

폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획 연구

Green Street Strategy on Urban Heat Wave

김영지 Kim, Youngji
박유나 Park, Yuna
오성훈 Oh, Sungsoon

(aur.)

[기본연구보고서 2022-7](#)

폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획 연구

지은이	김영지, 박유나, 오성훈
펴낸곳	건축공간연구원
출판등록	제2015-41호 (등록일 '08. 02. 18.)
인쇄	2022년 10월 31일, 발행: 2022년 10월 31일
주소	세종특별자치시 가름로 143, 8층
전화	044-417-9600
팩스	044-417-9604

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

가격: 25,000원, ISBN: 979-11-5659-382-9

이 연구보고서의 내용은 건축공간연구원의
자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와 다를 수 있습니다.

연구진

| 연구책임

김영지 연구원

| 연구진

박유나 연구원

오성훈 선임연구위원

| 외부연구진

유철희 The Hong Kong Polytechnic University 연구원

| 연구보조원

김혜란, 여해린, 남재연

| 연구심의위원

유광흠 선임연구위원

이상민 선임연구위원

손동필 연구위원

한봉호 서울시립대학교 조경학과 교수

김원주 서울연구원 연구위원

| 연구자문위원

권유진 한국건설기술연구원 박사

김근태 Georgia Tech 연구원

박훈태 Mapping&Intuitive Modeling Institute 대표

정슬기 한국환경연구원 연구원

제1장 서론

기후변화로 인하여 폭염 발생빈도가 증가하고 있으며 앞으로도 더욱 증가할 것으로 예상됨에 따라 폭염대응을 위한 도시차원의 정책 마련이 시급한 상황이다. 폭염의 증가는 도시민의 건강을 위협하고 전반적인 일상 활동을 위축시키는 것으로 나타나며, 이는 도시 에너지 발생을 증가시켜 기후변화를 더욱 가중시키는 악순환으로 발전할 수 있다. 따라서 기후위기에 대응하는 지속가능한 도시를 조성하기 위해서는 보행과 외부활동을 보장할 수 있도록 쾌적한 미기후 환경을 제공하고, 이를 통하여 승용차 이용 감소와 건물에너지 사용 감소 등을 유도하는 등의 선순환 고리를 생성하여야 하며, 이를 지원하기 위한 공간적 대응방안이 필요하다.

시민들이 일상적으로 마주하는 공간인 가로공간에서 가로녹지는 이용자들의 열스트레스를 완화할 수 있는 해결책으로 활용가능하다. 가로공간의 폭염완화대책으로서 가로녹지는 중요하게 다뤄질 필요가 있으나, 현재의 가로녹지계획은 가로녹지를 설치하기 위한 도로의 폭원 등 물리적 여건만을 고려하여 수립되고 있는 실정이다. 미래에 예견되어 있는 기후위기에 적응하기 위해서는 가로의 열환경에 대한 분석을 시행하고, 이를 토대로 가로공간의 열완화를 위한 가로녹지 계획을 수립할 필요가 있다.

본 연구에서는 가로녹지의 도시 온도저감 기능을 고려한 가로녹지계획 전략을 마련함으로써 보다 효율적으로 도시민의 열스트레스를 완화하는데 기여하고자 한다. 이를 위하여 세부적으로는 가로단위 열환경에 영향을 미치는 주변 요인들을 도출하여 보다 효율적인 계획의 근거를 마련하고자 한다. 또한 협행 가로녹지 계획체계의 한계를 분석하고 관련 정책사례 분석 및 보행자 대상 인식조사 등을 통하여, 폭염대응을 주요 목적으로

로 하는 가로녹지계획의 제도적 근거를 도출하고, 이를 토대로 폭염대응을 위한 가로녹지 정책대안을 제시하고자 하였다.

제2장 국내 가로녹지 관련 법제도 및 계획 현황

본 연구의 목적은 폭염대응 관점에서 가로녹지계획을 제시하고, 이와 같은 가로녹지 계획이 원활하게 실현될 수 있는 제도적 근거를 마련하는 것이다. 이에 따라 본 장에서는 가로녹지 관련 법·제도를 검토하였고, 가로공간과 가장 밀접한 관련이 있는 가로수의 계획체계에 대하여 살펴보았다. 가로녹지와 관련한 주요 법·제도는 가로수(띠녹지)에 대한 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」, 시설녹지에 대한 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」, 대지의 조경, 공개공지 등에 관한 「건축법」이 있으며, 각 법령의 하위규칙과 지자체 조례를 살펴보았다. 또한 가로수의 계획체계는 관련 지자체 조례인 '가로수 조성 및 관리에 관한 조례' 43개와 '도시숲 등 조성 및 관리에 관한 조례' 160개, 가로수에 대한 기본계획을 별도로 수립하고 있는 서울시, 대구시, 울산시, 그리고 서울 송파구의 기본계획 내용을 심층적으로 분석하였다.

가로녹지 관련 법령과 법정계획을 살펴본 결과, 현재 가로녹지 계획은 녹지네트워크 조성, 도시미관 향상 등을 목표로 수립되고 있는 것을 확인하였다. 가로녹지 중 가로수(띠녹지)에 대해 규정하고 있는 「도시숲법」에서는 폭염 완화가 목적으로 명시되고 있으나 이에 따른 기본계획을 살펴보면 가로녹지는 도시숲을 연결하는 생태네트워크로 계획되는 것으로 나타났다.

또한 가로녹지계획의 세부 내용을 검토한 결과, 가로녹지계획 시 가로공간의 통합적인 맵락에 대한 고려가 부족함을 확인하였다. 가로녹지의 법적 시설들인 가로수(띠녹지), 시설녹지, 공개공지 및 대지 내 조경 등이 계획, 조성 및 관리 단계에서 연계되지 못하고 있으며, 가로공간을 구성하는 다양한 물리적 요소와의 연계도 발견하기 어려웠다. 대부분 가로녹지를 설치하기 위한 보도의 폭원 등 최소한의 물리적 여건만 검토되고 있으며, 더 구체화되었다 하더라도 주거지역, 상업지역 등을 구분하여 계획을 제시하는 정도임을 확인하였다. 이는 가로를 구성하는 물리적환경에 따라 가로의 열환경이 달라질 수 있음을 고려하지 못하고 있는 상황으로, 보다 쾌적하고 시원한 가로공간을 조성하기 위해서는 이러한 가로공간의 맵락을 통합적으로 고려할 필요가 있음을 시사한다.

가로녹지의 식재지역 및 식재위치, 배치형태 등에 대한 기준을 살펴본 결과, 가로녹지의 온도저감기능을 고려한 구체적 조성·관리 기준을 발견하기 어려웠다. 가로녹지의 주요 시설 중 시설녹지와 공개공지, 대지의 조경의 경우에는 포괄적인 기준만 제시되어 있음을 확인하였다. 가로수의 경우에는 보다 구체적인 규정이 제시되어 있으나, 대부분 보도 폭을 기준으로 하여 식재 크기를 제시하고 있으며, 식재 당시의 기준만 제시되어 있어 관리목표 기준은 미흡한 것으로 나타났다. 또한 가로녹지의 계획과 관리 단계에서 가로 녹지의 온도저감 기능보다는 생육과 효율적 관리에 중점을 두고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 폭염대응을 위한 가로녹지 계획 수립 시에는 열저감 효과 증대를 위한 구체 적인 배치전략, 생장 목표, 그들의 크기 등에 대한 명시가 필요함을 시사한다.

제3장 도시 열환경에 대한 가로녹지 영향 분석

본 장에서는 가로공간의 열환경에 영향을 미치는 요인들을 파악하기 위하여, 선행연구 고찰을 통해 변수를 구축하고, 상관관계분석 및 기계학습을 이용한 회귀분석을 수행하여 각 변수와 가로의 지표면온도 간의 영향관계를 살펴보았다. 이를 위하여 미시적 공간 규모에 맞는 온도 데이터를 구축하는 선행 작업을 수행하였고, 가로수의 유무 보다는 가로수의 규격 및 배치 등에 따른 영향관계를 살피고자 가로수 위치 점(point) 데이터를 분석단위로 하여 변수를 구축하였다. 각 변수는 공간적 특성, 가로녹지 특성으로 구분하여 분석을 수행하였다. 또한 열환경분석 결과 핫스팟으로 도출된 지역을 중심으로 열환경 영향요인을 종합하여 가로유형을 분류하고, 가로 유형별 현장실태를 조사하였다. 열화상카메라를 이용한 온도데이터 수집을 통하여, 가로녹지가 보행자의 열쾌적성에 미치는 영향을 직관적으로 확인하고 통계분석 결과를 검증하였다.

분석 결과 가로를 구성하는 건조환경 특성에 따라 열환경에 차이가 있음을 확인하였다. 지표면온도와 건물 높이는 음(-)의 상관관계가, 도로 폭원은 양(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났는데, 이는 건물높이가 높고 도로 폭원이 좁을수록 온도가 낮음을 의미한다. 또한 주변 건물 용도에 따라 가로의 열환경이 달라짐을 확인하였는데, 가로 주변이 공업 시설 밀집지역, 단독주택 또는 다세대·연립주택 등의 저층주거지 밀집지역인 경우 평균적으로 온도가 높음을 나타낸다. 도로의 방위에 따라서도 평균적인 온도분포가 상이하게 나타남을 확인하였는데, 도로의 방위가 동-서방향일 때 가장 높은 온도값을 갖는 것

으로 확인되어, 향후 가로녹지 계획 시 도로의 방위별로 다른 전략을 취함이 적절함을 시사하였다.

또한 가로녹지와 가로 열환경에 대한 상관관계 분석 결과에 따르면, 현재 조성되어 있는 가로수의 규격과 식재 간격이 최적의 온도저감 효과를 보이지 못하는 것으로 나타났다. 가로수의 '수고 대비 수관폭 비율'과 지표면온도와의 상관관계 분석 결과 그 비율이 약 0.6 이상일 때 음(-)의 상관관계가 명확하게 나타나는 것을 확인하였으며, 이는 가로수의 온도저감효과를 극대화 하기 위해서는 일정 폭 이상의 수관폭을 유지하여야 함을 시사한다. 또한 가로수의 '수관폭 대비 식재간격'을 살펴본 결과, 비율이 약 1.1 내외일 때 가장 낮은 온도값을 가지는 것을 알 수 있으며, 이는 현재 조성되어 있는 가로수의 '수관폭 대비 식재간격'이 평균적으로 1.5~2인 것을 보았을 때, 현재보다 가로수의 수관폭을 키우거나 식재간격을 좁혀야 함을 의미한다.

또한 현장에서 열화상카메라를 이용하여 보행자의 표면온도를 측정한 결과, 그늘 여부는 보행자의 열스트레스에 직접적인 영향을 미치며, 가로수 이외 시설녹지 등의 가로녹지나 공원, 아파트 조경시설 등의 주변녹지가 있는 경우 연속적인 그늘이 확보되어 보행자의 열스트레스가 저감될 수 있음을 확인하였다. 또한 주변에 노상주차가 있는 경우, 차량으로부터의 복사열로 인하여 주변 온도가 상승하는 것을 발견하였다. 이는 가로공간의 열완화를 위해서는 다양한 가로녹지시설과 공원 등 주변 시설을 연계하여 조성할 필요가 있으며, 가로의 이용행태 역시 고려하여 가로녹지계획을 수립해야 함을 시사한다.

제4장 폭염대응 관점의 가로녹지 개선을 위한 인식 분석

가로녹지에 대한 보행자 인식조사를 통하여 보행자들이 생각하는 가로녹지의 편익, 향후 가로녹지의 개선 방향 등에 대하여 일반인 1,000명을 대상으로 의견을 수렴하고자 하였다. 본 연구의 설문조사 항목은 크게 가로녹지에 대한 현황, 가로녹지 필요성에 대한 인식, 가로녹지의 향후 개선방향에 대한 인식, 응답자 특성으로 구성하였다. 설문조사 대상은 지역과 성별 할당을 통해 선정되었으며, 비교적 유사한 도시환경이 분포된 광역시와 경기도를 중심으로 진행되었다.

인식분석 결과, 시민들은 가로녹지의 기능 중 그늘 제공을 가장 중요한 기능으로 꼽는 것을 확인할 수 있었다. 일상에서 가로녹지가 필요한 주요 이유로 그늘제공을 응답한 비

율이 60.1%에 달하며, 거주지 주변환경에 관계없이 그늘 제공이 중요한 역할로 제안되고 있다. 또한 응답자별 가로녹지 개선을 위해 필요한 사항을 선정한 이유로 ‘더운 날씨에 온도를 낮출 수 있을 것 같아서’로 응답한 사람이 25.6%로 두 번째로 많이 선정되었으며 응답자의 82.8%가 가로녹지 개선을 위해 세금 지불 의사를 보여, 사람들은 가로녹지가 제공하는 다양한 기능 중 그늘 제공을 통한 온도저감을 기대하며, 이를 위해 가로녹지 개선이 필요하고 개선을 위한 세금 지불 의사가 있는 것으로 판단된다.

이러한 가로녹지에 대한 인식은 거주지 유형에 따라 상이한 결과를 보이는 경우가 나타났는데, 특히 가로녹지에 대한 만족도에서 차이를 보였다. 거주지역이 고층건물 밀집지역일 경우 가로녹지에 대한 만족도나 충분성에 대해 긍정적으로 응답한 비율은 각각 53.3%, 51.3%로 저층건물 밀집지역의 거주자의 만족도와 충분성에 대한 긍정응답 비율인 39.3%, 32.7%과 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 향후 가로녹지계획의 수립 시 주변 건조환경의 특성에 대한 고려가 필요하며, 그 중에서도 가로녹지 개선 시 저층건물 밀집지역을 중심으로 고려될 필요가 있음을 시사한다.

가로녹지에 대하여 만족한다는 응답 비율이 낮지 않음에도 불구하고, 가로녹지가 개선되어야 한다는 응답은 약 54.0%로 과반수 이상으로 나타났다. 또한 가로녹지가 개선된다면 평균적으로 도보시간이 25.7분에서 37.9분으로 12.2분 늘어날 것으로 응답되었으며, 가로녹지의 개선은 보행 또는 외부활동의 증가를 유도할 수 있음을 나타낸다. 또한 거주지역에 관계없이 넓은 차로수보다 울창한 가로녹지에 대한 중요도가 높게 나타남에 따라 향후 가로녹지계획 수립 시, 가로녹지 확충을 위하여 도로다이어트 등의 가로개선사업과 연계할 수 있음을 확인하였다.

제5장 폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획 및 정책대안

본 연구에서는 가로녹지의 온도저감 기능을 극대화함으로써 가로공간의 열완화 전략을 모색하고 궁극적으로는 폭염에 대응하는 도시를 조성하기 위한 정책대안을 마련하고자 하였다. 이를 위하여 앞서 제2장, 제3장, 제4장에서 폭염대응 관점에서 가로녹지에 대한 법제도 및 계획 분석, 가로 열환경에 대한 영향요인 분석, 가로녹지에 대한 인식 분석 등을 수행하였고, 이를 토대로 현행 가로녹지 계획에 대한 쟁점을 양적 확보 측면에서의 가로녹지 계획, 정책 목표 달성을 보다는 관리 효율에 편중된 현행 관리기준, 가로녹지의 온도

저감 기능에 대한 고려 부족, 가로녹지 유형 간의 연계 부족, 이용행태를 고려하지 못하는 공급자 관점의 가로녹지 계획, 가로공간 전체의 통합적 맥락에서의 접근 부족 등의 6가지로 정리하였다. 또한 현행 가로녹지 계획의 쟁점을 토대로 폭염대응 가로녹지계획 전략을 형태기반 조성전략(Form-based Strategy), 맥락적 조성전략(Contextual Strategy), 목표형상 기반전략(Treeshape-based Strategy)의 세가지로 다음과 같이 제시하였다.



[그림] 주요 분석 결과에 따른 가로녹지 계획의 쟁점과 전략

먼저, 형태기반 조성전략은 그동안 보도의 폭원에 따라 계획되고 도로 노선별 평균값으로 관리되던 것에서 벗어나, 가로공간을 구성하는 건조환경에 따른 가로 유형별 가로녹지계획이 수립되어야 함을 의미한다. 본 연구에서는 앞선 분석결과에 따라 도로의 방위와 건물 높이에 따라 가로유형을 분류하는 방안을 제시하였다. 두 번째로 맥락적 조성전략은 이용자 관점에서 통합적으로 인식되는 가로공간의 다양한 요소와 가로녹지, 가로이용행태 등을 종합적으로 고려하여 가로녹지계획을 수립해야 함을 의미한다. 마지막으로 목표형상 기반전략은 가로녹지의 온도저감 기능을 극대화 할 수 있는 목표형상을 설정하고, 이를 위한 중장기적 관리목표를 설정해야 함을 의미한다. 이와 같은 조성전략을 토대로, 연구 대상지인 의정부시의 가로를 대상으로 가로녹지 전략의 적용에 따른 온도저감 효과를 시뮬레이션한 결과, 인간 열환경지수인 PET가 감소하는 것으로 나타나 전략의 실효성이 있음을 검증하였다.

이러한 가로녹지 계획전략의 실현을 위하여 ① 폭염대응 관점의 가로유형별 가로녹지 계획·관리체계 마련, ② 가로 열환경에 영향을 미치는 녹지의 연계조성 제도 마련, ③ 폭염대응을 고려한 중장기적 관리목표 설정, ④ 가로단위 폭염대응 전략 수립을 위한 시범사업 추진방안 등의 정책대안을 제시하였다.

먼저 ① 폭염대응 관점의 가로유형별 가로녹지 계획·관리체계 마련에서는 가로녹지계획이 폭염대응 관점에서 수립되기 위하여, 가로녹지 관련 법령의 목적에 ‘기후위기 대응’이 명시될 필요가 있음을 보이고, 관련 법령 개정안을 제시하였다. 또한 가로녹지계획 수립 시 조사항목으로 가로단위 폭염취약공간 분석 내용을 포함하도록 하여, 가로녹지계획이 가로의 열환경에 적합하게 수립될 수 있도록 하고자 하였다.

다음으로 ② 가로 열환경에 영향을 미치는 녹지의 연계조성 제도 마련에서는 기존의 가로수 중심의 가로녹지계획에서 벗어나, 시설녹지, 대지 내 조경 및 공개공지 등 가로녹지 전체를 포함하여 통합적인 계획 수립이 이루어질 필요가 있음을 제시하며, 가로공간의 재편을 통하여 적극적으로 가로녹지 조성여건을 마련해야 함을 명시하였다. 이를 위하여 개별 부서를 넘어 지자체의 관련 부서와 전문가, 시민 등 다양한 이해관계자가 함께 공간적 차원에서 대안을 마련할 수 있도록 폭염대응 거버넌스(Anti-Heat Governance)의 구축을 제안하였다.

③ 폭염대응을 고려한 중장기적 관리목표 설정에서는 가로녹지의 온도저감 기능을 고려하여 목표형상, 온도저감율 등의 관리목표를 설정하고 이에 기반한 진단체계를 갖추어야 함을 제시하였다. 이를 위해서는 현행 도로 노선별 가로수 관리체계에서 벗어나, 개별 수목에 대한 정보를 구축하고 이러한 정보가 기존의 도시계획관련 정보체계와 GIS 상에서 연계될 수 있도록 플랫폼이 마련되어야 함을 제안하였다.

마지막으로 ④ 가로단위 폭염대응 전략 수립을 위한 시범사업 추진방안에서는 가로공간의 열완화를 위하여 가로녹지라는 단일 시설의 개선만으로는 한계가 있음에 따라, 가로녹지가 조성된 가로의 보도공간, 차로공간, 식재공간, 주변공간 등 일련의 공간에 대한 통합적인 개선이 필요하며 이에 대한 시범사업을 추진할 필요가 있음을 보인다. 이 과정에서는 가로녹지의 조성과 함께 공간의 폭원, 포장방식, 가로시설물의 개선, 폭염저감시설, 저 영향개발기법의 도입 등 다양한 요소를 적용할 수 있음을 제시하였다.

주제어

폭염 완화, 가로녹지 계획, 가로수 계획, 가로 열환경, 기후변화 적응

차 례

CONTENTS

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
1) 연구배경 및 필요성	1
2) 연구목적	8
2. 연구범위 및 방법	9
1) 연구 범위	9
2) 연구 수행과정 및 방법	13
3. 선행연구와의 차별성	15
제2장 국내 가로녹지 관련 법제도 및 계획 현황	17
1. 가로녹지 조성·관리 관련 법제도	17
1) 가로녹지의 조성 및 관리 관련 법령	17
2) 가로녹지의 조성 및 관리에 관한 법정계획	24
2. 지자체 가로녹지 계획·조성 및 관리 현황	26
1) 가로녹지 조성 및 관리에 대한 지자체 조례	26
2) 지자체 가로녹지 계획 및 관리 체계	30
3. 소결	44
제3장 도시 열환경에 대한 가로녹지 영향 분석	47
1. 미시적 열환경에 대한 가로환경 및 가로녹지 영향 분석	48
1) 미시적 규모의 도시 열환경 분석 개요	48
2) 가로 열환경에 대한 영향요인 분석	68
3) 소결	82
2. 가로유형별 현장 실태 조사	84
1) 실태조사 개요	84
2) 실태조사 결과	86
3) 소결	101

차례

CONTENTS

제4장 폭염대응 관점의 가로녹지 개선을 위한 인식 분석	103
1. 조사개요	103
1) 설문조사 개요	103
2) 설문조사 내용	104
2. 가로녹지 개선을 위한 인식 분석	105
1) 응답자 현황	105
2) 거주지주변 가로녹지에 대한 현황과 인식	107
3) 가로녹지 필요성에 대한 인식	113
4) 가로녹지 향후 개선방향에 대한 인식	117
5) 가로녹지 개선에 대한 편의	120
3. 소결	123
제5장 폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획 및 정책대안	125
1. 폭염대응을 고려한 가로녹지계획 방안	125
1) 폭염대응 관점에서 가로녹지 제도 및 계획의 쟁점	125
2) 폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획의 원칙과 전략	131
2. 폭염대응을 고려한 가로녹지 정책대안	141
1) 폭염대응 관점의 가로유형별 가로녹지 계획·관리체계 마련	141
2) 가로 열환경에 영향을 미치는 녹지의 연계조성 제도 마련	146
3) 폭염대응을 고려한 중장기적 관리목표 설정	149
4) 가로단위 폭염대응 전략 수립을 위한 시범사업 추진방안	152
제6장 결론	155
1. 연구의 의의	155
2. 연구의 한계	157

차 례

CONTENTS

참고문헌	159
SUMMARY	171
부록 1. 미시적 공간단위 열환경 분석을 위한 고해상도 지표면온도 구축 과정	179
부록 2. 가로녹지 개선을 위한 이용자 인식조사 설문지	195
부록 3. 가로녹지 효과 분석과정	205
부록 4. 가로수 관련 지자체 조례 분석	209

표차례

LIST OF TABLES

[표 1-1] 가로녹지 관련 법적 시설	10
[표 1-2] 연구 세부 내용 별 분석 대상	11
[표 1-3] 주요 선행연구	16
[표 2-1] 가로녹지 관련 법령 체계	18
[표 2-2] 가로녹지 계획 관련 법제 현황	21
[표 2-3] 가로녹지 조성 관련 법제 현황	22
[표 2-4] 가로녹지 관리 관련 법제 현황	23
[표 2-5] 지자체 가로녹지 계획조성 기준	27
[표 2-6] 지자체 가로녹지 관리 기준	29
[표 2-7] 서울시 제2차 가로수 조성관리 기본계획 기본구상	31
[표 2-8] 송파구 제2차 가로수 기본계획 추진전략	34
[표 2-9] 가로수 배치 유형별 식재기준	38
[표 2-10] 울산광역시 도시림등의 조성 및 관리에 관한 조례에서의 가로수 기준	38
[표 2-11] 울산시 중앙정부 및 자주재원 확보방안	40
[표 2-12] 대구시 5년간 가로수 수종, 수량 비교표	41
[표 2-13] 대구시 보행환경 현황 및 계획	42
[표 3-1] 분석 데이터 선정 결과	58
[표 3-2] 변수의 종합	66
[표 3-3] 상관관계분석 결과(N=17888)	69
[표 3-4] 다중회귀분석 결과	75
[표 3-5] 초모수 투닝 결과 (N = 17,888; 25개 변수)	76
[표 3-6] 초모수 투닝 결과 (N = 8,327; 20개 변수)	79
[표 4-1] 설문조사 항목	104
[표 4-2] 응답자 기초 현황	105
[표 4-3] 응답자 주거 형태 및 주변 환경	106
[표 4-4] 도로 내 가로녹지 형태	108
[표 4-5] 건축물 대지 인근 가로녹지 형태	108
[표 4-6] 가로녹지까지의 실제 소요시간	109
[표 4-7] 가로녹지까지의 적정 소요시간	109
[표 4-8] 가로녹지까지의 현재 소요시간과 실제 소요시간	109
[표 4-9] 거주지주변 가로녹지에 대한 만족도(만족)와 선택 이유(1+2순위)	111
[표 4-10] 거주지주변 가로녹지에 대한 만족도(보통,불만족)와 선택 이유(1+2순위)	112
[표 4-11] 일상에서 가로녹지가 필요한 이유(1+2순위)	113

표차례

LIST OF TABLES

[표 4-12] 가로녹지의 가장 중요한 기능에 대한 인식	115
[표 4-13] 가로녹지 개선에 대한 인식과 개선 방향(1+2순위)에 대한 우선순위와 1순위 선택이유	118
[표 4-14] 가로녹지 확대가 필요한 장소	119
[표 4-15] 가로녹지 조성 및 운영을 위한 개선사항(1+2순위)	119
[표 4-16] 가로녹지 개선에 대한 지불의사	120
[표 4-17] 기술통계(N=944)	121
[표 4-18] 주변환경에 따른 연평균 지불의사액	122
[표 4-19] 주변환경에 따른 연평균 지불의사액	122
[표 5-1] 공원녹지법의 목적 및 정의 개정(안)	141
[표 5-2] 도시숲법의 정의 개정(안)	142
[표 5-3] 도시숲법의 가로수 관리지표 관련 개정(안)	143
[표 5-4] 공원녹지법 시행령의 공원녹지기본계획의 수립기준 개정(안)	143
[표 5-5] 시민 참여 방식	145
[표 부록1-1] Sentinel-2A Band 특성	181
[표 부록1-2] 공간 상세화에 사용된 입력변수와 그 설명	183
[표 부록 3-1] 기상입력 자료	206

그림차례

LIST OF FIGURES

[그림 1-1] 연도별 온열질환 응급실감시체계 운영결과와 폭염일수	2
[그림 1-2] 폭염 영향으로 일상생활 및 건강이 변화한 집단 비율이 변화하거나 건강이 악화된 집단 비율	2
[그림 1-3] 이전 10년(12~'21)간 가정·공공·서비스 부문의 하계 전력 판매량 변화	3
[그림 1-4] 폭염으로 인한 도로 아지랑이	5
[그림 1-5] 횡단보도 앞 그늘막 및 그늘목 설치 사례	6
[그림 1-6] 그늘막 및 가로수 내·외부의 온도 차이 비교	6
[그림 1-7] 연구의 흐름도	13
[그림 1-8] 가로 열환경 영향요인 도출을 위한 주요 분석구조	14
[그림 2-1] 가로수 식재 예시	30
[그림 2-2] 개별 가로수 단계별 평가 시스템	32
[그림 2-3] 노선별 가로수 관리평가 프로세스	32
[그림 2-4] 가로수 계획을 위한 실태조사 현황	33
[그림 2-5] 기후변화 대응 관점에서 제시된 세부계획	35
[그림 2-6] 송파구 개별가로수 관리를 위한 평가 시스템	36
[그림 2-7] 울산시 가로수 계획방향	37
[그림 2-8] 가로 나무 터널 설계 방안	43
[그림 3-1] 전국 지자체의 폭염 취약성 지수	48
[그림 3-2] 대상지의 나무 특성	52
[그림 3-3] 도로 방향을 고려한 최적의 배치 계획 제안	55
[그림 3-4] 협곡에 따른 나무 그늘이 PET에 미치는 효과 차이	56
[그림 3-5] 가로의 열환경에 영향을 미치는 주변 물리적 환경요소	57
[그림 3-6] 가로녹지 특성 분석 데이터	59
[그림 3-7] 건물 특성 분석 데이터	61
[그림 3-8] 도로 특성 분석 데이터	62
[그림 3-9] 산림까지의 거리 분석 데이터	62
[그림 3-10] 지표면온도 상세화에 따른 온도분포 차이	64
[그림 3-11] 의정부시 온도분포	64
[그림 3-12] 분석단위 온도데이터 산출 방법 및 결과	65
[그림 3-13] 변수간 상관관계 검토	68
[그림 3-14] 가로수 수관폭(좌) 및 수고(우)와 지표면온도의 상관관계	70
[그림 3-15] 가로수 수고 대비 수관폭 비율과 지표면온도의 상관관계	70
[그림 3-16] 가로수 수고 간격과 지표면온도의 상관관계	71
[그림 3-17] 산림까지의 거리와 지표면온도의 상관관계	72

그림차례 LIST OF FIGURES

[그림 3-18] 가로수 수관폭과 지표면온도의 상관관계	72
[그림 3-19] 가로수 수종과 지표면온도의 상관관계	73
[그림 3-20] 가로수 수종과 지표면온도의 상관관계	74
[그림 3-21] 도로 방위별 수관폭과 지표면온도의 상관관계	74
[그림 3-22] XGBoost 모델에 의한 지표면 온도 예측 결과 (25개 변수)	76
[그림 3-23] 지표면 온도 예측에 대한 개별 변수들의 SHAP 값 ($N = 17,888$)	77
[그림 3-24] 개별 변수와 SHAP의 비선형적 관계 (상위 10개 변수)	78
[그림 3-25] XGBoost 모델에 의한 지표면 온도 예측 결과 (20개 변수)	79
[그림 3-26] 지표면 온도 예측에 대한 개별 변수들의 SHAP 값 ($N = 8,327$)	80
[그림 3-27] 개별 변수와 SHAP의 비선형적 관계 (상위 10개 변수)	81
[그림 3-28] 의정부시 핫스팟 지역	85
[그림 3-29] A 대상지 위치도	86
[그림 3-30] A 대상지 1번 가로 현황	87
[그림 3-31] A대상지 남북방향 가로에서의 5분동안 기온 변화(1)	87
[그림 3-32] A 대상지 2번 가로 현황	88
[그림 3-33] A대상지 동서방향 가로에서의 5분동안 기온 변화	88
[그림 3-34] A 대상지 3번 가로 현황	89
[그림 3-35] A대상지 남북방향 가로에서의 5분동안 기온 변화(2)	89
[그림 3-36] B 대상지 위치도	90
[그림 3-37] B 대상지 1번가로 현황	90
[그림 3-38] B 대상지 1번가로에서 5분동안 체온 변화	91
[그림 3-39] B 대상지 2번가로 현황	92
[그림 3-40] B 대상지 2번가로에서 5분동안 체온 변화(1)	92
[그림 3-41] B 대상지 2번가로에서 5분동안 체온 변화(2)	92
[그림 3-42] B 대상지 3번가로 현황	93
[그림 3-43] B 대상지 3번가로에서의 5분동안 체온 변화	93
[그림 3-44] B 대상지 4번가로 현황	94
[그림 3-45] B 대상지 4번가로에서의 5분동안 체온 변화	94
[그림 3-46] C 대상지 위치도	95
[그림 3-47] C 대상지의 1번가로 현황	96
[그림 3-48] C 대상지 1번 가로에서의 체온 변화(1)	96
[그림 3-49] C 대상지 1번 가로에서의 체온 변화(2)	97
[그림 3-50] C 대상지의 2번가로 현황	97

그림차례

LIST OF FIGURES

[그림 3-51] C 대상지 2번 가로에서의 체온 변화	98
[그림 3-52] C 대상지의 3번가로 현황	98
[그림 3-53] C 대상지의 3번가로 옆 공원	99
[그림 3-54] C 대상지 3번 가로에서의 체온 변화	99
[그림 3-55] C 대상지의 4번가로 현황	100
[그림 3-56] C 대상지 4번 가로에서의 체온 변화	100
[그림 4-1] 주요 이용 교통수단	106
[그림 4-2] 평소 보행 시간	106
[그림 4-3] 도로 가로녹지 형태와 가로수 모습	107
[그림 4-4] 가로녹지 근처에서의 시원함 정도	110
[그림 4-5] 주변 가로녹지의 충분 정도	110
[그림 4-6] 가로녹지에 대한 만족도와 그 이유	111
[그림 4-7] 가로녹지에 대한 불만족도와 그 이유	112
[그림 4-8] 가로녹지의 가장 중요한 기능에 대한 인식	113
[그림 4-9] 일상에서의 가로녹지 중요도에 대한 인식	114
[그림 4-10] 가로녹지의 가장 중요한 기능에 대한 인식	114
[그림 4-11] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(전체응답 결과)	115
[그림 4-12] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(저층건물 밀집지역 결과)	116
[그림 4-13] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(중저층건물 밀집지역 결과)	116
[그림 4-14] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(고층건물 밀집지역 결과)	116
[그림 4-15] 가로녹지 개선에 대한 인식과 개선 방향 우선순위	117
[그림 4-16] 개선에 필요한 1순위 요소를 선택한 이유	117
[그림 4-17] 평소 거주지 주변 보행 시간과 가로녹지 개선시 보행시간 비교	124
[그림 5-1] 현행 가로녹지계획의 쟁점	126
[그림 5-2] 폭염대응을 위한 가로녹지계획의 원칙	131
[그림 5-3] 가로녹지계획의 원칙과 전략	133
[그림 5-4] 건물 높이 및 도로 방위에 따른 그림자 변화	135
[그림 5-5] 도로방위 및 건물높이에 따른 의정부시 가로유형	136
[그림 5-6] 가로의 특성 및 주변 환경을 고려한 가로 녹지 계획	138
[그림 5-7] A대상지에 대한 가로녹지 개선 전후의 PET 평균	139
[그림 5-8] C대상지에 대한 가로녹지 개선 전후의 PET 평균	140
[그림 5-9] 센트럴파크(Central Park)의 LiDAR 데이터 구축 모습	144
[그림 5-10] 보스턴 Heat Resilience solutions for Boston민관 파트너십	147

그림차례 LIST OF FIGURES

[그림 5-11] NYC Street Tree Map	150
[그림 5-12] Public Tree Viewer	151
[그림 부록1-1] 의정부의 수치표고모델 (DEM) 기반 고도 분포	184
[그림 부록1-2] 지표면 온도 공간 상세화 분석흐름도	185
[그림 부록1-3] 지표면온도(2017.08.26) 상세화에 따른 온도분포 차이	189
[그림 부록1-4] 지표면온도(2020.05.30) 상세화에 따른 온도분포 차이	189
[그림 부록1-5] Landsat 100m 지표면 온도와 상세화 된 10 m 지표면 온도의 집중 비교 분석 Case 1	190
[그림 부록1-6] Landsat 100m 지표면 온도와 상세화 된 10 m 지표면 온도의 집중 비교 분석 Case 2	191
[그림 부록1-7] Landsat 100m 지표면 온도와 상세화 된 10 m 지표면 온도의 집중 비교 분석 Case 3	192
[그림 부록1-8] 기계학습 랜덤포레스트 지표면 온도 공간상세화 모델의 변수중요도	193
[그림 부록 3-1] A,B 대상지 분석 모델	207

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적
 2. 연구의 범위 및 방법
 3. 선행연구와의 차별성
-

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구배경 및 필요성

□ 대표적인 이상기후 현상인 폭염의 증가로 인한 도시의 위기

기후변화로 인한 대표적 이상기후 현상인 폭염이 계속하여 증가하고 있다. 서울의 경우 폭염일수(일최고기온 33°C 이상인 날의 일수)가 1910년대에는 7.7일에 불과하였으나 2010년대에는 13.3일로 증가하였으며, 현재 추세대로 온실가스 배출 시 21세기 후반에는 서울의 폭염일수가 68.7일로 증가하고 대구는 매년 40°C 를 기록하는 날이 발생하는 등 폭염이 일상이 될 것이라는 예측이 있다(기상청 기후정보포털, 2021, http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_2021/influence/inf_2-3.php).

2021년 폭염 관련 기사

최근 폭염이 보름 이상 이어지면서 날씨 뉴스에선 '어제보다 덥다'와 '올 들어 가장 덥다'라는 말이 반복되고 있다. (중략) 지난달 미국과 캐나다는 열돔 현상으로 인해 가장 더운 6월을 겪었다. 미국 해양 대기청에 따르면 지난달 24일에서 30일 사이 북미 도시에서 1200~1500개 이상의 주간 및 야간 최고 기온 기록이 경신됐다.

출처: BBC. (2021). 폭염: '최악의 여름이다'... 지구촌 곳곳 이상 기후로 몸살. 7월 29일 기사. <https://www.bbc.com/korean/features-58011343>

북태평양 고기압belt 폭염이 계속되면서 24일로 사흘째 최고기온 기록이 날마다 경신되고 있다. 이날 강원 홍천에서는 올 여름 가장 높은 기온인 36.9°C 가 관측됐다. (중략) 기상청은 8월 3일까지의 중기예보(10일 예보)에서도 전국에서 33°C 안팎의 폭염이 계속될 것이라는 예상을 내놓았다.

출처: 이근영. (2021). 날마다 최고기온 경신... 폭염 끝이 안보인다. 한겨례. 7월 24일 기사. <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1004948.html>

특히 비도시지역에 비하여 도시지역은 열섬현상으로 인해 더욱 더운데, 이러한 도시지역에서 폭염의 증가는 도시민의 일상생활에 영향을 미치고 시민의 건강을 위협한다. 질병관리청(2021, p.9)에 따르면 폭염일수의 증가에 따라 온열질환자의 수도 증가하고 있는 추세로, '21년에는 온열질환자 신고 건수가 전년 대비 27.6% 증가한 1,376명이며, 사망자는 총 20명으로 최악의 폭염을 기록한 2018년을 제외하고 10년간 가장 많이 발생한 것으로 나타났다. 온열질환자 신고내용을 살펴보면 실외에서 발생한 경우가 전체의 약 80%를 차지하며, 약 10%는 길가에서 발생하는 것을 확인할 수 있다(질병관리청, 2021, p.11).



[그림 1-1] 연도별 온열질환 응급실감시체계 운영결과와 폭염일수

출처: 질병관리청. (2021). 2021년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보. p.9

이와 같은 지표에서 확인할 수 있듯이, 외부공간에서는 직사광선과 높은 기온에 직접적으로 노출되어 보행자에게 높은 열스트레스가 축적되며, 이는 고령자 등 취약계층의 건강을 위협할 뿐만 아니라 도시민들의 전반적인 일상 활동을 위축시키는 것으로 나타난다. 안현찬 외(2020, pp.107-108, 115-116)에 따르면 폭염의 영향으로 여가활동을 거르거나 장소를 실내로 변경한 사람의 비율은 약 14.3%에 해당하고, 걷기 또는 중등도 신체활동이 위축된 사람은 각각 14.1%, 14.5%에 해당하는 것으로 나타났다.



[그림 1-2] 폭염 영향으로 일상생활 및 건강이 변화한 집단 비율이 변화하거나 건강이 악화된 집단 비율

출처: 안현찬 외. (2020). 폭염과 서울시민의 생활양식 변화. pp.v-vi, pp.101-109, pp.114-118를 참고하여 재작성

또한 도시의 폭염 증가는 건물 에너지 사용 증가, 승용차 이용 증가 등 연쇄적인 에너지사용을 유발하여 탄소중립 실현을 저해한다. 하계 건물부문 전력 소비량을 살펴보면 극심한 폭염을 기록한 2018년에 전력 소비량이 가장 높았으며, 최근 3년간('18-'20)의 전력소비량이 이전 10년간('08-'17)의 평균 전력소비량보다 높은 수준을 유지하는 것으로 나타났다.(관계부처합동, 2021, p.133)



[그림 1-3] 이전 10년('12~'21)간 가정·공공·서비스 부문의 하계 전력 판매량 변화

출처: 한국전력공사. (2022). 전력통계월보. https://home.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do?boardCd=BRD_000097&menuCd=FN05030101(검색일: 2022.10.05.) 자료를 바탕으로 연구진 작성

* 2012~2021년의 하계(6월~9월)에 해당하는 전력통계월보 중 '전력 판매(용도별)'의 가정용, 공공용, 서비스업 및 기타 부문의 전력 판매량을 합산한 값을 이용

이처럼 폭염과 같은 이상기후의 증가는 외부공간에서의 활동이 위축되도록 하거나 도시 에너지 발생을 증가시켜, 기후변화를 더욱 가중시키는 악순환으로 발전할 수 있다. 따라서 기후위기에 대응하는 지속가능한 도시를 조성하기 위해서는 보행과 외부활동을 보장 할 수 있도록 쾌적한 미기후 환경을 제공하고, 이를 통하여 승용차 이용 감소와 건물 에너지 사용 감소 등을 유도하는 등의 선순환 고리를 생성하여야 하며, 이를 지원하기 위한 공간적 대응방안이 필요하다.

□ 기후위기시대, 기후변화 적응 노력 필수적

한편, 전세계적인 기후변화 완화 노력에도 불구하고 산업화 이전 대비 지구 평균 온도의 1.5°C 상승¹⁾은 예견되어 있으며, 따라서 이에 따른 미래 기후변화에 적응하기 위한 노력 역시 필수적으로 고려해야 한다(이은석 외, 2021, p.4). 현재도 기후변화로 인하여 폭염, 폭우 등의 이상기후 현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 이와 같은 이상기후의 발생이 증가할 것으로 예견되는 미래에 대응하기 위하여, 기후위기적응을 위한 다양한 정책들이 필요한 상황이다.

이미 세계의 여러 도시에서는 기후위기로 인한 재해·재난 저감을 위한 공간적 대응책 마련을 통하여, 도시의 적응능력을 제고하는 정책을 시행하고 있는 것으로 나타난다. 독일 칼스루에 시는 '기후변화적응계획(klimaanpassungsplan)'에서 광역, 지역, 국지 등 공간의 위계별로 기후변화적응을 위한 공간적 조치사항을 제시하였으며, 프랑스 파리시

1) IPCC에 따르면 5가지 기후변화 시나리오(SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5) 모두에서 산업화 이전(1850년~1900년) 대비 지구 평균온도가 1.5°C 이상 상승하는 것으로 나타남(IPCC, 2021, pp.571-572; 이은석 외, 2021, p.4)

는 도시 어느 곳에서든 도보 7분 이내의 접근성을 가진 “쿨섬 및 화랑(cool islands & roots)”을 조성하여 폭염 대응책을 마련하고 있다(권용석, 2019, pp.58-60).

국내에서도 폭염, 폭우 등의 이상기후에 대응하기 위하여 다양한 정책을 시행하고 있으나, 대부분 여름철 재해예방을 위한 대책 마련의 성격을 가지고 있다. 특히 폭염의 경우 중앙정부 및 지자체에서는 폭염종합대책을 마련하고 온열질환 응급실 감시체계를 운영하며, 취약계층 보호를 위한 무더위쉼터 지정·관리 및 폭염 피해 저감시설 설치 등의 정책을 시행²⁾하고 있으나, 한시적 운영 정책이 대부분이며 앞으로의 기후변화에 대응하는 도시계획적 측면에서의 정책대안은 아직 미흡한 상황이다.

□ 폭염으로 인한 도시의 위기 속, ‘자연기반 해결책’으로서의 가로녹지

그동안 정부 및 지자체의 폭염대응 정책은 대부분 취약계층에 대한 지원과 그늘막 설치, 쿨링포그 운영 등 일부 지점 및 시설에 한정된 대응책인 경우가 많았다. 그러나 외부공간에서 보행자는 대부분 가로를 따라서 이동하고 있으므로, 일부 지점이 아닌 가로공간 전체의 온도저감을 위한 도시차원의 대응방안이 필요하다. 조향문, 이윤혜(2018, pp.14-15)에 따르면 실제로 시민들은 폭염 시 ‘보도’ 공간에서 가장 불편함을 느끼며, 필요한 폭염대응 정책으로 ‘야외공간 그늘확보’라고 응답한 비율이 47.7%를 차지한 것으로 나타났다. 이는 결국 시민들이 일상적으로 마주하는 공간인 가로공간에서 폭염에 대응하여 이용자들의 열 스트레스를 완화할 수 있는 대책마련이 시급하며, 일부 지점이나 시설이 아닌 가로공간 전반의 온도저감이 필요함을 시사한다.

폭염 시 일반시민의 불편장소 및 폭염대응정책 수요

<폭염 시 일반시민의 불편장소>

- 10분 이상 보도 이동 시 85.1%, 시내 중심가 83.8%, 버스정류장 83.7%, 집주변(실외) 78.9%, 집(실내, 낮시간) 75%, 공원, 정원, 풀장 등야외 74.4%, 집(실내, 밤시간) 73.4% 순으로 불편함을 느끼는 것으로 응답하였으며, 전체 11개 항목 중 응답비율 1위~4위 모두 실외공간으로 나타남

<시민이 원하는 폭염대응정책>

- 전기요금 인하 54.9%, 야외 그늘 확보 47.7%, 무더위쉼터 개선 41.9%, 취약계층 지원 강화 37.5%, 기온 낮추기 물 뿌리기 등 35.6%, 건물 환경 개선 지원 35.4%, 폭염경보 내실화 31.6%, 바람길 확보 15% 등의 순으로 응답

출처: 조향문, 이윤혜. (2018). 서울시 폭염 대응력 향상 방안. 서울연구원. pp.14-16.

선(線)적 형태로 구성된 가로공간에서, 가로녹지는 가로공간 전반의 온도를 저감할 수 있는 해결책으로 활용 가능하다. 이미 도시에 식재된 수목이 그늘 제공 또는 증산작용 효과 등을 통해 도시의 온도를 저감한다는 것이 기정사실로 받아들여지고 있다.

2) 행정안전부. (2022). 기후변화로부터 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회 실현 – 행안부, 「2022년 여름철 태풍·호우·폭염 종합대책」 마련. 5월 12일 보도자료.

도시 수목의 기온 저감 효과

다소 둑은 연구이지만, 1999년 강원대 연구팀은 도시녹지의 기온 저감 효과를 계산해 '플라타너스와 단풍나무 한 그루의 8월 하루 동안 증산량이 시간당 5100kg의 냉방능력이 있는 15평형짜리 에어컨 두 대를 13시간 이상 가동한 것과 같다'고 <한국조경학회지>에 보고했다.

출처: 이근영. (2018). 한여름 숲 냉각 효과 도심보다 3.4도 낮아. 한겨레. 7월 15일 기사. <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/853324.html>(검색일: 2022.05.10.)

온도 차는 얼굴표면온도 측정에서도 확연하게 나타났다. 그늘이 없는 공터에서 촬영한 얼굴표면온도는 40.7도였다. 공터에서 100m쯤 떨어진 숲 안으로 들어가 그늘 밑에서 촬영한 얼굴표면온도는 36.6도로, 4.1도 차이가 났다. 공원이 작아도, 나무 한 그루만 있어도 제 역할을 한다.

출처: 김한솔. (2021). 옥상 온도 55.8°C 일 때 가로수길은 28.5°C…기후위기 시대 '생존 문제' 된 도시숲. 경향신문. 8월 10일 기사. <https://m.khan.co.kr/national/national-general/article/202108101940001#c2b>(검색일: 2022.05.10.)

특히 가로녹지는 보행자에게 직접적인 그늘을 제공할 뿐만 아니라, 차도로부터의 열을 차단하여 보행자의 열스트레스를 저감하는 것으로 나타난다. 강찬수(2019, 8월 5일 기사)에 따르면 차도의 주요 포장재료인 콘크리트와 아스팔트는 열을 흡수하여 노면온도가 주변온도보다 최대 17.9°C 높은 것으로 나타났다. 또한 이유화 외(2013)에 따르면 서울시의 경우 전체 불투수면적 중 도로가 50%를 차지하며, 도로의 차량으로부터 발생하는 인공폐열로 인하여 교통량이 많은 도로 주변의 온도가 높은 것으로 나타났다. 보통 보도와 차도 사이에 설치되는 가로녹지는 이러한 도로의 열로부터 보행자를 보호할 수 있는 수단인 것이다.



[그림 1-4] 폭염으로 인한 도로 아자랑이

출처 : 강찬수. (2019). 폭염때 아스팔트 52.8도…“물 뿌리면 불쾌지수 더 높일수도”. 8월 5일 기사. <https://www.joongang.co.kr/article/23543932#home>(검색일: 2022.05.15.)

또한 에너지를 사용하여 혜택을 제공하는 그늘막, 쿨링포그 등의 시설과 달리, 가로녹지는 폭염이라는 도시 문제를 해결하는 '자연기반 해결책(NBS, Nature-Based Solution)³⁾'으로서 기능할 수 있다. 이는 정책 사례로도 확인되고 있는데, 지자체에서 획단보도 앞에 그늘막을 설치하는 대신 그늘목을 식재하여 쉘터를 조성하는 등, 가로수를 조성하여 시민들에게 그늘을 제공하는 방식으로 폭염에 대응하는 모습이 나타났다.

3) NBS(Nature Based Solution)이란 자연 및 인공 생태계의 보호, 지속적인 관리, 복원을 통하여 기후변화, 자연재해, 식량 및 물 안보, 생물다양성 감소 등의 사회적 문제를 효과적이고, 적응적으로 해결하는 것을 의미. IUCN. (2022). Nature-based Solutions. <https://www.iucn.org/our-work/nature-based-solutions>(검색일: 2022.05.20.)



그늘막 설치 사례

그늘목을 이용한 쉘터 조성 사례

[그림 1-5] 횡단보도 앞 그늘막 및 그늘목 설치 사례

출처 : (좌)임선영. (2017). 을 여름 '히트 행정' 폭염 그늘막 법제화, 최초 제안자는 누구?. 중앙일보. 8월 17일 기사.

<https://www.joongang.co.kr/article/21852169#home>(검색일: 2022.02.10.)

(우)부산서구청. (2019). 서구, 쉘터형 나무그늘쉼터 조성. 5월 23일 보도자료.

실제로 열화상카메라로 측정한 결과, 그늘막 그늘의 경우 주변에 비해 8.4°C가 낮은 것에 비하여 가로수 그늘의 경우 주변에 비하여 15.4°C가 낮은 것으로 나타나, 그늘막 대신 가로수를 설치하는 것이 온도저감에 더 효과적이라는 것이 밝혀졌다(서울기술연구원, 2022, 9월 1일 보도자료).



그늘막 내 외부 온도 차이 : 8.4°C

가로수 내 외부 온도 차이 : 15.4°C

[그림 1-6] 그늘막 및 가로수 내·외부의 온도 차이 비교

출처: 서울기술연구원. (2022). "가로수가 그늘막보다 폭염에 효과" 서울기술연구원, 열저감-열화상센서 분석결과 발표. 9월 1일 보도자료, p.3

□ 기후위기 적응 노력의 일환으로 가로녹지 계획 필요

이와 같이 가로공간의 폭염완화대책으로서 가로녹지는 중요하게 다뤄질 필요가 있으나, 가로녹지의 계획과 조성 단계에서 가로녹지의 온도저감 기능에 대한 고려는 부족하다. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 따라 지자체에서는 공원녹지 기본계획을 수립하도록 되어 있으나, 도시의 산림 및 녹지축, 공원 등을 중점적으로 조사·계획하는 경우 가 많고 가로녹지에 대한 계획체계는 미흡한 실정이며, 가로녹지에 대한 계획이 있는 경우에도 폭염대응, 미기후조절 등을 고려하는 경우는 적은 것으로 확인된다⁴⁾.

4) 제2장 1절 '가로녹지 조성·관리 관련 법·제도' 내용 참고

도시 열환경 완화를 위하여 가로수 등을 확대하여야 한다고 이야기 하는 경우에도, 가로수 증가량 등 양적 지표에 관한 내용이 대부분이며, 도시 열환경을 고려한 효율적인 식재계획, 가로 주변 공간구조에 따른 효과적인 배치전략 등은 고려되지 못하고 있다. 또한 지자체의 가로녹지 관리현황을 살펴보면 주요 도로 노선별 가로수 식재현황(가로수 개수, 주요 수종 등) 정도만 파악⁵⁾하고 있어, 가로녹지의 구체적인 현황을 토대로 하는 계획체계의 마련이 어려운 상황이다.

한편 가로녹지는 온도저감의 기능 뿐만 아니라, 도시미관향상 등의 기능을 통해 보행환경개선에 기여하며 도시민의 쾌적한 옥외활동을 지원한다. 이러한 복합적인 기능에 대하여 Peper et al(2007, p.26)은 뉴욕시 가로수의 관리 비용이 1달러 지출될 때마다 5.6 달러의 가치가 지역커뮤니티에 환원된다고 밝혔다. 이처럼 일상적으로 도시민에게 복합적인 혜택을 제공하는 가로녹지에 대하여 도시차원에서의 체계적인 계획이 필요하다.

기후변화 적응 설계 시 고려사항

정부간 시민단체간 도시를 보호하는 가장 좋은 기술은 단지 재난 피해를 줄이는 것이 아니다. 그들은 평상시에도 건강과 번영을 촉진하는 네트워크를 강화한다. (중략) 기후의 영향을 효과적으로 막으려면 지능적인 설계가 필요하다. 새로운 해안가와 초원지대, 전시장 등이 있는 싱가포르의 마리나 땅이나, 모든 날씨에 맞춰 에너지 소비를 줄여주는 지능형 전력망처럼 단지 재난이 닥쳤을 때뿐만 아니라 평소에도 혜택을 주어야 한다.

출처: 에릭 클라이넨버그. (2018). 폭염사회. 홍경탁 역. 파주: 글향아리. p.30.

□ 가로 단위의 열환경 분석과 연계한 가로녹지 개선계획 필요

도시민의 일상에 직접적으로 영향을 미치는 가로녹지의 개선을 위해서는 가로 단위의 물리적 환경을 고려한 열환경 분석이 선행되어야 한다. 현재의 가로녹지 계획은 가로녹지를 설치하기 위한 도로의 폭원 등 물리적 여건만을 고려하여 수립되고 있는 실정이나, 미래에 예견되어 있는 기후위기에 적응하기 위해서는 가로의 물리적 환경과 더불어 열환경에 대한 분석을 시행하고, 이를 토대로 가로공간의 열완화를 위한 가로녹지 계획을 수립할 필요가 있다.

또한 도시민이 일상에서 체감하는 열쾌적성의 개선을 위하여 미시적 규모의 공간 단위인 가로 단위로 열환경을 파악할 필요가 있다. 보행자의 열스트레스는 가로환경 주변의 다양한 요소들에게 복합적으로 영향을 받으므로, 가로의 열환경에 대한 영향 요인을 파악하고 이를 고려한 종합적인 진단이 필요하다. 이렇듯 폭염대응을 위한 가로녹지계획을 수립하기 위해서는 가로의 열환경을 고려한 가로녹지 조성실태에 대한 검토가 필요하며, 이러한 분석과정이 선행되어야 보다 효과적인 가로공간의 열완화 전략을 수립할 수 있을 것이다.

5) 제2장 2절 '지자체 가로녹지 계획·조성 및 관리 현황' 내용 참고

□ 가로녹지 기능을 제고하기 위한 체계적인 가로녹지 계획 및 관리 시스템 구축 필요

보행자의 온도저감에 직접적인 영향을 미치는 도시의 가로녹지는 도시의 폭염에 대한 적응능력을 향상시킬 수 있는 주요 자원이므로, 이를 고려한 계획과 관리 시스템을 구축하여야 한다. 이를 위해서는 현행 가로녹지 계획체계 하에서 가로녹지의 폭염대응 기능이 효과적으로 발현될 수 있는지에 대한 검토가 필요하며, 지자체의 인력 및 예산을 고려한 합리적인 계획체계 마련이 필요하다.

결국 가로녹지 계획·관리 시스템은 도시의 가로단위 열환경 분석, 가로녹지 진단결과 기반의 개선 우선 지역 도출, 가로의 물리적 여건과 열환경을 종합적으로 고려한 가로녹지 개선전략 수립 등 일련의 실행전략이 원활하게 작동할 수 있도록 구축되어야 한다. 이러한 시스템은 합리적인 결정체계를 마련함과 동시에, 가로공간의 온도저감 효과를 목표로 실효성 있는 가로녹지 정책수립의 근거기반을 마련할 수 있을 것으로 기대한다.

2) 연구목적

본 연구에서는 가로녹지의 도시 온도저감 기능을 고려한 조성전략을 마련함으로써 보다 효율적으로 도시민의 열스트레스를 완화하는데 기여하고자 한다. 가로공간은 도시민들이 일상적으로 이용하는 공간으로 가로공간에서의 높은 온도와 직사광선은 보행자에게 상시적인 열스트레스를 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 도시의 폭염대응 공간계획의 일환으로 가로공간의 열완화를 주요 목적으로 하는 가로녹지계획을 제안하고자 하며, 도시의 폭염대응정책과 가로녹지계획을 연계하여 수립할 수 있는 제도적 기반을 마련하고자 한다.

이를 위하여 세부적으로는 첫 번째로, 도시의 열환경 분석을 통하여 가로단위에서 열환경에 영향을 미치는 주변 요인들을 고찰하고 폭염에 취약할 것으로 추정되는 가로 유형을 도출함으로써, 보다 효율적인 계획의 근거를 마련하고자 한다. 두 번째로, 도시 열완화를 주요 목표로 하는 가로녹지계획 전략을 도출하고 실제 도시에 시범 적용 함으로써, 실효성 있는 가로녹지계획을 제안하고자 한다. 마지막으로 현행 가로녹지 계획체계의 한계를 분석하고 관련 법·제도 분석 및 보행자 대상 인식조사 등을 통하여, 폭염대응을 주요 목적으로 하는 가로녹지계획의 제도적 근거를 도출하고, 이를 토대로 폭염대응을 위한 가로녹지 정책대안을 제시하고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

1) 연구 범위

① 가로녹지의 개념과 범위

□ 가로녹지의 개념

‘가로녹지’라는 용어는 법적으로 정의된 용어는 아니나, ‘가로 위 또는 가로 주변에 위치하고 있는 다양한 형태의 녹지’라는 의미로 여러 연구에서 사용된 것을 확인할 수 있다. 한봉호 외(2014a, pp.131-132)에서는 가로녹지를 도로구역 내에 위치한 가로수와 띠녹지로 정의하고 가로변 녹지에 자연녹지(산림, 하천 등)와 조성형 녹지(공원, 공개공지 녹화지역, 완충녹지 및 학교녹지, 아파트단지 녹지 등)로 제시하였다. 오동하 외(2006, pp.10-15)는 도로 내에 또는 도로에 인접하여 조성되어 있는 모든 녹지를 가로녹지로 제시하며 가로수, 식수대, 중앙분리대 및 교통섬 녹지, 벽면녹화 및 건물녹화, 시설녹지 등을 가로녹지 범위에 포함하였다. 김정호 외(2017, p.1364)에서도 가로수뿐만이 아니라 완충녹지 등 연구대상 가로에 접하고 있는 녹지를 포함하였고, 김신우 외(2021, p.65)는 가로수 및 띠녹지(식수대), 중앙분리대 녹지 등 도로 내에 식재된 수목과 녹지를 가로녹지로 정의하고 있다. 즉 선행연구를 살펴보면, 도로의 가로수, 낮은 화단, 가로변에 위치하고 있는 시설녹지 또는 수벽, 건축물 전면부의 조경시설 등을 포함하여 가로녹지로 지칭하고 있는 것으로 나타났다.

□ 가로녹지 관련 법적 시설

본 연구에서는 보행자의 시각에서 가로공간으로 인식되는 구역 내에 식재된 모든 녹지를 ‘가로녹지’로 정의하였다. 보행자의 관점에서는 대지의 소유 주체와 관계없이 보도, 보도와 접하고 있는 공공공지, 공개공지 등 물리적으로 구분되어지지 않은 공간 모두가 가로공간으로 인식된다(김영지 외. 2020, p.24.). 이렇게 가로공간으로 통합적으로 인식되는 공간은 법적으로 도로, 공공공지, 공개공지, 대지 안의 공지 등이 있으며, 관련된 녹지시설은 가로수, 띠녹지, 시설녹지, 대지의 조경 등이 있다.

[표 1-1] 가로녹지 관련 법적 시설

관련 공간	가로녹지 관련 법적 시설	관련 법령
도로(차도, 보도, 자전거도로 등)	가로수, 띠녹지 등	도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 (제2차 도시림 기본계획)
시설녹지(원충녹지, 경관녹지, 연결녹지 등)		도시공원 및 녹지 등에 관한 법률
공개공지	공개공지 내 조경시설	건축법
대지	대지의 조경	

출처: 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률, 법률 제17420호. 제2조; 제2차 도시림 기본계획. 산림청고시제2018-117호. pp.34-35; 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률. 법률 제17893호. 제35조; 건축법 시행령. 대통령령 제32825호. 제27조의2; 건축법. 법률 제18508호. 제42조.

- 가로수 및 띠녹지

가로수는 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」 제2조에서 “도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 조성·관리하는 수목”으로 정의되어 있다. 「도로법」 제2조에서는 둑, 호안 등과 함께 “타공작물”로 가로수를 지칭하고 있으며, 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 제2조에서는 표지판, 가로등 등과 함께 “노상시설”로 명시하는 등 법률상에서 가로수는 도로의 부속물로 취급되는 경향이 있다.

또한 보통 가로수 하단에 관목, 초목 등을 식재하여 ‘띠녹지’로 명명되는 식수대는 법적으로 정의가 되어있지 않는 것으로 나타났다. 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」에서 명시하고 있는 ‘가로수’는 조성기준, 관리기준 등을 살펴보았을 때 교목을 의미하며, 가로수 아래에 조성되어 있는 띠녹지(식수대)는 포함하지 않고 있다. 다만 「도시숲법」의 법정 계획인 「제2차 도시림 기본계획」⁶⁾에서 가로수 계획과 함께 띠녹지, 하부식물 등으로 명시되어 있어 가로수와 함께 조성 및 관리되는 것으로 파악된다⁷⁾. 또한 관련 법령에서 가로수와 같이 도로의 노상시설로 명시되는 경우들이 종종 발견되며⁸⁾, 「보도 설치 및 관리 지침」에서는 식수대 설치를 권장⁹⁾하여 도로 및 주변 환경에 긍정적 영향을 주고자 하는 것을 확인하였다.

- 시설녹지

「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」 제2조에서는 공원녹지를 도시공원, 녹지, 유원지, 공공공지 및 저수지 또는 식생이 자라는 공간이라 명시하며, 그 중 ‘녹지’는 「국토의 계획 및

6) 「도시숲법」이 제정되기 전 도시림 및 가로수 등에 관한 사항을 소관하였던 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라 「제2차 도시림 기본계획」이 수립

7) 제2차 도시림 기본계획. 산림청고시제2018-117호. pp.34-35.

8) 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙. 국토교통부령 제882호. 제10조, 제14조의3.

9) 보도 설치 및 관리 지침. 국토교통부예규 제321호. p.18.

이용에 관한 법률」에 따른 기반시설 중 하나로 「공원녹지법」 제35조에 따라 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지로 구분된다. 이러한 녹지들이 가로 변에 위치하고 있는 경우 보행자는 가로녹지의 일부로 인식하는 경향이 있다. 시설녹지는 가로변에 위치하고 있더라도 별도의 용도지역으로 정해져 있어 법적으로는 「도로 외부」에 위치하고 있으나, 지자체에서 가로 변에 위치한 완충녹지를 이용하여 가로공원을 조성하는 모습¹⁰⁾을 보이며, 이용자의 관점에서는 가로공간과 통합적인 공간으로 인식될 수 있다.

- 공개공지, 대지의 조경

가로공간과 인접하고 있는 공개공지, 대지 안의 공지 등도 법적으로 도로의 외부에 위치하고 있으나, 설치 목적에 따라 물리적인 경계 또는 차단 시설이 없는 경우 이용자의 관점에서 하나의 공간으로 인식된다. 이에 따라 공개공지 내의 조경시설, 대지의 조경시설 등은 가로수 또는 띠녹지와 유사한 시설로 인식, 이용된다.

□ 본 연구의 분석 대상

본 연구에서는 가로공간으로 인식되는 구역 내에 조성된 가로수(띠녹지), 시설녹지, 공개공지 또는 대지의 조경 등 관련 법적 시설들을 포괄적인 분석대상으로 삼는다. 다만 본 연구에서는 가로녹지의 기능 중 보행자의 열쾌적성에 직접적인 영향을 미치는 그늘 제공 요소에 집중하여 가로녹지를 진단하고자 하였으므로, 보행자에게 직접적인 그늘을 제공하는 가로수(띠녹지)를 중점 분석대상으로 설정하였다. 특히 제3장 1절의 미시적 열환경에 대한 가로환경 및 가로녹지 영향 분석에서는 데이터 구득의 한계로 인하여 가로수(교목)만 대상으로 분석하였다.

[표 1-2] 연구 세부 내용 별 분석 대상

연구 세부 내용		분석 대상
2장	가로녹지 조성·관리 관련 법제도 분석	가로수(띠녹지), 시설녹지, 공개공지 및 대지의 조경
	지자체 가로녹지 계획 현황 분석	가로수(띠녹지), 시설녹지
3장	가로 단위 열환경에 대한 영향요인 분석	가로수(교목)
	가로 유형별 현장 실태 조사	가로수(띠녹지), 시설녹지, 공개공지 및 대지의 조경
4장	가로녹지 개선을 위한 인식분석	가로수(띠녹지), 시설녹지, 공개공지 및 대지의 조경

출처: 연구진 작성

10) 권순재. (2021). 전주시 도심산책로, 아름답고 쾌적하게 정비. 전북도민일보. 11월 24일 기사. <http://www.domin.co.kr/news/articleView.html?idxno=1362098>(검색일: 2022.05.06.)

② 시간적 범위 및 공간적 범위

□ 시간적 범위

- 분석 데이터의 기준년도는 2021년으로 함
 - 가로단위 열환경 분석을 위한 기상관측데이터, 건축물데이터, 가로녹지데이터 등 기구축된 데이터의 기준년도는 2021년으로 함
 - 다만, 데이터 원자료의 갱신주기에 따라 2021년 이후로 데이터가 갱신되지 않았을 시, 가장 최근에 구축된 데이터를 사용
- 현장조사 및 설문조사의 시간적 범위는 ‘22년 6~8월로 함
 - 본 연구는 폭염에 대응하기 위한 가로녹지 개선계획을 마련하는 것이므로, 현장조사 및 설문조사의 시점은 통상 여름으로 분류되는 6월에서 8월까지의 기간 중에 수행
 - 다만 본 연구에서는 보행자의 열쾌적성에 영향을 미치는 다양한 요소 중 온도를 중심으로 분석할 계획이므로, 습도의 영향을 최소화할 수 있도록 운량이 적은 날(기상청에서 ‘맑음’으로 분류하는 날)에 조사 수행

□ 공간적 범위

- 공간적 범위는 의정부시¹¹⁾ 도심부의 가로로 함

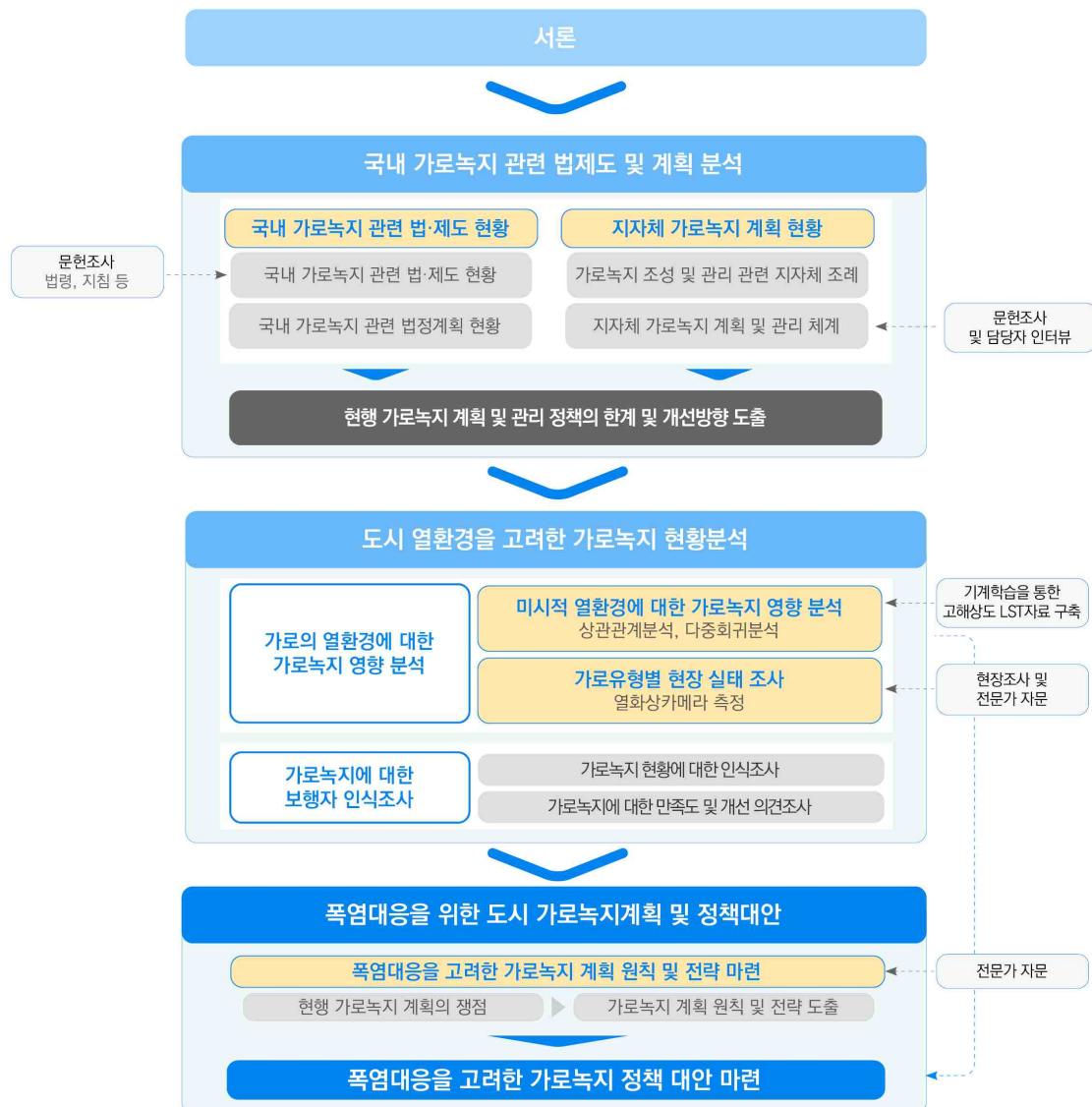
③ 내용적 범위

- 국내 가로녹지 관련 법·제도 및 조성·관리 현황 조사·분석
- 해외 폭염대응 가로녹지 정책 사례 조사·분석
- 가로 단위의 열환경 분석 및 가로녹지 영향 분석
- 가로녹지에 대한 보행자 인식조사
- 도시 열완화를 위한 가로녹지 계획요소 분석 및 효과 검증
- 폭염대응을 고려한 가로녹지 정책 개선방안 제안

11) 제3장 1절의 ‘대상지 선정기준’ 참고

2) 연구 수행과정 및 방법

□ 연구 수행과정



[그림 1-7] 연구의 흐름도

출처 : 연구진 작성

□ 연구 수행방법

- 문헌고찰
 - 가로녹지의 계획 및 관리 방안에 대한 법·제도 및 정책 검토
 - 지자체의 가로녹지 계획 검토
 - 가로 열환경에 대한 영향요인 분석 관련 선행연구 검토
- 가로 열환경 영향요인 도출을 위한 통계분석 및 공간분석, 현장조사
 - 가로녹지의 폭염대응 기능을 분석하기 위한 공간데이터 구축
 - 도시 열환경 관련 영향요인 분석을 위한 통계분석 및 공간분석
 - 가로녹지 현황 검토를 위한 현장조사 및 열화상카메라를 이용한 현장 온도 측정



[그림 1-8] 가로 열환경 영향요인 도출을 위한 주요 분석구조

출처 : 연구진 작성

- 가로녹지 계획요소 효과분석을 위한 시뮬레이션 분석
 - ENVI-met 등의 프로그램을 활용한 시뮬레이션 분석
- 심층인터뷰 및 전문가 자문
 - 지자체 담당자를 대상으로 심층인터뷰를 실시하여 가로수 계획 및 관리에 대한 현황파악 및 문제점 도출
 - 관련 전문가, 지자체 공무원 등을 대상으로 가로녹지계획 실효성 검증 실시
- 대국민 인식조사
 - 가로녹지의 온도저감 효과를 중심으로, 보행자 대상 면접 설문조사 실시

3. 선행연구와의 차별성

폭염대응 관점의 가로녹지계획과 관련하여 기후조절 관련 도시녹지에 관한 연구, 가로녹지의 온도저감효과 관련 연구, 가로녹지계획과 관련한 연구 등을 살펴보았다. 관련 선행연구를 살펴본 결과, 기후조절을 위한 도시녹지 및 가로녹지에 관한 연구는 양적 접근을 기반으로 완화방안에 집중하는 것으로 나타났다. 도시 열환경과 녹지의 온도저감 효과 관련 선행연구(제3장 1절에 정리)의 경우, 가로수의 특성중심으로 분석·수행하는 방향에서 주변의 환경까지 고려하여 가로수와 연계된 복합적인 온도저감 방안을 제안하는 것으로 확대되었다. 가로녹지계획에 관한 연구는 녹지 네트워크 조성 중심이었던 연구들이 가로유형에 따라 계획기준을 마련하는 방향으로 변화하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 그동안 면적 녹지시설로 대표되던 도시녹지 중 가로수 중심의 가로녹지를 통하여 기후변화 적응방안에 집중하고자 한다는 점에서 선행연구와의 차별성이 있다. 도시숲 등의 막대한 조성을 위해 달성할 수 있는 양적 접근과는 달리, 본 연구에서는 일상 생활과 밀접한 공간에서의 녹지의 기능적 효과에 집중하고 있다. 이러한 접근을 통해 본 연구에서는 방대한 녹지량을 통해 기후변화를 완화하는 대안과는 달리, 기후변화 가운데 특히 온도상승으로 인해 나타나는 일생생활의 위험, 불편, 비용증가 등의 문제에 대응하고자 한다. 또한 본 연구는 그동안 거시적 규모의 공간단위에서 열환경 분석 자료로 쓰였던 지표면온도 데이터(LST)를 이용하여, 미시적 규모의 공간단위인 가로단위의 열환경 분석을 수행한다는 점에서 주요 분석 방법론에서 가로녹지의 온도저감효과를 분석한 선행연구들과도 차별성이 있다.

본 연구의 목표는 폭염에 대응할 수 있는 가로녹지의 효율적 배치전략을 담은 녹지계획 방향을 제시하는 데에 있다. 기존의 가로녹지 계획 관련 연구는 가로수 자체의 생육에 초점이 맞추어져 있고 기후위기시대의 요구를 고려하지 못하고 있다. 따라서 이러한 분석 결과를 토대로 기후위기 하에서 삶의 질을 유지하기 위한 일상공간의 가로녹지에 대한 효율적 계획전략을 도출하는 것을 목표로 하며, 이를 실현하기 위한 제도적 개선방안을 마련하고 있다는 점에서 기존의 가로녹지계획 연구들과의 차별성이 있다.

[표 1-7] 주요 선행연구

주요 선행 연구	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
1	<ul style="list-style-type: none"> - 자연재해·재난 대응을 위한 탄력적 도시설계 연구 - 저자(년도): 이은석·강현미·한수경·지석환·윤호선(2019) - 연구목적: 복수 재해취약성 진단법 개발 및 복합재해 대응 탄력적 도시설계방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 - 국내·외 사례조사 - 건축·도시·사회 공공 통계자료 분석 - RCP 8.5 시나리오에 따른 복합재해 취약성 분석 - 취약유형별 현장실태 조사 	<ul style="list-style-type: none"> - 탄력성 관련 국내·외 도시정책 동향 조사·분석 - 폭염·도시홍수에 대한 도시 취약성 진단도구 개발 - 복합재해 대응 탄력적 도시설계 방안 마련 - 탄력적 도시설계를 고려한 법제도 개선안 제시
2	<ul style="list-style-type: none"> - 미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오별 분석 - 저자(년도): 권유진·이동근·안새결 (2019) - 연구목적: 가로수 식재 시나리오별 열섬저감 효과 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 - 가로수 식재 관련 지침 조사 - ENVI-met 모델 구동 	<ul style="list-style-type: none"> - 강남역 일대 대상지에 도시 가로수 식재 패턴 적용 - ENVI-met 구동을 통해 식재 시나리오별 온도변화 시뮬레이션 - 시간에 따른 온도변화, 식재패턴에 따른 온도변화를 종합적으로 분석
3	<ul style="list-style-type: none"> - 기후변화시대, 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안 연구 - 저자(년도): 권용석·정군우·최용준 (2017) - 연구목적: 대구 대도시권 도시지역 열환경 수준 및 대응실태의 종합적 진단 및 폭염대응방안 모색 	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 - 현장조사 - 원격탐사(Remote sensing) - 종합분석 및 공간회귀분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 대구 대도시권의 폭염피해 현황 조사 - 공간회귀분석을 통한 대구 대도시권의 폭염취약성 분석 - 대구 대도시권 도시지역 대응실태 검토 - 폭염 대응 관련 국내·외 사례 검토 - 대구 대도시권 도시지역의 폭염 대응방안 제안
4	<ul style="list-style-type: none"> - 도로 및 환경유형별 가로수 조성·관리 모델 개발 - 저자(년도): 한봉호 외(2014b) - 연구목적: 가로환경 여건에 따른 유형별 가로수 조성 및 관리 실태 분석 및 개선방안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 및 기초자료 분석 - 사례조사 - 법·제도 조사 및 분석 - ENVI-met 모델 구동 	<ul style="list-style-type: none"> - 가로유형별 가로수 조성현황 분석 및 기능별 가로수 조성 모델 개발 - 가로수 도입 수종 기준 및 수형 기준안 개발 - 가로수 생육관리 및 데이터베이스 구축 등 통합 관리지침 제안
5	<ul style="list-style-type: none"> - 공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감 방안 - 저자(년도): 김원주·김운수(2010) - 연구목적: UAV-SfM방법을 이용한 개체목 탄소저장량 추정 및 정확도 평가 	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 및 기초자료 분석 - 사례조사 - 법·제도 조사 및 분석 	<ul style="list-style-type: none"> - 서울시 공원녹지 자원의 현황 및 문제점 파악 - 서울시 기후변화 경향 및 열섬효과 분석 - 공원녹지 분야의 저탄소 녹색성장 관련 사례조사 - 공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감방안 마련
본 연구	<ul style="list-style-type: none"> - 폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획 연구 - 저자(년도): 김영지 외 (2022) - 연구목적: 가로단위의 미시적 열환경 분석을 통한 가로녹지 계획방안 마련 및 정책대안 제시 	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌조사 및 기초자료 분석 - 현장조사 - GIS, ENVI-met을 활용한 열환경 분석 - 전문가 자문 및 지자체 공무원 인터뷰 	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 가로녹지 관련 법·제도 및 조성·관리 현황 조사·분석 - 해외 폭염대응 가로녹지 정책 사례 조사·분석 - 가로 단위의 열환경 분석 및 가로녹지 영향 분석 - 가로녹지에 대한 보행자 인식조사 - 도시 열완화를 위한 가로녹지 계획요소 분석 및 효과 검증 - 폭염대응을 고려한 가로녹지 정책 개선방안 제안

※출처: 연구진 작성

제2장 국내 가로녹지 관련 법제도 및 계획 현황

1. 가로녹지 조성·관리 관련 법제도
 2. 지자체 가로녹지 계획·조성 및 관리 현황
 3. 소결
-

□ 가로녹지 관련 법령 체계

본 연구에서 가로녹지로 정의한 ‘가로수’, ‘시설녹지’, ‘공개공지, 대지의 조경’ 등은 모두 법적시설로, 각각 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」, 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」, 「건축법」에서 다뤄지고 있다. ‘가로수’의 경우 본래 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라 조성 및 관리되고 있었으나, 2020년에 「도시숲법」이 제정됨에 따라 관련 규정이 이관되었다.

각 법령의 관계 부처는 각각 산림청, 국토교통부이며, 가로수 및 시설녹지의 경우 지자체장이, 공개공지 또는 대지의 조경시설은 건축주가 조성·관리 주체이다. 가로수의 계획·조성 및 관리에 관한 세부적인 사항은 대부분 「도시숲법 시행규칙」의 [별표1] 가로수의 조성·관리에 따른 수종선정 기준 및 심는 지역 기준¹²⁾과 지자체의 가로수 관련 조례에 명시되어 있다. 시설녹지에 관한 세부사항은 「공원녹지법」의 하위규칙인 「도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침」, 「공원녹지 기본계획 수립지침」 등에서, 공개공지의 경우 「건축법 시행규칙」과 지자체의 건축조례에서, 대지의 조경의 경우 역시 「건축법 시행규칙」, 지자체의 건축조례, 「조경기준」에서 규정하고 있다.

12) 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙, 농림축산식품부령 제481호. [별표1]

[표 2-1] 가로녹지 관련 법령 체계

시설	관련 법·제도	소관부처	조성·관리 주체
가로수 (띠녹지)	도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 <ul style="list-style-type: none"> 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행령 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙 자치법규 (가로수 / 도시림 / 도시숲 등의 조성 및 관리 조례) 	산림청	지자체장
시설녹지	도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 <ul style="list-style-type: none"> 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행령 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙 공원녹지 기본계획 수립지침 도시공원·녹지의 유형별 세부기준 등에 관한 지침 자치법규 (도시공원 및 녹지 등에 관한 조례) 	국토교통부	지자체장 (특별시장·광역시장· 특별자치시장· 특별자치도지사· 시장 또는 군수)
공개공지, 대지의 조경	건축법 <ul style="list-style-type: none"> 건축법 시행령 건축법 시행규칙 조경기준 자치법규 (건축 조례) 		건축주

법률
시행령
시행규칙 행정규칙 자치법규

출처 : 국가법령정보센터. (2022). <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2022.08.10.)를 참조하여 연구진 작성

□ 가로녹지의 조성 및 관리에 관한 법제 현황

본 연구의 주요 목적은 기후변화로 빈번한 폭염이 발생될 것으로 예상되는 상황에서 도시민이 일상적으로 이용하는 공공공간인 가로공간에서의 대응방안을 모색하고자 하는 것이다. 따라서 도시 내 녹지 시설 중 가로공간과 가장 밀접한 시설인 가로수(띠녹지)를 중심으로 가로녹지 조성 및 관리에 관한 법·제도를 살펴보되, 시설녹지와 공개공지, 대지의 조경 등에 대한 계획·조성 및 관리에 관한 사항을 함께 탐색하였다. 그 중 시설녹지의 경우 도심부 가로 변에서 종종 발견되는 완충녹지를 중심으로 법제도를 검토하였다. 또한 국내에서 가로녹지가 어떠한 제도와 기준을 통해 조성·관리되어왔는지 검토하기 위하여, 가로녹지 시설의 계획단계 / 조성단계 / 관리단계로 구분하여 법·제도를 살펴보았다.

먼저 ① 가로녹지의 계획에 관한 규정을 살펴보았다. 가로수는 「도시숲법」에서 규정하고 있는데, 해당 법령의 제12조에 따르면 가로수의 조성·관리 주체인 지방자치단체장이

가로수 식재, 이식, 제거, 가지치기 등의 사항을 결정한다. 세부적인 가로수의 조성 및 관리에 관한 기준은 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙」의 [별표1] 가로수의 조성·관리에 따른 수종선정 기준 및 심는 지역 기준 등에 규정되어 있다.

구체적으로 내용을 살펴보면 가로수의 식재 계획 시, 도시의 단절된 녹지들을 연결하는 역할을 중점적으로 고려하는 것을 알 수 있다. 또한 가로수가 식재되는 도로 공간에서 상충하는 다양한 요소를 위하여 식재하는 것에 중점을 두어, 가로수가 제공하는 다양한 편익에 대한 고려가 미흡하다.

시설녹지의 경우, 도시계획단계에서 각 시설녹지의 조성 목표에 따라 식재지역을 선정 하며, 그 목표에 따라 교목, 또는 지피식물 등만 구분하여 수종을 선정하도록 제시하고 있다. 공개공지의 경우 공개공지 자체의 조성 위치에 대한 규정은 지구단위계획수립지침¹³⁾, 지자체 건축조례 등에서 규정하고 있는 것을 확인하였으나, 공개공지 내 조경시설에 대해서는 ‘이용자들이 환경친화적으로 이용할 수 있도록 조경시설을 설치함을 권장’하는 정도만 제시되어 있다. 대지의 조경 또한 건축물 대지 내에서 조경면적의 산출 기준만 제시되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

폭염대응 관점에서 계획 기준을 살펴보면, 수목선정 기준에서 기후조절에 적합한 수종을 선택하도록 명시되어 있는 것 이외에는, 온도저감 기능을 고려한 기준을 제시하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 특히 도시숲의 경우, 생태적 건강, 활력도, 사회경제적 편익 등을 측정하는 관리지표에 따라 도시숲을 측정·평가하여 도시숲의 조성·관리계획에 반영하도록 하였으나 가로수는 제외하고 있어, 가로수의 현황에 따른 계획체계를 마련할 제도적 기반이 미비한 것으로 확인되었다.

다음으로 ② 가로녹지의 조성에 관한 규정을 살펴보았다. 관련 세부사항으로는 가로녹지 식재 위치, 식재 수목 조건, 식재 시기, 배치 형태 등이 있다. 가로수의 경우 식재 위치나 배치 형태는 가로수를 식재하는 보도의 폭원을 주요 기준으로 삼고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 보도에서 보차도 경계선 측면에 가로수를 식재하도록 규정하고 있으며, 필요할 경우에는 도로의 중앙분리대에 식재할 수 있음을 명시하고 있다.

가로녹지의 수종과 규격에 관한 사항은 대부분 교목을 대상으로 규정하고 있으며, 식재 당시의 규격 기준을 명시하고 있는 경우가 대부분이었다. 가로수의 경우 각 지자체의 조례에서 해당 규정을 발견할 수 있으며, 가로수의 크기에 관한 규정보다는 이식 이후 생육에 초점을 맞춘 기준을 제시하는 경우가 많았다. 시설녹지나 공개공지에 대해서는 구

13) 지구단위계획수립지침. 국토교통부훈령 제1131호. 3-13-2, 3-13-3, 3-13-4.

체적인 기준을 확인할 수 없었으며, 대지의 조경시설에 관해서는 조경기준¹⁴⁾에서 교목의 크기에 대한 기준을 마련하고 있음을 확인하였다. 특히 교목의 크기가 클수록 수목의 수량을 가중산정해주는 기준을 확인할 수 있었으며, 큰 교목 한그루의 가치를 많게는 작은 교목 8주의 가치와 같다고 판단하고 있음을 알 수 있다. 대지의 조경에 대한 조경기준이 처음 수립되었을 때는 제6조¹⁵⁾에 ‘그늘식재’ 규정이 있었으며 보행로에는 6미터마다 교목 1그루의 그늘목을 식재하여야 함이 명시되어 있으나, 현재는 해당 규정이 삭제되었다.

조경기준 제6조(그늘식재) - 삭제규정

일정 규모 이상의 주차장과 보행로에는 다음 각 호의 기준에 적합하도록 그늘식재를 하여야 한다. 다만, 허가권자가 영구음지 등으로서 식재가 불필요하다고 인정한 경우에는 그러하지 아니하다.

1. 10대 이상의 옥외 주차장에는 지상 주차대수 5대마다 교목 1주의 비율로 분산하여 그늘식재를 하여야 한다.
2. 대지안의 길이가 10미터 이상, 폭 1.5미터이상인 보행로에는 길이 6미터마다 교목 1주의 비율로 보행로상 또는 노면녹지에 그늘식재를 하여야 한다.
3. 제1호 및 제2호의 규정에 의한 수목은 수고 3미터 이상이고 흉고직경 10센티미터 이상이거나 근원직경 12센티미터 이상인 낙엽수로서 지하고(枝下高) 2미터 이상이어야 한다.

출처: 조경기준. 건설교통부고시 제2000-159호. 제6조

마지막으로 ③ 가로녹지의 관리에 관한 규정을 검토하였다. 「도시숲법 시행규칙」 제7조에서 가로수의 조성·관리에 관한 사항을 ‘가로수 조성·관리대장’에 기록하도록 되어 있으나, 해당 내용을 살펴보면 도로 노선에 따라 수종별 식재본수와 수고, 흉고지름, 근원지름, 수관폭 등의 평균값을 기재하도록 되어 있어 개별 수목에 대한 현황을 파악하고 관리하기는 어려운 것으로 확인된다. 공개공지의 경우, 유지관리에 대한 항목은 이용자의 접근을 제한하거나 공개공지의 활용을 저해하는 행위를 금지하는 것에 초점에 맞추어져 있으며, 공개공지 내 조경시설에 관한 사항은 시설이 파손되거나 노후화되었을 때 시설 정비가 필요하다는 내용이 일부 지자체의 건축조례에 담겨있는 것을 확인하였다. 또한 대지의 조경의 경우 유지관리 항목은 조경기준에서 옥상조경지역에 한정되어 명시되어 있음을 확인하였다.

14) 조경기준. 국토교통부고시 제2021-1778호. 제7조.

15) 조경기준. 건설교통부고시 제2000-159호. 제6조

[표 2-2] 가로녹지 계획 관련 법제 현황

구분	적용 대상	시행 주체	주요내용	관계법령
식재 지역	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> - 도로의 도로구역안 또는 그 주변지역에 조성 ◦ 가로수 식재 지역 <ul style="list-style-type: none"> - 도시 주변지역의 산림 또는 하천으로부터 도시구역의 녹지 또는 하천까지 연결하여 조성할 수 있는 지역 - 도시구역 안의 단절된 녹지 또는 하천을 서로 연결하여 조성할 수 있는 지역 - 보행이동 인구와 차량의 교통량이 많고, 녹지가 부족한 시가지 지역 ◦ 가로수 식재 불가 지역 <ul style="list-style-type: none"> - 도로의 간길 - 수려한 자연경관을 차단하는 구간 - 도로표지가 가려지는 지역 - 신호등 등 도로안전시설의 시계를 차단하는 지역 - 교차로의 교통섬 내부, 다만, 운전자의 시계를 확보할 수 있도록 수고·지하고를 유지할 경우에는 식재할 수 있다. - 농작물 피해 우려 지역 - 교목성(喬木性, 큰키나무류)인 가로수를 심는 경우 해당 지역의 상층에 전기·통신시설이 있어 가로수의 정상적인 생육에 지장이 발생할 우려가 있는 지역. 다만, 해당 시설물을 지하에 매설 또는 이설하거나 그 밖의 보완적인 조치를 하여 가로수의 정상적인 생육을 가능하게 한 경우에는 가로수를 식재할 수 있다. 	도시숲법 제2조제3항 도시숲법 시행령 제2조
				도시숲법 시행규칙 별표1, 가로수 조성 및 관리 조례
			<ul style="list-style-type: none"> ◦ 각 녹지의 정의에 따라 조성 위치 지정 <ul style="list-style-type: none"> - 원종녹지 : 공해 및 사고 또는 재해를 방지하기 위하여 설치 - 경관녹지 : 자연환경의 보전, 복원·개선 - 연결녹지 : 공원, 하천, 산지 등의 연결 	공원녹지법 시행규칙 제18조
	공개 공지	건축주	<ul style="list-style-type: none"> - 모든 사람들이 환경친화적으로 편리하게 이용할 수 있도록 조경시설 설치 	건축법 시행령 제27조의2 제3항
수종 선정	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> - 식재 지역의 기후와 토양에 적합한 수종 - 식재 지역의 역사와 문화에 적합하고 향토성을 지닌 수종 - 식재 지역의 주변 경관과 어울리는 수종 - 국민의 보건에 나쁜 영향을 끼치지 않는 수종 - 환경오염 저감, 기후 조절 등의 용도에 적합한 수종 - 생태계 보전 · 복원 등의 용도에 적합한 수종 	도시숲법 제12조4항, 도시숲법 시행규칙 별표 1, 가로수 조성 및 관리 조례
			<ul style="list-style-type: none"> - 조용한 환경이어야 하는 시설 인접 녹지에는 교목 식재(녹화면적률 50퍼센트 이상) - 재해발생시의 피난을 위하여 설치 · 관리하는 녹지에는 관목 또는 잔디 그 밖의 지피식물 식재(녹화면적률이 70퍼센트 이상) - 접근억제 및 상충되는 토지이용의 조절 등을 위하여 설치 · 관리하는 녹지에는 교목 또는 잔디 그 밖의 지피식물 식재(녹화면적률이 80퍼센트 이상) 	공원녹지법 시행규칙 제18조
	가로수(도시숲)	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> - 도시숲 등의 면적을 유지, 증가할 수 있도록 필요한 계획을 수립 	도시숲법 제8조
수량 선정	대지의 조경	건축주	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 조경면적 1제곱미터당 식재 수량 기준 <ul style="list-style-type: none"> - 상업지역 : 교목 0.1주 이상, 관목 1.0주 이상 - 공업지역 : 교목 0.3주 이상, 관목 1.0주 이상 - 주거지역 : 교목 0.2주 이상, 관목 1.0주 이상 - 녹지지역 : 교목 0.2주 이상, 관목 1.0주 이상 	조경기준

출처 : 국가법령정보센터. (2022). <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2022.08.10.)를 참조하여 연구진 작성

[표 2-3] 가로녹지 조성 관련 법제 현황

구분	적용 대상	시행 주체	주요내용	관계법령
식재 위치	가로수 (띠녹지)	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 가로수 식재 위치 기준 <ul style="list-style-type: none"> - 도로의 폭, 장애물 등 주변 여건에 따라 식재 - 도로에 접한 보도에 식재할 경우, 보·차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보(보도너비 등 여건에 따라 조정 가능) - 보행자전용도로에는 보행자 및 자전거의 이동과 안전에 제한이 없는 범위 내에서 가로수 식재 가능 - 중앙분리대 등 특별히 필요하다고 인정하는 위치에 식재 가능 	가로수 조성 및 관리 조례
식재 수목 조건	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> - 수형이 정돈되어 있을 것 - 발육이 양호할 것 - 가지와 잎이 치밀하게 발달하였을 것 - 병충의 피해가 없을 것 - 활착(活着: 나무를 옮겨 심은 뒤에 그 나무가 살아남음)이 용이하도록 미리 이식하였거나 뿌리돌림을 실시하여 잔뿌리가 잘 발달하였을 것 - 충분한 크기의 분을 떠서 재배수를 이식할 수 있을 것 - 가로수의 수고(樹高)와 지하고(枝下高: 수관 이하의 가지가 없는 나무줄기의 길이)가 운전자와 보행자의 통행에 지장이 없을 것 - 가로수는 도로의 보도 폭에 따라 노선별로 식재 가로수의 크기를 조정하여 식재 	도시숲법 제12조4항, 도시숲법 시행규칙 별표 1, 가로수 조성 및 관리 조례
식재시기	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> - 식재의 시기는 가로수가 정상적인 활착이 가능한 봄철과 가을철에 심는 것을 원칙 	가로수 조성 및 관리 조례
식재 형태 (배치)	가로수 (띠녹지)	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 교목 <ul style="list-style-type: none"> - 식재간격은 6~8미터 기준, (다만 도로의 위치와 주위여건, 식재수종의 수관폭과 생장속도, 가로수로 인한 피해 등을 고려하여 식재간격을 조정) - 식재유형은 도로선형과 평행한 열식을 원칙 (도로의 여건, 방음 · 녹음제공 · 경관보정 등 특정목적에 따라 군식 · 혼식 가능) - 도로의 한쪽을 기준으로 1열심기, 보도의 여건에 따라 2열 이상 식재 가능 - 도로의 같은 노선과 도로 양측에는 같은 수종으로 식재 ◦ 띠녹지 <ul style="list-style-type: none"> - 관목은 식재수종의 특성에 따라 교통장애가 없는 범위 내에서 식재 - 식재공간의 여유가 있는 경우 운전자와 보행자의 안전과 도로구조의 안전에 지장이 없는 범위 내에서 교목과 관목, 초본류를 다중구조로 식재 가능 - 지하의 인공구조물을 인하여 가로수의 식재가 어렵거나 수시로 이동이 필요한 지역에는 저수장치 등을 갖춘 이동식 화분형에 가로수 식재 가능 	가로수 조성 및 관리 조례 도시숲 등의 조성 및 관리 조례

출처 : 국가법령정보센터. (2022). <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2022.08.10.)를 참조하여 연구진 작성

[표 2-4] 가로녹지 관리 관련 법제 현황

구분	적용 대상	시행 주체	주요내용	관계법령
점검 및 모니터링	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 자료제출 및 실태조사 <ul style="list-style-type: none"> - 도시숲등의 조성·관리를 위하여 필요한 경우 업무에 관하여 보고를 하게 하거나 관련 자료를 제출하게 할 수 있음 - 산림청장 또는 지방자치단체의 장은 정기조사, 수시조사의 형태로 실태조사를 실시 <ul style="list-style-type: none"> · 정기조사 : 10년마다 실시하되, 도시숲등기본계획 또는 도시숲등조성·관리계획을 수립하기 직전 연도에 실시 · 수시조사: 기본계획 및 관리계획을 시행하거나 변경하기 위해 필요한 경우 · 조사내용: 기능 구분 및 조성·관리 현황, 기술개발·연구현황, 정보망 구축·운영 현황, 조성·관리에 대한 국민참여 현황 등 · 조사내용: 기능 구분 및 조성·관리 현황, 기술개발·연구현황, 정보망 구축·운영 현황, 조성·관리에 대한 국민참여 현황 등 - 지방자치단체의 장은 가로수의 조성·관리에 관한 사항을 매년 12월 31일까지 산림청장에게 통보 <ul style="list-style-type: none"> · 관리청은 가로수기본계획이 수립되는 즉시 이를 지자체장에게 제출 · 관리청은 가로수 식재 및 관리실적을 해당년도 11월 말까지 지자체장에게 보고 ◦ 가로수 점검 <ul style="list-style-type: none"> - 노선별·수종별로 가로수 점검을 실시하여야 함 - 점검대상은 바꿔심기를 요하는 가로수, 병충해의 감염여부, 고사목 메워심기 또는 신규 식재량 및 생육상태, 식재지 토양상태 등 - 정기점검은 매년 5월에 실시 - 수시점검은 병해충 확산 등으로 피해가 발생하여 긴급히 점검해야 할 경우 또는 식재·메워심기·바꿔심기 등 관리상 필요한 시기에 점검 	도시숲법 제24조제1항, 제2항 도시숲법 시행령 제5조제2항 도시숲법 시행규칙 제7조제1항 가로수 조성 및 관리 조례
관리 대장	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> - 가로수를 조성·관리하거나 가로수의 조성·관리와 관련하여 승인을 한 경우에는 가로수의 조성·관리에 관한 사항을 가로수 조성·관리대장에 기록·관리해야 함 - 관리청은 가로수의 합리적 관리를 위하여 노선별로 관리대장을 만들어 관리한다. - 가로수 관리대장은 규칙에서 정하는 서식에 따라 관리청별로 전산화된 대장으로 작성하여 비치 	도시숲법 시행규칙 제7조제1항
정비, 보완, 개선	가로수	지자체장	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 가로수 바꿔심기 및 메워심기 <ul style="list-style-type: none"> · 바꿔심기 : 일정 구간의 가로수 전체를 제거하고, 해당 구간에 가로수를 다시 심는 것 · 메워심기 : 일정한 간격으로 심겨진 가로수 일부가 빠져 있거나 고사한 곳에 적정한 가로수를 대신 심는 것 ◦ 바꿔심기 및 메워심기 대상 <ul style="list-style-type: none"> - 고사한 가로수 및 나무껍질·수형이 매우 불량한 가로수 - 나무줄기가 부러졌거나, 부패하여 부러질 위험이 있는 가로수 - 식재 배열이 극히 불규칙하거나, 도로의 구조·교통에 장애를 주는 가로수 - 병충해 감염, 재해·재난 피해 등으로 인하여 생육 가능성이 없는 가로수 - 그 밖에 미관을 훼손하거나 공해의 발생 우려가 있는 가로수 ◦ 기타 정비 사항 <ul style="list-style-type: none"> - 가로수의 생육, 미관, 도로안전 및 차량 등의 통행, 시설물의 안전 등을 위하여 필요 한 경우 가지치기 가능 - 병충해의 발생 및 확산을 방지하기 위하여 가로수에 대한 병해충 방제를 실시 - 특별히 보호해야 할 필요성이 있는 노거수, 보호수 등의 가로수에 대해서는 외과수술, 영양공급, 통기·관수 시설의 설치 등의 조치 - 지형과 토양을 보전하기 위하여 필요한 경우, 생육환경 개선, 환토, 객토 등의 조치 가능 - 가로수의 관리에 필요한 지주대, 보호틀, 보호덮개, 보호대, 통기·관수시설 등의 시설 및 장비는 가로수의 생육 및 보행자의 통행 등에 지장이 없도록 설치·관리 	도시숲법 시행규칙 별표1 가로수 조성 및 관리 조례 도시숲 등의 조성 및 관리 조례

출처 : 국가법령정보센터. (2022). <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2022.08.10.)를 참조하여 연구진 작성

1) 가로녹지의 조성 및 관리에 관한 법정계획

「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」과 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에서는 각각 법정 기본계획을 수립하도록 명시하고 있다. 「공원녹지법」 제5조에서는 ‘공원녹지기본계획’을 특별시장·광역시장·특별자치시장·특별자치도지사 또는 대통령령으로 정하는 시의 시장이 수립하도록 명시하고 있으며, ‘도시숲등 기본계획’은 산림청장이 수립·시행하도록 「도시숲법」 제5조에 명시되어 있다. 또한 「도시숲법」 제6조에서는 ‘도시숲등 조성·관리계획’ 수립 시, ‘공원녹지기본계획’에 부합되도록 해야 함이 규정되어 있다.

□ ‘도시숲등 기본계획’의 주요 내용¹⁶⁾

「도시숲법」에 따라 수립된 기존의 기본계획을 살펴보면 산림청에서 수립한 도시림 기본계획, 지자체에서 수립한 가로수 기본계획 또는 도시숲 기본계획 등이 있다. 「도시숲등 조성 및 관리에 관한 법률」이 시행된 2021년 6월 이전까지는 기본계획 또는 조성·관리계획에서 도시숲과 가로수에 대한 별도의 계획을 수립 한 경우가 대부분이다.

산림청에서 수립한 제2차 도시림 기본계획¹⁷⁾에서는 계획 대상을 도시림, 생활림, 가로수, 기타(옥상·벽면녹화, 도시공원·녹지 등)로 명시하고 있다. 가로수는 도로구역 안 또는 그 주변지역에 심는 수목이라 명시하고 있으며, 가로수의 집단 또는 가로수 사이 공간 및 주변에 조성·관리하는 숲을 가로숲이라 지칭하기도 하였다. 가로수의 조성 시, 녹지 간 연결성 강화, 미세먼지 저감, 가로경관 창출 등의 기능을 고려하려 조성할 수 있도록 제안하고 있으나, 도시단위에서의 배치계획에 관한 내용은 미흡한 것으로 확인되었다. 특히 가로수의 미세먼지 저감 기능과 관련한 계획 및 전략이 소개되고 있는 것에 반해, 가로수의 도시온도저감 기능과 관련된 내용은 부족하였다. 또한 도시숲 조성·관리 시, “미세먼지 저감, 폭염 완화, 재난방재 등 조성목적을 우선 적용”하도록 하며 이러한 도시숲의 기능을 고려하여 도시별 마스터플랜을 수립하도록 되어 있으나, 가로수는 자체의 폭염저감 기능을 고려한 계획보다는 녹지를 연결하는 네트워크로서 계획되고 있는 것으로 나타났다.

16) 제2차 도시림 기본계획. 산림청고시제2018-117호. 내용을 참고하여 작성하였음

17) 현재의 「도시숲등 조성 및 관리에 관한 법률」이 제정·시행되기 이전에 수립된 기본계획으로, 현행 법령 상에서 지칭하는 ‘도시숲등 기본계획’의 전신에 해당함

□ ‘공원녹지기본계획’의 주요 내용¹⁸⁾

「공원녹지 기본계획 수립지침」에 따르면 공원녹지기본계획은 도시지역 안의 공원녹지, 도시녹화, 도시공원, 공원시설, 녹지를 대상으로 한다. 공원녹지기본계획 수립을 위한 기초조사 시 가로수의 규격, 수종, 수량 및 식재시기 등을 노선별로 조사하여 데이터베이스를 만들고 「가로수현황도」를 작성하도록 지침 상에 명시되어 있으나, 지자체 가로수 관련 데이터 검토 결과 대부분 노선별 수종 및 수량 등의 정보만 구축하는 것을 확인¹⁹⁾하였다. 또한 제6장 부문별수립기준 제2절 녹지기본계획 중의 하나로 가로수계획이 제시되어 있으나, 온도완화 등의 기후적응기능보다는 가로수의 경관효과를 중점으로 고려하는 것으로 나타났다.

공원녹지기본계획 수립지침 중 가로수계획

제6장 부문별수립기준, 제2절 녹지기본계획

6-2-5 가로수계획

- (1) 가로수의 경관효과, 가로의 정체성, 효과적 관리 등을 위해 체계적인 가로수기본계획을 수립한다.
- (2) 가로수의 수종선정 및 배치는 주변의 생태적 환경, 역사, 장소성, 경관 등을 종합적으로 고려하여 선정·배치한다.
- (3) 가로수 기본계획에 따른 「가로수기본계획도」 및 「가로수총괄표」를 작성한다.
- (4) 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라 도시림등기본계획이 수립되어 있는 경우 이를 반영하여 수립한다.

출처: 공원녹지 기본계획 수립지침. 국토교통부훈령 제1102호.

폭염대응 관점에서 살펴보면, 제1장 제4절에서 기상개황과 미기후를 조사하도록 명시되어 있으며, 미기후의 경우 열섬현상, 특징적 기상현장 등의 내용을 정리하고 도면에 위치를 표시하도록 되어 있으나 필요시 수행하도록 하여 의무사항은 아닌 것으로 확인되었다. 또한 제6장 부문별 수립기준의 각 부문계획의 기본방향에서 접근성과 수요의 측면, 생태적 측면, 경관적 측면 등을 고려하도록 명시된 데에 반하여, 미기후 개선 또는 기후변화 적응과 관련된 내용은 나타나지 않아, 공원녹지기본계획에서는 공원 및 녹지, 가로수 등의 도시온도저감, 폭염대응 등의 기능이 크게 고려되지 않는 것으로 판단된다.

18) 공원녹지 기본계획 수립지침. 국토교통부훈령 제1102호. 내용을 참고하여 작성하였음

19) 행정안전부 공공데이터포털(2022)에서 ‘가로수’를 키워드로 검색하여 검토, 행정안전부 공공데이터포털. (2022). 데이터목록. [https://www.data.go.kr/tcs/dss/selectDataSetList.do?keyword=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98&brm=&svcType=&instt=&recmSe=N&conditionType=init&extsn=&kwrdArray=\(검색일:2022.02.09.\)](https://www.data.go.kr/tcs/dss/selectDataSetList.do?keyword=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98&brm=&svcType=&instt=&recmSe=N&conditionType=init&extsn=&kwrdArray=(검색일:2022.02.09.))

2. 지자체 가로녹지 계획·조성 및 관리 현황

지자체 가로녹지 계획·조성 및 관리 현황에서는 가로녹지 시설 중 조성·관리 주체가 지자체장이며 대부분 가로공간에 조성되는 ‘가로수(띠녹지)’의 계획 및 관리체계에 대하여 중점적으로 살펴보았다. 먼저 가로수와 관련된 지자체 조례와 조례에서 명시하고 있는 세부 기준을 살펴보았고, 다음으로는 실제 지자체에서 수립하여 시행하고 있는 ‘가로수 기본계획’을 구체적으로 고찰하였다.

1) 가로녹지 조성 및 관리에 대한 지자체 조례

□ 지자체 가로녹지 관련 조례 수립 현황

지자체의 가로녹지 관련 조례는 ‘가로수 조성 및 관리에 관한 조례’, ‘도시숲 등 조성 및 관리에 관한 조례’ 등이 해당된다. ‘가로수 조성 및 관리에 관한 조례’는 전국 226개 지자체 중 43개 지자체에서 제시하고 있으며, ‘도시숲 등 조성 및 관리에 관한 조례’는 160개 지자체에서 제시하고 있다. 전자의 경우 「도시숲법」이 제정되기 이전에 가로수 관련 규정이 있던 「산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률」에 따라 수립되었던 경우가 대부분으로, 「도시숲법」에 따라 수립된 후자와 내용 및 구성 측면에서 유사한 것을 알 수 있다. 다만 가로수 관련 조례의 수립이 의무사항이 아니기 때문에, 기본계획은 커녕 조례조차 수립되어 있지 않은 지자체도 상당수이다. 서울시의 경우에도 2009년에 이어 2019년에 제2차 가로수 기본계획을 수립²⁰⁾하였으나, 자치구 중에서는 일부만이 제1차 가로수 기본계획을 수립하였으며, 가로수 조성 및 관리 조례는 은평구만이 제정한 것으로 나타났다.

가로수의 계획 및 조성에 관한 기준은 크게 수종선정, 식재규격, 배치형태 등으로 구분 할 수 있다. 가로수의 수종 선정 기준은 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙」의 [별표1] 가로수의 조성·관리에 따른 수종선정 기준 및 심는 지역 기준 등에 명시되어 있는 내용을 차용한 지자체가 대부분임을 확인할 수 있다.

가로수 크기에 관해서 규정하고 있는 가로수는 총 13곳으로, 가로수 조성 시의 크기를 의미 하며, 대부분 흥고직경, 근원직경의 기준을 명시하고 있다. 보도폭 또는 차도폭에 따라 크

20) 한봉호 외. (2019). 제2차 가로수 조성·관리 기본계획. 서울특별시. p.3.

기를 달리하여 식재하도록 하는 지자체가 7곳이 있으나, 단순히 도로의 폭원 별 크기 기준이며, 가로수의 그늘제공 효과등을 고려한 수관폭에 대한 기준은 없는 것으로 나타났다.

가로수의 배치에 관한 내용은 식재간격을 명시하고 있는 경우와 병렬다층식, 단열다층식 등 식재유형을 명시하고 있는 경우로 크게 나뉠 수 있다. 가로수의 식재 간격은 대부분 6~8m를 기준으로 하고 있으며, 보차도 경계선에서 가로수 수간의 중심까지의 거리를 명시하고 있는 곳도 일부 발견되었다. 또한 경주시 등은 도로 여건에 따라 식재 간격을 4~12m로 조정할 수 있음을 명시하고 있으나 역시 도로 폭원에 따른 기준 제시에 해당하며, 가로수의 수관폭을 고려하여 기준을 제시하고 있는 지자체는 발견할 수 없었다.

[표 2-5] 지자체 가로녹지 계획조성 기준

구분	주요내용	해당 지자체
		파란색: 가로수의 조성 및 관리에 관한 조례 빨간색: 도시숲 등 조성 및 관리에 관한 조례 녹색: 두 가지 조례 모두 존재
수종	경관, 향토성, 주민보건, 환경오염 저감, 기후조절에 적합한 수종	가평군, 강릉시, 경주시, 과천시, 군위군, 김천시, 대구시, 목포시, 부산시 북구, 부산시 사하구, 부천시, 삼척시, 상주시, 서울특별시, 서울시 은평구, 수원시, 연천군, 영덕군, 영주시, 용인시, 울릉군, 원주시, 인천시, 장성군, 장수군, 진안군, 진주시, 태백시, 파주시, 함평군, 합천군, 경산시, 계룡시, 고양시, 고흥군, 곡성군, 공주시, 광양시, 경기도 광주시, 구례군, 남양주, 남원시, 단양군, 대구광역시, 대전광역시, 목포시, 밀양시, 봉화군, 부산시, 부산광역시 북구, 부여군, 부천시, 사천시, 서산시, 성남시, 시흥시, 신안군, 안산시, 양구군, 양양군, 양주시, 양평군, 영광군, 영암군, 영월군, 영천시, 예산군, 옥천군, 완주군, 울진군, 의령군, 의왕시, 의정부시, 익산시, 정흥군, 전주시, 정읍시, 제천시, 창원시, 천안시, 철원군, 청도군, 청송군, 칠곡군, 파주시, 평창군, 평택시, 하동군, 함양군, 화순군
	환경에 맞고 친환경적 이미지 제고에 적합한 수종	군산시
	은행나무, 왕벚나무, 단풍나무, 이팝나무 등 특정 목적에 적합한 수종	안성시, 거창군, 광명시, 구리시, 과천시, 논산시, 군위군, 목포시, 밀양시, 봉화군, 부산시, 부산광역시 북구, 부여군, 속초시, 예천군, 충주시, 하남시,
	시에 자생하는 수종, 이미 식재되거나 특정 목적에 적합한 수종	거제시, 고양시, 산청군, 순천시, 양산시
크기	흉고직경, 균원지름, 수고 등	가평군, 수원시, 인천시, 함평군, 구례군, 시흥시, 영광군, 화순군
	보도폭 및 차도폭에 따른 흉고직경, 균원지름 등	강릉시, 계룡시, 고양시, 경기도 광주시, 군산시, 나주시, 무주군, 봉화군, 부산시, 속초시, 순천시, 안양시, 양주시, 의정부시, 화성시
	도로 교통에 방해가 되지 않도록 결정	함평군, 군산시

구분	주요내용	해당 지자체
		<p style="text-align: center;">파란색: 가로수의 조성 및 관리에 관한 조례 붉은색: 도시숲 등 조성 및 관리에 관한 조례 녹색: 두 가지 조례 모두 존재</p>
배치	식재간격 6~8m	가평군 , 강릉시, 경주시, 과천시, 부산시 사하구, 서울특별시, 삼척시, 서울시 은평구, 진안군 , 태백시, 함평군, 합천군, 거제시, 경산시, 경주시, 광양시, 경기도 광주시, 구례군, 군산시, 군위군, 김천시, 남양주, 남원시, 대구광역시, 대전광역시, 목포시, 부산광역시 북구, 사천시 , 상주시, 속초시, 수원시, 순창군, 시흥시, 신안군, 안산시, 양구군, 양산시, 양평군, 연천군, 영광군, 영덕군, 영주시, 영천시, 예천군, 용인시, 울릉군, 울진군, 원주시, 의왕시, 인천광역시, 장흥군, 정읍시, 제천시, 청송군, 칠곡군, 평택시, 하남시, 함양군, 화순군
	식재유형(다층구조 식재 등)	부산시 사하구 , 삼척시, 서울특별시, 서울시 은평구, 수원시, 장성군 , 진안군 , 태백시, 파주시, 합천군, 거제시, 계룡시, 고양시, 고흥군, 곡성군, 공주시, 광명시, 광양시, 경기도 광주시, 구례군, 구리시, 구미시, 군산시, 군위군, 나주시, 김천시, 남양주, 남원시, 논산시, 대구광역시, 대전광역시, 목포시, 무주군 , 밀양시, 부산광역시 북구, 부안군 , 부천시, 사천시 , 산청군, 상주시, 성남시, 속초시, 순창군, 순천시, 시흥시, 신안군, 안산시, 안성시, 양구군, 양산시, 양양군, 양평군, 연천군, 영광군, 영덕군, 영주시, 영천시, 예천군, 원주군, 용인시, 울진군, 원주시, 의왕시, 의정부시, 인천광역시, 장흥군, 전주시, 정읍시, 제천시, 창원시, 천안시, 청송군, 칠곡군, 평창군, 평택시, 하남시, 하동군, 함양군 , 화성시 , 화순군

* 국가법령정보센터에서 키워드 '가로수', '도시숲'으로 자치법규 검색하여 검토

출처: 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. <https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuld=3&subMenuld=27&tabMenuld=139&query=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98>(검색일자 : 2022.5.12.) ; 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. <https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuld=3&subMenuld=27&tabMenuld=139&query=%EB%8F%84%EC%8B%9C%EC%88%B2>(검색일자 : 2022.5.12.) 참조하여 연구진 작성

지자체 가로녹지 관련 조례의 내용을 살펴보면, 대부분 가로수에 한정된 기준을 제시하고 있는 것을 확인할 수 있다. 띠녹지에 관해서는 가로수를 '다층식'으로 식재할 것을 권장하는 규정에서만 확인할 수 있으며, 띠녹지의 폭원, 띠녹지 수종 등 관련 조성기준에 대해서는 명시되어 있지 않은 것을 확인하였다.

지자체의 조례에서 가로녹지 관리에 관한 기준은 점검 횟수와 관리대장 유무 정도로 나타나고 있다. 관리대장의 내용 역시 「도시숲법 시행규칙」의 [별지 제1호 서식] 가로수 조성·관리대장의 내용과 유사하며, 도로 노선별 평균적인 정보를 기입하도록 되어 있다. 가로수 개별 수목에 대하여 조사하고 관리계획을 세우는 경우는 조례에서 찾아보기 어려웠다. 가로수 점검에 관한 내용이 명시된 경우를 살펴보면, 병해충 여부, 식재지 토양상태 등 생육상태를 중점적으로 조사하도록 되어 있으며, 가로수의 그늘제공, 경관형성 등의 기능에 대한 평가에 관한 부분은 미비한 것으로 확인되었다.

[표 2-6] 지자체 가로녹지 관리 기준

주요내용		해당 지자체	파란색 : 광역지자체
점검	연1회	거창군, 과천시, 광양시, 광주광역시 북구, 군산시, 군위군, 대구광역시, 대전광역시, 밀양시, 부산광역시, 부산광역시 북구, 부산광역시 사하구, 사천시, 산청군, 서울특별시, 순천시, 안산시, 영월군, 용인시, 울릉군, 원주시, 의왕시, 익산시, 장성군, 장흥군, 제주특별자치도, 진주시, 함양군, 함평군, 합천군, 화성시, 화천군	33
	연2회	가평군, 강릉시, 계룡시, 고양시, 고창군, 고흥군, 곡성군, 공주시, 광명시, 광주시(경기), 괴산군, 구례군, 구리시, 김천시, 나주시, 남원시, 논산시, 단양군, 목포시, 무주군, 보령시, 보은군, 부여군, 부천시, 삼척시, 상주시, 성남시, 속초시, 수원시, 시흥시, 신안군, 아산시, 안성시, 양구군, 양산시, 양양군, 양평군, 연천군, 영광군, 영덕군, 영동군, 영암군, 영주시, 영천시, 예천군, 옥천군, 완주군, 울진군, 익령군, 이천시, 장수군, 정읍시, 제천시, 진도군, 진안군, 천안시, 철원군, 충주시, 태백시, 태안군, 파주시, 평창군, 하남시, 하동군, 해남군, 화순군, 횡성군	67
	연 3회 이상	예산군, 인천광역시, 충청남도	3
관리대장	유무	가평군, 강릉시, 경산시, 경주시, 계룡시, 고양시, 고창군, 고흥군, 곡성군, 공주시, 과천시, 광명시, 광양시, 광주광역시, 광주광역시 북구, 광주시(경기), 괴산군, 구례군, 구리시, 구미시, 군산시, 군위군, 김천시, 나주시, 남원시, 논산시, 단양군, 대구광역시, 대전광역시, 목포시, 무주군, 밀양시, 보령시, 보은군, 부산광역시, 부산광역시 북구, 부산광역시 사하구, 부안군, 부여군, 부천시, 사천시, 산청군, 삼척시, 상주시, 서울특별시, 성남시, 속초시, 수원시, 순창군, 순천시, 시흥시, 신안군, 아산시, 안산시, 안성시, 안양시, 양구군, 양산시, 양양군, 양평군, 연천군, 영광군, 영덕군, 영동군, 영암군, 영월군, 영주시, 영천시, 예천군, 옥천군, 완주군, 용인시, 울릉군, 원주시, 의왕시, 익산시, 인천광역시, 제주특별자치도, 장성군, 장수군, 장흥군, 전주시, 정읍시, 제천시, 진도군, 진안군, 진주시, 진천군, 창원시, 천안시, 철원군, 충주시, 태백시, 파주시, 평창군, 평택시, 포항시, 하남시, 하동군, 함양군, 함평군, 해남군, 흥성군, 홍천군, 화성시, 화순군, 화천군, 횡성군	107

* 국가법령정보센터에서 키워드 '가로수', '도시숲'으로 자치법규 검색하여 검토

출처: 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. [https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98\(검색일자 : 2022.5.12.\)](https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98(검색일자 : 2022.5.12.)); 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. [https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EB%8F%84%EC%8B%9C%EC%88%9B2\(검색일자 : 2022.5.12.\)](https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EB%8F%84%EC%8B%9C%EC%88%9B2(검색일자 : 2022.5.12.)) 참조하여 연구진 작성

2) 지자체 가로녹지 계획 및 관리 체계

지자체의 가로녹지에 대한 계획 및 관리에 관한 실태를 파악하기 위하여 서울시, 울산시, 대구시를 대상으로 가로녹지 관련 계획과 정책 현황을 살펴보았다. 서울시의 경우 '가로수 기본계획'을 수립하는 등 도시차원에서 가로수에 대한 조성·관리계획을 세우고 있으며, 대구시의 경우 폭염에 대응하여 가로녹지 조성 정책을 시행하고 있어 지자체에서의 가로녹지 관련 계획수립, 관리 등의 수행현황을 파악하기에 적합할 것으로 판단하였다. 또한 기초지자체 단위의 가로녹지 계획 및 정책 현황을 파악하기 위하여 서울시 송파구를 분석 대상으로 추가하였다.

① 서울시 가로녹지 계획 및 관리 현황

□ 2030 서울시 공원녹지기본계획²¹⁾

서울시 공원녹지기본계획은 기후변화 대응 및 삶의 질 향상을 목적으로 서울시의 지속 가능한 공원녹지 기본계획 수립을 목표로 한다. 그러나 세부적인 계획은 공원녹지 서비스 형평성을 맞추기 위해서 녹지축 단절 구간에 대한 연결계획, 공원녹지 소외지역에 대한 녹화 등이 주를 이루며, 목표에서 기후변화 대응을 명시하였음에도 불구하고 폭염대응 방안 등은 미흡한 실정이다. 가로수계획은 서울시에서 계획한 '가로수 조성관리 기본 계획' 내용을 차용하도록 명시되어 있으며, 녹화에 초점을 맞춰 가로유형별 수종, 계획 방안, 가로수 자체의 생장과 관리방안을 포함하고 있다.



[그림 2-1] 가로수 식재 예시

출처: 김원주 외. (2015). 2030 서울시 공원녹지 기본계획. p.289

21) 김원주 외. (2015). 2030 서울시 공원녹지 기본계획. 서울특별시. 내용을 참고하여 작성

□ 제2차 가로수 기본계획²²⁾

제2차 가로수 기본계획에서는 체계적인 가로수 관리방안을 제안하기 위해 가로수 평가 시스템을 구축하고, 이에 따른 가로수별 평가를 통해 가로수 위치 조정, 도로다이어트사업 연계, 인근 녹지 가로수 이식 등 정비방안, 가로수 유지관리 개선 및 지속적인 관리 기반 구축 방안 등을 제안하였다. ‘다채롭고 풍요로운 녹음, 상쾌한 바람과 함께 걷는 서울 생태가로숲’을 계획 목표로 설정하고 4가지 핵심전략을 기반으로 가로녹지의 복합적 기능 활성화를 위한 계획을 제안하였으며, 기후변화에 대응하여 가로수계획을 수립함을 명시하고 있다.

[표 2-7] 서울시 제2차 가로수 조성관리 기본계획 기본구상

핵심전략	세부추진계획
Future-Greenway 기후변화와 미세먼지에 대응하는 가로수 조성	<ul style="list-style-type: none">• 가로수 구조모델 제시 및 보행을 고려한 가로수 확충을 통한 쾌적한 보행환경 조성• 도로정비사업 및 가로수 미식재 지역에 대한 녹화 확충
Active-Recreation 다채로운 가로경관 형성	<ul style="list-style-type: none">• 동일노선 동일수종 단조로움에서 벗어난 수종 및 식재패턴의 다양화• 미세먼지저감 및 환경오염저감 등 변화하는 여건에 따른 수종 다양화• 다종구조 가로숲 및 띠녹지 확충 방안 제시
Evaluation-Management 체계적인 가로수 관리방안	<ul style="list-style-type: none">• 가로수 관리평가시스템에 따른 평가와 관리방안 제시• 보행불편 가로수의 평가 및 관리방안 제시
Sustainable-System 지속 가능한 가로수 조성·관리기반 구축	<ul style="list-style-type: none">• 시민 참여형 관리 활성화 및 프로그램 개발• 유관계획과의 유기적인 조성·관리를 위한 체계 및 제도 마련

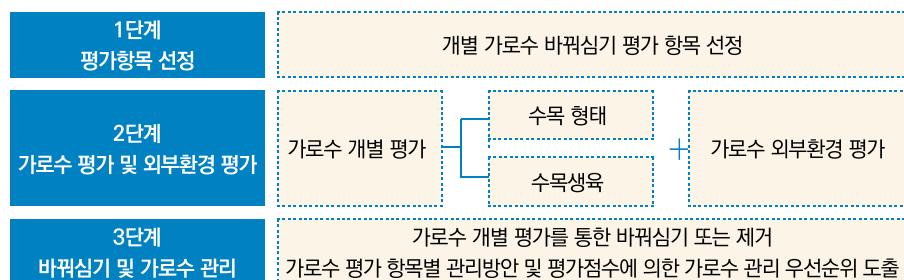
출처: 서울정보소통광장. (2020). 서울시 가로수 조성관리 기본계획(2회차). <https://opengov.seoul.go.kr/public/2195>
0637(검색일: 2022.06.11.)

4가지의 핵심전략 중, 본 연구의 가로녹지계획 목표와 일치하는 ‘기후변화와 미세먼지에 대응하는 가로수 조성’ 전략에서는 세부적으로 가로수 확충, 가로수 사이 식재, 미식재 구간 가로수 확충, 가로변 공간 녹화의 전략을 제시하였다. 가로수를 식재하는 도로, 특히 보도의 폭에 따라 최대한의 가로수와 띠녹지 확충방안을 제시하였으며, 단순히 보도 폭 뿐만 아니라 보행서비스 수준을 포함하여 가로의 이용에 가로녹지가 방해되지 않도록 하였다. 또한 기존에는 보도 현황만 고려하였다면, 도로다이어트 등 보도의 확장을 통한 가로수 확충계획을 제시하였으며, 가로수 식재가 어려운 구간에는 화분의 도입, 벽면녹화, 인공토양을 이용한 녹화 등을 제시하였다. 다만 전략 목표인 ‘기후변화와 미세먼지에 대응하는 가로수 조성’의 추진방안으로 최대한의 녹량 증진만을 제안하고 있으며, 가로의

22) 한봉호 외. (2019). 제2차 가로수 조성·관리 기본계획. 서울특별시. 내용을 참고하여 작성

열환경에 영향을 미치는 주변 건조환경에 대한 고려는 없는 것으로 확인되었다.

제2차 가로수 조성·관리 기본계획에서는 체계적인 관리를 위한 가로수 평가 및 관리 시스템을 제시하였다. 1단계에는 가로수 정량평가를 2단계에는 평가 등급별 가로수 관리방안 적용하고자 하였으며, 가로수에 대한 평가는 형태, 생육(고사율, 뿌리썩음 등), 외부환경 평가(보행불편, 민원, 토양, 위치 등)를 고려해야 함을 명시하였다. 다만 대부분의 기준은 가로수 바꿔심기를 결정하는 기준이며, 가로수가 제 기능을 최대한으로 발휘하기 위하여 어떻게 관리하여 가꾸어야 하는지에 대한 내용은 미흡하였다. 또한 노선별로 가로수의 목표수형, 목표규격 등을 기록하는 수형카드를 제작하여 가지치기 가이드라인으로 활용하도록 하고 있으나, 목표 기준을 어떻게 설정할 것인지에 대한 구체적인 내용은 명시되어 있지 않았다. 가로수의 평가항목은 대부분 생육, 주변 시설과의 경합 등에 대한 내용이며, 온도저감 기능 등 가로수가 제공하는 편익에 대한 평가항목은 미비한 것으로 확인되었다.



[그림 2-2] 개별 가로수 단계별 평가 시스템

출처: 한봉호 외. (2019). 제2차 가로수 조성·관리 기본계획. 서울특별시. p.188.

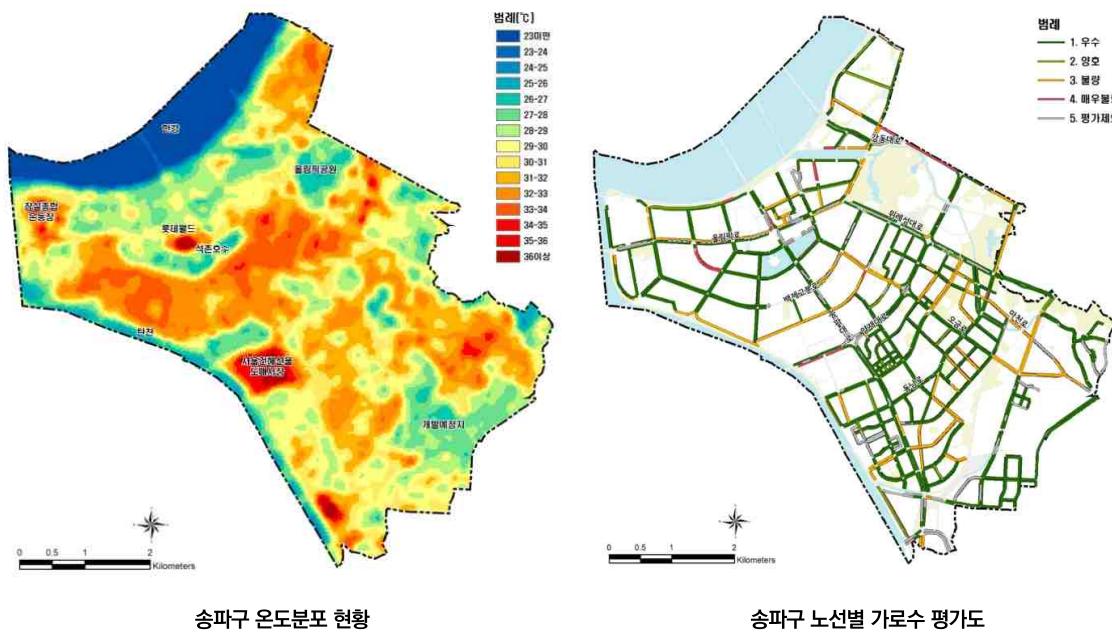


[그림 2-3] 노선별 가로수 관리평가 프로세스

출처: 한봉호 외. (2019). 제2차 가로수 조성·관리 기본계획. 서울특별시. p.192.

② 서울시 송파구 가로녹지 계획 및 관리 현황²³⁾

송파구 가로수 기본계획은 제2차 서울시 가로수 조성·관리 기본계획과의 연속성을 확보하여, 해당계획에서 제시된 가로수 노선 평가, 가로수 식재기준, 가로수 식재수종 등의 기준을 준용하였다. 이에 따라 기본계획 수립 전 단계에서 보도폭, 전선경합 현황, 노면 피해, 수종, 땅녹지 현황, 배치유형, 가로수 생육상태, 전정상태, 수형, 보호시설물 등을 조사하여 노선별 평가를 시행하였다. 또한 송파구의 일반현황 조사 시 도시온도를 분석하여 주요 고온역과 저온역을 도출하였다. 다만 온도분포 분석결과를 직접적으로 계획에 활용하지는 않은 것으로 확인되었다.



[그림 2-4] 가로수 계획을 위한 실태조사 현황

출처: 한봉호 외. (2021). 송파구 가로수 조성관리 기본계획(2회차) 용역. 송파구. p.35, p.88.

송파구의 가로수 평가 결과를 토대로, 제2차 서울시 가로수 기본계획과의 연계성, 제1차 송파구 가로수 기본계획의 한계를 종합하여 제2차 송파구 가로수 기본계획을 수립하였다. 계획방향은 1) 상위계획의 반영을 통한 정합성 구축, 2) 계획도시 가로 특성을 고려한 다양한 가로경관 형성, 3) 기후변화, 가로수 특성 등을 고려한 가로수 기능강화 계

23) 한봉호 외. (2021). 송파구 가로수 조성관리 기본계획(2회차) 용역. 송파구. 내용을 참고하여 작성

획 수립, 4) 시민참여를 통한 지속가능한 가로수 관리시스템 구축 등 4개로 도출하였다. 기본계획의 목표는 ‘송파구의 자연, 문화, 생활을 연결하는 송파 Green Net 조성’으로 설정하고 3개의 핵심전략을 도출하였다.

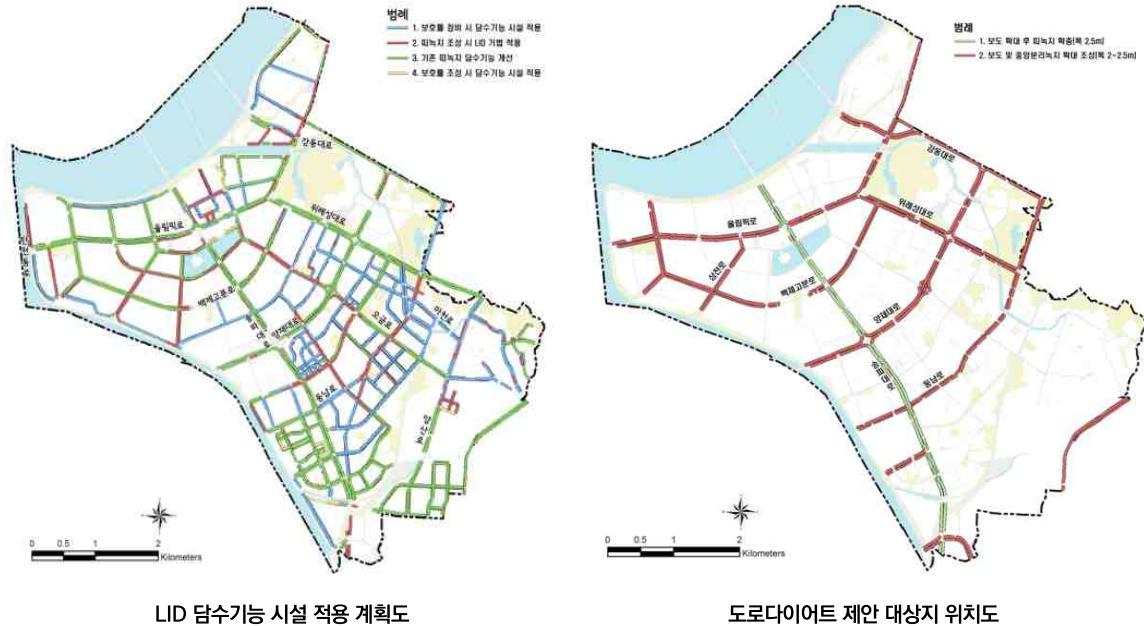
[표 2-8] 송파구 제2차 가로수 기본계획 추진전략

핵심전략	세부추진계획
아름다운 경관의 Green Net 조성 (다양하고 아름다운 가로경관 형성)	<ul style="list-style-type: none">• 가로 특성을 고려한 가로유형 설정• 가로수종 다양화를 통한 다양한 가로경관 조성• 가로 브랜드를 고려한 다양한 유형의 녹지 조성
강화된 기능의 Green Net 조성 (도시환경에 대응 가능한 가로녹지 조성)	<ul style="list-style-type: none">• 도시기후 대응을 위한 생육기반 정비• 도시 물순환을 위한 가로수 보호시설물 및 녹지 정비
지속가능한 Green Net 조성 (시민과 함께하는 지속가능한 가로수 관리)	<ul style="list-style-type: none">• 가로수 관리 체계화를 위한 인벤토리 구축• 가로수 관리를 위한 위탁관리 체계 구축• 시민참여를 통한 가로수 관리 시스템 구축

출처: 한봉호 외. (2021). 송파구 가로수 조성관리 기본계획(2회차) 용역. 송파구. p.84

이를 위한 세부 추진계획으로 가로수 평가 결과에 따라 수종 다양화 및 불량 가로수 교체를 위한 바꿔심기 계획, 식재량 증진을 위한 아교목 사이심기 계획, 띠녹지 조성 및 개선 계획 등을 제시하였다. 바꿔심기 계획 및 아교목 사이심기 계획은 노선별 수종 계획으로 대부분 보도폭원 및 가로경관을 고려하여 선정되었으며, 띠녹지 조성 및 개선 계획의 경우 보도 폭원이 주요 기준으로 작용하였다.

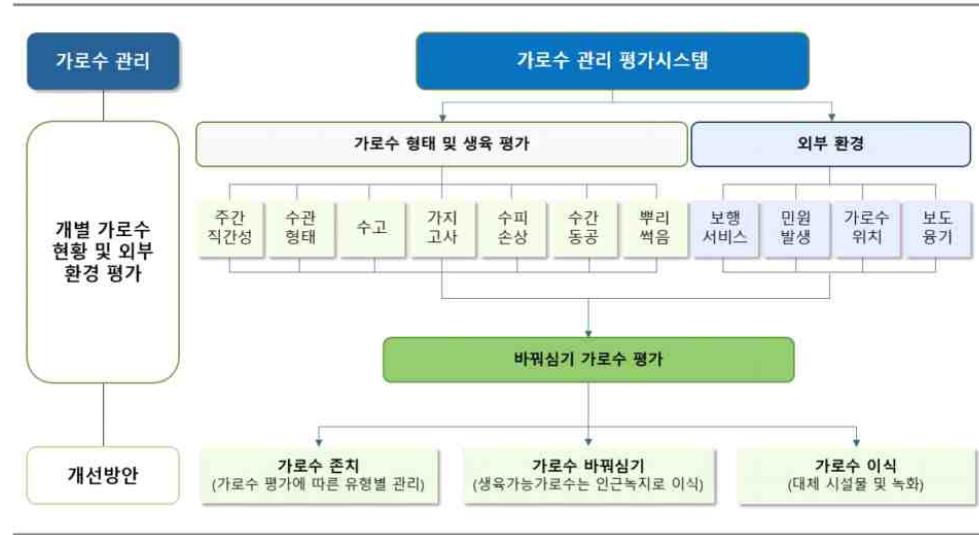
기후변화 대응 관점에서 제시된 세부계획은 ‘LID 기법 적용 계획’과 ‘도로다이어트를 통한 바람길 조성 계획’이 있다. ‘LID 기법의 적용’으로 단기간의 집중강우로 인한 피해를 방지하고 고온 열섬 현장을 완화하는 것이 목적이나, 많은 공사기간과 예산이 소요될 것으로 예상되어 중장기적으로 계획해야 함을 명시하였다. 또한 ‘도로다이어트를 통한 바람길 조성’은 차선 및 차로 폭을 축소하고 보도 또는 중앙분리대를 확장하여 가로녹지를 추가 조성하는 것이다. 다만 이러한 세부계획 역시 각각 ‘폭우대응 물순환 기능 강화’, ‘미세먼지 저감’ 등을 주요 목표로 하며, 폭염대응을 위한 온도저감효과 증대를 목표로 하는 경우는 찾아볼 수 없었다.



[그림 2-5] 기후변화 대응 관점에서 제시된 세부계획
출처: 한봉호 외. (2021). 송파구 가로수 조성관리 기본계획(2회차) 용역. 송파구. p.119, p.121

송파구는 자연환경상 기후변화로 인한 기온 상승, 강수량 감소 및 불규칙한 변동 등의 기후 조건이 가로수 생육에 영향을 미치고 있으며, 서울시에서도 높은 도시온도로 고온역이 형성되는 지역이다. 또한 송파구 시민을 대상으로한 설문조사 결과, 가로수에 대한 관심이 많지는 않으나 그늘 제공이나 대기 정화와 같이 현안과 연계된 가로수 기능에 대한 중요성을 인식하고 선호하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 가로녹지 계획 수립 시, 가로녹지의 온도저감 기능을 최대화하는 방향의 세부계획을 제시할 필요가 있음을 명시하고 있다.

마지막으로 지속적이고 체계적인 관리를 위한 개별 가로수 관리를 위한 평가 시스템을 제시하고 있으며, 주간직간성, 수관형태, 수고, 가지고사, 수피손상, 수간동공, 뿌리썩음의 7가지 항목으로 가로수 형태 및 생육평가를 진행하도록 하였다. 외부 환경에 대한 평가는 보행서비스, 민원발생, 가로수 위치, 보도용기 등 4가지 항목을 제시하였다. 또한 가로수 평가 결과를 통해 가로수 존치, 바꿔심기, 이식 등의 개선방안을 제시하도록 하였으며 개별가로수 DB를 구축하는 방안을 마련하였다.



[그림 2-6] 송파구 개별가로수 관리를 위한 평가 시스템

출처: 한봉호 외. (2021). 송파구 가로수 조성관리 기본계획(2회차) 용역. 송파구. p.122.

또한 노선별 관리체계를 구축하여 기준수형을 개발하고 목표 수형에 따라 개별 가로수를 육성 타입, 유지 타입, 간신 등의 타입으로 구분하고, 병충해 관리 역시 노선별로 체계를 마련하고자 하였다. 관리의 효율성을 도모하기 위하여, 시민참여형 가로수 종합관리 위탁관리 시스템을 운영하고 띠녹지 조성, 시비, 관수, 가로수 생육 점검, 은행나무 열매 관리 등을 중심으로 시민 참여 분야를 검토하였다.

가로수 계획의 추진을 위한 예산을 살펴보면, 2016년에서 2020년까지 지난 5년간 송파구의 가로수 관리예산은 총 62억원 가량 수립되었으며, 띠녹지 정비에 총 예산의 약 46% 가 소요된 것으로 나타났다. 가로수 관리예산 중 송파구의 예산 비율은 29%, 서울시의 예산 비율은 54%로 시 예산의 확보가 가로수 관리계획에서 높은 비중을 차지하는 것으로 확인되었다. 제1차 기본계획의 경우 가로 특성화 및 녹지 조성에 중점을 두었으나, 예산 부족으로 인해 가로수 조성과 간신보다는 일반적인 관리가 주로 추진되었다. 또한 가로수 관리가 산림청에서 지방자치단체로 이관된 이후 산림청의 예산은 기대하기 어려우므로, 시 예산의 적극적인 확보와 자치구의 자체 예산 확충이 필요함을 시사하였다.

③ 울산광역시 가로녹지 계획 및 관리 현황²⁴⁾

울산광역시 도시숲 등 조성·관리계획은 울산의 지역특성을 살릴 수 있는 도시숲 조성·관리 계획 방향을 제시하는 10년간의 장기계획으로, 기존의 관련계획들과 연계하여 정책의 실효성을 제고하였다. 울산의 가로수 기본계획은 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획에 포함되어, 제2차 도시림 기본계획 및 2035 울산 공원녹지기본계획과의 정합성을 유지하여 수립되었다. 울산 도시숲 등 조성·관리계획의 미래상은 “시민과 함께 만드는 숲 속의 행복도시 울산”으로 도출하였으며, 추진전략은 1) 도시숲 네트워크 체계 정립, 2) 도시숲의 양적확대, 3) 도시숲의 질적가치 증진, 4) 가로수 기본계획, 5) 지속 가능한 도시숲 조성·관리기반 구축 등의 5개 전략으로 구성된다.

이 중 가로수 기본계획을 중점적으로 살펴보면, 녹지네트워크 및 가로경관 개선을 위해 기존도로 및 신규도로 13개 노선을 선정하여 약 94km에 대한 계획을 추진하고, 주요 간선도로에 가로수 정비와 보식을 통해 도심지~공단~교외지역을 연계하는 녹색 회랑을 설정하는 것이 계획의 주요 내용이다. 또한, 가로수와 녹지를 중심으로 도심 내 보행로(가든웨이)를 계획하여 보행편의시설 설치, 띠녹지 조성, 가로수 생육환경 개선 등을 통해 정원도시 이미지를 제고하고 정원문화를 확산계획 및 조성하는 데에 목적이 있다.

2020년 12월 기준의 울산시 내부 자료를 활용하여 각 구·군과 협의하여 노선, 구간 명칭과 가로수 수종 및 수량에 관한 사항을 변경한 가로수 기본계획을 수립하였다. 이에 따라 기존 가로수에서 노선 7개소 및 구간 75개소의 명칭이 변경되었으며, 구간 및 수종 변경으로 인해 14개소의 수종을 변경하였다.



[그림 2-7] 울산시 가로수 계획방향

출처 : 울산광역시. (2021). 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획. p.151

24) 울산광역시. (2021). 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획. pp.245-250 내용을 참고하여 작성

가로수 배치와 관련해서는 구체적으로 가로여건을 고려한 가로수 기준 및 설치 가이드라인을 제시하였는데, 가이드라인에서 고려하고 있는 가로여건은 보도 폭원으로, 보도 폭원별 가로수 배치 방안을 제시하고 있다. 배치 유형을 중앙녹지분리대, 1열 식재, 2열 식재, 3열 식재, 관목 및 초화류 식재 등으로 구분하여 식재기준을 마련하였다.

[표 2-9] 가로수 배치 유형별 식재기준

구분	모식도	특징
1열 식재		<ul style="list-style-type: none"> • 도로 이용률이 높고 폭이 좁은 시가지 중심부 • 4m 이하 보도에 수관 폭이 좁은 가로수 품종을 개발하여 식재
2열 식재		<p>병렬식재</p> <ul style="list-style-type: none"> • 보도 폭이 6m 이상 되는 지역 • 제1열은 차도로부터 1m 떨어진 보도 위에, 제2열은 건축선으로부터 2m 이상 이격된 보도 위에 병렬 식재 <p>교호식재</p> <ul style="list-style-type: none"> • 보도 폭이 4.5m~8.0m 되는 지역에 2열 식재
3열 식재		<ul style="list-style-type: none"> • 보도가 넓어 충분한 보행공간을 유지하며, 벤치 등 휴식시설을 설치하여 가로 소공원의 기능을 수행
관목 및 초화류 식재		<ul style="list-style-type: none"> • 가로수와 가로수 사이에 관목과 초화류를 식재하여 녹지 증대 • 식재 후 2~3년간 수분과 양분 공급을 해야 하며, 보행자 및 운전자의 시기 장애가 예상되는 곳에는 50cm 높이로 조성

출처 : 울산광역시. (2021). 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획. pp.222-223.

식재하는 가로수의 규격 기준은 ‘가로수 조성 및 관리규정 고시(산림청, 2013)’, ‘울산광역시 도시림등의 조성 및 관리에 관한 조례(울산시, 2020)’, ‘보도 설치 및 관리지침(국토교통부, 2018)’, ‘자전거 이용시설의 구조·시설 기준에 관한 규칙(행정안전부·국토교통부, 2017)’ 등 수립 당시의 관련 규정을 참조하여 설정하였다고 명시하고 있다.

[표 2-10] 울산광역시 도시림등의 조성 및 관리에 관한 조례에서의 가로수 기준

구분	식재 규격	비고
광로·대로 또는 보도폭 5미터 이상의 도로	흉고직경 12cm 이상 근원경 15cm 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 광로·대로·중로·소로의 구분은 「도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 제9조 제2호의 규모별 구분에 따른다.
중로·소로 또는 보도폭 5미터 미만의 도로	흉고직경 10cm 이상 근원경 12cm 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 위에서 규정한 크기 이상의 가로수 식재 등이 불가피한 경우에는 시장의 승인을 받아야 한다.

출처 : 울산광역시. (2021). 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획. p.224

또한 중앙녹지분리대를 확보하여 야간 주행 시 눈부심 방지, 시선 차단, 아름다운 경관 조성 등을 기대하고 있으며, 도로 신설 시 최소 3.0m 이상의 중앙분리대를 도입하여 가로환경을 개선하도록 하였다.

가로수 관리 개선계획은 유지관리 방안, 재해관리 방안, 기타 관리 방안으로 구성된다. 가로녹지 유지관리 사항은 1) 공단 및 외곽지역 등 관리 소홀 가로수 정비, 2) 가로수 단 절구간 및 고사목 보식, 3) 가지치기, 노후가로수 정비, 가로수 뿌리로 인한 문제 정비, 4) 은행나무(암나무) 교체를 주요 골자로 한다. 이를 위하여 매년 5월과 11월에 정기적으로 가로수 위험목 진단평가를 실시하여 가로수의 위험성을 확인, 평가, 경감, 관찰하도록 하였으며, 가로수 유지관리사업에는 가로수 전정, 병충해 방제, 토양 시비, 관수, 바꿔심기 및 메워심기, 월동관리, 부산물 처리, 제초 등이 포함된다.

또한 이상기후 및 국지성 호우로 인한 침수피해에 대처하기 위하여 저영향개발기법(LID)을 적용하고, 태풍 등에 의한 가로수의 도복 등 풍해 예방을 위하여 바꿔심기 및 메워심기, 생육환경 개선사업, 가지치기, 가로수 관리시설물 설치 등을 실시하였다. 또한 탄소흡수를 고려하여 연간 탄소 저장량이 지속적으로 많은 은행나무, 느티나무, 벚나무 등을 식재하고 소나무 및 스트로브잣나무 등 탄소저장량이 적은 수종은 필수적인 공간을 제외하고 식재를 지양하도록 하였다. 이렇듯 장기적인 관점에서의 기후변화 대응방안으로 가로녹지를 활용하고자 하나, 이 중 가로녹지의 온도저감 기능을 고려한 폭염대응 계획은 없는 것으로 확인되었다.

가로수의 개별 수목에 대한 정보를 구축하고 관리 및 예산 효율화를 위하여 주민참여 관리방안, 민간협력을 통한 후원사업 추진방안 등을 제시하고 있다. 지자체가 민간기업과 협력하여 교체 및 이식에 대한 후원 사업을 진행하여 사회공헌을 실현함으로써 수목을 보전하고 가로수 이식에 대한 예산절감을 실현하고자 하였다. 또한 개별 수목에 대한 정보를 DB화하여 가로수 현황 파악, 관리, 공사관리, 통계자료 작성 등을 수행할 수 있는 통합정보 시스템 구축을 계획하였다.

가로수를 포함한 도시숲 등의 조성관리계획의 실현과 체계적 관리를 위해 연차별 추진 및 투자계획을 수립하였으며, 도시숲 등의 조성에는 2022년부터 2035년까지 총 1,115 억원의 예산계획이 산출되었으며, 가로수 조성에는 약 174억원의 예산 확보가 필요함을 산출하였다. 대규모 민간투자에 의한 개발이 불가능한 사업의 특성상 공공재원 및 자체재원의 확보를 통해 계획을 추진하고자 하며 재원 확충방안은 다음과 같이 제시하고 있다.

[표 2-11] 울산시 중앙정부 및 자주재원 확보방안

구분	내용
국토교통부	<ul style="list-style-type: none"> • 녹색건축센터지원 • 도시재생사업 • 국토환경디자인 시범사업 지원
행정자치부	<ul style="list-style-type: none"> • 전국 자전거도로 네트워크 구축
문화체육관광부	<ul style="list-style-type: none"> • 문화시설 확충 및 운영 • 폐산업시설 문화재생사업(산업단지, 폐산업시설)
그린뉴딜사업(중앙정부)	<ul style="list-style-type: none"> • 산림복원 • 숲가꾸기 • 학교숲조성사업 • 바람길숲조성사업 • 미세먼지차단숲조성사업 • 기후대응기금
산림청	<ul style="list-style-type: none"> • 산림복원 • 숲가꾸기 • 학교숲조성사업 • 바람길숲조성사업 • 미세먼지차단숲조성사업 • 기후대응기금
농림수산식품부	<ul style="list-style-type: none"> • 농어촌 테마공원 조성사업
산업통상자원부	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 보급지원
환경부	<ul style="list-style-type: none"> • 습지보전관리 • 국토생태 네트워크 구축 • 생태관광자원 이용기반 구축
지방세제의 신축적 운영	<ul style="list-style-type: none"> • 과세표준 및 세율조정 • 비과세 및 세금 감면 축소 • 탄력세율제도의 활용 • 법정외세의 활용
자주재원 확충	<ul style="list-style-type: none"> • 광고세 • 환경보전세 • 관광세 • 기타오락시설 사용세, 도로사용세 등
신세원 발굴	<ul style="list-style-type: none"> • 도로사용료 등 부과 • 공공시설 이용료 현실화 • 각종 부담금 징수교부금 상향 조정 • 증지수수료 현실화
세외수입 증대	<ul style="list-style-type: none"> • 지방채 발행의 활성화 • 지방공기업 및 지방공영개발 사업의 활성화 • 은닉재산의 색출 및 수익자분담금 등 징수 확대
지방채 발행 등 기타세입 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 지방채 발행의 활성화 • 지방공기업 및 지방공영개발 사업의 활성화 • 은닉재산의 색출 및 수익자분담금 등 징수 확대

출처: 울산광역시. (2021). 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획. pp.245~250

④ 대구광역시 가로녹지 계획 및 관리 현황

□ 대구광역시 가로수 기본계획²⁵⁾

대구광역시는 수목의 양적인 증대와 함께, 생태통로나 녹지축, 가로경관의 이미지 창출, 통행안정성 확보 등 도시환경의 질적 증대를 목표로 가로수 기본계획을 수립하였다. 2016년 수립된 '2030년 대구광역시 가로수 기본계획'의 목적은 1) 가로수의 양적·질적 수준의 유지 및 증진방안 제시, 2) 장기적인 대구광역시 가로수 기본계획 수립, 3) 가로경관의 개선으로 친환경 녹색도시 조성이다.

대구시는 가로수 증대를 통한 여름철 기온 저감, 대기오염물질 흡수, 도시 가로미화 및 경관조성 등의 효과를 경험한 바 있으며, 가로수 기본계획 수립 시에도 여름철 온열 기후를 고려하고자 하였다. 1995년에서 2015년의 20년 동안 대구시의 가로수는 253% 증가하였으며, 은행나무, 느티나무, 양버즘나무 등 풍부한 녹음을 제공하는 3개 수종이 약 60%의 점유율을 차지하고 있다.

[표 2-12] 대구시 5년간 가로수 수종, 수량 비교표

구분	2010년 (35종)		2015년 (37종)	
	수량	비율(%)	수량	비율(%)
은행나무	47,341	25.98	51,954	24.34
느티나무	38,525	21.14	46,072	21.58
양버즘나무	33,318	18.28	30,916	14.48
벚나무류(왕벚)	20,802	11.42	26,009	12.18
이팝나무	9,967	5.47	17,467	8.18
종국단풍	8,385	4.6	8,367	3.92
배롱나무	5,311	3.02	5,654	2.65
대왕참나무	1,183	2.91	3,657	1.71
청단풍	-	-	3,338	1.56
회화나무	2,596	1.42	2,809	1.32
칠엽수	1,192	0.88	2,756	1.29
단풍나무류	5,510	0.74	2,650	1.24
메타세콰이어	1,604	0.65	2,391	1.12
백합나무(목백합)	1,357	0.65	2,367	1.11
기타	5,142	2.44	7,058	3.32
합계	182,233		213,465	

*기타수종 : 팽나무, 은단풍, 히말라야시다, 무궁화, 산벚나무, 자엽자두 외 17종

출처: 대구광역시. (2016). 2030년 대구광역시 가로수 기본계획. p.18

25) 대구광역시. (2016). 2030년 대구광역시 가로수 기본계획을 참고하여 작성

대구광역시는 가로수의 수종 선정 및 배치 계획 시, 풍부한 녹음의 제공을 중점 사항으로 고려하고 있음을 확인할 수 있다. 신규사업의 신설도로에 식재하는 가로수의 수종을 선정할 경우, 광로 및 대로에는 생장이 빠르고 지엽이 치밀한 수종을 위주로 식재하여 하절기에 풍부한 녹음을 제공할 수 있도록 함과 동시에 꽃을 볼 수 있는 띠녹지를 함께 계획하고, 소로 및 중로에는 꽃을 볼 수 있는 가로수를 식재하도록 하여, 계획 당시부터 녹음의 제공을 목표로 하고 있음을 알 수 있다.

구체적으로는 보도환경에 따른 식재계획을 수립하여 인도 폭원에 따른 식재 계획을 구분하고, 띠녹지 확대로 생육환경 개선 및 보행자 보호 계획을 마련하였다. 평균기온 상승 등 기후변화가 진행됨에 따라 일부 구간에 난대성 수종(종가시나무, 홍가시나무, 호랑가시나무, 피라칸사, 은목서 등) 도입을 검토하여 기후변화에 대응하고자 하였다.

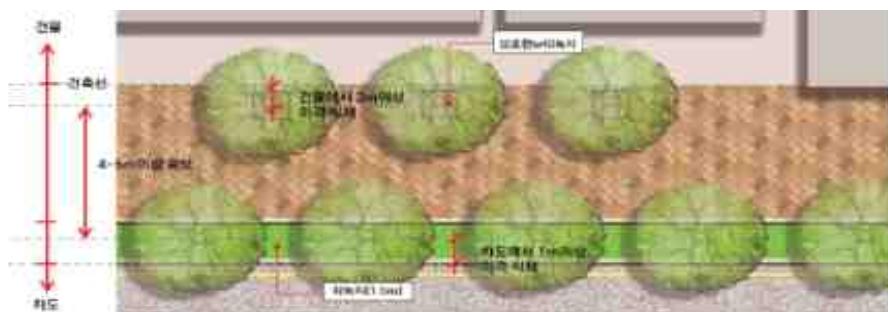
[표 2-13] 대구시 보행환경 현황 및 계획

구분	보도 폭 6m 이상	보도 폭 4~6m
현황	<ul style="list-style-type: none"> 단열심기 + 관목, 초화류 띠녹지 	<ul style="list-style-type: none"> 단열심기 + 관목, 초화류 띠녹지
계획	<ul style="list-style-type: none"> 가로수 2열 식재 + 띠녹지 가로녹지 내 관목 초화류 식재 	<ul style="list-style-type: none"> 가로수 식재 + 띠녹지 가로녹지 내 관목 식재
모식도		
구분	보도 폭 3~4m 이상	보도 폭 3m 미만
현황	<ul style="list-style-type: none"> 가로수 단열심기 	<ul style="list-style-type: none"> 가로수 단열심기
계획	<ul style="list-style-type: none"> 가로수 식재 + 띠녹지 가로녹지 내 관목, 초화류 등 한 종류 식재 	<ul style="list-style-type: none"> 식재 시 식수대를 가로로 2m + 숨틀 설치
모식도		

출처 : 대구광역시. (2016). 2030년 대구광역시 가로수 기본계획. 참고하여 정리

가로수 관리 측면에서 생육환경 개선을 위해 가로수보호시설 설치, 토양환경 개선(쉼틀), 가로시설물과의 경합 최소화, 수종별 가지치기 구분 등의 방안을 마련하였다. 대구 시에서는 전자태그를 이용한 가로수 관리 시스템을 도입하여 고사, 기형화 등 피해가 있는 개별 가로수에 대한 생육 정보를 파악하고 있으며, 가로수 관리 대장을 전산화하여 담당자나 가로수 관리 업체 변경 시 문제점을 해소하고자 하는 등 효율적인 관리를 위한 전산화를 지속적으로 추진하고 있다. 또한 '반려식물' 개념을 도입하고, 전정강습회 개최, 생태교육 등 시민이 참여하여 가로수를 운영하는 방안을 검토함으로써 관리와 예산의 효율성을 증대하고자 하였다.

대구시 가로수 기본계획은 장기적인 관점에서 지속가능한 도시환경 조성을 위해 가로수에 대한 적합한 식재 및 적절한 관리 방안을 마련하는 것을 목표로 하였다. 특히 대구 내 풍부한 녹지율 증대를 주요 목적으로 두고 가로녹지량 증진 방안, 생육환경 개선, 가로수 관련 제도개선 방안을 제안하였다. 녹지량 증진계획에는 가로숲 계획, 보도폭원에 따른 가로수 계획, 생육환경 개선을 중심으로 한 띠녹지 증진계획 등이 포함되며, 보도 폭에 따른 식재 위치와 유효폭이 명시되어 있고, 보도위 가로수 나무터널 구축방안, 이면도로 가로숲 조성방안 등을 제시하고 있다. 다만 녹지 소외가로에 대한 구체적인 진단 방안과 이를 바탕으로 가로수를 계획·조성하는 부분은 확인할 수 없었다.



[그림 2-8] 가로 나무 터널 설계 방안

3. 소결

본 연구의 목적은 점점 뜨거워지는 여름철에 도시민에게 직접적인 온도저감효과를 제공할 수 있는 가로녹지에 대한 효율적이고 합리적인 계획방안을 제시하고, 이와 같은 가로녹지 계획이 원활하게 실현될 수 있는 제도적 근거를 마련하는 것이다. 이에 따라 본 장의 1절에서는 가로녹지와 관련하여 국내의 관련 법·제도 및 법정계획 등을 살펴보았다. 가로녹지와 관련한 주요 법·제도는 가로수(띠녹지)에 대한 「도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률」, 시설녹지에 대한 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」, 대지의 조경, 공개공지 등에 관한 「건축법」이 있으며, 각 법령의 하위규칙과 지자체 조례를 살펴보았다.

또한 본 장의 2절에서는 가로녹지 중에서 공공공간인 도로에 조성되며 가로공간과 가장 밀접한 관련이 있는 가로수의 계획 및 관리체계에 대하여 구체적으로 살펴보았다. 가로수의 경우 지자체가 조성 및 관리 주체이기 때문에, 관련 지자체 조례인 ‘가로수 조성 및 관리에 관한 조례’와 ‘도시숲 등 조성 및 관리에 관한 조례’를 살펴보았다. 또한 가로수에 대한 기본계획을 별도로 수립하고 있는 서울시, 대구시, 울산시, 그리고 서울 송파구의 기본계획 내용을 심층적으로 분석하였다.

□ 녹지네트워크 조성 중심의 가로녹지 계획

기후위기 대응 관점에서 가로녹지에 대한 기준을 명시한 경우는 도시숲법과 관련 기본 계획인 도시숲등의 조성 및 관리에 관한 기본계획이다. 도시숲법의 목적으로 미세먼지 저감 및 폭염 완화 등으로 생활환경을 개선하고자 함이 명시되어 있으며, 이에 따른 기본계획에서도 이러한 정책목적을 달성하기 위한 다양한 전략을 제시하고 있다. 다만 ‘제2차 도시림 기본계획’을 살펴보면, 가로수 등의 가로녹지는 주변 녹지 또는 도시숲을 연결하는 생태네트워크로서 계획하거나, 폭염대응의 관점보다는 미세먼지 저감의 관점에서 다뤄지고 있음을 확인하였다.

또한 공원녹지기본계획의 내용을 살펴보면, 도시전체의 녹화에 초점을 두고 녹지공간을 조성하는 방안이나 계획에 대한 내용을 중심으로 지역의 전반적인 녹지소외 해소에 초점이 맞춰져 있다. ‘공원녹지기본계획’ 수립 시 가로수계획을 수립하도록 되어 있으나 ‘가로수의 경관효과, 가로의 정체성, 효과적 관리’ 등에 중점을 두고 있는 것으로 나타났다.

□ 가로공간의 통합적인 맥락에 대한 고려 부족

앞서 선행연구 검토 결과, 가로공간에는 가로수 뿐만이 아니라 시설녹지, 건축물 전면부에 위치하고 있는 공개공지 및 대지의 조경시설 등에 의해 열환경이 조성됨을 알 수 있다. 본 연구에서는 가로녹지의 법적 시설들인 가로수, 시설녹지, 공개공지, 대지의 조경에 대하여 살펴보았으나 서로 연계하여 조성되지는 못하는 것으로 나타났다. 가로수의 경우 한정된 보도 공간에 조성하는 시설이기 때문에 각 도로의 여건에 따라 가로공간을 쾌적하게 만들기 위한 충분한 양을 제공하지 못할 가능성이 높기 때문에, 이러한 가로녹지 시설들 간의 연계조성이 필요함에도 불구하고 다수의 조례 또는 기본계획에서도 이러한 내용을 찾기 어려웠다.

또한 가로공간의 열환경에는 가로녹지 뿐만이 아니라 가로공간을 구성하는 건물, 도로 등 다양한 물리적 환경요인이 있으나, 관련 계획 수립 시 이에 대한 고려는 부족한 것으로 나타났다. 지자체의 기본계획에서는 보다 구체적으로 가로수의 조성방안을 마련하고 있었으나, 해당 경우 역시 보도의 폭원에 따른 배치유형을 제시하고 있으며 좀 더 구체화된 경우에도 주거지역, 상업지역 등을 구분하여 제시하는 정도임을 확인하였다. 이는 가로를 구성하는 물리적환경에 따라 같은 양과 형태의 가로녹지가 조성되어 있더라도 가로의 열환경이 달라질 수 있음을 고려하지 못하고 있는 상황으로, 보다 쾌적하고 시원한 가로공간을 조성하기 위해서는 이러한 가로공간의 맥락을 통합적으로 고려할 필요가 있음을 시사한다.

□ 가로녹지의 온도저감기능을 고려한 구체적인 조성·관리 기준 부재

가로녹지의 식재지역 및 식재위치, 배치형태 등에 대한 기준을 살펴본 결과, 시설녹지와 공개공지, 대지의 조경의 경우에는 포괄적인 기준만 제시되어 있음을 확인하였다. 가로수의 경우에도 보다 구체적인 규정이 제시되어 있으나, 대부분 보도 폭을 기준으로 하여 식재 크기를 제시하거나 1열식재, 2열식재, 띠녹지 설치 등 배치 유형에 대한 규정을 마련하고 있는 것으로 확인되었다. 이는 가로수가 식재되는 식재대의 경우 약 1m의 폭원이 필요하며 보도의 유효폭 기준이 2.0m이기 때문에, 보도의 폭원에 따라 가로수를 식재할 수 있는지의 여부를 기준으로 마련된 규정인 것으로 보인다.

또한 현재 가로수 계획의 경우, 녹지 관리를 위해 생육에 초점을 맞추고 기본계획을 수립하여 가로수가 장기적으로 주는 혜택에 대한 고려는 미비한 실정이다. 현재 수립되는 가로수관련 계획의 경우에도, 전체적인 녹지율 증대가 주를 이루고 있어 실질적인 온도 저감을 이끌어 낼 수 있는 계획이나 관리방안은 부재한 상황이다. 또한 산림청(2020)에

서 배포한 ‘가로수 조성·관리 매뉴얼’에서는 교통섬 및 횡단보도 주변에 그늘을 제공할 수 있는 녹음수를 식재하도록 제시하고 있으나, 일반적인 가로공간에 대한 수종선정기준, 식재기준 등에서는 가로수의 온도저감기능 등을 고려하기보다는 도로의 특성과 가로수의 생육에 초점을 맞추고 있는 것을 확인할 수 있다. 가로녹지와 관련된 지자체 조례를 살펴보면 도로의 폭원별 가로수 크기를 정하고 있는 지자체가 7곳이 있으나, 이 역시 가로수의 그늘제공 효과 등을 고려한 수관폭 관련 기준은 없는 것으로 나타났다.

이처럼 가로녹지의 규격 및 배치 등에 관한 기준은 대부분 가로수의 생육에 초점을 맞추고 기본계획을 수립하여 가로수가 장기적으로 주는 혜택에 대한 고려가 미흡하고 녹지율 증대가 주를 이루고 있어 실질적인 온도저감을 이끌어 낼 수 있는 계획이나 관리 방안이 미비하다. 향후 가로녹지 계획에는 기후변화 대응을 위해 병안으로 가로녹지가 조성되기 때문에 열저감 효과 및 열쾌적성 효과 증대를 위한 구체적인 배치전략, 생장 목표, 그늘의 크기등에 대한 명시가 필요하다.

또한 폭염 적응을 위한 가로녹지 계획은 실제 혜택을 받을 수 있는 보행자를 중심으로 일상적 접근성을 높일 수 있는 공간범위의 계획수립이 필요하다. 따라서 폭염에 대응하여 여름철에도 보행 및 외부활동을 활성화하기 위해서는 가로녹지를 활용한 보도의 그늘 형성 방안에 대한 고려가 필요하며, 가로수 하나가 특정시간대에 만들어내는 그늘의 크기나 양등을 제시하여, 그늘 사각지대가 없도록 조성방안을 모색할 필요가 있다.

제3장 도시 열환경에 대한 가로녹지 영향 분석

-
1. 미시적 열환경에 대한 가로환경 및 가로녹지 영향 분석
 2. 가로유형별 현장 실태 조사
-

□ 분석의 배경과 목적

본 연구는 폭염이 계속하여 증가할 것으로 예상되는 상황에서, 가로녹지의 온도저감 효과를 극대화 할 수 있는 계획전략을 마련하여 궁극적으로는 보다 시원하고쾌적한 가로 공간을 조성하고자 함에 목적이 있다. 가로공간의 열환경은 가로녹지 뿐만이 아니라, 주변 건축물, 도로, 녹지 등 다양한 물리적 요소들로부터 영향을 받으며, 이에 따라 같은 양과 형태의 가로녹지를 배치하더라도 더 덥거나, 더 시원한 곳이 나타난다.

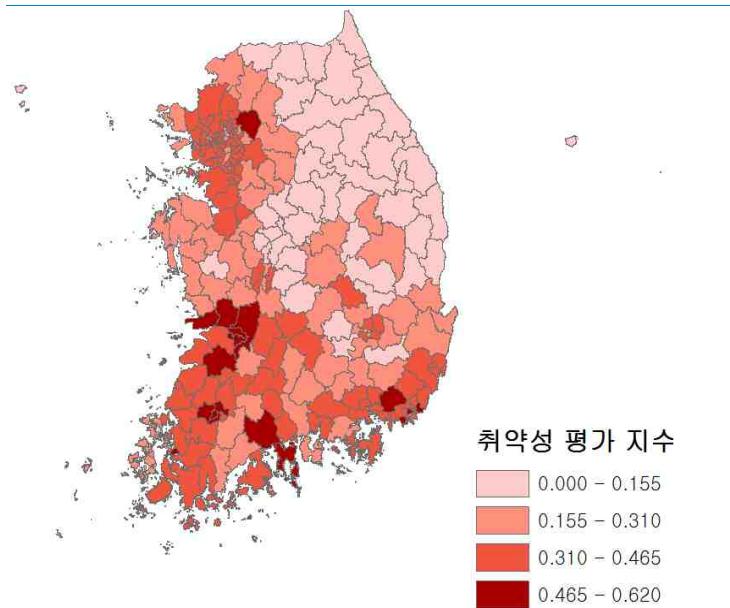
본 장에서는 이러한 가로공간의 열환경에 영향을 미치는 가로환경과 가로녹지의 특성들이 무엇인지를 살펴보고자 한다. 세부적으로는 먼저 가로공간의 열환경에 영향을 미치는 요인 분석을 수행하였다. 선행연구검토 및 GIS 분석을 통하여 가로를 구성하는 주요 물리적 요소와 가로녹지의 특성이 열환경에 미치는 영향을 고찰하고, 상관관계분석과 다중회귀분석을 통하여 가로의 열환경에 주요한 영향을 미치는 요인을 살펴보았다. 다음으로, 열환경에 주요한 영향을 미치는 요소를 종합하여 가로유형을 분류하고, 가로 유형별 현장실태를 조사하였다. 열화상카메라를 이용한 온도데이터 수집을 통하여, 가로녹지가 보행자의 열쾌적성에 미치는 영향을 직관적으로 확인하고 통계분석 결과를 검증하였다.

1. 미시적 열환경에 대한 가로환경 및 가로녹지 영향분석

1) 미시적 규모의 도시 열환경 분석 개요

① 분석 대상지 선정

본 장의 분석 결과를 바탕으로 실효성 있는 가로녹지 계획전략을 도출하기 위하여, 가로녹지 계획·조성의 주체인 기초지자체 단위로 대상지를 선정하여 분석하고자 하였다. 먼저, 기초지자체 중 폭염취약성이 높은 지자체를 우선적으로 고려하였다. 환경부(2018)의 전국 기초지자체 대상 폭염 취약성 지수를 참고하여, 취약성 평가 지수가 0.310 이상인 기초지자체를 선정하였다.



[그림 3-1] 전국 지자체의 폭염 취약성 지수

출처 : 환경부. (2018). 폭염대응, 기후변화 적응 관점에서 지역별 여건과 역량 고려돼야. 8월 1일 보도자료

폭염 취약성 평가 지수가 0.310이상인 지자체 중에서, 분석의 효율성과 합리성을 고려하여 지자체의 인구 및 도시 면적, 도시 구성형태 등을 검토하였다. 기초지자체 중에서 광역시의 구단위 지자체의 경우 행정구역상 위계에 따라 도시구조, 도시 운영방식, 예산과

인구밀도 등이 다르므로 제외하였다. 또한 도시 면적 대비 인구밀도가 낮은 군단위 지자체 역시 제외하였고, 시 지역 중에서 인구 30만 이상인 지자체를 도출하였다. 마지막으로 대상지 분석 시 다양한 물리적 환경을 고려하기 위하여 구도시지역과 신도시지역이 혼재되어 있는 곳 중, 분석 범위를 고려하여 도시 면적이 200㎢이하인 곳을 선정하였다²⁶⁾.

이와 같은 기준에 따라 분석 대상지 후보군을 도출한 결과, 경기도 광명시, 의정부시, 부천시, 성남시, 수원시, 시흥시, 안산시, 안양시, 의정부시, 전라북도 전주시로 확인되었다. 이 중 본 연구의 주요 목적인 가로녹지의 온도저감 영향을 면밀하게 검토할 수 있도록 개별 가로수에 대한 데이터가 구축되어 있는 의정부시를 분석대상지로 선정하였다.

② 분석 데이터 구축

□ 분석 데이터 선정을 위한 선행연구 검토

가로공간의 열환경 영향 요인을 분석하기 위하여, 먼저 선행연구 검토를 통해 분석 데이터를 선정하고자 하였다. 선행연구 검토 결과에 따라 변수들은 주변 건물, 도로, 공원 등 면적 녹지 시설 등 열환경에 영향을 미치는 공간적 특성과 가로녹지의 특성으로 구분하여 도출하였다.

- 도시의 공간적 특성에 따른 온도분포 영향

Marzban, Preusker(2018)은 LST(원격 감지 지표 온도)와 베를린의 20개 기상관측소에서 측정한 온도(T2m or Tair), NDVI(정규식생지수)와의 상관성을 분석하였다. 서로 다른 토지이용 및 토지피복에 대하여 각각의 분석을 수행하였으며 토지피복유형은 Urban, Industrial, Forest, Needleleaftrees, Airport, Agriculture의 6개로 분류하였다. 분석에는 계절과 주간, 야간이 모두 고려되었으며, 통계분석 결과를 통하여 각각의 변수들이 유의하게 상관성이 있음을 보였다.

Yue et al.(2007)은 중국 상하이 시에서 서로 다른 토지이용 유형들에 대하여 LST와 NDVI 값의 상관관계를 분석하였다. 토지의 용도분포는 Industrial, Transportation, Commercial and services, Residential, Park or green land, Agriculture, Water bodies, University, CBD, Vacant or on building으로 분류하였으며 토지 피복 유형에 따라 LST와 NDVI의 관계가 상이함을 밝혔다.

26) 기초지자체 인구수와 총면적은 국가통계포털의 데이터를 참고하였다. 국가통계포털. (2022). 가구형태별 가구 및 가구원. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1JC1501&conn_path=I3(검색일: 22.10.05); 국가통계포털. (2022). 지역별 토지현황. https://kosis.kr/statHtml/statHml.do?orgId=110&tblId=DT_11001N_2013_A006&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=110_11001_006_02&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do(검색일: 22.10.05)

Maimaitiyiming et al.(2014)은 도시 녹지공간의 공간패턴을 일반적으로 발생하는 세 가지 조경 메트릭(조경비율, 가장자리밀도, 패치밀도)을 이용하여 나타내고 이를 이용하여 지표면 온도에 대한 녹지 구성 및 분포의 영향을 분석하였다. 조경비율은 녹지 공간의 비례 존재량을 의미하고 가장자리밀도는 녹지공간 테두리의 총 길이, 패치밀도는 전체 조경 공간에 대한 녹지의 개수를 의미한다. 분석 결과는 녹지 분포가 지표면 온도에 미치는 영향을 보여주며 이를 토대로 도시 계획 및 개발에서 녹지 구성의 최적화가 중요함을 주장하였다.

Zheng et al.(2019)은 도시에서 수직적 차원의 효과를 확인하기 위하여 베이징 중심지의 주거 경관에 초점을 맞추고 건물의 수직구조와 LST 사이의 관계를 정량화하였다. 고 해상도 이미지를 이용하여 건물높이, 건물과 초목의 면적 비율을 매핑하여 분석 자료로 활용하였으며 분석 결과는 건물 높이가 LST에 가장 중요한 변수임을 나타내었다.

Morabito et al.(2016)은 이태리의 도시지역을 대상으로 건축물 표면과 도시 열 환경 간의 관계에 대한 분석을 수행하였다. 건축물 표면은 5m 급의 해상도를 가진 영상을 이용하여 획득되었으며 건축물 표면으로 분류되는 지역에는 주택, 도로, 산업 및 상업지역, 레크리에이션 공원, 건설현장, 도로, 철도, 광산 등이 포함된다. 분석 결과는 도시지역의 지속적인 확장에 따른 도시 열 변화의 부정적인 영향을 시사하였다.

Liu et al.(2020)은 지역 도로망과 도로 인접 지역의 LST의 관계를 분석하였다. 고속도로와 일반도로에 대하여 분석을 수행하였으며 LST에 대한 영향 범위는 도로축으로부터 고속도로는 180m, 일반도로는 150m 거리까지 영향력이 존재하며 거리 증가에 따라 영향 정도가 점점 감소함을 확인하였다.

- 가로녹지와 도시 열완화와의 관계

최근 여러나라에서 기후변화로 인한 이상기후가 가시적으로 나타나면서 도시의 열 완화와 기후변화 대응을 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 선행연구들에서는 건축물의 배치, 포장재, 조경 환경 등 온도 변화에 영향을 미칠 수 있는 요인을 파악하고, 개선 안을 제안해왔다. 그 중 녹지의 경우, 여름철에는 온도를 식히는 요인으로 주목 받아 많은 나라와 지자체에서 녹지 확대를 위한 움직임이 활발하게 이뤄지고 있다. 대표적으로 나무는 그늘을 제공하여 다른 녹지보다 냉각효과가 크고(Skelhorn et al, 2014) 이는 복사온도를 저감시킨다(Coutt et al, 2016). 그래서 다양한 연구에서 나무가 도시 미기후에 긍정적인 영향을 미치는 결과는 지속적으로 보여주고 있다(Shashua-bar Hoffman, 2000; Zardo et al, 2017, Zhang et al. 2018, Park et al., 2019, Aboelata,

Sodoudi, 2020; Wang et al. 2020).

녹지와 온도저감간의 관계를 분석한 선행연구는 크게 지표면 온도와 녹지와의 관계분석을 통해 영향요인을 도출한 연구와 다양한 식재 시나리오 기반의 대기온도 시뮬레이션 연구로 구분할 수 있다. 선행연구에서 고려한 가로녹지와 연관된 요인들은 크게 가로녹지 특성과 가로녹지 주변의 공간적 특성으로 구분할 수 있다. 가로녹지 특성은 식재의 크기, 수종, 배치형태, 식재의 유형 등이 포함되며 공간적 특성은 토지피복 유형, 용도, 건축물의 높이, 도로 너비, 방위 등이 포함된다.

- 가로녹지 특성에 따른 온도저감 효과

나무의 크기와 모양은 빛에 의해 형성되는 그늘의 크기와 모양을 결정하기 때문에 식재를 통해 온도저감 효과를 극대화 하기 위해서는 많이 고려해야하는 요소 중 하나이다. 그래서 식재와 도시 미기후 혹은 보행자의 열쾌적성간의 관계를 분석한 선행연구들에서도 연구의 대상으로 많이 활용되었다. 연구들은 특정 수목의 생장시나리오에 따라 온도저감 효과를 분석하거나 가로에서 수목의 종류를 달리해서 온도저감 차이를 분석했다. 전자의 경우, 수종 크기나 양에 따른 차이를 살펴보기 위해 시뮬레이션 분석방안을 주로 활용했으며, 수종에 따른 차이는 시뮬레이션분석이나 현장실측결과를 활용하였다.

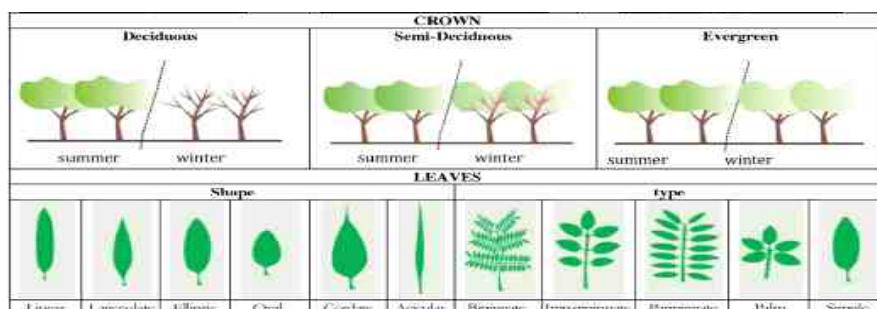
전자에 대한 연구를 살펴보면 다음과 같다. Park et al.(2018)는 나무가 있는 가로에서 건물과 나뭇잎의 밀도에 따른 MRT의 변화를 살펴보았다. 그들은 나무 특성의 경우, 높이와 잎의 밀도에 변화를 주면서 분석하였다. 가로수 잎의 밀도는 15m인 가로수에서 LAD(Leaf Area Density)가 전체적으로 1인 상황과 높이에 따라 밀도가 낮은 상황으로 가정해 분석되었다. 그 결과, LAD가 클수록 MRT가 감소했으며, 이는 나무 높이 시뮬레이션에도 유사하게 나타났다. 그들은 연구 결과를 통해, LAD의 경우 나무의 종과 식재간의 간격에 따라 통제될 수 있는데, 밀도가 높은 잎을 가진 나무 종과 식재간의 간격이 좁을수록 LAD가 더 커져서 MRT가 낮아질 것이라 보았다.

Park et al.(2019)는 나무 크기와 나무간의 간격이 보행자 MRT를 얼마나 감소시키는지 분석하였다. 그들은 9개의 시나리오(나무 없음 + 4개의 나무 크기 × 2개의 거리 크기)를 바탕으로 시뮬레이션 분석을 수행했다. 식재의 성장에 따라 수관폭이 달라지면서 나무사이 간격이 좁아지게 되는데, 나무 사이의 간격이 줄어들수록 MRT가 크게 감소하는 것으로 나타났다. 나무 중심들 간의 거리가 동일할 경우, 가장 큰 크기의 나무들로 실험한 결과가 가장 작은 크기에 비해 23.5K더 감소시키는 것으로 나타났다. 그들은 이 연구결과를 통해 나무의 크기를 고려하여 나무사이의 적절한 간격을 선택하는 것이 중요하다는 것을 시사했다.

이와 유사하게 식재의 크기와 배치에 따른 연구를 수행한 Lee, Mayer(2021)는 식재의 양도 함께 살펴보았다. 그들은 높이 13m, 수관폭 7m의 식재를 간격 25m로 3개씩 식재하는 경우와 5개의 나무를 12.5m의 간격으로 식재하는 경우, 높이 9m, 수관폭 5m 식재를 13m나무와 동일가격으로 식재한 경우로 구분하여 연구를 진행하였다. 그 결과, 예상과 유사하게 나무의 크기로 볼 경우, 큰 경우가 나무를 식재하지 않은 상황보다 온도가 낮았으며, 동일 크기 내에서는 양이 많을 경우가 더 큰 변화를 보여주었다.

Zhang et al(2018)는 주거지역을 대상으로 수종의 분포와 양이 여름과 겨울철에 어떤 영향을 주는지 파악하고자 하였다. 이를 위해 대상지내 대표적인 8개 수종을 바탕으로 대상지 전체적으로 나무 덮개 비율은 동일한 조건으로 수종별 높이를 고려하여 나무의 종횡비(수고 대비 거리)로 식재간격을 조정하였다. 그 결과 대상지 전체적으로 배치시킨 시나리오가 가장 온도 변화가 컸으며 이는 나무 수관폭에 따른 중첩 비중이 최소화되면서 실제 나무 덮개 비율이 가장 크기 때문에 이와 같은 결과가 도출되었다. PET 변화에서도 유사한 패턴을 보여주었다.

다음으로는 나무 수종에 따른 온도변화연구를 살펴보고자 한다. 이를 연구는 현장 실측연구와 시뮬레이션 연구, 이 두 가지를 비교하는 연구로 구성된다. De Abreu-Harbich et al.(2015)는 다양한 식재 구성과 가로수 종별로 PET변화를 분석하고, 열스크레스 완화를 위한 적절한 식생 계획방안을 제안하였다. 그들은 분석을 위해 나무의 군집 상태와 수종을 함께 고려하여 총 16개 공간에서의 실제 온도를 측정하고 PET를 계산하였다. 총 12종류의 나무를 대상으로 분석한 결과, 나무 줄기 크기와 모양, 잎의 크기와 모양은 사람들의 열쾌적성을 향상 시킬 수 있음을 보여주면서, 큰 녹색 덮개를 가진 나무는 나무의 군집에 상관없이 PET 온도가 낮았음을 보여주었다. 그들은 최종적으로 가로수의 그늘을 효과적으로 형성하려면 나무의 수관폭을 고려해 나무사이의 거리를 정해야한다고 제안했다.



[그림 3-2] 대상지의 나무 특성

출처: De Abreu-Harbich et al. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. p.101

현장 연구를 통해 나무 특성별 온도변화를 파악하고, 이를 기반으로 한 시뮬레이션을 수행한 연구도 존재한다. Morakinyo et al.(2017)는 나무와 건물에 의해 형성되는 그늘과 홍콩사람들의 열쾌적성간의 관계를 파악하는 연구를 수행하였다. 공간 구성은 건물이 없는 거리에 나무 유무, 건물이 있는 거리에 나무유무 4가지 상황으로 구축하였다. 각 상황별로 8개의 수종에 따른 사람들의 열쾌적성(PET, Physically Equivalent Temperature) 차이를 살펴보았다. 그 결과, 공간에 따라 정도의 차이는 일부 존재하나 입면적지수가 높고 복사열 투과율이 낮은 수종들이 상대적으로 PET 지표가 낮아지는 것을 보여주었다. 그들은 이러한 결과를 종합하여 홍콩의 실제 대상지를 중심으로 현재 식재 상태와 3가지 시나리오(LAI 낮은 나무 식재, LAI 높은 나무 식재, 가로의 밀도에 따라 두가지 식재 혼재)를 활용하여 현재 대상지의 상황과 PET변화를 살펴보았다. 그 결과, LAI가 높은 나무로 식재한 시나리오의 PET가 가장 낮은 것으로 나타났다.

나무 크기에 따른 분석을 수행한 선행연구는 일관되게 나무의 크기가 클수록, 나무간의 간격이 좁을수록 온도 저감 효과가 더 크다는 것을 보여주었다. 연구 결과에 따르면 나무의 중심부간의 거리가 동일해도 나무가 클 경우, 나무 한 그루와 한 그루 간의 공간이 좁아져 LAD가 높아지고, 이는 온도 저감 효과를 이어진다. 즉, 규모가 큰 나무는 적은 개수로도 큰 효과를 낼 수 있음을 시사한다. 이는 나무종류와도 연관되어 나무 잎밀도가 높고, 큰 입면적을 가진 수종일수록 온도저감 효과가 크다는 것으로 정리 할 수 있다.

식재된 가로수의 특성외에도 식재 유형에 따른 연구도 진행되었다. 기경석 외(2012)은 성남시 분당구 중앙공원을 사례로 하여 토지피복 및 식생분포 현황에 따른 지표면 온도의 영향 요인을 분석하였다. 토지피복, 식재유형, 층위구조 유형을 구분하였으며 이 중 층위구조 유형 구분은 교목층, 교목층과 하부 관목층, 초지, 포장지로 하여 관목 유무에 따른 온도저감 효과를 확인하였다. 조사구별로 각각의 지표면 온도를 10회씩 실측하였으며 유형이 구분된 요인들과 지표면 온도간의 통계분석을 통하여 상관관계를 확인하고 회귀모형을 구성하였다. 분석 결과는 층위구조에 따른 온도차이를 분석하는 연구가 추가적으로 필요함을 시사하였다.

정희은 외(2015)은 서울시 가로수와 가로녹지가 갖는 도시열섬화 완화 및 보행쾌적성에 영향을 미치는 온도저감 효과에 관하여 정량적인 연구를 수행하여 체계적인 가로수와 가로녹지 조성기준을 제시하고자 하였다. 가로현황과 가로수 식재 및 가로녹지 구조현황 조사 결과와 지표면 온도를 측정하여 통계분석을 통한 영향요인 간 관계를 분석하고 가로수와 가로녹지 조성 유형에 따른 온도 저감 효과를 분석하였다. 식재 유형은 교목 1열, 교목 1열+관목, 교목 1열+아교목+관목, 교목 2열, 교목 2열+관목, 교목 3열+관목, 교

목 3열 +아교목+관목으로 세분화하여 분석을 수행하였다. 분석 결과 온도저감효과는 교목+아교목+관목에서 2.57°C , 교목+관목에서 2.49°C , 교목에서 1.94°C 로 나타나 단 층구조에 비하여 다층구조에서 매우 큰 온도저감효과가 나타남을 확인하였다. 특히 보도폭에 따라 보도폭이 3m 이상인 경우에는 다층구조의 식재가 필요하다고 제시하였다.

Liao et al.(2021)은 잔디, 관목, 나무에 대하여 수직적 높이에 따른 온도저감 효과를 분석하였다. ENVI-met 모델을 이용하여 대상지의 열환경을 모델링하고 대상지 온도조건을 실측하여 검증을 수행하였다. 온도저감효과는 대상지 내 녹지가 없는 지역, 잔디가 분포하는 지역, 관목이 많은 지역, 나무가 많은 지역을 대상으로 분석되었다. 연구 결과는 ENVI-met 모델이 대상지의 열환경을 잘 모사하는 것을 보여주며 잔디, 관목, 나무의 온도저감효과의 차이를 정량적으로 제시한다. 나무의 경우에서 온도저감효과가 가장 크게 나타나며 이는 녹지 면적뿐만 아니라 음영 효과가 온도저감에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 음영효과까지 함께 고려할 필요가 있음을 제시하였다.

- 가로녹지 주변의 물리적 환경과의 연계를 통한 온도저감 효과

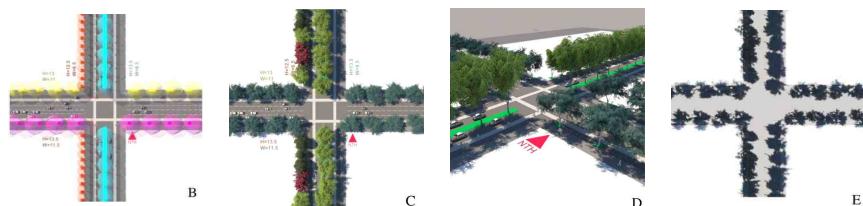
도시의 온도는 식재된 녹지의 특성뿐만 아니라 그 주변의 환경에도 영향을 받을 수 있으나 일부 연구들은 동일 가로 환경에서 나무의 크기, 나무의 수종을 변경해가면서 MRT나 PET의 변화를 분석해왔다. 이들 연구는 동일 상황에서의 차이만 파악하여, 실제 온도에 영향을 미치는 알베도차이가 존재하는 토지피복 재료에 따른 결과는 파악하기 어렵다. 기존 연구의 한계를 개선하고자 일부 연구들은 여기서 더 나아가 지표면에 따른 변화도 함께 분석하였다.

Speak et al.(2020)는 토지 피복과 나무 특성별 온도 저감 효과를 분석하여 지표면 온도 저감 방안을 제안하였다. 그들은 지표면을 크게 아스팔트, 포르피린, 풀로 구분하여 연구를 진행하였다. 지표면만 우선적으로 분석한 결과, 아스팔트의 쿨링 효과가 적게 나타났다. 그들은 여기서 더 나가 지표면별로 나무의 잎의 배치, 구경, 면적, 모양 등에 쿨링 효과에서 차이가 있음을 보여주었다. 특히, 침엽수의 잎의 모양은 쿨링효과가 적은 것으로 나타났으며, 실제 통계적으로 분석한 결과에서도 유의한 결과를 보여줬다.

Park et al.(2021)은 건물이나 나무에 의해 형성되는 그늘이 지표면 온도에 영향을 미치는지에 대한 분석을 수행하였다. 그 결과, 그늘이 형성되는 지표면이 그렇지 않는 지표면과 비교했을 때, LST 완화에 긍정적인 영향을 지니는 것으로 나타났다. 여기서 더 나아가 그늘 크기를 변화시킬 수 있는 나무 성장 시나리오와 식재 시나리오별 LST 변화를 살펴보았다. 우선적으로 나무가 완전히 성장하여 현재보다 나무 캐노피가 커질 경우, LST는 1.93°C 감소하는 것으로 나타났다. 또한 여기서 추가적으로 나무를 심을 경우는

0.77°C 추가적으로 감소하는 것을 보여주었다. 즉, 나무의 캐노피가 증가할수록 지표면 온도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

도로 피복 외에도 가로수가 형성하는 그늘의 효과에 초점을 맞춰 건물의 높이와 도로폭, 방향 등을 고려한 연구를 중심으로 검토하였다. Langenheim et al.(2020)는 보행자를 위한 최적의 그늘을 제공하기 위해 도로 방향별 가로수식재 계획을 제안했다. 그들은 동서 방향 거리의 경우 보행자에게 그늘을 제공하기 위해서는 더 넓은 캐노피를 가진 나무 식재가 필요하며, 남북방향은 키가 크고 식재간의 간격이 좁아야한다고 제안하였다. 실제 계획안을 활용하여 시나리오 적용결과 학교까지 그늘아래로 이동가능한 가구가 302가구에서 794가구로 증가하는 결과를 보여주었다. 이러한 연구 결과는 다른 도로 방향을 고려한 녹지의 열쾌적성 연구(Srivanit, Jarremit 2020, 임현우 외 2022) 결과와 유사하게 도출되었으며 이는 단순히 식재를 배치하는데 있어 나무의 크기만 고려할 것이 아니라 도로의 방향에 따라 적절한 나무 선택과 배치가 중요함을 시사한다.

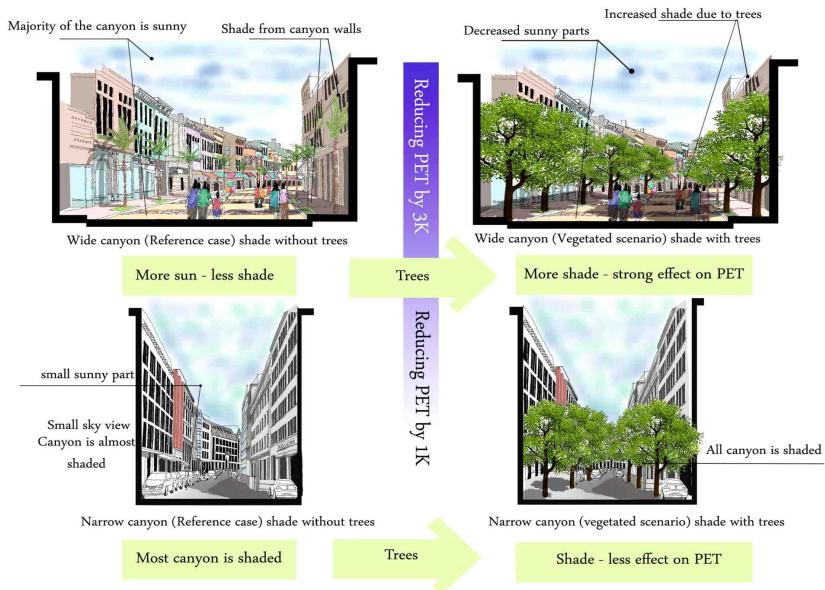


[그림 3-3] 도로 방향을 고려한 최적의 배치 계획 제안

출처: Langenheim et al. (2020). Right tree, right place, right time: A visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrian. p.6

Aboelata, Sodoudi (2020)는 도시열섬완화를 통해 건축물 에너지를 줄일 수 있는 방안으로 적절한 식생 비율을 파악하고자 하였다. 그들은 고밀도 건축지역이면서 깊은 협곡을 지닌 지역과 저밀도 건축지역이면서 넓은 협곡 지역을 선정하여 동일 조건시 여름철과 겨울철의 온도, 풍향 등을 파악하였다. 본 연구의 시간적 범위와 동일한 여름철 분석 결과에서는 식재 비율이 높을수록 대기 온도감소 폭이 크게 나타났으며 특히, 도시협곡 기 깊은 지역에서 더 큰 변화가 나타났다. 이는 깊은 협곡에서는 촘촘하게 생겨한 그늘로 인해 태양에 노출되는 면적이 적어 상대습도를 증가시키고 온도를 낮추는 반면, 넓은 협곡의 경우 태양에 노출되는 면적이 커 나무를 많이 심을 시에 나무가 대기중의 습도를 흡수하여 상대습도를 감소시키고 공기온도를 증가시키기 때문이라고 언급했다. 대기온도와는 달리 사람이 느끼는 열쾌적성 지표인 PET의 경우 넓은 협곡 지역에 더 영향력이 큰 것으로 나타났다. 넓은 협곡지역은 나무가 많을수록 기존 보다 더 많은 그늘을 제공

하여 사람들이 느끼는 열 스트레스 수준이 크게 변화한다고 언급하였다.



[그림 3-4] 협곡에 따른 나무 그늘이 PET에 미치는 효과 차이

출처: Aboelata et al. (2020). Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo. p.12

□ 분석 데이터 선정

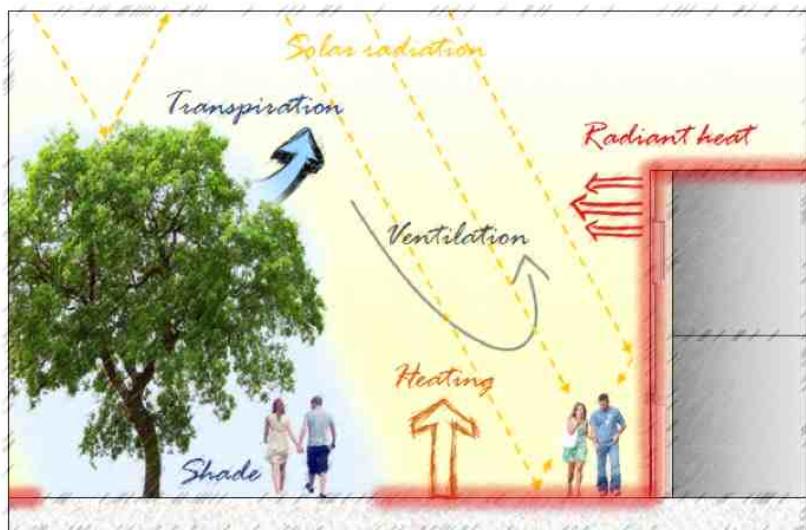
- 가로녹지 특성

선행연구 검토 결과, 열환경에 영향을 미치는 가로녹지의 특성은 수고, 수관폭 등 가로수의 크기 관련 요소, 가로수 수종, 가로수의 배치 형태, 띠녹지 조성형태, 중앙분리대 식재대 유무, 건물필지의 녹지시설 등으로 나타났다. 이러한 가로녹지 특성정보는 실제 공간을 대상으로 분석하는 경우, 대부분 직접조사의 방식을 이용하고 있어 데이터 구득의 한계가 있는 것으로 확인되었다. 본 연구의 결과는 궁극적으로 지자체의 가로녹지 계획 수립에 활용될 것으로 기대하므로, 지자체 차원에서 구득이 용이한 데이터인 가로수 데이터를 선정하였다. 분석을 위한 가로수 데이터는 최소한 개별 가로수의 크기, 수종, 위치의 정보가 포함되어 있어야 한다.

- 공간정보 특성

열환경에 영향을 미치는 도시의 공간적 특성은 분석 대상 공간의 크기에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 도시 단위의 거시적 분석을 수행할 경우, 토지피복유형, 용도분포, 산림지역 분포, 지형 특성 등이 분석 변수로 활용되었으며, 가로 또는 블록 단위의 미시

적 분석을 시행하는 경우, 가로변 건물의 높이, 도로의 폭, 표면 피복 재질 등의 데이터를 변수로 활용하였다. 본 연구에서는 의정부시 전역을 분석 범위로 하여 미시적 열환경에 대한 영향요인을 분석하고자 하므로, 도시 온도에 영향을 미치는 면적 녹지시설의 분포를 변수로 선정하였으며, 미시적 환경 요인인 건물의 크기, 용도, 에너지발산량, 도로의 폭원 등 세부적인 정보를 분석 변수로 활용하였다.



[그림 3-5] 가로의 열환경에 영향을 미치는 주변 물리적 환경요소

출처: Coutts, Tapper. (2017). Trees for a Cool City: Guidelines for optimised tree placement p.8

- 온도분포 특성

가로의 열환경에 대한 영향 요인을 분석하기 위해서는 가로공간의 온도 분포 데이터를 어떻게 구축할 것인지를 먼저 결정하여야 한다. 도시의 열환경에 대한 영향요인을 분석하는 기존 연구들은 지표면온도(LST)를 사용하여 통계집계구 또는 100m 격자 등을 기본 단위로 하는 거시적 분석과 온습도측정기 등을 이용한 실측 건구·습구·흑구온도(WBGT) 데이터 기반의 미시적 분석, 수치모델을 활용한 시뮬레이션 분석 등의 다양한 분석 방법론을 활용하는 것으로 나타났다.

본 연구는 가로공간의 열환경을 대상으로 하기 때문에 미시적 공간단위로 분석함이 적합하다. 다만 기존 연구와 같이 현장실측을 통한 분석의 경우 시간 및 인력소요가 상당하며 다양한 유형의 가로공간을 포괄적으로 분석하기 어렵다는 한계가 있다. 또한 가로 녹지의 주요 시설인 가로수의 수고, 수관폭 등 현황정보를 반영하여 분석을 수행하기 위하여, 가상의 공간을 대상으로 하는 시뮬레이션 분석보다 실제 도시 공간을 대상으로 분

석함이 적절할 것으로 판단하였다.

따라서 실제 도시의 연속적인 공간을 대상으로 열 분포를 논의하기 위하여, 본 연구에서 는 지표면온도(LST) 데이터를 활용하였다. 현재 활발하게 이용되고 있는 지표면온도 (LST) 자료는 Landsat8 위성의 데이터로, 무상으로 제공되고 있어 구득이 용이하며 공 간 전역에 대하여 고른 데이터를 구축할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 데이터의 특성 에 따라, 향후 본 연구의 분석방법론을 각 지자체에 적용할 때 보다 적은 예산으로 효율 적인 분석이 가능하다는 점도 데이터 선정 단계에서 고려되었다.

[표 3-1] 분석 데이터 선정 결과

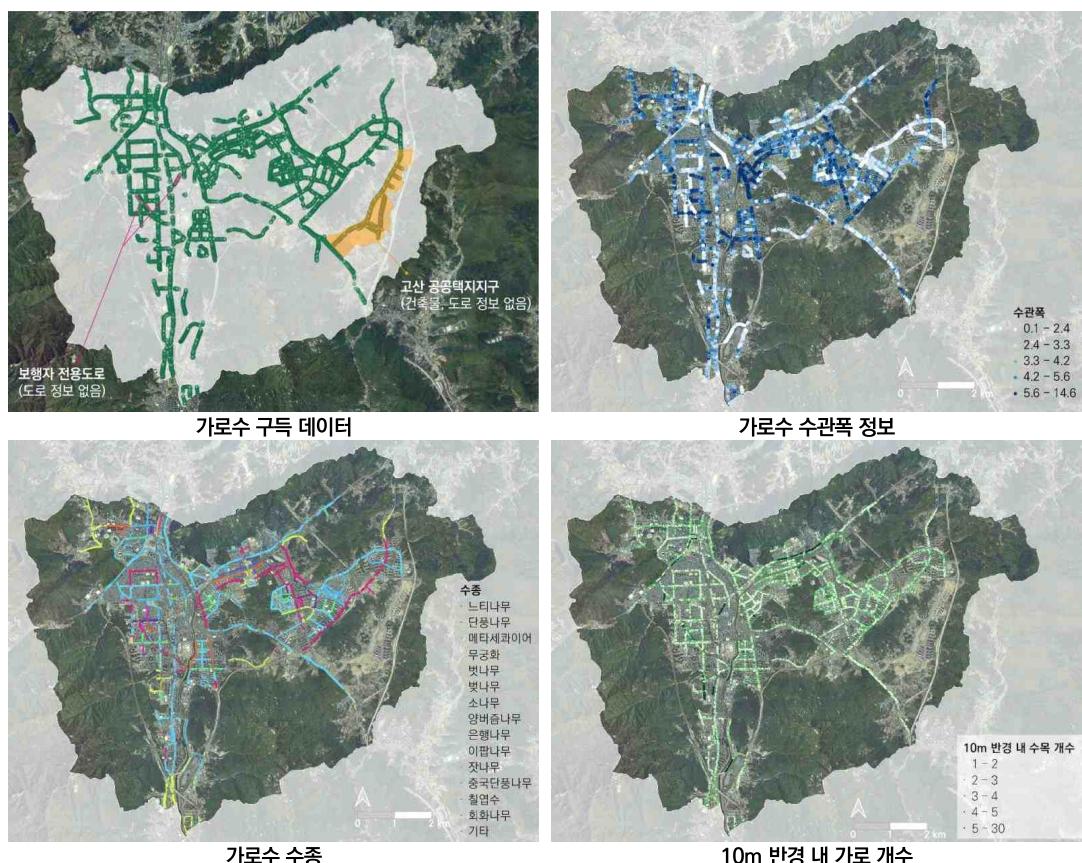
분류	주요 분석 변수	데이터구득 가능 여부	출처
온도분포 특성	· 지표면온도(LST)	●	Deas et al.(2021), Yu et al.(2020)
	· 평균복사온도(MRT)		조진희 외(2018), 김정호 외(2017)
	· 건구·습구·혹구온도(WBGT)		김정호 외(2017)
	· 범용 열 기후지수(UTCI)		김정호 외(2017), 임현우 외(2022)
	· 인간 열환경지수(PET)		임현우 외(2022)
공간적 특성	· 토지피복유형	●	Speak et al(2020), Park et al(2021)
	· 용도 분포 (주거, 상업, 공업, 녹지)	●	Bokae et al.(2016), Eliasson, Svensson(2003), Kottmeier et al.(2007)
	· 면적 녹지시설 분포 (산림, 하천, 공원)	●	박종화, 조기혁(2016)
	· 건축물 높이, 체적 등	●	Park et al.(2018), Aboelata et al.(2020), 이정아 외 (2010)
	· 포장(albedo)		Speak et al.(2020)
도로	· 용도(주거시설, 균린생활시설, 문화시설, 교육연구시설 등)	●	연구진 논의에 따라 추가
	· 에너지 소비량	●	연구진 논의에 따라 추가
	· 너비	●	Park et al.(2018)
	· 방위	●	Langenheim et al.(2020), 임현우 외(2022), Srivanit, Jareemit(2020)
	· 포장(albedo)	●	Park et al(2021)
가로녹지 특성	· 가로수 크기(수고, 수관폭 등)	●	Park et al(2019), Morakinyo et al(2017), Lee, Mayer(2021)
	· 수종	●	De Abreu-Harbich et al(2015), Speak et al(2020), Morakinyo et al(2017), 정희은 외(2015), 조상만 외(2017)
	· 배치형태(간격, 군식여부 등)	●	Park et al(2019), Lee&Mayer(2021), De Abreu-Harbich et al(2015), Zhang et al(2018)
	· 땅녹지(유무, 폭, 높이 등)		정희은 외(2015)
	· 중앙분리대 식재대(유무, 폭 등)		기경석 외(2012), 조혜진, 임지현(2011)
	· 건물 대지 내 녹지시설 (공개공지, 대지 내 조경, 아파트 녹지 등)		연구진 논의에 따라 추가

출처: 연구진 작성

□ 분석 데이터 구축

(1) 가로녹지 특성

가로녹지 특성 변수로는 가로녹지의 주요 요소인 ‘가로수’에 대한 특성정보를 활용하였다. 가로수 데이터는 의정부시에서 2021년에 행정안전부의 ‘공공데이터 뉴딜사업’의 일환으로 구축²⁷⁾한 데이터를 구득하였다. 가로수의 상세정보 중에서 주변 열환경에 영향을 미치는 것으로 나타난 수고, 수관폭, 수종, 식재간격 등의 정보를 활용하였다. 또한 가로수의 배치를 검토하기 위하여 일정 반경 내 수목 밀도 등의 정보를 구축하였다. 분석에 사용한 의정부시 가로수 데이터의 분포는 그림 3-6과 같다.



[그림 3-6] 가로녹지 특성 분석 데이터

출처: 공공데이터 포털(<https://www.data.go.kr/data/15095497/fileData.do>) 경기도 의정부시 가로수 정보 데이터를 활용하여 연구진 작성

27) 관련 사업명은 ‘녹색도시를 위한 가로수 및 공원수목 개방데이터 구축’이며, 의정부 시 가로수 및 공원수목의 위치 등 기본정보를 DB화 하였다. (박호영. 2022. 의정부시, 연말까지 빅데이터 통합 플랫폼 구축. 6월 29일 기사. <http://www.idojung.com/news/articleView.html?idxno=35881>)

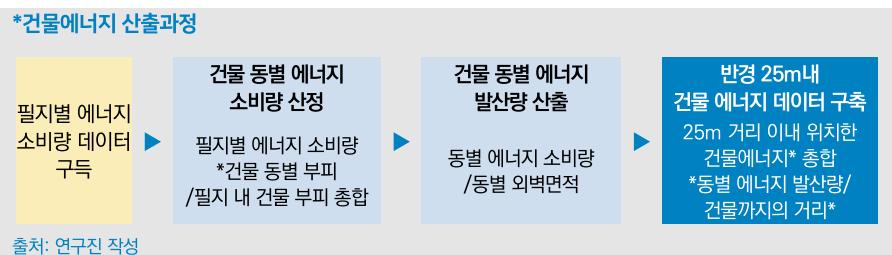
구득한 의정부시 가로수 데이터는 2021년 11월 30일 기준으로 19,919개의 수목에 대한 정보를 제공한다. 다만 본 장의 분석 목적에 따라, 가로공간의 건조환경과 가로수의 특성을 종합적으로 검토하고자 하므로, 가로수 주변의 건축물 또는 도로 데이터가 구축되어 있지 않은 고산 공공주택지구 지역이나 보행자전용도로 등에 위치한 가로수는 분석에서 제외하였다.²⁸⁾ 제공된 모든 수목 구분은 가로수로 나타나며, 분석 데이터 기준 의정부시 수목의 평균 수고는 5.5 m, 수관 폭은 3.91 m이다.

(2) 공간적 특성

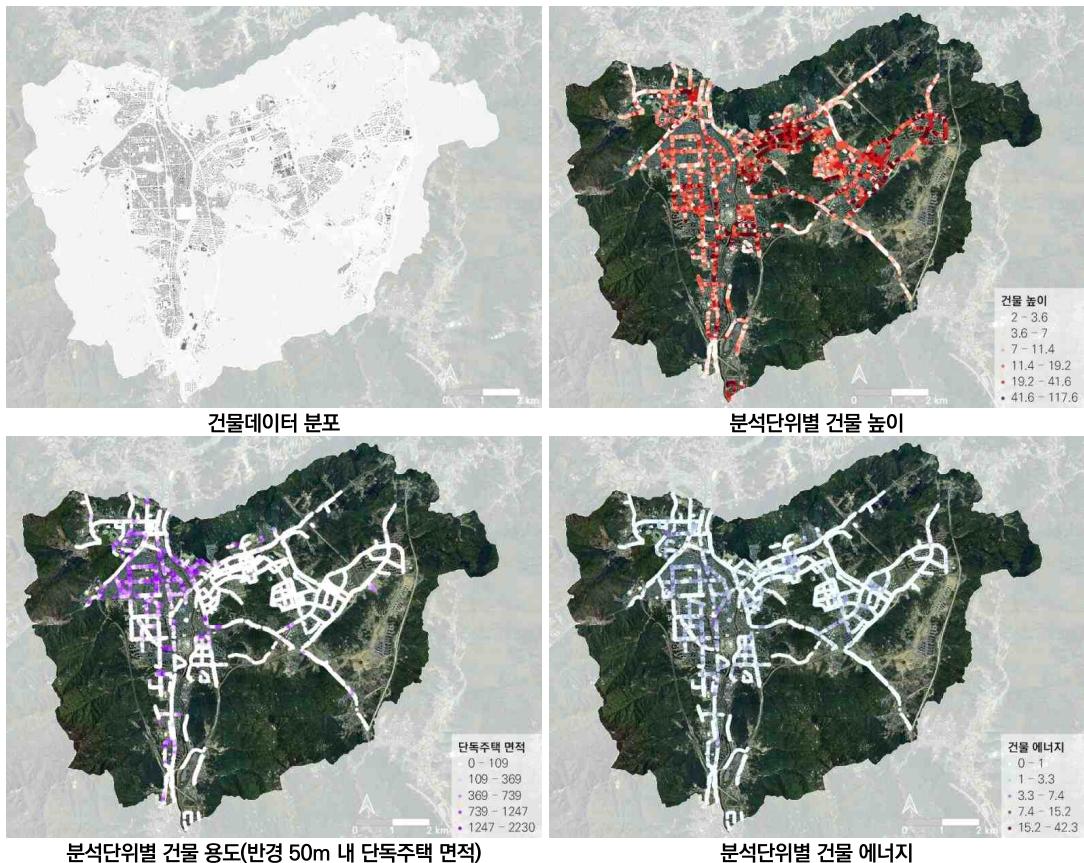
• 건물

건물 데이터는 국토정보플랫폼에서 제공하는 ‘건물높이공간정보’ 데이터를 활용하였다. 선행연구 검토 결과 건물의 높이가 가로의 열환경에 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었으므로, 현재 구득 가능한 건물 정보 데이터 중 건물높이에 대한 정보가 가장 정확할 것으로 판단되어 본 데이터를 구득하였다. 건물 데이터의 상세정보 중, 주변 열환경에 영향을 미칠 것으로 사료되는 건물의 높이(지상층수), 건물용도, 건물구분 정보 등을 활용하였다.

분석단위인 가로수 위치 지점 주변의 건물에 대한 정보를 구축하기 위하여, 건물 높이데이터의 경우 가로수로부터 가장 가까운 거리에 위치하고 있는 건물의 정보를 추출하였다. 또한 주변 건물의 용도 정보를 추출하기 위하여 가로수로부터 반경 50m내의 상업시설 면적, 주거시설(단독주택, 연립주택, 아파트) 면적, 공업시설 면적을 구축하였다. 마지막으로 건물에서 방출되는 열에너지를 산출하기 위하여, 건축데이터 민간개방 시스템에서 제공하는 ‘건물에너지 소비량 데이터’를 활용하여 반경 25m내의 건물에너지* 데이터를 구축하였다.



28) 이에 따라 구득한 데이터 19,919개 중에 분석에 용이한 18,291개의 데이터만 활용



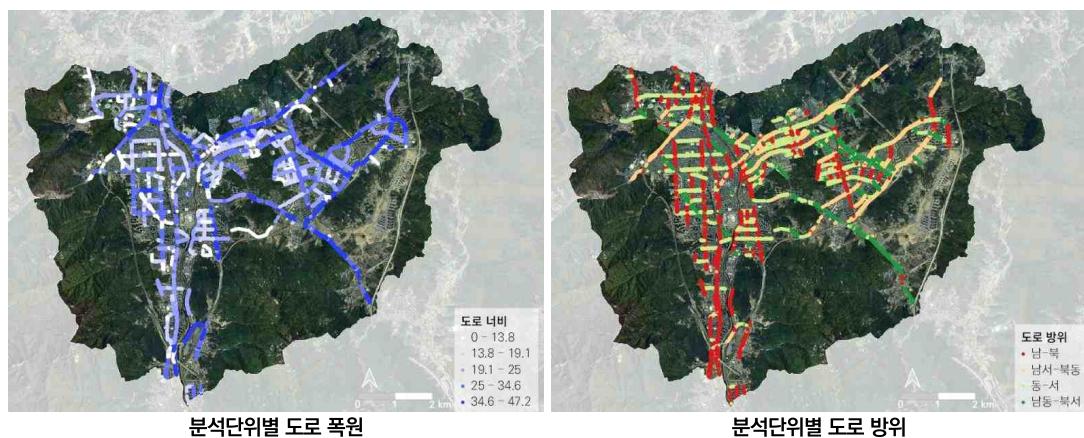
[그림 3-7] 건물 특성 분석 데이터

출처: 국토지리정보원(https://www.ngii.go.kr/kor/board/view.do?sq=72762&board_code=notice_ko)에서 제공하는 건물높이 DB와 건축데이터 민간개방 시스템(<https://open.eais.go.kr/nbemifm/OpenInfoList.do?viewType=10>)에서 제공하는 건물에너지 소비량 데이터를 분석단위인 가로수 단위로 도출하여 연구진 작성

- 도로

도로 데이터는 국토지리정보원의 ‘국가기본도²⁹⁾’ 중 ‘차도경계면’과 ‘차도중심선’ 데이터를 구득하여 활용하였다. ‘차도경계면’ 데이터는 실제 도로의 위치와 형태, 가로수 식재 위치를 확인하는 기초데이터로 활용하고, ‘차도중심선’ 데이터의 상세정보 중 도로폭 정보를 이용하였다. 또한 가로수 위치 데이터를 활용하여 가로수가 식재된 도로의 방위 정보를 구축하였다.

29) 국토지리정보원(2022, <http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do?tabGb=total>)에서 의정부시의 국가기본도를 구득, 데이터 기준은 2020년



[그림 3-8] 도로 특성 분석 데이터

출처: 국토지리정보원(<http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do?tabGb=total>)에서 의정부시의 국가기본도자료를 가로수 단위로 도출하여 연구진 작성

- 면적 녹지시설

가로수 주변에 위치하고 있는 면적 녹지시설 데이터 구축하기 위하여, 환경부의 환경공간정보서비스를 통해 토지피복도 데이터를 구득하였다. 가로환경에 영향을 미치는 면적 녹지시설은 산림, 하천, 공원 뿐만이 아니라 시설녹지, 아파트 내 녹지 등 다양한 녹지 시설이 존재하므로 토지피복도 자료를 통하여 데이터를 구축하고자 하였다.

토지피복도의 대분류코드를 이용하여 산림지역과 산림외 녹지지역(농업지역, 초지, 습지, 나지, 수역)을 추출하고 가로수로부터의 거리를 산출하여, 분석단위별 ‘산림과의 거리’, ‘산림외 녹지와의 거리’데이터를 구축하였다.



[그림 3-9] 산림까지의 거리 분석 데이터

출처: 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr/map/map.do>)의 토지피복도 데이터를 가로수 단위로 도출하여 연구진 작성

(3) 온도분포 특성(지표면온도: LST, Land Surface Temperature)³⁰⁾

본 장의 주요 분석 내용인 가로공간의 열 분포에 대한 영향 요인 분석을 위해서는 가로공간에 적합한 공간적 단위를 분석 단위로 설정하여야 한다. 또한 본 연구에서는 다수의 선행연구에서 증명된 수목의 양적 증대에 따른 온도저감 영향보다는 같은 양의 수목을 식재하더라도 최대한의 온도저감 효과를 이끌어낼 수 있는 배치 전략을 제시하는 것이 궁극적인 목적 이므로 연구의 목적에 적합한 데이터 가공이 필요하였다.

이를 위하여 먼저 100m 격자 단위로 제공되는 Landsat8의 지표면온도 자료를 기계학습을 통하여 10m 격자 단위의 고해상도 지표면온도 데이터를 구축하였다. 다음으로는 가로수가 식재되어 있는 지점들을 중심으로 분석하기 위하여, 10m 격자 단위의 지표면온도를 가로수목 별 온도 데이터로 변환하였다.

- 고해상도 지표면온도 데이터 구축

Landsat8 데이터의 특성 상 구름 아래의 값은 취득하기 어려우므로 대상지인 의정부시 전역에 대한 지표면온도 자료를 구축하기 위하여, 여름철 의정부 전역에 구름이 없는 2020년 5월 30일의 데이터³¹⁾를 이용하였다. Landsat 지표면 온도의 촬영 시간은 약 오전 11시이며, Landsat 위성 자료는 Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 구득하였다.

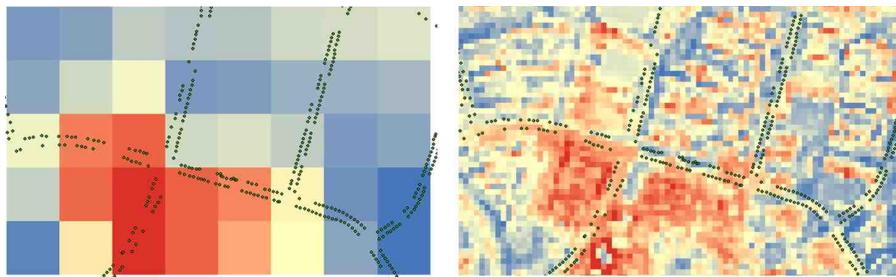
다만 Landsat8의 지표면온도 자료가 100m의 격자단위로 구축되어 있어 공간해상도가 높은 편임에도 불구하고, 본 연구의 주요 연구대상인 가로공간의 열환경을 분석하기에는 해상도 측면에서 한계가 존재하였다. 이에 따라 본 연구에서는 100m 공간해상도 Landsat8 위성의 지표면온도 영상자료를 인공지능 기반 기계학습을 이용하여 상세화 시킴으로써, 10m격자단위의 지표면온도 자료를 구축하여 활용하였다.

10m 격자단위 고해상도의 지표면온도 데이터 구축 결과, 100m 격자단위 지표면온도에 비하여 공간 특성에 따른 온도 분포가 확연하게 드러나는 것으로 확인되었다. 그림 3-10에서 100m 해상도와 10m 해상도의 지표면온도 자료를 확대한 결과 100m 해상도

30) 아래 내용은 '부록 1. 미시적 공간단위 열환경 분석을 위한 고해상도 지표면온도 구축과정' pp.173-180 내용을 요약하여 정리하였다. 상세한 구축과정은 부록1에 서술하였다.

31) 일반적으로 여름철 기간은 6월-8월로 판단되나, 해당 기간에 의정부 전역이 맑은 경우의 최신 자료가 2017년 8월 26일이므로, 본 연구의 수행기간인 2022년과 시간적 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 이에 따라 여름철 기간에 5월 말과 9월 초를 포함하여, 2020년 5월 30일의 데이터를 추가로 구득하였고, 두 날짜의 공간적 온도분포 특성이 크게 차이나지 않음을 확인하여, 최종적으로 2020년 5월 30일의 데이터를 분석데이터로 활용하였다.

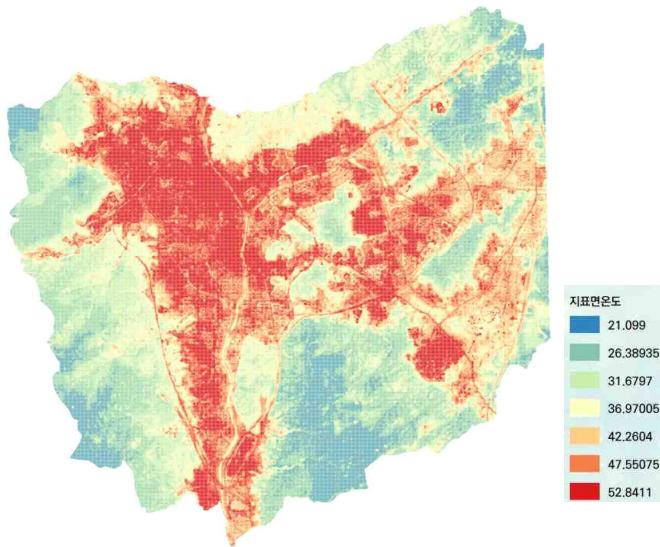
자료의 한 셀 안에서도 10m 해상도 자료에서는 온도분포가 약 10°C까지 차이나는 것으로 나타났다. 즉 해상도가 높아짐에 따라 지표면온도 정보를 공간적으로 더욱 세밀하게 확인할 수 있으며, 상세화된 10m 해상도의 지표면온도 자료는 가로단위 열 패턴 분석에 적합함을 확인하였다.



[그림 3-10] 지표면온도 상세화에 따른 온도분포 차이(좌: 100m 격자단위, 우: 10m 격자단위)

출처: Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)의 Landsat8 위성 자료를 활용하여 연구진 작성

최종적으로 획득한 의정부시 열환경 분포는 그림 3-11와 같다. 도로 및 빌딩분포 지도와 비교할 때, 도로와 빌딩이 많이 분포한 도심 내부 지역에서 주로 온도가 36°C 이상으로 높게 나타나는 것을 확인할 수 있으며 주로 약 36~42°C의 지표면 온도를 나타내고 최대온도는 약 52°C까지 보이고 있다. 반면 산림, 초지 등으로 분류된 도심 외곽지역에서는 저온이 분포하는 것을 확인할 수 있으며 주로 26~31°C의 지표면 온도를 나타내어 도심 내부와 현저한 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다.



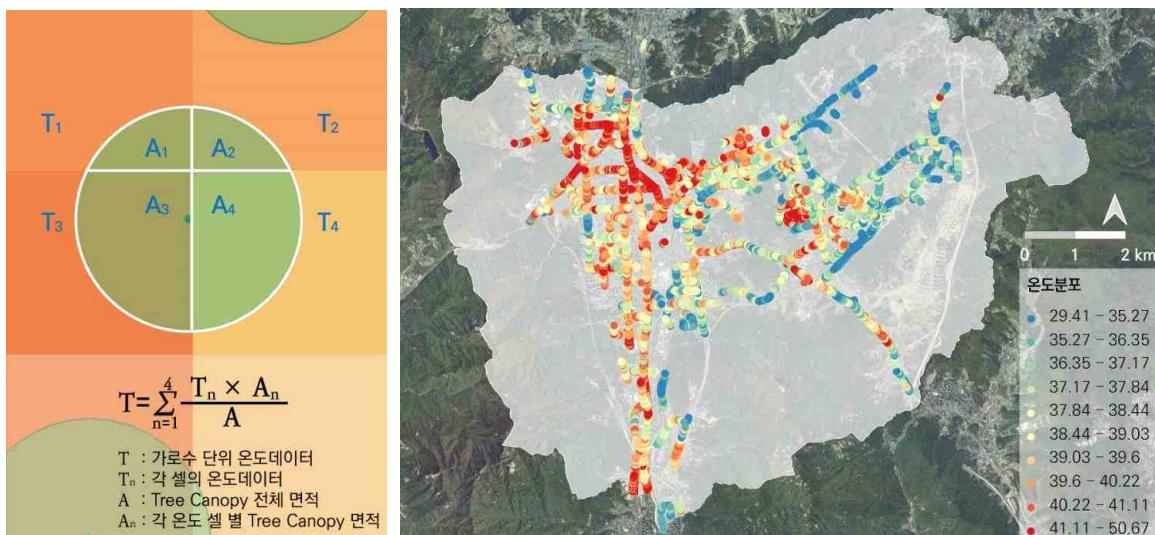
[그림 3-11] 의정부시 온도분포(10m 격자단위 지표면온도)

출처: Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)의 Landsat8 위성 자료를 활용하여 연구진 작성

- 분석 단위에 따른 데이터 가공

고해상도로 구축한 의정부시 전역의 지표면온도 격자 셀의 개수는 총 762,737개로, 가로수가 없는 셀이 약 98%에 달하는 것으로 나타났다.³²⁾ 본 장에서는 가로환경 및 가로녹지 특성에 따른 가로공간의 온도 분포를 살펴보고자 하므로, 본 장의 분석 목적을 고려하여 가로수목의 위치데이터, 즉 점(point) 데이터를 분석단위로 설정하였다.

이에 따라 지표면온도 데이터를 분석단위로 변환하기 위하여, 가로수가 위치하고 있는 지점의 지표면온도를 추출하였다. 지표면온도 추출 시, 단순히 점 데이터 좌표에 해당하는 지표면온도를 추출하는 것이 아니라 Tree Canopy에 해당하는 지표면온도를 추출하고자 하였다. 이를 위하여 다음 그림과 같이, 각 가로수의 수관폭을 기준으로 원형의 Tree Canopy를 생성하고, 전체 면적 대비 온도 셀을 덮는 면적의 비율로 각 셀의 온도를 추출하여 합산하였다. 최종적으로 구축된 온도분포특성 데이터는 다음과 같다.



[그림 3-12] 분석단위 온도데이터 산출 방법 및 결과)

출처: Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)의 Landsat8 위성 자료를 활용하여 추출은 온도데이터를 가로수단위로 분석하여 연구진 작성

32) 10m 단위 격자 셀의 개수는 762,737개이나 구득한 의정부시 가로수 데이터의 개수는 총 19,919개로, 가로수 데이터가 점 데이터의 형태임을 고려하면 전체 중 약 2%의 셀에만 가로수가 있는 것으로 확인되었으며, 이러한 경우 가로수의 특성과 온도분포 간의 유의미한 분석결과를 얻기 어려울 것으로 판단되었다.

(4) 분석데이터 종합

분석단위별로 구축한 최종 분석 변수는 다음과 같다.

[표 3-2] 변수의 종합

구분	변수	내용	시기	출처
온도분포 특성	지표면온도(°C)	가로수 수관폭면적(Tree Canopy)의 평균 지표면온도	2020년 5월	Earth Explorer
공간적 특성	건물 높이(m)	가로수로부터 가장 가까운 거리에 위치한 건축물 높이	2022년 7월	국토정보 플랫폼
	주거시설 면적(m^2)	50m 반경 내 단독주택 총면적 50m 반경 내 연립주택 총면적 50m 반경 내 아파트 총면적		
	상업시설 면적(m^2)	50m 반경 내 상업시설* 총 면적 *제1·2종 근린생활시설, 판매시설, 업무시설, 숙박시설		
	공업시설 면적(m^2)	50m 반경 내 공업시설 총 면적		
	건물 에너지	건물까지의 거리 대비 25m 반경 내 건축물 에너지* *(전기에너지소비량+가스에너지소비량)/건물 외벽면적	2020년 5월	건축데이터 민간개방 시스템
	도로너비(m)	가로수 식재 위치의 도로 너비	2022년 7월	국토정보 플랫폼
	도로방위	가로수 식재 위치의 도로 방위		
	면적녹지시설과의 거리(m)	산림과의 거리 산림와 녹지와의 거리	2022년 5월	환경공간정보 서비스
가로녹지 특성	가로수 크기(m)	수고, 수관폭	2021년 11월	공공데이터 포털
	가로수 수종	수종		
	가로수 식재간격(m)	식재 간격		
	반경 내 가로수 밀도	반경 5m 이내 가로수 개수 반경 5~10m 이내 가로수 개수		

주: 변수들을 가로수 위치 점 데이터에 모의하여 분석 데이터를 구축하였음

출처: 연구진 작성

③ 분석 방법

본 연구에서는 분석모델 구성 시 가로수 유무로 인한 영향을 최소화하기 위하여, 가로수 데이터의 위치정보를 기준으로 분석단위를 설정하였다. 선행연구 검토결과에 따라 분석데이터를 선정하여, 온도분포특성, 공간적특성, 가로녹지특성의 분석단위별 데이터를 구축하였고, 이를 통하여 가로의 열환경에 영향을 미치는 요인을 탐색하고자 한다.

이를 위하여, 본 장에서는 변수 간 영향관계 분석에 가장 활발하게 활용되어 온 전통적 통계 방법인 상관관계분석과 다중회귀분석을 우선 수행하고, 그 결과를 기계학습 분야에서 가장 주목받는 알고리즘인 XGBoost에 의한 분석 결과와 비교해 보았다. 분석도구로는 통계프로그램인 'IBM SPSS Statistics 21'과 R기반의 분석 라이브러리를 활용하였다. 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

□ 상관관계분석 및 다중회귀분석

먼저 상관관계분석을 통하여 투입하는 변수 간의 영향관계를 살펴보았다. 상관관계분석은 이변량 상관분석을 수행하고 Pearson 상관계수를 도출하였다. Pearson 상관계수는 ± 1 의 범위 내의 값을 가지며, 절댓값이 클수록 선형적 상관이 높은 것으로 해석된다.

다음으로는 온도를 종속변수로 하여 다중회귀분석을 수행하여, 각 변수들과 온도 간의 영향관계를 살펴보았다. β 값의 절댓값이 클수록 영향력이 큰 것으로 해석되며 (+)값의 경우 양의 영향관계가, (-)값의 경우 음의 영향관계가 있는 것으로 해석된다. 또한 t값의 절댓값이 1.96이상일 때 독립-종속 변수 간 상관도가 높은 것으로 해석된다.

□ 기계학습분석

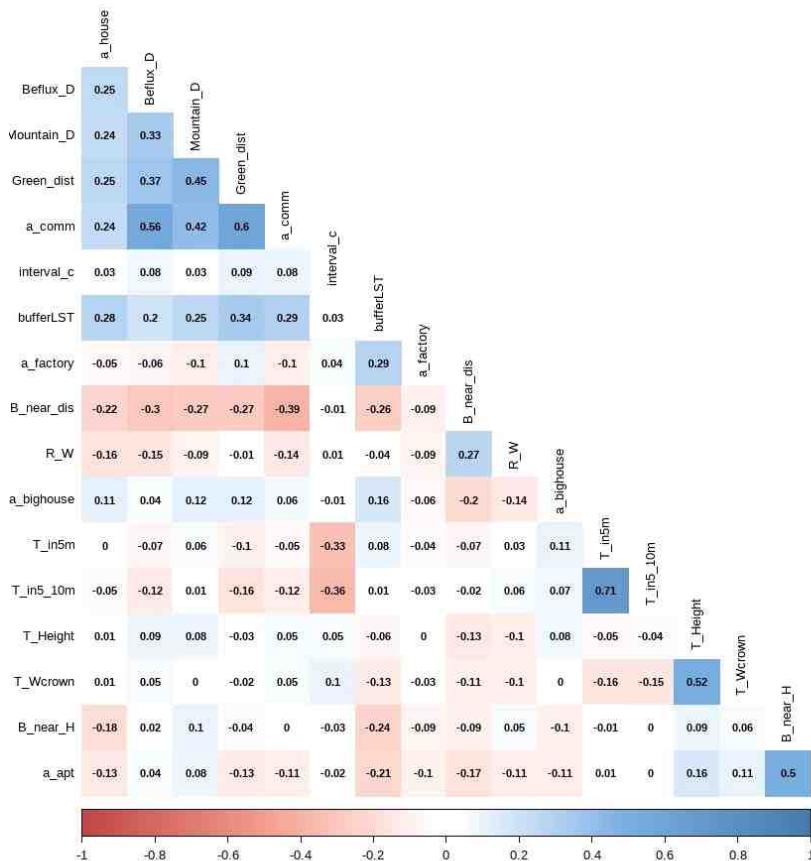
마지막으로 기계학습 알고리즘인 XGBoost를 적용하여 각 변수들과 지표면 온도의 관계를 학습하고, 학습 결과를 SHAP(SHapely Additive exPlanation) 알고리즘으로 해석했다. SHAP는 기계학습 모델의 단점으로 지적되온 블랙박스 속성을 극복하고, 학습결과에 대한 개별 변수들의 영향력을 일관성 있게 제시해 줌으로써, 전통적 통계 모델의 장점인 학습 결과의 용이한 해석을 기계학습에서도 구현해줄 수 있다.

다중회귀분석에서의 β 와 마찬가지로 SHAP 값의 절대값이 클수록 영향력이 큰 것으로 해석되며 (+)값의 경우 양의 영향관계가, (-)값의 경우 음의 영향관계가 있는 것으로 해석될 수 있다. 하지만 SHAP는 회귀분석에서 회귀계수가 상수로 취급되는 것과 대조적으로 개별 변수값의 영역에 따라 지표면 온도에 대한 영향관계가 다를 수 있는 비선형적 속성을 갖는다.

2) 가로 열환경에 대한 영향요인 분석

① 상관관계분석 결과

온도분포 특성, 공간적 특성, 가로녹지 특성을 나타내는 각 변수간의 상관관계 분석을 위하여 범주형 데이터인 가로수 수종, 도로 방위 데이터를 제외하고 변수³³⁾들 간의 이변량 상관관계 분석을 수행하였다. 분석 결과 대부분의 변수가 지표면온도에 대하여 통계적으로 유의한 상관관계가 있는 것으로 확인되었다.



[그림 3-13] 변수간 상관관계 검토

출처: 연구진 작성

33) 지표면온도, 공간적 특성(건물높이, 건물용도, 건물에너지, 건물과의 거리, 산림과의 거리, 산림외 녹지와의 거리, 도로 폭원), 가로녹지 특성(가로수 수고, 수관폭, 식재간격, 반경 5m 이내 가로수 개수, 반경 5-10m 이내 가로수 개수)

[표 3-3] 상관관계분석 결과(N=17888)

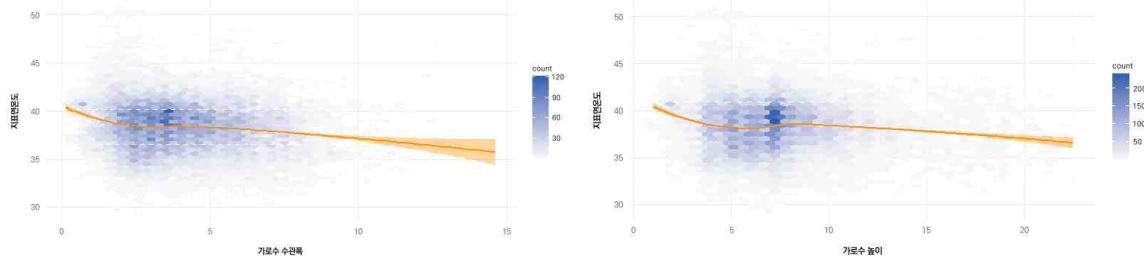
구분		지표면온도
가로수 수고(높이)	Pearson Coeff.	-.061**
	Sig.	.000
가로수 수관폭	Pearson Coeff.	-.126**
	Sig.	.000
가로수 식재간격	Pearson Coeff.	.034**
	Sig.	.000
반경 5m이내 가로수 개수	Pearson Coeff.	.082**
	Sig.	.000
반경 5m이외, 반경 10m이내 가로수 개수	Pearson Coeff.	.009
	Sig.	.213
산림과의 거리	Pearson Coeff.	.254**
	Sig.	.000
산림외 녹지와의 거리	Pearson Coeff.	.336**
	Sig.	.000
건물과의 거리	Pearson Coeff.	-.265**
	Sig.	.000
건물 높이	Pearson Coeff.	-.236**
	Sig.	.000
건물 에너지	Pearson Coeff.	.195**
	Sig.	.000
반경 50m 이내 공업시설 면적의 총합	Pearson Coeff.	.290**
	Sig.	.000
반경 50m 이내 상업시설 면적의 총합	Pearson Coeff.	.292**
	Sig.	.000
반경 50m 이내 단독주택 면적의 총합	Pearson Coeff.	.285**
	Sig.	.000
반경 50m 이내 연립주택·다세대주택 면적의 총합	Pearson Coeff.	.164**
	Sig.	.000
반경 50m 이내 아파트 면적의 총합	Pearson Coeff.	-.214**
	Sig.	.000
도로 폭원	Pearson Coeff.	-.039**
	Sig.	.000

출처: 연구진 작성

* p<0.05 ** p<0.01

음의 상관관계
양의 상관관계
유의성 낮음

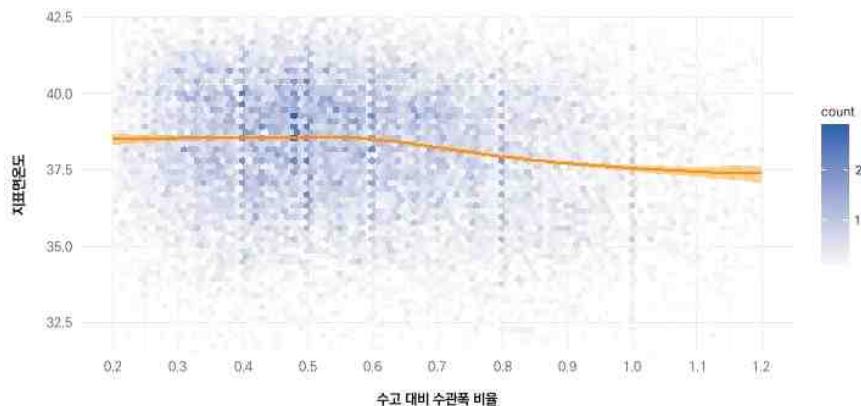
분석결과를 구체적으로 살펴보면, 가로녹지 특성 중 가로수의 크기와 관련된 변수(수고, 수관폭)는 모두 음(-)의 상관관계를 보이는 것을 확인할 수 있다. 가로수 수관폭 및 수고와 지표면 온도의 상관관계를 세부적으로 검토하기 위하여 산포도 및 추세선을 그려본 결과, 수관폭 변수가 보다 확연한 선형관계를 보임을 확인하였다.



[그림 3-14] 가로수 수관폭(좌) 및 수고(우)와 지표면온도의 상관관계

출처: 연구진 작성

가로수의 크기와 주변 온도의 상관관계를 분석하였던 다수의 선행연구에서 수고가 낮고 수관폭이 넓은 수목을 식재하는 것이 온도저감 효과가 크게 나타남(임현우 외, 2022)을 증명함에 따라, 가로수의 ‘수고 대비 수관폭 비율’과 지표면온도와의 상관관계를 살펴보았다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 수고 대비 수관폭 비율은 대부분 0.3-0.6의 범위에 위치하고 있으나 0.6이상의 비율을 가질 때 음(-)의 상관관계가 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다.

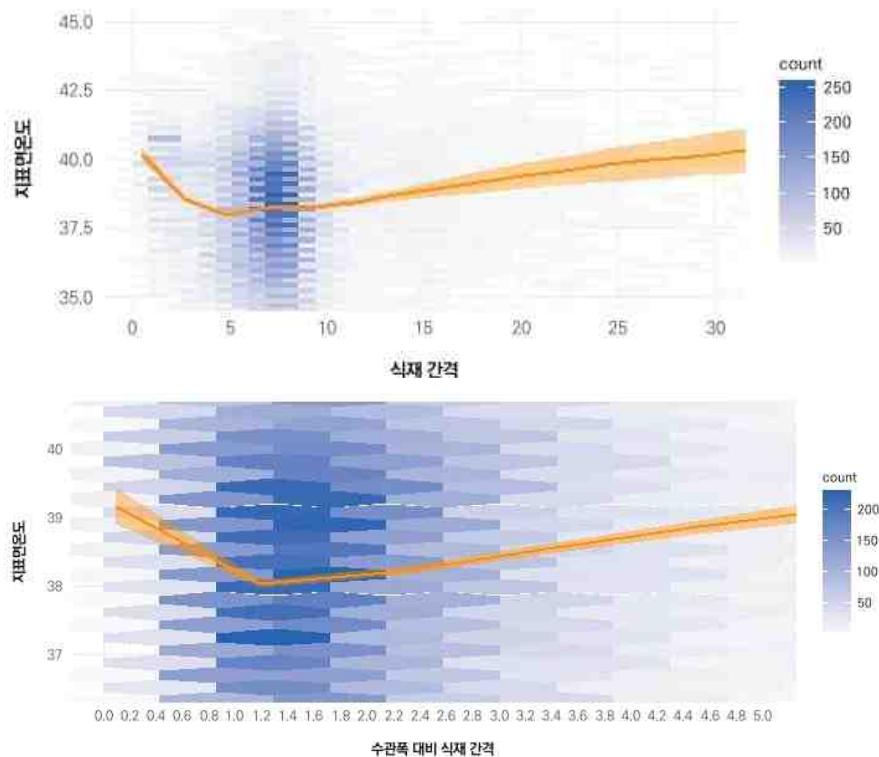


[그림 3-15] 가로수 수고 대비 수관폭 비율과 지표면온도의 상관관계

출처: 연구진 작성

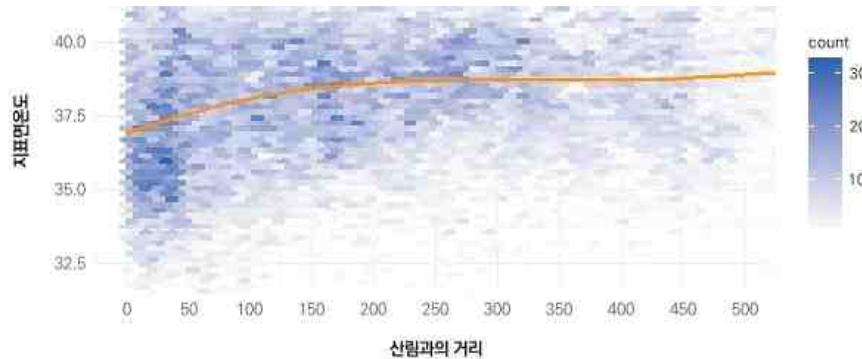
가로녹지 특성 중 식재의 배치 형태와 관련 있는 식재간격 데이터는 지표면온도에 양(+)의 상관관계를 나타내어, 가로수의 식재간격이 넓을수록 높은 온도 값을 가짐을 의미한다. 다만 가로수 식재 밀도를 모의하기 위하여 구축한 반경 5m 이내 가로수 개수는 음(-)의 상관관계를 보임에 따라, 일정 범위 이내의 밀식보다는 일정 간격 이상으로 식재하는 것이 온도저감에 효과적일 수 있다는 해석이 가능하다.

이는 식재간격과 지표면온도의 산포도를 통해 확인할 수 있는데, 대부분의 가로수가 6~8m 간격으로 식재된 것으로 나타나는 반면, 그래프 상에서는 식재간격이 그보다 작은 5m내외일 때 보다 낮은 지표면온도 값을 가지는 것으로 나타났는데, 이는 수관폭 현황과 관계가 있는 것으로 판단되었다. 수관폭 대비 식재간격을 살펴본 결과 비율이 약 1.1내외일 때 낮은 온도값을 가지는 것을 알 수 있으며, 다수의 지자체가 기준으로 제시하는 6~8m의 간격으로 식재할 경우, 가로수의 수관폭을 5.5~7.3m 크기까지 줄 수 있도록 관리해야 함을 시사한다.



[그림 3-16] 가로수 식재간격과 지표면온도의 상관관계
출처: 연구진 작성

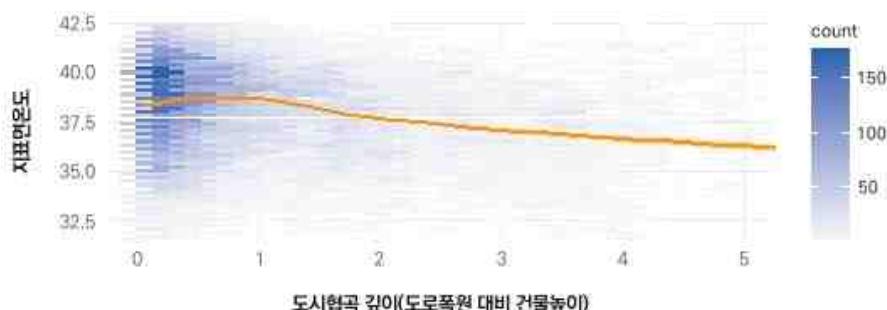
변수 중 공간적 특성인 면적 녹지시설의 분포와 관련된 산림과의 거리 및 산림외 녹지와의 거리는 모두 지표면온도와 양(+)의 상관관계를 갖는 것을 확인하였다. 산림 또는 공원, 하천 등의 면적 녹지시설은 해당 시설이 위치하는 지점 뿐만 아니라 주변지역의 온도도 저감하는 효과가 있음이 알려져왔다. 실제로 산림과의 거리에 대한 산포도 그래프를 살펴보면, 산림으로부터 약 200m 거리까지는 거리에 따른 온도값이 급변하는 것을 확인할 수 있다.



[그림 3-17] 산림까지의 거리와 지표면온도의 상관관계

출처: 연구진 작성

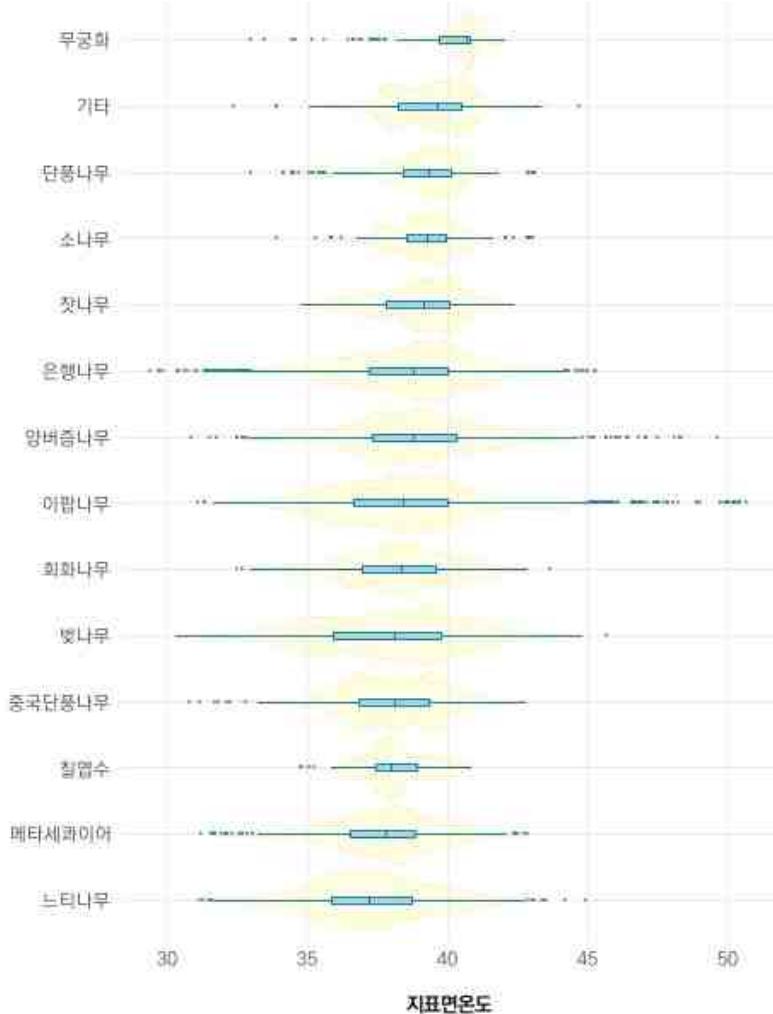
주요 공간시설인 건물의 경우, 건물의 높이와 건물과의 거리 변수는 지표면온도와 음(-)의 상관관계를, 건물에너지 발산량은 양(+)의 상관관계를 갖는다. 주변 지역의 건물 용도를 파악하고자 구축한 ‘반경 50m내 주요시설 면적의 총합’ 변수의 경우 단독주택과 연립·다세대주택, 상업시설, 공업시설 모두 지표면온도와 양(+)의 상관관계를 나타내며, 아파트의 경우에만 지표면온도와 음(-)의 상관관계가 나타났다. 도로의 폭원은 지표면온도와 양(+)의 상관관계를 보이는 것으로 확인되었다. 선행연구에서 건조환경의 특성을 분석할 때 활발하게 이용되는 도시협곡의 깊이(도로폭원 대비 건물 높이)는 산포도를 살펴보면 다수의 기존 연구 분석결과와 같이 깊이가 깊을수록 낮은 온도값을 가지는 경향을 보인다.



[그림 3-18] 가로수 수관폭과 지표면온도의 상관관계

출처: 연구진 작성

분석 변수 중, 이변량 상관관계 분석에서 제외하였던 범주형 변수인 가로수 수종 및 도로 방위 변수와 지표면온도와의 상관관계를 검토하기 위하여 바이올린 플롯(Violin Plot)³⁴⁾을 그려 분석하였다.



[그림 3-19] 가로수 수종과 지표면온도의 상관관계

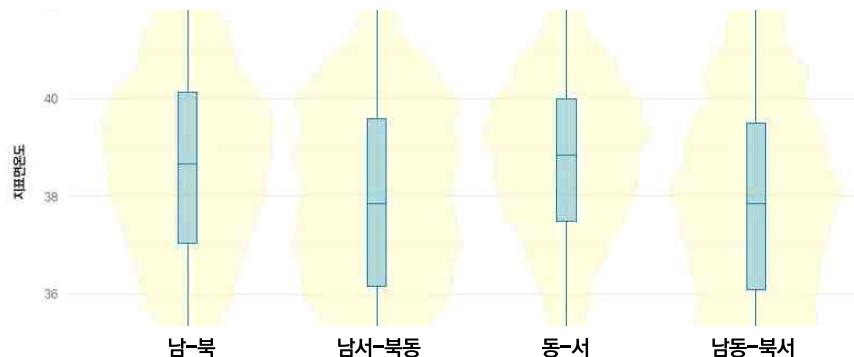
출처: 연구진 작성

가로수 수종³⁵⁾과 지표면온도의 상관관계를 살펴보면 가로수 수종별로 유의미한 온도 분포 차이가 있음을 확인할 수 있다. 높은 온도값에 분포되어 있는 수종은 관목인 무궁화와

34) 박스 플롯과 커널 밀도 곡선(Kernel Density Curve)의 결합 형태 그래프

35) 가로수 수종별로 100개 이하의 데이터를 갖는 경우 '기타'로 분류

소나무, 잣나무 등의 상록침엽교목이며 대체로 낙엽활엽교목에 해당하는 수종이 낮은 온도값에 위치하고 있다. 다만 앞서 가로수 크기 변수가 지표면온도와 유의미한 영향관계를 가지므로, 위의 그래프를 단편적으로 해석하기에는 어려움이 있는 것으로 사료된다.

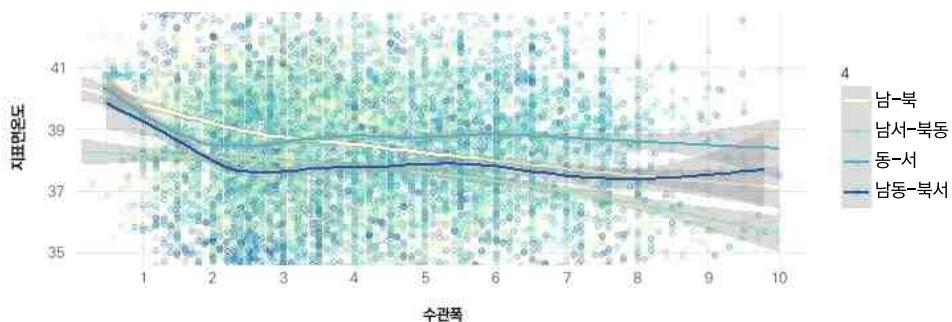


[그림 3-20] 가로수 수종과 지표면온도의 상관관계

출처: 연구진 작성

도로의 방위별 지표면온도 분포를 살펴보면 중앙값 및 전체적인 분포가 남서-북동 방향의 도로에서 가장 낮은 온도값을, 동-서 방향의 도로에서 가장 높은 온도값을 갖는 것으로 확인되었다. 이는 구축한 지표면온도 데이터가 오전 11시에 촬영한 위성영상자료를 기반으로 도출되었기 때문으로 보인다. 오전 11시까지 동-서방향의 도로가 가장 햇빛을 많이 받으며, 반대로 남서-북동 방향의 도로는 건물그림자가 도로 위로 생성되어서 햇빛을 적게받기 때문에 위와 같은 결과가 나왔음을 유추할 수 있다.

이는 도로의 방위에 따라 다른 변수 조건이 동일하더라도 온도가 달라질 수 있으며, 도로 방위별로 하루 전일동안의 온도변화가 다르게 나타날 수 있음을 의미한다. 아래 그래프 도로 방위별 가로수의 수관폭과 지표면온도의 상관관계가 다르게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 3-21] 도로 방위별 수관폭과 지표면온도의 상관관계

출처: 연구진 작성

② 다중회귀분석 결과

지표면온도를 종속변수로 두고 다중회귀분석을 실행한 결과 β 값을 확인하였을 때 상관관계 분석과 모순되지 않게 나타나는 것으로 확인되었다. 다만 잔차의 자기상관성을 확인하기 위하여 Durbin-Watson test를 수행한 결과, 검정 통계량은 검정 통계량은 1.929, p-value=0으로 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하는 것으로 확인되어, 잔차들 사이에 양의 자기상관성이 있는 것으로 나타났다. 이는 데이터를 가로수 단위로 모의하는 과정에서 공간적 자기상관성이 발생하였기 때문으로 추측되며, 이에 따라 본 연구에서는 기계학습을 이용하여 변수간 독립성 가정에 의존하지 않는 XGBoost Regression 을 수행하였다.

[표 3-4] 다중회귀분석 결과

독립변수	종속변수		지표면온도		
		β	t	VIF	
(상수)		38.2700	312.013***		
가로수 수고 대비 수관폭 비율 (수관폭/수고)		-.3560	-3.523***	1.434	
가로수 식재간격		.0564	6.587***	1.312	
5m 반경 내 가로수 개수		.2041	10.552***	2.803	
5m 반경 외, 10m 반경 내 가로수 개수		-.0499	-3.606***	2.273	
가로수 수종	낙엽침엽교목	.2247	5.257***	1.371	
(낙엽활엽교목	상록침엽교목	.2365	2.459***	1.691	
기준)	낙엽활엽소교목·관목	.8521	6.526*	1.177	
산림 이외의 녹지끼지의 거리		.0039	5.744***	1.715	
건물 에너지 소비량		.0373	3.542***	1.529	
가장 가까운 건물의 높이		-.0228	-22.445***	1.386	
가장 가까운 건물끼지의 거리		-.0092	-5.527***	2.249	
도로 폭		.0175	8.34***	1.347	
도로 방향	남서-북동 방향	-.1120	-2.023*	1.325	
(남-북 방향 기준)	동-서 방향	.4026	9.594***	1.290	
	남동-북서 방향	-.0097	-0.158	1.226	
건물 유형	반경 50m 내 아파트 면적	-.0008	-13.023***	1.737	
	반경 50m 내 다세대·연립주택 면적	.0004	5.754***	1.307	
	반경 50m 내 단독주택 면적	.0010	17.106***	1.330	
	반경 50m 내 상업시설 면적	.0003	8.347***	2.622	
	반경 50m 내 공업시설 면적	.0018	18.678***	1.073	
R-Square				0.363	
Durbin-Watson(d) [†]				1.929, p-value=0	

* $p<0.05$ ** $p<0.01$ *** $p<0.001$

출처: 연구진 작성

주: 변수 간 오차항의 자기상관 검정을 위해 Durbin-Watson test를 실시하였으며, 분석 결과 잔차의 자기상관성이 확인

③ 기계학습분석 결과

XGBoost 알고리즘은 회귀분석에서 필요한 변수간 독립성 가정에 의존하고 있지 않기 때문에, 공간적 특성과 가로녹지 특성을 나타내는 25개 모든 변수들을 학습에 투입해 분석을 진행했다. 전체 데이터의 80%를 학습용으로, 나머지 20%를 검증용으로 활용했으며, GB Tree(Gradient Boosting Tree)를 기본 학습자로, 지표면 온도의 예측값을 반환하는 것을 학습목표(Reg: linear)로 설정했다.

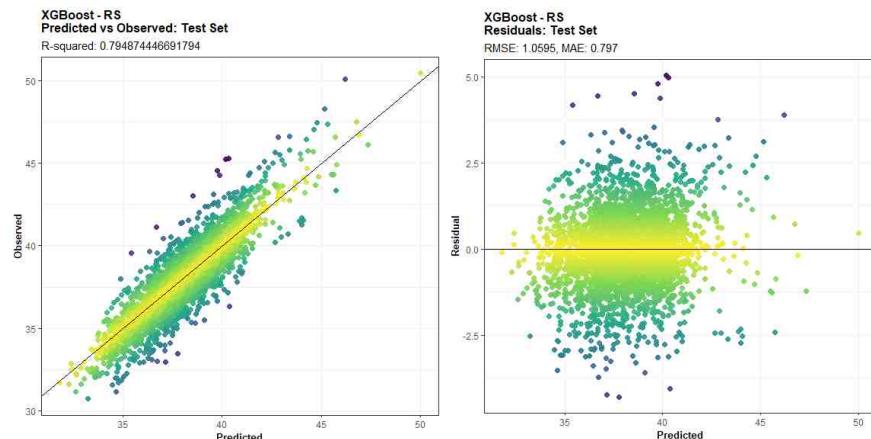
학습용 데이터셋을 대상으로 5겹의 교차검증(5-fold cross validation)을 통해 초모수(hyperparameter)를 튜닝하여 과적합(overfitting)을 방지하는 동시에 오차가 최소가 되도록 모델을 최적화했다. 튜닝된 초모수값의 결과는 다음과 같다.

[표 3-5] 초모수 튜닝 결과 ($N = 17,888$: 25개 변수)

nrounds	eta	max_depth	max_delta_step	min_child_weight	subsample	colsample_bytree
1,000	0.0028	10	9	9	0.806	0.725

출처: 연구진 작성

이렇게 튜닝된 모델을 검증용 데이터셋에 적용해 지표면 온도를 예측한 결과는 아래 [그림 3-22]에서 보는 것과 같으며, $R^2=0.795$ 로 다중회귀분석의 $R^2=0.363$ 보다 정확한 예측력을 갖는 것이 확인되었다.



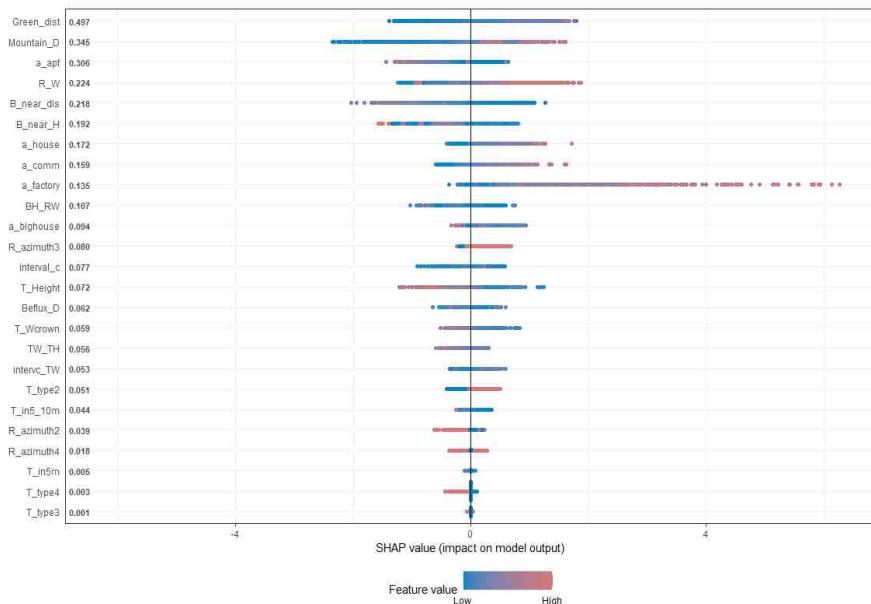
[그림 3-22] XGBoost 모델에 의한 지표면 온도 예측 결과 (25개 변수)

출처: 연구진 작성

SHAP 절대값의 평균으로 지표면 온도 예측에 가장 영향력이 큰 변수 순으로 추출한 결과는 다음 [그림 3-23]에서 보는 것과 같다. ‘산림외 녹지와의 거리 = 0.497’가 지표면 온

도 예측 결과에 가장 영향력이 크며, 그 다음으로 ‘산림과의 거리 = 0.345’, ‘50m 반경내 아파트 면적 = 0.306’, ‘도로폭 = 0.224’, ‘건물과의 거리 = 0.218’, ‘건물 높이 = 0.192’ 순으로 영향력이 큰 것으로 나타났다. 가로녹지 특성과 관련된 변수는 상대적으로 영향력이 낮은 편이지만, 그 중에서는 ‘가로수 식재 간격 = 0.077’과 ‘가로수 높이 = 0.072’가 유의미한 영향력을 갖는 것이 확인된다.

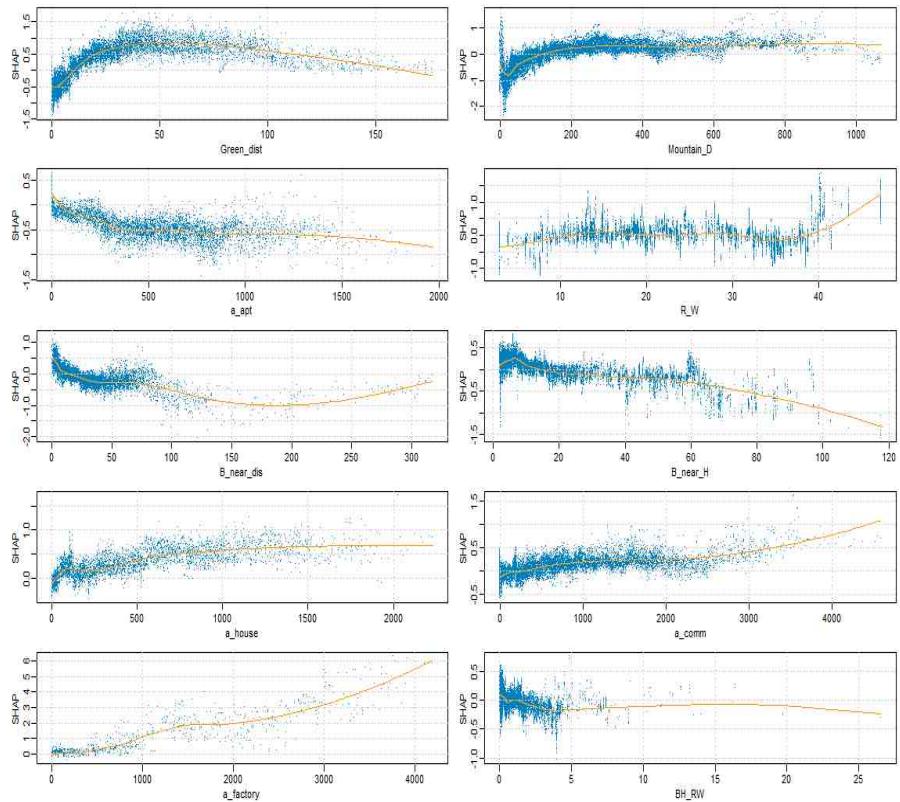
개별 변수들과 지표면 온도의 국지적 관계를 살펴보면, ‘산림외 녹지와의 거리’와 ‘산림과의 거리’가 멀수록, 그리고 ‘50m 반경내 상업시설 면적’과 ‘50m 반경내 공업시설 면적’이 클수록 지표면 온도가 높아지는 경향이 확인될 수 있다. 반면, ‘50m 반경내 아파트 면적’이 크고, ‘건물과의 거리’가 멀고, ‘건물 높이’가 높을수록 지표면 온도는 낮아지는 경향이 있는 것으로 확인된다. 이상의 해석은 상관관계분석의 결과와도 일치한다.



[그림 3-23] 지표면 온도 예측에 대한 개별 변수들의 SHAP 값 (N = 17,888)

출처: 연구진 작성

하지만 개별 변수들과 지표면 온도의 관계는 선형적이지 않는데, 예를 들어 ‘산림외 녹지와의 거리’가 50m까지는 거리가 멀어질수록 지표면 온도가 높아지지만 그 이상의 거리에서는 오히려 지표면 온도가 낮아지는 경향이 있는 식이다. 마찬가지로 ‘산림과의 거리’는 200m까지는 거리가 멀어질수록 지표면 온도가 높아지지만 그 이상의 거리에서는 큰 영향이 없는 것이 확인될 수 있다(그림 3-24).



[그림 3-24] 개별 변수와 SHAP의 비선형적 관계 (상위 10개 변수)

출처: 연구진 작성

‘도로폭’의 경우 약 15m 이하와 40m 이상의 도로에서는 폭원의 증가와 함께 지표면 온도가 상승하지만 그 사이 폭원의 도로에서는 그러한 경향이 사라지거나 역전되는 경향이 나타난다. 특히 40m 이상의 도로에서 급격하게 폭원이 증가할수록 지표면 온도가 증가하는 것으로 나타나는데 이는 도로 폭이 너무 넓은 경우 도로의 아스팔트 또는 콘크리트 포장으로 인한 열의 흡수와 방출이 주변지역에 영향을 미치기 때문으로 보인다. 또한 ‘가장 가까운 건물과의 거리’의 경우 150m까지는 건물이 멀수록 지표면 온도가 낮아지지만 그 이상의 거리에서는 건물이 멀수록 지표면 온도가 높아지는 경향이 확인되는데, 이는 도로 폭원이 넓을수록 건물과의 거리도 멀어지는 상관관계와 무관하지 않은 것으로 파악된다. ‘가장 가까운 건물의 높이’의 경우 10m 높이까지는 건물이 높을수록 지표면 온도도 높아지지만 그 이상의 높이에서는 건물이 높을수록 지표면 온도가 낮아지는 확실한 경향이 보이는데, 건물이 충분히 높을수록 강한 그림자를 형성하기 때문인 것으로 해석될 수 있다. 이러한 결과들은 건물과 도로의 공간적 배치를 종합적으로 고려할 필요를 함의한다.

반면 ‘50m 반경내 아파트 면적’은 지표면 온도를 낮추는 방향으로 기여하는 선형적 경향이 있으며, ‘50m 반경내 단독주택 면적’, ‘50m 반경내 상업시설 면적’, ‘50m 반경내 공업시설 면적’은 지표면 온도를 높이는 방향으로 기여하는 선형적 경향이 확인된다. 이상의 결과들은 상관관계분석 결과를 종합한 내용과 일관되지만, 비선형 회귀분석을 통해 보다 정확한 해석을 제공해주고 있는 것으로 파악된다.

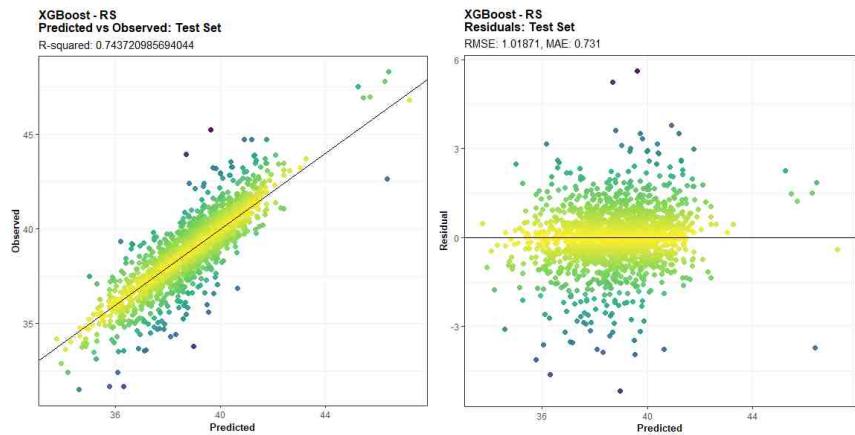
가로녹지의 필요성 및 중요성이 높은 도심부를 중심으로 분석을 수행하기 위하여, 산림으로부터 200m 이내 지역을 제외하고 모델을 구성하여 다시 분석을 수행하였다. 또한 유사성이 높은 변수들 중 대표변수를 선별하여 변수의 개수를 20개로 축소하였다. 도심부로 분석 대상을 한정하며 데이터의 개수는 17,888개에서 8,327개로 축소되었으며, 이전 분석과 마찬가지로 축소된 데이터 전체의 80%를 학습용으로, 나머지 20%를 검증용으로 활용했다. 기본 학습자는 GB Tree(Gradient Boosting Tree)로 학습목표는 지표면 온도의 예측값을 반환하는 회귀분석으로 동일하게 설정했으며, 동일한 교차검증 방식으로 초모수를 튜닝한 결과 690번째 학습자에서 조기종료(early stopping)가 발생했다. 튜닝된 초모수값의 결과는 다음과 같다.

[표 3-6] 초모수 튜닝 결과 (N = 8,327; 20개 변수)

nrounds	eta	max_depth	max_delta_step	min_child_weight	subsample	colsample_bytree
690	0.0024	9	7	5	0.876	0.611

출처: 연구진 작성

이렇게 튜닝된 모델을 검증용 데이터셋에 적용해 지표면 온도를 예측한 결과는 아래 [그림 3-25]에서 보는 것과 같으며, R²=0.744로 여전히 정확한 예측력을 갖지만 ‘산림과의 거리’가 투입된 모델과 비교해서는 예측 정확도가 소폭 감소하는 것이 확인된다.

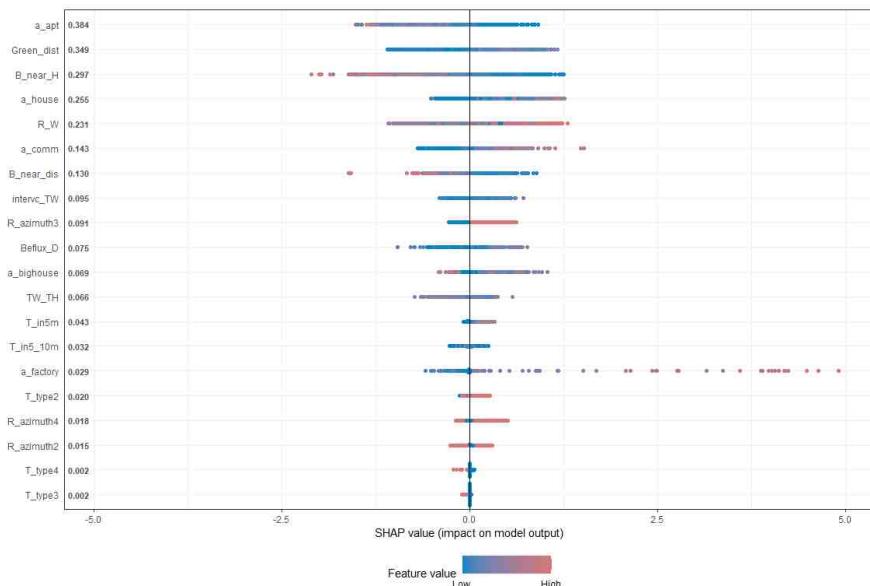


[그림 3-25] XGBoost 모델에 의한 지표면 온도 예측 결과 (20개 변수)

출처: 연구진 작성

SHAP 절대값의 평균으로 지표면 온도 예측에 가장 영향력이 큰 변수 순으로 추출한 결과는 다음 [그림 3-26]에서 보는 것과 같다. ‘50m 반경내 아파트 면적 = 0.384’이 지표면 온도 예측 결과에 가장 영향력이 크며, 그 다음으로 ‘산림과 녹지와의 거리 = 0.349’, ‘건물 높이 = 0.297’, ‘50m 반경내 단독주택 면적 = 0.255’, ‘도로폭 = 0.231’ 순으로 영향력이 큰 것으로 나타났다. 특히 주목할 만한 결과는 가로녹지 특성과 관련된 ‘수관폭 대비 가로수 식재간격 = 0.095’이 상대적으로 중요해지면서 상위권에 포함된 것이며, ‘5m 반경 내 가로수 개수 = 0.043’도 그 영향력이 대폭 증가한 것을 확인할 수 있다. 즉 산림과의 거리가 가까운 도시 외곽지역보다 산림과의 거리가 먼 도심부에서 가로공간의 열환경에 대한 가로녹지의 영향력이 크게 나타난다고 볼 수 있다.

개별 변수들과 지표면 온도의 국지적 관계는 이전 모델의 결과와 대부분 일치하기 때문에 새롭게 영향력이 증가한 가로녹지 특성을 중심으로 살펴보면, ‘수관폭 대비 가로수 식재간격’이 줍고, ‘수고 대비 수관폭’이 크고, ‘5m 반경 내 가로수 개수’가 많을수록 지표면 온도가 낮아지는 경향을 확인할 수 있다.

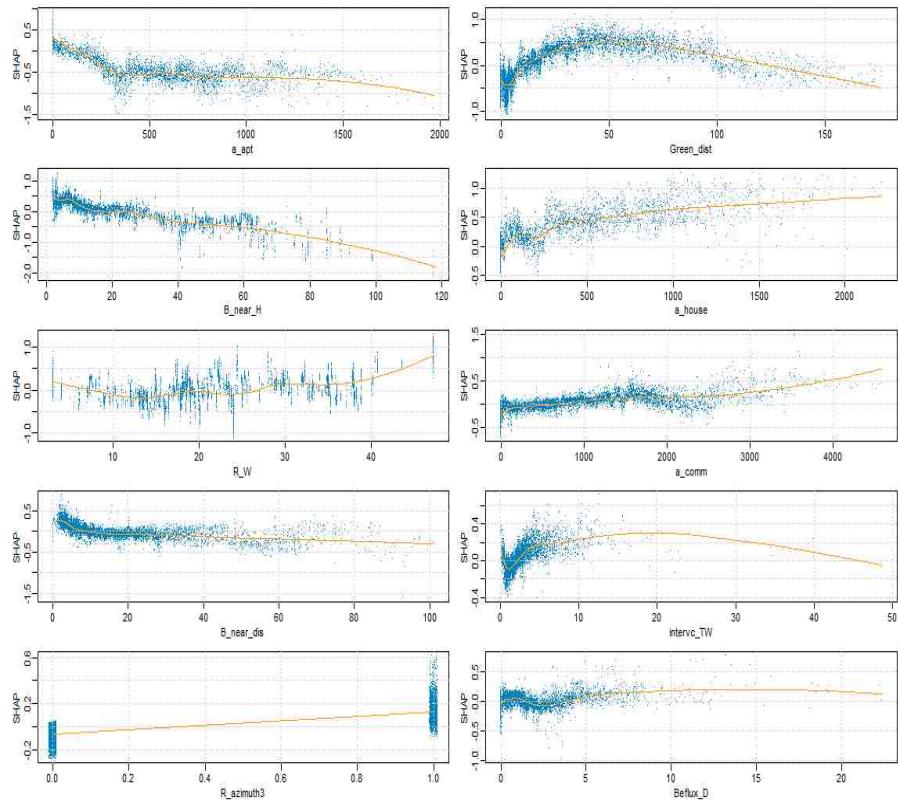


[그림 3-26] 지표면 온도 예측에 대한 개별 변수들의 SHAP 값 (N = 8,327)

출처: 연구진 작성

개별 변수들과 지표면 온도의 비선형적 관계 역시 이전 모델과 큰 차이를 갖지 않기 때문에 새롭게 상위권에 진입한 가로녹지 관련 변수들을 중심으로 좀 더 자세히 살펴보면, ‘수관폭 대비 가로수 식재간격’의 경우 그 값이 2 이하까지는 지표면 온도를 낮추는데 기

여하지만 그 이상이 될수록 오히려 지표면 온도와 함께 증가하는 경향이 확인되며, 값이 약 1.2일 때 가장 낮게 기여하는 것을 확인할 수 있다. 즉 수관폭 대비 가로수 식재간격이 약 1.2 내외일 때 온도저감 효과가 가장 크며, 최소한 그 값이 2 이하일 때 온도저감에 효과가 있는 것으로 해석할 수 있다. 또한 ‘도로방향’이 동서방향일수록 지표면 온도가 증가하며, ‘건물에너지’는 그 값이 3까지는 건물에너지의 증가와 함께 지표면 온도가 감소하지만 그 이상의 경우에는 지표면 온도가 증가하는 경향이 있음도 주목할 만하다.



[그림 3-27] 개별 변수와 SHAP의 비선형적 관계 (상위 10개 변수)

출처: 연구진 작성

3) 소결

가로공간의 열환경에 영향을 미치는 요인들을 파악하기 위하여, 선행연구 고찰을 통해 변수를 구축하고, 상관관계분석 및 기계학습을 이용한 회귀분석을 수행하여 각 변수와 온도 간의 영향관계를 살펴보았다. 이를 위하여 미시적 공간 규모에 맞는 온도 데이터를 구축하는 선행 작업을 수행하였고, 가로수의 유무 보다는 가로수의 규격 및 배치 등에 따른 영향관계를 살피고자 가로수 위치 점(point) 데이터를 분석단위로 하여 변수를 구축하였다. 각 변수는 공간적 특성, 가로녹지 특성으로 구분하였고 상관분석 결과 대부분의 변수가 종속변수인 LST(지표면온도)와 통계적으로 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 이를 통하여 지표면온도와 다양한 변수가 비선형적인 관계를 가질 것으로 예상하여 기계학습을 수행하였으며, 분석결과 모든 변수를 투입할 경우 $R^2=0.795$, 산림으로부터의 거리가 200m이상인 변수들만 투입할 경우 $R^2=0.744$ 로 비교적 높은 설명력을 보였다. 지표면온도와 개별변수의 관계에 대한 구체적인 분석결과는 다음과 같다.

공간적 특성의 경우, 가로를 구성하는 주요 물리적 요소인 건물과 도로의 특성 정보와 주변 면적 녹지시설과의 거리에 대한 분석을 수행하였다. 면적 녹지시설인 산림의 경우, 산림과의 거리가 가까울수록 지표면온도가 낮은 것을 확인할 수 있었으며, 특히 거리가 200m 이내인 경우 거리에 따른 온도값이 급변하는 것을 확인하였다. 이에 따라 도심부의 데이터를 중심으로 두 번째 모델 구성 시에는 산림으로부터의 거리가 200m 이내에 위치하고 있는 지역은 분석에서 제외하여 분석을 수행하였다.

건물의 경우, 건물의 높이, 건물과의 거리, 건물의 용도, 건물 에너지 등을 변수로 하였고, 도로의 경우 도로의 폭과 방위를 변수로 하여 상관관계를 살펴보았다. 건물의 높이는 지표면온도와 음(-)의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 이는 주변 건물 높이가 높을수록 가로공간의 온도가 낮아짐을 의미한다. 도로의 폭은 지표면온도와 양(+)의 상관관계가 있는 것으로 나타났는데, 이는 가로수가 식재된 도로가 넓을수록 지표면온도가 높아짐을 나타낸다. 선행연구에서는 건물의 높이와 도로의 너비를 도시 협곡(Street Canyons, 도로폭원 대비 건물높이)으로 표현하는 경우가 많은데, 이 경우 역시 지표면온도와 음(-)의 상관관계를 나타냄을 확인하여 협곡의 깊이가 깊을수록 온도가 낮음을 확인하였다. 다만 온도와 도시협곡깊이 간의 추세선을 그려보았을 때, 협곡 깊이의 비율이 약 1.0 이하일 때는 오히려 깊이가 깊을수록 온도가 증가하는 양상을 보였는데, 이는 협곡이 낮은 경우에는 바람이 잘 통하는 등의 다른 영향요인이 크게 발생하기 때문으로 판단된다.

건물 용도는 50m 반경 내 단독주택면적, 다세대·연립주택면적, 아파트면적, 상업시설면

적, 공업시설면적으로 구분하여 분석하였고, 그 결과 아파트면적은 지표면온도와 음(-)의 선형적 경향을 가지며 특히 도심부에서 지표면온도 예측 결과에 가장 영향력이 큰 것으로 나타났다. 단독주택, 상업시설, 공업시설의 경우 지표면온도와 양(+)의 선형적 경향을 갖는 것으로 나타났다. 이는 가로 주변에 단독주택 또는 다세대·연립주택 등의 저층주거지 밀집지역의 평균적인 온도가 높다는 것을 의미하며, 향후 폭염대응을 고려한 가로녹지계획 수립 시 저층주거지 밀집지역에 대한 면밀한 검토가 선행되어야 함을 시사한다.

또한 도로의 방위에 따라 평균적인 온도분포가 상이하게 나타남을 확인하였는데, 도로의 방위별 지표면온도 분포를 살펴보면 중앙값 및 전체적인 분포가 남서-북동 방향의 도로에서 가장 낮은 온도값을, 동-서 방향의 도로에서 가장 높은 온도값을 갖는 것으로 확인되었다. 이는 구축한 지표면온도 데이터가 오전 11시의 데이터임과도 관련이 있는데, 오전 11시까지 동-서방향의 도로가 가장 햇빛을 많이 받으며, 반대로 남서-북동 방향의 도로는 건물그림자가 도로 위로 생성되어서 햇빛을 적게받기 때문에 위와 같은 결과가 나왔음을 유추할 수 있다. 이는 도로의 방위에 따라 다른 변수 조건이 동일하더라도 온도가 달라질 수 있으며, 도로 방위별로 하루 전일동안의 온도변화가 다르게 나타날 수 있어 향후 가로녹지계획 시, 도로의 방위별로 다른 전략을 취함이 적절함을 시사한다.

가로녹지의 특성은 가로수의 크기에 대한 수고와 수관폭 데이터와 가로수 수종, 배치유형과 관련한 식재간격, 일정 반경 내 가로수 개수 등을 변수로 하여 살펴보았다. 가로수 수고와 수관폭의 경우는 모두 지표면온도와 음(-)의 상관관계를 가져, 가로수의 크기가 클수록 주변 온도는 낮은 값을 가짐을 확인하였다. 다만 수고와 수관폭의 경우 서로 영향관계가 있을 수 있으므로, 선행연구 검토결과에 따라 ‘수고 대비 수관폭 비율’과 지표면온도와의 상관관계를 추가로 살펴보았다. 그 결과 수고 대비 수관폭 비율이 높을수록 지표면온도가 낮은 값을 가짐을 확인하였고, 추세선을 그려본 결과 그 비율이 0.6 이상 일 때 음(-)의 상관관계가 명확하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 가로수의 가지치기 등을 수행할 시에 일정 폭 이상의 수관폭을 유지하여야 가로수의 온도저감기능이 충분히 발휘될 수 있음을 의미한다.

수관폭 대비 식재간격과 온도와의 관계를 살펴본 결과, 비율이 약 1.2내외일 때 가장 낮은 온도값을 가지는 것을 알 수 있다. 이는 다수의 지자체가 기준으로 제시하는 6~8m의 간격으로 식재할 경우, 가로수의 수관폭을 5~7m 크기까지 클 수 있도록 관리해야 함을 시사하며, 의정부시 가로수의 평균 수관폭인 약 4m를 유지할 계획이라면 식재 간격은 4.8m 내외의 좁은 간격으로 하여야 함을 의미한다. 또한 수관폭 대비 식재간격 비율이 2 이하일 경우에 온도저감에 유의미한 영향이 있음을 확인하였다.

2. 가로유형별 현장 실태 조사

1) 실태조사 개요

가로유형별 현장 실태 조사는 기계학습 지표면 온도 상세화 기법을 통해 도출된 지표면 온도값을 기준으로 핫스팟 지역을 도출하고, 해당 지역을 중심으로 현장실태를 통해 가로의 열환경이 보행자의 체온을 얼마나 증감시키는지 파악하고자 하였다.

가로 유형별 현장 실태를 조사하기 위해 열화상 카메라(FLIR E8)과 카메라, 워킹메타를 활용하여 온도와 보도, 가로수 식재 폭, 현장의 가로의 물리적 현황 등을 탐색하였다. 우선 지표면 온도정보데이터를 통해 가로수 단위로 온도가 가장 높은 가로를 도출하고, 가로수 식재 위치를 파악하였다. 이를 기반으로 실제 현장조사에서는 식재의 위치, 띠녹지 분포, 다층식재 여부 등을 파악하여 가로녹지 환경을 파악하였다.

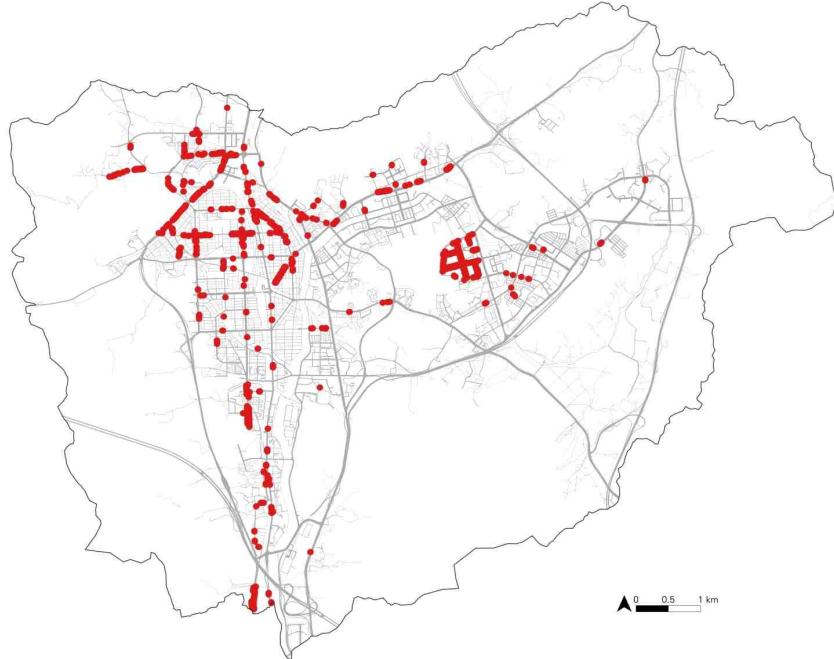
□ 대상지 선정기준

현장조사 실태를 추진하기위해서 지표면 온도정보데이터를 활용하여 가로 수목위치의 지표면 온도를 추출하였다. 핫스팟 분석을 시행하였으며, 그 중 온도가 높은 지역을 중심으로 대상지를 1차로 선별하였다. 아래 그림에서 살펴보면 Hot Spot 수목의 경우의 정부동과 그 주변에 크게 밀집되어있는 것을 확인할 수 있다. 도심지 내 고밀도의 빌딩들 사이에 위치한 도로의 수목이나 식생 비율이 적은 대로면 주변에 놓인 수목에 Hot spot 수목이 분포하고 있다. 또한 산업단지 건물들 사이에 위치한 가로 수목의 경우 뚜렷한 Hot spot 군집을 이루고 있는 것을 볼 수 있다.

1차로 도출된 지역 중 건축물의 그늘형성에 영향을 주는 건물 특성과 도로 특성을 중심으로 대상지를 선정하였다. 산업단지와 같은 특정 토지유형의 경우 온도가 높은 유형이 도출되나 해당 지역의 경우, 산업단지가 존재하는 지역을 중심으로 나타나는 형태로 이번 분석에서는 제외하였다. 그리고 그들의 경우, 도로 방향에 따라 차이가 있기 때문에 교차로를 중심으로 남북방향, 동서방향으로 온도가 높은 지점의 특성을 가진 지역으로 선정하였다.

건축물의 경우, 중저층 건물 밀집지역이 도시 토지유형 특성상 매우 높은 열환경 분포를 나타내기 때문에(Bechtel et al. 2019), 해당 지역을 중심으로 물리적 환경을 파악했으

며, 도로 특성은 넓은 도로 영역일 경우, 불투수 비율이 높고 주변 식생 비율이 적은 지역을 중심으로 대상지를 선정하였다. 추가로 주변의 온도 및 그늘형성에 영향을 줄 수 있는 녹지인 공원과 식재가 가능한 공개공지지역을 추가로 선정하여 물리적 환경을 파악하였다.



[그림 3-28] 의정부시 핫스팟 지역

출처: Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)의 Landsat8 위성 자료를 활용하여 도출한 온도데이터의 핫스팟 분석을 수행하여 연구진 작성

온도가 높은 지점을 1차로 선정하고, 다음으로 가로의 온도에 영향을 미칠 수 있는 요소인 주변의 건물, 도로, 토지유형 등을 고려하여 최종 대상지를 선정하였다.

- A 대상지 : 가능로 일대 구도심 시역
- B 대상지 : 신흥로 일대 주거지역
- C 대상지 : 신안아파트앞 사거리 신도시 주거지역

□ 실태조사 방법

현장조사는 맑은 날을 기준으로 온도가 높은 시간대를 고려하여 2021년 8월 10일, 8월 17일~18일에 걸쳐 태양 고도가 가장 높은 12시 30분 이후인 오후 1시부터 오후 3시이 전까지 대상지내 온도를 측정하였다. 온도 측정방법은 가로를 이용하는 보행자관점에서 파악하기 위해서 대상지내 특정 지점에서 1차로 온도를 측정하고 5분이 지난 시점에서 2차로 측정하여 보행자의 체온 온도변화를 파악하였다.

2) 실태조사 결과

□ A 대상지

A 대상지는 제2종일반주거지역으로 가로주변에는 중저층 건물이 위치해 있다. 대상지 중심의 교차로를 중심으로 북쪽에 있는 도로부터 1번을 시작으로 시계방향으로 총 4개의 가로가 존재한다.



[그림 3-29] A 대상지 위치도

출처: 연구진 작성

1번가로는 가로에 인접한 건물의 경우 식당과 카페로 운영되고 있으며 건물높이는 평균 8m 건물이 가로에 인접해 있다. 1번 가로의 경우 도로폭은 20m로 비교적 넓은 편이며 양쪽으로 보도가 4m로 조성되어 있다. 1번 가로의 가로녹지의 형태는 가로수로 수종은 느티나무이다. 평균 수고는 8.3m이며 수관폭은 4.3m로 A 대상지 내에서는 비교적 큰 가로수에 속한다. 특히 1번가로는 가로의 양쪽에 노상주차장이 마련되어 있어 상시 주차된 차량이 많아 인근 가로의 온도를 높이는 경향을 보여준다.



[그림 3-30] A 대상지 1번 가로 현황

출처: 연구진 촬영

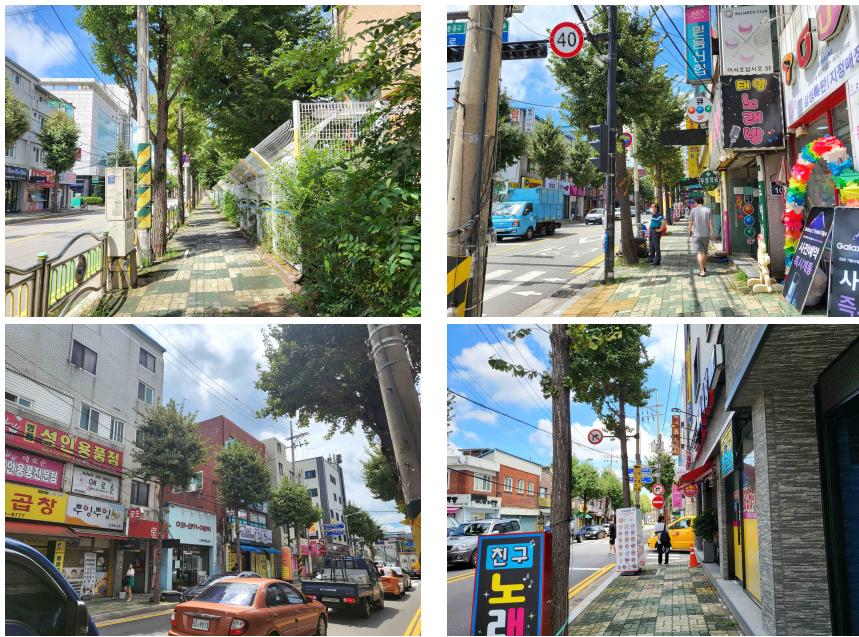
평균체온을 측정하기 위해 열화상 카메라에서 FLIR Thermal Studio를 활용하여 사람 형상을 1차로 추출하였다. 그 결과는 다음과 같다. 해당 가로의 1차 측정 결과 평균체온은 32.0°C, 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 41.1°C로 나타났다. 5분 경과 후 측정결과 평균체온은 33.7°C로 그늘이 형성되지 않은 지점에서의 체온은 1.7°C 상승하는 결과를 보여주었다.



[그림 3-31] A대상지 남북방향 가로에서의 5분동안 기온 변화(1)

출처: 연구진 촬영

2번과 4번가로도 마찬가지로 가로에 인접한 건물의 경우 식당과 카페로 운영되고 있으며 건물높이는 4m부터 18m까지 다양하고, 2~3층 규모의 건축물이 가로에 가장 많이 인접해 있다. 동서방향으로 뻗어있는 2번과 4번가로의 도로폭은 15m정도이며 양쪽보도는 평균 2~3m로 1번가로보다는 좁게 조성되어 있다. 2번과 4번가로의 녹지형태는 1번가로와 동일하게 가로수이며 수종은 은행나무이다. 평균 수고는 7.8m, 수관폭은 2.7m, 식재는 평균 6m간격으로 조성되어있다.



[그림 3-32] A 대상지 2번, 4번 가로 현황

출처: 연구진 촬영

2번가로에서 온도측정 결과, 1차 측정 시 평균체온은 32.7°C , 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 45.8°C 로 나타났다. 5분 경과 후 측정결과 평균체온은 34.1°C 로 그늘이 형성되지 않은 지점에서의 체온은 1.4°C 상승하는 결과를 보여주었다.

1차 측정 평균체온(32.7°C)/최고온도(45.8°C)



2차 측정 균체온(34.1°C)/최고온도(46.0°C)



[그림 3-33] A대상지 동서방향 가로에서의 5분동안 기온 변화

출처: 연구진 촬영

마지막으로 3번 가로는 A 대상지내 4개의 가로중 도로 폭이 넓으며 가로에 인접한 건축물이 가장 적은 곳이다. 가로의 서쪽편에는 건축물이 6동 정도 존재한다. 동쪽편에는 가로 인접지에 나대지와 일부 밭이 조성되어 있어 건물에 의한 그늘형성을 기대하기는 어렵다. 또한 식재된 가로수의 수고는 평균 4.5m, 수관폭은 2m내외로 도로나 보도폭에 비교해 가장 작은 크기의 가로수가 식재되어 있다.



[그림 3-34] A 대상지 3번 가로 현황

출처: 연구진 촬영

3번가로에서 온도측정 결과, 1차 측정 시 평균체온은 33.4°C, 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 40.1°C로 나타났다. 5분 경과후 측정결과 평균체온은 35.7°C로 그늘이 형성되지 않은 지점에서의 체온은 2.3°C 상승하는 결과를 보여주었다.

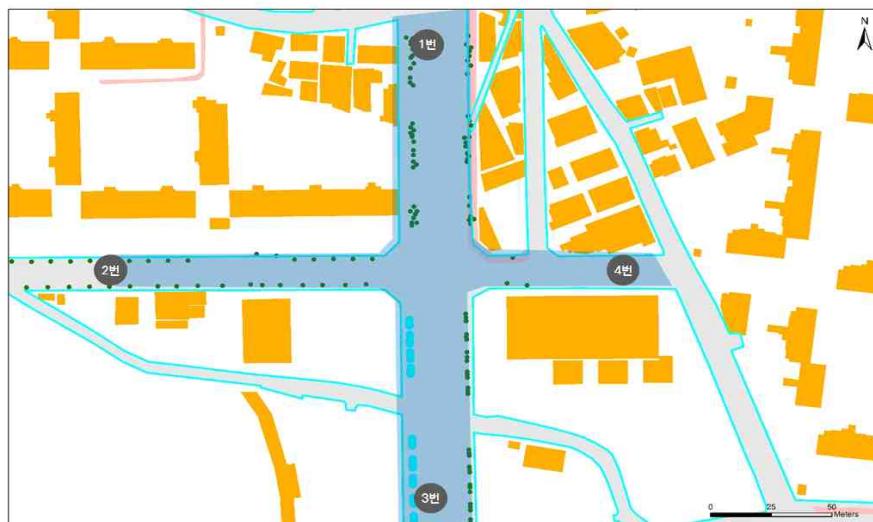


[그림 3-35] A대상지 남북방향 가로에서의 5분동안 기온 변화(2)

출처: 연구진 촬영

□ B대상지

B대상지는 제1종~제3종일반 주거지역으로 교차로를 중심으로 북측에 위치한 1번가로의 서쪽편은 아파트, 동쪽편은 상가건물이 위치해있다. 3번가로의 동쪽에는 물류센터가 있으며 왼쪽에는 현재 아파트 단지 공사로 철제 가림막이 설치되어 있다.



[그림 3-36] B 대상지 위치도

출처: 연구진 작성

가로별 특성을 살펴보면 1번 가로는 가로의 동서에 위치한 건축물의 유형이 다르며 건물의 높이는 최소 2m에서 최대 61m 까지 다양하다. 1번가로의 도로폭은 32m이며 보도는 양쪽으로 3.7m로 조성되어 있다. 1번 가로의 경우, 자전거 도로가 자동차 도로 가장자리에 별도로 조성되어 있으며, 자전거 도로와 보도 사이에 위치한 가로수가 양쪽으로 그늘을 형성해주고 있다.



[그림 3-37] B 대상지 1번가로 현황

출처: 연구진 촬영

1번가로녹지의 형태는 가로수로 수종은 소나무, 단풍나무, 벚나무, 느티나무 4가지로 구성되어 있으며 그중 소나무가 28그루로 가장 많다. 평균수고 및 수관폭은 6.2m, 3.2m이며, 양쪽 가로 모두 가로수와 함께 띠녹지가 함께 조성되어 있다. 가로수가 군집 형태로 조성되어 있어 빈곳이 존재하나 아파트단지에 식재된 조경으로 가로 전반적으로 나무터널이 형성되어 있어 보행자에게 연속적인 그늘을 제공한다.

해당 가로의 1차 측정 결과 평균체온은 34.6°C, 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 37.3°C로 나타났다. 5분 경과 후 측정결과 평균체온은 34.6°C로 변화가 없었다. 반면에 그늘간의 간격이 넓은 공간의 경우 1차 측정결과에 비해 평균 체온이 3°C 가량 증가하는 결과를 보여주었다.



[그림 3-38] B 대상지 1번가로에서 5분동안 체온 변화

출처: 연구진 촬영

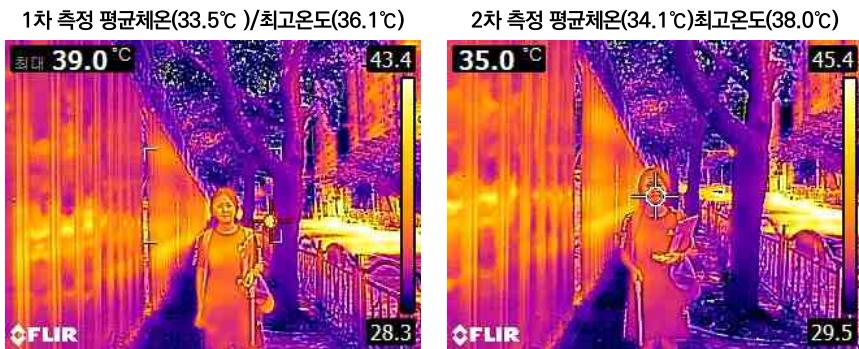
2번 가로의 남쪽은 공사현장으로 철근 가림막이 설치되어 있어 이로 인한 그늘이 보도에 형성된다. 북쪽은 아파트 단지로 도로에 인접해 있는 부분에 식재와 울타리가 함께 조성되어 있다. 가로의 도로폭은 14m, 양쪽에 조성된 보도는 2m로 1번가로에 비해 상대적으로 좁다. 식재된 가로 녹지의 특징을 살펴보면 모두 가로수 형태로 한 그루(가죽나무)를 제외하고 모두 벚나무로 식재되어있다. 가로수의 평균 수고는 6.6m, 수관폭은 7m로 대상지 내에서 넓은 수관폭은 지니고 있다.



[그림 3-39] B 대상지 2번가로 현황

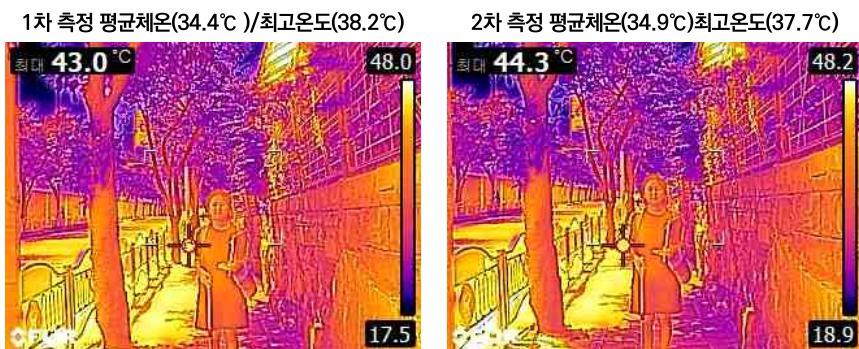
출처: 연구진 촬영

해당 가로의 1차 측정 결과 평균체온은 33.5°C , 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 36.1°C 로 나타났다. 5분 경과 후 측정결과 평균체온은 34.1°C 로 체온은 0.6°C 증가하는 결과를 보여주었다.



[그림 3-40] B 대상지 2번가로에서 5분동안 체온 변화(1)

출처: 연구진 촬영



[그림 3-41] B 대상지 2번가로에서 5분동안 체온 변화(2)

출처: 연구진 촬영

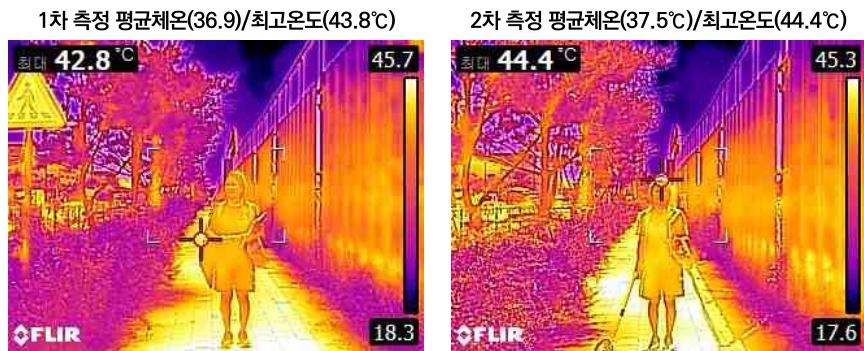
3번 가로는 가로의 동쪽은 공사현장으로 가설방음벽이 설치되어 있고, 서쪽은 물류센터로 철제로 된 투시가능한 울타리가 조성되어 있다. 가로의 도로폭은 1번가로와 동일하게 도로폭은 32m이며 보도는 양쪽으로 3.7m로 조성되어있다. 식재된 가로 녹지는 가로수와 함께 보도를 따라 띠녹지 형태로 길게 형성되어있다. 가로수의 종류는 이팝나무와 소나무이며 두 종류의 가로수가 비슷한 비율로 식재되어 있다. 가로수의 평균 수고는 4.7m, 수관폭은 1.9m로 대상지내에서 가장 작은 규모이며, 크기가 작아 보도에 그늘을 형성해 주지 못하는 단점이 존재한다.



[그림 3-42] B 대상지 3번가로 현황

출처: 연구진 촬영

해당 가로의 1차 측정 결과 평균체온은 33.5°C, 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 36.1°C로 나타났다. 5분 경과 후 측정결과 평균체온은 34.1°C로 체온은 0.6°C 증가하는 결과를 보여주었다.



[그림 3-43] B 대상지 3번가로에서의 5분동안 체온 변화

출처: 연구진 촬영

4번 가로는 가로의 남쪽은 물류센터가 위치해있으며 동쪽에는 높은 교회건물이 위치해 있다. 가로의 도로폭은 15m, 보도폭은 2m로 대상지내에서 보도폭이 가장 좁게 조성되어 있다. 식재된 가로 녹지는 3그루로 모두 벚나무이며 수고는 6m, 수관폭은 7.3m 이상으로 해당 위치에는 그늘이 크게 형성되어 있으나 높이 14m 건물 앞쪽으로는 가로녹지가 존재하지 않아 햇볕에 그대로 노출되어 있다.



[그림 3-44] B 대상지 4번가로 현황

출처: 연구진 촬영

해당 가로의 가로수가 만들어주는 그늘아래 체온변화를 살펴보면 5분간 평균 체온은 약 0.5°C ($35.6\rightarrow35.1$)감소하고, 정수리 부분은 3.7°C ($42.6\rightarrow38.9$)감소했다.



[그림 3-45] B 대상지 4번가로에서의 5분동안 체온 변화

출처: 연구진 촬영

□ C대상지

C대상지는 제2종, 제3종 주거지역으로 고층아파트와 다세대 주택이 밀집한 지역으로 교차로를 중심으로 북쪽에는 중학교와 고층 아파트가 입지해있으며, 남쪽으로는 다세대 주택과 어린이 공원이 위치해있다.



[그림 3-46] C 대상지 위치도

출처: 연구진 작성

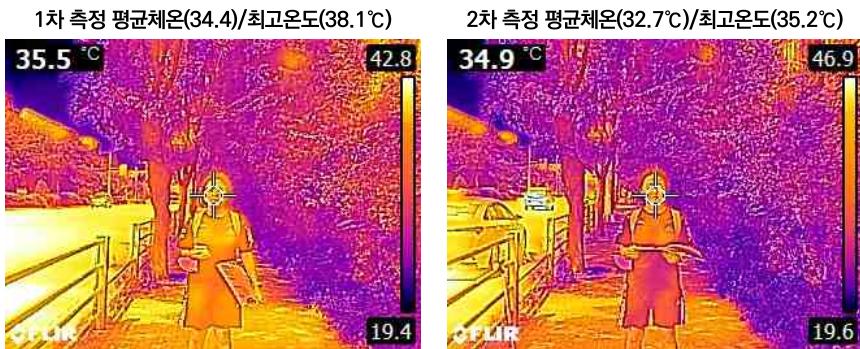
1번가로는 북동-남서향으로 동쪽에는 아파트, 서쪽에는 중학교가 위치해있다. 동쪽 아파트 경계부분에는 3m의 울타리가 조성되어 있으며 벽면녹화가 적용되었다. 그리고 서쪽에 위치한 학교와 보도사이에 완충녹지가 조성되어 있어 가로수와 시너지 효과를 기대할 수 있다. 1번가로의 가로 폭은 29m 보도폭은 학교옆에 조성된 곳은 평균5.4m이며 아파트 쪽은 2.5m이다. 식재된 가로녹지는 모두 회화나무로 학교쪽은 수고 4m~6m, 수관폭 3.3m~6.8m까지 분포하며 아파트 쪽은 수고 6.5m~8m와 수관폭 4.7~7.6m으로 상대적으로 큰 가로수가 식재되어있다. 식재간격의 경우 아파트 쪽이 좁기 때문에 상대적으로 더 균일한 그늘을 형성한다.



[그림 3-47] C 대상지의 1번가로 현황

출처: 연구진 촬영

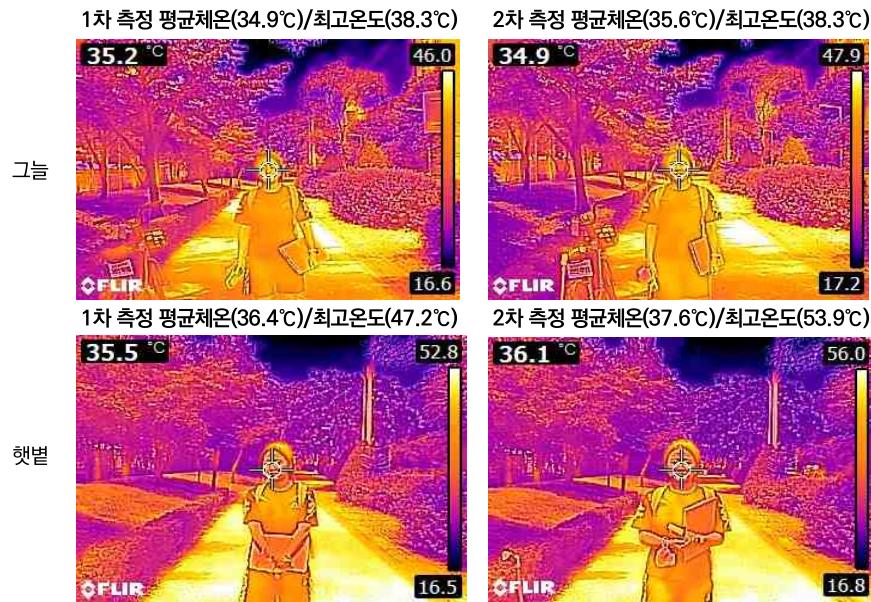
가로 전체적으로 그늘이 형성되어 있는 서쪽보도에서 체온변화를 측정한 결과, 1차 측정인 34.4°C에서 32.7°C로 1.7°C도 감소하는 것으로 나타났다.



[그림 3-48] C대상지 1번 가로에서의 체온 변화(1)

출처: 연구진 촬영

1번가로의 동쪽 보도의 경우, 그늘이 형성되는 곳과 아닌 곳이 공존하기 때문에 그늘의 효과를 살펴보았다. 그늘이 형성되는 곳은 평균 체온이 34.9°C에서 35.6°C로 0.7°C 높아진 반면, 그늘이 형성되지 않는 공간에서는 1.3°C 더 높게 올라가는 것으로 나타났으며 최고 기온역시 50°C가 넘는 열을 방출하는 것을 보여주었다.



[그림 3-49] C대상지 1번 가로에서의 체온 변화(2)

출처: 연구진 촬영

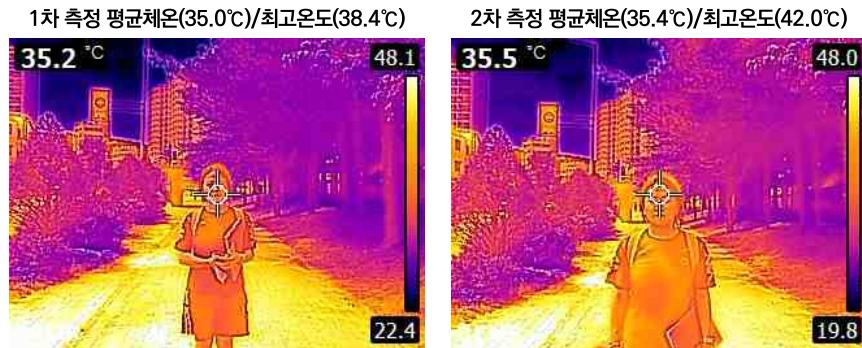
2번가로는 북서향으로 기울어져 있으며 북쪽에는 중학교가 위치해있고, 남쪽에는 높이가 평균 11.3m의 3층규모 건축물이 위치해있다. 2번 가로의 가로폭은 20m 보도폭은 약 5.6m이다. 학교쪽의 가로에는 학교대지 경계부에 완충녹지가 조성되어 있고, 보도 끝쪽에는 띠녹지와 함께 높이 2.5m의 주목이 식재되어 있다. 남쪽에는 높이 4m의 벚나무가 식재되어 있으며 수관폭은 평균 3.5m로 식재간격 6.5m에 비해 작은 규모이다. 특히 남쪽의 경우에는 건물에 의해 보도에 그늘이 형성되며, 북쪽은 보도를 덮는 그늘 형성에 어려움이 존재한다.



[그림 3-50] C 대상지의 2번가로 현황

출처: 연구진 촬영

해당 가로의 1차 측정 결과 평균체온은 35.0°C, 신체부위 중 가장 열을 많이 받은 머리의 경우 38.4°C로 나타났다. 5분 경과 후 측정 결과 평균체온은 35.4°C로 0.4°C 증가하였으며 최고온도는 3.6°C 증가하는 결과를 보여주었다.



[그림 3-51] C대상지 2번 가로에서의 체온 변화

출처: 연구진 촬영

3번가로는 남서향으로 기울어져 있으며 서쪽에는 평균 11.3m의 3층 규모 건축물이 위치해 있고, 동쪽에는 공원과 높이 13m의 상가가 위치해 있다. 가로폭은 29m, 보도폭은 공원이 위치해 있는 동쪽 보도의 경우 3m, 서쪽 보도는 5.7m이다. 3번가로에는 가로 녹지로 벚나무가 식재되어 있으며 서쪽 보도에 식재된 가로수가 수고와 수관폭이 상대적으로 조금 큰 편이다.



[그림 3-52] C 대상지의 3번가로 현황

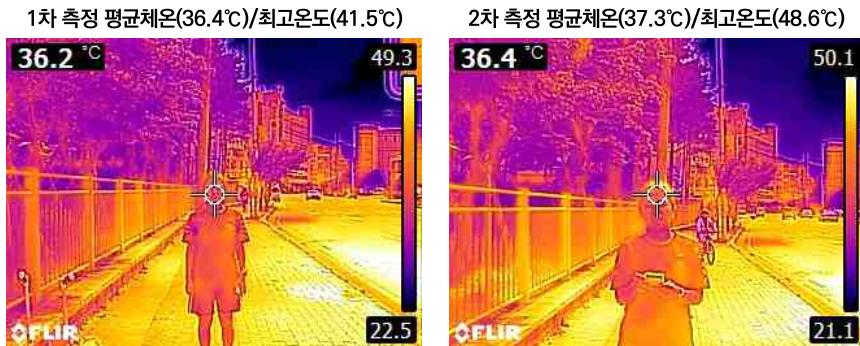
출처: 연구진 촬영



[그림 3-53] C 대상지의 3번가로 옆 공원

출처: 연구진 촬영

가로 인근에 큰 나무가 식재된 공원이 존재하지만 3번가로의 보도에는 그늘을 형성해주진 못했다. 이는 여름철 가로 이용자들의 옥외활동을 저해시키는 요인으로 작용할 수 있다. 실제로 해당 가로에서 체온을 측정해본 결과 1차 측정때 평균체온의 36.4°C에서 37.3°C로 0.9도 상승했으며 최고 온도는 41.5°C에서 48.6°C로 7.1°C 높아지는 것으로 나타났다.



[그림 3-54] C대상지 3번 가로에서의 체온 변화

출처: 연구진 촬영

마지막으로 4번가로는 남동향으로 뻗어 있으며 북쪽에는 아파트단지, 남쪽에는 상가가 위치해있다. 북쪽은 1번가로인근에 위치한 아파트에 면한 곳이고, 남쪽은 공원, 그 바로 옆으로 높이가 20m내외인 건물이 위치해 있다. 가로폭은 20m, 보도폭은 2.7m로 대상지내 보도폭이 가장 좁다. 가로수는 대상지 내부에서 가장 큰 것으로 북쪽은 수고 10m, 수관폭 5.2m이상, 남쪽은 수고 8.5m, 수관폭 2.5m이상의 은행나무가 식재되어 있다. 특히, 남쪽의 경우 건축물과 공원내부에 식재된 나무로 인해 보도 전체에 그늘이 많이 형성되어 있으며 도로방향 상 북쪽에서도 큰 나무에 의한 그늘이 넓게 형성되어 있다.



[그림 3-55] C 대상지의 4번가로 현황

출처: 연구진 촬영

대상지 내에서 체온 변화를 살펴보면 가로 내 그늘이 형성되는 공간에서는 평균체온이 0.4°C ($35.2\rightarrow35.6$)상승하였고 그늘이 형성되지 않는 공간에서는 1.9°C ($34.0\rightarrow35.9$)로 상대적으로 큰 증거를 보여주었다.



[그림 3-56] C대상지 4번 가로에서의 체온 변화

출처: 연구진 촬영

3) 소결

가로의 열환경이 보행자의 체온에 미치는 영향을 실증적으로 분석하기 위하여 가로유형별 현장 실태 조사를 수행하였다. 지표면 온도정보데이터를 통해 핫스팟 분석을 시행하여 온도가 높은 지역 중 건물, 도로, 토지 유형 등을 고려한 3개 대상지를 선정하였다. 열화상 카메라를 이용하여 체온, 가로의 표면온도를 측정하였으며 5분 간격의 체온 상승량을 측정하고 가로의 물리적 현황을 탐색하여 분류된 유형에 따라 분석하였다.

A 대상지의 경우, 4번가로를 제외하고 수고가 7m이상, 수관폭이 5m이상으로 비교적 큰 가로수가 식재되어 보도 곳곳에 그늘이 형성되어 있었다. 해당지역에서의 온도 변화 측정결과, 가로수가 작고 건물에 의해 만들어지는 그늘도 거의 없는 4번가로의 경우 체온 증가량이 다른 가로에 비하여 1°C 정도 높게 나타났다. 1번 가로의 경우, 식재된 가로수가 대상지에서 가장 크지만 양쪽으로 주차된 차량으로 인해 온도가 조금 더 높게 나오는 경향이 나타났다. 이러한 특성은 별도의 주차장 마련이 어려울 경우, 주변 온도저감을 위해 가로수와 함께 띠녹지를 함께 조성하는 방안에 대한 대안이 필요함을 시사한다.

B대상지는 A대상지와 동일한 방향으로 도로가 조성되어 있으며, 아파트 단지와 상가, 물류센터 공사현장 등 다양한 환경을 보여주고 있다. B대상지는 1번가로의 서쪽에 위치한 아파트 조경과 가로수가 함께 그늘을 형성하여 대부분의 보도 구간에서 그늘이 형성되어있는 것으로 나타났다. 2번가로는 공사현장과 인접하여 철제 가림막이 가장 더운 시간대 그늘을 형성해 주고 있어 가로의 시원함을 유지시킨다. 3번과 4번가로는 가로수에 의한 그늘이 거의 만들어지지 않아서 보행자가 가로에 노출 될 가능성이 크다. 특히, 3번가로의 경우 가로수의 수관폭이 3.7m인 1.9m로 보도 폭에 비해 좁아 가로 수 식재 배치개선이나 추가 그늘조성을 위한 고민이 필요한 것으로 판단된다.

마지막 C대상지는 아파트와 공원, 다세대 주택 밀집지역의 특성을 모두 지니고 있다. 대상지의 3번가로는 A,B대상지의 3번가로와 유사하게 대상지내부에서 작은 나무가 식재되어 있어 가로 보행자들에게 충분한 그늘을 제공하기엔 어려운 상황이다. 반면 다른 가로의 경우 완충녹지나 공원내 나무와 가로수가 함께 그늘을 제공해주거나 20m 이상의 건물이 가장 더운 시간대 그늘을 제공해주고 있어 가로 이용자들에게 쾌적함을 제공해 준다. C대상지의 경우, 그늘 분포가 일정한 곳과 그렇지 않은 곳이 뚜렷하게 존재하여 두 지점을 비교한 결과, 일정한 그늘을 제공해준 대상지에서 체온이 감소했다. 이는 Huang et al.(2020)가 제안한 내용과 유사하게 나무 덥개 비율을 높여 그늘이 일정하게 분포할 수 있도록 가로수의 크기를 고려한 배치 전략이 필요함을 시사한다.

제4장 폭염대응 관점의 가로녹지 개선을 위한 인식 분석

1. 조사개요
 2. 가로녹지 개선을 위한 인식 분석
 3. 소결
-

1. 조사개요

1) 설문조사 개요

□ 조사목적

가로녹지에 대한 보행자 인식조사를 통하여 보행자들이 생각하는 가로녹지의 편익, 향후 가로녹지의 개선 방향 등에 대한 의견을 수렴하고자 한다. 가로녹지 개선을 위한 보행자 인식조사의 결과를 바탕으로 가로녹지에 대한 정책적 방향을 도출하고, 나아가 바람직한 가로녹지의 운영 및 관리방안에 대하여 모색하고자 한다.

□ 조사기간 및 방법

- (조사기간) 2022년 8월 22일~8월26일
- (조사대상) 만 19세 이상 6대 광역시 및 경기도 거주 성인 남녀 1,000명, 지역, 성별 충화추출
- (조사방법) 온라인 설문조사

2) 설문조사 내용³⁶⁾

본 연구의 설문조사 항목은 크게 가로녹지에 대한 현황, 가로녹지 필요성에 대한 인식, 가로녹지의 향후 개선방향에 대한 인식, 응답자 특성으로 구성하였다. 이용자 특성은 성별 및 연령별, 거주지역, 거주지 주변 환경, 평소 교통 수단 등의 항목으로 구성하였으며 특히, 거주지 주변 환경은 가로녹지 조성 방식과 연관이 있어 지역별 세부분석을 위해 포함하였다. 그리고 가로 녹지 개선 이후의 보행활동 변화를 파악하기 위해 주요 교통수단과 평소 걷는 시간을 파악할 수 있는 항목을 추가하였다.

가로녹지에 대한 현황은 응답자가 거주하는 지역의 도로 쪽과 건축물 쪽의 가로녹지 현황 및 현재 조성된 가로녹지에 대한 인식을 파악하기 위한 내용으로 질문을 구성하였다. 가로녹지의 필요성에 대한 인식은 일상생활에서 가로녹지의 필요성과 가로녹지의 기능, 가로환경에서 접하게 되는 요소들과의 비교를 통해 중요성을 평가하도록 하여, 전반적인 가로녹지의 필요성의 정도를 측정할 수 있도록 하였다.

마지막으로 가로녹지의 향후 개선방향에 대한 인식은 현재 거주하고 있는 주변의 가로녹지의 개선 방향과 대상의 우선순위를 파악할 수 있는 항목으로 구성하여 개선대안 작성에 있어 이용자들의 선호도를 반영하고자 하였다.

[표 4-1] 설문조사 항목

구분	주요내용	항목 수
가로녹지 현황에 대한 인식	도로 쪽 녹지 형태, 건축물 가로녹지 형태, 가로녹지 도보 거리, 11 가로녹지의 충분함 정도, 가로녹지에 대한 만족도 등	
가로녹지 필요성에 대한 인식	일상생활에서 가로녹지의 필요성, 가로녹지의 중요성 정도, 가로 녹지의 우선순위 등	6
가로녹지 향후 개선방향에 대한 인식	가로녹지 개선 필요성, 가로녹지 개선 이유, 가로녹지 조성 및 운영 을 위한 개선사항 등	8
응답자 특성	성별, 연령, 거주지 주변 환경, 주요 교통수단, 평소 보행 시간 등	9

출처: 연구진 작성

36) 해당 설문지는 부록에 추가하였음

2. 가로녹지 개선을 위한 인식 분석

1) 응답자 현황

□ 응답자 기초현황

설문조사 대상은 지역과 성별 할당을 통해 선정되어 성별의 경우 남녀 비율이 50%로 동일하다. 녹지공간은 물리적 환경과 연계되어 조성되기 비교적 유사한 환경이 분포된 광역시와 경기도를 중심으로 진행되었다. 경기도에서도 군 지역을 제외하여 시 단위에서 분석이 가능하도록 응답자를 선정했다.

응답자의 특성을 살펴보면 연령의 경우 30대이상과 40대가 31.0%대로 많으며 그 다음으로 20대와 50대, 60대 이상이 5%로 가장 적다. 소득수준은 400만원 미만이 32.8%, 400-600만원 미만이 31.2%, 600만원 이상이 36%로 분포되어있다.

[표 4-2] 응답자 기초 현황

구분	사례수	%
성별	남성 (500)	50.0
	여성 (500)	50.0
연령	20대 (160)	16.0
	30대 (319)	31.9
연령	40대 (310)	31.0
	50대 (161)	16.1
연령	60대 이상 (50)	5.0
	200만원 미만 (64)	6.4
월평균 가구 소득	200~400만원 미만 (264)	26.4
	400~600만원 미만 (312)	31.2
월평균 가구 소득	600~800만원 미만 (183)	18.3
	800만원 이상 (177)	17.7
지역	광역시 (400)	40.0
	경기 (600)	60.0

출처: 연구진 작성

주거형태 및 주변 환경을 살펴보면 응답자의 74.1%가 아파트에 거주하고 있으며 기타를 제외하고 단독주택 거주 비율은 4.4%로 가장 낮다. 가로녹지는 주변의 물리적 환경에 따라서 달라질 수 있기 때문에 본 연구의 대상인 그늘에 영향을 미치는 건축물의 높이와 관련하여 지역을 구분하였다. 그 결과 응답자들은 거주지 주변이 고층건물 밀집지역인 곳(58.9%)에 가장 많이 거주하고 있으며 그 다음으로 중저층건물, 저층건물 밀집지역 순으로 거주 비율이 높은 것으로 나타났다.

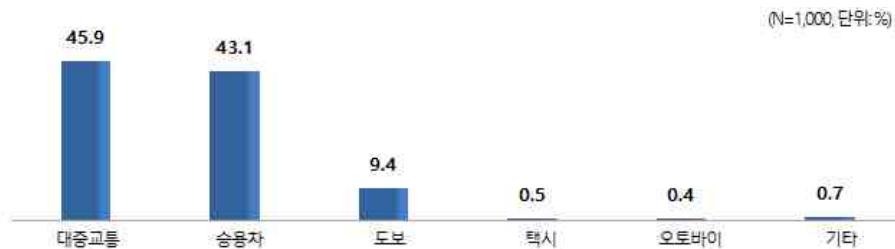
[표 4-3] 응답자 주거 형태 및 주변 환경

구분	사례수	%
주거형태	단독주택	(44) 4.4
	아파트	(741) 74.1
	연립주택, 오피스텔, 원/투룸 등 공동주택	(120) 12.0
	다가구·다세대 주택	(89) 8.9
	기타	(6) 0.6
주변환경	저층건물 밀집지역	(168) 16.8
	중저층건물 밀집지역	(243) 24.3
	고층건물 밀집지역	(589) 58.9

출처: 연구진 작성

□ 응답자 이동 수단 현황

평소 교통수단으로 대중교통을 이용하는 응답자가 전체의 45.9%로 승용차 비중(43.1%) 보다 조금 더 많았고, 도보의 경우는 응답자의 9.4%가 이용하는 것으로 나타났다. 그리고 응답자들은 주거지 주변에서 평균 25.7분 정도 걸으며 시간대별로 구분해보면 응답 항목별로는 20분이하가 41.8%로 가장 많았으며 그 다음으로 30-40분미만이 많았다.



[그림 4-1] 주요 이용 교통수단

출처: 연구진 작성



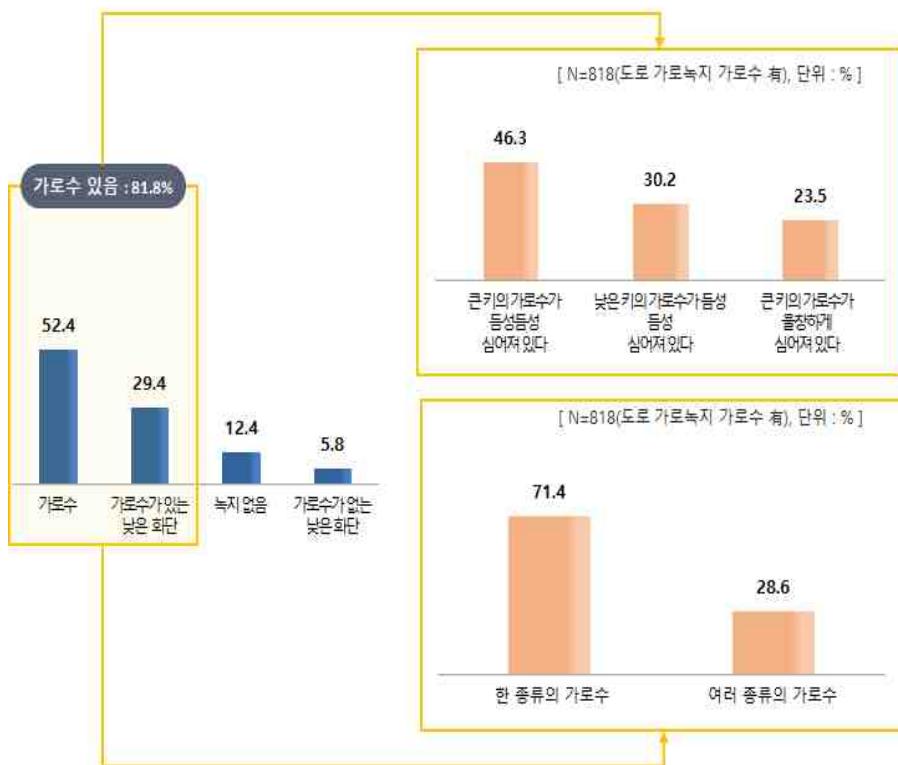
[그림 4-2] 평소 보행 시간

출처: 연구진 작성

2) 거주지주변 가로녹지에 대한 현황과 인식

□ 거주지 주변의 가로녹지 현황

응답자 거주지 주변의 도로 내에는 가로수(52.4%) 형태의 가로녹지가 가장 많이 조성되어 있으며 그 다음으로 가로수가 있는 낮은 화단(29.4%)이 조성되어 있고 12.4%는 주변에 가로녹지가 없는 것으로 나타났다. 가로수가 있는 경우는 큰 키의 가로수가 들판듬성 심어져있다(46.3%)고 응답한 비중이 높았으며 낮은 키의 가로수가 들판듬성 식재되어 있다고 응답했다.



[그림 4-3] 도로 가로녹지 형태와 가로수 모습
출처: 연구진 작성

지역별로 살펴보면 지역에 관계없이 주변의 가로녹지에 가로수가 조성되어 있다고 응답한 비율이 가장 높았다. 지역별로 차이가 나타나는 지점은 고층건물 밀집지역의 경우 가로수가 있는 낮은 화단이 조성되어 있다고 응답한 비율이 34.0%로 상대적으로 높은 반면 저층 건물의 경우 녹지가 없다고 응답한 비율이 20.8%로 전체 비중과 비교해 높았다.

[표 4-4] 도로 내 가로녹지 형태

전체	주변환경			(단위: %)
	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)
가로수	52.4	54.8	59.7	48.7
가로수가 있는 낮은 화단	29.4	21.4	23.9	34.0
가로수 식재 모습	높은수고-듬성듬성	46.3	49.2	44.1
	낮은 수고-듬성듬성	30.2	35.2	28.5
	높은 수고-울창	23.5	15.6	27.3
가로수의	한 종류의 가로수	71.4	78.9	69.8
다양성	다양한 종류의 가로수	28.6	21.1	30.2
녹지 없음	12.4	20.8	11.1	10.5
가로수가 없는 낮은 화단	5.8	3.0	5.3	6.8

출처: 연구진 작성

건축물 대지 인근 가로녹지는 녹지가 없는 경우가 39.3%로 많았으며 그다음 순으로 일정한 간격으로 심어진 큰 키 나무(32.0%), 넓은 녹지대(14.2%), 낮은 화단(13.0%)으로 나타났다. 지역별로 살펴보면 중층이하 건물 밀집지역에서 건축물쪽에는 녹지가 없는 경우가 많았으며, 고층건물 밀집지역은 큰 키 나무가 일정간격으로 식재된 경우가 34.8%로 지역내에서도 가장 높았으며, 고층건물밀집지역 내 식재 상태에서도 가장 응답 비중이 높다.

[표 4-5] 건축물 대지 인근 가로녹지 형태

전체	주변환경			(단위: %)
	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)
녹지 없음	39.3	58.9	52.7	28.2
일정한 간격으로 심어진 큰 키 나무	32.0	28.6	27.6	34.8
벽면녹화	1.5	0.6	1.6	1.7
낮은 화단 형태의 조경	13.0	7.1	9.5	16.1
넓은 녹지대	14.2	4.8	8.6	19.2

출처: 연구진 작성

현재 조성된 가로녹지까지 5분이내 접근이 가능하다고 응답한 비율은 전체의 74.6%이다. 지역별로 살펴보면 저층건물 밀집지역에서 5분 이상 걸어가야 가로녹지가 있다고 응답한 비율이 가장 높게 나타났다.

가로녹지 접근까지 소요되는 시간에 대한 응답 결과 5분 이내로 응답한 사람이 71.2%로 가

장 많았으며, 응답자들은 가로녹지까지 걸어서 10분 이내 까지도 적당하다고 인식하고 있다. 지역별로 살펴보면 전체 응답과 유사한 수준으로 나타났으며, 저층건물 밀집지역에 거주하는 응답자들이 다른 환경에 비해 10분 이내까지 적당하다고 인식한 비율이 상대적으로 높다.

[표 4-6] 가로녹지까지의 실제 소요시간

		주변환경			(단위: %)
		전체	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역
사례수	(1000)		(168)	(243)	(589)
거의 즉시	27.6		19.0	25.5	30.9
5분 이내	47.0		49.4	49.0	45.5
10분 이내	18.5		20.8	17.7	18.2
20분 이내	5.6		7.1	6.2	4.9
걸어가기 어려움	1.3		3.6	1.6	0.5

출처: 연구진 작성

[표 4-7] 가로녹지까지의 적정 소요시간

		주변환경			(단위: %)
		전체	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역
사례수	(1000)		(168)	(243)	(589)
거의 즉시	17.3		16.1	16.0	18.2
5분 이내	53.9		53.6	55.6	53.3
10분 이내	25.7		28.6	25.5	25.0
20분 이내	2.9		1.8	2.5	3.4
걸어가기 어려움	0.2		0.0	0.4	0.2

출처: 연구진 작성

실제 소요시간별 적정소요시간 응답결과를 비교해보면 현재 5분 이내 접근한 사람들이 5분 이내로 응답한 비율이 높았으며 현재 10분 이내와 20분 이내로 응답한 사람들은 가로녹지까지 10분이내 소요되는 것까지 적정하다고 인식하고 있다.

[표 4-8] 가로녹지까지의 현재 소요시간과 실제 소요시간

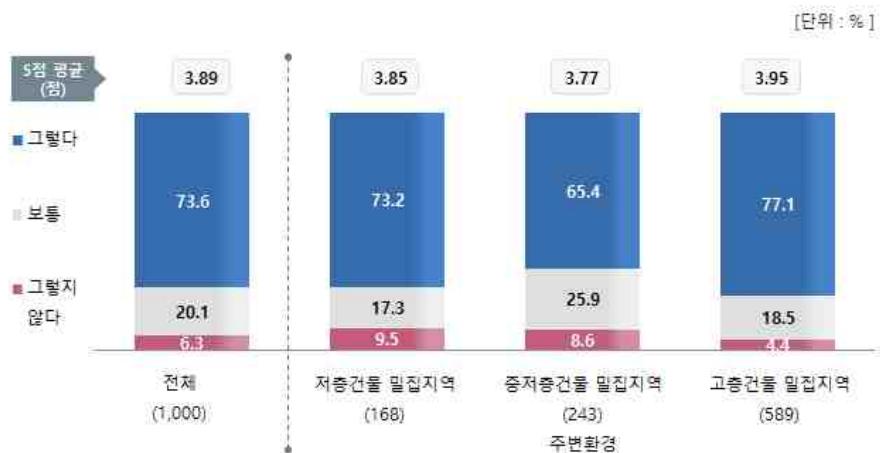
		현재소요시간					(단위: %)
		사례수	거의 즉시	5분 이내	10분 이내	20분 이내	걸어가기 어려움
적정 소요 시간	거의 즉시	(173)	40.9	9.8	4.9	1.8	30.8
	5분 이내	(539)	51.1	70.2	29.2	17.9	30.8
	10분 이내	(257)	6.9	19.4	61.6	53.6	23.1
	20분 이내	(29)	1.1	0.6	3.8	26.8	7.7
	걸어가기 어려움	(2)	0.0	0.0	0.5	0.0	7.7

주: 비율(합계 비율) 적정 소요시간 응답 수 / 현재 소요시간별 전체 응답자 수

출처: 연구진 작성

□ 거주지 주변 가로녹지에 대한 인식

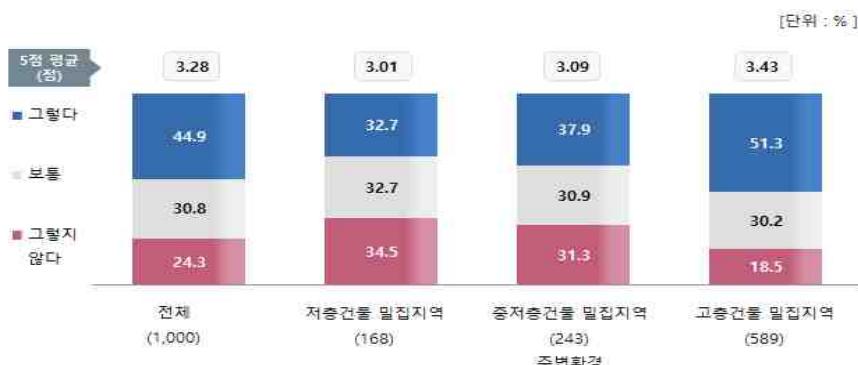
응답자들은 거주지 주변의 가로녹지에 있을 때 시원하다고 응답한 비율이 73.6%로 가로녹지 근처가 주변의 온도 저감에 긍정적인 영향을 미치고 있다. 해당 결과는 주변환경에서도 ‘그렇다’라고 응답한 비율이 가장 많았으며, 그중에서도 거주지주변이 고층건물 밀집지역인 곳에 거주하는 사람들의 응답비율이 77.1%로 가장 높게 나타났다.



[그림 4-4] 가로녹지 근처에서의 시원함 정도

출처: 연구진 작성

거주지주변의 가로녹지가 충분하다고 응답한 비율은 전체 응답자의 44.9%이며, 그렇지 않다고 응답한 비율이 24.3%로 나타났다. 지역별로는 고층건물 밀집지역에서 51.3%가 가로녹지가 충분하다고 응답했으며 이는 전체 비율보다 높은 수준이다. 반면에 저층건물 밀집지역은 충분하다고 응답하는 비율이 32.7%로 가장 낮다.



[그림 4-5] 주변 가로녹지의 충분 정도

출처: 연구진 작성

□ 가로녹지에 대한 만족도

응답자의 47.5%가 현재 거주지 주변의 가로녹지에 대해 만족한다고 응답했으며 그 이유로 그늘제공(53.3%), 가로의 미관 형성(43.2%), 보도이용의 불편함 없게 조성(38.9%) 순으로 선택하였다.



[그림 4-6] 가로녹지에 대한 만족도와 그 이유

출처: 연구진 작성

지역별로 살펴보면 고층 건물 밀집지역에서 거주지 주변 가로녹지에 대해 만족한다고 응답한 비율이 53.3%로 가장 높았으며, 그 이유로는 그늘 제공이 가장 많았다. 선택 이유도 지역별로 차이가 거의 없으나 저층 건물 밀집지역에서 응답자들이 방재기능을 충분히 수행하고 있어서가 28.8%로 다른 지역에 비해 상대적으로 높았다.

[표 4-9] 거주지주변 가로녹지에 대한 만족도(만족)와 선택 이유(1+2순위)

	전체	주변환경			(단위: %)
		저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(475)	(168)	(243)	(589)	
만족	47.5	39.3	39.1	53.3	
①	38.9	34.8	43.2	38.5	
②	43.2	42.4	40.0	44.3	
만족 이유	(475)	(168)	(243)	(589)	
③	26.9	18.2	26.3	29.0	
④	53.3	56.1	52.6	52.9	
⑤	9.7	10.6	11.6	8.9	
⑥	21.5	28.8	17.9	21.0	
⑦	0.8	1.5	2.1	0.3	

주: ①보도 위를 걷거나 이용하는 데에 불편함이 없게 가로녹지가 조성되어 있어서, ②가로녹지의 적절한 배치로 인하여 가로의 미관이 향상되어서, ③가로녹지가 충분한 양으로 조성되어 있다고 생각되어서, ④가로녹지가 그늘을 충분하게 제공하여서, ⑤가로녹지가 새, 곤충들에게 충분한 서식지를 제공하여서, ⑥가로녹지가 빗물을 흡수, 미세먼지 차단 등 방재기능을 충분히 수행하고 있어서, ⑦기타

출처: 연구진 작성

현재 거주지주변의 가로녹지에 대해 '보통이다, 불만족한다'고 응답한 사람들은 그 이유로 가로녹지의 양 부족(53.3%), 보도이용 불편함(43.2%), 그늘 제공 못하는 형태로 조성(38.9%)순으로 선택하였다.



[그림 4-7] 가로녹지에 대한 불만족도와 그 이유

출처: 연구진 작성

지역별로 살펴보면 저층 건물에서 불만족 한다는 비율이 27.4%로 높았으며 그 이유로 가로녹지의 양 부족(67.6%), 그늘을 제공하지 못하는 형태로 조성(42.2%) 순으로 나타났다. 다른 지역도 이유 선정 순위가 유사하나 방재 기능을 제대로 못한다고 응답한 비율이 중저층건물과 고층 건물 밀집지역에서 각각 21%이상으로 나타났다.

[표 4-10] 거주지주변 가로녹지에 대한 만족도(보통,불만족)와 선택 이유(1+2순위)

	전체	주변환경			(단위: %)
		저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)	
보통	36.2	33.3	40.7	35.1	
불만족	16.3	27.4	20.2	11.5	
불만족 이유 (525)	①	23.4	23.5	23.6	23.3
	②	12.0	15.7	10.8	11.3
	③	64.8	67.6	64.9	63.6
	④	44.6	42.2	41.9	46.9
	⑤	9.3	5.9	11.5	9.5
	⑥	20.8	13.7	21.6	22.9
	⑦	4.2	7.8	4.7	2.5

주: ①가로녹지로 인하여 보도 위를 걷거나 이용하는 데에 불편함이 있어서, ②가로녹지의 배치가 잘못되어 가로의 미관을 저해하기 때문에 ③조성된 가로녹지의 양이 부족하다고 생각되어서, ④가로녹지가 그늘을 제공하지 못하는 형태로 조성되어 있어서, ⑤가로녹지가 새, 곤충 들에게 충분한 서식지를 제공하지 못한다고 생각되어서 ⑥가로녹지가 빗물을 흡수, 미세먼지 차단 등 방재기능을 충분히 수행하지 못한다고 생각되어서, ⑦기타

출처: 연구진 작성

3) 가로녹지 필요성에 대한 인식

가로녹지가 일상에서 필요한 이유로 ‘매력적인 도시경관조성(60.2%)’과 ‘그늘제공(60.1%)’이 가장 많았으며 그 다음으로 방재(25.0%)와 생태개선(17.9%)으로 선정되었다.



[그림 4-8] 가로녹지의 가장 중요한 기능에 대한 인식

출처: 연구진 작성

지역별로 살펴보면 저층건물과 중저층건물 밀집지역은 ‘그늘제공’, ‘매력적인 도시경관조성’ 순으로 가로녹지가 필요한 이유를 선정했으며 저층 건물밀집지역에서 ‘그늘제공’을 이유로 선택한 비중이 64.3%로 가장 높았다. 저층 건물밀집지역은 가로녹지의 기능 중 방재 기능(31.0%)도 다른 지역과 비교해서 높은 비중을 차지한다. 고층 건물밀집지역은 ‘매력적인 도시경관조성이 63.3%로 가장 높았으며 해당 비중은 다른 지역에 비해 서도 높은 비중을 차지한다. 그늘 제공도 59.6%로 높은 비중을 차지하고 있으며 소음 차단 기능도 17.7%로 다른 지역과 비교해서 상대적으로 높게 응답되었다.

[표 4-11] 일상에서 가로녹지가 필요한 이유(1+2순위)

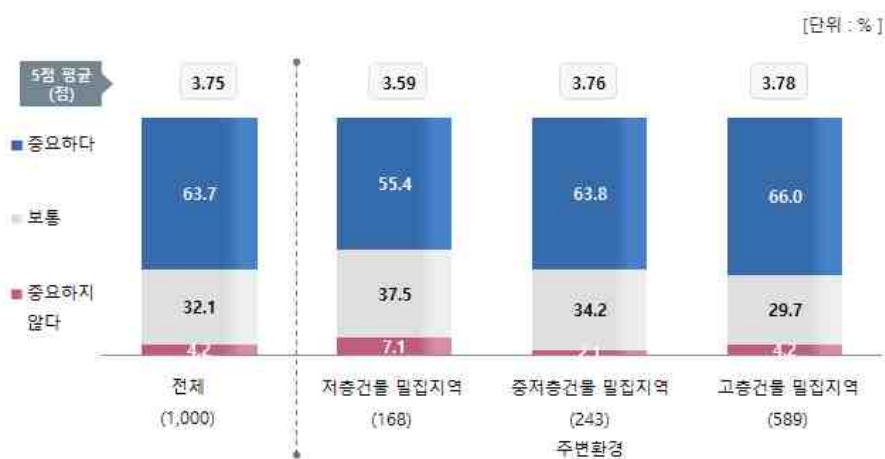
전체	주변환경			(단위: %)
	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)
①	60.1	64.3	58.4	59.6
②	60.2	54.2	56.8	63.3
③	17.9	17.9	18.5	17.7
④	7.4	3.6	9.9	7.5
⑤	16.4	11.3	16.5	17.8
⑥	25.0	31.0	27.2	22.4
⑦	1.6	2.4	1.6	1.4
⑧	0.7	0.6	2.1	0.2

주: ①가로녹지가 그늘을 제공하기 때문에 ②가로녹지가 도시 경관을 아름답고 매력적으로 만들기 때문에 ③가로녹지가 곤충과 새들의 서식지를 제공하여 도시 생태계를 유지하므로 ④가로녹지가 과도한 조명이나 혐오시설을 가려주기 때문에 ⑤가로녹지가 도로로부터의 소음을 완화해주기 때문에 ⑥가로녹지가 폭우 시 빗물을 흡수 등 방재 기능을 제공하므로 ⑦특별히 필요하다고 느끼지 않음 ⑧기타

출처: 연구진 작성

□ 가로녹지의 중요성과 기능

가로녹지가 일상생활에서 중요하다고 응답한 비중은 63.7%로 나타났으며 중요하지 않다는 전체 응답자의 5%에도 미치지 않는 것으로 나타났다. 지역별로 살펴보면 고층건물 밀집지역으로 갈수록 가로녹지가 중요하다고 응답한 비중이 높았으며, 중저층 건물 밀집지역에서 중요하지 않다고 응답한 비중이 가장 낮았다. 반면에 저층 건물 밀집지역에서는 중요하지 않다고 응답한 비중이 7.1%로 전체 응답보다 높은 비중으로 나타났다.



[그림 4-9] 일상에서의 가로녹지 중요도에 대한 인식

출처:연구진 작성

응답자들은 가로녹지의 가장 중요한 기능이 '그늘 제공'(40.1%)로 선정했으며 그 다음 순으로 '매력적인 도시 경관 조성'(33.1%), 도시 생태계유지(9.7%), 방재(8.1%) 순으로 응답했다. 이는 일상에서 가로녹지가 필요한 이유와 일치하는 결과를 보여준다.



[그림 4-10] 가로녹지의 가장 중요한 기능에 대한 인식

출처:연구진 작성

지역별로 살펴보면 저층건물 밀집지역으로 갈수록 ‘그늘 제공’이 가장 중요한 기능이라고 응답한 비중이 높았으며, ‘매력적인 도시 경관 조성’은 고층건물 밀집지역에서 37.4%로 다른 지역과 비교해 그늘 제공과 비슷한 수준으로 인식하고 있다.

[표 4-12] 가로녹지의 가장 중요한 기능에 대한 인식

	주변환경			(단위: %)
	전체	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)
1) (그늘) 해를 피해 걷거나 쉴 수 있는 그늘 제공	40.1	45.8	42.0	37.7
2) (경관) 도시경관을 아름답고 매력적으로 만들	33.1	27.4	26.7	37.4
3) (생태) 새들, 꽃과 곤충 등 도시생태계 유지	9.7	11.9	9.9	9.0
4) (차폐) 과도한 조명이나 혐오시설 등을 가림	2.1	1.2	2.9	2.0
5) (방음) 간선도로의 소음 등의 문제 완화	6.9	6.0	9.1	6.3
6) (방재) 폭우시 유수의 흡수 등 방재기능	8.1	7.7	9.5	7.6

주: ①가로녹지가 그늘을 제공하기 때문에 ②가로녹지가 도시 경관을 아름답고 매력적으로 만들기 때문에 ③가로녹지가 곤충
과 새들의 서식지를 제공하여 도시 생태계를 유지하므로 ④가로녹지가 과도한 조명이나 혐오시설을 가려주기 때문에 ⑤가
로녹지가 도로로부터의 소음을 완화해주기 때문에 ⑥가로녹지가 폭우시 빗물흡수 등 방재 기능을 제공하므로 ⑦특별히 필
요하다고 느끼지 않음 ⑧기타

출처: 연구진 작성

가로 조성 시 중요하게 고려되는 보행공간, 이정표, 가로 수와 비교해 간략하게 가로녹지의 중요도를 살펴보았다. 그 결과 가로녹지 보다는 넓은 보행 공간을 더 중요하게 인식했으며 이정표는 가로수가 아주 조금 높은 수치를 보였다. 마지막으로 차로수를 늘어나는 것 보다는 가로녹지를 조성하는 것이 더 중요하다고 언급하였다.



[그림 4-11] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(전체응답 결과)

주: 평균 값이 음수이면 왼쪽, 양수이면 오른쪽에 더 가깝다는 의미

출처: 연구진 작성

지역별로 살펴보면 중 저층건물 밀집지역에서는 차로수를 제외하고는 가로녹지보다 다른 요소들이 더 중요하다고 응답한 비율 보행공간은 50.6%, 이정표는 43.5%로 다른 지역보다도 높은 수준이다. 반면에 고층건물 밀집지역에서는 모든 항목에서 가로녹지가 더 중요하다는 응답비중이 높았으며 그 중에서도 차로수보다는 울창한 가로녹지에 대한 중요도가 높았다.



[그림 4-12] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(저층건물 밀집지역 결과)

주: 평균 값이 음수이면 원쪽, 양수이면 오른쪽에 더 가깝다는 의미

출처: 연구진 작성



[그림 4-13] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(중저층건물 밀집지역 결과)

주: 평균 값이 음수이면 원쪽, 양수이면 오른쪽에 더 가깝다는 의미

출처: 연구진 작성



[그림 4-14] 가로의 다양한 요소와 비교시 가로녹지조성의 중요성 대한 인식(고층건물 밀집지역 결과)

주: 평균 값이 음수이면 원쪽, 양수이면 오른쪽에 더 가깝다는 의미

출처: 연구진 작성

4) 가로녹지 향후 개선방향에 대한 인식

가로녹지 개선이 필요하다고 응답한 사람들은 전체의 54.0%로 응답자의 절반이상이 현재 거주하는 지역의 가로녹지 환경이 좋아져야한다고 인식한다. 이를 위해서 가장 필요한 것은 ‘낮은 회단을 함께 식재’(41.7%), 가로수 종류 다양화(41.5%)라고 응답했으며 그 다음으로 가수 식재 간격 조정(31.8%), 건축물 측면 가로 녹지(33.3%)순으로 나타났다. 그리고 개선방향 중 자신들이 생각하는 1순위를 선정한 가장 큰 이유로는 차도와 보도의 완전한 분리(29.4%)라고 응답했으며 그 다음으로 온도저감(25.6%)효과를 기대했다.



[그림 4-15] 가로녹지 개선에 대한 인식과 개선 방향 우선순위

출처:연구진 작성



[그림 4-16] 개선에 필요한 1순위 요소를 선택한 이유

출처:연구진 작성

지역별로 살펴보면 주변 가로녹지 개선에 대한 필요성은 저층건물 밀집지역으로 갈수록 높아졌다. 저층건물 밀집지역은 개선 방향의 우선순위로 가로수 종류 다양화가 43.3% 다른 지역과 비교해 높았다. 중저층 밀집지역의 경우 더 큰 가로수 식재가 필요하다고 응답한 비율이 45.4%로 다른 지역에 비해 높게 나타났다.

[표 4-13] 가로녹지 개선에 대한 인식과 개선 방향(1+2순위)에 대한 우선순위와 1순위 선택이유

		주변환경			(단위: %)
		전체	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역
	사례수	(540)	(100)	(141)	(299)
필요성	그렇다	54.0	59.5	58.0	50.8
	낮은 화단을 함께 식재	41.7	43.0	44.7	39.8
	가로수 종류를 다양화	41.5	43.0	37.6	42.8
개선 방향	더 큰 가로수를 식재	37.8	30.0	45.4	36.8
	더 조밀하게 가로수를 식재	33.3	33.0	37.6	31.4
	건축물 측면에 가로녹지 조성	28.5	24.0	24.8	31.8
	기타	3.1	7.0	2.1	2.3
1순위 응답 이유	①	29.4	30.0	27.7	30.1
	②	25.6	23.0	29.1	24.7
	③	21.5	19.0	15.6	25.1
	④	21.1	23.0	25.5	18.4
	⑤	2.4	5.0	2.1	1.7

주: ①차도와 보도가 물리적으로 완전히 분리되었으면 하여서 ②더운 날씨에 온도를 낮출 수 있을 것 같아서 ③가로의 미관을 향상시키기 위해서 ④심리적으로 보다 안정감이 느껴질 것 같아서 ⑤기타

출처: 연구진 작성

응답자들이 가로녹지가 더 조성되었으면 하는 장소로 가장 많이 선택한 곳은 보행자 전용도로(47.2%)이며, 지역별로도 해당 공간이 가장 많이 선택되었다. 지역 간 결과를 비교해보면 중저층 건물 밀집지역에서 보행자 전용도로에 가로녹지가 더 조성되어야한다고 응답한 비율(51.9%)이 더 큰 것으로 나타났다.

[표 4-14] 가로녹지 확대가 필요한 장소

전체	주변환경			(단위: %)
	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)
보행자전용도로	47.2	42.3	51.9	46.7
일반도로변	33.1	34.5	28.4	34.6
간선도로변	13.7	16.7	14.4	12.6
좁은 이면도로	6.0	6.5	5.3	6.1

출처: 연구진 작성

조성 및 운영방안을 위해 개선이 필요한 부분으로 보행자 및 장애인의 통행 여건 개선을 함께 고려해야하다가 63.3%로 가장 높았으며, 그 다음으로 가로녹지 다기능 강화(54.6%), 가로녹지 조성 확대를 통한 생활 여건 개선(47.0%)순으로 응답되었다.

지역별로 살펴보면 전체 응답결과와 유사하게 통행여건을 함께 고려 해야한다는 응답이 가장 많았으며 특히, 중저층건물 밀집지역에서 가장 높게 나타났다. 저층 건물 밀집 지역의 경우 가로녹지 조성 확대에 대한 응답 비율이 53.6%로 높았으며, 고층건물 밀집 지역으로 갈수록 녹지네트워크 마련이 필요하다고 응답하는 비율이 높았다.

[표 4-15] 가로녹지 조성 및 운영을 위한 개선사항(1+2순위)

전체	주변환경			(단위: %)
	저층건물 밀집지역	중저층건물 밀집지역	고층건물 밀집지역	
사례수	(1000)	(168)	(243)	(589)
①	63.3	64.3	68.7	60.8
②	54.6	50.0	56.8	55.0
③	47.0	53.6	40.3	47.9
④	29.0	22.0	30.0	30.6
⑤	0.7	2.4	0.0	0.5

주: ①가로녹지의 조성 못지 않게 보행자, 장애인의 통행여건 개선을 함께 고려해야 한다 ②가로녹지의 그늘조성, 폭우시 방재성 능 강화 등을 고려하는 다기능 가로녹지를 조성해야 한다 ③가로녹지의 조성을 확대하여 생활여건을 편안하고 아름답게 가꾸어야 한다 ④가로녹지와 건축물 전면공지의 식재대, 공원녹지 등을 연계하는 녹지네트워크를 마련해야 한다 ⑤기타

출처: 연구진 작성

5) 가로녹지 개선에 대한 편의

□ 가로녹지 개선에 대한 지불의사

가로녹지에 대한 경제적 가치를 평가하기 위해 가로녹지사업을 위한 세금 지불의사를 질문했다. 초기 금액 500원, 1,000원, 2,000원, 5,000원 10,000원에 대해 지불용의가 있다면 해당 금액의 2배금액을, 그렇지 않다면 1/2금액에 대한 지불용의를 추가로 질문하였다. 마지막으로 지불 의사가 조금이라도 있는 사람들에겐 최대 지불 금액을 서술식으로 작성하게 하였으며, 그렇지 않은 사람에겐 그 이유를 질문하였다. 총 1,000명에게 응답을 얻었으며, 그 지불할 의사가 있음에도 최대지불금액을 0원으로 기재한 6명을 제외한 총 994명에 대한 응답결과를 바탕으로 가로녹지 개선에 대한 편의를 추정하였다. 제시금액에 대한 지불의사결과는 아래의 표와 같다.

[표 4-16] 가로녹지 개선에 대한 지불의사

(단위: 명, %)								
지불의사 있음					지불의사 없음			
	Y-Y(516명)	Y-N(215명)	N-Y(65명)	N-N-Y(26명)	N-N-N(172명)			
500원	150 29.07	24 11.16	8 12.31	2 7.69	16	9.30		
1,000원	123 23.84	33 15.35	10 15.38	8 30.77	24	13.95		
2,000원	106 20.54	42 19.53	12 18.46	4 15.38	36	20.93		
5,000원	75 14.53	68 31.63	13 20.00	4 15.38	39	22.67		
10,000원	62 12.02	48 22.33	22 33.85	8 30.77	57	33.14		

출처: 연구진 작성

응답자의 82.6%(822명)가 지불할 의사가 있다고 응답하였으며, 이들이 제시한 최대지불금액은 6원부터 500,000원까지 범위가 다양하며, 평균은 12,600원이다. 주거유형별 최대지불금액의 평균은 고층밀집지역이 13,448원으로 가장 높았으며 그 다음으로 중저층밀집지역이 12,572원, 저층밀집지역은 9,954원으로 가장 낮았다.

그리고 17.4%는 전혀 지불할 의사가 없다고 응답하였다. 그 이유로는 '이미 충분한 세금을 내고 있으므로 그 돈을 사용해야한다'가 74.42%로 가장 많았으며 그 다음으로 가로녹지의 조성이 나에게 별 가치가 없다가 10.47%로 높게 나타났다.

□ 가로녹지 개선에 대한 편의 분석을 위한 변수

가로녹지개선에 대한 가치추정 분석에 활용된 변수의 기술통계는 다음과 같다. 제시금액의 경우, 분석의 오차를 줄이고 다른 변수들과의 규모를 유사하게 맞추기 위해 log 함

수를 활용하여 제시금액에 대한 종속변수를 구축하였다. 응답과의 경우, 첫 번째 제시금액에 “예”라고 응답한 경우는 1, 그렇지 않은 경우는 0으로 더미변수를 구축하였다. 두 번째 제시금액에 대한 것도 동일한 방식으로 변수를 구축하였다.

독립변수는 가로녹지 개선의 지불의사에 영향을 미칠 개인특성, 행태특성, 거주지역 특성, 가로녹지에 대한 인식으로 구분하여 변수를 구축하였다. 개인특성의 경우, 지불의사 액 추정 연구(임혜진 외, 2005; 김장욱 외, 2012; 표순희 2012)에서도 활용된 성별, 연령, 개인소득을 활용하였다. 행태특성은 평소 교통수단과 평소 걷는 시간으로 구축했으며, 거주지역 특성은 주변환경특성과 기준 가로녹지유형으로 구성했으며 마지막으로 인식특성은 현 가로녹지에 대한 만족도, 가로녹지에 대한 중요도, 가로녹지에 대한 개선 필요성으로 구축하였다.

[표 4-17] 기술통계(N=944)

		Variable	평균	표준평차	최솟값	최댓값	
종속변수	제시금액	log(첫번째 제시금액)	7.687	1.076	6.216	9.210	
		log(두번째 제시금액: 초기제시금액x2 , 초기제시금액x (1/2))	8.013	1.114	5.524	9.904	
	응답결과	첫 번째 제시금액 “예”	0.735	0.441	0.000	1.000	
		두 번째 제시금액 “예”	0.585	0.493	0.000	1.000	
독립변수	개인특성	성별(남성=1, 여성=0)	0.502	0.500	0.000	1.000	
		연령	2.624	1.087	1.000	5.000	
		개인 소득	5.922	2.595	1.000	11.000	
	행태특성	교통수단 (기준=도보)	승용차, 택시 대중교통, PM 오토바이, 기타	0.438 0.459 0.012	0.496 0.499 0.109	0.000 0.000 0.000	1.000 1.000 1.000
		평소 걷는 시간	25.658	21.372	0.000	120.000	
	거주지역 특성	주변환경 (기준=저층건물 밀집지역)	중층건물 밀집지역 고층건물 밀집지역	0.242 0.590	0.429 0.492	0.000 0.000	1.000 1.000
		가로녹지 유형 (기준=녹지없음)	가로수 가로수가 없는 낮은 회단 가로수가 있는 낮은 회단	0.524 0.057 0.295	0.500 0.233 0.456	0.000 0.000 0.000	1.000 1.000 1.000
		만족도 정도	2.611	0.910	1.000	5.000	
		가로녹지에 대한 중요도 인식	2.251	0.762	1.000	5.000	
	인식특성	가로녹지 개선 필요성	2.515	0.885	1.000	5.000	

출처: 연구진 작성

□ 가로녹지 개선에 대한 편의 추정

응답자들의 지불의사를 바탕으로 stata프로그램을 활용하여 응답자의 개인특성을 포함하여 지불의사에 영향을 미치는 요인들을 바탕으로 모형을 추정한 결과, 남성이 여성에 비해 지불의사가 크고, 소득이 높을수록 지불의사가 큰 것으로 나타났다. 그리고 저층에 비해 고층주거지역에 거주하는 사람들이 지불의사가 높은 것으로 나타났다. 그리고 인식 관련 변수에서는 가로녹지의 중요도가 높을수록 지불의사가 높은 것으로 나타났다.

[표 4-18] 주변환경에 따른 연평균 지불의사액

독립변수	계수	z	P> z
(상수)	4.736	7.600***	0.000
성별(남성:1, 여성:0)	0.345	2.270*	0.023
연령	0.028	0.390	0.693
소득	0.083	2.880**	0.004
평소 교통 수단	승용차, 택시	0.001	0.996
(기준=도보)	대중교통, PM	0.174	0.690
	오토바이, 기타	-0.961	-1.460
평소걷는 시간		0.000	-0.070
주변지역 환경	중층건물밀집지역	0.249	0.261
(기준=저층건물밀집지역)	고층건물밀집지역	0.387	0.052
주변지역 가로수 형태	가로수	0.140	0.540
(기준=녹지없음)	가로수가 없는 낮은 화단	0.128	0.720
	가로수가 있는 낮은 화단	0.336	0.175
주변지역 가로녹지에 대한 만족도		-0.046	-0.490
가로녹지에 대한 중요도		0.652	6.150***
가로녹지 개선에 대한 필요성		0.120	0.200
Log likelihood			-1,126.657
Wald Chi2(15)			81.81

*p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

주	First bid	Second bid	First-response	Second-response
	log(첫번째 제시금액)	log(두번째 제시금액*)	첫 번째 제시금액 “예”	두 번째 제시금액 “예”

*초기제시금액 x2 , 초기제시금액 x (1/2)

출처: 연구진 작성

지불의사 결과를 바탕으로 평균지불가능금액을 살펴보면 다음과 같다. 응답자 전체에 대한 평균지불의사액은 6,048이며, 주변환경별로 구분하면 고층건물 밀집지역은 6,676원으로 가장 많고 저층건물 밀집지역이 4,531원으로 가장 낮게 나타났다.

[표 4-19] 주변환경에 따른 연평균 지불의사액

전체	주변환경			(단위: 원)
	저층건물밀집지역	중층건물밀집지역	고층건물밀집지역	
연평균 지불의사액	6,048	4,531	5,813	6,676

출처: 연구진 작성

최종 편익은 김장욱 외(2012, p.17)연구에서 활용한 측정방식³⁷⁾을 활용하여 계산하였다. 설문의 모집단으로는 설문대상 지역인 경기도와 6개 광역지의 2021년 기준 총가수를 활용했으며, 총편익을 산출하면 약 27,237백만원으로 추정할 수 있다.

37) 연평균 지불의사액 X 모집단 가구수 X (1-지불거부율: 17.4%) X (NOAA 조정계수 0.5)

[표 4-20] 설문 지역의 총 가구 수(2021년 기준)

부산광역시	대구광역시	인천광역시	광주광역시	대전광역시	울산광역시	경기도
총 가구 수	1,447,194	1,013,488	1,216,719	625,511	648,593	460,289

출처: 국가통계포털. (2021) 가구형태별 가구 및 가구원. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tibId=DT_1JC1501&conn_path=I3(검색일: 22.10.05)

3. 소결

□ 가로녹지의 그늘 제공 기능 강화를 위한 전략계획 수립 필요

일상에서 가로녹지가 필요한 주요 이유는 매력적인 도시경관 조성(60.2%)과 그늘 제공(60.1%)이다. 특히 그늘 제공 기능(40.1%)은 가로녹지의 경관, 생태, 방재 등 다양한 기능 중 가장 중요한 기능으로 조사되었다. 이러한 결과는 거주지주변환경에 관계없이 그늘 제공이 중요한 역할로 제안되고 있으며, 현재 거주지 주변의 가로녹지에 대한 만족(53.3%)과 불만족에 대한 이유(44.6%)에서도 그늘제공과 관련된 항목이 중요한 이유로 선정되었다. 이처럼 사람들에게 가로녹지는 경관적인 부분 외에도 여름철 그늘 제공에 있어 중요한 역할을 하고 있다. 조사결과에 따르면 응답자별 가로녹지 개선을 위해 필요 한 사항을 선정한 이유로 ‘더운 날씨에 온도를 낮출 수 있을 것 같아서’가 25.6%로 두 번째로 많이 선정되었다. 이뿐만 아니라 응답자 대상으로 가로녹지의 개선에 대한 지불의사 조사에서도 응답자의 82.8%가 가로녹지 개선을 위해 세금 지불 의사를 보였다. 즉, 사람들은 가로녹지가 제공하는 다양한 기능 중 그늘 제공을 통한 온도저감을 기대하며 이를 위해 가로녹지 개선이 필요하다고 인식(54.0%)하는 것으로 판단된다. 그러므로 가로녹지의 다양한 기능을 고려해야 하지만 그늘 제공의 측면을 중점적으로 고려한 계획 방향이 필요하며, 특히 가로수가 효과적으로 그늘을 만들 수 있도록 배치전략과 목표 수 관폭 달성 기준 등이 포함된 목적 지향적 가로녹지 전략계획이 필요하다.

□ 저층건물 밀집지역에 대한 가로녹지 확대 필요

지역별로는 주변이 고층건물 밀집지역일 때 가로녹지에 대한 만족도나 충분성에 대해 긍정적으로 응답한 비율이 높은 반면 저층 건물 밀집지역의 경우 가로녹지가 충분하지 않다고 응답한 비율이 34.5%로 가장 높게 나타났다. 또한 가로녹지에 대한 만족도 역시 불만족 한다고 응답한 비율이 27.4%로 다른 지역과 비교해 높은 수준인 것으로 나타났다. 이는 실제 가로 녹지 현황에서 도로쪽 가로녹지의 형태에 대한 응답결과를 지역별로 구분하면 저층건물 밀집지역에서 녹지가 없거나 가로수가 없는 낮은 화단이 있는 비율이 23.8%로 고층건물과 비교했을 때 6.5% p더 많은 것으로 나타났다. 또한 저층건물 밀집지역에서는 불만족 하는 이유도 가로녹지의 양이 부족하다고 생각되기 때문에가 자

장 많았다. 이는 고층건물 밀집지역의 경우 거주하는 주택유형이 아파트인 경우가 가장 많았으며 반면에 저층건물 밀집지역은 단독, 다가구·다세대주택, 연립주택에 거주하는 비율이 높았다. 각 주택유형이 밀집된 지역의 특성상 아파트가 많은 곳은 아파트 자체에서 제공하는 조경과 함께 인근 가로에 큰 나무들이 식재되어 있는 반면, 저층주거지의 경우 상대적으로 녹지의 분포나 가로수가 적게 심겨져 있어 생겨난 결과로 해석할 수 있다. 따라서 도시 전체적으로 온도를 저감시키고 주변 건조환경의 열환경 요인을 고려하여 가로녹지 계획이 필요하며 그 중에서도 가로녹지 개선 시 저층건물 밀집지역을 중심으로 고려될 필요가 있다.

□ 이용자들의 동선이나 행태를 고려한 가로녹지 계획 수립 필요

마지막으로 거주지 주변의 가로녹지가 개선 된 이후 보행시간이 늘어나는지 살펴보았다. 그 결과 40분 이상 걸을 수도 있다는 응답자 비중이 20.2% p 증가(17.7%→37.9%)함에 따라 응답자 전체 평균 도보 시간이 25.7분에서 37.9분으로 12.2분 증가하였다.



[그림 4-17] 평소 거주지 주변 보행 시간과 가로녹지 개선시 보행시간 비교

출처:연구진 작성

거주지주변의 도로쪽에는 가로수형태의 가로녹지(52.4%)가 가장 많이 조성되어있고, 수고가 높은 가로수가 들판듬성 심어져 있는 경우(29.4%)가 우세했다. 이렇게 조성된 가로녹지까지의 접근은 양호했으며 응답자들은 가로녹지까지 접근하는데 걸리는 시간이 10분내가 적당하고 응답하였다. 이는 거주지주변에서 도보로 이용할 수 있는 직선거리를 고려하면 최대 약 740m 내 가로녹지가 있어야 함을 시사한다.

제5장 폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획 및 정책대안

-
1. 폭염대응을 고려한 가로녹지계획 방안
 2. 폭염대응을 고려한 가로녹지 정책대안
-

1. 폭염대응을 고려한 가로녹지계획 방안

1) 폭염대응 관점에서 가로녹지 제도 및 계획의 쟁점

본 연구에서는 가로녹지의 온도저감 기능을 극대화함으로써 가로공간의 열완화 전략을 모색하고 궁극적으로는 폭염에 대응하는 도시를 조성하기 위한 정책대안을 마련하고자 하였다. 이를 위하여 앞서 제2장, 제3장, 제4장에서 폭염대응 관점에서 가로녹지에 대한 법제도 및 계획 분석, 가로 열환경에 대한 영향요인 분석, 가로녹지에 대한 인식 분석 등을 수행하였고, 이를 토대로 현행 가로녹지 계획에 대한 쟁점을 도출하였다.

가로녹지에 대한 법제도 및 계획 분석 결과, 현행 가로녹지 계획이 양적 확대 및 녹지 네트워크 조성 중심으로 이루어져 있으며, 가로를 구성하는 다양한 요소를 고려하기 보다는 공급자의 관점에서 물량 기준으로 조성되고 있고, 가로녹지의 온도저감 기능에 대한 고려가 부족함을 확인하였다. 가로 열환경에 대한 영향요인 분석 결과, 가로를 구성하는 건조환경 특성에 따라 열환경에 차이가 발생하며, 현재 가로수의 규격 및 배치 현황이 온도저감 기능을 극대화 하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 또한 가로수 이외 시설녹지, 대지 내 조경 및 공개공지 등의 가로녹지와 아파트 조경시설, 공원 등 주변녹지로 인한 온도저감 효과가 있음을 실제로 확인하였고, 보행자의 열스트레스에 그늘 여부가 직접적인 영향을 미치며 노상주차 등의 가로 이용행태가 가로 열환경에 영향을 미침을 파

악하였다. 마지막으로 가로녹지에 대한 인식 분석 결과, 저층건물 밀집지역, 중저층건물 밀집지역, 고층건물 밀집지역 등 거주지 유형에 따라 가로녹지에 대한 만족도, 개선방향 등에 차이가 나타났으며, 가로녹지의 다양한 기능 중 그늘제공 기능을 가장 중요하게 생각하고 있으며 넓은 차로수 보다 울창한 가로녹지를 선호함을 확인하였다.

이러한 분석 결과를 종합하여 본 연구에서는 현행 가로녹지 계획의 쟁점을 양적 확보 측면에서의 가로녹지 계획, 정책 목표 달성보다는 관리 효율에 편중된 현행 관리기준, 가로녹지의 온도저감 기능에 대한 고려 부족, 가로녹지 유형 간의 연계 부족, 이용행태를 고려하지 못하는 공급자 관점의 가로녹지 계획, 가로공간 전체의 통합적 맥락에서의 접근 부족 등의 6가지로 정리하였다.



[그림 5-1] 현행 가로녹지계획의 쟁점

출처: 연구진 작성

□ 가로녹지의 온도저감 기능에 대한 고려 부족

가로녹지는 폭염피해에 대응하는 방안으로서 중요한 의미와 효과를 가지고 있으며, 가로녹지의 계획 및 관리는 이와 같은 가로녹지의 기능에 중점을 두어 명확한 정책 목표를 달성하도록 시행되어야 한다. 그러나 현행 가로녹지 계획체계에서는 가로녹지의 온도 저감 기능보다는 녹지네트워크 연결, 도시미관 향상 등을 목표로 실행전략이 수립되는 경우가 많으며, 온도저감 기능을 고려하도록 명시되어 있는 경우에도 세부적인 기준이나 배치계획 등에서 온도저감 효과를 극대화하기 위한 고려는 부족하였다. 이러한 계획의 결과 가로수 조성 실태를 살펴보면, 가로수의 온도저감을 위한 최적의 크기와 식재간격과는 상이하게 조성되어 있는 모습을 확인할 수 있다.

결국 도시차원에서 폭염 피해가 증가할 것으로 예상되는 상황에서, 직접적인 직사광선의 영향 하에 놓이게 되는 가로공간에서의 폭염대응이 가로녹지계획의 전면적인 정책 목표로 설정될 필요가 있다. 가로녹지 개선에 대한 인식조사에서도 가로녹지의 '매력적인 도시 경관 조성', '도시 생태계 유지', '폭우 시 방재기능' 등 다양한 기능 중 '그늘 제공'이 가장 중요하다는 응답이 많았으며, 가로녹지를 개선할 경우 '온도저감 효과를 기대'한다는 응답비율도 두 번째로 높게 나타났다. 즉 현행 가로녹지 계획에서는 가로녹지의 온도저감 기능에 대한 고려가 부족하지만, 앞으로는 예견되어 있는 기후위기에 대응하여 폭염대응 관점에서 가로녹지의 기능적 측면에 주목하고 예상효과에 기반하여 양적, 질적 차원의 조성 및 관리계획을 마련할 필요성이 있다.

□ 가로녹지의 기능에 대한 고려보다는 양적 확보 측면에서 계획되는 가로녹지

본 연구에서 주목하고 있는 온도저감 기능 이외에도 가로녹지는 도시미관 향상, 패편화된 도시녹지 연결 등의 다양한 기능을 가지고 있으나, 이러한 기능을 고려한 최적의 전략을 수행하기 보다는 단순 양적 증대를 목표로 계획, 조성하는 경우가 대부분이다. 지자체에서 수립하는 가로녹지 계획의 목표에는 기후변화 대응, 다채로운 경관 조성 등이 명시되어 있더라도, 세부적인 실행단계에서는 식재량 증진을 위한 가로수 단절구간의 보식, 노후 및 불량 가로수 교체 등 양적 확보 측면에서 계획되고 있음을 확인할 수 있다.

이로 인하여 가로녹지는 도시 전체의 물량 차원에서 접근되고 있으며 결국 도시의 다양한 환경과 관계없이 일률적인 기준으로 조성됨에 따라, 온도저감에 효과적이지 못한 가로녹지 형태로 조성되는 경우가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 인식조사 결과에서도 확인할 수 있는데, 주로 아파트 단지로 구성되어 있는 고층건물 밀집지역에 비하여 저층

건물 밀집지역 거주자들의 가로녹지가 충분하지 않으며, 가로녹지 만족도가 낮음을 확인하였다. 또한 도시 전체의 가로녹지 양적 증대를 목표로 하고 있어 실질적으로 보행자가 많은 도심부 가로보다는 기존에 가로수가 식재되어 있지 않은 도시 외곽도로가 주요 계획 대상으로 선정되는 경우도 빈번하게 나타난다. 결국 가로녹지의 기능이 보다 효과적이고 효율적으로 발휘되기 위해서는 현재와 같은 양적 증대를 달성 목표로 제시하기보다는 가로녹지의 계획과 개선을 통하여 어떠한 정책목표를 달성할 수 있는지를 논의하고 이에 대한 달성 정도를 평가할 수 있어야 한다.

□ 정책 목표 달성보다 관리 효율에 중점을 두는 현행 계획 및 관리 체계

본 연구에서 정의하고 있는 가로녹지 시설인 가로수(띠녹지), 시설녹지, 대지 내 조경, 공개공지의 조경시설 중 구체적인 관리방안이 명시되어 있는 것은 가로수(띠녹지)에 한정되어 있으며, 가로수(띠녹지)의 경우에도 온도저감 등 가로수로 인한 효과를 평가하기보다는 단순 생육과 주변 가로시설물과의 경합 정도에 따라 관리되고 있음이 확인되었다. 이는 결국 가로녹지가 조성되어 있음에도 불구하고 가로녹지의 다양한 효과를 체감하기 어렵게 만들며, 해당 지역의 가로녹지가 양적으로 충분한 것으로 판단되기 때문에 새로운 가로녹지 계획이나 개선 시에 소외되는 경우가 발생된다. 이에 따라 지자체에서 가로녹지의 조성 및 관리에 막대한 예산과 노력을 기울이는 것에 비하여, 가로녹지의 효과는 충분히 발휘되지 않아 관리 측면의 보완이 필요한 상황이다.

민원 해결을 위해 가로수의 효과나 생장을 고려하지 않은 가지치기 사례

도심을 걷다 보면 가지가 잘려나가고 기둥만 남은 일명 '닭발' 가로수를 흔히 볼 수 있다. 가지의 80% 이상을 잘라내는 과도한 가지치기 즉 '강전정'을 당한 나무다. (중략) 현행 규정에 가지치기의 기준이 정해져 있지 않은 것도 문제를 키웠다. 가로수 관련 지침인 산림청 '가로수 조성 및 관리 규정(고시)'은 물론 지자체별 가로수 관련 고시에도 관련 기준이 없다. 또는 '가로수는 자연형으로 육성한다'(서울시) 수준의 모호한 문구뿐이다.



출처: 서재훈. (2022). '닭발 나무'가 된 가로수, 왜 이렇게 많나 했더니. 6월 9일 한국일보. <https://m.hankookilbo.co/m/News/Read/A2022060719130004174>(검색일: 22.9.17.)

4월 새싹이 돋아 연두빛으로 물든 가로수들이 가지치기로 양상한 뼈대만 남은 채 우두커니 서있다. 뒤늦은 가지치기 작업이 광주 서구 뿐 아니라 광주 도심 곳곳에서 목격되고 있다. (중략) 가지치기에 대한 명확한 가이드라인도 없다. 지자체별로 가지치기에 대한 전문지식이 부족한 탓에 외주업체에 위탁을 주다 보니 무분별한 가지치기가 이뤄지고 있다는 지적이다.



출처: 박우경. (2021). "간판 가린다' 민원에 가지 썩똑...가로수 수난시대. 4월 19일 전남일보. <https://www.jnilbo.co/m/view/media/view?code=2021041721412281304>(검색일: 22.9.17.)

따라서 폭염대응을 위한 가로녹지계획을 실현하기 위해서는 현재 가로녹지가 온도저감을 위한 최적의 형태로 조성되어 있는지를 우선적으로 진단할 필요가 있으며, 이러한 평가체계 기반의 관리전략이 마련되어야 한다. 결국 기후위기로 인해 폭염피해가 급증할 것으로 예상되는 상황에서 가로수나 녹지에 대한 일상적인 조성 및 유지관리 방안에서 벗어나 적극적인 가로녹지의 성능극대화에 정책적으로 집중해야 하며, 관리 효율을 위한 일률적인 기준 적용에서 벗어나 개별 수목의 진단 결과에 따른 관리방안을 모색할 필요가 있다.

□ 가로녹지 유형 간의 연계 부족

본 연구에서 가로녹지로 정의하고 있는 가로수(띠녹지), 시설녹지, 대지 내 조경, 공개공지의 조경시설 등은 소관하고 있는 법령과 조성 및 관리 주체 등이 상이하여, 계획과 조성, 관리단계에서 연계하여 운영되지 못하는 실정이다. 가로수(띠녹지)와 함께 건축물 측면으로 시설녹지 또는 대지 내 조경시설이나 공개공지 등이 조성되어 있는 경우에는 이용자의 관점에서 통합적으로 인식되어 충분한 녹음을 제공하는 것으로 여겨지며, 실제로 연계 조성되어 있는 경우에 보행자의 열스트레스가 저감되는 것으로 나타났다.

특히 가로녹지의 주요 시설인 가로수(띠녹지)의 경우 도로에 조성되기 때문에 도로 및 보도의 폭원에 따라 조성이 불가한 경우도 발생하고 있는 상황에서, 폭염에 대응하는 가로공간을 조성하기 위해서는 가로수(띠녹지) 이외의 가로녹지를 적극적으로 연계하여 조성할 수 있도록 해야 한다. 더 나아가 폭염취약성이 높은 것으로 나타난 저층주거지 밀집지역의 이면도로와 같은 곳은 주변 건물과 시설물(차양막 등), 벽면녹화 등을 이용하여 보행자의 열스트레스를 최대한 저감할 수 있는 방안을 고려할 필요가 있다.

□ 이용행태를 고려하지 못하는 공급 위주의 가로녹지 계획

이용자 관점에서 가로공간 이용 시, 가로녹지 뿐만 아니라 주변 건물 및 시설물 등으로 발생하는 그늘이 열스트레스 저감에 도움을 주지만, 주변 건물의 에너지소비량이나 노상주차 행태 등 주변 공간의 이용행태는 이용자의 열스트레스에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 현재 가로녹지의 조성 및 관리는 예산상, 일정상의 문제 등으로 인해 공급자, 관리자 중심의 성격에서 크게 벗어나기 어려운 상황이다.

폭염에 대한 피해는 개별 시민에게 발생하며, 가로녹지의 조성으로 인한 편익도 결국 개별적 이용자의 차원에서 인지되므로, 관련 정책의 효과성을 극대화하기 위해서는 이용자들의 가로이용 행태와 수요를 기반으로 대안을 마련하는 것이 바람직하다. 이를 위해

서 현재의 가로녹지 조성의 위치와 배치, 수종과 구성 등 조성방법, 관리방법 등에 대해 이용자의 편의를 극대화할 수 있도록 계획, 설계 단계의 분석 및 검토가 이루어져야 한다. 또한 이러한 분석, 검토의 타당성은 관련전문가, 행정가들의 의견에 더불어 이용자들에 대한 의견수렴 및 수요조사 결과를 반영할 필요가 있다.

따라서 가로녹지 자체에 대한 기술적 요건이나 행정적 절차, 사업구도에 따른 의사결정에서 가로녹지를 실제로 매일 이용할 것으로 예상되는 이용자들의 요구와 수요를 적절한 수단을 확보하여 조사할 필요가 있다. 이는 행정적 제약 하에서 이용자들이 집중되거나 폭염에 특히 취약한 가로에 대한 선제적 분석과 대응을 가능하게 한다. 또한 양적인 사업물량을 최대화하는 것보다 가로녹지 자체의 거버넌스 과정에 집중하는 것이, 사업의 정책적 취지를 고려할 때 실질적으로 사업의 정책적 성과를 증대할 수 있을 것이라 기대한다.

□ 가로공간 전체의 통합적 맥락에서의 접근 부족

가로공간을 구성하는 건물, 도로 등 주변 환경에 대한 고려 없이 가로녹지 자체의 조성과 관리에 초점이 맞춰진 현재의 정책은 전지구적 기후위기, 온실가스 저감 등 심각한 환경적 스트레스 상황 하에서 온도저감 목표를 달성하는데 한계가 있다. 폭염은 가로활동의 저하나 주민들의 삶의 질 저하 뿐만 아니라, 에너지 소비 및 온실가스배출 증대, 가로 이용 저하로 인한 지역활성화 저해 등 다양한 사회경제적 파급효과를 가지고 있으므로, 가로녹지에 대한 적극적 활용전략이 가로공간 차원의 개선과 함께 마련되어야 할 시점이다. 본 연구에서는 가로 열환경에 대한 영향요인 분석을 통하여 가로를 구성하는 건조환경에 따라 가로의 열환경에 차이가 발생함을 확인하였으며, 결국 가로녹지계획은 가로공간의 통합적 맥락을 고려하여 수립될 필요가 있다.

이를 수행하기 위해서는 가로공간의 폭염 대응성(Heat Resilience)을 확보한다는 상위 목표 하에서, 가로녹지의 효율성과 효과성을 제고할 수 있도록 온도저감을 위한 다양한 가로녹지 조성방안과 함께 가로의 다양한 요소의 활용방안을 마련할 필요가 있다. 이를 위해서는 기존의 적용해온 가로수 수종이나 가로녹지 조성 기법에 대해서도 비용과 성능 차원에서 다양한 시도에 대한 검토가 필요하다. 또한, 가로단위의 폭염대응성(Heat Resilience)을 증대할 수 있도록 관련전문가 및 부서의 지속적인 협력관계가 유지될 필요가 있으므로 관련 부처 연계 사업을 시행하는 방안에 대한 고민이 필요하다.

2) 폭염대응을 위한 도시 가로녹지계획의 원칙과 전략

① 가로녹지의 온도저감 효과 극대화를 위한 가로녹지계획의 원칙

앞서 도출한 가로녹지 계획의 쟁점을 바탕으로 가로녹지계획의 원칙을 다음과 같이 ‘목적지향적 가로녹지 전략계획 수립’, ‘가로의 맥락을 고려한 계획수립’, ‘가로녹지의 온도 저감 기능 극대화를 위한 관리목표 설정’으로 제시하였다.



[그림 5-2] 폭염대응을 위한 가로녹지계획의 원칙

출처: 연구진 작성

□ 양적확보의 관점에서 탈피하여 목적 지향적 가로녹지 전략계획을 수립하도록 개선

폭염대응을 위해서는 가로녹지의 조성에 있어 공급량 달성을 관점에서 계획, 평가하는 것에서 벗어나, 온열저감기능 등 적극적인 정책목표를 설정하고, 정책목표를 효율적으로 달성할 수 있는 방안을 검토, 적용할 수 있도록 해야 한다. 가로공간에서의 폭염에 대한 대응방안은 가로녹지를 제외하고는 달성하기 어려우므로, 가로녹지의 정책 목표를 가로공간의 온도저감을 중심으로 설정할 필요가 있다.

또한 이를 위해서는 가로녹지의 온도저감효과를 극대화할 수 있도록 가로녹지의 조성 위치, 가로녹지의 조성물량, 가로녹지에 적용하는 수종, 식재를 통해 달성하고자 하는 기능적 목표의 선정 등 일련의 계획 요소들을 목적지향적으로 재구성하도록 해야 한다. 본 연구에서 제시된 가로녹지 계획의 방향 및 전략은 기존의 가로녹지 조성방안을 근거 기반의 실증적 조성전략으로 목적지향적 운용이 가능하도록 할 수 있다.

□ 가로의 물리적, 행태적 맥락에 따라 폭염대응을 위한 가로녹지 계획 수립

가로공간은 이용자의 관점에서 보도와 건축물 전면부 필지가 모두 하나의 공간으로 인지 된다. 이에 따라 가로녹지 자체에 국한된 계획과 조성에서 벗어나 주변의 토지이용, 도로 폭원 및 주이용자의 특성 등 다양한 공간적, 행태적 맥락을 고려하여 가로녹지 계획을 수립하도록 개선할 필요성이 있다. 이를 위해 주변의 개발밀도, 수변공간근접성, 에너지소비량, 바람길 등 다양한 요소에 대한 검토가 함께 이루어지도록 하고, 취약지점 유형에 따른 가로녹지 대응방안을 적용하여 신속하게 대응전략을 수립하도록 한다. 이와 같은 폭염취약 유형별 가로녹지 개선 시나리오는 기존의 도시공간, 또는 새롭게 조성되는 시가지에서 취약지점을 선제적으로 도출, 대응할 수 있도록 하는 한편 유형별로 적절한 개선 방안을 제시함으로써 가로녹지의 온열저감효과를 증대시킬 수 있을 것이라 기대한다.

가로 단위의 폭염 대응을 위해서는 가로열환경 영향요인의 통합적 고려 가운데 가로녹지계획을 수행하도록 한다. 우선 그늘효과, 함수효과, 증발효과 등 가로녹지가 보유한 다양한 온도저감요소를 극대화할 수 있도록 가로녹지계획을 수립할 수 있는 근거를 마련해야 한다. 다음으로 가로녹지 뿐만 아니라, 주변 공원녹지, 건축물 전면공간 녹지 등 연계가능한 주변녹지와의 통합을 통해 온도저감효과에 있어 시너지를 도모한다. 마지막으로 가로녹지의 개별적인 배치, 조합에 있어서 온열저감효과를 제고할 수 있는 기법에 대한 실증적 분석 결과를 토대로 동일한 노력으로 더 큰 온열저감효과를 확보할 수 있는 배치기법을 적용한다.

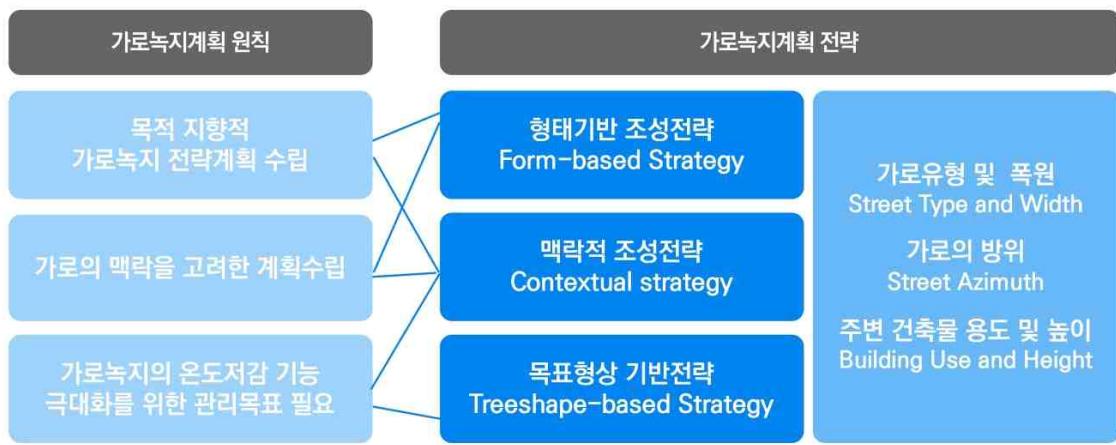
□ 가로녹지의 온도저감 기능 극대화를 위한 전략 설정

적절한 가로녹지 배치에 따라 효율성과 효과성이 제고된다는 점을 고려하여 배치에 있어 고려해야 할 주요한 원칙과 고려요소를 제시하여 동일 물량으로도 온열저감 효과를 극대화 할 수 있는 방안을 제시해야 한다. 이를 위해서는 가로단위 폭염취약성에 대한 분석 결과를 기반으로 하여, 지자체에서 가용한 재원과 인력, 시간으로 달성할 수 있는 현실적인 가로녹지계획을 수립하여야 한다.

또한 가로녹지의 온도저감 기능을 충분히 제공할 수 있도록, 가로의 열환경 관리를 위한 중장기적 관리목표가 필요하다. 가로녹지의 조성 이후에도 가로녹지의 온도저감율, 목표 수관폭 등의 관리목표를 설정하여 가로녹지의 온도저감 효과가 충분히 발휘되고 있는지 지속적으로 모니터링할 필요가 있다.

② 폭염대응 관점의 가로녹지 계획 전략

본 연구의 주요 목표는 미래에 증가할 것으로 예견되어 있는 폭염에 대응하여, 가로공간의 열완화를 위한 가로녹지계획 전략을 제시하는 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 앞서 도출한 가로녹지계획의 쟁점과 원칙을 바탕으로 가로녹지계획 전략의 주요 개념을 형태기반 조성전략(Form-based Strategy), 맥락적 조성전략(Contextual Strategy), 목표형상 기반전략(Treeshape-based Strategy)의 세가지로 다음과 같이 제시하였다.



[그림 5-3] 가로녹지계획의 원칙과 전략

출처: 연구진 작성

□ 가로의 물리적 형태에 기반한 가로녹지 조성전략(Form-based Strategy)

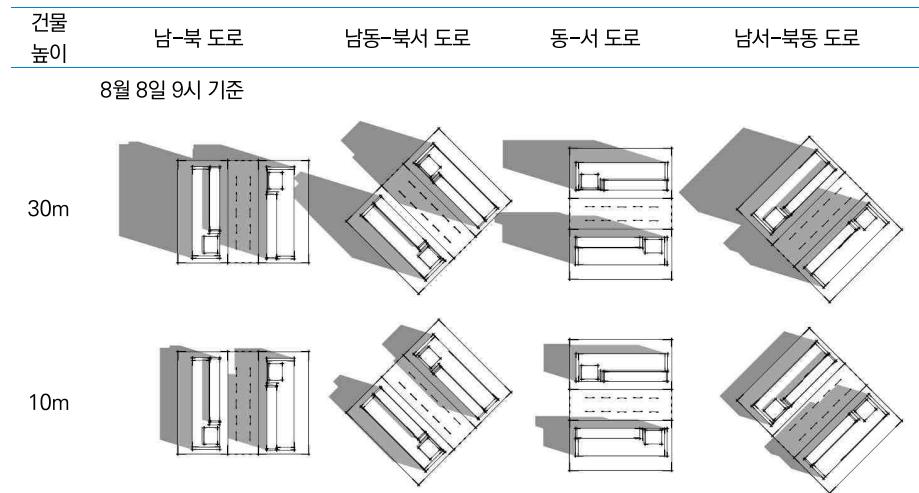
가로의 열환경에 영향을 미치는 요인 분석과 가로녹지의 개선에 대한 인식분석의 결과, 그동안 보도의 폭원에 따라 계획되고 도로 노선별 평균값으로 관리되던 것에서 벗어나, 가로유형 및 폭원, 가로의 방위, 주변 건축물의 용도 및 높이 등 가로공간을 구성하는 물리적 환경에 따라 가로녹지에 대한 보다 전략적인 계획이 필요함을 도출하였다. 따라서 가로녹지의 계획에 있어서 대상가로의 물리적 형태에 기반한 폭염대응 성능검토를 수행하고 이에 기반하여 가로녹지를 계획하는, 형태기반의 조성전략(Form-based Strategy)이 필요하다.

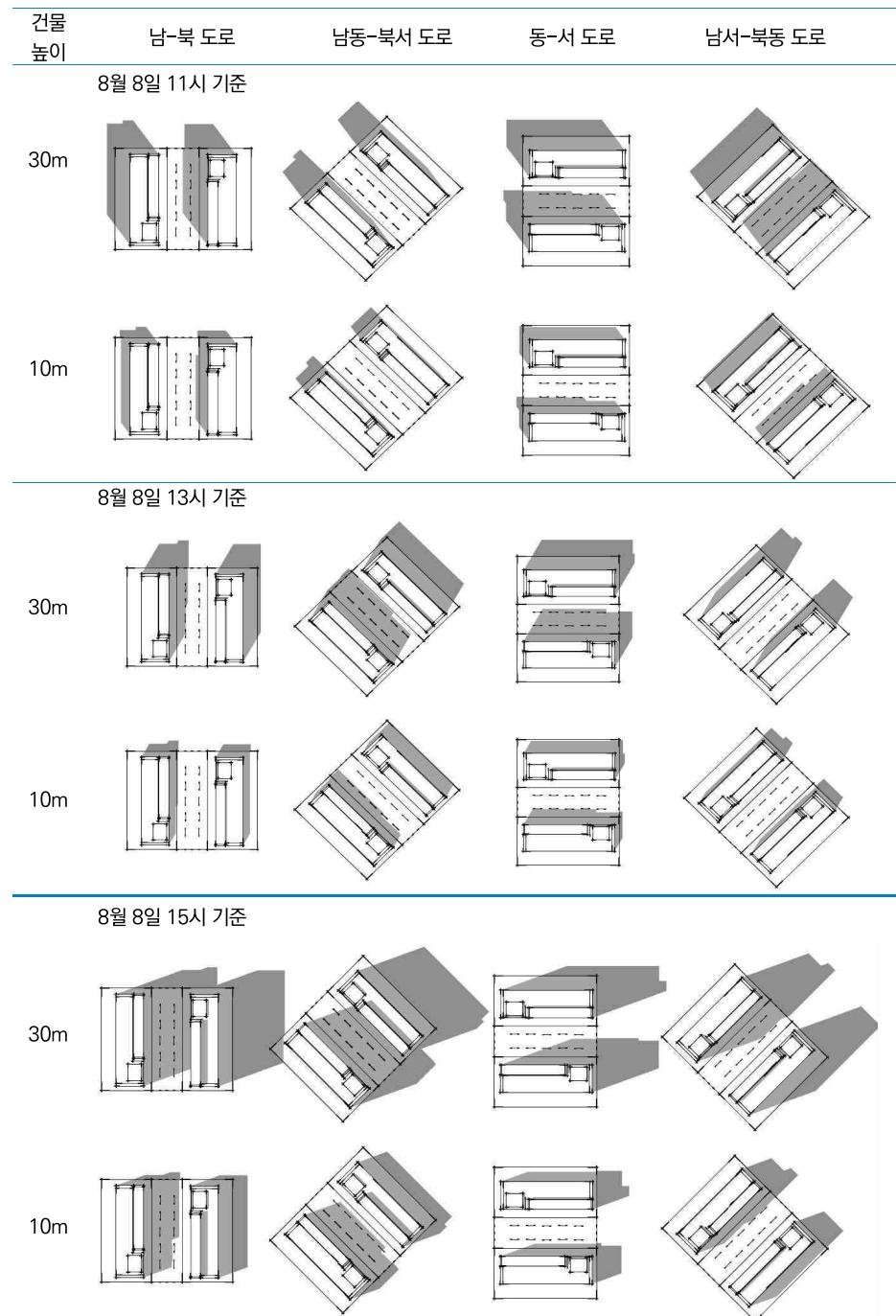
이를 위해서는 가로녹지가 조성되는 도로의 유형과 폭원, 단면구성 등 물리적 특성과 표면온도에 영향을 미치는 가로의 방위 등, 가로공간을 구성하는 물리적 구성을 대한 종합적 검토를 시행하여 가로녹지의 폭염대응 성능을 최적화할 필요성이 있다. 또한 폭염대응 성능을 극대화하기 위해서는 가로녹지가 조성되는 도로의 특성에 대해 사전검토가

필요한데, 특히 도로의 폭원과 차로공간과 보행공간의 폭원을 포함한 도로의 단면구성, 주요 도로축의 방위각 등 가로녹지의 계획과정에서 면밀히 검토되어야 한다.

이와 같은 물리적 구성요소들에 대한 검토는 단순히 가로녹지의 설치 가능성을 파악하기 위한 차원을 넘어, 각각의 물리적 구성요소들이 가로의 열환경에 어떻게 영향을 미치는지에 대하여 가로의 열환경과 함께 분석함으로써 보다 효율적인 가로녹지계획을 수립하고자 함에 목적이 있다. 이는 도시의 위치(위도), 도시의 지리적 입지, 도시의 주요 건물 형태와 용도 등에 따라 도시별로 차이가 있을 수 있다.

본 연구의 대상지인 의정부시를 분석한 결과에 의하면 가로를 구성하는 건조환경 중 주변 건물의 높이와 도로의 방위가 가로의 열환경에 유의미한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 건물의 높이와 도로의 방위는 다수의 선행연구에서도 도시의 미기후에 영향을 미치는 주요 요인으로 도출되고 있다. 이는 건물 높이와 도로 방위에 따라 건물로부터 발생하는 그림자 면적이 달라지기 때문으로 판단되며, 여름철의 건물 높이 및 도로 방위에 따른 시간대별 그림자 영향을 [그림 5-4]와 같이 나타난다. 이와 같은 분석 결과에 따라 주변 건물 높이가 낮고 동-서방향의 도로로 구성된 유형의 가로가 가장 온도가 높을 것으로 예상되며, 이러한 유형의 가로는 도로다이어트를 통한 가로녹지의 확대, 건물의 대지 내 그늘목 식재 유도 등 보다 적극적인 가로녹지 확보 방안이 필요하다.

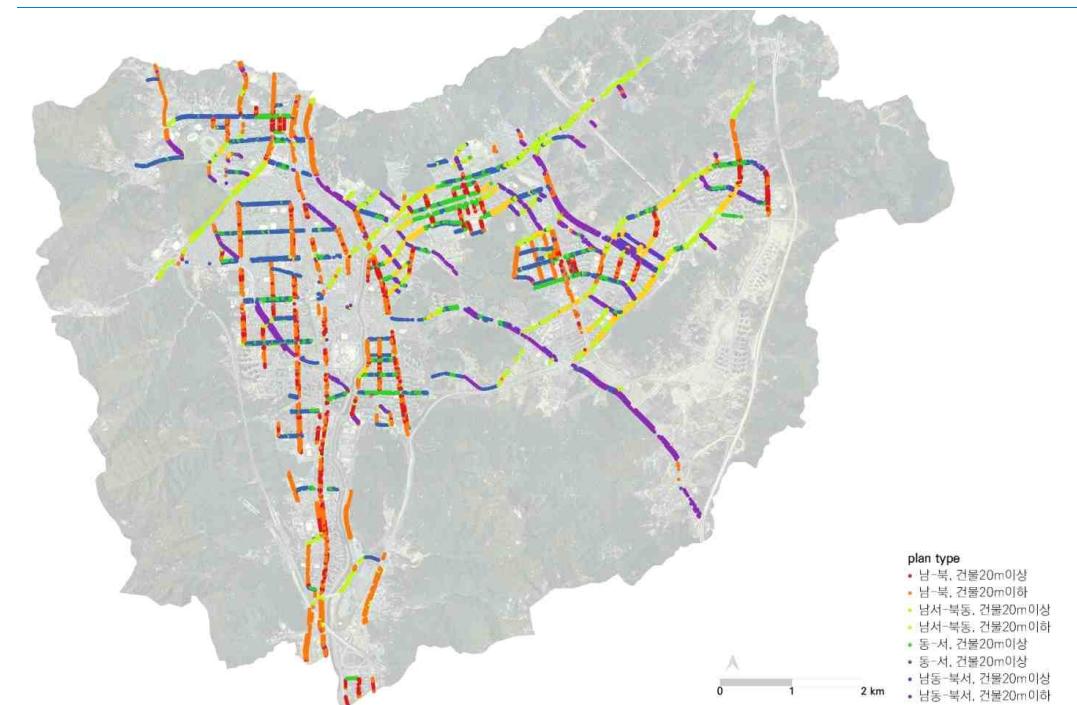




[그림 5-4] 건물 높이 및 도로 방위에 따른 그림자 변화
출처: 연구진 작성

[그림 5-4]를 살펴보면 특히 동서방향의 도로와 남북방향의 도로의 경우 가로녹지에 의한 온도저감 효과가 달라진다는 점을 알 수 있으므로, 도로의 방위각을 고려하여 가로녹지계획을 수립할 필요성이 있다. 또한 건물의 높이에 따라 같은 시간대에도 그늘 면적이 달라지므로, 저층건물 밀집지역의 가로녹지 확충방안을 고려할 필요가 있다. 다만 도시계획에 따라 대부분 저층건물 밀집지역은 도로 폭원이 좁아 충분한 가로녹지를 조성할 수 있는 여건이 충족되지 않으며, 이는 앞서 제4장에서 수행한 가로녹지에 대한 인식분석 결과로도 확인된다. 따라서 이러한 가로 유형에서는 온도저감을 위한 충분한 가로녹지가 확보되지 않을 경우, 열쾌적성 향상을 위한 다양한 시설물의 도입에 대한 검토가 필요하다.

이와 같이 건물의 높이와 도로의 방위에 따라 도시의 가로 유형을 분류할 수 있다. 본 연구의 분석 대상지인 의정부시에 대하여 도로의 4개 방위(남-북, 남서-북동, 동-서, 남동-북서)와 건물높이(저층, 고층: 높이 20m 기준)로 가로수가 식재된 도로의 유형을 구분하면 [그림 5-5]와 같다. 즉 연구의 분석결과에 따르면, 의정부시에서 폭염에 대응하여 가로환경의 온도저감효과를 극대화하기 위해서는 아래와 같은 유형별로 가로녹지계획을 다르게 수립할 필요가 있음을 보여준다.



[그림 5-5] 도로방위 및 건물높이에 따른 의정부시 가로유형

출처: 국토지리정보원(https://www.ngii.go.kr/kor/board/view.do?sq=72762&board_code=notice_ko) 건물높이 DB와 국토지리정보원(<http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do?tabGb=total>) 국가기본도자료를 가로수단위로 도출하여 연구진 작성

□ 가로주변 물리적 연계방안을 고려한 맥락적 조성전략(Contextual Strategy)

가로녹지의 계획에 있어서 도로내의 조성방안을 결정하는 과정에서 도로 주변의 공공 공간내 녹지, 공원녹지, 수변녹지, 공개공지내 녹지, 인접단지내 조성된 완충녹지 등 관련 녹지들의 현황을 파악하고, 물리적 연계방안을 고려하여 생태적 통합성 증진 및 폭염 대응을 강화할 수 있도록 맥락적 조성전략(Contextual Strategy)이 필요하다.

가로녹지가 조성되는 도로내 공간 내에서만 폭염대응을 도모하는 것을 넘어 도로주변의 이용자원을 통합적으로 고려하여, 관련계획을 수립하고 추진하는 것이 폭염대응의 효과성을 증진시킬 수 있다. 맥락주의적인 조성전략이 수립될 수 있도록 도로 주변의 녹지 등 가로온도 저감에 긍정적인 영향을 줄 수 있는 요소들을 적극적으로 활용하여 가로녹지의 계획단계에서 사전조사를 시행하고, 연계가능한 가로변 녹지자원을 조사, 수집하고 연계방안을 모색한다.

다음으로 도로변에는 에너지를 많이 사용하는 용도의 건축물이나 시설물, 그늘을 거의 제공하지 않는 시설물, 녹지가 조성되어 있지 않은 필지 등 가로온도 저감에 도움이 되지 않아 폭염대응에 부정적인 영향력을 주는 인접환경도 존재하므로, 이에 대한 적극적인 대처 또한 함께 고려되어야 한다. 또한 주변건축물의 에너지 소비량, 이용자의 진출입빈도, 건축물의 전면공지 및 부대녹지 등의 유무를 고려하고 가로에서 확보되는 보행 경로의 연속성과 쾌적성을 제고할 수 있는 연계방안을 고려할 필요가 있다.

□ 가로수의 물리적 목표형상을 상정하는 목표형상 기반전략(Treeshape-based Strategy)

가로녹지의 계획에 있어서 도로내의 조성방안을 결정하는 과정에서 가로수에 대한 수종이나 간격을 정하기 이전에, 가로수의 물리적 목표형상을 상정하고 목표형상기반전략(Treeshape-based Strategy)을 수립해야 한다.

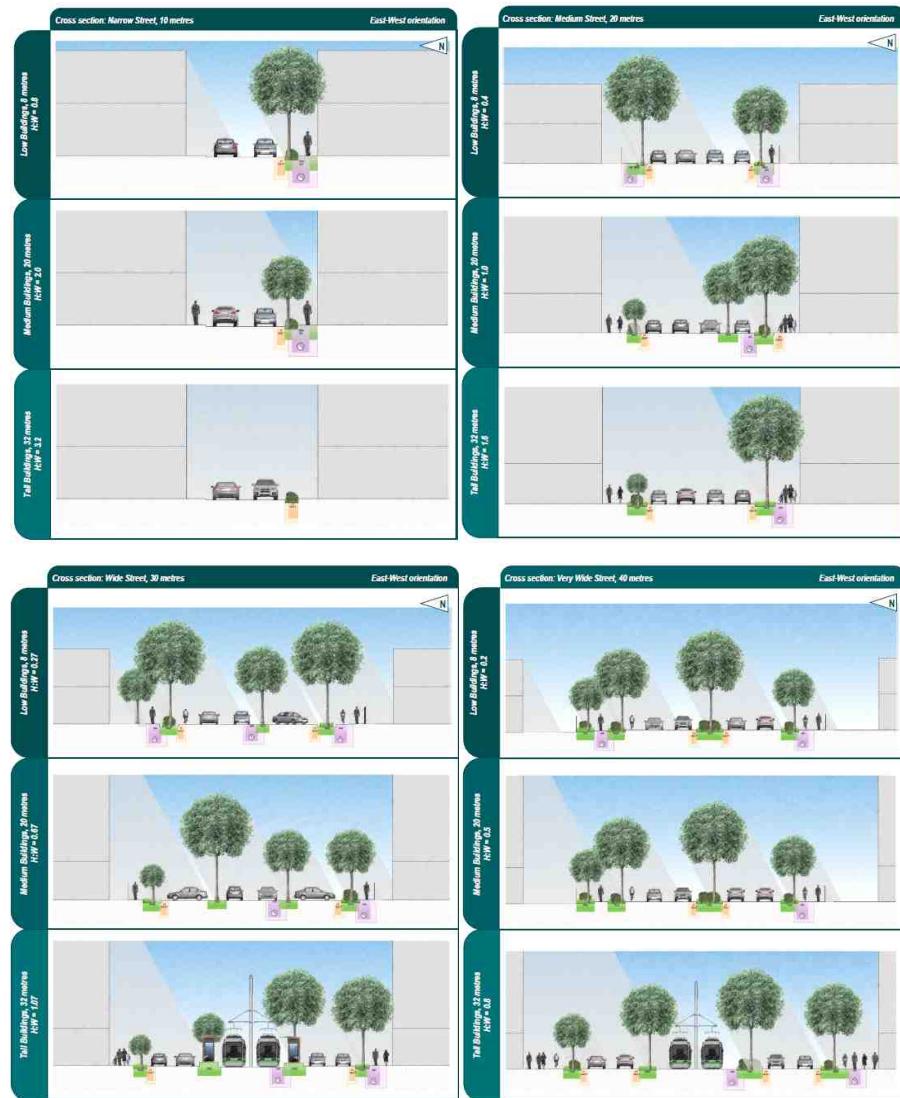
가로녹지의 조성에 있어 가로수와 식재대가 조성된 결과 실제로 그늘을 가로표면에 생산하는 효율을 고려하여 도로특성과 연관하여 가로수의 목표형상을 상정하여 계획이 이루어질 필요성이 있다.

가로수의 수종과 규모를 고려할 때, 유지관리 차원에서 안정화된 가로수의 수관고와 수관폭을 미리 상정하여 가로수의 목표형상을 계획단위로 고려할 필요성이 있다. 대상지의 도로특성과 연계하여 결정된 가로수의 목표형상은 식재이후 안정화시점이 되면 유지보수시에도 활용하여 가로수의 전반적인 폭염대응성능을 지속시키도록 할 필요가 있다.

가로수의 목표형상이 정해지면 이와 연계하여 설치할 수 있는 낮은 관목 등의 식재대 규

모를 함께 계획, 조성하도록 하며, 목표형상 기준의 가로수 식재에 있어 배치간격, 배치 전략 등을 도출하는 데에 있어 기본적인 단위로 적용하여 계획을 수행하도록 한다.

폭염대응에 있어 가로수의 목표형상이 없는 상태에서 일률적인 배치간격이나 배치전략을 적용하는 것은 온도저감성능을 저하시키거나 비효율적인 배치가 될 수 있으므로 안정화된 시점의 가로수의 목표형상을 기준으로 배치간격이나 배치계획을 수립하는 것이 바람직하다.



[그림 5-6] 가로의 특성 및 주변 환경을 고려한 가로 녹지 계획

출처: Coutts, Tapper. (2017). Trees for a Cool City: Guidelines for optimised tree placement. pp.16-22

대상지 가로녹지 전략 적용 결과

■ 개요

- 가로녹지가 조성되는 도로의 방위와 주변 공간환경을 고려하여 현장조사 대상지 중 특성이 상이한 두 곳을 선정하여 가로 녹지의 온도저감 효과를 분석
- 동-서, 남-북으로 도로가 형성된 대상지 A와 남동-북서, 남서-남동으로 도로가 형성된 대상지 C에 대해 가로녹지가 조성되지 않을 때보다 조성되어 있을 경우, 가장 더운 시간대(14시대)에 사람들의 열 스트레스에 변화가 있는지 분석

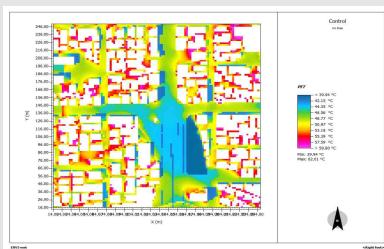
■ 종합

- 앞선 통계분석의 결과를 토대로 식재간격을 조정하여 온도저감효과를 살펴보면, 식재간격도 함께 조정한 개선안에서 사람들의 열 스트레스가 완화되는 것을 보여줌
- 대상지 분석 결과, C 대상지는 가로수가 없을 때에도 A대상지와 비교 했을 경우 온도가 더 낮은 것으로 나타났으며, 가로수 식재에 따른 감소 폭은 오히려 A 대상지가 더 크게 나타나, 동서-남북 방향에 대한 가로녹지 계획이 우선적으로 적용되어야함을 보여줌

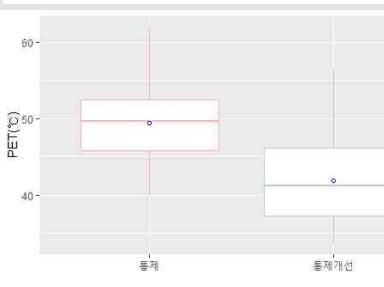
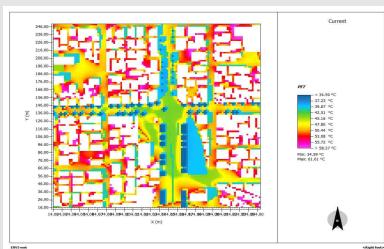
■ 세부 분석결과: A 대상지

- A대상지의 경우 가로녹지가 없다고 가정 시 평균 PET는 49.46°C으로 가장 높았으며 현재 대상지 식재환경과 유사하게 구축하게 될 경우 PET가 47.66°C로 감소함
- 현재 상황에서 식재간격을 앞선 분석결과를 토대로 수관폭 대비 식재간격이 1.1정도가 될 수 있도록 식재 배치시 평균 PET는 41.89°C로 단순히 가로수 크기만 조정 했을 경우 보다 조금 더 감소하는 경향을 보여줌

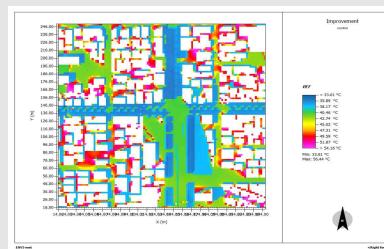
기준 (평균 PET: 49.46°C)



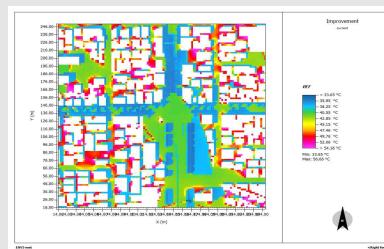
현재(평균 PET: 47.66°C)



개선(가로수 크기 조정, 평균 PET: 41.89°C)



개선(가로수 크기 조정, 평균 PET: 42.39°C)



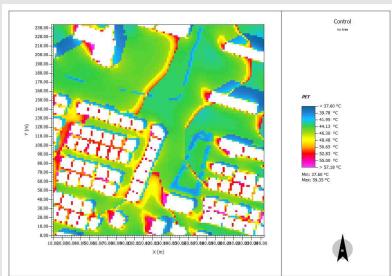
[그림 5-7] A대상지에 대한 가로녹지 개선 전후의 PET 평균

출처: 연구진 작성

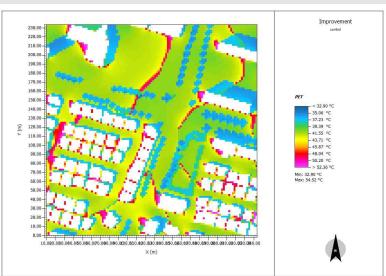
■ 분석결과: C대상지

- C대상지의 경우 가로녹지가 없다고 가정 시 평균 PET는 45.41°C으로 가장 높았으며 현재 대상지 식재환경과 유사하게 구축하게 될 경우 PET가 42.15°C로 감소함
- 현재 상황에서 식재간격을 앞선 분석결과를 토대로 수관폭 대비 식재간격이 1.1정도가 될 수 있도록 식재 배치시 평균 PET는 41.20°C로 단순히 가로수 크기만 조정 했을 경우 보다 조금 더 감소하는 경향을 보여줌
- C 대상지의 경우 현재 식재와 개선 시의 가로수 수형을 원추에서 구형으로 변형을 주었는데, 이럴 경우 북동 방향의 도로의 경우, 온도가 오히려 조금 더 상승하는 결과를 보여주어 도로방향에 따른 가로수 수형도 고려해야함을 보여주고 있음

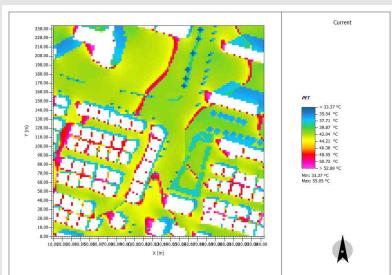
기준 (평균 PET: 45.41°C)



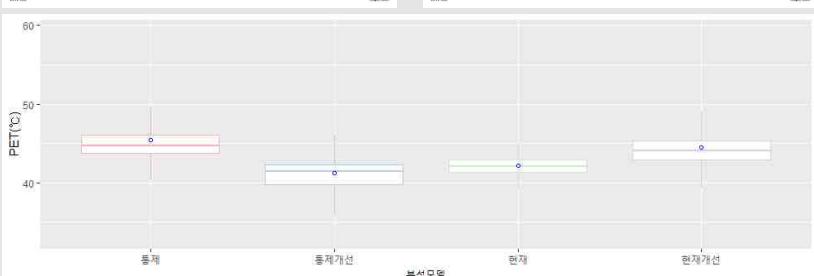
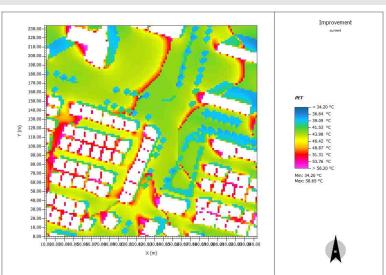
개선(식재간격 조정, 평균 PET: 41.20°C)



현재(평균 PET: 42.15°C)



개선(가로수 크기 조정, 평균 PET: 44.45°C)



[그림 5-8] C대상지에 대한 가로녹지 개선 전후의 PET 평균

출처: 연구진 작성

2. 폭염대응을 고려한 가로녹지 정책대안

1) 폭염대응 관점의 가로유형별 가로녹지 계획·관리체계 마련

□ 기후위기대응, 기후위기적응 등을 제도적, 정책적 목표로 산입

가로녹지와 관련된 법령 및 계획의 주요 목적으로 기후변화적응 및 폭염 완화를 명시할 필요가 있다. 「도시숲법」의 목적에는 폭염 완화가 명시되어 있으나 「공원녹지법」에서는 ‘쾌적한 도시환경 조성’으로만 명시되어 있다. 기후변화로 인한 도시의 위기가 예상되는 시점에서 기후변화에 대응함을 법의 목적으로 제시하도록 개선안을 마련하였다.

[표 5-1] 공원녹지법의 목적 및 정의 개정(안)

현행	개정(안)
제1조(목적) 이 법은 도시에서의 공원녹지의 확충·관리·이용 및 도시녹화 등에 필요한 사항을 규정함으로써 쾌적한 도시환경을 조성하여 건전하고 문화적인 도시생활을 확보하고 공공의 복리를 증진시키는 데에 이바지함을 목적으로 한다.	제1조(목적) 이 법은 도시에서의 공원녹지의 확충·관리·이용 및 도시녹화 등에 필요한 사항을 규정함으로써 기후위기에 대응하는 쾌적한 도시환경을 조성하여 건전하고 문화적인 도시생활을 확보하고 공공의 복리를 증진시키는 데에 이바지함을 목적으로 한다.
제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. “공원녹지”란 쾌적한 도시환경을 조성하고 시민의 휴식과 정서 함양에 이바지하는 다음 각 목의 공간 또는 시설을 말한다. (중략) 5. “녹지”란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호나목에 따른 녹지로서 도시지역에서 자연환경을 보전하거나 개선하고, 공해나 재해를 방지함으로써 도시경관의 향상을 도모하기 위하여 같은 법 제30조에 따른 도시·군관리계획으로 결정된 것을 말한다.	제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. 1. “공원녹지”란 기후위기에 대응하는 쾌적한 도시환경을 조성하고 시민의 휴식과 정서 함양에 이바지하는 다음 각 목의 공간 또는 시설을 말한다. (중략) 5. “녹지”란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조제6호나목에 따른 녹지로서 도시지역에서 자연환경을 보전하거나 개선하고, 공해나 재해를 방지함으로써 도시경관의 향상과 기후변화적응 을 도모하기 위하여 같은 법 제30조에 따른 도시·군관리계획으로 결정된 것을 말한다.

출처 : 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률. 법률 제 17893호. 참고하여 연구진 작성

또한 가로수가 보행자의 열스트레스를 완화하는데 주요한 역할을 함에도 불구하고, 「도시숲법」에서 가로수에 대한 정의로 단순히 ‘도로 내 또는 주변지역에 조성·관리하는 수목’으로 명시되어 있어 가로수 정책에 대한 목표를 뚜렷하게 확인할 수 없는 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 가로녹지의 대표적인 시설인 가로수의 조성과 관리 시에 보행자의 온도저감에 기여하는 목표를 명확히 설정할 수 있도록 개선안을 제시하였다.

[표 5-2] 도시숲법의 정의 개정(안)

현재	개정(안)
<p>제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. (중략) 3. “가로수”란 「도로법」 제10조에 따른 도로(고속국도를 제외한다) 등 대통령령으로 정하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 조성·관리하는 수목을 말한다.</p>	<p>제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다. (중략) 3. “가로수”란 <u>녹음제공, 도시경관 향상, 환경오염저감 등 생활·교통환경 개선, 쾌적한 미기후 환경 제공을 위하여</u> 「도로법」 제10조에 따른 도로(고속국도를 제외한다) 등 대통령령으로 정하는 도로의 도로구역 안 또는 그 주변지역에 조성·관리하는 수목을 말한다.</p>

출처 : 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률. 법률 제 17420호. 참고하여 연구진 작성

□ 가로녹지의 열저감 기능을 고려하도록 관련 법정계획의 지침 개정 필요

가로녹지 관련 법정계획 수립 시에 가로녹지의 열저감 측면을 고려하여 수립하도록 지침을 개정할 필요가 있다. 예를 들면, 가로수 및 띠녹지의 조성·관리에 대하여 명시되어 있는 ‘도시숲등 기본계획’의 내용에 가로녹지의 온도저감 기능을 고려한 계획 및 설계 사항을 반영하는 것이다. 구체적으로는 탄소중립, 기후변화적응에 기반하여 가로녹지 정책 방향을 설정하고 폭염에 대한 회복탄력성을 높이기 위하여 폭염취약지점을 중심으로 가로녹지를 배치하여 가로녹지 관련 정책 및 사업의 폭염대응 효과를 향상시키고자 한다.

가로녹지는 폭염피해에 대응하는 방안으로서 중요한 의미와 효과를 가지고 있으므로, 가로녹지의 조성 및 운영에 있어 명확한 정책적 목표를 제시하고 정책성과에 대한 평가 수행이 필요하다. 이에 폭염대응에 대한 고려를 바탕으로 기능적 수단으로서 가로녹지 등을 적극적으로 활용하고자 하는 정책적 목표를 명확하게 제시한다. 또한 폭염대응 관점에서 가로녹지의 기능적 측면에 주목하고 예상효과에 기반하여 가로수에 대한 양적, 질적 차원의 조성 및 관리계획을 수립한다. 일상적인 가로수 조성 및 관리에서 벗어나 기후변화 등으로 인한 환경스트레스가 급증할 것으로 예상되는 상황에 대처하는 정책 전환이 필요하다.

또한 폭염대응 차원에서 가로녹지의 조성을 통해 발생하는 환경적 효과에 대한 정책지표를 통해 개별사업의 평가, 환류를 시행할 필요가 있다. 가로녹지 조성을 통해 기여할 수 있는 폭염대응 효과에 대한 구체적인 정책적목표에 대한 지표를 설정하고 이를 기반으로 가로녹지 조성의 양적 계획 및 질적 배치전략을 도출하도록 한다. 가로녹지 조성과

관련한 정책목표와 정책물량을 산정하고 이를 기반으로 관련 온도저감지수 등 정책적 지표를 개발 및 제시할 필요가 있다. 「도시숲법」에서는 도시숲등의 경우 생태적 건강·활력도, 생물다양성, 사회·경제적 편익 등을 측정할 수 있는 도시숲등 관리지표를 설정·운영할 수 있도록 명시하고 있다. 그러나 이와 같은 도시숲등 관리지표에는 가로수를 제외(「도시숲법」 제11조)하고 있어 가로녹지의 기능과 효과에 대한 지표는 법적으로 제시되어 있지 않은 상황이다. 가로수는 가로녹지의 중점 시설로 가로공간의 폭염완화 등 미기후 조절에 큰 역할을 하므로, 가로수 또한 성능과 편익을 평가할 수 있는 지표를 제시하고자 한다.

[표 5-3] 도시숲법의 가로수 관리지표 관련 개정(안)

현행	개정(안)
제12조(가로수의 조성 · 관리) ① 지방자치단체의 장은 아름다운 경관의 조성 및 생활·교통환경 개선 등을 위하여 가로수를 다른 도시숲등과 연계되도록 조성 · 관리하여야 한다. (중략) <u>(신설)</u>	제12조(가로수의 조성 · 관리) ① 지방자치단체의 장은 아름다운 경관의 조성 및 생활·교통환경 개선 등을 위하여 가로수를 다른 도시숲등과 연계되도록 조성 · 관리하여야 한다. (중략) <u>⑥ 산림청장은 가로수를 지속가능하게 관리하고 가로수의 성능을 향상시키기 위하여 가로수의 생태적 건강·활력도, 사회·경제적 편익, 폭염완화 및 미세먼지 저감 등 기후변화대응 효과 등을 측정할 수 있는 가로수 관리지표를 설정·운영할 수 있다.</u>

출처 : 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률. 법률 제 17420호. 참고하여 연구진 작성

또한, [표5-3]과 같이 일반적인 공원녹지계획에 있어서도 폭염대응을 고려한 녹지의 온열저감 효과에 대한 명시가 필요하다. 나아가 기후위기가 일상으로 도래하는 뉴노멀(New Normal) 시대에서는 이러한 공원녹지와 가로녹지의 조성이 기존의 도시기본계획이나 관리계획에서 다루고 있는 하위계획으로서의 위상에서 벗어나 도시의 토지이용계획이나 가로망계획, 에너지관련 계획 등과 밀접한 관련을 가지고 수행되도록 전환될 필요성이 있다.

[표 5-4] 공원녹지법 시행령의 공원녹지기본계획의 수립기준 개정(안)

현행	개정(안)
제6조(공원녹지기본계획의 수립기준) ① 국토교통부상관은 법 제6조제3항에 따라 다음 각호의 사항을 종합적으로 고려하여 공원녹지기본계획의 수립기준을 정해야 한다. (중략) <u>(신설)</u> (중략)	제6조(공원녹지기본계획의 수립기준) ① 국토교통부상관은 법 제6조제3항에 따라 다음 각호의 사항을 종합적으로 고려하여 공원녹지기본계획의 수립기준을 정해야 한다. (중략) <u>8. 단소저장, 폭염 완화, 재해·재난 피해 저감, 미세먼지 저감 등의 기능을 고려하여 기후위기·단소종립 시대에 대응할 수 있도록 할 것</u> (중략)

출처 : 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행령. 대통령령 제32352호. 참고하여 연구진 작성

□ 가로공간의 열환경 및 가로녹지 진단 체계 구축

직접적으로 직사광선에 노출될 수 있는 가로공간에서의 폭염대응력을 향상시키기 위해 서는 먼저 미시적 공간 규모인 가로 단위의 열환경 파악과 조성된 가로녹지들의 온도저감 기능이 충분히 발휘되고 있는지 진단이 선행될 필요가 있다. 가로녹지 관련 주요 법령인 「도시숲법」과 「공원녹지법」에서는 각각 법정계획이 명시되어 있으며 계획 수립을 위한 실태조사를 시행하도록 되어 있으나, 폭염대응 또는 기후변화대응 관점의 조사 항목은 따로 명시되어 있지 않은 것으로 나타났다.

주변 환경과의 연계를 통한 종합적인 가로녹지 계획을 수립하기 위해 관련 계획 내 기초 조사 내용에 가로단위 폭염취약지점의 조사 부분 산입이 필요하며, 이러한 열환경 조사 결과와 가로녹지 현황에 대한 진단 결과를 종합하여 실행전략을 마련할 필요가 있다.

폭염대응 정책 수립을 위한 뉴욕시의 데이터 구축 정책

■ 온도 모니터링

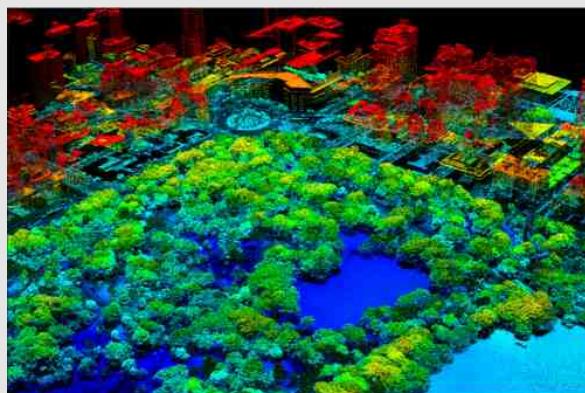
- 뉴욕시 열 완화 및 적응 전략의 효과를 제고하기 위하여 도시의 온도 모니터링이 필요
- 고해상도(미시적 공간단위, neighborhood-level)의 온도 데이터를 수집하기 위하여 뉴욕시에서는 향후 2년간 \$300,000를 투자하고 있으며, 이는 현재의 열 위험을 평가하고 취약 지역을 도출하여 효과적인 전략 수립과 이로 인한 장기적인 영향을 측정하기 위함

■ 도시 의사결정 지원을 위한 다양한 연구 수행

- 기후 관련 극한 상황 지속가능성 연구 네트워크(Urban Resilience to Weather-related Extreme Events Sustainability Research Network, URExSRN)에 참여하여, 기후변화 대응 도시의 의사결정 지원
- 도시의 녹색 인프라 및 기타 개입이 열 노출에 어떠한 영향을 미치는지 등의 시나리오 모델링 예측 등을 수행

■ 고해상도의 도시환경 데이터 구축을 위한 LiDAR 데이터 수집

- 고해상도의 3차원 지도 구축을 위한 LiDAR 데이터 수집을 위하여 \$1,720,000를 투자
- 토지 피복, 나무 캐노피 및 기타 초목, 고도 데이터, 모든 유형의 불침투성 포장 등의 여러 데이터 세트 개발
- LiDAR 데이터는 도시 열섬 효과 및 폭염과 같은 기후변화로 인한 위기에 대응하여 나무심기, 추가 녹화 및 투수성 포장 확대 등의 전략 수립을 위한 우선지역을 파악하는 데에 활용할 수 있음



[그림 5-9] 센트럴파크(Central Park)의 LiDAR 데이터 구축 모습

출처 : ONENYC. (2017). Cool Neighborhoods NYC : A Comprehensive Approach to Keep Communities Safe in Extreme Heat. p.34

박스 내용 출처: ONENYC. (2017). Cool Neighborhoods NYC : A Comprehensive Approach to Keep Communities Safe in Extreme Heat. pp.33-34.

□ 공급자, 관리자 중심에서 벗어난 이용자, 시민중심의 사업추진

가로녹지를 조성하기 쉬운 가로, 공간적 여유가 있는 가로에 양적으로 가로녹지를 충분히 조성하기보다는 당장 공간적 여유가 없더라도 시민의 이용빈도와 수요가 높은 지역, 주변여건 등으로 인해 온도환경이 열악한 지점을 선제적으로 개선할 필요성이 있다. 설문조사결과에 따르면 응답자들의 대부분은 차로를 줄여서라도 가로녹지를 더 조성하는 것이 바람직하다고 응답하고 있어 도로다이어트 등을 통해 적극적으로 가로녹지를 조성하여 온도를 저감하는 방안을 강구할 필요성이 있으며 이 과정에서 시민들의 의견을 적극적으로 수렴하는 것이 바람직하다.

즉 폭염정책의 효과성을 극대화하기 위해서는 이용자들의 가로이용 행태와 수요를 기반으로 정책사업을 추진하는 방식을 적용한다. 이와 관련하여 가로녹지에 대한 정책사업 추진에 있어 이용시민들의 요구와 수요를 반영할 수 있도록 ‘폭염대응 거버넌스(Anti-Heat Governance)’ 과정이 필요하다.

세종시 시민참여형 가로수 관리방안

■ 개요

- 세종시 가로수 관리 기본계획(2019) 내 가로수 들보미 제도 운영을 체계적으로 수행할 수 있도록 시민 참여방식, 활성화 방안 등을 제공
- 가로수가 지속적으로 제 기능을 발휘하도록 시민참여형 가로수 관리 활성화 방안 제안

■ 가로수 관리 방안

- 시민 참여 방식은 크게 권한과 의사 표현의 정도에 따라 보조적 참여, 의사결정 참여, 직접적인 운영·관리 3가지로 구분

[표 5-5] 시민 참여 방식

구분	목표
보조적 참여	자원봉사를 통한 유지관리, 기부금, 가로수 관리 강좌, 가로수 진단 등 수행
의사결정참여	세종시에서 현재 운영되고 있는 시민주권회의 환경녹지분과 가로수 소위원회 시스템과 같이 실제 가로수 관리 방안에 대한 의사결정과정에 참여
직접적인 운영·관리	가로수 관리에 대한 권한을 이양하여 관련 예산을 포함한 자발적인 운영 및 관리 수행

출처: 이윤희 외. (2020). 세종시 시민참여형 가로수 관리 방안. 대전세종연구원. pp.81-87 내용 정리

- 지속적인 시민참여 유도를 위해 온라인을 통한 홍보, 교육프로그램과의 연계, 인센티브 제공 혹은 이벤트를 통한 참여 유도, 시민 전문가 양성 등 활성화 방안 제안
- 시민참여 가로수 관리 활성을 위한 추진단계(시스템 구축, 홍보, 인센티브, 교육, 민·관협력), 기간(단기·중기)별로 드맵 제안

박스출처 : 이윤희 외. (2020). 세종시 시민참여형 가로수 관리 방안. 대전세종연구원. 참고하여 내용 정리

2) 가로 열환경에 영향을 미치는 녹지의 연계조성 제도 마련

□ 가로수 중심에서 벗어나 가로녹지, 가로공간 차원의 사업추진

기후위기로 인해 폭염피해가 급증할 것으로 예상되는 상황에서 가로수나 녹지에 대한 일상적인 조성 및 유지관리 방안에서 벗어나 온도저감을 위한 다양한 가로녹지 조성방안 및 가로공간의 폭염 대응성(Heat Resilience)을 확보하는 차원의 공간성능 개선사업으로 재편될 필요성이 있다.

가로수 자체의 조성과 관리에 초점이 맞춰진 기존의 가로녹지 정책은 도로의 규모 및 주변 건축물 현황에 따라 적극적인 폭염완화를 도모하기에는 한계가 있다. 따라서 도시 열환경 및 재해관련 정책현안에 집중하면서 가로녹지의 효율성과 효과성을 제고할 수 있도록 정책적 틀을 확대하여, 가로녹지에 대한 적극적 활용전략이 가로공간 차원의 개선과 함께 추진되어야 한다. 보도내, 중앙분리대 내 등 정해진 도로여건 하에서 사업을 추진하기 보다는 가로공간 전체의 변경, 전환을 고려하면서 차로의 축소, 도로공간의 재편 등 다양한 접근을 적극적으로 활용하여 가로녹지 조성의 여지를 확보해야 한다.

Heatwave Plan for England

■ 개요

- 2004년 처음 발표된 이후로 2014년 개편되었으며 기상청과 협력하여 개발된 폭염 경보 시스템을 활용한다. 이 경보 시스템은 5가지(0~4)³⁸⁾로 구성되며, 장기 계획부터 국가 비상사태까지 폭넓은 대책
- 그중 0. Year-round Planning – All Year 파트에서는 나무나 녹지 공간의 증가, 그늘 조성과 같은 환경적인 활동으로 가로 녹화 언급

■ 녹지 대응 방식

- 레벨 0은 연중 장기 계획으로 심각한 열이 발생할 때 건강에 미치는 피해를 줄이기 위해 장기적인 조치(공간 계획 및 주택과 관련된 조치)사항 제시
- 이때 나무가 가지고 있는 도시 온도저감 기능으로 인해 도시 녹지 면적이 10%를 초과하고 유지될 수 있도록 제안
- 건물중 병원과 요양원 부지에서의 녹지 활용도 제안
 - * 나무, 관목, 정자 및 지붕 녹화 등을 통해 주변 환경에 시원한 녹지 공간을 조성하도록 제안
 - * 주차장을 확장하는 것은 녹지를 없애고 주변 온도를 높이기 때문에 지양해야 하며, 기존 주차장 주변 및 주차 건물 상단에 나무 심기를 지향

박스출처: UK Health Security Agency. (2012). Heatwave plan for England Protecting health and reducing harm from severe heat and heatwaves, p.11 내용 번역하여 정리

38) 0. Year-round planning – all year, 1. Heatwave and summer preparedness programme 1 June to 15 September, 2. Heatwave is forecast – Alert and readiness, 3. Heatwave Action, 4. Major incident – Emergency response(UK Health Security Agency 2012, p.13)

보스턴 Heat Resilience solutions for Boston

■ 개요

- 주민들의 열 취약성을 줄이고, 폭염이 가져오는 부정적인 신체적, 정신적 건강과 같은 문제를 인식하는 것 목표
- 계획안은 Operations and Communications, Buildings, Transportation and Infrastructure 등의 8개 섹션과 26가지 세부 전략을 마련
- * 보스턴 레질리언스(resilience) 대책의 6번째 섹션인 'Parks, Trees, and Outdoor Spaces' 중 세 가지 전략이 주요 녹지 연계 대책

■ 주요내용

- 보스턴은 도시의 나무 캐노피를 확장하고 보존하기 위한 비전을 설정하기 위한 도시 산림 계획 프로세스를 포함하여 공원 개조를 통해 기온 저감과 그늘 구현을 목표

4.3 Expansion of Green Workforce Development for Heat Resilience

에너지 개조, 건물 운영 및 관리, 나무 심기 및 관리 등의 녹색 일자리를 확대하는 전략을 설명한다. 견학 및 직업 훈련 프로그램, 교육 기관, 근로자센터, 접근성 서비스 등을 고려하는데, 특히 지역사회 비영리 회원들, 여성 및 소수민족 기업에서 기후 탄력 관련 기술향상을 할 수 있도록 교육할 것을 명시한다.

6.1. Enhanced Cooling in Pocket Green Spaces and Street-To-Green Conversions

활용도가 낮은 도로, 주차장, 공터 등의 공간, 특히 밀도가 높고 열이 많이 발생하는 지역을 새로운 공원, 포켓 녹지 등의 녹색 기반시설로 재사용할 수 있도록 고려한다. 식재, 분무, 차양 등의 그늘을 만들며, 녹지가 커뮤니티 연결을 강화하는 새로운 사회적 공간으로도 사용될 것을 기대한다

6.2. Increased Shade on Municipal Sites

시 소유지에 그늘을 늘려 실내외 열 패작성을 향상하도록 하며, 열 감소 목표를 향한 진행 상황과 식재 전략의 효율성을 위해 열 센서를 설치하는 방안을 모색한다. 이때 대형 육외 주차장과 차고, 초목이 적은 부지 등을 우선적으로 고려한다.

6.4. Planning for Future Parks

공원은 시민 건강, 사회적 연결, 생태 건강, 더 시원한 지역사회를 포함하는 레질리언스에 중요한 역할을 한다. 따라서 보스턴은 회복력 있는 커뮤니티 공원 네트워크를 강화하고 확대하고자 한다. BPRD(Boston Park and Recreation Department)는 Planning for Future Park라는 장기 프로그램을 통해 영구적인 보호 및 공공의 접근성에 중점을 둔 전용 공원 시스템 확장에 투자한다. 이는 섹션 6.1의 포켓 녹지를 넘어 인구 밀도가 높은 지역에서도 공원 접근성을 높이기 위함이다.

출처: City of Boston. (2022). Heat Resilience Solutions for Boston 2022. p.218, 236-237,239



[그림 5-10] 보스턴 Heat Resilience solutions for Boston 민관 파트너십

출처: City of Boston. (2022). Heat Resilience Solutions for Boston 2022. p.233

박스 내용 출처: City of Boston. (2022). Heat Resilience Solutions for Boston 2022 내용 정리

<https://www.boston.gov/environment-and-energy/heat-resilience-solutions-boston>(검색일: 22.05.31)

□ 가로녹지의 폭염대응성 제고를 위해 폭염대응 거버넌스 구축

가로단위의 폭염대응성(Heat Resilience)를 제고하기 위해 개별 부서를 넘어 지자체 각 부서와 관련단체, 전문가, 시민, 관련업계, 토지소유자 등 다양한 이해관계자과 함께 공간적 차원에서 대안을 마련하도록 추진한다. 구체적으로 폭염정책의 효과성을 극대화하기 위해서 가로변 필지, 건축물, 시설물과의 협력방안의 모색 및 폭염대응 거버넌스(Anti-Heat Governance)의 구축을 추진한다.

이를 위해 가로녹지 자체에 대한 정책사업 추진에 있어 가로 주변 건축물 소유자 및 시설물 관리자들의 협력을 유도할 수 있도록 ‘폭염대응 거버넌스(Anti-Heat Governance)’ 과정을 거쳐 사업을 추진한다. 가로공간내 이해관계자를 총괄하는 다층적 협력체계를 구축하여 조성과정에서 조성위치 및 방안결정과정에서 효율성을 확보하고, 조성이후에도 폭염대응성능의 지속적인 유지를 위해 지역사회차원의 협력방안을 모색한다.

가로변 공개공지나 공원녹지 등을 연계 활용하기 위해서는 이해관계자들과의 사전협의가 중요하며 가로의 열환경개선이 결국은 관련 주체들의 편익을 증대시킬 수 있다는 점에 대한 사전 공감대 확보가 필요한 사항이다. 이를 위해서 부동산 소유주에게 폭염대응 인센티브를 제공함으로써 대지내 가로녹지 활용, 연계방안을 모색하여 가로녹지만으로 저감하기 힘든 열환경 개선을 도모한다.

포틀랜드 Green Streets

■ 개요

- 포틀랜드 기후변화행동계획의 일환으로 우수관리 및 열섬완화를 위해 가로에 녹지인프라를 구축
- 조성된 녹색거리는 빗물을 정화하고, 우수 관리 역할을 수행함으로써 회복가능한 도시 조성

■ 주요내용

- (녹색거리 배치 고려사항) 가로 너비, 기존 가로수의 나이와 크기, 주차영향, 지하 유트리티, 기존 식재 등 고려
- (수종) 수종은 겨울의 습한 토양과 여름의 건조함을 견딜 수 있는 식물로 구성
- (추진주체) 지역사회 봉사팀, 가로 인근 부동산 소유주, 포틀랜드 시
- (유지관리) 녹색거리 기능 활성화를 위해 가지치기, 식물교체, 쓰레기 제거 수행

출처: City of Portland. <https://www.portland.gov/bes/stormwater/about-green-streets>(검색일: 22.9.17.)

3) 폭염대응을 고려한 중장기적 관리목표 설정

- 가로녹지의 폭염대응 성능에 대한 목표지향적 관리(Policy Cycle for Cool City)를 위한 체계 마련

가로녹지의 폭염대응 성능을 목표지향적으로 관리하기 위한 정책목표설정, 정책수단 정의, 정책지표 선정 및 평가, 환류체계 구축 등이 체계적으로 마련되어야 한다. 이를 위해 가로녹지 조성을 기본적인 수단으로 하여 가로공간을 전반적으로 개선하여 탈성하고자 하는 온도저감 정책목표를 구체화하고, 향후 개선성과를 측정할 수 있는 정책지표를 설정하여 운영할 필요성이 있다.

막연히 가로녹지가 가로온도 저감에 기여하므로 폭염대응을 위해 가로녹지를 확충해야 한다는 접근은 급속하게 확산하는 기후위기에 대응하기에는 부적절한 방안이다. 따라서 한정된 시간과 자원으로 신속하게 악화되는 환경의 질을 개선하기 위해서는 선제적이며 효율적인 개선방안이 제시되어야 하므로, 구체적인 공간범위와 명확한 정책지표를 설정하여 연차별 개선목표를 달성할 수 있도록 사업물량을 제시할 필요성이 있다.

또한, 선정된 폭염대응 정책목표와 정책지표를 기준으로 연차별 사업물량과 사업내용, 사업의 기준 등을 세부적으로 설정되어야 하며, 연차별 평가와 환류를 통해 시민들의 삶의 질의 악화를 막을 수 있도록 효과적으로 계획이 수립, 시행되어야 한다.

정책지표 개선을 위한 연차별 목표설정에 따른 연차별 사업물량은 다시 개별대상지의 결정 및 구체적인 사업내용 및 후속조치 등으로 이어지는 일련의 과정으로 진행되어야 하며, 연차별 성과의 누적을 통해 악화되어가는 열환경의 유지, 개선을 도모할 수 있도록 지속적인 모니터링 및 관리가 필요하다. 연차별 성과평가 및 성과와 문제점의 공유를 통해 목표지향적이며 성능지향적인 가로녹지 조성이 이루어질 수 있으며, 폭염대응 거버넌스의 안정, 성숙단계에 이르면 도시내 유관사업들과의 연계가 자연스럽게 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

긴급한 자연환경 변화로 인한 삶의 질의 악화를 막기 위해서는 기존의 도시정책사업에 안주하는 것으로는 부족하며 새로운 정책적 틀과 사업구도개선이 필요하다. 그렇기 때문에 가로녹지의 조성을 통한 폭염대응이라는 의제 또한 가로녹지를 넘어 가로환경의 전반적 통합개선, 녹지조성사업의 틀을 넘어 관련공간의 관리책임자와 이용자들의 폭넓은 협력체계 등 새로운 방식의 정책적 대안을 요구하고 있으므로 이러한 상황을 적극적으로 수용, 추진할 수 있도록 행정역량의 집중 및 행정체계의 개선이 필요한 시점이다.

□ 가로녹지 정책의 전략적 활용가치 증대를 위한 정보체계(Cool City Platform)의 구축 및 운영

가로녹지가 가지는 온열저감성능 등 잠재력을 극대화하기 위해 기존 가로녹지에 대한 현황 및 유관정보를 체계적으로 구축, 제공할 필요성이 있다. 가로녹지정보체계를 구축하는 한편, 실무적인 조사 및 기록방법 및 활용방안에 대한 구체적인 가이드라인이 마련되어야 한다. 가로녹지정보체계에는 개별 가로수 및 녹지, 식재대에 대한 정보를 상세하게 수록하며, 주기적인 관리 및 지원체계를 고려하여 구축되어야 한다.

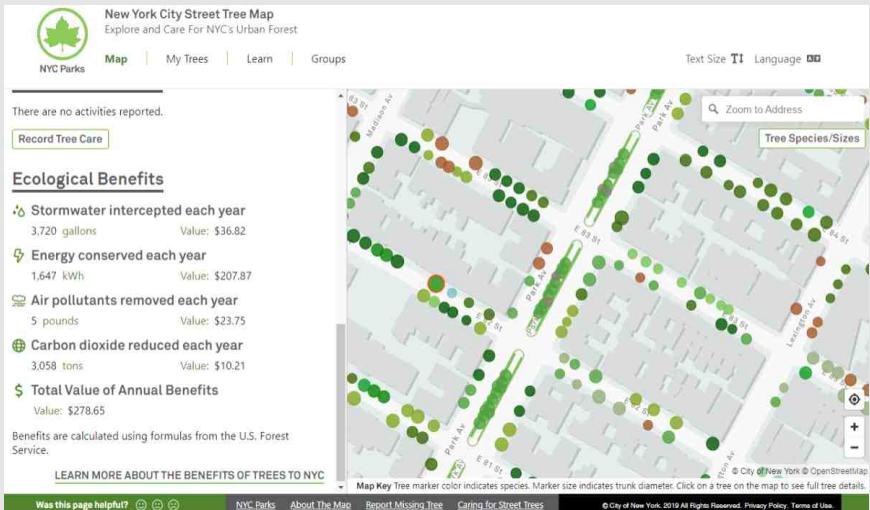
뉴욕시 Street Tree Map

■ 개요

- 2015년부터 뉴욕시 가로수 현황을 살펴볼 수 있도록 시각화시켰으며 자치구와 지역단위로 가로수의 수종과 몇 그루인지에 대한 정보를 한 번에 확인 가능
- 사용자 편의에 맞춰 지도에서 사용자가 원하는 종을 분류해서 한 번에 파악할 수 있도록 정보시스템을 구축

■ 주요내용

- 자원봉사들이 TreeKIT*를 활용하여 가로수에 대한 정보 수집
 - * TreeMap 구축을 위한 데이터 수집을 진행하고자 만든 워크시트로 가로수가 위치한 가로명, 길이, 반경, 수종 기입
- TreeKIT는 워크시트를 활용하여 체계적으로 데이터 수집 및 시각화 작업
- 지도 내 원은 가로수를 나타내며, 반경은 크기, 색상은 종을 반영하며 관련 있는 종은 유사한 색으로 표현
- 기록된 수종은 개별적으로 선택하여 정보를 확인할 수 있고, 나무 관리 기록을 자원봉사자가 직접 기입하여 관리 가능
- 개별 수종이 지니는 생태적 장점(우수저장, 어네지절약, 대기오염완화 등)별로 가치로 환산하여 제공
- TreeKIT는 워크시트를 활용하여 체계적으로 데이터 수집 및 시각화 작업
- 가로수 운영 정보시스템을 통해 실시간으로 가로수에 대한 정보를 파악하고, 가로녹지에 대한 지속가능한 관리수행



[그림 5-11] NYC Street Tree Map
 출처: New York City Street Tree Map. <https://tree-map.nycgovparks.org/tree-map/tree/2141653> (검색일: 22.02.09)

박스내용 출처: New York City Street Tree Map. <https://tree-map.nycgovparks.org/tree-map/learn/about> (검색일: 22.02.09)

워싱턴 DC Public Tree Viewer

■ 개요

- 워싱턴 DC DDOT(District Department of Transportation)의 Urban Forest Division(UFD)는 워싱턴 DC의 약 175,000그루 가로수의 관리주체로, 2015년부터 비영리단체 Casey Trees 와 협업하여 지역주민에게 주변 녹지를 알릴 수 있는 지도를 구축하여 현재 가로수의 위치, 종류, 상태, 앞으로의 계획 등을 맵핑하여 공개

■ 주요내용

- 가로수의 위치와 Open Tree Space를 나타내며, 나무줄기의 지름에 따라 다른 크기로 표시
- 수종과 상태, 크기 등의 세부정보를 확인할 수 있으며, Open Tree Space를 클릭하면 링크되는 컬럼비아 특별구 홈페이지에서 재식 신청이 가능
- 홈페이지 내 Is Tree Planting Scheduled for that Open Tree Space? 페이지에서는 Open Tree Space에 어떤 수종이 심어질 예정인지 맵핑되어있는 것을 확인가능
- 이 외에도 어떤 가로수 작업이 진행되고 있는지(Tree Planting, Prunning, Removal 등) 알 수 있는 Open Tree Work Orders맵, 선택한 지역 주변 반경으로 요청되었던 가로수 작업이나 예정된 작업을 확인 가능



[그림 5-12] Public Tree Viewer

출처: Public Tree Viewer. <https://dcgis.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=3677bceead544db79a412e3ab0a68588>(검색일: 22.04.22)

박스 출처: DDOT Urban Factory. <https://ddot-urban-forestry-dcgis.hub.arcgis.com/>(검색일: 22.04.22)

가로녹지 정보 시스템은 기존의 도시계획관련 정보체계와 GIS상으로 연계되어 토지이용 정보, 에너지 이용 정보 등과 연계하여 온열저감문제를 통합적으로 다룰 수 있도록 정보체계가 마련되어어야 한다. 또한 가로녹지정보체계는 폭염취약 유형에 대한 표시도 함께 이루어져야 하며, 유형별로 요구되는 개선대안에 대한 내용도 정보체계에서 제시되는 것이 바람직하다.

가로녹지 및 주변 환경에 대한 기본 정보화 함께 가로녹지들의 폭염현황, 가로녹지 조성 사업에 대한 평가결과 및 함의점 등 기존 가로녹지에 대한 정책사업의 성과 및 세부사항에 대한 정보를 공간정보와 함께 구축하는 것이 바람직하다. 가로녹지정보체계와 함께 열환경에 대한 정보를 함께 보여주면서, 시간적 개선효과를 검토할 수 있도록 정보체계가 구축되어야, 연차별로 진행되는 관련 사업들의 성과정도를 손쉽게 파악할 수 있다. 이러한 과정을 통해 이해관계자들의 참여를 유도하는 거버넌스 추진과정에서 활용하면서 투명한 정책성과를 공유하면서 관련사안에 대한 지역적 차원의 이해도를 제고하는 효과를 도모할 수 있다.

4) 가로단위 폭염대응 전략 수립을 위한 시범사업 추진방안

□ 가로단위 폭염대응 전략 수립을 위한 시범사업의 필요성 및 추진방향

폭염대응이라는 현안을 해결하기 위해서는 가로녹지라는 단일 시설만으로는 한계가 있으며 가로라는 공간단위에서 통합적인 해결책을 모색할 필요가 있다. 이러한 개선방안은 이전의 사업구도에서 확장된 목표와 내용을 담고 있으므로, 시범사업을 추진하여 향후 지자체 단위에서 자발적으로 추진할 수 있도록 선도적인 성과를 보여줄 필요가 있다.

가로녹지가 조성된 가로의 보도공간, 차로공간, 식재공간, 주변공간에 이르는 일련의 공간구성에 걸쳐 폭염에 대응하기 위한 방안을 통합적으로 추진할 필요가 있다. 이 과정에서 가로녹지의 조성과 함께 각 공간의 폭원이나 포장방식, 가로시설물의 개선, 기존 도로에 설치되어온 폭염저감시설의 도입 등을 복합적으로 고려하여야 한다. 시범사업에서는 될수록 다양한 기법을 적용하고 그 성과를 평가함으로써 향후 추진될 유관사업들에게 시사점과 참고점을 제시할 수 있도록 기획, 추진되어야 한다. 이는 사업시행 이전에 개선기법에 따른 개선효과를 측정, 평가할 수 있도록 다각적인 준비가 이루어져야 함을 의미한다. 이 과정에서 관계부서 및 이해당사자를 포함하는 입체적인 폭염대응 거버넌스를 구축, 운영하는 방안 또한 중요하므로, 관련 리빙랩 등을 함께 운영할 필요성에 대해서는 검토해야 한다.

□ 가로단위 폭염대응 전략 수립을 위한 시범사업의 주요내용

가로단위 폭염대응 시범사업은 다양한 관련기법을 효율적으로 조합하여 가로의 열환경을 개선하는 것을 목표로 시행되며, 이를 위해 필요한 요소들은 지역여건에 따라 선정, 시행하는 것이 바람직하다. 이 과정에서 지역의 이용자, 토지 및 건물소유자, 관리자 등 다양한 이해관계자와 함께 문제에 대한 공감대를 구축하고, 이를 기반으로 개선방안에 대한 사회적 합의를 도출할 필요성이 있다.

가로단위의 폭염대응사업이 당해 가로를 이용하는 모두의 편익을 증대시킬 수 있다는 점에 대한 공감대를 확보하는 것이 매우 중요하며, 시범사업 추진 자체보다도 폭염이 가져올 사회경제적 문제에 대한 이해와, 그에 대한 합리적 대응방안에 대한 논의가 이루어져야 한다. 이를 위해 지역사회의 이해와 공감을 바탕으로 추진되는 시범사업은 공공부문에서 추진하는 가로녹지 조성차원의 계획의 한계를 넘어설 수 있으며, 가로와 연계된 공간 전반에 걸쳐 다양한 기법들을 적용할 수 있는 여지가 확대될 것이다.

가로녹지가 조성된 가로의 보도공간, 차로공간, 식재공간, 주변공간은 소유권과 관리책임이 모두 상이할 것이나, 폭염저감이라는 정책적 목표를 달성하기 위한 효율적인 방안을 협력하여 선택, 시행할 수 있도록 사업구도를 마련할 필요가 있다.

가로녹지의 효율적인 배치, 조성, 운영관리와 함께 관련된 시설물이나 주변공간, 또는 녹지의 연계 등은 일회성의 사업으로는 유지되기 어려우며, 지속적인 연계, 협력이 필요하므로, 사업의 시작과 진행단계 전반에 걸쳐 문제에 대한 인식공유 및 대안마련과정에서의 의견수렴, 향후 개선방안, 유지보수방안에 이르는 일련의 구상을 함께하는 것이 중요한다. 기존의 공간개선사업 등에서 활용되어온 리빙랩의 개념을 활용하는 것도 가능할 것으로 보이며, 사후 평가 및 유사사업 추진에 활용하는 방안을 함께 고려하는 것이 바람직하다.

□ 폭염대응에서 더 나아가 기후변화 적응을 위한 저영향개발기법(Low Impact Development)을 포함한 가로녹지 정책의 로드맵의 구축 및 연계시행

저영향개발기법(Low Impact Development)을 가로환경 전반에 적용하는 것은 폭염대응 뿐만 아니라 폭우로 인한 재해예방 효과를 가지게 되고, 지구내 생태계를 보호, 육성하는 기능을 가지므로, 가로녹지의 통합적인 성능개선 과정을 통해 친환경적이면 지속 가능한 가로공간 조성을 위한 정책적 비전을 구체화할 필요가 있다.

지역사회의 입장에서는 폭염에 대응하는 것도 중요하지만, 다른 한편으로 기후위기의 또 다른 위험인 폭우 등으로 인한 재해위험 또한 외면할 수 없다. 가로녹지의 개선을 통해 폭염뿐만 아니라 폭우에 대한 대응 또한 가능하므로 궁극적으로는 이에 대한 검토를 함께 수행하는 것이 바람직하다. 따라서 가로단위에서 저영향 개발기법의 전반적인 확대, 적용방안을 시간적으로 통합하여 계획할 필요성이 있으며, 차로의 축소나 보행공간의 확충, 녹지대의 개선 등 가로전반의 공간구조의 개선 또한 이 과정에서 달성할 수 있도록 종합적 비전을 제시할 필요성이 있다.

제6장 결론

1. 연구의 의의

2. 연구의 한계

1. 연구의 의의

본 연구에서는 가로녹지의 온도저감 기능을 고려한 계획전략을 마련함으로써, 폭염대응 공간계획의 일환으로 가로녹지계획의 활용방안을 모색하고자 하였다. 그동안 다수의 선행연구에서 가로녹지의 온도저감효과를 증명해왔으나, 실제 가로녹지의 계획·조성 및 관리 과정에서 가로녹지의 온도저감기능에 대한 고려가 미흡함을 확인하고 가로녹지의 온도저감 효과를 극대화 할 수 있는 계획전략을 마련하였다. 최근 탄소중립정책 등 기후변화완화를 위한 다양한 정책적 노력이 이루어지고 있음에도 불구하고, 일정수준 이상의 기온상승이 예정되어 있으며, 이로 인하여 폭염 등의 이상기후가 점점 더 빈번하게 발생할 것으로 예상되는 상황에서 본 연구의 결과는 이러한 기후변화에 선제적으로 대응할 수 있는 기반을 마련하였다는 점에서 의의가 있다.

□ 가로공간에서의 폭염대응을 위한 가로녹지 계획의 필요성 고찰

그동안 도시의 폭염대응을 위한 녹지전략은 주로 면적인 공원과 산림, 녹지 등을 대상으로 시행되어 왔다. 가로공간은 시민들의 야외활동이 주로 이루어지는 공간이며 가장 쉽고 빈번하게 접하는 공공공간으로, 본 연구는 이러한 가로공간에서의 폭염대응을 위하여 가로녹지가 무엇보다 중요할 수 있음을 여러 선행연구와 연구의 분석내용을 통하여 고찰하고 폭염대응을 위한 가로녹지계획이 필요함을 제안하였다.

폭염대응을 위한 가로녹지계획의 필요성과 개선방향을 도출하기 위하여 가로녹지와 관련한 국내 법·제도 분석을 수행하였으며, 지자체의 가로녹지 계획체계를 고찰하기 위하

여 ‘도시숲등 기본계획’, ‘가로수 기본계획’ 등을 살펴보았다. 이를 통하여, 최근 가로녹지뿐만 아니라 도시의 다양한 녹지가 도시 온도 저감에 효과가 있음을 증명하는 다양한 연구들이 진행되어 왔음에도 불구하고, 「도시숲법」과 「공원녹지법」에서 이러한 온도저감효과를 중점적인 목표로 제시하지 못하거나 계획수립 및 조성·관리 단계에서 온도저감기능을 고려하지 못하고 있는 것을 확인하였다.

또한 가로녹지의 현황 및 만족도, 개선방향에 대한 대국민 인식조사를 수행하여 일반 시민들은 가로녹지의 그늘제공 등의 온도저감 기능을 중요하게 생각하고 있으며, 가로녹지를 확충하는 등 현재보다 개선되기를 희망하고 있음을 파악하였다. 특히 도로다이어트를 통해 차로를 줄이더라도 가로녹지가 충분한 것을 선호하는 것으로 나타나, 향후 폭염취약지점을 도출하여 개선사업을 시행하는 경우 보다 적극적으로 가로녹지 조성사업을 시행할 수 있을 것으로 보인다.

이와 같은 분석내용을 통하여 가로녹지 계획전략을 ‘형태기반 조성전략’, ‘맥락적 조성전략’, ‘목표형상 기반전략’ 3가지로 제시하고, 제안하는 가로녹지 계획의 실현을 위하여 「공원녹지법」, 「도시숲법」 등의 법·제도 개선안을 제시하였다. 이와 같은 다양한 분석결과와 정책대안 내용을 바탕으로 본 연구가 향후 폭염대응을 위한 가로녹지 정책 수립 시 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

□ 도시 전역을 분석 대상으로 하여 가로의 열환경에 영향을 미치는 주변요인 도출

본 연구에서는 가로공간의 열환경에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위하여 가로공간 즉 미시적 규모의 공간을 분석 단위로 설정함과 동시에, 가로녹지의 주요 조성·관리 주체인 지자체가 가로녹지계획 수립 시, 본 연구의 분석방법론을 활용할 수 있도록 분석의 범위를 도시 전역의 가로수를 분석 대상으로 하였다. 도시 전역에 대한 미시적 공간 단위의 분석을 수행하기 위하여, 본 연구에서는 머신러닝 기반의 기계학습을 이용하여 고해상도의 온도자료를 구축하여 분석에 활용하였다. 이를 통해 실제 분석 대상지 전역의 가로녹지 현황 및 물리적 환경에 대한 정보를 분석에 활용할 수 있었으며, 가로환경에 대한 영향요인을 실증적으로 도출하였음에 분석의 의의가 있다.

또한 도시 전역에 대한 분석임에도 불구하고 가로수의 수관폭, 수고, 식재간격 등 가로녹지 계획 시 주요 기준이 될 수 있는 가로수의 규격과 배치에 대한 변수를 함께 분석함으로써, 실제 물리적 환경 특성을 통제하고 가로녹지의 특성이 온도저감에 어떠한 영향을 미치는지 도출하였다는 점에서 활용도가 높을 것으로 예상된다.

2. 연구의 한계

본 연구는 가로 단위에서 폭염대응전략을 마련하는 것을 궁극적인 목표로 삼아, 가로의 열환경에 대한 영향요인을 도출하고, 이러한 영향요인을 고려한 가로녹지 계획방안을 마련하여 보다 효율적으로 도시민의 열스트레스를 완화하는데 기여하고자 하였다. 이를 위하여 미시적 공간 단위에서 가로공간의 온도분포에 영향을 미치는 주변 환경요인을 분석하였으며, 본 연구의 주요 분석 대상인 가로녹지 중 가로수 데이터를 구득하여 분석에 활용하였다. 다만 현장실태조사 결과, 가로수뿐만이 아니라 화단 형태로 조성된 띠녹지, 건물 전면 공간에 식재된 수목, 인접한 아파트단지 내의 조경시설 등도 가로의 열환경에 복합적으로 영향을 미치는 것을 확인하였으나, 데이터 구득의 어려움으로 인하여 상관관계분석에서는 활용하지 못하였다. 향후 도시에 조성된 다양한 형태의 조경시설들에 대한 데이터가 구축된다면 보다 정밀한 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서는 가로공간의 온도분포에 영향을 미치는 미기후 요인들을 분석에 활용하지 않았다는 한계가 있다. 미시적 공간 단위의 분석에서는 바람, 습도 등 이용자의 열쾌적성에 영향을 미치는 다양한 미기후 요소들을 변수로 활용하는 경우, 보다 유의미한 분석 결과를 도출 할 수 있을 것이다. 다만 본 연구에서는 지자체 가로녹지계획의 개선방향을 제시하고자 함이 목적이었으므로 도시 전역에서 고르게 구득할 수 있는 데이터만 활용하고자, 다른 기상정보를 분석에 이용하지 않았다. 향후 관측소가 더 조밀하게 설치되거나, 혹은 직접 측정 방식보다 효율적인 기상정보 구축 방안이 마련된다면, 본 연구의 한계를 해소할 수 있을 것으로 보인다.

- 강찬수. (2019). 폭염때 아스팔트 52.8도… "물 뿌리면 불쾌지수 더 높일수도". 8월 5일 기사. <https://www.joongang.co.kr/article/23543932#home>(검색일: 2022.05.15.)
- 건축데이터 민간개방 시스템. 건축물에너지 소비량 데이터. <https://open.eais.go.kr/nbemifm/OpenInfoList.do?viewType=10>.(검색일: 22.08.07)
- 건축법. 법률 제18508호.
- 건축법 시행령. 대통령령 제32825호.
- 공공데이터 포털. 경기도 의정부시 가로수 정보 데이터. <https://www.data.go.kr/data/15095497/fileData.do>.(검색일: 2022.02.13.)
- 공원녹지 기본계획 수립지침. 국토교통부훈령 제1102호.
- 관계부처합동. (2021). 2020년 이상기후 보고서. 서울: 기상청.
- 국가법령정보센터. (2022). <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2022.08.10.)
- 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. <https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98>(검색일자 : 2022.5.12.)
- 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. <https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EB%8F%84%EC%8B%9C%EC%88%B2>(검색일자 : 2022.5.12.)
- 국가통계포털. (2022). 가구형태별 가구 및 가구원. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1JC1501&conn_path=I3(검색일: 22.10.05)
- 국가통계포털. (2022). 지목별 토지현황. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=110&tblId=DT_11001N_2013_A006&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=110_11001_006_02&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do(검색일: 22.10.05)
- 국토지리정보원. 건물높이DB. https://www.ngii.go.kr/kor/board/view.do?sq=72762&board_code=notice_ko(검색일: 2022.05.06.)
- 국토지리정보원. 국가기본도. <http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do?tabGb=total> (검색일: 2022.07.08.)
- 권순재. (2021). 전주시 도심산책로, 아름답고 쾌적하게 정비. 전북도민일보. 11월 24일 기사. <http://www.domin.co.kr/news/articleView.html?idxno=1362098>(검색일: 2022.05.06.)

- 권용석. (2019). 폭염을 도시계획에서 다른 선진 도시들 : 독일 칼스루에, 프랑스 파리, 일본 도쿄. *도시정보*, 453, 58-61.
- 권용석, 정군우, 최용준. (2017). 기후변화시대, 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안 연구. 대구: 대구경북연구원.
- 권유진, 이동근, 안새결. (2019). 미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오별 분석. *환경영향평가*, 28(1), 23-34.
- 기경석, 한봉호, 허지연. (2012). 도시공원의 토지피복 및 식재구조에 따른 온도 영향요인 규명 연구-성남시 분당구 중앙공원을 사례로. *한국환경생태학회지*, 26(5), 801-811.
- 기상청 기후정보포털. (2021). 극한기후. http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_2021/influence/inf_2-3.php(검색일: 2022.02.13.)
- 김신우, 이동근, 배채영. (2021). 가로녹지 유형이 보행공간의 초미세먼지에 미치는 영향 분석 – 미기후 시뮬레이션을 활용하여 -. *한국환경복원기술학회지*, 24(4), pp.61-75.
- 김영지, 오성훈, 허재석. (2020). 공개공지의 지속가능한 운영을 위한 유지·관리 제도 개선 연구. 세종: 건축공간연구원.
- 김원주, 김운수. (2010). *공원녹지분야의 탄소흡수원 확보 및 탄소저감방안*. 서울: 서울연구원.
- 김원주, 장남종, 목정훈, 강규이, 남성우, 신동훈, 김승주, 김성훈, 변유진, 황종아, 문성진, 유성희, 신상희, 조혜진, 권상우, 양예모, 김지연, 이규철. (2015). 2030 서울시 공원녹지 기본계획. 서울특별시.
- 김장욱, 강순양, 김경태, 강영균. (2012). 조건부가치측정법 (CVM) 을 이용한 보행환경개선 사업에 대한 편의 추정. *대한교통학회지*, 30(4), 7-19.
- 김정호, 최원준, 윤용한. (2017). 도로변 가로녹지 유형이 기상에 미치는 영향. *한국환경과학회지*, 26(12), 1363-1374.
- 김한솔. (2021). 옥상 온도 55.8°C 일 때 가로수길은 28.5°C…기후위기 시대 ‘생존 문제’ 된 도시숲. 경향신문. 8월 10일 기사. <https://m.khan.co.kr/national/national-general/article/202108101940001#c2b>(검색일: 2022.05.10.)
- 대구광역시. (2016). 2030년 대구광역시 가로수 기본계획.
- 도로법. 법률 제18555호.
- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙. 국토교통부령 제922호.
- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률. 법률 제17893호.
- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행규칙. 국토교통부령 제933호.
- 도시공원 및 녹지 등에 관한 법률 시행령. 대통령령 제32352호.
- 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙. 국토교통부령 제882호.
- 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률. 법률 제17420호.
- 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행령. 대통령령 제31739호.
- 도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙. 농림축산식품부령 제481호.
- 박우경. (2021). “간판 가린다‘ 민원에 가지 싹뚝..가로수 수난시대. 4월 19일 전남일보. <https://www.jnilbo.com/view/media/view?code=2021041721412281304>(검색일: 22.9.17.)
- 박종화, 조기혁. (2016). 공원 크기에 따른 공원의 온도저감 효과 분석: 일산 신도시를 대상으로. *국토계획*, 51(5), 247-261.
- 보도 설치 및 관리 지침. 국토교통부예규 제321호.

- 부산서구청. (2019). 서구, 웨더형 나무그늘 쉼터 조성. 5월 23일 보도자료.
- 서울기술연구원. (2022). “가로수가 그늘막보다 폭염에 효과” 서울기술연구원. 열저감-열화
상센서 분석결과 발표. 9월 1일 보도자료.
- 서울정보소통광장. (2020). 서울시 가로수 조성관리 기본계획(2회차). <https://opengov.seoul.go.kr/public/21950637>(검색일: 2022.06.11.)
- 서재훈. (2022). ‘닭발 나무’가 된 가로수, 왜 이렇게 많나 했더니. 6월 9일 한국일보. <https://m.hankookilbo.com/News/Read/A2022060719130004174>(검색일: 22.9.17.)
- 안현찬, 손창우, 신인철, 장익현, 박현찬, 조항문, 김정아, 이정현, 이해림, 최지원. (2020). 폭
염과 서울시민의 생활양식 변화. 서울: 서울연구원.
- 에릭 클라이넨버그. (2018). 폭염사회. 홍경탁 역. 파주: 글항아리.
- 오동하, 여운상, 김경수. (2006). 부산광역시 가로녹지 증진방안. 부산: 부산발전연구원.
- 울산광역시. (2021). 2035 울산 도시숲 등의 조성·관리 계획.
- 이근영. (2021). 날마다 최고기온 경신... 폭염, 끝이 안보인다. 한겨례. 7월 24일 기사. <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/1004948.html>(검색일: 2022.02.12.)
- 이근영. (2018). 한여름 숲 냉각 효과 도심보다 3.4도 낮아. 한겨례. 7월 15일 기사. <https://www.hani.co.kr/arti/society/environment/853324.html>(검색일: 2022.05.10.)
- 이유화, 양인철, 김도경, 임지현. (2013). 도로 주변부 기온에 영향을 미치는 요인에 관한 연
구: 도로조건과 교통특성을 중심으로. 대한토목학회논문집, 33(4), 1619-1629
- 이윤희, 지남석, 김연금. (2020). 세종시 시민참여형 가로수 관리방안. 대전: 대전세종연구원.
- 이은석, 강현미, 한수경, 지석환, 윤호선. (2019). 자연재해·재난 대응을 위한 탄력적 도시설
계 연구. 세종: 건축공간연구원.
- 이은석, 남성우, 허한결, 송유미, 지석환. (2021). 탄소중립사회 실현을 위한 기후 탄력적 발
전 경로(CRDPs) 연구. 세종: 건축공간연구원.
- 이정아, 정대영, 전진형, 이상문, 송영배. (2010). 공간 구조별 열쾌적성 평가와 열환경 개선
방안. 한국조경학회지, 38(5), 12-20.
- 임선영. (2017). 올 여름 ‘히트 행정’ 폭염 그늘막 법제화, 최초 제안자는 누구?. 중앙일보. 8
월 17일 기사. <https://www.joongang.co.kr/article/21852169#home>(검색일: 202
2.02.10.)
- 임현우, 조상만, 박수국. (2022). ENVI-Met 시뮬레이션을 통한 도로 방향별 가로수 식재 형
태에 따른 여름철 열환경 개선 효과 분석. Journal of the Korean Institute of Land
scape Architecture, 50(2), 1-22.
- 임혜진, 유승훈, 곽승준. (2005). 서울광장 조성에 대한 서울시민의 지불의사액 추정. 서울도
시연구, 6(2), 39-55.
- 정희은, 한봉호, 곽정인. (2015). 서울 도심 가로수 및 가로녹지의 기온 저감 효과와 기능 향
상 연구. 한국조경학회지, 43(4), 37-49.
- 지구단위계획수립지침. 국토교통부훈령 제1131호.
- 제2차 도시림 기본계획. 산림청고시제2018-117호.
- 조경기준. 건설교통부고시 제2000-159호.
- 조경기준. 국토교통부고시 제2021-1778호.
- 조상만, 현철지, 박수국. (2017). 여름철 인간 열환경지수에 미치는 가로수의 영향 분석. 한
국조경학회지, 45(5), 105-112.

- 조혜진, 임지현. (2011). 도시로 녹지의 도로 표면온도 겨감 효과에 관한 연구. *한국조경학회지*, 39(3), 107-116.
- 조진희, 이채연, 배민기, & 오후. (2018). 미시적 도시공간의 폭염취약지역분석을 통한 정책적 대응방안. *충북 FOCUS*, 1-25.
- 조항문, 이윤혜. (2018). 서울시 폭염 대응력 향상 방안. *서울연구원 정책리포트*, 257, 1-29.
- 질병관리청. (2021). 2021년도 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보.
- 통계청 국가통계포털. (2022). 주제별 통계. https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTITLE&menuId=M_01_01(검색일: 2022.04.10.)
- 표순희. (2012). 조건부가치측정법 (Contingent Valuation Methods) 을 적용한 공공도서관 가치의 비교 연구. *정보관리학회지*, 29(2), 173-191.
- 한국전력공사. (2022). 전력통계월보. https://home.kepco.co.kr/kepco/KO/ntcob/list.do?boardCd=BRD_000097&menuCd=FN05030101(검색일: 2022.10.05.)
- 한봉호, 곽정인, 박석철, 허지연. (2014a). 도시녹지 네트워크 강화를 위한 가로녹지 조성계획 연구. *한국환경생태학회지*, 28(2), 128-141.
- 한봉호, 이경재, 최진우, 곽정인, 김종엽, 최인태, 강현경, 이승원, 이승제, 기경석, 장재훈, 노태환, 염정현, 김경원, 허지연, 박석철, 최태영, 김홍순, 이민영, 임성수, 송지호, 정진미, 정희은, 유소연, 김준진, 김주환. (2014b). 도로 및 환경유형별 가로수 조성·관리 모델 개발. *산림청*.
- 한봉호, 박창식, 송우준, 구향천, 지명운, 최원혁, 이정섭, 안동현, 류지혜, 장지우, 이은지, 김빛나, 김길중, 장연경, 김종엽, 최진우, 곽정인, 박석철, 김성희, 박민진, 윤호근, 박수영, 김상원. (2019). 제2차 가로수 조성·관리 기본계획. *서울특별시*.
- 한봉호, 김종엽, 곽정인, 박석철, 박수영, 최한별. (2021). 가로수 조성·관리 기본계획(2회차) 용역. *송파구*.
- 행정안전부. (2022). 기후변화로부터 국민 안전과 생명을 지키는 안심사회 실현 – 행안부, 「2022년 여름철 태풍·호우·폭염 종합대책」 마련. 5월 12일 보도자료.
- 행정안전부 공공데이터포털. (2022). 데이터목록. [https://www.data.go.kr/tcs/dss/selectDataSetList.do?keyword=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98&brm=&svcType=&inStt=&recmSe=N&conditionType=init&extsn=&kwrdArray=\(검색일:2022.02.09.\)](https://www.data.go.kr/tcs/dss/selectDataSetList.do?keyword=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98&brm=&svcType=&inStt=&recmSe=N&conditionType=init&extsn=&kwrdArray=(검색일:2022.02.09.))
- 환경공간정보서비스. 토지피복도. <https://egis.me.go.kr/map/map.do>(검색일: 22.07.09)
- 환경부. (2018). 폭염대응, 기후변화 적응 관점에서 지역별 여건과 역량 고려돼야. 8월 1일 보도자료
- Aboelata, A., Sodoudi, S. (2020). Evaluating the effect of trees on UHI mitigation and reduction of energy usage in different built up areas in Cairo. *Building and Environment*, 168(August 2019), 106490.
- Aguilar-Lome, J., Espinoza-Villar, R., Espinoza, J. C., Rojas-Acuña, J., Willems, B. L., Leyva-Molina, W. M. (2019). Elevation-dependent warming of land surface temperatures in the Andes assessed using MODIS LST time series (2000–2017). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 77, 119-128.
- Ali, M. I., Hasim, A. H., Abidin, M. R. (2019). Monitoring the built-up area transformation using urban index and normalized difference built-up index analysis. *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, 32(5), 647-653.

- Allan, M. G., Hamilton, D. P., Trolle, D., Muraoka, K., McBride, C. (2016). Spatial heterogeneity in geothermally-influenced lakes derived from atmospherically corrected Landsat thermal imagery and three-dimensional hydrodynamic modeling. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 50, 106-116.
- Amazirh, A., Merlin, O., Er-Raki, S., Gao, Q., Rivalland, V., Malbeteau, Y., Khabba, S., Escorihuela, M. J. (2018). Retrieving surface soil moisture at high spatio-temporal resolution from a synergy between Sentinel-1 radar and Landsat thermal data: A study case over bare soil. *Remote sensing of environment*, 211, 321-337.
- Aslan, N and Koc-San, D. (2016). Analysis Of Relationship Between Urban Heat Island Effect And Land Use/Cover Type Using LANDSAT 7 ETM+ And LANDSAT 8 OLI Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41, 821-828.
- BBC. (2021). 폭염: '최악의 여름이다'... 지구촌 곳곳 이상 기후로 몸살. 7월 29일 기사. <http://www.bbc.com/korean/features-58011343>(검색일: 2022.02.12.)
- Bakar, S. B. A., Pradhan, B., Lay, U. S., Abdullahi, S. (2016). Spatial assessment of land surface temperature and land use/land cover in Langkawi Island. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 37, No. 1), p. 012064. (2016.4.13.-14.)
- Bechtel, B., Demuzere, M., Mills, G., Zhan, W., Sismanidis, P., Small, C., Voogt, J. (2019). SUHI analysis using Local Climate Zones—A comparison of 50 cities. *Urban Climate*, 28, 100451.
- Bisquert, M., Sánchez, J. M., Caselles, V. (2016). Evaluation of disaggregation methods for downscaling MODIS land surface temperature to Landsat spatial resolution in Barrax test site. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(4), 1430-1438.
- Bokaei, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., Hosseini, A. (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.
- Carrillo-Niquete, G. A., Andrade, J. L., Valdez-Lazalde, J. R., Reyes-García, C., Hernández-Stefanoni, J. L. (2022). Characterizing spatial and temporal deforestation and its effects on surface urban heat islands in a tropical city using Landsat time series. *Landscape and Urban Planning*, 217, 104280.
- Chen, X., Guo, Z., Chen, J., Yang, W., Yao, Y., Zhang, C., Cui, x., Cao, X. (2019). Replacing the red band with the red-SWIR band ($0.74 \rho_{red} + 0.26 \rho_{swir}$) can reduce the sensitivity of vegetation indices to soil background. *Remote Sensing*, 11 (7), 851.
- Cho, D., Bae, D., Yoo, C., Im, J., Lee, Y., Lee, S. (2022). All-Sky 1 km MODIS Land Surface Temperature Reconstruction Considering Cloud Effects Based on Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(8), 1815.
- City of Boston. (2022). HEAT RESILIENCE SOLUTIONS FOR BOSTON 2022. <https://www.boston.gov/environment-and-energy/heat-resilience-solutions-boston>(검색일: 22.05.31)
- City of Portland. (2022). About Green Streets. <https://www.portland.gov/bes/stormwa>

ter/about-green-streets(검색일: 22.9.17.)

- Collados-Lara, A. J., Fassnacht, S. R., Pulido-Velazquez, D., Pfahl, A. K., Morán-Tejeda, E., Venable, N. B., Pardo-Igúzquiza, E., Puntenney-Desmond, K. (2021). Intraday variability of temperature and its near-surface gradient with elevation over mountainous terrain: Comparing MODIS land surface temperature data with coarse and fine scale near-surface measurements. *International Journal of Climatology*, 41, E1435-E1449.
- Copernicus Open Access Hub. (2022). Spatial Resolution. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>(검색일: 22.04.02).
- Coutts, A and Tapper, N. (2017). Trees for a Cool City: Guidelines for optimised tree placement. Melbourne Australia: Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities.
- Coutts, A. M., White, E. C., Tapper, N. J., Beringer, J., Livesley, S. J. (2016). Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and applied climatology*, 124(1), 55-68.
- DDOT Urban Factory. (2022). DDOT Urban Forestry Division. <https://ddot-urban-forestry-dcgis.hub.arcgis.com/>(검색일: 22.04.22).
- De Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C., Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, 138, 99-109.
- Deas, A. A., Zhang, M., Foley, E., Blake, R., Norouzi, H. (2021, December). The Urban Heat Island Effect in Brooklyn, New York: An Urban Street Tree Mitigation Assessment using Landsat Satellite Imagery. In AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2021, pp. H35X-1305).
- de Oliveira, J. L. M., de Cerqueira Neto, S. P. G., da Silva, J. B. L. (2021). Avaliação das mudanças no uso e ocupação do solo do Município de Eunápolis-BA através da análise da eficiência dos índices espectrais de NDVI, NDBI e Built-Up. *Brazilian Journal of Development*, 7(9), 87529-87544.
- Earth Explorer. (2022). <http://earthexplorer.usgs.gov>(검색일: 22.04.15).
- Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., Naghavi, S. (2020). Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid land research and management*, 34(3), 239-263.
- Ebrahimy, H., Aghighi, H., Azadbakht, M., Amani, M., Mahdavi, S., Matkan, A. A. (2021). Downscaling MODIS land surface temperature product using an adaptive random forest regression method and Google Earth Engine for a 19-years spatiotemporal trend analysis over Iran. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 2103-2112.
- Eliasson, I., Svensson, M. K. (2003). Spatial air temperature variations and urban land use-a statistical approach. *Meteorological Applications*, 10(2), 135-149.
- Elizabeth, A. I. J., Omaira, M. C., García, V. J., Arturo, J. S. C., Sisti, J. M., Nieves, P., Jesús, D. (2021). Multi-predictor mapping of soil organic carbon in the alpine tundra: a case study for the central Ecuadorian páramo. *Carbon Balance and M*

anagement, 16(1), 1-19.

- Elmes, A., Healy, M., Geron, N., Andrews, M. M., Rogan, J., Martin, D. G., Sangermano, F., Williams C. A., Weil, B. (2020). Mapping spatiotemporal variability of the urban heat island across an urban gradient in Worcester, Massachusetts using in-situ Thermochrons and Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) data. *Geoscience & Remote Sensing*, 57(7), 845-864.
- ENVI-met. (2022). <https://www.envi-met.com/landscape-architects/#outdoor-thermal-comfort>(검색일: 2022.02.13.).
- Goward, S. N., Davis, P. E., Fleming, D., Miller, L., Townshend, J. R. (2003). Empirical comparison of Landsat 7 and IKONOS multispectral measurements for selected Earth Observation System (EOS) validation sites. *Remote Sensing of Environment*, 88(1-2), 80-99.
- Grömping, U. (2009). Variable importance assessment in regression: linear regression versus random forest. *The American Statistician*, 63(4), 308-319.
- Guha, S., Govil, H., Diwan, P. (2019). Analytical study of seasonal variability in land surface temperature with normalized difference vegetation index, normalized difference water index, normalized difference built-up index, and normalized multiband drought index. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(2), 024518.
- Hoseini Tabesh, S., Aghashariatmadari, Z., Hejabi, S. (2022). Assessment of MODIS Data in Monitoring the Concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ Pollutants with Emphasis on Meteorological Variables. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(12), 2967-2983.
- Hough, I., Just, A. C., Zhou, B., Dorman, M., Lepeule, J., & Kloog, I. (2020). A multi-resolution air temperature model for France from MODIS and Landsat thermal data. *Environmental research*, 183, 109244.
- Huang, Z., Wu, C., Teng, M., Lin, Y. (2020). Impacts of tree canopy cover on microclimate and human thermal comfort in a shallow street canyon in Wuhan, China. *Atmosphere*, 11(6), 588.
- Hutengs, C., Vohland, M. (2016). Downscaling land surface temperatures at regional scales with random forest regression. *Remote Sensing of Environment*, 178, 127-141.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. P. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- IUCN. (2022). Nature-based Solutions. <https://www.iucn.org/our-work/nature-based-solutions>(검색일: 2022.05.20.)
- Jiang, Z., Huete, A. R., Kim, Y., Didan, K. (2007). 2-band enhanced vegetation index without a blue band and its application to AVHRR data. In *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability IV* (Vol. 6679), pp. 45-53. (2007.10.9.).
- Kattel, D. B., Yao, T. (2018). Temperature-topographic elevation relationship for high mountain terrain: an example from the southeastern Tibetan Plateau. *International Journal of Climatology*, 38, e901-e920.

- Kinabo, B. D., Hogan, J. P., Atekwana, E. A., Abdelsalam, M. G., Modisi, M. P. (2008). Fault growth and propagation during incipient continental rifting: Insights from a combined aeromagnetic and Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model investigation of the Okavango Rift Zone, northwest Botswana. *Tectonics*, 27(3).
- Kottmeier, C., Biegert, C., & Corsmeier, U. (2007). Effects of urban land use on surface temperature in Berlin: Case study. *Journal of urban planning and development*, 133(2), 128-137.
- Langenheim, N., White, M., Tapper, N., Livesley, S. J., Ramirez-Lovering, D. (2020). Right tree, right place, right time: A visual-functional design approach to select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians. *Sustainable Cities and Society*, 52(August 2019), 101816.
- Lee, H., Mayer, H. (2021). Solar elevation impact on the heat stress mitigation of pedestrians on tree-lined sidewalks of EW street canyons=Analysis under Central European heat wave conditions. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58, 126905.
- Lee, T. H., Ullah, A., Wang, R. (2020). Bootstrap aggregating and random forest. (Ed s.) In *Macroeconomic Forecasting in the Era of Big Data* (pp. 389-429). Springer, Cham.
- Liao, J., Tan, X., Li, J. (2021). Evaluating the vertical cooling performances of urban vegetation scenarios in a residential environment. *Journal of Building Engineering*, 39, 102313.
- Li, L., Zhan, W., Du, H., Lai, J., Wang, C., Fu, H., Huang, F., Liu, Z., Wang, C., Li, J., Jiang, L., Miao, S. (2022). Long-Term and Fine-Scale Surface Urban Heat Island Dynamics Revealed by Landsat Data Since the 1980s: A Comparison of Four Megacities in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(5), e2021JD035598.
- Liu, F., Jia, X., Li, W., Du, A., Wang, D. (2020). Analysis of land surface temperature evolution based on regional road scope. *Advances in Civil Engineering*, 2020.
- Liu, M., Yang, W., Zhu, X., Chen, J., Chen, X., Yang, L., Helmer, E. H. (2019). An Improved Flexible Spatiotemporal DAta Fusion (IFSDAF) method for producing high spatiotemporal resolution normalized difference vegetation index time series. *Remote sensing of environment*, 227, 74-89.
- Marzban, F., Sodoudi, S., Preusker, R. (2018). The influence of land-cover type on the relationship between NDVI-LST and LST-T air. *International Journal of Remote Sensing*, 39(5), 1377-1398.
- Maimaitiyiming, M., Ghulam, A., Tiyip, T., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Halik, Ü., Sa wut, M., Caetano, M. (2014). Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 89, 59-66.
- Majumder, A., Setia, R., Kingra, P. K., Sembhi, H., Singh, S. P., Pateriya, B. (2021). Estimation of land surface temperature using different retrieval methods for studying the spatiotemporal variations of surface urban heat and cold islands in Indian Punjab. *Environment, Development and Sustainability*, 23(11), 15921-15942.

- Morabito, M., Crisci, A., Messeri, A., Orlandini, S., Raschi, A., Maracchi, G., Munafò, M. (2016). The impact of built-up surfaces on land surface temperatures in Italian urban areas. *Science of the Total Environment*, 551, 317-326.
- Morakinyo, T. E., Kong, L., Lau, K. K. L., Yuan, C., Ng, E. (2017). A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Building and Environment*, 115, 1-17.
- Mukul, M., Srivastava, V., & Mukul, M. (2015). Analysis of the accuracy of shuttle radar topography mission (SRTM) height models using international global navigation satellite system service (IGS) network. *Journal of Earth System Science*, 124(6), 1343-1357.
- Muskananfola, M. R., & Wirasatriya, A. (2021). Spatio-temporal distribution of chlorophyll-a concentration, sea surface temperature and wind speed using aqua-modis satellite imagery over the Savu Sea, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100483.
- New York City Street Tree Map. (2022). <https://tree-map.nycgovparks.org/tree-map/tree/2141653> (검색일: 22.02.09)
- Park, C. Y., Lee, D. K., Krayenhoff, E. S., Heo, H. K., Ahn, S., Asawa, T., Murakami, A., Kim, H. G. (2018). A multilayer mean radiant temperature model for pedestrians in a street canyon with trees. *Building and Environment*, 141, 298-309.
- Park, C. Y., Lee, D. K., Krayenhoff, E. S., Heo, H. K., Hyun, J. H., Oh, K., Park, T. Y. (2019). Variations in pedestrian mean radiant temperature based on the spacing and size of street trees. *Sustainable cities and society*, 48, 101521.
- Park, Y., Guldmann, J. M., Liu, D. (2021). Impacts of tree and building shades on the urban heat island: Combining remote sensing, 3D digital city and spatial regression approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, 88, 101655.
- Peper, P.J., McPherson, E.G., Simpson, J.R., Gardner, S.L., Vargas, K.E. Xiao, Q. (2007). New York City, New York Municipal Forest Resource Analysis. Center For Urban Forest Research.
- Portela, C. I., Massi, K. G., Rodrigues, T., Alcântara, E. (2020). Impact of urban and industrial features on land surface temperature: Evidences from satellite thermal indices. *Sustainable Cities and Society*, 56, 102100.
- Prasad, A. D., Ganasala, P., Hernández-Guzmán, R., Fathian, F. (2022). Remote sensing satellite data and spectral indices: an initial evaluation for the sustainable development of an urban area. *Sustainable Water Resources Management*, 8(1), 1-16.
- Public Tree Viewer. <https://dcgis.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=3677bceead544db79a412e3ab0a68588> (검색일: 22.04.22)
- Qiu, B., Chen, J. M., Ju, W., Zhang, Q., Zhang, Y. (2019). Simulating emission and scattering of solar-induced chlorophyll fluorescence at far-red band in global vegetation with different canopy structures. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111373.
- Reverb echo. (2022). <http://reverb.echo.nasa.gov> (검색일: 2022.04.17.)
- Rodriguez-Galiano, V., Sanchez-Castillo, M., Chica-Olmo, M., & Chica-Rivas, M. J. O. G. R. (2015). Machine learning predictive models for mineral prospectivity: An evaluation of neural networks, random forest, regression trees and support

- vector machines. *Ore Geology Reviews*, 71, 804-818.
- Rousta, I., Sarif, M. O., Gupta, R. D., Olafsson, H., Ranagalage, M., Murayama, Y., ... & Mushore, T. D. (2018). Spatiotemporal analysis of land use/land cover and its effects on surface urban heat island using Landsat data: A case study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). *Sustainability*, 10(12), 4433.
- Roy, D. P., Li, J., Zhang, H. K., Yan, L., Huang, H., & Li, Z. (2017). Examination of Sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 199, 25–38.
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... & Zhu, Z. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote sensing of Environment*, 145, 154–172.
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, 31(3), 221–235.
- Sheikhi, A., Kanniah, K. D. (2018). Impact of land cover change on urban surface temperature in Iskandar Malaysia. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 25–30.
- Skelhorn, C., Lindley, S., & Levermore, G. (2014). The impact of vegetation types on air and surface temperatures in a temperate city: A fine scale assessment in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, 121, 129–140.
- Speak, A., Montagnani, L., Wellstein, C., & Zerbe, S. (2020). The influence of tree traits on urban ground surface shade cooling. *Landscape and Urban Planning*, 197, 103748.
- Srivanit, M., Jareemit, D. (2020). Modeling the influences of layouts of residential townhouses and tree-planting patterns on outdoor thermal comfort in Bangkok suburb. *Journal of Building Engineering*, 30(February), 101262. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101262>.
- Svetnik, V., Liaw, A., Tong, C., Culberson, J. C., Sheridan, R. P., & Feuston, B. P. (2003). Random forest: a classification and regression tool for compound classification and QSAR modeling. *Journal of chemical information and computer sciences*, 43(6), 1947–1958.
- Svinurai, W., Hassen, A., Tesfamariam, E., Ramoelo, A. (2018). Performance of ratio-based, soil-adjusted and atmospherically corrected multispectral vegetation indices in predicting herbaceous aboveground biomass in a Colophospermum mopane tree-shrub savanna. *Grass and Forage Science*, 73(3), 727–739.
- Svinurai, W., Hassen, A., Tesfamariam, E., Ramoelo, A. (2018). Performance of ratio-based, soil-adjusted and atmospherically corrected multispectral vegetation indices in predicting herbaceous aboveground biomass in a Colophospermum mopane tree-shrub savanna. *Grass and Forage Science*, 73(3), 727–739.
- Syariz, M. A., Jaelani, L. M., Subehi, L., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S., Sulisetyono, A. (2015). Retrieval of sea surface temperature over Poteran Island water of Indonesia with Landsat 8 TIRS image: A preliminary algorithm. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 87.
- Tang, L., Cai, F., Ouyang, Y. (2019). Applying a nonparametric random forest algorit

- hm to assess the credit risk of the energy industry in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 563-572.
- Tariq, A., Riaz, I., Ahmad, Z., Yang, B., Amin, M., Kausar, R., Andleeb, S., Farooqi, M., A., Rafiq, M. (2020). Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar region using Landsat data. *Environmental Earth Sciences*, 79(1), 1-15.
- Traganos, D., & Reinartz, P. (2018). Machine learning-based retrieval of benthic reflectance and Posidonia oceanica seagrass extent using a semi-analytical inversion of Sentinel-2 satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(24), 9428-9452.
- Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.
- UK Health Security Agency. (2012). Heatwave plan for England Protecting health and reducing harm from severe heat and heatwaves.
- Wan, Z., Dozier, J. (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 34(4), 892-905.
- Wang, J., Zhou, W., Jiao, M., Zheng, Z., Ren, T., & Zhang, Q. (2020). Significant effects of ecological context on urban trees' cooling efficiency. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 78-89.
- Xu, N., Deng, F., Liu, B., Li, C., Fu, H., Yang, H., Zhang, J. (2021). Changes in the Urban Surface Thermal Environment of a Chinese Coastal City Revealed by Downscaling MODIS LST with Random Forest Algorithm. *Journal of Meteorological Research*, 35(5), 759-774.
- Yang, C., Zhan, Q., Lv, Y., Liu, H. (2019). Downscaling land surface temperature using multiscale geographically weighted regression over heterogeneous landscapes in Wuhan, China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(12), 5213-5222.
- Yang, Y., Cao, C., Pan, X., Li, X., Zhu, X. (2017). Downscaling land surface temperature in an arid area by using multiple remote sensing indices with random forest regression. *Remote Sensing*, 9(8), 789.
- Yao, R., Wang, L., Wang, S., Wang, L., Wei, J., Li, J., Yu, D. (2020). A detailed comparison of MYD11 and MYD21 land surface temperature products in mainland China. *International Journal of Digital Earth*, 13(12), 1391-1407.
- Yoo, C., Im, J., Cho, D., Yokoya, N., Xia, J., Bechtel, B. (2020a). Estimation of all-weather 1 km MODIS land surface temperature for humid summer days. *Remote Sensing*, 12(9), 1398.
- Yoo, C., Im, J., Park, S., & Cho, D. (2020b). Spatial downscaling of MODIS land surface temperature: Recent research trends, challenges, and future directions. *Korean Journal of Remote Sensing*, 36(4), 609-626.
- Yoshie, R., Mochida, A., & Tominaga, Y. (2006). CFD prediction of wind environment

- around a high-rise building located in an urban area. In Proceedings of The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2006), pp. 16-19.(2006.07.16.-19.)
- Yu, S., Chen, Z., Yu, B., Wang, L., Wu, B., Wu, J., & Zhao, F. (2020). Exploring the relationship between 2D/3D landscape pattern and land surface temperature based on explainable eXtreme Gradient Boosting tree: A case study of Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 725, 138229.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W., Xu, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International journal of remote sensing*, 28(15), 3205-3226.
- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., Van Epen, M. (2017). Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. *Ecosystem services*, 26, 225-235.
- Zhang, J., Ma, G., Huang, Y., Aslani, F., Nener, B. (2019). Modelling uniaxial compressive strength of lightweight self-compacting concrete using random forest regression. *Construction and Building Materials*, 210, 713-719.
- Zhang, L., Zhan, Q., Lan, Y. (2018). Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone: A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, 130(September 2017), 27-39.
- Zhang, X., Estoque, R. C., Murayama, Y., Ranagalage, M. (2021). Capturing urban heat island formation in a subtropical city of China based on Landsat images: implications for sustainable urban development. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(3), 1-13.
- Zhang, Y., Guindon, B., Cihlar, J. (2002). An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 82(2-3), 173-187.
- Zhang, Z., Ji, M., Shu, J., Deng, Z., Wu, Y. (2008). Surface urban heat island in Shanghai, China: Examining the relationship between land surface temperature and impervious surface fractions derived from Landsat ETM+ imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 37, 601-606.
- Zheng, H., Cheng, T., Zhou, M., Li, D., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., Zhu, Y. (2019). Improved estimation of rice aboveground biomass combining textural and spectral analysis of UAV imagery. *Precision Agriculture*, 20(3), 611-629.
- Zheng, Z., Zhou, W., Yan, J., Qian, Y., Wang, J., Li, W. (2019). The higher, the cooler? Effects of building height on land surface temperatures in residential areas of Beijing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 110, 149-156.

Kim, Youngji
Park, Yuna
Oh, Sunghoon

Chapter 1 Introduction

Due to climate change, heat waves have been witnessed repeatedly in recent years. As this trend is likely to intensify in the future, it is urgent to prepare city policies to respond to heat waves. Prevalent heat waves threaten urban residents' health and reduce their daily activities, which may develop a vicious cycle that further increases urban energy consumption and aggravates climate change. Therefore, a pleasant microclimate environment is critical to facilitate walking and outdoor activities and create a virtuous cycle by reducing the use of passenger cars and building energy to devise a sustainable city that responds to the climate crisis. In this context, spatial response plans are needed.

In street spaces experienced by citizens in their everyday lives, green streets can offer a solution to alleviate the heat stress of users. Although green streets should be considered significant to mitigate heat waves in the street space, the current green street plan under development primarily focuses on the physical conditions, such as the width of the road for installing green streets. In order to adapt to the foreseen climate crisis in the future, it is necessary to analyze street thermal environment and, based on this, establish a green street plan for heat mitigation of the street spaces.

This study aims to prepare a green street planning strategy considering green street's urban temperature reduction function and contribute to efficiently alleviating urban

heat stress. To this end, it intends to prepare the basis for a more efficient plan by deriving the surrounding factors that affect the street thermal environment. In addition, this study analyzes the limitations of the current green street planning system and derives the institutional basis for the green streets plan by examining related policy cases and the perception survey on pedestrians, which is the primary purpose of responding to heat waves in order to propose green street policy alternatives to respond to heat waves.

Chapter 2 Current Legal Systems and Plans Related to Green Streets in Korea

This study seeks to present a green streets plan from a heat wave response perspective and provide an institutional basis for efficiently realizing such a green streets plan. Accordingly, this chapter reviews laws and systems related to green streets and examines the planning system for trees most closely related to street space. The major laws and systems related to green streets include the 「Creation And Management Of Urban Forest Act」 for street trees (green area belts), 「Act On Urban Parks And Green Areas」 for facility green areas, 「Building」 for landscaping and public notice Act”, which succeeding decrees and rules shall be discussed together with local municipal ordinances. Also, for street tree planning systems, the detailed master plans for Seoul, Daegu, Ulsan, and Songpa-gu, Seoul, built autonomously for street trees, were analyzed in depth together with 43 cases of Municipal Ordinance on the Creation and Management of Street Trees and 160 cases of Municipal Ordinance on Creation and Management of Urban Forests, etc.

Examining green street-related laws and legal plans showed that the current green streets plan is being established to create a green network and improve the city's aesthetics. Although the 「Urban Forest Act」, which stipulates street trees (green area belts) among green streets, specifies the purpose of heat wave mitigation, the master plan accordingly shows that green streets are planned as an ecological network connecting urban forests.

In addition, as a result of examining the details of the green streets plan, the

consideration of the integrated context of the street space in the green streets plan was insufficient. Legal facilities of green streets, such as green area belts, facility green spaces, open spaces, and landscaping on the site, are not integrated into the planning, creation, and management stages. Also, no linkage was hardly found with various physical elements constituting the street space. In most cases, only minimal physical conditions, such as the width of sidewalks for installing green streets, are being considered. Even more refined cases merely present plans dividing residential and commercial areas. These results revealed that the physical environment constituting the street and making a difference in the street thermal environment had not been taken into account and suggest that it is necessary to consider the context of these street spaces in an integrated way to create a more pleasant and cooler street space.

As a result of examining the criteria for planting areas, planting locations, and layouts of green streets, it was difficult to find specific construction and management standards considering the temperature reduction function of green streets. Among the main facilities of green streets, only comprehensive standards were presented for facility green spaces, open spaces, and landscaping. Concerning street trees, more specific regulations are provided. Still, most suggest planting sizes based on the width of the sidewalk. Only the standards at the time of planting are presented, indicating that the management target standards are insufficient. In addition, in the planning and management stage of green streets, emphasis is placed on growth and efficient management rather than the function of reducing the temperature of green streets. Therefore, when establishing a green streets plan to respond to heat waves, it is necessary to specify a specific layout strategy, growth target, and shade size to increase the heat reduction effect.

Chapter 3 Analysis of the Impact of Green Streets on the Urban Thermal Environment

This chapter constructed variables by reviewing precedent studies and examined the influence relationship between each variable and the street surface temperature through correlation analysis and multiple regression analysis to understand the factors affecting

the thermal environment of street space. To this end, this study performed the preceding work to build temperature data suitable for the microscopic spatial scale and constructed variables using location point data of street trees as an analysis unit to examine the influence relationship based on the standard and arrangement of street trees, rather than the mere presence of street trees. Each variable was analyzed by dividing it into spatial and green street characteristics. In addition, by synthesizing factors affecting the thermal environment, focusing on the areas derived as hot spots as a result of thermal environment analysis, street types were classified, and the actual conditions of each street type were investigated. Temperature data was collected to intuitively see the impact of green streets on pedestrians' thermal comfort, and then statistical analysis results were verified.

The analysis result confirmed the difference in the thermal environment depending on the built environment characteristics constituting the street. The surface temperature and building height had a negative (-) correlation, and the road width had a positive (+) correlation, which showed that the higher the building height and the narrower the road width, the lower the temperature. In addition, the street thermal environment varies according to the use of the surrounding buildings. The average temperature was higher when the surrounding streets were densely populated with industrial facilities, single-family houses, or low-rise residential areas such as multi-family and row houses. The average temperature distribution varied according to the direction of the road; the temperature value was highest when the road direction was east-west, which suggests that it is appropriate to adopt different strategies for each road direction when planning green streets in the future.

In addition, according to the results of correlation analysis on green streets and street thermal environments, the measurements and planting intervals of currently established street trees were ineffective for the optimal temperature reduction effect. As a result of the correlation analysis between the ratio of the crown width to the height of street trees and the surface temperature, a negative (-) correlation was evident when the ratio was about 0.6 or more. This result suggests that the crown width needs to maintain above a certain level to maximize the temperature reduction effect of street trees. Also, as a result of examining the ratio of planting interval to crown width of street trees, the temperature value was the lowest when the ratio was around 1.1. This result suggests that the current crown width of street trees should be increased or the planting interval

should be narrowed, considering that the current ratios of planting interval to crown width are distributed at 1.5 to 2 on average.

In addition, as a result of measuring the surface temperature of pedestrians using a thermal imaging camera, the presence of shade directly affected the thermal stress of pedestrians. In particular, green spaces other than street trees, such as green streets, parks, and apartment landscaping facilities, provided continuous shade and further reduced heat stress on pedestrians. In addition, the surrounding on-street parking space generated radiant heat from the vehicles, raising the ambient temperature. As a result, various green street facilities should be designed in connection with surrounding facilities, such as parks, to alleviate street space heat more effectively, and the establishment of green street plans should consider street usage behavior.

Chapter 4 Analysis of Perceptions for Improvement of Green Streets from the Perspective of Response to Heat

This study collected the opinions of 1,000 ordinary people about the benefits of green streets and the direction of improvement of green streets in the future through a pedestrian perception survey on green streets. The survey items of this study mainly comprise the current status of green streets, the perception of the necessity of green streets, the perception of the future improvement direction of green streets, and the characteristics of the respondents. The survey subjects were selected through regional and gender allocation and were conducted mainly in metropolitan cities and Gyeonggi-do, where relatively similar urban environments were distributed.

As a result of perception analysis, citizens selected shade as the most important among the different functions of green streets. As the main reason for the need for green streets in everyday life, 60.1% of respondents chose the availability of shades, suggesting that shades are considered essential regardless of the surrounding environment. In addition, for reasons of selecting necessary items for the improvement of green streets, 25.6% of

the respondents chose "Temperature can be lowered in hot weather," which was ranked second. Furthermore, 82.8% of respondents were willing to pay taxes to improve green streets. Thus, people desire temperature reduction by providing shades as the top priority among the various functions of green streets and are favorable in paying taxes for improving the green streets.

Recognition of these green streets showed different results depending on the type of residence; in particular, there was a difference in satisfaction with green streets. For respondents living in high-rise building clusters, the percentage of positive responses to the satisfaction or sufficiency of green streets was 53.3% and 51.3%, respectively, significantly different from 39.3% and 32.7%, the counterpart figures for residents of low-rise building clusters. This result suggests that it is necessary to consider the characteristics of the surrounding built environment when establishing a green streets plan in the future and particularly focus on low-rise building clusters when improving green streets.

54.0% of respondents who are reasonably satisfied with green streets still expressed that green streets should be improved, which was more than the majority. Also, respondents expected that if green streets were improved, their average walking time would increase by 12.2 minutes from 25.7 to 37.9 minutes, which indicates that improvement of green streets can induce an increase in walking or outdoor activities. In addition, dense green streets were considered more important than the number of wide lanes regardless of the residential area. This result suggests that future green street plans should be linked with street improvement projects such as road diet to expand green streets.

Chapter 5 Urban Green Street Plans and Policy Alternatives for Response to Heat Waves

This study attempts to find optimal strategies to reduce street heat by maximizing the temperature reduction of green streets and ultimately to formulate policy alternatives to create a city that responds to heat waves. Thus, it analyzed the legal system and plans for green streets, factors affecting the street thermal environment, and the perception of

green streets from the viewpoint of responding to heat waves throughout Chapters 2, 3, and 4. The analysis summarizes the issues related to the current green street plans into six categories: 1) Quantity-oriented green street planning; 2) Current management standards biased to management efficiency rather than policy goals; 3) Lack of consideration for the temperature reduction function of green streets; 4) Lack of linkage between different types of green spaces; 5) Green streets plan from a supplier's point of view without consideration of usage behavior; 6) Approaches lacking an integrated context of the entire street space. In addition, this study presents the following three green street planning strategies to cope with heat waves based on the issues related to the current green street planning: Form-based Strategy, Contextual Strategy, and Tree Shape-based Strategy.

First, the Form-based Strategy suggests green street planning for each street type according to the built environment constituting the street space by breaking away from existing practices of planning based on the width of sidewalks and managing the average value for each road route and leading to the need for more strategic planning for green streets. This study proposes a method to classify street types according to the road direction and building height based on the results above. Second, the Contextual Strategy implies that green street plans should be established by comprehensively considering various elements of street space, green streets, and street usage behaviors, which are recognized in an integrated way from the user's point of view. Lastly, the Tree Shape-based Strategy signifies that a target shape that can maximize the temperature reduction function of green streets should be assumed together with determining mid-to-long-term management goals. Based on these strategies, the temperature reduction impact of the green streets strategy was simulated for the streets of Uijeongbu City, the study site. As a result, PET (physiological equivalent temperature), the human thermal environment index, significantly decreased, confirming the strategy's effectiveness.

Various policy alternatives were presented to the green streets planning strategy: 1) Preparation of street type-specific plans and management systems from heat wave response perspectives; 2) System establishment for creating linkages with green areas that affect the street thermal environment; 3) Determination of mid-to-long-term management goals considering heat wave responses; 4) Implementation of pilot projects to establish heat wave response strategies in units of streets.

First, concerning the "1) Preparation of street type-specific plans and management systems from heat wave response perspectives," the phrase, "Response to the climate crisis," needs to be specified in the purpose of green streets-related laws. Accordingly, corresponding amendments to related laws have been proposed. In addition, green street planning suitable for thermal environments was promoted by including the analysis of the heat wave vulnerable space in the unit of streets as a survey item.

In "2) System establishment for creating linkages with green areas that affect the street thermal environment", the necessity of establishing an integrated plan incorporating all green streets, such as facility green spaces, nearby landscaping, and public spaces, was suggested, evolving from the existing green streets plan centered on street trees. In addition, it was clarified that conditions should be formulated for creating vibrant green streets through street space reorganization. To this end, it was proposed to establish an anti-heat governance system enabling various stakeholders, such as relevant departments of local governments, experts, and citizens, to assemble alternatives at the spatial level beyond individual departments.

In "3) Determination of mid-to-long-term management goals considering heat wave responses", management goals such as target shape and temperature reduction rate were determined considering the temperature reduction function of green streets. Then, a diagnosis system was suggested based on these goals. Accordingly, a platform was proposed to construct an information system on individual trees and link this information with the existing GIS information system related to urban planning, advancing from the current street tree management system for each road route.

Lastly, in "4) Implementation of pilot projects to establish heat wave response strategies in units of streets", an integrated improvement and pilot projects seem necessary for a series of spaces such as sidewalks, roads, and planting and surrounding areas around green streets due to limitations of attaining urban heat mitigation only with green streets. In this process, along with creating green streets, the feasibility of applying various factors such as space width, pavement method, improvement of street facilities, heat wave reduction facilities, and introduction of low-impact development techniques was suggested.

Keywords

heat mitigation, green street plan, street thermal environment, climate change adaptation

부록 1. 미시적 공간단위 열환경 분석을 위한 고해상도 지표면온도 구축 과정

1. 분석 자료

2. 고해상도 지표면온도 데이터 구축

1. 분석 자료

□ 위성 지표면온도 데이터

본 연구는 도시 고해상도 열환경 분석에 가장 많이 사용되는 위성 중 하나인 Landsat 8의 지표면 온도를 이용하였다(Carrillo-Niquete et al., 2022; Li et al., 2022). Landsat8 위성은 2013년 2월에 발사되었으며, 지구 표면에서 반사 및 방출되는 여러 파장대를 감지하여 고해상도로 제공해준다. 특히 Landsat 8은 $10.60\text{--}11.19\mu\text{m}$ 와 $11.50\text{--}12.51\mu\text{m}$ 두 구간의 열 적외선 파장대를 16일 주기로 촬영한다 (Roy et al., 2014). 이 촬영 주기는 위성자료의 시간 해상도로 정의된다. Landsat 열 적외선 자료는 육상 에너지 평형 연구, 수문학 모델링을 비롯하여, 작물 모니터링, 식생 활력도 평가 등 다양한 분야에서 주요한 파라미터로 이용되고 있다(Hough et al., 2020; Amazirh et al., 2018; Allan et al., 2016; Syariz et al., 2015; Aslan et al., 2016). 특히 도시 내 온도를 고해상도로 볼 수 있다는 장점이 있어, 도시 폭염 및 열섬 연구에도 활발하게 활용되고 있다(Rousta et al., 2018; Zhang et al., 2021; Elmes et al., 2020; Zhang et al., 2008). 본 연구에서는 Landsat 8 Level-2 산출물에 포함되어있는 지표면 온도 자료를 이용하였다. Lansat 8 Level-2 자료는 이용자 편의를 위해 Level-1 자료를 기반으로 전처리 및 보정 과정을 거쳐 제공되며, 지표면 온도는 Kelvin 단위로 제공되고 있다. 하지만, Landsat은 다중 분광 영역을 촬영하기 때문에 구름 아래의 값은 취득하기 어렵다는 단점이 있다(Zhang et al., 2002; Goward et al., 2003). 특히 여름철에는 한반도에 구름이 다수 끼어, 맑은 하늘의 지표면 온도를 구축하기가 쉽지 않은 실정이다(Yoo et al.,

2020a; Cho et al., 2022). 따라서, 본 연구는 여름철과 가까운 의정부 내 맑은 하늘의 가용한 두 날짜(2017년 8월 26일, 2020년 5월 30일)의 Landsat 8 지표면 온도 자료를 이용하였다. Landsat 지표면 온도의 촬영 시간은 약 오전 11시이다. Landsat 위성 자료는 Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>)에서 받았다.

지표면 온도의 공간 해상도에 따른 도시 온도의 분포 패턴 차이를 살펴보기 위해 본 연구는 MODIS 지표면 온도 자료를 함께 이용하였다. MODIS는 Terra 및 Aqua 위성에 탑재된 센서로서 육상을 비롯하여 대기, 해양 등 다양한 영역의 환경 분석에 유용한 자료를 제공해준다 (Collados-Lara et al., 2021; Majumder et al., 2021; Muskananfola et al., 2021; Hoseini Tabesh et al., 2022). 본 연구에서는 Terra 위성의 지표면 온도(MOD11A1)를 NASA의 reverb echo (<http://reverb.echo.nasa.gov>)에서 제공 받았다. Terra MODIS 지표면 온도는 매일 낮(오전 10시 30분)과 밤(오후 10시 30분) 지표면 온도를 촬영하며, MOD11A1 산출물에 낮과 밤의 지표면 온도가 함께 제공된다. MODIS 지표면 온도의 공간 해상도는 1 km이며, 적외선 파장 자료로부터 generalized split-window algorithm을 이용하여 구축되어 제공되고 있다 (Wan , Dozier, 1996). 획득한 Landsat 8 지표면 온도와 동일한 날짜인 2017년 8월 26일과 2020년 5월 30일의 MOD11A1 산출물을 다운 받았다.

□ 위성 반사율 자료

활용할 수 있는 Landsat 8은 배포되는 가용한 위성 중 매우 높은 고해상도의 지표면 온도를 제공하지만, 100 m 해상도는 도시의 수목단위 열환경 분석을 함에 있어서는 제약이 있다. 이를 해결하기 위한 Landsat 8 100 m 공간 해상도 지표면 온도 자료의 10 m 급 공간 상세화를 위해 고해상도의 위성 반사도 자료가 이용되었다. 여러 가지 위성의 반사도 자료가 존재하지만, 10 m 급 고해상도의 자료를 얻기 위해, 본 연구에는 Sentinel-2A 반사도 자료를 활용하였다. Sentinel-2A는 2015년 6월에 발사된 위성으로 가시광선, 근적외선, 단파 적외선을 포함하여 13개의 파장대의 반사도 밴드 자료를 제공한다. 공간 해상도는 10-60 m 범위이며, 각 밴들 별 파장대의 구체적인 파장 범위와 공간 해상도는 표 2-1 과 같다. 파장대별로 공간해상도가 다른 이유는 파장 별 위성이 촬영할 수 있는 반사되는 에너지 양이 차이가 나기 때문이다. 본 연구에서는 Stentinel-2A의 Level2A 자료를 Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>)로 부터 제공받았다. Copernicus Open Access Hub는 Sentinel 자료를 무료로 제공해주며, 사이트 내에서 자료를 별도로 신청해야 받을 수 있다. Sentinel-2A의 시간해상도는 10일 주기이며, 본 연구에서 획득한 Senitinel-2A의 날짜는 2018년 8월 1일과 2021년 8월 25일이다. 이 두

날짜는 상세화 대상 Landsat 8 지표면 온도의 획득 날짜(2017년 8월 26일, 2020년 5월 30일)와 가장 가까운 맑은 하늘의 여름철 반사도 값이다. 표 2-1에 명시된 밴드 영역 중, 본 연구는 가시광선 영역(bands 2-8), 두 개의 단파 적외선 영역(bands 11-12)를 지표면 온도 공간 상세화의 입력변수로 사용하였다.

[표 부록1-1] Sentinel-2A Band 특성

Band 번호	특성	파장대 (μm)	공간 해상도 (m)
1	Coastal aerosol	0.433–0.453	60
2	Blue	0.458–0.523	10
3	Green	0.543–0.578	10
4	Red	0.650–0.680	10
5	Red Edge1	0.698–0.713	20
6	Red Edge2	0.733–0.748	20
7	Red Edge3	0.773–0.793	20
8	NIR	0.785–0.900	10
8A	Narrow NIR	0.855–0.875	20
9	Water vapor	0.935–0.955	60
10	SWIR/Cirrus	1.360–1.390	60
11	SWIR1	1.566–1.655	20
12	SWIR2	2.100–2.280	20

출처: Copernicus Open Access Hub <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>(검색일: 22.04.02).

□ 기타 보조자료

위성 반사도 자료와 함께 상세화에 입력 변수로 추가적인 보조자료가 이용되었다. 먼저 의정부시 내 도로의 비율을 구축하기 위해 국가정보 포털로부터 의정부 도로구간 자료를 획득하였다. 획득한 도로의 분포는 그림 2-2에 나타나 있다. 도로 변수와 함께 고도 자료를 구축하기 위해 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 위성의 수치표고 모델 자료를 이용하였다. 수치표고모델은 지형 표면의 높이를 일정 간격으로 측정한 자료로 공간정보를 입체화하여 다양한 육상분야의 입력 및 분석자료로 활용되고 있다 (Mukul et al., 2015; Kinabo et al., 2008). SRTM 수치표고모델은 30 m 해상도로 제공되며 미국 USGS에서 제공받았다 (<https://earthexplorer.usgs.gov>). 의정부 시 연구 지역에 포함되는 SRTM 수치표고모델 자료를 전부 다운받아 모자이크 하여 한 장의 수치표고모델 자료를 만들었다.

2. 고해상도 지표면온도 데이터 구축

1) 지표면온도 상세화 방법

□ 위성 자료 전처리

Landsat 8 Level-2 지표면 온도 산출물의 기존 해상도는 100 m이나, 다른 산출물들과 함께 30 m 해상도로 resampling되어 제공된다 (Bakar et al., 2016). 본 연구에서는 기존 해상도에 맞추어 Landsat 8 지표면 온도를 다시 100 m 해상도로 resampling시켰다. 온도 분석은 섭씨 단위로 이루어지지만, 제공되는 Landsat 지표면 온도 산출물은 저장 및 보관의 용이성을 위해 정수단위로 제공된다. 따라서 제공받은 자료에 Scale factor를 곱하여 섭씨변환을 하여야한다. 제공되는 지표면 온도 산출물을 scale factor인 0.00341802를 곱해주고 섭씨로 단위 변환하였다. 최종적으로 연구 대상지인 의정부영역에 맞추어 마스킹을 시켜주었다. MODIS 지표면 온도의 경우 MOD11A1에 들어있는 낮 지표면 온도 자료를 (Layer 0번) 추출하였다. Landsat과 동일하게 Projection을 WGS 1984 UTM 52N으로 맞춰주었으며, MODIS 역시 Scale factor인 0.02를 곱해주었다. MODIS 지표면 온도는 Kelvin 단위로 제공됨으로 이를 섭씨로 변환하였다. MODIS 지표면 온도 역시 연구대상지를 마스킹하였다. Sentinel 2A 반사도 자료의 경우 랜드별로 상이한 공간 해상도를 갖기 때문에, 이를 10 m로 통일시켜주기 위한 Resampling 작업을 진행하였다. 또한, 제공되는 자료를 반사도 값으로 변환하기 위해 Scale factor인 0.0001을 곱해주었고, 연구지역 경계에 맞춰 마스킹 작업을 수행하였다.

□ 공간 상세화 입력 변수 구축

Landsat 8 100 m 해상도의 지표면 온도를 10 m로 상세화하기 위해 고해상도의 입력변수를 구축하였다. 여기서 입력변수란 기계학습 모델 학습에 활용되는 변수를 의미한다. 상세화에 사용된 입력변수는 총 12개이며 변수의 목록은 표 2에 정리돼 있다.

[표 부록1-2] 공간 상세화에 사용된 입력변수와 그 설명

입력 변수 약어	설명
Red	위성 반사도 Red 밴드
Green	위성 반사도 Green 밴드
Blue	위성 반사도 Blue 밴드
NIR	위성 반사도 근적외선 밴드
SWIR1	위성 반사도 단파적외선 밴드1
SWIR2	위성 반사도 단파 적외선 밴드2
NDVI	위성 반사도 기반 식생지수 (Normalized Difference Vegetation Index)
NDBI	위성 반사도 기반 불투수 지수 (Normalized Difference Built-up Index)
UI	위성 반사도 기반 도시화 지수 (Urban index)
BI	위성 반사도 기반 나지 지수 (Bare soil Index)
Road	도로 밀도
DEM	수치표고모델 기반 고도

출처: 연구진 작성

먼저 Sentinel의 6가지 반사도 (Reflectance) 자료를 입력변수로 이용하였다. 선행연구에서 반사도 자료들은 환경 분석에 다양하게 활용되어왔다 (Roy et al., 2017; Traganos & Reinartz, 2018; Kuhm et al., 2019). Blue 밴드의 경우 식생과 토양을 구분 짓는데 주요 역할을 하며(Jiang et al., 2007), Green band의 경우 식생의 활력도 및 Peak를 탐지하는 데 유용하게 활용된다 (Svinurai et al., 2018). Red 밴드의 경우 여러 가지 식생 유형을 구분 지어주는데 주요한 역할을 한다(Qiu et al., 2019). 근적외선 NIR 밴드의 경우 생물의 바이오매스 (biomass) 양을 탐지하는 데 유용하게 활용되어왔으며(Zheng et al., 2019) 단파 적외선 SWIR의 경우 토양과 식생의 수분 함량을 파악하는데 주요하게 쓰인다(Chen et al., 2019). 본 연구에서는 6가지 반사도 자료와 함께 반사도를 이용해 네 가지 위성 기반 지수를 계산하여 함께 입력자료로 활용하였다. 첫 번째로 구축한 위성 기반 지수는 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)로 식생의 밀도를 모니터링 할 수 있는 매우 유용한 지수이다 (Liu et al., 2019; Ebrahimi Khusfi et al., 2020; Guha et al., 2019). NDVI는 Red와 NIR 밴드로부터 계산되며 식 1-1과 같다. 두 번째 위성 기반 지수는 Normalized Difference Built-up Index (NDBI)로서 NIR과 SWIR로부터 계산된다 (식 1-2). NDBI는 도시의 불투수 영역을 모니터링하는 데 유용하게 활용될 수 있는 지표로서, 본 연구와 같은 도시를 연구 대상으로 할 때 유용하게 활용된다 (Tariq et al., 2020; de Oliveira et al., 2021; Prasad et al., 2022). 그 밖에도 도시에 활용할 수 있는 Urban index (UI)와 Bare soil index (BI)를 각 식 1-3과 식 1-4로 계산하여 함께 입력변수로 이용하였다 (Ali et al., 2019; Elizabeth et al., 2021).

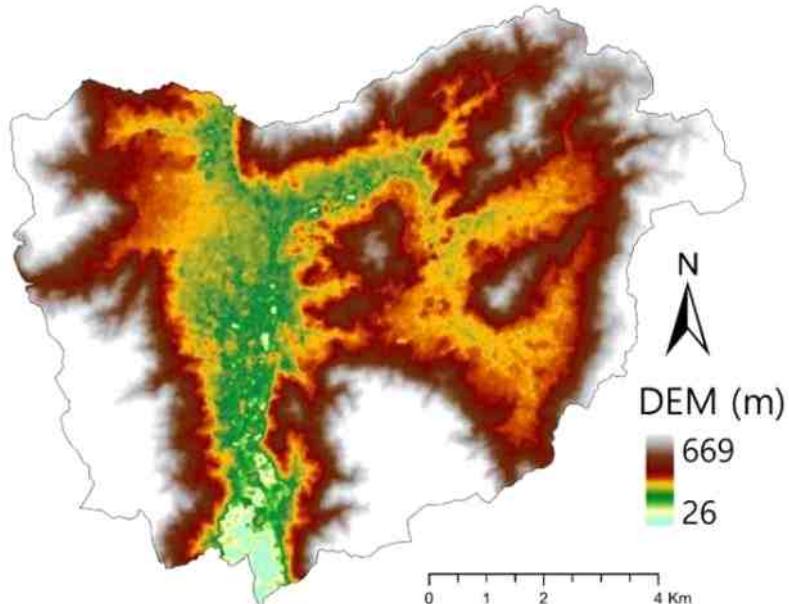
$$NDVI = \frac{(Red - NIR)}{(Red + NIR)} \text{ 식 1-1}$$

$$NDBI = \frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + NIR)} \text{ 식 1-2}$$

$$UI = \frac{(SWIR2 - NIR)}{(SWIR2 + NIR)} \text{ 식 1-3}$$

$$BI = \frac{(SWIR1 + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)} \text{ 식 1-4}$$

추가로 도로 밀도 (Road)와 수치표고모델 기반 고도 (DEM) 변수를 입력자료로 함께 활용하였다. Road의 경우 도로 shapefile 형식의 도로 자료의 10m 해상도 격자 내 밀도를 계산하였다. 구축에는 ArcGIS 프로그램의 Line Density가 이용되었다. DEM의 경우 SRTM 30 m 자료를 10 m로 bilinear resampling 시켜 구축하였다. 고도의 경우 연구지역 내 30m 해상도와 10 m 사이에 선형 상관성이 나타난다는 가정을 하였다. 구축된 연구지역의 DEM 분포는 [그림 부록 1-2]와 같다.

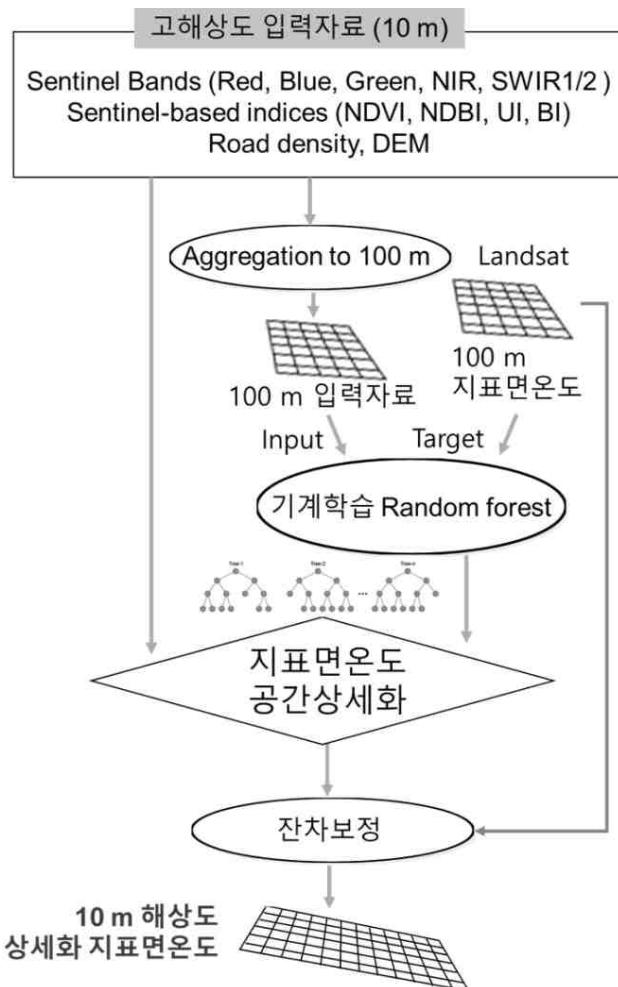


[그림 부록1-1] 의정부의 수치표고모델 (DEM) 기반 고도 분포

출처: 국토지리정보원 국토플랫폼(<http://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>)의 의정부 DEM자료를 활용하여 연구진 작성

□ 지표면 온도 공간 상세화

본 연구의 공간 상세화 기법의 전체 흐름도는 [그림 부록 1-3]과 같다. 공간 상세화 기계 학습 모델링에 있어서, 학습 시 입력변수와 타겟변수의 해상도가 동일 해야 한다. 따라서, 먼저 열 두가지 고해상도의 입력변수를 Landsat 지표면 온도와 동일한 격자의 100 m로 aggregation을 시켜주었다. Aggregation의 여러 방법 중, 본 연구는 평균 기법을 이용하였으며 (Sheikhi, Kanniah, 2018), ArcGis 프로그램의 Aggregate 툴이 이용되었다. 구축된 100 m 해상도의 열 두가지 변수들은 공간 상세화 모델링의 입력자료로 사용되었으며, Landsat 100 m 지표면 온도가 추정 변수로 이용되었다.



[그림 부록1-2] 지표면 온도 공간 상세화 분석흐름도
출처: 연구진 작성

상세화의 모델링에는 기계학습 기법인 랜덤 포레스트(Random forest)가 이용되었다. 랜덤 포레스트는 분류(Classification) 및 회귀(regression) 모델링에 모두 사용될 수 있는 기계학습 기법이다 (Svetnik et al., 2003; Rodriguez-Galiano et al., 2015; Zhang et al., 2019). 특히, 랜덤 포레스트는 지표면 온도 공간 상세화에 가장 활발하게 쓰이는 모델링 기법이며 높은 상세화 정확도를 보이고 있다 (Yang et al., 2017; Ebrahimi et al., 2021; Xu et al., 2021). 랜덤 포레스트는 재귀적 이진 분할(recursive binary split)을 통해 나무구조에서 최종적인 의사결정을 내리는 기계학습 결정 나무(decision tree) 기법을 토대로 하고 있다. 랜덤 포레스트는 다량의 결정 나무를 숲처럼 구축하는데, 이 때 각 나무에 사용되는 샘플과 입력변수가 랜덤으로 추출되기 때문에 그 이름이 랜덤 포레스트라고 불린다. 특히, 각 나무에서 임의로 샘플과 변수를 추출할 때 중복을 허용하는 부트스트랩(Bootstrap) 기법을 이용하여 모델을 더욱 안정적으로 구축 한다(Lee et al., 2020). 랜덤 포레스트는 각 나무들이 내린 결정을 평균(회귀) 또는 다수결(분류) 하여 최종적인 결정을 내린다. 또한 랜덤 포레스트는 변수 중요도를 제공하는데, 이는 사용된 각 입력변수가 상대적으로 얼마만큼 모델링의 정확도 향상에 기여하는 가에 대한 척도로 이용된다(Grömping, 2009). 본 연구에서는 R 통계 소프트웨어의 randomforest 패키지를 이용하여 모델을 구축하였다.

랜덤 포레스트 지표면 온도 공간 상세화 모델은 연구 대상 두 날짜인 2017년 8월 26일과 2020년 5월 30일을 각각 구축하였다. 두 날짜의 모델을 따로 구축한 이유는 해당 날짜의 지표면 온도를 기계학습 모델링함에 있어서 발견될 수 있는 학습 규칙이 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 구축된 모델에 10 m 고해상도 입력변수를 넣어주면 상세화 된 지표면 온도가 산출된다. 구축된 모델과 사용된 입력변수가 지표면 온도의 변동성을 모두 설명하는 것은 어렵기 때문에, 지표면 온도 상세화 선행 연구들에서는 추가로 잔차 보정(Residual correction) 작업을 수행한다 (Bisquert et al., 2016; Yang et al., 2019; Hutengs, Vohland, 2016). 본 연구에서는 Hutengs, Vohland (2016)에서 사용한 잔차 보정 기법을 적용하였다. 잔차 보정은 세 가지 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계로 상세화 된 10 m 지표면 온도를 다시 100 m로 Re-aggregation 시켜준다. 다음으로는 기존 Landsat 100 m 지표면 온도와 Aggregated 된 100 m 지표면 온도 간의 잔차를 계산하여준다. 마지막으로 계산된 잔차를 다시 10 m로 resampling 시켜준 뒤, 기존 10 m 상세화 된 지표면 온도에 더해준다. 잔차 보정은 가용한 입력 변수들의 한계에서 오는 예측 오차를 보정하는 효과가 크다고 나타나 있다 (Yoo et al., 2020b). 최종적으로 잔차 보정까지 마친 10 m 상세화 된 두 날짜의 지표면 온도를 가로 단위 열환경 분석에 이용하였다.

2) 고해상도 지표면온도 데이터 구축 결과 및 해석

□ 고해상도 지표면온도 자료해석 개요

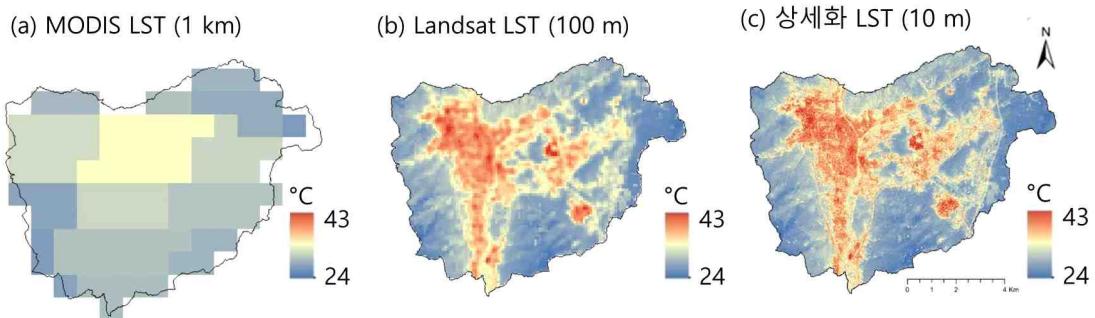
고해상도 지표면온도 데이터를 해석하고 활용성을 검증하기 위하여, 다음과 같은 분석을 수행하였다. 먼저 MODIS 1 km 지표면 온도, Landsat 100 m 지표면 온도, 그리고 상세화 된 10 m 지표면 온도의 해상도 별 의정부의 온도 분포 차이를 논의했다. 특히 해상도가 증가함에 따라 도시 내 상세한 온도 패턴 변동을 확인하였다. 이 때, 의정부시 내 여러 장소에 case를 잡고 고해상도 위성영상 자료와 함께 비교 분석을 수행하였다. 다음으로는 구축된 10 m 상세화 된 지표면 온도를 의정부시 토지유형 별로 분석한다. 주거지역, 공업지역, 상업지역, 위락시설, 교통지역, 공공시설과 함께 농업지역 (논, 밭) 그리고 산림지역 (활엽수림, 침엽수림)을 분석에 이용하여 의정부 내 온도 패턴의 특징을 논의하였다. 이 분석은 수목 단위 온도 분석에 있어서 주변 토지 유형에 따른 온도 패턴 차이를 분석하는 데 주요한 논의의 바탕이 된다. 추가로 랜덤 포레스트 기계학습 모델의 변수 중요도를 분석하였다. 열환경을 모델링 함에 있어 사용된 변수들의 기여도를 확인하여 의정부 내 온도 패턴을 모의하는데 어떠한 변수 특성이 중요하게 작용하였는지를 파악하였다.

□ 지표면온도 해상도에 따른 열환경 분포 차이

위성영상의 해상도에 따른 열환경 분포 차이를 두 날짜 별로 [그림 부록 1-4]과 [그림 부록 1-5]에 나타내었다. 2017년 8월 26일의 영상(그림 부록 1-4a)을 보면 MODIS 지표면 온도의 경우 의정부 시 중심이 주변부에 비해 온도가 높게 나타나지만, 1 km의 낮은 공간해상도로 인하여 도시의 상세 온도 패턴을 나타내는데 제약이 있음을 확인할 수 있다. 특히, MODIS 지표면 온도의 의정부 시 내 온도 분포 범위는 26-33°C로 좁게 나타난다. 이는 위성 센서가 1 km 격자 내 방출되는 열 에너지들을 평균 내어 감지하기 때문이다. 또한 MODIS 지표면 온도 산출물 특성 상 도시 지표면 온도를 상대적으로 낮게 모의하는 원인도 있다 (Yao et al., 2020). 반면, 100 m 해상도의 Landsat 지표면 온도의 경우 도시 내 온도 패턴을 MODIS 지표면 온도 자료에 비해 상세하게 나타낸다 (그림 부록 1-4b). 의정부동과 신곡동을 중심으로 시가지 지역에 높은 온도가 나타나며, 용현상업단지와 같은 공업지역 중심으로 매우 높은 지표면 온도 패턴이 나타나는 것도 확인할 수 있다. 또한 도시 중심부와 비교해 주변 산지 주변으로 온도가 낮아지는 열섬 (Urban heat island)현상을 확인할 수 있다. Landsat 지표면 온도의 경우 2017년 8월 26일에 대하여 온도 범위가 23-45°C로 넓게 나타난다. MODIS 지표면 온도와 비교하여 의정부

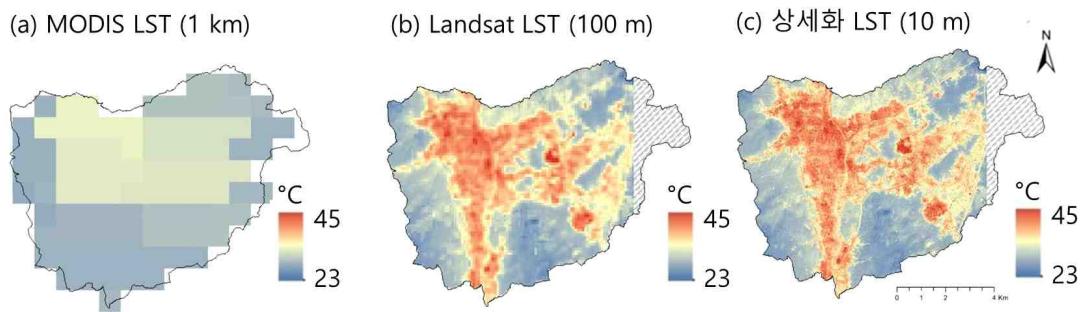
시내 고온 및 저온 지표면 온도를 뚜렷하게 나타내는 것으로 확인된다. 본 연구에서 기계학습을 이용하여 상세화 된 지표면 온도 (그림 부록 1-4c) 는 MODIS 지표면 온도와 비교하여 의정부 지표면 온도 패턴을 정교하게 보여준다. 특히 100 m Landsat 지표면 온도와 비교할 때, 전반적인 도시 온도 패턴은 유사하나, 도로 및 빌딩 등 도시 내 토지유형에 따른 온도 패턴을 보다 자세히 나타내는 것으로 확인된다. 2017년 8월 26일의 상세화 된 10 m 지표면 온도는 22-49°C의 온도범위를 가지며 이는 Landsat 지표면 온도 보다 넓은 온도 구간이다. 이러한 결과는 본 연구의 기계학습 기반 지표면 온도 상세화가 기존 Landsat 지표면 온도와 전반적인 분포 패턴은 유사하지만 도시 내 도로, 건물 등 의 온도 패턴을 상대적으로 자세히 나타낼 수 있게 모델링 했다고 해석할 수 있다.

2020년 5월 30일의 위성영상 해상도 별 지표면 온도 분포를 [그림 부록 1-5]에 나타내었다. MODIS 1 km 지표면 온도는 의정부 시내 도심지와 그 주변부의 뚜렷한 온도차이가 보이지 않으며, 전반적으로 온도 분포도 좁은 범위를 나타낸다 (26-32°C). MODIS 지표면 온도의 경우 도시 토지 피복에서 자료의 불확실성이 크다고 알려져 있기 때문에 (Tran et al., 2017), 도심지 내 온도 모의의 해석에 있어 유의해야한다. Landsat 100 m 지표면 온도의 경우 도시 내 온도 패턴을 상대적으로 뚜렷하게 나타내며, 2017년 8월 26일의 Landsat 지표면 온도 (그림 부록 1-5b) 와 그 분포가 유사하게 나타난다. 이는 2017년과 2020년 사이에 의정부 시내 활목할 만한 지표면 온도 패턴 변화는 보이지 않은 것으로 해석된다. 이에 따라서 본 연구에서는 2017년과 2020년 두 시기의 토지 피복 및 유형변화가 크지 않으며, 그 온도 패턴도 크게 변하지 않았다는 가정을 하고 해석을 진행하였다. 2020년 5월 30일의 상세화 된 10 m 지표면 온도 (그림 부록 1-5c) 는 100 m Landsat 지표면 온도와 비교하여 더욱 정교한 온도 분포를 잘 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 그림에 나타내지는 않았으나, 지표면 온도 공간상세화에 있어 잔차 보정의 효과도 확인 할 수 있었는데 2017년 8월 26일의 경우, 잔차 보정을 하기 전 온도 범위는 23-43°C인 반면, 잔차 보정 후 범위는 22-49°C이며, 2020년 5월 30일의 경우 잔차 보정 전 범위는 24-47°C, 잔차 보정 후는 22-53°C로서 잔차 보정으로 인하여 10 m 지표면 온도의 도시 내 고온 지역이 더욱 뚜렷하게 모의 되는 것으로 파악된다.



[그림 부록1-3] 지표면온도(2017.08.26) 상세화에 따른 온도분포 차이

출처: MODIS와 Landsat8 위성자료를 활용하여 연구진 작성

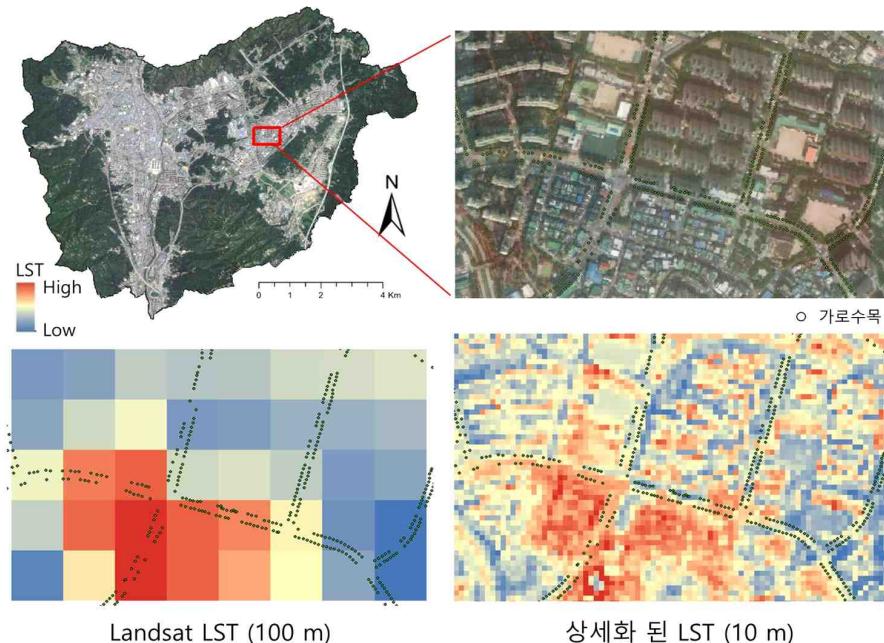


[그림 부록1-4] 지표면온도(2020.05.30) 상세화에 따른 온도분포 차이

출처: MODIS와 Landsat8 위성자료를 활용하여 연구진 작성

Landsat 100 m 지표면 온도와 본 연구에서 공간 상세화 된 10 m 해상도 지표면 온도 자료 사이의 상세 지표면 온도 차이 분석을 더 자세히 논의하기 위해 세 가지 Case (Case 1-3)를 잡고 분석을 수행하였다. [그림 부록1-6]의 경우 2017년 8월 26일 영상을 이용한 비교 결과이다. 해당 Case 영역은 남쪽으로 중-저층 빌딩이 높은 밀도로 분포하고 있고, 영역 북쪽으로는 고층 단지가 개방형으로 식생과 함께 분포하고 있다. Landsat 100 m 지표면 온도의 경우 중저층 고밀도 빌딩 영역에서 높은 온도분포를, 그리고 주변 고층 빌딩 영역들을 상대적으로 낮은 온도로 나타내지만, 건물과 식생 및 도로 특성에 따른 온도 차이를 보여주지는 못하는 것을 확인할 수 있다. 반면 본 연구에서 상세화 된 10 m 지표면 온도의 경우 중저층 건물이 밀집된 지역에서 두드러진 온도 분포를 그리고 그 주변 도로 및 식생 범위에서 온도가 상대적으로 낮게 나타나는 것을 효과적으로 모의하고 있다. 또한 해당 영역 북쪽의 고층 빌딩의 경우 식생이 건물들과 함께 개방형 (open-type)으로 분포하고 있다. 상세화 된 10 m 지표면 온도는 이러한 건물과 식생의

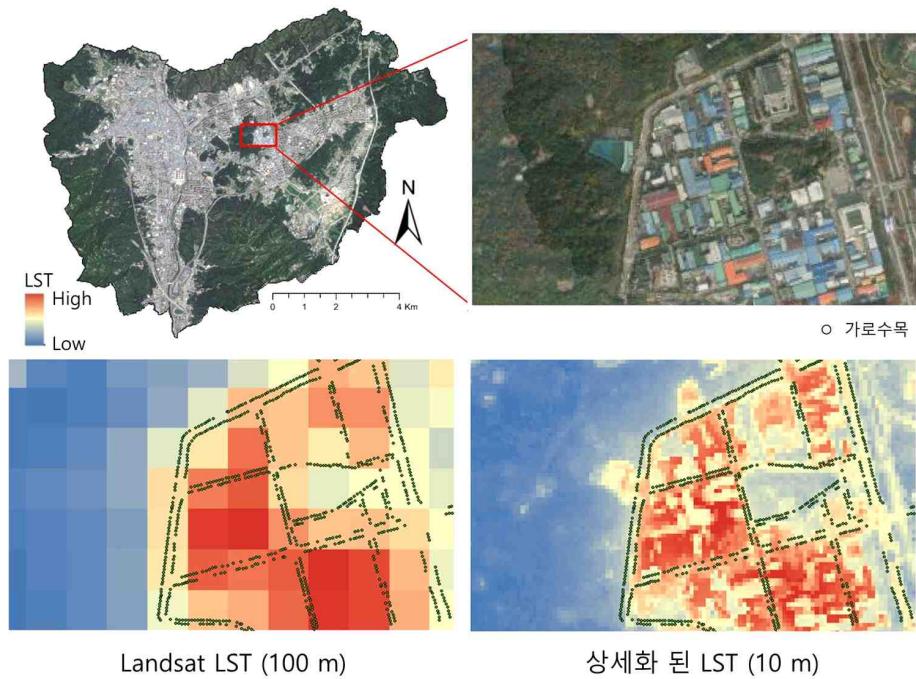
온도 패턴을 상대적으로 뚜렷하게 나타내고 있어 토지유형별 온도 분포를 잘 확인할 수 있는 것으로 사료된다. 특히 수목 위치의 온도 패턴을 확인해보면, Landsat 100 m 지표면 온도의 경우 상대적으로 낮은 공간해상도로 인하여 가로 수목 영역 및 도로가 주변 건물들과 크게 구분되지 않지만, 10 m 해상도 상세화 된 지표면 온도의 경우 도로 지역이 상대적으로 잘 구분되며 가로 수목 영역을 포함한 식생 분포 지역에서의 온도 패턴도 주변 건물과 비교되어 나타나는 것으로 나타난다.



[그림 부록1-5] Landsat 100m 지표면 온도와 상세화 된 10 m 지표면 온도의 집중 비교 분석 Case 1

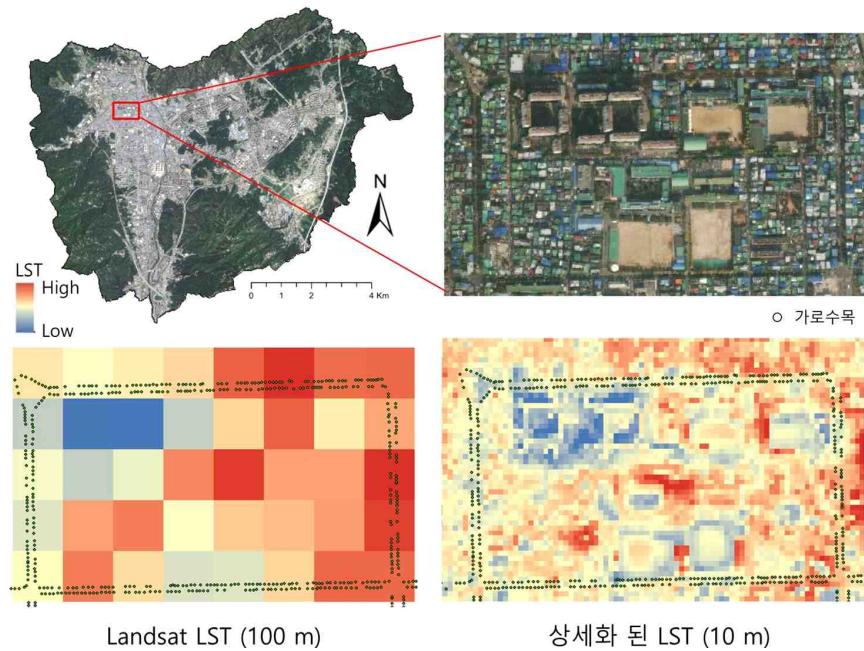
출처: 연구진 작성

Case 2의 경우 2017년 8월 26일의 지표면 온도 영상으로 (그림 부록 107), 의정부시 공업단지인 용현산업단지와 그 주변부를 포함한다. 본 영역은 그림 2-7 및 2-8에서도 나타나듯이 의정부시 내에서 뚜렷하게 온도가 높은 지역으로 공업단지에서 낮 시간대에 높은 온도가 나타나는 선행 연구와 상응한다 (Portela et al., 2020). Landsat 100 m 지표면 온도 영상에서도 공업단지의 빌딩 밀집 영역에서 뚜렷하게 높은 온도가 나타나며, 그 주변 산지 영역에서 낮은 온도를 보인다. 상세화 된 10 m 지표면 온도의 경우 공업지역 내 건물들의 높은 밀도가 더욱 뚜렷하게 나타나는데, 특히 건물들 사이로 산재해 있는 수목 및 가로에서 낮은 온도가 모의 되는 것을 확인할 수 있다. 공업단지 주변부 도로 영역 또한 상세화 된 지표면 온도 자료에서 그 온도 특성이 주변 건물 및 산지 영역과 구분되어 나타난다. 이는 상세화 된 지표면 온도 자료를 이용하여 가로 수목 온도 분포 모의가 더욱 효과적으로 수행될 수 있는 부분을 함의한다.



[그림 부록1-6] Landsat 100m 지표면 온도와 상세화 된 10 m 지표면 온도의 집중 비교 분석 Case 2
출처: 연구진 작성

Case 3의 경우 2020년 5월 30일의 지표면 온도 자료이며 (그림 부록1-8), 의정부1동 부근의 주거 및 상업단지가 밀집된 지역이다. Landsat 100 m 지표면 온도의 경우 영역 북서쪽의 고층 아파트 부근에서 낮은 온도가 나타나며, 동쪽으로 밀집돼있는 중저층 상업지역 부근에서 높은 온도 분포를 나타내고 있다. 상세화 된 10 m 지표면 온도의 경우 영역 내 건물 및 토지 특성에 따른 온도 차이들이 더욱 확연히 드러나는데, 북서쪽 고층 빌딩과 그 주변 수목의 온도분포가 상대적으로 확실하게 구분되며, 고층 건물로 인한 그림자 효과도 지표면 온도에 반영되어 나타나는 것으로 사료된다 (Yoshie et al., 2006). 특히 해당 Case 영역에는 두 개의 중학교와 고등학교가 위치하여, 교내 운동장들이 분포하는데, 해당 영역들의 온도 특성 또한 상세화 된 지표면 온도에서 구분되는 것을 확인할 수 있다. 동쪽으로 분포하는 중저층 상업단지도 상세화 된 지표면 온도에서 높은 온도 패턴을 보인다. 해당 영역은 가로 수목이 사면을 에워싸고 있는데, Landsat 100 m 지표면 온도에서는 가로 수목이 놓인 길들이 주변과 크게 분리되어 나타나지 않지만, 상세화 된 지표면 온도 자료에서는 해당 가로 수목이 위치한 영역 부근의 온도가 주변 건물과 상대적으로 잘 구분되는 것을 확인할 수 있다.

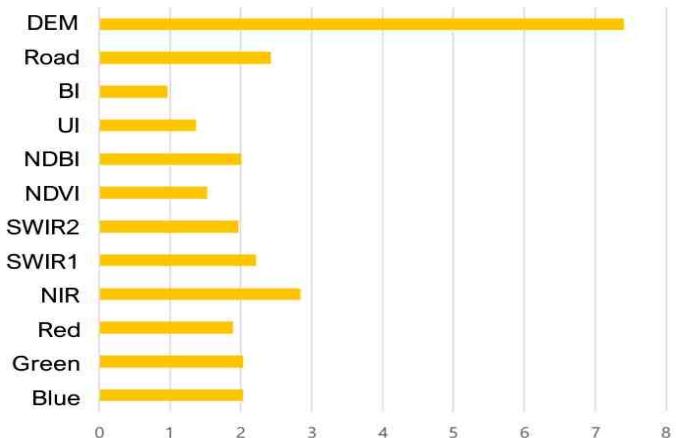


[그림 부록1-7] Landsat 100m 지표면 온도와 상세화 된 10 m 지표면 온도의 집중 비교 분석 Case 3
출처: 연구진 작성

□ 변수별 중요도 해석

기계학습 랜덤포레스트 모델은 학습에 이용된 변수들이 얼마나 기여하는 가에 대한 변수중요도를 산출해 줄 수 있다. 이러한 변수중요도는 연구지역에서 해당 목표인자에 어떠한 변수가 밀접하게 연관되어 있는가를 대변할 수 있다 (Grömping, 2009). 2017년 8월 26일과 2020년 5월 30일 두 날짜의 지표면 온도 기계학습 모델링에 있어서 변수중요도를 산출한 뒤, 해석의 일반화를 위해 두 날짜의 중요도를 평균 내었다 (그림 2-12). 먼저 가장 높은 중요도를 보이는 변수는 고도 (DEM) 자료이다. 의정부는 도시가 산지로 둘러 있기 때문에 고도에 따른 온도 패턴이 뚜렷한 연구지역이다. 산지의 경우 상대적으로 고도가 높아지면서 온도가 낮아진다 (Kattel et al., 2018). 이러한 고도와 지표면 온도의 높은 상관성은 여러 선행 연구와도 그 맥락이 일치된다 (Aguilar-Lome et al., 2019). 다음으로 높은 변수중요도를 보이는 변수는 NIR (근적외선) 반사율 자료이다. NIR의 경우 식생 유형, 밀도 및 활력도 등을 모니터링 할 때 유용하게 활용되는 반사율 자료이다. 해당 변수가 지표면 온도의 입력자료로 활용되면서 도시 내 시가지 유형과 식생 유형에 따른 온도 패턴을 구분해주고, 또 주변 산지 영역에서 나타나는 여러 식생 유형에 따른 온도 차이 등도 상대적으로 상세하게 모니터링하는 데 도움을 주는 것으로 해석된다. 세 번째로 높은 중요도를 보이는 변수는 도로밀도 (Road) 변수이다. 이 변수는 본 연구의

목표인 가로 수목의 온도 모니터링에 특화되어 사용된 입력자료로서, 도시 내 도로 패턴 등을 더욱 정교하게 모의하는 데 큰 장점이 있는 것으로 사료된다. 흥미롭게도 식생지수인 NDVI보다 도심지 지수인 NDBI가 변수중요도가 높게 나오고, 나지 지수(BI)보다 도시지수(UI)의 중요도가 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이는 본 연구의 연구지역이 도시영역에 초점을 맞추고 있어서 나타나는 특성 중 하나로 해석할 수 있다. 또한 이러한 도시 관련 변수들(Road, UI, NDBI)의 상대적으로 높은 변수중요도 결과는 지표면 온도 상세화가 연구지역에 잘 특성화되어 이뤄진 것으로 해석할 수 있다. 그럼에 나타나지는 않았으나, 2017년 8월 26일과 2020년 5월 30일 두 날짜 지표면 온도 상세화 모델링의 변수중요도는 그 상관성이 R: 0.83으로 높게 나타난다. 이는 본 변수중요도 해석이 여러 날짜에 대해 일반화될 수 있으며, 선택한 변수가 대표성을 가질 수 있다고 할 수 있다. 랜덤포레스트 기계학습 기법은 각 나무를 구축할 때 변수들을 랜덤하게 선택하고, 여러 나무를 앙상블(Ensemble) 시키기 때문에 변수들 사이의 다중공선성(multicollinearity) 문제에 상대적으로 유연한 학습모델로 알려져 있다(Tang et al., 2019). 하지만, 변수중요도의 경우 변수 사이의 상관성이 높으면 그 변수의 역할을 다른 변수가 대체할 수 있기 때문에, 그 중요도가 과소평가 되어 나타날 수 있다. 따라서 본 연구의 변수중요도 결과 해석에는 주의할 부분이 있는데, 예를 들어 본 연구에서 활용한 변수 중 NDBI와 UI 같은 경우는 반사율 기반의 도시지수로서 그 상관성이 높다. 랜덤포레스트에서 이 두 변수의 중요도를 상대적으로 낮게 산출했을 확률이 높다. 따라서 변수들 사이의 중요도 우위를 해석할 때 이 부분을 고려해야 하며, 각 변수의 역할은 기계학습 변수중요도뿐 아니라 앞으로 여러 통계적 분석을 함께할 경우 더욱 깊이 있는 논의가 이뤄질 것으로 사료된다.



[그림 부록1-8] 기계학습 랜덤포레스트 지표면 온도 공간상세화 모델의 변수중요도

주: 2017년 8월 26일과 2020년 5월 30일의 변수중요도를 평균하여 나타냄

출처: 연구진 작성

부록 2. 가로녹지 개선을 위한 이용자 인식조사 설문지

이 조사에 조사원 모든 내용은 통계학적 이외에는 절대로 사용할 수 없으며 그 비밀이 보호되도록 통계법(제33조)에 규정되어 있습니다.		ID	-	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
가로녹지 개선을 위한 이용자 인식조사							
안녕하십니까? 국무총리실 산하 정부출연연구기관 건축공간연구원은 가로녹지 개선을 위한 이용자들의 인식을 조사하기 위해 “가로녹지 개선을 위한 이용자 인식에 대한 설문조사”를 수행하고 있습니다. 응답하시는 여러분께서는 각 질문에 대한 본인의 의견을 솔직하게 답해주시면 됩니다. 본 조사의 모든 응답내용은 통계법 제33조(비밀의 보호)에 의해 엄격히 보호되며, 연구 및 정책개발 목적으로만 사용될 것임을 약속드립니다. 감사합니다.							
SQ. 응답자 선정 질문							
SQ1. 귀하가 현재 살고 계신 지역은 어디입니까? [시/도 지도 선택]							
<input type="radio"/> 서울		<input type="radio"/> 부산		<input type="radio"/> 대구		<input type="radio"/> 인천	
<input type="radio"/> 울산		<input type="radio"/> 경기		<input type="radio"/> 강원		<input type="radio"/> 충북	
<input type="radio"/> 전남		<input type="radio"/> 경북		<input type="radio"/> 경남		<input type="radio"/> 광주	
<input type="radio"/> 경주		<input type="radio"/> 대전		<input type="radio"/> 충남		<input type="radio"/> 전북	
<input type="radio"/> 세종		<input type="radio"/> 경기		<input type="radio"/> 경북		<input type="radio"/> 경남	
→ “ <input type="radio"/> 부산 ~ <input type="radio"/> 경기” 지역 주민 대상, 그 외 지역 조사 중단							
SQ1-1. (SQ1) 어느 지역에 거주하고 계십니까? [시/군/구 지도 선택] → 군지역 조사 중단							
SQ2. 귀하의 성별은 무엇입니까?							
<input type="radio"/> 남성		<input type="radio"/> 여성					
SQ3. 귀하의 연령은 만으로 어떻게 되십니까? (출생연도: _____)							
<input type="radio"/> 20대		<input type="radio"/> 30대		<input type="radio"/> 40대			
<input type="radio"/> 50대		<input type="radio"/> 60대 이상		<input type="radio"/> 50대			
DQ. 거주지 환경							
DQ1. 귀하가 현재 거주하고 계신 지역의 주변환경은 다음 중 어디와 가장 가깝습니까?							
저층건물 밀집지역		중저층건물 밀집지역		고층건물 밀집지역			
①		②		③			
DQ2. 귀하는 거주지 주변에서 평소 걷는 시간이 몇 분이나 되십니까?							
▶ 주거지 주변에서 평소 _____분 정도 걷는다							
page. 1							

A. 가로녹지 현황에 대한 인식

▶ 가로녹지란?

'가로'란 고속도로를 제외한 시가지의 일반 도로로서, 차도와 보도로 구성되어 있습니다.

가로수는 이러한 도로변에 줄지어 심은 나무를 의미하며, 가로녹지는 가로수를 포함하여 띠녹지 형태의 작은 화단, 건물 앞 조경시설 등 가로에 조성되어 있거나 가로공간에 직접적인 영향을 주는 녹지를 의미합니다.



(A1~A2 문항 상단에 계속 노출)

귀하가 평소 접하고 있는 '가로녹지'에 대해 질문 드리겠습니다.

응답 시 아래의 사진을 참고하여 응답하여 주십시오.



page. 2

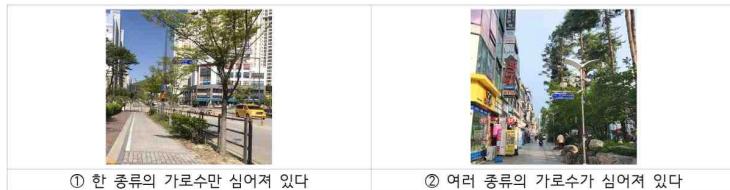
A1. 귀하의 거주지 주변의 도로 쪽 가로녹지는 다음 중 어떤 형태입니까?



A1-1. 귀하의 거주지 주변 도로 쪽 가로녹지에 심어진 가로수 모습과 가장 가까운 사진을 골라 주십시오.



A1-2. 도로 쪽에 심어진 가로수는 한 종류인가요? 아니면 여러 종류인가요?



A2. 귀하의 거주지 주변의 건축물 쪽 가로녹지는 다음 중 어떤 형태입니까?



page. 3

(A1, A2에서 선택한 내용을 응답자에게 제시)

* 지금까지 응답해 주신 내용을 종합하면, 귀하의 거주지 주변 가로녹지는 다음과 같습니다.

(A1 ②, ④ 응답자)

▶ 도로 쪽 가로녹지는 (A1)으로 되어 있으며, 가로수 모습은 (A1-1), 가로수 종류는 (A1-2)입니다.
건축물 쪽 가로녹지는 (A2) 형태로 되어 있습니다.

(A1 ①, ③ 응답자)

▶ 도로 쪽 가로녹지는 (A1)으로 되어 있고, 건축물 쪽 가로녹지는 (A2) 형태로 되어 있습니다.

A3. 집에서 가장 가까운 가로녹지는 걸어서 얼마나 걸리시나요?

- | | | |
|----------|------------|----------|
| ① 거의 즉시 | ② 5분 이내 | ③ 10분 이내 |
| ④ 20분 이내 | ⑤ 걸어가기 어려움 | |

A4. 집에서 가로녹지까지 걸어서 얼마나 걸리는 것이 적당하다고 생각하십니까?

- | | | |
|----------|-------------|----------|
| ① 거의 즉시 | ② 5분 이내 | ③ 10분 이내 |
| ④ 20분 이내 | ⑤ 기타(_____) | |

A5. 귀하는 거주지 주변 가로녹지 균처에 있을 때, 더 시원하다고 느껴지십니까?

매우 그렇다	어느 정도 그렇다	보통이다	별로 그렇지 않다	전혀 그렇지 않다
①	②	③	④	⑤

A6. 귀하는 현재 거주지 주변에 가로녹지가 충분하다고 생각하십니까?

매우 그렇다	어느 정도 그렇다	보통이다	별로 그렇지 않다	전혀 그렇지 않다
①	②	③	④	⑤

A7. 귀하는 현재 거주지 주변의 가로녹지에 대해 어느 정도 만족하십니까?

매우 만족	다소 만족	보통	다소 불만족	매우 불만족
①	②	③	④	⑤
→ A7-1로		→ A7-2로		

A7-1. 귀하의 거주지 주변 가로녹지에 만족하신 가장 큰 이유는 무엇입니까? 만족스러운 순서대로 최대 2개까지만 선택하여 주십시오. (보기 로테이션)

▶ 1순위(____), 2순위(____) [1순위 필수]

- ① 보도 위를 걷거나 이용하는 데에 불편함이 없게 가로녹지가 조성되어 있어서
- ② 가로녹지의 적절한 배치로 인하여 가로의 미관이 향상되어서
- ③ 가로녹지가 충분한 양으로 조성되어 있다고 생각되어서
- ④ 가로녹지가 그늘을 충분하게 제공하여서
- ⑤ 가로녹지가 새, 곤충들에게 충분한 서식지를 제공하여서
- ⑥ 가로녹지가 빗물을 흡수, 미세먼지 차단 등 방재기능을 충분히 수행하고 있어서
- ⑦ 기타(_____)

A7-2. 귀하의 거주지 주변 가로녹지가 만족스럽지 못한 가장 큰 이유는 무엇입니까? 불만족스러운 순서대로 최대 2개까지만 선택하여 주십시오. (보기 로테이션)

▶ 1순위(), 2순위() [1순위 필수]

- ① 가로녹지로 인하여 보도 위를 걷거나 이용하는 데에 불편함이 있어서
- ② 가로녹지의 배치가 잘못되어 가로의 미관을 저해하기 때문에
- ③ 조성된 가로녹지의 양이 부족하다고 생각되어서
- ④ 가로녹지가 그늘을 제공하지 못하는 형태로 조성되어 있어서
- ⑤ 가로녹지가 새, 곤충, 들에게 충분한 서식지를 제공하지 못한다고 생각되어서
- ⑥ 가로녹지가 빗물을 흡수, 미세먼지 차단 등 방재기능을 충분히 수행하지 못한다고 생각되어서
- ⑦ 기타()

B. 가로녹지 필요성에 대한 인식

B1. 귀하는 가로녹지가 귀하의 일상에서 어떤 이유로 필요하다고 느끼십니까? 귀하에게 가장 중요한 이유를 순서대로 최대 2개까지만 선택하여 주십시오. (보기 로테이션)

▶ 1순위(), 2순위() [1순위 필수]

- ① 가로녹지가 그늘을 제공하기 때문에
- ② 가로녹지가 도시 경관을 아름답고 매력적으로 만들기 때문에
- ③ 가로녹지가 곤충과 새들의 서식지를 제공하여 도시생태계를 유지하므로
- ④ 가로녹지가 과도한 조명이나 혐오시설을 가려주기 때문에
- ⑤ 가로녹지가 도로로부터의 소음을 완화해주기 때문에
- ⑥ 가로녹지가 폭우 시 빗물을 흡수 등 방재 기능을 제공하므로
- ⑦ 기타()
- ⑧ 특별히 필요하다고 느끼지 않음

B2. 귀하의 일상생활에서 가로녹지는 얼마나 중요하게 생각하십니까?

나에게 매우 중요하다	나에게 중요한 편이다	보통이다	나에게 중요하지 않는 편이다	나에게 전혀 중요하지 않다
①	②	③	④	⑤

B3. 가로녹지는 다음과 같은 여러 가지 기능을 하고 있습니다.

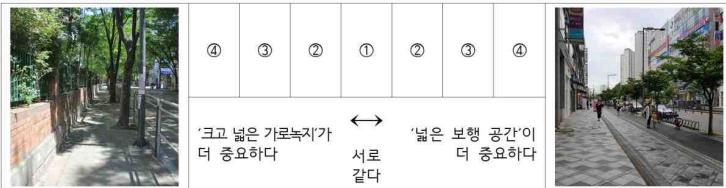
귀하께서 생각하는 가장 중요한 기능은 무엇입니까? 6개 기능을 중요하게 생각하는 순서대로 선택하여 주십시오. (보기 로테이션) [6순위 필수]

1순위	2순위	3순위	4순위	5순위	6순위

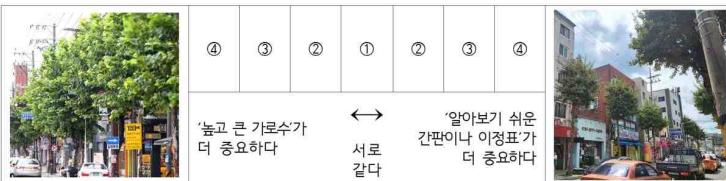
- ① (그늘) 해를 피해 걷거나 쉴 수 있는 그늘 제공
- ② (경관) 도시경관을 아름답고 매력적으로 만들
- ③ (생태) 새들, 꽃과 곤충 등 도시생태계 유지
- ④ (차폐) 과도한 조명이나 혐오시설 등을 가림
- ⑤ (방음) 간선도로의 소음 등의 문제 완화
- ⑥ (방재) 폭우시 유수의 흡수 등 방재기능

page. 5

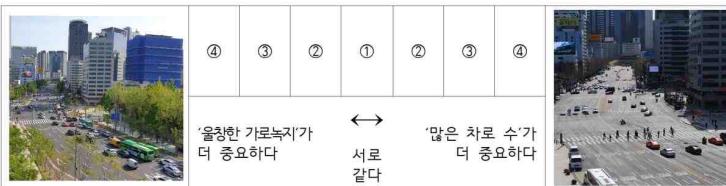
B4. 한정된 보도 위에서 가로녹지를 크고 넓게 조성할 경우, 보행을 위한 공간이 좁아질 수 있습니다. 귀하는 '크고 넓은 가로녹지'와 '넓은 보행 공간' 중 무엇을 더 중요하게 생각하십니까?



B5. 건물 앞에 심어진 가로수가 높고 크게 자랄수록 건물의 간판이나 이정표, 안내표지 등을 가릴 수 있습니다. 귀하는 '높고 큰 가로수'와 '알아보기 쉬운 간판이나 이정표' 중 무엇을 더 중요하게 생각하십니까?



B6. 한정된 공간에 가로녹지를 최대한 많이 조성하기 위해서는 현재보다 차로 수를 줄여야 할 수 있습니다. 귀하는 '울창한 가로녹지'와 '많은 차로 수' 중 무엇을 더 중요하게 생각하십니까?



C. 가로녹지의 향후 개선방향에 대한 인식 및 편의

C1. 귀하는 거주지 주변의 가로녹지가 개선되어야 한다고 생각하십니까?

매우 그렇다	어느 정도 그렇다	보통이다	별로 그렇지 않다	전혀 그렇지 않다
①	②	③	④	⑤
→ C1-1로			→ C2로	

C1-1. 귀하는 가로녹지 개선을 위해 가장 필요한 것을 무엇이라 생각하십니까? 가장 필요한 순서대로 최대 2개까지만 선택하여 주십시오. ► 1순위(____), 2순위(____) [1순위 필수]

- ① 더 큰 가로수를 식재
- ② 더 조밀하게 가로수를 식재
- ③ 낮은 화단을 함께 식재
- ④ 가로수 종류를 다양화
- ⑤ 건축물을 축면에 가로녹지 조성
- ⑥ 기타(_____)

C1-2. “[C1-1. 1순위 응답 제시]” 해야 한다고 생각하시는 이유는 무엇입니까?

- ① 가로의 미관을 향상시키기 위해서
- ② 치도와 보도가 물리적으로 완전히 분리되었으면 하여서
- ③ 더운 날씨에 온도를 낮출 수 있을 것 같아서
- ④ 심리적으로 보다 안정감이 느껴질 것 같아서
- ⑤ 기타(_____)

C2. 가로나무 개선 시, 가족 구성원을 고려할 때 누구를 우선적으로 고려하여야 한다고 생각하십니까?

- ① 어린 아이
- ② 청소년
- ③ 일반성인
- ④ 고령자

C3. 아직은 충분하지 않아 앞으로 가로나무가 더 조성되었으면 하는 장소는 어디입니까?

- ① 일반도로변
- ② 간선도로변
- ③ 좁은 이면도로
- ④ 보행자전용도로

C4. 현재의 가로나무를 향후 다음과 같이 개선하고자 합니다.

귀하의 거주지 주변 가로나무가 다음과 같이 개선된다면, 얼마나 걸게 되실 것 같습니까?



DQ2. 응답 ▶ 현재 주거지 주변에서 평소 (DQ2)분 정도 걷는다

C2. 응답 ▶ 가로나무가 개선되면 거주지 주변에서 평소 (____)분 정도 걸게 될 것 같다

page. /

<금액카드 랜덤하게 제시>

금액카드	CARD#1	CARD#2	CARD#3	CARD#4	CARD#5
초기금액(A)	500	1,000	2,000	5,000	10,000
(A)×2	1,000	2,000	4,000	10,000	20,000
(A)÷2	250	500	1,000	2,500	5,000

▣ 가로녹지에 대한 경제적 가치를 평가하기 위해 자불의향을 묻겠습니다.

- ▶ 많은 사람들이 이용하는 보도에 가로녹지 개선사업을 시행하기 위해서는 정부 예산이 소요되며, 이 비용은 세금으로 충당해야 합니다. 재원을 마련하기 위해서는 5년간 한시적으로 세금(매년 1회)의 추가적인 인상이 필요합니다.
- ▶ 그런데 만약 많은 사람들이 추가되는 세금을 내지 않는다면, 가로녹지 개선사업은 불가능할 수 있습니다.
- ▶ 이제 가로녹지 개선사업 추진을 위해 귀하가 기꺼이 부담하고자 하는 세금 수준에 대해 알아보고자 합니다. 만약 지불에 동의하신다면, 그 금액은 향후 5년간 귀하의 가구가 추가적으로 부담하는 세금을 통해 충당하게 될 것입니다.
귀하의 가구소득은 제한되어 있고, 소득은 여러 용도로 지출되어야 한다는 사실을 고려하시고, 다음 질문에 응답하여 주십시오.

C5. 귀하의 가구는 위와 같은 가로녹지의 개선을 위하여 향후 5년 동안 한시적으로 매년 가구의 총소득세를 통해 (A)원을 지불할 용의가 있으십니까?

- ① 있다 → C5-1로 ② 없다 → C5-2로

C5-1. 그러면, 귀하 가구는 위와 같은 가로녹지의 개선을 위하여 향후 5년 동안 한시적으로 매년 가구의 총소득세를 통해 (A×2)원을 지불할 용의가 있으십니까?

- ① 있다 → C6로 ② 없다 → C6로

C5-2. 그러면, 귀하 가구는 위와 같은 가로녹지의 개선을 위하여 향후 5년 동안 한시적으로 매년 가구의 총소득세를 통해 (A÷2)원을 지불할 용의가 있으십니까?

- ① 있다 → C6로 ② 없다 → C5-3으로

C5-3. 그러면, 귀하 가구는 위와 같은 가로녹지의 개선을 위하여 전혀 전혀 지불할 의사가 없으십니까?

- ① 예. 지불할 의사가 없다 → C7으로
② 아니오. 지불할 의사가 있다 → C6로

C6. 귀하 가구는 위와 같은 가로녹지의 개선을 위하여 향후 5년 동안 한시적으로 매년 가구의 총소득세를 통해 최대 얼마까지 지불할 용의가 있으십니까?

▶ 향후 5년 동안 매년 1회 최대 ()원을 지불할 의사가 있다 → C7로

C7. 귀하 가구에서 위와 같은 가로녹지의 개선을 위하여 지불할 의사가 없는 가장 큰 이유는 무엇입니까?

- ① 제시된 금액이 너무 높아 지불하고 싶지 않다
② 가로녹지의 조성이 나에게 별 가치가 없다
③ 가로녹지를 이용할 사람만 내도록 해야 한다
④ 이미 충분한 세금을 내고 있으므로 그 돈을 사용해야 한다
⑤ 가로녹지를 조성하는 것보다 다른 사업을 하는 편이 낫다

C8. 향후 거주지 주변의 가로녹지의 조성 및 운영을 위하여 가장 개선이 필요한 것은 무엇입니까? 가장 시급한 순서대로 최대 2개까지만 선택하여 주십시오.

▶ 1순위(____), 2순위(____) [1순위 필수]

- ① 가로녹지의 조성을 확대하여 생활여건을 편안하고 아름답게 가꾸어야 한다
- ② 가로녹지의 그늘조성, 폭우시 방재성능 강화 등을 고려하는 다기능 가로녹지를 조성해야 한다
- ③ 가로녹지의 조성 못지 않게 보행자,장애인의 통행여건 개선을 함께 고려해야 한다
- ④ 가로녹지와 건축물 전면공지의 식재대, 공원녹지 등을 연계하는 녹지네트워크를 마련해야 한다
- ⑤ 기타(____)

DQ. 응답자 특성

DQ3. 귀하는 평소 어떤 교통수단을 가장 많이 이용하고 계십니까?

- ① 버스(시내/광역버스 등)
- ② 지하철(전철)
- ③ 택시
- ④ 승용차(자차)
- ⑤ 오토바이
- ⑥ 공유 자전거/공유 전동킥보드
- ⑦ 도보
- ⑧ 기타(____)

DQ4. 귀하게서 현재 거주하고 계신 주택의 유형은 다음 중 무엇입니까?

- ① 단독주택
- ② 아파트
- ③ 연립주택
- ④ 다가구·다세대주택
- ⑤ 오피스텔
- ⑥ 원/투룸
- ⑦ 기숙사
- ⑧ 기타

DQ5. 귀하의 직업은 무엇입니까?

- ① (대)학생
- ② 전업주부
- ③ 무직/은퇴
- ④ 자영업
- ⑤ 판매/서비스직
- ⑥ 기능 직업직
- ⑦ 사무 기술직
- ⑧ 경영 관리직
- ⑨ 전문직
- ⑩ 기타(____)

DQ6. 실례지만, 귀하를 포함한 가족 전체의 월평균 가계소득은 얼마나 되십니까?

(보너스, 임대소득 등 기타 수입 포함)

- ① 100만원 미만
- ② 100~200만원 미만
- ③ 200~300만원 미만
- ④ 300~400만원 미만
- ⑤ 400~500만원 미만
- ⑥ 500~600만원 미만
- ⑦ 600~700만원 미만
- ⑧ 700~800만원 미만
- ⑨ 800~900만원 미만
- ⑩ 900~1,000만원 미만
- ⑪ 1,000만원 이상

♣ 끝까지 응답해 주셔서 대단히 감사합니다. 좋은 자료로 활용하겠습니다. ♣

page. 9

부록 3. 가로녹지 효과 분석과정

1) 분석 개요

폭염 취약 유형별 가로녹지 개선 시나리오 검증을 수행하기 위해 Envi-met을 활용하여 시나리오별 온도저감 효과를 분석하였다. Envi-met은 열쾌적성과 관련이 높은 기온, 풍속, 습도, 평균 복사에너지를 활용하여 도시 공간 열환경 시뮬레이션 수행하는 대표적인 프로그램이다(지은혜 2022, p.29). 미시적인 범위에서 토양, 식생, 건축물, 지표면 정보 간의 상호작용 결과를 통해 보다 세밀한 기상정보를 도출할 수 있다. 분석을 수행하기 위해 폭염 취약 가로를 3차원으로 구성하고, 풍속, 풍향, 온도, 급도 등의 정보를 프로그램에 입력한 후, 가로녹지의 온도저감 효과를 분석하고자 일출~일몰시간대로 분석시간을 설정하여 시간대별 온도변화를 파악하였다.

2) 분석 자료

도로방향에 따라 가로녹지의 온도저감효과를 분석하고자 동-서, 남-북 방향으로 도로가 형성된 대상지 A와 북동-남서, 북서-남동방향으로 도로가 형성된 대상지 B 2곳 선정하였다. 시뮬레이션 분석을 위한 가상공간 구축을 위해 국가공간정보플랫폼에서 제공하는 건축물 통합 공간자료를 활용하여 건물을 구현하고 의정부에서 제공하는 가로수 정보를 활용하여 가로녹지를 구성하였다. 두 대상지 모두 그리드의 크기는 2m단위로 설정하였으며, 대상지의 크기는 A대상지의 경우, x = 134m, y=132m, z=25m로 B대상지의 경우 x=127m, y=126m, z=25m로 설정하였다.

가상공간의 시뮬레이션 분석을 위한 수목은 대상지의 기존 녹지정보를 기반으로 A 대상지는 은행나무, 느티나무, 이팝나무로 구성하고 B 대상지는 은행나무, 회화나무, 벚나무

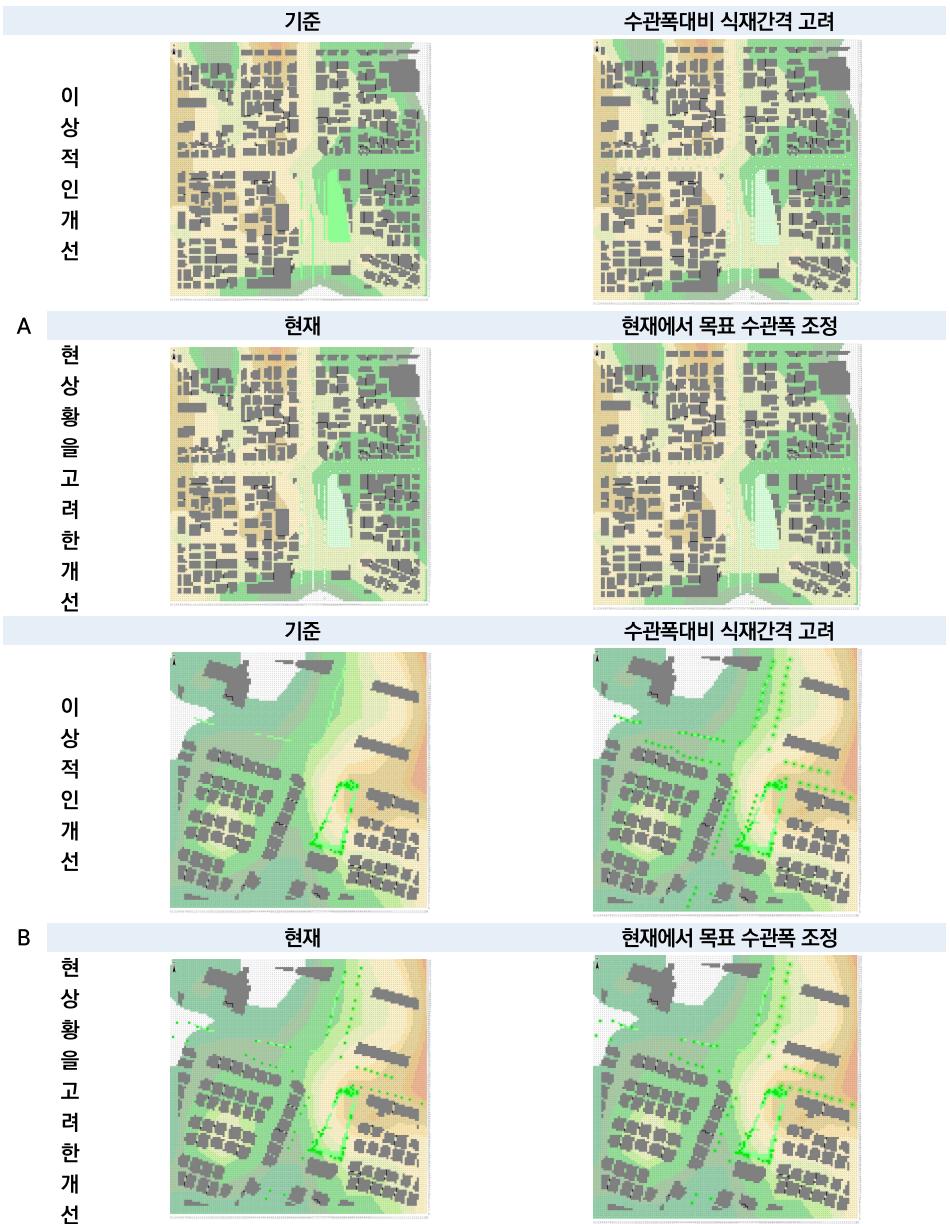
로 구축하였다. 대상지 가로별 수목과 수관폭의 크기는 가로별로 평균을 계산하여 아래와 같이 초기 수목의 값을 설정하였다. 개선안의 경우는 통계분석의 결과를 기반으로 수고대비 수관폭을 고려하여 구축하였다. 3D로 구출할 때, 수목의 형태는 산림청(2020, pp24-26)에서 제공하는 가로수 조성관리 매뉴얼에서 제공하는 수종별 수형을 기반으로 작성하였다.

다음으로 시뮬레이션 분석을 위한 기상정보는 기상자료개방포털에서 제공하는 자료를 활용하였다. 본 연구에서 활용한 자료는 자동기상관측장비(AWS)를 설치하여 측정하는 자료로 시간단위의 기온, 강수, 바람, 습도, 기압 정보 수집이 가능하다. 시뮬레이션 상에 적용하기 위해 의정부(532)데이터 중 2021년 기준 최고기온이 36.1도까지 상승한 2021년 7월 27일 데이터 활용했다. 구체적으로는 최저기온(24°C), 최고기온(36°C), 평균 풍향(133°), 풍속(0.9‰), 최고습도(96%), 최저습도(55%)를 적용하였다. 시뮬레이션 분석은 사람들이 이용하는 시간대인 10시~18시로 설정하였다.

[표 부록 3-1] 기상입력 자료

구분		입력자료
시간	일자	2021.07.27
	시뮬레이션 시간	10:00-18:00
바람	풍속	0.9‰
	풍향	133°
기온	최고	36 (15시)
	최저	24 (5시)
습도(%)	최고	96 (5시)
	최저	54 (16시)
운량(1-8)	저층	2
	중고층	1
	고층	1

출처: 연구진 작성



[그림 부록 3-1] A,B 대상지 분석 모델

출처: 연구진 작성

부록 4. 가로수 관련 지자체 조례 분석

지자체명	가로수 조성 기준			가로수 점검 및 관리	
	수종	크기	배치	가로수 점검	관리 대장
가평군	경관, 향토성, 주민보건, 환경오염저감, 기후조절 등 고려	흉고직경 6cm 근원지름8cm	보차도 경계선으로부터 가로수 중심까지 1m이상 확보 중앙분리대등 필요하다고 인정하는위치 식재간격은 6m이상 8m이하 기준 같은수종 식재원칙 다층구조 식재가능 이동식 화분에식재가능 1열심기, 보도폭에 따라 2열식재 가능 도로와 평행하도록 열식하는 것이 원칙	노선별, 수종별 점검 정기점검1년에2회 가로수생육상태점검	○
강릉시	기후, 토양, 향토성, 보도폭,지장을유무, 기후조절등여건에 적합한수종	광로 또는 보도폭 10m이상: 흉고직경12cm이상, 근원경20cm이상 대로 또는 보도폭 7m이상~10m미만: 흉고직경10cm이상, 근원경15cm이상 중로 또는 보도폭 4m이상~7m미만: 흉고직경8cm이상, 근원경12cm이상 소로 또는 보도폭 4m미만: 흉고직경6cm이상, 근원경10cm이상	교목의 식재 간격은 6~8m 기준으로 확보 경관조성과지역여건에따라교목과다층구조로식재 식재조성기준은 도로별 식재조성 기준에 따름	노선별, 수종별 점검 매년5월과10월에 정기점 검 가로수생육상태, 식재지토양상태확인	○
거제시	시에 자생하는 수종, 이미 식재되거나 특정 목적에 적합한 수종	-	교목은 식재 간격 6~8m 기준, 도로선형과 평행한 1열 심기, 2 열 이상 식재 가능, 다층구조식재가능, 회분형가로수	-	-
거창군	은행나무, 배롱나무, 단풍나무, 산수유나무, 벚나 무, 그외 군수가 인정한 수종, 심의를 거쳐 선정된 수종	-	-	연 1회 이상	-

경기도 광주시	기후, 풍토에 어울리는 향토수종	광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경(B) 12cm 이상, 균원직경(R) 15cm 이상 대로 또는 보도폭 7m 이상~10m 미만: 흉고직경(B) 10cm 이상, 균원직경(R) 12cm 이상 중로 또는 보도폭 4m 이상~10m 미만: 흉고직경(B) 8cm 이상, 균원직경(R) 10cm 이상 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경(B) 6cm 이상, 균원직경(R) 8cm 이상	도로 여건에 따라 별렬다총식(광로 또는 보도폭 7m 이상), 별렬식(대로 또는 보도폭 5m 이상~7m 미만), 다총식(중로 또는 보도폭 3m 이상~5m 미만), 단열단총식 조성(소로 또는 보도폭 3m 미만), 교목 식재간격은 8m	연 2회 이상, 5월 11월 ○
경산시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종	-	보차도 경계선에서 가로수 수간의 중심까지 최소 70cm 이상 확보, 교목은 식재간격 8m 기준	○
경주시	기후, 토양, 주변경관, 향토성, 기후조절에 적합한 수종 선정	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 70cm 이상 확보 식재간격은 8m를 기준으로 하며, 나무 종류와 도로의 여건에 따라 4~12m로 조정 가능 중앙분리대 등 그밖에 시장이 특별히 필요하다고 인정하는 위치에 가로수 식재 보행자전용도로 및 자전거전용도로에는 보행자 및 자전거의 원활한 이동과 안전에 제한이 없는 범위 내에서 가로수를 식재	○
경주시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종	-	교목 식재 간격은 8m 기준, 도로 여건에 따라 4~12m 조정 가능 -	-
개봉시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종	광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 12cm 이상 균원경 14cm 이상 대로 또는 보도폭 7m 이상~10m 미만: 흉고직경 10cm 이상 균원경 12cm 이상 중로 또는 보도폭 4m 이상~7m 미만: 흉고직경 8cm 이상 균원경 10cm 이상 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경 6cm 이상 균원경 8cm 이상	도로 여건에 따라 별렬다총식(광로 또는 보도폭 10m 이상), 별렬식(대로 또는 보도폭 7m 이상~10m 미만), 다총식(중로 또는 보도폭 4m 이상~7m 미만), 단열단총식 조성(소로 또는 보도폭 4m 미만), 화분형 가로수 식재	연 2회 이상, 5월 11월 ○
개봉시	-	광로 대로 또는 보도 폭 5m 이상의 도로: 가슴 높이 지름 12cm 이상 또는 근원지를 15cm 이상 중로 소로 또는 보도 폭 5m 미만의 도로: 가슴 높이 지름 10cm 이상 또는 근원지를 12cm 이상	-	-
고양시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 기존가로수와연계	광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경(B) 12cm 이상, 균원직경(R) 15cm 이상 대로 또는 보도폭 7m 이상~10m 미만: 흉고직경(B) 12cm 이상, 균원직경(R) 15cm 이상 중로 또는 보도폭 4m 이상~10m 미만: 흉고직경(B) 8cm 이상, 균원직경(R) 10cm 이상 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경(B) 6cm 이상, 균원직경(R) 10cm 이상	도로 여건에 따라 별렬다총식(광로 또는 보도폭 7m 이상), 별렬식(대로 또는 보도폭 5m 이상~7m 미만), 다총식(중로 또는 보도폭 3.5m 이상~5m 미만), 단열단총식 조성(소로 또는 보도폭 3.5m 미만)	연 2회 이상, 병해충 및 기상이변 직후 수종별로 수시 점검 ○
고창군	-	-	-	연 2회 이상, 5월 11월 ○
고흥군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종	-	교목은 차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 확보, 별렬다총식, 별렬식, 다총식, 단열단총식 식재, 이동식 화분형 식재	연 2회, 상반기 하반기 ○
곡성군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종	-	별렬다총식, 별렬식, 다총식, 단열단총식 식재, 이동식 화분형 가로수	연 2회, 상반기 하반기 ○
공주시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종	-	교목은 차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 확보, 별렬다총식, 별렬식, 다총식, 단열단총식 식재, 이동식 화분형 식재, 교목 식재 간격 8m	연 2회 이상, 5월 11월 ○

			보차도 경계선으로부터 가로수 중심까지 70cm이상 확보 중앙분리대등필요하다고인정하는위치 식재간격은6m이상8m이하 기준 같은수종식재원칙 다중구조식재기능 이동식화분에식재가능 1열심기,보도폭에따라2열식재가능 도로와평행하도록열식하는것이원칙	정기점검 매년 1회, 9월에실시	<input checked="" type="radio"/>
과천시	기후와 토양, 주변경관과 어울리는 수종, 자동차 배기ガ스 및 제설용 염화칼슘에 내성이 강한 수종, - 특정 목적에 적합한 수종	-			
광명시	은행나무, 느티나무, 이팝나무, 왕벚나무, 메타세콰이아, 소나무, 외 목적에 적합한 수종	-	병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열다총식 식재, 이동식 화분형 가로수	연 2회 이상, 5월 11월	<input checked="" type="radio"/>
광양시	기후, 풍토에 어울리는 향토수종	-	상록수와 낙엽수 혼합, 교목은 6~8m 식재 간격, 1열심기와 2열 심기 가능, 다중구조 식재, 이동식 화분형	연 1회, 11월	<input checked="" type="radio"/>
광주광역시	-	-	-	-	<input type="radio"/>
광주광역시	-	-	-	-	<input type="radio"/>
남구					
광주광역시	-	-	-	-	<input type="radio"/>
북구					
괴산군	-	-	-	연 2회, 상반기 하반기	<input checked="" type="radio"/>
구례군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적 교목: 흉고 직경 6cm, 근원 직경 8cm 이상 합한 수종	교통량과 보행자가 많은 지역은 흉고직경8cm이상, 근원직경10cm이상	교목은 차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 확보, 병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단 총식 식재, 이동식 화분형 식재, 교목식재간격8m	연 2회, 상반기 하반기	<input checked="" type="radio"/>
구리시	은행나무, 왕벚나무, 느티나무, 버즘나무, 이팝나무, 단풍나무, 메타세콰이아	-	광로 (도로폭 40m 이상): 병렬다총식 대로(도로폭 25~40m미만): 병렬식 중로(도로폭 12~25m미만): 다총식 소로(도로폭 12m미만): 단열단총식	연 2회 이상, 5월 11월	<input checked="" type="radio"/>
구미시	-	-	-	-	<input checked="" type="radio"/>
군산시	-	광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경(B) 14cm 이상, 근원직경(R) 16cm 이상 대로또는보도폭7m이상~10m미만:흉고직경(B)12cm이상,근원직경(R)14cm이상 중로또는보도폭4m이상~10m미만:흉고직경(B)10cm이상,근원직경(R)12cm이상 소로또는보도폭4m미만:흉고직경(B)6cm이상,근원직경(R)8cm이상	교목 식재간격은 8m 기준, 군식과 혼식, 1열, 2열심기 다중구조 식재 가능 광로또는보도폭10m이상:병렬다총식 대로또는보도폭7m이상~10m미만:병렬식 중로또는보도폭4m이상~7m미만:다총식 소로또는보도폭4m미만:단열단총식	-	<input checked="" type="radio"/>
군위군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적 합한 수종	-	교목 식재간격은 8m 기준, 군식과 혼식, 다중구조	-	<input checked="" type="radio"/>
김천시	기후, 경관, 사후관리가 용이한 수종 기후조절등특정목적에적합한수종	-	보·차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 최소 1m이상 보도가없는도로에교목을식재하는경우에는갓길끝으로부터수 평거리가 2m이상떨어지도록식재	연 2회, 상반기/하반기 각 각 1회 이상 실시	<input checked="" type="radio"/>

		식재유형은 특정목적에 따라 군식 또는 혼식 1열심기를 원칙, 여건에 따라 2열 이상 식재		
나주시	<p>① 광로 1~3류(40m이상~70m미만), ② 대로 1~3류(25m이상~40m미만) 또는 보도폭 7m이상~10m미만: 흉고직경 10cm 이상, 균원경 12cm이상 ③ 중로 1~3류(12m이상~25m미만) 또는 보도폭 4m이상~7m미만 ④ 소로(8m이상~12m미만) 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경 8cm이상, 균원경 10cm이상 ⑤ 폭 25m이상 도시계획도로의 중앙분리대: 화단폭 3m 이상: 흉고직경 12cm이상, 균원경 14cm이상, 관목류 (사이목), ⑥ 폭 50m이상 도시계획도로의 중앙분리대: 화단폭 4m 이상: 흉고직경 14cm이상, 균원경 16cm이상, 관목류 (사이목) ⑦ 폭 2.0m이상의 연결단자(화단) 흉고직경 10cm이상, 균원경 12cm이상</p>	<p>① 광로 1~3류(40m이상~70m미만) 또는 보도폭 10m 이상: 병렬다중식 ② 대로 1~3류(25m이상~40m미만) 또는 보도폭 7m이상~10m미만: 병렬식 ③ 중로 1~3류(12m이상~25m미만) 또는 보도폭 4m이상~7m미만: 다중식 ④ 소로(8m이상~12m미만) 또는 보도폭 4m 미만: 단열단층식 ⑤ 폭 25m이상 도시계획도로의 중앙분리대: 화단폭 3m 이상: 단열다중식 ⑥ 폭 50m이상 도시계획도로의 중앙분리대: 화단폭 4m 이상: 단열단층식 ⑦ 폭 2.0m이상의 연결단자(화단) 단열단층식</p>		
남양주	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종 -	교목식재 간격은 8m, 군식과 혼식, 다층구조 식재, 방근시설 설치 - -		
남원시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종 -	교목 식재간격은 6~8m, 군식과 혼식, 다층구조 식재, 이동식 회분형 연 2회, 상반기 하반기 ○		
논산시	왕벚나무, 은행나무, 아飘나무, 그외 기후와 향토에 적합한 수종 -	병렬다중식, 병렬식, 다중식, 단열다중식 식재, 이동식 회분형 가로수 연 2회 이상, 5월 11월 ○		
단양군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 밭육이 양호한 수종	- 연 2회 이상, 5월 11월 ○		
대구광역시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에 맞는 수종	노폭 20m 이상의 도로, 보도 폭이 3m 이상의 도로에 단열심기 또는 병렬심기, 교목식재간격 8m 원칙, 다층구조 식재 연 1회, 11월 ○		
대전광역시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에 맞는 수종	교목 6~8m 기준, 1~2열심기, 군집과 혼식, 다층구조 식재, 이동식 회분형 연 1회, 11월 ○		
목포시	기후, 토양, 주변경관, 기후조절, 지역특성을 고려하고 서해 남부에 자생하는 향토수종	보차도 경계선으로부터 기로수 수간의 중심까지 최소 1m 이상 확보 중야분리대등 기타 특별히 필요하다고 인정하는 위치 식재간격은 608m 기준으로 식재간격을 조정 특정목적에 따라 군식 및 혼식 가능 등 1열심기 기준으로 보도의 여건에 따라 2열 이상 식재 매년 전후반기 2회 실시 ○		
무주군	-	<p>① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 10cm이상, 균원직경 12cm이상 ② 대로 또는 보도폭 7m이상~10m 미만: 흉고직경 8cm이상, 균원직경 10cm이상 ③ 중로 또는 보도폭 4m이상~7m 미만: 흉고직경 6cm이상, 균원직경 8cm이상 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경 4cm이상, 균원직경 6cm이상</p>	<p>① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 병렬다중식 ② 대로 또는 보도폭 7m이상~10m 미만: 병렬식 ③ 중로 또는 보도폭 4m이상~7m 미만: 다중식 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만: 단열단층식</p>	연 2회, 상반기 하반기 ○
밀양시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에 맞는 수종	<p>① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 병렬다중식 ② 대로 또는 보도폭 7m이상~10m 미만: 병렬식 ③ 중로 또는 보도폭 4m이상~7m 미만: 다중식 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만: 단열단층식</p>	연 1회, 병해충 발생 시기 ○ 전후에 수종별 수시점검	
보령시	-	-	연 2회, 상반기 하반기 ○	
보은군	-	-	연 2회, 상반기 하반기 ○	

봉화군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에맞는수종	① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 12cm이상, 근원경 20cm이상 ②대로또는보도폭7m이상~10m미만:흉고직경10cm이상,근원경15cm이상 ③중로또는보도폭4m이상~7m미만:흉고직경8cm이상,근원경12cm이상 ④소로또는보도폭4m미만:흉고직경6cm이상,근원경10cm이상	이동 화분형 식재	-	-
		-		-	-
		-		-	-
		-		-	-
부산광역시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에맞는수종	교목 식재간격 8m 기준, 군식과 혼식 가능, 다총구조식재,이동식화분형식재	연 1회 이상	o	
		-			
부산광역시	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에맞는수종	교목의 식재는 8m를 기준으로 도로의 위치, 주위 여건을 고려하여 식재 간격을 조정, 열식이 원칙, 군식과 혼식 가능, 도로 양측에 연 1회 는 동일수종으로 식재하며 가로수 이동식 화분형 식재 가능	연 1회, 11월	o	
		-			
부산광역시	기후와 토양, 향토성을 지닌 수종, 주변경관과 잘 어울리는 수종, 기후조절에 적합한 수종	교목의 식재는 8m를 기준으로 도로의 위치, 주위 여건을 고려하여 식재 간격을 조정, 열식이 원칙, 군식과 혼식 가능, 도로 양측에 연 1회 는 동일수종으로 식재하며 가로수 이동식 화분형 식재 가능	-	-	o
부안군	-	① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 병렬다총식 ②대로또는보도폭7m이상~10m 미만: 병렬식 ③중로또는보도폭4m이상~7m 미만: 다총식 ④소로또는보도폭4m미만:단열단총식	-	-	o
부여군	기후, 토양, 주변경관과 향토성, 기후조절 등에 적합한 수종, 특정목적에맞는수종	-	-	연 2회 이상, 5월 11월	o
부천시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	보도폭5m이상 가로수2열이상 띠는지폭2m이상 이교목및관목식재 보도폭4m이상~5m미만가로수1열띠는지폭1~2m이교목및관목식재 보도폭3m이상~4m미만가로수1열띠는지폭1m관목식재 보도폭2m이상~3m미만띠는지폭1m0.5m면장소관목및보수식재 보도폭2m미만가로수식재외	-	연 2회, 5월 11월	o
사천시	기후 해풍과 토양에 적합하며 경관과 어울리고 기후조절 등에 적합한 수종	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 거리가 최소 1m 이상 확보, 교목 식재 간격을 6-8m 기준, 군식과 혼식, 관목 다총식 가능	-	-	o
산청군	배롱나무, 산수유, 단풍나무, 전나무, 벚나무 등	도로의 보도 폭에 따라 병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단총식 으로 조성, 이동식 화분형	연1회 이상, 병해충 발생시기 전후에 수종별로 수시 점검	-	o
삼척시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	보차도 경계선에서 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 보행자 및 자전거의 원활한 이동과 안전에 제한이 있는 범위에서 식재, 교목식재 간격은 8m기준, 열식이 원칙이되 군식과 혼식 가능, 1열 심기가 기준 2열이상도 가능	-	-	o
상주시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심이 최소 1m 이상 확보, 보도폭 등 여건에 따라 조정, 보도가 없는 도로에 교목 식재는 수평거리가 2m 이상 떨어져 식재	연 2회, 상반기/하반기 각 1회 이상 실시	o	o
서산시	기후와 토양, 향토성에 적합하며, 사후관리가 용이하고 병해충에 대한 저항이 강하고 기후 조절이	-	-	-	-

적합한 수종					
서울시 은평구	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 교목 식재간격은 6~8m 교목과 관목, 초본류의 다층구조식재 가능 화분형 가로수식재 가능	-	-
서울특별시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	교목의 식재간격은 6~8m 기준, 열식을 원칙으로 하되 군식과 혼식 가능, 1열 심기가 기준이며 2열 이상 식재 가능	연 1회, 5월	○
서울특별시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	교목의 식재간격은 6~8m 기준, 열식을 원칙으로 하되 군식과 혼식 가능, 1열 심기가 기준이며 2열 이상 식재 가능	연 1회, 5월	○
성남시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	① 광로 또는 보도폭 10m 이상(또는 도로의 종류, 유형 등): 병렬다층식 ② 대로 또는 보도폭 7m 이상 ~ 10m 미만: 흉고직경 10cm 이상, 근원경 15cm 이상 ③ 중로 또는 보도폭 4m 이상 ~ 7m 미만(또는 도로의 종류, 유형 등): 병렬식 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만(또는 도로의 종류, 유형 등): 단열다층식	연 2회 이상, 5월 11월	○
속초시	도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙에 서 정한 기준에 따라 선정	① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 12cm 이상, 근원경 20cm 이상 ② 대로 또는 보도폭 7m 이상 ~ 10m 미만: 흉고직경 10cm 이상, 근원경 15cm 이상 ③ 중로 또는 보도폭 4m 이상 ~ 7m 미만: 흉고직경 8cm 이상, 근원경 12cm 이상 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경 6cm 이상, 근원경 10cm 이상	교목 식재간격 6~8m, 관목 다층구조 식재	연 2회, 병해충 발생 시기 전후 수종별로 수시 점검,	○
수원시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	수고 5m 이상, 직경(흉고직경, 근원경) 20cm 이상	교목 식재간격은 6~8m 기준으로 하며, 열식이 기본이며 군식과 혼식 가능, 다층구조식재, 이동식화분형식재	연 2회, 5월 11월	○
순창군	-	-	교목 식재 간격 8m, 군식과 혼식 가능, 교목과 관목, 초본류 다 층구조로 식재	-	○
순천시	시에서 자생하고 있는 향토 수종, 조경수로 가치가 있는 상록수와 낙엽수를 적절하게 혼합	① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 12cm 이상, 근원경 20cm 이상 ② 대로 또는 보도폭 7m 이상 ~ 10m 미만: 흉고직경 10cm 이상, 근원경 15cm 이상 ③ 중로 또는 보도폭 4m 이상 ~ 7m 미만: 흉고직경 8cm 이상, 근원경 12cm 이상 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경 6cm 이상, 근원경 10cm 이상	병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열다층식, 이동식화분형식재	연 1회 이상, 병해충 발생 시기 전후 수종별 수시 점검	○
시흥시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	수고 3m 이상, 직경(흉고직경, 근원경) 8cm 이상	교목 식재 간격 6~8m, 군식과 혼식, 2열 이상 식재 가능	연 2회 이상, 병해충 발생 시기 전후 수종별 수시 점검	○
신안군	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	식재간격은 8m 기준, 군식과 혼식, 다층구조 식재	연 2회, 5월 11월	○
아산시	-	-	-	연 2회, 상반기, 하반기	○
안산시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 교목 식재간격은 6~8m 교목과 관목, 초본류의 다층구조식재 가능 이동식화분형 가로수식재 가능	연 1회, 11월	○
안성시	은행나무, 왕벚나무, 단풍나무, 아팝나무, 그 밖의 특정 목적에 적합한 수종	-	병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열다층식으로 조성 이동식화분형	연 2회, 5월 11월	○

안양시	-	①광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 17cm 이상, 근원경 20cm 이상 ②대로또는보도폭7m이상 ~ 10m미만:흉고직경15cm이상,근원경18cm이상 ③중로또는보도폭4m이상 ~ 7m미만:흉고직경12cm이상,근원경15cm이상 ④소로또는보도폭4m미만:흉고직경10cm이상,근원경12cm이상	-	-	○
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 교목 식재간격은 6~8m, 교목과 관목,초본류의 다 연 2회, 5월 11월 총구조 식재가능, 이동식 화분형 가로수 식재가능	-	○
	시에서 자생하는 향토수종, 은행나무, 아팝나무, 느티나무, 왕벚나무, 메타세쿼이아, 배롱나무, 칠엽수, 먼나무, 대왕참나무	-	교목은 6~8m 기준, 병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열다총식 조성	연 2회, 상반기, 하반기	○
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보도폭에 따른 병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단총식으로 조성, 다총구조식재	연 2회, 5월 11월	○
양주시	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	①광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 14cm이상, 근원경 16cm이상 ②대로또는보도폭7m이상 ~ 10m미만:흉고직경12cm이상,근원경14cm이상 ③중로또는보도폭4m이상 ~ 7m미만:흉고직경10cm이상,근원경12cm이상 ④소로또는보도폭4m미만:흉고직경8cm이상,근원경10cm이상	-	-	-
	연천군 가로수 기본계획 노선별 수종, 기후, 토양, 경관과 어울리고 향토성을 지니며 기후 조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 교목 식재간격은 6~8m, 중앙분리대 식재, 다총구조 식재	연 2회, 5월 11월	○
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	도로의 폭에 따라 병렬 다총식, 병렬식, 다총식, 단열 다총식으로 조성, 6~8m 간격으로 식재, 이동식 화분형	연 2회, 5월 11월	○
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	교목은 흉고직경 6cm 또는 근원직경 8cm 이상, 보행자가 많은 지역에 식재 할 교목은 흉고직경 8cm 또는 근원직경 10cm 이상	교목 식재간격은 5~8m 이하, 군식과 혼식 가능, 교목과 관목, 초본류를 다총구조 식재	연 2회, 5월 11월	○
영동군	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재간격은 8m, 교목과 관목, 초본류의 다총구조 식재가능, 화분형 가로수 식재가능	연 2회, 상반기, 하반기	-
	-	-	-	연 2회, 상반기, 하반기	-
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보행자 운전자 안전에 지장이 없는 범위 내 식재	연 2회, 5월 11월	○
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 최소 70cm 이상, 중앙분리대 식재	○	○
영천시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보	연 2회, 상반기/하반기 각 1회 이상 실시	○
	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상, 교목 식재간격 동지역 6m / 연 2회, 상반기, 하반기 읍면지역 8m, 군식과 혼식, 다총구조 식재	연 2회, 상반기, 하반기	○

예산군	기후와 풍토에 적응하여 잘 자라는 수종	-	숲가꾸기, 조림 등으로 자연에 가까운 산림형 조성	연 3회, 상반기, 하반기	-
예천군	은행나무, 왕벚나무, 이팝나무, 산수유, 특정 목적 에 적합한 수종	-	교목 8m 기준 간격, 1열/2열 심기, 흔식, 다층구조 식재	연 2회, 5월 11월	○
옥천군	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	-	연 2회, 5월 11월	○
완주군	기후와 토양에 적합하며 경관과 어울리고, 향토 성, 기후조절에 적합한 수종	-	도로 폭에 따른 병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열다층식 식재, 이동식 화분형 식재	연 2회, 5월 11월	○
용인시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어 울리고 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재간격은 8m, 교목과 관목, 초본류의 다층구조 식재가능, 화분형 가로수 식재 가능	연1회	○
울릉군	군 기후, 토양, 주변경관, 향토성과 기후조절 등에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지 최소 70cm 이 상 확보, 식재 간격은 8m 기준	○	○
울진군	군 기후, 토양, 주변경관, 향토성과 기후조절 등에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재간격은 8m, 교 목과 관목, 초본류의 다층구조 식재가능, 화분형 가로수 식재가능	연 2회, 상반기, 하반기	-
원주시	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재간격은 8m, 교목과 관목, 초본류의 다층구조 식재가능, 화분형 가로수 식재가능	○	○
의령군	지역 기후와 풍토에 적응 잘하는 수종	-	자연에 가까운 산림형 조성	연 2회, 상반기, 하반기	-
의왕시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어 울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 6~8m 식재 기준, 2열 이상 식재, 다층구조 식재, 이동식 화분형	연 1회, 매년 11월	○
의정부시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어 울리고 기후조절에 적합한 수종	광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 12cm이상, 균원경 15cm이상 대로또는보도폭7m이상10m미만:흉고직경10cm이상,균원경12cm이상 소중로 또는 보도폭 7m 미만: 흉고직경 8cm이상, 균원경 10cm이상	병렬다층식, 병렬식, 단층 및 다층식 식재	-	-
이천시	-	-	-	연 2회, 상반기, 하반기	-
익산시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어 울리고 기후조절에 적합한 수종	-	도로 폭에 따른 조성, 이동식 화분형 식재	○	○
인천광역시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어 울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 식재 간격은 6~8m, 보도 폭에 따른 병렬다층식, 병렬식, 연 4회 이상 실시, 3월 다층식, 단열단층식으로 조성	5월 9월 11월	○
인천시	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	나무 높이 3.5m 이상, 흉고 직경 10cm 이상 (근원직경 12cm 이상)	-	○	○
장성군	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	차도, 보도 폭을 고려하여 병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열 다 층식으로 조성	연1회	○
장수군	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	-	연2회	○
장흥군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어 울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 식재 간격은 6~8m, 보도 폭에 따른 병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열단층식으로 조성	연 1회, 11월	○
전주시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어	-	자연에 가까운 산림형 조성, 다층형 식재	-	○

	울리고 기후조절에 적합한 수종				
정읍시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 식재 간격은 8m, 보도 폭에 따른 병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단총식으로 조성, 다총구조 식재	연 2회 점검	○
제주시	-	-	-	연 1회, 매년 11월	○
제천시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 식재 간격은 8m, 보도 폭에 따른 병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단총식으로 조성, 다총구조 식재	연 2회, 5월 11월	○
진도군	-	-	-	연 2회, 5월 11월	○
진안군	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재간격은 8m, 교목과 관목, 초본류의 다총구조 식재가능, 화분형 가로수 식재가능	연 2회, 5월 11월	○
진주시	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	-	○	○
진천군	-	-	-	-	○
청원시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단총식 식재	-	○
천안시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	병렬다총식, 병렬식, 다총식, 단열단총식, 이동식 화분형	연 2회, 상반기, 하반기	○
철원군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	-	연 2회, 5월 11월	○
청도군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	-	-	-
청송군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 6~8m 식재 간격, 1열/2열심기, 다총 구조 식재, 이동식 화분형 식재	-	-
충주시	도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙에 서 정한 기준에 따라 선정	-	이동식 화분형 식재	연 2회, 병해충 발생 전후 수시 점검	○
충청남도	-	-	-	매년 4회 이상 3월,5월,9월,11월	-
칠곡군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	-	교목 6~8m 식재 간격, 1열/2열심기, 다총 구조 식재, 이동식 화분형 식재	-	-
태백시	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재간격은 8m, 교목과 관목, 초본류의 다총구조 식재가능, 화분형 가로수 식재가능	연 2회, 5월 11월	○
태안군	-	-	-	매년 2회, 상반기 하반기	-
파주시	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	① 광로 또는 보도폭 10m 이상: 병렬다총식 ② 대로 또는 보도폭 7m 이상 ~ 10m 미만: 병렬식 ③ 중로 또는 보도폭 4m 이상 ~ 7m 미만: 다총식 ④ 소로 또는 보도폭 4m 미만: 단열단총식	연 2회 이상, 병해충 발생 시기 전후 수종 별수시 점검 실시	○

파주시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	이동식 화분형 식재	매년 2회, 수종별수시점검	<input checked="" type="radio"/>
평창군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	보도 환경에 따라 병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열단층식으로 조성	-	<input checked="" type="radio"/>
평택시	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	교목 6~8m 식재 간격, 1열/2열심기, 다층 구조 식재, 관목 식재 시 잔디 식재는 안함	-	<input checked="" type="radio"/>
포천시	-	-	-	<input checked="" type="radio"/>
포항시	-	-	연 2회, 5월 11월	<input checked="" type="radio"/>
하남시	도시숲 등의 조성 및 관리에 관한 법률 시행규칙에서 정한 기준에 따라 선정	교목은 8m 기준, 군식과 혼식, 1열심기 및 2열심기. 다층구조식재, 이동식화분형식재	매년 2회, 상반기 하반기	<input checked="" type="radio"/>
하동군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	1열 및 2열식재, 다층식재, 이동식화분형식재	-	<input checked="" type="radio"/>
함안군	-	-	연 1회	<input checked="" type="radio"/>
함양군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	보도 환경에 따라 병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열단층식으로 조성, 이동식 화분형 식재, 교목은 8m 식재 간격	연 1회, 11월	<input checked="" type="radio"/>
함평군	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	교목은 흉고직경 6cm 또는 균원직경 6cm 이상 수고와 지하고는 통행에 지장없는 범위안에서 정할 수 있음	보차도 경계선으로부터 가로수 수간의 중심까지의 거리는 최소 1m 이상 확보, 수평거리 2m 이상 확보, 교목 식재 간격은 8m, 교목과 관목, 초본류의 다층구조 식재 가능, 화분형 가로수 식재 가능	연 1회, 12월
합천군	지역 기후, 토양, 향토성, 기후조절에 적합한 수종	-	교목 식재 간격은 6~8m, 수관폭과 생장속도, 식재 간격 조정, 2 열 식재 이상 가능, 교목과 관목, 초본류 다층구조 식재 가능, 이 매년 2회, 상반기 하반기	<input checked="" type="radio"/>
해남군	-	-	-	<input checked="" type="radio"/>
홍성군	-	-	-	<input checked="" type="radio"/>
홍천군	-	-	연 1회 이상	<input checked="" type="radio"/>
화성시	-	광로 또는 보도폭 10m 이상: 흉고직경 15cm 이상, 균원경 18cm 이상 대로 또는 보도폭 7m 이상 10m 미만: 흉고직경 12cm 이상, 균원경 15cm 이상 중로 또는 보도폭 4m 이상 ~ 7m 미만: 흉고직경 12cm 이상, 균원경 12cm 이상 소로 또는 보도폭 4m 미만: 흉고직경 10cm 이상, 균원경 10cm 이상	병렬다층식, 병렬식, 다층식, 단열식 식재	연 2회, 5월 11월
화순군	기후와 토양, 문화, 향토성을 지닌 수종, 경관과 어울리고 기후조절에 적합한 수종	교목은 흉고직경 6cm 또는 균원직경 8cm 이상, 보행자가 많은 지역에 식재 교목 식재 간격 8m 기준, 순식과 혼식, 다층구조 식재, 이동식 화분형 식재	-	<input checked="" type="radio"/>
화천군	-	-	매년 2회, 상반기 하반기	<input checked="" type="radio"/>

* 국가법령정보센터에서 키워드 '가로수', '도시숲'으로 자치법규 검색하여 검토

출처: 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. <https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EA%B0%80%EB%A1%9C%EC%88%98>(검색일자 : 2022.5.12.) ; 국가법령정보센터. (2022). 자치법규. <https://www.law.go.kr/ordinSc.do?menuId=3&subMenuId=27&tabMenuId=139&query=%EB%8F%84%EC%8B%9C%EC%88%B2>(검색일자 : 2022.5.12.) 참조하여 연구진 작성