

熱處理 竹材의 動的粘彈性^{*1}

洪秉和²·卞熙燮²

Dynamic Viscoelasticity of Heat-Treated Bamboo^{*1}

Byung-Wha Hong^{*2} · Hee-Seop Byeon^{*2}

ABSTRACT

This study was undertaken to investigate the effect of heat treatment on the dynamic viscoelasticity of three species of *Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys nigra* var. *henonis* and *Phyllostachys pubescens*, grown in southern Korea. The bamboo was treated for 3~24 hours at 60~180°C, and then was treated in a climatic chamber for 3~48 hours at 40°C and 95% relative humidity. The results obtained are summarized as follows :

1. Dynamic Young's modulus decreased with increasing temperature and duration of the heat treatment.
2. Internal friction decreased with increasing treatment duration.
3. Moisture absorption decreased with increasing temperature and duration of the heat treatment.
4. Dynamic viscoelasticity decreased, whereas internal friction slowly increased, with increasing moisture content.

Keywords : Dynamic Young's modulus, moisture absorption, moisture content, internal friction, heat treatment

1. 緒 論

竹材는 引張과 靱強度가 매우 높고 彈力性, 振動性 割裂性, 通直性 등의 특성을 가지며 多量의 厚膜纖維는 竹 펄프 原料로서 이용되고 있다. 이와 같은 특성 때문에 옛날부터 건축재료와 大琴, 尺八, 橫笛, 笙 등의 樂器材料로 利用되었으며 竹細工과 竹材合板, 家具, 各種 室內裝飾材料 등 이용도가 높다. 木材를 熱處理하면 內部構造의 變化로 結晶領域이 增加되고 헤미셀룰로오스의 熱化學的 變化가 일어나 물에 不溶의 重合體가 형성되고 목

재성분의 분해 등에 의한 吸濕性(Hong, 1984; James, 1962; Sakamon, 1965; 末松, 1980), 收縮과 膨潤(Hong, 1984; Kollman, 1963; 末松, 1980), 치수 變化(Seborg, 1962; 末松, 1980), 機械的 性質(中尾, 1983; Norimoto, 1966; Pentony, 1955; 佐野, 1961; Sakamon, 1965; Suzuki, 1979·1980) 등에 영향을 미친다는 많은 연구보고가 있다.

그러나 合板, 集成材, 削片板, 纖維板 등의 제조과정에서 뿐만 아니라 材質改善을 위하여 熱壓할 경우가 많은데 이와 같은 熱處理가 재질 성질에 미치는 영향에 대

*1 접수 1995년 8월 4일 Received August 4, 1995

*2 경상대학교 농과대학 College of Agriculture, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea

한 연구보고는 적을 뿐만 아니라 竹材에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

그래서 본 연구는 죽재를 이용한 각종 악기제작이나 죽재단판을 이용한 합판을 제작할때 열처리 할 경우가 있는데 열처리한 죽재의 탄성율이 내부마찰에 미치는 영향을 알기 위하여 대표적인 우리나라산 죽재인 왕대, 솜대, 죽순대를 공시재로 열처리한 것을 吸濕率에 따른 動的粘彈性과 內部摩擦 등을 含水率변화에 대한 依存性을 측정 분석하여 그 결과를 보고하고자 한다.

2. 材料 및 方法

2.1 材 料

2.1.1 供試竹材의 形狀

供試竹材는 慶南 晉州市 加佐洞 所在 林業研究院 南部 林業試驗林에서 정상적으로 성장한 3년생의 왕대(*Phyllostachys bambusoides* S. et Z.)와 솜대(*Phyllostachys nigra* var. *henonis* Stapf) 그리고 죽순대(*Phyllostachys pubescens* Mazel) 등 3竹種에서 각각 3本の 竹桿의 基部에서 採取하여 공시재로 사용하였는데 그의 特徵은 표 1 과 같다.

Table 1. Characteristics of three bamboo species used in the experiment.

Species	Age (year)	Height (m)	Diameter of internodal butt (cm)	Number of node	MC in air dry (%)
<i>Phyllostachys bambusoides</i>	3	7.65	4.3	46	11.9
<i>Phyllostachys nigra</i> var. <i>henonis</i>	3	9.43	4.1	43	11.6
<i>Phyllostachys pubescens</i>	3	10.24	8.2	50	11.7

2.1.2 試片製作

測定用 試片은 각 竹種別로 胸高部位 상하의 節間에서 1.5~2 cm정도의 폭으로 割裂하여 40~50개의 試片을 제작하여 試片兩端에 두께 0.2mm, 직경 7mm의 둥근 軟鐵片을 붙여 기건된 죽재를 측정용 시편으로 하였다.

2.2 實驗方法

2.2.1 供試材의 熱處理 및 吸濕處理

供試竹材의 熱處理는 溫度 60℃, 120℃, 180℃별로 건조기에 넣어 온도별로 3, 6, 12, 24 시간별로 動的彈性率과 內部摩擦을 측정하고 浸化칼슘이 든 데시케이터

에 1週日間 방치하였다가 온도 40℃, 관계습도 95%의 恒溫恒濕槽內에서 3, 6, 12, 24, 48시간별로 흡습시킴서 動的粘彈性을 측정하였다.

2.2.2 實驗裝置

測定裝置는 勵振과 檢出이 電磁的 方法으로 시행되는 兩端 自由振動裝置를 적용하여 一端은 勵振하고 다른 일단은 檢出하는 共振法에 따라 發振器 출력과 檢出器 출력을 각각 陰極線 oscilloscope에 연결하여 발진기 周波數를 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 올려 檢출기 出力이 최대의 共振曲線을 그릴 때에 動的彈性率과 內部摩擦을 측정하였는데 사용된 발진기는 덴마크 B & k사 제품인 sine generator 1023을 사용하고 주파수측정은 universal counter time을 사용하였으며 oscilloscope는 미국 Hewlett Backard사 제품인 1740A(100MHz)를 사용하였다.

2.2.3 計算式

共振周波數와 動的영률 및 內部摩擦은 다음 식들에 의하여 계산되었다.

공진주파수 f 는 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f = f_0(1 + \alpha a^2/t^2) \dots\dots\dots(1)$$

여기에서

- f : 공진주파수,
- f_0 : 주파수카운터의 수치,
- α : 진동형식에 따라 결정되는 定數로서 8.2임,
- t : 시편의 길이,
- a : 시편의 두께

동적 영률 E 는 다음 식 (2)와 같다.

$$E = 48\pi^2 \rho t^4 f^2 / m^4 a^2 \dots\dots\dots(2)$$

여기에서

- ρ : 비중,
- m : 기본진동의 경우 4.73 임,
- a : 시편의 두께

내부마찰 Q^{-1} 은 진동 1사이클 중에서 물체의 내부에서 손실된 에너지를 진동 에너지로 제함으로서 얻어지는데 그의 측정방법은 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 공진곡선의 반값폭 Δf 와 f_0 로부터 다음 식으로 계산하였다.

$$Q^{-1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \dots\dots\dots(3)$$

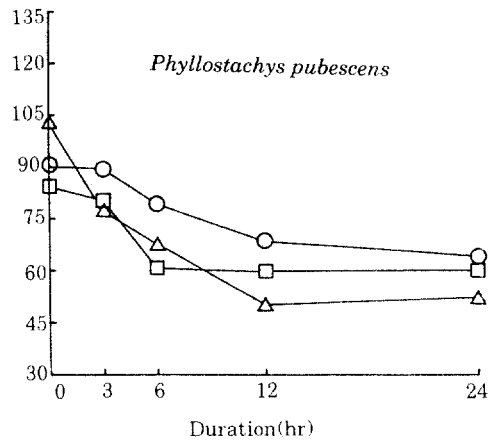
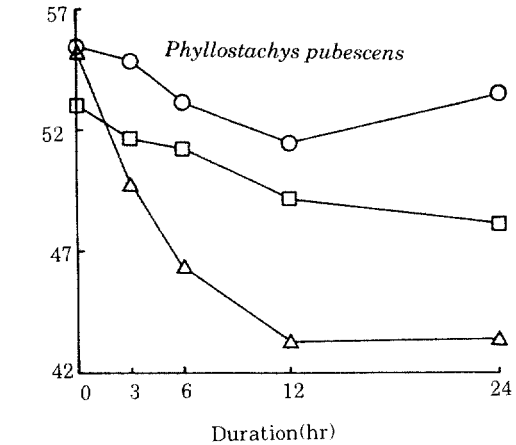
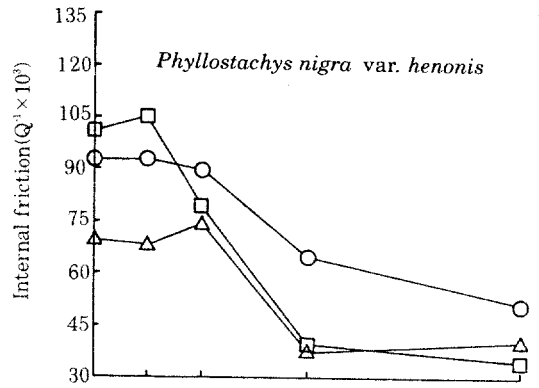
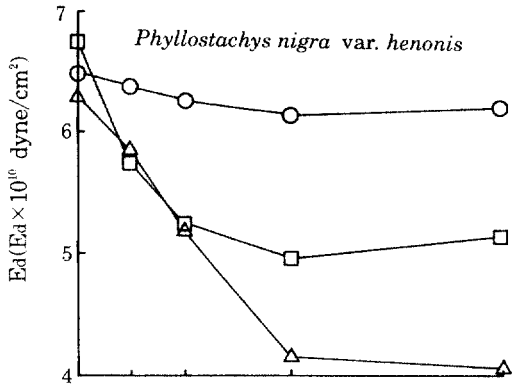
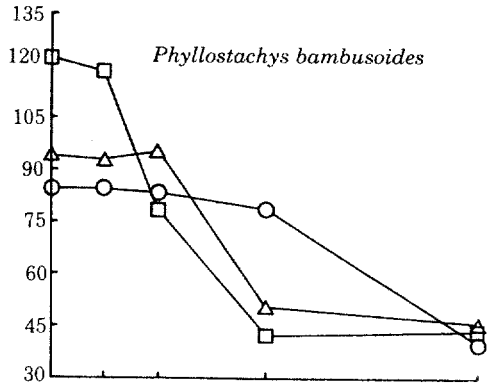
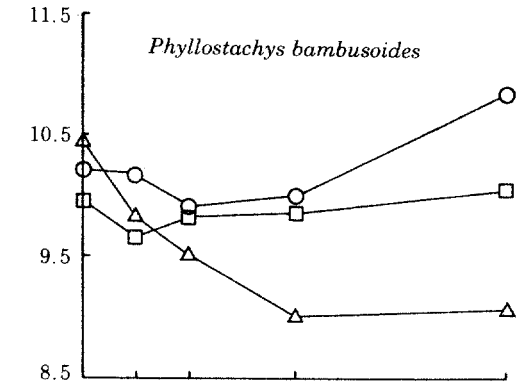


Fig. 1. Dynamic Young's modulus with heat treatment and duration in (*Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys nigra* var. *henonis* and *Phyllostachys pubescens*).
 Legend: ○ : Treated at 60 , △ : treated at 120 ,
 ↑ : treated at 180 .
 Note: Ed is dynamic modulus of elasticity.

Fig. 2. Internal friction with heat treatment and duration in (*Phyllostachys bambusoides*, *Phyllostachys nigra* var. *henonis* and *Phyllostachys pubescens*).
 Legend: The same as shown in Fig. 1.

3. 結果 및 考察

3.1 熱處理 竹材의 動的彈性率

왕대, 솜대, 죽순대를 60, 120, 180℃별로 3시간, 6시간, 12시간, 24시간 등 시간별로 熱處理한 결과 그림 1과 같은 결과를 얻었다. 이 결과에서 보는바와 같이 죽종에 따라 다소 차이는 있으나 낮은 온도인 60℃에서는 왕대와 솜대는 동적 탄성률이 낮아지지 않았으나 온도 120℃와 180℃에서는 시간의 경과에 따라 급격히 彈性率이 낮아짐을 알 수 있었다. 그런데 죽순대의 경우 60℃에서 24시간 처리 결과 동적 탄성률이 약간 증가하는 경향이고 120℃에서는 큰 변화를 보이지 않지만 180℃에서는 시간의 경과에 따라 낮아짐을 알 수 있었다. 즉 3竹種 다 같이 처리온도가 증가할수록 처리시간이 길수록 動的彈性率이 낮아졌는데 온도별로는 낮은 온도보다 높은 온도일수록 彈性率이 급격히 감소됨을 알 수 있었다.

이와 같은 결과는 열처리 목재의 시험 결과와 일치하는데 홍(1984)이 시트카 스프루스와 오동나무를 공시재로 온도 60, 90, 120, 150, 180℃별로 시험한 결과 온도가 증가할수록 動的彈性率이 낮아지는 결과와 일치함을 알 수 있었다. 따라서 비교적 낮은 온도에서 열처리를 받으면 초기 단계에서 비결정 셀룰로오스의 일부가 결정화되고 흡습성이 저하되며 탄성적 성질이 향상되는 것을

볼 수 있으나, 고온인 경우에는 셀룰로오스의 비결정화와 함유 성분의 분해 등에 의하여 탄성율이 저하되는 것으로 생각된다.

Table 2. Results of moisture absorption for *Phyllostachys bambusoides*.

Heat treatment	Duration of moisture absorption (Temp. 40℃, RH 95%)					
	3	6	12	24	48(hrs)	
Temp. (℃)	Duration (hr)	MC (%)				
60	3	6.91	9.05	9.56	11.65	12.79
	6	7.23	9.00	9.55	11.53	12.79
	12	7.24	8.76	9.40	11.36	12.69
	24	7.12	8.73	9.36	11.36	12.71
120	3	5.67	7.00	7.32	8.69	9.88
	6	5.68	6.99	7.31	8.70	9.93
	12	5.52	6.75	7.07	8.34	9.44
	24	5.59	6.77	7.18	8.53	9.67
180	3	5.21	5.53	5.86	7.07	8.16
	6	4.23	4.96	5.27	6.38	7.38
	12	4.29	4.88	5.18	6.24	7.22
	24	4.22	4.71	4.95	6.06	7.04
Control		7.47	9.35	10.02	12.15	13.27

Table 3. Results of moisture absorption for *Phyllostachys nigra* var. *henonis*.

Heat treatment	Duration of moisture absorption (Temp. 40℃, RH 95%)					
	3	6	12	24	48(hrs)	
Temp. (℃)	Duration (hr)	MC (%)				
60	3	7.00	9.19	9.74	11.73	13.10
	6	7.18	9.39	9.92	11.87	13.24
	12	7.22	9.43	10.00	12.10	13.35
	24	7.27	9.50	10.03	12.14	13.43
120	3	5.36	7.11	7.49	9.19	10.50
	6	5.59	7.55	7.91	9.69	11.12
	12	5.57	7.37	7.76	9.45	10.81
	24	5.33	6.96	7.38	9.02	10.35
180	3	4.15	5.05	5.35	6.49	7.57
	6	4.07	4.82	5.20	6.27	7.27
	12	3.79	4.48	4.83	5.86	6.76
	24	3.90	4.60	4.85	5.87	6.83
Control		7.05	9.43	10.02	12.27	13.46

Table 4. Results of moisture absorption for *Phyllostachys pubescens*.

Heat treatment	Duration of moisture absorption (Temp. 40℃, RH 95%)					
	3	6	12	24	48(hrs)	
Temp. (℃)	Duration (hr)	MC (%)				
60	3	7.65	9.29	9.79	11.46	12.83
	6	7.56	9.09	9.53	11.11	12.37
	12	7.55	9.14	9.62	11.27	12.60
	24	7.51	9.04	9.51	11.03	12.40
120	3	5.73	6.90	7.18	8.20	9.20
	6	5.50	6.62	6.91	7.88	8.81
	12	5.36	6.47	6.75	7.74	8.73
	24	5.55	6.80	7.11	8.23	9.34
180	3	4.08	4.93	5.17	6.13	7.03
	6	4.15	4.95	5.25	6.20	7.16
	12	4.02	4.66	4.89	5.76	6.60
	24	4.12	4.72	5.01	5.94	6.78
Control		7.25	8.94	9.42	11.06	12.43

3.2 熱處理 竹材의 内部摩擦

왕대, 솜대, 죽순대의 3죽종을 동적 탄성율과 동일한 조건에서 열처리하여 내부마찰을 측정한 결과 그림 2와 같은 결과를 얻었다. 이 결과에서 보는 바와 같이 열처리 온도에는 차이를 보이지 않으나 처리시간이 경과함에 따라 내부마찰이 감소됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 中尾(1983) 등이 목재의 内部摩擦에 대한 열처리 영향에 관한 연구에서 *Picea sitchensis* 와 *Pterocarpus sp.* 두 수종의 열처리에 의한 結晶性 및 動的粘彈性의 변화는 열처리의 初期段階에서 결정화도가 증가됨을 알고 *Picea sitchensis* 쪽이 *Pterocarpus sp.* 보다 결정부분이 열에 대하여 안정되고 準結晶部分의 양도 많아 内部摩擦이 낮아진다는 보고와 일치한다.

3.3 熱處理 竹材의 吸濕率

각 죽종별로 처리온도 60℃, 120℃, 180℃ 별로 3시간, 6시간, 12시간, 24시간 열처리한 죽재를 온도 40℃, 關係濕度 95%의 恒溫恒濕槽內에서 3, 6, 12, 24, 48시간 흡습시킨 결과 표 2, 3, 4와 같은 흡습율을 나타내었다.

이 결과에서 보는 바와 같이 3죽종 다 같이 처리온도가 높을수록 흡습율이 낮아짐을 볼 수 있는데 60, 120, 180℃에서 24시간 열처리한 것을 예를 들면 상기조건에

서 24시간 흡습시킨 결과 온도별로 왕대가 각각 11.36%, 8.53%, 6.06%의 흡습을 보였고 솜대가 12.14%, 9.02%, 5.87%, 그리고 죽순대가 11.03%, 8.23%, 5.94%로 죽종에 따른 큰 차이는 없으나 처리온도에 따라 상당한 흡습에 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

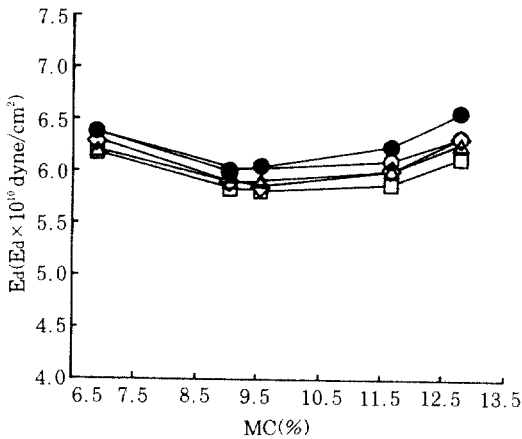


Fig. 3. Dynamic viscoelasticity in *Phyllostachys bambusoides*, heated for (0, 3, 6, 12, 24 hours) at 60 and the treated in a climatic chamber for 48 hours at 95% relative humidity and 40.

Legend: ●: No heated, ○: heated for 3 hours, □: heated for 6 hours, △: heated for 12 hours, ◇: heated for 24 hours.

Note: The same as shown in Fig. 1.

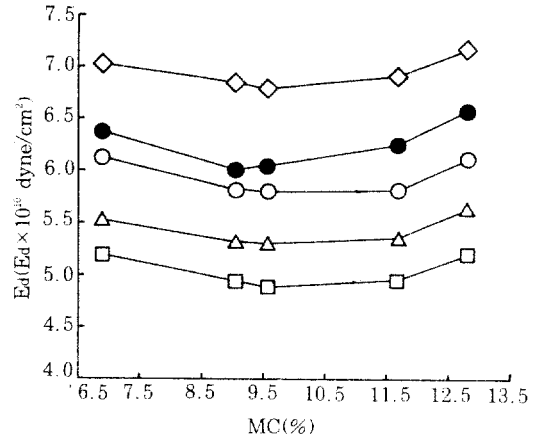


Fig. 4. Dynamic viscoelasticity in *Phyllostachys nigra* var. *henonis*, heated for (0, 3, 6, 12, 24 hours) at 120 and the treated in a climatic chamber for 48 hours at 95% relative humidity and 40.

Legend: The same as shown in Fig. 3.

Note: The same as shown in Fig. 1.

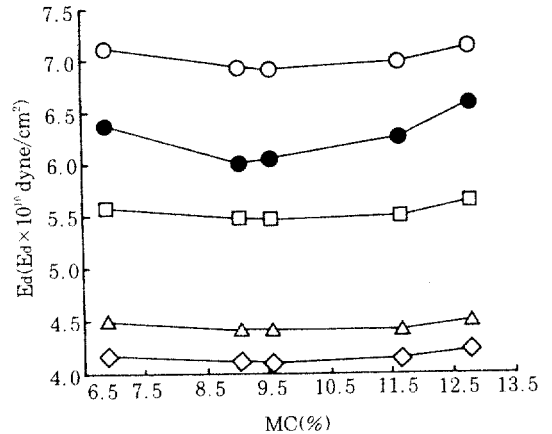


Fig. 5. Dynamic viscoelasticity in *Phyllostachys pubescens*, heated for (0, 3, 6, 12, 24 hours) at 180 and the treated in a climatic chamber for 48 hours at 95% relative humidity and 40.

Legend: The same as shown in Fig. 3.

Note: The same as shown in Fig. 1.

그러나 같은 온도에서 시간별 처리에 대한 결과는 큰 차이를 보이지 않는 특성을 나타내었다.

이와 같은 결과는 목재를 열처리하면 헤미셀룰로오스가 열에 분해되어 불용인 중합체가 형성되어 熱化學의 변화를 일으켜 結晶領域이 증가되어 흡습성이 감소되는 것으로 생각된다. 이와 관련된 연구로는 中尾(1983) 등은 *Picea sitchensis* 와 *Pterocarpus sp.* 의 두 수종에 열처리한 결과 결정성 및 동적 점탄성의 변화는 열처리의 초기단계에서 결정화도가 증가되고 결정부분이 열에 대하여 안정되고 準結晶部分의 양도 많다고 발표한 바 있다. 또한 홍(1984)이 열압제목재의 동적 점탄성에서 시트카 스프루스와 우리나라산 오동나무를 공시재로 열처리하여 흡습에 따른 동적 점탄성을 측정된 결과에 의하면 열처리 시간에 따른 흡습량은 큰 차이를 볼 수 없으나 처리온도에 따른 흡습량과 동적 점탄성에 큰 차이를 나타내었다고 밝힌 바와 일치할 뿐만 아니라 末松(1980) 등의 연구결과와도 일치함을 알 수 있었다.

3.4 動的粘彈性

熱處理한 試片을 온도 40℃, 關係濕度 95%에서 3, 6, 12, 24, 48시간별로 흡습시키면서 동적 점탄성을 측정된 결과 처리온도별로 함수율 변화에 따라 그림 3, 4, 5와 같은 결과를 얻었는데 축중별로 다 표현할 수는 없으나 습대의 결과에서 보는 바와 같이(그림 3, 4) 60℃와 120℃에서 시간 변화와 함수율변동에 대한 동적 점탄성의 값이 뚜렷한 경향을 보이지는 않으나 높은 온

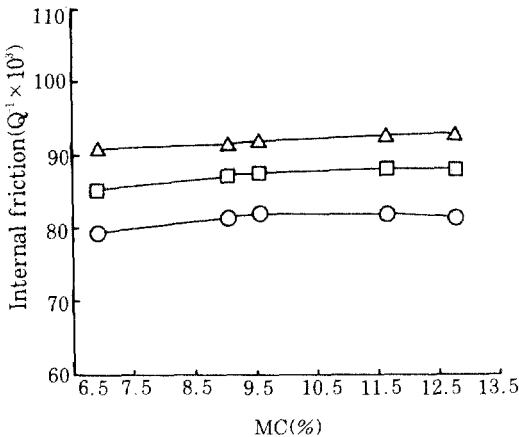


Fig. 6. Internal friction in *Phyllostachys bambusoides*, heated at (60, 120, 180) and the treated in a climatic chamber for 24 hours at 95% relative humidity and 40.

Legend: The same as shown in Fig. 1.

도인 180℃의 경우에는 처리시간 변화에 따른 동적 점탄성율이 처리시간이 길수록 시간차에 따른 뚜렷한 경향으로 낮아짐을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 높은 온도에서는 목재와 마찬가지로 축재에서도 재질의 熱로 인한 劣化로 생각된다. 그러나 함수율 증가에 따른 동적 점탄성율은 60℃와 120℃에서는 별다른 변화를 보이지 않으나 180℃에서는 낮아지는 경향을 나타내었다.

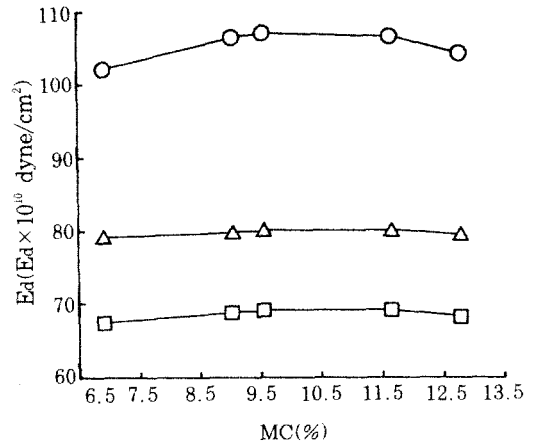


Fig. 7. Internal friction in *Phyllostachys nigra* var. *henonis*, heated at (60, 120, 180) and the treated in a climatic chamber for 24 hours at 95% relative humidity and 40.

Legend: The same as shown in Fig. 1.

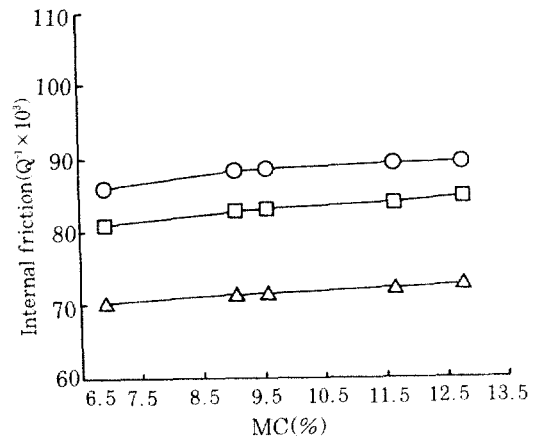


Fig. 8. Internal friction in *Phyllostachys pubescens*, heated at (60, 120, 180) and the treated in a climatic chamber for 24 hours at 95% relative humidity and 40.

Legend: The same as shown in Fig. 1.

參考文獻

홍(1984)이 시트카스푸루스와 오통나무를 공시재료 60, 90, 120, 150, 180℃ 온도별로 열처리 재를 흡수에 따른 동적 점탄성율을 측정 한 결과 60℃에서 150℃까지의 동적 점탄성의 변화는 극히 적었으나 180℃에 열처리한 것은 동적 점탄성율이 떨어진다는 연구 결과와 일치한다.

3.5 内部摩擦

熱處理後 흡수에 따른 3축중에 대하여 내부마찰을 측정 한 결과는 그림 6, 7, 8과 같이 처리온도에 따라 약간의 차이는 있으나 함수율이 증가함에 따라 내부마찰이 약간 증가하는 결과를 보였다. 왕대, 죽순대의 경우는 직선적인 완만한 증가를 보이지만 솜대의 경우에는 초기에는 약간 증가하다가 함수율 12% 전후에서 약간 낮아지는 경향을 보이거나 흡수한 함수율 범위가 기건재에 가까운 12% 전후이고 그 이상의 함수율 범위까지의 내부마찰을 측정하였다면 뚜렷한 경향을 알 수 있었으리 생각된다. 그러나 이와같은 결과는 홍(1984)이 시트카스푸루스와 오통나무를 공시재료 열처리한 후 흡수에 따른 내부마찰을 측정 한 결과 함수율이 증가함에 따라 내부마찰도 증가됨을 보고한 것과 일치하고 열처리 직후의 내부마찰을 측정 한 것과는 반대의 경향을 보이는 것이 특징으로 볼 수 있다.

中尾(1983) 등도 *Pterocarpus sp.* 판재에 160℃에서 20시간 열처리 한 것을 橫振動法으로 内部摩擦을 측정 한 결과 高周波數域에서 낮아짐을 보고 한 바가 있다. 또 末松(1980) 등이 열압체목재의 재질의 연구에서도 본 연구와 같은 결과를 보고한 바 있다.

4. 結 論

우리나라산 왕대, 솜대, 죽순대를 공시재료 온도 60, 120, 180℃에서 처리시간 3, 6, 12, 24시간 열처리하여 열처리 직후의 동적 탄성율과 내부마찰을 측정하고 온도 40℃ 관계습도 95%의 恒溫恒濕槽內에서 3, 6, 12, 24, 48시간동안 흡수시키면서 흡수에 의한 함수율 증가에 따라 변하는 동적 점탄성율과 내부마찰을 兩端自由振動裝置를 이용하여 측정 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 熱處理 온도가 높을수록 處理時間이 길수록 動的彈性率은 낮아졌다.
2. 熱處理 시간이 길 수록 内部摩擦은 낮아졌다.
3. 熱處理 죽계의 吸濕率은 처리온도가 높을수록 처리 시간이 길수록 吸濕量은 감소하였다.
4. 熱處理 죽계가 흡수에 의해 含水率이 增加하면 動的粘彈性率은 緩慢히 낮아졌으나 内部摩擦은 약간 증가하는 경향을 보였다.

1. Hong, B. W. 1984. Dynamic viscoelasticity of hot pressed wood. *Wood Sci. & Tech.* 12(4) : 3~11
2. James, W. L. 1961. Effect of temperature and moisture content on internal friction and speed of sound in Douglas fir. *Forest Prod. J.* 11(9) : 383~390
3. Kollman, F. and H. Schneider. 1963. Über das sorptions verhalten warmebehandelter Holz. *Holz als Roh und Werkstoff* 21 : 77~85
4. Matsumoto, T. 1962. Studies on the dynamic modulus E and the logarithmic decrement of wood by transverse vibration. *Bull. Kushu Univ. Forest* 36 : 186
5. Norimoto, M. and T. Yamada. 1966. Dynamic torsional viscoelasticity of wood. *Wood Research* 38 : 32~39
6. Pentoney, R. E. 1955. Effect of moisture content and grain angle on the internal friction of wood. *Comp. Wood* 2 : 131
7. Seborg, R. M., M. A. Millett and A. J. Stamm. 1962. Heat-stabilized compressed wood. U.S. Forest Prod. Lab., Rep. No. 1580
8. Sakamon, M. 1965. Effect of high-temperature drying on quality and strength of western hemlock. *Forest Prod. J.* 15(3) : 122~126
9. Suzuki, M. 1979. Internal friction in wood in relation to wood structure. *J. Japan Wood Res. Soc.* 25(10) : 623~629
10. Suzuki, M. 1980. Relationship between specific gravity and decrement of dynamic Young's modulus with water. *J. Japan Wood Res. Soc.* 26(5) : 299~304
11. 梶田 茂, 山田 正, 鈴木正治. 1961. 木材のレオロジーに関する研究(第1報)動的 ヤング率と含水率の關係について. *木材學會誌* 7(1) : 2933
12. 中尾哲也, 岡野 健, 淺野猪久夫. 1983. 木材の損失正接におよぼす熱處理の影響. *木材學會誌* 29(10) : 657~662
13. 佐野益太郎. 1961. 木材の機械的性質に関する溫度の影響. *木材學會誌* 7(4) : 147~150
14. 末松充彦, 平井信之, 齊藤藤市. 1980. 熱壓縮木材の性質(第1報) 吸濕, 吸水性および動的粘彈性. *木材學會誌* 26(9) : 581~586