

# 열처리 잣나무 정각재의 재색 변화 및 물성 조사\*<sup>1</sup>

임 호 목\*<sup>2</sup> · 홍 승 현\*<sup>2</sup> · 강 호 양\*<sup>2†</sup>

## Investigation of the Color Change and Physical Properties of Heat-treated *Pinus koraiensis* Square Lumbers\*<sup>1</sup>

Ho-Mook Lim\*<sup>2</sup> · Seung-Hyun Hong\*<sup>2</sup> · Ho-Yang Kang\*<sup>2†</sup>

### 요 약

국내의 주 생산 수종인 잣나무 90 × 90 mm 각재의 적절한 열처리 조건을 찾기 위해 3가지 열처리 스케줄을 적용하여 재색과 물성에 미치는 영향을 연구하였다. 1차 열처리시 온도는 170°C와 190°C, 시간은 예비가열시간 1시간을 포함하여 9시간과 13시간을 적용하였다. 2차와 3차 열처리는 모든 공시 각재에 동일하게 190°C-9시간을 적용하였다. 열처리 횟수가 증가할수록 백색도  $L^*$ 는 직선적으로 감소하였으며 표준편차도 감소하였다. 열처리 횟수가 증가할수록 색차  $\Delta E^*$ 는 직선적으로 증가하였으며, 표준편차가 커지는 경향이 있었다. 알려진 바와 달리 열처리 시편의 평균 종압축 강도가 무처리 시편보다 9% 높았다. 항팽윤율과 중량증가율을 측정하여 열처리 시편의 치수안정성이 무처리보다 크게 증가하였음을 보였다.

### ABSTRACT

Three heat-treatment schedules were applied to 90 × 90 mm dimension square lumber of *Pinus koraiensis*, one of major domestic species, and their colors and physical properties were investigated for obtaining an optimum schedule. Each square lumber was heat-treated three times. The temperatures of 170°C and 190°C, and the time of 9 hours and 13 hours were used for the first heat-treatment. The schedule of 190°C and 7 hours were used for the next two heat-treatments. The averages of brightness  $L^*$  decreased linearly as the heat-treatment repeated and its standard deviations also decreased slightly. While the averages of color difference  $\Delta E^*$  increased linearly as the heat-treatment repeated and its standard deviations also increased slightly. The average compressive strength of the heat-treated specimen was higher than that of the control by 9%, which deviates from previous reports. ASE and WPG of the heat-treated specimens were measured to confirm that heat-treatment improved dimensional stability significantly.

**Keywords :** heat treatment, color change, Weight Percentage Gain, Anti-Swelling Efficiency, saturated salt solution method, *Pinus koraiensis*

\*1 접수 2013년 3월 26일, 채택 2013년 12월 14일

“이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012004392)”

\*2 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea  
† 교신저자(corresponding author) : 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr)

**Table 1.** Heat-treatment schedules used for this study

Schedule		Stage I	Stage II	Stage III	Total time (hours)
No.	Group				
1	170-9	120°C-1h	170°C-6h	170°C-2h	9
2	170-13	120°C-1h	170°C-10h	170°C-2h	13
3	190-9	120°C-1h	190°C-6h	190°C-2h	9

## 1. 서 론

최근 국내에서는 국산재에 대한 관심과 사용이 증가하고 있다. 그로인해 국산재의 재색, 치수안정화 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 재색은 처리온도에 따라 달라지며 국내에서 목재를 160°C 이상에서 가열하여 재색을 고르게 하는 열처리기술이 개발되었다(김과 강 2005). 목재가 열가수분해되면 추출물 등이 제거되고, 헤미셀룰로오스가 분해되고 셀룰로오스와 리그닌의 변형이 일어난다(Garrote *et al.*, 1999). 열처리된 통나무는 생장응력이 줄었으며, 셀룰로오스의 결정화도 증가와 평형함수율 감소가 보고되었다(Tejada *et al.* 1997). 최근 개발된 목재의 열처리 기술은 목재의 치수안정성과 내후성을 높이는 장점이 있다(Kang, 2009; Yilgor and Kartal, 2010; Korkut *et al.*, 2010; Borrega and Karenlampi. 2010; Poncsak *et al.*, 2011).

최근 국내에서 잣나무재의 생산이 증가함에 따라 활용도를 높이기 위한 연구가 진행되고 있다. 일반 열기건조 잣나무재는 검은반점, 심변재차 등으로 재색이 균일하지 않고, 강도가 낮은 것이 단점이다. 이러한 단점을 보완하기 위한 잣나무재를 열처리하거나 과열증기처리하는 연구가 진행되어 왔다(박 외, 2012). 그 결과로 과열증기처리재가 치수안정성과 휨압축강도에서 가장 좋았고, 종압축강도는 열처리재가 가장 높았다고 보고하였다. 두 처리재 모두 재색이 짙어졌다는 결과는 얻었으나, 어느 정도 균일한 재색변화가 일어났는지는 조사하지 못했다.

열처리기술을 이용하여 잣나무재의 재색차를 줄이고 치수안정성을 높이면 가구재, 내장재 등의 부가가치 높은 제품의 소재로 사용될 수 있다. 본 연구에서

는 실대재 크기의 90 × 90 mm 잣나무 각재를 공시재료로 사용하여 적절한 열처리 조건을 찾고 여러 가지 열처리 조건이 잣나무 각재의 재색과 물성에 미치는 영향을 연구하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시각재의 제작

함수율 15%까지 열기 건조된 잣나무(*Pinus koraiensis*) 90 × 90 mm 각재를 길이 800 mm로 잘라 총 95개의 공시각재를 준비하였다. 30개씩 나누어 3가지 열처리 스케줄에 사용하였다. 비교를 위해 나머지 5개의 공시각재는 열처리하지 않고 상온에 보관하였다.

### 2.2. 열처리

열처리는 건구온도 220°C까지 올릴 수 있는 건조기에서 실시하였다. 건조기의 잔적 용적은 폭 700 mm, 깊이 800 mm, 높이 600 mm으로 한번에 30개의 공시각재를 넣고 처리하였다. 잔적 내에서 공시각재의 측면 사이에는 간격이 없었으며, 층간에는 20 mm 두께 잔목을 넣어 열기가 유통되도록 하였다. 재간 풍속은 평균 4 m/s를 유지하였으며 가슴하지 않았다.

각 열처리 스케줄은 3개의 가열단계와 냉각단계로 구성하였다(Table 1). 처음에 건조기 내부온도를 상온에서 120°C까지 가열하고(1단계, 예비가열), 계속해서 목표온도까지 서서히 상승시키고(2단계, 상승), 이후에 목표온도를 일정기간 유지한다(3단계, 유지).

1단계와 3단계의 시간은 세 열처리 스케줄이 같았으며, 2단계만 6시간 또는 10시간으로 구분하였다. 3단계가 끝난 후에는 내부온도가 상온에 도달할 때까지 열처리기 내에서 냉각시켰다.

1차 열처리를 마친 후 중량과 재색을 측정하였다. 예상대로 열처리 스케줄별 재색차이가 나타났다. 공시각재 간의 재색차이를 줄이기 위해 추가로 열처리를 실시하였다. 2차 열처리는 모든 공시각재에 3번 스케줄을 적용하였다. 모든 공시각재의 재색을 측정 한 후에 2차 열처리와 같은 조건으로 3차 열처리를 실시하였다.

### 2.3. 재색측정

공시각재의 비교적 깨끗한 면을 선택하여 수압대 패로 5 mm 정도 절삭한 후 HunterLab MiniScan XE Plus를 사용하여 CIE L\*a\*b\* 표색계로 재색을 측정하였다. 광원은 Xenon flash lamp로 파장 범위는 400 ~ 700 nm이다. 공시각재의 선택된 면에서 할렬과 응이 등 결함을 피해 길이 방향으로 비교적 균등하게 3점을 정하여 측정 한 후 이들의 평균값을 사용하였다.

색차  $\Delta E^*$ 는 아래 식 (1)을 이용하여 구하였다. 모든  $\Delta E^*$ 는 열처리 전과 비교하여 계산하였다.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_2^* - L_1^*)^2 + (a_2^* - a_1^*)^2 + (b_2^* - b_1^*)^2} \quad (1)$$

여기서  $\Delta E^*$ 는 색차(color difference),  $L^*$ 는 백색도(lightness),  $a^*$ 는 적색도(redness),  $b^*$ 는 황색도(yellowness)를 의미한다.

### 2.4. 공시시편 시험

3차 열처리를 마친 후 3번 스케줄 공시각재에서 가로 세로 높이가 각각 25 mm인 열처리 공시시편 15개와 무처리 공시각재에서 같은 크기의 공시시편 15개를 만들었다. 이것을 각각 5개씩 세 그룹으로 나누어 압축강도, 항팽윤율(Anti Swelling Efficiency, ASE), 중량증가율(Weight Percentage Gain, WPG) 시편으로 사용하였다. 열처리와 무처리 시편을 모두

103 ± 2°C 오븐에서 전건시켜 함수율 조건을 동일하게 하였다.

섬유방향 압축강도를 최대 하중 50 kN의 강도시험기(모델명 HOUNSFIELD H50KS)를 사용하여 측정하였다.

항팽윤을 시편은 0.1 mm 정도의 디지털 버니어캘리퍼스로 세 방향의 길이를 잴 후 냉수에 오랜 시간 함침하였다. 항량에 도달한 후 꺼내어 물기를 닦고 즉시 세 방향 길이를 측정하였다. 항팽윤율은 아래 식을 이용하여 구하였다.

$$ASE = \beta_c - \beta_h \quad (2)$$

$$\beta = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100\%$$

여기서, ASE = 항팽윤율(%),  $\beta_c$  = 무처리재 부피 증가율(%),  $\beta_h$  = 열처리재 부피 증가율(%),  $V_i$  = 함침전 부피(cm<sup>3</sup>),  $V_f$  = 함침후 부피(cm<sup>3</sup>)

중량증가율을 측정하기 위해 시편을 20°C에서 상대습도 95%인 테시케이터(NaSO<sub>4</sub> 포화염용액)에 넣고 항량에 도달한 다음에 중량을 측정하였다. 중량증가율은 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$WPG = \frac{W_f - W_i}{W_i} \times 100\% \quad (3)$$

여기서  $W_f$  = 최종 중량(g),  $W_i$  = 초기 중량(g)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 초기중량과 전건밀도

열처리 공시각재 90개의 열처리 전 중량은 170-9, 170-13, 190-9 공시각재의 평균값이 각각 3.06 ± 0.20 kg, 2.98 ± 0.14 kg, 3.02 ± 0.16 kg으로 그룹간 차이를 나타내지 않았다. 그러나 1차 열처리 후 세 그룹이 각각 0.22 ± 0.04 kg, 0.28 ± 0.05 kg, 0.29 ± 0.04 kg의 중량감소를 보였다. 이를 비율로 나타내면

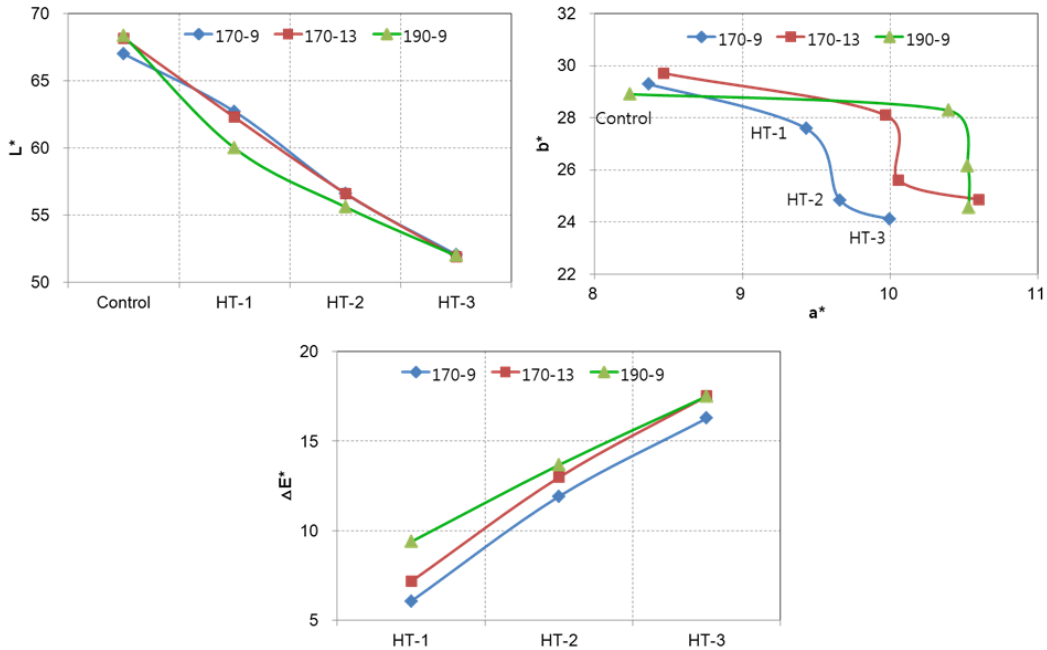


Fig. 1. Variation of color indexes for three consecutive heat-treatments.

각각 7.1%, 9.5%, 9.6%가 된다. 따라서 170-13, 190-9 스케줄이 170-9 스케줄보다 중량감소가 더 많았으며, 두 스케줄은 차이가 없었다고 볼 수 있다. 1차 열처리 후에 재색 측정을 위한 표면 대패로 인해 기본 중량이 변하였기 때문에 2차와 3차 열처리 후 공시 각개의 중량감소는 측정하지 못했다.

1차 열처리 후 치수법으로 측정된 공시각재의 규격과 중량을 기준으로 계산한 170-9, 170-13, 190-9 공시각재의 평균 전건밀도는 각각  $0.45 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.42 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ ,  $0.43 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 로 열처리 온도와 시간이 길어질수록 밀도가 낮아졌다.

### 3.2. 재색변화

열처리 스케줄과 횟수에 따른  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 와  $\Delta E^*$ 의 평균값을 Fig. 1에 나타냈다. 열처리 횟수가 증가할수록 백색도  $L^*$ 는 모든 스케줄에서 직선적으로 감소하였다. 스케줄간 차이는 1차 열처리 후에만 약간 나타났을 뿐 이후로는 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 스

케줄 170-13과 스케줄 190-9는 거의 같이 변하였다.

적색도  $a^*$ 와 황색도  $b^*$ 를 한 그래프 (Fig. 1)에 표기하였더니 다음과 같은 경향을 나타냈다. 모든 스케줄에서 1차 열처리 후에 적색도  $a^*$ 가 많이 증가하였으며, 황색도  $b^*$ 는 약간 감소하였다. 그러나 2차 열처리 후에는  $a^*$ 의 증가는 거의 없었던 반면  $b^*$ 는 비교적 많이 감소하였다. 3차 열처리 후에 스케줄 170-9와 스케줄 170-13은  $a^*$ 가 다시 증가하였으며 이에 반해  $b^*$ 는 비교적 적게 감소하였다. 그러나 스케줄 190-9는  $a^*$ 의 변화는 거의 없었으며  $b^*$ 만 스케줄 170-9와 스케줄 170-13과 비슷하게 감소하였다. 결과적으로 스케줄 170-13과 190-9는 같은 지점에 도달하였으며, 스케줄 170-9는 이들보다 약간 낮은  $a^*$ 에 도달하였다.

Fig. 1에 표기한 색차  $\Delta E^*$ 곡선은 열처리 전 공시각재와의 차이를 나타낸 것이다. 열처리 횟수가 증가할수록 모든 스케줄에서  $\Delta E^*$ 는 직선적으로 증가하였다. 보통  $\Delta E^*$ 가 9.0을 넘어야 차이를 인식할 수 있다. 1차 열처리 후 스케줄 190-9만 9.0을 넘은 것

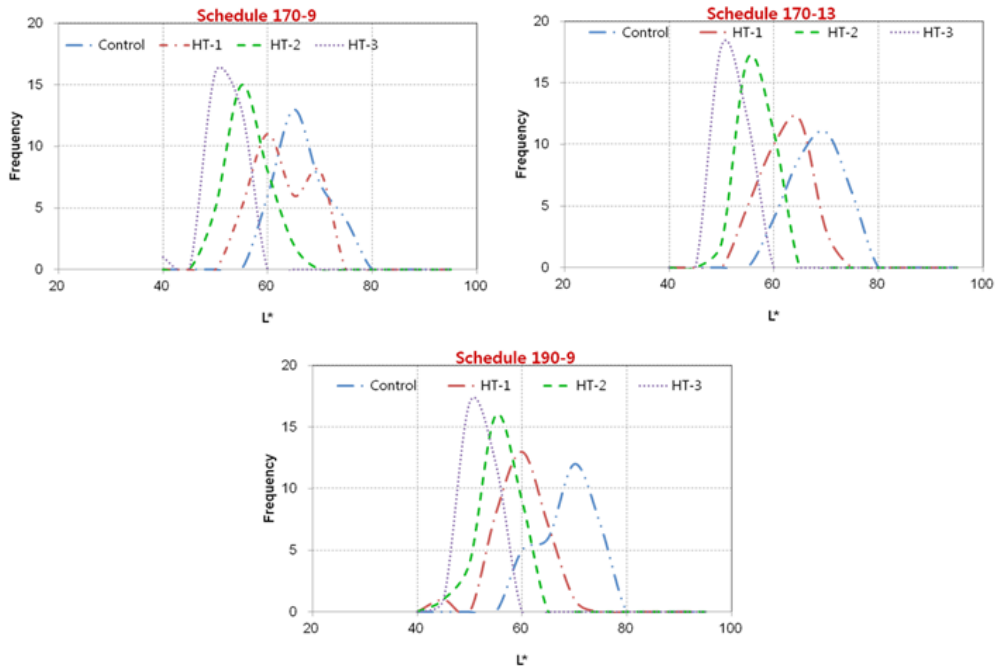


Fig. 2. Comparison of frequency distribution curves of  $L^*$  between heat-treatment replications.

으로 나타났다. 3차 열처리 후 스케줄 170-9, 170-13, 190-9의 평균  $\Delta E^*$ 가 각각 16.3, 17.5, 17.5로 나타났다.

본 연구의 주 목적은 열처리를 통해 잣나무재의 재색을 균일하게 만드는 것이다. 재색의 균일도를 비교하기 위해 공시각재의 열처리 전후 백색도를 도수 곡선으로 나타냈다(Fig. 2). 열처리가 반복될수록 백색도가 감소하는 것은 모든 스케줄이 같았다. 열처리 전과 1차 열처리 후의 산포도 형태가 비슷하고, 2차와 3차 열처리 후에는 산포도가 좁게 나타났다.

Fig. 3은 열처리 스케줄과 횟수에 따른  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 와  $\Delta E^*$ 의 표준편차 그래프이다. Fig. 1의 평균값 변화와는 다른 경향을 나타낸다.  $L^*$ 의 표준편차는 열처리 전과 1차 열처리 후에는 비슷하였으며 점차 열처리 횟수가 증가할수록 감소하였다. 이는 Fig. 2에 나타난 도수곡선의 경향을 수치로 뒷받침한다. 이에 반해  $a^*$ 의 표준편차는 1차 열처리 후에 급격히 감소하였으나 그 후에 열처리 횟수가 증가할수록 증가하였다.  $b^*$ 의 표준편차는 1차 열처리 후에 급격히 감소하였으나 그 후에 열처리 횟수가 증가하여도 큰 변화

가 없었다.  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 의 경향을 모두 합친 것이 색차를 나타내는  $\Delta E^*$ 이다.  $\Delta E^*$ 의 표준편차는 모두 2차 열처리보다 3차 열처리 후에 증가하였다. 그 차이는 심하지 않으나, 일반적으로 열처리 횟수가 증가할수록 표준편차가 커지는 경향이 있다고 할 수 있다. 따라서 재색의 균일화를 위해 열처리를 실시한다고 할 때 무조건 높은 온도에서 오랜 시간 실시하는 것보다 최적의 조건을 찾는 것이 중요하다.

### 3.3. 압축강도, 항평윤율, 중량증가율

열처리 시편의 평균 압축강도는  $34.9 \pm 1.0$  MPa, 무처리 시편은  $31.9 \pm 2.0$  MPa로 전자가 약 9% 높았다. 이는 일반적으로 열처리에 의해 목재의 휨강도 MOE는 감소한다는 연구결과(Yildiz, 2002; Esteves, 2008)에 배치된다. 한편 Esteves 등의 다른 연구(2007)에서는 4%의 중량감소까지 휨강도 MOE가 증가하였다고 보고 하였다. Kang (2008)은 220°C 열처리에서 목재의 표면경도가 증가했다는 결과를 발표

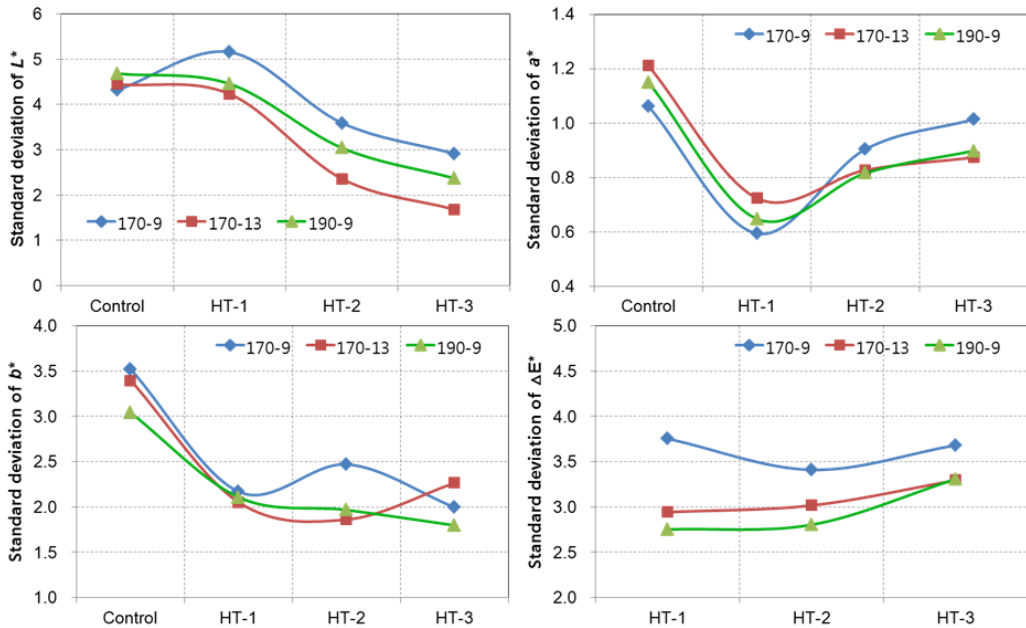


Fig. 3. Plots of standard deviations of color indexes for three consecutive heat-treatments.

하였다. t-검정 결과도 5% 유의수준에서 두 평균간 유의성이 인정되었다.

항팽윤을 실험에서 얻은 평균 부피증가율은 열처리 시편이  $4.9 \pm 1.1\%$ , 무처리 시편이  $8.0 \pm 1.5\%$ 였다. 이를 식 (2)에 대입하여 얻은 항팽윤율은 3.1%이다. 3회 열처리를 통해 치수안정성이 거의 2배 증가했음을 알 수 있다.

20°C, 상대습도 95% 조건에서 평균 중량증가율은 열처리 시편이  $16.1 \pm 0.8\%$ , 무처리 시편이  $19.4 \pm 0.2\%$ 였다. 열처리에 의해 약 20% 정도 중량증가율이 감소하였다. t-검정 결과도 5% 유의수준에서 두 평균간 유의성이 인정되었다.

#### 4. 결 론

최근 국내에서 대량생산되고 있는 잣나무재의 고도이용기술개발의 일환으로 실대재인  $90 \times 90$  mm 잣나무 각재의 적절한 열처리 조건을 찾고 여러 가지 열처리 조건이 잣나무 각재의 재색과 물성에 미치는 영향을 연구하였다. 본 연구에서 얻은 결론은

다음과 같다.

- 1) 1차 열처리 후 공시 각재의 중량 감소는 세 스케줄 170-9, 170-13, 190-9이 각각 7.1%, 9.5%, 9.6%였으며, 이때 공시각재의 평균 전건밀도는 각각 0.45, 0.42, 0.43 g/cm<sup>3</sup>로 열처리 온도와 시간이 길어질수록 밀도가 낮아졌다.
- 2) 열처리 횟수가 증가할수록 백색도  $L^*$ 는 직선적으로 감소하였으며 표준편차도 감소하였다.
- 3) 열처리 횟수가 증가할수록  $\Delta E^*$ 는 직선적으로 증가하였다.  $\Delta E^*$ 의 표준편차는 모두 2차 열처리보다 3차 열처리 후에 증가하였다. 그 차이는 심하지 않으나, 일반적으로 열처리 횟수가 증가할수록 표준편차가 커지는 경향이 있다고 할 수 있다.
- 4) 열처리 시편의 평균 압축강도는  $34.9 \pm 1.0$  MPa, 무처리 시편은  $31.9 \pm 2.0$  MPa로 전자가 약 9% 높았다.
- 5) 항팽윤을 실험에서 얻은 평균 부피증가율은 열처리 시편이 4.9%, 무처리 시편이 8.0%로 열처리에 의한 항팽윤율은 3.1%이다.
- 6) 20°C, 상대습도 95% 조건에서 평균 중량증가

율은 열처리 시편이 16.1%, 무처리 시편이 19.4%로 열처리에 의해 약 20% 정도 중량증가율이 감소하였다.

## 참 고 문 헌

1. 김수원, 강호양. 2005. 열처리 및 증기처리 라디에타 파인 유령목의 잔류수지율 및 재색변화. 목재공학 33(4): 30~37.
2. 박용건 등. 2012. 과열증기 열처리 잣나무재의 물성 평가. 목재공학 40(4): 257~267.
3. Borrega, Marc, and P. Karenlampi. 2010. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. Holz als Roh- und Werkstoff 68(2): 233~235.
4. Esteves, Bruno, I. Domingoes, and H. Pereira. 2008. Heat treatment of pine wood. Bio Resources 3(1): 142~154.
5. Esteves, Bruno, I. Domingos, and H. Pereira. 2007. Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C. Forest Products Journal 57(1/2): 47~52.
6. Garrote, G., H. Dominguez, and J. C. Parajo. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. Holz als Roh- und Werkstoff 57(3): 191~202.
7. Kang, H. Y. 2008. Hygroscopicity and surface hardness of domestic wood heat-treated at 220°C. Journal of Korea Furniture Society 19(4): 229~234.
8. Kang, H. Y. 2009. Improving the dimensional stability of spruce and birch boards by heat-treatment at 190 and 210°C. Journal of Korea Furniture Society 20(6): 560~565.
9. Korkut, Suleyman, S. Karayilmazlar, S. Hiziroglu, and T. Sanli. 2010. Some of the properties of heat-treated sessile oak (*Quercus petraea*). Forest Products Journal 60(5): 473~480.
10. Poncsak S., D. Kocaefe, and R. Younsi. 2011. Improvement of the heat treatment of Jack pine (*Pinus banksiana*) using ThermoWood technology. Holz als Roh- und Werkstoff 69(2): 281~286.
11. Tejada, A., T. Okuyama, H. Yamamoto, and M. Yoshida. 1997. Reduction of growth stress in logs by direct heat treatment: Assessment of a commercial-scale operation. Forest Products Journal 47(9): 86~93.
12. Yildiz, S. 2002. Effects of heat treatment on water repellence and anti-swelling efficiency of beech wood. In: *International Research Group Wood Pre*, Section 4-Processed, No IRG/WP 02-40223.
13. Yilgor, Nural, and Nami S. Kartal. 2010. Heat modification of wood: Chemical properties and resistance to mold and decay fungi. Forest Products Journal 60(4): 357~361.