

## 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 - \*<sup>1</sup>

韓相燮<sup>2</sup> · 金宣憲<sup>2</sup>

## Ecophysiological Interpretations on the Water Relations Parameters of Trees(VIII)

The Hydraulic Architecture of *Quercus mongolica*\*<sup>1</sup>

Sang Sup Han<sup>2</sup> and Sun Hee Kim<sup>2</sup>

### 要 約

본 연구는 우리 나라 대표적인 향토수종의 하나인 신갈나무의 수분 생리적 특성을 밝히고자 하는 일련의 연구로서, 줄기, 가지, 분지부분, 그리고 정단부 1년생 소지에 있어서 상대수분통도성, Leaf specific conductivity(LSC), Huber value, Specific conductivity, 부위별 평균도관직경, 단위면적당 도관수 등을 측정하여 수체내 수분통도성의 공간적 배치구조(Hydraulic architecture)를 비교·고찰하였다.

1. 신갈나무의 상대수분통도성은 줄기에서  $2.5526 \times 10^{-12} \sim 1.2260 \times 10^{-10} \text{m}^2$ , 가지에서  $1.6279 \times 10^{-11} \sim 6.8378 \times 10^{-11} \text{m}^2$ 의 범위로 나타났다. 상대수분통도성은 줄기와 가지의 직경이 작아질수록 큰 값을 나타냈다. 정단부 1년생 소지에 있어서는 주지가 측지보다 평균 2배 이상 큰 값을 나타냈다.
2. LSC는 줄기 하부에서 작은 값을 나타냈고, 상부로 갈수록 큰 값을 나타냈다. 그리고 줄기가 가지보다 월등히 큰 값을 보였으며, 분지부분이 가장 작은 값을 나타냈다.
3. 분지부분의 수분통도성값은 분지형태(I형과 Y형)에 따라 차이를 보였다. I형의 분지부분에서는 상대수분통도성, LSC, Specific conductivity, 평균도관직경 등이 줄기가 가지보다 2배 이상 큰 값을 나타냈고, Y형에서는 1~1.5배 더 컸다.
4. 줄기의 LSC, Specific conductivity, Huber value는 직경이 작아질수록 증가하였다.
5. 정단부 1년생 소지에 있어서 LSC, Huber value, 평균도관직경은 주지가 측지보다 큰 값을 나타냈다.
6. 줄기의 부위별 평균도관직경은 줄기의 직경이 작아질수록 감소한 반면, 단위면적당 도관수( $\text{mm}^{-2}$ )는 많아졌다. 줄기에 있어서 도관직경은 직경이 작아질수록 조재부에서 급격하게, 만재부에서는 완만하게 감소하였다.

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the hydraulic architecture such as relative hydraulic conductivity, Leaf specific conductivity(LSC), Huber value, Specific conductivity of the stem, branch

<sup>1</sup> 接受 1995年 11月 24日 Received on November 24, 1995.

<sup>2</sup> 江原大學校 林科大學 林學科 Department of Forestry, College of Forestry, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

\* 本 研究는 1994年度 韓國科學財團 核心專門研究課題 研究費 支援에 의하여 이루어진 것임(과제번호 : 941-0600-013-2).

and junctions of stem-to-branch in *Quercus mongolica* trees. The hydraulic architecture of various hydraulic conductivities of stem and branch was described. The results obtained were summarized as follows :

1. The range of relative hydraulic conductivity was  $2.5526 \times 10^{-12}$  to  $1.2260 \times 10^{-10} \text{m}^2$  in stems,  $1.6279 \times 10^{-11}$  to  $6.8378 \times 10^{-11} \text{m}^2$  in branches. The relative hydraulic conductivities increased with decreasing diameter of stem and branch. The relative hydraulic conductivity of one-year-old terminal shoots were two times greater than that of the lateral shoots.
2. LSC value was larger at the top than at the base in stem. LSC is much smaller in branches than in stem ; especially smallest at branching part.
3. Hydraulic conductivities of the branching part appeared the different values with the  $\downarrow$  type and Y type. Relative hydraulic conductivity, LSC, Specific conductivity and mean vessel diameter in  $\downarrow$  type branching part were larger in stem than in branch part, but not found in the branching part of Y type.
4. LSC and Specific conductivity of stem increased with decreasing diameter, but Huber value slowly increased with decreasing diameter ; especially highest at less than 1cm diameter.
5. LSC, Huber value, and mean diameter of vessels were larger at 1-year-old leader shoots than at lateral shoots.
6. The mean vessel diameter in various parts of a tree decreased with decreasing diameter of stem, but the number of vessels per unit area( $\text{mm}^2$ ) increased reversely. Mean vessel diameter in stem decreased sharply at earlywood and slowly at latewood with decreasing diameter of stem.

*Key words* : Relative hydraulic conductivity, LSC(Leaf specific conductivity), Huber value, Specific conductivity, Hydraulic architecture, *Quercus mongolica*

## I. 緒 論

수목의 생장에 필요한 물은 뿌리의 根毛로부터 흡수되어 木部組織(도관 또는 가도관)을 통하여 葉까지, 그리고 葉의 蒸散에 의해 대기로 수송된다. 따라서 삼림내의 수분이동은 SPAC(soil-plant-atmosphere continuum) 環境을 통해 일어난다.

이러한 수분이동의 기본적인 원리와 메커니즘은 草本이나 木本에 있어서 같다고 볼 수 있다. 그러나 초본의 경우 수분이동에 대한 식물체의 저항이 작고, 식물체 전 저항에서 차지하는 일과 뿌리의 저항 비율이 크다. 그러나 목본식물의 경우는 지상부 목부조직의 수분통도성 저항이 전체의 50% 또는 그 이상에 달하기 때문에 수목의 수분이동은 줄기의 수분통도저항에 따라서 큰 영향을 받는다(Landsberg 등, 1976 ; Roberts, 1977, 1978 ; Running, 1980). 따라서 수목의 줄기와 가지의 수분통도성에 대해 정확히 파악하는 것은 수목의 수분이동과 삼림전체의 수분동태를 파악하는데 매우 중요하다. 특히 수목은 수분이동에

관계하는 목부의 조직구조도 수종별로 매우 다르기 때문에 수분통도성에 대한 연구는 각 수종의 수분생리적 특성을 밝히는데 더욱 중요하다.

임목에 있어 수분이동의 메커니즘에 관한 최근 연구는 수목의 수분통도원리를 동일한 저항성과 통도성이 요구된다고 인식하면서 시작되었으며(Jaccard, 1913), 수목의 수분통도성에 관한 연구는 Farmer(1918)에 의해 수분통도성이 상대수분통도성값으로 나타내어지면서 시작되었다. Huber(1928)는 수분통도성을 수목의 어느 부위의 횡단면적을 그 이상에 달려 있는 생엽중으로 나눈 값 즉, Huber value로 나타냈다. 이러한 수분통도성에 관한 연구는 Heine(1971), Ikeda와 Suzaki(1984, 1986), 池田武文(1984) 등에 의해 꾸준히 수행되었다. 특히 Zimmermann(1978)은 Hydraulic architecture란 용어를 처음으로 사용하였으며, 최근 수종별로 수목의 각 부분별 수분통도성의 구조를 밝힌 연구가 많이 이루어지고 있다(Ewers와 Zimmermann, 1984a, b, ; Tyree 등, 1983, 1991).

본 연구는 우리 나라 주요 향토수종의 하나인 신갈나무의 수분이동 특성을 밝히고, 목부조직내

의 수분통도저항의 크기를 밝히고자 하는 연구로서, 신갈나무의 줄기, 가지, 분지부분과 정단부 1년생 소지 등 여러 부위에 있어서의 상대수분통도성, Leaf specific conductivity(LSC), Huber value, Specific conductivity 등 수분통도성의 분포를 명확히 하고, 수체내 수분통도성의 공간적 배치구조(Hydraulic architecture), 그리고 각 부위별 평균도관직경과 단위면적당 도관수를 측정하여 수분통도성과의 관계를 규명하고자 한다.

II. 材料 및 方法

1. 測定材料

본 연구의 실험재료는 강원대학교 구내림에 10~15, 20~30년생 신갈나무 천연림을 대상으로 5본의 실험목을 크기별로 선정하여 줄기, 가지, 분지부분과 정단부 1년생소지 등 여러 부위의 시료를 채취하여 사용하였다. 각 실험목의 수고, 흉고직경과 연령을 Table 1에 나타냈다.

2. 測定方法

1) 수분통도성 측정을 위한 시료채취

신갈나무 실험목은 절단 후 증산에 의한 貧壓에 의해 절단부로 공기가 흡입되어 도관이 막히는 현상(embolisms)을 막기 위해 이른 아침 地際部를 절단하였고, 그 즉시 절단부를 물이 담긴 수조나 비닐백에 담아 수분을 계속 공급하였다. 그 후 자른 시료목을 넓은 공터로 옮겨 줄기, 가지, 분지부분과 정단부 1년생소지 등 실험할 부위를 선정하여 꼬리표를 달고 전체적인 스케치를 하였다. 측정 시료 채취는 각 부위별로 30cm 길이로 잘라 즉시 물에 담가 실험실로 옮겼다. 이때 각 부위의 상부에 달려 있는 모든 잎의 무게를 측정하였다.

2) 상대수분통도성 측정

樹木의 木部組織에 있어 물이 얼마나 쉽게 통과하느냐의 크기를 水分通導性(hydraulic conductivity)이라고 한다. 보통 水分通導性의 크기는 相對水分通導性(Relative hydraulic conductivity)으로 나타낸다(Heine, 1971; Ikeda와 Suzuki, 1984; 池田武文, 1984).

상대수분통도성을 Fig. 1과 같은 장치를 사용하여 측정하였다. 시료는 일정한 길이(9~20cm)로 양단면을 다시 자르고, 시료의 상부에는 물이

Table 1. The characteristics of sample trees.

Sample	Height (m)	DBH (cm)	Age (year)
1	4.2	4.2	12
2	5.9	5.8	15
3	9.7	7.9	22
4	13.5	10.3	26
5	17.2	14.5	28

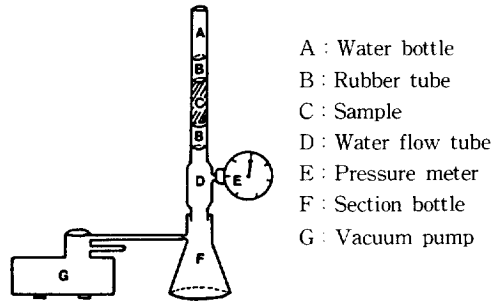


Fig. 1. An apparatus for measuring the relative hydraulic conductivity.

담길 원통을, 하부에는 진공펌프에 연결된 감압 플라스크를 설치하여 일정한 압력을 주어 일정시간당 시료를 통과하는 통수량을 측정하여 다음의 (1)식에 의하여 상대수분통도성 계수 K를 구하였다.

$$K = \frac{QL\eta}{t \cdot \Delta PA} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, K: 相對水分通導性(m<sup>2</sup>), L: 切斷試料의 길이(m), Q: 吸引에 의해 흘러나온 물의 量(m<sup>3</sup>), η: 물의 粘度(1006×10<sup>-6</sup> N·s·m<sup>-2</sup>), t: 測定時間(s), ΔP: 吸引力(71596 N·m<sup>-2</sup>), A: 切斷試料의 兩橫斷面積의 平均值(m<sup>2</sup>)이다.

3) LSC(Leaf specific conductivity)

LSC는 수목의 水分通導性을 종래의 相對水分通導性과는 다르게 표현한 것으로, 重力壓(10.13 kPa·m<sup>-1</sup>)下에서 樹木의 어떤 部位의 時間 당 通水量을 그 測定部位 以上에 달려 있는 全生葉 重으로 나눈 값이다.

$$LSC = \text{木部通水量}(\mu\text{l}) / \text{生葉量}(\text{g}) / \text{時間} / \text{重力壓} \\ = \text{Huber value} \times \text{Specific conductivity} \dots\dots (2)$$

여기서, Huber value는 나무의 줄기나 가지의

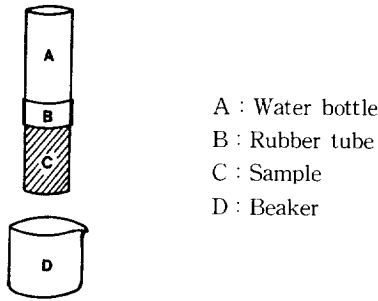


Fig. 2. The apparatus for measuring the amount of water flow through the sample.

Table 2. Relative hydraulic conductivity of stem, branch and stem-to-branch junction of a 15-year-old tree(Tree 2).

	Relative hydraulic conductivity K(m <sup>2</sup> )	Mean diameter (cm)	Height (m)
Stem	2.5526 × 10 <sup>-12</sup>	7.45	0.3
	3.1387 × 10 <sup>-11</sup>	4.00	2.1
	3.6273 × 10 <sup>-11</sup>	3.24	3.0
	2.0871 × 10 <sup>-11</sup>	1.98	3.5
	4.2122 × 10 <sup>-11</sup>	1.87	4.1
	7.7697 × 10 <sup>-11</sup>	1.65	4.5
	1.2260 × 10 <sup>-10</sup>	1.02	4.8
	2.2031 × 10 <sup>-13</sup>	0.52	5.4
Branch	1.6279 × 10 <sup>-11</sup>	2.08	1.4
	2.1062 × 10 <sup>-11</sup>	1.67	1.8
	4.6924 × 10 <sup>-11</sup>	1.41	2.3
Stem-to-branch junction	3.9098 × 10 <sup>-11</sup>	1.79	3.6
	4.2573 × 10 <sup>-11</sup>	1.43	4.0
	6.8378 × 10 <sup>-11</sup>	0.82	4.5
Stem-to-branch junction	2.5462 × 10 <sup>-12</sup>	1.07	1.2

어떤 부위의 通水橫斷面積(mm<sup>2</sup>)을 그 부위 이상에 달려있는 全生葉重量(g)으로 나눈 값이고, Specific conductivity는 어떤 부위의 木部通水量(μℓ)을 그 부위의 通水橫斷面積(mm<sup>2</sup>)으로 나눈 값이다.

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

$$\text{Specific conductivity}$$

$$= \frac{\text{木部通水量}(\mu\ell)}{\text{通水橫斷面積}(mm^2)} \dots (4)$$

LSC와 Specific conductivity의 목부통수량은

Fig. 2와 같은 장치를 설치하여 중력하에서 줄기와 가지의 시료에 얹은 KCl용액(5mM)을 통과시켜 시간단위로 측정했다.

4) 도관직경 측정

각 시료에서 일정한 크기의 블록을 만들어 증류수와 글리세롤 3:1용액에 넣어 가열장치로 가열하여 연화시켰다. 연화된 시료블록을 마이크로톰(microtome)을 이용하여 15~20 μm 두께로 절편을 제작하여 1% Safranin 용액에 넣어 염색하고, 알콜(50, 70, 90, 99.9%)로 탈수한 후, 100% 알콜과 Xylene의 등량혼합액에 1차 침적시키고, 100% Xylene에 2차 침적시켰다. 이렇게 마련된 절편을 슬라이드글라스 위에 놓고 수분을 약간 제거한 후에 Canadian balsam액을 1방울 떨어뜨린 후 커버글라스를 덮고 고정시켰다. 절편이 슬라이드 글라스 위에 고정되면 전자현미경으로 10×15, 4×15배율로 확대하여 조제와 만재의 평균도관직경과 단위면적당 도관수를 각각 구하였다.

III. 結果 및 考察

1. 상대수분통도성

신갈나무 줄기와 가지의 직경별 수분통도성의 크기를 상대수분통도성값으로 나타냈다(Table 5). 신갈나무의 상대수분통도성은 줄기에서 2.5526 × 10<sup>-12</sup>~1.2260 × 10<sup>-10</sup>m<sup>2</sup>, 가지에서 1.6279 × 10<sup>-11</sup>~6.8378 × 10<sup>-11</sup>m<sup>2</sup>의 범위로 나타났다. 줄기와 가지의 분지부분에서 2.5462 × 10<sup>-12</sup>m<sup>2</sup>으로 작은 값을 나타냈다. 또한 줄기의 정단부 1년생 소지에서는 2.2031 × 10<sup>-13</sup>m<sup>2</sup>으로 매우 작은 값을 나타내었다.

직경별 상대수분통도성의 경향은 줄기와 가지의 직경이 작아질수록 큰 값을 나타냈다. 또 줄기는 가지보다 월등히 큰 값을 나타냈으며, 분지부분에 있어서 가장 작은 값을 나타냈다. 가지에 있어서는 상부의 가지가 하부의 것보다 큰 값을 나타내었다. 이러한 결과는 수체의 상부로 갈수록 수분통도저항이 작아짐을 의미하며, 상부의 엽이 하부의 엽과 경쟁하여 수분을 얻을 수 있게 하는 이유라고 사료된다.

Ikeda와 Suzaki(1984)에 의하면 증가시나무(Quercus glauca)의 상대수분통도성은 줄기에서 6.39 × 10<sup>-12</sup>~1.06 × 10<sup>-11</sup>m<sup>2</sup>, 가지에서 4.17 × 10<sup>-12</sup>

~ $5.14 \times 10^{-12} \text{m}^2$ 의 범위를 나타냈으며 그 경향은 줄기가 가지보다 큰 값을 갖고, 줄기의 상부가 하부보다 큰 값을 갖는다고 하며, 같은 참나무라도 상수리나무(*Q. acutissima*)에서는 줄기의 상부가 하부보다 약간 작은 값을 갖는다고 한다. 몇몇 침엽수종에 있어서 줄기의 상대수분통도성 값은 상부로 갈수록 증가하였다고 한다(Booker와 Kininmonth, 1978).

이것은 목부의 하부가 단위면적당 도관수가 적고, 기계적인 강도를 담당하고 있는 목부 유세포가 증가하여 상대수분통도성이 작기 때문이다(Ikeda와 Suzaki, 1984; 池田武文, 1984).

또한, 실험목 3본의 정단부 1년생 소지에 있어 상대수분통도성을 Table 3에 나타내었다. 정단부의 상대수분통도성은 실험목 3본 모두 주지가 양측지보다 1.5~4배 정도 컸다. 이러한 결과는 수목의 정단주지가 정아우세와 같은 水力的 優勢(hydraulic dominance)를 갖는 것으로 생각된다(Ewers와 Zimmermann, 1984a).

2. LSC(Leaf specific conductivity)

LSC는 수분통도성을 다르게 나타낸 것으로, 1g이 수분을 줄기 또는 가지를 통해 빨아올릴 수 있는 능력을 뜻한다. 이는 수목의 다른 부분으로 물과 양분을 전달하는 목부조직의 상대적인 능력을 의미하며, 목부조직의 통수능력을 나타내는 Huber value와 Specific conductivity를 곱한 값으로 나타내진다(전술한 (2)식).

따라서 수체의 각 부위의 LSC를 나타내면 樹

Table 3. Relative hydraulic conductivity of the 1-year-old stem at the apical part in trees.

Tree No.	Twigs	Relative conductivity K(m <sup>2</sup> )	Mean diameter(cm)
3	L	$2.3066 \times 10^{-11}$	3.06
	AL	$1.1564 \times 10^{-11}$	1.56
	AL	$1.2717 \times 10^{-11}$	1.89
4	L	$2.1556 \times 10^{-11}$	1.98
	AL	$1.6741 \times 10^{-11}$	1.87
	AL	$1.2440 \times 10^{-11}$	1.65
5	L	$2.4286 \times 10^{-11}$	1.02
	L	$3.9770 \times 10^{-11}$	1.87
	AL	$2.0391 \times 10^{-11}$	1.65
	AL	$9.6554 \times 10^{-12}$	1.02

\* L : The leaders, AL : The adjacent laterals.

木의 水分通導성의 空間的 配置構造를 표현할 수 있다(Zimmermann, 1978).

(1) 줄기와 가지의 LSC

줄기와 가지 각 부위별 LSC를 Fig. 3에 나타냈다. LSC는 대기 기압 하에서 측정된 것으로  $3 \sim 107 \mu\text{l/g/hr}/10.13 \text{ kPa} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 범위로 나타났다. 줄기의 LSC는 하부에서 작은 값을 갖으며 상부로 갈수록 큰 값을 나타내었다. 가지도 줄기와 같은 경향을 나타냈으며 상부가지가 하부의 것보다 큰 값을 나타냈다. 또한 LSC는 줄기가 가지보다 큰 값을 나타냈고, 분지부분이 가장 작은 값을 나타냈다.

*Tsuga canadensis*의 LSC 경향은 반대로 줄기의 하부가 상부보다 큰 값을 나타냈다(Ewers와 Zimmermann, 1984b). 몇 종의 산공재 수종에 있어서의 LSC는 포플러류나 자작나무의 경우, 줄기의 상부와 하부가 큰 차이를 나타내지 않았으며, 단풍나무의 경우는 보통 성숙목에서는 상부가 하부보다 큰 값을 나타낸 반면 어린 나무에서는 반대의 결과를 보였다(Zimmermann, 1978).

또한 Ewers와 Zimmermann(1984b)은 나무의 크기가 클수록 LSC가 컸다고 하며, 유사한 직

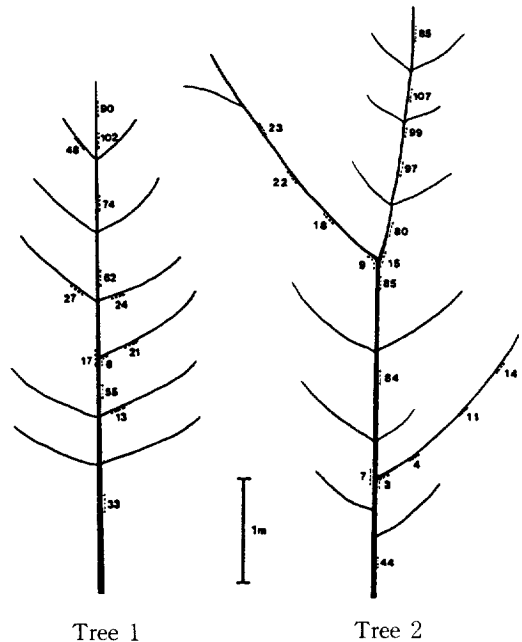


Fig. 3. Leaf specific conductivity(LSC) along the axes of a 12-year-old tree(tree 1) and a 15-year-old tree(tree 2)

경의 줄기와 가지에 있어서 LSC의 차이는 왕성히 자라는 나무(건전목)가 천천히 자라는 나무(불량목)보다 더 크다고 한다(Ewers와 Zimmermann, 1984a).

이러한 수체내 LSC의 차이는 도관 직경을 포함한 목재 해부학적 특성의 기능작용이라 할 수 있다. 특히, 줄기와 가지의 분지부분(nodal area)에 있어서 LSC의 급격한 감소는 흥미있고 중요한 결과이다. 이는 줄기와 가지의 접합부분에 있어 목부조직의 水力的 압축구조에 기인하는 결과라고 사료된다.

(2) 정단부 1년생 소지의 LSC와 Huber value  
실험목 3본의 정단부 1년생 소지의 LSC와 Huber value를 Fig. 4에 나타내었다. LSC는  $17 \sim 101 \mu\text{g/hr}/10.13 \text{ KPa} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 범위를 나타냈고, Huber value는  $0.3 \sim 1.1 \text{ mm}^2/\text{g}$ 의 범위에 있었다. LSC와 Huber value의 경향은 정단주지가 양측지보다 평균 2배에서 5배의 큰 값을 보였다.

강한 정아우세를 보이는 *Abies balsamea*의 경우, 주지의 LSC는 측지보다 최고 17배, Huber value는 최고 19배까지 컸으며, 이러한 주지와 측지의 수분통도성의 차이는 수세가 좋은 나무일수록 더 크다는 것이 밝혀졌다(Ewers와 Zimmermann, 1984a).

(3) 분지부분의 수분통도성

Table 3에는 T형과 Y형의 분지부분에 있어

서의 상대수분통도성, LSC, Huber value와 Specific conductivity를 비교하여 나타냈다.

분지부분의 수분통도성은 분지형에 따라 다르게 나타났다. T형의 접합부분에서는 Huber value를 제외한 모든 값이 줄기부분이 가지부분의 2배 이상 큰 값을 나타낸 반면, Y형의 부분에서의 차이는 1~1.5배 정도로 T형에 비하여 큰 차이가 없었다. 또한 모든 값들이 줄기 하부의 T형보다 상부의 Y형에서 큰 값을 나타냈다.

이러한 분지부분의 수분통도성의 차이는 목재의 해부학적 특성에 의한 결과로서 특히 분지부분의 줄기와 가지의 접합부분은 목부의 水力的 압축으로 인하여 도관의 직경이 작고, 단위면적당 도관수 또한 적기 때문이다(池田武文, 1984).

분지부분에 있어서 평균 도관직경을 Fig. 5에 나타내었다. 줄기와 가지의 접합부분의 도관직경은 그 상하부의 줄기와 가지부분보다 극히 작았다. 또한 분지형에 따라 그 값의 차이가 다르게 나타났다. T형에서는 도관직경의 감소가 1/10 정도로 크게 나타났고, Y형의 경우는 1/3의 감소를 보였다.

*Tsuga canadensis*의 분지부분의 LSC와 Huber value는 2~5배의 차이가 났는데 이 또한 줄기와 가지의 접합부분의 가도관 직경이 1/2 정도로 압축된 결과였다(Ewers와 Zimmermann, 1984b). Ikeda와 Suzaki(1984)에 의하면, 노티나무는 분지형태에 따라 수분통도성의 크기가 다양하게 나

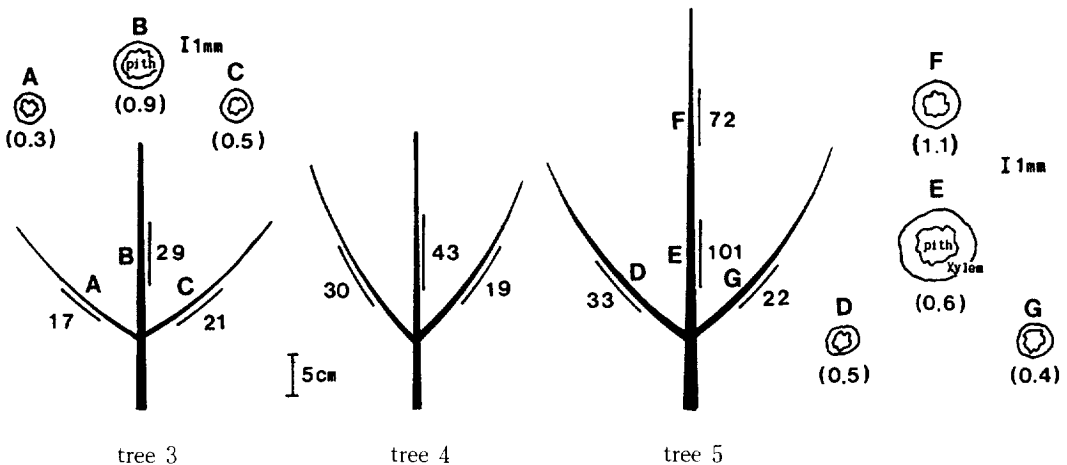
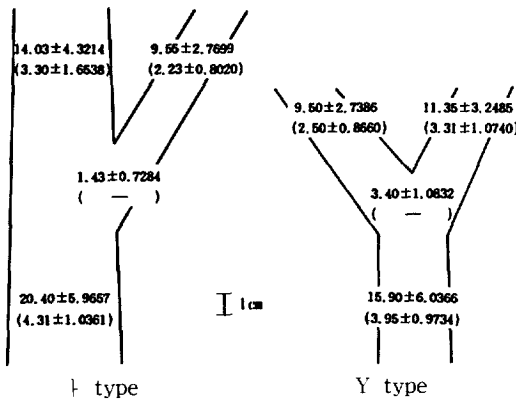


Fig. 4. Huber values(in parenthese) and leaf-specific conductivites(LSC) along the upper axes of three trees. Tree 3 was 9.7m, tree 2 was 13.5m, tree 3 was 17.2m. For tree 3 and tree 5, transverse xylem areas of 1-year-old stem segments are diagrammed(A-C, D-G, respectively).

**Table 4.** Comparison of stem versus branch component of the junction.

Component	Relative hydraulic conductivity $K(m^2)$	LSC ( $\mu l/g$ )	Huber value ( $mm^2/g$ )	Specific conductivity ( $\mu l/mm^2$ )
T type				
Stem part	$6.6950 \times 10^{-12}$	6.51	0.36	18.08
Branch part	$2.5462 \times 10^{-12}$	2.74	0.33	8.30
Stem/branch	2.63	2.38	1.09	2.18
Y type				
Stem part	$2.1706 \times 10^{-11}$	14.69	0.62	23.69
Branch part	$2.1392 \times 10^{-11}$	9.27	0.55	16.85
Stem/branch	1.01	1.58	1.13	1.41



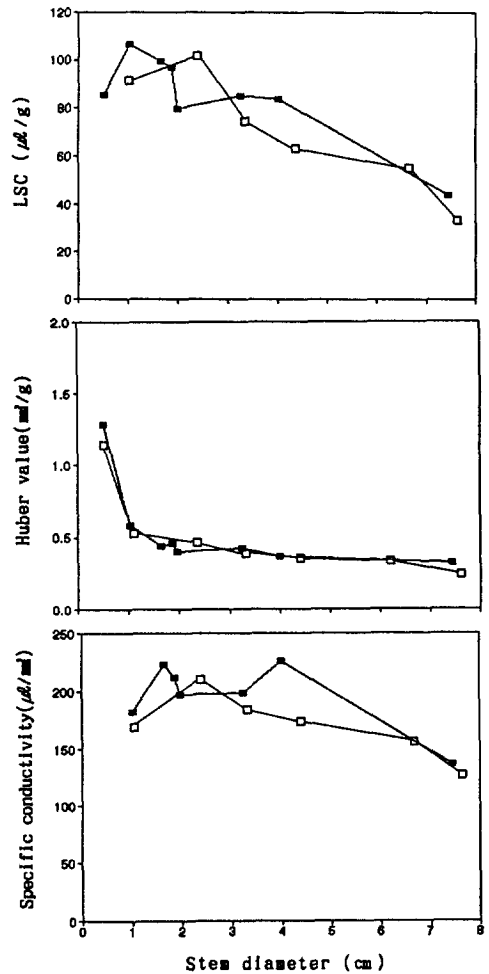
**Fig. 5.** Mean vessel diameter( $\mu m$ ,  $\pm$  standard error) of the early wood(late wood) in the stem, branch and the junction from stem to branch.

타났으며, 줄기와 가지의 접합부분은 도관직경이 작고 단위면적당 도관수도 적어 가장 작은 수분 통도성을 보였다.

(4) 줄기의 직경별 LSC, Huber value, Specific conductivity 경향

줄기에 있어서 LSC, Huber value, Specific conductivity의 직경별 경향을 Fig. 6에 나타내었다. LSC와 Specific conductivity는 줄기의 직경이 작아질수록 값이 증가하였으며, Huber value는 직경이 작아질수록 완만하게 증가하다가 1cm 이하의 직경에서 급격한 증가를 보여 전체적으로 L형을 나타냈다(Fig. 6).

침엽수종인 *Tsuga canadensis*와 *Abies balsamea*의 경우는 줄기의 직경이 작아질수록 LSC와 Specific conductivity가 감소하였고, Huber value는 신갈나무와 같은 경향을 나타냈다(Ewers와



**Fig. 6.** Leaf specific conductivity(LSC), Huber value, and specific conductivity as functions of stem diameter. □-□ : tree 1, ■-■ : tree 2

Zimmermann, 1984a, b).

7. 도관의 형태학적 특성

(1) 줄기와 가지의 도관직경 및 도관수

신갈나무의 평균도관직경은 조재부에서 5.73~129.22 $\mu$ m, 만재부에서 2.96~59.80 $\mu$ m의 범위를 보였으며, 큰 나무일수록 도관직경이 크게 나타

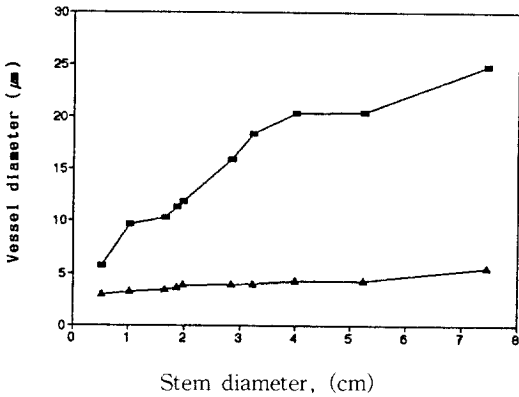


Fig. 7. Stem diameter versus mean vessel diameter for fifty of the widest vessel of earlywood and latewood in a 15-year-old tree.  
 ■-■ : Earlywood vessel,  
 ▲-▲ : Latewood vessel

났다. 줄기에서의 직경별 평균도관직경의 경향을 조재부와 만재부로 나누어 Fig. 7에 나타냈다. 줄기의 직경별 평균도관직경은 줄기의 직경이 작아질수록 작은 값을 나타냈으며, 그 경향은 조재부에서는 급격하게, 만재부에서는 완만하게 작아지는 경향을 나타냈다.

15년생 신갈나무의 줄기와 가지의 평균도관직경과 단위면적당 도관수(mm<sup>2</sup>)를 Table 5에 나타냈다. 평균도관직경은 줄기와 가지의 직경이 작아짐에 따라 작아졌으며, 단위면적당 도관수는 반대로 증가하였다. 또한 줄기의 도관직경이 가지보다 크게 나타났으며, 가지에 있어서는 상부와 하부 사이에 큰 차이없이 비슷한 값을 보였다.

자작나무류나 포플러류의 산공재 수종의 경우도 줄기의 상부로 갈수록 도관의 직경은 작아졌으며(Zimmermann, 1978), *Tsuga canadensis*와 *Abies balsamea*와 같은 침엽수에서도 줄기의 상부가 하부보다 도관직경은 작으나 단위면적당 도관수는 많았다(Ewers와 Zimmermann, 1984a, b). 또한 느티나무의 경우는 줄기상부와 하부의 도관직경의 차이는 거의 없었으나 상부가 하부보다 단위면적당 도관수는 많았다(Ikeda와 Suzuki, 1984).

목부의 해부학적 요소의 차이는 수목의 여러

Table 5. Mean vessel diameter for fifty of the widest vessel and the number of vessels per square millimeter of earlywood in a 15-year-old tree.

	Height (m)	Diameter (cm)	Vessel diameter( $\mu$ m)		Vessel number(mm <sup>2</sup> )	
			Mean	Standard error	Mean	Standard error
Stem	0.3	7.45	24.85	$\pm 4.86$	8.2	$\pm 3.37$
	1.0	5.23	20.40	$\pm 5.97$	9.6	$\pm 2.94$
	2.1	4.00	20.31	$\pm 4.05$	9.3	$\pm 2.52$
	3.0	3.24	18.33	$\pm 3.19$	11.2	$\pm 2.65$
	3.2	2.85	15.90	$\pm 6.04$	12.3	$\pm 3.09$
	3.5	1.98	11.85	$\pm 3.54$	15.7	$\pm 4.12$
	4.1	1.87	11.35	$\pm 2.92$	17.4	$\pm 3.01$
	4.5	1.65	10.25	$\pm 2.70$	20.5	$\pm 3.48$
	4.8	1.02	9.68	$\pm 3.08$	24.9	$\pm 4.41$
	5.2	0.52	5.73	$\pm 0.85$	25.7	$\pm 2.63$
Branch	1.4	2.08	13.10	$\pm 3.34$	15.0	$\pm 3.55$
	1.8	1.67	11.30	$\pm 3.73$	18.9	$\pm 2.67$
	2.3	1.41	10.90	$\pm 3.25$	20.9	$\pm 3.96$
	3.6	1.79	11.30	$\pm 3.21$	19.5	$\pm 2.48$
	4.0	1.43	11.75	$\pm 3.05$	23.0	$\pm 3.21$
	4.5	0.82	10.20	$\pm 2.95$	26.3	$\pm 3.52$
	4.9	0.59	6.40	$\pm 0.83$	30.6	$\pm 3.76$



**Table 6.** Mean vessel diameter for 25 of the widest vessels of the 1-year-old twigs in the apical part.

Tree	Twigs No.	Vessel diameter( $\mu\text{m}$ )			
		Early wood		Late wood	
		Mean	Standard error	Mean	Standard error
3	L	6.26	$\pm 1.01$	3.20	$\pm 0.94$
	AL	5.20	$\pm 0.69$	2.72	$\pm 0.60$
	AL	4.94	$\pm 1.17$	1.86	$\pm 0.46$
4	L	6.60	$\pm 0.92$	2.64	$\pm 0.76$
	AL	6.40	$\pm 1.02$	2.52	$\pm 0.62$
	AL	6.04	$\pm 0.96$	1.88	$\pm 0.67$
5	L	6.19	$\pm 0.66$	2.38	$\pm 0.67$
	L	6.62	$\pm 1.18$	2.60	$\pm 0.55$
	AL	5.32	$\pm 0.79$	2.32	$\pm 0.55$
	AL	5.12	$\pm 0.71$	2.18	$\pm 0.42$

\* L : The leaders, AL : The adjacent laterals.

부위에 있어서 수분이동에 대한 목부저항을 다르게 한다. 따라서 이러한 목부조직의 특성은 수관의 모든 부위에 있는 잎들이 수분에 대해 동등한 기회를 갖게 되는 근본이 된다(Zimmermann, 1978).

#### (2) 정단부 소지의 도관직경

실험목 3본의 정단부 1년생 소지에 있어서 도관직경을 Table 6에 나타냈다. 정단부의 도관직경은 주지가 측지보다 1~1.3배 컸으며, 그 차이는 나무의 크기가 클수록 큰 차이를 나타냈다. 이러한 도관직경의 차이는 주지가 측지보다 큰 수분통도성을 갖는데 직접적으로 영향하는 것으로 사료된다.

#### 參 考 文 獻

- Booker, R.E. and Kininmonth, J.A. 1978. Variation in longitudinal permeability of green radiata pine wood. N.Z.J. For. Sci. 8 : 295-308
- Ewers, F.W. and M.H. Zimmermann. 1984a. The hydraulic architecture of balsam fir(*Abies balsamea*). Physiol. Plant. 60 : 453-458
- Ewers, F.W. and M.H. Zimmermann. 1984b. The hydraulic architecture of eastern hemlock (*Tsuga canadensis*). Can. J. Bot. 62 : 940-946
- Farmer, J.B. 1918. On the quantitative differences in the water-conductivity of the wood in trees and shrubs. Proc. R. Soc. London Ser. B. 90 : 218-250
- Heine, R.W. 1971. Hydraulic conductivity in trees. J. Exp. Bot. 22 : 503-511
- Huber, B. 1928. Weitere quantitative Untersuchungen über das Wasserleitungs system der Pflanzen. Jahrb. Wiss. Bot. 67 : 877-959
- Ikeda, T. and T. Suzaki. 1984. Distribution of xylem resistance to water flow in stems and branches of hardwood species. J. Jpn. For. Soc. 66 : 229-236
- Ikeda, T. and T. Suzaki. 1986. Influence of hydraulic and conductance of xylem on water status in cuttings. Can. J. For. Res. 16 : 98-102
- Jaccard, P. 1913. Eine neue Auffassung über die Ursachen des Dickenwachstums. Naturwiss. Z. Forst. Landwirtsch. 11 : 241-279
- Landsberg, J.J., Blanchard, T.W. and Warrit, B. 1976. Studies on the movement of water through apple trees. J. Exp. Bot. 27 : 579-596
- Roberts, J. 1977. The use of tree-cutting techniques in the study of the water relations of mature *Pinus sylvestris* L.(1) The technique and survey of the results. J. Exp. Bot. 28 : 751-767
- Roberts, J. 1978. The use of tree-cutting

- techniques in the study of the water relations of Norway spruce, *Picea abies* (L.) Karst. J. Exp. Bot. 29 : 465-471
13. Running, S.W. 1980. Field estimates of root and xylem resistances in *Pinus contorta* using root excision. J. Exp. Bot. 31 : 555-569
  14. Tyree, M.T. and M.A. Dixon. 1983. Cavitation events of *Thuja occidentalis* L. Ultrasonic acoustic emission from the sapwood can be measured. Plant Physiol. 72 : 1094-1099
  15. Tyree, M.T., D.A. Snyderman, T.R. Wilmot., and J.L. Machado. 1991. Water relations and hydraulic architecture of a tropical tree (*Schefflera morototoni*). Data, models, and a comparison with two temperate species (*Acer saccharum* and *Thuja occidentalis*). Plant. Physiol. 96 : 1105-1113
  16. Zimmermann, M.H. 1978. Hydraulic architecture of some diffuse-porous trees. Can. J. Bot. 56 : 2286-2295
  17. 池田武文. 1984. 樹木木部の水分通導性. 北方林業, 36 : 278-281
  18. 池田武文. 1984. 樹木の萎凋ならびに枯死と木部の水分通導性との関係. 北方林業 36 : 327-330
  19. 池田武文. 1984. 樹木の水分通導性について. 福岡植物 10 : 197-212