

熱處理 木材의 動的粘彈性 *¹

洪 秉 和 *²

Dynamic Viscoelasticity of Heat Treated Wood *¹

Byung Wha Hong *²

Summary

The effect of heat treatment on the dynamic viscoelasticity of the woods of *Picea sitchensis* and *Paulownia coreana* which have been for musical instruments was investigated. The treatment was made in a temperature range of 60–180°C for periods of 3 hours to 24 hours. The results obtained are summarized as follows: Moisture absorption decreased with increasing temperature. Dynamic Young's modulus decreased with increasing temperature and hours. Dynamic viscoelasticity decreased with increasing moisture content, but internal friction increased with increasing amount of moisture content.

Key words: heat treatment, dynamic viscoelasticity, *Picea sitchensis*, *Paulownia coreana*, musical instrument, temperature range, moisture absorption, dynamic Young's modulus, moisture content, internal friction.

1. 緒 言

木材는 複雑한 構造를 가진 天然高分子 材料로서 그의 粘彈性은 셀룰로오스 結晶構造에 따라 크게 影響을 받는다.

木材는 高溫에서 多糖類가 化學的 分解를 일으켜 單糖類나 다른 物質로 合成되어 強度를 低下시키는 데 이와 같은 현상은 木材内の 天然酸과 水分의 存在下에 더욱 促進되며 溫度가 增加하면 셀룰로오스의 格子構造가 分子振動에 의하여 熱膨脹되면서 強度가 低下된다. 이와 같은 結果로 機械的性質^{6,7,8,9}과 吸濕性^{1,2,3,4,5,9,10}에 影響을 미친다는 많은 研究報告가 있다. 木材의 改質을 考慮할 때에 熱處理에 의한 셀룰로오스의 結晶化를 變化시켜 木材의 物性を 改善할 수 있음을 着眼하여 熱處理에 의한 木材의 動的粘彈성을 處理溫度別로 動的彈性率을 구하고 吸濕處理로 含水率 增加에 따른 動的粘彈성과 内部摩擦을 檢討하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試材料 및 熱處理條件

供試樹種은 樂器用材로 輸入한 시트카 스푸루스 (*Picea sitchensis*) 와 우리나라產 오동나무(*Paulownia coreana*) 로서 長期間 實驗室內에서 氣乾된 材를 使用하였다.

試片의 크기는 10 mm(두께) × 20 mm(폭) × 300 mm(길이)로 處理溫度別, 處理時間別 그리고 樹種別로 總 120 個의 試片을 氣乾材때의 動的彈性率을 測定하여 $\pm 0.001 \text{ dyne/cm}^2$ ($\times 10^{11}$)의 편차를 가진것을 處理時間別로 3 個씩 供試材料로 하였다. 위의 試片을 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 關係濕度 $65 \pm 2\%$ 로 조정된 恒溫恒濕槽內에서 調濕處理한 材를 다음과 같은 條件으로 熱處理 하였다.

熱處理 溫度 : 60°C, 90°C, 120°C, 150°C, 180°C

熱處理 時間 : 3 時間, 6 時間, 12 時間, 24 時間

*¹ 接受 3 月 20 日 Received March 20, 1986.

*² 慶尙大學校 農科大學 College of Agri., Gyeongsang National University, Chinju 620, Korea.

2.2 吸濕處理

熱處理한 試片을 溫度 40℃, 關係濕度 60%, 70%, 80%, 90%, 95%條件下에서 各各 24時間 恒溫恒濕槽內에서 吸濕시키면서 吸濕에 따른 共振周波數, 動的粘彈性 및 內部摩擦의 變化를 測定하였다.

2.3 動的彈性率과 內部摩擦의 測定

測定裝置 및 計算式은 木材工學會誌 第13卷3號 pp.34~40(1985)와 같다.

24時間씩 吸濕시킨 含水率 測定 結果는 表1, 2와 같다. 이 結果에 의하면 處理時間別로는 큰 差를 볼 수 없으나 處理溫度的 增加에 따라 吸濕性이 減少됨을 알 수 있으며 樹種別로는 시트카 스푸루스가 오동나무에 비하여 吸濕性이 약간 높게 나타남을 알 수 있다. 이와같은 結果에 대하여 Salmon⁹는 헤미셀룰로오스가 熱에 의하여 分解되기 때문에 吸濕性이 減少된다고 發表한 바와 一致한다.

3. 結果 및 考察

3.1 熱處理材의 吸濕性

處理溫度 60℃, 90℃, 120℃, 150℃, 180℃ 別로 處理時間 3, 6, 12, 24時間 處理한 後 溫度 40℃, 關係濕度 60%, 70%, 80%, 90%, 95%別로 각각

3.2 熱處理 直後의 動的彈性率 및 內部摩擦

그림 1, 2에서 보는 바와 같이 시트카 스푸루스와 오동나무 다 같이 熱處理 溫度和 處理時間이 길어짐에 따라서 動的彈性率의 減少되어 지는 것은 같은 傾向을 보이지만 시트카 스푸루스는 處理溫度 90℃와 120℃ 때의 差는 적지만 일정한 間격으로 動的彈性率의 떨어진다. 오동나무의 경우에도 60℃에서 150℃까지는 극히 좁은 間격을 보이다가 180℃에서

Table 1. Results of moisture absorption tests for *Picea sitchensis*

Relative humidity (%)		60 % RH	70 % RH	80 % RH	90 % RH	95 % RH
Heating Temp. (°C)	Heating Time(hr)	M.C (%)	M.C (%)	M.C (%)	M.C (%)	M.C (%)
60	3	9.1	9.2	10.5	10.6	11.0
	6	9.0	9.1	10.4	10.6	11.0
	12	8.8	8.9	10.2	10.4	10.8
	24	8.8	8.9	10.3	10.4	10.8
90	3	8.0	8.1	9.5	9.7	10.0
	6	8.0	8.1	9.4	9.7	10.1
	12	7.9	8.2	9.5	9.7	10.1
	24	8.3	8.6	9.9	10.0	10.5
120	3	8.1	8.3	9.6	9.8	10.2
	6	7.8	8.2	9.5	9.7	10.1
	12	7.7	8.2	9.5	9.7	10.1
	24	7.7	8.2	9.5	9.7	10.1
150	3	6.0	6.9	8.1	8.3	8.6
	6	6.3	7.1	8.2	8.5	9.0
	12	6.5	7.2	8.4	8.6	8.9
	24	6.4	7.3	8.4	8.6	8.9
180	3	4.1	6.7	7.8	8.0	8.3
	6	3.9	6.3	7.4	7.6	7.9
	12	3.2	6.0	7.0	7.2	7.6
	24	2.3	5.7	6.6	6.8	7.1

Table 2. Results of moisture absorption tests for *Paulownia coreana*

Relative humidity(%)		60 % RH M. C (%)	70 % RH M. C (%)	80 % RH M. C (%)	90 % RH M. C (%)	95 % RH M. C (%)
Heating Temp.(°C)	Heating Time(hr)					
60	3	8.0	8.1	9.6	9.9	10.3
	6	7.9	8.0	9.8	10.0	10.5
	12	8.0	8.2	9.9	10.2	10.7
	24	7.8	8.1	9.4	9.6	10.2
90	3	7.8	7.9	9.6	9.7	10.4
	6	7.5	7.7	9.3	9.5	10.1
	12	7.4	7.5	9.1	9.3	9.9
	24	7.5	7.6	9.1	9.3	10.0
120	3	7.6	7.8	9.4	9.5	10.3
	6	7.4	7.5	9.2	9.4	10.1
	12	7.5	7.6	9.2	9.4	10.1
	24	7.4	7.6	9.2	9.3	9.9
150	3	6.7	6.8	8.4	8.5	9.5
	6	6.4	6.5	8.3	8.4	8.6
	12	6.7	6.8	8.2	8.3	8.9
	24	6.3	6.4	7.6	8.0	8.6
180	3	4.3	5.3	6.6	6.7	7.1
	6	4.4	5.1	5.9	6.6	6.8
	12	3.9	4.8	5.8	5.9	6.3
	24	3.5	4.8	5.8	5.9	6.3

動的彈性率의 급격히 減少됨을 볼 수 있다. 中尾⁶⁾는 木材의 損失正接에 대한 熱處理 影響에 관한 研究에서 *Picea sitchensis*와 *Pterocarpus sp.* 두 樹種의 熱處理에 의한 結晶性 및 動的粘彈性的 變化는 熱處理 初期段階에서 結晶化度가 增加됨을 알고 *Picea sitchensis* 쪽이 *Pterocarpus sp.* 보다 結晶部分이 熱에 대하여 安定되고 準結晶 部分의 量도 많다고 發表한 바 있다. 또한 一般的으로 比重이 熱傳導에 직접 크게 關係하므로 오동나무가 시트카스푸루스에 비하여 比重이 극히 낮은 結果로 위와 같은 현상이 發生되는 것으로 생각된다. 그러나 内部摩擦과 共振周波는 熱處理 溫度와 時間에 뚜렷한 傾向을 찾아 볼 수 없었다.

3.3 熱處理後의 吸濕과 動的粘彈性

處理溫度 및 時間別로 熱處理한 試片을 溫度 40°C, 關係濕度 60%, 70%, 80%, 90%, 95% 별로

調整된 恒溫恒濕槽內에서 24時間씩 각각 吸濕시켜 含水率 變化에 따른 動的粘彈性的을 分析한 結果는 表 3, 4와 같다. 이 結果에 의하면 熱處理 時間에 따른 吸濕量은 큰 差를 볼 수 없으나 處理溫度에 따라 吸濕量과 動的粘彈性的에 큰 差를 보였는데 시트카스푸루스의 경우 處理溫度 90°C, 24時間 處理한 것이 1.30×10^{11} dyne/cm로 가장 높은 粘彈性的을 보인다. 오동나무는 處理溫度 150°C, 3時間 處理한 것이 0.514×10^{11} dyne/cm로 가장 큰 값을 보였으며 處理溫度 60°C에서 150°C까지의 動的粘彈性的의 變化는 극히 적었으나 180°C 處理에서 급격히 動的粘彈性的이 떨어짐을 볼 수 있었는데 오동나무는 比重이 극히 낮기 때문에 熱에 對한 抵抗이 150°C까지는 높은 것으로 생각된다. 그리고 吸濕에 따른 含水率 變化도 오동나무가 시트카스푸루스에 비하여 적게 吸濕하는 것으로 나타났는데 處理溫度가 높을 수록 吸濕量이 떨어짐을 알 수 있었다.

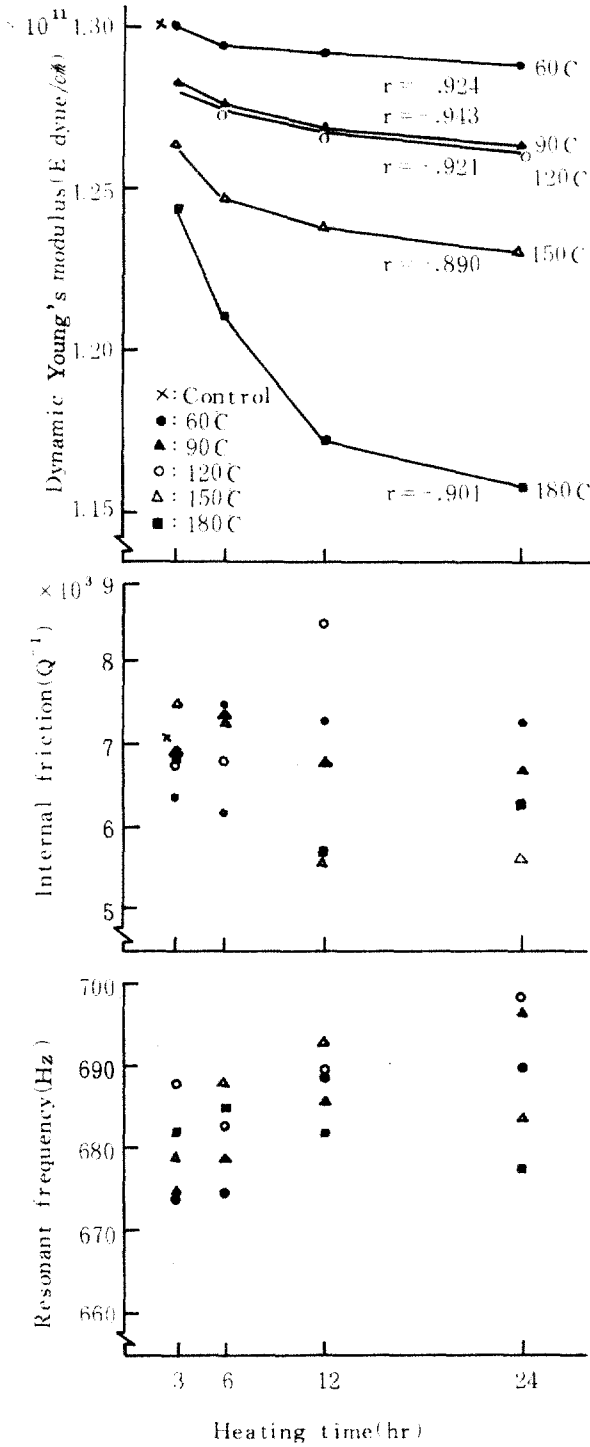


Fig.1. Effect of heat-treatment on dynamic Young's modulus, internal friction and resonant frequency of *Picea sitchensis*.

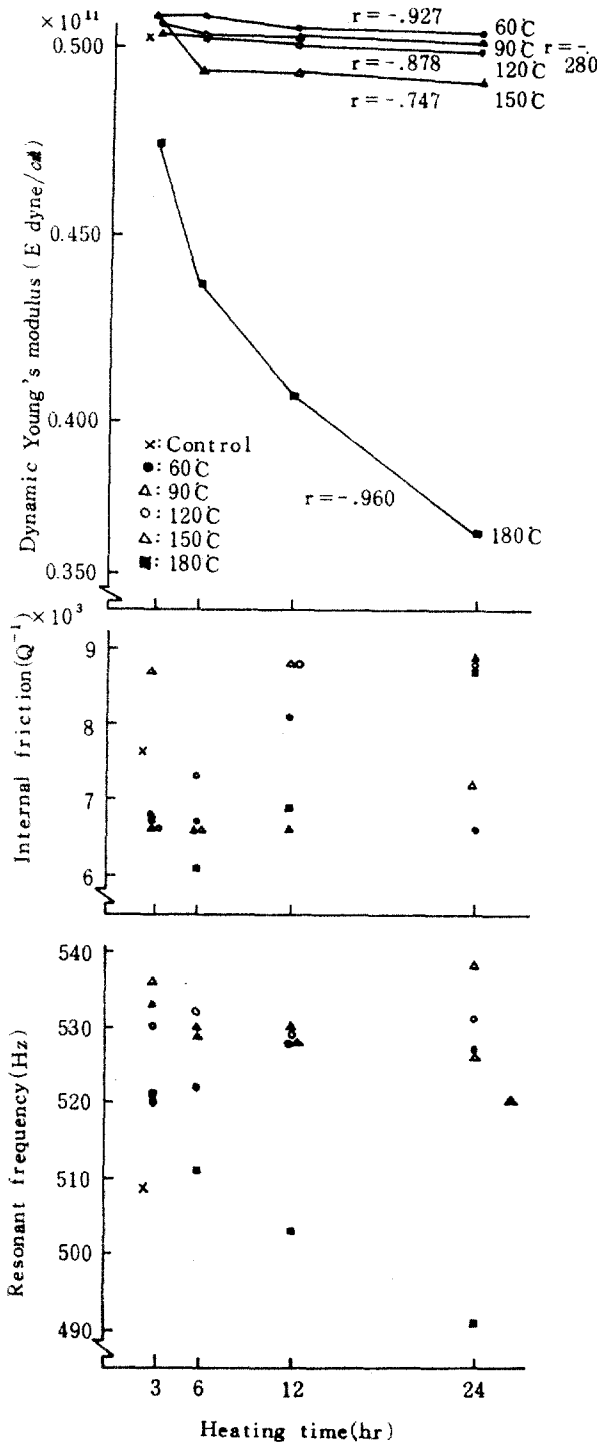


Fig.2. Effect of heat-treatment on dynamic Young's modulus, internal friction and resonant frequency of *Paulownia coreana*.

Table 3. Linear regression equations for estimating dynamic Young's modulus and internal friction in relation to moisture content of *Picea sitchensis*

Heating temp.(°C)	Heating time(hr.)	Moisture content(%)			Dynamic Young's modulus ($E \times 10^{11}$ dyne/cm ²)				Internal friction($Q^{-1} \times 10^3$)					
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Linear regression equation	R	Max.	Min.	Mean	Linear regression equation	R
60	3	11.0	9.1	10.08	1.301	1.280	1.288	$\hat{Y}=1.373-8.474X$	-.912*	7.8	5.3	6.74	$\hat{Y}=-3.327+.999X$	.919*
	6	11.0	9.0	10.02	1.302	1.279	1.289	$\hat{Y}=1.371-8.203X$	-.918*	7.7	6.4	7.18	$\hat{Y}=3.019+.415X$	.695*
	12	10.8	8.8	9.82	1.307	1.288	1.296	$\hat{Y}=1.367-7.194X$	-.921*	8.8	6.4	7.46	$\hat{Y}=1.728+.936X$	.854*
	24	10.8	8.8	9.84	1.312	1.292	1.300	$\hat{Y}=1.362-6.208X$	-.834*	7.0	6.9	6.96	$\hat{Y}=6.389+.058X$	.979*
90	3	10.0	8.0	9.06	1.302	1.278	1.291	$\hat{Y}=1.369-8.550X$	-.898*	8.3	7.0	7.54	$\hat{Y}=3.236+.475X$	.811*
	6	10.1	8.0	9.06	1.308	1.281	1.293	$\hat{Y}=1.378-9.430X$	-.979*	8.3	7.0	7.66	$\hat{Y}=2.098+.614X$	.902*
	12	10.1	7.9	9.08	1.305	1.283	1.296	$\hat{Y}=1.371-8.190X$	-.913*	8.2	6.9	7.44	$\hat{Y}=6.105+.147X$	.273*
	24	10.5	8.3	9.46	1.313	1.292	1.301	$\hat{Y}=1.382-8.505X$	-.982**	7.5	6.8	7.00	$\hat{Y}=5.083+.203X$	.685*
120	3	10.2	8.1	9.20	1.306	1.283	1.294	$\hat{Y}=1.371-8.305X$	-.925*	8.2	6.9	7.32	$\hat{Y}=3.395+.427X$	.736*
	6	10.1	7.8	9.06	1.309	1.290	1.298	$\hat{Y}=1.363-7.144X$	-.963*	8.2	7.0	7.28	$\hat{Y}=4.218+.338X$	.655*
	12	10.1	7.7	9.04	1.303	1.285	1.295	$\hat{Y}=1.349-5.997X$	-.931*	8.2	6.9	7.44	$\hat{Y}=2.611+.534X$	.794*
	24	10.1	7.7	9.04	1.308	1.292	1.299	$\hat{Y}=1.357-6.442X$	-.995**	8.7	6.8	7.22	$\hat{Y}=2.721+.498X$	.621*
150	3	8.6	6.0	7.58	1.300	1.277	1.289	$\hat{Y}=1.347-7.573X$	-.913*	8.2	7.0	7.40	$\hat{Y}=5.294+.278X$	.569*
	6	9.0	6.3	7.82	1.283	1.261	1.273	$\hat{Y}=1.326-6.889X$	-.944*	7.7	6.9	7.12	$\hat{Y}=5.536+.203X$	.680*
	12	8.9	6.5	7.92	1.282	1.262	1.273	$\hat{Y}=1.329-6.982X$	-.920*	7.5	6.8	7.00	$\hat{Y}=5.865+.143X$	.503*
	24	8.9	6.4	7.92	1.286	1.267	1.278	$\hat{Y}=1.330-6.601X$	-.908*	7.6	7.0	7.14	$\hat{Y}=6.218+.116X$	.465*
180	3	8.3	4.1	6.98	1.277	1.270	1.273	$\hat{Y}=1.284-1.574X$	-.976*	7.6	7.0	7.22	$\hat{Y}=7.602-.055X$	.311*
	6	7.9	3.9	6.62	1.239	1.229	1.233	$\hat{Y}=1.248-2.264X$	-.917*	8.2	6.9	7.20	$\hat{Y}=6.285+.138X$	.403*
	12	7.6	3.2	6.20	1.200	1.185	1.192	$\hat{Y}=1.210-2.896X$	-.951*	8.2	7.0	7.26	$\hat{Y}=6.603+.106X$	.357*
	24	7.1	2.3	5.70	1.179	1.170	1.173	$\hat{Y}=1.183-1.782X$	-.986**	8.1	7.0	7.40	$\hat{Y}=8.405-.176X$	.725*
Control		14.1	11.4	12.78	1.300	1.290	1.295	$\hat{Y}=1.349-4.180X$	-.958*	8.8	7.0	7.52	$\hat{Y}=0.053+.584X$	.811*

* : Significant at 5%, ** : Significant at 1%.

Table 4. Linear regression equations for estimating dynamic Young's modulus and internal friction in relation to moisture content of *Paulownia coreana*

Heating temp.(C)	Heating time(hr.)	Moisture content(%)				Dynamic Young's modulus ($E \times 10^{11}$ dyne/cm ²)				Internal friction ($Q^{-1} \times 10^3$)				
		Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Linear regression equation	R	Max.	Min.	Mean	Linear regression equation	R
		3	10.3	8.0	9.18	.506	.496	.502	$\hat{Y} = .528 - 2.764 X$	-.776*	9.4	7.0	8.00	$\hat{Y} = 4.090 + .426 X$	.488*
60	6	10.5	7.9	9.24	.504	.494	.500	$\hat{Y} = .526 - 2.877 X$	-.917*	9.4	6.9	7.74	$\hat{Y} = 0.932 + .737 X$	.870*
	12	10.7	8.0	9.40	.503	.495	.501	$\hat{Y} = .521 - 2.224 X$	-.809*	9.3	7.6	8.12	$\hat{Y} = 3.892 + .450 X$	.744*
90	24	10.2	7.8	9.02	.505	.497	.502	$\hat{Y} = .529 - 2.928 X$	-.918*	7.7	6.8	7.02	$\hat{Y} = 4.538 + .275 X$	.736*
	3	10.4	7.8	9.08	.506	.495	.500	$\hat{Y} = .535 - 3.825 X$	-.989**	8.4	6.8	7.46	$\hat{Y} = 2.298 + .569 X$	.979*
	6	10.1	7.5	8.82	.507	.495	.500	$\hat{Y} = .538 - 4.339 X$	-.988**	9.3	6.9	7.66	$\hat{Y} = 5.402 + .256 X$	.301*
	12	9.9	7.4	8.64	.509	.495	.502	$\hat{Y} = .544 - 4.921 X$	-.984**	8.4	6.9	7.44	$\hat{Y} = 6.653 + .091 X$	.167*
120	24	10.0	7.5	8.70	.509	.498	.503	$\hat{Y} = .536 - 3.827 X$	-.976*	8.5	6.8	7.38	$\hat{Y} = 2.761 + .531 X$	.814*
	3	10.3	7.6	8.92	.506	.496	.501	$\hat{Y} = .533 - 3.588 X$	-.997**	9.3	6.8	7.48	$\hat{Y} = 2.958 + .507 X$	.562*
	6	10.1	7.4	8.72	.506	.497	.502	$\hat{Y} = .530 - 3.161 X$	-.979*	6.9	6.0	6.70	$\hat{Y} = 4.740 + .225 X$	.689*
	12	10.1	7.5	8.76	.506	.497	.502	$\hat{Y} = .533 - 3.597 X$	-.999**	7.8	6.8	7.04	$\hat{Y} = 4.661 + .272 X$	.733*
150	24	9.9	7.4	8.68	.510	.498	.503	$\hat{Y} = .544 - 4.700 X$	-.992**	9.3	6.9	7.94	$\hat{Y} = 6.214 + .199 X$	.243*
	3	9.5	6.7	7.98	.519	.508	.514	$\hat{Y} = .544 - 3.749 X$	-.996**	9.1	6.7	7.22	$\hat{Y} = 2.061 + .647 X$	.739*
	6	8.6	6.4	7.64	.507	.496	.501	$\hat{Y} = .532 - 3.998 X$	-.946*	8.4	6.7	7.08	$\hat{Y} = 4.240 + .372 X$	.549*
	12	8.9	6.7	7.78	.507	.497	.502	$\hat{Y} = .529 - 3.412 X$	-.898*	6.9	6.7	6.78	$\hat{Y} = 6.134 + .083 X$	.971*
180	24	8.6	6.3	7.38	.507	.497	.502	$\hat{Y} = .530 - 3.720 X$	-.973*	6.8	6.6	6.68	$\hat{Y} = 6.082 + .081 X$	.974*
	3	7.1	4.3	6.00	.486	.480	.482	$\hat{Y} = .496 - 2.279 X$	-.991**	7.7	6.8	7.02	$\hat{Y} = 5.785 + .206 X$	.626*
	6	6.8	4.4	5.76	.446	.440	.443	$\hat{Y} = .457 - 2.561 X$	-.959*	7.8	6.9	7.30	$\hat{Y} = 4.991 + .401 X$	.885*
	12	6.3	3.9	5.34	.415	.410	.412	$\hat{Y} = .423 - 2.067 X$	-.973*	7.1	7.0	7.06	$\hat{Y} = 6.783 + .052 X$	.926*
Control	24	6.3	3.5	5.26	.377	.372	.375	$\hat{Y} = .381 - 1.265 X$	-.742*	8.1	7.2	7.74	$\hat{Y} = 5.676 + .392 X$	.898*
		13.0	10.5	11.84	.502	.491	.498	$\hat{Y} = .548 - 4.227 X$	-.916*	9.5	7.6	7.98	$\hat{Y} = 0.674 + .617 X$	.686*

* : Significant at 5%, ** : Significant at 1%.

그림 3, 4는 12時間 熱處理한 動的粘彈성을 處理溫度別로 나타낸 것인데 시트카 스푸루스의 경우 處理溫度가 增加함에 따라 150℃까지 動的粘彈성이 약간씩 낮아지다가 180℃에서 급격히 떨어졌으며 오동나무도 150℃까지 극히 미미하게 動的粘彈성이 낮아지다가 180℃에서 급격히 떨어지는 兩樹種 같은

傾向을 보였다.

3.4 熱處理後의 吸濕과 内部摩擦

熱處理後 吸濕에 따른 内部摩擦의 測定 結果는 表 3, 4와 같이 含水率이 增加하면 内部摩擦도

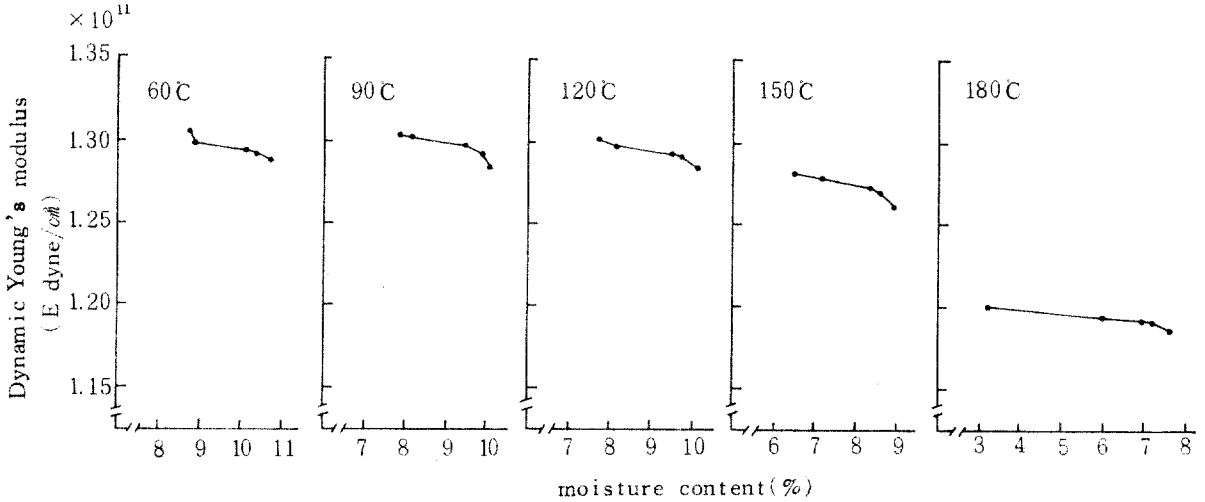


Fig.3. Relationship between moisture content and dynamic Young's modulus of *Picea sitchensis* at 12 hours heat-treatment.

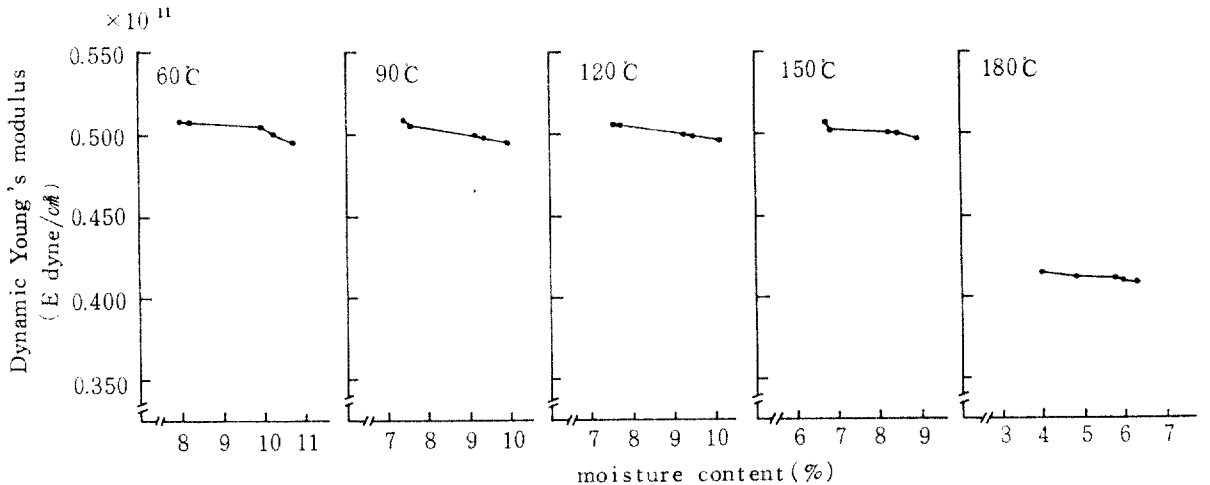


Fig.4. Relationship between moisture content and dynamic Young's modulus of *Paulownia coreana* at 12 hours heat-treatment.

增加되는 것은 供試樹種 다 같은 傾向이었으나 시트카 스푸루스의 處理溫度 180℃, 24時間 處理한 것은 相關係數 -0.725를 나타 내었는데 높은 溫度에서 長時間 處理하면 内部摩擦이 낮아짐을 알 수

있는데 오동나무에서는 이와같은 현상을 발견할 수 없었다. 그러나 中尾⁶⁾등의 研究 結果에 의하면 *Pterocarpus sp.* 板材에 160℃, 20時間 熱處理한 것을 橫振動法으로 測定한 結果 $\tan \delta$ 가 高周波數

域에서 적어짐을 報告한바 있다.

4. 結 果

樂器用材인 시트카 스푸루스와 오동나무材를 供試材로 處理溫度 60℃~180℃로 熱處理한 後 動的彈性率과 内部摩擦 및 共振周波數를 測定하고 溫度 40℃, 關係濕度 60~95%別로 吸濕시켜 含水率 變化에 따른 動的粘彈性和 内部摩擦을 分析한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 吸濕率은 處理溫度가 增加할 수록 낮아졌다.
2. 動的彈性率은 處理溫度가 높고 處理時間이 길어짐에 따라 낮아졌으나 内部摩擦과 共振周波數는 별로 影響이 없었다.
3. 動的粘彈性은 含水率이 增加할 수록 낮아졌다.
4. 内部摩擦은 含水率이 增加할 수록 增加되었다.

引 用 文 獻

1. Hong, B.W. 1984. Dynamic viscoelasticity of hot pressed wood. *Wood Sci. and 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. *For. Prod. J.*, 11(9): 383-390.
3. Kollman, F. and H. Schneider. 1963. Über das sorptionsverhalten warmbehandelter Holzer. *Holz. Holz als Roh und Werkstoff*, 21:77-85.
4. 梶田 茂, 山田 正, 鈴木正治. 1961. 木材のレオロジー에關する 研究(第1報) 動的ヤング率と含水率의關係에關하여. *木材學會誌*, 7(1):29-33.
5. Matsumoto, T. 1962. Studies on the dynamic modulus E and the logarithmic decrement of wood by transverse vibration. *Bulletin of the Kushu university forests*, 36:1-86.
6. 中尾 哲也, 岡野 健, 淺野猪久夫. 1983. 木材의 損失正接에 依하여 熱處理의 影響. *木材學會誌*, 29(10):657-662.
7. Norimodo, M. and T. Yamada. 1966. Dynamic torsional viscoelasticity of wood. *Wood research*, 38:32-39.
8. 佐野益太郎. 1961. 木材의 機械的性質에關する 溫度의 影響. *木材學會誌*, 7(4):147~150
9. Salamon, Marian. 1965. Effect of high-temperature drying on quality and strength of western hemlock. *For. Prod. J.*, 15(3):122-126.
10. 末松充彦, 平井信之, 齊藤藤市. 1980. 熱壓縮木材의 性質(第一報) 吸濕, 吸水性および動的粘彈性. *木材學會誌*, 26(9):581-586.