

樹木의 水分特性에 관한 生理·生態學的 解析(XI)

- 落葉 閨葉樹 21種의 分枝部의 水分通導性 比較^{*1} -

韓相燮² · 金善惠² · 李明鐘²

Ecophysiological Interpretations on the Water Relations Parameters of Trees(XI)

The Comparison of Hydraulic Conductivity of Branch Junctions in Twenty-one Deciduous Broad-Leaved Species^{*1}

Sang Sup Han², Sun Hee Kim² and Myong Jong Yi²

要 約

이 연구는 우리나라 主要 落葉 閨葉樹 21種에 대하여 分枝部(branch junctions)의 相對水分通導性(relative conductivity, RC), leaf specific conductivity(LSC), Huber value(HV), specific conductivity(SC) 등의 水分通導性(hydraulic conductivity, HC), 그리고 邊材部의 平均 導管直徑(μm)과 導管數(No./mm^2) 등을 測定하여 分枝部의 水分通導 特性과 通導組織 特性을 樹種 別로 比較하였다. 分枝部의 水分通導性은 分枝角이 클수록, 또한 分枝된 가지의 直徑이 작을수록 현저히 감소하였으며, 分枝型(↑, Y, ψ型)에 따른 分枝部의 水分通導性은 Y型보다는 ↑型과 ψ型의 分枝部에서 더 작아졌다. 分枝部에 있어서 導管直徑과 導管數는 分枝型이나 分枝角 등의 分枝形態에 따라 값의 차이가 있으나 인접한 줄기와 가지에 비하여 현저히 작았다.

ABSTRACT

This study was performed to compare the characteristics of hydraulic conductivity such as relative conductivity(RC), leaf specific conductivity(LSC), Huber value(HV), specific conductivity(SC), and diameter of vessels(μm) and number of vessels(No./mm^2) in branch junctions of the twenty-one deciduous broad-leaved species. The hydraulic conductivities of branch junctions decreased with increasing junction angle between stem and branch, and with decreasing diameter of branch. The RC and LSC of branch junctions related to branching types(↑, Y, ψ type) were much lower in ↑ and ψ types than in Y type. The diameter and number of vessels remarkably reduced in branch junctions as compared with the stem and branch.

Key words : branch junctions, hydraulic conductivity(HC), relative conductivity(RC), leaf specific conductivity(LSC), Huber value(HV), specific conductivity(SC), twenty-one deciduous broad-leaved species.

¹ 接受 1998年 2月 17日 Received on Feb. 17, 1998.

² 江原大學校 山林科學大學 林學科 Department of Forestry, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

* 本研究는 1996年度 韓國學術振興財團 自由公募課題 研究費 支援에 의하여 이루어진 것임(과제번호 : 01G0021).

緒 論

樹木의 生長에 중요한 물은 뿌리로 흡수되어 木部組織의 導管이나 假導管을 통하여 葉까지 수송되며, 이러한 水分移動에는 뿌리-줄기-가지-잎의 水分通導抵抗이 반드시 발생된다(Hinckley 등, 1978; Running, 1980). 이 水分移動抵抗의 크기는 木部組織의 成長過程에 있어서 年齡, 分枝形態, 細胞의 크기, 填充現象(tylosis), 그리고 空洞現象(cavitation) 등에 따라 달라진다(Zimmermann, 1978; Tyree와 Ewers, 1991). 따라서 각 樹種은 고유한 水分通導性 配置構造(hydraulic architecture)를 이루게 된다(Zimmermann, 1978).

이러한 의미에서 볼 때, 樹木의 分枝部의 水分通導性에 관하여 정확한 정보를 파악한다는 것은 樹體內水分移動의 메카니즘을 이해하는데 있어 중요하다. 특히 樹木은水分移動에 관계하는 木部組織의 構造가 分枝의 形態에 따라 다르기 때문에 分枝部의 水分通導性에 대한 연구는 각 樹種의 水分生理學的特性을 밝히는데 매우 중요하다.

따라서, 이 연구에서는 고로쇠나무 등 우리 나라 主要落葉闊葉樹 21種에 대하여 分枝部의 相

對水分通導性(relative conductivity, RC), leaf specific conductivity(LSC), Huber value(HV), specific conductivity(SC), 그리고 邊材部의 平均 導管直徑(μm) 및 單位面積當 導管數(No./mm^2) 등을 測定하여 樹種 別로 分枝部의 水分通導性과 水分通導組織의 特性을 比較 考察하였다.

材料 및 方法

1. 材 料

실험 재료는 江原大學校 山林科學大學 附屬演習林과 대학 構內林의 天然闊葉樹林를 대상으로 21種의 闊葉樹(고로쇠나무, 복자기, 자작나무, 박달나무, 충충나무, 들메나무, 물푸레나무, 음나무, 다辱나무, 참오동나무, 현사시, 산벚나무, 상수리나무, 갈참나무, 벽갈나무, 신갈나무, 줄참나무, 굴참나무, 피나무, 느릅나무, 느티나무)를 각각 5본씩 선발, 총 105본을 사용했다. 단, 들메나무, 느티나무와 자작나무의 경우는 造林地에서 실험목을 선정하여 사용하였으며, 참오동나무는 인가 부근에 식재된 것을 사용하였다. 또한 실험목은 胸高直徑을 기준으로 하여 선발하였으며, 闊葉樹 21種의 실험목에 대한 樹高, 胸高直徑과 樹齡을 Table 1에 나타냈다.

Table 1. The descriptions of sample trees.

Species	Height(m)	DBH(cm)	Age(year)
<i>Acer mono</i>	6.5~11.8	5.0~9.0	27~41
<i>A. triflorum</i>	6.4~6.8	5.4~8.1	17~26
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	6.2~8.4	5.3~6.2	19
<i>B. schmidtii</i>	11.7~11.8	6.4~9.9	26~28
<i>Cornus controversa</i>	10.0~11.2	6.6~8.4	18~25
<i>Fraxinus mandshurica</i>	5.7~8.6	3.8~6.5	16
<i>F. rhynchophylla</i>	4.7~11.0	3.0~10.0	17~30
<i>Kalopanax pictus</i>	4.9~9.8	4.2~5.8	14~27
<i>Maackia amurensis</i>	9.8~15.0	7.3~13.0	36~43
<i>Paulownia tomentosa</i>	4.0~7.4	4.1~7.6	10~15
<i>Populus alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	7.2~8.9	7.6~9.2	17~20
<i>Prunus sargentii</i>	10.6~11.7	6.8~10.2	31~34
<i>Quercus acutissima</i>	6.0~7.2	6.4~9.0	19~26
<i>Q. aliena</i>	5.7~7.8	6.6~9.8	16~21
<i>Q. dentata</i>	8.9~9.1	7.6~8.5	22~32
<i>Q. mongolica</i>	7.2~9.4	7.0~8.8	21~28
<i>Q. serrata</i>	8.9~11.5	6.7~9.7	19~27
<i>Q. variabilis</i>	6.3~7.3	4.9~6.4	15~18
<i>Tilia amurensis</i>	7.6~10.0	5.8~6.9	29~31
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	7.3~11.9	6.5~11.4	26~32
<i>Zelkova serrata</i>	4.7~6.2	4.0~5.8	17

2. 測定方法

1) 水分通導性 測定을 위한 試料 採取

실험목은 절단 후 蒸散에 따른 貧壓에 의해 切斷部로 공기가 吸入되어 導管이 막히는 현상(embolism)을 막기 위해 이른 아침 地上部 0.2 m 높이에서 줄기를 切斷하였고, 그 즉시 切斷部를 물통에 담아 水分을 계속 공급하였다. 그 후 실험목 각 부위에서 直徑 6cm 이하의 分枝部을 선정하여 30cm 길이로 試料를 잘라 즉시 물에 넣어 실험실로 옮겼으며, 이 때 실험 부위의 上부에 달려 있는 生葉重을 각각 측정하였다.

2) 相對水分通導性 測定

樹木의 木部組織에 있어 물이 얼마나 쉽게 통과하느냐의 크기를 水分通導性(hydraulic conductivity)이라고 하며, 보통 水分通導性의 크기는 試料의 일정한 길이와 橫斷面積을 통과한 水量을 측정 시간으로 나타낸 것이다, 이것을 일반적으로 相對水分通導性(relative conductivity, RC)이라 한다(Heine, 1971; Ikeda와 Suzuki, 1984; 池田, 1984a, b).

RC의 측정에 사용한 分枝部 試料는 일정한 길이(20cm)로 兩斷面을 다시 자르고, 試料의 上부에는 물이 담긴 원통을, 下부에는 진공펌프(ADC, 英國製)에 연결된 감압플라스크를 설치하여 일정한 흡입압력(71596 N·m⁻², 측정기의 흡입력의 크기임)을 주어 일정 시간당 試料를 통과하는 通水量을 측정하여 다음의 (1)식에 의하여 相對水分通導性을 구하였다.

$$RC = \frac{QL\eta}{t \cdot \Delta PA} \quad (1)$$

여기서, RC : 相對水分通導性(m²), L : 切斷試料의 길이(m), Q : 通水量(m³), η : 물의 粘度(N·s·m⁻²), t : 測定時間(s), ΔP : 吸引力(N·m⁻²), A : 切斷試料의 兩橫斷面積의 平均值(m²)이다(Jarvis, 1975).

3) Leaf specific conductivity(LSC) 測定

LSC는 樹木의 水分通導性을 종래의 相對水分通導性과는 다르게 표현한 것으로, 대기의 重力壓의 크기(약 101.3kPa, Zimmermann, 1978)下에서 分枝部의 시간당 通水量을 그 測定部位以上에 달려 있는 生葉重으로 나누어 구하였다((2)式).

$$\begin{aligned} LSC &= \text{通水量}(\mu\ell) / \text{生葉量}(g) / \text{時間} / \text{重力壓} \\ &= \text{Huber value} \times \text{specific conductivity} \end{aligned} \quad (2)$$

(2)식과 같이 LSC는 木部組織의 通水能力을 나타내는 Huber value와 specific conductivity를 곱한 값으로 나타내어진다. Huber value(HV)는 水分通導性을 樹木의 어느 부위의 木部 橫斷面積을 그 이상에 달려 있는 生葉重으로 나누어 水分通導性을 나타낸 값이다(Huber, 1928). 그러나 이 값은 通水能力이 없는 木部(心材)를 고려하지 않고 木部 全體의 橫斷面積으로 水分通導能力을 나타내고 있기 때문에, 心材가 발달한 成熟木이나 최근 年輪層에서도 tylose 현상에 의해 일부 導管이 막힌 環孔材 樹種에서는 水分通導性의 오차가 생길 위험성이 크고, 邊材部 전체가 通水能力이 있는 散孔材 樹種에서만 유용하다(Zimmermann, 1978, 1983; Ewers와 Zimmermann, 1984a, b; Tyree와 Ewers, 1991). 따라서 이 연구에서는 (3)式과 같이 通水橫斷面積을 사용하여 Huber value를 표현하였다. Specific conductivity(SC)는 뿌리로부터 잎까지 水分을 공급하는 줄기의 通水能力을 나타내는 값으로, (4)式과 같이 줄기의 어느 부위를 지나는 通水量을 그 부위의 通水橫斷面積으로 나누어 구하였다.

$$\text{Huber value} = \text{通水橫斷面積}(mm^2) / \text{生葉重}(g) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Specific conductivity} \\ &= \text{通水量}(\mu\ell) / \text{通水橫斷面積}(mm^2) \end{aligned} \quad (4)$$

LSC와 specific conductivity의 通水量은 重力壓下에서 줄기와 가지의 試料에 물은 KCl용액(5mM)을 통과시켜 시간 단위로 측정하였다.

4) 木部組織의 特性 測定

실험목의 分枝部 試料에서 일정한 크기의 블러를 만들어 증류수와 글리세롤 3:1 용액에 넣어 가열 장치로 연화시켰다. 연화된 블러를 마이크로톰(microtome)을 이용하여 15~20μm 두께로 橫斷面切片을 제작하여 1% safranine 용액에 넣어 염색하고, 알콜(50, 70, 90, 99.9%)로 탈수한 후, 100% 알콜과 xylene의 등량혼합액에 1차 침적시키고, 100% xylene에 2차 침적시켰다. 이렇게 준비된 절편을 슬라이드 글라스 위에 놓

고 Canadian balsam액을 1방울 떨어뜨린 후 커버글라스를 덮어 영구 Präparat를 제작하였다. 그 후 광학현미경의 $\times 150$, $\times 60$ 배율로 早材의 接線方向 平均 導管直徑(μm)과 單位面積當 導管數(No./mm^2)를 측정하였다.

結果 및 考察

1. 分枝部의 水分通導性

闊葉樹 21種에 있어서 分枝部(branch junctions)의 水分通導性은 줄기와 가지에 비하여 극히 작은 값을 나타냈으며, 分枝部에 있어서 水分通導性의 감소는 分枝型(↑, Y, △型)과 分枝角 그리고 分枝된 줄기와 가지의 直徑 差異 등 分枝形態에 따라 다르게 나타났다(Fig. 1, Table 2, 3).

落葉性 침나무類 6樹種에 대한 分枝部의 RC값과 LSC값을 Fig. 1에 나타냈다. 침나무類 6樹種에 있어서 分枝部의 水分通導性은 分枝形態(↑, Y, △型)에 따라 다르게 나타났으며, 줄기에 비하여 水分通導能力이 떨어지는 것으로 나타났다.

신갈나무(A), 갈참나무, 줄참나무의 ↑型과 △型 分枝部의 평균 RC값은 줄기 방향의 1/8 이하로 작은 값을 나타냈으며, 평균 LSC값은 줄기 방향의 1/3 이하로 작게 나타나 分枝部의水分通導性 減少가 뚜렷하였다. 특히 갈참나무(B)에 있어서 △型의 RC값은 分枝部가 $5.79 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ 이고 줄기방향이 $4.22 \times 10^{-11} \text{ m}^2$ 로 分枝部가 줄기 방향에 비하여 1/5~1/13 정도의 매우 작은 값을 나타냈으며, LSC값도 줄기 방향의 1/2~1/6 정도로 작았다. 줄참나무의 △型 分枝部 역시 줄기 방향에 비하여 평균 1/9~1/12 정도의 극히 작은 RC값을 나타냈으며, LSC값은 줄기 방향의 1/2 정도로 감소의 폭이 적었다(Fig. 1).

또한 Fig. 1에서 보는 바와 같이, 신갈나무(B)와 굽참나무(A, B)의 分枝部는 줄기와 가지의 구분없이 두 개의 줄기로 나뉘어진 전형적인 Y型의 分枝形態로 양측의 RC값과 LSC값의 차이가 거의 없거나 또는 평균 1.5배 이하의 적은 차이를 나타냈다. 반면, 상수리나무와 떡갈나무의 경우처럼 줄기와 가지가 뚜렷하게 구분되는 Y型의 分枝形態에서는 줄기 방향의 RC값이 가지 방향의 3~4배, LSC값이 2배 정도로 크게 나타났다. 전형적인 Y型 分枝部의 경우, 줄기 방

향과 가지 방향 모두 水分移動에 있어서 分枝部를 공유하기 때문에 양측의 水分通導性은 차이가 없거나 그 차이가 적었다(Tyree와 Ewers, 1991).

散孔材 樹種과 環孔材 樹種의 分枝部에 있어서 分枝角, 分枝型(↑, Y, △型), 그리고 分枝된 줄기와 가지의 平均直徑에 따른 RC, LSC, HV와 SC을 비교하여 Table 2, 3에 나타냈다.

Table 2와 3에 나타낸 바와 같이, 環孔材 樹種과 散孔材 樹種의 分枝部에 있어서 水分通導性은 SC값을 제외한 RC값, LSC값, HV 모두 分枝部에서 급격히 감소하여, 줄기 방향에 비하여 작은 값을 나타냈다.

分枝部에 있어서 水分通導性은 環孔材 樹種과 散孔材 樹種에서 비슷한 경향을 보였다. ↑型과 △型의 分枝形態에서는 分枝角이 클수록 分枝部의水分通導性이 줄기 방향에 비하여 작게 나타났다. 특히 環孔材 樹種의 경우, 分枝角이 60° 이상인 分枝部의水分通導性는 극히 작은 값을 나타내는 경향을 보여, 分枝部의 RC값은 줄기 방향의 1/86~1/23 정도로 불과하였으며, 分枝部의 LSC값은 줄기 방향의 1/4~1/2 정도로 작은 값을 나타내 分枝部에 있어서水分通導能力은 줄기 방향에 비하여 크게 떨어지는 것으로 나타났다.

散孔材 樹種인 복자기와 현사시의 경우도 61°와 72°의 큰 分枝角을 이루는 分枝部의水分通導性은 줄기 방향의 1/8 정도로 작게 나타났다. 반면, 피나무의 ↑型 分枝部에 있어서는 70°의 큰 分枝角을 이루고 있음에도 불구하고 RC값이 1/3 정도, LSC값이 1/2정도로水分通導性의 減少가 다른 樹種에 비하여 작았다(Table 3). 이러한 결과로 보아 피나무는 分枝部의水分通導能力이 다른 散孔材 樹種에 비하여 우수한 것으로 사료된다.

이러한 分枝部에 있어서水分通導性의 경향은 分枝型이나 分枝角 뿐만 아니라 分枝된 줄기와 가지의 直徑에도 영향을 받았다. 들메나무의 ↑型 分枝部은 40°의 비교적 작은 分枝角을 이루었으나 分枝된 가지의 直徑이 줄기의 1/3로 작아서 分枝部의 RC값은 $7.93 \times 10^{-14} \text{ m}^2$ 로 줄기방향($2.04 \times 10^{-12} \text{ m}^2$)의 1/26이고, LSC값은 $18.56 \mu\text{l/g}$ 로 줄기방향($5.47 \mu\text{l/g}$)의 1/4로 작은 값을 나타냈다(Table 2).

들메나무와 같이 40°의 작은 分枝角을 이루는 산벚나무의 ↑型 分枝部의 경우, 分枝된 줄기와

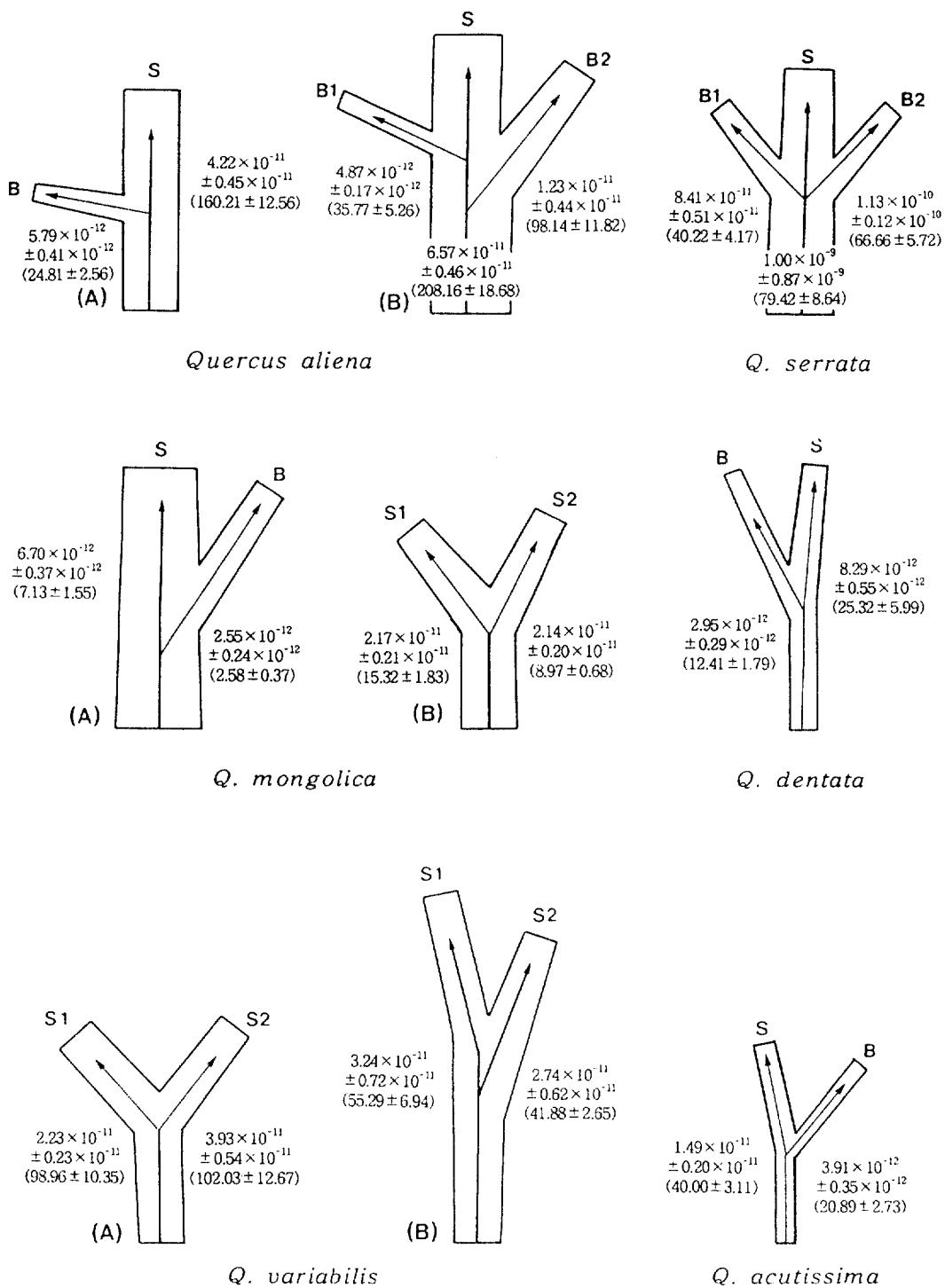


Fig. 1. Relative conductivity and leaf specific conductivity(in parenthesis) in the branch junctions of six oak species.
※ ± : standard error

Table 2. Comparison of relative conductivity(RC), leaf specific conductivity(LSC), Huber value(HV), and specific conductivity(SC) of the branch junctions in ring-porous species.

Species	Branch type	JA (°)	Components	Mean diameter(cm)	RC(m ⁻²)	LSC(μl/m ²)	HV(mm ² /g)	SC(μl/mm ²)
<i>Fraxinus mandshurica</i>	† 40	Stem	5.74	2.04 × 10 ⁻¹² ± 0.96 × 10 ⁻¹²	18.56 ± 2.03	0.99	19.02 ± 3.10	
		Branch	1.76	7.93 × 10 ⁻¹⁴ + 0.25 × 10 ⁻¹⁴	5.47 ± 0.68	0.34	14.54 ± 0.11	
	Y 76	Stem(36)	3.10	5.90 × 10 ⁻¹² ± 0.17 × 10 ⁻¹²	23.85 ± 1.63	0.86	34.67 ± 2.38	
		Stem(240)	2.58	3.51 × 10 ⁻¹² ± 0.11 × 10 ⁻¹²	19.82 ± 2.33	0.69	29.02 ± 2.71	
<i>F. rhynchophylla</i>	† 32	Stem	4.15	4.44 × 10 ⁻¹³ ± 0.76 × 10 ⁻¹³	13.53 ± 2.52	1.21	11.19 ± 0.89	
		Branch	3.10	2.94 × 10 ⁻¹³ ± 0.15 × 10 ⁻¹³	6.50 ± 1.36	2.85	5.86 ± 1.44	
	Ψ 34	Stem	1.45	1.41 × 10 ⁻¹³ + 0.15 × 10 ⁻¹³	10.37 ± 1.44	2.06	12.50 ± 0.74	
	Ψ 65	Branch	1.75	4.40 × 10 ⁻¹³ ± 0.76 × 10 ⁻¹³	21.71 ± 2.56	2.20	10.52 ± 0.62	
<i>Kalopanax pictus</i>	† 63	Stem	4.77	5.01 × 10 ⁻¹² ± 0.12 × 10 ⁻¹²	58.57 ± 2.96	1.12	52.22 ± 2.64	
		Branch	3.59	2.23 × 10 ⁻¹³ + 0.06 × 10 ⁻¹³	33.07 ± 4.73	0.79	41.63 ± 0.60	
	Ψ 54	Stem	2.35	9.88 × 10 ⁻¹³ ± 0.15 × 10 ⁻¹³	50.46 ± 2.97	1.39	35.75 ± 2.46	
	Ψ 60	Branch	3.06	3.24 × 10 ⁻¹² ± 0.30 × 10 ⁻¹²	53.01 ± 2.29	2.23	24.12 ± 1.34	
<i>Maackia amurensis</i>	† 49	Stem	4.00	3.42 × 10 ⁻¹¹ ± 0.18 × 10 ⁻¹¹	134.18 ± 13.79	0.37	365.45 ± 37.53	
		Branch	3.59	1.41 × 10 ⁻¹¹ + 0.07 × 10 ⁻¹¹	127.55 ± 13.76	0.64	199.86 ± 21.56	
	Y 65	Stem(30)	2.12	3.60 × 10 ⁻¹² ± 0.56 × 10 ⁻¹²	19.12 ± 1.29	0.67	28.65 ± 1.93	
		Stem(235)	1.98	2.26 × 10 ⁻¹² + 0.34 × 10 ⁻¹²	10.95 ± 0.65	0.64	17.12 ± 1.01	
<i>Paulownia tomentosa</i>	† 50	Stem	5.94	6.80 × 10 ⁻¹² ± 0.37 × 10 ⁻¹²	230.61 ± 34.46	0.63	366.13 ± 54.72	
		Branch	4.14	1.55 × 10 ⁻¹² + 0.03 × 10 ⁻¹²	123.33 ± 17.84	3.39	36.36 ± 5.26	
	Ψ 23	Stem	4.44	3.71 × 10 ⁻¹² ± 0.06 × 10 ⁻¹²	96.73 ± 14.82	1.38	70.19 ± 10.74	
	Ψ 55	Branch	3.56	1.72 × 10 ⁻¹² ± 0.02 × 10 ⁻¹²	120.54 ± 17.80	1.28	94.39 ± 13.94	
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	45	Branch	2.86	2.57 × 10 ⁻¹³ ± 0.21 × 10 ⁻¹³	4.17 ± 0.72	0.86	4.83 ± 0.83	
	66	Stem	2.86	1.88 × 10 ⁻¹² ± 0.16 × 10 ⁻¹²	5.41 ± 0.59	4.46	1.21 ± 0.13	
<i>Zelkova serrata</i>	32	Branch	2.34	1.96 × 10 ⁻¹⁴ + 0.01 × 10 ⁻¹⁴	1.48 ± 0.36	0.62	2.39 ± 0.58	
	58	Stem	3.47	1.82 × 10 ⁻¹² ± 0.08 × 10 ⁻¹²	79.98 ± 2.89	4.86	16.08 ± 2.60	
		Branch	2.54	2.46 × 10 ⁻¹³ ± 0.20 × 10 ⁻¹³	20.00 ± 0.93	1.09	18.04 ± 0.33	

* JA : junction angle of branching, + : standard error

Table 3. Comparison of relative conductivity(RC), leaf specific conductivity(LSC), Huber value(HV), and specific conductivity(SC) of the branch junctions in diffuse-porous species.

Species	Branch type	JA (°)	Components	Mean diameter(cm)	RC(m ²)	LSC(μm ⁻²)	HV(mm ² /g)	SC(μm/mm ²)
<i>Acer mono</i>	† 45	Stem	4.85	$1.23 \times 10^{-12} + 0.06 \times 10^{-12}$	12.83 ± 2.22	2.12	7.96 ± 1.05	
		Branch	3.75	$4.21 \times 10^{-13} + 0.24 \times 10^{-13}$	9.58 ± 1.05	1.16	6.05 ± 0.90	
	Y 56	Stem1(28)	3.15	$4.32 \times 10^{-13} + 0.15 \times 10^{-13}$	14.73 ± 2.02	1.28	11.77 ± 1.59	
		Stem2(28)	2.85	$5.15 \times 10^{-13} + 0.31 \times 10^{-13}$	16.99 ± 2.22	1.99	16.99 ± 2.22	
<i>A. triflorum</i>	44	Branch1	4.55	$3.18 \times 10^{-14} + 0.31 \times 10^{-14}$	0.46 ± 0.04	1.04	7.91 ± 1.12	
		Stem	5.31	$1.27 \times 10^{-13} + 0.16 \times 10^{-13}$	0.64 ± 0.03	1.73	0.44 ± 0.01	
	61	Branch2	4.18	$1.60 \times 10^{-14} + 0.71 \times 10^{-14}$	0.07 ± 0.01	0.95	0.37 ± 0.01	
		Stem(35)	2.55	$2.67 \times 10^{-12} + 0.05 \times 10^{-12}$	445.12 ± 64.37	1.86	0.07 ± 0.01	
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	Y 50	Branch(15)	1.91	$4.34 \times 10^{-12} + 0.03 \times 10^{-12}$	624.95 ± 88.63	2.72	229.94 ± 34.69	
		Stem(9)	1.60	$4.18 \times 10^{-12} + 0.24 \times 10^{-12}$	214.37 ± 31.04	1.53	240.49 ± 34.69	
	Y 56	Branch(47)	1.18	$9.54 \times 10^{-13} + 0.05 \times 10^{-13}$	80.75 ± 12.11	2.74	140.08 ± 20.30	
		Stem	4.45	$2.83 \times 10^{-12} + 0.08 \times 10^{-12}$	289.91 ± 15.54	3.72	30.21 ± 4.41	
<i>B. schmidtii</i>	† 48	Branch	3.96	$1.98 \times 10^{-12} + 0.04 \times 10^{-12}$	146.74 ± 8.03	1.39	78.27 ± 4.18	
		Branch1(25)	2.51	$2.56 \times 10^{-12} + 0.02 \times 10^{-12}$	286.25 ± 22.49	2.02	104.99 ± 5.76	
		Branch2(25)	2.33	$2.38 \times 10^{-12} + 0.10 \times 10^{-12}$	209.60 ± 15.65	1.29	141.26 ± 11.14	
		Stem	2.39	$5.38 \times 10^{-11} + 0.87 \times 10^{-11}$	269.30 ± 10.25	4.41	163.21 ± 12.15	
<i>Cornus controversa</i>	40	Branch1	2.19	$2.34 \times 10^{-11} + 0.38 \times 10^{-11}$	172.07 ± 13.80	3.40	61.08 ± 9.06	
	55	Branch2	2.04	$2.31 \times 10^{-11} + 0.37 \times 10^{-11}$	72.26 ± 29.24	0.79	51.26 ± 6.49	
	62	Branch3	1.93	$1.78 \times 10^{-11} + 0.29 \times 10^{-11}$	86.42 ± 47.75	2.13	40.33 ± 5.83	
		Stem	2.28	$5.97 \times 10^{-13} + 0.43 \times 10^{-13}$	28.79 ± 1.55	0.77	38.09 ± 3.80	
<i>Populus alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	† 72	Branch	2.28	$7.26 \times 10^{-14} + 0.57 \times 10^{-14}$	3.19 ± 0.30	0.71	4.11 ± 0.21	
		Branch1	2.02	$6.55 \times 10^{-13} + 0.31 \times 10^{-13}$	29.14 ± 1.55	1.81	11.23 ± 2.16	
	40	Stem	2.28	$1.48 \times 10^{-12} + 0.06 \times 10^{-12}$	72.00 ± 8.00	6.41	16.08 ± 1.25	
	54	Branch2	1.80	$3.70 \times 10^{-13} + 0.10 \times 10^{-13}$	27.05 ± 1.86	0.86	31.34 ± 0.86	
<i>Prunus sargentii</i>	† 40	Stem	4.74	$2.23 \times 10^{-12} + 0.10 \times 10^{-12}$	54.12 ± 6.53	1.12	48.29 ± 5.83	
		Branch	3.54	$2.82 \times 10^{-13} + 0.08 \times 10^{-13}$	41.54 ± 5.58	0.76	55.05 ± 0.74	
		Stem	3.41	$7.61 \times 10^{-12} + 0.12 \times 10^{-12}$	271.42 ± 31.46	3.54	76.71 ± 8.89	
	70	Branch	2.83	$2.76 \times 10^{-12} + 0.02 \times 10^{-12}$	155.37 ± 20.56	0.91	170.13 ± 22.52	

* JA : junction angle of branching, + : standard error

가지의 直徑이 각각 4.74cm, 3.54cm로 차이가 크지 않음에도 불구하고 分枝部의 RC값이 줄기 방향의 1/8배로 작은 값을 나타냈다(Table 3). 또한 여러 갈래의 分枝形態를 이루는 총총나무의 경우도, 分枝部의 水分通導性은 보통 分枝角이 클수록 또 分枝된 가지의 直徑이 작을수록 감소하는 경향을 보였다. 이처럼 Table 3에 나타낸 총총나무의 分枝部의 RC값과 LSC값은 分枝角의 정도와 分枝된 줄기와 가지의 直徑 등 복합된 요인의 영향을 받은 것으로 사료된다.

한편 두 개의 줄기로 나뉘어지는 Y型 分枝部의 경우는 ト型과 山型에 비하여 分枝角이水分通導性에 큰 영향을 미치지 않았다. 들메나무와 다릅나무의 Y型 分枝部은 각각 65°, 76°의 큰 각을 이루었으나, 양측 分枝의 RC값과 LSC값이 평균 1.6배의 작은 차이를 나타냈을 뿐이다(Table 2). 散孔材 樹種인 고로쇠나무와 박달나무의 전형적인 Y型 分枝部에서도 양측의 RC값과 LSC값이 평균 1.1배로 거의 차이가 없었다. 반면, 자작나무의 Y型 分枝部처럼 줄기와 가지의 구분이 뚜렷하거나 ト型에 가까운 경우는 양측 分枝의 RC값의 차이가 1.6~4.4배, LSC의 차이가 1.4~2.6배로 나타났다(Table 3).

Table 2와 3에 나타낸 것처럼 間葉樹 21種의 分枝部의水分通導性은 대부분 分枝角이 클수록, 또한 分枝된 가지의 直徑이 작을수록 급격히 감소하였으며, 分枝型에 따른 分枝部의水分通導性은 Y型보다는 ト型이나 山型에서 크게 감소되었다.

이러한 分枝部에 있어서 줄기 방향과의水分通導性의 차이는 形態學的 差異뿐만 아니라 근본적으로 木部組織의 特性에 의한 영향이 크다고 할 수 있다. 池田(1984a, 1988)에 의하면, 특히 分枝部는 木部組織의 壓縮으로 인하여 導管直徑이 작고, 單位面積當 導管數도 적기 때문에 이를 지나는 가지 방향의水分通導性은 감소한다고 하였다.

2. 分枝部의 導管要要素 特性

分枝部에 있어서 導管直徑(μm)과 單位面積當 導管數($\text{No.}/\text{mm}^2$)는 分枝型(ト, Y, 山型)이나 分枝角 등의 分枝形態에 따라 값의 차이는 있으나 分枝部에서 현저히 감소하여 그 상하부의 줄기와 가지보다 극히 작았다. Fig. 2에는 分枝部에 있어서 平均 導管直徑과 單位面積當 導管數를 나타

냈다. 散孔材 樹種인 자작나무와 산벚나무의 ト型 分枝部에 있어서 導管直徑은 27.53 μm 과 28.44 μm 로 줄기의 導管直徑에 비하여 1/2에 불과하였으며, 導管數 역시 줄기에 비하여 1/2로 작았다.

環孔材 樹種의 경우, ト型의 分枝部에 있어서 分枝角이 클수록 導管直徑과 導管數의 감소가 심한 것으로 나타났다. 分枝角이 33°인 다릅나무의 ト型 分枝部에 있어서 導管直徑은 124.66 μm 으로 줄기(130.26 μm)의 96%로 큰 감소가 없었으나, 分枝角이 각각 63°, 78°인 음나무와 갈참나무의 ト型 分枝部에 있어서는 導管直徑이 70.57 μm 와 13.51 μm 로 줄기의 1/2과 1/4로의 감소를 보였으며, 이러한 木部組織의 特性으로 인하여, 실제 分枝部의 RC값은 음나무가 $2.28 \times 10^{-13}\text{m}^2$ 이고 줄기 방향이 $5.01 \times 10^{-12}\text{m}^2$ 이며, 갈참나무가 分枝部의 RC값이 $5.79 \times 10^{-12}\text{m}^2$ 이고 줄기 방향이 $4.22 \times 10^{-11}\text{m}^2$ 으로 줄기 방향보다 分枝部의 RC값이 극히 작게 나타났다(Fig. 3, Table 2).

또한 참오동나무의 山型 分枝部은 각각 23°와 55°의 分枝角을 이루는 兩側 分枝는 分枝角이 큰 分枝部에서 導管直徑과 導管數가 더 감소하였다. 이에 따라 兩側의 分枝部에서 23°側의 RC값은 $3.71 \times 10^{-12}\text{m}^2$, LSC값이 $96.73\mu\text{l/g}$ 이고, 55°側의 RC값은 $1.72 \times 10^{-12}\text{m}^2$, LSC값이 $87.69\mu\text{l/g}$ 로 分枝角이 큰 쪽의水分通導性이 더 작았다. 또한 兩側 分枝部 모두 줄기의 RC값($4.84 \times 10^{-12}\text{m}^2$)과 LSC값($120.54\mu\text{l/g}$)보다 작은 값을 나타냈다(Fig. 2, Table 2).

이처럼 環孔材 樹種에 있어서 ト型과 山型의 分枝部에서는 分枝角이 커짐에 따라水分通導性이 급격히 감소하는 경향을 나타냈는데, 이는 分枝部에 있어서 導管直徑의 壓縮과 導管數의 減少 등 木材解剖學의 要素의 變化에 영향을 받은 것으로 사료된다(Ikeda와 Suzaki, 1984a).

총총나무와 현사시나무의 山型 分枝部에서도 導管直徑과 導管數가 감소하였으며, 특히 총총나무의 山型 分枝部의 경우 兩側 分枝部의 導管直徑은 34.42 μm 과 37.51 μm 로 줄기(67.68 μm , 66.98 μm)보다 감소하였으나, 兩側 分枝部의 導管數는 28개와 31개로 줄기(26, 30개)와 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 2). 이러한 총총나무의 木材組織의 特性은 다른 樹種에 비하여 分枝部에 있어 우수한水分通導ability을 갖게 하는 큰 요인이라고 생각된다(Fig. 1, Table 3).

피나무의 Y型 分枝部에서는 導管直徑이 29.49 μm

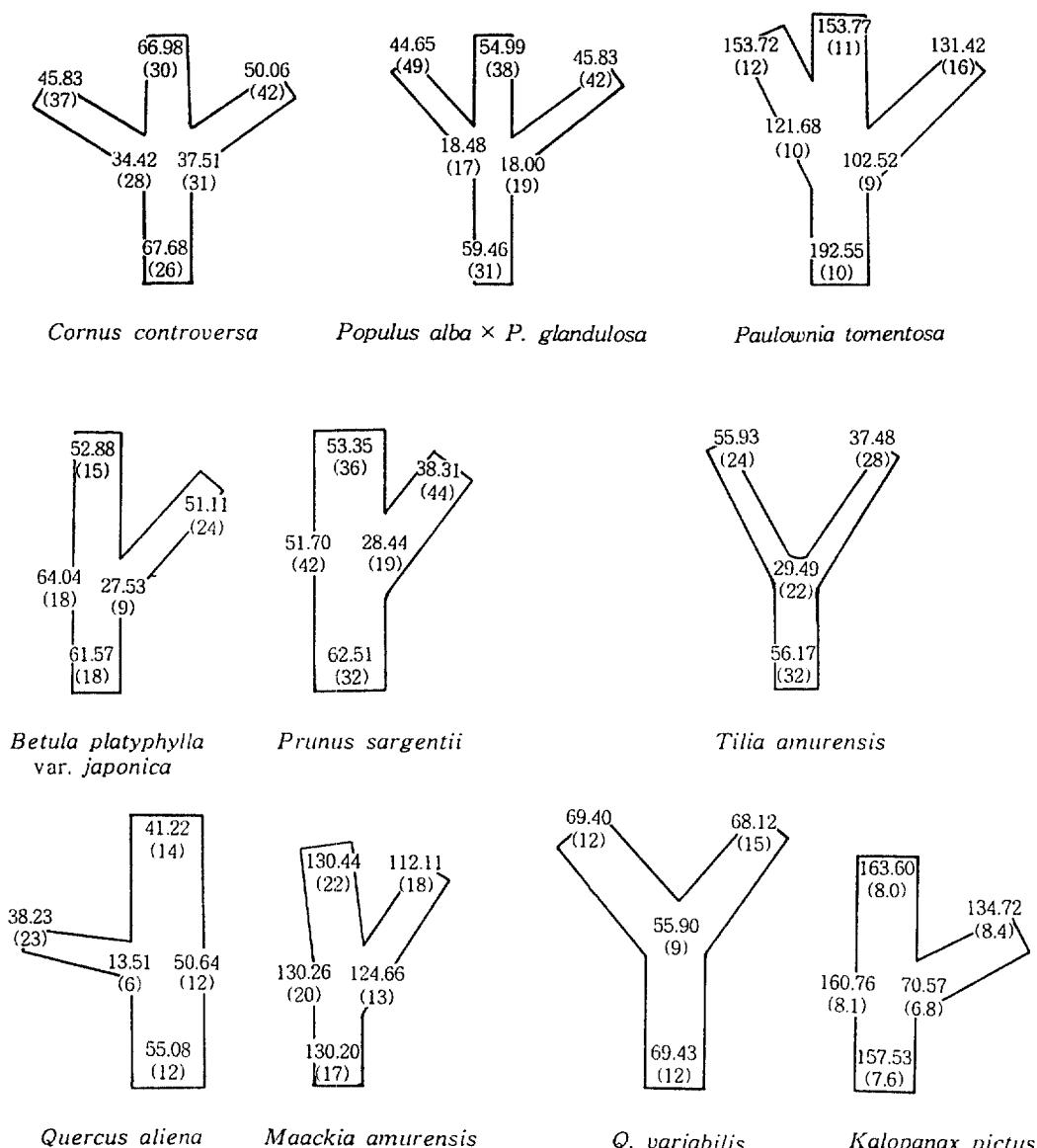


Fig. 2. Mean diameter(μm) and number of vessels(No./ mm^2 , in parenthesis) of the earlywood in the stem, branch and the branch junction.

로 줄기의 1/2 정도로 감소하였고, 導管數도 32개에서 22개로 크게 감소한 반면, 굴참나무의 Y型 分枝部에서는 導管直徑과 導管數의 감소폭이 적었다.

Ewers와 Zimmermann(1984b)에 의하면, *Tsuga canadensis*의 分枝部에 있어서 가지 방향의 LSC값과 Huber value은 줄기 방향의 1/5~1/2 정도로 작았다고 하였으며, 이것은 줄기와 가지

의 接合部分의 假導管 直徑이 1/2 정도로 압축된 결과였다고 하였다. 또한, Ikeda와 Suzuki(1984a)는 느티나무(*Zelkova serrata*)에서 分枝形態에 따라 分枝部의 水分通導性 크기가 다양하게 나타났으며, 줄기와 가지의 接合部分은 導管直徑이 작고 單位面積當 導管數도 적어 가장 작은 水分通導性을 보였다고 한다.

引用文獻

1. 韓相燮·金宣惠. 1996a. 樹木의 水分特性에
關한 生理·生態學的 解析(VIII). 신갈나무의
水分通導性 構造. 韓林誌. 85(1) : 120-129
2. 池田 武文. 1984a. 樹木木部の水分通導性. 北
方林業. 36 : 278-281
3. 池田 武文. 1984b. 樹木の萎凋ならびに枯死
と木部の水分通導性との關係. 北方林業36 :
327-330
4. Ewers, F.W. and M.H. Zimmermann. 1984a.
The hydraulic architecture of balsam fir(*Abies
balsamea*). *Physiol. Plant.* 60 : 453-458
5. Ewers, F.W. and M.H. Zimmermann. 1984b.
The hydraulic architecture of eastern hemlock
(*Tsuga canadensis*). *Can. J. Bot.* 62 : 940-
946
6. Heine, R.W. 1971. Hydraulic conductivity
in trees. *J. Exp. Bot.* 22 : 503-511
7. Hinckley, T.M., J.P. Lassoie, and S.W.
Running. 1978. Temporal and spatial varia-
tions in the water status of forest trees.
For. Sci. Monograph 20 : 1-72
8. Huber, B. 1928. Weitere quantitative Unter-
suchungen über das Wasserleitungs system
der Pflanzen. *Jahrb. Wiss. Bot.* 67 : 877-959
9. Ikeda, T. and T. Suzuki. 1984a. Distribu-
tion of xylem resistance to water flow in
stems and branches of hardwood species. *J.
Jpn. For. Soc.* 66 : 229-236
10. Jarvis, P.G. 1975. Water transfer in plants.
In : de Vries DA, van Alfen NK, eds. *Heat
and mass transfer in the biosphere*. Washing-
ton, DC : Scripta Book Co., 369-394
11. Running, S.W. 1980. Field estimates of root
and xylem resistances in *Pinus contorta* using
root excision. *J. Exp. Bot.* 31 : 555-569
12. Tyree, M.T. and F.W. Ewers. 1991. The
hydraulic architecture of trees and other
woody plants. *New Phytologist* 119 : 345-360.
13. Zimmermann, M.H. 1978. Hydraulic archi-
tecture of some diffuse-porous trees. *Can. J.
Bot.* 56 : 2286-2295
14. Zimmermann, M.H. 1983. *Xylem Structure
and the Ascent of Sap*. Springer-Verlag,
Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
143pp.