

한국산 활엽수재 도관벽의 수식구조에 관한 연구*1

이 원 용² · 이 성 재²

Micromorphological Structures of the Vessel Wall Sculptures in Korean Hardwoods*1

Won-Yong Lee · Sung-Jae Lee²

ABSTRACT

Micromorphology of the vessel wall sculptures such as perforation plate, inter-vessel pits, vessel-ray pits, vessel-parenchyma pits, vestured pits, spiral thickening, and warts was observed in 78 species(45 genera, 25 families) of Korean hardwoods using a scanning electron microscopy. The SEM observation revealed the micromorphology of vessel wall sculptures which have not yet been described, and have confirmed findings already established at the light microscopical level.

Keywords : Vessel wall sculpture, combination perforation plate, intervessel pits, vessel-ray pits, spiral thickening, warts.

1. 서 론

활엽수재는 침엽수재보다 재의 구성요소가 다양하고 그 조직구조가 매우 복잡하며 무엇보다 거의 모두 도관을 가지고 있는 점이 침엽수재와는 다른 큰 특징이다. 도관은 도관요소들이 서로 축방향으로 열을 이루고 연속적으로 배열되어 있어 수목의 생리적 현상인 수분통도의 역할을 수행하고 있고 세포벽에는 많은 수식구조가 존재하여 수종 고유의 특징을 나타내고 있다.

이러한 도관벽의 수식구조로는 2개의 도관요소가 축방향으로 서로 결합하는 부위에 생기는 천공, 도관요소와

도관요소가 접하는 부위에 나타나는 도관상호간 벽공, 도관과 방사유세포가 접하는 곳에 생기는 도관방사조직간 벽공, 도관과 축방향유세포가 결합하는 부위에 존재하는 도관 축방향유세포간 벽공, 벽공실이나 벽공강 내에 작은 돌기물이 발달하여 생기는 베스처 벽공, 도관요소 내강의 내표면에 발달하는 돌기물 형태의 우상층 그리고 도관요소의 내표면 즉 2차벽 내면상에 나선상으로 비후된 나선비후등이 있으며 이들은 과, 속 또는 종에 따라 서로 다른 형태로 나타나고 있다.

따라서 일본을 비롯한 여러나라에서는 이러한 조직구조상의 여러가지 해부학적 특징을 연구 조사하여 목재의

*1 접수 1995년 10월 21일 Received October 21, 1995

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

*2 강원대학교 임과대학 College of Forestry, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

합리적 이용에 응용하고 있으며 한편으로는 각 수종에 따른 도관요소의 변형구조를 비롯한 각종 해부학적 성질을 조사하여 입력하고 컴퓨터를 이용하여 수종을 식별하는 방법이 활발히 연구되고 있다(Butterfield & Meylan, 1975; IAWA, 1989; Meylan & Butterfield, 1973; Parameswaran & Gomes, 1981; Paraham & Kaustinen, 1973).

우리나라에서도 정확한 수종 식별과 목재의 합리적 이용을 도모하기 위하여 도관요소의 미세구조를 비롯한 여러가지 해부학적 특징에 관한 연구가 상당히 진행되고 있다(Kim *et al.*, 1994; 朴, 1987; 朴, 1987; 李 等, 1992; 金, 1995). 그러나 아직까지 국산 활엽수종의 구성요소 특히 도관벽의 미세형태에 관하여 구체적으로 체계화하여 연구 조사된 연구 결과가 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라산 주요 활엽수종 25과 45속 78종에 대한 도관벽의 미세형태를 주로 주사전자현미경을 사용하여 3차원적인 형태를 관찰하고 과, 속, 종별에 따른 특징을 조사하였다.

이와 같은 도관벽의 미세한 형태를 주사전자현미경으로 파악하고 도관벽의 수종적 특징을 조사하여 수종의 식별, 수목의 이용, 목재의 분류 등에 이용하기 위한 방안으로 본 연구를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시수종

본 연구에 사용된 공시수종은 강원대학교 임과대학 연습림(강원도 홍천군 북방리)에서 정상적으로 생육한 입목상태의 생체로부터 채취하여 사용하였으며, 또한 일부 수종은 본 대학 임산가공학과 목재표본실에 소장되어 있는 재감을 이용하였다(Table 1).

2.2 시편제작

일반적인 시료제작법에 따라 SEM관찰용 시편을 만들고 시료대에 전도성 접착제로 접착시킨 다음 ion sputter coater를 사용하여 금으로 증착하였다. 이때 사용한 coater는 SEM auto coating unit E 5200으로 18mA의 전류로 약 2분간 증착하였으며 증착막의 두께는 약 360Å이 되도록 조절하였다.

2.3 검경

금으로 증착된 시편을 SEM(Cambridge steroscan 200)으로 검경하였으며 가속전압은 15~20kV였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 결합천공판

방추형 시원세포의 분열에 의하여 분화된 도관요소는 그 성숙과정의 후반기에 도관요소의 상하에 인접되어 있었던 벽의 전부 또는 일부가 소실되어 천공이 형성된다. 그런데 이러한 도관요소의 천공판은 대개는 천공판의 형태와 크기는 완전히 일치하고 있으며 완전한 대를 이루고 있다. 그러나 최근 Meylan와 Butterfield(1973, 1975) 및 Ohtani와 Ishida 등(1978)은 SEM을 사용하여 천공판의 미세한 형태를 관찰한 결과 마주보는 2개의 천공판의 모양이나 크기가 다르며 대를 형성하고 있지 않는 특이한 천공이 존재한다고 발표하고 있다. 이러한 천공판이 만약 위쪽의 천공은 단천공이고 아랫쪽의 천공은 계단천공처럼 상하의 형태가 다른 천공으로 이루어진 것을 결합천공판(combination perforation plate)이라고 부르고 있다.

본 연구에서 관찰한 수종 가운데 이러한 결합천공판이 발달되어 있는 수종은 모두 7수종이었으며 이 가운데 단천공과 계단천공 사이에 형성된 것은 참식나무(*Neolitsea sericea*)와 아그배나무(*Malus sieboldii*)의 2수종에서 관찰되었으며 단천공과 다공천공 사이에 형성된 것은 버즘나무(*Platanus orientalis*)와 산사나무(*Crataegus pinnatifida*) 그리고 팔배나무(*Sorbus alnifolia*)의 3수종이었고 계단천공과 다공천공 사이에 형성된 것은 너도밤나무(*Fagus multinervis*)와 쪽동백(*Styrax obassia*)의 2수종에서 관찰되었다. Photo. 1은 참식나무의 결합천공판으로 윗쪽 도관요소는 계단천공, 아랫쪽 도관요소는 단천공이 발달되어 있으며 Photo. 2는 팔배나무의 천공으로서 단천공과 다공천공이 상호 결합되어 있고, Photo. 3은 계단천공과 다공천공으로 이루어진 쪽동백의 결합천공판을 나타내고 있다.

이 결과를 분석하여 보면 결합천공판은 동일한 수종내에 2종류 이상의 천공판이 존재하는 수종에서 나타날 가능성이 높은 것으로 생각되고 있다. 사실 일본산 수종(Ohtani & Ishida, 1978) 뉴질랜드산 수종(Butterfield & Meylan, 1975; Meylan & Butterfield, 1978) 및 중국산 수종(Wu *et al.*, 1989)에 대한 연구 결과를 보면 한 수종에 2종류 이상의 천공판을 가지고 있는 수종에 결합천공판이 나타나는 비율이 대단히 높은 결과를 보이고 있었다.

Table 1. Micromorphological features on the vessel wall modifications in Korean hardwoods.

Botanical Name	Pitting				Spiral thickening			Warts
	VV	VR	Ves	All	Some	Porous	Orien	EWO
Salicaceae								
<i>Populus alba</i> L.	1	6.9		—	—	—		
<i>Populus euramericana</i> Guinier	1	6.9		—	—	—		
<i>Salix Koreensis</i> Anderss.	1	6.9		—	—	—		
<i>Salix babylonica</i> L.	1	6.9		—	—	—		
Juglandaceae								
<i>Pterocarya stenoptera</i> DC.	1	6		—	—	—		+
<i>Juglans mandshurica</i> Max.	1	6		—	—	—		+
Betulaceae								
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i> (Spach) Schneid	1	5		—	—	—		
<i>Alnus hirsuta</i> (Spach) Rupr.	1	5		—	—	—		
<i>Betula ermani</i> Cham.	1.4	5.10		—	—	—		
<i>Betula schmidtii</i> Regel	1.4	5.10		—	—	—		
<i>Betula davurica</i> Pall.	1.4	5.10		—	—	—		
<i>Carpinus cordata</i> Bl.	1	6		—	L	—	S	
<i>Carpinus tschonoskii</i> Max.	1	5.10		—	LI	—	S.I	
Fagaceae								
<i>Fagus crenata</i> var. <i>mulinervis</i> (Nak.) T. Lee	1,2,3	6.7,10		—	—	—	++	
<i>Castanea crenata</i> S. et Z.	1	6.7,10		—	—	—		
<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> Nakai	1,2,3	8		—	—	—		
<i>Quercus acutissima</i> Carruth.	1	8		—	—	—	++	
<i>Quercus variabilis</i> Bl.	1	8		—	—	—	++	
<i>Quercus aliena</i> Bl.	1	8	b	—	—	—	++	
<i>Quercus mongolica</i> Fisch.	1	6,8		—	—	—	+	
<i>Quercus serrata</i> Thunb.	1	6,8		—	—	—	+	
<i>Quercus acuta</i> Thunb.	1	8		—	—	—	++	
<i>Quercus glauca</i> Thunb.	1	8		—	—	—	++	
<i>Quercus salicina</i> Bl.	1	8		—	—	—	++	
Ulmaceae								
<i>Ulmus pumila</i> L.	1,4	5,10		—	—	P	S	
<i>Ulmus laciniata</i> (Trautv.) Mayr	1	5,10		—	—	L	S	
<i>Zelkova serrata</i> Makino	1,4	5,10		—	—	P	S	
<i>Celtis sinensis</i> Pers.	1,4	5,10		—	P	—	S	
<i>Celtis jessoensis</i> Koidz.	1,4	5,10		—	P	—	H	++
Moraceae								
<i>Morus bombycis</i> Koidz.	1	6		—	—	P	S	+
Lauraceae								
<i>Cinnamomum japonicum</i> Seib.	1,4	6,7,10		—	—	—		
<i>Neolitsea sericea</i> (BL.) Koidz.	1,4	6,7,10		—	—	—		
Platanaceae								
<i>Platanus orientalis</i> L.	1,2	5,7		—	—	—		
Rosaceae								
<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge	1	6		—	—	—		
<i>Malus baccata</i> var. <i>mandshurica</i> Schneid.	1	6		—	—	—		
<i>Malus Seiboldii</i> (Regel) Rehder	1,2	6,10		—	—	—		
<i>Pyrus ussuriensis</i> Max.	1	5,10		—	LI	—	Z	
<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm) Nakai	1	5		—	LI	—	Z,H	
<i>Sorbus alnifolia</i> (S. et Z.) K. Koch.	1	5,10		L	—	—	Z	
<i>Prunus mandshurica</i> var. <i>glabra</i> Nakai	1	5		L	—	—	H	
<i>Prunus maackii</i> Rupr.	1	5		L	—	—	Z,H	
<i>Prunus padus</i> L.	1	5,6		L	—	—	S	
<i>Prunus padus</i> var. <i>seoulensis</i> Nak.	1	5.10		L	—	—	H	
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (Max.) Wils.	1	5		L	—	—	Z,H	
<i>Prunus yedoensis</i> Matsumura	1	5		L	—	—	S,H	
<i>Prunus sargentii</i> Rehder	1	5		L	—	—	S,Z,H	++
Leguminosae								
<i>Gleditsia japonica</i> var. <i>koriensis</i> (Nak.) Nakai	1,4	5,10	b	—	P	—	H	
<i>Maackia amurensis</i> Rupr. et Max.	1	5	c	PI	—	—	S,Z,H	
<i>Sophora japonica</i> L.	1,4	5	a	—	—	L	H	++

Botanical Name	Pitting			Spiral thickening				Warts
	VV	VR	Ves	All	Some	Porous	Orien	EWO
Rutaceae								
<i>Evodia daniellii</i> Hemsl.	1.4	5		—	—	P	S	+
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	1.4	6		P	—	—	S	
Simaroubaceae								
<i>Ailanthus altissima</i> Swingle	1	5,10		—	—	PI	S	
Meliaceae								
<i>Cedrela sinensis</i> A. Juss.	1.4	5	b	—	—	—		
<i>Melia azedarach</i> var. <i>japonica</i> Makino	1	5	c	—	—	P	S	
Euphorbiaceae								
<i>Mallotus japonicus</i> Muell.-Arg.	1	5,6,10		—	—	P	S	++
Anacardiaceae								
<i>Rhus chinensis</i> Mill.	1	6		—	—	—		+
Celastraceae								
<i>Euonymus macroptera</i> Rupr.	1	5,10		L	—	—	H	
Aceraceae								
<i>Acer ginnala</i> Max.	1	5		—	L	—	S,H	
<i>Acer tegmentosum</i> Max.	1	5		—	L	—	S	
<i>Acer tschonoskii</i> var. <i>rubripes</i> Kom.	1	5		—	L	—	Z,H	
<i>Acer ukurunduense</i> Trautv. et Meyer	1	5,10		—	L	—	Z,H	
<i>Acer pseudo-sieboldianum</i> var. <i>koreanum</i> Nak.	1	5,10		—	L	—	S,Z,H	
<i>Acer mandshuricum</i> Max.	1	6		—	L	—	S,Z,H	
Rhamnaceae								
<i>Hovenia dulcis</i> Thunb.	1	5,10		—	—	—		
Tiliaceae								
<i>Tilia amurensis</i> Rupr.	1	5	c	P	—	—	S	
<i>Tilia mandshurica</i> Rupr. et Max.	1	5		P	—	—	S,H	
<i>Tilia megaphylla</i> Nakai	1	5		P	—	—	S,H	
Araliaceae								
<i>Dendropanax morbifera</i> Lev.	1	6,7		—	L	—	H	++
Cornaceae								
<i>Cornus kousa</i> Buerg.	2,3	6	c	—	—	—		
<i>Cornus walteri</i> Wanger.	1,2,3	5,6		—	—	—		+
Styracaceae								
<i>Styrax obassia</i> S. et Z.	1	5		—	—	—		+
<i>Styrax japonica</i> S. et Z.	1	5		—	—	—		
Oleaceae								
<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	1.4	5,10		—	—	—		
<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance	1.4	5,10		—	—	—		
<i>Syringa reticulata</i> var. <i>mandshurica</i> (Max.) Hara	1	5		—	PI	—	Z	
Scrophulariaceae								
<i>Paulownia tomentosa</i> (Thunb.) Steud.	1	6		—	—	—		
<i>Catalpa bignonioides</i> Walter	1	6		—	—	PI	S,I	
Cercidiphyllaceae								
<i>Cercidiphyllum japonicum</i> S. et Z.	3	6		—	—	—		

* Pitting

VV : intervessel pitting (1 : alternate pitting, 2 : opposite pitting, 3 : scalariform pitting, 4 : coalescent aperture)

VR : ray-vessel pitting

(5 : alternate pitting with distinct borders, 6 : alternate pitting with much reduced borders to apparently simple, 7 : scalariform pitting, 8 : palisade-like pitting, 9 : restricted to marginal rows, 10 : coalescent aperture)

Ves : vested pitting (a : well developed pitting, b : moderately developed pitting, c : less developed pitting)

* Spiral thickening :

All : spiral thickenings are present in all vessel elements.

Some : spiral thickenings in some vessel elements.

Porous : spiral thickenings in small vessel element of ring-porous woods (P : prominent, L : light, I : irregular).

Orien : orientation of spiral thickening (S : s helix, Z : z helix, H : horizontal, I : irregular).

* Warts :

EWO : Extent of warts occurrence (+ : sparsely present, ++ : densely present).

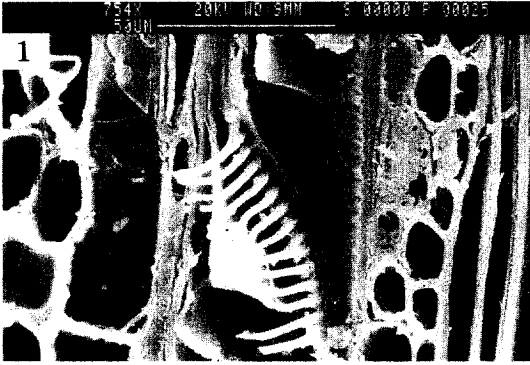


Photo. 1. *Neolitsea sericea*. A simple-to-scalariform combination perforation plate with simple on the upper and scalariform perforation on the lower.

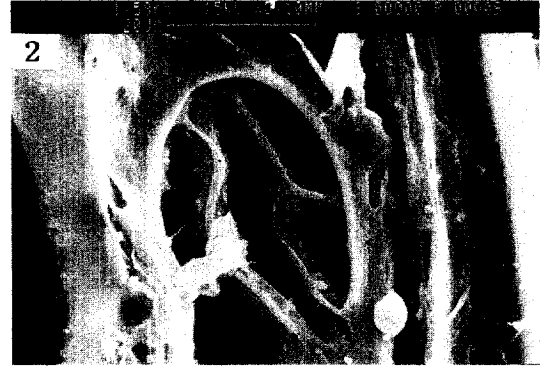


Photo. 2. *Sorbus alnifolia*. A simple-to-multiple combination perforation plate.

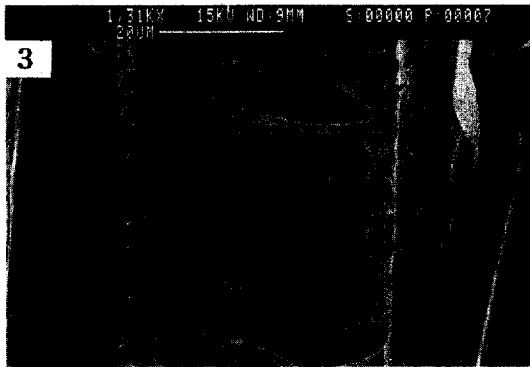


Photo. 3. *Styrax obassia*. A scalariform-to-multiple combination perforation plate.

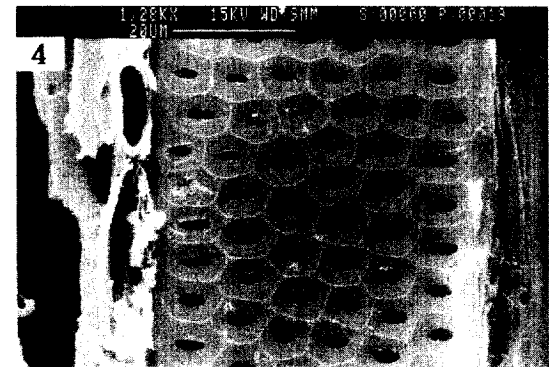


Photo. 4. *Salix babylonica*. Intervessel pit showing alterate arrangement.

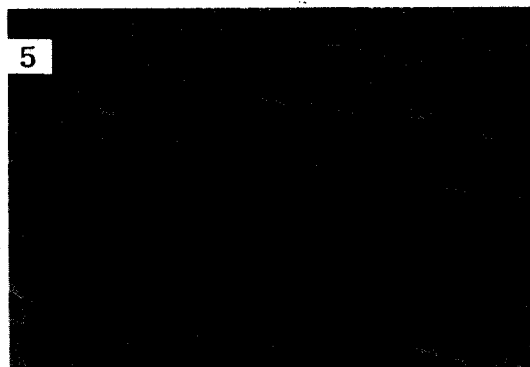


Photo. 5. *Betula ermanii*. Intervessel pit showing coalescent pit aperture in the wall of a vessel element viewed from the lumen side.



Photo. 6. *Pyrus pyrifolia*. Intervessel pit with opposite arrangement and twist aperture.

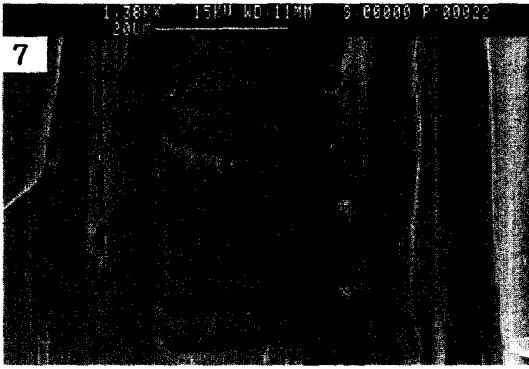


Photo. 7. *Cercidiphyllum japonicum*. A scalari-form intervessel pit.

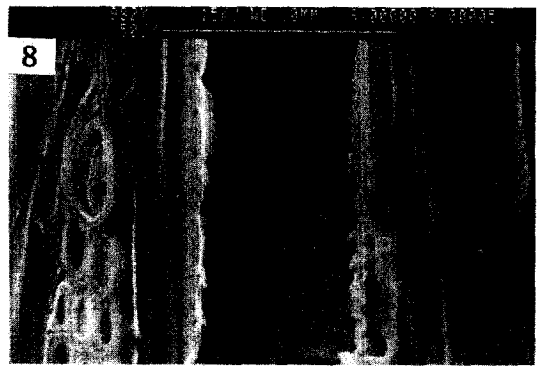


Photo. 8. *Fagus crenata* var. *multinervis*. Intervessel pit showing opposite and scalariform pit in a vessel wall of latewood.

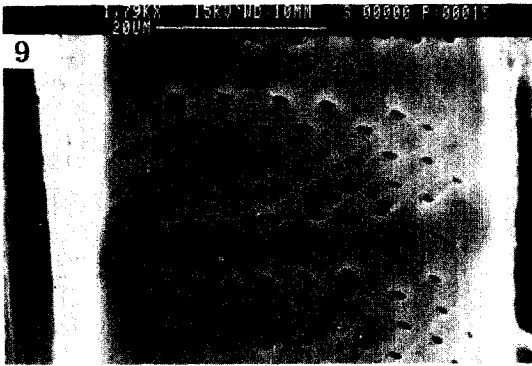


Photo. 9. *Alnus hirsuta* var. *sibirica*. Vessel-ray pits with alternate pit having distinct borders.

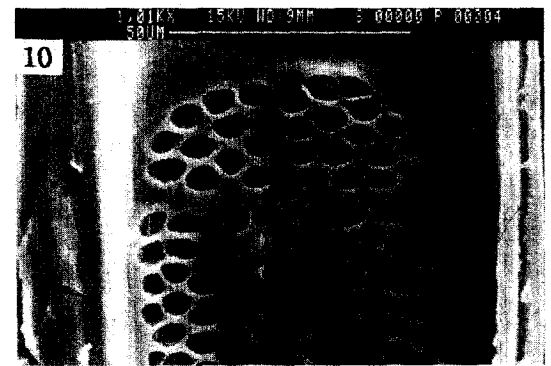


Photo. 10. *Salix babylonica*. Vessel-ray pit with much reduced borders to apparently simple.



Photo. 11. *Fagus crenata* var. *multinervis*. Scalariform vessel-ray pits.

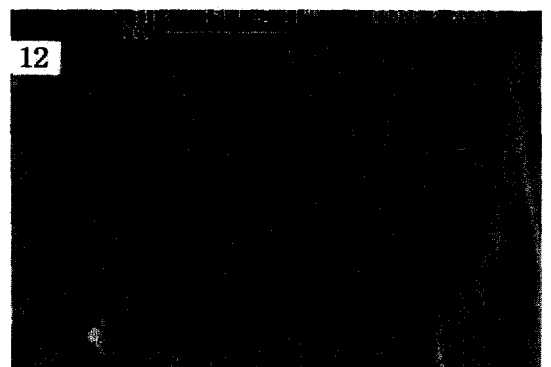


Photo. 12. *Castanopsis cuspidata* var. *sieboldii*. Vertical palisade vessel-ray pits.

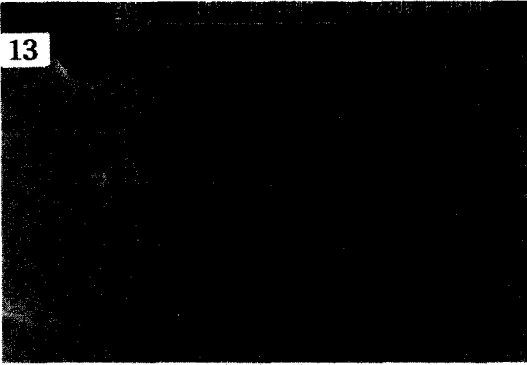


Photo. 13. *Quercus mongolica*. Imperfect vertical vessel-ray pit.

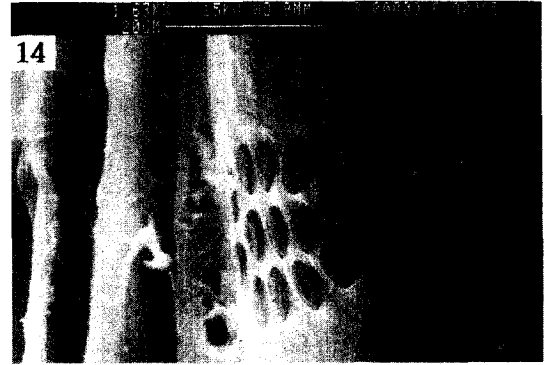


Photo. 14. *Populus euramericana*. Vessel-ray pit with much reduced borders at the marginal row.

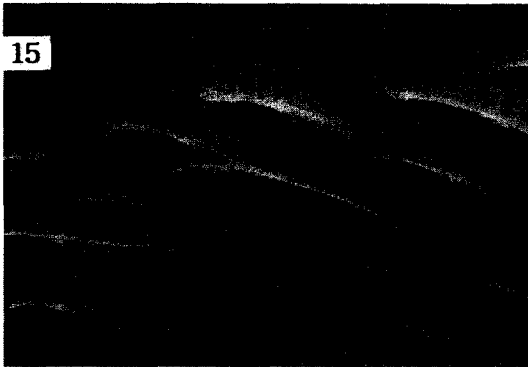


Photo. 15. *Betula davurica*. Vessel-ray pit with coalescent pit aperture.

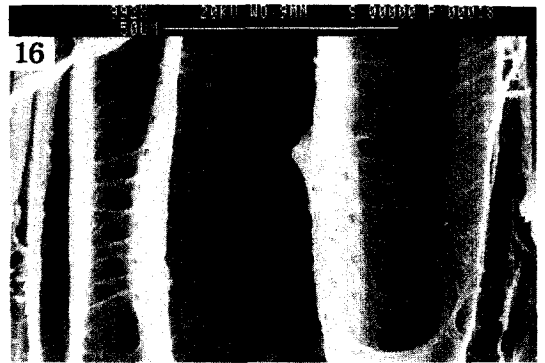


Photo. 16. *Ulmus pumila*. Vessel-axial parenchyma pit similar to vessel-ray pits with much reduced borders.



Photo. 17. *Sophora japonica*. Vestured pits with dense vesture occluding outer pit aperture in the wall of a vessel element viewed from the outer surface.



Photo. 18. *Sophora japonica*. Vestured pits with partial vestures projecting from inner pit aperture toward lumen in the wall of vessel element viewed from the lumen side.

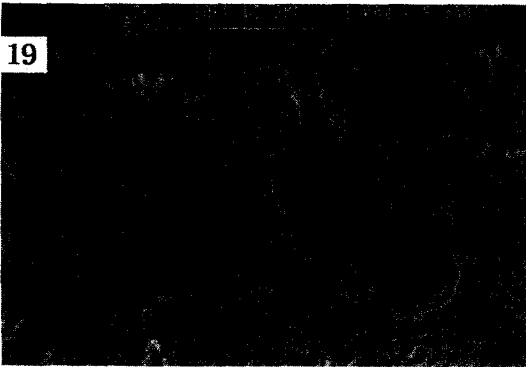


Photo. 19. *Cedrela sinensis*. Vestured pits with dense vesture plugging up the outer pit aperture viewed from the outer surface.

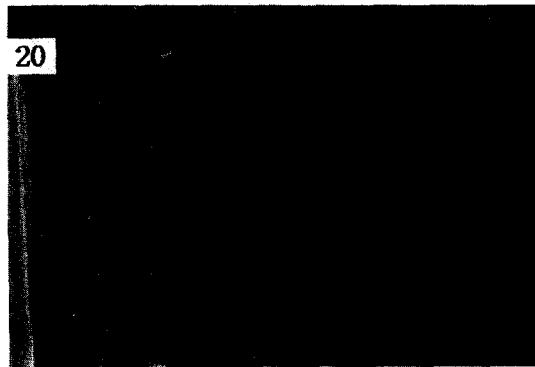


Photo. 20. *Quercus aliena*. Vestured pits without vestures in inner pit aperture viewed from the lumen side.

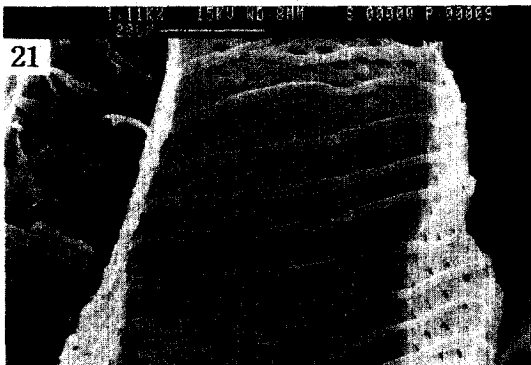


Photo. 21. *Tilia amurensis*. Vestured pits without vestures around inner pit aperture viewed from the lumen side.

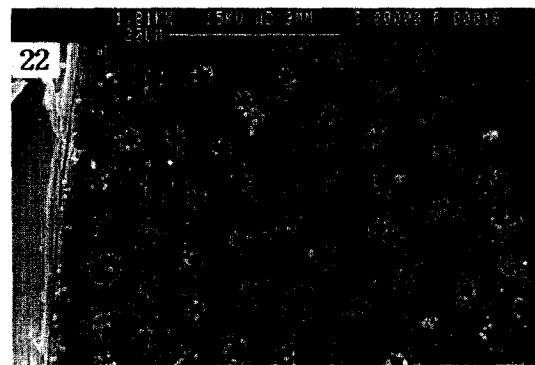


Photo. 22. *Tilia amurensis*. Vestured pits with partial projections from the outer pit aperture toward pit chamber, not plugging up the outer pit aperture viewed from the outer surface.

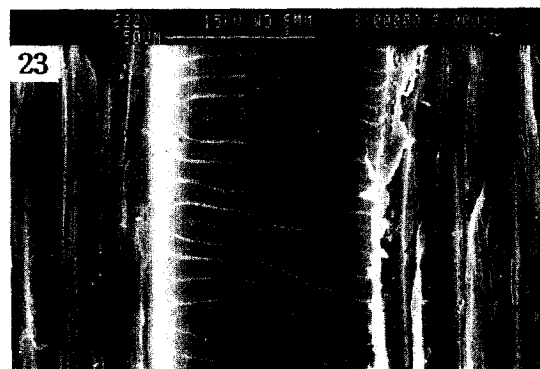


Photo. 23. *Prunus maackii*. Light spiral thickenings showing flat "Z" helix.



Photo. 24. *Tilia amurensis*. Prominent ridges of the spiral thickenings with regular intervals.

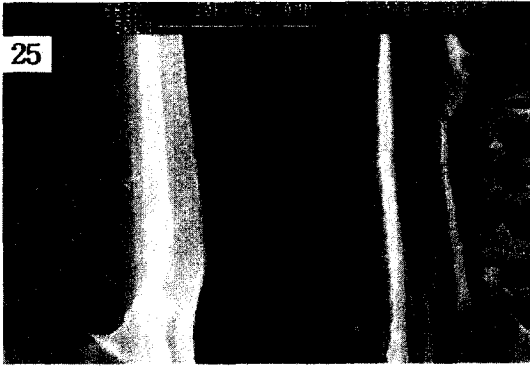


Photo. 25. *Carpinus tschonoskii*. Spiral thickening with ridge showing irregular direction.

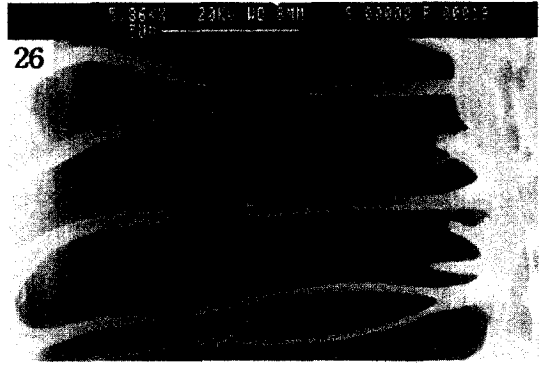


Photo. 26. *Celtis jessoensis*. Enlarged view of branched thickenings.

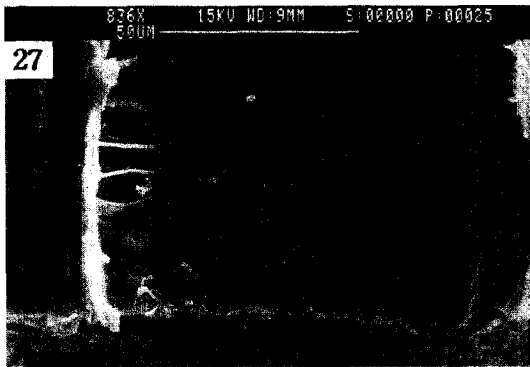


Photo. 27. *Dendropanax morbifera*. Short thickenings on the lateral margin in vessel wall with very rare occurrence.

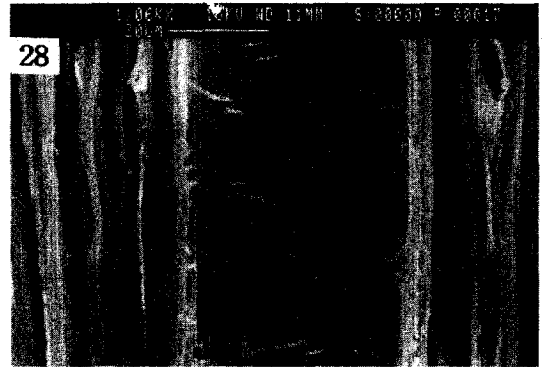


Photo. 28. *Syringa reticulata* var. *mandshurica*. Intervessel pit having short thickenings located on and beneath a pit aperture.

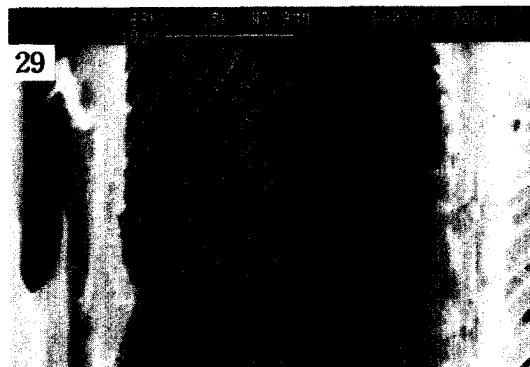


Photo. 29. *Melia azedarach* var. *japonica*. Spiral thickening with dense prominent ridges showing tapering and branched thickening in latewood.



Photo. 30. *Sophora japonica*. Enlarged view of verrucae and protrusions on the ridges.

31

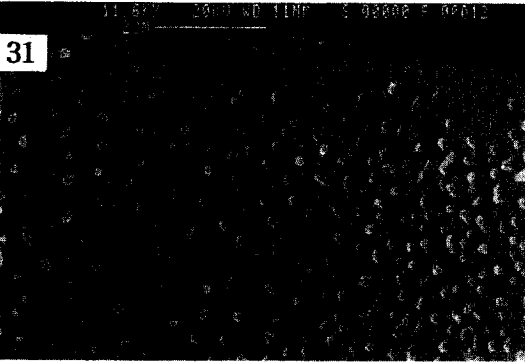


Photo. 31. *Fagus crenata* var. *multinervis*. Warts densely distributed on the inner surface of a vessel element.

32

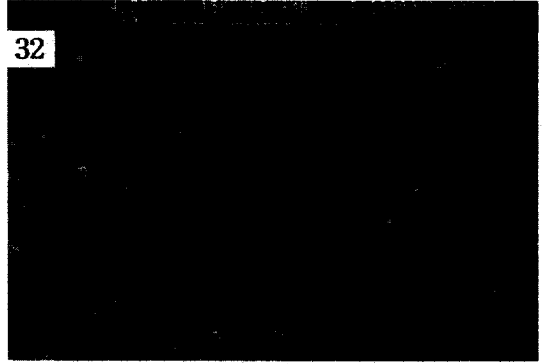


Photo. 32. *Juglans mandshurica*. Warts sparsely distributed on the inner surface of a vessel wall.

3.2 도관벽의 벽공

활엽수재 도관벽의 벽공은 복합관공의 공통벽에 발달하는 도관상호간 벽공과 도관과 기타 인접한 세포사이에 존재하는 도관 방사조직간 벽공, 도관 축방향유세포간 벽공, 도관 목섬유간 벽공 등이 있는데 이들 벽공의 형태와 배열은 수종 고유의 특징을 나타내고 있으며 수종식별의 중요한 인자가 되는 것으로 여겨지고 있다.

3.2.1 도관상호간 벽공의 형태와 배열

도관상호간 벽공은 기존의 연구와 같이 교호상, 대상 및 계단상의 3종류로 분류하여 조사 검토하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

교호상벽공은 대부분의 수종에서 관찰되었으며 그 출현 정도는 전체 공시수종 중 약 97% 정도였고, 비교적 치밀하게 배열되어 있다. Photo. 4는 수양버들의 도관벽의 바깥쪽에서 관찰된 것으로서 전형적인 도관상호간 벽공을 나타내고 있다. 또한 결합공구도 많은 수종에서 관찰되었으며 주로 느릅나무과, 콩과, 운향과, 녹나무과 및 멀구슬나무과 등의 수종에서 비교적 자주 관찰되고 있어 수종적 특징이 될 수 있는 것으로 생각되고 있다. Photo. 5는 사스레나무의 결합공구로서 보통 2~4개의 벽공구가 연속하여 배열되어 있다.

전형적인 대상벽공을 나타내는 수종은 들메나무(Photo. 6) 1수종이었다. 그러나 너도밤나무와 구실잣밤나무 그리고 팔메나무에서는 대상 외에 교호상과 계단벽공이 함께 존재하는 경향이 있었고 버즘나무에서는 대상과 교호상벽공이 공존하는 경향이 있었다. 일본산이나 중국의 운남성 수종에서도 대상벽공이 출현하는 빈도는 대단히 낮았다(Wu *et al.*, 1989; Yata *et al.*, 1970).

한편 계단벽공을 나타내는 수종은 산딸나무와 계수나

무(Photo. 7)였으며 이들은 세장한 벽공이 도관벽에 계단상으로 연속하여 배열되어 있다. 또한 너도밤나무(Photo. 8)와 들메나무에서는 대상벽공에서 계단벽공으로의 이행형이 관찰되었다.

3.2.2 도관방사조직간 벽공의 형태와 배열

도관 방사조직간 벽공의 모양과 배열은 수종에 따라 많은 차이가 있고 다양하다.

따라서 본 연구에서는 IAWA의 분류기준(1989)을 참고로 하여 ㉔ 벽공연이 뚜렷하여 도관상호간 벽공과 유사한 것, ㉕ 벽공연이 거의 없고 공구가 원형을 나타내는 것, ㉖ 계단상을 나타내는 것, ㉗ 수직상(책상)을 나타내는 것, ㉘ 방사조직과 접하는 도관요소의 말단부에만 배열된 것, ㉙ 결합공구를 나타내는 것 등의 6종류로 구분하여 조사 관찰하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

㉔형을 나타내는 수종은 물감나무(Photo. 9)를 비롯하여 전체 수종중 47종으로서 60% 정도를 나타내고 있으며 벽공연이 비교적 뚜렷하고 공구는 원형 또는 렌즈상으로서 도관상호간 벽공과 매우 유사한 형태로 배열되어 있음을 알 수 있다. 중국의 운남성 수종에 대한 연구결과를 보면 이들의 벽공을 도관상호간 벽공과 같은 것으로 분류하였고 조사된 공시수종중 약 60%를 차지하고 있었다(Wu *et al.*, 1989). ㉕형을 나타내는 수종은 수양버들(Photo. 10)을 비롯하여 24수종으로서 약 30% 정도를 차지하고 있으며 벽공연이 거의 없고 단벽공에 가까운 모양을 나타내고 있다. Fukazawa(1988)는 이 형태의 벽공을 수평집합상으로 분류한 바 있다. ㉖형을 나타내는 수종은 너도밤나무(Photo. 11)를 비롯하여 밤나무, 생달나무, 참식나무, 버즘나무 등에서 관찰되었으며 도관상호간 벽공중의 계단벽공과 매우 비슷하였다. 그러나

이들 수종의 대부분은 계단벽공 이외에 다른 형태의 벽공과 공존하는 경향이 많았다. ④형을 나타내는 벽공은 수직상 또는 책상을 나타내는 것으로서 참나무과의 거의 모든 수종에서 관찰되었으며 구실잣밤나무(Photo. 12)와 붉가시나무에 나타나는 수직상은 그 특징이 매우 뚜렷하였다. 또한 참나무속은 가시나무아속과 상수리나무아속으로 분류되고, 상수리나무아속은 다시 상수리나무류와 졸참나무류로 구분되는데 상수리나무류에서는 책상 또는 수직상의 벽공이 비교적 뚜렷하게 나타나는 경향이 있으나 졸참나무류에서는 비교적 뚜렷하지 못한 경향을 보였다(Photo. 13). ⑤형을 나타내는 벽공은 도관과 인접한 방사조직의 말단부에 원형의 벽공이 배열되고 있으며 주로 버드나무과에서만 관찰되었다. Photo. 14는 이태리 포플러의 벽공인데 방사조직의 가장자리에 해당되는 도관벽에 발생되어 있고 수양버들도 중간부를 제외한 방사조직의 양쪽 끝에 잘 출현되고 있었다. ⑥형을 나타내는 벽공은 공구가 연결되어 있는 결합공구를 나타내는 수종으로서 물박달나무(Photo. 15)를 비롯한 비교적 많은 수종에서 관찰되었으며 주로 도관상호간 벽공이 결합공구를 가지고 있는 수종에서 나타나는 경향이 높았다.

3.2.3 도관 축방향유세포간 벽공의 형태와 배열

이 벽공은 도관 방사조직간 벽공중 벽공연이 거의 없고 공구가 원형이나 타원형으로 보이는 벽공과 매우 비슷하며 풍게나무(Photo. 16)와 비슬나무 등에서 관찰되었으며 그 출현도가 매우 낮았다.

3.3 베스처벽공의 배열과 형태

베스처벽공의 벽공실이나 벽공구에 발달되어있는 베스처의 형태 또는 발생정도와 발생부위 등은 수종에 따라 매우 다양하고 복잡하여 그 분류기준도 학자에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 베스처의 발생부위와 정도에 따라 베스처의 발생이 ① 대단히 현저한 것 : 벽공실 주변에는 베스처의 발생이 많고 밀집되어 있어 외공구가 폐쇄되어 있으나 내공구 주변에는 베스처가 약간 발생되어 있어 내공구를 폐쇄하고 있지 않은 것. ② 비교적 현저한 것 : 벽공실에 베스처가 많이 발생되어 있어 외공구는 폐쇄되어 있으나 내공구 주변에는 베스처가 전혀 발생되지 않은 것. ③ 경미한 것 : 내공구 주변에는 베스처가 발생되어 있지 않고 외공구 주변의 벽공실에만 약간 발생되어 있고 소형이며 외공구를 폐쇄하고 있지 않은 것 등의 3종류로 구분하여 조사 검토하였다.

이 결과에 의하면(Table 1) 베스처가 발생되어 있는 벽공은 갈참나무를 비롯한 8수종(5과 8속)에서 관찰되었으며 이 가운데에 ①형을 나타내는 수종은 콩과의 회화나

무로서 벽공실 주변에는 분지 또는 분지되지 않은 많은 베스처가 복잡하게 밀집되어 외공구를 폐쇄하고 있었으며(Photo. 17), 내공구 주변에는 공구 바깥쪽으로 신장되어 도관의 내벽까지 확장되어 있으나 내공구를 완전히 폐쇄하고 있지는 않고 있다(Photo. 18). ②형을 나타내는 수종은 참죽나무, 갈참나무 및 주엽나무 등으로서 벽공실 주변에는 염주상의 베스처가 충만되어 외벽공구를 폐쇄하고 있으나(Photo. 19), 내벽공구 주변에는 별로 발생되어 있지 않고 있다(Photo. 20). ③형을 나타내는 수종은 다릅나무, 피나무, 말채나무, 멀구슬나무 등으로서 도관의 내측에서 관찰하면 내공구 주변에는 베스처가 거의 발생되어 있지 않고(Photo. 21), 외공구에서는 약간의 베스처가 그 주변에 발생되고 있으나 외벽공구를 폐쇄하고 있지는 않고 있었다(Photo. 22).

3.4 나선비후

IAWA의 용어집에 의하면 나선비후는 "세포벽의 2차 벽 내면상의 전면 또는 일부에 존재하는 나선상의 융기"라고 정의되어 있으며 활형수재를 식별하는 중요한 지표가 되고 있어 광학현미경이나 SEM에 의한 연구결과도 많은 편이다. 일반적으로 나선비후의 분류는 ① 분지된 것과 분지되지 않은 것(Parham & Kaustinen, 1973), ② S나선, Z나선, S와 Z나선 등과 같이 방향에 의한 분류(Ohtani & Ishida, 1978), ③ 융기부가 현저한 것과 현저하지 않은 것 등과 같이 나선비후의 발생정도에 의한 분류(Meylan & Butterfield, 1978) 및 ④ 기타의 방법(Kim *et al.*, 1994) 등의 분류방법이 있다. 이들의 분류 방법은 대단히 중요한 것으로 생각되고 있으나 나선비후의 매우 다양한 미세형태를 기초로 한 간단한 분류방법이 또한 필요하다.

따라서 본 연구에서는 나선비후의 존재상태로부터 ① 모든 도관요소에 존재하는 것, ② 일부의 도관요소에만 존재하는 것, ③ 환공재의 소도관에만 존재하는 것 등의 3종류로 구분하고 다시 융기부의 크기, 높이, 간격 및 소실등의 정도를 근거로 하여 현저한 것과 경미한 것으로 구분하였으며 다시 간격의 균일성에 따라 규칙적인 것과 불규칙적인 것으로 분류하여 조사 하였다.

이 결과(Table 1)에 의하면 모든 도관요소에 나선비후가 존재하는 수종은 14종(5과 6속)이었다. 일반적으로 벗나무속의 나선비후(Photo. 23)는 세장한 융기부가 비교적 규칙적으로 배열되어 있고, 비후부가 도관벽의 중간에서 서서히 소실되는 것도 있으며 팔배나무에서는 2~4개의 나선비후가 집합되어 대를 형성하고 있었다. 그러나 피나무속의 나선비후(Photo. 24)는 대단히 굵고

일정한 간격으로, 또한 규칙적으로 배열되어 있으며 분지된 것도 거의 없고 도관벽의 중간에서 소실되는 것도 없이 뚜렷하게 발달되어 있다. 또한 다른나무의 나선비후는 굵고 뚜렷하나 자주 중간에서 소실되고 있고 도관의 어떤 부분에서는 부분적으로 불규칙하게 배열될 때도 있다.

일부의 도관요소에 나선비후가 존재하는 수종은 15종(7과 7속)이었다. 서나무속(까치박달나무와 개서어나무)의 나선비후(Photo. 25)는 비교적 경미하며 분지된 것도 있고 중간에서 소실되는 것도 있으며 불규칙한 방향성을 나타내는 경향이 있다. 팽나무속의 나선비후(Photo. 26)는 비교적 뚜렷하게 잘 발달되어 있으나 분지된 것도 있고 거의 수평방향으로 주행하고 있다. 배나무속의 나선비후는 비교적 경미하고 다소 불규칙한 것이 특징이며 단풍나무속의 나선비후는 경미한 편이고 가끔 도관벽의 중간에서 소실되는 경향이 있다. 황칠나무에서는 도관벽 주변의 극히 일부분에만 존재하고 있고(Photo. 27). 개회나무에서는 비후부가 벽공구를 꼭 끼고 상하에 위치하여 대를 형성하고 있는 것 처럼 배열되어 있어서(Photo. 28) 실제적으로는 나선상으로 배열되어 있지 않고 있다. Ohtani(1978)는 나선상으로 배열되어 있지 않고 있는 비후부를 벽공과 관련하여 존재하는 것 및 관련되지 않고 존재하는 것으로 분류하여 보고한 바 있다.

환공재의 만재부 소도관에만 존재하는 나선비후는 모두 10종(8과 9속)으로서 난티나무 등의 몇 종을 제외하고는 거의 대부분 용기부가 대단히 굵고 규칙적이며 뚜렷하게 발달하여 있으나(Photo. 29), 수종에 따라서는 대단히 불규칙한 상태를 나타내는 것도 존재 하였다. 나선비후에 관한 연구(Ohtani & Ishida, 1978; Parameswaran & Gomes, 1981; Parham & Kaustinen, 1973)에 의하면 환공재의 만재부 소도관에는 나선비후가 존재하지만 조재부 도관에는 존재하지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 조재에 가까운 만재부의 도관요소 즉 조만재의 이행부에 위치한 도관요소에 경미한 나선비후가 관찰 되었다. 즉 뽕나무의 만재부 소도관에는 뚜렷한 나선비후가 존재하지만 이행부에 존재하는 도관요소에는 비교적 경미한 나선비후가 관찰되었다. 또한 콩과의 회화나무에서는 도관요소의 내벽면에 나선상으로 배열되지 않고 사상으로 보이는 미세한 비후부가 관찰되었으며 벽공구 주변에도 주행하고 있었다(Photo. 30). 나선비후의 방향은 기존의 연구와 같이 S나선, Z나선, 거의 수평상 그리고 불규칙한 것 등의 4종류로 구분하여 조사한 결과 수종에 따라 매우 다양하며 일정한 경향을 찾아 볼 수 없었다.

3.5 우상층

일반적으로 세포벽의 내표면에 발달되어 있는 사마귀와 같은 작은 돌기물의 얇은 층을 우상층이라 부르고 있는데 침엽수재의 가도관벽에는 잘 발달되고 있으며 수종 식별에 대단히 유효한 것으로 생각되고 있다(IAWA, 1989; Meylan · Butterfield, 1973). 그러나 활엽수재의 도관벽에도 우상층이 존재할 때가 있는데 본 연구에서는 우상층의 발달이 현저한 것과 보통인 것으로 구분하여 관찰하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. 이 결과에 의하면 너도밤나무(Photo. 31)를 비롯한 12수종에서는 뚜렷하였으나 쪽동백(Photo. 32)을 비롯한 9수종에서는 비교적 경미한 편이었다.

4. 결 론

우리나라산 활엽수재 25과 45속 78종의 수종에 대하여 도관벽의 미세형태를 SEM을 이용하여 3차원적 형태를 관찰하고 이들의 미세한 조직구조를 조사하여 과, 속, 종에 따른 특징을 조사하였으며 그것을 요약하면 다음과 같다.

1. 도관요소의 상하에 인접되어 있는 2개의 천공판의 모양이나 크기가 다른 결합천공판은 모두 7수종에서 관찰되었으며 2종류 이상의 천공이 발달되어 있는 수종에서 주로 나타났다.
2. 도관 상호간 벽공에서는 교호상, 대상, 계단상 및 계단이행형 벽공 등이 관찰되었다. 계단벽공을 가지고 있는 수종은 2종, 대상벽공은 6수종(다른 벽공과 공존되어 있음), 교호상벽공을 가지고 있는 수종은 76종 이었으며 이 가운데 결합공구를 나타내는 수종은 16수종이었다.
3. 도관 방사조직간 벽공은 IAWA의 분류기준에 따라 벽공연이 뚜렷하고 교호상으로 배열된 것, 즉 도관상호간 벽공과 유사한 것(46종), 벽공연이 거의 없고 공구가 원형 또는 타원형인 것(28수종), 계단상으로 배열된 것(6수종), 수직상(책상)으로 배열된 것(9수종), 방사조직의 가장자리에 인접한 곳에 서만 배열된 것(4수종) 및 결합공구를 가지고 있는 것(24수종)으로 분류되었다.
4. 도관 축방향유세포간 벽공은 공구가 원형 또는 타원형이었으며 2수종에서 관찰되었다.
5. 베스처 벽공은 베스처의 발달 정도와 부위에 따라 대단히 현저한 것 : 베스처의 발생이 현저하여 외공구는 폐쇄되어 있으나 내공구는 폐쇄되지 않고 있

는 것(1수종). 현저한 것 : 외공구는 폐쇄되어 있으나 내공구 주변에는 발생이 되지 않은 것(3수종). 경미한 것 : 외공구 주변에 약간 발달되어 있으나 내공구 주변에는 발달하지 않은 것(4수종) 등이 관찰되었다.

6. 나선비후의 존재 상태로부터 모든 도관요소에 존재하는 것(14수종), 일부의 도관요소에 존재하는 것(15수종) 및 환공재의 소형도관요소에만 존재하는 것(10수종)이 관찰되었다.
7. 우상층은 모두 21수종에서 관찰되었다.

사 사

본 연구를 수행 하는데 많은 조언을 하여주시는 김남훈 교수님과 시료채취와 SEM사진 촬영 등에 도움을 준 김대영군에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Butterfield, B.G. and B.A. Meylan. 1975. Simple to scalariform combination perforation plate in *Vitex lucens* Kirk (Verbenaceae) and *Brachyglottis repanda* J.R. et G. Forst (Compositae). *IAWA Bull.* 3 : 39~42
2. IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull. n.s.* 10(33) : 219~332
3. Kim, J.W., Y.J. Kim, S.J. Park. 1994. Features of spiral thickenings in Korean dicotyledonous woods. *Mokchae Konghak* 22(3) : 39~44
4. Meylan, B.A. and B.G. Butterfield. 1973. Scanning electron micrographs of New Zealand woods, 2. *Knightia excelsa* R. Br., *N.Z. J. Bot.* 11(2) : 201~212
5. Meylan, B.A. and B.G. Butterfield. 1975. Occurrence of simple, multiple, and combination perforation plates in the vessels of New Zealand woods. *N.Z. J. Bot.* 13 : 1~18
6. Meylan, B.A. and B.G. Butterfield. 1975. Occurrence of vestured pits in the vessels and fibers of New Zealand woods. *N.Z. J. Bot.* 12 : 13~18
7. Meylan, B.A. and B.G. Butterfield. 1978. The structure of New Zealand woods. *DSIR Bull.* 222, N.Z. Dept. Sci. Ind. Res., Wellington
8. Ohtani, J. and S. Ishida. 1973. An observation of the sculptures of the vessel wall of *Fagus crenata* Bl. using scanning electron microscopy. *Res. Bull. College Exp. For. Hokkaido Univ.* 30 : 125~144
9. Ohtani, J. and S. Ishida. 1978. An observation on the spiral thickenings in the vessel members in Japanese dicotyledonous woods using scanning electron microscopy. *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.* 35-2 : 433~464
10. Ohtani, J. and S. Ishida. 1978. An observation on the perforation plate in Japanese dicotyledonous woods using scanning electron microscopy. *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.* 35(1) : 65~98
11. Parameswaran, N. and A. V. Gomes. 1981. Fine structural aspects of helical thickenings and pits in vessels of *Ligustrum lucidum* Ait. (Oleaceae). *IAWA Bull.* 2(4) : 179~185
12. Parham, R. A. and H. Kaustinen. 1973. On the morphology of spiral thickenings. *IAWA Bull.* 2 : 8~14
13. Wu, J., J. Ohtani, and K. Fukazawa. 1989. SEM observation on the vessel wall modifications in Yunnan hardwoods. *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.* 46(4) : 847~939
14. Yata, S., T. Itoh, and T. Kishima. 1970. Formation of perforation plates and bordered pits in differentiating vessel elements. *Wood Res.* 50 : 1~11
15. Wu, J., J. Ohtani, and K. Fukazawa. 1988. SEM observations on vestured pits in some Yunnan hardwoods. *Res. Bull. Exp. For. Hokkaido Univ.* 45(3) : 789~809
16. 朴相珍. 1987. 主要有用樹種의 組織特性. 목재공학 15(3) : 68~88
17. 朴炳堊. 1987. 韓國產 主要 散孔材의 導管要素形態變異. 碩士學位論文 : 1~59
18. 李成宰, 李元用. 1992. 韓國產 참나무科 樹種의 導

- 管構造에 관한 研究. 森林科學研報 8 : 51~66
19. 金大榮. 1995. 韓國産 闊葉樹材 穿孔板의 微細形態에 관한 研究. 碩士學位論文 : 1~59
20. 장연집, 이필우. 1996. 韓國産 散孔材의 解剖學的 特性에 관한 比較研究(I). 목재공학 23(4) : 46~53