

## 가압·가열처리한 자작나무 적층재의 물성과 생활용품 활용방안 연구

신 랑 호<sup>1</sup>, 권 진 현<sup>†,2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 생활조형디자인학과, <sup>2</sup>강원대학교 산림바이오소재공학과

### A Study on the Utilization for Living Products and Properties of *Betula platyphylla* Laminated Wood Manufactured by Pressing and Heating

Rang-Ho Shin<sup>1</sup>, Jin-Heon Kwon<sup>†,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Living Art Design, Kangwon National University, Samcheok 245-711, Korea

<sup>2</sup>Department of Forest Biomaterials Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

**Abstract:** The objective of this study was to increase the utilizability of domestic thinning and small diameter wood as applying in pattern design which can be used in interior decoration, wood craft and wood furniture, and in developing the designs of furniture and household items. We investigated the physical and mechanical characteristics of *Betula platyphylla* Wood by pressurization and heat treatment. Color change is clear, and the wood density is increased with increasing pressing rate. The compressive strength, modulus of rupture and modulus of elasticity in bending strength are decreased as heating time is increased after pressing. However, shrinkage is improved after pressing and heating.

**Keywords:** furniture, household, *Betula platyphylla* wood, pressing, heating

## 1. 서 론

열처리 목재는 일정시간 동안 목재에 고온(160~260°C)의 열을 가하여 제조한 목재를 말하는 것으로 처리가 단순하며 처리비용이 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 강도가 감소하는 문제점으로 인하여 상업적으로 이용되지 않다가 환경에 대한 관심이 고조되던 1990년대에 들어와 유럽에서 열처리 기술이 개발되어 상용화되기 시작하였다(나중범 외 2012). 유럽에서는 주택의 내장재나 가구재로 목재를 선호하고 있다. 특히, 열대산의 경목은 재색, 강도적 성질 등이 우수하여 고급재로 많이 이용되고

있다. 그러나, 이러한 열대 우림재는 재식림이 곤란하고, 환경적 문제로 인해 점차 사용이 줄었다. 이에 자국 목재를 이용해 화학가공처리를 하지 않고, 내구성과 치수안정성 부여 및 우수한 수종의 목재의 재색과 유사하게 재현할 수 있는 열처리 목재(Thermo Wood) 기술이 개발되었다.

유럽에서의 열처리 목재 이용이 활발하게 되었을 무렵, 일본에서도 수입 판매라고 하는 형태로 열처리 목재를 사용하였다. 그러나 기후가 비교적 온화하고 습도가 낮은 유럽의 조건으로 제조된 열처리 목재가 비교적 습도가 높은 일본에서의 사용이 문제시 되어 일본 풍토에 맞게 기존 열처리 기술을 개량한 새로운 열처리 기술을 개발하여 보급하고 있다.

현재 우리나라도 고급가구 제조를 위해 필요한 수입 우량목재가 줄어들면서 가구재의 확보에서부

2014년 3월 14일 접수; 2014년 4월 14일 수정; 2014년 4월 16일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 권 진 현 (kwon@kangwon.ac.kr)

Table 1. Sample tree

Species	Tree age (year)	D.B.H (cm)*	Locality
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i> Hara	32	39	Taebaek Samcheok, Gangwon-do

\* D.B.H. : Diameter at Breast Height

터 제품의 질의 제약으로 우수한 공예적 가구제작이 점점 어려워지고 있는 실정이다.

따라서 국내산 목재를 이용하여 재질 개선 및 재색 향상을 위한 기술을 개발한다면, 수입목재 대체재로 이용하여 고급 목공예재나 가구재료의 활용으로 고부가가치 창출이 기대된다.

최근 국내에서는 저자를 비롯하여 많은 연구자들이 국내산 목재의 유효활용방안을 증진시키고자 열처리 및 가압에 의해 개량한 목재의 재질을 검토하여 생활용품 및 디자인 개발을 위한 연구를 수행해 오고 있다(나종범 외 2012; 김광모 외 2010; 신랑호 외 2009, 2010, 2012; 윤경진 외 2009; 황성욱, 이원희 2011).

본 연구는 가압과 가열처리를 실시한 자작나무의 치수안정성 및 역학적 특성을 검토하고, 실내장식재, 목공예재, 목가구재료로 활용할 수 있는 디자인을 개발하여 국내산 목재의 활용방안을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1. 재료

본 연구에서는 강원도 태백, 삼척산지에서 자생한 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica* Hara)를 벌채한 후 야적된 것을 이용하였다(Table 1).

### 2.2. 실험 방법

#### 2.2.1. 가압처리와 열처리

본 연구에서는 접선단면으로 제제한 자작나무를 300 mm (가로) × 350 mm (세로) × 50 mm (두께)의 크기로 제작하여 이용하였다. 목재의 비중을 증대시켜 역학적 특성을 향상시키기 위해 가압처리를 실시하였다. 가압은 기건 상태 시료를 상온에서 유압식 프레스로 단위 면적당 45 kgf/cm<sup>2</sup>의 조건으

로 압력을 가하여 실시하였다. 이때 판재의 두께를 일정하게 유지하기 위해 stopper를 설치하였고, 판재의 목표두께는 판재 원료의 크기에 대비하여 10% (45 mm), 20% (40 mm), 30% (35 mm)의 조건으로 설정하여 5분간 실시하였다.

가열처리에는 전기 탄화로(SHIMPO DUA15, 300 리터)를 사용하였다. 열처리 온도조건은 목재의 구성성분의 변화를 최소화할 수 있는 조건으로 160°C, 180°C, 200°C로 하였다. 이때 열처리 시간은 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 동안 실시하였다.

#### 2.2.2 가압·가열처리재 관찰

가압·가열처리를 실시한 자작나무 판재에 대한 미세 구조적 변화를 관찰하기 위해 강원대학교 창강제지연구소에 설치되어 있는 주사전자현미경(JEOL, Model JSM-5510)이용하였다. 시편은 SEM용 시료대에 도전성 접착제로 접착시킨 후 이온증착기(Cressington, Sputter Coater 108)를 사용하여 18 mA의 전류로 약 2분간 Au 증착한 후, 20 kV 가속 전압하에서 실시하였다.

#### 2.2.3. 물리·역학적 특성

물리·역학적 특성은 180°C의 가열조건에서 다른 가압과 가열시간으로 처리한 시료를 이용하였다. 밀도는 KS F 2198(한국산업규격 2004)에 따라 측정하였다. 열처리재 및 미처리재에 대한 수축률 측정은 횡단면의 한 변의 길이가 20 mm인 정사각형, 섬유 방향 길이가 25 mm인 직육면체로 제조하여 각각의 조건에서 시험편을 각각 10개씩 제작하여 KS F 2203(한국산업규격 2004)에 따라 기건 수축률과 전건수축률을 측정하였다. 이때 수축이 가장 많이 일어나는 접선방향만을 측정하였다.

압축강도 및 휨 파괴계수와 휨 탄성계수는 KS F 2206, 2208(한국산업규격 2004)에 따라 만능재

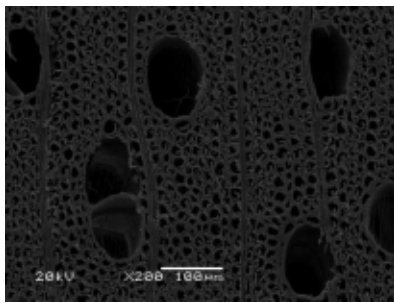
**Table 2.** Physical and mechanical properties of *Betula platyphylla* wood after pressing and heating

Treatment	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Shrinkage (%)		Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Bending strength (N/mm <sup>2</sup> )		
		Green to air dry	Green to oven dry		modulus of rupture	modulus of elasticity	
Control (50 mm)	0.76	10.2 ± 0.5	17.1 ± 0.3	46.3	76.3	7,616	
Pressure ratio	10% (45 mm)	0.79	10.0 ± 0.1	48.7	84.6	7,864	
	20% (40 mm)	0.81	8.4 ± 0.1	16.6 ± 0.3	51.0	95.7	8,060
	30% (35 mm)	0.89	7.6 ± 0.2	12.9 ± 0.1	53.4	96.2	8,979
	Heating time	6 hr.	0.71	7.9 ± 0.1	9.3 ± 0.1	52.8	90.3
	12 hr.	0.69	6.8 ± 0.2	7.9 ± 0.3	52.4	77.1	7,583
	24 hr.	0.67	4.6 ± 0.3	6.9 ± 0.2	41.6	76.5	7,253
	48 hr.	0.66	4.4 ± 0.2	6.8 ± 0.1	41.0	51.4	6,978

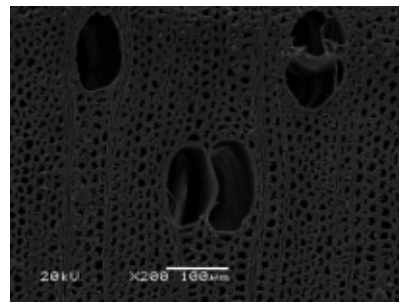
료강도 시험기(Universal Testing Machine Instron 4482)를 사용하여 시험편이 1~2분 이내에 파괴되도록 균일한 하중속도로 측정하였다.

#### 2.2.4. 열처리에 의한 재색변화

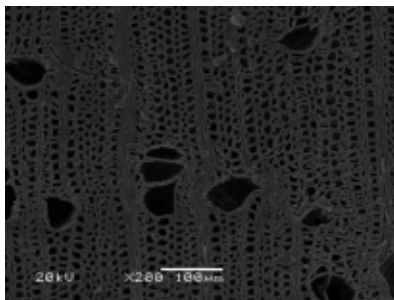
각각 다른 온도 조건으로 열처리를 실시하여 단



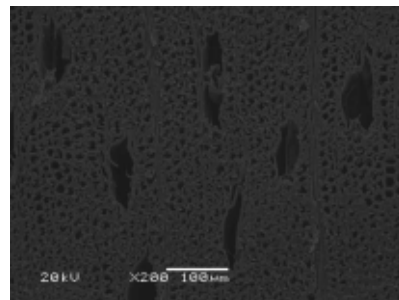
(A) Control



(B) 10% (45 mm) Pressure



(C) 20% (40 mm) Pressure



(D) 30% (35 mm) Pressure

**Fig. 1.** Scanning electron micrographs of *Betula platyphylla* wood according to pressure ratio.

판 표면의 재색 차이를 확인하기 위해 색도색차계(Nippon denshoku, NR-3000)를 이용하였으며 열처리 조건별 색차( $\Delta E^*ab$ )는 KS A 0067(한국산업규격 2006)에 따라 아래의 식으로 구하였다.

$$\Delta E^* ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$\Delta E^*ab$  : 색차값,  $\Delta L^*$  : 백색도,  $\Delta a^*$  : 채도,  $\Delta b^*$  : 색상

2.2.5. 적층재 제조

본 연구에서 적층재 제조에는 30% (35 mm)로 가압한 후, 180°C 온도 조건에서 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 가열하여 재색 변화된 목재를 둥근톱을 이용한 단판 제조 방법으로 4 mm 단판으로 재단하여 사용하였다.

사용된 접착제는 목재용 초산비닐수지계 타이티본드(Tite bond)를 양면도포(250 g/m<sup>2</sup>)한 후 나사크램프 압제방법으로 단위면적당 10 kgf/cm<sup>2</sup> 압력으로 적층 제조하였다.

2.2.6. 생활용품 디자인 연구

적층재를 활용한 생활용품 디자인개발은 우리의 전통목가구에 나타난 짜임구조 및 상하, 좌우의 비례미를 바탕으로 현대화하여 개발함으로써 전통문화의 계승과 발전을 추구하였으며 제품의 실용성과 다양성을 통한 선택의 폭을 넓힌 대중적 가구 및 생활용품 개발에 중점을 두었다.

문양디자인은 일러스트레이션(illustration) CS3 프로그램을 이용하여 -자형 적층문양, 7자형, +자형 이방연속문양을 사용하였으며 Auto CAD 2007 프로그램을 이용한 제작도면과 라이노(Rhino)3D 프로그램을 이용한 렌더링으로 제안하여 개발하고자 하였다.

3. 결과 및 분석

3.1. 가압처리에 의한 구조적 특징

Fig. 1은 자작나무를 유압식 프레스로 가압전과 10% (45 mm), 20% (40 mm), 30% (35 mm), 압력을 가한 후 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다.

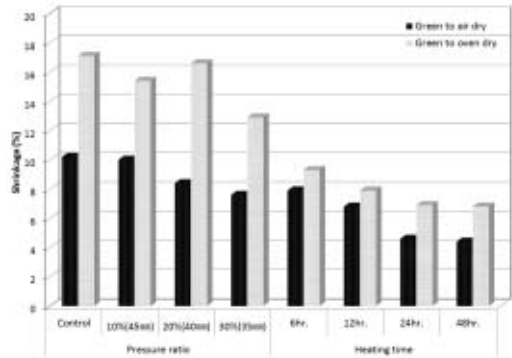


Fig. 2. Shrinkage of *Betula platyphylla* wood according to press and heat treatment.

자작나무를 가압전과 비교하여 보면 10% 가압 조건에서 도관만이 약간 찌그러져 있는 것이 관찰되었지만, 도관 주위의 세포의 변형은 거의 없는 것으로 관찰되었다. 20% 가압조건에서 도관과 목

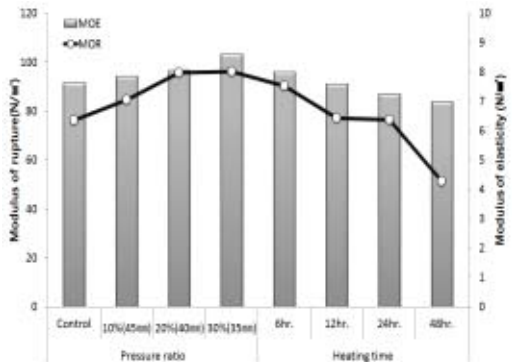


Fig. 3. MOR and MOE for bending strength of *Betula platyphylla* wood according to press and heat treatment.

섬유 및 방사조직이 늘려진 압력에 의해 현저하게 변형되어 있는 것이 관찰되었다. 30% 가압조건에서는 모든 세포조직이 작아지고 찌그러져 밀착된 형태를 보여주고 있으며, 도관은 길게 모양이 변형된 것이 관찰되었다.

3.2. 물리·역학적 특징

Table 2는 자작나무를 다양한 가압 및 열처리를 실시하여 측정된 밀도, 수축률, 압축강도, 휨 파괴계수와 휨 탄성계수 값을 나타낸 결과이며 상온에서의


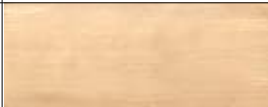
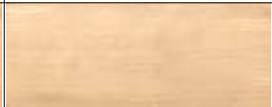










hr. \ Temp.	160°C	180°C	200°C
0			
6			
12			
24			
48			Carbonization

Fig. 4. Photo of *Betula platyphylla* wood after heat treatment.

기건 밀도는  $0.76 \text{ g/cm}^3$ 으로 나타났다. Schwab et al.(2000)이 연구한 독일에서 자란 자작나무의 기건 밀도  $0.60 \text{ g/cm}^3$  보다 다소 높았다. 가압처리에 의해 밀도는 가해진 압력이 증가할수록 증가하였다. 30%설정의 가압조건이  $0.89 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 높게 나타났다. 열처리 조건에서는 시간이 길어질수록 밀도는 점차 낮아졌다. 이것은 가해진 압력의 증가로 세포조직이 점차 조밀하게 되어 밀도가 높게 되었지만, 열처리에 의한 밀도의 감소는 열처리함으로써 목재성분의 열분해로 중량 감소 및 조직구조 변화에 기인하는 것으로 생각된다.

수축률은 압력증가와 열처리시간 증가에 따라 기건수축률과 전건수축률이 낮아지는 경향을 보여 주었다(Fig. 2).

압축강도는 가압설정조건이 높을수록 강도도 증가하는 것으로 나타나, 30% 압력조건이 가장 높은  $53.4 \text{ N/mm}^2$ 으로 나타났다. 반대로 열처리시간에 따른 압축강도는 열처리시간이 증가할수록 강도는 점점 감소하였다.

휨 파괴계수와 휨 탄성계수는 가압설정압력이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났지만, 열처리 시간 조건에서는 열처리시간이 증가할수록 강도와

탄성이 점점 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

이러한 이유는 일정압력 이상이 가해진 목재는 가해진 압력에 의해 세포들이 밀착하게 되면서 그 상태로 영구 변형이 일어나 목재의 물리적, 역학적 특성에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다(황과 이 2011). 따라서 가해진 압력에 의한 세포 밀착으로 밀도증가와 함께 영구적으로 변형된 세포에 의해 수축률은 낮아지고 강도는 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 가열처리 시간이 길수록 목재의 친수성 특성이 소수성으로 변환되어 수축률은 낮아지고, 목재의 주성분의 분해로 목재 조직 사이의 결합이 약해지면서 강도가 저하되는 것으로 사료된다.

### 3.3. 가압·가열처리에 따른 재색 측정

Fig. 4 는 자작나무 판재를  $45 \text{ kgf/cm}^2$ 로 5분간 가압 후  $160^\circ\text{C}$ ,  $180^\circ\text{C}$ ,  $200^\circ\text{C}$ 에서 각각 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 동안 가열처리한 실물 재면 사진이다. 육안으로 관찰한 결과 가열온도와 가열처리시간이 증가할수록 재색이 짙게 변화였다. 목재는 일반적으로  $70^\circ\text{C}$  이상에 노출되었을 때 재색의 변화가 시작된다. 이러한 변화는 온도와 습도가 높을수록, 열에 노출된 시간이 증가할수록 재색이

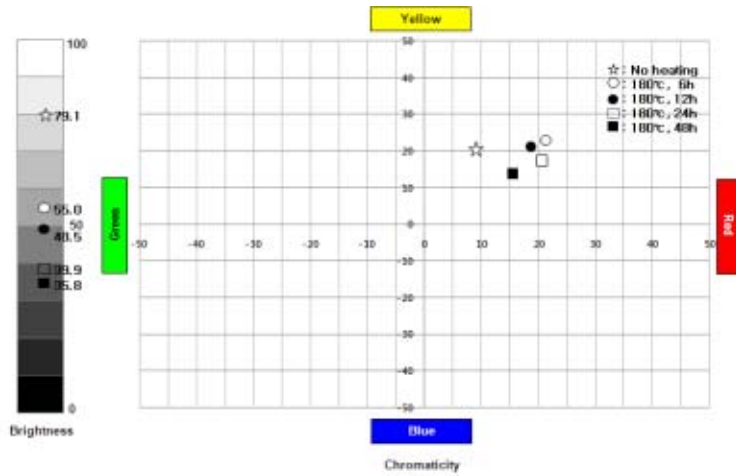


Fig. 5. UCS color system-lab diagram of *Betula platyphylla* wood.

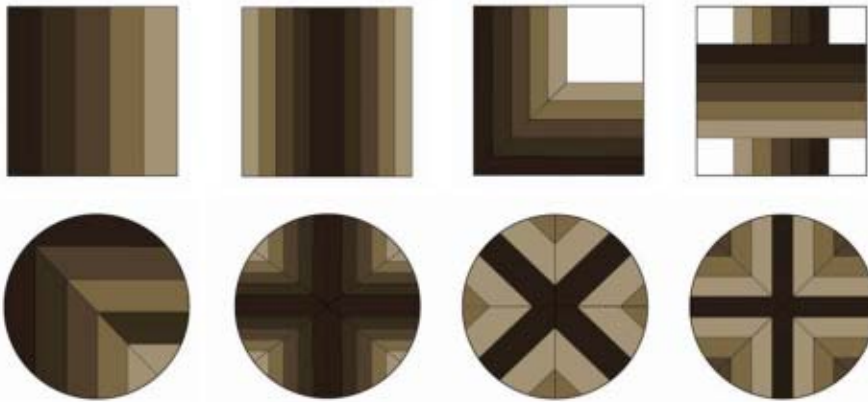


Fig. 6. Pattern design.

짙어지는 것으로 알려지고 있다(나중범 외 2012). 또한, 온도를 높이는 것은 자유수가 있을 때는 가수분해를 자유수가 없을 때는 산화와 가수분해를 촉진하는 효과가 있는데, 이러한 재색변화는 비효소적 milard반응이라고 알려져 있다(강호양 외 2006).

Fig. 5는 자작나무를 180°C의 온도조건에서 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 동안 가열 후 재색 변화를 색도색차계를 이용하여 측정한 결과를 나타낸 것이다. 백색도(L\*)는 35.8~55.0을 나타냈으며, 처리시간이 증가할수록 백색도 값이 높게 나타났다. 그러나 24시간 처리한 것과 48시간 처리한 것과의 큰 차이가 없었다. 적색도(a\*)는 15.7~21.0, 황색도(b\*)는 13.3~22.4로 나타났다. 처리시간에 따른

적색도와 황색도는 다소 불규칙한 경향을 보여주었다. 이것은 백합나무 열처리목재의 재색변화에 대한 연구(김광모 외 2010)결과와 비슷한 경향을 보여주었으며 열처리에 의한 색차( $\Delta E^*ab$ )는 12.1 이상으로 나타났다. National Bureau of Standards (한과 조 2005)에 의해 분석하면 열처리에 의한 자작나무재의 차이는 “매우 많음(very much)”으로 정의된다.

### 3.4. 자작나무 적층재의 활용방안 연구

Fig. 6은 가구 및 생활용품에 적용할 문양을 가압·가열처리하여 단계별 재색 처리된 목재를 단

관 적층하여 컴퓨터 프로그램인 일러스트레이션 (Illustration) CS3를 이용해 -자형, 7자형, +자형 등으로 디자인하여 조합하였으며 외형적으로는 원형과 정사각형 형태로 구분하여 사용했다.

Figs. 7, 8, 9는 Fig. 6에서 제시한 pattern design을 이용하여 가구 및 생활용품의 제작 도면과 제작 도면을 바탕으로 3D rendering을 제시한 그

림들이다. Fig. 7의 사방탁자, 문갑 Set는 전통목가구의 짜임기법과 상하 좌우의 대칭적 비례미를 기본으로 하여 +자형 문양배열을 하였으며 분리, 조합, 배치를 수월하게 하였다. Fig. 8의 CD장은 전통적인 사방탁자 형태를 기본으로 하고 문양은 +자형 이방 연속 문양을 사용하였다.

Fig. 9의 Table은 전통짜임기법인 반턱짜임으로

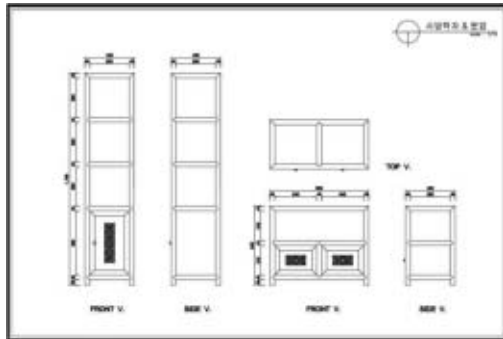


Fig. 7. Square-Typed Table Set & Stationery Chest Set drawing and 3D rendering.

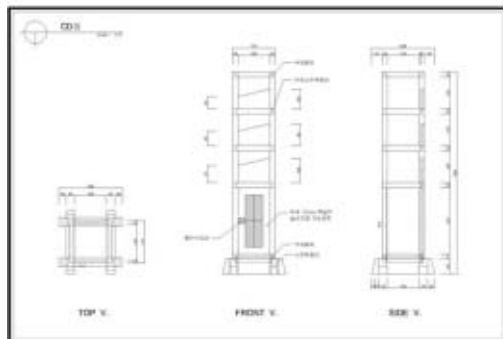


Fig. 8. Compact Disk Case drawing and 3D rendering.

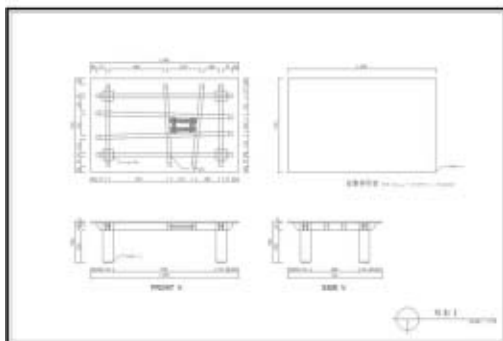


Fig. 9. Table drawing and 3D rendering.

접착제를 사용하지 않고 제작하여 분해 조립이 용이하게 하였다. 문양은 사각형 안쪽에 배치하였으며 -자형 적층문양을 사용하였다.

#### 4. 결 론

본 연구결과, 가압처리한 자작나무를 주사전자현미경 관찰을 통해 20% 가압조건부터 도관, 목섬유, 방사조직이 가해진 압력에 의해 세포의 형태변형이 두드러지게 일어나기 시작하여 30% 조건에서는 도관이 거의 찌그러져 밀착된 형태로 변형되었다. 밀도는 가해진 압력이 증가할수록 증가하였지만, 열처리 시간이 길어질수록 감소하였다. 수축률과 압축강도, 휨 파괴계수, 휨 탄성계수는 가해진 압력이 증가할수록 증가하였지만, 열처리 시간이 길어질수록 감소하는 경향을 보여주었다. 재색은 가열온도와 가열처리시간이 길어질수록 암색화하는 경향을 보여주었다.

따라서 가열처리에 의해 목재의 물리적, 역학적 성질은 다소 감소하지만, 가압처리로 강화하면 생활용품 제작활용에는 크게 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다. 또한 열처리목재가 치수안정성 및 고급스러운 목재의 재질감을 부여할 수 있기 때문에 적층재로 제작하여 활용함으로써 고급 가구재 및 목공예재로 활용이 기대되어진다.

#### 참 고 문 헌

강호양, 이민경. 2006. 열처리에 의한 목재의 재색변화, 한국가구학회 2006년도 춘계학술발표 대회논문집 83-92.  
김광모, 박정환, 박병수, 손동원, 박주생, 김운섭, 김병남,

심상로. 2010. 백합나무 열처리재의 물리 및 역학적 특성. 목재공학 38(1). 17-26.  
황성욱, 이원희. 2011. 라디에타 소나무재의 압밀화 온도와 시간에 따른 색상의 변화. 목재공학 39(3). 238-243.  
나중범, 김기범, 임경훈. 2012. 열처리조건이 목재의 색상변화 및 흰개미 저항성에 미치는 영향. 목재공학 40(6). 370-377.  
신랑호, 윤석현, 한태형, 권진현. 2009. 가열·재색변환 처리 목재를 이용한 생활용품개발에 관한 연구. 한국가구학회지 20(5). 463-465.  
신랑호, 한태형, 권진현. 2010. 국내산 활엽수 열처리재의 재색변화에 따른 목재의 특성과 생활용품 활용방안에 관한 연구. 한국가구학회지 21(1). 62-71.  
신랑호, 한태형, 권진현. 2012. 가압·가열처리한 층층나무 적층재를 활용한 테이블 디자인 연구. 한국가구학회지 23(1). 68-74.  
윤경진, 엄창득, 박준호, 김호용, 최인규, 이진제, 여명환. 2009. 열처리에 의한 백합나무 재색제어와 내부후성제고. 목재공학 37(6). 487-496.  
한은주, 조주연. 2005. 디지털 텍스타일 프린팅한 실크의 3차원적 색차 분석. 한국디자인 문화학회지 11(2). 126-134.  
한국표준협회. 2006. KS A 0067. 색채의 표시 방법.  
한국표준협회. 2001. KS F 2198. 목재의 밀도 및 비중 측정시험.  
한국표준협회. 2004. KS F 2203. 목재의 수축률 측정방법.  
한국표준협회. 2006. KS F 2206. 목재의 압축 시험 방법.  
한국표준협회. 2004. KS F 2208. 목재의 휨 시험 방법.  
Schwab, E., H. A. Krause, M. Liesebach, and B. R. Stephan, 2000. Wood properties of the Japanese *Betula platyphylla* var. *japonica* from a site in northern Germany. Holz als Roh- und Werkstoff 58 (3). 184-190.