

# 느티나무의 건강성 진단을 위한 초분광 영상의 식생지수와 밴드 선정 연구<sup>†</sup>

박한성\*, 김충식\*\*, 이재용\*\*\*

\*한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 석사과정, \*\*한국전통문화대학교 문화유산전문대학원 문화재수리기술학과 교수,

\*\*\*한국전통문화대학교 전통조경학과 조교수

## 1. 서론

노거수는 역사적·경관적·학술적 가치가 크기 때문에 건강성 유지를 원칙으로 하지만 자연노화, 기상변화, 개발·오염에 의한 환경훼손 등의 원인으로 인해 수세 쇠약 및 고사가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 문화재청은 정기적으로 조사를 실시하고 있다. 다만 조사의 대부분이 육안조사를 통해 이루어지기 때문에 용적이 큰 수목은 전체 상황을 기록하기 어려워 인력 및 시간이 많이 소요되며 전문가의 판단이 정성적으로 이루어지기 때문에 변화의 정도 및 건강성을 정량적으로 파악하는 것이 불가능하다.

이러한 문제점을 극복하기 위해 과학적 비파괴 진단기술을 적용하여 정량적 분석 결과를 도출할 필요가 있다. 과학적 비파괴 진단기술로서 최근 부각되고 있는 초분광 장비를 이용하여 분광특성을 파악하는 방법은 반사율을 측정해 수목의 생육상태를 파악할 수 있는데 이러한 방법 중 식생지수는 엽록소 및 수분 등에 민감하게 반응하는 밴드를 이용하여 건강성을 파악하는 방법으로 원인에 따른 결과를 명확하게 도출할 수 있는 장점이 있다. 또한, 대면적, 대규모에 대해 신속하게 측정이 가능한 장점이 있어 인력과 시간의 소모를 대폭 줄여 효율적인 조사가 가능해진다. 식생지수는 분광데이터로부터 생물화학적 정보를 추출한 것이다. 이러한 지수들은 식생활력을 평가하고 있지만 모든 수목에 적용되고 있어 건강성을 대표한다고 보기 어렵다. 이에 본 연구는 수목의 건강성 평가를 위한 식생지수 및 분광밴드의 선정 가능성을 검토하였다. 수종은 천연기념물의 지정 건수가 많고 가로수와 공원수로 사용빈도가 높은 느티나무를 대상으로 하였다.

## 2. 연구방법 및 대상

본 연구에서는 느티나무의 건강성 평가를 위한 밴드 설정을 위해 식생지수 및 생물량(광효율)을 측정하였으며, 취득 기간은 2022년 6월부터 9월까지 월 4회 10시에서 2시 사이에 진행하였다. 연구 대상은 한국전통문화대학교 교내에서 일조환경이 양호한 느티나무(R45) 3주를 대상으로 진행하였다. 3주의 느티나무에서 방위별로 일조량에 따른 생물량의 차이 발생여부를 비교하기 위해 4방위로 구분하여 샘플을 작성하였다. 측정일마다 나무에서 잘라낸 가지들 물에 담가서 생육 상태를 유지하면서 방위별로 각각 8개에 대해서 생물량과 분광정보를 취득하였다. 생물량은 WALZ사의 MINI-PAM-II를 사용하여 광효율을 측정하였다. 클립을 이용하여 20분간 암적응 후 Induction Curve 실험을 통해 Y(II), NPQ, Y(NO), Y(NPQ), Fv/Fm 등을 측정하였다. 분광정보는 Spectral Evolution사의 PSR-1100을 사용하여 생물량 측정된 잎과 동일한 잎의 반사율을 측정하였다. 측정 전 광보정을 진행하고 2-3cm 이격거리를 유지한 채 15회 촬영 평균값을 사용하였다. 분광반사값을 이용하여 NDVI, GNDVI, PRI, CRI1, CRI2, GCI 등 6개의 식생지수를 산출하였다. 식생지수의 산출에는 선행연구에서 제시한 분광밴드를 사용하였다. 수목의 방위별 차이 비교 및 식생지수에 적합한 밴드 선정을 위해 통계 분석을 하였다. 방위별 차이 분석에서는 동, 서, 남, 북 4그룹으로 구분하여 ANOVA 분석을 사용하였다. 이후 4그룹에 대해 각각 식생지수와 생물량의 상관분석을 통해 상관성이 가장 높은 방위를 선정하였다. 산출의 효율을 위해 선정된 방위의 샘플에 대해 2nm 간격으로 구분 후 밴드를 선정하여 식생지수를 계산하고 생물량과의 상관분석을 통해 느티나무의 식생지수 분석에 적합한 밴드를 선정하였다.

## 3. 연구 결과

### 3.1 생물량

광효율은 Y(II), NPQ, Y(NO), Y(NPQ), Fv/Fm으로 측정되었다. Y(II), Fv/Fm은 각각 유효양자수율과 최대양자수율로 광합성 효율에 대한 수치다. NPQ, Y(NPQ)는 비광화학적 형광소멸로 광보호 메커니즘을 통해 열과 형광으로 방출되는 에너지 비율에 대한 수치를 나타내고 Y(NO)는 총 비광화학적 손실을 나타낸다. Fv/Fm은 암적응을 통해 얻는 결과로 안정적으로 정확한 정보를 얻을 수 있으며 0.8에 근접하면 건강한 상태로 판단한다. Y(II), Y(NPQ), Y(NO)의 비율을 통해 열에너지로 손실되는 에너지를 측정하여 건강성에 대한 정보를 얻을 수 있는데 Y(NO)가 Y(NPQ)보다 크면 건강에 문제가 생긴 것으로 판단한다. 측정결과, Fv/Fm가 A(0.78), B(0.76), C(0.84) 등으로 모두 건강한 상태인 것을 확인하였다. Y(II), Y(NPQ), Y(NO)의 비율 또한 A(0.235, 0.576, 0.188), B(0.253, 0.568, 0.177), C(0.242, 0.547, 0.21)로 건강에 문제가 없는 것을 확인하였다.

<sup>†</sup>본 연구는 문화재청 및 국립문화재연구소의 2021년도 '문화유산 스마트 보존·활용 기술 개발' 사업으로 수행되었음(과제명: 대면적 문화재 입체적 진단 기술 개발, 과제번호: 2021A01D02-001, 기여율: 5%).

### 3.2 식생지수

식생의 상태를 분석하기 위한 지수로 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)는 수분에 민감하게 반응하며 활력을 표현한다. GNDVI(Green Normalized Difference Vegetation Index)는 Green, NIR 밴드를 이용하며 엽록소함량, 건물량 등을 알 수 있다. PRI(Photochemical Reflectance Index)는 Xanthophyll과 Green 밴드를 이용하며 크산토폴에 민감하게 반응한다. 비광화학적 소멸 등 광에너지 반응을 표현한다. CRI(Carotenoid Reflectance Index)는 Green, Red, Carotenoid 밴드를 이용하며 카로티노이드에 민감하게 반응하여 광에너지 반응에 민감하게 작용한다. CRI1, CRI2의 차이는 산출을 위해 Green 및 Red 밴드 차이에 있다. 산출결과, NDVI(0.80, 0.89, 0.74), GNDVI(0.79, 0.86, 0.67), PRI(0.0024, -0.024, -0.042), CRI1(0.068, 0.18, 0.14), CRI2(0.048, 0.12, 0.1), GCI(8.18, 13.5, 4.37) 등으로 나타났으며 CRI1과 CRI2에서 값이 상대적으로 차이가 발생하여 면밀히 살펴볼 필요성이 존재한다.

### 3.3 나뭇잎 채취에 적합한 방위 선정

3그룹에서 취득한 생물량과 식생지수에 대해 방위별로 4그룹을 구별하여 ANOVA 분석한 결과 0.05 신뢰수준에서 모두 유의한 차이가 있는 것으로 판단되었다. 사후 분석을 거쳐 방위별로 생물량과 식생지수의 상관성 분석을 진행하였다. 분석결과, 서사면의 상관계수가 비교 항목 30개 중 14개의 항목을 충족하며 높은 상관성을 보였다. 생물량과 식생지수의 상관성을 비교하기에 가장 적합한 나뭇잎의 채취는 서사면에서 하는 것이 효과적일 것으로 보인다.

### 3.4 식생지수별 분광밴드 선정

선행연구를 통해 검증된 식생지수의 산출에 적합한 분광밴드를 선정하였다. 식생지수 계산을 위해 적합한 밴드의 범위를 Green(520-570nm), Red(660-690nm), NIR(860-890nm), Carotenoid<sup>1)</sup>(400-510nm), Xanthophyll<sup>2)</sup>(531nm)로 설정하였다. 분석의 빈도를 줄이기 위해서 각 범위를 2nm 간격으로 분리 후 반사값을 도출, 식생지수 산출식에 해당 범위 값들을 적용하여 식생지수를 산출한 후 가장 높은 상관성을 보이는 밴드를 선정한 후 출현 빈도를 분석하였다. NDVI는 690, 890nm, GNDVI는 520, 890nm, PRI는 531, 568nm, CRI1은 410, 520nm, CRI2는 410, 690nm, GCI는 520, 890nm의 분광밴드값을 취하여 산출했을 때 생물량과 높은 상관성을 보였다. PRI는 531nm와 Green밴드의 공선성 문제가 있어 Green 영역(C-Green<sup>3)</sup>)을 좀 더 면밀하게 살펴서 선정할 필요가 있을 것으로 보인다. 상관성과 출현빈도가 높은 밴드를 살펴보면 느티나무의 건강성을 진단하기 위해서는 서사면에서 나뭇잎을 취득하여 Green(520nm), C-Green(568nm), Red(690nm), NIR(890nm), Carotenoid(410nm), Xanthophyll(531nm)의 분광밴드를 사용하여 식생지수를 산출하는 것이 적절할 것으로 보인다.

## 4. 결론

첫째, 느티나무의 생물량과 식생지수 산출을 위해 서사면에서 나뭇잎 샘플을 채취하는 것이 가장 효과적임을 밝혔다. 둘째, 식생지수에 Green(520nm), C-Green(568nm), Red(690nm), NIR(890nm), Carotenoid(410nm), Xanthophyll(531nm) 밴드를 사용하는 것이 적절할 것으로 보인다. 본 연구는 초분광 영상으로 수목의 건강성 진단 가능성을 검토하였다. 이를 위해 수목의 건강성 지표인 생물량과 상관성이 높은 식생지수와 이의 산출에 필요한 분광밴드를 제시하였는데 의의가 있다. 수목의 건강성 진단의 실용화를 위해서는 다양한 생육환경, 임령 등에 대한 추가 실험이 필요하며, 느티나무 이외의 수목으로 확대되어야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 윤정범, 운영남, 김윤하(2021) 농업분야에서 식생지수의 활용. 농업생명과학연구 55(5): 1-9.
2. 조정욱, 정인창(2000) 녹황색 채소류 중의 카로티노이드 함량과 Blanching에 의한 변화. 한국식품조리과학회지 16(1): 17-21.
3. Clevers, J. G. and A. A. Gitelson(2013) Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and-3. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 23: 344-351.
4. Gamon, J. A., J. Penuelas and C. B. Field(1992) A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. Remote Sensing of Environment 41(1): 35-44.
5. Gamon, J., L. Serrano and J. S. Surfus(1997) The photochemical reflectance index: An optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. Oecologia 112(4): 492-501.

1) Carotenoid에 반응하는 밴드.

2) Xanthophyll에 반응하는 밴드.

3) PRI에서 사용되는 Green 영역을 세분화한 것으로 C-Green으로 명명함.