

보호수 관리를 위한 조사 및 평가 기준 연구

이삼옥* · 이재용** · 김충식***

*한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 석사

한국전통문화대학교 전통조경학과 조교수 · *한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 교수

A Study on the Investigation and Evaluation Standards for the Management of a Protected Tree

Lee, Sam-Ok* · Lee, Jae-Yong** · Kim, Choong-Sik***

*Master, Dept. of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage

**Assistant Professor, Dept. of Traditional Landscape Architecture, Korea National University of Cultural Heritage

***Professor, Dept. of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University

ABSTRACT

The purpose of this study was to suggest evaluation items and standards for diagnosing the growth status of protected trees designated and managed by the Korea Forest Service. The research results are as follows. First, based on the Cultural Heritage Administration's standards for evaluating the growth status of old trees, which are natural monuments, and related data, items related to the 'growth status of the above-ground part' of the trees were revised and supplemented. Simultaneously new items such as 'location', 'usability', 'artificial cover rate within the crown width', 'soil physical properties', and 'soil chemical properties' were discovered. By combining these items, six items were derived to evaluate the growth status of protected trees. Second, evaluation items made through visual inspection, such as 'tree vigor' and 'leaf color' in the 'growth status of the above-ground part', were replaced with quantifiable items such as measuring the electrical resistance value of the cambium or chlorophyll content. Third, 'artificial cover rate within crown width' was introduced as an item to evaluate the growth environment, and classification criteria for 'soil physical properties' and 'chemical properties' were presented. Fourth, a method to evaluate the health of protected trees was specified by combining 10 above-ground growth conditions, 3 growth environments, and 8 soil environment items. In addition, a record format for diagnosing the growth status was shaped up. The significance of this study is that it proposed an evaluation and recording method for protected trees, which do not have an evaluation system compared to natural monuments, but there were limitations in developing a method that takes into account the importance of each evaluation item. In order to overcome these, research should be conducted to evaluate effectiveness for each item and to replace qualitative evaluation of trees with quantitative evaluation based on scientific data.

Key words: Diagnosis, Management, Monument, Natural Old Ordinary Tree Tree, Vigor

국문초록

본 연구는 산림청이 지정 및 관리하는 보호수의 생육현황 종합평가를 위한 평가항목과 평가기준의 제시를 목적으로 하였으며, 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 문화재청의 천연기념물 노거수의 생육상태 평가 기준과 관련 자료를 토대로 수목의 '지상부 생육상태'에 관한 항목을 수정·보완하고, '입지도', '이용도', '수관폭 내 인공피복율', '토양 물리성', '토양 화학성' 등 신규 항목을 발굴하여

† **Corresponding Author** : Lee, Jae-Yong, Dept. of Heritage Conservation and Restoration, Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University, 367, Baekjemun-ro, Gyuam-myeon, Buyeo-gun, Chungcheongnam-do, South Korea Tel.: +82-41-830-7324, E-mail : leejaeyong82@nuch.ac.kr

보호수의 생육현황을 평가하기 위한 6개 항목을 도출하였다. 둘째, ‘지상부 생육상태’에서 ‘수세’, ‘잎의 색’ 등 육안조사로 이루어지는 평가항목을 형성층의 전기저항치나 엽록소 함량 측정과 같이 정량화 항목으로 대체하였다. 셋째, 생육환경을 평가하는 항목으로 ‘수관폭 내 인공피복물’을 도입하였고, ‘토양의 물리성’과 ‘화학성’에 대한 평가항목과 분류기준을 제시하였다. 넷째, 10개의 지상부 생육상태, 3개의 생육환경, 8개의 토양환경 항목을 종합하여 보호수의 건강성을 평가하는 방법과 이를 위한 조사대장의 기록 양식을 구체화하였다. 본 연구는 천연기념물에 비해 평가와 관리체계가 마련되지 않는 보호수의 생육환경 평가와 기록방식을 제안한 것에 의의가 있으나, 평가 항목별 중요도를 감안하는 방식으로 발전하는 데 한계가 있었다. 이를 극복하기 위해서는 항목별 가중치 연구와 수목에 대한 정성적 평가를 과학적 자료를 기반으로 한 정량적 평가로 대체하는 연구가 이루어져야 한다.

주제어: 노거수, 상시관리, 수세, 진단, 천연기념물

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

우리 민족의 삶에 얽힌 역사와 전설을 담고 있는 노거수(老巨樹)는 국가와 지방자치단체에서는 법률에 의거 보호하고 있다. 법과 제도에 따른 노거수로 문화재청의 「문화재보호법」에 보호받는 천연기념물과 시도기념물, 산림청의 「산림보호법」에 보호받는 보호수(保護樹), 지자체 조례에 보호받는 아름다운 나무 등이 있다.

천연기념물 노거수는 천연기념물(식물) 상시관리를 통해 지역별, 수종별 특성에 따라 월 1회 이내, 총 6회의 모니터링을 기본으로 연 1회의 정기조사와 이를 보완하는 차원의 간이조사를 시행하고 있다. 문화재수리(식물)기술자 등 관련 전문가를 통해 노거수(신초길이, 잎의 크기 및 색깔, 수량 등을 토대로) 수목 활력도를 조사하고 병충해 피해 현황, 환경변화, 주변 시설물(안내판, 보호책, 지지목 등)의 관리상태 등을 점검한다. 또 이와 관련된 노거수 정기조사 대장, 간이조사 대장, 수목 육안 조사표가 별표로 지정되어 있으며 치료 이력 사진 등과 함께 이를 문화재 전자행정시스템에 등록한다.

그러나, 산림청의 보호수는 지자체의 일반적인 관리(외과수술과 병해충방제 등)만 이뤄지고 있을 뿐 주기적인 점검은 이뤄지지 않고 있어 지자체별 보호수 관리대장과 진료부 관련 양식 이외 보호수 생육실태조사 대장이나 육안 조사표는 별도로 만들어져 있지 않은 상황이다¹⁾. 보호수는 천연기념물 노거수와 비교하면 그 개체 수가 80배 가까이 많아 조사와 평가를 수행하는데 예산 문제 등으로 어려움이 있다. 그러므로 보호수의 지속적인 보존을 위해서는 많은 보호수를 효율적으로 관리할 방안의 마련이 필요하다. 보호수는 장기적으로 천연기념물로 지정될 수 있으므로, 조사 및 평가방안이 노거수를 고려하여 마련되므로써 연속적인 관리가 이루어질 수 있어야 한다.

이를 위해 보호수 개체별 종합판정에 의한 등급별 관리방안이 필요하며 부재한 보호수의 생육상태를 평가할 수 있는 항목과 지표가 함께 마련되어야 한다. 이에 본 연구는 보호수에 적용가능한 생육현황 평가항목과 평가지표를 선정하는 것을 목적으로 하였다.

2. 선행연구 동향

노거수의 생육실태분석에 관한 선행연구들은 수목의 생육에 미치는 주요 인자의 분석과 유형별 평가를 통한 관리방안의 제시가 주를 이룬다. 박종민 외 2인(2000)은 생장 상황, 생장 환경을 4등급으로 나누고 입지 유형과 식재유형을 나눠 노거수 생장 장애 요인을 인위적 요인 등으로 파악하여 관리방안을 제시하였다. 이승제(2004)는 형성층 활력도와 가장 관련이 높은 인자를 토양산도로 분석하고 그 외 병충해, 복토 깊이, 수피 이탈로 보며 이와 관련된 관리방안을 제시하였다. 이종범(2009)은 보호수의 시대별 사진을 통해 입지지만 유형별 평가항목을 만들고 수세판단, 수목의 활력도, 토양환경, 입지지만별 항목을 교차분석하였다. 이동혁과 김효정(2009)은 부여군 느티나무 보호수의 생육상태와 토양환경과의 상관관계 분석을 통해 노거수 생육상태에 미치는 주요 인자가 근계부 지반임을 확인하였다. 조명철(2010)은 노거수의 생육지표 개발을 위해 지상부 활력도 위주의 생육환경 조사의 부족함을 지적하고 생육공간의 포장으로 인한 배수 및 통기 불량과 뿌리 기능의 약화를 원인으로 들어 지상부 상태, 생육환경, 관리사항, 토양분석, 병충해 5항목을 조사하여 5등급으로 구분하였다.

최근 기술의 발달로 비파괴기법을 이용한 노거수 내부의 단층 촬영 연구가 활발히 수행되고 있는데 PiCUS²⁾를 이용한 내부 부후 연구가 조승진(2013), 신현수(2017), 손지원(2018), 김영훈(2018), 夏甜甜(2019)에 의해 행해졌고, ARBOTOM³⁾을 이용한 내부 부후 진단과 평가 연구가 김진석(2014), 황병재(2015), 홍자영(2020)을 통해 행해졌다. 그 외에 Resistograph⁴⁾를 이용한 연륜 측정연구가 오정애(2017)에 의해 행해졌고, LiDAR

3D 스캔 데이터를 이용한 보호수 관리기법 연구가 이성호와 고대식(2020)에 의해 행해졌다. 비파괴기법은 정밀한 상태 진단에 효과가 있으나, 현장의 도입을 위한 측정 및 작성, 평가의 검증과 기준 마련 등이 요구된다.

이 밖에도 지역의 대학을 중심으로 노거수 진단에 관한 연구가 진행되었다. 황병재(2015)와 김진석(2014)은 전남(구례)과 전북(완주)지역의 보호수를 대상으로 수목 내부 진단기인 ARBOTOM을 이용한 연구를 수행하였고, 김영훈(2018)과 조승진(2013)은 PiCUS로 충남(예산)과 경북(경주 양동민속마을)의 보호수와 노거수의 건강성을 진단하였다. Shigometer⁵⁾를 이용한 형성층 활력도 조사는 김현정(2007), 이종범(2007), 김정일(2005) 등을 중심으로 서울, 경기(평택), 전남(구례, 해남), 전북(완주, 무주)에서 이뤄졌고, 최근 2020년에는 임항기와 김형호가 JunsMeter⁶⁾를 이용한 형성층 활력도 조사를 경남(진주성, 거제)에서 수행하였다. 선행연구로 지상부 생육상태 평가, 내부 부후(腐朽) 진단, 입지환경, 입지유형, 토양환경과 기상 현황 등에 관한 연구들이 이뤄졌고 이를 기반으로 한 평가를 통해 보호수의 관리방안이 제시되기도 하였다.

그러나 기존 연구는 보호수를 진단하는 기관들의 평가방식을 비교하지 않고, 연구자의 조사자료에만 의존하였고, 보호수의 기본 제원이나 지자체가 보유하고 있는 수목관리대장에 수록된 수목의 기본 정보들이 충분히 검토되지 못했다.

본 연구에서는 보호수의 생육현황 평가에 대한 기관별 평가 항목의 운용 현황을 비교 분석하고, 정량적으로 대체 가능한 방법 등의 보완을 통해 보호수의 조사와 평가에 사용될 항목 및 평가 기준을 제시하였다.

II. 연구결과

1. 노거수 생육상태 평가 현황

노거수의 생육실태를 정기적으로 점검하는 기관에는 천연기념물 노거수를 관리하는 문화재청과 그 소속기관인 국립문화재연구소가 있고 보호수를 관리하는 산림청과 지방자치단체가 있다. 산림청은 2022년에 보호수 생육상태 점검을 위

표 1. 문화재청의 지상부 활력도 평가 기준 (출처 : 문화재청, 2014)

| 구분 | | 평가 기준 | | | | |
|----|--------------|---------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 수세 | 왕성한 생육상태 | 어느 정도 영향을 받고 있으나 눈에 잘 안 띈 | 이상이 명확하게 확인됨 | 생육상태가 극히 열악해 있음 | 대부분 고사 |
| 2 | 수형 | 기본수형 유지 | 약간 흐트러짐은 있으나 자연 수형에 가까움 | 자연 수형의 변형이 제법 진행되고 있음 | 자연 수형이 변형되고 기형화되고 있음 | 대부분이 변형 |
| 3 | 잎의 크기 | 정상적임 | 작은 잎이 일부지만 눈에 잘 안 띈 | 전반적으로 약간 잎이 작음 | 현저히 잎이 작음 | 위에는 잎이 거의 없고 아래에 맹아 발생 |
| 4 | 잎의 색 | 잎의 고유색임 | 고유 윤기가 탈함 | 색채가 지나치게 질거나 엷음 | 대부분 고유색채를 잃음 | 단풍처럼 색채가 심하게 변함 |
| 5 | 가지 (신초)의 신장 | 정상적임 | 일부 가지 빈약하나 대체로 좋음 | 가지가 짧고 가늘음 | 가지가 극도로 짧고 가늘음 | 신장이 거의 없음 |
| 6 | 지엽의 고사 상태 | 극히 정상 | 고사가 일부 있지만 눈에 띄지 않음 | 가지고사가 제법 눈에 띈 | 고사가 현저히 많고 잎이 엉성함 | 대부분 지엽이 없이 줄기가 노출됨 |
| 7 | 지엽의 밀도 | 가지와 잎의 밸런스 맞음 | 지엽이 약간 열세임 | 지엽이 약간 엉성함 | 고사된 지엽이 많고 잎이 엉성함 | 대부분 지엽이 없이 줄기가 노출됨 |
| 8 | 큰 가지, 줄기의 손상 | 손상 없음 | 적게 있지만 회복되고 있음 | 제법 눈에 띈 | 현저히 눈에 띄고 크게 절단되어 있음 | 큰 가지, 줄기의 상반부가 갈라져 있음 |
| 9 | 유합 조직 형성 | 전체가 왕성함 | 유합조직이 일부 형성되지 않은 것이 있음 | 형성되지 않은 것이 많음 | 대부분 형성이 되지 않음 | 전체가 형성되지 않고 꺾질이 이탈됨 |
| 10 | 수피의 상태 | 밝고 윤기가 있음 | 윤기가 약간 탈함 | 윤기가 없고 고유색채를 잃음 | 푸석푸석하고 이끼가 심함 | 갈라지거나 찢어짐 |

| 활력도 구분 | I | II | III | IV | V |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0.8 미만 | 0.8~1.6 미만 | 1.6~2.4 미만 | 2.4~3.2 미만 | 3.2 이상 |
| | 매우 양호(0.0) | 양호(0.1) | 약간 불량(0.2) | 불량(0.3) | 아주 불량(0.4) |

활력도 = 각 항의 평가점수 합계 ÷ 10

한 안전진단 사업을 추진하겠다고 밝혔다(산림청 보도자료, 2022.7.26.). 하지만, 산림청은 『산림의 건강 활력도 진단 평가 보고서(2021)』와 『비파괴기법을 활용한 대형가로수 위험도 평가 및 진단(2021)』 등 수간 내부의 부후 진단에 대한 방법은 정립하였으나, 수목의 전반적인 생육평가는 『이야기가 있는 보호수(2017)』이외에 다뤄지지 않아 구체적인 기준과 평가 방법이 수립되지 않은 상태이다. 현재로서는 나무의사의 ‘진료부 양식’이 산림청이 지정한 보호수의 생육상태를 평가할 수 있는 유일한 평가 기준을 사용되고 있다.

한편, 문화재청이 지정 및 관리하는 천연기념물의 노거수에 대한 생육상태 진단을 위한 평가표는 2차례 걸쳐 작성된 바 있다. 문화재청은 2014년에 노거수의 보존관리에 필요한 항목을 검토하여 수목의 지상부 활력도 평가 기준을 정비하였다(표 1). 판정 기준은 수세, 수형, 잎의 크기와 색, 가지의 생장

등 수목의 지상부 생육상태 10개 항목과 입지조건, 이용도, 생육공간 등 생육환경 3개 항목으로 구성되었다. 이 중 수목의 지상부 생육상태 10개 항목은 일본녹화센터(2009)의 지상부 쇠퇴도 평가 기준(12개 항목)을 기초로 제작되었다(표 2).

일본녹화센터(2009)는 지상부 생육 평가지표로 수세 및 수형, 잎의 색, 가지의 신장량 및 고사율, 지엽의 밀도, 큰 가지 줄기의 손상, 수피의 상처 및 신진대사, 주간과 근주 부위 움(맹아지)의 12개 항목을 사용하고 있다.⁷⁾ 문화재청(2014)은 일본녹화센터의 평가지표 12개 항목에서 윗가지 끝의 고사와 아랫가지의 끝 고사로 구분한 2개 항목을 지엽의 고사인 1개 항목으로 바꾸었고, 주간과 근주 부위 움의 항목을 생략하여 총 10개 항목을 사용하고 있다.

일본녹화센터(2009)의 평가표는 12개 항목을 5등급으로 구분하고, 각 항목의 평가치 합계를 평가항목 수로 나눈 값을 쇠퇴

표 2. 일본녹화센터의 지상부 쇠퇴도 판정표 (출처 : 日本緑化センター, 2009)

| 평가항목 | | 평가 기준 | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 수세 | 왕성한 생육상태를 보여 피해가 전혀 일어나지 않음 | 다소 영향을 받고 있지만 그다지 눈에 띄지 않음 | 이상이 뚜렷이 확인됨 | 생육상태가 극히 열악함 | 거의 고사 |
| 2 | 수형 | 자연 수형을 유지함 | 약간의 흐트러짐은 있으나 자연수형에 가까움 | 자연 수형의 붕괴가 상당히 진행됨 | 자연 수형이 꽤 붕괴, 기형화됨 | 거의 완전붕괴됨 |
| 3 | 잎의 크기 | 잎이 모두 충분한 크기임 | 군데군데 작은 잎이 있음 | 전체적으로 약간 작음 | 전체적으로 현저하게 작음 | 아주 작은 잎만 있음 |
| 4 | 잎의 색 | 전체적으로 짙은 녹색을 유지 | 약간 연하지만 녹색을 유지 | 누런색, 적갈색 잎이 눈에 띈다 | 대부분 연녹색 | 연두색과 누런색, 적갈색만 있음 |
| 5 | 가지의 신장량 | 정상 | 다소 적지만 눈에 띄지 않음 | 가지는 짧고 가늘음 | 가지는 극도로 짧고 가늘음 | 밀의 맹아지만 약간 성장 |
| 6 | 윗가지 끝의 고사 | 없음 | 적게 있지만 별로 눈에 띄지 않음 | 꽤 많음 | 현저하게 많음 | 가지 밀이 없음 |
| 7 | 밑가지 끝의 고사 | 없음 | 적게 있지만 별로 눈에 띄지 않음 | 상당히 많은 절단이 눈에 띈다 | 현저하게 많이 크게 절단됨 | 거의 건전한 가지 끝이 없음 |
| 8 | 지엽의 밀도 | 가지와 잎의 밀도가 균형이 잡힘 | 0에 비해 약간 뒤틀어짐 | 약간 떨어짐 | 마른 가지가 많고 잎의 발생이 현저히 떨어짐 | 거의 지엽이 없음 |
| 9 | 큰 가지, 줄기의 손상 | 없음 | 적게 있지만 회복되고 있음 | 제법 눈에 띈다 | 현저하게 눈에 띄고 크게 절단되어 있음 | 큰 가지 줄기의 상반부가 결여됨 |
| 10 | 수피의 상처 | 상처는 거의 없음 | 천공, 상처가 조금 있지만, 그다지 눈에 띄지 않음 | 오래된 상처가 있음 | 상처로부터의 부패가 현저함 | 커다란 공동, 수피벗겨짐이 있음 |
| 11 | 수피의 신진대사 | 신진대사가 왕성함 | 대부분 좋으나 일부 형성되지 않은 부분이 있음 | 전체적으로 나무껍질에 활력이 없음 | 현저하게 활력이 없고 쇠약함 | 나무껍질 대부분이 괴사 |
| 12 | 주간과 근주부위 움(맹아) | 지엽량이 많고 주간과 근주 부위에 움이 없음 | 지엽량이 많고 주간과 근주부위에 움도 있음 | 지엽량이 적고 주간과 근주부위에 움도 있음 | 지엽량이 극히 적고, 주간과 근주부위에 움이 많음 | 지엽량이 극히 적고, 주간과 근주부위에 움도 적음 |
| 쇠퇴도 = 각 항목의 평가치 합계 ÷ 평가항목 수 | | | | | | |
| 쇠퇴도 구분 | I | II | III | IV | V | |
| | 0.8 미만 | 0.8~1.6 미만 | 1.6~2.4 미만 | 2.4~3.2 미만 | 3.2 이상 | |
| | 양호 | 약간 불량 | 불량 | 매우 불량 | 고사 직전 | |

표 3. 국립문화재연구소의 수목 건강성 평가표 (출처 : 국립문화재연구소, 2012)

| 항목 \ 기준 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 사이고미터 활력도(Ka) | 10 미만 | 10~13 | 13~17 | 17~20 | 20 이상 |
| 수관 상태 | 온전하게 유지 | 90% 이상 유지 | 70~90% 유지 | 50~70% 유지 | 50% 이하 유지 |
| 수피 상태 | 훼손 없음 | 미약한 훼손 | 1~2군데 상처 | 3~4군데 훼손 | 심각한 상처 |
| 엽밀도(엽량) | 매우 좋음 | 좋음 | 보통 | 불량 | 매우 불량 |
| 종합적 상태 | 매우 건강 | 보통 이상 | 보통 | 불량 | 쇠퇴현상 뚜렷 |

표 4. 서울기술연구원 수목활력도(Tree Vigor Assessment) 조사표 (출처 : 서울기술연구원, 2022)

| 구분 | 평가등급 | | | | | |
|---------|-------------|----------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 수목의 형태 | 자연 수형 | 일부 피해 | 일부 변형 | 전체 변형 | 완전 변형 | |
| 가지치기 강도 | 5차지 이상 | 4차지 | 3차지 | 2차지 | 1차지 | |
| 수관 | 밀도 | 90% 이상 | 80~90 | 60~70 | 40~50 | 40 미만 |
| | 비율 | 2/3 이상 | 1/3~2/3 | 1/5~1/3 | 1/10~1/5 | 1/10 미만 |
| | 병충해 여부 | 없음 (10% 이하) | 일부 손상 (10~25) | 부분 손상 (26~50) | 손상 (50% 이상) | 대부분 손상 (고사 진행) |
| 줄기 | 수피 부패, 손상 | 피해 없음 | 둘레 길이의 10% 이하 | 둘레 길이의 10~25 | 둘레 길이의 26~50 | 많은 손상 (50% 이상) |
| | 유합조직 형성 | 매우 양호 | 양호 | 보통 | 약간 불량 | 불량 |
| | 맹아지 발생 | 없음 | 1곳 | 2곳 | 3곳 | 3곳 이상 |
| 가지 | 가지 고사 | 정상적으로 생장 | 자세히 관찰하면 고사지가 보임 | 고사지가 눈에 띌 정도임 | 작은 가지의 고사지가 상당히 많음 | 전체 고사가 있고 특히 상층부 고사지가 많음 |
| | 수관윗부분고사 | 없음 | 10% 이하 | 10~25 | 26~50 | 50% 이상 |
| 잎 | 크기 | 일반적 | 일부 작음 | 상층부 작음 | 전체가 작음 | 잎이 작고 일부 고사 |
| | 색깔 | 진녹색 | 녹색 | 연녹색 | 연두색 | 노란색, 적갈색 |
| 토양 | 토성 | 사양토, 양토 | 미사질양토 | 사질식양토, 식양토, 미사질식양토 | 양질사토, 사질식토, 미사질식토 | 사토, 미사토, 식토 |
| | 산도(pH) | 6.0~6.5 | 5.5~6.0 6.5~7.0 | 4.5~5.0 7.0~7.5 | 5.0~4.5 7.5~8.0 | 4.5 미만 8.0 이상 |
| | 경도(mm) | 20 이하 | 20~22 | 22~24 | 25~27 | 27 이상 |
| | 전기전도도(dS/m) | 0.2 미만 | 0.2~0.5 | 0.5~1.0 | 1.0~1.5 | 1.5 이상 |
| | 수분 | 적윤 | 약습 | 약건 | 건조 또는 습 | 과습 |

* 활력도 등급

* 2차 조사 시 잎의 엽록소 측정값(SPAD)

| 등급 | A(양호) | B(보통) | C(약간 불량) | D(불량) | E(매우 불량) |
|----|-------|-------|----------|-------|----------|
| A | 40 이상 | 30~40 | 20~30 | 10~20 | 10 미만 |

* 2차 조사 시 줄기 수목 활력도 측정값(Shigometer)

| 등급 | 정의 | Ka |
|----|-------------|-------|
| A | 건강한 나무 | 4~13 |
| B | 건강하지 못한 형성층 | 15 이상 |
| C | 고사목 | 40~50 |

되도 I~V 등급으로 판정하는 방법을 사용하였다. 2개 평가표의 가장 큰 차이점은 종합평가 결과에서 활력도와 쇠퇴도라는 다른 용어가 사용된 것이다. 그러나 용어만 다를 뿐 낮은

등급일수록 수목의 활력도와 쇠퇴도가 양호함을 나타내는 점에서 동일한 판정방법이 적용된 것으로 확인되었다.

국립문화재연구소(2012)는 노거수의 건강성 평가항목을 평

표 5. 지상부 평가항목 운용현황

| 구분 | 일본녹화센터(2009) | 문화재청(2014) | 국립문화재연구소(2012) | 서울기술연구원(2022) |
|------------|--------------|------------|----------------|---------------|
| 수세 | ● | ● | ● | ● |
| 수형 | ● | ● | ● | ● |
| 잎의 색 | ● | ● | - | ● |
| 잎의 크기 | ● | ● | - | ● |
| 가지의 신장 | ● | ● | - | - |
| 가지의 고사 | ● | ● | - | ● |
| 잎의 밀도 | ● | ● | ● | - |
| 큰 가지 줄기의손상 | ● | ● | - | - |
| 수피상처 | ● | - | ● | ● |
| 유합조직 형성 | ● | ● | - | ● |
| 수피의 상태 | ● | ● | ● | - |
| 주간 근주부위 맹아 | ● | - | - | ● |
| 병충해 | - | - | - | ● |
| 가지치기 강도 | - | - | - | ● |

가한 바 있다(표 3). Shigometer를 이용한 형성층 전기저항치 활력도 측정, 수관과 수피의 유지나 훼손 정도, 엽밀도의 상태 등 총 4가지 항목을 조사하고, 5단계로 구분함으로써 수목의 종합적 건강상태를 진단하였다. 그러나 평가표의 항목이 너무 포괄적으로 수목을 구성하는 잎이나 가지, 줄기 등 중요 부분의 생육상태를 진단하는 데 한계가 있었다.

가장 최근인 2022년에는 서울기술연구원이 수목활력도 조사를 위한 평가항목과 기준을 제시하였다(표 4). 서울기술연구원(2022)은 총 17개 항목으로 지상부와 토양환경을 세부적으로 나눠 평가하고, Shigometer와 엽록소를 측정하는 비파괴 장비인 SPAD 등 장비를 이용한 2차 활력도 검사 방법을 제안하였다(표 4). 평가항목에 토양환경을 추가한 것은 기존의 노거수 평가 방법과 차별화된다. 하지만, 보도(步道)의 녹지대와 같이 좁은 생육공간에 식재된 가로수를 대상으로 한 조사표이므로 노거수(보호수)와 같이 수목의 전반적인 생육환경에 관한 평가항목이 생략되었다.

각 평가표를 항목별로 이를 비교하면 수세와 수형은 모든 기관에서 지상부 생육상태를 평가하는 데 사용되었다(표 5). 또한 맹아와 병충해, 가지치기의 중요성도 확인되었다. 문화재청(2014)이 지상부 활력도 평가로 사용한 10개 항목은 모두 육안 평가로 일반진단에 해당하며, 전문가의 주관적인 평가가 개입하여 보편적 평가에 한계가 있다.

이러한 수세의 육안 평가 문제점을 최소화하고, 평가 결과의 객관성을 확보하기 위하여 정밀(분석)진단 방법인 Shigometer를 활용한 국립문화재연구소(2012)의 활력도 평가방식이 좀 더 과학적이다. 그러므로 수세평가 항목은 Shigometer 등 정밀진단기를 이용한 평가로 대체될 필요가

있다. 또한, 잎의 건강상태도 SPAD를 이용한 정량적 측정이 가능하다.

수피의 상태는 줄기, 유합조직 형성과 일부 중복되는 부분이 있으므로 평가항목에서 생략하는 것이 바람직하다. 무엇보다 건강도와 관련된 중요한 항목인 ‘병충해 피해’ 항목이 추가되어야 한다. 병충해는 병(균)과 해충을 뜻하는 용어이며, 병충해는 병이나 해충에 의한 피해를 뜻한다. 수목의 진단에는 ‘병충해’로 사용되어야 한다.

생육환경 평가에 ‘입지조건’과 ‘이용도’ 항목이 포함되어 있다. 입지조건은 국립문화재연구소(2011)가 농촌형, 산지형, 도농복합형, 도시형으로 문화재청(2013)이 산림형, 농경지 인접형, 마을형, 도시형, 도로 인접형으로 구분하는 등 여러 유형이 있다. 이는 노거수 실태조사 당시 그 지역의 입지특성을 분류한 것으로 일반화된 평가항목은 보기 어렵다. 일본녹화센터(2009) 역시 입지장소와 주위환경을 공원, 도로, 건물 주변, 산림, 농경지 등으로 나누어 개황 조사할 뿐 평가항목으로 적용하지 않는다.

문화재청(2014)은 생육공간의 분류를 수관폭의 1.5배로 설정하고 있어 절대 생육공간(수관폭 내)조차 부족한 보호수에 적용하는 것은 과도하다. 천연기념물 노거수는 문화재청의 토지매입과 보호책 설치 등으로 근권(根圈)을 확보할 수 있는 충분한 여건이 마련되어 있다. 그러나 주로 건물이나 농지, 도로 주변에 생육하는 보호수는 점유 공간이 사유지에 해당하는 경우가 많아 생육환경이 불량한 경우가 다수다. 또한, 보호수를 피복하는 재료에 따라 뿌리로의 물고임, 답압 등을 평가할 수 있는 항목의 도입이 필요하다.

토양은 수목의 생육기반이며 생태계 내 물질순환 및 저장

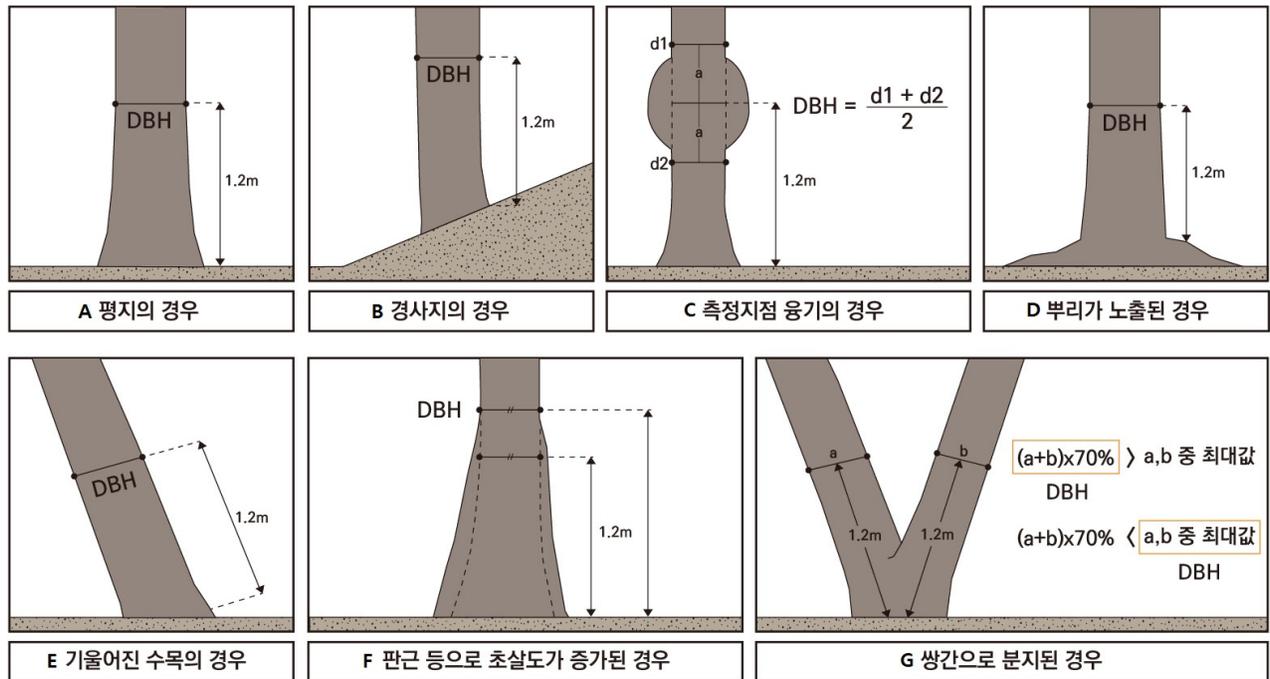


그림 1. 흉고직경 측정방법 (출처 : 숲 가꾸기 표준 교재 산림경영(2007)을 기준으로 재작성)

역할을 함으로써 토양의 이화학적 상태는 현재 및 잠재적 수목의 건강성을 진단할 수 있는 지표이다. 문화재청(2014)은 생육환경 종합판정 등급에 토양환경 평가항목을 생략하였다. 국토교통부(2016)에서는 조경설계 기준에서 식재환경을 분석하는 방법으로 토양을 물리성과 화학성으로 구분하고 있지만, 생육환경을 평가하는 데 사용되지 않는다.

2. 평가항목 및 기준의 개선방안

1) 제원측정

보호수 생육상태 평가를 위한 기초조사로 가장 먼저 수목의 형상을 측정하는데 수고, 수관폭, 흉고직경을 기본으로 한다. 수고는 측고기 등을 이용해 수목의 높이 만큼 떨어진 수평 지점에서 정확한 측정을 위해 3회 이상 측정 후 평균값을 적용한다.⁸⁾ 흉고직경은 수간의 모양이 일정하지 않은 노거수의 특징을 고려하고, 높이 120cm에서 수간의 둘레 길이를 측정하는 일본과 높이 1m에서 줄기의 둘레 길이를 측정하는 영국의 경우를 참작하여 윤척(輪尺, caliper)이 아닌 직경테이프를 이용하여 측정한다. 수관폭은 줄자를 이용하며 방위에 따라 폭이 다르므로 동서(EW), 남북(SN) 각 방향에서 측정하여 평균값을 적용한다.

보호수의 흉고직경 측정방법은 『산림청의 수목 위험성 진단 표준품셈(2022)』과 『숲 가꾸기 표준 교재 : 산림경영(2007)』에 그 기준이 제시되어 있다. 그러나 일부 생략된 부

분들이 있어, 현장에서 조사와 기록에 일관성을 유지하기 위해서는 이를 명확히 하기 위해 흉고직경 측정방법을 명시하여야 한다(그림 1).

2) 지상부 생육

(1) 수세

수세평가에 Shigometer의 적용을 검토할 필요가 있다.⁹⁾ Shigometer는 Shigo 박사가 형성층에 전기를 흘려보내 수분 함량을 측정하는 방법을 고안하여 형성층의 전기저항(Cambial Electrical Resistance, CER)으로 수목의 건강상태를 진단하기 위해 개발한 장비이다. Shigometer는 수목의 형성층에 전류를 흘려보내고 수액의 이동에 따른 전기저항치를 측정한다.

예를 들어, 휴면기에 있거나 스트레스로 대사 활동이 둔화한 수목은 수액의 이동이 감소하며 이에 따라 형성층에는 적은 양의 전기가 흐르므로 비교적 높은 전기저항치를 나타낸다. 반면, 생장이 왕성하거나 여름철에 많은 전해물질을 함유한 수목의 경우 수액의 활발한 이동으로 많은 전기가 흐르므로 형성층의 전기저항이 낮아지게 된다. 그러나, 고사목은 수액의 흐름이 발생하지 않아 전기가 통하지 않으므로 전기저항이 매우 높게 나타나는 특징이 있다³⁵⁾. 하태주(2001)의 연구결과에 따르면 전기저항치는 온도 변화에도 영향을 크게 받는 것으로 확인되었다. 이는 황병재(2015), 김진석(2014)의 연구에서도 수목의 7월 평균 전기저항치가 가장 낮은 것으로

나타나 전기저항치의 측정 시기가 매우 중요함을 시사한다. 이처럼 형성층의 전기저항치를 측정할 때 여름철 생육기에 전기저항치가 가장 낮아지는 점을 고려하여 국립문화재연구소(2012), 이승재(2004), 이종범(2007)에 제안한 바와 같이 휴고직경 높이에서 동(E), 서(W), 남(S), 북(N) 네 방향을 측정하고, 평균값을 평가에 적용하도록 한다.

(2) 잎의 색

수목의 무기 영양 상태를 진단하는 방법에는 가시적 결핍증(visual deficiency symptom)의 관찰보다 잎의 분석이 가장 신뢰성이 있다. 이 중 대표적인 것은 잎의 색 변화 관찰이다. 잎의 색은 엽록소 함량으로 측정할 수 있고, 산림청(2021)과 서울기술연구원(2022)의 측정값을 평가 기준을 활용할 수 있다. 그리고 측정 시에는 반드시 광합성을 고려해야 한다. 광합성 과정에서 핵심 요소로 관여하는 엽록소(葉綠素, chlorophyll)는 가시광선 중에서도 적색 부근과 청색 부근의 빛을 흡수하고, 녹색 부근을 반사하므로 잎이 녹색으로 보인다[13]. SPAD는 잎이 빛에 노출되면 광학적으로 반응하여 녹색을 나타내는 정도를 측정하고 그에 따라 잎의 엽록소 함량을 산출하도록 설계된 장비로 잎 조직에 흡수된 빛의 광도를 비파괴적으로 측정할 수 있다. 그러므로 잎 색의 평가에는 정량적 확인이 가능한 SPAD로 측정된 결과를 활용할 수 있다.

엽분석을 위한 잎의 채취 시기는 잎이 성숙한 다음 비교적 변화의 폭이 작은 7월 말~8월 초가 가장 적기로 확인된다[13]. 다만 모든 수목이 이 시기에 변화의 폭이 작은 건 아니므로 수목의 특성에 따라 유동성 있는 측정이 필요하다. 측정은 다른 측정 장비와 같은 방법으로 네 방향의 대상 가지의 평균값을 적용한다(표 6).

표 6. 측정값에 따른 수세판정 기준표 (출처 : 산림청, 2021)

| 수목활력도 | | | 엽록소 | |
|----------|---------|-----|-------|-------|
| 사이고미터(㎏) | 준스미터(%) | 등급 | SPAD | 등급 |
| 10 미만 | 100~86 | 양호 | 40 이상 | 양호 |
| 10~15 | 85~76 | 보통 | 30~40 | 보통 |
| 15~30 | 75~66 | 취약 | 20~30 | 다소 불량 |
| 31~60 | 65~55 | 극취약 | 10~20 | 불량 |
| 60 이상 | 55 미만 | 고사 | 10 미만 | 매우 불량 |

수종 및 측정 시기에 따라 차이가 있음

(3) 병충해

보호수는 오랜 시간 다양한 주변 환경의 변화에 노출되어 있어 여러 요인에 의해 스트레스를 받게 되며 이는 수목의 병(病)으로까지 이어진다. 김영훈(2021)은 노거수 건강도 평가

지표의 AHP분석을 통한 중요도 추출에서 병충해 항목을 포함하였다. 이종범(2007), 조명철(2010), 신현수(2017)도 수목 건강도를 진단하기 위한 세부 항목으로 병충해를 추가하였다. 이 중에서도 이종범(2007)이 제안한 병충해 피해도는 5단계로 구분하여 단계별 상태를 확인할 수 있도록 세분화하여 보호수 평가에 적용하는 데 무리가 없을 것으로 판단하였다(표 7).

표 7. 병충해 피해분석 (출처 : 이종범, 2007)

| 피해도 | 상태 |
|-----|--------------------------------|
| 0 | 발생정도가 관찰이 안 될 정도의 상태 |
| 1 | 발생밀도가 경미한 상태 |
| 2 | 발생밀도 체계가 일정 수준에 달한 상태 |
| 3 | 발생정도가 심한 상태 |
| 4 | 발생이 심하여 수목 생육에 지장을 초래할 수 있는 상태 |

(4) 지상부 생육의 평가항목 개선방안

일본녹화센터(2009)와 문화재청(2014)의 평가표 항목을 비교 분석한 결과는 다음과 같다. 첫째, 일본녹화센터의 평가표에서 가지의 건강 상태와 관련하여 세분된 ‘윗가지 끝의 고사’, ‘밑가지 끝의 고사’ 2개 항목은 문화재청의 평가표에서 ‘지엽의 고사 상태’라는 항목으로 단일화하였다. 둘째, 일본녹화센터와 문화재청 2곳 모두에서 적용하고 있는 ‘수세와 잎의 색’은 장비를 사용하여 정량화 가능한 항목으로 ‘형성층 전기저항치’, ‘엽록소 함량’ 등 측정 인자로 명칭을 변경하였다. 셋째, 문화재청의 평가표에 포함된 ‘수목의 상태’라는 포괄적 내용의 항목은 삭제하였다.

즉, 중복된 항목의 통합, 장비를 이용한 정량화 항목 도입, 포괄적이고 모호한 항목을 삭제하여 보호수의 지상부 생육평가를 평가하기 위한 총 10개의 평가항목을 제안하였다(그림 2).

3) 생육환경

문화재청(2014)에서 사용 중인 입지조건, 이용도를 평가에 사용되 분류기준을 구체화하고, 조명철(2010)이 제시한 인공 피복율을 평가하는 방법을 도입하여 생육환경의 평가항목을 개선할 수 있다.

입지조건은 기존 유형을 고찰하여 하천·해안 등 자연지형, 학교·고택·사찰 등에 인접한 건물형, 도로 등에서 장애요소를 접하는 도로 인접형, 도심 속 많은 인파·건물·대기오염에 노출된 경우 도심형으로 분류하는 등 방법을 구체화해야 한다.

보호수의 생육공간은 수관폭을 중심으로 인공피복이 점유하는 면적의 비율을 산정하는 방식으로 평가해야 한다. 특히, 주택지나 농경지 인근 위치한 보호수의 사례에서 다수 확인된

| 일본 녹화센터 (2009) | | 문화재청 (2014) | | 개선안 | |
|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| T ₁ | 수세 | T ₁ | 수세 | T ₁ | 형성층진기저항지 (Shigometer) |
| T ₂ | 수형 | T ₂ | 수형 | T ₂ | 수형 |
| T ₃ | 일의 크기 | T ₃ | 일의 크기 | T ₃ | 일의 크기 |
| T ₄ | 일의 색 | T ₄ | 일의 색 | T ₄ | 엽록소 함량 (SPAD) |
| T ₅ | 가지의 신장량 | T ₅ | 가지(신초)의 신장 | T ₅ | 가지(신초)의 신장 |
| T ₆ | 윗가지 끝의 고사 | T ₆ | 지엽의 고사상태 | T ₆ | 지엽의 고사상태 |
| T ₇ | 밑가지 끝의 고사 | | | T ₇ | 지엽의 밀도 |
| T ₈ | 지엽의 밀도 | T ₈ | 큰 가지, 물기의 손상 | T ₈ | 큰 가지, 물기의 손상 |
| T ₉ | 큰 가지, 물기의 손상 | T ₉ | 유합조직형성 | T ₉ | 유합조직형성 |
| T ₁₀ | 수피의 상처 | T ₁₀ | 수피의 상태 | T ₁₀ | 병충해 |
| T ₁₁ | 수피의 신진대사 | | | | |
| T ₁₂ | 주간과근주위 음영(야) | | | | |

그림 2. 보호수의 지상부 생육평가 항목 개선안

다. 2008년 산림청의 조사결과에 따르면 7개 특별·광역시외의 보호수 중 13%에 해당하는 수목의 근계부 지표가 콘크리트 또는 아스콘으로 덮여 있는 것으로 확인되었다. 이동혁과 김효정(2009)의 연구에서도 부여군 보호수의 약 75%는 인공지반(13%) 또는 인공과 자연지반에 준하는 지반(62%)으로 조사되었다.

이와 같은 경향은 보호수의 주변 공간이 대개 마을 쉼터로 이용됨으로써 관리 편의를 위해 시행한 포장 공사가 원인으로 추정된다. 수목의 근계부 주위를 인공포장하면 이용이 편리하고 주변이 깔끔하게 정돈되어 보이나 수목의 생육에는 매우 치명적인 환경조건이다. 포장으로 형성된 불투수층은 뿌리의 호흡기능, 흡수기능, 생리기능 등에 이상을 일으켜 잎이 왜소해지며 퇴색하게 되고 결국 성장 둔화로 이어진다. 이는 조기 낙엽과 가지 고사로 이어져 피해 증세로 수형 파괴가 일어나기도 한다.

이를 감안할 때 보호수의 생육공간 평가에 수관폭을 중심으로 한 인공재료의 피복율을 도입하는 것이 적합할 것으로 판단된다(표 8).

표 8. 생육공간 (인공피복을 중심) 평가 기준 (출처 : 조명철, 2010)

| 평가 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 구분 | 매우 양호 | 양호 | 보통 | 불량 | 매우 불량 |
| 분류기준 (수관폭 내) | 20% 이하 | 20~40% | 40~60% | 60~80% | 80% 이상 |

4) 토양환경

토양환경의 평가에는 국토교통부(2016)가 제시한 토양의

물리성과 화학성 분석 방법 도입을 검토할 필요가 있다(표 9). 토양의 물리성 분석을 위해서는 모래(Sand), 미사(Silt), 점토(Clay)의 함유비율인 토성(Soil texture)과 고상(토양입자와 유기물), 액상(토양용액), 기상(토양공기)의 용적비율인 토양삼상(Three Phase of Soil) 등을 살펴보아야 하며, 이는 토양경도 측정을 통한 견밀도로 확인할 수 있다.

견밀도는 토양경도계를 이용하여 토양에 압력을 가했을 때 토양이 저항하는 정도를 말하며 토양의 응집력과 점착력의 정도를 나타낸다. 산중식 경도계를 이용할 때 토양 샘플은 수관 선단을 기준으로 세근(細根)이 많이 발생하는 낙수선으로부터 30cm 안쪽 지점에서 20cm 아래로 토양단면이 직각이 되도록 채취해야 한다. 이때, 자갈과 뿌리 부분은 가급적 피하고, 삽으로 다져진 토양은 호미 등으로 처리한 후 토양을 채취한다. 측정은 조성진(1995), 이승제(2004), 이종범(2007)이 제시한 바와 같이 방향별로 네 지점에서 채취한 토양을 사용하고, 평균값을 산출한다.

경도는 토양의 물리성을 파악하는 중요한 방법으로 토양에서 보호수의 뿌리 신장에 대한 용이성을 판단하는 측정치로 사용할 수 있다. 측정 장비로는 Hand-push형과 관입식 경도계 등 다양한 기기가 있다. 국내에서는 일반적으로 뿌리 신장과 관련된 토양경도를 측정할 때 주로 Hand-push형 산중식 경도계가 사용되고 있으므로 해당 장비의 적용이 가능하다 [34].

표 9. 토양의 물리적 평가 기준 (출처 : 국토교통부, 2016)

| 평가항목 | | 평가등급 | | | |
|------|----|------|-------|-------|------|
| 항목 | 단위 | 상급 | 중급 | 하급 | 불량 |
| 토양경도 | mm | 21미만 | 21~24 | 24~27 | 27이상 |

토양의 화학성 평가에는 현재 국토교통부(2016)가 제시한 방식이 사용되고 있다(표 10). 토양의 화학성은 수목의 수관 선단을 기준으로 30cm 안쪽에서 지표면의 이물질과 표토 1~2cm를 걷어 낸 후 깊이 15cm 정도의 토양을 네 방향에서 채취하여 분석한다. 조사항목은 pH, 유기물함량, 유효인산, 치환성 양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺), 전기전도도로 7개 항목을 대상으로 분석기관에 의뢰한다. 제초제 피해가 의심되는 경우 필요에 따라 토양분석과 함께 농약잔류분석도 함께 의뢰한다. 분석 항목은 수목의 양분공급이나 토양개량 등 환경개선을 위한 근거가 된다.

예를 들어, 토양 산도의 경우 pH가 4~5로 강산성이 되면 식물에 대하여 독성을 나타낼 수 있는 가용성 Al과 Mn의 농도가 높아지며, 토양의 pH는 토양미생물의 활동에도 영향을 끼쳐 인산의 고정과 대부분의 영양 원소들의 유효도

(availability)를 낮춘다. pH가 높아져 알칼리성 토양이 되면 B, Zn, Fe, Cu 등은 유효도가 낮아져 결핍되기 쉽고 칼슘, 마그네슘 등은 과잉되어 원소의 불균형이 일어나 수분의 이동을 차단하고 뿌리의 성장에 불리하게 작용한다.

유기물은 토양 위에 낙엽, 나뭇가지, 미생물과 동물의 사체를 모두 포함하며, 양분의 무기화 과정을 통하여 토양으로 들

어가면 수목의 뿌리가 흡수한다. 낙엽은 N, P, S 등을 공급해 주며 이를 제거하게 되면 토양이 척박해진다[15].

인산이 부족하면 수목 전체의 생육이 매우 빈약해지며, 어린 식물의 생육과 세근(細根)의 발달이 좋지 못해 대개 생육 초기에 결핍증상이 뚜렷하고 줄기는 가늘고 성장이 느려진다 [16].

표 10. 토양의 화학적 특성 평가항목과 평가 기준 (출처 : 국토교통부, 2016)

| 평가항목 | | 평가등급 | | | | |
|-----------|-------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------|--|
| 항목 | 단위 | 상급 | 중급 | 하급 | 불량 | |
| 토양산도(pH) | - | 6.0~6.5 | 5.5~6.0 6.5~7.0 | 4.5~5.5 7.0~8.0 | 4.5 미만 8.0 이상 | |
| 유기물함량(OM) | % | 5.0 이상 | 5.0~3.0 | 3.0 미만 | | |
| 유효인산(AP) | mg/kg | 200 이상 | 200~100 | 100 미만 | | |
| 치환성 양이온 | 칼륨(K ⁺) | cmol ⁺ /kg | 3.0 이상 | 3.0~0.6 | 0.6 미만 | |
| | 칼슘(Ca ²⁺) | cmol ⁺ /kg | 5.0 이상 | 5.0~2.5 | 2.5 미만 | |
| | 마그네슘(Mg ²⁺) | cmol ⁺ /kg | 3.0 이상 | 3.0~0.6 | 0.6 미만 | |
| 전기전도도(EC) | dS/m | 0.2 미만 | 0.2~1.0 | 1.0~1.5 | 1.5 이상 | |



그림 3. 보호수의 생육현황 종합평가 흐름도

치환성 양이온은 주로 토양 콜로이드 입자의 음이온과 결합한 것과 물에 녹아 있는 것으로 구분되며 수목이 이용하는 양이온을 말한다. 토양 콜로이드에 흡착된 양이온 중에서 Ca, Mg, K, Na 등 염기라 부르는 금속 이온 양은 토양 성질 및 비옥도와 밀접한 관계가 있다.

전기전도도는 토양의 염류농도를 나타내며 토양에 염류가 집적되면 삼투압이 증가하여 뿌리에서의 수분흡수와 양분흡수가 어려워진다. 염의 농도와 이온의 함량을 종합적으로 나타내주는 지표로 치환성 양이온인 수소이온, 칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘들과 매우 밀접하며 이들은 전기의 전도를 원활하게 하지만 0.4dS/m 이상이면 식물생육에 유해하다고 알려져 있다[2].

제조제의 처리 방법은 토양처리제와 경엽처리제가 있으며, 제조 활성은 접촉형과 이행형으로 나뉜다. 또 선택성과 비선택성, 무기제조제와 유기제조제로 구분된다[2]. 토양에 처리한 제조제는 식물체의 뿌리에 닿아 수분과 함께 식물 체내로 흡수되어 이행하고, 생장점과 잎에 쌓여 대사 또는 광합성작용을 저해하거나 균형을 잃게 함으로써 수목을 고사에 이르게 한다[12].

5) 종합평가와 관리대장의 개선방안

보호수의 생육현황을 종합평가 하기 위해 '지상부 생육상태(10개 항목)', '입지조건', '이용도', '수관폭 내 인공피복율', '토양 물리성', '토양 화학성(7개 항목)' 등 상위 6개 항목과 이를 구성하는 21개 세부 항목을 제안하였다(그림 3). 수목의 생육현황 종합판정은 항목별 점수의 합계가 가장 낮은 I 등급인 매우 좋음부터 가장 높은 V 등급인 매우 나쁨까지 5등급으로 구분하였다. 즉, 항목별 점수와 모든 항목의 최종 점수가 클수록 보호수의 생육현황은 나쁜 상태로 평가된다. 이번 연구는 항목별 동일 비중의 평가방식을 제안하여 추후 항목별 가중치 개발 연구가 필요하다.

본 연구가 제안한 종합평가 항목을 채택할 경우 보호수의 생육실태 조사대장(안)은 수목의 지정번호, 주소, GPS와 수고, 흉고, 수관폭의 측정치와 측정일 등 기본 정보를 포함하여 앞서 제안한 상위 6개 항목으로 구성할 수 있다. 기타 관리사항에는 안내판, 보호책, 시설물 등의 설치 여부를 기록하여 향후 수목의 유지관리 계획수립에 활용될 수 있도록 한다.

이 밖에 지지대, 줄당김, 쇠조임, 줄고정 등의 설치 및 수리 이력을 기록하여 안전 시설물의 교체를 판단하기 위한 기초자료로 활용될 수 있도록 한다. 특히, 외과수술 유무는 보호수의 생육현황 종합평가와 함께 후속 조치가 이루어지게 기록될 수 있게 한다.

이와 더불어 수목의 생육환경을 확인할 수 있는 원경 사진과 수형을 전체적으로 파악할 수 있는 근경 사진을 추가하도

록 하고, 피해 부위 등 특이사항을 함께 촬영하도록 한다. 특히, 사진은 동, 서, 남, 북 네 방향에서 촬영하는 것이 중요하다. 사진은 조사 시기별로 같은 지점과 방향에서 수형이나 가지 등 변화를 파악할 수 있게 촬영되어야 한다. 보호수의 관리대장은 향후 전산화를 통해서 시계열적인 생육상태의 변화에 대한 통계분석, 보호 계획의 수립, 유지관리의 점검 등에 사용될 수 있도록 기반이 마련되어야 한다.

III. 결론

본 연구는 보호수의 효율적 관리를 위한 방법의 일환으로 생육현황의 평가항목에 대한 개선방안과 종합평가 기준의 제시를 목적으로 하였다. 연구결과는 다음과 같다.

문화재청의 천연기념물 노거수의 생육상태 평가 기준을 일부 정량화 및 단일화하고, 신규 항목을 추가하여 산림청이 지정 및 관리하는 보호수의 종합적인 생육현황을 평가하기 위한 항목을 제시하였다. 지상부 생육상태의 평가항목은 형성층 전기저차치, 수형, 잎의 크기, 엽록소 함량, 가지(신초)의 신장, 지엽의 고사상태, 지엽의 밀도, 큰 가지 줄기의 손상, 유합조직 형성, 병충해 10개 항목으로 구성하였다. 생육환경은 입지도, 이용도, 생육공간을 수관폭 내 인공피복율로 구분하였다. 토양환경에서는 토양의 물리성과 화학성을 진단하는 방법의 도입을 제시하였다.

보호수 생육현황의 종합판정은 지상부 생육상태, 입지도, 이용도, 인공피복율, 토양의 물리성, 토양의 화학성 등 상위 6개 항목의 평가를 합산하여 등급화하는 방식을 제시하였다. 또한, 평가항목 이외 지정 일자, 세부지정유형, 안내판, 보호책, 시설물, 안전대책, 외과수술 유무, 현황사진(원경, 근경, 피해사진) 등의 관리현황을 포함한 '보호수 생육실태 조사대장(안)'을 제안하여 보호수 생육현황 종합판정을 기능케 하였다.

천연기념물에 비해 평가와 관리체계가 마련되지 않는 보호수에 대한 평가와 기록방식을 제안한 것에 본 연구의 의의가 있으나, 평가항목별 중요도를 감안하는 방식으로 발전하는데 한계가 있었다. 또한, 부분적으로 정량화를 시도하였으나, 잎의 크기, 지엽의 밀도, 유합조직형성 등에 대해서는 육안조사를 대체할 수 있는 항목의 도입 가능성에 대한 연구가 지속되어야 한다.

주 1) 산림보호법 시행규칙에 의해 진료부, 처방전, 진단서, 증명서 양식이 신설(2020.6.4.)되었다.

주 2) PiCUS Sonic Tomograph는 공동 또는 부패와 같은 내부 결함이 있는 나무의 잔존 벽 두께를 측정하기 위해 나무 위험 평가에 사용되는 비파

- 과 음파 단층촬영기로, 정확한 분석을 위해서 전기저항 단층촬영기 PICUS TreeTronic을 함께 사용한다[38].
- 주 3) Arbotom은 음파 단층촬영을 이용하여 수목의 내부 결함을 측정하며, 후속 진단으로 Resistograph를 사용하는 것이 유용하다[39].
- 주 4) Resistograph는 나무의 상대 밀도를 측정하는 데 있어 정확도를 제공하는 전자 제어 드릴로 미세한 드릴을 통해 연륜 측정과 내부 결함을 측정할 수 있다[39].
- 주 5) Shigometer는 Dr. Alex L. Shigo의 이름을 따서 명명된 배터리로 작동되는 저항계로, 펄스 전류를 사용해 살아있는 나무의 변색 되고 부패한 부분을 감지하는 수단으로 개발되었다[40].
- 주 6) Shigo의 타계로 Shigometer가 단종되자 국내 최초로 개발된 나무 건강 활력도 측정기로 κ 이 낮을수록 건강한 Shigometer의 수치와는 다르게 0~100까지 건강할수록 수치가 증가한다[41].
- 주 7) 『樹木診斷様式』, 日本緑化センター, 2018 에는 지상부 쇠퇴도 판정표를 12개 항목에서 17의 항목으로 늘려 가지치기 후 유합조직의 형성과 신초의 크기와 양, 단풍상태, 개화상태, 결실상태를 추가하였다[36].
- 주 8) 일반적으로 Nikon Forestry Pro 수고측정 장비를 이용한다.
- 주 9) Shigometer 장비의 단종으로 JunsMeter1을 적용하는 것도 가능하다.

REFERENCES

- [1] 국립산림과학원(2007). 『숲 가꾸기 표준 교재, 산림경영』.
- [2] 국립산림과학원(2014). 『생활권 수목진료 컨설팅』, 제4호, p.12.
- [3] 국립산림과학원(2016). 『제1차 산림의 건강·활력도 진단·평가 보고서』, p.20.
- [4] 국립문화재연구소(2012). 『천연기념물 식물 입지환경 및 관리개선방안 연구』.
- [5] 국토교통부(2016). 『조경설계기준』.
- [6] 문화재청(2014). 『천연기념물(식물) 실태조사』.
- [7] 산림청(2016). 『이야기가 있는 보호수』.
- [8] 산림청(2021). 『수목진료표준품셈』, p47.
- [9] 산림청(2021). 『비파괴기법을 활용한 대형가로수 위험도 평가 및 진단』.
- [10] 산림청(2022). 『수목 위험성 진단 표준품셈』.
- [11] 서울기술연구원(2022). 『서울 도심지 내 가로수 활력도 및 위해도 조사 방법』.
- [12] 김호준(2009). 『원색수목환경관리학』, 그린과학기술원, p.170.
- [13] 이경준(2010). 『수목생리학』, 서울대출판문화원, p.227, p.71, p.194, p.196.
- [14] 이삼옥(2023). 『부여군 느티나무 보호수의 생육실태 연구』, 한국전통문화대학교 석사학위논문.
- [15] 이천용(2022). 『산림환경토양학』, 구민사, p.32.
- [16] 임선옥(2006). 『비료학, 식물영양 공급원리와 그 사용법』, 일신사, pp.36-37.
- [17] 김태연(2013). 『한국 조경수목의 규격 세분화와 품질 평가 기준』, 서울대학교 박사학위논문, p.85.
- [18] 신현수(2017). 『노거수의 생육현황 및 잠재적 위험요인에 관한 연구』, 경상대학교 박사학위논문.
- [19] 오정에(2017). 『노거수 수령 추정을 위한 느티나무와 소나무의 지역별 대표 연륜 연대기 구축 및 레지스토그래피 적용』, 충북대학교 박사학위논문.
- [20] 이승재(2004). 『활력도 및 생육환경 분석을 통한 노거수 관리방안』, 상명대학교 박사학위논문.
- [21] 장은재(2005). 『慶尙北道 老巨樹植物資源에 對한 植生學的 研究』, 계명대학교 박사학위논문.
- [22] 夏詒詒(2019). 『음파 단층촬영 기법을 이용한 노거수 진단 및 평가』, 동국대학교 석사학위논문.
- [23] 김진석(2014). 『구례군 보호수의 생육환경 및 활력도에 관한 연구』, 전북대학교 석사학위논문.
- [24] 김영훈(2018). 『경주 양동민속마을의 노거수 생육실태 진단 및 관리개선 방안』, 동국대학교 석사학위논문.
- [25] 이종범(2017). 『보호수 주변의 환경변화에 따른 생육실태 연구-평택시 보호수를 중심으로-』, 한경대학교 석사학위논문.
- [26] 조명철(2010). 『노거수의 건강지표 개발 및 적용에 관한 연구』, 경상대학교 석사학위논문.
- [27] 조승진(2013). 『느티나무 보호수 생육환경 조사와 내부 실태 진단에 따른 관리방안 연구』, 단국대학교 석사학위논문.
- [28] 홍자영(2020). 『수목비파괴단층촬영법을 이용한 전라북도 천연기념물 노거수 내부 부후에 관한 연구』, 전북대학교 석사학위논문.
- [29] 황병재(2015). 『완주군 느티나무 보호수의 생육환경 및 활력에 관한 연구』, 전북대학교 석사학위논문.
- [30] 이동혁 외 1인(2009). 『노거수의 생육상태와 토양환경과의 상관관계 분석-부여군 느티나무 보호수를 중심으로-』, 한국전통조경학회, 춘계학술논문발표회, pp.97-101.
- [31] 이성호, 고대식(2020). 『LiDAR 3D 스캔 데이터를 이용한 보호수 관리 기법』, 한국정보기술학회, pp.99-106.
- [32] 박종민, 이정택, 변무섭(2000). 『전북지역 노거수 자원의 실태조사분석에 관한 연구』, 한국전통조경학회, Vol.18, No.3, pp.86-96.
- [33] 손지원, 김한, 이나라, 신진호(2018). 『노거수 내부 생육상태 진단을 위한 음파 및 전기저항 단층촬영법 적용 사례 고찰』, 한국생태환경학회, No.2, p.75.
- [34] 한경희 외 3인(2011). 『토양 경도 측정방법 간 비교연구 한국토양비료학회지』, Vol. 44, No. 3, p.344.
- [35] 장은재, 김종원. 『노거수 생태와 문화』, 월드사이언스, 2007.
- [36] Shigo, A.L.(1991). Modern Arboriculture. Shigo and Trees Assoc. Durham, New Hampshire, p.424.
- [37] 財團法人 日本緑化センター(2009). 『樹木診斷様式』.
- [38] <http://www.sanlim.kr>
- [39] <https://www.argus-electronic.de>
- [40] <https://rinntech.info>
- [41] <https://www.fs.usda.gov>
- [42] <http://www.purumbio.com>

원고 접수 일: 2024년 2월 21일
 심사 일: 2024년 3월 11일 (1차)
 게재 확정 일: 2024년 3월 21일

3인 익명 심사필, 1인 영문 abstract 교정필