

## 형성층 전기저항을 이용한 조경용 수목 활력도 분석

# Assessment of Landscape Tree Vigor Using Cambial Electrical Resistance

황동규<sup>1</sup> · 김동엽<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>성균관대학교 조경학과 대학원, <sup>2</sup>성균관대학교 건설환경학부

Dong Kyu Hwang<sup>1</sup> and Dong Yeob Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Landscape Architecture, Graduate School, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

<sup>2</sup>School of Civil, Architectural Engineering and Landscape Architecture, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

Received 6 December 2016, revised 12 December 2016, accepted 20 December 2016, published online 31 December 2016

**ABSTRACT:** There are various methods to evaluate tree vigor. Cambial electrical resistance represents tree vigor using the method of electrophysiological diagnosis. This study investigated the vigor of several tree species using Shigometer, and compared the differences among the species. The factors, such as foliage, trunk orientation and bark temperature, which affect electrical resistance were also investigated. The needle penetration into cambium was controlled to keep the depth consistent in order to minimize measurement error. Each of three trees were selected from *Zelkova serrata*, *Ginkgo biloba*, *Metasequoia glyptostroboides*, *Pinus koraiensis*, and *Liriodendron tulipifera*. The electrical resistances were measured at 60 and 120 cm height of the stem in 4 directions from March until May 2011. The soil conditions in surrounding areas and tree stress responses were also measured. The results were analyzed for the relationship between electrical resistance and the affecting factors. The electrical resistance showed a relatively higher level before foliage until mid-March. The values started to decline from April and recorded a minimal level on May 11. The changes of soil moisture, soil electric conductivity, and tree stress responses during the measurement period showed a similar trend to that of electrical resistance. The *Pinus koraiensis*, an evergreen conifer, showed few changes on the electrical resistance values during the measurement period. *Zelkova serrata*, *Ginkgo biloba*, and *Metasequoia glyptostroboides* showed the highest bark temperatures and lowest electrical resistances at their south-facing stem. Shigometer can provide measures simple to assess tree vigor in the fields, and to the management of trees.

**KEYWORDS:** Bark temperature, Cambial electrical resistance, Shigometer, Stress response, Tree vigor

**요 약:** 수목의 활력도는 다양한 방법으로 측정한다. 수목의 형성층 전기저항은 전기생리학적 진단 방법을 이용하여 수목의 활력도를 간접적으로 나타낸다. 본 연구는 Shigometer를 이용하여 몇 가지 수목의 활력도를 측정하고 수종 간 차이를 비교하고자 하였다. 그리고 개엽 시기, 방위, 수피 온도 등 전기저항 값에 영향을 주는 요인들을 파악하고자 하였다. 측정용 탐침의 깊이를 일정하게 유지하여 측정오차를 최소화하였다. 대상 수종은 성균관대학교 자연과학캠퍼스에 있는 30-40년생 느티나무, 은행나무, 메타세쿼이아, 잣나무 및 튜올립나무로 하였고 각 종당 3개체를 선정하였다. 측정 시기는 2011년 3월부터 5월까지, 지면으로부터 60 cm와 흉고높이인 1.2 m에서 동서남북 4개 방위 별로 전기저항 값을 측정하였다. 수목 부근의 토양환경과 식물의 스트레스 반응을 함께 측정하였다. 측정 결과를 바탕으로 전기저항과 영향 요인과의 상관관계를 살펴보았다. 개엽 시기 이전인 3월 중순까지는 대체적으로 전기저항 값이 높았으나 4월부터 점차 낮아지기 시작하여 5월 11일에는 가장 낮은 값을 보였다. 전기저항 값의 시기별 변화는 토양수분, 토양전도도, 토양온도, 수목의 스트레스 반응과 비슷한 경향을 보였다. 잣나무의 경우 겨울에도 잎이 떨어지지 않아 측정 기간 동안 전기저항 값의 변화는 크지 않았다. 느티나무, 은행나무 및 메타세쿼이아는 남쪽 방향의 수피 온도가 다른 방위에 비하여 높았으며 전기저항 값은 가장 낮았다. Shigometer는 수목의 활력도를 현장에서 간단하게 측정함으로써 수목 관리에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

**핵심어:** 수피 온도, 형성층 전기저항, Shigometer, 스트레스 반응, 수목활력도

\*Corresponding author: ydkim@skku.ac.kr, ORCID 0000-0003-4923-795x

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

수목의 건전성을 측정하는 방법에는 가시적 병징 여부, 잎의 엽록소 혹은 양료 함량 측정, 잎의 형광 현상 측정, 형성층 전기저항 측정 등이 있다 (Lee et al. 1997). 수목의 형성층 전기저항 측정은 전기생리학적 진단방법을 이용하여 증상이 나타나기 전에 식물체에 해를 주지 않고 살아있는 식물체의 이상을 알아낼 수 있는 방법이다 (Tattar and Blanchard 1976, Shigo 1991). 수목은 수종 별로 고유한 전기저항을 지니고 있어 생육상태에 따라 저항 값이 달라지며, 수목의 성장과 전기저항 사이에는 밀접한 관련이 있다. 형성층 전기저항 측정기기인 Shigometer는 수목의 건전성을 간단히 진단할 수 있으며 빠르고 비파괴적이라는 장점을 가지고 있다 (McCullough and Wagner 1987). 형성층 전기저항 측정은 수목의 다양한 스트레스에 의해 변화된 형성층 내 양이온의 농도 변화를 측정하며 수목 활력의 지표로 이용할 수 있다.

수목의 수세가 좋을수록 형성층 전기저항 값이 낮아지고, 상대적으로 높은 형성층 전기저항 값을 가진 나무보다 생장이 빠른 것으로 나타났다 (Shortle et al. 1979). 수목이 휴면기에 접어들거나 스트레스로 인해 대사활동이 둔화되면 비교적 높은 전기 저항을 나타내며, 수목이 왕성한 성장을 보이는 시기와 많은 전해물질이 이동하는 여름철에는 형성층 전기저항이 낮아진다. 형성층 전기저항 값이 수종마다 다른 이유는 형성층이 있는 수목의 사부의 두께에 의한 것 (Carter and Blanchard 1978)과 광도와 온도, 상대습도와 같은 외부요인에 의한 영향을 들 수 있다. 수목의 태양광 접촉으로 인한 온도 상승은 수목의 활력에 영향을 미칠 수 있다 (Ha 2000).

그러나 Shigometer는 사용이 간편한 반면 수피의 두께에 따른 측정 오차가 심하고 탐침의 깊이에 따라 저항 값의 차이가 나타나 측정 시 많은 주의를 기울여야 한다. 본 논문은 Shigometer 사용 시 나타나는 측정오차를 최소화하

는 방법을 찾기 위하여 몇 가지 수목을 대상으로 이른 봄부터 나타나는 형성층 전기저항 값을 측정하였으며, 전기저항 측정값에 영향을 미치는 요인들을 파악하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

2011년 3월 부터 5월에 걸쳐 수원시 성균관대학교 자연과학캠퍼스 내에 식재되어 있는 조경용 수목 5종, 은행나무 (*Ginkgo biloba*), 메타세쿼이아 (*Metasequoia glyptostroboides*), 잣나무 (*Pinus koraiensis*), 느티나무 (*Zelkova serrata*), 튜올립나무 (*Liriodendron tulipifera*)을 대상으로 형성층 전기저항을 1주일 간격으로 측정하였다 (Table 1).

형성층 전기저항측정은 휴대용 수목전기저항 측정기기인 Shigometer (미국 OSMOSE사, OZ-93)를 사용하였다. 수피의 높이에 따른 차이를 살피기 위하여 60 cm, 1.2 m의 두 높이에서 측정했으며, 방위별 차이를 살피기 위하여 각각의 높이에서 동서남북 네 방향에서 측정하였다. 탐침은 3반복으로 실시하였다. 탐침의 깊이에 따라 다른 측정값을 보였기 때문에 탐침 시 일정한 깊이를 유지하기 위해 나무 해머를 사용하여 탐침 끝까지 목재 내부에 도달하도록 하였다. 측정 시간은 하루 중 생장이 가장 활발하게 이루어지는 오전 11시부터 오후 3시 사이에 일주일 간격으로 측정하였다. 수피 온도는 적외선 온도측정기기인 infrared thermometer (AR300)를 이용하여 측정하였다. 식물의 스트레스 반응은 chlorophyll fluorometer parameter (OPTI-SCIENCES, S-30p)를 이용하여 측정하였다 (Li et al. 2016). 전기저항값과 영향요인과의 관계를 비교하기 위하여 SAS system for Windows ver. 9.2 (SAS Institute Inc. USA)를 이용하여 ANOVA분석을 하였으며, 수목의 전기저항과 수피 온도와의 관계를 살피기 위하여 회귀분석을 하였다.

**Table 1.** Properties of the trees used in this study.

Tree species	Average age (yr)	Average tree height (m)	Average DBH* (cm)
<i>Ginkgo biloba</i>	20.3	8.5	27.3
<i>Metasequoia glyptostroboides</i>	35.4	25.2	62.2
<i>Pinus koraiensis</i>	25.2	11.7	39.8
<i>Zelkova serrata</i>	30.6	9.1	35.4
<i>Liriodendron tulipifera</i>	35.2	22.0	59.2

\* DBH, diameter at breast height

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시기별 형성층 전기저항

시기적으로 개엽 이전인 3월 초에는 전기저항 값이 비교적 높았다(Fig. 1). 이후 3월 하순부터 4월 초까지는 전기저항 값이 낮아지는 경향을 보였다. 4월 20일에는 전기저항 값이 약간 증가했는데 이는 각 잎이 발아하면서 수분 및 양분을 소비함에 따라 일시적으로 수분 및 양분 부족 현상이 나타난 것으로 생각된다 (Ha 2000). 느티나무의 경

우 3월 첫 측정값은 11.0 kΩ으로 높았으나 4월 13일까지 평균 4.3 kΩ으로 현저히 감소했다. 가장 낮은 형성층 전기저항을 보인 튼유림나무의 경우 측정 종료 시점까지도 낮은 전기저항 값을 보였다. 침엽수인 잣나무의 경우 전기저항 값 변화가 다른 수목과는 다른 경향을 보였는데, 이는 침엽수가 겨울철에도 미약한 대사활동이 계속되기 때문으로 생각된다 (Lee et al. 1997). 은행나무는 12.3 kΩ으로 가장 높은 전기저항을 나타냈으나, 5월 31일에는 평균 4.5 kΩ으로 낮아졌다.

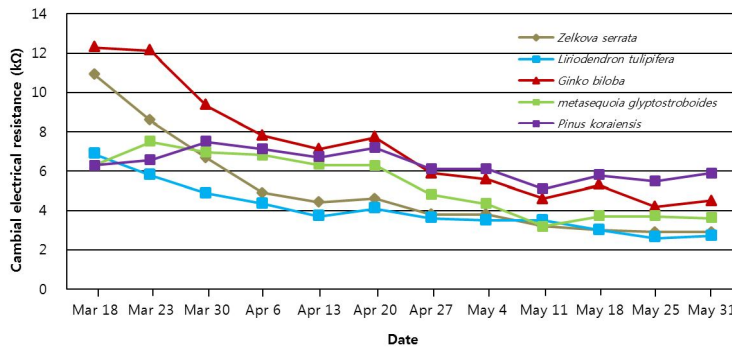


Fig. 1. Changes of cambium electrical resistance of the trees during the measurement period.

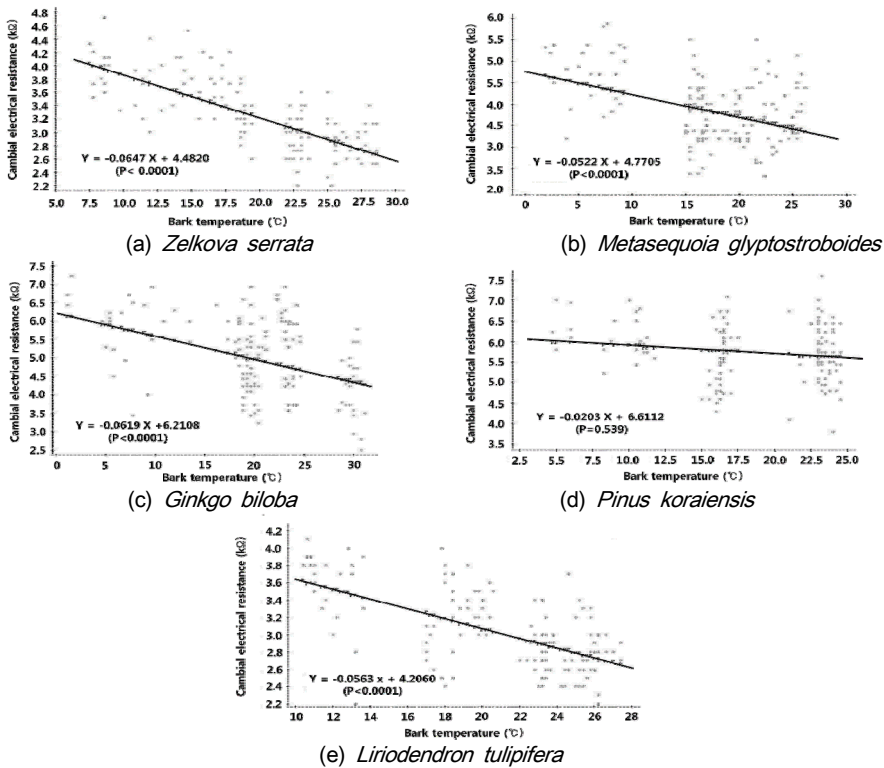
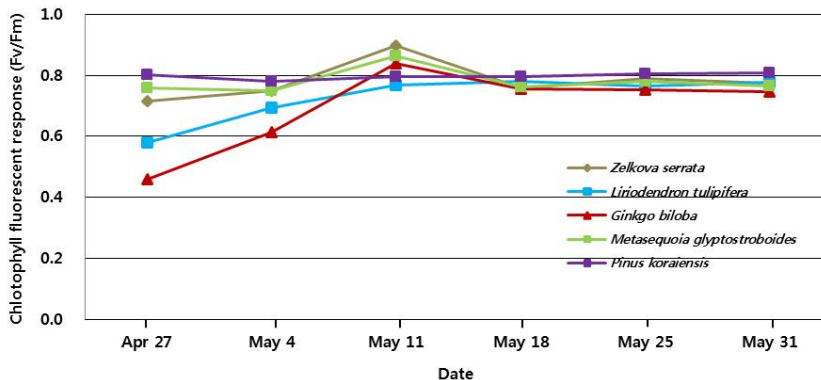


Fig. 2. The relationship between cambium electrical resistance and bark temperature.

**Table 2.** Changes of the site conditions in the study areas during measurement period.

Date	Soil moisture (%)	Electric conductivity (mS/cm)	Soil temperature (°C)	Air temperature (°C)
April 27	24.3	3.38	15.3	13.0
May 04	24.7	0.41	15.7	19.9
May 11	30.9	1.75	23.1	18.7
May 18	22.0	0.42	20.7	24.0
May 25	20.8	0.46	21.0	26.2
May 31	16.7	0.43	21.0	21.2

**Fig. 3.** Stress responses of the trees during the measurement period.

### 3.2 방위별 형성층 전기저항

5개 수종의 형성층 전기저항 값은 방위에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 각 수종은 고유의 전기저항 값을 가지고 있으며 (Ha 2000), 일반적으로 수피 온도와 높은 상관성을 보인다 (Blinchard et al. 1983, Davis et al. 1979). 느티나무, 은행나무 및 메타세콰이아는 남쪽 방향의 전기저항 값이 낮은 경향을 보였는데, 이는 수간이 직사광선에 노출되어 수피 온도가 상승했기 때문으로 보인다 (Kim et al. 2007). 그러나 잣나무와 튜올립나무는 밀집한 수관층 때문에 타 수종보다 태양광 유입이 적었으며 방위에 따른 전기저항 값의 차이도 크지 않았다. 잣나무의 전기저항 값은 온도의 영향을 크게 받지 않은 것으로 나타났는데, 이는 잣나무 전기저항 값의 계절간 변화가 적었으며 생육기와 생장 정지기에 변화 폭이 적기 때문으로 보인다 (Lee et al. 1997).

### 3.3 토양환경 변화

4월 27일부터 5월 31일까지 일주일 간격으로 측정된 토양습도, 토양전도도 및 토양온도는 5월 중순에 가장 높

았으며, 이 때 수목의 전기저항 값이 가장 낮았다 (Table 2). 이는 지하부의 온도 상승이 뿌리의 활동을 촉진시켜 수분 흡수를 용이하게 하고 유동성이온 및 전류물질이 대사 활동을 촉진시켜 양이온과 수분의 체내 이동을 활발하게 했기 때문으로 생각된다.

### 3.4 식물의 스트레스 반응

수목의 스트레스 반응 지수 (Fv/Fm)는 4월 27일에는 낮았으나 이후 점차 높아져서 5월 중순에 최고값을 보였고 이후 일정 수준을 유지하였다 (Fig. 3). 건강한 식물의 경우 지수 값이 0.79-0.84 사이에서 측정되며 낮은 값일수록 스트레스가 심한 것을 나타낸다 (Maxwell and Johnson 2000). 형성층 전기저항은 수목에 가해지는 스트레스보다는 토양 조건에 따른 영향을 더 많이 받는 것으로 보고된 바 있다 (Wargo et al. 2002). 그러나 본 연구에서는 같은 시기에 스트레스 반응과 전기저항 값이 비슷한 변화 경향을 보였다. 이는 수목의 광합성이 활발해지면서 유동성이온과 수분 이동을 증가시켜 형성층 전기저항 값이 낮아진 때문으로 생각된다 (Ha 2000). 이 두 변수 간의 상관관계는 앞으로 더 연구해야 할 주제로 생각된다.

#### 4. 결론

휴대용 수목 활력도 측정기기인 Shigometer를 활용하여 이른 봄부터 개엽 이후까지 수목의 활력을 측정하였다. 방위별 수피 온도, 토양환경 및 식물 스트레스 반응도 함께 측정하였다. 개엽이 시작되기 이전인 3월 중순까지 전기저항 값은 모든 수목에서 높게 나타났다. 4월 이후에는 수액 이동이 활발해지면서 전기저항 값이 점차 낮아져 수목의 활력이 증가하는 것으로 나타났다. 수피 온도는 방위별로 차이가 있었다. 남쪽 방향이 가장 높은 온도를 보였고, 형성층 전기저항 값이 가장 낮았다. 토양습도, 토양전기전도도 및 토양온도는 형성층 전기저항 값 변화와 비례 관계를 보였다. 수목의 스트레스 반응은 초기에는 높았으나 시간이 지나면서 5월 11일에 가장 낮아졌다가 이후 일정 수준을 유지하였다. 수목의 전기저항 값과 스트레스 반응과의 상관관계는 차후 연구를 통해 밝혀져야 할 것으로 보인다. Shigometer는 수목의 활력도를 현장에서 간단한 방법으로 측정함으로써 조경용 수목의 이식 및 관리에 유용하게 활용될 수 있는 기기인 것으로 생각된다.

#### References

- Blinchard, R.O., Shortle, W.C. and Davis, W. 1983. Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 472-480.
- Carter, J.K. and Blanchard, R.O. 1978. Electrical resistance related to phloem width in red maple. *Canadian Journal of Forest Research* 8: 90-93.
- Davis, W., Shigo, A. and Weyrick, R. 1979. Seasonal changes in electrical resistance of inner bark in red oak, red maple, and eastern white pine. *Forest Science* 25: 282-286.
- Ha, T.J. 2000. A Study on the Vitality of Landscape Woody Plants Based on Changes in Cambial Electrical Resistance and Photosynthesis, in Yonam College of Agriculture. Master Thesis, Sangmyung University, Cheonan, Korea. (in Korean)
- Kim, D.U., Kim, M.S. and Lee, B.Y. 2007. Effects of environmental factors on the cambial electrical resistance of woody plants. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 35(3): 105-113. (in Korean)
- Lee, K.J., Han, S.H. and Jeong, Y.S. 1997. Differences between species and seasonal changes in cambial electrical resistance of twenty ornamental tree species. *Journal of Korean Forestry Society* 86(4): 415-421. (in Korean)
- Li, Y., Kim, D.Y., Kim, H.B. and Kim, Y.K. 2016. Effects of Geohumus mixed with artificial soil on soil water retention and plant stress response. *Journal of Korea Society of Environmental Restoration Technology* 19(1): 1-11. (in Korean)
- Maxwell, K. and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *Journal of Experimental Botany* 51: 659-668.
- McCullough, D.G. and Wagner, M.R. 1987. Evaluation of four techniques to assess vigor of water-stressed ponderosa pine. *Canadian Journal of Forest Research* 17(2): 138-145.
- Shigo, A.L. 1991. *Modern Arboriculture: A Systems Approach to the Care of Trees and Their Associates*. Shigo and Trees, Associates. Durham, USA.
- Shortle, W.C., Abusamra, J., Laing, F.M. and Morselli, M.F. 1979. Electrical resistance as a guide to thinning sugar maples. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 436-437.
- Tattar, T.A. and Blanchard, R.O. 1976. Electrophysiological research in plant pathology. *Annual Review of Phytopathology* 14: 309-325.
- Wargo, P.M., Minocha, R., Wong, B.L., Long, R.P., Horsley, S.B. and Hall, T.J. 2002. Measuring changes in stress and vitality indicators in limed sugar maple on the Allegheny Plateau in north-central Pennsylvania. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 629-641.