

# Polyethylene Glycol을 이용한 水浸木材의 保存處理

譯編 金 鏞 漢

本文은 Conservation of Water logged Wood(1979, Netherlands National Commission for UNESCO)中の 『The Use of Polyethylene glycol for the Treatment of Waterlogged wood-its Past and Future(Dr.C.Pearson)』 및 『The Conservation of ship wrecks by impregnation with Polyethylene glycol (Dr.J.de Jong)』을 譯編한 것임.

水浸木材의 保存處理는 保存科學者(Conservator)들이 直面하고 있는 어렵고도 重大한 課題物이다. 여기에서 水浸木材(Water logged Wood)란 호수나 바다 等地에 埋沒되었던 船體 뿐만 아니라 늪지대 수렁같은 濕潤地에서 出土되는 巨大한 規模의 構造物도 包含된다.

지난 10數年間 이러한 水浸木材의 保存處理는 상당한 技術的 進展이 있었다고 본다. 우리가 水浸木材를 處理하는데는 여러 類形의 處理方法이 있으나 그 중에서 가장 널리 活用되고 있는 方法으로는 폴리에틸렌글리콜法(Polyethylene Glycol Method)을 들 수 있을 것 같다. 폴리에틸렌글리콜法은 20餘年이 넘게 水浸木材의 保存處理에 使用되어져 왔으며 특히 大形의 水浸木材를 處理하는데 크게 活用되고 있다.

Polyethylene Glycol(以下 P.E.G.)은  $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OH})_n \text{CH}_2\text{OH}$ 로 ethylene oxide의 重合體로서 여기의  $n$ 은 oxyethylene의 平均數量을 나타내는 것이다. P.E.G.를 指稱할 때는 平均分子量的 어림數로서 그의 名이 結定되는데 P.E.G.의 分子量에 따라 P.E.G.200~6,000 등이 있으며 이들은 一般的으로 保存處理에 使用되고 있는 單位이다. 一般的으로 P.E.G.는 分子量이 높을수록 粘性이 높고 또한 固形化狀態이나, 水溶性, 蒸氣壓, 吸濕性에 있어서는 줄어드는 物性を 갖고 있는데 이러한 屬性은 水浸木材의 處理過程을 論할 때 대단히 重要的 意味를 지닌다.

水浸木材를 處理하는 方法 즉 值數 安定化의 接近法으로는 크게 2가지 類形으로 나눌 수 있는데,

첫째 방법을 木材의 表面을 단순히 P.E.G.로 塗布(coating)하여 木材의 乾燥를 防止하는 것인데, 이와같은 塗布處理는 水分이 木材 內로 浸透하지 못하게 함과 동시에

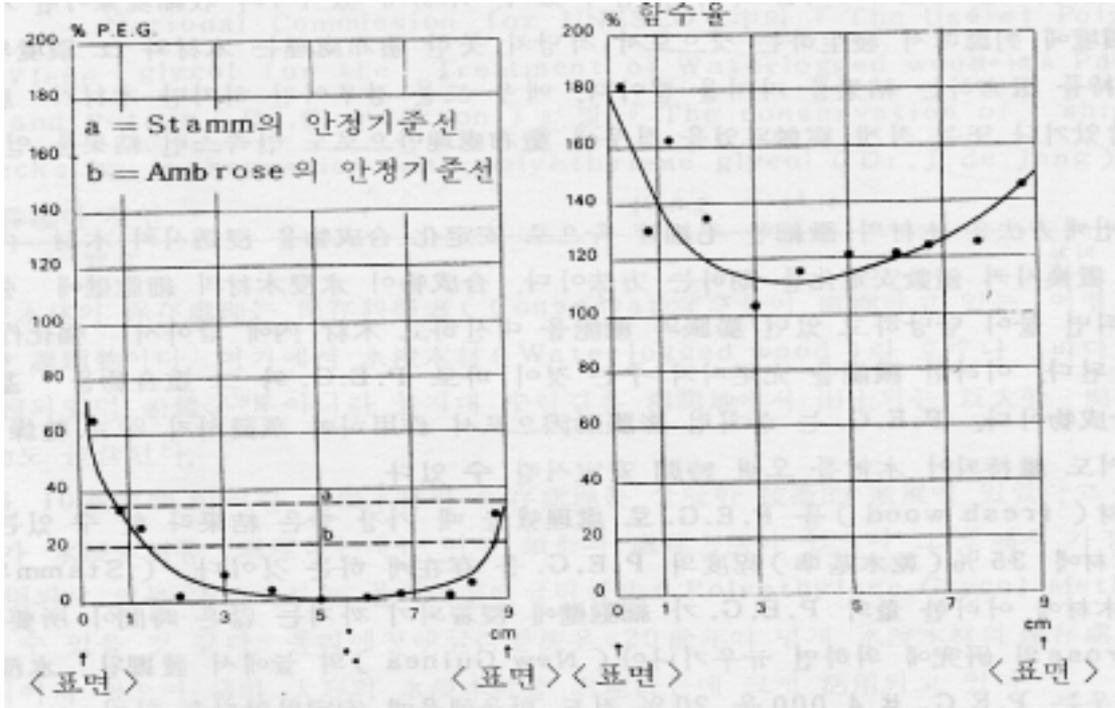
木材의 內部에 높은 水準의 水分을 維持시키는 役割을 하게 된다. 그러나 두텁게 塗布하지 않으면 乾燥하게 되어 龜裂이 생기기도 하므로 이와같은 塗布處理만으로는 木材의 收縮을 防止하기에는 부족한 점이 있다. 木材에 있어서의 收縮現象이란 木材가 그 環境에 對應해서 發生하는 것으로서 적당치 못한 塗布處理는 木材와 그 環境의 平衡維持를 沮害하는 結果를 가져올 뿐이다. 매우 드문 경우이긴 하지만 木材가 腐蝕되지 않았거나 또는 적게 腐蝕되었을 경우에 塗布處理만으로도 만족스런 結果를 얻을 수 있다.

두 번째 방법은 木材의 微細한 毛細管 속으로 安定化 合成物 을 浸透시켜 木材 內部的 물과 置換시켜 值數安定化를 期하는 방법이다. 合成物이 水浸木材의 細胞壁에 强하게 吸着되면 물이 담당하고 있던 膨脹의 機能을 대신하고 木材 內에 남아서 強化作用을 하게 된다. 이러한 機能을 充足시켜주는 것이 바로 P.E.G.와 그 重合物을 基礎로 한 合成物이다. P.E.G.는 물처럼 膨脹動因으로 作用하며 蒸發하지 않고 乾燥한 環境에서도 維持되어 木材를 오랜 時間 安定시킬 수 있다. 新材(fresh wood)를 P.E.G.로 處理했을 때 가장 좋은 結果라 할 수 있는 것은 木材에 35%(乾木基準)程度의 P.E.G.를 存在케 하는 것이다. (Stamm의 見解) 木材에 이러한 量의 P.E.G.가 細胞壁에 浸着되기까지는 많은 時間이 所要된다. Ambrose의 研究에 의하면 뉴우기니아(New Guinea)의 늪에서 發掘된 水浸木材의 경우는 P.E.G.#4,000을 20% 정도 함유했을 때 安定되었다고 한다.

水浸木材 保存處理者는 新材에서 얻은 經驗을 토대로 P.E.G.를 使用하여 古 水浸木材의 保存處理를 實施하게 된다. Barkman은 1971年 Ketelhaven 海洋考古學博物館에서 P.E.G.含浸法을 利用하여 水浸木材를 處理했는데 P.E.G.의 完全한 浸透는 약18個月이 걸렸다. P.E.G.處理를 마친 水浸木材는 처음 相對濕度 70~90%의 環境에서, 그리고 最終적으로는 相對濕度 50~60%의 濕한 環境에서 乾燥시켰는데 이 過程에서 收縮, 龜裂, 翳 등의 現象이 發生하고 重量이 30%程度 減少되었다. 龜裂은 纖維組織方向으로 平行하게 形成되었으며 數mm에서 數cm 程度까지 多樣하게 나타났다.

특히 木材의 中心部나 나뭇가지가 있던 部分에는 龜裂이 심했다. 纖維組織의 走向에 垂直인 面은 充分한 量의 P.E.G.가 觀察되었는데, 이 部位는 含浸과 乾燥 中에 다른 部位가 收縮을 보일 때에도 아무런 收縮現象이 發生되지 않았다. 이러한 現象은 Boroson Christensen의 實驗에서도 觀察되었다. 이와같이 失望的인 要素들은 保存科學者로 하여금 다음과 같은 試驗을 하게 한다.

즉, 木材組織의 走向에 대해 垂直方向으로 지름 2.5cm 程度의 片을 取하고 이를 다시 여러 片으로 쪼개어 물로서 P.E.G.를 露出시키면 各層에서의 P.E.G.分布狀況을 알아볼 수 있게 된다.



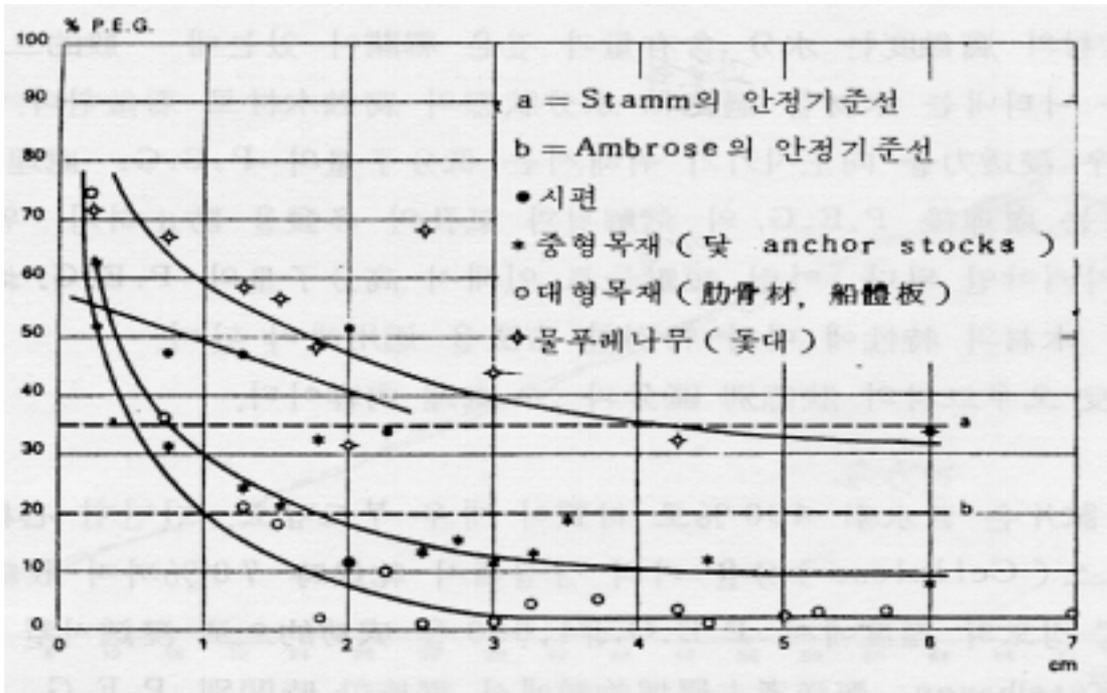
도해1. P.E.G.浸透率 및 含水率 曲線(깊이別)

도해1은 P.E.G.浸透曲線으로 乾燥된 木材의 表面으로부터 距離別로 P.E.G. 浸透量을 表示하고 또한 試片의 含水率을 나타낸 그래프이다.

北西유럽에서 發掘된 船體는 대부분 오우크(oak)材로 된 것인데 이 樹種은 P.E.G. 浸透가 대단히 어려운 不浸透性的 構造를 갖고 있어서 保存處理라는 側面에서 볼 때에는 대단히 어려운 處理對象物임에 틀림이 없다. 도해1에 表示된 오우크材의 含水率은 100~185%까지 多様한데 적게 腐蝕된 오우크 心材의 小片(5×5×10cm)인 경우는 P.E.G. #4,000이 良好하게 浸透되었으나 含水率이 比較的 낮은 뚝대 등의 木材와 肋骨材(knees)나 外板材와 같은 大形木片의 경우는 P.E.G.浸透率이 대단히 낮았다. 이러한 處理結果가 우리에게 주는 意味는 큰 規模의 水浸木材를 處理하고자 할 때 작은 試片에 의한 實驗으로서 處理의 適切性을 求하려 함은 不合理하다는 明白한 事實을 提示해 준다.

이는 다음과 같은 두가지 事實에 起因하는 것으로서 첫째, 木材內로의 P.E.G.溶液의 量的轉移(mass-transfer)는 木材 周邊에 容易하다. 즉 容積에 對한 表面化는 小片의 경우가 大形片에 比해 表面比가 크므로 容積當의 量的轉移는 小片의 경우에 轉移度가 높다. 둘째, P.E.G.나 다른 溶解物質의 傳達速度는 木材의 主要 3方向에 따라 각기 다르다. 즉, 木纖維方向(longitudinal direction)은 다른 2方向, 觸斷方向(tangential direction), 徑斷方向(radial direction)에 比해 傳達速度가 빠르다. 따라서 小片의 경우는 纖維組織의 走向에 垂直하는 表面間의 距離가 比較的 짧아서 表面을 통한 傳達速度가 빠른 반면에 大形木材의 경우는 纖維組織 走向의 垂直 表面間의 間隔이 길기 때문에 相對的으

로 늦게 傳達되는 것이다. 이러한 事實들로 견주어 볼 때 작은 試片의 測定 結果로는 大形 水浸木材의 處理 結果를 導出해 내지 못한다는 結論을 얻을 수 있다.



도해2. 處理木材의 크기에 따른 P.E.G.浸透率(含水率 185% 以下)

도해2는 樹種 및 腐蝕程度는 同一하나 (含水率 120~185%)각기 木材의 值數가 다른 水浸木材를 P.E.G. #4,000으로 處理했을 때 어떠한 結果를 나타내는지 보여주고 있다. 新材에서 요구되는 值數 安定的인 P.E.G.量(P.E.G.35%)은 작은 試片을 除外하고는 木材의 表面 附近에만 나타남을 觀察할 수 있다.

一般的인 浸透方法 즉, 낮은 濃度로부터 漸進的으로 濃度를 上昇시켰을 때 表面部에 가장 높은 濃度를 나타냄은 分명한 事實이다. 木材를 浸積槽로부터 꺼내어 大氣中에 露出시키면 乾燥가 始作되는데 우선 木材表面에서부터 水分이 蒸發되고 다시 木材의 内部로부터 表面部로 水分이 擴散된다. 그 結果 P.E.G.는 水分이 蒸發한 網狀組織을 따라 木材의 内部로부터 沈着하게 된다. 이러한 現象은 容積에 비해 表面的이 작은 大形 木材의 경우에 그 效果가 높다.

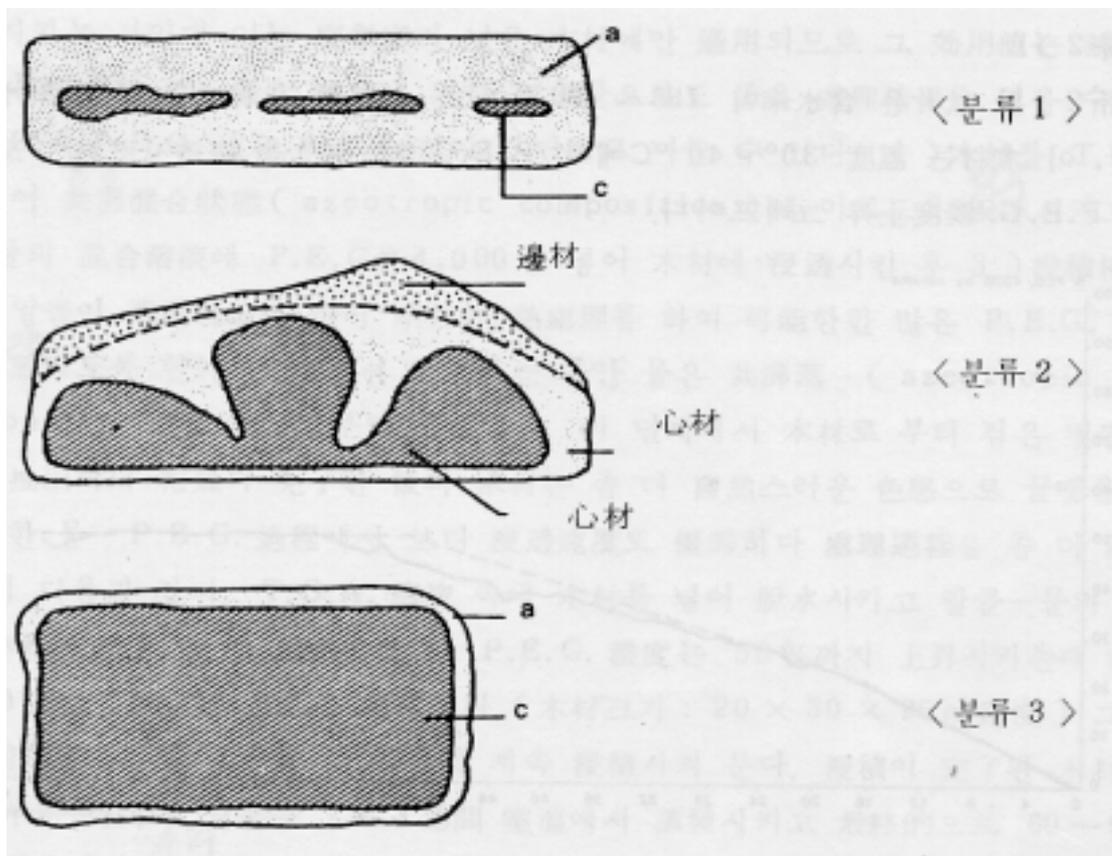
木材의 值數 이외에 樹種이라는 問題도 保存處理의 重要 變數로 作用한다. 前述한 바와 같이 오우크材는 P.E.G.浸透가 어려워 保存處理가 힘들지만 다른 樹種의 木材는 比較的 浸透가 容易한 편이다. P.E.G.의 容易한 浸透는 P.E.G.의 分子量, 溫度, 木材의 腐蝕程度 等に 달려 있다. P.E.G.의 浸透力은 分子量이 작을수록, 그리고 P.E.G. 溶液의 濃度가 낮을수록 良好하며 溶液의 溫度를 높임으로서 더욱 浸透力을 增大시킬 수 있다. 아이러니컬하게도 P.E.G.浸透率은 木材의 腐蝕度가 높을수록 浸透力이 좋다. 木材의 腐蝕度는 水分 含有量과 깊은 聯關이 있는데 一般的으로 200% 以上の 含水率을 나타내는 木材를 過飽和 水分狀態의 腐蝕木材로 看做한다. 腐蝕度가 낮은 木材일수록 浸

透力を 向上시키기 위해서는 低分子量の P.E.G.處理가 바람직하지만 또 이는 處理後 P.E.G.의 溶解됨과 氣孔의 多發을 防止하기 위해서는 낮은 溫度를 維持시켜야만 된다. 이런 短點들로 인해서 高分子量の P.E.G.#4,000을 選擇하게 되는데 木材의 特性에 따라 特別한 方法을 適用해야 한다.

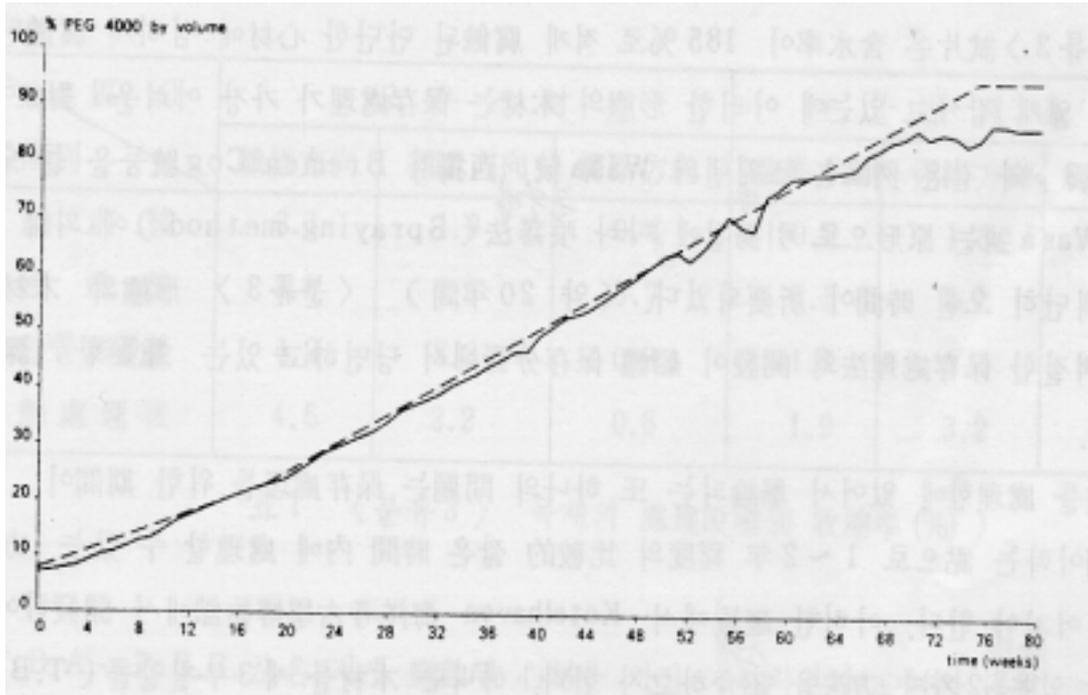
도해3은 水浸 오우크材의 狀態別 區分과 그 處理 內容이다.

<분류1>

<분류1>의 試片은 含水率 400%로 材質이 매우 부드럽고 단단한 心材는 거의 없으며 셀룰로오스(Cellulose)分을 거의 상실해서 乾燥時 70%까지 收縮을 보였다. 이 木材는 60℃ 정도의 溫度에서 P.E.G.#4,000을 成功的으로 浸透시킬 수 있었으며 도해4는 Ketelhaven 海洋考古學博物館에서 實施한 時間別 P.E.G. 濃度 上昇 그래프이다.



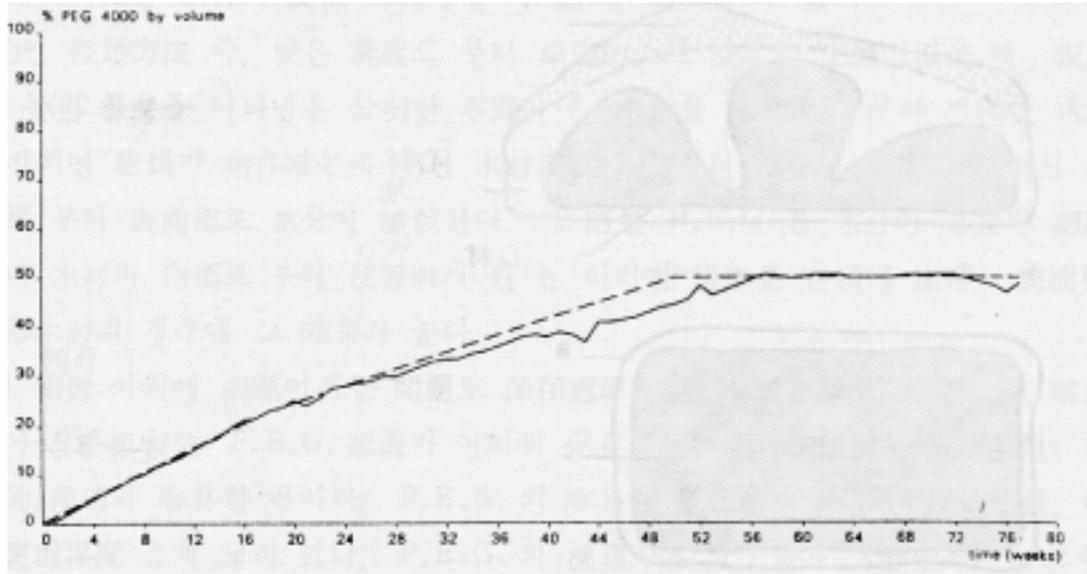
도해3 水浸木材의 狀態別 區分



도해4 <분류1> 木材의 예상 및 실제 浸透曲線

<분류2>

<분류2>의 試片은 含水率이 185~400%이고, 단단한 心材가 比較的 적게 殘存해 있다. 이 木材는 溫度 30~40℃에서 P.E.G.#4,000을 浸透시켰다. 도해4는 時間別 P.E.G.濃度上昇 그래프이다.



도해5 <분류2> 木材의 예상 및 實際 浸透曲線

### <분류3>

<분류3>試片은 含水率이 185%로 적게 腐蝕된 단단한 心材에 심하게 腐蝕된 邊材層이 얇게 감싸고 있는데 이러한 形態의 木材는 保存處理가 가장 어려운 對象이다. <분류3>과 같은 例로는 스웨덴의 Wasa號, 西獨의 Bremen Cog號 등을 들 수 있는데 Wasa號는 原形으로 引揚됨에 따라 噴霧法(Spraying method)에 의해 處理하여 대단히 오랜 時間이 所要되었다. (約 20年間) <분류3>形態의 木材類에 대한 적절한 保存處理法의 開發이 船體 保存分野에서 당면하고 있는 重要한 課題라고 하겠다.

船體를 處理함에 있어서 舉論되는 또 하나의 問題는 保存處理를 위한 期間이 너무 長期間이라는 점으로 1~2年 程度의 比較的 짧은 時間 內에 處理할 수 있는 方法이 開發되어져야 한다. 이러한 趣旨에서 Ketelhaven 海洋考古學博物館에서 開發하여 適用하고 있는 2가지 方法을 紹介하고자 한다. 하나는 木材를 제3부칠알콜(T.B.A)-P.E.G.溶液에 浸積시키는 方法이며 다른 方法은 단순히 木材를 適當한 環境에서 乾燥시키는 것인데 이는 腐蝕도가 낮은 木材에만 適用되므로 그 效用値는 制限的이다. 그러나 단순한 溫·濕度 調節에 의한 乾燥만으로도 좋은 處理結果를 얻을 수 있다.

T.B.A-P.E.G法은 다음과 같이 3단계로 나눌 수 있다. 1)木材를 T.B.A.溶液에 넣어 共沸混合狀態(azeotropic composition)에 이르도록 脫水시키고 2)알콜-물의 混合溶液에 P.E.G.#4,000을 넣어 木材에 浸透시킨 후 3)浸積槽에서 꺼내어 알콜이 蒸發되도록 하며 木材는 熱處理를 하여 可能한 한 많은 P.E.G.가 細胞壁에 吸着되도록 한다. 室溫에서 脫水하는 동안 물은 共沸蒸(azeotropic distillation)에 의해 알콜로부터 分離된다. 이 단계에서 木材로부터 검은 빛깔의 合成物이 押出되나 乾燥가 完了된 後의 木材는 좀 더 自然스러운 色感으로 끝맺음하게 되며 또한 물-P.E.G.過程에서 보다 浸透速度도 優秀하다. 處理過程을 좀 더 詳細히 說明하면 다음과 같다. T.B.A.溶液 속에 木材를 넣어

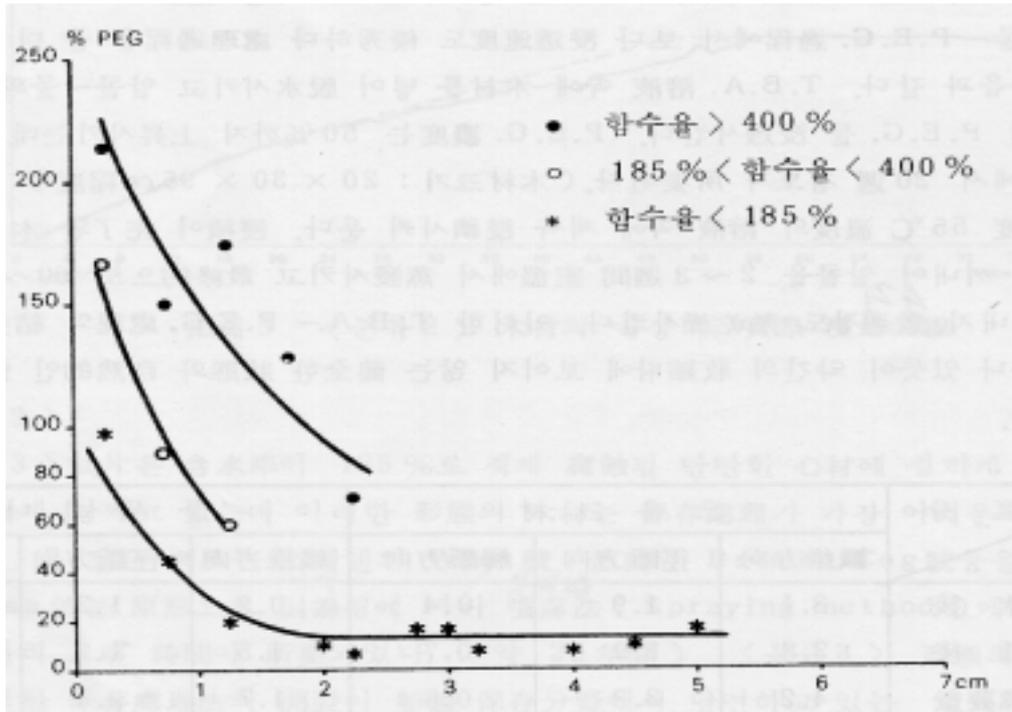
區分 段階別	오 우 크材			물 푸 레 나무		
	纖維方向	徑斷方向	觸斷方向	纖維方向	徑斷方向	觸斷方向
脫水後	3.1	1.9	0.4	0.2	1.3	0.1
浸透後	3.8	2.9	0.7	1.5	1.2	0.0
알콜蒸發後	4.2	3.3	0.8	1.7	2.4	0.5
熱處理後	4.5	3.2	0.8	1.9	3.2	0.6

脫水시키고 알콜-물의 共沸點인 55℃에서 P.E.G.를 浸透시킨다. P.E.G.濃度は 50%까지 上昇시키는데 容積에 따라 10週에서 20週 정도가 所要된다. (木材 크기:20×30×95cm 程度) 그 後 다시 8週間程度 55℃溫度的 溶液 속에 계속 浸積시켜둔다. 浸積이 完了된 木材는 浸積槽로부터 꺼내어 알콜을 2~3週間 室溫에서 蒸發시키고 最終적으로 60~80℃의 溫度로 數日 내지 數週정도 熱乾燥시킨다. 이러한 T.B.A.-P.E.G.處理의 結果는 表-1에 나타나 있듯이 약간의 收縮 밖에 보이지 않는 健全한 狀態와 自然的인 色感を 보여주었다.

표1 <분류 3> 목재의 處理段階別 收縮率(%)

T.B.A.-P.E.G.法은 적게 腐蝕된 心材를 가진 木材라든가 心材와 邊材 全體가 심하게 腐蝕된 목재, 심지어는 木皮 등과 같이 處理가 어려운 것들도 이 方法을 통해 좋은 處理結果를 얻을 수 있었다.

도해 6은 <분류1><분류2><분류3> 形態의 木材를 T.B.A.-P.E.G.法으로 處理하여 얻어진 木材의 깊이別 浸透率이다. <분류1>과 <분류2>는 低濃도로 끝맺음함과 熱處理에 의해 P.E.G.를 分配(浸着)시킨 結果 물-P.E.G.法의 경우보다 表面濃度は 낮게 나타난다. 또한 <분류3>의 경우 P.E.G.浸透率이 12%程度인데 이는 文獻에서 要求하는 水準보다는 낮았다. 그러나 處理가 完了된지 數年の 時間이 경과하도록 比較的 濕도가 높은 實驗室, 博物館, 作業場 등에서 保管하고 있는데도 아무런 問題가 發生하지 않고 있다.



도  
해 6  
T.B.A  
. -P.E.  
G . 法

에 의한 <분류1,2,3> 木材의 깊이別 浸透水準(率)

지금까지 水浸木材를 處理하는 P.E.G.法에 關係 여러 側面에서 論해 보았다. 이를 다시 要約하자면 水浸木材 保存處理의 成功與否는,

1) 處理技術에 關係 폭넓은 知識과 埋沒地의 腐蝕環境, 木材의 特性 등을 正確히 把握하고,

2) 水浸木材의 性質에 따른 適合한 P.E.G. 分子量 및 濃度の 選擇(低分子量의 P.E.G. 는 吸溫性이 強해서 쉽게 溶解될 우려가 있으며 過重한 高分子量 및 濃度は 오히려 木材의 不安定 要因이 될 수도 있다.)

3) 乾燥는 서서히 그리고 正確한 相對濕度(R.H.)下에서 實施함으로서 좋은 結果를 얻을 수 있다.

現 段階에서 水浸木材의 處理法으로는 P.E.G.法이 가장 安全하고 效果的인 方法임에는 再論할 必要도 없으나 大形遺物의 處理方法 改善 및 處理時間의 短縮問題, 處理後의 黑化現象, 鐵腐蝕 沈澱物의 役割과 除去의 與否 등 많은 問題들이 研究, 改善되어야 할 課題로 남아있다.

끝으로 附言하고 싶은 것은 現地의 保管과 保存은 發掘을 實施하기 前에 實驗室에서 充分한 試驗을 거친 후에 行해져야 한다는 점이다. 너무 잦은 處理方法의 變更이라던가 또는 오랜 시간이 경과된 후에 處理한다는 것은 그만큼 遺物에 害가 된다고 할 수 있겠다. 保存處理가 따르지 못하는 發掘이라면 이는 無知한 반달人(Vandal)들의 行動과 結論的으로 다를 바가 없는 것이다. 또한 保存處理者는 遺物의 處理結果를 報告하는데 있어 倫理性이 있어야 한다는 점을 指摘하고 싶다. 우리는 많은 報告書들 속에

서 現場關係者들의 處理가 너무 完全하고 失敗가 전혀 없는 完璧한 것임을 往往 볼 수 있다. 그러나 우리의 經驗으로 비추어 볼 때 그렇지 못한게 儼然한 事實이다. 우리는 아무리 하찮고 보잘 것 없는 遺物을 대한다 할지라도 우리의 最善을 다해야 하며 先人들의 文化遺産인 遺物은 保存管理者 自身이나 그의 自尊心 以前의 것임을 認知해야만 할 것이다. 우리들은 어느 한 遺物을 保存處理함에 있어서 處理의 主體가 누구이며 누구의 方法論이 採擇되는가 하는 점이 問題가 아니라 保存處理에 관한 모두의 知識과 經驗을 提供하여 團合함이 무엇보다도 重要할 것이다.