

熱壓縮木材의 動的粘彈性¹

洪 秉 和²

Dynamic Viscoelasticity of Hot Pressed Wood¹

Byung Wha Hong²

Summary

In hot pressed wood of *Pseudotsuga menziesii* compressed to 0 - 50 percent at temperature 60 - 180°C, relative humidity conditions affecting dynamic Young's modulus of elasticity and internal friction were investigated. The results obtained are summarized as follows: Moisture absorption of the hot pressed wood decreased with increasing press temperature, but there was no effect on the amount of compression. Thickness swelling decreased with increasing press temperature, and increased with increasing amount of compression. In general, dynamic Young's modulus of elasticity showed a straight line with increasing specific gravity of specimens. Dynamic Young's modulus of elasticity decreased with increasing moisture content, but internal friction increased with increasing amount of moisture content. Dynamic Young's modulus of R specimens pressed in the radial direction showed high values than T specimens pressed in the tangential direction.

Key words: hot pressed wood, dynamic Young's modulus of elasticity, internal friction, press temperature, moisture absorption, thickness swelling, moisture content, radial direction, tangential direction.

1. 緒 言

木材는 吸濕性과 異方性으로 말미암아 收縮과 膨潤으로 各種 缺陷을 낳는다. 이와같은 缺陷을 줄이기 위하여 耐水劑 被覆, 吸濕性 減少處理, 直交積層, 加橋結合 및 容積處理 등을 實施하여 寸수 安定을 圖謀코져 한다.

木材에 熱을 處理하면 Hemicellulose는 熱로 分解되어 물에 不溶인 重合體가 形成되는 熱化學的 變化를 가져와 結晶領域이 增加되며 木材 成分의 熱分解가 일어난다. 이와 같은 結果로 收縮과 膨潤^{3,15)} 吸濕性^{1,3,4,5,11,15)} 機械的 性質^{6,8,9,11)} 寸수 變化^{19,15)} 에 대한 影響을 미친다는 많은 研究 報告가 있다.

그러나 纖維板, 削片板, 集成材 및 合板 등의 木

質材料 製造過程에서 뿐만 아니라 材質改善을 위하여 熱壓할 경우가 많은데 이와 같은 熱壓縮로 인한 壓縮 變形을 일으키는 熱處理가 木材 性質에 어떠한 影響을 미치는가에 대한 報告는 적다. 本 實驗은 輸入 美松材를 供試材로 하여 여러 條件下에서 熱壓된 木材를 吸濕率에 따른 動的 粘彈性率과 內部摩擦 등을 比重과 含水率 變化에 대한 依存性을 測定 分析하여 그 結果를 報告코져 한다.

2. 材料 및 方法

2.1. 供試材料 및 熱壓縮條件

供試樹種은 輸入한 美松(*Pseudotsuga menziesii*) 材로 長期間 室內에서 氣乾된 比重 0.49인 材에서 試片(두께 10mm × 폭 20mm × 길이 300mm)을 126

¹ 接受 6月 14日 Received June 14, 1984.

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

을를 製作하여 溫度 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 關係濕度 $65 \pm 2\%$ 의 恒溫恒濕槽內에서 24時間 調濕處理한 材를 다음과 같은 條件으로 熱壓縮하였다.

熱壓縮溫度·時間: $60^\circ\text{C} \cdot 40\text{分}$, $100^\circ\text{C} \cdot 40\text{分}$, $140^\circ\text{C} \cdot 30\text{分}$, $180^\circ\text{C} \cdot 20\text{分}$.

壓縮率: 0, 10, 20, 30, 40, 50% (5, 4, 3, 2, 1mm distance piece 使用).

壓力: $45\text{kg}/\text{cm}^2 \rightarrow 20\text{kg}/\text{cm}^2$ (壓縮時間 1/2經過後)

壓力方向: 半徑方向으로 壓縮하였으며 壓縮溫度 100°C , 壓縮率 40%에는 接線方向도 壓縮하여 比較하였다.

2.2. 吸濕處理

熱壓縮한 試片을 40°C 乾燥器에서 24時間 乾燥시킨 試片을 溫度 40°C , 關係濕度 60, 70, 80, 90, 95% 條件으로 恒溫恒濕槽內에서 24時間 吸濕시켰으며 그 吸濕에 따른 試片의 두께의 變化와 含水率은 다음 式에 依하여 計算하였다.

$$\text{두께膨脹率} = \left\{ (t_2 - t_1) / t_1 \right\} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{含水率} = \left\{ (w_2 - w_1) / w_1 \right\} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

여기서 t_1 : 乾燥試片의 두께

t_2 : 吸濕試片의 두께

w_1 : 全乾重量

w_2 : 吸濕時重量

2.3. 動的彈性率과 内部摩擦의 計算

測定裝置는 그림 1과 같이 Kataoka(1975)가 考案한 兩端自由橫振動裝置를 使用하여 一端은 勵振하고 다른 一端은 檢出하는 共振法에 따라 動的彈性率과 内部摩擦을 測定하였는데 그 計算式은 다음과 같다. 動的彈性率 E 는

$$E = 48 \pi^2 \rho l^4 f^2 / m^4 a^2 \dots\dots\dots(3)$$

여기서 ρ 는 比重, l 은 試片의 길이, f 는 共振周波數, m 은 基本振動의 경우 4.73을 使用하고 a 는 試片의 두께.

内部摩擦 (Q^{-1})은 振動 1 사이클 중에서 物體의 内部에서 損失되는 에너지 즉 動的損失을 振動에너지로서 除함으로 求하여지는 内部摩擦 Q^{-1} 은

$$Q^{-1} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta f}{f_0} \dots\dots\dots(4)$$

여기서 Δf 는 共振曲線의 半값의 幅, f_0 는 共振周波數로서 求하였다. 測定試片의 個數는 같은 條件에서 4個씩 使用하였다

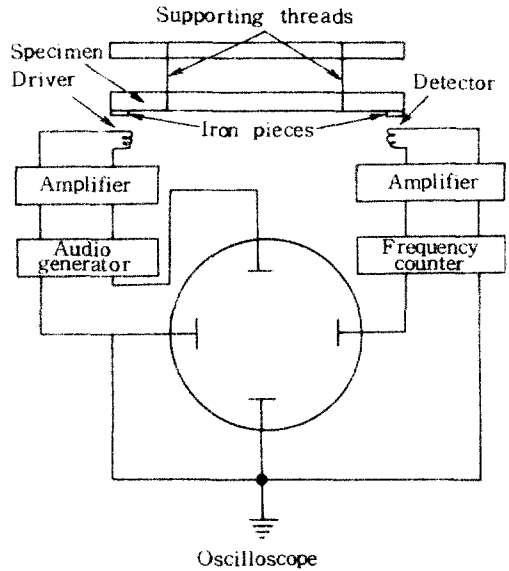


Fig. 1. A system for measuring resonant frequency and internal friction.

3. 結果 및 考察

3.1. 吸濕 및 膨潤

壓縮溫度 60°C , 100°C , 140°C , 180°C 別로 壓縮率 0~50%까지 熱壓縮 處理한 後 溫度 40°C , 關係濕度 60%, 70%, 80%, 90%, 95% 順으로 24時間의 吸濕시켜 그의 吸濕率 및 膨脹率을 求한 結果는 表 1과 그림 2와 같다.

이 結果에서 壓縮率에 대한 吸濕率의 差는 별로 없으나 壓縮溫度가 增加할수록 約 1% 程度의 吸濕率의 差를 보인데 關係濕度 60%의 경우 溫度 60°C 에서는 平均 7%, 100°C 에서는 6.5%, 140°C 에서는 5.3% 그리고 180°C 에서는 4.1%의 吸濕率을 보여 壓縮溫度가 上昇할수록 減少하였으나 壓縮率에 대한 差는 認定할 수 없었다. 그리고 含水率 增加에 依한 두께 膨脹率의 變化는 control 試片에 比하여 熱壓縮條件에 따라 약간의 差는 있으나 그림 2에서와 같이 壓縮率 30% 때의 各溫度別 含水率 增加에 따른 두께 膨脹率은 60°C 의 경우 가장 膨脹率이 크고 100°C 는 그 다음으로 낮으나 140°C , 180°C 의 경우 吸濕率도 가장 낮을 뿐 아니라 두께의 膨脹率도 낮게 나타나는 것은 壓縮溫度가 上昇함에 따라 木材의 塑性變化가 增大되고 内部應力의 發生이 적으므로 두께 膨脹率이 減少하는 것으로 생각된다. 이와 같은 結

Table 1. Results of moisture content and thickness swelling for specimens

Relative humidity (%)	Pressing condition Temp. °C	60% R.H.		70% R.H.		80% R.H.		90% R.H.		95% R.H.	
		M.C. % ¹⁾	T.S. % ²⁾	M.C. %	T.S. %	M.C. %	T.S. %	M.C. %	T.S. %	M.C. %	T.S. %
60	0	7.2	0.3	8.4	0.5	9.5	0.7	12.5	1.2	14.6	1.2
	10	7.0	0.2	8.2	0.8	9.3	1.4	12.1	3.5	12.1	7.2
	20	7.0	0.3	8.3	0.9	9.4	2.1	12.1	4.6	14.2	8.3
	30	7.0	0.2	8.2	0.5	9.2	1.7	11.8	4.1	13.8	9.7
	40	6.8	0.4	8.1	1.5	9.3	3.0	12.1	6.6	14.2	12.1
	50	6.9	0.3	8.1	1.3	9.3	3.5	12.0	9.3	14.1	16.7
100	0	6.7	0.3	8.1	0.4	9.1	0.6	11.4	0.8	13.2	1.5
	10	6.6	0.2	7.9	0.7	8.9	1.6	11.3	2.6	13.0	3.5
	20	6.5	0.2	7.7	0.7	8.7	2.4	10.9	3.1	12.6	4.5
	30	6.5	0.2	7.8	0.8	8.8	2.4	10.9	5.0	12.8	6.7
	40	6.3	0.6	7.3	1.4	8.3	2.4	10.6	4.1	12.2	6.9
	50	6.5	0.9	7.5	1.8	8.5	3.7	10.5	5.5	12.4	8.0
140	0	5.2	0.1	6.9	0.5	7.8	0.7	10.5	1.2	12.2	1.7
	10	5.3	0.2	6.4	0.4	7.2	1.5	9.5	2.1	12.0	3.8
	20	5.4	0.3	6.4	0.9	7.2	1.4	9.5	2.7	11.2	5.8
	30	5.6	0.3	6.6	0.7	7.3	2.1	9.2	3.5	10.7	6.4
	40	5.1	0.5	6.1	1.0	7.0	2.2	9.2	4.1	10.9	6.8
	50	5.3	0.5	6.3	1.2	7.2	1.9	9.5	4.5	11.2	7.4
180	0	4.8	0.1	5.7	0.2	7.1	0.4	10.3	1.1	11.9	1.5
	10	3.8	0.2	4.8	1.0	5.5	1.6	7.8	3.4	9.2	5.5
	20	4.1	0.3	5.3	0.8	6.2	2.1	9.1	3.5	11.3	5.7
	30	4.1	0.7	5.3	1.0	6.2	2.3	9.1	4.1	10.6	6.5
	40	4.2	0.7	5.5	1.2	6.5	2.5	9.3	4.2	10.9	6.6
	50	3.9	0.6	5.1	0.8	5.9	2.2	8.7	5.4	9.9	6.8

1) Moisture content.

2) Thickness swelling.

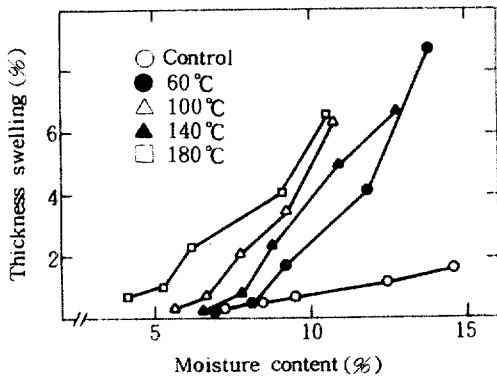


Fig. 2. Relationship between moisture content and thickness swelling for compression.

果는 末松¹⁵⁾(1980) 등이 報告한 結果와 一致됨을 알 수 있었다.

3. 2. 動的彈性率

表 2는 壓縮溫度別, 含水率 增加에 따른 比重과

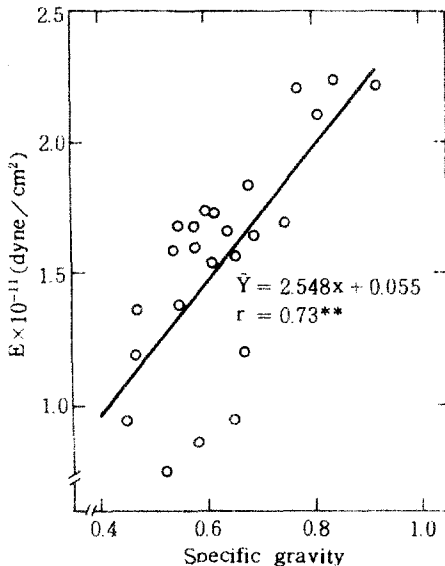
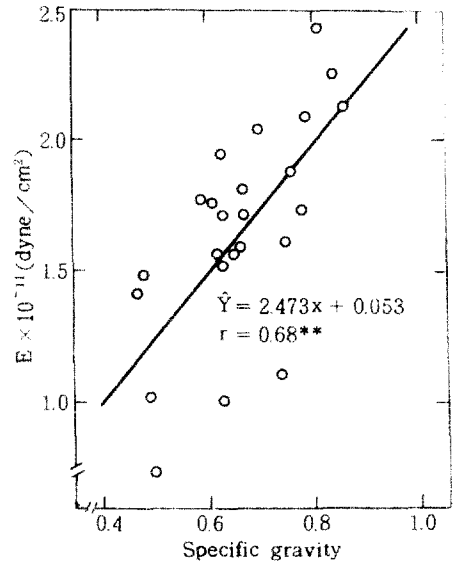
動的彈性率과 關係를 나타낸 것이며 그림 3, 4, 5, 6은 關係溫度 70% 때의 各壓縮溫度別 比重과의 關係를 나타낸 것이다. 이 結果에 依하면 一般的으로 比重이 增加하면 動的彈性率은 直線的으로 增加함을 알 수 있다. 松本⁵⁾와 F. Kollman²⁾은 木材의 動的粘彈性에 대하여 同一 樹種에서 比重이 增加하면 動的彈性이 增加하고 損失正接 $\tan \delta$ 는 減少한다고 하였다. 그림 3, 4, 5, 6에서와 같이 壓縮溫度가 增加할수록 壓縮率에 따라 比重이 增加되고 動的彈性率도 增加됨을 볼 수 있다.

末松(1980)¹⁵⁾ 등이 動的彈性率과 比重과 같이 直線的으로 增大하다가 一定 值에 達한 後에 減少하는 maximum curve를 그린다는 報告와는 달리 그림들에서 보는 바와 같이 壓縮溫度別로 比重에 따른 動的彈性率과의 相關이 60°C, 100°C, 140°C, 180°C 別로 각각 0.73, 0.68, 0.69, 0.75 등으로 1% 수준에 높은 相關을 보여 末松(1980)¹⁵⁾ 등이 一定 值에 達한 後에 減少한다는 報告와는 약간의 差異를 發見할 수 있다.

Table 2. Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus for specimens

Relative humidity (%)		60% R.H.		70% R.H.		80% R.H.		90% R.H.		95% R.H.	
Pressing condition Temp. °C	Comp. %	S.G. *	E**	S.G.	E	S.G.	E	S.G.	E	S.G.	E
		60	0	0.47	1.06	0.47	1.05	0.48	1.04	0.49	1.02
	10	0.58	1.41	0.58	1.41	0.58	1.38	0.59	1.35	0.57	1.25
	20	0.57	1.49	0.58	1.48	0.58	1.47	0.58	1.41	0.57	1.30
	30	0.62	1.64	0.62	1.62	0.63	1.59	0.62	1.51	0.60	1.42
	40	0.70	1.66	0.70	1.65	0.70	1.63	0.69	1.57	0.67	1.52
	50	0.82	2.10	0.82	2.08	0.82	2.03	0.79	1.92	0.74	1.62
100	0	0.47	1.16	0.48	1.15	0.48	1.14	0.49	1.12	0.50	1.09
	10	0.60	1.57	0.62	1.56	0.61	1.54	0.62	1.49	0.62	1.46
	20	0.62	1.62	0.62	1.61	0.62	1.56	0.62	1.47	0.62	1.42
	30	0.68	1.66	0.69	1.64	0.68	1.60	0.68	1.56	0.68	1.53
	40	0.74	1.94	0.74	1.93	0.74	1.88	0.75	1.84	0.74	1.78
	50	0.81	2.07	0.81	2.04	0.81	1.98	0.80	1.90	0.80	1.86
140	0	0.48	1.17	0.48	1.16	0.49	1.15	0.50	1.11	0.50	1.09
	10	0.58	1.68	0.58	1.66	0.58	1.61	0.59	1.58	0.59	1.45
	20	0.64	1.67	0.65	1.65	0.65	1.62	0.66	1.57	0.64	1.47
	30	0.75	2.04	0.75	2.02	0.75	1.95	0.75	1.91	0.75	1.79
	40	0.80	2.11	0.80	2.08	0.80	2.06	0.80	1.98	0.79	1.91
	50	0.90	2.22	0.85	2.20	0.84	2.14	0.85	2.07	0.84	1.99
180	0	0.47	1.16	0.47	1.14	0.48	1.12	0.49	1.11	0.50	1.08
	10	0.60	1.45	0.61	1.41	0.61	1.41	0.61	1.35	0.61	1.29
	20	0.68	1.70	0.69	1.69	0.69	1.62	0.69	1.51	0.68	1.43
	30	0.74	1.91	0.75	1.90	0.75	1.85	0.76	1.80	0.75	1.73
	40	0.82	2.19	0.82	2.17	0.82	2.13	0.81	2.03	0.80	1.95
	50	0.96	2.38	0.96	2.37	0.96	2.35	0.96	2.25	0.96	2.18

* Specific gravity

** Dynamic Young's modulus, $E \times 10^{-11}$ (dyne/cm²).**Fig. 3.** Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus with 70 percent (R.H.) at 60°C.**Fig. 4.** Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus with 70 percent (R.H.) at 100°C.

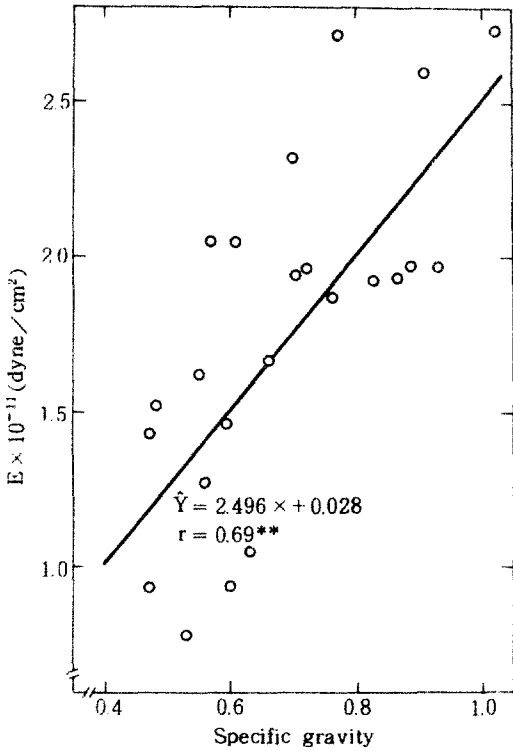


Fig. 5. Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus with 70 percent (R.H.) at 140°C.

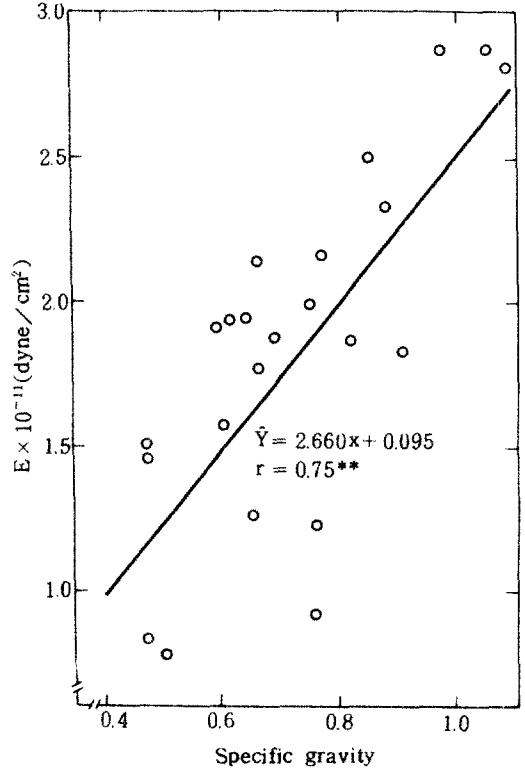


Fig. 6. Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus with 70 percent (R.H.) at 180°C.

그림 7은 壓縮溫度別, 壓縮率別 그리고 關係濕度別로 吸濕시켜 含水率 增加에 따른 動的彈性率과의 關係를 나타낸 것이다. 이와 관련된 研究로서 Suzuki^{12,14)}는 水分에 依한 動的영률의 減少量과 比重과의 研究에서 水分의 增加에 따라 動的영률이 낮아짐을 測定하고 영률의 減少量은 膨脹率의 크기에 比例하고 $\tan\delta$ 는 높지 않지만 一定한 相關이 있다고 報告하였다. Norimoto⁶⁾ 등은 木材의 靜的粘彈性에 있어서 水分의 影響에 대하여 Pentoney⁷⁾는 木材의 内部摩擦에 대한 含水率과 木理角度에 대한 影響을, 末松¹⁵⁾ 등은 낙엽송外 3樹種에 대한 含水率과 動的영률 關係를 報告한 것 등 많은 報告가 있다.^{1,4)} 本實驗에서 보는 바와 같이 壓縮溫度가 增加할수록 吸濕率은 낮아졌으나 control에 比하여 壓縮率이 增加할수록 動的彈性率이 높게 나타나고 含水率이 增加할수록 動的彈性率이 떨어짐을 볼 수 있다. 이와 같은 結果는 다른 많은 報告와 일치하였다.

3.3. 内部摩擦

그림 8은 壓縮溫度別 内部摩擦과 比重과의 關係를 나타낸 것인데 이 結果에서 内部摩擦과 比重과는 相關이 없는 것으로 나타났다. 末松¹⁵⁾ 등은 比重과 動的損失($\tan\delta$) 關係를 比重이 增加하면 動的損失도 增加하는 것으로 報告하고 있으나 本實驗 結果에 依하면 各壓縮溫度別로 比重이 增加하여도 別다른 關係를 찾을 수 없는 것은 末松¹⁵⁾ 등이 研究한 4樹種에서도 相關係數가 Toclomatsu가 0.19, Karamatsu가 0.50, Bayur가 0.79 그리고 Calophyllum이 0.49로 樹種間에 많은 差를 볼 수 있어 이에 대한 研究가 더 必要하다고 생각된다.

그림 9는 壓縮溫度別, 壓縮率別로 含水率 增加에 따른 内部摩擦과의 關係를 나타낸 結果인데 이 그림에서 보는 바와 같이 含水率 變化에 따라 壓縮率 및 溫度別로 差異를 볼 수 있으나 一般적으로 内部摩擦은 含水率의 增加하면 增加하는 傾向을 볼 수 있다. 壓縮溫度 60°C의 結果를 보면 初期의 内部摩擦이 含

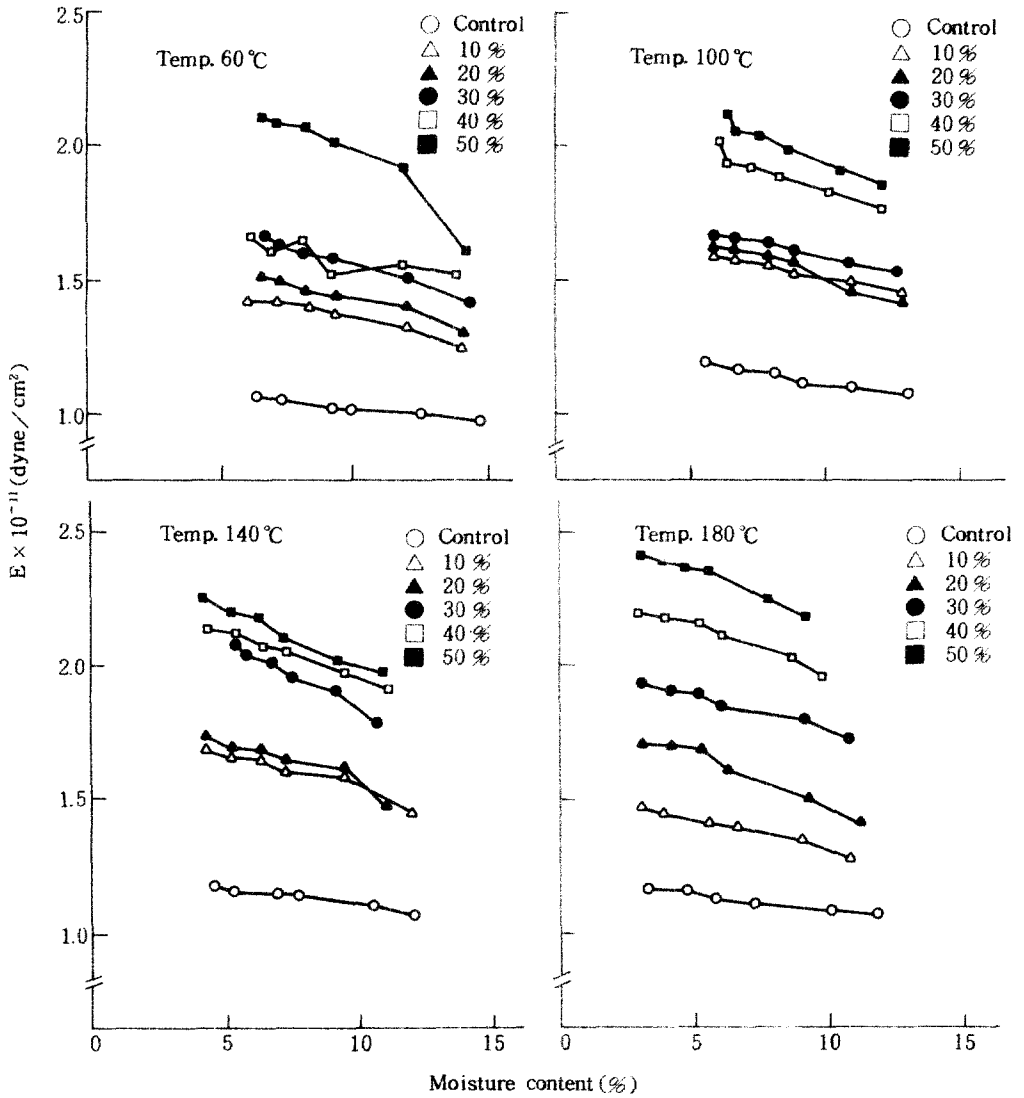
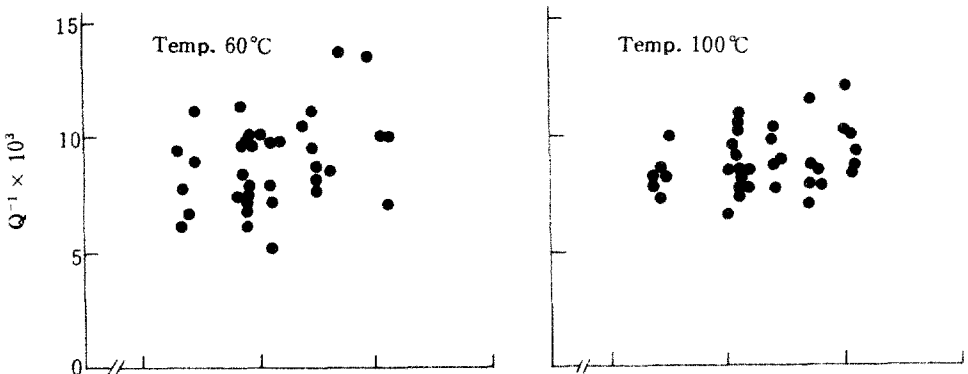


Fig. 7. Relationship between moisture content and dynamic Young's modulus for specimens.



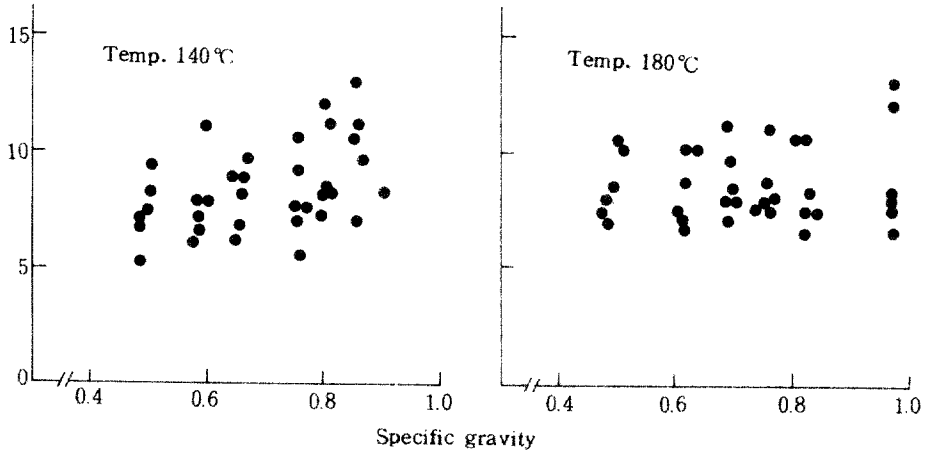


Fig. 8. Relationship between specific gravity and internal friction for specimens.

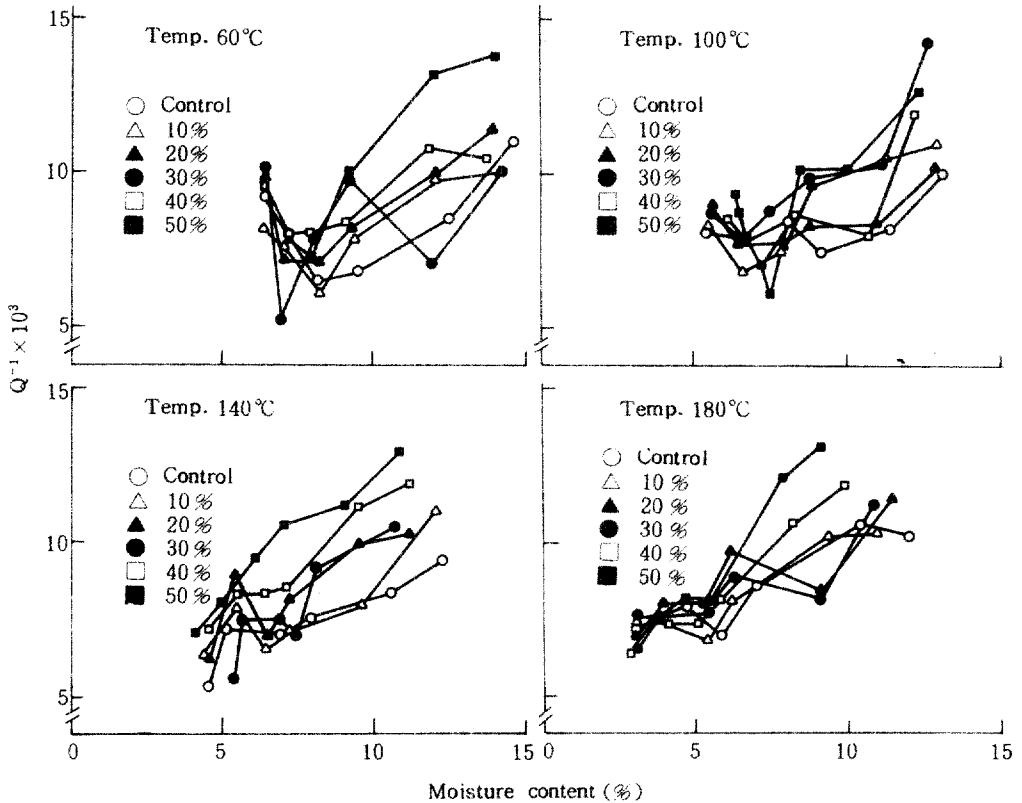


Fig. 9. Relationship between moisture content and internal friction for specimens.

水率 6.5% 以後부터 含水率 8.3%까지 減少하였다가 不規則하지만 增加하여 含水率 8% 以後부터 增加함을 볼 수 있다. 壓縮溫度 100°C 에서도 含水率 6~8% 사이에서 약간 減少하였다가 含水率 8% 以後부터 增加함을 볼 수 있다.

다. 그리고 140°C, 180°C 의 경우에도 약간의 差異는 있으나 비슷한 傾向을 보인다. 이와 같은 結果는 内部摩擦 ($\tan \delta$) 은 常溫에서는 含水率 7~9% 에서 最少值를 나타낸다는 報告^{1,2,5,13} 와 어느 정도 一致

Table 3. Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus for T and R specimens at 100°C

Pressing condition Direction	Relative humidity (%) Comp. %	60% R.H.		70% R.H.		80% R.H.		90% R.H.		95% R.H.	
		S.G.*	E**	S.G.	E	S.G.	E	S.G.	E	S.G.	E
Radial direction	0	0.46	1.41	0.47	1.41	0.48	1.38	0.48	1.35	0.49	1.32
	10	0.62	1.72	0.63	1.70	0.63	1.69	0.64	1.65	0.64	1.52
	20	0.63	1.74	0.63	1.71	0.63	1.69	0.63	1.63	0.63	1.61
	30	0.66	1.81	0.67	1.81	0.67	1.75	0.67	1.73	0.65	1.70
	40	0.67	1.93	0.67	1.92	0.67	1.90	0.68	1.84	0.68	1.80
	50	0.86	2.12	0.86	2.12	0.86	2.03	0.85	1.97	0.85	1.94
Tangential direction	0	0.46	0.94	0.46	0.93	0.46	0.92	0.47	0.90	0.48	0.86
	10	0.58	1.10	0.59	1.09	0.59	1.08	0.59	1.05	0.59	1.03
	20	0.64	1.32	0.65	1.31	0.65	1.27	0.65	1.24	0.65	1.22
	30	0.75	1.38	0.76	1.38	0.76	1.33	0.75	1.30	0.74	1.27
	40	0.76	1.44	0.76	1.42	0.76	1.40	0.77	1.36	0.76	1.35
	50	0.80	1.78	0.80	1.73	0.79	1.68	0.79	1.63	0.78	1.59

* Specific gravity

** Dynamic Young's modulus, $E \times 10^{-11}$ (dyne/cm²).

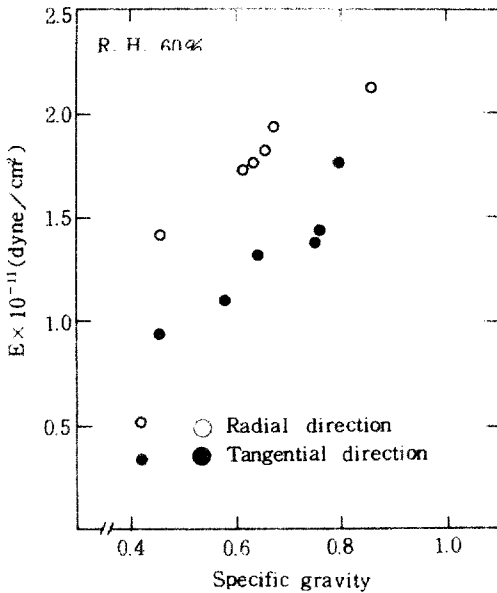


Fig. 10. Relationship between specific gravity and dynamic Young's modulus for T and R specimens at 100°C.

된다고 생각된다. 그러나 末松¹⁵⁾ 등은含水率が 증가하면 $\tan \delta$ 는 약간減少하는傾向이 있으나 그變化의範圍는 적어含水率影響은 뚜렷하지 않다는報告와는 달리本實驗에서는含水率が 증가하면增加되는 것으로 나타났다.

3. 4. 壓縮方向과 動的彈性率

그림 10은 壓縮溫度 100°C, 關係濕度 60% 때의 半徑方向(R)과 接線方向(T)으로 壓縮한 試片의 比重에 따른 動的彈性率과의 關係를 나타낸 것이며 表 3은 半徑方向과 接線方向으로 壓縮한 試片들의 含水率 增加에 따른 比重과 動的彈性率을 나타낸 것이다. 이것은 壓縮時에 變形을 시키는 差異 때문으로서 接線方向이 半徑方向의 壓縮材 때보다 動的彈性率은 낮은 것은 接線方向은 年輪을 破壞하게 되나 半徑方向은 比較的 均一하게 細胞가 擠그러지기 때문이라 생각된다. 이 結果는 末松¹⁵⁾ 등의 研究 結果와 一致하였다.

4. 結 論

輸入 美松材를 供試材로 壓縮溫度 60°C, 100°C, 140°C, 180°C, 壓縮率 0~50%, 關係濕度 60, 70, 80, 90, 95%의 條件에서 吸濕에 따른 含水率 變化에 대한 膨脹率, 動的彈性率과 内部摩擦 등을 比重과 含水率과의 關係를 考察한 結果는 다음과 같다.

1. 吸濕率은 壓縮溫度가 增加하면 낮아졌으나 壓縮率에는 影響이 없었다.
2. 膨脹率은 壓縮溫度가 增加하면 낮아졌으나 壓縮率이 增加하면 增加하였다.
3. 動的彈性率은 比重이 增加하면 直線의으로 增加하였다.
4. 動的彈性率은 含水率が 增加하면 낮아졌으나 內

部摩擦은 含水率이 增加하면 增加되었다.

5. 壓締方向別로는 半徑方向으로 壓締한 것이 切線方向으로 壓締한 것보다 動的彈性率이 높았다.

Literature cited

1. 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.
2. Kollman, F. and H. Krech. 1960. Dynamische messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung. *Holz als Roh und Werkstoff*, 18:41-51.
3. Kollman, F. and A. Schneider. 1963. Über das Sorptions verhalten warmebehandelter Holzer. *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*, 7:29.
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. Norimoto, M. and T. Yamada. 1966. Dynamic torsional viscoelasticity of wood. *Wood research*, 38:32-39.
7. Pentoney, R. E. 1955. Effect of moisture content and grain angle on the internal friction of wood. *Comp. wood*, 2:131.
8. Panshin, A. J. and Carl de Zeeuw. 1980. *Textbook of wood technology*, 4th ed. McGraw-hill Book Co., N.Y.
9. 佐野益太郎. 1961. 木材の機械的性質に關する温度の影響. *木材學會誌*, 7(4):147-150.
10. Seborg, R. M., M. A. Millett and A. J. Stamm. 1962. Heat-stabilished compressed wood. U. S. For. Prod. Lab., Rep. No. 1580.
11. Salamon, Marian. 1965. Effect of high-temperature drying on quality and strength of western hemlock. *For. Prod. J.*, 15(3):122-126.
12. 鈴木正治, 中戸莞二. 1963. 木材中の水蒸氣擴散と動的粘彈性. *木材學會誌*, 9:211.
13. Suzuki, M. 1979. International friction in wood in relation to wooden structure. *J. Japan wood res. soc.*, 25(10):623-629.
14. _____. 1980. Relationship between specific gravity and decrement of dynamic Young's modulus with water. *J. Japan wood res. soc.*, 26(5) 299-304.
15. 末松充彦, 平井信之, 齊藤藤市. 1980. 熱壓木材の材質(第一報), 吸濕, 吸水性および動的粘彈性. *木材學會誌*, 26(9):581-156.