

PEG 처리 수침고목재의 농도 및 용매에 따른 압축강도 변화

김수철
국립중앙박물관 보존과학팀

Compressive Strength of Waterlogged Archaeological Wood after PEG Treatment with Concentration and Solvent

Soo Chul Kim

Conservation Science Team, The National Museum of Korea, Seoul, 140-026, Korea

Corresponding Author: oldforest@korea.kr, +82-2-2077-9430

초록 처리 농도 및 용매에 따른 PEG의 압축강도를 측정하고 치수안정화 효과와 비교 하여 전시 및 보관에 적합한 처리 조건을 설정하고자 하였다. 선행된 고함수율 수침고목재의 동결건조를 위한 PEG전처리 농도 및 용매 설정 연구에서 수용액 PEG 40% 전처리 후 진공동결건조가 치수안정성이 가장 우수하게 나왔다. 이번 연구에서는 약품의 처리 농도에 비례하여 압축강도가 증가하였으며, 용매에 있어서는 물이 t-butanol 보다 상대적으로 압축강도가 높게 나타났다. 특히 수용액에서 PEG 40%와 PEG 50%의 강도차가 6.6%(16kgf/cm²)로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이상의 결과에 따라 수침고목재유물의 보존처리에서 치수안정성과 압축강도를 동시에 충족시키고자 할 때, 수용액 PEG 40% 전처리 후 동결건조를 실시하는 것이 가장 효과적인 것으로 확인되었다.

중심어: 수침고목재, PEG, 압축강도, 수용액, 진공동결건조

ABSTRACT The compressive strength of PEG along processing concentration and solvent is willing to be measured and proper processing condition for exhibition and storage is also willing to be measured by comparing with dimensional stability. In the advanced research of setting PEG-preprocessing concentration & solvent for freeze drying of waterlogged archaeological wood of high water content, vacuum freeze drying showed the highest dimension stability after 40% PEG-preprocessing of aqueous solution. In this study, the compressive strength increased in proportion of processing concentration and water showed the relatively-higher compressive strength than t-butanol regarding solvent. Especially, it showed that there is no big strength difference between PEG 40% and PEG 50% in aqueous solution by 6.6%(16kgf/cm²). According to the above results, it was recognized that it is most effective to implement freeze drying after 40% PEG-preprocessing when want to dimensional stability and compressive strength simultaneously.

Key Word: Waterlogged archaeological wood, Poly ethylene glycols, Compressive strength, Aqueous solution, Vacuum freeze-drying

1. 서론

국내 수침고목재의 보존처리는 대부분 고분자의 PEG

(Polyethylene glycols), 당알콜(Lactitol), 고급알콜(Cetyl alcohol)¹ 등을 함침처리하여 목재 내강 및 세포벽에 침투·확산시켜 채운 후 건조하는 것으로 목재의 수축변형을 방

지하고 재질을 강화한다². 건조방법으로 소형 수침고목재는 진공동결건조법³을, 대형 유물의 경우는 자연건조와 조습건조⁴를 적용하고 있다.

이와 관련하여 국내에서는 PEG 농도와 용매 종류에 따른 치수 안정성에 대한 연구를 통하여 PEG40VFD(W)가 치수안정화 효과가 우수한 것으로 보고되었으며⁵, PEG-VFD 처리법을 적용하여 용매에 따른 약제의 침투-확산과 처리 후 치수안정화효과 및 동결건조 목재의 습도조건에 따른 상태변화에서 수용액을 용매로 사용한 것이 우수한 것으로 연구보고 되었다⁶.

이와 같이 PEG의 치수안정화 효과에 대한 연구는 진행

된바 있으나, 전시 및 보관, 복원 등의 상황에 적합한 강도가 요구되는 목재유물의 PEG처리에서 필요한 물리적 특성에 대한 연구는 구체적으로 되어있지 못하다. 따라서 본 연구에서는 PEG처리 농도 및 용매에 따라 압축강도를 측정하고 치수안정화 효과와 비교 하여 전시 및 보관에 적합한 처리 조건을 설정하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

시험에 사용된 PEG(Polyethylene glycol)는 평균 분자량 3350이며, 용매는 물과 t-butanol을 사용하였다. PEG처리에 사용된 시험편은 경기도 평택 희곡리 토탄층에서 출토된 약 5,700년 전의 목재로 수종은 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)이며⁷, 토탄층 연대는 나무를 시료로 한 방사성탄소연대측정 결과이다. 최대 함수율 800%, 전건비중은 0.11에 불과한 부후가 매우 심한 수침고목재이며 Figure 1과 같이 3(C)×3(R)×3(T)cm로 제작하였다.

Table 1과 같이 용매와 농도, 건조방법에 따라 13가지의 범주로 나누고, 각각 5점의 시편으로 Figure 2와 같이 총 65점의 시편을 제작하였다. 수용액 시편은 PEG농도를 2주간격으로 10%씩 상승시켜 함침처리(45℃) 하였다. t-butanol 용매용 시편은 PEG 처리 전에 20%, 40%, 60%, 80%, 100%로 탈수(용매치환) 처리한 후, 수용액처리 시편과 같은 방법으로 t-butanol에 대한 PEG 농도를 10~70%까지 2주일간격으로 10%씩 상승시켜 함침처리 하였다.

PEG 수용액용 시편은 PEG농도가 30%, 40%, 50%일 때 꺼내어 진공동결건조용 시편으로 하였으며, 70%, 80%는

Table 1. Treatment methods.

Solvents	Pre-treatment	Post-treatment	Treatment identification
	PEG#3350 final-step concentration(%)	Drying methods	
Water (W)	70	Natural	P70ND(W)
	80	Drying(ND)	P80ND(W)
	0	Vacuum Freeze Drying (VFD)	P00VFD(W)
	30		P30VFD(W)
	40		P40VFD(W)
50	P50VFD(W)		
T-butanol (T)	0	Vacuum Freeze Drying (VFD)	P00VFD(T)
	20		P20VFD(T)
	30		P30VFD(T)
	40		P40VFD(T)
	50		P50VFD(T)
	60		P60VFD(T)
	70		P70VFD(T)

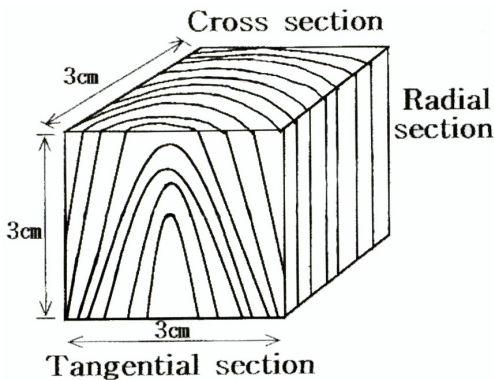


Figure 1. Sample size.



Figure 2. Samples of archaeological waterlogged wood after PEG treatment.

자연건조용 시편으로 하였다. 그리고 t-butanol 용액용 시편은 PEG 농도가 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%일 때마다 각각 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.

2.2. 방법

각 용매와 농도별로 제작한 시험편을 Figure 3의 압축강도측정기(INSTRON 3366)를 이용하여 섬유방향으로 측정하였다(평균압축속도 10mm/min). 섬유방향 압축은 목재의 섬유방향에 평행으로 하중을 가하는 압축시험으로서 시험편의 압축단면에 대한 높이의 비율이 작은, 이른바 짧은 기둥에 대한 시험이다. 목재압축시험의 표준적인 방법인 KSF2206에 참고하여 시험을 실시하였다⁸. 섬유방향 압축강도는 다음 식 1과 같이 계산하였다. 각 농도별 5개의 시험편 결과 중 최대값과 최소값을 제외한 3개에 대한 평균값과 표준편차를 구하였다.

$$\text{섬유방향압축강도}(\text{kgf}/\text{cm}^2) = \frac{P}{A}$$

3. 결과

Figure 4에서 VFD(W)는 압축강도를 측정한 결과 56kgf/

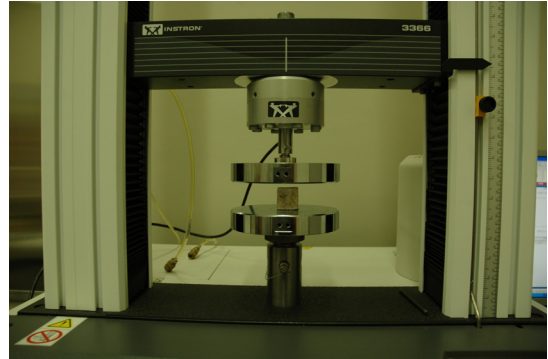


Figure 3. Compressive strength test.

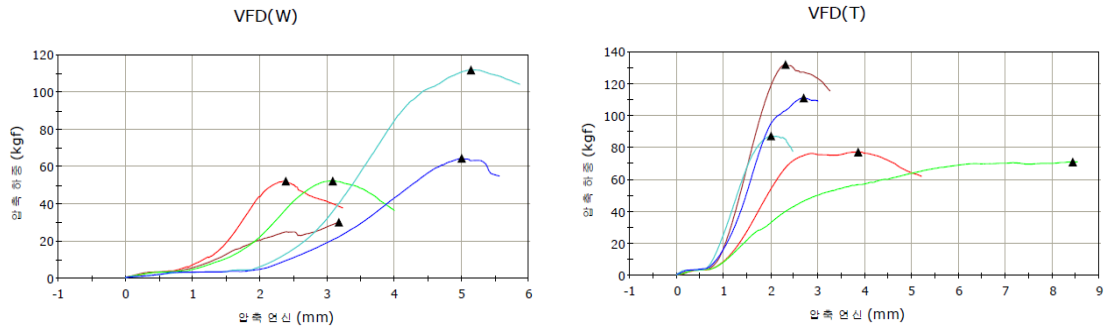


Figure 4. Compressive strength of Untreated samples [(W): water, (T): t-butanol].

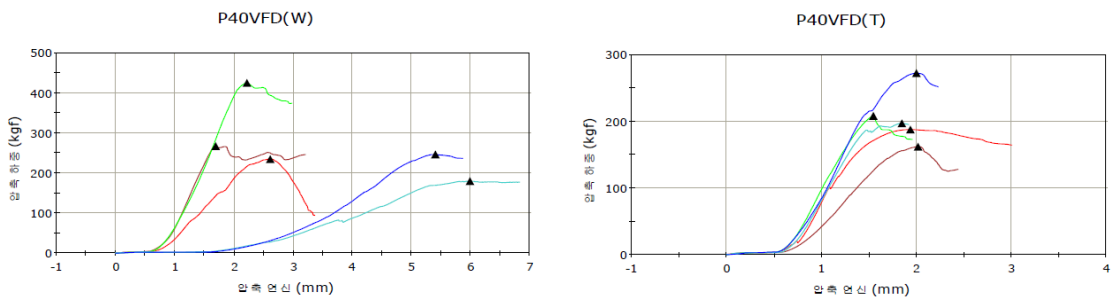


Figure 5. Compressive strength of samples after being treated with PEG40 [(W): water, (T): t-butanol].

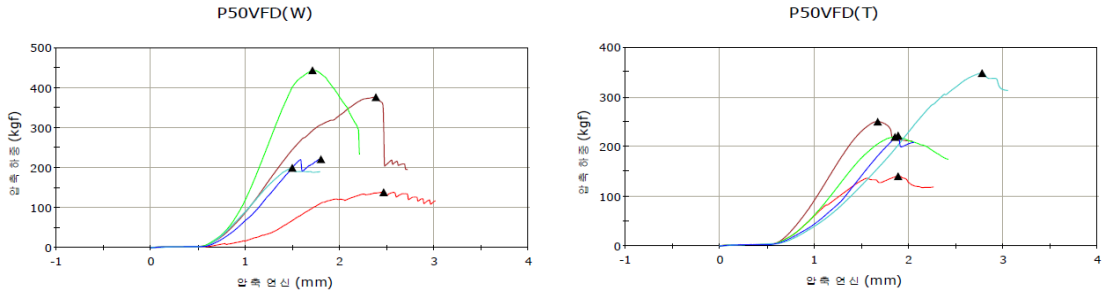


Figure 6. Compressive strength of samples after being treated with PEG50 [(W): water, (T): t-butanol].

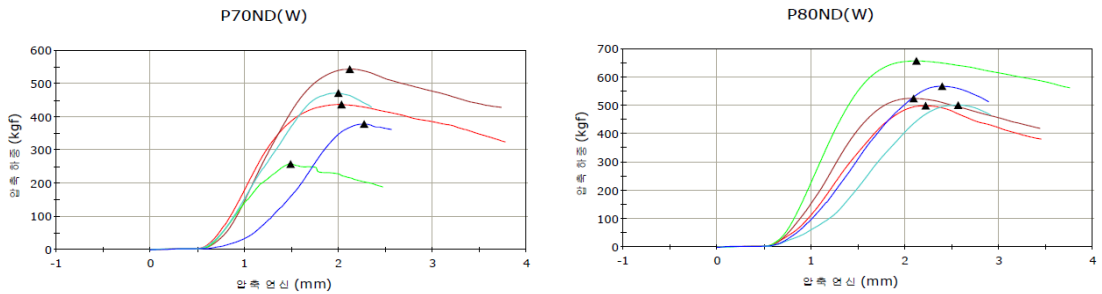


Figure 7. Compressive strength of samples after being treated with PEG70 and PEG80 [(W): water].

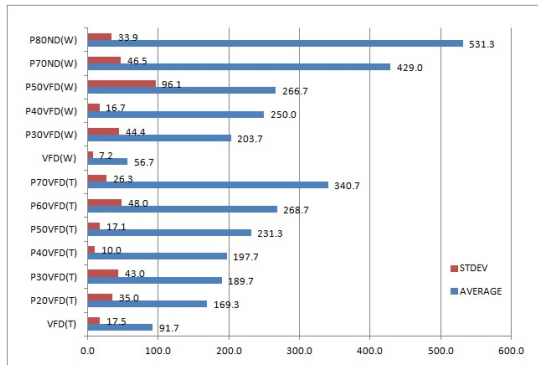


Figure 8. Result of compressive strength test.

cm²로 낮게 측정되었으며, VFD(T)는 91kgf/cm²의 강도를 나타내었다. PEG가 포함되지 않은 물과 t-butanol에 함침 후 건조된 목재의 압축강도 결과가 t-butanol이 더 높게 측정된 것은 동결과정에서 물이 팽창하여 목재 세포벽을 손상시켜 일어나는 현상으로 판단된다.

반면 Figure 5에서 PEG 40%처리 한 각각의 시험편에 대한 압축강도는 수용액이 더 높게 나타났다. Figure 6도 마찬가지로 수용액인 P50VFD(W)가 t-butanol 용제로 사용한 P50VFD(T)보다 강도가 높게 측정되었다.

압축강도시험결과를 종합한 Figure 8의 결과에서 보듯이 수침고목재를 대상으로 한 PEG#3,350의 농도에 따른 용매별 섬유방향 압축강도는 농도에 따라 비례한 것으로 측정되었다. 또한 PEG 전처리 용매에 따른 시험 결과 수용액을 용매로 한 시험편이 t-butanol을 용매로 한 시험편보다 약 30~50kgf/cm² 정도 상대적으로 높게 측정되었다. 각 PEG 농도에 따른 시험편 별로 평균 압축강도는 P30VFD(W)는 203kgf/cm², P30VFD(T)는 169kgf/cm²로 수용액이 높게 나왔다. P40VFD(W)에서는 250kgf/cm², P40VFD(T)는 197kgf/cm²로 측정되었으며 P50VFD(W)는 266kgf/cm², P50VFD(T)는 231kgf/cm²로 측정되어 수용액 처리 시험편의 강도가 높게 나왔다.

그리고 고농도 수용액 용매의 PEG함침처리를 한 자연 건조 시험편은 Figure 7과 같이 P70ND(W)의 경우 412kgf/cm²이고 P80ND(W)는 560kgf/cm²의 압축강도를 보인다. 이는 건조재의 물푸레나무 압축강도 581kg/cm²에 거의 유사한 값을 나타낸다. 압축강도 측정 후 시험편의 파손 형태를 관찰한 결과 Figure 9의 ㉠, ㉢에서 보듯이 P70ND, P80ND의 경우 압축강도에 의해 섬유직각 방향으로 균열이 발생되었고 T-butanol을 용매로 사용한 시험편 ㉡, ㉣는 섬유방향으로 파손된 것이 관찰되며 수용액을 용매로 한 시험편 ㉤, ㉦ 섬유방향과 중앙부에 섬유직각방향으로 갈라짐과

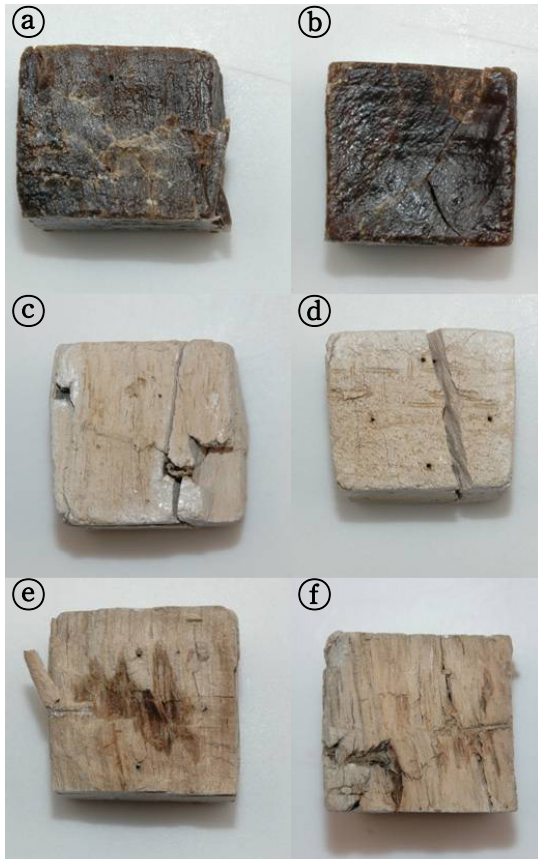


Figure 9. Samples after compressive strength test. (a) PEG70ND, (b) PEG80ND, (c) PEG40VFD(T), (d) PEG50VFD(T), (e) PEG40VFD(W), (f) PEG50VFD(W)

균열이 발생되었다. 시편의 갈라진 형태를 통해 수용액 보다 T-butanol을 사용한 시편의 경우 목재내부의 수분이 없는 상태로 인해 섬유유연성이 저하되어 압축강도가 감소하고 섬유방향으로 갈라짐이 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 또한 압축강도가 전건재와 유사한 P80ND(W)처리는 구조재로 복원되어지는 선박, 건축물 등의 강도가 요구되는 대형 목재유물의 보존처리에 적합할 것으로 보인다.

4. 고찰 및 결론

PEG처리 농도에 따른 결과에서 같은 농도로 처리된 시편의 경우 용매에 따른 압축강도가 수용액처리 시편이 t-butanol처리 시편에 비해 상대적으로 높게 측정되었다. 우선 목재세포와 내강에 동일한 양의 PEG가 침투·확산된

것으로 가정하고 보면 이러한 강도차이는 유기용매인 t-butanol이 목재 세포내의 수분이 유기용매로 치환되는 과정에서 목재섬유의 유연성이 저하되고 동결건조과정에 과도한 건조로 인하여 미세할렬이 발생되기 때문에 목재조직이 약해진 것으로 보인다. 또한 t-butanol 용액은 동결과정에서 침상결정을 형성하여 목재 내강 및 세포벽 내에서 목재섬유를 취약하게 만드는 것도 압축강도에 영향을 주는 것으로 판단된다.

동일 시편을 대상으로 실시한 선 연구의 실험결과 수용액 PEG 전처리 후 진공동결건조 시 PEG40%가 치수안정성이 가장 우수하게 나왔다. 본 연구에서는 800%의 고함수율에 해당하는 시편에 대상으로 하여 PEG가 처리 조건에 따라 압축강도의 변화가 있음을 확인하고 치수안정성과 비교하여 PEG 40% 수용액에서의 처리방법이 적합한 것으로 판단하였다. 이를 바탕으로 하여 낮은 함수율의 수침목재를 대상으로 비교 연구를 진행한다면 처리 후의 PEG 물성에 대한 더욱 정확하고 적용성있는 데이터를 얻을 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

- 이용희, "저습지 출토 목재유물의 보존과 현황". *보존과학회지*, 6, p126-140, (1997).
- 이효선, 강애경, 박상진, "수침목재의 PEG, 락티톨, 슈크로스 오스 처리에 의한 치수안정화 효과". *보존과학회지*, 8, p28-32, (1999).
- 이광희, 김수철, 박원규 "PEG처리 수침고목재의 조습건조". *보존과학회지*, 27, p91-100, (2011).
- 김수철, 오정애, 남궁승, 이광희, "부여 백제시대 목제품의 재질분석과 보존". *박물관보존과학*, 10, p43-61, (2009).
- 김수철, 박원규, 이용희, "고함수율 수침고목재의 동결건조를 위한 PEG전처리 농도 및 용매 설정". *보존과학회지*, 9, p40-47, (2000).
- 김수철, 박원규, 이용희, "PEG처리 후 동결건조한 수침고목재의 습도조건에 따른 상태변화". *보존과학회지*, 16, p110-118, (2000).
- 이용조, "서해안고속도로건설구간 유적발굴조사 보고서 (3)". 단국대학교 중앙박물관, p402-403, (1995).
- 박상진, 이종윤, 조남식, 조병목, "목재과학실험서". 광일문화사, (1993).