

電子顯微鏡을 통하여 본 木材纖維의 構造*²

原 田 浩*³

The Structure of Wood Fibers Observed by Electron Microscope*²

Harada Hiroshi*³

緒 論

木材纖維라고 하는 말은 木材의 各種 細胞에 一般적으로 漠然하게 쓰여지고 있는 경우가 있지만, 木材의 構造的 觀點에서의 纖維(fibre)라고 하는 말은 木部(木材) 및 師部(樹皮)에 있는 道管要素와 柔組織의 細胞以外的 細長한 모든 細胞에 對하여 쓰여지고 있는 便宜上의 말이다. 纖維라고 表現하는 경우에는 木部에서는 假導管, 纖維狀假導管 및 眞正木纖維를, 또한 師部에서는 韌皮纖維를 뜻한다. Pulp 原料로서는 木部の 纖維가 重要하지만 이와 關聯하여 道管要素나 柔組織의 細胞, 또는 師部の 細胞도 무시할 수는 없다. 本稿의 3,4에서는 各種의 細胞를 區別하지 않고 便宜上 纖維로 表現하고 있다.

本稿에서는 우선 針葉樹와 濶葉樹의 木材와 樹皮細胞의 形態에 對하여 概說하고 다음에는 細胞壁의 構造 特히 透過電子顯微鏡(TEM) 水準의 構造에 대해서 언급하고 最後에는 主로 走査電子顯微鏡(SEM)을 통하여 본 Pulp 및 종이의 構造에 대해서 記述한다.

1. 木材纖維의 形態

1.1 針葉樹材와 濶葉樹材의 細胞¹⁾

針葉樹材와 濶葉樹材 細胞의 種類는 第1表와 같다. 針葉樹材의 細胞中 假道管과 放射柔細胞는 모든 樹種에 存在하지만 外의 細胞는 樹種에 따라 存在하는 것과 그렇지 않는 것이 있다. 構成細胞에 있어서 濶

葉樹材가 針葉樹材와 현저하게 다른點은 道管要素가 存在한다는 것과 細胞의 種類가 많다는 것이다. 다음

第1表 木材細胞의 種類

	針葉樹材	濶葉樹材
軸方向으로 配列하는 細胞	1. 假導管 2. Strand假導管 3. 軸方向柔細胞 4. Epithelium 細胞	1. 導管要素 2. 假導管 (1) 周圍狀假導管 (2) 導管狀假導管 3. 木纖維 (1) 纖維狀假導管 (2) 眞正木纖維 4. 軸方向柔細胞 5. Epithelium細胞
水平方向으로 配列하는 細胞	5. 放射假導管 6. 放射柔細胞 7. 放射 Epithelium 細胞	6. 放射柔細胞 7. 放射 Epithelium 細胞

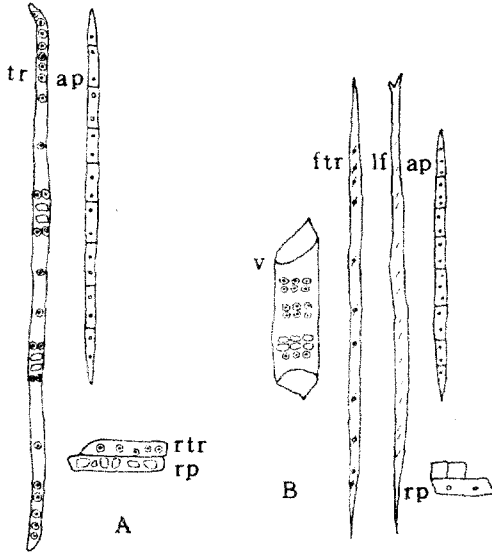
主要細胞의 外觀을 第1圖에, 그리고 그것들이 材中에서 차지하는 比率(細胞壁과 細胞內腔을 합한 容積의 比率)을, 針葉樹와 濶葉樹의 各 3樹種에 對하여 나타낸 結果는 第2表와 같다. 한편 主要細胞의 크기는 第3表와 같다. 針葉樹材에서는 細長한 假道管이 材의 95% 以上을 占하고 있으며 한편 濶葉樹材에서는 木纖維(纖維狀假道管과 眞正木纖維)가 (3樹種에서의 그 差異가 비교적 현저하지만) 32~71%를 占하고 있다. 道管要素는 짧으나 材中에서 12~41% 정도를 차지하고 있다.

*1 Received August 15, 1982.

*2 本報는 木材科學國際學術심포지움(1982, 春川, 韓國)에서 發表했다.

*3 京都大學 農學部 Faculty of Agriculture, University of Kyoto, Kyoto, Japan.

1.2 針葉樹와 濶葉樹의 樹皮의 細胞^{1,2)}



第1圖 針葉樹材(A)와 広葉樹材(B)의 細胞

tr : 假道管, ap : 軸方向柔細胞 strand (個個의 細胞가 軸方向柔細胞), rtr : 放射假道管, rp : 放射柔細胞, v : 道管要素, ftr : 纖維狀假道管, lf : 眞正木纖維

針葉樹 및 濶葉樹의 樹皮細胞의 種類를 第4表에, 또한 그것의 外觀을 第2圖에 나타내었다. 細胞의 種類에 있어서 針葉樹와 濶葉樹의 가장 큰 차이는 前者는 師細胞를 가지고 있는 것에 反하여 後者는 師管要素를 가지고 있는 點이다.

師細胞 : 針葉樹材의 假道管에 相當하며 薄壁으로서

第2表 各種細胞가 針葉樹材(A), 濶葉樹材(B)

(A) 中에서 차지하는 比率(%)의 例¹⁾

	假道管	軸方向柔細胞	放射組織	Epithelium細胞
소나무	95.9	-	3.4	0.7
낙엽송	95.1	-	4.6	0.3
삼나무	97.2	0.8	2.0	-

(B)

	導管要素	木纖維	軸方向柔細胞	放射柔細胞
물참나무	12.6	65.5	6.8	15.1
너도밤나무	41.2	32.1	9.2	17.5
Betula 속	18.3	71.8	1.6	8.3

木化되지 않고 側壁에 師域을 가지고 있다. 師域이라 함은 假道管이나 道管要素의 壁孔에 相當하며 師孔이라 하는 小孔이 集合된 것이다.

師管要素 : 濶葉樹材의 道管要素에 相當하며 軸方向으로 連續되어 師管을 形成하고 있으며 그 接合部에는 師板이 있고 師板이나 側壁에는 師域이 存在한다. 壁은 1차壁으로만 構成되어 있으며 薄고 木化되어 있지 않으며 伴細胞라고 하는 柔細胞를 수반하고 있다.

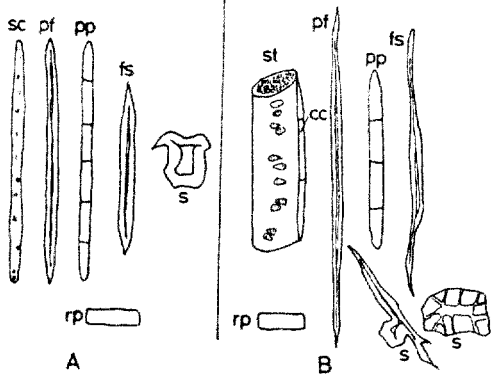
師部柔細胞 : Strand로 되어 있으며 전분, Polyphenol, 修酸칼슘의 結晶 등을 細胞內腔에 가지고 있는 것이 있다.

第3表 主要細胞의 크기의 例¹⁾

細胞의種類	樹種	길이(mm)	直徑 (μm)		壁厚 (μm)		
			放射直徑		切線直徑	早材	晩材
			早材	晩材			
假道管	소나무	1.50 ~ 6.0	40 ~ 60	8 ~ 25	30 ~ 25	2.5 ~ 3.0	3.0 ~ 8.0
	낙엽송	1.2 ~ 6.7	30 ~ 70	7 ~ 45	30 ~ 60	1.5 ~ 3.0	2.5 ~ 6.0
	삼나무	1.0 ~ 6.0	30 ~ 50	10 ~ 20	30 ~ 45	1.0 ~ 3.0	3.0 ~ 7.0
木纖維	너도밤나무	0.5 ~ 1.8	13 ~ 25		2.5 ~ 6.0		
	물참나무	0.5 ~ 1.8	15 ~ 25		3.5 ~ 5.0		
	Betula 속	0.8 ~ 2.3	15 ~ 35		3.0 ~ 4.0		
導管要素	너도밤나무	0.4 ~ 0.8	20 ~ 110		1.5 ~ 2.0		
	물참나무	0.3 ~ 0.5	100 ~ 300		2.5 ~ 4.0		
	Betula 속	0.6 ~ 1.2	50 ~ 200		2.0 ~ 4.0		

第4表 樹皮細胞의 種類²⁾

針 葉 樹	闊 葉 樹
1. 師細胞	1. 師管要素(伴細胞包含)
2. 韌皮細胞	2. 韌皮細胞
3. 師部柔細胞	3. 師部柔細胞
4. Sclereid	4. Sclereid
5. 師部放射柔細胞	5. 師部放射柔細胞



第2圖 針葉樹(A)와 広葉樹(B)의 樹皮의 細胞(南光²⁾)

sc : 師細胞, pf : 師部纖維, pp : 師部柔細胞 strand(個個의 細胞가 師部柔細胞), fs : fiber sclereid, s : sclereid, rp : 師部放射柔細胞, st : 師管要素, cc : 伴細胞

師部放射柔細胞 : 壁은 師部柔細胞와 같이 一次壁만으로 構成되어 있으며 木化되어 있지 않다.

韌皮纖維 : 樹皮細胞中의 厚壁細胞의 하나로서 樹皮의 纖維狀細胞의 총칭이다. 纖維狀細胞를 師部纖維와 fiber sclereid로 나누어 取扱하는 것이 좋다는 견해가 있다.²⁾ 韌皮纖維의 dimension의 1例를 들면 삼나무의 경우 길이 1~6 mm, 직경 10~40 μm이며 포프러에서는 길이 0.9~1.6 mm, 직경 20~30 μm 정도이다.

Sclereid : 일단 師部柔細胞나 師部放射柔細胞로 成熟한 것이 再分化하여 생긴 不規則한 모양을 가진 매우 厚壁의 細胞이다. 南光³⁾의 研究에 따라 纖維狀의 厚壁細胞를 師部纖維와 fiber sclereid로 分類하고 각각 그것을 含有하고 있는 樹種(科屬)을 들면 第5表와 같다.

樹皮의 細胞의 배열을^{1,3)} 橫斷面에서 보면 針葉樹에서는 師部纖維는 1細胞幅으로 連續되어 接線方向으로 配列되어 있고 師細胞(S), 師部纖維(F), 師部柔細胞(P)가 S, F, S, P의 순으로 周期的으로 반복하

第5表 師部纖維와 Fiber sclereid를 가지는 樹種(科, 屬)³⁾

	師 部 纖 維	Fiber Sclereid
針葉樹	소나무科(Pinaceae)를 除外한 모든 樹種	낙엽송屬(Larix), 화백나무屬(Pseudo tsuga)
闊葉樹	포프르스屬(Populus), 버들屬(Salix) Pterocarya屬, 가래나무屬(Juglans), 서나무屬(Carpinus), 참나무屬(Quercus), 느릅나무屬(Ulmus), 목련屬(magnolia), 밤나무, 산뽕나무, 닥나무, 추-립나무, 자귀나무, 아까시아나무, 피나무, 벽오동, 삼지닥나무	물프레나무屬(Fraxinus) 산뽕나무, 마가목, 칠엽수

여 配列되어 있으며 또한 fiber Sclereid는 낙엽송屬(Larix), 화백나무屬(Pseudo tsuga)에서 散在하고 있다. 闊葉樹에서는 師部纖維나 fiber sclereid는 모두 一般的으로 接線方向으로 帶狀으로 配列되고 있으며 師管要素나 師部柔細胞의 列과 交互로 存在하는 것과 小集團으로서 散在하는 것이 있다.

2. 木材纖維壁의 構造

2.1 Cellulose microfibril^{1,4)}

乾燥된 木材는 細胞壁과 空氣로 構成되어 있으므로 木材實質은 細胞의 壁으로 생각된다. 木材를 構成하는 化學成分의 種類와 材中에서의 그 比率을 第6表에 表示한다. 이들의 化學成分中 cellulose, hemicellulose, lignin의 세가지는 모든 樹種의 木材壁에 普遍的으로 多量 存在하고 있으므로 主成分이라고 한다. 主成分을 壁構築面에서 보면 cellulose는 骨格(framework)成分, hemicellulose는 間充(matrix)成分, lignin은 外被(incrusting)成分이라고 말할 수 있다. Cellulose는 剛直한 長鎖狀高分子이며 集合하여 結晶領域을 만들 수 있어서 骨格成分이라고 말할 수 있다. 이것에 對하여 hemicellulose는 lignin과 cellulose와의 융합을 좋게하고 또 lignin은 cellulose와 hemicellulose를 被覆하여 強固하게 굳히는 역할을 하고 있는 것으로 생각할 수

第6表 木材를 構成하는 化學成分의 種類와 그 比率

	Cellulose	Hemicellulose (%) ¹⁾		lignin	樹 脂	灰 分
		xylan	glucomannan			
針葉樹材	40 ~ 50	6 ~ 10	5 ~ 10	27 ~ 30	2 ~ 5	0.2 ~ 0.5
闊葉樹材	45 ~ 50	15 ~ 20	0 ~	20 ~ 25	2 ~	0.5

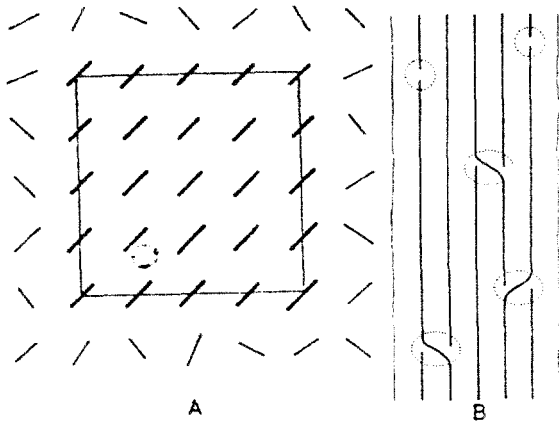
가 있다.

한편 cellulose 分子는 集合하여 絲狀物로서 電子顯微鏡下에서 볼 수 있으며 이것을 cellulose micro fibril (以下 micro fibril 이라고 略記)이라고 부른다. micro fibril 의 직경은 소나무의 holocellulose 에서는 2-4 nm, 포프러의 木纖維의 gelatin 층에서는 2-5 nm이며 길이는 不定하다. 또 橫斷面의 모양은 4 각형이다. micro fibril 의 外周는 cellulose 分子가 結晶狀態로부터 약간 흐트러진 배열을 하는 準結晶(paracrystalline)域으로 둘러 싸여 있다. micro fibril 内에서는 길이의 方向으로 周期的인 非結晶域은 없고 均一한 結晶狀態의 속에 分子의

末端部나 dislocation과 같은 缺陷部가 散在하고 있다고 생각되고 있다. 이와같은 構圖를 略圖하여 第3圖에 表示한다. 한편 壁中の cellulose, hemicellulose, lignin의 存在관계에 대해서는 第4圖와 같이 생각할 수 있다.

2.2 壁의 構成¹⁾

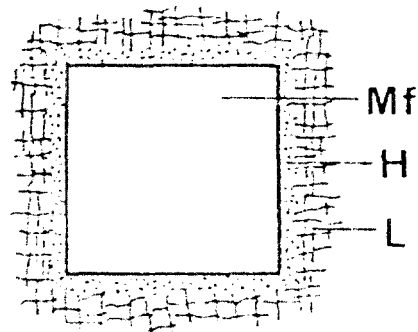
木材의 纖維壁은 表面生長(細胞의 擴大)期間에 만들어진 一次壁(P)과 그 內側에 附加的으로 만들어진 二次壁(S)으로 構成되고 있으며 二次壁은 一般的으로 細胞軸에 對한 microfibril 傾角의 差異에 따라 S₁, S₂, S₃의 3層으로 區分되고 있다. 成熟한 細



第3圖 木材의 cellulose micro fibril의 構造

(A: 橫斷面, B: 縱斷面), 實線은 cellulose 分子 (이가운데 가는 實線은 약간 配列이 散亂된 것), 點線으로 둘러싸인 것은 分子의 末端 및 Dislocation의 部分(分子配列만을 나타내고 幅, 길이의 dimension은 나타내지 않음)

胞壁에 있어서의 P와 S와의 구별은 micro fibril의 疎密과 平行性으로부터 다음과 같이 생각되고 있다. 즉 P라고 하는 部分은 micro fibril이 S에 비하여 비교적 큰 間隔을 가지고 全體的으로 치밀하지



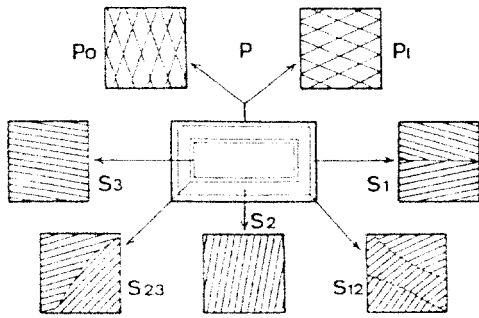
第4圖 Micro fibril의 橫斷面과 그것을 둘러싸고 있는 部分

Mf: Micro fibril, H: paracrystalline cellulose와 hemicellulose의 混合層, L: lignin

않게 배열하고 있는 部分이며, S라고 하는 部分은 micro fibril이 상호 밀접하여 平行하고 正연하게 배열하는 部分이다.

2.2.1 假道管과 木纖維(纖維狀假道管, 眞正木纖維)

木材纖維중 가장 잘 研究되어 壁의 標準的 構造를 나타내는 것으로 생각되고 있다. 偏光顯微鏡이나 電子顯微鏡에 의한 研究의 結果, 壁의 構成과 micro fibril 배열에 대하여 第5圖와 같은 model이 제안되고 있다. 1次壁의 micro fibril은 소위 網目狀의



第5圖 假道管·木纖維의 壁構成 model (Wardrop 外⁶⁾ 修正) 中央은 橫斷面, 화살표로 나타낸 것은 各壁層의 micro fibril 配列을 나타냄. P : 一次壁 (P₀는 外側, P₁는 內側의 部分), S₁, S₂, S₃ : 二次壁各層, S₁₂, S₂₃ : 移行層

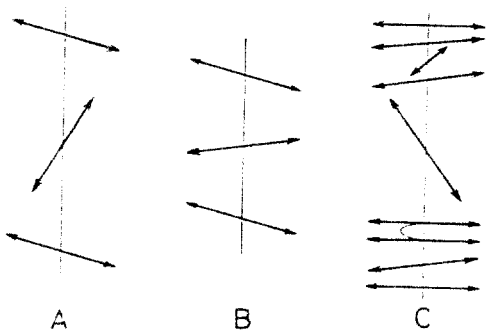
外觀을 나타내고 있으며 外側의 P₀에서는 細胞軸에 對하여 急傾斜로, 또한 內側의 P₁에서는 緩傾斜로 micro fibril 이 配列되어 있다. 2次壁에 있어서는 micro fibril 이 細胞軸의 周위를 螺旋狀으로 配列하고 있는 것은 各種의 顯微鏡이나 X線回折에 의한 研究에 依해서도 明確하며 S₁과 S₃에서는 flat helix (細胞軸에 對하여 큰 角度를 가지고 螺旋狀으로 배열하는), S₂에서는 Steep helix (細胞軸에 對하여 작은 角度를 갖는 helix의 意)로 配列되어 있다. 最⁷⁾에는 S₁은 한 方向의 helix를 取하는 것이 아니라 交差하는 몇개의 얇은 層으로 이루어져 있고 또한 S₁과 S₂의 사이 및 S₂와 S₃의 사이에는 micro fibril 傾角이 順次變化해가는 몇개의 얇은層, 소위 移行層이 存在하는 것으로 알려져 있다. 그러나 2次壁의 S₁, S₂, S₃의 두께 (μm單位)의 比를 例로들면 소나무의 假道管에서는 0.3 : 1.7 : 0.1(早材), 0.6 : 6.9 : 1.8(晚材) 정도이며 또한 너도밤나무의 木纖維에서는 0.5 : 4.3 : 0.1이며 어느 것이나 最厚層의 S₂ 및 S₁과 S₃로 構成되어 있으며 移行層部分은 매우 얇은 것으로 생각되고 있다. micro fibril의 helix의 方向은 S₂에서는 Z-helix, S₃에서는 S-helix(어느 것이나 細胞의 外側에서 보았을 때)이다.

2.2.2 Reaction wood의 假道管과 木纖維

一般的으로는 樹幹傾斜에 의하여 만들어진 針葉樹의 compression wood의 가도관과, 闊葉樹의 Tension wood의 木纖維壁의 構造는 正常材와는 현저하게 다르다. compression wood의 가도관에서는 (1) S₁과 S₂만으로 構成되어 있고, S₃가 없으며 (2) S₂의 micro fibril의 傾角은 35~45°로서 정

상재의 傾角에 비하여 크며(正常材가도관에서는 소나무의 경우 5~25°), 또한 螺旋狀으로 走行하는 裂目이 S₂에 存在하고 있다. 한편 tension wood의 木纖維에서는 (1) 아직 木化되어 있지 않고 거의 cellulose 만으로 된 gelatin 層(G)이 存在하며, (2) G의 micro fibril은 纖維軸에 거의 平行하게 配列되어 있다.

2.2.3 道管要素 : 1次壁의 micro fibril의 배열이 木纖維와 현저하게 相異한 點은 道管要素가 形成 層始原細胞에서 分化成熟되는 過程에 있어서 그 길이는 별로 變하지 않고 직경이 현저하게 증가하기 때문에, 外側에서는 道管軸에 對하여 顯著하게 直角方向으로 배열되는 點이다. 또한 2次壁의 壁構成은 세가지의 type가 있는 것이 明確하다 (第6圖). (1)



第6圖 道管要素 2次壁의 構成 Type (岸⁷⁾에서 作圖)

A : 3層型 B : 1層型, C : 多層型

上下方向의 線의 윗쪽은 壁의 外側, 아랫쪽은 內側 ; 두 화살표는 micro fibril 配列의 方向, C의 弓形은 bow shape 構造

3層型이라고 하는 것은 micro fibril 傾角이 flat, steep, flat의 3層으로 變化되고 있어서 假道管이나 木纖維와 같은 標準의 構造와 같은 것이다. (2) 1層型이라고 하는 것은 壁中에서의 micro fibril의 傾角變化가 매우 적어 偏光顯微鏡下에서는 1層만으로 보이는 것이다. (3) 多層型이라고 하는 것은 壁中에서의 micro fibril 傾角의 顯著한 變化가 4가지 이상 있는 것으로서, 그중에는 micro fibril이 180° 回轉하는 소위 bow Shape (弓形) 構造도 包含되어 있다. 各 Type에 屬하는 樹種(早·晚材別)의 例는 第7表와 같다.

2.2.4 柔細胞 : 柔細胞의 壁構成은 假道管이나 木纖維에 비하여 현저하게 相異한 것이 近年 明白하게 되었다.^{9,10,11)} 그 特徵의 典型的인 것은 (1) 1次壁에

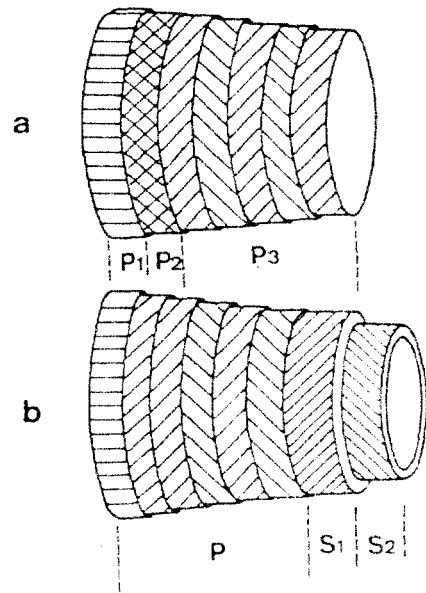
는 서로 交差하는 많은 lamella 構造가 存在하는點과 (2)이 外에 潤葉樹材에는 amorphous layer 라고 불리우는 層이 存在한다는點이다.

第7表 導管要素 2次壁의 構成 Type와 樹種 [早(E), 晚(L) 材別]⁸⁾

	樹 種
3層型	황철나무, 오리나무, 가래나무, 새우나무, 너도밤나무, 목련, 조록나무, 산벚나무, 고로쇠나무, 철엽수, 피나무, 밤나무(L), 물참나무(L), 느릅나무(L) 느티나무(L), 산뿔나무(L), 모밀잣밤나무, 개물프레나무, 황벽나무, 엄나무 오동나무, 쇠물프레나무(E), 지리산물프레나무(E), (Apitong, Kapur)
1層型	밤나무(E), 물참나무(E), 느릅나무(E) 느티나무(E), 산뿔나무(E), 벽오동(E)
多層型	녹나무, pterocarya, 후박나무, 벽오동(L), 쇠물프레나무(L), 지리산물프레나무(L), 종가시나무, 가시나무, (Palosapis, Red lauan, Manggasinoro, White Lauan, Tangil)

註: ()는 熱帶材

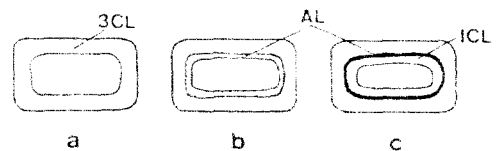
針葉樹材의 放射柔細胞壁 構造의 model은 第7圖와 같다. 第7圖의 P 가운데 細胞軸에 대하여 約30~45°의 micro fibril 傾角을 나타내는 薄層이 交差하여 數層을 이루는 것을 交差가 많은 lamella 構造라고 한다. 日本産 針葉樹材에 대하여 조사한 結果에 의하면 scidopitys 型(scidopitys 속), 삼나무型(삼나무, 편백, 비자나무), 二葉松型(소나무, 흑송), 五葉松型(잣나무, 섬잣나무), 전나무型(전나무 솔송나무, 낙엽송, 가문비나무)의 다섯가지 type로 구분할 수 있다. 前2者は 交差가 많은 lamella 를 가지고 있고 一次壁만으로 構成된 것이며 後2者は 이밖에 二次壁을 가지는 Type 이며 二葉松型은 邊材에서는 前2者와 同一하지만 心材에서는 後2者와 同一한 type 이다. 軸方向柔細胞에서는 一次壁의 最外側에서의 micro fibril 이 細胞軸에 對하여 直角方向인것 以外에는 放射柔細胞와 同一하다.¹²⁾ 潤葉樹材에서는 放射柔細胞, 軸方向柔細胞와 함께 一次壁은 交差가 많은 lamella 構造를 하고 있다. 兩者의 差異는 micro fibril 이 前者에서는 壁의 內側에서 細胞軸에 대하여 45~60°의 傾角을 가지고 配列하고 있으며 外側에 向하여 서서히 적어지고 最外



第7圖 針葉樹材의 放射柔細胞壁의 構成(藤川¹⁰⁾을 修正)

A: 삼나무型, B: 전나무型, P: 一次壁, S: 二次壁, 細胞軸은 左右의 方向

側에서는 거의 平行으로 배열하는데 反하여 後者에서는 外側으로 向하여 오히려 커지고 細胞軸에 對하여 橫方向의 配列을 나타내고 있다.¹³⁾ 二次壁의 特徵인 amorphous layer (AL)는 hemicellulose가 豊富하며 少量의 pectin과 micro fibril 을 함유하고 있고 현저하게 木化되어 있다. 二次壁의 構成은 (1) 3 CL, (2) 3 CL + AL 및 (3) 3 CL + AL + ICL 의 세가지 Type로 分類할 수 있다(圖8). CL 이라고 하는 것은 cellulosic layer의 약어로서 micro fibril 을 構成主體로 하여 木化한 層이라는 뜻이며, 假道管이나 木纖維의 二次壁과 同一한 것이다. 3이라고 하는 것은 세개의 層을 意味한다. ICL이라고 하는 것은 inner cellulosic layer 즉 AL 보다는 內側에 있는 CL의 뜻이다. 이것들의 各 Type가 어떻게 나타나는지 하는 것은 柔細胞가 道管要素나 假道管과 壁孔을 통해서 Contact 를 하고 있는지에 따



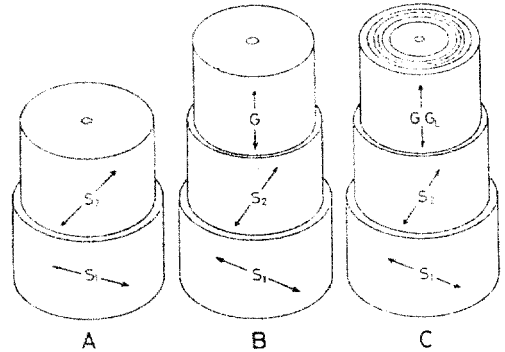
第8圖 広葉樹材의 柔細胞 二次壁의 構成(藤井¹¹⁾) A: 3CL型, B: 3CL + AL型, C: 3CL + AL + ICL型

라 그 變化가 대단히 현저하나 原則的으로는 (1) 3CL type 은 柔細胞壁의 基本的 構造이며, 또한 (2) CL + AL type 은 水分通導系(道管)과의 사이에 壁孔對를 가지는 柔細胞의 標準的 構造라고 할 수 있다.¹³⁾

2.2.5 壁中の 化學成分 分布 ; black spruce 와 paper birch 에 대하여 紫外線顯微鏡을 使用하여 조사된 例¹⁴⁾에 의하면, 壁全體의 lignin의 大部分(black spruce 의 假道管에서는 72~80%, paper birch 의 木纖維에는 約 60%)은 二次壁에 存在하고 있는 것으로 알려지고 있으나, 一次壁, 二次壁의 各層別의 分布는 明確하지가 않다. Cellulose 와 hemicellulose 에 대한 結果의 例는 第8表와 같다.

2.2.6 韌皮纖維³⁾; 여기에서는 師部纖維와 fiber sclereid 로 나누어서 기술한다. 一次壁은 假道管이나 木纖維와 거의 同一한 것으로 생각할 수 있다. 二次壁에 대하여 보면, 針葉樹의 師部纖維는 $S_1 + S_2$ 를 基本構造로 하고 micro fibril 은 얇은 S_1 에서는 flat helix 를, 두꺼운 S_2 에 있어서는 steep helix 를 나타내고 있으며 壁은 木化되어 있으나 内部로 向함에 따라 木化度는 낮아지고 있다. Fiber sclereid (낙엽송, daglas-fir)의 二次壁은 현저하게 木化되어 있고 厚壁으로서, micro fibril 이 交差配列을 하고 있는 많은 얇은 層으로 構成되어 있다. 闊葉樹의 師部纖維에서는 세가지 type 로 크게 나눌

수 있다 (第9圖). (1) $S_1 + S_2$ 型은 S_1, S_2 와 함께 木化되어 있고 얇은 S_1 과 두꺼운 S_2 로 構成되어 있으며, micro fibril 은 S_1 에서 flat, S_2 에서는 Steep helix 를 취하고 있다. (2) $S_1 + S_2 + G$ 型은 木化되어 있는 얇은 S_1 과 S_2 , 그리고 未木化의 G



第9圖 広葉樹皮의 師部纖維 二次壁의 構造(南光³⁾)
A: $S_1 + S_2$ 型, B: $S_1 + S_2 + G$ 型, C: $S_1 + S_2 + (G + G_L)_n$ 型

第5表 師部纖維의 二次壁의 構成 type 와 樹種³⁾

	樹 種
$S_1 + S_2$ 型	서나무, 종가시나무, 가시나무, 물참나무, 졸참나무, 밤나무, 떡갈후박나무, 추-립나무, 피나무, 벽오동
$S_1 + S_2 + G$ 型	가래나무, <i>pterocarya</i> , 느릅나무, 산뽕나무, 락나무, 푸조나무, 자귀나무
$S_1 + S_2 + (G + G_L)_n$ 型	고리버들, 오글잎버들, 능수버들, 아까시아나무

第8表 假道管·木纖維에 있어서의 多糖類 分布³⁾

	I + P (%)	S_1 (%)	S_2 (外部) (%)	S_2 (内部) (%)
歐州소나무				
galactan	16.4	8.0	0.0	0.0
cellulose	33.4	55.2	64.3	63.6
glucomannan	7.9	18.1	24.3	27.7
arabinan	29.3	1.1	0.8	0.0
arabino				
glucurono	13.0	17.6	10.6	12.7
xylan				
영국자작나무				
galactan	16.9	1.2	0.7	0.0
cellulose	41.4	49.9	48.0	60.0
glucomannan	3.1	2.8	2.1	5.1
arabinan	13.4	1.9	1.5	0.0
glucurono	25.2	44.2	47.7	35.1
xylan				

로 되어 있으며 S_1, S_2 의 micro fibril 配列은 (1)型和 같으나 G에서는 纖維軸에 平行하며, tension wood의 木纖維의 gelatin 層과 매우 비슷하다. 그러나 이 G는 tension wood의 경우와 같은, 예를 들면 樹幹의 傾斜와 같은 條件下에서 形成된 것이 아니고 常在하는 것이다. (3) $S_1 + S_2 + (G + G_L)$ 型은 (2)型的 G가 있는 곳에 未木化의 G와 木化한 G_L 가 서로 同心圓狀으로 數層存在하는 것이다. 이들 세가지 type의 二次壁을 가지는 樹種의 例를 들면 第9表와 같다. 또한 fiber sclereid의 二次壁은 거의 $S_1 + S_2$ 型으로 構成되어 있다.

3. Pulp 纖維의 構造¹⁶⁾

3.1 機械 Pulp

機械 pulp (mechanical pulp)는 원목 혹은 chip을 機械의 作用에 의해서 pulp 化한 것이다. 機械 pulp에는 原木狀態의 木材를 碎木機로 摩碎한 碎木 pulp (ground pulp), 木材 chip을 refiner 로 해리하는 refiner 碎木 pulp (refiner pulp), 그리고 chip을 水蒸氣로 熱軟化해서 refiner 를 통하게 하는 thermomechanical pulp가 있다. 碎木 pulp는 thermomechanical pulp에 비해서 纖維의 損傷의 程度가 커서 微細纖維의 量도 많다. 碎木機中에서 받고 있는 纖維軸에 直角方向의 壓縮力 때문에 擘은 縱方向으로 割裂되기 쉽다. 이와같은 纖維의 細分化에 의해서 碎木 pulp로 만들어지는 종이는 紙質을 치밀하게 하고 또한 紙面의 平滑性을 向上시킨다. Thermomechanical pulp의 纖維는 전달력에 의해서 細胞間層 가까이에서 해리되므로 거의 纖維形狀을 유지하고 있는 것이 많다. 機械 pulp에 多量으로 包含되는 微細纖維는 주로 擘에서 벗겨어진 fibril과 擘의 小片이므로 물에서 乾燥하며는 造膜性이 좋다.

3.2 化學 Pulp

化學 pulp (chemical pulp)는 木材纖維의 細胞間層의 lignin을 化學적으로 溶出해서 만드는 것의 總稱이다. 酸性의 亞硫酸鹽 水溶液을 使用하는 亞硫酸 pulp (sulfite pulp), 水酸化나트륨과 酸化나트륨을 主成分으로 하는 약액을 使用한 Kluft pulp, 그리고 水酸化나트륨 水溶液으로 蒸煮하는 Soda pulp가 있다. pulp化에 의한 化學成分의 溶출에 수반하는 擘構造의 變化가 指摘되어 있기는 하지만 化學 pulp는 原木의 構成細胞가 거의 損傷을 받지 않고 分離된다고 보아도 좋다. 針葉樹의 早材纖維와 같이 擘이 얇은 것에서는 擘이 합몰되어 內腔을 폐쇄하여 ribbon化 하는 傾向이 強하며, 또한 纖維間의 接觸面積이 큰, 그리고 緊密하고 平滑한 sheet가 된다. 闊葉樹材纖維는 針葉樹材에 比較해서 길이나 폭이 모두 작고, 또한 이 때문에 formation이 좋은 sheet가 얻어지지만 道管要素의 存在가 問題가 되는 수도 있다.

化學 pulp는 機械 pulp와는 달리 beating에 의해서 所望의 製紙適性을 付與할 수 있다. 叩解中 纖維가 壓縮되어 擘의 fibril化가 助長되는 것을 wet beating이라고 부른다. 叩解에 의해서 纖維軸에 直

角方向으로 擘이 局部的으로 弛緩 또는 圧潰되어 dislocation이 생긴다. 이와 前後해서 擘의 fibril化가 進行되는데 擘의 内部構造 및 表面構造의 變化에 對應해서 각각 内部 fibril化(internal fibrillation) 및 外部 fibril化(external fibrillation)라고 말한다. 内部 fibril化라고 하는 것은 水中에서 壓縮과 解放이 反復된 纖維의 二次擘이 層狀으로 剝離(lamella化)되는 것을 말한다. 外部 fibril化는 纖維 相互의 摩擦에 의해서 表面이 薄膜狀 또는 纖維狀으로 fibril化 하는 것을 말한다.

4. 紙의 構造¹⁶⁾

4.1 Pulp의 sheet

종이는 纖維를 물에 分散시켜 거르는 망 위에서 脫水, 圧搾, 그리고 乾燥하므로써 만들어진다. 그동안에 平面方向에 있어서의 纖維의 Network 構造와 두께 方向에 있어서의 層狀構造가 형성된다. 紙層形成 즉 縣濁液의 脫水에 의한 pulp mat의 形成에는 두가지의 양식이 있다. 하나는 매우 稀薄한 pulp 濃도로 만들 수 있는 實驗室的인 方法으로서 자유로히 分散된 纖維가 한개씩 한개씩 沈降하여 거르는망 위에서 纖維 network가 形成되고 이것이 중첩하여 紙層이 形成된다. 다른 하나는 縣濁液中에서 纖維가 40%로 엉키는 程度의 濃도로 抄紙되어 脫水에 의해서 濃縮되어 紙層이 形成되는 것으로서 工業적인 抄紙의 大部分은 이 樣式에 의해서 만들어진다.

抄紙의 各過程에서 試料를 凍結乾燥하여 觀察하는 것은 각過程에서의 纖維의 거동을 알게 되는 有效한 方法이다. 손으로 거르는 경우 random으로 沈降한 纖維는 거르는 망위에 堆積해서 부피가 큰 mat를 形成하게 되는데 濕壓의 付與에 의해서 紙層은 圧密化되고, 纖維는 collapse되어 偏平하게 되고 長軸方向은 紙面과 平行하게 되어, 즉 層狀構造를 完成한다. 이때 遊離狀態로 介在되어 있던 fibril이나 薄片은 纖維의 表面에 附着 또는 纖維間을 架橋한다. 또 風乾 Sheet의 斷面の 薄切片을 光學顯微鏡으로 觀察하면 먼저 두께의 斷面에서는 纖維사이에 꽤 많은 空隙이 存在하는 것과 다음에 紙面方向의 斷面에서는 纖維가 紙面に 平行하게 배열되어 있는 것을 알 수 있다. 叩解한 纖維는 sheet를 形成할 때 隣接纖維와 纖維間 結合面積을 증대시키는 同時에 外部 fibril化에 의해서 纖維間의 連結이 이루어진다. 叩解度가 極端으로 다른 紙料에서 製造한 市販紙(吸取紙와 電氣絶緣紙)를 比較하는 叩解의 影響을 잘 알 수 있게

된다.

4.2 印刷와 筆記用紙

印刷에 있어서는 잉크의 轉移와 吸收성이 좋으며 印刷適性과 不透明성이 重要하다. 또한 筆記에 있어서는 筆記性 例를 들면 판글씨 쓸때에는 잉크가 좋고 잘 附着되며 또한 피지않고 펜촉이 紙面에 걸리지 않을 것이며 연필로 쓸때에는 適當한 凹凸을 가지는 紙面이 要求되고 있다.

新聞用紙는 高速의 輪轉機로 支障없이 印刷되어야 하기 때문에 吸收성이 좋은 機械펄프에 化學펄프가 20%정도 배합되며 紙力의 不足을 補充하고 있다. 紙質이 좋은 것은 印刷을 하는것 外에 筆記나 包裝用으로도 使用되고 있으며 size나 填料가 添加되고 있다. 紙面은 calender 處理에 의하여 平滑하게 만들어진다. 한편 clay coating에 의해서 종이의 印刷適性은 대단히 向上되는데 이것에 의한 最大의 效果는 平滑성이 向上되는 것이다. 輕量 coat 紙가 그 한례로서 粘度가 數 μm 以下の clay가 紙面의 패인곳을 메워주고 있다. clay로 coating한 종이 가운데 重量 coat 紙의 한례로는 아-트紙가 있다. 이 종이의 斷面을 보면 coating한 狀態의 종이表面의 平滑性을 잘 알 수 있다. 模造紙에서는 그 表面에 填料가 附着되어 있는 것을 볼 수 있다.

4.3 包裝用紙

一般包裝用紙로서는 크라프트紙가 使用되고 있다. 크라프트紙 가운데 重包裝用 크라프트紙는 주로 시멘트나 肥料等の 重量物을 넣는 木대종이로 使用되고 있으며 紙力이 대단히 크고 耐濕性, 柔軟性, 印刷性 및 作業性이 要求되고 있다. 고무의 伸縮性을 利用하여 濕紙에 주름을 붙여서 乾燥하는, 소위 clupak 加工을 實施한 것은 주름이 얇고 表面이 平滑하다. 로-올紙는 백화점이나 商店의 包裝 또는 작은 주머니로 使用되는데 濕紙를 大徑의 光沢dryer 面으로 늘려서 乾燥시키므로서 纖維表面을 平滑하게 만들어 한쪽 面에 光澤을 붙인 종이이다. 또한 좀 特殊한 Rice paper는 卷煙담배의 薄葉紙로서 麻펄프에 微量의 炭酸칼슘을 填料로 配合한 것이다. 또 glassine 紙는 食品·雜貨등의 包裝, 우표등의 間紙등에 使用되는데 이것은 化學펄프를 高度로 粘狀 叩解하여 抄紙하고 水分을 含有한 채로 super calender에 의하여 強한 光澤을 붙여 透明化한 薄葉紙이다. 纖維는 圧密化되어 있고 또 一部는 圧壞되어 있으나 pin-hole이 없으며 耐脂性이 훌륭하다. 硫酸紙는 耐脂·耐水

性이 있으며 食品의 包裝등에 使用되고 있는데 이것은 木綿纖維 또는 化學펄프로 만든 종이를 濃硫酸으로 處理한 後 水洗 乾燥한 것이다. 한번 膨潤된 纖維가 Gel 狀으로 硬化되어 있다.

4.4 特殊機能紙

종이를 基材로 하고 여기에 藥品 藥劑를 含浸 塗被하거나 또는 film를 붙임으로서 보통의 종이에는 없는 機能이 付與된 것에 파라핀紙 防錆紙 研摩紙 記錄紙 등이 있다. 感光性 記錄紙 가운데 印畫紙는 特別히 精密하고 忠實한 像의 再現이 要求되고 있으며 歷史의 으로도 興味가 깊다. 印畫紙는 保護膜·感光乳劑, baryta (高純度の 化學펄프紙의 表面에 硫酸바륨을 分散시킨 gelatin 水溶液을 두껍게 塗布한 것) 및 종이의 各層으로 構成되어 있으며 裏面에는 카-말을 防止하기 위한 塗被層이 있는 것이 많다. 感光한 印畫紙의 斷面을 光學顯微鏡으로 보면 모노크롬의 경우에는 感光乳劑層의 두께는 均一하고 感光部分에는 銀의 微粒子가 高密度로 存在하는 것을 알 수 있다. 칼라에서는 3層의 感光乳劑層이 表面으로부터 青色, 赤色, 黃色의 順으로 배열되어 있으며 各層間에는 保護層이 存在하고 있다.

4.5 和 紙

和紙는 日本의 傳統的 技法으로 製造된 종이이다. 和紙의 原料는 닥나무, 삼지닥나무, wikstraemia sikokiana 등의 韌皮纖維이며 製造法의 概要는 다음과 같다.

(1) 原料의 白皮를 木炭 石灰 소-나-다灰等の 藥品으로 전다.

(2) 清水中에서 재를 漚다.

(3) 나무막대로 두들려서 纖維를 解離 分散시킨다.

(4) 종이材料에 hibiscus manihot 의 뿌리에서 採取한 粘液物質(긴 和紙纖維의 沈降을 막고 纖維가 均等하게 分散되어 서로 엉키는 것을 助長하는 目的)을 添加한다.

(5) 손으로 거른다.

(6) 걸러낸 濕紙等を 數百枚 겹치게 하여 圧搾한後 한장씩 自然 또는 火力로 乾燥한다. 和紙에서는 韌皮纖維 相互의 結合力은 別로 強하지 않고 同時에 存在하는 얇은 壁을 가지고 있는 柔細胞의 強한 結合력이 종이의 強度를 보충하고 있다. 和紙로서는 닥나무 삼지닥나무 또는 wikstraemia sikokiana 등의 纖維로 만든 出雲卷紙라는 것이 있다. 닥나무의 韌皮纖維는 幅이 넓고, 길고, 강하므로 그 종이는 문창호紙

우산종이 版畫用紙等に 使用되고 있다. 삼지닥나무의 纖維는 細長하고 光澤이 있으며, 高級의 印刷, 記錄用紙, 例를 들면 萬원짜리의 지폐에도 使用되고 있다. wikstraemia의 纖維도 길고 濕潤狀態에서 대단히 強하므로 高級和紙의 原料로 使用되고 있다.

끝으로 本稿中 「3. 펄프纖維의 構造」 「4. 종이의 構造」에 대하여는 村上浩二教授(京都大學 農學部)의 著述에서 引用 하였다. 同教授의 厚意에 감사드리는 바이다.

引 用 文 獻

- 1) 島地謙의 著; 木材의 組織, p. 39, 111~199, 233~240, 47~62, 62~78, 216~223, 森北出版(1976)
- 2) 南光浩毅; 木材工業, 37, 3, (1982)
- 3) 南光浩毅; 闊葉樹와 針葉樹의 2次師部에 있어서의 厚壁細胞의 發達과 細胞壁 構造에 관한 研究(英文), (學位論文), (1979)
- 4) 後藤俊幸, 原田浩; 纖維와 工業, 23, 353, (1976)
- 5) A. J. Kerr and D. A. I. Goring; Cellulose Chem. Tech., 9, 563, (1975)
- 6) A. B. Wardrop and H. Harada; J. Exp. Bot., 16, 356, (1965)
- 7) K. Kishi, H. Harada and H. Saiki; 木材誌, 25, 521, (1979)
- 8) K. Kishi, H. Harada and H. Saiki; 京大農演習林報告, NO. 49, 122 (1977)
- 9) S. C. Chafe; protoplasma, 81, 63 (1974)
- 10) S. Fujikawa and S. Ishida; 木材誌, 21, 455, (1975)
- 11) T. Fujii, H. Harada and Saiki; 木材誌, 27, 149, (1981)
- 12) H. Harada, Y. Imamura and H. Saiki; Appleid polym. Sympo., 28, 1239(1976)
- 13) 藤井智之; 闊葉樹의 木部柔細胞壁의 構造(學位論文)(1981)
- 14) B. J. Fergus and D. A. I. Goring; Holzforforschung, 24, 118 (1970)
- 15) H. Meier; Wood chemistry, pure Appl. chem., 5, Nos. 1~2, p. 37 (1962)
- 16) 村上浩二; 圖說纖維形態學(纖維學會編), (近刊豫定), 朝倉書店