

## 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성\*1

김 광 모\*2† · 박 정 환\*2 · 박 병 수\*2 · 손 동 원\*2 ·  
박 주 생\*2 · 김 운 섭\*2 · 김 병 남\*2 · 심 상 로\*2

### Physical and Mechanical Properties of Heat-treated Domestic Yellow Poplar\*1

Kwang-Mo Kim\*2† · Jung-Hwan Park\*2 · Byoung-Soo Park\*2 · Dong-Won Son\*2 ·  
Joo-Saeng Park\*2 · Wun-Sub Kim\*2 · Byoung-Nam Kim\*2 · Sang-Ro Shim\*2

#### 요 약

본 연구에서는 최근 새로운 활엽수 조림수종으로써 주목받고 있는 백합나무 제재목의 재질개선을 통한 부가가치 향상을 모색하고자 하였다. 이를 위해 이전 연구에서 삼나무의 재질개선 방법으로써 적용가능성이 확인된 200°C 내외의 고온 열처리방법을 적용하였으며, 백합나무 재색제어에 적합한 적정 열처리 조건 구명 및 열처리에 따른 재질변화 평가를 수행하였다. 200°C의 열처리 조건에서 백합나무 심·번재 사이의 재색차이가 줄어드는 경향을 확인하였으며, 이러한 경향은 처리시간이 증가함에 따라 더 크게 나타났다. 열처리재의 평형함수율이 무처리재에 비해 50% 정도 낮아 목재의 사용과정에서 나타나는 수분에 의한 성능저하를 예방할 수 있을 것으로 기대되었으나, 백합나무의 친환경 방부처리 기술로써 열처리의 적용 가능성은 삼나무에 비해 낮게 나타났다. 열처리재의 역학성능 변화는 삼나무와 거의 유사한 경향을 보였으며, 향후 백합나무의 용도를 개발하는데 있어서 이러한 물성 변화가 고려되어야 할 것이다. 열처리에 의한 물성변화의 원인을 규명하기 위한 미세구조 관찰 결과에서는 특별한 변화를 확인할 수 없었으며, 추후 물성변화의 원인규명을 위한 추가적인 연구가 요구되었다.

#### ABSTRACT

Recently, yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) is getting attention in Korea due to the fast growing and high yield and quality of lumber. But, it is thought that the color difference between heartwood and sapwood may restrict the practical use of it. This study was aimed to enhance the

\* 1 접수 2009년 8월 25일, 채택 2009년 12월 11일

\* 2 국립산림과학원 녹색자원이용부, Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김광모(e-mail: lovewood@forest.go.kr)

value of yellow poplar lumber by the color control using high temperature heat-treatment, which had been tried for domestic cedar (Kim *et al.*, 2009). The material properties including surface color of yellow poplar lumber were evaluated according to heat treatment conditions. The difference of color between sapwood and heartwood could be reduced by heat treatment at a temperature about 200°C. Long heating time was more effective in reducing the difference. The Equilibrium Moisture Content (EMC) of heat-treated wood was as low as 50 percent of the control. The result obviously indicates that heat-treated wood is more dimensionally stable in the change of moisture condition. The durability against wood rotting fungi also increased by the heat-treated, but it was not so effective as the case of cedar. The changes of mechanical properties of heat-treated yellow poplar were very similar to that of heat-treated cedar. In order to develop new use of heat-treated yellow poplar, the changes of mechanical properties should be considered. There were no significant changes in microscopic structure which may cause changes in mechanical properties. Further study of heat-treated wood is needed to scrutinize the causes of changes of material properties.

**Keywords:** yellow poplar, color control, heat-treatment, physical property, mechanical performance, property change

## 1. 서 론

백합나무는 북미가 원산지인 활엽수종으로 국내에는 1925년경에 도입되어 가로수나 녹지대 등 산림이 아닌 지역에 경관수로 주로 심어져 왔다. 그 후, 국내의 조림 시책이 녹화위주에서 경제수종으로 전환되면서 활엽수 조림수종의 필요성이 증대함에 따라 국립산림과학원에서 1969년에 강원 춘천, 전북 임실 등의 6개소에 처음 백합나무를 시험 조림하였다(유 등, 2000). 2000년 이후에 조림 후 30년이 지나면서 생장이 빠르고, 목재의 재질이 좋으며, 단위 면적당 많은 목재를 생산할 수 있는 백합나무의 장점이 확인됨에 따라 새로운 조림수종으로써 백합나무의 가능성이 부각되고 있다(박 등, 2008; 유 등, 2008). 그러나 심재(녹갈색 또는 회갈색 이나 때로 자색, 암록색의 줄무늬가 있음)와 변재(황백색, 백색)의 재색 차이가 뚜렷한 백합나무의 재질특성은 백합나무 제재목을 가구용재나 건축 내외장재와 같은 고부가가치 용도로 활용하는데 있어서 제약이 되고 있다(정과 박, 2008).

고온 열처리에 의해 목재의 재색뿐만 아니라 다양한 물리 및 역학적 특성이 변화됨에 따라, 최근 이를 활용하여 목재의 재질을 개량하고자 하는 연구가 국내·외

에서 다양하게 수행되고 있다(Bekhta and Niemz, 2003; Hakkou *et al.*, 2005; Joščák *et al.*, 2007; Esteves *et al.*, 2007, 2008; Borrega and Kärenlampi, 2008; 윤 등, 2008). 백합나무와 유사하게 심·변재의 재색차이로 인하여 이용에 제약을 받는 국산 삼나무의 고부가가치 용도 개발을 목적으로 한 이전 연구에서는 삼나무의 적정 열처리 조건을 구명하고, 그에 따른 재질 변화를 평가하여 제시하였다(김 등, 2009). 따라서 본 연구에서는 이전 연구와 동일한 방법으로 100°C 이상 고온의 열처리 조건에서 백합나무의 재색 변화를 관찰함으로써 재색제어에 적합한 적정 열처리 조건을 구명하고, 열처리에 따른 다양한 재질변화를 평가함으로써 백합나무의 새로운 용도개발을 위한 기초 자료로 활용하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

본 연구의 공시재료로는 2007년 국립산림과학원 현안과제 '백합나무 조림적지 구명 및 타당성 조사'의 일환으로 전라남도 강진군 초당림에서 벌채하여 제재, 건

조한 두께 30 mm, 폭 120 mm, 길이 3.6 m의 백합나무(*Liriodendron tulipifera* L.) 제재목을 이용하였다. 이들 제재목의 판면에서 웅이 등의 결함이 없고, 심재와 변재가 함께 나타나는 부위를 선정하여 길이 200 mm와 400 mm 시편을 각각 70개씩 준비하였다. 제작된 시험편은 20°C, 65% 조건에서 충분히 조습하여 평형습수율에 도달하도록 하였다.

## 2.2. 열처리 조건에 따른 재색변화

### 2.2.1. 열처리 전 색차 측정

길이 200 mm 시험편의 한쪽 재면에서 변재와 심재 각 3개소를 대상으로 색채색차계(Minolta JP/CR-10)를 이용하여 CIE기준의 L\*, a\*, b\*값을 측정 후, 그 평균값을 시편의 대표 값으로 사용하였다. 여기서 L\*은 명도로 100은 흰색, 0은 검은색을 나타내며, a\*와 b\*는 동일한 명도를 가지는 평면상에서 각각 녹색-빨강, 파랑-노랑 축의 좌표를 의미한다(Bekhta and Niemz, 2003).

### 2.2.2. 온도 및 시간 조건별 열처리

열처리 조건은 온도 4조건(140, 170, 200, 230°C), 시간 5조건(3, 6, 12, 24시간, Continue)으로 하여 무처리를 포함하여 총 21조건으로 하였다. 시간조건에서 'Continue'는 각 처리시간 단계에서 시편의 재색, 치수, 무게를 측정하면서 24시간 경과 시까지 열처리한 경우를 의미한다. 열처리 전 색차 측정 결과를 바탕으로 심변재 사이의 재색 차이를 기준으로 시험편을 정렬한 후에, 색차가 지나치게 크거나 작은 시편을 제외하고 처리조건별로 고르게 분포되도록 시편을 선정하였다. 각 처리조건별로 반복수를 3회로 하여 총 63개의 시편을 선정하였다.

온도조건별로 열처리를 진행하였으며, 열처리에는 고온형 열풍건조기(BPH-9200A, (주)뉴린핏)를 이용하였다. 각 시간 단계가 경과하면 'continue' 시편 3개를 포함하여 6개의 시편을 꺼내어 재색 및 치수, 무게를 측정하였다. 측정이 끝난 'continue' 시편은 다시 건조기에 넣어 열처리를 진행하고, 나머지 3개 시편은 상온에서 보관하였다.

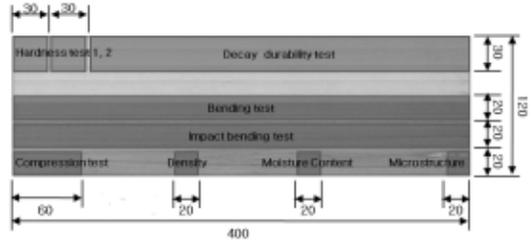


Fig. 1. Cutting schedule for making each testing specimen (Kim et al., 2009).

### 2.2.3. 열처리재의 재색선호도 조사

열처리재의 재색 선호도 조사를 위하여 열처리가 끝난 후 'continue' 시편을 제외한 모든 시편을 두께 10 mm × 폭 100 mm × 길이 100 mm로 재가공하였다. 처리 조건별로 3개의 시편 중에서 가공 상태 등을 기준으로 1개씩 선정하여 열처리재의 재색이 잘 나타날 수 있도록 재면을 2회 연마가공한 후에 선호도 조사용 패널을 제작하였다.

열처리재의 적용 가능한 용도로써 비교적 수요가 많고 부가가치가 높은 가구재, 바닥재, 벽판재의 세 가지 용도에 대한 선호도 조사를 실시하였다. 선호도 조사는 2차에 걸쳐 진행하였는데, 1차 조사는 2008년 7월 7일부터 20일까지 2주간 국립산림과학원 임산공학연구동 1층 홀에서 연구동에 근무하거나 방문하는 사람들을 대상으로 하였으며, 2차 조사는 2009년 4월 16일에 인천 인하대학교에서 개최된 사단법인 한국목재공학회 2009 학술발표대회 전시발표에서 학회 참가자들을 대상으로 실시하였다. 조사 방법은 설치된 패널에 참가자들이 자유롭게 자신이 선호하는 재색을 선택하여 용도별로 다른 색을 가지는 스티커를 붙이도록 하는 방식으로 진행하였다.

## 2.3. 열처리재의 재질평가

### 2.3.1. 열처리 및 시험편 제작

열처리재의 재질평가를 위해서는 앞에서 준비한 길이 400 mm 시편이 이용되었으며, 열처리 조건으로는 선호도 조사 결과를 통해 선정된 3가지 조건(200°C/3, 6, 12시간)을 적용하였다. 200 mm 시편과 동일한 방

Table 1. List of standards related with each testing method (Kim et al., 2009)

Test item	Standard No.	Standard Title
Equilibrium moisture content	KS F 2199-2001	Determination of moisture content of wood
Air-dry density	KS F 2198-2001	Determination of density and specific gravity of wood
Oven-dry density		
Decay durability test	KS F 2213-2004	Method of test decay for wood
Compressive strength	KS F 2206-2004	Method of compression test for wood
Compressive modulus of elasticity		
Bending strength	KS F 2208-2004	Method of bending test for wood
Bending modulus of elasticity		
Impact bending absorbed energy	KS F 2211-2004	Method of impact bending test for wood
Hardness	KS F 2212-2004	Method of hardness test for wood

법으로 각 시편의 재색을 기준으로 시편을 정렬하고 반복수를 10회로 하여 무처리를 포함하여 40개의 시편을 선정하였다.

열처리가 끝난 시편은 Fig. 1과 같이 각각의 재질평가를 위한 시험편으로 제작하였다. 내후성 실험을 위한 시험편은 가능한 변재부위에서 제작되도록 하였다. 제작된 시험편은 20°C, 65% 조건에서 충분히 조습하여 평형함수율이 유지되도록 하였다.

### 2.3.2. 열처리재의 재질특성 평가

열처리에 의한 재질변화를 평가하기 위한 항목으로 평형함수율과 비중, 내후성을 평가하였으며, 역학성능으로는 압축강도와 압축탄성계수, 휨강도와 휨탄성계수, 충격흡수에너지, 경도를 평가하였다. 평가방법으로는 한국산업규격(KS)을 적용하였으며, 평가항목에 따른 관련 규격을 Table 1에 나타내었다.

### 2.3.3. 열처리재의 미세조직구조 관찰

실체현미경으로 확인하면서 정확한 횡단면, 방사단면 및 접선단면이 나오도록 10 × 10 × 10 mm의 블록을 제작하였다. 제작된 시편은 50% 알코올 용액에 충분히 침지한 후, 활주식 마이크로톰을 이용하여 횡단면, 접선단면, 방사단면에서 두께 20~25 μm의 절편을 제작하였다. 제작된 절편을 사프란닌(safranin)으로 염

색, 알코올 계열로 탈수처리, 키실렌으로 치환한 후에 최종 카나다발삼으로 봉입하여 영구슬라이드를 제작하였다. 이와는 별도로 주사전자현미경 관찰을 위하여 5 × 5 × 2.5 mm의 블록을 제작한 후, 표면을 활주식 마이크로톰으로 조제하고, 알코올 계열로 탈수처리, 건조하여 주사전자현미경(SEM) 관찰용 시료로 이용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 열처리 조건에 따른 재색 변화

#### 3.1.1. 열처리 전 심변재 사이의 색차측정

열처리에 앞서 200 mm 시험편 모두의 심변재 색차를 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 수평축은 시편번호를 의미한다. L\*값은 65~85 정도의 범위로 대체로 밝은 색을 띄며, 변재가 심재에 비해 다소 밝으나 그 경계가 명확하지는 않았다. a\*값의 경우 0~6 사이의 매우 좁은 범위에서 나타났으며, 심변재 사이의 차이는 거의 없었다. 반면에 b\*값의 범위는 12~24 정도로 L\*값에 비해 좁았으나, 모든 시편에서 심재는 16.9 이상, 변재는 16.8 이하로 심변재 사이에 명확한 차이를 보였다. 이러한 결과를 통해 일반적으로 심재가 변재에 비해 어두운 청색을 띤다는 것을 수치적으로 확인할 수 있었으며, 따라서 열처리 조건별 시편을 정하

백합나무 열처리제의 물리 및 역학적 특성

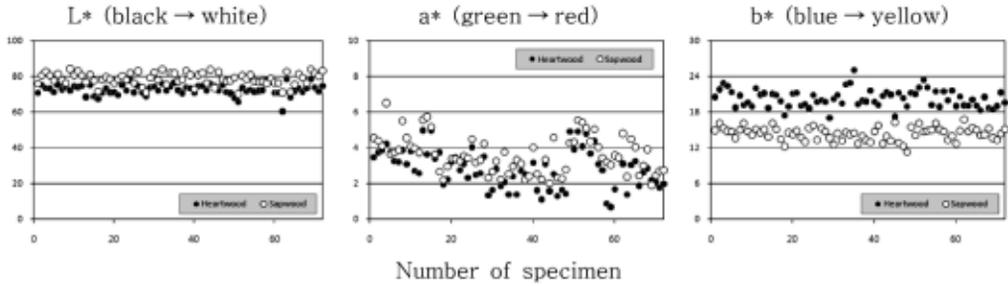


Fig. 2. Color difference between heartwood and sapwood of yellow poplar.

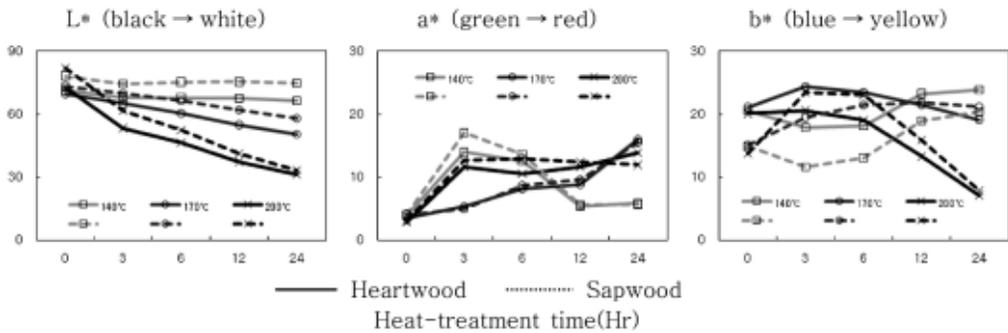


Fig. 3. Color change depend on heat-treatment temperature and time conditions.

는데 있어서 심변재 사이의 차이가 명확한 b\*값을 기준으로 선정하였다.

3.1.2. 열처리에 의한 재색변화

‘continue’ 시편을 이용하여 측정한 열처리 조건에 따른 재색변화를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 수평 축은 처리시간을 의미하며, 실선은 심재, 점선은 변재의 측정 결과이다. 230°C 온도조건에서는 삼나무와 유사하게 처리시작 후 3시간 이내에 목재의 표면이 착화되었으며, 따라서 230°C 조건은 결과에서 제외하였다.

L\*값의 경우 140°C의 온도조건에서는 거의 변화가 없었다. 170°C 조건에서는 처리시간이 경과함에 따라 완만하게 감소하였으나, 심·변재 사이의 차이는 줄지 않고 오히려 다소 증가하였다. 200°C의 온도조건에서는 처리시간에 따른 L\*값의 변화가 급격하게 나타났으며, 심·변재 사이의 차이 또한 눈에 띄게 감소하였다.

심·변재 사이의 차이가 거의 없었던 a\*값의 경우에 온도와 시간의 변화함에 따른 변화가 다소 불규칙하게

나타났으나, 전반적으로 무처리제에 비해 증가하였다. 그러나 a\*값이 불규칙하게 변화되는 과정에서도 동일 시편에서 심·변재 사이의 차이는 거의 일정하게 유지되는 것으로 확인되었다.

a값과 달리 무처리 상태에서 심·변재 사이의 차이가 명확하였던 b\*값의 경우에 140과 170°C의 온도조건에서는 다소 증가하는 경향을 보였으며, 200°C의 조건에서는 초기에 증가하다가 6시간 이후에 급격하게 감소하였다. 그러나 심·변재 사이의 차이는 모든 온도조건에서 처리시간이 경과함에 따라 점차 감소하였다.

이상의 결과를 종합적으로 판단하였을 때, 고온에서의 열처리에 의해 백합나무의 심·변재 재색차이를 줄일 수 있는 것으로 판단되었다. a\*와 b\*값은 다소 불규칙한 경향을 나타내었으나 온도와 처리시간이 증가함에 따라 대체로 심·변재 사이의 차이가 감소하였으며, L\*값의 경우에는 열처리에 의해 색이 짙어지면서 심·변재 사이의 차이가 감소하는 명확한 경향이 확인되었다.

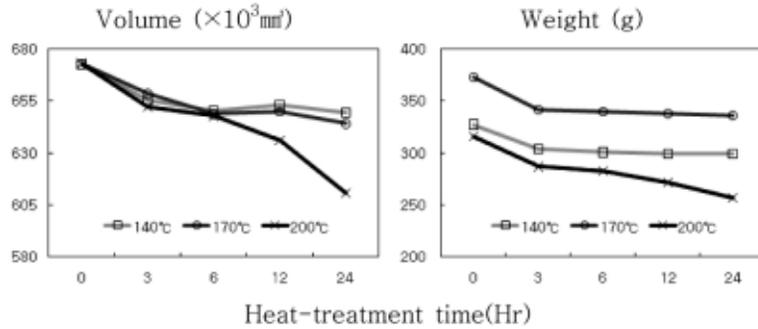


Fig. 4. Volume and Weight changes depend on heat-treatment temperature and time conditions.

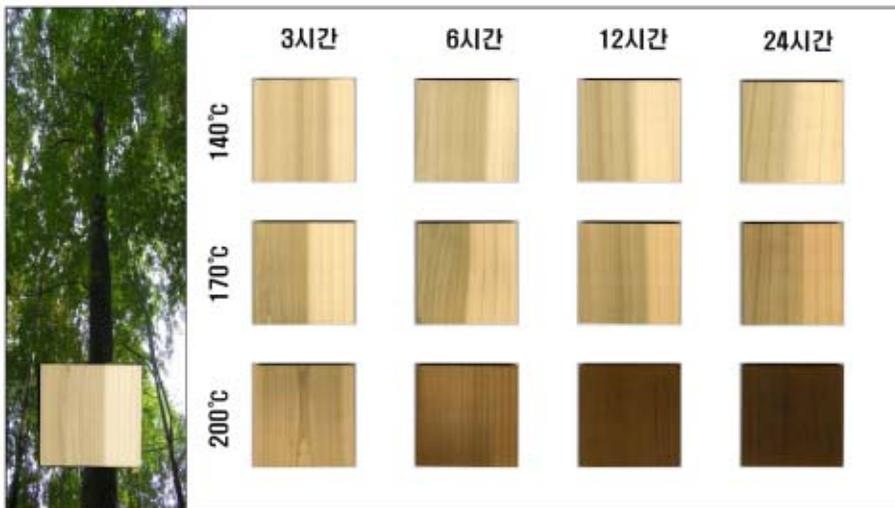


Fig. 5. Panel used for survey of surface color preferences.

### 3.1.3. 열처리에 의한 부피 및 무게 변화

열처리 조건에 따른 부피와 무게 변화의 평균값을 측정하여 Fig. 4에 나타내었다. 열처리 초기에는 모든 온도조건에서 부피와 무게가 감소하였는데, 이는 목재 내부에 포함되어 있는 수분이 제거되면서 발생하는 현상으로 추정된다. 6시간 열처리 이후에는 200°C 조건에서만 부피와 무게의 감소 경향이 명확하게 나타났는데, 이를 통해 열에 의한 목재성분의 분해가 200°C 이상에서 활발하게 진행되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.1.4. 열처리재의 재색선호도 조사

재색선호도 조사를 위하여 Fig. 5와 같이 패널을 제

작하였다. 1, 2차에 걸친 선호도 조사에 각각 20여 명씩 약 40명이 참여하였으며, 2회의 조사 결과를 합하여 Table 2에 나타내었다. 가구재와 바닥재 용도로는 재색이 짙고, 심변재 사이의 재색차이가 적은 200°C 온도 조건에서 6시간 이상 열처리한 시편을 80% 정도의 참여자가 선호하는 것으로 확인되었다. 반면에 벽판재로는 재색 변화가 크지 않은 140°C 처리재를 참여자의 60% 이상이 선호하였으며, 200°C 처리재를 선호한다는 의견의 10% 이내였다. 이상의 결과를 바탕으로 열처리재의 용도로 벽판재보다는 짙은 재색이 선호되는 가구재와 바닥재가 적합할 것으로 판단되었으며, 처리 조건으로는 200°C 조건이 가장 적합한 것으로 확인되

Table 2. Survey results of surface color preferences

°C \ Hr	Furniture (43)				Flooring (36)				Interior wall (29)			
	3	6	12	24	3	6	12	24	3	6	12	24
140	5	0	0	0	1	1	0	0	7	3	4	4
170	1	1	0	0	0	0	3	2	1	0	2	6
200	2			2	0		4	5	1	1	0	0

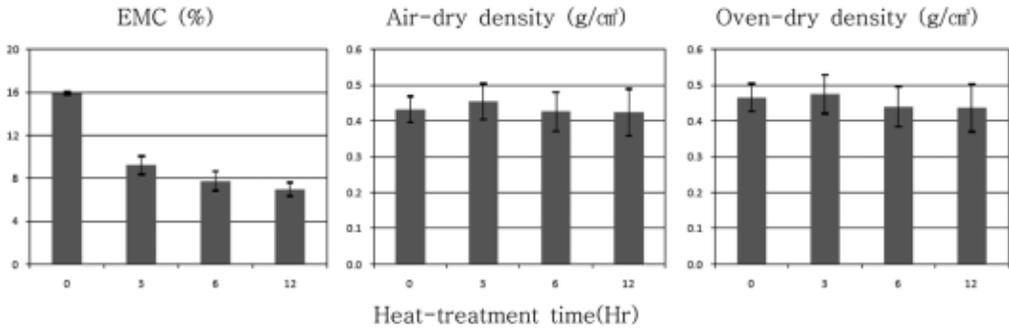


Fig. 6. Physical properties of 200°C heat-treated yellow poplar.

었다. 따라서 열처리재 재질평가를 위한 처리조건으로 삼나무의 경우와 동일한 200°C/3, 6, 12시간의 세 가지 조건을 선정하였다.

### 3.2. 열처리재의 재질 평가

#### 3.2.1. 평형함수율, 밀도

백합나무 열처리재의 평형함수율과 전건 및 기건밀도 측정결과를 Fig. 6에 나타내었다. 20°C, 65% 조건에서 무처리재의 평형함수율이 16%인데 반하여 열처리재의 평형함수율은 절반 이하로 감소하였다. 평형함수율 감소는 목재의 흡습성 저하에 기인하며, 결과적으로 목재의 치수안정성이 크게 향상되었을 것으로 기대되었다(Esteves *et al.*, 2007; 김 등, 2009).

밀도 측정 결과를 살펴보면 기건밀도는 0.42~0.45 g/cm<sup>3</sup>, 전건밀도는 0.44~0.47 g/cm<sup>3</sup> 범위에서 나타났다. 열처리 초기에 밀도가 조금 증가하다가 다시 감소하는 경향이 보였지만, 모두 오차 범위 이내로 열처리에 의한 밀도의 유의한 변화는 확인되지 않았다. 열처리에 의해 목재성분의 열분해가 발생함에도 불구하고

밀도의 차이가 크지 않은 것은 열분해에 의한 중량감소와 함께 부피 감소가 발생하기 때문으로 생각된다.

#### 3.2.2. 역학성능

열처리재의 휨강도 등 역학성능 측정결과를 Fig. 7에 나타내었다. 김 등(2009)의 삼나무 열처리재 측정결과와 유사하게 충격흡수에너지를 제외한 대부분의 역학성능이 무처리재와 같거나 증가하는 것으로 확인되었다. 특히 압축과 관련된 성능의 향상이 두드러지게 나타났으며, 휨강도와 경도의 경우에는 열처리 초기에 증가하였다가 열처리 시간이 증가함에 따라 다시 감소하여 12시간 처리 후에는 무처리재와 거의 유사한 성능을 나타내었다. 이러한 역학성능의 증가 원인은 평형함수율 변화에 기인하며, 목재 내부의 수분 양이 감소하면서 재질이 경화되고 연성이 감소하여 전반적인 역학성능이 증가된 것으로 생각된다(Jošćák *et al.*, 2007; Borrega and Kärenlampi, 2008; Kim *et al.*, 2009). 실제 실험과정에서 무처리재의 경우에는 연성(ductile) 파괴형태가 주로 나타나지만 열처리재의 경우에는 취성(brittle) 파괴형태가 주로 관찰되었는데, 이를 통해

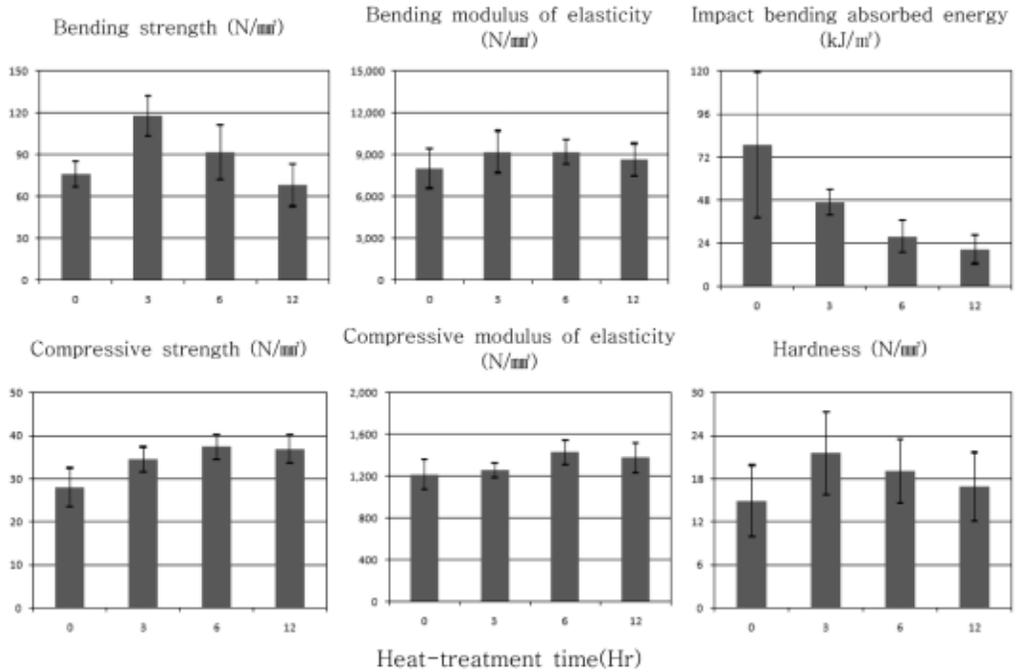


Fig. 7. Mechanical properties of 200°C heat-treated yellow poplar.

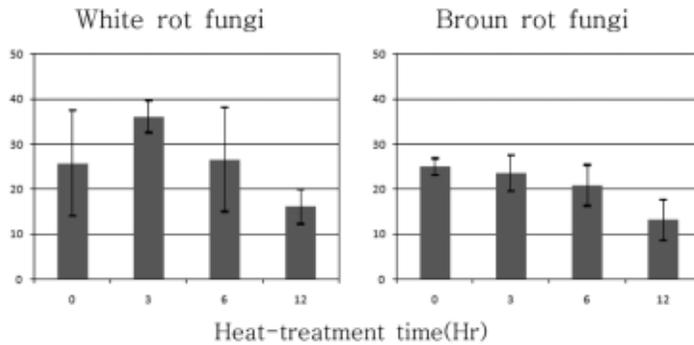


Fig. 8. Decay durabilities (weight loss ratio, %) of 200°C heat-treated yellow poplar.

서도 열처리에 의하여 목재의 연성이 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 목재의 연성 감소는 내충격성을 감소시켜 열처리재의 충격흡수에너지가 1/3 이하로 크게 감소된 것으로 판단되었다.

### 3.2.3. 내후성

열처리재의 내후성 평가를 위하여 구름버섯(*Trametes versicolor*)과 부후개떡버섯(*Tyromyces palustris*)

에 대하여 중량감소율을 평가하고, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. KS F2213에서는 약 60일 간에 걸쳐 부후조작을 진행하도록 제안하고 있으나, 본 연구에서는 연구기간의 제약으로 인하여 이보다 짧은 6주(42일)간 부후조작을 진행하고 중량감소율을 측정하였다.

열처리 시간이 증가함에 따라 부후에 의한 중량감소율이 점차 감소하는, 즉 내후성이 커지는 경향을 보였다. 그러나 열처리 시간이 짧은 시험구(3시간, 6시간)

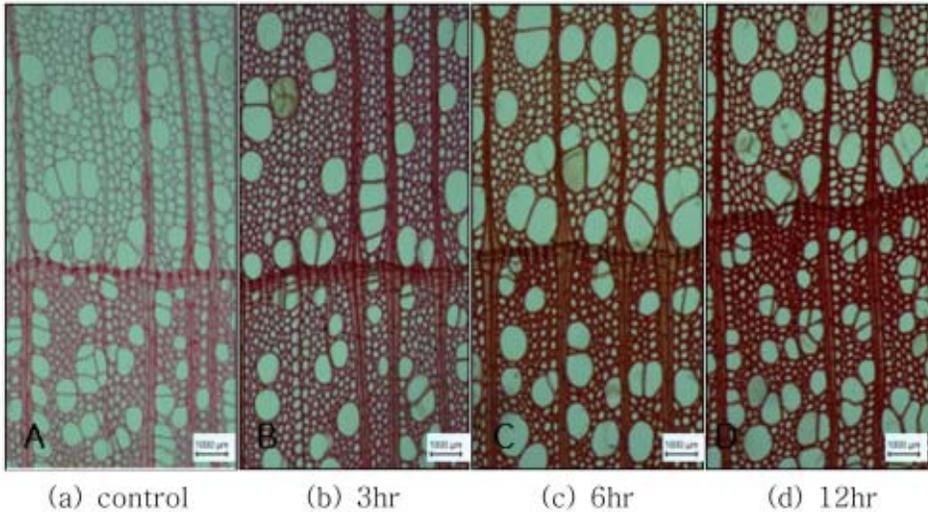


Fig. 9. Microstructure of 200°C heat-treated yellow poplar observed with optical microscope.

를 구름버섯으로 부후시킨 경우에 무처리재에 비해 중량감소율이 오히려 높게 나타났으며, 12시간 열처리의 경우에도 중량감소율이 각각 16%와 13%로 목재방부 처리에 요구되는 성능기준인 3%에 훨씬 못 미치는 것으로 나타났다. 따라서 백합나무의 경우에 기존 방부처리방법을 대체하는 방안으로써 열처리의 적용 가능성은 삼나무에 비해 낮은 것으로 판단되었다.

### 3.2.4. 미세조직구조

목재의 물성변화 원인을 규명하기 위하여 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 열처리에 의한 처리 시간별 조직변화를 관찰한 결과 큰 차이를 확인할 수 없었다(Fig. 9). 그러나 동일한 염색조건 아래에서도 염색 후의 색상 변화가 관찰되었으며, 이러한 현상은 열처리에 따른 목재의 화학적 성분변화에 기인하는 것으로 판단되었다. 따라서 열처리에 의한 목재 물성변화의 원인을 정확하게 규명하기 위해서는 화학성분 변화에 대한 추가적인 분석이 요구되었다.

## 4. 결 론

국산 백합나무의 적정 열처리 조건을 구명하고, 열처리재의 물성을 평가하기 위하여 수행한 본 연구를 통해

얻은 결론은 다음과 같다.

1) 고온 열처리를 통하여 백합나무 심·변재 사이의 재색차이를 줄일 수 있는 것이 확인되었다. 그러나 삼나무의 경우와 마찬가지로 처리온도 230°C 조건에서는 목재 표면이 착화됨에 따라, 보다 높은 온도에서의 열처리를 위한 장치개발이 요구되었다.

2) 선호도 조사 결과, 백합나무 열처리재의 용도로써 벽판재는 적합하지 않으며, 200°C 온도조건에서 열처리하여 짙은 재색을 보이는 경우에 대하여 가구재와 바닥재 용도로써 80% 정도의 높은 선호도를 보였다.

3) 열처리재의 평형함수율이 무처리재에 비해 50% 정도 낮아 목재의 사용과정에서 나타나는 수분에 의한 성능저하 문제를 예방할 수 있을 것으로 기대되었다. 그러나, 부후균에 대한 내후성 향상 정도는 미미하여 백합나무의 친환경 방부처리 기술으로써 열처리의 적용 가능성은 삼나무에 비해 낮은 것으로 판단되었다.

4) 열처리재의 역학적 변화는 삼나무의 경우와 거의 유사한 경향을 보였다. 열처리에 의해 역학적능이 대체로 증가하였으나, 연성이 감소함으로 인하여 충격 휨흡수에너지는 크게 감소하였다.

5) 열처리에 의한 물성변화의 원인을 구명하기 위한 미세구조 관찰 결과에서는 특별한 차이를 확인할 수 없었으며, 추후 물성변화의 원인규명을 위한 추가적인 연

구가 요구되었다.

## 참 고 문 헌

1. 김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남, 심상로. 2009. 삼나무 열처리제의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 37(4): 330-339.
2. 박동균, 정용호, 김경하, 변재경, 이승우, 최형태, 임종환, 천정화, 유근옥, 최형순, 이동흡, 박상범, 김광모, 김운섭, 정두진, 이경학, 손영모, 김재원, 배상원, 김영수, 주련원, 김재성, 원현규. 2008. 백합나무 조림적지 및 타당성 조사. 국립산림과학원 연구보고 08-13. p. 175.
3. 유근옥, 장석성, 정현관, 홍용표, 조경진, 권영진, 김영모, 김원우, 홍경락, 조동광, 김용욱, 정재민. 2000. 백합나무 조림기술. 임업연구원 연구자료 제164호 p. 103.
4. 유근옥, 김외정, 김인식, 최형순, 이동흡, 김용욱. 2008. 백합나무(*Liriodendron tulipifera* L.) -생장특성과 이용기술. 국립산림과학원 연구자료 제320호 p. 286.
5. 윤경진, 엄창득, 박준호, 이양우, 최인규, 이진제, 여환명. 2008. 열처리와 자외선처리를 이용한 삼나무 재색제어. 목재공학 36(6): 33~40.
6. 정성호, 박병수. 2008. 한국산 유용수종의 목재성질. 국립산림과학원 연구신서 제29호 pp. 141~143.
7. Bekhta, P. and P. Niemi. 2003. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung* 57: 539~546.
8. Borrega, M. and P. P. Kärenlampi. 2008. Mechanical behavior of heat-treated spruce(*Picea abies*) wood at constant moisture content and ambient humidity. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66: 63~69.
9. Esteves, B, A. V. Marques, I. Domingos, and H. Pereira. 2007. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus Pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Sci Technol.* 41: 193~207.
10. Esteves, B, A. V. Marques, I. Domingos, and H. Pereira. 2008. Heat-induced colour changes of pine (*Pinus Pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Sci Technol.* 42: 369~384.
11. Hakkou, M, M. Pétrissans, I. E. Bakali, P. Gérardin, and A. Zoulalian. 2005. Wettability changes and mass loss during heat treatment of wood. *Holzforschung* 59: 35~37.
12. Joščák, T, M. Mamoňová, M. Babiak, A. Teischinger, and U. Müller. 2007. Effects of high temperature drying in nitrogen atmosphere on mechanical and colour properties of Norway spruce. *Holz als Roh- und Werkstoff* 65: 285~291.