

소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 압축異常材의 放射組織 特性에 관한 解剖學的 研究¹

鄭然楫² · 李弼宇²

Anatomical Studies on the Features of Rays in Compression Wood of Korean Red Pine(*Pinus densiflora* S. et Z.)¹

Youn Jib Chung² and Phil Woo Lee²

要 約

本 實驗은 壓縮異常材가 잘 形成된 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)의 굽어진 樹幹과 곧은 枝材 및 地面에 노출된 側根에서 壓縮異常材率과 偏心率변이에 따른 壓縮異常材와 對應材 및 側面材의 組織學 的 特性과 放射組織의 數量的 特性을 調査 檢討하고자 實施하였다.

本 試驗에서 樹幹은 地上에서 樹高方向으로 상승함에 따라, 枝材는 樹幹에서 가지방향으로 멀어짐에 따라, 壓縮異常材率과 偏心率이 줄어드는 경향을 나타내었으므로 20cm간격으로 각각 4개씩의 圓板을 採取하여 試片으로 使用하였다. 또한 根材는 壓縮異常材가 가장 良好하게 形成된 部位에서 한개의 圓板을 採取하여 使用하였다.

壓縮異常材의 組織學 的 特性은 橫斷面上 假導管의 둥근形態, 春材로 부터 秋材로의 매우 漸進的인 假導管移行, 가도관선단부의 뒤엎힘 및 螺旋腔과 세포간극의 존재 등 側面材 및 對應材와 다른 特性을 나타냈으며, 壓縮異常材率과 偏心率이 작아짐에 따라 壓縮異常材와 對應材 및 側面材間組織學 的 特性의 差異가 다소 줄어드는 경향을 보였지만 그 特性은 維持됨을 알 수 있었다. 또한 壓縮異常材의 단위면적 당 수직 수지구수는 對應材보다 적었으나 단위연륜당 수직수지구의 수는 壓縮異常材가 對應材보다 많았으며 단위면적당 紡錘形放射組織(水平樹脂溝)의 數와 單列放射組織의 數는 壓縮異常材와 對應材 및 側面材 間에 差異가 없었다. 그렇지만 壓縮異常材의 紡錘形放射組織과 單列放射組織의 幅은 對應材 및 側面材보다 넓으나 이들의 細胞高는 낮은 경향을 나타내어 이들 放射組織의 幅과 細胞高는 壓縮異常材의 고유한 特性이라 생각되었다.

ABSTRACT

This experiment was executed to investigate and compare qualitative and quantitative anatomical features in compression wood, opposite wood, and side wood formed in a bent stem, a straight branch, and an exposed horizontal root of Korean red pine(*Pinus densiflora* S. et Z.).

The respective four discs containing compression wood taken at 20cm interval both in stem and branch as well as a disc containing well developed compression wood from horizontal root were analyzed. Percentage of compression wood and eccentricity showed decreasing tendency with the increasing distance

¹ 接受 1989年 2月 1日 Received on February 1, 1989.

² 서울대학교 농과대학 College of Agriculture, Seoul National Univ., Suwon 440-744, Korea.

in height direction of stem and length direction of branch.

The qualitative anatomical features of compression wood appeared to differ from those of side and opposite wood in very gradual tracheid transition from earlywood to latewood, roundish tracheid shape on cross surface, tracheid distortion at tip on radial surface, existence of intercellular space, and helical cavity in tracheid wall. And the differences in these qualitative features among the compression wood, opposite wood, and side wood became less intensive with the decreasing trends in percentage of compression wood and eccentricity.

The quantitative anatomical features in compression wood also appeared to be wider in that respective widths of fusiform and uniseriate ray than those of opposite and side wood, but the heights of fusiform and uniseriate ray in compression wood were smaller than in opposite and side wood. The number of horizontal resin canal(fusiform ray) and uniseriate ray, however, showed no differences among the compression wood, opposite wood, and side wood. And the number of vertical resin canal in unit area, $4\pi \text{ mm}^2$ of compression wood was fewer than that in opposite wood, whereas numerous vertical resin canals contained in a growth ring. These rays of compression wood seemed to be characterized by smaller height and wider width than those of opposite and side wood.

Key words : Korean red pine(*Pinus densiflora* S. et Z.) ; compression wood ; opposite wood ; side wood ; anatomical features ; fusiform ray ; uniseriate ray ; vertical resin canal .

緒 言

木材를 構成하고 있는 細胞의 대부분은 樹高方向으로 배열하여 伸長되지만 形成層의 放射組織始原細胞로부터 형성된 水平方向의 細胞組織도 存在한다. 이러한 放射方向組織은 樹木의 形成으로부터 樹木內 양분저장기능을 갖는 細胞로써 放射組織이라 한다.

또한, 壓縮異常材(compression wood)는 針葉樹의 기울어진 樹幹이나 가지 등에 나타나는 異常組織으로 보통 짙은색을 띠는 偏心生長의 異常組織을 形成하고 있으며, 秋材部가 비정상적으로 넓은 것이 特徵으로 되어 있다.

壓縮異常材에 관한 解剖學的 特性은 最近까지 많은 研究가 進行되어 왔으나(Timell, 1981 ; Eom and Lee, 1985 ; Yoshizawa, 1987) 주로 壓縮異常材의 假導管 特性에 관한 研究가 이루어졌으며, 壓縮異常材의 放射組織에 관한 研究는 그리 활발하지 못하였다. 그런데 本 大學 木材解剖學 研究室에서 행한 壓縮異常材의 特性調査에 의하면 偏心率이 큰 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.) 枝材의 壓縮異常材에 있어서 放射組織은 紡錘形放射組織(fusiform ray)의 數, 細胞高, 幅 등에 있어 對應材(opposite wood)와는 현저히 다른

特性이 나타나 放射組織변이도 壓縮異常材의 特性 중의 하나라고 생각되었다(Lee and Eom, 1988). 그러나 Timell(1972)은 *Abies balsamea*, *Larix laricina*, *Picea rubens*, *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga canadensis*, *Taxodium distichum*에 있어 壓縮異常材와 正常材간에 放射組織의 차이는 나타나지 않으나 *Pinus resinosa*의 壓縮異常材는 正常材보다 放射組織의 數와 放射組織을 構成하는 細胞數가 많다고 보고함에 있어 그 요인을 壓縮異常材의 解剖學的 特性이라기 보다는 壓縮異常材部位의 빠른 生長에 기인하는 것으로 分析하였다. 그리고 Gregory와 Romberger(1975)는 정상적으로 生長한 針葉樹材의 放射生長率(radial growth rate)에 따른 放射組織이 변이를 調査하였는데, 生長率이 클수록 放射組織의 構成細胞가 많아진다고 하였다.

이들을 종합하여 보면, 偏心率(eccentricity) 또는 壓縮異常材率(percentage of compression wood)의 변이에 따라 放射組織의 변이가 나타날 수도 있으며, 壓縮異常材의 고유한 特性으로써 放射組織의 변이가 나타날 수 있다는 假說을 推論할 수 있다.

따라서 本 研究는 壓縮異常材의 放射組織변이가 壓縮異常材의 고유한 特性인지, 아니면 偏心率 또는 壓縮異常材率 변이에 따른 변이적 特性인지를

考察 究明하고자 실시하였다.

研究史

壓縮異常材에 관한 解剖學의 特性은 1860年 獨逸學者 Sanio가 처음으로 報告(Timell, 1980)한 이래, 여러학자에 의하여 많은 研究가 進行되어 왔다. 이들중 最近의 主要한 몇가지 研究를 살펴 보면, Timell(1981)이 最近까지의 壓縮異常材의 形成과 미세구조(ultrastructure), 그리고 化學的 成分 分析 등에 關係 자세히 報告하였으며, Yoshizawa(1987)는 인위적처리로 形成된 壓縮異常材의 構造와 特性에 關係 폭넓은 研究를 한 바 있다. 그리고 國內에서는 Eom과 Lee(1985)가 韓國産 리기다소나무(*Pinus rigida* Miller) 枝材의 壓縮異常材, 對應材(opposite wood) 및 側面材(side wood)에 關係 特性 研究에서 橫斷面과 放射斷面上的 解剖學의 特性을 상세히 報告하였다.

그러나 上記한 것은 주로 壓縮異常材의 假導管 特性에 關係 研究였으며 壓縮異常材의 放射組織에 關係 研究는 그리 많지 않다. Verrall(1928)이 壓縮異常材의 放射組織數가 正常材보다 약간 많다고 報告한 이후 Kennedy(1970)도 같은 結果를 報告하였으나 Onaka(1949)와 Ollinmaa(1955)는 正常材가 壓縮異常材보다 放射組織의 數가 많다는 相反된 結果를 發表하였다. 또한 Timell(1972)은 壓縮異常材가 形成된 美國産 針葉樹 7樹種을 觀察하였는데, 그중 6樹種은 차이가 없었으나 美國赤松(*Pinus resinosa*)은 壓縮異常材의 放射組織數가 正常材보다 많고 放射組織의 幅도 더 넓다고 하였으며 그 原因을 壓縮異常材의 急速한 生長에 따른 것이라고 分析하였으며, Doerksen과 Mitchell(1965), 그리고 Smith(1967)는 balsam woolly aphid(*Adelges piceae*)의 침해로 形成된 젓나무 樹幹의 組織은 壓縮異常材의 유사한 組織을 形成하며, 放射組織數도 正常材보다 약 2倍以上 많다고 보고한 바 있다. 또한 紡錘形放射組織(fusiform ray)에 있어서 Onaka(1949)는 壓縮異常材와 正常材間의 差異가 없다고 하였으나 Mergen과 Echols(1955)는 *Pinus elliottii*에 있어 年輪幅이 넓을수록 紡錘形放射組織, 즉 水平樹脂溝의 數가 增加한다고 發表하였다. 그리고 Timell(1981) 및 Sato와 Ishida(1983)는 壓縮異常材가 正常材보다

수직수지구(vertical resin canal)의 數가 적다고 報告하였으며, 最近 國內에서는 Lee와 Eom(1988)이 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)의 枝材에 있어 壓縮異常材는 對應材보다 수직수지구의 數가 작으나 紡錘形放射組織(水平樹脂溝)의 數는 많으며 그 幅은 넓으나 細胞高는 낮다고 하였으며, 단열방사조직은 그 數가 많고 細胞高도 높다고 보고하였다.

한편, 針葉樹 몇몇 樹種의 年輪幅 增加에 따른 放射組織變異는 Bannan(1954)에 의하여 考察되었는데, 연륜폭 증가에 따라 放射組織 부피와 細胞高가 增加한다고 하였으나 Reid와 Watson(1966)은 방사조직수와 生長율간에는 關係가 없다고 하였고, Gregory와 Romberger(1975)는 放射生長率(radial growth rate)이 클수록 放射組織의 數는 변하지 않으나 放射組織 構成細胞數는 增加한다고 報告하였다. 또한 潤葉樹에 있어서도 White와 Robards(1966)가 *Fraxinus excelsior*, *Castanea sativa*, *Sassfras officinale*에 있어 生長率은 放射組織의 크기와 수에 하나의 影響인자가 된다고 報告한 이래, Gregory(1977)는 사탕단풍나무(*Acer saccharum*)에서도 生長率이 增加함에 따라 放射組織變異가 나타나며 最近에 Shiokura와 Lantican(1987)은 偏心 生長한 *Albizia falcata*의 組織研究에서 放射組織의 數와 부피比는 偏心 生長한 部位가 正常的으로 生長한 部位보다 그 數와 比가 많음을 報告하였다.

材料 및 方法

1. 供試材料

供試樹種은 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)로 選定하고 江原道 溟州郡 玉溪面 川南里의 소나무 林分中 生育이 良好한 소나무로부터 壓縮異常材가 잘 形成된 樹幹과 枝材 및 根材에서 供試材料인 圓板을 採取하여 使用하였다.

2. 試驗方法

偏心率 및 壓縮異常材率에 따른 壓縮異常材의 特性變異와 放射組織의 變異를 測定하기 위하여 그림1에서와 같이 壓縮異常材가 잘 形成된 枝材와 胸高部位에서 굵어진 樹幹으로부터 20cm간격으로 두께 2cm의 圓판을 各各 4個씩 採取하여 壓縮異

Table 1. Percentage of compression wood and eccentricity of sample disc

Part	Stem				Branch				Root
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Percentage of Compression Wood (%)	61.0	59.5	50.7	45.0	63.7	47.5	44.9	38.2	23.0
Eccentricity (%)	23.3	19.8	17.3	16.8	16.7	10.0	7.8	11.4	31.0

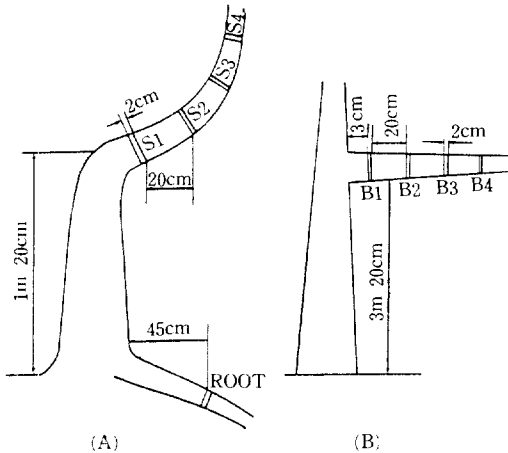


Fig. 1. Diagrammatic pictures on the position of tested discs from stem, root (A), and branch (B) of *Pinus densiflora* S. et Z.

常材, 對應材, 側面材 部位別로 3斷面이 明確하게 나타나도록 1cm³크기의 試驗片을 採取하였고, 地上에서 노출된 根材에서 역시 壓縮異常材가 비교적 잘 形成된 部位에서 하나의 圓片을 採取하여 壓縮異常材와 側面材 部位別로 각각의 試驗片을 採取하였다. 각 供試圓板을 壓縮異常材率과 偏心率 變異는 表1에, 그리고 각 圓片의 形狀은 그림2와 3에 나타난 바와 같다.

採取한 試驗片을 高壓釜에서 90分間 끓여 軟化하고 물, ethanol 그리고 glycerine의 等量混合液에 2주일이상 沈漬, 保存하였다(Berlyn and Miksche, 1976).

광학현미경적 관찰을 위하여는 sliding microtome으로 20 μm두께의 切片을 橫斷面, 放射斷面 및 接線斷面別로 採取한 후 즉시 50% ethanol로 移行시키고 그후 50% ethanol에 용해시켜 製造한 1%의 safranin液으로 30분간 염색하였다. 염색이 完了된 切片을 70% ethanol로부터 無水 ethanol까지 段階別로 各各 10분간씩 거

친후 無水 ethanol과 xylene의 同量混合液 및 순수한 xylene으로 移行시켜 역시 각각 10분간씩 脫水하였다. 이와같이 脫水를 完了한 切片을 Canada balsam으로 封入하여 永久프레파라트를 製作하고(日本木材學會, 1985) 偏心率 및 壓縮異常材率변이에 따른 壓縮異常材의 組織學的 特性변이를 調査하기 위해 春材로부터 秋材로의 假導管 移行, 가도관 선단부의 뒤엎힘 정도, 세포간극 및 나선강(helical cavity)의 존재유무 등을 광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 수직수지구와 放射組織變異를 측정하기 위하여 橫斷面에서

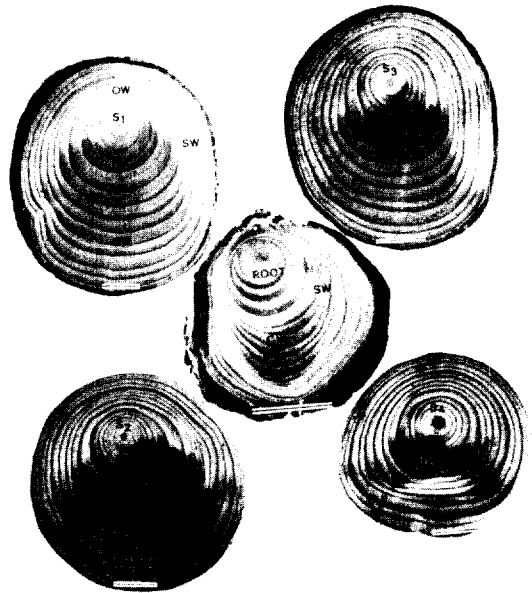


Fig. 2. Cross section of a bent stem and a horizontal root of *Pinus densiflora* S. et Z., showing the location of cor.pression wood(CW), opposite wood(OW), and side wood(SW). Most of the radial growth had occurred on the lower side. S₁, S₂, S₃ and S₄ mean sampled disc number along the height direction, Scale bar, 2cm.

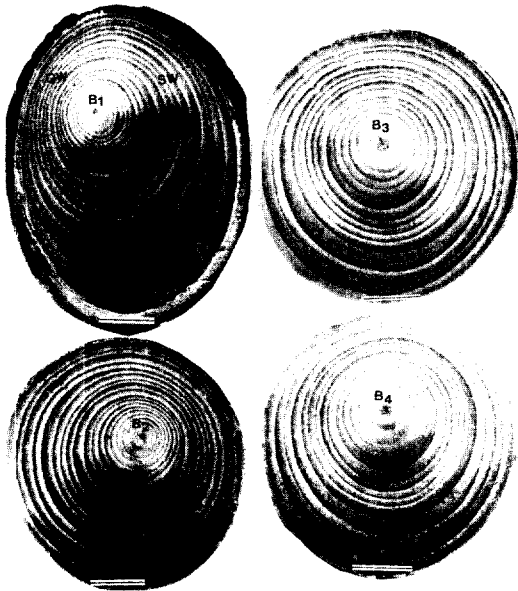


Fig. 3. Cross section of a branch of *Pinus densiflora* S. et Z., showing the location of compression wood(CW), opposite wood (OW), and side wood(SW). B₁, B₂, B₃, and B₄ mean sampled disc number along the branch direction from branch base. Scale bar, 1cm.

單位面積($4\pi \text{ mm}^2$) 및 單位年輪(1年輪/ $10\pi \text{ mm}^2$) 당 수직수지구의 수를, 接線斷面에서 방추형방사조직(수평수지구, 單位面積 $4\pi \text{ mm}^2$)과 단열방사조직(단열면적 1mm^2)의 수를, 그리고 방추형방사조직과 단열방사조직의 幅과 細胞高를 광학현미경 및 optical bench comparator(Leitz co.)로 측정한 후 그들의 평균치간에 최소유의차 검정(LSD 0.05, 0.01)을 실시하였다.

광학현미경에 의한 관찰과 사진촬영은 Olympus model K 현미경과 여기에 Pentax ME super camera를 microscope adapter K로써 연결하여 使用하였다.

또한, 走査電子顯微鏡의 관찰을 위하여 광학현미경 시편 제작시와 마찬가지로 sliding microtome으로 $40 \mu\text{m}$ 두께의 切片을 採取하고 불순물을 제거하기 위하여 20%의 차아염소산나트륨(sodium hypochlorite)으로 세척을 하였다(Exley, Butterfield, and Meylan, 1974). 세척을 한 切片을 ethanol에서 순차적으로 脫水하고 acetone과 ethanol의 等量混合液 및 순수한

acetone에서 15분간씩 치환한 후 Polaron E 3000 Series II Critical Point Drying Apparatus에 移行시켜 液化이산화탄소로 건조하였다(Polaron Equipment Ltd., 1984). 乾燥를 마친 切片을 양면접착테이프로 試料臺에 固着시키고 Polaron Autocoating Unit E 5200에서 金으로 250 \AA 두께로 蒸着한 후 Cambridge Stereoscan 250 Mark II Scanning Electron Microscope에서 가속전압 10kv로 관찰하고 사진을 촬영하였다.

結果 및 考察

1. 소나무의 解剖學的 特性

樹幹과 枝材 및 根材의 壓縮異常材와 對應材 및 側面材에 形成된 수직수지구(vertical resin

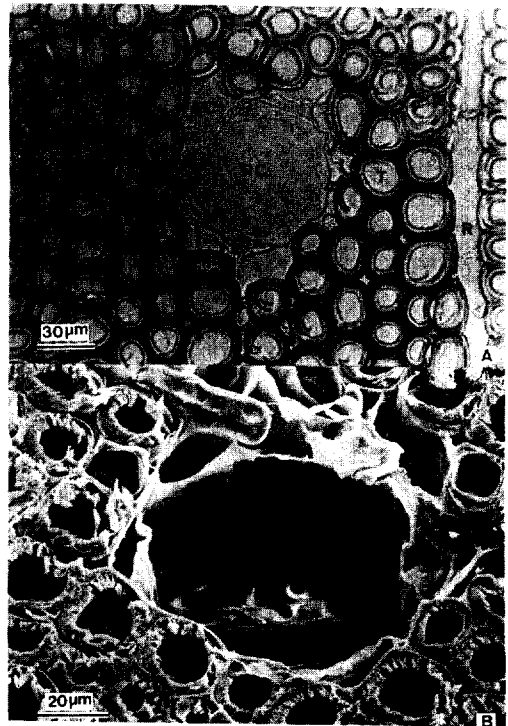


Fig. 4. Cross surfaces of compression wood showing vertical resin canal(RC) surrounded by thin walled epithelial cells (EC), intercellular space(A), rounded tracheid(T), and ray(R). A: microphotograph of root compression wood; B: scanning electron micrograph of stem compression wood.

canal)는 모두 정상수지구로 그림4에서와 같이 박막의 에피델리움細胞로 둘러싸여 있었으며 상해수지구의 存在는 確認할 수 없었다. 그렇지만 Lee와 Eom(1988)은 壓縮異常材部位에서만 상해수지구의 存在를 確認한 바 있으며 Core等(1961)은 壓縮異常材部位에 있어서의 이러한 상해수지구 存在는 壓縮異常材의 特性이 될 수 없음을 밝힌 바 있다. 또한 방사가도관(ray tracheid)에는 거치상비후(dentate thickening)가 明確하게 발달되었고 춘채부의 분야막공은 창상형을 나타냈다(그림 5 A). 여러개의 가도관을 건너지르며 形成된 트라베쿨레가 壓縮異常材에서는 관찰되지 않았고 단지 對應材에서만 그 存在가 確認되었는데(그림 5B), 이러한 트라베쿨레는 소나무의 正常材에서도 그 存在가 이미 確認되었고(Lee와 Eom, 1987), 最近 잣나무(*Pinus koraiensis*)枝材의 壓縮異常材와 對應材에서도 관찰된 結果(Lee와 Eom, 1988)와 종합하여 볼때 Panshin과 de Zeeuw(1981)가 트라베쿨레의 存在與否는 樹種識別의 인자가 될 수 없다고 한 結果와 일치하며 그 存在與否가 壓縮異常材의 特性이 될 수 없는 것으로 여겨졌다. 그러나 由本正英과 大谷 諄(1981)은 *Picea glauca*의 壓縮異常材에 形成된 트라베쿨레의 미세구조를 관찰하고 考察한 結果, 壓縮異常材의 트라베쿨레에는 螺旋狀溝(spiral groove)가 存在하고 이러한

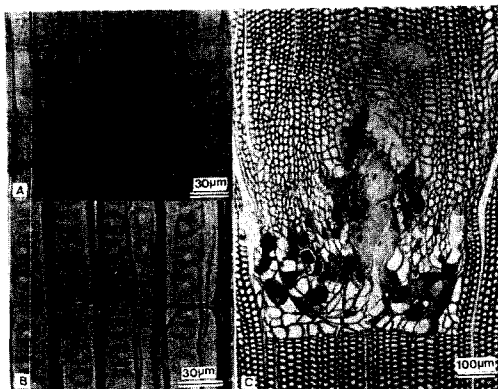


Fig. 5. Radial surfaces of opposite wood(A, B) and cross surface of compression wood having traumatic tissue(C). Arrows in C denote abnormal parenchyma cells containing dark resinous materials and arrowheads in A, B, and C indicate dentate ray tracheid, trabeculae, and disoriented tracheids respectively.

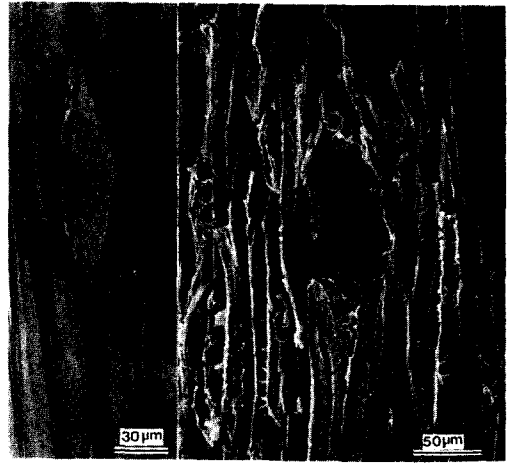


Fig. 6. Tangential surfaces of compression wood showing uniseriate ray(↑) and horizontal resin canal surrounded by thin walled epithelial cells(▲) in center of fusiform ray. A : microphotograph of root compression wood ; B : scanning electron micrograph of stem compression wood.

트라베쿨레의 膜層構造는 트라베쿨레가 形成된 가도관의 膜層構造와 동일하여 미세구조면에서는 壓縮異常材의 特徵이 될 수 있음을 시사하였다.

壓縮異常材 및 對應材部位에서는 傷害組織(tramatic tissue)이 많이 관찰되었는데(그림5 C), 이러한 傷害組織은 Tippett와 Shigo(1981a, b) 그리고 Yamanaka(1985)의 報告와 같이 外部의 傷害로부터 正常組織을 保護하기 위해 形成되는 것으로서 수지를 함유하고 있는 非正常的인 形態의 柔細胞로 대개 이루어져 있으며, 一部 가도관은 形成層始原細胞의 傷害로 인하여 軸방향 排列이 아닌 누워있는 形態를 나타내고 있었다.

接線斷面上的의 紡錘形放射組織의 解剖學的 特性을 보면 放射柔細胞는 박막이며 水平樹脂溝를 둘러싸고 있는 에피델리움細胞 역시 박막을 지니고 있었다(그림6A, B). 또한 紡錘形放射組織 이외의 放射組織은 주로 단열방사조직(uniseriate ray)이며 복열방사조직은 Lee와 Eom(1988)이 잣나무枝材 壓縮異常材에서는 자주 觀察되나 對應材에서는 그 存在의 確認이 어렵다고 報告한 結果와는 달리 壓縮異常材 部位에서만 가끔 그 存在가 確認되어 樹種에 따른 特徵이 되는 것으로 여겨졌다.

2. 소나무 壓縮異常材의 特性

表1과 그림1, 2에서 보는 바와같이 굵어진 樹幹에 形成된 壓縮異常材는 S₁에서 S₂, S₃, S₄로 이행하여 감에따라 편심율과 壓縮異常材率이 감소하였으며, 枝材에 形成된 壓縮異常材의 壓縮異常材率도 樹幹과 같은 傾向을 보였으나 편심율은 그 크기의 順位가 B₁, B₄, B₂, B₃로 樹幹과는 약간 다른 傾向을 나타내었다. 하지만 壓縮異常材率과 편심율은 대체적으로 그 傾向이 비슷하며 수간은 흉고부위에서 수고방향으로 멀어질수록, 枝材는 樹幹에서 가지방향으로 멀어질수록 減少함을 알 수 있었다. 또한, 根材에 形成된 壓縮異常材는 뿌리가 지면에 露出된 側根(horizontal root)에 편심생장과 관계없이 下部 또는 側面部에 形成된다는 Timell(1981)의 報告와는 달리 樹幹 및 枝材와 마찬가지로 露出된 側根 下部의 偏心生長部位에서만 壓縮異常材가 形成되어 있었다.

이러한 壓縮異常材의 春材로 부터 秋材로의 假導管 移行을 보면 樹幹과 枝材 및 根材에 있어 모든 壓縮異常材가 매우 漸進의인데 반해 側面材는 急하였고 對應材는 側面材에 비해 다소 덜 急한 形態를 나타내었다(그림7). 이는 壓縮異常材의 假導管 移行이 매우 漸進의이고 對應材 및 側面材는 急하다고 한 Lee와 Eom(1984, 1985, 1988) 그리고 Lee와 鄭(1988)의 보고와 어느정도 일치하였으며, 다만 對應材가 側面材보다 덜 急한 特徵으로 보아 對應材는 壓縮異常材와 側面材의 중간정도의 移行을 나타내는 것으로 여겨졌다.

횡단면상 춘추재의 假導管 形態를 보면(그림7,

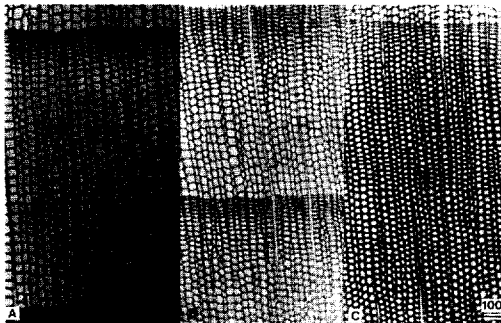


Fig. 7. Cross surfaces showing abrupt in side wood(A), somewhat abrupt in opposite wood(B), and very gradual in compression wood(C) in tracheid transition from earlywood to latewood, respectively.

8) 樹幹과 枝材 및 根材의 모든 壓縮異常材에서는 등근形態를 나타내며 세포간극이 明確히 관찰되어 Côté等(1967)과 Yoshizawa(1987)의 報告에서 確實히 한 바와같이 일치한 形態를 보여 주었다. 또 側面材와 對應材는 春材에서 다소 정사각형이고 秋材에서는 직사각형을 나타내었는데 이는 Timell(1973)이 壓縮異常材와 對應材 및 正常材간의 組織比較에 있어서 壓縮異常材는 등근고 對應材는 정사각형 및 직사각형이며 正常材는 각형(angular)이라는 報告와 일치하였고 最近 이러한 傾向은 Lee와 Eom(1988)의 研究에서도 確認된 바 있다.

또한 壓縮異常材에서는 螺旋腔(helical cavity)이 S₁, S₂, S₃, B₁, B₂, B₃에서는 春秋材 모두 관찰되었으며 S₄와 B₄ 및 根材는 秋材에서만 그 存在를 確認할 수 있었는데(그림8, 9), 대부분의 針葉樹 壓縮異常材의 假導管 S₂層에서 螺旋腔의 存在가 이미 밝혀진 바 있으며(Timell, 1978, 1979, 1981; Wardrop과 Davis, 1964; Côté 등, 1968), 兩分된 壓縮異常材에서는 秋材에서만 그 存在를 確認한 Lee와 鄭(1988)의 報告처럼 本 實驗에서는 壓縮異常材率이 많으면 春秋材 假導管 모두에, 적으면 秋材 假導管에만 形成되는 것을 알 수 있었다. 특히, Timell(1981)은 *Abies balsamea*와 *Tsuga canadensis*의 노출된 뿌리 하부에 形成된 壓縮異常材의 假導管을 관찰한 결과 螺旋腔의 存在를 確認할 수 없음을 토대로 하여 뿌리에 形成된 壓縮異常材의 假導管에는 나선강이 存在하지 않는 것으로 結論지었으나 本 實驗에서는

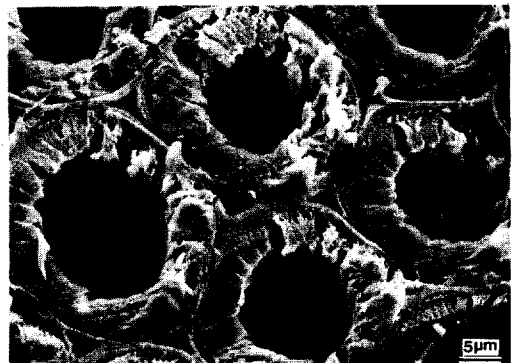


Fig. 8. Cross surface of compression wood showing helical cavity(↑), check(▲), rounded tracheid, and intercellular space (IS). Scanning electron micrograph.

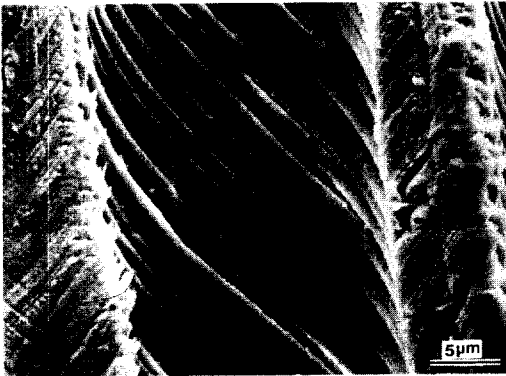


Fig. 9. Radial surface showing helical cavity, check(▲), and sporadic warts(↑) in compression wood tracheid. Scanning electron micrograph.

소나무 根材 壓縮異常材의 假導管에도 나선강이 存在하는 것을 명확히 確認할 수 있어 根材에 形成된 壓縮異常材도 枝材 및 樹幹의 壓縮異常材와 마찬가지로 螺旋腔의 存在面에서는 그 特性이 같음을 알 수 있었다. 이와같은 螺旋腔은 건조시 할 렬로 擴張되는 것으로 알려져 있으나(Timell, 1978) 그 發生原因에 대한 研究는 確實하게 考察 究明된 바 없으며 나선강으로 부터 擴張되는 나선 제짐(helical check)의 現狀에 관해서는 보다 면밀한 電子顯微鏡의 考察을 거쳐야만 그 識別 및 原因說明이 可能할 것이라 생각되었다. 또한, 本實驗에서 確認된 나선강에는 정상층이 散在하는 것이 觀察되었는데(그림9), 이는 Timell(1981)이 정상층은 壓縮異常材의 假導管 및 나선강에서 간혹 觀察된다고 한 報告와 一致하였다.

壓縮異常材 假導管 先端부의 뒤엎힘을 放射斷面上에서 考察하여 보면(그림10) 대부분의 壓縮異常材에서는 螺旋腔의 경우와 마찬가지로 春秋材部位에서 모두 確認할 수 있었으나(그림10C), S₁, B₁, B₂ 및 根材의 壓縮異常材 및 전 壓縮異常材의 對應材와 側面材에서는 春秋材部位에서만 確認되었으며(그림10 A, B), 잣나무 枝材 對應材에서는 그 存在를 確認할 수 없었다는 Lee와 Eom(1988)의 報告와 달리 對應材 및 側面材에서도 確認되어, 양분된 壓縮異常材는 春秋材 모두 뒤엎혀 있고 對應材와 側面材는 春秋材에만 뒤엎혀 있다고 한 李와 鄭(1988)의 報告와 유사한 結果를 나타내었다. 또한 뒤엎힌 假導管의 先端부에는 非正常的

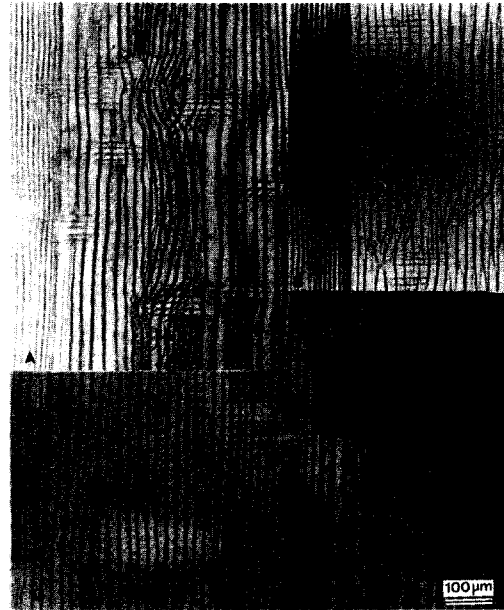


Fig. 10. Radial surfaces showing tracheid tip distortion(↑) only in earlywood of compression wood(A) and opposite wood(B) as well as both in early- and latewood of compression wood(C). Arrowheads indicate misshapen, expanded tracheids.

形態의 膨脹된 假導管도 발견되었는데(그림10A) 이는 Yoshizawa(1987)가 관찰한 結果와 같은 形態를 보여 주었다.

이상에서 본 바와같이 壓縮異常材의 春材에서 秋材로의 假導管 移行, 橫斷面上 假導管의 形態 및 세포간극의 存在는 壓縮異常材가 樹幹, 枝材, 根材 및 採取部位에 관계없이 特徵적으로 나타나 壓縮異常材率 變異와 관계없는 壓縮異常材의 고유한 特性임을 알 수 있었으며, 螺旋腔의 存在와 假導管 先端부의 뒤엎힘은 壓縮異常材率이 많으면 春秋材部位 모두에서 그 存在를 確認할 수 있으나 壓縮異常材率이 적으면 螺旋腔은 秋材에만, 假導管 뒤엎힘은 春材에만 存在함을 確認할 수 있었으므로 이 두가지 特性도 壓縮異常材의 고유한 特性이라고 하기에는 그 形成程度에 따른 다소간의 變異가 있음을 알 수 있었다. 따라서 壓縮異常材 形成程度에 따른 變異에 관해서는 더욱 자세한 研究 檢討가 따라야 할 것이다.

3. 수직수지구와 방추형 방사조직 및 단열방사조직의 數量的 特性

1) 수직수지구의 特性

橫斷面上에서 測定한 壓縮異常材와 對應材 및 側面材의 單位面積(unit area, $4\pi \text{ mm}^2$)당 및 단 位年輪(unit annual ring, 1年輪/ $10\pi \text{ mm}^2$)당 수 直수지구는 서로 상이한 結果를 나타내었다(그림 11, 12). 우선 單位面積을 基準으로 하면 수직수 지구의 수는 對應材와 側面材間, 側面材와 壓縮異 常材間에는 일정한 傾向은 없었으나 다만, 壓縮異 常材가 對應材보다 그 數가 樹幹과 枝材에서 적은 것으로 나타나 Timell(1981), Sato와 Ishida (1983), 그리고 Lee와 Eom(1988)의 結果와 일치 하였으며 根材에서는 壓縮異常材가 側面材보다 수 직수지구를 적게 내포하고 있었다(그림11). 또한 樹幹과 枝材에 있어 壓縮異常材率 變異에 따른 수 직수지구의 數는 差異를 나타내지 않았다. 그러나 單位年輪을 基準으로 하면 壓縮異常材가 側面材나 對應材보다 그 數가 많았는데(그림12), 側面材와 對應材間에는 일정한 傾向이 나타나지 않았고 壓縮異常材率이 작아짐에 따라 壓縮異常材와 對應材 및 側面材間의 差異가 樹幹과 지재 공히 줄어들음을 알 수 있었다. 이러한 結果는 Onaka(1949)의 單 位面積을 基準으로 하여 測定한 壓縮異常材의 수 직수지구 數는 對應材보다 적고 單位年輪을 基準 으로 하여 測定한 壓縮異常材의 수직수지구 數는 오히려 對應材보다 많다고 報告한 結果와 일치하 였다.

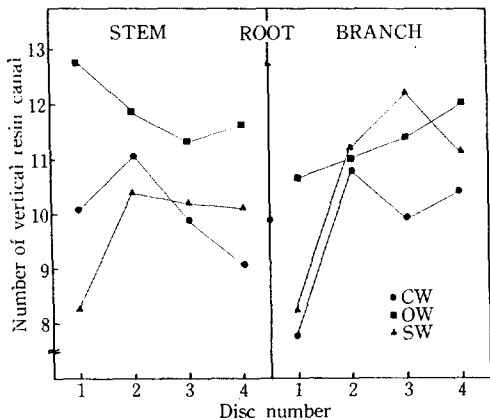


Fig. 11. Changes for number of vertical resin canal contained in $4\pi \text{ mm}^2$ along disc number in stem, branch, and root.

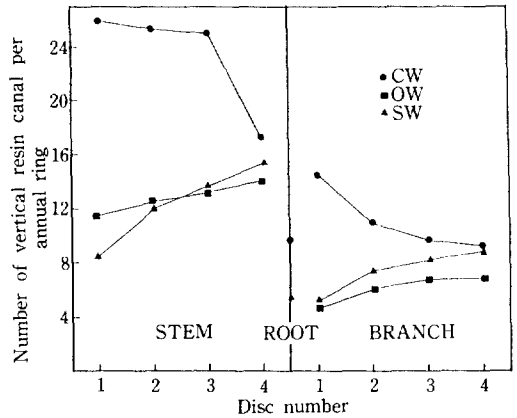


Fig. 12. Changes for number of vertical resin canal per annual ring along disc number in stem, branch, and root.

이를 綜合해 보면, 壓縮異常材는 偏心生長으로 인하여 年輪幅이 對應材나 側面材보다 넓어지며, 수직수지구는 春秋材 境界부와 秋材部에 주로 分 布함으로써 單位面積을 基準으로 한 수직수지구의 數는 壓縮異常材가 對應材보다 적으나 單位年輪을 基準으로 한 壓縮異常材의 수직수지구 數는 對應 材보다 오히려 많음을 알 수 있었다.

2) 紡錘形放射組織의 特性

水平樹脂溝를 包含하고 있는 紡錘形放射組織의 數를 接線斷面上에서 測定한 結果를 보면(그림 13), 樹幹에 있어 壓縮異常材의 水平樹脂溝數는 對應材보다는 다소 많은 傾向을 보였으나 통계적 인 差異가 認定되지 않았으며(LSD 0.05), 枝材에 있어 B₁과 B₂는 對應材가 오히려 壓縮異常材보다

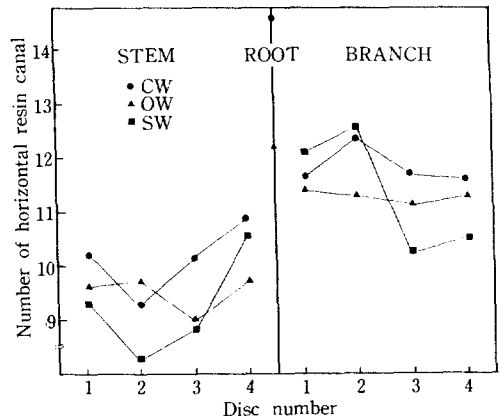


Fig. 13. Changes for number of horizontal resin canal contained in $4\pi \text{ mm}^2$ along disc number in stem, branch, and root.

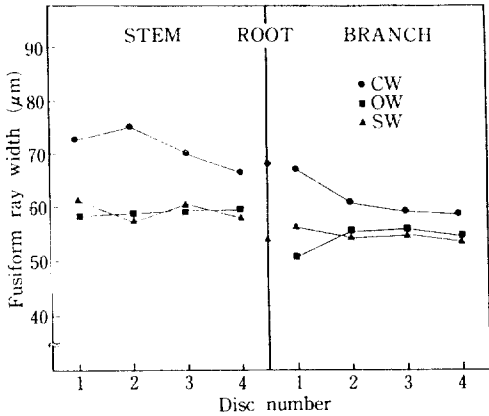


Fig. 14. Changes for fusiform ray width along disc number in stem, branch, and root.

그 수가 많았고 B₃와 B₄에서는 對應材가 적었지만 이들 역시 통계적인 차이가 認定되지 않은 傾向을 보였다. 또한 壓縮異常材와 對應材 및 側面材間에도 일정한 傾向이 없었고 壓縮異常材率 變異에 따른 影響도 認定되지 않았으므로 壓縮異常材와 對應材 및 側面材에 있어 소나무의 水平樹脂溝 數는 큰 差異가 없음을 알 수 있었다. 이는 壓縮異常材의 水平樹脂溝 數가 對應材보다 많다고 한 Lee와 Eom(1988)의 報告와는 다른 結果를 나타내었다.

接線斷面上에서 測定한 紡錘形放射組織의 幅을 보면(그림14), 樹幹과 枝材 및 根材 공히 壓縮異常材가 對應材와 側面材보다 넓으며(LSD 0.01), 側面材와 對應材는 서로 비슷한 幅을 나타내었다. 이는 壓縮異常材가 對應材보다 紡錘形放射組織의 幅이 넓다고 한 Lee와 Eom(1988)의 報告와 잘 일치하며 壓縮異常材率 變異의 影響과는 관계가 없는 壓縮異常材의 고유한 特性임을 알 수 있었다.

또한, 紡錘形放射組織의 細胞高에 있어서 壓縮異常材의 紡錘形放射組織은 細胞高가 樹幹과 枝材 및 根材 공히 對應材와 側面材보다 낮으나 側面材와 對應材間에는 일정한 傾向이 없었으며 壓縮異常材率 變異에 따른 影響도 認定되지 않았다(그림 15). 이러한 사실은 壓縮異常材에 있어 紡錘形放射組織의 細胞高는 對應材의 것보다 낮다고 한 Lee와 Eom(1988)의 報告와 일치하였으므로 壓縮異常材의 고유한 特性으로 여겨졌다.

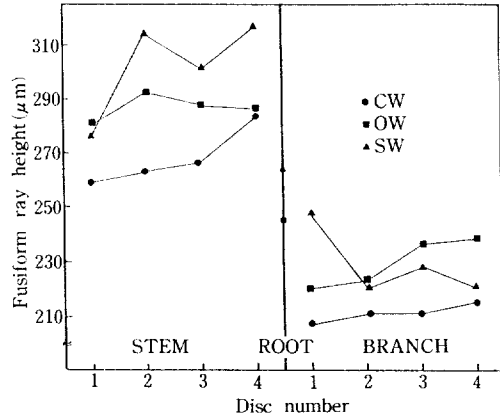


Fig. 15. Changes for fusiform ray height along disc number in stem, branch, and root.

앞에서 考察한 紡錘形放射組織의 數와 幅 그리고 細胞高의 測定結果를 綜合해 보면, 壓縮異常材와 對應材間과 側面材間에 있어 紡錘形放射組織은 그 數에는 差異가 없으나 壓縮異常材의 紡錘形放射組織이 對應材의 것보다 幅이 넓고 높이가 낮은 特性을 나타내었다.

3) 單列放射組織의 特性

接線斷面上에서 測定한 單列放射組織의 數를 보면 S₁을 除外한 모든 部位에서 그 差異가 없어, 매우 심한 條件하에서 形成된 樹幹의 壓縮異常材(S₁)를 除外하고는 壓縮異常材와 對應材 및 側面材間의 單列放射組織의 數는 樹幹과 枝材 및 根材 공히 差異가 나타나지 않음을 알 수 있었다(그림 16). 이는 壓縮異常材가 對應材보다 單列放射組織의 數가 많다고 한 Lee와 Eom(1988)의 報告와는

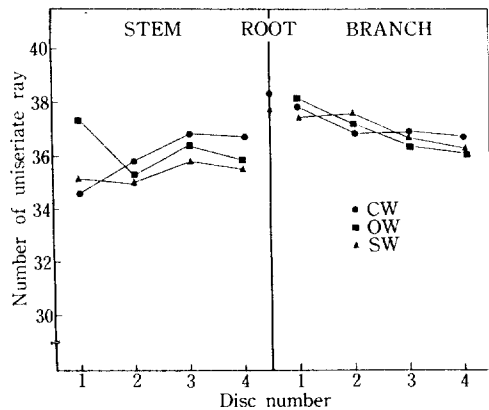


Fig. 16. Changes for number of uniseriate ray along disc number in stem, branch, and root.

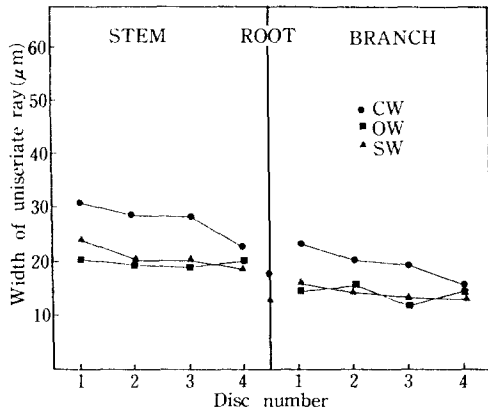


Fig. 17. Changes for width of uniseriate ray along disc number in stem, branch, and root.

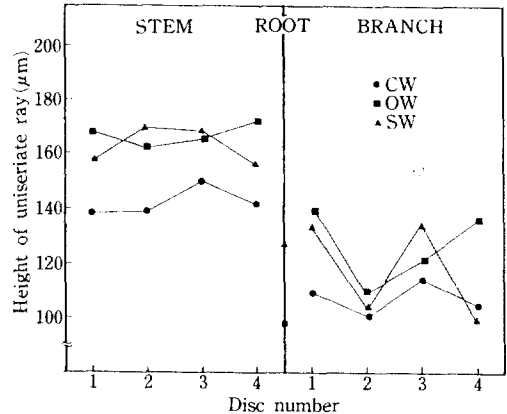


Fig. 18. Changes for height of uniseriate ray, along disc number in stem, branch, and root.

다른 결과를 나타내었으며 Timell(1972)이 美國産 針葉樹 7樹種의 壓縮異常材에 관한 研究에서 *Pinus resinosa*의 壓縮異常材만이 放射組織의 數가 正常材보다 많음을 報告하였는데 그 이유를 壓縮異常材 部位의 빠른 生長으로 인한 結果의 하나로 說明하였다. 따라서 本 研究에서도 似た 條件下에서 形成된 偏心率이 큰 S_1 의 壓縮異常材는 對應材보다 生長이 훨씬 급했기 때문에 單列放射組織의 數가 많았으나 비교적 偏心率이 작은 S_1 以外의 部位는 壓縮異常材의 單列放射組織數가 對應材 및 側面材와 비슷한 結果를 나타낸 것으로 생각되었다. 이상과 같은 結果를 토대로 할때 壓縮異常材와 對應材 및 側面材에 있어 單列放射組織의 數가 비슷한 特性은 壓縮異常材의 고유한 特性이라기 보다는 Timell(1972)의 報告처럼 壓縮異常材의 形成條件 즉, 生長速度의 程度에 따라 달라지는 特徵으로 여겨졌으며 이의 檢證을 위해서는 좀더 많은 研究가 必要하다고 생각된다.

또한 單列放射組織의 幅을 보면(그림17), 紡錘形放射組織에서와 같이 壓縮異常材가 對應材와 側面材보다 넓으며 그 差異는 壓縮異常材率이 작아짐에 따라 減少하는 傾向을 보였지만 통계적인 차이가 認定되어(LSD 0.01) 壓縮異常材가 對應材나 側面材보다 單列放射組織의 幅이 넓음을 알 수 있었다. 이는 壓縮異常材가 때때로 正常材보다 放射組織의 크기가 크다고 한 Kramer와 Kozlowski(1979)의 報告와 유사한 結果를 나타내어 壓縮異常材의 特性이 될 수 있음을 알 수 있었다. 그리

고 單列放射組織의 細胞高는 壓縮異常材가 對應材나 側面材보다는 낮았는데(그림18), 이는 壓縮異常材가 對應材보다 單列放射組織의 細胞高가 높다고 한 Lee와 Eom(1988)의 보고와는 상이한 結果를 나타냈으며 年輪幅이 增加하면 방사조직부피와 細胞高가 增加한다고 한 Bannan(1954)의 報告와도 다른 結果를 나타내었다.

結 論

소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 樹幹과 枝材 및 根材에 形成된 壓縮異常材와 對應材 그리고 側面材를 偏心率 및 壓縮異常材率 變이에 따라 그 組織學的 特性과 放射組織의 數量的 特性을 調査比較하고 考察하여 얻은 結論은 다음과 같다.

1. 橫斷面上 壓縮異常材의 假導管모양은 둥글며 이들 가도관사이 에 세포간극이 다수 존재하였고 春材에서 秋材로 假導管移行에 있어서 壓縮異常材는 漸進적이었으나 側面材는 急하였고 對應材는 側面材보다 다소 덜 急한 傾向을 나타내었다.

2. 放射斷面上 壓縮異常材의 假導管에는 螺旋腔이 존재하였는데, 壓縮異常材率이 크면 春材材모두에, 작으면 秋材에만 形成되는 特徵을 나타내었다.

3. 放射斷面上 假導管의 뒤엄힘은 壓縮異常材에 있어 壓縮異常材率이 크면 春材材부위 모두에서, 壓縮異常材率이 작으면 春材에만 存在하였으나, 對應材와 側面材는 다만 春材部位에서만 確認할 수 있었다.

4. 단위면적당 수직수지구의 數는 壓縮異常材가 對應材보다 적었으나 단위연륜당 수직수지구의 數는 壓縮異常材가 對應材보다 많았으며, 紡錘形放射組織(水平樹脂溝)의 數와 單列放射組織의 數는 壓縮異常材와 對應材 및 側面材間에 差異가 없음을 알 수 있었다.

5. 소나무의 紡錘形放射組織과 單列放射組織의 幅은 壓縮異常材가 對應材와 側面材보다 넓었으나 이들의 細胞高는 壓縮異常材가 對應材와 側面材보다 오히려 낮은 경향을 나타내었다.

引用 文 獻

- Bannan, M.W. 1954. Ring Width, tracheid size, and ray volume in stem of *Thuja occidentalis* L. Can. J. Bot. 32 : 466-479.
- Berlyn, G.P. and J.P. Miksche. 1976. Botanical microtechnique and cytochemistry. 1st ed. The Iowa State Univ. Press, 326pp.
- Core, H.A., W.A. Côté Jr, and A.C. Day. 1961. Characteristics of compression wood in some native conifers. For. Prod. J. 11 : 356-362.
- Côté Jr, W.A., A.C. Day, N.P. Kutscha, and T.E. Timell. 1967. Studies on compression wood. V. Nature of compression wood formed in the early springwood of conifers. Holzforschung 21 : 180-186.
- Côté Jr, W.A., N.P. Kutscha, and T.E. Timell. 1968. Studies on compression wood. VIII. Formation of cavities in compression wood tracheid of *Abies balsamea*(L.) Mill. Holzforschung 22 : 138-144.
- Doerksen, A.H. and R.G. Mitchell. 1965. Effects of the balsam woolly aphid upon wood anatomy of some western true firs. For. Sci. 11(2) : 181-188.
- Eom, Y.G. and P.W. Lee. 1985. Scanning electron microscopic studies on the features of compression wood, opposite wood, and side wood in branch of pitch pine(*Pinus rigida* Miller). Kor. Wood Sci. and Tech. 13(1) : 3-18.
- Exley, R.R., B.G. Butterfield, and B.A. Meylan. 1974. Preparation of wood specimens for the scanning electron microscope. J. of Microscopy 101 : 21-30.
- Gregory, R.A. 1977. Cambial activity and ray cell abundance in *Acer saccharum*. Can. J. Bot. 55 : 2559-2564.
- Gregory, R.A. and J.A. Romberger. 1975. Cambial activity and height of uniseriate rays in conifers. Bot. Gaz. 136(3) : 246-253.
- Kennedy, R.W. 1970. An outlook for basic wood anatomy research. wood and Fiber 2(3) : 182-187.
- Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1979. Physiology of woody plants. Acad. Press, Inc., London, New York. 811pp.
- Lee, P.W. and Y.G. Eom. 1984. Scanning electron microscopical study on the compression wood and opposite wood formed in branch of *Juniperus virginiana* L. Kor. Wood Sci. and Tech. 12 : 47-52.
- _____ and _____. 1987. Wood identification of the veneer species that grow in Korea. II. Wood characteristics and identification by the microscopic features. Kor. Wood Sci. and Tech. 15(1) : 22-55.
- _____ and _____. 1988. Anatomical comparison between compression wood and opposite wood in a branch of Korean pine (*Pinus koraiensis*). IAWA Bull. n.s., 9(3) : 275-284.
- Mergen, F. and R.M. Echols. 1955. Number and size of radial resin ducts in slash pine. Science 121 : 306-307.
- Ollinmaa, P.J. 1955. On the structure and properties of compression wood. Pap. ja Puu 37 : 544-549.
- Onaka, F. 1949. Studies on compression wood and tension wood. Mokuzai Kenkyo No. 1, Wood Res. Inst. Kyoto Univ., Japan
- Panshin, A.J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4th Ed. McGraw-Hill, New York. 722pp.
- Polaron Equipment Limited. 1984. Introduction manual, E 3000 Series II, Critical Point

- Drying Apparatus.
21. Reid R.W. and J.A. Watson. 1966. Sizes, distribution and numbers of vertical resin ducts in lodgepole pine. *Can. J. Bot.* 44(4) : 519-525.
 22. Sato, K. and S. Ishida. 1983. Resin canals in the wood of *Larix leptolepis* Gord.(III), Morphology of vertical resin canals in compression wood. *Res. Bull. of the College Experiment Forests, College of Agriculture, Hokkaido Univ.* 40(2) : 455-462.
 23. Shikura, T. and C. B. Lantican. 1987. Anatomical structure of *Albizia falcataria* grown eccentrically. *Mokuzai Gakkaishi* 33(2) : 157-162.
 24. Smith, F.H. 1967. Effects of balsam woolly aphid(*Adelges piceae*) infestation on cambial activity in *Abies grandis*. *Amer. J. Bot.* 54(10) : 1215-1223.
 25. Timell, T.E. 1972. Beobachtungen an Holzstrahlen im Druckholz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 30 : 267-273.
 26. _____. 1973. Studies on opposite wood in conifers. II. Histology and ultrastructure. *Wood, Sci. and Tech.* 7 : 79-91.
 27. _____. 1978. Ultrastructure of compression wood in *Ginkgo biloba*. *Wood Sci. and Tech.* 12 : 89-103.
 28. _____. 1979. Formation of compression wood in balsam fir. II. Ultrastructure of the differentiating xylem. *Holzforschung* 33 : 181-191.
 29. _____. 1980. Karl Gustav Sanio and the first scientific description of compression wood. *IAWA Bull.* 1(4) : 147-153.
 30. _____. 1981. Recent progress in the chemistry, ultrastructure, and formation of compression wood. *The Ekman-Days, SPCI Rep.* 38, vol. 1 : 99-147.
 31. Tippet, J.T. and A.L. Shigo. 1981a. Barrier zone formation; a mechanism of tree defense against vascular pathogens. *IAWA Bull. n.s.*, 2(4) : 163-168.
 32. _____ and _____. 1981b. Barriers to decay in conifer root. *Eur. J. of Forest Pathol.* 11(1-2) : 51-59.
 33. Verrall, A.F. 1928. A comparative study of the structure and physical properties of compression wood and normal wood. M.S. Thesis, Univ. of Minnesota, St. Paul, 37pp.
 34. Wardrop, A.B. and G.W. Davies. 1964. The nature of reaction wood. VIII. The structure and differentiation of compression wood. *Aust. J. Bot.* 12 : 24-38.
 35. White, D.J.B. and A.W. Robards. 1966. Some effects of radial growth rate upon tree rays of certain ring-porous hardwood. *J. Inst. Wood Sci.* 17 : 45-52.
 36. Yamanaka, K. 1985. Abnormal tissue in swollen stemwood of *Chamaecyparis obtusa* Sieb. et Zucc. *IAWA Bull. n.s.*, 6(1) : 53-60.
 37. Yoshizawa, N. 1987. Cambial responses to the stimulus of inclination and structural variation of compression wood tracheid in gymnosperms. *Bull. of Utsunomiya Univ. Forests No.* 23 : 23-141.
 38. 由本正英, 大谷 諄. 1981. 針葉樹材에서材假導管에ける트라베키엘러의構造. *日本木材學會北海道支部講演集.* 13 : 9-12.
 39. 李弼宇, 鄭然楫. 1988. 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.) 樹幹內에 兩分形成된 壓縮異常材와 그 사이에 存在하는 間材의 解剖學的特性. *목재공학* 16(2) : 42-49.
 40. 日本木材學會. 1985. 木材科學實驗書. I. 物理·工學編. 日本木材學會物理·工學編編集委員會. 有限會社. 中外産業調査會, 346pp.