

# PEG처리 수침고목재의 조습건조

이광희<sup>1</sup> | 김수철\* | 박원규\*\*

영남문화재연구원 보존처리팀, \*국립중앙박물관 보존과학팀, \*\*충북대학교 목재·종이과학과

## Humidity-Controlled Drying of PEG-Treated Waterlogged Woods

Kwang-Hee Lee<sup>1</sup> | Soo-Chul Kim\* | Won-Kyu Park\*\*

Conservation Team, YeongNam Institute of Cultural Properties, Chilgok-gun, 718-912, Korea

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

\*\*Paper and Wood Science Major, Chungbuk National University, Chungju, 361-763, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author: bluesea044@hanmail.net, +82-10-8816-3255

**초록** 본 연구에서는 열화된 소나무류를 대상으로 PEG 처리 후 조습건조시 적정 PEG농도, 습도 및 시간을 조사하고자 하였고, 조습건조과정 중 치수안정화 효과를 진공동결건조 및 자연건조한 것과 비교하였다. 조습건조에서 PEG의 농도가 높을수록 건조시간이 단축되었으며 치수안정성이 우수하였다. 저농도(40%, 50%) PEG 함침 후 조습건조는 치수안정화 효과가 적었고 목재표면 및 내부에 갈라짐이 발생하였으며 PEG의 분포가 불균일하였다. 고농도(60%, 70%) PEG 함침 후 조습건조를 하였을 때 목재의 표면은 흑화현상으로 인해 색은 어두워졌으나, 저농도(40%) PEG 함침 후 진공동결 건조한 것과 비교하여 거의 동일한 치수안정화 효과를 나타내었다. 따라서 대형발굴수침고목재의 보존처리시 진공동결 건조가 불가능할 경우 고농도 PEG(70%) 함침 후 조습건조하는 방법이 가능하고, 이때 건조습도와 건조시간을 충분히 고려해서 건조해야 함을 알 수 있었다.

**중심어:** 수침고목재, 조습건조, PEG, 치수안정성, 건조시간, 건조습도, 상대습도

**ABSTRACT** This study is to examine the PEG concentration, and drying humidity and drying periods of humidity-controlled drying(HCD) for conservation of waterlogged woods(*Pinus densiflora* S. et Z.), and dimension stability of HCD were compared with those of air-drying and vacuum freeze-drying(VFD). Dimension stability of vacuum freeze-drying was the most excellent, i.e., PEG crystal was uniformly distributed in woods. Increasing concentrations of PEG, dimension stability of HCD was increased and drying periods decreased. Dimension stability of HCD after the treatment with the high concentration(70%) of PEG soaking was similar to those of VFD after the treatment with the low concentration(40%) of PEG soaking. In conclusion, high concentration(about 70% in water) PEG solution was the most suitable as a pre-treatment for HCD of waterlogged woods. However, drying should be maintained with enough high humidity and longer period.

**Key Words:** Waterlogged wood, Humidity-controlled drying, PEG, Dimension stability, Drying periods

### 1. 서론

수침고목재는 오랜 매장기간 동안 목재 부후균과 세균

등에 의해 열화 되어 목재의 세포벽은 거의 대부분 분해되어 없어지고, 수분으로 포화되어 형태만 유지하고 있다. 이러한 수침고목재가 아무런 처리 없이 외부에 노출되면 수

축되어 형태를 알아볼 수 없이 변형된다. 따라서 출토된 수침고목재에 처리제를 침투·확산 시켜 재질을 강화하는 보존처리가 필요로 된다.

수침고목재의 보존처리에는 크게 2단계, 즉 처리제를 침투확산 시키는 함침처리 단계와 함침처리 후 건조하는 단계로 나눌 수 있다.

현재 국내의 수침고목재 내부에 약제를 침투확산 시키는 방법으로는 PEG 함침법<sup>1,2</sup>, PEG 2 step함침법<sup>3</sup>, sucrose 처리법<sup>4</sup>, 고급알콜법<sup>5</sup> 등이 적용되고 있으며 이 방법 중 처리가 쉬운 수용성 PEG 함침법이 가장 많이 적용되고 있다. 수용성 PEG 함침법은 처리 시 금속의 산화 및 부식, 처리 후 흑화현상 및 고습도에서의 용출 및 흡습성 등의 문제점이 있지만<sup>6</sup>, 가격이 저렴하고 대량처리가 용이하며 치수안정화 효과 및 저농도 처리시 실온에서 가능하다는 장점이 있다<sup>7</sup>.

PEG함침 처리 후의 건조방법으로는 자연건조, 진공동결건조, 조습건조 등이 있다. 칠기나 목기 같은 소형 유물의 경우에는 진공동결건조가 가장 많이 적용되고 있다. 진공동결건조는 건조과정 중 응력이 발생하지 않으므로 목재가 건조 중 변형이 적고, 건조 후 재처리시 처리 전 상태로 복원이 용이하며 유물의 원래 색을 유지하는 장점이 있다<sup>7</sup>. 하지만 진공동결건조기 사용시 전력이 많이 소요되며, 소형유물에만 적용할 수 있다는 단점이 있다. 따라서 선박 같은 대형유물의 경우에는 PEG 처리 후 자연건조가 대부분 적용되고 있다. 자연건조는 고농도로 약제 함침 후 서늘한 곳에서 장시간 건조시키는 방법으로 건조시 다른 설비 및 장비 없이 저 비용으로 건조할 수 있다는 장점이 있지만 장시간동안 약제함침과 건조 후 건조결함이 흔히 발생한다.

조습건조는 이러한 자연건조방법의 단점을 보완하기 위한 방법으로 자연건조에 비해 수축변형이 적어 치수안정화 효과가 높고 약제함침기간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

현재 국내에서 수침고목재의 처리에 대한 연구는 진공동결건조에 대한 연구에 집중되어 많은 원리들이 보고되어 있다. 진공-동결건조를 위한 수침고목재의 PEG전처리 농도 및 용매 설정에 대한 연구가 이루어졌으며<sup>7</sup>, PEG 및 sorbitol 처리 후 진공동결건조에 의한 수침고목재의 치수안정화에 대해 연구되었다<sup>8</sup>. 반면 대형목재보존에 필요한 조습건조 방법은 현재 일부 경험적으로 실시되고 있는데, PEG 약제 함침 후 비닐로 밀봉하여 습도를 조절하며 장시간 건조하는 방법이다. 조습건조에 대한 체계적인 연구는 국내는 물

론 외국에서도 거의 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 대형 수침고목재 중 선체편에 대한 보존처리 예비연구로 대형목재를 모사한 소형시편을 제작 후 PEG를 약제로 하여 저농도(40%)에서 고농도(70%)까지 약제처리된 시편을 조습건조하여 자연건조와 진공동결건조한 시편과 치수안정성을 비교하였으며, 가장 적합한 PEG농도와 건조습도에 따른 건조시간을 조사하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

본 연구에 사용된 공시목은 통일신라시대의 유적에서 발굴된 목재로 수종은 소나무류(*Pinus densiflora* S. et Z.)이다. 이 목재는 평균함수율이 약 370%, 평균 기본밀도가 0.35 g/cm<sup>3</sup>으로 열화가 많이 진행된 수침고목재이다. 이러한 부후조건이 대형수침고목재의 열화상태를 잘 모사하고 있는 것으로 판단되었다. 길이 114.8cm, 직경이 20cm인 목재를 변재부만을 이용하여 길이방향으로 10cm간격의 직사각형의 각재를 만든 후 Fig. 1에서처럼 1(R)×5(T)×10(L)cm의 크기로 35개를 만들어 시편으로 사용하였다. 이 크기는 대략 두께가 20cm, 폭 100cm, 길이 200cm되는 통나무배나 선체편을 1/20 축소한 모형으로 생각하여 제작하였다.

### 2.2. 방법

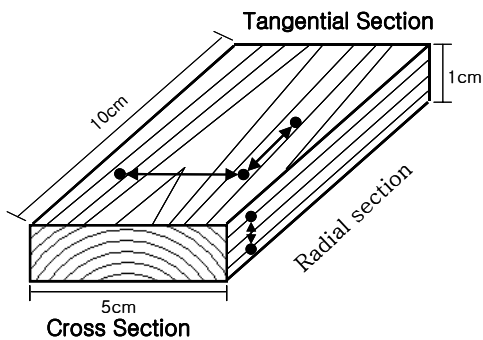
#### 2.2.1. 약제처리

비교하고자 하는 약제 처리방법은 7가지로 하였다. 우선 PEG 전처리 후 조습건조(HCD), PEG 전처리 후 진공동결건조(VFD), 그리고 PEG 처리 후 자연건조(ND)하는 3종류로 나눌 수 있다. 그리고 대조구로써 PEG전처리 없이 자연건조하는 방법이 추가되었다(ND00)(Table 1).

진공동결건조 시편은 이전 연구결과<sup>7</sup>에서 진공동결건조시 치수안정성이 가장 뛰어난 농도가 40%였기 때문에 진공동결건조를 위한 최종 농도를 PEG 40%로 정하였고(VFD40), 자연건조 시편은 보존처리시 일반적으로 80%까지 약제처리하기 때문에 자연건조를 위한 최종농도는 PEG 80%로 정하였다(ND80). 조습건조는 PEG#3,350을 40%, 50%, 60%, 70%까지 농도를 함침하여 시편으로 사용하였고, 자연건조에 비해 약제함침 기간 단축과 치수안정화 효과 비교를 하기 위해 PEG 80%까지는 함침하지 않았다. 시편의 PEG농도는 10~30%까지 2주 간격, 40~80%까지는 4

**Table 1.** Treatment methods.

PEG#3350 final-step concentration(%)	Drying methods	Treatment identification
40		HCD40
50	Humidity controlled drying(HCD)	HCD50
60		HCD60
70		HCD70
40	Vacuum freeze drying (VFD)	VFD40
80	Natural drying(ND)	ND80
Untreated	Natural drying	ND00



**Figure 1.** Sample and the directions of shrinkage measurements.

주 간격으로 10%씩 상승시켜 함침처리 하였다. PEG 함침 처리는 최외각 변재부 35개를 선별하여 각 처리별(총 7처리: 무처리 포함)로 5개씩 선정하고 45℃의 함침조에 넣어 처리하였다.

**2.2.2. 건조**

건조방법은 자연건조, 진공동결건조, 조습건조 등 총 3가지 방법으로 건조하였다. 자연건조는 평균 기건상태인 20℃, 60%의 항온항습기에서 건조하였다. 중량감소 및 수축이 더 이상 감소하지 않을 때 건조를 종료하였다.

진공동결건조는 전처리로 -40℃의 급속동결기(Deep Freezer, Ilshin Gudero)에 넣어 48시간 동안 동결한 후 진공동결건조기(Vacuum Freeze Dryer, Ilshin Bondiro)의 chamber에 넣고 온도 센서를 시편표면에 고정시킨 후 건조를 하였다. 건조조건은 chamber온도를 -40℃, cold trap온도는 -80℃로 설정하였다. -40℃에서 48시간동안 건조하였으며, -30℃부터는 24시간 동안 건조하였고 건조종점은 선반온도 0℃, 시편의 온도가 10℃ 일 때로 하였다. 총 건조시간은 168시간이었다.



**Figure 2.** A machine for auto-matically measuring in humidity control chamber.

조습건조는 조습건조기(TH-180, JEIO TECH)에서 실시하였다(Figure 2). PEG 3,350 40%, 50%, 60% 함침한 시편은 Chamber 온도를 20℃, 상대습도 90%에서부터 건조를 실시하였으며, PEG 3,350 70% 함침한 시편은 상대습도 80%에서부터 건조를 실시하였다. 시편의 중량과 수축량을 30분마다 측정하여 중량변화율이 0.05%이내, 수축이 더 이상 발생하지 않을 때 상대습도를 10%씩 감소하였으며, 상대습도 60%에서 건조를 종료하였다.

**2.2.3. 중량변화율 및 수축률 측정**

함침처리기간 중 PEG의 침투·확산 정도를 측정하기 위해 시편의 중량을 24시간마다 저울로 0.01g 단위까지 측정하였고, 건조 후 중량을 측정하여 처리 전과 처리 후의 중량 변화를 알아보았다. 중량변화율은 다음의 식으로 계산하였다.

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

*W<sub>a</sub>*(weight after treatment) : 함침 후 시료 중량, 건조전 중량(g)

*W<sub>b</sub>*(weight before treatment) : 함침 전 시료 중량, 건조후 중량(g)

PEG 함침처리 후 건조한 시편의 치수안정화 효과를 비교하기 위해 수축률을 측정하였다. Figure 1에서 보듯이 시편의 삼방향에 측정용 핀(직경 0.5mm)을 꽂아 접선단면에는 접선방향과 길이방향 그리고 방사단면은 방사방향으로 구분하여 PEG 함침 전과 건조후의 길이를 연륜폭 측정기(LINTAB)를 사용하여 삼방향의 수축률을 측정하였다. 또한 5개중 1개의 시편을 특별히 제작된 수축률 측정기(PRECISION

INDICATOR ML-4P2)를 사용하여 0.001mm 단위로 측정하였다(Figure 2). 이 방법은 핀을 꽂아 측정하는 방법에 비해 센서에 접촉한 상태에서 연속적으로 길이가 측정되기 때문에 매우 정밀하다.

$$\text{수축률(\%)} = \frac{lb - lt}{lb} \times 100$$

*lb*: 건조 전 길이(mm), *lt*: 건조 후 길이(mm)

### 2.2.4. 조습건조시 PEG처리농도와 습도에 따른 건조시간

조습건조시 PEG처리농도와 습도변화에 따른 건조시간을 측정하여 PEG 처리 농도에 따른 건조 스케줄을 작성하고자 하였다. 중량변화는 2시간 마다 측정된 값을 이용하였고 수축률은 3시간마다 측정된 값을 이용하였다. 상대습도의 감소는 중량이 0.05%의 변화가 없고 수축이 이루어지지 않을 때 실시하여 외부의 상대습도와 목재내부의 함수율이 평형이 되는 시간과 총 건조시간을 측정하였다.

## 3. 결 과

### 3.1. 중량변화율

#### 3.1.1. 함침 중 중량변화율

저농도 PEG 수용액(10~30%)에서는 매 농도 증가에 따라 약 1.5~2%의 중량이 증가하였으며, 매일 약 0.05%의 중량의 증감이 반복되었다. 고농도 PEG 수용액(50~80%)으로 처리한 후에는 매 농도증가에 따라 약 1~1.5%의 중량의

증가하였으며 매일 0.1~0.2%의 중량의 증감이 반복되었다. 저농도인 10~30%의 PEG수용액에서는 침투 확산이 급속히 일어나 평형상태를 이루지만 고농도일때에는 침투 확산이 천천히 일어나는 것으로 보인다. 따라서 저농도에서 보다 고농도 함침처리시에 함침기간이 더 요구되는 것을 알 수 있었다.

#### 3.1.2. 조습건조 중 중량변화율

PEG 40% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 90%에서 약 18.3%의 중량감소를 보였으며, RH 80%에서 13.5%, RH 70%에서는 6.3%, 최종 RH 60%에서는 5.2%의 중량감소를 보였다. 상대습도가 낮아질수록 중량감소가 적어지는 것이 확인되는데 이는 건조 초기에 목재 표면에 있는 수분은 급속히 상대습도와 평형을 이루어 중량감소가 높으나 목재표면에 존재하는 수분이 감소된 상대습도 70%이하에서는 목재 내부의 수분이 서서히 증발하기 때문에 중량감소가 적어지는 것으로 보인다.

PEG 50% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 90%에서 약 3.1%의 중량감소를 보였으며, RH 80%에서 15.9%, RH 70%에서는 7.2%, 최종 RH 60%에서는 4.3%의 중량감소를 보였다. 초기 RH 90%에서 보다 RH 80%에서의 중량감소가 많은 것을 볼 수 있는데, 이는 수분과 PEG의 양이 같고 그에 따라 수분이 증발하는 것과 PEG가 수분을 흡습하는 양이 비슷하여 중량감소가 적고 RH 80%에 도달함에 따라 PEG가 흡습하는 수분이 건조되는 수분보다 적어져 중량감소가 많아진 것으로 보인다.

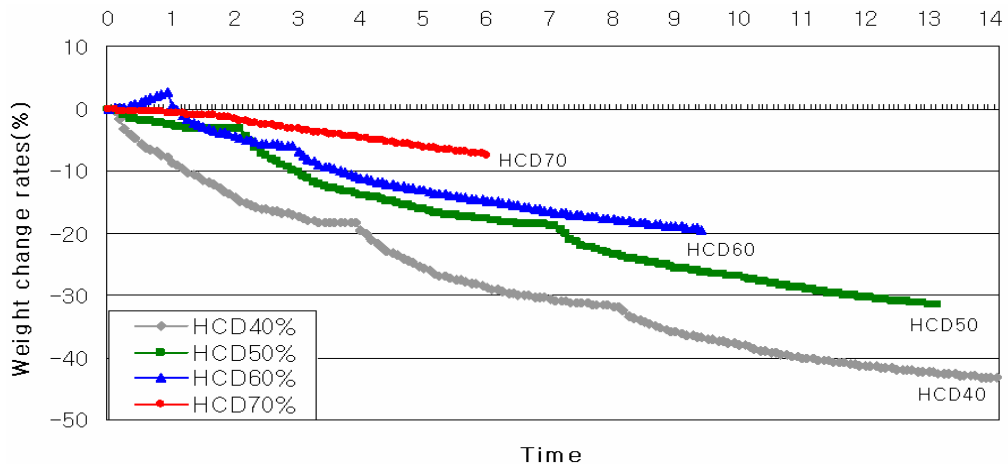


Figure 3. Compared of weight change rates for humidity-controlled dried samples pre-treated with PEG 40%, 50%, 60%, 70% solution.

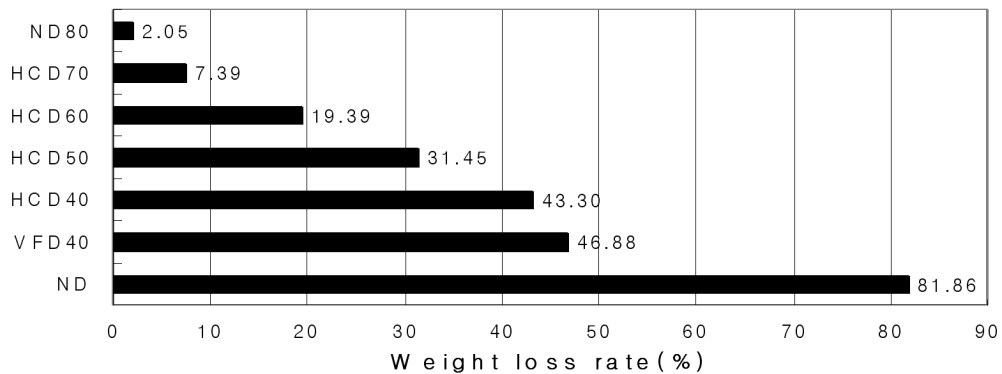


Figure 4. Weight loss rates from waterlogged samples to final dried samples.

PEG 60% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 90%에서 약 2.62% 중량감소를 보였으며, RH 80%에서 6.1%, RH 70%에서는 8.9%, 최종 RH 60%에서는 4.4%의 중량감소를 보였다. 초기 RH 90%에는 중량이 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 PEG의 흡습성으로 인해 수분을 흡수하는 양이 건조되어 수분이 증발하는 양보다 더 많기 때문으로 보인다.

PEG 70% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 PEG 60% 함침한 시편이 RH 90%에서 건조가 되지 않았으므로 RH 80%에서 건조를 시작하였다. RH 80%에서는 약 1.29%의 중량감소를 보였으며 RH 70%에서는 3.53%, RH 60%에서는 2.57%의 중량감소를 보였다. 초기 RH 80%에서는 거의 중량변화율이 없었고 RH 70% 이하에서 건조가 진행되었으며 RH 70%와 RH 60%에서 수분이 건조되는 양은 거의 비슷하였다.

각 PEG 농도별로 조습건조하여 나타난 평균 중량변화율을 Figure 3에 나타내었다. PEG 농도가 낮아질수록 약 12%의 중량이 일정하게 감소되었으며 각 상대습도에서의 중량감소의 폭도 줄어들었다. 이는 PEG 함침 중 목재내부에 PEG의 침투가 평형을 이루었다는 것과 건조가 완료되었다는 것을 알 수 있다.

### 3.1.3. 건조 후 중량변화율

처리 전 중량과 건조 후 중량 변화는 Figure 4에 나타낸 바와 같이 무처리 후 자연건조한 시편은 81.9%의 중량감소를 나타내었다. PEG 40% 수용액 함침처리 후 진공동결 건조한 시편의 경우 46.9%의 중량감소를 나타냈고, PEG 40% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 43.3%, PEG 50% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 31.5%, PEG

60%는 19.4%, PEG 70%는 7.4%의 중량감소율을 나타내었으며 PEG 80% 수용액 함침처리 후 자연건조한 시편은 2.05%의 중량감소율을 나타내었다.

PEG 40% 함침처리 후 동결건조한 시편의 중량감소율이 조습건조한 시편의 중량감소율보다 다소 더 높은 것을 확인할 수 있는데 이는 동결건조한 시편의 경우 목재내에 수분이 거의 존재하지 않으며(5% 미만) 조습건조한 시편은 목재내 수분이 RH 60%에서 평형을 이루었기 때문에 수분이 목재내에 잔존하고 있는 것으로 나타낼 수 있다. 또한 PEG 함침 처리 후 조습건조한 시편에서 PEG의 함침농도가 증가함에 따라 약 12%씩의 중량이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 목재내에 물보다 비중이 높은 PEG의 양이 많고, PEG의 흡습성으로 인해 수분을 많이 흡수하고 있기 때문으로 볼 수 있다.

## 3.2 수축률

### 3.2.1. 현생목재와 무처리 자연건조 시편의 수축률

PEG 전처리 없이 자연건조한 시편의 경우 심하게 찌그러져 수축하였고 갈라짐이 발생하였으며, 접선방향은 54%, 방사방향은 25%, 섬유방향은 8%의 수축률을 보였다. 우리나라 현생 소나무의 기건 수축률이 평균 접선방향 9.11%, 방사방향 4.88%, 길이방향 0.31%인 것<sup>9)</sup>과 비교하여 보면 시편의 접선방향과 방사방향의 수축률이 현생재보다 6배 정도 큰 것으로 나타났으며 섬유방향의 수축률은 현생재보다 거의 26배정도 큰 것으로 나타났다. 따라서 수침목재를 처리하지 않고 건조하였을 때 섬유방향의 수축률 증가가 가장 많으나 접선방향과 방사방향의 수축되는 양에 비해서는 매우 적은 차이를 나타낸다.

**3.2.2. 조습건조 중 수축률**

PEG 40% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 90%에서 삼방향 수축률이 5.3%를 나타냈으며, RH 80%에서 3.6%, RH 70%에서는 3.5%, 최종 RH 60%에서는 1.7%의 수축률을 나타내었다. 중량변화율과 마찬가지로 상대습도가 낮아질수록 수축률이 적어지는 것을 볼 수 있다.

PEG 50% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 90%에서 1.4%의 삼방향 수축률을 나타냈으며, RH 80%에서는 3.4%, RH 70%에서는 3.2%, 최종 RH 60%에서는 2.4%의 수축률을 나타내어 RH 80%에서 가장 많은 수축률을 나타내었다.

PEG 60% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 90%에서 0.3%의 삼방향 수축률을 나타냈으며, RH 80%에서는 1.8%, RH 70%에서는 3.4%, 최종 RH 60%에서는 1.6%의 중량감소율을 보였다. 특히 초기 RH 90%에서는 중량이 증가하였으며 수축률은 0.3%로 미미한 수축이 일어나는 것을 나타내었다. 이는 RH 90%에서 PEG의 흡습성으로 인해 중량은 증가하지만 목재의 수분이 상대습도와 평형을 이루기 위해 약간의 건조가 되는 것으로 보인다.

PEG 70% 수용액 함침처리 후 조습건조한 시편은 초기 RH 80%에서 1.93%의 삼방향 수축률을 나타냈으며, RH 70%에서는 1.75%, 최종 RH 60%에서는 1.11%의 수축률을 보였다. RH 80%에서 가장 적은 중량감소를 보였지만 수축률에서는 가장 큰 수축률을 나타냈다.

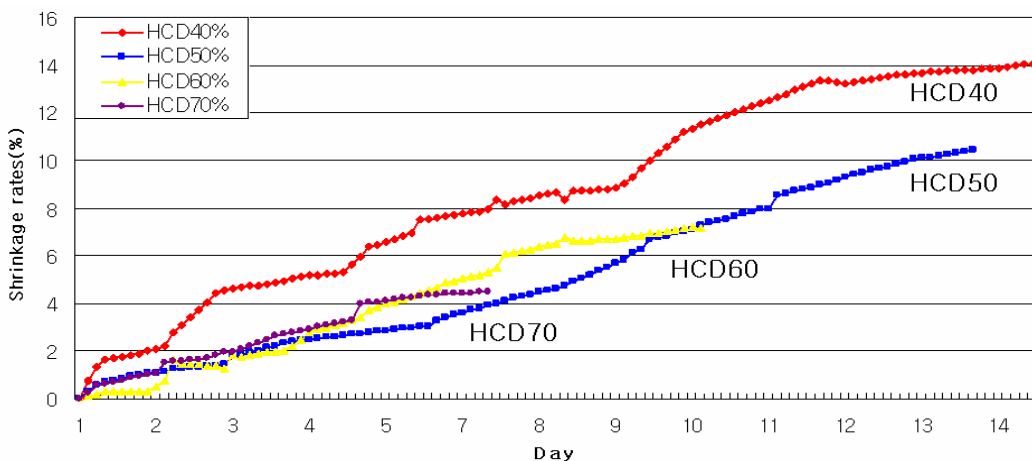
각 PEG 농도별로 조습건조하여 나타난 평균 수축률을 Figure 5에 나타내었다. PEG 농도가 낮아질수록 약 2.5~3.5%의 수축률이 증가하였으며 각 상대습도에서의 수축량

의 폭도 감소하였다.

**3.2.3. 건조 후 수축률**

Figure 6에 나타난 바와 같이 동일한 PEG 40% 함침처리 후 진공동결건조와 조습건조한 시편의 경우 진공동결건조한 시편의 삼방향 수축률은 3.6%인 것에 반해 조습건조한 시편은 14%로 약 4배정도 조습건조한 시편이 수축률이 큰 것을 나타냈다. PEG 50% 함침처리 후 조습건조한 시편의 삼방향 수축률은 10.4%로 같은 조습건조한 시편에 비해 4% 정도 수축률이 감소하였으며, PEG 60% 함침처리 후 조습건조한 시편의 삼방향 수축률은 7.1%로 진공동결건조한 시편에 비해 2배 정도 수축률이 더 큰 것을 확인하였다. PEG 70% 함침처리 후 조습건조한 시편의 삼방향 수축률은 4.5%로 진공동결건조한 시편에 비해 약 1%가 크지만 거의 동일한 수축률을 나타난 것을 확인하였다. PEG 80% 처리 후 자연건조한 시편은 삼방향 수축률이 8%로 비교적 높은 수축률이 나타났는데 이는 조습건조에 비해 급속히 건조가 진행되어 세포벽의 수축이 발생된 것으로 생각된다.

건조 후 시편의 외형은 PEG 40% 함침처리후 동결건조 시편이 거의 변함없는 것에 비교하여 PEG 40%, 50% 함침처리 후 조습건조한 시편은 갈라짐과 접선방향의 굽음이 발생하였지만 PEG 60%, 70% 함침처리 후 조습건조한 시편은 갈라짐과 휘어짐이 거의 없었으나 농도가 짙어질수록 흑화현상이 더 심해지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 농도가 짙어질수록 건조후에 PEG가 목재의 표면과 내부에 큰 결정으로 응착되어 남아있기 때문에 빛을 분산시키지 못해 나타나는 현상으로 생각된다.



**Figure 5.** Shrinkage rates of humidity-controlled dried samples(pre-treated with PEG 40%, 50%, 60%, 70% solution).

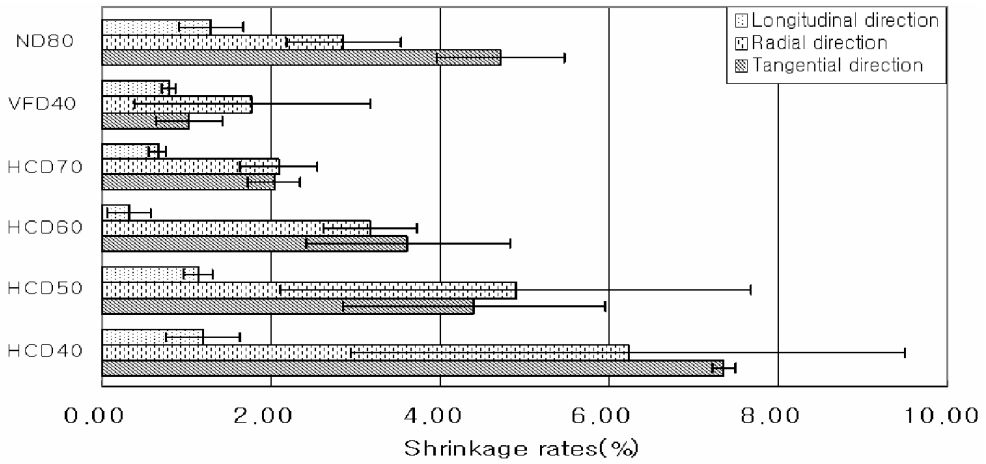


Figure 6. Shrinkage rates of each treatment in three directions(The bars represent a standard deviation).



Figure 7. Natural dried samples(untreatment: ND00; left-before drying, right-after drying).



Figure 8. Vacuum freeze dried samples(pretreatment: PEG 40%; VFD40; left-before drying, right-after drying).



Figure 9. Humidity-controlled dried samples(pretreatment: PEG 40%; HCD40; left-before drying, right-after drying).



Figure 10. Humidity-controlled dried samples(pretreatment: PEG 50%; HCD50; left-before drying, right-after drying).



Figure 11. Humidity-controlled dried samples(pretreatment: PEG 60%; HCD60; left-before drying, right-after drying).



Figure 12. Humidity-controlled dried samples(pretreatment: PEG 70%; HCD70; left-before drying, right-after drying).



Figure 13. Natural dried samples(pretreatment: PEG 80%; HCD80; left-before drying, right-after drying).

### 3.3. 조습건조시 PEG처리농도와 습도에 따른 건조시간

각 농도별로 약제함침 후 조습건조시 PEG처리농도와 습도에 따른 건조시간을 알아보려고 하였다. Table 2에서 보듯이 PEG농도가 높을수록 각 상대습도에 평형을 이루는 시간이 단축되거나 동일한 시간이 걸렸으며 총 건조시간도

단축되었다. 하지만 PEG 40% 함침 후 조습건조한 시편의 경우 RH 70%에서 건조된 시간이 다른 PEG농도의 조습건조한 시편에 비해 매우 짧은 것을 볼 수 있는데, 이는 수축률 측정기로 변형이 없을 때 습도를 감소하였는데 여기에 따른 오차에 의해 빠른 시간내에 상대습도를 감소한 것으로 생각된다.



**Table 2.** Drying time concerned with relative humidity and PEG concentration in humidity-controlled drying.

	HCD40	HCD50	HCD60	HCD70
RH 90%	94h	48h	23h	-
RH 80%	99h	97h	24h	44h
RH 70%	24h	72h	75h	51h
RH 60%	96h	72h	72h	48h
Total drying time	313h (14 day)	289h (13 day)	194h (9 day)	143h (7 Day)

저농도 PEG 40%, 50% 함침 후 조습건조한 시편의 경우 RH 80%에 평형을 이루는 시간이 각각 99시간, 97시간으로 각각의 상대습도에 평형을 이루는 시간과 비교하여 가장 오랜 건조시간이 걸렸으며 고농도 PEG 60%, 70% 함침 후 조습건조한 시편은 RH 70%에 평형을 이루는 시간이 각각 75시간, 51시간으로 가장 오랜 건조시간이 걸렸다. 또한 총 건조시간에서도 저농도 PEG 40%, 50% 사이에는 많은 차이가 나지 않지만 고농도 PEG 60%, 70%와의 차이는 약 90시간 이상 차이가 났다. 이는 목재내에 잔존하고 있는 수분의 양의 차이에 의해 건조시간이 차이가 존재하며, 또한 고농도 PEG에서는 PEG의 흡습성으로 인해 상대습도 90% 이하에서 건조가 되기 때문이다.

#### 4. 고찰 및 결론

수침고목재의 보존처리시 사용되어지는 건조 방법 중 PEG 약제 처리 후 조습건조하는 방법에 대해 적정 PEG 농도, 건조습도 및 건조시간을 설정하기 위하여 PEG 농도를 40%에서 70%까지 다양하게 함침처리한 후 조습건조한 시편을 고농도 PEG 80% 함침 후 자연건조한 시편과 저농도 PEG 40% 함침 후 진공동결건조한 시편의 치수안정성을 비교하였으며 PEG농도와 습도에 따른 적정 처리시간을 설정하고자 하였다.

PEG 40% 함침 후 진공동결건조하는 방법이 조습건조하는 방법에 비해 치수안정성이 더 우수하였고 처리전에 비해 색이 더 밝아졌으며 PEG의 분포도 고르게 분포하고 있었다. 조습건조는 PEG의 농도가 높을수록 건조시간이 단축되었으며, 치수안정성이 우수하였다. 저농도 PEG 40%, 50% 함침 후 조습건조한 시편은 낮은 치수안정성과 목재표면에 갈라짐이 발생하였으며, 고농도 PEG 60%, 70% 함침 후 조습건조한 시편은 처리 후 흑화현상으로 인해 색이 어두워지며 진공동결건조한 시편의 수축률보다 크지만 PEG

70% 함침 후 조습건조한 시편은 PEG 40% 함침 후 진공동결건조한 시편과 수축률이 약 0.8%의 차이로 거의 동일한 치수안정화 효과를 나타내었다. 따라서 대형발굴수침고목재의 보존처리시 진공동결건조가 불가능할 경우 고농도 PEG 70% 함침 후 조습건조하는 방법이 가능하며 특히 건조습도와 건조시간을 충분히 고려해서 건조해야 한다.

본 연구에서는 부후된 소나무재에 대해 PEG 고농도 함침 후 조습건조하는 방법이 진공동결건조에 비해 충분한 치수안정성을 가지고 있다는 것과 자연건조보다 낮은 농도 즉 약제함침기간을 단축할 수 있다는 것을 제시하였다. 하지만 대형의 수침고목재 보존처리시에는 대형조습건조기가 필요로 되며 그에 따른 비용도 높을 것으로 생각된다.

따라서 대형수침고목재의 조습건조시에는 약제함침 후 수조내에 약제를 제거한 상태에서 밀봉하여 지속적인 습도 측정과 가습이 요구되며 유물의 크기에 따라 건조기간을 설정하여 건조가 이루어져야 한다. 또한 침엽수 뿐 만 아니라 비교적 건조가 어려운 활엽수에 대한 연구도 필요로 된다고 생각된다.

#### 참고문헌

1. 최광남, "신안침물선체의 구조적 특징과 과학적인 보존처리". *보존과학연구*, 5, p140-145, (1986).
2. 김익주, "진도통나무배의 재질특성과 보존처리". 진도벽파리 통나무배 발굴조사 보고서, 목포해양유물보존처리소, p121-131, (1993).
3. 김경수, 이용희, "수침목재의 동결건조 시험보고". *박물관보존과학*, 1, p27-36, (1999).
4. 강애경, 박상진, "수침출토목재의 PEG4000과 Sucrose처리에 따른 변화". *보존과학회지*, 5, p3-14, (1996).
5. 이효선, 강애경, 박상진, "수침목재의 PEG, 락티톨, 슈크로스 처리에 의한 치수안정화 효과". *보존과학회지*, 8, p28-32, (1999).
6. Grattan, D. W. and Clarke, R. W, "Conservation of Waterlogged wood-The use of sugar-in C Person". *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Butterworths, London, p167-169, (1987).
7. 김수철, "수침고목재의 동결건조를 위한 PEG 전처리 농도 및 용매 설정". 충북대학교 대학원 임산공학과 석사학위논문, (2003).
8. 김경수, "폴리에틸렌글리콜 및 Sorbitol 처리후 진공동결건조

조에 의한 수침고목재의 치수안정화". 충북대학교 대학원  
임산공학과 석사학위논문, (2002).

9. 이필우, "한국산 목재의 용도와 구조". 서울대학교 출판부,  
(1997).