水浸木材의 材質分析에 관한 硏究

-微視形態的 變化를 中心으로-

金潤受*
崔光南**

目　　次

1. 緖　言
2. 材料와 方法
3. 結　果
3.1 肉眼的 特徵
3.2 腐朽정도의 差異
3.3 微視形態的 變化의 特徵
3.4 微生物의 種類와 擧動

1. 緖　言

木材는 構造的으로 몇몇 독특한 細胞들로 구성된 복잡한 植物組織體이며, 화학적으로는 다양한 高分子物質로 이루어진 복합체이다.

즉 구조적인 면에서 針葉樹材는 조직의 대부분이 假導管(tracheid)으로 구성되어 있어 수분과 양분의 통도기능과 물리적인 支持技能을 겸하고 있는 반면, 闊葉樹材는 木纖維(fiber)가 지지기능을, 導管(vessel)이 통로기능을 맡는등 구조적인 면에서 뿐만 아니라 그 구성요소의 量的인 면에서도 침엽수보다 복잡하다. 化學的 組成은 침•활엽수재 모두 셀루로스,헤미셀루로스 및 리그닌으로 구성되어 있으나 構成比에 있어서 활엽수재는 침엽수재에 비해 리그닌이 적은 대신 헤미셀루로스 量은 상대적으로 많은 경향을 나타낸다.

목재가 수 백년 이상 生物要因(biological agents)에 의해 쉽게 腐敗또는 腐朽(deterioration, decay, rot) 내지는 분해(degradation, decomposition)되지않는 이유는 목재 자체가 갖는 미량의 抗菌, 防虫性物質(例 : 페놀성 화합물등), 목재의 組織學的 特性 이외에도 화학적 구성 조성분의 特異性으로 설명된다. 즉 목재성분의 반을 차지하고 있는 셀루로스 絲狀분자가 규칙적으로 배열하고 있는 소위 結晶領域(crystaline)과 페닐프로판(phenyl propane) C_6-(3)系의 구성단위가 縮合되어 복잡한 網狀구조물질인 리그닌 등이 생물요인뿐만 아니라 무생물요인에 의해 쉽게 침해받지 않는 이유가 된다.

---

* 全南大學校
** 文化財硏究所 木浦 保存處理場

문제는 환경조건이 목재를 加害하는 생물요인에 유리하게 작용할 때, 목재는 쉽게 분해될 수 있다는 것이고, 그 分野의 정도가 樹種에 따라 달리할 뿐 아니라, 同一 樹種內에서는 구성하는 세포에 따라 분해정도가 달라진다는 사실이다. 海洋에서 장기간동안 방치된 상태로 놓여진 목재의 경우도 결코 예외는 아니다. 다만 육지에서의 生物要因에 의한 목재의 腐敗메카니즘과 微視形態的 변화는 비교적 상세히 규명되어 있는 반면, 해양중에 있어서의 목재의 그것들은 확실히 규명되고 있지 않다는 차이가 있을 뿐이다.[11), 25), 33)]

따라서 이 글은 無生命體인 목재가 주로 海洋微生物에 의해 어떻게 분해되는가라는 문제에 접근하기 위한 일환으로 현미경적 관찰을 통해서 해양미생물에 의한 목재의 微視形態的 變化를 파악하는데 그 목적이 있다. 이와같은 접근을 통해서 해양미생물에 의한 목재조직의 변화와 구성요소간의 분해정도 및 세포막의 分解樣態를 파악하고자 한다.

특히 본 연구는 국내에서는 처음으로 水沈木材의 材質分析에 대해 學界와의 공동연구가 시행되어 新安과 莞島 海底沈沒船의 復元에 따르는 중요한 역할을 담당하게 되었다. 이외에 화학적 분석도 뒤따라서 완벽한 과학적 보존처리를 가능하도록 유도하여야 할 석이다.

2. 材料와 方法

2.1 재료

본 연구에 사용된 재료는 1984년 9월 全羅南道 莞島郡 藥山面 漁頭里에서 인양된 莞島 海底沈沒船에서 채취된 것으로서 朴(1985)[41)] 에 의하여 樹種識別을 위해 제공된 목재의 일부를 본 연구의 시편으로 사용하였으며 그 수종은 다음과 같다.

1. 소나무(Pinus densiflora Sieb. et Zucc)
2. 비자나무(Torreya nucifera Sieb. et Zucc)
3. 상수리나무(Quercus acutissima Carruthers)
4. 졸참나무(Q. serrata Thunb.)
5. 느티나무(Zelkowa serrata Makino)
6. 굴피나무(Petrophyloides strobilacea Reid & candler)
7. 동백나무(Camellia japonica L.)

2.2 방 법

위에 적은 샘플들은 淡水에서 염분을 제거하고 전남대학교 木材構造學교실에 보관(10% 포르말린)되어 있었다.

이 샘플들을 꺼내 5×5×10㎜ 정도의 블록(block)을 만든다음 증류수에서 충분히 세척한 후 다시 FAA(Formaldehyde, Acetic acid, Alcohol) 용액으로 4℃에서 24시간 고정 시켰다. 이어 증류수로 충분히 세척한 다음 에틸알코올의 농도를 높여가면서 탈수시키고 이어 臨界點 乾燥(Critical point drying)를 실시한 다음 走査形電子顯

微鏡(Scanning Electron Microscopy : S.E.M) 관찰을 실시하였다.

또한 光學顯微鏡의 관찰을 위해 알코올로 탈수시킨 샘플은 파라핀에 embedding 시킨 후, 20μm의 절편을 만들어 safranine 과 astra blue 로 이중염색을 실시하였다.

샘플중 일부는 본 연구에 사용되기전 이미 P.E.G1000 또는 1500으로 처리되어 있었으므로, 이같은 샘플은 따뜻한 물에서 탈수시켜 臨界點乾燥를 실시하여 S.E.M관찰을 시도하였다.

3. 結 果

3.1 肉眼的 特徵

인양된 목재의 표면에 직경 1~2㎜의 흠이 散在하고 있었으며, 목재를 절단했을 경우 목재내부에 직경 5~10㎜의 孔道(tunnel)가 관찰되었고, 이 공도의 내부는 石灰質로 덮여져 있었다. 이상과 같은 穿孔들은 소위 海洋穿孔動物(marine borers)에 의한 것으로 표면에 직경 1~2㎜의 크기로 나타난 것은 Crustaceans (甲殼類)에 속하는 Limnoria 계통의 加害痕迹이며, 목재내부의 직경 5~10㎜의 孔道는 Lamelli branchia (瓣鰓類)에 속하는 좀조개(Teredo)에 의한 피해 흔적으로 사료된다.[17] 본 연구는 해양미생물에 의한 목재의 미시형태적 변화가 그 목적인 관계로 해양동물에 의한 목재의 피해는 더 이상 언급치 않을 것이다. 다만 海水中에 이 해양천공동물에 의한 목재의 피해가 가장 심각하고 대구모적인 것이나[11),37)], 보존처리시 문제가 되는 소위 치수의 변화(dimensional change)에는 큰 문제점을 야기시키지 않는다는 점과 또한 이들 해양천공동물과 미생물 특히 細菌과의 상호작용에 의해 목재의 부후가 가속화될수도 있다는 점만은 기억할 필요가 있겠다.

인양된 목재중 본 연구에 제공된 샘플의 색깔은 대부분 黑褐色을 띄고 있었으며 특히 표면으로부터 수삼㎝까지는 손으로 눌러보아도 목재가 들어감을 느낄수 있을 정도로 軟化(Softening)되어 있어서 마치 스폰지를 만지는 것과 같았다. 물론 샘플에 따라서는 그같은 감촉을 전혀 느낄수 없는 상태, 즉 부후가 거의 없는 상태의 것들도 있었다.

3.2 부후정도의 차이

본 연구에 제공된 試片은 文化財로서의 가치 때문에 그 채취부위가 극히 제한되어 있어 여러부위에서 다량으로 채취할 수 없는 문제점을 갖고 있으며, 또한 샘플의 대부분이 이미 10% 포르말린에서 장기간 보존되어 있는 것이어서 生物學的 접근에 한계를 갖고 있었다. 따라서 본 실험에 나타난 결과에 의한 해석의 일반화는 어렵다는 문제점을 갖고 있지만 아래와 같은 몇가지 특징을 찾아볼 수 있었다.

海洋微生物에 의한 목재의 분해는 樹種에 따라 그 분해정도가 다를 뿐 아니라 동일 수종의 경우에도 채취부위에 따라 분해의 정도가 달랐다.

사진. 1과 2는 각각 비자나무와 소나무의 것으로서 비자나무의 경우 많은 菌絲가 組織내에 존재함에도 불구하고 細胞膜의 분해 내지는 손상을 전혀 찾아볼 수

없었다. 소나무 역시 채취 부위에 따라서는 사진. 2에서 보듯 細胞膜의 손상을 찾아볼 수 없다. 그러나 같은 소나무라 할지라도 표면에서 채취된 샘플은 사진. 3이 보여주듯 中間層만 남고 세포막 전체가 분해되거나 중간층과 二次膜의 完全 分離와 같은 심한 분해양상(Fig. 3)을 보여 주었다.

本稿에서 취급할 성질은 아니지만, 다만 언급하고 넘어가야할 것은 소나무의 경우 채취 부위에 따라 전형적인 異常材(reaction wood)의 細胞形態를 사진2에서 관찰할 수 있었다. 이 異常材의 존재로부터 옛날 木船의 제조시 船舶에 彎曲된 부분이 필요할 경우 구부러진 가지나 본래부터 줄기가 휘어진 소나무 즉 이상재(본 실험재료에서는 압축재 ; Compression wood)를 사용하였던 것으로 추측할수 있겠다.

부후된 조직의 경우 腐朽의 정도는 조직마다 균일치 않아 바로 인접하는 세포 사이에서 마저도 분해가 되어있지 않는 매우 불규칙적인 부후 양상을 보여 주었다(사진.4) 이같은 모습은 水沈된 참나무를 대상으로 하여 연구한 Barbour(1984)[1] 와 Hoffmann(1984)[18] 등의 결과에서도 찾아볼 수 있었다.

현미경 관찰 결과 목재 구성요소의 대부분에서 微生物의 存在가 확인되었으며, 특히 활엽수의 경우 木纖維 및 放射組織에서의 부후는 쉽게 관찰되었다. (사진. 4 와 사진. 5). 특이한 현상은 菌絲등 미생물이 다른 조직에 비해 다량으로 존재하면서도 導管壁의 분해는 쉽게 찾아보기 힘들었다는 사실이다. (예 사진. 4). 이같은 사실은 Courtois 와 Erasmy (1976)[6] Greaves(1969)[13] 및 Monties 등(1981)[31] 의 연구에서도 찾아볼 수 있다. 도관벽의 부후에 대한 抵抗性은 해양미생물 뿐 아니라 리그닌과 셀룰로스를 동시에 분해할 수 있는 白色腐朽菌(White rotting fungi)의 하나인 Lentinus edodes에 의한 상수리나무의 경우에서도 마찬가지였다.[22] 도관벽이 다른 세표막보다 분해가 더딘 이유중의 하나는 도관벽의 리그닌 구성의 차이점 즉, Guaiacyl 리그닌과 Syringyl 리그닌量의 構成의 特異함 때문인 것으로 사료된다.[3), 10), 35), 36)]

분해가 가장 심하게 발생하는 부위는 膜孔(pit)부위와 細胞內腔(cell lumen)쪽이었다. (사진6,7,8,9) 그림 6에서 보는 바나 같이 막공의 완전한 분해와 함께 세포막의 분해도 있는가 하면, 細胞에 의한 막공의 분해가 막 시작된 경우 (사진 7) 및 菌絲와 細菌에 의한 막공의 분해(사진 8,9)등이 관찰되어 특히 막공이 쉽게 분해됨을 볼 수 있었다.

3.3 微視形態的 變化의 特徵

세포막(cell membrane)의 분해는 針•闊葉樹材에 상관없이 細胞內腔에서 시작하여 中間層(middle lamella)으로 진행되는 양상이 가장 많이 관찰되었다. (사진 9,10 및 11) 즉 S_3 층에서부터 부후가 시작되어 세포막의 중층(S_2)까지 파고들어가는 형태로서, 중간층은 거의 분해되지 않는 모습을 나타내는 것이다. 또한 세포내강의 부후는 사진 9 및 10에서 나타난 것처럼 많은 주름이 잡혀져 있는 것 같거나 또는 皮相(undulation)과도 같이 凹凸되어 나타나고 있다. 특히 사진 10의

피해양상은 세포막이 미생물에 의해 erosion trough로서 그 방향이 2차막의 내층(S_3)의 마이크로피브릴(microfibril)의 走行角度와 거의 유사함을 볼 수 있다. undulation 의 모습은 사진 9 및 10에서 나타나는 細胞膜에서의 erosion trough와 S_3 층의 분해에 뒤이은 S_2 층의 분해의 불균일한 분해 내지는 선택적 분해때문인 것으로 생각되며 이것은 또한 세포막의 부후에 관여하는 해양미생물의 細胞膜分解能이 육지의 그것과는 달리 매우 한정적이다는 사실과 연관되어진다 하겠다. 이같은 분해는 세균뿐 아니라 菌類 특히 子囊菌과 不完全菌類에 속하는 미생물 - 酵素의 木材細胞膜에서의 擴散能이 제한된 - 에서 나타난 현상으로서 사진 10에서는 세포막내에 있는 균사를 사진 11에서는 세포막을 통과하는 균사를 확인할 수 있었다.

또 하나의 분해양상은 중간층과 2차막(secondary membrane)의 분리이다. 사진. 3 및 11), 사진 3은 특히 소나무의 秋材(late wood) 세포의 경우 중간층과 2차막의 분리가 심하게 나타나는 것을 보여주고 있으며, 사진 11은 세포와 세포사이를 관통하는 菌絲이외에 중간층으로 부터의 2차막의 분리 및 부후된 2차막의 樣態를 볼 수 있다. 수종에 따라서는 2차막의 內層(S_3)이 中層(S_2)보다 부후돼 있는 것을 관찰할 수 있었다. 수종에 따라 내층과 중층의 腐朽抵抗性이 달리 나타났다는 사실은 매우 흥미로운 것으로써 이에 대한 계속적인 연구는 진행되고 있다. 사진 11에서는 또한 2차막의 분해상태가 無定形化되어 나타나고 있으며 이같은 모습은 광학현미경 아래에서는 소위 세포막이 과립상태(granulated)의 모습으로 나타난다. 중간층과 2차막의 분리는 闊葉樹材에서도 관찰되었다. 이같은 현상은 육지에서도 관찰되는 현상[22) 35)]으로서 세포막의 각층별 化學的 結合과 構成상의 차이 때문인 것으로 생각되어진다.

微視形態的 變化로서 세포막 분해의 또다른 양태는 사진 12에 나타난 바와 같이 細胞內腔으로 부터 일단 부후가 시작되나 안쪽으로 갈수록 즉 S_2 층으로 갈수록 그 부후면적이 커지며 마침내는 세포막에 구멍이 형성(bore formation)되는 것이다. 물론 이같은 구멍의 형성정도는 크지 않아서 구멍과 구멍이 집단적으로 함께 연합 되지않아, 群落(colony)을 이루지는 않고 있으며, 그 확산의 정도가 높지 않고 散在(sporadic)되어 있는 것으로 나타났다. 이같은 腐朽樣像은 세포막을 파고드는 소위 tunnelling bacteria의 전형적인 樣態로서 흥미로운 사실은 중간층까지도 파괴되어 나타난다는 점이다.

이상과 같은 관찰을 통해서 세포막의 분해는 ① 세포내강에서 분해가 시작되어 마지막에는 중간층만 남는 소위 세포막 엷어짐(thinning) ②중간층과 2차막의 分離(seperation) 및 ③ 세포막의 뚫림(tunnelling)으로 구별할 수 있었으며 특히 ①과 ②타입이 다수 관찰 되었다. 문제는 이같은 分解樣態가 상호 연관되어 나타나지 않는다는 점이다. 이같은 사실로부터 水浸된 목재에 관계하는 해양미생물의 종류가 서로 다르다는 사실을 추론할 수 있겠다.

분해양태의 관찰 결과 2차막의 분해모습 등으로부터 化學成分중 주로 셀룰로스

와 헤미셀룰로스가 분해됨을 알 수 있다. 또한 중간층이 그대로 남아있는 경우가 많으나 부위에 따라 組織化學的 반응결과 중간층 일부도 변색되어 나타난다는 점과 또한 2차막의 완전분해로부터 2차막내의 리그닌이 어느정도 분해됐을 것으로 사료된다는 점등을 종합해볼 때 리그닌 역시 분해되나 셀룰로스와 헤미셀룰로스에 비하면 그 정도는 적은 것으로 사료된다. 따라서 화학분석을 실시할 경우 全纖維素(Holocellulose)의 量은 健全材에 비해 상대적으로 감소할 것이나 리그닌의 양은 상대적으로 증가되어 나타날 것이다. 주의를 요하는 것은 리그닌 량의 상대적인 증가를 절대적 증가와 혼동해서는 안된다는 사실이다. 성분상의 또 하나의 특징은 사진 13에서 보는 바처럼 많은 結晶들이 세포내에 축적되어 있음을 보아 건전재에 비해 수침된 목재는 無機成分의 함량이 많을 것으로 예상된다. 무기성분의 증가는 장기간 바닷물 속에 잠겨있었던 관계로 海水중의 무기성분이 목재내에 침적되어 나타난 결과로 보인다.

이상과 같은 분해양태로부터 수침목재의 保存을 위한 値數安定化處理時 최소한 두가지 사실은 고려해야 된다는 것을 도출할 수 있는데, 첫째는 충분한 脫鹽이고 둘째는 치수안정화처리제의 농도이다. 즉 첫째로는 많은 무기성분이 존재함으로 이같은 성분을 완벽하게 제거시키지 않을 경우 無機鹽에 의한 피해가 우려되기 때문이며 둘째로는 腐朽組織과 그 정도가 樹木의 種類에 따라, 또한 동일수종의 경우 바닷물 속에 놓여진 위치에 따라 달리 나타남으로 치수안정제의 농도에 유의할 필요가 있다. 그것은 부후정도에 따라 주입된 양과 木製細胞內의 주입정도가 달라지기 때문이다. 미시형태적 관점이라는, 이 글의 본래의 촛점에서 벗어나는 것이지만 수침목재의 保存處理라는 맥락에서 언급하고 넘어가야할 사실은 P.E.G로 일단 처리한 샘플의 미시형태적 변화에 대한 고찰은 어렵다는 사실이다. 사진 14에서 보여주듯 P.E.G 1500으로 처리했던 목재의 경우 세포내강에 P.E.G가 상당부분 덮여 있어서 세포막의 분해양상과 微生物의 擧動등의 관찰에 있어서 문제점으로 등장된다. 이같은 현상은 목재조직내에 침투가 가장 힘든 P.E.G 1500을 사용함으로써 일어나는 형상인지[18], 아니면 P.E.G 처리목재에 동일하게 나타나는 현상인지 확실치 않다. 이에 대한 연구는 더 계속되어야 할 것이며, 또한 P.E.G 1500이 목재의 세포막에 침투하지 못하고 세포내강에만 머물고 있는지 등에 관한 연구 역시 뒤따라야할 것이다. 어떻든 P.E.G 1500으로 처리된 목재의 試片은 충분한 脫P.E.G 처리시간에도 불구하고 S.E.M에 의한 미시형태적 관찰에 적절치 않다는 사실은 매우 흥미있는 것으로서, 목재를 저분자량의 P.E.G로 부터 점진적으로 농도를 올려 처리했을 경우에도, 이같은 현상이 역시 발생될 것인지는 더욱 연구되어야 할 것이다.

3.4 微生物의 種類와 擧動

관찰된 것들을 중심으로 볼 때 菌絲의 이동은 주로 膜孔(pit)을 통해서 이루어지거나 (사진9), 세포막의 管通 역시 관찰된다. (사진 15) 조직내에 존재하는 菌絲의 거동과 형태로 보아 관찰된 균류는 대체로 子囊菌 내지는 不完全菌類에 속

하는 것으로 추측된다. 그것은 菌絲가 지나는 부위의 세포막에서 분해의 폭이 극히 제한되어서 나타난다는 사실과 (사진10, 11) 균사의 세포막 투과시 형성된 穿孔을 관찰할 수 없다는 점 (사진 15) 등에서, 또한 형성된 Sporangium 의 형태 (사진 15) 등에서 그같은 유추가 가능하다.

세균의 경우 막공 뿐 아니라 (사진 7) 세포막 자체를 잠식해가면서 세포막을 투과하기도 (사진 12) 한다. 이들 세균은 다양한 형태의 것이 관찰되지만 coccus 와 rod-type 으로 대별된다. 사진 8 및 16의 것은 전형적인 coccus 계통의 세균이며, rod-type 의 세균은 사진 17 및 18 에서 찾아볼 수 있는바, 특히 사진 17의 세균은 纖毛가 부착되있는 것도 관찰되었으나 이들의 分類學的 識別은 시도하지 못했다.

病理學的 측면에서 관찰되는 특이한 모습은 소위 炭火(carbonized)된 목재는 미생물의 피해가 거의 없다는 것이다. 사진 18에서 나타난 바와 같이 炭火된 조직의 세포막의 변화는 찾아볼 수 없고 다만 膜孔을 통한 미생물의 이동만을 볼수 있을 뿐이었다. 탄화된 목재는 더 이상 미생물의 營養源으로 작용치 못하고 있음을 알 수 있다. 이같은 연유로 옛날부터 목재를 미생물로부터 보호하기 위한 수단의 하나로 목재의 表面을 불에 태워 숯을 만들었던 것은 잘 알려진 사실로 이같은 방법은 호주의 原住民들에게서도 찾아볼 수 있다.[34]

4. 考 察

바닷물에 잠겨있는 목재의 生物要因에 의한 파괴는 크게 두가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 動物에 의한 것이고 두 번째는 미생물에 의한 분해이다. 해양에 있어서 목재에 피해를 입히는 동물은 흔히 海洋穿孔動物이라 부르며, 이것들에 의한 목재의 피해가 극심한 것으로 보고되고 있다.[11] 이 해양천공동물은 주로 Teredo, Bankia 및 Limnoria 계통의 것이다.[17]

한편 해양의 목재에서 發育, 棲息하는 즉, 목재 그 자체를 영양원으로 하는 미생물은 lignicolus fungi 와 bacteria 로 대별된다. 이중 菌類는 寄主特異性(host specific)을 보이지 않으며 분류학상 대부분이 자낭균(Ascomycetes)과 불완전균(Deuteromycetes)에 속하며[19),20), 29), 38)] 담자균(Basidiomycetes)은 매우 적어 지금까지 3種이 보고되고 있을 뿐[23),27)]이다. 이들 균들은 셀룰로스와 리그닌을 분해할 수 있으나, 영양원으로서 셀룰로스를 선호하며 이들의 酸素要求水準 때문에 해양에 침수된 목재의 내부 깊숙이까지는 침투할 수 없는 것으로 보인다.[24]

海洋菌에 의해 부후된 목재의 미시형태적 특징은 경우에 따라서 軟腐朽(softrots)와 같이 木材細胞의 2차막에 Cavity 를 형성하는 것도 있는가 하면[27] 또 다른 경우 셀룰로스만을 분해시키는 褐色腐朽菌(Brown rot)의 그것과 비슷하게 나타나는 것도 있

다.[25] 즉, 중간층만 침해받지 않고 모든 세포막이 侵蝕(erosion)된 상태를 나타내기도 하며, 세포막이 엷어지는(thinning) 현상을 나타낸다. 본 관찰을 통해서 나타난 바로는 軟腐朽現狀을 찾아볼 수 없으며 後者의 현상 즉, 모든 세포막의 침식과 엷어짐은 쉽게 관찰할 수 있었다. 또한 횡단면상에서 Esyline 과 Moore (1984)[9] 의 관찰에서 나타나듯 세포막의 顆粒狀態(granulate)모습도 찾아볼 수 있었다. 또한 중간층과 2차막의 분리도 쉽게 관찰될수 있는데, 이같은 현상은 淡水중에서 세균의 피해를 받은 white pine에서도 찾아볼 수 있으며[9] 白色腐朽에 의한 상수리나무에서도 찾아볼 수 있는 것처럼[22] 목재조직과 화학성분의 차이 때문인 것으로 생각된다.[35]

海洋微生物로서 細菌 역시 목재의 파괴에 참여하나 균류보다는 그 정도가 미약한 것으로 보고 되어 왔다. 대부분의 海洋細菌은 好鹽性(halophilic) 즉, 생장을 위한 NaCI을 필요로 하며 특히 그 농도가 2.5~4.0%일 때 最適生長을 하며 0℃~4℃의 海水에서도 생장은 가능하지만 成長適定溫度는 18℃~22℃의 범위이다. 물론 경우에 따라서는 冷溫을 좋아하는 psychrophilic 細菌도 있지만 대부분의 해양세균은 gram negative 로서 대체로 mofite 이며 75~85%가 纖毛(Cilia) 를 갖는 수의혐기성(facultative anaerobe)을 보이며[25] [33] 그 모습은 네가지 형태로 나타나는 바 cocci, rods, vibrio 및 spirilla 가 그것이다.[6] [7] [21] [32] 셀룰로스 分解細菌으로서 대표적인 것들은 Cytophage, Sporocytophage 이다. 이들에 의한 목재세포의 미시형태적 변화의 특징은 수종간의 차이 없이 細胞內腔에서부터 파괴가 시작되어 S_3 층에 불규칙적인 depression 이 생성되고 중층(S_2)으로부터 cavity 가 연장되어 마지막에는 모든 細胞膜層이 無定形物質(amorphous mass)화되는 형태를 보이며 경우에 따라 세포막에 불규칙적인 etching 을 나타내기도 한다. 세균에 의해 목재는 多孔性 또는 浸潤性(liquid permeability)의 증가를 나타낸다.[15] 그 이유는 세균에 의한 막공의 파괴 이외에도 셀룰로스구조의 파괴 때문인 것으로 생각된다. 세균에 의해서도 목재의 현저한 重量減少가 나타난다는 報告[14] 등으로부터 해양중에 장기간 수침된목재에서 나타나는 함수율의 극심한 증가 및 木質部의 부후는 해양세균에 의한것일수도 있다는 가능성을 결코 배제할수 없다 하겠다.

본 관찰을 통해서 나타난 세균은 대체로 rod-like 및 cocci type 형태로서 경우에 따라 섬모를 갖는 것도 있었다. 또한 이들 세균에 의한 세포내강으로부터의 분해는 쉽게 찾아볼 수 있었으며 부후의 최종단계에 해당되는 세포막층의 無定形物質化는 다수 관찰 되었다. 해양미생물로서의 세균은 특히 해양에서의 목재의 부후와 깊은 관련이 있지만, 이에 대한 연구결과가 많지 못하다는 어려움을 갖고 있다. 특히 리그닌분해에 관해서는 더욱 그러하다.

최근 海洋細菌에 의한 리그닌분해의 가능성이 제시됨[24] 에 따라, 해양에 침수된 목재의 세균에 의한 脫리그닌화도 부정할 수 없게 되었다. 사실 Monties 등 (1982)[31] 은 Pseudomonas 세균에 의한 포플라나무의 脫리그닌화를 電子顯微鏡的 手法을 통해 증명 하였다. 지금까지 리그닌화된 세포막은 세균이 공격할 수 없다는 일반적인 견해들은[16], [28] 최근 목재세포막을 뚫는(tunnelling)세균이 발견 되었다는 사실을 무시하

고 있는 것이라 하겠다. 요약컨데 세균에 의한 리그닌의 분해가능성은 가설의 단계를 지나 사실로서 정립 되었다 하겠다.[4] 본 실험에서도 사진12에서 나타난 바와 같이 목재세포막의 뚫림과 세포막의 undulation (사진10) 그리고 세균의 존재(사진16 및 17)등으로 보아 해양세균에 의한 리그닌분해의 가능성을 배제할 수 없으나 이에 대한 결론은 더많은 관찰이 있는 연후에야 가능할 것으로 생각된다.

해양에서의 목재의 부후는 樹種, 그 목재가 海水中에서 놓여진 위치에 따라 다르며 동일 부위라 할지라도 세포마다 차이가 있어서 부후된 바로 인접세포가 비교적 건전한 상태로 존재하는 예를 쉽게 찾아볼 수 있었다. 闊葉樹內에 있어서 導管壁이 다른 구성세포에 비해 부후가 더디다는 것도 그같은 예의 하나일 것이다. 즉, 導管의 膜孔은 분해되지만 도관벽 자체는 쉽게 공격당하지 않은 특징이 있으며[13] , 그같은 현상은 리그닌化의 정도 및 리그닌의 종류가 다르기 때문인 것으로[35,36] 생각되어진다.

부후정도가 다르다는 사실로부터 목재를 인양해서 소위 値數安定化處理에 앞서 목재의 부후정도를 일단은 파악하고 넘어가야할 문제로 대두되며 이 부후정도의 판독을 위해서는 ① 木材比重의 變化에 의한 細胞膜物質의 손실정도의 파악이 있어야할 것이며 ② 最大含水率의 측정을 통한 부후정도의 판단도 뒤따라야 할 것이다. 이같은 경우는 그러나 인양된 목재의 樹種을 완전히 識別한 경우에만 해당된다. 문제는 新安海底沈沒船처럼 국내수종이 아닌 수종으로 이루어진 木造船舶의 경우처럼 材木의 식별이 불완전한 경우 또는 物理的, 化學的 성질에 대한 자료를 얻을 수 없을 경우에는 목재세포의 미시형태적 변화를 통해서 부후의 정도를 어느정도 파악할 수 있다.[1),18] 실제로 신안해저 침몰선에서 채취된 샘플일 경우 동일 수종이라 할지라도 부위에 따라 최대함수율이 180%에서 500%까지 변하고 있으며 比重의 변화폭 역시 큰 것으로 나타나고[40)41] 있다. 따라서 수침목재의 모든 처리를 위해서는 목재의 物理的 性質變化 이외에도 미시형태적 변화와 化學的 成分의 변화도 철저히 究明되어야 할 것이다.

5. 結 論

바닷물에 장기간 방치된 목재의 해양미생물에 의한 微視形態的 變化의 특징을 파악코자 1984년 全南 莞島郡 藥山面 漁頭里에서 인양된 船舶材를 試料로 하여 走査形 및 光學顯微鏡 관찰을 文化財管理所 木浦保存管理場과 共同으로 실시하였던바 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 해양미생물에 의한 목재의 부후는 수종에 따라 그 부후 정도가 달랐으며, 동일수종의 경우라도 해양에 놓여진 위치에 따라 그 정도가 달랐다. 비자나무의 부후 저항성은 인상적이었다.

2) 활엽수의 경우 導管壁은 다른 細胞組織에 비해 가장 덜 부후된 조직으로 나타났다.

3) 세포막의 부후 양상은 첫째 세포내강에서 부후가 시작되어 결국은 중간층만 남는 세포막의 엷어짐(thinning), 둘째 중간층과 2차막의 분리, 셋째 세포막의 뚫림으로 구별할 수 있었다.

4) 관찰된 미생물은 cocci 및 rod type 의 細菌과 子囊菌 및 不完全菌類에 속하는

것들로서 이들은 대부분 막공을 통해서 세포내의 이동을 이루고 있었다.

5) 세포막의 腐朽樣態에 따른 細胞膜構成物質(多糖類와 리그닌)의 변화 및 無機物質의 축적으로부터 保存處理時 유의해야 할 문제점도 아울러 논의하였다.

※감사의 말씀 : 관찰용 試料를 제공해주신 全南大學校 朴相珍 교수님, S.E.M관찰에 협조해주신 전남대학교 전자현미경교실의 金正豪 기사님과 문화재연구소 목포보존처리장의 金益株君께도 깊은 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

1. Barbour, R.J., 1984, The condition and dimensional stabilization of highly deteriorated waterlogged hardwoods, in "Les bois gorges d'eau etude et conservation", Grenoble, 23-37.
2. Boyle, P.J. ? R. Mitchell, 1980, Interactions between micro-organisms and wood-boring crustaceans, Proc. 4th. Int. Biodetn. Symp., Oxley, T.A., D. Allsopp ? G. Becker(eds.), 176-186, Pitman Pub. London.
3. Cpte, W.A., 1977, Wood ultrastructure in relationship to chemical composition, in Loewus, R.K. ? V.C. Runeckles(eds.), The Structure, biosynthesis and degradation of wood, Plenum Press, New York, 1-44.
4. Crawford, R.L., 1981, Lignin Biodegradation and transformation, John Wiley ? Sons, New York, p. 55-60.
5. Courtois, H., 1966, Uber den Zellwandabau durch Bakterien im Nadelholz, Holzforschung, 20:148-154.
6. Courtois, H. ? J. J. Erasmy, 1976, Bakterienangriff auf die Zellwande von Eichen-und Buchengolz Wahrend einer Wasserlagerung, Holz R. W. 34:181-184.
7. Daniel, G. ? T. Nilsson, 1985, Ultrastructural and TEMEDXA studies on the degradation on the CCA treated radiata pine by tunnelling bacteria, IRG/WP/Doc. No. 1260.
8. Eltringham, S.K., 1971, Marine borers and fungi, in Jones, E.B.G. ? S.K. Eltringham(eds.), Proc. OECD Workshop; Marine borers, fungi and douling organisms of wood, 327-334
9. Eslyn, W. E. ? W.G. Moore, 1985, Bacteria and accompanying detorioration in river pilings, Material und Organismen, 19:263-282.
10. Fengel, D. ? G. Wegener, 1984, Wood chemistry, ultrastructure Reactions, De Gruyter, Berlin, 613 pp.
11. Findlay, W.P.K., 1985, Preservation of timber in the tropics, Martinus Nijihoff,

Dordrecht, 269 pp.
12. Greaves, H., 1965, The effect of bacterial action on some wc cubes in shake culture, Material und Organismen, 1:61-67.
13. Greaves, H., 1969, Micromorphology of bacterial attack of wood, Wood Sci. Technol. 3:150-166.
14. Greaves, H., 1973, Selected wood-inhabiting bacteria and their effect on strength properties and weights of *Eucalyptue regnane* F. Muell and *Pinus radiata* D. Don sapwood, Holzforschung 27:20-25.
15. Greaves, H. ? J.F. Levy, 1965, Comparative degradation of the sapwood of Scotch pine, beech and birch by *Lenzites trabea, Polystictue versicolor, Chaetomium globosum* and *Bacillus polymyxa*, J. Inst. Wood Sci. 15:55-63.
16. Harmsen, L. ? T.V. Nissen, 1965, Der Bakterienangriff auf Holz, Holz R.W. 23:389-393.
17 Hochman, H., 1973, Degradation and protection of wood from marine organisms, in Nicholas, D.D (ed.), Wood deterioration and its prevention by preservative treatments, Syracuse Univ. Pre. 247-276.
18. Hoffmann, P., 1984, On the stabilization of waterlogged oakwood with PEG molecular size versus degree of degradation, in "les bois gorges d'eau etude et conservation", Grenoble, 95-115.
19. Hohnk, W., 1955, Studien zur Brack-und Seewassermykologie v., Hŏhere Pilze des submersen Holzes, Veröff. Inst. Meersforsch. Bremenhaven 3:199-227.
20. Johnson, T.W., 1968, Saprobic marine fungi, in Ainsworth, C.G ? A.S. Sussman, The fungi Ⅱ, Academic Press, London, 95-104.
21. Kadota, H., 1959, Cellulose-decomposing bacteria in the sea, in Ray, D.L. (ed.), Marine boring fouling organisms, Univ. Washington Press, Seattle, 332-346.
22. KIM, Y.S., 1986, Micromorpholgical and chemical characteristics of *Quercus acutissima* degraded by *Lentinue edodes*, Kor. j. Wood Sci. Technol. 14 (in press).
23. Kohlmeyer, J., 1974, On the definition and taxonomy of higher marine fungi, Veröff. Inst. Meerforsch. Bremerhaven Suppl. 5:263-286.
24. Kohlmeyer, J., 1980, Bacterial attack on wood and cellophane in deep sea, Proc. 4th. Int. Biodetn. Symp., Oxyley, T.A., D. Allsopp ? G. Becker(eds.), 187-192, Pitman Pub., London.
25. Kohlmeyer, J. ? E. Kohlmeyer, 1979, Marine Mycology, the higher fungi, Academic Press, 690 pp.
26. Lightley, L.E. ? R.A. Eaton, 1979, *Nia vibrissa*-a marine white rot fungus, Trans. Br. Mycol. Soc. 73(1):35-40.

27. Lightley, L.E. ? R.A. Eaton, 1980, Micromorphology of wood decay by marine microorganisms, Proc. 4th. Int. Biodetn. Symp., Oxley, T.A., D. Allsopp ? G. Becker (eds.), 221-250.
28. Liese, W. ? G. Karnop, 1968, Über den Abfall von Nadelholz durch Bakterien, Holz R.W. 26 : 202-208
29. Meyers, S.P. 1960, Occurrence of lignicolous fungi in northern Atlantic and pacific marine localities, Can. J. Bot. 38 : 217-226
30. Meyers, S.P. ? E.S. Reynold, 1959, Marine fungi and wood borer attack, Science 130 : 46.
31. Monties, B., E. Odier, G. Janin ? Y. Czaninski, 1981, Ultrastructural evidence of bacterial and chemical delignification of popular wood, Holzforschung 35 : 217-222
32. Nilsson, T. ? D. Holt, 1983, Bacterial aspects occurring in the S_2 layer of wood fibres, Holzforschung 37 : 107-108
33. Rheinheimer, G., 1980, Aquatic Microbiology 2nd. ed., John Wiley ? Sons, Chiechester.
34. Richardson, B. A., 1978, Wood Preservation, Construction Press, Lancaster, 238 pp.
35. Ruel, K. ? F. Barnoud, 1985, Degradation of wood by microorganisms, in Higuchi, T. (ed.), Biosynthesis and Biodegradation of wood components, Academic Press, Orlando, 441-467.
36. Saka, S.?D.A.I. Goring, 1985, Localization of lignins in wood cell walls, in Higuchi, T. (ed.) *ibid*, 51-62.
37. Santhakymaran, L.N. 1985, Marine Wood-borers of India, an annotated bibiliography, Marine Inst. Oceanography, India.
38. Schaumann, K., 1969, Ŭber marine hohere Pilze von Holzsubstraten der Nordseeinsel Hegolland, Ber. Dtsch. Bot. Ges. 82 : 307-327.
39. Wilcox, W.W., 1970, Anatomical changes in wood cell walls attacked by fungi and bacterial, Bot. Rev. 36(1):1-28
40. 金潤受, 1986, (未發表 資料)
41. 崔光南, 1983, 海底引揚文化財의 科學的 保存에 따른 基礎實驗硏究(Ⅰ), 保存科學硏究, 4 : 71-88
42. 朴相珍, 1985, 완도해저유물보고서(선박의 수종조사) : 130-151

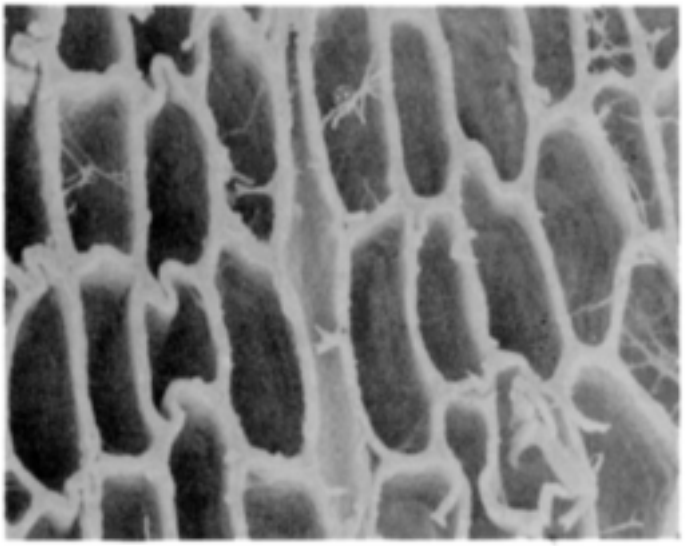

사진 1 비자나무의 횡단면(×400)

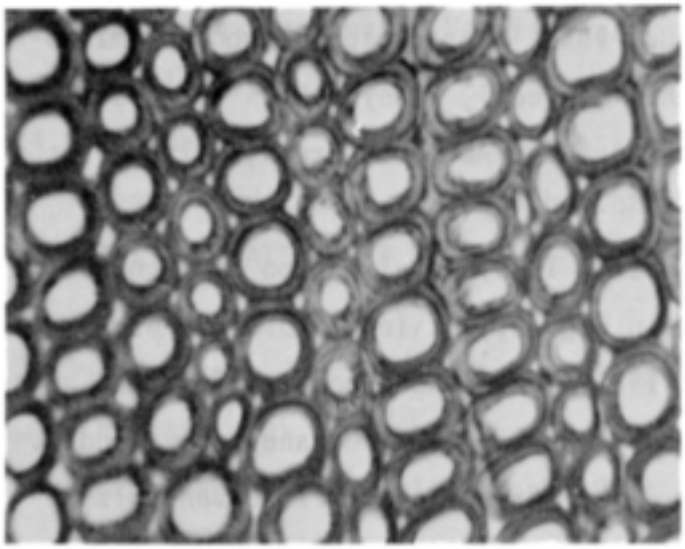

사진 2 소나무의 횡단면 상에 나타난 異常材 (×400)

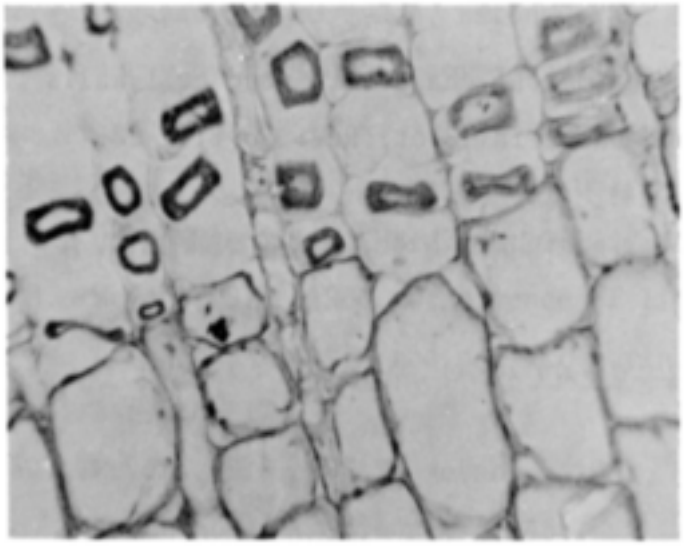

사진 3 소나무 春秋材 세포의 분해. 秋材細胞에서의 중간층과 2차막의 분리를 볼 수 있다(×400)

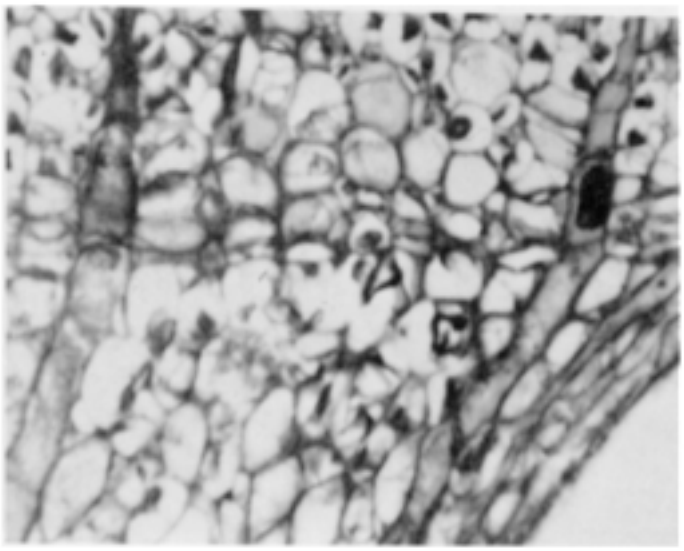

사진 4
활엽수 조직내의 부후정
도의 차이 (×400)

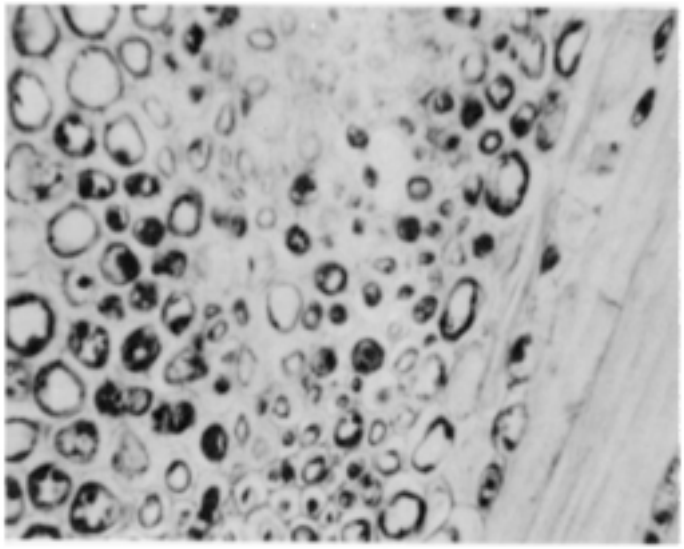

사진 5.
활엽수 조직내의 부후정
도의 차이 (×400)

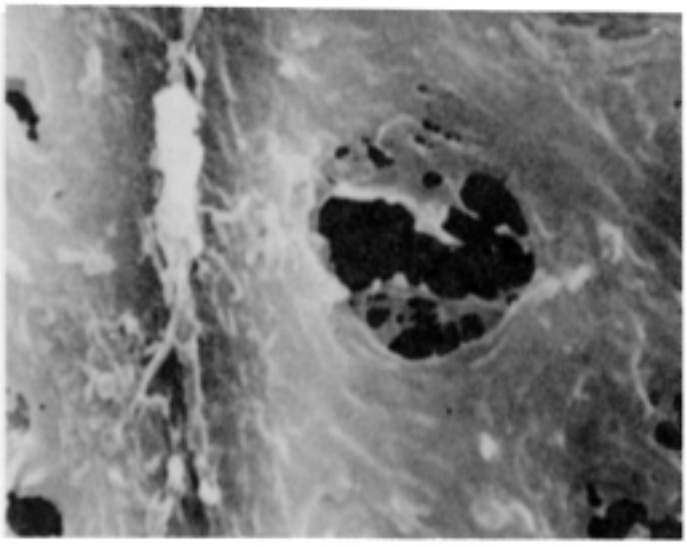

사진 6
막공 및 세포내강의 분해
(×4000)

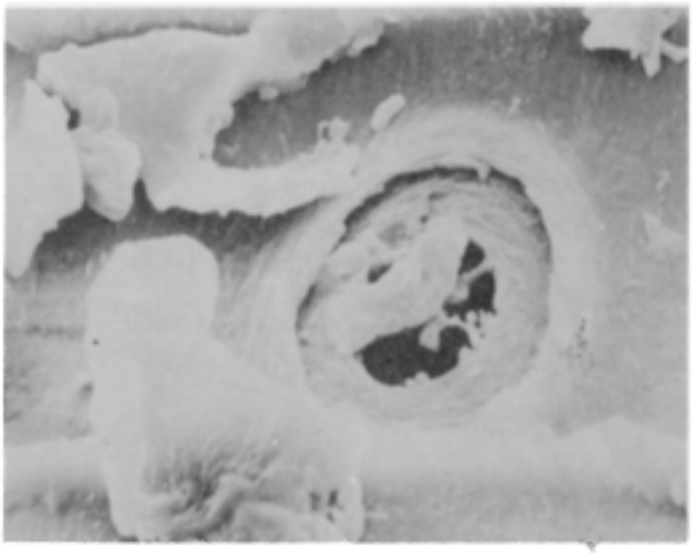

사진 7.
막공주위 및 막공내의
세균(×3000)

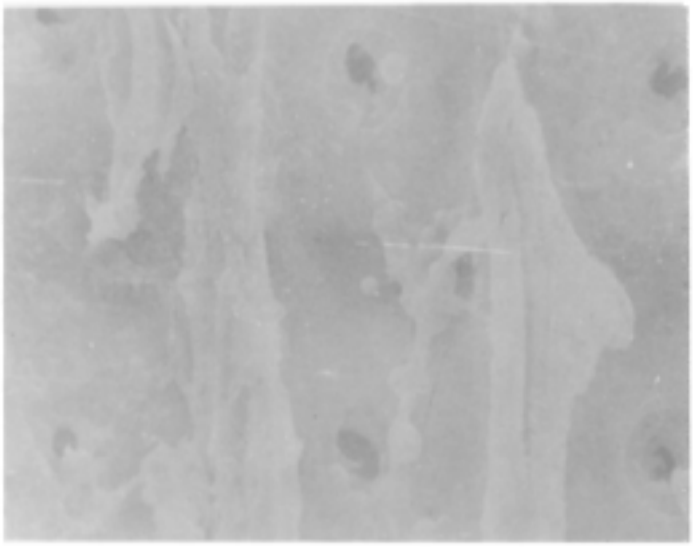

사진 8.
막공의 분해 및 조직내의
미생물(細菌과 菌絲)
(×1500)

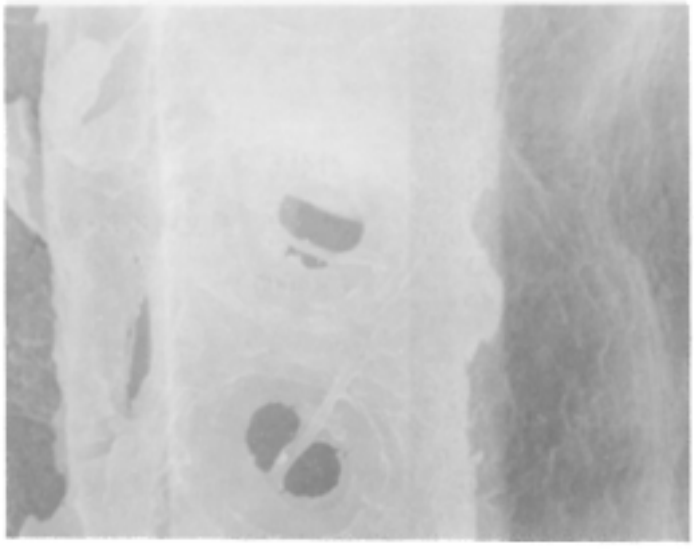

사진 9.
막공과 세포막의 분해
양상(×4800)

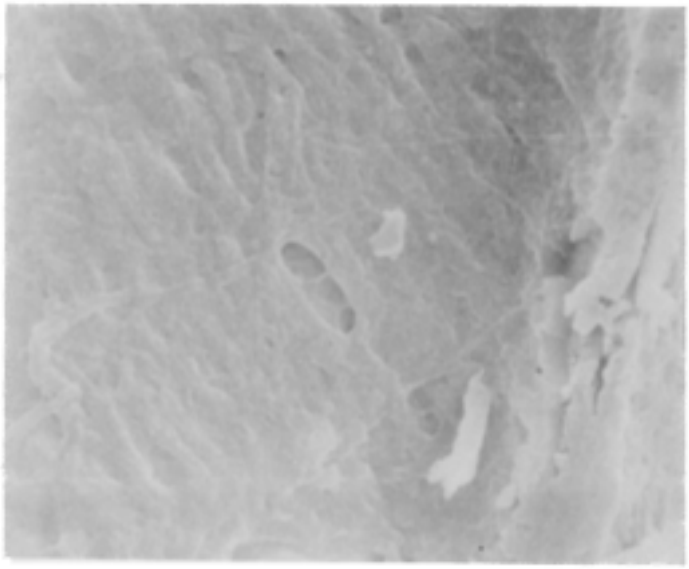

사진 10.
소나무 가도관벽의 분해
(×4000)

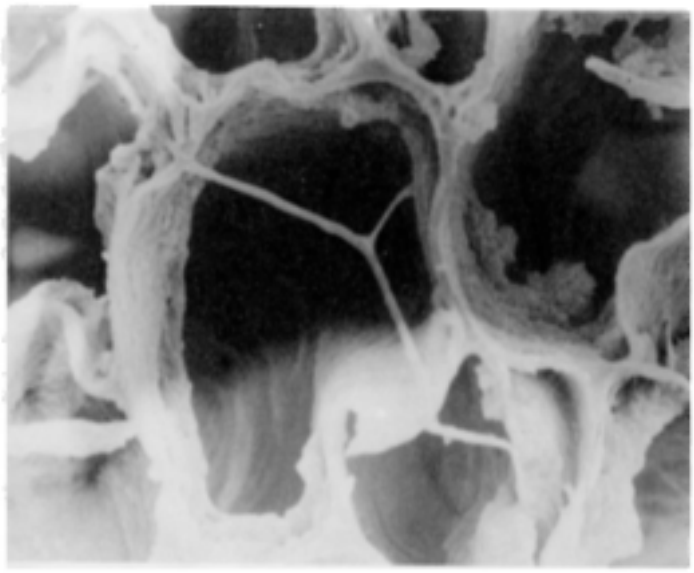

사진 11 .
소나무의 2 차막과 중간
층의 분리 (×2000)

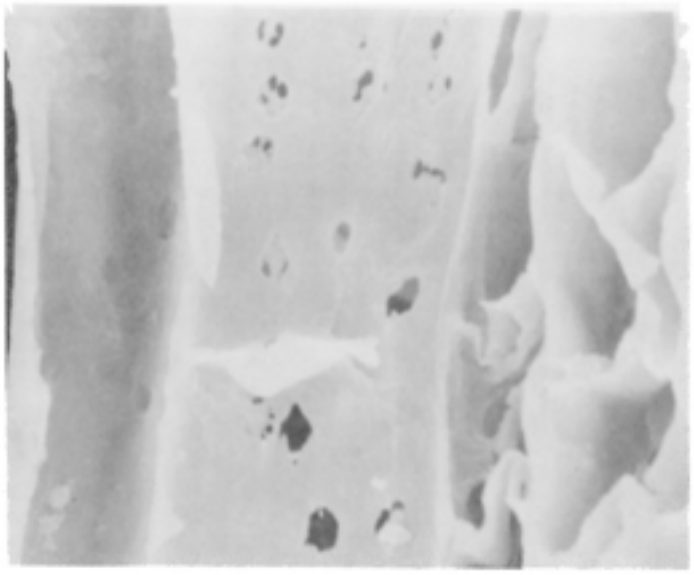

사진 12 .
활엽수 목섬유막의
부후 (×2000)

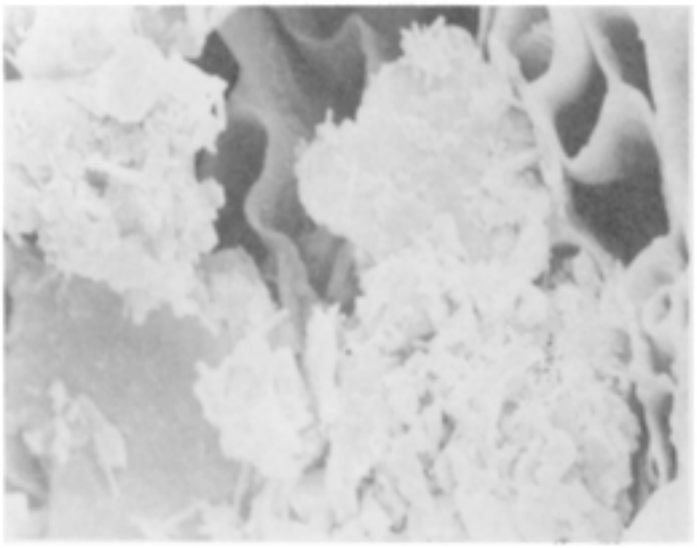

사진 13.

조직내의 결정들(×4000)

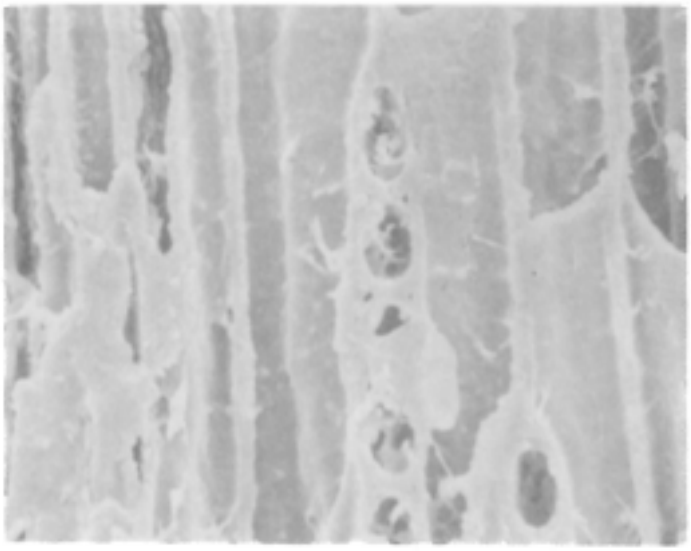

사진 14.

PEG로 처리된 조직의 접선단면(×800)

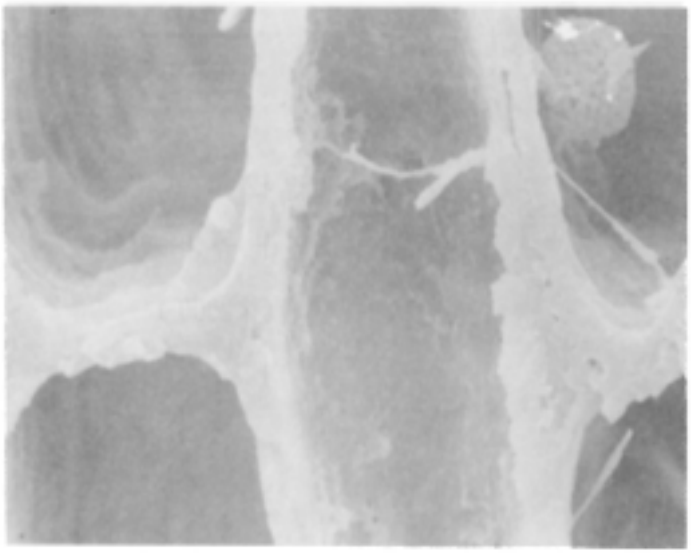

사진 15.

비자나무의 세포막을 관통하는 균사(×2600)

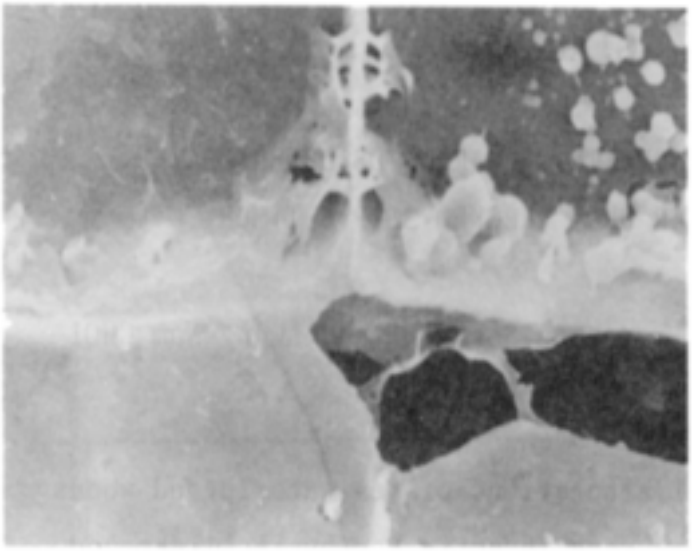

사진 16.
소나무 방사조직내의 세균들
(×2000)

사진 17.
방사조직내의 rod-like
세균들(×1600)

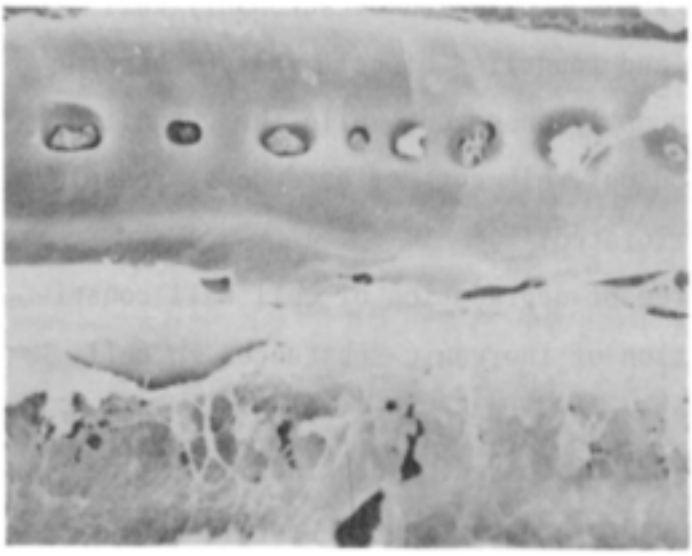

사진 18.
탄화처리된 조직(×2000)

SUMMARY

MICROMORPHOLOGICAL ASPECTS OF HARDWOODS DETERIORATED IN THE SEA-WATER FROM WRECKED SHIP'S TIMER

Yoon Soo KIM and Kwang-Nam CHOI

Micoromorphological alterations of sea-waterlogged woods by marine micro-oragnisms were investigated by the light and scanning electron microscopy as a part of serial investigations on the shipwrecked materials which were excavated at the sea shore of Wando-Kun, southern coast of Korea in 1984.

Deterioration of sea-waterlogged wood by marine microorganisms were varied with the wood species. The degree of deterioration even in the same wood species was different according to the part where it was in mud of sea-water. However, the resistance of *Torreya nucifera* over the marine organisms was marked.

Deterioration in cell wall may be classified into three types; thinning of cell wall, separation of secondary wall from compound middle lamella and tunneling of cell wall. Thinning and separation were frequently observed, while the tunneling was rare. Among the wood cell elements of hardwoods, vessel wall was the least deteriorated.

The difference degree of degradation of cell wall constituents and the accumulation of inorganic substances in cell lumen indicate that some factors to be considered for the conservation treatment were discussed. The kinds of marine microorganisms invading and/or inhabiting in wrecked wooden ship were also discussed.