

국산 유용 수종의 오일열처리 연구 I - 200°C 열처리 낙엽송과 오동나무 시편의 재색변화 -

강 춘 원¹, 임 호 목², 강 호 양^{†,2}

¹전북대학교 주거환경학과, ²충남대학교 환경소재공학과

Investigation on the Oil Heat Treatment of Domestic Utilization Species I - The Color Changes of Larch and Paulownia Wood Specimens Treated at 200°C -

Chun-Won Kang¹, Ho-Mook Lim², Ho-Yang Kang^{†,2}

¹Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

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

Abstract: Among several thermal wood modification methods German oil heating technology was applied for color changing larch and paulownia wood specimens. They were heat treated at 200°C for 3 hours in an autoclave filled with linseed oil. The CIE L*a*b* color indexes of the shells and cores of the oil heated specimens were measured. The color difference indexes between the oil heated and the control specimens of larch and paulownia wood were in the range of 6 and 12, which implies considerably different. The color difference indexes between the core layers of the larch and paulownia wood specimens were 4.3 and 1.7, respectively. It could be concluded that the specimens of the two species were color changed uniformly by oil heating.

Keywords: Oil heat treatment, Colorimeter, CIE L*a*b*, *Larix kaempferi*, *Paulownia coreana*

1. 서 론

목재의 열처리란 160°C~250°C의 열을 가하여 목재의 물성을 변화시키는 기술로 목재의 치수안정성과 내후성을 높이고 재색을 농화시켜 균일하게 만든다(Kang 2008; Yilgor and Kartal, 2010; Korkut et al. 2010; Borrega and Karenlampi. 2010; Poncsak et al. 2011). 목재의 열처리기술은 주로 유럽에서 발전되었는데 가열방법에 따라 독일의 오일열처리법, 네델란드의 Plato법, 프랑스의 질소법, 핀란드의 Thermo 열처리법으로 구분된다.

국내에 Thermo 열처리법이 소개되어 여러 연구자들(김과 강 2005; 김광모 외 2010; 장윤성 외 2012; 박용건 외 2012; 나 외 2012)에 의해 연구되고 있으며 3~5개 업체에서 낙엽송 데크재 등을 생산하고 있으나 다른 열처리법은 아직 연구되거나 상용화되지 않았다.

Thermo 열처리법을 국내에서 적용하여 열처리 목재를 대량 생산해 본 결과 다음과 같은 문제점이 발생하였다. 목재의 탄화과정에서 매연과 분진 그리고 불쾌한 냄새가 발생하며, 과열로 인한 화재가 발생하기 쉽고, 가열공기로 목재 온도를 높이기 때문에 에너지 효율이 낮다.

이에 반해 오일열처리법은 매연이 발생하지 않고, 화재발생 염려가 없을 뿐만 아니라 열용량이

2015년 2월 26일 접수; 2015년 3월 18일 수정; 2015년 4월 1일 게재확정

[†] 교신저자 : 강 호 양 (hykang@cnu.ac.kr)

높은 오일을 사용하기 때문에 에너지 효율이 높으며, 천연 식물성 오일을 반복하여 사용하기 때문에 탄소 중립이다(Rapp 2001; Dubey et al. 2010, 2012).

우리나라의 대표적 유용 수종인 소나무, 리기다 소나무, 잣나무, 낙엽송 등 침엽수는 목재생산 과정에서 변색균에 의한 변색이 쉽게 일어나기 때문에 가공제품의 가치가 떨어진다(김 외 2002; 김과 나 2010). 또 참나무, 아까시나무, 물푸레나무 등 국내 유용 활엽수재는 대부분 맹아 갱신되었기 때문에 박테리아균의 침입을 받은 수목이 많다. 이런 수목들은 입목상태에서 이미 재색이 오염되어 있다(강 2004; 이 외 2015).

이같이 변색되거나 오염된 재색의 목재를 열처리를 통해 재색이 농화되고 균일하게 만들 수 있다(Estevés et al. 2007, 2008; Kang 2008, 2009; 박 외 2012; 이 외 2014). 본 연구에서 낙엽송과 오동나무를 이용하여 오일열처리가 재색변화에 미치는 효과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시수종으로 국내재로 쉽게 구할 수 있으며 가구나 인테리어 소재로 사용되거나 소재로 개발될 가능성이 높은 낙엽송(*Larix kaempferi*)과 오동나무(*Paulownia coreana*)를 선택하였다. 함수율 10% 정도까지 인공건조된 판재를 구입하여 두께 20 mm로 양면대패한 후 폭 100 mm, 섬유방향 길이 150 mm로 절단하였다. 절단 후에 중량을 디지털저울(± 0.01 g)로 측정하였다. 판목판재였기 때문에 대부분의 시편이 판목이었다.

시편은 낙엽송과 오동나무는 각각 20개씩을 준비하였다. 시편의 열전달시간 측정을 위해 같은 규격의 낙엽송 예비실험 시편을 준비하였다.

2.2. 온도상승시간 측정

오일열처리 본 실험 전에 가열된 기름에 담긴 시편의 중심이 기름의 온도와 같아질 때까지 걸리는 시간을 알기 위해 예비실험을 실시하였다. Fig. 1

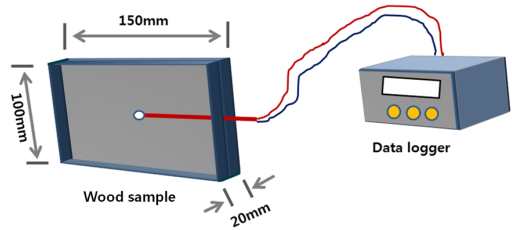


Fig. 1. Schematic diagram for monitoring the temperature at the middle of the specimen in heating oil.

과 같이 낙엽송 예비실험 시편의 중심까지 직경 3 mm 드릴로 구멍을 뚫고 T-type 열전쌍을 넣은 후 톱밥과 접착제를 섞어 구멍을 막았다. 접착제가 굳는 동안 실온에 방치하였다.

이후 다음에 설명할 오일열처리 실험 방법과 같은 방법으로 예비실험을 진행하였다. 아마유를 채운 오토크레이브를 200°C까지 가열한 다음 열전쌍을 삽입한 예비실험 시편을 넣고 데이터로거로 온도변화를 관찰하였다. 이 실험은 시편 중심의 온도가 200°C에 도달할 때까지 실시하였다.

2.3. 오일열처리

오일열처리는 대기압상태의 오토크레이브(직경 350 mm, 높이 600 mm)에서 실시하였다. 오일열처리에 사용된 기름은 벨기에산 아마인유로 비중이 0.92~0.93 (23°C)이다.

오일열처리실험은 다음과 같이 진행하였다. 열처리 전에 모든 시편의 규격과 중량을 측정하였다. 오토크레이브에 기름을 충분히 붓고 가열하여 원하는 온도에 도달한 후에 시편을 담갔다. 시편들은 기름에 뜨지 않도록 스텐인레스 강철로 만든 소형 구조물에 철사로 묶었다. 기름의 온도는 Hydra 2625A (20ch, Fluke, USA) 데이터로거로 측정하였다. 사용한 열전쌍은 T-type (구리-콘스탄탄)이었다.

시편 중심이 기름 온도와 같아진 후 이 온도를 2시간 유지하는 스케줄로 열처리하였다. 시편 중심이 기름 온도와 같아지는데 걸리는 시간은 예비실험을 통해 얻었다. 오일열처리를 마친 후 시편을 꺼내 표면에 묻은 기름을 닦아내고 디지털저울(± 0.01 g)로 중량을 측정하고 규격을 잴다.

Table 1. Sensitive Expression of a Color Difference Index (National Bureau of Standards)

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

오일열처리는 200°C (KP-Oil-200과 LC-Oil-200)에서 실시하였다.

2.4. 시편의 초기함수율 계산

시편의 초기함수율은 오일열처리 전과 후의 중량을 이용하여 계산하였다. 오일열처리 후의 중량을 전건중량으로 가정하여 아래 식 (1)을 이용하였다.

$$M = \frac{W - W_{od}}{W_{od}} \times 100\% \quad (1)$$

여기서 M = 함수율(%), W = 시편의 초기중량(g), W_{od} = 시편의 전건중량(g)

2.5. 재색측정

시편의 재색은 HunterLab MiniScan XE Plus 색차계로 사용하여 CIE L*a*b*표색치를 측정하였다. 광원은 Xenon flash lamp로 파장 범위는 400~700 nm이었다. 열처리 후에 남아있는 기름이 시편의 재색에 영향을 주기 때문에 표면을 깨끗한 헝겊으로 닦은 후 표층의 재색을 측정하였다. 내층의 재색은 표면을 자동대패한 후에 측정하였다. 한번 대패할 때마다 0.5 mm가 깎이도록 전동대패를 조절하였다. 2회 대패 후에 재색을 측정하였으며 추가로 6회를 더 대패한 후 2차로 재색을 측정하였다. 따라서 1차는 1 mm, 2차는 4 mm 깊이의 재색이 측정되었다. 시편의 양면을 모두 대패하였으며 한 면에서 3지점을 측정한 후에 평균하였다.

색차값 ΔE^* 는 아래 식 (2)를 이용하여 구하였다.

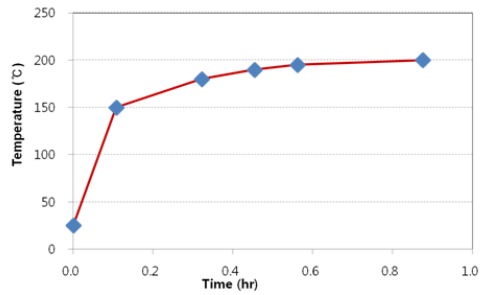


Fig. 2. A plot of the temperature change at the middle of the specimen in 200°C heating oil.

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

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

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

3. 결과 및 고찰

3.1. 초기함수율 및 전건밀도

식 (1)로 구한 시편의 평균 초기함수율(과 표준편차)은 낙엽송 시편이 $9.6 \pm 1.7\%$, 오동나무 시편이 $5.3 \pm 0.2\%$ 였다. 오일열처리 후 중량과(치수법으로 측정된) 부피를 이용하여 계산한 평균전건밀도는 낙엽송과 오동나무가 각각 0.478 ± 0.11 과 0.210 ± 0.001 이었다.

3.2. 내부온도상승시간

예비실험 시편의 중심에 삽입한 열전쌍의 온도 변화는 Fig. 2와 같다. 200°C 기름에 시편을 넣은 후 53분 만에 시편 중심의 온도가 기름의 온도와 같아졌다. 따라서 한 시간을 온도상승시간으로 정하였다.

3.3. L*a*b*표색치

시편의 오일열처리 전과 후의 평균 백색도(L*)

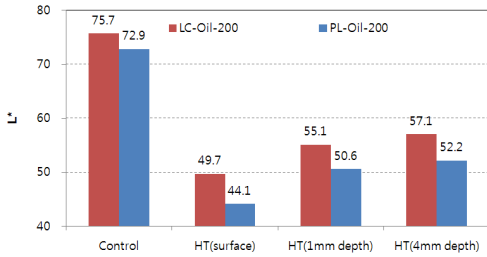


Fig. 3. Lightness indexes (L^*) measured at various depths of the larch and Paulownia wood specimens oil heated at 200°C.

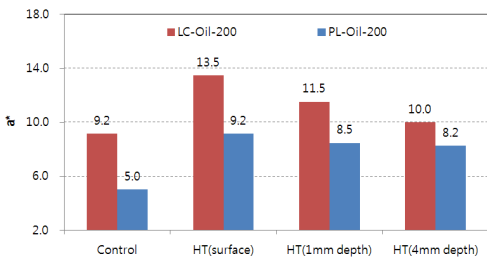


Fig. 4. Redness indexes (a^*) measured at various depths of the larch and Paulownia wood specimens oil heated at 200°C.

를 Fig. 3에 막대그래프로 나타냈다. 무처리에서 낙엽송이 오동나무보다 백색도가 높는데 이러한 차이는 오일열처리 후 모든 층에서도 비슷하게 나타났다.

두 수종 모두 표층의 백색도가 내층보다 낮은 것은 표층에 묻어 있는 기름 때문으로 생각된다. 깊이 4 mm의 백색도가 깊이 1 mm 보다 큰 것은 열처리가 충분히 일어나지 않았음을 의미한다.

시편의 오일열처리 전과 후의 평균 적색도(a^*)를 Fig. 4에 막대그래프로 나타냈다. 무처리 낙엽송의 적색도가 오동나무보다 월등히 높다. 오일열처리에 의해 모든 층의 적색도가 증가하였으며, 낙엽송과 오동나무의 차이는 그대로 유지되었다. 낙엽송은 깊이가 깊어질수록 적색도가 현격하게 감소했으나 오동나무는 표층과 내층의 적색도가 비슷하게 나타났다. 특히 오동나무의 1 mm 깊이와 4 mm 깊이는 거의 같은 적색도를 나타냈다.

시편의 오일열처리 전과 후의 평균 황색도(b^*)를 Fig. 5에 막대그래프로 나타냈다. 무처리 낙엽

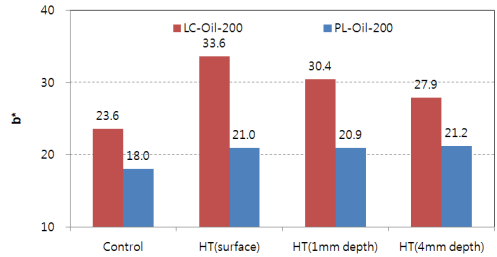


Fig. 5. Yellowness indexes (b^*) measured at various depths of the larch and paulownia wood specimens oil heated at 200°C.

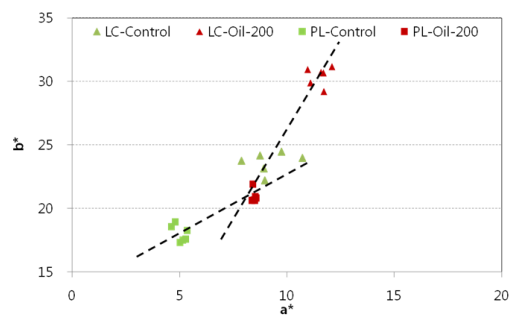


Fig. 6. Plots of yellowness index (b^*) vs. redness index (a^*) measured at 1mm depth of the larch and paulownia wood specimens oil heated at 200°C.

송의 황색도가 오동나무보다 높다. 오일열처리에 의해 낙엽송 표층은 황색도가 급격히 증가했으나 오동나무 표층은 약간 증가했을 뿐이다. 전반적으로 오일열처리에 의해 모든 층의 황색도가 증가하였으며, 낙엽송과 오동나무의 차이는 깊이에 상관없이 그대로 유지되었다. 낙엽송은 깊이가 깊어질수록 황색도가 현격하게 감소했으나 오동나무는 표층과 내층의 황색도가 비슷하게 나타났다. 특히 오동나무는 표층, 1 mm 깊이, 4 mm 깊이가 거의 같은 황색도를 나타냈다.

3.4. b^* vs. a^* 그래프

열처리에 의한 시편의 적색도와 황색도 변화를 한 눈에 볼 수 있도록 이 두 변수의 관계 그래프를 Fig. 6에 나타냈다. 무처리와 깊이 1 mm의 표층치를 나타냈다. 두 수종 모두 오일열처리에 의해 적색도와 황색도가 증가하는 방향으로 이동하지만, 두 지점을 연결한 직선의 경사도는 낙엽송이 오동

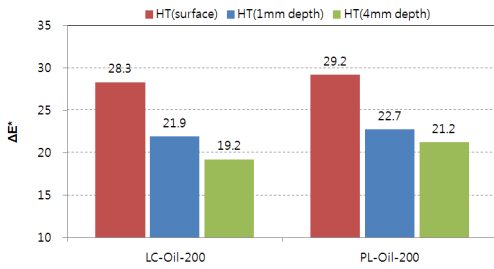


Fig. 7. Color difference indexes (ΔE^*) at various depths of the larch and paulowniawood specimens oil heated at 200°C, calculated based on the color indexes of the controls.



Fig. 8. Photos of the control and oil heated larch and paulowniawood specimens, taken at 4mm below the surfaces.

나무보다 크게 나타났다. 즉 낙엽송의 적색도와 황색도가 오동나무보다 급격히 변했음을 알 수 있다.

3.5. 색차값(ΔE^*)

열처리 전 재색에 대한 열처리 후 표층과 내층의 색차값(ΔE^*)을 식 (2)에 의해 구하여 Fig. 7에 나타났다. 모든 수종의 색차값은 12 이상으로 열처리에 의해 재색이 심하게(extremely) 변하였음을 알 수 있다. 특히 표층이 두 수종 모두 가장 많이 변화하였는데 이는 일부 표층에 스며든 기름의 영향으로 생각된다. 그러나 가장 깊은 부위인 4 mm 깊이도 색차값이 19.2와 21.2로 충분히 열처리된 것으로 보인다(Fig. 8).

내층의 재색을 표층과 비교하여 구한 깊이 1 mm와 4 mm의 색차값은 Fig. 9과 같다. 두 수종의 열처리 후 표색치는 앞의 Figs. 3, 4, 5에 나타난 것과 같이 백색치는 표층이 내층보다 낮고, 적색도와 황색도는 표층이 내층보다 높거나 비슷하다. 즉 오일열처리 후 표층의 재색은 내층보다 어두워졌다고 볼 수 있다. Fig. 9과 같이 이들의 색차

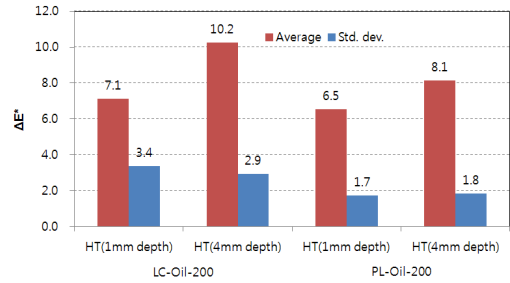


Fig. 9. Color difference indexes (ΔE^*) at various depths of the larch and paulowniawood specimens oil heated at 200°C, calculated based on the color indexes of the controls.

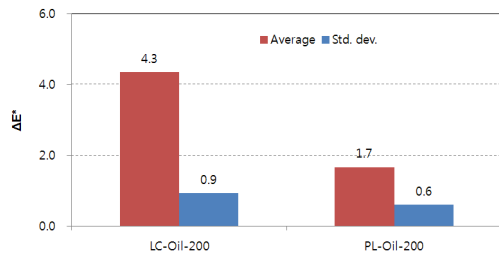


Fig. 10. Color difference indexes (ΔE^*) at 4 mm depth of the larch and paulowniawood specimens oil heated at 200°C, calculated based on the color indexes at 1 mm depth.

값은 6~12 범위 내에 있으므로 Table 1에 의하면 표층과 내층의 재색이 현저한 차이(Considerably)를 나타낸다고 할 수 있다. 이러한 차이는 앞에서 언급했듯이 표층에 스며든 기름 때문에 생긴 것으로 볼 수 있으나 표층은 고온의 기름과 직접 닿기 때문에 내층보다 훨씬 재색변화가 심하게 나타난 것으로 볼 수도 있다.

그러나 목재를 가공하면 표층은 당연히 제거되기 때문에 표층의 재색은 특별히 큰 의미가 없을 수 있다. 대신 내층간의 재색 차이는 가공제품의 품질에 직접적인 영향을 준다. 따라서 표층과 내층의 재색 비교보다 내층간의 재색 비교가 더 의미 있다. 시편의 1 mm와 4 mm 깊이의 재색을 색차값을 구하여 비교하였다(Fig. 10).

낙엽송의 색차값은 4.3, 오동나무는 1.7로 나타났다. 오일열처리 오동나무는 내층의 재색이 아주 균일한 것으로 볼 수 있다. 한편 낙엽송의 색차값

4.3은 Table 1에 의하면 3.0~6.0 범위이므로 눈에 떨 정도(Appreciable)의 재색차이를 나타낸다고 할 수 있다.

보통 눈으로 재색 차이를 분명히 인식하려면 색차 값이 9 이상이 되어야 한다고 알려져 있다(Brischke et al., 2007). 특히 목재는 다양한 구성성분과 조직으로 형성된 복잡한 구조이기 있기 때문에 매우 높은 색차값을 가지지 않으면 재색차를 구분하기 어려운 것이 사실이다. 따라서 본 실험에서 사용된 낙엽송과 오동나무는 오일열처리에 의해 내층이 비교적 균일하게 변화되었다고 볼 수 있다.

4. 결 론

국내산 주요 유용 수종인 낙엽송과 오동나무 시편을 200°C 오일열처리하여 재색변화를 조사하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 200°C 기름에 두께 20 mm 낙엽송 시편을 넣은 후 53분 만에 시편 중심의 온도가 기름의 온도와 같아졌다.

2) 오일열처리 후 낙엽송은 깊이가 깊어질수록 적색도가 현격하게 감소했으나 오동나무는 표층과 내층의 적색도가 비슷하게 나타났다.

3) 오일열처리 후 낙엽송 표층은 황색도가 급격히 증가했으나 오동나무는 약간 증가했을 뿐이다. 낙엽송은 깊이가 깊어질수록 황색도가 현격하게 감소했으나 오동나무는 표층과 내층의 황색도가 비슷하게 나타났다. 오동나무는 표층, 1 mm 깊이, 4 mm 깊이가 거의 같은 황색도를 나타냈다.

4) a^*b^* 표색치 그래프에서 두 수종 모두 오일열처리에 의해 적색도와 황색도가 증가하는 방향으로 이동하지만, 두 지점을 연결한 직선의 경사도는 낙엽송이 오동나무보다 크게 나타났다.

5) 오일열처리 후 표층과 내층의 색차값은 두 수종 모두 6~12 범위 내에 있으므로 재색이 현저한 차이(Considerably)를 나타낸다고 할 수 있다. 그러나 내층(1 mm와 4 mm 깊이)간 비교하면 색차값은 낙엽송이 4.3, 오동나무가 1.7로 목재의 복잡한 구조를 감안하면 두 수종 모두 오일열처리에 의해 내층이 비교적 균일하게 변화되었다고 볼 수 있다.

사 사

본 연구는 산림청 임업기술연구개발사업(과제번호 : S211414L010310)과 충남대학교 학술연구비의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.

참 고 문 헌

- 김광모 외. 2010. 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 38(1): 17-26.
- 김규혁, 김재진, 나중범. 2002. 소나무와 잣나무 원목에서 변재변색 발생. 목재공학 30(2): 128-133.
- 김성환, 나중범. 2010. 반응표면분석법을 이용한 팽나무 (*Celtis sinensis* Persoon)의 최적 변색제거조건 결정. 목재공학 38(3): 27-34.
- 김수원, 강호양. 2005. 열처리 및 증기처리 라디에타 파인 유평목의 잔류수지율 및 재색변화. 목재공학 33(4): 30-37.
- 나중범, 김기범, 임정훈. 2012. 열처리 조건이 목재의 색상 변화 및 흰개미 저항성에 미치는 영향. 목재공학 40(6): 370-377.
- 박용건 외. 2012. 과일증기 열처리 잣나무재의 물성 평가. 목재공학 40(4): 257-267.
- 이원희, 임호목, 강호양. 2014. 열처리에 의한 오염 소나무 판재의 재색 변화 조사. 한국가구학회지 25(4): 329-334.
- 이준우, 강춘원, 박로원, 강호양. 2015. 소경 굴참나무 황절 원판의 강제송풍건연 건조. 목재공학 43(1): 52-59.
- 임호목, 홍승현, 강호양. 2013. 열처리 잣나무 정각재의 재색 변화 및 물성 조사. 목재공학 42(1): 13-19.
- 장운성 외. 2012. 잣나무열처리재의 흡방습성능에 미치는 영향인자 분석. 목재공학 40(1): 10-18.
- Rapp, A. O. 2001. Heat treatment of wood in Germany-state of the art. In "Review on Heat Treatments of Wood" edited by. Proceedings of special Seminar, Antibes, France, 9 Feb. 2001. pean Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, COST ACTION E22.
- Borrega, Marc and P. Karenlampi. 2010. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. Holz als Roh-und Werkstoff 68(2): 233-235.
- Brischke, C., C. R. Welzbacher, K. Brandt, and A. O. Rapp. 2007. Quality control of thermally

- modified timber: Interrelationship between heat treatment intensities and CIE L*a*b* color data on homogenized wood samples. *Holzforschung* 61(1): 19-22.
- Dubey, M. K., S. Pang, and J. Walker. 2010. Color and Dimensional Stability of Oil Heat-Treated Radiata Pinewood after Accelerated UV Weathering. *Forest Products Journal* 60(5): 453-459.
- Dubey, M. K., S. Pang, and J. Walker, John. 2012. Oil uptake by wood during heat-treatment and post-treatment cooling, and effects on wood dimensional stability. *Holz als Roh- und Werkstoff* 70(1-3): 183-190.
- 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.
- Esteves, Bruno, I. Domingos, and H. Pereira. 2008. Heat treatment of pine wood. *Bio Resources* 3(1): 142-154.
- Kang, Ho-Yang. 2008. Development of Color Changing Technology for Domestic Softwood. *Journal of Korea Furniture Society* 19(3): 156-162.
- 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.
- Yülgör, 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.