

잣나무 造林木の 組織特性的의 變動과 成熟材·未成熟材의 材質*¹

姜善求*²

Changes in Cellular Characteristics and Qualities of Matured and Juvenile Wood from Reforested Tree of *Pinus koraiensis**¹

Sun-Koo Kang*²

ABSTRACT

Pinus koraiensis is one of the most important reforestation species which had widely been planted around the country. Therefore, there are great research needs on the fundamental properties of wood to extend the frequency of uses and adequate availabilities.

Research results on the characteristics of anatomical wood properties and changes are summarized as follows:

1. At a horizontal direction of tree trunk, the tracheid length at outer wood gradually becomes shorter as it reaches to pith. The tracheid length having between 32 and 42 annual rings showed over 2.5 times longer than that of pith, and also its length increases from the bottom to the top of the stem.
2. The tracheid diameters in latewood showed a little fluctuations, and the shortest near to the pith in earlywood.
The tracheid diameters in earlywood are more than 2 times those of latewood, and the differences between the mature and juvenile wood in earlywood are less than 10 μ m.
3. The tracheid wall thickness in early wood showed a little fluctuations. On the contrary, tracheid wall thickness in latewood rapidly increases from the pith to the bark. The tracheid wall of mature wood showed 10 to 20% thicker than that of juvenile wood.
4. The fibril angle at the secondary walls of tracheid within an annual ring showed higher degree in earlywood than that of latewood. The highest tracheid fibril angle was observed at around the pith of both earlywood and latewood. Then, fibril angle slowly decreased toward outer wood, and was stabilized after 15 years.
5. Structural boundaries between mature and juvenile wood from *Pinus koraiensis* are divided by 13 to 19 annual ring and distance of 5 to 8cm from the pith.

Keywords : *Pinus koraiensis*, tracheid wall thickness, mature and juvenile wood, fibril angle, structural boundaries

*1. 接受 1993年 6月 8日 Received June 8, 1993

*2. 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul 130 012, Korea

1. 緒 論

잣나무 造林木의 適合한 用途개발을 통한 效果的인 이용방안을 모색하기 위해서는 먼저 基本的 材質의 研究가 바람직하다. 이를 위해서는 未成熟材와 成熟材의 區分과 未成熟材의 範圍를 明確히 할 必要가 있다. 잣나무의 未成熟材를 區分하는데 있어서 間伐材를 構造用材 등으로 使用할 境遇, 樹幹內 材質變動을 把握하므로서 育林의 基礎資料로 提供하기 위한 것이다.

成熟材와 未成熟材를 區分하는 데는 여러가지 方法이 있으나, 造林木에 있어서는 假導管長의 變動의 境界가 명확하여 그 變動狀態에 의해 成숙재와 未成숙재를 구분하는 것이 適當하다고 생각되어 이 方式으로 成숙재와 未成숙재를 구분하였다. 또한 本研究에서 假導管長이 針葉樹의 成長過程을 나타내는 要因이 되는 것에 注目하여 未成熟材의 範圍를 髓에서의 年輪數와 距離와의 關聯에 대하여 추구하려고 하였으며, 假導管長의 變動패턴을 說明하기 위해서는 正常木과 被害木과를 구별하여 조사하였다. 변동패턴은 鹽倉¹⁾의 方法에 따라 對數式에 의해 成숙재와 未成숙재의 變曲點 區分을 明確히 하는 것을 試圖하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試木

實驗에 使用한 잣나무는 正常的으로 成長한 것으로 林業研究院 中部林業試驗場에서 伐採한 것으로 供試木의 概要는 Table 1과 같다.

2.2 實驗方法

2.2.1 假導管의 直徑과 壁厚

供試木의 胸高部位 圓板에서 1×1×1cm의 試片를 채취하여 軟化한 後 마이크로톰으로 두께 약 20~30 μ m의 橫斷面 切片을 잘라 사프란인 염색법을 사용하여 永久프레파라트를 만들었다.

이 試片를 顯微鏡으로 약 600배 擴大하여 接眼 마이크로미터에 의해 측정하였으며, 假導管의 中央部로 보이는 細胞列의 5~10열을 連續的으로 측정하여 平均値를 구하였고 細胞의 接線壁을 두께로 하였다.

2.2.2 假導管 二次壁 中層의 피브릴 傾斜角

供試木에서 채취한 시료는 早·晚材別로 나눠 두께 약 30~40 μ m의 接線斷面 切片을 만들어 假導管壁 S₂層의 피브릴間隙의 요드의 針狀結晶을 形成

Table 1. Description of sample trees*1

Species	Sample*2 trees No.	D.B.H (cm)	Height (m)	Age (year)
<i>Pinus koraiensis</i>	1	30	19.5	42
	2	30	19.7	42
	3	24	18.0	32
	4	24	17.6	32
	5	20	17.0	32
	6	20	16.5	32
	7	18	16.2	32
	8	22	16.8	32
	9	20	16.8	32
	10	28	18.5	42
	11	23	18.5	35
	12	22	18.5	35
	13	22	18.0	35
	14	20	17.0	32
	15	22	18.5	32
	16	20	16.0	32
	17	22	18.0	32
	18	24	18.5	32
	19	20	16.7	32
	20	30	21.0	45

*1 Origin : Sohul-Myon, Pochon-Gun, Kyunggi-Do

*2 No. 1~9 : For tracheid length survey,

No. 10~20 : For anatomical characteristics survey

시킨 後, 顯微鏡 寫眞은 攝影寫眞上에서 針狀結晶의 走向과 假導管軸間의 角度를 피브릴 傾斜角으로 하여 假導管의 中央部를 측정하였다.

2.2.3 假導管長

供試木의 地上高 1.2m의 部位에서 圓판을 채취하여 髓에서 外側을 향해 各 年輪의 晚材部에서 1×1×10mm 정도의 軸木을 만들어 숄츠液으로 解織하여, 니콘製 萬能攝影器로 各各 100本씩 길이를 측정하고 그 平均値를 平均假導管長으로 나타냈다.

3. 結果 및 考察

3.1 假導管의 直徑과 壁厚

Larson²⁾과 Van Buijtenen³⁾은 早材에서 晚材로의 變化에 대하여 生理的 處理를 實施한 實驗에 의하면 假導管의 直徑과 壁厚는 樹木의 生理와 密接한 관계가 있다고 보고하고 있으며, 鹽倉¹⁾은 假導管의 早材部에서 壁厚는 髓에서 外側으로 향해 거의 變化를 보이지 않으나 晚材部에서는 髓 附近이 가장 얇고 外側으로 향해 급격히 두껍게 되며 10년 을 지나면 거의 一定하게 된다고 報告하였다.

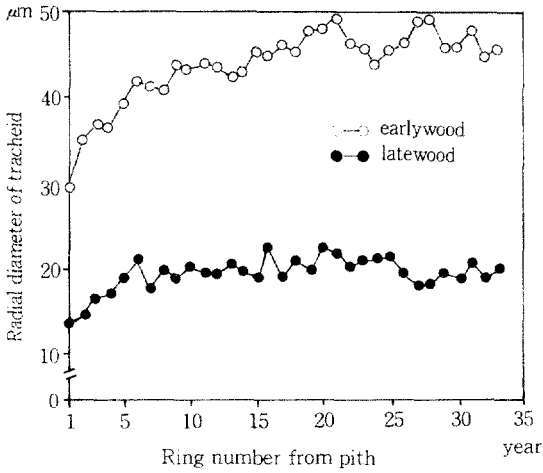


Fig. 1. Variation in radial diameter of tracheid with ring number from the pith

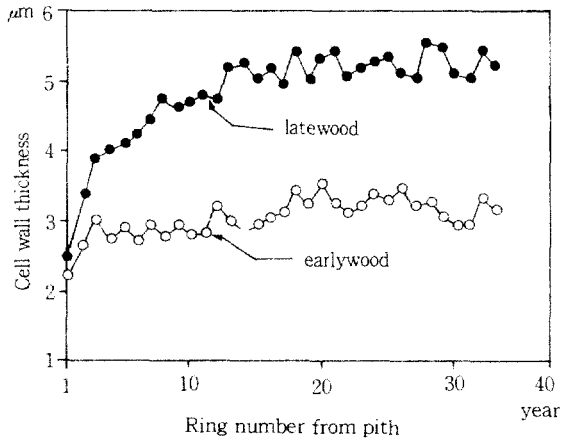


Fig. 3. Variation in cell wall thickness with ring number from the pith

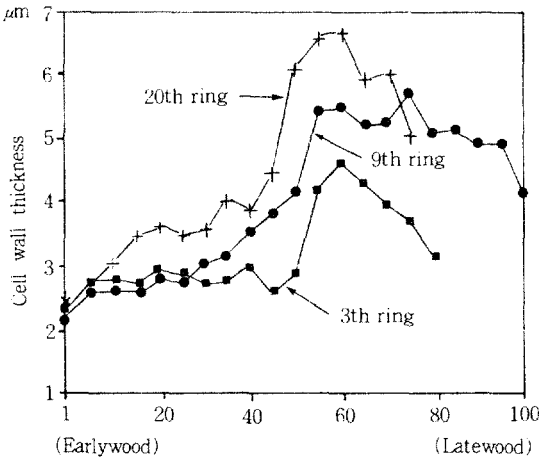


Fig. 2. Fluctuation in cell wall thickness within an annual ring

3. 1. 1 假導管의 直徑

假導管의 放射方向徑의 變動은 早·晩材別로 Fig. 1에 나타냈다. 秋材部의 直徑은 髓에 接한 部 위에서는 작으나, 外側을 향해 커지는 傾向이 있으며, 그 變化는 크지 않다. 早材部에서는 髓에 接한 部위가 가장 작고 外側을 향해 急速히 直徑이 커져서 15~20年輪을 지나면 거의 安定이 된다. 髓에서 의 距離는 5~8cm 이다. 이 早材部의 直徑의 변화

는 假導管長의 放射方向의 變動 패턴과 類似하며 未成熟材部를 구분하는 指標로서 重要한 因子라고 생각된다. 田島⁴⁾는 삼나무, 太田⁵⁾은 삼나무와 편백에 대하여 調査한 결과, 삼나무는 10~15年輪, 편백은 10年輪이 認定되고 있다.

3. 1. 2 假導管의 壁厚

假導管의 壁厚는 胸高部位에서 4~5cm의 圓板을 採取하여 接線壁에서 조사하였다. 假導管의 壁厚는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 髓에서 3年輪, 9年輪 및 20年輪에 있어서 各 年輪內의 假導管의 接線壁厚를 보면 未成熟材部인 3年輪과 9年輪의 早材部에서는 거의 差가 보이지 않으나, 成熟材部인 20年輪에서 早材部에서는 緩慢히 上昇하며 晩材部에서는 未成熟材보다 急速히 두껍게 된다. 年輪別 平均壁厚는 3.15 μ m, 9年輪 4.01 μ m, 20年輪 4.48 μ m이다.

放射方向의 變化는 Fig. 3에 나타낸 것과 같이 早材部의 平均벽후는 3.03 μ m이며 髓에서 外周를 향해 18年輪 頃에서 增加하고 있다. 晩材部 加道 平均벽후는 4.02 μ m로 髓 附近에서 가장 얇고 外周를 향해 급속히 두껍게 되며 13年輪 頃에서 거의 일정하게 된다. 벽후의 방사방향 變動은 加納⁶⁾의 日本개분비, 太田⁷⁾의 편백, 田島⁴⁾와 太田⁵⁾의 삼나무에 대한 보고가 있으며 未成熟材와 成熟材의 境界가 10~15年輪이라는 결론을 얻고 있다. 또 變動경향은 外측을 향하여 증가^{4,5,6)} 하는 것이 일반적이나 太田⁷⁾은 편백의 早材部의 壁厚는 髓에서 外側을 향해 서서히 두께가 감소하며 10年輪에서 거

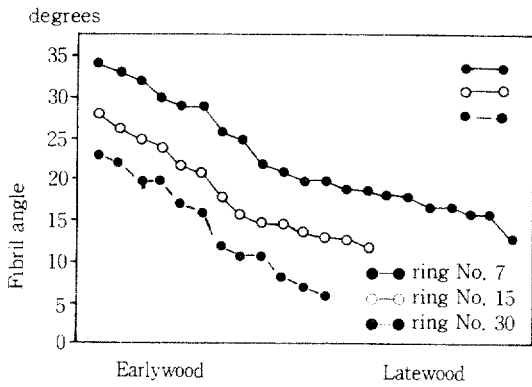


Fig. 4. Fluctuation in fibril angle from pith to bark

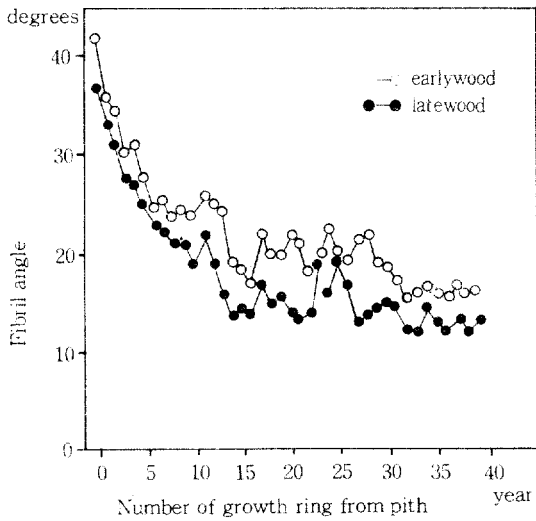


Fig. 5. Fluctuation in fibril angle within an annual ring.

의 一定한 두께가 된다고 보고하였다.

3. 2 假導管 二次壁 中層의 피브릴 傾斜角

3. 2. 1 年輪內的 피브릴 傾斜角의 變動

測定個所는 未成熟材部인 髓에서 7年輪, 成熟材部인 30年輪과 未成熟材와 成熟材間的 15年輪으로 이 年輪內的 피브릴 傾斜角의 變動을 Fig. 4에 나타냈다. 이것에 의하면 피브릴 傾斜角은 早材部에서 晚材部로 향해 서서히 작게 된다. 平均 피브릴 경사각은 各 7年輪 21.21°, 15年輪 19.35°, 30年輪 12.28° 이다. 李 等⁸⁾은 피브릴 傾斜角은 7年輪

24.80°, 15年輪 25.45°, 31年輪 13.25° 이며 15年輪은 差가 크나 그 外의 年輪에서는 큰 差가 없었다고 보고 하였다. 이와 같은 傾向은 삼나무⁹⁾, 소나무와 落葉松¹⁰⁾, 美松¹¹⁾에서는 認定되며 편백⁷⁾의 成熟材部에서는 早材部와 晚材部間에 差가 없다고 보고하고 있다. 7年輪의 未成熟材와 30年輪의 成熟材를 比較하면 未成熟材의 傾斜角이 크나 15年輪의 傾斜角은 그 中間인 것을 나타내고 있다. 鹽倉¹²⁾은 二次壁 中層의 피브릴 傾斜角의 假導管長의 變動과의 關係를 보면 負의 相關이 推察된다고 보고하고 있으며, 本研究에서도 같은 傾向을 나타내고 있다.

3. 2. 2 放射方向의 피브릴 傾斜角의 變動

放射方向의 假導管 二次壁 中層의 피브릴 傾斜角의 變動을 Fig. 5에 나타냈다. 이것에 의하면 髓에 接한 木部에서는 早材部, 晚材部 모두 最大의 傾斜角을 나타내며 外側을 향해 서서히 傾斜角이 작게 된다. 조재부는 晩材部보다 경사각이 크며 早晩材 모두 15연륜이 지나면 다소 安定이 된다. 이것은 髓에서 약 15年輪까지는 未成熟材部이기 때문에 생각된다. 平均 피브릴 傾斜角은 早材 22.51°, 晚材 16.31° 이며 髓에서의 距離는 6cm였다.

韓國產 삼나무의 平均 피브릴 傾斜角은 早材 23.38°, 晚材 17.85° 이며 髓에 接하고 있는 것이 가장 크다고 報告한 李 等⁸⁾은 삼나무의 피브릴 傾斜角에서 判斷한 未成熟材 범위는 髓에서 15~20年輪이라고 보고하였다. 따라서 本研究에서 얻어진 이와 같은 變動傾向은 지금까지 보고된 針葉樹材의 結果와 一致하고 있다.^{12,13,14)}

3. 3 假導管長의 指數式의 適用

假導管長의 指數式 適用은 鹽倉¹¹⁾이 落葉松의 假

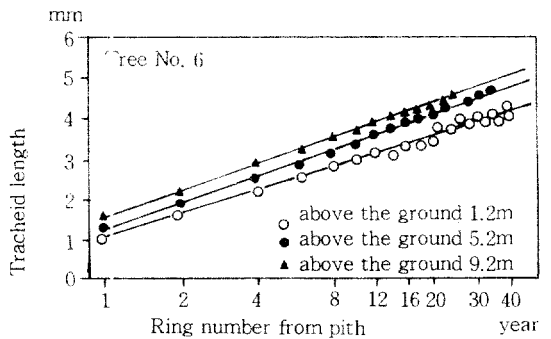


Fig. 6. Relationship between tracheid length and ring number from the pith.

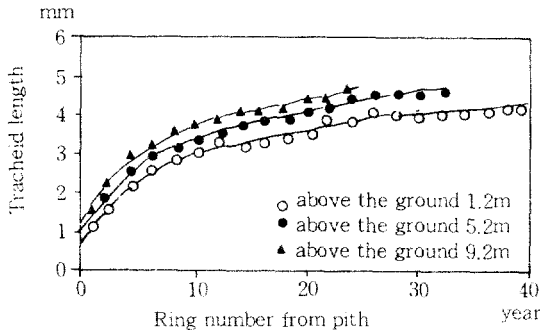


Fig. 7 Relationship between tracheid length and ring number from the pith.

導管長의變動패턴을對數式으로 나타냈으며, 잣나무에 대해서도 髓로부터의年輪數를對數로 Fig. 6에 나타냈다. 兩者間에는直線關係가 얻어졌으며 相關係數는 0.99以上の良好한直線關係를 얻었다.

그對數式은, $Y = a + b \log X$ (Y :假導管長, X :髓에서의年輪數, a :1年輪의假導管長, b :係數)이며, 이數式을 가지고假導管長의分布圖에回歸曲線을適用한 것이 Fig. 7이다.

$$Y = 1.0306 + 1.9804 \log X, r = 0.991,$$

$$Y = 1.1551 + 2.2623 \log X, r = 0.996,$$

$$Y = 1.4575 + 2.1700 \log X, r = 0.998$$

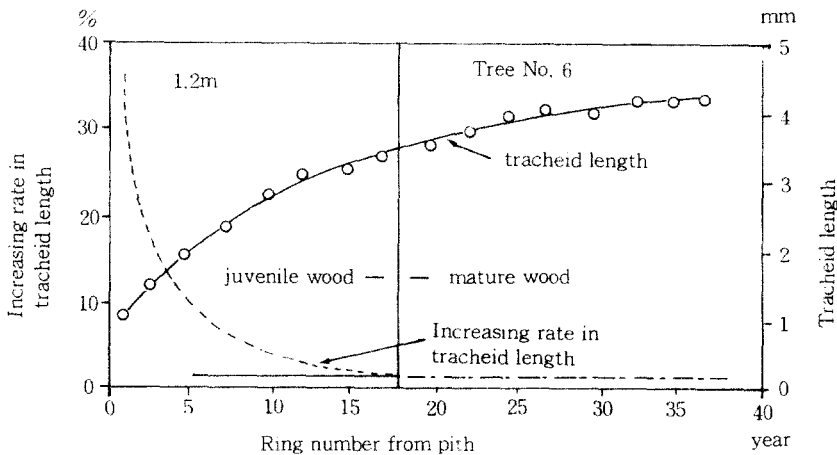


Fig. 8. Relationship between tracheid length of juvenile and mature wood with an increasing rate in tracheid length from the pith to bark.

3. 4 假導管長變動에서決定된未成熟材部の區分

假導管長은髓에接한木部가가장짧고外側을향해急速히길어지며15年輪에서年輪의약2배가된다.이後의伸長率이급속히減少하며多少安定된다.이와같은平均假導管長이顯著하게길게되는부분이未成熟材部이며다소나마길이안정된부분은成熟材部라고생각된다.그러나移行部가있으며그패턴은일정치않으며따라서이차를줄이기위해서鹽倉¹⁾은對數式에서얻은回歸線의每年輪의伸長率에서그의구분을구했다.이것에의하면髓에접한部分에의伸長率이높고,外側을향해급속히低下하여어느부분에서그伸長率은일정하게되며 거의直線을나타낸다.이伸長率이약1%以下이고 거의直線이되는點을未成熟材부와成熟材부의區分基準으로하였다.이방법은回歸線이兩材가客觀적으로區分되는有效한방법이라고보고하고있다.따라서本研究에서도이방법을따라對數式을適用하였으며本結果의例는Fig. 8,9,10과같다.

3. 5 未成熟材의髓로부터의年輪數와距離

未成熟材의範圍를假導管長의回歸式에있어서伸長에서求하여결정하고,髓에서의年輪數와距離는Table 2와같다.未成熟材는髓에서는13~19年輪까지의範圍로髓에서의거리는5~8cm의범위였다.未成熟材의범위에대해서는假導管長

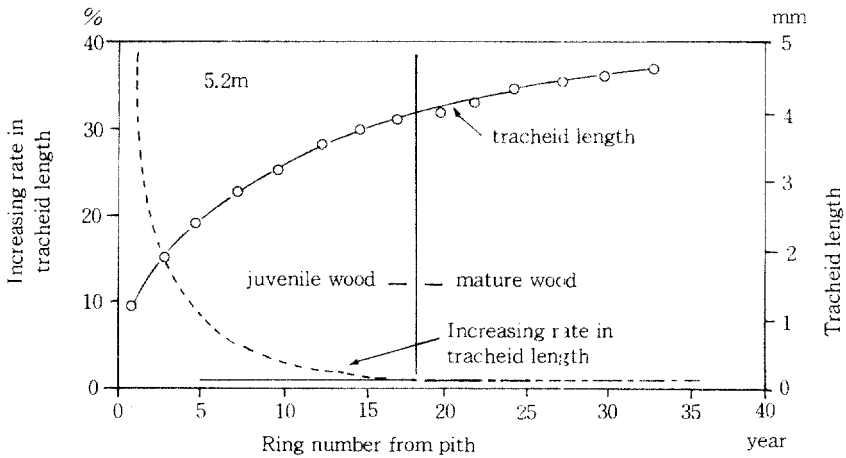


Fig. 9. Relationship between tracheid length of juvenile and mature wood with an increasing rate in tracheid length from the pith to bark.

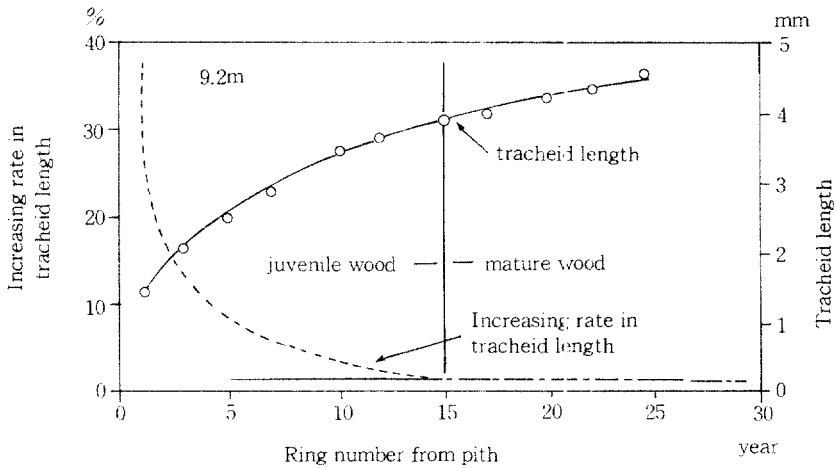


Fig. 10. Relationship between tracheid length of juvenile and mature wood with an increasing rate in tracheid length from the pith to bark.

을 指標로 하는 報告가 主流를 이루고 있으며 渡邊等¹⁴은 髓에서 10~15년륜, 太田¹⁵은 편백이 10~13년륜, 深澤¹⁵은 삼나무 10~15년륜이라 하며, 髓에서 5~7cm에 이룬다고 보고하였다. 須藤¹⁶은 소나무에 대하여 調査한 결과, 未成熟材의 범위는 20년륜이라 하였으며, 李等¹⁷은 未成熟材의 年輪數로는 15~20년륜, 髓에서의 距離는 8~10cm라고 보고하였다. 이와 같은 結果에서 正常的으로 成長한 針葉樹材의 未成熟材의 범위는 髓에서 거의 20년륜 이내에 있다고 생각된다. 이와 같은 傾向은 本實驗의 結果와 일치한다. 그러나 個體間 혹은 個

體內的 地上高 部位에 의해 年輪數와 距離에 差가 있는 것은 個體의 成長狀況의 差에 의한 것으로 생각된다.

地上高 部位別 假導管長의 變動을 조사한 結果, 正常材의 平均 假導管長은 2.70~3.98mm의 범위로 地上高가 높아짐에 따라서 假導管長이 길게 되는 傾向이 있으며, 被壓材는 正常材보다 짧다. 이와 같은 結果는 鹽倉¹¹이 被壓에 의한 成長抑制는 平均 假導管長의 伸長을 늦춘다고 報告한 結果와 일치하며, 또한 地上高 0.2m에서 2,000~4,000 μ m, 11.2m에서는 1,500~4,000 μ m라고 보고한 李等¹⁸

Table 2. Relation between ring number and distance from the pith of juvenal wood

Sample tree No.	Height (m)	Ring No.	Distance (cm)	Regression equations	R	Tracheid length(mm)	
						Mean	S.D
1	1.2	16	8.1	$Y=1.78+1.21 \log X$	0.907	3.08	± 0.47
	5.2	17	7.8	$Y=1.72+1.28 \log X$	0.927	3.24	± 0.51
	9.2	15	6.7	$Y=1.94+1.12 \log X$	0.856	3.20	± 0.66
2	1.2	18	6.8	$Y=1.66+1.36 \log X$	0.868	3.16	± 0.55
	5.2	18	6.3	$Y=1.67+1.41 \log X$	0.807	3.09	± 0.56
	9.2	15	5.6	$Y=1.74+1.33 \log X$	0.929	2.92	± 0.50
3	1.2	15	6.5	$Y=1.60+1.64 \log X$	0.911	3.41	± 0.64
	5.2	17	7.1	$Y=1.73+1.59 \log X$	0.922	3.30	± 0.60
	9.2	16	6.1	$Y=1.71+1.60 \log X$	0.880	3.22	± 0.61
4	1.2	17	7.6	$Y=1.95+0.88 \log X$	0.858	3.00	± 0.36
	5.2	19	7.0	$Y=1.62+1.41 \log X$	0.935	3.54	± 0.55
	9.2	15	6.0	$Y=2.17+1.44 \log X$	0.899	3.98	± 0.56
5	1.2	16	7.8	$Y=1.65+1.27 \log X$	0.847	3.44	± 0.53
	5.2	18	8.0	$Y=1.72+1.39 \log X$	0.851	3.68	± 0.59
	9.2	13	5.6	$Y=1.83+1.47 \log X$	0.901	3.60	± 0.50
6	1.2	18	8.1	$Y=1.03+1.98 \log X$	0.991	2.86	± 0.57
	5.2	18	6.8	$Y=1.15+2.26 \log X$	0.996	2.73	± 0.49
	9.2	15	6.2	$Y=1.45+2.17 \log X$	0.998	2.70	± 0.59
7	1.2	23	5.1	$Y=1.08+2.13 \log X$	0.984	3.38	± 0.80

Table 3. Vairation of trachied length for late- wood and earlywood

Classification	Average	Earlywood	Latewood
Mean	3,014	2,851	3,132
Range		1,153-4,200	1,665-4,486

* unit : μm

의 결과와도 일치한다. 本研究에서 調査한 假導管長은 地上高別로는 1.2m에서 1,030~4,190 μm , 9.2m에서 1,250~4,060 μm 였으며, 早·晚材의 假導管長의 變動은 다음 Table 3과 같이 早材는 2,851 μm , 晚材는 3,132 μm 로 早 晚材 假導管長은 3,014 μm 로 다소 긴 傾向이 있다.

4. 結 論

잣나무의 假導管長은, 放射方向에서는 髓 附近에서 가장 짧고, 樹齡이 增加함에 따라 急速히 增加하여 髓 附近의 2.5倍 以上이 되며, 垂直方向에서는 地上高가 增加함에 따라 增加하며 정단에서는 짧게 된다는 Saino의 法則과 같은 傾向을 나타내고 있다.

假導管의 直徑은 晚材에서의 變動은 적으나 早材는 髓에 接한 부분이 가장 작고 外周를 향해 급격히 增加하며, 早材는 晚材 直徑의 약 2배 以上이고 早材部의 未成熟材와 成熟材의 直徑의 差는 10 μm 以下이다.

假導管의 壁厚는 早材部는 變動이 적으나 晚材部는 髓에서 外周를 향해 급속히 증가하고 成熟材는 未成熟材보다 10~20% 두껍고 樹齡은 대체로 13~18年輪 頃에서 安定이 된다.

假導管 中層의 피브릴 傾斜角은 7年輪, 15年輪, 30年輪 모두 同一年輪內에서는 早材部가 크고 晚材部로 향해 작게 된다. 放射方向에서는 髓 附近에서 早 晚材 모두 最大의 傾斜角을 나타내며 外周를 향해 서서히 減少하여 15年輪 以後에는 安定이 된다.

잣나무의 未成熟材와 成熟材의 組織構造의 境界는 假導管長은 13~19年輪 (髓에서의 距離는 5~8cm)이며, 壁厚는 13~18年輪 (髓에서의 距離는 6~8cm)이며 假導管 中層의 피브릴 傾斜角은 15~18年輪 (髓에서의 距離 6~8cm)이다.

参考文献

1. 鹽倉高義. 1981. 針葉樹の未成熟材に関する知見補遺ならびに樹幹内における材質の變動に関する研究. 東京農業大學木材工學研究會. : 1-71
2. Larson, P. R. 1962. Biological approach to wood quality. *Tappi* 45(6) : 443-448
3. Van Buijtenen, J. P. 1958. Experimental control of environmental factors and their effect upon some aspects of wood anatomy in Loblolly pine. *Tappi*, 41(4) : 75-178
4. 田島俊雄. 1967. 木材の生長と材質. 東京農業大學農學部紀要 : 13
5. 太田貞明. 1972. スギ, ヒノキ樹幹内における未成熟材の力學的特性に関する基礎的研究. 九大演習林報告 45 : 1-80
6. 加納 孟. 1960. スギの材質(第1報). 175-178. 釜淵産スギ. 林試研報, 125 : 95-119
7. 太田貞明, 渡邊治人, 松本 昴, 堤 壽一. 1968 : 未成熟材の力學的特性に関する研究 (第2報). ヒノキ樹幹における材質判定因子の變動と力學的性質について. 木材學會誌 14 : 261-268
8. Lee, W. Y and J. H. Kweon. 1980. Trend of fibril angle variation in *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. *J. Kor. Soc. No.* 46, 44-56
9. 渡邊治人, 堤 壽一, 小島敬吾. 1962. 未成熟材に関する研究 (第1報). スギ樹幹についての
實驗. 木材學會誌 9 : 225-230
10. Noskwiak, A. F. 1963. Spiral grain. *Forest Prod. J.*, 13 : 226-275
11. Ifju, G. 1962. Some Variables affecting micro-tensile strength of Douglas-fir. *Forest Prod. J.*, 12 : 213-239
12. 中戸亮二, 梶田 茂, 1955. 木材の收縮膨脹に関する異方の性原因について(4報). 年輪と異方收縮. 日本林學會誌 37(1) : 22-25
13. Preston, R. D. 1958. Dadswell, H. E. : *Inst. Wood Sci.*, 11 : 33
14. Rendle, B. J. 1960. Juvenile and adult wood. *Inst. Wood Sci.*, No. 5
15. 深澤和三. 1967. スギ樹幹内の材質變動に関する研究, 産地を異にする林木 樹幹の未成熟材などの區分とその材質特徴. 岐大農研報, 25 : 47-128
16. 須藤彰司. 1969 : アカマシ假道管の變移について(第6報). 林分(東北地方)における生長と假道管長の關係について. 木材學會誌, 15 : 241-246
17. Lee, W. Y, and S. C. Kim. 1982. Studies on wood quality of *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. (VI) : *Kor. Soc. of Wood Sci. Tech.* vol. 10 : 38-46
18. Lee, K. Y, Lee W. Y. 1987 : Studies on the variation of tracheid length *Pinus koraiensis* *J. For. Prod. Tech.* vol. 2 : 17-23