

수목 그늘 조성 우선지역 도출 및 유형별 식재 전략[†]

- 도시 가로 공간구조 분석을 기반으로 -

Tree Shade Prioritization and Typology-Based Planting Strategies[†]

- Focused on Urban Street Structure Analysis -

성옥제*, 엄정희**, 김효주***

*경북대학교 조경학과 박사수료, **경북대학교 산림과학·조경학부 조경학전공 교수, ***경북대학교 조경학과 박사과정

Sung, Uk-Je*, Eum, Jeong-Hee**, Kim, Hyo-Ju***

*Ph.D. Candidate, Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

**Professor, Dept. of Landscape Architecture, School of Forest Science and Landscape Architecture, Kyungpook National University

***Ph.D. Student, Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

Received: July 14, 2026

Revised: July 28, 2026

Accepted: July 29, 2026

3인익명 심사필

Corresponding author :

Jeong-Hee Eum

Professor, Dept. of Landscape
Architecture, Kyungpook National
University, Daegu 41566, Korea

Tel.: +82-53-950-5780

E-mail: eumjh@knu.ac.kr

국문초록

기후변화와 과밀화된 도시 공간 구조로 인해 도시열섬현상이 심화되면서, 열환경 개선을 위한 수목 그늘 조성의 중요성이 대두되고 있다. 본 연구는 도시 가로공간의 구조적 특성과 건축물 그늘 형성 패턴을 분석하여, 수목 그늘 조성이 우선적으로 필요한 지역을 도출하고 가로 공간 유형별 맞춤형 수목 식재 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 대구광역시 중구를 대상으로 가로 방향과 주변 건축물 높이를 반영한 가로 종횡비를 산출하였으며, 3D GIS를 활용하여 하절기(하지 기준) 태양 고도 및 방위각 변화에 따른 건축물 그늘 면적 현황을 모의 분석하였다. 연구 결과, 가로 방향과 도로 폭에 따라 그늘 형성 패턴에 뚜렷한 차이가 나타났다. 동서 방향 가로는 일출·일몰 전후로 태양 고도의 변화에 따라 그늘 면적이 급변하는 U 자형 패턴을 보인 반면, 남북 및 대각 방향 가로는 시간에 따라 양측 건축물이 교대로 그늘을 제공하면서 그늘 면적의 변화가 대칭적인 V 자형 패턴을 보였다. 이러한 분석 결과를 종합하여 가로를 6개의 공간 유형으로 분류하고, 동서 방향 가로에는 북측 보행로 중심의 수고가 높은 수목 식재를, 남북 방향 가로에는 수관 폭이 넓은 수목 식재 및 옥상녹화를 연계한 입체적 대안 전략을 제안하였다. 본 연구는 가로의 기하학적 형태와 태양 고도 및 위치를 고려한 미시적 공간 분석을 통해 열환경 개선 효과를 극대화할 수 있는 실효성 있는 녹지 계획 가이드라인을 제시하였다는 데 의의가 있다.

주제어: 도시 열환경, 가로 종횡비, 녹지 계획

ABSTRACT

As urban heat island effects worsen due to climate change and high-density urban structures, the strategic provision of shade has become increasingly critical for improving the thermal environment. This study aims to derive priority areas for tree planting and propose tailored greening strategies based on street typologies by analyzing the structural characteristics of urban streets and building shade patterns. Focusing on Jung-gu, Daegu, the street aspect ratio was calculated considering street orientation and adjacent building heights, followed by a simulation of building shade areas using 3D GIS based on the solar altitude and azimuth during the summer solstice. Analysis revealed distinct shade formation patterns depending on street orientation and width. East-west streets displayed a U-shaped pattern with drastic shade area variations depending on solar altitude at dawn and dusk, whereas north-south and diagonal streets showed a stable, symmetrical V-shaped pattern with bilateral buildings alternately casting shade over time. Based on these findings, streets were classified into six spatial typologies. For east-west streets, planting high-canopy trees primarily on the northern sidewalks was proposed, whereas for north-south streets, strategies included planting broad-canopy trees and utilizing integrated three-dimensional greening, such as green roofs. This study provides practical guidelines for urban green space planning by integrating micro-scale spatial analysis of street geometry and solar trajectories, thereby maximizing the effectiveness of thermal environment improvements.

Keywords: Urban Thermal Environment, Street Aspect Ratio, Green Space Planning

[†]이 연구는 한국연구재단에서 지원하는 “RS-2024-00354391(기후대응 도시를 위한 도시그늘 네트워크 구축 기술 및 이용자 중심의 그늘네트워크 활용 기법 개발)”의 지원으로 수행되었음.

1. 서론

1.1 연구 배경

기후변화와 지속적인 개발로 인한 도시 열환경 문제가 악화되고 있다(Chapman et al., 2017; Ren et al., 2022). 전 세계적으로 폭염 및 열대야로 인한 사망률과 질병률이 지속적으로 증가하고 있으며, 도시의 경우 과밀화된 도시 공간 구조에 의해 발생하는 도시열섬현상이 열환경 문제를 심화시킨다(Liu et al., 2022; Hagen and Weihs, 2023). 이러한 온열질환으로부터 도시민의 건강을 보호하고 쾌적한 정주환경을 유지하기 위해서는 극한기상 현상에 대한 도시 단위의 적응 전략이 필요하다(Jay et al., 2021).

다양한 적응 전략이 논의되고 있으나, 전략의 효과성과 복잡한 도시 공간 구조를 고려할 때 그늘을 활용한 적응 전략이 효율적이다(남현우 등, 2025; Jiang et al., 2025). 그들은 태양 직사광선의 차단에 의해 형성되며, 열에너지를 제공하는 태양 복사 에너지를 직접 차폐할 수 있어 열스트레스 저감에 가장 효과적인 요소이다(Lee et al., 2018; Aleksandrowicz and Pearlmutter, 2023). 도시는 고층 건물과 밀집된 구조로 인해 건축물 및 구조물이 가로 공간에 그늘을 형성하기 쉽다. 가로 공간에 형성된 그늘은 지표면 온도 및 온도를 낮추고, 보행자의 열쾌적성을 향상시키는 데 효과적이다(Morakinyo et al., 2017; Nasrollahi et al., 2020). 하지만 건축물 및 구조물은 건축 자재 및 소재의 특성에 따라 열에너지를 많이 보유하고 있고, 야간 시간대에 열 방출이 늦어 열환경에 부정적인 영향도 동시에 가지고 있다(Anand and Sailor, 2023; Gu et al., 2024). 또한, 건축물 및 구조물에 의한 그늘만 활용하여 가로 공간을 모두 대처하기에는 부족하다(성옥제 등, 2025). 그들은 태양의 위치 및 고도에 의해 형성되며, 시간대 별 차이가 발생한다. 그리고 가로 종횡비(건축물 높이 ÷ 도로 폭, H / W)에 따라 건축물로 인한 그늘의 효과는 제한적일 수 있다. 종횡비가 큰 가로의 경우 건축물이 높거나 도로 폭이 좁은 구조이며, 건축물에 의한 그늘이 큰 면적을 차지할 수 있으나, 종횡비가 작은 가로의 경우 건축물 그늘이 차지하는 면적보다 도로 면적이 넓어 직사광선에 노출된 지역이 많다. 선행 연구에 따르면 가로 종횡비(H / W)가 2 이상일 때, 건축물에 의한 그늘이 유의미하다고 분석하였다(Ali-Toudert and Mayer, 2006; Nasrollahi et al., 2020; Chen et al., 2024). 즉 도시 구조에 따라 건축물 및 구조물에 의한 그늘 효과는 제한적이므로, 이를 보완하기 위한 그늘 조성 요소가 필요하고 수목은 가장 우선적으로 고려되는 요소이다. 수목은 그늘 형성뿐만 아니라, 증발산 효과 및 지구 복사 에너지 감소 등의 열환경 저감에 대한 복합적인 기능을 제공하므로, 열환경 저감에 효과적인 요소이다(조상만 등, 2017; Winbourne et al., 2020; Zheng et al., 2023; 손정민과 엄정희, 2024; Yin et al., 2024; Son et al., 2025). 실제 국외에서는 열환경 개선을 위해 수목 조성 전략을 시행하고 있다. 미국 시애틀은 수관피복률을 18%에서 30%까지 높이는 전략을 제시하고 있으며, 워싱턴 DC는 도시 면적의 40%를 수목으로 덮는다는 목표를 수립하였다. 그리고, 북유럽 중심으로 도시민의 생활 환경 내에 최대한 수목을 식재하여 열환경 개선 및 다양한 효과를 얻고자 하는 '3-30-300 프로젝트'가 시행되고 있다. 특히 호주 멜버른시는 2040년까지 수관피복률을 22%에서 40%까지 확대하겠다는 목표에 따라 녹지조성 전략도 및 도시숲 가이드라인을 제시하면서 구체적인 실시 계획을 제시하였다. 도시 단위의 녹지 조성 전략들은 도시 구조 및 녹지 현황을 분석하여 우선적으로 수목 식재가 필요한 지역을 선별하여 조성 우선 순위에 따라 녹지 면적을 확대하고 있다(박주현과 엄정희, 2024). 도시 계획 측면에서 효율적인 수목 조성을 위해서는 도시 구조에 따른 그늘 현황 및 열환경 현황 조사가 선행되어야 한다. 만약 국내에 그늘 면적 확대를 위한 수목 조성 전략이 계획된다면, 후보지역의 조성 효과성을 분석하고 수목 조성이 우선되어야 할 지역을 선정하는 검토 단계가 이루어져야 한다. 지역 선정은 도시 선정, 도시 내 지역 선정 등 공간 규모에 따라 점진적으로 축소해 나가며, 최종적으로 가로 단위의 미세 규모에서 대상지를 선정하고 각 대상지의 특성에 맞는 수목 그늘 조성 전략을 제시하는 형태가 이루어져야 한다.

1.2 연구 목적

도시 수목 그늘 조성 전략의 실효성을 높이기 위해서는 대상지 선정과 대상지별 조성 전략을 제시할 수 있는 의사결정지원 시스템이 필요하다. 본 연구는 도시 가로 공간의 구조적 특성에 따른 그늘 형성 현황 분석과 열환경 취약성평가를 통해 수목 그늘 조성의 우선지역을 도출하는 것을 목표로 하였다. 도시를 가로 단위로 구분하여 미세 규모에서 도시 공간 구조적 특성을 분석하여 해당 지역이 열환경이 열악한지 평가하고, 열악하다면 해당 지역에 제시할 수 있는 수목 그늘 조성 전략이 무엇인지 제시할 수 있는 계획을 제안하는 것이다. 이를 분석하기 위해 가로 종횡비(H / W)에 따라 공간 구조를 평가하는 가로공간의 구조적 분석과 건축물 위치 및 형태에 따라 가로에 형성되는 그늘 면적을 모의 분석하는 그늘 현황 분석을 종합적으로 해석하였다. 종합한 결과에 따라 수목 그늘이 우선

적으로 조성되어야 할 지역을 도출하고, 수목 그늘 우선지역의 공간 구조에 따라 유형을 분류하여 효과적인 수목 조성 전략을 제시하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 수행 체계

본 연구는 가로 단위의 건축물 그늘 환경을 분석하여 상대적으로 그늘 면적이 부족한 지역을 선정하여 해당 지역을 수목 그늘 조성이 우선적으로 필요한 지역으로 평가하였다. 이를 위해 가로 공간의 건축물과 높이 비를 기준으로 가로 공간 구조를 평가하는 ‘가로공간 구조 분석’과 GIS 분석기법을 적용하여 건축물에 의해 형성되는 그늘의 면적을 분석하는 ‘건축물 그늘 현황 분석’을 수행하였다. 두 개의 분석 결과를 종합하여 그늘 취약지역 및 수목 그늘 조성 우선지역을 도출하였다. 또한, 분석 결과에 근거한 수목 조성 전략을 제시하였다. 수목 조성 전략은 그늘의 방향과 형태를 결정하는 가로 구조를 기준으로 설정하였다(그림 1 참조).

2.2 연구 방법

2.2.1 연구 대상지 및 분석 도구

본 연구의 대상지는 대구광역시 중구(면적 7.06km²)이다(그림 2 참조). 연구 목적에 따라 가로 단위의 미세 규모에 대한 수목 그늘 조성 우선지역 도출과 전략 제시를 위해 열환경이 취약하다고 알려진 대상지로 선정하였다. 대구광역시는 여름철 전국 평균 기온보다 높은 기온이 관측되며, 매 해 폭염 및 열대야로 인해 열환경이 취약하다 평가받는 도시이다. 그중 중구는 대구광역시의 중심사가지에 해당하며, 밀집된 도시 구조와 높은 주간 인구 밀도로 인해 대구광역시 내에서도 가장 열환경이 취약한 지역이라 판단된다.

본 연구는 가로 공간을 중심으로 주변 건축물 현황을 평가하는 지리정보 중심의 분석이 수행되었다. 따라서 지리정보를 분석할 수 있는 GIS 분석 도구가 필요하였으며, spatial analysis 분석 기능과 Python 환경에서 공간 구조 분석 코드(arcpy) 기반 분석을 수행하였다. 본 연구에서 수행된 분석은 가로 공간 구조 분석과 건축물 그늘 현황 분석이며, 가로 공간 구조 분석에서는 Python 환경 코드 기반 분석이 수행되었으며, 건축물 그늘 현황 분석에서는 3D GIS 분석이 수행되었다. 분석에는 면형 건축물 데이터와 선형 도로 데이터가 필요하며, 국토지리정보원에서 제공하는 2023년 연속수치지형도를 활용하였다.

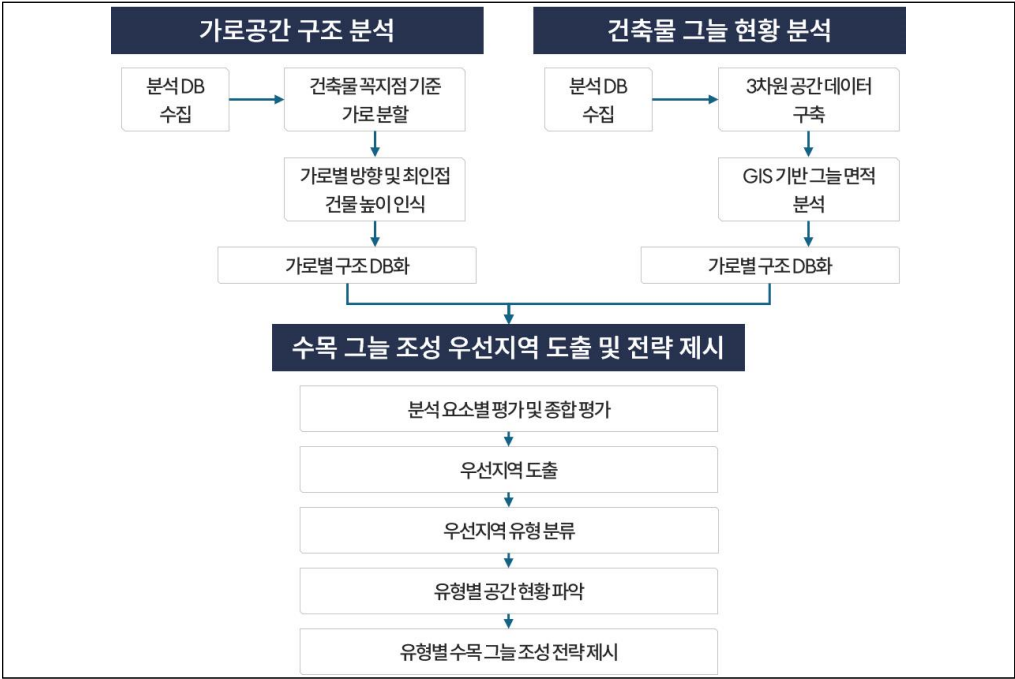


그림 1. 연구 수행 체계

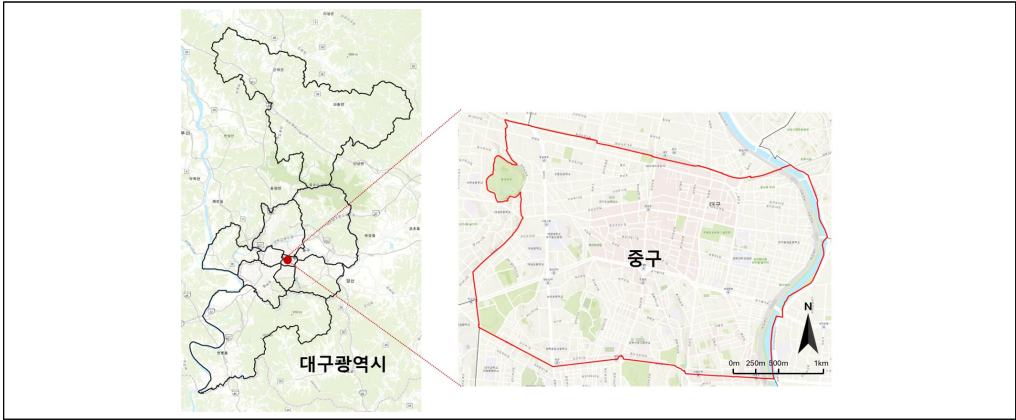


그림 2. 연구 대상지

2.2.2 가로 공간 구조 분석

가로 공간 구조에 대한 선행연구들은 가로 공간의 종횡비를 결정할 때, 해당 가로의 평균 종횡비를 사용하는 경우가 일반적이다(Li et al., 2024; Park et al., 2026). 이 경우에 평균 종횡비에 따라 가로 전체의 열환경을 평가하면서 가로 단위별 통일성 있는 조성 전략을 제시할 수 있으나, 전략 제시의 최소 단위를 가로 단위로 한정시킨다는 단점이 있다. 하나의 가로에서도 도로 폭은 동일하지만 주변 건축물 높이에 따라 종횡비가 변하고, 변하는 종횡비에 따라 다른 전략을 제시할 수 있는 것이 더욱 정밀한 전략을 구사할 수 있다. 따라서 본 연구는 선행연구들과 달리 가로를 주변에 위치한 건축물을 기준으로 분할하여 세분화된 가로 공간 규모를 구축하여, 세부 단위별 가로 방향과 종횡비를 계산하였다.

우선, 가로를 세분화하기 위해 건축물 꼭짓점을 활용하였다(그림 3 참조). 면형 데이터인 건축물 데이터의 각 꼭짓점마다 점 데이터를 형성하였다. 형성된 꼭짓점에서 가로와 직교하는 가상의 선을 그리고 그 선을 기준으로 가로를 분할하였다. 분할하는 과정에서 가로와 관련이 없는 꼭짓점을 제외하기 위해 가로 폭을 고려하여 가로와 인접한 건축물의 꼭짓점만을 인식하도록 꼭짓점을 선별하는 과정을 거쳤다. 해당 과정을 통해 가로는 양 옆에 위치한 건축물을 기준으로 분할이 되었으며, 분할된 가로의 방향과 양옆에 위치한 건축물 높이 정보를 인식하여 데이터베이스로 구축하였다. 가로 방향을 인식하기 위해서 분할된 가로 양 끝점의 위치 차이를 계산하여 가로의 기울기를 분석하였고, 8방위를 기준으로 도로 방향(동-서 방향, 남-북 방향, 남동-북서 방향, 북동-남서 방향)을 분류하였다(그림 4 참조). 그리고 분할된 가로 양옆에 위치한 건축물의 높이를 인식하기 위해서 가로와 수직

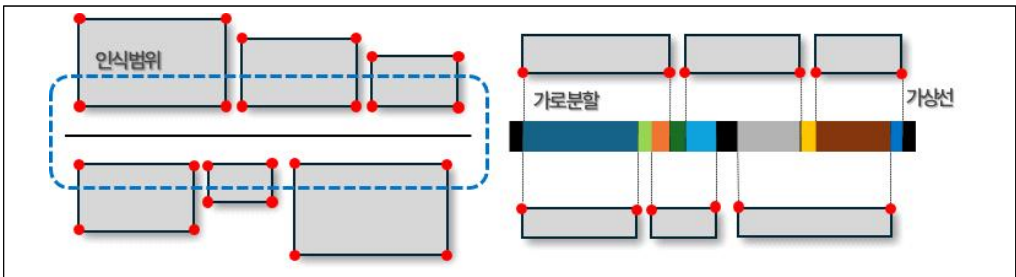


그림 3. 건축물을 활용한 가로 분할 방법

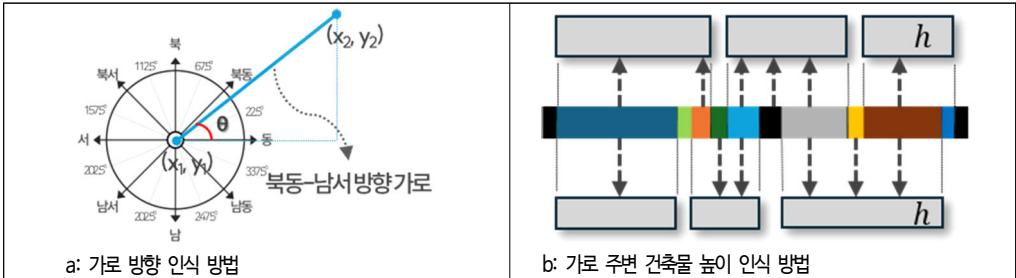


그림 4. 가로별 공간구조 데이터 인식 방법

된 방향으로 가장 인접한 건축물을 인식하는 알고리즘을 구축하였고, 가로를 기준으로 위치한 방향에 따라 데이터베이스를 구분하였다. 예를 들어, 동-서 방향 가로일 때, 북측에 위치한 건축물의 높이값과, 남측에 위치한 건축물의 높이값을 구분하여 저장하였다.

2.2.3 건축물 그늘 현황 분석

건축물에 의해 가로에 형성되는 그늘 면적을 분석하고, 그늘이 부족한 지역을 파악하였다. 이를 위해 GIS 분석 도구인 SunShadow Frequency 기능을 활용하였다. 이는 3차원 구조물에 의해 형성되는 그늘 면적을 분석하는 도구이며, 분석 기간 동안 특정 시간 간격(시간, 분, 초 등)마다 그늘이 형성되는 면적을 분석할 수 있다(그림 5 참조). 본 연구는 시간별 그늘 면적 현황을 분석하였으며, 분석 기간은 2025년 6월 21일 일출부터 일몰까지로 설정하였다. 2025년 6월 21일은 절기상 하지에 해당하며, 태양고도가 가장 높고, 낮 시간이 가장 긴 날이다. 따라서 그늘에 의한 열환경 개선효과가 가장 필요하지만, 반대로 낮 시간 기준으로 그늘의 길이가 가장 짧게 형성되는 날이다. 기준 일의 시간별 태양고도 및 방위각 데이터는 한국천문연구원의 데이터를 활용하였다. 해당 분석 도구는 3차원 공간 정보를 필요하므로, 2차원 면형 건축물 데이터를 3차원 데이터로 변환해야 하며, 건축물 데이터의 층수 데이터(nmly)를 기준으로 건축물 높이로 환산하였다. 환산 기준은 용도지역에 따라 구분하지 않고 동일한 기준으로, 층수를 3.0m 높이로 변환하였다. 이후 건축물 높이를 기준으로 3차원 입체 건축물 데이터를 구축하였다.

2.2.4 수목 그늘 조성 우선지역 도출 및 수목 그늘 조성 전략 제시

가로 공간 구조 분석과 건축물 그늘 현황 분석의 결과를 종합하여 수목 그늘 조성 우선지역을 도출하였다. 선행 연구에 따르면 가로의 기하학적 형태를 기준으로 수목 조성 우선순위를 도출할 수 있으며, 가로 방향에 따라 가중치 차이가 존재하지만 도로 폭이 건축물 높이에 비해 크다면 열환경에 취약하고 조성 우선순위가 높다고 평가할 수 있다. 따라서 가로 방향에 따라 분류하여 가로 구조를 평가하고 조성 우선도를 평가하였다. 분석 요소별 가중치는 부여하지 않고, 각 분석 결과를 10분위로 분류하여 점수를 부여하였으며, 각 점수의 동일 가중으로 합산하여 등급화하였다. 점수 배점은 1등급을 10점으로 배정하고, 등급에 따라 1점 차이를 두었다. 따라서 1점에서 10점으로 점수가 배분된다. 점수 합산을 통한 등급화도 10분위 등급으로 나누었으며, 등급이 낮을수록 현황이 열악한 것이고 조성 순위가 높은 것이다.

수목 조성 우선지역을 가로 방향과 종횡비에 따라 유형화하여 각 공간 유형별 조성 전략을 제시하였다. 조성 전략은 분석 결과에 기반한 조성 우선지역 선정, 공간 유형별 식재 전략 제시, 수목 그늘 조성이 불가한 지역을 대상으로 수목 그늘 대체 전략 제시로 구성하였다.

3. 분석 결과

3.1 가로 공간의 구조적 특성 분석

3.1.1 가로 공간 구조 분석

대구광역시 중구 내 가로 종횡비(H / W)는 평균 1.47이며, 최고 비율은 27.71, 최저 비율은 0으로 나타났다(그림 6 참조). 선행 연구(Ali-Toudert and Mayer, 2006; Nasrollahi et al., 2020; Chen et al., 2024)에

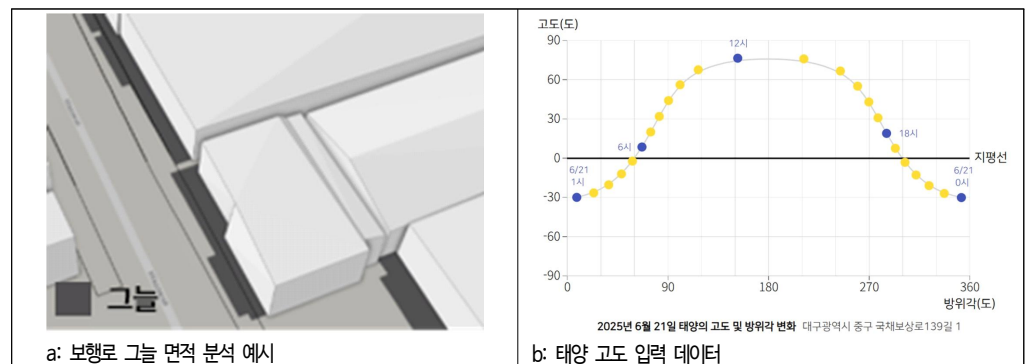


그림 5. 건축물 그늘 분석 예시 및 태양 고도 계산 방법

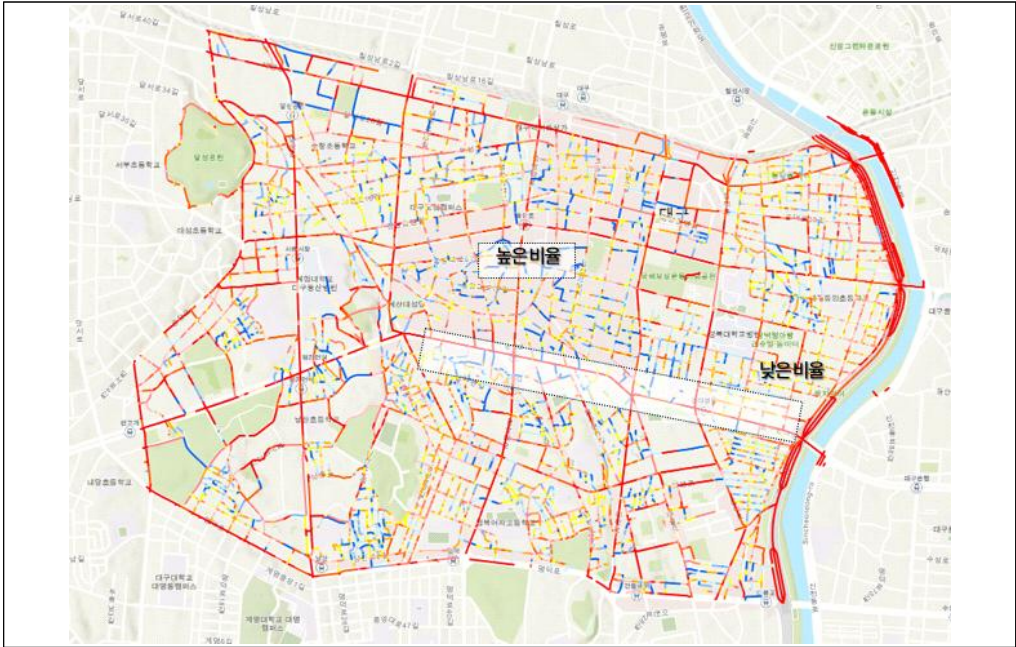


그림 6. 가로공간 구조 현황 분석 결과

범례: 0~0.23 0.23~0.46 0.46~0.7 0.7~1.0 1.0~1.25 1.25~1.56 1.56~1.81 1.81~2.33 2.33~3.37 3.37~27.71

따르면 가로 종횡비(H / W)가 2 이상일 경우에 구조에 의한 그늘 형성이 유의미하다고 판단할 수 있으며, 대구광역시 중구는 평균적으로 그 기준에 미달하였다. 도로 방향에 따른 가로 종횡비(H / W)를 분석하였을 때, 동-서 방향 가로의 다른 방향의 가로에 비해 현저하게 낮았다(표 1 참조). 동-서 방향 가로의 평균 종횡비는 1.36이었으며, 이는 남-북 방향 가로 1.54, 남동-북서 방향 가로 1.56, 남서-북동 방향 가로 1.52와 차이가 나타났다. 이는 대구광역시의 도로 구조와 관련이 있다. 대구광역시는 동-서방향으로 형성된 대표 교통축인 달구벌대로와 국채보상로와 남-북 방향 대표 교통축인 신천대로를 중심으로 구조가 형성되어 있다. 본 연구의 대상지인 중구는 달구벌대로와 국채보상로가 포함되어 있고, 대로를 중심으로 동-서 방향의 가로는 남-북 방향의 가로보다 크게 형성되어 있다. 따라서 도로 폭이 큰 가로는 동-서 방향으로 형성되어 있어, 가로 방향별 종횡비가 차이가 나는 것이다.

3.1.2 건축물 그늘 현황 분석

태양 고도 및 방위각 변화에 따라 건축물 그늘 면적의 증감이 나타나며, 정오시간대에 가까워지면서 태양 고도가 높아짐에 따라 그늘 면적이 감소하며 정오에 가장 면적이 작았다(그림 7 참조). 그리고 정오시간대를 지나면서 그늘 면적은 점차 증가하는 형태를 보이며, 정오를 기점으로 시간대별 그늘 면적 비율은 대칭된 형태를 보였다. 시

표 1. 도로방향에 따른 건축물 높이-도로폭 높이 평균 비율(표본수)

10분위 도로방향	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
동-서	4.89 (1,065)	2.79 (1,326)	2.11 (1,678)	1.71 (1,488)	1.40 (1,971)	1.13 (1,715)	0.86 (2,133)	0.59 (2,228)	0.35 (2,134)	0.13 (1,843)	1.36 (17,581)
북동-남서	4.90 (338)	2.76 (403)	2.06 (388)	1.72 (443)	1.41 (367)	1.15 (467)	0.88 (449)	0.59 (516)	0.36 (476)	0.13 (305)	1.52 (4,152)
남-북	4.90 (1,613)	2.76 (1,491)	2.12 (2,011)	1.71 (1,979)	1.41 (1,825)	1.13 (1,906)	0.86 (1,965)	0.60 (1,886)	0.34 (1,742)	0.13 (1,823)	1.54 (18,241)
북서-남동	4.97 (499)	2.74 (651)	2.13 (856)	1.72 (735)	1.40 (727)	1.14 (726)	0.88 (708)	0.59 (747)	0.35 (521)	0.13 (563)	1.56 (6,733)

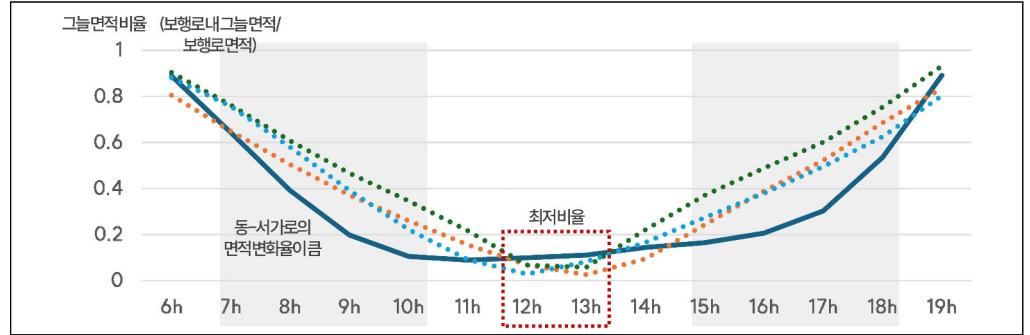


그림 7. 시간대별 도로 면적 대비 그늘 면적 비율

범례: — 동-서 가로 북동-남서 가로 북-남 가로 북서-남동 가로

간대별 그늘 면적의 대칭 형태에서 특징적인 것은 동-서 방향의 가로가 다른 방향의 가로와 다른 대칭형태를 보였다는 것이다. V 자 형태로 시간대별 그늘 면적 증감이 일정하게 나타나는 다른 방향의 가로와 달리 동-서 방향 가로는 일출 이후에 면적이 급격하게 감소하며, 일몰 전에 급격하게 상승하는 모습을 보이면서 U 자 형태의 대칭을 보였다. 이러한 일출,일몰 시간대의 급격한 변화는 태양 고도가 낮아짐에 따라 그림자 길이가 발산하기 때문이다. 또한, 동-서 방향 가로에서 그늘 변화가 차이 나는 것은 도로 폭에 의한 영향뿐만 아니라, 동-서 방향의 가로 구조적 특징과 관련이 있다(그림 8 참조). 다른 방향의 가로에서는 양측에 위치한 건축물에 의해 그늘이 형성된다. 예를 들어 남-북 방향의 가로는 동측 건축물이 일출부터 정오까지 그늘을 형성하고, 이후 정오부터 일몰까지 서측 건축물이 그늘을 형성한다. 태양 고도 및 방위각 변화에 따라 건축물이 미치는 영향이 변화하고, 양 측 건축물 모두 그늘을 형성한다. 하지만 동-서 방향 가로는 북측 건축물은 일출과 일몰 시간대에 그늘을 형성하지만 태양 고도가 높아짐에 따라 급격하게 그늘 면적이 줄어들며 낮 시간대에는 가로에 그늘을 거의 형성하지 못하고, 남측 건축물에 의해서만 형성된다고 볼 수 있다. 또한, 태양 고도가 낮아 그늘이 길게 형성되는 시간대에 동-서 가로 방향과 평행한 방향으로 그늘이 형성되어 가로에 형성하는 그늘 면적이 비교적 크지 않다. 이는 동-서 방향 외의 가로의 경우 정오 시간대에 그늘 면적이 가장 작아지는 현상에 대한 이유와 동일하다. 즉 태양 위치에 따라 그늘 방향과 가로 방향이 평행해질 때 그늘 면적이 가장 작아진다.

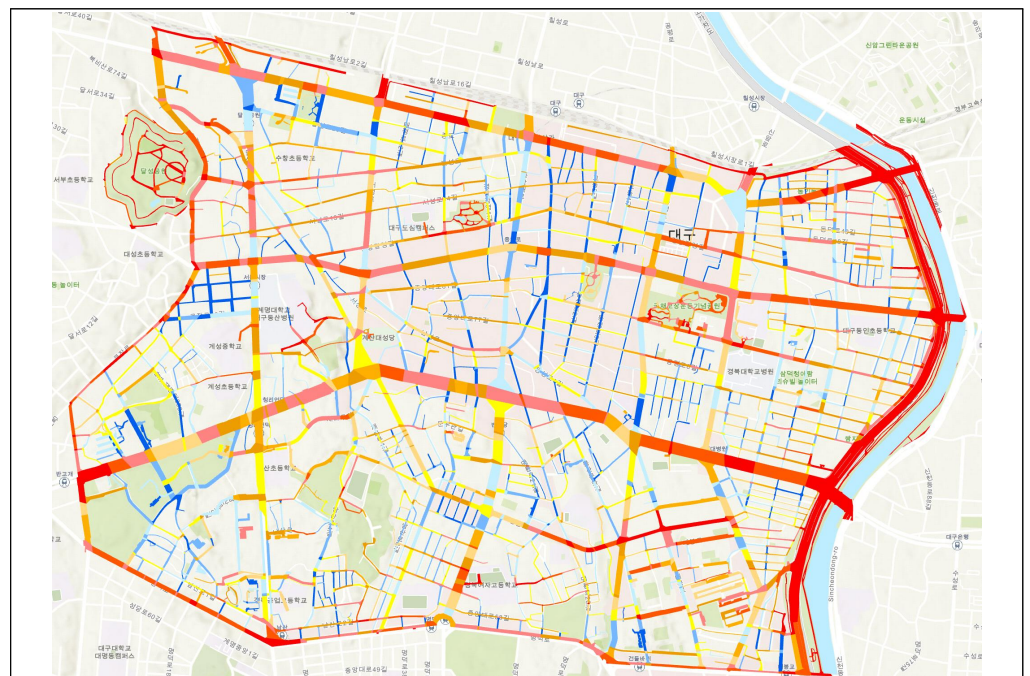


그림 8. 건축물 그늘 현황 분석 결과

범례: — 0~0.15 — 0.15~0.23 — 0.23~0.29 — 0.29~0.34 — 0.34~0.39 — 0.39~0.44 — 0.44~0.50 — 0.50~0.57 — 0.57~0.65 — 0.65~0.99

3.1.3 수목 그늘 조성 우선지역 도출

가로 공간의 구조적 특성을 분석한 결과를 종합하여 10등급으로 구분된 우선지역 평가도를 구축하였다(그림 9 참조). 대구광역시 도로 구조 현황과 그늘 형성 현황에 따라 연구 대상지 내에서 도로 폭이 넓은 가로와 동-서 방향의 가로는 일반적으로 더욱 취약한 것으로 평가되었다. 달구벌대로와 국채보상로와 같은 폭인 넓은 가로는 대부분 취약등급을 받았다. 그리고 시가지 내부의 폭이 좁은 가로를 대상으로 가로 방향 별 평가 결과를 비교하였을 때, 동-서 방향의 가로는 다른 방향의 가로보다 취약한 등급을 받았다. 이를 통해 가로 구조를 형성하는 요인 중에 가로 방향과 도로 폭이 그늘 형성에 미치는 주요 요인임을 확인하였다. 따라서 가로 방향과 도로 폭을 기준으로 그늘 조성 우선지역 유형을 분류하여 수목 그늘 조성 전략을 제시할 수 있었다.

3.2 수목 그늘 조성 전략 제시

3.2.1 가로 구조에 따른 그늘 조성 우선지역 유형 분류

가로 방향과 가로 폭을 기준으로 그늘 조성 우선지역 유형을 분류하면 다음과 같다(그림 10 참조). 우선 가로 방향을 기준으로 동-서 방향 가로와 남-북 방향 및 대각 방향 가로로 분류할 수 있다. 동-서 방향 가로는 다른 방향 가로와 구별되는 특징이 존재하였다. 가로의 남측 건축물에 의한 그늘이 형성되며, 북측 건축물의 그늘 조성 효과는 극히 제한적이다. 그리고 일출과 일몰 시간대에 그늘 면적 변화가 급격하게 이루어지는데, 이는 가로 방향과 평행하게 그늘이 형성되기 때문이다. 하지만 정오 시간대에는 반대로 다른 방향의 가로들의 그늘이 가로방향과 평행하게 형성되어 건축물의 그늘 조성 효과가 제한되며, 반대로 동-서 방향 가로의 남측 건축물이 유효한 그늘을 형성한다. 가로 구조에 따라 그늘 형성은 정오를 기점으로 대칭된 형태를 보이며, 남-북 방향 가로와 대각 방향 가로는 대칭된 형태가 뚜렷하게 나타났다. 남-북 방향 및 대각 방향의 가로는 태양 고도 및 방위각의 변화에 따라 그늘의 증감이 일정하게 나타나며, 시간대에 따라 양측의 건축물이 가로에 형성하는 그늘을 보완하는 특징이 있다. 오전 시간대에는 남-북 방향 가로의 동측 건축물이 가로에 그늘을 형성하며, 오후 시간대에는 서측 건축물이 가로에 그늘을 형성한다. 이러한 특징은 대각방향 가로에서도 유사하게 나타난다.

다음으로 가로 폭을 기준으로 분류하면 그늘 조성 우선지역을 세 개의 유형(소로, 중로, 대로)으로 분류할 수 있다. 소로는 2차선 이하의 도로이며, 보·차도 구분이 없는 가로를 말한다. 도로 폭이 좁아 수목을 식재하는 공간을 확보하기 어렵다. 중로는 4차선 도로이며, 보·차도 구분이 있다. 대상지 내에 가장 많이 분포되어 있고, 다양한 가로 공간을 형성하는 유형이다. 따라서 양측에 위치한 건축물이 다양하고, 건축물 높이에 의한 그늘 면적 비율 변동 폭이 크다. 마지막으로 대로는 6차선 이상의 도로를 말하며, 도로 폭이 넓은 만큼 보도 면적도 넓은 것이 특징이다.

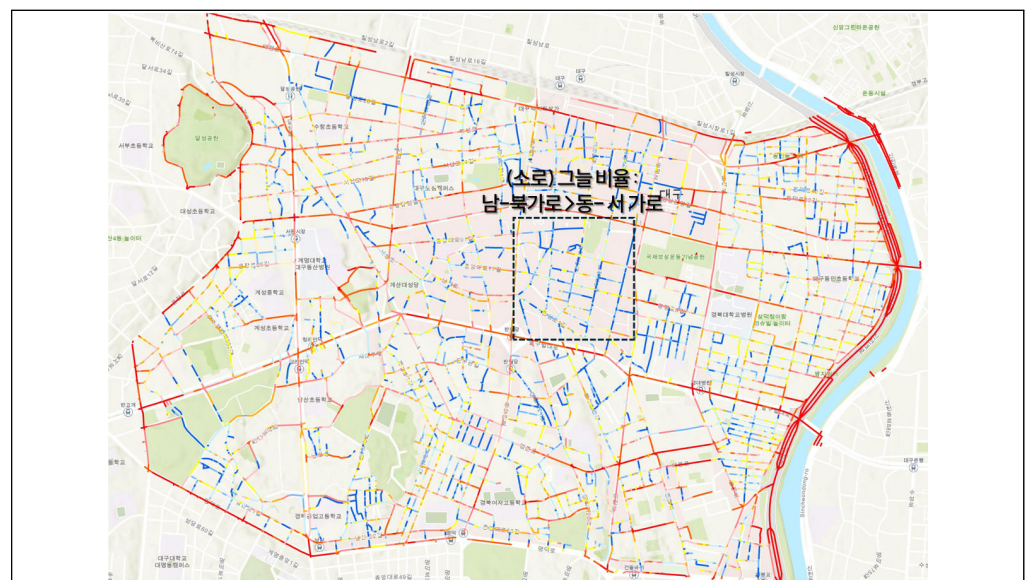


그림 9. 가로 공간의 구조적 특성 분석 종합 결과

범례: 1등급 3등급 5등급 7등급 9등급
2등급 4등급 6등급 8등급 10등급

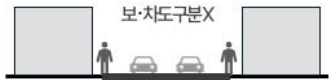
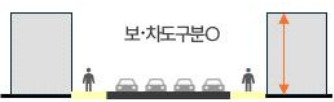
가로방향	특징	도로폭	특징
동서가로	가로의 남측과 북측의 건물 그늘 형성의 차이가 큼 (남측 건물 그늘 > 북측 건물 그늘) 	소로	2차선 도로 이하, 보·차도 구분 없음 - 수목 식재 공간을 확보하기 어려움 
		중로	4차선 도로, 보·차도 구분 있음 - 건축물 높이에 의한 그늘 면적 비율 변동폭이 큼 
남북가로 +대각방향가로	- 정오를 기준으로 그늘이 대칭된 형태 - 정오에 가장 낮은 면적 비율 	대로(광로)	6차선 도로 이상, 보도 면적 넓음 - 가로는 넓어 건축물 그늘 면적이 가로 면적에 비해 작음 

그림 10. 가로방향 및 도로폭에 따른 가로 그늘 현황 비교

가로 폭이 넓어 건축물 그늘이 가로에 차지하는 비율이 낮다. 수목 식재 등을 통해 그늘 면적 확대가 필수적인 유형이다.

그늘 조성 우선지역 유형을 가로 방향을 기준으로 2개의 유형으로, 가로 폭을 기준으로 3개의 유형으로 구분하였다. 그늘 조성 우선지역을 분류하는 2개의 주요 요인을 종합하여 총 6개의 그늘 조성 우선지역 유형을 구성하였고, 이에 대한 수목 그늘 조성 전략을 제시하였다.

3.2.2 유형별 수목 그늘 조성 전략 제시

수목 그늘 조성 전략은 동-서 방향 가로의 소로, 중로, 대로와 남-북 및 대각 방향 가로의 소로, 중로, 대로에 대해 다음과 같이 제시하였다(그림 11 참조). 우선 동-서 방향 가로에 대한 수목 그늘 조성 전략이다. 소로의 경우 보·차도 구분이 없는 좁은 도로이며, 수목을 식재할 수 있는 공간 확보가 어렵다. 따라서 수목 그늘을 대체할 수 있는 전략을 제시하였다. 보·차도 구분이 없는 소로에서 일반적으로 차량은 가로 중앙으로 통행하며, 보행자는 가로의

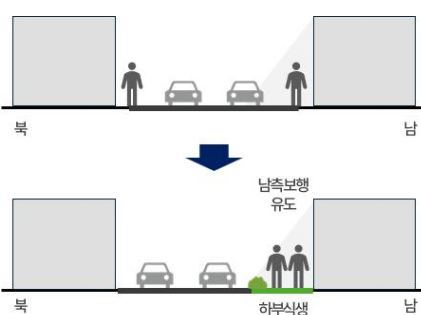
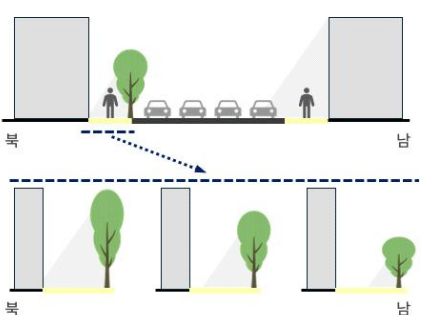
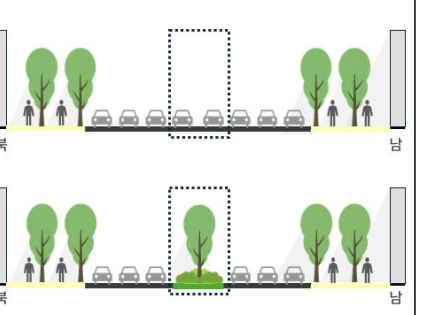
소로	중로	대로(광로)
- 북측 보행과 남측 보행의 동선 차이가 적음 - 그늘이 형성되는 남측으로 보행하도록 유도 식재 - 남측에 지피류 및 하부식생 식재를 통해 보·차도 구분 	- 건축물 형태에 따라 취약한 지역을 선별 식재 - 북측 보도 중심 식재. 수목의 수관 폭보다 수고가 중요 	- 보행로 폭이 넓어 남측 보행로에서도 그늘이 부족 - 가로수는 보행로 가장자리에 위치하므로 남측 보행로는 일반적인 가로수의 효과를 보기 어려움 - 보도 중간 추가 열식재 필요, 중앙분리대 식재 추천 

그림 11. 동-서방향 가로에 대한 수목 그늘 조성 전략

가장자리를 따라 보행하며, 보행자는 도로 폭이 좁고 보·차도 구분이 없어 어느 쪽 가장자리를 따라 보행하더라도 보행 동선에 대한 손해가 적다. 그리고 동-서 방향 가로는 남측 건축물에 의해서만 그늘이 형성되며 남측 가장자리는 그늘이 형성되며, 북측 가장자리는 그늘이 부족하다. 이러한 특징들을 종합할 때, 본 연구에서는 그늘이 형성되는 남측으로 보행하도록 유도하는 지피류 및 하부식생 식재 전략을 제시하였다. 남측 가장자리에 하부 식생 식재를 함으로써 부족했던 보·차도 구분을 지어주고, 보행자는 건축물 그늘을 이용하여 보행할 수 있도록 하는 것이다. 이를 통해 보행 안정성과 쾌적성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대하였다. 다음은 종로의 수목 그늘 조성 전략이다. 종로는 다양한 가로 구조를 보이며, 양측 건축물의 형태에 따라 취약한 지역을 선별하는 것이 중요하다. 앞서 분석한 그늘 조성우선지역 결과에 따라 대상지를 찾아야 한다. 종로의 경우 보·차도가 구분되어 있으며, 동-서 방향 가로는 북측 보행로와 남측 보행로로 구분된다. 남측 보행로의 경우 건축물 그늘에 영향을 받으나, 북측 보행로는 직사광선에 노출되어 있는 형태를 보인다. 따라서 북측 보행로에 우선적으로 수목을 식재하고, 수고가 높은 수목을 식재하는 전략을 제안하였다. 동-서방향 가로의 경우 정오시간대에 그늘 길이가 짧아지기 때문에 보행로에 최대한 넓은 그늘을 형성하기 위해서 수고를 중요한 요소로 제안하였다. 마지막으로 대로의 경우 가로의 폭이 넓은 만큼 보행로의 폭도 넓어 남측 보행로에서도 건축물에 의한 그늘만으로는 부족하다. 따라서 남측 보행로에도 수목 식재가 필요한데, 일반적인 가로수는 보행로 가장자리에 위치하므로 남측 보행로에 일반적인 가로수 식재는 효과를 보기 어렵다. 따라서 보행로 중간에 추가 열식재를 통해 북쪽으로 형성되는 수목 그늘 효과를 기대하여야 한다. 또한 가능하다면 중앙분리대에 식재대를 구축하여 최대한 가로에 그늘을 형성하는 전략도 제안하였다.

남-북 및 대각 방향 가로에 대한 수목 그늘 조성 전략이다(그림 12 참조). 소로는 마찬가지로 수목 식재를 위한 공간 마련이 어렵기 때문에, 수목 그늘 대체 전략을 제안하였다. 남-북 및 대각 방향 가로는 동-서 방향 가로와 달리 건축물 그늘이 한쪽 측면 가장자리에 고정되어 형성되지 않고, 시간대에 따라 변하는 특징이 있어 동-서 방향 가로와 동일한 전략을 제시할 수 없다. 그래서 해당 유형은 옥상녹화를 통한 그늘 조성 전략을 제시하였다. 이 전략은 소극적 전략과 적극적 전략으로 구분하였는데, 소극적 전략은 식재벽을 형성하는 방법이고, 적극적 전략은 식재 그늘막을 형성하는 것이다. 소극적 전략인 식재벽 형성 방법은 가로 양 옆에 위치한 건축물 옥상에 가로와 맞닿아 있는 면에 벽구조물을 설치하고, 덩굴식물을 활용하여 구조물을 녹화하는 방법이다. 이는 건축물을 높여서 기존에 형성되던 그늘 면적을 확대하는 전략이다. 하지만, 이 방법은 정오시간대에 그늘 방향과 가로 방향이 평행해지면 효과가 없어진다는 단점이 있다. 정오 시간대를 보완하기 위한 방법으로 적극적 전략을 제안하였다. 적극적 전략은 가로 양 옆에 위치한 건축물 옥상을 이어주는 식재 그늘막을 형성하는 것이다. 이 방법은 모든 시간대에 그늘을 형성할 수 있으며, 특히 취약한 정오 시간대에 효과를 볼 수 있다. 실제로 국의 도시에서 식재 그늘막을 활용하여 열환경을 개선한 사례도 존재한다(그림 13 참조). 다음은 종로의 수목 그늘 조성 전략이다. 동-서 방향 가로와 달리 양측 보행로에 수목 식재가 필요하며, 지하고가 낮고 수관폭이 넓은 수목을 제안하였다. 남-북 방향 가로 기준으로 아침, 저녁 시간대 그늘이 길게 형성되므로, 지하고가 높으면 그늘이 보행로에 형성되지 않을 수 있기 때문이고, 관목 등 하부식생 식재를 추가한다면 그늘 면적을 안정적으로 확보할 수 있다. 한편, 정오 시간대에는 그늘 방향이 가로 방향과 동일하므로, 수목 그늘도 북쪽을 향해 형성된다. 이 시간대에는 수관 폭이 넓은 수목이 보행로

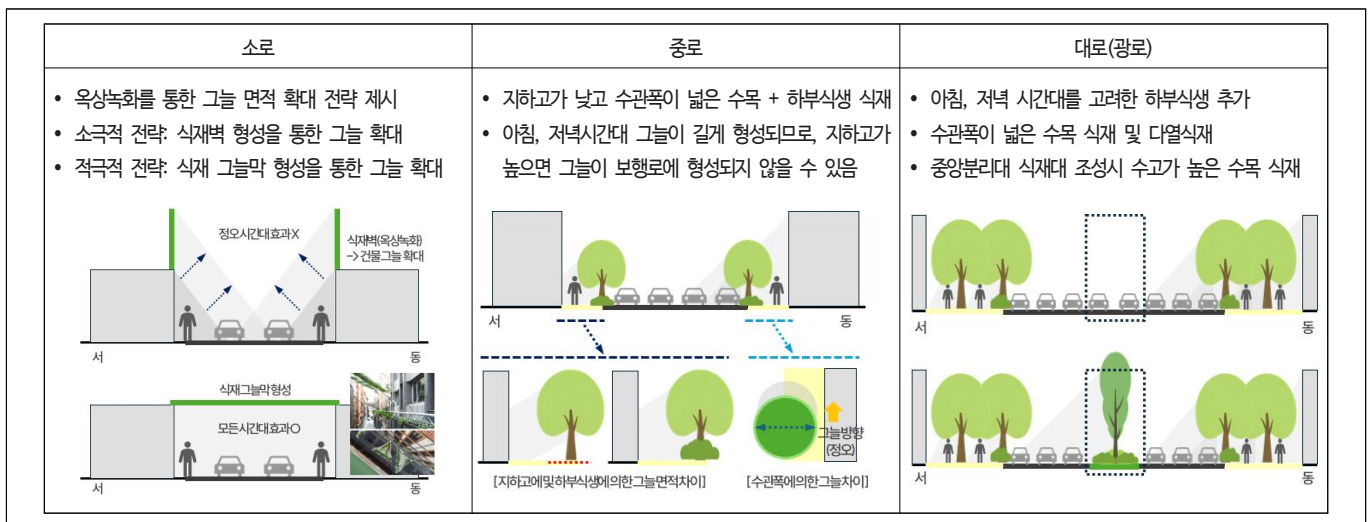


그림 12. 남-북방향 및 대각방향 가로에 대한 수목 그늘 조성 전략



그림 13. 녹지형 차양막 사례

출처: Green Shade, Singular Green社, Spain

에 그늘을 형성하는 데에 유리하게 작용한다. 마지막으로 대로의 경우 동-서 방향 가로와 유사한 식재 전략을 제안하였다. 폭 넓은 가로에 그늘 면적을 늘리기 위해 다열 식재를 제안하였다. 하지만, 수종 및 식재 패턴에 차이가 있다. 남-북 및 대각 방향 가로에는 관목 등 하부식생 식재를 제안하였고, 중앙분리대를 식재할 경우에 수고가 높은 수목을 제안하였다.

4. 결론

본 연구는 대구광역시 중구 가로공간을 대상으로 가로 구조(가로 방향, 도로 폭)와 태양 위치 변화에 따른 건축물 그늘 형성 특성을 정량적으로 분석하고, 이를 기반으로 수목 그늘 조성 우선지역을 도출한 뒤 유형별 식재 전략을 제시하였다.

분석 결과, 연구 대상지의 평균 가로 종횡비(H / W)는 1.47로 선행연구에서 제시한 유의미한 구조적 그늘 형성 기준(2.0)에 구간의 약 70%가 미달하였으며, 특히 동-서 방향 가로에서 종횡비가 가장 낮고 도로 폭이 넓게 형성되는 경향이 확인되었다. 이러한 구조적 특성은 건축물 그늘 형성 패턴에도 직접적인 영향을 미쳤다. 남-북 및 대각 방향 가로는 시간대에 따라 양측 건축물이 교대로 그늘을 제공하며 비교적 안정적인 대칭형 변화를 보인 반면, 동-서 방향 가로는 남측 건축물에 의해 제한적으로만 그늘이 형성되고, 일출·일몰 전후 급격한 면적 변화를 보이는 U 자형 패턴을 나타냈다. 이는 가로 방향과 태양 고도·방위각의 관계가 가로공간 열환경 취약성을 좌우하는 핵심 요인임을 시사한다.

이러한 결과를 종합하여 가로 방향과 도로 폭을 주요 기준으로 6개의 그늘 조성 우선지역 유형을 설정하고, 각 유형에 적합한 수목 및 대체 그늘 전략을 제안하였다. 동-서 방향 가로의 경우 북측 보행로 중심의 고수고 수목 식재, 대로에서의 다열 식재 및 중앙분리대 활용이 필요함을 제시하였으며, 소로에서는 보행 유도형 하부식생 식재를 통해 기존 건축물 그늘 활용도를 높이는 전략을 제안하였다. 남-북 및 대각 방향 가로에서는 저지하고·대수관 수목 식재를 통한 시간대별 그늘 확보와 더불어, 소로의 경우 옥상 녹화 기반의 식재벽 및 식재 그늘막 등 입체적 대안 전략의 적용 가능성을 제시하였다.

본 연구는 가로공간의 열환경 개선을 위한 수목 식재 전략을 단순한 가로수 배치 수준이 아니라, 가로 방향과 폭, 태양 기하학적 조건을 종합적으로 고려한 공간 유형 기반 접근으로 체계화하였다는 점에서 의의를 갖는다. 특히, 동일한 수목 식재라도 가로 구조에 따라 그늘 효과가 크게 달라질 수 있음을 모의를 통해 제시함으로써, 향후 도시 보행환경 개선 사업과 가로수 조성 지침 수립 시 보다 정밀한 기준 설정의 필요성을 강조한다.

다만, 본 연구는 특정 도시(대구시 중구)와 하절기 특정 시점을 중심으로 분석이 이루어졌다는 한계를 가진다.

향후 연구에서는 계절별 태양 고도 변화, 수종별 생육 특성, 실제 보행자 열쾌적 지표(PET, UTCI 등)와의 연계를 통해 제안된 전략의 효과를 정량적으로 검증할 필요가 있다. 또한 다른 도시 유형과 가로 구조에 대한 적용성 검토를 통해 본 연구에서 제시한 유형 분류 체계의 일반화 가능성을 확장할 필요가 있다. 일반화 및 정책적 반영을 위해서는 수목 그늘 조성 전략이 실질적인 효과가 있는지 검증이 필요하며, 실제 수목 데이터를 반영하여 분석하고, 가상 수목을 추가하여 동일 분석을 수행하는 등 효과 검증을 위한 시뮬레이션 분석 및 현장 검증이 필요하다.

본 연구의 결과는 도시 가로공간의 기후 적응형 설계 및 녹지 계획 수립을 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 수목 그늘 조성 전략에 대한 추가 분석이 수행되어 실효성이 검증된다면 폭염 대응형 보행환경 개선 정책과 수목 식재 우선순위 설정에 실질적인 기준을 제공할 것으로 기대된다.

References

1. 남현우, 이동근, 박병진, 김선진, 남예경(2025) 수목과 그늘막의 도시 열 스트레스 완화 효과 비교 분석. *한국기후변화학회지* 16(4): 655-665.
2. 박주현, 엄정희(2024) 도시열환경 개선 및 보행자 열 쾌적성 증대를 위한 효율적 가로녹지 조성방안 연구: 계획 및 설계를 위한 매개변수 도출과 녹지조성 방법 제안을 중심으로. *한국조경학회지* 52(2): 21-38.
3. 성옥제, 엄정희, 김효주, 손정민(2025) 가로수 특성에 따른 도시 그늘 환경 분석: 가로방향에 따른 보행로 중심으로. *한국환경생태학회지* 39(3): 312-325.
4. 손정민, 엄정희(2024) 가로수 식재 특성에 따른 도시 열환경 개선 효과: 대구광역시 가로수 온습도 관측을 바탕으로. *한국조경학회지* 52(4): 32-44.
5. 조상만, 현철지, 박수국(2017) 여름철 인간 열환경지수에 미치는 가로수의 영향 분석. *한국조경학회지* 45(5): 105-112.
6. Aleksandrowicz, O. and D. Pearlmutter(2023) The significance of shade provision in reducing street-level summer heat stress in a hot Mediterranean climate. *Landscape and Urban Planning* 229: 104588.
7. Ali-Toudert, F. and H. Mayer(2006) Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41(2): 94-108.
8. Anand, J. and D. J. Sailor(2023) How can we combine urban cooling strategies to effectively cool cities over the entire diurnal cycle? *Building and Environment* 242: 110524.
9. Chapman, S., J. E. Watson, A. Salazar, M. Thatcher and C. A. McAlpine(2017) The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology* 32(10): 1921-1935.
10. Chen, X., M. Han, J. He, H. Ma, M. Han, Y. Liu and X. Wu(2024) Integrated effect of aspect ratio and tree spacing on pedestrian thermal comfort of street canyon. *International Journal of Biometeorology* 68(10): 2115-2131.
11. Gu, X., Z. Wu, X. Liu, R. Qiao and Q. Jiang(2024) Exploring the nonlinear interplay between urban morphology and nighttime thermal environment. *Sustainable Cities and Society* 101: 105176.
12. Hagen, M. and P. Weihs(2023) Mortality during heatwaves and tropical nights in Vienna between 1998 and 2022. *Atmosphere* 14(10): 1498.
13. Jay, O., A. Capon, P. Berry, C. Broderick, R. De Dear, G. Havenith, Y. Honda, S. Kovats, W. Ma, A. Malik, N. B. Morris, L. Nybo, S. I. Seneviratne, J. Vanos and K. L. Ebi(2021) Reducing the health effects of hot weather and heat extremes: from personal cooling strategies to green cities. *The Lancet* 398(10301): 709-724.
14. Jiang, T., E. S. Krayenhoff, A. Martilli, N. Nazarian, B. Stone and J. A. Voogt(2025) Prioritizing urban heat adaptation infrastructure based on multiple outcomes: comfort, health, and energy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 122(19): e2411144122.
15. Lee, I., J. A. Voogt and T. J. Gillespie(2018) Analysis and comparison of shading strategies to increase human thermal comfort in urban areas. *Atmosphere* 9(3): 91.
16. Li, J., W. You, Y. Peng and W. Ding(2024) Exploring the potential of the aspect ratio to predict flow

- patterns in actual urban spaces for ventilation design by comparing the idealized and actual canyons. *Sustainable Cities and Society* 102: 105214.
17. Liu, J., B. M. Varghese, A. Hansen, Y. Zhang, T. Driscoll, G. Morgan, K. Dear, M. Gourley, A. Capon and P. Bi(2022) Heat exposure and cardiovascular health outcomes: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Planetary Health* 6(6): e484-e495.
 18. Morakinyo, T. E., L. Kong, K. K. L. Lau, C. Yuan and E. Ng(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.
 19. Nasrollahi, N., A. Ghosouri, J. Khodakarami and M. Taleghani(2020) Heat-mitigation strategies to improve pedestrian thermal comfort in urban environments: A review. *Sustainability* 12(23): 10000.
 20. Park, J. H., J. H. Eum, J. M. Son and U. J. Sung(2026) Designing climate-adaptive street greenery for pedestrian thermal environment: A spatial framework linking sidewalk width, street orientation, and street tree configuration from a Korean case study. *Land* 15(7): 1148.
 21. Ren, Z., Y. Fu, Y. Dong, P. Zhang and X. He(2022) Rapid urbanization and climate change significantly contribute to worsening urban human thermal comfort: A national 183-city, 26-year study in China. *Urban Climate* 43: 101154.
 22. Son, J. M., J. H. Eum and U. J. Sung(2025) Thermal mitigation effects of building and tree shade in a high-rise and park-dense urban area. *Sustainable Cities and Society*: 107073.
 23. Winbourne, J. B., T. S. Jones, S. M. Garvey, J. L. Harrison, L. Wang, D. Li, P. H. Templer and L. R. Hutya(2020) Tree transpiration and urban temperatures: Current understanding, implications, and future research directions. *BioScience* 70(7): 576-588.
 24. Yin, Y., S. Li, X. Xing, X. Zhou, Y. Kang, Q. Hu and Y. Li(2024) Cooling benefits of urban tree canopy: A systematic review. *Sustainability* 16(12): 4955.
 25. Zheng, S., C. He, J. M. Guldman, H. Xu and X. Liu(2023) Heat mitigation benefits of urban trees: A review of mechanisms, modeling, validation and simulation. *Forests* 14(12): 2280.