

열처리 조건이 목재의 색상 변화 및 흰개미 저항성에 미치는 영향*1

나종범*2† · 김기범*3 · 임경훈*3

Effect of Heat Treatment Conditions on Color Change and Termite Resistance of Heat-Treated Wood*1

Jong-Bum Ra*2† · Ki-Bum Kim*3 · Kyung-Hun Leem*3

요 약

잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)와 로지폴소나무(*Pinus contorta* Dougl.)를 이용하여 열처리 목재를 제조한 후 처리조건에 따른 재색변화를 조사하였다. 반응표면분석법에 따라 설정된 9가지 처리조건(처리온도 : 170, 180, 200, 220, 230°C, 처리시간: 90, 120, 180, 240, 270 min.)에서 열처리 시편들을 제조하였으며, 색차계를 이용하여 재색을 측정 후 흰개미 저항성을 평가하기 위하여 진주에 설치된 흰개미 시험장에서 6개월 동안 야외노출시험을 실시하였다. 처리온도와 처리시간이 증가함에 따라 명도가 감소하였으며 감소폭은 시간보다 온도에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 미국국립표준국(National Bureau of Standards : NBS)에서 제시된 방식에 의해 평가된 색차를 처리온도와 처리시간의 함수로 표현한 반응표면분석모델은 잣나무의 경우 R^2 의 값이 0.92, 로지폴파인의 경우 0.88로 열처리조건에 따른 색체의 예측가능성을 보여주었다. 6개월의 야외시험결과 열처리 조건에 상관없이 흰개미 가해가 심하게 발생된 것으로 나타났는데, 이는 제조된 열처리 목재의 흰개미 저항성이 야외에 사용하기에 적합하지 않다는 것을 보여준다.

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the color change of heat-treated wood made of Korean pine (*Pinus koraiensis* S. et Z.), and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl). The wood samples were heat-treated at 9 different treatment combinations of temperature (170, 180, 200, 220, and 230°C), and time (90, 120, 180, 240, 270 min.) set up by a response surface method. Wood color was measured using

*1 접수 2012년 9월 20일, 채택 2012년 11월 21일

본 연구는 경남과학기술대학교 2012년 기성회 연구비 지원으로 수행되었음.

*2 경남과학기술대학교 건설환경공과대학 인테리어재료공학과, Dept. of Interior Materials Engineering, Kyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

*3 배성목재(주)², BS Wood, 1126-3, Dalsan-ri, Junggwang-myun, Gijang-gun, Busan 619-961, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 나종범(e-mail: jb@gntech.ac.kr)

a colorimeter, and the samples were installed for evaluating the resistance of termite in the field test sites set up in Jinju. The lightness decreased with the increase of treatment temperature and treatment time. The color differences were evaluated by the method of National Bureau of Standards (NBS), and response surface models to predict the color change were fitted as a function of treatment temperature and treatment time. The R^2 values of the fitted models of heat-treated Korean pine and lodgepole pines were 0.92, and 0.88, respectively, showing the potential way for the prediction of color changes. Severe damage was found from the samples in the field test site, which means that the manufactured heat-treated wood did not show the termite resistance enough for the outdoor use.

Keywords: heat-treated wood, termite resistance, response surface method

1. 서 론

열처리 목재란 일정시간 동안 목재에 고온(160~260°C)의 열을 가하여 제조한 목재를 말한다. 처리가 단순하며 처리비용이 저렴하다는 장점을 가지고 있지만 강도가 감소하는 문제점으로 인하여 상업적으로 이용되지 않다가 환경에 대한 관심이 고조되던 1990년대에 들어와 유럽에서 상용화되기 시작하였다. 이는 방부처리목재와 비교할 때 열처리 목재가 환경에 영향을 미치는 문제가 적기 때문인데, 현재 유럽에서는 테크나 바닥재, 혹은 건물의 외장용 판자벽으로 열처리 목재를 사용하고 있으며 그 사용량은 계속 증가하는 추세를 보이고 있다(Hardwood review express, 2009).

열처리 목재는 치수안정성과 내구성이 처리 전의 목재에 비해 크게 개선된다. 이는 열처리 과정 중에 발생하는 헤미셀룰로오스의 분해와 밀접한 관련을 가지고 있다. 헤미셀룰로오스의 분해는 약 180°C 이상의 온도에서부터 발생하기 때문에 열처리 과정에서 상당량의 헤미셀룰로오스가 분해된다. 결국 친수성이 큰 헤미셀룰로오스의 분해로 인해 열처리목재는 처리 전 목재와 비교하여 낮은 흡습성을 가지게 되고 수축률 및 팽창률이 감소되어 치수안정성이 증가하게 된다(Estevés *et al.*, 2007; Hillis and Rozsa, 1985; Kocafe *et al.*, 2008). 목재 가해균류의 주 공격대상 중의 하나인 헤미셀룰로오스의 분해와 이로 인해 획득되는 열처리 목재의 낮은 흡습성은 균류에 대한 내구성을 증가시키는 주요인이 된다. 비록 지점부에 사용할 수 있을 정도의 내구성을 획득하지는 못

하지만 일반 목재에 비해 훨씬 우수한 내구성을 지니게 된다(Doi *et al.*, 2004; Boonstra. *et al.*, 2007; Kamdem *et al.*, 1999; Kartal, 2006).

헤미셀룰로오스의 분해는 열처리 목재의 가장 큰 단점인 강도를 감소시키는 주원인이 되기도 한다. 물론 열처리 시간이 짧을 경우 재질의 경화와 연성의 감소 때문에 강도가 일부 증가하는 경향을 보이기도 하지만, 일반적으로 약 20~40% 정도의 강도 손실이 발생하는 것으로 알려져 있다(김 등, 2010; Korkut *et al.*, 2010; Mitchell, 1988; Kubojima *et al.*, 2000).

열처리 목재의 또 다른 특징은 재색이 짙게 변한다는 것이다. 일반적으로 목재는 70°C 이상의 온도에 노출될 경우 재색 변화가 관찰되며 온도와 습도가 높을수록 시간이 증가할수록 재색은 짙어진다(Stenudd, 2004; Tarvainen *et al.*, 2001). 열처리 목재에 관한 국내 연구는 주로 열처리 조건에 따른 재색 변화에 대한 연구와 관련이 깊다(강 등, 2006; 강, 2008; 김 등, 2009; 김 등, 2010; 신 등, 2010; 윤 등, 2008). 이는 다양한 재색을 지닌 열처리 목재를 생산함에 의하여 목재의 활용범위를 넓히기 위한 목적에서 비롯된 것인데, 국내 연구를 살펴보면 김 등(2010)은 백합나무 열처리 목재의 물리 및 역학적 특성에 관한 연구에서 재색의 변화를 관찰하였으며, 신 등(2010)은 열처리한 국내산 활엽수의 재색 변화에 따른 목재의 특성을 파악하여 생활용품으로의 활용방안에 대해 연구한 바 있다. 또한 윤 등(2008)은 열처리 및 자외선 처리를 통하여 삼나무의 부위별 색상차를 줄일 수 있음을 확인하였다.

국내에 열처리목재가 도입된 것은 최근의 일이다.

Table 1. Central composite design for the prediction of color change of the surface of heat-treated wood

| Actual factor values | | Coded values | |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|
| Temp. (°C) | Time (hours) | Temp (°C) | Time (hours) |
| 180 | 20 | -10 | -10 |
| 220 | 20 | 10 | -10 |
| 180 | 40 | -10 | 10 |
| 220 | 40 | 10 | 10 |
| 170 | 3.0 | -15 | 0.0 |
| 230 | 3.0 | 15 | 0.0 |
| 200 | 15 | 0.0 | -15 |
| 200 | 45 | 0.0 | 15 |
| 200 | 3.0 | 0.0 | 0.0 |

국내 사용량은 많지 않지만 다양한 재색의 열처리 목재가 생산되며 내구성이 증가한다는 것에 착안하여 내장재나 건물 외벽의 판자벽 및 테크 등의 용도로 사용되고 있다. 그러나 다양한 재색을 지닌 열처리 목재를 생산한다는 것은 열처리 온도가 낮거나 열처리 시간이 짧다는 것을 의미하는 것으로 야외에 사용될 수 있을 정도의 충분한 내구성을 획득할 수 있을지에 대한 의문이 존재한다. 특히 흰개미가 전역에 분포하고 있는 국내 목재사용환경에서 열처리 목재를 지면과 가까운 테크용도로 사용하기 위해서는 흰개미 저항성에 대한 평가가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 열처리목재의 특성을 파악하기 위한 기초자료를 획득하기 위하여 수행되었다. 원하는 재색을 구현하는데 필요한 최적 열처리 온도와 열처리 시간을 제시하기 위하여 반응표면분석법(Response Surface Methodology)이 사용되었으며, 야외노출실험을 통하여 열처리 조건이 열처리 목재의 흰개미 저항성에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서는 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)

와 로지폴소나무(*Pinus contorta* Dougl)가 공시수종으로 사용되었다. 열처리용 시편은 길이(L) 30 cm, 폭(T) 10 cm, 두께(R) 1.5 cm로 배성목재(주)에서 제조한 후 상온에서 천연건조를 실시하였다.

2.2. 목재의 열처리

제조된 목재 샘플들의 함수율을 균일하게 하기 위하여 110°C에서 24시간 동안 전건과정을 거친 후 반응표면분석법 중의 하나인 중심합성계획법(Central Composite Design: CCD)에 따라 열처리가 수행되었다(Table 1). 중심합성계획법에 따라 처리온도(170, 180, 200, 220, 230)와 처리시간(1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 4.5시간) 조합에 의해 9가지 조건으로 열처리목재를 제조하였다.

2.3. 재색의 측정

열처리 목재 표면의 색상값은 분광측색계(Konika minolta, CM-2600d)를 이용하여 CIE 기준의 L^* , a^* , b^* 값을 시편의 중심 부위에서 측정하였다. L^* 값은 명도(검은색 : 0, 흰색 : 100)를 나타내며, a^* 는 녹색과 빨강, b^* 는 파랑과 노랑 축의 좌표를 의미한다. 색상차는 L^* , a^* , b^* 3차원 색차공간의 두 지점간의 거리로

Table 2. Central composite design for the prediction of color change of the surface of heat-treated wood.

| Actual factor values | | Korean pine | | | | Lodgepole pine | | | |
|----------------------|------------|-------------|-------|-------|------------|----------------|-------|-------|------------|
| Temp. (°C) | Time (hrs) | L^* | a^* | b^* | ΔE | L^* | a^* | b^* | ΔE |
| 180 | 20 | 76.18 | 6.50 | 27.41 | 3.14 | 82.55 | 5.03 | 25.11 | 1.01 |
| 220 | 20 | 35.72 | 8.03 | 13.75 | 42.63 | 51.07 | 11.38 | 24.24 | 31.75 |
| 180 | 40 | 54.22 | 10.34 | 25.69 | 23.02 | 79.88 | 6.56 | 26.69 | 2.92 |
| 220 | 40 | 31.05 | 6.21 | 9.17 | 48.40 | 41.29 | 9.59 | 17.34 | 41.96 |
| 170 | 30 | 48.61 | 12.22 | 25.00 | 28.82 | 62.11 | 11.04 | 27.60 | 20.98 |
| 230 | 30 | 29.83 | 5.91 | 6.72 | 50.38 | 35.88 | 8.44 | 12.96 | 48.12 |
| 200 | 15 | 74.20 | 7.67 | 28.71 | 5.12 | 78.67 | 7.80 | 30.09 | 6.35 |
| 200 | 45 | 41.97 | 10.74 | 19.67 | 35.51 | 53.32 | 11.86 | 26.11 | 29.62 |
| 200 | 30 | 55.73 | 11.18 | 26.58 | 21.74 | 67.07 | 10.50 | 29.14 | 16.40 |

표현되는 미국국립표준국(National Bureau of Standards : NBS)에서 제시된 방식을 이용하여 결정하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

2.4. 흰개미 저항성 평가

경상남도 진주에 흰개미 야외시험장을 조성하였다. 야외시험장의 토심은 50 cm 이상으로 배수가 용이하지만 토양 내부는 일정 이상의 수분을 항상 함유할 수 있도록 조성하였다. 열처리 시편의 흰개미 가해 시험 전 야외시험장에 설치한 목재를 통해서 흰개미 가해가 야외시험장 전역에 걸쳐 활발히 진행되고 있는 것을 확인하였으며, 이를 통하여 야외시험장이 흰개미 가해 시험에 적합한 환경을 가지고 있다고 판단하였다.

열처리 목재의 흰개미 저항성은 제조된 열처리 목재들을 길이방향으로 15 cm 정도 땅에 묻은 상태로 5개월 동안 야외시험을 실시하여 평가하였다. 열처리 시편들의 흰개미 가해 정도는 미국목재보존협회 표준규격 AWWA E1-09에서 제시한 육안 등급법에 의해 판정하였다(AWWA, 2012).

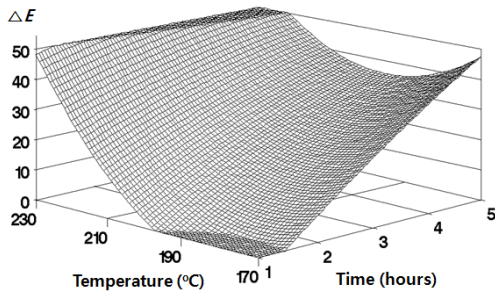
2.5. 자료분석

처리시간과 처리온도가 열처리 목재의 재색에 미치는 영향을 반응표면분석법을 이용하여 열처리 조건과 재색간의 관계식을 도출하였다. 도출된 관계식으로부터 SAS/Graph[®] software (SAS institute Inc., 1990)을 이용하여 등고선 그래프를 생성하였다.

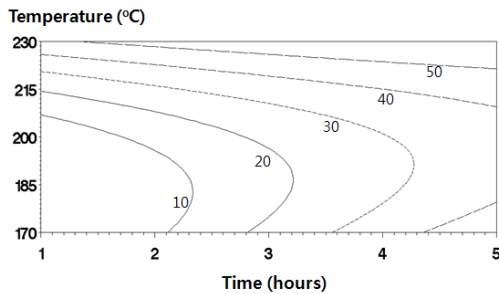
3. 결과 및 고찰

3.1. 색상변화의 예측

열처리 조건에 따른 잣나무와 로지폴소나무의 색상값(L^* , a^* , b^*)은 Table 2에서 볼 수 있다. 명도를 나타내는 L^* 값은 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났는데, 230°C에서 3시간 열처리 조건에서 잣나무와 로지폴소나무의 명도 값이 29.83과 35.88로 처리조건 중에서 가장 낮은 것으로 판명되었다. 220°C에서 4시간 동안 열처리를 실시하였을 때의 명도 값이 각각 31.05와 41.29인 것을 고려할 때 명도 값은 처리시간보다는 처리온도에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다. 온도와 시간에 따른 a^* 값과 b^* 값의 변화는 다소 불규칙하게 나타났으나, 대략적으로 a^* 값의 경우 처리온도 및 시간이 증가함



(A) Three-dimensional response surface plot



(B) Contour plot

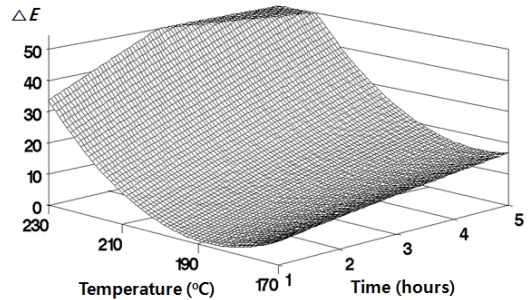
Fig. 1. Color differences of Korean pine expressed as a function of temperature and time.

에 따라 증가하다가 감소하는 경향을, b^* 값의 경우는 200°C까지는 큰 변화가 없다가 그 이상의 온도조건에서 감소하는 경향을 보여주었다. 이러한 경향은 백합나무 열처리 목재의 색상 변화에 대해 연구한 김 등(2010)의 결과와 비슷한데, 김 등은 온도와 처리시간이 증가함에 따라 a^* 값과 b^* 값이 다소 불규칙한 경향을 나타내었다고 보고하였다. 열처리 전 잣나무와 로지폴과인의 L^* , a^* , b^* 값은 각각 76.98, 7.13, 24.43과 82.35, 6.01, 25.23이었다.

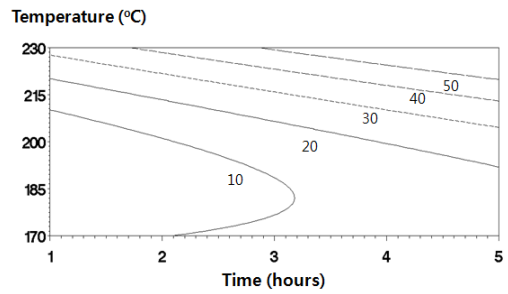
중심합성계획법에 의해 구해진 색상차(ΔE)를 코딩된 처리온도와 처리시간의 함수로 표현한 반응표면분석모델은 아래와 같다.

Korean pine :

$$\Delta E = 21.80 + 11.43T + 8.38t + 7.93T^2 - 0.6t^2 - 3.52Tt \quad (R^2 = 0.92)$$



(A) Three-dimensional response surface plot



(B) Contour plot

Fig. 2. Color differences of lodgepole pine expressed as a function of temperature and time.

Lodgepole pine :

$$\Delta E = 15.01 + 13.00T + 5.53t + 7.45T^2 - 0.09t^2 + 2.08Tt \quad (R^2 = 0.88)$$

where ; $T = \frac{\text{Temperature } (^\circ\text{C}) - 200}{20}$ and $t = \text{time (hrs)} - 3$

위의 식은 인자들의 크기에 관계없이 -1.5에서 1.5의 일정한 간격으로 코딩되어 있다. 따라서 코딩된 인자들을 실제 인자들의 값으로 바꾸어주면 다음과 같다.

Korean pine :

$$\Delta E = 564.36 - 6.83 \text{ Temp} + 47.18 \text{ time} + 0.20 \text{ Temp}^2 - 0.60 \text{ time}^2 - 0.17 \text{ Temp} \cdot \text{time}$$

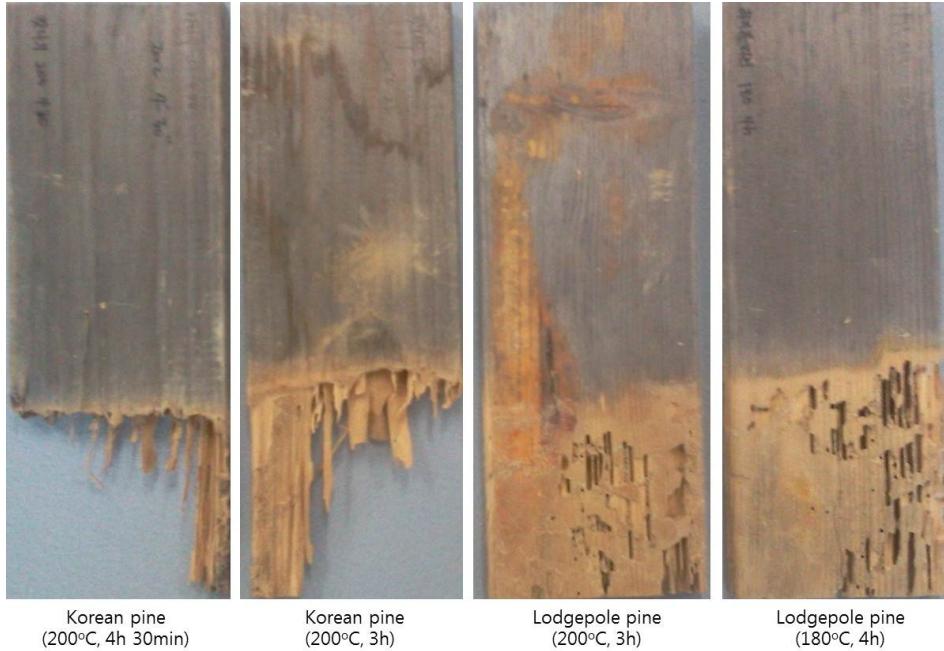


Fig. 3. Termite attack to the heat treated wood 5 months after the exposure in the field test site, Jinju.

Lodgepole pine :

$$\begin{aligned} \Delta E &= 550.21 - 6.48 \text{ Temp} + 26.87 \text{ time} \\ &+ 0.19 \text{ Temp}^2 - 0.90 \text{ time}^2 \\ &- 0.10 \text{ Temp} \cdot \text{time} \end{aligned}$$

결정된 모델에서 각각의 독립변수에 곱해지는 계수는 각 변수들이 미치는 영향의 크기를 나타낸다. 구해진 모델에서는 독립변수인 처리온도와 시간의 계수가 각각 다른 부호를 보이고 있는데 이는 독립변수들이 색상차에 미치는 영향이 다르다는 것을 의미한다. 구해진 공식에서 계수의 절대값은 시간이 온도보다 훨씬 크지만 주어진 실험조건에서 온도와 시간의 단위를 고려해보면 시간보다는 온도가 훨씬 큰 영향을 재색에 미친다는 것을 알 수 있다. 각 모델들의 상관관계를 살펴보면 잣나무의 반응표면 분석모델은 R² 값이 0.92, 로지폴과인은 0.88로 나타났는데, 이는 열처리 조건에 따라 열처리 목재의 재색을 예측하는 것이 일정정도 가능하다는 것을 의미한다.

색상차를 실제 처리온도와 처리시간으로 표현한

등고선 그래프와 3차원 그래프는 Fig. 1과 Fig. 2에서 볼 수 있다. 처리시간과 온도가 증가함에 따라 색상차는 비례하여 증가하는 것이 일반적일 것으로 판단되었으나, 잣나무의 경우 200°C 그리고 로지폴과인의 경우 180°C 이하에서 색상차가 변화하는 경향이 반대로 되는 것을 알 수 있다. 이는 주어진 열처리 조건에서 a*와 b* 값이 불규칙한 경향을 보이기 때문에 발생한 결과라고 판단된다.

3.2. 열처리목재의 흰개미 저항성 평가

5개월 동안의 야외시험 후 열처리 조건에 상관없이 모든 열처리 시편에서 흰개미 가해가 심하게 발생되었다(Fig. 3). 미국목재보존협회 표준규격 E1-09에서 제시한 방법에 의하여 등급을 정할 경우 전부 잣나무 열처리 목재의 경우 0점(Failure), 로지폴소나무의 경우 6점(Severe attack)에 해당한다. 특히 이러한 결과는 5개월이라는 짧은 기간 동안 발생된 것으로 제조된 잣나무와 로지폴소나무 열처리 목재

가 흰개미 저항성이 거의 없다는 것을 의미한다고 하겠다. 야외시험장에 있는 흰개미가 일본흰개미(*Reticulitermes speratus*)이며 현재 우리나라에 서식하고 있는 대표적인 흰개미라는 것을 고려할 때 흰개미가해 발생지역의 경우 열처리 목재의 사용에 대한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)와 로지폴소나무(*Pinus contorta* Dougl.)를 이용하여 열처리 목재를 제조한 후 처리조건에 따른 재색 변화와 흰개미저항성에 대한 시험 결과는 다음과 같다.

1. 처리온도와 처리시간이 증가함에 따라 색상값 중 L^* 값은 감소하였으나 a^* 와 b^* 값은 불규칙하게 나타났다.

2. 색상차를 처리온도와 처리시간의 함수로 표현한 반응표면 분석모델은 잣나무의 경우 상관계수가 0.92, 로지폴소나무의 경우 상관계수가 0.88로 열처리조건에 따른 색체의 예측가능성을 보여주었다.

3. 주어진 실험조건에서 제조된 잣나무와 로지폴소나무 열처리목재의 경우 흰개미저항성은 전혀 없는 것으로 판명되었다.

참 고 문 헌

- 강호양, 이민경. 2006. 열처리에 의한 목재의 재색변화. 한국가구학회. 학술대회논문집: 75~80.
- 강호양. 2008. 국산 침엽수재의 재색변화 기술 개발. 한국가구학회지 19(3): 156~162.
- 김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남, 심상로. 2009. 삼나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 37(4): 330~339.
- 김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남, 심상로. 2010. 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 38(1): 17~26.
- 신랑호, 한태형, 권진현. 2010. 국내산 활엽수 열처리재의 재색변화에 따른 목재의 특성과 생활용품 활용방안에 대한 연구. 한국가구학회지 21(1): 62~71.
- 윤경진, 임창득, 박준호, 이양호, 최인규, 이진제, 여환명. 2008. 열처리와 자외선처리를 이용한 삼나무 재색제어. 목재공학 36(6): 33~40.
- American Wood Protection Association. 2012. Book of Standards. Birmingham, Alabama, U. S. A.
- Boonstra, M. J., J. van Acker, E. Kegel, and M. Stevens. 2007. Optimisation of a two-stage heat treatment process. Durability aspects. Wood Sci. Technol. 41(1): 31~57.
- Doi, S., K. Hanata, E. Kamonji, and Y. Miyazaki. 2004. Decay and termite durabilities of heat treated wood. Document IRG/WP 04-40272. International Research Group on Wood Protection (IRG), Sweden.
- Hardwood review express. 2009. Market Opportunity: Heat-treated Hardwoods. Vol. 8, No. 15.
- Esteves, B., I. Domingos, and H. Pereira. 2007. Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200 degrees C, Forest Prod. J. 57(12): 47~52.
- Hillis, W. E., and A. N. Rozsa. 1985. High temperature and chemical effects on wood stability Part 3. Wood Sci. Technol. 19(2): 93~102.
- Kamdern, D. P., A. Pizzi, R. Guyonnet, and A. Jermannaud. 1999. Durability of heat-treated wood. Document IRG/WP 99-40145. International Research Group on Wood Protection (IRG), Sweden.
- Kartal, S. N. 2006. Combined effect of boron compounds and heat treatments on wood properties: Boron release and decay and termite resistance. Holzforschung 60: 455~458.
- Kocaefer D., J. L. Shi, D. Q. Yang, and M. Bouazara. 2008. Mechanical properties dimensional stability, and mold resistance of heat-treated jack pine and aspen. Forest Prod. J. 58(6): 88~93.
- Korkut, S., S. Karayilmazlar, S. Hiziroglu, and T. Sanli. 2010. Some of the properties of heat-treated sessile oak (*Quercus petraea*). Forest Prod. J. 60(5): 473~480.
- Kuboijima, Y., T. Okano, and M. Ohta. 2000. Bending strength and toughness of heat-treated wood. J. Wood Sci. 46: 8~15.
- Mitchell, P. H. 1988. Irreversible property changes of small loblolly pine specimens heated in air, nitrogen, or oxygen. Wood and Fiber Science 20(3): 320~355.
- Stenudd, S. 2004. Color response in silver birch

- during kiln-drying. *Forest Prod. J.* 54(6): 31~36.
20. Tarvainen, V., P. Saranpaa, and J. Repola. 2001. Discoloration of Norway spruce and Scots pine timber during drying. *Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying conference July 9-13, Tsukuba, Japan: 294~299.*