

국내산 잣나무 열압밀화재의 경도와 치수안정성¹

황 성 욱² · 조 범 근² · 이 원 희^{2,†}

Hardness and Dimensional Stability of Thermally Compressed Domestic Korean Pine¹

Sung-Wook Hwang² · Beom-Geun Cho² · Won-Hee Lee^{2,†}

요 약

국내산 잣나무재의 바닥재로의 이용을 위해 열압밀화를 실시하였다. 재질평가로서 표면경도와 치수안정성을 조사하였다. 압축률 50%로 열압밀화를 실시하여 비중 0.82~0.92의 고비중재를 얻을 수 있었다. 열압온도의 증가와 함께 표면경도는 증가하였으며, 온도 160℃에서 30분간 열압밀화 한 시험편의 표면경도는 23.6 N/mm²로서 가장 높은 값을 나타내었다. 그러나 180℃ 이상의 고온에서는 목재표면의 열분해에 의해 오히려 경도가 감소하였다. 열압온도의 증가는 치수회복률의 감소를 야기하였으며, 열압온도 200℃에서는 14.9%로 가장 낮은 치수회복률을 나타내었다. 열압시간의 증가 또한 치수회복률 감소에 영향을 미치지만 열압온도에 의한 영향이 더욱 지배적이었다.

ABSTRACT

We conducted a thermal compression of domestic Korean pinewood for a use in flooring. For the evaluation of flooring material, we measured dimensional stability and surface hardness of thermally compressed wood. It is possible to make high-specific gravity woods with a range of 0.82-0.92 after the thermal compression with 50% compression set. The surface hardness increased with an increase in the pressing temperature. The highest value of surface hardness was 23.6 N/mm², which was obtained from the thermal compressed wood with pressing temperature of 160℃ and 30 minutes of pressing time. However, the surface hardness of woods treated at high temperature of 180℃ or greater decreased. The recovery of thickness decreased with increasing the pressing temperature. For dimensional stability, compression temperature was more dominant than compression time.

Keywords : Korean pine, compressed wood, hardness, dimensional stability

¹ Date Received October 15, 2014, Date Accepted November 7, 2014

이 논문은 2014학년도 산림청연구비 지원에 의하여 수행되었음

² 경북대학교 농업생명과학대학 임산공학과. Department of Wood Science & Technology, College of Agriculture & Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

[†] 교신저자(Corresponding author) : 이원희(e-mail: leewh@knu.ac.kr)

1. 서 론

잣나무는 경제림 조성용 중점 조림 수종으로서 국내 산림면적 2,580,629 ha 중 214,357 ha를 차지하고 있다(Korea Forest Service 2013). 용재수종으로 조림되었지만 잣나무 특유의 약한 재질과 낮은 내구성, 그리고 국산 침엽수종 용재의 공통적인 약점인 불균일한 재질은 용재로 이용하기에 큰 제약이 된다. 이처럼 잣나무는 국내 주요 조림수종이지만, 현재 잣나무의 약한 내구성 개선 및 고도이용을 위한 연구는 미약한 실정이다. Kwon *et al.* (2004)은 잣나무 용재 생산 증가에 맞추어 잣나무의 기초재질을 조사하였으며, Park *et al.* (2012)은 과열증기 열처리에 의해 잣나무재의 수분 흡습량 및 평형함수율은 낮아졌으며, 종압축강도 및 휨강도는 증가되었다고 보고하였다.

잣나무와 같은 저비중 수종의 재질 개선을 위한 방안으로 열압밀화에 대한 연구가 상당히 진행된 바 있다. Unsal and Cadan (2008)은 저비중 속성수종인 유칼립투스를 압밀화하여 재질 개선 및 평가를 실시하였으며, Takahashi *et al.* (2013)과 Asako *et al.* (2002)은 삼나무재에 열압밀화처리를 실시하여 처리 조건 및 성능을 평가하였다. 그리고 Hwang and Lee (2011a, 2011b)는 라디에타소나무의 열압밀화 조건에 따른 물리 및 역학적 성질을 조사하였다. 이러한 열압밀화 공정은 저비중 수종의 고밀도화를 통한 재질 개량 방안으로 가장 기본적이고 확실한 방안이라고 할 수 있다. 그러나 열압밀화재의 압축을 제대로 고정하지 못한다면 목재의 스프링백에 의한 치수변화로 인해 사용상 심각한 문제를 초래할 수 있다. 따라서 열압밀화 목재의 제작에는 반드시 치수안정화가 수반되어야 한다.

본 연구는 국내 주요 조림수종인 잣나무를 이용한 바닥재 개발을 목적으로 하였다. 잣나무의 재질 개선을 위해 열압밀화를 실시하였으며, 열압밀화재 생산을 위한 최적의 조건을 탐색하였고 표면경도와 치수안정성을 조사하여 바닥재로의 이용 가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 대표적인 국산 침엽수종인 잣나무 (*Pinus koraiensis*)를 재료로 사용하였다. 잣나무재는 경상남도 거창 소재의 제재소에서 구매하여 두께 30 mm의 판재로 절삭하였으며, 그중 판목판재만을 선별하여 열압밀화에 이용하였다. 선별된 판목판재를 70 mm (L) × 30 mm (R) × 6 mm (T) 크기로 재단하여 열압밀화 가공을 실시하였다. 잣나무재 시험편의 기건비중은 0.44, 함수율은 35.8% 평균연륜폭은 4.95 mm였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 열압밀화

잣나무재의 열압밀화는 열판프레스를 이용하여 실시되었다. 압축률은 3 mm 두께의 stop-bar를 이용하여 압축 전 두께 기준 50%로 조정하였으며, 80 kgf/cm²의 압력으로 시험편의 방사방향을 압축하였다. 열압밀화는 압체온도 140℃, 160℃, 180℃, 200℃와 압체시간 10분, 20분, 30분의 조건으로 실시되었다. 압체온도 및 압체시간 조건별로 각각 5개, 총 60개의 열압밀화재 시험편을 제작하였다.

열압과정 전 잣나무재의 연화를 위해 polyethylene 필름으로 밀봉한 시험편을 마이크로파 오븐에 넣어 700 W의 출력으로 가열하였다. 1분간 가열 후 1분 냉각하여 시험편 내부의 과열을 피했으며, 시험편의 함수율이 약 20%가 되었을 때 압밀화를 실시하였다. 급속한 열압밀화는 시험편 내부의 수분 배출이 원활하지 않으며 미처 빠져 나가지 못한 수분에 의한 팽윤압으로 인해 시험편 중앙이 부풀어 오르는 현상이 발생할 수 있다. 이를 예방하기 위해 압밀화 초기에 2분간 가압한 후 30초간 압력을 해제하는 과정을 3회 반복하여 시험편 내부에 존재하는 수분의 원활한 배출을 유도하였다.

Table 1. Specific gravity and moisture content of Korean pine after thermal compression

Pressing Time (min)	Pressing Temperature (°C)									
	Control		140		160		180		200	
	S.G.	MC (%)	S.G.	MC (%)	S.G.	MC (%)	S.G.	MC (%)	S.G.	MC (%)
10			0.85 (0.06)	2.4 (0.7)	0.85 (0.06)	1.0 (0.4)	0.86 (0.04)	1.1 (0.2)	0.82 (0.02)	0.7 (0.2)
20	0.44 (0.02)*	35.8 (5.7)	0.90 (0.03)	1.8 (0.2)	0.89 (0.05)	0.8 (0.3)	0.89 (0.04)	0.8 (0.2)	0.91 (0.03)	0.6 (0.1)
30			0.87 (0.06)	1.2 (0.6)	0.92 (0.07)	0.7 (0.1)	0.88 (0.03)	0.7 (0.3)	0.82 (0.02)	0.6 (0.2)

Note : S.G., Specific gravity; MC, Moisture content; *Standard deviation.

2.2.2. 표면경도

잣나무 열압밀화재의 표면경도 시험은 KS F 2212에 의거하여 만능재료시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 이용하여 측정하였다. 직경(D) 10 mm인 쇠구슬을 0.5 mm/min의 하중 속도로 시험편에 압입시킨 다음, 압입깊이 h (mm)가 $1/\pi \div 0.32$ mm일 때의 하중 P (N)를 측정하여, 아래의 식(1)을 이용하여 브리넬 경도 H_B 를 계산하였다. 열압밀화 시험편 60개와 비압밀화재 5개 등 총 65개의 시험편의 표면경도를 측정하였다. 모든 시험편은 접선단면의 경도를 측정하였으며, 각 시험편당 6회 반복 실시하였다.

$$H_B = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{P}{10} \dots\dots\dots (1)$$

2.2.3. 흡수시험

잣나무 열압밀화재의 치수안정성을 평가하기 위해 KS F 2204에 의거하여 24시간 동안 흡수시험을 실시하였다. KS F 2204에서는 흡수면이 아닌 다른 면에는 내수성 도료를 도포하여 방수하게 되어 있으나, 본 연구에서는 바닥재의 치수안정성을 함께 평가하기 위하여 방수처리 없이 모든 면을 노출하였다. 각 조건별 모든 시험편 60개를 3단면이 모두 노출된 상태로 데시케이터 내에 넣고 구멍이 뚫린 하중판을 이용하여 시험편이 수면으로부터 약 50 mm 깊이로 잠기게 하였다. 흡수시간에 따른 흡수량을 측정하기

위해 초기 2시간 동안은 30분 간격으로, 2시간 이후 9시간까지는 1시간 간격, 9시간 이후 24시간까지는 3시간 간격으로 시험편의 중량을 측정하였다. 시험편의 중량 측정은 마른 수건으로 시험편 표면의 물기를 제거한 다음 측정하였다.

치수회복도는 압밀화에 의해 감소된 시험편의 두께회복도를 측정하였다. 두께의 측정은 흡수성시험과 함께 실시되어 흡수시간에 따른 두께회복도를 측정하였다. 그리고 24시간 흡수시험이 종료된 후 시험편을 103°C의 온도에서 건조시킨 다음 각 시험편의 두께를 측정하여 최종적인 치수회복도를 측정하였다. 다음의 식 (2)를 통해 치수회복도가 계산되었다.

$$R_t(\%) = \frac{l_r - l_c}{l_o - l_c} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

여기에서, R_t 는 치수회복도, l_r 은 흡수시험 후 전건 상태의 두께, l_c 는 열압밀화 후 두께, l_o 는 열압밀화 전의 두께이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열압밀화 후 비중과 함수율의 변화

열압밀화에 의한 국내산 잣나무재의 비중과 함수율 변화를 Table 1에 나타내었다. 열압밀화 처리를

Table 2. Surface hardness of Korean pine after thermal compression

(Unit : N/mm²)

Pressing Time (min)	Pressing Temperature (°C)				
	Control	140	160	180	200
10		15.7 (3.5)	19.0 (3.7)	20.2 (5.7)	14.5 (1.3)
20	6.6 (2.1)*	18.5 (3.4)	20.0 (3.6)	18.4 (1.3)	14.8 (3.1)
30		23.2 (3.8)	23.6 (3.4)	20.0 (1.0)	14.6 (2.4)

* Standard deviation

하지 않은 대조군의 비중이 0.44인데 비하여 약 50% 수준으로 증가한 열압밀화 시험편의 비중은 0.82~0.92로 나타나 압밀화처리에 의해 86%~109%로 상승하였다. 이러한 비중의 증가는 열압밀화 목재의 물리적 및 역학적 성능 향상에 가장 직접적인 원인이 된다.

최근 신축되는 공동주택의 95% 이상에서 목질소재의 바닥재가 시공(Park 2012)되고 있지만 기본적으로 목재는 단열성능이 뛰어난 재료이다. 특히 우리나라와 같이 온돌시스템, 즉 바닥 복사난방에서는 목질소재 바닥재가 오히려 난방열의 실내유입을 차단한다. 바닥 복사난방에서 중요한 열전도율은 목재의 비중과 비례관계에 있다. 따라서 열압밀화에 의한 잣나무재의 비중 증가는 열전도율을 향상시켜 동절기 난방 에너지 절감에 도움이 될 것으로 예상된다.

3.2. 표면경도

국내산 잣나무 열압밀화재의 표면경도를 Table 2에 나타내었다. 열압밀화 처리를 하지 않은 대조군의 경도는 6.6 N/mm²으로 매우 낮은 표면경도 값을 나타내었다. 온도 160°C에서 30분간 열압된 시험편의 표면경도는 23.6 N/mm²으로 가장 높은 값을 나타내었는데, 이 값은 대조군에 비해 약 3.6배 향상된 값이다. 이러한 표면경도의 향상은 1차적으로 열압밀화에 의한 비중의 증가와 함수율의 감소에 기인한다 (Table 1).

열압온도 160°C까지는 온도의 증가와 함께 표면경도가 증가하였지만, 160°C 이후에는 오히려 표면경도가 감소하여 200°C에서 가장 낮은 표면경도 값을 나타내었다. 열압온도 160°C까지 표면경도가 상승하는 것은 온도에 의한 함수율의 감소와 표면재질의 경화가 그 원인이라 판단된다. 반면, 열압온도 160°C 이후의 표면경도 감소는 180°C 이상의 높은 온도에 의해 열분해가 일어나 표면경도가 감소된 것으로 판단된다. 이러한 결과는 라디에타소나무 열압밀화재의 역학적 특성을 연구한 Hwang and Lee (2011)의 연구에서도 확인할 수 있는데, 이들의 연구에서는 열압온도 180°C까지 온도의 증가와 함께 표면경도가 증가하였으며, 180°C 이후 표면경도는 감소하였다. 또한 낙엽송과 소나무의 열처리를 연구한 Kang (2008)의 연구에서도 220°C에서 오랜 시간 열처리할 경우 오히려 표면경도가 감소한다는 결과를 보고한 바 있다.

열압시간에 따른 표면경도의 변화는 140°C와 160°C에서는 열압시간의 증가와 함께 표면경도가 증가하였지만, 180°C와 200°C에서는 열압시간의 증가에 따른 표면경도의 뚜렷한 변화를 찾을 수 없었다.

3.3. 흡수성

24시간 흡수시험에 의한 잣나무 열압밀화재의 흡수량을 Fig. 1에 나타내었다. 온도의 증가와 함께 흡수량은 감소하였다. 140°C와 160°C의 경우 총 5~6

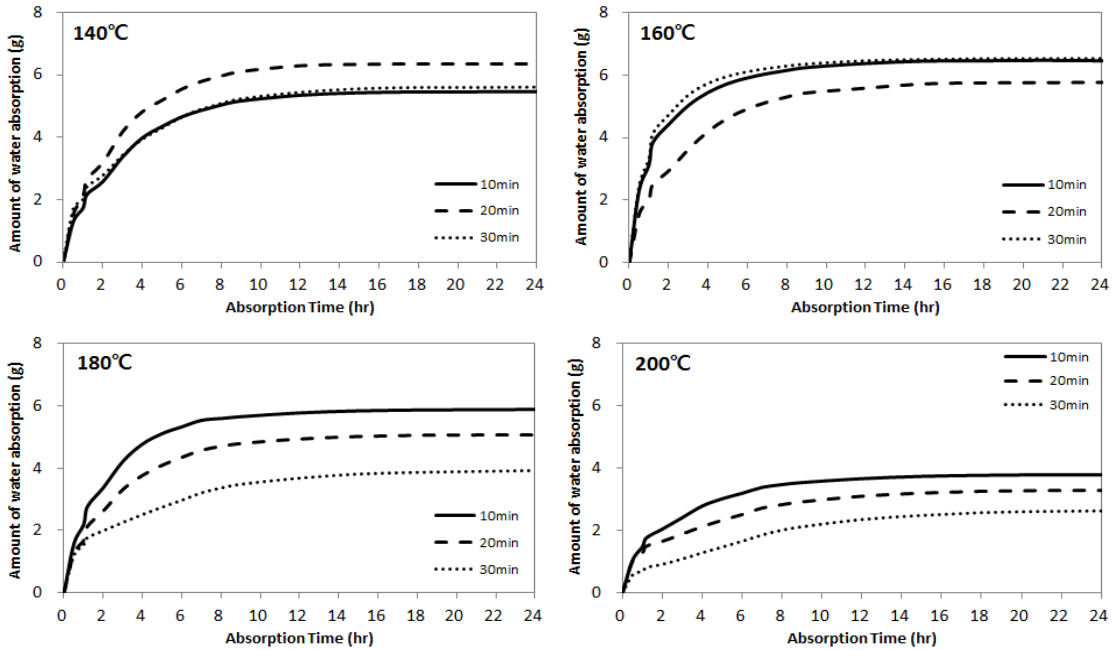


Fig. 1. Amount of water absorption of thermally compressed Korean pine.

g의 수분을 흡수한데 반해, 200℃는 3 g 내외의 수분만을 흡수하였다. 그리고 180℃와 200℃의 열압온도에서는 열압시간의 증가에 의해 흡수량이 줄어드는 경향을 나타냈다. 이와 동일한 경향은 소나무 열압밀화재의 흡수특성을 연구한 Jung and Lee (1998)의 연구에서도 볼 수 있다. 이들은 열압온도 200℃ 이상의 고온에서는 처리시간이 흡수특성에 영향을 미치는 중요한 인자라고 언급하였다.

모든 열압온도에서 흡수초기 높은 흡수량을 나타내었다. 압체온도 160℃에서 10분과 30분을 제외한 대부분의 온도조건에서는 흡수 8시간 이후 흡수량이 급격하게 줄어든 뒤 안정되었다. 160℃-10분과 20분의 경우 가장 빠른 시간인 6시간 이후 흡수량이 정체되었다. 전반적으로 흡수초기 급격한 흡수량을 나타낸 이후 빠른 시간 내에 흡수량이 정체되었으나 180℃-30분과 200℃-20분, 30분의 경우 흡수 초기 1시간 동안 높은 흡수량을 나타낸 후 8시간까지도 꾸준한 흡수량을 나타내었다. 그리고 12시간 경과할 때까지도 소량의 흡수량 증가를 나타내어 가장 오랫동안

흡수하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 열압온도 140℃와 160℃의 시험편의 경우 온도에 의한 압축고정효과가 낮기 때문이라 판단된다. 즉, 흡수에 의해 시험편의 두께가 빨리 회복되며, 두께가 회복된 만큼 흡수면적이 넓어져 흡수 초기 높은 흡수량을 나타내고 빨리 안정되는 것으로 생각된다.

3.4. 치수회복도

흡수시간 경과에 따른 두께회복률은 흡수량과 동일하게 흡수 초기에 높은 두께회복률을 나타내었다 (Fig. 2). 흡수 초기 급격한 두께회복 이후 회복률이 정체되는 시간은 열압온도 140℃와 180℃는 6시간, 160℃는 4시간, 200℃는 8시간 이후로 안정되는 것으로 나타나 흡수량이 정체되는 시간 보다 약 2시간 정도 빨리 안정되었다. 즉, 두께회복이 정체되는 시간에서 각 조건별 시험편들의 세포벽은 결합수로 포화되고, 약 2시간 이후 흡수가 정체되는 시점에서 시

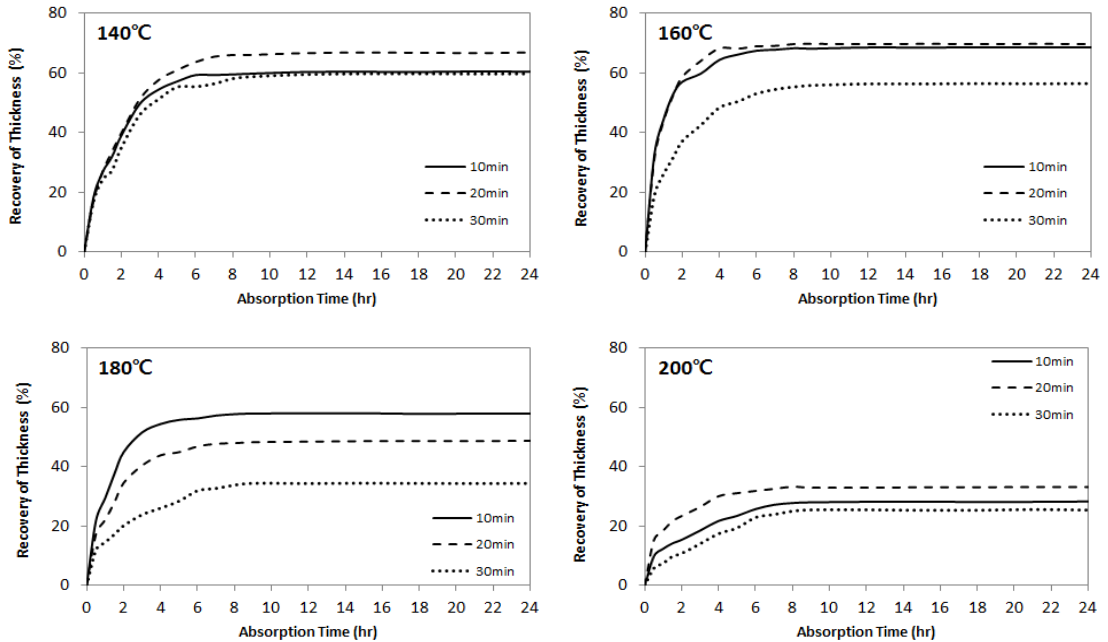


Fig. 2. Recovery of thickness of thermally compressed Korean pine by water absorption.

힘편이 포수상태에 도달한다는 것을 알 수 있었다.

24시간 흡수시험에 의한 시험편의 치수회복률을 Fig. 3에 나타내었다. 열압온도와 시간이 증가할수록 치수회복률이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 특히 열압 온도의 증가에 의한 압축회복의 감소는 현저하였다. 열압온도 140°C의 평균 치수회복률은 약 54.6%, 160°C에서는 약 56.4%로 거의 동일한 회복률을 나타내었다. 그러나 180°C에서는 치수회복률이 크게 감소되어 평균 34.1%의 회복률을 나타내었으며, 200°C에서는 회복률이 14.9%로 나타나 온도증가에 따른 압축고정효과를 확인할 수 있었다. 이러한 압축 고정은 높은 온도의 열에 의해 목재의 흡습성이 저하되고 결정화도는 증가하며, 분자간의 응집력 향상에 의한 것이라 알려져 있다. Hakkou *et al.* (2005)은 너도밤나무 열처리재의 접촉각 시험에서 열처리 온도 130°C와 160°C 사이에서 소수성이 급격히 변화되는 것을 관찰하였는데, 화학분석을 통해 이러한 현상은 목재 내 리그닌의 가소화에 의해 고분자의 입체 배열이 변화되었기 때문이라 추정하였다.

Lee and Han (2000)은 열압밀화 목재의 수증기 처리에 관한 연구에서 120°C의 수증기로 100분간 처리할 경우 약 2% 이하의 매우 양호한 치수고정효과를 보고한 바 있다. 그리고 Inoue *et al.* (1993)은 열압밀화 후 180°C에서 20시간, 220°C에서 5시간 열처리할 경우 회복률이 2% 이하로 나타났다고 보고하였다. 그러나 이러한 고온에서의 장시간 열처리는 오히려 목재의 강도적 성능을 저하시킬 우려가 있다. Hwang and Lee (2011b)의 연구에서도 라디에타소나무 열압밀화재를 260°C의 온도에서 제작할 경우 1.1%의 뛰어난 치수회복도를 보였지만, 표면에 탄화가 진행되어 강도적 성능 및 심미성이 매우 떨어진다고 보고하였다.

열압온도의 영향만큼 지배적이지는 않지만 열압시간 변화에 의한 치수회복률 변화도 확인할 수 있었다. 전반적으로 열압시간이 증가할수록 치수회복률은 감소되었고, 특히 열압온도 160°C와 180°C에서 30분간 열압밀화한 시험편의 경우 동일한 온도에서 10분, 20분 열압한 시험편보다 치수회복률이 크게

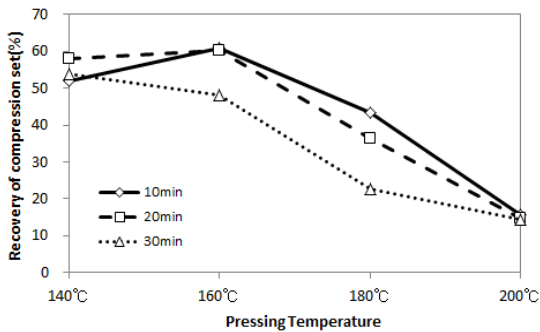


Fig. 3. Recovery of compression set by water absorption.

낮았다.

열압온도의 증가는 치수안정성을 개선시킨다. 그러나 가장 뛰어난 치수안정성을 나타낸 열압온도 200°C 조건은 표면경도를 악화시켰다. 따라서 열압 조건별 표면경도 값과 치수회복률을 종합적으로 고려해보았을 때, 잣나무를 바닥재로 이용하기 최적의 열압밀화 조건은 열압온도 180°C, 열압시간 30분으로 판단된다. 삼나무 열압밀화재의 표면경도를 조사한 Takahashi *et al.* (2013)의 연구에서는 함수율 약 10%, 온도 100°C가 삼나무 열압밀화재를 제작하기 위한 최적의 조건이라 보고하였다. 이들의 연구는 치수안정성을 고려하지 않은 결과로서 사용 상 열압밀화재의 치수회복을 고려한다면 열압온도는 상향되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

국산 잣나무재를 바닥재로 이용하기 위해 열압밀화를 실시하였다. 잣나무 열압밀화재의 표면경도와 흡수성 시험 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 압축률 50%로 열압밀화를 실시하여 비중 0.82 ~ 0.92의 고비중재를 얻을 수 있었다.
- 2) 열압온도 160°C까지는 온도의 증가와 함께 표면경도가 증가하였으며, 열압온도 160°C에서 30분간 열압밀화를 실시한 시험편의 표면경도는 23.6 N/mm²로서 가장 높은 값을 나타내었다. 그러나 180°C 이상의 고온에서는 목재표면

의 열분해에 오히려 경도가 감소하였다.

- 3) 열압온도의 증가와 함께 흡수량은 감소하였다. 흡수 초기 급격한 흡수량이 증가를 나타낸 후 흡수 6~8시간 경과한 시점에서 흡수가 정체되었다.
- 4) 열압온도의 증가는 치수회복률의 감소를 야기하였으며, 열압온도 200°C에서는 14.9%로 가장 낮은 치수회복률을 나타내었다. 열압시간의 증가 또한 치수회복률 감소에 영향을 미치지만 열압온도에 의한 영향이 더욱 지배적이다.
- 5) 국산 잣나무재의 바닥재 이용을 위한 최적의 열압밀화 조건은 열압온도 180°C, 열압시간 30분이라 판단된다.

사 사

본 연구는 산림청 “임업기술연구개발사업(과제번호:S121414L060100)”의 지원에 의하여 수행되었습니다. 그리고 재료확보에 도움을 주신 거상목재산업 김기범 대표님께 감사를 전합니다.

REFERENCES

- Asako, Y., Kamikoga, H., Nishimura, H., Yamaguchi, Y. 2002. International Journal of Heat and Mass Transfer 45: 2243-2253.
- Hwang, S.W., Lee, W.H. 2011a. The Mechanical Properties of Heat-Compressed Radiata Pine (*Pinus radiata* D.Don) by Compression Set. Journal of The Korean Wood Science and Technology 39(4): 311-317.
- Hwang, S.W., Lee, W.H. 2011b. Hardness and Dimensional Stability of Radiata Pine (*Pinus radiata* D.Don) Heat-Compressed Wood - Effect of Press Temperature & Time. Journal of The Korean Wood Science and Technology 39(3): 206-212.
- Inoue, M., Norimoto, M., Tanahashi, M., Rowell,

- R.M. 1993. Steam or Heat Fixation of Compressed Wood 25(3): 224-235.
- Jung, S.S., Lee, W.H. 1998. Characteristics of Moisture Absorption for Heat-Compressed Wood. Journal of the Korea furniture Society 9(1): 9-15.
- Kang, H.Y. 2008. Hygroscopicity and Surface Hardness of Domestic Wood Heat-Treated at 220°C. Journal of the Korea furniture Society 19(4): 229-310.
- Korea Forest Service. 2013. Statistical Yearbook of Forestry.
- Korean Standard Association. 2004. KS F 2212. Method of hardness test for wood.
- Korean Standard Association. 2009. KS F 2204. Method of test for water absorption of wood.
- Kwon, S.M., Hwang, W.J., Kwon, G.J., Kim, N.H. 2004. Wood quality of *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*. J. For. Sci., Kangwon Nat'l Univ. 20: 170-181.
- Lee, W.H., Han, K.S. 2000. Fixation of Compression Set of Heat-Compressed Wood by Steaming. Journal of the Korea furniture Society 11(1): 85-90.
- Park, Y. 2012. Improvement of Thermal Performance of Laminate Flooring for Reduction of Building Heating Energy. M.Sc., thesis. Soongsil University, Korea.
- Park, Y., Eom, C.D., Park, J.H., Chang, Y.S., Kim, K.M., Kang, C., Yeo, H. 2012. Evaluation of Physical Properties of Korean Pine (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.) Lumber Heat-Treated by Superheated Steam. Journal of the Korean wood science and technology 40(4): 257-267.
- Takahashi, M., Sakagami, Hiroki., Fujimoto, N., Hermawan, A. 2013. Simple Compression Processing for Improvement of the Surface Hardness of Sugi. Mokuzai Gakkaishi 59(2): 97-104.
- Unsal, O., Cadan, Z. 2008. Moisture Content, Vertical Density Profile and Janka Hardness of Thermally compressed Pine Wood Panels as a Function of Press Pressure and Temperature. Drying Technology 26: 1165-1169.