

수원시 가로수 건강성 평가 : 중로 및 소로를 중심으로

Evaluation of the Growth and Health of Street Trees in Suwon :
Focused on Small-Medium Width Streets

김은영

연구진

연구책임자 김은영 (수원시정연구원 연구위원)
참여연구원 정경민 (수원시정연구원 위촉연구원)
이창호 (수원시정연구원 위촉연구원)

연구 자문위원

박현준 ((주)푸름바이오 대표)
송원경 (단국대학교 녹지조경학과 교수)
이호철 ((주)포이엔 대표)
조창건 ((주)푸르디 대표)

© 2019 수원시정연구원

발행인 최병대
발행처 수원시정연구원
경기도 수원시 권선구 수인로 126
(우편번호) 16429
전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000
<http://www.suwon.re.kr>
인쇄 2019년 10월 31일
발행 2019년 10월 31일
ISBN 979-11-90343-18-3 (93530)

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

김은영. 2019. 「수원시 가로수 건강성 평가 : 종로 및 소로를 중심으로」. 수원시정연구원.

비매품

국문요약

도시에서의 가로수는 최근 가속화되고 있는 폭염, 폭우 등 재해로부터 도시의 회복력을 향상시키는 역할뿐만 아니라 각종 도시개발로 인해 단절된 녹지축을 연결하는 주요 생태자원이다. 하지만 열악한 식생기반, 잘못된 수형관리, 제한된 예산 등으로 인하여 도시에서 가로수의 건강성은 확보되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 가로수의 건강성 평가를 실시하여 건강성에 영향을 미치는 요인을 분석하고 영향 요인에 따른 실효성 있는 관리방안의 제시가 필요하다.

본 연구의 궁극적인 목적은 수원시 가로수 건강성 평가를 통해 가로수 관리계획 방향을 설정하는데 있다. 이를 위해서는 덕영대로와 연결된 중로 및 소로를 대상으로 가로수의 건강성을 평가하고 가로수의 생육상태에 미치는 영향요인을 분석하여 그 원인을 도출하였다. 또한 대로와 중로 및 소로의 가로수 활력도 및 환경요인을 비교·분석하여 도로 규모에 따른 관리방안을 제안하여 수원시 가로수 건강성 증진에 기여하고자 한다.

본 연구에서는 가로수의 건강성을 평가하기 위해 가로수 활력도 및 생육환경을 조사하였다. 가로수의 활력도를 측정하기 위해 목측과 가로수 활력도 측정기기(Junsmeter1)를 사용하여 토양온도, 경도, 산도, 습도 등의 토양환경과 띠녹지 및 보호판 설치 여부, 인도폭 및 도로폭 등의 물리적 환경을 조사·분석하였다. 또한 1차년도 연구 결과인 덕영대로의 가로수 활력도 분석결과를 바탕으로 중·소로의 결과와 비교·분석함으로써 수원시 가로수의 건강성을 평가하고 영향요인을 분석하였다.

2차년도 연구대상지는 1차년도 대상지인 덕영대로와 교차하는 중로 및 소로의 좌·우 12구간을 대상으로 하고 총 126그루를 조사하였다. 중·소로를 조사한 결과 대로와 달리 주거지역에서의 가로수 활력도가 상업지역보다 높게 측정되어 토지이용에 따른 수목활력도 차이가 유의한 수준으로 분석되었다. 또한 주거지역의 토양온도와 토양산도가 상업지역에 비해 높은 것으로 조사되었으며 토양경도와 토양습도는 상업지역에서 더 높게 조사되었다. 그 외 상업지역의 경우 강전정으로 인한 활력도 저하, 가로수 보호판 유실 및 적재물, 토양관리 미흡으로 인한 문제가 발생하였으며 주거지역의 경우 겨울철 염화칼슘 투입으로 인해 토양pH가 높게 나온 것으로 판단된다.

대로의 가로수 건강성과 중·소로의 가로수 건강성을 비교한 결과 대로의 목측 수목 활력도가 중로 및 소로의 수목 활력도에 비해 유의한 수준에서 높은 것으로 분석되었다. 또한 대로

의 가로수에 비해 중·소로 가로수의 수고 및 흉고직경이 더 큰 것으로 분석되었는데 이는 중·소로에 수고가 높고 흉고직경이 큰 메타세쿼이어를 식재했기 때문인 것으로 나타났다. 토양온도와 토양산도의 경우 중·소로 가로수보다 대로의 가로수에서 높게 나타났다. 이는 대로변의 가로수가 도로폭이 넓어 불투수 포장면적이 넓기 때문에 복사열 등으로 인해 온도가 높고 겨울철 제설제 사용으로 인한 토양pH가 높게 나타난 것으로 판단된다. 토양경도와 토양습도는 중·소로 가로수에서 더 높게 조사되었으며 이는 인도폭이 좁은 중·소로 가로수가 주변 토지이용으로 인한 답압, 적재물, 오수 유입 등에 더 많은 영향을 받기 때문으로 판단된다. 인도폭, 보호판 등 생육에 영향을 미치는 물리적 환경에 대한 전반적인 부분은 대로변이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구결과를 통해 대로와 중소로 등 도로규모를 고려한 가로수 관리방안 마련이 필요하며, 주변 토지이용, 통행량, 인도폭 등을 종합적으로 고려한 수종 선정 및 식재, 관리계획이 마련이 시급한 실정이다. 본 연구결과를 통해 가로수 생애주기 맞춤형 가로수 관리시스템 구축, 가로수 관리 목표제 도입, 정기적인 가로수 건강성 평가 실시, 도로규모 및 토지이용 등을 고려한 가로수 수종 도입을 포함한 구체적인 가로수 관리 가이드라인 작성이 필요하다.

본 연구결과를 바탕으로 가지치기, 병해충 등 기초적인 가로수 관리 방안을 다룬 기존의 가로수 관련 조례나 가이드라인 등에서 벗어나 보다 체계적인 유지관리 방안 마련이 가능할 것으로 판단된다. 나아가 도로 및 주변 환경 특성을 고려한 가로수 유지관리 재작성이 필요하며 이를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

차 례

| | |
|--|---------------|
| 제1장 서론 | 1 |
| 제1절 연구의 배경 및 목적 | 3 |
| 1. 연구의 배경 | 3 |
| 2. 연구의 목적 | 5 |
| 제2절 연구의 범위 및 방법 | 6 |
| 1. 연구의 범위 | 6 |
| 2. 연구의 방법 | 6 |
| 제2장 선행연구 고찰 | 9 |
| 제1절 가로수 유지관리 사례 | 11 |
| 1. 미국 뉴욕시 | 11 |
| 2. 스페인 바르셀로나 | 15 |
| 3. 프랑스 파리 | 19 |
| 4. 일본 | 21 |
| 제2절 가로수 토양관리 : 바이오차 | 29 |
| 1. 바이오차의 기능 및 효과 | 29 |
| 2. 바이오차의 활용 사례 | 31 |
| 제3절 수원시 가로수 유지관리 현황 | 37 |
| 1. 가지치기 | 37 |
| 2. 병해충 방제 및 시비 | 40 |
| 제4절 소결 | 41 |
| 제3장 수원시 중·소로 가로수 건강성 평가 | 43 |
| 제1절 가로수 건강성 평가체계 | 45 |
| 1. 가로수 건강성 평가개요 | 45 |
| 2. 대상지 선정 및 현장조사 방법 | 46 |

| | |
|--|------------|
| 제2절 가로수 건강성 평가 | 53 |
| 1. 대상지 가로수 식재 현황 | 53 |
| 2. 가로수 생육환경 분석 | 59 |
| 3. 토양환경 분석 | 66 |
| 4. 물리적 환경 분석 | 74 |
| 제3절 소결 | 78 |
| 제4장 수원시 대로 및 증·소로 가로수 건강성 비교 분석 | 81 |
| 제1절 생육환경 분석 | 83 |
| 1. 가로수 기초 생육 조사 | 83 |
| 2. 수목활력도 비교 | 85 |
| 제2절 토양환경 분석 | 88 |
| 1. 토양온도 | 88 |
| 2. 토양경도 | 89 |
| 3. 토양산도(pH) | 91 |
| 4. 토양습도 | 92 |
| 제3절 물리적 환경 분석 | 94 |
| 1. 띠녹지 | 94 |
| 2. 보호판 | 96 |
| 3. 인도폭 | 98 |
| 제4절 소결 | 100 |
| 제5장 결론 | 103 |
| 제1절 연구의 의의 및 한계 | 105 |
| 제2절 정책 제언 | 107 |
| 참고문헌 | 111 |

표 차례

| | |
|---|----|
| 〈표 2-1〉 NYC Parks 나무 서비스 | 11 |
| 〈표 2-2〉 뉴욕시 가로수 위험 관리 단계 | 13 |
| 〈표 2-3〉 뉴욕시 가로수 위험 평가 기준 | 13 |
| 〈표 2-4〉 수목 유지관리 캘린더 | 14 |
| 〈표 2-5〉 나무의 성장 단계에 따른 가지치기 유형 분류 | 16 |
| 〈표 2-6〉 바르셀로나시의 6가지 방제법 유형 | 19 |
| 〈표 2-7〉 바르셀로나시의 생물학적 방제법 | 19 |
| 〈표 2-8〉 에도가와구 식수대(띠녹지) 설치기준 | 24 |
| 〈표 2-9〉 녹색바람 축진구역 내 건폐율 및 용적률 완화 기준 | 27 |
| 〈표 2-10〉 바이오차 프로젝트를 도입시 고려할 체크리스트 | 34 |
| 〈표 2-11〉 가지치기 기준 및 대상 | 38 |
| 〈표 2-12〉 병해충 방제 및 거름주기 | 40 |
| 〈표 2-13〉 국가별 가로수 관리 현황 | 42 |
| | |
| 〈표 3-1〉 연구 후보지 사전조사 대상 | 46 |
| 〈표 3-2〉 현장조사 시점 날씨 | 50 |
| 〈표 3-3〉 조사항목 및 측정방법 | 51 |
| 〈표 3-4〉 조사 대상지 현황 | 53 |
| 〈표 3-5〉 토지이용에 따른 수고 차이 | 60 |
| 〈표 3-6〉 수관 활력도 등급 구분 | 61 |
| 〈표 3-7〉 수목 활력도 측정 범위 | 64 |
| 〈표 3-8〉 토지이용에 따른 평균 수목활력도 차이 | 65 |
| 〈표 3-9〉 수목활력도 등급 범위 | 66 |
| 〈표 3-10〉 수목활력도 등급별 토양온도 평균 및 표준편차 | 67 |
| 〈표 3-11〉 토지이용에 따른 토양온도 차이 | 68 |
| 〈표 3-12〉 수목활력도 등급별 토양경도 평균 및 표준편차 | 68 |
| 〈표 3-13〉 토양산도 평가기준에 따른 평가등급 | 70 |

| | |
|---|-----|
| 〈표 3-14〉 수목활력도 등급별 토양산도 평균 및 표준편차 | 71 |
| 〈표 3-15〉 토지이용에 따른 토양pH 차이 | 71 |
| 〈표 3-16〉 수목활력도 등급별 토양습도 평균 및 표준편차 | 72 |
| 〈표 3-17〉 토지이용에 따른 토양습도 차이 | 73 |
| 〈표 3-18〉 전체 대상지 띠녹지 유무에 따른 수목활력도 차이 | 74 |
| 〈표 3-19〉 인도폭에 따른 평균 수목활력도 차이 | 76 |
| | |
| 〈표 4-1〉 도로규모에 따른 목측등급 차이 | 85 |
| 〈표 4-2〉 도로규모에 따른 수목활력도 차이 | 86 |
| 〈표 4-3〉 도로규모에 따른 토양온도 차이 | 88 |
| 〈표 4-4〉 도로규모에 따른 토양경도 차이 | 90 |
| 〈표 4-5〉 도로규모에 따른 토양산도 차이 | 91 |
| 〈표 4-6〉 도로규모에 따른 토양습도 차이 | 93 |
| 〈표 4-7〉 대로 및 중·소로의 띠녹지 조성 유무에 따른 활력도 차이 | 96 |
| 〈표 4-8〉 대로 및 중·소로의 보호판 설치 유무에 따른 활력도 차이 | 98 |
| 〈표 4-9〉 중·소로의 인도폭에 따른 활력도 차이 | 99 |
| 〈표 4-10〉 대상지 영향요인 비교분석 | 101 |
| | |
| 〈표 5-1〉 조사 시기에 따른 기온 및 강수량 | 106 |
| 〈표 5-2〉 가로수 조성 및 관리 조례 보완 사항 제안 | 109 |

그림 차례

| | |
|--|----|
| 〈그림 1-1〉 도시 수목의 효과 | 3 |
| 〈그림 1-2〉 덕영대로 가로수 건강성 평가 결과 | 5 |
| 〈그림 1-3〉 「가로수 건강성 진단 및 토양관리방안」 세미나 | 7 |
| 〈그림 1-4〉 연구의 방법 | 8 |
| 〈그림 2-1〉 뉴욕시 가로수 정보 제공 지도 | 12 |
| 〈그림 2-2〉 신규 식재 장소 알림 깃발 | 14 |
| 〈그림 2-3〉 탱크를 이용한 관수 및 표식 | 16 |
| 〈그림 2-4〉 바르셀로나 가로수 지도 | 17 |
| 〈그림 2-5〉 바르셀로나 가로수 NDVI | 17 |
| 〈그림 2-6〉 프랑스 파리 육묘장 및 전산시스템을 이용한 수목관리 | 20 |
| 〈그림 2-7〉 프랑스 파리의 가로수 신규식재지(어린나무) 관리 | 21 |
| 〈그림 2-8〉 에도가와구 가로수 관리 목표수형 설정 | 22 |
| 〈그림 2-9〉 에도가와구 노선별 목표수형 카드 작성예시 | 22 |
| 〈그림 2-10〉 에도가와구 가로수 식재 기준 | 23 |
| 〈그림 2-11〉 에도가와구 가로수 뿌리유도 내압기반도 | 24 |
| 〈그림 2-12〉 오사카 녹색바람 촉진구역 | 25 |
| 〈그림 2-13〉 녹색바람 촉진구역도 | 26 |
| 〈그림 2-14〉 도시계획 규제 완화에 의한 녹화유도 | 27 |
| 〈그림 2-15〉 바이오차의 탄소 격리 원리 | 29 |
| 〈그림 2-16〉 일반 숲과 바이오차의 Scanning electron microscope(SEM) 차이 | 30 |
| 〈그림 2-17〉 스톡홀름 바이오차 프로젝트의 과정 | 31 |
| 〈그림 2-18〉 바이오차와 자갈 혼합물 | 32 |
| 〈그림 2-19〉 바이오차의 가로수 적용 사례 | 33 |
| 〈그림 2-20〉 스톡홀름 바이오차 프로젝트 | 35 |
| 〈그림 2-21〉 가로수에 바이오차를 적용하는 모습 | 36 |
| 〈그림 2-22〉 수종 고유 수형별 가지치기 방법 | 39 |

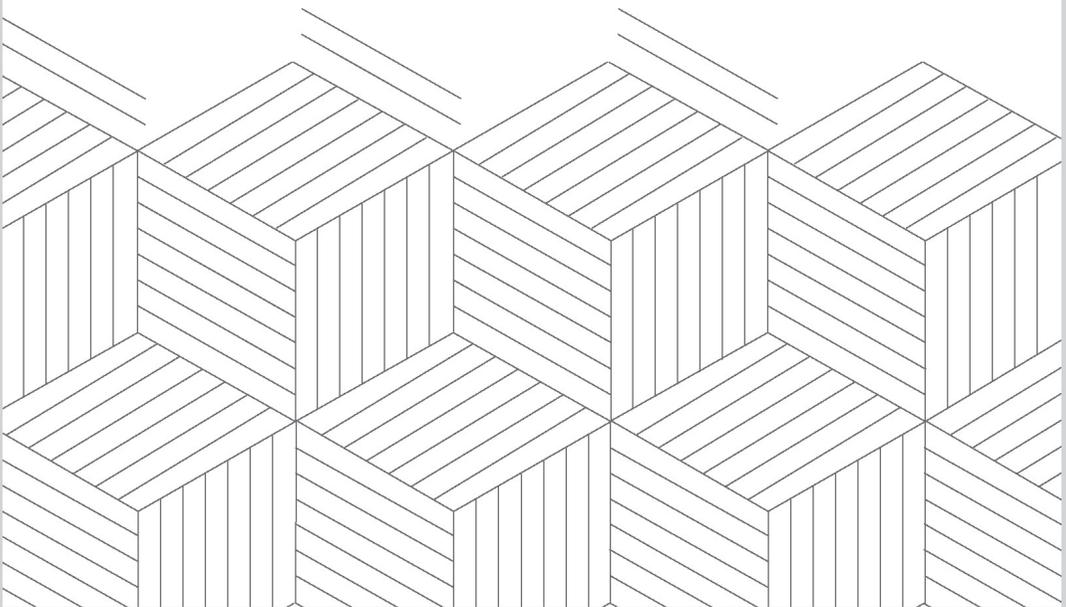
| | |
|--|----|
| 〈그림 3-1〉 가로수 건강성 평가체계 | 45 |
| 〈그림 3-2〉 대상지 사전조사(1) | 47 |
| 〈그림 3-3〉 대상지 사전조사(2) | 48 |
| 〈그림 3-4〉 조사 대상지 위치 | 48 |
| 〈그림 3-5〉 덕영대로697번길 전경 | 49 |
| 〈그림 3-6〉 동말로, 덕영대로1323번길 전경 | 49 |
| 〈그림 3-7〉 덕영대로1555번길, 영일로 전경 | 49 |
| 〈그림 3-8〉 가로수 건강성 평가 절차 | 50 |
| 〈그림 3-9〉 가로수 활력도 측정 | 52 |
| 〈그림 3-10〉 토양환경 조사 | 52 |
| 〈그림 3-11〉 덕영대로535번길 좌측(A) 구간 전경 및 현황 | 53 |
| 〈그림 3-12〉 덕영대로535번길 우측(B) 구간 전경 및 현황 | 54 |
| 〈그림 3-13〉 덕영대로697번길 좌측(C) 구간 전경 및 현황 | 54 |
| 〈그림 3-14〉 덕영대로697번길 우측(D) 구간 전경 및 현황 | 55 |
| 〈그림 3-15〉 동말로 좌측(E) 구간 전경 및 현황 | 55 |
| 〈그림 3-16〉 동말로 우측(F) 구간 전경 및 현황 | 56 |
| 〈그림 3-17〉 덕영대로1323번길 좌측(G) 구간 전경 및 현황 | 56 |
| 〈그림 3-18〉 덕영대로1323번길 우측(H) 구간 전경 및 현황 | 57 |
| 〈그림 3-19〉 덕영대로1555번길 좌측(I) 구간 전경 및 현황 | 57 |
| 〈그림 3-20〉 덕영대로1555번길 우측(J) 구간 전경 및 현황 | 58 |
| 〈그림 3-21〉 영일로 좌측(K) 구간 전경 및 현황 | 58 |
| 〈그림 3-22〉 영일로 우측(L) 구간 전경 및 현황 | 59 |
| 〈그림 3-23〉 토지이용 및 수종별 수고 현황 | 60 |
| 〈그림 3-24〉 토지이용 및 수종별 흉고직경 현황 | 61 |
| 〈그림 3-25〉 목측 등급별 사례 | 62 |
| 〈그림 3-26〉 전체 조사 대상지 목측 결과 | 63 |
| 〈그림 3-27〉 토지이용 및 수종별 목측등급 | 63 |
| 〈그림 3-28〉 조사 대상지 활력도 측정 결과(Junsmeter 기준) | 64 |
| 〈그림 3-29〉 토지이용 및 수목 활력도 | 65 |
| 〈그림 3-30〉 목측결과와 수목활력도 측정값과의 산점도 | 66 |

| | |
|---|----|
| 〈그림 3-31〉 수목활력도 등급별 토양온도 산점도 | 67 |
| 〈그림 3-32〉 토지이용 및 수종별 토양온도 | 68 |
| 〈그림 3-33〉 수목활력도 등급별 토양경도 산점도 | 69 |
| 〈그림 3-34〉 토지이용 및 수종별 토양경도 | 69 |
| 〈그림 3-35〉 수목활력도 등급별 토양산도 산점도 | 70 |
| 〈그림 3-36〉 토지이용 및 수종별 토양산도 | 71 |
| 〈그림 3-37〉 수목활력도 등급별 토양습도 산점도 | 72 |
| 〈그림 3-38〉 토지이용 및 수종별 토양습도 | 73 |
| 〈그림 3-39〉 띠녹지 유무에 따른 수목활력도 | 74 |
| 〈그림 3-40〉 토지이용 및 수종별 보호판 설치 유무 현황 | 75 |
| 〈그림 3-41〉 가로수 보호판 현황 | 75 |
| 〈그림 3-42〉 보호판 유무에 따른 수목활력도 | 76 |
| 〈그림 3-43〉 인도폭에 따른 평균 수목활력도 | 77 |
| 〈그림 3-44〉 상업지역 강전정 피해 사례 | 78 |
| 〈그림 3-45〉 상업지역 생활 오수 피해 사례 | 79 |
| 〈그림 3-46〉 상업지역 쓰레기 및 적재물 피해 사례 | 79 |
| | |
| 〈그림 4-1〉 대로 및 중·소로 조사 대상지 | 83 |
| 〈그림 4-2〉 대로 및 중·소로 가로수 수종별 수고 | 84 |
| 〈그림 4-3〉 대로 및 중·소로 가로수 수종별 흉고직경 | 84 |
| 〈그림 4-4〉 도로규모에 따른 목측등급 | 85 |
| 〈그림 4-5〉 도로규모 및 수종별 목측 등급 | 86 |
| 〈그림 4-6〉 도로규모에 따른 평균 수목 활력도 | 87 |
| 〈그림 4-7〉 도로규모 및 수종별 수목활력도 | 87 |
| 〈그림 4-8〉 도로규모에 따른 토양온도 | 88 |
| 〈그림 4-9〉 도로규모 및 수종별 토양온도 | 89 |
| 〈그림 4-10〉 도로규모에 따른 토양경도 | 89 |
| 〈그림 4-11〉 도로규모 및 수종별 토양경도 | 90 |
| 〈그림 4-12〉 도로규모별 토양산도 | 91 |
| 〈그림 4-13〉 도로규모 및 수종별 토양산도 | 92 |
| 〈그림 4-14〉 도로규모별 토양습도 | 92 |

| | |
|--|-----|
| 〈그림 4-15〉 도로규모 및 수종별 토양습도 | 93 |
| 〈그림 4-16〉 도로규모별 띠녹지 조성률 | 94 |
| 〈그림 4-17〉 도로규모 및 수종별 띠녹지 조성률 | 95 |
| 〈그림 5-18〉 대로 및 중·소로의 띠녹지 유무에 따른 수목활력도 | 95 |
| 〈그림 4-19〉 도로규모별 보호판 설치율 | 96 |
| 〈그림 4-20〉 도로규모 및 수종별 보호판 설치율 | 97 |
| 〈그림 5-21〉 대로 및 중·소로의 보호판 설치 유무에 따른 수목활력도 | 97 |
| 〈그림 4-22〉 도로규모에 따른 인도폭 | 98 |
| 〈그림 4-23〉 도로규모 및 수종별 평균 인도폭 | 99 |
| 〈그림 4-24〉 도로규모를 고려하지 못한 식재 사례 | 100 |
| 〈그림 4-25〉 전깃줄로 인한 가로수 생육 불량 사례 | 102 |
| | |
| 〈그림 5-1〉 항공촬영을 통한 NDVI 분석결과 | 108 |

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적
제2절 연구의 범위 및 방법



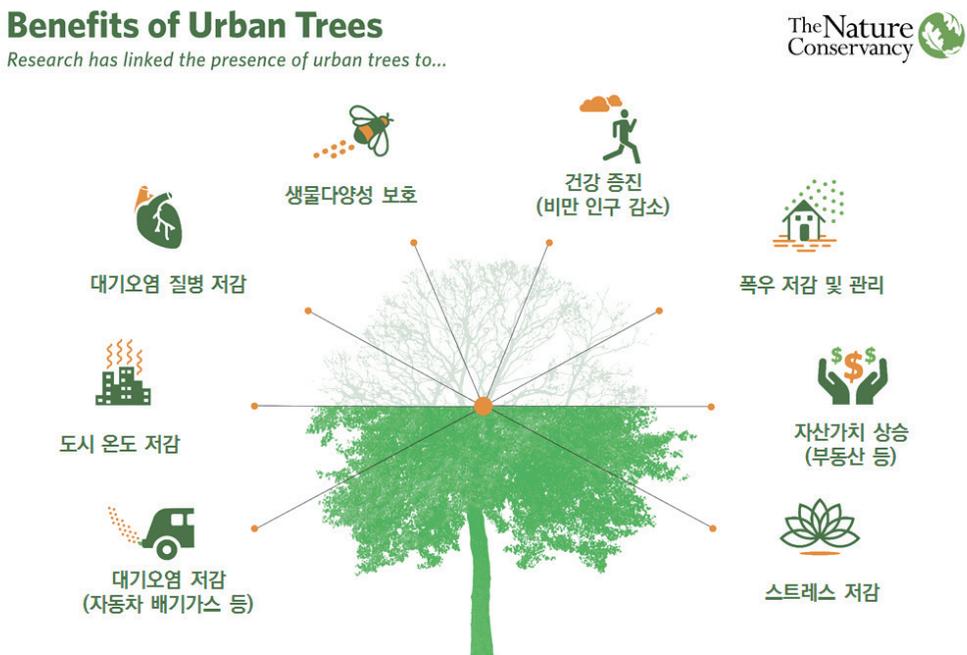
제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

가로수는 도시숲 유형의 하나로서 도시환경과 삶의 질을 향상시키는 생태계 서비스를 제공함에 있어 중요한 역할을 한다. 최근에는 도시열섬 현상, 폭염, 폭우 등 기후변화로 인한 재해 방지를 위해 도시에서의 녹지의 중요성이 대두되면서 가로수의 역할이 더욱 중요해지고 있다 (김은영, 2018). Maco(2019)에 따르면 캘리포니아의 약 9백만 그루의 가로수가 연간 2,296만^m의 강우를 흡수하며, 가로수의 강우 차단 가치는 총 4,150만 달러에 이른다고 분석했다.

〈그림 1-1〉 도시 수목의 효과



자료 : <https://www.washingtonnature.org/>

Nowak(2014)은 2010년 미국의 나무와 산림이 대기오염을 1,460만 톤으로 줄였으며 인체 건강 영향은 68억 달러의 가치로 평가된다고 분석했다. 이처럼 가로수는 이산화탄소 흡수·미세먼지 흡착 등을 통한 대기 질 개선, 도시 내 기온조절을 통한 도시열섬 완화, 방풍, 방재 등 다양한 기능을 하며 환경뿐만 아닌 경제적 가치가 재조명되고 있다. 미국농림부(USDA) 산림청에서는 도시의 수목이 빗물의 흐름을 늦추고 오염물질을 걸러내는 수처리 역할을 하고 있으며, 도시열섬과 수면의 온도를 낮춰주는 효과, 이산화탄소를 흡수하고 저장하는 효과, 대기질 개선 효과, 지역사회 안정성과 사회적 유대 및 건강을 지원하는 것으로 나타났다. 특히 미국농림부 산림청의 Vibrant Cities Lab에서는 도시의 그린인프라(나무, 식생, 물)는 도로, 하수관 및 전력만큼 중요하고 수많은 연구에 의해 도시의 산림은 측정 가능한 경제적 이익을 제공하고, 그레이인프라의 부담을 줄이고 사람들의 건강과 삶의 질을 향상시킨다고 제시하고 있다(<http://www.vibrantcitieslab.com/>).

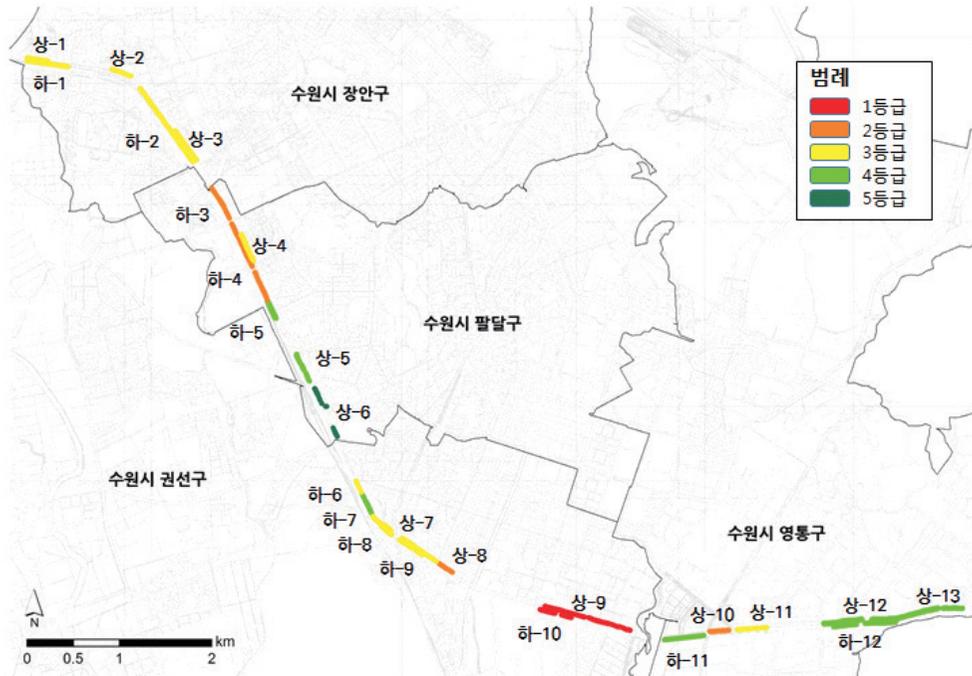
도시의 산업화로 녹지공간이 감소되면서 단절된 녹지를 연결하는 축으로서의 기능과 도시 자연성 회복 및 가로경관 향상에 대한 중요성이 부각되고 있다. 하지만 도시의 가로수는 불투수층 증가로 인한 토양함수량 감소와 겨울철 제설제 사용으로 인한 토양 내염성 증가 등 토양 환경 악화와 극한 강우 및 가뭄 등 이상기후로 인한 스트레스 증가 등 자연 산림의 나무보다 열악한 환경으로 인해 건강한 생육이 어려워지고 있다. 뿐만 아니라 과도한 전정, 쓰레기 적치 등 시민들의 의식 및 관리 부족으로 인해 가로수의 생육불량이 악화되고 있다. 이와 같이 가로수가 갖는 기능과 중요성에 대한 연구는 다수 진행된 바 있으나 생육상태에 영향을 미치는 요인 및 건강성 평가와 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

이와 같이 가로수 건강성 평가에 대한 필요성에 따라 2018년도에 수원시 가로수 현황 및 대로를 중심으로 한 가로수 건강성 평가를 실시하였다. 1차년도 연구¹⁾에서는 덕영대로 상행 및 하행선에 식재된 가로수를 중심으로 생육환경요인, 토양환경요인, 주변 환경요인을 조사 및 분석하였다. 분석결과, 1열 식재보다는 2열 식재 구간이 가로수 활력에 긍정적인 영향이 있는 것으로 나타났다. 토양환경요인의 경우 가로수의 활력도가 높은 구간은 토양온도가 낮은 것으로 조사되었으며, 토양의 pH는 보통 중급수준이었으나 일부 통행량이 많은 구간의 토양 pH가 높게 나타났다. 보호판 설치가 가로수 활력도에 긍정적인 영향을 주는 것으로 분석되었다. 또한 도로확장 공사를 실시한 곳의 가로수 활력도가 낮게 나타났는데, 이는 가로수 이식목 식재 시 식재기반공사나 공사 시 관리감독이 부재로 인한 것으로 판단되었다. 다만, 1차년도 연구가 왕복 8차선 이상의 대로를 중심으로 가로수 평가를 실시하여 토지이용 등 주변 환경 영향요인을 확인하는데 한계가 있었다.

1) 김은영(2018) 수원시 가로수 건강성 평가. 수원시정연구원

따라서 본 연구는 중로 및 소로를 대상으로 가로수 생육현황을 파악하고 건강성 평가를 실시하여 대로 및 중·소로의 가로수 건강성 차이 및 관리상의 고려사항을 제시하고자 한다.

〈그림 1-2〉 덕영대로 가로수 건강성 평가 결과



자료 : 김은영(2018)

2. 연구의 목적

본 연구는 수원시 가로수 건강성 평가를 통한 가로수 관리계획 방향 설정에 목적이 있다. 이를 위해서는 첫째, 덕영대로와 연결된 중로 및 소로를 대상으로 가로수의 건강성을 평가하였다. 둘째, 가로수의 생육상태에 미치는 영향요인을 분석하여 그 원인을 도출하였다. 셋째, 대로와 중로 및 소로의 가로수 활력도 및 환경요인을 비교·분석하여 도로 규모에 따른 관리방안을 제안하여 수원시 가로수 건강성 증진에 기여하고자 한다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구의 내용적 범위는 수원시 내 지방로 중 중로 및 소로의 규모에 식재된 가로수 활력도를 측정하여 가로수 건강성을 평가하고 가로수 생육에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 하였다. 또한 1차년도 조사 결과인 덕영대로 내 가로수 건강성 평가 결과를 토대로 대로 및 중·소로의 가로수 활력도 및 영향요인을 비교하였다.

공간적 범위는 수원시 가로수 중 1차년도 조사 대상지인 덕영대로와 연결된 중로 및 소로변 가로수를 대상으로 가로수의 건강성 평가를 실시하고자 한다. 이는 도로에 따른 환경조건을 제한하기 위한 것으로 이를 토대로 수원시의 도로규모에 따른 가로수 식재 및 유지관리 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구의 방법

가로수 건강성 평가를 위해 가로수 유지관리 사례 및 방안의 선진사례를 조사하였고, 현장 조사를 통해 연구 대상지를 선정하였다. 사전 답사를 통해 선정된 가로수를 대상으로 수목 활력도, 영향요인 등을 분석하였으며, 대로 및 중·소로의 수목 활력도를 비교·분석하였다. 가로수 토양 및 유지관리 방안을 주제로 전문가 세미나를 개최했으며, 이를 토대로 대로 및 중·소로 가로수 생육에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

- 선행연구
 - 가로수 유지관리 사례 및 방안
 - 선진사례(가로수 유지관리 및 바이오차 활용 사례)
- 현장조사
 - 사전조사 : 2019년 5월 8일 ~ 9일(2일간)
 - 현장조사 : 2019년 6월 18일, 6월 21일, 7월 1일(3일간)
- 전문가 세미나
 - 주 제 : 가로수 건강성 진단 및 토양관리 방안
 - 일 시 : 2019년 5월 10일(금) 14:00~16:00

- 장 소 : 수원시정연구원 제2강의실
- 참석대상 : 수원시 공원녹지사업소 및 유관기관 직원 등 약 20여명
- 세부 내용 :

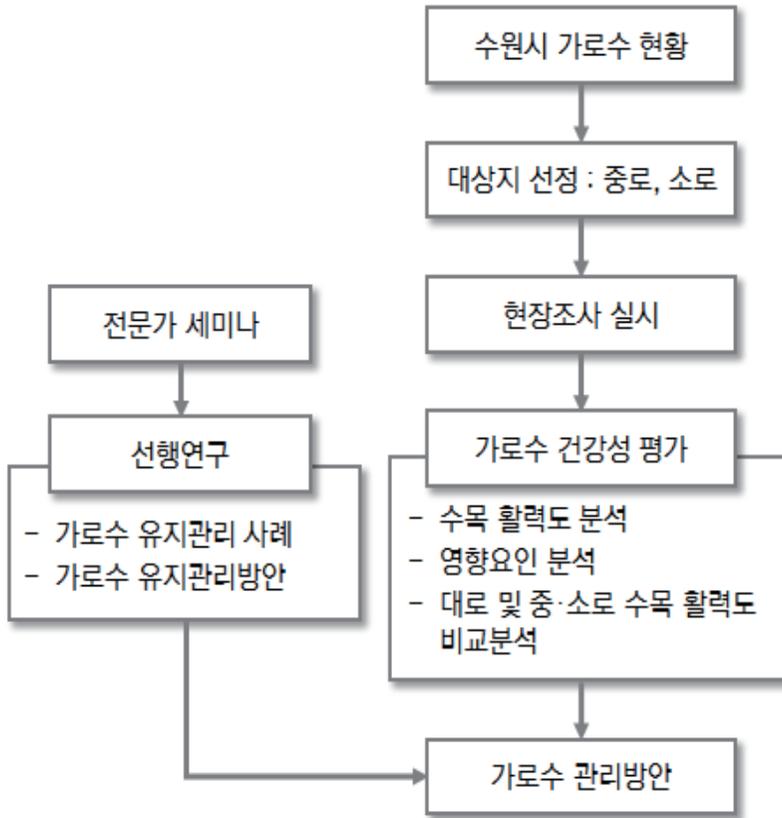
| 구분 | 발표 주제 | 발표자 |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | 수목 건강성 진단 | 박현준((주) 푸름바이오 대표) |
| 2 | 바이오차 효과 및 도입 가능성 | 이호철((주) 포이엔 대표) |
| 3 | 가로수 토양관리방안 | 조창건((주)푸르디 대표) |

〈그림 1-3〉 「가로수 건강성 진단 및 토양관리방안」 세미나



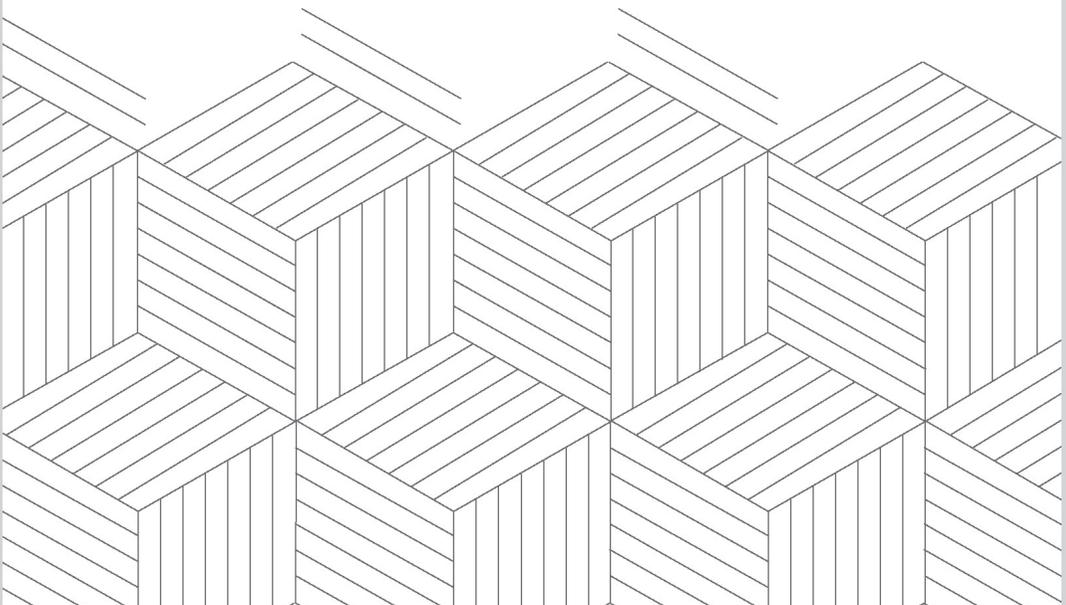
- 건강성 평가 및 가로수 관리방안
 - 선행연구, 전문가 인터뷰 등을 통해 도출된 평가항목을 바탕으로 가로수 건강성 평가 실시

〈그림 1-4〉 연구의 방법



제2장 선행연구 고찰

- 제1절 가로수 유지관리 사례
- 제2절 가로수 토양관리 : 바이오차
- 제3절 수원시 가로수 유지관리 현황
- 제4절 소결



제2장 선행연구 고찰

제1절 가로수 유지관리 사례

1. 미국 뉴욕시

1) 가로수 최적관리기법

뉴욕시의 가로수 관리는 손상 및 전도된 나무, 고사수목, 가지치기, 목재파편 제거, 가로수 식재, 보도 수리, 위험관리, 트리워크 허브, 폭풍우 대응 등 NYC Parks 나무서비스를 통해 통합적인 수목 관리를 실시하고 있다. 또한 보다 정확한 가로수 관련 정보 관리를 위해 가로수 정보 지도를 제작하여 담당자뿐만 아니라 일반 시민들도 가로수 관리 현황을 쉽게 파악할 수 있으며, 시민배포용 수목관리 매뉴얼을 배포하여 수목 입양 제도, 식재방법, 병해충, 관수, 월별 관리방법 등의 정보를 제공하고 있다.

〈표 2-1〉 NYC Parks 나무 서비스

| 항목 | 내용 |
|---|---|
| 손상 및 전도된 나무 (Damaged and Fallen Trees) | <ul style="list-style-type: none"> 손상(되거나 전도된 나무를 신고 받아 NYC Parks 검사관이 방문 및 평가를 통해 적절한 행동방침을 결정 |
| 고사수목 및 그루터기 제거 (Dead Tree and Stump Removal) | <ul style="list-style-type: none"> 도로, 공원, 운동장 또는 공공장소에서 보고된 죽은 나무를 검사를 통해 제거 작업 실시 신고한 제거 작업 요청은 맵을 통해 결과 확인 가능 |
| 가지치기 (Tree Pruning) | <ul style="list-style-type: none"> 정기적 가지치기 외에 가지 손상, 교통에 불편을 주는 나무 등의 경우 신고를 통해 가지치기 실시 |
| 목재 파편 제거 (Wood Debris Removal) | <ul style="list-style-type: none"> 날씨 또는 기타 원인으로 인해 손상된 나무의 잔해를 청소 |
| 가로수 식재 (Street Tree Planting) | <ul style="list-style-type: none"> 전문가와 협력하여 승인된 종 중에서 가장 건강하고 적합한 수목을 식재 식재 후 2년간 시공자는 잡초제거, 누락 토양, 뿌리덮개 및 가지치기를 포함한 정기적 유지관리를 보증해야하며 5월에서 10월까지 적어도 2주에 한 번씩 관수 |

| 항목 | 내용 |
|--|--|
| 건축계획 검토 (Building Plan Review) | <ul style="list-style-type: none"> 빌딩 커뮤니티(Department of Buildings, DOB)와 공동으로 관리하는 단계별 설계 검토 프로세스로, 기존의 나무를 보호하고 신규 식재하는 데 필요한 허가 신청 과정을 도움 |
| 가로수 위 또는 근처 작업 허가 (Working On or Near Trees) | <ul style="list-style-type: none"> 시의 가로수 식재 장소 또는 근처의 건축을 제한하거나 개인의 식재, 검토를 위해 건축계획서를 제출하는 등의 일에 작업 허가서를 신청 |
| 불법 수목 작업 및 피해 규제 (Illegal Tree Work and Damage) | <ul style="list-style-type: none"> NYC Parks로부터 정식 허가를 받지 않은 사람 또는 작업에 대한 규제 조치 |
| 보도 수리 (Sidewalk Repair) | <ul style="list-style-type: none"> 보도 손상이 나무뿌리로 인해 발생하면 부동산 소유주는 인도를 유지관리해야 함 수기 과정 중에 잠재적인 손상으로부터 인도를 수리하고 나무를 보호할 수 있는 방법으로 무료상담 등 부동산 소유자를 지원 |
| 나무 위험 관리 (Tree Risk Management) | <ul style="list-style-type: none"> 수목으로 인한 피해로부터 공공 안전과 재산 보호를 위해 체계적인 위험 관리 시스템을 운영 전문가가 업계 표준에 의한 평가를 실시하며 결과에 따라 적절한 조치 시행 |
| 트리워크 허브 (Tree Work Hub) | <ul style="list-style-type: none"> 최근 및 향후 수목 관리 작업 데이터 공유 나무 그루터기 제거, 가지치기, 식재 및 보도 수리 등 지난 6개월 동안 완료된 작업뿐만 아니라 진행 예정 작업을 지도 및 표 형태로 제공 |
| 폭풍우 대응 (Storm Response) | <ul style="list-style-type: none"> 폭풍우로 인해 손상된 나무를 복구하고 도로를 깨끗하게 유지하기 위한 대비 및 비상관리 사무소 운영 |

자료 : NYC Parks 홈페이지(<https://www.nycgovparks.org/services/forestry>)

〈그림 2-1〉 뉴욕시 가로수 정보 제공 지도



자료 : NYC Parks 홈페이지(<https://www.nycgovparks.org/>)

뉴욕시는 가로수 및 공원 나무의 유지관리를 위해 뉴욕 가로수 녹화계획 'PlaNYC 2030' 가로수 최적관리기법(BMPS, Best Management Practices)도입하여 관리하고 있으며, Parks Partnerships에서 제공하는 교육 프로그램을 통해 방법을 제시하고 있다.

2017년 국제수목재배협회(International Society of Arboriculture, ISA)와 미국국가표준협회(American National Standards Institute, ANSI)가 작성한 최신 업계 표준을 준수하여 나무를 더 잘 평가할 수 있는 시범 프로그램을 운영하고 있다. 프로그램을 통해 문제가 발생하기 전에 나무를 조사하여 우려사항을 파악하고 보다 체계적이고 예방적인 나무 관리 수행을 목적으로 하며, 관리에 우선순위를 부여하여 시스템을 적용하고 있다.

나무의 위험 관리 프로그램은 미국국가표준협회(ANSI)의 나무 위험 관리 표준(ANSI A300(Part9)-2011)을 기반으로 한 국제수목재배협회(ISA)의 최적관리기법을 기준으로 위험 순위를 결정하고 수목 관리 우선순위를 결정하기 위한 세 가지 검사요소를 고려한다. 나무의 구조적 상태를 점검하여 위험으로 이어질 수 있는 가능성을 점검하고, 위험성이 미치는 영향을 사람, 건물, 동물, 인프라, 차량 및 경관 등으로 분류하며 상해, 손상의 결과 등 영향의 결과 또한 평가한다.

〈표 2-2〉 뉴욕시 가로수 위험 관리 단계

| 관리 단계 | 내용 |
|--------|--|
| 서비스 요청 | <ul style="list-style-type: none"> • 죽거나 손상된 나무, 낙상 가지, 불법적으로 손상된 나무의 제거 • 나무 심기, 가지치기 등 나무 서비스 요청 |
| 나무 검사 | <ul style="list-style-type: none"> • 보고된 상태 유형에 따라 설정된 시간 내에 나무를 검사 • 검사에 따라 작업이 필요한 것으로 판명되면 작업 수행 명령서 작성 |
| 작업 수행 | <ul style="list-style-type: none"> • 검사를 통해 작업 지시가 내려지면 우선순위에 따라 작업 수행 • 즉각적인 조치가 필요한 작업을 먼저 수행 |

자료 : NYC Parks 홈페이지(<https://www.nycgovparks.org/services/forestry/risk-management>)

〈표 2-3〉 뉴욕시 가로수 위험 평가 기준

| 검사 기준 | 내용 |
|---|---|
| 나무 위험 가능성 (Likelihood of Tree Failure) | <ul style="list-style-type: none"> • 부서지거나 매달린 가지, 몸통이나 가지의 균열 또는 나무의 죽거나 죽어가는 부분을 포함하여 위험으로 이어질 수 있는 나무의 구조적 상태를 점검 |
| 영향 가능성 (Likelihood of Impact) | <ul style="list-style-type: none"> • 나무 파괴 가능성을 평가한 후 위험 평가 전문가는 사람, 건물, 동물, 인프라, 차량 및 경관에 미치는 나무의 가능성을 분류 • 위험 평가자에게 가장 중요한 평가 장소는 사람들이 자주 통행하는 곳임 |
| 영향 결과 (Consequences of Impact) | <ul style="list-style-type: none"> • 위험 평가자는 나무 또는 나무의 파손된 일부분 및 사고로 인해 야기될 수 있는 상해, 손상의 결과도 평가 • 위험 평가자는 나무의 수관 또는 낙상이 예상되는 가지의 특징 및 거리를 고려 |

자료 : NYC Parks 홈페이지(<https://www.nycgovparks.org/services/forestry/risk-management>)

2) Milliontrees NYC

Milliontrees NYC는 132개의 PlaNYC 이니셔티브 중 하나로 향후 10년 동안 시 전역에 백만 그루의 나무를 심고 관리하는 목표를 가진 뉴욕시와 지역사회 단체의 협업 프로젝트이다. 뉴욕시는 환경적으로 지속가능한 도시를 만들기 위해 향후 10년 동안 20만 그루 이상의 가로수를 심을 예정으로 식재뿐만 아니라 수목 유지관리에도 중점적인 노력을 기울이고 있으며, 이를 위해 가로수 관리 교육, 연구, 행사, 프로젝트 등 다양한 방법을 고안하고 있다.

시민들에게 식재가 어디에서 일어나고 있는지에 대한 인식을 제공하기 위한 알림 배포, 시민들이 직접 나무를 심을 수 있도록 무료로 묘목을 제공하고, 'DIY 식재 가이드'를 배포해 식재를 위한 지침과 팁을 알려주고 있다. 또한 유지관리를 위한 트리케어 워크숍을 진행하여 시민들이 가로수 관리 교육과 자원봉사에 참여할 수 있도록 하고 있다.

〈그림 2-2〉 신규 식재 장소 알림 깃발



자료 : <https://www.milliontreesnyc.org/html/plant/street.shtml>

〈표 2-4〉 수목 유지관리 캘린더

| 구분 | 유지관리 내용 |
|----|--|
| 1월 | <ul style="list-style-type: none"> 질병, 곤충 또는 파괴행위(vandalism)*에 대한 점검 MulchFest에서 무료 멀칭제 가져오기 |
| 2월 | <ul style="list-style-type: none"> 질병, 곤충 또는 파괴행위(vandalism)*에 대한 점검 죽은 가로수 또는 공원 나무 제거를 위해 311에 신고 |
| 3월 | <ul style="list-style-type: none"> 소금이나 반려견 배변에 젖은 겨울 멀칭제 제거 나무 주위 원모양으로 3-4인치의 멀칭제 도포 |
| 4월 | <ul style="list-style-type: none"> 길 또는 보도 근처에 식재한다면, 얼어있는 땅의 소금기를 제거 나무의 날, 지구의 날, MillionTreesNYC의 달을 축하 |

| 구분 | 유지관리 내용 |
|-----|---|
| 5월 | <ul style="list-style-type: none"> • 나무 주변의 토양이 건조하다면 매주 물주기(각 나무에 15~20갤런의 물주기) • 모종삽을 이용하여 나무뿌리 주변에 2~3인치의 토양 느슨하게 덮기 • 키 작은 꽃이나 구근을 나무 주변에 식재 |
| 6월 | <ul style="list-style-type: none"> • 3~4인치의 두께로 멀칭해야 하며 두께를 점검 • 매주 관수 • 병해충, 파손 등 점검 • 잡초 제거 |
| 7월 | <ul style="list-style-type: none"> • 매주 관수 • 잡초 제거 • 병해충 점검 |
| 8월 | <ul style="list-style-type: none"> • 매주 관수 • 잡초 제거 • 병해충 점검 |
| 9월 | <ul style="list-style-type: none"> • 매주 관수 • 식재 후 2년 이상 된 나무에서 말뚝과 끈 제거 |
| 10월 | <ul style="list-style-type: none"> • 땅이 얼기 전 어린 상록수에 관수 • 나무 주변에 구근류 식재 • 나무 주변에 새롭게 원모양의 멀칭 |
| 11월 | <ul style="list-style-type: none"> • 땅이 얼기 전 어린 상록수에 관수 • 병해충, 파손 등 점검 |
| 12월 | <ul style="list-style-type: none"> • 나무 주변에 크리스마스트리 가지를 두어 소금과 반려건 배변을 흡수 |

* 가로수 또는 공원 나무 파손 신고(311번)

자료 : millontreesNYC, MillionTreesNYC Tree Care Guide Handbook

2. 스페인 바르셀로나

1) 가로수 통합 관리 시스템 도입

바르셀로나시의 가로수 관리는 ‘지속가능성, 다양하고 독특한 경관의 창출, 안전하고 효율적인 관리’라는 3가지 원칙을 기반으로 하며 주요 액션 플랜은 다음과 같다.

- 환경 조건에 적합한 종의 선택(적지적수)
- 도시 가로수의 점진적인 생물다양성 증가. 같은 수종은 최대 15%
- 특정 지역의 특유한 경관을 연결시켜 정체성 부여
- 표준화된 프로토콜을 사용하여 가로수 식재 및 유지계획
- 수목 유지와 병해충 통제를 위한 통합 조치에 대한 객관적인 기준 마련
- 하층토로부터 물을 끌어오거나 점적관수 방법을 이용한 합리적인 물의 사용
- 자원을 통합하고 절약할 수 있는 신기술의 사용
- 환경 관리 시스템(Environmental Management Systems, EMS) 및 인간을 위한 보건

및 안전 관리 시스템의 도입

바르셀로나에서는 가로수 식재 후 첫 해에는 매주 관수하며, 2-3년 동안에는 여름에는 일주일에 한 번, 봄과 가을에는 격주, 겨울에는 한 달에 한 번씩 관수하고 있다. 식재지의 말뚝은 물을 주는 가이드 역할을 하며, 매년 노랑·흰색·초록·파랑의 순서로 색을 변경하여 나무가 심어진 시기와 관수가 필요한 시기를 표시해 관리하고 있다.

〈그림 2-3〉 탱크를 이용한 관수 및 표시



자료 : Ajuntament de Barcelona(2011)

바르셀로나시의 가로수 관리에서 가지치기는 작업 전 크기와 개화시기 등의 종의 특성, 생장하고 있는 위치, 수령, 각 수목의 구조 및 일반 조건을 고려하여 시행하고 있다. 또한, 나무의 성장 단계, 가지치기의 목적 및 수행시기 등에 따라 가지치기 유형을 다르게 분류한다.

〈표 2-5〉 나무의 성장 단계에 따른 가지치기 유형 분류

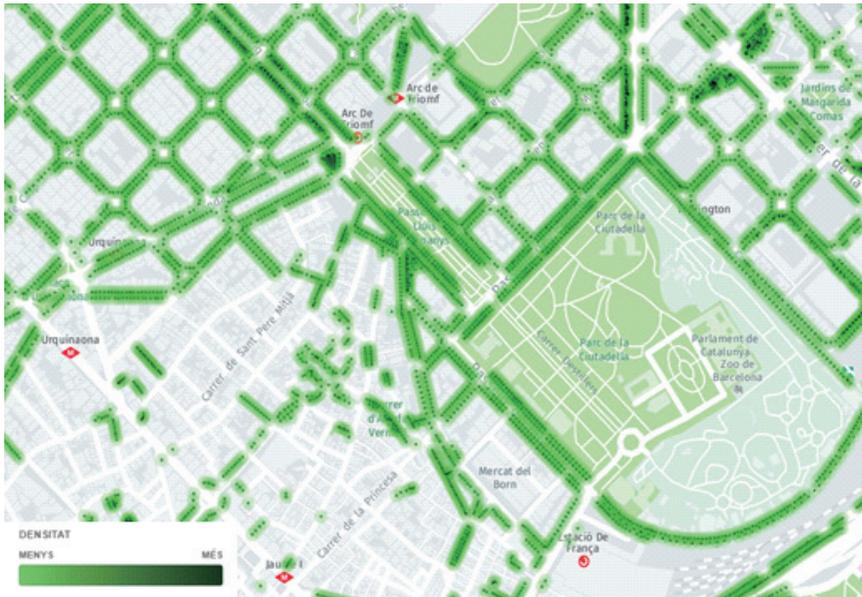
| 가지치기 유형 | 수령 | 가지치기 목적 | 가지치기 시기 |
|---------------------|------------|-----------------|---------------------------------|
| 모양잡기 (Shaping) | 식재 후 3년 까지 | 높고 좁은 수관경관 | 매년(바람직하게는 휴면기에) |
| 유지 (Maintenance) | 식재 후 4년부터 | 경관 및 밀도 조절 | |
| 재구성 (Restructuring) | 성숙목 | 수관의 축소 및 형태 재조정 | |
| 야자수 (Palm trees) | 식재 후 2년 까지 | 경관 및 건강성 | 종려나무 바구미 피해예방을 위해 폭염 기간을 제외한 매년 |

자료 : Ajuntament de Barcelona(2011)

가로수 관리 프로그램인 GAVI를 도입해 나무의 특성과 유지보수 작업에 필요한 데이터를 관리하고 있다. 프로그램에는 바르셀로나에 있는 가로수의 목록과 NDVI를 활용한 가로수의

상태와 활력, 위치의 특성(유형, 뿌리의 모양 및 크기, 식재 시기, 포장의 폭 등), 관리 정보(주변환경, 관수 방법 등), 나무의 정확한 위치와 책임자 및 관리 인원에 대한 정보 등을 확인할 수 있으며, 지도화하여 정보에 쉽게 접근하고 관리할 수 있다.

〈그림 2-4〉 바르셀로나 가로수 지도



자료 : https://jjvidalmac.carto.com/viz/c3c54164-7fcf-11e4-b04f-0e853d047bba/public_map

〈그림 2-5〉 바르셀로나 가로수 NDVI



자료 : https://jjvidalmac.carto.com/viz/e9fbae6b-87ab-46cc-a720-4f9acb3f921e/public_map

2) 병해충 통합관리(제초제 사용 중단)

바르셀로나시는 지난 2017년 1월부터 도시위원회의 만장일치로 가로 및 녹지 공간에 글리포세이트 및 기타 독성 제초제의 사용을 전면 중단하기로 결정했다. 시의회는 과도한 가지치기를 피하고, 녹지의 지속가능성과 유기적 관리를 적용한 친환경 도시로 전환하기 위해 노력하고 있으며, 녹색 공간 관리에 인간과 동물의 건강에 영향을 미치는 화학물질 사용을 줄이겠다는 궁극적인 목표를 가지고 가능한 대안을 연구하고 있다. 제초제 사용 중단을 위해 2016년부터 10개 지구에서 공간의 유형 및 위치를 고려하여 글리포세이트 사용 중단 시험 테스트를 실시하였으며, 모니터링 및 평가를 실시하고 지속적인 유지관리를 수행하고 있다. 병해충 통합관리 계획은 10개의 전략으로 구성되며, 도시의 자연 유산을 보존하며 야생생물 및 자연환경으로의 영향을 피하는 것을 목적으로 한다. 또한 생물다양성을 위한 효율성과 지속가능성을 위해 공원과 정원 및 그린인프라를 관리하고, 생물다양성을 기반으로 한 병해충 관리를 내용으로 하고 있다. 글리포세이트 및 기타 독성 제초제들이 인체 건강 및 환경 분야에 미치는 위험영향을 줄이기 위해 다음과 같은 목표를 설정한다.

- 녹색공간과 공공 도로에서 제초제 및 기타 독성 제초제의 사용을 최대 1년 내에 점차적으로 제거한다.
- 식물 위생 관리 모델의 변화와 녹지의 생태적 관리에 대한 시민들의 인식을 증진시키기 위한 방안을 마련한다.
- 바르셀로나시의 녹지를 관리하는 공공 및 민간 행정부는 본 법안을 준수하며 대책을 강구해야 한다.
- 병해충 통합관리모델에 따라 예방 또는 대체기술을 생태적 관리에 대해 우선순위를 매겨 서서히 화학제품 사용을 줄인다.
- 화학물질과 접촉하는 원예부문 근로자의 건강에 주의한다.

녹지공간에서 제초제 사용을 근절하기 위한 바르셀로나시의 구체적인 행동에는 연구 및 시험 실시, 연구 보조금 마련, 기술에 대한 평가, 기술적용에 대한 우선순위 설정, 모니터링, 생태계 및 인간의 건강에 대한 위험성이 없는 식물 확보, 작업지시서 작성 등의 내용을 담고 있다. 또한 이에 대한 적용을 위해 다음과 같은 병해충 유형에 따라 지도로 표시된다.

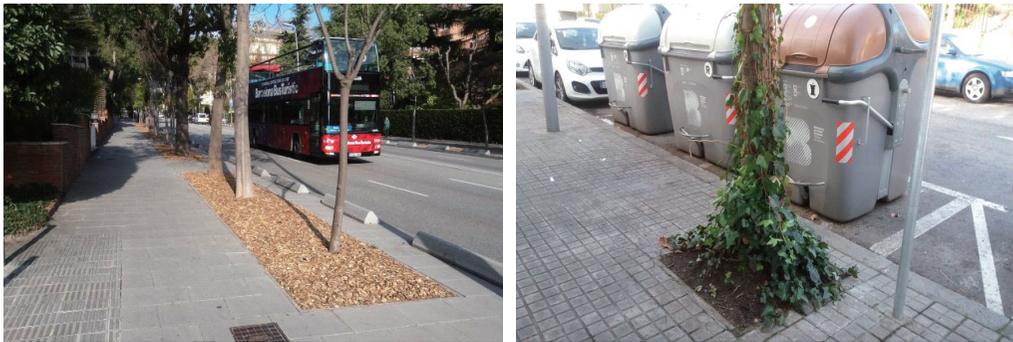
- 시민과 도시 생물다양성의 안전 보전에 위협을 초래하는 해충들
- 시민의 안락에 영향을 미치며 허용한계를 초과할 수 있는 재앙
- 시민의 안락에 영향을 미치지만 허용한계를 초과하지 않는 해충

〈표 2-6〉 바르셀로나시의 6가지 방제법 유형

| 구분 | | 내용 |
|----|----------|--|
| 1 | 식물종 선정 | 도시 환경에서 가장 잘 적응된 종과 병해충의 공격에 잘 견디는 식물종의 선택 |
| 2 | 가지치기 | 적당한 가지치기는 병해충의 확산을 방지하는데 도움이 될 수 있으며 오염된 가지만을 제거하는 부분적인 가지치기는 매우 효과적 |
| 3 | 생물학적 관리 | 생물의 천적으로 기생충, 포식자, 미생물 및 선충류가 사용됨. 도시환경에서는 생물학적인 방법으로 100% 방제가 불가능하기 때문에 반복적인 작업이 필요 |
| 4 | 페로몬 유인 | 종의 암컷의 생식주기를 기반으로 시뮬레이션 한 전략으로 피해를 일으키는 종의 수컷을 덫으로 유도하는 방법 |
| 5 | 색채밴드 | 곤충의 자연적인 매카니즘에 기초한 방제법으로 곤충이 매력을 느끼는 색을 사용하여 곤충을 유인하는 방법 |
| 6 | 화학 적 방법 | 식물과 인간에게 무해한 살충제를 식물의 혈관계에 주입하는 방법 |
| | 식물 엔도테라피 | 처리할 천연 추출물 등 대안이 없을 때 화학 합성물을 사용하며, 병해충의 위험성이 사람에게 영향을 미칠 경우 최후의 수단으로 적용됨 |

자료 : <https://ajuntament.barcelona.cat/>

〈표 2-7〉 바르셀로나시의 생물학적 방제법



3. 프랑스 파리

프랑스 파리는 1996년 가로수 관리를 위해 전산 시스템 도입을 결정하고, 2년간의 계획을 거쳐 1998년부터 가로수에 RFID(전자칩)를 부착하여 가로수관리 시스템을 운영하고 있다. 2000년부터는 각 가로수별 정보데이터 베이스를 입력하여 전체적인 데이터베이스시스템을 구축하였고, 2002년에 계획 대상으로 하였던 파리시 주요 간선 도로변 가로수에 전자칩 부착 및 정보를 입력 완료하여 현재 운영 중에 있다. 가로수관리시스템은 가로수의 위치 등의 정보를 내장한 2cm 길이의 유리 소재 원통형 RFID칩을 흉고직경 높이의 가로수 표피 내부 2cm

깊이에 설치하고 판독기를 통해 칩에 내장된 인식번호를 인식하며 GIS시스템을 통해 관리 센터의 데이터베이스와 연동하여 각 가로수의 관리사항을 실시간으로 동기화함으로써 정보를 관리하고 있다. 가로수관리체계는 기존 3개부서(공원녹지부서, 정보전산부서, 지적부서)에서 별도로 각각 관리하던 데이터베이스를 가로수 관리시스템으로 모아 일괄 처리함으로써 별도의 작업이 필요하지 않고 각 부서에서 필요한 정보를 사용하고 있다. 데이터베이스 항목은 식수 연월일, 관수 및 가지치기 정보, 질병 연혁, 살충정보, 균근감염 정보, 기타 피해 정보(제설제 피해, 차량 충돌 피해 등) 등이다.

〈그림 2-6〉 프랑스 파리 육묘장 및 전산시스템을 이용한 수목관리



자료 : 파리지 홈페이지(<https://www.paris.fr/pages/-arbre-a-paris-199>)

파리시의 가로수는 식재 전, 식재 및 성장 3년, 성숙목의 유지관리, 노화 및 죽어가는 나무 모니터링 단계를 통해 수목 생육주기에 따른 식재 및 관리가 이루어진다. 가지치기 또한 죽은 가지를 제거함으로써 수목의 수관 부피를 줄이는 방법으로 병해충의 확산 위험을 최소화하기 위한 소량의 작업만 수행한다. 고사가 진행되어가고 있는 나무의 갱신은 공동의 부패 등으로 수목의 골격이 약화되면 위험한 것으로 판단한다. 수액이 수목 주가지 주변에 순환하고 있어 잎이 녹색으로 유지되고 있어 나무의 건강성 감소 증상이 항상 외부에서 관찰되는 것이 아니기 때문에 시민의 안전을 위해 육안검사뿐만 아니라 내부목재 결함을 정기적으로 모니터링하고 있다. 수목 제거 후에는 표토를 갱신하고 겨울(11월 중순~3월 중순)에 새 나무를 식재한다. 가로수의 건강한 생육을 위해 2년 동안 수목보호대 설치, 관수, 물과 공기가 침투할 수 있도록 가로수 하부 공간을 마련하고, 신규식재 알림판을 설치해 안전하게 생육할 수 있도록 집중적인 관리를 하고 있다. 또한 파리시는 학교에 과수원을 조성(현재까지 142개소)하여 학생들에게 나무의 식재와 관리에 대한 교육을 실시하거나 개인 소유의 땅에 식재를 원하는 시민들에게 나무를 무상으로 제공하는 등 도시 가로수 및 수목의 관리를 위한 다양한 정책을 실시하고 있다.

〈그림 2-7〉 프랑스 파리의 가로수 신규식재지(어린나무) 관리

MAIRIE DE PARIS

Ici, un nouvel arbre va être planté

Pour votre sécurité, nous avons procédé à l'abattage d'un arbre mort, dangereux ou dépérissant.

Son remplacement se fait par étapes

- 1** Retrait de la souche
- 2** Mise en place de la terre végétale
- 3** Plantation du nouvel arbre en période hivernale (mi-novembre à mi-mars)

Adoptez cette parcelle pour jardiner !

Pour cultiver cet espace et participer à la végétalisation de votre quartier, demandez votre permis de végétaliser.

Si vous constatez des dégradations, vous pouvez le signaler via l'application **DansMaRue**. Plus d'informations sur les arbres et le permis de végétaliser sur [paris.fr](https://www.paris.fr)

자료 : 파리지 홈페이지(<https://www.paris.fr/pages/l-arbre-a-paris-199>)

4. 일본

1) 동경도 에도가와구 가로수 지침

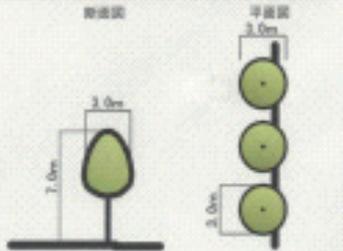
일본 동경도(東京都) 에도가와구(江戸川区)에서는 1995년부터 수탁자가 자주적인 관리 계획에 따라 좋은 가로수를 육성할 수 있도록 관리 위탁하고 있다. 에도가와구 가로수 지침 「새로운 가로수 디자인」에 따라 수탁자에게 지도하고 있으며, 정기적으로 수탁자를 모으고 정례회와 스터디 그룹을 실시하는 것으로 관리 기술 향상을 도모하고 있다. 또한 도로 공간에 따른 수종 선정, 목표수형의 설정과 실현, 성목관리, 방근시트나 근계유도 내압기반재 등 기술활용 등 다양한 방법으로 가로수 관리를 실시하고 있다. 특히 도로 공간의 스케일과 거리 특징에 따른 수종선정, 육성타입·유지타입·갱신타입 등 목표 수형을 고려한 전정관리, 수종 갱신을 위한 워크플로우 작성 등 적용가능한 세부지침을 활용할 수 있도록 지침을 제공하고 있다.

〈그림 2-8〉 에도가와구 가로수 관리 목표수형 설정



자료 : 산림청(2014)

〈그림 2-9〉 에도가와구 노선별 목표수형 카드 작성예시

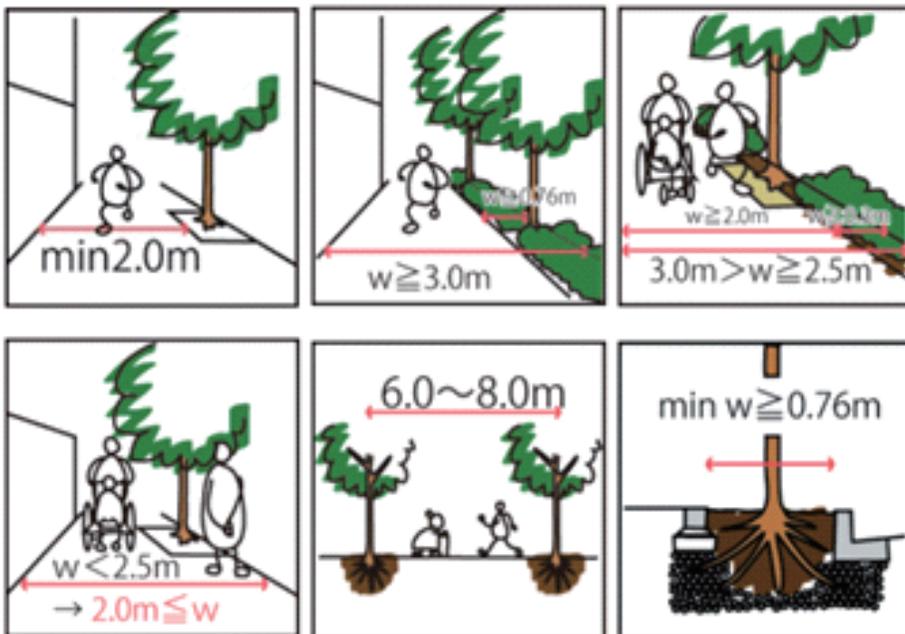
| 路線別目標樹形カード | | | | 作成日 : 2009. 03. 14 | |
|------------|---|--------|---------|--------------------|--|
| 地区 | 中央地区その3 | 路線No. | 05 | 地番 | 一之江三丁目18 |
| 歩道幅員 | 3000mm | 植樹科タイプ | 早稲科・楸科等 | 樹種 | ヤマボウシ |
| 現況樹形 |  | | | 現況樹高 | 4.0m |
| | | | | 現況枝張 | 1.5m |
| | | | | 現況樹形 | 標準形 |
| | | | | 現況課題 | ・空間に対するボリューム感が少ない |
| 目標樹形 |  | | | 目標樹高 | 7.0m |
| | | | | 目標枝張 | 3.0m |
| | | | | 目標樹形 | 卵形 |
| | | | | 対応策 | ・成長段階では下枝が通行の支障にならないよう注意する ・将来的に大きく育てる ・樹形を統一し、整然とした並木づくりを行う |

자료 :鈴木弘行(2015), 樹の生命, NPO 法人樹の生命を守る会 (緑の技術集団)

에도가와구는 수목의 성장에 따라 가로수가 보행에 지장이 되는 것을 방지하고 안전하고 쾌적한 보행공간 확보를 위해 새롭게 정비되는 도로에 대해 식재 기준을 마련했으며 그 내용은 다음과 같다.

- 보행 공간의 유효 폭 2m 이상 확보
- 보도 폭 3m 이상의 도로에는 가로수(교목)의 식수폭은 원칙으로는 0.76m이상의 식수대 마련
- 보도폭 2.5m이상 3m미만 도로에는 가로수 보호판을 설치. 또한 횡단을 방지하는 식수대(식수 폭 0.3m이상) 설치를 고려. 가로수 보호판 설치로 보도 폭원이 충분히 확보되지 않은 경우는 투수성·통기성을 가지는 포장재등을 사용하여 폭원을 확보
- 보도폭 2.5m미만의 도로는 보도의 유효폭을 고려하여 가능한 녹화. 단, 휠체어나 유모차 통행의 공간을 확보하기 위해 연속된 식수대 설치는 원칙적으로 하지 않음
- 가로수의 식재간격은 6-8m를 표준으로 함
- 가로수 식수 폭원은 원칙적으로 0.76m이상으로 하지만 도로구조나 기타 사정에 의해 좁게 할 경우에는 보도부의 하부에 뿌리유도 내압기반을 활용하여 가로수 뿌리의 생육 환경을 최대한 확보

〈그림 2-10〉 에도가와구 가로수 식재 기준



자료 : 江戸川区(2009), 江戸川区街路樹指針 -新しい街路樹デザイン

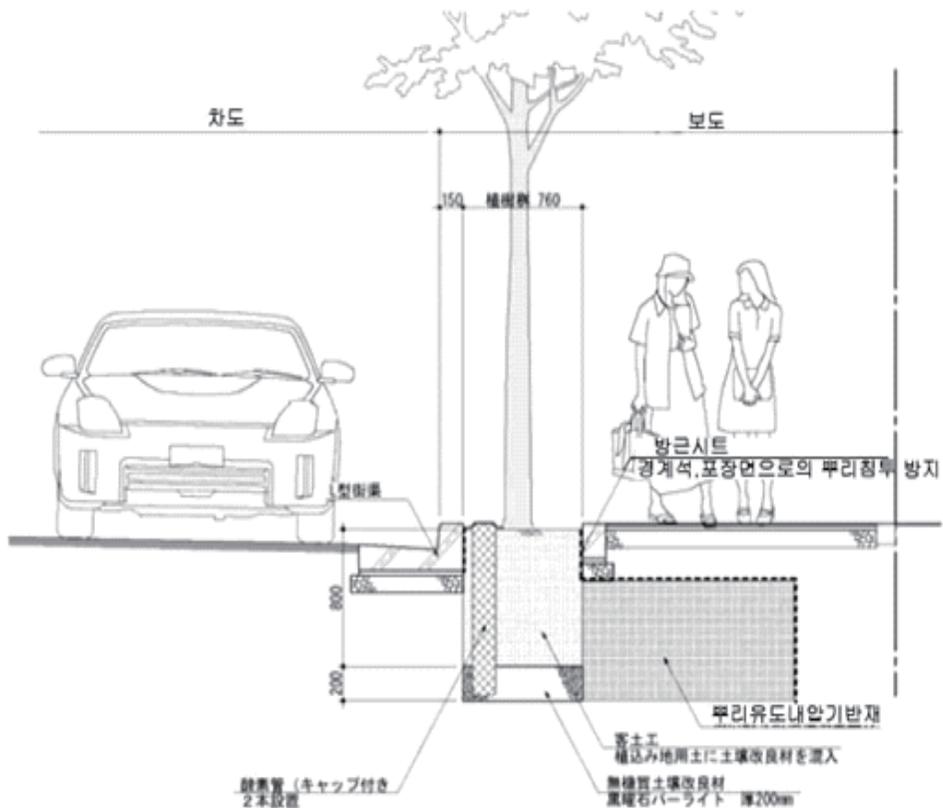
〈표 2-8〉 에도가와구 식수대(띠녹지) 설치기준

| 보도 폭 | 식수대(띠녹지) 형태 |
|----------|------------------------------------|
| 2.0m 미만 | 식수대(띠녹지) 미설치 |
| 2.0-2.5m | 폭 76cm 식수대(띠녹지) 설치 |
| 2.5-3.0m | 폭 76cm 식수대(띠녹지) 설치 |
| 3.0m 이상 | 차도측 76cm, 사유지측 59cm 이상 식수대(띠녹지) 설치 |

자료 : 江戸川区(2009), 江戸川区街路樹指針 -新しい街路樹デザイン

- 방근시트와 뿌리유도기반재에 의한 뿌리돌출 대책
- 천근성 수목이나 뿌리돌출이 심각한 상황에서는 방근시트만으로는 충분하지 않기 때문에 보도의 포장하부를 뿌리의 신장공간으로 기반개량을 실시

〈그림 2-11〉 에도가와구 가로수 뿌리유도 내압기반도



자료 : 조창건(2019), 「가로수 토양관리방안」, 가로수 건강성 진단 및 토양관리 방안 세미나 발표자료

2) 오사카 녹색바람 추진사업

2009년 「녹색 오사카 추진계획」과 연계하여 2011년 「녹색바람 추진구역」을 설정하였다. 오사카부는 가로수가 적은 도시로 오사카를 둘러싼 바다와 산을 잇는 「녹색바람의 축」을 만드는 12개의 「녹색바람 추진구역」을 지정하고 구역 내의 녹화 등의 대책을 중점적으로 추진하고 있다. 녹색바람 축진구역은 도로와 하천을 중심으로 사유지를 포함한 일정한 폭(도로나 하천의 양쪽으로 약 100m)의 연속된 선형의 구역을 지정하고 있다. 또한 녹지의 일체화를 통해 시민들이 실감할 수 있는 녹색의 축을 창출하고 식물의 냉각효과나 바람을 살려 쿨 스팟을 형성하는 것을 목표로 하고 있다.

〈그림 2-12〉 오사카 녹색바람 축진구역



자료 : 오사카시 홈페이지(<http://www.pref.osaka.lg.jp/kannosomu/midorinokazesokusin/index.html>)

〈그림 2-13〉 녹색바람 촉진구역도



자료 : 오사카시 홈페이지(<http://www.pref.osaka.lg.jp/kannosomu/midorinokazesokusin/index.html>)

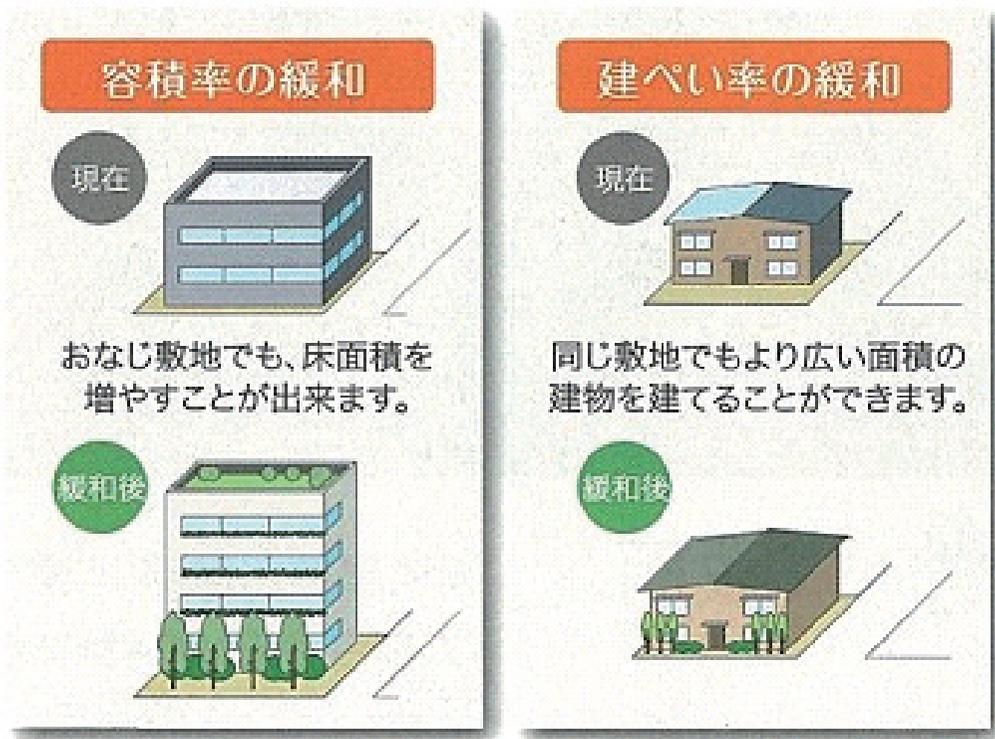
3개년 선도사업으로 「녹색바람 촉진구역 중점녹화사업」을 실시하였다. 본 사업을 통해 공공공간과 사유지를 일체화하는 녹화계획을 수립하고 가로수 등의 정비와 병행하여 사유지 녹화하는데 필요한 경비를 지원하였다. 또한 녹색바람 촉진구역 내의 축을 형성하는 간선도로나 하천 등 공공녹지를 중점적으로 유지, 관리 및 육성한다. 촉진구역 내 신규 건축물에 대해 녹화 및 경관 등의 일정한 요건을 충족하면 건폐율과 용적률을 완화하는 정책을 실시하고 있다.

〈표 2-9〉 녹색바람 촉진구역 내 건폐율 및 용적률 완화 기준

| | 기존의 제한 | 완화 후의 제한(선택제) | 완화를 위한 일반적인 요건 |
|----------------|---------------------------|--|---|
| 연도지구 (沿道地区) | 건폐율 60% 이하 용적률 200% 이하 | 건폐율 완화 선택 건폐율 80% 이하 용적률 200% 이하 | - 부지면적 300㎡ 미만 - 녹시율 25% 이상 - 녹화율 5% 이상 - 도로 경계에서 건물을 1m 이상 후퇴 - 접도 길이 6m 이상 - 준내화 건축물 이상 |
| | | 용적률 완화 선택 건폐율 60% 이하 용적률 300% 이하 | - 건폐율 60% 이하 - 부지면적 300㎡ 이상 - 녹시율 25% 이상 - 녹화율 20% 이상 - 도로 경계에서 건물을 3m 이상 후퇴 - 접도 길이 15m 이상 - 준내화 건축물 이상(거점지구는 내화건축물) |
| 거점지구 (拠点地区) | 건폐율 80% 이하 용적률 300% 이하 | 용적률 완화 건폐율 60% 이하 용적률 400% 이하 | - 건폐율 60% 이하 - 부지면적 300㎡ 이상 - 녹시율 25% 이상 - 녹화율 20% 이상 - 도로 경계에서 건물을 3m 이상 후퇴 - 접도 길이 15m 이상 - 준내화 건축물 이상(거점지구는 내화건축물) |

자료 : 오사카시 홈페이지(<http://www.pref.osaka.lg.jp/kannosomu/midorinokazesokusin/index.html>)

〈그림 2-14〉 도시계획 규제 완화에 의한 녹화유도



자료 : 오사카시 홈페이지(<http://www.pref.osaka.lg.jp/kannosomu/midorinokazesokusin/index.html>)

오사카시 보도개수 시 고려사항은 다음과 같다.

- 보도포장에 투수성 포장 실시
 - 열섬현상 대책, 식수로의 우수의 공급 등의 관점에서 차량 진입구 이외의 포장은 투수성 포장
- 차량 진출입구 폐지를 통한 보도폭 확대
- 유효 보도폭 확보
 - 보도교통의 유효폭을 확보하기 위하여 식재구덩이의 폭을 약 1000mm(유효 토양폭 650mm)로 함. 하지만 이 상태로 양호한 수목의 성장을 기대하기 어려우므로, 뿌리유도 내압 기반재 사용
- 규격이 큰 교목 식재

제2절 가로수 토양관리 : 바이오차¹⁾

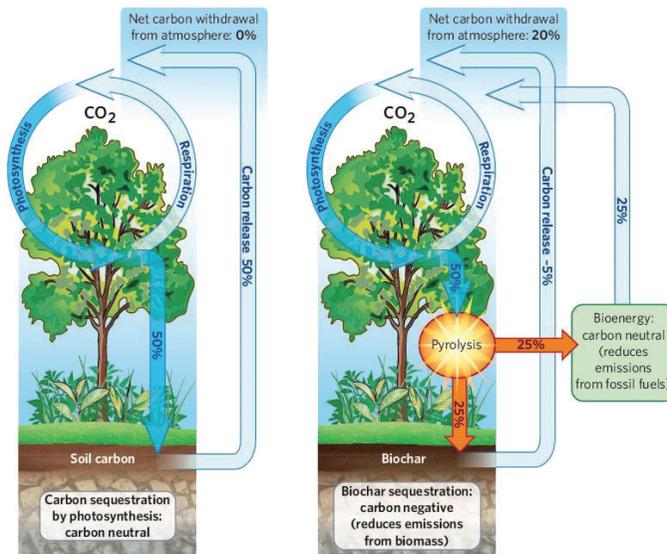
최근 바이오차의 토양개선 및 탄소저감 효과로 인해 전 세계의 관심이 증가되고 있다. 특히 바이오차는 토양의 산성화를 막거나 양이온 교환능력을 증가시키며 물의 손실을 막아주는 등(우승한, 2015) 식물의 생장에 도움을 주기 때문에 스웨덴, 미국 등 선진 국가에서는 바이오차를 가로수 토양에 투입하여 가로수 토양관리에 활용하고 있다.

1. 바이오차의 기능 및 효과

1) 탄소격리

일반 토양의 경우 탄소 함유량이 1%미만인데 비해 바이오차를 함유한 아마존 토양의 경우 탄소 함량이 약 10%까지 증가할 수 있다. 바이오차는 탄소중립의 기존 바이오매스의 에너지 화와는 달리 대기 중의 탄소를 토양에 저장하는 카본 네가티브(carbon negative)의 도구가 될 수 있다(우승한, 2013). 바이오차의 안정성으로 인해 미생물 분해에 강한 저항성을 가지므로 토양에 주입하여 탄소를 반영구적으로 저장할 수 있다.

〈그림 2-15〉 바이오차의 탄소 격리 원리



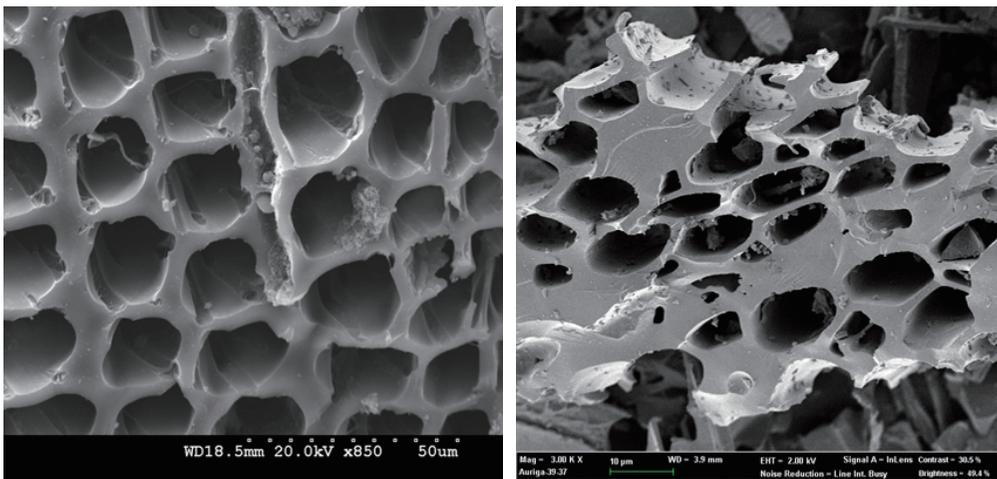
자료 : Lehmann(2007) A handful of carbon

1) 바이오차(Biochar)는 산소가 제한된 환경에서 목재 등의 바이오매스를 열분해 시켜 얻을 수 있는 고체물질로 유사한 물질로서 Charcol, soot, black carbon, agrichar 등(김미형 외, 2014)이 있다.

2) 토양개량

바이오차는 산소가 부족한 환경에서 나무를 태울 때 발생하며 이러한 바이오차를 토양에 주입하면 질소와 인 등의 영양분의 손실이 적고 미생물의 생존을 돕는 효과가 있으며(우승한, 2013), 빈 공간이 많은 다공성 구조로 토양의 통기성과 수분 보유력을 증가 시켜 작물의 성장에 도움을 준다. 비료 및 토양 개량제와 혼합하여 사용할 수 있으며, 바이오차는 토양의 비료 저장능력을 향상시킬 뿐만 아니라 비료의 효율성을 높이는 것으로 알려져 있다.

〈그림 2-16〉 일반 숯과 바이오차의 Scanning electron microscope(SEM) 차이



숯(Charcoal)

- 잔가지를 탄화한 Charcoal의 SEM
- 탄화 조건 : 산소, 700℃, 12H 내외

바이오차(Biochar)

- 잔가지를 열분해한 Biochar의 SEM
- 열분해 조건 : 무산소, 700℃, 4H 내외

자료 : 이호철(2019), 「바이오차 효과 및 도입 가능성」, 가로수 건강성 진단 및 토양관리 방안 세미나 발표자료

3) 폐기물 관리

바이오차를 생산할 수 있는 원료로는 폐목재, 계분, 커피슬러지 등으로 다양하고 이를 통한 단순 매립, 소각되는 폐기물의 저감과 폐기물 처리비용 저감 효과가 있으며, 생산되는 원료에 따른 바이오차의 특성이 다르므로 다양한 요구에 따른 활용이 가능하다.

4) 기후변화 대응 및 환경 영향 저감

바이오차는 유기물과 달리 안정성이 뛰어나므로 토양에 투입하게 되면 분해가 거의 일어나지 않아 대기 중의 이산화탄소를 장기간 저장하여 기후변화 완화에 기여할 수 있으며(김미형 외,

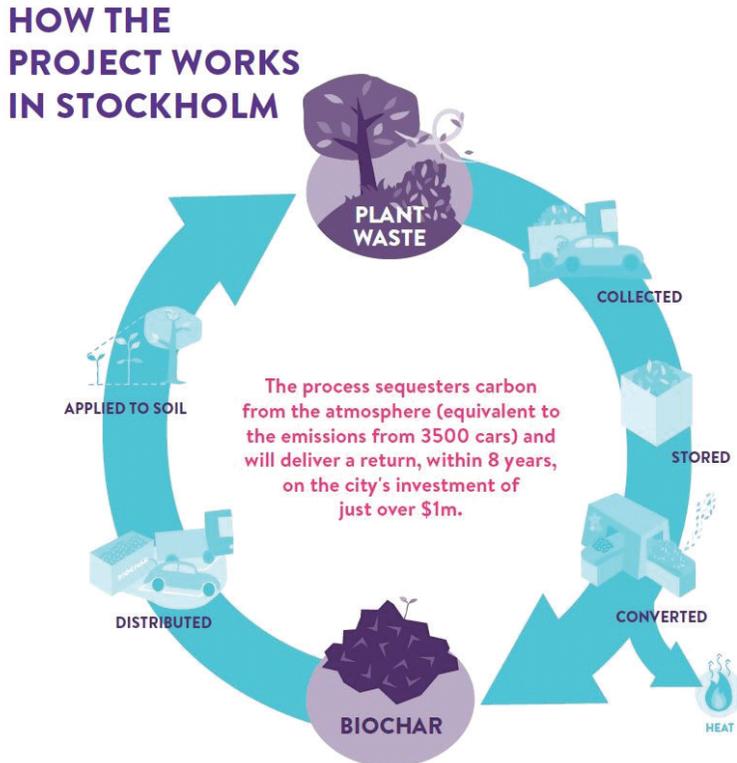
2014), 이산화탄소 외의 온실가스인 일산화질소(N_2O), 메탄(CH_4) 등에 대한 효과는 추가 연구가 필요한 실정이다. 바이오차를 혼합한 토양은 작물의 생산량을 증대 시키고 이를 통해 토양에 가해지는 스트레스를 감소와 토양의 회복력 증대를 기대할 수 있다. 또한 비료 사용량을 감소시킬 수 있으므로 비료로 인한 지하수 오염 방지, 저수지, 습지의 부영양화 방지 효과가 있다(Sohi, 2009).

2. 바이오차의 활용 사례

1) 스웨덴 스톡홀름

도시문제를 해결하고 환경개선을 위해 도시에 바이오차 활용 방안을 도입하였고 2014년 European Mayors Challenge에서 우승했다. 스톡홀름은 2040년 까지 화석 연료 프리, 2045년 까지 탄소배출 제로를 선언하고 이를 이루기 위한 방법으로 바이오차 프로젝트를 시작했다.

〈그림 2-17〉 스톡홀름 바이오차 프로젝트의 과정



자료 : Bringing biochar to your city-Lesson from the Stockholm Biochar Project, Bloomberg Philanthropies

기존에 스톡홀름 시와 시민들이 공원과 정원에서 발생하는 부산물을 한 곳으로 모아오고 있었기 때문에 보관과 집결을 위한 추가적인 비용이 발생하지 않았다. 단, 바이오차를 만들기 위해서는 식물 폐기물을 작은 단위로 쪼개고, 추가적인 시설 설치를 위한 투자비용이 발생한다. 바이오차를 생산하는 과정에서 발생하는 열을 지역 주민들에게 판매 하고, 바이오차는 주민들이 직접 다시 수거해 가도록 하여 추가적인 비용이 발생하지 않도록 했다.

바이오차를 도시에 도입하기 위해서는 바이오차 생산을 위한 물리적인 공간이 많이 필요하며, 부산물로 발생하는 열을 도시에 공급하기 위한 시스템이 기존에 갖추어져 있어야 한다. 도시 포장 지역의 경우 콘크리트 박스를 활용 하여 뿌리 확산으로 인한 포장재의 훼손을 방지 하고 박스 내 바이오차와 자갈 혼합물, 비료로 충전 하여 가로수의 생육을 갱신했다. 바이오차와 자갈 혼합물을 가로수 식재 지역에 활용하여 홍수 저감, 지하수 충전, 우수시설 보완, 대기 오염물질 저감 등의 기대효과가 있다.

〈그림 2-18〉 바이오차와 자갈 혼합물



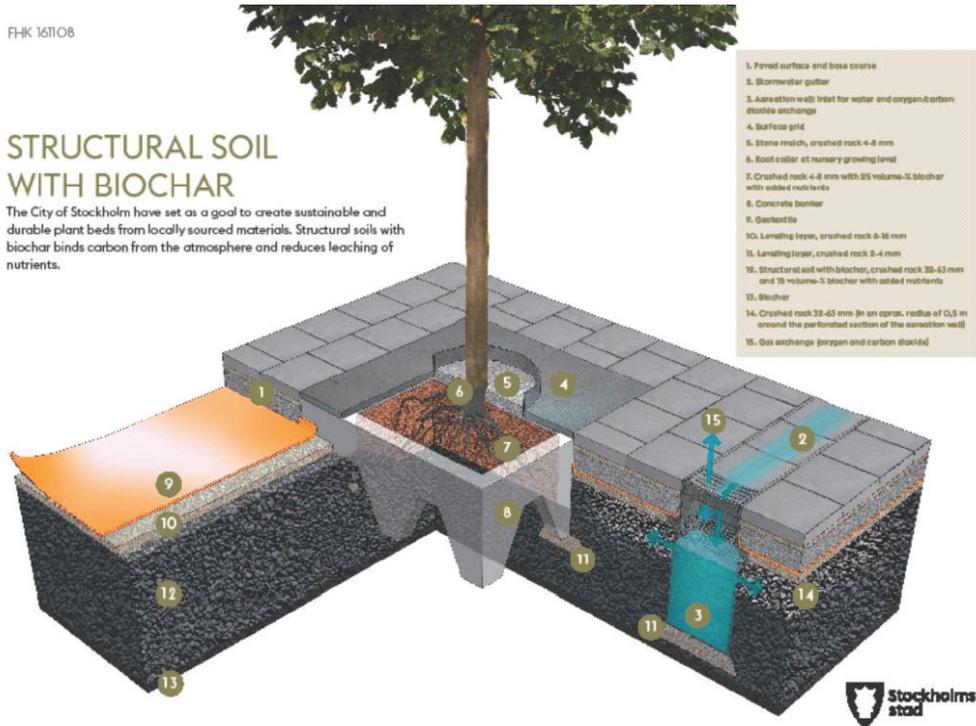
자료 : Bjorn Embren(2017)

〈그림 2-19〉 바이오차의 가로수 적용 사례

FH-K 161108

STRUCTURAL SOIL WITH BIOCHAR

The City of Stockholm have set as a goal to create sustainable and durable plant beds from locally sourced materials. Structural soils with biochar binds carbon from the atmosphere and reduces leaching of nutrients.



자료 : Bjorn Embren(2017)

바이오차 프로젝트에서는 바이오차 도입시 고려해야할 사항들을 체크리스트로 작성하여 시행착오를 줄일 수 있도록 하고 있다. 체크리스트의 내용으로는 지역 내 시장형성 가능성, 바이오차 생산 가능시설여부, 프로젝트 운영에 필요한 리더십 등으로 바이오차 프로젝트를 시작하기 전에 고려해야 할 것들을 확인할 것을 강조한다. 또한 수요를 충족할 수 있는 시설 선택, 인허가, 조달 및 계약, 운영 인력, 안전, 포장 및 분배 방안 등 프로젝트 및 시설 운영 시 고려해야 할 것들과 홍보전략, 활용방법 등 대중을 사로잡기 위해 고려해야 할 것들에 대한 사항을 점검해야 한다고 제안하고 있다.

〈표 2-10〉 바이오차 프로젝트를 도입시 고려할 체크리스트

| | 구 분 | 스톡홀름 사례 |
|-----------------------------|--|---|
| 바이오차 프로젝트를 시작하기 전에 고려해야 할 것 | 1. 바이오차는 지역 내 시장이 형성될 수 있는가? | - 스톡홀름의 경우 모든 나무를 한 기관에서 관리 하고 있고, 도시 내 바이오차를 생산하기 전, 다른 유럽 지역에서 구매 해오고 있었음 |
| | 2. 기존의 폐기물 처리시설이 바이오차를 생산할 수 있는 시설인가? | - 기존의 시설에서 폐목재 수집이 별도로 이루어지고 있지 않을 경우 별도로 바이오차 생산을 위한 자재를 모으기 위한 시스템에 투자가 필요함 - 스톡홀름은 시에 의해 폐기물이 수집되고 시민들이 직접 가져다 놓는 형식으로 도시 전반에 걸친 폐기물 처리 시스템이 도입되어 있었음 |
| | 3. 바이오차 프로젝트를 지속적으로 운영할 리더십이 있는가? | - Mattias Gustafsson이 국제적인 바이오차 커뮤니티의 중심점을 형성하고 시의 부시장으로부터 지지를 얻어냄 |
| 바이오차 프로젝트 운영 시 고려해야 할 것 | 1. 수요를 충족할 수 있을 만한 바이오차 시설을 선택 할 것 | - 스톡홀름 내에서 수집되는 바이오매스의 종류와 범위가 다양하기 때문에 이를 모두 수용할 수 있는 시설을 선택함 |
| | 2. 전기, 물, 가스 등의 연결과 바이오매스의 저장시설, 지역주민과의 관계 등 바이오차 생산시설을 선택하는 것은 복잡할 수 있음 | - 기존 폐기물 시설을 선정하였으나, 전기, 물, 가스 공급시설의 별도 설치가 필요 하였고, 이를 위한 지역 전기 회사와의 협의가 필요함 |
| | 3. 시설 설치와 운영 시 인허가 사항 및 주변 지역의 제도를 확인 할 것 | - 스톡홀름의 시설은 환경 및 건축 허가를 동시에 신청하여야 했으나, 이전부터 관련 부서와의 관계유지를 통해 기간을 단축할 수 있었음 |
| | 4. 새로운 기술은 조달과 계약에 유연성을 필요로 함 | - 바이오차 생산 회사는 소규모 스타트업 또는 대학 부속기관인 경우로 기술의 효율성을 보장하기 어렵고, 다른 도시에 적용될 만한 선례인지 알 수 없음 |
| | 5. 바이오차 시설을 마련하는 것은 규모가 큰 건설은 아니지만 복잡한 단계를 수반하고 유연성을 필요로 하므로 팀 내에 이러한 경험이 있는 사람이 필요함 | - 스톡홀름에서 바이오차 시설 건설을 위한 외부 자문을 계약 하였으나, 프로젝트에 충분한 시간을 할애 하지 못하고, 팀 내에는 복잡한 공사의 경험자가 없어 공사기간이 지체됨 |
| 바이오차 시설 운영 시 고려해야 할 것 | 1. 혁신적 기술을 운용하는 책임자와 팀을 꾸리는 것은 시간을 필요로 함 | - 시설 관리를 위해 이와 관련한 경험이 있는 매니저를 고용한 뒤 이틀간의 교육을 실시함. 교육 후 기존의 시설 운영자들과 함께 이를 공유 할 수 있도록 지원함 |
| | 2. 매일 관례적으로 운용되는 규칙도 중요할 뿐만 아니라 때에 따라 팀에서 효율적으로 조절할 수 있어야함 | - 스톡홀름의 운영 규칙은 6.5일간의 시설 운용과 0.5일의 청소로 이루어져 있으며 이는 시설 운영 첫 몇 개월간 실험되고 조정되었음 |
| | 3. 직원의 안전이 최우선이며 이는 별도의 노력을 필요로 함 | - 스톡홀름은 보건과 안전 계획과 운영에 대한 문서화, 근로자 안전 교육과 지속교육, 정기 안전 회의, 빈번한 감사 및 훈련, 안전시설 유지관리 등을 기본으로 하고 있음 |

| 구 분 | | 스톡홀름 사례 |
|----------------------------------|--|--|
| 바이오차 시설 운영 시 고려해야 할 것 | 4. 바이오차에 대한 수요가 변경될 것을 대비하고 안전한 보관 장소 등을 마련해야 함 | - 봄과 가을에 수요가 가장 높기 때문에 이 시기에 생산을 증대 시킬 수 있는 방안을 마련하고 그 외에는 생산량을 감소시킴 |
| | 5. 소비자의 욕구를 만족시키기 위한 포장과 분배 방안이 필요함 | - 시는 대용량의 바이오차를 이용하고 이는 직접적으로 폐기물 관리 시설로부터 수집되며, 정원을 가꾸는 사람들은 작은 용량을 필요로 함. 동시에, 운영자들은 바이오차를 활용한 적이 없는 정원사들을 위한 직접적인 유통방안을 찾고자 함 |
| 대중을 사로잡기 위해 고려해야 할 것 | 1. 바이오차는 많은 사람을 위한 많은 이점이 있으므로 각각의 대중 집단의 관심사를 위한 홍보 전략이 필요함 | - 스톡홀름은 도시 전반에 걸쳐 도시정원활동이 잘 자리 잡고 있기 때문에 바이오차 프로젝트를 위해 선정되었음 |
| | 2. 열정적인 초기 사용자들이 바이오차에 대한 다른 소비자들의 관심을 끌어들이 | - 주말농장을 이용하는 열정적인 가드너들을 우선 대상으로 하여 바이오차를 활용하여 그 효과를 실험해 볼 수 있도록 함 |
| | 3. 바이오차 활용에 사람들을 끌어 들일 수 있는 다양한 방법을 활용함 | - 시의 대형 박물관과 협업하여 바이오차에 대해 소개할 수 있는 기회를 마련하고 정치인과 언론인, 강연 등을 통해 대중이 관심을 가질 수 있도록 함 |

자료 : Bringing biochar to your city-Lesson from the Stockholm Biochar Project, Bloomberg Philanthropies

〈그림 2-20〉 스톡홀름 바이오차 프로젝트



〈바이오차 토양 기반 조성〉



〈기존 가로수에 바이오차 토양 혼합〉

자료 : <https://www.biochar-journal.org/en/ct/77>

2) 미국 시카고

미국 시카고의 위커 파크 벽크타운 지역의 밀워키 애비뉴의 가로수를 대상으로 바이오차의 효과를 시험했다. 기존에 식재된 가로수에 대해 적용하기 위해 가로수 주변 토양에 구멍을 뚫어 바이오차를 첨가했다.

〈그림 2-21〉 가로수에 바이오차를 적용하는 모습



자료 : Scott Jamieson(2013)

소나무를 이용한 바이오차를 가로수에 적용했을 때 일반적인 질소/칼륨비료, 퇴비, 우드 칩을 적용한 가로수 묘목 보다 높은 성장률을 보였다. 대조군인 바이오솔리드를 적용한 나무에서 성장률이 높은 것은 많은 질소가 첨가되었기 때문인데, 바이오차의 경우는 질소의 함량이 많지 않음에도 높은 성장률을 보였다. 바이오차와 유기질 질소비료와 함께 적용하였을 경우 영양분 보유 능력이 향상되어 가로수의 높은 성장 효과를 볼 수 있을 것이다. 무기질 비료로 첨가되는 질소는 침출에 의한 손실이 발생할 수 있기 때문에 바이오차와 혼합하여 사용하면 사용되는 총량을 줄일 수 있을 것으로 조사되었다.

제3절 수원시 가로수 유지관리 현황

수원시는 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례」(시행 2017.11.17.)에서 도시녹화와 도시경관향상을 위하여 가로수의 조성 및 유지관리에 필요한 사항으로 바뀌심기와 메워심기, 가지치기, 병해충 방제, 가로수의 외과수술, 지형과 토양 보호, 관리시설물, 점검, 관리의 주민참여, 식재와 관리의 민간위탁, 원인자부담금, 관리의 협의, 가로수 관리대장 등의 항목을 규정하고 있다.

1. 가지치기

가지치기와 관련된 세부 규정은 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례 시행규칙」(시행 2015.02.27.)에서 다루고 있으며, 가지치기 기준, 대상, 시기 및 횟수, 방법 등의 내용을 담고 있다. 조례에서 규정하고 있는 가로수 가지치기의 기준은 다음과 같다.

1. 노선별, 구간별로 수관의 모양과 높이를 일정하게 유도하되 약전지 위주로 실시하여야 한다.
2. 가로수와 도로시설물과의 상충을 피하기 위하여 가로수 지하고가 점차 높아지도록 유도하여야 한다.
3. 수형조절을 위한 가지치기는 시행하지 않는 것을 원칙으로 한다. 다만, 수목의 지상부와 지하부의 균형 조절 등 불가피한 경우에는 전체 수형을 고려하여 시행하여야 한다.
4. 고압선, 교통표지판, 신호등, 건물 등에 닿는 가지는 닿는 부분만 자르고 수형을 다듬어 주어야 한다.

〈표 2-11〉 가지치기 기준 및 대상

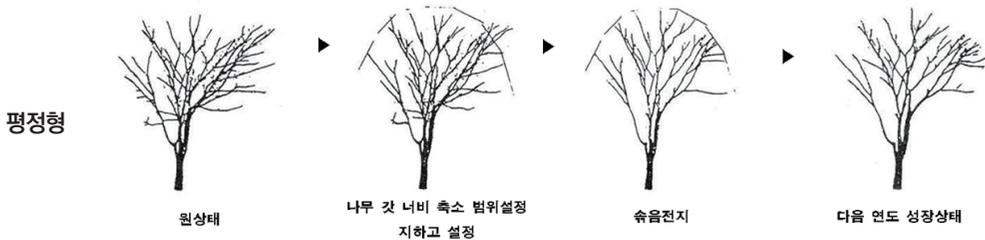
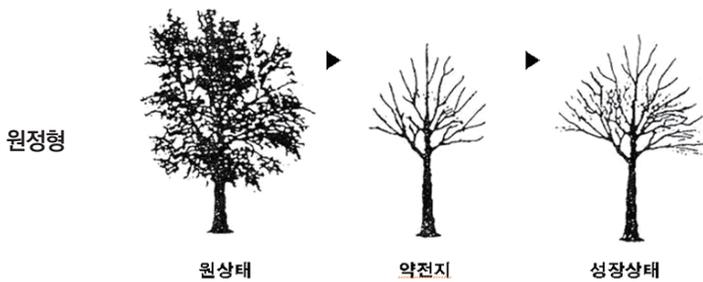
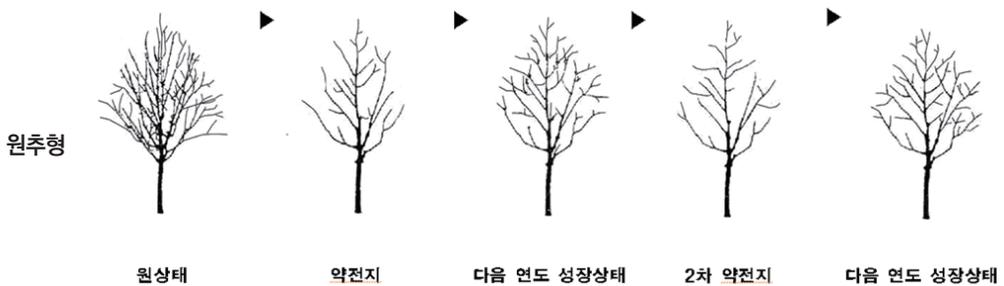
| | |
|-----------------------|--|
| <p>대상</p> | <p>가. 반드시 가지치기 해주어야 할 대상</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 병해충 피해 가지 2) 도장지 또는 쇠약지 3) 마른 가지(고사지) 4) 늘어지거나 가지끼리 교차되어 미관상 좋지 않은 가지 5) 부리부분에서 새로 나온 교목의 맹아지 <p>나. 지하부(부리)에 비하여 지상부(수관부)가 지나치게 무성하여 풍해, 설해 등의 피해가 우려될 때</p> <p>다. 가지의 과다로 수형의 조정이 필요할 때 (사철나무, 협죽도, 수국 등)</p> <p>라. 도로표지, 신호등과 같은 도로안전시설의 시계를 가릴 경우</p> <p>마. 가지가 전송통신시설물에 닿아 안전상에 문제가 있을 경우</p> <p>바. 개화결실을 촉진하고자 할 때 (매화, 등나무, 석류, 명자 등)</p> |
| <p>시기 및 횟수</p> | <p>가. 낙엽 후부터 이른 봄 새싹이 트기 전에 실시하는 것을 원칙으로 하되, 상록활엽수는 절단면 동해 방지를 위해 겨울철에는 실시하지 않음</p> <p>나. 강도의 가지치기는 수년(數年)에 나누어 실시</p> <p>다. 그 밖의 주의사항</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 전년에 나온 가지에 개화하는 수종 : 꽃눈(화아)이 진 후 2) 당년에 나온 가지에 개화하는 수종 : 봄 3) 단풍나무, 매화나무 등 이른 봄 발아 수종 : 이른 봄 가지치기 금지 4) 새싹이 나온 후 가지치기 : 사철나무, 버드나무처럼 맹아가 강한 수종 |
| <p>방법</p> | <p>가. 침엽수는 눈 바로 위쪽에서, 활엽수는 아래로 향한 눈 위에서 가지치기</p> <p>나. 피해지는 살아있는 끝부분에서 가지치기</p> <p>다. 살아있는 가지는 나무의 전체적인 모습 및 피해방지 면을 감안, 가지기부 또는 중간부위에서 가지치기</p> <p>라. 가지기부에서 자를 때에는 지용부가 손상되지 않도록 지맥선 밖에서 가지치기</p> <p>마. 가지 중간을 자를 때에는 발아 육성하고자 하는 눈 위에서 가지치기</p> <p>바. 톱을 사용하여 절단면이 거칠어지지 않도록 가지치기</p> <p>사. 굵은 가지를 자를 때에는 톱으로 먼저 가지 밑 부분을 일정 깊이로 자른 후 상단부를 잘라 절단면이 갈라지거나 찢어지는 피해를 입지 않도록 가지치기</p> <p>아. 가지치기 시 주의해야 할 수종</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 절단부가 쉽게 썩는 수종 : 오동나무, 벗나무 류 2) 절단부에서 수액 유출이 심한 수종 : 단풍나무, 자작나무 류 3) 맹아가 나오지 않는 수종이거나 약한 수종 : 소나무, 전나무 4) 전정에 의해 가지가 마르는 수종 : 단풍나무 5) 수형을 잃기가 쉽기 때문에 전정을 않는 수종 : 전나무, 가문비나무, 종비나무, 자작나무, 느티나무, 칠엽수, 후박나무 등 |
| <p>절단면의 처리</p> | <p>절단면이 넓어 부패할 우려가 있을 때에는 톱신페스트(지오판도포제) 등으로 도포하여 부패균의 침입을 방지</p> |

자료 : 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례 시행규칙」(시행 2015.02.27.), 별표3

가로수 가지치기는 수종별 고유 수형을 유지하도록 하고 있으며, 수종별 기본 수형을 다음과 같이 지정하고 있다.

- 원추형 가로수 : 은행나무, 메타세콰이어, 칠엽수 등
- 원정형 가로수 : 버즘나무, 가중나무 등
- 평정형 가로수 : 느티나무, 회화나무, 단풍나무 등

〈그림 2-22〉 수종 고유 수형별 가지치기 방법



자료 : 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례 시행규칙」(시행 2015.02.27.), 별표3

2. 병해충 방제 및 시비

수원시 조례에서는 병해충 방제 및 거름주기에 대한 가로수 관리 조례를 규정하고 있으나 시기 및 방법 등 세부내용은 규정하지 않고 있다.

병해충 발생 우려가 있을 때에는 약제 등을 살포하여 사전에 예방하고 병해충이 발생하였을 때는 즉시 방제작업을 실시하여 피해가 심한가지와 잎은 채취하여 소각하도록 하고 있다. 가로수 생장 촉진을 위한 거름주기는 식재후 3년까지는 매년 실시하고 그 이후에는 가로수 생육상태 및 토양여건에 따라 실시하고 있다. 또한 거름은 부엽토, 퇴비 등 유기질 비료 또는 복합비료를 사용하도록 조례로 제시하고 하고 있다.

〈표 2-12〉 병해충 방제 및 거름주기

-
- ① 조례 제13조에 따라 시장은 다음 각 호의 방법에 따라 병해충 방제를 실시한다.
 - 1. 병해충 발생의 우려가 있을 때에는 약제 등을 살포하여 피해를 사전에 예방한다.
 - 2. 병해충이 발생하였을 때에는 즉시 방제작업을 실시하여야 하며, 피해가 심한 가지와 잎은 채취하여 소각한다.
 - 3. 알·애벌레 또는 번데기는 약제를 살포하거나 채취하여 소각한다.
 - ② 시장은 가로수의 생장을 촉진하기 위하여 다음 각 호의 방법에 따라 거름주기를 실시한다.
 - 1. 거름주기는 가로수 식재 후 3년까지는 매년 실시하며, 그 이후는 가로수 생육상태, 토양여건 등을 감안하여 조정한다.
 - 2. 거름은 유기질비료(부엽토, 퇴비 등) 또는 복합비료를 사용한다.
-

자료 : 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례 시행규칙」(시행 2015.02.27.)

제4절 소결

국외의 가로수 식재 및 관리는 수목의 생물학적 연구뿐만 아니라 토양, 기후, 경관 등 식물 생육과 연관된 다양한 분야를 고려해 기준 및 체계를 확립하고 있다. 미국 뉴욕시는 가로수 최적관리기법(BMPS, Best Management Practices)를 도입해 가로수 통합관리를 실시하고, 민간단체와 협력하여 홍보 및 교육, 시민참여 등을 위한 노력을 기울이고 있다. 스페인의 경우 통합관리 시스템을 도입뿐만 아니라 가로수 관리 프로그램인 GAVI를 도입하여 가로수 데이터를 관리하고 있다. 나아가 병해충 통합관리의 일환으로 제초제 사용을 중단하여 친환경 도시로 전환하기 위한 노력을 기울이고 있다. 가로수 지침을 마련하여 가로수 육성 및 관리를 실현하고 있는 일본은 가로수 관리에 있어 목표수형 설정, 성목관리, 수종 선정 등 세부지침을 제공하거나 녹색바람 추진사업을 통해 가로수 조성사업을 진행하고 있다. 프랑스 파리의 경우 가로수에 전자칩을 부착하여 가로수 관리 시스템을 운영하고, 유목부터 집중적인 관리를 통해 식재 및 관리가 이루어지고 있다. 최근 이슈가 되고 있는 식물의 탄소저감 효과를 극대화시키기 위해 가로수 토양에 바이오차를 사용하고 있다. 바이오차는 이산화탄소를 저장하여 기후변화 완화 효과가 있으며, 바이오차를 혼합한 토양은 토양의 회복력을 증대시키고 스트레스를 감소시키는 효과가 있어 토양에 바이오차를 투입하는 사례가 늘고 있으며, 효과에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이처럼 여러 선진국에서는 가로수 관리를 위해 GIS 관리시스템, 전자칩 도입, 바이오차 프로젝트 등 선진 기술을 적극 도입할 수 있는 액션 플랜을 실시하고 있으며 나아가 워크플로우 작성, 지침을 활용한 교육, 인센티브 제공 등을 활용해 실질적인 정책 및 지속성을 유도하고 있다.

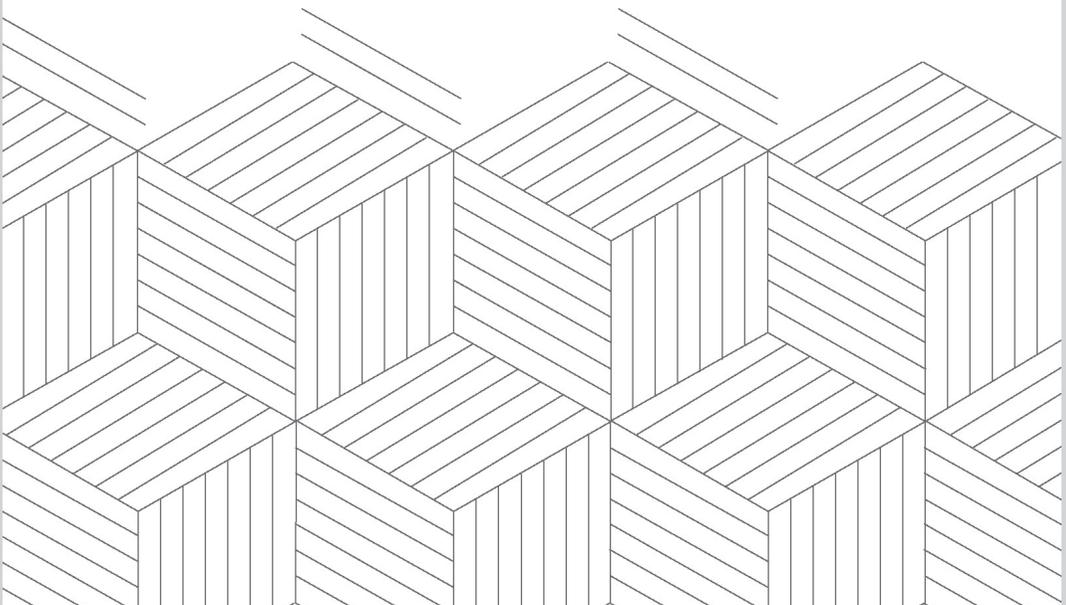
수원시는 현재 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례」(시행 2017.11.17.)에서 가로수 식재 및 유지관리에 대한 내용을 다루고 있지만 가지치기, 병해충 방제 등 일반적인 내용으로 구체적인 실행방안은 미흡한 실정이다. 수목의 생육을 고려한 관리보다는 시민의 이용 측면을 고려한 관리가 이루어져 강전정을 실시하는 한편 수종의 생육에 대한 온전한 이해가 부족한 상태에서 가지치기를 실시하여 병해충이 쉽게 생기거나 고사로까지 이어지는 문제가 발생하고 있다. 이를 사전에 방지하기 위해서는 가로수 생육에 대한 심도 있는 이해와 가로수 생육에 영향을 미치는 요인을 파악하여 통합적인 유지관리 체계를 마련할 필요가 있다. 또한 식재 후 단기적인 관리가 아닌 건강한 육성을 위해 지속적인 관리 방안의 제시가 필요하다.

〈표 2-13〉 국가별 가로수 관리 현황

| | 미국 | 스페인 | 프랑스 | 일본 |
|-----------|--|---|---|--|
| 제도 및 계획 | <ul style="list-style-type: none"> 가로수 녹화계획(PLAN NYC 2030) DIY 식재 가이드 | <ul style="list-style-type: none"> 마스터플랜 수립(Trees for Life 2017-2037) | <ul style="list-style-type: none"> 도시숲 계획(2만 그루 식재 목표) | <ul style="list-style-type: none"> 에도가와구 가로수 지침 「새로운 가로수 디자인」 녹색 오사카 추진계획 |
| 관리방안 | <ul style="list-style-type: none"> 미국국가표준협회 나무 위험관리 표준에 의한 위험관리 프로그램 운영 가로수 최적관리기법 도입 수목 유지관리 캘린더 | <ul style="list-style-type: none"> 병해충 관리를 위한 제초제 사용 중단 가로수 목록 및 NDVI를 활용한 활력도 관리 | <ul style="list-style-type: none"> 가로수 관리를 위한 전산시스템 도입 가로수 생육 주기에 따른 관리 가로수 식재 전 평균 8~10년 유목 재배 및 관리(원예 생산센터 운영) | <ul style="list-style-type: none"> 식재기준 마련(식수품, 식재간격, 포장재 등) 녹색바람 촉진구역 설정 녹색바람 촉진구역 중점녹화사업 실시 가로수 관리 위탁 실시 |
| 시스템 | <ul style="list-style-type: none"> 뉴욕시 가로수 통합 정보 가로수 지도 제공 | <ul style="list-style-type: none"> 가로수 통합 관리 프로그램 GAVI 가로수 지도 제공 | <ul style="list-style-type: none"> 가로수관리 시스템 운영(전자칩 RFID 부착) 가로수 지도 제공 | <ul style="list-style-type: none"> 워크플로우에 따른 종합관리 |
| 시민단체 및 교육 | <ul style="list-style-type: none"> 비영리단체 MillionTreesNYC 가로수관리 교육, 행사, 무료 묘목 제공, 자원봉사 등 | - | <ul style="list-style-type: none"> 학생들의 교육을 위한 학교 과수원 조성 시민들에게 수목 무료 제공 | <ul style="list-style-type: none"> 가로수 관리 수탁자를 위한 정례회, 스터디그룹 |

제3장 수원시 중·소로 가로수 건강성 평가

제1절 가로수 건강성 평가체계
제2절 가로수 건강성 평가
제3절 소결



제3장 수원시 중·소로 가로수 건강성 평가

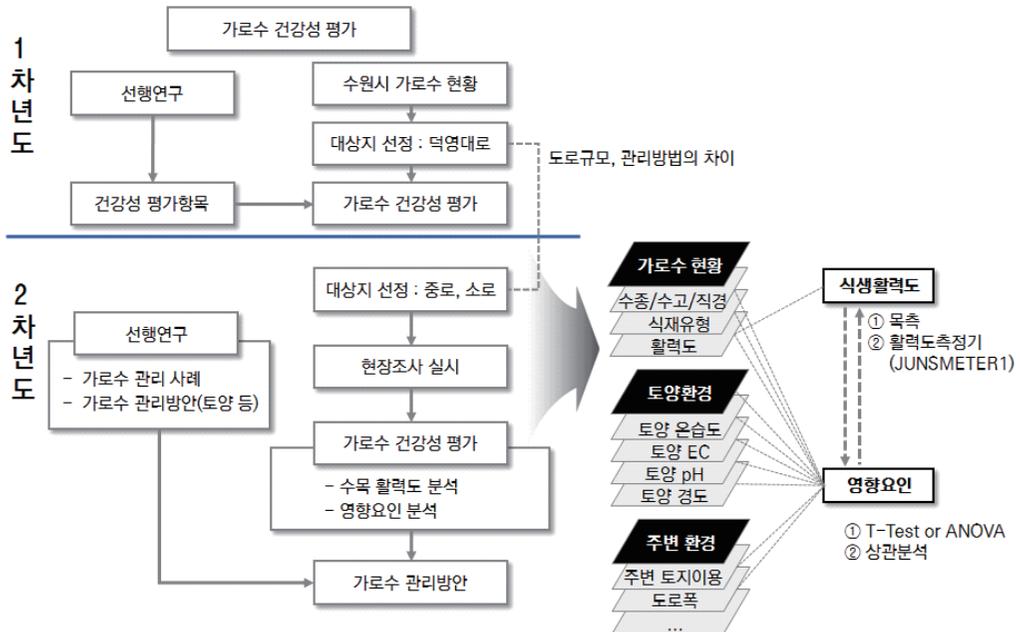
제1절 가로수 건강성 평가체계

1. 가로수 건강성 평가개요

수원시 권선구·장안구·팔달구·영통구를 모두 관통하는 권선대로를 대상으로 전반적인 가로수의 생육상태와 가로수의 활력도를 조사한 1차년도 가로수 건강성 평가 연구에 이어 2차년도에는 덕영대로와 연결된 중로 및 소로를 대상으로 가로수의 전반적인 건강성 평가를 실시하였다.

연구의 방법은 대로에서 실시했던 것과 마찬가지로 수종·수고·흉고직경·식재유형·수목 활력도 등의 가로수 생육현황, 토양 온습도·EC·pH·경도 등의 토양환경, 주변 토지이용·도로폭·인도폭 등의 물리적 환경을 조사 및 분석하였다.

〈그림 3-1〉 가로수 건강성 평가체계



2. 대상지 선정 및 현장조사 방법

1) 대상지 선정

(1) 대상지 개요

2차년도 가로수 건강성 평가의 대상지는 1차년도 연구대상지였던 덕영대로와 교차하는 중로 혹은 소로(도로폭 15-25m)를 대상으로 하였다. 연구 후보지는 총 28구간으로 장안구 6개, 팔달구 6개, 권선구 9개, 영통구 7개 구간에 걸쳐 있다.

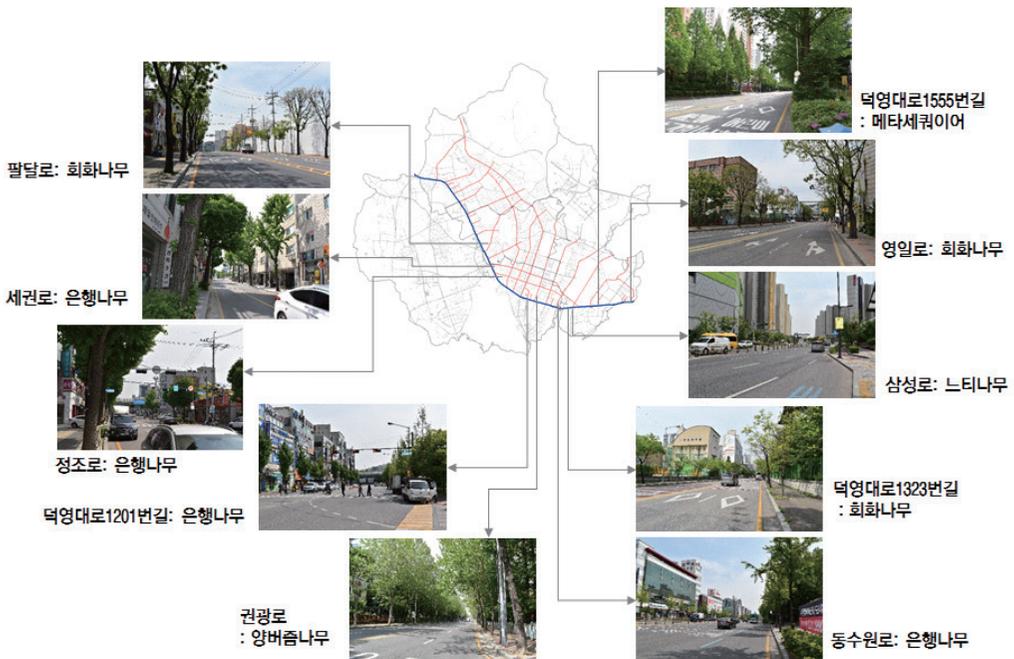
〈표 3-1〉 연구 후보지 사전조사 대상

| 행정구 | 도로명 | 차선수 | 수목명 | 따죽지 유무 | 보호판 유무 | 토지이용 |
|-----|------------|--------|--------------|--------|--------|-------|
| 장안구 | 서부로 | 8 | 느티나무, 메타세쿼이아 | 유,무 | 유,무 | 상업 |
| | 정자로 | 4 | 느티나무 | 무 | 유 | 주거,상업 |
| | 덕영대로535번길 | 4 | 회화나무 | 무 | 유 | 주거,녹지 |
| | 만석로 | 5 | 회화나무 | 무 | 유 | 주거 |
| | 정자천로 | 8 | 느티나무 | 유 | 무 | 주거,녹지 |
| | 덕영대로639번길 | 2 | 느티나무 | 유 | 무 | 주거,녹지 |
| 팔달구 | 수성로 | 6 | 은행나무 | 유 | 무 | 주거 |
| | 덕영대로697번길 | 2 | 메타세쿼이아 | 무 | 유 | 주거,상업 |
| | 덕영대로735번길 | 2 | 메타세쿼이아 | 무 | 유 | 주거,기타 |
| | 동말로 | 2 | 회화나무 | 무 | 유 | 상업 |
| | 팔달로 | 5 | 회화나무 | 무 | 유 | 상업,기타 |
| | 매산로 | 5 | 은행나무 | 무 | 유 | 상업 |
| 권선구 | 권선로 | 8 | 느티나무 | 유,무 | 유,무 | 주거 |
| | 세권로 | 2 | 은행나무 | 무 | 유 | 주거,상업 |
| | 정조로 | 4 | 은행나무 | 무 | 유 | 상업 |
| | 덕영대로1201번길 | 4~6 | 은행나무 | 무 | 유 | 주거,상업 |
| | 덕영대로1217번길 | 2 | 은행나무 | 무 | 유 | 주거,녹지 |
| | 권광로 | 4 | 버즘나무 | 무 | 유 | 주거 |
| | 동수원로 | 8 | 은행나무 | 유 | 무 | 주거 |
| | 덕영대로1323번길 | 4 | 회화나무 | 무 | 유 | 주거 |
| 영통구 | 동탄원천로 | 6 | 은행나무 | 유,무 | 무 | 주거,녹지 |
| | 권선로 908번길 | 3 | 느티나무 | 무 | 유 | 주거 |
| | 삼성로 | 7 | 느티나무 | 유 | 무 | 주거,상업 |
| | 권선로 | 8 | 느티나무 | 유,무 | 유,무 | 상업 |
| | 영통로 | 5 | 메타세쿼이아 | 무 | 유 | 주거,기타 |
| | 덕영대로1555번길 | 5 | 메타세쿼이아 | 무 | 유 | 주거 |
| | 영일로 | 5 | 회화나무 | 무 | 유 | 상업 |
| 청명로 | 6 | 메타세쿼이아 | 무 | 유 | 상업 | |

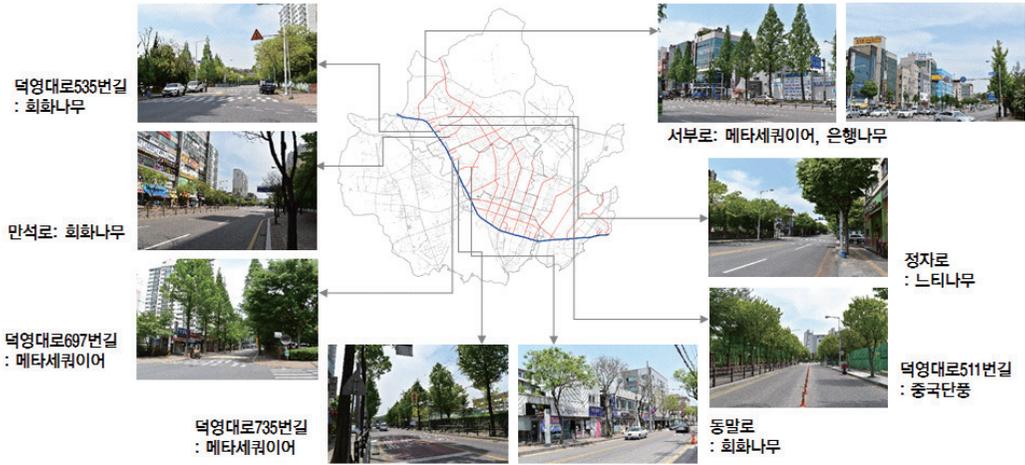
적합한 대상지를 선정하기 위한 연구후보지는 만석로, 정자로, 경수대로, 동탄원천로, 서부로, 영일로, 청명로 등이 포함되었다. 대상지에 식재되어있는 가로수 수종은 느티나무, 메타세쿼이아, 회화나무, 은행나무, 버즘나무로 총 5종의 가로수가 식재되어 있었으며, 가장 많은 지역에 식재되어 있는 수종은 느티나무·은행나무, 메타세쿼이아·회화나무, 버즘나무 순으로 조사되었다.

중·소로 대상지 후보의 차선 수는 2차선 및 4-6차선에 분포되어 있었으며, 띠녹지가 조성되어있는 곳은 9 지역으로 전체 대상지의 약 32%에 해당되었다. 가로수 보호판이 설치되어 있는 곳은 22곳으로 약 21%를 제외한 대부분의 대상지에 보호판이 설치되어 있었다. 가로수 주변 토지이용을 살펴본 결과 대부분 주거 또는 상업지역으로 주거와 상업이 혼용되고 있거나 녹지 또는 학교에 인접하고 있는 지역도 있었다.

〈그림 3-2〉 대상지 사전조사(1)



〈그림 3-3〉 대상지 사전조사(2)



(2) 대상지 선정

최종 대상지 선정은 덕영대로와 연결된 지방로 중 도로폭 15-25m인 중로 및 소로로 제한하였다. 또한 수종이 다양한 구역을 제외하고, 회화나무와 메타세쿼이아 2종으로 제한하였다. 가로수가 식재된 구역이나 토지이용이 주거 또는 상업지역으로 토지이용에 제한을 두어 유지관리나 토지이용 등 대상지의 환경요인을 비교할 수 있도록 기준을 설정하였다. 최종 선정된 대상지는 덕영대로535번길, 덕영대로1323번길, 동말로, 덕영대로697번길, 영일로, 덕영대로1555번길을 선정하였으며, 총 6구역의 좌·우 도로를 대상으로 총 126그루를 조사를 실시하였다.

〈그림 3-4〉 조사 대상지 위치



〈그림 3-5〉 덕영대로697번길 전경



〈덕영대로697번길 우측(상업지) - C구간〉



〈덕영대로697번길 좌측(주거지) - D구간〉

〈그림 3-6〉 동말로, 덕영대로1323번길 전경



〈덕영대로1323번길 좌,우측(주거지) - EF구간〉



〈동말로 좌,우측(상업지) - GH구간〉

〈그림 3-7〉 덕영대로1555번길, 영일로 전경



〈덕영대로1555번길 좌,우측(주거지) - IJ구간〉



〈영일로 좌,우측(상업지) - KL구간〉

2) 현장조사 및 건강성 평가 방법

(1) 조사일시

중·소로 가로수의 건강성 평가를 위한 현장조사는 조사 대상지 선정을 위해 2019년 5월 8일~9일, 2일간 사전조사를 실시하였다. 사전조사는 덕영대로와 연결된 중·소로의 가로수를 대상으로 육안으로 가로수의 생육 상태를 파악하였다. 사전조사를 거쳐 최종적으로 선정된 6구역의 중·소로 좌·우 가로수를 대상으로 생육환경과 토양 및 수목활력도를 조사하였으며, 조사는 2019년 6월 18일·21일, 7월 1일로 3일에 걸쳐 실시하였다.

〈표 3-2〉 현장조사 시점 날씨

| 구분 | 6월 18일 | 6월 21일 | 7월 1일 |
|----------|--------|--------|-------|
| 평균기온(℃) | 21.1 | 22.5 | 23.2 |
| 최고기온(℃) | 25.2 | 27.2 | 29.0 |
| 최저기온(℃) | 17.9 | 18.7 | 19.6 |
| 일강수량(mm) | 2.2 | - | - |

자료 : 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)

(2) 건강성 평가 절차

가로수 건강성 평가는 가로수의 생육 환경, 토양 환경, 물리적 환경 등 영향요인에 따른 수목활력도 변화를 분석하였다. 분석의 툴은 PASW Statistics 18을 활용하였으며 T-test, ANOVA, 상관분석을 실시하였다. 수목 활력도의 경우 구간별 편차를 보기 위해 활력도 측정기로 측정한 조사 대상지 전체의 평균값을 5등급으로 나누어 평가하였다.

〈그림 3-8〉 가로수 건강성 평가 절차

| 자료수집 | 베이스맵 작성 | 현장조사 | 평가 및 분석 |
|---|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ 식재 현황 <ul style="list-style-type: none"> - 수원시 가로수 연차별 실시계획(2015) - 가로수 기본계획(2018) ▪ 대상지 현황 <ul style="list-style-type: none"> - 토지이용 현황 (용도, 항공지도) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 대상지 가로수 추출 <ul style="list-style-type: none"> - 수원시 가로수 기본계획 도면 → shp파일 생성 - 대상지 식재 가로수 추출 → 대상지 가로수 식재 현황 도면 작성 - 가로수관련 시설물 현황 파악 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 가로수 현황 <ul style="list-style-type: none"> - 수종, 수고, 흉고직경 - 식재 유형 - 수목 활력도 ▪ 토양 현황 <ul style="list-style-type: none"> - 토양 온습도 - 토양 EC - 토양 pH - 토양 경도 ▪ 주변 환경 <ul style="list-style-type: none"> - 주변 토지이용 - 도로폭 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ 가로수 건강성 평가 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 가로수 건강 영향요인 (생육 및 주변 환경)에 따른 수목 활력도 분석 - T-test /ANOVA - 상관분석 |

(3) 조사항목 및 측정방법

현장조사 항목으로는 가로수가 자라고 있는 기본적인 생육환경을 조사하기 위해 수종명, 수고, 흉고직경, 배식 방법(1열/2열), 띠녹지 조성 유무, 수목활력도를 측정하였다. 수고는 목측을 통해 판단하였으며, 흉고직경은 직경테이프를 지상으로부터 1.2m 높이에서 측정하였다. 띠녹지 조성 유무, 1열 또는 2열 등 배식방법을 확인하였으며, 수목의 건강성을 판단하기 위해 목측과 수목활력 측정기를 통해 수목의 활력도를 측정하였다. 수목의 전반적인 활력도를 측정하기 위한 목측은 국립산림과학원(2016)에서 제시하고 있는 수관 활력도 등급 구분 판정기준을 활용하여 건강, 중간건강, 약간쇠퇴, 중간쇠퇴, 심한쇠퇴의 1-5등급으로 구분하여 평가하였다. 가로수 형성층의 전기저항을 측정하는 가로수 건강성 측정기기(Junsmeter1)를 활용하여 가로수의 활력도를 측정하였으며 흉고직경(지상 1.2m) 부근에서 수목 한그루 당 동,서,남,북 각 4회 조사를 실시하였다. 토양산도(pH), 전기전도도(EC), 온·습도, 토양경도 등 가로수의 생육환경에 영향을 미치는 토양환경 요인을 분석하기 위해 토양조사를 실시하였으며 각각의 조사에는 Soil meter, pH meter, 토양경도계를 사용하였다.

〈표 3-3〉 조사항목 및 측정방법

| 구분 | 항목 | 방법 | 기타 |
|-------|-----------|--|------------|
| 생육환경 | 수종명 | 베이스맵을 바탕으로 확인 및 기록 | - |
| | 수고 | 목측 | - |
| | 흉고직경 | 지상으로부터 1.2m 높이의 지점 측정 | 직경테이프 |
| | 배식 방법 | 1열,2열이상/띠녹지 유무 | - |
| | 수목활력도 | 목측(1-5등급) 수목 형성층 전기저항 측정 수간 및 가지 각 5회 측정 | Junsmeter1 |
| 토양환경 | pH | 부리에서 떨어진 지점 2회 측정 | pH meter |
| | EC | 부리에서 떨어진 지점 2회 측정 | Soil meter |
| | 온습도 | 부리에서 떨어진 지점 2회 측정 | Soil meter |
| | 토양경도 | 부리에서 떨어진 지점 2회 측정 | 토양경도계 |
| 물리적환경 | 토지이용 | 쓰레기 적치 등 토지이용 상의 특이점 기록 | - |
| | 도로로부터의 거리 | 가로수와 도로간의 간격 | 줄자 |
| | 인도폭 | 인도폭 | 줄자 |

〈그림 3-9〉 가로수 활력도 측정



〈그림 3-10〉 토양환경 조사



〈토양 pH 측정〉



〈토양경도 측정〉



〈토양 온습도, EC 측정〉



제2절 가로수 건강성 평가

1. 대상지 가로수 식재 현황

조사 대상지는 6개 도로 좌·우 총 12 구간, 126그루로 현황은 다음과 같다.

〈표 3-4〉 조사 대상지 현황

| 도로명 | 구간구분 | | 도로폭 (m) | 도로연장 길이(m) | 가로수 수종 | 보호판 | 토지이용 | 따복지 유무 |
|------------|--------|--|------------|---------------|--------|-----|------|-----------|
| | 좌 우 | A B C D E F G H I J K L | | | | | | |
| 덕영대로535번길 | 좌 우 | A | 20 | 456 | 회화나무 | 유 | 주거 | 무 |
| | | B | | | | 유/무 | 상업 | |
| 덕영대로697번길 | 좌 우 | C | 15 | 447 | 메타세쿼이아 | 유/무 | 상업 | 무 |
| | | D | | | | 유 | 주거 | |
| 동말로 | 좌 우 | E | 15 | 1,142 | 회화나무 | 유/무 | 상업 | 무 |
| | | F | | | | 유/무 | 상업 | |
| 덕영대로1323번길 | 좌 우 | G | 20 | 337 | 회화나무 | 무 | 주거 | 무 |
| | | H | | | | 무 | 주거 | |
| 덕영대로1555번길 | 좌 우 | I | 25 | 590 | 메타세쿼이아 | 무 | 주거 | 유 |
| | | J | | | | 무 | 주거 | |
| 영일로 | 좌 우 | K | 20 | 316 | 회화나무 | 무 | 상업 | 무 |
| | | L | | | | 무 | 상업 | |

1) 덕영대로535번길

〈그림 3-11〉 덕영대로535번길 좌측(A) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|--|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 따복지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로535번길 - 좌측(A) | 회화나무 | 1열 | 무 | 유 | 주거 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 아파트 단지 앞 가로수로 회화나무가 대체로 건강한 편임 · 가로수 하부에 잡초가 무성하고 보호판 유실 등 관리가 필요해 보임 | | | | |

〈그림 3-12〉 덕영대로535번길 우측(B) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|---|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로535번길 - 우측(B) | 회화나무 | 1열 | 무 | 유/무 | 상업 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 주변 상가에서 버리는 쓰레기로 가로수 하부가 지저분한 상태임 · 회화나무 녹병으로 고사 직전 수목이 있으며, 전반적인 건강 상태가 좋지 못함 | | | | |

2) 덕영대로697번길

〈그림 3-13〉 덕영대로697번길 좌측(C) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|--|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로697번길 - 좌측(C) | 메타세쿼이아 | 1열 | 무 | 유/무 | 상업 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 좁은 규모의 보도 및 인도에 크게 자라는 메타세쿼이아가 식재되었음 · 강전정으로 인해 외관 및 건강성이 좋지 못함 | | | | |

〈그림 3-14〉 덕영대로697번길 우측(D) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|---|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로697번길 - 우측(D) | 메타세쿼이아 | 1열 | 무 | 유 | 주거 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전반적으로 건강하나 보도 및 인도폭에 비해 너무 큰 규모의 수목이 식재 · 식수폭이 인도폭의 절반 이상을 차지해 통행에 불편이 있어 보임 | | | | |

3) 동말로

〈그림 3-15〉 동말로 좌측(E) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | 하 부 | | |
|---|---|--|--------|--|
|  | |  | | |
| | 구간 | 수종 | 배식방법 | |
| | 동말로-좌측(E) | 회화나무 | 1열 | |
| | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 | |
| | 무 | 유/무 | 상업 | |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 건강성이 떨어져 보이며 녹병에 감염된 수목이 많아 보임 · 수형이 곧지 못해 경관성이 떨어지며 수목 보호판이 없어 조치가 필요함 | | | |

〈그림 3-16〉 동말로 우측(F) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | 하 부 | | |
|---|---|--|-------|--------|
|  | |  | | |
| | | 구간 | 수종 | 배식방법 |
| | | 동말로 - 우측(F) | 회화나무 | 1열 |
| | | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| | | 무 | 유/무 | 상업 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 수목의 건강이 좋지 못하며 전선으로 인한 생육장애가 있어 보임 · 주변 상업지역으로부터 쓰레기, 적재물 등 관리가 필요함 | | | |

4) 덕영대로1323번길

〈그림 3-17〉 덕영대로1323번길 좌측(G) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | 하 부 | | | |
|---|--|--|-------|-------|--------|
|  | |  | | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로1323번길 - 좌측(G) | 회화나무 | 1열 | 무 | 무 | 주거 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전체적으로 녹병에 감염되어 보이며 고사하여 새로 교체한 수목도 있음 · 수목 보호를 위한 보호판 설치가 필요함 | | | | |

〈그림 3-18〉 덕영대로1323번길 우측(H) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|---|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로1323번길 - 우측(H) | 회화나무 | 1열 | 무 | 무 | 주거 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 수목이 건강하지 못하며 녹병에 감염된 수목 관리가 필요해 보임 · 기울기가 심한 수목도 있어 가로수로 적합해 보이지 않음 | | | | |

5) 덕영대로1555번길

〈그림 3-19〉 덕영대로1555번길 좌측(L) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|---|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로1555번길 - 좌측(L) | 메타세쿼이아 | 1열 | 유 | 무 | 주거 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전체적으로 건강한 수형 및 활력도를 보임 · 가로수 보호판 설치가 필요함 | | | | |

〈그림 3-20〉 덕영대로1555번길 우측(J) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|--|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 덕영대로1555번길 - 우측(J) | 메타세쿼이아 | 1열 | 유 | 무 | 주거 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 가로수 건강성이 우수함 · 쓰레기 적재 등 관리가 필요 | | | | |

6) 영일로

〈그림 3-21〉 영일로 좌측(K) 구간 전경 및 현황

| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|---|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 영일로 - 좌측(K) | 회화나무 | 1열 | 무 | 무 | 상업 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 전반적으로 중간 정도의 건강성을 보임 · 보호판 설치, 뿌리돌출로 인한 보도블럭 들림 현상 등 관리 필요 | | | | |

〈그림 3-22〉 영일로 우측(L) 구간 전경 및 현황

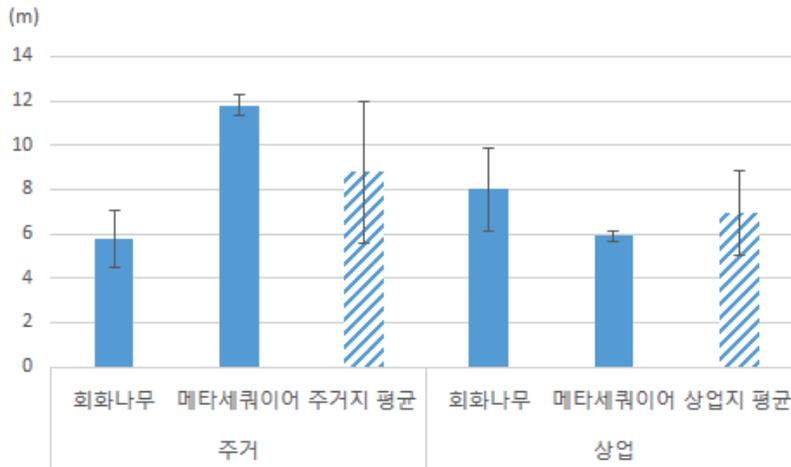
| 전 경 | | | 하 부 | | |
|---|--|------|--|-------|--------|
|  | | |  | | |
| 구간 | 수종 | 배식방법 | 띠녹지유무 | 보호판유무 | 토지이용현황 |
| 영일로 - 우측(L) | 회화나무 | 1열 | 무 | 무 | 상업 |
| 관리 현황 | <ul style="list-style-type: none"> · 중~하 정도의 건강성을 보이며, 녹병에 감염된 수목도 있음 · 인근 음식점으로부터 배출되는 오염수, 쓰레기 등의 관리가 필요해 보임 | | | | |

2. 가로수 생육환경 분석

1) 수종 및 수고

평가 대상지의 수종은 각 수종별 특성으로 인한 영향을 최소화하기 위해 회화나무, 메타세쿼이아 2종으로 수종을 제한하였다. 회화나무는 주거지와 상업지 각 30주, 56주를 조사하였고, 메타세쿼이아는 주거지와 상업지 각 30주, 10주를 분석하였다. 총 126주의 가로수의 평균 수고는 8.2m로 주거지의 평균은 8.8m, 상업지의 평균은 7.6m로 주거지가 상업지보다 평균수고가 높은 것으로 조사되었다. 토지이용에 따른 수종별 수고 차이를 살펴보면 회화나무의 경우 주거지에서의 수고 평균은 5.8m, 상업지 수고 평균은 8m로 상업지에서의 수고가 높은 것으로 나타났으나, 메타세쿼이아는 주거지가 11.8m, 상업지가 5.9m 주거지에서의 평균 수고가 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 수고가 높게 자라는 메타세쿼이아의 경우 전깃줄, 간판 가림 등의 원인으로 두절 등의 강전정이 발생하기 때문이다.

〈그림 3-23〉 토지이용 및 수종별 수고 현황



토지이용에 따른 평균 수고의 차이가 있는지를 알아보기 위해 T-test를 실시한 결과 주거지와 상업지의 수고 차이는 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 그러나 토지이용에 따른 가로수 평균 수고의 차이는 고사로 인한 수목갱신이나 과도한 강전정으로 인한 영향이 있어 유지관리 등 물리적 환경측면과 연계하여 검토되어야 한다.

〈표 3-5〉 토지이용에 따른 수고 차이

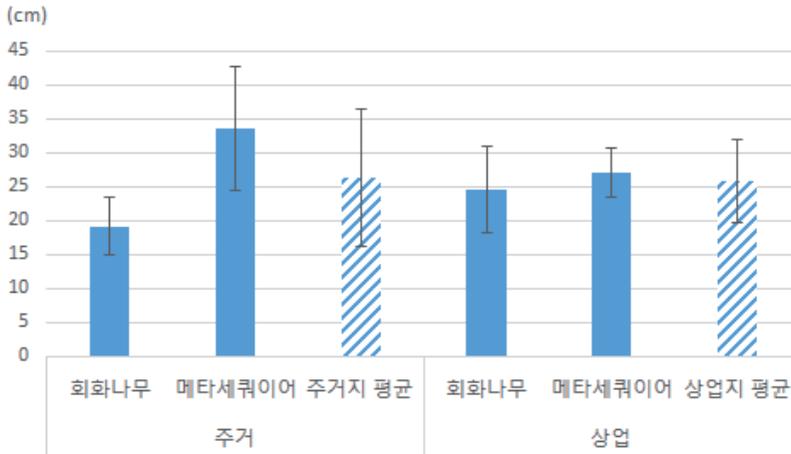
| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|----------|------|------|-------|-------|
| 주거(n=60) | 상업(n=66) | 주거 | 상업 | | |
| 8.82 | 7.64 | 3.19 | 1.87 | 2.502 | .014* |

* $p < 0.05$

2) 흉고직경

가로수의 흉고직경은 전체 평균 25.5cm로 측정되었으며, 주거지 평균 26.3cm, 상업지 평균 24.9cm로 주거지 가로수의 평균 흉고직경이 더 높은 것으로 조사되었다. 토지이용에 따른 수종별 평균 흉고직경을 살펴보면 회화나무의 경우 주거지와 상업지 각각 19.1cm, 24.5cm로 상업지에서의 평균 흉고직경이 높은 것으로 조사되었으며, 메타세쿼이아의 경우 주거지와 상업지 각각 33.5cm, 24.9cm로 주거지의 평균 흉고직경이 더 높은 것으로 나타났다. 토지이용에 따른 평균 흉고직경의 T-test 결과 유의하지 않은 것으로 분석되었다($p = 0.348$).

〈그림 3-24〉 토지이용 및 수종별 흉고직경 현황



3) 가로수 활력도 측정

(1) 목측

가로수의 목측 평가기준은 국립산림과학원(2016)에서 제시한 수목 활력도 등급 구분 평가기준을 활용하였다. 고사가 진행된 수목인 심한쇠퇴부터 잎의 변색, 주가지 또는 잔가지의 죽은 비율 등을 평가하여 중간쇠퇴~건강을 총 5등급으로 구분하였으며, 심한쇠퇴 1등급부터 건강을 5등급으로 평가하였다.

〈표 3-6〉 수관 활력도 등급 구분

| 코드 | 구분 | 판정기준 |
|----|------|--|
| 5 | 건강 | · 나무가 건강한 상태로서 죽은 주가지가 없음 · 수관이 임분 상태에서 정상이며, 주가지 또는 주가지 가장자리의 잔가지와 잎의 죽은 비율이 10% 이하 또는 잎 변색율이 10% 이하 |
| 4 | 중간건강 | · 주가지 치사율, 주가지 가장자리의 잔가지 치사율 또는 잎 변색율이 수관의 11-25% · 죽은 가지로 인하여 잎이 없는 주가지 또는 수관 부분이 25% 이하 |
| 3 | 약간쇠퇴 | · 주가지 치사율, 주가지 가장자리의 잔가지 치사율 또는 잎 변색율이 수관의 26-50% · 죽은 가지로 인하여 잎이 없는 주가지 또는 수관 부분이 50% 정도 |
| 2 | 중간쇠퇴 | · 주가지 치사율, 주가지 가장자리의 잔가지 치사율 또는 잎 변색율이 수관의 50% 이상이지만, 잎으로 나무가 살아있음을 판단 가능할 경우 · 죽은 가지로 인하여 잎이 없는 주가지 또는 수관 부분이 50% 이상 |
| 1 | 심한쇠퇴 | · 고사가 진행 중인 경우 |

자료 : 김선희 외(2016); 김은영(2018), 작성자 편집

〈그림 3-25〉 목측 등급별 사례



〈건강 (5)〉



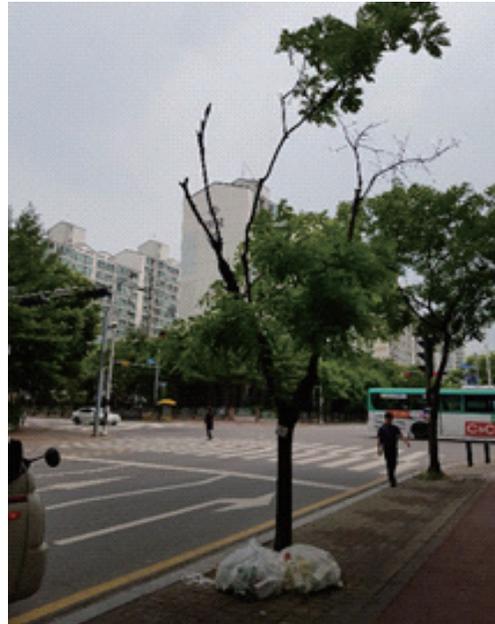
〈중간건강 (4)〉



〈약간쇠퇴 (3)〉



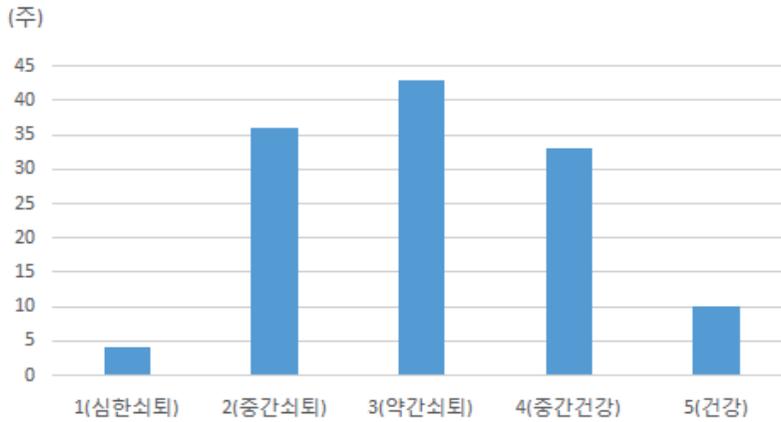
〈중간쇠퇴 (2)〉



〈심한쇠퇴 (1)〉

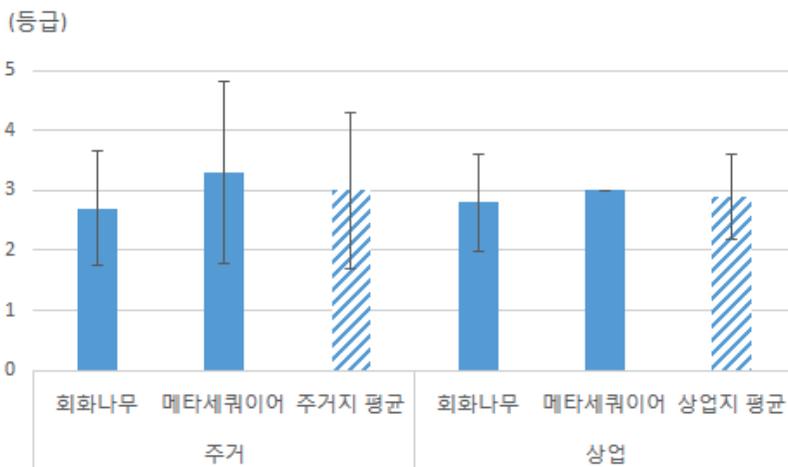
전체 가로수 목측값의 범위는 1-5등급으로 주로 2-4등급인 중간쇠퇴-중간건강 등급에 분포되어 있었다. 목측값 평균은 2.9로 전체 가로수 중 10주(8%)가 '건강' 상태인 것으로 조사되었으며, 29%를 차지하는 37주의 가로수가 중간건강 상태인 것으로 분석되었다. 또한 38주(30%), 35주(28%)의 가로수가 각각 약간쇠퇴, 중간쇠퇴 정도의 등급인 것으로 측정되었으며, 나머지 6주(5%)의 가로수가 심한쇠퇴로 고사가 진행 중인 것으로 나타나 즉각적인 관리가 필요할 것으로 보인다.

〈그림 3-26〉 전체 조사 대상지 목측 결과



토지이용별 목측등급은 주거지와 상업지가 비슷한 수준의 활력도를 보였다. 주거지 목측 등급 평균 3, 상업지의 목측등급은 2.9였으며, 주거지와 상업지의 목측등급 표준편차는 각각 1, 0.8로 조사되었다. 토지이용에 따른 수종별 목측등급을 살펴보면 회화나무와 메타세쿼이어가 각각 주거지 2.7, 3.3, 상업지 2.9, 3 등급으로 분석되어 메타세쿼이어는 주거지에서 더 높은 등급으로 활력도가 높은 것으로 분석되었다. 통계적 유의성을 검토하기 위해 독립표본 T검정을 실시한 결과 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다($p=0.416$).

〈그림 3-27〉 토지이용 및 수종별 목측등급



(2) 활력도 측정기

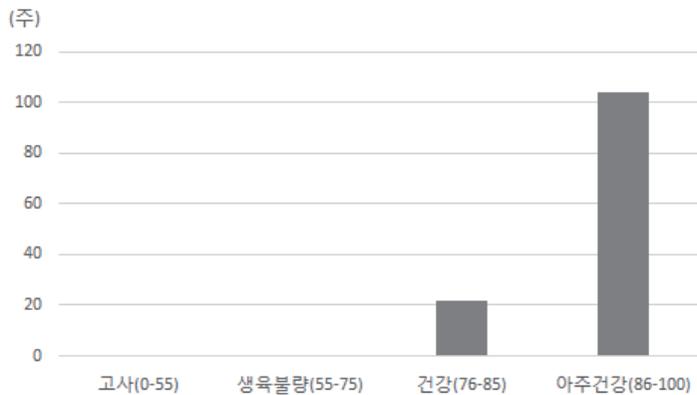
전기저항을 이용한 가로수 활력도 측정기(Junsmeter)를 활용하여 수목 내부의 건강성을 측정하였다. Junsmeter의 제조사인 ㈜푸름바이오에서 제시하는 수목활력도 측정범위는 0-100으로 55미만은 '고사', 55-75는 '생육불량', 76-85는 '건강', 86이상은 '아주건강'한 상태로 평가한다. 전체 126주의 수목활력도 평균값은 87.4로 이는 제조사의 판정기준에 따르면 아주 건강한 정도의 상태이며, 활력도 측정값의 분포는 80.1-91.4로 조사한 가로수가 건강-아주 건강상태로 나타났다.

〈표 3-7〉 수목 활력도 측정 범위

| 측정 값 | 나무 활력도 | 측정 값 | 나무 활력도 |
|------|--------|-------|--------|
| 100 | 아주건강 | 75 | 생육불량 |
| 86 | | 55 | |
| 85 | 건강 | 55 미만 | 고사 |
| 76 | | | |

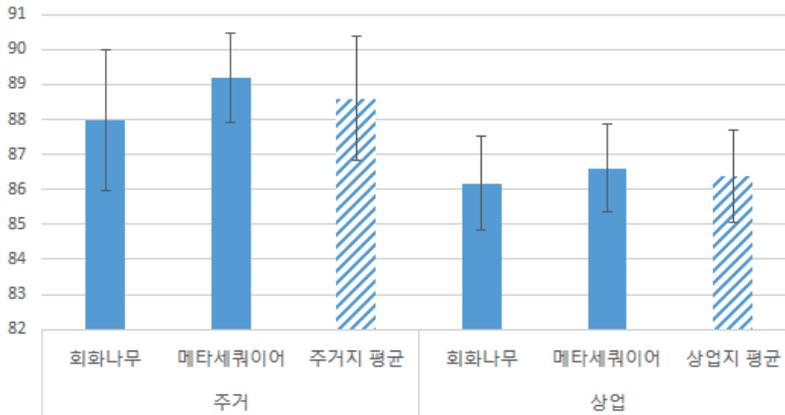
자료 : (주)푸름바이오 홈페이지(<http://www.purumbio.com/>)

〈그림 3-28〉 조사 대상지 활력도 측정 결과(Junsmeter 기준)



수종별 가로수의 평균 활력도는 회화나무 86.8, 메타세쿼이아 88.5로 측정되었다. 회화나무의 활력도 측정값의 범위는 80.1-91.1이며 표준편차 1.8로 분석되었으며, 메타세쿼이아 활력도 측정값의 범위는 84.5-91.4, 표준편차는 1.7로 조사되었다.

〈그림 3-29〉 토지이용 및 수목 활력도



토지이용별로 살펴보면 주거지의 평균 수목활력도는 88.6, 상업지는 86.4로 주거지가 상업지보다 높은 수치를 보였다. 토지이용별 수목활력도의 통계적 유의성을 검토하기 위해 T검정을 실시한 결과 유의미한 차이를 보여 주거지보다 상업지에 가로수의 활력도를 떨어뜨리는 요인이 있을 것으로 판단된다($p < 0.001$).

〈표 3-8〉 토지이용에 따른 평균 수목활력도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|----------|------|------|-------|-------|
| 주거(n=60) | 상업(n=66) | 주거 | 상업 | | |
| 88.59 | 86.23 | 1.77 | 1.33 | -3.59 | .000* |

* $p < 0.001$

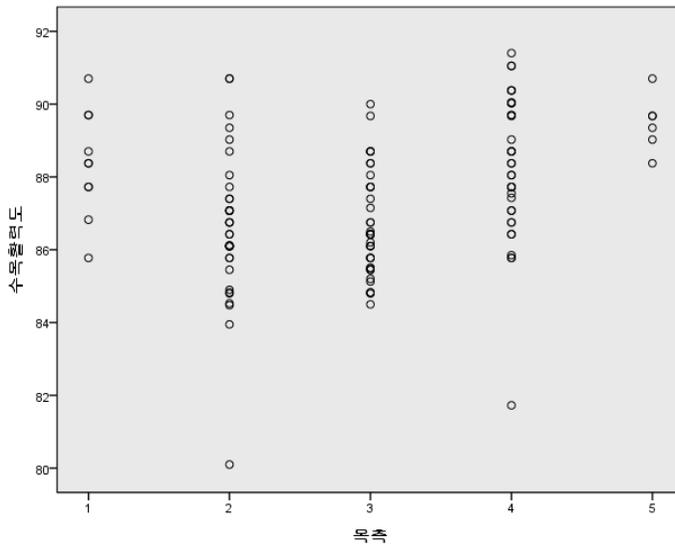
가로수 활력도의 구간별 편차 및 분포를 보기 위해 조사 대상지의 평균 수목 활력도를 기준으로 구간을 5등급으로 나누어 평가하였다. 전체 가로수의 평균 수목활력도는 87.4, 표준편차 1.9를 기준으로 1등급(낮은 활력도) ~ 5등급(높은 활력도)으로 등급을 구분하였다. 각 등급별로 1등급 4개, 2등급 36개, 3등급 43개, 4등급 33개, 5등급 10개 대상지로 평가되었으며, 구간의 분포는 2-4등급에 집중되어 있다.

〈표 3-9〉 수목활력도 등급 범위

| 수목 활력도 | 대상지 수 | 등급 |
|-----------|-------|-----|
| 84.4 이하 | 4 | 1등급 |
| 84.5-86.4 | 36 | 2등급 |
| 86.5-88.3 | 43 | 3등급 |
| 88.4-90.2 | 33 | 4등급 |
| 90.3 이상 | 10 | 5등급 |

목측값과 수목의 활력도와의 상관관계를 검증하기 위해 상관분석을 실시한 결과 $r=0.261$ ($p<0.005$)로 분석되었다. 이는 목측과 측정기기를 이용한 활력도간의 상관성은 낮지만 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다.

〈그림 3-30〉 목측결과와 수목활력도 측정값과의 산점도



3. 토양환경 분석

1) 토양온도

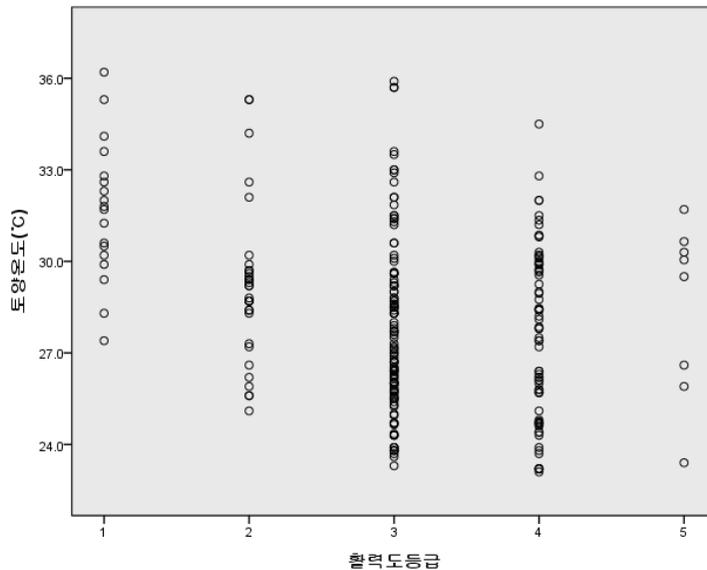
대상지 내 가로수 토양 온도는 평균 26.8℃로 23.1~32.8℃의 분포를 보이고 있다. 조사 대상지의 수목활력도와 토양온도 간의 분포를 살펴보기 위해 1-5등급으로 등급화한 수목활력도 등급별 토양온도를 분석하였다. 전체 대상지의 수목활력도 등급별 토양온도는 26.1-27.9℃로

비슷한 수준을 보이고 있었다. 각 등급별 토양온도는 가장 낮은 활력도 등급(1)부터 높은 활력도(5) 순서대로 각 27.4℃, 26.1℃, 26.9℃, 27.1℃, 27.9℃의 값으로 측정되었다. 1등급을 상관분석을 통해 수목활력도 등급과 토양온도와의 통계적 유의성을 검토하였고, $r=0.174$, $p=0.051$ 로 두 변수 간 상관성이 낮은 것으로 분석되었다.

〈표 3-10〉 수목활력도 등급별 토양온도 평균 및 표준편차

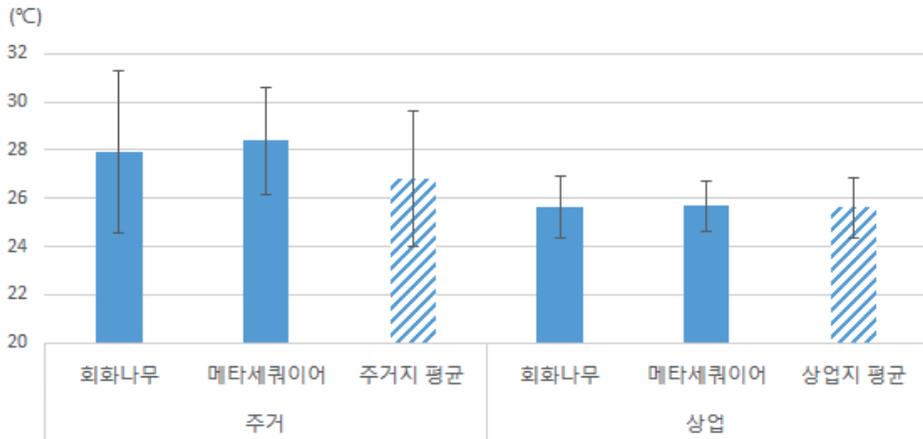
| 수목활력도 등급 | 개체수 | 평균 | 표준편차 |
|----------|-----|------|------|
| 1 | 4 | 27.4 | 3.1 |
| 2 | 36 | 26.1 | 1.4 |
| 3 | 43 | 26.9 | 2.7 |
| 4 | 33 | 27.1 | 2.9 |
| 5 | 10 | 27.9 | 3.0 |
| 합계 | 126 | 26.8 | 2.5 |

〈그림 3-31〉 수목활력도 등급별 토양온도 산점도



수종별 토양온도 분석 결과 메타세쿼이아와 회화나무의 토양온도 측정값은 각각 27.7℃, 26.4℃로 메타세쿼이아가 약간 높게 측정되었다. 주거지와 상업지의 평균온도는 각각 28.1℃, 25.6℃로 주거지가 상업지보다 2.5℃ 더 높은 것으로 나타났으며, 회화나무와 메타세쿼이아 모두 주거지가 더 높게 측정되었다. 토지이용에 따른 토양온도의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 검증되었다($p<0.001$).

〈그림 3-32〉 토지이용 및 수종별 토양온도



〈표 3-11〉 토지이용에 따른 토양온도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|----------|------|------|-------|-------|
| 주거(n=60) | 상업(n=66) | 주거 | 상업 | | |
| 28.15 | 25.62 | 2.83 | 1.25 | 6.369 | .000* |

* p<0.001

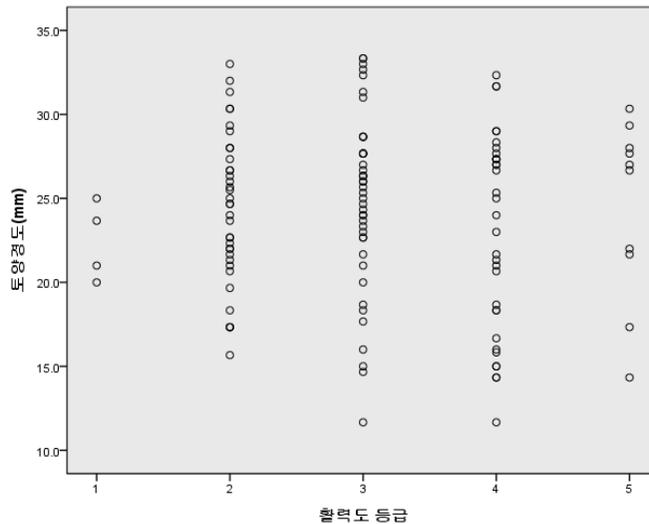
2) 토양경도

전체 대상지의 평균 토양경도는 24.1mm, 최소 11.7에서 최대 33.3mm의 분포를 보였다. 수목활력도 등급별 평균 토양경도는 1등급 22.4mm, 2등급 24.4mm, 3등급 24.9mm, 4등급 22.9mm, 5등급 24.4mm로 각 등급별로 비슷한 수치를 보였다. 수목활력도와 토양경도의 상관관계 분석 결과 $r=-0.048$, $p=0.594$ 로 통계적 유의성이 검증되지는 않았다.

〈표 3-12〉 수목활력도 등급별 토양경도 평균 및 표준편차

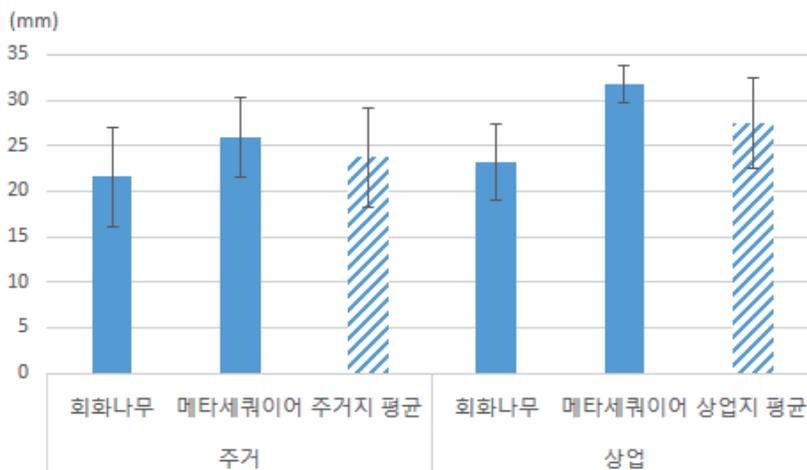
| 수목활력도 등급 | 개체수 | 평균(mm) | 표준편차 |
|----------|-----|--------|------|
| 1 | 4 | 22.4 | 2.3 |
| 2 | 36 | 24.4 | 4.5 |
| 3 | 43 | 24.9 | 5.2 |
| 4 | 33 | 22.9 | 5.9 |
| 5 | 10 | 24.4 | 5.4 |
| 합계 | 126 | 24.1 | 5.2 |

〈그림 3-33〉 수목활력도 등급별 토양경도 산점도



수종별 토양경도 차이는 회화나무 22.6mm, 메타세쿼이아 27.4mm로 메타세쿼이아의 토양경도가 높은 것으로 나타났다. 토지이용별로 살펴보면 주거지의 평균 토양경도는 23.7mm, 상업지의 평균 토양경도는 24.5mm로 상업지의 토양이 주거지보다 고결화된 경향을 보였다. 이는 상업지가 주거지보다 통행량이 많아 토양경도가 높게 측정된 것으로 판단되며, 통행량이 많은 지역의 가로수 토양에 대한 고결화 방지 대책 마련이 필요하다. 토지이용별 토양경도 차이의 통계적 유의성은 독립표본 T검정 분석 결과 유의하지 않았다($p=0.398$).

〈그림 3-34〉 토지이용 및 수종별 토양경도



3) 토양산도(pH)

조사 대상지의 평균 토양산도 측정값은 6.6, 3.8-6.9의 분포를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 국토교통부 조경설계기준(2016)의 토양산도 평가기준에 따르면 전체 조사 대상지의 토양산도 등급은 ‘중급’ 수준인 것으로 평가된다.

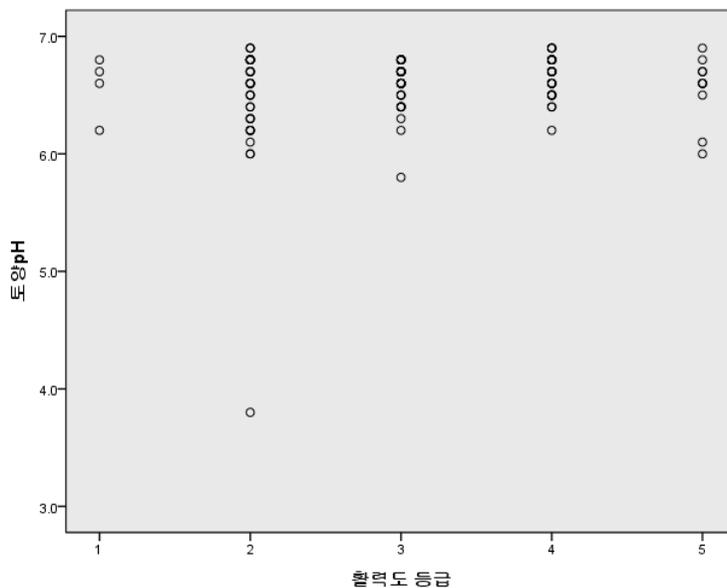
〈표 3-13〉 토양산도 평가기준에 따른 평가등급

| 구 분 | 평가등급 | | | |
|-------|---------|--------------------|--------------------|------------------|
| | 상급 | 중급 | 하급 | 불량 |
| 평가 기준 | 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 |

자료: 국토교통부 조경설계기준, 2016

수목활력도 등급에 따른 평균 토양산도는 6.5-6.8의 범위로 토양산도 평가 기준에 따라 중급 정도의 비슷한 값을 보이는 것으로 분석되었다. 수목활력도 등급과 토양산도의 상관성 분석은 $r=0.156$, $p=0.081$ 의 값으로 유의성이 검증되지는 않았다.

〈그림 3-35〉 수목활력도 등급별 토양산도 산점도

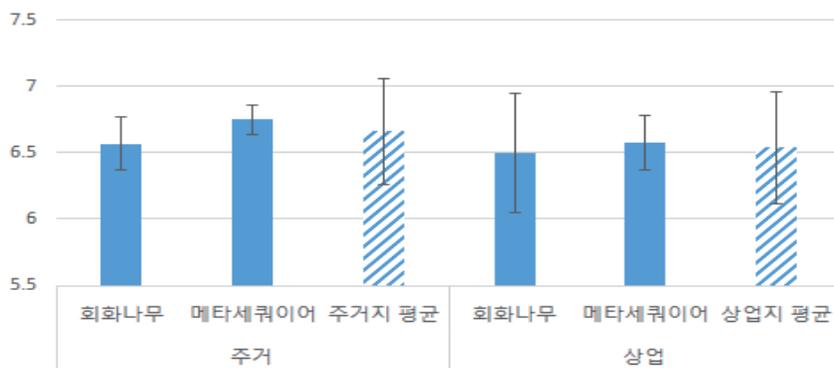


〈표 3-14〉 수목활력도 등급별 토양산도 평균 및 표준편차

| 수목활력도 등급 | 개체수 | 평균 | 표준편차 |
|----------|-----|-----|------|
| 1 | 4 | 6.6 | 0.3 |
| 2 | 36 | 6.5 | 0.3 |
| 3 | 43 | 6.5 | 0.2 |
| 4 | 33 | 6.6 | 0.5 |
| 5 | 10 | 6.8 | 0.0 |
| 합계 | 126 | 6.6 | 0.3 |

회화나무와 메타세콰이어 식재된 토양의 평균 토양산도값은 각각 6.5, 6.7로 메타세콰이어가 회화나무보다 높게 측정되었다. 토지이용별 토양산도 측정값 또한 비슷한 값으로 주거지역 평균 6.7, 상업지역 평균 6.5로 분석되었다. 토지이용에 따른 수종별 토양산도를 살펴보면 회화나무는 비슷한 값을 보였지만 메타세콰이어의 경우 주거지역이 상업지역에 비해 약간 높은 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다($p < 0.05$). 조사 지역의 주거지는 대부분 아파트 단지로 가로수가 식재된 장소는 주거민들의 생활로 인한 영향에서 직접적인 영향을 받지 않으나 겨울철 제설제 투입 가능성이 있다. 반면 상업지역은 음식점, 커피숍 등 생활 쓰레기가 많이 발생하고 가로수 아래에 쓰레기를 적치하는 곳이 많아 음식물 쓰레기 등으로 인한 영향을 받았을 것으로 판단된다.

〈그림 3-36〉 토지이용 및 수종별 토양산도



〈표 3-15〉 토지이용에 따른 토양pH 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|----------|------|------|-------|-------|
| 주거(n=60) | 상업(n=66) | 주거 | 상업 | | |
| 6.66 | 6.51 | 0.18 | 0.42 | 2.566 | .012* |

* $p < 0.05$

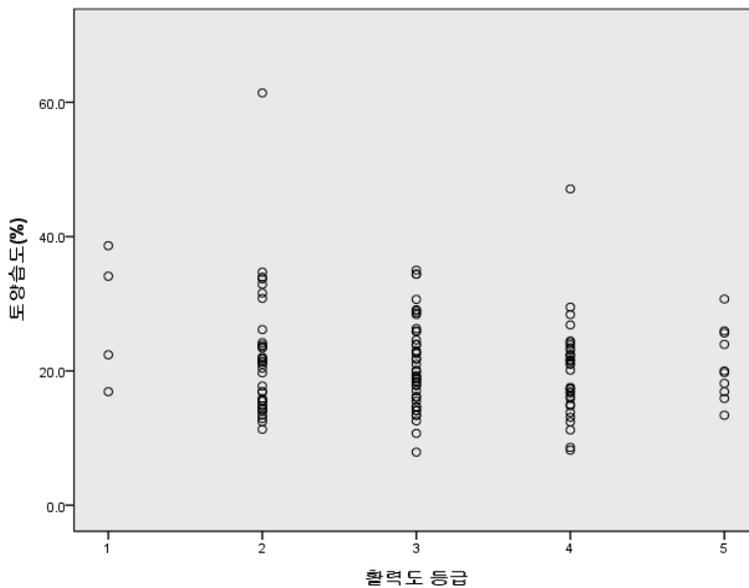
4) 토양습도

조사한 가로수 하부 토양의 평균 습도는 21.3%, 값의 범위는 7.9-61.4%. 표준편차 7.7로 최소값과 최대값의 차이가 토양변수 중 가장 큰 값을 보였다. 가로수 활력도 등급별 토양습도의 평균값을 확인해 본 결과 활력도가 가장 낮은 1등급에서 28%로 평균값이 가장 높았으며, 나머지 등급에서는 20-21.8%로 비슷한 수준을 보이고 있었다. 수목활력도 등급과 평균 습도와의 통계적 유의성은 $r=-0.125$ $p=0.164$ 로 검증되지 않았다.

〈표 3-16〉 수목활력도 등급별 토양습도 평균 및 표준편차

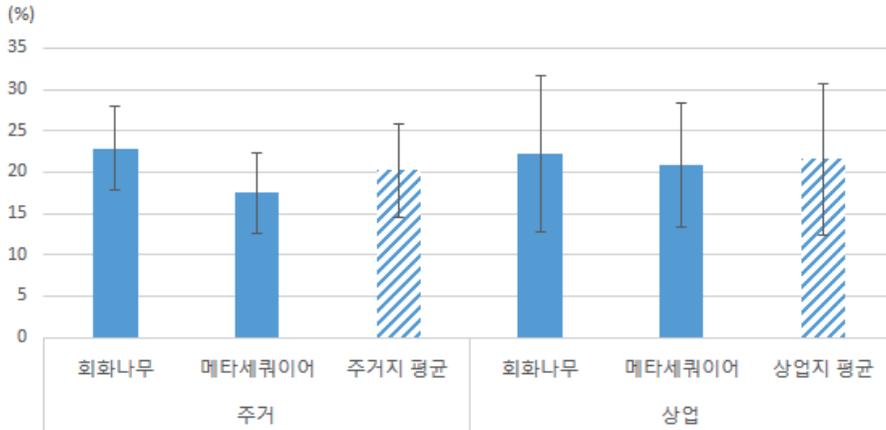
| 수목활력도 등급 | 개체수 | 평균(%) | 표준편차 |
|----------|-----|-------|------|
| 1 | 4 | 28.0 | 10.1 |
| 2 | 36 | 21.8 | 9.6 |
| 3 | 43 | 21.0 | 6.5 |
| 4 | 33 | 20.0 | 7.2 |
| 5 | 10 | 21.0 | 5.4 |
| 합계 | 126 | 21.2 | 7.7 |

〈그림 3-37〉 수목활력도 등급별 토양습도 산점도



수종별 토양습도 차이를 살펴보면 회화나무 22.5%, 메타세콰이어 18.3%로 회화나무가 습도가 더 높은 토양에서 자라고 있었다. 회화나무보다 메타세콰이어가 하루 토양 경도 값이 약 21% 높게 나타났는데 토양 경도가 높을수록 수분을 함유할 수 있는 공간이 적어져 상대적으로 메타세콰이어의 수분함량이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 주거지 및 상업지 가로수 토양의 평균습도는 각각 20.2%, 22.1%로 상업지가 주거지보다 1.9% 높게 측정되었다. 상업지의 경우 인근 음식점 등에서 배출되는 물에 직접적으로 노출된 것이 반영된 것으로 보인다. 토지이용에 따른 토양습도의 차이는 $p=0.16$ 으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

〈그림 3-38〉 토지이용 및 수종별 토양습도



〈표 3-17〉 토지이용에 따른 토양습도 차이

| 평균(%) | | 표준편차 | | t | p |
|----------|----------|------|------|--------|------|
| 주거(n=60) | 상업(n=66) | 주거 | 상업 | | |
| 20.19 | 22.09 | 5.69 | 9.16 | -1.413 | 0.16 |

4. 물리적 환경 분석

1) 띠녹지

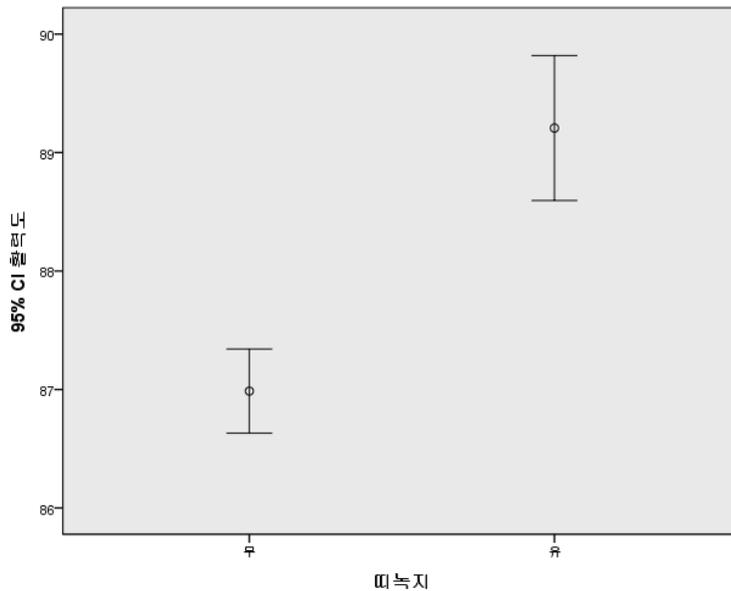
전체 조사 대상지 중 띠녹지가 조성되어 있는 곳은 메타세쿼이어가 식재된 주거지역으로 전체 총 126그루 중 약16%인 10그루에 해당한다. 전체 대상지 띠녹지 유무에 따른 수목 활력도를 살펴보면 띠녹지가 설치된 곳의 평균 수목활력도는 89.2, 설치되지 않은 곳의 수목 활력도는 87이었다. 띠녹지가 설치된 곳의 수목활력도가 높은 것은 통계적으로 유의한 값을 가지는 것으로 분석되었다($p < 0.001$)

〈표 3-18〉 전체 대상지 띠녹지 유무에 따른 수목활력도 차이

| 구분 | 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----|----------|---------|------|------|--------|------|
| | 무(n=105) | 유(n=21) | 무 | 유 | | |
| 띠녹지 | 86.99 | 89.21 | 1.84 | 1.34 | -5.258 | .000 |

* $p < 0.001$

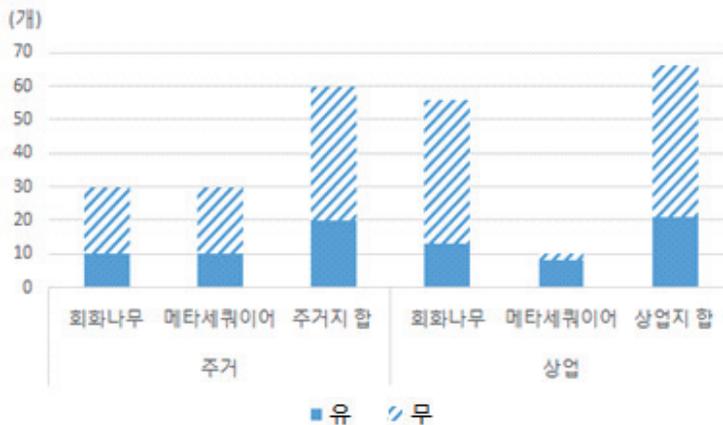
〈그림 3-39〉 띠녹지 유무에 따른 수목활력도



2) 보호판

수원시 가로수 기본계획 상의 도면으로 대상지 내 가로수의 보호판 설치 유무를 확인했지만 사전조사 결과 분실되거나 손상되어있는 경우가 있어 보호판 설치 유무를 살펴보았다. 전체 대상지 중 보호판이 설치된 곳은 41곳으로 절반도 안 되는 설치율을 보이고 있었다. 수종별 보호판 설치율은 메타세쿼이아와 회화나무가 각각 14%, 18%로 메타세쿼이아보다 회화나무가 높은 수치를 보였다.

〈그림 3-40〉 토지이용 및 수종별 보호판 설치 유무 현황



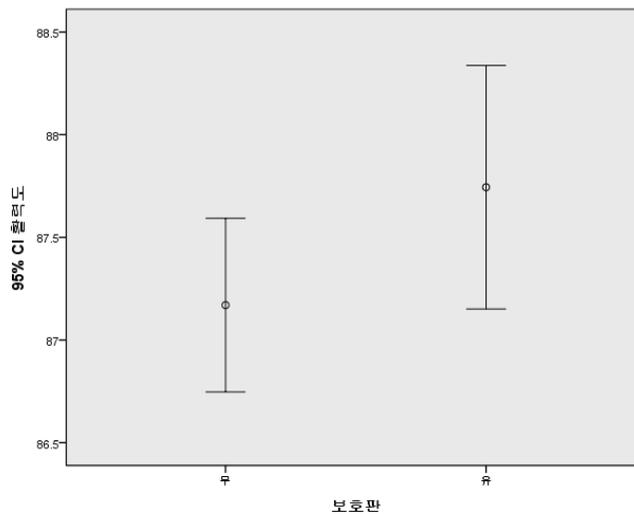
보호판 재질 또한 메타세쿼이아의 경우 철재인 반면 회화나무는 PE재질의 보호판이 설치되어 있었다. PE재질의 보호판은 뿌리분이 보호판을 침범하여 자라 파손되어 있는 경우가 많아 보호판 관리가 필요해 보였다. 철재 재질의 보호판은 가로수 하부 토양을 충분히 덮지 못해 토양 답압의 우려가 있을 것으로 판단된다.

〈그림 3-41〉 가로수 보호판 현황



주거지 및 상업지의 보호판 설치율은 약 30% 정도로 비슷한 수준으로 분석되었다. 보호판 유무가 수목활력도에 영향을 미치는지를 알아보기 위해 T-test로 차이를 분석하였다. 보호판이 설치된 대상지의 수목활력도 각각 평균은 87.17, 87.74로 비슷한 수준을 보였고, 통계적 유의성 또한 검증되지 않아 보호판 유무가 수목활력도에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다(p>0.5).

〈그림 3-42〉 보호판 유무에 따른 수목활력도



3) 인도폭

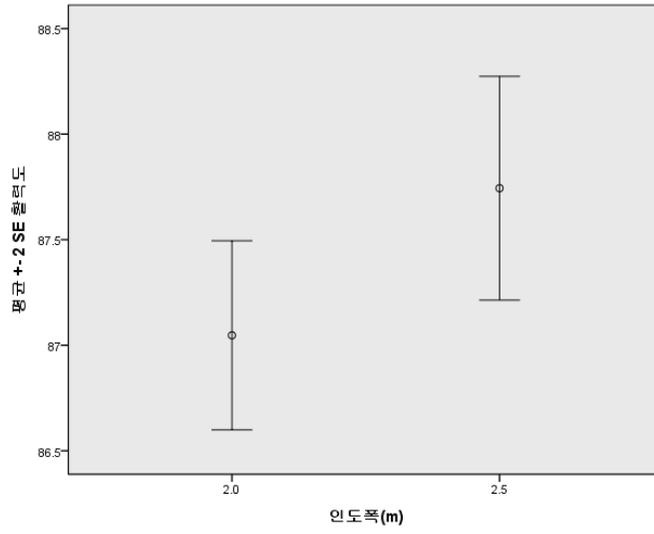
증로 및 소로의 인도폭은 2m, 2.5m로 각각 55%(70개)과 45%(56개)의 대상지가 해당되었다. 인도폭에 따른 수목활력도를 분석한 결과 2m의 인도폭을 가진 대상지의 평균 수목활력도는 87.1, 2.5m의 인도폭인 대상지는 87.7로 인도폭이 넓은 대상지의 가로수가 활력도가 높게 측정되었다. 이를 통계적으로 검증하기 위해 T-test를 실시한 결과 유의한 것으로 분석되었다(P<0.05).

〈표 3-19〉 인도폭에 따른 평균 수목활력도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|------------|------|------|-------|-------|
| 2m(n=70) | 2.5m(n=56) | 2m | 2.5m | | |
| 87.05 | 87.74 | 1.87 | 1.98 | -2.02 | .045* |

* p<0.05

〈그림 3-43〉 인도폭에 따른 평균 수목활력도



제3절 소결

중·소로의 조사 대상지 내 가로수는 목측 결과 ‘중간쇠퇴~중간건강’ 등급으로 평균 가로수 활력도 측정값은 87.4로 나타났다. 조사 대상지의 토지이용은 주거 및 상업지역으로 두 지역에서 유의미한 가로수의 생육 차이가 발생하였다. 목측 및 가로수 활력도 측정기기 모두 주거지의 수목 활력도가 상업지의 수목 활력도보다 높게 나타났다. 상업지역의 경우 수목이 간판을 가린다는 민원 등의 이유로 강전정을 실시하여 이로 인한 활력도 저하가 원인 중 하나일 것으로 판단된다. 하지만 메타세쿼이아와 같이 평균 이상의 수고와 흉고직경으로 생육하는 수목을 인도폭과 도로가 좁은 지역에 식재한 것이 수종 선정측면에서도 문제로 제시될 수 있다.

〈그림 3-44〉 상업지역 강전정 피해 사례



토양 환경 조사 결과 주거지의 토양온도 및 산도가 상업지의 토양온도 및 산도보다 높았으며, 토양경도 및 습도의 경우에는 상업지가 주거지보다 높은 값을 보였다. 토양 환경의 경우 필드에서의 조사뿐만 아니라 시료를 채취하여 좀 더 구체적인 조사가 필요하지만 현장조사 결과 상업지역의 경우 가로수 보호판 유실, 토양관리(경도, 습도) 미흡으로 인한 문제 발생, 가로수 하부 적재물(특히 오수가 토양으로 침투할 수 있는 음식물 쓰레기 등) 방치 등으로 인한 것으로 보인다. 반면 주거지역의 경우 겨울철 염화칼슘 투입으로 인한 토양의 염기성화가 진행되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 중로 및 소로 지역의 가로수 관리는 지역적 특성을 고려한 관리 방안 제시가 필요하며, 대로에 비해 상대적으로 좁은 인도폭과 도로폭의 환경에서 성목으로 성장했을 시의 규모를 고려한 적지적수가 필요하다.

〈그림 3-45〉 상업지역 생활 오수 피해 사례



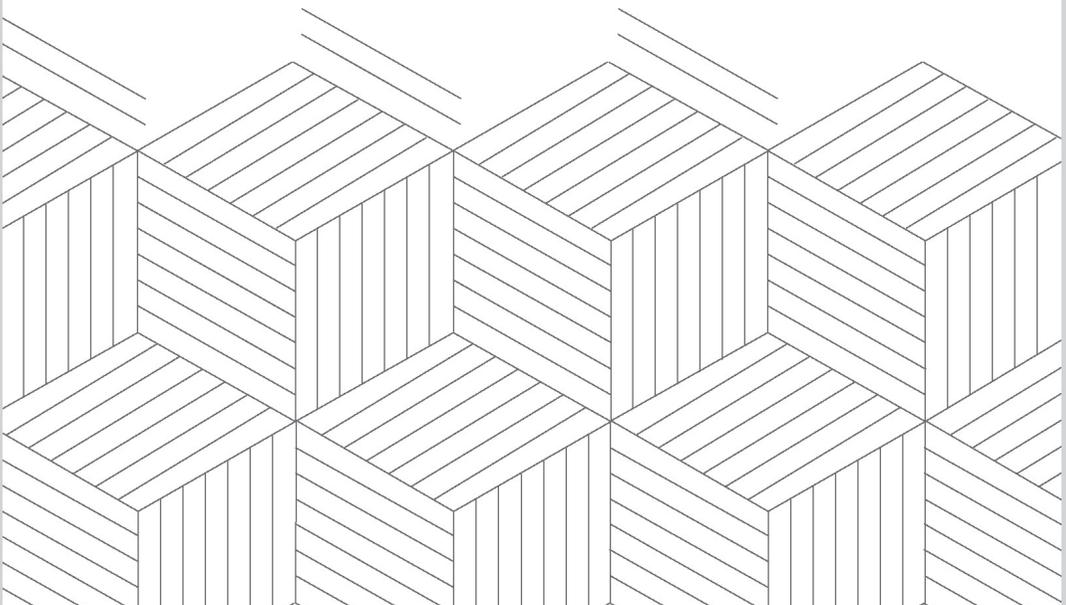
〈그림 3-46〉 상업지역 쓰레기 및 적재물 피해 사례



제4장

수원시 대로 및 중·소로 가로수 건강성 비교 분석

- 제1절 생육환경 분석
- 제2절 토양환경 분석
- 제3절 물리적 환경 분석
- 제4절 소결



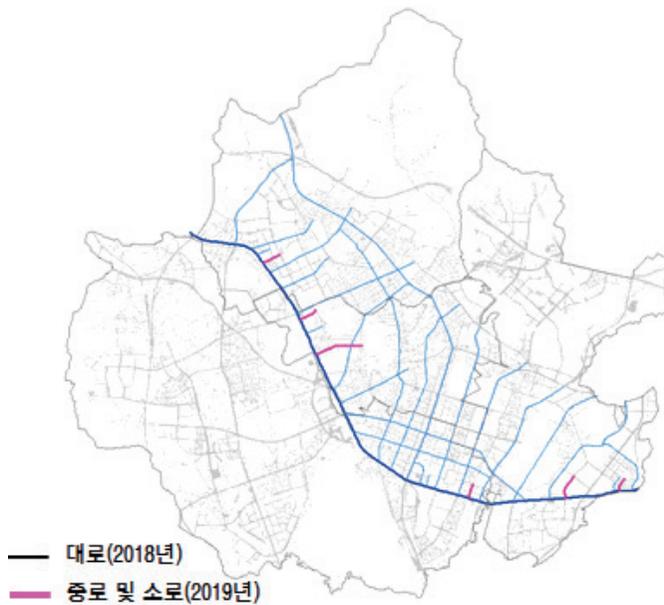
제4장 수원시 대로 및 중·소로 가로수 건강성 비교 분석

제1절 생육환경 분석

1. 가로수 기초 생육 조사

수원시 가로수의 도로 유형별 수목활력도를 검토하기 위해 2018년 조사한 덕영대로의 조사 결과와 2019년 조사한 덕영대로와 연결된 중로 및 소로의 결과를 비교·분석하였다.

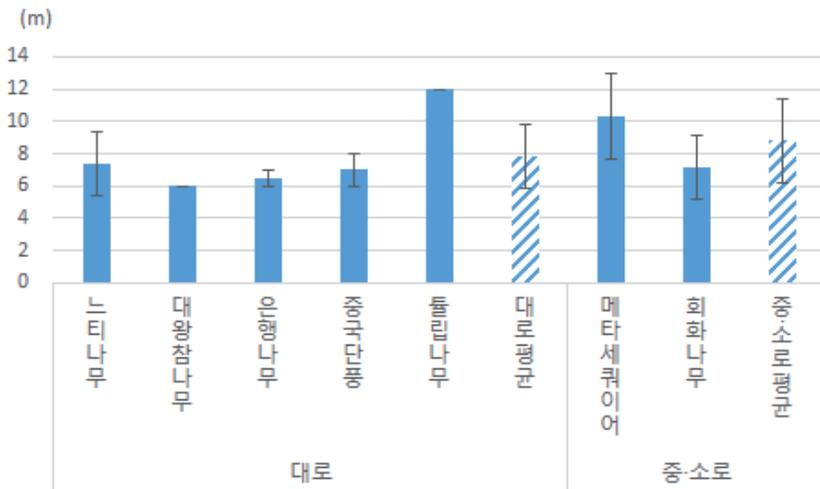
〈그림 4-1〉 대로 및 중·소로 조사 대상지



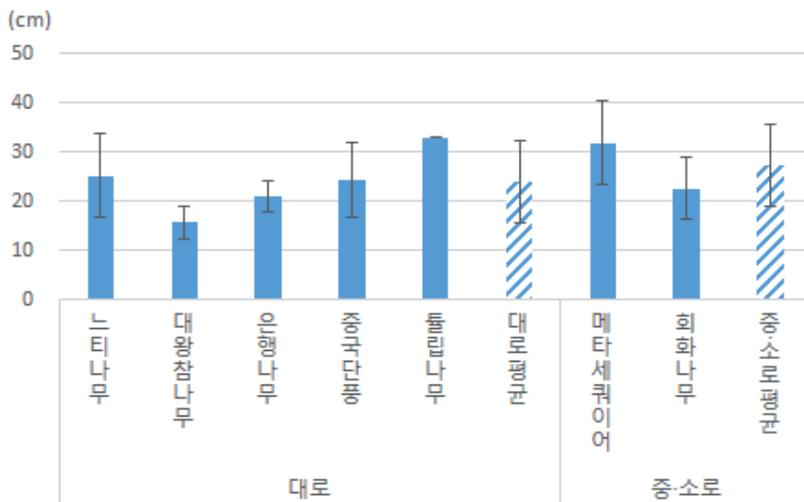
식재된 가로수 수종을 살펴보면 덕영대로에는 느티나무, 은행나무, 이팝나무, 중국단풍, 메타세쿼이아, 왕벚나무, 대왕참나무, 톨립나무 등 다양한 수종의 가로수가 식재되어있었지만 덕영대로와 연결된 중·소로에는 회화나무, 메타세쿼이아, 은행나무, 느티나무 등 대로에 비해 수종의 다양성은 적은 것으로 조사되었다. 덕영대로의 가로수 조사 수종은 느티나무, 은행나무,

대왕참나무, 중국단풍, 튼립조사, 회화나무, 메타세쿼이아 총 8종, 125 그루를 대상으로 실시하였고, 종로 및 소로는 회화나무와 메타세쿼이아 2종 126그루를 대상으로 실시하였다. 대로에 식재된 가로수의 평균 수고 및 흉고직경은 7.4m, 24.3cm 종로 및 소로에 식재된 가로수의 평균 수고 및 흉고직경은 8.2m, 25.5m로 비슷한 수준을 보이고 있었다. 상대적으로 좁은 도로규모와 건물이 밀집되어 있는 구조의 중·소로에서 수고 및 흉고직경의 평균값이 비슷하거나 더 높게 측정된 것은 메타세쿼이아 식재 때문인 것으로 나타났다.

〈그림 4-2〉 대로 및 중·소로 가로수 수종별 수고



〈그림 4-3〉 대로 및 중·소로 가로수 수종별 흉고직경

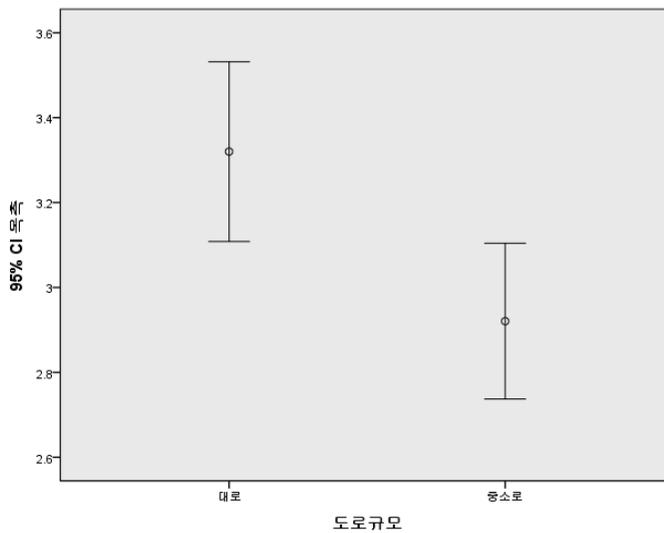


2. 수목활력도 비교

1) 목측

대로 및 중·소로의 목측 결과를 비교해본 결과, 대로의 목측 등급 평균이 3.3, 중·소로의 목측 등급이 2.9로 대로의 목측 등급이 중·소로보다 높은 것으로 나타났으며 통계적 유의성 또한 검증되었다.($p < 0.01$).

〈그림 4-4〉 도로규모에 따른 목측등급



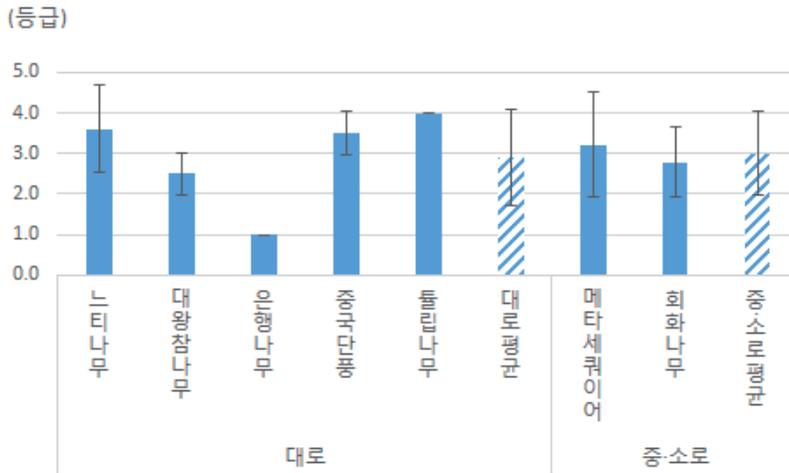
〈표 4-1〉 도로규모에 따른 목측등급 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----------|-------------|------|------|-------|-------|
| 대로(n=125) | 중·소로(n=126) | 대로 | 중소로 | | |
| 3.32 | 2.92 | 1.2 | 1.04 | 2.823 | .005* |

* $p < 0.01$

수종에 따른 목측 등급 평균값은 툼나무 4등급, 느티나무 3.6등급, 중국단풍나무 3.5등급, 메타세쿼이아 3.2등급, 회화나무 2.8등급, 대왕참나무 2.5등급, 은행나무 1등급 순으로 수목 활력도가 높은 것으로 분석되었다. 전체 수종 중 툼나무가 ‘중간건강’ 등급으로 가장 건강한 것으로 조사되었으며, 은행나무가 ‘심한쇠퇴’ 등급으로 가장 활력도가 쇠퇴한 것으로 나타났다.

〈그림 4-5〉 도로규모 및 수종별 목측 등급



2) 활력도 측정기

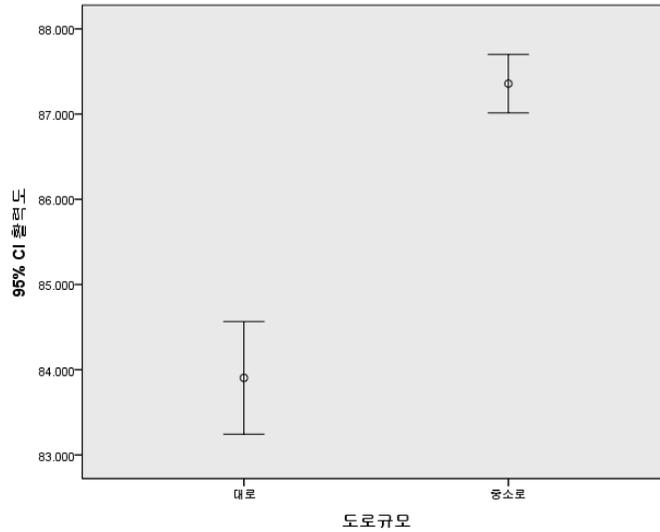
수목활력도 측정기기로 측정된 활력도 값은 대로가 83.3, 중·소로가 87.7로 대로가 중·소로보다 평균 수목활력도가 낮았으며 도로 규모에 따른 수목 활력도 측정값은 독립표본 T검정 결과 통계적 유의성이 검증되었다($p < 0.001$). 활력도 측정기기의 결과 값은 목측과는 반대의 결과로 나타났는데 이는 수종 및 조사 시기에 따른 영향이 있는 것으로 보인다. 1차년도 조사 대상지인 덕영대로의 경우 느티나무, 대왕참나무, 은행나무, 중국단풍나무 등 식재수종의 다양성이 높았지만 중·소로의 경우 회화나무, 메타세쿼이아, 은행나무 등으로 조사 대상으로 선정할 수 있는 수종의 폭이 좁았다. 따라서 조사 대상지 내 수종 선정에 한계가 있었으며, 조사 기간은 비슷하지만 같은 해에 조사한 것이 아니기 때문에 수목활력도 결과 값의 차이를 보이는 것으로 판단된다.

〈표 4-2〉 도로규모에 따른 수목활력도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----------|-------------|------|------|-------|-------|
| 대로(n=125) | 중·소로(n=126) | 대로 | 중소로 | | |
| 87.90 | 87.36 | 3.74 | 1.95 | -9.17 | .000* |

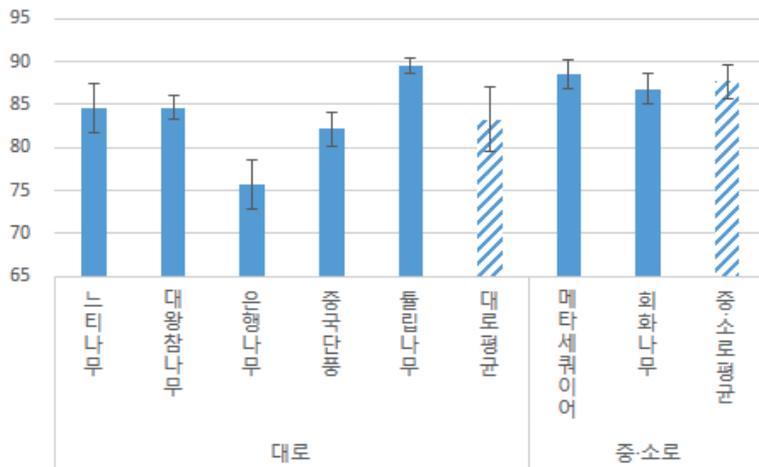
* $p < 0.001$

〈그림 4-6〉 도로규모에 따른 평균 수목 활력도



조사 가로수의 수종별 평균 수목활력도는 튼린나무 89.5, 메타세쿼이아 88.5, 회화나무 86.8, 대왕참나무 84.6, 중국단풍나무 82.1, 은행나무 75.7 순으로 측정되었다.

〈그림 4-7〉 도로규모 및 수종별 수목활력도

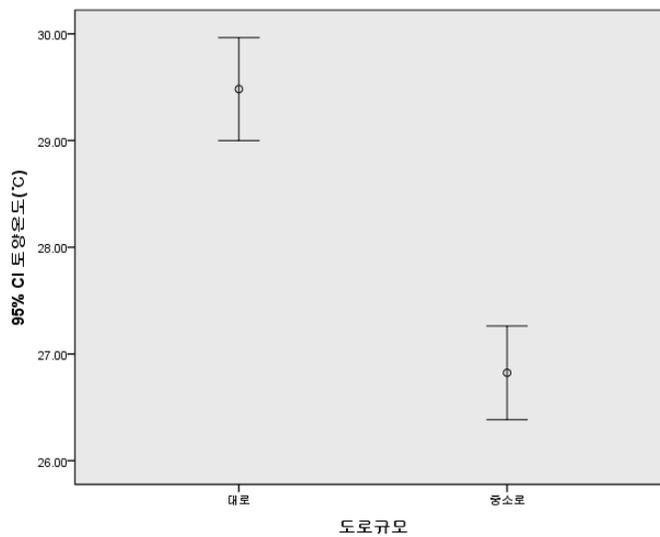


제2절 토양환경 분석

1. 토양온도

도로 규모에 따른 평균 토양온도는 대로가 29℃, 중·소로가 27.1℃로 대로 대상지의 토양 온도가 중·소로보다 높은 것으로 분석되었다. T검정 분석결과 유의미한 수준에서 차이를 보이는 것으로 검증되었다($p < 0.001$).

〈그림 4-8〉 도로규모에 따른 토양온도



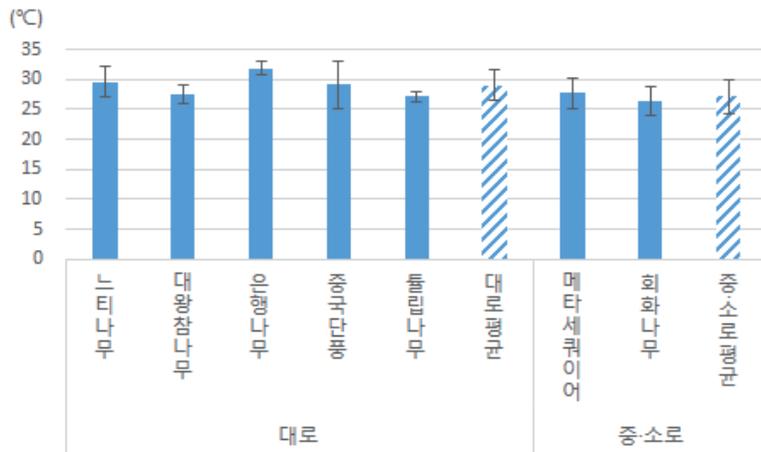
〈표 4-3〉 도로규모에 따른 토양온도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----------|-------------|------|------|-------|-------|
| 대로(n=125) | 중·소로(n=126) | 대로 | 중소로 | | |
| 29.48 | 26.82 | 2.73 | 2.49 | 8.059 | .000* |

* $p < 0.001$

조사된 가로수 수종 내 평균 토양온도 값은 은행나무 31.8℃, 느티나무 29.6℃, 중국단풍나무 29.1℃, 메타세콰이어 27.7℃, 대왕참나무 27.5℃, 튜립나무 27.1℃, 회화나무 26.4℃ 순으로 조사되었다. 은행나무, 느티나무, 중국단풍나무, 메타세콰이어의 경우 평균 토양온도 이상의 값으로 측정되었다.

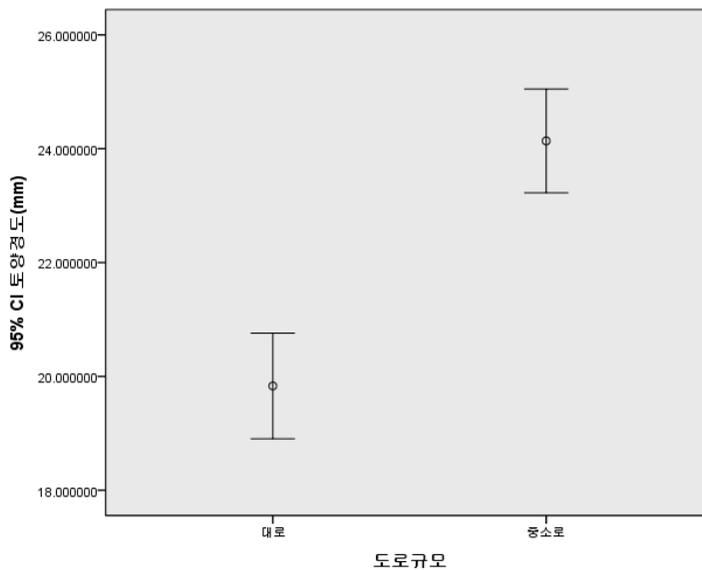
〈그림 4-9〉 도로규모 및 수종별 토양온도



2. 토양경도

토양경도 값은 평균값이 각각 20.5mm, 25mm로 대로가 중·소로보다 낮은 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의미한 차이를 보였다($p < 0.001$). 이는 중·소로에 비해 대로의 통행량이 적어 상대적으로 토양경도 값이 낮게 측정된 것으로 판단된다.

〈그림 4-10〉 도로규모에 따른 토양경도



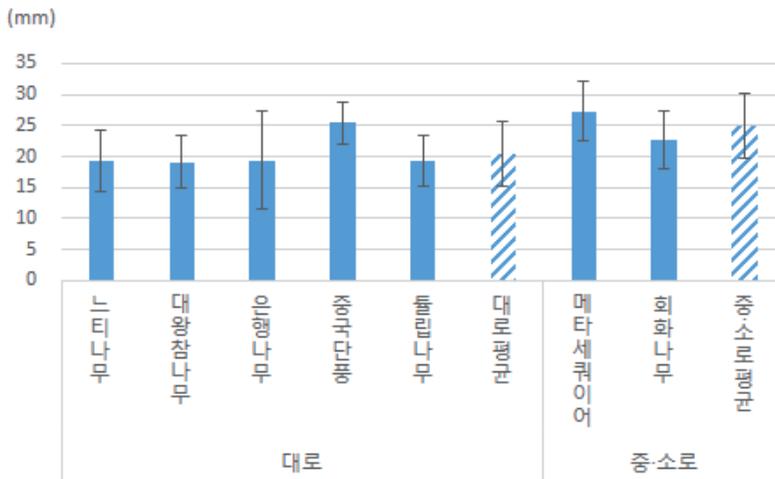
〈표 4-4〉 도로규모에 따른 토양경도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----------|-------------|------|------|--------|-------|
| 대로(n=125) | 중·소로(n=126) | 대로 | 중소로 | | |
| 19.83 | 24.14 | 5.24 | 5.17 | -6.551 | .000* |

* p<0.001

수종별 평균 토양경도를 살펴보면 메타세쿼이아 27.4mm, 중국단풍나무 25.4mm, 회화나무 22.6mm, 은행나무 19.4mm, 느티나무 19.4mm, 튜립나무 19.2mm, 대왕참나무 19.1mm 순으로 높은 경도값으로 분석되었다. 메타세쿼이아와 중국단풍나무는 평균 토양경도보다 높은 수준으로 되었다.

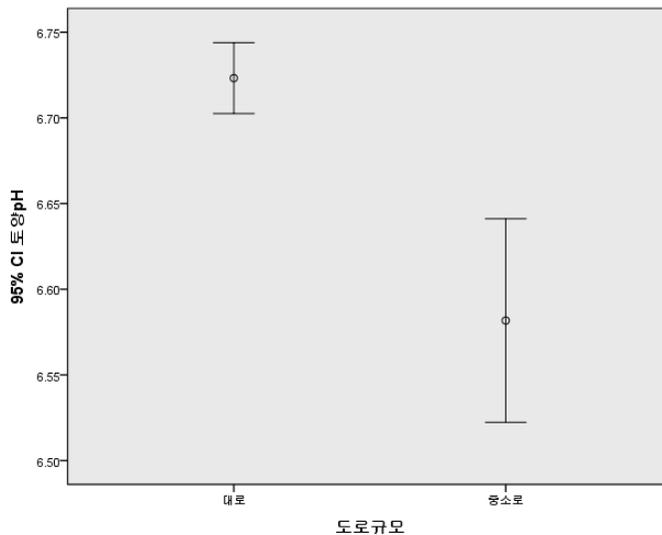
〈그림 4-11〉 도로규모 및 수종별 토양경도



3. 토양산도(pH)

도로규모에 따른 평균 토양산도를 비교해보면 대로가 6.8, 중·소로가 6.6으로 대로가 약간 높은 수준으로 국토교통부 조경설계기준(2016)의 평가기준에 따라 두 대상지 모두 ‘중급’ 정도의 등급으로 평가되었다. 두 대상지의 토양산도 평균값의 차이는 T-test 분석 결과 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다($p < 0.001$).

〈그림 4-12〉 도로규모별 토양산도



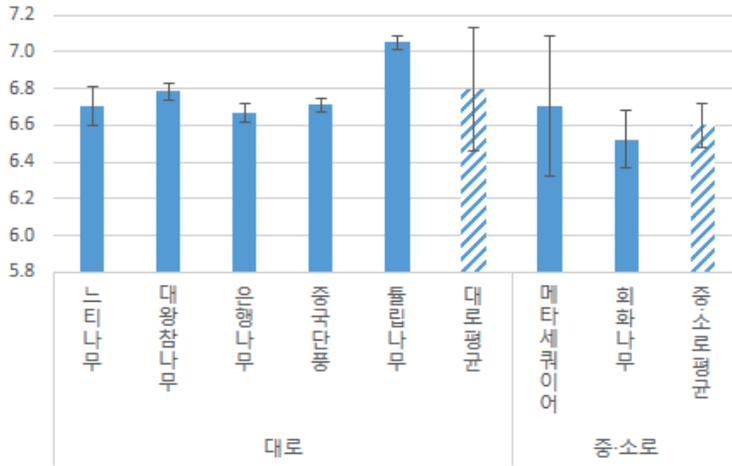
〈표 4-5〉 도로규모에 따른 토양산도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----------|-------------|------|------|-------|-------|
| 대로(n=125) | 중·소로(n=126) | 대로 | 중소로 | | |
| 6.72 | 6.58 | 0.12 | 0.34 | 4.438 | .000* |

* $p < 0.001$

수종별 토양산도 평균값은 톨립나무 7.1, 대왕참나무 6.8, 중국단풍나무·느티나무·메타세쿼이아·은행나무 6.7, 회화나무 6.5의 값으로 측정되었으며, 조경설계기준에 따라 7.0~8.0의 토양이 하급 토양으로 평가되어 전체 수종 중 유일하게 톨립나무가 ‘하급’ 토양에서 생육하고 있는 것으로 나타났다. 또한 톨립나무와 메타세쿼이아는 도로간 평균 이상의 토양산도 값으로 분석되었다. 대로변에서의 토양산도가 높게 나타난 것은 대로변의 제설제 투입의 영향이 있는 것으로 판단된다.

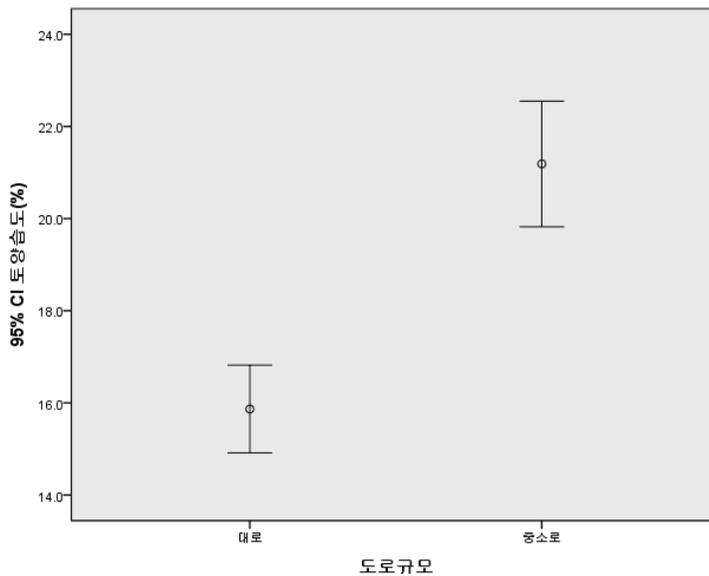
〈그림 4-13〉 도로규모 및 수종별 토양산도



4. 토양습도

대로의 평균 토양습도는 17%, 중·소로의 평균 토양습도는 20.4%로 중·소로의 가로수가 대로에 비해 토양습도가 높은 조건에서 생육하고 있는 것으로 나타났다. T검정 결과 도로 규모에 따른 토양습도 차이는 통계적으로 유의미한 것으로 검증되었다($p < 0.001$).

〈그림 4-14〉 도로규모별 토양습도



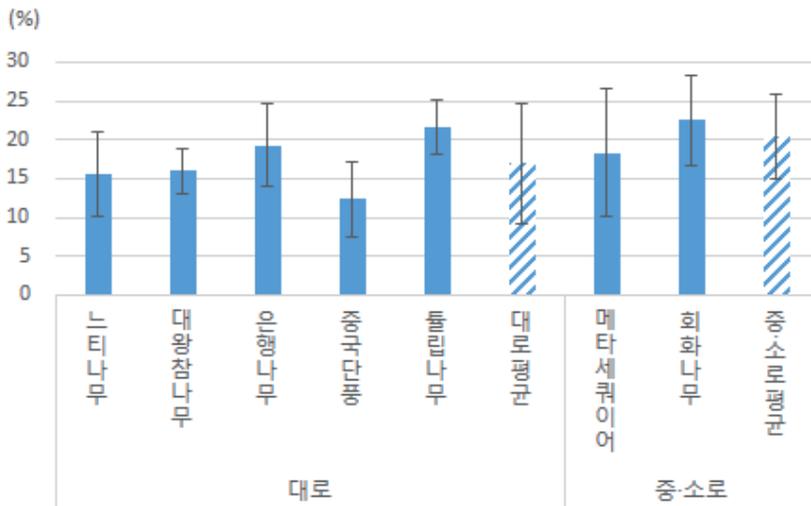
〈표 4-6〉 도로규모에 따른 토양습도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|-----------|-------------|------|------|--------|-------|
| 대로(n=125) | 중·소로(n=126) | 대로 | 중소로 | | |
| 15.87 | 21.19 | 5.37 | 7.73 | -6.325 | .000* |

* p<0.001

수종별 토양습도 평균값은 회화나무 22.5%, 툼립나무 21.7%, 은행나무 19.3%, 메타세쿼이아 18.3%, 대왕참나무 16%, 느티나무 15.5%, 중국단풍나무 12.3% 순으로 습도가 높게 나타났다. 전체 수종 중 회화나무와 툼립나무는 도로규모별 평균 토양습도 이상의 값으로 조사되어 평균 이상 수준의 토양습도 환경에서 생육하고 있는 것으로 분석되었다.

〈그림 4-15〉 도로규모 및 수종별 토양습도

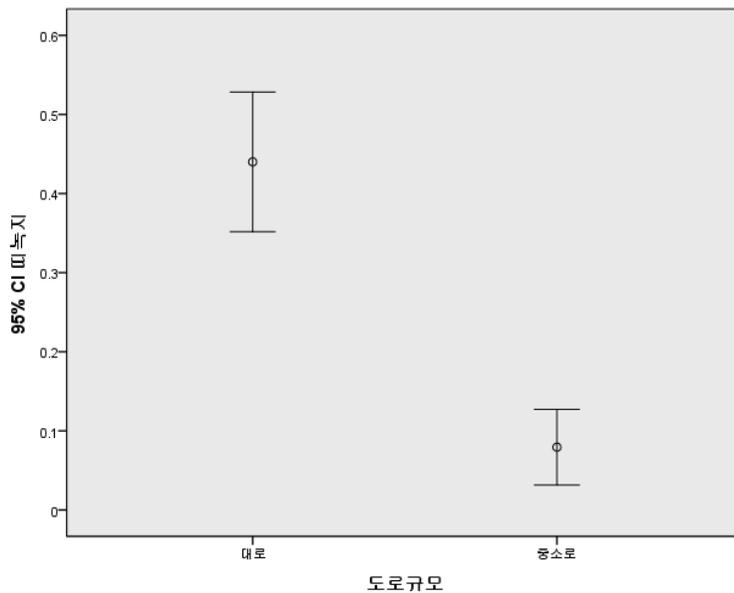


제3절 물리적 환경 분석

1. 띠녹지

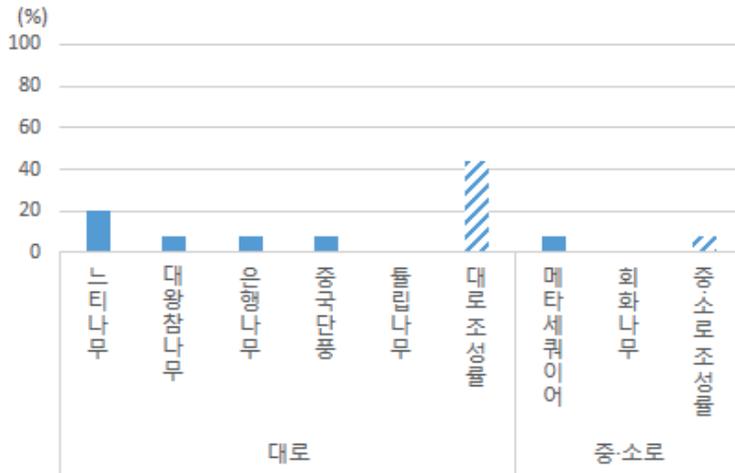
가로수 하부 띠녹지 조성률은 중·소로가 8%, 대로가 44%로 중·소로가 대로보다 조성률이 현저히 떨어지는 것으로 분석되었다. 이는 중·소로보다 인도 및 도로폭이 대로가 더 넓어 보도폭을 제외하고 띠녹지를 조성할 수 있는 환경에 제약이 있기 때문인 것으로 보인다.

〈그림 4-16〉 도로규모별 띠녹지 조성률



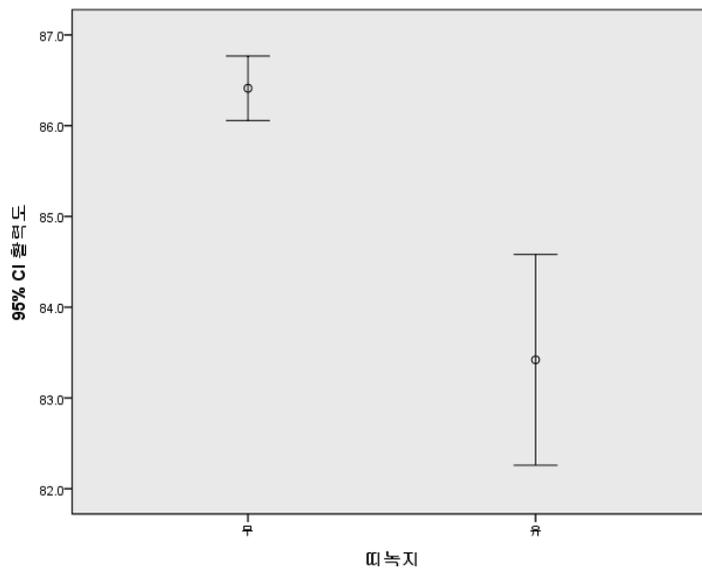
대로 및 중·소로에서 수종별 띠녹지 조성률을 살펴보면 느티나무 하부 띠녹지 조성률이 20%로 가장 높은 것으로 나타났으며, 대왕참나무·은행나무중국단풍나무·메타세쿼이아 모두 8% 정도의 조성률을 보이고 있었다. 그 외 톨립나무, 회화나무 하부에는 띠녹지가 조성되어 있지 않았다.

〈그림 4-17〉 도로규모 및 수종별 띠녹지 조성률



띠녹지가 없는 곳의 평균 수목 활력도는 86.4, 조성되어있는 곳의 수목 활력도는 83.42로 띠녹지 조성지의 가로수 활력도가 높은 것으로 조사되었다($p < 0.001$). 이는 유의미한 수준의 차이로 분석되나 더 정확한 영향요인 파악을 위해 가로수 하부 띠녹지 조성지에 식재된 수목의 생육 등 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

〈그림 5-18〉 대로 및 중·소로의 띠녹지 유무에 따른 수목활력도



〈표 4-7〉 대로 및 중·소로의 띠녹지 조성 유무에 따른 활력도 차이

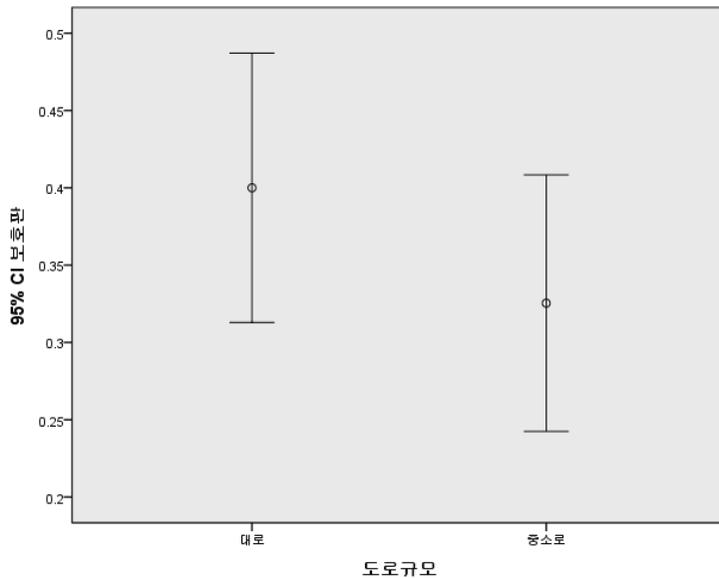
| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|---------|------|------|-------|-------|
| 무(n=186) | 유(n=65) | 무 | 유 | | |
| 86.41 | 83.42 | 2.46 | 4.68 | 4.918 | .000* |

* p<0.001

2. 보호판

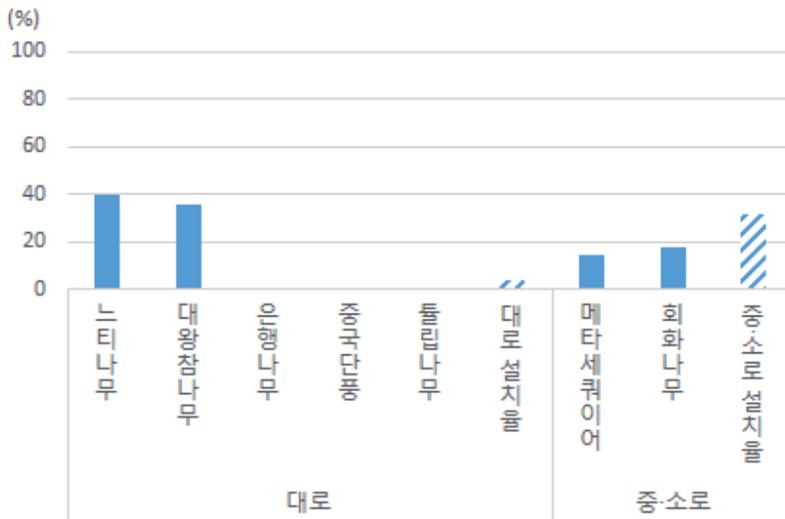
전체 대상지의 보호판 설치율은 36%, 도로규모에 따른 보호판 설치율은 대로가 40%, 중·소로가 33%로 대로의 가로수 보호판 설치율이 높은 것으로 분석되었다. 그러나 대로에 비해 통행량이 많아 중·소로 보호판 설치율을 높여야할 것으로 판단된다.

〈그림 4-19〉 도로규모별 보호판 설치율



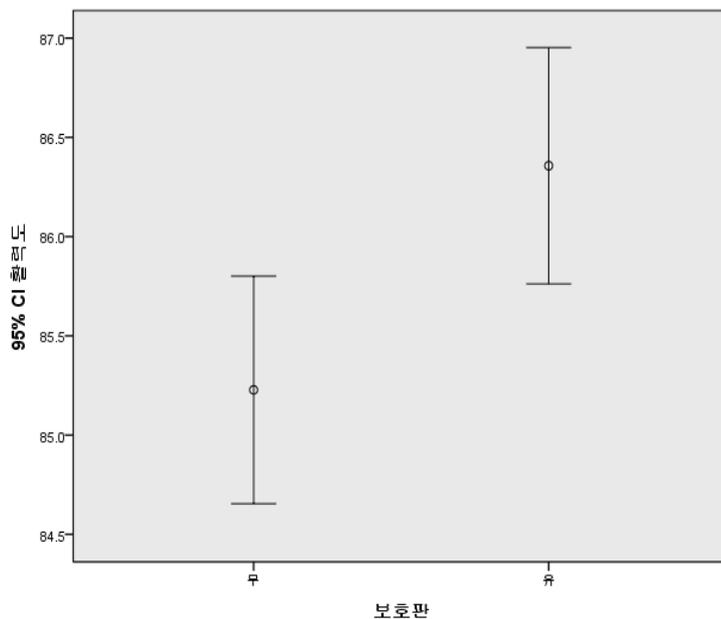
대로 및 중·소로 전체 대상지 중 수종별 보호판 설치율을 살펴보면 40%로 느티나무에 가장 많은 보호판이 설치되어있었다. 그 외에는 대왕참나무 36%, 회화나무 18%, 메타세쿼이아 14% 순으로 보호판 설치율을 보였으며, 은행나무, 중국단풍나무, 튜립나무에는 보호판이 전혀 설치되어있지 않았다.

〈그림 4-20〉 도로규모 및 수종별 보호판 설치율



보호판을 설치한 곳과 제거 또는 파손된 곳의 수목 활력도는 각각 86.7, 85.2의 값을 보여 보호판이 설치된 곳의 수목 활력도가 더 높은 것으로 분석되었다. 이는 통계적으로도 유의미한 수준에서 보호판 설치가 수목 활력도가 상승하는데 영향을 미치는 것으로 판단된다($p < 0.05$).

〈그림 5-21〉 대로 및 중·소로의 보호판 설치 유무에 따른 수목활력도



〈표 4-8〉 대로 및 중·소로의 보호판 설치 유무에 따른 활력도 차이

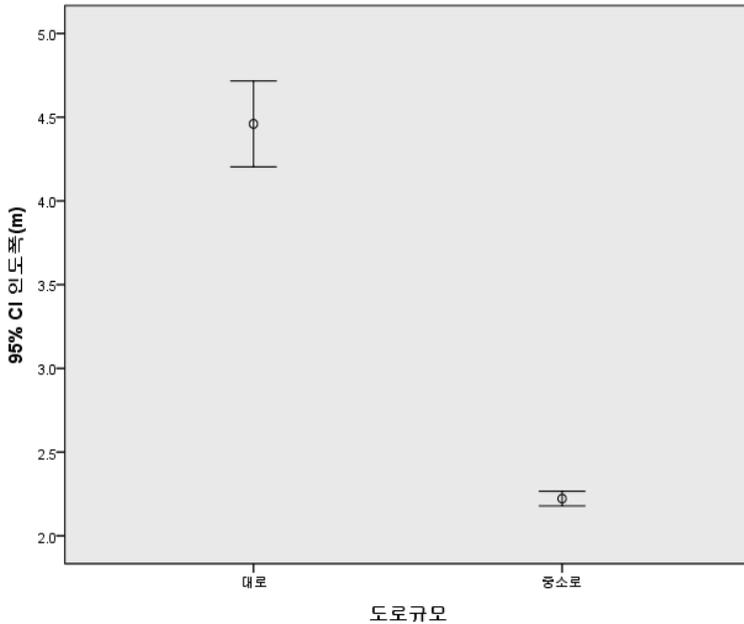
| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|---------|------|------|--------|-------|
| 무(n=160) | 유(n=91) | 무 | 유 | | |
| 85.23 | 86.36 | 3.67 | 2.86 | -2.530 | .012* |

* p<0.05

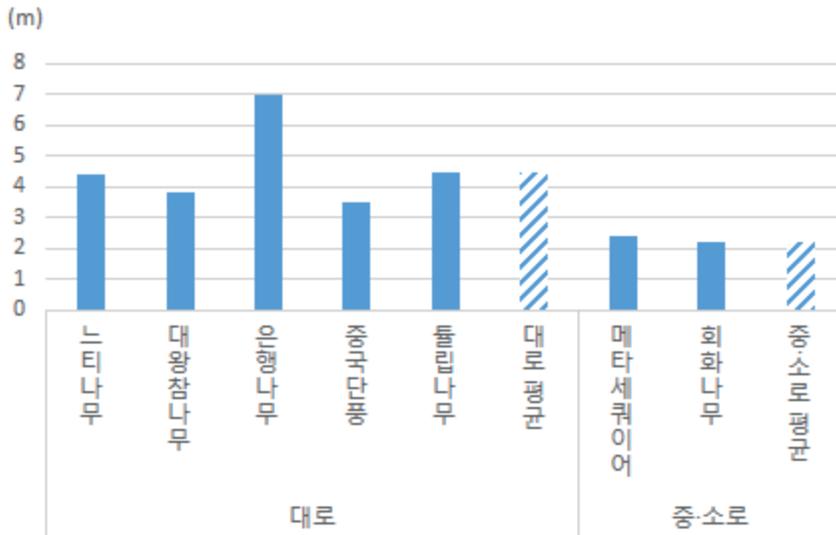
3. 인도폭

전체 대상지의 인도폭은 2~10m, 대로 평균 인도폭은 4.5m, 중·소로 평균 인도폭은 2.2m인 것으로 조사되었다. 도로규모에 따른 수종별 인도폭 분석 결과 수고 및 흉고직경이 비교적 작은 대왕참나무, 은행나무 식재지의 인도폭은 3.8m, 7m로 큰 규모인 것에 비해 툄립나무, 메타세쿼이아 등 수고 및 흉고직경이 큰 가로수 식재지의 평균 인도폭은 4m, 2.4m로 매우 협소한 수준이었다.

〈그림 4-22〉 도로규모에 따른 인도폭



〈그림 4-23〉 도로규모 및 수종별 평균 인도폭



인도폭이 수목 활력도에 미치는 영향을 통계적으로 검토한 결과 중·소로의 경우 인도폭이 수목 활력도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다($p < 0.05$). 하지만 대로의 경우 인도폭이 수목 활력도에 미치는 영향은 유의한 수준은 아닌 것으로 나타났다.

〈표 4-9〉 중·소로의 인도폭에 따른 활력도 차이

| 평균 | | 표준편차 | | t | p |
|----------|------------|------|------|--------|-------|
| 2m(n=70) | 2.5m(n=56) | 2m | 2.5m | | |
| 87.05 | 87.74 | 1.87 | 1.98 | -2.022 | .045* |

* $p < 0.05$

제4절 소결

1차년도 수원시 가로수 건강성 평가는 덕영대로 내 상행 15구간 및 하행 12구간 총 125 그루를 대상으로 실시하였으며, 2차년도에는 덕영대로와 교차하는 종로 및 소로 의 좌·우 12 구간 총 126그루를 대상으로 가로수 활력도 및 환경요인을 조사하였다. 분석결과 대로의 목 측 수목 활력도가 종로 및 소로의 수목 활력도에 비해 유의한 수준에서 높은 것으로 분석되었다. 이는 대로변의 가로수 관리가 잘 이루어지고 있는 반면 중·소로의 생육환경이 상대적으로 나쁘다는 것을 알 수 있다. 또한 대로의 가로수에 비해 중·소로 가로수의 수고 및 흉고직 경이 더 큰 것으로 분석되었는데 중·소로에 수고가 높고 흉고직경이 큰 메타세콰이어를 식재 했기 때문인 것으로 판단된다. 이는 도로 및 주변 건물 등 도로 스케일을 고려하지 않아 생겨 난 문제라고 볼 수 있다. 특히 대단위 택지개발사업 추진 시 가로수 선정 및 식재 등에 대한 고려가 필요하다.

〈그림 4-24〉 도로규모를 고려하지 못한 식재 사례



〈대로에 작은 나무 식재〉



〈소로에 큰 나무 식재〉

토양환경의 경우 대로변의 활력도가 높은 가로수의 토양온도가 낮게 나타났으나, 중·소로의 토양온도보다는 대로변의 토양온도가 높은 것으로 분석되었다. 이는 대로의 특성상 도로포장 면적 등 불수성포장면적이 높아서 나타난 현상으로 파악되며 도로변 온도 저감을 위해서 가로수 활력도 향상에 노력해야함을 알 수 있다. 토양산도 역시 대로의 가로수가 중·소로의 가로수보다 높게 나타났으며 이는 겨울철 제설제가 토양으로 흡수된 것으로 판단된다. 최근 제설제 투입방지대책 등이 다양하게 나오고 있으나 제설제로 인한 피해를 저감하기 위해서 보다 세심한 노력이 필요할 것으로 보인다. 토양경도의 경우 대로의 가로수 보다 중·소로의 가로수에서 토양경도가 높게 나타났다. 이는 중·소로의 인도폭이 대로보다 좁아 토양답압이 더 심하게 나타난 것으로 보인다. 토양습도의 경우 토양온도가 높아 대로의 가로수 토양수분이 증발했을 가능성과 중·소로 토지이용 상 상업지역에서의 유출수 유입으로 인한 부분도 검토되어야 할 것이다. 가로수 건강성 평가를 위해서 대로와 중·소로의 인도폭, 보호판 등 생육에 영향을 미치는 물리적 환경에 대한 전반적인 부분은 대로변이 우수한 것으로 나타났다.

〈표 4-10〉 대상지 영향요인 비교분석

| 영향요인 | 도로 규모 | | |
|---------|-------|----------|-----|
| | 대로 | 중·로 및 소로 | |
| | | 주거지 | 상업지 |
| 토양온도 | 높음 > | > | 낮음 |
| 토양경도 | 낮음 < | < | 높음 |
| 토양산도 | 높음 > | > | 낮음 |
| 토양습도 | 낮음 < | < | 높음 |
| 띠녹지 조성률 | 높음 > | > | 낮음 |
| 보호판 설치율 | 높음 > | = | 낮음 |
| 인도폭 | 넓음 > | > | 좁음 |

따라서 향후 대로 및 중·소로의 가로수 식재 및 관리 방안 설정 시 도로규모, 통행량, 인도폭 등을 종합적으로 고려한 수종 선정 및 식재가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 전선 등으로 인한 가로수 생육이 불량한 경우 두절보다는 키 작은 수종 선정 및 전정 등의 방법을 모색해 볼 필요가 있다.

〈그림 4-25〉 전깃줄로 인한 가로수 생육 불량 사례



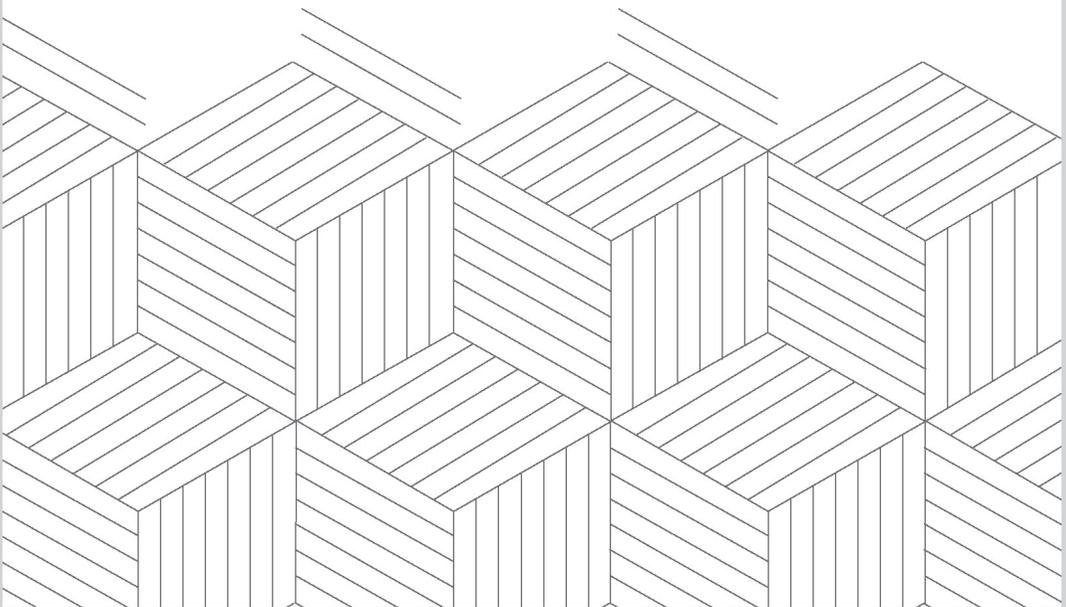
〈대로의 느티나무〉



〈중·소로 메타세쿼이아〉

제5장 결론

제1절 연구의 의의 및 한계
제2절 정책 제언



제5장 결론

제1절 연구의 의의 및 한계

본 연구는 가로수의 건강성을 향상시키기 위해 수원시 가로수 활력도를 조사하고 체계적인 유지관리를 위해 가로수 생육에 영향을 미치는 요인 도출하였다. 본 연구는 가로수의 건강성을 평가하기 위해서 목측뿐만 아니라 활력도 측정기기(Junsmeter1)를 이용하여 보다 정량적인 평가결과를 도출하였으며, 토양환경 및 물리적 환경 등 가로수 생육환경에 대해 전반적인 분석을 실시하였다.

중·소로를 조사한 결과 주거지역에서 수목활력도가 상업지역에서보다 유의한 수준에서 높게 분석되었다. 이는 대로와 달리 중·소로의 가로수가 토지이용에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 주거지역의 토양온도와 토양산도가 상업지역에 비해 높은 것으로 조사되었으며 토양경도와 토양습도는 상업지역에서 더 높게 조사되었다. 그 외 상업지역의 경우 강전정으로 인한 활력도 저하, 가로수 보호판 유실 및 적재물, 토양관리 미흡으로 인한 문제가 발생하였다.

대로의 가로수 건강성과 중·소로의 가로수 건강성을 비교한 결과 대로의 목측 수목 활력도가 중로 및 소로의 수목 활력도에 비해 유의한 수준에서 높은 것으로 분석되었다. 또한 대로의 가로수에 비해 중·소로 가로수의 수고 및 흉고직경이 더 큰 것으로 분석되었는데 이는 중·소로에 수고가 높고 흉고직경이 큰 메타세쿼이어를 식재했기 때문인 것으로 판단된다. 토양온도와 토양산도의 경우 중·소로 가로수보다 대로의 가로수에서 높게 나타났으며, 토양경도와 토양습도는 중·소로 가로수에서 더 높게 조사되었다. 인도폭, 보호판 등 생육에 영향을 미치는 물리적 환경에 대한 전반적인 부분은 대로변이 우수한 것으로 나타났다.

본 연구 결과 가로수 조성단계에서부터 보다 구체적인 가이드라인 제시가 필요한 것으로 나타났다. 도로 폭, 건물 높이 등 도로의 규모를 고려하여 가로수 수종을 선정하는 것이 중요하고 대로변과 같이 불투수포장면적이 넓어 복사열로 인한 피해가 생길 수 있는 지역은 복사열에 강한 수종과 수관폭이 넓은 수종을 선정하도록 제안할 필요가 있다. 또한 겨울철 제설제 사용으로 인한 피해를 최소화할 수 있도록 대책마련이 시급하다. 특히 인도폭이 좁은 중·소로

가로수가 주변 토지이용에 따른 답압, 적재물, 오수 유입 등 가로수 생육에 부정적인 영향요인이 다수 발생하므로 이에 대한 관리대책 마련이 필요하다.

본 연구는 덕영대로와 덕영대로 교차되는 증·소로를 대상으로 연구를 진행하여 수원시의 가로수 건강성을 대표하는데 한계가 있다. 또한, 정량적 분석을 위해 측정기기(Junsmeter1)를 이용하였으나 조사시기 등 영향요인을 최소화했음에도 불구하고 수종에 따른 차이, 누적강수량 등 기후 차이로 인해 직접적으로 비교하는 것은 한계가 있는 것으로 나타났다. 향후 드론촬영 등을 통한 NDVI(정규식생지수) 분석 등을 통해 수원시 전역을 대상으로 한 건강성 평가가 필요하다.

〈표 5-1〉 조사 시기에 따른 기온 및 강수량

| 도로구분 | 조사시기 | 1~6월 평균기온 (°C) | 6월 평균기온 (°C) | 1~6월 누적강수량 (mm) | 6월 강수량 (mm) |
|------|------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------|
| 대로 | 2018년 6월 19~22일 | 9.3 | 22.6 | 555.2 | 107 |
| 증·소로 | 2019년 6월 18일·21일, 7월1일 | 9.8 | 22.1 | 212.6 | 68.8 |

자료 : 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)

본 연구결과를 바탕으로 가지치기, 병해충 등 기초적인 가로수 관리 방안을 다룬 기존의 가로수 관련 조례나 가이드라인 등에서 벗어나 보다 체계적인 유지관리 방안 마련이 가능할 것으로 판단된다. 나아가 도로 및 주변 환경 특성을 고려한 가로수 유지관리 재작성이 필요하며 이를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

제2절 정책 제언

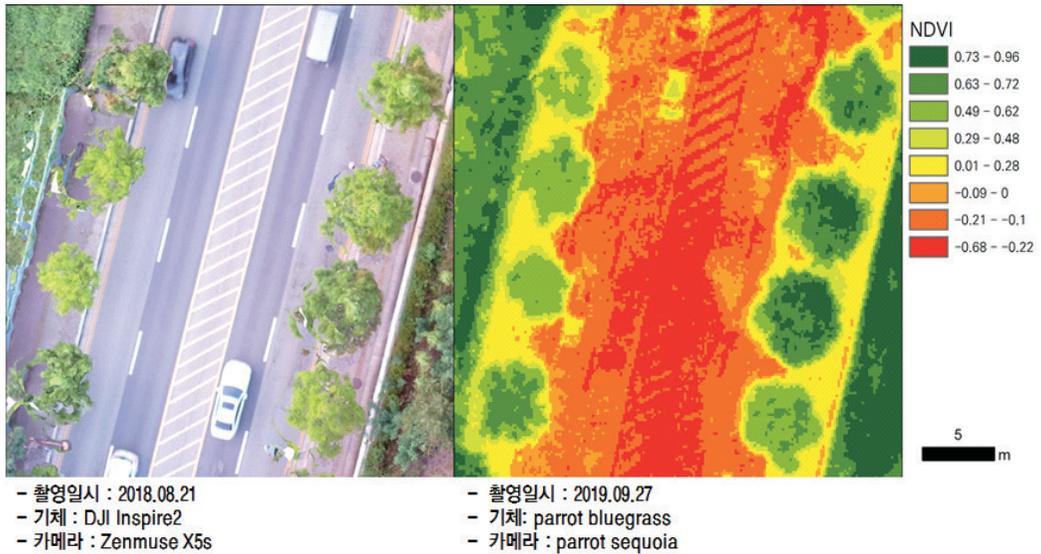
본 연구는 가로수의 활력도 증진에 영향을 미치는 요인들을 조사 및 분석하였다. 이를 통해 기존 가로수 조성 및 관리에 관한 정책을 뒷받침할 수 있는 근거 마련이 가능할 것으로 판단되며 도시녹지의 구심점 역할을 하는 가로수의 건강성을 증진하기 위해 다음과 정책을 제안하고자 한다.

첫째, 가로수 생애주기 맞춤형 관리시스템 마련이 필요하다. 기존의 가로수 식재 및 관리는 기존 “식재-관리-갱신”의 수목의 생육특성, 생애주기 등을 고려하지 않은 단순한 체계로 유지되어 전반적인 가로수의 건강성을 증진시키기 위해서는 한계가 있다. 따라서 “유목재배-식재 전 관리-식재-식재 후 관리-수목 성장-갱신”과 같이 보다 체계적인 생애주기별 유지 관리 체계를 마련해야 한다. 현재 가로수는 조경수 재배 농장에서 대량 납품을 받아 식재되고 있다. 하지만 생산기술, 품질관리 및 유통체계가 구축되어있지 않아 건강한 가로수로 성장 하는데 어려움이 있다. 프랑스에서는 가로수로 적합한 곧은 수형을 유지하기 위해 유목부터 수간을 곧게 유지하기 위한 품질관리를 실시하고 있어 이를 도입할 수 있도록 가로수 생산에 대한 고민이 필요한 시점이다.

둘째, 수원시 가로수 관리를 위한 목표제를 도입해야 한다. 기존의 가로수 구비조건은 정돈된 수형, 양호한 발육, 치밀하게 발단된 지엽, 병해충 피해가 없는 것 등 기준이 모호하므로 보다 정량화된 목표를 설정하는 것이 필요하다. 가로수 수량 및 수형, 캐노피, 가로수 활력도 등급 등 보다 명확한 목표 설정을 통해 구체적인 실행 방안을 연계하는 것이 중요하다.

셋째, 정기적인 가로수 건강성 평가를 실시해야 한다. 가지치기, 병해충 방제 등 일시적인 가로수 관리에서 벗어나 지속가능한 가로수 건강성 증진을 위해서는 가로수 건강성 평가를 정기적으로(5년 주기) 수원시 전역을 대상으로 실시해야 한다. 드론촬영 등 항공촬영(열밴드 포함)을 통해 가로수 전수 조사가 가능하며 촬영한 데이터는 NDVI(정규식생지수) 분석을 통해 가로수 특성 비교 연구가 가능하다. 가로수 건강성 평가를 가로수 기본계획 내 포함하여 가로수 조성 및 관리계획과 연동되어야 한다.

〈그림 5-1〉 항공촬영을 통한 NDVI 분석결과



넷째, 도로 및 주변 환경 특성을 고려한 가로수 조성 및 유지관리 가이드라인의 보완이 필요하다. 가로수 건강성 평가 결과를 토대로 보다 구체적이고 실행 가능한 가이드라인 작성이 이루어져야 한다. 기존의 가이드라인은 기초적인 수준에서의 지침을 제시하고 있어 실제 적용하는데 한계가 존재한다. 현재 가로수 조성 지침 및 매뉴얼 등에서 제시하고 있는 가로수 식재 위치는 도로의 폭, 도로 주변 장애물 등에 대한 내용을 다루고 있지만 인도폭, 간판과의 이격거리, 전선 유무, 토지이용 등 식재환경 및 주변 환경을 고려한 적지적수를 실시해야 한다. 따라서 구체적인 기준 및 목표 설정, 식재 및 관리 체계 확립 방안 제시 등을 통해 적용 가능성을 향상시킬 필요가 있다. 나아가 대단위 택지개발사업 등의 지구단위 지침에서부터 가로수 식재 및 관리에 관한 사항을 제시하여 개발단계에서부터 수종 선정, 식수폭 확보 등에 대한 고려가 이루어져야한다.

〈표 5-2〉 가로수 조성 및 관리 조례 보완 사항 제안

| | 기존 조례 | 보완 사항 |
|------------------|-------------------|---|
| 제2장 가로수 조성 | 제5조 수종의 선정 및 구비조건 | - 도로규모(인도폭 등)를 고려한 수종 선정 |
| | 제6조 조성협의 등 | - 가로수 식재공간 여부를 적정한 식수폭 확보로 기존 구체화 필요 |
| | 제7조 식재 위치 | |
| | 제8조 식재 기준 | - 구체적이고 정량적인 기준 마련 및 목표 설정(수량, 수형 등) - 도로규모를 고려한 가로수 규격 제시 |
| | 제9조 도로표지판 등 설치 | |
| | 제10조 식재 시기 | |
| | 〈추가〉 품질 관리 | - 유목재배 기준 적용을 통한 품질관리 |
| | 〈추가〉 식재 기반 | - 토양검사를 통한 식재기반 확보 |
| 제3장 가로수 관리 | 제11조 바뀌심기 및 메워심기 | |
| | 제12조 가지치기 | - 목표 수형 설정을 통한 가지치기 |
| | 제13조 병해충 방제 | |
| | 제14조 가로수의 외과수술 등 | |
| | 제15조 지형과 토양보호 | |
| | 제16조 관리시설물 | |
| | 제17조 점검 | - 가로수 관리 목표제 도입하여 바뀌심기 등을 요하는 가로수 기준 제시 필요 - 가로수 생애주기 맞춤형 유지관리 시스템 도입 - NDVI 분석 등을 이용한 정기적인 가로수 건강성 모니터링 및 평가 |
| | 제18조 관리의 주민참여 등 | - 가로수 입양제도 적극 도입 필요 - 지역주민, 상가협의회 등과 연계한 가로수 관리 실시 필요 |
| | 제19조 식재와 관리의 민간위탁 | - 가로수 식재 등과 관련 자격조건 강화 필요 |
| | 제20조 원인자부담금 | - 각종 공사 및 행위로 가로수 옮겨심기를 할 경우 이식목에 대한 식재 전, 식재 후 관리감독 근거 조항 마련 필요 |
| | 제21~22조 〈삭제〉 | |
| | 제23조 관리의 협의 | |
| | 제24조 가로수 관리대장 | - 가로수 관리 이력 |
| | 제25조 시행규칙 | |

| 참고문헌 |

〈국문 자료〉

- 국토교통부. (2016). 조경설계기준
- 김미형, 김건하.(2014). 폐목재를 이용한 바이오차 생산 및 토양적용의 환경평가. 한남대학교
- 김선희, 성주한, 구남인, 김용석, 제선미, 김경하.(2016). 산림의 건강·활력도진단·평가보고서. 국립
산림과학원
- 김은영.(2018). 수원시 가로수 건강성 평가. 수원시정연구원
- 산림청.(2014). 도로 및 환경유형별 가로수 조성·관리 모델 개발
- 우승한.(2013). 토양탄소격리를 위한 바이오차. 한밭대학교
- 우승한.(2015). 바이오차. 좋은땅
- 이호철.(2019). 「바이오차 효과 및 도입 가능성」. 가로수 건강성 진단 및 토양관리 방안 세미나
발표자료. 수원시정연구원
- 조창건.(2019). 「가로수 토양관리방안」. 가로수 건강성 진단 및 토양관리 방안 세미나 발표자료.
수원시정연구원

〈영문 자료〉

- Ajutament de Barcelona (2011). Street Tree Management in Barcelona
- Bloomberg Philanthropies. Bringing biochar to your city-Lesson from the Stockholm
Biochar Project
- Embren, B. (2017). Benefits & Uses in Urban Landscapes, Stockholm Biochar Study
Tour-Presentations
- Jamieson, S. (2013). Delving into Biochar. The Landscape Contractor
- Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. Nature. 447(7141). 143 millontrees NYC.
MillionTrees NYC Tree Care Guide Handbook
- Maco, S. (2019). Risk & Rewards : Urban Trees in a Changing Climate. 1st International
Workshop on Climate Change Adaptation
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest
effects on air quality and human health in the United States. Environmental
pollution. 193. 119-129
- Sohi S, Lopez-Capel, E., Krull, E., Bol, R. (2009). Biochar, Climate Change and Soil:
A Review to Guide Future Research. CSIRO Land and Water Science Report

鈴木弘行. (2015). 樹の生命. NPO 法人樹の生命を守る会 (緑の技術集団)

江戸川区. (2009). 江戸川区街路樹指針 -新しい街路樹デザイン

〈인터넷 매체〉

기상자료개방포털 (<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)

바이오차 저널 (<https://www.biochar-journal.org/en/ct/77>)

오사카시 홈페이지 (<http://www.pref.osaka.lg.jp/>)

(주)푸름바이오 홈페이지 (<http://www.purumbio.com/>)

파리시 가로수 지도 (<https://jjvidalmac.carto.com/>)

파리시 홈페이지 (<https://www.paris.fr/pages/l-arbre-a-paris-199>)

Milliontrees NYC (<https://www.milliontreesnyc.org/html/plant/street.shtml>)

NYC Parks (<https://www.nycgovparks.org/services/forestry>)

Abstract



Evaluation of the Growth and Health of Street Trees in Suwon : Focused on Small-Medium Width Streets

Street trees in cities does not only serve to improve the city's resilience against the recent heatwave and heavy rainfall, but they are also major ecological resources linking the green corridor that was cut off due to various urban developments. However, with poor planting ground, wrong tree management, and limited budget, the growth and health of street trees is not secured in cities. Therefore, it is necessary to evaluate the growth and health of street trees and to propose effective management plans according to the influencing factors.

The ultimate purpose of this study is to establish a management plan for street trees through the evaluation of the growth and health of street trees in Suwon. This study evaluated the growth and health of street trees in small or medium streets connected to *Deogyong-daero* and analyzed the factors affecting the growth status of street trees. In addition, the growth of street trees and the environmental factors between large width road and small or medium width streets are compared and analyzed.

To measure the tree growth, the eye measurement and the tree growth measuring instrument (Junsmeter1) were used. Soil environments such as soil temperature, hardness, pH, and humidity were investigated. Also physical factors such as linear green space or tree protection cover installation, sidewalk and road width were analyzed. This study surveyed 126 trees in 12 sections on small or medium width streets. As a result the tree growth was measured higher in the residential area than in the commercial area, the difference in the tree growth according to the land use was analyzed at a significant level. In addition, soil temperature and soil pH in residential areas were higher than those in

commercial areas, and soil hardness and soil humidity were higher in commercial areas. In other commercial areas, there was a problem due to deterioration of tree growth due to strong pruning, loss of tree protection cover, stacked garbages, and poor soil conditions. In residential areas, soil pH was high due to calcium chloride in winter time. The tree growth of the main road was higher than in the small or medium width streets.

Soil temperature and soil pH were higher in the main road than in the small or medium width streets. Because the main roads has a large impermeable pavement area, the temperature was high due to the radiant heat, and the soil pH was high due to the use of calcium chloride in winter. Soil hardness and soil humidity were higher in the small or medium width streets because narrow sidewalks are affected more by trampling effects, stacked garbages and sewage inflows.

Based on these results, it is necessary to prepare street trees management plans considering the road scale. The selection of tree species, planting, and management plan should be considered with land usages in surrounding areas, traffic volume, and sidewalk width. And it is necessary to build management system considering life cycles of street trees. In addition, regular evaluation of the growth and health of street trees through the aerial photography and master plan based on these study results are necessary.

Through this study, a more systematic maintenance management plan which is not covered the existing ordinance or guideline is expected to establish.

Keywords: Tree growth, Soil condition, Biochar, Road Scale, Guideline for street trees

| 저자 약력 |

김은영

공학박사

수원시정연구원 도시공간연구실 연구위원(현)

E-mail : eykim@suwon.re.kr

주요 논문 및 보고서

「2030 수원시 공원녹지 비전 및 전략 수립」 (2018, 수원시정연구원)

「생태적 가치 증진을 위한 수원시 공원녹지 관리방안」 (2018, 수원시정연구원)

「수원시 가로수 건강성 평가」 (2018, 수원시정연구원)

「수원시 폭염 취약계층 분석 및 대응전략 수립」 (2017, 수원시정연구원)

「수원시 도시 회복력 평가 및 증진방안 수립」 (2017, 수원시정연구원)

「수원시 도시공원의 생태계서비스 평가」 (2016, 수원시정연구원)

정경민

조경학석사

수원시정연구원 도시공간연구실 위촉연구원(현)

E-mail : km3737@suwon.re.kr

