

노거수의 건강성 평가체계 정립을 위한 위험 지표인자의 검증

장중평* · 시아티엔티엔* · 강호철** · 강태호***

*동국대학교 대학원 조경학과 · **경남과학기술대학교 조경학과 · ***동국대학교 경주캠퍼스 조경학과

Determination of Risk Indicators for Establishing the Health Evaluation System of Old Trees

Zhang, Zhong-Feng* · Xia, Tian-Tian* · Kang, Ho-Chul** · Kang, Tai-Ho***

*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Dongguk University

**Dept. of Landscape Architecture, Gyeongnam National University of Science and Technology

***Dept. of Landscape Architecture, Dongguk University Gyeongju Campus

ABSTRACT

The protection and management of old trees is important in the context of heritage protection and landscape construction. The purpose of this study is to determine the risk indicators of the health evaluation system for the old trees, and to provide methods for the protection and management of the old trees that are at risk. According to the index and weighted values obtained in the previous study the scores can be calculated on a 100-point scale. According to the score, the grades are divided into 5 levels. This study takes the case of a total of 30 old trees, including a *Chinese juniper*, located in Gyeongju Yangdong village, to evaluate the degree of danger in their actual condition. The results showed that of the *Chinese juniper* tree is at the healthy level, with the score of about 70, and is therefore in Level C. The trees in Yangdong village at high risk should be improved quickly. The standards set for the 5-level score graph and the establishment of a health evaluation system can reflect the actual situation of the old trees in Yangdong village, so it is both practical and scientific.

Key Words: Self-Aging, Field Survey, Microbiology Experiment, Protection and Management of Old Trees

국문초록

노거수에 대한 보호 및 관리 강화는 유적의 보존에 있어 매우 중요한 부분이다. 본 연구는 노거수의 건강성 평가체계 정립을 위한 위험 지표인자를 검증하여 위험에 처해 있는 노거수의 보호 및 관리에 평가 방법을 제공하는데 목적이 있다. 선행 연구에서 도출된 지표와 상대적 중요도를 토대로 100점을 기준으로 변환점수를 계산하여 평가점수표를 작성하였고, 평가 점수표의 합계에 따라 5등급으로 평가를 실시하였다. 그리고 연구의 실증을 위해 양동마을의 노거수를 사례 대상으로 현장조사와 실내 측정을 통해 각 지표의 실제 위험도를 평가하고, 위험등급을 산출하였다. 양동마을 내 노거수의

Corresponding author: Tai-Ho Kang, Dept. of Landscape Architecture, Dongguk University Gyeongju Campus, Gyeongju 38066, Korea. Tel.: +82-54-770-2232, E-mail: kth@dongguk.ac.kr

건강성 평가 결과는 약 70%가 C등급으로 나타나 세심한 보호 관리가 필요하다. 연구결과, 5등급 점수표에 의한 등급별 판단 기준 설정 및 건강성 평가체계 수립은 양동마을의 실제상황을 반영할 수 있어 실용성과 과학성이 있는 것으로 판단된다.

주제어: 자채노화, 현장조사, 미생물 실험, 노거수 보호관리

1. 서론

노거수(老巨樹)의 노쇠 및 고사는 내인과 외인이 같이 작용한 결과로 외인은 자연적 원인과 인위적 원인으로 나눌 수 있다. 내인은 수령이 백년 이상 오랜 세월을 걸쳐 작용하여 활력도가 낮아지고 수세도 약해진다. 또한, 수형이 큰 노거수는 선천적으로 자연적 원인인 병해충, 폭풍우, 토양 침식 등에 대한 저항력이 크지만 노쇠화에 따라 생육에 위험을 초래한다. 여기에 인위적인 손상 및 무관심 등으로 노거수의 건강에 큰 영향을 미쳐 생태 및 경관 가치를 저해할 뿐만 아니라, 고사 위험에도 직면하게 된다.

노거수의 잠재적인 위험인자를 조사하고, 대응 방안 연구로 Kang(2002)은 진주시 읍·면지역의 노거수 실태를 조사하고, 직·간접적인 쇠퇴원인을 구명하고자 하였으며, 노거수 주변의 포장과 도로 포장에 따른 생장력 감퇴에서 노거수의 고사가 일어나는 것을 찾아내었다. Cho(2010)는 노거수의 건강 지표 개발과 선발전 기준 지표를 수립하고, 노거수 건강도를 평가하였다. 아울러 충남 예산군에 분포하고 있는 느티나무 보호수를 대상으로 그들의 세부 생육환경 실태 조사와 내부 진단을 통해 향후 관리 및 개선 방안을 제시하였다(Cho, 2013). Kang(2014)은 Cultural Heritage Administratio(2013)와 USDA Forest Service(1992)의 내용을 일부 수정하여 남해 물건리 방조어부림을 구성하는 노거수 전체를 대상으로 맹아 발생, 흑병 발생, 갈라짐, 수피훼손, 수분 및 낙엽포켓, 가지의 분지 유형, 공동, 고사지, 뿌리 노출 등의 항목을 중심으로 개체의 잠재적 위해 요인을 조사하였다. Seo(2016)는 현지조사를 통해 잠재적 위험요인으로 수피훼손, 맹아 발생, 고사지, 공동, 흑병, 갈라짐 등 9개 항목을 조사하였다. Shin(2017)은 노거수의 생육현황, 전기저항치, 수간 내부 건강도 단층촬영을 통하여 잠재적 위해 요인을 분석하였다. 국외에서의 연구는 노거수의 안정성 및 위험성 판단 등에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며, 주로 목측과 초음파 측정 기술, 종합분석 방법 등을 사용하고 있다. Paine(1978)은 수종, 나무 크기, 수목의 노쇠화 흔적 등 잠재적인 위험 데이터를 시스템으로 구축하고, 건강 모니터링으로 응용하였다. 1980년대 Paul은 가지의 고사, 신장 및 발아 등을 나무의 건강 지표로 평가하였다(Paul *et al.*, 1985). 미국 Vancouver Park Board는 나무의 위치, 수간, 가지, 뿌리 등 85개 지표로 상세한 나무 위험 시스템을 만들었다(Bakken, 1986). Michael

(1987)은 나무의 생장 상황을 평가할 수 있는 지표 공동, 유합 조직, 고사지, 부패, 노출된 뿌리, 수형 등을 택하고, 나무의 잠재적인 위험원인을 분석할 수 있는 평가체계를 구축을 제시하였다. Mattheck and Breloer(1993)는 목측으로 나무의 건강도와 위험도를 측정하고, 구조 및 역학 강도에 따라 진단을 실시하는 방법을 제시하였다. 이를 기초로 하여 Hickman은 나무의 생장환경, 구조, 수세 등 지표로 건강성을 평가하고, 수세, 수간상태, 경사도는 나무 건강의 3대 중요한 지표로 판단하였다(Gary *et al.*, 1995). Martinis *et al.*(2004)은 초음파 기계와 단층촬영 기계를 결합 활용하는 방법으로 부패가 있는 느티나무의 횡단면을 측정하는 초음파 단층 촬영 기술을 개발하여 나무의 부패를 효과적으로 발견할 수 있게 하였다. Boone and Westwood(2006)은 수세와 병해충을 결합하는 방식으로 건강성을 평가하고 주요 지표는 수세, 낙엽 상태, 가지 고사량, 병해, 충해 등이 있다. 중국에서의 연구는 노거수의 정보 수집 및 관리, 노쇠화 원인 분석, 건강 측정, 수세 회복 등을 포함(Wang, 2011)한다. 그러나 노거수를 파괴, 훼손하는 불법 행위가 빈번(Mi *et al.*, 2006)하여 1982년과 2000년에 도시건설부는 노거수 보호 관리 조치를 지속적으로 실시하여 노거수의 보호는 강화되었다(Dong and He, 2008). 지방 정부도 관련 규제를 만들고, 노거수의 보호관리에 강제성을 띠게 된다(Su, 2003). 노거수 건강 평가는 통일한 표준이 없으며, 연구 소요에 따라 노거수 건강 평가의 판단 근거로 수세, 외부형태, 병해충 상황 위주로 수행되었으며, 건강성을 2~5개 등급으로 구분하였다(Liu, 2013). Yang(2006)은 노거수의 건강을 매우 건강, 건강, 보통, 불량, 매우 불량 5개 등급으로 상세하게 평가하였지만, 수세를 위주로 하여 노거수의 생리 생화학 지표, 내부 생장 상황, 생장환경 등을 포함하지 않고 평가 방법도 복잡하여 보급하기가 쉽지 않았다.

이상과 같이 노거수 건강 평가에 대한 연구는 다양하고 차이가 많다. 노거수의 건강성 평가 체계는 지표인자의 정확한 측정 및 유효한 데이터 분석의 기초 위에 실시하여야 한다. 지표인자의 검증 과정이 정확하지 않으면 후속 연구가 계속 진행할 수 없다. 따라서 본 연구의 목적은 도출된 지표인자들에 대한 정확성, 효용성, 타당성, 활용성 등의 원칙에 따라 선행 연구의 표준을 참고하여 각 평가 지표의 측정 방법을 확정하고, 정확한 평가 점수 및 등급을 도출하고자 한다.

연구과정은 첫째, 노거수의 건강성 평가 점수표를 작성한다.

6개 대분야 및 46개 지표의 변화점수를 산출하고, 위험도를 등급화 시킨다. 둘째, 노거수의 위험 지표 인자 측정 방법을 확정한다. 현장답사, 기계 측정, 실험 측정 등 방법을 이용하여 정확한 데이터를 산출한다. 셋째, 양동마을 노거수가 100주 이상이나 많기 때문에 사례대상으로 선정하고, 개발된 평가체계를 검증한다. 노거수의 건강성 평가 모델은 Figure 1과 같다. 본 연구는 마지막 단계인 위험 지표인자의 검증 단계이어서 평가체계를 정립하고 노거수의 건강성 평가에 큰 의미가 있다.

II. 평가지표 도출

노거수의 건강성 평가 후보 지표 선정은 선행 연구를 근거하여 도출하였으며, 선정된 지표를 토대로 하여 합리적인 평가체계와 모형을 수립을 위해 계량화 점수표를 만들고, 정확한 방법을 통해 각 지표를 측정하고 데이터를 수집한다. 대분야는 Cho(2010)가 선정한 지상부 상태, 생육환경, 관리사항, 토양분석, 병해충의 5개 항목 모형을 재수정하여 적용하였다. Cho(2010)는 기존 연구에서 나왔던 노거수의 건강지표들을 거의 다 포함하고 생육환경 조사가 부족한 실정에 따라 상관지표도 치중하게 연구하였다. Shin(2017)도 선행연구인 Cho(2010)에서 사용한 조사항목을 참고하여 현재 노거수의 지상부 수목 생육과 주변 생육환경, 전기저항치, 수간 내부 건강도 단층촬영을 통해 잠재적 위험도 지표를 부여하였다. 본 연구는 이를 기초로 선행 연구에서 많이 사용되었던 주요 인자를 세부지표로 선정하고, 델파이 기법을 이용한 전문가 설문조사를 통해 6개 대분야 및 46개 세부지표를 도출하였다(Xia and Kang, 2017a).

구체적으로 보면 자체노화란 수목의 활력에 관여하는 자체 위험 요소이고, 수세가 나무뿌리의 생장·엽색·발아 등 상황을 대표할 수 있어서 항상 노거수의 위험 상태를 판단으로 이용하였다(<http://www.bjyl.gov.cn>). Lin *et al.*(2003)은 수세를 가지고 나무의 생장 상황을 판단하였으나, 나무의 생리 생화학적 지표, 생장환경, 내부 상황 등을 고려하지 않았으며, 평가지에 대한 요구가 많아서 이용하기에 부적합하다. Qian(2002)은 나무의 활력도(수형, 고사지 수량, 지엽 밀도, 가지의 신장과

발아, 잎의 색깔과 형태)를 가지고 생태 환경의 질량을 평가하였다. 활력도 세부항목은 수형, 가지의 신장과 발아, 잎의 크기 및 색, 고사지 및 쇠약지, 가지와 잎의 밀도, 유합조직 형성량, 부패 등으로 나타났다(Shin 2017). Zhu *et al.*(2008)은 지엽 밀도와 수세, 병해충에 의하여 노거수의 건강 상황을 판단하였다. Ye *et al.*(2009)은 나무의 외부형태(고사지, 잎의 색깔, 수관폭, 수간 내부의 공동 여부, 병해충)에 의하여 마카오 송산공원의 수목 건강 상황을 평가하였다. Weng *et al.*(2009)은 AHP 방법을 이용하여 전체상황, 수관, 수간, 뿌리 등 4가지 측면에서 14개 직관적인 지표를 선택하고, 나무의 건강 평가체계를 만들었다. 그 중에 수세, 수간, 경사도 3개 지표의 중요도가 높은 편으로 판단되었으며, 중요도가 낮은 3개 지표를 제외하고, Hickman의 연구와 같은 결론을 얻었다. Li *et al.*(2010)은 AHP 기법을 통해 수세, 경사도, 고사지 등 14개 지표의 가중치를 산출한 후 건강 평가 모형을 만들고 건강 상태를 5등급으로 나누었다. Liu and Ye(2008)는 음파단층기술을 이용하여 동관시(東莞)의 노거수에 대한 건강 평가를 실시하였다. 생육환경은 포장 상태, 배수성, 수광 상태, 타수중 침입, 복토 깊이 등을 포함하였다(Cho, 2010). 또한, 대기오염, 관광객의 답압, 기후 변화로 인한 병해 등에 의한 손상이 높다(Kim and Kim, 1995). 가해습성에 따른 수목의 해충은 뿌리가해 해충, 식엽성 해충, 흡즙성 해충, 천공성 해충, 충영형성 해충, 종실 해충으로 분류되었다(Lee, 2015). 그리고 정의에 따라 나무 병해는 세균, 진균, 바이러스, 기생생물 등으로 인한다(<http://www.baik.com/wiki>). 기존 연구를 보면 일부 노거수들이 척박한 토양(비탈면, 현애, 구릉 등)에서 자라고 충분한 영양이 없기 때문에 노쇠하고 고사되었다(Zhao, 2014). Xiong(1999)은 노거수의 보호관리 과정 중에 토양 환경(함수율, 유기질, 광물질 함량 등)은 노거수의 생장에 영향을 미치고, 정기적으로 토양의 이화학적 성질을 측정하며, 노거수의 생장 환경 지표를 파악할 수 있다고 판정하였다. 토양의 이화학적 특성의 분석 항목은 토양 산도, 유효인산, 유기물, 전질소, 양이온 교환용량 등이다(Yoo, 2001).

노거수는 수고와 수관 등이 크기 때문에 낙뢰로 인한 화상이

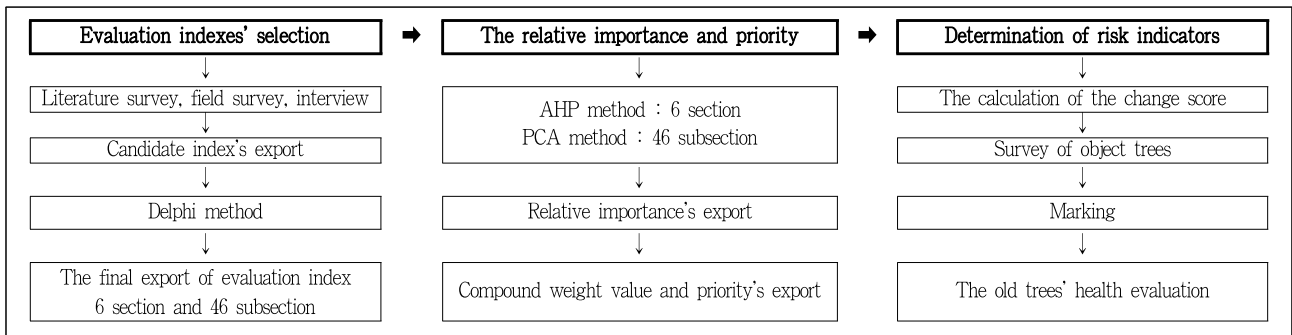


Figure 1. Health evaluation model of old trees

발생한다. 또한 우박, 수재, 가뭄 등도 노거수에 상해를 입힐 수 있다. 대다수 노거수가 내부 부패가 존재하기 때문에 강한 바람을 불면 가지가 부러지는 현상이 발생한다. 또한 오존층의 박막화 때문에 지구 표면의 자외선이 증가하여 노거수에 오존 손상을 일으키고 있다. 노거수의 관리수단은 외과수술, 영양공급, 병해충 방제, 정밀조사 실시 등 관리대책(Jung, 2008)에서 출발하고, 상관체계(Kim *et al.*, 1996)가 적절하였는가도 연구 범위 안에 포함하여 평가지표 후보군을 선정하였다. 그 중에 자체노화, 생육환경, 수목병해충, 토양의 이화학적 특성, 기후스트레스, 관리현황 등이 각각 9개, 9개, 7개, 7개, 6개, 8개가 선정되었다(Table 1 참조).

III. 평가 요소간 상대적 중요도 산출

노거수의 건강성 평가체계는 선행연구에서 델파이 기법을 통해 받았던 위험 인자, 즉 6개 대분야 및 46개 세부 지표를 가지고 AHP 기법(의사결정방법: Analytic Hierarchy Process)

Table 1. Result of Delphi survey

Field	Index	Field	Index
Individual aging	Tree vigo(u)r	Growth environment	Drainage
	Trunk rotting status		Light condition
	Branches' dead status		Air pollution
	Tree hole		Soil thickness
	Crack		Other tree species' intrusion
	Tree form		Stamping
	Elongation and germination		Concrete cover
	Density of branches and leaves		Biological diversity
	Leaves' fallen status		Root competition
Diseases and insect pests	Bacterial diseases	Soil condition	Soil property
	Root pests		Soil pH
	Boring pests		Soil moisture level
	Defoliator		Soil organic matter
	Fungal disease		Soil total nitrogen
			Soil effective phosphate
Climate change	Parasites	Management status	Cation exchange capacity
	Virus disease		Disease and insect pest control
	Thunder		Management cycle
	Hail		Precision survey
	Flood		Tree pruning
	Drought		Management register
	Strong wind		Trees' surgery
Ozone injury	Nutrition supply		
	Support structure		

와 PCA 기법(주성분 분석: Principal Component Analysis)을 통해 각 요소의 중요도를 산출하였다(Xia and Kang, 2017b).

위험인자 도출 단계에서는 문헌 조사, 현장 답사, 인터뷰를 통해 평가지표의 후보군을 도출하였으며, 델파이 기법을 이용하여 4차례 전문가 설문을 통해 합의를 도출하였다. 1차 조사를 진행한 후에 각 지표의 중요도, 즉, 평균값을 산출하고, 순위대로 2차 설문지를 작성하였다. 2~4차 설문결과는 SPSS 18.0을 사용 중요도(M), 표준편차(S.D.), 중위수(Mdn), 사분범위 계수(Q1, Q3), 내용타당도 지수(Content Validity Ratio: CVR), 수렴도(QD), 합의도(H) 등을 분석하였다. 그 결과, 46개 세부 지표를 최종적으로 도출하였으며, 6개 대분야로 자체노화 9개, 생육환경 9개, 수목병해충 7개, 토양의 이화학적 특성 7개, 기후스트레스 6개, 관리현황 8개가 선정되었다.

노거수의 건강성 평가요소 간 상대적 중요도 및 우선순위 연구 단계에서는 AHP 기법으로 전문가들에게 설문조사를 통해 각 대분야 쌍대비교를 수행하였다. 1~9점 척도를 사용하고, 각 대분야에 대한 쌍대비교로 설문지를 구성하였으며, PCA 기법을 이용하여 세부 지표층 인자의 차원을 축소시키고, 회귀 분석으로 가중치를 구하였다. 우선 계층 및 조사 방법에 따라 설문지를 만들고, 150명 전문가를 선정하여 E-mail 및 직접 면담 방식 등으로 설문조사를 실시하였다. AHP 기법 및 PCA 기법의 결과, 통계 방식으로 가중치를 부여하고, 일치성과 정확성을 검증하였다. 2개 층의 복합 가중치를 산출하고, 우선순위에 따라 각 지표의 위험 정도를 제시하였다.

평가의 용의성을 위해 최대 7등급에서 3등급으로 구분하는 경우가 대부분이다(Xu, 2013). 그러나 최근의 실증적 연구 결과에 따르면 5등급, 7등급, 10등급 각 항목의 데이터를 분석한 결과, 평균치, 분산, 편차, 첨도가 비슷하게 나타나 간편하고 신뢰도가 높은 5등급 척도를 사용하는 추세이다(<https://baike.baidu.com/item/李克特量表>). 지표 개발 논문을 보면 Ahn(2011)은 종합점수 100점을 기준으로 평가항목 5점 척도로 매우 양호, 양호, 보통, 미흡, 매우 미흡으로 점수표를 만들었다. Xu(2013)는 세계문화유산의 효과적 관리를 위한 평가체계의 구축 과정 중에도 5등급으로 구분하였으며, 평가항목별 점수합계별로 평가 등급표를 만들었다. 또한 측정 데이터를 점수표 안에 적용하려면 노거수의 건강 지표 개발 및 적용에 관한 연구(Cho, 2010), 천연기념물 남해물건리 숲의 수목 위험도 평가(Kang, 2014)와 노거수의 생육현황 및 잠재적 위험요인에 관한 연구(Shin, 2017)에서 사용한 항목 등급화 기준을 참조하여 지표를 구체화하고 평가하였다. 따라서 본 연구에서는 5등급 분류방식을 적용하고 최종 평가 점수표를 작성하였다(Table 2 참조). 다음으로 노거수의 건강성 평가 단계에서는 각 지표의 복합 가중치를 따라 평가 점수표를 작성하고, 5등급으로 구분할 수 있다(Table 3 참조).

노거수의 건강성 평가의 지표 시스템을 개발하기 위하여 먼

Table 2. Old tree's health evaluation score table(take the case of *Chinese juniper*, no. 1)

Section	Subsection	Change fraction	Evaluation interval				
			Very healthy	Healthy	Ordinary	Unhealthy	Very unhealthy
Individual-aging 0.39×100=39	Tree vigo(u)r	0.16×39=6.24	6.24	4.99	3.74	2.5	1.25
			Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Trunk rotting status	0.17×39=6.63	6.63	5.3	3.98	2.65	1.33
			Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Branches' dead status	0.09×39=3.51	3.51	2.81	2.11	1.4	0.7
			0~2	2~4	4~6	6~8	Above 8
	Tree cavity	0.11×39=4.29	4.29	3.43	2.57	1.72	0.86
			< 0.1	0.1~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	Above 1.5
	Leaves' fallen status	0.06×39=2.34	2.34	1.87	1.4	0.94	0.47
			Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Tree shape	0.09×39=3.51	3.51	2.81	2.11	1.4	0.7
			< 81	80~71	70~61	60~51	< 50
Elongation and germination	0.10×39=3.90	3.9	3.12	2.34	1.56	0.78	
		Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	
Density of branches and leaves	0.10×39=3.90	3.9	3.12	2.34	1.56	0.78	
		Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	
Crack	0.12×39=4.68	4.68	3.74	2.81	1.87	0.94	
		0	1	2	3	Above 4	
Growth environment 0.22×100=22	Drainage	0.14×22=3.08	3.08	2.46	1.85	1.23	0.62
			Within 12h	12~24h	24~36h	36~48h	Above 48h
	Light condition	0.16×22=3.52	3.52	2.82	2.11	1.41	0.7
			Above 80%	60~80%	40~60%	20~40%	0~20%
	Air pollution	0.14×22=3.08	3.08	2.46	1.85	1.23	0.62
			0~10%	10~20%	30~40%	40~50%	Above 50%
	Soil thickness	0.12×22=2.64	2.64	2.11	1.58	1.06	0.53
			0~10cm	10~20cm	20~30cm	30~40cm	Above 40cm
	Other tree species' intrusion	0.15×22=3.30	3.3	2.64	1.98	1.32	0.66
			0~10%	10~20%	30~40%	40~50%	Above 50%
	Stamping	0.14×22=3.08	3.08	2.46	1.85	1.23	0.62
			0~10%	10~20%	30~40%	40~50%	Above 50%
Concrete cover	0.02×22=0.44	0.44	0.35	0.26	0.18	0.09	
		0~10%	10~20%	30~40%	40~50%	Above 50%	
Biological diversity	0.09×22=1.98	1.98	1.58	1.19	0.79	0.4	
		Above 80%	60~80%	40~60%	20~40%	0~20%	
Root competition	0.04×22=0.88	0.88	0.7	0.53	0.35	0.18	
		0~10%	10~20%	30~40%	40~50%	Above 50%	
Diseases and insect pests 0.14×100=14	Bacterial diseases	0.17×14=2.38	2.38	1.9	1.43	0.95	0.48
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Root pests	0.14×14=1.96	1.96	1.57	1.18	0.78	0.39
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Boring pests	0.16×14=2.24	2.24	1.79	1.34	0.9	0.45
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Defoliator	0.13×14=1.82	1.82	1.46	1.09	0.73	0.36
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Fungal disease	0.18×14=2.52	2.52	2.02	1.51	1.01	0.5
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Parasites	0.10×14=1.40	1.4	1.12	0.84	0.56	0.28
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
Virus disease	0.12×14=1.68	1.68	1.34	1.01	0.67	0.34	
		None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	

(Table 2. Continued)

Soil condition 0.08×100=8	Soil property	0.16×8=1.28	1.28	1.02	0.77	0.51	0.26
			Sandy loam	Clay loam soil	Loam	Sandy soil	Clay
	Soil pH	0.19×8=1.52	1.52	1.22	0.91	0.61	0.3
			Optimum	±5%	±10%	±15%	±20%
	Soil moisture level	0.20×8=1.60	1.6	1.28	0.96	0.64	0.32
			Optimum	±5%	±10%	±15%	±20%
	Soil organic matter	0.14×8=1.12	1.12	0.9	0.67	0.45	0.22
			Optimum	±5%	±10%	±15%	±20%
Soil total nitrogen	0.18×8=1.44	1.44	1.15	0.86	0.58	0.29	
		Optimum	±5%	±10%	±15%	±20%	
Soil effective phosphate	0.11×8=0.88	0.88	0.7	0.53	0.35	0.18	
		Optimum	±5%	±10%	±15%	±20%	
Electric conductivity	0.02×8=0.16	0.16	0.13	0.1	0.06	0.03	
		Optimum	±5%	±10%	±15%	±20%	
Climate change 0.11×100=11	Thunder	0.25×11=2.75	2.75	2.2	1.65	1.1	0.55
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Hail	0.24×11=2.64	2.64	2.11	1.58	1.06	0.53
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
	Flood	0.22×11=2.42	2.42	1.94	1.45	0.97	0.48
			None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
Drought	0.02×11=0.22	0.22	0.18	0.13	0.09	0.04	
		None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	
Strong wind	0.16×11=1.76	1.76	1.41	1.06	0.7	0.35	
		None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	
Ozone injury	0.11×11=1.21	1.21	0.97	0.73	0.48	0.24	
		None at all	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	
Management status 0.06×100=6	Disease and insect pest control	0.14×6=0.84	0.84	0.68	0.51	0.34	0.17
			Above 1 year 2 times	1 year 2 times	1 year 1 times	2 year 1 times	Above 3 year 1 times
	Trees' surgery	0.17×6=1.02	1.02	0.82	0.6	0.4	0.18
			Above 1 year 2 times	1 year 2 times	1 year 1 times	2 year 1 times	Above 3 year 1 times
	Precision survey	0.16×6=0.96	0.96	0.76	0.57	0.38	0.19
			Above 1 year 2 times	1 year 2 times	1 year 1 times	2 year 1 times	Above 3 year 1 times
	Tree pruning	0.15×6=0.90	0.9	0.72	0.54	0.36	0.18
			Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%
Management register	0.11×6=0.66	0.66	0.52	0.39	0.26	0.13	
		Within 1 year	2 year	3 year	4 year	5 year	
Support structure	0.03×6=0.18	0.18	0.16	0.12	0.08	0.04	
		Normal	10% difference	20% difference	30% difference	Above 40%	
Nutrition supply	0.13×6=0.78	0.78	0.64	0.48	0.32	0.16	
		Within 1 year	2 year	3 year	4 year	5 year	
Management cycle	0.11×6=0.66	0.66	0.52	0.39	0.26	0.13	
		Above 5 year 1 times	4 year 1 times	3 year 1 times	2 year 1 times	Within 1 year 1 times	
Total			100.00	80.00	60.00	40.00	20.00

Table 3. The degree of health evaluation result(take the case of *Chinese juniper*, no. 1)

Evaluate	A	B	C	D	E	The degree of danger
	100.00~80.10	80.00~60.10	60.00~40.10	40.00~20.10	0.00~20.00	

저 각 대분야 간의 변환점수를 종합점수 100점을 기준으로 도출하였다. 각 세부지표의 변환점수는 각 대분야의 가중치와 종합점수의 배수를 따라 도출하였으며, 가중치와 변환점수를 이용하여 평가 점수표를 작성하였다. 연구의 실증 분석을 위해 양동마을과 같이 550년 이상이나 오래된 대표성이 있는 노거수를 사례 대상으로 건강성 평가를 실시하였다. 현장조사를 실시하여 평가 지표에 의한 점수표에 따라 점수를 산정하면 최종 점수 등급, 즉 건강성을 산출할 수 있다.

산출된 대분야 가중치를 종합점수 100점과 곱하고, 각 대분야 간의 변화점수를 도출할 수 있다. 그리고 각 세부지표의 가중치는 각 대분야의 변화점수와 곱하면 각 지표의 변화점수를 산출할 수 있다. 각 지표의 변화점수를 오등분하고 5급으로 나눈다. 6개 대분야의 변환점수 산정 결과, 자체노화는 39점, 성장환경 22점, 수목병해는 14점, 토양의 이화학적 특성은 8점, 기후스트레스 11점, 관리현황은 9점으로 나타났다.

자체노화에 대한 세부지표의 변환점수는 수세 6.24, 수간 부패 상태 6.63, 가지 고사 상태 3.51, 공동 4.29, 갈라짐 2.34, 수형 3.51, 가지의 신장과 발아 3.90, 지엽의 밀도 3.90, 낙엽상태 4.68로 나타났다.

성장환경의 세부지표 변환점수는 배수성 3.08, 수광 상태 3.52, 공기오염 3.08, 복토 2.64, 타수종 침입 3.30, 답압 3.08, 주변 생물 다양성 0.44, 콘크리트 피복 1.98, 근계 간의 경쟁 0.88로 나타났다.

수목 병해충의 세부지표 변환점수는 세균 병해 2.38, 뿌리가해 해충 1.96, 천공성 해충 2.24, 식엽성 해충 1.82, 진균 병해 2.52, 기생생물 1.40, 바이러스 병해 1.68로 나타났다.

토양의 이화학적 특성의 세부지표 변환점수는 토성 1.28, 산도 1.52, 토양 건습도 1.60, 유기물 1.12, 전질소 1.44, 유효인산 0.88, 전기전도도 0.16으로 나타났다.

기후스트레스의 세부지표 변환점수는 낙뢰 2.75, 우박 2.64, 수재 2.42, 강한 바람 0.22, 가뭄 1.76, 오존 1.21로 나타났다.

관리현황의 세부지표 변환점수는 병충해 방제 0.84, 외과수술 흔적 1.02, 정밀조사 실시 0.96, 가지치기 0.90, 관리대상 작성 0.66, 업무 순환주기 0.18, 영양공급 주기 0.78, 지주대 설치 0.66으로 나타났다.

다음으로 가중치와 변환점수를 이용하여 최종적으로 노거수의 건강성 평가점수표를 개발하였다. 종합점수는 100점을 기준으로 하였고, 각 평가지표는 같은 간격의 평가구간(매우 건강, 건강, 보통, 불량, 매우 불량)으로 설정하여 건강의 위험정도를 평가할 수 있는 평가점수표를 작성하였다(Table 2 참조). 따

라서 노거수에 대한 건강성을 평가할 때 최종적으로 얻은 평가점수는 5등급으로 구분할 수 있다(Table 3 참조). Table 2에서 각 위험 지표인자의 점수를 합치고 최종 위험도를 산출할 수 있으며, Table 3에서 위험 등급을 확인할 수 있다. 예를 들어, 향나무의 건강성 각 지표 점수를 합치면 65.01을 산출하고 Level 3을 받았다.

Table 3을 보면 A등급(0~20점)은 수세가 매우 약하고 고사하기 직전이다. 가지와 잎이 매우 적고 대부분 고사한다. 수피의 손상이 많고 입지 환경이 매우 불량하다. 노거수의 건강 상황이 매우 불량해서 응급 보호관리 조치가 필요하다. B등급(20~40점)은 생장이 최약하고 새로운 나무 끝의 성장량이 평균치보다 낮다. 병충해 피해가 있고 고사지가 있다. 수형도 불량하고 안정성이 낮다. 건강 상황이 불량해서 위험한 지표에 대해 상응한 조치가 필요하다. C등급(40~60점)은 수세가 보통이고, 새로운 나무 끝의 성장량이 평균치보다 낮다. 병충해 피해가 있다. 고사지가 많지 않고 외피 손상이 있지만 영향이 크지 않다. 입지 상황은 보통이고 개선하여야 할 지표도 많다. D등급(60~80점)은 수세가 양호하고, 새로운 나무 끝의 성장량이 평균치에 달한다. 나무줄기의 2/3 이상이 완전하고, 외피 손상은 있지만 위해가 거의 없다. 수관 투영과 외연 1m 내에 지상 및 지하 구조물과 유해물이 없다. 노거수의 건강 상황은 양호해서 점수가 낮은 지표에 대해 보호할 필요가 있다. E등급(80~100점)은 수세가 강하고, 잎과 가지의 생장이 정상적이다. 병해충의 피해가 없고 공동이 없다. 수형이 아름답고 구조체가 완전하다. 고사지가 없고 입지 여건이 매우 양호하여 현 상태로 유지관리하면 된다.

IV. 관련 지표의 조사

1. 연구대상 현황

경주 양동민속마을은 2010년 세계문화유산으로 지정된 국가 중요 문화재이다. 한국 반촌문화의 현상이 잘 보존되어 있는 민속마을이나 건축물 위주로 관리가 이루어져 노거수의 보호 관리가 미흡한 실정이다. 관광객의 과도한 이용과 관리 소홀로 식생환경 훼손 및 노거수의 도태가 급속히 진행되고 있다. 특히 일부 노거수의 수관부 비대생장과 수목 내부 부패현상으로 도복의 우려가 있어 이로 인한 가옥과 인명 피해가 우려된다. 양동마을에서 수량이 가장 많고 대표성이 있는 노거수는 향나무 23주, 팽나무 14주, 회화나무 13주가 있다. Gall *et al.*

(2003), Seong and Si(2014)는 연구의 신뢰도 확보를 위해 최소한 30개체 수 이상을 조사하여야 한다고 하였다. 그러므로 본 연구는 양동마을 노거수의 건강성을 평가하기 위하여 비율 층화표집 방법으로 향나무 12주, 회화나무 9주, 팽나무 9주 총 30주를 사례 대상으로 건강성을 평가하였다. 대상나무의 위치 및 현황은 Figure 2와 같다. 조사와 실험 과정을 설명하기 위하여 대상 노거수 중에 서백당 향나무(No. 1)를 상세하게 기술하였으며, Table 2 중에 음영으로 표시하고, Table 3에서 위험도 점수를 산출하였다. 사례대상의 연구과정을 구체적으로 설명하기 위하여 그 중에 향나무(No. 1)를 대상으로 집중 기술한다. 향나무(No. 1)는 경상북도 기념물 제8호로 지정되었으며, 높이가 약 9m, 가슴높이의 둘레가 4.25m이고, 수관폭이 약 12m에 달하는 상록침엽교목이다.

양동마을은 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다(www.kma.go.kr). 토양환경지도를 보면 노거수 생장에 좋은 임지이며, 전체 배수 등급은 양호하고 토성은 미사질양토 이다(http://soil.rda.go.kr). 본 연구의 현장 조사 및 실험 기간은 2016년 6월에 진행하였으며, 2016년 1월 14일부



Figure 2. Old trees' position and status in Gyeongju Yangdong Village

터 2018년 1월 15일까지 노거수 생장환경, 관리상황, 기후변화, 배수상황 등을 관찰 기록한 결과, 기상청과 토양지도의 정보와 일치하였다.

2. 현장조사 방법

정확한 건강성 평가를 위하여 작성된 점수표에 따라 현지 조사를 실시하였다. 노거수의 높이와 흉고둘레 등 제원을 측정하고, 수형과 수세, 병충해 감염 등 외관을 관찰 촬영하였으며, 토양 측정 기구를 이용 토양의 이화학적 특성을 조사하였다. 노거수 내부 손상의 측정은 음파단층 촬영 장비(Tree sonic-tomograph PICUS 3, Germany)를 사용하였다(Figure 3 참조).

답압 등으로 인하여 토양의 경도가 높은 경우는 통기부족 등에 의하여 생육에 피해가 나타났다고 하였다(Kang, 2002). 토양 조사는 산중식토양경도계(藤原製作所, Japan)를 이용하여 동서남북 사방에 수관투영 안에서 토양의 경도를 4번 측정하고 평균치를 구하였다. 토양조사는 Soil Tester(Takemura Electric Works LTD., Japan)를 이용하여 습도, pH를 측정하였다. 토양의 입도 분석은 4개 표본점에서 토양을 채취하고 혼합한 후에 실험실 안에서 표준체(YL-S203)를 이용하여 건조시킨 흙시료를 체 눈 굵기별로 걸러내어 각 체에 남은 무게를 측정한 뒤 입경별 통과율에 대한 입도분포 상태를 판단하고, 자갈·점토·모래 등의 흙의 구성비율을 구하였다. 토양의 전기전도도는 토양에 수분을 첨가하여 포화반죽상태로 만든 후 평형을 유지시킨 다음 토양전도도계(HI993310)를 이용하여 측정하였다. 유기물, 전질소, 유효인산은 실험실에서 토양양분측정기(HHX-SJ10TF)를 이용하여 측정하였다(Figure 4 참조).

미생물 병해의 진단은 양동마을 향나무(No. 1) 병해 부위의 목질부를 현장 채취하여 병원균을 분리하였다. 병반을 유발하는 미생물의 분리를 위하여 다음의 방법을 사용한다. 첫째, 채취된 병반 부위를 준비된 멸균 potato dextrose broth(PDB, 100mL/250mL, 삼각플라스크) 배지에 넣은 후 24℃ 항온기에서 7일간 진탕 배양(120rpm)한다. 둘째, 병반 부위 덩어리와 부패부위 배양액이 각 1EA는 핀셋을 이용하여 채취한 후, 멸균된 PDA 배지(dia. of plate, 80mL)에 도달하여 24℃에서 7일

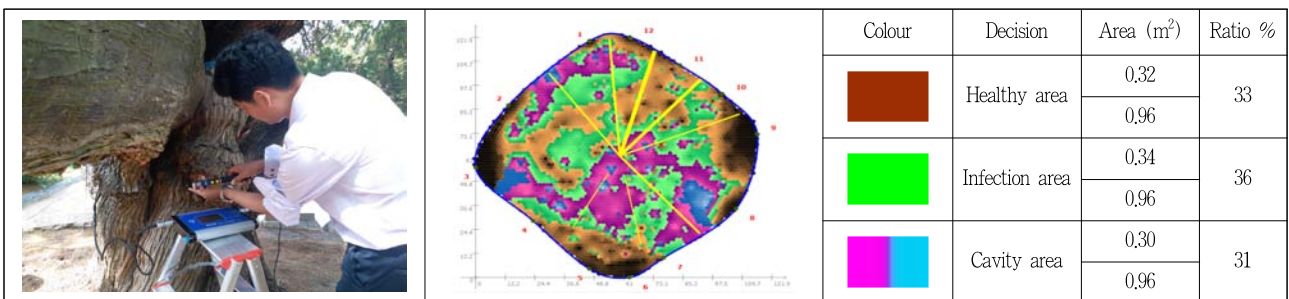


Figure 3. The actual situation of Chinese juniper(no. 1)

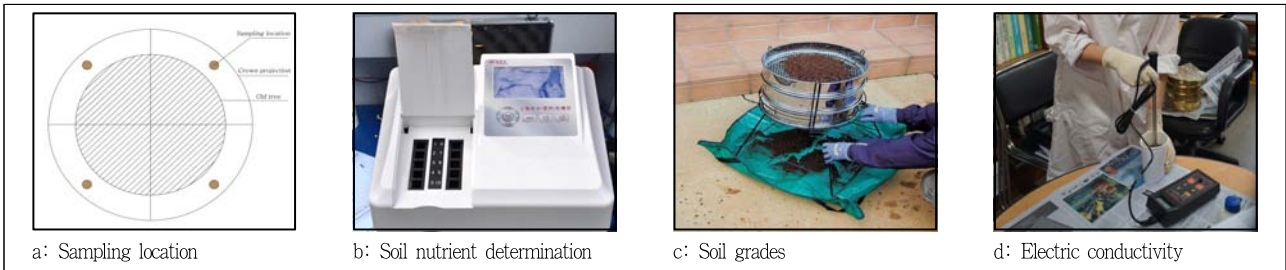


Figure 4. Soil testing experiment (*Chinese juniper*, no. 1)

간 정치 배양하여 smearing을 실시한다. 셋째, 병반 유발 효과가 있는 균을 선택하여 포자액(spore solution) 제조를 균으로 선택한다. 향나무(No. 1)의 부패부위 미생물 분리 과정은 Figure 5와 같다.

노거수의 수피, 잎, 전경, 주변 건축물이나 도로와의 관계, 입지 현황에 대한 사진촬영을 실시하고, 구체적인 상황을 기록하였다. 이와 같이 현장조사, 실내실험 등을 통해 건강성 평가 점수표를 완성하고, 정확한 정성평가에 근거하여 자료를 수집하였다. 현장 조사와 실내 측정을 통해서 평가 등급 점수를 매기는 방법으로 진행하였다. 자체 노화, 생육환경, 수목병해충, 토양의 이화학적 특성, 기후 스트레스, 관리 상태 등의 세부지표를 조사한 후 노거수의 건강성 평가표 등급을 부여하는 방식으로 평가하였다.

V. 대상 수목의 평가 결과

사례연구 대상인 향나무(No. 1)는 수령 550여 년으로 양동마을의 서백당 뜰에 위치하며, 경상북도 기념물 제8호로 지정되었다(Figure 3 참조). 향나무(No. 1)는 관광객이 집중하는 유적지 중심부에 위치하고 있어 토양의 경도가 높으며, 뿌리의 호흡이 불량하다. 관광객의 과도한 이용과 생육환경관리 소홀

로 인하여 수세가 약해지거나, 병해충이나 자연재해로 인한 고사지와 수피의 손상이 많아 수세회복 및 이용관리계획 수립을 위한 노거수의 위험도 평가가 시급한 실정이다. 향나무(No. 1)의 수형은 자연형이며, 수세는 불량하고 수간부의 수피가 많이 벗겨져 부패 부위 및 공동이 많이 발생하고 있다. 토양 습도의 평균치는 13.27%, 전기전도도는 2,32dS/m, 경도는 9.52kg/cm², pH는 6.20이다. 토양 유기물의 함량은 23.56g/kg, 전질소는 162.32mg/kg, 유효인산은 221.12mg/kg이다. 뿌리 주변에는 담장 등 인공구조물과 계시판 등이 있고 지형은 평탄하며, 지피식물이 없는 나지 상태로 토성은 미사질양토이고, 표토는 80cm 정도 복토가 되어 있다. 수목 내부 측정을 위해 Tree sonic-tomograph/German PICUS 3을 사용하여 음파 단층 촬영 결과, 건강한 부분은 33% 이하이고, 감염된 부분과 부패 및 공동 부위는 67%로 나타났다. 수목의 내부 부패가 진행 중이며, 단기적인 외과수술 및 수세회복 조치가 필요하다. 서백당 향나무(No. 1)의 현황 조사 결과, 매우 불량부터 매우 건강까지 점수로 평가되었다(Table 2 참조). 향나무(No. 1)의 건강성 평가 결과는 65.01, B등급으로 나타나 양호한 편이지만 보통과 근접한 수치이며, 점수가 낮은 지표, 수간의 부패, 공동, 복토, 답압, 진균병해, 영양공급, 정밀조사 실시, 외과수술의 방법 등은 보호관리가 시급하다(Table 3 참조).

노거수의 부패 부위 미생물은 공동과 갈라짐, 상처 등의 부위에서 번식을 하고 노거수의 부패를 진행시킨다. 진균 균체의 특징은 크기가 크고 형태는 용모(絨毛) 혹은 지주막 모양이다. 세균의 포자 색깔은 보통 흰색이고, 진균의 색은 세균보다 다양하다. 분리 순화 후의 실험 결과, 양동마을의 노거수 부패와 관계가 많은 균은 주로 진균으로 나타났다(Figure 6 참조).

양동마을의 토양의 이화학적 특성의 지역과 등급별 차이는 Table 4와 같이 나타났다. 토양은 작물의 특성에 따라 좋아하는 산도가 있지만, 일반적으로 중성(6.0~6.5)에서 작물에 필요한 영양분의 흡수에 가장 좋다. 유기물의 적절범위는 20~30g/kg, 유효인산은 300~500mg/kg, 전기전도도는 0.0~2.0이다(http://soil.rda.go.kr). 전반적인 토양 내 화학적 특성을 고려해 보면, 양동마을의 토양은 N, P 영양을 보충하여야 한다. 다만 배수불량 및 인위적인 복토가 시행된 지역은 수목의 생육

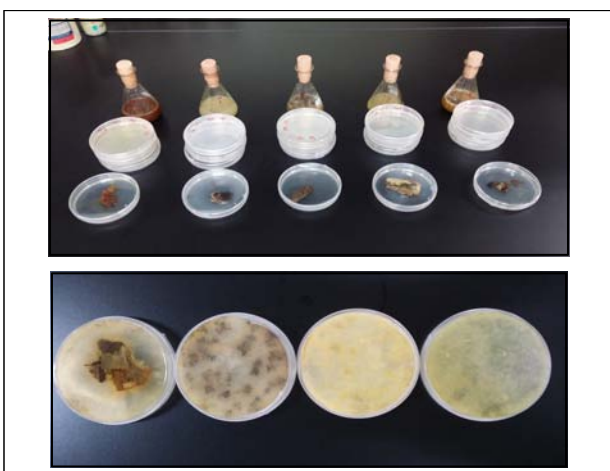


Figure 5. The rotten Fungi's culture (*Chinese juniper*, no. 1)

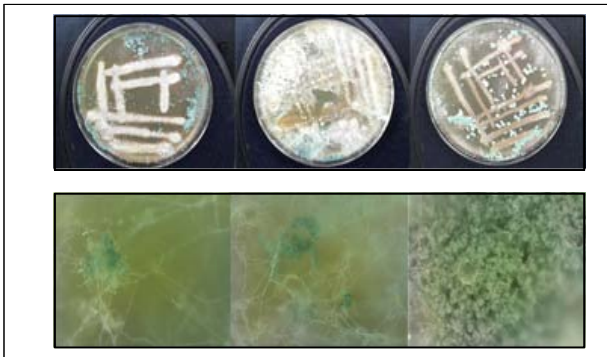


Figure 6. Rotten fungi and mycelia(*Chinese juniper*, no. 1)

상태에 물리적으로 좋지 않은 영향을 줄 수 있으므로 표토의 개량과 영양 보충이 필요하다.

Table 4. Soil determination results(*Chinese juniper*, no. 1)

Soil property	Soil hardness (kg/cm ²)	Soil pH	Moisture level (%)
Silt loam	7.45	6.3	17
Organic matter (g/kg)	Total nitrogen (mg/kg)	Effective phosphate (mg/kg)	Electric conductivity (dS/m)
26.57	191.41	219.91	1.59

Table 2에서 각 지표 점수를 산출하고, 최종 위험도를 Table 3에서 도출하였으며, 양동마을에서 선정된 노거수 30주의 건강성 평가 결과는 Table 5와 같다. 통계 처리 결과, 전체 노거수의 건강성 등급에 따라 노거수의 수량이 차지한 비율은 C(21주)>B(6주)>D(2주)>A(1주)이다. 실제 현장 적용 결과, 본 연구 방법 평가는 노거수의 위험도에 대한 합리적이고 객관적인

Table 5. The health evaluation result of old trees in Gyeongju Yangdong Village

No.	Varieties	Tree height(m)	DBH(m)	Trunk rotting status(%)	Evaluation score	Degree of danger
1	<i>Juniperus chinensis</i>	11.0	4.25	66.8	65.01	B
2	<i>Juniperus chinensis</i>	7.5	1.04	11.4	53.25	C
3	<i>Juniperus chinensis</i>	8.9	0.66	10.0	56.29	C
4	<i>Juniperus chinensis</i>	5.5	1.32	8.3	68.46	B
5	<i>Juniperus chinensis</i>	9.0	1.19	40.1	53.21	C
6	<i>Juniperus chinensis</i>	15.5	3.27	57.3	46.72	C
7	<i>Juniperus chinensis</i>	9.3	1.13	22.0	53.49	C
8	<i>Juniperus chinensis</i>	7.5	1.04	2.5	73.40	B
9	<i>Juniperus chinensis</i>	8.5	0.68	3.5	33.21	D
10	<i>Juniperus chinensis</i>	12.2	4.65	25.6	55.40	C
11	<i>Juniperus chinensis</i>	7.5	2.33	45.3	41.68	C
12	<i>Juniperus chinensis</i>	6.3	1.96	16.2	40.15	C
13	<i>Sophora japonica</i>	13.5	3.45	8.0	60.67	B
14	<i>Sophora japonica</i>	11.0	2.64	50.2	41.54	C
15	<i>Sophora japonica</i>	12.5	2.61	54.1	58.25	C
16	<i>Sophora japonica</i>	14.5	3.29	64.4	41.59	C
17	<i>Sophora japonica</i>	12.5	3.17	83.0	56.78	C
18	<i>Sophora japonica</i>	14.0	2.42	55.3	43.59	C
19	<i>Sophora japonica</i>	10.5	2.67	36.4	66.52	B
20	<i>Sophora japonica</i>	14.0	2.36	57.5	42.15	C
21	<i>Sophora japonica</i>	13.5	3.62	67.1	43.01	C
22	<i>Celtis sinensis</i>	17.5	2.85	83.8	47.14	C
23	<i>Celtis sinensis</i>	10.0	1.07	44.5	52.77	C
24	<i>Celtis sinensis</i>	13.5	1.55	2.0	74.13	C
25	<i>Celtis sinensis</i>	15.0	1.80	83.4	40.15	C
26	<i>Celtis sinensis</i>	18.5	2.75	53.3	48.59	C
27	<i>Celtis sinensis</i>	11.5	1.10	90.0	35.78	D
28	<i>Celtis sinensis</i>	13.0	2.73	16.1	58.16	C
29	<i>Celtis sinensis</i>	13.5	1.92	3.6	61.22	B
30	<i>Celtis sinensis</i>	13.7	1.01	1.0	88.16	A

판정이 가능하다.

노거수는 100년 넘게 성장하면서 환경 등에 대한 적응력이 강하다. 그러나 자체노화, 생육환경, 병해충, 토양의 이화학적 특성, 기후스트레스, 관리수단 등의 불량한 영향 때문에 위험도 C등급이 전체 수목의 70%로 나타났으며, 조사 대상 노거수 중 비록 30주만 조사하였으나, 양동마을 전체의 노거수 상황을 반영할 수 있다.

VI. 결론

텔파이 분석 과정 및 가중치 산출 과정은 이미 게재하였고, 본 연구는 연속성을 고려하여 실증 분석을 위해 자체노화, 생육환경 등 6개 대분야 및 46개 세부지표로 구축된 노거수의 건강위험도 평가체계는 5등급 분류 방식으로 노거수의 건강성 평가 점수표와 등급표를 작성하였으며, 노거수 지표의 측정 방법으로 음파단층촬영 기술로 내부 부패 측정, 토양성분 분석, 미생물 분리 실험을 실시하여 위험 점수를 산출하고, 건강 상황 충분히 반영하였다. 따라서 연구 결과는 노거수의 위험 지표를 검증되었고, 보호관리에 실질적인 이론을 제공할 수 있다. 평가과정은 향나무(No. 1)를 위주로 설명하였고, 노거수 30주를 사례로 건강성을 산정한 결과, 주로 B등급, C등급으로 나타났다. 각 평가 지표에 대한 정량 평가는 노거수 관리에 있어 무엇이 부족함을 정확히 파악이 가능하며, 적합한 보호관리 방안 수립에 귀중한 자료가 된다.

노거수의 건강은 노거수 자체노화나 외부 환경, 보호 관리 미흡하기 때문에 생육상태가 불량해진다. 건강성 평가의 목적은 노거수의 건강성에 대한 등급을 나누고, 인위적으로 보호관리 방안 수립에 필요하다.

노거수는 관리 과정 중 식생환경의 관리가 미흡해서 뿌리의 통기 투수성이 낮거나, 수간이 외부환경 영향을 받아 부패하고 정상적인 신진대사와 성장에 제약을 받고 있는 것으로 조사되었다. 노거수의 뿌리와 줄기가 잘 자라면 수세가 강해질 수 있다. 반면에 노거수 주변부의 콘크리트 피복, 시설물 설치, 답압 등 외부 위험 인자는 생육에 피해를 주는 주요 원인이 된다. 부패부의 미생물 확산을 차단하고, 공동부 외과수술 및 수세 회복 조치가 시급하다.

보다 완전한 위험도 평가를 위해 근부의 상태, 엽록소 함량 및 광합성 측정 등의 후속 연구가 필요하다.

References

- Ann, J. S.(2011) Developing Evaluation Criteria for Historic Gardens Preservation Condition by Applying Delphi Technique and Analytic Hierarchy Process. Ph. D. Dissertation, The Graduate School of Sung-Kyunkwan University(SKKU), Korea. 안진성(2011) 텔파이 기법(Delphi) 과 계층적 의사결정방법(AHP)의 적용을 통한 전통정원의 보존상태 평가 지표 개발. 성균관대학교 일반대학원 박사학위논문.
- Bakken, S. R.(1986) Tree Hazard Control Program: Guidelines and Standards for the California Department of Parks and Recreation, The Resources Agency, Sacramento, CA.
- Boone, R. and R. Westwood(2006) An assessment of tree health and trace element accumulation near a coal fired generating station, Manitoba, Canada[J]. Environmental Monitoring and Assessment 121: 151-172.
- Cho, M. C.(2010) A Study on Application and Development of Health Index for Old and Big Trees, Master Dissertation, The Graduate School of Gyeongsang National University, Korea. 조명철(2010) 노거수의 건강지표 개발 및 적용에 관한 연구. 경상대학교 대학원 석사학위논문.
- Cho, S. J.(2013) Management Plan of *Zelkova serrata* according to Inside Diagnosis of Real Condition and Growing Environment Analysis. Master Dissertation, The Graduate School of Dankook University, Korea. 조승진(2013) 느티나무 보호수 생육환경 조사와 내부 실태 진단에 따른 관리방안 연구. 단국대학교 대학원 석사학위논문.
- Cultural Heritage Administration(2013) A Report on the Investigation of the Real State of Ancient Trees, Cultural Heritage Administration (CHA).
- Cultural Heritage Administration(2013) A Report on the Investigation of the Real State of Ancient Trees, Cultural Heritage Administration(CHA). 문화재청(2013) 천연기념물(노거수-식물) 실태조사보고서. 문화재청.
- Dong, D. and Y. H. He(2008) Investigation on resources of ancient and famous trees in Jihua Mountain Scenic Resort of Anhui Province, Journal of Anhui Agricultural University 35(2): 191-195.
- Gall, M. D., J. P. Gall and W. Borg(2003) Educational Research(7th ed.). New York: Longman.
- Gary, W. H., E. Perry and R. Evens(1995) Validation of a tree failure evaluation system, Journal of Arboriculture 21(5): 233-234.
- Jung, J. S.(2008) A Study on the Surgery Condition and Conservation Management Measures in Old Trees, Ph.D. Dissertation, The Graduate School Sangmyung University, Korea. 정중수(2008) 노거수 외과수술 실태 및 보존관리 방안. 상명대학교 대학원 박사학위논문.
- Kang, B. G.(2014) The Assessment of Tree Risk of Mulgun-ri Forest (Monument No. 150) of Namhae in Korea, Master Dissertation, The Graduate School of Gyeongnam National University of Science and Technology, Korea. 강봉근(2014) 천연기념물 남해물건리 숲의 수목 위험도 평가. 경남과학기술대학교 일반대학원 석사학위논문.
- Kang, H. C.(2002) An evaluation of the vitality and environmental of old tree on the rural area in Jinju, Journal of Korean Institute of Traditional Landscape Architecture, 20(4): 27-36. 강호철(2002) 농촌지역 노거수의 생장활력도와 주변환경에 대한 평가(1): 진주시 지역을 중심으로. 한국정원학회지 20(4): 27-36.
- Kim, S. H. and S. H. Kim(1995) A study on the protection trees concerning the present condition and the citizen's consciousness in Pusan, Depri. 18(1): 121-140. 김승환, 김순희(1995) 부산시 보호수의 현황 및 주민의식에 관한 연구. 동아대학교 환경문제연구소 18(1): 121-140.
- Kim, Y. S., W. H. Lim, J. W. Ra and Y. H. Yoon(1996) Study on the protection and practical use of big and old tree. Journal of Korean Institute of Traditional Landscape Architecture 14(2): 1-17. 김용수, 윤영환, 임원현, 나정화(1996) 노거수목의 보호와 활용에 관한 연구. 한국전통조경학회지 14(2): 1-17.
- Lee, K. J.(2015) Arbor Medicine, Seoul University Press. 이경준(2015) 수목의학. 서울대학교출판문화원.
- Li, C. M., S. F. Weng and R. J. Pang(2010) Tree health assessment of fourteen landscape tree species in Guangzhou[J]. Journal of Northwest Forestry University 25(2): 203-207.
- Lin, Y. M., Y. M. Zeng, S. H. Chen and J. T. He(2003) Current situation and protection of ancient and famous trees in Lianduf[J]. Journal of Zhejiang

- Forestry Science & Technology 23(5): 69-73.
19. Liu, S. S. and Y. C. Ye(2008) A preliminary study on the healthy condition of ancient and famous trees in Dongguan, Guangdong. Landscape Plants Protection 2008(1): 55-56.
 20. Liu, Y.(2013) Assessment on Ancient Trees Health on Basis of Morphological Characteristics in Beijing. Master's Thesis, Beijing Forestry University, China.
 21. Martinis, R., L. V. Socoo and L. Sambuelli(2004) Tomographie ultrasonore pour les arbres. Ann[J]. Forestry Science 61: 157-162.
 22. Mattheck, C. and H. Breloer(1993) The Body Language of Trees: A Handbook for Failure Analysis[M], London: Stationery Office, 1993: 203.
 23. Mi, F., J. Y. Li, D. H. Zhang and N. Li(2006) Quantitative estimation of forest tree loss in Beijing: Discussion on the computation method of measuring the loss of antique and rare trees' scientific culture values. Journal of Beijing Forestry University 28(2): 141-148.
 24. Michael, E. S.(1987) Tree health management: Evaluating trees for hazard[J]. Journal of Arboriculture 13(12): 285-293.
 25. Paine, L. A.(1978) Coding hazardous tree failures for a data management system: Note PSW-29 R. Pacific Southwest Forest Range and Experiment Station, US Forest Service.
 26. Paul, B., F. K. David and J. S. Brain(1985) Environmental factors affecting tree health in New York city[J]. Journal of Arboriculture 11(6): 185-189.
 27. Qian, Q. L.(2002) Discussion on index of tree flush and its application in urban ecological environment quality assessment-taking JILIN city as an example[J]. Natural Sciences Journal of Harbin Normal University 18(1): 105-108.
 28. Seo, S. B.(2016) A Study on Assessment of Potential Hazards of Trees of Sanglim Forest in Hanyang, Korea. Master Dissertation, The Graduate School of Gyeongsang National University, Korea. 서석봉(2016) 함양상림 수목의 잠재 위험요인 평가에 관한 연구. 경상대학교 대학원 석사학위논문.
 29. Seong, T. J. and G. J. Si(2014) Research Methodology. Hakjisa, 성태제, 시기자(2014) 연구방법론. 학지사.
 30. Shin, H. S.(2017) Study on the Growth Condition and Potential Risks of Old Trees. Ph. D. Dissertation, The Graduate School Gyeongsang National University, Korea. 신현수(2017) 노거수의 생육현황 및 잠재적 위험요인에 관한 연구. 경상대학교 대학원 박사학위논문.
 31. Su, Z. Y.(2003) Discussion of methods to protect ancient trees and famous trees. Journal of Southwest University of Science and Technology 20(2): 67-70.
 32. USDA Forest Service(1992) Urban Tree Risk Management. USDA.
 33. Wang, X. H.(2011) Ecological Monitoring and Assessment on the Ancient Trees in Beijing. Master's Thesis, Beijing Forestry University, China.
 34. Weng, S. F., C. M. Li and R. J. Pang(2009) Establishment of landscaping tree health assessment model using analytic hierarchy process[J]. Journal of Northwest Forestry University 24(1): 177-181.
 35. Xia, T. T. and T. H. Kang(2017) The evaluation indexes' selection of the degree of danger from old trees. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 45(4): 54-61. 시아티엔티엔, 강태호(2017a) 노거수 위험도 평가지표 선정 연구. 한국조경학회지 45(4): 54-61.
 36. Xia, T. T. and T. H. Kang(2017) The relative importance and priority of the health evaluation indicators of old-growth and giant trees. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 45(6): 149-159. 시아티엔티엔, 강태호(2017b) 노거수의 건강 위험도 평가 요소간 상대적 중요도 및 우선순위. 한국조경학회지 45(6): 149-159.
 37. Xiong, H. P.(1999) Study of the rejuvenation of the ancient and famous trees in south. Journal of Wuhan Urban Construction Institute 16(2): 6-10.
 38. Xu, H.(2013) A Study on the Establishment of Evaluation System and Improvement Plan for Effective Management of World Cultural Heritage. Ph. D. Dissertation, The Graduate School of Dongguk University, Korea. 서환(2013) 세계문화유산의 효과적 관리를 위한 평가체계의 구축 및 개선방안 연구: 경주역사유적지구를 중심으로. 동국대학교 대학원 박사학위논문.
 39. Yang, Y. B.(2006) Relationship between tree health and garden plant diversity in Street Gardens. Forestry Science & Technology 31(4): 64-65.
 40. Ye, Y. H., Y. N. Yu, S. L. Peng and X. Y. Shen(2009) Evaluation of tree health in Songshan Park, Macao[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany 17(2): 131-136.
 41. Yoo, S. H.(2001) Soil Dictionary. Seoul University Press. 류순호(2001) 토양사전. 서울대학교출판부.
 42. Zhao, J. H.(2014) A preliminary study on the cause of decay and death of ancient tree. Journal of Green Science and Technology 4: 119-120.
 43. Zhu, L. H., Y. P. Tao, H. Zeng and X. C. Wang(2008) The growth condition and environment of old *Pinus tabulaeformis* in Dongling, Shenyang[J]. Shandong Forestry Science and Technology 2008(3): 34-35.
 44. <http://soil.rda.go.kr>
 45. <http://www.baik.com/wiki>
 46. <http://www.bjyl.gov.cn>
 47. <https://baike.baidu.com/item/李克特量表>
 48. www.kma.go.kr

Received : 28 May, 2018

Revised : 22 June, 2018 (1st)

09 July, 2018 (2nd)

14 August, 2018 (3rd)

Accepted : 14 August, 2018

3인익명 심사필