

# 수증기처리 열압밀화 목재의 강도적 성질\*1

김정환 · 이원희\*2 · 한규성\*3 · 변희섭\*4

## Strength Properties of Steaming Wood after Heat-Compression\*1

Jung-Hwan Kim · Weon-Hee Lee\*2 · Gyu-Seong Han\*3  
Hee-Seop Byeon\*4

### ABSTRACT

---

This study was carried out to investigate the effect of steaming on mechanical properties of heat-compressed wood specimens. The specimens for this mechanical strength tests were prepared to super-heated steam treatment after compression to the radial direction of sonamu (*Pinus densiflora*). The specimen's size is 50(L)mm×20(R)mm×17(T)mm. Steaming temperature and treatment time is 120℃ and 20, 40, 60, 80, 100 minutes, respectively. Modulus of elasticity(MOE) in compressive test is directly proportional to steaming time. On the other hand, modulus of elasticity in bending test between steaming and not steaming after heat-compressed wood is similar irrespective of steaming time. The reason for this phenomenon is not clear yet.

**Keywords** : heat-compressed wood, steam treatment, MOE

---

\*1 본 연구는 1999년도 농림부지원 기획과제(국산재를 이용한 건축부재 개발)연구비로 수행되었음.

\*2 경북대학교 임산공학과 Dept. of Wood Sci. &Tech., Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

\*3 충북대학교 산림과학부 School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

\*4 경상대학교 농과대학, 경상대학교 부속 농어촌개발연구소, College of Agriculture and the Institute of Agriculture and Fishery Development, Gyeongsang National University, Chinju 660-720, Korea

## 1. 서 론

최근 우리 나라는 열대 활엽수재의 수입은 감소하고 있는 반면 북미, 뉴질랜드, 러시아 등으로부터 침엽수재의 수입은 증가하고 있고 국내 산림축적 중 침엽수림이 45~46%로써 침엽수림이 우리나라 산림자원의 주종이라 할 수 있다. 따라서 상대적으로는 활엽수재의 대체품으로서 침엽수재의 활용을 근본적으로 추구하지 않으면 안 된다. 하지만 침엽수는 활엽수에 비하여 경도가 낮고, 조·만재 사이의 물리적 성질에 있어 큰 차이를 가지는 단점이 있다. 그래서 내장재나 가구재, 목재 공예재료로서 침엽수재를 활용하기 위해서는 수분에 대한 치수안정화나 마모저항, 경도와 같은 내부와 표면의 성질을 개선할 필요가 있다. 이러한 관점에서 열압밀화와 같은 강도적 성질을 개선하기 위한 연구가 다양한 방면에서 이루어지고 있으며<sup>3)4)</sup>, 국내적으로 많은 양을 차지하고 있는 소나무재와 낙엽송재 등의 연질침엽수재를 재료학적인 측면에서 적절하게 개발·이용하는 것은 매우 중요한 일이 아닐 수 없다.

본 연구에서는 전보<sup>1)2)</sup>에 이어 열압밀화 목재의 치수안정성 및 강도적 성질 향상을 목적으로 국산 소나무재를 열압밀화한 후의 목재를 고압의 수증기처리 용기속에 넣어 일정조건하에서 처리를 행한 후, 압축강도 및 휨강도시험에 의하여 탄성계수의 수증기처리조건에 따른 변이를 조사하였다. 탄성계수는 재료의 외력에 대한 저항력의 세기를 나타내는 값으로서 일정하중에 대한 변형의 척도를 표현하는 값이라고 할 수 있다. 이에 각 강도시험에 의한 탄성계수값으로서 치수안정화에 효과적인 방법으로 알려져 있는 열압밀화재의 스팀처리시간이 강도열화에 얼마나 기여하는지에 대하여 검토하였다.

## 2 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

공시 재료는 경북대학교 청송 연습림산의 소나무(*Pinus densiflora*, 함수율 9%)를 사용하였으며, 하

나의 제재목으로부터 실험을 위한 시험편을 제작하였다. 먼저 압축강도측정과 휨강도측정 실험을 실시함에 있어서 압밀화재와의 특성 비교를 위하여 압밀화하지 않은 control재를 별도로 준비하여 열압밀화재의 비교재료로서 준비하였다. 압축강도시험편은 50(L)mm×40(R)mm×50(T)mm로 제작하였으며 휨시험을 위한 목재 시험편은 150(L)mm×20(R)mm×20(T)mm로 준비하여 사용하였다. 사용된 소나무재의 평균연륜폭은 1.1mm, 비중은 0.49이며 모든 시험편의 제작은 정목판재를 사용하였다. 예비실험에서 포수상태의 시험편을 가열하지 않은 상태에서 급작스럽게 고온·고압으로 열압을 하게되면 목재 내부의 세포벽은 압축력에 의하여 압축되려고 하지만 세포공극과 내강속에 존재하는 자유수는 부피 수축을 하지 않기 때문에 강제적인 외력에 의해 시험편이 파괴되었다. 따라서 기존의 연구와는 다른 기건상태에서 목재를 가열하지 않고 hot press로서 65kgf/cm<sup>2</sup>의 하중을 가하여 열압밀화를 행하였다. 그리고 접선방향으로의 열압에서는 시험편의 조·만재사이의 연륜경계부에서 시험편의 파괴가 크게 나타났기 때문에 열압 방향은 모두 방사방향으로 행하였다. 시험편의 설유경사각은 hot press 하중방향에 대하여 90°였다.

### 2.2 종압축강도

종압축강도 측정은 소나무재를 방사방향으로 열압밀화를 실시한 후, 고압수증기 처리를 한 시험편을 이용하였다. 고압 수증기 처리는 시험편의 크기를 50(L)mm×20(R)mm×17(T)mm로 절단하여 오토클레이버를 이용하여 처리를 하였다. 이때 오토클레이버의 세팅 조건은 120℃에 대해 처리시간은 20, 40, 60, 80, 100분으로 하였다. 고압 수증기 처리를 한 시험편은 압축강도시험편으로 20(L)mm×20(R)mm×17(T)mm로 준비하였다. 각 처리시간당 시험편은 5개씩 준비하였다. 압축강도 측정은 만능강도 시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 사용하여 실시하였으며, 열압밀화재, 열압밀화후 고압수증기처리재, control재로 나누어 비교 실험하였다. 이때 만능강도기의 세팅조건은 하중속도 3mm/min로 하였다.

### 2.3 휨강도

휨강도 실험은 소나무재를 방사방향으로 열압밀화 한 후 종압축강도 측정과 마찬가지로 고압수증기 처리를 행하였으며, 시험편의 치수는 150(L)mm×10(R)mm×20(T)mm로 준비하였다. 이 시험편을 이용하여 열압밀화재, 열압밀화후 고압수증기 처리재, control재로 나누어 휨강도를 측정하였다. 휨강도 측정 실험은 양단지지 중앙집중하중을 가하는 방법을 사용하였으며, 강도기의 세팅조건은 하중속도 3mm/min, span간격은 150mm로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 종압축 탄성계수

그림 1에는 비압밀화 목재, 열압밀화 목재의 수증기 처리시간에 대한 압축 탄성계수를 각각 나타내었다. 이 그림에서 압밀화하지 않은 control재의 압축강도는 평균 269.9kgf/cm<sup>2</sup>였고 압밀화재에서 고압수증기 처리를 하지 않은 시험편의 최대값은 평균 757.8kgf/cm<sup>2</sup>로서 control재보다 약 3배 정도 큰 값을 나타내었다<sup>1)</sup>. 또 열압밀화재의 스팀처리시간이 증가할수록 압밀화재의 압축강도값이 크게 나타났다. 이 이유는 전보에서 언급하였듯이 압밀화재가 control재보다 비중값의 증가가 가장 큰 원인으로 지적되었다. 그리고 고압수증기처리시간이 길수록 목재의 압축강도가 크게 향상된 것은 고압수증기처리에 의해 목재의 강성이 증대된 것으로 추정되지만 현재로서는 근본적인 원인에 대해서는 보다 깊이 있는 실험을 해야 할 것으로 생각된다. 압축강도의 경향과 같이 그림 1의 열압밀화재의 압축탄성계수 역시 수증기처리 시간이 길수록 증가하는 경향을 나타내었다. 수증기 처리시간이 길수록 목재의 압축하중에 대한 변형저항이 더 크게 나타나는 것은, 압밀화된 목재를 압축 시험에 의해 압축하려고 할 때 목재내 공극의 부족으로 더 이상 압축이 안되는 것에서 그 원인을 찾아 볼 수 있다. 여기서, 수증기처리시간이 길수록 탄성계수가 증가하는 원인에 대해서는 목재의 결정화도의 증가 및 수증기처리에 의한 내부결합

력의 증가 등이 원인이 될 가능성도 있겠지만, 현재로서는 명확한 결론을 내리기는 매우 어려운 단계라 하겠다.

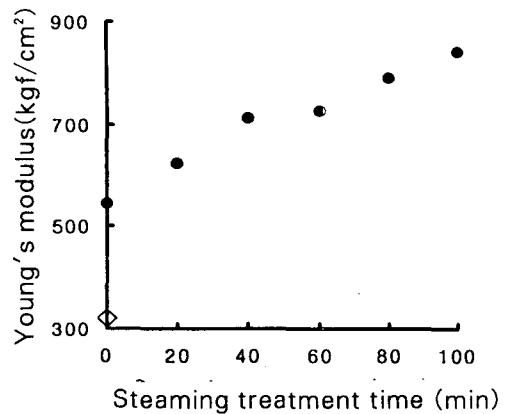


Fig. 1 Relationship between young's modulus in compression test and steaming time.

Legend ) ◇ : uncompress wood.  
● : compressed wood.

그림2에 열압밀화 목재의 고압수증기 처리후 처리시간에 대한 시험편의 함수율과의 관계를 나타내었다. 수증기처리시간에 따른 탄성계수의 증가는 목재의 함수율과는 아무런 관련이 없음을 알 수 있다. 그림 3에는 압축탄성계수에 대한 압축강도의 상관을 나타내었다. control재에서는 탄성계수가 아주 낮은 값을 나타내며 일반적인 강도와 비례관계라고 한다면, 보다 높은 탄성계수에서의 강도는 열압밀화재의 값보다도 아주 낮은 범위에 머물러 있을 것으로 추정된다. 그러나 실제 실험에 의한 본 그림에서 열압밀화재의 값은 control 재에서 급격하게 상승하는 포물선을 나타내고 있으며, 열압밀화재만을 직선 회귀할 경우 원점을 통과하지 않는 직선이 될 것으로 추정된다. 따라서 압축변형에 대한 저항력이 일반 소재에 비하여 열압밀화 및 수증기처리라는 후처리를 통하여 매우 크게 증가하였음을 알 수 있다.

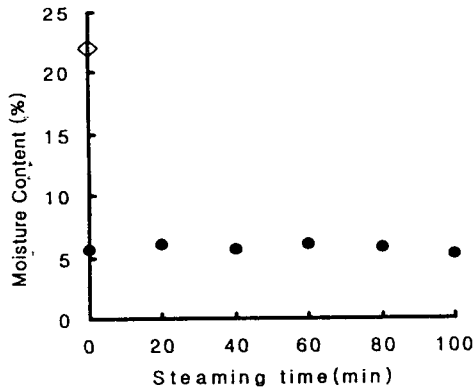


Fig. 2 Relationship between moisture content and steaming time.

Legend) ◇ : uncompressed wood.  
● : compressed wood.

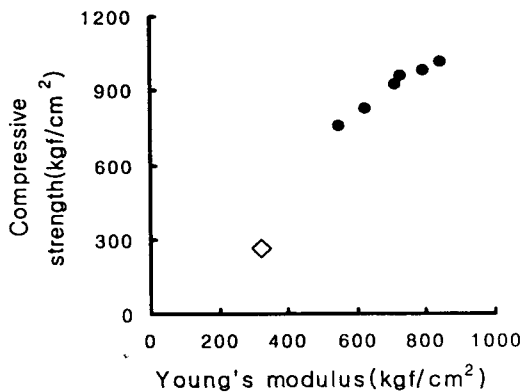


Fig. 3 Relationship between compressive strength and young's modulus in compression test.

Legend) ◇ : uncompressed wood.  
● : compressed wood.

### 3.2 휨 탄성계수

그림 4에는 control재 및 열압밀화재의 수증기 처리 시간에 따른 휨 탄성계수의 변이를 나타내었다. 전보에서 발표한 휨강도값은 압밀가공에 의한 비중의 증가로 비압밀화 목재소재에 비하여 2배 이상의 매우 큰 값으로 나타났다. 탄성계수에 있어서는 수증기처리시간에 따른 변이가 거의 없는

것으로 평가되었으며, 절대값에 있어서 휨강도와 같은 경향을 보이고 있다. 이 현상은 압축시험에 있어서의 결과와는 매우 다른 것으로서, 수증기처리에 의한 목재의 물성변화가 압축과 휨작용에 대한 거동의 차이점이 명확하게 존재하고 있음을 시사하는 것으로 판단되었다. 여기서 각각의 휨탄성계수값을 보면, control재가 평균 71,469 kgf/cm<sup>2</sup>로서 압밀화목재 평균 108,273kgf/cm<sup>2</sup>보다 아주 낮았으며, 수증기처리 시간이 최대인 120℃, 100분간 처리 목재가 평균 117,219 kgf/cm<sup>2</sup>로서, 수증기처리조건에 따라 약간의 편차를 나타내었지만 큰 변동은 없는 것으로 평가되었다.

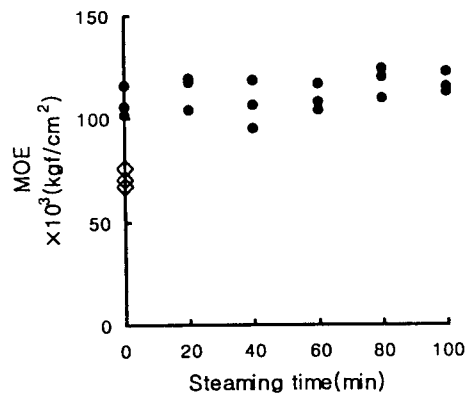


Fig. 4 Relationships between modulus of elasticity in bending test and steaming time.

Legend) ◇ : uncompressed wood.  
● : compressed wood.

그림 5에는 휨탄성계수에 대한 휨과괴계수와의 상관을 나타내었다. 이 그림에서 열압밀화재의 값은 압축시험의 결과와 비교하여 control 재에서 완만하게 상승하는 경향을 나타내고 있으며, 여기서도 열압밀화재만을 직선회귀할 경우 원점을 통과하지 않는 직선이 될 것으로 추정이 된다. 따라서 휨변형에 대한 저항력이 수증기처리의 효과는 없지만 일반 소재에 비하여 열압밀화처리를 통하여 크게 증가하였음을 알 수 있다. 휨탄성계수의 값을 보면, 압밀화재에 비하여 control재에서는 탄성계수가 약 50% 수준의 아주 낮은 값을 나타내었

다. 여기서 압축시험의 결과를 보면 비압밀화재의 압축강도가 압밀화재의 압축강도보다 약 3배 가까이 큰 것에 비하여, 압축탄성계수는 약 2배 이상 증가하였다. 그러나 휨시험에 있어서는 압밀화가공에 의해 비압밀화재보다 압밀화재의 휨강도는 약 2배 수준에 머물러 있으면서 휨탄성계수는 약 1.4배 증가한 것에 불과하다. 따라서 압밀화재를 후처리로서 수증기처리하여 휨작용하의 부재로서 사용하는 경우에는 치수안정화 등의 효과를 도모하기 위해서는 필요한 공정이 되겠지만, 휨작용 부재로서의 이용은 타당하지 못하고 압축력을 받는 마루판 등의 부재로서 이용함이 좋은 것을 잘 알 수 있다.

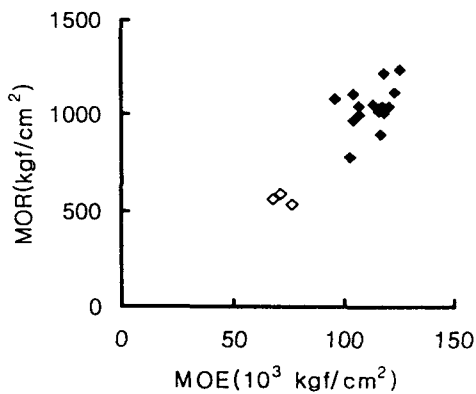


Fig. 5 Relationship between bending strength (MOR) and modulus of elasticity(MOE) in bending test.

Legend) ◇ : uncompressed wood.  
◆ : compressed wood.

### 3.3 수분과 열에 의한 탄성계수의 변이

기존의 소성가공 연구에 있어서 목재의 가소화를 위한 방안으로서 수분과 열에 의한 연화처리를 기본골격으로 하고 있으며, 특히 변형율을 극대화시키기 위하여 저해인자인 탄성계수를 최소화할 수 있는 방향으로 연구가 진행되어 온 것이 사실이다. 왜냐하면, 목재와 같은 탄성체에서의 응력-변형을 관계는 후크의 법칙에 따르는 것으로 간주하며, 응력은 변형율과 비례관계로서 그 비례상수

는 탄성계수이다. 즉 변형의 크기는 응력값을 탄성계수로 나눈 값으로서, 이 수식으로부터 목재의 가소화와 하중 및 변형의 관계에서 탄성계수는 변형에 대한 저항력의 지표값이기 때문이다. 예를들어, 힘가공 및 압밀화가공과 같은 연화가공에 있어서 목재가 부드러워진다고 느끼는 것은 같은 크기의 변형을 주기 위해 작은 응력만으로도 충분한 것으로서, 탄성계수의 값이 작다는 것을 의미한다. 즉, 수분과 열의 연화작용에 의해 목재의 탄성율이 저하했기 때문으로서, 목재가 연화하면 동일한 힘으로 보다 큰 변형을 유발할 수 있는 것이다. 수증기처리 또한 열연화의 우수한 한 방안으로 오래전부터 시도되어 온 것이지만, 압밀화 후처리로서 수증기처리를 한 경우에 탄성계수가 증가한다는 사실은 기존의 수증기처리에 의한 탄성계수의 감소현상과는 상반되는 사실이라고 할 수 있다.

일반적으로 수분흡수에 의한 탄성율감소 원인은 목재구성성분의 분자쇄간에 수소결합이 절단되어 물분자가 들어가 내부 가스체로서 작용하기 때문으로 평가하고 있다. 또한 흡수된 목재를 열처리함으로써 저하되는 탄성율은 목재 구성성분의 미크로브라운 운동에 기인하는 열연화로 알려져 있다. 즉, 흡수에 의한 목재 구성성분간의 응집력 저하와 이 수분의 영향으로 가능하게 된 분자의 열운동이 목재 가소화의 주요인이라 할 수 있다. 따라서 여기서 우리가 판단할 수 있는 사실은, 목재가 흡수한 수분양과 가열온도가 가소화의 정도에 직접적으로 관여하고 있다는 사실이다. 점탄성특성의 지표인 손실정점값의 변동에 관한 문헌을 보면, 열연화가 현저한 온도영역에서 피크를 나타내며 그 값이 클수록 고온쪽으로 이동한다고 알려져 있다(7,8). 여기서 열연화 거동은 주파수의존성을 나타내는데, 이것은 목재가 크리프변형이나 응력완화를 나타내는 것과 같이 탄성변형과 점성유동이 조합된 변형을 나타내는 점탄성체이기 때문이다. 이런 열연화거동의 변화는 열압프레스 기로써 목재를 압축력에 의해 압밀화시킬 때 중요한 사항이 될 것이다.

이상의 본 연구결과, 연화과정을 거쳐 열압밀화한 목재소재의 압축탄성계수 및 휨 탄성계수는 후처리로서 수증기처리를 행하여도 연화되지 않고

오히려 증가한다는 사실을 알 수 있었다. 이런 결과는 목재의 압밀화에 의해 목재의 비중이 상대적으로 증가하여 수증기라는 후처리의 효과 보다 비중의 증가라는 효과가 더욱 크게 작용하고 있는 것으로 판단되었다.

#### 4. 결 론

비압밀화재와 열압밀화재의 고압수증기 처리조건에 따른 압축 및 휨 탄성계수를 조사한 결과, 압축탄성계수는 수증기처리시간의 증가에 따라 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이에 대하여 휨탄성계수는 수증기처리시간의 증가와는 상관없이 거의 일정한 값을 나타내었다. 따라서 열압밀화재는 휨작용에 대한 저항력보다 수증기처리라는 후처리를 통하여 압축작용에 대한 저항력의 증가가 뚜렷하게 인정되었기 때문에, 마루판 등의 소재로서 적용함이 좋을 것으로 판단되었다. 일반적인 수증기처리에 의한 열연화로 목재 탄성계수의 감소라는 현상과는 상반되게 탄성계수가 오히려 증가하는 현상에 대해서는 열압밀화라는 공정이 근본 원인으로 작용하는 사실을 알 수 있었다. 수증기처리에 의한 압축탄성계수의 증가현상에 대해서는 아직 알 수 없다.

#### 5. 참고문헌

1. 이원희, 한규성. 2000. 수증기처리에 의한 열압밀화목재의 압축 고정. 한국가구학회지11(1): 85-89.
2. 鄭勝秀, 李元熙. 1998. 열압밀화 목재의 흡수특성. 한국가구학회지. 9(1):9-15.
3. Wahyu Dwianto, 井上雅文, 則元 京. 1997. 熱處理による壓縮變形の固定. 木材學會誌. 43(4):303-309.
4. 李元熙, 金炳魯. 1993. 印章材料의 基礎的 材質에 관한 研究. 한국가구학회지.4(2):1-10.
5. 井上雅文, 門河倫子, 西尾治郎, 則元 京. 1993. 木材中の水分を利用した水熱處理による壓縮變形の永久固定. 木材研究·資料. No.29:54-61.
6. 井上雅文, 則元 京. 1991. 熱處理による壓縮變形の永久固定. 木材研究·資料.No.27:31-40.
7. N.L.Salmen. 1984. *Mater. Sci.*, 19:3090.
8. H.Hoglund. U.Sohlin. G. Tistad. 1976. *Tappi*, 59:144.