기후변화 대응을 위한 자전거도로의 조성 방법론 연구

우철호[1], 김서현[1], 우경동[2], 정시원[1], 장유진[1]
[[1]고려대학교, [2]서울시립대학교]

1. 서론

많은 인구가 모여 효율과 기능을 추구하는 도시에서, 사람을 중심으로 한 지속가능한 도시로 전환을 위해 “15분 도시” 개념이 주목받고 있다. 15분 도시란 “일상생활에 필요한 서비스를 도보나 자전거를 통해 15분 이내에 접근할 수 있도록 도시공간을 조성하고, 도시 내 공원과 같은 녹지공간을 확보하여 탄소배출을 줄이는 녹색도시”를 말한다(Moreno. 2021).

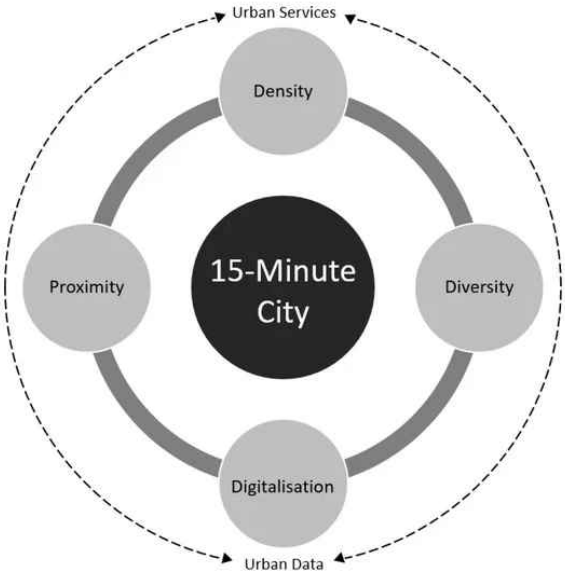

그림 1. 15분 도시 프레임워크 (Moreno. 2021)

프랑스 파리의 안 이달고 시장이 2020년 코로나19 팬데믹 당시 선거 공약으로 '15분 도시' 개념을 제시하면서, 이 개념은 전 세계적으로 주목받기 시작했다. 같은 해 7월, 전 세계 주요 40개 도시가 참여하는 ‘C40 기후리더십 그룹’에서도 기후위기 대응과 지속가능한 도시 회복 전략의 하나로 15분 도시를 공식적으로 채택했다. 이후 파리를 비롯해 호주의 멜버른, 스페인의 바르셀로나, 미국의 포틀랜드 등 여러 도시에서 15분 도시 개념을 적극 도입하며 도시 계획에 반영하고 있다. 한국에서도 서울특별시 도시계획에 ‘일상도보권’을 설정하고, 부산광역시가 ‘보행생활권’을 설정하여 15분 도시를 적용하고 있다.

기존의 15분 도시 연구와 정책은 도시 내 필수 기능을 정의하고, 해당 기능을 도보, 자전거, 대중교통을 활용해 15분 이내에 접근할 수 있도록 생활권을 설정하는 데 중점을 두어 왔다. 본 연구는 온실가스 배출이 없고 누구나 이용할 수 있다는 점에서 기후위기 대응과 지속가능성 회복에 핵심적인 역할을 할 수 있는 자전거도로에 주목한다.

「2050 서울시 탄소배출 제로를 위한 비전과 추진전략」(서울연구원, 2020)은 자전거 이용 활성화를 위한 탄소배출 저감을 목표로 하고 있다. 기후변화 대응을 위해 자전거 이용을 활성화하기 위해서는 안전한 자전거 이용 환경이 조성되어야 할 것이다. 그러나, 2018년 서울시민 1000명을 대상으로 자전거 관련 인식 평가를 조사한 결과, '자전거를 안전하게 탈 수 있는 환경이 조성되어 있다.'라는 설문에 66.8%가 '아니다'라고 답하였다. 또한, 서울환경운동연합(2020)에서는 자전거 이용에서 불편함을 겪는 사항에 대한 설문으로 자전거도로 없음이 1위(23.3%)로 조사되었다.

자전거의 교통수단 분담률이 증가된다면, 교통혼잡비용 감소, 유류비 감소 등으로 인한 경제적 효과를 이룰 수 있다. 교통 혼잡도를 나타내는 지표인 교통혼잡비용은 2018년 전국 평균이 6.6억 원/km이나, 서울특별시는 47.1억 원/km로 분석되며, 전국에서 가장 높은 수치를 기록하였다. 서울시 자전거도로 구축으로 수단 분담률이 5~10% 도달할 경우, 총 통행시간이 감소하여 교통개선 효과가 나타날 것으로 제시되었다.

자동차와 달리 자전거는 기상 상황에 의해 크게 제약을 받는다. 기후변화로 인한 폭염, 한파, 미세먼지 등의 환경적 요인은 자전거 이용을 크게 제약할 수 있으며, 특히 노령인구와 어린이 같은 취약계층에게 더 큰 영향을 미칠 수 있다.

이에 본 연구는 15분 도시를 효과적으로 구현하기 위해 기후변화에 적응할 수 있는 자전거도로 조성 방안을 탐색하고자 한다. 이를 위해 선행 사례를 조사하고, 공간정보 분석을 통해 자전거 인프라의 기후탄력적 설계 요소를 도출하며, 궁극적으로 정책적 제언을 제시하는 것을 목표로 한다.

2. 본론

1) 15분 도시 관련 해외 사례 조사 및 국내 현황 갭분석

(1) 해외 사례

① 프랑스 파리

프랑스 파리는 15분 도시 개념을 적극적으로 실현한 대표 사례로, 도시 내 이동 효율성과 생활 편의를 높이기 위해 녹색교통망과 다기능 공간 조성을 병행하고 있다. 파리시는 차량 중심의 도시 구조를 보행자와 자전거 중심의 친환경 교통체계로 전환하기 위해, 시가지 내 주차공간의 약 45%를 녹지공간, 보행공간, 자전거도로, 배송 차량 및 공유 자동차 전용 구역, 장애인 주차구역 등으로 전환하였다. 이에 따라 지상 공간의 자동차 점유율을 줄이고, 지하 주차장 이용을 유도하여 도시 공간의 효율성을 제고하였다.

또한 모든 도로에 자전거 전용 차선을 확대 설치하여 자전거 네트워크를 촘촘하게 구축하고, 차량과의 충돌을 방지하기 위해 자동차 운행 속도를 제한하는 등 교통 안전성 강화를 위한 제도적 조치도 병행하였다.

도시 공간 활용 측면에서는 단일 용도의 시설을 복합적·다용도 공간으로 전환하여 새로운 근린 서비스를 제공하고 있다. 예를 들어, 학교 운동장을 지역의 녹색공간으로 재정비하여 평일에는 학생들의 체육 공간으로, 주말과 방학 기간에는 지역 주민의 휴식 공간으로 개방하고 있다. 또한 학교의 유휴 외부 공간을 텃밭으로 활용해 급식용 농작물을 재배하며, 이를 통해 학생들이 유기농 도시농업과 건강한 식생활을 직접 체험할 수 있는 교육적 장을 마련하였다.

이와 함께 시민 참여를 활성화하기 위해 시민의 창구(Kiosque citoyen)를 조성·운영하고 있다. 이 공간에는 텃밭 녹지와 기부 상자 등이 설치되어 있으며, 시민들이 콘서트, 게임, 공동 그림 그리기 등 다양한 참여 활동을 할 수 있도록 모듈형 구조로 설계되었다. 이러한 공간은 지역 민주주의를 정착시키고, 시민의 자발적 행동과 공공 의사결정 참여를 촉진하는 역할을 수행한다.

파리의 정책은 녹색교통망 구축, 다기능 공간 조성, 시민참여 활성화를 통해 15분 도시의 핵심 가치인 '가까운 거리에서의 지속가능한 삶'을 실현하는 대표적 모범 사례로 평가된다.

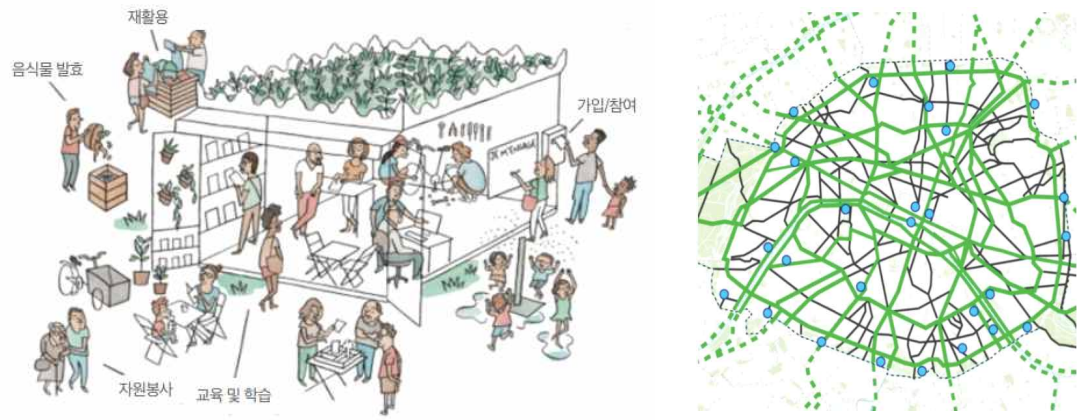

그림 2. 파리의 시민의 창구 및 녹색교통망 (부산연구원, 2023)

② 싱가포르

싱가포르는 「토지교통계획(Land Transport Master Plan) 2040」을 통해 교통 체계의 지속가능성과 생활 편의성을 높이는 도시 전략을 추진하고 있다. 이 계획은 25분 타운(Town)과 45분 도시(City)를 핵심 목표로 설정하여, 시민들이 출퇴근을 45분 이내에, 일상적인 주거·생활 활동을 20분 이내에 해결할 수 있는 이동 체계를 구축하는 것을 지향한다.

이를 위해 2030년까지 전체 가구의 80%가 10분 내에 철도역에 접근할 수 있도록 하는 교통 접근성 목표를 수립하였으며, 대중교통 중심의 도시 구조로의 전환을 적극 추진하고 있다. 이러한 접근은 도로 중심의 교통정책에서 벗어나 보행과 대중교통을 결합한 통합형 이동체계 구축에 초점을 맞추고 있다.

또한 기존 도로 공간을 보다 효율적으로 활용하기 위해 용도변경차선(Repurposed Lane) 제도를 도입하여 시범 운영 중이다. 이는 기존 도로 일부를 일방통행로로 전환하고, 확보된 공간을 보행로로 확장하는 방식이다. 이러한 시도는 보행 환경을 개선함과 동시에 도심 내 차량 통행량을 줄이고, 보행자 중심의 도시 공간을 조성하는 데 기여하고 있다.

싱가포르의 사례는 교통 계획과 도시계획을 통합적으로 설계하여 시간 기반 접근성을 정책의 중심에 둔 점에서 주목된다. 단순한 이동수단 확충을 넘어, 생활권 내 이동 효율과 품질을 향상시키는 방향으로 도시 구조를 재편함으로써, 15분 도시 개념의 실질적 구현에 가까운 시스템을 구축하고 있다.

그림 3. 싱가포르의 용도변경차선 (부산연구원, 2023)

③ 미국 포틀랜드

미국 오리건주 포틀랜드시는 2030년을 목표로 탄소배출 저감과 지역 간 생활 형평성 향상을 추진하기 위해 포틀랜드 기후행동계획(Portland's Climate Action Plan)을 수립하였다. 이 계획은 도시 내 이동 거리 단축과 지역 단위의 자급적 생활권 조성을 핵심 과제로 설정하여, 주민의 90%가 일상생활의 기본 요구를 걷거나 자전거로 충족할 수 있는 활기찬 이웃을 형성하는 것을 주요 목표로 제시하였다.

특히 포틀랜드시는 생활서비스 접근성이 낮은 취약 지역을 우선적으로 개선하고자 20분 네이버후드 지수를 개발하여, 커뮤니티 시설 및 각종 제품·서비스에 대한 접근성을 정량적으로 측정하였다.

이 지수는 대중교통 정류장, 상점, 카페, 자전거도로망, 토지 가치 등 다양한 생활 요소를 평가 기준으로 삼고 있으며, 각 요소에 등가중치를 적용하여 지역별 생활 접근성을 균형 있게 비교·분석하도록 설계되었다.

결과적으로 포틀랜드의 정책은 기후변화 대응을 단순한 환경 정책에 그치지 않고, 보행·자전거 중심의 생활권 구축과 지역 형평성 제고를 결합한 포용적 도시계획으로 발전시킨 사례이다. 이는 15분 도시 개념이 지향하는 지속가능성과 공평성의 원칙을 실질적으로 구현한 예시로 볼 수 있다.

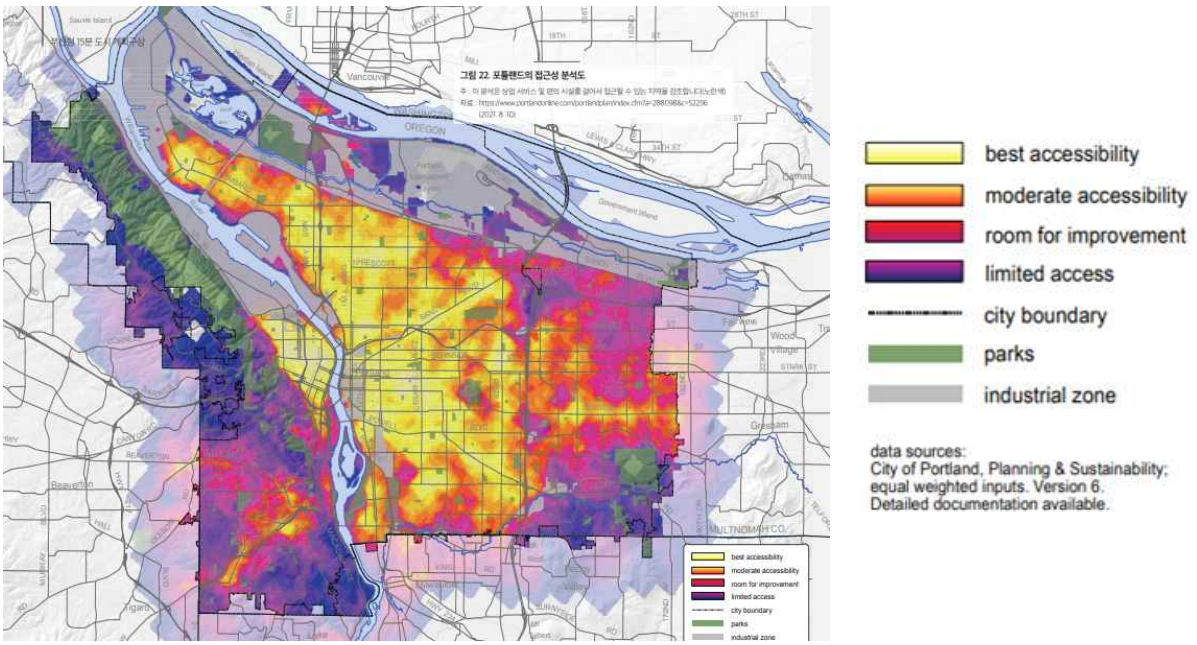

그림 4. 포틀랜드의 20분 네이버후드 지수 (부산연구원, 2023)

(2) 국내 사례 및 현황

① 부산형 15분 도시 계획 구상

부산연구원에서 발간한 「부산, 15분 도시 - 부산형 15분 도시 계획구상」 보고서에서는 15분 도시의 핵심 개념을 근접성, 다양성, 편재성 등 세 가지 요인으로 정의하였다. 근접성은 생활에 필요한 기초 시설이 주거지와 얼마나 가까이 위치해 있는지를 의미하며, 물리적 거리 기준으로 평가된다. 다양성은 생활과 관련된 잠재적 시설·공간 및 자원이 물리적·비물리적 측면에서 얼마나 풍부하게 존재하는지를 나타내며, 편재성은 인구를 기준으로 일상생활에 필요한 기초생활시설이 지역 내에 얼마나 고르게 분포하고 있는지를 의미한다.

보고서에서는 이 세 가지 요인을 정량화하기 위해 17개의 세부 지표를 개발하고, 이를 활용하여 부산시의 15분 도시 잠재성을 평가하였다. 분석은 국토지리정보원 국토정보플랫폼에서 제공하는 100m × 100m 격자 단위 총인구수 자료를 기반으로 수행되었으며, 시가지 지역을 중심으로 격자별 공간 분석을 실시하였다. 첫째로, 근접성 지표 분석에서는 주민이 거주지로부터 10대 기초생활시설에 접근할 수 있는 공간적 범위를 측정하였다. 10대 기초생활시설은 주거, 이동, 휴식, 운동, 학습, 상업, 문화, 노동, 의료, 돌봄의 열 가지 영역으로 구성되며, 일상생활의 기본 활동을 포괄한다. 다양성 지표 분석은 필지의 지목과 건물의 개수 및 높이 등 물리적 조건을 활용하여 도시공간의 물리적 다양성을 평가하였으며, 편재성 지표 분석은 10대 기초생활시설의 공간적 분포 양상을 파악하여 생활시설의 균형적 배치 정도를 진단하였다.

표 1. 부산 15분 도시 잠재성 평가 사용 지표 (부산연구원, 2023)

3가지 지표	지표 설명	세부 지표		측정 방법
근접성	기초적인 생활 시설이 시민 삶 속에서 얼마나 가깝게 위치하고 있는가?	최소보행권 공공생활 시설		셀 중심에서 반경 250m 내 공공생활시설수
		근접보행권 공공생활 시설		셀 중심에서 반경 500m 내 공공생활시설수
		최대보행권 공공생활 시설		셀 중심에서 반경 1000m 내 공공생활시설수
다양성	얼마나 다양한 것들이 시민 삶 속에 풍부하게 있을 가능성이 있는가?	필지(지목)		(수식)
		건물(개수)		
		규모(건물높이)		
		용도(건물용도)		
편재성	생활시설 및 공간이 누구나 어디에 살더라도 고르게 분포되어 있는가?	주거(주거건축 연면적)		셀별 주거건축연면적/거주자수
		이동	자동차(도로)	셀별 도로면적/거주자수
			대중교통(지하철 및 버스정류장 역)	셀별 역개수(개)/거주자수
		휴식(모든 공원 포함)		셀별 시설바닥면적/거주자수
		운동(공공 생활체육시설)		셀별 시설바닥면적/거주자수
		학습(도서관, 유치원, 초등학교)		셀별 시설연면적/거주자수
		상업(소매점, 생활편의시설)		셀별 시설연면적/거주자수
		문화(전시공연시설 등)		셀별 시설연면적/거주자수
		노동(상업지역, 공업지역 면적)		셀별 상업 및 공업지역 용도지역 면적/거주자수
		의료(기초의료시설, 의료시설, 보건소)		셀별 시설연면적/거주자수
		지원(돌봄시설, 마을노인 복지시설, 어린이집)		셀별 시설연면적/거주자수

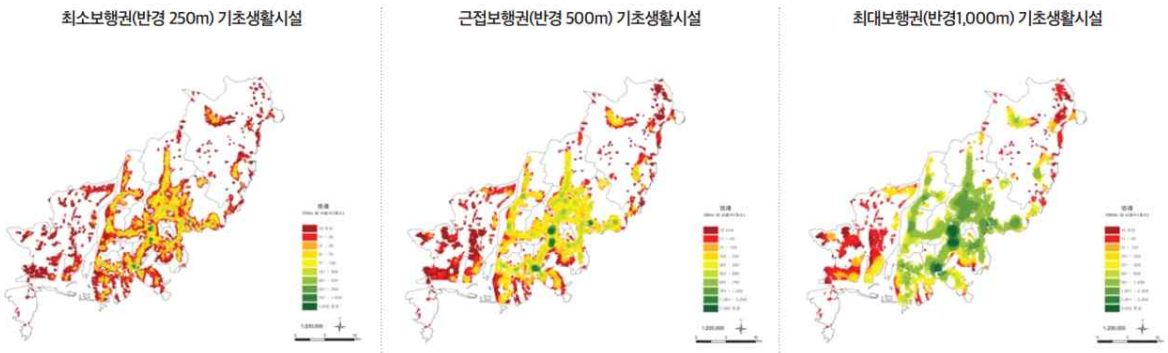

그림 5. 근접성 지표 분석 결과 (부산연구원, 2023)

또한 보고서에서는 정량적 분석 결과를 토대로 9가지 도시 유형을 분류하고, 각 유형별 지역 주민의 삶의 질과 요구사항을 정성적으로 검토하였다. 이를 통해 기본 가이드라인에 근거한 진단 지표의 개발 및 적용 방안을 제시하며, 향후 부산형 15분 도시 실현을 위한 기초자료로서의 활용 가능성을 제시하였다.

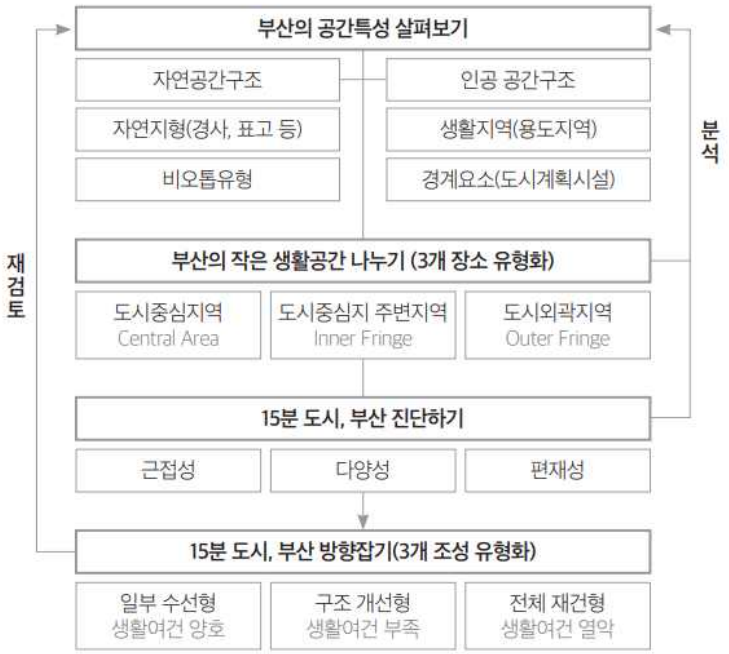

그림 6. 유형화 단계 (부산연구원, 2023)

② 2040 서울도시기본계획 - 보행생활권

서울특별시의 「2040 서울도시기본계획」은 도시 전반에 보행생활권 개념을 통합 적용한 종합 계획으로, 전략계획·부문별계획·공간계획 및 생활권계획 전 영역에서 보행 중심의 도시 구조를 지향하고 있다. 계획에서는 30분 도보권을 보행권의 기본 단위로 설정하였다. 이는 일반적인 성인의 평균 보행 속도를 기준으로, 약 15분당 1km 이동을 전제로 할 때 30분은 2km 이동 반경에 해당한다. 생활권별 접근성이 우수한 입지를 중심으로 지역복합커뮤니티 시설을 조성하고, 해당 시설 내에 주거·창업·문화·복지 등 다양한 생활 기능을 집적화하도록 계획하였다. 이는 단일 기능 중심의 공간에서 벗어나, 생활 밀착형 복합공간을 통해 주민의 생활 편의성을 높이려는 목적을 가진다. 도시 중심지의 교통 결절점은 보행 네트워크와 유기적으로 연계되도록 계획되어 있으며, 이를 통해 대중교통 간의 연결성과 환승 효율을 높이고 교통 결절점을 중심으로 한 복합 기능이 보행을 기반으로 활성화되도록 유도한다. 또한 중심지 인근의 수변 공간을 여가·관광 기능과 연계하여 활용함으로써 시민의 휴식 및 여가 활동 기회를 확충하고, 이에 대한 보행 접근성 강화를 병행하였다.

이성근&최민아(2023)는 파리 15분 도시 계획과 2040 서울도시기본계획의 보행생활권 계획 간의 특성을 비교하였다. 첫째로 공간 계획의 규모이다. 파리의 15분 도시계획은 약 1km 범위를 공간 단위로 설정하고 있으며, 이는 일반적인 도시계획에서 적용되는 도보권 개념과 유사하다. 서울의 보행일상권 계획은 약 2km 범위를 기준으로 설정하여, 파리에 비해 상대적으로 넓은 공간적 범위를 대상으로 하고 있다. 두 번째로, 공간 계획의 대상이다. 파리의 계획은 학교, 동네상점, 공원, 지역유휴 공간 등 일상적 공간을 주요 대상으로, 소규모 시설 및 도시공간을 중심으로 적용한다. 반면 서울의 계획은 도심, 지역중심, 수변, 교통인프라, 주거지, 물류 시설 등 도시계획에 다루는 대부분의 공간적 요소를 대상으로 한다. 그러나 도시기본계획은 지구단위계획과 같이 실제 필지단위의 허용 용도 등을 제시하지 않는 제도적 성격을 지니므로, 파리 15분 도시계획에서 실현하는 공간 단위 사업의 내용을 제시하지는 않는다. 마지막으로, 공간계획의 성격이다. 파리의 계획에서는 시민참여 기획, 계획수립, 프로그램 운영 등 민간과의 협력이 주요한 의미를 지닌다. 기존의 도심지역 구조를 재편하거나 입체복합개발을 지향하는 개발사업의 성격이 아닌, 근린중심 지역의 가치를 제고한다. 따라서 파리의 15분 도시 계획은 시민 중심의 지속가능하고 기회균등한 도시계획의 수단으로써 도시 공간에 작용한다. 반면 2040 서울도시기본계획은 법정계획으로, 도시에 대한 종합적 계획 방향을 제시하는 성격을 지닌다. 이는 계획에서 제시

된 보행생활권 개념 및 방향이 도시 공간에 구현되기 위해서는 타 법정계획 및 개별 사업(지구단위계획, 시설 및 사업 계획 등)을 통해 실현되어야 함을 의미한다. 또한 파리 15분 도시계획의 시민 참여적 성격을 서울도시기본계획에서는 찾아볼 수 없다. 따라서 계획 및 사업의 기획, 계획, 조성, 운영에 지속적으로 시민과 민간이 참여하고 시민주도적으로 도시를 운영할 수 있는 제도적 방안 마련이 요구된다.

2) 도시 기후변화 영향 요인

(1) 폭염

폭염은 기온이 평년에 비해 높은 상태가 지속되는 것을 의미하며 구체적인 기준은 국가별 특성에 맞춰 설정된다. 기상청의 폭염 특보 기준은 일최고기온을 기준으로 하였으나, 2023년부터 체감온도를 기준으로 변경되었다.

표 2. 기상청 폭염특보(경보·주의보) 발표 기준

구분	주의보	경보
폭염	폭염으로 인하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 ① 일 최고 체감온도 33℃ 이상이 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ② 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 중대한 피해가 예상될 때	폭염으로 인하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 ① 일 최고 체감온도 35℃ 이상이 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 ② 급격한 체감온도 상승 또는 폭염 장기화 등으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때

기상청의 체감온도 산정식은 아래와 같다.

$$\text{체감온도} = -0.2442 + 0.5399\,T_w + 0.45535\,T_a - 0.0022\,T_w^2 + 0.00278\,T_w\,T_a + 3.0$$

$$T_w = T_a \tan^{-1}[0.151977(RH + 8.313659)]^{1/2} + \tan^{-1}(T_a + RH) - \tan^{-1}(RH - 1.67633) + 0.00391838\,RH^{3/2}\tan^{-1}(0.023131\,RH) - 4.686035$$

2018년 여름 전국 평균 최고기온과 폭염일수는 1973년 이후 역대 2위를 기록하며 폭염의 심각성을 인식하는 계기가 되었다(기상청, 2018). 2018년 온열질환자는 4,524명, 온열질환 사망자는 48명에 이르렀다(질병관리본부, 2018). 2025년에도 8월까지 누적 온열질환자 수가 3,815명, 사망자 23명으로 같은 기간 누적 온열질환자 수 2위를 기록하며 중요한 사회적 문제로 대두되고 있다.

폭염으로 인한 건강 영향을 평가하기 위해 PET(Physiologically Equivalent Temperature), UTCI(Universal Thermal climate Index), WBGT(Wet-bulb Globe Temperature) 등 다양한 열스트레스 평가 지표가 개발되어 연구에 활용되고 있다. WBGT는 습구흑구온도로도 불리는 온열환경지표로써, 건구, 습구, 흑구 온도 값을 이용하여 대기온도와 습도, 바람, 복사열 등을 종합적으로 고려한다. 국내 연구에서는 여름철 도로변 WBGT 측정기기를 이용하여 보행공간의 열 쾌적성을 평가한 결과, 항상 햇빛에 노출되는 지점은 WBGT가 31도를 초과하여 '보행 부적합 수준'으로 평가되었으나, 가로수 그늘 지역은 활동이 가능한 수준인 WBGT 28~31도 범위에 해당하여 가로수를 통한 폭염 영향 저감 효과를 확인하였다(안동만 외, 2022).

(2) 홍수

홍수는 전 세계적으로 가장 많이 발생하는 자연재해이며 한국에서도 피해액이 가장 많은 자연재해이다. 홍수는 크게 하천이 범람하는 외수 범람과 배수 체계 불량에 따른 내수 범람으로 구분된다. 한국에서 홍수는 여름철 북태평양 고기압에 따른 장마와 집중호우로 인해 주로 발생한다.

기상청의 호우 특보 발령 기준은 3시간 누적 강우량 또는 12시간 누적 강우량을 기준으로 설정된다.

표 3. 기상청 호우 특보(경보·주의보) 발표 기준

구분	주의보	경보
호우	3시간 누적강우량이 60mm 이상 예상되거나 12시간 누적강우량이 110mm 이상 예상될 때	3시간 누적강우량이 90mm 이상 예상되거나 12시간 누적강우량이 180mm 이상 예상될 때

하천 범람원 내 자전거도로는 폭우 시 침수로 인한 통행 제한뿐만 아니라 복구 기간 동안 장기간 통제로 인해 녹색 교통망의 기능을 상실할 우려가 있다. 투수성 포장, 빗물정원과 같은 그린인프라는 개발로 인해 불투수율이 높은 도심지역에서 빗물을 흡수하고 저장하는 역할을 수행하여 효과적으로 홍수 위험을 완화할 수 있다(US EPA, 2025).

(3) 한파

한파는 지표 온도의 급격한 강하와 낮은 온도의 지속성으로 정의되며, 구체적인 기준은 국가별·지역별로 차이가 있다(채여라 외, 2018). 한파와 관련된 기상현상으로 대설과 강풍이 있으며, 기상청의 특보 발령 기준은 아래와 같다.

표 4. 기상청 한파 특보(경보·주의보) 발표 기준

구분	주의보	경보
공통	10월 ~ 4월 사이의 기간에	
조건 1	아침 최저기온이 전날보다 10℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때	아침 최저기온이 전날보다 15℃ 이상 하강하여 3℃ 이하이고 평년값보다 3℃가 낮을 것으로 예상될 때
조건 2	아침 최저기온이 -12℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때	아침 최저기온이 -15℃ 이하가 2일 이상 지속될 것이 예상될 때
조건 3	급격한 저온현상으로 중대한 피해가 예상될 때	급격한 저온현상으로 광범위한 지역에서 중대한 피해가 예상될 때

표 5. 기상청 대설 및 강풍 특보(경보·주의보) 발표 기준

구분	주의보	경보
대설	24시간 동안 내려 쌓인 눈의 양이 5cm 이상 예상될 때	24시간 동안 내려 쌓인 눈의 양이 20cm 이상 예상될 때 단, 산지는 24시간 동안 내려 쌓인 눈의 양이 30cm 이상 예상될 때를 말함
강풍	육상에서 풍속 14m/s 이상 또는 순간풍속 20m/s 이상 예상될 때 단, 산지는 풍속 17m/s 이상 또는 순간 풍속 25m/s 이상 예상될 때를 말함	육상에서 풍속 21m/s 이상 또는 순간풍속 26m/s 이상 예상될 때 단, 산지는 풍속 24m/s 이상 또는 순간 풍속 30m/s 이상 예상될 때를 말함

한파로 인해 보행로 또는 자전거도로 결빙이 발생할 경우 낙상사고 발생 위험이 크게 높아진다. 눈이나 얼음이 덮인 조건에서 보행 시 다른 기상 조건에 비해 낙상 위험이 32배까지 높아질 수 있다(Bärwolff, M., & Gerike, R., 2024). 도로 열선은 강설 시 노면을 녹여 사고 예방에 효과적이고 염화칼슘과 같은 제설제 사용을 줄여 환경친화적이라는 장점이 있으나, 100m 당 1억 원에 달하는 높은 설치 비용이 단점이다(김우영, 2024)

강풍 또한 자전거 이용 시 차선 이탈이나 전복 사고를 유발할 수 있다. 자전거 주행 방향과 수직으로 부는 측풍은 자전거의 안정성과 조종성에 상당한 영향을 미칠 수 있다(Schwab, A.L., 2018).

3) 자전거도로 설치기준

(1) 수요

자전거는 높은 인구 밀도의 도시에서 틈새 교통수단의 역할을 효과적으로 할 수 있다. First-Last Mile 연구에 따르면, 자전거는 인구 밀도가 높은 주거지역에서 수요가 높다(한재원 외, 2022). 특히, 서울의 경우 따릉이가 First-Last Mile을 효과적으로 이동할 수 있는 틈새 교통수단 역할을 하고 있으며, 서울시민 3명 중 1명이 따릉이 회원으로 조사되어 높은 이용량을 보인다. 따라서, 본 연구에서는 서울시 동별 인구 밀도와 따릉이 대여 수 통계자료를 이용하여 수요를 파악하였다.

(2) 연결성 및 연계성

자전거도로는 타 교통수단과의 연계성을 고려하여 설계되어야 한다. 「2050 서울시 탄소배출 제로를 위한 비전과 추진전략」(서울연구원, 2020)은 대중교통으로 환승하고자 하는 이용자들을 위한 공공 자전거, 자전거 주차시설 설치 등 다른 수단으로의 연계성을 고려한 설계가 이루어져야 함을 제시한다. 따라서, 본 연구에서는 지하철과 자전거 간의 연계성을 고려하여 자전거도로를 지정하였다.

(3) 사고 발생률

자전거도로 여부에 따라 사고 발생의 빈도와 심각성은 달라질 수 있다. 행정안전부(2017)은 자전거 사고가 비자전거도로에서 98.7%, 자전거도로에서 1.3% 발생한다고 밝혔다. 치사율의 경우, 비자전거도로에서 1.81%, 자전거도로에서 0.77%로, 비자전거도로에서 사고가 발생할 경우, 치사율이 약 2.35배 증가함을 확인할 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 자전거 사고 및 사망사고 지점을 고려하여 자전거도로를 지정하였다.

(4) 경사도

설문조사 결과, 편리성 부문에서 낮은 경사도가 가장 영향력이 높은 항목이며, 경사도의 경우 안전사고와 이어질 수 있으므로 자전거도로 지정에 있어 고려가 필요하다. 국토교통부는 「자전거 이용시설 설치 및 관리 지침」에서 5%를 초과하는 오르막 경사는 자전거 운전자에게는 바람직하지 않으며, 비포장 자전거 전용도로에서는 3%를 초과하는 경사가 바람직하지 않다고 명시하고 있다. 분석 대상인 서울특별시의 경우 계획도시와는 달리 경사가 많이 존재하는 지형을 가지며, 본 연구에서는 보수적으로 7%의 경사도를 기준으로 그 이상의 경사도는 자전거도로에서 배제하였다.

4) 공간분석 결과

(1) 지표별 표준화 및 공간화

자전거도로의 수요, 연결성 등을 고려하여 인구 밀도, 지하철 이용객 수, 사고 지점, 따릉이 대여 수를 지표로 선정하였다. 각 지표는 4단계로 나누어 버퍼마다 0~100점의 점수를 부여하였으며, 부여된 점수의 평균치를 구하여 높은 점수를 보이는 구간에 자전거도로 신설을 제시하였다. 또한, 서울시 경사도

자료를 활용하여 자전거도로 설치가 어려운 지역은 배제하였다.

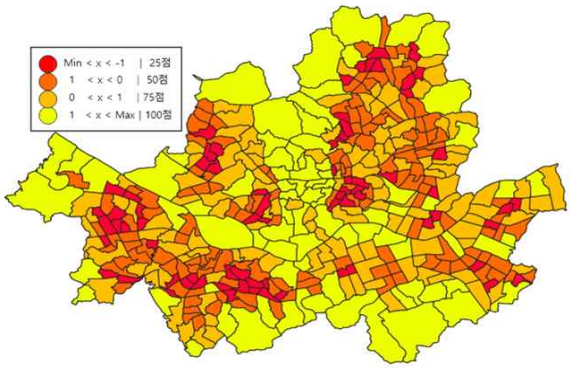

그림 7. 서울시 동별 인구 밀도

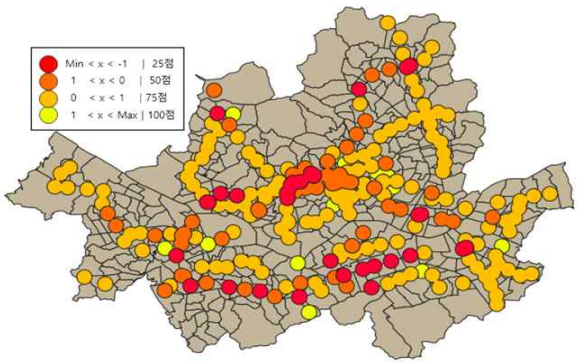

그림 8. 서울시 지하철 이용객 수

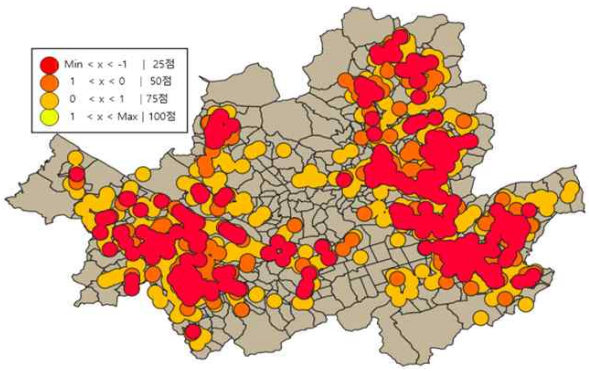

그림 9. 서울시 자전거 사고 지점

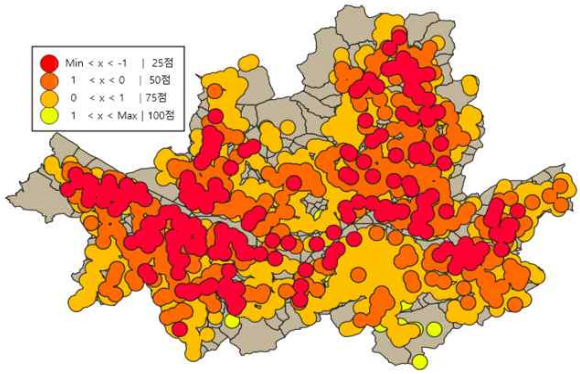

그림 10. 서울시 자전거 이용량

① 서울시 동별 인구 밀도

2020년 서울시 동별 인구 밀도를 확인한 결과, 285~57,502명까지 동별 인구의 큰 차이를 보였다(그림 7). 해당 범위를 구간별로 4등급으로 분류하였으며, 자전거도로 선정에 있어 하나의 요소로 활용하였다.

② 서울시 지하철 이용객 수

2020년 연평균 서울시 지하철 이용객 수를 확인한 결과, 660,069~51,324,869명으로 지하철역마다 이용객 수의 차이를 보였다(그림 8). 해당 범위를 구간별로 4등급으로 분류하였으며, 자전거도로 선정에 있어 하나의 요소로 활용하였다.

③ 자전거 사고 지점

2012~2020년 시기 자전거 사고 4건 이상 또는 사망사고 3건 이상 발생한 지점을 확인하였다(그림 9). 반경 200m 내에서 사고가 발생한 건수는 최대 17건으로 확인되었으며, 해당 범위를 구간별로 4등급으로 분류하여 사고 발생 빈도가 높은 지역을 고려하였다.

④ 자전거 이용량

2020년 7월을 기준으로 따릉이 대여 수를 확인한 결과, 5~15,613대까지 이용량에 큰 차이를 보였다(그림 10). 해당 범위를 구간별로 4등급으로 분류하였으며, 자전거도로 선정에 있어 하나의 요소로 활용하였다.

(2) 지표 종합 결과

서울시 동별 인구 밀도, 서울시 지하철 이용객 수, 자전거 사고 지점, 자전거 이용량의 정규화 결과를 종합하여 점수화하였다. 평균 점수가 93.8점 이상인 지역의 경우, 이미 자전거도로가 존재하였으며, 평균 점수 87.5점 이상 93.8점 이하인 동대문역 근방이 자전거도로 필요 지역으로 도출되었다(그림 11). 평균점수 81.3점 이상 87.5점 이하인 지역 중에서는 중랑천, 홍대입구역, 보라매역, 까치산역 근방이 자전거도로 필요 지역으로 도출되었다(그림 12).

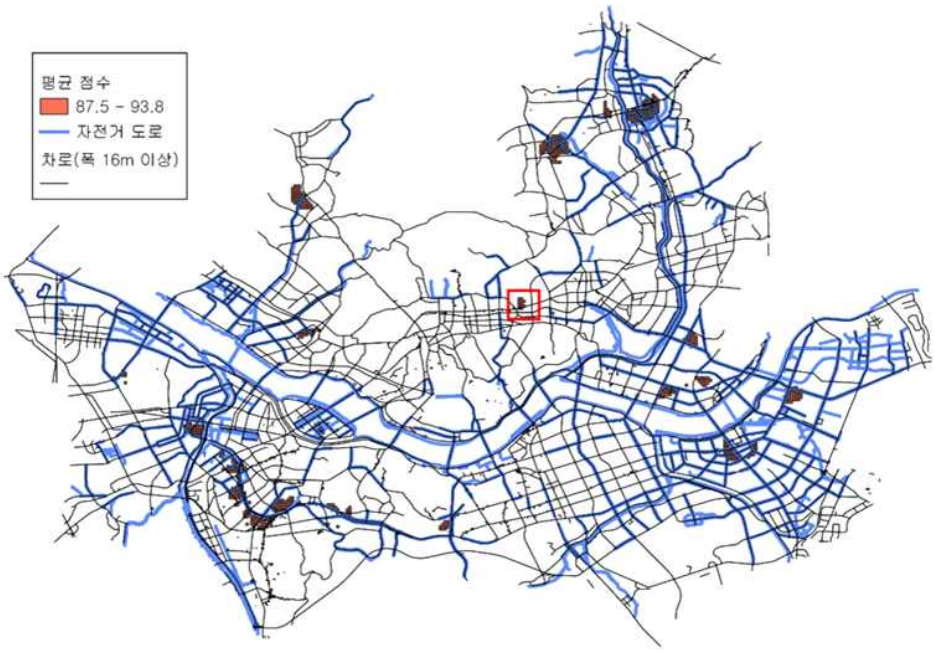

그림 11. 자전거도로 필요 지역 (평균 점수 87.5~93.8)

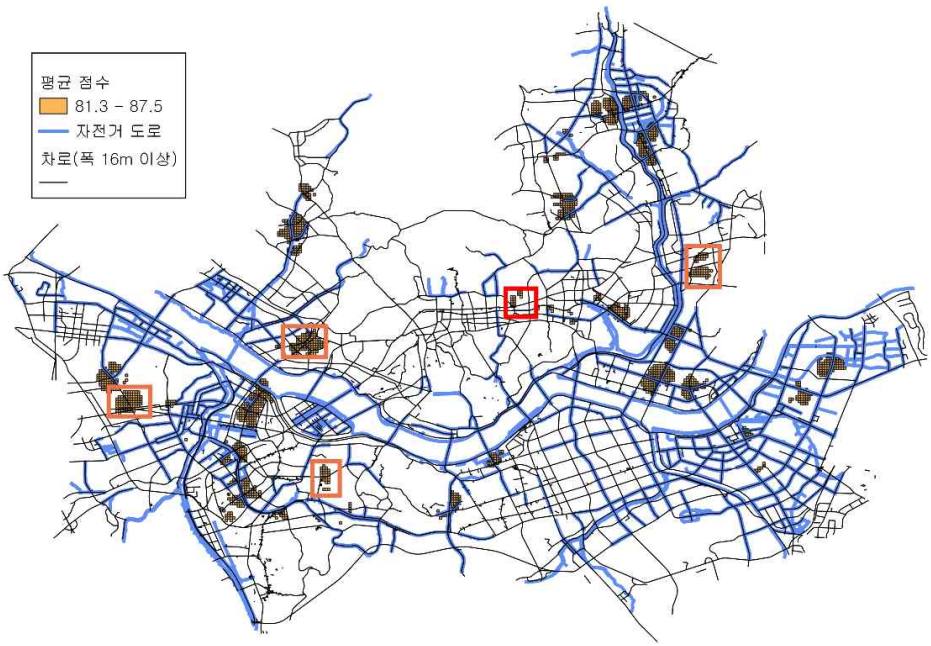

그림 12. 자전거도로 필요 지역 (평균 점수 81.3~87.5)

5) 기후요인(폭염)을 고려한 자전거도로

(1) 기후요인(폭염)의 고려 필요성

많은 도시들에서 15분 도시 개념을 적용한 자전거도로의 중요성을 인식하고, 도시 경관을 재설계하고 있다. 위에서 선정한 서울시의 자전거도로 우선 구축 후보지는 유동인구, 경사도, 대중교통 접근성을 기반으로 선정되었으나, 최근에는 기후변화로 인한 폭염에 따른 건강피해 및 이동행태의 변화가 뚜렷해지는 만큼 폭염에 대한 고려를 추가적으로 반영할 필요가 있다. 폭염과 같은 극한 기상 현상은 교통수단 선호도에 영향을 미치고, 특히 자전거와 같은 비동력 운송수단의 이용에 크게 영향을 미칠 수 있다(Cao et al., 2024). 폭염은 열쾌적성을 저하시키고, 탈수 및 탈진, 열사병과 같은 건강 위험으로도 이어질 수 있어 자전거 이용을 저해할 수 있는 요인이 된다(Wang et al., 2024) . 실제로 선행연구에 따르면, 폭염이 발생하는 기간동안 공유 자전거의 사용이 전반적으로 감소하는 것을 확인했으며, 특히 폭염 시기의 낮 시간대에 공유 자전거 사용이 크게 감소하였다(Li et al., 2024).

서울시 역시 폭염일수가 증가하는 추세에 있으며, 매년 온열질환자 및 사망자가 발생하고 있다. 서울시 온열질환 응급실 감시체계 운영 결과에 따르면, 2025년 온열질환자는 총 85명으로 지난 해 27명대비 약 3배 이상 급증하였다. 특시 서울시의 온열질환자 발생 장소, 시간대, 연령대는 전국적인 양상과 차이를 보였는데, 서울에서의 온열질환은 실외작업장보다 길가, 운동장, 공원 등 야외 여가 공간에서 더 많이 발생하였으며 청장년층이 노년층보다 더 많은 비율을 보였다. 이러한 결과로 인해 서울시에서는 운동여가를 위한 신체활동시에도 온열질환이 발생할 위험이 높음을 강조한 바 있다(서울특별시, 2025). 이처럼 서울시는 타 도시에 비해 청장년층의 운동 및 야외 여가로 인한 온열질환자가 많은 추세이다. 자전거도로 또한 운동 및 야외 여가와도 밀접한 관련이 있는 시설로서, 폭염에 대한 고려 및 대응방안이 필요하다.

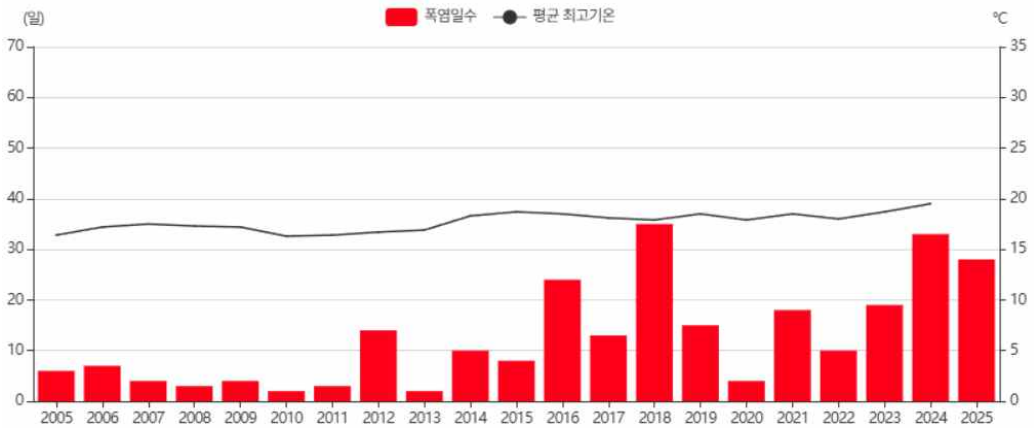

그림 13. 서울시 2005년~2025년 폭염일수 (출처: 기상청 기상자료개방포털)

표 7. 2025년 전국 대비 서울시 온열질환자 발생 양상 (출처: 서울특별시)

구분	발생수	발생장소					연령대		
		길가	운동장·공원	실외 작업장	논밭·산	그 외	30~49세	65세 이상	그 외
서울	85명	45	14	11	1	14	39	14	32
	100%	53%	17%	13%	1%	16%	46%	16%	38%
전국	977명	131	73	253	196	324	252	327	398
	100%	13%	8%	26%	20%	33%	26%	33%	41%

(2) 자전거도로 기후요인(폭염) 대응 방안 제시

도시 폭염에 대응하기 위한 그린 인프라와 블루 인프라 등 다양한 대응 방안들이 제시되고 있다. 특히 녹지의 배치, 규모, 연결성 및 수역의 형태와 접근성, 토지피복 등 공간구조가 기온 및 체감온도에 영향을 주는 것으로 나타난다. 이러한 폭염 완화 인프라는 도시 내 자전거 이용의 쾌적성 및 안전성과도 직결된다. 폭염에 대한 회복력이 낮은 지역의 인프라 개선은, 사용자 경험을 향상시키고 지속적인 자전거 이용을 장려할 수 있다(Wang et al., 2024).

① 그늘 제공 - 그린 인프라

그늘은 실외 열 환경에 영향을 미치며, 가로수 등이 제공하는 자연적 그늘과 건물이 제공하는 인공 그늘이 결합되면 자전거도로의 열쾌적성을 개선할 수 있다(Young et al., 2022). Cao et al.(2024)는 거리의 그늘 정도를 정량화하는 그늘 지수(Shade Index)를 통해 자전거도로의 그늘 수준을 평가하여, 그늘진 자전거도로 지도를 제공하였다. 또한 가로수와 같은 그린 인프라와 자전거도로를 통합함으로써 도지지역의 녹지 거주성을 통합적으로 향상시킬 수 있도록 하였다.

그림 14. 암스테르담 자전거도로의 그늘 지수 및 실제 사이트(Cao et al., 2024)

Nawrath et al.(2019)는 거리 경관의 녹화와 자전거 이용 행태간의 관계를 연구하였다. 도시 거리 경관의 다양한 녹화 수준과 자전거 인프라를 결합하여 설문조사를 실시한 결과, 대부분의 응답자는 자전거 이용 시 녹색 거리를 선호했다. 결론적으로 도시 경관의 그린 인프라는 지속 가능한 교통수단인 자전거 이용을 지원하는 데 영향을 미친다고 하였다.

이처럼 가로수와 공원의 나무 등 도시 그린 인프라는 자전거도로에 그늘을 제공하여 열쾌적성을 개선하고, 사용자의 선호도를 증가시키는 역할을 한다. 도시 설계 시 지속가능한 교통수단을 지원하는 자전거도로와, 가로수와 같은 그린인프라를 통합적으로 고려하여 설계한다면 기후 회복력이 높은 15분 도시 설계를 지원할 수 있을 것이다.

② 블루 인프라

수역과 같은 블루 인프라와의 인접성 역시 도시 폭염 완화에 중요하다. Li et al.(2024)에 따르면, 수역이 있는 지역이 자전거 이용에 있어 더 높은 회복력을 보이는 것으로 나타났다. 수변 지역과 같이 미기후가 양호한 지역에 자전거 정거장 및 자전거도로를 배치하면, 열쾌적성을 향상시켜 폭염 기간동안에도 자전거 이용의 회복력을 강화할 수 있다. Pan et al.(2023)은 자전거도로를 따라 지표 근처 열 환경의 시간적, 공간적 변화를 조사하였으며, 그린 인프라와 블루 인프라가 실외 열 환경 개선에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

③ 도로 포장

도로 포장면은 열을 흡수하여 재료 자체의 온도와 주변의 공기 온도까지 높일 수 있다. 도로 포장면에서 재방출되는 열은 자전거 이용자의 열쾌적성을 감소시키는 요인이 된다. 따라서 자전거도로의 열 완화를 위해 다양한 도로 포장재를 적절히 활용하는 전략이 필요하다. 자전거도로의 포장에 열 반사 코팅(heat-reflective coating)을 적용하면, 포장면의 반사율을 높아 복사열과 재료 온도를 낮출 수 있다. 이러한 코팅은 색소 외에 고분자 등 기타 첨가제를 포함하며, 온도변화에 따라 색이 바뀌는 특성을 가진다. 또한 내열성 아스팔트 혼합물(thermal-resistant asphalt mixtures)을 사용하면 도로 포장면의 오도를 낮출 수 있다. 투수성 포장(permeable pavement)는 도로 표면 공극으로 스며든 물의 증발을 촉진시켜, 표면온도를 낮추는 역할을 한다. 다만 이 경우 공극이 막히지 않도록 하는 퇴적물 제거 및 관리가 필수적이다(U.S. Dept. Transportation, 2023).

3. 결론

1) 정책 및 제도적 측면에서의 고려사항

정책 및 제도적 측면에 관한 실무 자문을 환경부 사무관에게 요청하였으며, 이를 바탕으로 관련 고려사항을 도출하였다.

첫째, 기후변화 적응 중심 연구에서는 관련 부처의 소관 영역과 연구의 초점 부문을 명확히 설정할 필요가 있다. 기후변화 '적응'과 '방재'는 제도적으로 구분되어 있으며, 각각의 관점과 책임 주체가 상이하다. 방재 및 재난관리는 행정안전부, 도시계획 및 시설은 국토교통부, 환경시설은 환경부의 소관으로 구분된다. 따라서 연구 결과가 실제 정책이나 시설로 실현되는 과정까지 고려할 필요가 있으며, 시설 도입 시 부처 간 협업 구조의 마련이 중요하다.

둘째, 15분 도시 개념의 적용에서는 '수요 기반' 접근이 중요하며, 신규 도시보다는 기존 대도시에서의 실현 가능성이 높다. 직주근접성과 상권 밀집도를 활용해 사람들의 이용을 유도할 수 있으나, 단순한 기후 적응만으로는 충분한 유인을 확보하기 어렵다. 따라서 안전성, 편리성, 매력도 등 다양한 요소를 통합적으로 고려한 공간 설계가 요구된다. 아무리 우수한 공간이 조성되더라도 실제 이용이 이루어지지 않으면 정책적 효과가 제한적이므로, 일상적으로 시민이 자발적으로 이용할 수 있는 공간으로 유도하는 것이 중요하다. 이는 연구 설계 단계에서 실제 '대상지'뿐만 아니라 '대상자'를 함께 고려해야 함을 의미한다. 또한 도보 이용자의 관점에서 경관적 요소 및 경관 통제점의 중요성이 강조된다.

셋째, 도시의 토지이용은 단일 기능보다는 다양한 기능을 수용할 수 있도록 유도하는 방향이 바람직하다. 기능이 중복된 분산형 시설의 배치는 도시의 회복력을 강화하는 데 기여할 수 있다

2) 정책적 제언 및 결론

본 연구는 15분 도시의 구현을 자전거도로의 관점에서 해석하여, 기후변화 대응을 위한 자전거도로의 조성 방법론을 연구하였다. 해외 주요 도시의 15분 도시 사례를 검토하고, 이를 토대로 서울시를 대상으로 수요, 연결성, 안전, 지형 요인을 결합한 공간 분석을 수행하여 자전거도로 우선 구축 후보지를 도출하였다. 또한, 폭염과 같은 기후요인을 추가적으로 고려하여, 자전거 인프라의 기후탄력적 설계 요소를 제안하였다.

15분 도시를 효과적으로 구현하기 위해서는 단순히 자전거도로의 양적 확충에 그치지 않고, 안전하고 기후적응적인 자전거 이용 환경을 구축하는 것이 중요하다. 자전거도로는 기본적으로 이용 수요와 교통 연계성, 안전성 등을 기반으로 하되, 도심 내 가로수 식재를 통한 그늘 확보, 수변 공간(블루 인프라)과의 연계성 강화, 쿨포장 및 투수성 포장재 적용 등 폭염 완화를 위한 물리적 설계요소를 함께 포함해야 한다. 이러한 기후탄력적 설계는 이용자의 열쾌적성을 높이고, 폭염 시기에도 자전거 이용을 지속할 수 있도록 지원한다.

정책적으로는, 서울시가 실제 자전거 이용 수요, 대중교통 접근성, 안전사고 발생 지역, 지형 특성을 종합적으로 고려한 자전거도로 구축계획을 수립하고, 여기에 기후적응 요소를 통합하는 것이 필요하다. 나아가, 해외 선진 도시들이 추진하는 것처럼 시민 참여형 계획 수립과 도시 공간의 다기능적 활용을 확대하여, 자전거도로를 단순한 교통 인프라가 아닌 생활 기반의 복합적 공공공간으로 발전시킬 필요가 있다.

다양한 도시·기후·사회적 요소를 반영한 자전거도로 구축은 “가까운 거리에서의 지속가능한 삶”이라는 15분 도시의 핵심 가치를 실현하는 중요한 기반이 될 것이다. 안전하고 쾌적하며 누구나 접근 가능한 자전거도로는 기후변화 시대의 새로운 도시 설계 전략의 하나로서, 폭염 등 극한 기후 속에서도 시민이 일상적인 이동과 여가활동을 지속할 수 있는 회복력 있는 도시로 나아가는 실질적 해법이 될 것이다.

참고문헌

국내문헌

- 국토교통부, 2022, 자전거 이용시설 설치 및 관리지침
- 기상청, 2018, “2018년과 1994년 폭염 비교”, 2018년 08월 17일
- 부산연구원. (2023). 「부산, 15분 도시 - 부산형 15분 도시 계획구상」(정책보고서 1812호). 부산: 부산연구원.
- 서울특별시. (2021). 「2040 서울도시기본계획」. 서울: 서울특별시
- 안동만, 이재원, 김보람, 윤호선, 손승우, 최유, 이나래, 이지영, & 김혜령. (2013). 도심 가로 녹음의 습구흑구온도(WBGT) 측정을 통한 보행자 열쾌적성 효과 분석. 한국조경학회지, 41(3), 22 - 30. https://scispace.com/pdf/an-analysis-of-thermal-comforts-for-pedestrians-by-wbgt-5d5o7u3skm.pdf
- 유정민, & 김정아. (2020). 2050 서울시 탄소배출 제로를 위한 비전과 추진전략. 정책리포트, 1-24.
- 이성근 and 최민아. (2023). 파리 15분 도시계획과 2040 서울도시기본계획의 보행생활권 계획 특성 비교. 프랑스 문화 연구, 58(1), 73-97
- 질병관리본부, 2018, 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보
- 한재원, 안수영, 김미성, 한동형, & 이수기. (2022). 서울시 Personal Mobility 우선 공급 지역 분석: First-Last Mile 통행특성을 중심으로. 국토계획, 57(1), 42-56.

국외문헌

- Bärwolff, M., & Gerike, R. (2024). Pedestrian's travel distances and risk of falls in snowy and icy conditions in German cities. Traffic Safety Research. https://doi.org/10.55329/tled9982
- Cao, B., Sun, M., & Bardhan, R. (2024). Measuring Shaded Bike Lanes for Heat Stress Mitigation with Deep Learning: A Case Study in Amsterdam, Netherlands. Urban Climate, 57, 102126. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102126
- Ciabotti, J., Kelly, Q., Lauderdale, E., Lohse, K., Weyer, S., Hintze, M., Heuser, K., Camacho, C., Crumpton, J., & Dentinger, E. (2023, November). Trails as Resilient Infrastructure Guidebook. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (Report No. FHWA-HEP-24-007). Available at https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/72930
- Li, C., Chen, G., & Wang, S. (2024). Urban Mobility Resilience under Heat Extremes: Evidence from Bike-Sharing Travel in New York. Travel Behaviour and Society, 37, 100821. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100821
- Pan, J., Luo, S., & Bardhan, R. (2023). Outdoor Thermal Environment Regulation of Urban Green and Blue Infrastructure on Various Types of Pedestrian Walkways. Atmosphere, 14(6), 1037. https://doi.org/10.3390/2073-4433/14/6/1037
- Schwab, A. L., Dialynas, G., & Happee, R. (2018). Some effects of crosswind on the lateral dynamics of a bicycle. Proceedings, 2(6), 218. https://doi.org/10.3390/proceedings2060218
- U.S. EPA (Environmental Protection Agency). (2025, July 8). Mitigate flooding. US EPA. https://www.epa.gov/green-infrastructure/mitigate-flooding
- Wang, X., Xue, R., Lu, M., & Wu, J. (2024). Riders Under the Heat: Exploring the Impact of Extreme Heat on the Integration of Bike-Sharing and Public Transportation in Shenzhen, China. ISPRS International Journal of Geo-Information, 13(12), 438. https://doi.org/10.3390/ijgi13120438

인터넷 자료

- “폭설에 효과 만점 '도로 열선' 크게 늘었다”. 헤럴드경제. 2024년 2월 20일, https://mbiz.heraldcorp.com/article/3330125
- “더울 때는 운동도 삼가세요! 폭염중 운동 주의보”, 서울특별시 시민건강국 보건의료정책과, 2025년 7월 9일. http://news.seoul.go.kr/welfare/archives/571990
- “서울시민 2700명이 답했다! 서울에서 자전거 타기 가장 불편한 이유는?”, https://blog.naver.com/seoulkfem/222146652497. (2025년 10월 27일)