

## 일본잎갈나무, 물박달나무, 밤나무 세포내강의 액체이동

전 수 경<sup>†</sup>

강원대학교 산림바이오소재공학과

### Capillary Flow in Different Cells of *Larix Kaempferi*, *Betula Davurica*, *Castanea crenata*

Su Kyoung Chun<sup>†</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Biomaterials Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

**Abstract:** A study was carried out to observe the 1% aqueous safranin solution flow speed in longitudinal and radial directions of softwood *Larix kaempferi* (Lamb.)Carriere, diffuse-porous wood *Betula davurica* Pall.. and ring-porouswood *Castanea crenata* S.etZ. In radial direction, ray cells and in longitudinal direction, tracheids, vessel and wood fiber were considered for the measurement of liquid penetration speed at less than 12% moisture contents (MC). The length, lumen diameter, pit diameter, end wall pit diameter and the numbers of end wall pits determined for the flow rate. The liquid flow in the those cells was captured via video and the capillary flow rate in the ones were measured. Vessel in hardwood species and tracheids in softwood was found to facilitate prime role in longitudinal penetration. Anatomical features like the length and diameter, end-wall pit numbers of ray parenchyma were found also responsible fluid flow differences. On the other hand, vessel and fiber structure affected the longitudinal flow of liquids. Therefore, the average liquid penetration depth in longitudinal tracheids of *Larix kaempferi* was found the highest among all cells considered in *Betula davurica* and *Castanea crenata*. In radial direction, ray parenchyma of *Larix kaempferi* was found the highest depth and the one of *Betula davurica* was the lowest. The solution was penetrated lowest depth in the wood fiber of *Castanea crenata*. The large vessel of *Castanea crenata* was found the lowest depth among the vessels. The solutin was penetrated to the wood fiber of *Betula davurica* higher than the one of *Castanea crenata*.

**Keywords:** Cappillary flow rate, *Larix kaempferi*, *Betula davurica* and *Castanea crenata*, Tracheids, Vessel, Wood fiber, Ray prenychyma, Pit aperture, Numbers of endwall pits, Cell lumina diameter, Cell length

## 1. 서 론

목재에 염료 용액을 침투시켜 칼라무늬목을 장식재 등에 사용한다. 염료용액이 잘 침투되기 위해

서는 목재 내 염료용액 침투성이 좋아야 한다. 목재 내 염료 침투성은 수종마다 다르다. 목재는 수종에 따라 세포 종류, 세포 배열, 세포 길이, 세포의 직경, 세포의 분포도, 충전 물질의 존재 유무, 벽공의 크기 등이 다양하다. 목재의 축방향, 방사방향 및 접선방향에 따라 물질 이동에 큰 차이를 나타낸다. 뿐만 아니라 침엽수재와 활엽수재에 따

2016년 12월 12일 접수; 2017년 1월 17일 수정; 2017년 1월 18일 게재확정

<sup>†</sup> 교신저자 : 전 수 경 (chun@kangwon.ac.kr)

라 차이가 나고, 같은 활엽수재라 하여도 환공재와 산공재에 따라 다른 양상을 나타낸다. 이러한 다양성 때문에 수종에 따라 목재 내에서 물질이동의 깊이, 속도 등에 차이가 생긴다. 침엽수에서 가도관은 세포의 상하가 폐쇄되어 있어서 주요한 축방향 흐름의 통로는 가도관과 가도관 사이에 있는 유연벽공이다(Siau 1984; Flynn 1995). 목재의 축방향 유체 이동은 축방향가도관과 벽공 모세관 구조에 달려있고, 방사방향 흐름은 방사유세포가 주요통로이다. 방사방향에서 액체 유동 거리는 수종마다 다양한데 그 이유는 방사유조직의 배열 때문이다. 목재에서 액체의 횡방향 흐름은 대개 방사방향으로 배열된 방사유세포를 통해 이루어지고, 도관과 방사조직 사이에 존재하는 도관방사조직간벽공과 연결되어 있어서 액체의 방사방향 흐름을 돕는다. 접선방향 액체 흐름은 축방향가도관의 유연벽공 사이에서 이루어진다(Erickson 1970; Keith and Chauret 1988). 공기의 투과성을 접선방향과 축방향을 비교하면 대략 103배 정도 더 적다(Petty 1970; Flynn 1995). 침투된 액체는 벽공을 통해 인접한 가도관으로 확산된다(Olsson et al. 2001). 목재 내에서 액체이동은 세포벽을 통한 확산과 세포내강을 통한 이동으로 나누어지고, 세포내강 이동은 목재를 가공하는 과정에 주로 발생한다(Watanabe et al. 1998). 벽공구를 통한 모세관 작용으로의 이동은 확산을 통해 이루어지는 것보다 빠르다. 액체 이동은 목재의 함수율뿐만 아니라(Hansmann et al. 2002), 세포방향(Bolton 1988; Fujii et al. 2001; Kamke and Lee 2007)에 따라 이동속도가 달라진다. 물리적, 화학적 특징에 의해서도 액체이동에 영향을 받고(Hansmann et al. 2002), 해부학적 특징은 당연히 액체 이동과 관련되어 있다(Thomas 1976; Owoyemi and Kayode 2008). 활엽수재에서는 목섬유가 목재조직의 대부분을 구성하는 주된 요소이지만, 일반적으로 일차적인 액체 이동은 목섬유보다 도관이 중요한 역할을 한다(Leal et al. 2007). 그러나 목섬유의 침투성은 도관 혹은 인접한 다른 세포의 액체 이동에 영향을 미칠 수 있다. 도관과 달리 무공재인 목섬유는 목섬유의 벽이 후벽이고, 상대적으로 벽공이

작아서 액체 투과에 효과적이지 못하다. 세포상호간 벽공은 액체의 이동에 있어서 중요한 통로가 되며, 그 구조 및 분포는 목재의 액체 침투에 영향을 미친다. 이러한 차이점을 찾기 위해서는 수종별 목재의 해부학적 성질과 침투성을 구명하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 1% 사프라닌 용액을 침엽수재, 활엽수재의 산공재와 환공재에 침투시켜 수종별, 세포별 이동속도와 깊이를 구명하고자 했다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 재료

본 연구는 침엽수재인 *Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere, 활엽수재의 산공재인 *Betula davurica* Pall., 활엽수의 환공재인 *Castanea crenata* S.etZ. 로 조사되었다. 목재해부학적 성질은 지상고 1.2 m의 높이에서 두께 3 cm의 원판을 각각 수종별로 만들어 조사했다. 세 수종의 목재 샘플은 강원도 강릉시 교동(37°07'N, 128°08'E, 3~4m from sea level)의 경사도가 없는 곳에서 자란 나무 중 결함이 없는 나무에서 채취되었다. 흉고직경은 각각 12.1, 9.4, 9.2 cm이었고, 연륜의 수는 17, 12, 13이었다. 원판은 수피를 포함하여 15 cm 길이의 조각들을 만든 후 수분 손실을 방지하기 위해 밀폐된 가방에 보관하여 실험실로 운반했다.

### 2.2. 실험 방법

#### 2.2.1. 해부학적 특징 시료 제작 및 염료용액 침투 속도 측정방법

방사유세포의 길이, 목섬유, 가도관, 도관, 직경은 축방향 또는 방사방향 액체 유동에 영향을 (Ahmed and Chun 2009) 주무로 Table 1과 같이 3수종에 대한 해부학적 특징을 조사했다. 해부학적 특징 시료 제작 및 염료용액 침투 속도 측정 방법은 (전 2015)의 방법과 동일하다.

**Table 1.** Different Micro-structural Feature

Species	Anatomical properties	Mean	Min.	Max.
<i>Larix kaempferi</i>	Length of Longitudinal Tracheid (μm)	2,313.10 (± 157.15)		
	Length of Ray Parenchyma Length (μm)	183.28 (± 74.24)		
	Diameter of Longitudinal Tracheid Lumina (μm)		22.73 (± 4.67)	76.18 (± 11.59)
	Diameter of Ray Parenchyma Lumina (μm)		11.54 (± 0.93)	30.23 (± 2.00)
	Diameter of pit aperture in longitudinal Tracheid (μm)		5.72 (± 0.55)	8.36 (± 1.68)
	Diameter of Cross Field Pit Aperture (μm)		3.01 (± 0.43)	4.92 (± 1.33)
<i>Betula davurica</i> Pall.	Length of Vessel (μm)	812.83 (± 64.41)		
	Length of Fiber (μm)	1,458.46 (± 171.00)		
	Length of Ray Parenchyma (μm)	146.74 (± 29.60)		
	Diameter of Vessel Lumina (μm)		109.55 (± 12.43)	164.95 (± 16.83)
	Diameter of Fiber Lumina (μm)		18.76 (± 2.45)	28.87 (± 2.80)
	Diameter of Ray Parenchyma Lumina (μm)		29.65 (± 7.42)	52.66 (± 12.79)
	Diameter of Intervessel pit aperture (μm)		0.54 (± 0.15)	3.41 (± 0.35)
	Diameter of Fiber pit aperture (μm)		1.23 (± 0.31)	2.08 (± 0.18)
	Diameter of Vessel-Ray pit aperture (μm)		0.36 (± 0.22)	1.74 (± 0.30)
	Diameter of Endwall pit aperture in Procumbent Cell (μm)		0.86 (± 0.14)	1.64 (± 0.40)
	Numbers of Endwall pits of Procumbent Cell	25		
<i>Castanea crenata</i> S. et Z.	Length of Large Vessel (μm)	595.14 (± 255.81)		
	Length of Small Vessel (μm)	940.35 (± 178.10)		
	Length of Fiber (μm)	1,593.09 (± 205.98)		
	Length of Ray Parenchyma (μm)	203.97 (± 74.35)		
	Diameter of Large Vessel Lumina (μm)		293.82 (± 27.83)	340.13 (± 27.63)
	Diameter of Small Vessel Lumina (μm)		62.74 (± 10.39)	106.27 (± 9.50)
	Diameter of Fiber Lumina (μm)		16.50 (± 3.89)	23.60 (± 3.54)
	Diameter of Ray Parenchyma Lumina (μm)		19.29 (± 1.96)	33.95 (± 4.88)
	Diameter of Intervessel pit aperuture (μm)		4.03 (± 1.12)	1.04 (± 0.21)
	Diameter of pit aperture in Fiber (nm)		1.32 (± 0.42)	3.59 (± 0.69)
	Diameter of pit aperture in Vessel-Ray Pits (μm)		5.72 (± 1.68)	3.51 (± 0.68)
	Diameter of Endwall Pit Aperture in Procumbent Cell (μm)		0.70 (± 0.06)	3.18 (± 0.66)
	Numbers of Endwall pits in Procumbent Cell	2		

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 해부학적 특징

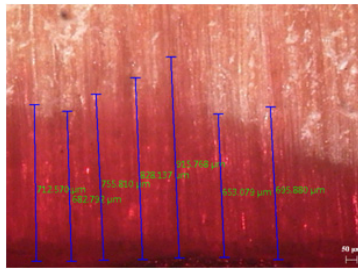
방사유세포의 직경, 말단벽 벽공 수와 직경, 방사유세포 길이, 도관수, 도관직경, 목섬유 길이와 직경 등은 축방향 또는 방사방향 액체 이동에 영향을 준다(Ahmed and Chun 2009).

따라서 본 실험에서는 수종별로 Table 1과 같이 해부학적 특징을 조사하였다. 밤나무 소도관의 직

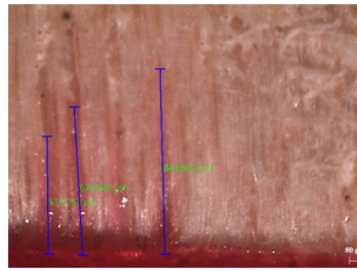
경은 물박달나무의 것보다 1.55배 더 작았다. 방사유세포 내강은 물박달나무가 밤나무보다 더 작았다. 그러나 밤나무 대도관의 직경은 물박달나무 도관의 직경보다 2.3배 더 넓었다. 밤나무의 목섬유 길이는 물박달나무의 것보다 2.02배 더 길었다. 도관상호간벽공구의 면적은 물박달나무가 밤나무보다 3.0배 더 넓었다. 도관방사조직간벽공구의 면적은 밤나무가 물박달나무보다 더 컸다. 가도관 직경의 평균은 활엽수 도관보다 더 작았다. 가도관 길

**Table 2.** Longitudinal Capillary Flow Late in Different Cells of *L. kaempferi*, *B. Davurica*, *C. crenata*. (μm)

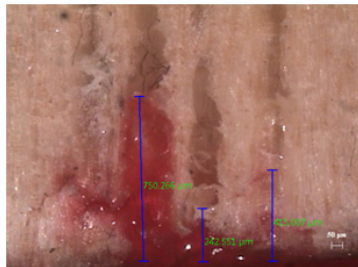
Species	Cell	0.348 sec	0.696 sec	1.044 sec	1.392 sec
<i>L. kaempferi</i>	Tracheid	209.65 (± 23.29)	427.61 (± 102.22)	652.73 (± 94.83)	749.13 (± 92.96)
<i>B. Davurica</i>	Vessel	244.06 (± 123.01)	394.46 (± 154.42)	473.71 (± 200.94)	516.99 (± 213.25)
	Fiber	106.81 (± 103.91)	148.64 (± 121.62)	199.04 (± 125.70)	232.88 (± 109.39)
<i>C. crenata</i>	Large Vessel	184.67 (± 103.24)	239.32 (± 96.96)	331.11 (± 169.61)	372.92 (± 197.22)
	Small Vessel	208.34 (± 100.66)	298.03 (± 162.46)	424.08 (± 185.57)	491.31 (± 157.51)
	Fiber	92.16 (± 20.74)	118.59 (± 30.89)	150.04 (± 39.08)	168.35 (± 47.32)



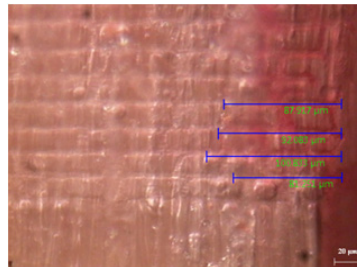
① Longitudinal Tracheid of *Larix kaempferi* (1.392 sec)



② Vessel of *B. davurica*. (1.392 sec)



③ Large vessel of *C. crenata* (1.392 sec)



④ Ray parenchyma of *C. crenata*. (52.2 sec)

**Fig. 1.** Sequence of penetration measurement.

이는 물박달나무와 밤나무의 도관들 보다 더 길었다. 일본잎갈나무의 방사유세포 직경은 물박달나무와 밤나무의 것보다 각각 3.45, 5.67배 작았다.

**3.2. 축방향과 방사방향의 침투**

도관은 천공을 통해 세포의 끝과 끝이 연결되어 있어서 도관 내의 흐름은 원활하다. 해부학적 특성은 심재와 변재가 같으나 미세구조적 특징은 만재와 조재, 성숙재와 미성숙재에 따라 다르다. 활엽수재에서 축방향 침투는 도관의 역할이 중요하고, 도관의 직경과 관련되어있다. 목섬유의 끝은 막혀

있어서 목섬유를 통한 물질의 이동은 원활하지 않지만 때로는 목섬유가 도관보다 많은 물질을 이동시키기도 한다. 목섬유는 목재조직의 대부분을 차지하고 있고, 초기의 용액 유동에 중요한 역할을 한다. 도관보다 두꺼운 세포벽과 비교적 작은 벽공이 불균일하게 분포한 목섬유는 용액 이동에 일반적으로 관여하지 않는다. 그 결과 Table 2와 같다. 일본잎갈나무 축방향가도관의 액체 침투 깊이는 물박달나무 도관과 목섬유보다 약 1.45, 3.23배 더 높았다. 축방향가도관은 밤나무 목섬유보다 4.46배 더 높았다. 물박달나무 목섬유의 액체 침투 깊이는

**Table 3.** Radial Capillary Flow Late in Ray Parenchymas of *L. kaempferi*, *B. Davurica* and *C. crenata*

Species	Cell	0.348 sec	17.4 sec	34.8 sec	52.2 sec
<i>L. kaempferi</i>	ray parenchyma	50.85 ( $\pm$ 20.73)	70.66 ( $\pm$ 14.98)	77.48 ( $\pm$ 14.76)	83.44 ( $\pm$ 16.18)
<i>B. Davurica</i>	ray parenchyma	24.88 ( $\pm$ 13.55)	38.18 ( $\pm$ 8.92)	51.19 ( $\pm$ 8.44)	65.30 ( $\pm$ 14.16)
<i>C. crenata</i>	ray parenchyma	17.02 ( $\pm$ 5.99)	51.42 ( $\pm$ 18.43)	61.72 ( $\pm$ 15.43)	73.80 ( $\pm$ 21.65)

Means with common letter in a given column are not significantly different at  $P < 0.05$  level (Duncan Multiple Range Test)

밤나무보다 1.38 높았다. 그러나 밤나무의 대도관은 물박달나무의 도관보다 1.38배 낮게 침투되었다. 이것은 밤나무 대도관의 충전물 때문인 것으로 생각된다. Fig. 1은 가도관, 도관 및 방사유세포의 축방향 및 방사방향 침투를 나타내는 사진이다. 일본잎갈나무 가도관은 세 수종 중 액체 침투율이 가장 높았다. 물박달나무 내 목섬유는 밤나무보다 더 잘 침투되었다. 세포의 길이가 길고, 벽공구 때문에, 일본잎갈나무 축방향가도관은 활엽수재의 도관과 목섬유보다 침투도가 더 높았다.

최고 침투 깊이는 일본잎갈나무 축방향가도관에서 1.392초에 749.13  $\mu\text{m}$ 이었다. 초기 액체투과성은 급격한 감소했다. 모든 경우에 시간이 지날수록 흐름 속도가 감소했다. 즉, 침투 깊이와 시간 사이에는 부의 관계가 성립되었다. 시간 경과에 따른 액체 투과성의 감소는 일반적으로 흐름통로에서 가스 색전증으로 인하는 것으로 생각된다.

방사방향 침투는 방사유세포 내강의 직경과 길이, 말단벽벽공의 수와 직경에 따라 다르다. 축방향과 방사방향의 투과성 차이는 수종과 세포에 따라 다르다. 방사유세포는 세포의 끝과 끝이 서로 연결되어 방사유세포와 방사유세포 사이에 모세관 구조가 형성된다. 침엽수에서 방사유세포는 길고 벽공구는 크므로 활엽수재의 방사유세포와 비교하여 액체의 침투도에 중요한 역할을 한다(Ahmed et al. 2006). 방사유세포는 방사방향 액체 유동의 중요한 통로로 역할을 한다(Wardrop and Davies 1961; Banks 1970). 은행나무의 방사유세포가 방사방향 침투에 중요한 통로 역할을 한다(Keith and Chauret 1988; Trenard and Gueneau 1984). 방사유조직의 가장 바깥쪽 방사유세포가 중요한 액체 수송 경로 역할을 하는 것으로 발견되었다(Liese and Bauch 1967; Erickson and Balatinecz

1964). 그러나 방사유세포는 침엽수재 가도관 및 활엽수재 도관 보다 낮은 침투도를 나타냈다. 그 원인은 방사유세포에 존재하는 말단벽이 방해하는 것으로 생각된다. 방사유세포의 말단벽 벽공의 수, 직경의 크기는 방사방향 유동에 영향을 미친다. 또한, 침투속도는 액체의 표면장력뿐만 아니라 목재 세포벽의 상호작용에 영향을 받는다. 액체 침투 깊이는 일본잎갈나무 방사유세포가 물박달나무와 밤나무 방사유세포보다 더 많이 침투되었다. 결과적으로 일본잎갈나무 방사유세포는 물박달나무와 밤나무 방사유세포와 비교했을 때 액체 흐름의 장애가 낮은 편이다. Table 3은 측면 흐름의 깊이가 시간이 경과함에 따라 측정된 표이다. 일본잎갈나무 방사유세포는 물박달나무와 밤나무 방사유세포보다 각각 1.3, 1.1배 많이 침투되었다. 밤나무 방사유세포는 물박달나무 방사유세포보다 1.1배 침투성이 높았다.

#### 4. 결 론

목재에 염료 용액을 침투시켜 칼라무늬목 등으로 이용하고자 염료침투 실험을 침엽수재인 일본잎갈나무, 활엽수재 환공재인 밤나무, 활엽수재 산공재인 물박달나무를 대상으로 실시한 결과는 다음과 같다.

일본잎갈나무 축방향 가도관의 액체 침투 깊이는 다른 모든 세포들 중에서 가장 많이 침투되었다. 방사방향에서 가장 높은 침투 깊이는 일본잎갈나무 방사유세포이었고, 가장 낮은 것은 물박달나무 방사유세포이었다. 밤나무 목섬유의 침투 깊이는 축방향 세포들 중에서 가장 적게 침투되었다. 밤나무의 대도관의 침투 깊이는 도관 중에 가장 낮게 침투가 되었다. 물박달나무의 목섬유가 밤나

무 목섬유보다 더 많이 침투되었다.

## 사 사

2013년도 강원대학교 학술연구구성비로 연구하였음.

## 참 고 문 헌

- 전수경. 2015. 은행나무, 감나무, 가중나무 세포내강의 액체이동. *한국가구학회지* 26(2): 179-185.
- Ahmed, S. A. and Chun S. K. 2009. Observation of liquid permeability related to anatomical characteristics in Samaneasaman. *Turk. J. Agric. For.* 33(2): 155-163.
- Ahmed, S. A., Chong S. H., Chun S. K., Park B. S. (2006). Ray parenchyma and ray tracheid structure of four Korean pine wood species. *J Korea Furniture Society.* 17(4): 101-107.
- Banks, W. B. 1970. Some factors affecting the permeability of Scots pine and Norway spruce. *Wood Sci.* 5: 10-17.
- Bolton, A. J. 1988. A re-examination of some deviations from Darcy's Law in coniferous wood. *Wood Sci. Technol.* 22: 311-322.
- Erickson, H. D. and Balatincez J. J. 1964. Liquid flow paths into wood using polymerization techniques: Douglas-fir and styrene. *Forest. Products J.* 14: 293-299.
- Erickson, H. D. 1970. Permeability of southern pine wood-A review. *Wood Science.* 2(3): 149-158.
- Flynn, K. A. 1995. A review of the permeability, fluid flow, and anatomy of spruce (*Piceasp.*). *Wood Fiber Sci.* 27: 278-284.
- Fujii, T., Lee S. J., Kuroda N., and Suzuki Y. 2001. Conductive function of intervessel pits through a growth ring boundary of *Machilus thunbergii*. *IAWA J.* 22(1): 1-14.
- Hansmann, C., Gindl W., Wimmer R., and Teischinger A. 2002. Permeability of wood: A review. *Wood Res.* 47: 1-16.
- Kamke, F. A. and Lee J. N. 2007. Adhesive penetration in wood- A review. *Wood Fiber Sci.* 39: 205-220.
- Keith, C. T. and Chauret G. 1988. Anatomical studies of CCA penetration associated with conventional (tooth) and with micro (needle) incising. *Wood Fiber Sci.* 20: 197-208.
- Leal, S., Sousa V. B., and Pereira H. 2007. Radial variation of vessel size and distribution in cork oak wood (*QuercussuberL.*). *Wood Sci. Technol.* 41: 339-350.
- Liese, W. and Bauch J. 1967. On anatomical causes of the refractory behaviour of spruce and Douglas fir. *Wood Sci.* 19: 3-14.
- Olsson, T., Megnis M., Varna J., and Lindberg H. 2001. Study of the transverse liquid flow paths in pine and spruce using scanning electron microscopy. *J. Wood Sci.* 47: 282-288.
- Owoyemi, J. M. and Kayode J. O. 2008. Effect of incision on preservative capacity of *Gmelina arborea* wood. *Biotech.* 7: 351-353.
- Petty, J. A. 1970. Permeability and structure of the wood of Sitka spruce. *Proc Roy Soc Lond B* 175: 149-166.
- Siau, J. F. 1984. *Transport process in wood.* Springer, Berlin, New York.
- Thomas, R. J. 1976. Anatomical features affecting liquid permeability in three hardwood species. *Wood Fiber.* 7(4): 256-263.
- Trenard, Y. and Gueneau P. 1984. Penetration pathways of liquid gallium in wood seen by scanning electron microscopy. *Wood Fiber Sci.* 16: 403-410.
- Wardrop, A. B. and Davies G. W. 1961. Morphological factors relating to the penetration of liquids into wood. *Holzforchung.* 15: 130-141.
- Watanabe, U., Imamura Y., and Iida I. 1998. Liquid penetration of precompressed wood VI: Anatomical characterization of pit fractures. *J. Wood Sci.* 44: 158-162.