

섬잣나무 (*Pinus parviflora* S. et Z.) 지재의 압축이상재, 측면재, 대응재에 관한 해부학적 특성 비교*¹

허광수*^{2†} · 엄영근*²

Anatomical Comparison of Compression, Opposite, and Lateral Woods in a Branch of *Pinus parviflora* S. et Z.*¹

Guang Zhu Xu*^{2†} · Young Geun Eom*²

요 약

본 연구는 섬잣나무(*Pinus parviflora* S. et Z.) 지재에 발달되어 있는 압축이상재, 측면재 및 대응재의 조직학적 특성을 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 비교, 검토하였다. 조재로부터 만재로의 가도관 이행은 압축이상재가 측면재나 대응재보다 상대적으로 더 점진적이었다. 그리고 연륜폭과 만재율은 압축이상재가 측면재 혹은 대응재보다 큰 경향을 보였다. 횡단면상 만재 가도관의 형상에 있어 정방형 내지 다각형을 나타내는 측면재 및 대응재와는 달리 압축이상재는 원형을 나타냈다. 세포간극, 나선강, 나선짜짐 및 슬릿형 벽공구는 압축이상재에만 발달하였다. 그러나 우상층은 측면재 및 대응재뿐만 아니라 압축이상재 가도관에서도 모두 관찰되었다. 압축이상재의 교분야벽공은 정상적인 창상형 벽공이 아니라 심한 변형을 통해 편백형 내지 삼나무형 벽공을 나타내기 때문에 식별 인자로 이용될 수 없는 것으로 나타났다. 그리고 방추형방사조직의 폭과 높이는 압축이상재가 측면재 및 대응재의 것보다 넓고 낮은 모습을 보였다. 결론적으로 압축이상재의 해부학적 특징은 측면재나 대응재와 상이한 특성을 나타냈으나 대응재와 측면재 사이에는 해부학적 차이가 거의 없었다.

ABSTRACT

Compression, lateral, and opposite woods in a branch of *Pinus parviflora* S. et Z. were described and compared in the qualitative anatomical aspects through light and scanning electron microscopy. Tracheid transition from earlywood to latewood in the compression wood appeared to be relatively more gradual

*¹ 접수 2004년 9월 10일, 채택 2004년 12월 6일

*² 국민대학교 삼림과학대학 임산공학과 Department of Forest Products, College of Forest Science, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

† 주저자(corresponding author) : 허광수(e-mail: m2002542@yahoo.co.kr)

than in the opposite or lateral wood. Growth ring width and proportion of latewood were thought to be greater in the compression wood than in the lateral or opposite wood. The latewood tracheids of compression wood in transverse surface were mostly round, differently from those of lateral and opposite woods with square to angular shapes. Also, intercellular spaces, helical cavities and checks, and slit-like pit apertures were observed only in the compression wood tracheids. Cross-field pitting in the compression wood appeared not to be used as a diagnostic guide because of their severe alteration from normal fenestriform or window-like type to cupressoid to taxodioid types. In tangential surface, fusiform rays in the compression wood were wider but lower than those in the lateral wood or opposite wood. In conclusion, compression wood was different from lateral and opposite woods but lateral and opposite woods were almost identical in the qualitative anatomical features.

Keywords: *Pinus parviflora* S. et Z., branch wood, compression wood, lateral wood, opposite wood, anatomical features, light and scanning electron microscopy

1. 서 론

경사지에서 성장하거나 또는 평지에서 성장하더라도 기울게 자란 수간 그리고 수간과 어떤 경각을 이루는 가지는 수를 중심으로 횡단면상의 위쪽 또는 아래쪽으로 편심성장(eccentric growth)을 나타낸다. 이처럼 편심생장을 이룬 부분을 이상재 혹은 반응재(reaction wood)라고 부른다.

이상재는 침엽수나 활엽수 모두에 발달하지만 일반적으로 침엽수에 있어서는 기울어진 줄기나 가지의 횡단면 아래쪽, 즉 압축응력을 받는 부분에 그리고 활엽수에 있어서는 침엽수와는 반대인 위쪽, 즉 인장응력을 받는 부분에 발달되는 특징이 있기 때문에 침엽수의 이상재를 압축이상재 그리고 활엽수의 이상재를 인장이상재라고 부르고 있다. 그러나 이러한 명칭은 이상재가 발달된 곳을 일컫는 것이지 결코 응력의 결과로 반드시 이상재가 발달하게 된다는 것을 의미하는 것은 아니다(Bowyer 등 2003).

압축이상재는 횡단면상에서 볼 때 리그닌(lignin)의 함량이 높아 정상적인 조직보다 더 붉은 색을 나타내기 때문에 쉽게 식별되는데 이러한 압축이상재는 Ginkgoales, Coniferales 및 Taxales에서 발달되지만 Cycadales나 Gnetales에는 발달되지 않는 것으로 알려져 있다(Timell 1986).

압축이상재에 대한 기초 성질 조사로써 그 해부학적 특성이 최근까지 많은 연구가 진행되어 왔는데

(Mork 1928; Core 등 1961; Timell 1981, 1986; Yonshizawa 1987; Chung과 Lee 1989), 그 외에도 압축이상재의 반대쪽에 발달되어 있는 대응재의 해부학적 특성에 대한 연구(Timell 1973; Park 1983, 1984a,b, 1986; Lee와 Eom 1984), 압축이상재와 대응재의 해부학적 특성 비교에 대한 연구(Lee와 Eom 1988; Eom 1991; Lee 등 1991) 그리고 압축이상재, 대응재 및 측면재에 대한 해부학적 특성 비교에 대한 연구(Eom과 Lee 1985; Eom과 Butterfield 1997, 2001)도 상당히 진행되어 왔다.

하지만 섬잣나무(*Pinus parviflora* S. et Z.)의 압축이상재, 측면재 및 대응재의 해부학적 특성 비교에 관한 연구는 지금까지 보고되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 섬잣나무 지재에 발달되어 있는 압축이상재, 측면재 및 대응재의 해부학적 특성을 조사, 비교하기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시재료인 섬잣나무(*Pinus parviflora* S. et Z.) 지재는 서울특별시 성북구 정릉동 국민대학교 과학관 2층 현관 앞의 화단에 자라고 있는 관상수로부터 채취하여 사용하였다(Fig. 1 & 2).



Fig. 1. Photograph of the branch wood sampled in this study. Scale bar = 10 cm.

2.2. 시험방법

압축이상재, 대응재 및 측면재의 해부학적 특성을 관찰하기 위하여 원반의 위쪽, 아래쪽 그리고 측면으로부터 각각 1 cm³ 크기의 목편을 채취한 다음 압력 밥솥에서 90분간 끓여 연화하고 물, ethanol 그리고 glycerin의 등량 혼합액에 1주일 이상 침지, 보관하였다.

광학현미경적 관찰을 위하여 sliding microtome으로 20 μm 두께의 박편을 횡단면, 방사단면 및 접선단면별로 절삭한 후 safranin 용액으로 염색하고 ethanol 및 xylene으로 탈수, 투명화 하였으며 이와 같이 처리된 박편을 Canada balsam으로 봉입하여 영구슬라이드를 제작하였다(Japan Wood Research Society 1985).

또한 주사전자현미경적 관찰을 위하여 연화한 시편으로부터 5×5×5 mm³의 목편을 준비하여 1회용 편면 면도칼로 관찰용 면을 깨끗하게 절단하고 천연 건조한 다음 금으로 50 nm의 두께가 되도록 증착(sputter-coating)하고 주사전자현미경(JEOL JSM 5410LV)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

연륜폭은 압축이상재가 측면재 혹은 대응재보다 다소 넓은 경향을 보였고 압축이상재, 측면재 및 대응재

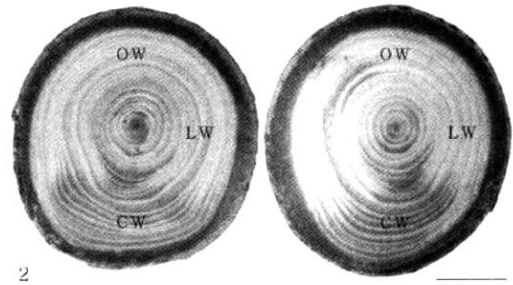


Fig. 2. Transverse surfaces of the discs with compression, lateral, and opposite woods. Scale bar = 1 cm.

모두에 있어 연륜폭은 큰 변이성을 나타냈다. 이는 압축이상재, 대응재 및 측면재에서 연륜폭이 큰 변이성을 나타낸다고 한 Jaccard (1919), Lee와 Eom (1988)의 결과와 일치하였다.

만재율은 측면재와 대응재가 비슷하였지만 이들은 모두 압축이상재보다 작았다(Fig. 3~5). 이는 *Pinus strobus*에 있어 정상재는 만재가 뚜렷하지 못하나 압축이상재는 뚜렷한 만재를 보인다는 Panshin과 de Zeeuw (1980)의 보고와 일치하고 있다. 한편, Core 등(1961)은 심하게 발달된 압축이상재에 있어서는 일부 연륜들은 거의 전부 만재로 구성되어 있는 것처럼 하나의 연륜폭 전체가 벽이 두껍고 둥근 가도관만으로 구성된 양상을 보인다고 발표하였다. 그리고 Timell (1973)은 대응재에 있어 연륜폭은 넓은 연륜이 좁은 연륜보다 높은 만재율을 지니며, Mork (1928)는 반대로 좁은 연륜이 넓은 연륜보다 높은 만재율을 지닌다고 보고하였다.

소재로부터 만재로의 가도관의 이행은 압축이상재인 경우 연륜에 따라 다소 점진적이거나 또는 급진적인 것 모두가 관찰되었다. 측면재와 대응재인 경우 가도관의 이행은 대체로 급진적인 것으로 나타났으나 넓은 연륜이 좁은 연륜보다 상대적으로 점진적인 이행을 보이는 경향이 관찰되었다. 종합적으로 볼 때 압축이상재가 측면재나 대응재보다 더 점진적인 이행을 나타내는 것으로 여겨졌다(Fig. 3~5). 이는 가도관의 이행에 있어 측면재나 대응재와는 달리 압축이상재가 점진적인 경향을 보인다고 한 Eom과 Lee (1985), Eom과 Butterfield (1997, 2001)의 보고와 다소 일치

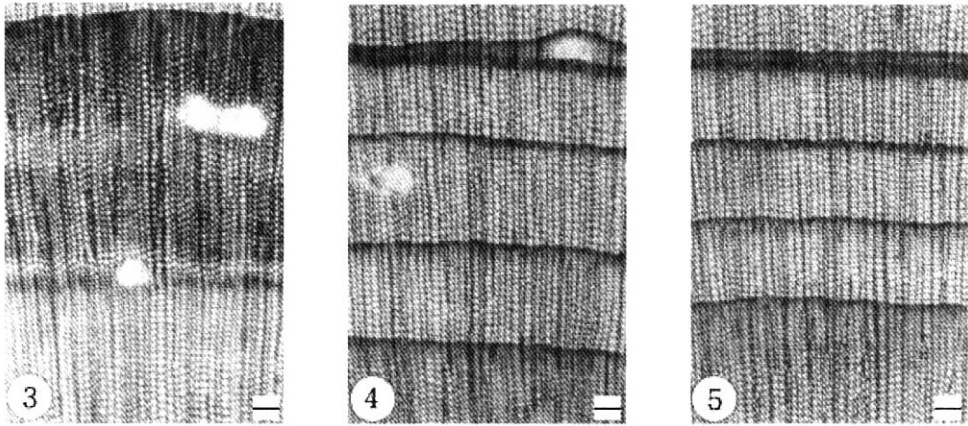


Fig. 3~5. Tracheid transition from earlywood to latewood in transverse surfaces. -3: Compression wood with somewhat gradual transition. -4 & 5: Lateral and opposite woods with abrupt transition and more gradual transition in wide ring than in narrow one. Scale bars = 100 μ m.

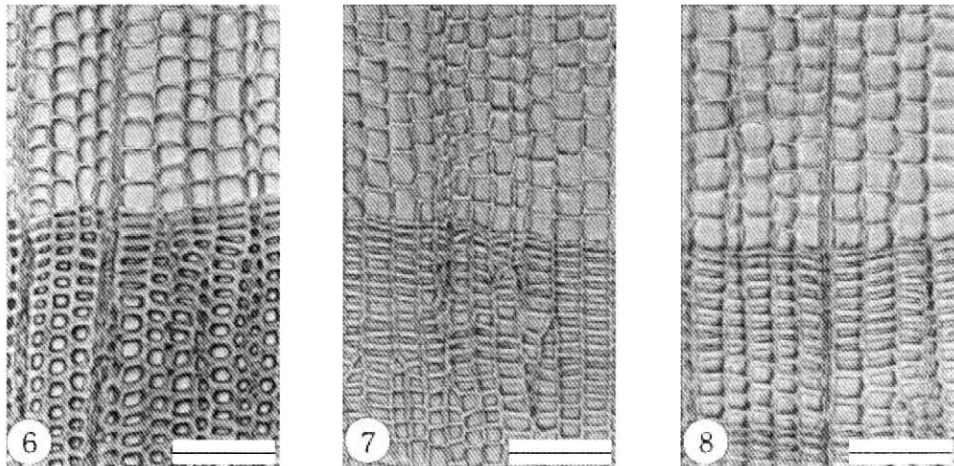


Fig. 6~8. Tracheid outlines in transverse surfaces. -6: Compression wood with square to rectangular, angular or somewhat round tracheids in earlywood and round tracheids with the exception at growth ring boundary in latewood. -7 & 8: Lateral and opposite woods with square to rectangular or angular tracheids. Scale bars = 100 μ m.

하고, 대응재인 경우 좁은 연륜에서 가도관의 이행이 급진적이나 연륜이 넓어질수록 상대적으로 점진적인 이행을 보이게 된다고 한 Timell (1973, 1986)의 보고와도 일치하고 있다.

횡단면상 가도관 형상은 압축이상재인 경우 조재는 정방형 내지 다각형 및 이따금 둥근 모양을 나타냈으나 만재는 연륜계 주변을 제외하고는 거의 둥근 모양

을 나타냈다. 그러나 측면재와 대응재의 조재와 만재는 모두 정방형 내지 장방형 혹은 다각형을 나타냈는데(Fig. 6~8) 이는 Eom과 Lee (1985), Eom과 Butterfield (1997, 2001)의 보고와 유사하였다. 또한 압축이상재에서는 연륜계를 제외하고 횡단면상 가도관의 외형은 다소 둥근 모양이라고 지적한 Côté 등 (1967)과 Yoshizawa 등(1982)의 보고와도 일치하였

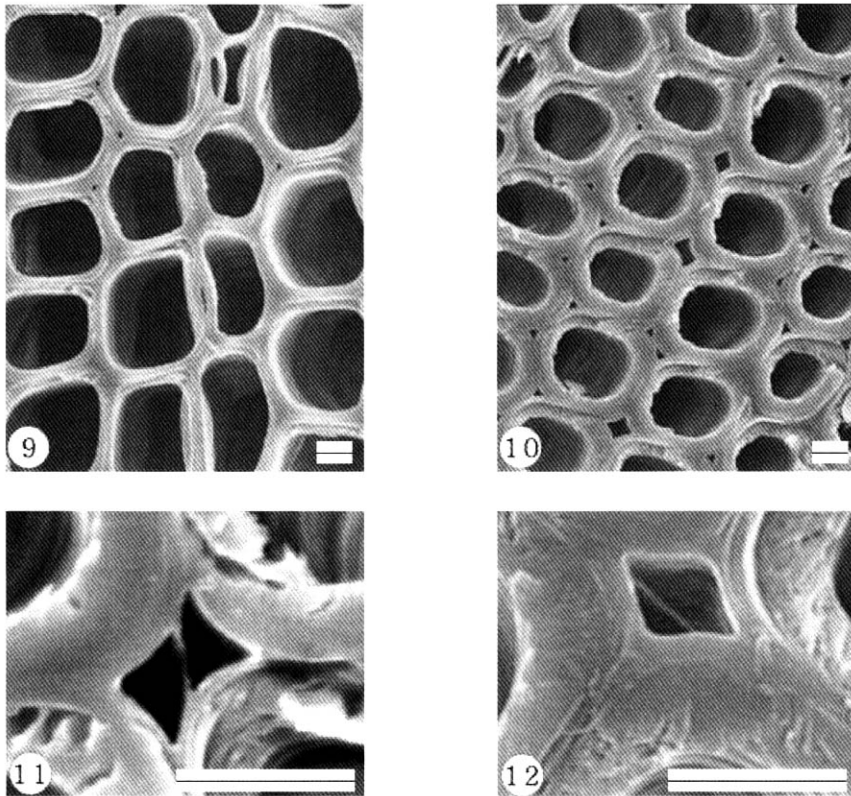


Fig. 9~12. Intercellular spaces in transverse surface of compression wood. - 9 & 10: Occasionally and commonly found intercellular spaces in earlywood and latewood, respectively. -11 & 12: Band of lignin and parental primary wall traversing intercellular space, respectively. Scale bars = 10 μ m.

다. Timell (1973)은 압축이상재와 대응재 및 정상재 (측면재) 사이의 가도관 모양에 있어 압축이상재에서는 원형이고 대응재에서는 정사각형 그리고 정상재에서는 다각형이라고 결론지은 바 있다.

횡단면상의 둥근 가도관과 관련 있는 세포간극은 압축이상재의 조재에서 가끔 그리고 만재에서 자주 관찰되었으나 측면재와 대응재에서는 세포간극이 조재와 만재 모두에서 관찰되지 않았는데(Fig. 9~12) 이는 Eom과 Lee (1985), Eom과 Butterfield (1997, 2001)의 보고와 일치하였다. 이러한 세포간극은 *Larix*와 *Picea*, *Pinus* 그리고 *Pseudotsuga*의 압축이상재에서 빈번히 관찰되는 특징으로 여겨지고 있다 (Timell 1981, 1986). 그러나 *Pinus radiata*에서는

압축이상재의 전역에 존재하지 않을 수도 있고 (Harris 1991) 더욱이 *Juniperus*와 *Cupressus* 같은 일부 침엽수 수종에서는 정상재에서도 관찰(Core 등 1979; McGinness와 Phelps 1972)되는 등 변이성이 존재하는 것으로도 보고되어 있다.

그리고 세포간극을 횡단하는 리그닌 띠(Fig. 11)와 모세포의 1차벽(Fig. 12)이 Resch와 Blaschke (1968), Mio와 Matsumoto (1982)에 의하여 보고된 것처럼 압축이상재에서 가끔 관찰되었다.

가도관의 벽층 구조에 있어 S₂ 층에 발달되어 있는 나선강과 나선짜짐 그리고 길고 좁은 나선구 밑면에 위치함으로써 형성된 슬릿형 벽공구(Fig. 13~15)는 압축이상재의 만재에서만 주로 관찰되었을 뿐 측면재

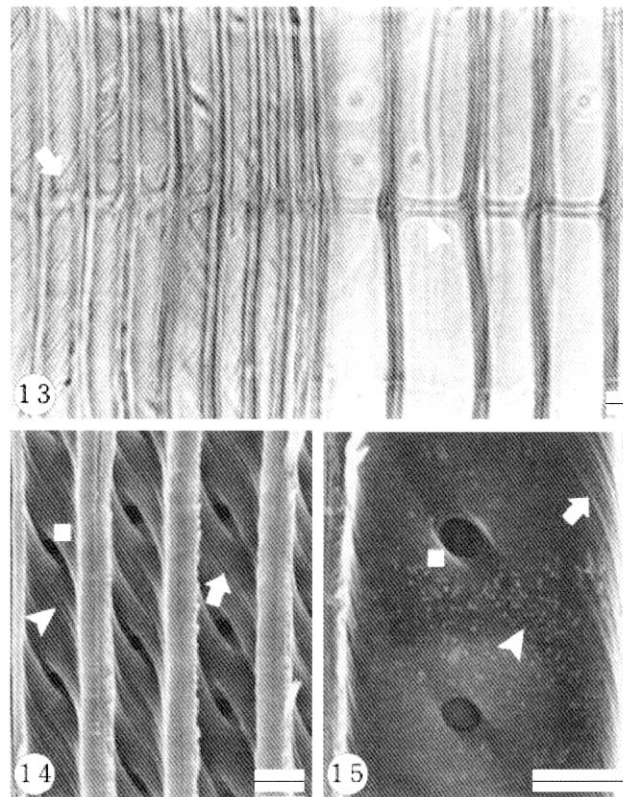


Fig. 13~15. Innermost wall layer structure of compression wood tracheids in radial surfaces. -13: Tracheids with spiral checks in latewood (arrow) and trabeculae in earlywood and latewood (arrowhead). -14: Tracheids with helical cavities (arrowhead), spiral check (arrow), and slit-like pit openings caused by the location of pit apertures at the bottom of prominent helical grooves (diamond). -15: Tracheid with fine helical checks (arrow), warty layer (arrowhead), and pit apertures at the bottom of light helical grooves (diamond). Scale bars = 10 μ m.

와 대응재에 있어서는 조재와 만재 모두에서 관찰되지 않았는데 이는 Eom과 Lee (1985), Eom과 Butterfield (1997)의 보고와 일치하였다. 나선재짐은 기계적 혹은 건조 응력에 의하여 S₂층의 가장 약한 부분인 나선강을 따라 형성되는 것으로 여겨지고 있는데 (Timell 1978a, 1978b) 나선강은 일반적으로 분지형을 띠고 있으며 리그닌 함량이 높은 S₂층의 바깥부분에만 한정되어 발달(Boyd 1973)되는 것으로 알려져 있다. 슬릿형 벽공구는 압축이상재의 가장 큰 특징이 되고 있기 때문에 압축이상재의 식별 인자로 가장 중요한 것이 되고 있다(Timell 1978b, 1986). 압축이

상재의 또 다른 큰 특징 가운데 하나인 나선강의 기원에 대하여 Wardrop와 Davies (1964), Côté 등(1968) 그리고 Timell (1979, 1986)이 연구한 적이 있으나 아직까지 완전히 구명되지 않은 미해결의 상태에 놓여 있다.

또한 본 연구에 있어 압축이상재, 대응재 및 측면재의 가도관 모두에서 우상층이 관찰되었다(Fig. 15 및 18~20). 이는 Timell (1981)이 문헌상으로 볼 때 서로 상반되는 결과가 있기는 하지만 우상층은 정상재와 압축이상재 모두에서 거의 같은 분포 밀도로 발달된다고 한 보고와 일치하고 있다. 그러나 Panshin과

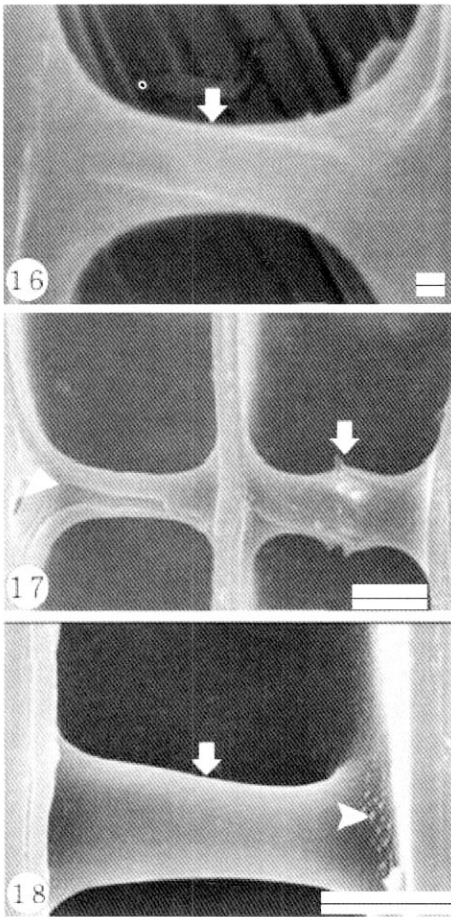


Fig. 16~18. Trabeculae traversing the tracheid lumen. -16 & 17: Trabeculae with helical structure (arrow) and unusual blind pit (arrowhead) leading to hollow core of trabecula in compression wood tracheid. -18: Trabecula with smooth appearance (arrow) and warty layer (arrowhead) in opposite wood tracheid. Scale bars = 10 μ m.

de Zeeuw (1980)가 경송의 가도관에는 우상층이 발달되나 연송의 가도관에 우상층이 발달되지 않는다는 보고와는 달리 본 연구에서는 연송류인 섬잣나무의 가도관에서도 우상층이 관찰되었다.

그리고 방사방향으로 여러 개의 가도관 내강을 가로지르며 발달되어 있는 트라베쿨레는 압축이상재와 측면재 및 대응재 모두에서 관찰되었다. 그러나 압축

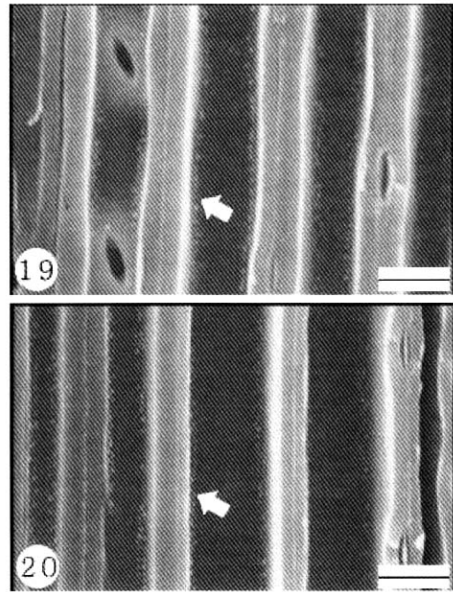


Fig. 19~20. Warty layer (arrow) in tracheid. -19: Lateral wood. -20: Opposite wood. Scale bars = 10 μ m.

이상재에 발달되어 있는 트라베쿨레는 대응재나 측면재의 경우와는 달리 숙주 세포인 가도관과 마찬가지로 나선형 구조를 보였다(Fig. 16~18). Yumoto와 Ohtani (1981)는 *Picea glauca*의 압축이상재에 형성된 트라베쿨레의 미세구조에 관한 연구에서 압축이상재의 트라베쿨레에는 나선상 홈이 존재하고 이러한 트라베쿨레의 벽층 구조는 트라베쿨레가 형성되어 있는 숙주 세포인 가도관의 벽층 구조와 동일함을 시사하였다.

교분야벽공에 있어 압축이상재는 측면재 및 대응재와는 달리 정상재의 창상 벽공과 다르게 편백형 내지 삼나무형 벽공을 나타냈다(Fig. 21 및 22). Onaka (1949)는 압축이상재인 경우 방사유세포와 관련되어 있는 단벽공은 모든 수종에서 같기 때문에 정상재에서처럼 식별적 인자로 사용될 수 없다고 보고하였다. 또한 Lee와 Eom (1988) 그리고 Eom과 Butterfield (1997)는 압축이상재의 교분야벽공은 정상재의 것보다 심한 형태적 변형을 나타내기 때문에 식별적 인자로서 사용될 수 없지만 대응재에서는 매우 조금 변형되기 때문에 식별적 인자로서 사용될 가능성이 있다

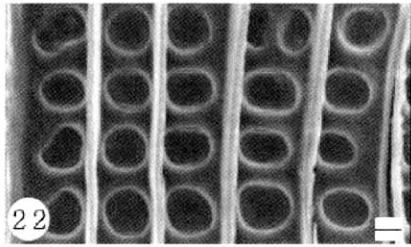
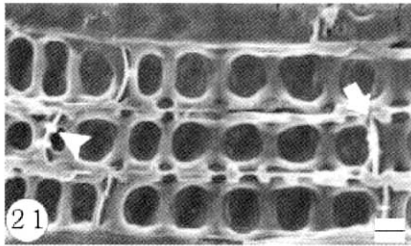


Fig. 21~22. Radial surface showing cross-field pitting. -21: Compression wood with cupressoid to taxodioid pits deviated from normal fenestriform type and nodular end wall (arrowhead) and indenture (arrow) in ray parenchyma cell. -22: Opposite wood with fenestriform pits. Scale bars = 10 μ m.

고 보고하였다.

압축이상재와 측면재 및 대응재에 발달되어 있는 수직수지구는 모두 정상 수지구로 박벽의 에피텔리움 세포로 둘러싸여 있었으며 가끔 얇은 에피텔리움세포의 팽창으로 인해 형성된 타일로소이드가 관찰되었다

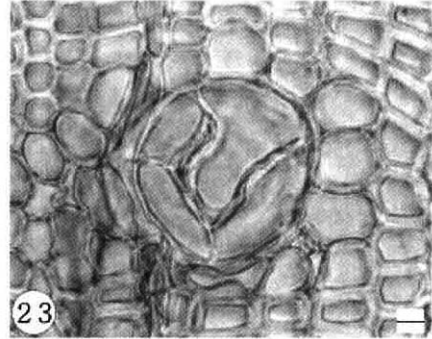


Fig. 23. Transverse surface of opposite wood showing tylosid in normal resin canal. Scale bar = 10 μ m.

(Fig. 23). 그러나 Core 등(1961), Eom과 Butterfield (1997), Lee와 Eom (1988)의 보고와는 달리 상해 수지구는 관찰되지 않았는데 이들은 상해 수지구가 압축이상재의 특성이 될 수 없다고 결론을 내린 바 있다.

이외의 해부학적 특성으로 방사유세포의 염주상 말단벽, 인텐처 등이 압축이상재와 측면재 및 대응재 모두에서 관찰되었다(Fig. 21). 그리고 접선단면에 있어 방추형방사조직의 폭과 높이는 각각 압축이상재에서 150~400 μ m (평균 268 μ m), 측면재에서 150~460 μ m (평균 327.6 μ m) 그리고 대응재에서 140~430 μ m (평균 312 μ m)로써 압축이상재의 방추형방사조직은 대응재 혹은 측면재의 것보다 길이는 짧고 폭이 넓은 모양을 보이고 있다(Fig. 24~26).

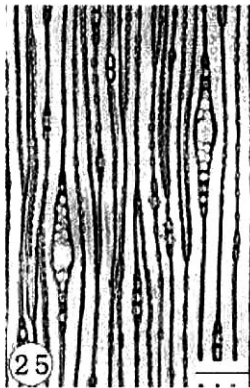


Fig. 24~26. Fusiform rays in tangential surface. -24: Compression wood. -25: Lateral wood. -26: Opposite wood. Scale bars = 100 μ m.

4. 결 론

본 연구는 섬잣나무(*Pinus parviflora* S. et Z.) 지체에 발달되어 있는 압축이상재, 측면재 및 대응재의 해부학적 특성을 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 비교하고 검토하였는데 그 결과는 다음과 같다.

조재로부터 만재로의 가도관 이행은 압축이상재에서 다소 점진적이거나 급진적인 것으로 나타났지만 측면재와 대응재에서는 모두 급진적인 것으로 나타났다. 그렇지만 압축이상재는 측면재 혹은 대응재보다 상대적으로 더 점진적인 이행을 보였다. 연륜폭은 압축이상재, 측면재 및 대응재 사이에 유의차가 인정되지 않았으나 압축이상재가 측면재나 대응재보다 넓은 경향을 그리고 만재율은 압축이상재가 측면재 혹은 대응재보다 큰 경향을 보였다. 횡단면상 가도관의 형상에 있어 압축이상재의 조재는 정방형 내지 다각형 또는 이따금 둥근 경향을 나타냈으나 만재는 주로 원형을 나타냈다. 그러나 측면재와 대응재에서는 조재, 만재 모두 정방형, 장방형 및 다각형을 나타냈다.

세포간극, 나선강, 나선채질 및 슬릿형 벽공구는 압축이상재에만 존재하였고 측면재와 대응재에는 존재하지 않았다. 측면재 및 대응재뿐만 아니라 압축이상재 가도관에서도 우상층이 관찰되었다. 교분야벽공은 압축이상재의 경우 측면재 및 대응재와는 달리 편백형 내지 삼나무형 벽공을 나타내어 식별 인자로 이용될 수 없는 것으로 나타났다. 그리고 방추형방사조직의 폭과 높이는 압축이상재가 측면재 및 대응재의 것보다 넓고 낮았다.

결론적으로 보면 섬잣나무 지체의 압축이상재 해부학적 특징은 측면재나 대응재와 상이한 특성을 나타냈으나 대응재와 측면재 사이에는 차이를 거의 드러내지 않았다.

참 고 문 헌

- Bowyer, J. L., R. Shmulsky, and J. G. Haygreen. 2003. Forest products and wood: An introduction. 4th ed, Iowa State Press. A Blackwell Publishing Co., Iowa, USA.
- Boyd, J. D. 1973. Helical fissures in compression wood cells: Causative factors and mechanics of development. *Wood Sci. and Tech.* 7: 92~111.
- Chung, Y. J. and P. W. Lee. 1989. Anatomical studies on the features of ray in compression wood of Korean red pine (*Pinus densiflora* S. et Z.). *Jour. Korean For. Soc.* 78(2): 119~131.
- 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.
- Core, H. A., W. A. Côté, and A. C. Day. 1979. Wood ultrastructure and identification. 2nd ed, Syracuse Univ. Press, Syracuse, New York, USA.
- Côté, W. A. Jr., A. C. Day, and T. E. Timell. 1967. Studies on compression wood. V: Nature of the compression wood formed in the early spring-wood of conifers. *Holzforschung* 21(6): 180~186.
- Côté, W. A. Jr., N. P. Kutscha, and T. E. Timell. 1968. Studies on compression wood. VIII: Formation of cavity in compression wood tracheids of *Abies balsamea* (L.) Mill. *Holzforschung* 22: 138~144.
- Eom, Y. G. and P. W. Lee. 1985. Scanning electron microscopic studies on the features of compression wood, opposite, and side wood in branch of pitch pine (*Pinus rigida* Miller). *Kor. Wood Sci. and Tech.* 13(1): 3~18.
- Eom, Y. G. 1991. Anatomical comparison between compression wood and opposite wood in a branch of *Ginkgo biloba* L. *Kor. Wood Sci. and Tech.* 19(3): 77~85.
- Eom, Y. G. and B. G. Butterfield. 1997. Anatomical comparisons of compression, opposite, and lateral woods in New Zealand radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Kor. Wood Sci. and Tech.* 25: 88~99.
- Eom, Y. G. and B. G. Butterfield. 2001. Anatomical comparisons of compression, opposite, and lateral woods in New Zealand Rimu (*Dacrydium cupressinum* Lamb). *Kor. Wood Sci. and Tech.* 29(3): 1~13.
- Harris, J. M. 1991. Structure of wood and bark. In: J. A. Kininmonth and L. J. Whitehouse (eds.), Properties and uses of New Zealand radiata pine. Vol. I. Wood properties. Chap. 2. N. Z. Min. For., For. Res. Inst., Rotorua.
- Jaccard, P. 1919. Nouvelles recherches sur l'accroissement en épaisseur des arbres. *Fondation Sch-*

- nyder von Wartensee à Zürich, Librairie Payot et Compagnie, Lausanne, Geneve.
14. Japan Wood Research Society. 1985. Wood science laboratory book. I. Physics and engineering. Chugai Sangyo Chosakai, Japan.
 15. 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(4): 47~52.
 16. Lee, P. W. and Y. G. Eom. 1988. Anatomical comparison between compression wood and opposite wood in a branch of Korean pine (*Pinus koraiensis*). IAWA Bull. n.s. 9: 275~284.
 17. Lee, P. W., Y. J. Chung, and M. Kwon. 1991. Cellular anatomy of compression wood and opposite wood in a branch of *Taxodium distichum* Rich. Jour. Korean For. Soc. 80(3): 296~302.
 18. McGinnes, E. A. and J. E. Phelps. 1972. Intercellular spaces in eastern red cedar (*Juniperus virginiana* L.). Wood Sci. 4: 225~229.
 19. Mio, S. and T. Matsumoto. 1982. A note on parent cell walls in coniferous woods. IAWA Bull. n.s. 3: 55~88.
 20. Mork, E. 1928. Om tennar (On compression wood). Tidskr. Skogbruk 36: 1~41.
 21. Onaka, F. 1949. Studies on compression wood and tension wood. Mokuzai Kenkyo No. 1, Wood Res. Inst., Kyoto University.
 22. Panshin, A. J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4th ed., McGraw-Hill, New York, USA.
 23. Park, S. J. 1983. Structure of 'opposite' wood I. Structure of the annual ring in the 'opposite' wood of horizontal growing stem of Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.). Mokuzai Gakkaishi 29: 295~301.
 24. Park, S. J. 1984a. Structure of 'opposite' wood II. Variability in the diameter and wall thickness of tracheid, ring width, and latewood percentage. Mokuzai Gakkaishi 30: 110~116.
 25. Park, S. J. 1984b. Structure of 'opposite' wood III. Variability of the microfibril angle and length of the tracheids in the peripheral positions within each annual ring including 'opposite' wood. Mokuzai Gakkaishi 30: 435~439.
 26. Park, S. J. 1986. Structure of 'opposite' wood. V. Structure of 'opposite' wood in an inclined stem of Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z.). Mokuzai Gakkaishi 32: 1~5.
 27. Resch, A. and R. Blaschke. 1968. Über die Anwendung des Easter-Elektronenmikroskopes in der Holzanatomie. Planata 78: 85~88.
 28. Timell, T. E. 1973. Studies on opposite wood in conifers. II: Histology and ultrastructure. Wood Sci. and Tech. 7: 79~91.
 29. Timell, T. E. 1978a. Helical thickenings and helical cavities in normal and compression woods of *Taxus baccata*. Wood Sci. and Tech. 12: 1~15.
 30. Timell, T. E. 1978b. Ultrastructure of compression wood in *Ginkgo biloba*. Wood Sci. Tech. 12: 89~103.
 31. Timell, T. E. 1979. Formation of compression wood in balsam fir. II. Ultrastructure of the differentiating xylem. Holzforschung 33: 181~191.
 32. Timell, T. E. 1981. Recent progress in the chemistry, ultrastructure, and formation of compression wood. Int. Symp. on Wood and Pulping Chemistry, Stockholm, 1981, SPCI Rep. 38, Vol. 1: 99~147.
 33. Timell, T. E. 1986. Compression wood in gymnosperms. Vol. 1~3. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
 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. Yoshizawa, N., T. Itoh, and K. Shimaji. 1982. Variation in features of compression wood among gymnosperms. Bull. Utsunomiya Univ. For. 18: 45~64.
 36. Yoshizawa, N. 1987. Cambial responses to the stimulus of inclination and structural variation of compression wood tracheid in gymnosperms. Bull. of Utsunomiya Univ. For. 23: 23~141.
 37. Yumoto, M. and J. Ohtani. 1981. Trabeculae in compression wood tracheids. Proc. Hokkaido Br. Japan Wood Res. Soc. 13: 9~12.