

# 수침고목재의 처리조건에 따른 PEG 침투상태

이경철 | 이종신\*<sup>1</sup>

국립부여박물관, \*충남대학교 환경소재공학과

## Penetration of PEG by Treatment Condition of Waterlogged Wood

Gyeong-Cheol Lee | Jong-Shin Lee\*<sup>1</sup>

Buyeo National Museum, Buyeo, 323-806, Korea

\*Department of Biobased Materials, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea

<sup>1</sup>Corresponding Author: [lee\\_js@cnu.ac.kr](mailto:lee_js@cnu.ac.kr), +82-42-821-5757

**초록** 최대흡수율 660%, 전건비중 0.15의 소나무를 대상으로 처리조건에 따른 PEG 침투상태를 알아보고자 하였다. PEG 용매, 함침농도, 함침기간, 함침온도에 따른 중량변화율을 구하고 SEM을 이용하여 목재 세포 내부의 PEG 침투상태를 관찰하였다. 그 결과 PEG의 침투에 용매는 큰 영향을 미치지 않았다. 함침농도는 고농도에서 중량증가율이 높았고, 함침기간은 20일에서 가장 큰 중량증가율을 보였으며, 함침온도에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다. 이를 토대로 PEG를 이용한 최대흡수율 660%의 소형 수침고목재의 처리 시 20일 정도의 함침기간으로 충분한 PEG 침투효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

**중심어:** 수침고목재, PEG, PEG 침투성

**ABSTRACT** This study was conducted to investigate the penetration of PEG for conservation treatment conditions of archaeological waterlogged wood. The weight percent gain was examined, depending on the solvent of PEG, concentration and treatment period and temperature of treatment solutions. The penetration of PEG in the cell lumina of treatment woods was observed by scanning electron microscope. The results showed that the type of solvents had no influence on PEG penetration. In the concentration of the PEG treatment solutions, the weight percent gains (WPGs) were increased with increase in concentration of PEG. In terms of the period of the soaking treatment, a maximum WPGs were obtained for only 20 days. There was no distinctive difference in the WPGs by difference the temperature of the treatment. In conclusion, in the conservation of small size of archaeological waterlogged wood, it is confirmed that optimal solvent type and treatment period of PEG are water and 20 days, respectively.

**Key Words:** Waterlogged wood, PEG, Penetration of PEG

### 1. 서론

수침고목재는 대기와의 접촉이 차단된 상태가 지속적

으로 유지되는 환경에서 목재의 주성분인 cellulose, hemicellulose 등이 연부후균과 혐기성 세균에 의해 분해되어 목재 내 세포 및 공극이 수분으로 가득 채워져 형태만

**Table 1.** Treatment condition of PEG.

Solvent	Water	T-butanol
	10days-20%-RT	10days-20%-30℃
	10days-20%-40℃	10days-20%-50℃
	10days-40%-RT	10days-40%-30℃
	10days-40%-40℃	10days-40%-50℃
Treatment Condition (3 samples of each condition)	20days-20%-RT	20days-20%-30℃
	20days-20%-40℃	20days-20%-50℃
	20days-40%-RT	20days-40%-30℃
	20days-40%-40℃	20days-40%-50℃
	30days-20%-RT	30days-20%-30℃
	30days-20%-40℃	30days-20%-50℃
	30days-40%-RT	30days-40%-30℃
	30days-40%-40℃	30days-40%-50℃

을 유지하고 있다(Lee, 1997). 따라서 발굴되어 공기 중에 노출되면 급격한 수축과 변형을 일으켜 본래의 형태를 상실하기 때문에 반드시 적절한 보존처리가 수행되어야 한다(Kim, 1993).

그러나 수침고목재의 보존처리의 변수는 PEG의 분자량, 목재 내에 실제 침투된 PEG량, 침투에 소요되는 시간 등이며, 이들은 처리대상 목재의 열화정도 및 종(種)에 따라서 서로 다른 화학적·구조적 기본특성에 의해 영향을 받는다(Kim, 1991). 이는 수침고목재의 처리가 일률적인 조건을 적용하여 이루어 질 수 없음을 의미한다. 따라서 수침고목재의 처리 시 제한요인의 변수를 줄여나가기 위해서는 다양한 조건의 실험을 통한 데이터 구축이 필요하다고 생각된다.

이에 따라 본 연구는 현재 널리 사용되고 있는 PEG 함침-진공동결건조방법을 이용하여 최대함수율 660%인 소나무의 최적 처리 조건을 규명하는데 목적을 두고 수행하였다. 특히, PEG 용매의 종류, PEG 농도, 처리 온도와 시간 등의 처리 조건 별로 PEG의 침투량, 처리 목재 내에서의 PEG 침투상태를 관찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

재료는 (재)부여군문화재보존센터에서 발굴한 부여 가담리 백제유적에서 출토된 직경 20~25cm, 길이 70~80cm의 소나무 말목(末木) 3점을 사용하였으며 최대함수율은 660%(생재평균함수율 변재 145%, 심재 37.4%), 전

건비중은 0.15(건건재 평균 전건비중 0.44~0.45)였다(Lee, 2008). 이 시료를 이용하여 길이방향으로 5cm disk를 제작한 후 2(R)×2(T)×5(L)cm의 각 처리조건별 3개씩 총 72개의 시료를 제작하였다.

### 2.2. PEG 함침-진공동결건조 처리 중량변화율

PEG 용매(溶媒), 함침기간, 함침농도, 함침온도를 달리 하여 각 조건별 3개의 시편을 동시에 침적시켜 실험을 실시하였으며 PEG 함침 완료 후 진공동결건조를 실시하였다(Table 1). -50℃의 예비동결기(DF9010, Ilshin)를 이용하여 시료 내부에 존재하는 수분과 PEG 용액을 완전히 동결시킨 후 진공동결건조기(PVTFD10R, Ilshin)를 이용하여 선반온도 -40℃, 챔버온도 -75℃, 진공도 5mTorr의 조건에서 진공동결건조를 실시하였다.

처리 과정 중 시료의 중량변화와 PEG용액 침투의 상관관계를 알아보기 위하여 중량변화를 측정하였다. 물을 용제로 사용한 경우 처리 전, PEG 치환 후의 중량을 3개의 시편에서 각각의 중량변화율을 구한 후 평균중량변화율을 구하였다.

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

$W_a$  : PEG 치환 후 중량,  $W_b$  : 처리 전 중량

T-butanol의 경우 탈수의 과정을 거치기 때문에 순수 PEG 침투량 파악을 위해 1차치환(Ethanol→T-butanol)과 2차치환(T-butanol→PEG),의 중량을 측정하였으며, 물과 동일한 방식을 적용하여 산출하였다.

### 2.3. 목재조직 내 PEG 침투상태 조사

진공동결건조가 완료된 시료 내부의 PEG 침투상태를 알아보기 위하여 중량증가율이 높은 20일, 40% 조건의 시료를 대상으로 건조 용해선 바깥쪽과 안쪽 지점의 방사조직을 관찰하였다(Figure 1).

각 부분에서 시료를 채취하여 마이크로톰으로 깨끗한 재면을 형성시킨 후, 알루미늄 시료대 위에 전도성 접착제를 사용하여 마운팅하고 고진공상태에서 Sputter Coater(SCD 005)를 이용하여 Gold Coating을 실시하였다. 완성된 시료는 주사전자현미경(XL30 ESEM TMP, Phillips Ltd.)을 통하여 목재 내부의 PEG 침투상태를 관찰하였다.

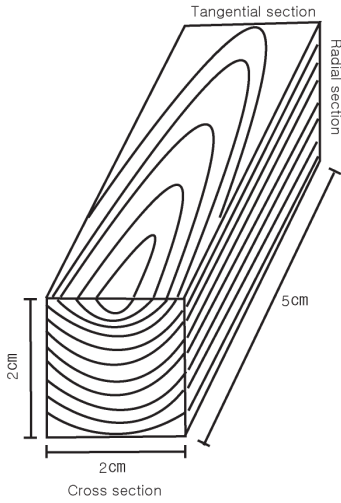


Figure 1. Picture of sample specimen.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. PEG 중량변화를

##### 3.1.1. PEG 수용액

PEG의 용매로 물을 사용한 경우 농도, 기간, 온도의 조건별로 변화의 경향을 살펴보았다(Figure 3). 함침농도를 살펴보면 저농도보다 고농도에서 중량증가율이 높게 측정되었다. 이것은 PEG 치환을 통하여 수침고목재 내부로 침투시키는 방법을 적용하였기 때문에 높은 농도에서 치환이 더 활발하게 일어나 나타난 결과로 판단된다.

함침기간을 살펴보면 20일 기간까지는 중량증가율이 지속적으로 증가하였으며, 10일 기간까지는 빠른 변화를



A: Dried part under freezing condition of PEG  
B: Dried part under melting condition of PEG

Figure 2. Condition of radial sections of archaeological *Pinus* spp. dried by vacuum freeze drying after treatment of PEG water solution.

을 나타내었다. 그러나 30일 기간에서는 중량증가율이 둔화되거나 낮게 측정되었다. 이는 20일의 함침기간이 가장 활발하게 치환이 일어나는 기간으로 판단된다.

함침온도는 40°C보다 상온에서 중량증가율이 높게 측정되었지만 중량변화율의 편차가 크지 않은 것으로 보아 온도의 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

##### 3.1.2. PEG T-butanol

PEG 용매로 T-butanol을 사용한 경우 농도, 기간, 온도 조건별로 변화의 경향을 살펴보았다(Figure 4). 함침농도는 저농도보다 고농도에서 중량증가율이 더 높게 측정되었다. 이는 치환을 통하여 PEG를 침투시켰기 때문에 고농도에서 치환이 활발하게 이루어진 것으로 판단된다.

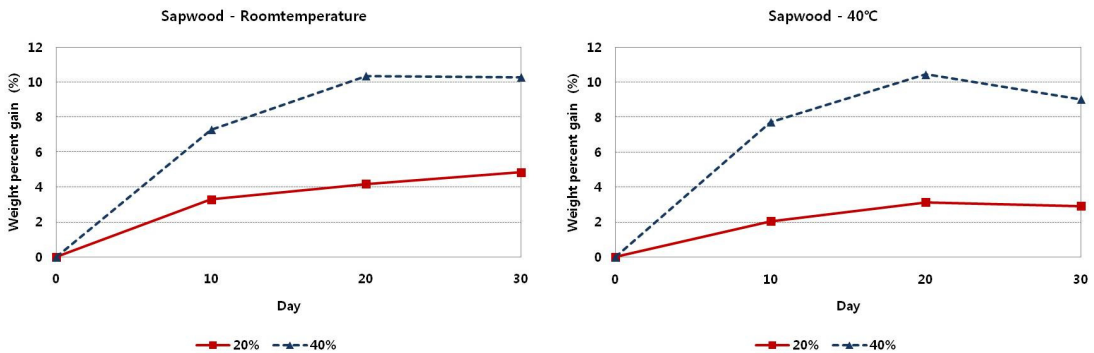


Figure 3. Relationship weight percent gain and soaking time in PEG water solution treatment of archaeological *Pinus* spp.

함침기간을 살펴보면 저농도는 20일 기간까지 중량증가율의 변화는 매우 작게 나타났으며, 30일 기간까지 증가 또는 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 유기용제인 T-butanol의 영향으로 물에 비하여 확산이 느리게 일어나서 나타난 경향으로 판단된다.

함침온도로 인한 중량증가율의 차이는 크지 않은 것으로 미루어보아 PEG의 침투에 온도는 큰 영향이 없는 것으로 판단된다.

### 3.2. 목재 세포내 PEG 침투상태

#### 3.2.1. PEG 수용액

PEG의 용매로 물을 사용한 시료의 SEM 관찰결과 가도관 및 벽공에 PEG의 침투가 이루어진 것을 확인하였다. 건

조 용해선의 바깥쪽 부분에서는 PEG가 가도관에 박편 상으로 존재하는 것을 확인하였다(Figure 5의 a). 그리고 건조 용해선 안쪽에서는 가도관 일부에 PEG가 박편상 및 일부 잔존하는 수분으로 인해 용해되어 표면에 도포되어 마치 코팅된 것과 같은 모습을 보였다(Figure 5의 b).

#### 3.2.2. PEG T-butanol

PEG 용매로 T-butanol을 사용한 시료의 현미경 관찰결과 PEG 침투가 이루어진 것을 확인하였다. PEG 침투상태를 살펴보면 건조 용해선 바깥쪽 부분의 관찰결과 가도관과 벽공 내부에 PEG가 침투되어 있는 것을 확인하였다(Figure 6의 a). 그리고 건조 용해선 안쪽 부분에서도 가도관과 창상벽공 내부까지 PEG가 표면에 도포되어 침투되어 있는 것을 확인하였다(Figure 6의 b).

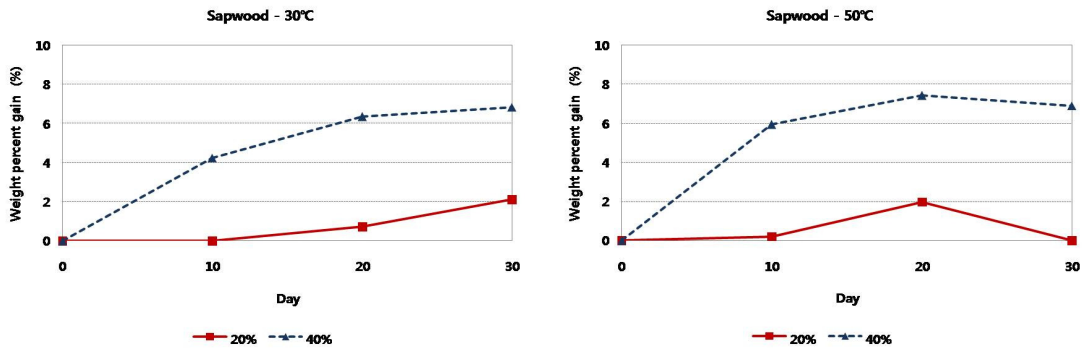


Figure 4. Relationship weight percent gain and soaking time in PEG T-butanol solution treatment of archaeological *Pinus* spp.

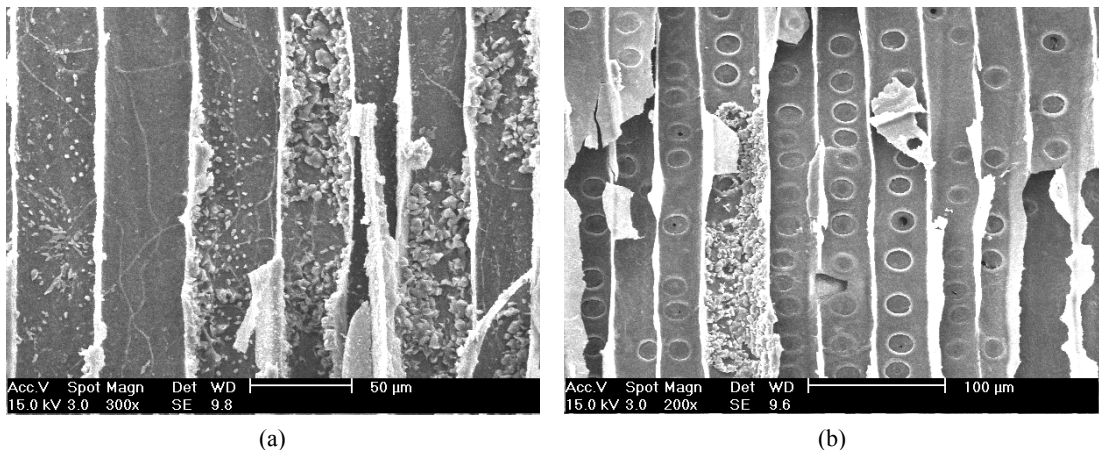


Figure 5. Scanning electron microscope of *Pinus* spp. dried by vacuum freeze drying after PEG solution treatment.

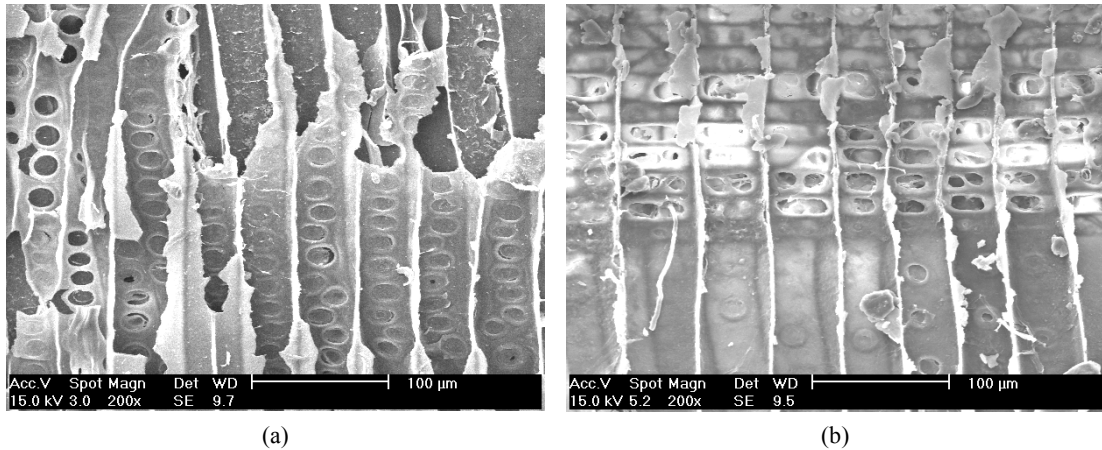


Figure 6. Scanning electron microscope of *Pinus* spp. dried by vacuum freeze drying after PEG T-butanol treatment.

#### 4. 결론

PEG 함침-진공동결건조법을 적용한 함수율 660% 수침고목재의 보존에서 용매(溶媒), 함침 농도, 기간, 온도의 조건별로 PEG의 침투상태를 살펴보았다.

그 결과 용매(溶媒)로 사용된 물과 T-butanol 모두 목재 내부로 PEG 침투가 이루어진 것을 확인하였다. 따라서 PEG 침투에 용매(溶媒)의 영향은 없다는 것을 확인하였다.

함침농도는 물과 T-butanol 모두 저농도보다 고농도에서 높은 중량증가율을 나타내었다. 이것은 침적을 통한 치환의 방법을 적용하였기 때문에 저농도보다 고농도에서 치환이 활발하게 이루어진 것으로 판단된다.

함침기간은 물을 용매(溶媒)로 사용하였을 경우에는 20일 기간에서 가장 높은 중량증가율을 나타내었고 이후에는 둔화 또는 감소되는 경향을 보였다. 중량증가율이 가장 높은 20일, 40% 조건의 시료를 SEM을 통해 PEG의 침투상태를 관찰한 결과 PEG가 내부로 침투되어 있는 것을 확인하였다.

함침온도는 각 용매(溶媒)별로 큰 차이점이 없었다. 이는 PEG의 침투에 온도는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 따라서 PEG 함침법을 통한 수침고목재의 처리시 PEG 용액의 상태가 액상을 유지하는 온도이면 충분한 효과를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 PEG 함침-진공동결건조법을 통한 함수율 660%

의 소형 수침고목재의 처리시 상온에서 저농도부터 고농도까지 단계적으로 농도를 상승시키며 각 농도별 20일 기간의 함침으로도 충분한 PEG 침투효과를 얻을 수 있기 때문에 장기간의 함침처리에 비하여 효율적인 조건으로 판단된다.

#### REFERENCES

- Kim, I.J., 1991, PEG penetration condition of waterlogged wood under conservation treatment processing. Conservation Studies, 12.
- Kim, I.J., 1993, Conservation treatment research and historical overview for water-logged wood. National Research Institute of Cultural Heritage Academic Journal, 7.
- Lee, H.H., Kang, C.W., Kim, N.H., Kim, B.R., Kim, Y.S., Byun, H.S., So, W.T., Yeo, H.M., Oh, S.W. and Lee, W.H., 2008, The Wood Physics and Dynamics. Hyangmunsa, Korea, 37-48.
- Lee, Y.H., 1997, Conservation of waterlogged wooden finds excavated in wet-site. Journal of the Korean Conservation Science for Cultural Properties, 6.
- Lee, W.Y., 1997, The Structure of Korean Woods. Hyangmunsa, Korea, 20-21.
- Park, S.J., Lee, W.Y. and Lee, H.H., 1987, Wood Organization and Identification. Hyangmunsa, Korea, 112-115.