

ARTICLE

09

노거수 활력 측정 및 내부 부후

검출을 위한 비파괴검사법

가오유량(高玉亮) · 차병진* 충북대학교 식물외과

ANNUAL REVIEW IN



- 147 서론
- 147 줄기의 내부 구조와 기능
- 148 나무줄기 내부의 부후
- 149 수목의 활력 및 내부부후 진단법
- 150 Shigometry
 - 1. 수목의 전기저항
 - 2. 형성층 전기저항과 수목의 활력
 - 3. 전기저항을 이용한 수목의 부후진단
- 153 음파측정법
- 154 기타
 - 1. 미세천공법
 - 2. 적외선법
- 155 결론

노거수 활력 측정 및 내부 부후 검출을 위한 비파괴검사법

가오유량(高玉亮) · 차병진*

충북대학교 식물 의학과

투고일자 : 2008. 12. 04 | 심사일자 : 2009. 03. 09 | 게재확정일자 : 2009. 03. 19

* 교신저자, Corresponding author(Dept. of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)

국문초록

노거수에 큰 피해를 주지 않고 나무의 활력과 내부 부후도를 알아내는 방법에는 목질부의 전기저항치 측정, 음파전달 속도 측정(초음파 측정법), 미세천공저항력 측정, 자외선의 이용 등 몇 가지 방법이 있다. 이 중 초음파 측정법은 나무에 전혀 상처를 남기지 않으며, 굵기가 매우 굵은 나무도 측정할 수 있다는 점에서 다른 방법들보다 더 뛰어나다. 그러나 초음파측정기는 아직까지 많이 보급되어 있지 않으며 값이 비싼 것도 단점이다. 반면에 식물조직의 전기전도도를 측정하는 Shigometer는 나무의 활력이나 내부 부후 여부를 진단하는 데 아주 유용하게 사용할 수 있는 도구이며 매우 정확한 결과를 얻게 하여 준다. 나무의 활력은 형성층의 전기저항치로써 알 수 있으며, 내부의 부후여부는 목질부의 전기전도도를 보고 알 수 있다. 형성층 전기저항을 측정하여 나무의 활력을 판정하고자 할 때는 판정하고자 하는 것과 같은 수종을 적어도 수 십 그루 이상 미리 조사하여 표준식(standard equation)을 만들어 두어야 한다. 나무의 전기저항을 변화시킬 수 있는 요인들은 모두 포함하여야 하며, 특히 수종과 나무의 크기, 온도 요인들은 필수적이다. 현재 우리가 보호하여야 할 노거수의 수종들에 대한 표준식을 만들어 놓는다면 필요할 때에 아주 유용하게 사용할 수 있을 것이다. 또한 특정 나무의 형성층 전기저항치를 정기적이고 지속적으로 조사하면 누적된 조사치들과 비교하여 나무의 상태를 판정할 수 있다. 부후 여부를 진단하기 위한 목질부 전기저항 측정에서는 표준식이 필요하지는 않지만 수종별로 건전한 목질부 전기전도도를 확인해 두어야 하며, 줄기의 굵기가 굵을 때는 초음파 측정기를 함께 사용하는 것이 좋다.

서론

식물문화재는 희귀식물 또는 집단군생지를 제외하고는 대부분 보호수나 기념수 같은 크고 오랜 세월을 버티어 온 나무들이다. 이들 중 천연기념물은 학술적, 관상적, 역사적 가치가 높아 그 보호와 보존을 법률로써 지정한 나무들을 일컫는다.

이들과 같이 크고 나이 많은 나무를 노거수(老巨樹)라고 부르는데, 세계 어느 곳을 막론하고 그 지역의 신화나 설화, 옛이야기에 노거수가 빠지는 경우는 매우 드물다. 우리나라에서도 노거수는 언제나 우리 주변에 있으면서 때로는 우리를 지키는 신이 되기도 하고 때로는 다정한 친구가 되기도 하는 등 우리의 생활과 떼어놓을 수 없는 관계에 있다. 실제로 많은 노거수가 수호목, 당산목, 신목, 풍치목, 피서목, 정자목, 호안목, 기형목 등 숭앙과 외경의 대상이 되고 있으며(문화재청, 2002; 2003), 국가의 성쇠를 비롯하여 민족의 삶과 영고의 숨결이 깃들여 있는 명목으로 대우받고 있다. 즉, 노거수 천연기념물은 우리 문화의 형성과 발달에 필요한 사회적 문화적 심미적 정신적 가치를 제공하는 중요한 자연문화재이다(임경빈, 1992).

그러나, 노거수들은 글자 그대로 오래되고 큰 나무로서, 오랜 세월을 걸쳐 진행된 자연노화와 함께 원래 자라고 있던 환경이 크게 변하였고 수세 또한 쇠약해진 경우가 대부분이다. 따라서 노거수들은 주변의 환경변화 스트레스에 더욱 민감하게 반응하며, 생육지의 물리적, 생물적 환경변화에 대한 적응력도 매우 낮다. 이러한 특성들로 인하여 노거수가 스트레스를 견디지 못하고 쇠락하는 일이 자주 일어나고 있기 때문에, 이들이 더 이상 스트레스를 받거나 고사하는 일이 일어나지 않도록 전문가 집단을 구성하여 과학적으로 관리할 필요가 있다.

또한 나무는 가지의 고사나 줄기의 상처를 통하여 목질부가 썩는 경우가 많으며, 수종에 따라서는 상처 없이도 주간의 굽기가 굽어짐에 따라 수를 중심으로 한 내부 조직이 썩기도 한다. 일단 부후가 시작되면 나무의 내부라는 특수성으로 인하여 부후가 지속적으로 진

행되고, 그 결과 나무가 이를 견디지 못하고 쓰러지거나, 심하면 죽기도 한다.

부후는 그 상태가 아주 심각해 질 때까지 외부로는 전혀 증상이 나타나지 않아 더 큰 피해를 초래하기도 한다. 또한, 이러한 부후는 초기에 발견한다면 적절한 조치를 통하여 진행을 멈추게 할 수도 있고, 적어도 진행을 늦출 수 있으므로 나무의 건강을 위하여 부후의 조기발견은 매우 중요하다고 할 수 있다.

따라서, 나무에 큰 피해를 주지 않으면서 나무의 활력을 측정하고 목질부에 생기는 부후를 탐색하기 위한 연구들이 꾸준히 진행되어 왔으며, 그 결과 비파괴검사법에 가까운 여러 가지 방법들이 개발되어 있다.

줄기의 내부구조와 기능

거의 모든 나무는 잎, 줄기, 뿌리 등 세 부분으로 이루어져 있으며, 각 부분은 서로 다른 모양과 기능을 하고 있다. 이 중에서도 줄기는 가지를 뻗어서 빛을 가장 많이 받을 수 있는 위치로 잎들을 배열할 뿐 아니라, 잎과 뿌리를 연결해 주는 역할도 한다.

줄기에는 내수피(inner bark)의 가장 안쪽에 형성층(cambium)이 잘 발달되어 있으며, 형성층의 안쪽으로 물관(xylem)과 체관(phloem)이 배열되어 있다. 물관은 자라면서 길어지는데, 세포벽에 리그닌(lignin)이 축적되며 두꺼워질 뿐 아니라 세포 내용물들이 분해되어 사라지고, 결국에는 양끝 쪽의 벽이 붕괴되어 인접한 세포끼리 끝이 이어짐으로써 긴 관을 만든다. 즉, 뿌리에서 잎까지 물기둥이 만들어지기 때문에 증산작용을 통해서 잎의 수분이 빠져나가는 만큼 물기둥이 달려 올라가면서 모자란 수분을 바로 보충해 준다. 만일에 이 물기둥이 어떤 부분에서라도 끊어진다면 물이 앞으로 원활하게 공급되지 않게 되며, 이러한 상황이 지속되면 앞에는 시들음 증상이 나타난다.

물관은 내외부의 압력에 충분히 견딜 수 있도록 매우 두껍고 단단한 벽으로 이루어져 있으며, 이러한 물관들은 해마다 새로운 개체들로 대체되고 늙은 물관들

은 내부로 축적되며 나이테를 이루고 심재(heartwood)의 일부가 된다. 즉, 심재는 현장에서 은퇴한 일종의 폐기조직으로서 활력은 거의 없는 조직인데, 실제로는 나무줄기의 내부를 채우며 물리적인 지지작용도 한다. 해마다 일정량의 늙은 목관들이 심재에 새롭게 축적되므로 심재는 시간이 지남에 따라서 점점 더 두꺼워지고, 이것이 곧 줄기의 비대생장이다.

형성층은 분열세포들로 이루어진 조직으로서, 자라는 나무에 있어서 가장 중요한 부분이다. 형성층은 주피 밑의 단일 세포층으로서 새로운 뿌리와 가지의 생장은 물론 상처를 치료하는 유합조직의 생성에도 매우 핵심적인 역할을 하는 조직이다.

형성층의 바깥쪽으로는 체관이 존재하는데, 앞에서 만들어진 당이 가지나 뿌리 등 다른 장소로 이동해 가는 통로이다. 체관은 목관과는 달리 내용물이 꼭 차있는 살아있는 세포들로 이루어져 있으나, 목관과 마찬가지로 해마다 새로운 체관들로 대체된다. 오래된 체관들은 바깥쪽으로 밀려나가며 코르크화 하여 외수피(outer bark)를 형성하고 결국은 떨어져 나간다. 따라서, 목관이 만드는 목부는 시간이 지남에 따라서 점점 더 두꺼워지는 것과 달리 체관의 두께는 그다지 크게 차이지 않는다.

줄기에서 늙은 목관들이 모여 있는 심재부분은 활력이 매우 떨어져 있으며 산소의 공급도 원활치 않은 부분이므로 만약 이 부분에 미생물들이 침입한다면 부후가 쉽게 일어날 수 있다. 실제로 노거수들 중 상당수가 이 심재부에 문제를 가지고 있으나, 겉에서는 볼 수가 없기 때문 부후가 매우 많이 진행된 후에야 가시적인 증상이 나와 문제가 되는 경우가 많다.

나무줄기 내부의 부후

아무리 상처가 나지 않도록 나무를 잘 돌본다고 하여도 나무의 나이가 많아지고 줄기가 몇 아름이 되도록 커지면 나무의 심재가 썩는 것은 일반적인 현상이다. 노거수 치고 심재부후가 없는 나무는 없다고 하여도 틀

린 말이 아닐 정도로 심재부후(heartwood rot, heart rot)는 시기와 정도의 차이가 있을 뿐, 노거수에서는 반드시 나타나는 현상이다.

삼림병학의 아버지라 불리는 Robert Hartig 역시 목질부 부후에 대하여 관심이 많았으며, 1874년에 처음으로 썩은 나무의 버섯과 균사와의 관계를 언급하였다. 후세의 학자들은 심재부후에 대한 Hartig의 연구를 곧 삼림병학 또는 나무병학의 시발점으로 인정하고 있다. 그러나, 많은 수목병리학자와 균학자들이 나무의 심재가 썩는 것에 대해서는 오랫동안 연구해 왔음에도 불구하고 왜 노거수의 심재가 썩는지를 완벽하게 설명해 주는 사람은 아무도 없었다(Tattar, 1989).

지금까지 발표된 학설 중 가장 널리 받아들여지고 있는 네 가지는 첫째, 목질세포를 분해하는 담자균류가 침입하여 부후가 일어난다는 것으로서 Hartig가 제창한 학설이다. 담자균류가 심재까지 도달하는 것은 담자균류의 포자가 줄기에 있는 상처(눈에 보이지 않는 작은 상처도 포함), 죽거나 또는 부러진 가지, 불탄 자리 등을 통해서 침입한 이후에 균사가 심재까지 자라감으로 하여 완성될 수 있다. 둘째는 심재부후균이 아주 작은 가지를 감염하여 나무에 침입한 후 잠복상태로 지내다가 나무가 스트레스를 받거나 상처를 받으면 그 조직을 감염하여 심재부후를 일으킨다는 학설이다. 이 두 학설은 모두 1930년대 이전에 발표된 것들로서 구체적인 과정을 설명하거나 입증하지는 못했음에도 불구하고 실제로 자주 나타나고 있는 일이므로 아직도 많은 사람들의 공감을 얻고 있지만, 모든 심재부후를 다 설명하지는 못한다.

반면에 나머지 두 학설은 모두 20세기 후반에 발표되었으며, 상당한 과학적 근거를 가지고 있다. 세 번째 학설은 부후란 변재의 수분함량과 가장 밀접한 관련이 있다고 주장한다(Boddy and Rayner, 1983). 정상적인 활동이 이루어지고 있는 변재에는 수분이 과다하게 존재하고 산소는 부족하여 부후균의 활동을 억제하기 때문에 썩음이 시작하거나 번지지 못한다는 것이다. 즉, 부후란 상처받은 조직, 또는 정상적인 기능이 손상되어 심재와 같은 상태가 된 변재로부터 시작한다는 것이다. 마지막 학설은 가장 최근에 제안된 학설로서

Shigometer를 개발한 Shigo 박사가 제안한 것으로, 미생물 천이에 의하여 최종적으로 심재가 썩는다는 학설이다(Shigo 1989). 그의 학설에 따르면 우선 나무가 상처를 받으면 그 부분으로 선구적 미생물(pioneer microorganism)들이 침입하여 조직을 변화시키고, 그 변화된 조직으로 목재부후균들이 감염한다는 것이다. 즉, 목재부후균은 선구적 미생물이 변화시켜 놓은 조직에 침입하는 2차 병원체(secondary pathogen)라는 것이다. 선구적 미생물들은 나무의 산도를 변화시키고 상처를 보호하기 위하여 만들어진 페놀화합물들을 무독화하는 것으로 알려져 있다.

목재부후균들은 셀룰라제(cellulase)와 리그나제(lignase) 등을 분비하여 목부세포벽의 주성분인 셀룰로스(cellulose)와 리그닌(lignin)을 분해하여 자신들의 균사안으로 흡수하고 다시 분해하여 최종적으로 CO₂와 H₂O로 만든다. 이러한 작용에 의하여 부후가 진행되었거나 또는 진행되고 있는 부분은 무게가 감소하고 강도가 약해질 뿐만 아니라 물이나 액체에 더 잘 젖는다. 즉, 부후균에 침입 당한 조직은 정상조직에 비하여 잘 젖어 부후균의 활동에 좋은 조건이 된다. 또 이 부분에는 부후균들의 활동에 의하여 정상적인 조직보다 더 많은 이온들이 존재하게 된다(나용준 등, 1999).

수목의 활력 및 내부부후 진단법

수목의 활력은 외관상의 성장상태로 나타나기 때문에 수목의 활력을 판정하는 가장 일반적인 방법은 성장 특성에 기초하여 평가하는 것이다. 즉, 외관상의 신초 성장도, 잎의 팽윤상태, 엽록소 함량, 수관에서의 잎의 밀도 등을 계량화하여 판단하는 것이다. 하지만, 이러한 방법은 시간과 노력이 많이 드는 일이며, 단기간의 변화 및 현재 진행 중인 변화는 찾아내기 힘들다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 수목의 활력과 밀접한 관련이 있는 체관부의 전기전도도를 측정하여 기존의 방법보다 간단하고 신속하게 활력을 측정하는 방법이 개발되어 있다.

활력 진단에 비하여 심재부의 변화, 즉 심재부후를 진단하는 것은 매우 어렵다. 심재부후는 그 특성상 나무줄기 내부에서 진행되는 변화이기 때문에 자신택이 나타날 때까지 겉으로는 아무런 증상도 보이지 않으며, 실제로 겉에서도 부후의 징후를 발견할 수 있다면 이미 내부에서는 부후가 상당히 진행된 상태라고 보는 것이 옳다. 따라서 예로부터 줄기 내부의 부후를 진단하는 것은 나무를 관리하는 사람들의 공통적인 관심사가 되어 왔다.

나무줄기 내부의 부후를 진단하는 가장 확실한 방법은 내부 조직을 직접 관찰하는 것이지만 살아있는 나무줄기의 내부를 관찰한다는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 날이 긴 드릴을 사용하여 일정 깊이마다 드릴밥의 상태를 점검하며 구멍을 뚫는 방법이 있으나, 경우에 따라 드릴밥의 상태를 확인하기 어려울 수 있으며 시간도 매우 많이 걸리는 방법이다. 내부 조직을 꺼내어 부후여부를 확인하는 가장 현실적인 방법은 생장추(increment borer)를 이용하여 내부 조직을 깊이별로 꺼내어 보는 방법인데(DeBell et al., 1997), 이 방법은 나무줄기를 관통하며 지름 약 5mm 이상의 상처를 남긴다. 심재와 변재의 부후를 진단하는 방법들은 대부분 크든 작든 나무에 상처를 남기므로 나무에 상당한 부담을 주는 것이 사실이다. 따라서, 이러한 부담을 줄이기 위하여 고안된 방법들이 바로 목질부를 직접 눈으로 확인하지 않더라도 전기저항, 습도, 온도, 전자기파 등을 이용하여 내부를 추정하는 비파괴검사법이다.

비파괴 검사는 X선(x-ray), 감마선(gamma ray) 또는 초음파(ultrasonic)를 사용하는 것으로서 나무에 별다른 피해를 주지 않는다는 점에서 다른 방법들보다 장점을 가지고 있으나(Tomazello et al., 2008), 장비가 크고 값이 비싼 것에 비하여 결과의 정확성이 상대적으로 낮으며, 특히 X선이나 감마선을 사용하는 경우에는 동위원소를 사용하는 등의 단점을 가지고 있었기 때문에 실제로 그리 많이 사용되지는 않았다. 그러나 초음파를 사용하는 경우에는 최근에 장비가 매우 작아진 반면 정확성은 매우 높아져서(Mach, 2006) 그 사용이 점점 늘어가고 있는 추세이다.

실제로 나무의 부후를 진단하는 데 사용되는 비파괴검사법들은 현재 초음파 이외에도 기계적 특성을 이용한 방법, 전기적 성질을 이용한 방법, 수리학적 성질 또는 열적 성질의 이용, 그리고 전자기파를 이용한 방법 등 매우 다양하다.

이러한 특성을 검사할 수 있는 장비들은 대개 휴대용으로 개발되어 직접 나무가 있는 장소에다가 가서 측정할 수 있다. 현재 우리나라에서 가장 일반적으로 보급되어 있는 것이 전기저항을 측정하여 나무의 활력도와 부후도를 측정하는 'Shigometer' 이므로 전기저항을 위주로 살펴보기로 한다.

Shigometry

'Shigometry'란 Shigometer를 이용하여 나무의 전기저항치를 측정하고 그를 바탕으로 활력과 부후도를 추정하는 것을 말한다. Shigometer는 미국 농무성 동북임업시험장의 Alex L. Shigo 박사가 개발한 장비로서 살아있는 나무의 전기전도도 측정기이며, 나무에 직류전류를 연결하여 저항치(전도도)를 측정한다. 목질부는 썩기 전에 수분함량이 증가하며 더 많은 이온을 함유하므로 이런 부분에서는 전기전도도가 증가, 즉 전기저항이 감소한다는 특성을 이용한 장비이다(Shortle and Smith, 1987).

1. 수목의 전기저항

식물세포도 동물세포와 같이 내부에 많은 이온(ion)과 전해질(electrolyte)을 가지고 있으며, K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , $H_2PO_4^-$, SO_4^{2-} 등의 이온들은 세포들에 대하여 선택적 투과성을 가지고 있다(Higinbotham, 1973). 이러한 전해질의 양과 이온 활성은 세포의 활력에 따라 달라지며, 그 차이는 전기전도도의 차이로 나타난다. 식물 세포 내에서의 전하변화에 대한 연구분야를 전기생리학(electrophysiology)이라 하는데, 전기생리학에 대한 연구는 전기에 대한 연구와 거의 역사를 같이 한다고 할 수 있다(Tattar and Blanchard, 1976).

일찍이 상처 또는 병원체의 감염에 따른 전기생리적 변화를 이용하여 식물의 이상을 알아내고자 하는 시도가 있었으며, 이는 병징이 나타나기 전에 비파괴적인 방법으로 병을 진단하는 전기생리적 진단으로 발전하였다(Tattar and Blanchard, 1977).

일반 식물 세포 내에는 이온과 전해질이 매우 높은 농도로 존재한다. 만약에 식물이 감염되어 그 세포의 원형질막이 파괴되면 세포 내부의 전해질들이 세포간극으로 흘러나와 비록 국부적이거나 이온 농도가 상당히 증가하게 된다. 이런 일들은 실제로 기주-병원체의 상호반응에서 자주 일어나며, 감염된 부분의 전기전도도를 크게 높이는 결과를 초래한다(Wheeler와 Hanchey, 1968). 또한, 세포의 내부와 외부의 이온 농도 차이는 생체막을 가로질러 왕성하게 만들어지는 전기포텐셜(electrical potential)의 차이에 기인할 때가 많다. 운동성 이온 농도가 높으면 조직 내부를 흐르는 전류를 잘 전달하게 되므로 그 조직의 전기전도도(electrical conductivity)는 낮아지는 반면 전기저항(electrical resistance)은 높아진다(Tattar and Blanchard, 1977). H^+ 역시 전기전도도에 매우 중요한 영향을 하는 듯이 보인다(Higinbotham, 1973).

나무의 특정 조직의 전기전도도를 결정하는 가장 큰 요인은 그 조직의 이온 농도와 습도이다. 나무의 수분함량은 하루 중에도 시각에 따라서 차이가 있으며, 특히 이온의 활성은 온도에 따라서 달라진다. 이러한 환경요인들은 나무의 전기전도도에 영향을 미치는 요인들이다. 체관부의 두께 또한 조직 내에 존재하는 총 이온량을 조절하여 전기전도도에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 즉, 줄기의 굵기가 굵을수록 체관부가 두꺼워지며, 두꺼운 체관부에는 더 많은 이온들이 존재하기 때문에 이 부분에서 전기저항치를 측정한다면 체관이 얇은 부분에서보다 더 낮은 저항치가 측정될 것이다(Cha, 1984).

즉, 전기저항치는 여러 가지 요인들에 영향을 받기 때문에 가능한 한 동일한 조건 하에서 측정하여야 한다. 실제로 식물의 종류, 조직의 종류, 측정 시기, 측정 시각, 기온, 줄기의 굵기, 측정 기술 등에 의해서 측정치는 달라질 가능성이 많다(Cha, 1984).

2. 형성층 전기저항과 수목의 활력

식물조직의 전기저항치는 이미 몇십 년 전부터 특정 식물조직의 건전성과 활력을 측정하는데 사용되어 왔다. 실제로 많은 연구자들이 다양한 식물 종에서 건전조직과 감염조직 사이의 전기저항치 차이가 뚜렷함을 보고하였다.

식물 조직의 종류나 상태에 따라서 다른 전기저항치를 보이는 것은 이미 앞에서 설명한 대로 식물 세포 안에는 다양한 전해질 이온들이 존재하기 때문이다. 일반적으로 왕성한 활력을 지니고 있는 세포는 세포내용물도 더 충실하며, 그 안에 전해질 농도도 높다. 따라서 이러한 부분에서는 전기전도도가 높기 때문에 낮은 전기저항치를 보이게 된다. 반면에 스트레스를 받은 조직은 수분이동을 비롯한 대사활동이 원활치 않기 때문에 전해질 이온의 농도가 낮고, 그에 따라 전기저항치가 상승한다(Tattar and Blanchard, 1976). 식물체 내에서 가장 활발한 대사활동을 보이는 곳이 바로 형성층 부분이다. 따라서 식물체에서 가장 낮은 전기저항치를 보이는 곳도 형성층이다(Fensom, 1960).

또한 식물이 스트레스를 받았을 때 일반적으로 형성층과 유관속의 활동에 지장을 받으므로 형성층의 전기저항치가 증가한다. 예를 들면 겨울에는 환경조건이 식물의 생육에는 부적당하기 때문에 이 시기에는 물질의 이동이나 대사도 잘 일어나지 않으며, 그 결과 겨울에는 형성층 전기저항이 증가하는 반면 생육기, 특히 여름철에는 형성층 전기저항치가 최저로 떨어진다(Clark et al., 1992). 이러한 현상을 이용하여 형성층의 전기저항치를 측정함으로써 그 나무 또는 조직의 활력을 추정할 수 있는 것이다.

Shigometer는 형성층의 전기저항치를 측정하기 위하여 형성층 부분에 두 개의 전극을 꽂도록 바늘형 탐침을 장착하고 있다. 이 탐침을 나무줄기에 꽂으면 형성층 부분 세포들이 파괴되고 그 안의 전해질들이 밖으로 흘러나와 전기전도가 이루어진다. 따라서, 같은 생육상태에 있는 같은 종의 나무라고 할지라도 형성층의 두께가 다르면 탐침에 의해 파괴되는 세포의 수도 달라

질 것이고, 그에 따라 흘러나오는 전해질의 양도 달라질 것이므로 형성층의 전기저항치도 당연히 달라질 것이다(Blanchard et al., 1983). Carter와 Blanchard(1978)는 단풍나무류에서 형성층 전기저항치는 형성층의 두께와 강한 부의 상관관계(상관계수 -0.92)를 보였다고 보고하였다. 이러한 사실들을 바탕으로 Cole과 Jensen(1979)은 소나무류의 형성층 두께를 추정할 수 있는 모델을 만들기도 하였다.

한동안 많은 연구자들이 형성층 전기저항과 스트레스 또는 형성층 전기저항과 나무의 활력 간의관계에 대한 연구결과들을 발표하였다. Newbank와 Tattar(1977)는 대학캠퍼스의 당단풍나무에서 수관의 상태와 형성층 전기저항 사이에 유의적인 상관관계가 있었다고 보고하였다. 또한 Davis 등(1980)은 spruce budworm이 대 발생하여 생육이 불량한 숲에서 넓은 면적에 걸친 위험도 평가에 형성층 전기저항 지표가 유용하게 사용될 수 있음을 입증하기도 하였다. 이 밖에도 여러 연구자들이 형성층 전기저항치를 이용한 나무활력 측정 가능성을 제시하였다.

그러나 형성층 전기저항치와 나무생장 사이에 상관관계가 없음을 보고한 연구결과들도 있었다. Clark 등(1992)은 소합향나무의 전기저항치를 1년 내내 관찰한 결과 신초의 길이생장이나 주간의 부피생장은 형성층 전기저항과 별다른 상관관계가 없는 것으로 나타났다고 보고하였다. 이보다 앞서 1966에도 Kitching은 수분 스트레스를 받은 나무의 형성층 전기저항치가 기대만큼 큰 차이를 보여주지는 않는다는 사실을 보고한 바도 있다. 즉, 형성층 전기저항치는 일반적으로 나무의 활력을 간접적으로 나타내 주는 지표인 것은 확실하지만, 특정 수종이나 환경에서는 형성층 전기저항치를 가지고 나무의 활력을 판정하는 것이 부적합할 수도 있다는 것을 잊지 말아야 한다.

물론 이러한 차이를 토대로 우리가 유추할 수 있는 사실은 그 조직이 정상인지 혹은 스트레스를 받았는지를 알 수 있을 뿐, 어떤 원인에 의하여 그러한 변화가 나타났는지 알 수 없다. 즉, 활력을 알아보기 위한 전기저항치는 나무 또는 조직의 상태를 알아보기 위한 첫

단계에서 사용할 수 있는 방법이며, 만일 나무가 비정상적인 상태이고 그 원인이 무엇인지 알아내기 위해서는 다른 과정과 방법을 사용하여야 한다.

실제로 Shigometer를 사용하여 나무의 활력을 측정 하였던 연구(차병진, 1984)를 보면, 똑같은 조건과 방법으로 측정을 하여도, 그 대상과 환경조건에 따라서 형성층 전기저항치는 다르게 측정된다는 것을 알 수 있다.

그는 8월에 서울과 수원 의 가로수들 중 외관상 별 이상이 없어 보이는 개체들로 은행나무, 버드나무, 벚나무, 양버즘나무 등 4 수종을 택하여 형성층 전기저항치를 측정하였다. 즉, 가능하면 측정 조건을 같게 하려고 노력했음에도 불구하고 그 결과를 보면 수종간에는 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다. 또한 버드나무와 벚나무의 경우에는 지역간에 큰 차이가 없으나, 은행나무와 양버즘나무는 지역간에 다소 차이를 나타냈다.

형성층의 전기전도도에 직접적인 영향을 미치는 것은 형성층 세포 내의 전해질의 양이며, 이는 간접적으로 형성층의 두께와 수종의 영향을 받는다. 따라서 측정치를 그대로 사용하는 것은 무리이며, 항상 그 수종의 표준식(standard equation)을 만들어 사용하여야 한다. 표준식은 수종별로 따로따로 만들어야 하며, 표준식을 만드는 데 있어서 반드시 고려하여야 할 요인은 나무의 크기(흉고직경)와 측정 시의 대기 또는 목질부 온도 등이다. 나무의 크기와 온도를 달리한 다양한 환경에서 최적 생육상태에 있는 수많은 형성층의 전기저항치를 측정하고 이를 통계적으로 처리하여 환경조건에 맞는 표준식을 만든다면 특정 나무로부터 형성층 전기저항치를 측정하고 그것을 표준화하여 활력 판정의 지표로 사용할 수 있을 것이다.

형성층 전기전도도를 측정하면 그 나무의 전체적인 활력은 물론 부분적인 이상도 알 수 있다. 실제로 한 소나무의 주간을 일정 간격으로 측정한 결과를 보면(차병진, 2007) 대부분의 위치에서 형성층 전기저항은 15K Ω 내외로 측정된 반면 일부 위치에서는 지표면에서 58K Ω , 지상 25cm에서 27K Ω 이라는 높은 수치가 나타났는데, 이러한 결과는 지표면 부근으로부터 나무에 좋지 않은 어떤 변화가 나타나고 있다는 것을 말해 주는 것

이라 하였다. 일반적으로 건강한 형성층의 전기저항치는 10-20K Ω 의 범위에 있으며, 실제 측정치가 이보다 훨씬 더 큰 수치를 보인다면 그 부분에 어떤 이상이 있는 것으로 생각해야 한다.

3. 전기저항을 이용한 수목의 부후진단

앞에서 언급하였듯이 목질부는 부후가 시작되면 수분함량이 더 높아지고 더 많은 이온을 보유하게 된다. 세포벽의 리그닌까지 모두 분해하여 이용해 버리는 백색부후(white rot)의 경우에는 K⁺ 이온의 농도가 증가하며, 리그닌을 이용하지 못하는 갈색부후(brown rot)의 경우에는 H⁺ 이온의 농도가 증가하며 pH가 낮아진다. 이러한 현상은 가시적인 부후 증상이 나타나기 전부터 진행되는 것이며, 또 한편으로는 조직의 전기전도도를 증가시키는 변화이다(Shigo, 1989). 따라서 부후가 진행된 조직은 물론, 아직 부후가 진행되고 있는 변색조직에서도 전기저항치가 변화하며, 이를 측정할 수 있다면 내부에서 진행되고 있는 부후를 미리 진단할 수 있다. Shigometer의 파배기형 탐침은 바로 이러한 줄기 내부의 부후를 진단하기 위하여 고안된 장치이다.

우선 지름 2.5mm 정도의 길고 가는 드릴 날을 이용하여 진단하고자 하는 줄기에 원하는 깊이만큼 구멍을 뚫고, Shigometer의 파배기형 탐침을 천천히 밀어 넣으며 주기적으로 저항치를 측정하여 보면, 정상적이고 건전한 조직에서는 탐침의 선단부가 내수피의 끝부분, 즉, 형성층을 지날 무렵에는 최저로 떨어졌다가 형성층을 지나 목질부로 들어가면서 다시 증가하여 심재로 들어가면 매우 높아진다. 하지만, 만일 변색 혹은 심재 부분에 변색부 또는 부후부가 존재한다면 그 부분의 전기저항치가 비정상적으로 낮은 수치를 보이게 된다. 따라서 탐침을 단계적으로 밀어 넣는 과정 중에 갑자기 비정상적으로 전기저항치가 떨어진다면 부후나 변색을 의심할 수 있으며, 이러한 부분이 연속적으로 존재한다면 부후의 가능성이 매우 높다 할 수 있다.

건전한 목질부는 전기저항치가 일반적으로 500K Ω 이상이지만 부후가 진행되기 시작하면 전기저항이 때

우 낮게 떨어진다. 층복 소재 소나무 노거수의 주간에서 갈라져 나온 1차지를 조사하였던 연구(차병진, 2007)를 보면, 건전한 심재는 대부분 600K Ω 대의 전기저항치를 보이고 있었던 반면, 부후가 진행되고 있는 부분은 300K Ω 이하의 낮은 수치를 보였다. 주간으로부터 0.5m 떨어진 부분의 결과를 보면 깊이 12cm에서는 622K Ω 이었던 반면, 바로 옆인 깊이 15cm에서는 220K Ω 으로 급격하게 하강하다가 다시 증가하였는데, 연구자들은 이 수치가 줄기의 중간이 부후하고 있음을 나타내는 것이라 하였다.

이러한 위치별 측정치들을 잘 분석하면 줄기나 가지 내에서 부후가 어떤 범위로 어떻게 진행되어 가고 있는지를 알 수 있다. 실제로 측정치를 바탕으로 가지 속의 두 곳에서 부후가 진행되고 있는데, 이 두 군데의 부후는 각각 독립적으로 발생하였지만 현재 두 부후부가 연결되고 있는 것으로 보인다고 한 연구결과(차병진, 2007)도 있다.

Shigometer로 측정한 결과를 해석할 때 가장 문제가 되는 것은 건전이라고 보기에는 낮고 부후나 변색부로 보기에는 높은 측정치들이다. 즉, 확실한 부후부들 사이에 건전보다는 낮고 부후보다는 높은 400K Ω 대의 전기저항치가 끼어있는 경우인데, 이런 부분들은 두 번, 세 번 반복적으로 철저히 조사하여야 한다. 반복 측정에서도 여전히 비슷한 값으로 나온다면 부후가 시작될 가능성이 높다고 보는 것이 타당하다. 또한, 부후부에서의 전기저항치 하강은 부후가 시작되기 전부터 나타나므로 측정치의 해석에 세심한 주의가 필요하다(Garrett, 1997).

Larsson(2004) 등은 형성층의 전기저항을 측정하는 것과 비슷한 방법으로 목질부의 부후를 측정하는 연구를 하여 매우 고무적인 결과를 얻었으나 아직 실용화에 이르지 못하는 못하였다.

음파측정법

목질부에 초음파를 적용하려는 시도는 Wertheim과 Chevandier에 의하여 150여 년 전부터 시작되었으며

(Raczkowski, 2004), 최근 이십 여 년 간 주로 초음파를 이용한 목질부의 질적 평가에 많은 연구가 진행되었다(Sandoz, 1993; Yamamoto et al., 1998; Wang et al., 2004).

초음파란 사람의 가청 한계인 20,000Hz 이상의 음파를 일컫는 것이며, 초음파 진단은 나무줄기 또는 목재의 한 지점의 발생기에서 이러한 초음파를 발생시켜 이것이 다른 지점의 수용기에 전달되기까지 걸리는 시간을 측정하여 부후나 불균일성 등 줄기 내부의 상태를 진단하는 방법이다. 이 방법은 콘크리트 구조물의 진단에서는 잘 확립되어 있었지만, 나무에서는 비교적 최근 들어 많이 사용되고 있다.

초음파 진단도 섬유나 물관의 형태적 특징에 따라서 전달속도가 다르므로 수종에 따라서도 다르고, 심지어는 같은 수종 내에서도 다르게 나타나기도 한다. 이러한 현상은 줄기의 길이방향으로 초음파 전도속도를 측정할 때 뚜렷이 나타난다. 예를 들면 *Pinus sylvestris*에서 섬유의 초음파 전달속도와 헛물관의 길이 사이에 고도의 1차상관($r=0.92$)이 있음을 확인되었는가 하면, 다른 침엽수에서는 $r=0.39$ 로 상관이 매우 낮았던 반면, 활엽수에서는 $r=0.6$ 이었다.

현재 나무줄기 내부 진단용으로 몇 가지의 초음파 측정기가 개발되어 사용 중이다. 초음파 발생기가 만든 초음파는 나무 내부에서 세포벽을 통하여 초당 약 2,000m의 속도로 전달된다. 일반적으로 만일 목질부가 건전하다면 초음파는 발생기로부터 수용기까지 직선으로 전달되므로, 나무의 두께를 측정하고 초음파의 속도를 계산하여 비교한다면 목질부의 건전도를 판단할 수 있다. 반면에 초음파는 부후된 조직을 통과할 수가 없으므로 만일 나무의 내부가 부후되어 있으면 초음파는 굴절하거나 반사하여 수용기에 전달되어 더 오랜 시간이 걸린다(Garrett, 1997).

계산치와 측정치가 거의 같다면 목질부는 건전한 것으로 볼 수 있으며, 측정치가 추정치보다 50% 가까이 더 많다면 부후가 시작되는 것으로 판단할 수 있다. 측정치가 추정치의 150% 이상이라면 부후가 상당히 진행되고 있음을 나타내는 것이다. 이러한 측정치를 얻었을 경우에는 부후의 정도를 판단하기 위하여 첫 측정점 주

변으로 몇 지점에 대한 추가 측정이 필요하다. 최근의 초음파 진단기들은 한 번에 줄기의 여러 곳에 수용기를 설치하여 측정하므로 이러한 추가 측정이 필요치 않다.

초음파 측정은 내부 부후의 진단에 매우 유용한 방법으로서 정확한 결과를 도출하고 이상이 나타난 부위의 크기와 모양까지 알려 준다(Nicolotti et al., 2003). 측정값은 부후의 정도와 비례하며(Son and Lee, 2008), 완전히 부후한 조직은 초음파 측정에서 측정기의 최고값이 측정된다.

초음파 측정기는 세포벽을 통한 초음파의 전달속도를 측정하는 것이며, 침엽수나 활엽수나 모두 세포벽의 성분 자체는 크게 차이나지 않으므로 나무의 두께방향으로 측정한다면 수종이나 계절, 시간에 관계없이 사용할 수 있으며, 나무의 굵기가 2m에 이르러도 충분히 측정할 수 있다는 것이 장점이다. 단, 나무줄기가 굵고 수피의 코르크층이 두꺼울 경우에는 수피층에서 음파를 흡수하여 측정이 잘 안되는 경우가 있으므로, 이러한 경우에는 수피의 코르크층을 일부 제거하고 측정하는 것이 좋다. 최근에는 이러한 단점을 보완하기 위하여 목질부에 탐침을 꽂아서 측정하도록 제작된 초음파 측정기도 있으며, 초음파 대신에 일반 음파를 이용하기도 한다.

기타

1. 미세천공법

미세천공법(microdrilling)은 가느다란 드릴로 나무줄기를 뚫을 때 생기는 저항을 측정하는 방법으로서 나무에 상처를 남긴다는 점에 있어서는 생장추를 조사하는 것과 같지만, 생장추는 적어도 지름 5mm 이상의 상처를 남기는 것에 비해서 미세천공법은 지름 1-2mm의 매우 작은 상처를 남길 뿐이다(Garrett, 1997).

Resistograph는 Shigometer 정도의 가느다랗고 긴 드릴날을 사용하여 나무줄기에 직접 구멍을 뚫어가며 위치에 따른 물리적 저항치, 즉 목질부의 밀도를 측정하는 장비이다(Costello and Quarles, 1999). 다른 부위에 비하여 현저히 낮은 물리적 저항치를 보이는 부분은 부

후를 의심할 수 있는 곳이다.

현재 쉽고 실용적으로 사용할 수 있는 미세천공기가 여러 종류 상품화되어 있으며, 지금까지의 연구결과로 볼 때 내부 부후를 비교적 정확하게 알아낼 수 있는 방법이므로 일부 전문가들 사이에서 많이 이용되고 있다. 하지만, 나무에 작은 상처를 남기며, 또한 드릴 날의 길이에 한계가 있으므로 굵은 줄기에 대해서는 적용이 불가능한 점 등이 단점이다.

2. 적외선법

최근 적외선을 이용한 비파괴 검사법이 여러 분야에 다양하게 적용되고 있는 추세이며, 이에 맞추어 나무의 내부부후 측정에도 적외선(infrared)을 적용하려는 시도가 증가하고 있다(Wyckhuysse and Maldague, 2002). 적외선 사용의 기본 원리는 목질부가 관찰에 따라 열자극을 받는 것이며, 또한 썩어서 젖어있는 목질부와 건전한 목질부는 열 특성이 다르기 때문에 이 두 조직은 수분함량에 따라서, 즉, 부후의 정도에 따라서 다른 온도를 보인다는 것이다.

근적외선(near infrared)은 펄프산출량, 셀룰로스 및 리그닌 함량 결정 등 목재의 특성과약은 물론, 미세섬유소의 각도, 햇물관의 밀도, 세포벽의 두께 측정 등 여러 곳에 널리 사용되고 있다(Schimleck, 2007). 또한, 적외선의 이용은 비파괴적 측정법이며, 측정시간이 짧고 초보자도 쉽게 할 수 있는 방법이므로 점점 더 많은 관심을 끌고 있다(Hart et al., 2008).

하지만 적외선법은 적어도 나무 내부의 부후를 찾아내는 데 있어서는 아직까지 완전히 확립된 방법은 아니기 때문에 예외가 많은 방법이며, 이를 일반적으로 사용하기 위해서는 모든 종류의 목질부와 내부 결함을 일반화하는 작업이 필요하다. 또한, 예상치 못한 목질부의 수분함량과 낮은 열전율 때문에 옳지 않은 결과를 얻을 수도 있다. 실제 측정에 있어서도 부후부가 말랐을 경우에는 적외선법으로 검출되지 않는 경우가 많았다. 하지만, 반면에 두께가 얇은 부후부의 측정 등에는 다른 방법보다 더 탁월하였다(Wyckhuysse and Maldague, 2002).

결론

현재 실제로 현장에서의 나무 부후 탐색에 사용되고 있는 방법들은 전기전도도를 이용한 Shigometry, (초)음파를 이용한 측정법, 가느다란 드릴 날을 이용하는 미세천공법, 적외선법 등이다. 이 중에서 나무에 상처를 전혀 남기지 않는 방법은 (초)음파법과 적외선법인데, 적외선법은 아직까지 개선하여야 할 부분들이 있는 방법이므로, 결국 현실적으로 사용할 수 있는 방법은 (초)음파법이라고 하겠다. (초)음파법은 또한, 나무의 굵기에 별다른 제한을 받지 않으므로 굵기가 1m 이상 되는 커다란 나무들도 별 문제 없이 내부의 부후를 조사할 수 있다.

Shigometer를 사용하는 방법(전기저항법)과 미세천공법은 모두 나무에 지름 1-2mm의 작고 깊은 구멍을 뚫어야 한다는 점에서 초음파법이나 적외선법에 비하여 불리하다. 하지만, 이러한 구멍은 크기가 작으므로 나무가 스스로 치유할 수 있는 정도이므로 크게 문제가 되는 것은 아니다. 실제로 이 두 가지 방법이 문제가 되는 것은 조사를 할 수 있는 나무의 굵기가 기껏해야 30cm 이하라는 것이다. 그러나 정확도 면에서는 직접 내부의 목질부 상태를 측정할 수 있는 전기저항법과 미세천공법이 더 우수하다. 특히 전기저항법은 탐침을 넣기 위하여 천공을 할 때와 탐침으로 전기저항을 측정할 때 등 두 가지 측정을 할 수 있기 때문에 다른 방법들에 비하여 정확한 정보를 얻을 수 있다. 또한, 전기저항법은 오래 전에 실용화 되었기 때문에 측정장비인 Shigometer가 다수 보급되어 있는 데 반해, 초음파법은 비교적 최근에 확립된 방법이기 때문에 장비도 거의 보급되어 있지 않는 등, 국내에서는 아직도 내부의 부후 측정에는 Shigometer가 대세라고 할 수 있다.

Shigometer는 나무의 활력이나 내부 부후 여부를 진단하는 데 아주 유용하게 사용할 수 있는 도구이다. 그러나 Shigometer는 물론 microdrill, ultrasound 등 모든 장비들은 그 어떤 것도 절대적인 진단결과를 보여주지는 않으며, 모두 상대적인 결과로 나타날 뿐이다. 따라서, 이러한 장비를 효과적으로 운용하기 위해서는 우선 장비를 철저히 이해하고 있어야 하며, 장비의 결점

을 보완할 수 있는 자료들을 준비하여야 한다.

형성층 전기저항을 측정하여 나무의 활력을 판정하고자 할 때는 판정하고자 하는 것과 같은 수종을 적어도 수십 그루 이상 미리 조사하여 표준식(standard equation)을 미리 만들어야 한다. 이 식을 작성할 때, 나무의 전기저항을 변화시킬 수 있는 요인들은 모두 포함하여야 하며, 특히 수종과 나무의 크기, 온도 요인들은 필수적이다. 이 밖에 토양습도와 토양양분들에 의한 영향도 점검하여야 한다. 외국의 경우에는 여러 수종에 대하여 이러한 표준식들이 개발되어 있으나 우리는 아직 그렇지 못한 형편이다. 하지만 수종과 환경인자 등이 나무의 전기저항에 영향을 주는 주된 요인들이므로 외국의 표준식을 우리 나무에 적용하여 사용하는 것은 문제가 있을 수 있다. 현재 우리가 보호하여야 할 노거수의 수종은 그리 다양한 편은 아니므로, 이러한 수종들에 대한 표준식을 만들어 놓는다면 필요할 때에 아주 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

형성층 전기저항치를 더 효율적으로 이용하는 것은 한두 번의 측정으로 그 나무의 활력을 판정하려 하지 말고, 특정 나무를 정기적이고 지속적으로 조사하는 것이다. 이런 경우에는 굳이 표준식이 준비되지 않았다고 하더라도 누적된 조사치들이 있으므로 그것과 비교하여 판정하면 되기 때문이다. 부후여부를 진단하기 위한 목질부 전기저항 측정은 형성층 전기저항과 같이 변이가 크지는 않으므로 굳이 표준식 같은 것이 필요하지는 않다. 그러나, 이 경우에도 수종에 따라서 건전한 심재의 전기전도도가 다른 수종과는 뚜렷이 차이 나는 경우들이 있기 때문에 수종별로 건전한 심재 전기전도도를 확인해 둘 필요는 있다. 그러나 앞서서도 밝힌 바와 같이 Shigometer나 미세천공기로 조사할 수 있는 줄기의 굵기는 기껏해야 50-60cm 정도이다. 반면에 초음파 측정기는 굵기 1-2m인 줄기도 측정할 수 있으므로 여러 가지 면에서 Shigometer보다 장점을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 굵은 가지나 주간을 진단하고자 할 때는 초음파측정기를 사용하며, 지름 40cm 이하의 상대적으로 가는 가지를 측정하고자 할 때는 Shigometer를 사용하는 것이 가장 효율적이다.

참 / 고 / 문 / 헌

- 나용준, 신현동, 이종규, 차병진, 1999, 수목병리학, 향문사, p. 349
- 문화재청. 2002, 천연기념물 노거수 실태조사 연구보고서, 서울 인천 등, p. 326
- 문화재청. 2003, 천연기념물 노거수 실태조사 연구보고서. 부산 울산 등, p. 360
- 임경빈, 1992, 천연기념물, 식물편, 대원사
- 차병진. 2007. 속리산 정이품송 기초실태 조사 및 보존관리방안. 충청북도 보은군. p. 152
- Blanchard, R. O., W. C. Shortle, and W. Davis. 1983. Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir. *Can. J. For. Res.* 13: pp. 472-480
- Boddy, L. and A. D. M. Rayner. 1983. Origins of decay in living deciduous trees: the role of moisture content and a reappraisal of the expanded concept of tree decay. *New Phytol.* 94: pp. 623-641
- Carter, J. K. and R. O. Blanchard. 1978. Electrical resistance related to phloem width in red maple. *Can. J. For. Res.* 8: pp. 90-93.
- Cha, B. 1984. Vitality measurements in street trees by electrical resistance. Master thesis, Seoul National University. p. 38
- Clark, J., R. Kjelgran, J. Hushagen, and J. Flore. 1992. Cambial electrical resistance does not assess vitality of individual sweet gum trees. *J. Arboriculture* 18: pp. 1-5
- Cole, D. M. and C. E. Jensen. 1979. Estimating phloem thickness distribution in lodgepole pine stands using electrical resistance measurements. *Can. J. For. Res.* 10: pp. 102-106
- Costello, L. R. and S. L. Quarles. 1999. Detection of wood decay in blue gum and elm: an evaluation of the Resistograph and the portable drill. *J. of Arboriculture* 25: pp. 311-318
- Davis, W., W. Shortle, and A. L. Shigo. 1980. Potential hazard rating system for fir stands infested with budworm using electrical resistance. *Can. J. For. Res.* 10: pp. 541-544.
- DeBell, J. D., J. J. Morrell, and B. L. Gartner. 1997. Tropolone content of increment cores as an indicate of decay resistance in western redcedar. *Wood and Fiber Sci.* 29:364-369
- Garrett, S. 1997. Tree defect detection. USDA Technology and Development Program 9724-1202-SDTDC. p. 8
- Fensom, D. S. 1960. A note on electrical resistance measurements in *Acer saccharum*. *Can. J. Bot.* 38: pp. 263-265
- Hart, F., S. Avramidis, and S. Mansfield. 2008. Detection of wet-pockets in hemlock using, near infrared spectroscopy. Conference COST E53, Delft, The Netherlands. pp. 105-113
- Kitching, R. 1966. Investigation moisture stress in trees by an electrical resistance method. *Forest Sci.* 12: pp. 193-197
- Larsson, B., B. Bengtsson, and M. Gustafsson. 2004. Nondestructive detection of decay in living trees. *Tree Physiology* 24: pp. 853-858
- Mach, K. 2006. Ultrasonic measurement of vitality physical and material engineering. International workshop, Slovak University of Technology in Bratislava, pp.103-105
- Newbanks, D. and T. A. Tattar. 1977. The relationship between electrical resistance and severity of decline symptom in *Acer saccharum*. *Can. J. For. Res.* 7: pp. 469-475
- Nicolotti, G., L. V. Socco, R. Martinis, A. Godio, and L. Sambuelli. 2003. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *J. Arboricul.* 29: pp. 66-77
- Raczkowski, J., L. Helin ´ n ´ ska-Raczkowska, and W. Moliin ´ n ´ ski. 2004. Relationship between lengthwise ultrasound transmission and tracheid length in wood of selected softwood species. *Folia Forestalia Polonica* 35: pp. 3-12

- Sandoz J. L. 1993. Moisture content and temperature effect on ultrasound timber grading. *Wood Sci. Technol.* 27:pp. 373-380
- Schimleck, L.R., Sussenbach, E., Leaf, G., Jones, P.D., Huang, C.L. 2007. Microfibril angle prediction of pinus taeda L. wood samples based on tangential face NIR spectra. *IAWA Journal* 28: pp. 1-12
- Shigo, A. L. 1989. A new tree biology. *Shigo & Trees, Asso.* p. 618
- Shortle, W. C. and K. T. Smith. 1987. Electrical properties and rate of decay in spruce and fir wood. *Phytopathology* 77: pp. 811-814
- Son, D. W. and D. H. Lee. 2008. Wood decay detection by non-destructive methods. *Wood Sci. Tech.* 42: pp. 117-132
- Tattar, T. A. 1989. Disease of shade trees. Rev. ed. Academic Press. p. 391
- Tomazello, M., S. Brazolin, M. P. Chagas, J. T. S. Oliveira, A. W. Ballarin, and C. A. Benjamin. 2008. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt wood. *Ciencia y tecnologia* 10: pp. 139-149
- Tattar, T. A. and R. O. Blanchard. 1976. Electrophysiological research in plant pathology. *Ann. Rev. Phytopathol.* 14: pp. 309-325
- Wang, X., F. Divos, C. Pilon, B. K. Brashaw, R. J. Ross, and R. F. Pellerin. 2004. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools - A guide for use and interpretation. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-147 USDA-FS, Forest Product Lab. Madison, WI, p. 12
- Wyckhuysse, A. and X. Maldague. 2002. Wood inspection by infrared thermography. Proc. of IVth. IWASPND, X, Maldague ed., TONES (ASNT pub.), 6: pp. 201-206
- Yamamoto, K., O. Sulaiman, and R. Hashim. 1998. Nondestructive detection of heart rot on Acacia mangium trees in Malaysia. *For. Proc. J.* 48: pp. 83-86

Mun Hwa Jae Vol 42, No. 01, May 2009, pp. 144~157

Copyright ©2009, National Research Institute of Cultural Heritage

Nondestructive Methods for the Detection of Internal Decay and the Vitality Measurement of Old-Giant Trees

Gao, Yuliang · Cha, Byeong Jin*

Dept. of Plant Medicine, Chungbuk National University

Received : 4 December 2008 | Revised : 9 March 2009 | Accepted : 19 March 2009

Abstract

Nondestructive methods to check the vitality of trees and to find out internal decay of old-giant trees include the use of electrical resistance, ultrasound transmission time, microdrilling, and infrared thermography etc. Among these, ultrasound transmission offers some advantages compared to others such as it is an entirely nondestructive detection method and it can be applied to very big trees. However, the ultrasound equipment is comparatively expensive and not broadly spread yet. On the other hand, Shigometer is versatile to be applied to check vitality of the tree and find out internal decay. Electrical conductivity of plant tissues is a very useful characteristics to determine the vitality and internal decay of trees. Electrical resistance of cambial area tells about the vitality of a tree and electrical resistance of heartwood reveals discoloration or decay of it. For determination of the vitality of the tree, the standard equation for calibration of measured electrical resistances should be developed by measuring and analyzing electrical resistance from at least 30-40 trees of the same species with that tree. All the factors, especially tree species, diameter of the stem, and temperature, which can altered the electrical resistance of trees, should be taken into consideration in the development of the equation. If the standard equation is developed for old-giant trees that we should conserve, it will be very useful. In addition, periodical and continued measuring of a certain tree will help to determine the condition of the tree by comparing the measurement with accumulated data of the tree. Measuring electrical resistance of wood might not require the standard equation. But it also needs to check electrical resistance of sound wood of the same tree species. If the stems that should be examined is thicker than 40cm, it is better to use the ultrasound measurement combined to Shigometer.

Keywords | old-giant tree, vitality measurement, decay detection, ultrasound measurement, Shigometer