

수증기 처리에 의한 열압밀화목재의 압축 고정*¹

이원희*² · 한규성*³

Fixation of Compression Set of Heat-Compressed Wood by Steaming*¹

Weon-Hee Lee*² · Gyu-Seong Han*³

ABSTRACT

This study investigated the effect of steaming on fixation of compression set and the effect of these treatments on mechanical properties of heat-compressed wood specimens. To determine the effect of steaming after compression set, wood specimens were compressed for 100min at 180℃ and then steamed for 20-100min at 120℃. Swelling tests were used to evaluate recovery of compression set. Bending, compression, and Brinell hardness tests were carried out for evaluating mechanical properties. Compressed wood steamed for 100 min at 120℃ showed 1.9% recovery of set, increases in bending and compressive properties, and no hardness change. We concluded that almost complete fixation of compression set in wood can be achieved by steaming compressed wood.

Keywords : heat-compressed wood, fixation of compression set, steaming

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

*2 경북대학교 임산공학과 Department 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

1. 서 론

최근 대내외적으로 침엽수재의 수입 및 이용이 증가함에 따라 활엽수재를 대체할 침엽수재의 활용이 절실해지고 있다. 그런데, 내장재나 가구재 등으로의 침엽수재의 활용을 위해서는, 수분에 대한 치수안정화나 표면특성을 포함한 강도적 성질의 개선이 필수적이라고 할 수 있다.

이와 관련하여, 연질의 침엽수재의 강도적 성질을 개선시키기 위해서는 열압축변형을 통하여 비중을 증대시키는 것이 유효하며, 열처리에 의해서 목재의 치수안정성이 개선된다는 사실이 오래 전부터 인정되어 왔다. 그런데, 건조세트에 의해 고정된 변형은 수분에 의해 거의 원래의 치수로 회복되므로, 이를 고정하기 위해서 열처리, 수증기 처리, 수지함침처리 등이 열압축과 병행하여 이루어지고 있다.¹⁻⁶⁾

본 연구에서는 전보에⁷⁾ 이어 열압밀화목재의 치수안정성 및 강도적 성질을 개선할 목적으로, 고압수증기로 후처리를 시행하였다. 우리나라의 대표적 침엽수종인 소나무를 공시재료로 하여 수증기 처리시간을 변화시킨 후, 처리재의 치수회복도, 수분에 의한 팽윤율, 그리고 강도적 성질의 변화를 측정함으로써 그 성능 개선 효과를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

실험에 이용한 공시재료는 20℃, 65% 상대습도 조건에서 조습이 된, 기건비중이 0.49(±0.04), 평균연륜폭 1.1(±0.09)mm, 연륜경사각이 0인 국산 소나무(*Pinus densiflora*) 기건재(함수율 9%)를 이용하였다.

2.2. 열압밀화 시험편의 제작

열압밀화 시험편의 제작을 위한 소나무 시험편의 치수는 100(L)mm×20(R)mm×20(T)mm였다. 기건 상태의 시험편을 열압기에서 10mm의 stop-bar(압축율 50%)를 사용하여 방사방향으로 압력

65kgf/cm²의 하중을 가하여 열압밀화를 행하였다. 열압온도는 180℃로 하였으며, 열압시간은 100분으로 고정하였다. 시험편의 개수는 각 조건당 5개씩으로 하였으며, 압밀화후 시험편의 평균 기건비중은 0.83이었다. 이 시험편을 철제도구로 구속하여 오토클레이브에서 수증기 처리하였으며, 처리온도는 120℃로, 처리시간은 20, 40, 60, 80, 100분으로 하였다.

2.3. 수분흡수에 의한 변형회복시험

열압밀화 한 목재시험편의 수분에 대한 성질 중에서 치수안정성 평가를 위하여 수분에 의한 팽윤율, 팽윤에 의한 치수회복도에 대한 실험을 행하였다. 이때 사용한 시험편은 열압밀화재, 열압밀화후 수증기처리재, 비압밀화재로부터 제작하였으며, 시험편의 치수는 20(L)mm×10(R)mm×20(T)mm였다. 시험편의 개수는 각 조건당 5개씩을 제작하였다. 시험편의 두께(방사방향) 팽윤율, 치수회복도 계산을 위하여 열압시험편의 기건시 두께방향 치수를 측정하였다. 치수를 측정한 후, 시험편을 25℃ 항온수조에서 24시간동안 침지흡수시켰다. 항온수조에 침지한 후 가압방향으로 시험편의 두께를 각 시점에서 측정하였다. 기건재의 두께, 열압전후 시험편의 방사방향 두께로부터 팽윤율과 치수회복도를 다음의 각 식으로 산출하였다.

$$\text{치수회복도(\%)} = \frac{l_r - l_c}{l_o - l_c} \times 100 \text{-----(1)}$$

$$\text{팽윤율(\%)} = \frac{l_{nh} - l_g}{l_g} \times 100 \text{-----(2)}$$

단, l_r : 수분흡수 회복시험후 전건치수
 l_c : 열압밀화 처리후 전건치수
 l_o : 열압밀화 처리전치수
 l_{nh} : 각 측정시점에서의 치수
 l_g : 기건치수

2.4. 압축강도

압축강도 측정은 만능강도 시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H 50K-S)를 사용하여 실시하였으며, 열압밀화재, 열

압밀화후 수증기처리재, 비압밀화재로 나누어 비교 실험하였다. 고압수증기 처리를 한 시험편에서 압축강도시험편으로 20×20×17mm(L×R×T)를 준비하여, 5회 반복 측정하였다. 또한 크로스헤드 속도는 3mm/min로 하였다.

2.5. 휨강도

휨강도 시험편의 치수는 150×10×22mm(L×R×T)로 준비하였다. 이 시험편을 이용하여 열압밀화재, 열압밀화후 수증기 처리재, 비압밀화재로 나누어 휨강도를 측정하였으며, 크로스헤드 속도는 3mm/min로 하였다.

2.6. 브리넬경도

10mm의 강철구슬이 일정깊이까지 압입될 때의 하중으로 평가되는 브리넬 경도값을 측정하였다. 경도측정은 시험편의 반경방향으로 실시하였으며, 각 조건당 3회 반복 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수증기처리에 의한 압축변형의 고정

고압수증기로 처리한 열압밀화재의 팽윤성을 알아보기 위해, 침지시간 경과에 따른 팽윤율을 각 수증기 처리 시간에 따른 두께방향의 팽윤율로 그림1에 나타냈다.

침지시간의 경과에 따라 팽윤율은 증가되었으며, 초기의 급격한 팽윤이 일어난 후 약 3시간 이후에는 거의 평형에 가까운 그래프를 나타냈다. 수증기처리 시간에 따라서는, 수증기처리를 하지 않은 열압밀화재가 70% 정도의 팽윤율을 나타낸

반면, 60분 이상의 수증기 처리재는 침지시간의 경과에 따른 최대 팽윤율이 50% 이하를 나타냄으로써 치수안정효과가 양호하였다. 또한 수증기 처리시간이 길어짐에 따라 팽윤율은 점점 작아져, 100분 처리재의 경우 약 25%까지 감소하였다.

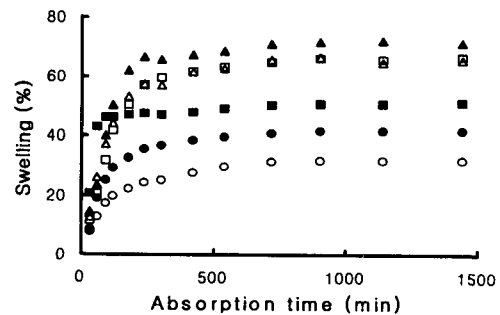


Fig 1. Relationship of swelling and steaming time of heat-compressed wood.

Legend : ▲0, □20, △40, ■60, ●80, ○:100min.

한편, 수증기로 처리한 열압밀화 시험편을 24시간 수증침지한 후의 두께방향(R) 치수회복도는 표1과 같다.

압축률 50%인 열압밀화재의 수증기 처리후 팽윤에 의한 두께방향 치수회복도(24시간 기준)는 수증기 처리 시간에 따라 최고 5.1%에서 최소 1.9%까지 큰 차이를 나타냈다. 치수회복도는 같은 수증기처리 온도에서 고압수증기 처리 시간이 길수록 회복도가 낮게 나타났으며, 열압밀화후 수증기처리에 의해서 목재의 치수안정성이 향상되는 것을 알 수 있다. 즉, 열압밀화후의 수증기 처리는 압축변형의 고정 방법으로서 매우 효과적이다.

변형된 상태에서의 열처리에 의한 압축변형의

Table 1. Relationships between recoveries of sets and steaming times.

Steaming time (min)	Recoveries of sets (%)					
	0	20	40	60	80	100
Mean	5.1	4.4	4.1	3.4	2.8	1.9
Standard deviation	1.9	2.2	3.1	3.1	2.4	1.6

고정에는 흡습성의 저하, 성분 분해에 따른 변형을 복원시키는 힘의 완화, 분자간 가교의 형성, 분자간 응집력의 향상 등이 각각 기여하고 있다고 알려져 있다.²⁾ 한편, 압축변형의 고정 메커니즘을 수증기처리에 의한 목재의 성질 변화와 관련된 연구결과를 토대로 고찰하여 보면 다음과 같이 생각할 수 있다.

수증기처리에 의해, 헤미셀룰로오스의 대부분이 쉽게 분해되고, 리그닌도 일부가 가수분해되어 저분자화 하며, 셀룰로오스도 분리되기 쉬워진다. 목재 내에서 매트릭스를 형성하는 리그닌과 헤미셀룰로오스의 분해에 의하여, 축적되어 있던 엔트로피 탄성회복력이 해방된다. 한편, 셀룰로오스도 부분적으로 분해가 진행된다면 중합도가 저하하여 마이크로피브릴의 길이가 감소하며, 마이크로피브릴에 축적되어 있던 에너지 탄성회복력이 해방된다. 이들 원인에 의하여 변형이 고정될 것으로 여겨진다. 또한, 수증기처리에 의하여 셀룰로오스의 비결정영역이 결정영역으로 재배열하여 결정성이 증가하는데, 이 결정화는 압축변형된 상태에서 안정한 결합을 형성함으로써 변형의 회복을 억제하는 효과를 줄 것이다.

3.2. 수증기처리한 열압밀화재의 강도적 성질

그림2는 수증기 처리시간에 따른 열압밀화재의 휨강도의 변화를 나타내고 있으며, 그림3은 압축강도의 변화를 나타내고 있다.

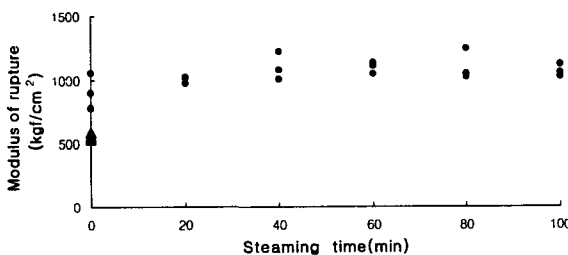


Fig 2. Relationships between moduli of rupture and steaming times for heat-compressed wood.

Legend : ◆ uncompressed wood,
● compressed wood.

그림2에서 열압밀화재의 평균휨강도는 914kgf/cm²로서 비압밀화재의 559kgf/cm²에 비해 현저하게 증대되었는데, 이는 압축변형에 따른 비중 증대가 그 원인이다. 한편 수증기처리에 의해서 휨강도는 처리시간 40분까지는 증가하여 일정하게 유지한 후 100분이 되면 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 즉 표2에 의하면 120℃에서의 수증기 처리는 약 20% 정도의 휨강도 증대를 야기하였다.

Table 2. Changes of mechanical properties of heat-compressed wood by steaming.

Steaming time(min)	Δ (%)		
	Modulus of rupture	Modulus of elasticity	Compressive strength
20	9.9	5.1	8.8
40	20.7	-1.2	22.0
60	20.0	1.5	26.4
80	20.9	9.0	29.3
100	16.8	8.3	33.5

이러한 120℃에서의 수증기 처리에 의한 휨강도의 증대 효과에 대해서는 추후 그 원인을 밝히는 연구가 필요가 있다고 생각한다. 그런데, 이는 Inoue 등³⁾이 시도한 고온의 수증기 처리의 결과와 다른 경향을 나타내는 것으로서 주목할 만 하다. 이들은 180-220℃에서 1-8분간 수증기 처리한 결과, 휨강도가 5% 정도 감소하였다고 하였다.

한편, 휨탄성계수는 휨강도에 비해 변화의 폭이 적었으며, 그 경향을 가늠하기가 어려웠다. 비압밀화재 평균값이 71.5×10³kgf/cm²인 것에 비해 수증기 처리 하지 않은 열압밀화재는 108.2×10³kgf/cm²로 증대하였으며, 그리고 120℃에서 100분간 수증기 처리한 열압밀화재는 117.2×10³kgf/cm²를 나타냈다.

그림3에서 비압밀화재의 압축강도는 평균 270kgf/cm²였다. 또한 압밀화재에서 수증기처리를 하지 않은 것은 평균 758kgf/cm²로서 비압밀화재보다 약 2.8배의 큰 값을 나타냈다. 이는 압밀화

시험편의 비중이 0.49에서 0.83으로 크게 증대하였기 때문이다. 또한, 수증기 처리시간이 증가할수록 열압밀화재의 압축강도도 증가하는 경향을 나타냈는데, 100분 처리에 의하여 33.5%의 증대를 나타냈다(표2 참조).

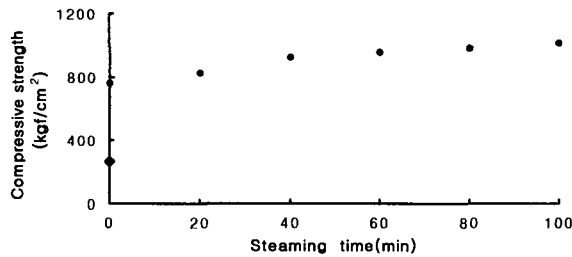


Fig 3. Relationships between compressive strengths and steaming times for heat-compressed wood.

Legend : ◆ uncompressed wood.,
● compressed wood.

한편, 표면의 단단하기를 나타내는 브리넬경도를 측정 한 결과, 비압밀화재는 6.45N/mm²인데 비하여, 열압밀화재는 10.66N/mm²로서 약 65% 증가하였다. 그러나 수증기 처리시간에 의해서는 표면경도의 변화가 없었다. 즉, 압축변형에 의해 향상된 표면경도는 수증기 처리후에도 그대로 유지되고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

압축변형을 고정시킬 목적으로 소나무재를 압축률 50%로 열압밀화 한 다음 120℃의 수증기로 처리한 결과, 수증기 처리 시간이 길어질수록 두께방향 치수회복도가 낮아졌으며, 팽윤을 또한 현저하게 억제되었다. 따라서, 열압밀화 후의 수증기처리는 압축변형의 고정 방법으로서, 그리고 치수안정화 방법으로서의 효과가 인정되었다.

한편, 소나무재의 강도적 성질은 열압밀화처리뿐만 아니라 수증기처리에 의해서도 변화하였는데, 휨강도, 압축강도 및 브리넬경도는 열압밀화처리에 의해서 크게 증대하였고, 휨강도와 압축강

도는 뒤이은 수증기처리에 의해서도 증대하는 경향을 나타냈으나 브리넬경도는 변화가 없었다.

5. 참 고 문 헌

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 井上雅文, 則元 京, 大塚康史, 山田 正. 1990. 軟質針葉樹材の表面層壓密化處理(第1報). 木材學會誌. 36(11):969-975.
5. 井上雅文, 則元 京, 大塚康史, 山田 正. 1991. 軟質針葉樹材の表面層壓密化處理(第2報). 木材學會誌. 37(3):227-233.
6. 井上雅文, 則元 京, 大塚康史, 山田 正. 1991. 軟質針葉樹材の表面層壓密化處理(第3報). 木材學會誌. 37(3):234-240.
7. 鄭勝秀, 李元熙. 1998. 열압밀화 목재의 흡수특성, 한국가구학회지, 9(1):9-15.
8. M. Inoue, M. Norimoto, M. Tanahashi and R. M. Rowell. 1993. Steam or Heat Fixation of Compressed Wood, Wood and Fiber Science, 25(3):224-235.