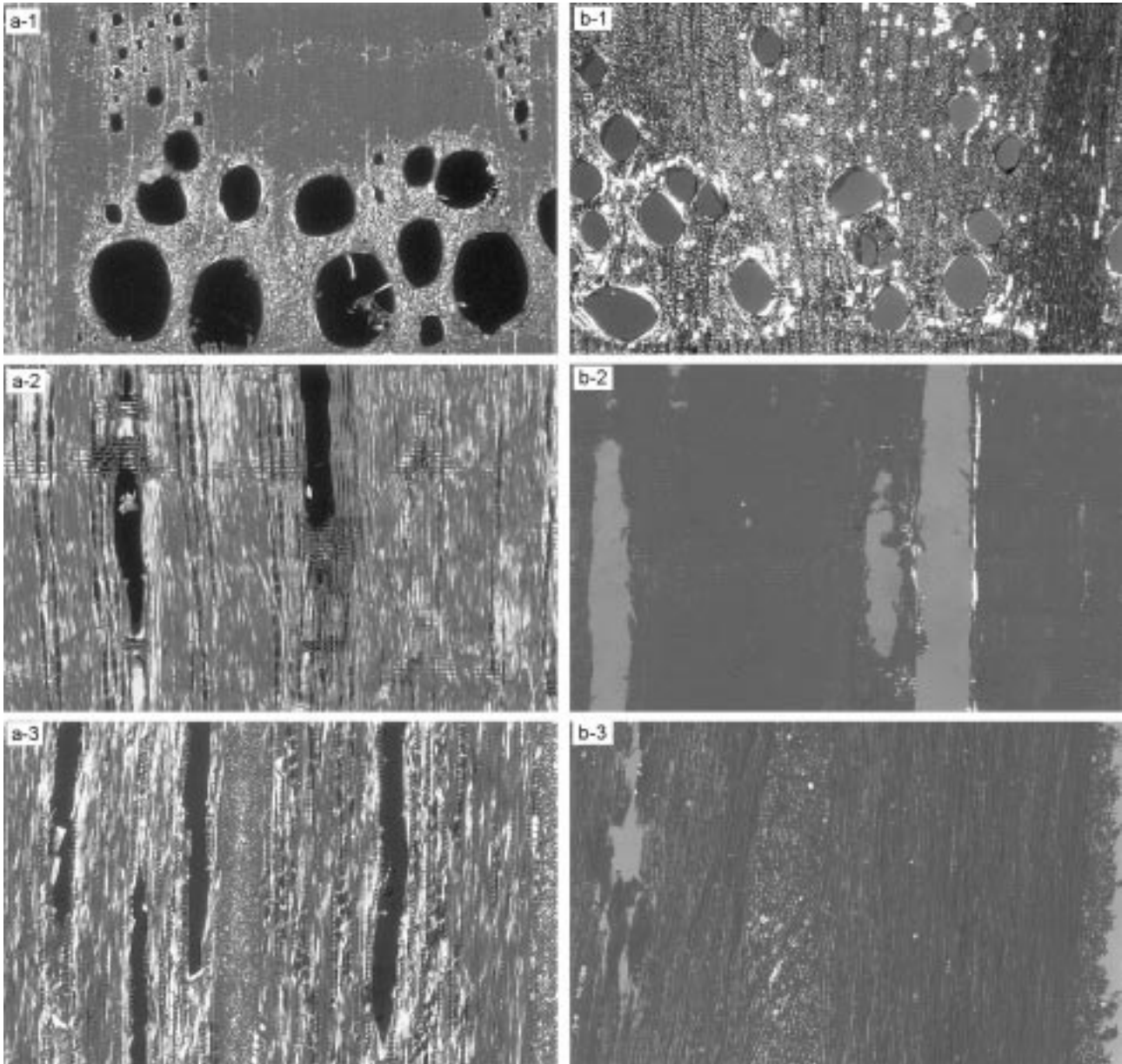


Photo 3. *Quercus* spp., ×50, Cross nicol, Fresh wood(a), Archaeological wood(b), Cross section a-1 b-1, Radial section a-2 b-2 and Tangential section a-3 b-3.

주사전자현미경으로 관찰한 결과 느티나무의 목섬유 세포벽공과 내강을 통과하는 부후균의 균사가 관찰되었다(Photo 5). 각각의 수종과 구성요소별 분해 상태를 살펴보면 먼저 오리나무의 횡단면으로 목섬유의 2차벽 중층(S₂)이 대부분 분해 유실된 상태로 내층(S₃)과 외층(S₁)이 붙어있다. 유세포는 2차벽의 중층(S₂)이 외층(S₁)과 분리되어 있고 도관의 세포벽은 그대로 남아 있어 목섬유의 세포벽보다 분해가 덜 되었음을 알 수 있다(Photo 6). 느티나무의 목섬유 세포벽은 2차벽 중층(S₂)이 분해되어 외층(S₁)과 분리되어 있으며, 중층(S₂)이 스폰지처럼 구멍이 있는 것을 볼 수 있었다. 반면에 도관의 세포벽은 잘 남아 있다(Photo 7). 상수리나무류 역시 도관

부분이 가장 잘 남아 있다(Photo 8). 물푸레나무는 목섬유의 2차벽이 대부분 분해 유실되었으나 도관 주위의 섬유상가도관은 목섬유보다 2차벽이 잘 남아있으며(Photo 9), 도관의 세포벽은 비늘처럼 일어나 있다. 관찰결과 수종간 분해양상은 큰 차이가 없으며 목재구성 요소별 분해양상을 살펴보면 목섬유의 경우 2차벽인 중층이 많이 분해되었으며 내층(S₃)은 대부분 찌그러지거나 외층(S₁)과 붙어 있었다. 외층(S₁)과 세포간층은 거의 변화가 없이 원형을 유지하고 있었다. 유세포는 목섬유와 거의 같은 형태로 분해되었다. 도관은 원형을 유지하고 있으므로 목섬유와 유세포에 비해 분해에 대한 저항성이 큼을 알 수 있었다.

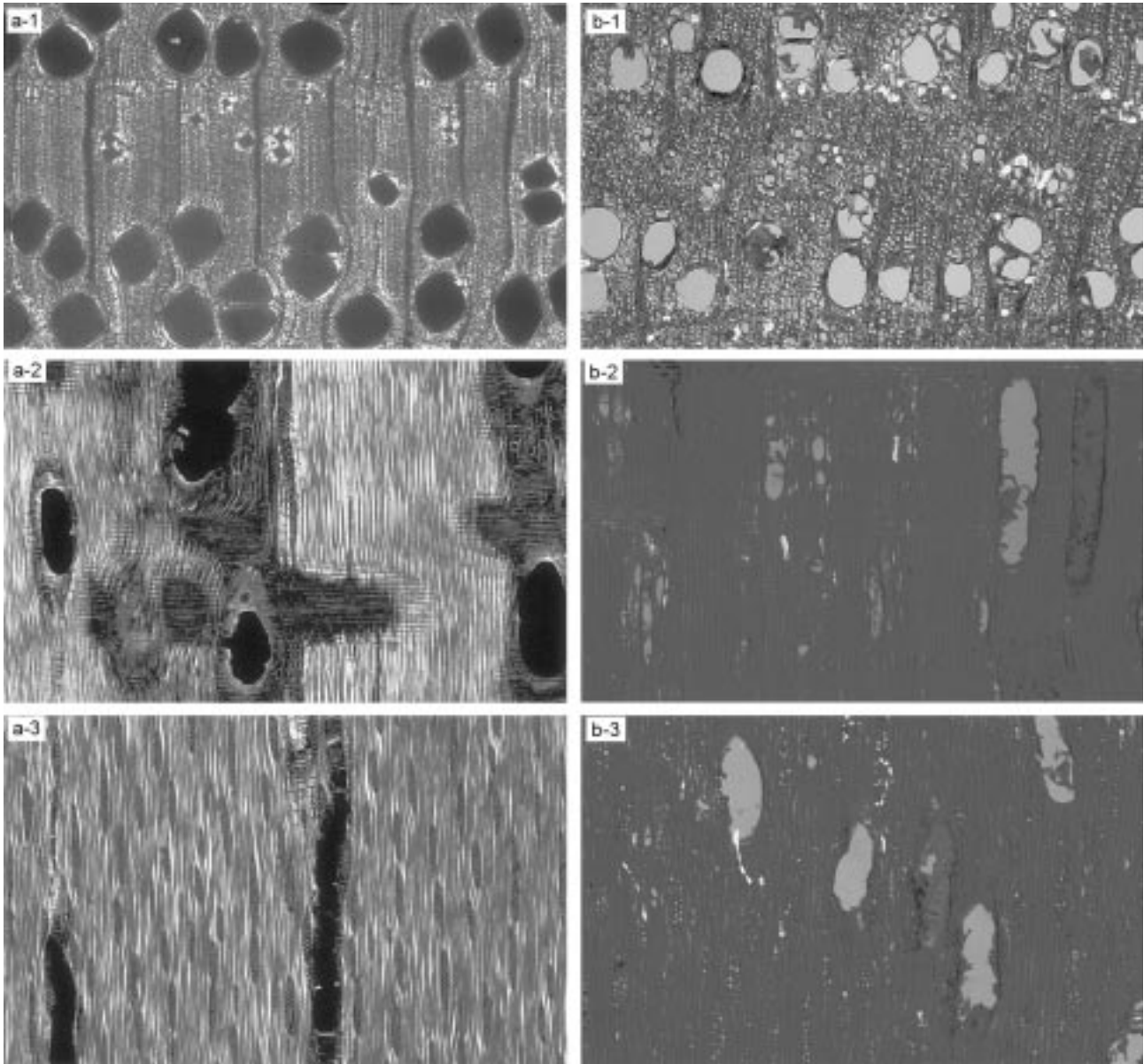


Photo 4. *Fraxinus*, $\times 50$, Cross nicol, Fresh wood(a), Archaeological wood(b), Cross section a-1 b-1, Radial section a-2 b-2 and Tangential section a-3 b-3.

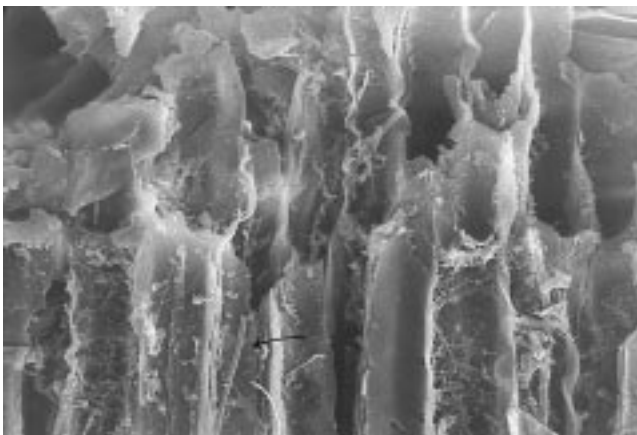


Photo 5. *Zelkova serrata*, Radial section, SEM $\times 1000$, ← Hypha in fiber.

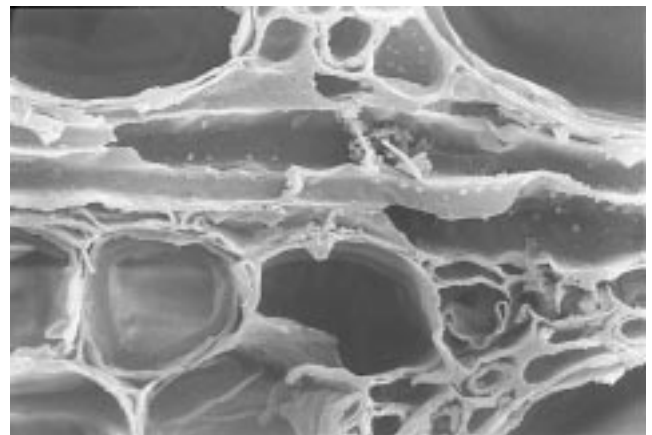


Photo 6. *Alnus* spp., Cross section, SEM $\times 1000$.

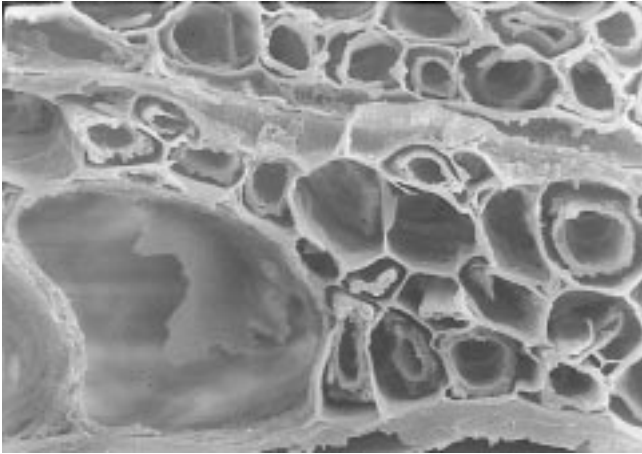


Photo 7. *Zelkova serrata*, Cross section, SEM×1000.

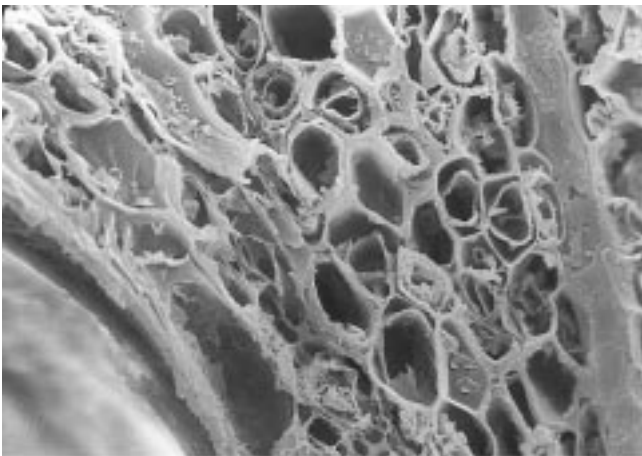


Photo 8. *Quercus* spp., Cross section, SEM×1000.

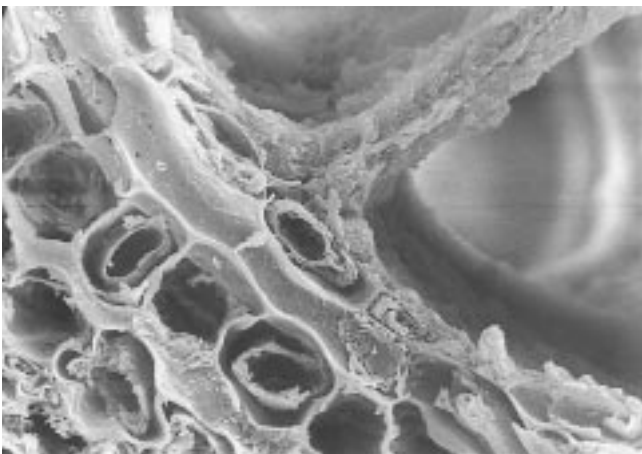


Photo 9. *Fraxinus*, Cross section, SEM×1000.

IV. 결 론

경남 창원 다호리 토탄층에서 출토된 목재의 확인된 수종은 모두 활엽수로 식별되었다. 이것은 당시 그 지역의 식물 분포가 한랭한 기후에서 자생하는 침엽수보

다는 대부분이 온난한 기후에서 자라는 활엽수로 이루어짐을 짐작할 수 있었다. 또한 출토된 가공 목재류 중에서 크기가 크고 물리적 강도가 요구되는 켜기와 원형 자루 형태의 목재는 참나무과의 나무로 만들고 반면 작고 얇은 판재는 재질이 균일한 벚나무속의 나무를 사용한 것으로 나타났으며, 자연목재는 여러 종류의 활엽수로 식별되었으며, 그 중 가장 많이 점유하고 있는 수종은 오리나무류이었다.

수침고목재의 편광현미경 관찰결과 모든 수종이 도관을 제외한 나머지 부분에서 복굴절현상의 감소가 뚜렷하게 나타났으며 주사전자현미경 관찰에서도 목섬유의 2차 세포벽을 포함한 구성 조직의 현저한 분해가 관찰되었다. 또한 수종간의 차이는 크지 않으나 산공재인 산복사류와 오리나무류가 환공재인 느티나무, 상수리나무류 보다 목재조직의 분해가 좀더 많이 진행된 것으로 조사되었다. 이와 같은 분해상태의 수침목재는 조직의 개방성이 확대되어 약제의 침투 확산이 원활하므로 약제처리에 소요되는 기간이 짧고, PEG#4000(MW:3,350)과 같이 분자량이 큰 약제를 적용한 보존처리가 유리하다. 또한 목재 세포벽이 상당부분 분해 유실되어 목재 조직을 지탱하는 세포벽의 기능이 크게 약화된 상태이므로 고농도의 약제 처리를 통해서만 충분한 치수안정화효과를 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김윤수, 최광남, 「수침목재의 재질분석에 관한연구 -미시형태적 변화를 중심으로-」, 보존과학연구, 국립문화재연구소, 7, pp.275-297 (1986)
2. 박상진, 강애경, 김유정, 「출토고목재의 수종과 조직구조에 관한 연구(I)」, 보존과학회지, 2(2), pp.3-14 (1993)
3. 이용희, 「저습지 출토 목재유물의 보존과 현황」, 보존과학회지, 6(2), pp.126-140 (1997)
4. 김병호, 정형균, 「안압지 출토목선의 보존처리」, 보존과학연구, 5, pp.109-132 (1986)
5. 최광남, 「신안침몰선체의 구조적 특징과 과학적인 보존처리」, 보존과학연구, 5, pp.140-145 (1986)
6. 김수철, 박원규, 이용희, 「고함수율 수침고목재의 동결 건조를 위한 PEG 전처리농도 및 용매설정」, 보존과학회지, 9(1), pp.40-47 (2000)
7. 김경수, 이용희, 「수침목재의 동결건조 시험보고」, 박물관보존과학, 1, pp.27-36 (1999)
8. 신동소, 안세희, 『목재보존학』, 서울대출판사 (1996)
9. 류천인, 조덕현편역, 『균학개론』, 대광문화사 (1994)
10. 민두식, 윤병호, 이종윤, 『목재화학』, 선진문화사 (1994)
11. 박상진, 이원용, 이화영, 『목재조직과 식별』, 향문사 (1990)
12. 이필우, 『한국산 목재의 구조』, 정민사 (1994)
13. 이원용, 『한국산 목재의 조직구조』, 향문사 (1997)
14. 이필우, 『한국산 목재의 성질과 용도』, 서울대 출판사 (1997)
15. N. Yamabayashi, 『Identification of Corean Woods』, Forest Experiment Station, Government General of Chosen (1938)
16. 박상진, 강애경, 「일산 신도시 개발지역 토탄층 출토목

- 재의 수종」, 보존과학회지, 1(1), pp.12-16 (1992)
17. 박원규, 김수철, 「평택 현화리 청동기시대 집터 출토
숫의 수종과 재질 분석」, 보존과학회지, 8(1), pp.16-22
(1999)
18. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병묵, 『목재과학실험서』, 광
일문화사 (1993)