

# 소나무재의 휨 가공성에 미치는 섬유경사각의 영향\*1

김정환\*2 · 이원희\*2

## Effect of Grain Angle on Bending Properties of *Pinus densiflora*\*1

Jung-Hwan Kim\*2 · Weon-Hee Lee\*2

### 요 약

본 연구에서는 소나무의 고부가적 이용을 위한 휨가공 특성을 조사하였다. 먼저 휨가공에 영향을 미치는 수종 특성에 대하여 조사하였다. 다음으로 섬유경사각과 휨가공 특성의 관계에 대하여 조사하였다. 시험편은 섬유경사각 0°, 30°, 45°, 60°, 90°와 치수 10mm(T)×20mm(R)×350mm(L)로 제작하였다. 휨가공 전의 고주파조사 시간은 30, 60, 90, 120초로 하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 섬유경사각의 크기는 휨가공에 있어 탄성계수와 높은 상관성이 있었으며, 섬유경사각이 커질수록 휨가공 성능이 크게 증가하였다.
2. 강도적인 측면을 고려할 때, 지나치게 큰 섬유경사각은 강도가 약하기 때문에 휨가공재의 용도에 따라 적당한 섬유경사각의 크기가 조정되어야 할 것으로 판단되었다.
3. 휨가공성은 수종에 따라 현저하게 차이가 있는 것으로 조사되었고 수종특성이 명백히 존재하였다.

### ABSTRACT

In this study, it was examined the characteristics of bending property of red pine(*Pinus densiflora* S. et Z.) related to slope of grain. At first, we have investigated the characteristics of wood species for bending property. At second, it was examined the relationships between grain angle and its related bending property. Specimens were made following to grain angle 0°, 30°, 45°, 60°, 90°, respectively. Dimension of wood materials was 10mm(T)×20mm(R)×350mm(L). Microwave irradiation time for bending process was 30, 60, 90, 120 seconds. The result of this study were as follows :

\*1 접수 2001년 4월 10일, 채택 2001년 6월 8일.

\*2 본 연구과제는 1999년도 농림기술개발사업(첨단)에 의하여 수행한 "휨가공에 의한 고부가 목재생산 기술개발"의 연구결과 의 일부임.

\*3 경북대학교 임산공학과, Department of Wood Sci. & Tech., Kyungpook National University, Daegu, Korea.

1. Grain angle of wood was closely related to Young's modulus on bending process. In the process of bending with various grain angle, wood bending was easily proceed on the high grain angle range.
2. However, the strength of bent wood was very weak when the grain angle was high. Therefore, it was considered suitable grain angle for bending was existed.
3. The characteristics of wood properties for wood bending were very different among wood species.

**Keywords:** bending property, grain angle, microwave, species

## 1. 서 론

목재소재를 이용한 휨가공법의 활용분야로서 가구, 운동용구, 악기 등의 곡선부재나 선박, 건축내장재로 사용하는 구조용재의 제조 등이 있으며, 매우 넓은 분야에서 활용되고 있다. 목재관련업계에서는 대표적인 공예적 이용방법으로서 의자 등받이부분, 다리부분, 소파나 침대 목부장식부재로 이용을 하기 위해 곡선부재의 제작 등에 이용되고 있고, 이러한 모든 곡선부재의 제작기법은 토네법에 의한 가공기법이 주된 방법이라 할 수 있다(石井 등, 1995).

본 연구는 전보(정 등, 1999)에 이어 휨가공을 용이하게 할 수 있는 방법모색으로서, 섬유경사각을 변화시킨 경우에 휨성능의 변화를 관찰하고자 하였다. 지금까지의 연구결과를 정리해 볼 때, 쉽게 휨가공하는 방법의 하나로써 먼저 수작업으로 휨가공을 함에 있어서 휨작용에 대한 목재의 저항이 큰 문제가 되기 때문에 목재고유 저항값인 탄성계수를 감소시키는 시험편의 제작방법을 생각해 보았다. 이것은 섬유경사각이 커질수록 휨탄성계수가 작아진다는 연구결과에 따른 것이다(Meylan, 1968, Walker 등, 1995).

휨가공법을 처음 이용한 토네(Michael Thonet : 오스트리아, 1796~1871)는 1819년에 라인강가에 있는 보파드(Boppard)의 작은 마을에 가구공장을 설립하여, 1830년경에 비데마이어 형태 가구의 일부분을 만드는 한가지 방법으로서, 가볍고도 견고하며 값싼 의자를 개발하는 실험 연구를 하였다. 토네의 의자를 생산하는 공장은 5명의 아들과 함께 1856년에 문을 열었는데, 그는 거주지 주변의 풍부한 너도밤나무를 이용하여 증기처리에 의해 많은 양의 제품을 제작하였다. 다양한 가는 나무줄기로서 휨가공을 실시했지

만, 그 중에서 너도밤나무가 활엽수재중에서도 휨가공성이 뛰어난 소재로서 별다른 큰 어려움이 없었던 것으로 알려져 있다. 이러한 수종특성에 대한 평가가 이미 그 당시에 그에 의해 어느 정도 이루어진 것으로 생각된다. 미적인 감각이 뛰어난 그의 가구부재는, 가구분야 뿐만 아니라 건축분야에 있어서도 "디자인 면에서 '토네의 의자'보다 5배나 비싸고 반 정도만 편안하고 4분의 1 정도 아름다운 의자를 만든다면 그는 이 세계에서 가장 뛰어난 디자이너 중의 한사람이다"라고 할 정도로 폴 헤닝스(Poul Henningsen)는 격찬하였다(이, 1988).

한편, 우리나라의 소나무재는 전체 침엽수림의 48%를 차지할 만큼 그 양이 풍부하며, 소경의 통척하지 못한 소나무재라도 휨가공법을 잘 적용만 시킬 수 있다면, 특히 미적 감각을 고려한 공예적 가구용재로서 소나무재의 이용이 이루어진다면 국산 소경재의 부가가치가 제고된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 우리나라 주요 침엽수종인 소나무재의 고부가적 이용을 위한 휨가공성에 관한 것으로서, 기초적인 목재조건 중에서도 특히 섬유경사각을 다양하게 설정하여 휨탄성계수의 변이를 관찰하였으며, 휨가공성에 미치는 수종특성과 곡률반경의 변이에 대하여 검토·고찰하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료 및 실험방법

공시재료는 국산 소나무재의 휨가공성을 위한 기초 실험자료로서 국산 소나무재(*Pinus densiflora*) 및

물푸레나무재(*Fraxinus rhynchophylla*)를 섬유경사각 0°, 30°, 45°, 60°, 90°로 제작하여 두께 10mm, 폭 20 mm, 길이 350mm의 시험편으로 제작하였다. 이렇게 제작된 시험편을 물 속에 침지시켜 포수상태로 조정하였다. 이 시험편에 가정용 전자렌지를 이용하여 90 초간 고주파 조사를 실시하고, 곡률반경 40, 60, 80, 100mm의 휨가공틀을 이용하여 목재소재의 응력과 변형율의 크기 및 섬유경사각을 변화시킨 기초실험을 수행하였다. 또한 이와는 별도로 기존의 문헌과 자료 수집에 의하여 수종특성에 대하여 검토·고찰하였다(則元, 1979; 今村 등, 1982; 소, 1985; Norimoto 등, 1989; 소 등, 1995).

## 2.2 전처리조건의 설정

목재 전처리조건은 목재재료의 휨가공 공정 전의 상태를 말하며, 전처리 조건으로서의 목재 섬유경사각을 조절하는 것과 목재 함수율을 적당한 상태로 조절하는 것, 그리고 처리방법 등이 고려된다. 여기서 가열원의 상태는 목재재료를 직화가열, 증기가열, 고주파로 가열하는 것 또는 암모니아 등의 화학약품으로 처리하는 것 등으로 휨가공하기 전에 처리하는 일련의 제반공정을 말한다(정, 1994). 일반적으로 암모니아와 같은 화학약품에 의한 전처리는 휨가공 후의 재질의 열화를 초래하기 때문에 강도가 요구되는 곳에는 사용하기가 어렵고, 물리가공에 의한 처리는 휨가공성이 어렵기는 하지만 큰 강도를 얻을 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 국산 소나무재를 이용하여 전처리조건을 고주파가열조건, 함수율상태, 섬유경사각의 상태 등으로 나누어 휨가공성의 상태를 평가하였다. 시험편의 고주파 조사는 포수제와 자비제 모두 전자렌지(발전주파수 2450MHz)를 사용해 30, 60, 90, 120초씩 각각 고주파를 조사하였다. 함수율은 고주파 조사 후 2분 뒤에 측정하였다. 그리고 고주파를 조사한 시험편들은 만능강도시험기(HOUNSFIELD TEST EQUIPMENT LTD, H50K-S)를 이용하여 강도를 측정하였으며, 이때 하중속도 10mm/min로써 휨강도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 휨가공 관련 연구사

일반적으로 휨가공 목재로는 활엽수재가 적당하다고 말해지고 있으며, 침엽수재의 경우 목재조직의 구성요소가 단순하면서도 세포벽에 관한 기초지식이 충분히 알려져 있기 때문에 형태변화에 대한 고찰을 한 연구결과도 엿보인다(今村 등, 1982). 또한 휨가공 목재의 조직구조면에서의 연구는 풍부하지는 않지만, 휨응력을 받는 목재의 압축면의 변형에 대해서는 종압축에 의한 세포벽의 파괴를 야기하는 slip plane과 관련한 몇 가지 연구결과도 보고되어 있다. 마이크로파 가열을 이용한 휨가공목재의 조직구조의 변화를 관찰한 今村 등(1982)의 연구결과에 의하면, 휨가공 목재의 압축면쪽의 가도관벽에서는 공시재의 휘기 쉬운 정도나 곡률반경의 차이에 의해 각각 다른 형태의 세포벽 변형(microscopic compression deformation) 변화가 관찰되었다고 보고하고 있다. 특히 중립면 부근의 가도관벽에서는 2차벽 중층의 마이크로피브릴 배열과 나선상의 용기가 생겨 있으며, 압축축면으로 이행함에 따라 마이크로파가열에 의한 휨가공 목재에 특징적인 용기의 폭과 분포범위가 증대한다고 보고하고 있다. 또한 마이크로파가열을 이용하면, 세포벽의 매트릭스성분이 연화하여 쉽게 변형하며, 리그닌이 많은 수종일수록 휨가공성이 그렇지 못한 수종에 비하여 뛰어날 것으로 예측하고 있다.

Norimoto(1979, 1982, 1989)에 의하면, 휨가공성이 용이한 수종으로서는 취약한 재질보다 점성이 있는 활엽수 산공재가 가장 양호하며 침엽수재의 경우에는 압축응력재나 경사지에서 자란 나무나 섬유경사각이 큰 수종이면 쉽게 휘다고 보고하고 있다. 따라서 휨가공용 목재는 취약한 재질의 소재보다 인성이 큰 것이 적당하며 느릅나무, 너도밤나무, 느티나무, 참나무, 단풍나무, 자작나무, 들매나무, 검나무, 물푸레나무, 서어나무, 벗나무, 음나무, 호도나무, 밤나무, 가시나무 등의 활엽수재가 많이 이용되고 있다(정, 1994). 한편 휨가공시 이들 소재에서 결점체는 제외하고 두께가 폭보다 작은 형상으로 가능한 재면을 평

**Table 1.** Relationships between slope of grain in *Fraxinus rhynchophylla* and modulus of elasticity (MOE) by bending test.

$\phi$ (°)	SG in air dry	SG in oven dry	MC <sub>1</sub> (%)	MC <sub>2</sub> (%)	MOE (Pa)
0	0.886 (±0.018)	0.786 (±0.017)	49 ± 5	24 ± 2	8.719 ± 0.15781
30	0.903 (±0.013)	0.784 (±0.022)	47 ± 4	27 ± 3	3.7816 ± 0.2841
45	0.894 (±0.010)	0.769 (0.031)	47 ± 1	27 ± 2	1.6027 ± 0.3210
60	0.871 (±0.012)	0.758 (0.013)	46 ± 5	25 ± 2	1.0850 ± 0.6126
90	0.895 (±0.026)	0.781 (0.054)	48 ± 6	25 ± 4	1.2849 ± 0.5112

note)  $\phi$  : slope of grain; SG : specific gravity; MC<sub>1</sub> : moisture content before bending process; MC<sub>2</sub> : moisture content after bending process.

활하게 하고 또한 변재가 심재보다 유연하다고 알려져 있다.

### 3.2 휨가공성에 미치는 수종특성

본 연구에서는 물푸레나무의 개체 내 부위에 있어서 섬유경사각을 0°(섬유방향 시험편)부터 90°(횡단면 시험편)까지 5단계로 구분시켜 휨가공한 결과를 Table 1에 나타내었다. 물푸레나무는 잘 휘어지는 수종의 하나로서, 소나무가공을 위한 기초자료로 휨강도 분석을 위한 것으로서, 휨가공은 모든 시험편(합수율 40~50% 범위)에서 순조롭게 곡률반경 40, 60, 80, 100mm까지 진행되었으며, 수작업에 소요되는 하중이 섬유경사각이 작을수록 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 Table 1로부터 주목할만한 사항은 휨탄성계수로서 섬유경사각이 증가할수록 급격하게 저하되는 사실이다. 따라서 휨가공이 용이한 수종은 휨탄성계수가 적은 수종이라 할 수 있으며, 목재 매트릭스 성분과 더불어 탄성계수가 적은 값을 가지는 목재의 범위를 탐색하는 것이 중요하다고 하겠다.

휨가공성에 대한 수종특성을 조사한 결과, 휨가공성은 수종특성이 명백하게 존재한다는 사실을 알 수 있었다. 인장변형율이 큰 활엽수 수종은 대부분 휨가공성이 원활하며 인장변형율이 작은 침엽수수종은 휨가공성이 떨어짐을 알 수 있었다. 휨가공성에 미치는 재질특성이 수종 및 연륜구조, 합수율 등 다양한 인자가 있겠지만 휨가공성을 한마디로 요약한다면 수종선

택에 90%, 휨가공 기술에 10%의 기술력이 있다고 할 만큼 수종선별이 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 목재재료를 가능한 섬유경사각이 크게 되도록 재료를 제작하여 휨가공을 한다면 보다 쉽게 가공할 수 있을 것이다. 그러나 이 경우, 강도가 요구되는 부재로서의 활용을 고려한다면 지나치게 큰 섬유경사각은 적절하지 못할 것으로 판단되므로, 장식용인지 구조용인지 구분해서 가공해야 할 것이다.

이와 같이 휨가공성의 요점은 첫째 소재선택, 둘째로 가공기술이라 할 수 있으며 역학적으로 쉽게 합리적으로 휨 수 있을 것인가와 휨가공 후 치수안정화를 위한 방안에 대한 연구가 수행되어야 한다.

휨가공이 용이한 수종은 온대산 활엽수-침엽수-남양재순 이었으며, 휨가공이 비교적 어려운 소나무와 같은 침엽수는 2차세포벽의 S<sub>2</sub>층의 마이크로피브릴의 경사각, 또는 섬유경사각과 리그닌구조가 휨가공성에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다(Norimoto 등, 1989). 마이크로피브릴의 경사각이 커질수록 세포벽의 강성이 낮아진다는 Cave(1968)와 Walker 등(1995)의 연구결과에 따르면, 마이크로피브릴 경사각이 크면 휨가공이 용이하다고 판단된다. 또 리그닌의 구조가 망상구조인 침엽수는 망상구조가 적고 가교결합이 어려운 선상구조의 활엽수재에 비하여 휨가공성이 어려운 이유로 나타났다. 침엽수재라도 응력재나 미성숙재, 동일수종 내에서도 섬유장이 짧은 부위(Hirakawa 등, 1995), 경사지에서 생육한 지표부근의 수간이 휘 상태의 목재 및 비탄성계수가 작은 소

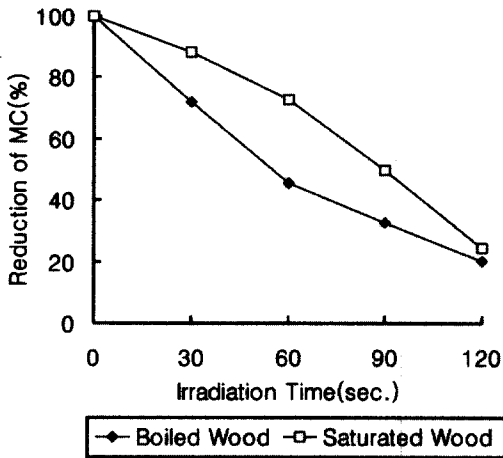


Fig. 1. Relationships between microwave irradiation time and rate of moisture content (MC) reduction for bending process.

재, 세포벽이 두껍고 비중이 큰 조직이 치밀한 수종이 비교적 휨가공이 용이하며, 성장지역에 따라서도 휨가공성이 모두 다른 것으로 조사되었다(Norimoto 등, 1989). Saka(1984)에 의하면 활엽수재 20종의 마이크로피브릴 경사각과 리그닌 함량을 조사한 결과, 마이크로피브릴 경사각의 증가에 비례하여 리그닌 함량이 증가하였다. Cown 등(1991)에 의하면 미성숙재 부위의 섬유경사각은 지상고 0m에서는 3도인 것이 지상고가 높아질수록 섬유경사각은 약 6도로 증가하여 지상고 16m 이상에서는 거의 일정한 값을 나타내었다고 보고하였다.

### 3.3 고주파 조사 후 함수율과 휨가공성

Fig. 1에서는 포수재와 자비재의 고주파 가열 시간에 따른 함수율 감소를 나타내었다. 여기서 포수재와 자비재의 고주파 가열 시간에 따른 함수율 감소속도는 자비재가 포수재보다 급격하게 나타났다. 이것은 수조의 물온도가 포수재는 상온이고 자비재는 98℃였기 때문에 자비시 시편 내 추출성분의 배출이 포수재보다 많아 고주파 가열시 함수율의 저하가 더 급격히 이루어진 것으로 판단된다. 또한 포수재는 고주파 조사시 처리시간이 길수록 급격한 수분증발이 이루어

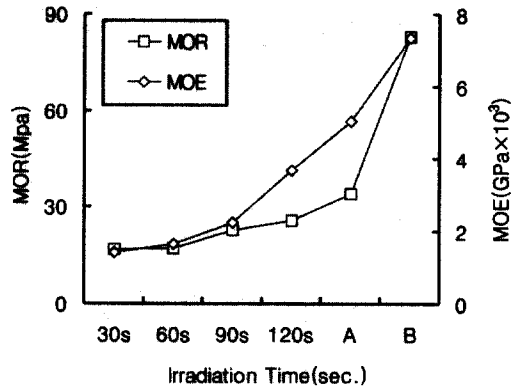


Fig. 2. Relationships among modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity(MOE) in bending test and microwave irradiation time: A, water impregnated specimens; B, wood specimens in air dry.

짐을 알 수가 있었고, 90초 이상 고주파 조사시 함수율이 60% 이내로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 자비재의 경우, 90초 이상 고주파조사시 함수율이 40% 이하로 포수재보다 더 빠르게 함수율 저하가 일어나는 것으로 관찰되었다. 또한 포수재는 휨가공 연화온도의 급속저하로 가공성이 떨어지는 것으로 판단되었다. 반면, 자비재는 자비시간(60분)동안에 내부온도를 일정하게 유지하게 되고, 고주파 처리로 내부온도는 더욱 상승하게 되어짐으로 포수재보다 휨가공성이 뛰어난 것으로 판단되었다. 여기서 고주파 조사시간과 시편의 함수율감소와의 상관성 분석 결과, 90초 정도가 시편가열에 적당한 시간으로 생각되었다.

Fig. 2에는 포수재의 고주파조사시간에 따른 휨강도와 휨탄성계수의 관계를 나타내었으며, A와 B는 포수재와 기건재에 고주파조사를 하지 않고 휨강도와 휨탄성계수를 측정된 값이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 고주파 조사 후 휨강도와 휨탄성계수는 기건재와 포수재간에 현저한 차이가 있음을 알 수 있었다. 목재의 휨가공은 휨강도와 휨탄성계수가 낮을수록, 특히 탄성계수를 비중으로 나눈 비탄성계수가 작을수록 쉽게 이루어졌다(정 등, 1999). Fig. 2에서는 고주파 조사시간이 90초 이상이 되면 탄성계수가 급격히 증가

하는 것을 알 수 있다. 여기에서 휨가공에는 적절한 휨강도와 휨탄성계수 범위가 있다는 것을 알 수 있는데 고주파처리시간이 60~90초일 때의 휨강도와 탄성계수가 적당하다는 연구결과와 부합되다(정 등, 1999).

### 3.4 목재조건 및 외부조건에 따른 곡률반경의 변이조사

목재의 휨가공에 있어서 가공 가능한 최소 곡률반경을 알아 두는 것이 필요하지만 최소 곡률반경은 목재두께의 몇 배인가를 단정하기는 힘들다. 기존의 연구결과에 의하면 휨가공 소재의 두께와 휨 수 있는 곡률반경은 반비례관계에 있으며 어느 정도 표준값을 나타낼 수 있다고 보고하고 있다(Norimoto 등, 1993). 목재에 충분한 가소성을 부여하여 대철을 이용하면 활엽수의 경우 두께 15mm일 때 두께의 10배 정도의 반경, 그보다 두꺼운 것은 10배 이상의 반경, 또 그보다 얇은 경우에는 10배 이하의 반경으로 쉽게 휨가공할 수 있다(정, 1994). 침엽수재가 활엽수재에 비해 휨가공성이 어려우며, 대체적으로 실험에 의한 침엽수재의 경우 같은 두께일 경우 활엽수재의 1.5배의 곡률반경으로 나타나며 실용적인 측면에서는 산지별, 수령별, 개체별로 기초자료를 만들어 두는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

한편, 정(1994) 등은 각 처리별 장단점에 대하여 설명하고 있는데 현재까지의 가공법으로는 증기처리에 의한 휨가공법이 마이클 토네에 의해 처음 시도된 이래 적층 및 거단에 의한 휨가공법이 일반적이며 증자휨가공법(저압법과 고압법), 자비 휨가공법부터 가열휨가공법(직화가열, 열판가열, 고주파가열), 거단 휨가공법, 적층 휨가공법, 약품처리 휨가공법에 이르기까지 목적으로 하는 용도에 따라서 다양한 방법이 알려져 있다. 각 방법별 장단점에 대한 구체적인 사항은 문헌에 설명되어 있다(정, 1994).

Fig. 3에는 휨가공재의 곡률반경과 압축표면의 변형을 측정하기 위한 기하도형 모델을 나타내었다. 목재 소재를 기건상태에서 휨가공용 시험편을 제작한 후, 시험편 중앙부위 및 좌우로 일정간격으로 표선을 표

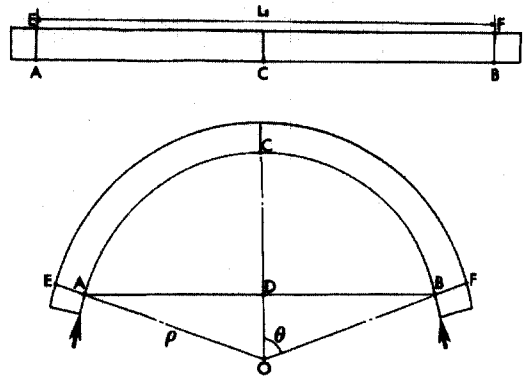


Fig. 3. Schematic diagram of curvature measurement in wood bending process: note) AE, BF, base line for measurement(= specimen thickness); O, center point of curvature;  $\rho$ , curvature.

시하여 휨가공후의 표선간 거리 및 곡률반경측정을 위한 기준점으로 삼았다. 이 그림으로부터 기하학적으로 산출되는 곡률반경 및 변형율은 목재를 완전탄성체로서 가정하여 구한 변형율과 거의 같은 값이 얻어질 것으로 예측되었으며, 기하학적으로 산출한 곡률반경과 변형율은 다음과 같이 표현할 수 있다. 여기서 선분  $\overline{BC}$ 를 a, 선분  $\overline{CD}$ 를 b로 두면, 곡률반경  $\rho$ , 선분  $\overline{AB}$ 의 길이 L, 섬유방향 변형율  $\epsilon$ 은 다음과 같이 산출된다.

$$\rho = (a^2 + b^2) / 2b \quad (1)$$

$$L = 2\rho \cdot \sin(a/\rho) \quad (2)$$

$$\epsilon = (L - L_0) / L_0 \times 100(\%) \quad (3)$$

또 휨가공 목재 재료가 복원되는 성질이 강하여 목재소재를 탄성체로 가정하면, 소재의 원주율과 두께 t 및 곡률반경  $\rho$ 로부터 다음 식이 유도되어, 휨가공에 요구되는 응력  $\sigma$ 를 간접적으로 산출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \epsilon &= \sigma / E \\ &= \{2\pi(t + \rho) - 2\pi\rho\} / 2\pi\rho \\ &= t / \rho \end{aligned} \quad (4)$$

$$\sigma = E \cdot t / \rho \quad (5)$$

**Table 2.** Relationships among grain angle of *Fraxinus rhynchophylla*, change of curvature, and a rate of deformation.

Grain angel (°)	Curvature of tool(mm)	Curvature after bending(mm)	Rate of deformation(%)	MOE (Gpa)	MOR (Mpa)
0				8.719	about 1/4~1/10 time of MOE
30	40	40	21.9	3.7816	
45	60	60	14.7	1.6027	
	80	84	14.2		
60	100	100	11.0	1.085	
90		1.2849			

note : Value of MOR caused from formula (5).

Table 2는 물푸레나무의 섬유경사각을 0°, 30°, 45°, 60°, 90°로 구분하고 두께 10mm, 폭 20mm, 길이 300mm로 조정하여 휨가공 곡률반경 40, 60, 80, 100mm인 휨가공 치구를 이용하여 90초 동안 고주파 가열한 소재를 휨가공하여 공식 (1)에서 (5)에 의해 얻어진 변형율과 휨강도, 휨탄성계수 값을 나타내었다. 그 결과, 휨가공치구의 곡율이 작을수록 변형율이 크게 나타났으며, 이것은 곡률반경이 작아질수록 큰 변형율이 요구되는 것으로서 휨가공성이 어려워짐을 의미하는 것이다. 물푸레나무의 경우 섬유경사각이 클수록 휨응력이 작은 경향을 나타내고 쉽게 휨 것으로 생각되었지만, 본 연구에서는 섬유경사각에 상관 없이 모든 시험편에서 40mm의 곡률로도 무난하게 휨가공이 가능한 것을 알 수 있었다.

한편, 소나무재를 대철로서 휨가공할 때 인장부의 파괴보다는 압축부의 찌그러짐이 더욱 많이 나타났다. 이는 인장 변형을 0상태를 유지하도록 목재의 양단을 완전하게 고정함으로써 인장응력 발생을 최소화하였기 때문이라 생각된다. 그리고 곡률반경 100mm로 휨가공 하였을 때 시편의 중앙으로부터 20mm 이내의 부분에서 1차 압축파괴가 대부분 일어났고 곡률반경 75mm에서는 100mm보다 짧은 지점에서 파괴가 일어났다. 시편의 대부분이 이 지점에서 파괴가 나타나는 것은 이 부분에서 응력집중 현상이 일어나는 것으로 판단되었다. 그리고 휨가공시에 압축부에서 원활한 휨가공이 되지 않고 꺾이는 현상이 나타났다. 이

러한 현상들은 수작업에 의한 휨가공에서 휨가공에 요구되는 힘을 고르게 분산시킬 수 없기 때문에 생기는 가공상의 문제로서, 기계적인 가공에 의한 힘의 분산을 통하여 균일한 가공이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

휨 가공성에 영향을 주는 수종특성과 섬유경사각에 대해 조사한 결과, 휨가공성은 수종특성이 분명하게 존재하며, 특히 목재 구성요소 중에서 세포벽의 기본요소라 할 수 있는 섬유경사각의 배열상태가 휨가공성을 지배하고 있다는 중요한 단서를 도출하였다. 섬유경사각의 배열상태는 목재의 기초강도와도 직결되어 있으며, 휨응력의 저하를 초래할 수 있는 섬유경사각의 변이가 휨가공의 용이성과 직결되고 있고, 수종에 따라 휨가공이 용이한 수종과 아닌 수종으로 명백하게 구분되고 있는 사실을 확인할 수 있었다.

그러나 강도적인 측면을 고려할 때, 지나치게 큰 섬유경사각은 강도가 약하기 때문에 휨가공재의 용도에 따라 적당한 섬유경사각의 크기가 조정되어야 할 것으로 판단되었다.

지금까지의 연구결과를 종합하여 휨가공 소재들을 적정 함수율 상태, 적정 전처리조건에 적용시키면 보다 용이한 소성가공이 이루어질 것으로 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. 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). 목재공학 23(3): 73-81.
2. 蘇元澤. 1985. 煮沸, 蒸煮 및 藥劑處理가 상수리나무와 소나무의 휨加工성에 미치는 影響. 목재공학 13(1): 19-62.
3. 이연숙: 현대가구의 역사, 경춘사. p. 67-70(1988).
4. 정승수, 이원희. 1999. 마이크로파 가열에 의한 소나무재의 곡가공. 목재공학 27(3): 17-22.
5. 鄭希錫. 1994. 曲木加工. 木材切削學. 309-328.
6. Cave, I. D. 1968. The anisotropic elasticity of the plant cell wall. Wood Science & Technology 2(4): 268-278.
7. Cown, D. J., D. L. McConchie, and G. D. Young. 1991. Radiata pine: wood properties survey. p. 50. Ministry of Forestry. FRI Bulletin No. 50.
8. Hirakawa. Y. and Fujisawa. 1995. The relationship between microfibril angles of the S<sub>2</sub> layer and latewood tracheid lengths on elite lengths tree (*Cryptomeria japonica*) clones. Mokuzai Gakkaisi 41(2): 123-131.
9. J. C. F. Walker and B. G. 1995. Butterfield. The importance of microfibril angle for the processing industries. N. Z. FORESTRY NOVEMBER: 34-40.
10. Meylan, B. A. 1968. Cause of high longitudinal shrinkage in wood. F. P. J. 18(4): 75-83.
11. M. Norimoto and J. Gril. 1989. Wood bending using microwave heating. J. of Microwave Power and Electromagnetic Energy. Vol. 24(4): 203-212.
12. M. norimoto, H. Akitsu, T. Yamada. 1993. Permanent fixation of bending deformation in wood by heat treatment. Wood Research No. 79: 23-33.
13. Saka. S. 1984. The relationship between the microfibril orientation in the tracheid S<sub>2</sub> layer and lignin content of coniferous woods. Pacific Regional Wood Anatomy Conference. Tsukuba. Japan. pp. 100-102.
14. 今村祐嗣, 和田 博, 則元 京, 林 昭三. 1982. 마이크로파加熱を利用した曲木の組織構造. 木材學會誌(Japan) Vol. 28(12): 743-749.
15. 石井信義, 大内成司, 北嶋俊朗. 1995. 曲げ木加工技術を應用した家具部材の研究開發. 大分縣産業科學技術センター研究報告(Japan): 53-62.
16. 則元 京. 1979. 마이크로파による木材の塑性曲げ加工. 木材研究資料(Japan) No. 14: 13-26.