

# 갈색부후균 (*Lentinus lepideus*)에 의해 부후된 소나무 재 (*Pinus densiflora* S. et Z.)의 해부학적 특성\*1

權 美·李 弼 宇\*2

## Anatomical Characteristics of Korean Red Pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) Wood Degraded by a Brown-rot Fungus (*Lentinus lepideus*)\*1

Mi Kwon · Phil-Woo Lee\*2

### ABSTRACT

The purpose of this study was to describe the micromorphological changes in Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) wood decayed by a major brown-rot fungus, *Lentinus lepideus*, using scanning electron microscope and transmission electron microscope. At the end of the 12-week exposure to the fungus in soil block procedure (ASTM 1971), test blocks sustained 5.02% weight loss. The formation of bore hole by hyphae and penetration of hyphae through bordered pit were not observed. Instead, fungal hyphae appeared to penetrate axially tracheid lumina from the ray cells via cross field pits. Hyphae were mainly found in lignin-rich cell corner regions of tracheids, and also extensive degradation of tracheid wall occurred in this region. Extensive degradation of S<sub>2</sub> layer occurred without noticeable alteration of the S<sub>3</sub> layer, but warty layer and compound middle lamella remained relatively intact. Localized erosion, the characteristic of white rot, was observed in some cell wall and wall components including lignin were found to be decomposed.

*Keywords* : *Lentinus lepideus*, *Pinus densiflora*, decay, cell wall, micromorphological change

### 1. 서 론

갈색부후균은 균체의효소의 결핍으로 인해 셀룰로오스의 결정영역에 대해 상당히 낮은 활성을 나타냄에도 불구하고 낮은 중량감소를 수준에서도 결정영역의 셀룰로오스를 광범위하게 열화시

켜 셀룰로오스의 중합도를 현저히 저하시키는 특징을 지니고 있기 때문에 10% 미만의 작은 중량감소를 수준에서도 갈색부후재의 인성(toughness)이 완전히 소실되며 압축과 인장강도의 감소가 발생하는 등, 다른 부후균에 비해 목재의 강도적 성질에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 보고되

\*1 접수 1993년 3월 8일 March 8, 1993

\*2 서울대학교 農學生命科學大學 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suweon 441-744, Korea

어 있다.<sup>3,6,7,23)</sup> 백색부후균은 효소적 반응기작과 함께 hydroxyl radical을 이용한 비효소적인 반응 기작을 통해 리그닌을 이산화탄소와 물로 완전히 분해할 수 있으나 갈색부후균은 백색부후균의 경우와는 달리 리그닌을 완전히 분해할 수 없고 단지 리그닌 분자를 부분적으로 공격하여 demethylation 정도의 효과만을 야기하는 것이 고작인 것으로 알려져 왔으나 최근의 연구를 통해 리그닌의 실질적인 분해가 어느 정도 발생한다는 것이 확인되고 있으며 갈색부후균도 리그닌을 분해시킬 수 있는 균사를 일부 생성할 수 있음이 보고되고 있다.<sup>10,11,19)</sup> 또한 갈색부후균과 백색부후균은 bore hole을 생성하는 특징이 있는 것으로 여겨졌으나 대부분의 갈색부후균이 부후 초기에 bore hole을 형성하지 않는다는 사실이 밝혀짐에 따라 S<sub>2</sub>층의 선택적인 열화는 bore hole을 형성하는 균사에 의한 것이라기 보다는 세포내강에 존재하는 균사가 분비한 효소와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>와 같은 저분자물질의 확산에 의한 것으로 받아들여지고 있다.<sup>7,8,19,15,22,24)</sup> 이와같이 백색부후와는 달리 갈색부후균에 의한 세포벽의 분해 현상은 아직도 완전히 이해되지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 대표적인 갈색부후균인 *Lentinus lepideus*를 소나무재에 접종시킨 후 부후과정 중에 발생하는 목재 구성 세포의 미세구조적 변화를 광학현미경과 전자현미경으로 관찰하여 갈색부후균에 의한 세포벽의 분해 현상을 해부학적으로 규명하고자 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2. 1 시편준비

공시수종은 경기도 수원시 서둔동 소재 서울대학교 농업생명과학대학 부속 수목원에 식재된 소나무로 선정하고, 흉고직경이 17cm이며 생육상태가 양호한 소나무 흉고부위의 최외각 심재부로부터 2cm × 2cm × 1cm 크기의 시편을 준비하여 26.7 ± 1.1°C 상대습도 70 ± 4%의 항온항습기에서 일정한 무게에 달할 때까지 조습처리하였다.

### 2. 2 부후균 접종 및 배양

산림청 임업연구원에서 분양받은 *Lentinus lepideus*를 Malt agar substrate를 이용하여 26.7 ± 1.1°C, 상대습도 70 ± 4% 조건에서 2주동안 배양

Table 1. Composition of malt agar medium

Medium	Composition* (%)
MgSO <sub>4</sub>	0.2
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.3
Glucose	2.5
Malt Extract	1.0
Peptone	0.5
Agar	2.0

\* Based on 100 ml distilled water

하였다. 이때 배지조성은 Table 1에 나타난 바와 같다. 배양병에 석영사 250g씩을 첨가하고 표 1의 조성에 따라 액체 배지 80ml씩을 첨가하여 멸균한 후 균사체를 1cm<sup>2</sup>의 크기로 잘라 석영사 위에 올려 놓고 그 위에 멸균한 feeder strip을 올려 3주동안 배양하였다. 이때 feeder strip으로는 서어나무(*Carpinus laxiflora* BL.) 목편을 이용하였다. 균사가 서어나무 목편의 표면을 하얗게 덮게 되면 100°C에서 20분간 멸균한 시험편의 횡단면을 서어나무 목편에 맞닿게 올리고 26.7 ± 1.1°C, 상대습도 70 ± 4% 조건에서 12주동안 부후시켰다.

### 2. 3 부후재의 현미경적 관찰

SEM 관찰을 위해 부후가 끝난 시편을 FAA 용액으로 2일동안 고정한 후 에탄올 계열로 탈수시킨 다음 임계점건조를 실시하였다. 시편을 양면 점착 테이프를 시료대에 고착시키고金を 이용하여 25nm 두께로 coating을 한 후 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, ABT 55型)으로 관찰하고 사진을 촬영하였다(가속전압 15~27 kV).

또한 광학현미경 관찰을 위해 1mm × 1mm × 5mm의 시편을 준비하고 5% paraformaldehyde와 5% glutaraldehyde로 1차고정을 실시하고 2% OsO<sub>4</sub>로 2차고정을 실시한 후 아세톤 계열로 탈수하였다. Epon 812에 매몰하여 60°C의 항온기에서 48시간동안 경화시킨 후 0.5~1μm 두께의 절편을 만든 후 잘라 toluidine blue로 염색하여 프레파라트를 제작하였다. 검경 후 사진 촬영은 Pentax ME Super camera를 Olympus Model BHC 현미경에 연결하여 사용하였다. 또한 절편을 검경하여 TEM 관찰이 필요한 부위는 다시 먼도날로 trimming하고 초박편을 만든 후 lead citrate와 uranyl acetate로 이중염색을 한 후 투과전자현미경(Transmission Electron Microscope,

Hitachi HU11-EA 型)으로 관찰하고 사진을 촬영하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 균사의 분포 및 이동

균사의 이동 경로는 주로 SEM을 이용하여 관찰하였는데 방사조직을 통해 침투하는 직경이 매우 큰 균사를 관찰할 수 있었으며(Pho. 1B), 균사로 가득차 있는 직교분야벽공을 쉽게 관찰할 수 있었다(Pho. 1C). 또한 가도관 내강에서 세포 축 방향으로 성장하는 균사를 쉽게 관찰할 수 있었다(Pho. 1B와 E). 균사의 이동에 관해 Proctor<sup>22)</sup>는 균사가 벽공막벽과 벽공구를 통하거나 또는 bore hole을 통해 인접 세포로 직접 침투한다고 주장하였으며 또한 bore hole의 생성은 갈색부후균과 백색부후균을 다른 균과 구별시켜주는 가장 큰 특징이라고 보고하였다. 그러나 갈색부후균인 *Poria monticola*의 경우에는 부후 초기에 균사가 대부분 벽공을 통해 침투하는 것이 관찰된 것과 같이 대부분의 갈색부후균은 부후 초기에 bore hole을 통한 침투보다는 벽공을 통한 침투가 더 일반적인 것으로 알려져 있다.<sup>5,17,24)</sup> 한편 *L. lepidus*에 의해 부후된 소나무재의 경우 벽공막이나 bore hole을 통한 균사의 침투는 전혀 관찰할 수 없었으며 유연벽공구를 통한 균사의 직접적인 침투 또한 관찰할 수 없었다. 따라서 *L. lepidus*의 균사는 방사조직을 통해 목부 깊숙히 침투한 후 주로 직교분야벽공을 통해 가도관으로 이동한다는 것을 알 수 있었다.

벽공연의 S<sub>2</sub>층의 일부가 열화된 것이 관찰되었으며(Pho. 2A와 B) 벽공연의 BT(border thickening)층이 부후의 영향을 받은 것으로 나타났으나(Pho. 2B) SEM과 TEM 관찰을 통해 대부분의 유연벽공이 건전한 상태를 유지하고 있음을 알 수 있었다. 셀룰로오스 마이크로피브릴속이 주성분인 유연벽공의 원도 대부분 건전한 상태를 유지하였고(Pho. 2B와 C), 벽공주위의 복합중간층도 부후의 영향을 별로 받지 않았다(Pho. 2B).

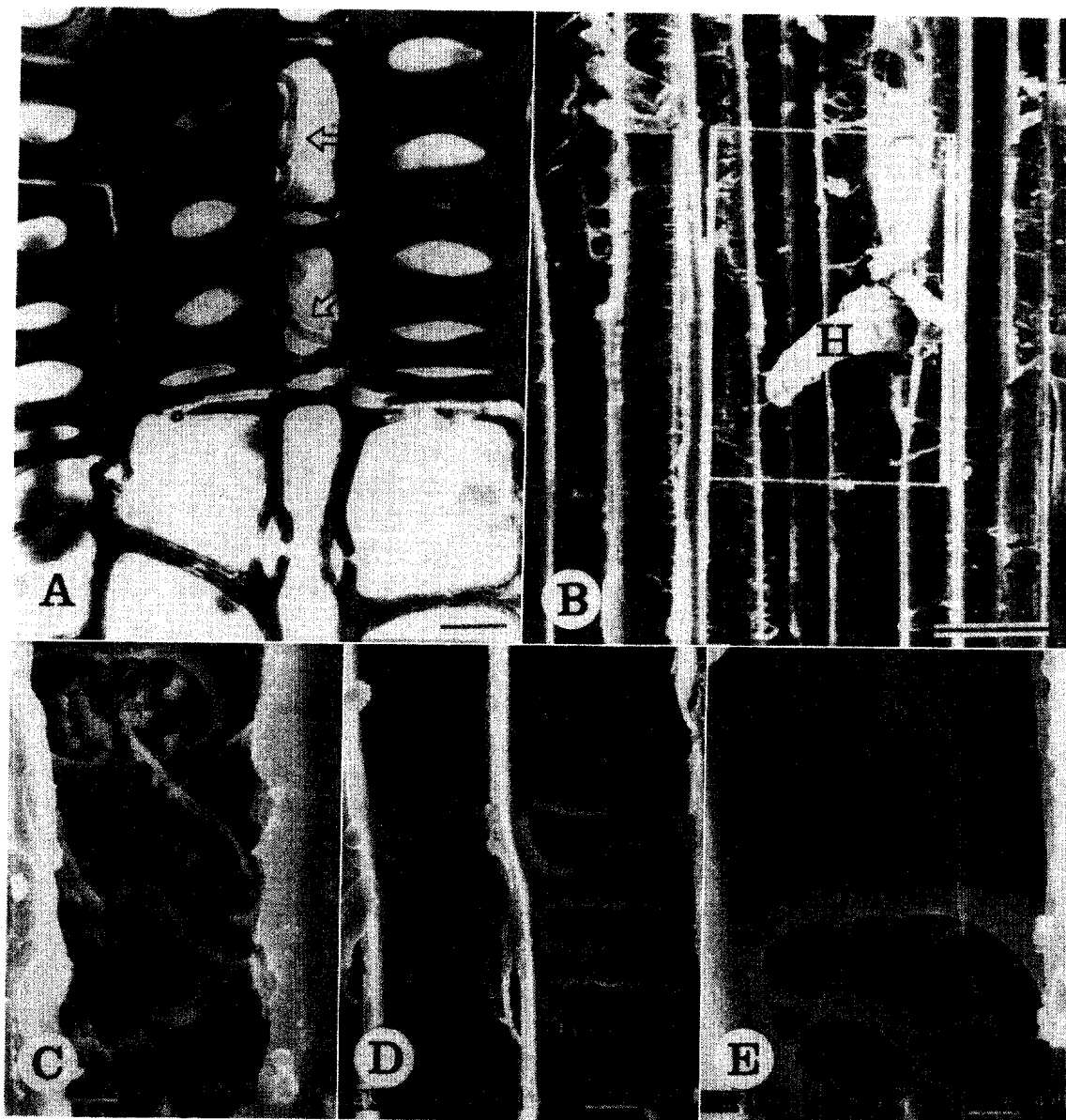
접선단면의 가도관 내강에서 접선방향으로 성장하는 수많은 microhyphae(fine hyphae)를 관찰할 수 있었지만(Pho. 1B), fine hyphae에 의한 bore hole의 생성은 관찰할 수 없었다. Fine hyphae는 셀룰로오스를 빨리, 깊숙히 침투할 수 있어

bore hole의 생성과 관련이 깊은 것으로 알려지고 있지만<sup>9,14,18)</sup> Highley 등<sup>9)</sup>은 11종의 갈색부후균을 이용한 실험에서 microhyphae에 의한 세포벽 침투를 관찰하지 못함에 따라 microhyphae는 셀룰로오스의 열화와 관련이 없다고 결론지었다. 그러나 microhyphae의 역할은 아직 확실히 밝혀지지 않고 있으므로 이에 관해서는 좀 더 많은 연구가 필요하다고 본다. Chou와 Levi<sup>22)</sup>는 bore hole을 생성하는 균사가 세포벽의 열화를 일으키는 효소의 근원이라 주장하였으나 본 연구에서는 균사에 의해 생성된 bore hole을 관찰할 수 없었다. 일부 방사조직의 세포벽 내에서 균사가 관찰되기도 하였으나 Fig. 5B) 대부분의 가도관 세포벽 내부에서는 균사를 관찰할 수 없었다. 따라서 부후 초기에는 세포내강에 존재하는 균사에서 분비되는 효소에 의해 세포벽의 열화가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

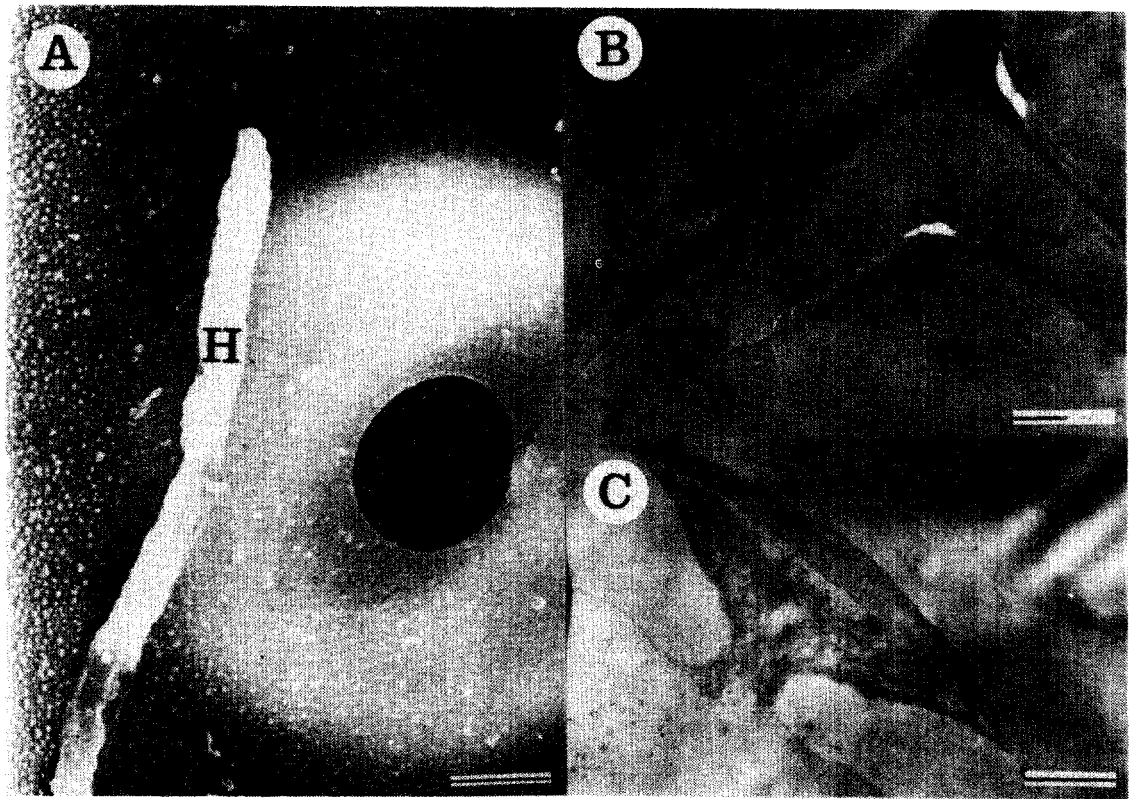
균사의 분포는 춘재와 추재간에 차이가 나타났는데 춘재보다 춘재에 균사가 더 많이 분포하는 것을 알 수 있었다(Pho. 3C와 D). 가도관간 균사의 분포는 비교적 일정하였으나 가도관 벽에서는 리그닌의 농도가 상대적으로 높은 cell corner 부위에 균사가 집중적으로 분포하는 것을 관찰할 수 있었다(Pho. 3B,C,와 4C). 이러한 현상은 셀룰로오스 이외의 다른 목재 구성 성분이 셀룰로오스의 열화를 촉진시켜주기 때문이라는 Nilsson<sup>21)</sup>의 주장에 부합하는 것으로 여겨진다.

#### 3.2 미세구조 변화

Fig. 3D에서와 같이 세포벽에 발생한 할렬을 쉽게 관찰할 수 있는데 할렬이 생기는 원인은 부후가 진행됨에 따라 목재의 다공성(porosity)이 증가하고 셀룰로오스 피브릴간의 결합력이 약해지기 때문인 것으로 알려져 있으며<sup>4)</sup> 이로 인해 발생한 2차벽의 할렬은 작은 중량감소를 수준에서도 심한 강도적 손실을 일으키는 직접적인 원인으로 알려지고 있다.<sup>3,7)</sup> 갈색부후균이 분비하는 효소는 리그닌에 대해 demethylation 정도의 변화만 초래할 뿐 리그닌 matrix는 거의 변화시키지 않는다는 Wilcox<sup>24)</sup>의 보고와 같이 부후가 상당히 진행된 후에도 세포의 형태는 그대로 유지되는 것(Pho. 3C와 D)을 알 수 있었다. 그러나 셀룰로오스 결정영역의 분해로 약해진 세포벽은 시료 준비 과정 중 영향을 받아 분리되기도 하였다(Pho. 3C와 5C).



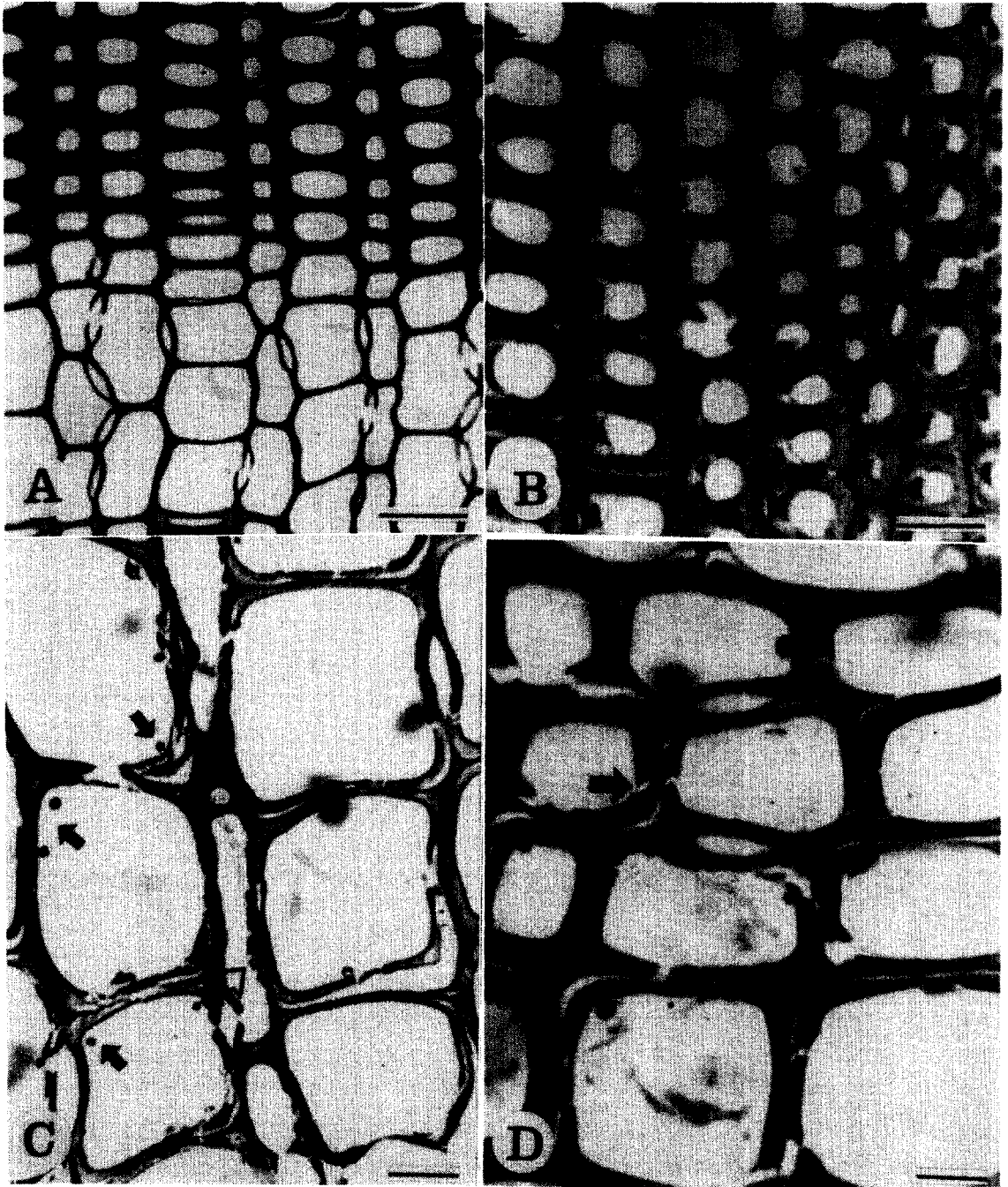
Pho. 1. Cross(A), tangential(b) and radial sections(C,D,E) of decayed wood by *L. lepideus* for 12 weeks. (A) Intensive degradation of earlywood and hyphal traces( $\hat{\cup}$ ) form the ray cell to tracheid cell. (B) Hyphal penetration(H) through the ray cell and microhyphae in tracheid cell lumina. (C) Hyphal colonization in cross field pits. (D), (E) Hyphae passage through cross field pits, growing into cell lumina, hyphae elongation near the border of the bordered pits. LM(A), SEM(B,C,D,E), scale bar A=10 $\mu$ m, B=250 $\mu$ m.



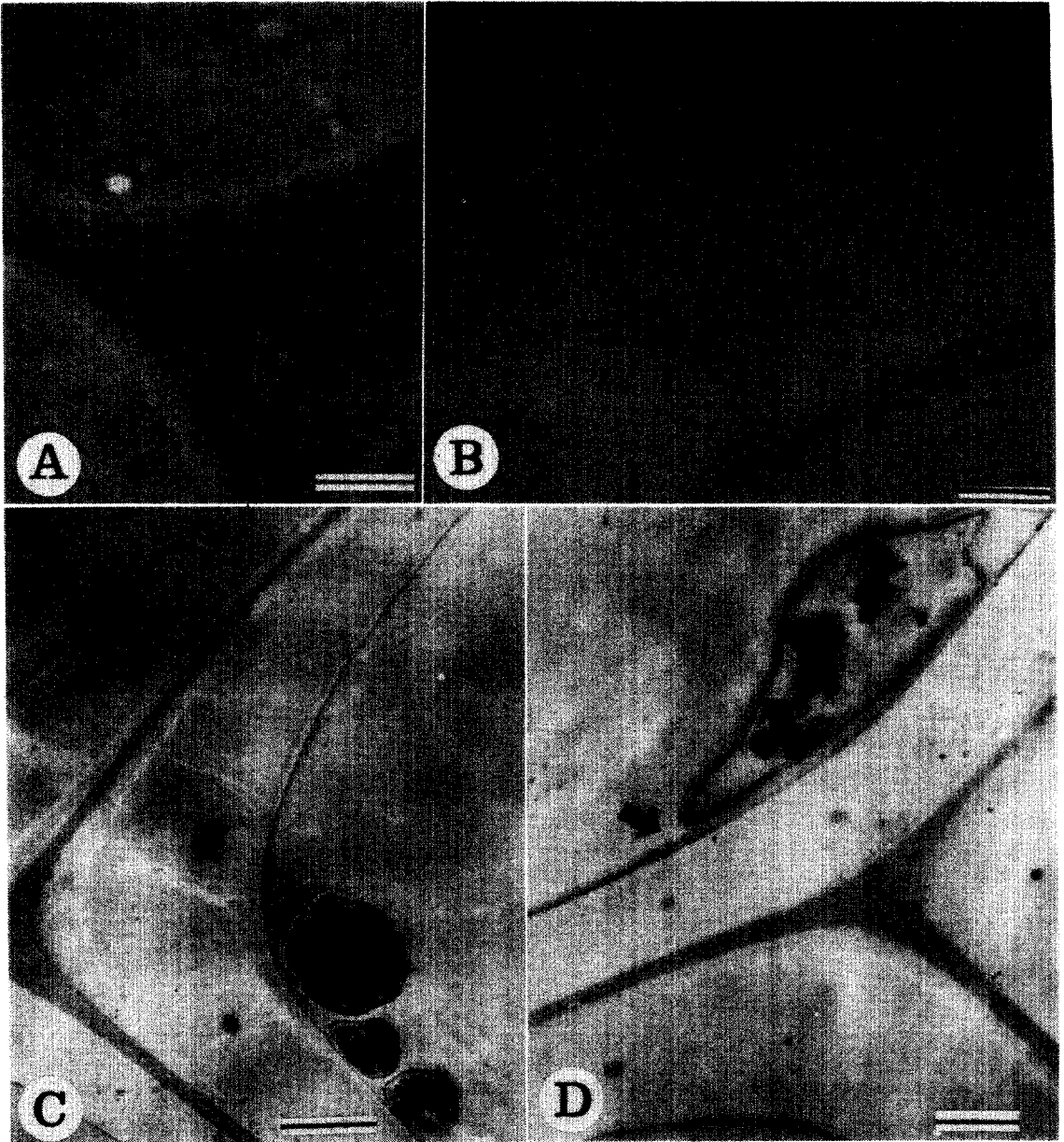
Pho. 2. Radial(A) and cross sections(B, C) of decayed wood by *L. lepideus* for 12 weeks. (A) Intact border of bordered pit and warty layer around hyphae(H). (B) Intact membrane of bordered pit pairs, but degraded appearances in border(↑), border thickening(↗) and S<sub>1</sub> layer of adjacent cell wall(↗). (C) Penetration of cytoplasmic material from autolyzed hyphal cells into the pit cavity, and intact torus. SEM(A), TEM(B, C), scale bar, A=10μm, B, C=2.5μm.

백색부후에서 관찰되는 것과 같은 cell wall thinning은 관찰할 수 없었는데 백색부후에서는 세포내강에서부터 중간층을 향해 세포벽을 구성하는 모든 성분의 점진적인 분해가 발생하지만 갈색부후에서는 백색부후에서 일반적으로 나타나는 세포벽의 점진적인 분해는 잘 관찰되지 않으며 각기 다른 세포벽층이 동시에 공격을 받는 것으로 알려져 있다.<sup>3,24)</sup> 그러나 세포벽 각 층간에는 저항성의 차이가 나타나므로 층마다 부후의 영향이 다르게 나타나는데 주로 S<sub>2</sub>층에서 광범위한 열화가 발생한 것을 관찰할 수 있었다(Pho.3B와 4C). 이와 같이 S<sub>3</sub>층이 부후의 영향을 별로 받지 않았음에도 불구하고 S<sub>2</sub>층에서 광범위한 열화가 발생하

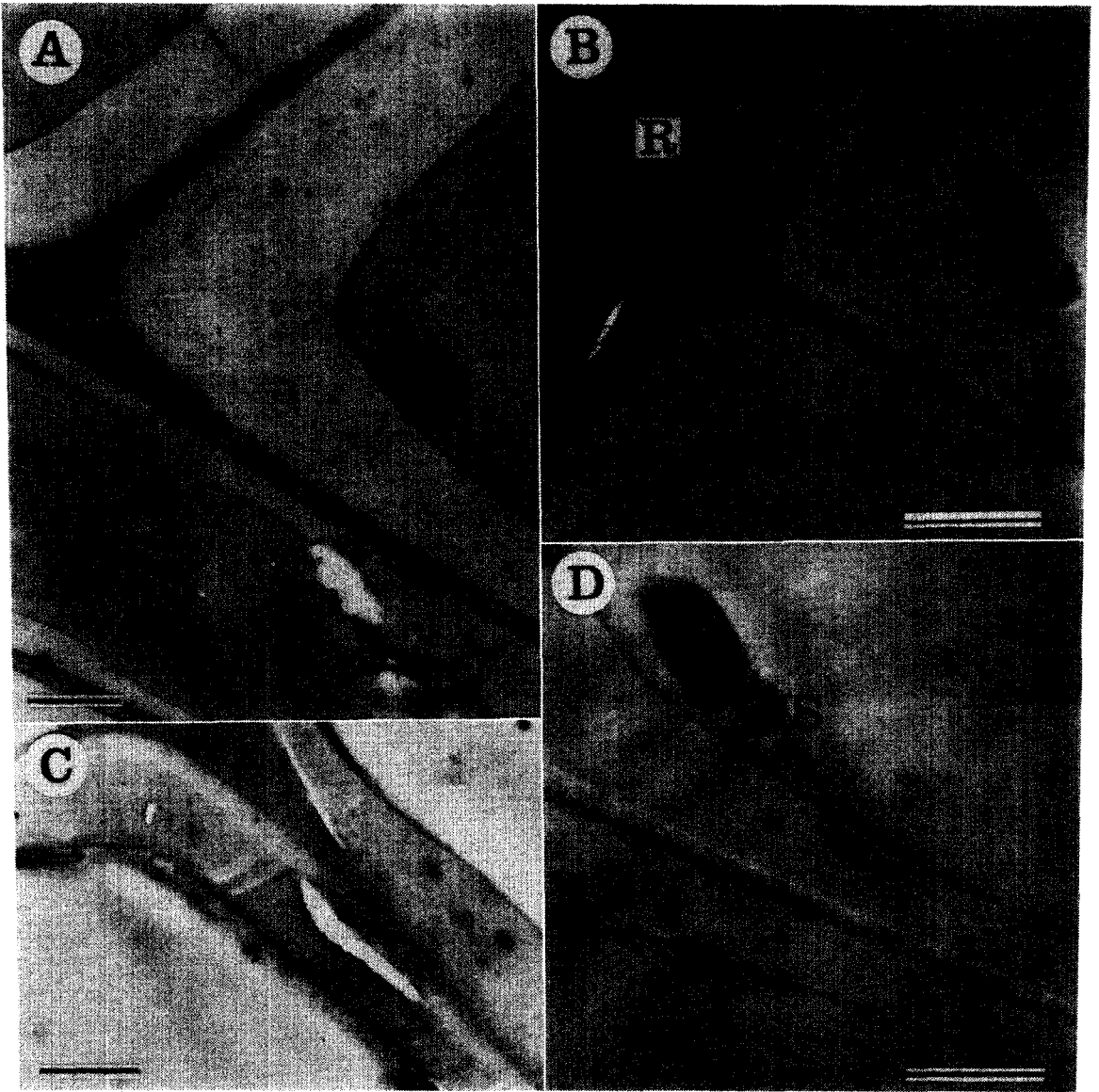
는 현상은 대부분의 갈색부후에서 나타나는 일반적인 특징으로 알려져 있다. 본 연구에서는 S<sub>2</sub>층의 선택적인 열화 뿐만 아니라 일부 가도관 세포에서 국부적인 erosion이 발생한 것 또한 관찰할 수 있었다(Pho.3B). 부후가 상당히 심한 갈색부후재의 S<sub>3</sub>층과 S<sub>2</sub>층에서 발생하는 부분적인 erosion을 Liese<sup>16)</sup>가 보고한 바 있지만 부후가 그다지 심하게 진행되지 않은 본 연구에서 세포벽의 부분적인 erosion이 발생한 것은 매우 특징적인 현상으로 여겨졌다. 그리고 방사세포에서도 부분적인 erosion이 발생한 것을 알 수 있는데 그림 3C의 방사세포벽에서 관찰되는 굴곡면은 부분적인 erosion에 의해 초래된 것으로 판단되었다.



Pho. 3. Cross sections of sound wood(A) and decayed wood (B, C, D) by *Lentinus lepideus* for 12 weeks. (A) Early-and latewood tracheids of sound wood. (B) Decayed wood showing partially eroded secondary wall and selective degradation of S<sub>2</sub> layer around cell corner regions but cell shapes remain nearly unaltered. (C) Hyphae were mainly distributed in cell corner regions(↑) of earlywood tracheids and eroded appearances in ray cell wall(⇧). (D) Cracks in the latewood tracheids(↑). LM(A, B, C, D), scale bar A, B=5μm C, D=10μm.



Pho. 4. Corss sections of decayed wood by *L. lepideus* for 12 weeks. (A) Hypha in ceel corner region(♣). (B) Dissolution of all the cell wall components without hypha. (C) The extensive degradation of cellulose in the S<sub>2</sub> layer(♣), exposure of some cellulose fibrils in S<sub>1</sub> layer and relatively intact S<sub>3</sub> layer, warty layer and middle lamella. (D) Osmiophilic(electron dense) particles in the S<sub>3</sub> layer around hyphal tip(♣). TEM, scale bar A, B=5µm C, 5µm.



Pho. 5. Corss sections of decayed wood by *L. lepideus* for 12 weeks. (A) Localized erosion(⊃) in ray cell wall(R) without hypha. (B) Hyphae attached to cell wall by hyphal sheath. Tracheid cell wall degradation not yet evident but void space appeared in ray cell wall(R). Hyphae also penetrated into the ray cell wall(⊃). (C) Artificial splits during sample preparation, preparation, probably caused by reduction of cell wall strength. (D) Hyphae attached to cell wall by hyphal sheath(HS). TEM, scale bar A, B, C, D=2.5 $\mu$ m.

Wilcox<sup>24)</sup>가 침엽수재의 갈색부후에서 발생한 방사세포의 부분적인 erosion을 보고한 바와 같이 소나무재의 방사세포벽에서도 이와 유사한 부분

적인 erosion이 발생한다는 것(Pho. 5C)을 알 수 있었다.

세포내강에 균사가 약간(1~2개) 존재할 뿐이



지만 세포벽 둘레 전체를 통해 열화가 발생한 것을 관찰할 수 있었으며, 내강에 균사가 존재하지 않는 세포에서도 열화가 발생하는 것을 알 수 있었다(Pho. 3C). 이는 목재 세포벽의 미세공극을 통해 확산될 수 있는 저분자물질이 세포벽 열화에 관여한다는 Highley 등<sup>8)</sup>의 결과를 뒷받침해 주는 것으로 여겨졌다. 그림 2C에서는 자가용해된 균사의 세포질 물질이 유연벽공강으로 퍼져나가는 것을 관찰할 수 있는데 셀룰라아제 이외에 세포벽의 열화에 관여하는 저분자물질은 자가용해된 균사의 세포질물질로부터 유래하는 것으로 알려져 있다.<sup>8)</sup> TEM 관찰을 통해 균사는 hyphal sheath에 의해 둘러싸여 있는 것을 관찰할 수 있었으며 hyphal sheath가 균사로 부터 퍼져 나와 세포벽 면과의 접촉면적을 넓혀 나가는 것을 쉽게 관찰할 수 있었다(Pho. 5B와 D).

S<sub>1</sub>층이나 S<sub>2</sub>층에 비해 S<sub>3</sub>층의 전자 밀도가 매우 높게 나타나는 것을 관찰할 수 있었는데(Pho. 4C와 D) 이러한 현상은 Messner와 Stachelberger<sup>19)</sup> 및 Messner 등<sup>20)</sup>이 보고한 바와 같이 phenolic units가 demethylation되어 생성된 dihydroxyphenolic substances와 OsO<sub>4</sub>의 반응산물인 전자와의 친화력이 매우 큰 electron dense particles에 의해 발생한 것으로 여겨지므로 본 연구에 이용한 *L. lepideus*도 세포벽 리그닌의 부분적인 demethylation을 초래한다는 것을 알 수 있었다.

Cell corner 부위의 중간층에서 균사가 관찰되기도 하였으며(Pho. 4A) 세포내강에서부터 중간층을 향해 세포벽을 구성하는 모든 성분의 분해가 발생하는 것도 관찰할 수 있었다(Fig. 4B). Messner와 Stachelberger<sup>19)</sup> 및 Highley와 Murmanis<sup>10)</sup>는 갈색부후균이 단순히 리그닌의 demethylation만을 일으킨다면 OsO<sub>4</sub> 또는 KMnO<sub>4</sub>로 고정 하였을때 전자 밀도가 높게 나타나야 함에도 불구하고 세포 의중간층과 cell corner 부위에서 전자 밀도가 오히려 낮게 나타나는 것으로부터 갈색부후균도 리그닌의 분해를 일으킬 수 있다고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 일부 세포벽에서 부분적인 erosion이 발생한 것(Pho. 3B와 5A) 뿐만 아니라 리그닌을 포함한 모든 세포벽 성분의 분해가 발생하는 것(Pho. 4B)으로부터 *L. lepideus*가 분비하는 효소에 의해 리그닌의 demethylation 뿐만 아니라 약간의 리그닌이 실제로 분해된다는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 3. 세포벽 각 층의 저항력

갈색부후균은 각각의 세포벽층을 동시에 공격하지만 각 세포벽층에서는 열화에 대한 저항력의 차이가 나타나므로 불규칙한 형태의 열화가 발생하게 되는데 저항력은 목재 구성세포와 세포벽 각 층의 세포벽 밀도, 화학 성분 그리고 목화 정도에 따라 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다.<sup>11)</sup> 특히 리그닌은 미생물에 의한 열화에 가장 저항성이 강한 성분으로 알려져 있음에도 불구하고 대부분의 세포에서 리그닌 함량이 상대적으로 많은 cell corner 부위의 세포벽에서 광범위한 열화가 발생한 것을 알 수 있었다(Pho. 3B와 4C). 이러한 현상은 셀룰로오스 이외의 목재 구성 성분이 셀룰로오스의 초기 열화를 촉진시켜주는 성분이라는 Nilsson<sup>21)</sup>의 주장을 입증하는 것이라 여겨졌다.

균사가 S<sub>3</sub>층과 접촉하고 있음에도 미세구조의 변화가 2차벽 내부 깊숙한 곳에서 시작되는 것이 분명히 관찰되었으며(Pho. 4C) S<sub>2</sub>층의 열화가 심한 대부분의 세포에서도 S<sub>3</sub>층은 부후의 영향을 별로 받지 않은 것으로 나타났다. 이와같이 S<sub>3</sub>층은 부후의 영향을 거의 받지 않은 반면 S<sub>2</sub>층에서 광범위한 열화가 발생한 것으로부터 Wilcox<sup>24,10)</sup> 및 Highley와 Murmanis<sup>10)</sup>의 연구 결과와 마찬가지로 S<sub>2</sub>층이 1차벽 중 갈색부후에 가장 약한 층이라는 것을 알 수 있었다. 일부 세포에서는 S<sub>1</sub>층의 열화로 인한 void space가 관찰되었으며(Pho. 2B) S<sub>3</sub>층이 부후의 영향을 별로 받지 않은 경우에도 S<sub>1</sub>층에서 열화가 발생한 것을 관찰할 수 있었는데(Pho. 4C) S<sub>3</sub>층보다 S<sub>1</sub>층의 열화가 더 광범위하게 발생하는 것은 갈색부후에서 일반적인 현상으로 알려져 있다.<sup>3,24)</sup> 복합중간층은 거의 모든 세포에서 건전한 상태를 유지하였고, 우상층은 균사와 직접 접촉한 경우에도 부후의 영향을 거의 받지 않았으며 심지어 S<sub>2</sub>층과 S<sub>1</sub>층에서 광범위한 열화가 발생한 경우에도 부후의 영향을 별로 받지 않은 것으로 나타났다(Pho. 2A와 4C). 이상의 결과로부터 우상층은 복합중간층과 함께 갈색부후에 가장 강한 저항을 나타내는 층이라는 것을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

갈색부후균인 *Lentinus lepideus*를 소나무재에 접종하여 12주동안 부후시킨 후 발생한 미세구조

적 변화를 주사전자현미경과 투과전자현미경으로 관찰하였으며 5.02%의 중량감소를 가져왔다. 얻어진 주요결과는 다음과 같다.

1. Bore hole의 생성과 유연벽공을 통한 균사의 침투는 발견할 수 없었다. 그러나 균사는 방사유 세포를 통해 목부 깊숙히 침투한 후 주로 직교분 야벽공을 통해 가도관의 내강 내로 이동함을 알 수 있었다.
2. 리그닌의 농도가 상대적으로 높은 cell corner 부위에 균사가 집중적으로 분포하였으며 또한 이 부분의 세포벽에서 광범위한 열화가 발생하였다. 이는 갈색부후균에 의한 셀룰로오스의 초기 열화에 셀룰로오스 이외의 다른 목재 구성 성분이 필요하다라는 것을 입증해 주는 현상으로 사료된다.
3. 우상층과 복합중간층은 대부분 건전한 상태를 유지하였고 S<sub>3</sub>층은 부후의 영향을 별로 받지 않았으나 S<sub>2</sub>층에서는 광범위한 열화가 발생한 사실로 미루어 보아 S<sub>2</sub>층이 부후에 대한 저항성이 가장 약한 층이라는 것을 알 수 있었다.
4. 일부 세포에서 백색부후의 특징인 세포벽의 국부적인 erosion이 발생하였으며, 리그닌을 포함한 모든 세포벽 성분의 분해가 발생한 것 또한 관찰할 수 있었다. 이러한 현상은 갈색부후균인 *Lentinus lepideus*가 리그닌의 demethylation 뿐만 아니라 실제로 리그닌을 분해시킬 수 있음을 나타내는 것이라 여겨졌다.

## 참 고 문 헌

1. American Society for Testing and Materials. 1971. Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. ASTM D-2017, Philadelphia, Penna.
2. Chou, C. K. and M. P. Levi. 1971. An Electron Microscopical study of the penetration and decomposition of tracheid walls *Pinus sylvestris* by *Poria vaillantii*. *Holzforschung* 25 : 107-112
3. Cowling, E. B. 1961. Comparative biochemistry of the decay of sweetgum sapwood by white-rot and brown-rot fungi. USDA. Tech. Bull. 1258 : 79
4. Eriksson, K. E. , R. A. Blanchette, and P. Ander. 1990. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag, New York : 407
5. Greaves, H. and J. F. Levy. 1965. Comparative degradation of the sapwood of scots pine, beech and birch by *Lentinus trabea*, *Polystictus versicolor*, *Chaetomium globosum* and *Bacillus polymyxa*. *Journ. Inst. Wood Sci.* 15 : 55-63
6. Highley, T. L. 1973. Influence of carbon source on cellulose activity of white-rot and brown-rot fungi. *Wood Fiber* 5(1) : 50-58
7. Highley, T. L. 1977. Requirements for cellulose degradation by a brown-rot fungus. *Mater. Org.* 12 : 161-174
8. Highley, T. L. , L. L. Murmanis, and J. G. Palmer. 1983a. Decomposition of cellulose by *Poria placenta* : Light and electron microscopy study. *Holzforschung* 37(4) : 179-184
9. Highley, T. L. , L. L. Murmanis, and J. G. Palmer. 1983b. Electron microscopy of cellulose decomposition by brown rot fungi. *Holzforschung* 37 : 271-277
10. Highley, T. L. and L. L. Murmanis. 1985. Micromorphology of degradation in western hemlock and sweetgum by brown-rot fungus *Poria placenta*. *Holzforschung* 39 : 73-78
11. Hudson, H. J. 1986. Fungal Biology. Edward Arnold : 298
12. Jurasek, L. 1958. Microstructure of *Pinus sylvestris* sapwood when attacked by brown rot fungi. *Drev Vysk* 3 : 129-135
13. Jurasek, L. 1964. Changes in the microstructure at the destruction of wood by wood destroying fungi. *Drev Vysk* 3 : 127-144
14. Jutte, S. M. and I. B. Sachs. 1976. SEM observations of brown-rot fungus *Poria placenta* in normal and compression wood of *Picea abies*. In : Scanning Electron Microscopy (Part ). Proc. Workshop Plant Science Appl : 535-542

15. Koenigs, J. W. 1974. Hydrogen peroxide and iron : A proposed system for decomposition of wood by brown-rot basidiomycetes. *Wood Fiber* 6(1) : 66-79
16. Liese, W. 1970. Ultrastructural aspects of woody tissue disintegration. *Ann. Rev. Phytopathology* 8 : 231-258
17. Liese, W. and R. Schmid. 1964. ber das Wachstum von Bl uepilzen durch verholzte Zellw nde. *Phytopathology* 51 : 385-393
18. Liese, W. and R. Schmid. 1966. Untersuchungen ber den Zellwandabbau von nadelholz durch trametes pini. *Holz Roh-Werkst* 24 : 454-460
19. Messner, K. and H. Stachelberger. 1984. Transmission electron microscope observations of the micromorphology of brown rot caused by *Fomitopsis pinicola* with respect to osmiophilic particles. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 83 : 113-130
20. Messner, K., E. Stebotnik, and H. Stachelberger. 1986. Electron microscopical indication of the demethylation of lignin in wood by osmium tetroxide. Proc. 3rd Intern. Conf. Biotechnol. in the Pulp and Paper Ind, Stockholm : 17-19
21. Nilsson, T. 1974. Comparative study of the cellulolytic activity of white rot and brown rot fungi. *Mater. Org.* 9 : 173-198
22. Proctor, P. 1941. Penetration of the walls of wood cells by the hyphae of wood-destroying fungi. Bull. No. 47, Yale Univ., School of Forestry, New Haven, Conn.
23. Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood : structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold, New York : 494
24. Wilcox, W. W. 1968. Changes in wood microstructure through progressive stages of decay. U. S. Forest Service Research Paper FPL-70 : 45

中野準三, 住本昌之, 樋口隆昌, 石津敦 共著  
趙南爽, 李鍾潤, 尹炳虎, 黃炳浩 共譯

# 木材化學

嶺南大學校 出版部

日本木材學會編

朴相珍, 李鍾潤, 趙南爽, 趙炳默 共譯

# 木材科學實驗書 (I) 物理・工學編

光一文化社

日本木材學會編

朴相珍, 李鍾潤, 趙南爽, 趙炳默 共譯

# 木材科學實驗書 (II) 化學編

光一文化社