

## 樹木의 水分特性에 關한 生理·生態學的 解析(XII)

- 落葉 闊葉樹 21種의 樹體 部位別 Leaf Specific Conductivity의 特性<sup>1</sup> -  
韓相燮<sup>2</sup> · 金宣惠<sup>2</sup>

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

The Characteristics of Leaf Specific Conductivity in Various Portions  
of the Twenty-one Deciduous Broad-Leaved Species<sup>1</sup>

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

#### 要 約

이 연구는 우리 나라 主要 落葉 闊葉樹 21種에 대하여 줄기, 가지, 分枝部와 頂端部 1년생 主幹과 側枝 등의 leaf specific conductivity(LSC)를 측정하여 水分通導性의 배치구조(hydraulic architecture)를 수종별로 비교하였다. 고로쇠나무, 복자기, 박달나무, 물푸레나무와 느티나무를 제외한 활엽수종의 LSC 값은 줄기가 가지보다 컸으며, 分枝部는 가장 작은 값을 나타냈다. 특히 分枝部에 있어서 LSC값의 급격한 감소는 모든 수종에서 나타난 공통적인 특징이다. 산공재 수종에서는 자작나무, 피나무, 층층나무, 박달나무가 다른 수종에 비하여 높은 LSC를 나타냈으며, 복자기는 가장 낮은 LSC를 나타내는 수종이었다. 환공재 수종에서는 다릅나무, 참오동나무, 갈참나무, 졸참나무의 LSC가 높았으며, 느릅나무가 가장 낮은 LSC를 나타냈다. 복자기, 층층나무, 들메나무, 신갈나무와 느티나무에 있어서 頂端部 1년생 主幹 및 側枝의 LSC값은 주간이 최소  $22\mu\text{l/g}$ , 최대  $139\mu\text{l/g}$  이고, 측지가 최소  $11\mu\text{l/g}$ , 최대  $73\mu\text{l/g}$ 의 범위를 보였으며, 頂端主幹(leaders)이 頂端側枝(adjacent laterals)보다 평균 2배 이상, 최대 5배 정도로 크게 나타나, 정단주간은 정단측지보다 水力的 優勢(hydraulic dominance)를 보였다.

#### ABSTRACT

This study was carried out to compare the characteristics of hydraulic architecture by measurement of leaf specific conductivity(LSC) in the twenty-one deciduous broad-leaved species. The LSC's of stems were higher than in branches except *Acer mono*, *A. triflorum*, *Betula schmidtii*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Zelkova serrata*, and lowest in junction parts as compared with stems and branches. In diffuse-porous species, the LSC was much higher in *B. platyphylla* var. *japonica*, *B. schmidtii*, *Cornus controversa*, *Tilia amurensis* than those of other species and especially lowest in *A. triflorum*. In ring-porous species, the LSC was much higher in *Maackia amurensis*, *Paulownia tomentosa*, *Quercus aliena*, *Q. serrata* than those of other species and lowest in *Ulmus davidiana* var. *japonica*. The LSC's of 1-year-old terminal shoots of stem(the leader and adjacent laterals) in *A. triflorum*, *C. controversa*, *F. mandshurica*, *Q. mongolica* and *Z. serrata* ranged from 22 to  $139\mu\text{l/g}$  in the leaders, and 11 to  $73\mu\text{l/g}$  in the adjacent laterals. The LSC's of leaders were usually greater than the adjacent laterals because of the hydraulic dominance of the leader shoot.

*Key words* : leaf specific conductivity(LSC), hydraulic architecture, twenty-one deciduous broad-leaved species.

<sup>1</sup> 接受 1998年 8月 11日 Received on August 11, 1998.

<sup>2</sup> 江原大學校 山林科學大學 山林資源學部 Division of Forest Resources, College of Forest Science, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

緒 論

樹木의 생장에 중요한 수분은 뿌리에서 흡수되어 줄기와 가지의 木部組織(導管과 假導管)을 통하여 잎까지 이동한다. 이 때 수분이동속도의 크기는 주로 기공통도성과 뿌리통도성에 의하여 결정된다고 인식되어 왔다(Jones, 1983). 그러나 최근에는 줄기와 가지의 목부조직의 通水能力에도 큰 영향을 받는다고 한다(Tyree와 Ewers, 1991). 특히 지상부 목부조직의 通水能力은 도관의 크기와 구조, 心邊材率, 도관폐쇄율(embolisms), 기공통도성, 그리고 입지환경의 수분결핍 등에 의하여 복합적으로 결정되어진다(Schultz와 Matthews, 1993; Tyree와 Sperry, 1989; Kozlowski와 Palardy, 1997). 또 이러한 通水能力은 수목의 생장과 내건성을 결정하는 중요한 인자로서 해석되고 있다(Sperry와 Tyree, 1990; Cochard 등, 1994; Pockman 등, 1995). 최근 通水能力을 나타내는 지표로서 相對水分通導性, Huber value, specific conductivity, leaf specific conductivity, xylem permeability 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Schultz와 Matthews, 1988; Laviosolo와 Schubert, 1998; Pothier 등, 1989; Hargrave 등, 1994; Kolb 등, 1996).

일반적으로 수목이 강한 수분스트레스를 받을 때에는 목부조직내에 embolism이 발생하여 水分通導性의 감소가 일어난다. Laviosolo와 Schubert (1998)는 수분스트레스를 받은 포도나무는 건전목에 비하여 도관의 횡단면적이 35% 정도 작아졌으며, 水分通導性 역시 작은 값을 나타냈다고 한다. 또 수분스트레스에 의한 水分通導性의 감소는 기공통도성의 감소를 유발하여 잎의 蒸散, 光合成 등의 대사기능을 감소시켜 수목의 생장에 영향을 미친다(Meinzer와 Grantz, 1990). 수분스트레스를 받은 포도나무는 건전목에 비하여 증산량이 66% 정도 적게 나타났으며, 총엽면적, 줄기길이와 직경의 성장량도 감소하였다고 한다(Laviosolo와 Schubert, 1998).

임분에 있어서 지상부 목부조직의 水分通導性은 임령과 수목이 성장하는 지위(site quality)에 의하여 결정되어지기 때문에 水分通導性에 대한 연구는 수목의 생장과 내건성 연구에도 활용될 수 있다(Pothier 등, 1989; Sperry와 Tyree, 1990; Pockman 등, 1995). 서로 다른 지위지수(Site index; SI=9, 12, 15, 20)에서 자란 jack pine

(*Pinus banksiana*)임분의 목부통수성이 일반적으로 임분이 발달함에 따라 증가하고, 좋은 지위(SI=20)에서 성장한 어린 임분의 목부통수성이 낮은 지위(SI=9)에서 성장한 고령의 임분보다 크게 나타났다고 한다(Pothier 등, 1989).

따라서 水分通導性은 뿌리의 수분흡수력, 잎의 蒸散速度와 光合成速度, 성장속도 그리고 내건성의 크기 등에 큰 영향을 미치기 때문에, 이에 대한 연구는 수목 개체의 수분이동의 메카니즘 구명뿐만 아니라 산림의 수분동태, 그리고 내건성 수종 연구에도 중요하다. 특히 수분이동에 관계하는 목부조직의 구조와 크기가 수종별로 다르기 때문에 수종별로 水分通導性의 특성을 밝힐 필요가 있다(Ikeda와 Suzuki, 1984; Ewers와 Zimmermann, 1984a, b; Ewers, 1985).

본 연구에서는 Zimmermann(1978)의 연구방법을 사용하여 水分通導性을 大氣 重力壓(101.3 kPa) 하에서 樹木의 어떤 부위를 지나는 단위시간당 通水量을 그 부위 이상에 달려 있는 生葉重으로 나눈 값, leaf specific conductivity(LSC)로 나타내었다. LSC값은 종래의 相對水分通導性(relative conductivity, RC)과 Huber value(Huber, 1928)와는 다르게 표현한 것으로, 葉 1g이 光合成과 蒸散으로 소비하는 수분을 줄기 또는 가지를 통해 빨아올릴 수 있는 通水能力을 뜻한다. 따라서 각 수목의 부위별 LSC값을 측정하여 樹冠圖上에 나타내면 水分移動系의 水分通導性 配置構造(hydraulic architecture)의 특성을 쉽게 알 수 있다(Tyree와 Ewers, 1991; 韓과 金, 1996).

본 저자는 한국자생수종의 水分通導性의 특성을 밝히기 위한 일련의 기초연구로서 우리나라 주요 낙엽 활엽수 21종에 대하여 수목의 줄기, 가지, 分枝部와 頂端部 1년생 主幹과 側枝의 LSC를 측정하여 수종별로 배치구조와 특성을 비교 고찰하였다.

材料 및 方法

1. 材料

실험 재료는 강원대학교 산림과학대학 부속연습림과 구내림의 천연 활엽수림를 대상으로 21종의 활엽수를 각각 5본씩 선발, 총 105본을 사용했다. 단, 자작나무(*Betula platyphylla* var. *japonica*), 들메나무(*Fraxinus mandshurica*)와 느티나무(*Zelkova serrata*)의 경우는 조림지에서 실험목을 선정하여 사용하였으며, 참오동나무(*Paulownia*

*tomentosa*)는 인가 부근에 식재된 것을 사용하였다. 또한 실험목은 흉고직경이 유사한 개체를 선발하였으며, 활엽수 21종의 실험목에 대한 수고, 흉고직경과 수령의 평균값(±표준편차)을 Table 1에 나타냈다.

**2. 試料 採取**

실험목은 절단 후 증산에 의해 절단부로 공기가 흡입되어 도관이 막히는 현상(embolism)을 막기 위해 이른 아침에 지상부 0.2m 높이에서 줄기를 절단하고, 그 즉시 절단부를 물이 담긴 수조나 비닐 백에 담아 수분을 계속 공급하였다. 그 후 자른 실험목을 넓은 공터로 옮겨 줄기, 가지와 分枝部 등 실험할 부위를 선정하여 꼬리표를 달고 전체적인 스케치를 하였다.

시료 채취는 부위별로 일정한 길이(30cm)로 절단하고 embolism의 발생을 방지하기 위하여 그 즉시 물에 담가졌으며, 시료의 양단을 다시 한번 절단한 후 LSC를 측정하였다. 시료의 길이는 15cm 길이로 동일하게 하였으며, 수종간 비교를 위

하여 유사한 직경의 시료를 선정하였다. 부위별 시료의 직경은 Table 2에 평균값(±표준편차)으로 나타내었다.

또한 시료를 채취하기 전에 실험목의 절단부로 수분공급을 계속하면서 꼬리표로 표시한 측정부위 上部에 달려 있는 生葉重은 비닐 백에 담아 측정하였다.

시료채취는 1995년부터 1997년까지 매년 7~8월에 하였다.

**3. Leaf specific conductivity(LSC) 측정**

LSC값은 Fig. 1과 같은 장치를 설치하여 大氣 重力壓(101.3 kPa) 하에서 줄기, 가지와 分枝部 등의 시료에 5 mM의 KCl 용액을 통과시켜 通水量( $\mu\text{l/hr}$ )을 측정하고, 그 값을 시료를 채취한 부위 이상에 달려 있는 生葉重으로 나누어 구하였다((1)식).

$$LSC = \frac{\text{通水量}(\mu\text{l})}{\text{生葉量}(\text{g}) / \text{時間} / \text{重力壓}(101.3 \text{ kPa})} \dots\dots\dots (1)$$

**Table 1.** The characteristics of sample trees.

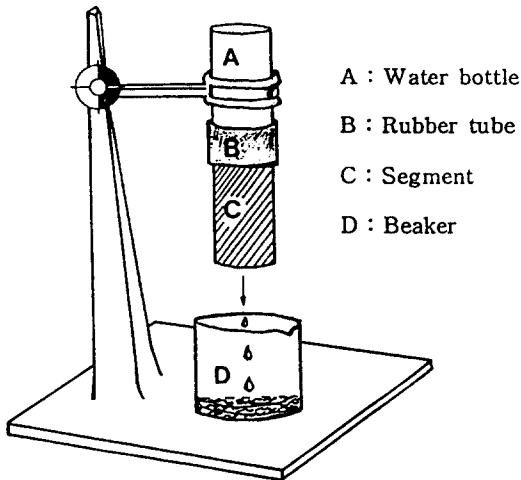
Species	Height (m)	DBH (cm)	Age (year)
<i>Acer mono</i>	8.5 ± 1.9	6.3 ± 0.8	33 ± 5
<i>A. triflorum</i>	6.5 ± 0.5	6.4 ± 0.9	22 ± 3
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	7.6 ± 0.8	5.7 ± 0.3	19 ± 0
<i>B. schmidtii</i>	11.7 ± 0.1	7.3 ± 1.0	27 ± 1
<i>Cornus controversa</i>	10.6 ± 0.4	7.3 ± 0.6	22 ± 3
<i>Fraxinus mandshurica</i>	7.0 ± 1.0	5.5 ± 0.9	16 ± 0
<i>F. rhynchophylla</i>	8.8 ± 2.2	6.4 ± 1.5	25 ± 4
<i>Kalopanax pictus</i>	8.3 ± 1.7	5.0 ± 0.5	21 ± 4
<i>Maackia amurensis</i>	11.2 ± 1.9	8.8 ± 1.6	38 ± 3
<i>Paulownia tomentosa</i>	5.0 ± 0.6	5.8 ± 1.3	12 ± 2
<i>Populus alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	7.9 ± 0.4	5.1 ± 0.9	18 ± 1
<i>Prunus sargentii</i>	11.0 ± 0.4	8.4 ± 1.2	33 ± 1
<i>Quercus acutissima</i>	6.5 ± 0.4	7.1 ± 1.0	22 ± 2
<i>Q. aliena</i>	7.1 ± 0.8	7.6 ± 1.2	20 ± 2
<i>Q. dentata</i>	9.0 ± 0.1	7.8 ± 0.3	26 ± 4
<i>Q. mongolica</i>	7.8 ± 0.8	7.7 ± 1.0	25 ± 3
<i>Q. serrata</i>	9.7 ± 1.0	7.9 ± 1.0	22 ± 4
<i>Q. variabilis</i>	6.8 ± 0.3	5.6 ± 0.5	17 ± 1
<i>Tilia amurensis</i>	8.7 ± 1.0	6.2 ± 0.5	30 ± 1
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	9.3 ± 1.9	7.5 ± 1.0	28 ± 2
<i>Zelkova serrata</i>	5.6 ± 0.5	5.2 ± 0.8	17 ± 0
Mean	8.3 ± 1.8	6.7 ± 1.1	23 ± 6

\* ± : standard deviation

**Table 2.** Mean diameter(cm) of segment in stem, branch and junction part between stem and branch.

Species	Stem	Branch	Junction part
<i>Acer mono</i>	4.4 ± 2.5	1.7 ± 0.6	3.6 ± 1.5
<i>A. triflorum</i>	3.6 ± 2.3	1.3 ± 0.6	2.6 ± 1.2
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	3.1 ± 2.0	1.0 ± 0.3	2.7 ± 1.1
<i>B. schmidtii</i>	4.4 ± 2.8	1.4 ± 0.6	3.1 ± 1.5
<i>Cornus controversa</i>	5.3 ± 2.5	1.2 ± 0.6	2.5 ± 0.6
<i>Fraxinus mandshurica</i>	2.6 ± 1.7	1.0 ± 0.3	2.2 ± 1.0
<i>F. rhynchophylla</i>	4.2 ± 2.7	1.5 ± 0.7	3.5 ± 1.5
<i>Kalopanax pictus</i>	3.1 ± 1.6	1.1 ± 0.5	2.3 ± 1.1
<i>Maackia amurensis</i>	6.2 ± 3.6	1.8 ± 0.8	4.1 ± 1.6
<i>Paulownia tomentosa</i>	2.9 ± 2.2	1.4 ± 0.6	2.8 ± 1.3
<i>Populus alba</i> × <i>P. glandulosa</i>	3.0 ± 1.8	1.3 ± 1.3	2.2 ± 0.6
<i>Prunus sargentii</i>	5.6 ± 2.7	1.5 ± 0.6	4.6 ± 1.3
<i>Quercus acutissima</i>	3.7 ± 1.8	0.7 ± 0.3	1.4 ± 1.0
<i>Q. aliena</i>	3.8 ± 2.2	1.1 ± 0.6	3.7 ± 1.5
<i>Q. dentata</i>	4.1 ± 2.2	1.5 ± 0.4	2.3 ± 0.9
<i>Q. mongolica</i>	3.5 ± 2.2	1.6 ± 0.5	2.2 ± 0.8
<i>Q. serrata</i>	4.4 ± 2.9	1.1 ± 0.5	2.2 ± 1.0
<i>Q. variabilis</i>	2.7 ± 2.2	1.3 ± 1.0	1.3 ± 0.8
<i>Tilia amurensis</i>	4.2 ± 2.0	1.0 ± 0.4	2.7 ± 0.9
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	4.8 ± 2.8	1.5 ± 0.8	2.8 ± 1.8
<i>Zelkova serrata</i>	3.1 ± 2.0	1.3 ± 0.7	2.9 ± 1.5
Mean	4.0 ± 0.9	1.3 ± 0.3	2.7 ± 0.8

\* ± : standard deviation



**Fig. 1.** The apparatus for measuring the amount of water flow through the segment.

시료를 보존하는 동안 절단부로부터 발생한 기포를 제거하기 위하여 通水量을 측정하기에 앞서 Fig. 1에서 나타낸 장치의 시료 하부에 진공펌프를 연결하고 압력에 通水作業을 실시하였다.

또한 통수량은 통수시간의 경과에 따른 통수속도의 감소로 인한 오차를 줄이기 위하여 30초 또는 1분 간격으로 측정하여 시간단위로 환산하였다. Zimmermann(1978)에 의하면, *Acer saccharum*의 시료에서는 통수속도가 25분 이내에 최초속도의 50% 이하로 떨어졌다고 보고하였다.

**結果 및 考察**

**1. 樹體의 部位別 leaf specific conductivity (LSC)**

낙엽 활엽수 21종의 줄기, 가지, 分枝部の 평균 LSC값을 散孔材 樹種과 環孔材 樹種로 나누어 Table 3에 나타냈다.

활엽수종의 부위별 LSC값은 줄기가 가지보다 컸으며, 分枝部에서 가장 작게 나타났다. 일반적으로 수목은 이러한 경향을 나타낸다는 보고가 있으며(池田, 1984; Ikeda와 Suzaki, 1984; Zimmermann, 1978; Tyree와 Ewers, 1991). 이것의 가장 큰 원인은 줄기의 도관직경이 가지에서보다 크기 때문이다. 그러나 고로쇠나무(*Acer mono*),

**Table 3.** Mean values of leaf specific conductivity(LSC) of stem, branch and junction part between stem and branch in broad-leaved species.

Species	Leaf specific conductivity ( $\mu\text{l/g}$ )			
	Stem	Branch	Junction part	Mean
<b>Diffuse-porous species</b>				
<i>Acer mono</i>	17 $\pm$ 3	35 $\pm$ 6	7 $\pm$ 1	20 $\pm$ 3
<i>A. triflorum</i>	8 $\pm$ 2	14 $\pm$ 2	4 $\pm$ 2	9 $\pm$ 1
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>	422 $\pm$ 34	284 $\pm$ 46	164 $\pm$ 63	290 $\pm$ 29
<i>B. schmidtii</i>	130 $\pm$ 17	170 $\pm$ 25	103 $\pm$ 20	135 $\pm$ 14
<i>Cornus controversa</i>	310 $\pm$ 50	124 $\pm$ 15	80 $\pm$ 19	171 $\pm$ 22
<i>Populus alba</i> $\times$ <i>P. glandulosa</i>	55 $\pm$ 8	54 $\pm$ 7	18 $\pm$ 3	42 $\pm$ 5
<i>Prunus sargentii</i>	91 $\pm$ 8	58 $\pm$ 7	51 $\pm$ 9	67 $\pm$ 5
<i>Tilia amurensis</i>	340 $\pm$ 43	211 $\pm$ 47	192 $\pm$ 18	248 $\pm$ 29
<b>Ring-porous species</b>				
<i>Fraxinus mandshurica</i>	55 $\pm$ 11	54 $\pm$ 9	18 $\pm$ 4	43 $\pm$ 6
<i>F. rhynchophylla</i>	25 $\pm$ 8	32 $\pm$ 5	10 $\pm$ 2	22 $\pm$ 4
<i>Kalopanax pictus</i>	91 $\pm$ 15	71 $\pm$ 11	30 $\pm$ 3	64 $\pm$ 8
<i>Maackia amurensis</i>	288 $\pm$ 48	120 $\pm$ 19	48 $\pm$ 16	152 $\pm$ 24
<i>Paulownia tomentosa</i>	300 $\pm$ 78	133 $\pm$ 46	66 $\pm$ 13	166 $\pm$ 34
<i>Quercus acutissima</i>	104 $\pm$ 26	51 $\pm$ 12	14 $\pm$ 3	56 $\pm$ 13
<i>Q. aliena</i>	395 $\pm$ 133	127 $\pm$ 35	43 $\pm$ 12	189 $\pm$ 62
<i>Q. dentata</i>	40 $\pm$ 8	40 $\pm$ 11	10 $\pm$ 3	30 $\pm$ 6
<i>Q. mongolica</i>	76 $\pm$ 11	24 $\pm$ 5	7 $\pm$ 4	36 $\pm$ 6
<i>Q. serrata</i>	176 $\pm$ 33	182 $\pm$ 41	36 $\pm$ 6	132 $\pm$ 24
<i>Q. variabilis</i>	197 $\pm$ 57	59 $\pm$ 14	25 $\pm$ 8	94 $\pm$ 34
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>	14 $\pm$ 5	14 $\pm$ 4	5 $\pm$ 2	11 $\pm$ 3
<i>Zelkova serrata</i>	59 $\pm$ 10	72 $\pm$ 10	16 $\pm$ 6	49 $\pm$ 7

\*  $\pm$  : standard error

복자기(*A. triflorum*)의 LSC값은 가지가 줄기보다 2배 정도의 컷으며, 박달나무(*B. schmidtii*), 물푸레나무(*F. rhynchophylla*)와 느티나무에서는 줄기와 가지의 LSC값이 비슷하거나, 가지가 줄기보다 1.2배 정도로 크게 나타났다. 이러한 현상은 줄기 도관요소의 폐쇄현상에 의한 것이 주요 원인으로 되고 있다(池田, 1984). Ikeda와 Suzuki (1984)는 증가시나무(*Quercus glauca*)에 있어서 줄기의 水分通導性이 가지보다 작은 경향을 나타냈다고 하였다.

보통 水分通導性은 대경의 도관이 조재부에 규칙적으로 배열되어 있는 환공재 수종이 소경의 도관이 불규칙적으로 산재하는 산공재 수종에 비하여 크게 나타난다고 한다(池田, 1984; Siau, 1995). 그러나 본 연구에서 산공재 수종과 환공재 수종의 LSC값의 큰 차이는 나타나지 않았다.

산공재 수종의 평균 LSC값은 자작나무와 피나무(*Tilia amurensis*)가 줄기, 가지, 分枝部의 모

든 부위에서 큰 값을 나타냈으며, 복자기의 LSC값이 가장 작게 나타났다. 현사시(*Populus alba*  $\times$  *P. glandulosa*)의 경우는 종래의 예상과는 달리 다른 산공재 수종에 비하여 낮은 통수성을 나타냈는데, 이는 수목의 부위별 시료직경에 있어서의 통수량에 비하여 많은 엽량에 기인한다.

환공재 수종의 평균 LSC값은 갈참나무(*Q. aliena*), 참오동나무, 다릅나무(*Maackia amurensis*)와 졸참나무(*Q. serrata*)가  $100\mu\text{l/g}$  이상의 큰 값을 나타내 다른 수종에 비하여 通水能力이 좋은 수종임을 알 수 있었다. 특히 느릅나무(*Ulmus davidiana* var. *japonica*)의 경우는 줄기, 가지와 分枝部의 LSC값이 가장 낮게 나타났다. 활엽수의 수분통도저하의 큰 원인으로서는 tyloses에 의한 도관폐색이다. 이 현상은 일반적으로 심재화의 과정에서 생기지만, 대경의 도관을 갖는 일부 수종의 경우는 변재부에 있어서도 tyloses가 발달하여 도관이 막히는 현상이 나타난다. 池田(1984)에

의하면, 느릅나무의 경우 전년이전의 대경도관 전부가 tyloses에 의해 수분통도기능을 잃는다고 하였다.

分枝部の LSC값은 모든 수종에서 줄기와 가지의 LSC값에 비해 매우 작은 값을 나타냈다. 특히 고로쇠나무, 복자기, 신갈나무(*Q. mongolica*), 느릅나무의 分枝部는  $10\mu\text{l/g}$  미만의 작은 값을 나타냈으며, 자작나무, 박달나무, 피나무의 分枝部는 LSC값이  $100\mu\text{l/g}$  이상으로 다른 수종에 비하여 分枝部の 通水能力이 우수한 수종임을 알 수 있었다. 이러한 分枝部の 通水能力의 차이는 줄기와 가지의 접합부분에 있어서의 도관직경과 단위면적당 도관수가 가장 적고, 기계적인 강도를 담당하고 있는 木部 유세포가 증가하기 때문에 목부조직의 通水能力이 떨어지는 것으로 사료된다(池田, 1984; Iketa와 Suzuki, 1984; 韓과 金, 1996).

2. 樹種別 hydraulic architecture의 특성

활엽수 21종에 대한 지상부의 부위별 LSC값을 구하여 通水性的 配置構造(hydraulic architecture)의 수종별 특성을 Fig. 2~10에 나타냈다.

21종에 있어서 줄기, 가지, 分枝部の LSC값은 최소  $0.07\mu\text{l/g}$  에서부터 최고  $1,818\mu\text{l/g}$  까지 매우 넓은 범위를 나타냈으나, 대부분의 수종은 10

$\sim 1,000\mu\text{l/g}$ 의 범위에 속하였다. LSC의 분포경향은 줄기에서 가장 큰 값을 나타냈고, 그 다음 가지, 分枝部の 순으로 작아졌으며, 자작나무, 졸참나무, 굴참나무(*Q. variabilis*)와 다릅나무를 제외한 모든 수종에서 줄기 최하부의 LSC는 낮은 값을 나타냈다. 이러한 수체내 LSC의 차이는 도관직경을 포함한 목재 해부학적 특성의 기능작용이라 할 수 있다. 특히 줄기의 최하부는 단위면적당 도관수가 가장 적고, 기계적인 강도를 담당하고 있는 木部 유세포가 증가하기 때문에 목부조직의 通水能力이 떨어지는 것으로 사료된다(池田, 1984; Iketa와 Suzuki, 1984; 韓과 金, 1996).

모든 수종에서 공통적으로 나타난 특징은 分枝部에 있어서 LSC값이 급격히 감소한다는 점이다(Ewers, 1985; Iketa와 Suzuki, 1984; 韓과 金, 1996). 또한 分枝部の 특성에 따라 LSC값의 감소정도가 다르게 나타났는데, 이는 분지형, 분지각, 분지직경 등에 의하여 줄기와 가지의 접합부분에 있어서 목부조직의 수력적 압축구조가 달라지기 때문이다(韓 등, 1998).

산공재 수종인 고로쇠나무와 복자기는 줄기의 LSC값이 가지보다 작게 나타났으며, 수체의 상단부에서 큰 값을 나타냈다(Fig. 2). 특히 이들 수종은 分枝部에서 가장 작은 값을 나타냈으며, 복자기

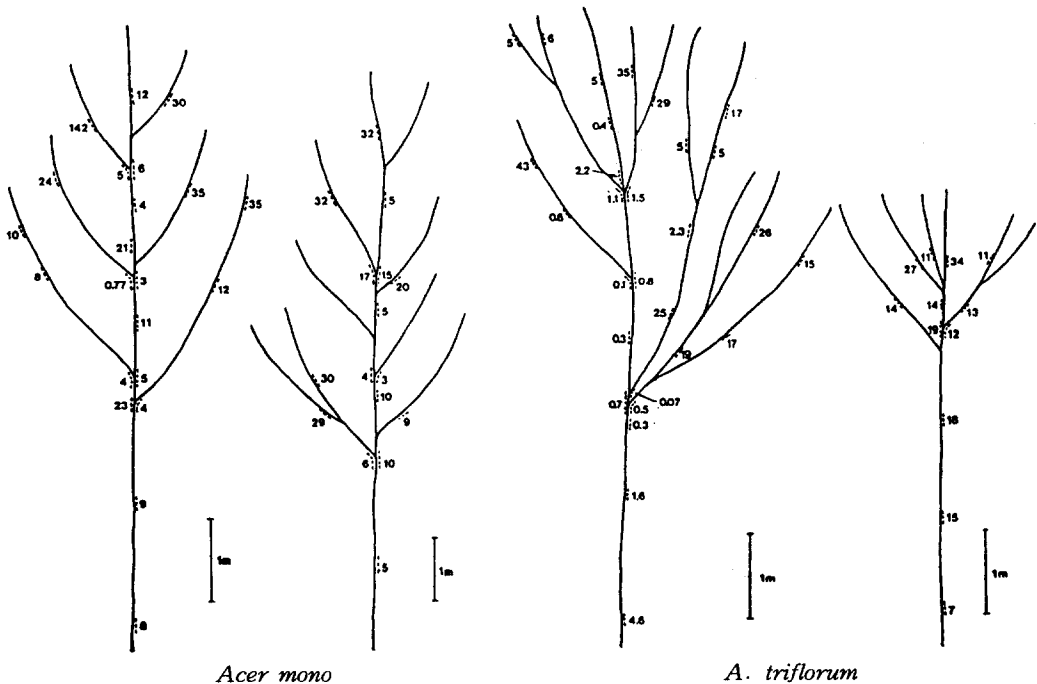


Fig. 2. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Acer mono* and *A. triflorum* trees.

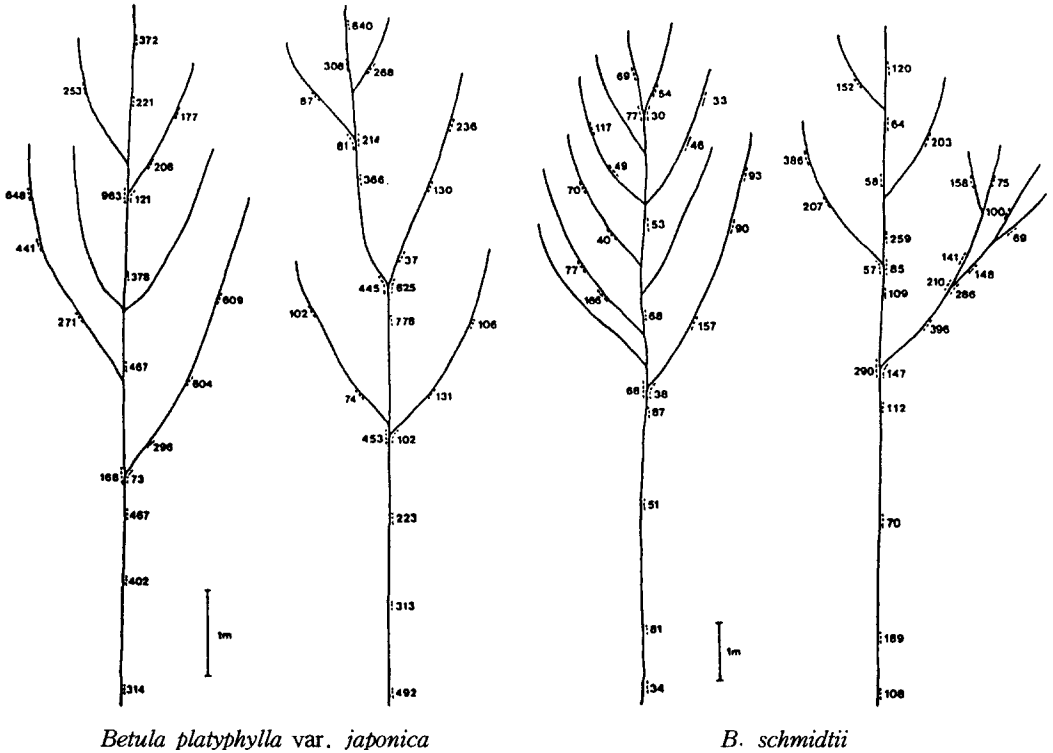


Fig. 3. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Betula platyphylla* var. *japonica* and *B. schmidtii* trees.

의 경우는 分枝部 이외의 줄기와 가지의 일부에서도  $1\mu\text{g}$  이하의 극히 작은 값이 나타났다고(Fig. 2).

Fig. 3에는 자작나무와 박달나무의 LSC의 배치구조를 나타냈다. 자작나무는 줄기의 LSC값이 가지보다 큰 값을 나타냈으며, 줄기와 가지의 LSC값은 대부분  $100\mu\text{g}$  이상이며, 分枝部の LSC값도  $73\sim 445\mu\text{g}$ 로 높게 나타나 산공재 수종 중 通水能力이 우수한 수종임을 알 수 있다. Zimernann(1978)에 의하면, 같은 자작나무속 수종인 *B. papyrifera*에 있어서 줄기의 LSC값이  $159\sim 911\mu\text{g}$ 로 컸으며, 分枝部에서도  $87\sim 196\mu\text{g}$ 의 큰 값을 나타냈다고 한다.

또한 박달나무는 줄기의 LSC값이  $34\sim 384\mu\text{g}$ 이고 가지가  $40\sim 519\mu\text{g}$ 로 줄기의 통수성이 가지보다 작게 나타났으며, 수체의 전체적인 LSC는 수목의 상부가 하부보다 크게 나타났다고(Fig. 3).

산공재 수종인 층층나무(*Cornus controversa*)와 피나무의 LSC의 부위별 배치구조를 Fig. 4에 나타냈다. 이들 두 수종의 LSC는 줄기가 가지보다 월등히 컸으며, 줄기, 가지, 分枝部の 모든 부위에서 다른 수종에 비하여 큰 값을 나타냈다.

층층나무의 分枝部는 여러 갈래로 나뉜 假軸分枝形態(sympodial branching)를 갖기 때문에 분지형태에 따라 LSC값이 다르게 나타났다. 이러한 분지형에서도 줄기의 LSC값이 가장 컸으며, 분지부의 LSC는 분지가 클수록, 그리고 분지의 직경이 작을수록 작게 나타났다. 이러한 현상은 Fig. 5에 나타낸 현사시의 分枝部에서도 동일하게 나타났다. 또한 피나무는 分枝部の LSC값이 보통  $150\mu\text{g}$  이상으로 다른 산공재 수종에 비하여 分枝部の 通水能力이 큰 수종으로 판단된다.

Fig. 5에 나타낸 바와 같이 현사시의 LSC 분포는 줄기의 상부와 하부가 큰 차이없이 일정한 범위 내에 있었으나, 가지의 경우는 가지 상단으로 갈수록 LSC값이 커졌다. 또 산벚나무(*Prunus sargentii*)의 경우는 줄기 최하단부에서 낮은 LSC값이 나타났고, 줄기와 가지의 LSC값은 비슷한 경향을 보였다.

낙엽성 참나무류 6수종에 있어서 LSC의 배치구조는 줄기에서 가장 큰 LSC값을 나타냈고 다음 가지, 分枝部の 순위로 작아졌으며, 이러한 경향은 산공재 수종에 비하여 뚜렷하였다(Fig. 6).

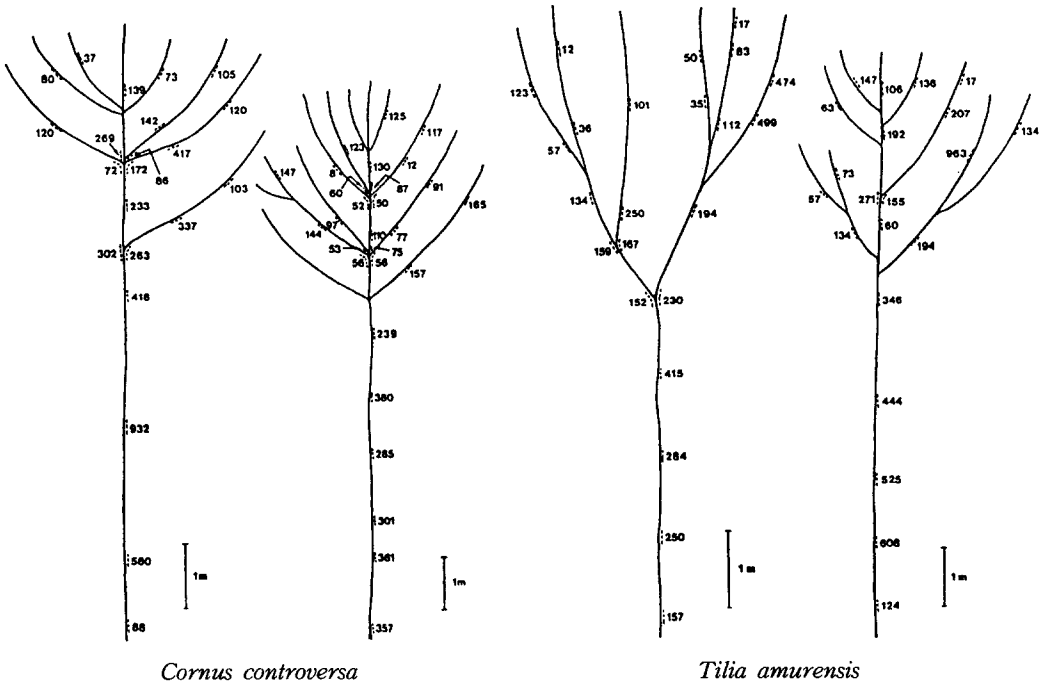


Fig. 4. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Cornus controversa* and *Tilia amurensis* trees.

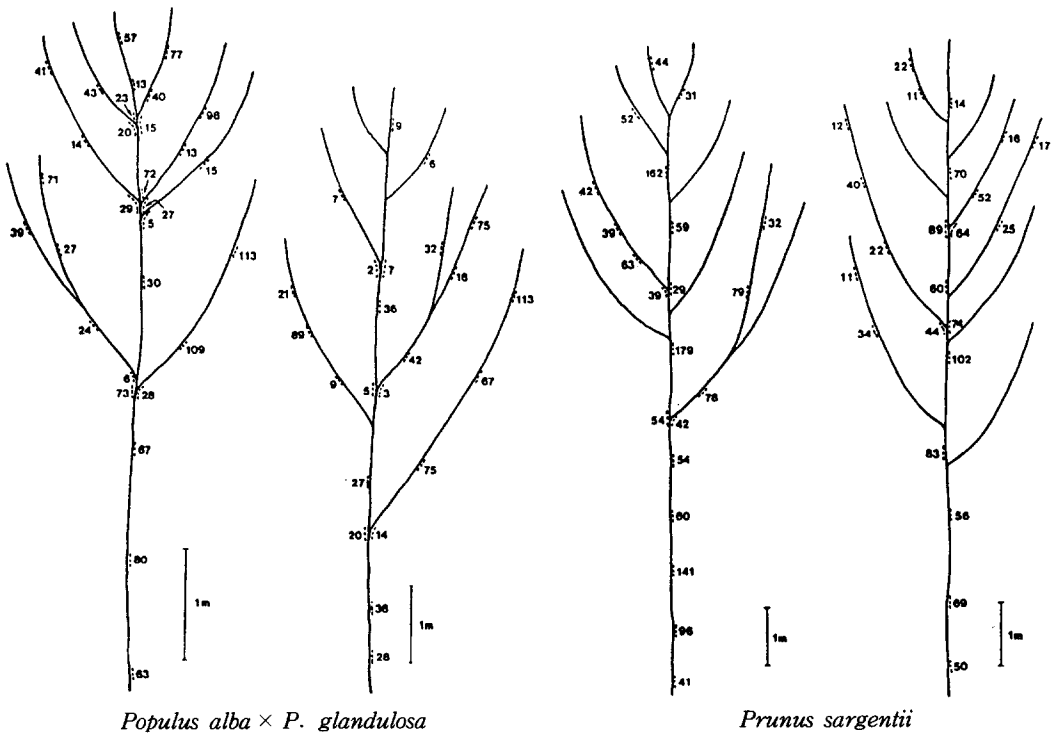


Fig. 5. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Populus alba* × *P. glandulosa* and *Prunus sargentii* trees.





의 하부에서 가장 큰 값을 나타내고, 상부로 갈수록 작아지는 경향을 보였다. 떡갈나무(*Q. dentata*)와 굴참나무의 경우는 줄기 전체에 있어서 일정한 LSC를 나타냈다(Fig. 6).

물푸레나무와 들메나무의 LSC 분포를 Fig. 7에 나타냈다. 물푸레나무의 LSC는 줄기가 2~249 $\mu\text{l/g}$ 이고, 가지가 1~129 $\mu\text{l/g}$ 의 범위를 나타내어 가지보다 줄기가 크게 나타났으며, 특히 줄기에 있어서 LSC값은 줄기의 상부가 하부보다 약간 큰 것으로 나타났다. 들메나무의 LSC값은 줄기에 있어서 특정한 분포경향은 나타나지 않았고, 줄기의 LSC값이 4~254 $\mu\text{l/g}$ 이고, 가지가 4~174 $\mu\text{l/g}$ 의 범위를 나타내어 줄기의 LSC가 가지보다 크게 나타났다.

Fig. 8에는 환공재 수종인 읤나무(*Kalopanax pictus*), 다릅나무와 참오동나무의 LSC 분포를 나타냈다. 읤나무의 LSC값은 줄기가 17~324 $\mu\text{l/g}$ 이고, 가지가 8~250 $\mu\text{l/g}$ 의 범위로 줄기가 가지보다 큰 값을 나타냈으며, 줄기와 가지 모두 상부로 갈수록 LSC값이 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 다릅나무의 경우는 줄기의 LSC값이 35~960 $\mu\text{l/g}$ 이고, 가지가 19~406 $\mu\text{l/g}$ 로 줄기가 가지보

다 월등히 컸으며, 줄기 상부의 LSC값이 하부보다 작은 값을 나타냈다. 이러한 경향은 가지에서도 나타나 가지의 상단부에서 작은 값을 나타냈다. 반면 참오동나무의 LSC는 줄기의 최하단부에서 가장 작게 나타났으며, 전체적으로 수관부가 줄기의 하부보다 큰 값을 나타냈다.

느릅나무와 느티나무에 있어서 LSC의 분포를 Fig. 9에 나타냈다. 느릅나무와 느티나무는 다른 수종에 비하여 작은 LSC값을 나타냈다. 느릅나무의 LSC는 줄기가 1.39~76 $\mu\text{l/g}$ 이고, 가지가 0.56~73 $\mu\text{l/g}$ 로 줄기와 가지가 비슷하였으며, 수관 상부의 일부 가지에서 50 $\mu\text{l/g}$  이상의 큰 값이 나타났으나 이를 제외한 줄기와 가지 대부분은 16 $\mu\text{l/g}$  이하의 낮은 범위 내에서 분포하고 있어 환공재 수종 중 가장 通水能力이 떨어지는 수종을 알 수 있다.

느티나무는 줄기의 LSC값이 3~129 $\mu\text{l/g}$ 이고 가지가 4~178 $\mu\text{l/g}$ 로 줄기가 가지보다 작은 값을 나타냈으며, 줄기의 LSC 분포는 일정한 경향이 없었다. 또한 조림지에서 선발된 동령의 개체간에 LSC값은 3배 정도의 차이를 보였다. 이러한 결과는 같은 환경에서 성장한 유사한 크기의 개

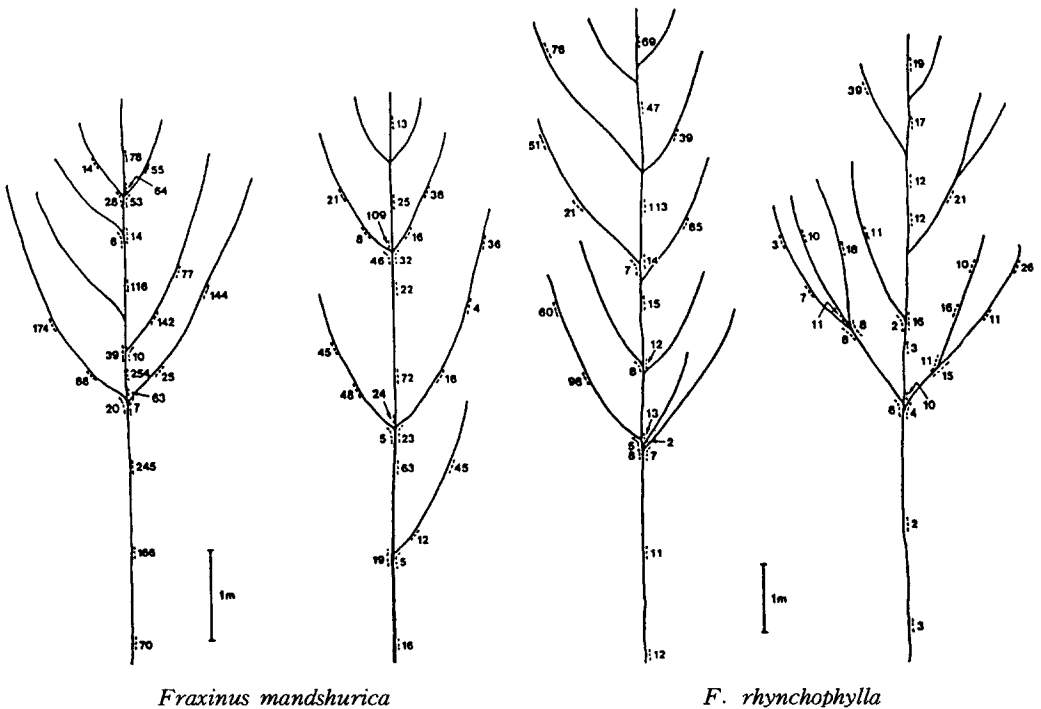


Fig. 7. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Fraxinus mandshurica* and *F. rhynchophylla* trees.

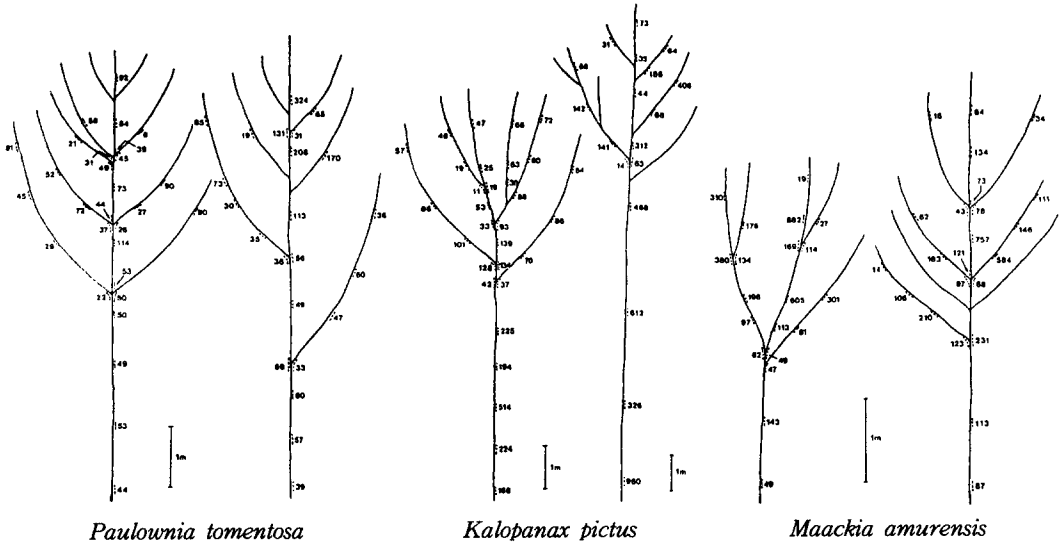


Fig. 8. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Kalopanax pictus*, *Maackia amurensis* and *Paulownia tomentosa* trees.

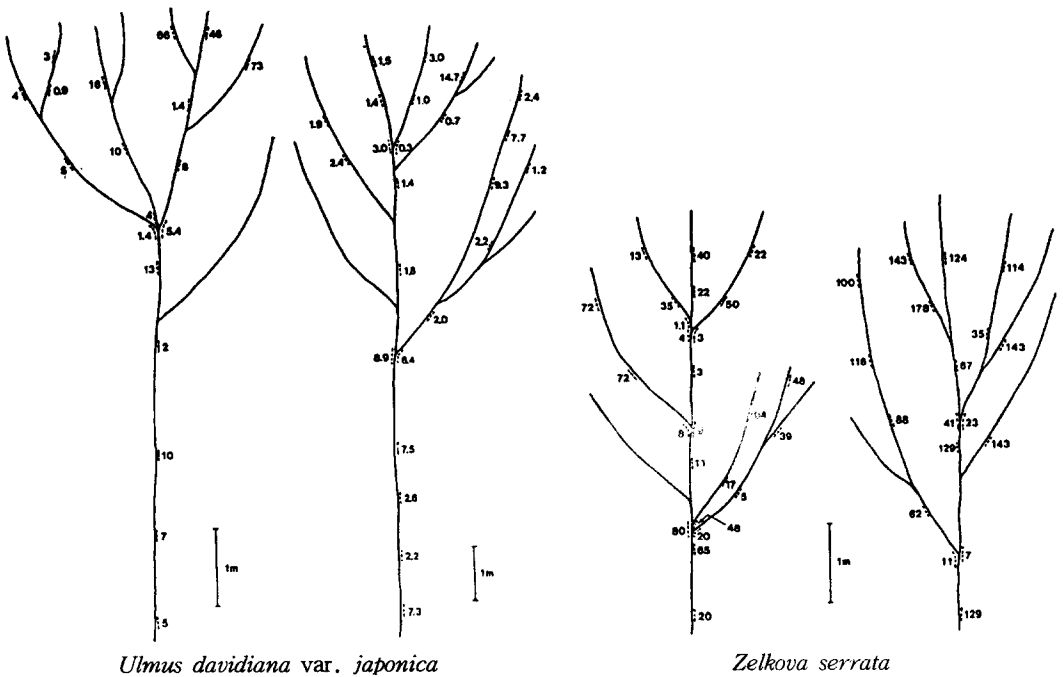
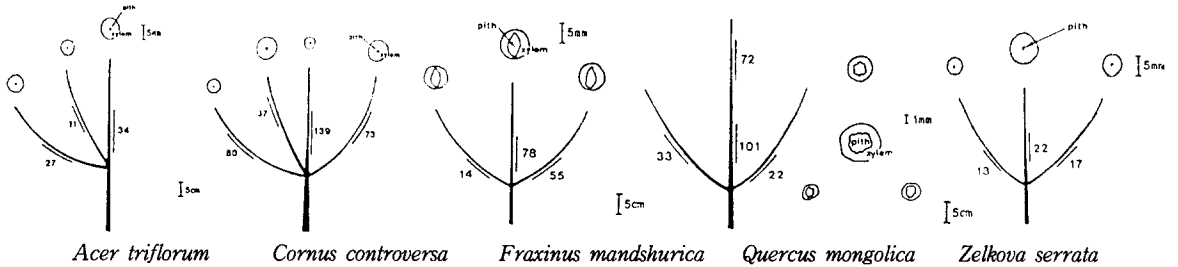


Fig. 9. Distribution of leaf specific conductivity in various portions of *Ulmus davidiana var. japonica* and *Zelkova serrata* trees.

체라 하더라도 樹勢의 차이에 의해서 木部의 통수성이 다르게 나타난 것으로 사료된다. Ewers와 Zimmermann(1984a)은 조림지에서 선발한 유사한 크기의 *Tsuga canadensis*에서 樹勢에 따라 水分通導性이 다르게 나타남을 보고하였다.

이상의 결과로, 줄기, 가지, 分枝部 등 모든 부위에서 큰 LSC 값이 나타나는 자작나무, 층층나무, 피나무는 다른 수종에 비하여 通水能力이 큰 것으로 판단되며, 박달나무, 물푸레나무, 음나무, 참오동나무, 신갈나무, 갈참나무 등과 같



**Fig. 10.** The leaf specific conductivities(LSC) of the terminal shoots of 1-year-old stem in five deciduous broad-leaved species.

이 줄기의 상부가 하부보다 큰 LSC값을 나타내는 수종은 수체의 상부로 갈수록 수분통도저항이 작아짐을 의미하며, 다른 분포형의 수종에 비하여 상부의 잎이 하부의 잎과 경쟁하여 수분을 얻고자 하는 측면에서 유리할 것으로 판단된다(Iketa와 Suzuki, 1984; 韓과 金, 1996). 이러한 水分通導性的 배치구조가 수체 부위별로 다르게 나타나는 것은 결과적으로 수관 각 부위의 잎으로 수분을 공평하게 공급하게 한다고 생각된다(Iketa와 Suzuki, 1984; Zimmermann, 1978).

引用文獻

3. 頂端部 1년생 主幹과 側枝의 LSC값의 특성

수목의 정단부 1년생 主幹(leaders)과 側枝(adjacent laterals)의 LSC값을 비교하기 위하여 복자기, 층층나무, 들메나무, 신갈나무와 느티나무를 대상으로 조사하여 Fig. 10에 나타내었다.

이들 5수종에 있어서 정단부 1년생 주간 및 측지의 LSC값은 주간이 22~139 $\mu\text{l/g}$  이고, 측지가 11~73 $\mu\text{l/g}$ 의 범위를 보였으며, 주간의 LSC값은 측지보다 평균 2배 이상, 최대 5배로 큰 값을 나타냈다. 특히 층층나무의 경우는 정단주간의 직경이 측지의 1/2로 대단히 작음에도 불구하고 측지보다 2배 이상의 큰 LSC값을 나타내어 다른 수종에 비하여 뚜렷한 수력적 우세를 갖는 수종이었다. 따라서 층층나무는 측지가 정단주간보다 더 빠른 伸長生長을 하여 假軸分枝의 樹冠을 형성하게 되는 원인이라고 사료된다.

Ewers와 Zimmermann(1984a)에 의하면, 강한 정아우세를 보이는 *Abies balsamea*는 정단주간의 LSC값이 측지보다 최고 17배까지 큰 값을 나타냈으며, 이러한 정단주간과 측지의 通水性은 樹勢가 좋은 나무일수록 그 차이가 더 크다고 하였다.

1. 韓相變·金宜憲. 1996. 樹木의 水分特性에 關한 生理·生態學的 解析(VIII). 신갈나무에 水分通導性 構造. 韓林誌. 85(1) : 120-129.
2. 韓相變·金宜憲·李明鐘. 1998. 樹木의 水分特性에 關한 生理·生態學的 解析(XI). 落葉闊葉樹 21種의 分枝部分의 水分通導性 比較. 韓林誌. 87(1) : 220-229.
3. 池田 武文. 1984. 樹木의 水分通導性에 關한 研究. 橋岡植物 10 : 197-212.
4. Cochard, F.W., F.W. Ewers and M.T. Tyree. 1994. Water relations of a tropical vine-like bamboo(*Rhipidocladum racemiflorum*): root pressures, vulnerability to cavitation and seasonal changes in embolism. J. Exp. Bot. 45 : 1085-1089.
5. Ewers, F.W. 1985. Xylem structure and water conduction in conifer trees, dicot trees, and lianas. IAWA Bulletin n.s., Vol. 6(4) : 309-317.
6. Ewers, F.W. and M.H. Zimmermann. 1984a. The hydraulic architecture of balsam fir(*Abies balsamea*). Physiol. Plant. 60 : 453-458.
7. Ewers, F.W. and M.H. Zimmermann. 1984. The hydraulic architecture of eastern hemlock (*Tsuga canadensis*). Can. J. Bot. 62 : 940-946.
8. Hargrave, K.R., Kolb, K.J., Ewers, F.W. and Davis, S.D. 1994. Conduit diameter and drought-induced embolism in *Salvia mellifera* Greene(Labiatae). New Phytologist 126 : 695-705.
9. Huber, B. 1928. Weitere quantitative Unter-

- suchungen über das Wasserleitungs system der Pflanzen. Jahrb. Wiss. Bot. 67 : 877-959.
10. 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.
  11. Jones, H.G. 1983. Plants and microclimate. Cambridge University Press.
  12. Kolb, K.J., J.S. Sperry and B.B. Lamont. 1996. A method for measuring xylem hydraulic conductance and embolism in entire root and shoot systems. J. Exp. Bot. 47 : 1805-1810.
  13. Kozlowski, T.T. and S.G. Pallardy. 1997. Physiology of Woody Plants. Academic Press. New York.
  14. Lovisolo, C. and A. Schubert. 1998. Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis Vinifera* L.J. Exp. Bot. 49 : 693-700.
  15. Meinzer, F.C. and Grantz, D.A. 1990. Stomatal and hydraulic conductance in growing sugarcane : stomatal adjustment to water transport capacity. Plant, Cell and Environment 13 : 383-388.
  16. Pockman, W.T., Sperry, J.S. and O'Leary, J.W. 1995. Sustained and significant negative water pressure in xylem. Nature 378 : 715-716.
  17. Pothier, D., Margolis, H.A., Poliquin, J., and Waring, R.H. 1989. Relation between the permeability and the anatomy of jack pine sapwood with stand development. Can. J. For. Res. 19 : 1564-1570.
  18. Schultz, H.R. and Matthews, M.A. 1988. Resistance to water transport in shoots of *Vitis vinifera* L. Plant Physiology 88 : 718-724.
  19. Schultz, H.R. and Matthews, M.A. 1993. Xylem development and hydraulic conductivity in sun and shade shoots of grapevine(*Vitis vinifera* L.) : evidence that low light uncouples water transport capacity from leaf area. Planta 190 : 393-406.
  20. Siau, J.F. 1995. Wood : Influence of moisture on physical properties. Virginia Polytechnic Institute and State University. 227pp.
  21. Sperry, J.S. and Tyree, M.T. 1990. Water-stress-induced xylem embolism in three species of conifers. Plant, Cell and Environment 13 : 427-436.
  22. Tyree, M.T. and Ewers, F.W. 1991. The hydraulic architecture of trees and other woody plants. New Phytologist 119 : 345-360.
  23. Tyree, M.T. and Sperry, J.S. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology 40 : 19-38.
  24. Zimmermann, M.H. 1978. Hydraulic architecture of some diffuse-porous trees. Can. J. Bot. 56 : 2286-2295.