

# 木本植物의 形成層 電氣抵抗에 의한 永久萎凋点 豫測에 關한 研究

김 민 수

효성여자대학교 조경학과

## A Study on the Prediction of the Permanent Wilting Point in Woody Plant by Cambial Electrical Resistance

Kim, Min-Soo

Dept. of Landscape Architecture, Hyosung Women's University

### ABSTRACT

It is important to estimate the possibility of recovery in physiologically damaged woody plant. It is suggested that C.E.R(cambial electrical resistance) might be a useful method to predict the permanent wilting point.

D/A and A/D converter can be used to measure the C.E.R and it took only 10--20 msec for a measurement and the values were stable during this study. A computer could be used for the continual measurement of C.E.R.

There were very big daily changes of C.E.R. C.E.R. was changed according to the changes of indoor temperature, but the phase was slightly different. It is reasoned that daily changes in C. E.R. is induced by the changes of water potential and cambial thickness. It was difficult to detect the changes of C.E.R. caused by changes in soil moisture under high soil water potential. Under low soil water potential, the changes of C.E.R can be detected. After wilting, C.E.R is increased very rapidly. When C.E.R is not decreased by watering, It will be permanent wilting point. But it takes several days to confirm the permanent wilting point.

To predict the possibility of recovery from wilting, the values of C.E.R have no meaning. But the changes of C.E.R. are significant. Therefore we can predict the permant wilting point in woody plant by monitoring the change of C.E.R by the computer.

### I. 序論

草本植物은 토양수분이  $-1.5\text{kJ/kg}$ 의 상태에 있게 되면 永久萎凋狀態에 이르게 된다고 알려져

왔으며, 영구위조상태에 이른 초본식물의 灌水에 의한 回生與否는 육안으로 어느정도 예측이 가능하다. 그러나 목본식물의 경우에는 토양수분이  $-1.5\text{kJ/kg}$ 이하의 상태에 있을지라도 상당기간 동안 생존하여 있으며, 건조피해를 받아 낙엽이진 후에도 관수를 하면 가지로부터 새 잎이 돋아나는 경우가 많이 있으나 낙엽이진 후 목본식물의 枯死여부를 육안으로 판단하기란 대단히 어렵다.

목본식물의 고사여부는 形成層의 含水狀態로 판단할 수 있는데 형성층을 절단하지 않고 간접적으로 함수상태를 판별하기 위하여 형성층의 電氣抵抗을 측정하는 방법을 많이 쓰고 있다. 전기저항법은 목본식물의 형성층에 電極을 꽂고 전류를 흘려보내 전압을 측정하고 이 전압으로부터 전기저항을 계산해 내는 방법이다. 이 때 직류를 흘려보내면 전극에서 전기분해가 일어나므로 교류를 흘려보내게 되는데, 교류전압계로 전압을 측정하거나(Dixon, 1978), 교류를 정류하여 직류전압계로 전압을 측정할 후 전기저항을 계산하게 된다. 그러나 교류전압계는 직류전압계에 비하여 精度가 떨어지고, 정류장치에 쓰이는 다이오드는 온도에 따라 비선형적으로 특성이 변화한다는 단점을 가지고 있다. 또한 교류에 의한 전압측정은 평균치에 대한 측정이고, 초기 측정치가 다소 진동하므로, 측정에 시간이 걸리게 된다. 교류를 흘려보낸 후 측정치를 읽을 때 까지 시간이 걸리게 되면 피측정체에는 전류에 의해 열이 발생하고 이 열에 의해 전기저항이 변하게 된다.

본 연구에서는 D/A 변환기에 의해 대단히 안정된 직류전압을 피측정체에 흘려보내고 A/D 변환기에 의해 전압을 측정하는 방식으로, 10-20msec 사이에 측정을 완료하므로써 50-100Hz의 교류를 흘려보냈을 때와 같이 전극에서의 전기분해 현상이 일어나는 것을 막고, 짧은 시간내에 측정을 완료하므로써 열에 의한 저항의 변화를 최소한으로 하였다.

본 연구에서는 이와같이 종래의 교류에 의한 측정방법의 문제점을 개선 보완하여 전기저항에 의한 형성층의 함수상태를 좀더 정밀하게 측정하고, 컴퓨터에 의해 자동연속계측을 하므로써 낙엽

이진 후 목본식물의 영구위조여부를 예측할 수 있는지에 대해 그 가능성 여부를 검토코자 하였다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 實驗材料 및 測定器機

1) 실험에 사용할 수목은 건조피해를 받아 낙엽이진 후 다시 새잎을 내는 萌芽力이 뛰어난 수종이 실험 목적에 합당하였다. 예비실험의 결과 자귀나무의 맹아력이 뛰어났으므로 3년생 자귀나무(*Albizia julibrissin* Durazzini)를 실험재료로 사용하였다.

2) 실험에 사용한 토양은 생물, 화학적으로 안정된 버어미큘라이트를 사용하였다.

3) 토양수분 변화의 측정은 Soilmoisture社의 Soilmoisture block을 이용하였다.

4) 형성층 전기저항 측정을 위한 전극은 직경 0.28mm의 스테인레스 침을 사용하였다.

5) D/A 및 A/D 변환기는 Adventech社의 PCL-812 Data Aquisition Board를 사용하였다.

6) 측정에 사용된 컴퓨터는 IBM-PC286 호환기종이다.

### 2. 實驗方法

1) 실험에 사용할 수목의 뿌리를 깨끗이 물로 씻은 후 버어미큘라이트에 옮겨 심는다.

2) Soilmoisture block을 뿌리가 분포한 중간지점에 설치한다.

3) 낙엽이 지고, 새잎이 나서 굳어진 후 2년생 목질부의 형성층과 小枝부분에 각각 전극을 1cm 간격으로 꽂는다.

4) 저항의 변화는 (그림 2)에서와 같이 分壓法에 의하여 측정한다. (그림 1)에 표시한 바와 같이 D/A 변환기로부터 기준저항과 피측정체의 전극 양단에 직렬로 +5V의 전압을 가하고 피측정체의 전극 양단 전압의 A/D 변환이 끝나면 곧 바로 D/A 변환기의 전압을 0V로 낮추어 피측정체에 전류가 흐르는 것을 막는다.

5) 토양수분센서인 Soilmoisture block 양단의 전

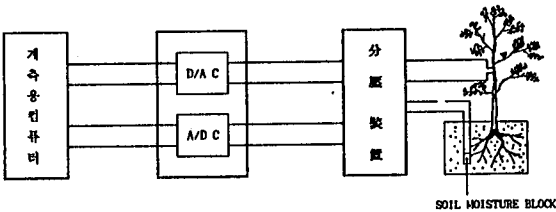
압을 “라”와 같이 측정한다.

6) 10분마다 컴퓨터에 의하여 “라”와 “마”의 측정을 되풀이한다.

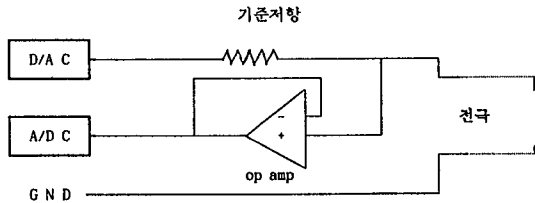
7) 기준저항치와 전압측정치로부터 형성층과 토양수분센서의 전기저항치를 계산에 의해 구한다.

8) 이상의 실험을 供試樹木이 영구위조에 도달할 때까지 실내에서 행한다.

9) 供試樹木이 영구위조에 도달했다고 판단되는 시기의 전후에 관수하여 피측정체의 전기저항 변화를 관찰한다.



(그림 1) 실험장치의 구성



(그림 2) 分壓裝置

### III. 結果 및 考察

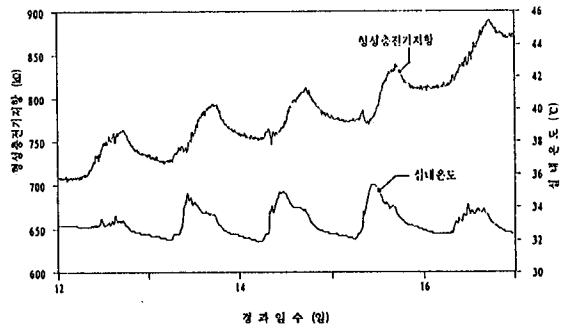
#### 1. 形成層 電氣抵抗의 日變化

Davis(1979) 등은 1년동안 형성층 전기저항의 변화를 측정하여 여름철에는 전기저항이 작게 나타나고 겨울철에는 전기저항이 크게 나타나는 계절적인 현상을 보고하였는데 이는 수분포텐셜의 계절적인 변화와 비슷한 경향을 보이고 있다고 하였다. Dixon(1978) 등은 형성층 전기저항이 수분포텐셜과 매우 높은 상관성이 있다는 것을 밝힌 바가 있다. Blanchard(1983) 등은 수목의 樹幹部를 절단하여 본 결과 형성층 전기저항이 형성

층의 두께와 높은 상관성을 보이며, 계절적으로 봄에서 여름동안은 세포분열에 의하여 형성층의 두께가 두꺼워지고 가을에는 형성층의 세포가 성숙되면서 그 두께가 얇아진다는 사실을 보고하였으며, Smith(1984) 등은 이를 현미경관찰에 의하여 증명하고 있다. 이와 같이 형성층 전기저항의 계절적 변화는 수분포텐셜과 형성층 두께의 변화에 의한 것이라고 판단된다.

형성층 전기저항의 日變化도 수분포텐셜과 형성층 두께의 변화와 관계가 있는 것으로 보인다. Klepper(1968)는 잎에서의 증산량과 뿌리로 부터의 흡수량의 차이로 인하여 수목의 가지에서는 야간에는 약  $-0.5\text{kJ/kg}$ , 주간에는 약  $-1.5\text{kJ/kg}$ 로 수분포텐셜의 일변화가 있다고 하였다. Dixon(1978) 등은 절단된 수목의 가지에서 형성층 전기저항의 自然對數는 온도와 線形的으로 반비례 관계에 있는 것을 밝히고 있는데, 이는 온도가 낮으면 저항이 작아지고 온도가 높으면 저항이 커지는 일반적인 저항변화와 반대현상으로 온도가 높으면 형성층이 팽창하여 전기저항이 작아지고 온도가 낮으면 형성층이 수축하여 전기저항이 높게 나타나는 현상으로 판단된다.

본 실험에서 측정된 형성층 전기저항의 日變化 및 온도변화의 一例를 (그림 3)에 나타내었다. 0시부터 24시까지의 측정치를 1日分으로 표시하였다. 형성층 전기저항의 일변화는 온도와 약간의



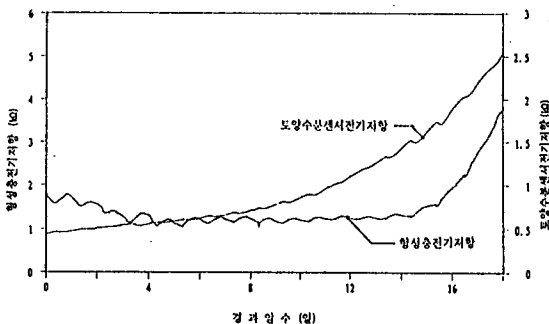
(그림 3) 형성층 전기저항의 변화와 실내온도 변화

위상차를 가지나 서로 비슷한 양상으로 週期的으로 변하고 있다. 수목의 증산작용은 온도의 상승과 더불어 급속히 증가하며 수목의 위쪽에 있

는 수분이 먼저 없어지고 수간의 직경이 줄어들었다가 야간에는 수분부족량이 보충되고 수간의 직경이 회복된다.(이경준,1993) 본 실험에서 형성층 전기저항의 일변화는 수목의 증산량이 많은 주간에는 전기저항이 꾸준히 증가하다가 증산량이 적은 야간에는 전기저항이 줄어드는 양상을 보이고 있다. 이러한 형성층 전기저항의 일변화는 식물체내 수분상태의 변화를 잘 나타내주고 있고 그 변화의 폭이 커서 향후 측정치의 응용 범위가 크게 확대될 것으로 기대된다.

2. 토양수분의 변화와 形成層 電氣抵抗의 변화

Klepper(1968)는 수목에서의 수분포텐셜은 주간에는 증산량 변화의 영향을 받고 야간에는 토양수분상태의 영향을 받는다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 (그림 4)에서와 같이 토양수분포텐셜이 높을 때에는 토양수분이 감소하여도 형성층의 전기저항은 별다른 변화를 보이지 않는데 이는 수목이 필요이상의 수분을 흡수하지 않는다는 것을 의미한다. 증산에 의하여 수분 스트레스를 받게 되면 형성층 전기저항이 변하게 되고 또한 토양수분포텐셜이 낮아지면 전기저항은 급속히 증가하게 된다. 이러한 특성은 수목재배시 灌水時點을 정하고자 할 때 토양수분을 측정하는 것보다 형성층 전기저항을 측정하는 것이 더욱 합리적이라는 것을 示唆하고 있다. 왜냐하면 형성층 전기저항은 토양에서의 수분흡수와 있어서 증산이 일어난 결과 나타나는 수목체내 수분 스트레스의 정도를 토양수분과 증발량을 측정하여 계산에 의하여 산출한 값(丸山利輔등,1992)보다

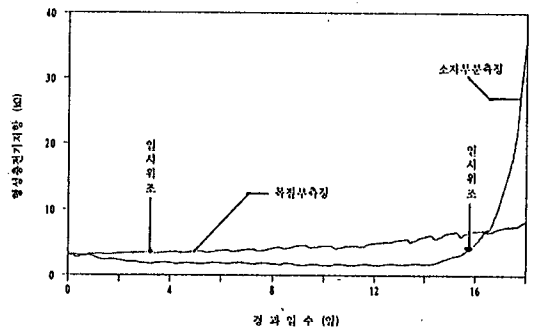


(그림 4) 토양수분 변화에 따른 형성층 전기저항의 변화

좀더 직접적으로 나타내주기 때문이다. 그러나 (그림 4)에서와 같이 전극을 설치한 후 얼마동안은 전기저항이 줄어드는데 이는 피측정체와 전극 사이의 접촉상의 문제로 여겨진다. 이러한 전극과 피측정체와의 접촉상의 문제, 온도보정의 문제등을 보완한다면 형성층 전기저항의 특성은 실용적으로 이용범위가 확대될 수 있을 것이다.

3. 一時萎凋와 測定部位에 따른 電氣抵抗의 變化

일시위조 전후의 전기저항변화를 (그림 5)에 나타내었다. 일시위조 현상은 육안으로 확연히 구분되나 전기저항 측정치에 있어서의 特異點은 발견되지 않았다. 다만 일시위조 이후에는 전기저항이 급격히 증가한다. 수목이 일시위조에 도달하게 되면 수분부족으로부터 회복이 되어도 그 이후 생장이 크게 둔화되므로 형성층 전기저항의 변화로부터 일시위조점을 예측한다는 것은 상당히 의미있는 일이나 측정의 오차를 고려한다면 아직 그 예측은 쉽지않다.



(그림 5) 일시위조 전후의 형성층 전기저항의 변화

Blanchard(1983) 등과 Shortle(1977) 등은 식물의 활력도를 나타내는 지표로 쓰기위하여 지상에서 1.4m 높이의 樹幹部에서 형성층 전기저항을 측정하여 전기저항치가 작을수록 수목의 성장량이 많았다고 하였으나 簡簡의 수목에서는 저항치와 성장량과의 관계를 발견하기 어려웠고 성장이 양호한 그룹과 불량한 그룹간의 전기저항 평균치

는 兩者間에 有意差가 있다고 하였다. 이와같은 사실은 형성층 전기저항은 아직 측정오차가 많은 것을 의미하며 오차를 보정하기 위해서는 수목을 절단하지 않으면 안된다. 또한 형성층 전기저항은 측정부위마다 그 값이 다르고 일변화가 심하여 전기저항의 절대치는 그 의미를 찾기 힘들다. 따라서 저항치의 상대적인 변화를 관찰하여 수목체내의 수분상태를 미루어 짐작하는 것이 보다 합리적인 방법이다.

(그림 5)에는 小枝에 전극을 설치한 것과 2년 생의 木質部에 전극을 설치한 것의 저항치 변화를 나타내었다. 소지에 설치한 것은 일시위조가 일어난 전후로 급격한 저항의 증가가 눈에 띄나, 목질부에 설치한 것은 일시 위조가 일어난 후 서서히 저항이 증가하고 있다. 이는 저항치의 상대적인 변화를 측정하여 수목체내의 수분변화를 민감하게 관찰하기 위해서는 어린가지일수록 유리하다는 것을 보여준다.

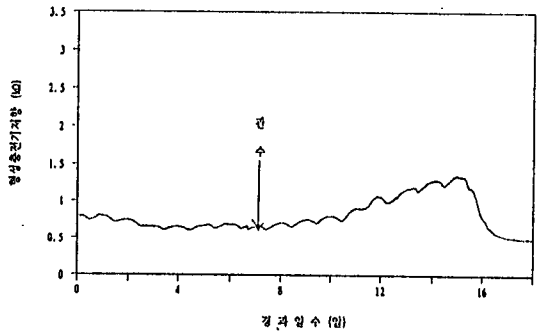
4. 灌水에 따른 電氣抵抗의 變化

(그림 6)에서와 같이 관수한 다음 어느 정도 시간이 지나 전기저항이 작아지게 되면 아직 영구위조점에 도달하지 않았다고 판단할 수 있으나, 관수후에도 계속 저항이 증가하면 영구위조 상태에 들어 갔다고 판단할 수 있다.

(그림 4)에서와 같이 토양의 수분포텐셜이 높은 때에는 토양수분에 의한 형성층 전기저항의 변화는 적으나, 수분포텐셜이 낮아지게 되면 토양수분의 변화에 따른 형성층 전기저항의 변화도 커지게 된다. 따라서 토양수분포텐셜이 높을 때에는 관수에 의한 형성층 전기저항의 변화가 뚜렷하지 않으나, 토양의 수분포텐셜이 낮을 때에는 관수에 의한 형성층 전기저항의 변화가 뚜렷하게 나타난다. 그러나 토양의 수분포텐셜이 낮을 때에는 형성층의 전기저항이 크게 나타나고, 형성층 전기저항이 크면 형성층내에서 물의 이동이 느리게 된다. 또한 낙엽이 진 후에는 잎에서의 吸引力이 상실되므로 관수후 형성층 전기저항의 변화는 (그림 6)에서와 같이 대단히 늦게 나타난다. 따라서 영구위조 여부의 판정은 상당한 시일

을 필요로 한다.

草本植物은 일반적으로 영구위조점에 도달하게 되면 식물체 전체가 枯死하게되나 木本植物의 경우는 부위별로 영구위조여부가 다르게 나타난다. 따라서 관수에 따른 전기저항의 변화를 부위별로 측정하여 영구위조에 도달한 부위를 판단한다.



(그림 6) 관수에 따른 형성층 전기저항의 변화

IV. 摘 要

조경수목의 경우는 수목이 생리적 장애에 의하여 낙엽이 졌다하더라도 아직 가지가 죽지않고 살아있는 경우에는, 피해원인을 제거하고 적절한 조치를 취하여 새잎이 나오게 되면 경제적으로 커다란 손실을 입지 않는 경우가 많다. 또한 조경수목은 이식되는 경우가 많고, 더우기 열악한 환경으로 옮겨지는 경우가 많아 생리적 장애를 일으킬 가능성이 높다. 따라서 생리적 장애에 의하여 낙엽이 진 조경수목의 枯死 여부를 판단할 수 있는 방법과 적절한 조치를 취한 후 回生 가능성 여부를 진단할 수 있는 방법이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 본 연구는 종래의 교류에 의한 형성층 전기저항 측정법을 개량하여 컴퓨터에 의한 연속자동계측이 가능하게 하므로써 이러한 요구에 부응할 수 있는 가능성을 제시하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. D/A, A/D 변환기에 의한 전기저항 측정치는 매우 안정되어 있으며, 이러한 측정방법은 컴퓨터를 이용한 연속자동계측에 적합하였다. 컴퓨터를 이용한 연속자동계측은 측정치의 절대치에 의존하던 종래의 방법보다 측정치의 상대

적인 변화를 간편하고 용이하게 관측 할 수 있도록 하므로써 형성층 전기저항의 측정이 갖는 장점을 더욱 확대시켰다.

2. 형성층 전기저항의 日變化는 그 변화폭이 크고, 토양에서의 수분흡수와 앞에서 증산이 일어난 결과 나타나는 수목체내의 수분상태변화를 잘 나타내주고 있다. 이러한 수분상태의 변화는 어린가지일수록 민감하게 나타났다.
3. 토양수분포텐셜이 높을 때에는 형성층 전기저항의 일변화가 토양수분감소에 의한 변화보다 대단히 크게 나타나고 있어 토양수분감소에 의한 형성층 전기저항의 증가는 관측하기 어려웠다. 토양수분포텐셜이 낮을 때는 토양수분의 감소와 함께 형성층 전기저항이 큰 폭으로 증가하므로 형성층 전기저항에 의해 토양수분의 변화를 관측할 수 있었다.
4. Wargo(1975)는 형성층 전기저항치를 수목 활력도의 지표로 삼아 수목의 생리적 피해도를 측정하려고 하였으나, 수목의 종류 및 크기에 따라 그 기준치가 달라지므로 일반적인 적용의 한계를 인정하였다. 본 연구는 형성층 전기저항의 절대치 보다 전기저항의 시간적 변화를 측정하는데 주력하여 형성층 전기저항의 연속적인 변화의 관찰로 수목의 영구위조 여부를 판별할 수 있었고 또한 같은 방법으로 피해를 받은 수목의 回生 가능성 여부, 回生을 위한 조치의 적절성 여부를 조기에 판단할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

## 引用文獻

1. 이경준(1993) 「수목생리학」, 서울:서울대학교출판부: 227-228.
2. 丸山利輔外6人(1992) 「新編灌漑排水上卷」, 東京:養賢堂:106-127.
3. Blanchard, R. O., W. S. Shortle, and W. Davis (1983) "Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir", *Can. J. For. Res.*, 13:472-480.
4. Davis, W., A. L. Shigo, and R. Weyrick(1979) "Seasonal changes in electrical resistance of inner bark in red oak, red maple and eastern white pine", *Forest Sci.*, 25:282-286.
5. Dixon, M. A., R. G. Thompson, and D. S. Fenson(1978) "Electrical resistance measurements of water potential in avocado and white spruce", *Can. J. For. Res.*, 8:73-80.
6. Klepper, B.(1968) "Diurnal pattern of water potential in woody plants", *Plant Physiol.*, 43:1931-1934.
7. Smith, K. T. and R. O. Blanchard(1984) "Cambial electrical resistance related to the number of vascular cambial cells in balsam fir", *Can. J. For. Res.*, 14:950-952.
8. Shortle, W. S., A. L. Shigo, P. Berry, and J. Abusamra (1977) "Electrical resistance in tree cambium zone: relationship to rates of growth and wound closure", *For. Sci.*, 23:326-329.
9. Wargo, P. M. and H. R. Skutt(1975) "Resistance to a pulsed electric current: an indicator of stress in forest trees", *Can. J. For. Res.*, 5:557-561.