

건조온도와 아세틸화처리가 소나무 원판의 Polyethylene Glycol 잔류량에 미치는 효과¹

이 원 희² · 홍 승 현³ · 강 호 양^{3,†}

Effects of Drying Temperature and Acetylation on The Retention of Polyethylene Glycol in Red Pine Wood Disks¹

Won-Hee Lee² · Seung-Hyun Hong³ · Ho-Yang Kang^{3,†}

요 약

소나무 원판에 polyethylen glycol (PEG)를 주입시키면 건조 중 횡단면할렬을 막을 수 있다. 본 연구에서는 건조온도와 아세틸화처리가 PEG처리 목재에 미치는 효과를 조사하고자 다양한 온도에서 건조한 소나무 원판의 PEG잔류율(PPR)을 아세톤추출과 조습처리를 통해 측정하였다. 아세톤추출법으로 구한 PPR은 열기건조시편이 천연건조시편보다 최하 4배 높았으며, 열기건조시편은 변재의 잔류PEG율이 심재보다 2배 정도 높았다. 이러한 결과는 조습처리실험을 통해 검증되었다. 아세틸화처리에 의한 열기건조시편의 중량변화율(WPC)은 천연건조시편 보다 훨씬 적게 증가하거나 오히려 감소하였다. 무수초산이 잔류 PEG를 용출시켰기 때문으로 밝혀졌다. 따라서 PPR을 높이려면 열기건조하는 것이 천연건조보다 유리하나 아세틸화처리는 대부분의 PEG를 용출시켜 천연건조와 차이를 나타내지 않는다.

ABSTRACT

Polyethylene glycol (PEG) impregnation prevents a red pine disk from cross-sectional checking during drying. Percentage of PEG Retention (PPR) was measured by the experimental methods of acetone extraction and moisture conditioning in a saturated salt solution and the effect of acetylation on PEG impregnated wood was investigated. PPRs of the kiln-dried specimens were much higher than those of the air-dried by at least four times and within the kiln-dried specimens those of the sapwood were higher than those of the heartwood by two times. These results were confirmed by the moisture conditioning experiment. Acetylation increased the weights of the kiln-dried specimens much less than those of the air-dried. It was revealed that acetic anhydride solution eluted PEG-1000 in the specimens. It is concluded that kiln-drying is more effective than air-drying for the increase of PPR and that acetylation eliminates the

¹ Date Received July 4, 2015, Date Accepted August 13, 2015

² 경북대학교 임산공학과 Department of Wood Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

³ 충남대학교 환경소재공학과 Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr)

difference between the kiln- and air-dried specimens.

Keywords : *Pinus densiflora*, Polyethylen glycol, acetylation, Percentage of PEG Retention, Weight Percentage Change, acetone extraction

1. 서 론

직경 20 cm 이하의 소경재를 판재로 제재하면 생산 수율이 매우 낮으나 횡절하여 원판을 만들면 생산 수율이 높아진다. 원판을 이용하여 벽시계, 스톨 등을 만들거나 실내장식 재료로 사용할 수 있다. 그러나 원판은 목재의 수축이방성 때문에 횡단면할렬이 쉽게 발생한다.

PEG (Polyethylen glycol)는 목재의 세포벽에 침투하여 건조 중 목재가 수축하는 것을 억제하기 때문에 목재의 천연건조나 인공건조 중에 발생하는 건조결함을 줄이는 방법으로 사용되어 왔다(Stamm, 1959; Mackay, 1972; Alma *et al.*, 1996; Hardley, 2000). PEG는 수용성 비이온 계면활성제로 에테르기의 산소가 목재 세포벽에 있는 셀룰로오스의 수산기와 쉽게 결합하여 물 분자를 밀어내고 건조 중 세포가 수축하는 것을 방해하여 균열이 발생하지 않도록 한다(Ralph, 2006).

할렬을 방지하기 위해서는 PEG의 침투율을 높이는 것이 중요하다. PEG는 수용성이기 때문에 목재 속에 이미 자유수가 있어야 PEG 용액과 상호교류기작이 일어나 침투가 잘 일어난다(Loughborough, 1948). PEG 침투율은 목재비중의 영향을 받으며(Ralph and Edwards, 2004; Hong *et al.*, 2013) 온도가 높을수록 목재에 잘 침투된다(Yamaguchi *et al.*, 1999)고 밝혀졌다. 여러 가지 분자량의 PEG를 처리했을 때 목재의 세포벽은 낮은 분자량을 선택적으로 투과시킨다는 보고도 있다(Jeremic and Cooper, 2009). Wallstrom and Lindberg (1995)은 진공-가압 방식으로 PEG-1500을 *Pinus sylvestris* 블록에 주입하는데 블록 중량이 20%나 증가하였지만 세포벽에는 낮은 분자량의 PEG만 약간 들어갔으며 세포벽의 팽창은 거의 감지되지 않았다고 보고하였으며, 세포벽 침투를 위해서는 낮은 분자량의 PEG가 필요하다고 결론지

었다. Mueller와 Steiner (2010)는 PEG처리가 목재의 재색변화를 줄이는데 효과가 있으며, 특히 PEG 분자량이 낮을 때 효과가 컸다고 밝혔다. 따라서 목재의 할렬방지를 위해서는 낮은 분자량의 PEG를 목재에 침투시켜야 하는데 Hardley (2000)는 분자량 1,000이 가장 적합하다고 밝혔다.

PEG처리 목재는 일반목재와 강도차이를 나타낸다. Bjurhager *et al.* (2010)은 *Quercus robur* L.를 PEG-600으로 처리하여 탄성계수를 측정할 결과, 섬유방향 인장탄성계수는 아주 약간 영향을 받는데 반해 방사방향 압축탄성계수는 50%까지 감소하였으며, PEG 농도에 따른 차이는 섬유방향 인장탄성계수는 전혀 없는데 반해 방사방향 압축탄성계수는 큰 차이를 보였다고 보고하였다. 이는 PEG의 농도가 높으면 방사조직에 많이 축적되어 방사방향 강도를 낮추기 때문으로 설명하였다.

PEG처리는 건조 중 목재의 치수안정성을 높이는 데 비해 아세틸화처리는 건조 목재에 반응을 일으켜 사용 중 높은 치수안정성을 갖게 하는 비교적 간편한 방법으로 알려졌다(Stamm, 1964). 무수초산이 세포벽의 수산기와 반응하여 아세틸화 목재를 만들고 부산물로 아세트산을 생산한다(Rowell *et al.*, 1994). 따라서 아세틸화처리 목재는 소수성을 가지게 되어 무처리 목재보다 흡습을 적게 하게 된다. 이러한 성질은 시간이 가도 변하지 않는다고 밝혀졌다(Bryne *et al.*, 2010). 일반 건조재의 아세틸화처리에 관한 연구는 매우 많지만(Han and Cho, 1996; Kang and Lee, 1997; Morozovs and Buksans, 2009; Rowell *et al.*, 2009; Fudemma and Obataya, 2012; Dunningham, 2012), PEG주입 목재의 아세틸화처리 효과에 관한 연구는 찾을 수 없다.

본 연구에서 건조온도에 따른 잔류PEG율을 아세톤추출과 조습처리를 통해 측정하였으며, 아세틸화처리가 PEG처리 목재에 어떤 영향을 미치는지를 조

사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시원판제작

경기도 남양주시에서 벌채된 지 3개월 정도 되는 소나무(*Pinus densiflora*) 원목 5토막(평균 길이 80 cm)을 구하였다. 평균적으로 연륜은 45 - 48개이며 직경은 20 - 25 cm였다. 공시원목을 섬유방향으로 30 mm씩 기계톱으로 절단하고 수피를 제거하여 각 원목에서 3개씩 15개 공시원판을 만들었다. 공시원판을 중량비 30% PEG-1000 용액에 2주간 함침하였다.

2.2. PEG함침 공시원판의 건조

PEG-1000 용액에서 꺼낸 공시원판의 중량을 0.01 g의 정도를 가진 디지털 저울로 측정한 후 3개씩 5개 온도그룹으로 나누었다-천연건조(AD), 80℃ (T80), 100℃ (T100), 120℃ (T120), 170℃ (T170). 천연건조 공시원판은 다른 공시원판을 열기건조하는 동안 상온에서 천연건조 하였다. 공시원판의 건조는 최대 220℃까지 온도를 올릴 수 있는 목재건조기에서 실시하였다. 이 건조기의 잔적 공간은 폭 700 mm, 깊이 800 mm, 높이 600 mm이며, 재간풍속은 3 m/s으로 맞추어져 있다. 건조하는 동안 가슴장치는 가동하지 않았다.

제일 낮은 온도인 80℃조건에 공시원판을 넣고 건조하면서 중량변화를 조사하였더니 20시간 만에 항량에 도달하였다. 이 결과에 따라 모든 온도조건에서 48시간 건조하면 항량에 도달할 것으로 예상되었다. 따라서 건조시간은 목표온도에 도달한 후 48시간으로 정하였다. 건조 중 2 - 3차례 공시원판의 중량을 측정하였다.

2.3. 공시시편 제작

건조된 공시원판을 2등분하여 반쪽은 추후 실험을 위해 비닐주머니에 보관하고 남은 반쪽을 다시 2등

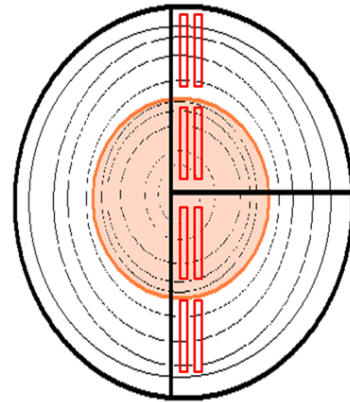


Fig. 1. A schematic diagram of cutting 5 mm thick specimens from a red pine disk.

분하여 조습처리시편을 만들었다(Fig. 1). 조습처리시편의 크기는 방사방향 25 mm, 접선방향 5 mm, 섬유방향 30 mm이었다. 한 공시원판에서 8개 조습처리시편을 만들었는데 그중 4개는 심재에서 다른 4개는 변재에서 떼어내었다. 시편을 떼어낸 후 즉시 디지털저울(정도 0.01 g)로 중량을 측정하였다. 모든 공시시편을 103 ± 2℃오븐에서 전건시킨 후에 다시 중량을 측정하였다. 각 온도별 시편을 무처리와 아세틸화처리로 동일한 수량만큼 나누어 무처리시편은 비닐주머니에 보관하였다.

2.4. 공시시편의 아세틸화처리와 조습처리

아세틸화처리시편은 99.9% 무수초산에 2주간 담근 후 꺼내 120℃에서 2시간 반응시켰다. 조습처리 전에 동일한 조건을 만들기 위해 모든 시편을 103 ± 2℃오븐에서 전건시켰다. 이때 무처리시편이 무수초산의 영향을 받지 않도록 무처리시편과 아세틸화처리시편은 서로 다른 오븐을 사용하였다.

모든 시편의 중량을 디지털저울로 측정하고 (NH₄)₂SO₄ 포화염용액이 담긴 데시케이터에 넣었다. 외부와의 공기유통을 막기 위해 뚜껑에 바셀린을 발라 기밀하게 닫았다. 20℃조건에서 (NH₄)₂SO₄ 포화염용액의 상대습도는 80.5%이다(Hardley, 2000). 무처리시편과 아세틸화처리시편을 구분하여 조습처리

하였다. 조습처리는 모든 시편이 항량에 도달할 때까지 충분히 실시하였다. 약 3개월 후 모든 시편을 꺼내 중량을 측정하였다.

2.5. 중량변화율(WPC, Weight Percentage Change)

아세틸화처리, 조습처리 등 처리실험 전후의 중량 변화율은 아래 식 [1]로 계산하였다. 처리에 의해 중량이 증가하면 WPC가 양의 값이 되고, 중량이 감소하면 음의 값이 된다.

$$WPC = \frac{W_{af} - W_{bf}}{W_{bf}} \times 100 \dots\dots\dots [1]$$

여기서 WPC = 중량증가율(%), W_{af} = 처리 후 중량(g), W_{bf} = 처리 전 중량(g)

2.6. 아세톤추출

목재 내 잔류 PEG양을 알기 위해 조습처리시편을 아세톤 용액에 담갔다. 3일 후 아세톤 용액에서 꺼내 대기에서 24시간 건조한 후에 시편의 중량을 측정하였다.

아세틸화처리를 거치지 않은 시편의 아세톤처리 후 전건중량은 5 mm의 시편의 전건중량이라고 가정할 수 있다. 이를 기준으로 PEG처리 공시원판에서 떼어낸 시편에 남아있는 PEG량을 구하였다. 아세톤 처리 전건중량에 대한 PEG량을 백분율로 표시한 것을 잔류PEG율(PPR, Percentage of PEG Retention)이라고 하고, 아래 식으로 계산하였다. 아세틸화반응에 의해 시편의 중량이 변하였으므로 잔류PEG율은 무처리시편만 구하였다.

$$PPR = \frac{W - W_{atn}}{W_{atn}} \times 100 \dots\dots\dots [2]$$

여기서 PPR = 잔류PEG율(%), W = 시편의 전건 중량(g), W_{atn} = 아세톤 추출후 전건중량(g)

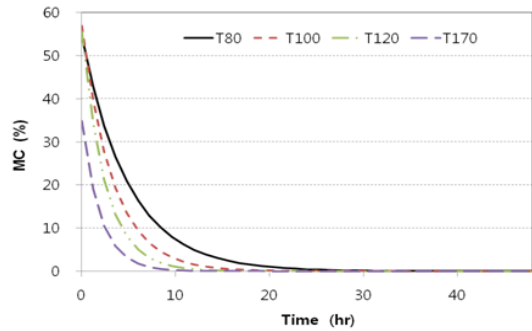


Fig. 2. Drying curves of kiln-dried red pine disks at various temperatures.

3. 결과 및 고찰

3.1. PEG함침 공시원판의 건조

건조기에서 열기건조한 공시원판의 최종중량을 전건중량으로 가정하여 얻은 건조그래프는 Fig. 2와 같다. 각 건조온도별 평균 초기 함수율은 T80이 54.5%, T100이 56.9%, T120이 55.6%, T170이 34.9%이었다. T170을 제외하면 비슷한 초기함수율을 나타냈다. T170실험이 제일 마지막에 진행되었다. 다른 실험이 진행되는 동안 T170 공시원판이 실내에 방치되어 있었기 때문에 어느 정도 건조되어 초기함수율이 낮은 것으로 생각된다. Fig. 2를 볼 때 48시간 건조로 모든 시편이 항량에 도달한 것으로 보인다.

3.2. 공시시편의 중량변화

PEG처리 공시원판에서 떼어낸 공시시편을 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 오븐에서 전건한 후에 식 [1]로 구한 시편에 따른 평균 중량변화율은 Fig. 4와 같다. 천연건조시편의 심재와 변재의 평균 중량변화율은 각각 -12.0%와 -11.9%이다, 한편 열기건조시편의 평균 중량변화율은 -5.2%에서 -6.8%로 천연건조시편의 절반 정도이나 온도 간 차이가 거의 없다. 천연건조 공시원판은 전건되지 않았기 때문에 여기서 떼어낸 시편에는 수분이 남아있어 열기건조시편들보다 높은 중량변화율

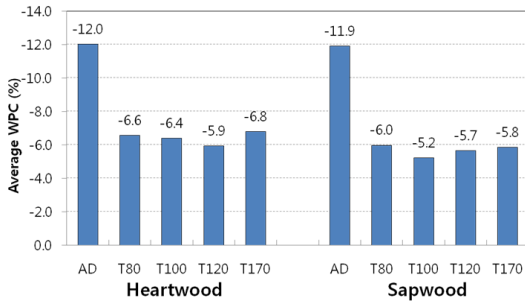


Fig. 3. Average WPCs of the specimens before and after oven-dry. The specimens were taken from the red pine disks PEG impregnated and dried at various temperatures.

을 가진다고 볼 수 있다. 한편 열기건조 공시원판들의 중량변화율이 비슷하다는 것은 열기건조온도가 달라도 고르게 건조되었다고 볼 수 있다.

Fig. 3에서와 같이 모든 공시원판이 전건되었으므로 공시원판에서 떼어낸 시편도 전건상태라고 할 수 있다. 그런데 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 오븐에서 건조한 공시시편이 5.2% 내지 6.8% 중량이 줄었다는 것은 수분이 아닌 PEG가 빠져나간 것으로 볼 수 있다. 공시원판을 잘라 공시시편을 만들었기 때문에 내부에 있던 PEG가 시편의 표면에 노출되기 때문에 쉽게 증발할 수 있다. 또한 천연건조시편의 평균 중량변화율 -11.9%와 -12.0%에도 용출된 PEG중량이 포함되었다고 볼 수 있다, 이 예측은 다음에 실시한 잔류PEG을 측정실험에 의해 확증되었다. 즉 전건 천연건조시편에는 PEG가 거의 남아있지 않았음이 밝혀졌다.

3.3. 잔류PEG율(PPR)

공시원목에서 떼어낸 5 mm 시편의 잔류PEG율을 아세톤추출 후 전건중량을 기준으로 식 [2]를 이용하여 구하였다. 모든 시편을 동일한 조건으로 만들기 위해 오븐에서 전건하였는데, 앞에서 설명한 것과 같이 약간의 중량감소가 있었다. 감소된 중량에는 PEG의 용출도 포함된 것으로 생각된다.

Fig. 4에 보인 바와 같이 열기건조시편의 잔류PEG율이 천연건조시편보다 월등히 높았다. 천연건조시

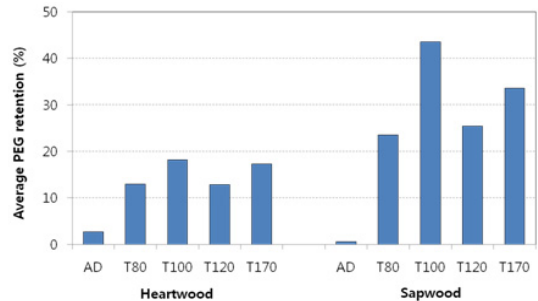


Fig. 4. Average PEG retentions of the specimens, measured by acetone extraction method. The specimens were taken from the red pine disks PEG impregnated and dried at various temperatures.

편을 제외하면 변재의 잔류PEG율이 심재보다 높다. 이는 변재의 투과성이 심재보다 좋기 때문에 PEG가 더 많이 침투하여 잔류한 것이다, 그러나 천연건조시편은 변재가 심재보다 낮다. 이는 투과성이 좋은 만큼 변재에서 더 많이 용출되었다고 볼 수 있다. 따라서 열이 PEG를 고형화시켜 용출을 막아 잔류율을 높인다고 할 수 있다. 잔류PEG율이 T100 변재에서 비정상적으로 높은 값을 나타내는 것을 제외하면, 온도에 따라 큰 차이를 나타낸다고 말하기 어렵다.

3.4. PEG처리시편의 아세틸화처리

식 [1]을 이용하여 구한 아세틸화처리에 의한 중량변화율은 천연건조시편과 열기건조시편이 다르게 나타났다(Table 1). 천연건조시편은 심재는 8.5%, 변재는 12.7% 중량 증가하였으나 열기건조시편은 천연건조시편 보다 훨씬 적게 증가하거나 오히려 감소하였다. 아세틸화반응이 일어난 목재는 bulking 효과에 의해 중량이 증가하므로(Han and Cho, 1996; Rowell *et al.*, 2009) 천연건조시편은 정상적인 아세틸화반응이 일어났다고 볼 수 있다. Fig. 4에서 보듯이 천연건조시편은 아세틸화처리 전에 실시한 오븐건조에서 대부분의 PEG가 용출되었기 때문에 PEG가 아세틸화처리에 영향을 미치지 않은 것으로 보인다. 그러나 열기건조시편은 잔류해 있던 PEG가 아세틸화처리 과정에서 용출되어 아세틸화반응에 의

Table 1. WPCs of the acetylated specimens taken from wood discs air- and kiln dried at various temperatures

Specimen	Heartwood	Sapwood
AD	8.5 ± 1.13*	12.7 ± 0.7
T80	1.8 ± 0.7	-4.8 ± 1.1
T100	-1.6 ± 1.4	-20.1 ± 1.0
T120	2.4 ± 0.2	-5.3 ± 1.1
T170	1.6 ± 2.1	-14.9 ± 0.8

* Standard deviation

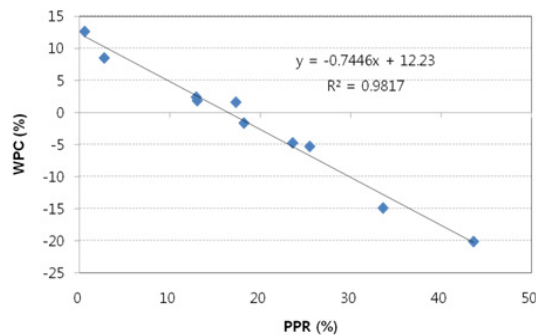


Fig. 5. A plot of WPC vs. PPR for the acetylated specimens and its linear regression curve.

한 증량증가를 상쇄하였다고 해석할 수 있다. 잔류 PEG율이 제일 높은 T100 변재가 가장 큰 증량감소를 보였다는 것이 이러한 해석을 뒷받침한다. 더욱이 아세틸화처리시편의 아세톤추출실험에 의해 아세틸화처리 중 시편 내 잔류 PEG가 거의 대부분 용출되었다는 것이 확인되었다. 아세틸화처리 후 시편의 전건증량과 같은 시편의 아세톤추출 후 증량이 거의 같았다.

아세틸화처리에 의한 증량변화율(WPC)과 아세틸화처리 전 잔류PEG율(PPR)의 관계를 Fig. 5에 표기하였다. 두 변수는 매우 높은 음의 상관($R^2 = 0.9817$)을 보인다. 시편 내 PEG가 많이 잔류할수록 아세틸화처리 후 증량은 감소한다. 즉 아세틸화처리 효과가 떨어진다.

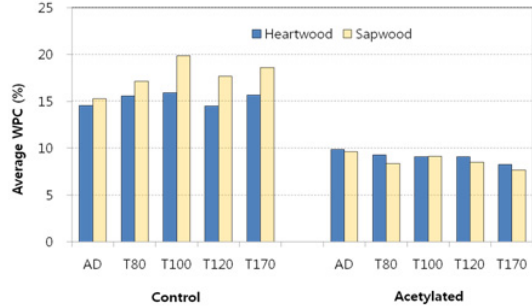


Fig. 6. Average PEG retentions of the specimens, measured by moisture conditioning method. The specimens were taken from the red pine disks PEG impregnated and dried at various temperatures.

3.5. 조습처리

조습처리에 의한 증량변화율을 식 [1]로 구하여 그 평균값을 Fig. 6에 나타냈다. PEG는 흡습성물질로 많이 잔류할수록 조습처리 중 더 많이 흡습하므로 증량증가가 클수록 PEG가 더 많이 잔류한다고 할 수 있다. 무처리시편이 아세틸화처리시편보다 천연건조시편은 47.1%, 열기건조시편은 평균 73.2% 더 증량증가가 하였다. 무처리시편은 열기건조시편이 천연건조시편 보다, 변재가 심재보다 증량이 더 많이 증가하였으나, 아세틸화처리시편은 반대 현상이 나타났다. 이는 아세톤추출 실험에서 얻은 결론과 일치한다. 즉 무처리시편의 잔류PEG율은 천연건조시편보다 열기건조시편이, 심재보다 변재가 높다는 사실을 뒷받침한다(Fig. 4). 아세틸화처리시편은 천연건조시편과 열기건조시편 모두 비슷한 증량증가를 보이는데 이는 천연건조시편은 전건과정 중, 열기건조시편은 아세틸화처리 중에 대부분의 PEG가 용출되었다는 것을 의미한다.

결론적으로 목재 내 잔류PEG율을 높이려면 열기건조하는 것이 천연건조보다 유리하며 이 효과는 투과성이 좋은 변재가 투과성이 나쁜 심재보다 더 크게 나타난다. 그러나 PEG처리 목재를 아세틸화처리하면 대부분의 PEG가 용출되어 천연건조재와 차이를 나타내지 않는다.

4. 결 론

건조온도가 PEG-1000 함침 소나무 원판의 잔류 PEG올에 미치는 효과를 조사하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 아세톤추출법으로 구한 잔류PEG올(PPR)은 열기건조시편이 천연건조시편보다 월등히 높았으며, 열기건조시편은 변재의 잔류PEG올이 심재보다 높았다. 이는 투과율이 좋은 변재에 PEG가 더 많이 침투하였으며 열기건조에 의해 고형화되어 더 많이 잔류하였다는 것을 의미한다.
2. 천연건조시편은 열기건조시편보다 잔류PEG올(PPR)이 낮았으며, 또 변재가 심재보다 낮았다. 이는 전건과정 중 PEG가 많이 용출되었다는 것을 의미한다.
3. 아세틸화처리에 의한 열기건조시편의 중량변화율(WPC)은 천연건조시편 보다 훨씬 적게 증가하거나 오히려 감소하였다. 이는 무수초산이 시편 내 PEG를 용출시켜 아세틸화처리에 의한 bulking 효과를 상쇄하였기 때문으로 확인되었다. 천연건조시편은 전건과정에서 PEG가 대부분 용출되었기 때문에 아세틸화처리에 의한 bulking 효과로 중량이 증가되었다.
4. 상대습도 80.5% 조건에서 조습처리했을 때 무처리시편이 아세틸화처리시편보다 천연건조시편은 평균 47.1%, 열기건조시편은 평균 73.2% 중량이 더 증가하였다. 이는 무처리시편 내 잔류PEG가 더 많음을 의미한다.
5. 결론적으로 목재 내 잔류PEG올을 높이려면 열기건조하는 것이 천연건조보다 유리하며 이 효과는 투과성이 좋은 변재가 투과성이 나쁜 심재보다 더 크게 나타난다. 그러나 PEG처리 목재를 아세틸화처리하면 대부분의 PEG가 용출되어 천연건조재와 차이를 나타내지 않는다.

사 사

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제 번호: S121414L060120)’의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Alma, M.H., Hafizoglu, H., Maldas, D. 1996. Dimensional stability of several wood species treated with vinyl monimers and polyethylene glycol-1000. *International Journal of Polymer Material* 32: 93-99.
- Bjurhager, I., Ljungdahl, J., Wallströ, L. 2010. Towards improved understanding of PEG-impregnated waterlogged archaeological wood: A model study on recent oak. *Holzforschung* 64(2): 243-250.
- Bryne, L.E., Waelinder, M.E.P. 2010. Ageing of modified wood. Part 1: Wetting properties of acetylated, furfurylated, and thermally modified wood. *Holzforschung* 64(3): 295-304.
- Dunningham, E.A. 2012. Kinetic studies of the acetylation reaction of small *Pinus radiata* blocks. *Eur. J. Wood Prod.* 70(6): 857-863.
- Futemma, Y., Obataya, E. 2012. Non-uniform reaction of solid wood in vapor-phase acetylation. *Journal of Wood Science* 58(4): 336-341.
- Han, G.-S., Cho, N.-S. 1996. Dimensional change of acetylated softwood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 24(4): 4040-4046.
- Hoadley, R.B. 2000. *Understanding Wood*. The Taunton Press, Inc., CT, USA: pp. 288.
- Hong, S.-H., Kim, C.-H., Lim, H.-M., Kang, H.-Y. 2013. Measuring PEG Retentions and EMCs of PEG Impregnated Softwood Specimens after Heat-treatment. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 41(3): 173-180.
- Jeremic, D., Cooper, P. 2009. PEG quantification

- and examination of molecular weight distribution in wood cell walls. *Wood Science and Technology* 43(3~4): 317-329.
- Kang, H.-Y., Lee, K.-Y. 1997. Effect of acetylation on ultrasonic velocity of bamboo. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 25(3): 8-15.
- Loughborough, W.K. 1948. Chemical seasoning: Its effectiveness and present status. U.S. Forest services Forest Products Laboratory Report, D1721.
- Mackay, J.F.G. 1972. The occurrence, development and control of checking in Tasmanian *Eucalyptus obliqua*, *Holzforshung* 26(4): 121-124.
- Morozovs, A., Buksans, E. 2009. Fire performance characteristics of acetylated ash (*Fraxinus excelsior* L.) wood. *Wood Material Science & Engineering* 4(1-2): 76-79.
- Mueller, U., Steiner, M. 2010. Colour stabilisation of wood composites using polyethylene glycol and melamine resin. *Eur. J. Wood Prod.* 68(4): 435-443.
- Ralph, J. 2006. PEG penetration and the effects of PEG pretreatment in air-dried *Eucalyptus regnans*. *Wood and Fiber Science* 38(1): 139-143.
- Ralph, J., Edwards, S.J. 2004. PEG penetration in three commercially important Tasmanian *Eucalypts*. *Wood and Fiber Science* 36(4): 611-619.
- Rowell, R.M., Ibach, R.E., McSweeney, J., Nilsson, T. 2009. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. *Wood Material Science & Engineering* 4(1-2): 14-22.
- Rowell, R.M., Ibach, R.E., McSweeney, J., Nilsson, T. 2009. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. *Wood Material Science & Engineering* 4(1-2): 14-22.
- Rowell, R.M., Simonson, R., Hess, S., Plackett, D.V., Cronshaw, D., Dunningham, E. 1994. Acetyl distribution in acetylated whole wood and reactivity of isolated wood cell-wall components to acetic anhydride. *Wood and Fiber Science* 26(1): 11-18.
- Stamm, A.J. 1959. Effect of polyethylene glycol on the dimensional stabilization of wood. *Forest Products Journal* 9(10): 375-381.
- Stamm, A.J. 1964. *Wood and Cellulose Science*. The Ronald Press Company, New York.
- Wallstrom, L., Lindberg, K.A.H. 1995. Wood surface stabilization with polyethyleneglycol, PEG. *Wood Science and Technology* 29: 109-120.
- Yamaguchi, T., Ishimaru, Y., Urakami, H. 1999. Effect of temperature on dimensional stability of wood with polyethylene glycol II: Temperature dependence of PEG adsorption and mechanical properties of treated wood. *Mokuzai Gakkaishi* 45(6): 441-447.