

마이크로파 가열에 의한 소나무재의 곡가공^{*1}

정 승 수^{*2} · 이 원 희^{*2}

Bending of Korea red pine (*Pinus densiflora*) by Microwave Irradiation^{*1}

Sung-Soo Jung^{*2} · Weon-Hee Lee^{*2}

ABSTRACT

The effect of microwave irradiation on wood bending was investigated in this study. The specimens irradiated with microwave were bent around a form by using pedestal-steel and clamps. The specimens, korea red pine (*Pinus densiflora*), for this test were water-soaked for 78 hours. Saturated specimens were boiled in water for an hour.

The size of specimens was 350mm(L) by 20mm(R) by 10mm(T). These specimens were heated by microwave of 2,450MHz.

The most suitable time for microwave irradiation seems to range from 60 to 90 seconds. Wood moisture content decreased remarkably with the increase of irradiation time.

When a softened wood piece is bent, its convex side was stretched while the concave side was compressed. It can be compressed considerably, but stretched very little. Therefore the failure will be governed by the tensile breaking strain and occur mainly on the convex face. So we obtained results from three different bending process methods as follows :

- 1) When bending with a pedestal-steel, convex face had not tensile breakings, but concave face had compression fails.
- 2) When bending with a clamp, bending time increased more than pedestal-steel and occurred tensile breaking.
- 3) Bending with a pedestal-steel and a clamp was found to be the most excellent operation method in this study.

Keyword : Microwave irradiation, wood bending, curvature, boiling, of flat-grained specimens of both wood species

*1 접수 1999년 5월 8일, Received May. 8, 1999

*2 경북대학교 농과대학 임산공학과 Wood Science & Technology, College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu 702-701. KOREA

- 요약 -

본 연구에서는 목재 곡가공에서 마이크로파 조사 열의 효과를 조사했다. 마이크로파로 조사된 시험편은 대철과 클램프를 이용하여 곡가공을 행했다. 시험을 위한 시험편, 소나무 (*Pinus densiflora*),은 78시간 동안 물에 침지했다. 포화된 시험편은 1시간 동안 자비되었다. 시험편의 크기는 350mm(L) × 20mm(R) × 10mm(T)이며, 이들 시험편은 2,450MHz의 주파수를 가지는 마이크로파로 가열되었다.

가장 적당한 마이크로파 조사 시간은 60~90초 범위가 적당한 것으로 보였다. 함수율은 조사 시간의 증가와 함께 뚜렷이 감소했다.

연화된 목재를 곡가공 할 때, 연화된 시험편의 철면(凸面)은 인장되고, 요면(凹面)은 압축 되었다. 압축부는 상당히 압축이되나, 인장부는 매우 작았다. 따라서 파괴는 인장 파괴 변형에 의해서 일어날것이고, 철면에서 대부분 발생한다. 그래서 다음과 같은 3가지 서로 다른 방식에 따라 결과를 얻었다.

- 1) 대철을 이용하여 곡가공 할 때, 철면에서는 인장 파괴가 일어나지 않지만, 요면에서 압축 파괴가 일어났다.
- 2) 클램프를 이용하여 곡가공 할 때, 대철 보다 곡가공 시간이 증가 했고, 인장 파괴가 발생했다.
- 3) 대철과 클램프를 이용한 곡가공은 본 연구에서 가장 우수한 조작으로 나타났다.

1. 서 론

목재는 비목재 공업용 재료들의 다량생산으로 재료 수급의 용이성과 뛰어난 가공성 등의 장점에도 불구하고 사용분야가 점점 줄어드는 경향을 보여왔다. 그러나 오늘날 삶의 질이 높아지면서 현대인들은 편안하고 안락한 분위기를 느끼기 위해 환경 친화적인 목재를 선호하는 경향을 보이고 있다. 우리나라 산림축적량은 침엽수림이 48%, 활엽수림이 28% 혼효림이 26%이다. 이중 전체 침엽수림중 90% 이상이 소나무가 차지하고 있으며, 세계적으로도 활엽수림의 사용보다는 침엽수림의 활용이 더커지고 있는 실정에 있다. 또한 수입재의 경우에서도 점차적으로 활엽수재의 수입이 줄어들고 있으며, 캐나다와 뉴질랜드산 침엽수재가 늘어나는 추세에 있다.

이런 현실에 있어서 저가의 국산 소나무 (*Pinus densiflora*)나 낙엽송 (*Larix leptolepis*)과 같은 침엽수재의 이용범위를 넓혀 고부가 가치재로 이용하는 것은 전체 산림의 유효 이용화에도 기여하는바 매우 큰 의의가 있을 것으로 생각되어진다. 이러한 이유로 목재의 단점을 극복하고 부가가치가 큰 재료로써의 이용을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 가구부재로서의 목재 이용은 타 부재가 나타나지 못하는 많은 장점을 보유하고 있다.

과거에는 목재를 직선부재로서 가구 등에 이용하였으나 오늘날에는 의자, 등받이 가구, 건축 인테리어 소재 등 곡선부재로서 목재의 수요가 증가하고

있다. 목재를 곡선부재로 만들기 위해서는 곡가공 기술을 필요로 하는데, 이는 목제품을 고급화하고, 부가가치를 높이는데 대단히 중요한 기술로 인식되고 있다. 목재의 이용범위를 확대한다는 의미에서 볼 때 곡가공 기술에 대한 많은 연구와 기술개발의 필요성이 요구되어진다. 한편, 과거의 곡가공 기술은 암모니아와 같은 화학약품을 사용한 방법이 많이 사용되어져 왔는데 전 세계적으로 환경오염 문제가 대두됨에 따라 무공해 곡가공 기술, 즉 포수재나 자비 처리재에 대해 마이크로파 처리를 하여 화학적 방법이 아닌 물리적 방법으로 목재를 연화시켜, 환경오염을 유발하지 않는 가공 기술이 필요하게 되었다. 이에 국내에서는 소원택 박사 (소, 1985)에 의해 곡가공 실험이 행하여 졌으며, 활엽수가 아닌 침엽수 소나무재로써는 처음으로 실시된 것이다. 이에 대해 곡가공 유효 개선 방안으로서 마이크로파 조사를 통하여 목재 내부까지 동시에 열을 가하여 목재내 온도를 상승시키고 동시에 적정 함수율을 유지하여 소나무재의 곡률반경을 최소화 하고자 한다. 따라서 본 연구에서는 국내산중 목재의 무늬결이 좋은 침엽수재로써 소나무를 재료로 이용하였으며, 시험편은 포수 및 포수후 자비 처리를 한 후, 마이크로파로 가열 하여, 목재의 곡가공을 했을 때 어느 정도까지 곡률반경을 줄일수 있는지에 대해서 검토하고, 곡가공 치구를 사용하여 곡가공시 재료의 결합을 파악하므로써 곡가공 기술 향상을 목표로 하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

그림 1과 같이 목재는 인장에 따른 파괴까지의 최대 인장량은 거의 변화하지 않지만 압축에 따른 최대 압축량은 현저하게 증가한다. 섬유방향에 대해 실온에서 함수율 17%의 경우 인장파괴는 1%정도며, 압축파괴는 5%정도에서 이루어진다. 한편 함수율이 34%, 100℃의 조건에서는 인장 2%일 때 파괴가 되고, 압축에서는 35%가 넘어서도 파괴되지 않는다. 이 성질을 이용하여 목재의 양목부를 고정시켜 가능하면 늘어나지 않도록 하여 실제로 목재의 인장 쪽에 대철을 붙인 상태로 곡형으로 만들면, 이때 대철이 인장력을 분담하기 때문에 목재에는 압축이 생기게 되어 목재는 곡형을 크게 만들 수 있게 된다. 이러한 방법을 도메스인법이라고 한다(石井信義 등, 1993). 본 실험에서는 이 방법과 함께 재래식 방법인 클램프를 함께 이용하여 곡가공을 실시하였다.

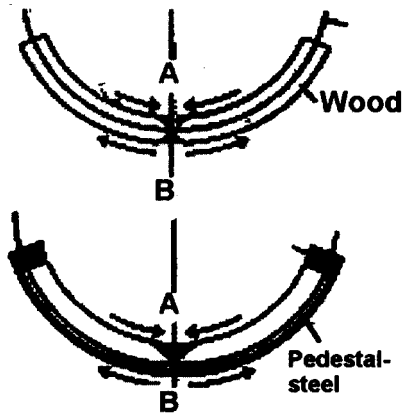


Fig. 1. Typically wood bending.

A: compressive stress

B: tensile stress

2.1. 공시 재료

본 실험에 사용한 시험편은 국산 침엽수재인 소나무 (*Pinus densiflora*)를 사용하였으며, 78시간 물에 침지하여 함수율 110~150%의 생재와 생재를 다시 1시간동안 자비한 자비재를 각각 사용하였다. 이때 시험편의 치수는 섬유방향(L), 방사방향(R), 접선방향(T)를 각각 350mm, 20mm, 10mm로 하고, 각 조건

당 5회의 반복을 하였으며, 마이크로파조사를 위해 가정용 전자레인지(대우전자, KOR-814K, 발전주파수 2,450MHz)를 간이 마이크로파 조사 장치로 사용하였다. 곡가공을 위해 클램프, 대철 그리고 곡가공을 위한 곡률 판은 7.5cm와 10cm로 하였다. 목재의 자비 처리는 항온수조(98℃)를 사용하였고, 곡가공된 시험편 건조는 무풍 건조기를 사용하였다. 이때 건조 온도는 50℃로써 서서히 건조하여 곡가공 시험편의 건조 결함을 최소화 하였다.

2.2. 마이크로파 처리 및 휨강도 측정

시험편의 마이크로파 조사는 생재와 자비재 모두 전자 렌지를 사용해 30초, 60초, 90초, 120초씩 각각 마이크로파를 조사하였다. 함수율은 마이크로파 조사 후 2분 뒤에 측정하였다. 그리고 마이크로파를 조사한 시험편들은 만능강도시험기(TEST EQUIPMENT LTD, HOUNSFIELD. H50K-S)를 이용하여 강도를 측정하였으며, 이때 강도 측정을 위해 하중 속도 10mm/min로 3-Point Bending Test를 했다.

2.3. 곡가공 방법

그림 2의 모식도와 같이 대철을 이용한 방법으로 썬는 마이크로파 조사 처리한 생재 및 자비재를 이용하여 시험편의 중앙을 클램프로 고정하여 시험편과 대철이 좌우 요동이 되지 않도록 고정 한 후, 대철의 양쪽 끝 부분을 잡고 균일한 힘을 서서히 가하여 목재의 곡가공을 행하였다.

클램프를 이용한 곡가공은 시험편과 클램프 사이에 철끼울 끼우고, 중앙을 먼저 고정 한 후, 클램프를 양쪽 방향으로 하나씩 조이면서 곡가공을 행하였다.

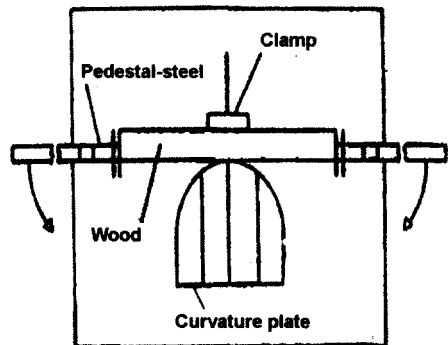


Fig. 2. Wood bending by use of pedestal-steel.

이때 클램프의 나선선 회전 방향에 의해 철판과 시편이 밀려올라 가는 것을 방지하기 위하여 완충용 목재를 사용하였다. 또한 시편편이 클램프와 클램프 사이에서 시편편의 꺾임을 방지하기 위하여 완충용 목재의 간격과 클램프 간격은 최소화하여 꼭가공 시험을 행하였다.

대철 및 클램프를 함께 이용한 방법은 대철을 서서히 잡아 당기면서, 동시에 클램프로 시편편과 대철에 동시에 같은 힘으로 중앙부에서 양쪽으로 비슷한 빠르기로 순차적으로 조여주면서 꼭가공 시험을 행했다. 이때 곡을 반경은 10cm와 7.5cm에서 시험을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 함수율

생재와 자비재의 마이크로파 조사 후 함수율 차이를 다음 그래프 그림 3과 4에 나타내었다. 이때 생재가 자비재보다 함수율이 높게 나타났다.

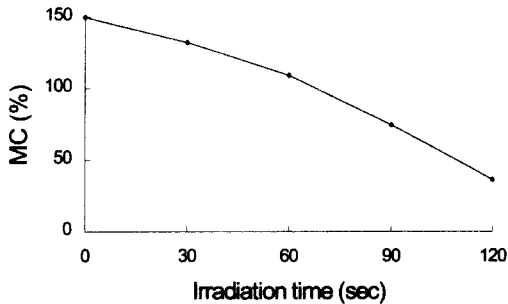


Fig. 3. Moisture content of water saturated wood as a function of microwave irradiation time.

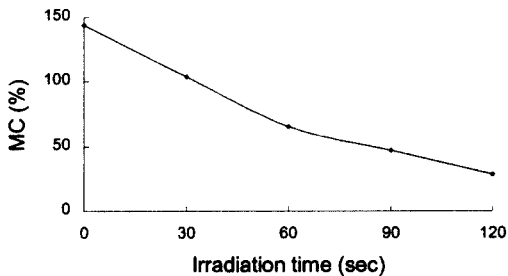


Fig. 4. Moisture content of water boiled wood as a function of microwave irradiation time.

그림 3에서 보듯이 조사시간에 따른 함수율의 감소 정도가 처음에는 완만히 감소하나 60초 이후에는 함수율의 감소 정도가 크게 발생하였다. 반면 그림 4에서 자비재의 함수율 감소 정도는 반대적인 현상을 나타냈다. 이는 포수시 수조온도는 상온이었으나, 자비시 수조의 온도가 98℃로써 시편내 추출성분의 배출이 생재 보다 많아 마이크로파 가열시 가도관을 통한 수분의 증발이 생재보다 빠른 것으로 생각된다. 마이크로파 가열전 자비처리재는 이미 목재의 온도가 90℃이상 상승된 상태에 있어 생재의 온도 상승보다 빠르기 때문에 함수율의 저하가 포수재보다 더 급격히 이루어진 것으로 판단된다. 90초 이상 마이크로파 조사시 함수율이 75% 이내로 떨어지고, 자비재 경우에는 90초 이상 마이크로파 조사시 함수율이 50%이하로 내려갔다. 따라서 적절한 꼭가공을 위한 함수상태로써 꼭 가공 두께 10mm로 할 때, 적절한 마이크로파 조사시간으로 60~90초가 꼭가공시 적정하며, 또한 함수율이 꼭가공시 가장 큰 영향인자로 판단되며, 앞으로 적정한 함수율 조건을 파악하는 것이 우선 되어야 할 것으로 생각된다.

3.2. 휨탄성계수

마이크로파 조사 후 휨탄성계수를 그림 5에 나타내었다. 기건재, 생재 및 마이크로파 처리재에서 휨탄성계수를 보면 현저한 차이가 나는 것을 알수 있다. 이것은 목재내 수분과 온도에 의한 반응으로써 리그닌과 헤미셀룰로즈와 같은 습윤상태의 연화 매트릭스에서 온도를 상승시키면 유리상태에서 고무상태로 이동되기 때문이다(M. Norimoto *et al*, 1993). 따라서 꼭가공에서 마이크로파 처리에 의한 목재 내부온도 상승은 연화에 의해 휨탄성계수에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

기건재와 생재, 마이크로파 처리재의 관계를 보면 목재의 휨탄성계수가 낮을수록 꼭가공이 쉽게 이루어진다고 생각되어진다. 그러나 마이크로파를 30초간 처리한 시편과 120초간 처리한 시편의 꼭가공 특성을 보면 마이크로파를 30초간 처리한 시편은 쉽게 휘기는 하지만 파괴가 쉽게 일어났다. 반면, 마이크로파를 120초간 처리한 시편은 꼭가공에 많은 힘이 들기는 하나 쉽게 파괴 되지는 않았다. 따라서 소나무재 두께 1cm 에 대해 마이크로파 처리 시간이 60~90초 일 때의 휨탄성계수가 적당하다고 판단되어진다.

그리고 앞으로 마이크로파 처리 시간에 따른 휨강

마이크로파 가열에 의한 소나무재의 곡가공

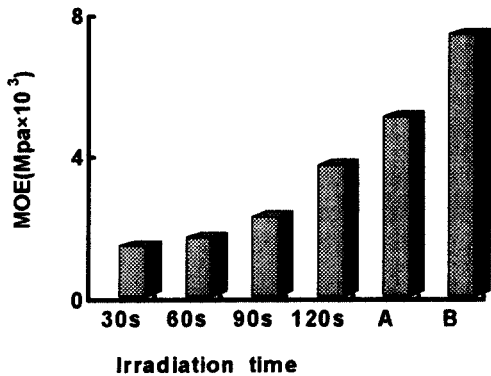


Fig. 5. Relationships between modulus of elasticity (MOE) and various pretreatment method of wood.

A ; Water saturation, B : Air-dry.

도와 탄성계수의 변화량 그리고 함수율의 변동에 대하여 조사를 해야 할 것이다

3.3 곡가공성 및 개선 방안

마이크로파 처리에 의한 소나무재의 곡가공성을 3 가지 방식으로 실험하여 곡가공 시 목재의 결합여부를 파악하여 표1에 나타냈다.

표 1에서와 같이 대철로서 곡가공을 행할 때 인장부의 파괴보다는 압축부의 찌그러짐이 더욱 많이 나타났다. 이와 같은 결과가 나타난 것은 인장부에 대철이 목재의 인장력을 압축에 의해 인장파괴를 막아 주는 역할을 하였으며, 목재의 양목부를 고정함으로써 인장응력 발생을 최소화하였기 때문이라 생각되어진다. 곡률 반경 10cm로 곡가공을 실시하였을 때 시편의 중앙으로부터 2cm 이내의 부분에서 1차 압축 파괴가 대부분 일어났고, 곡률 반경 7.5cm에서는 곡률 반경 10cm보다 짧은 지점에서 파괴가 일어났다. 시편의 대부분이 이 지점에서 파괴가 나타나는 것은 이 부분에서 응력 집중 현상이 일어나는 것이라 판단되어진다. 또한 2차 파괴도 압축부에서 많이 발생하였는데 파괴 형상은 불규칙적이었다. 여기에서 조사시간에 따른 곡가공성은 60초에서 가장 우수하게 나타났다. 이러한 이유는 곡가공시 함수율의 분포와 목재내에 상승된 온도가 유지된 상태에서 곡가공이 이루어진 것으로 판단되며, 자비재의 경우 포수재보다 곡가공성이 우수하였다.

또 다른 방법인 클램프 사용에 의한 곡가공에서는 대철을 이용하여 곡가공함에 있어 1차 파괴지점에 클램프를 조여 응력분산을 꾀하였다. 그 결과, 대철에서 발생한 1차 지점에서의 파괴는 나오지 않았다.

Table 1. Effect of irradiation time on the wood bending of boiling and water-saturated wood

Irradiation time(sec.)	Curvature (cm)	Concave side						Convex side					
		pedestal-steel		clamp		pedestal-steel +clamp		pedestal-steel		clamp		pedestal-steel +clamp	
		B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S
30	7.5	×	×	△	×	△	△	△	△	×	×	△	△
	10	×	×	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△
60	7.5	△	△	△	△	○	△	○	△	△	×	○	△
	10	○	○	△	△	○	△	○	○	△	△	◎	○
90	7.5	×	×	△	△	△	△	○	○	△	×	○	○
	10	△	△	△	△	○	△	○	○	△	△	◎	◎
120	7.5	×	×	×	△	△	×	△	△	×	×	△	△
	10	△	△	△	△	△	△	○	○	△	×	△	△

Legend : ◎: excellent quality ○: high quality
 △: middle quality ×: low quality
 B : boiling wood. S : water-saturated wood.

그러나 미소한 찌그러짐의 갯수는 더 많았다. 클램프를 사용한 것과 대철을 이용한 곡가공에 있어서, 압축부의 성상은 클램프를 사용한 것이 파괴정도나 곡가공 성공률이 높았다. 이것은 클램프가 순차적으로 목재를 조여가면서 응력을 순차적으로 분산시켜 주었기 때문이라 생각된다. 하지만, 클램프를 이용한 곡가공이 대철 사용 때보다 인장면 즉 만곡부에서의 파괴 갯수가 많음을 알 수 있었다.

그 이유로는 양목구면의 개방과 클램프 조임 위치가 잘못 선정되어, 시편의 인장 응력을 분산시키지 못 한 것으로 판단되어진다. 한편, 클램프 간격은 2cm정도가 적당하였으며, 그 이상의 간격에는 찌그러짐 현상이 나타났다.

상기 내용으로부터 대철의 장점과 클램프의 장점을 합쳐 동시에 곡가공을 행하였는데, 대철은 인장부의 응력을 최소화하고, 클램프는 응력 집중 현상을 분산시켜 압축이나 인장부 어느 쪽에서든 파괴되지 않도록 하였다. 그 결과 인장부 및 압축부에 있어 별 다른 문제는 보이지 않았다. 하지만 압축부에 있어 클램프 간격 조절에 따라 찌그러짐 현상이 나타나기도 했다.

전체적으로 생재와 자비재를 비교하면, 자비재의 곡가공성이 우수하다. 이는 소나무의 연화에 있어 자비처리후 마이크로파 가열이 목재의 연화에 더 크게 기여한 것으로 판단되며, 조사시간에 따른 곡가공성은 함수율과 목재 온도에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 그리고 자비재에 마이크로파를 조사하여 곡가공을 했을 때 두께 1cm에 대해서 곡률 반경 7.5cm까지 가능 하였다. 이것은 마이크로파가 목재의 연화에 크게 기여하는 것으로 판단된다. 곡가공후 시편은 대철과 클램프를 조인 그대로 50℃ 건조기에 24시간 건조한 후 곡가공된 시편을 건조하여 처리했다. 건조후 시험편이 완전한 치수안정화가 되지 않아 얼마간의 회복이 발생하였다. 이러한 문제점은 곡가공 작업시 화학적처리후, 자비처리를 하여 목재를 더욱 연화하고 치수안정화 처리를 위한 실험이 필요하다고 생각된다.

4. 결 론

이상의 곡가공 실험에 대한 소나무재의 곡가공성의 결론을 요약하면 다음과 같다.

먼저, 생재와 자비재를 마이크로파 조사 처리하여 연화할 때, 곡가공성에 있어 두께 1cm에 대한 소나무재의 마이크로파 조사는 60~90초가 가장 적당한 조사시간이었다.

다음으로 생재와 자비재중 포수후 자비한 소나무재가 곡가공성이 우수하였다. 그리고 치구을 사용한 3가지 방법중, 곡가공에 있어 클램프와 대철을 함께 이용한 곡가공이 파괴 결함이 가장 적은 방법이었다. 끝으로 자비와 포수후 마이크로파 처리한 소나무재 두께 1cm에 대하여 곡률반경 7.5cm까지 곡가공이 가능했다.

참 고 문 헌

1. 朴相珍外 九名. 1981. 木材工學, 郷文社. pp.51~86, pp.68~72
2. 朴相珍外 四名. 1989. 木材物理 및 力學. 郷文社. pp.107~122
3. 소원택. 1985 煮沸, 蒸煮 및 藥劑處理가 상수리 나무와 소나무의 靱加工性에 미치는 影響. 목재공학 13(1): 19~62
4. 이종윤, 박상진, 조남석, 조병목. 1993 목재과학 실험서. 광일문화사. pp.202~204
5. Norimoto, M. C. Ota, H. Akitsu and T. Yamada. 1993. Permanent fixation of bending deformation in wood by heat treatment, Wood Research, No.79: 23~33
6. 石井信義外 二名. 1993. 家具用材の曲げ木加工技術の開發研究, 研究報告, pp.135~142
7. 石井信義外 二名. 1994. 曲げ木加工技術を應用した家具部材の研究開發, 研究報告. pp.53~62