

| SRI-기본-2018-4 |

수원시 가로수 건강성 평가

Evaluation of the Growth and Health of Street Trees in Suwon

김은영

연구진

연구책임자 김은영 (수원시정연구원 연구위원)

참여연구원 정경민 (수원시정연구원 연구위원)

연구 자문위원

송원경 (단국대학교 녹지조경학과 교수)

유가영 (경희대학교 환경학 및 환경공학과 교수)

이동근 (서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수)

이양주 (경기연구원 선임연구위원)

© 2018 수원시정연구원

발행인 이재은

발행처 수원시정연구원

경기도 수원시 권선구 수인로 126

(우편번호) 16429

전화 031-220-8001 팩스 031-220-8000

<http://www.suwon.re.kr>

인쇄 2018년 10월 31일

발행 2018년 10월 31일

ISBN 979-11-89160-27-2 (93480)

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처 표시해 주십시오.

김은영. 2018. 「수원시 가로수 건강성 평가」. 수원시정연구원.

비매품

국문요약

최근 전세계적으로 기후변화 등 이상기후로 인해 폭염일수가 급증하고 있으며 수원시 역시 기록적인 폭염으로 인한 영향에 노출되어 있는 실정이다. 이러한 폭염 및 도시열섬 완화를 위한 정책으로 가로수 조성 및 관리가 중요한 이슈로 제시되고 있다. 가로수는 녹지가 부족한 도시에서 대기정화, 도시 미기후 조절 등의 환경적 기능과 야생동물 서식지 제공, 생물다양성 증대 등의 생태적 기능뿐만 아니라 인간의 육체 및 정신적 건강 보호, 범죄 예방 등 사회·경제적 기능 등이 있다. 이에 본 연구에서는 폭염 및 도시열섬 완화에 대표적인 정책인 가로수를 대상으로 건강성을 평가하여 가로수 생육에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

가로수 건강성평가를 위해 덕영대로 상·하행선 총25개 구간 총125그루를 대상으로 현장 조사를 실시하였다. 현장조사 시 수종, 수고, 흉고직경, 식재유형, 활력도 등의 가로수 현황 및 생육환경요인, 토양 온습도, 토양pH, 토양경도 등의 토양환경요인과 주변 토지이용, 도로 폭 등 주변 환경요인을 조사하고, 이를 분석하여 활력도에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

수원시 덕영대로를 대상으로 가로수 건강성 평가를 실시한 결과, 대상지 내 주요 수종은 느티나무이며 대부분의 구간에서 활력도가 높은 것으로 조사되었다. 또한, 가로수 활력도에 영향을 미치는 항목으로는 식재유형, 토양온도, 보호판 유무, 토양pH, 도로확장 유무, 도로와의 이격거리 등이 선정되었으며 그 영향의 차이가 유의미한 수준인 것으로 분석되었다.

가로수 활력도가 높은 지역의 토양온도가 낮은 것으로 나타났으며 1열 식재보다 2열 식재 시 가로수 활력도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 도시열섬효과 완화 대책으로서 가로수 조성 및 관리가 적합한 대응방안이라는 것을 뒷받침할 수 있는 근거가 되었다. 또한, 가로수의 보호판 설치가 가로수 활력에 영향을 미쳤으며, 토양pH의 경우 대부분이 중급수준이었으나 일부 도로에 인접한 구간에서 토양pH가 높게 나타났다. 이를 통해 가로수의 식재기반인 토양환경에 대한 답압관리, 토양개량 등이 필요한 것으로 나타났다. 현장조사 결과, 덕영대로의 경우 대부분의 구간에서 가로수의 생육상태가 좋은 것으로 조사되었으나 도로확장에 따른 기존 가로수를 재이식한 지역의 활력도가 낮은 것으로 조사되었다. 이는 가로수 식재공사시 토목공사 이후 생육기반 조성 및 식재 관리감독이 부재한 것으로 가로수 관리의 중요성이 제시되었다.

본 연구 결과를 토대로 다음의 정책건의를 제안하였다. 첫째, 가로수 건강성 확보를 위해

가로수 식재공사뿐만 아니라 유지관리 시 가로수 토양환경 개선사업의 필요성을 제시하였으며 둘째, 수원시 조례에 의해 5년마다 실시되는 가로수 기본계획 수립시 수원시 전역의 가로수 현황조사뿐만 아니라 건강성 및 취약성 평가를 도입하여 관리계획을 수립하도록 제안하였다. 셋째, 가로수 조성 및 관리를 위한 정량적인 목표설정과 넷째, 가로수 입양제도 등 보다 적극적인 시민참여 도입 방안을 마련하는 것이며 마지막으로 수원시의 그린인프라 정책 수립이 필요하다. 단순한 띠녹지 조성사업이 아니라 도시공원, 가로수, 빗물이용시설 등이 유기적으로 연계되는 토양네트워크 구축이 필요가 있다.

본 연구에서는 도로 외 영향요인을 통제하기 위해 덕영대로를 중심으로 조사·분석하였다. 향후 덕영대로를 중심으로 중로 및 소로에 대한 건강성 평가를 실시하여 대로와 중로, 소로간의 차이를 파악하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 활력도 측정기기를 통한 활력도 측정은 수목의 성장흐름을 파악하는데 유용하나 수종간의 계측값의 편차 및 수목 생장을 대표해서 평가하는데 한계가 있으므로 향후 드론 등을 활용한 가로수 건강성 평가를 제안하고자 한다.

주제어: 도시생태계, 그린인프라, 도시열섬효과, 토양환경, 수목활력도

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 가로수의 정의 및 기능	11
1. 가로수의 정의	11
2. 가로수의 기능	12
제2절 가로수 건강성 평가 사례	19
1. 가로수 건강 평가 시스템	19
2. 가로수 초기 고사율 연구	20
3. RUSI(rapid city site index) 모델	22
4. 독일 가로수 조사	22
5. 산림청, 녹색건강성 평가지표 개발 및 모니터링	24
제3절 가로수 건강성(활력도) 측정 방법	26
1. 목측(目測)	26
2. 수목 활력도 측정기	29
3. 정규식생지수(NDVI)	30
 제3장 수원시 가로수 현황	 33
제1절 수원시 가로수 식재 현황	35
1. 수원시 가로수 식재 현황	35
2. 수종별 가로수 현황	36

제2절 수원시 가로수 관리 현황	43
1. 가로수 관리 현황	43
2. 시민참여형 거버넌스	45
제4장 수원시 가로수 건강성 평가	47
제1절 가로수 건강성 평가방법	49
1. 대상지 개요	49
2. 현장조사 방법	51
제2절 가로수 건강성 평가	55
1. 가로수 생육 현황	55
2. 가로수 생육 현황 분석	76
3. 생육환경 요인 분석	85
4. 토양환경 요인 분석	90
5. 물리적 요인 분석	94
제3절 소결	103
제5장 결론	105
제1절 연구의 의의 및 한계	107
제2절 정책적 제언	109
참고문헌	111

표 차례

〈표 2-1〉 가로수의 주요 기능	12
〈표 2-2〉 수목 건강 문제와 피해 진단 카탈로그	19
〈표 2-3〉 가로수 초기 고사율 영향 요인 및 조사 항목	20
〈표 2-4〉 주요 4개 가로수종 샘플 평가 결과	23
〈표 2-5〉 가로수 녹색건전성 평가지표	25
〈표 2-6〉 수관 활력도 등급 구분	26
〈표 2-7〉 수관급 등급 구분	27
〈표 2-8〉 형질급 등급 구분	27
〈표 2-9〉 임목결합 구분 및 판정 기준	28
〈표 2-10〉 수목 활력도 측정 범위	29
〈표 3-1〉 수원시 가로수 및 녹지 현황	36
〈표 3-2〉 수원시 가로수 수종별 가로수 현황	36
〈표 3-3〉 성상별 가로수 수종	37
〈표 3-4〉 장안구 가로수 수종별 가로수 현황	38
〈표 3-5〉 권선구 가로수 수종별 가로수 현황	39
〈표 3-6〉 팔달구 가로수 수종별 가로수 현황	40
〈표 3-7〉 영통구 가로수 수종별 가로수 현황	41
〈표 3-8〉 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례」 가로수 관리 항목 및 내용	43
〈표 3-9〉 수원시 가로수 관리 현황	44
〈표 4-1〉 대상지 가로수 분포 현황	50
〈표 4-2〉 조사항목 구분	53
〈표 4-3〉 장안구 대상지 현황	55
〈표 4-4〉 권선구 대상지 현황	59
〈표 4-5〉 팔달구 대상지 현황	64
〈표 4-6〉 영통구 대상지 현황	68
〈표 4-7〉 조사 대상지 수종 현황	76
〈표 4-8〉 수목활력도 등급 범위	82

〈표 4-9〉 구간별 수간 활력도 평균 및 등급 84

〈표 4-10〉 전체 대상지 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도 차이 86

〈표 4-11〉 도로 확장공사 및 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도 차이 87

〈표 4-12〉 전체 대상지 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이 87

〈표 4-13〉 도로 확장공사 및 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이 88

〈표 4-14〉 전체 대상지 보호판 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이 90

〈표 4-15〉 수간 활력도 등급별 토양온도 평균 및 상관계수 91

〈표 4-16〉 수간 활력도 등급별 토양경도 평균 및 상관계수 92

〈표 4-17〉 토양산도 평가기준에 따른 평가등급 92

〈표 4-18〉 수간 활력도 등급별 토양산도(pH) 평균 및 상관계수 93

〈표 4-19〉 토양 유기물 분석 결과 94

〈표 4-20〉 대상지 구간의 주변 토지이용 현황 94

〈표 4-21〉 토지이용에 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정 95

〈표 4-22〉 토지이용에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과 95

〈표 4-23〉 기존도로 내 토지이용에 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정 96

〈표 4-24〉 기존도로 내 토지이용에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과 96

〈표 4-25〉 대상지 구간의 도로 확장 유무 현황 96

〈표 4-26〉 전체 대상지 보호판 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이 97

〈표 4-27〉 대상지 구간의 도로와의 이격거리 현황 97

〈표 4-28〉 기존도로 내 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도 99

〈표 4-29〉 도로와의 이격거리 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정 99

〈표 4-30〉 도로와의 이격거리에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과 99

〈표 4-31〉 대상지 구간의 인도폭 현황 100

〈표 4-32〉 기존도로 내 인도폭에 따른 수간 평균 활력도 101

〈표 4-33〉 인도폭에 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정 102

〈표 4-34〉 인도폭에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과 102

그림 차례

〈그림 1-1〉 토지이용에 따른 지표면 및 대기온도 변화	3
〈그림 1-2〉 2018년 수원시 폭염일수 및 열대야일수	4
〈그림 1-3〉 연구의 방법	7
〈그림 2-1〉 가로수의 기능	13
〈그림 2-2〉 나무의 물순환 체계 개선 기능	15
〈그림 2-3〉 녹지의 도시 미기후 조절 기능	16
〈그림 2-4〉 녹지의 소음 조절 기능	16
〈그림 2-5〉 녹지의 소음 조절 효과	17
〈그림 2-6〉 borough의 나무 생존 및 손실	21
〈그림 2-7〉 토지이용에 따른 도시 나무 생존율	21
〈그림 2-8〉 RUSI 모델의 요인 및 매개변수	22
〈그림 2-9〉 가로수 연령별 그룹 예시	23
〈그림 2-10〉 가로수 연령그룹 비율 분석	23
〈그림 2-11〉 베를린 가로수 샘플 위치 및 구조	24
〈그림 2-12〉 수관급 등급별 예시	27
〈그림 2-13〉 형질급 등급별 예시	28
〈그림 2-14〉 수목활력도 측정 모습	30
〈그림 2-15〉 NDVI의 개념	31
〈그림 2-16〉 근적외선 디지털 카메라를 활용한 NDVI 측정	31
〈그림 3-1〉 수원시 가로수 식재 현황	35
〈그림 3-2〉 장안구 가로수 식재 현황	38
〈그림 3-3〉 권선구 가로수 식재 현황	39
〈그림 3-4〉 팔달구 가로수 식재 현황	40
〈그림 3-5〉 영통구 가로수 식재 현황	41
〈그림 3-6〉 가로수 정원사	45
〈그림 3-7〉 가로수 건강검진단	46
〈그림 4-1〉 대상지 위치	49

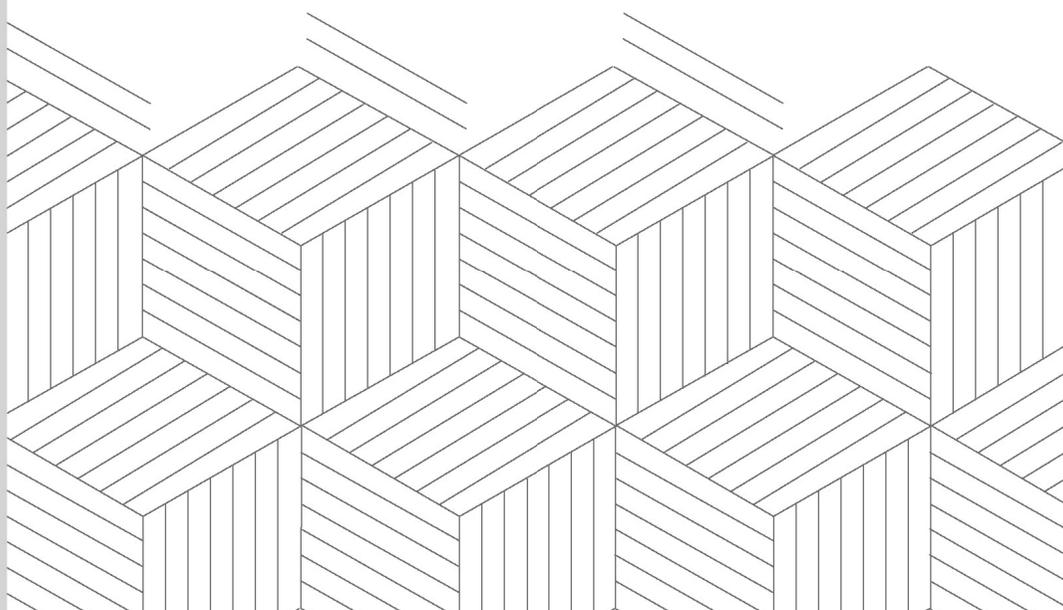
〈그림 4-2〉 대상지 가로수 수종 현황	50
〈그림 4-3〉 조사 방법	52
〈그림 4-4〉 생육환경 조사	54
〈그림 4-5〉 토양환경 조사	54
〈그림 4-6〉 장안구 대상지 구간 위치	55
〈그림 4-7〉 상행 1 구간 전경 및 현황	56
〈그림 4-8〉 상행 2 구간 전경 및 현황	56
〈그림 4-9〉 상행 3 구간 전경 및 현황	57
〈그림 4-10〉 하행 1 구간 전경 및 현황	57
〈그림 4-11〉 하행 2 구간 전경 및 현황	58
〈그림 4-12〉 상행 7 구간 전경 및 현황	59
〈그림 4-13〉 상행 8 구간 전경 및 현황	60
〈그림 4-14〉 상행 9 구간 전경 및 현황	60
〈그림 4-15〉 하행 6 구간 전경 및 현황	61
〈그림 4-16〉 하행 7 구간 전경 및 현황	61
〈그림 4-17〉 하행 8 구간 전경 및 현황	62
〈그림 4-18〉 하행 9 구간 전경 및 현황	62
〈그림 4-19〉 하행 10 구간 전경 및 현황	63
〈그림 4-20〉 상행 4 구간 전경 및 현황	65
〈그림 4-21〉 상행 5 구간 전경 및 현황	65
〈그림 4-22〉 상행 6 구간 전경 및 현황	66
〈그림 4-23〉 하행 3 구간 전경 및 현황	66
〈그림 4-24〉 하행 4 구간 전경 및 현황	67
〈그림 4-25〉 하행 5 구간 전경 및 현황	67
〈그림 4-26〉 상행 10 구간 전경 및 현황	69
〈그림 4-27〉 상행 11 구간 전경 및 현황	69
〈그림 4-28〉 상행 12 구간 전경 및 현황	70
〈그림 4-29〉 상행 13 구간 전경 및 현황	70
〈그림 4-30〉 하행 11 구간 전경 및 현황	71
〈그림 4-31〉 하행 12 구간 전경 및 현황	71
〈그림 4-32〉 쓰레기 적치 구간	72

〈그림 4-33〉 자전거 보관대 설치 구간	72
〈그림 4-34〉 토양환경 불량 구간	73
〈그림 4-35〉 뿌리 생육 불량 구간	73
〈그림 4-36〉 식재 위치 불량 구간	74
〈그림 4-37〉 수종 선정 오류 구간	75
〈그림 4-38〉 고사가 진행 중인 구간	75
〈그림 4-39〉 식재 수종별 수고 분포	76
〈그림 4-40〉 조사 대상지 가로수 흉고직경 분포	77
〈그림 4-41〉 식재 수종별 흉고직경 분포	78
〈그림 4-42〉 목측 등급별 사례	79
〈그림 4-43〉 전체 조사 대상지 목측 결과	79
〈그림 4-44〉 수종별 목측 등급 분포	80
〈그림 4-45〉 전체 조사 대상지 활력도 측정 결과	81
〈그림 4-46〉 수종별 평균 활력도	82
〈그림 4-47〉 목측결과와 수간 평균 측정값과의 산점도	83
〈그림 4-48〉 전체 구간 활력도 등급	83
〈그림 4-49〉 1열 식재 구간	85
〈그림 4-50〉 2열 식재 구간	85
〈그림 4-51〉 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도	86
〈그림 4-52〉 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도	87
〈그림 4-53〉 기존 도로 내 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도	88
〈그림 4-54〉 변경 도로 내 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도	88
〈그림 4-55〉 보호판 유무 현황	89
〈그림 4-56〉 보호판 유무에 따른 수간 평균 활력도	90
〈그림 4-57〉 수간 활력도 등급별 토양온도	91
〈그림 4-58〉 수간 활력도 등급별 토양경도	92
〈그림 4-59〉 수간 활력도 등급별 토양산도(pH)	93
〈그림 4-60〉 주변 토지이용에 따른 수간 평균 활력도	95
〈그림 4-61〉 기존도로 내 토지이용에 따른 수간 평균 활력도	96
〈그림 4-62〉 도로와의 이격거리 비교	98
〈그림 4-63〉 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도	98

〈그림 4-64〉 기존도로 내 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도	99
〈그림 4-65〉 인도폭 비교	100
〈그림 4-66〉 인도폭에 따른 수간 평균 활력도	101
〈그림 4-67〉 기존도로 대상지 내 인도폭에 따른 수간 평균 활력도	102

제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적
제2절 연구의 범위 및 방법



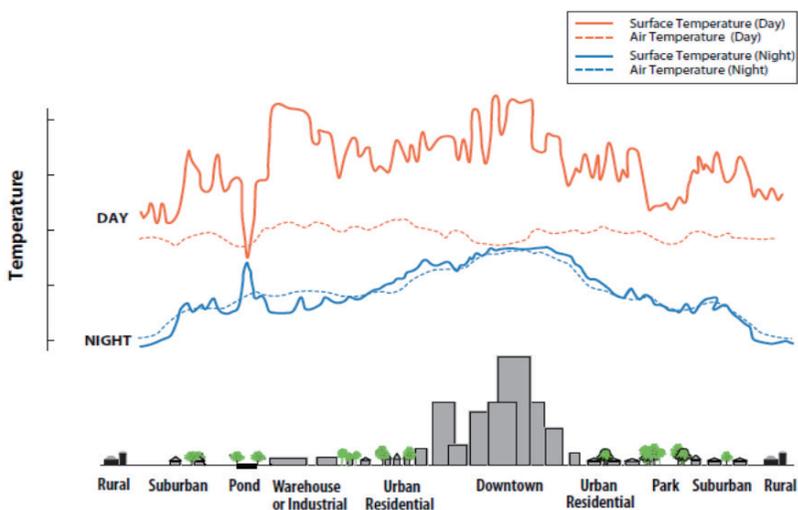
제1장 서론

제1절 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

도시 생태계는 도시의 미기후 조절, 공기 중의 오염물질 정화, 산소 공급 등 도시에 사는 사람들에게 쾌적한 주거환경 및 근로환경을 제공할 뿐 아니라 동물들의 서식처 및 보호 장소, 이동통로의 역할을 한다(김준순·이동근, 2014). 도시지역이 개발됨에 따라 과거 오픈스페이스와 초지 및 녹지가 건물, 도로 및 기타 인프라 시설로 변화가 초래된다. 이에 습기가 있고 침투성이 있는 표면은 건조하고 불투수성 표면으로 변화된다. 이러한 개발로 인해 도시지역이 농촌지역보다 온도가 높은 도시열섬 현상으로 이어지게 된다(EPA, 2008). U.S. EPA(2008)에 의하면 도시숲이 제공하는 가장 중요한 기능 중에 하나가 즉각적으로 온도를 낮출 수 있는 능력이며 열섬효과로 인한 주변지역과의 온도 차이는 대략 1~3℃이며 혹은 그 이상이라고 발표한 바 있다.

〈그림 1-1〉 토지이용에 따른 지표면 및 대기온도 변화



출처 : Modified from Voogt, 2000

우리나라도 도시지역의 확대 및 고밀도 개발로 인해 대기온도를 낮추어 주는 녹지공간은 부족해지고, 아스팔트와 건물들이 생기면서 도시의 온도가 높아지는 열섬현상이 심화되고 있다(박은진 외, 2010). 최근 전세계적으로 기후변화 등 이상기후로 인해 폭염일수가 급증하고 있으며 2018년 수원시 폭염일수는 총 38일로 기상관측이 시작된 1907년 이래 111년 만에 최대의 폭염수치를 기록하였다. 열대야일수 역시 27일을 기록하여 수원의 폭염일수와 열대야일수는 타 대도시와 비교 시 상당히 높은 수준이다. 도시열섬효과 저감을 위한 대안으로 가로수의 중요성이 강조되고 있다. 호주 멜버른, 퍼스 및 미국 뉴욕 등의 대도시에서는 기후변화 및 이상기후 대응을 위한 회복력 있는 도시 구현을 위해 가로수 계획을 대표적인 기후변화 적응대책으로 소개하고 있다. 특히, 호주 멜버른은 가장 효과적인 도시 열섬 완화 전략 중 하나가 캐노피 증진임을 확인하고, 도시숲 계획을 통해 캐노피 커버율 증가 방안을 마련하였다(김은영 외, 2017).

〈그림 1-2〉 2018년 수원시 폭염일수 및 열대야일수



이와 같이 가로수는 도시열섬효과 저감 등 기후변화 대응에 중요한 매개체로 대두되고 있다. 가로수는 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 의거 도로와 보행자전용도로 및 자전거도로 등 도로의 도로구역 안 또는 그 주변에 심는 수목을 말한다. 가로수 조성의 경우 지방자치단체장에게 의해 가로수 조성, 이식, 제거, 가지치기 등을 조례로 정하도록 하고 있다. 수원시 역시 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례」와 시행규칙을 제정하여 운영 중에 있다. 특히, 수원시의 경우 가로수뿐만 아니라 피녹지 조성사업을 지속적으로 추진하고 있으나 수원시 내 가로수 생육상태가 불량한 지역이 다수 발생하고 있어 근본적인 원인 파악이 필요할 실정이다.

가로수가 갖는 기능과 중요성에 대한 연구는 다수 진행된 바 있다. 특히, 최근 가로수의

경제적 가치를 추정하는 연구(이지영, 2014, 김준순·이동근, 2014)가 수행된 바 있으나 생육 상태에 영향을 미치는 요인 및 건강성 평가와 관련된 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구는 가로수 건강성에 영향을 미치는 요인을 도출하고 이를 토대로 건강성 평가를 실시하고자 한다. 향후 이를 토대로 가로수 관리계획을 수립하여 지속적인 가로수 및 띠녹지 사업을 추진할 필요가 있다.

2. 연구의 목적

본 연구에서는 수원시 내 가로수 현황을 파악하고 가로수 생육 및 건강성에 미치는 영향요인을 도출하고자 한다. 이를 위해 첫째, 가로수 조성 및 건강성 평가 사례분석을 통해 가로수 생육 및 건강성에 미치는 영향요인을 도출하였다. 둘째, 수원시 가로수 현장조사를 통해 생육 및 건강성을 평가하였다. 가로수 건강성 평가를 통해 폭염, 폭우 등 이상기후에 대응할 수 있는 회복력 있는 도시 조성에 기여하고자 한다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구의 내용적 범위는 가로수의 건강성을 평가하는 것이다. 본 연구에서는 가로수가 가지고 있는 경관적 측면, 오염 저감 효과 등의 가로수의 기능에 대한 평가 보다는 가로수 생육 및 건강성을 평가하는 것으로 연구범위를 제한하였다.

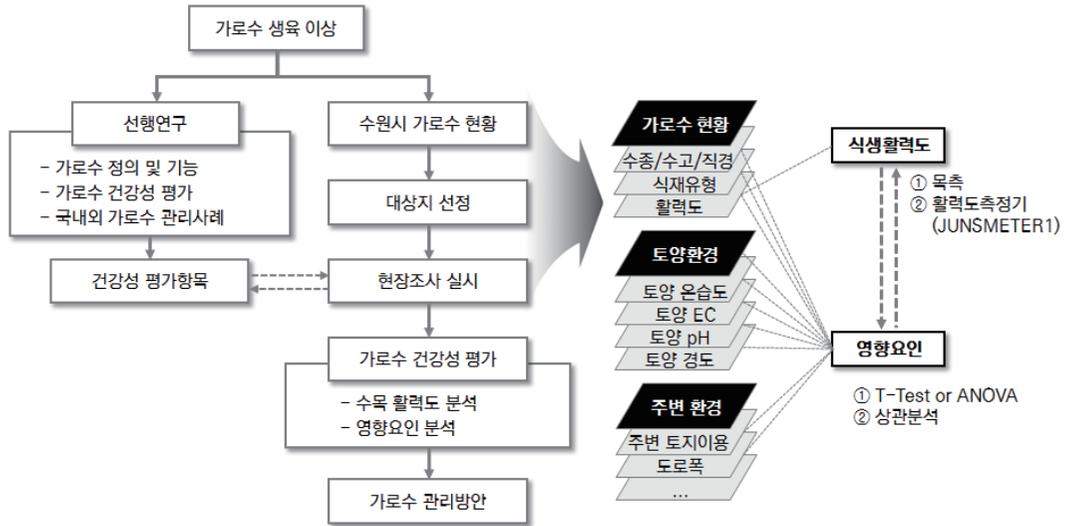
공간적 범위는 수원시 전역을 대상으로 수원시의 가로수 조성 현황을 살펴보고 현장조사 구간을 선정하여 가로수 건강성 조사 및 평가를 실시하고자 한다. 이를 토대로 수원시 가로수 조성 및 유지관리 시 고려해야 할 사항을 도출하고자 한다.

2. 연구의 방법

가로수 건강성 평가를 위해 선행연구 고찰, 현장조사 및 전문가 자문, 건강성 평가 등의 연구방법론을 활용하였다. 본 연구에서는 가로수의 정의 및 기능, 건강성 평가사례, 수목의 활력도 측정방법 등을 고찰하여 현장조사에서 활용할 수 있는 평가항목 및 평가방법을 도출하였다. 현장조사 실시에 앞서 연구대상지를 선정하여 유형별 가로수 건강성 평가를 위한 조사를 실시하였다. 가로수 조성 및 유지관리측면에서의 전문가 자문을 받았으며, SPSS 18을 이용한 통계분석을 실시하여 가로수 건강성에 영향을 미치는 영향요인을 도출하였다.

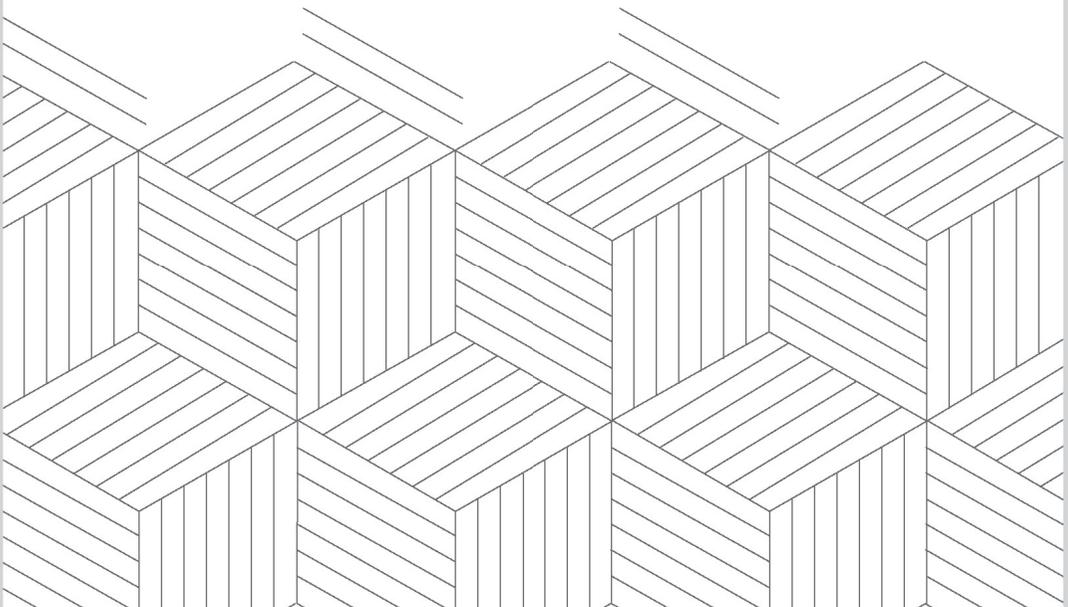
- 선행연구 고찰
 - 가로수 정의 및 기능
 - 가로수 건강성 평가사례
 - 가로수 활력도 측정방법
- 현장조사
 - 연구대상지 선정
 - 유형별 평가항목 조사 실시
- 전문가 자문
 - 가로수 조성 및 유지관리 전문가 인터뷰
- 통계분석
 - 통계분석(SPSS 18)을 통한 가로수 생육에 영향을 미치는 영향요인 도출

〈그림 1-3〉 연구의 방법



제2장 선행연구 고찰

제1절 가로수의 정의 및 기능
제2절 가로수 건강성 평가 사례
제3절 수목 건강성(활력도) 측정 방법



제2장 선형연구 고찰

제1절 가로수의 정의 및 기능

1. 가로수의 정의

가로수는 법적 용어로 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」 제 2조에 의해 「도로법」 제10조에 따른 도로(고속국도를 제외한다)와 보행자전용도로 및 자전거전용도로 등 대통령령으로 정하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 심는 수목으로 정의되고 있다. 또한 수원시 「가로수 조성 및 관리 조례」에서는 “가로수”란 아름다운 경관의 조성, 환경오염 저감과 녹음제공 등 생활·교통환경 개선, 자연생태계의 연결성 유지 등을 위하여 다음에 해당하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 심는 수목으로서 도로의 구조보전과 안전하고 원활한 도로교통의 확보에 지장이 없도록 식재된 것을 말한다.

수원시 가로수 조성 및 관리 조례에서 요구하는 가로수 구비 조건은 다음과 같다.

- 수형이 정돈된 것
- 발육이 양호할 것
- 지엽이 치밀하게 발달되었을 것
- 병해충의 피해가 없을 것
- 이식 시 활착이 용이하도록 미리 이식하였거나 완전한 단근작업 및 뿌리 돌림을 실시하여 세근이 발달한 재배품일 것
- 재배품이 아닐 경우에는 수형, 지엽 등이 표준 이상으로 우량하고 충분한 크기의 분을 떼서 이식할 수 있을 것

2. 가로수의 기능

가로수는 미기후 조절 및 CO₂ 저장 등의 환경공학적 기능과 도시공간을 기능적으로 구획하는 건축적 기능, 야생동물의 이동통로 및 도시녹지의 연결 축으로서의 도시생태네트워크 기능, 생물자원 보존기능, 심리적 안정감 및 쾌적성 효과 등의 치유기능을 가진다(산림청, 2014).

〈표 2-1〉 가로수의 주요 기능

주요 기능	내용	출처
환경공학적 기능 (미기후조절 및 CO ₂ 저장)	흡착과 흡수기능을 통한 대기오염물질 농도 감소 복사열 차단, 증발산 등을 통하여 온·습도를 포함하는 미기후를 개선 및 열섬현상 완화 매연과 분진을 흡착하고 유독가스 등의 흡수로 대기 오염 정화 화재방지 등 오염 및 재해의 완충효과 도시소음의 흡수로 인한 소음방지, 방풍 도시에 발생하는 이산화탄소의 저장소 역할을 하는 도시수목의 일부분으로서 중요한 기능 그늘을 주고 복사열을 흡수하여 기온 조절 바람 조절, 습기 보충과 건조 방지, 눈·비·이슬 등 기후조절 기능 대기에 산소를 공급하는 기능	Peter(1983) 조현길 등(1998) Nowak and Crane(2002) 정강욱(2004) 김범수와 신원선(2006) McHale et al.(2007) 변혜옥(2009)
건축적 기능	도시공간을 기능적으로 구획, 전경을 열어주거나 차폐기능	정강욱(2004) 변혜옥(2009)
도시생태 네트워크 기능	야생동물의 서식지 제공으로 인한 다양성을 유지·증진하는데 기여 차단된 도시녹지의 연결축으로서의 역할과 도시 야생동물의 이동통로로서의 기능 부각 도시에서의 산림과 잔존 산림, 공원 등의 연계	한봉호(1995) 조현길 등(1998) 성현찬과 민수현(2003)
생물자원 보존 기능	유전자 자원 보존 및 야생생물 보호기능, 생태계 유지 기능, 토지 및 수자원 보존 기능 수행	高原(1980)
치유 기능	도시 주민에게 심리적 안정감을 제공 도시경관을 창출하는 등의 쾌적성 효과 부정형한 건축군의 전면을 차단하여 가로의 정돈감 제공 가로에 푸르름을 제공하여 경관의 질 향상 도시민에게 쉼터, 차분한 환경, 기쁨 등의 제공	Peter(1983) Vallerie(1983) 정강욱(2004) 변혜옥(2009)

자료: 산림청, 2014

가로수는 녹지가 부족한 도시에서 자연환경 및 인간환경에 다양한 기능 및 역할을 한다. 가로수가 가지는 기능에는 대기정화·빗물정화 및 저장·도시 미기후 조절·소음 차단 등 환경적 기능, 야생동물 서식지 제공·생물 다양성 증대 등의 생태적 기능, 인간의 육체 및 정신적 건강 보호·범죄 예방·지역경제 활성화 등 사회·경제적 기능 등이 있다.

〈그림 2-1〉 가로수의 기능



자료 :Rogers et al., 2015

1) 환경적 기능

(1) 대기정화

도시에서는 인간 활동으로 인한 다양한 요인들로 인해 발생하는 이산화탄소는 대기 중에 축적되어 기후변화를 야기한다. 수목은 이산화탄소를 흡수하여 탄소를 제거하고 저장하면서 산소를 다시 대기 중으로 방출시킨다. 또한, 대기오염 물질이 수목의 표면에 침전되거나 기공을 통한 흡수 기작으로 질소 산화물, 암모니아, 이산화황, 오존 등 다양한 오염물질을 흡수하고 제거한다. 일례로, 느티나무 한 그루의 시간당 이산화탄소 흡수량은 1,690g(연간 2.5톤), 산소생산량은 1,260g(연간 1.8톤, 사람 7명의 1년간 필요량), 수목이 없는 도로의 분진량(10,000~12,000개/공기 1리터당)에 비해 수목이 있는 도로의 분진량은 1,000~3,000개로 감소하며, 나무줄기 아래의 지표 강진량은 다른 장소보다 20%이상 감소한다(변우혁 외, 2010). 또한, Bradshaw et al.(1995)에 따르면 미국 시카고의 나무들은 여름철 평균 10.8톤의 PM 10을 제거하는 것으로 보고했으며, 영국 웨스트 미들랜드에서의 한 연구에서는 지역의 두 배를 덮는 수목은 PM10을 25%정도 감소(Stewart et al., 2003)시킨다고 제시했다.

도시녹지의 대기정화효과에 대한 국내 연구에서는 도시의 가로수를 중심으로 이론적인 대

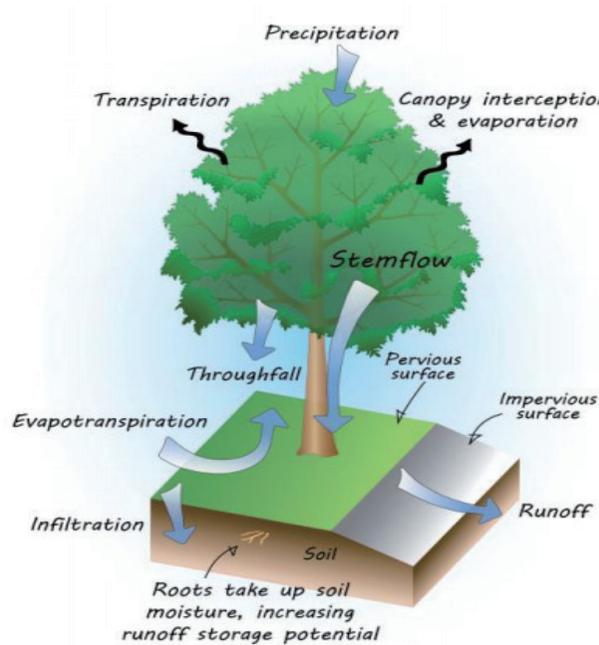
기오염물질 흡수율을 산정하였다. 그 결과 승용차 1대의 SO₂를 정화하기 위해서는 7.4 그루, NO₂는 1,803.3 그루의 활엽수 가로수가 필요한 것으로 분석되었다(성현찬·문다미, 2003). 또한 1열·2열 식재, 하단 관목 식재 유무, 완충식재 유무 등 가로수 배치유형에 따른 흡수능력을 분석한 결과, '1열 식재', '1열 식재+하단 관목', '2열 식재', '2열 식재+하단 관목', '2열 식재+하단 관목+완충녹지대'로 갈수록 대기오염물질의 흡수능력이 증가하며, '2열 식재+하단 관목'의 경우 '1열 식재'보다 3배 정도의 흡수능력을, '2열 식재+하단 관목'의 경우 '2열 식재+하단 관목+완충녹지대'는 8배의 흡수능력을 가지게 되는 것으로 나타났다(성현찬·문다미, 2003).

(2) 빗물정화 및 저장

가로수, 띠녹지, 공원 등 도시녹지는 빗물의 자연 여과 및 저장 역할을 한다. 가로수와 토양을 통해 흡수된 빗물은 자연 여과 과정을 거쳐 대기먼지, 지표면의 오염물질 등을 정화시키며, 하천이나 다른 수역에 들어가기 전에 퇴적물, 영양소 및 화학물질을 흡수한다. 나무는 거대한 양의 물을 저장할 수 있어 강우 시 아스팔트 포장면으로 빗물이 유출되는 것을 막을 수 있다. 녹지를 통해 유입된 빗물은 지하로 흘러 지하수량을 회복하게 하고, 하천으로 흘러 들어 도시의 물순환 체계를 개선시킨다. 나아가 빗물의 움직임을 늦춤으로서 토양 침식과 홍수를 감소시킨다. 실제로 미국 포틀랜드(Portland)에서는 가로수와 녹화를 통해 도시 물관리 부분에서 3~6배 높게 효과를 보았으며, 녹색길(greenway)로 연간 40%의 유출수가 감소하였다고 보고했다(강정은 외, 2012).

작은 저수지 역할을 하는 나무는 빗물을 제어할 수 있으며, 증산, 차단, 수관통과수 감소, 침투 증가, 환경정화 등의 방법으로 유출수를 줄일 수 있다. 나무는 광합성에 이용하기 위해 토양으로부터 많은 양의 물을 사용한다. 증산 과정을 거쳐 나무에서 증기의 형태로 대기로 배출되며, 나뭇잎, 가지, 수간 표면에서 물을 흡수하여 땅에 닿는 물의 양을 줄이고 양을 조절하여 범람을 지연시킨다. 또한 수관을 거쳐 떨어지는 강우는 지표면에 충격을 줄여 토양침식을 감소시킨다. 나무뿌리의 성장과 분해는 빗물의 토양 침투 용량과 비율을 증가시키며, 물과 함께 토양으로부터 금속, 유기 화합물, 연료 및 용제를 포함한 극미량의 유해 화학 물질을 흡수한다(EPA, 2013).

〈그림 2-2〉 나무의 물순환 체계 개선 기능



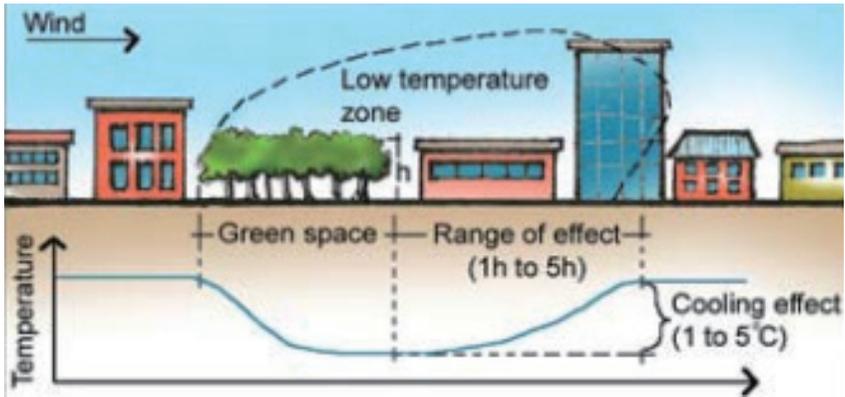
자료 : EPA, 2013

(3) 도시 미기후 조절

도시의 내부는 도시열섬 현상으로 인해 주변 교외지역보다 약 3~5℃ 가량 높게 나타나며, 낮 동안 구조물, 아스팔트 도로 등에 축적된 열의 방출로 인해 열대야 현상을 일으킨다. 가로수 캐노피는 태양열을 차단하여 그늘을 조성하고, 뿌리의 수분을 수증기로 변환하여 대기 중으로 방출하는 증산작용의 과정으로 주변의 온도를 낮추는 역할을 한다. 또한 건물 등의 구조물로 인해 가로막힌 도심에서는 바람길 역할을 하여 대기 순환을 원활하게 해준다.

도시의 열환경 완화와 관련한 연구는 일반적으로 녹지가 있는 지역과 없는 지역의 거리를 비교했는데, 영국 런던(London)에서는 녹지지역이 주변도로보다 평균 0.6℃ 낮게 측정되었으며, 그늘이 없는 거리보다 공원이 3℃ 낮게 측정되었다. 맨체스터(Manchester)에서도 숲이 도심보다 기온이 12.8℃가 낮게 관측되었다(강정은 외, 2012).

〈그림 2-3〉 녹지의 도시 미기후 조절 기능

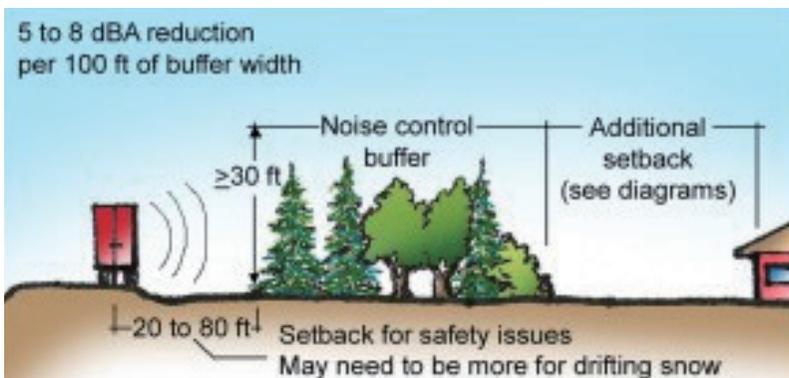


자료: Bentrup, 2008

(4) 소음 차단

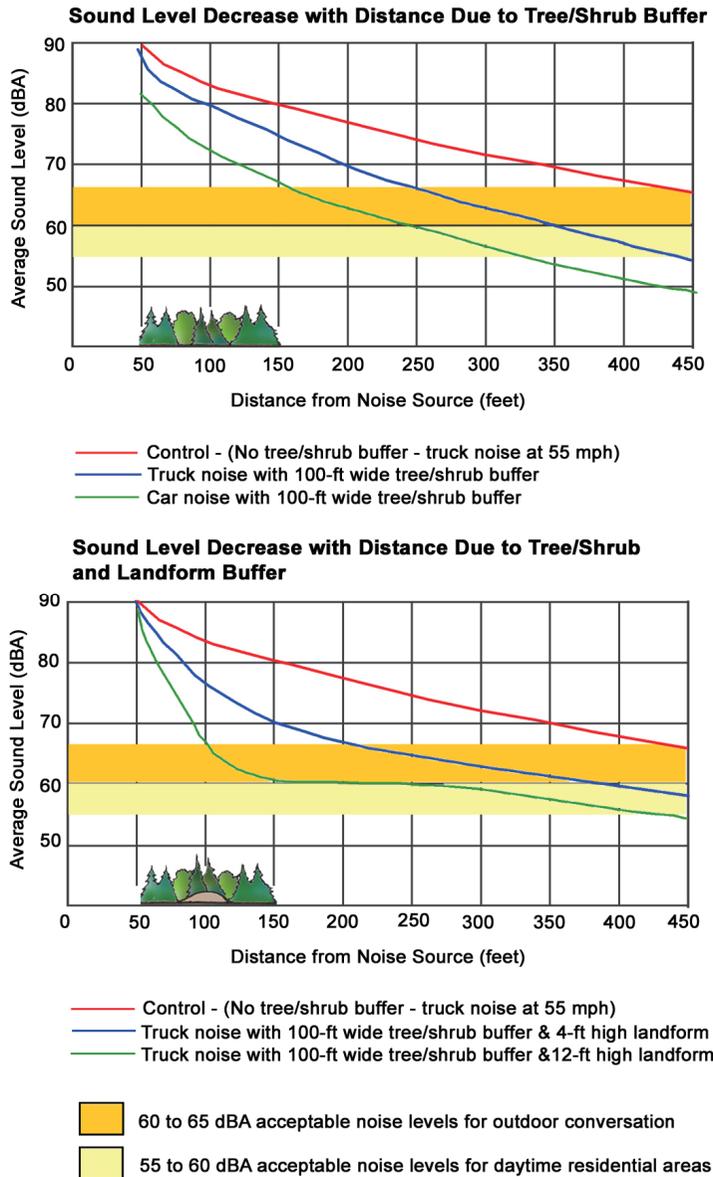
도시는 잎맥처럼 뻗어있는 수많은 도로나 계속되는 개발로 인한 공사장 등에서 지속적인 소음이 발생한다. 소음은 인간에게 불안과 긴장감을 불러일으키며, 심지어 질병을 유발하기도 한다. 뿐만 아니라 도로의 자동차, 기차 등으로부터 밤낮없이 발생하는 소음은 야생동물을 위협하여 도시 생태계의 균형을 무너뜨린다. 가로수로 형성된 녹지대는 하나의 벽을 형성하여 도로나 공사장 등에서 발생하는 소음을 약화·차단시키는 역할을 한다. 수림대가 있는 경우 수림대 폭 1m당 수림대가 없는 경우에 비해 50%의 소음 감소효과를 나타낸다(변우혁 외, 2010).

〈그림 2-4〉 녹지의 소음 조절 기능



자료: Bentrup, 2008

〈그림 2-5〉 녹지의 소음 조절 효과



자료: Bentrup, 2008

2) 생태적 기능

(1) 야생 동식물 서식지 제공

녹지가 부족한 도심 내에 가로수는 야생동물의 서식지 제공으로 인한 다양성을 유지·증진 하는데 기여하고, 차단된 도시녹지의 연결 축으로서의 역할과 도시 야생동물의 이동통로로서

의 기능 부각, 도시에서의 산림과 잔존 산림, 공원 등의 연계 등의 도시 생태네트워크 기능을 한다고 하였다(한봉호, 1995; 조현길 외, 1998; 성현찬·문다미, 2003; 산림청, 2014).

(2) 생물다양성 증대

도시 녹지로서 가로수는 야생동물의 서식지와 피난처, 조류의 먹이 등 다양한 생태계 서비스를 제공한다. Gibbons et al.(2002)에 따르면 공동이 발달한 성숙한 나무(100~150년 또는 그 이상)는 조류, 일부 포유류 및 곤충의 서식처를 제공한다고 보고했다. 나아가 무분별한 개발로 파편화된 도시의 생물 서식지를 가로수, 띠녹지 등 도시 녹지가 연결시켜 야생동물의 이동통로가 되며, 나아가 파편화되어 조각으로 퍼져있는 녹지를 연결시켜 생태 네트워크를 가능하게 한다.

3) 사회·경제적 기능

(1) 육체 및 정신적 건강 보호

환경오염에 따라 오존층의 두께가 얇아지면서 자외선에 의한 피부암 발병률이 높아지고 있다. 가로수는 적절한 그늘을 형성하여 햇빛으로부터 과도하게 노출되는 것을 막아주고 열로 인한 스트레스를 줄여준다.

도시의 녹지는 육체적 건강뿐만 아니라 정신적 건강에도 영향을 미친다. 숲이 우거진 도시 지역에서 노는 것은 아이들이 사회적 기술과 인지 능력을 개발하고, 학교 성적과 집중력을 향상시키며, 주의력 결핍 과잉행동장애(ADHD)의 증상을 줄이는데 도움이 된다(Taylor et al., 1998).

(2) 지역경제 활성화

사람들은 일반적으로 나무가 늘어선 거리에서 오래 머물며 쇼핑하고 식사를 즐긴다. 꽃, 열매, 단풍 등의 계절 변화에 따른 경관을 창출하고 볼거리를 제공함으로써 비즈니스 및 관광 지역의 매력을 높여 도시의 경제적 성과를 향상시킨다. 나무는 또한 그늘을 마련하여 에너지 소비를 줄이고 나아가 도시의 열섬 효과를 줄여 장기적인 경제적 이익을 창출한다. 가로수가 잘 조성된 지역의 상점, 아파트 및 주택을 일반적으로 높은 임대료 및 판매 가격을 끌어당긴다.

제2절 가로수 건강성 평가 사례

1. 가로수 건강 평가 시스템

Batala and Tsitsoni(2009)는 북 그리스의 테살로니키(Thessaloniki)시의 녹지량 증진을 위해 가장 많이 식재된 대표 가로수 3종에 대한 건강성을 평가했다. 도시의 녹지 비율을 높이기 위해 도시 환경에서의 생존에 적합한 수종 선택을 개선하는 것을 연구의 궁극적인 목표로 설정하였다. 조사된 3개의 가로수는 테살로니키시의 3개 중앙도로(Nikis Avenue, Egnatia Street, Karamanli Avenue)에 위치해 있으며, 교통량이 밀집되어 있는 지역으로 종 조성, 생육상태 및 특성에 따라 선택되었다. 니키스 애비뉴에는 버즘나무(*Platanus orientalis*), 에그나티아 스트리트에는 남팽나무(*Celtis australis*), 카라만라이 애비뉴에는 자귀나무(*Albizia julibrissin*), 소합향나무(*Liquidambar orientalis*), 애리조나사이프러스(*Cupressus arizonica*) 등을 대상으로 총 913개의 가로수를 조사하였다. 샘플링은 5개 나무 당 하나를 조사하였고, 수고, 흉고직경, 수관고, 수관폭, 수관볼륨 등 기초적인 조사를 실시하였다. 수목의 피해 기록은 수관의 건조, 곤충 및 균류 피해, 줄기에 덩굴 식물 기생 여부, 건물과의 이격거리, 수피 손상, 물고임, 토양 압축 등의 항목이 포함된 진단 카탈로그에 따라 수행하였다. 진단 결과를 바탕으로 가로수 건강을 양호(건강 문제가 없는 나무), 보통(교정할 수 있는 건강 문제가 있는 나무), 나쁨(대체해야하는 나무), 고사의 4단계로 평가하였다.

〈표 2-2〉 수목 건강 문제와 피해 진단 카탈로그

구분	내 용	구분	내 용
1	수관의 건조	14	토양 제거
2	곤충 및 균류 피해	15	시공으로 인한 토양 손상
3	줄기에 덩굴 식물 기생	16	뿌리로 인한 포장 손상
4	도로와 너무 가까운 수목	17	뿌리 손상
5	아스팔트 표면에 가까운 긴 수관 깊이	18	줄기에 유액 분비(secretion)
6	도로를 넘는 수관 너비	19	수피 손상
7	건물과 너무 가까운 수목	20	나무 붕괴
8	서로 닿는 수관	21	좁은 분기
9	빌딩에 닿는 수관	22	분기점에 물고임
10	공사로 인한 피해	23	건조하고 부서진 가지
11	케이블 또는 광원에 너무 가까운 수목	24	퍼진 가지
12	부적절한 뿌리 공간 깊이	25	가지치기로 인한 분지
13	토양 압축	26	과도한 전정(intensive pruning)

자료 : Batala and Tsitsoni, 2009

2. 가로수 초기 고사율 연구

2006년 여름 미국 뉴욕시의 공원 및 레크리에이션 부서는 국가 도시 및 지역 임업 자문위원회(National Urban and Community Forestry Advisory Council)와 나무 기금(Tree Fund)과 함께 도시 가로수의 초기 고사율을 낮추기 위해 뉴욕시에 식재된 14,000여 그루의 나무 현황 및 초기 식재 수목의 사망률을 조사하였다. 시공 계약 검사 데이터를 사용하여 1999-2003년 사이에 식재된 45,094 그루 나무의 경향을 분석한 뒤, 2년에 걸쳐 여름 기간에 14,667 그루의 나무를 재조사하여 40개 이상의 카테고리를 수집 사이트 평가 도구 문서를 작성하여 타 도시에서 분석이 가능하도록 했다. 데이터 수집은 생물학적, 물리적, 사회적 요인으로 구분하여 각각의 항목을 조사하였다. 생물학적 요인은 수종, 크기, 활력도, 토양경도, 토양침식, 수목손상 등의 항목을 선정하였고, 물리적 요인은 성장 공간, 거리너비 및 경사, 보도 너비, 건물 높이, 건물 타입, 토지이용 등을 조사하였다. 사회적 요인으로는 쓰레기 및 낙서 현황, 건물 보안, 공터, 수목 관리 흔적, 주변공간 특성, 벽화, 펜스타입, 가시거리(visibility) 등을 평가 항목으로 선정하였다. 샘플링 계획은 시간대와 토지이용으로 항목으로 분류된 14,000개의 나무 표본을 원본 데이터 세트에서 무작위로 선택하여 조사하였다. 1:10,000 축척으로 전체 나무가 대략적으로 표시된 지도를 바탕으로 현장조사를 실시하였고, GPS로 위치를 측정해 수목들의 정확한 위치를 표기하였다.

〈표 2-3〉 가로수 초기 고사율 영향 요인 및 조사 항목

영향 요인	조사 항목
생물학적 요인	수종, 크기, 활력도, 토양경도, 토양침식, 수목 손상
물리적 요인	성장 공간, 거리 너비 및 경사, 보도 너비, 건물 높이, 건물 타입, 토지이용
사회적 요인	쓰레기 및 낙서 현황, 건물 보안, 공터, 수목 관리 흔적, 주변 야드 특성, 벽화, 펜스 타입, 가시거리(visibility)

자료 : Lu et al., 2010

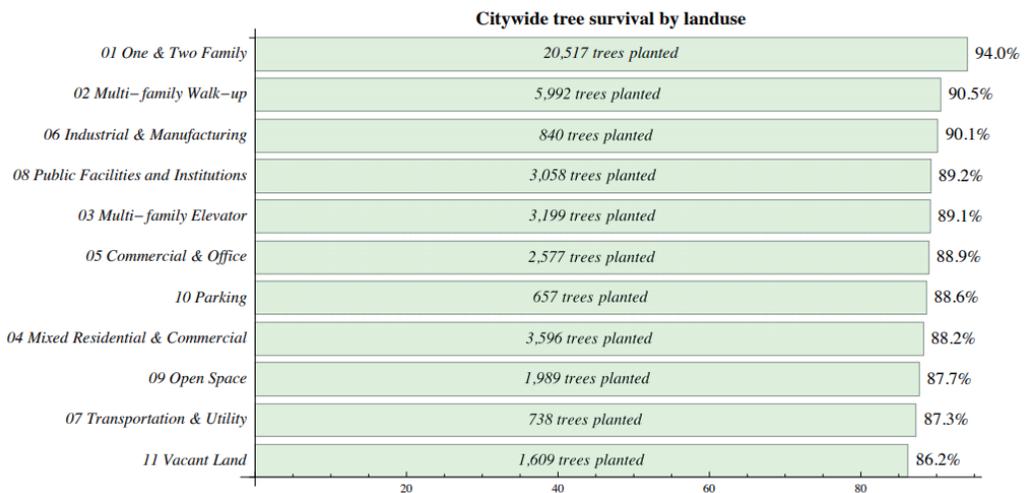
조사 결과 전체 나무의 20%가 누락되었으며, 6%의 고사목이 발견되었다. 수목의 초기 고사율 원인 분석 결과 가장 영향이 높은 요인은 토지이용으로 분석되었다. 주거지역에서 가장 높은 생존율을 보였으며, 공지, 교통·유틸리티 지역 및 개방된 공간 근처에서 낮은 값을 보였다. 특이점으로 산업 및 제조업체가 있는 지역에서 90.1%로 높은 생존율을 보였다.

〈그림 2-6〉 borough의 나무 생존 및 손실



자료 : Lu et al., 2010

〈그림 2-7〉 토지이용에 따른 도시 나무 생존율



자료 : Lu et al., 2010

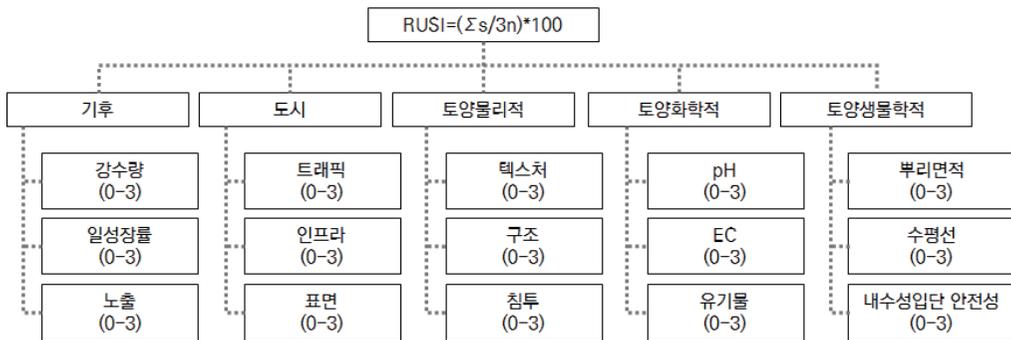
누락된 나무와 고사한 나무의 차이를 분석하기 위해 통계분석을 통해 검증한 결과 핵심 변수는 다음과 같다.

- 누락된 나무보다 고사한 나무에 쓰레기가 더 많이 발견됨
- 누락된 나무는 중간에 존재하거나 길가가 5피트 미만인 도로에 있을 확률이 높음

3. RUSI(rapid city site index) 모델

Scharenbroch et al.(2017)은 도시의 산림 관리자의 부지 특성에 부합되는 수종선정과 토양 관리 효율성 증진을 돕기 위해 도시 나무의 건강과 성장 측정치를 예측하는 모델을 구축하였다. RUSI(rapid city site index)모델로 약 5분 안에 15개의 매개변수를 채점하는 현장 기반 평가 도구이다. RUSI 모델은 기후, 도시, 토양물리적, 토양화학적, 토양생물학적 요인으로 구분된다. 기후요인에는 강수량, 일성장률, 노출정도가 변수로 활용되고 있으며, 도시요인에서는 트래픽, 인프라, 표면이 평가항목으로 제시되었다. 토양물리적 항목으로는 텍스처, 구조, 침투에 대한 부분이 평가되었고 토양생물학적 요인에서는 뿌리면적, 수평선, 내수성입단 안정성을 평가항목으로 제시되었다. 본 RUSI 모델의 효과를 검증하기 위해 보스턴, 시카고, 클리블랜드 등 중서부 및 미국 동북부의 8개 도시에서 테스트 실시하였다.

〈그림 2-8〉 RUSI 모델의 요인 및 매개변수



자료 : Scharenbroch et al., 2017

4. 독일 가로수 조사

베를린은 제2차 세계대전으로 도시의 나무들이 사라졌고, 다양한 재건 노력으로 2011년 조사결과 베를린의 도로에는 1km마다 평균적으로 약 82그루의 나무가 식재되어 있으며, 총 438,000여 그루의 가로수가 식재되어있는 것으로 조사되었다. 베를린시는 도시 가로수의 상태를 평가하기 위해 도심 지역의 컬러 적외선(Color Infrared, CIR) 항공 사진을 기반으로 5년마다 약 40년 동안 수목조사를 실시해왔다. 조사 결과 베를린의 가로수는 50종 이상이 식재되어 있으며, 대표 수종으로는 피나무속(Tilia), 단풍나무속(Acer), 참나무속(Quercus), 플라타너스(Platanus), 칠엽수(Aesculus)로 전체의 약 75%를 차지한다. 또한, 가로수의 연령 데이터를 확보하여 15년 이내, 15-40년, 40년 이상의 그룹으로 분류하고, 축적된 데이터

로 변화 추이를 분석하여 이를 바탕으로 식재 및 녹지 조성 계획에 반영한다.

〈표 2-4〉 주요 4개 가로수종 샘플 평가 결과

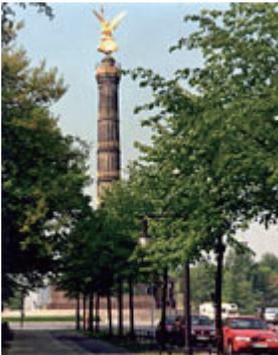
(단위: %)

수종	점유율	레벨1	레벨2-4	평균 표준편차
피나무속(Tilia)	56.9	60.2	39.8	1.9
단풍나무속(Acer)	24.5	38.1	61.9	2.4
칠엽수(Aesculus)	5.2	47.4	52.6	7.7
플라타너스(Platanе)	13.4	50.1	49.9	4.9
합계	100.0	52.4	47.6	1.8

자료: <https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/vitalitaet/index.shtml>

〈그림 2-9〉 가로수 연령별 그룹 예시

연령 그룹 1



연령 그룹 2

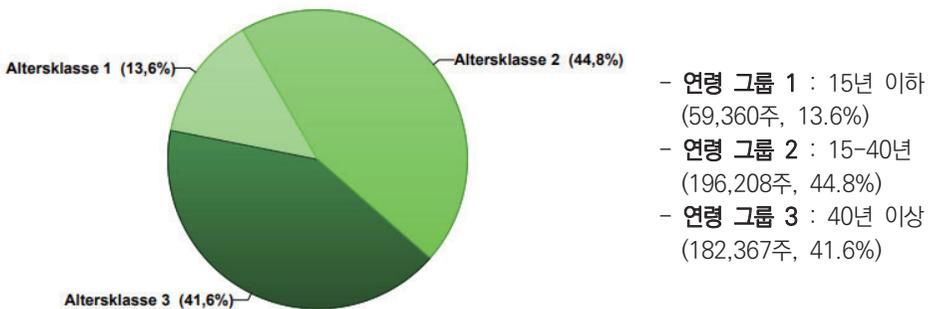


연령 그룹 3



자료: https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/altersklassen/index.shtml

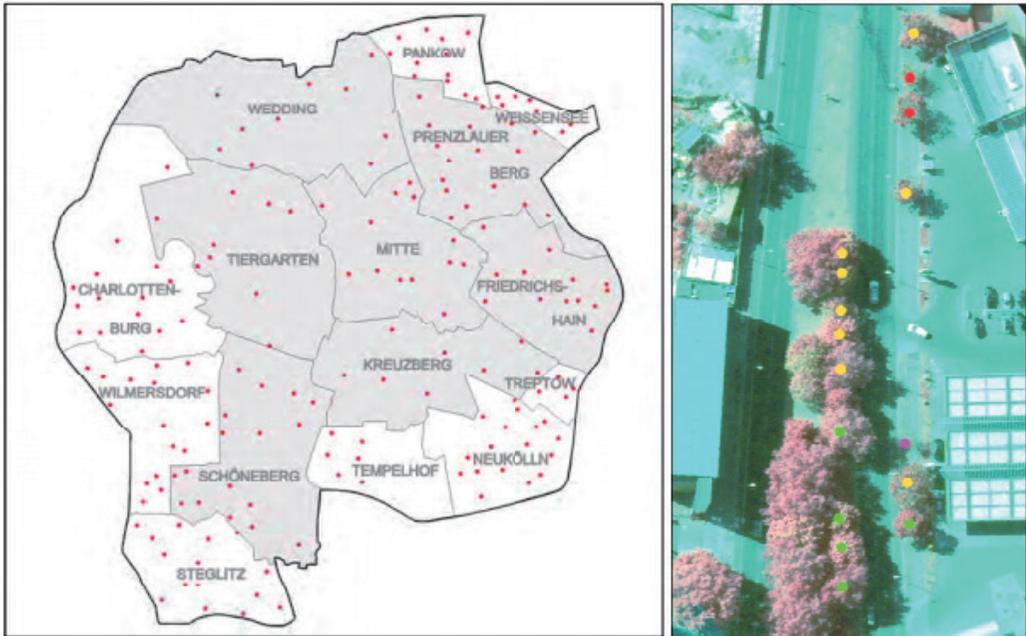
〈그림 2-10〉 가로수 연령그룹 비율 분석



자료: https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/altersklassen/index.shtml

베를린시는 조사된 가로수 및 녹지 데이터를 기반으로 녹색 공간 정보 시스템 (Grünflächen-informationssystem, GRIS)을 구축하였다. 수목 인벤토리에는 공공도로의 가로수와 공원이 포함되어 있으며, 사유지 도는 개인 도로의 나무는 불포함되어 있다.

〈그림 2-11〉 베를린 가로수 샘플 위치 및 구조



자료: Michael Fietz et al., 2016

5. 산림청, 녹색건전성 평가지표 개발 및 모니터링

도시숲 및 가로수의 녹색 건전성 평가를 위해 각 지방자치단체에서 조성하고 있는 최근의 도시숲 및 가로수를 대상으로 녹색 건전성 평가지표 개발 및 모니터링을 실시하였다. 전국 각 지자체별 특·광역시 7개와 각 도별 주요도시 9개를 대상으로 조사하였으며, 도시숲을 산림형과 가로수형으로 구분하여 생태적 건강성, 사회·문화적, 경관적 측면을 평가하기 위한 지표를 도출하였다. 가로수의 생태적 건강성을 평가하기 위해서는 가로수 전반에 대한 안정성을 위한 생육상태, 다양성, 생육환경 등의 항목을 선정하였으며, 주변녹지와와의 연결성을 위해 완충녹지대와의 연결 및 녹도의 조성여부, 주변 산림과의 연결성을 지표로 사용하였다. 사회·문화적 기능을 위한 평가지표로는 가로수의 환경기능개선을 위한 방진효과, 방음효과를 조사하였으며, 도로의 경관이나 주변 도로와의 차별성을 나타내는 대표성 지표는 수종, 가로

수의 통일성 등을 선정하였다. 사회·문화적 기능의 정서함양 기능 평가를 위해 녹음 및 휴식 공간 제공여부와 걷고 싶은 거리 프로그램에 대한 지표를 평가하였으며, 가로수 보호시설 유무, 가시성 확보, 죽은 나무 및 가지 등의 지표를 통해 안정성 평가를 실시하였다. 마지막으로 가로수의 경관적 기능은 전선과의 교차 여부 및 고유 수형, 지역적 특성을 반영한 가지치기 적용유무를 통해 평가하였다.

〈표 2-5〉 가로수 녹색건전성 평가지표

항목	지표	평가항목	
가로수 자체의 안전성	생육상태	가로수 생육상태	상
			중
			하
		평균 흉고직경	10cm 미만
	20cm 미만		
	20cm 이상		
	다양성	가로수 식재유형	1열 식재
			2열 식재
			3열 이상
		하층식생 유무	관목, 초본
			관목
			초본
	생육환경	생육공간 유형	대상형
			직사각형
정사각형			
부정형			
생장저해요인유무		유	
		무	
주변 녹지와의 연결성	완충녹지대 및 녹도	완충녹지대와의 연결	5m 이상
			2~5m
		녹도 조성	2m 이하
			3m 이하
	주변 산림과의 연결성	2km 이내 녹지 없는 경우	
		1~2km 이내 연결 가능	
		1km 이내 연결 가능	

자료 : 산림청, 2007

제3절 가로수 건강성(활력도) 측정 방법

1. 목적(目測)

1) 수관 활력도

목측이란 계기를 사용하지 않고 관측자의 눈으로 어림하여 현상을 관측하는 것을 말하며, 간략한 수관의 활력도를 평가하는 방법의 하나이다. 수목에서 생물적·물리적 환경조건에 민감하게 반응하는 당년생 어린가지를 대상으로 수관 피해율인 수관 활력도를 측정하며 그 평가 기준은 수목의 잎, 잔가지, 주가지의 고사율과 잎 변색율 정도 등이다. 목측을 이용한 수관 활력도 등급 구분은 건강, 중간건강, 약간쇠퇴, 중간쇠퇴, 심한쇠퇴의 5단계로 평가된다.

〈표 2-6〉 수관 활력도 등급 구분

코드	구분	판정기준
1	건강	· 나무가 건강한 상태로써 죽은 주가지가 없음 · 수관이 임분 상태에서 정상이며, 주가지 또는 주가지 가장자리의 잔가지와 잎의 죽은 비율이 10% 이하 또는 잎 변색율이 10% 이하
2	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
4	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
5	심한쇠퇴	· 고사가 진행 중인 경우

자료 : 김선희 외, 2016

2) 수관급

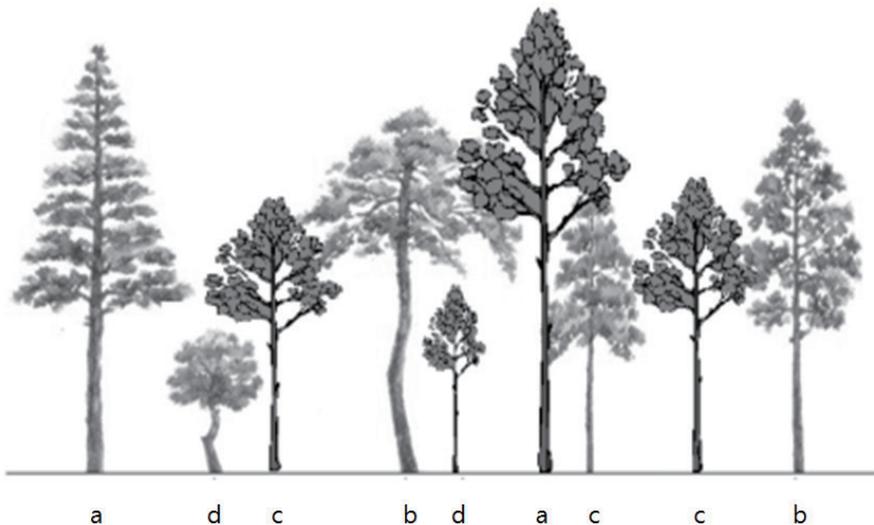
수관급 평가는 수관층에서 수관이 수직적, 수평적인 공간을 차지하는 정도, 수평광선을 받는 정도, 수관의 위치, 피압 정도 등을 기준으로 5단계로 조사한다. 수관은 빛에너지를 이용하여 나무가 필요한 에너지를 만드는 곳이므로, 이들에 대한 평가는 산림건강 측면에서 중요하다 할 수 있다. 따라서 수관급 평가는 빛을 받는 부분을 기준으로 평가한다(김선희 외, 2016).

〈표 2-7〉 수관급 등급 구분

코드	구분	판정기준
a	우세목	임분의 수관 최상층을 형성하는 입목으로서 수관이 잘 발달되어 충분한 수직 광선을 받으며, 측면으로부터 수평광선 일부를 받는 입목
b	준우세목	임분 수관의 상층(임분의 대표층)을 형성하는 입목으로서 충분한 수직 광선을 받으나, 측면으로부터 약간의 수평광선을 받는 입목
c	중층목	수관이 우세목과 준우세목의 아래층을 형성하는 나무로서 수직 및 수평 광선을 거의 받지 못하는 입목
d	열세목	수관이 하층에 속하고 이웃한 상층목의 압박으로 제대로 성장하지 못한 열세목으로 수직 및 수평 광선을 전혀 받지 못하는 입목
e	꼭목	수관이 임관층보다 위로 자라고 넓게 발달한 나무로 이웃한 상층목들의 생장에 방해가 되는 입목

자료 : 김선희 외, 2016

〈그림 2-12〉 수관급 등급별 예시



자료 : 김선희 외, 2016

3) 형질급

수간은 식물의 중심축으로 식물체를 지탱해주며, 영양분을 운반하는 통로의 역할을 함으로써 수목의 생장에 영향을 미친다. 수간의 건강성을 평가하는 형질급은 1등급부터 3등급까지로 구분하며, 임목의 곧고 굵음 정도, 상부 절단 여부, 역지고 등을 기준으로 평가한다.

〈표 2-8〉 형질급 등급 구분

코드	구분	판정기준	
1	1급목	소경목	수간이 곧고 끝이 부러진 바 없으며, 굽음 정도가 25% 이하로서 부패가 없는 입목
		중경목	수간이 곧고 역지고가 4m 이상이며, 굽음 정도가 25% 이하로서 부패가 없는 입목
		대경목	수간이 곧고 역지고가 6m 이상이며, 굽음 정도가 20% 이하로서 부패가 없는 입목
2	2급목	소경목	수간이 곧고 끝이 부러진 바 없으며, 굽음 정도가 50% 이하로서 부패가 없는 입목
		중경목	역지고가 4m 이상이나 굽음 정도 100% 이하이고 부패가 경미한 입목
		대경목	역지고가 4m 이하로서 부패는 역지고 재적의 30% 미만인 입목
3	3급목	1급 및 2급에 속하지 않는 입목과 피압목 전부	

자료 : 김선희 외, 2016

〈그림 2-13〉 형질급 등급별 예시



자료 : 김선희 외, 2016

4) 임목결함

임목결함은 수간, 가지, 잎으로 구분하여 각각 피해 형태에 따른 결함도를 조사한다. 수간 결함은 수간 부위에 발생한 버섯, 궤양, 천공, 비대 등의 발생을 조사하며, 이에 해당하지 않거나 고사원인이 판정되지 않는 경우 상세한 현황을 기록한다. 가지 부분의 결함은 병해, 건조, 빗자루증상, 겨우살이, 혹 등에 의한 결함으로 가지의 고사율에 따라 3등급으로 나누어 평가한다. 잎은 피해율의 정도에 따라 3등급으로 구분하고, 낙엽, 변색, 손실 등의 피해원인은 모두 동일시하며 해충, 병 및 생리피해 여부는 구분이 가능할 경우 표기한다.

〈표 2-9〉 임목결함 구분 및 판정 기준

코드	구분	판정기준		
수간	1	버섯	수간부위 버섯발생	버섯이 하나 이상 발생
	2	괘양	수피괴사율 25% 이하	수간의 일부 조직이 함몰, 거칠게 터짐, 송진누출 등이 발생한 경우
	3		수피괴사율 26~75% 이하	
	4		수피괴사율 75% 이상	
	5	천공	수간부위 천공발생	좀 피해 포함, 침엽수는 잎이 있는 경우에도 천공이 발생할 수 있음
	6	비대	수간부위 흑발생	흑이 하나 이상 발생
	7	기타	버섯, 괘양, 천공, 비대 이외의 원인	버섯, 괘양, 천공, 비대에 해당하지 않거나 고사원인 판정이 되지 않는 경우
가지	1	고사율	고사된 가지가 전체의 10% 이하	병해, 건조, 빗자루증상, 겨우살이, 흑 등에 의한 해충, 병 및 생리피해 여부는 구분이 가능할 경우에만 표기함
	2		고사된 가지가 전체의 11~50%	
	3		고사된 가지가 전체의 51% 이상	
잎	1	피해율	잎 피해율 30% 이하	낙엽, 변색, 손실 등의 피해원인을 모두 동일시함. 해충, 병 및 생리피해 여부는 구분 가능할 경우에만 표기함
	2		잎 피해율 31~70%	
	3		잎 피해율 71% 이상	

자료 : 김선희 외, 2016

2. 수목 활력도 측정기

수목 활력도 측정기기는 수목 성층의 전기저항을 측정하는 전기 생리학적 진단방법이다. 최초의 수목 활력도 측정기기는 사이고메터(Shigometer)로 Dr. Alex L. Shigo의 이름을 따서 명명된 배터리로 작동되는 경량 필드 저항계이다. 증상이 나타나기 전에 식물체에 해를 주지 않고 살아있는 식물체의 이상을 알아낼 수 있는 방법(Tattar and Blanchard, 1976; Shigo, 1991; 황동규 외, 2016)으로 수목의 다양한 스트레스에 의해 변화된 형성층 내 양이온의 농도 변화를 측정하며 수목 활력의 지표로 이용된다(황동규 외, 2016).

〈표 2-10〉 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 2-14〉 수목활력도 측정 모습

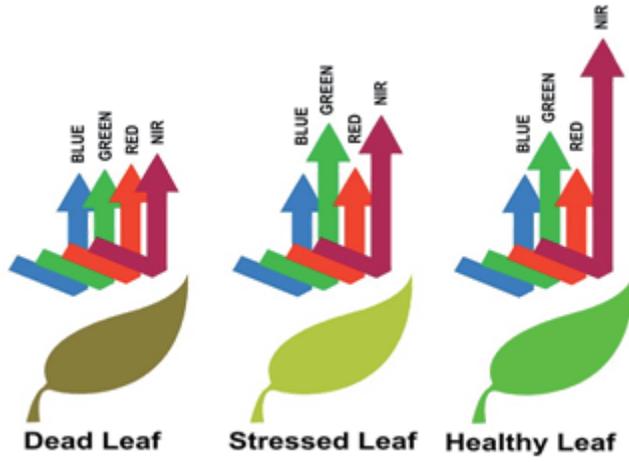


자료 : (주)푸름바이오 홈페이지(<http://www.purumbio.com/>)

3. 정규식생지수(NDVI)

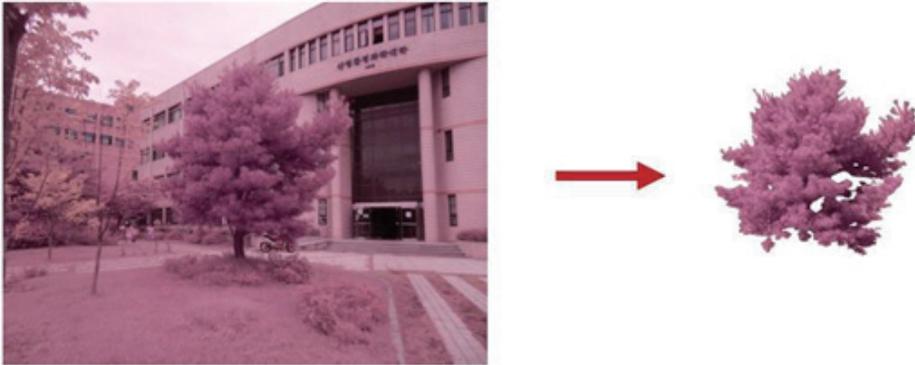
NDVI(Normal Difference Vegetation Index)는 인공위성이나 항공기 등 원격탐사 기술을 이용한 영상 처리 기술로서 식생의 유무를 강조하는 데 사용되는 기술이다. 식물의 에너지 흡수량과 광합성 능력과 연관된 지표로 NDVI, SR(Simple Ratio), EVI(Enhanced Vegetation Index) 등 다양한 지표들이 사용되고 있는데 이중 가장 대표적인 식생지수가 NDVI이다. NDVI는 건강한 식생의 경우 청색 및 적색 빛을 흡수하고 녹색 가시광선을 반사하며, 광합성 과정에서 적극적으로 사용되지 않는 근적외선(NIR)을 반사하는 특성을 이용하여 근적외선과 적색광 밴드 사이의 값의 차이를 두 밴드를 합한 값으로 나누어 계산한다. 건강한 식생은 근적외선(NIR) 영역(파장대 750-1,400nm 범위)에서 밝게 나타나고, 적색광선 영역의 반사강도는 낮다. 반대로 약해진 식생의 경우 근적외선 반사강도는 낮아지며 적색광선 영역의 반사강도는 높아져 대상지 수목의 전반적인 활력도를 육안으로 쉽게 평가할 수 있다.

〈그림 2-15〉 NDVI의 개념



자료 : <http://www.greenaerotech.com/what-is-ndvi/>

〈그림 2-16〉 근적외선 디지털 카메라를 활용한 NDVI 측정

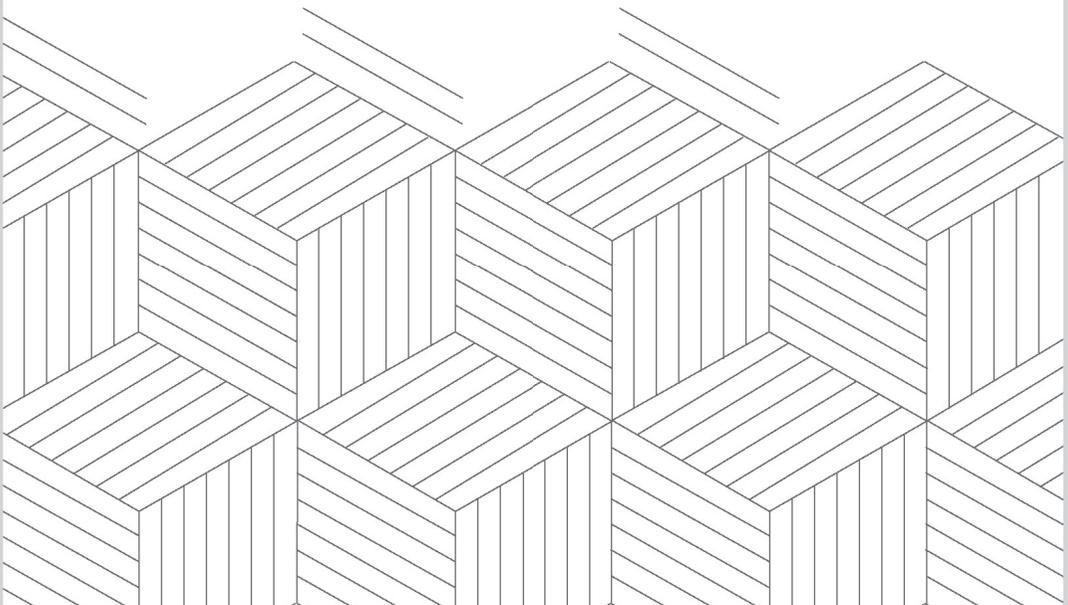


자료 : 김승호, 2017

제3장 수원시 가로수 현황

제1절 수원시 가로수 식재 현황

제2절 수원시 가로수 관리 현황

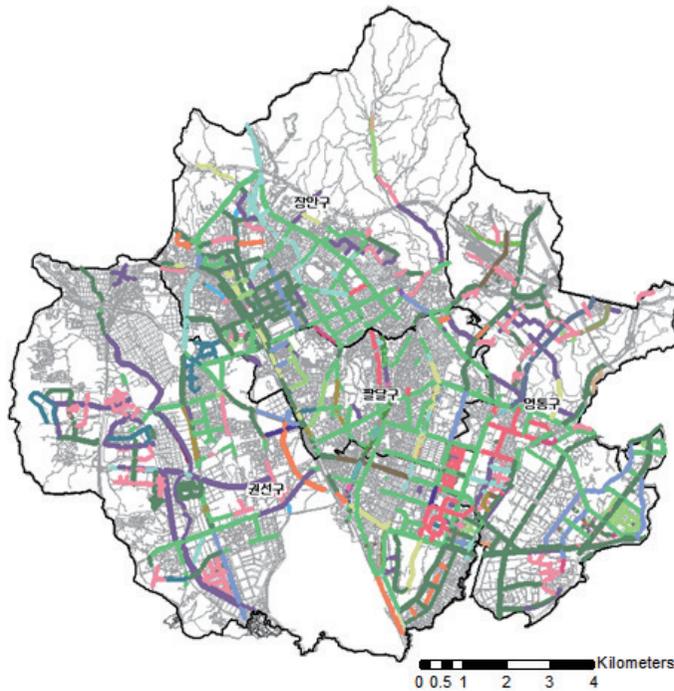


제3장 수원시 가로수 현황

제1절 수원시 가로수 식재 현황

1. 수원시 가로수 식재 현황

〈그림 3-1〉 수원시 가로수 식재 현황



〈 범 례 〉

- | | | | | | |
|-----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ● 가이즈까향나무 | ● 백목련 | ● 왕벚나무 | ● 대왕참나무 | ● 상수리나무 | ● 층층나무 |
| ● 감나무 | ● 버드나무 | ● 은행나무 | ● 두층나무 | ● 선주목 | ● 칠엽수 |
| ● 계수나무 | ● 버즘나무 | ● 이팝나무 | ● 둥근향(옥향) | ● 섬잣나무 | ● 튜립나무 |
| ● 공작단풍 | ● 복자기 | ● 졸참나무 | ● 매실나무 | ● 소나무 | ● 팽나무 |
| ● 눈향나무 | ● 사철나무 | ● 주목(둥근형) | ● 메타세케이아 | ● 소나무(장송) | ● 향나무(선향) |
| ● 느릅나무 | ● 산딸나무 | ● 중국단풍 | ● 목련 | ● 수양벚나무 | ● 홍단풍 |
| ● 느티나무 | ● 산뱀나무 | ● 청단풍 | ● 무궁화 | ● 스트로브잣나무 | ● 회양목 |
| ● 능수벚나무 | ● 산수유 | ● 측백나무 | ● 배롱나무 | ● 옥향 | ● 회화나무 |

수원시의 가로수 식재 현황은 교목 총 72,056주(2017.12.15. 기준)로 집계되었다. 413개 노선에 가로수 식재 구역이 조성되어 있으며, 교목 외에도 관목 2,453,529주와 초화류 680,739본이 식재되어있다. 구별 가로수 식재 수량을 살펴보면 권선구(30,012 주), 영통구(18,746 주), 장안구(14,305 주), 팔달구(8,993 주) 순으로 많았으며, 가장 수량이 많은 권선구는 전체의 약 42%를 차지하고 있었다. 수원시의 인구 대비 가로수 식재 수를 살펴보면, 전체 인구는 2017년 기준 약 120만 명으로 인구 100명당 약 5.8그루 수준으로 나타났다.

〈표 3-1〉 수원시 가로수 및 녹지 현황

(2017.12.15. 기준)

구분	노선 (개소)	교목 (주)	관목 (주)	초화 (본)	연장(m)			면적(㎡)		
					계	중앙 분리대	띠녹지	계	중앙 분리대	띠녹지
계	413	72,056	2,453,529	680,739	194,587	27,647	166,939	187,715	56,508	131,207
장안구	81	14,305	393,828	38,900	31,145	3,920	27,225	26,961	7,443	19,518
권선구	143	30,012	1,196,880	448,595	83,437	14,425	69,012	82,216	29,130	53,087
팔달구	62	8,993	215,556	20,960	20,888	4,539	16,349	19,452	8,549	10,903
영통구	127	18,746	647,265	172,284	59,116	4,763	54,353	59,086	11,387	47,699

자료: 수원시 내부자료

2. 수종별 가로수 현황

수원시에는 느티나무, 은행나무, 왕벚나무, 이팝나무, 메타세쿼이아, 청단풍, 버즘나무 등의 주요 수종과 중국단풍, 대왕참나무를 비롯한 40종의 기타수종으로 총 48종의 가로수가 식재되어있다. 주요 수종에서는 느티나무, 은행나무, 왕벚나무, 이팝나무의 4개 종이 전체의 65.50%를 차지해 대부분을 구성하고 있다고 할 수 있다. 특히, 느티나무는 25.01%로 나타나 수원시의 가로수에 높은 비중을 차지하고 있었다.

〈표 3-2〉 수원시 가로수 수종별 가로수 현황

(2017.12.15. 기준)

수 종	개체수	비 율	수 종	개체수	비 율
느티나무	18,021	25.01	중국단풍	2,095	2.91
은행나무	12,337	17.12	회화나무	2,004	2.78
왕벚나무	8,990	12.48	대왕참나무	1,574	2.18
이팝나무	7,849	10.89	산벚나무	1,425	1.98
메타세쿼이아	3,203	4.45	칠엽수	1,365	1.89
소나무	3,047	4.23	튜립나무	451	0.63
청단풍	3,040	4.22	무궁화	238	0.33
버즘나무	2,245	3.12	산딸나무	143	0.20
기 타	13,324	18.49	기 타	4,029	5.59
총 계	72,056	100.00	총 계	13,324	18.49

자료: 수원시 내부자료

수원시 가로수 성상별 수종 구성을 살펴보면 소나무, 선주목, 섬잣나무, 스트로브잣나무, 측백나무, 향나무, 대나무, 가이즈까 향나무 등 8 종의 상록수가 식재되어 있으며, 감나무, 계수나무, 공작단풍, 노각나무, 느릅나무, 느티나무, 능수벚나무, 대왕참나무, 두충나무, 매실나무, 메타세쿼이아, 목련, 무궁화 등 34종의 낙엽수가 가로수로 식재되어 있다.

〈표 3-3〉 성상별 가로수 수종

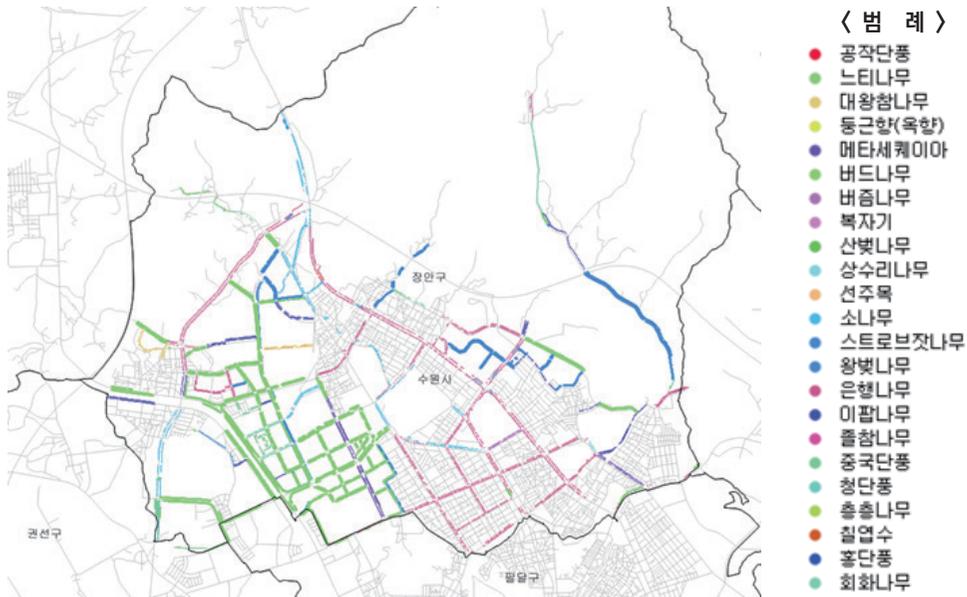
성상	수종명
상록수	소나무, 선주목, 섬잣나무, 스트로브잣나무, 측백나무, 향나무, 대나무, 가이즈까 향나무
낙엽수	감나무, 계수나무, 공작단풍, 노각나무, 느릅나무, 느티나무, 능수벚나무, 대왕참나무, 두충나무, 매실나무, 메타세쿼이아, 목련, 무궁화, 배롱나무, 버드나무, 버즘나무, 복자기, 산딸나무, 산벚나무, 산수유, 상수리나무, 수양벚나무, 왕벚나무, 은행나무, 이팝나무, 자엽자두, 졸참나무, 중국단풍, 청단풍, 층층나무, 칠엽수, 튜립나무, 팽나무, 회화나무

자료 : 수원시 홈페이지(<http://www.suwon.go.kr/>)

1) 장안구

장안구의 가로수를 수종별로 살펴보면 왕벚나무, 느티나무, 은행나무, 이팝나무 등 33종으로 구성되어 있다. 느티나무, 은행나무가 50% 이상을 차지하고 있으며, 그 외에 왕벚나무, 소나무, 메타세쿼이아, 이팝나무 순으로 개체수가 많았다. 지역별로는 정자동 일대에는 느티나무가 광교저수지 일대에는 왕벚나무가 주를 이루고 있다.

〈그림 3-2〉 장안구 가로수 식재 현황



〈표 3-4〉 장안구 가로수 수종별 가로수 현황

(2017.12.15. 기준)

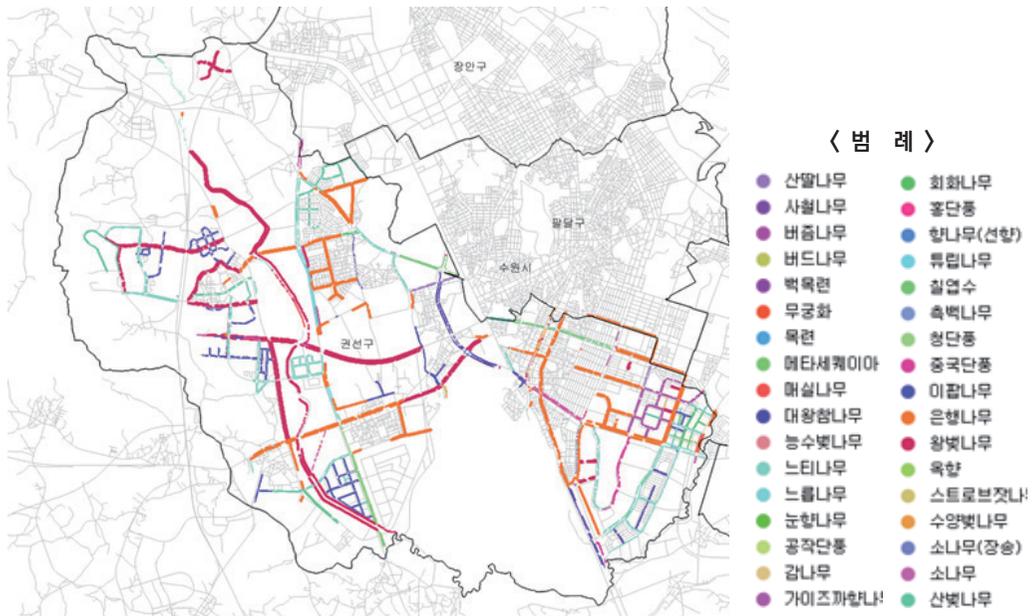
수 종	개체수	비 율	수 종	개체수	비 율
느티나무	4,384	30.65	중국단풍	477	3.33
은행나무	3,275	22.89	회화나무	304	2.13
왕벚나무	1,325	9.26	대왕참나무	290	2.03
소나무	1,270	8.88	산벚나무	59	0.41
메타세쿼이아	979	6.84	무궁화	10	0.07
이팝나무	776	5.42	칠엽수	1	0.01
버즘나무	179	1.25	튜립나무	0	0.00
청단풍	4	0.03	산딸나무	0	0.00
기 타	2,113	14.77	기 타	972	6.79
총 계	14,305	100.00	총 계	2,113	14.77

자료: 수원시 내부자료

2) 권선구

권선구의 가로수 수종 구성은 느티나무, 왕벚나무, 이팝나무, 은행나무, 청단풍, 소나무, 버즘나무, 메타세쿼이아가 전체의 80%를 이루고 있으며, 그 외에 산벚나무, 대왕참나무, 중국단풍, 칠엽수, 튜립나무, 회화나무, 무궁화, 산딸나무 등이 식재되어있다. 지역별로 살펴보면 권선로 일대의 왕벚나무와 세권로 일대의 은행나무가 주를 이루고 있다.

〈그림 3-3〉 권선구 가로수 식재 현황



〈표 3-5〉 권선구 가로수 수종별 가로수 현황

(2017.12.15. 기준)

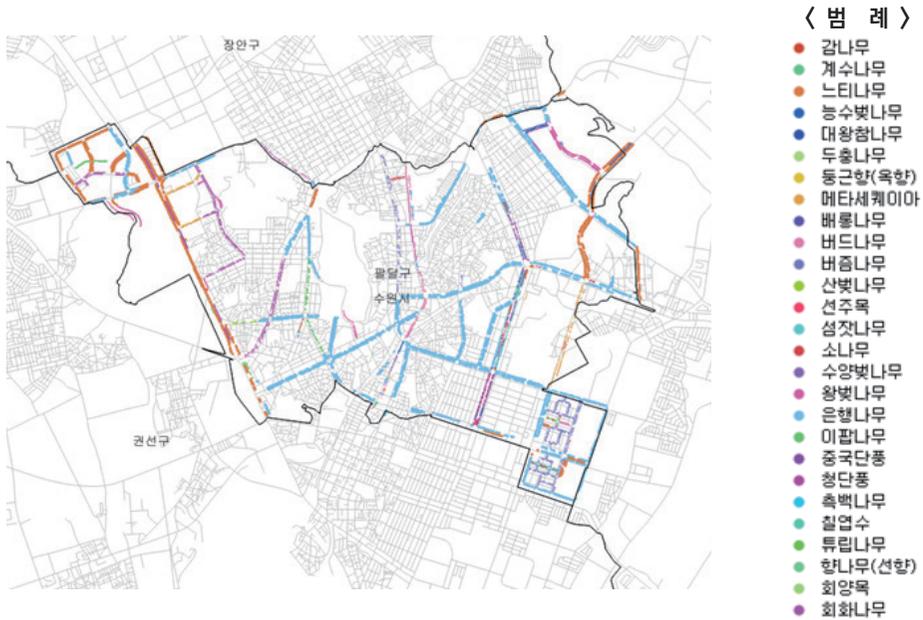
수 종	개체수	비 율	수 종	개체수	비 율
느티나무	5,808	19.35	산벚나무	1,330	4.43
왕벚나무	5,374	17.91	대왕참나무	1,024	3.41
이팝나무	3,964	13.21	중국단풍	880	2.93
은행나무	3,795	12.64	칠엽수	587	1.96
청단풍	2,680	8.93	튜립나무	352	1.17
소나무	991	3.30	회화나무	284	0.95
버즘나무	747	2.49	무궁화	215	0.72
메타세쿼이아	733	2.44	산딸나무	106	0.35
기 타	5,920	19.73	기 타	1,142	3.81
총 계	30,012	100.00	총 계	5,920	19.73

자료: 수원시 내부자료

3) 팔달구

팔달구의 수종별 식재 현황을 살펴보면 은행나무와 느티나무가 전체 가로수 식재 수량의 약 50%를 차지하고 있다. 그 외에는 왕벚나무, 버즘나무, 소나무, 메타세쿼이아, 이팝나무, 청단풍 등이 식재되어 있다. 매산로 일대의 은행나무와 덕영대로 일대의 느티나무가 동일 수종으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

〈그림 3-4〉 팔달구 가로수 식재 현황



〈표 3-6〉 팔달구 가로수 수종별 가로수 현황

(2017.12.15. 기준)

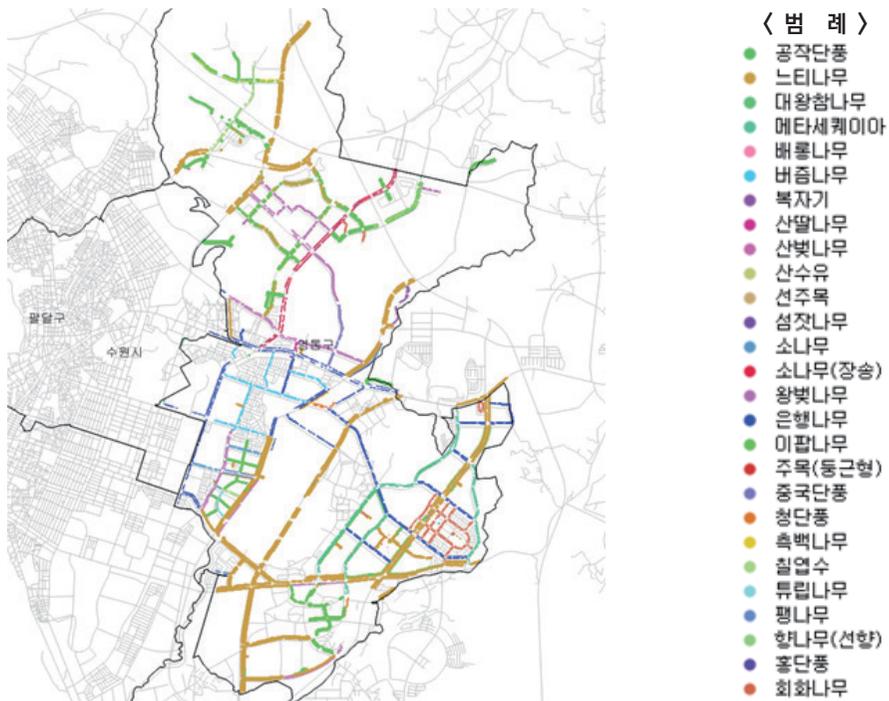
수 종	개체수	비 율	수 종	개체수	비 율
은행나무	2,979	33.13	회화나무	602	6.69
느티나무	1,461	16.25	중국단풍	464	5.16
왕벚나무	712	7.92	칠엽수	423	4.70
버즘나무	683	7.59	대왕참나무	150	1.67
소나무	448	4.98	산벚나무	21	0.23
메타세쿼이아	325	3.61	튜립나무	20	0.22
이팝나무	188	2.09	무궁화	13	0.14
청단풍	100	1.11	산딸나무	0	0.00
기 타	2,097	23.32	기 타	404	4.49
총 계	8,993	100.00	총 계	2,097	23.32

자료: 수원시 내부자료

4) 영통구

영통구의 가로수 수종 구성은 수원시의 다른 구에 비해 다양하게 구성되어 있었다. 느티나무, 이팝나무, 은행나무, 벚나무, 메타세쿼이아, 버즘나무, 소나무, 청단풍이 약 83%를 차지해 주요 수종을 이루고 있다. 기타 수종으로는 회화나무, 칠엽수, 중국단풍, 대왕참나무, 튜립나무, 산딸나무, 산벚나무, 무궁화 등으로 구성되어 있다. 느티나무는 영통동 일대에 주로 식재되어 있으며, 이팝나무는 이의동 일대에 주로 식재되어 있다.

〈그림 3-5〉 영통구 가로수 식재 현황



〈표 3-7〉 영통구 가로수 수종별 가로수 현황

(2017.12.15. 기준)

수 종	개체수	비 율	수 종	개체수	비 율
느티나무	6,368	33.97	회화나무	814	4.34
이팝나무	2,921	15.58	칠엽수	354	1.89
은행나무	2,288	12.21	중국단풍	274	1.46
왕벚나무	1,579	8.42	대왕참나무	110	0.59
메타세쿼이아	1,166	6.22	튜립나무	79	0.42
버즘나무	636	3.39	산딸나무	37	0.20

수 종	개체수	비 율	수 종	개체수	비 율
소나무	338	1.80	산벚나무	15	0.08
청단풍	256	1.37	무궁화	0	0.00
기 타	3,194	17.04	기 타	1,511	8.06
총 계	18,746	100.00	총 계	3,194	17.04

자료: 수원시 내부자료

제2절 수원시 가로수 관리 현황

1. 가로수 관리 현황

「수원시 가로수 조성 및 관리 조례(시행 2017.11.17.)」에는 수원시의 가로수 관리에 관해 바뀌심기 및 메워심기, 가지치기, 병충해 방제, 외과수술, 지형과 토양보호, 관리시설물 설치 및 관리, 점검, 관리의 주민참여, 식재와 관리의 민간위탁 등의 내용을 담고 있다.

〈표 3-8〉 「수원시 가로수 조성 및 관리 조례」 가로수 관리 항목 및 내용

관리 항목	관리 내용
바뀌심기 및 메워심기	<ul style="list-style-type: none"> · 고사 가로수, 수피 및 수형이 극히 불량한 가로수, 수간이 부러졌거나 썩어서 부러질 위험이 있는 가로수, 병충해에 감염되어 생육 가망이 없는 가로수, 재해와 재난으로부터 피해를 입은 가로수는 바뀌심기 및 메워심기를 실시 · 매목조사를 실시해 적기에 동일수종, 동일규격으로 식재
가지치기	<ul style="list-style-type: none"> · 자연형으로 육성하는 것을 원칙. 다만, 수형에 변화를 주지 않는 범위 안에서 가로수의 건강한 생육, 아름다운 수형, 도로표지 및 신호등 등과 같은 도로 안전시설에 대한 시계 확보, 통행공간의 확보, 전승·통신시설물의 안전 등을 위하여 가지치기를 할 경우에는 사전에 시장의 승인을 받고 가지치기를 실시 · 가로수 가지치기 때에는 관계 공무원의 감독하에 실시. 다만, 시장이 필요하다고 인정하는 경우에는 가로수 가지치기를 제19조에 따라 위탁
병충해 방제	<ul style="list-style-type: none"> · 병충해 방제를 실시하기 전에 주민에게 고지하는 등 주민의 불편을 최소화 할 수 있는 조치 취함 · 피해가 예상되거나 피해를 입은 가로수에 대하여 가지치기·바뀌심기·메워심기 등을 통한 임업적 방제를 우선적으로 실시하며 이로 인해 발생된 가지와 낙엽 등은 필요한 경우 소각하여 처리. 임업적 방제로 목적하는 바가 이루어지지 않는다고 판단될 경우에는 약제 등을 이용한 화학적 방제를 실시 · 화학적 방제를 실시하는 경우 인근 주민, 보행자, 운전자 또는 동·식물에 대한 피해, 수계 유입으로 인한 생태계 파괴, 토양 오염 등이 최소화 될 수 있도록 저독성 약제로 필요한 최소량을 사용 · 월동 중인 유충을 포살하기 위하여 짚이나 새끼 등을 가로수 줄기에 감아서 병해충을 방제 · 가로수에 대한 병해충 방제 시에는 관계 공무원의 감독 하에 실시
가로수의 외과수술 등	<ul style="list-style-type: none"> · 병해충, 분진, 매연, 화학약품, 물리적 피해를 받았거나 수세가 쇠약하여 피해를 받을 우려가 있는 가로수는 외과수술, 영양공급, 환도·객토, 통기, 관수시설 등의 조치를 취함 · 가로수의 수관 폭 내에서 공사 등의 작업을 할 때에는 공사시행 전에 가로수를 보호할 수 있는 보호대를 설치
지형과 토양보호	<p>(원칙적으로 가로수의 식재지 또는 계획지에 대한 절토·성토 등 지형 변경 불가하나 예외항목은 다음과 같음)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 주변에 시각적으로 가려야 할 필요가 있는 대상물이 있거나 방음 수림대를 조성할 필요가 있는 지역 등에 대한 성토 · 보행자, 운전자 및 지역주민의 안전을 위하여 필요한 경우의 절·성토 · 도로의 신설·개축·수선·유지보수공사 등을 위한 절·성토 · 가로수 조성계획지 또는 기 조성지의 토양이 쓰레기, 건축폐기물 매립 등으로 가로수의 정상적인 생육이 불가능하다고 판단되는 경우에는 기존의 불량 토양을 제거하고 생육에 적합한 토양으로 환토 · 가로수 조성계획지 또는 기 조성지의 토양이 답압, 오염, 척박화 등으로 인하여 가로수 생육에 부적합하다고 판단되는 경우 객토 또는 시비하여 가로수 생육에 지장이 없도록 해야함 · 가로수 식재, 불가피한 지형의 변경 등에 의해 발생하는 표토는 일정한 장소에 수집·보관하였다가

관리 항목	관리 내용
	<ul style="list-style-type: none"> · 표토로 재사용하여야 하며, 보존해야 할 표토의 깊이는 30센티미터 이상 · 동절기에 도로 제설을 위해 사용된 화학약품이 섞인 눈더미가 보호틀 내에 적재되지 않도록 필요한 조치 취함
관리시설물	<ul style="list-style-type: none"> · 새로이 조성하는 가로수에 설치하는 지주대, 보호틀, 보호덮개, 보호대 등 가로수 관리시설물(개·보수를 포함한다)은 시장이 규칙으로 정하는 기준에 따라 설치·관리
점검	<ul style="list-style-type: none"> · 노선별·수종별로 가로수 점검을 실시 · 점검대상은 바뀔시기를 요하는 가로수, 병충해의 감염 여부, 고사목 메워심기, 신규 식재된 가로수의 생육상태, 식재지 토양상태 등 · 정기 점검은 매년 5월, 11월에 실시하며 수시 점검은 병해충 확산 등으로 피해가 발생하여 긴급히 점검해야 할 경우와 신규 식재·바뀔심기·메워심기 등 관리상 필요한 시기에 점검
관리의 주민참여 등	<p>(시장은 가로수 관리의 주민참여를 위하여 다음 사항을 권장할 수 있음)</p> <ul style="list-style-type: none"> · 주민참여를 위한 권장 사항 : 물주기, 병해충 발생 신고, 가로수 생육에 지장을 주거나 피해를 주는 장애물의 제거, 사고 또는 고의로 가로수가 피해를 받았거나 받을 우려가 있을 때 신고, 비상재해 시 긴급조치 지원 및 협조 · 홍보 및 계도사항 : 가로수 또는 관리시설에 광고물을 부착하는 행위, 가로수 또는 관리시설을 공작물의 지주로 이용하는 행위, 보호틀 또는 보호대 내에 쓰레기 등 물건을 적재하거나 주차하는 행위, 그 밖에 가로수의 생육이나 관리에 지장을 주거나 지장이 예상되는 일체의 행위 · 모든 주민은 시장이 시행하는 가로수의 유지·관리 시책에 가능한 한 협력 · 주민들이 직접 가로수의 유지·관리에 참여할 경우 필요한 재료나 물품, 장비 등을 지원
식재와 관리의 민간위탁	<ul style="list-style-type: none"> · 가로수 식재 및 관리업무를「건설산업기본법」시행령 제7조 관련 별표 1의 규정에 따른 조경 공사업·조경식재공사업 면허업체,「산림조합법」 제46조 및 제108조에 따라 산림조합 및 산림조합중앙회에 업무를 위탁 가능 · 가로수의 병충해 방제, 외과수술 등을 위탁하고자 할 때에는 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법」시행령 제25조 별표 1의 3 수목 피해진단·처방 및 수목피해 치유사업의 자격요건을 갖춘 자 또는「산림조합법」제108조에 따라 산림조합중앙회로 하여금 시행하도록 함
원인자부담금	<ul style="list-style-type: none"> · 각종 공사 및 행위로 가로수의 제거·옮겨심기·가지치기 등이 필요할 경우에는 별표3 규정에 의한 원인자가 비용을 부담
가로수 관리대장	<ul style="list-style-type: none"> · 가로수의 합리적 관리를 위하여 노선별로 관리대장을 만들어 관리하여야 하며 가로수 관리대장은 전산화된 대장으로 작성하여 비치

2017년 공원녹지사업소에서 시행된 가로수 관리는 가지치기, 방제, 비료주기, 토양개량, 외과수술 등이다. 가로수 관리의 총 시행횟수는 13,043회 이며, 항목 중 가지치기가 전체의 약 77%를 차지해 가로수 관리의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

〈표 3-9〉 수원시 가로수 관리 현황

구분	관리내용						
	계	가지치기	방제	비료주기	토양개량	외과수술	기타
계	13,043	10,103	2,010	491	378	61	0
장안구	2,581	1,834	582	72	62	31	0
권선구	3,564	2,746	257	349	212	0	0
팔달구	2,732	2,668	0	0	34	30	0
영통구	4,166	2,855	1,171	70	70	0	0

자료: 수원시 내부자료

2. 시민참여형 거버넌스

1) 가로수 정원사

가로수 정원사란 일반시민들이 가로수를 대상으로 다양한 체험활동과 봉사를 할 수 있는 봉사단체이다. 수원시 녹지경관과 가로수팀과 (재)수원그린트러스트가 시행하는 사업으로 매 월 2회 이상 가로수 돌봄 활동을 수행하고, 시민 계몽활동을 전개한다. 참가자는 가로수학교를 통해 기본교육을 이수하고 학습과 봉사를 통해 지역의 가로수를 직접 가꾸면서 수원에 대한 주인의식 향상을 독려한다. 가로수학교에서는 ‘수원시 가로수현황과 관리 방안’, ‘시민 참여와 가로수정원사 활동계획’, ‘도시가로수의 기능과 효과’, ‘가로수무궁화 의의 및 관리’ 등 관련 전문가들의 강의와 공원 및 가로수현장 답사와 관리 실습을 진행하고 있다. 이를 통해 가로수 돌봄 활동을 수행하기 전 가로수에 대한 전반적인 이해를 바탕으로 보다 적극적인 가로수 정원사 활동을 돕고 있다. 또한 연말에 진행되는 활동보고회를 통해 봉사자들의 수행 활동을 서로 나누고 격려하고 있다.

〈그림 3-6〉 가로수 정원사



자료 : 수원시 홈페이지(<http://www.suwon.go.kr/>)

2) 가로수 건강검진단

수원시 가로수 건강검진단은 봉사단체의 하나로 쾌적하고 건강한 가로환경 조성을 위해 가로수의 생육 및 병해충을 진단하는 재능기부 활동을 실시하고 있다. 수원시는 지난 2015년부터 관내에 있는 10여개의 나무병원 및 전문가와의 민관협력 거버넌스를 통해 정기적인 건강검진을 시행하고 있다. 가로수의 건강검진을 실시해 적기 처방을 통한 생육환경 개선을 목적으로 하며, 나무의 수세진단, 토양의 오염도 측정, 사회환경 피해 유발업소 존재여부 등

을 점검하고 있다.

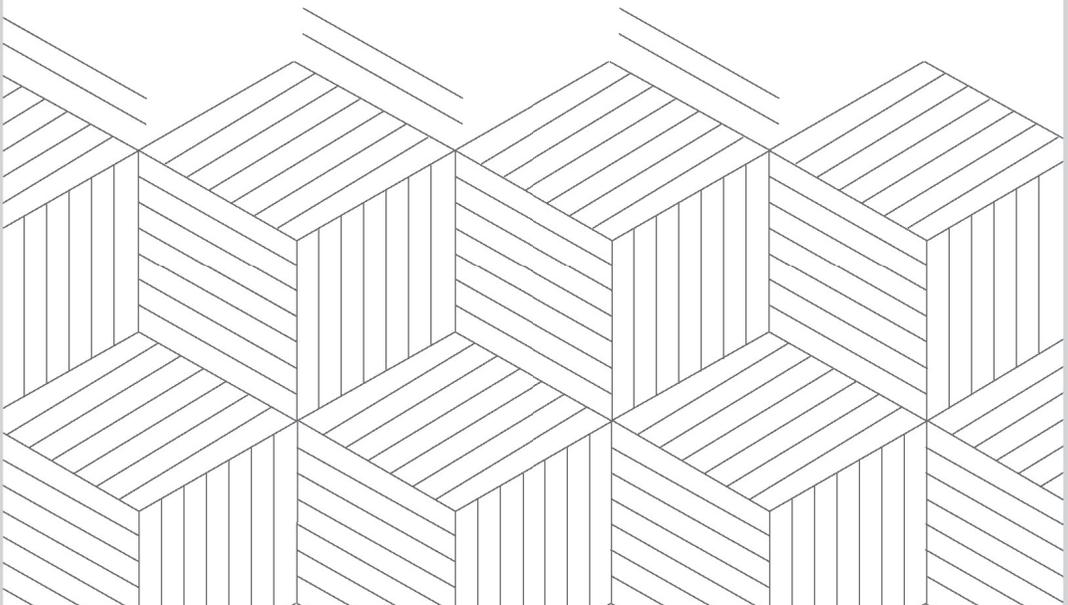
〈그림 3-7〉 가로수 건강검진단



자료 : 수원시 홈페이지(<http://www.suwon.go.kr/>)

제4장 수원시 가로수 건강성 평가

제1절 가로수 건강성 평가방법
제2절 가로수 건강성 평가
제3절 소결



제4장 수원시 가로수 건강성 평가

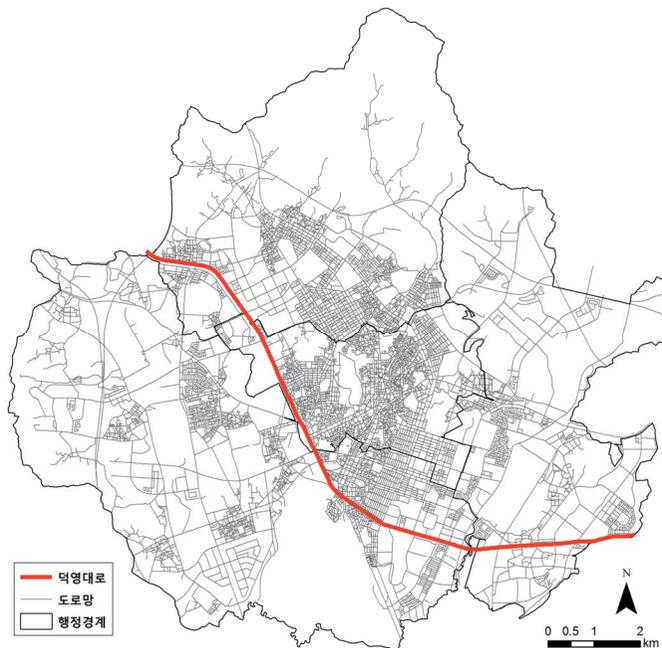
제1절 가로수 건강성 평가방법

1. 대상지 개요

1) 대상지 위치

대상지는 수원시 덕영대로 내 상·하행 가로수 식재 구간으로 지정하였다. 덕영대로는 총 연장길이 총 약 20km로, 이 중 약 14.2km에 해당하는 도로가 수원시에 해당된다. 또한, 수원시의 간선도로 중 장안구, 권선구, 팔달구, 영통구를 모두 관통하는 도로로, 각 구별 도로 연장은 장안구 약 2.9km, 권선구 약 4.7km, 팔달구 약 3.1km, 영통구 3.5km로 권선구가 가장 긴 구간을 지나가고 있다.

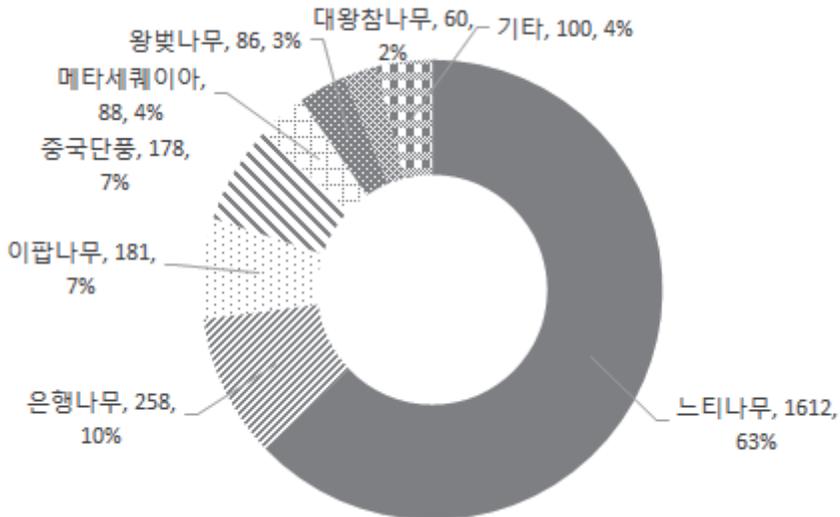
〈그림 4-1〉 대상지 위치



2) 대상지 가로수 분포 현황

덕영대로에는 현재 총2,563주의 가로수가 식재되어있다. 식재 수종은 느티나무, 은행나무, 이팝나무, 중국단풍, 메타세콰이어, 왕벚나무, 대왕참나무, 기타(소나무, 공작단풍, 튜립나무, 청단풍, 향나무)가 있다. 수종별 분포를 살펴보면, 느티나무가 62.90%(1,612주)로 가장 많이 심겨져있으며, 은행나무 10.07%(258주), 이팝나무 7.06%(181주), 중국단풍 6.94%(178주) 순으로 식재 비율을 차지하고 있다.

〈그림 4-2〉 대상지 가로수 수종 현황



장안구는 느티나무와 메타세콰이어가 식재되어 있으며, 대부분의 가로수가 느티나무 (83.55%)로 구성되어 있어 4개 구 중 가장 단순한 가로수 구성을 보이고 있다. 덕영대로가 가장 긴 구간을 지나는 권선구는 전체 가로수의 81.52%가 은행나무, 중국단풍, 느티나무 순으로 대부분 식재되어 있으며, 그 외에 대왕참나무, 소나무, 청단풍으로 구성되어 4개 구 중 가장 수종 구성이 다양했다. 팔달구의 가로수는 느티나무, 튜립나무, 왕벚나무, 은행나무로 총 536주가 식재되어 있었지만 전체 가로수 중 90.86%가 느티나무로 획일적인 종 구성을 보이고 있었다. 영통구의 가로수는 767주로 4개 구 중 가장 많은 수량이 식재되어 있었지만, 느티나무와 이팝나무가 90.09%로 대부분을 차지해 단순한 수종 구성을 보였다.

〈표 4-1〉 대상지 가로수 분포 현황

구 분	수 종	수 량(주)	비 율(%)	합 계(주)
장안구	느티나무	447	83.55	535
	메타세퀘이아	99	16.45	
권선구	은행나무	245	33.79	725
	중국단풍	168	23.17	
	느티나무	178	24.55	
	대왕참나무	60	8.28	
	소나무	39	5.38	
	청단풍	3	0.41	
팔달구	느티나무	487	90.86	536
	튤립나무	20	3.73	
	왕벚나무	16	2.99	
	은행나무	13	2.43	
영통구	느티나무	510	66.49	767
	이팝나무	181	23.60	
	왕벚나무	70	9.13	
	청단풍	5	0.65	
	향나무(선향)	1	0.13	
총 계				2,563

2. 현장조사 방법

1) 조사일시

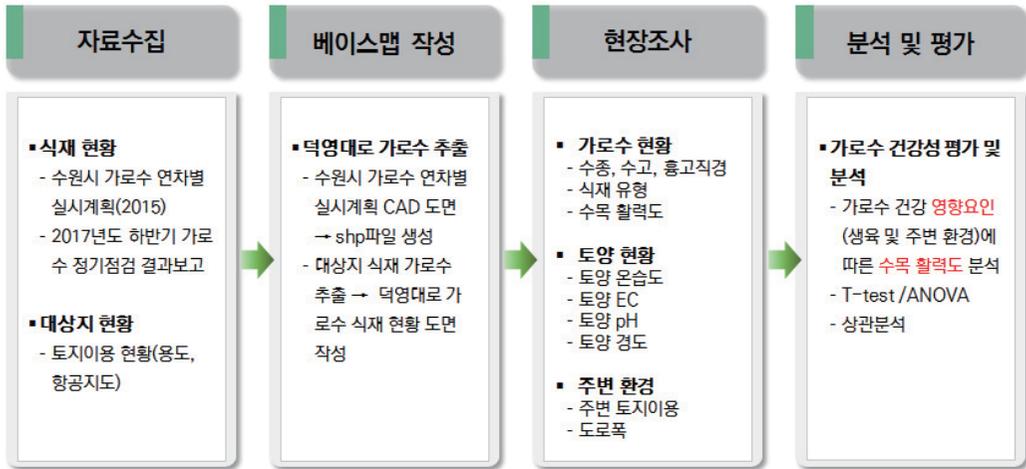
현장조사에 앞서 대상지를 선정하기 위한 사전조사로 수원시 전역의 가로수를 대상으로 육안으로 가로수의 활력 정도를 파악하였다. 사전조사를 통해 선정된 조사 구간을 대상으로 주변 환경과 토양 및 수목 활력도 조사를 실시하였으며, 조사 기간은 다음과 같다.

- 사전조사
 - 대상지 선정 조사 : 2018년 2월 20일 ~ 3월 15일
- 현장조사
 - 토양조사 : 2018년 5월 21일
 - 생육 및 주변 환경 조사 : 2018년 6월 19일 ~ 22일

2) 조사 방법

가로수 건강성 평가는 자료수집, 베이스맵 작성, 현장조사, 분석 및 평가 순으로 진행되었다.

〈그림 4-3〉 조사 방법



덕영대로 내 조사 구간 설정하기에 앞서 “수원시 가로수 연차별 실시계획(2015)”와 “2017년도 하반기 가로수 정기점검 결과보고” 자료를 바탕으로 식재현황과 용도, 항공지도를 토대로 토지이용 현황을 검토하였다. “수원시 가로수 연차별 실시계획(2015)” 도면을 토대로 GIS 파일을 생성한 후, 덕영대로의 가로수 식재 현황을 추출하여 베이스맵을 작성하였다. 가로수 수종별로 구간을 구분하였다. 또한 구간의 유형을 분류하기 위해 가로수 식재유형(1열 및 2열 이상), 가로수 식재지 하부 피녹지 유무, 가로수 보호판 유무, 토지이용현황으로 구분하여 구간별 현황을 분석하였고, 베이스맵에 중첩하여 최종적인 조사 구간을 선정하였다. 선정된 조사구간은 총 25 구간으로, 상행 13 구간 및 하행 12구간으로 구분하였다.

현장조사는 1구간에서 총 5 주의 수목을 선정하여 수종, 수고, 흉고직경, 배식방법, 수목 활력도(목측, 활력도 측정 기계) 등의 가로수 현황과 토양 온습도, EC, pH, 경도 등의 토양 현황, 주변 토지이용, 도로폭 등의 주변 환경 현황으로 구분하여 조사하였다. 조사한 자료를 토대로 덕영대로 내 가로수 건강성 평가 및 분석을 위해 생육 및 주변 환경 등 가로수 건강에 영향을 미치는 요인별 수목 활력도를 분석하였으며, T-test, ANOVA, 상관분석 등을 통해 검증하였다.

3) 조사항목

조사 항목은 생육환경, 토양환경, 물리적환경으로 구분하여 자료를 수집하였다. 생육환경은 수종명, 수고, 흉고직경, 배식방법, 수목활력도를 조사하였다. 베이스맵을 바탕으로 현장에서 수종을 확인 및 기록하였고, 목측을 통해 수고를 판단하였다. 흉고직경은 직경테이프를 사용하여 지상으로부터 1.2m 높이의 지점을 측정하였으며, 1열 및 2열 이상, 띠녹지 유무 등으로 구분하여 배식 현황을 조사하였다. 수목활력도는 목측을 통해 전반적인 가로수의 생육을 판단하였고, 수목 형성층 전기저항을 측정하는 수목활력도 측정기제(Junsmeter)를 사용하여 지표에서 30cm 떨어진 부근 1회, 수간(흉고직경 부근) 2회, 가지 2회로 1 주당 총 5회 측정하였다. 토양환경 조사는 각 구간별 총 5회 실시하였다. Soil meter를 이용하여 토양 EC, 온습도를 측정하였으며, pH meter로 토양 pH를 토양경도계로 토양경도를 조사하였다. 마지막으로 물리적 환경은 쓰레기 적치 등 토지이용 상의 특이점을 기록 및 사진촬영하였으며, 가로수와 도로간의 간격과 인도폭을 측정하였다.

〈표 4-2〉 조사항목 구분

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	수목 형성층 전기저항 측정 수간 및 가지 각 5회 측정	Junsmeter
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
물리적 환경	토지이용	쓰레기 적치 등 토지이용 상의 특이점 기록	-
	도로로부터의 거리	가로수와 도로간의 간격	줄자
	인도폭	인도폭	줄자

〈그림 4-4〉 생육환경 조사

수목활력도 측정 (근원 및 흉고)



수목활력도 측정 (가지)



〈그림 4-5〉 토양환경 조사

토양 pH 측정



토양 EC, 온습도 측정

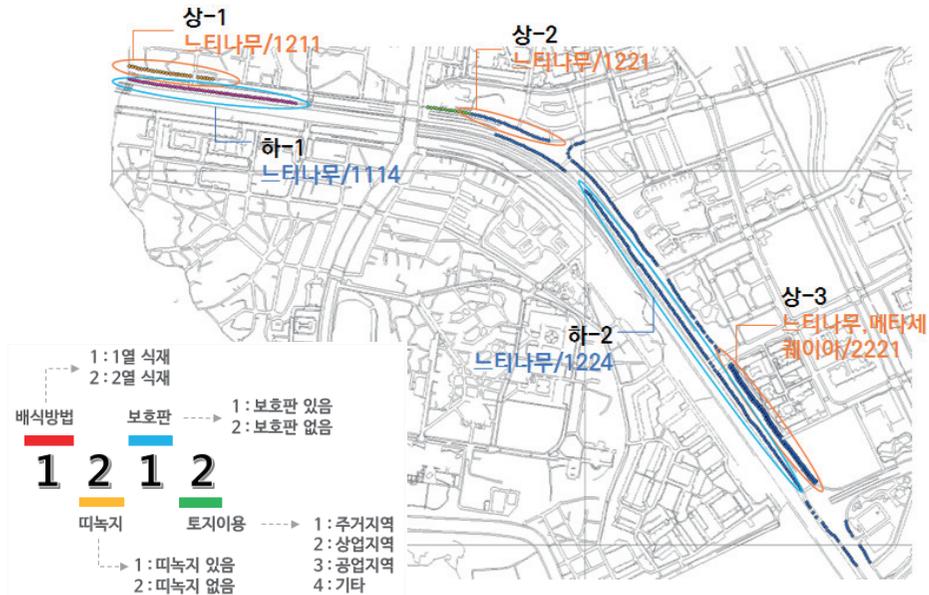


제2절 가로수 건강성 평가

1. 가로수 생육 현황

1) 장안구 구간

〈그림 4-6〉 장안구 대상지 구간 위치



장안구 내 대상지는 상1, 상2, 상3, 하1, 하2 구간으로 선정되었으며, 구간 전체가 느티나무로 구성되어 있었다. 식재유형은 상3 구간을 제외하고 전부 1열 식재 및 띠녹지가 없는 구간이었다. 주변 토지이용은 주로 아파트, 빌라 등의 주거 지역이었으며, 1호선 성균관대역을 지나는 철로 지역이었다.

〈표 4-3〉 장안구 대상지 현황

구간	수종	배식방법	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
상1	느티나무	1열	무	유	주거
상2	느티나무	1열	무	무	주거
상3	느티나무	2열	유(관목/초본)	무	주거
하1	느티나무	1열	무	유	기타
하2	느티나무	1열	무	무	기타

〈그림 4-7〉 상행 1 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
				
		구간	수종	배식방법
		상1	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
관리 현황 <ul style="list-style-type: none"> · 구간 내 가로수의 전반적인 생육상태는 '중상'으로 양호한 편이나 지엽이 치밀하지는 않음 · 상부 전깃줄이 지나가 이를 고려한 전정 및 관리가 필요해 보임 		무	유	주거

〈그림 4-8〉 상행 2 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
				
		구간	수종	배식방법
		상2	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
관리 현황 <ul style="list-style-type: none"> · 주변 완충녹지대와 가로수 수관의 형태가 우수하며 전반적인 생육상태가 양호함 · 뿌리가 발달되어 보도블럭 들림 현상이 있어 통행에 불편이 유발될 수 있음. 단근 작업 등을 통한 관리가 필요해 보임 		무	무	주거

〈그림 4-9〉 상행 3 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
				
		구간	수종	배식방법
		상3	느티나무	2열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	유(관목/초본)	무	주거	
관리 현황	· 가로수의 전반적인 생육상태는 양호한 편이나 띠녹지의 생육상태는 불량한 편으로 마운딩을 조성하여 식재해 토양 유출이 보임			

〈그림 4-10〉 하행 1 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
				
		구간	수종	배식방법
		하1	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	무	유	기타	
관리 현황	· 생육상태가 매우양호한 편으로 수목의 흉고직경 또한 큰 값을 보임 · 보행자들에게 충분한 그늘을 제공할 수 있는 수관이 형성되어 있음			

〈그림 4-11〉 하행 2 구간 전경 및 현황

전 경	하 부		
			
	구간	수종	배식방법
	하2	느티나무	1열
	따죽지유무	보호판유무	토지이용현황
	무	무	기타
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 목측결과 중간정도의 생육상태를 보이며 지엽이 치밀하지 못함 · 주변에 1호선 지하철이 지나가는 구간으로 구간내 가로수가 전반적으로 비슷한 생육정도를 보임 		

2) 권선구 구간

〈그림 4-1〉 권선구 대상지 구간 위치



덕영대로 내 대상지 중 가장 다양한 구성을 보이는 지역으로 상 7~9, 하6~10 구간의 총 8 구간의 대상 구간이 위치해있다. 가로수 식재 수종은 대왕참나무, 중국단풍, 은행나무, 느티나무로 구성되어 있으며, 상 9 구간에만 2열로 식재되었으며, 그 외에는 1열 식재 지역이었다. 모든 대상 구간에 띠녹지와 보호판이 설치되어있었다. 토지이용은 수원버스터미널 사거리를 경계로 상부에는 주거, 상업, 공업, 기타(철로) 지역 등 다양하게 구성되어 있었으며, 하부에는 아파트 단지로 주거지역이었다.

〈표 4-4〉 권선구 대상지 현황

구간	수종	배식방법	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
상7	대왕참나무	1열	유(관목)	무	주거
상8	중국단풍	1열	유(관목)	무	상업
상9	은행나무	2열	유(관목)	무	주거
하6	느티나무	1열	유(관목)	무	기타
하7	느티나무	1열	유(관목)	무	공업
하8	대왕참나무	1열	유(관목)	무	공업
하9	중국단풍	1열	유(관목)	무	상업
하10	은행나무	1열	유(관목/초본)	무	상업

〈그림 4-12〉 상행 7 구간 전경 및 현황

전 경	하 부												
	 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>구간</th> <th>수종</th> <th>배식방법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>상7</td> <td>대왕참나무</td> <td>1열</td> </tr> <tr> <th>띠녹지유무</th> <th>보호판유무</th> <th>토지이용현황</th> </tr> <tr> <td>유(관목)</td> <td>무</td> <td>주거</td> </tr> </tbody> </table>	구간	수종	배식방법	상7	대왕참나무	1열	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황	유(관목)	무	주거
		구간	수종	배식방법									
		상7	대왕참나무	1열									
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황									
유(관목)	무	주거											
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 중간정도의 생육상태를 보이며 수고가 낮은 편임 · 띠녹지와 가로수가 분리되어 있지 않고 토양이 연결되어 있었으며, 잔 쓰레기가 많아 관리가 필요해 보임 · 재기반이 약간 높여져 있어 관목의 뿌리가 노출되어 있음 												

〈그림 4-13〉 상행 8 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		상8	중국단풍	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		유(관목)	무	상업
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · '중상' 정도의 생육상태를 보여 전반적으로 양호함 · 바로 옆 세차장이 있었으며 식재 구간 내 흡연대가 놓여있어 담배꽂이가 많아 관리가 필요해 보임 			

〈그림 4-14〉 상행 9 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		상9	은행나무	2열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		유(관목)	무	주거
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 주변 완충녹지대 조성으로 가로수가 2열로 식재되어 있지만 조사 구간 중 가로수의 활력도가 가장 낮은 지역으로 나타남 · 전정 및 생육상태가 좋지 않아 경관의 가치가 매우 떨어져 적극적인 관리가 필요해 보임 			

〈그림 4-15〉 하행 6 구간 전경 및 현황

전 경	하 부		
			
관리 현황 <ul style="list-style-type: none"> · 최근 조성된 구간으로 전반적인 생육상태는 '중하' 정도로 나타남 · 띠녹지가 비교적 넓게 조성되어 있으나 지속적인 관리 및 육성이 필요함 	구간	수종	배식방법
	하6	느티나무	1열
	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	유(관목)	무	기타

〈그림 4-16〉 하행 7 구간 전경 및 현황

전 경	하 부		
			
관리 현황 <ul style="list-style-type: none"> · 가로수 및 띠녹지의 생육상태가 모두 '상' 정도를 보임 · 토양 경도 분석 결과 조사 구간 중 가장 낮은 수치로 나타남 	구간	수종	배식방법
	하7	느티나무	1열
	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	유(관목)	무	공업

〈그림 4-17〉 하행 8 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		하8	대왕참나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		유(관목)	무	공업
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 하7 구간과 마찬가지로 시멘트 공장 옆에 위치해 있으나 도로 변경으로 인한 이식이 이루어진 구간으로 전반적인 생육상태는 '중하' 정도를 보임 · 하부 띠녹지의 생육 상태 또한 좋지 못해 관리가 필요해 보임 			

〈그림 4-18〉 하행 9 구간 전경 및 현황

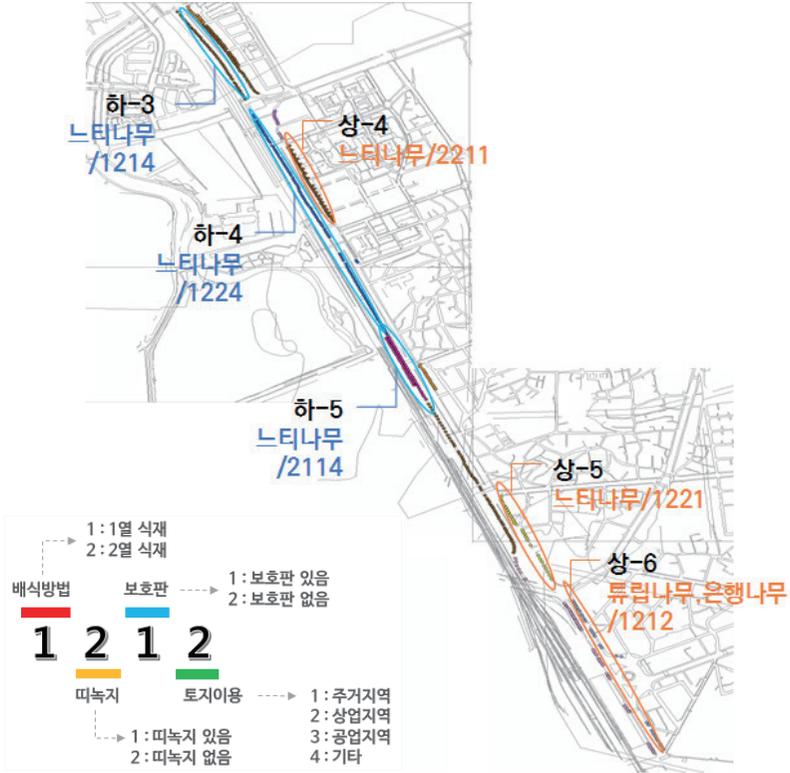
전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		하9	중국단풍	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		유(관목)	무	상업
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 생육상태는 중간 정도를 보이며, 구간 내 흉고직경 평균은 전체평균 값보다 약간 낮은 수치를 보임 			

〈그림 4-19〉 하행 10 구간 전경 및 현황

전 경	하 부		
			
	구간	수종	배식방법
	하10	은행나무	1열
	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	유(관목/초본)	무	상업
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 전체 조사 구간 중 가장 넓은 보도폭과 띠녹지 공간이 조성되어 있었지만 가로수의 생육상태는 매우 좋지 못함 · 가지가 거의 없는 나무가 많아 가로수의 기능을 발휘하지 못하고 있으며, 토양 정밀 조사 등을 통해 적극적인 관리가 필요해 보임 		

3) 팔달구 구간

〈그림 4-1〉 팔달구 대상지 구간 위치



팔달구 내 대상지 구간은 상행 3 구간, 하행 3 구간으로 선정되었다. 상6 구간의 튼린나무를 제외하고 모두 느티나무로 구성되어 있었다. 토지이용현황은 상6 구간이 수원역 부근으로 상업지역으로 사용되고 있었다.

〈표 4-5〉 팔달구 대상지 현황

구간	수종	배식방법	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
상4	느티나무	2열	무	무	주거
상5	느티나무	1열	무	무	주거
상6	튼린나무	1열	무	유	상업
하3	느티나무	1열	무	유	기타
하4	느티나무	1열	무	무	기타
하5	느티나무	2열	무	유	기타

〈그림 4-20〉 상행 4 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		상4	느티나무	2열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	무	주거
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 생육상태는 '중상' 정도이며 완충녹지가 조성되어 있음 · 보도 중간에 위치해 있어 토양 경도가 높은 편이며, 상부 전깃줄과 얽혀 있어 관리가 필요해 보임 			

〈그림 4-21〉 상행 5 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		상5	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	무	주거
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 가로수의 생육상태는 '상' 정도로 좋은 편이나 지하고가 낮아 통행에 영향을 줄 수 있을 것으로 보임 · 수관의 형태가 불규칙하여 경관적 가치가 떨어져 보임 			

〈그림 4-22〉 상행 6 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		상6	튤립나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	유	상업
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 전체 조사 구간 중 가장 높은 수목 활력도 값을 보임 · 조사 구간 내 쓰레기가 적혀진 곳이 있어 관리가 필요해 보임 			

〈그림 4-23〉 하행 3 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		하3	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	유	기타
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 철도 공사 구간 옆에 위치해 있으며, '중하' 정도의 생육 상태를 보임 · 전반적으로 수간의 형태가 곧지 못하며, 지엽이 치밀하지 못해 가로수로서의 가치가 떨어짐 			

〈그림 4-24〉 하행 4 구간 전경 및 현황

전 경	하 부		
			
	구간	수종	배식방법
	하4	느티나무	1열
	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	무	무	기타
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 전반적인 생육상태는 '중상' 정도를 보이며, 지엽의 치밀도는 약간 떨어짐 · 최근 토양비료 포설 등 관리가 이루어진 구간임 		

〈그림 4-25〉 하행 5 구간 전경 및 현황

전 경	하 부		
			
	구간	수종	배식방법
	하5	느티나무	2열
	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
	무	유	기타
관리 현황	<ul style="list-style-type: none"> · 중간정도의 생육상태를 보이며, 흉고직경 평균값이 전체 평균에 비해 낮은 것으로 분석됨 · 완충녹지대 내 2열 식재된 곳으로 이격거리가 좁아 원활한 생육에 지장이 있을 것으로 판단됨 		

4) 영통구 구간

〈그림 4-1〉 영통구 대상지 구간 위치



영통구의 대상지는 전구간이 느티나무로 구성되어 있었으며, 하11 구간에만 띠녹지가 조성되어있었다. 상업 지역은 대형마트가 위치해 있는 상10 구간과 경희대 부근의 상13 구간으로 그 외에는 대부분 아파트 단지인 주거지역이었다.

〈표 4-6〉 영통구 대상지 현황

구간	수종	배식방법	띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
상10	느티나무	2열	유(관목)	유	상업
상11	느티나무	1열	무	유	공업
상12	느티나무	2열	무	유	주거
상13	느티나무	2열	무	유	상업
하11	느티나무	1열	유(관목)	무	주거
하12	느티나무	1열	무	유	주거

〈그림 4-26〉 상행 10 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
	<p>관리 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> · ‘중하’ 정도의 생육상태를 보이며 전반적으로 높은 토양 경도 수치를 보여 토양 조사가 필요할 것으로 판단됨 · 가지 한쪽이 고사한 가로수가 많았으며, 죽은 나무에 치마처럼 자라는 ‘치마버섯’ 또한 보임 	구간	수종	배식방법
		상10	느티나무	2열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		유(관목)	유	상업

〈그림 4-27〉 상행 11 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
	<p>관리 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> · 구간 내 전반적인 생육상태는 ‘중상’ 정도를 보였으나 넓은 보도폭에 비해 지엽이 치밀하지 못해 그늘 형성이 부족해 보임 	구간	수종	배식방법
		상11	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	유	공업

〈그림 4-28〉 상행 12 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
	<p>관리 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> · 느티나무 조사 구간 중 가장 수목 활력도 값이 높은 것으로 나타남 · 주변 완충공간 내 가로수의 생육이 양성하여 전정 등의 적절한 관리가 필요해 보임 	구간	수종	배식방법
		상12	느티나무	2열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	유	주거

〈그림 4-29〉 상행 13 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
	<p>관리 현황</p> <ul style="list-style-type: none"> · '중상' 정도의 생육상태를 보였으며 2열 식재된 조사 구간 중 가장 넓은 이격거리가 확보되어 양쪽 가로수 모두 양성한 생육을 보임 	구간	수종	배식방법
		상13	느티나무	2열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	유	상업

〈그림 4-30〉 하행 11 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		하11	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		유(관목)	무	주거
관리 현황	· 가로수의 생육상태는 '상' 정도로 양호한 것으로 나타났지만 띠녹지는 고사한 부분이 많아 생육이 좋지 못함			

〈그림 4-31〉 하행 12 구간 전경 및 현황

전 경		하 부		
		구간	수종	배식방법
		하12	느티나무	1열
		띠녹지유무	보호판유무	토지이용현황
		무	유	주거
관리 현황	· 전반적인 생육상태는 '중하' 정도임 · 가로수 조성 지역에 자전거 보관대가 설치되어 있어 관리가 필요해 보이며, 조사 구간 중 토양 경도가 가장 높은 것으로 나타남			

5) 주요 특이 구간

대상지 구간 내 가로수 생육 환경에 있어 주목할 만한 특이 사항을 분석하였다. 주요 특이 사항으로는 쓰레기 적치 구간, 자전거 보관대 설치 위치 불량, 토양환경 불량 구간, 뿌리 생육 불량 구간, 식재 위치 불량 구간, 수종 선정 오류 구간, 고사가 진행 중인 구간 등이 있다. 쓰레기 등 적치구간은 주변 공사장에서 나온 건축 폐기물을 가로수에 그대로 적치하거나 주변 주거지나 상업지에서 나온 생활 쓰레기가 적치되어 있는 구간이다. 특히 생활 쓰레기의 경우 음식물에서 나온 찌꺼기가 토양으로 흘러 가로수 생육에 악영향을 줄 수 있어 특별한 관리가 필요하다. 쓰레기 외에도 자전거를 그대로 적치해 놓은 경우도 있으며 가로수에 자전거 보관대를 설치해 가로수 생육에 영향을 줄 수 있다.

〈그림 4-32〉 쓰레기 적치 구간

건축 폐기물 적치(상6 구간)



생활 쓰레기 적치



〈그림 4-33〉 자전거 보관대 설치 구간

자전거 보관대 설치(하12 구간)



자전거 적치(상13 구간)



토양환경 불량 구간은 토양 내 잔 쓰레기가 많거나 자갈, 건축 폐기물 등이 섞여 토양 구성이 불량하거나 토양 경도가 높은 구간이다. 쓰레기로 인한 가로수 식재 토양으로의 영향은 조사 구간의 경우 대로(大路)의 특성상 생활지역과는 거리가 있어 잔쓰레기나 인근 공사지로 부터 나온 쓰레기를 적치해둔 경우가 대부분이었다. 하지만 수원시 전역을 대상으로 실시한 사전조사에서는 소로(小路) 등의 상가나 주택이 밀집된 지역의 경우 인근 생활지역에서 나온 음식물 쓰레기 등의 지속적인 적치로 인한 가로수 생육이 불량한 경우가 있어 조치가 필요할 것으로 보인다.

〈그림 4-34〉 토양환경 불량 구간

토양 내 쓰레기(상6 구간)



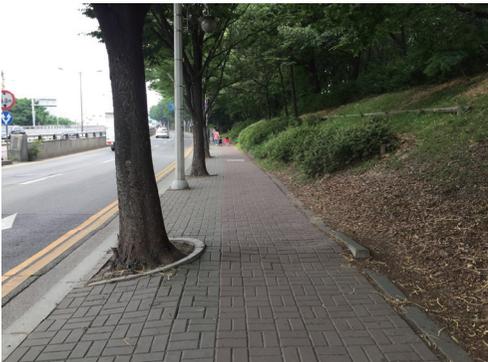
토양경도 높음(하12 구간)



뿌리 생육이 불량한 구간은 식재 공간 확보가 충분하지 못한 경우 뿌리에 의한 보도 포장면 들림현상이 생겨 보행에 불편을 줄 수 있어 단근처리 등 뿌리 관리가 필요한 것으로 사료된다. 또한, 식재기반의 토양 배수를 위해 마운딩 처리를 한 구간의 경우 강우 등으로 인해 토양 유출로 인한 뿌리 노출이 나타나 복토 등의 관리가 필요한 것으로 판단된다.

〈그림 4-35〉 뿌리 생육 불량 구간

뿌리에 의한 포장면 들림현상(상2 구간)



수목 뿌리 노출(상6 구간)



가로수의 식재 위치가 불량한 구간들은 지상부로 전깃줄이 지나가는 지역으로 가로수의 가지와 얽혀 수목이 성장하여 전정 등 작업 시 보다 세심한 관리가 필요해 보인다. 또한 2열 식재지역의 경우 조사 구간 대부분이 완충녹지대 형태의 식재 배치로 적절한 식재 간격으로 조성되었지만, 몇몇 구간의 경우 좁은 식재 간격으로 인해 수목의 생육이 불량한 경우가 있어 이식 등의 조치가 필요한 것으로 판단된다.

〈그림 4-36〉 식재 위치 불량 구간

지상 전깃줄 충돌(상4 구간)



좁은 식재 간격



조사 구간 외 특이사항으로 권선구 고가 중앙분리대 내에 식재된 칠엽수로 잘못된 수종 선정으로 인한 잎 가장자리가 누렇게 변하는 황화현상이 나타나 생육이 불량한 것으로 보인다. 칠엽수는 고온건조에 약한 수종으로 여름철 고온 현상이 나타나는 도로 중앙에 식재하기는 부적합하다. 도로는 여름철 폭염 기간 동안의 고온, 봄 기간의 건조, 겨울철 제설작업으로 인한 제설제의 영향 등 내열성, 내건성, 내염성 등이 강한 수종을 식재해야 한다. 또한 도로 구간별 통행량, 위치 등의 분석을 통해 도로 구간 유형별 식재 수종을 통해 보다 전략적인 식재 계획이 필요하다.

〈그림 4-37〉 수종 선정 오류 구간

중앙분리대 내 수종 선정 오류로 인한 생육 불량



조사 실시 구간의 전체적인 수목의 생육 활력도는 양호한 편이었으나, 몇몇 구간의 경우 생육이 불량하거나 조치가 시급한 것으로 판단되는 구역이 있었다. 특히 상행 10 구간의 경우 죽어가는 수목에서 치마처럼 자라는 ‘치마버섯’이 발견되어 정밀한 토양 분석 등 조치가 시급한 것으로 보인다.

〈그림 4-38〉 고사가 진행 중인 구간

수목 건강 불량으로 인한 치마버섯 생육(상 10 구간)



2. 가로수 생육 현황 분석

1) 수종

조사 지점의 가로수는 느티나무, 은행나무, 대왕참나무, 중국단풍, 튼립나무 총 5종의 수종을 대상으로 실시하였다. 덕영대로 가로수의 대부분을 차지하고 있는 느티나무는 총 18 구간, 90주를 조사하였다. 은행나무, 대왕참나무, 중국단풍은 각각 2 구간, 10주를 조사하였고, 튼립나무는 1 구간, 5주를 대상으로 건강성 평가를 위한 조사를 실시하였다.

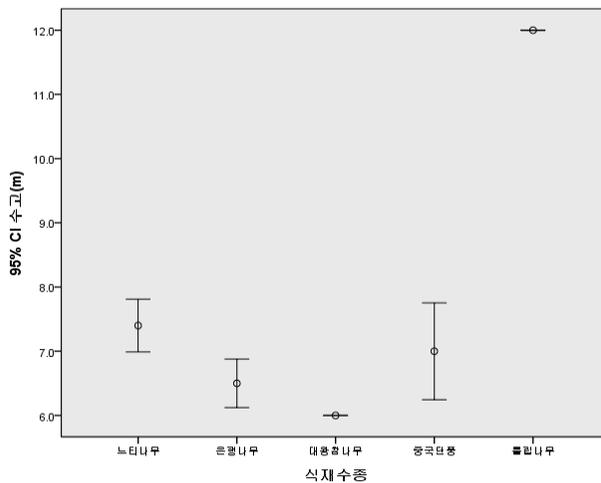
〈표 4-7〉 조사 대상지 수종 현황

수종명	구간수	개체수	수종명	구간수	개체수
느티나무	18	90	중국단풍	2	10
은행나무	2	10	튼립나무	1	5
대왕참나무	2	10	총 계	25	125

2) 수고

조사 지점의 수고는 3~12m로 분포되어 있었으며, 전체 수목 평균 수고는 7.4m이다. 수고는 수종별로 특성이 다르기 때문에 평균이 가장 큰 것은 튼립나무, 느티나무, 중국단풍, 은행나무, 대왕참나무 순이었다. 수고의 편차는 느티나무(1.95), 중국단풍(1), 은행나무(0.5), 대왕참나무-튼립나무(0) 순으로 크게 나타났다.

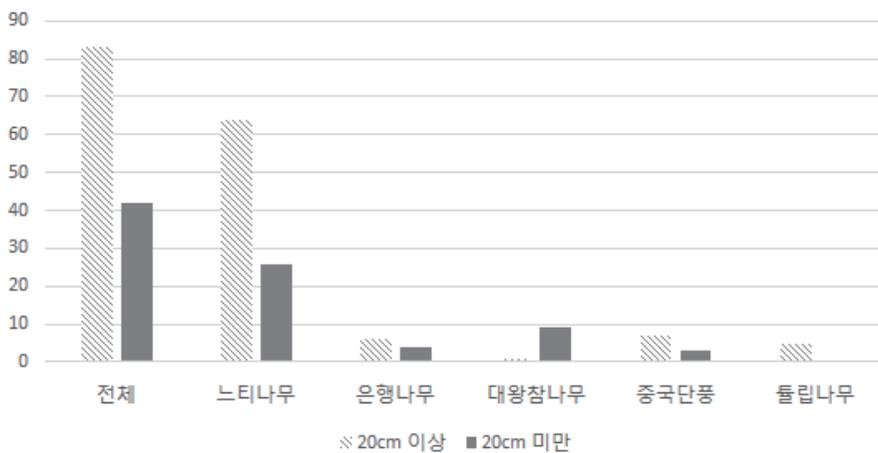
〈그림 4-39〉 식재 수종별 수고 분포



3) 흉고직경

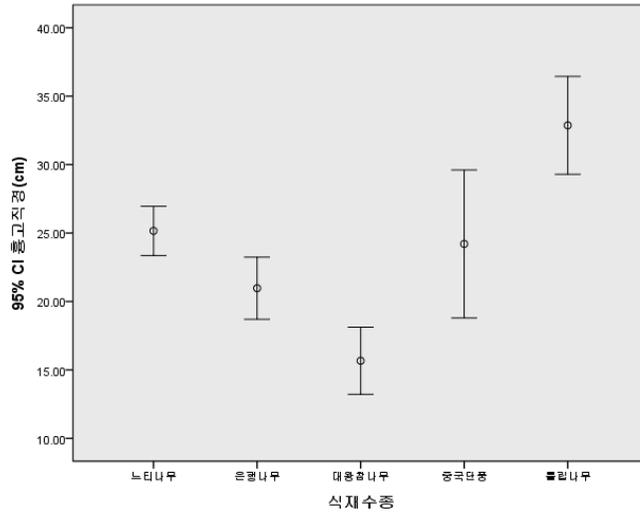
전체 조사 대상의 흉고직경은 9.87~55.41cm의 분포로, 평균값은 25.16cm 수준인 것으로 나타났다. 조사 대상지 내 가로수의 66.4%가 흉고직경이 20cm 이상으로 조사되었다. 나머지 흉고직경이 20cm 미만의 수목이 가로수의 기능과 효과를 발휘하고 넓은 대로에서 경관적 가치를 가질 수 있도록 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단된다.

〈그림 4-40〉 조사 대상지 가로수 흉고직경 분포



조사 지점의 흉고직경 평균값은 수종별로 툼립나무, 느티나무, 중국단풍, 은행나무, 대왕참나무 순으로 크게 나타났다. 흉고직경 또한 수고와 같이 수종에 따른 특성이 있기 때문에 수종에 따른 흉고직경의 분포를 분석하였다. 흉고직경의 평균값은 툼립나무, 느티나무, 중국단풍, 은행나무, 대왕참나무 순으로 크게 나타났으며, 표준편차 값이 가장 큰 것은 느티나무, 중국단풍, 대왕참나무, 은행나무, 툼립나무 순이었다.

〈그림 4-41〉 식재 수종별 흉고직경 분포



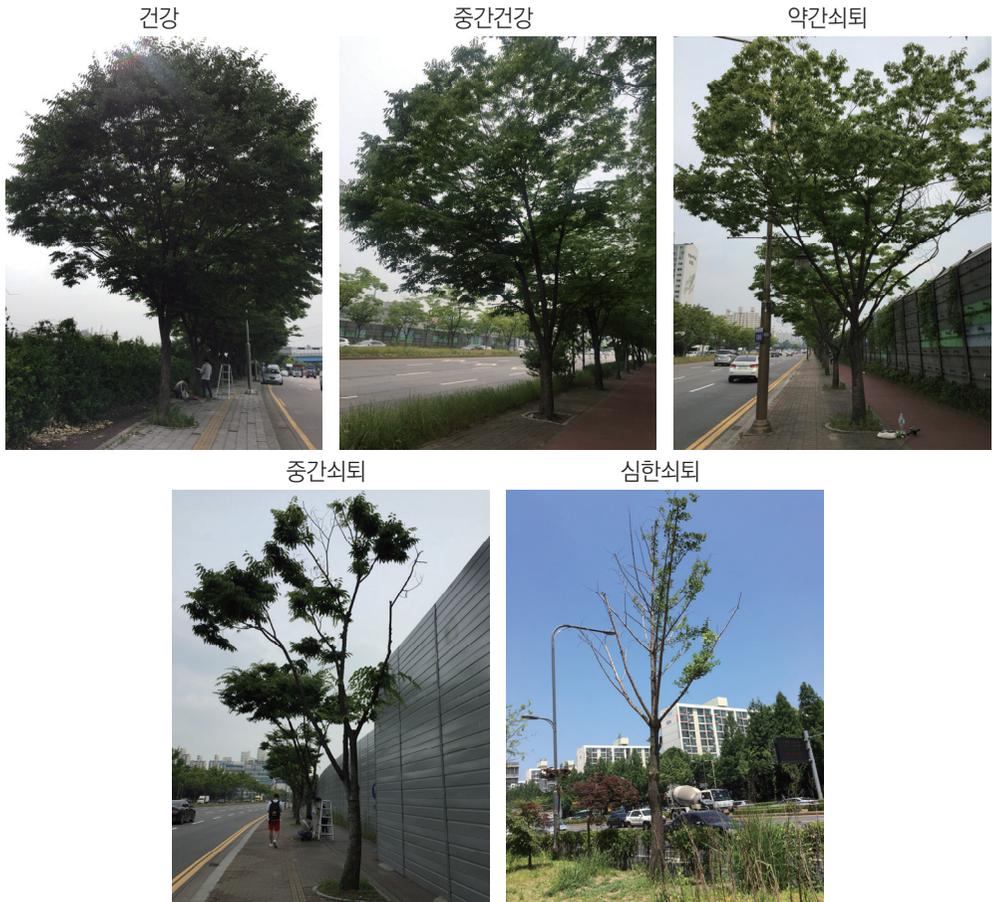
4) 수목 활력도

(1) 목측

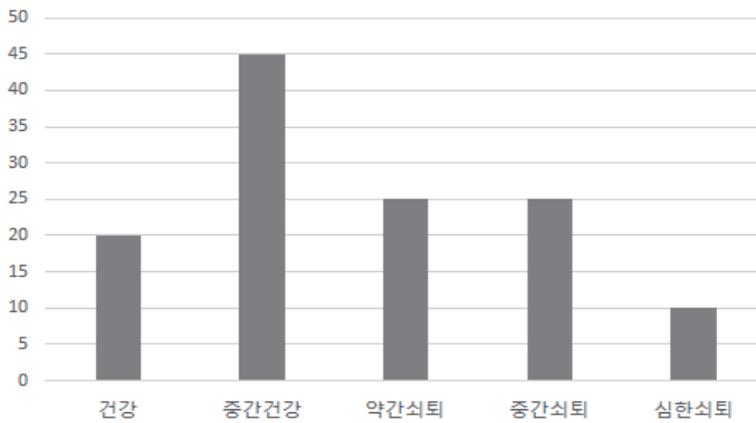
전반적인 수목의 생육상태를 평가하기 위해 눈으로 어렵하여 관측하는 목측(目測)으로 수관의 활력도를 평가하였다. 목측은 선행연구에서 조사한 국립산림과학원(2016)의 판정기준에 따라 건강(5), 중간건강(4), 약간쇠퇴(3), 중간쇠퇴(2), 심한쇠퇴(1)의 5단계로 등급을 구분하였다. 수목의 잎, 잔가지, 주가지의 고사율과 잎 변색율 정도를 기준으로 평가하였다.

덕영대로 내 조사구간의 전반적인 목측 활력도 등급의 평균값은 3.32로 약간쇠퇴~중간건강의 상태인 것으로 조사되었다. 절반 이상의 조사 구간이 중간건강~건강 등급의 활력을 보여 활력도가 양호한 것으로 평가되었다. 하지만 40% 구간의 가로수가 중간쇠퇴~약간쇠퇴 등급을 차지해 전반적인 가로수의 활력도를 높이기 위한 지속적인 관리가 필요해 보인다.

〈그림 4-42〉 목측 등급별 사례

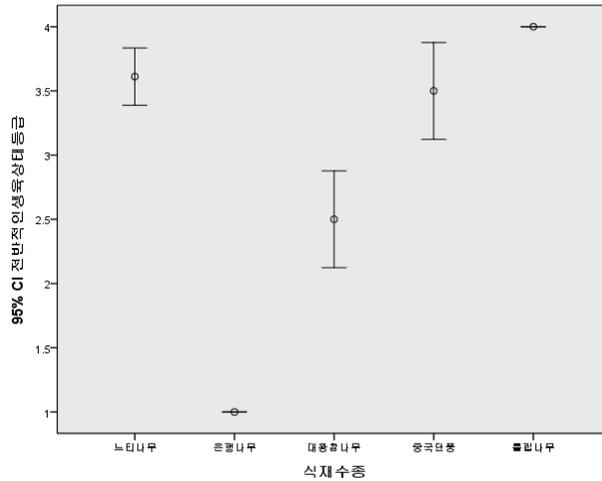


〈그림 4-43〉 전체 조사 대상지 목측 결과



가로수 수종별 활력도를 살펴보면 툼리나무의 평균값이 4로 가장 높게 나타났으며, 느티나무와 중국단풍, 대왕참나무는 각각 3.61, 3.5, 2.5로 중간 정도의 활력도를 보였다. 목측 등급의 평균값이 가장 낮은 것은 은행나무로 조사구간 모두 심한쇠퇴 등급으로 나타났다.

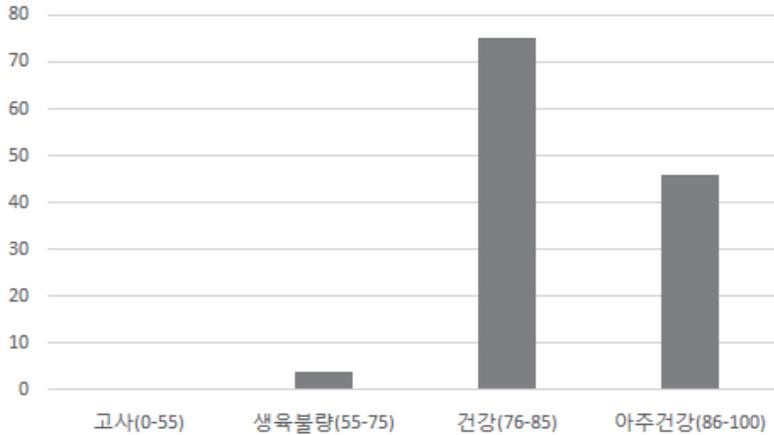
〈그림 4-44〉 수종별 목측 등급 분포



(2) 활력도 측정기

활력도 측정기(Junsmeter)의 측정범위는 0~100 사이의 값을 가진다. 활력도는 조사 대상별로 총 5회에 걸쳐 측정하였다. 수간과 가지를 대상으로 지표에서 30cm 떨어진 구간에서 1회, 수간 부분(흉고직경 위치에서 측정)에서 2회, 수간에서 분지된 가지 두 개의 구간에서 각 1회에 걸쳐 조사하였다. 조사된 대상지 가로수의 활력도의 범위는 수간평균 값을 기준으로 70.3(생육불량)~91.4(아주건강)의 분포를 보였다. 전체 대상지의 수목 활력도는 83.9로 ‘건강’한 상태인 것으로 판정되었다.

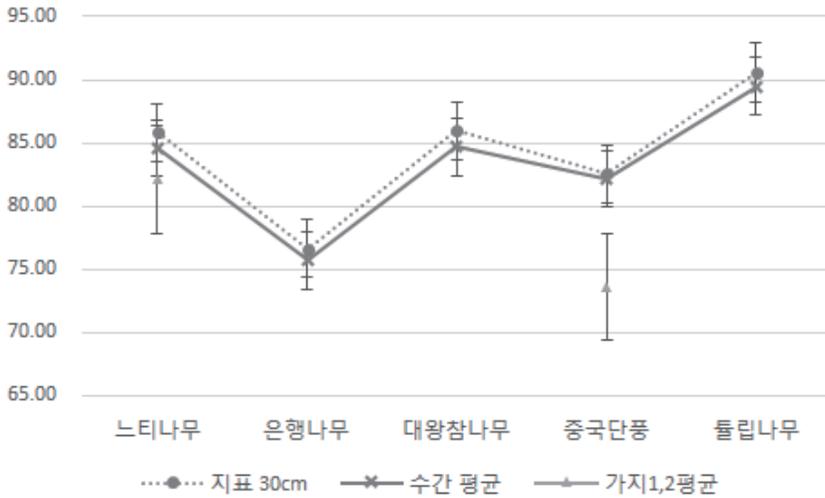
〈그림 4-45〉 전체 조사 대상지 활력도 측정 결과



수종별 평균 활력도를 살펴보면 조사 대상지의 가로수의 대부분을 구성하고 있는 느티나무는 84.6으로 '건강'한 상태인 것으로 분석되었다. 수원역 앞에 식재되어있는 툄립나무는 89.5(아주건강)로 조사 대상 가로수 중 가장 활력이 좋은 상태인 것으로 나타났다. 대왕참나무와 중국단풍은 각각 84.67, 82.1로 대체적으로 건강한 편이었지만, 은행나무의 경우 평균 활력도가 75.7로 생육불량 수준으로 분석되어 원인분석을 통한 대응방안을 검토해야 한다.

활력도 측정기를 통한 수목의 활력 측정 시 수목의 아래 부분과 가지 부분의 측정값의 차이가 적을수록 수목의 활력도가 높을 것으로 판단할 수 있는데, 수간에서 가지가 분지하는 위치가 높아 측정이 불가능한 수종(은행나무, 대왕참나무, 툄립나무)를 제외하고 느티나무와 중국단풍의 경우 가지부분의 활력도를 측정할 수 있었다. 느티나무와 중국단풍의 수간평균 활력도는 각각 84.6, 82.1로 큰 차이가 없었지만 수간평균과 가지 1,2의 평균값의 차이를 살펴보면 느티나무보다 중국단풍이 큰 값을 보였다. 활력도의 위치별 측정값의 비교는 조사 개체수가 중국단풍보다 느티나무가 많은 것을 고려해볼 때 가로수의 건강성을 판단하기는 어렵기 때문에 추가적인 조사를 통해 좀 더 세밀한 분석이 필요한 것으로 판단된다.

〈그림 4-46〉 수종별 평균 활력도



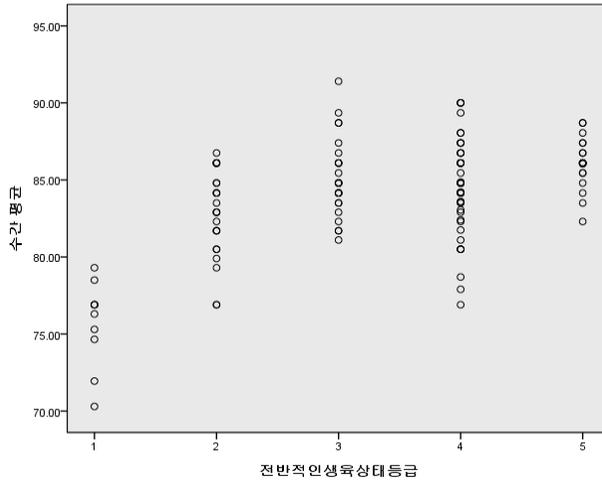
수목 활력도의 구간별 편차를 알아보기 위해 조사 대상지 전체 평균 수간 수목 활력도를 기준으로 5등급으로 나누어 구간별 등급을 평가하였다. 전체 대상지의 평균 수목 활력도는 83.9, 표준편차 3.33을 기준으로 1등급(낮음) ~ 5등급(높음)으로 등급을 구분했다. 각 등급 별로 1등급 2 구간, 2등급 4구간, 3등급 11구간, 4등급 11구간, 5등급 1구간으로 대상지 구간의 전체적인 수목 활력도는 평균값에서 약간 높은 구간에 편중되어있는 것으로 판단된다.

〈표 4-8〉 수목활력도 등급 범위

수목 활력도	구간 수	등급
78.95 이하	2	1등급
78.96-82.25	4	2등급
82.26-85.55	11	3등급
85.56-88.85	7	4등급
88.86 이상	1	5등급

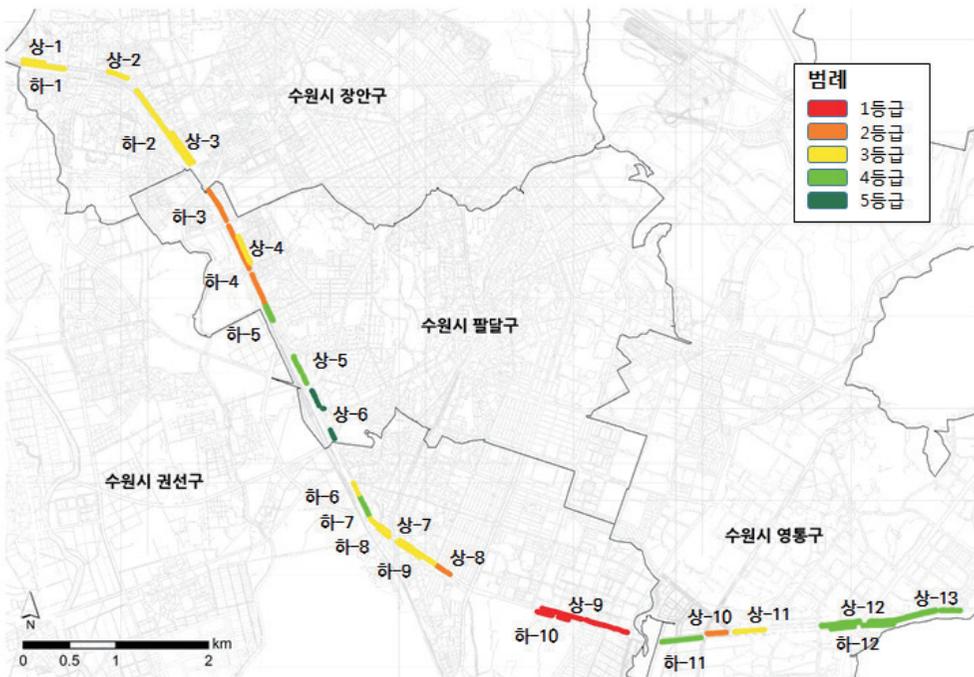
수목 활력도 측정값을 목측으로 측정한 값과 상관관계를 분석한 결과 $r=0.557(p<0.01)$ 로 분석되었다. 수목활력도 측정기로 측정한 결과, 목측으로 분류된 쇠퇴구간인 1등급과 2등급은 측정기로 구분할 수 있으나 일부 3등급 이상의 경우 수목활력도 측정값과 유의미한 차이가 없는 것으로 조사되었다.

〈그림 4-47〉 목측결과와 수간 평균 측정값과의 산점도



구간별 등급 현황을 보면 장안구는 모든 구간이 3등급으로 평균값의 수목 활력도를 보이고 있었지만, 장안구를 제외한 팔달구, 권선구, 영통구의 경우 일부 구간은 1~2등급으로 낮은 수목 활력도를 보이고 있어 집중 관리가 필요할 것으로 판단된다.

〈그림 4-48〉 전체 구간 활력도 등급



〈표 4-9〉 구간별 수간 활력도 평균 및 등급

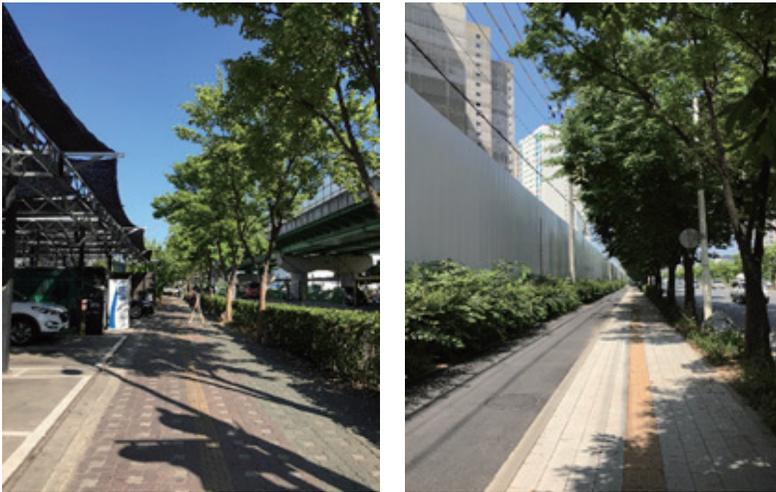
구 간	수간 활력도 평균	등 급	구 간	수간 활력도 평균	등 급
상1	84.48	3	하1	84.17	3
상2	84.24	3	하2	83.42	3
상3	84.6	3	하3	81.82	2
상4	85.06	3	하4	80.47	2
상5	86.49	4	하5	86.23	4
상6	89.48	5	하6	82.35	3
상7	84.8	3	하7	87	4
상8	81.47	2	하8	84.55	3
상9	74.14	1	하9	82.8	3
상10	80.15	2	하10	77.26	1
상11	84.95	3	하11	86.75	4
상12	88.46	4	하12	85.71	4
상13	86.75	4			

3. 생육환경 요인 분석

1) 식재 유형

가로수 식재 유형은 교목을 대상으로 1열 식재와 2열 이상 식재로 분류하여 조사하였다. 대상지 내 1열 식재 구간은 총 18 구간이며, 2열 이상 식재 구간은 총 7 구간으로, 교목이 2열 이상 식재된 곳은 상15 구간(영통구 경희대 부근)의 보행자도로가 넓은 구간을 제외하고 대부분 완충녹지대 내에 식재된 교목이었다.

〈그림 4-49〉 1열 식재 구간

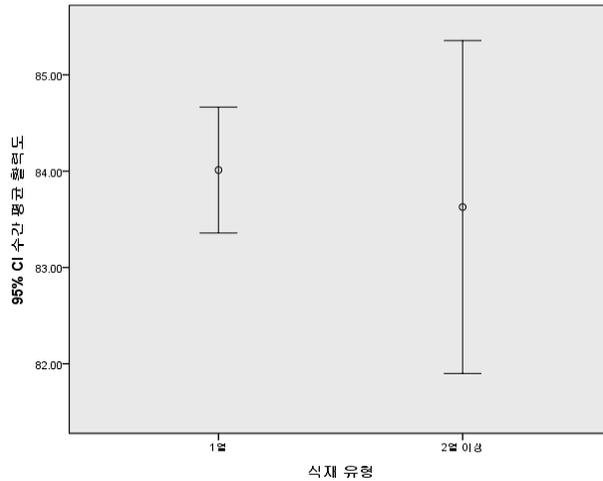


〈그림 4-50〉 2열 식재 구간



1열 식재 구간 가로수의 수간 활력도 평균은 84.30, 2열 이상 식재지의 경우 83.63으로 식재량이 많을수록 활력이 좋을 것이라는 연구가설과는 달리 1열 식재지의 가로수가 조금 더 높은 활력도를 보였다. 전체 대상지 내 식재유형 차이에 따른 활력도 T-test 결과, 유의성은 없는 것으로 나타났다.

〈그림 4-51〉 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-10〉 전체 대상지 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도 차이

구분	평균		표준편차		t	p
	1열(n=90)	2열 이상(n=35)	1열	2열 이상		
식재유형	84.01	83.63	3.12	5.03	.422	.675

식재 유형이 가로수 활력도에 미치는 영향에 대한 상세한 분석을 위해 최근 10년간 도로 확장공사를 하지 않은 기존 도로와 확장 공사를 통해 가로수의 이식 등이 진행된 구간을 구분하여 T-test를 실시하였다. 기존 도로 구간은 $p < 0.01$, 변경된 도로 구간은 $p < 0.001$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 즉, 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도에 차이가 있다고 할 수 있다. 기존 도로 구간은 1열식재 구간 활력도는 84.30, 2열식재 구간 활력도는 86.22로 2열 이상 식재 구간이 조금 더 높게 나타났으며, 변경된 도로의 가로수는 활력도가 각각 83.65, 77.15로 1열 식재 유형의 구간이 더 높게 나타났다. 또한, 기존 도로에서의 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도의 평균차는 1.92, 변경된 도로에서의 평균차는 6.50으로 도로 확장 공사가 이루어진 곳에서의 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도의 차이가 크게 나타났다. 도로 확장공사 구간 내 2열 식재 구간은 하행 8, 9 구간으로 모두 은행나무가 식재된 지역이었다. 조사 구간 내 은행나무 식재지는 대부분 생육이 불량한 구간으로 조사되었기 때문에

이를 고려할 경우, 식재 유형은 가로수 활력도에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있으며, 1열 식재 보다는 2열 식재가 수목이 보다 건강하게 생육할 수 있는 환경 요인이라고 할 수 있다.

〈표 4-11〉 도로 확장공사 및 식재 유형에 따른 수간 평균 활력도 차이

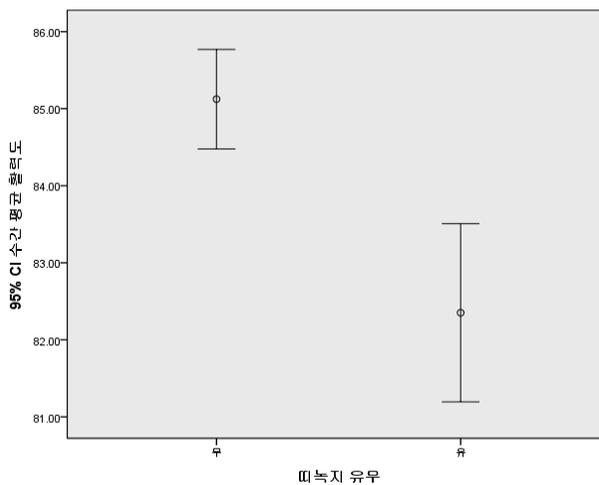
구분		평균		표준편차		t	p
		1열	2열 이상	1열	2열 이상		
식재 유형	기존 도로	84.3 (n=50)	86.22 (n=25)	3.05	2.18	-2.798	.007**
	변경 도로	83.65 (n=40)	77.15 (n=10)	3.21	4.19	5.388	.000*

* $p < 0.001$, ** $p < 0.01$

2) 띠녹지

대상구간의 가로수 하부 띠녹지 조성 유무에 따른 수간의 평균 활력도 차이를 살펴보았다. 띠녹지가 조성된 지역의 가로수가 활력도가 높을 것이라는 예상과 달리 활력도가 유의한 수준에서 낮게 나타났다. 이는 띠녹지 조성 공사로 인해 기존에 식재된 수목에 부정적인 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 또한, 우리나라 띠녹지 폭이 대부분 1m 내외로 토양환경이 가로수 생육에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 수준은 아닌 것으로 판단된다.

〈그림 4-52〉 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도



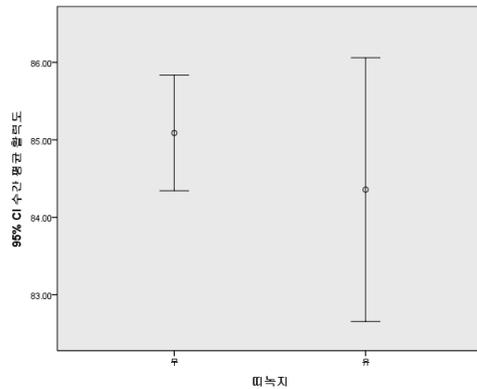
〈표 4-12〉 전체 대상지 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이

구분	평균		표준편차		t	p
	유(n=55)	무(n=70)	유	무		
띠녹지 유무	82.35	85.12	4.28	2.70	4.190	.000*

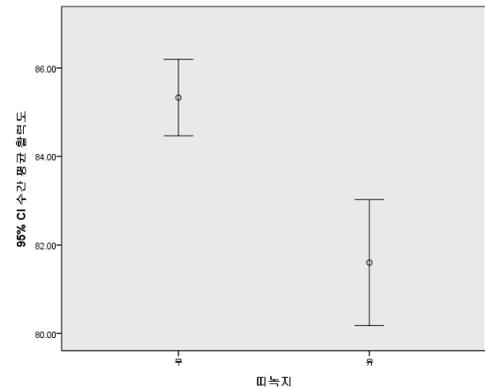
* p<0.001

띠녹지 조성공사로 인한 기존의 가로수 영향여부를 판단하기 위해서 도로 확장 등 가로수 재배치 여부에 따라 재분석한 결과, 기존도로에서의 띠녹지 조성 여부에 따른 수목 활력도 차이는 유의하지 않으나 띠녹지 조성된 지역의 수간 활력도의 편차가 큰 것으로 분석되었다. 반면 도로의 확장 등으로 수목 재배치가 있던 지역의 경우 띠녹지 설치 지역의 수간 평균 활력도가 유의한 수준에서 낮게 조사되었다.

〈그림 4-53〉 기존 도로 내 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도



〈그림 4-54〉 변경 도로 내 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-13〉 도로 확장공사 및 띠녹지 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이

구분		평균		표준편차		t	p
		1열	2열 이상	1열	2열 이상		
띠녹지 유무	기존 도로	84.36 (n=15)	85.09 (n=60)	3.08	2.89	.867	.389
	변경 도로	81.60 (n=40)	85.33 (n=10)	4.45	1.20	2.607	.012*

* p<0.05

3) 보호판

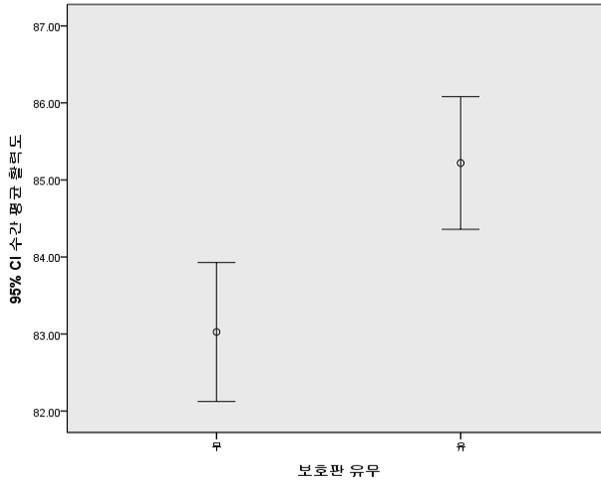
보호판은 가로수의 식재 기반 내 토양 고결 및 수목의 뿌리를 보호하기 위한 시설물로 전체 대상지의 40%(n=50) 가량이 보호판이 설치되어 있었다. 보호판이 설치되어 있는 구간의 보호판 상태는 대체로 양호한 편이었으나 몇몇의 경우 수목의 둘레에 여유 공간이 없어 교체가 필요한 곳이 있었다. 보호판이 없는 구간은 약 60%(n=75)로 대부분 띠녹지 설치 구간인 것으로 나타났다.

〈그림 4-55〉 보호판 유무 현황



보호판이 설치되어 있는 구간과 없는 구간의 수간 평균 활력도는 각각 85.22, 83.03으로 수목 보호판이 설치되어 있는 곳의 활력도가 1.92 만큼 높게 나타났다. 표준편차 값 또한 각각 3.92, 3.03으로 보호판 설치 구간이 약간 높은 것으로 조사되었다. T-test를 실시한 결과 통계적으로 유의한 값으로 보호판의 유무가 가로수 생육환경에 영향을 미치는 것으로 분석되었다($p < 0.01$). 따라서 가로수 식재지 내 보호 시설물의 설치는 가로수의 생육환경에 긍정적인 영향을 미치며 보호판이 없는 구간의 경우 추가적인 설치가 필요한 것으로 판단된다.

〈그림 4-56〉 보호판 유무에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-14〉 전체 대상지 보호판 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이

구분	평균		표준편차		t	p
	유(n=50)	무(n=75)	유	무		
보호판 유무	85.22	83.03	3.92	3.03	-3.59	.001*

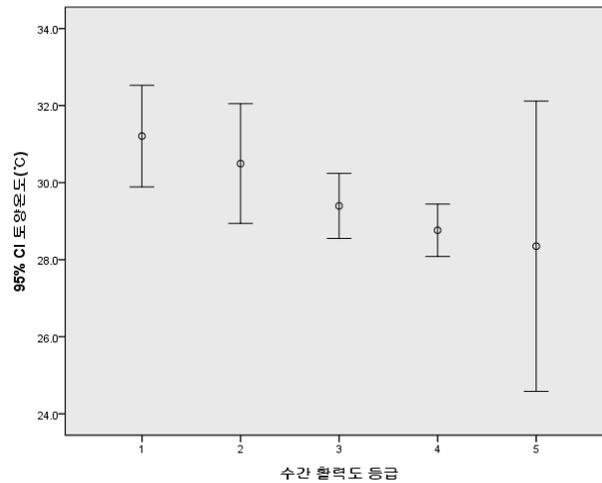
* p<0.005

4. 토양환경 요인 분석

1) 토양온도

조사 대상지의 토양온도 분포는 24.3~36.2℃로, 평균 29.5℃로 조사되었다. 조사 구간 내 수간 활력도와 토양온도의 분포를 확인하기 위해 수간 평균 활력도를 등급화 하여 등급별 토양온도를 분석하였다. 전체 대상구간의 평균 토양온도는 29.48℃이었으며, 수간 평균 활력도 등급별 평균 토양온도는 각각 수목 활력도가 가장 낮은 순서대로 31.21℃, 30.49℃, 29.40℃, 28.76℃, 28.35℃의 값을 보였다. 수목의 활력도가 높을수록 토양온도가 낮은 것으로 나타났으며, 수목 활력도가 가장 높은 등급과 낮은 등급의 토양온도는 2.86℃의 차이를 보였다. 통계적 유의성을 검증하기 위해 상관분석을 실시한 결과 토양온도와 가로수의 수간 활력도의 상관관계는 $r=-.285(p<0.01)$ 로 유의한 것으로 나타났다. 이를 통해 가로수 캐노피가 넓을수록 토양온도가 낮아진다고 판단할 수 있으며 도시열섬효과 완화를 위한 방안으로 가로수 캐노피 증진 방안 검토가 필요하다.

〈그림 4-57〉 수간 활력도 등급별 토양온도



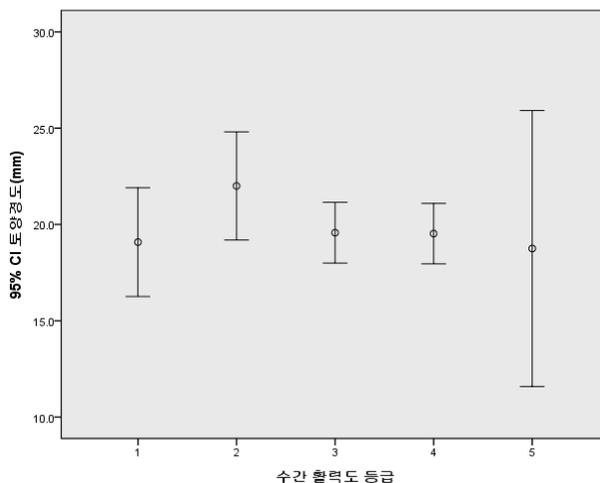
〈표 4-15〉 수간 활력도 등급별 토양온도 평균 및 상관계수

수간 활력도 등급	개체수	평균	표준편차
1	12	31.21	2.08
2	18	30.49	3.12
3	49	29.40	2.94
4	42	28.76	2.19
5	4	28.35	2.37
합계	125	29.48	2.73
상관계수			-0.285 (p<0.01)

2) 토양경도

전체 대상지의 평균 토양경도는 19.83mm로 나타났다. 수간 활력도 등급에 따른 토양경도 특성은 보이지 않았고, 1등급 평균은 19.08mm, 2등급 평균은 22mm, 3등급은 19.57mm, 4등급 및 5등급은 각각 19.52, 18.75mm의 토양경도 수치를 보였다. 토양경도와 가로수의 수간 활력도에 따른 차이를 통계적으로 검증하기 위해 상관분석을 실시한 결과, 상관계수 $r = -0.069$ 로 통계적으로 유의한 수치를 보이지는 않았다.

〈그림 4-58〉 수간 활력도 등급별 토양경도



〈표 4-16〉 수간 활력도 등급별 토양경도 평균 및 상관계수

수간 활력도 등급	개체수	평균	표준편차
1	12	19.02	4.44
2	18	22.00	5.65
3	49	19.57	5.50
4	42	19.52	5.03
5	4	18.75	4.50
합계	125	19.83	5.24
상관계수			-0.069

3) 토양산도(pH)

토양산도의 분포는 수간 활력도 값이 증가할수록 토양산도 평균 값 또한 증가하는 것으로 나타났다. 현장조사 전체 구간의 평균 토양산도는 6.58로 국토교통부 조경설계기준(2016)의 토양산도 평가기준에 따르면 중급 정도의 평가등급인 것으로 볼 수 있다.

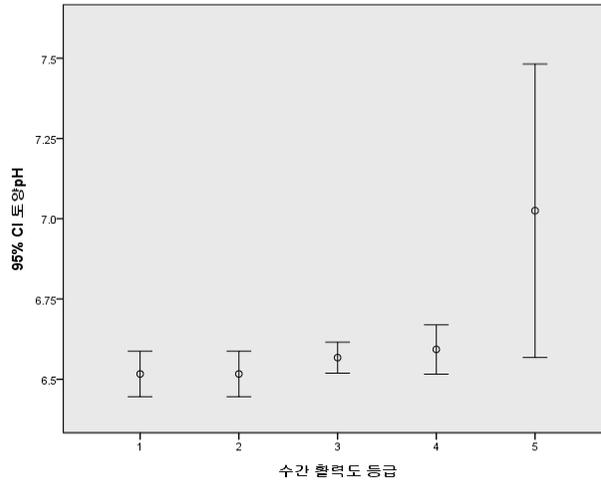
〈표 4-17〉 토양산도 평가기준에 따른 평가등급

구 분 항 목	평가등급			
	상급	중급	하급	불량
평가 기준	6.0~6.5	5.5~6.0	4.5~5.5	4.5 미만
		6.5~7.0	7.0~8.0	8.0 이상

자료: 국토교통부 조경설계기준, 2016

토양산도와 수간 활력도간의 상관관계는 $r=0.252(p<0.01)$ 으로 상관성은 높지 않은 것으로 분석되었다. 대부분의 등급에서 6.52~7.03으로 중급정도의 토양산도를 보였으며, 일부 툄립나무 구간에서 토양산도가 높게 조사되었다. 툄립나무가 식재된 구간(상6)은 통행량이 많은 도로이며 가로수 식재 위치가 도로와 바로 인접하고 있어 제설제 등이 토양으로 흡수되어 토양이 알칼리화된 것으로 판단된다.

〈그림 4-59〉 수간 활력도 등급별 토양산도(pH)



〈표 4-18〉 수간 활력도 등급별 토양산도(pH) 평균 및 상관계수

수간 활력도 등급	개체수	평균	표준편차
1	12	6.52	0.11
2	18	6.52	0.14
3	49	6.57	0.17
4	42	6.59	0.25
5	4	7.03	0.29
합계	125	6.58	0.21
상관계수			0.252 (p<0.01)

4) 토양 유기물

토양 유기물 분석은 영통지역에 제한하여 진행하였다. 유기물함량은 대부분 수목의 성장 적정범위 내에 분포하는 것으로 나타났으나 일부 완충녹지대 인근 지역에서의 유기물함량이 낮은 것으로 조사되었다. 그 외 치환성양이온의 경우 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 의 경우 수목의 성장 적정범위를 벗어나 매우 척박한 토양인 것으로 분석되었다. 반면 전기전도도를 나타내

는 EC는 전 구간에서 1.0미만으로 염화칼슘 등에 의한 영향은 없는 것으로 분석되었다.

〈표 4-19〉 토양 유기물 분석 결과

구분	유기물OM (%)	치환성양이온(cmol+/kg)				EC(ds/m)
		K+	Ca2+	Mg2+	Na+	
녹지지역	1.08	0.02	0.48	0.04	0.00	0.10
상업지역	4.23	0.04	0.37	0.05	0.00	0.08
공업지역	4.31	0.04	0.49	0.02	0.00	0.10
주거지역	3.11	0.04	0.29	0.04	0.01	0.08
수목생장 적정범위	3.0 이상	0.6 이상	2.5 이상	0.6 이상	-	1.0 미만

5. 물리적 요인 분석

1) 토지이용

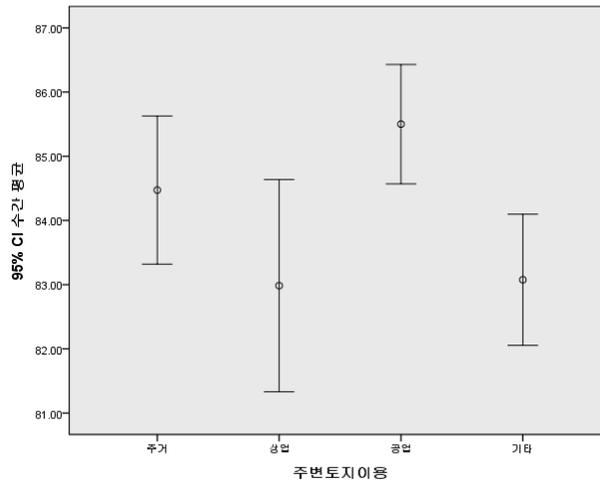
가로수 식재 구간 주변 토지이용은 완충녹지대를 제외하고 주거, 상업, 공업, 기타(철로 등)로 나누어 조사하였다. 대상지 총 25 구간의 토지이용 현황은 주거지역 10개 구간, 상업지역 6개 구간, 공업지역 3개 구간, 기타지역 6개 구간으로 나타났다.

〈표 4-20〉 대상지 구간의 주변 토지이용 현황

구분	구간 수	대상 구간
주거	10	상1, 상2, 상3, 상4, 상5, 상7, 상9, 상12, 하11, 하12
상업	6	상6, 상8, 상10, 상13, 하9, 하10
공업	3	상11, 하7, 하8
기타(철로 등)	6	하1, 하2, 하3, 하4, 하5, 하6

토지이용별 가로수의 수간 평균 활력도 값은 공업(85.5), 주거(84.47), 기타(83.08), 상업(82.99) 순으로 높은 수치를 보였다. 토지이용에 따른 가로수의 수간 평균 활력도에 영향을 통계적으로 분석하기 위해 분산분석을 실시한 결과 유의한 값을 나타내지는 않았다(p=0.064).

〈그림 4-60〉 주변 토지이용에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-21〉 토지이용에 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정

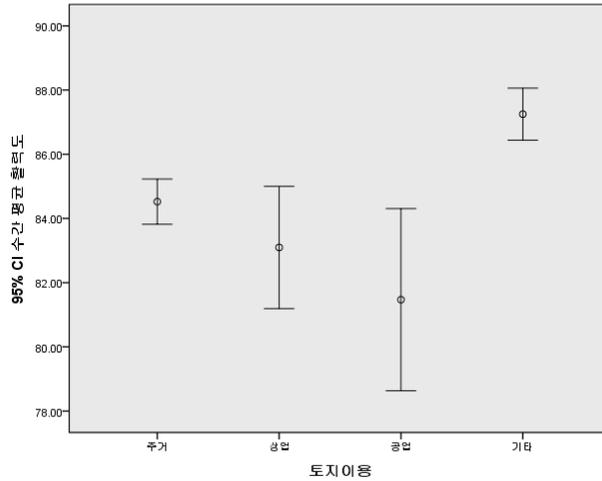
Levene 통계량	df1	df2	유의확률
4.114	3	121	.008

〈표 4-22〉 토지이용에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과

	제곱합	df	평균 제곱	거짓	유의확률
집단-간	100.268	3	33.423	2.480	.064
집단-내	1630.785	121	13.478		
합계	1731.053	124			

기존도로 내 토지이용별 가로수의 수간 평균 활력도 값은 기타(87.25), 주거(84.52), 상업(83.1), 공업(81.47) 순으로 높은 수치를 보였다. 주변 토지이용에 따른 수간 평균 활력도 값에 차이를 통계적으로 검증하기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시한 결과 집단간 통계값이 유의한 것으로 나타났으나($p < 0.001$), 사후분석 결과 분산의 동질성은 기각되었다($p = 0.023$).

〈그림 4-61〉 기존도로 내 토지이용에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-23〉 기존도로 내 토지이용에 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정

Levene 통계량	df1	df2	유의확률
3.372	3	71	0.023

〈표 4-24〉 기존도로 내 토지이용에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과

	제공합	df	평균 제공	거짓	유의확률
집단-간	249.552	3	83.184	15.461	0.000
집단-내	381.991	71	5.380		
합계	631.543	74			

2) 도로 확장 유무(가로수 재배치)

조사 대상지 내 도로 확장 공사를 통해 가로수의 이식 및 재식재 시행된 구간은 10개 구간으로 상행 7, 9, 10, 11 및 하행 6, 8, 9, 10, 11, 12 구간이다. 이식 및 재식재는 가로수에 큰 영향을 줄 수 있는 요인으로 판단되어 분석을 실시하였다.

〈표 4-25〉 대상지 구간의 도로 확장 유무 현황

구분	구간 수	대상 구간
무(기존)	15	상1, 상2, 상3, 상4, 상5, 상6, 상8, 상12, 상13, 하1, 하2, 하3, 하4, 하5, 하7
유(변경)	10	상7, 상9, 상10, 상11, 하6, 하8, 하9, 하10, 하11, 하12

도로확장이 이루어지지 않은 기존 도로의 수간 평균 활력도는 84.94, 표준편차는 2.92로 나타났으며, 도로확장 공사를 통해 변경이 이루어진 구간의 수간 평균 활력도와 표준편차 값은 각각 82.65, 4.28로 도로변경이 이루어진 구간의 가로수 건강성이 약간 낮은 것으로 분석되었다. 도로확장 유무에 따른 활력도 차이에 통계적 유의성을 검토하기 위해 T-test를 실시한 결과 $t=4.034$, $p<0.001$ 값으로 도로확장의 유무가 가로수의 수간 활력도에 영향을 미치는 것으로 검증되었다.

〈표 4-26〉 전체 대상지 보호판 유무에 따른 수간 평균 활력도 차이

구분	평균		표준편차		t	p
	유(n=75)	무(n=50)	유	무		
도로확장 유무	84.94	82.65	2.92	4.28	4.034	.000*

* $p<0.001$

3) 도로와의 이격거리

가로수 생육 활력에 영향요인 중 물리적 요인으로 도로와의 거리를 조사하였다. 이격거리 측정은 도로 경계의 끝부분에서 수목이 식재되어 있는 곳까지의 거리를 측정하였으며, 범위는 0.4-2.5m 였다. 0.5m 이하의 구간은 10구간으로 상행 2, 8, 10, 11, 12, 13구간 및 하행 5, 8, 9, 12구간으로 조사되었으며, 0.6-1m는 7개 구간으로 상행 6, 7, 9구간 및 하행 6, 7, 10, 11구간이었다. 상행 3, 4, 5구간 및 하행 1, 3, 4구간은 1.1-2m의 이격거리에 가로수가 식재되어 있었으며, 상행 1구간 및 하행 2구간은 2.1m 이상 거리에 식재되어 있었다. 도로와 가로수와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도 값은 0.5m 이하일 때 84.53, 0.6-1m는 83.11, 1.1-2m에서는 83.77, 2.1m 이상에서는 83.95로 나타나 0.5m 이하인 구간에서 가장 높은 활력도를 보였으며, 0.6-1m의 구간에서 가장 낮은 활력도를 보였다.

〈표 4-27〉 대상지 구간의 도로와의 이격거리 현황

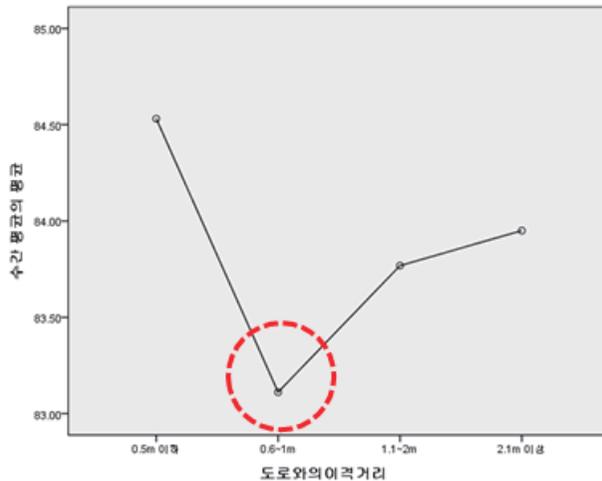
도로와의 이격거리	구간 수	대상 구간
0.5m 이하	10	상2, 상8, 상10, 상11, 상12, 상13, 하5, 하8, 하9, 하12
0.6 - 1m	7	상6, 상7, 상9, 하6, 하7, 하10, 하11
1.1 - 2m	6	상3, 상4, 상5, 하1, 하3, 하4
2.1m 이상	2	상1, 하2

〈그림 4-62〉 도로와의 이격거리 비교



도로와의 이격거리는 도로에서 유입되는 염화칼슘 및 오염물질이 투입 여부를 판단할 수 있는 항목이다. 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도를 살펴본 결과, 일부구간에서 활력도가 낮아지는 경향을 보이긴 했으나 이격거리가 멀수록 활력도가 증가하는 것으로 분석되었다.

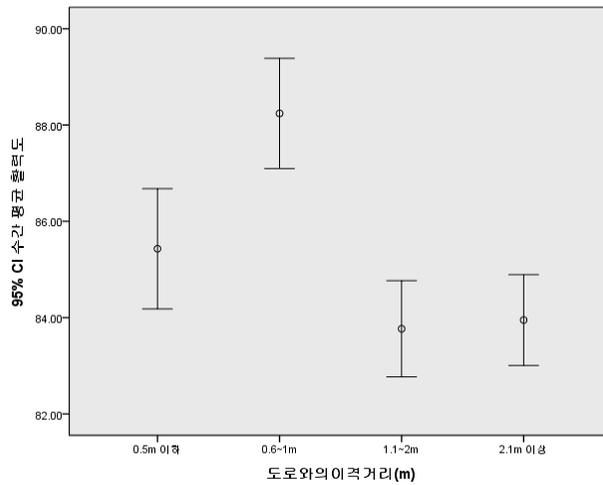
〈그림 4-63〉 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도



기존 도로를 대상으로 도로와의 이격거리에 따른 가로수의 활력도 차이를 분석한 결과, 이 미 활착이 된 가로수의 경우 도로와 가장 접하고 있는 가로수보다 10m 정도 떨어져 있는 가로수가 더 활력도가 높은 것으로 분석되었다. 각각의 구간에서의 수목 평균 활력도 값은 85.43(0.5m 이하), 88.24(0.6-1m), 83.77(1.1-2m), 83.95(2.1m 이상)로 나타났으며 가장

높은 구간은 0.6-1m, 가장 낮은 구간은 1.1-2m로 나타났다. 통계적 검증을 위해 ANOVA를 실시하였으며, 그 결과 통계적으로 유의한 값을 보였지만($p < 0.001$), 분산의 동질성은 검증되지 않았다($p = 0.053$).

〈그림 4-64〉 기존도로 내 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-28〉 기존도로 내 도로와의 이격거리에 따른 수간 평균 활력도

인도폭	구간	평균	표준편차
0.5m 이하 (n=25)	상2, 상9, 상12, 상13, 하5	85.43	3.02
0.6 - 1m(n=10)	상6, 하7	88.24	1.60
1.1 - 2m(n=30)	상3, 상4, 상5, 하1, 하3, 하4	83.77	2.67
2.1m 이상(n=10)	상1, 하2	83.95	1.32
합계(n=75)		84.94	2.92

〈표 4-29〉 도로와의 이격거리 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정

Levene 통계량	df1	df2	유의확률
2.685	3	71	.053

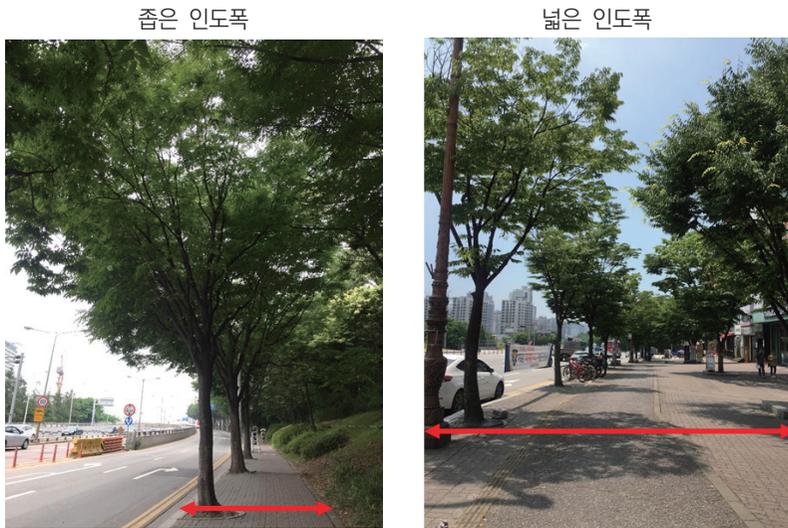
〈표 4-30〉 도로와의 이격거리에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과

	제곱합	df	평균 제곱	거짓	유의확률
집단-간	165.887	3	55.296	8.431	.000
집단-내	465.656	71	6.559		
합계	631.543	74			

4) 인도폭

조사 대상 구간의 인도폭은 2.5-10m의 범위로 조사되었다. 조사 대상구간 80%(n=20)가 2.6-5m의 폭을 가진 보행자도로에 식재되어있는 것으로 분석되었다. 2.5m 이하 구간은 상행 2구간 및 하행 5구간, 5.1-7.5m 이상 폭의 인도는 상행 10, 13구간이었으며, 7.6m 이상의 광폭으로 조성되어 있는 구간은 하행 10구간 1곳으로 나타났다.

〈그림 4-65〉 인도폭 비교

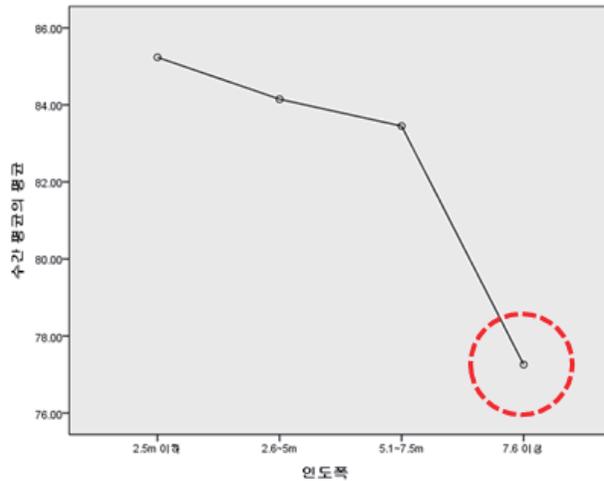


〈표 4-31〉 대상지 구간의 인도폭 현황

인도폭	구간 수	대상 구간
2.5m 이하	2	상2, 하5
2.6 - 5m	20	상1, 상3, 상4, 상5, 상6, 상7, 상8, 상9, 상11, 상12, 하1, 하2, 하3, 하4, 하6, 하7, 하8, 하9, 하11, 하12
5.1 - 7.5m	2	상10, 상13
7.6m 이상	1	하10

전체 구간의 평균 인도폭은 4.5m 이며, 인도폭 범위별 구간 평균 활력도를 그래프로 확인한 결과, 7.6m 이상의 인도폭을 가진 구간인 하행 10구간에서 활력도가 눈에 띄게 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 하행 10구간은 도로 확장공사로 가로수의 이식이 진행된 구간으로 이에 따른 영향을 배제하기 위해 인도폭에 따른 가로수의 활력도 차이 또한 도로 확장 공사가 진행되지 않은 기존 도로를 대상으로 분석을 실시하였다.

〈그림 4-66〉 인도폭에 따른 수간 평균 활력도

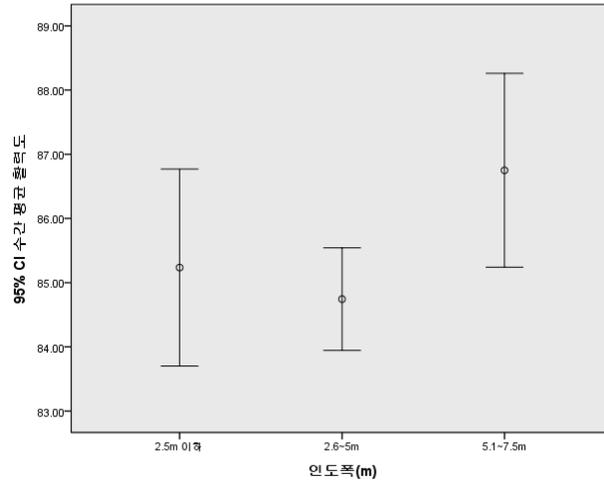


기존 도로를 대상으로 인도폭에 따른 활력도 차이를 분석한 결과 2.5m 이하의 구간에서는 85.24, 2.6-5m 인도폭 구간에서는 84.74로 나타났으며, 5.1m 이상 구간에서는 86.75로 가장 높은 수간 활력도 값을 보였다. 따라서 인도폭에 따른 수간 평균 활력도 값은 중간정도 (2.6-5m)의 인도폭에서 가장 낮은 수간 평균 활력도가 나타나는 것으로 판단된다. 일원배치 분산분석을 통한 검증에서는 통계적으로 유의한 값을 검증하지 않는 것으로 나타났다 ($p=0.322$).

〈표 4-32〉 기존도로 내 인도폭에 따른 수간 평균 활력도

인도폭	구간	평균	표준편차
2.5m 이하 (n=10)	상2, 하5	85.24	2.15
2.6 - 5m (n=60)	상1, 상3, 상4, 상5, 상6, 상9, 상12 하1, 하2, 하3, 하4, 하7	84.74	3.09
5.1m 이상 (n=5)	상13	86.75	1.22
합계(n=75)		84.94	2.92

〈그림 4-67〉 기존도로 대상지 내 인도폭에 따른 수간 평균 활력도



〈표 4-33〉 인도폭에 따른 수간 활력도 분산의 동질성 검정

Levene 통계량	df1	df2	유의확률
2.562	2	72	.084

〈표 4-34〉 인도폭에 따른 수간 활력도 ANOVA 결과

	제곱합	df	평균 제곱	거짓	유의확률
집단-간	19.571	2	9.785	1.151	.322
집단-내	611.973	72	8.500		
합계	631.543	74			

제3절 소결

본 연구에서는 수원시 덕영대로 상하행선 25개 구간 총 125그루를 대상으로 가로수 건강성 평가를 실시하였다. 수원시 관내 구간 덕영대로 가로수는 느티나무가 주요 수종이며, 은행나무, 대왕참나무, 중국단풍, 톨립나무가 식재되어 있다. 목측과 활력도 측정기를 통해 가로수의 활력도를 측정한 결과 느티나무, 중국단풍, 톨립나무의 활력도가 높은 것으로 조사되었다.

가로수 건강성 평가를 실시한 결과, 식재유형, 토양온도, 보호판 유무, 토양pH, 도로확장 유무, 도로와의 이격거리가 가로수 식생 활력도에 영향을 미치고 그 영향의 차이가 유의미한 수준인 것으로 분석되었다. 가로수의 활력도가 높은 경우 토양온도를 낮추는 효과가 있어 가로수 식재를 통해 도시열섬효과 저감을 기대할 수 있을 것으로 나타났다. 2열 식재 가로수가 활력도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 다만, 2열 식재간의 간격 등을 고려하여 개별 수목별 수관이 겹치지 않도록 식재 간격 및 전정 등의 관리에 주의가 필요하다. 보호판의 유무는 가로수 생육에 긍정적인 영향을 제시하였으며 이는 보호판 유실 시 답압 등으로 토양경도가 높아져 빗물 등의 투수율이 낮아지기 때문인 것으로 판단된다.

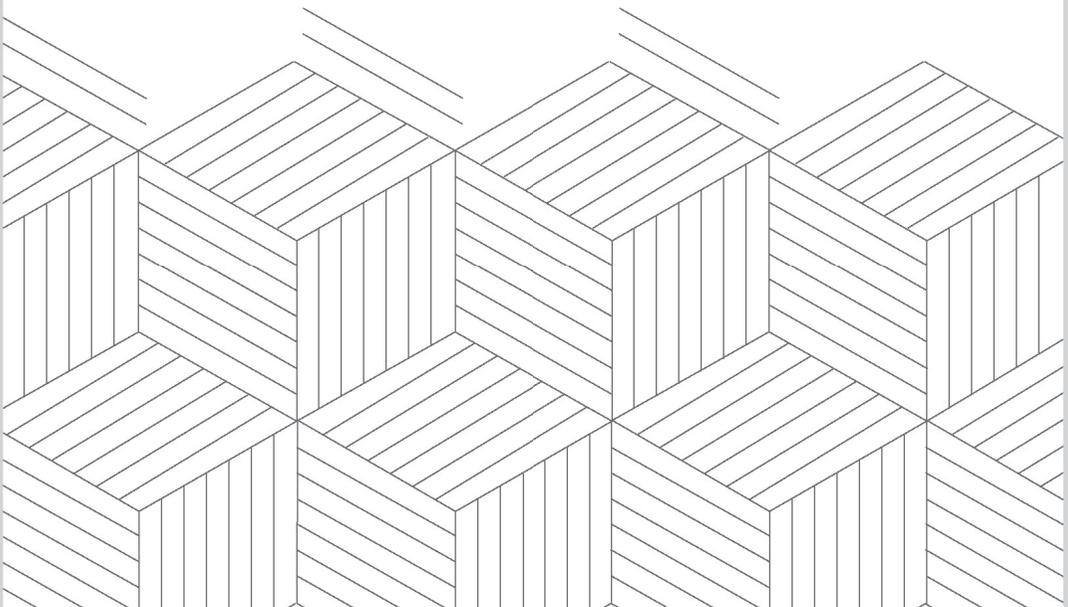
토양 pH의 경우 대부분의 구간에서 중급 정도의 토양 pH 등급으로 조사되었다. 일부 수목 활력도가 높은 지역임에도 pH 7.0이 넘는 알칼리성 토양을 보이는 것으로 나타났으나 이는 조사구간이 도로에 인접한 구간으로 제설제인 염화칼슘 등에 의한 영향으로 판단되며 겨울철 염화칼슘이 가로수 토양으로 들어가지 않도록 관리할 필요가 있다. 이는 도로와의 이격거리와도 연계되는 부분으로 일정폭 이상 떨어져 식재된 가로수의 경우 식생활력도가 높은 것으로 분석되었다. 본 연구에서는 이격거리와 활력도간의 유의미한 상관관계가 도출되지는 않았으나 도로에서부터 적정 폭 이상 떨어져 있는 경우 가로수 활력도에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

도로확장 여부가 가로수 활력도에 높은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 조사구간 중 은행나무 구간이 활력도가 매우 낮게 조사되었으며, 이는 해당구간이 도로 확장으로 인해 수목 재배치가 된 지역으로 이식목 식재 시 보다 주의를 기울여야 한다. 이식목으로 결정되면 단계에 따른 적절한 조치가 필요하며 철저한 관리감독이 필요하다. 또한, 띠녹지의 경우 가로수 건강성에 긍정적인 영향을 줄 것이라는 예상과 달리 부정적인 영향 혹은 그 영향의 정도가 매우 미미한 것으로 분석되었다. 이는 띠녹지 조성이 가로수 식재 이후 추가적인 공사로 실시되어 가로수 생육에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 부분과 띠녹지의 폭이 좁아 가로수 생육 및 토양환경 여건에 긍정적인 효과를 미치기에 한계가 있는 것으로 판단된다.

본 연구 결과, 가로수 건강성에 영향을 미치는 요인을 도출할 수 있었다. 이를 통해 가로수 관리 방안 마련이 가능할 것으로 판단된다.

제5장 결론

제1절 연구의 의의 및 한계
제2절 정책적 제언



제5장 결론

제1절 연구의 의의 및 한계

최근 전세계적으로 기후변화 등 이상기후로 인해 폭염일수가 급증하고 있으며, 2018년도 수원시 역시 기록적인 폭염을 기록하였으며 이로 인한 영향에 노출되어 있는 실정이다. 폭염 및 도시열섬 완화를 위한 정책으로 가로수 조성 및 관리가 중요한 이슈로 제시되고 있다. 가로수는 우수유출 저감, 공기질 개선, 탄소 저장뿐만 아니라 그늘을 제공하는 등 도시열섬효과를 개선하여 살기 좋은 도시 조성에 기여한다. 또한, 도시 내 서식하는 야생동물의 먹이, 서식지 및 연결성을 제공하여 생물다양성을 증진시킨다. 이에 본 연구에서는 폭염 및 도시열섬 완화에 대표적인 정책인 가로수를 대상으로 건강성을 평가하여 가로수 생육에 영향을 미치는 요인을 도출하였다.

수원시 덕영대로를 대상으로 가로수 건강성 평가를 실시한 결과, 몇 가지 의미 있는 결과를 도출하였다. 첫째, 가로수 활력도가 높은 지역의 토양온도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 도시열섬효과 완화 대책으로서 가로수 조성 및 관리가 적합한 대응방안이라는 것을 뒷받침할 수 있는 근거가 되었다. 둘째, 가로수 식재기반인 토양환경이 열악하다는 사실을 확인할 수 있었다. 가로수 토양의 유기물 함량은 일부지역을 제외하고 수목의 생장범위 내에 분포하고 있으나 뿌리생육을 촉진에 필요한 치환성 칼륨 등의 치환성 양이온 비율이 낮아 토양의 영양분이 전반적으로 부족하다는 것을 의미한다. 본 연구에서 토성 등 토양의 물리적 특성을 분석하지 못했으나 일부 구간에서 자갈 등의 함량이 높은 것으로 추측되어 추가적인 조사가 반드시 필요하다. 셋째, 덕영대로의 경우 대부분의 구간에서 가로수의 생육상태가 좋은 것으로 조사되었으나 일부 구간에서 가로수 관리상의 문제가 제시되었다. 도로확장에 따른 기존 가로수를 재이식하여 활용할 경우 보다 철저한 감독아래 식재되어야 하나 강정정된 수목이 활착하지 못하는 사례가 발생하였으며, 가로수 전지 시 무리한 수목 상부를 절단하여 가로수가 쇠퇴하고 있는 사례가 발생하였다. 이를 통해 가로수 식재공사 시 토목공사 이후 생육기반 조성 및 식재 관리감독의 중요성이 제시되었다.

본 연구에서는 도로 외 영향요인을 통제하기 위해 덕영대로를 중심으로 조사·분석하였다. 이 결과 영향요인간의 차이를 분석하는데 용이하였으나 주변 토지이용 및 관리 등으로 인한

영향을 확인하는데 한계가 있었다. 향후 덕영대로를 중심으로 증로 및 소로에 대한 건강성 평가를 실시하여 대로와 증로, 소로간의 차이를 파악하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서는 수목활력도를 측정하는 기계를 통해 수목의 활력도를 측정하였다. 이러한 기기를 통한 활력도 측정은 수목의 성장흐름을 파악하는데 유용하나 수종간의 계측값의 편차 및 수목 생장을 대표해서 평가하는데 한계가 있다. 특히, 본 연구의 경우 모든 조사를 동일한 시간 및 기후조건으로 조사하여 데이터의 편차를 줄일 수 있었으나 우천 등의 요인으로 계측값의 변동이 생길 수 있어 장기적으로 활용하는데 한계가 있다. 따라서 인간의 목측의 편차를 최소화할 수 있는 NDVI 값을 통해 분석하는 것이 필요하다.

제2절 정책적 제언

최근 발생하고 있는 기록적인 폭염과 도시열섬효과에 효과적으로 대응하기 위해서는 현재 수원시에서 추진하고 있는 가로수 조성 및 관리 사업은 시의 적절하고 타당한 정책이라고 판단된다. 다만, 본 연구결과를 토대로 보다 건강한 가로수 정책을 추진하기 위해 다음의 정책을 제안하고자 한다.

첫째, 가로수 건강성 확보를 위한 가로수 토양환경 개선이 필요하다. 도로공사 및 토목공사 이후 가로수 식재 시 가로수 생육에 적합한 식재기반인 토양환경을 조성해야 한다. 신규 조성지 뿐만 아니라 기존의 가로수 식재 구간에도 정기적인 시비 등을 통한 토양개량이 필요하다.

둘째, 가로수 기본계획이 수원시 조례에 의해 5년마다 수립되고 있다. 기본계획 수립 시 수원시 전역의 가로수 현황조사뿐만 아니라 건강성 및 취약성 평가를 도입하여 매우 낮은 캐노피 커버, 높은 온도, 가로수 교체가 요구되는 지역 등에 대한 우선순위를 제시할 필요가 있다.

셋째, 수원시 가로수 조성 및 관리에 대한 목표 설정이 필요하다. 가로수 캐노피 커버율, 피녹지 조성면적 등 정량적인 목표 설정을 통해 폭염, 도시열섬 문제를 보다 적극적으로 해결해야 한다. 이는 기후변화 적응대책과 연계되는 부분으로 폭염, 지구온난화 등에 대응하기 위한 도시의 온도를 낮출 수 있는 근본적인 대안마련이 필요하다.

넷째, 가로수 관리에 시민의 적극적인 참여가 필요하다. 현재 자원봉사 및 재능기부를 통한 가로수정원사, 건강진단, 가로수 스타클럽 운영 등 시민과 함께하는 가로수 거버넌스를 가로수 입양제도를 포함하여 확대할 필요가 있다. 가로수 입양제도(adopt a tree)는 학교, 기업, 시민, 단체에서 주변의 가로수 및 녹지를 입양하여 돌보고 가꾸는 사업으로 시민이 스스로 녹지를 관리하는 기회를 제공함으로써 환경의식과 지역공동체의식을 함양할 뿐만 아니라 자발적이고 지속가능한 공원관리체계 구축에 기여할 수 있다.

마지막으로 수원시의 그린인프라 정책 수립이 필요하다. 단순한 띠녹지 조성사업이 아니라 도시공원, 가로수, 빗물이용시설 등이 유기적으로 연계되는 토양네트워크 구축이 필요하다. 이를 통해 가뭄, 폭염 및 폭우 시 빗물을 효율적으로 활용할 수 있으며 이를 통해 물순환 선도도시 및 환경수도 실현이 가능하다.

| 참고문헌 |

〈국문 자료〉

- 강정은, 엄정희, 배현주, 최희선, 이명진, 강운원, 박재철. (2012). 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립. 한국환경정책평가연구원
- 국토교통부. (2016). 조경설계기준
- 길승호. (2017). 소나무, 주목, 느티나무 그리고 단풍나무의 입면 NDVI 비교 분석, 한국환경복원기술학회지, 20(6): 151-160
- 김선희, 성주한, 구남인, 김용석, 제선미, 김경하. (2016). 산림의 건강·활력도진단·평가보고서, 국립산림과학원
- 김은영, 정경민, 정혜진. (2017). 수원시 폭염 취약계층 분석 및 대응전략 수립, 수원시정연구원
- 김준순, 이동근. (2014). 가로수 조성 유형에 따른 비용편익 비교 분석. 한국환경복원기술학회지 17(6): 29-37.
- 박은진, 강규이, 남미아. (2010). 도시열섬 완화를 위한 옥상녹화 활성화 방안. 경기연구원
- 변우혁, 김기원. (2010). 도시숲 이론과 실제. 도서출판 이채.
- 산림청. (2007). 녹색건전성 평가지표 개발 및 모니터링-요약 보고서-
- 산림청. (2014). 도로 및 환경유형별 가로수 조성·관리 모델 개발
- 성현찬, 문다미. (2003). 도시녹지의 대기정화효과에 대한 분석적 연구-도시 가로수를 중심으로-. 한국환경복원녹화기술학회지. 6(3) : 17-28.
- 이지영. (2014). 가로수 가치 추정 기초 연구 -서울시 노원구를 대상으로-. 서울대학교 조경학석사 학위논문.
- 황동규, 김동엽. (2016). 형성층 전기저항을 이용한 조경용 수목 활력도 분석, 응용생태공학회, 3(4): 302-306

〈영문 자료〉

- Batala, E., & Tsitsoni, T. (2009). Street tree health assessment system: a tool for study of urban greenery. International Journal of Sustainable Development and Planning, 4(4), 345-356
- Bentrup, G. (2008). Conservation buffers: design guidelines for buffers, corridors, and greenways. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station

- Bradshaw AD, Hunt B & Walmsley T. (1995). Trees in the Urban Landscape; Principles and Practice, E & F N Spon
- Bryant C. Scharenbroch, David Carter, Margaret Bialecki, Robert Faheyb, Luke Scheberla, Michelle Cataniab, Lara A. Roman, Nina Bassuk, Richard W. Harper, Les Wenera, Alan Siewert, Stephanie Miller, Lucy Hutyra, Steve Raciti. (2017). A rapid urban site index for assessing the quality of street tree planting sites. Urban Forestry & Urban Greening. Vol. 27. pp. 279-286
- Cities, Lancaster University, Lancaster
- Gibbons, P & Lindenmayer, D (2002), Tree hollows and wildlife conservation in Australia, CSIRO, Colligwood
- Lu, Jacqueline W.T., Erika S. Svendsen, Lindsay K. Campbell, Jennifer Greenfeld, Jessie Braden, Kristen L. King, and Nancy Falxa-Raymond. (2010). Biological, Social, and Urban Design Factors Affecting Young Street Tree Mortality in New York City. Cities and the Environment. 3(1)
- Michael Fietz, Heinz Burger. (2016). Strassenbaum-zustandsbericht Berliner innenstadt 2015- Ergebnisse der Straßenbaum-Zustandserhebung aus CIR-Luftbildern
- Rogers, K., Sacre, K., Goodenough, J., & Doick, K. (2015). Valuing London's urban forest: results of the London i-Tree eco project
- Stewart H, Owen S, Donovan R, MacKenzie R, Hewitt N, Skiba U & Fowler D (2003). Trees and Sustainable Urban Air Quality: Using Trees to Improve Air Quality in U.S. Environmental Protection Agency. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Draft
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013). Stormwater to Street Trees: Engineering Urban Forests for Stormwater Management
- Voogt, J. (2002). Urban Heat Island. In Munn, T. (ed.) Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 3. Chichester: John Wiley and Sons

〈인터넷 매체〉

<http://www.greenaerotech.com/what-is-ndvi/>

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

<http://www.suwon.go.kr/> 수원시 홈페이지

https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/daten_fakten/altersklas

sen/index.shtml

<https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/stadtgruen/stadtbaeume/de/vitalitaet/index.shtml>

<https://www.epa.gov/heat-islands/> heat-island-compendium.

Abstract



Evaluation of the Growth and Health of Street Trees in Suwon

In recent years, the number of days of heatwave has increased rapidly due to climate change. The heatwave in 2018 led to record-breaking temperatures in Republic of Korea. The heatwave can be extremely uncomfortable and even fatal, especially to the elderly. As a policy to mitigate the heatwave and urban heat island, making urban forests including street trees is an important issue. Street trees increase the liveability of cities by reducing stormwater runoff, improving air quality, storing carbon, providing shade, and ameliorating the urban heat-island effect. Street trees also enhance biodiversity by providing food, habitat and landscape connectivity for urban fauna. In this study, the health status of street trees in Suwon was evaluated, and the factors affecting the growth of the trees were also derived.

In order to evaluate the growth and health of street trees, field survey was carried out on a total of 125 trees in 25 sections of the *Deogyong-daero* where is through the city. During the field survey, the following items were examined: Street trees health status (i.e. species, height, DBH (diameter at breast height), planting types, vigor, etc.), soil factors (i.e. soil temperature, humidity, pH, hardness, etc.), and environmental factors (i.e. landuse, road width, etc.).

As the results of field survey, the main species of the street trees was *Zelkova serrata*, which was healthy in most of the sections. The factors such as planting types, soil temperatures, tree cover, road extension, distance from the road were derived to affect the growth and health of street trees, and the differences were significant.

The soil temperature on the healthy street trees was low, and the double row of street trees was healthier than the single row of those. The results can be the basis for supporting the urban forest as a countermeasure for mitigation of the urban heat-island effect. The installation of tree covers influenced the tree health, and the facilities are necessary for tree protection. Most of the soil pH was at the middle-level, but the soil pH was higher in some section adjacent to the road. Through the results, it is important to manage soil conditions in which trees can grow well.

In the case of this study area, the growth of street trees was found to be good in most of the sections except for the extended road segments. The street trees in the extended road were re-implanted and showed low vitality because of the effects of constructions, lack of supervision, and so on.

Based on the results of this study, the following policies were proposed. First, it is necessary to make up the soil conditions at the time of planting as well as managing. Second, it suggests evaluating the health of the trees when establishing the plan for street trees every 5-year. Third, it is necessary to set the quantitative goal for healthier street trees. Fourth, it is urgent to introduce Adopt-a-tree project with citizens. Last, it should establish the green infrastructure of Suwon organically linked with urban forest, urban parks, and greenways including street trees.

In the further study, it is necessary to investigate the influence factors considering road size for proper street trees management and to apply various methods to examine the health status of street trees.

Keywords : Urban ecosystem, Green infrastructure, Urban heat island effect, Soil condition, Tree growth

| 저자 약력 |

김은영

공학박사

수원시정연구원 안전환경연구실 연구위원(현)

E-mail : eykim@suwon.re.kr

주요 논문 및 보고서

「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 안전환경연구실 연구위원(현)

E-mail : km3737@suwon.re.kr

