

## 水浸古木材의 保存을 위한 PEG, Sucrose, Lactitol 處理 및 濕度條件에 따른 狀態變化 實驗

李容喜<sup>†</sup> · 金洙喆 · 朴永萬\* · 金庚洙

國立中央博物館 保存科學室, \*國立光州博物館 保存科學室

### Experiment on Conservation Treatment Method(PEG, Sucrose and Lactitol) and Degree of State-change with RH of Waterlogged Archaeological Wood

Yong-hee Yi<sup>†</sup>, Soo-choul Kim, Young-man Park\* and Kyoung-su Kim

Conservation Science Lab., The National Museum of Korea

\*Conservation Science Lab., The National Museum of Kwangju

**요 약** 광주 신창동 저습지 유적에서 출토된 수침목재유물에 적합한 보존처리 방법을 설정하고자 동일유적에서 출토된 2종의 자연목재를 PEG(Poly-Ethylene Glycol), Sucrose, Lactitol로 처리하고 약제별 치수안정성 및 처리목재의 습윤↔건조 특성을 상호 비교하였다. 그 결과 상수리나무류는 저분자의 PEG#200(MW:200)과 고분자량의 PEG#4000(MW:3,350)을 이용한 2단계 PEG처리(PEG-2Step)에서, 단풍나무류는 PEG#4000만을 단독으로 적용한 처리에서 가장 높은 치수안정성을 나타내었다. 또한 처리 후 습윤↔건조 실험에서는 2단계 PEG처리한 시험재의 치수변화가 가장 작게 나타났다. 반면 Sucrose와 Lactitol의 경우 약제 확산속도가 빠르지만 Sucrose처리재는 84%의 높은 습도조건에서 흡습량이 급격히 증가하면서 약제가 다량 용출되었고, Lactitol은 습윤↔건조 후 미세한 갈라짐과 함께 처리재가 팽창되는 현상이 발생되었다. 또한 습윤↔건조 실험에서 2단계 PEG처리를 제외한 모든 시험재에서 갈라짐이 발생하였다. 이번 실험결과 신창동 저습지 출토수침목재는 2단계 PEG처리법을 적용한 경우에 치수안정성이 가장 높고 습도변화에 대한 적응성도 양호한 것으로 나타났다.

**Abstract** In order to studies proper conservation treatment condition of waterlogged archaeological wood excavated from wetland in Shinchang-dong, Kwangju, 2 kinds of wooden objects were treated with PEG(Poly-Ethylene Glycol), sucrose and lactitol and their size stability and relative humidity were analyzed and compared each other. The result showed that *Quercus* spp. had the highest size stability in 2 Step-PEG treatment using PEG#200(MW:200) and PEG#4000 (MW:3,350) and *Acer* spp. was the highest in treatment using only PEG#4000. In relative humidity test after treatment 2 Step-PEG treatment showed the lowest size stability. In the meantime, sucrose and lactitol-treated sample was fast for penetration, sucrose-treated sample showed a sharp increase for penetration in as high as 84% humidity condition and medicine flew out a lot and lactitol-treated sample got enlarged with fine cracking(splitting) in relative humidity test. In relative humidity test, the samples showed cracking(splitting) in all treatment materials except for 2 Step-PEG treatment. This study showed that waterlogged archaeological wood excavated from Shinchang-dong had the highest size stability and highest adaptation to humidity change in case of treatment with 2 Step-PEG.

<sup>†</sup>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

## I. 서 론

1995년 국립광주박물관에서 광주 신창동 일대의 저습지 유적에 대한 발굴 조사를 시작한 이래 이곳에서는 초

기철기시대로부터 원삼국시대에 제작된 것으로 추정되는 많은 수의 목재유물이 발굴 출토되었다<sup>1)</sup>. 저습지에서 발견되는 대부분의 목재유물들이 그렇듯이 광주 신창동 유적에서 출토된 목재유물 역시 목재의 구성 성분들이 분해 유실되고 많은 양의 수분을 함유한 수침고목재(水浸古木材)상태여서 일단 외기에 노출되어 건조가 진행되면 형태를 알아 볼 수 없을 정도로 수축 변형되어 버리고 만다. 따라서 이들 수침목재유물을 박물관의 전시실이나 수장고의 대기환경에서 안전하게 보관하고 전시할 수 있도록 하기 위해서는 목재의 건조 수축을 방지하고 취약한 재질을 강화하는 보존처리가 필요하다.

현재 국내에서는 PEG(Poly-Ethylene Glycol), 유기용제치환법, 동결건조법 등이 수침고목재의 보존처리에 실제적으로 이용되고 있으며<sup>2,6)</sup> 최근 들어 Sucrose, Lactitol과 같은 당류 및 당알콜류를 적용한 처리법도 활발하게 연구되고 있다<sup>7,8)</sup>. 그러나 수침고목재 유물은 매장환경조건과 목재수종에 따라 분해상태가 서로 다르고 처리약제의 종류와 농도 등 보존처리 조건이 개별 유물의 재질상태에 알맞게 설정되어야만 좋은 보존처리결과를 얻을 수 있다. 따라서 동일유적에서 출토된 유사한 목재를 대상으로 한 실질적인 적용실험을 통해 보존처리 조건을 보다 면밀히 검토할 필요가 있다.

이번 실험에서는 이와 같은 목적으로 광주 신창동 유적에서 출토된 2종의 자연목재를 PEG, Sucrose, Lactitol 등의 약제로 처리하여 약제의 종류별 침투·확산 속도, 치수안정성, 습윤↔건조 특성을 상호 비교하고 이를 실제 유물의 보존처리에 참고하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시험재

광주 신창동 저습지유적(기원전 1세기)에서 출토된 자연목재로 수종은 상수리나무류(*Quercus* spp.), 단풍나무류(*Acer* spp.)이며 최대함수율과 전건비중은 Table 1과 같다. 길이가 각각 35, 40 cm의 줄기부분 목재를 섬유방향으로 두께 10 mm로 연속 절단하여 각각 21개씩 만들어 사용하였다.

### 2. 실험방법

#### 2.1. 약제처리

각 수종별로 21개씩 만들어진 시험재를 처리약제별

Table 1. Maximum moisture content and specific gravity

Species	Maximum moisture content(%)	Specific gravity
상수리나무류( <i>Quercus</i> spp.)	431.5	0.208
단풍나무류( <i>Acer</i> spp.)	455.8	0.205

Table 2. Treatment method

Treatment	Concentration	Temperature	Solvent
PEG#4000(MW:3,350)	80%	45°C	Water
2Step-PEG (MW:200, MW:3,350)	PEG#200(20%) PEG#3,350(30~80%)	(10~50%)	
Lactitol	80%	60°C	Water
Sucrose	70%	(60~80%)	

로 섬유방향에 따라 3개씩 선정 한 후 측정용 편을 횡단면, 접선방향과 방사방향에 꽂아 처리 전 편의 간격과 중량을 측정하였다. 최대함수율과 비중을 측정하기 위해 1×1×1 cm 크기로 절단한 시험재를 증류수에 침적한 상태에서 감압탈기하여 포수상태로 만들고 용액중 중량, 대기 중 중량을 측정하였다. 이후 105°C 건조기로 전건하여 중량을 측정하고 다음의 식으로 최대함수율과 비중을 구하였다<sup>9)</sup>.

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

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

약제처리에 앞서 시험재의 내부에 축적된 분해 생성물과 철분(Fe)등 무기물의 제거를 위해 0.5% 붕산·붕사(7:3)와 1% E.D.T.A.용액에 시험재를 침적하고 45°C 항온수조에서 7일간 전처리하였다. 전처리가 종료된 후 시험재를 각각 PEG, Sucrose, Lactitol 10% 수용액에 침적하고 7일 간격으로 약제의 농도를 10%씩 단계적으로 상승시켜가면서 함침처리하였다. 용액의 온도는 각각의 처리에서 10%~50%까지는 45°C를 유지시켰으며 60%~80%까지는 60°C로 처리하였다. 약제별 최종처리 농도는 PEG#4000(MW:3,350) 단독 처리는 80%, 2단계 PEG처리의 경우 10%~20%까지는 PEG#200으로, 이후 30%~80%는 PEG#4000으로 함침처리 하였다. Sucrose 처리는 70% 농도까지, Lactitol은 80% 농도까지 함침처리 하였다.

단 박물관 보존과학실의 선행된 연구에서 치수안정화 효과가 충분치 못하였던 70%이하 농도의 PEG#4000과 60%이하 농도의 Sucrose처리는 검토하지 않았다. 또한 Sucrose는 60°C로 가온 하여도 80%이상 용해되지 않아 70%까지 처리하였으며 Lactitol처리는 약제처리 후 건조과정에서 수화물 결정의 성장으로 인한 목재의 균열과 팽창을 방지하기 위해서는 가능한 한 고농도 처리가 유리하므로 80% 농도로 처리하였다. 약제처리가 종료된 후 시험재를 처리용액에서 꺼내어 표면에 남아있는 과량의 약제를 흡수포로 닦아 제거한 후 실내에 방치하여 자연건조하였다. 시험재의 중량변화가 없을 때까지

건조 한 후 중량과 치수변화를 측정하였다.

**2.2. 습윤 ↔ 건조 실험**

수침목재유물 보존처리는 재질적으로 취약한 유물에 물리·화학적 안정성을 부여하여 변형과 변질을 방지하고 박물관의 전시실이나 수장고의 대기환경에 적절히 대응할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 보존처리를 통해 유물의 형태가 발굴 당시의 모습 그대로 유지되어야 함은 물론 유물이 보관된 장소의 온·습도 등 환경변화에 대해 어느 정도 견딜 수 있도록 하여야 한다. 특히 PEG, Sucrose와 같은 약제를 적용한 보존처리에서는 처리 후 목재의 흡습성 증가, 습도 조건에 따른 약제 용출과 목재의 변형 등 상태변화가 목재유물의 보존관리상 중요한 문제가 된다.

이번 실험에서는 이와 관련하여 PEG, Sucrose, Lactitol 각각의 약제로 처리한 후 자연 건조한 시험재를 다양한 습도조건 하에 놓아두고 시험재의 치수와 중량변화율을 측정하고 시험재의 외형적 상태변화를 관찰하여 목재수종과 처리약제별 흡습↔건조 특성을 상호 비교하였다. Table 3에서와 같은 각각의 염포화용액을 이용하여 데시케이터 내부의 습도를 조절하고 Table 4에서처럼 수종에 따라 서로 다른 습도조건으로 실험하였다<sup>12)</sup>. 상수리나무류의 경우 전건 후 낮은 습도에서 높은 습도로 다시 낮은 습도의 순으로 습도를 조절하였으며 단풍나무류의 경우 전건된 시험재를 높은 습도에서 낮은 습도로 다시 높은 습도 후 자연건조 하였다. 각각의 습윤 ↔ 건조 실험은 시험재를 실온(25°C)에서 20일간씩 데시케이터 내에 방치한 후 중량변화와 치수변화를 연속적으로 측정하는 방법으로 진행하였다.

**2.3. 중량변화율과 수축율 측정**

중량변화율 측정은 약제 함침 중 약제의 침투·확산 정도를 비교하기 위해 함침처리 기간 중 농도를 상승시

킬 때마다 시험재를 꺼내어 표면의 여액을 제거 한 후 0.001 g 단위까지 측정하였으며 중량변화율은 식 A로 구하였다. 또한 약제 함침처리 후 각 약제별 치수안정성을 비교하기 위해 수축율을 측정하였다. 수축율측정은 시험재의 횡단면상에 측정용 핀(직경 0.5 mm)을 꽂아 방사방향과 접선방향으로 구분하여 약제 함침 처리 전과 처리후의 핀의 간격을 측정하고 수축율은 식 B로 구하였다<sup>9)</sup>.

$$A: \text{중량변화율}(\%) = \frac{\text{함침후 중량} - \text{처리전 중량}}{\text{처리전 중량}} \times 100$$

$$B: \text{수축율}(\%) = \frac{\text{처리전 핀의 간격} - \text{처리후 핀의 간격}}{\text{처리전 핀의 간격}} \times 100$$

습윤↔건조 실험에서는 20일간으로 제한된 각 습도 조건의 시점과 종료점 사이에 4일 간격으로 시험재의 중량을 측정하였다. 또한 습도변화에 따른 시험재의 치수변화를 알아보기 위해 각 습도조건의 시점과 종료점마다 기준핀의 간격을 측정하였다. 습윤↔건조 실험에서의 중량변화율과 수축율은 앞의 식 A, B로 구하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**1. 중량변화율**

약제 함침 중 중량변화율은 Fig. 1에서처럼 상수리나무류(Fig. 1a)와 단풍나무류(Fig. 1b) 두 수종 모두 같은 경향을 나타내었다. 일반적으로 보고된 낮은 농도(20~40%)에서의 큰 폭의 중량증가율과 달리 Fig. 1에서처럼 모든 처리약제가 점진적인 중량 증가를 보였다. 또한 약제종류별 중량증가를 살펴보면 두 수종 모두 Lactitol의 경우가 가장 큰 중량증가를 나타내었으며, 다음은 Sucrose로 나타났다. PEG처리의 경우 PEG#4000만으로 처리한 경우나 PEG#200, PEG#4000의 2단계 PEG처리에서 거의 같은 중량변화율을 보이며 60~70% 이후에는 중량 증가폭이 완만한 것으로 나타났다. 이와 같이 PEG 함침처리에서 시험재의 중량증가율이 10~15%인 반면 Lactitol과 Sucrose 경우에는 PEG의 2배 이상인 25~30%의 중량증가율을 나타내었다. 이것은 일정기간동안 PEG보다 저분자량의 Lactitol과 Sucrose가 쉽게 침투·확산됨을 확인시켜주었다.

**Table 3. Saturated salts solution**

Classification	Relative Humidity (%) -25°C	Concentration (%) -25°C
MgCl <sub>2</sub> (Magnesium Chloride)	33	35.4
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (Potassium Nitrate)	43	35.4
NaBr(Sodium Bromide)	58	48.6
KCl(Potassium Chloride)	84	26.4
KNO <sub>3</sub> (Potassium Carbonate)	94	27.5

**Table 4. Treatment method in controlled RH**

Species	Step	Time
<i>Quercus</i> spp.	Oven Dried → K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> → NaBr → KCl → KNO <sub>3</sub> → KCl → NaBr → MgCl <sub>2</sub> → Natural Dried	20days
<i>Acer</i> spp.	KCl → NaBr → MgCl <sub>2</sub> → Oven Dried → NaBr → KCl → KNO <sub>3</sub> → Natural Dried	(1step)

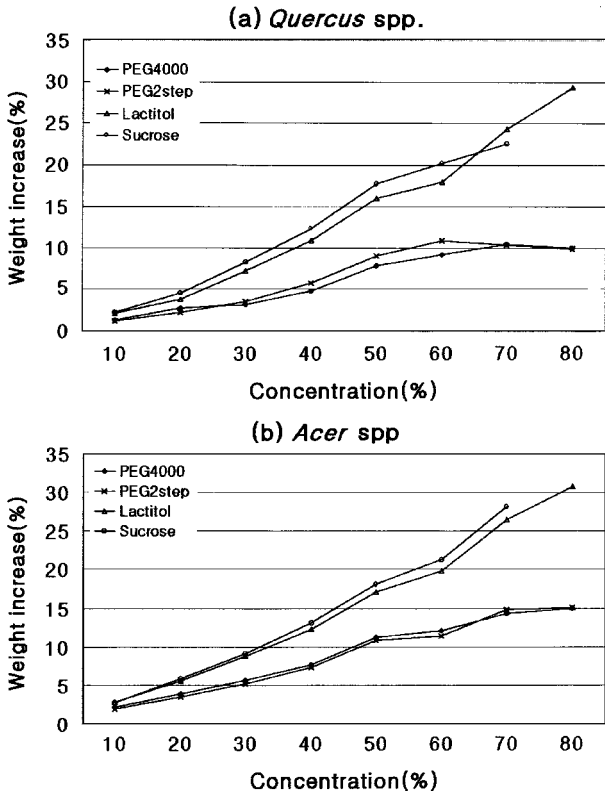


Fig. 1. Weight increases of solution-treated samples.

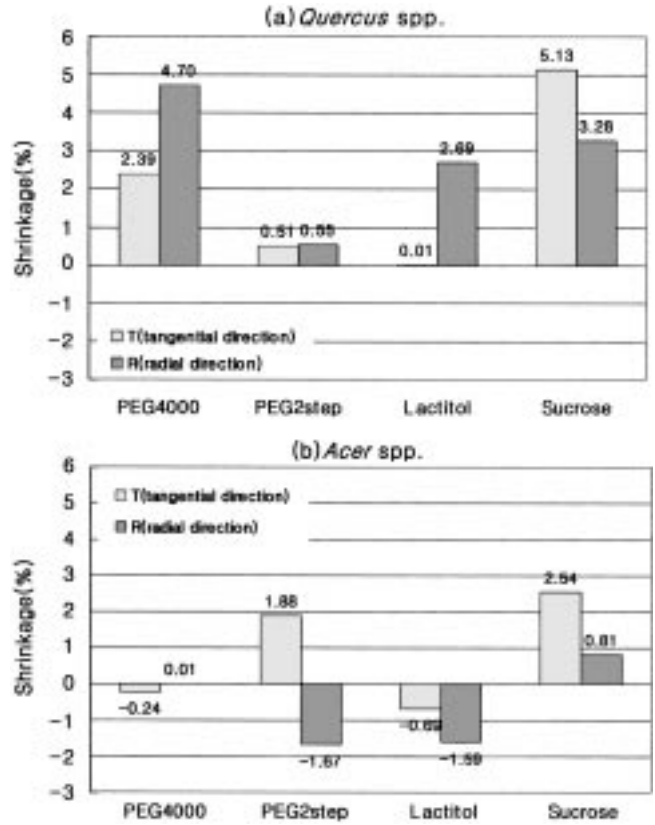


Fig. 3. Shrinkage rate of each treatment in *Quercus* spp. and *Acer* spp.

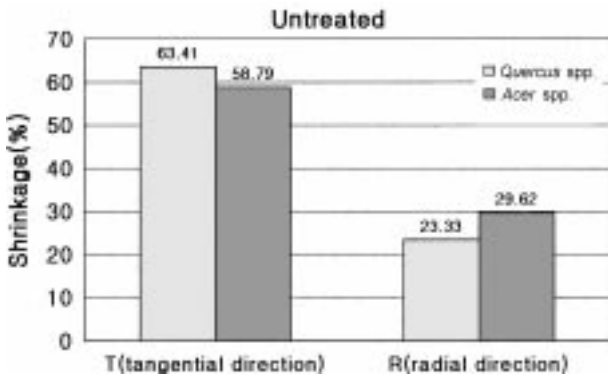


Fig. 2. Shrinkage of untreated samples.

습도변화에 따른 중량변화율은 Fig. 4a에서처럼 낮은 습도에서 높은 습도로 서서히 조습한 시험재의 흡습량은 지속적으로 증가하여 고습도에서 최대값을 나타내었으나 Fig. 4b에서처럼 기건에서 고습(84%RH)으로 급격히 조습한 시험재의 흡습량은 낮게 나타났다. 이것은 처리 후 목재 및 목재내부의 약제가 습도조건에 따라 빠른 흡습보다는 낮은 습도에서 높은 습도로 그리고 일정기간이 요구됨을 확인할 수 있었다. 고습(84%)에서 흡습에 따른 약제별 중량증가율은 Sucrose가 흡습량이 많아 중량증가율이 가장 높았으며 다음이 PEG처리로 PEG#4000처리와 2단계 PEG처리는 거의 같은 흡습 특성을 보였고 Lactitol의 경우 흡습량이 가장 적은 것으로

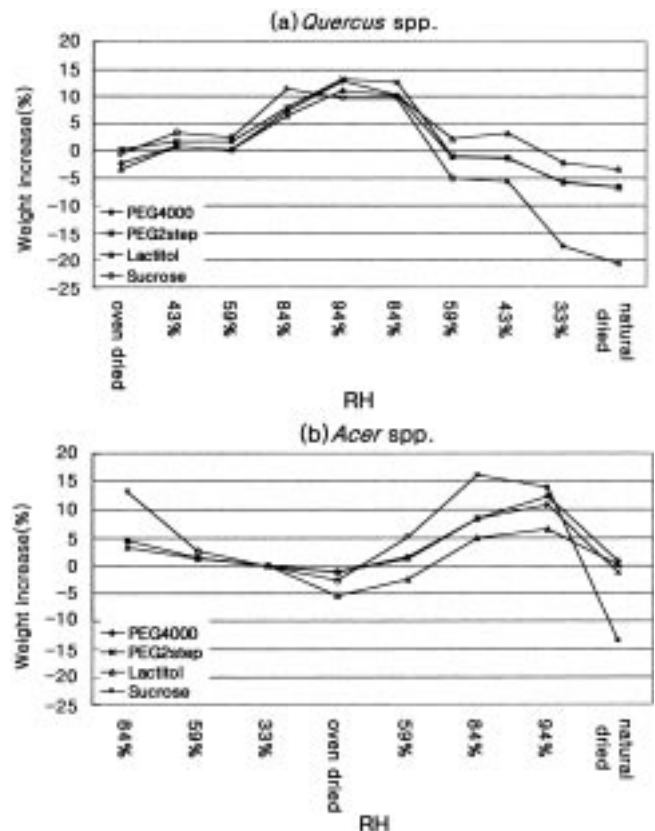


Fig. 4. Weight increase of treated samples in accordance with Relative Humidity.

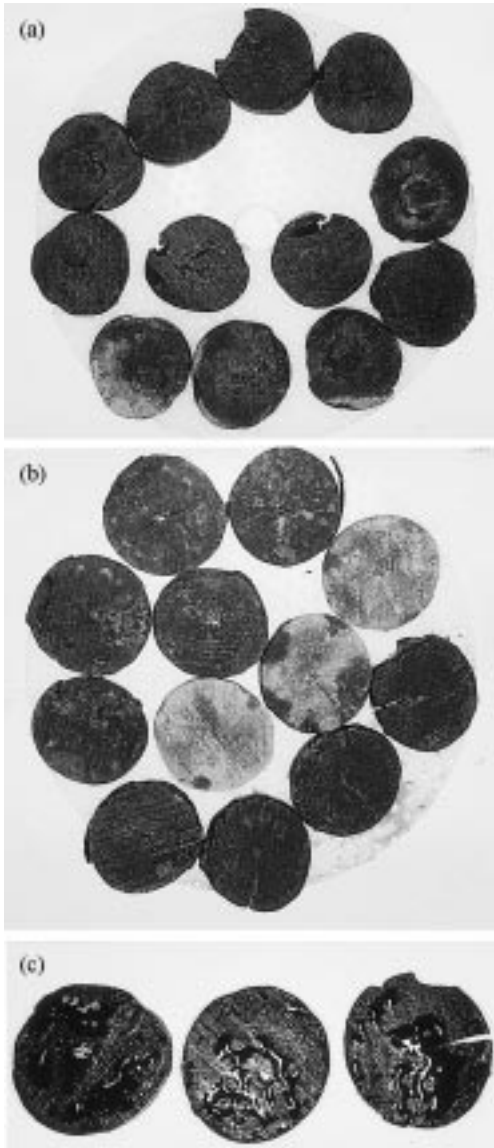


Photo 1. Samples in 84% RH (a) *Quercus* spp. (b) *Acer* spp. (c) *Acer* spp. of Sucrose treatment.

로 나타났다. 특히 Sucrose의 경우 다른 약제와 달리 습도 84%RH에서 보다 고습(94%RH) 조건에서 오히려 중량이 감소된 것은 Photo 1에서 보듯이 습도 84%RH에서 약 10일이 경과 후 흡습량이 증가되면서 시험재로부터 처리약제가 용출되었고 이것이 기건 후 큰폭의 중량감소로 나타난 것으로 판단된다.

## 2. 수축율

약제처리를 하지 않은 상태로 기건 한 시험재의 경우 수축으로 인해 외형이 심하게 찌그러졌으며 평균수축율은 접선방향이 61%, 방사방향이 26%로 나타났다.

두 수종의 약제 함침 처리 후 기건 수축율은 상수리나무류의 경우 2단계 PEG처리를 제외한 다른 약제처리에서 수축율이 단풍나무류보다 2~3% 높게 나타났다. 상수

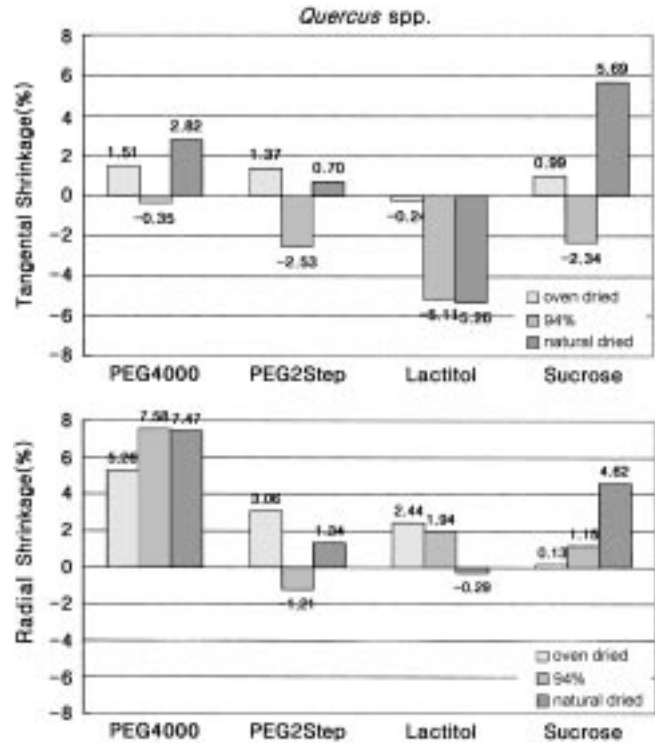


Fig. 5. Shrinkage rate of each treatment in 2 directions in accordance with reagents.

리나무류는 Fig. 3a에서처럼 2단계 PEG처리의 수축율은 접선·방사방향 모두 0.5%로 가장 낮아 치수안정성이 우수하며 Sucrose처리의 경우 수축율이 접선방향 5.13%, 방사방향이 3.28%로 높아 치수안정성이 낮게 나타났다. Fig. 3b에서처럼 단풍나무류의 경우 PEG#4000처리에서의 수축율이 접선방향이 -0.24%, 방사방향이 0.01%로 가장 낮으며 Sucrose처리재의 수축율은 방사방향이 2.54%, 접선방향이 0.81%로 높게 나타났다. 특히 수종에 따라 PEG#4000처리와 2단계 PEG처리의 치수안정화효과가 서로 다르게 나타남을 보여주고 있으며 두 수종 모두 Sucrose처리 시험재의 치수안정성은 낮게 나타났다.

습도변화에 따른 시험재의 수종별 치수변화는 Fig. 5와 Fig. 6에서처럼 습도조건에 따라 치수변화에 차이가 있었으며 상수리나무류 보다 단풍나무류 시험재의 습도조건에 따른 치수변화가 적은 것으로 나타났다. 또한 PEG, Sucrose, Lactitol로 각각 처리된 상수리나무류의 경우 Fig. 5에서처럼 2단계 PEG처리재는 모든 습도조건에서 접선·방사방향의 치수변화가 적어 습도변화에 대한 적응성이 양호한 것으로 나타났다. Lactitol처리 시험재는 접선방향으로 팽창되면서 큰 치수변화를 보였다. 단풍나무류의 경우 Sucrose처리 시험재는 큰폭의 중량변화에도 불구하고 기건 수축율이 가장 낮게 나타났으며 PEG#4000처리 시험재는 고습도(94%)에서 수축율이 가장 낮게 나타났다. 모든 수종에서 2단계 PEG처리 시험재는 전건, 고습(94%), 기건조건에서 2%이하의

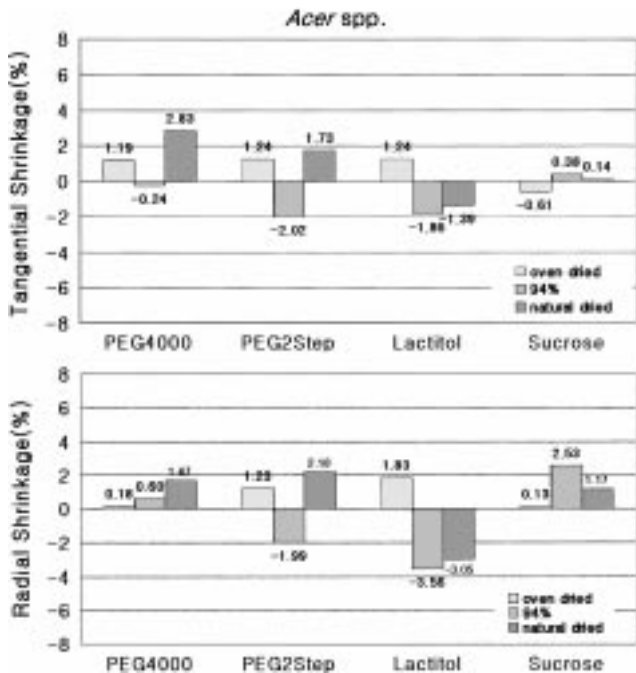


Fig. 6. Shrinkage rate of each treatment in 2 directions in accordance with Relative Humidity.

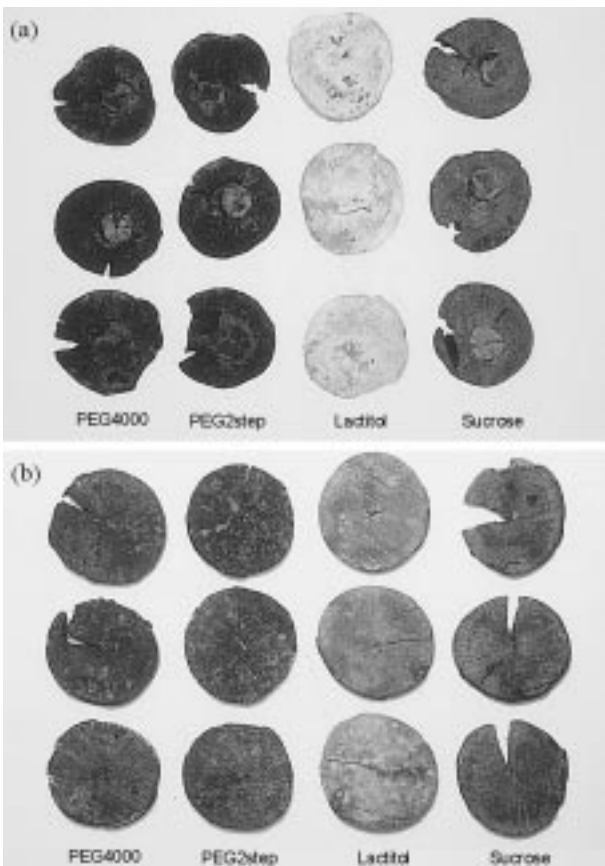


Photo 2. Samples after treatment (a) *Quercus* spp. (b) *Acer* spp.

평균수축율을 나타내었다. 다만 Lactitol처리 시험재의 경우 습윤↔건조실험이 종료된 단계에서 상수리나무류

와 단풍나무류 시험재가 동일하게 접선, 방사 양방향으로 팽창된 것으로 나타났으며 횡단면상에서 미세한 할렬이 다수 관찰되었다.

#### IV. 결 론

광주 신창동 저습지에서 출토된 수침고목재(최대함수율 : 443%)의 알맞은 처리법을 설정하기 위해 자연목 시험재를 PEG(Poly-Ethylene glycol), Sucrose, Lactitol 수용액에 함침처리하고 약제의 침투·확산성과 치수안정성 그리고 처리 후 다양한 습도변화에서의 습윤↔건조 특성을 비교하였다. 함침처리 중 약제의 침투·확산은 저분자량인 Sucrose와 Lactitol처리가 동일한 조건에서의 고분자량인 PEG#4000처리에서 보다 2배 이상의 중량 증가를 보여 이들 약제가 보다 쉽게 침투·확산됨을 알 수 있었다. 약제의 종류와 수중에 따른 치수안정성은 상수리나무류의 경우 2단계 PEG처리, 단풍나무류의 경우 PEG#4000으로 처리한 시험재가 가장 높은 것으로 나타났다.

수침고목재의 보존처리 후 보관환경과 관련한 습윤↔건조 실험에서는 상수리나무류의 경우 2단계 PEG처리한 시험재, 단풍나무류는 Sucrose 처리한 시험재의 치수변화가 가장 적어 습도변화에 대한 적응성이 비교적 양호한 것으로 나타났다. 그러나 Sucrose처리재의 경우 84%RH이상의 고습환경에서 약제가 다량 용출되고 건조 후 큰 할렬이 발생하였으며 PEG#4000과 2단계 PEG법으로 처리한 시험재의 경우에도 84%이상의 습도조건에서 흡습량이 증가하면서 시험재의 표면이 축축해지는 현상은 피할 수 없었다. Lactitol처리 시험재는 습도 변화에 따른 중량 증·감 폭이 다른 약제를 적용한 처리에서 보다 적고 약제의 용출 현상도 나타나지 않았지만 습윤↔건조 실험 후 처리재가 팽창되면서 미세한 할렬이 발생하는 문제가 있었다.

따라서 이번 실험결과를 통해 고찰해 볼때 신창동 유적 출토 수침고목재의 경우 약제 자체의 높은 흡습성과 고분자 PEG#4000처리 단계에서의 침투·확산성 저하가 단점으로 지적될 수 있지만 PEG#200과 PEG#4000을 혼용한 2단계 PEG처리에서 비교적 양호한 보존처리 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 한편 수중에 따른 약제별 치수안정성과 중량증가율에 따른 수축율이 서로 다른 결과를 나타내므로 수침고목재의 보존처리에 있어서 수종과 약제종류, 분해상태와 함침기간 등 다양한 조건들에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 국립광주박물관 학예연구실, 『광주 신창동 저습지 유적

- I」, 국립광주박물관학술보고, 33, pp.120-129 (1997)
2. 김병호, 정형균, 「안압지 출토목선의 보존처리」, 보존과학연구, 5, pp.109-132 (1986)
3. 최광남, 「신안침몰선체의 구조적 특징과 과학적인 보존처리」, 보존과학연구, 5, pp.140-145 (1986)
4. 김익주, 「진도통나무배의 재질특성과 보존처리」, 진도벽파리 통나무배 발굴조사 보고서, 목포해양유물보존처리소, pp.121-131 (1993)
5. 김수철, 박원규, 이용희, 「고함수율 수침고목재의 동결 건조를 위한 PEG 전처리농도 및 용매설정」, 보존과학회지, 9(1), pp.40-47 (2000)
6. 김경수, 이용희, 「수침목재의 동결 건조 시험보고」, 박물관보존과학, 1, pp.27-36 (1999)
7. Per Hoffmann, Sucrose for Stabilizing Waterlogged Wood some investigations into Antishrink-efficiency(ASE) and Penetration, Proceeding of the 4th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, pp.317-328 (1990)
8. Imazu, Morgos, Conservaion of Waterlogged Wood using Sugar Alcohol and Comparison the Effectiveness of Lactitol, Sucrose and PEG#4000 Treatment, Proceeding of the 6th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, pp.4-5 (1996)
9. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병묵, 『목재과학실험서』, 광일문화사 (1993)