

# 國產材 曲木家具 製造를 위한 Microwave-heating

## System 活用に 관한 研究(II)\*1

- Microwave-heating에 의한 서어나무의 素材 翫가공특성 -

소 원 택\*2

# Study on the Application of Microwave-heating System for Making Bent-wood Furniture(II)\*1

- Bending Processing Properties of *Carpinus laxiflora* BL.  
by Microwave-heating -

Won-Tek So\*2

## ABSTRACT

Hornbeam trees(*Carpinus laxiflora* BL.) are growing in Korea and have good characteristics such as relatively high density, fine texture, split-resistance, and white colour. However, they have seldom been used as manufacturing materials.

This study was carried out to evaluate the possibility of using hornbeam wood as bent-wood furniture materials. Softening methods were steaming and micro-wave heating. The specimens of 15×15×350mm were used green or air-dried, and were steamed at 100℃ for 20min. or microwave heated for 60 seconds.

The bending processing conditions are showed in Table 3. The minimum solid-bending radii of air-dried wood were 40mm for steaming and 200mm for micro-wave heating, respectively. And that of green wood were 40mm for micro-wave heating.

In conclusion, both of the steamed wood and micro-wave heated green wood showed very good solid bending processing properties, but micro-wave heated air-dried wood were not sufficient for bent-wood furniture.

**Keywords** : Microwave-heating, bent-wood, hornbeam, black locust

## 1. 서 론

서어나무는 자작나무과에 속하는 낙엽성 활엽교목으로

서 흉고지름 1m, 수고 40m 까지 자라는 식물천이의 최  
종단계인 극상림을 이루는 수종으로 삼림생태계에서 아주  
중요한 위치를 차지하고 있다. 중국, 일본 및 우리나라의

\*1. 접수 1997년 3월 21일 Received March 21, 1997

\*2. 전남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

강원도 및 황해도 이남의 표고 150~1,000m에 분포하며 계절별로 내보이는 색깔과 울퉁불퉁한 암회색 또는 회백색의 수피와 줄기의 멋스러움 등 장점이 많아서 풍치수로 적합하며 최근에는 세순의 진한 붉은 색이며 줄기의 특성 때문에 분재의 소재로도 많은 관심을 끌고있다.

목재로서는 결이 곱고 치밀하며 약간 무겁고 잘 갈라지지 않는 데다가 접성이 강하여 오래전에는 직물을 짜는 방적용 나무관을 만들었으며 그 밖에 가구재, 농기구, 피아노액션, 운동구, 세공재 등 용도가 다양하며 표고버섯을 재배하는 골목으로도 이용이 가능하다.

세계적인 목재자원의 감소추세와 함께 유엔환경개발회의(UNCED)의 산림의정서에 따라 열대목재벌채량의 감소, 그리고 엄격한 벌채규정에 따른 목재가격상승으로 목재공급의 85% 이상을 수입재에 의존하고 있는 우리나라 현실정 뿐만 아니라 급후의 장기적인 목재수급도 여전히 해외산림자원에 크게 의존해야할 실정이므로 세계 목재수급변동이 국내목재산업에 미치는 영향은 실로 막대하다고 할 수 있다.

국산재 중에는 재질 및 가공 측면에서 수입재보다 더 우수한 수종이 있음에도 불구하고 과거 외형이 불량하고 임목축적이 미미하며 소경목 밖에 없다는 인식이 남아있어서 국산재의 이용을 도외시 해왔으나 이제는 조금씩 생산량이 증가하고있는 우량한 국산재를 선별적으로나마 산업에 적극 이용할 수 있도록 노력해야할 때라고 생각되며 이에따른 다각적인 개발연구가 밀박침되어야할 것이다.

따라서 본 연구에서는 국산활엽수종 중 재질이 우수하고 용도개발이 가능한 서어나무를 대상으로 microwave-heating system에 의한 목재의 온도 및 함수율 변화, 연화처리시간, 휘곡률변경 등 소재휨가공특성을 구명하고 오래전부터 관행적으로 사용해 온 증자처리곡목법과 비교함으로써 새로운 소재휨가공법으로서의 가능성을 진단하며 국산재 이용 곡목가구생산을 위한 기술축적으로 국산활엽수종의 활용도를 제고시키는 데 목적을 두고 실시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 實驗材料

#### 2.1.1 공시목 준비

본 연구는 전남 장성에 자생하고있는 서어나무를 공시수종으로해서 수간이 통직하고 흉고직경 30cm 이상의 생장이 양호한 수령 47~49년생의 長齡林木 2본을 공시목으로 선정 벌채한 후 길이 150cm로 횡절해서 총 10개의 원목을 사용하여 실험을 수행하였다.

준비된 원목은 폭2cm 간격으로 관목제재한 후 실내에서 3개월 이상 천연건조를 실시하여 함수율 15% 이하로 기건시킨 다음 시험편을 제작하였다. 시험편의 치수는 시험편의 제작수율을 높이고 곡목가공을 용이하게 하기 위하여 15×15×350mm의 소형으로 대패가공하여 시험편으로 사용하였다.

#### 2.1.2 軟化處理裝置

##### 2.1.2.1 Steaming vat

증기가열연화처리를 위해 사용된 증자처리조는 electric-heating system의 스텐레스강철제 4각형 수조를 사용하였다. 증자처리시에는 덮개를 씌워서 증기를 집결시켰으며 증기압이 상압을 초과하지 않도록 덮개를 클램핑하지 않고 온도에 삼입용 코우크를 개방하였으며 응축된 물방울이 시편에 떨어져 함수율이 부분적으로 높아지는 현상을 방지하기위해 처리조 내부에 경사판을 설치하여 응축수가 경사판을 따라서 측벽으로 떨어지도록 조치하였다. 증자처리조의 가열성능은 제1보의 Fig.1과 같다.

##### 2.1.2.2 Microwave-heating oven

시편의 Microwave-heating에 의한 연화처리를 위해 가정용 전자레인지에 이용하였으며, 사용된 전자레인지의 성능은 발진주파수 2,450Mhz, 정격고주파출력 Max.700w로서 중앙에 회전원판이 설치된 내부치수 22×37×39cm, 용량 35l였다.

## 2.2 實驗方法

### 2.2.1 목재의 材質特性 조사

한국공업규격 KS F2202-2212에 따라 목재의 평균연륜폭, 변재율, 비중, 수축률, 압축강도, 휨강도, 휨탄성계수, 충격휨흡수에너지, 전단강도 등을 측정하였다.

시험편은 웅이, 할렬, 부후 등의 결점을 제외한 흉고건전부위에서 채취하고, 시험편의 제작 및 처리방법은 표준목재실험기준을 따랐으며 목재의 함수율 및 수축팽창에 대한 영향을 최소화하기 위해 적정 습도조건하에서 조습처리를 실시하였다.

시편측정반복수는 항목에 따라 변이가 있으며 평균 10반복을 기준하였다.

### 2.2.2 목재의 素材 휨가공특성시험

#### 2.2.2.1 목재의 内部溫度 측정

적정연화처리시간을 산출하기 위하여 가열연화처리 중 시험편의 내부온도변화를 측정하였으며 온도측정기구는 열전식 온도지시계를 사용하였다. 사용된 thermometer의 성능은 온도측정범위 -220~1,370℃, 정도 0.1% ±1 digit.이며 CA형 열전대가 부착되어 있다. 온도의 측정부위는 시험편 횡단면의 중앙에 직경 2.3mm의 구

멍을 깊이 30mm까지 뚫은 후에 열전대를 삽입하여 1℃ 단위로 내부온도를 측정하였다.

### 2.2.2.2 휘가공 裝置

연화처리된 시험편은 여러가지 곡률반경으로 휘 수 있도록 간단한 수가공장치를 고안제작하여 휘가공하였다. 휘가공세트는 작업대 위에 4조를 설치하고 휘가공 형태의 곡률반경은 20mm에서 800mm까지 단계적으로 37개를 제작준비하여 사용하였다. 휘가공시 처리재의 인장파괴를 피하기 위하여 인장대철을凸면에 설치하였으며 대철의 재료는 1.2mm 스텐레스 강철과 0.5mm 스프링 강철을 사용하였다. 스텐레스 강철제 대철은 휘가공 후 약간씩 늘어나거나 변형되므로 다시 원형으로 수정해 주어야하는 단점이 있었으나 금번에 최초로 적용한 스프링 강철제 대철은 휘가공후에도 전연 변형되지 않아 반복사용이 매우 용이하였다. 휘가공장치의 형상은 蘇 등(1990)의 논문에서 발표된 것과 동일한 형태를 사용하였다.

### 2.2.2.3 蒸煮處理에 의한 素材휘가공 특성조사

Steaming vat에 가볍게 덮개를 씌우고 격렬하게 물을 끓여서 증기를 충분히 집결시킨 후 시험편을 넣어서 100℃ 상압의 포화가열증기를 이용하여 증자연화처리를 실시하였다.

사용된 시험편의 함수율은 12%이하로 조습된 기건목재이며 가열연화된 시험편은 휘가공장치를 사용하여 기준곡률반경을 중심으로 전후 20mm간격으로 휘가공을 실시하고 그때의 휘가공상태를 평가하여 적정곡률반경을 구명하였다.

### 2.2.2.4 휘가공성의 評價

곡목의 휘가공성 평가는 가공후의 표면상태를 관찰해서 일본 임업시험장의 평가기준(山本 等, 1952)을 보완하여 다음과 같이 4단계로 구분하고 각 곡률반경에 대해

서 5분의 시험편을 사용하여 A, B급이 3개 이상일 때 곡가공 가능으로 판정하였다.

A급 : 압축측, 인장측 모두 전혀 손상이 없는 것.

B급 : 압축측에 약간의 파괴주름이 보이지만 연마시 제거될 수 있는 것.

C급 : 일단 휘 수는 있으나 압축파괴가 심한 것.

D급 : 切損 또는 인장파괴가 심한 것.

### 2.2.2.5 Microwave-heating에 의한 素材휘가공 특성조사

Microwave oven을 이용하여 시험편을 가열연화처리하고 재래식 증자처리 곡목제조와 동일한 휘가공장치를 사용하여 곡목을 제조하였으며 이때의 적정 곡률반경을 구명하고 제조된 곡목의 상태를 관찰하여 증자처리법과 비교분석함으로써 microwave-heating system의 적용가능성을 판단하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 共試木의 性狀 및 形質

공시목으로 사용한 서어나무 원목의 성상 및 형질을 조사한 결과는 Table 1과 같다.

서어나무의 육안적 구조는 횡단면상 연륜식별은 가능하나 매우 애매하고 연륜형태가 불연속적인 波狀圓을 이루며 導管식별은 곤란하였다. 材色은 전체적으로 약간의 갈색색조를 띤 밝은 담황백색이며 심재와 변재의 색상구분이 안되므로 육안상으로 변재폭을 측정할 수는 없었다. 성장정도는 偏心되지않은 정상부위에서 최대 7mm까지 연륜폭을 나타내나 평균적으로 3mm정도의 성장속도를

Table 1. Growing characteristics of hornbeam tree.

Log No.	Diameter (cm)	Length (cm)	Age (year)	Bark (mm)	Sapwood (mm)	Ann. ring (mm)	Latewood (%)	Eccentricity (%)
1-1	37~28	150	49	Max. 5	IS	3.0	10	1.6
1-2	32~27							
1-3	35~28							
1-4	37~23							
2-1	35~30	150	47	Max. 4	IS	3.1	10	7.4
2-2	32~27							
2-3	28~26							
2-4	29~22							
2-5	18~17							
2-6	17~17							

Note: Data except diameter came from DBH. IS : insignificant.

Table 2. Physical and mechanical properties of hornbeam wood.

Sp.Gr.		Shrinkage(%)		Compr. strength (kg/cm <sup>2</sup> )	M.O.R. (kg/cm <sup>2</sup> )	M.O.E. (kg/cm <sup>2</sup> )	Shear strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Impact strength (kg · m/cm <sup>2</sup> )
Sap.	Heart.	$\alpha_r$	$\alpha_t$					
0.71	0.71	5.19	9.39	492	1.320	116.000	207	0.74

Notes: Sp.Gr. are based in air dry weight and volume.  $\alpha_r$ : radial direction,  $\alpha_t$ : tangential direction.

보이고 있다.

放射組織은 횡단면과 방사면에서는 식별되나 접선면에서는 식별하기 곤란하며 판목재에서 나뭇결무늬를 형성하기는 하지만 연륜형성이 뚜렷하지 않고 춘추재간 재색 차이가 거의 없어서 매우 회미하여 실용상 나뭇결무늬의 이용은 불가능하다. 마찬가지로 정목재에서의 통직목리도 육안관찰은 가능하나 목리의 이용가치는 없었다.

추재율은 5%단위 측정시 10%정도를 나타냈으며 偏心生長율은 비교적 적은 편이었다.

### 3.2 木材의 物理 機械的 性質

서어나무의 기초재질을 파악하기 위하여 비중, 수축률, 압축강도, 휨강도, 휨영계수, 충격강도 및 전단강도 등을 측정하였으며 그 결과를 종합한 평균치는 Table 2와 같다.

서어나무는 심변재 색상구분이 안되므로 변재비중 시험편은 수피측 4cm 범위내에서 채취하고 심재비중 시험편은 수에서 방사방향으로 중앙부위에서 채취하였다.

### 3.3 木材溫度變化

목재를 손상없이 휨가공하기 위한 전처리로서 가열에 의한 연화처리를 실시하여 목재의 塑性을 증대시키며 이

때 가열원에 따른 목재내부의 온도변화를 조사하여 적정 연화처리시간을 산출하였다.

증기가열시 서어나무의 목재내부온도변화는 Fig. 1과 같이 증자초기 2분 목재내부온도 89℃까지는 급격히 상승하였고 그후 둔화되어 6분경에 최대온도 99℃까지 상승하였다. 또한 증자완료후 放置時間에 따른 曲木의 내부온도변화는 Fig. 2에서 보이는 것처럼 목재내부온도 37℃인 5분까지는 급격히 냉각되었으나 점차 둔화되어 20분후에는 가열전 온도로 회복되었는데 역시 온도상승에 비하여 비교적 완만하게 진행되었다.

증기가열시 최대온도에 이르는 소요시간은 6~7분정도 이나 목재의 軟化效果를 높이기 위해 적정연화처리시간을 20분으로 설정하였다.

Saito 등(1952)은 곡목의 내부온도와 연화성에 대한 연구에서 곡목의 내부온도가 80℃이하에서는 연화효과가 현저하게 저하됨을 지적한바에 따라 가열연화 후 휨가공 작업과정에서 자연냉각되는 경향곡선(Fig. 2)으로부터 서어나무의 초기온도에서 연화처리 한계온도인 80℃까지 냉각되는 데 소요되는 시간을 산출해본 결과 겨우 1분 정도에 불과하여 곡목작업의 여유시간이 매우 짧은 문제점이 노출되었다. Fig. 2의 X축 원점이하(-부분)는 목재를 10분간 가열한 것을 의미하며 가열 후 방치냉각 개시점

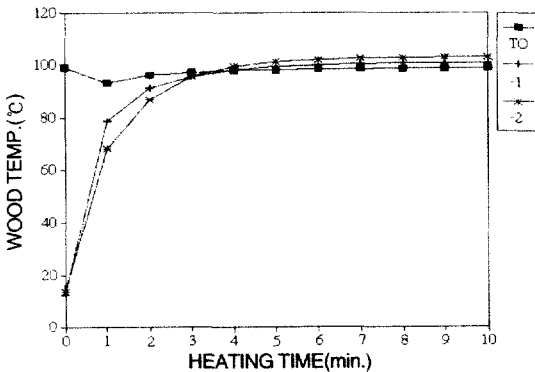


Fig. 1. Internal temperature of hornbeam wood by steaming.

Notes : T0 : temp. of steam,  
T1 : temp. of wood in end 1,  
T2 : temp. of wood in end 2.

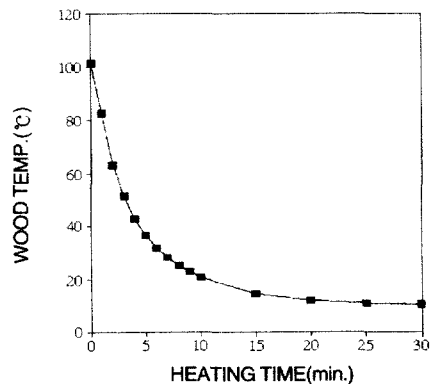


Fig. 2. Internal temperature of hornbeam wood by working time soon after steaming.

을 기준(원점)하였기 때문에 그래프상 '수치'로 표시되었으며 이러한 표현은 Fig. 5와 Fig. 6도 마찬가지다.

Microwave가열연화시 가열시간에 대한 곡목의 내부 온도변화는 Fig. 3과 같이 가열시간 40초까지는 거의 직선적으로 증가하였으며 그 이후 다소 온도상승율이 둔화되는 경향을 나타냈다.

목재온도 상승경과는 가열시간 약45초일 때 이미 100℃에 도달하고 1분경과시 112℃이상 상승하였으나 제1보의 아까시나무보다는 목재내부온도 상승속도가 매우 떨어졌다.

Microwave로 가열된 곡목을 실온의 대기상태에서 방

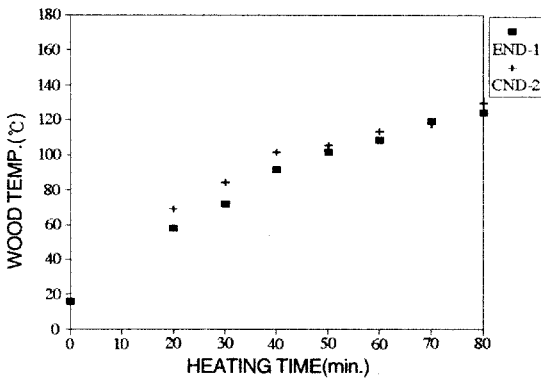


Fig. 3. Internal temperature of hornbeam wood by microwave-heating.

Notes: END 1 : temp. of wood in end 1.  
END 2 : temp. of wood in end 2.

치했을 때 방치시간에 따른 내부온도변화는 Fig. 4와 같이 전체적으로는 곡선적 하강경향을 나타내고 있으나 초기에는 거의 직선적으로 냉각속도가 빨리 진행되었다.

60초동안 가열한 목재는 2분, 70초동안 가열한 목재는 3분이후에 목재내부온도가 연화효과 限界溫度인 80℃이하로 떨어지는 것으로 나타났다. 즉 작업중 온도자연하강을 예상할 때 작업시간 2~3분이 경과하면 목재온도가 80℃이하로 떨어져서 연화효과의 현저한 상실이 예상되므로 곡목작업이 적어도 3분이내에 완료되어야 할 것이다.

따라서 증자가열이나 microwave가열 모두 목재의 연화가열을 완료한 후 압체취가공을 하기까지 운반 및 가공

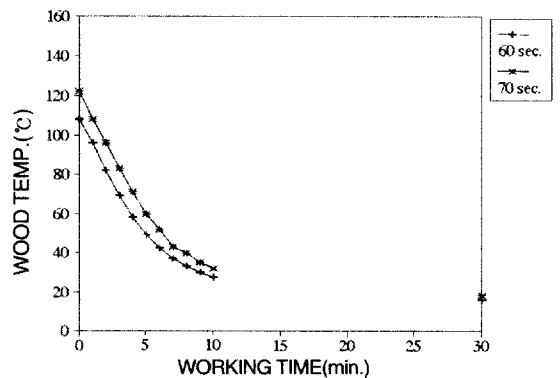


Fig. 4. Internal temperature of hornbeam wood by working time right after microwave-heating.

Notes: 60sec. : microwave-heated for 60sec.  
70sec. : microwave-heated for 70sec.

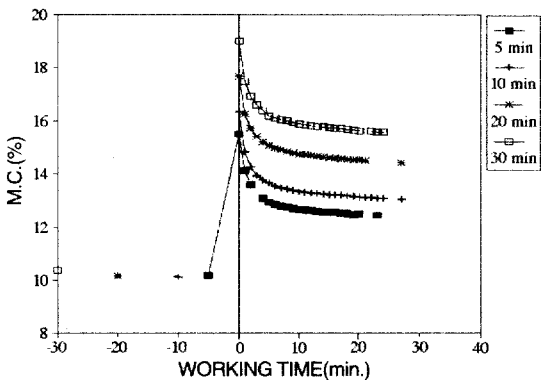


Fig. 5. Moisture content of hornbeam wood by steaming.

Notes: 5min. : steamed for 5min.  
10min. : steamed for 5min.  
20min. : steamed for 5min.  
30min. : steamed for 5min.

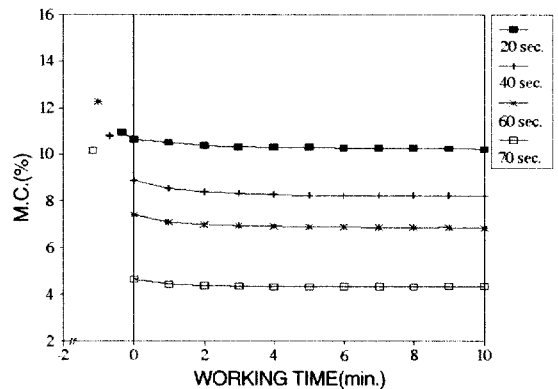


Fig. 6. Moisture content of hornbeam wood by working time soon after microwave-heating.

Notes: 20sec. : microwave-heated for 20sec.  
40sec. : microwave-heated for 20sec.  
60sec. : microwave-heated for 20sec.  
70sec. : microwave-heated for 20sec.

작업에 소요되는 시간을 최대한 단축하거나 작업중 재료의 보온을 유지할 필요가 있다고 생각된다.

서어나무의 microwave 가열시 목재내부온도의 변화경향은 아까시나무와 거의 유사하며 아까시나무 기건재는 80초 이상 가열시 목재온도가 급격히 상승하여 표면에 부분적 炭化현상과 연기가 발생하므로 더이상 가열시간을 증가시킬 수 없는 반면에 서어나무는 온도상승속도가 아까시나무보다 매우 떨어져서 80초 가열시 목재내부온도가 128℃에 불과하고 120초 가열시 비로서 부분적 탄화현상과 연기가 발생함으로써 아까시나무보다 microwave 흡수효율이 떨어지는 수증임을 알 수 있었으며 microwave 가열시 적정가열시간은 60초로 제한하였다.

### 3.4 목재의 含水率 변화

증기가열과 microwave 加熱가열에 의한 연화처리후 서어나무의 함수율변화를 조사한 결과 각각 Fig.5 및 Fig.6과 같이 나타났다.

먼저 증기가열시 가열시간을 5분에서 30분까지 4단계로 구분하여 연화한 결과 Fig.5에서 보이는 바와 같이 처리후 함수율 증가량이 5.3~8.7% 정도로 아까시나무의 2배이상 증가하였다. 증자중 함수율상승은 초기에 급격히 증가한다음 점차 완만해지는 曲線경향을 나타냈으나 microwave 가열시와 비교를 위해 증자곡선경향은 그림에서 생략했다.

가열처리목재를 대기상태에 방치하였을 경우 함수율 감소경향은 목재온도의 냉각과 함께 초기 3분까지 급격히 감소하다가 15분경에는 거의 안정되었으며 이때의 함수율은 연화처리전에 비해 2.3~5.4% 정도 높은 상태를 유지하고 있었다.

즉 서어나무는 아까시나무에 비해 증자연화시 함수율증가와 처리제 방치후 잔존함수율 증가량이 월등히 높은 특성을 가지고 있었다. 따라서 증기가열시 수분흡수가 빠른 수증에 대해서는 증자후 함수율증가를 고려하여 목재의 초기함수율을 적정량 낮게 조정하는 것이 필요하며 다만 함수율이 낮은 경우 휨가공성에 불리한 영향이 예상될 때는 후건조를 실시해주는 방법이 바람직하다고 생각된다.

서어나무의 microwave 가열연화 및 방치시간에 따른 함수율 상승 및 하강변화를 조사한 결과는 Fig.6과 같이

처리직후 목재의 함수율은 0.3~5.5% 정도 감소하였으나 가열시간별로는 가열시간이 길수록 초기 함수율 감소속도가 다소 빨랐으나 전체적으로는 거의 차이없이 비교적 완만한 함수율감소경향을 나타냈으며 함수율이 안정되는 시간도 증자처리의 15분보다 훨씬 짧은 대략 5분을 전후하여 안정되고 있고 이때까지의 총함수율감소량은 0.6~5.8%에 이르고 있다.

증자처리에서는 연화기간중 습윤증기의 흡수로 오히려 목재함수율이 증가하며 목재함수율증가는 처리시간에 상관하므로 장시간 증자처리는 지나친 함수율증가량을 제거하거나 미리 처리전 목재의 함수율을 예상되는 함수율 증가량만큼 낮게 건조해줄 필요가 있는 반면에 microwave 처리에서는 처리전보다 함수율이 감소하므로 처리전 함수율을 다소 높게 건조하는 등 최종 제품의 이용함수율에 맞추기 위한 휨가공전 목재의 함수율을 조정할 필요가 있다고 본다.

### 3.5 목재의 素材휨가공성

#### 3.5.1 Steaming에 의한 휨가공

서어나무의 steaming에 의한 소재휨가공성은 Table 3의 기본조건을 적용하여 휨가공을 실시하였으며 얻어진 결과는 Table 4와 같이 측정되었다.

서어나무의 증자곡목제조시 Table 4에서 보는 바와 같이 曲率半徑 80mm에서는 5개의 곡목이 모두 A급으로서 전혀 압축파괴가 없고 거의 압축주름도 발생하지 않을 만큼 우수한 휨가공성을 보였으며 한단계 작은 60mm에서도 역시 3개는 A급, 2개는 B급으로서 압축주름이 일부 발생하였으나 압축파괴는 발생하지 않았다. 또한 40mm의 곡률반경에서는 A급 1개, B급 2개로 양호하였으며 압축파괴가 발생한 C급은 1개를 제외한 나머지 4개의 곡목이 A, B급으로서 휨가공가능으로 판정되었다. 곡률반경 40mm에서도 비교적 휨가공상태가 양호하여 40mm이하의 곡률반경에서도 곡목제조가 가능하리라 판단되며 따라서 서어나무의 r/t ratio는 2.67 이하로서 휨가공성이 매우 우수한 그룹에 속한다고 할 수 있다.

증자법에서 일반적으로 기건재를 사용하는 것과 비교용으로 본 실험에서는 생재를 대상으로도 증자휨가공을 실시하여 곡목제조가능성을 조사하였으며 그 결과

Table 3. Basic conditions of softening for solid-wood bending processing.

Heating method	Specimen	M.C. (%)	Annual ring placement	Softening temp. (°C)	Softening time (min.)
Steaming	Heartwood	12±1	Flat-grain	99±1	20
Microwave	Heartwood	12±1	Flat-grain	112±2	1

Table 5에 표시하였다.

서어나무 생재의 증자휨가공시 곡률반경 80mm에서는 A, B급이 각각 4개, C급이 1개로서 매우 양호하게 휨가공되었으며 60mm반경에서는 A급, B급이 각각 2개로서 B급이상이 4개로서 휨가공 가능으로 판정되었다. 또한 40mm반경에서는 극심한 압축파괴를 보인 C급과 인장파괴를 보이는 D급이 각각 이 1개씩 발생하였으나 B급이상이 3개로서 역시 휨가공 可能으로 판정되므로서 서어나무 생재의 휨가공 곡률반경 限度는 기건재와 마찬가지로 40mm로 구명되었다. 다만 생재의 경우 기건재보다 재질이柔軟하여 압축휨가공시 木口부분이 으스러지는 경향이 일부시편에 발생하였다.

결과적으로 서어나무는 증기가열에 의한 곡목제조시 기건재와 휨가공성의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 일

반적으로 작은 곡률로 휨가공할 경우 증자휨가공시 기건 상태까지 건조시켜야하는 불편이 있어왔으나 본 실험수종인 서어나무는 생재의 곡목제조도 매우 양호하여 곡목 제조전 미리 건조해야할 필요가 없다고 할 수 있다. 이는 특히 휨가공후 곡률을 안정시키기 위해 고온에서 장시간 후건조가 연속되며 이때 곡목의 함수율이 10%이하까지 건조되므로 생재를 직접 휨가공할 수 있다면 제조공정상 前乾燥를 생략할 수 있어서 매우 유리하다고 할 수 있다.

### 3.5.2 Microwave-heating에 의한 휨가공

서어나무의 microwave가열에 의한 소재휨가공성도 마찬가지로 Table 3의 기본조건을 적용하여 기건재의 곡목가공을 실시해본 결과 Table 6과 같이 측정되었다.

서어나무 기건재의 microwave가열시 곡률반경 300mm에서 C급 압축파괴가 1개 있었으나 휨가공이 양호하였으

Table 4. Solid-wood bending processing of hornbeam air-dried wood by steaming.

R. O. C. tested (mm)	No. of specimens graded in bending				Bending possibility	Minimum R. O. C. (mm)
	A	B	C	D		
80	5				PS	
60	3	2			PS	40
40	1	3	1		PS	

Notes: R. O. C. : Radius of curvature.

A : without bending failure.

B : with minor compressive failure - negligible for practical use - in the concave side.

C : with remarkable compressive failure.

D : with breakage or tension failure.

PS: possible. IS: impossible.

Table 5. Solid-wood bending processing of hornbeam green wood by steaming.

R. O. C. tested (mm)	No. of specimens graded in bending				Bending possibility	Minimum R. O. C. (mm)
	A	B	C	D		
80	4	1			PS	
60	2	2	1		PS	40
40	1	2	1	1	PS	

Notes : see the note of Table 4.

Table 6. Solid-wood bending of hornbeam air-dried wood by microwave-heating.

R. O. C. tested (mm)	No. of specimens graded in bending				Bending possibility	Minimum R. O. C. (mm)
	A	B	C	D		
300	1	3	1		PS	
200	1	2	1	1	PS	200
150	4	1	IS			

Notes: see the note of Table 4.

며, 200mm에서는 C급 압축과피와 D급 인장과피가 각각 모두 1개씩 있었으나 역시 B급이상이 3개로서 휨가공이 가능한 것으로 판정되었다. 그러나 150mm에서는 C급 4개, D급 1개로서 5개 모두 휨가공이 곤란하였다. 따라서 이 때의 最小 曲率半徑은 200mm으로 결정되었는바 증자곡목법의 최소곡률반경 40mm에 비해 매우 큰 곡률로서 microwave에 의한 휨가공성이 불량한 것으로 나타났다. 이 중 200mm반경은 비록 휨가공 가능으로 판정은 되었으나 C급 곡목의 압축과피가 심하고 D급 곡목이 완전히 切損되는 등 휨가공상태가 상당히 불량하였으며 특히 증자법에서는 휨가공형태가 매우 부드럽고 균일한 圓弧狀을 나타내는 반면에 microwave가열 곡목제조시에는 소재가 등글고 유연하게 휘지 못하고 경직된 상태로 角을 이루는 角變現狀의 특징을 나타내었다.

증자처리시에는 처리후 목재함수율이 다소 증가하고 고온의 습윤증기로부터 열과 수분을 흡수하여 이중연화효과를 충분히 나타내므로 곡목제조가 용이한 반면에 microwave처리에서는 목재의 함수율이 오히려 감소하게 되고 특히 표면층이 집중적으로 건조되어 휨가공시 압축과피의 시발점이 되는 표면조직의 경직화로 수분에 의한 연화효과는 거의 상실되는 것으로 보이며 단지 온도상승에 의한 연화효과만으로는 유연한 휨가공이 어려워진다고 보여진다. 이와같은 표면층의 급속한 수분증발을 억제하기 위해 시험편의 외부를 비닐랩으로 씌우고 가열해 보기도 하였는 데 비닐랩이 부분적으로 녹아버려서 완전 밀폐되지는 않았으나 시험편의 표면이 약간은 습한 느낌을 주고 휨가공도 다소 유연해짐을 감지할 수 있었다. 따라서 microwave곡목재는 가공전 초기함수율을 적어도 가열중 감소되는 양만큼은 높게 조정하는 것이 바람직하다고 보이나 무엇보다도 microwave가열중 표면층의 급속한 수분증발을 억제하기 위한 조치가 선행되지 않는 한 기건재의 microwave휨가공은 곤란하다고 생각된다.

종합적으로 검토해볼 때 증자휨가공에서는 서어나무 기건재와 생재 모두 최소곡률반경 40mm의 양호한 휨가공성을 나타냈으나 microwave휨가공에서는 기건재를 사용했을 경우 최소곡률반경 200mm로서 휨가공성이 불량하였다.

#### 4. 결 론

서어나무(*Carpinus laxiflora* Bl.)는 자작나무과에 속하는 국산 활엽수 자원으로서 결이 곱고 치밀하며 약간 무겁고 잘 갈라지지 않는 데다가 점성이 강하여 충분히 활용할 수 있는 우수한 材質을 지니고 있으나 아직까지

전혀 이용되지 않고 있으며 따라서 원목가격 자체가 형성되지 않는 실정이므로 매우 저렴한 가격으로 재료를 구할 수 있는 장점과 양호한 재질을 고려해볼 때 高價의 수입재에 대한 國產代替樹種으로서 곡목가구분야 등에 적극 활용될 수 있는 未活用 國產資源이라고 생각한다.

따라서 본 연구에서는 전국토에 널리 분포되어있는 서어나무를 대상으로 수입외재의 국산재대체를 위한 일환으로 曲木家具로서의 용도개발가능성을 구명하고자 microwave가열처리에 의한 素材휨가공특성을 조사하고 종래의 蒸蒸곡목법과의 비교분석을 통하여 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 서어나무는 年輪형성이 매우 애매하여 목리에 의한 나뭇결 무늬를 이용할 수는 없으나 색재이 깨끗하고 전체적으로 밝은 色調를 띠고 있으며 비교적 양호한 비중과 강도특성을 나타내므로 家具部材 등에 이용가능하다.
2. 목재내부온도 100℃에 이르는 연화처리시간은 증자곡목시 6분이 소요되었으나 microwave곡목에서는 45초만에 도달하였다.
3. 연화처리후의 목재 함수율변화는 증자곡목시 가열시간에 비례하여 5.3~8.7% 증가한 반면에 microwave곡목에서는 0.3~5.5% 감소하였다.
4. 연화처리목재를 대기상태에 방치하였을 경우 증자처리재는 목재온도의 냉각과 함께 증가되었던 함수율이 2.3~5.4% 수준까지 회복되는 경향을 보였으나 microwave처리재는 처리후에도 계속 함수율이 감소하여 전체함수율감소량이 0.6~5.8%에 달했다.
5. 서어나무 증자곡목법에 의한 최소곡률반경은 기건재와 생재 모두 40mm로서 매우 우수한 휨가공성성을 나타냈으며, 생재를 곡목재료로 사용할 경우 일반적으로 행해지는 곡목가공전 건조공정을 생략할 수 있는 장점이 있다.
6. 서어나무 microwave곡목법에 의한 기건재의 최소곡률반경은 200mm로서 증자법에 비해 휨가공성이 매우 불량하였으며 기건재를 대상으로 한 microwave곡목제조는 부적합한 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. Hoadley, R.B. 1980. Understanding wood. A craftsman's guide to wood wood technology. The Taunton Press : 193~201
2. Illingworth, P. and H. Klein Jr. 1977.



- Microwave drying of ponderosa pine cross-sectional disks, *Forest Prod. J.* 27(2): 36~37
3. Lemoine, T. J., and P. Koch. 1971. Steam bending properties of southern pine. *Forest Prod. J.* 21(4) : 34~42
  4. Sadoh, T. 1980. Timber drying, molded wood, and anomalous deflection of wooden beam - around the mechano-sorptive behavior of wood -. *Wood Industry* 35(10) : 15~20
  5. Saito, Y., K. Kitahara, and K. Ishii. 1951. Experimental study of the wood bending. *Wood Industry* 6(1) : 12~17
  6. Spelman, J. 1981. Young designer bends. Old methods to form new ideas. *Furniture Design & Manufacturing* 53(4) : 45~51
  7. Stevens, W.C., and N. Turner. 1950. A method of improving the steam bending properties of certain timbers. *Wood(London)* 15 : 79~84
  8. Wangaard, F.F. 1952. The steam-bending of beech. Beech utilization series No.
  9. USDA Forest Serv. Northeastern Technical Committee on the Utilization of Beech in Cooperation with Northeastern Forest Exp. Sta. : 1~24
  10. Working group on utilization of tropical woods. 1977. Properties of some Papua New Guinea woods relating with manufacturing process V. *Bull. Gov. For. Exp. Sta.* 295 : 175~220
  11. 山本晴之, 阿部精彌, 炭本照行, 近藤龍平. 1952. 木材의 曲半徑의 限界實驗. *木材工業* 7(5) : 24~225
  12. 小島班司. 1967. 曲木. *木材工業* 22(10) : 39~41
  13. 蘇元澤. 1985. 煮沸, 蒸煮 및 藥劑處理가 상수리나무와 소나무의 휨加工性에 미치는 影響. *木材工學* 13(1) : 19~62
  14. 蘇元澤, 鄭希錫. 1990. 양버즘나무의 素材 및 集成曲木製造에 관한 研究(I)-蒸煮에 의한 素材휨加工性-. *木材工學* 18(2) : 8~15
  15. 蘇元澤, 蔡正基. 1995. 國産材 曲木家具 製造를 위한 Microwave-heating System活用に 관한 研究(I)-Microwave-heating에 의한 아까시나무의 素材휨가공특성-. *木材工學* 23(3) : 73~81
  16. 有用闊葉樹 材質研究班. 1989. 有用闊葉樹材의 性質(VI)-밤나무 外 4樹種의 性質-. *林業研報* 39 : 1~23