

국내산 침엽수 열압밀화재의 역학적 특성¹

황 성 욱² · 조 범 근² · 이 원 희^{2,†}

Mechanical Properties of Thermally Compressed Domestic Softwoods¹

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

요 약

국산 침엽수재의 용도확장을 위해 열압밀화를 실시하여 압축세트량에 따른 역학적 성능을 조사하였다. 열압밀화 공정에 의해 시험편의 밀도가 크게 향상되었다. 50% 압축 시 대조군 대비 잣나무재가 약 71%, 소나무재가 약 74%, 낙엽송재가 약 76%의 밀도가 증가되었으며, 압축세트량 증가와 함께 시험편의 재질이 균일해진다는 것을 내부밀도분포 분석을 통해 알 수 있었다. 열압밀화에 따른 역학적 성능의 변화는 대조군 대비 50% 압축 시 잣나무재의 경우, 종압축강도가 76%, 휨강도가 83%, 표면경도가 55% 증가하였다. 소나무재는 종압축강도가 69%, 휨강도가 130%, 표면경도가 76% 증가되었다. 낙엽송재의 경우 종압축강도가 77%, 휨강도가 120%, 표면경도가 44% 증가되었다. 국산 침엽수 열압밀화재의 강도성능은 일반적으로 낙엽송재가 가장 높고 잣나무재가 가장 낮았다. 그러나 열압밀화에 의한 강도성능의 증가율은 소나무재가 가장 높았다.

ABSTRACT

In this study, we investigated mechanical properties of Korean softwoods after applying thermal compression. Density of compressed woods was notably increased with thermal compression. In case of 50% compression set, density of Korean pine (*Pinus koraiensis*), Japanese red pine (*P. densiflora*), and Larch (*Larix kaempferi*) wood was increased by 71%, 74%, and 76%, respectively, when compared to the control group. The strength of woods was increased and quality of the woods became homogeneous with an increases in the compression set. On the 50% compression set, the compressive strength, bending strength, and hardness of Korean pine wood was increased by 76%, 83%, and 55%, respectively compared to the control group. Longitudinal compressive strengths of Japanese red pine wood increased by 69%, 130%, and 76%, respectively and those of Larch wood increased by 77%, 120%, and 44%, respectively. In thermal compression wood, mechanical properties of Larch wood was the highest, while those of Korean pine wood were the lowest. However, Japanese red pine wood showed the highest in the increase rate of mechanical properties after the thermal compression.

Keywords: domestic softwood, compressed wood, mechanical properties, density profile

¹ Date Received June 25, 2014, Date Accepted July 23, 2014

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)

Table 1. Physical properties of each wood samples

Species	Specific gravity in air-dry	Moisture content (%)	Annual ring width (mm)
Korean pine	0.41	38.4	4.95
Japanese red pine	0.50	33.3	3.81
Larch	0.49	40.1	5.21

1. 서 론

최근 국민들의 건강에 대한 관심 증가와 함께 친환경 소재인 목재에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 사회적 경향을 바탕으로 건축재, 내·외장재, 가구재, 생활용품 등 국민 생활 전반에 걸쳐 목재 소재에 대한 선호도가 높아졌다. 그러나 최근 주요 목재생산 국가들의 자국자원보호 정책에 의한 수출규제로 인해 양질의 원목 수입이 어려워지고 있는 현실이다.

국내 목재자급률은 지속적으로 증가되어 2014년 현재 약 17%이며, 2017년까지 21%의 목재자급률을 목표로 하고 있다. 목재자급률은 증가하지만 국산 침엽수재의 부가가치는 여전히 낮다. 국산 침엽수재는 치수가 작고 미성숙재를 많이 포함하고 있으며 재질이 불균일하여 용도가 제한적이다. 따라서 국산 침엽수재의 부가가치 향상과 용도확장을 위해서는 물리·역학적 성능의 향상과 재질의 균일화가 필수적으로 요구된다.

목재의 소성가공 방법 중 하나인 열압밀화는 일반적으로 강도 성능이 떨어지는 저밀도 속성수종을 압축 가공함으로써 저밀도재의 고밀도화를 통한 물리·역학적 성능 향상이 목적이다. 고밀도화를 위한 목재의 열압공정을 통해 목재의 건조속도, 평형함수율, 흡습성, 내구성, 표면품질 뿐만 아니라 모든 역학적 성능이 개선된다고 알려져 있다(Tarbarsa 1995; Kubojima *et al.* 2003; Wang and Cooper 2005; Unsal and Cadan 2008). Asako *et al.* (2002)은 삼나무 압밀화재의 열전도성에 대해 연구하여 접선방향과 섬유방향의 열전도성이 밀도의 증가와 비례하여 증가한다고 보고하였으며, Ohtani *et al.* (2002)은 압축률의 증가와 함께 마모저항이 직선적으로 증가한다고 보고하였다. Hwang and Lee (2011a, 2011b)은

라디에타소나무의 열압밀화를 통해 압밀화 조건에 따른 물리·역학적 성질을 조사하였다. 그리고 Park and Lim (2009)은 마이크로파로 가열 및 압축된 구조용 침엽수 규격재(S.P.F 수종)의 내구성 향상에 관한 연구를 실시하여 기준 두께 38 mm 대비 6 mm, 9 mm 압축된 시험편의 품질상태 및 내구성이 가장 우수하다고 보고하였으며, Lim (2011)은 마이크로파 가열 건조법을 이용하여 침엽수 구조재를 인산염계 방염약제 처리를 한 다음 압밀화를 실시하여 방염성능과 내구성이 향상된 구조용 목재의 개발 가능성을 보여주었다.

본 연구는 구조재, 내·외장재, 데크재, 가구재 등의 기존 목재산업에서의 국산 침엽수재의 성능 개선 뿐만 아니라 건축도목용재, 완구재, 문화재 수리 복원용 소재 등 새로운 영역으로의 용도확장을 목적으로 한다. 따라서 주요 국산 침엽수재인의 잣나무, 소나무재, 낙엽송재의 재질개량을 위한 방법으로 열압밀화를 실시하여 압축세트랑에 따른 역학적 성질을 조사 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 실험에서는 대표적인 국산 침엽수종인 잣나무 (Korean pine, *Pinus koraiensis*), 소나무(Japanese red pine, *Pinus densiflora*), 낙엽송(Larch, *Larix kaempferi*)을 재료로 사용하였다. 경상남도 거창 소재의 제재소에서 각 수종별로 1본씩 구매하여 두께 30 mm의 판재로 절삭하였으며, 그중 판목판재만을 선별하여 열압밀화에 이용하였다. 선별된 판목판재를 160 mm (L) × 160 mm (R) × 30 mm (T) 크기로 재단하여 열압밀화 가공을 실시하였다.

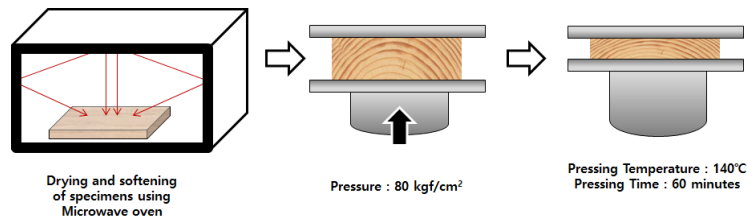


Fig. 1. Diagram of thermal compression process.

2.2. 실험방법

2.2.1. 열압밀화

국산 침엽수종의 열압밀화는 열판프레스를 이용하여 압제온도 140℃, 압제시간 60분, 압력 80 kgf/cm²으로 실시되었다(Fig. 1). 이러한 열압조건은 라디에타소나무 열압밀화재의 역학적 성능을 조사한 Hwang and Lee (2011b)의 연구결과에 기초하여 선정하였으며, 라디에타소나무의 경우 온도 140℃, 압제시간 60분에서 양호한 역학적 성능을 나타내었다. Stop-bar를 이용하여 압축세트량을 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 조정하였으며, 모든 시험편의 압축은 방사방향으로 실시되었다.

열압밀화에 앞서 목재의 연화과정으로서 시험편을 polyethylene 필름으로 밀봉하여 마이크로파 오븐에 넣어 가열하였다. 가열된 목재시험편의 함수율이 약 20% 정도가 되었을 때 압밀화를 실시하였다. 열압밀화 시험편의 함수율이 20% 이상일 경우 압축과정에서 시험편 내부의 수분이 원활하게 배출되지 않아 최종제품의 표면이 평활하지 않고 부풀어 오르는 현상이 관찰되었으며, 또한 압축고정을 얻기까지 오랜 시간이 소요되었다. 이러한 현상은 Hwang and Lee (2011b)의 연구에서도 확인할 수 있다.

2.2.2. 내부밀도분포

국산 침엽수 열압밀화재의 압축세트량에 따른 시험편 내부의 밀도분포 변화를 확인하기 위하여 밀도경사를 측정하였다. 내부밀도분포의 측정은 열압밀화재 시험편을 50 × 50 mm 크기로 재단하여 밀도분석기(DAX5000, GreCon, Germany)를 이용하여 측정하였다.

2.2.3. 종압축강도

국산 침엽수 열압밀화재의 모든 역학적 특성은 만능재료시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 이용하여 측정하였다. 종압축강도 시험은 KS F 2206에 의거하여 실시하였다. 열압밀화된 목재를 40 (L) × 20 (R) × 20 (T) mm의 크기로 재단하여 시험편을 제작하였으며, 만능재료시험기를 이용하여 3 mm/min의 하중속도로 시험을 실시하였다. 총 226개의 시험편을 이용하여 종압축강도를 측정하였다.

2.2.4. 휨강도

휨강도 시험은 KS F 2208에 의거하여 3-point bending test를 실시하였다. 시험편의 치수는 160 (L) × 10 (R) × 10 (T) mm로 재단하였고 스펠은 140 mm이었으며, 하중속도는 3 mm/min로 실시하였다. 총 160개의 시험편을 이용하여 휨강도를 측정하였다.

2.2.5. 표면경도

표면경도 시험은 KS F 2212에 따라 실시하였으며, 그 방법은 다음과 같다. 직경(D) 10 mm인 최구슬을 0.5 mm/min의 하중속도로 시험편에 압입시킨 다음, 압입깊이 h (mm)가 $1/\pi \approx 0.32$ mm일 때의 하중 P (N)를 측정하여, 아래의 식(1)을 이용하여 브리넬 경도 H_B 를 계산하였다. 모든 시험편은 접선단면의 경도를 측정하였으며, 각 시험편당 10회 반복 실시하였다.

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

Table 2. Specific gravity of compressed softwoods by compression set

Species	Compression Set					
	Control	10%	20%	30%	40%	50%
Korean pine	0.41 (0.02)*	0.45 (0.01)	0.48 (0.01)	0.54 (0.01)	0.67 (0.02)	0.70 (0.03)
Japanese red pine	0.47 (0.02)	0.52 (0.02)	0.54 (0.03)	0.63 (0.04)	0.79 (0.02)	0.82 (0.02)
Larch	0.49 (0.02)	0.52 (0.01)	0.57 (0.04)	0.73 (0.02)	0.78 (0.04)	0.86 (0.03)

* standard deviation

3. 결과 및 고찰

3.1. 열압밀화 후 비중과 함수율의 변화

열압밀화 후 비중의 변화를 Table 2에 나타내었다. 압축세트량의 증가와 함께 비중도 증가하였다. 압축세트량 50%로 압축된 시험편의 비중은 대조군 대비 잣나무재가 약 71%, 소나무재가 약 74%, 낙엽송재가 약 76% 증가되었다. 목재의 비중은 강도 성능을 결정하는 가장 중요한 지표로서 일반적으로 높은 비중의 수종은 높은 역학적 성능을 나타내기에 열압밀화에 의한 비중의 증가는 역학적 성능의 향상을 동반할 것으로 판단된다.

각 수종의 비중을 바탕으로 공극률을 계산해 보면 비중 0.41의 잣나무재는 공극률이 약 67.1%, 비중 0.47의 소나무재는 약 62.5%, 비중 0.49의 낙엽송재는 약 61.1%로 계산된다. 이렇게 계산된 각 수종의 공극률로부터 해당 수종의 최대 압축세트량 근사치를 추정할 수 있다(Hwang and Lee 2011b). 압축세트량이 각 수종의 압축한계를 넘어서게 되면 목재 세포벽의 파괴가 발생되어 오히려 강도 성능의 저하를 야기할 수 있다.

압체온도 140℃, 압체시간 60분으로 열압밀화를 실시한 후 각 수종별 시험편의 평균함수율은 잣나무 14.2%, 소나무 15.7%, 낙엽송 14.1%이었다.

3.2. 내부밀도분포

국산 침엽수 열압밀화재의 내부밀도분포 측정 결

과를 Table 3에 나타내었다. 모든 수종은 압축세트량의 증가와 함께 밀도도 증가되었다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 대조군의 경우 조재와 만재의 밀도 차이에 의한 파형이 뚜렷하게 나타났다. 압축세트량 10%에서는 시험편 양쪽 표면의 밀도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 그 이후에는 시험편 표면과 내부의 밀도가 고르게 증가되면서 조재와 만재의 밀도 차이가 줄어들었으며, 마침내 압축세트량 50%에서는 조재와 만재의 밀도가 비슷하게 되어 대조군에서 확인되었던 파형은 사라졌다. 이러한 내부밀도분포 변화는 압축세트량이 증가함에 따라 시험편의 재질, 세부적으로는 목재성질의 제1지표인 밀도가 목재내부에서 균일해진다는 것을 의미한다.

Cadan (2007)은 압력, 함수율, 압축 시간과 같은 생산 조건들이 중밀도섬유판(MDF)의 내부밀도분포, 물리적, 기계적 성질에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 그 연구에서는 압력에 의해 내부밀도분포의 형성이 영향을 받는다고 보고하였다. 목질복합재료와 목재의 열압밀화 과정을 비교하면 목재의 열압밀화의 경우 접착제의 결합효과 없이 압축고정을 달성하는데 오랜 시간이 소요된다는 것을 제외하면 목질복합재료의 열압과정과 유사하다(Unsal and Cadan 2008). 목질복합재료의 내부밀도분포는 압력, 함수율, 온도, 접착제의 경화 등 복합적 요인의 영향을 받는다(Wang and Winistorfer 2000; Cadan 2007). 열압밀화 목재의 내부밀도분포는 최종제품의 물리적, 기계적 성질에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다. 따라서 열압밀화 목재의 내부밀도분포의 형성에 영향을 미치는 인자에 대한 연구가 요구되며, 본 연구진

Table 3. Density profile of heat-compressed wood

Species	Compression Set	Density (kg/m ³)			
		mean	max (left)	max (right)	min
Korean pine	Control (0%)	406	536	431	369
	10%	450	548	492	426
	20%	489	725	547	477
	30%	532	577	616	478
	40%	637	702	788	595
	50%	726	793	839	674
Japanese red pine	Control (0%)	526	599	575	551
	10%	547	708	542	515
	20%	589	645	619	560
	30%	662	735	679	634
	40%	742	858	845	662
	50%	872	968	964	774
Larch	Control (0%)	464	563	493	435
	10%	483	575	614	440
	20%	540	718	601	534
	30%	636	746	651	614
	40%	702	881	830	632
	50%	850	941	877	837

은 이와 관련된 연구를 추후 진행할 예정이다.

3.3. 종압축강도

각 수종별 압축세트량에 따른 종압축강도를 Fig. 3에 나타내었다. 잣나무재의 경우 대조군의 종압축강도가 35.6 N/mm², 10% 압밀화재가 39.5 N/mm², 20%가 45.9 N/mm², 30%가 47.7 N/mm², 40%가 61.9 N/mm², 50%가 62.9 N/mm²로 나타났다. 잣나무재는 50% 수준의 열압밀화를 통해 대조군보다 약 76% 향상된 종압축강도를 나타내었다.

소나무재는 잣나무재와 거의 동일한 경향이 나타났다. 대조군의 종압축강도가 42.4 N/mm², 10% 압밀화재가 54.2 N/mm², 20%가 59.2 N/mm², 30%가 60.7 N/mm², 40%가 72.8 N/mm², 50%가 71.5 N/mm²로 나타났다. 50% 수준의 압밀화를 통해 약 69%의 종압축강도가 향상되었다.

낙엽송재 대조군의 종압축강도는 49.8 N/mm²로

잣나무재와 소나무재 대조군 보다 높은 값을 나타내었다. 이는 기본적으로 낙엽송재의 비중이 다른 두 수종에 비해 높은 값을 가지는 것에 기인한다. 낙엽송재 10% 압밀화재가 58.4 N/mm², 20%가 69.5 N/mm², 30%가 81.8 N/mm², 40%가 84.9 N/mm², 50%가 88.4 N/mm²로 나타나 압축세트량 50%로 압축 시 그렇지 않은 대조군에 비해 종압축강도가 약 77% 향상되었다.

잣나무재와 소나무재의 종압축강도가 압축세트량의 증가와 함께 비교적 일정하게 증가하다가 압축세트량 30% 이상의 구간에서 종압축강도 증가량이 두드러진 반면, 낙엽송재의 종압축강도는 압축세트량 10%~30% 구간에서의 증가량이 두드러졌다. 내부 밀도분포 결과에서 확인할 수 있듯이 압축세트량 30% 이후부터는 시험편 표면뿐만 아니라 내부의 압밀화가 상당히 진행되어 밀도의 증가폭이 커진 것이 비교적 높은 강도 향상을 나타내는 원인으로 판단된다.

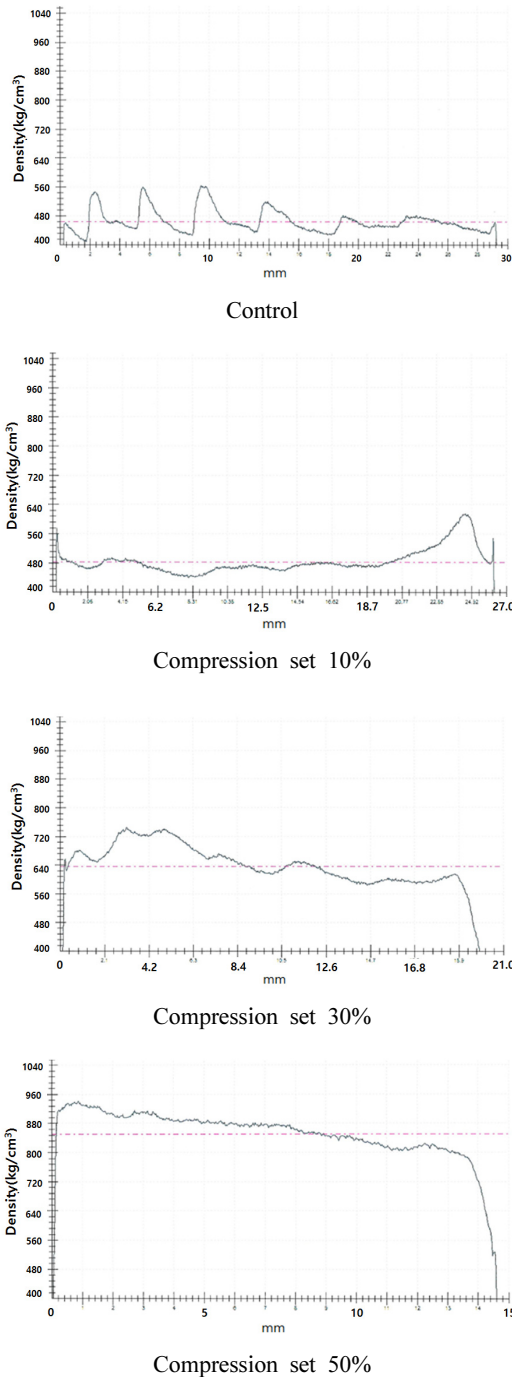


Fig. 2. Density profile of compressed Larch wood by compression set.

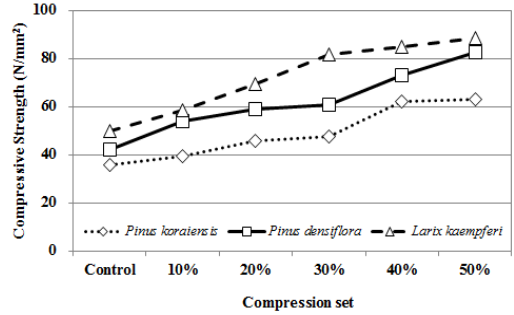


Fig. 3. Compressive strength of compressed softwoods by compression set.

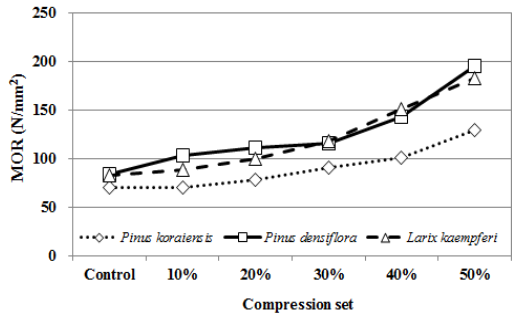


Fig. 4. MOR of compressed softwoods by compression set.

3.4. 휨강도

압축세트량에 따른 국산 침엽수 열압밀화재의 휨강도 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 소나무재와 낙엽송재가 비슷한 휨강도를 나타내었고 잣나무재의 휨강도가 가장 낮았다.

잣나무재는 가장 낮은 휨강도를 나타내었다. 대조군의 휨강도가 70.6 N/mm²이었으며, 50% 압축 시 휨강도는 129.2 N/mm²로 약 83% 향상되었다. 소나무재의 경우, 대조군의 휨강도가 84.1 N/mm²로 세수종 중 가장 높은 값을 나타내었으며, 50% 압축 시 휨강도가 195.4 N/mm²로 대조군보다 약 130% 향상되어 가장 높은 증가율을 나타내었다. 낙엽송재 대조군의 휨강도는 83.0 N/mm²로 소나무재와 비슷한 값이었으며, 50% 압축 시 182.7 N/mm²로 대조군 대비 휨강도가 약 120% 향상되었다. 국산 침엽수재의 열

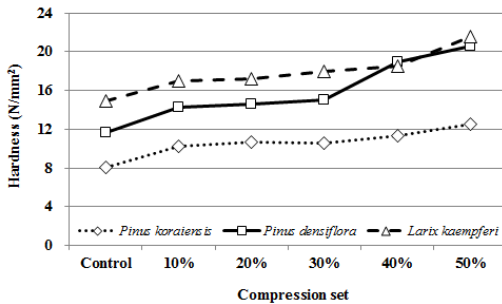


Fig. 5. Surface hardness of compressed softwoods by compression set.

압밀화에 의한 강도 성능의 향상은 종압축강도 보다 횡강도의 성능향상이 더욱 크다는 것을 확인할 수 있었다.

압축세트량 구간별 횡강도의 변화를 살펴보면, 잣나무재의 경우 압축세트량 10%에서는 70.1 N/mm²의 횡강도를 나타내어 압축에 의한 강도향상의 결과를 얻을 수 없었으며, 이후 횡강도가 서서히 증가하다 압축세트량 40% 이후 증가폭이 다소 커지는 결과를 얻을 수 있었다. 반면 소나무재와 낙엽송재는 압축세트량 30%까지는 횡강도가 서서히 증가하다 압축세트량 30% 이후 증가량이 두드러졌다. 이러한 결과는 라디에타 소나무 열압밀화재의 역학적 성질을 조사한 Hwang and Lee (2011a)의 연구결과와 유사하다. 낮은 압축세트량에서는 주로 표면의 압축이 이루어지고 압축세트량이 증가함에 따라 내부도 함께 압축이 진행된다. 그리고 압축세트량 50%에서는 조재의 압축뿐만 아니라 세포벽이 두꺼운 만재의 압축이 진행되어 비중이 크게 증가되며, 그 결과 횡강도의 증가폭도 커지는 것이라 판단된다. 이러한 현상은 내부밀도분포 결과에서도 확인된다.

수증기처리 및 열처리한 삼나무 압밀화재의 성능을 조사한 Inoue *et al.* (1993)의 연구에서는 200℃ 이상의 고온으로 처리할 경우 오히려 횡강도가 감소한다는 결과를 보고하였다. 따라서 열압밀화 과정에서 200℃ 이상의 고온은 목재 주요 성분의 분해를 초래하여 강도 저하의 결과를 가져올 수 있다고 판단되므로 적절한 온도조건 선정이 요구된다. 본 연구

에서 적용한 압축온도 140℃에서는 강도 저하가 관찰되지 않았다.

3.5. 표면경도

국산 침엽수 열압밀화재의 표면경도를 Fig. 5에 나타내었다. 압축세트량 30% 이하에서는 수종에 따른 경도의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 낙엽송재, 소나무재, 잣나무재의 순서로 경도가 높았다. 압축세트량 30% 이후 소나무재 경도의 상승폭이 증가하여 압축세트량 40%의 소나무재 경도가 18.9 N/mm²로 동일한 압축세트량의 낙엽송재 경도 18.5 N/mm²와 대등한 값을 나타내었다.

압축세트량 50%에서 각 수종의 경도 증가를 살펴보면 잣나무재의 경우 대조군의 표면경도가 8.1 N/mm², 50% 압축 시 12.5 N/mm²로 약 55% 향상되었고, 소나무재는 대조군이 11.7 N/mm², 50% 압축 시 20.6 N/mm²로 약 76% 향상되었다. 그리고 낙엽송재는 대조군이 14.9 N/mm², 50% 압축 시 21.5 N/mm², 약 44% 정도 향상되었다. 10% 압축 시 모든 수종의 표면경도 증가율이 높았으며, 이후 잣나무재의 증가폭은 감소하였다. 소나무재의 경우 30% 이후 증가폭이 다시 커졌으며, 낙엽송재는 40% 이후 증가폭이 커졌다. 이러한 표면경도의 변화는 내부밀도분포에서도 확인할 수 있듯이 압축세트량 40% 이후 내부밀도가 크게 증가한 것에 기인한다고 판단된다. 표면경도는 비중이 가장 높았던 낙엽송재가 가장 높았으나 증가율은 소나무재가 가장 높았다.

국산 침엽수재를 바닥재, 테크재의 용도로 사용할 경우, 열압밀화 공정을 거친다면 표면경도 및 내구성이 크게 향상되어 용도적합성이 높은 소재가 될 것이라 판단되며, 이를 통한 수입재 대체효과도 기대된다.

본 연구결과를 바탕으로 국산 침엽수재의 용도확장을 위한 재질개선 방법으로 열압밀화 공정이 사용될 수 있으리라 기대된다. 추후 연구에서는 국산 침엽수재를 이용하여 압축 온도 및 시간, 압력 등 압밀화 공정 조건에 따른 열압밀화 목재의 물리·역학적 성능에 초점을 맞추어 진행될 것이다.

4. 결 론

국내산 침엽수 열압밀화재의 압축세트량에 따른 역학적 성능을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

열압밀화 공정을 통해 국내산 침엽수재의 비중이 크게 향상되었다. 대조군 대비 50% 압축 시 잣나무재가 약 71%, 소나무재가 약 74%, 낙엽송재가 약 76% 비중이 증가되었으며, 압축세트량 증가와 함께 시험편의 재질이 균일해진다는 것을 내부밀도분포 분석을 통해 알 수 있었다.

열압밀화에 따른 역학적 성능의 변화는 잣나무재의 경우, 대조군 대비 50% 압축시 종압축강도가 76%, 휨강도가 83%, 표면경도가 55% 증가하였으며, 소나무재는 종압축강도가 69%, 휨강도가 130%, 표면경도가 76% 증가되었다. 그리고 낙엽송재의 경우 종압축강도가 77%, 휨강도가 120%, 표면경도가 44% 증가되었다.

국내산 침엽수 열압밀화재의 강도성능은 일반적으로 낙엽송재가 가장 높고 잣나무재가 가장 낮았다. 그러나 열압밀화에 의한 강도성능의 증가율은 소나무재가 가장 높았다.

사 사

본 연구는 산림청 ‘2014년도 임업연구개발사업’의 지원에 의하여 수행되었습니다.

REFERENCES

Asako, Y., Kamikoga, H., Nishimura, H., Yamaguchi, Y. 2002. International Journal of Heat and Mass Transfer 45: 2243-2253.

Candan, Z. 2007. Effects of Some Production Parameters on Vertical Density Profile (VDP) and Technological Properties of Medium Density Fiberboard (MDF); M.Sc. Thesis, Istanbul University, Istanbul, Turkey, 400.

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.

Korean Standard Association. 2004. KS F 2206. Method of compression test for wood.

Korean Standard Association. 2004. KS F 2208. Method of bending test for wood.

Korean Standard Association. 2004. KS F 2212. Method of hardness test for wood.

Kubojima, Y., Ohtani, T., Yoshihara, H. 2003. Effect of shear deflection on bending properties of compressed wood. Wood and Fiber Science 36: 210-215.

Lim, N.G. 2011. Flame Resistance and Durability of Compressed Structural Wood through Microwave Heat Drying Method. Journal of the Korea Institute of Building Construction 11(2): 162-170.

Norimoto, M. 1993. Large compressive deformation in wood. Mokuzai Gakkaishi 39(8): 867-874.

Ohtani, T., Inoue, A., Tanaka, C. 2002. Abrasive wear properties of compressed sugi wood. Journal of Wood Science 48: 473-478.

Park, C.W., Lim, N.G. 2009. A Basic Study on Intensity Characteristics of Dimension Lumber of Coniferous Tree Heated by Microwave by Compressibility. Proceeding of Architectural Institute of Korea 2009. 29(1): 491-494.

Tabarsa, T. 1995. The effects of transverse compression and press temperature on wood response during hot-pressing. M. Sc., thesis, The

- University of New Brunswick, Canada.
- 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.
- Wang, J.M., Cooper, P.A. 2005. Vertical density profiles in thermally compressed balsam fir wood. *Forest Product Journal* 55: 65-68.
- Wang, S., Winistorfer, P.M. 2000. Fundamentals of vertical density profile formation in wood composites, Part 2, Methodology of vertical density formation under dynamic condition. *Wood and Fiber Science*. 32(3): 220-238.