

열수 및 마이크로웨이브처리 맹종죽재의 물리적·기계적 특성*1

신 훈 재*2 · 안 상 열*3 · 변 희 섭*4† · 박 상 범*5 · 공 영 토*4

Physical and Mechanical Properties of *Phyllostachys pubescens* Treated with Hot Water and Microwave Irradiation*1

Hoon-Jea Shin*2 · Sang-Yeol Ahn*3 · Hee-Seop Byeon*4† · Sang-Bum Park*5 ·
Young-To Kong*4

요 약

열수 및 마이크로웨이브조사 처리가 벌채시기 및 부위별에 따른 맹종죽재의 물리적 기계적 특성을 평가하고, 효율적인 연화조건을 탐색하기 위하여 경남 진주시 가좌동에 위치한 남부임업시험장내에서 생육이 양호한 1, 2, 3년생의 죽재를 8월과 1월에 벌채하여 실험한 결과는 다음과 같았다.

1. 윗부위, 중간부위, 아랫부위의 부위별에 따른 휨탄성계수의 차이는 윗부위가 가장 높은 값을 나타내었고 중간부위, 아랫부위 순으로 낮은 값을 나타내었으며, 대부분이 70,000~110,000 kgf/cm²의 범위에 있었다.

2. 동적 탄성계수의 범위는 80,000~130,000 kgf/cm²의 범위로 정적 탄성계수보다 10~25% 정도 높게 나타났으며, 8월과 1월의 상관관계 R값이 각각 0.87과 0.68로 나타나 일반적인 목재와 같이 맹종죽재의 탄성계수 측정에도 비파괴 방법인 양단자유진동에 의해서도 예측 가능하였다.

3. 95℃의 열수로 처리했을 때 연화율은 10~30%를 나타내었다.

4. 생재 및 포수 두 조건 모두 마이크로웨이브조사 처리 시간이 길어질수록 탄성계수가 낮아졌으며, 20초 및 30초간 처리했을 때 생재 휨탄성계수의 약 50% 이하로 떨어져 생재를 20초간 마이크로웨이브조사 처리했을 때 가 본 연구에서 죽재를 연화시키는데 가장 효과적인 방법이었다.

*1 접수 2003년 5월 10일, 채택 2003년 11월 14일

*2 산림청 영월국유림사무소, Korea Forest Service, Yeongwol National Forest Station, 230-890, Korea.

*3 경상대학교 농업생명과학대학, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-702, Korea.

*4 경상대학교 농업생명과학대학, 농업생명과학연구원, College of Agriculture & Life Sciences, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-702, Korea.

*5 국립산림과학원 임산공학부 Department of Forest Products Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 변희섭(e-mail: hsbyeon@gshp.gsnu.ac.kr)

ABSTRACT

Phyllostachys pubescens planted in the Nambu Forest Experiment station in Jinju city of Gyeongnam province was used, to investigate the physical and mechanical property of bamboo in this study. The ages of the *P. pubescens* were 1, 2 and 3 years, respectively. This experiment was carried out in August and January. The *P. pubescens* were divided into upper, middle and lower parts according to the growing points. The physical and mechanical properties of the *P. pubescens* were investigated before and after treatment of hot water and microwave irradiation.

1. The upper part of the *P. pubescens* indicated the highest static MOE according to the growing points. The range of the static MOE was from 70,000 to 110,000kgf/cm².

2. When *P. pubescens* were treated with hot water of 95°C, the ratio of softening was about 10~30%.

3. As microwave irradiation time was increased, the MOE values was decreased in both green and water-saturated bamboos. For the irradiation time of 20 and 30 seconds, the static MOE of *P. pubescens* was decreased up to about 50% comparing with non-treated.

Keywords: *Phyllostachys pubescens*, softening of bamboo, hot water, microwave irradiation, MOE

1. 서론

인구가 기하급수적 증가하여 식량 자원을 위한 경작지 확보 등의 이유로 산림 면적이 절대적으로 감소되고 있으며, 인류의 문화 수준 향상으로 전 세계적으로 목재의 수요가 급증하고 있다. 이러한 현실에서 보속생산이 가능하며 생장이 매우 빠른 대나무를 이용한다면, 목재의 대체 재료로서 뿐만 아니라, 경제적인 측면에서 더욱더 효율적일 것으로 생각된다.

Isagi *et al.* (1993)과 Oshima (1961)에 의하면 대나무류는 한국, 일본, 중국, 말레이시아 등의 동남아시아 지역과 남미, 아프리카 등지의 온대, 아열대, 열대지역에 걸쳐 1000 여종이 분포하고 있다. Lee (1973)에 따르면 한국에는 왕대속(*Phyllostachys*), 이대속(*Pseudosasa*), 신이대속(*Sasa*) 등의 3속 11종이 자생 또는 식재되고 있다. 2001년 현재 약 6천여ha의 죽림이 조성되어 있으며 경제성이 우수한 왕대속의 경우 우리나라는 주로 전라도와 경상도에 왕대(*Phyllostachys bambusoides*), 솜대(*Phyllostachys bambusoides nigra* var. *henonis*), 맹종죽(*Phyllostachys pubescens*)이 분포 성장하고 있다(임업통계연보, 2002).

Hodge (1961)는 대나무의 단위 면적당 생산량은 southern pine의 6배에 달하며 하루 성장량이 121 cm

나 되는 지구상에서 가장 빨리 자라는 식물로서 생장 기간도 20~50일이 지나면 길이 방향 생장이 모두 이루어진다고 보고하였다.

蘇 등 (1997)의 국산 죽재의 특성에 따르면 목재에 비하여 결코 뒤지지 않는 우수한 재료라는 사실을 확인할 수 있으며 오히려 우리나라의 대나무가 외국산에 비해 품질이 매우 뛰어나다는 점도 보고하였다. Mori (1987)는 마이크로웨이브조사에 의한 대나무의 평판 가공법을 발표하였으나 아직 상업화되지 못하고 있다. 또한 Fujimoto *et al.* (1998)은 합판, 삭편판, 목질복합재료 등의 제조기술을 개발, 신제품을 선보였다.

이런 복합적인 기능과 성능을 가진 대나무의 이용성을 증대시키기 위하여 본 연구에서는 1, 2, 3년산의 맹종죽을 이용하여 8월과 1월의 벌채시기 및 수령에 따른 물리적, 기계적 성질의 평가와 열처리 방법이 죽재의 탄성적 성질에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

경남 진주시 가좌동에 위치한 남부임업시험장의 대

나무 숲에서 생육이 양호하고 죽간이 통직한 수고가 약 15 m 정도이며, 윗부위(지표면에서 약 9 m 지점)의 직경이 60 mm~67 mm, 중간부위(지표면에서 약 5 m 지점)의 직경이 76 mm~82 mm, 아랫부위(지표면에서 약 1 m 지점)의 직경이 85 mm~95 mm인 맹종죽(*P. pubescens*)을 연도별(3년생-1998년산, 2년생-1999년산, 1년생-2000년산)로 선택하여 8월과 1월에 각 연도별로 2개씩 최대한 지면 가까운 지점에서 벌채하여 각 부위에서 취해 본 실험에 사용하였다. 이때 8월 시험편은 2001년에 시행하였고, 1월 시험편은 2002년에 시행하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 시험편 제작

먼저 벌채한 맹종죽을 시편치수 150 mm(L)×10 mm(T)×4 mm(R)로 각 부위에서 55개씩 제작하여 각 조건 당 5개씩 무작위로 선별 후, 각 조건에 알맞게 실험한 후 평균하여 비교하였다. 함수율은 벌채 직후 각 부위에서 인접한 마디를 이용하여 전건법으로 측정하였다.

2.2.2. 정적 휨탄성계수

정적 휨탄성계수(MOE_s; static modulus of elasticity)는 만능강도 시험기를 사용하여 3점하중 방식으로 측정하였으며, 이때 스패(span)는 80 mm, 하중 속도(cross head speed)는 7.5 mm/min로 하여 다음 계산식(1)에 의하여 생재와 기건재의 정적 휨탄성계수를 산출하였다. 이때 생재상태의 휨탄성계수는 벌채 직후 제작된 시험편을 수분의 이동을 최소한으로 하기 위해 랩으로 봉한 후 항온항습(25℃±2, 65%±3) 상태에서 탄성계수를 측정하였으며, 기건재는 대기상태에서 충분히 기건된 상태의 것을 항온항습조건(25℃±2, 65%±3)에서 조습 후 탄성계수를 측정하였다.

$$MOE_s = \frac{\Delta p l^3}{4bh^3 \Delta y} \quad (1)$$

여기서, MOE_s: 정적 휨탄성계수, ΔP : 비례영역에 있어서 상한 하중과 하한 하중의 차, Δy : ΔP 에 대응하는 스패중앙의 처짐 양, l : 스패, b : 시험편의 폭, h : 시험편의 높이

2.2.3. 동적 탄성계수

측정장치는 여진과 검출이 전자적 방법으로 시행되는 양단자유진동장치를 적용하여 일단은 여진하고 다른 일단은 검출하는 공진법에 따라 함수 발생기 출력과 함수 검출기 출력을 각각 음극선 oscilloscope에 연결하여 발전기 주파수를 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 올려 검출기 출력이 최대의 공진곡선을 그릴 때의 최대 주파수카운터를 이용하여 공진주파수와 동적 탄성계수(MOE_d; dynamic modulus of elasticity)를 구하였다. 함수 발생기는 덴마크 B & K사 제품인 sine generator 1023을 사용하였고 주파수 측정은 Universal counter timer를 사용하였으며, oscilloscope는 미국 Hewlett Packard사 제품인 1740A(100MHz)를 사용하였다. 공진주파수(f)와 동적 탄성계수(E_d)는 각각 다음 식(2), (3)에 의하여 계산하였다.

$$f = f_0(1 + \alpha h^2 / l^2) \quad (2)$$

여기서 f : 공진주파수, f_0 : 주파수카운터의 수치, α : 진동형식에 따라 결정되는 정수로서 8.2임, l : 시험편의 길이, h : 시험편의 두께.

동적 탄성계수(E_d)는 다음과 같다.

$$E_d = \frac{48\pi^2 \rho l^4 f^2}{m^4 h^2} \quad (3)$$

여기서 E_d : 동적 탄성계수(dyn) ρ : 비중, m : 기본진동의 경우 4.73 임, h : 시험편의 두께.

2.2.4. 연화처리

죽재의 가공성 평가를 위한 연화처리는 열수처리 및 마이크로웨이브 조사법을 사용하였으며, 마이크로

Table 1. Average density and moisture content of *P. pubescens*

Age	Part	Density(g/cm ³)				Moisture content(%)			
		August		January		August		January	
		Green	Air dried	Green	Air dried	Green	Air dried	Green	Air dried
3 years	Upper	1.04	0.77	1.15	0.81	68.7	7.99	56.3	7.95
	Middle	1.01	0.70	1.12	0.72	80.3	7.62	70.5	7.45
	Lower	1.00	0.59	1.11	0.65	100.2	7.81	95.0	7.36
2 years	Upper	1.06	0.78	1.11	0.76	59.1	8.02	67.5	7.64
	Middle	1.06	0.76	1.12	0.69	65.7	8.26	81.0	7.92
	Lower	1.05	0.66	1.08	0.63	84.8	7.88	98.0	7.65
1 year	Upper	1.03	0.72	1.15	0.84	64.3	7.42	54.6	7.78
	Middle	1.04	0.68	1.13	0.73	72.6	7.90	68.6	7.59
	Lower	1.02	0.76	1.10	0.71	80.8	7.88	80.6	7.24

웨이브 조사법은 생재를 바로 조사한 것과 생재를 포수시킨 후 마이크로웨이브 조사하여 탄성계수의 감소 정도를 연화율로 나타내어 평가하였다.

또한, 열처리를 할 때 온도가 재질에 미치는 영향이 크기 때문에 처리온도를 비접촉식 적외선 온도계(Spot Thermometer 505A)를 사용하여 생재상태의 표면온도, 증자처리 직후의 온도 그리고 마이크로웨이브조사 직후의 온도를 측정하였다. 최초 온도 측정 후 탄성계수를 측정하는데 약 20초 정도가 소요되므로 처리 후 대기상태의 조건으로 20초 후에 다시 측정하여 나타내었다. 이때 적외선 온도계와 시험재의 거리는 15 cm를 유지하였다.

(가) 열수처리

열수처리는 95℃로 가열된 물에 침지시켜 30분, 60분, 그리고 90분간 처리하였다.

(나) 마이크로웨이브 조사

생재를 직접 마이크로웨이브 조사와 포수 후 마이크로웨이브 조사하여 연화시키는 두 가지 방법을 사용하였다. 마이크로웨이브조사는 가정용 전자렌지(Goldstar MR-345SF형, 정격 고주파 출력 700 W) ON time을 사용하여 10초, 20초, 30초간 처리한 후 만능강도 시험기를 이용하여 탄성계수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 밀도와 함수율

밀도는 정적 및 동적 탄성계수 측정에 사용된 시험편 5개를 평균하여 치수 측정법으로 평균하여 Table 1에 나타내었다. 생재와 기건재의 밀도값(표준편차)은 각각 1.00~1.15 g/cm³(±0.02), 0.6~0.8 g/cm³(±0.08)의 범위를 나타내었다. 생재 시험편의 경우, 1월이 8월보다 약간 높은 생재 밀도값을 나타내었으나, 기건재 경우, 1월과 8월은 비슷한 밀도값을 나타내었다. 부위별에서는 윗부위가 가장 높았으며 중간부위, 아랫부위 순으로 낮게 나타났다. 이 원인은 1월의 시험재가 8월보다 성숙이 많이 되었기 때문에 나타난 결과라 생각된다. 이러한 결과는 蘇 등 (1996)과 추 등 (2001)의 결과와 동일한 경향을 나타내었다.

함수율은 각 부위별 2개의 대나무를 평균하여 나타내었으며, 생재와 기건재의 함수율은 각각 55%~100%, 7~8%의 범위를 나타내었다. 생재와 기건재 모두 1월보다 8월의 함수율이 높는데 이것은 1월에 비해 8월이 강수량과 습기가 많은 계절이기 때문에 나타난 결과라 생각된다. 99년(2년산) 대나무의 함수

Table 2. Average MOEs and MOE_d of *P. pubescens*

Age	Part	MOEs(kgf/cm ²)				MOE _d (kgf/cm ²)			
		August		January		August		January	
		Green	Air dried	Green	Air dried	Green	Air dried	Green	Air dried
3 years	Upper	80,890	92,380	94,220	111,400	85,640	104,150	117,960	128,510
	Middle	82,040	99,700	86,710	102,570	80,020	92,820	101,690	109,880
	Lower	51,410	64,060	83,600	102,560	60,000	70,060	101,380	111,330
2 years	Upper	88,740	123,660	84,330	117,010	99,070	127,180	106,190	126,610
	Middle	92,850	115,790	73,780	98,320	105,120	117,650	100,180	105,780
	Lower	74,790	93,880	73,030	87,020	80,280	89,430	92,780	98,160
1 year	Upper	82,360	102,150	108,300	116,400	94,220	110,760	125,160	131,440
	Middle	77,770	98,160	83,520	99,700	86,030	99,630	103,880	110,910
	Lower	71,230	88,540	78,650	103,510	84,770	91,750	99,010	110,480

Notes: MOEs: Static modulus of elasticity. MOE_d: Dynamic modulus of elasticity.

율은 다른 연도와 반대의 경향을 나타내었는데 이는 1998년에서 2000년의 기상청 기상월보의 자료에 의하면 99년도 월평균 기온이 98년과 2000년도에 비해 3월~8월까지의 기온이 2~5℃ 정도 낮게 나타났는데 죽순 발생 시기인 4월, 5월, 6월의 기온저하에 의한 것으로 추측된다.

또한, 3년산, 2년산, 1년산의 연도별에서는 특정한 관계가 나타나지 않았다. 부위에 따른 함수율 값은 아랫부위가 가장 높은 값을 나타내었고 중간부위, 윗부위의 순으로 낮은 값을 나타내었다. 이 결과 역시李 등 (2001)의 결과와 동일한 경향을 나타내었다.

3.2. 탄성계수

3.2.1. 정적 휨탄성계수

Table 2에서는 8월과 1월의 정적 탄성계수(MOE_s) 및 동적 탄성계수(MOE_d)를 생재와 기건재로 구분하여 나타내었다. 정적 휨탄성계수의 경우, 계절별에 따라서는 3년산(1998년)과 1년산(2000년)의 대나무에서는 1월이 8월의 같은 부위별보다 높은 탄성계수를 나타내었으나, 2년산(1999년)의 경우 8월이 1월 보다 높은 탄성계수를 나타내었다. 이 역시 함수율의 관계와 마찬가지로 99년산 대나무 죽순의 발생시 기온저하의 원인과 관련이 있는 것으로 추측된다. 부위별 정

적 탄성계수는 밀도의 관계에서와 같이 윗부위가 가장 높은 값을 나타내었고 중간부위, 아랫부위 순으로 낮은 값을 나타내었다. 8월과 1월의 생재 휨탄성계수는 2년 경과된 8월의 아랫부위에서만 50,000 kgf/cm² 정도가 나타났으며, 나머지는 70,000~110,000 kgf/cm²의 범위에 있었다. Takaya (1980)의 대나무의 생장 특성에서 연도별에 따른 해부학적인 관찰에서는 많은 차이가 있다고 보고하였으며,李 등 (2001)의 국내산 대나무를 이용한 특수 보드 제품 개발에 관한 최종보고서에는 왕대, 분죽, 맹종죽에서 공히 수령이 높아질수록 휨강도가 증가한다고 보고하였는데 본 연구의 연도별에 따른 휨탄성계수에서는 명확한 차이가 나타나지 않아 앞으로 보다 넓은 범위를 포함한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

생재와 기건재의 탄성계수를 비교해 보면 모든 연도와 부위별에서 생재보다 기건재가 높은 탄성계수를 나타내었다. 이것은 목재의 물리적 또는 기계적 성질은 결합수의 양에 따라 현저한 영향을 받아 목재의 강도와 용적 그리고 탄성계수 등은 섬유포화점에서 전건상태까지 결합수의 양에 따라 변화되지만, 섬유포화점 이상의 함수율 범위에서는 거의 일정하기 때문에 생재보다 기건재의 탄성계수가 높게 나타난 것으로 판단된다. 이 연도별 기건탄성계수값의 변화는 생재탄성계수와 비슷한 경향을 나타내었다.

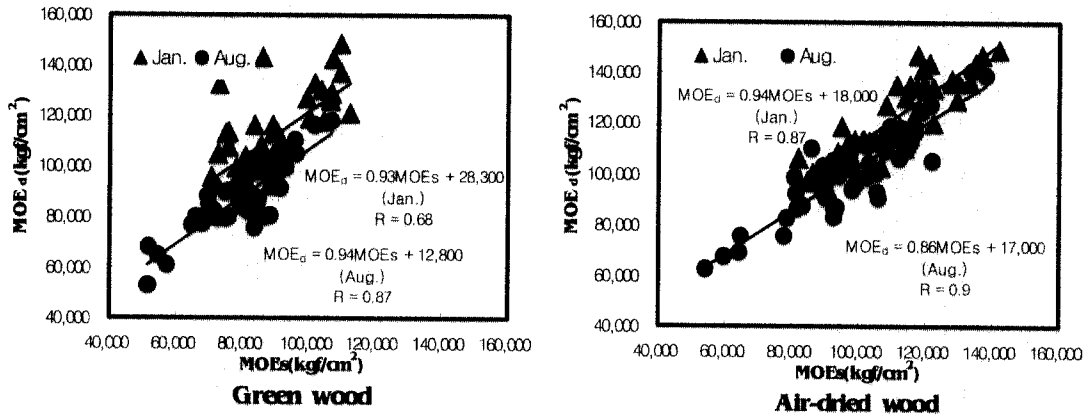


Fig. 1. The relationship between MOEs and MOE_d in *P. pubescens*. Note; The same as shown in table 2.

3.2.2. 동적 탄성계수

동적 탄성계수도 정적 탄성계수와 마찬가지로 생재와 기건재로 구분하여 Table 2에 나타내었다. 정적 휨탄성계수와 유사한 경향을 나타내었으나, 동적 탄성계수가 정적 탄성계수보다 일반적으로 알려진 바와 같이 10~25% 정도 높은 값을 나타내었다. Fig. 1은 8월과 1월의 대나무에서 생재의 정적 탄성계수와 동적 탄성계수의 상관관계와 기건재의 정적 탄성계수와 동적 탄성계수의 상관관계를 나타내었다. 생재의 상관관계 R값이 8월은 0.87, 1월은 0.68로 각각 나타났으며 기건재의 상관관계 R값이 8월은 0.90, 1월은 0.87로 생재 및 기건재의 정적 탄성계수 및 동적 탄성계수간에는 높은 상관관계를 나타내었다. 상관관계 회귀식의 기울기를 살펴보면, 8월과 1월 죽재의 생재 기울기가 각각 0.94와 0.93으로 거의 1에 가까운 기울기로 나타났으며, 또한 기건재의 경우 0.86과 0.94의 기울기를 나타내었다.

洪·卜(1995)은 소나무 압축응력재의 동적 탄성계수 및 내부마찰 시험결과, 압축응력재 및 정상재의 정적 탄성계수와 동적 탄성계수는 밀접한 상관관계를 나타내어 상관관계에서도 매우 높은 각각 0.93과 0.68을 나타내었고, 일반적인 목재의 경우처럼 동적 탄성계수 값이 정적 탄성계수보다 약간 높게 나타나 양단자유진동장치에 의한 탄성계수 측정이 가능하다고 보고하였다. 본 실험의 맹종죽재에서도 위와 같은

동일한 경향이 나타나 맹종죽재의 탄성계수 측정에서도 정적과 동적 두 방법이 모두 사용가능하였다.

3.2.3. 연화처리 후의 온도와 휨탄성계수 변화

(가) 온도 변화

비접촉식 적외선 온도계를 사용하여 측정한 온도를 처리 직후(A)와 처리 후 20초간 대기상태에 유지 후 측정된 것(B)를 Fig. 2에 나타내었다. 열수를 30, 60, 90분간 처리 하였을 때는 약 55℃, 20초간 유지 후의 온도는 15℃ 떨어진 40℃를 나타내었다. 생재와 열수 처리시의 부위별에 따른 차이는 나타나지 않았다. 그러나 두 조건의 마이크로웨이브조사 처리 시는 모두 열수처리보다 높은 온도를 나타내었다. 마이크로웨이브조사 10초, 20초 그리고 30초 처리 직후 각각 약 5℃, 85℃, 90℃를 나타내었으며, 최종 측정 후 20초 방치 후의 측정 결과에서는 각각 50℃, 57℃, 57℃를 나타내어 측정 시 20초와 30초간의 조사처리가 연화처리에 효과적이었으나 20초와 30초간 처리시간에 따라서는 온도 차이가 나타나지 않았다. 마이크로웨이브조사 처리 시 부위별에 따른 온도는 뚜렷한 차이를 나타내었는데 윗부위가 동일 시간 처리시 가장 낮게 나타났으며 아랫부위가 가장 높게 나타났다. 이것은 수분 함량의 차이에 따라서 열에 반응하는 것이 다르게 나타나기 때문으로 생각된다. 즉, 동일한 열원에 대하여 수분 함량이 많은 아랫부위의 온도 상승이 느

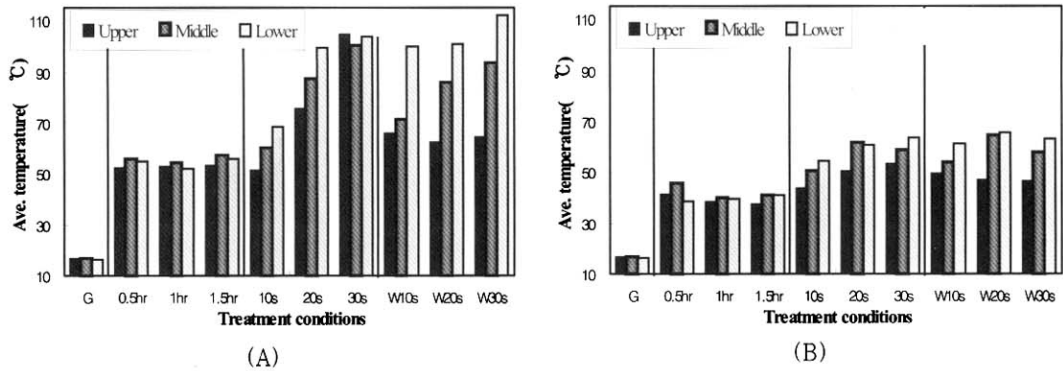


Fig. 2. Average temperature of the *P. pubescens* according to heat treatment conditions.

- (A): Temperature after heat treatment, (B): Temperature 20 seconds passed after heat treatment.

Notes: G: Green bamboo, 0.5 hr, 1 hr, 1.5 hr: Hot water treatment time during 0.5hr, 1hr and 1.5 hr, respectively, 10s, 20s, 30s: Microwave irradiation treatment time during 10, 20, 30 second, W10s, W20s, W30s: Microwave irradiation treatment time during 10, 20, 30 second for water saturated bamboos.

리고 반대로 수분이 적은 윗부위의 온도 상승이 빨라지기 때문에 부위별에 따라서 온도의 차이가 일어난 것으로 생각된다.

(나) 휘탄성계수 변화

죽령에 따라서는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나, 윗부위, 중간부위, 아랫부위의 위치에 따른 생체의 휘탄성계수의 차이는 뚜렷하여 8월과 1월 재를 이용하여 각 열처리 조건이 탄성계수에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 재의 연화정도는 8월과 1월의 휘탄성계수를 각각 100%로 하여 처리 후 변화를 %로 나타내어 연화율로 표기하였다. 연화율 계산은 아래의 식(4)를 사용하여 산출하였으며, 생체의 휘탄성계수와 연화 처리 후의 휘탄성계수를 연화율로써 Table 3과 Fig. 3, 4, 5에 나타내었다.

$$\text{연화율}(\%) = \frac{\text{생체MOE} - \text{처리후MOE}}{\text{생체MOE}} \times 100 \quad (4)$$

Fig. 3, 4, 5는 생체를 95°C의 열수로 30, 60, 90분간 처리한 것, 생체를 바로 마이크로웨이브조사 10초, 20초, 30초간 처리한 것, 1주일간 포수 후 10초, 20초, 30초간 마이크로웨이브조사 처리한 것을 죽령에 따라 1월과 8월로 구분하여 나타내었다.

95°C의 열수에서 30분, 60분, 90분 처리했을 경우, 처리시간이 길어질수록 연화율이 약간 높게 나타났지만 큰 차이점은 나타나지 않았다. 생체의 휘탄성계수보다 10~30% 정도의 연화율을 나타내었다.

2가지 처리조건의 마이크로웨이브 조사에 있어서 열수처리와 동일하게 처리시간이 길어질수록 연화율이 높게 나타났다. 그러나 2조건의 마이크로웨이브조사 10초, 20초, 30초가 열수처리보다 더 높은 연화율을 나타내었다. 마이크로웨이브조사 10초 처리의 경우 열수처리와 비슷하거나 약간 높은 연화율을 나타낸 반면에 20초와 30초의 경우 열수처리의 경우보다 2배 정도가 큰 50% 정도의 연화율을 나타내었다.

또한 생체를 바로 마이크로웨이브 조사한 것이 포수 후 처리한 것보다 연화율이 더 많이 증가하는 경향을 나타내는데 이것은 과도한 수분으로 인하여 온도 상승에 시간이 더 걸리기 때문에 일어난 결과라 생각된다. 그리고 30초간 처리했을 때 몇몇 시험편에서 표면에 탄화가 일어났기 때문에 생체를 20초 정도 마이크로웨이브조사 처리했을 경우에 연화율이 가장 높아 생체를 바로 마이크로웨이브조사 처리하는 것이 본 시험 방법 중에서 가장 효과적인 방법으로 판단되었다.

Table 3. MOEs properties of specimen in August and January

(unit: $\times 103 \text{ kgf/cm}^2$)

Age	Part	Hot water treatment(95°C)			Microwave irradiation(green)			Microwave irradiation(saturated)						
		MOE _{HWT}	0.5 hr	1 hr	15 hr	MOE _{MIG}	10s	20s	30s	MOE _{MIS}	W10s	W20s	W30s	
August	3 years	Upper	81(0)	67(17)	73(10)	72(11)	81(0)	64(21)	41(50)	40(51)	81(0)	62(23)	45(45)	45(45)
		Middle	72(0)	55(24)	60(16)	63(13)	72(0)	58(19)	37(49)	36(50)	72(0)	55(24)	42(41)	37(49)
		Lower	70(0)	54(23)	55(22)	60(14)	70(0)	67(4)	34(52)	31(56)	70(0)	48(32)	42(40)	30(57)
	2 years	Upper	98(0)	84(14)	81(17)	80(18)	98(0)	70(29)	50(49)	49(50)	90(0)	69(23)	53(42)	44(51)
		Middle	100(0)	85(15)	78(22)	82(18)	100(0)	62(27)	43(57)	51(49)	85(0)	58(32)	47(45)	43(49)
		Lower	88(0)	72(18)	66(25)	69(21)	88(0)	55(38)	37(58)	35(61)	81(0)	41(49)	50(39)	43(47)
	1 year	Upper	92(0)	92(12)	72(22)	77(16)	92(0)	60(35)	47(49)	41(55)	97(0)	60(38)	57(41)	49(50)
		Middle	95(0)	95(9)	74(22)	76(21)	95(0)	60(37)	45(53)	40(58)	101(0)	60(40)	51(50)	50(50)
		Lower	76(0)	76(13)	62(19)	64(16)	76(0)	62(18)	33(56)	33(56)	74(0)	48(36)	38(49)	45(40)
January	3 years	Upper	92(0)	83(11)	74(19)	73(21)	89(0)	67(24)	45(49)	46(48)	92(0)	49(47)	37(60)	41(56)
		Middle	94(0)	72(23)	68(27)	62(34)	74(0)	50(33)	33(56)	43(54)	94(0)	47(50)	35(63)	36(62)
		Lower	77(0)	66(15)	62(20)	55(29)	79(0)	53(33)	36(54)	35(55)	77(0)	48(38)	40(49)	39(50)
	2 years	Upper	82(0)	61(25)	63(23)	58(29)	95(0)	55(42)	34(65)	38(59)	82(0)	40(52)	40(51)	33(59)
		Middle	69(0)	51(26)	49(29)	55(19)	83(0)	65(21)	42(49)	41(51)	68(0)	37(46)	36(48)	41(40)
		Lower	65(0)	50(24)	47(27)	46(29)	79(0)	50(46)	33(58)	35(55)	65(0)	47(28)	36(45)	34(48)
	1 year	Upper	99(0)	85(14)	72(28)	73(27)	115(0)	68(40)	56(51)	50(57)	99(0)	65(35)	49(51)	47(53)
		Middle	71(0)	53(25)	54(25)	53(26)	88(0)	60(31)	50(43)	55(37)	71(0)	39(46)	37(50)	36(49)
		Lower	71(0)	54(24)	54(24)	52(27)	80(0)	46(42)	41(49)	44(45)	71(0)	47(34)	38(46)	33(53)

Notes: MOE_{HWT}: The average MOEs of hot water treatment, MOE_{MIG}: The average MOEs of microwave irradiation treatment(green), MOE_{MIS}: The average MOEs of microwave irradiation treatment(saturated), (): Efficiency of treatment MOE(%).

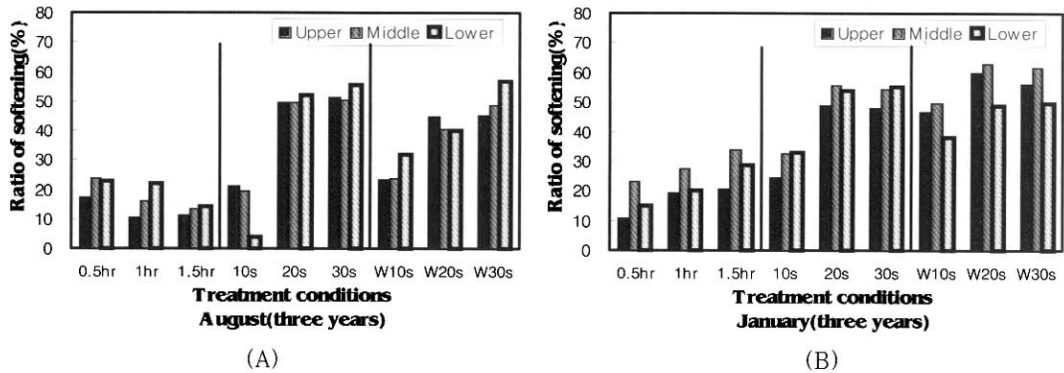


Fig. 3. The effect of heat treatment conditions on the MOEs in the specimen three years old.
Note: The same as shown in Fig. 2.

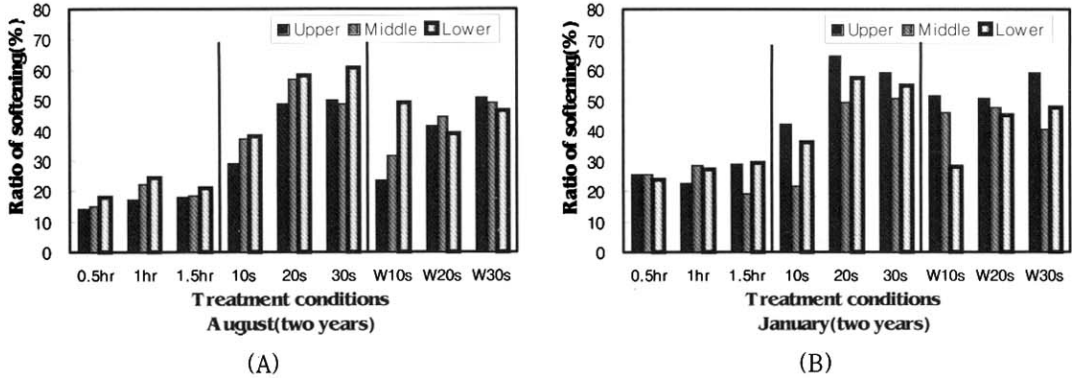


Fig. 4. The effect of heat treatment conditions on the MOEs in the specimen two years old.
Note: The same as shown in Fig. 2.

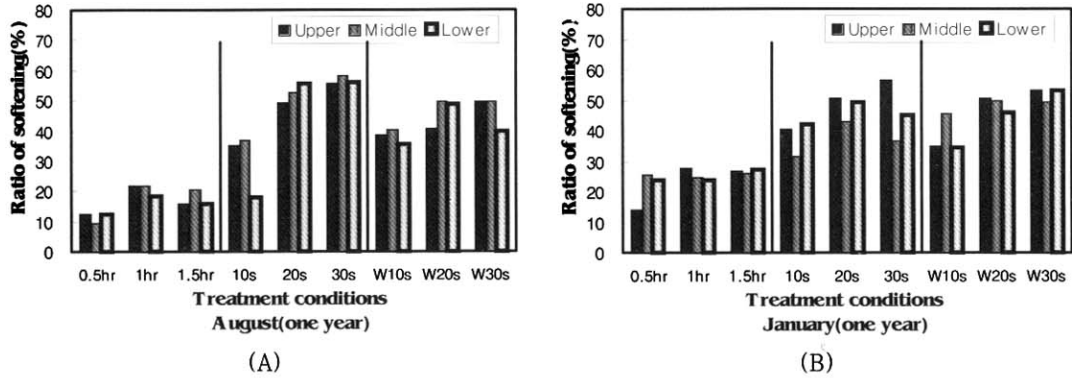


Fig. 5. The effect of heat treatment conditions on the MOEs in the specimen one year old.
Note: The same as shown in Fig. 2.

4. 결 론

열수 및 마이크로웨이브조사 처리가 벌채시기 및 부위별에 따른 맹종죽재의 물리적 기계적 특성을 평가하기 위하여 경남 진주시 가좌동에 위치한 남부임업시험장내에서 생육이 양호한 1, 2, 3년생의 죽재를 8월과 1월에 벌채하여 실험한 결과는 다음과 같다.

1) 생재의 밀도값은 1.00~1.15 g/cm³의 범위로, 벌채시기에 따라서는 1월이 8월보다 높은 생재밀도를 나타내었으며, 부위별로는 윗부위가 가장 높은 값을 다음으로 중간부위, 아랫부위 순이었다. 부위별에 따른 함수율은 밀도와 반대의 경향을 나타내었다.

2) 윗부위, 중간부위, 아랫부위의 부위에 따른 휨탄성계수의 차이는 윗부위가 가장 높은 값을 나타내었고 중간부위, 아랫부위 순으로 낮은 값을 나타내었으나, 벌채시기에 따라서는 큰 차이는 나타나지 않았다. 또한, 대부분의 휨탄성계수의 범위는 70,000~110,000 kgf/cm²이었다.

3) 양단자유진동을 이용한 동적 탄성계수의 범위는 80,000~130,000 kgf/cm²의 범위로 정적 탄성계수보다 약 10~25% 높게 나타났으며 8월과 1월의 상관관계 값이 각각 0.87과 0.68로 나타나 맹종죽재의 탄성계수측정에 비파괴적인 양단자유진동을 이용한 방법이 가능하였다.

4) 95℃의 열수로 처리했을 때의 연화율은 10~30%이었다.

5) 생재 및 포수 두 조건의 마이크로웨이브조사 처리 시간이 길어질수록 탄성계수가 낮아졌으며, 20와 30초를 처리했을 때 생재 휨탄성계수의 약 50% 이하로 낮아져 효율적인 연화처리를 위해서는 생재를 20초간 마이크로웨이브조사 처리했을 때가 가장 효과적인 방법이었다.

참 고 문 헌

1. 기상청. 1998, 1999, 2000. 기상연보
2. 소원태, 정우양, 이형우. 1996. 남양지역 왕대, 분죽 및 맹종죽의 성장특성. 한국가공학회지 7(1/2): 29~37.
3. 소원태, 정우양, 이형우. 1997. 남양지역 죽세공업의 생산성 향상과 소득증대를 위한 죽제품 디자인, 죽세가공 기술개발 및 공정개선에 관한 연구. 농림수산부 특정연구과제 최종보고서. pp. 16~56.
4. 이창복. 1973. 한국수목도감. 임업시험장. pp. 237.
5. 이화형 외12명. 2001. 국내산 대나무를 이용한 특수 보드 제품 개발에 관한 연구. 농림기술개발사업과제 최종보고서. pp. 2~14.
6. 산림청. 2002. 임업통계연보 제32호. pp. 12.
7. 홍병화, 변희섭. 1995. 소나무 압축응력재의 동 탄성율과 내부마찰. 목재공학 23(2): 32~36.
8. Fujimoto, Y., Y. Nakashima, J. Kawabe, Y. Mataka, and S. Kumon. 1998. Manufacturing of particle-board from bamboo particles-Influence of particle size on properties of bamboo particleboard. Mokuzaï Kogyo 53(5): 212~217.
9. Hodge, W. H. 1961. Bamboo in the United States. USDA Handbook. No 193. US Gov't. Print. Off., Washington, D.C.
10. Isagi, Y., T. Kawabara and K. Kamo. 1993. Biomass and net production in a bamboo *Phyllostachys bambusoides* stand. Ecol. Res. 8: 123~133.
11. Mori, M. 1987. Process of flattening bamboo pieces utilizing microwave heating. Mokuzaï Gakkaishi 33(8): 630~636.
12. Oshima, Y. 1961. Ecological studies of Sasa communities I. Productive structure of some of the Sasa communities in Japan. Bot. Mag. Tokyo 74: 199~210.
13. 野村降哉. 1980. 竹の生長について. 第35回 木研公開講演會において講演. pp. 6~33.