

메타세콰이어, 카담, 물푸레나무 세포내강의 액체이동

전 수 경[†]

강원대학교 산림바이오소재공학과

Capillary Flow in Different Cells of *Metasequoia glyptostroboides*, *Anthocephalus cadamba*, and *Fraxinus rhynchophylla*

Su Kyoung Chun[†]

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 *Metasequoia glyptostroboides*, diffuse-porous wood *Anthocephalus cadamba* and ring-porouswood *Fraxinus rhynchophylla*. 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 *Metasequoia glyptostroboides* was found the highest among all cells considered in *Anthocephalus cadamba* and *Fraxinus rhynchophylla*. In radial direction, ray parenchyma of *Metasequoia glyptostroboides* was found the highest depth and the one of *Fraxinus rhynchophylla* was the lowest. The solution was penetrated lowest depth in the wood fiber of *Fraxinus rhynchophylla*. The large vessel of *Fraxinus rhynchophylla* was found the lowest depth among the vessels. The solutin was penetrated to the wood fiber of *Anthocephalus cadamba* higher than the one of *Fraxinus rhynchophylla*.

Keywords: Cappillary flow rate, *Metasequoia glyptostroboides*, *Anthocephalus cadamba*, *Fraxinus rhynchophylla*, Tracheids, Vessel, Wood fiber, Ray prenychyma, Pit aperture, Numbers of endwall pits, Cell lumina diameter, Cell length

1. 서 론

수목에서의 축방향 물질 이동은 활엽수에서는

도관에 의해서, 침엽수에서는 가도관에 의해서 주도되고, 수평방향으로는 방사조직에 의해서 주도된다. 이는 세포의 배열에 직접적인 관계가 있다. 도관과 가도관은 축방향으로 배열되어 있지만 방사조직은 수평방향으로 배열되어 있기 때문이다. 이러한 원리를 이용하면 염료 등 물질을 목재 내

2017년 12월 2일 접수; 2018년 1월 12일 수정; 2018년 1월 12일 게재확정

[†] 교신저자 : 전 수 경 (chun@kangwon.ac.kr)

에 침투시켜 목재를 무늬목재 등 가구 재료로 사용하고자 할 때 유효하게 이용할 수 있다. 본 실험에서는 여러 가지 요인들 중 가도관, 도관, 목섬유 및 방사유세포의 해부학적 특징과 미세구조인 벽공구의 크기, 말단벽의 수와 크기 등 액체 투과율에 미치는 영향을 조사했다.

목재의 세포는 간단하지 않고 생물계의 다양성과 같이 복잡하다. 침엽수재의 가도관은 방추형으로 막혀있어서 주요한 축방향 물질 흐름의 통로는 가도관과 가도관 사이에 있는 유연벽공이 담당한다(Flynn 1995). 침엽수재에서 접선방향 액체 흐름은 축방향가도관의 유연벽공 사이에서 이루어진다(Erickson 1970; Keith and Chauvet 1988). 공기로 침투성을 측정된 결과 접선방향의 공기 흐름은 축방향 흐름의 대략 103배 정도 더 적다(Petty 1970; Flynn 1995). 축방향 흐름은 축방향가도관과 벽공 구조의 모세관 구조에 의존하고, 방사유세포는 수평방향 흐름을 돕는다. 종단면의 공극으로 침투된 액체는 벽공을 통해 인접한 가도관으로 확산한다(Olsson et al. 2001). 방사방향 액체의 침투 깊이는 수종마다 다양한데 그 이유는 방사유조직의 배열 때문이고, 수평방향 액체의 흐름은 대개 방사방향으로 배열된 방사유세포를 통해 이루어진다. 방사유세포는 도관방사조직간벽공과 연결되어 있어서 액체의 방사방향 흐름을 돕는다. 다양한 형태의 세포가 존재하므로 목재에서의 액체 흐름은 아주 복잡하다. Watanabe et al. (1998)에 따르면, 목재 내에서의 액체이동에는 세포벽을 통한 확산과 세포내강 이동의 두 가지 유형이 있고, 세포내강 이동은 목재를 가공하는 과정에서 주로 발생한다고 했다. 모세관 작용을 통한 액체 이동은 확산을 통해 이루어지는 것보다 훨씬 더 빠르다. 실제로 모세관의 투과성을 개선하여 흡수가 최대 상태가 되게 하기 위해서는 모세관의 투과 속도가 증가되어야 한다. 본 실험에서는 이러한 모세관 작용을 통한 액체의 이동을 관찰하는 것에 중점을 두었다. 액체 이동은 목재의 함수율 뿐만 아니라 (Hansmann et al. 2002), 섬유 방향에 따라 (Bolton 1988; Fujii et al. 2001) 이동속도가 달라진다. 또한 물리적 화학적(Hansmann et al. 2002)

및 해부학적 특징도 액체 이동과 관련되어 있다 (Owoyemi and Kayode 2008). 목섬유는 목재조직의 대부분을 구성하는 주된 요소이지만, 일반적으로 일차적인 액체 이동에서 목섬유는 도관보다 중요한 역할을 하는 부분으로 고려되지 않는다(Leal et al. 2007). 목섬유의 투과성은 도관이나 벽공과 연결되는 다른 세포의 액체가 연속적으로 확장하는데 영향을 미칠 수 있다. 도관과 달리 무공의 목섬유는 후벽목섬유이며 상대적으로 벽공이 작아서 액체 침투에 효과적이지 않다. 또한, 세포 상호간 벽공은 액체의 이동에 있어서 중요한 통로가 되며, 그 구조 및 분포는 목재의 액체 침투에 영향을 미친다. 뿐만 아니라, 액체 침투가 이루어지는 동안 압축된 공기는 목재의 투과성을 낮춘다.

본 연구에서는 세포들에 따른 염료 투과성의 차이를 구명하고, 해부학적 특징에 관한 연구 자료를 이용하였다. 그러나 해부학적 구조와 관련된 액체 침투의 현상을 이해하기 위한 시도는 제한적으로 이루어졌다. 그러므로 본 연구에서는 방사방향과 축방향으로 이동하는 액체(사프란린)의 투과성에 영향을 미치는 해부학적 특징을 조사하고자 하였다. 본 논문에서 중요한 것은 *Metasequoia glyptostroboides*, *Anthocephalus cadamba*, *Fraxinus rhynchophylla*의 해부학적 특징과 액체 투과성의 관계를 구명하는데 있고, 제한적이지만 다양한 세포 유형의 액체 침투성을 이해하는데 있으며, 방사방향과 축방향의 해부학적 특징과 액체 흐름에 영향을 미치는 인자를 찾는 데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 실험은 *Metasequoia glyptostroboides* Hu & Cheng, *Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq., *Fraxinus rhynchophylla* Hance로 수행되었다. *M. glyptostroboides*는 강원도 춘천시 동산면 원창리, *A. cadamba*는 강원대학교 목재식별학 실험실의 샘플을 사용했고, *F. rhynchophylla* 강원대학교 학술림에서 채취하였다. *M. glyptostroboides*와 *F. rhynchophylla*의 목재 원판은 지상 1.2 m 높이에서 횡이

Table 1. Different Micro-structural Feature

Species	Anatomical properties	Mean	Min.	Max.	
<i>M. glyptostrobooides</i>	Length of Longitudinal Tracheid (μm)	1677.60 (\pm 564.85)			
	Length of Ray Parenchyma Length (μm)	138.33 (\pm 13.35)			
	Diameter of Latewood Longitudinal Tracheid Lumina (μm)		6.67 (\pm 1.40)	15.41 (\pm 0.06)	
	Diameter of Earlywood Longitudinal Tracheid Lumina (μm)		10.92 (\pm 1.00)	40.08 (\pm 11.22)	
	Diameter of Ray Parenchyma Lumina (μm)		3.29 (\pm 0.91)	8.72 (\pm 0.81)	
	Area of Ray lumen (μm^2)	22.59			
	Diameter of pit aperture in longitudinal Tracheid (μm)		3.88 (\pm 0.55)	4.61 (\pm 0.61)	
	Area of pit aperture in tracheid (μm^2)	14.07			
	Diameter of Cross Field Pit Aperture (μm)		1.87 (\pm 0.42)	4.37 (\pm 0.47)	
<i>A. cadamba</i>	Length of Vessel (μm)	505.69 (\pm 171.42)			
	Length of Fiber (μm)	832.05 (\pm 145.04)			
	Diameter of Vessel Lumina (μm)		109.85 (\pm 20.51)	224.56 (\pm 15.12)	
	Diameter of Fiber Lumina (μm)		16.05 (\pm 1.00)	28.03 (\pm 2.33)	
	Diameter of Ray Parenchyma Lumina (μm)		7.76 (\pm 0.96)	20.78 (\pm 1.56)	
	Area of ray parenchyma lumen (μm^2)	126.58			
	Diameter of Intervessel pit aperture (μm)		2.37 (\pm 0.27)	3.86 (\pm 0.50)	
	Area of intervessel pit aperture (μm^2)	10.24			
	Diameter of Fiber pit aperture (μm)		1.65 (\pm 0.28)	4.06 (\pm 0.70)	
	Area of fiber pit aperture (μm^2)	5.29			
	Diameter of Vessel-Ray pit aperture (μm)		4.44 (\pm 0.65)	5.57 (\pm 0.72)	
	Area of Vessel-ray pit aperture (μm^2)	19.45			
	Diameter of Endwall pit aperture in Procumbent Cell (μm)		1.28 (\pm 0.24)	2.86 (\pm 0.69)	
	Numbers of Endwall pits in Procumbent	56			
<i>F. rhynchophylla</i>	Length of Large Vessel (μm)	138.48 (\pm 30.16)			
	Length of Small Vessel (μm)	190.73 (\pm 79.65)			
	Length of Fiber (μm)	929.98 (\pm 170.59)			
	Length of Ray Parenchyma (μm)	114.64 (\pm 21.47)			
	Diameter of Large Vessel Lumina (μm)		93.63 (\pm 19.98)	202.64 (\pm 23.48)	
	Diameter of Small Vessel Lumina (μm)		25.19 (\pm 5.89)	34.89 (\pm 7.88)	
	Diameter of Fiber Lumina (μm)		6.94 (\pm 1.08)	16.02 (\pm 1.52)	
	Diameter of Ray Parenchyma Lumina (μm)		8.63 (\pm 0.94)	20.00 (\pm 1.36)	
	Area of ray parenchyma lumen (μm^2)	135.65			
	Diameter of Intervessel pit aperture (μm)		0.99 (\pm 0.36)	4.55 (\pm 2.81)	
	Area of intervessel pit aperture (μm^2)	3.44			
	Diameter of pit aperture in Fiber (nm)		1.06 (\pm 0.31)	1.96 (\pm 0.77)	
	Area of fiber pit aperture (μm^2)	1.63			
	Diameter of Vessel-Ray Pits aperture (μm)		4.30 (\pm 1.08)	9.52 (\pm 1.24)	
	Area of Vessel-ray pit aperture (μm^2)	13.37			
		Diameter of Endwall Pit Aperture in Procumbent Cell (μm)		1.35 (\pm 0.11)	1.67 (\pm 0.13)
		Numbers of Endwall pits in Procumbent	21		

없는 부분을 채취하여, 원관은 수분 손실을 방지하기 위해 밀폐된 가방에 보관하여 실험실로 옮겼다.

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) 주는 것으로서 Table 1과 같이 3수종에 대한 해부학적 특징을 조사했다. 해부학적 특징 시료 제작 및 염료용액 침투 속도 측정 방법은 전수경(한국가구학회지 Vol. 26. No. 2, p. 180, 2015)의 방법과 동일하다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 목재 수종의 해부학적 특징

Table 1은 대상 수종에 대한 해부학적 특징을 조사한 결과이다. *F. rhynchophylla* 소도관의 직경은 *A. cadamba*의 도관보다 5.57배 더 작았다. 방사유세포 내강은 *A. cadamba*와 *F. rhynchophylla*이 같았다. *F. rhynchophylla* 대도관은 *A. cadamba*의 도관보다 약간 작았다. *F. rhynchophylla*의 목섬유 길이는 *A. cadamba*의 목섬유의 길이 보다 1.11배 더 길었다. 도관상호간벽공구의 면적은 *A. cadamba*이 *F. rhynchophylla*보다 2.98배 더 넓었다. 도관방사조직간벽공구의 면적은 *A. cadamba*이 *F. rhynchophylla*보다 더 컸다. *M. glyptostroboides*의 가도관 직경의 평균은 활엽수 도관보다 더 작았고, 가도관 길이는 *A. cadamba*와 *F. rhynchophylla*의 도관들 보다 더 길었다.

3.2. 침투 깊이

3.2.1. 축방향 침투 깊이

축방향의 물질이동은 공관을 통해 끝과 끝이 연결되어있는 도관을 통해서 이루어지고, 길이가 3 mm 이하의 도관에서는 물질이동이 방해 없이 지속될 수 있다. 그러나 활엽수의 방사유조직의 내강에 형성되는 수지나 충전 물질들의 존재는 활엽수의 투과성을 억제한다.

축방향 침투는 목섬유보다 도관이 중요하다. 도관의 배열은 끝에서 끝으로 다른 도관들에 연결된 비어있는 관과 같아서 흐름에 장애를 주는 구조를 가진 목섬유와 비교된다. 축방향 흐름은 도관의 직경과 관련이 있고, 목섬유는 끝이 막혀있어서 용액 침투가 어렵지만 때로는 목섬유가 도관보다 많은 용액을 투과시키는 경우가 있다. 목섬유는 활엽수 목재 세포 중 구성 비율이 높아 도관 못지않게 중요한 것으로 여겨진다. 도관과 비교하여 두꺼운 세포벽과 비교적 작은 벽공으로 불균일하게 분포한 목섬유는 용액의 투과가 이루어지지 않을 수 있다. 방사방향 침투는 방사유세포내강의 직경과 길이, 말단벽벽공의 수와 직경에 관련이 있다. 축방향과 방사방향의 투과성 차이는 수종과 세포에 따라 다르다. 침엽수와 활엽수 액체 침투 깊이의 차이가 있었다(Table 2). 축방향가도관은 더 높게 침투되었고, *A. cadamba* 도관의 액체 침투 깊이는 *F. rhynchophylla* 대도관보다 1.78배 높았고, 소도관보다는 1.1배 높았으며, 같은 *A. cadamba*의 목섬유보다 1.97배 높았고, *F. rhynchophylla* 목섬유보다는 2.28배 높았다. *M. glyptostroboides* 축방향가도관은 *F. rhynchophylla* 목섬유보다 1.8배 더 길었고, *A. cadamba*의 목섬유보다 2배 길었다. *M. glyptostroboides*의 가도관의 세포길이가 더 길기 때문에 침투 깊이는 *A. cadamba*과 *F. rhynchophylla* 목섬유보다 더 높았다. *A. cadamba* 목섬유의 액체 침투 깊이는 *F. rhynchophylla*의 것보다 더 높았고, *A. cadamba* 도관도 *F. rhynchophylla* 소도관이나 대도관보다 더 높게 침투되었다. Table 2는 가도관, 도관 및 목섬유의 축방향 침투를 나타낸 것으로서 *M. glyptostroboides* 가도관은 세 수종들 중 액체 침투율이 가장 높았다. 세포의 길이가 있기 때문에 *M. glyptostroboides* 축방향가도관은 활엽수종의 목섬유보다 침투율이 더 높았다. *A. cadamba* 도관과 목섬유는 *F. rhynchophylla* 도관과 목섬유보다 더 침투되었다. 그러나 이 결과는 이전의 결과들과는 반대였다(Smith et al. 1996). 본 실험의 결과는 짧은 시간 동안의 액체처리를 고려해야 될 것이다(Ahmed and Chun 2009). 공기 핵심부 압력과 목재 속 압력이 점점 분출되느냐에 따라 색전

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

Species	Cell	0.334 sec	0.667 sec	1.067 sec	1.401 sec
<i>M. glyptostrobooides</i>	Tracheid	419.83	479.95	644.08	744.51 (\pm 216.79)
<i>A. cadamba</i>	Vessel	270.76	423.73	550.38	691.52 (\pm 233.06)
	Fiber	188.41	221.17	295.59	350.67 (\pm 52.69)
<i>F. rhynchophylla</i>	Large Vessel	236.01	295.10	327.73	387.39 (\pm 154.59)
	Small Vessel	204.42	331.74	482.01	628.15 (\pm 248.72)
	Fiber	187.55	242.11	279.22	303.33 (\pm 129.26)

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

Table 3. Horizontal Capillary Flow Late in Different Species (μm)

Species	0.334 sec	6.071 sec	11.741 sec	17.412 sec
<i>M. glyptostrobooides</i>	100.90	220.44	310.19	330.43 (\pm 89.04)
<i>A. cadamba</i>	86.10	219.73	235.11	243.53 (\pm 39.05)
<i>F. rhynchophylla</i>	52.27	141.85	158.26	163.85 (\pm 45.91)

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

증의 전개는 용액에서 가스를 분출시키는 역할을 한다. 진공 하의 현상 등에서도 이와 같이 역의 현상이 나타나고 있다고 언급하고 있다(Bolton and Petty 1978). 위에서 언급한 다양한 방법의 액체 취급 방식이 본 논문에서는 적용되지 않았고, 유량의 변화는 각기 다른 세포 유형 속에서 일정하지 않았다. 침투 깊이는 모든 목재 세포의 모든 유형에서 시간이 지남에 따라 서서히 감소되었다.

3.2.1. 방사방향 침투 깊이

방사유조직 내강의 직경과 길이는 침투 깊이의 중요한 역할을 할 수 있다. 모세관압력은 넓은 세포내강과 비교하여 좁은 세포내강이 더 높다고 보고되었다. 방사유세포의 해부학적 특성을 비교하면 액체 침투의 차이를 분명하다. 말단벽벽공이 적고, 방사유세포의 길이가 짧으면 특별한 저항이 없이도 액체 흐름에 방해가 될 수 있다. 방사유세포는 모세관의 끝과 끝이 서로 연결된다. 이것은 방사유세포의 변이 때문이다. 침투수에서 방사유세포는 길고 벽공구는 넓다(Ahmed et al. 2006). 함침을 하면 방사단면의 액체 흐름이 중요한 통로로써 역할을 한다고 주장했다(Wardrop and Davies 1961; Banks 1970). 측백나무의 방사유세포가 흐

름의 통로로서 중요한 역할을 한다(Keith and Chauret 1988; Trenard and Gueneau 1984). 방사조직의 가장 바깥쪽 터널에 위치한 방사유세포는 종종 함침 시 중요한 액체 수송 경로 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Liese and Bauch 1967; Erickson and Balatinecz 1964). 본 실험에서는 활엽수 방사유세포가 더 낮은 통도성을 갖는 이유를 알고자 했다. 방사유세포를 통한 액체의 이동은 말단벽에 의해 방해된다. 말단벽벽공의 수가 많고 직경이 크다면, 방사방향의 흐름은 말단벽벽공이 작은 수종보다 더 쉬워질 것이다. 말단벽벽공 뿐만 아니라 다른 세포와 인접한 측벽의 벽공도 방사방향의 통도 역할을 한다. 방사유세포벽공의 배열은 방사방향에서의 효율적인 액체 흐름을 가능케 한다. 이것은 방사유세포가 측면으로의 통도를 위한 중요한 역할을 하는 이유이다. 비록 같은 수종에서의 말단벽벽공의 수, 직경 및 길이는 성숙재와 미성숙재, 조재와 만재에 따라 다르다. 접촉각이나 메니스커스각은 목재의 액체침투의 인자 중에 하나이다. 액체와 세포벽 사이의 메니스커스각($\theta < 90^\circ$)이 낮으면, 물질이동은 빨라진다. 그러나 침투 속도는 액체의 표면장력뿐만 아니라 목재 세포벽의 상호작용에 영향을 받는다. 침투수와 활엽수에

서의 차이는 유세포 차이의 원인이 된다. 폴리페놀은 벽공과 방사유세포벽에 있다. 방사유세포의 평균 액체 침투 깊이는 *M. glyptostrobooides*이 *A. cadamba*와 *F. rhynchophylla*보다 침투도가 높았다. 방사유세포 길이도 *M. glyptostrobooides*이 *A. cadamba*와 *F. rhynchophylla*보다 길었고, 방사유세포의 직경은 *M. glyptostrobooides*이 *A. cadamba*와 *F. rhynchophylla*보다 작게 나타났다. 이러한 해부학적 인 결과 일적인 유체역학 이론과 불일치하였다. 그것은 일반 유체역학에서 언급하는 유관의 직경의 크기뿐만 아니라 설명할 수 없는 생물체이므로 여러 가지 인자를 고려해야 한다. 즉, 세포의 길이, 말단벽의 수와 직경이 그러하다. 축방향 흐름은 도관의 높은 전도성 때문에 횡방향의 흐름보다 높았다(Lihra et al. 2000). 활엽수에서 방사방향 유량은 *A. cadamba*의 방사유세포의 길이가 길어 *F. rhynchophylla* 방사유세포보다 높게 나타났다. 액체 흐름 깊이의 상당한 차이점이 두 가지 활엽수의 방사유세포에서 관찰되었다. 방사단면 흐름은 방사유조직을 통해 독립적으로 발생하고, 방사조직의 구조나 다른 해부학적 특징들은 이런 방향으로 침투를 결정하는 가장 중요한 요인이 될 수 있다. 도관 내부의 벽공벽과 목섬유-목섬유 벽공벽이 유세포 사이의 벽공벽보다 두꺼워서 액체 흐름에 덜 효과적이라는 것을 보여주었다(Wheeler 1982).

4. 결 론

해부학적 특징은 축방향과 방사방향 액체침투에 영향을 주었다. 본 논문에서는 액체 침투에 영향을 미치는 미세구조들을 조사 비교하였다. 모세관압력과 관련된 세포의 구조와 모양의 크기 변화가 세 수종간의 액체 투과성에 두드러진 차이를 보이는 가장 중요했다. 목재의 세포들은 마치 작은 모세관과 같이 액체의 메니스커스각을 형성했다. 실험 결과는 다음과 같다.

1. 축방향가도관은 더 높게 침투되었고, *A. cadamba* 도관의 액체 침투 깊이는 *F. rhynchophylla* 대도관보다 1.78배 높았고, 소도관보다는 1.1배 높았으며, 같은 *A. cadamba*의 목섬유보다 1.97배 높았

고, *F. rhynchophylla* 목섬유보다는 2.28배 높았다.

2. *M. glyptostrobooides*의 가도관의 세포길이가 더 길기 때문에 침투 깊이는 *A. cadamba*과 *F. rhynchophylla* 목섬유보다 더 높았다.

3. *A. cadamba* 목섬유의 액체 침투 깊이는 *F. rhynchophylla*의 것보다 더 높았고, *A. cadamba* 도관도 *F. rhynchophylla* 소도관이나 대도관보다 더 높게 침투되었다.

4. *M. glyptostrobooides* 가도관은 세 수종들 중 액체 침투율이 가장 높았다.

5. 방사유세포의 평균 액체 침투 깊이는 *M. glyptostrobooides*, *A. cadamba*, *F. rhynchophylla* 순으로 침투도가 높았다.

6. 활엽수에서 방사방향 유량은 *A. cadamba*의 방사유세포의 길이가 길어 *F. rhynchophylla* 방사유세포보다 높게 나타났다.

사 사

2017년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음.

참 고 문 헌

- 전수경. 2015. 은행나무, 감나무, 가중나무 세포내강의 액체이동. 한국가구학회지 Vol. 26. No. 2: 179-185.
- Ahmed, S. A., S. H. Chong, S. K. Chun, and B. S. Park. 2006. Ray parenchyma and ray tracheid structure of four Korean pine wood species. J Korea Furniture Society 17(4): 101-107.
- Ahmed, S. A. and S. K. Chun. 2009. Observation of liquid permeability related to anatomical characteristics in Samaneasaman. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 33(2): 155-163.
- Banks, W. B. 1970. Some factors affecting the permeability of Scots pine and Norway spruce. Journal of Wood Science .5: 10-17.
- Bolton, A. J. 1988. A re-examination of some deviations from Darcy's Law in coniferous wood. Wood Science and Technology 22: 311-322.
- Bolton, A. J. and J. A. Petty. 1978. A model describing axial flow of liquid through conifer wood.

- Wood Science and Technology 12: 37-48.
- Erickson, H. D. (1970) Permeability of southern pine wood-A review. *Journal of Wood Science* 2(3): 149-158.
- Erickson, H. D. and J. J. Balatinecz. 1964. Liquid flow paths into wood using polymerization techniques: Douglas-fir and styrene. *Forest Products Journal* 14: 293-299.
- Flynn, K. A. (1995) A review of the permeability, fluid flow, and anatomy of spruce (*Picea* spp.). *Wood and Fiber Science* 27: 278-284.
- Fujii, T., S. J. Lee, N. Kuroda, and Y. Suzuki. 2001. Conductive function of intervessel pits through a growth ring boundary of *Machilus thunbergii*. *IAWA Journal* 22(1): 1-14.
- Hansmann, C., W. Gindl, R. Wimmer, and A. Teischinger. 2002. Permeability of wood: A review. *Wood Research* 47: 1-16.
- Keith, C. T. and G. Chauret. 1988. Anatomical studies of CCA penetration associated with conventional (tooth) and with micro (needle) incising. *Wood and Fiber Science* 20: 197-208.
- Liese, W. and J. Bauch. 1967. On anatomical causes of the refractory behaviour of spruce and Douglas fir. *Journal of Wood Science* 19: 3-14.
- Lihra, T., A. Cloutier, and S. Y. Zhang. 2000. Longitudinal and transverse permeability of Balsam fir wetwood and normal heartwood. *Wood and Fiber Science* 32(2): 164-178.
- Leal, S., V. B. Sousa, and H. Pereira. 2007. Radial variation of vessel size and distribution in cork oak wood (*Quercus suber* L.) *Wood Science and Technology* 41: 339-350.
- Olsson, T., M. Megnis, J. Varna, and H. Lindberg. 2001. Study of the transverse liquid flow paths in pine and spruce using scanning electron microscopy. *Journal of Wood Science* 47: 282-288.
- Owoyemi, J. M. and J. O. Kayode. 2008. Effect of incision on preservative capacity of *Gmelina arborea* wood. *Biotechnology* 7: 351-353.
- Petty, J. A. 1970. Permeability and structure of the wood of Sitka spruce. *Proceedings of the Royal Society of London B* 175: 149-166.
- Wardrop, A. B. and G. W. Davies. 1961. Morphological factors relating to the penetration of liquids into wood. *Holzforschung* 15: 130-141.
- Watanabe, U., Y. Imamura, and I. Iida. 1998. Liquid penetration of precompressed wood VI: Anatomical characterization of pit fractures. *Journal of Wood Science* 44: 158-162.
- Wheeler, E. A. 1982. Ultrastructural characteristics of red maple (*Acer rubrum* L.) wood. *Wood Fiber* 14(1): 43-53.