

# 180℃와 200℃ 오일열처리 잣나무재의 재색변화<sup>1</sup>

이 원 희<sup>2</sup> · 임 호 목<sup>3</sup> · 강 호 양<sup>3,†</sup>

## The Color Change of *Korean Pine* Specimens Oil-Heat-Treated at 180 and 200℃<sup>1</sup>

Won-Hee Lee<sup>2</sup> · Ho-Mook Lim<sup>3</sup> · Ho-Yang Kang<sup>3,†</sup>

### 요 약

유럽에서 개발된 여러 가지 열개질처리 방법 중 독일의 오일열처리 방법을 적용하여 국산 잣나무 시편을 180℃와 200℃에서 열처리하였다. 또 같은 종류의 잣나무 시편을 200℃에서 Thermowood 열처리하였다. 열처리 시편의 표면을 자동대패로 대패한 후 1 mm와 4 mm 깊이의 재색을 색차계로 측정하였다. 열처리 시편 내층의 평균 백색도(L\*)는 Oil-180 시편이 가장 높고, Oil-200 시편, Tmo-200 시편 순이다. 열처리에 의해 평균 적색도는 모든 시편이 증가하였으나 평균 황색도는 열처리 조건에 따라 증가하거나, 감소하였다. 무처리와 비교한 평균 색차값(ΔE\*)은 Oil-200 시편과 Tmo-200 시편이 30.0 이상이나, Oil-180 시편은 18.4로 상대적으로 적게 변화하였다. 열처리 시편 내층간의 평균 색차값(ΔE\*)은 6.0 이하로 세 열처리 조건 모두 시편 내층의 재색을 균일하게 변화시켰다고 할 수 있다.

### ABSTRACT

Among several thermal wood modification methods German oil heating technology was applied to Korean pine specimens by heat treatment at 180℃ and 200℃. In addition the matched specimens were heat-treated by Thermowood method. The heat-treated specimens were planed and their colors were measured with a colorimeter at 1 mm and 4 mm below the surfaces. The average lightness index (L\*) of Oil-180 specimens was the largest followed by Oil-200 and Tmo-200 specimens. The average redness indexes (a\*) of all specimens were increased by heat treatment, while the average yellowness indexes (b\*) were variable. The average color differences (ΔE\*) of Oil-200 and Tmo-200 specimens were above 30.0, while that of Oil-180 specimens was only 18.4. It can be concluded that the colors of the heat-treated specimens were uniformly changed because their average color difference indexes (ΔE\*) between the inner layers were below 6.0.

<sup>1</sup> Date Received March 12, 2015, Date Accepted April 4, 2015

<sup>2</sup> 경북대학교 임산공학과. Department of Wood Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>3</sup> 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author) : 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr)

**Keywords :** Oil heat treatment, Thermowood, Colorimeter, CIE L\*a\*b\*, *Pinus koraiensis*

## 1. 서 론

목재의 열처리기술은 주로 유럽에서 발전되었는데 가열방법에 따라 독일의 오일열처리법, 네델란드의 Plato법, 프랑스의 질소법, 핀란드의 Thermowood 열처리법으로 구분된다(Rapp, A.O. 2001). 목재의 열처리란 160℃-250℃의 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).

Thermowood라는 명칭은 핀란드에서 개발한 열처리법과 이 방법으로 생산된 목재를 일컫는 고유명사이다. 국내에서는 여러 연구자들(Kim *et al.* 2010; Jang *et al.* 2012)이 Thermowood 열처리법을 응용하여 여러 가지 연구를 수행하고 있으며 몇몇 업체에서 낙엽송 데크재 등을 이 방법으로 생산하고 있다. 그러나 그 외 다른 열처리법들은 아직 국내에 소개되지 않았다.

Thermowood 열처리법을 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(Sidorova *et al.* 2010).

이에 반해 오일열처리법은 매연이 발생하지 않고, 화재발생 염려가 없을 뿐만 아니라 열용량이 높은 오일을 사용하기 때문에 에너지 효율이 높으며, 천연 식물성 오일을 반복하여 사용하기 때문에 탄소 중립이다(Steele 2012). 이러한 장점을 가진 오일열처리를 Dubey 등(2010, 2011, 2012ab, 2014)은 라디에타파인에 적용하여 재색변화, 치수안정성, 오일흡수율, 항팽윤율, 자외선축진열화, 내후성, 화학변화 등 물리적 화학적 효과에 대해 집중적으로 연구하였다.

우리나라의 대표적 유용 수종인 소나무, 리기다소나무 잣나무, 낙엽송 등 침엽수는 목재생산 과정에서

변색균에 의한 변색이 쉽게 일어나기 때문에 가공제품의 가치가 떨어진다(Kim *et al.* 2002; Kim and Ra 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(Kang 2004; Lee *et al.* 2015).

이같이 변색되거나 오염된 재색의 목재를 열처리를 통해 재색이 농화되고 균일하게 만들 수 있다(Estevés *et al.* 2007, 2008; Kang 2008, 2009; Park *et al.* 2012; Lee *et al.* 2014). 본 연구는 국산 유용수종의 오일열처리 연구의 일환으로 잣나무를 이용하여 오일열처리가 재색변화에 미치는 효과를 조사하였다. 또 Thermowood 열처리를 동시에 실시하여 오일열처리 효과와 비교하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

공시수종으로 한반도의 북부에 많이 조림되었으며 최근 생산량이 급속히 증가하여 용도 개발이 시급한 잣나무(*Pinus koraiensis*)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( $\pm 0.01$  g)로 측정하였다. 판목판재였기 때문에 대부분의 시편이 판목이었다.

시편은 30개를 준비하여 두 가지 온도 수준(180℃와 200℃) 오일열처리와 Thermowood 열처리에 각각 10개씩 배분하였다.

### 2.2. 오일열처리

실험방법은 낙엽송와 오동나무를 오일열처리하여 재색변화를 조사한 전보(Kang *et al.*)와 같으며 정리

하면 다음과 같다. 오일열처리는 대기압상태의 오토 크레이브(직경 350 mm, 높이 600 mm)에서 실시하였으며, 오일열처리에 사용된 기름은 벨기에산 아마 인유로 비중이 0.92-0.93 (23℃)이다.

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 2 시간 유지하는 스케줄로 열처리하였다. 시편 중심이 기름 온도와 같아지는데 걸리는 시간은 예전 실험을 통해 약 1시간임을 알게 되었다. 오일열처리를 마친 후 시편을 꺼내 표면에 묻은 기름을 닦아내고 디지털저울( $\pm 0.01$  g)로 중량을 측정하고 규격을 잴다. 오일열처리는 180℃ (Oil-180)와 200℃ (Oil-200)에서 실시하였다.

### 2.3. 200℃ Thermowood 열처리(Tmo-200)

Thermowood 열처리는 최대 220℃까지 온도를 올릴 수 있는 실험실용 건조기를 사용하였다. 건조기의 잔적 공간은 폭 700 mm, 깊이 800 mm, 높이 600 mm 이었다. 시편이 열기에 골고루 노출될 수 있도록 서로 사이를 띄워 배치하였다. 열선 풍속계로 잔적 공간 내 풍속은 평균 4 m/s였다. Thermowood 열처리 시에 가습하지 않는 것이 원칙이므로 습도를 조절하지 않았다.

Fig. 1과 같은 열처리 스케줄을 사용하여 다음 순서대로 처리하였다. 건조기를 닫고 상온에서 100℃ 까지 1시간 동안 예비 가열한 후, 계속해서 200℃ 까지 5시간 동안 서서히 상승시켰다. 목표온도인 200℃에 도달하면 2시간 동안 같은 온도를 유지한 다음 가열장치를 끄고 건조기를 냉각시켰다. 내부 온도가 상온에 도달할 때까지 건조기의 문을 열지 않았다. 100℃까지 승온속도는 1.3℃/분, 100℃에서 200℃까지 승온속도는 0.3℃/분이다.

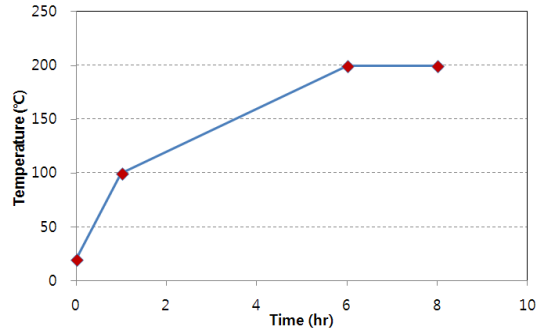


Fig. 1. Thermowood heat treatment schedule for Tmo-200 specimens.

### 2.4. 재색측정

시편의 재색은 HunterLab MiniScan XE Plus 색차계로 사용하여 CIE  $L^*a^*b^*$ 표색치를 측정하였다. 광원은 Xenon flash lamp로 파장 범위는 400~700 nm 이었다. 남아있는 기름이 시편의 재색에 영향을 주기 때문에 정확한 재색 변화를 알기 위해 모든 공시판재의 표면을 자동대패를 사용하여 평삭하였다. 한번 평삭할 때마다 0.5 mm가 깎이도록 자동대패를 조절하였다. 2회 평삭 후에 재색을 측정하였으며 추가로 6회를 더 평삭한 후에 또 재색을 측정하였다. 따라서 1차는 1 mm, 2차는 4 mm 깊이의 재색을 측정하였다. 시편의 양면을 모두 평삭하였으며 한 면에서 3지 점을 측정한 후에 평균하였다.

색차값  $\Delta E^*$ 는 아래 식 [1]을 이용하여 구하였다.

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

여기서  $\Delta E^*$ 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  $\Delta E^*$ 에 따른 감각적 표현은 아래 Table 1과 같다.  $\Delta E^* = 6.0$  이상일 때 충분히 색상의 차이를 나타낸다고 할 수 있다.

**Table 1.** Sensitive expression of a color difference index (National Bureau of Standards)

$\Delta E^*$	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

### 3. 결과 및 고찰

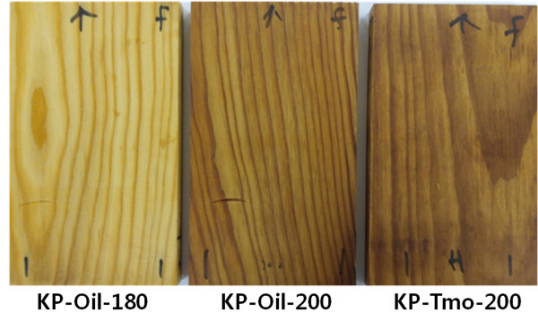
#### 3.1. 잣나무 시편의 육안적 비교

세 가지 방법으로 열처리한 잣나무 시편의 1 mm 깊이 사진은 Fig. 2와 같다. 육안으로도 Oil-180 시편과 Oil-200, Tmo-200 시편의 재색이 분명한 차이를 보인다. 오일열처리 시편의 표면은 칙투한 기름으로 인해 Thermowood열처리 시편의 표면보다 매끈하였다. 목재 가공품의 표면도장 재료로 아마인유가 쓰이는 것으로 볼 때 오일열처리 목재로 만든 가공품은 경우에 따라 표면도장을 생략하여도 사용에 큰 지장이 없을 것으로 보인다.

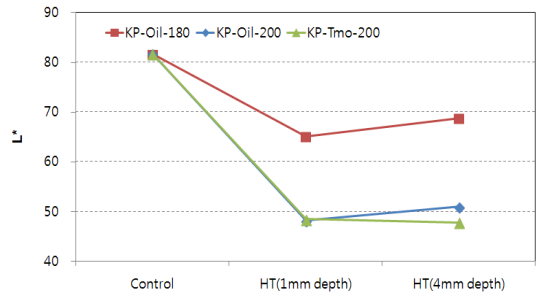
#### 3.2. $L^*a^*b^*$ 표색치

모든 시편의 열처리전과 후의  $L^*$  값을 Fig. 3에 그래프로 나타냈다. 오일열처리 전 시편의 평균  $L^*$  값을 무처리(Control)로 표기하였다. Oil-180 시편이 1 mm와 4 mm 깊이 모두 제일 밝았다. 이는 제일 낮은 온도를 적용하였기 때문이다. 따라서 기름이나 공기 등 열전달 매질의 차이보다는 온도의 차이가 재색변화에 더 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

Oil-200와 Tmo-200 시편의 백색도( $L^*$ )는 1 mm 깊이에서 거의 같다. 한편 4 mm 깊이에서 후자는 1 mm 깊이와 같은 값을 나타냈으나 전자는 조금 증가하였다. 오일열처리와 Thermowood열처리는 열처리 시간이 달라 직접 비교하기는 어려우나 본 실험 결과로 볼 때 Thermowood열처리가 좀 더 균일한 백색



**Fig. 2.** Photos of Korean pine specimens heat-treated at 180℃ and 200℃.



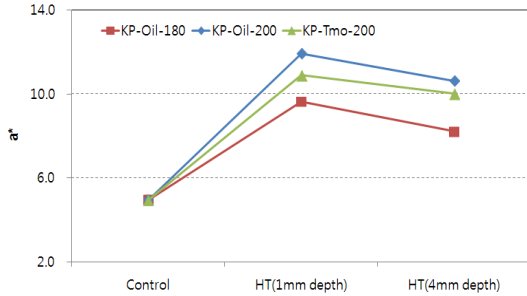
**Fig. 3.** Average lightness indexes ( $L^*$ ) of Korean pine specimens heat-treated at 180℃ and 200℃, measured at 1 and 4 mm below from surfaces.

도를 나타낸다고 할 수 있다.

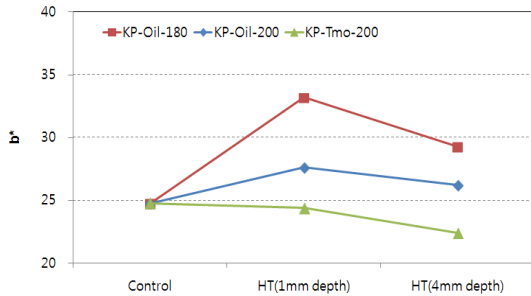
적색도( $a^*$ )는 열처리에 의해 많이 증가하였다(Fig. 4). Oil-180 시편의 적색도는 Oil-200과 Tmo-200 시편보다 적게 변화였다.

Oil-200와 Tmo-200 시편의 적색도는 1 mm 깊이와 4 mm 깊이 모두 후자가 작게 나타났다. 다른 조건이 같을 때 Thermowood열처리보다 오일열처리의 적색도가 높다는 것은 오일의 침투에 의한 영향일 가능성을 배제할 수는 없다.

1 mm 깊이에서 Oil-180 시편의 황색도( $b^*$ )가 가장 많이 증가하였고 Oil-200 시편은 Oil-180 시편의 절반정도 증가하였으나 Tmo-200 시편은 무처리와 비교해서 거의 변화가 없거나 약간 낮아졌다(Fig. 5). 4 mm 깊이의 황색도는 1 mm의 황색도보다 모든 시편에서 감소하였다. 오일열처리 시편의 4 mm 깊이



**Fig. 4.** Average redness indexes (a\*) of Korean pine specimens heat-treated at 180°C and 200°C, measured at 1 and 4 mm below from surfaces.



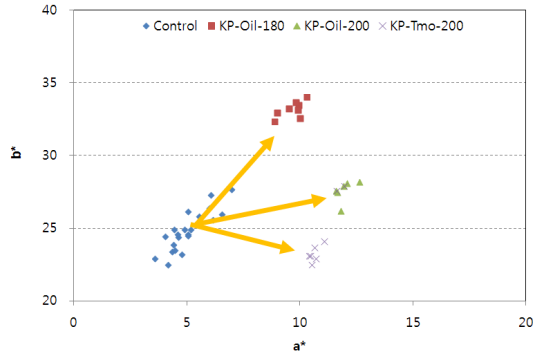
**Fig. 5.** Average yellowness indexes (b\*) of Korean pine specimens heat-treated at 180°C and 200°C, measured at 1 and 4 mm below from surfaces.

황색도는 여전히 무처리보다 높았으나 Thermowood 열처리 시편은 무처리보다 낮았다.

오일열처리 시편의 1 mm 깊이 황색도가 무처리보다 높은 것은 목재에 침투한 기름의 영향이라고 볼 수 있다. 특히 Oil-180 시편의 황색도가 Oil-200 시편보다 높은 것은 시편에 침투한 기름에 의해 황색도가 증가하였으나 200°C의 높은 온도가 황색도 증가를 상쇄시켰다고 설명할 수 있다.

4 mm 깊이의 황색도는 기름의 영향이 거의 없었다고 볼 수 있다. 낮은 온도인 Oil-180 시편의 황색도가 가장 높고, 그 다음이 Oil-200 시편, 제일 마지막으로 Tmo-200 시편이다. 따라서 황색도에 있어 열처리 효과는 Thermowood 열처리가 오일열처리보다 크다고 할 수 있다.

열처리에 의한 적색도와 황색도 변화를 한 눈에



**Fig. 6.** Plots of yellowness index (b\*) vs. redness index (a\*) measured at 1 mm below from the surfaces of the Korean pine specimens heat-treated at 180°C and 200°C.

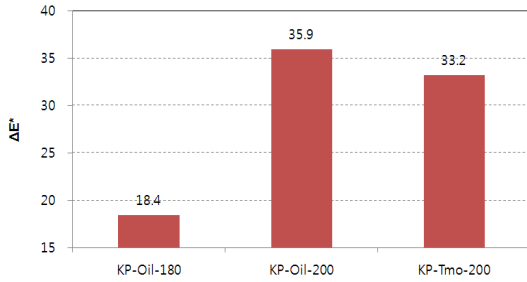
볼 수 있도록 이 두 변수의 관계 그래프를 Fig. 6에 나타냈다. 깊이 1 mm의 표색치를 나타낸 것으로 열처리 방법에 따라 세 종류 시편의 진행방향이 다르게 나타났다. 모두 적색도는 증가하는 방향으로 이동하지만, 황색도는 서로 다르다. Oil-180 시편들은 적색도와 비슷하게 증가하지만, Oil-200 시편은 약간 증가하고, Tmo-200 시편은 약간 감소한다.

### 3.3. 색차값(ΔE\*)

열처리 전 재색에 대한 열처리 후 1 mm 깊이 재색의 색차값(ΔE\*)을 식 [1]에 의해 구하여 Fig. 7에 나타냈다. 모든 시편의 색차값은 15 이상으로 열처리에 의해 재색이 심하게(extremely) 변하였음을 알 수 있다. 특히 Oil-200 시편과 Tmo-200 시편은 월등히 많이 변하였다. 이에 반해 Oil-180 시편은 적게 변하였다. 이는 열매질 종류보다 열처리 온도가 목재 재색 변화의 더 큰 영향 인자임을 증명한다.

목재를 가공하면 표층은 당연히 제거되므로 표층과 내층의 재색 비교보다 내층간의 재색 비교가 더 의미 있을 것이다. 평삭된 시편의 깊이별 재색을 비교하기 위하여 색차값을 구하였다.

모든 시편들의 1 mm와 4 mm 깊이의 재색을 측정하였으므로 이 두 지점의 색차값의 평균을 Fig. 8에 그래프로 나타냈다. Oil-180 시편의 색차값이 5.6으



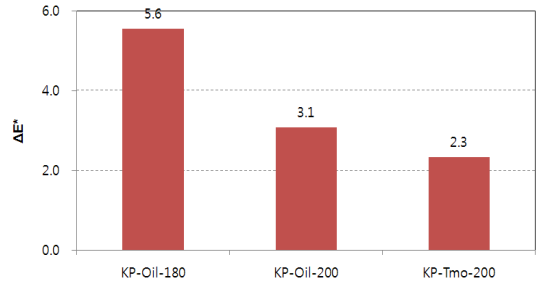
**Fig. 7.** Average color difference indexes ( $\Delta E^*$ ) of the Korean pine specimens heat-treated at 180℃ and 200℃, calculated based on the color indexes of the controls.

로 가장 크고, Oil-200 시편과 Tmo-200 시편의 색차 값은 각각 3.1과 2.3이다. Table. 1에 의하면 Oil-180은 눈에 띌 정도(Appreciable)의 재색차이를, Oil-200 시편과 Tmo-200 시편은 인지할 정도(Noticeable)의 재색차이를 나타낸다고 할 수 있다.

보통 눈으로 재색 차이를 분명히 인식하려면 색차 값이 9 이상이 되어야 한다. 따라서 내층간 색차 값이 6 이하이므로 비슷한 재색이라고 할 수 있다. 예를 들어 Fig. 2의 잣나무 3가지 열처리 시편의 평균 색차 값을 식 [1]로 구했더니 Oil-180 시편과 Oil-200 시편의 색차 값은 18.0, Oil-200 시편과 Tmo-200 시편의 색차 값은 3.4이었다. 육안으로 볼 때 Oil-180 시편과 Oil-200 시편은 분명히 재색차가 있음을 알 수 있으나, Oil-200와 Tmo-200은 재색차를 인식하기 어렵다. 따라서 위 세 가지 조건으로 열처리된 20 mm 두께 잣나무 시편은 내층의 재색이 균일하다고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

국산 주요 유용 수종의 오일열처리 연구의 일환으로 잣나무 시편을 180℃와 200℃에서 오일열처리하여 재색변화를 조사하였으며 200℃에서 Thermowood 열처리도 병행 실시하여 결과를 비교하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.



**Fig. 8.** Average color difference indexes ( $\Delta E^*$ ) of the Korean pine specimens heat-treated at 180℃ and 200℃ between 1 and 4 mm depths.

- 1) 열처리 시편 내층의 평균 백색도는 Oil-180 시편이 가장 높고, Oil-200 시편, Tmo-200 시편 순이며, Tmo-200 시편이 가장 낮지만, 균일하였다.
- 2) 열처리 시편 내층의 평균 적색도는 Oil-200 시편이 가장 높고, Tmo-200 시편, Oil-180 시편 순이며 시편 내층의 평균 황색도는 Oil-180 시편이 가장 높고, Oil-200 시편, Tmo-200 시편 순이다.
- 3) 무처리와 비교한 평균 색차 값은 Oil-200 시편과 Tmo-200 시편이 30.0 이상으로 심하게 재색이 변화하였으며 Oil-180 시편은 18.4로 상대적으로 적게 변화하였다. 이는 열매질 종류보다 열처리 온도가 목재재색 변화의 더 큰 영향 인자임을 증명한다.
- 4) 열처리 시편 내층간의 평균 색차 값은 Oil-180 시편이 5.6으로 가장 크고, Oil-200 시편과 Tmo-200 시편은 각각 3.1과 2.3으로 적었다. 따라서 세 열처리 조건 모두 시편 내층의 재색을 균일하게 변화시켰다고 할 수 있다.

#### 사 사

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호: S121414L060120)’과 충남대학교 학술연구비의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.

## REFERENCES

- Borrega, Marc, Karenlampi, P. 2010. Hygroscopicity of heat-treated Norway spruce (*Picea abies*) wood. Holz als Roh-und Werkstoff 68(2): 233-235.
- Brischke, C., Welzbacher, C.R., Brandt, K. Rapp, A.O. 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.
- Chang, Y.-S., Han, Y.-J., Eom, C.-D., Park, J.-S., Park, M.-J., Choi, I.-G., Yeo, H.-M. 2012. Analysis of factors affecting the hygroscopic performance of thermally treated *Pinus Koraiensis* wood. Journal of the Korean Wood Science and Technology 40(1): 10-18.
- Dubey, M.K., Pang, S., Walker, J. 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., Pang, S., Walker, J. 2011. Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated *Pinus radiata*. Eur. Journal of Wood Products 69(2): 255-262.
- Dubey, M.K., Pang, S., Walker, J. 2012a. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat-treatment. Holzforschung 66(1): 49-58.
- Dubey, M.K., Pang, S., Walker, J. 2012b. Oil uptake by wood during heat-treatment and post-treatment cooling, and effects on wood dimensional stability. Eur. Journal of Wood Products 70(1-3): 183-190.
- Dubey, M.K., Pang, S., Walker, J. 2014. Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated *Pinus radiata*. Eur. Journal of Wood Products 72(2): 255-262.
- Esteves, B., Domingoes, I., Pereira, H. 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, B., Domingoes, I., Pereira, H. 2008. Heat treatment of pine wood. Bio Resources 3(1): 142-154.
- Kang, C.-W., Lim, H.-M., Kang, H.-Y. *In process*. Investigation on the Oil Heat Treatment of Domestic Utilization Species I - the Color Changes of Larch and Paulownia wood specimens Treated at 200°C.
- Kang, H.-Y. 2008. Development of Color Changing Technology for Domestic Softwood. Journal of Korea Furniture Society 19(3): 156-162.
- 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.
- Kim, K.M., Park, J.H., Park, B.S., Son, D.W., Park, J.S., Kim, W.S., Kim, B.N., Shim, S.R. 2010. Physical and mechanical properties heat-treated domestic yellow poplar. Journal of the Korean Wood Science and Technology 38(1): 17-26.
- Kim, G.-H., Kim, J.-J., Ra, J.-B. 2002. Development of fungal sapstain in logs of Japanese red pine and Korean pine. Journal of the Korean Wood Science and Technology 30(2): 128-133.
- Kim, S.-H., Ra, J.-B. 2010. Optimization of bleaching conditions for stain removal in Japanese hackberry (*Celtis sinensis* Persoon) using response surface methodology. Journal of the Korean Wood Science and Technology 38(3): 27-34.
- Korkut, S., Karayilmazlar, S., Hiziroglu, S., Sanli, T. 2010. Some of the properties of heat-treated sessile oak (*Quercus petraea*). Forest Products

- Journal 60(5): 473-480.
- Lee, J., Kang, C.-W., Park, R.-W., Kang, H.-Y. 2015. Forced Air-drying of Cross-cut Disks from Small-diameter Logs of *Quercus variabilis*. Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(1): 52-59.
- Lee, W.-H., Lim, H.-M., Kang, H.-Y. 2014. Effect of Heat Treatment on the Color Change of Blue-Stained *Pinus densiflora* Boards. Journal of Korea Furniture Society 25(4): 329-334.
- Lim, H.-M., Hong, S.-H., Kang, H.-Y. 2013. Investigation of the Color Change and Physical Properties of Heat-treated *Pinus koraiensis* Square Lumbers. Journal of the Korean Wood Science and Technology 42(1): 13-19.
- Poncsak, S., Kocafe, D., Younsi, R. 2011. Improvement of the heat treatment of Jack pine (*Pinus banksiana*) using ThermoWood technology. Holz als Roh-und Werkstoff 69(2): 281-286.
- Rapp, A.O. 2001. Heat treatment of wood in Germany-state of the art. In "Review on Heat Treatments of Wood" edited by A.O. Rapp, Proceedings of special Seminar, Antibes, France, 9 Feb. 2001. pean Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research, COST ACTION E22.
- Sidorova, K., Karlsson, O., Moren, T. 2010. The resistance to climate changes and durability of heat- and oil treated wood. 11th International IUFRO Wood Drying Conference, January 18-22, 2010 in Skelleftea, Sweden.
- Steele, P., Parish, D., Cooper, J. 2012. Demonstration Results from Greenhouse Heating with Bio-Oil. Forest Products Journal 62(7): 474-479
- Yılgor, N., Kartal, N.S. 2010. Heat modification of wood: Chemical properties and resistance to mold and decay fungi. Forest Products Journal 60(4): 357-361.