

沈沒船體의 保存

金 鏞 漢

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1. 海底 引揚 文化財 | 3. 沈沒 船體의 保存 |
| 2. 水浸木材의 性格 및 그 保存 | 다. 沈沒 船體의 保存處理 事例 |
| 가. 水浸木材의 性格 | 라. 船體의 保存의 基礎調查 |
| 나. 水浸 木製遺物의 保存 | 마. 乾燥와 收縮 |
| | 바. 硬化處理 |

1. 海底 引揚 文化財

水中考古學이란 바다, 강, 호수등지에 가라앉아 있는 古代遺蹟이나 遺物 등을 發掘하여 當時의 人類文化를 再復元하려는 考古學의 一分野이다. 이들 遺跡址나 遺物등이 水沒되어 있는 것은 古代遺跡址가 地殼變動에 의해 海水面 下로 가라앉게 되었다던가 古船舶이 航海中에 沈沒되었다든가 하는데에서 그 原因을 찾을 수 있겠다. 水中考古學的 發掘은 世界第二次大戰 以後에 本格的으로 실시되었다고 하겠으나 우리나라에선 新安海底文化財 發掘調查(1976년~1984년)가 本格的인 水中發掘의 始原으로 볼 수 있다. 뒤이어 1983년-1984年中에 莞島海底文化財 發掘調查가 실시되었다. 위의 2調查 樣相과는 약간의 차이는 있으나 1970年代 初에 실시된 慶州 雁鴨池 發掘調查 역시 水中考古學的 發掘事例로 취급될 수 있을 것이다. 특히 위의 3事例에서는 共히 古船體가 引揚되었다. 즉, 慶州 雁鴨池 出土 木船((1975년 引揚 ; 10-11世紀頃의 배), 新安海底 沈沒古船(1981-1983년;14世紀頃), 莞島 海底 沈沒 古船(1983-1984년 ; 10-11世紀頃)이 그것이다. 韓半島는 三面이 바다로 둘러쌓인 환경이어서 옛부터 바다는 政治, 軍事, 社會・文化的으로 중요한 위치를 占하고 있었다. 우리나라 西・南海岸 또는 東海岸은 많은 歷史的 史實들이 묻혀있을 可能性이 높다. 張保臯時代의 古船이 어느 海域인지 아직 殘存해 있을지 모르는 일이며 다시금 世上의 耳目을 집중시킬 李忠武公의 龜船이 임진왜란 當時의 격전장에 아직도 잘 保存되어 있을지 모를 일이다. 向後 韓半島 周邊海域의 文化財 調查가 더욱 활기차게 계속될 것을 豫想할 때, 水中 또는 海底 引揚遺物에 관한 保存的 研究 및 保存能力의 向上이 절실히 요구된다. 海底, 湖底, 또는 濕潤地 등에서 引揚된 遺物은 陸上에서 出土되는 遺物과는 埋藏條件이 매우 다르므로, 이에 대한 保存에 相當한 差異와 어려움이 있다.

木稿는 近年의 海底文化財 發掘을 계기로 提起된 古船의 保存問題를 다뤄보고자 한다. 우리나라를 비롯한 東洋圈에서는 古木造船의 保存經驗이 거의 없는 실정이므로 이의 保存經驗과 技術水準이 높은 유럽 保存科學界의 先行事例를 통해 우리의 古船 保存 方案을 講究해 보려한다. 保存處理 對象物로서의 古船은 大形木材에 의한 連結 構造物로서 小形의 獨立個體 遺物과는 다른 概念의 處理方案이 要求된다.

2. 水浸木材의 性格 및 그 保存

가. 水浸木材의 性格

木材는 吸濕性 物質로서 水分에 대한 親和力이 매우 높다. 따라서 海底, 湖底, 또는 濕地에서 發掘된 木製遺物들은 濕한 環境에서 長期間 埋藏되어 있었기 때문에 대부분 過飽和 狀態의 水分을 含有하게 된다.

木材學에서는 木材가 물 속에 오랫동안 浸積되므로서 細胞腔이 거의 물로 充만되고 細胞膜이 물보다 무겁게 되어 木材가 물 속에 가라앉게 되는 상태를 飽和材(saturated) 또는 水浸木材(waterlogged wood)라 定義한다.

木材의 強度는 그 含水率에 의해 절대적인 영향을 받는데, 木材 內에 水分이 증가되어 纖維飽和點(F.S.P.)以上이 되면 미셀(micell)간의 거리가 멀어져 미셀 상호간의 凝集力이 弱化되어 木材의 強度는 低下된다. 不安定한 條件下에서 埋藏되었던 考古學的 水浸木材는 대부분 이러한 機械的 強度의 低下와 腐蝕으로 대단히 脆弱한 狀態에 놓여 있다. 水浸木材의 構造的 變形은 物理的, 化學的, 生物學的 原因을 갖고 있다. 木材의 腐蝕形式과 腐蝕範圍는 木材의 樹種, 木材構造, 生長條件, 埋葬地域 周邊環境, 濕度, 溫度, 空氣, PH 등에 의해 좌우된다. 특히 微生物에 의한 腐蝕現象은 周邊環境과 밀접한 관련이 있다. 순수한 化學的 영향보다는 微生物에 의한 腐蝕作用이 木材의 構造的 變形에 더 큰 役割을 함은 잘 알려진 사실이다. 考古學的 遺物이 埋藏된 地下나 水中은 산소가 결핍된 條件이므로 嫌氣性 微生物에 의한 被害現象이 많으나, 埋藏 또는 水沒되기 以前에 이미 好氣性 生物에 의해 木材組織이 파괴된 경우도 있다.

木材를 構成하고 있는 化學成分은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 리그닌, 추출성분, 灰分 등이지만 앞의 3成分은 細胞膜을 구성하거나 細胞와 細胞를 접착시키는 中間膜을 구성하는 성분이므로 木材의 3構成要素 또는 木材의 主成分이라 일컫는다. 이들 主成分의 공통적인 특성은 어느것이나 有機高分子物質이라는 점인데 이는 木材의 強度를 좌우한다. 化學組成으로 보면 셀룰로오스나 헤미셀룰로오스는 모두 炭水化合物 즉 糖質의 中間으로 親水性의 化合物이나 리그닌은 芳香族 物質이어서 疏水性을 나타낸다. 대부분의 水浸木製遺物에 있어서 리그닌의 殘存量은 變化가 없으나 셀룰로오스分은 流出되어 減少되고 대신 水分이 過飽和狀態로 되어진다. 그러나 셀룰로오스分의 流失로 組織이 붕괴된 水浸木材는 물 속에 잠겨있을 동안에는 木材 內부의 물이 組織을 지탱해주는 役割을 하므로 自體의 形象을 유지할 수 있게 된다.

水浸木製遺物에 관한 몇몇 論文에서는 木材의 細胞膜이 分解되는 2가지 類型을 區分하고 있다. 첫 번째 形態는 細胞의 3次膜이 腐蝕과 함께 細胞 內部에서 부터 腐蝕이

시작되어 밖으로 進行하는 形態이다. 이와같이 分解되는 木材는 乾燥時 심한 收縮에 의해 自體形象이 바뀐다. 반면에 이러한 木材는 保存溶液의 細胞 內 浸透라든가 細胞腔의 充填을 방해하지는 않는다. 이러한 形態의 腐蝕은 軟材 뿐만 아니라 硬材등 여러 樹種에서 發生되는 現象이다. 두 번째 形態는 細胞의 2次膜 周邊에서 腐蝕이 시작되어 中間簿層(the middle lamella)이 分解와 함께 隣接細胞로 腐蝕이 移動되므로써 細胞間의 結束을 와해시키는 現象이다. 이로써 木材 自體의 組織構造를 상실하게 되고 乾燥後에는 완전히 붕괴되어 버린다. 대체로 이러한 分離形態는 全面에 걸쳐 擴散되는 것이 아니고 部分的으로 제한되며, 붕괴된 細胞의 斷面은 一定한 形象이 없는 덩어리 모양으로 나타나나게 된다.

一般 新材와는 달리 考古學的 水浸木材는 셀룰로오스分 流失의 결과로 毛細管의 平均 直徑이 확장됨에 따라 內部 表面的이 減少되므로 吸收力과 膨潤力이 減少된다. 細胞腔의 확장과 濕한 토양에서 오래 埋藏됨은 外部로부터 有機物質(부패효, 濕土, 染料 등)과 鑛物質(점토효, 콜로이드狀의 水酸化 金屬物 등)의 蓄積을 招來하게 된다. 이러한 外部物質은 乾燥過程 동안에 木材에 어떤 機能的 지원을 하는 것으로 추정되기는 하나 반면에 保存溶液의 浸透를 어렵게 하고, 處理 後에 非自然的 色感を 表出해 낸다. 만일 熱硬化性 合成樹脂나 保存劑가 사용되어진다면 凝結과 重合過程에서 金屬鹽(meallic salt)과 有機酸에 의해 방해를 받게 될 것이다.

水浸木材의 가장 두드러진 특성은 大氣中에서의 乾燥時 먼저 自由水(free water)가 증발되고, 이어서 細胞膜의 吸收水가 離脫되기 시작하여 周圍環境과 平均狀態에 이를 때까지 지속된다. 물의 表面張力 때문에 毛管水의 張力은 연약해진 細胞膜의 強度보다 크게 되므로 물은 離脫되며, 따라서 木材의 收縮, 龜裂, 휨 現象 등이 발생한다. 考古學的 水浸木材는 相對濕度 90% 以上の 環境에 놓아도 輕微한 收縮이 발생한다. 이러한 不安定的 要素가 考古學的 水浸木製遺物에 관한 科學的 保存處理의 要求條件이 된다.

나. 水浸木製 遺物の 保存

水浸木材에 관한 保存的 問題는 다음과 같이 2가지로 요약할 수 있겠다. 첫째, 乾燥의 문제이다. 水浸木材가 含有하고 있는 過飽和 狀態의 水分을 제거하여 周圍環境과 平衡狀態에 이르도록 해야 하는데, 이때 遺物은 아무런 值數的 變形 없이 處理되어져야 한다. 新材에 의한 實驗結果로는 木材의 值數 安定은 木材內의 水分이 周圍環境條件과 平衡狀態를 이룰 때에만 유지된다는 것이다. 이를 바꿔 말하면, 處理된 水浸木材의 계속적인 值數 安定을 위해서는 處理木材가 놓여 있는 周圍環境 즉, 溫度 및 濕度를 일정하게 유지시켜야 되며, 단지 소폭의 變化範圍 內에 있도록 해야 된다는 의미도 있다.

둘째, 強化의 問題이다. 脆弱한 水浸木材의 機械的 強度를 높여주기 위해서는 強化處理가 요구되는데 이는 水浸木材가 自體重量을 지탱할 수 있는 水準까지 強化되어야 하며 또한 다양한 環境變化(溫・濕度 變化)에 대처하여 值數의 安定을 기할 수 있도록 吸濕性 등의 屬性을 可能限 한 배제시켜야 한다. 水浸木材의 保存處理 方法은 이와같은 2가지 條件을 충족시킬 수 있는 것이어야 된다.

水浸木材의 保存處理法은 處理形態에 따라 크게 3가지로 나뉜다. 첫째는 固形化 物質에 의한 水分의 置換法이다. 明礬法($Alum:K_2SO_4Al_2(SO_4)_3$), 왁스(was)法, 멜라민-포름알데히드 樹脂法(melamine-formaldehyde resin) 單量體 重合法(polymerization of monomers) 폴리에틸렌 글리콜(polyethylene glycol)法 등이 첫째 類型에 屬하며 둘째는 蒸發性 液體類에 의한 水分의 置換法이다. 둘째 類形의 處理法으로는 알콜·에틸 樹脂法(alcohol-ether<+resin>), 아세톤 樹脂法(acetone<+resin>)등이 있다. 셋째는 溶劑 및 水分을 凝固시킨 後 이를 昇華시키는 方法이다. 이에는 冷却乾燥法(freeze-drying)이 있는데 眞空冷却 乾燥法(in vacuum chamber)과 自然冷却乾燥法(natural, outdoor)이 있다.

3. 沈沒 船體의 保存

가. 沈沒 船體의 保存處理 事例

沈沒船의 保存은 유럽방면 특히 北유럽국가에서 많이 행해졌으며 他地域에 비해 沈沒船 保存의 歷史, 經驗, 技術水準등이 높은 위치에 있다. 代表的 事例로는 스웨덴의 WASA船 保存(P.E.G. 噴霧處理), 덴마크의 VIKING船 保存(P.E.G. 浸透處理), 노르웨이의 OSEBERG船 保存(크레오소트 및 亞麻仁油 (linseed oil)處理), 서독의 BREMEN COG船 保存(原形船體 P.E.G. 浸積處理) 등을 들 수 있다.

本文에서는 船體保存의 가장 대표적 事例로 評價되고 있는 바사(WASA)船의 保存過程을 中心으로 살펴보고자 한다.

바사船은 유럽의 三十年戰爭무렵 스웨덴의 國王 구스타프 아돌프 2세(Gustavus Adolphus II)의 命에 의해 建造되었다(1626년-1628년). 進水式을 마친 바사船은 처녀 항해를 위해 스톡홀름港을 떠나던중 갑자기 몰아닥친 돌풍에 휘말려 內港에 沈沒되었다. 바사船의 航海거리는 단지 2海里였다. 오랜 시간의 경과와 함께 바사船의 沈沒事件은 잊혀져 갔으나, 1950년 앤더스 프란젠(Anders Franzen)에 의해 바사의 沈沒地點이 정확히 밝혀져 沈沒船 引揚의 결정적 계기가 되었다. 船體의 保存狀態가 매우 양호한 것으로 判明되어 原形狀態의 船體 引揚을 시도할 수 있었다. 1961년 4월 14일 바사船은 333년만에 海底로 부터 引揚되어 스톡홀름港의 백홀름도크(Backholm Dock)에 놓여지게 되었다. 발굴 당해연도에 바사船이 얹혀있는 폰툰(Pontoon)에 알루미늄 構造物을 시설하여 船體의 급속한 乾燥를 방지하도록 했다. 이 建築物은 오늘날 까지 保存處理 및 展示施設로 活用되고 있다. 바사船은 기록이 정확히 남아있는 世界 最大, 最古의 船舶으로서 保存處理的인 面에서도 最大의 對象物이다. 바사船의 規模는 龍骨의 길이 38m, 體積(1965년 기준)900m³, 復元後 최대길이 56m, 최대폭(1965년 기준)47.3m, 排水量1,300톤, 總表面積 약 15,000m²에 달하는 거대한 歷史的 構造物이다.

바사船 保存프로젝트는 크게 5가지로 分類되는데, 가) 船體의 保存 나) 個別 木製 遺物(彫刻物 및 分離 航海片 등)의 保存, 다)鑄鐵遺物의 保存, 라)帆布의 保存, 마)皮革 製遺物의 保存등이다. 本稿에서는 水浸木材에 관련된 가)와 나)項을 살펴보고자 한다.

나. 船體의 保存의 基礎調查

바사船體는 90% 以上이 오우크(oak)材로 되어 있다. 舷材, 構造物, 彫刻物, 梁材, 上甲板, 上下砲列甲板 등이 오우크材로 되어 있으며, 그외의 10%정도는 소나무, 가문비나무, 참피나무, 너도밤나무, 오리나무, 버드나무, 단풍나무, 양물푸레나무, 자작나무, 호두나무, 배나무, 사과나무 등의 樹種으로 船體의 일부, 最下甲板, 노 등에 사용되었다.

바사船이 水中에서 양호한 狀態로 保存되었던 것은 몇가지 적절한 조건이 있었기 때문이다. 바사船은 좁조개(shipworm)에 의한 侵害를 받지 않았는데, 좁조개란 一種의 紅蛤類(혹은 馬蛤類)로서 木材에 구멍을 뚫어 木材組織을 파괴시킨다. 발틱(Baltic)해 연안에 위치한 바사船 沈沒地域은 酸素의 결핍, 低溫, 低濕度 地域이므로 좁조개의 棲息이 힘든 條件이다. 그래서 바사船은 船體에 막대한 피해를 입히는 좁조개의 공격으로부터 피할 수 있었다. 그외의 原因으로는 바사船이 沈沒될 당시에 新造船舶이 있었다는 점과 水深 30m정도 되는 海底에 埋沒되어 있었으므로 潮流에 의한 영향이나 얼음에 의한 기계적 손상을 입지 않았다. 바사船體의 物理的 强度와 化學成分은 <도표-1> 및 <도표-2>와 같다.

測定別 試料別	單位容積重量 g / cm ³	壓縮强度 kg / cm ²	휨 强度 kg / cm ²	硬 度 kg ₃ / cm ³	衝擊强度 kg m / cm ²
바사船오우크材	0.46	171	350	284	0.35
新材 오우크木	0.65	300	600	450	1.30

<도표-1> 바사船 오우크材의 物理的 强度

化學成分 試料 (%)	水分	灰分	DKM 추출물	갈락토오스 Galactose	글루코스 Glucose	마노오스 Mannose	아라비노스 Arabinose	키실로스 Xylose
바사船오우크材								
: 表面部	93	11	5.8	18	51	5	11	15
: 內部	57	2.1	1.9	2	63	2	1	32
新材 오우크		0.4	0.7	3	65	5	1	26
비사船 松 材								
: 表面部	89	13	3.0	14	50	15	6	13
: 內部	67	1.7	2.2	4	67	18	2	9
新材 松 木		0.3	6.0	7	62	22	3	6

<도표-2> 化學成分分析

대부분의 沈沒船體는 腐蝕된 鐵製遺物에 의해 영향을 받게 되는데, 이들 鐵成分이 水浸木材에 미치는 영향을 규명하는 것은 매우 중요한 일이다. 實驗結果에 의하면 水

浸木材에 吸着된 鐵成分은 絲狀菌으로 부터의 侵害를 막는 效果가 있다. 이러한 現象을 검토하기 위해 다음과 같은 實驗이 行해졌다. <도표3>은 試片을 2種의 菌으로서 腐蝕시켜 5個月이 경과된 後 어느 정도의 重量減少를 가져왔는지 試驗한 것이다.

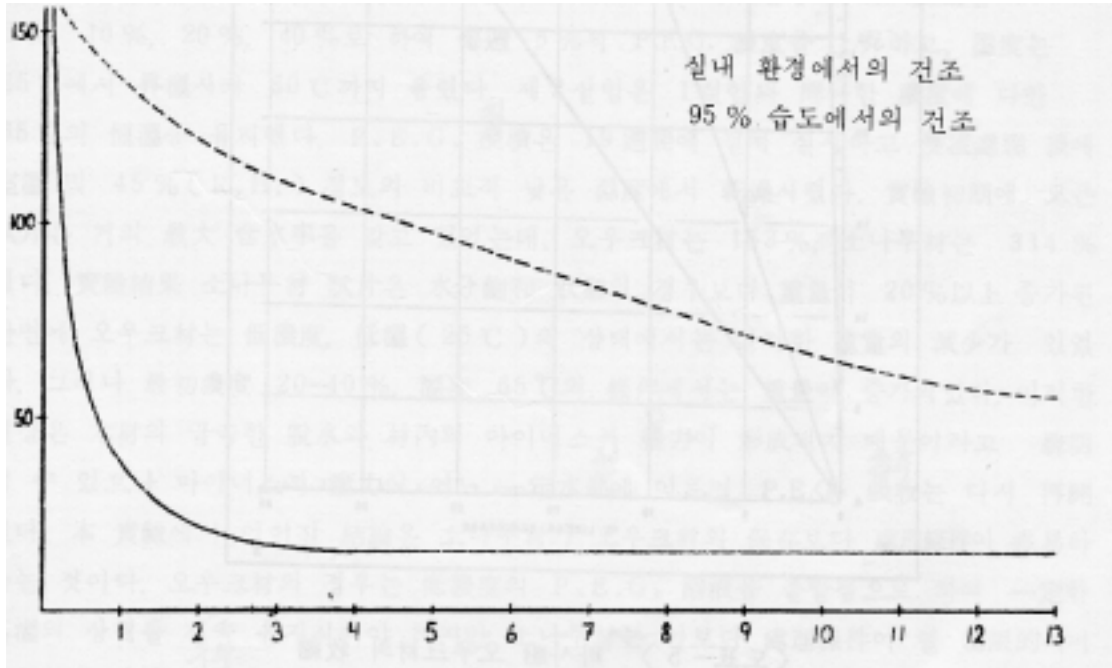
試料別 \ 實驗菌	Lenzites quercina	Polyporus sulphureus
非處理 바사船오우크材	8.4	7.8
非處理 新材오우크	21.0	23.2

<도표-3> 鐵成分의 防菌效果 實驗

위의 實驗結果에도 나타나듯이 바사船의 오우크材는 鐵成分의 역할로 新材보다 菌에 의한 侵害를 적게 받아서 新材보다는 重量의 減少率이 낮음을 알 수 있다. 그러나 鐵成分은 菌에 대한 防護效果보다는 木材의 分解에 미치는 영향 때문에 문제시된다. 分解現象은 홀로셀룰로오즈(holocellulose)의 接觸性的 瓦解로부터 시작되는데 부식된 鐵成分이 空氣中の 酸素 및 濕氣와 접촉되므로서 일어난다. 이와같은 현상은 바사船의 경우에는 나타나지 않았다. 그 이유는 바사船 沈沒現場은 嫌氣的 條件이 우세했기 때문이다. 鐵은 腐蝕될 때 먼저 水酸化第一鐵(ferrous hydroxide)을 形成하는데 이는 셀룰로오스에 의해 흡수되며, 空氣中에서의 酸化는 水酸化第二鐵(ferric hydroxide)을 生成한다. 2價로부터 3價로 전환될 때 鐵成分이 觸媒作用을하여 oxycellulose를 형성하게 되므로 셀룰로오스의 引張強度가 감소하게 된다.

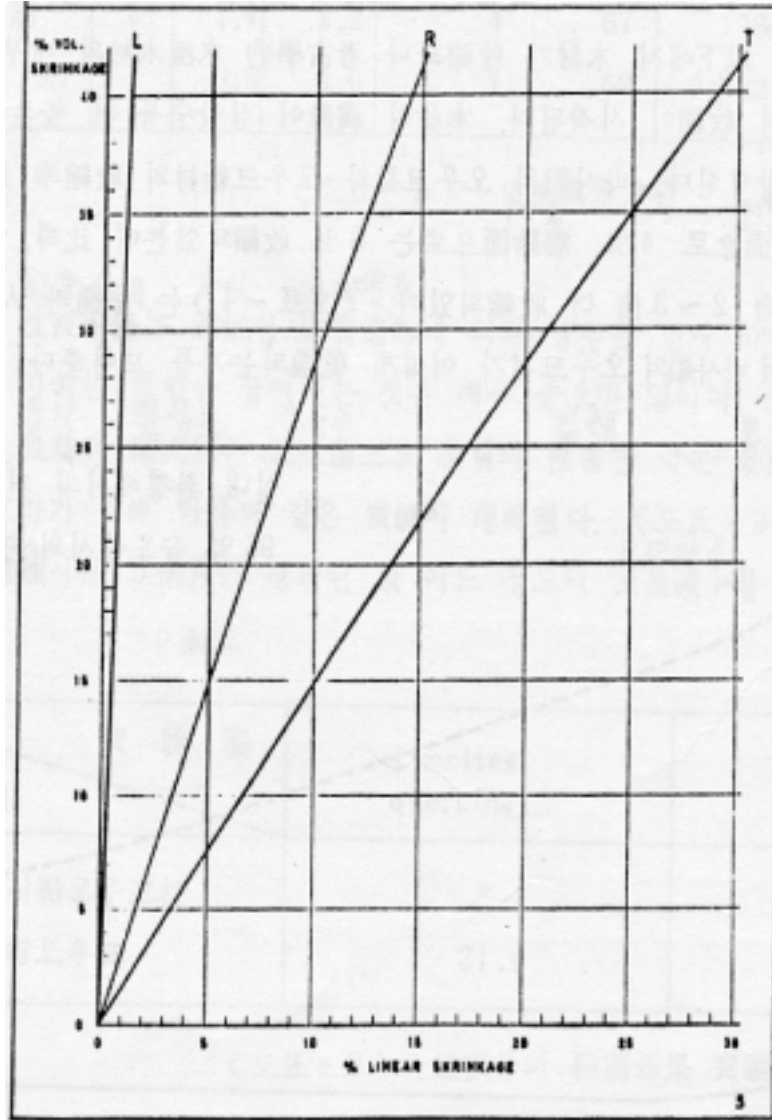
다. 乾燥와 收縮

木材의 乾燥는 材內的 含水率과 大氣中の 濕度의 差異로 발생되는 現象이다. 新材는 纖維飽和點 以下에서 木材가 收縮되나 考古學的 水浸木材의 대부분은 纖維飽和點 以上에서부터 收縮이 시작된다. 木材의 腐蝕이 심할수록 더 높은 含水率 상태에서 收縮現象은 발생된다. 바사船의 오우크材와 오우크新材의 收縮率 比較實驗에서, 오우크新材는 徑斷面으로 4%, 觸斷面으로는 8% 收縮되었는데 比해, 바사船의 오우크材는 이보다 平均 2~3倍 더 收縮되었다. <도표-4>는 室溫과 人爲的 環境(相對濕度 95%)에서 바사船의 오우크材가 어떻게 乾燥되는가를 보여준다.



<도표-4> 바사船 오우크材의 乾燥

<도표-4>에 의하면 室溫에서의 乾燥는 그 進行速度가 빠른데, 平衡含水率(E.M.C) 17%에 도달하기까지는 불과 4個月 정도 걸렸음을 알 수 있다. 相對濕度 95% 條件下의 오우크材는 비록 高濕度 環境에 놓여져 있지만 느린 속도로 계속 乾燥되고 있다. 이 試片은 1年정도 경과 後에 含水率 50%線에 도달되었으나 이미 收縮은 발생되어 있었다. 木材의 腐蝕程度가 높을수록 乾燥速度와 收縮率이 높아진다. 여기에서 주의해야 할 점은 大氣中에서 아무리 濕한 環境을 유지해도 水浸木製遺物은 收縮되어 值數의 安定을 기할 수 없다는 것이다. 木材의 乾燥速度는 水分흡수와 마찬가지로 木材組織方向에서 가장 빠르고, 그 다음은 徑斷方向, 觸斷方向의 順이다. 그 比率은 大略 20:2:1 程度이다. 그러나 收縮은 이것과는 反對比率로 나타난다. <도표-5>는 오우크新材의 收縮을 先收縮率(linear shrinkage)과 容積收縮率(volumetric shrinkage)로 나타낸 것인데, 木材組織方向:徑斷方向:觸斷方向의 線收縮率이 25:12:1의 比率을 보이고 있다.



<도표-5> 바사船 오우크材의 收縮

라. 硬化處理

폴리에칠렌글리콜(P.E.G.)은 水浸木材에 物理的 強度를 줄 뿐만 아니라 平衡含水率에 이르러서도 值數의 安定性을 갖도록 한다. 다음의 實驗은 오우크材 및 소나무材에 대한 保存方法과 浸積溫度, 濃度를 결정하기 위한 實驗이었다.

바사船에서 切取한 오우크板材(斷面크기 5×5cm)를 7cm길이로 8等分하고, 소나무板材(斷面크기 : 3×1cm)는 5cm길이로 8等分하였다. 木材內로의 溶液浸透는 木材組織의 垂直斷面을 통한 分配效果가 높기 때문에 이 部分은 에폭시樹脂(epoxy resin)로 封했다. 오우크材 試片은 각각 180g, 소나무材 試片은 각기 35g의 重量으로서 P.E.G.#4,000을 保存劑로 사용했다. 제1실험은 最初濃度를 P.E.G. 5%, 10%, 20%, 40%로 하여 每週 5%씩 P.E.G. 濃度를 上昇하고 溫度는 25℃에서 昇溫시켜 60℃까지 올렸다. 제2실험은 1실험과 同一한 濃度에 다만 65℃의 恒溫을 유지했다. P.E.G. 浸積은 19週間에 걸쳐 실시하고 浸積處理 後에 室溫 및 45%(R.H.) 정도 의 비교적 낮은 濕度에

서 乾燥시켰다. 實驗初期에 모든 試片은 거의 最大 含水率을 갖고 있었는데, 오우크材는 153%, 소나무材는 314%였다. 實驗結果 소나무材 試片은 水分飽和 狀態의 경우보다 重量이 20%以上 증가된 반면에 오우크材는 低濃度, 低溫(25℃)의 狀態에서는 현저한 重量의 減少가 있었다. 그러나 最初濃度 20~40%, 온도65℃의 條件에서는 重量이 증가되었다. 이러한 현상은 木材의 급속한 脫水와 材內의 마이너스적 壓力이 形成되기 때 문이라고 說明될 수 있으나 마이너스적 壓力이 어느 一定水準에 이르면 P.E.G. 吸收는 다시 再開된다. 本 實驗에서 얻어진 結論은 소나무材가 오우크材의 保存보다 處理條件 이 容易하다는 것이다. 오우크材의 경우는 低濃度の P.E.G. 溶液을 출발점으로 하여 一 定한 高溫의 狀態를 계속 유지시켜야 하지만 소나무材는 이보다 處理條件이 덜 制限的 이며 處理效果 역시 優秀하다는 結果가 나왔다.

바사船의 保存프로젝트中 水浸木材의 保存은 原形船體 保存과 個別 木製遺物 保存 이다. 兩者는 모두 P.E.G.를 保存劑로 使用했으나, 前者의 경우는 P.E.G.噴霧處理法으로 後者는 P.E.G. 浸積法을 적용했다는 점이 다르다.

原形船體의 保存劑로는 오우크材의 特性, 처리환경, 및 방법 등을 고려하여 낮은 온 도에서도 溶解率이 높은 P.E.G.#1,500이 選定되었다(1962년). 그러나 P.E.G.浸透率에 관 한 광범위한 實驗・調查結果로 P.E.G.#600이 바사船 오우크材의 收縮減少에 더 효과적 이라는 結論을 얻어 1971년부터는 P.E.G.#1,500대신 P.E.G.#600으로 대체되었다.

RH% \ P.E.G.%wt	2	6	11	14	22	41	43	43
before preservation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
after preservation	0.1	+0.2	0.3	0.2	+0.4	+0.1	0.1	0.1
> 90 % RH	0.5	1.1	0.7	0.7	0.1	+0.1	+0.2	+0.6
85 % RH	16.8	15.2	12.1	7.8	2.6	0.1	+0.1	0.0
< 80 % RH	19.2	17.8	15.7	11.8	8.3	2.2	1.0	1.0
> 70 % RH	19.3	18.3	16.2	13.2	9.1	3.4	1.1	1.1
60 % RH	19.2	18.9	16.2	13.7	10.6	4.3	2.9	2.5
50 % RH	19.6	19.1	16.8	14.0	11.9	5.8	4.3	3.4
10 % RH	23.6	22.3	19.3	15.7	13.0	8.2	6.3	5.3
PEG. concentration in the preservation bath % wt	5	10	15	20	30	45	60	75

<도표-6> 바사船 오우크材의 表面收縮率(P.E.G.#600 處理結果)

RH% \ P.E.G.% wt	1	4	11	12	22	40	52	48
before preservation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
after preservation	0.	+0.1	0.1	0.6	0.2	0.2	0.3	0.4
90 % RH	1.5	1.3	1.3	1.3	0.5	0.1	0.1	+0.6
85 % RH	17.1	15.7	13.2	10.2	4.1	0.5	0.3	0.3
80 % RH	19.3	18.0	15.8	13.9	9.3	4.7	2.2	2.1
70 % RH	19.4	18.5	16.4	14.4	10.2	5.8	2.9	2.7
60 % RH	19.5	19.2	16.2	15.1	11.3	6.8	4.9	5.3
50 % RH	20.1	19.3	16.5	15.5	12.3	8.2	6.2	6.7
10 % RH	24.2	23.0	19.3	17.3	12.9	9.8	7.4	7.9
P.E.G. concentration in the preservation bath % wt	5	10	15	20	30	45	60	75

<도표-7> 바사船 오우크材의 表面收縮率(P.E.G.#1500 處理結果)

RH % \ P.E.G.% wt	0	4	7	8	19	34	52	51
before preservation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
after preservation	+0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.9	0.5
> 90 % RH	1.5	2.0	1.3	1.0	1.0	0.3	0.4	+0.6
85 % RH	17.4	17.4	13.5	11.0	5.4	1.0	0.6	0.5
< 80 % RH	19.4	19.0	16.3	13.6	10.1	6.6	3.5	3.1
> 70 % RH	19.0	19.1	16.8	14.6	10.7	8.0	4.2	4.0
60 % RH	19.5	19.6	17.3	14.8	11.6	8.3	5.8	5.6
50 % RH	19.9	19.5	17.0	15.2	12.2	9.5	7.2	6.8
10 % RH	24.3	23.6	20.7	17.9	13.3	10.9	8.0	8.5
P.E.G. concentration in the preservation bath % wt	5	10	15	20	30	45	60	75

<도표-8> 바사船 오우크材의 表面收縮率(P.E.G.#4,000 處理結果)

初期의 噴霧處理는 1日 1回 내지 2回 정도의 收縮噴霧를 실시했으나 1965년부터는 自動噴霧體系가 갖춰져 1日 32회에 걸친 噴霧를 할 수 있게 되었다. P.E.G.溶液의 濃度는 처음의 6년동안 10%에서 25%까지 上昇시키고, 다음의 8년동안에 45%수준까지 上昇시키며 噴霧했다. 保存處理의 各 過程에서는 處理狀況을 점검할 수 있는 수단이 필요한테 바사船의 保存에서는 成長錐(increment bore)를 利用해 代表的 部位에서 試片을 채취하여 試驗管 속에 넣고 水分 및 保存劑를 溶出시켜 測定함으로써 處理結果를 점검했다. 1979년 全體噴霧를 終了한 이래 舷材의 外部는 乾燥되어서 23%의 含水率

(1984년 기준)을 보이고, 大形材 및 最下甲板部는 含水率 40%로 測定되었다. P.E.G.의 浸透程度는 0~100%까지 各 部位別로 심한 기록을 보이고 있다. 마감처리로는 平衡濕度值에 도달된 部分부터 P.E.G.#4,000으로 表面을 塗布했다. P.E.G.#4,000 45% 溶液을 3~4회에 걸쳐 手動噴霧하고 2~3日間の 乾燥後 熱風機로 表面部の 過剩 P.E.G.를 除去 또는 沈着시켰다.

바사船의 個別 木製遺物이란 彫刻物 및 解體, 分離된 船體片등으로 15,000여점에 달한다. 막대한 量의 木製遺物을 處理하기 위해 3.6×1.15×20m 규모의 P.E.G.浸積槽 2臺를 제작했다. P.E.G.浸積槽는 溶液의 溫度를 制御하여 一定 水準으로 유지시키고 溶液의 循環을 위한 펌프와 換氣體系를 갖추었다. 保存劑는 處理遺物의 性格에 따라 P.E.G.#4,000 또는 P.E.G. #1,500을 사용했으며, 微生物 生成 抑制를 위해 硼酸·硼砂(7:3配合)1.5% 정도를 P.E.G. 溶液에 첨가시켜 木材의 強化와 防微效果를 동시에 얻을 수 있도록 했다. P.E.G. 濃度를 計劃된 水準까지 올리는 데에는 18個月이 소요되었다. 浸積處理가 完了된 단계에서는 加溫을 중지시켜 溶液을 平常溫度까지 下落시켰다. 이는 處理木材가 大氣中에 露出될 때 급속한 온도의 變化를 피하도록 하기 위한 조치였다. 乾燥過程 동안에는 木材 表面部에 浸積 終了濃度와 同一한 P.E.G.溶液을 계속적으로 噴霧해서 급격한 乾燥를 예방토록 했다. 빠른 속도의 乾燥 進行은 水溶性인 P.E.G.를 木材表面 밖으로 溶出시킬 우려가 있으므로 處理後의 乾燥過程은 值數 安定에 대단히 중요하다. 乾燥時의 周邊濕度는 90%(R.H.) 수준에서부터 시작하여, 博物館 環境과 비슷한 相對濕度 65%線까지 서서히 내렸다. 이러한 乾燥過程은 12~18個月이 소요되었다. 乾燥된 處理木材 表面에는 過剩의 P.E.G.가 노출되어 있으므로 熱風機를 이용하여 除去하는 동시에 木材 表面部에 P.E.G.를 沈着시켜 保護膜 效果를 얻도록 했다.

參 考 文 獻

1. 魏 塢, 1982, 木材理學, 鄉文社:서울
2. 鄭希錫, 1982, 木材乾燥學, 先進文化 :서울
3. L. Barkman, 1974, The Preservation of The Warship WASA
4. L. Barkman, 1976, The WASA : preservation and conservation
5. B. Hafors, 1984, The Preservation of The WASA
6. B. Muhlethaler, 1973, Conservation of Waterlogged Wood and Wet Leather
, 1979, Conservation of Waterlogged Wood,
네덜란드유네스코위원회