

木材細胞壁의 MICRO FIBRIL 傾斜角에 관한 研究(1)*¹ - 樹幹內 MICRO FIBRIL 傾斜角의 變異 -

全壽京*² 李元用*²

Studies on Micro Fibril Angle of Woody Plant Cell Wall(1)*¹ - Variation of Micro Fibril Angle on Tree Stem -

Su Kyung Chun *² Won Yong Lee *²

Summary

This paper aims at gaining the informations about the fibril angle at secondary walls of tracheids. The test specimens were taken from disks on stem wood of "Pinus koraiensis Sieb. et zucc." The method of measuring the fibril angle was selected so-called "iodine method" that crystalline aggregates of iodine may be induced to form within the elongated interstices of the cellulose matrix of the secondary wall and that these elongated crystals are oriented parallel to the long axes of the fibrills of cellulose.

The following conclusions may be drawn from the results of this investigation.

- 1) Gross average fibril angle was about 17.6° on stem wood.
- 2) Its values seem to be greater for earlywood (avg. 19.8°) than for latewood tracheids (avg. 15.3°) in normal wood.
- 3) According to the increase of annual ring from pith to barks the orientation of fibril angle seems to be decrease gradually in normal wood.
- 4) In the case of height variation in trees the sample trees have a tendency to increase the orientation fibril angle to the increase of tree height in stem.

I. 緒 言

木材는 假導管이나 木纖維 等の 各種 細胞로 構成된 集合體이며 그 細胞가 形態를 維持하고 있는 것은 細胞壁이 있기 때문이다. 그런데 이와같이 木材의 細胞壁은 發生學的인 面으로 보아 一般的으로 두개의 다른 構造로 形成되어 있는 것으로 생각되고 있다. 即, 하나는 一次壁으로서 細胞의 表面生長의 期間에 形成된 것이며, 다른 하나는 2次壁으로서 表面生長이 終了된 後에 付加生長에 依하여 形成된 細胞壁의 主體를 이루고 있는 部分이다.

이러한 細胞壁을 構成하고 있는 化學的 成分은 主로 主要成分인 Cellulose, Hemicellulose, Lignin 으로 構成되어 있으며, 이들 主要成分을 木材 細胞壁의 形態學的인 構成의 觀點에서 보면 Cellulose

는 骨格物質(framework substance), Hemicellulose 는 間充物質(matrix-substance), Lignin은 充填物質(incrusting substance)로 譬喩할 수 있을 것이다.

그런데 이러한 木材의 細胞壁 即, 針葉樹材의 假導管이나 闊葉樹材의 木纖維와 같은 細胞壁의 橫斷切片을 偏光顯微鏡의 十字nichol 下에서 觀察하면 細胞壁은 明暗의 差異에 依하여 3개의 部分으로 區分할 수가 있게 된다. Kerr²⁶에 依하면 이와같은 事實은 2次壁中에서 細胞軸에 對하여 micro fibril의 配列을 달리하는 層이 存在하기 때문이며, 이들의 3層을 外側으로 부터 外層(out layer, S₁), 中層(middle layer, S₂) 및 內層(inner layer, S₃)이라 말하고 있다.

이와같은 2次壁의 3層의 micro fibril의 配列

*¹ Received for publication on Dec. 10, 1982

*² 江原大學校 林科大學, College of Forestry, Gangwon National University

어 關하여는 많은 研究가 있으나 오늘날 많은 支持를 얻고 있는 wardrop²⁷⁾의 model 에 依하면 S_1 은 micro fibril 이 S Helix와 Z Helix로 配列하는 交差構造를 이루고 있으며, S_2 에서는 micro fibril은 細胞의 長軸에 對하여 거의 平行에 가까운 steep helix로 配列되어 있고, S_3 의 micro fibril은 細胞軸에 對하여 直角에 가까운 flat helix로 配列되어 있으나 그 micro fibril의 平行度는 S_1, S_2 에 比較하여 多少 散亂되어 있다고 말하고 있다. 最近에는 電子顯微鏡의 出現에 依하여 negative 染色한 超薄切片이나, 脫 lignin 處理 또는, 脫多糖類處理한 超薄切片的 寫眞으로 micro fibril의 配列의 差異에 依한 木材細胞壁의 壁層構成을 直接 確認하지 되었다.

이와같은 micro fibril은 木材細胞壁中の 骨格物質인 cellulose 分子의 集合體이므로 이들의 配列은 木材의 物理的 化學的 性質이나 기타 木材를 合理的으로 利用하는데 매우 重要한 役割을 하는 것으로 생각되고 있다.

이와같은 見地에서 本 研究에서는 우리나라의 固有 樹種이며, 經濟的 樹種이고 造林樹種의 하나인 잣나무(Pinus koraiensis) 造林木에 對하여 現속에도 많이 使用되고 있는 요드法으로 正常材 樹幹內에서의 micro fibril의 配列의 變異에 關하여 研究 檢討하였다.

2. 材料 및 方法

2.1 供試樹種과 試片

本 研究에 使用된 供試木은 本 大學校 演習林에서 生育한, 生長이 比較的 優秀한 잣나무(Pinus koraiensis)로서 樹高 18m, 胸高直徑 34cm, 樹齡 50年 生되는 立木이었다. 이 立木을 1981年 5月 21日 伐採한 다음 樹幹의 外形의 特徵을 調查하고 地上高 1.2m, 4.2m, 7.2m, 10.2m, 12.2m 높이의 各 部位에서 두께 3cm의 圓板을 採取하였다. 다시 各 部位에서 採取된 圓板을 깨끗하게 鉅削하고 幅 1.5cm 程皮의 Block 를 採取하여 fibril 傾斜角 測定 用 供試片으로 使用하였다.

2.2 Fibril 傾斜角의 測定

木材의 細胞壁을 構成하고있는 micro fibril을 光學顯微鏡으로 直接 觀察할수는 없으나 우리는 間接的인 方法으로 micro fibril의 配列을 推定할수는 있다. 卽 ① 細胞壁을 가볍게 脫 lignin 處理함에 出

現하는 條線을 測定하는 方法 ② 針葉樹材의 晩材部 假導管이나 纖維壁에 보이는 裂目을 測定하는 方法 ③ 假導管이나 纖維의 膜孔의 孔口(pit aperture)中에서 長橢圓形으로 나타나는 孔口의 長徑의 方法을 測定하는 方法 ④ 軟腐朽菌의 培養에 依해서 만들어지는 腐朽穿孔의 方向을 測定하는 方法 ⑤ 偏光顯微鏡을 利用하여 消光角을 測定하는 方法等에 依하여 fibril의 傾斜角을 測定할수 있다.

또한 最近에는 電子顯微鏡에 依한 超薄切片法 r-eprica 法等の 試料作製法을 使用 直接 관찰할수 있게 되었다.

그러나 本 研究에서는 細胞壁을 脫 lignin 處理하여 fibril 間隙에 요드의 針狀結晶을 折出시켜 光學顯微鏡으로 測定하는 요드法에 依하여 Fibril 傾斜角을 測定 하였다.

1) 切片의 作成

上記와 같은 方法으로 만들어진 試片을 數日間 浸水하여 飽水狀態로 만들고 물로 滌어서 充分히 軟化시킨 다음 20~24 μ 程度의 触断面 切片을 만들었다. 다음 60% HNO_3 , 100cc에 塩素酸加里($KClO_3$) 2g을 넣은 混合液 15cc에 물 7cc를 첨가한 Schurze 液을 만들어 여기에 切片을 10~20分間 處理

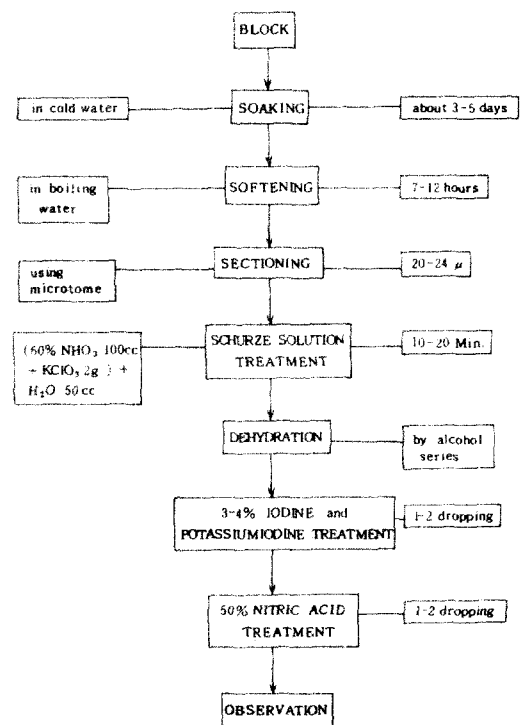


Fig. 1 Procedures of sample treatment.

한 다음 alcohol series 로 脱水하였다.

이와같이 하여 完全 脱水된 切片을 Slide glass 위에 올려놓고 3~4% 요드·요드칼륨 水溶液을 1~2 방울 滴下한 后 50% 질산(HNO₃)을 한방울 떨어뜨려 요드의 針狀結晶을 形成시켰다.

여기서요드·요드칼륨 水溶液은 蒸溜水 100cc 에 3~4% 沃度(I₂) 3g과 요드칼륨(KI) 4g을 混合하여 調製하였다.

2) 角의 測定

以上과 같은 方法으로 處理된 切片에는 micro fibril의 間隙에 요드의 針狀結晶이 析出되므로 이것을 光学顯微鏡으로 檢鏡하면서 projector에 連結하여 假導管의 軸과 fibril의 走向과의 角度를 測定하여 fibril의 傾斜角으로 算定하였다.

以上の 關係를 그림으로 나타내면 Fig.1과 같다.

3. 結果 및 考察

3.1 FIBRIL 傾斜角의 出現狀態

正常材 各 圓板에서 測定된 fibril 傾斜角 測定值을 集計하여 各 圓板에 나타나는 fibril 傾斜角의 出現數를 求하고 統計的으로 여러 數值를 計算한 結果는 Table 1, 과 같다. 이 結果에 依하면 樹幹內 全供試木 圓板의 平均 fibril 傾斜角은 約 17.6° 程度이며 早材의 平均 fibril 傾斜角은 約 19.8°, 晩材는 15.3°로서 早材部의 傾斜角이 약간 크게 나타나고 있다.

Table 1. Statistical values of fibril angle on all samples in stem (degree)

	Number of measurements	Mean	Max.	Min.	Standard deviation	Coefficient of variation	Mode
Total	2,370	17.6	40.0	3.0	6.87	0.39	15
Early wood	1,210	19.8	40.0	3.0	7.30	0.37	19
Late wood	1,160	15.3	37.0	3.0	5.54	0.36	15

이와 같은 結果는 Manwiller¹²⁾가 spruce pine을 偏光顯微鏡으로 觀察하여 報告한 全體平均 35.9°보다, Memillin, C.W.가 偏光顯微鏡으로 觀察한 loblolly pine (早材 33.4°, 晩材 26.9°) 보다는 比較的 적은 값이며, 한편 渡辺²⁴⁾가 삼나무에 對하여 요드의 結晶을 形成시키 測定한 結果(삼나무의 早晚材 平均 17~20°)와는 비슷한 값을 나타내고 있다.

다음은 正常材 圓板 全體에 對하여 fibril 傾斜角의 出現度數 分布曲線을 整理한 結果는 Fig.2과 같다.

이 結果에 依하면 fibril 傾斜角의 全分散域은 3~39°의 넓은 範圍에 達하고 있으며, 그 mode는 15°程度로서 正規分布를 나타내고 있는 것으로 생각되고 있다.

또한, fibril 傾斜角이 33°以上の 것은 總 測定值의 約 1.3%以下에 不過하며 더욱이, 이 範圍의 것은 木材의 欠点이 있을때 測定된 것이 있으며, 또 5°以下의 것은 總 測定值의 1.3%以下에 不過하여 이것 또한, 欠点에 依하여 出現하였던가 紋孔周圍 或은, 放射組織 周圍의 假導管에서 測定된것으로 생각되므로 正常 狀態에서의 fibril 傾斜角의 分散은

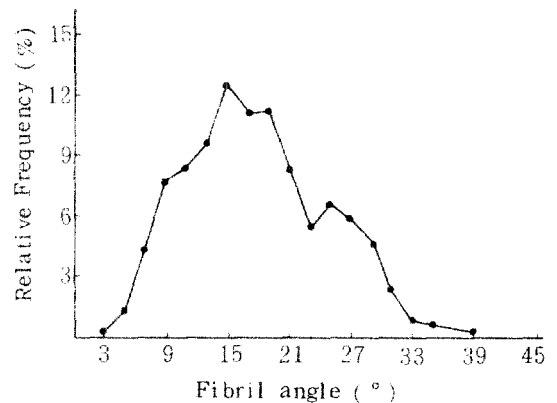


Fig.2 Frequency diagram of average fibril angle in stem

5~33°로 생각되고 있다.

以上の fibril 傾斜角의 出現 度數分布曲線을 早晚材 別로 區分하여 整理한 結果는 Fig.3과 같다. 이 結果를 觀察하면 早晚材部의 最頻率은 各各 19°, 15°程度이며 晩材部는 正規分布를 나타내고 있으나 早材部는 약간 右偏되는 것으로 觀察되고 있다.

또한, fibril 傾斜角 出現 度數分布曲線을 早晚材

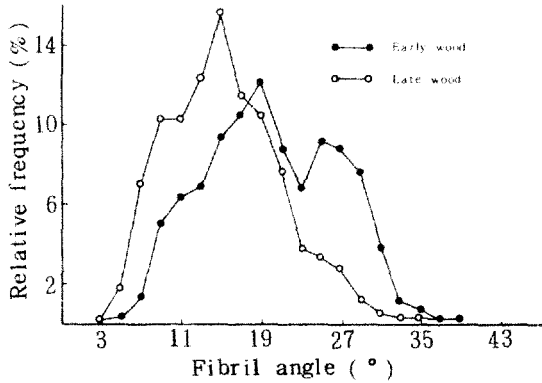


Fig. 3 Difference of frequency diagram of fibril angle between early and late wood in stem

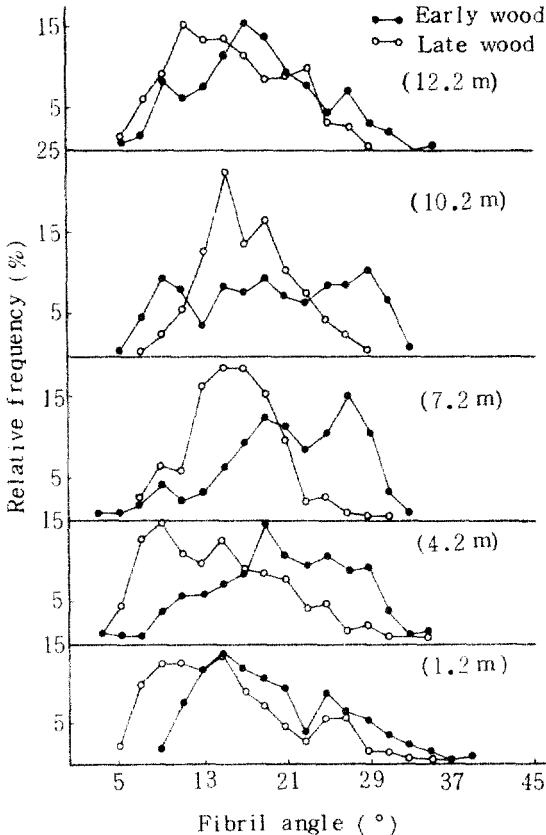


Fig. 4 Difference of frequency diagram of fibril angle between early and late wood at each height above ground

別, 地上高別로 나타낸 結果 Fig. 4 와 같다. 이것에 依하면 地上高가 增加함에 따라 그 出現 範圍가 약간 減少되는 것으로 생각되고 있다.

3.2 水平方向의 變異

fibril 傾斜角의 水平 方向의 變動(髓心에서 樹皮 方向)을 綜合한 結果는 Fig. 5 와 같다. 이 結果에 依하면 早晚材部 모두 髓心部에서 fibril 傾斜角이 가장 크며 樹皮方向으로 向함에 따라 그 傾斜角은 漸進的으로 減少되고 있다.

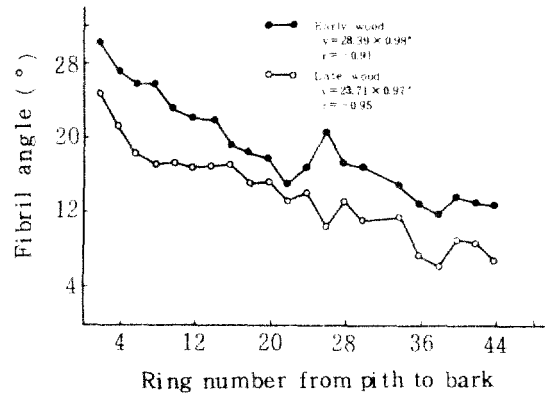


Fig. 5 Variation of average fibril angle from pith to bark on all samples in stem

너욱이, 髓心에서 樹皮로 向하여 약 20 年輪까지 는 그 減少가 比較的 急進的인데 對하여 20 年輪 以後에서 부터는 多少 漸進的이며 약간 安定된 狀態를 나타내고 있는 것으로 觀察되고 있다.

이와같은 事實로 미루어 보아 fibril 傾斜角의 水平 方向의 變動에 依하여 成熟材와 未成熟材를 區分할 수가 있고, 그 境界가 되는 部分은 髓心에서 約 20 年輪되는 곳으로 생각되고 있다.

이러한 fibril 傾斜角의 水平方向의 變動에 對하여 는 많은 研究 結果가 있다.

即, Mc Ginnes¹³⁾는 shortleaf pine 을 偏光頭微鏡으로 觀察하였으며 Wangaard,²⁰⁾Dadswen 과 Nichol,²¹⁾Hiller,⁶⁾ 渡辺²⁴⁾ 등이 요드法에 의해서 測定한 結果 등은 本 研究 結果와 거의 모두 一致되고 있었다.

3.3 垂直方向의 變異

다음 fibril 傾斜角은 樹幹의 地上高가 높아짐에 따라 어떻게 變化하는가를 알기 위하여 垂直方向의 變動을 綜合 整理한 結果는 Fig. 6, 7 과 같다.

Fig. 6 에 依하면 前述한 바와 같이 髓心에서 樹皮 方向으로 向하여 그 傾斜角은 減少되고 있으나, 地上高가 낮은 部位에서는 比較的 漸進的이지만 地上高가 增加함에 따라 그 減少되는 程度가 점차 急進的으로 移行됨을 觀察할 수가 있다. 이와같은 事實은 地上高가 높은 곳에서는 未成熟材가 많이 存在하기

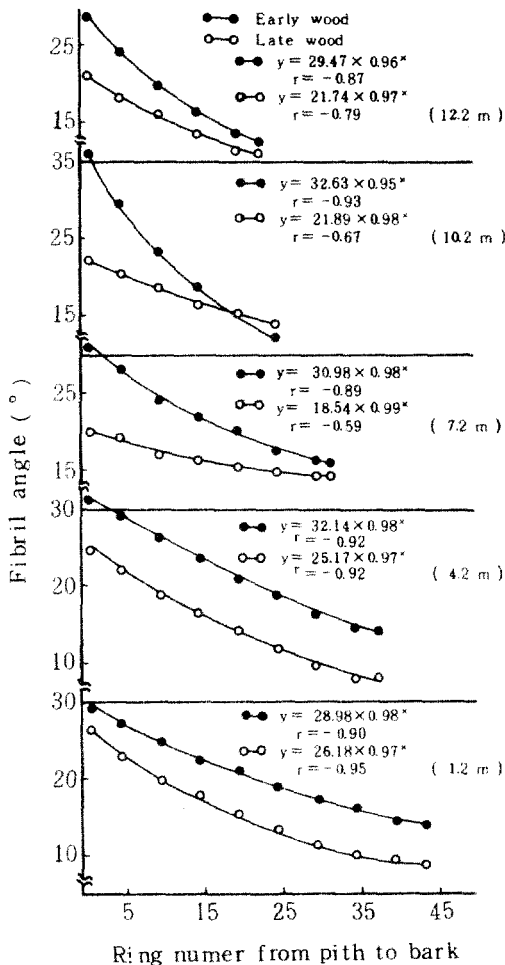


Fig. 6 Difference of fibril angle between early and late wood at each height above ground

때문인 것으로 思料되고 있다.

또한, Fig. 7에 依하면 髓心에 가까운 部分에서는 地上高가 增加함에 따라 fibril 傾斜角은 漸次 增加되고 있으나 樹皮에 가까운 部分에서는 地上高에 依한 fibril 傾斜角의 變動은 거의 없는 것으로 보여지고 있다.

以上과 같이 fibril 傾斜角의 垂直方向의 變動은 水平方向의 變動만큼 明確히 出現되지 못하고 있는 것을 볼 수 있으며 이에 대한 研究도 多少있다.

即, Hiller⁶⁾는 紋孔口法에 依해서 loblolly pine 을 同年에 形成된 木部の fibril 傾斜角에 對해서 調査한 結果에 의하면 地上高가 낮은 部位에서 보다 地上高가 높은 部位에서 더 크다고 報告한 바 있으며, 塩倉과 渡辺²³⁾는 落葉松의 同年에 形成된 木部

의 fibril 傾斜角에 對하여 調査한 結果에서도 上記와 같은 傾向을 나타내고 있는 것으로 報告하고 있다. 또한, 이들은 同樹種의 髓心으로 부터 5번째 年輪(即, 髓心으로 부터 同一거리)에서 地上高別 變異를 調査한 結果 地上高가 낮은 쪽이 약간 큰 값을 나타낸다고 報告한 바 있다.

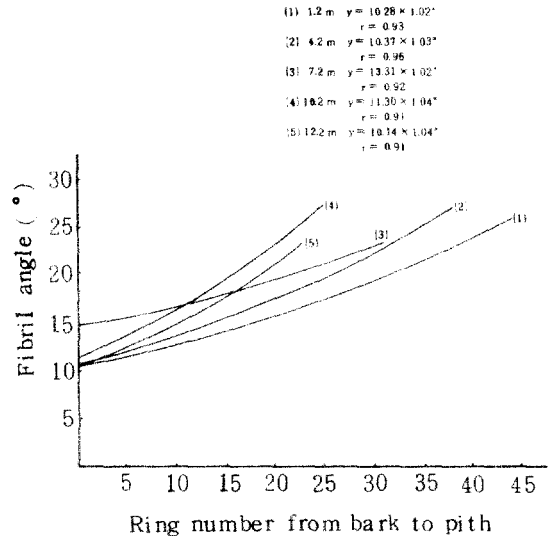


Fig. 7 Variation of fibril angle from bark to pith on all samples in stem

4. 結 論

우리나라의 固有 樹種이고 經濟的 樹種의 하나인 잣나무 造林木에 대한 材質을 評價하고 木材의 合理的 利用을 도모하기 위한 基礎資料를 얻기 위하여 本大學 演習林에서 生育한 잣나무 造林木을 伐採하여 요드法으로 正常材 樹幹內에서의 micro fibril의 變動에 關하여 研究하였으며 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 正常材 樹幹에서의 micro fibril 傾斜角은 平均 17.6°였다.
2. 早材部에서의 micro fibril 傾斜角은 平均 19.8°였다.
3. 晩材部에서의 microfibril 傾斜角은 平均 15.3°였다.
4. fibril 傾斜角의 水平方向의 變動 即, 髓心에서 樹皮方向으로 年輪이 增加함에 따라 樹幹部에서는 점차 減少되고 있다.
5. fibril 傾斜角은 地上高가 增加함에 따라 점차 增加되는 傾向이 있다.

參 考 文 獻

1. Bailey, I.W., and Vestal, M.R. (1937): The orientation of cellulose in the secondary wall of tracheary cells. I. Arnold arboretum 18:185-195.
2. Dadswell, H.E., and Nicholls, I.W.P. (1959): Assessment of wood qualities for tree breeding. I. CSIRO Div. Forest prod. Tech, Pap. 4. 16pp.
3. Dunning, C.E. (1968): Cell-wall morphology of longleaf pine latewood, Wood Sci. 1:65-6.
4. Echols, R.M. (1955): Linea relation of fibrillar angle to tracheid length and genetic control of tracheid length in slash pine. Trop. Woods, 102. pp. 11-22.
5. Hermans, P.H. (1949): Physics and chemistry of cellulose fibers. 534 pp. N.Y.: Elsevier Press.
6. Hiller, C.H. (1954): Variation in fibril angles in slash pine. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab. Rep. 2003. 6 pp.
7. Hiller, C.H. (1964): Correlation of fibril angle with wall thickness of tracheids in summerwood of slash and loblolly pine. TAPPI.47:125-128.
8. Hiller, C.H. (1964): Estimating size of the fibril angle in latewood tracheids of slash pine. J. Forest. 62:249-251.
9. Hiller, C.H., and Brown, R.S. (1967): Comparison of dimensions and fibril angles of loblolly pine tracheids formed in wet or dry growing seasons. Amer. J. Bot. 54:453-460.
10. Jackson, L.W.R., and Morse, W.E. (1965): Variation in fibril angle of slash and loblolly pine. GA. Forest. Res. Council. Res. Pap. 34. 5pp.
11. Barrett, J.D., Schniewind, A.P., and Taylor, R.L. (1972): Theoretical shrinkage model for wood cell walls, Wood Sci. Vol. 4. No. 3.
12. Manwiller, F.G. (1966): Southern pine cell walls and shrinkage. South Lumberman, 213(1656): 184-186.
13. McGrnnes, E.A. (1963): Growth-quality evaluation of Missouri-grown shortleaf pine (pinus echinata Mill) Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 841, 69pp.
14. McMillin, C.W.(1968): Morphological characteristics of loblolly pine wood as related to specific gravity, growth rate, and distance from the pith. Wood Sci. And Technol. 2: 166-176.
15. Pillow, M.Y., and Bray, M.W. (1935): Properties and sulphate pulping characteristics of compression wood. Pap. Trade J. 101(26):31-34.
16. Pillow, M.Y., Chidester, G.H., and Bray, M.W. (1941): Effect of wood structure on properties of sulphate and sulphite pulps from loblolly pine. Southern pulp and Pap. J. 4(7):6-12.
17. Pillow, M.Y., Terrell, B.Z., and Hiller, C.H. (1953): Patterns of variation in fibril angles in loblolly pine. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab. Rep. D 1935. 31pp.
18. Preston, R.D. (1952): The molecular architecture of plant cell walls. 211pp. London: Chapman and Hall Ltd.
19. Saiki, H. (1970): Influence of wood structure on radial variations in some physical properties within on annul ring of conifers. Memories College Agri. Kyoto Univ. No. 96, 47.
20. Wangaard, F.F. (1950): The mechanical properties of wood. Tohan willey and Sons. Inc. New York.
21. 塩倉 高義・渡辺 治人 (1973):
カラマツ林の 品質に関する基礎的 研究 (第 3 報)
東京農業大學 農學集報 Vol. 17. No. 1. 81 - 85.
22. 太田 貞明・渡邊 治人・松木 勲・梶壽一 (1968):
未成熟材の力學的 特性に関する研究 (スギ樹幹内の未成熟材の 動的ヤング率とファイブレル傾角) 九州大學 演習林 集報 第 22 號, pp. 105 - 116.
23. 塩倉 高義・渡辺 治人 (1973):
カラマツ材の品質に関する基礎的 研究 (第 4 報) 東京農業大學 農學集報 Vol. 17. No. 1. 87 - 94.
24. 渡辺治人 (1967):
樹幹丸太の特性, 九州大學 農學部 木材理學教室 研究資料 No. 67 - 1.
25. 李元用, 權震憲 (1980):
자나무 fibril 傾斜角의 變異에 관한 研究, 韓國林學會誌. 第 46 號. pp. 24 - 44.

26. Kerr, T., and Bailey, I.W. (1934): The cambium and its derivative tissues. No. X. Structure, optical properties and chemical composition of the so-called middle lamella, J. Arnold

Arboretum, 15, 327.

27. Wardrop, A.B., and Harada, H. (1965): The Formation and struture of the cell wall in fibers and tracheids. J. Exp. Bot. 16, 356.

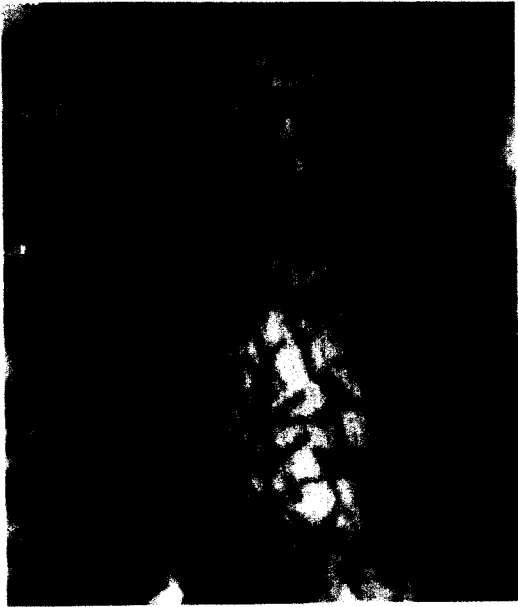


Photo 1. Fibril angle revealed by iodine crystal at late wood (×800)

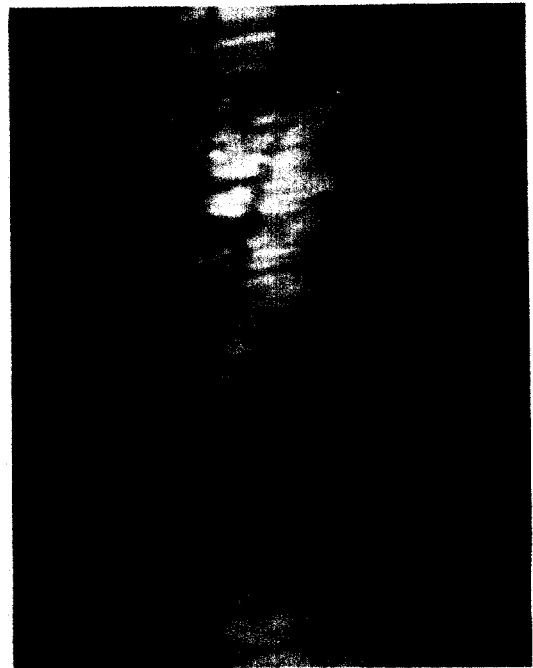


Photo 3. Fibril angle revealed iodine crystal at late wood (× 600)



Photo 2. Fibril angle revealed by iodine crystal at early wood (× 1500)

