

PEG처리 후 동결건조한 수침고목재의 습도조건에 따른 상태변화

김수철 | 박원규* | 이용희

국립중앙박물관 보존과학실
* 충북대학교 산림과학부

Dimensional Change of PEG-Freeze Dried Waterlogged Woods Exposed at Various Humidity Conditions

Soo-Chul Kim | Won-Kyu Park* | Yong-Hee Yi

Conservation Science Laboratory, The National Museum of Korea, Seoul 140-026, KOREA
*School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, KOREA

초록 열화가 많이 된 수침고목재(토란층 물푸레나무)를 물과 t-butanol을 용매로 하여 PEG농도를 10~80%로 다양하게 처리한 후 동결건조와 자연건조 하였다. 건조 후 여러 가지 습도 조건에서 45개월간 조습처리하여 중량 변화율과 수축률을 측정하여 치수안정화 효과를 확인하였다. 건조 후 습도조건에 따른 상태변화에서는 수용액으로 처리한 시편이 t-butanol을 용매로 처리한 시편보다 치수안정성이 우수하였다. 이러한 결과는 t-butanol을 용매로 한 처리가 유기용매치환으로 인하여 목재섬유의 유연성이 저하되고 동결건조 후 목재조직은 과도한 건조로 인하여 미세할렐이 다수 발생되기 때문으로 판단된다. 과도건조에 의해 발생된 미세할렐은 목재조직을 더욱 취약하게 만들며, 고습도에서 PEG가 수분을 흡습하면서 목재조직 내부에 응해 흡착될 때 취약한 목재가 이를 지탱하지 못하여 수축이 일어난 것으로 보인다. 본 연구결과 열화가 많이 진행된(최대함수율 800%) 수침고목재의 경우는 t-butanol을 용매로 이용하지 않더라도 PEG 수용액(40%정도)으로 전처리 하는 것이 동결건조 후 치수안정성이 우수한 것으로 확인되었다.

Abstract In order to evaluate two-step treatment of PEG-freeze drying for highly-degraded waterlogged ash woods (*Fraxinus* spp.; ca. 5,700 BP), which were excavated from peat lands in western Korea, dimension stability was examined during 45 months after complete treatment. The samples pre-treated with PEG in water solution showed better dimensional stabilities than the ones with PEG in t-butanol(TBA) solution. It suggests that TBA reduced the flexibility of wood cells and overdrying by TBA induced micro-checks during freeze drying. Micro-checks results in fragile wood structures and consequently, large shrinkage by moisture absorbances of high PEG contents during exposure in humid condition. The results suggest that PEG in water-solution treatment is better than PEG in t-butanol as pretreatment for freeze drying of highly-degraded waterlogged ash woods.

1. 서론

발굴 출토된 수침고목재의 보존처리는 약제를 침투·확산시켜 목재의 수축 변형을 방지하고 재질을 강화함으로써 전시 및 수장 환경에서 안전하게 보관하기 위해서

실시한다. 보존처리는 수종이나 열화상태 또는 약제종류, 함침농도, 함침기간 그리고 건조방법 등 여러 처리조건이 알맞게 설정되어야만 좋은 결과를 얻을 수 있다.¹

현재 국내의 수침고목재 보존처리방법으로 수용성 PEG 함침법,^{2,3} 슈크로스처리법,^{4,5} PEG-동결건조법^{6,7}

등이 적용되고 있다. 동결건조법은 처리후 목재 원래의 색을 유지하고 再처리를 할 수 있는 장점이 있으나 대형 유물에는 처리가 어렵고 처리후 표면 건조결합이 쉽게 발생하는 단점이 있다. 동결건조시 발생하는 건조결합은 동결시 목재내 수분의 과도한 팽창과 건조 후 목재세포의 붕괴로 수축이 발생하는데 주로 기인한다.¹

동결건조법의 이러한 단점을 보완하기 위하여 동결건조 전에 PEG로 처리하여 세포벽의 흡습성을 감소시키고 세포내강에 PEG를 충전(packing)시킴으로써 세포의 붕괴를 방지하는 'PEG前처리-後진공동결건조(PEG-VFD)법'이 적용되고 있다.^{8,9}

수침고목재는 재질이 매우 취약하여 물리·화학적으로 안정된 상태로 처리 한 후 보관되어야 한다. 그러나 보관 중 습도조건에 따라 수분의 흡습이나 처리된 약제의 용출 또는 형태 변형 등이 발생할 수 있다.¹⁰

국내에서는 PEG-동결건조처리법 처리 후 시간이 경과에 따른 치수안정화효과 및 습도조건에 따른 상태변화에 대하여 연구보고 된 예는 없다. 다만 PEG수용액을 이용한 전처리 후 진공동결건조 처리시 약제의 농도별 치수안정성만을 소수의 시료를 대상으로 비교한 연구가 있다.⁶ 본 논문의 전(前)보고로서 용매종류별, 약제 농도별 치수안정화 효과가 구체적으로 조사된 바 있다.⁷ 따라서 본 연구는 PEG함침법을 고풍수율의 수침고목재에 적용한 후 동결건조 후 장시간 습도조건에 노출하였을 때 나타나는 증량 및 치수변화에 대하여 체계적으로 비교하여 치수안정효과가 우수한 용매와 PEG 농도를 설정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 연구에 사용된 공시목은 경기도 평택 회곡리 토탄층에서 출토된 약 5,700년 전의 목재(박원규 1995)로 수종은 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)이며,^{11,12} 최대함수율이 약 800% 그리고 평균 기본밀도가 0.11 g/cm³에 불과한 열화가 많이 진행된 수침고목재이다. 직경이 30cm인 목재를 섬유방향으로 3cm간격으로 disk를 만든 후 3(R)×3(T)×3(L)cm의 크기로 140개를 만들

어 시편으로 사용하였다(Fig. 1).

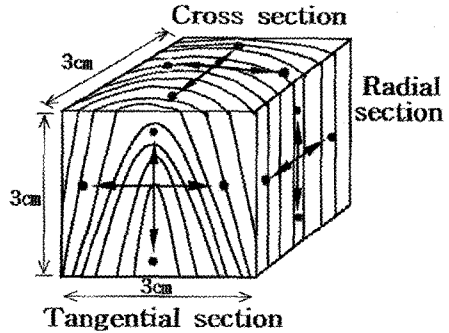


Fig. 1. Sample specimen and the directions of shrinkage measurements. Squared dots represent the pins inserted for measurements. T, R and L represent the shrinkages in tangential, radial and longitudinal directions, respectively.

2.2 방법

2.2.1 처리방법

Table 1에 처리종류를 요약하였다. 수용액(물용매) 시편은 PEG농도를 2주 간격으로 10%씩 상승시켜 함침처리(45℃) 하였다. t-butanol 용매용 시편은 PEG 처리전에 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 탈수(용매 치환) 처리하였다. t-butanol로 치환되어 탈수 처리된 t-butanol 용매용 시편은 수용액처리 시편과 같은 방법으로 t-butanol에 대한 PEG 농도를 10~70%까지 2주일 간격으로 10%씩 상승시켜 함침처리 하였다. PEG 수용액용 시편은 PEG농도가 30%, 40%, 50%일 때 꺼내어 진공동결건조용 시편으로 하였으며, 70%, 80%는 자연건조용 시편으로 하였다. 그리고 t-butanol 용액용 시편은 PEG 농도가 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%일 때마다 각각 10개씩 진공동결건조용 시편을 꺼내어 함침처리를 종료함으로써 PEG 처리농도를 달리한 시편을 얻었다. 함침이 종료된 시편을 급속냉동고에 넣어 냉동시킨 후 진공동결건조기(Vacuum Freeze Dryer, Ilshin Bondiro)를 이용하여 건조하였다. 자세한 실험방법은 김수철 등(보존과학회지 2000)에 설명하였다.⁷

2.2.2 습도조건에 따른 상태변화

동결 건조된 시료 중에서 각 농도별로 3개씩을 선별하

Table 1. Treatment methods

Pre-treatment		Post-treatment	Treatment identification
Solvents	PEG#3350 final-step concentration(%)	Drying methods	
Water (W)	70	Natural Drying (ND)	P70ND(W)
	80		P80ND(W)
	0*		P00VFD(W)
	30		P30VFD(W)
	40		P40VFD(W)
	50		P50VFD(W)
T-butanol (T)	0*	Vacuum Drying (VFD)	P00VFD(T)
	20		P20VFD(T)
	30		P30VFD(T)
	40		P40VFD(T)
	50		P50VFD(T)
	60		P60VFD(T)
Untreated		Natural Drying	Control

*0 means that no pre-treatments.

여 총 39개의 시료를 가지고 보존처리 후 장기간 방치하였을 때의 유물의 상태변화를 관찰하기 위하여 총 45개월 동안(Fig. 2, 3, 4) 조습처리 하였다. 다양한 습도조건에 따른 중량변화와 수축률을 측정하여 시편의 치수안정성을 측정하였다. 염포화용액으로 밀폐챔버(Fig. 2) 내부에 일정 습도(Tab. 2)를 만들고 Tab. 3에 표기된 순서로 서로 다른 상대습도로 처리하였다. 즉 외부환경에 따라 습도조건이 달라지는 것을 모사하기 위하여 상대습도를 33% → 58% → 84%로 단계별로 상승시킨 뒤 다시 84% → 58% → 33%로 내려주었다. 각 단계별로 습도변화를 반복한 후 중량변화와 수축률을 측정하였다. 수축률은 동결건조 후 편의 거리(Fig. 1)를 기준으로 하여 계산하였다. 중량변화율(증가율)과 수축률은 다음 식으로 계산하였다.¹³

$$\text{중량변화율(\%)} = \frac{W_a - W_b}{W_b} \times 100$$

W_a : 습도 하에서 방치 후 중량(g), W_b : 방치 전(건조 후) 중량(g)

$$\text{수축률(\%)} = \frac{I_b - I_t}{I_b} \times 100$$

I_b : 방치 전(건조 직후) 편의 거리(mm),

I_t : 습도 하에서 방치 후 편의 거리(mm)

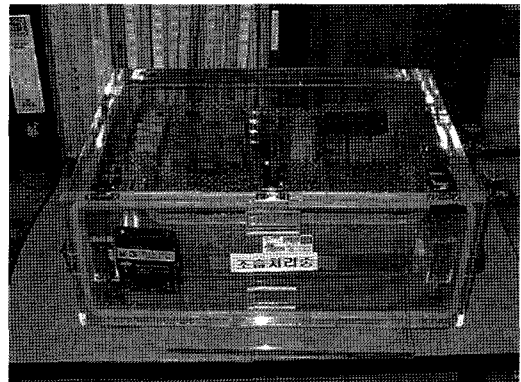


Fig. 2. Humidity-controlled chamber.

Table 2. Saturated salt solutions used for the humidity control

Salts	Relative humidity(%) at 25℃	Concentration(%) at 25℃
MgCl ₂	33	35.4
NaBr	58	48.6
KCl	84	26.4

Table 3. Treatment methods in conditioning humidity

Samples	Steps	Time
P70ND(W), P80ND(W)	Freeze-dry	
P00VFD(T), P20VFD(T),	→ MgCl ₂ (RH 33%)	MgCl ₂ (20 days)
P30VFD(T), P40VFD(T),	→ NaBr(RH 58%)	NaBr(30 days)
P50VFD(T), P60VFD(T),	→ KCl(RH 84%)	KCl(3 months)
P70VFD(T), P00VFD(W),	→ NaBr(RH 58%)	NaBr(8 months)
P30VFD(W), P40VFD(W),	→ MgCl ₂ (RH 33%)	MgCl ₂ (32 months)
P50VFD(W)		

3. 결과 및 고찰

습도조건에 따른 중량변화는 Fig. 3에서처럼 낮은 습도에서 높은 습도로 서서히 조습한 결과 습도를 58%에서 84%로 변화시켰을 때 최대 중량변화를 나타냈다. 고습도(RH 84%)에서 PEG처리시 수용액을 용매로 처리한 시편의 경우 중량이 완만하게 증가하였으며, t-butanol을 용매로 처리한 시편은 수용액 처리보다 급격히 중량이 증가하였다. 특히 PEG60%로 처리한 경우 중량이 약 48%로 크게 증가하였다(Fig. 3). 이것은 t-butanol을 용매로 수분을 치환하여 PEG전처리 후 동결 건조하면 목재내부에 잔류한 수분이 수용액처리보다 낮으므로 고습도에서 흡습량이 상대적으로 많아져 크게 증가한 것으로 보인다.

고농도 수용액을 용매로 PEG70%, PEG80% 처리 후 자연건조한 시편의 경우(P70ND, P80ND) 고습도에서 약 16%정도 중량이 증가하였는데 이는 고농도 PEG임에도 불구하고 저농도 PEG 함침후 동결건조한 시편에 비하여 중량증가가 상대적으로 작게 나타났다. 이것은 고농도 함침후 자연건조한 시편의 경우 PEG처리 후에도 목재내부에 수분을 함유하고 있어 고습도에서도 큰 변화를 나타내지 않는 것으로 판단된다. 그러나 이들 시편들은 후화현상이 현저하였다(Fig. 4a).

동결건조 후 저습도(RH 33%)에서 고습도(RH

84%)로 다시 고습도에서 저습도로 조건을 달리하면서 밀폐공간에 보관된 시편들 중 t-butanol을 용매로 처리한 P60VFD(T), P70VFD(T)시편의 경우 높은 습도에서 흡습으로 인하여 목재표면이 질어졌다(Fig. 4). 고습도(RH 84%) 조건에 다시 저습도(RH 33%)로 습도를 낮추어 보관한 경우 Fig. 5와 Fig. 6에서처럼 목재시편이 심하게 변형되고 목재표면에 흡습에 의한 질은 자국도 남았다.

Fig. 7에서처럼 수용액 PEG70%, PEG80%처리후 자연 건조한 시편은 고습도(RH 84%)에서 접선방향은 3.6%, 방사방향은 2.79~1.13%, 섬유방향은 1.2%로 모두 수축하였다. 이러한 고농도 PEG 처리시편의 팽창은 분해된 목재내부가 PEG로 충전되어 기진된 상태로 고습도에서 목재와 PEG가 수분을 흡습하면서 발생된 것으로 보인다. 습도 58%에서는 접선방향이 2.2%, 방사방향이 4.7~2.86%, 섬유방향이 1.39~0.75%로 수축하였다(Fig. 8). 반면 Fig. 9에서처럼 저습(RH 33%)에서는 접선방향은 3.58~1.12%, 방사방향은 2.4~1.07%, 섬유방향은 0.59~0.45%로 수축이 일어났다. 고농도 수용액처리 시편의 경우 고습에서 중량이 증가하면서 팽창하였으며, 저습도에서 중량이 감소하면서 수축하였다.

수용액을 용매로 PEG 함침처리 후 동결건조한 시편의 경우 고습도(RH 84%)에서 모든 시편이 접선방향은

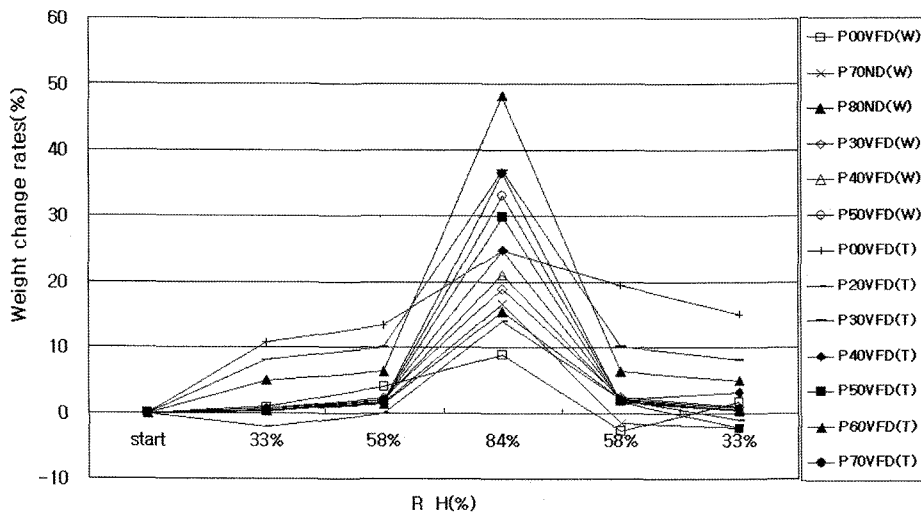


Fig. 3. Weight change rates of PEG treated samples stored in humidity-controlled chamber. The dots represent daily weight measurements. Y axis: + values mean weight increases and - values weight decreases. The start point is the time when freeze drying has been finished.

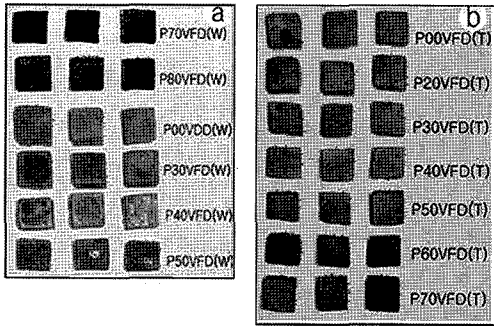


Fig. 4. Samples stored at the 84% RH(relative humidity). a: samples after being treated with PEG solution in water, b: samples after being treated with PEG solution in t-butanol.

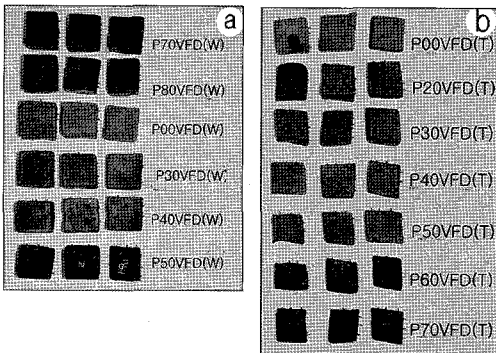


Fig. 5. Samples stored at 58% RH(relative humidity). a: samples after being treated with PEG solution in water, b: samples after being treated with PEG solution in t-butanol.

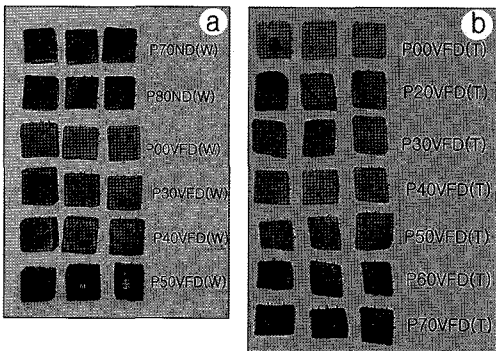


Fig. 6. Samples stored at 33% RH(relative humidity). a: samples after being treated with PEG solution in water, b: samples after being treated with PEG solution in t-butanol.

3%, 방사방향은 1.35%, 섬유방향은 -2.25% 이내의 수축·팽창을 하였다. 특히 PEG40% 처리한 시편의 수축률이 가장 적게 나타났으며, 수축률은 접선방향이 0.76%, 방사방향이 -0.5%, 섬유방향이 0.1%로 1%이내의

수축·팽창하였다.

습도58%의 조건에서는 PEG30%, 40%시편의 경우 접선방향이 1.25~0.93%로 수축하였으며, 방사방향은 -1.23~-1.17%로 수축, 즉 팽창하였다. 이는 접선방향으로는 수축한 반면에 방사방향으로는 팽창되었다(Fig. 8).

저습(RH 33%)에서 모든 시편이 접선방향은 4.96~2.41%, 방사방향은 2.82~-0.83%, 섬유방향은 1%이내로 수축하였으며, PEG40% 처리한 시편이 접선방향은 3.9%, 방사방향은 0.08%, 섬유방향은 0.36%로 가장 수축이 적게 나타났다. 따라서 수용액을 용매로 하여 동결건조 한 시편에서 PEG40%의 시편이 모든 습도조건에서 가장 수축률이 적어 치수안정성이 우수한 것으로 판단된다.

t-butanol을 용매로 처리한 시편은 수용액처리와 달리 고습도(RH 84%)에서 PEG70% 처리한 시편 {P70VFD(T)}을 제외하고 모든 시편이 접선방향은 3.15~2.32%, 방사방향은 4.58~0.24%로 수축하였다. PEG70%의 경우 수축률이 접선방향은 -0.01%, 방사방향은 -0.48, 섬유방향은 -0.08로 1%이내의 팽창을 하였다(Fig. 7).

습도58%에서는 PEG40%와 PEG70%로 처리한 시편의 수축·팽창이 가장 적게 나타났다. PEG40%의 경우 접선방향은 1.19%, 방사방향은 0.62%, 섬유방향은 0.71%로 적게 수축하였으며, PEG70%의 경우 수축률은 접선방향은 -0.78, 방사방향은 -1.04%, 섬유방향은 -1.29%로 적게 팽창하였다. 반면 PEG20%, 30%, 50%, 60%처리 시편의 경우 접선방향으로 5.61~3.87%, 방사방향으로 4.71~0.24%, 섬유방향으로 -1.35~0.77%로 수축을 나타내었다(Fig. 8).

저습도(RH 33%)에서는 t-butanol을 용매로 처리한 모든 시편이 접선방향은 12.13~5.31%, 방사방향은 6.54~1.65%, 섬유방향은 1.34~-1.52%로 크게 수축을 하였다(Fig. 9). 이것은 t-butanol을 용매로 수분을 치환하여 PEG처리 후 동결건조 시 목재내부에 잔류한 수분이 거의 없으며, 동결건조과정에서 목재조직이 과도한 건조에 의해 미세할열이 발생되어 취약한 목재조직이 습도변화에서 수축한 것으로 보인다.

습도조건에 최종단계인 33%습도조건을 거친 후 목재조직을 관찰한 결과 Fig. 10과 Fig. 12에서처럼 t-

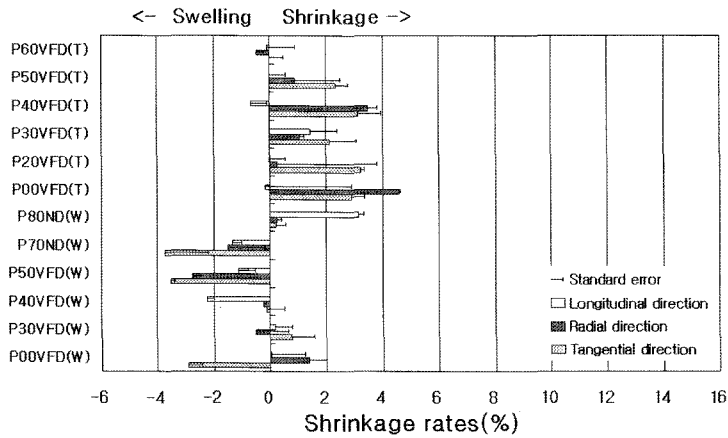


Fig. 7. Shrinkage rates of each treatment in 3 directions at RH 84% to RH 58%. Standard error is s/\sqrt{n} (s: standard deviation \sqrt{n} : number of samples). The change is measured after final freeze drying, i.e., the smaller values in this figure mean higher stability against humidity.

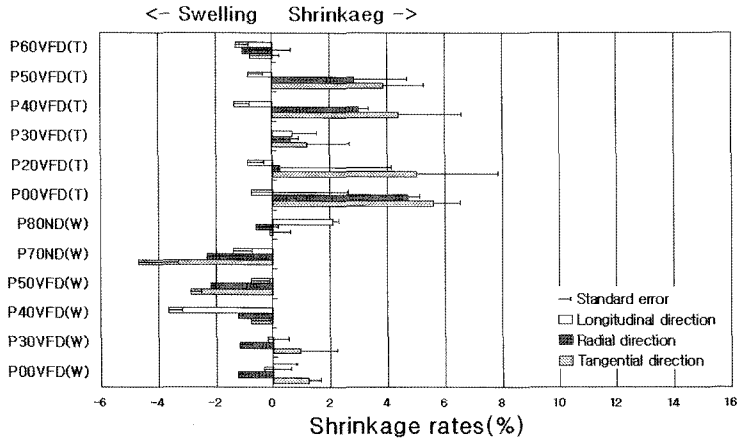


Fig. 8. Shrinkage rates of each treatment in 3 directions at RH 58% to RH 84%. Standard error is s/\sqrt{n} (s: standard deviation \sqrt{n} : number of samples).

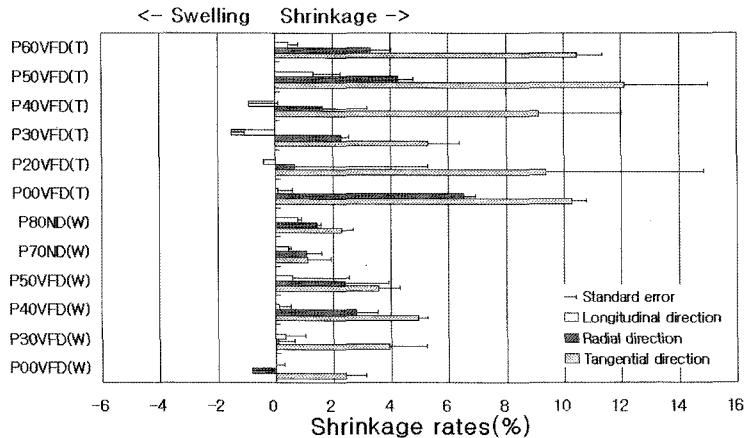


Fig. 9. Shrinkage rates of each treatment in 3 directions at RH 33% to RH 58%. Standard error is s/\sqrt{n} (s: standard deviation \sqrt{n} : number of samples).

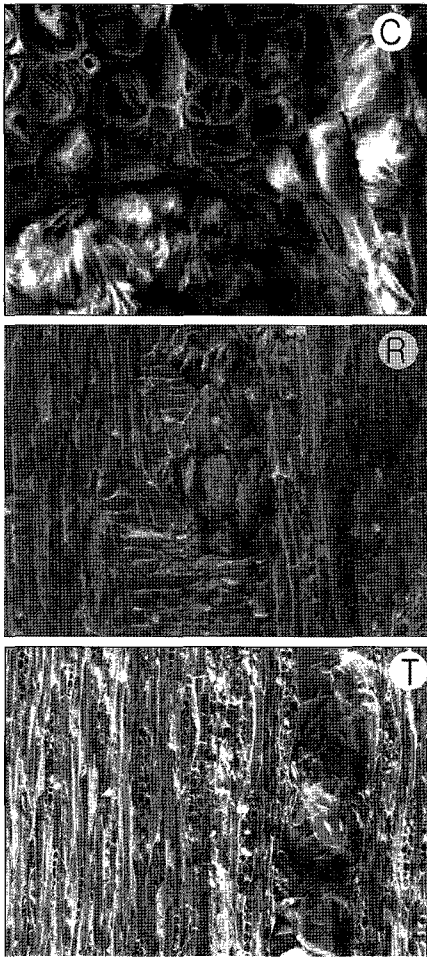


Fig. 10. Three dimensional structures of freeze dried samples after being treated with PEG 20% solution in t-butanol (P20VFD(T)). → PEG in vessel.
C: Cross section(×100), R: Radial section (×80), T: Tangential section (×150).

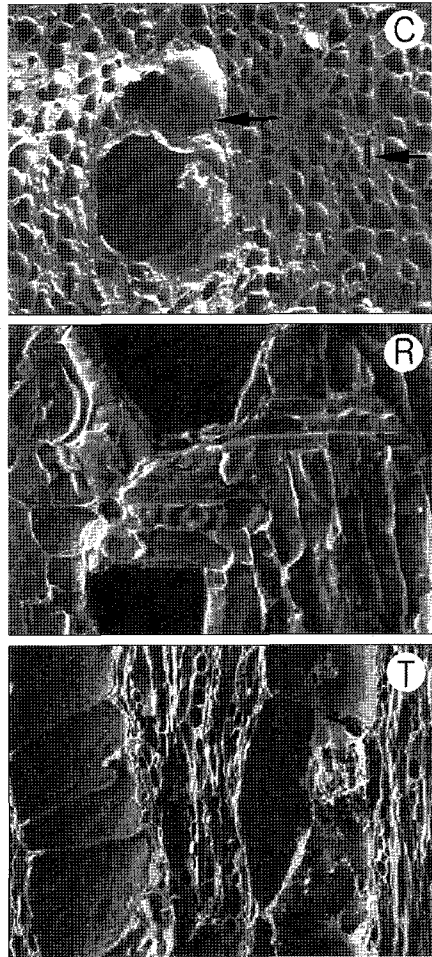


Fig. 11. Three dimensional structures of samples stored at 33%RH after freeze drying (PEG 20% solution in t-butanol) (P20VFD(T)). → Shrinkage in the fiber and vessel.
C: Cross section(×400), R: Radial section(×400), T: Tangential section(×200).

butanol을 용매로 처리한 PEG20%, PEG50% 시편의 동결건조 후 횡단면상에 도관과 목섬유에 PEG가 잘 확산되어 있는 것이 관찰되었다. 반면 조습과정을 거친 후 횡단면상 도관 및 목섬유의 조직에 변형이 일어났으며, 도관내에 PEG가 관찰되지 않는다. 또한 목재 조직내에 잘 확산되어있던 PEG 결정이 목재내벽에 응해 흡착되어 있는 것이 관찰되었다(Fig. 11, 13).

이상에서 보았을 때 습도조건에 따른 상태변화를 관찰하였을 때 수용액을 용매로 한 PEG처리가 t-butanol을 용매로 한 처리보다 동결건조 후 습도변화에서 증량

변화와 수축률이 낮게 나타났으며, 특히 수용액 PEG 40% 처리가 가장 수축률이 낮아 치수안정화효과가 우수한 것으로 나타났다.

동결건조의 전처리에 있어서 적절한 용매와 PEG 함침 농도설정에 관한 연구결과 PEG 수용액처리가 동결건조 후 수축률이 적어 치수안정화 효과가 우수하였으며, 조습변화 후에도 PEG 수용액처리가 t-butanol을 용매로 처리한 시편보다 변형이 적어 치수안정화 효과 우수하게 나타났다. 그러나 유기용매인 t-butanol에 PEG를 녹여 처리하였을 경우 약제의 침투확산은 우수하였으

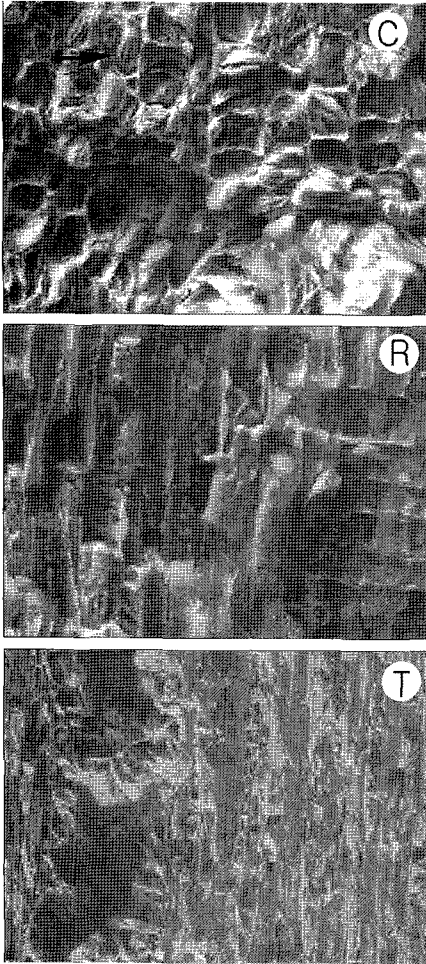


Fig. 12. Three dimensional structures of freeze dried samples after being treated with PEG 50% solution in t-butanol (P50VFD(T)). → PEG in the fiber and vessel.
C: Cross section($\times 500$), R: Radial section($\times 300$), T: Tangential section($\times 400$).

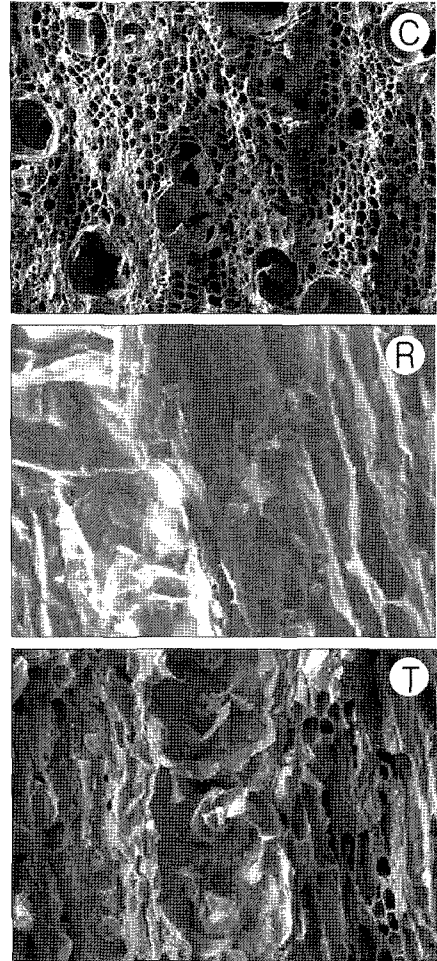


Fig. 13. Three dimensional structures of samples stored at 33%RH after freeze drying(PEG 50% solution in t-butanol) (P50VFD(T)).
C: Cross section($\times 120$), R: Radial section($\times 120$), T: Tangential section($\times 350$).

며 처리 후 수용액처리나 t-butanol을 용매로 처리한 시편 모두 수축률이 낮았다. 단지 두 가지의 용매를 비교했을 때 t-butanol보다 물을 용매로 사용한 시편의 수축률이 2%정도로 낮게 나타났다. 또한 동결건조 후 외형의 변형이 없던 시편이 습도 변화에 따라 변형이 발생되었으며 특히 중량변화에서 보면 t-butanol을 용매로 한 함침처리가 PEG의 침투확산이 우수하게 나타났는데도 불구하고 조습후 수축률이 PEG 수용액처리보다 크게 나타났다. 이것은 동결건조는 자연건조와 달리 목재를 동결상태(고체)에서 수분을 건조시키는 것으로 목재내

함유수분이 5%이하로 거의 전건에 가깝게 건조됨을 의미한다. 이러한 과도건조로 건조과정 중에 열화된 목재 조직에 미세할렬과 균열 등을 발생시킨 것으로 보인다. 전처리한 고분자 PEG는 과도건조를 방지하지 못하며 단지 물리적 강도만을 부여한다. 그러므로 과도하게 PEG를 침투시킨 뒤 동결건조하게 되면 처리목재를 습한 공간에 방치하였을 때 수분을 흡습하여 확산된 PEG가 목재내부에 응해 흡착하면서 취약한 목재조직이 지탱되지 못하고 목재의 외형이 변형되는 것으로 판단된다.

4. 결론

열화가 많이 된 수침고목재(토탄층 물푸레나무)를 동결건조하기 전에 물과 t-butanol을 용매로 하여 PEG농도를 10~80%로 다양하게 처리한 후 동결건조 하였다. 건조 후 여러 가지 습도 조건에서 45개월간 조습하면서 중량변화율과 수축률을 측정하여 치수안정화 효과를 조사하였다.

건조 후 습도조건에 따른 상태변화에서는 수용액으로 처리한 시편이 t-butanol을 용매로 처리한 시편보다 치수안정성이 우수하였다. 이러한 결과는 t-butanol을 용매로 한 처리는 유기용매치환으로 인하여 목재섬유의 유연성이 저하되고 동결건조 후 목재조직은 과도한 건조로 인하여 미세할열이 다수 발생되기 때문으로 판단된다. 과도건조에 의해 발생된 미세할열은 목재조직을 더욱 취약하게 만들며, 고습도에서 PEG가 수분을 흡수하면서 목재조직 내부에 응해 흡착될 때 취약한 목재가 이를 지탱하지 못하여 수축이 일어난 것으로 보인다.

본 연구 결과, 열화가 많이 진행된(최대함수율 80%) 수침고목재의 경우는 t-butanol을 용매로 이용하지 않더라도 PEG 수용액(40%정도)으로 전처리 하는 것이 동결건조 후 전시실이나 수장고에서의 습도변화에 따른 치수안정성이 우수한 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. R.M. Rowell and R.J. Barbour, *Archaeological Wood*, The American Chemical Society, USA, (1990).
2. 최광남, "신안침몰선체의 구조적 특징과 과학적인 보존처리", *보존과학연구*, 5, 140-145, (1986).
3. 김익주, "진도통나무배의 재질특성과 보존처리", *진도벽파리 통나무배 발굴조사 보고서*, 목포해양유물보존처리소, pp121-131, (1993).
4. 강애경, 박상진, "수침출토목재의 PEG4000과 Sucrose처리에 따른 변화", *보존과학회지*, 5(2), 3-14, (1996).
5. 이효선, 강애경, 박상진, "수침목재의 PEG, 락티톨, 슈크로오스 처리에 의한 치수안정화 효과", *보존과학회지*, 8, 28-32, (1999).
6. 김경수, 이용희, "수침목재의 동결건조 시험보고", *박물관보존과학*, 1, 27-36, (1999).
7. 김수철, 박원규, 이용희, "고함수율 수침고목재의 동결건조를 위한 PEG전처리 농도 및 용매 설정", *보존과학회지*, 9, 40-47, (2000).
8. K. Jespersen, "Conservation of waterlogged wood by use of tertiary butanol, PEG and freeze-drying", *International Symposium on the Conservation of Large Objects of Waterlogged Wood*, Netherlands National Commission for UNESCO, Amsterdam, pp.69-76, (1979).
9. C. Cook and D.W. Grattan, "A practical comparative study of treatments for waterlogged wood: Part III-Pretreatment solutions for freeze-drying", In *Proceedings of the Second ICOM Waterlogged Working Group Conference*, Grenoble, pp. 219-239, (1985).
10. 이용희, 김수철, 박영만, 김경수, "수침고목재의 보존을 위한 PEG, Sucrose, Lactitol처리 및 습도조건에 따른 상태변화 실험", *박물관보존과학*, 2, 19-25, (2000).
11. 이용조, 유적의 발굴성과. *서해안고속도로건설구간 유적발굴조사 보고서(3)*, 단국대학교중앙박물관, pp.402-403, (1995).
12. 박원규, 구민정, 전재범, 김병로, 한규성, 나무의 수종식별 및 나이테 분석. *서해안고속도로건설구간 유적발굴조사 보고서(3)*, 단국대학교중앙박물관, pp.305-366, (1995).
13. 박상진, 이종윤, 조남석, 조병목, *목재과학실험서*, 광일문화사, (1993).