

열처리에 의한 청변균 변색 소나무 판재의 재색 변화

이 원 희¹, 임 호 목², 강 호 양^{†,2}

¹경북대학교 임산공학과, ²충남대학교 환경소재공학과

Effect of Heat Treatment on the Color Change of Blue-Stained *Pinus densiflora* Boards

Won-Hee Lee¹, Ho-Mook Lim², Ho-Yang Kang^{†,2}

¹Department of Wood Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract: Red pine is a popular species for making a cutting board in Korea, but easily sap stained. Heat treatment could improve its quality by darkening and equalizing the color of sap stained wood. The color change of sap stained red pine boards was investigated by heat treatment at 190°C. It was observed that the color of heat treated boards got darker and it made the color of sap stain vanished. A colorimeter was used to measure color indexes. It was revealed that the values of the lightness (L*) and the yellowness (b*) decreased as heat treatment repeated while the values of the redness (a*) increased. The average of the color difference (ΔE^*) between the control and 1st heat treated boards was 16.1, which could be expressed as 'Extremely different' while that between the 1st and 2nd heat treated boards was 8.3, which could be expressed as 'Considerably different'. The fact that heat treatment equalized the color of boards was confirmed by a statistical analysis.

Keywords: Heat treatment, Colorimeter, Stained Board, CIE L*a*b*, *Pinus densiflora*

1. 서 론

목재의 열처리는 목재의 치수안정성과 내후성을 높이고 재색을 짙게 변화시킨다(Kang 2009; Yilgor and Kartal 2010; Korkut et al. 2010; Borrega and Karenlampi 2010; Poncsak et al. 2011). 목재의 재색이 짙어지는 것이 장점일 수도 있고 단점일 수도 있는데 소나무, 잣나무, 자작나무 등 재색이 밝은 수종은 벌채 후 적절한 조치를 취하지 않으면 청변균 등에 의해 쉽게 오염되고 이로 인해 목재 가치가 하락된다(김 등 2002; 김과

나 2010).

오염된 목재가 열처리되어 재색이 짙어지면 오염이 보이지 않고 고품스런 재색을 띤다. 이러한 재색 변화는 표면에서만 일어나는 것이 아니라 내부까지 고르게 변하기 때문에 절삭가공을 하여도 표면과 동일한 색상을 유지한다(Kang 2008). 재색 변화는 처리온도, 처리시간에 따라 달라지는데 목재는 160°C 이상의 온도에서부터 재색변화 효과가 나타나기 시작한다(김과 강 2005; Esteves et al. 2007, 2008; 박 등 2012).

열처리에 의해 목재가 열가수분해되면 추출물 등이 제거되고, 헤미 셀룰로오스가 분해되며, 셀룰로오스와 리그닌의 변형이 일어난다(Garrote et al. 1999). 이때 일어나는 목재의 재색 변화는 헤미셀

2014년 9월 14일 접수; 2014년 10월 3일 수정; 2014년 10월 4일 게재확정

† 교신저자 : 강 호 양 (hykang@cnu.ac.kr)

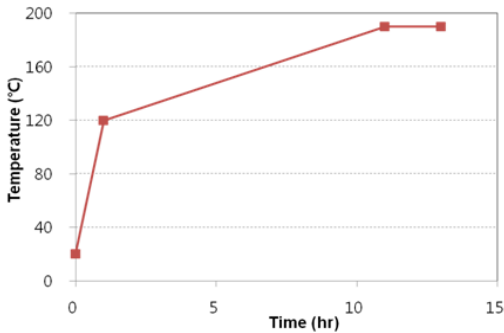


Fig. 1. A schedule of heat treatment.

룰로오스의 열화에 의한 것으로, 헤미셀룰로오스 분해 온도인 150~230°C에서 일어나는 것으로 알려져 있다. 열처리된 통나무는 성장응력이 줄었으며, 셀룰로오스 결정화도 증가와 평형함수율 감소가 보고되었다(Tejada et al. 1997).

열처리 목재는 재색이 균일하고, 치수안정성이 높을 뿐만 아니라 멸균소재이기 때문에 물과 접촉이 되는 조리도구를 만드는 재료로 각광을 받는다(Yildiz 2002). 우리나라에서 생산되는 소나무는 도마 소재로 많이 이용되는데 목재생산과 운반 과정에 변색균의 침투로 인해 쉽게 오염된다. 오염된 도마소재는 상품 가치를 잃게 된다. 본 연구에서는 오염된 소나무 도마소재의 품질 향상을 위해 열처리에 의한 재색 변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시판재

공시수종은 금강송 생산지역인 영덕 칠보산 지역에서 벌채된 소나무(*Pinus densiflora*)를 사용하였다. 도마 소재로 사용하기 위하여 도마규격으로 제재한 후 건조하지 않은 상태에서 실내에 6개월 이상 방치하여 외관상 심하게 오염된 재료를 구하였다. 공시판재의 중량을 정도 10 g의 디지털저울로 측정하였다. 열처리 실험 직전에 측정된 공시판재 치수의 평균과 표준편차는 폭 244 ± 2 mm, 두께 42 ± 1 mm, 길이 427 ± 2 mm였다. 모두 판목판재로 폭은 접선방향, 두께는 방사방향으로 볼 수 있다. 실험에 사용된 공시판재는 모두 20개였다.

2.2. 열처리

열처리는 최대 220°C까지 온도를 올릴 수 있는 장치를 사용하였다. 열처리장치의 잔적 공간은 폭 700 mm, 깊이 800 mm, 높이 600 mm였다. 잔적 내에서 공시시편 사이에 폭간 간격이 없도록 쌓았으며, 층간에는 두께 20 mm 잔목을 넣어 공기가 유통되도록 하였다. 열선풍속계(Model V-01-A, I.Denshi co. Ltd., Japan)로 잔 재간 풍속은 평균 4 m/s였다. 열처리 시에 가습하지 않는 것이 원칙이므로 습도를 조절하지 않았다.

Fig. 1과 같은 열처리 스케줄을 사용하여 다음 순서대로 처리하였다. 공시시편이 잔적된 열처리 장치를 닫고 상온에서 120°C까지 1시간 동안 예비 가열 한 후, 계속해서 190°C까지 10시간 동안 서서히 상승시켰다. 목표온도인 190°C에 도달하면 2시간 동안 같은 온도를 유지한 다음 가열장치를 끄고 열처리장치를 냉각시켰다. 열처리장치 내부 온도가 상온에 도달할 때 까지 열처리장치의 문을 열지 않았다. 120°C까지 승온 속도는 1.7°C/분, 120°C에서 190°C까지 승온 속도는 0.12°C/분이다.

1차 열처리를 마친 후 공시판재의 중량과 치수를 측정하였고 색차계로 재색을 측정하였다. 재색을 측정 후 처음과 마찬가지로 공시판재를 열처리장치 내에 잔적하고 1차 열처리와 같은 스케줄을 사용하여 반복 실시하였다. 2차 열처리를 마친 공시판재들의 재색을 측정하였다.

2.3. 공시판재의 초기함수율 계산

공시판재의 초기함수율은 1차 열처리 전과 후의 중량을 이용하여 계산하였다. 1차 열처리 후의 중량을 전건중량으로 가정하여 아래 식[1]을 이용하였다.

$$M = \frac{W - W_{od}}{W_{od}} \times 100\% \dots\dots\dots [1]$$

여기서 M = 함수율(%), W = 공시판재의 초기 중량(g), W_{od} = 공시판재의 전건중량(g)

Table 1. Sensitive expression of a color difference index

ΔE^*	Sensitive expression
0~0.5	Trace
0.5~1.5	Slightly
1.5~3.0	Noticeable
3.0~6.0	Appreciable
6.0~12.0	Considerably
12.0 이상	Extremely

2.4. 재색측정

열처리 중 공기순환으로 인해 공시판재의 표면에 먼지 등 이물질이 침적되어 재색이 변하므로 정확한 재색 변화를 알기 위해 재색 측정 전에 모든 공시판재의 표면을 자동대패를 사용하여 1.5 mm 두께로 면삭하였다. 사용한 색차계는 HunterLab MiniScan XE Plus로 광원인 Xenon flash lamp의 파장 범위는 400~700 nm이었다. 한 공시시편에 일정한 간격으로 12지점을 선정하여 CIE L*a*b*표색계로 재색을 측정하였다(Fig. 2).

색차 ΔE^* 는 아래 식 [2]를 이용하여 구하였다.

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

여기서 ΔE^* 는 색차(color difference), L^* 는 명도(lightness), a^* 는 적색도(redness), b^* 는 황색도(yellowness)를 의미한다.

미국표준국(National Bureau of Standards)에서 제시한 ΔE^* 에 따른 감각적 표현은 위 Table 1과 같다. $\Delta E^* = 6.0$ 이상일 때 충분히 색상의 차이를 나타낸다고 할 수 있다.

2.5. 분산과 왜곡도

표색치 도수분포곡선의 분석을 위해 분산과 왜곡도를 구하였다. 분산은 아래 식[3]을 이용하여 구하였다.

$$\sigma^2 = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n-1)} \dots [3]$$

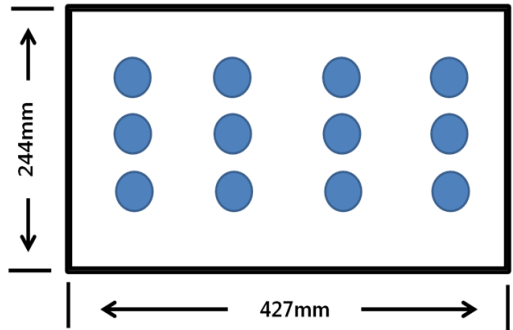


Fig. 2. A diagram of the locations of color measurement on a board.

여기서 σ^2 는 표본의 분산(variance), n 는 표본수, x_i 는 관측치를 의미한다.

왜곡도는 아래 식[4]를 이용하여 구하였다

$$\alpha = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \dots [4]$$

여기서 α 는 왜곡도(skewness), n 는 표본수, x_i 는 관측치, \bar{x} 는 평균, s 는 표준편차를 의미한다. 도수분포곡선이 정규곡선에 가까울수록 왜곡도(α)는 0에 가깝다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 초기함수율과 전건밀도

식[1]을 이용하여 측정된 공시판재의 열처리 전 평균함수율은 $15.6 \pm 1.0\%$ 였다. 이 상태를 기점으로 가정하면 공시판재의 기건밀도(기건중량 - 기건부피)는 $0.51 \pm 0.04 \text{ g/cm}^3$ 이었으며, 전건중량과 전건부피를 기준으로 한 공시판재의 전건밀도는 $0.47 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ 이었다.

3.2. 육안적 관찰

열처리 전, 후의 공시판재 모습은 육안으로도 재색의 차이를 느낄 수 있다(Fig. 3). 무처리 사진은 표면 대패 전과 후의 2개이며, 열처리 사진은 모두 표면 대패 후의 사진이다. 열처리 전에는 표

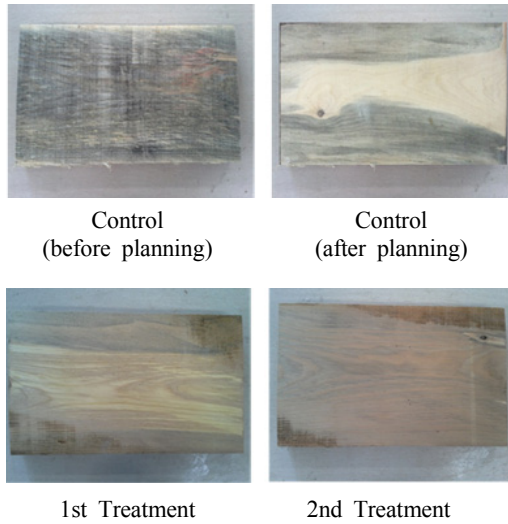


Fig. 3. Photos of control, 1st heat treated and 2nd heat treated boards.

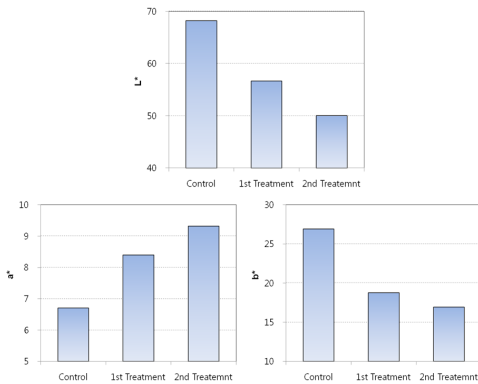


Fig. 4. Average color indexes of the control, 1st heat treated and 2nd heat treated boards.

면이 청변으로 오염되어 있었으나 2차 열처리 후에는 고풍스런 질은 갈색으로 균일하게 변하였다. 1차 열처리 후에도 재색이 약간 진하게 변하였으나 균일하지 않았다.

3.3. L*a*b*표색치

열처리에 따른 20개 공시판재의 표색치 평균을 Fig. 4에 나타냈다. 열처리가 반복될수록 명도(L*)와 황색도(b*)는 감소하였으며 적색도(a*)는 증가하였다. 명도(L*)는 1차 열처리에 의해 11.6, 2차

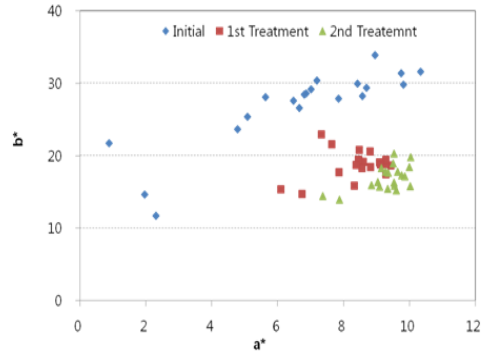


Fig. 5. Plot of two color indexes (yellowness(b*) against redness (a*)) of the control, 1st heat treated and 2nd heat treated boards.

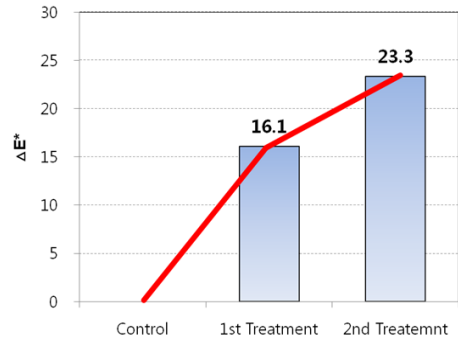


Fig. 6. Average color differences (ΔE^*) of the 1st heat treated and 2nd heat treated boards against the controls.

열처리에 의해 6.6만큼 감소하였다.

적색도(a*)는 1차 열처리에 의해 1.7, 2차 열처리에 의해 0.9만큼 증가하였으며 황색도(b*)는 1차 열처리에 의해 8.2, 2차 열처리에 의해 1.8만큼 감소하였다. 세 가지 표색치 중에 황색도(b*)가 특별히 1차 열처리만으로도 현저하게 감소하였다.

각 공시판재에서 측정된 12개 데이터의 평균을 황색도(b*)와 적색도(a*) 그래프에 나타냈다(Fig. 5). 열처리 횟수가 증가할수록 시편의 재색은 그래프의 좌측상단에서 우측하단으로 이동하였다. 즉 목재를 열처리하면 재색이 황색도(b*)는 감소하고, 적색도(a*)는 증가하는 방향으로 변한다는 것을 알 수 있었다.

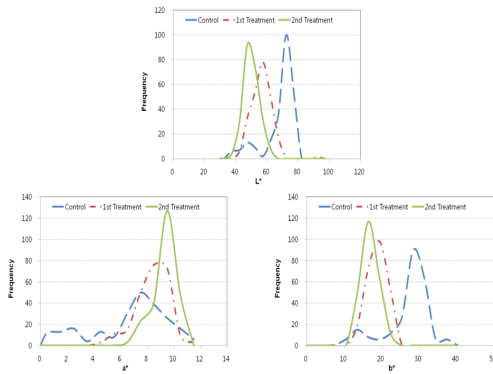


Fig. 7. Frequency distributions of the three color indexes of the control, 1st heat treated and 2nd heat treated boards.

3.4. 색차(ΔE^*)

색차 ΔE^* 는 식[2]를 이용하여 계산하였다. 각 공시판재에서 측정된 12개 관측치의 평균을 각 공시판재의 대표 값으로 사용하였다. 1차 열처리와 2차 열처리 후 공시판재의 평균 표색치를 무처리 공시판재의 평균 표색치와 비교하여 색차(ΔE^*)를 계산하였다. 1차 열처리와 무처리의(20개 공시판재의) 평균 색차와 표준편차는 16.1 ± 5.3 로 Table 1에 의하면 ‘심한 재색 차이(Extremely)’가 있다고 할 수 있다. 2차 열처리와 무처리의 평균 색차와 표준편차는 23.3 ± 6.8 로 마찬가지로 ‘심한 재색 차이(Extremely)’가 있다고 할 수 있다. 1차 열처리와 2차 열처리의 평균 색차와 표준편차는 8.3 ± 2.6 이었다. 이 값은 Table 1에 의하면 ‘현저한 재색 차이(Considerably)’가 있다고 할 수 있다.

3.5. 표색치의 분산과 왜곡도

각 공시판재에서 12개의 측정치를 얻었기 때문에 처리별로 240개의 측정치가 나타나는데 이를 이용하여 Fig. 7과 같은 표색치의 산포도를 얻었다. 세 표색치 모두 무처리의 분산이 가장 큰 것으로 보이며 열처리가 반복될수록 정규분포에 가까운 경향을 보인다.

식[3]을 이용하여 구한 세 처리(무처리, 1차 열처리, 2차 열처리 순으로)의 분산(σ^2)값은 명도(L^*)가 86.4, 25.7, 15.4 로, 적색도(a^*)가 7.0, 0.8, 0.5

로, 황색도(b^*)는 29.7, 3.9, 3.0 으로 열처리에 의해 급격히 낮아졌다. 이는 열처리에 의해 재색이 균일하여졌음을 의미한다.

식[4]를 이용하여 구한 세 처리(무처리, 1차 열처리, 2차 열처리 순으로)의 왜곡도(α)는 명도(L^*)가 -1.6, 0.6, 0.2로 열처리가 반복될수록 정규분포에 가까워지는 것을 확인할 수 있다. 적색도(a^*)는 -0.7, 0.6, -1.0, 황색도(b^*)는 -1.3, -0.1, 0.4로 명도(L^*)와는 달리 1차 열처리가 2차 열처리보다 더 정규분포에 가까웠다. 여기서 왜곡도(α)의 부호는 분포곡선이 오른쪽으로 기울었는지 왼쪽으로 기울었는지를 나타낸다.

4. 결론

소나무는 도마 소재로 많이 이용되나 쉽게 오염되어 상품성이 떨어진다. 열처리는 목재의 재색을 질고 균일하게 변화시키므로 상품성을 높일 수 있다. 오염된 소나무 도마 소재를 190°C에서 열처리 하면서 재색변화를 조사하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 영덕 칠보산 지역 금강송 공시판재의 전건밀도는 $0.47 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ 이었다.
- 2) 육안으로 볼 때 2차 열처리 후에 재색이 균일하게 짙은 갈색으로 균일하게 변하여 상품성이 향상되었다고 보여진다.
- 3) 열처리가 반복될수록 명도(L^*)와 황색도(b^*)는 감소하였으며 적색도(a^*)는 증가하였다.
- 4) 1차 열처리와 무처리의 평균 색차(ΔE^*)는 16.1로 ‘심한 재색 차이(Extremely)’가 있다고 할 수 있으며, 1차 열처리와 2차 열처리의 평균 색차(ΔE^*)는 8.3으로 ‘현저한 재색 차이(Considerably)’가 있다고 할 수 있다.
- 5) 처리별 240개 관측치의 분산을 조사한 결과, 세 가지 표색치(L^* , a^* , b^*) 모두 열처리가 반복될수록 분산 값이 현저히 줄어들었다. 이는 열처리에 의해 재색이 균일하여졌음을 의미한다.

사 사

“본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제 번호: S121414L060120)’의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.”

참 고 문 헌

- 김규혁, 김재진, 나종범. 2002. 소나무와 잣나무 원목에서 변색변색 발생. 목재공학 30(2): 128-133.
- 김성환, 나종범. 2010. 반응표면분석법을 이용한 팽나무 (*Celtis sinensis* Persoon)의 최적 변색제거조건 결정. 목재공학 38(3): 27-34.
- 김수원, 강호양. 2005. 열처리 및 증기처리 라디에타 파인 유령목의 잔류수지율 및 재색변화. 목재공학 33(4): 30-37.
- 박용건, 엄창득, 박준호, 장윤성, 김광모, 강춘원, 여환명. 2012. 과열증기 열처리 잣나무재의 물성 평가. 목재공학 40(4): 257-267.
- Borrega, Marc, and P. Karenlampi. 2010. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. Holz als Roh-und Werkstoff 68(2): 233-235.
- Esteves, Bruno, I. Domingoes, and H. Pereira. 2008. Heat treatment of pine wood. BioResources 3(1): 142-154.
- 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.
- Garrote, G., H. Dominguez, and J. C. Parajo. 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. Holz als Roh- und Werkstoff 57(3): 191-202.
- Kang, Ho-Yang. 2008. Hygroscopicity and Surface Hardness of Domestic Wood Heat-Treated at 220°C. Journal of Korea Furniture Society 19(4): 229-234.
- Kang, Ho-Yang. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.