

녹지 조성 시나리오에 따른 도시 열환경 개선 효과 분석[†]

Scenario-Based Analysis on the Effects of Green Areas on the Improvement of Urban Thermal Environment[†]

민진규*, 엄정희**, 성욱제***, 손정민****, 김주은*****

*경북대학교 대학원 조경학과 석사과정, **경북대학교 산림과학 · 조경학부 조경학전공 부교수, ***경북대학교 대학원 조경학과 박사과정, ****경북대학교 대학원 조경학과 박사수료, *****국립산림과학원 산림생태연구과 연구원

Min, Jin-Kyu*, Eum, Jeong-Hee**, Sung, Uk-Je***, Son, Jeong-Min****, Kim, Ju-Eun*****

*Master's Student, Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

**Associate Professor, Dept. of Landscape Architecture, Kyungpook National University

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

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

*****Researcher, Forest Ecology Division, Korea Forest Research Institute

Received: September 16, 2022

Revised: September 22, 2022 (1st)
October 20, 2022 (2nd)

Accepted: October 20, 2022

3인익명 심사필

Corresponding author :

Jeong-Hee Eum

Associate Professor, Dept. of
Landscape Architecture,
Kyungpook National University,
Daegu 41566, Korea
Tel.: +82-53-950-5780
E-mail: eumjh@knu.ac.kr

국문초록

본 연구는 도시화 과정에서 발생한 도시 열섬현상을 완화하기 위해 도시 내에서 시행할 수 있는 생활권 녹지 조성 방법인 근린공원 조성, 소공원 조성, 주차장 녹화, 가로수 식재, 옥상·벽면 녹화 다섯 가지의 유형에 대해 세부 녹화 시나리오를 설정하여 열환경 개선 효과를 정량적으로 분석하는 것을 목표로 한다. 열환경 개선 효과를 확인하기 위해 미기후 시뮬레이션 프로그램인 ENVI-met 4.4.6v 모델을 활용하였다. 분석 결과, 공원의 식재 밀도가 높아질수록 기온이 낮아졌으나 사람이 느끼는 온열 체감 정도인 열쾌적성 지수 PET는 기온과 정비례하지 않았다. 수목이 증가하며 기온은 감소하였으나 상대습도가 소폭 증가 및 풍속이 다소 감소하였으며, 특히 PET에 많은 영향을 미치는 평균 복사온도가 수목 밀도와 정비례하지 않아 PET 역시 기온과 다른 양상을 보였다. 소공원은 한 개소 조성 후 효과를 확인하였을 때 최대 56m 반경까지 기온 저감 영향을 주었고, 250m 간격으로 세 개소를 추가 조성한 경우 기온 저감 범위가 약 12.5% 증가하였다. 기온과 달리 PET는 식재된 수목 영역 인근만 영향을 미쳐 소공원 조성 후 주변 환경의 열쾌적성은 큰 차이를 보이지 않았다. 지표면 포장을 아스팔트에서 잔디블록으로 변경하거나 옥상 및 벽면녹화 시행 등은 직접적인 일사 차양의 역할을 하지 않으나 기온 저감에 긍정적인 효과를 주었고, PET는 세 유형 모두 조성 전후 유의미한 차이를 보이지 않았다. 가로수는 식재 간격이 좁을수록 더 높은 기온 저감 효과를 보였으나, PET는 수목 밀도와 정비례하지 않았다. 가로수 하부 관목 식재의 경우 기온 저감에는 큰 영향을 주지 않으나 열쾌적성 개선에는 긍정적인 영향을 주었다. 본 연구는 도시 열섬현상 해소를 위한 생활권 녹지 조성 전략을 개괄적으로 제시하고 효율적인 열환경 개선을 위한 세부 전략을 수립하는 데에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 생활권 녹지, 녹화 유형, ENVI-Met, 도시열섬

ABSTRACT

To alleviate the urban heat island phenomenon, this study aims to quantitatively analyze the effects of neighborhood green spaces on the improvement of the thermal environment based on detailed scenarios of five types of green spaces, including parks, pocket parks, parking lot greening, roadside planting, and rooftop-wall greening. The ENVI-met 4.4.6v model, a microclimate simulation program, was used to analyze the effects of green spaces. As a result, it was found that the air temperature decreased as the planting density of the park increased, but the thermal comfort index PET, which is the degree of heat sensation felt by humans, was not directly proportional to temperature. The establishment of a pocket park reduced air temperature up to a radius of 56m, while the range of temperature reduction increased by about 12.5% when three additional pocket parks were established at 250m intervals. Unlike the air temperature, PET was only affected in the vicinity of the planted area, so there was no significant difference in the thermal comfort of the surrounding environment due to the construction of pocket parks. Changing the surface pavement from asphalt to lawn blocks and implementing rooftop or wall greening did not directly act as solar shading but positively affected air temperature reduction; PET showed no significant difference. Roadside planting showed a higher air

[†]본 연구는 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음
(NRF-2019R1A2C1011042).

temperature reduction effect as the planting interval was narrower, but PET was not directly proportional to tree density. In the case of shrub planting under trees, it did not significantly affect the air temperature reduction but positively affected the improvement of thermal comfort. This study can outline strategies for constructing neighborhood green spaces to solve the urban heat island phenomena and establish detailed strategies for efficient thermal environment improvements.

Keywords: Neighborhood Green Spaces, Greening Types, ENVI-Met, Urban Heat Island

1. 서론

급격한 산업화 및 도시화 과정 속에서 생태계 파괴와 기후변화 등 많은 환경적 문제가 발생하였고, 특히 무분별한 도시 공간의 확장으로 도시 열섬현상이 야기되었다(Oke, 1973). 도시 열섬현상은 주변 교외 지역과 비교했을 때 도시 내 기온 및 지표면 온도가 더 높아지는 현상을 말한다. 도시 열섬현상은 화석 연료 사용으로 인한 대기오염뿐만 아니라, 녹지가 줄어들며 증발산작용에 의한 잠열이 감소하거나(Taha, 1997), 알베도가 낮은 건축 자재의 특성으로 주변에 비해 많은 태양열을 흡수 및 방출하고(Santamouris, 2015), 지표면 포장이 콘크리트, 아스팔트 등으로 변경되며 지표면 온도가 상승하는 등(Kolokotroni and Giridharan, 2008; Kim et al., 2014), 도시 계획 과정과 밀접하게 연관되어 있다. 이러한 도시 열섬현상은 생물 다양성 감소 및 물 소비 증가로 비롯되는 자원 고갈(Li and Norford, 2016), 건물 냉각을 위한 에너지 소비 증가(Kolokotroni et al., 2006)와 더불어, 도시의 기온이 증가하며 온열질환을 유발(Lee et al., 2019)하고, 도시 내 대기 오염물질의 오염 농도를 높이는(Sarrat et al., 2006) 등 도시의 환경과 인체 건강을 위협하는 주원인(Oh and Hong, 2005)이 된다.

도시 열섬으로 야기되는 피해를 해소하기 위해 선행연구들이 이어지고 있으며, 특히 도시 내 녹지는 열환경 개선에 긍정적인 영향을 주는 것으로 평가된다. Eum et al.(2018)은 바람길을 유도하여 도심의 열환경을 개선하는 도시 관리 방안을 제시하였다. 도시 열섬현상으로 야간에도 도심의 기온은 높은 반면, 인근 산은 비교적 낮은 온도를 띄게 되는데, 이때 기압 차이로 산에서 생성된 찬 공기가 도심으로 유입되며 도심의 열환경을 개선할 수 있다. Song and Park(2015)은 지표면 온도와 녹지율 간의 상관관계를 파악하여 도시 열섬을 완화하기 위한 최적의 녹지율을 제시하였다. 녹지의 자연포장은 콘크리트, 아스팔트 등의 인공포장보다 태양복사 에너지에 의한 온도 증가가 더더 주변 인공 환경보다 지표면 온도가 낮은 녹지를 조성함으로써 도시 열섬을 완화할 수 있다. Park and Cho(2016)는 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)와 녹지의 모양 및 크기, 토지 이용 등을 통해 녹지가 주변에 미치는 냉각 영향을 분석하였으며, Monteiro et al.(2016)은 실시간 기온 모니터링으로 녹지의 냉방 서비스 효과를 분석해 3-5ha 면적의 녹지가 주변 100-150m에 냉각 효과를 제공함을 확인하였다.

도시 공간 내 녹지는 도시 열섬에 있어 긍정적인 영향을 줄 수 있지만 급격한 도시화로 비롯된 도시 공간의 무분별한 확장으로 대부분의 녹지가 도시 외곽에 위치하게 되었다. 도심에서 녹지의 환경적 혜택을 온전히 받기 위해서는 소공원 및 어린이공원, 근린공원과 같이 도시 생활권의 기반이 되는 도시공원과 더불어 도로 및 건축물 등의 도시 생활 요소에 조성한 녹지, 즉 생활권 녹지를 충분히 확보할 필요가 있으나 이미 도시화가 끝난 현시점에서 녹지를 무한정 늘리는 것은 현실적으로 한계가 있다. 따라서 녹지를 조성하기 전 열환경 개선이 필요한 대상지를 선정하거나, 확보한 토지 내에서 도시 열섬현상을 효율적으로 개선할 수 있는 녹화 전략을 세울 필요가 있으며, 이를 위해 전산 유체 역학(computational fluid dynamics, CFD) 기반 미기후 예측 모델을 활용한 다양한 선행연구가 이루어지고 있다(Kim et al., 2012; Shen et al., 2013). 시뮬레이션을 통한 예측 분석은 도시 열섬현상 및 열환경 분석에 있어 모든 환경적 요인을 정확하게 반영하기 어렵다는 단점이 있지만(Mirzaei and Haghighat, 2010), 공원 및 녹지를 조성하기 전에 그 효과를 미리 예측할 수 있다는 장점이 있다. 또한 시뮬레이션 프로그램의 정확성을 검증하기 위해 시뮬레이션 분석 결과와 현장 미기상 실측 결과를 비교·분석하는 연구(Jeong et al., 2016; Park et al., 2020)가 이어지고 있다. CFD 기반 시뮬레이션 프로그램 중 특히 ENVI-met은 열환경 분석을 비롯한 도시 기후 연구에 많이 활용되고 있으며(Tsoka et al., 2018) 예측 정확도가 양호한 것으로 평가되어 열환경 분석을 위한 도구 등으로 주로 활용되고 있다(Mirzaei and Haghighat, 2010). ENVI-met을 활용하여 Duarte et al.(2015)은 건축물이 있는 환경에서 중심부 공원, 여러 개의 소공원, 가로수가 있는 세 가지 시나리오로 구분하여 녹화유형별 미기후 변화를 분석하였고, Tseliou et al.(2022)은 시뮬레이션을 통하여 연구 대상지 내 잔디, 물, 나무 등 요소에 따른 열쾌적성 차이를 분석하였다. 또한 Saito et al.(2017)은 대상지의 현황과 기존 계획 가이드라인에 따른 설계, 그리고 열쾌적성 개선을 위해 연구자가 제시한 설계안을 비교하여 제시한 설계 시나리오의 열환경 개선 효과를 나타

내었다. 하지만 기존 선행 연구들은 녹화 유형별 열환경 차이를 비교하거나, 물이나 잔디같은 특정 요소의 효과 또는 특정 대상지의 개선을 위한 시나리오를 제시하는 등 열환경 개선을 위한 녹지 조성에 있어서 일반적으로 적용하기에는 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 도시 열섬현상 완화를 위한 생활권 녹지를 대상으로 다양한 시나리오를 정량적으로 비교하여 효과적인 녹화 전략을 제시하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 공원, 가로수와 같이 도시 내에서 일반적으로 조성할 수 있는 생활권 녹지 유형들을 분류하고, 각 유형별로 녹지율 및 녹지면적 등을 다양하게 나누어 각 세부 조성 시나리오를 세운 뒤, ENVI-met 시뮬레이션을 통한 정량적 분석으로 열환경 개선에 효과적인 시나리오를 도출하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 녹화 유형 분류

기후변화 및 도시 열섬현상에 대응하여 도시 내 생활권 녹지를 조성하기 위해 정부와 각 지자체는 다양한 녹화 사업을 진행하고 있다. 서울특별시에는 ‘3천만 그루 나무심기 프로젝트’를 통해 대규모 녹지 및 생활권·자투리 유휴 공간을 활용하여 녹지공간을 늘려가고 있고, 부산광역시를 비롯한 많은 지자체에서 ‘명품가로수길’을 조성해 미세먼지 저감 및 시민 건강 증진을 위한 노력을 기울이고 있다. 녹지 조성을 위한 토지를 무한정 확보하기 어려운 도시 환경의 특성을 고려하여 대구광역시는 민간부분 옥상녹화지원사업으로 2008년부터 2020년까지 126,518m²의 옥상 녹화를 진행하였고, 서울 강동구청은 건물의 표면 온도를 내리기 위해 구청 벽면을 녹화하였다. 선행연구를 포함한 정부·지자체의 녹화 사업 동향을 참고하여 도시 내 생활권 녹지 조성을 위한 녹화 유형을 ‘근린공원 조성’, ‘소공원 조성’, ‘가로수 식재’, ‘옥상녹화 및 벽면녹화’로 분류하였으며, 추가적으로 연구 대상지의 지상 주차 면적이 넓은 것을 고려하여 ‘주차장 녹화’를 녹화 유형에 추가하였다(Figure 1 참조).

2.2 분석 대상지 선정

분석을 위한 대상지는 대구광역시 서구 중리동 및 이현동 내에 위치한 ‘서대구 산업단지’로 선정하였다(Figure 2 참조). 기상청에 따르면 대구광역시는 지난 10년간(2011~2021년) 여름철 평균 최고 기온이 37.53℃, 폭염일수가 약 31일로 전국의 여름철 평균 최고 기온 29.07℃, 폭염일수 약 14일보다 훨씬 높은 수치를 기록하고 있으며, 대구광역시 내에서도 특히 서구는 산업단지에서 발생하는 인공열과 부족한 식생으로 인해 열환경이 악화되어 있어 기후 변화의 영향으로 서구의 폭염일수가 대구 내에서 가장 크게 증가할 것으로 평가된다(Kwon, 2015). 앞서 분류한 각 녹화 유형들은 모두 조성에 적합한 공간적 특성이 다르고, 적용되는 세부 시나리오 역시 다르므로 다음과 같이 기준을 설정하고 이에 따라 서대구 산업단지 내에서 녹화 유형별 적합한 세부 대상지를 선정하였다.

근린공원 조성(Case A)은 근린생활권근린공원 법적 조성 기준에 따라 면적이 10,000m² 이상인 토지가 필요하므로 해당 면적과 유사한 면적의 건축물이 있으며, 주변에 다른 녹지가 없이 건축물에 둘러싸인 곳을 세부 대상지로 선정하였다. 소공원 조성(Case B)은 소공원의 법적 조성 기준이 없어 어린이공원의 법적 조성 기준으로 대체하여 1,500m²와 유사한 면적의 토지가 있는 곳이면서, 또한 소공원을 추가 조성했을 때의 효과를 확인할 수 있도록 어린이공원의 법적 유치거리 기준인 250m 반경에서도 비슷한 면적의 토지를 계속해서 확보할 수 있는 곳을 선정하였다. 그리고 주차장 녹화(Case C)는 주차면적의 포장을 잔디블록으로 변경한 효과를 볼 수 있도록 주차면적이 밀

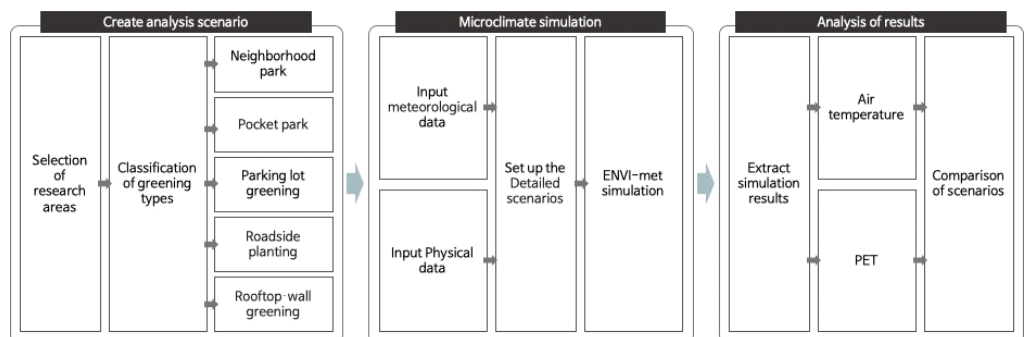


Figure 1. Study process



Figure 2. Study area

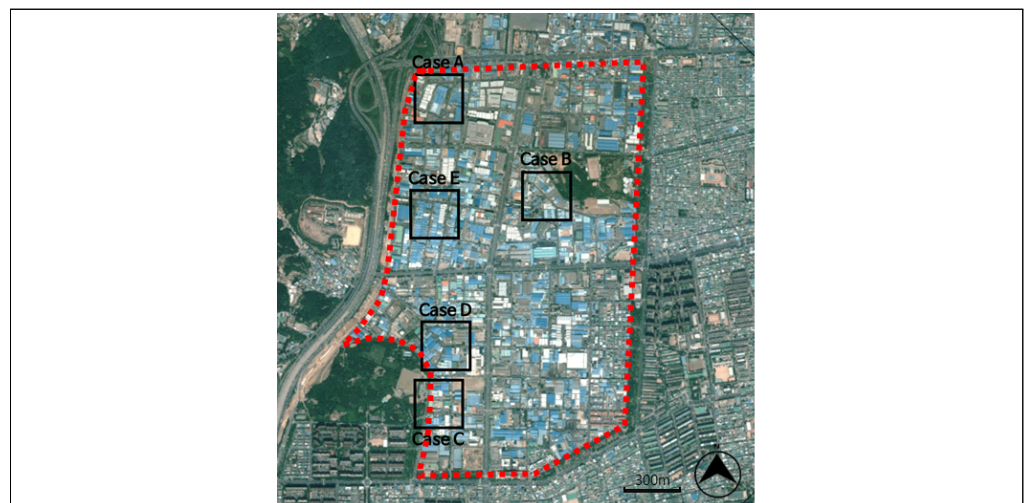


Figure 3. Orthophoto of study area

집되어 있는 곳을 선정하였고, 가로수 식재(Case D)는 기존 가로수가 없으며 주풍 방향과 도로의 방향이 수직 및 수평, 사선 등 다양한 방향으로 있어 주풍 방향과의 관계를 함께 분석하기 용이한 곳을 대상으로 선정하였다. 마지막으로 옥상·벽면 녹화(Case E)는 수목이 없고 건축물이 다수 위치하여 다양한 위치에서 옥상 및 벽면 녹화를 시행할 수 있는 곳을 세부 대상으로 선정하였다(Figure 3 참조). 모든 세부 대상지는 정사각형 형태로 구획하였는데, 이는 특히 Case B에서 중심에 조성한 소공원과 더불어 250m 반경에 공원을 추가 조성하는 시나리오를 세우거나, Case D에서 다양한 방향의 도로를 비슷한 길이 및 면적으로 위치시키기에 정사각형 형태가 유리할 것으로 판단하였기 때문이며, 시나리오별 비교뿐만 아니라 각 녹화 유형 간의 데이터 비교도 용이하도록 모든 시나리오는 정사각형으로 구획하였다. 또한 Case B에서 250m 반경으로 공원을 조성할 수 있으면서도 시뮬레이션 구축 및 구동이 용이하도록 모든 세부 대상지는 한 변이 500m가 되도록 공간을 구획하였다.

2.3 미기후 시뮬레이션

각 녹화 유형에 따른 열환경 개선 효과를 확인하기 위해 독일의 3차원 미기후 시뮬레이션 프로그램인 ENVI-met 4.4.6v를 활용하였다. ENVI-met은 유체역학 및 열역학, 대기물리학 등을 기초로 건축물 및 재료, 수목, 대기 등의 입력자료를 통하여 대상지의 기온과 상대습도, 풍향 및 풍속, 지표면 온도 등을 예측할 수 있다. 각 분석 공간 모형의 크기는 500m * 500m * 40m, 해상도는 2m * 2m * 2m로 설정하였다. 시뮬레이션을 위해 기상 입력자료는 기상청 종관기상관측(ASOS) 대구 지점(176) 및 방재기상관측(AWS) 대구서구 지점(846)의 2015년부터 2020년까지의 7, 8월 자료를 활용하였다(Table 1 참조). 시뮬레이션을 진행할 때 시간에 따라 누적되는 복사열을 반영하기 위해 4시부터 21시까지 시뮬레이션을 진행하고, 그중 10시부터 18시까지의 데이터를 추출하여 분석하였

Table 1. Input data for meteorological simulation

Analysis area	500m * 500m * 40m
Grid size	2m * 2m* 2m
Temperature	36°C
Wind speed	2.1m/s
Wind direction	120°
Simulation time	04:00-21:00 (17hr)

Table 2. Input data for PET simulation

Sex	Male
Age	35
Height	175cm
Weight	75kg
Clothing	0.9clo
Metabolic rate	1.48met

다. 또한 열쾌적성 지수인 Physiological Equivalent Temperature(PET; Hoppe, 1999)를 분석하기 위해 신체조건에 대한 자료를 입력하였다. PET는 기온, 상대습도, 풍속, 복사온도 등의 자연 환경적 요인과 더불어 신체 대사량 및 작업량 등 개인의 신체적 요인을 고려하는 열쾌적 지수이며 신체조건 입력 자료는 열환경 및 열쾌적과 관련한 국제 표준인 ISO 7730:2005에 따른 평균 신체조건을 적용하였다(Table 2 참조). 또한 지표면의 수직 방향으로 단면을 분석한 Case B를 제외하고, 모든 시나리오의 분석 결과는 사람의 눈높이와 유사한 지표면으로부터 1.4m 높이의 데이터를 활용하였다.

2.4 세부 시나리오 구축

녹지를 변화에 따른 열환경 개선을 분석하기 위해 녹화 유형별 세부 시나리오를 구성하였다(Figure 4, Table 3 참조). 근린공원을 조성하는 Case A는 공원 내 녹지율에 따른 열환경 개선 정도를 확인하기 위해 약 10,569m² 면적의 건축물을 제거한 후 해당 면적에 공원을 조성하는 시나리오이며, 공원을 조성하기 전인 A0과 공원 내 교목 식재 면적에 따라 A1(교목 식재 면적 5%), A2(교목 식재 면적 15%), A3(교목 식재 면적 30%)으로 세부 시나리오를 나누었다. A1, A2, A3 모두 공원의 전체 면적은 10,569m²이며 공원 면적 내에서 각 시나리오별 식재한 교목의 수관투영면적은 각각 528m²(A1), 1,585m²(A2), 3,170m²(A3)이다. 관목 및 초화는 고려하지 않았으며 공원으로 변경한 모든 지표면은 토양으로 설정하였다.

소공원을 조성하는 Case B는 소공원을 조성하였을 때 주변 열환경 개선에 영향을 주는 범위를 확인하고자 하였으며 시나리오 B0은 공원을 조성하기 전이며, B1은 B0에서 1,629m² 면적의 건축물을 제거 후 소공원을 조성하는 시나리오로 해당 면적의 30%에 교목 및 관목을 식재하였다. B2는 B1에서 조성한 소공원을 중심으로 반경 250m에 비슷한 조건의 소공원 세 개소를 추가하였다. 조성된 공원의 총 면적은 B1은 1,629m², B2는 5,922m²이며, 각 시나리오의 수관투영면적은 공원 총 면적의 30%가 되도록 설정하여 각각 489m², 1,777m²로 설계하였다. Case A와 마찬가지로 공원으로 변경한 모든 지표면은 토양으로 지정하였다.

주차장 녹화인 Case C의 경우 수목 식재와 더불어 지표면 포장을 변경하였을 때의 열환경 개선 효과를 확인하고자 하였고 주차면적에 교목만 식재한 C1, 기존 아스팔트 포장을 잔디블록으로 변경만한 C2, 그리고 교목 식재 및 포장 변경을 둘 다 시행한 C3으로 구성하였다. 녹화한 전체 면적은 C0, C1, C2 모두 11,412m²이며, 수관투영면적은 각각 4,564m², 0m², 4,564m²이다.

가로수 식재인 Case D는 가로수의 식재 간격 및 하부 관목 식재에 따른 효과를 확인하고자 하였으며, 가로수를 식재하지 않은 D0, 교목을 20m 간격으로 식재한 D1, 교목을 10m 간격으로 식재한 D2, 교목을 20m 간격으로 식재하며 하단에 0.5m 높이의 관목을 식재한 D3으로 나누었다. Case D의 수관투영면적은 D0부터 0m², 3,768m², 8,242m², 3,768m²이다.

옥상 및 벽면녹화를 시행하는 Case E는 건축물 녹화가 되어있지 않은 시나리오 E0과 옥상녹화를 시행한 E1, 벽면녹화를 시행한 E2를 비교하였다. 각 건축물의 건축면적을 기준으로 50% 면적에 녹화를 시행했으며 분석영역 전

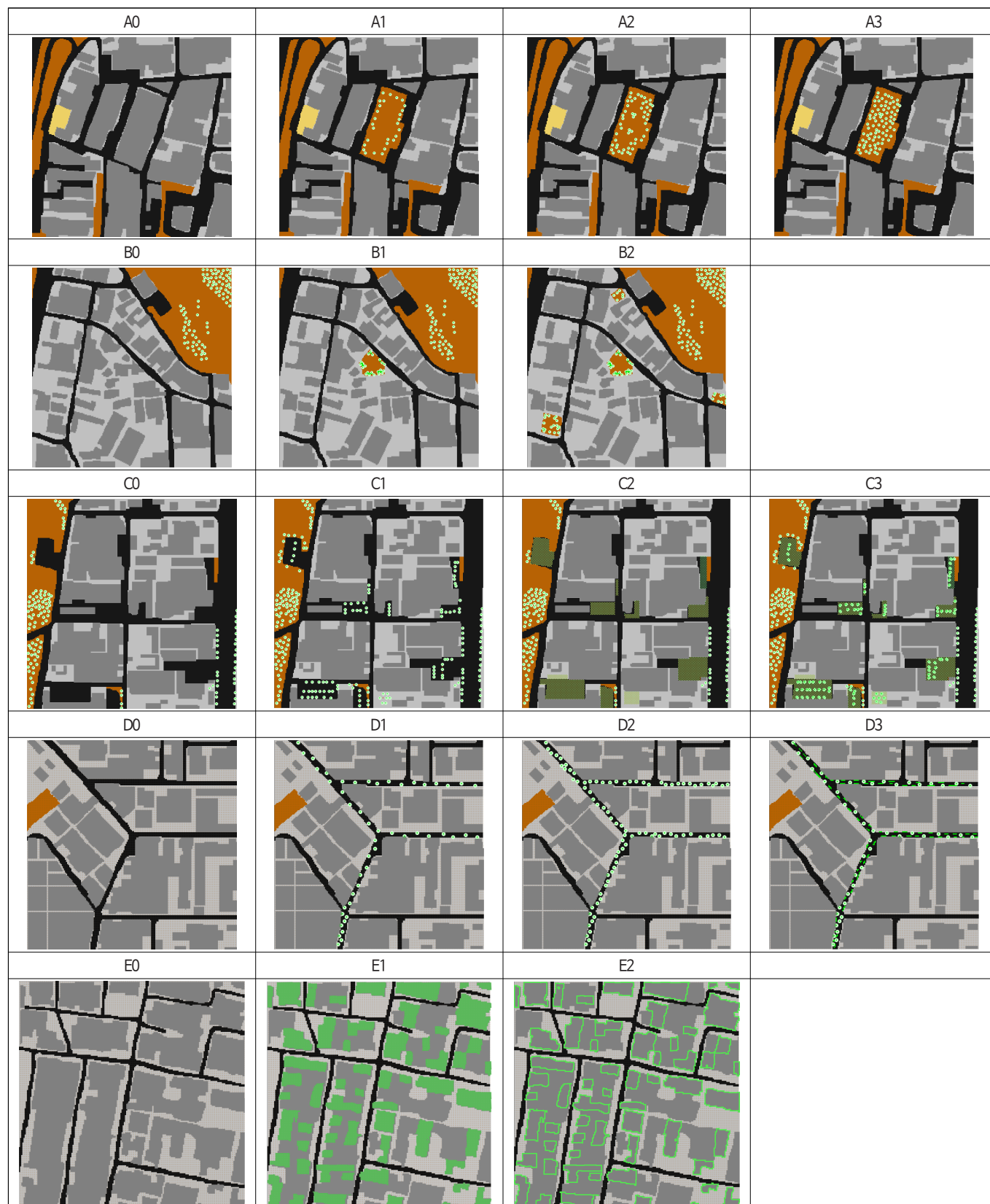


Figure 4. Space data for ENVI-met simulation

Legend:

- | | | | |
|---------|----------|------------------|---------------|
| Asphalt | Sand | Building | Wall Greening |
| Soil | Concrete | Rooftop Greening | Tree |

Table 3. Detailed scenarios of five greening types

Method	Detailed scenario		Crown projected area (m ²)
Neighborhood park (Case A)	A0	Before construction	-
	A1	Low-density planting of tree	528
	A2	Mid-density planting of tree	1,585
	A3	High-density planting of tree	3,170
Pocket park (Case B)	B0	Before construction	-
	B1	One pocket park construction	489
	B2	Four pocket park construction (250m distance)	1,777
Parking lot greening (Case C)	C0	Before greening	-
	C1	Tree planting in the parking lot	4,564
	C2	Change the paving to lawn block	0
	C3	Implement both tree planting and paving changes	4,564
Roadside planting (Case D)	D0	Before planting	-
	D1	Low-density planting of tree	3,768
	D2	High-density planting of tree	8,242
	D3	Low-density tree and lower shrub planting	3,768
Rooftop · wall greening (Case E)	E0	Before greening	-
	E1	Rooftop greening	-
	E2	Wall greening	-

체에 녹화 대상지가 고르게 분포하도록 하였다.

모든 시나리오에서 분석자료 구축에 활용한 교목은 모두 수고 11m, 수관폭 10m의 낙엽교목으로 통일하였으며, Case B와 Case D에 사용한 관목은 모두 0.5m 높이로 설정하였다. 또한 모든 시나리오에서 사용된 건축물은 높이를 5m로 고정하였다.

3. 연구결과

3.1 근린공원 조성: Case A

근린공원 조성의 경우 분석에 활용한 전 시간대(10시~18시)에서 평균 기온이 A1에서 제일 높았으며(31.13°C), 그 뒤로 A2(31.09°C), A0(31.04°C), A3(31.03°C)가 뒤를 이었다(Table 4, Figure 10 참조). A0의 경우 공원 조성 전 건축물이 있어 지표면으로부터 1.4m의 높이에서 기온을 계산하는 과정에서 건축물이 포함된 좌표의 결과값은 제외하였다. A0의 경우 A1 및 A2보다 분석 영역 전체의 평균 기온이 낮게 확인되었는데, 이는 넓은 면적에 차양 역할을 하던 기존의 크고 넓은 건축물이 공원으로 바뀌며 오히려 일사량이 많아진 영향으로 판단된다. 주변 공간을

Table 4. Average temperature per hour from Case A to Case E (°C)

	A0	A1	A2	A3	B0	B1	B2	C0	C1	C2	C3
10:00	28.50	28.50	28.49	28.44	28.15	28.13	28.16	28.91	28.77	28.75	28.72
11:00	29.51	29.55	29.53	29.48	29.20	29.19	29.21	29.93	29.81	29.79	29.74
12:00	30.37	30.45	30.42	30.36	30.09	30.08	30.09	30.75	30.62	30.61	30.53
13:00	31.18	31.31	31.28	31.20	31.00	30.99	31.01	31.53	31.39	31.41	31.32
14:00	31.79	31.94	31.90	31.82	31.71	31.70	31.73	32.11	31.97	32.03	31.92
15:00	32.18	32.33	32.29	32.21	32.13	32.13	32.15	32.48	32.34	32.42	32.31
16:00	32.49	32.60	32.55	32.47	32.38	32.37	32.39	32.73	32.58	32.68	32.57
17:00	32.11	32.18	32.14	32.07	31.93	31.92	31.94	32.27	32.12	32.22	32.12
18:00	31.25	31.27	31.24	31.19	31.02	31.00	31.02	31.35	31.22	31.28	31.21

Table 4. Continued

	D0	D1	D2	D3	E0	E1	E2
10:00	26.67	27.91	27.86	27.90	28.27	28.13	28.26
11:00	28.09	28.95	28.87	28.93	29.31	29.15	29.28
12:00	29.15	29.62	29.54	29.61	30.10	29.94	30.07
13:00	30.27	30.32	30.23	30.28	30.85	30.70	30.82
14:00	31.31	30.84	30.75	30.84	31.44	31.28	31.41
15:00	32.23	31.31	31.21	31.31	31.88	31.72	31.83
16:00	33.11	31.63	31.55	31.63	32.25	32.10	32.18
17:00	33.05	31.47	31.38	31.46	31.92	31.77	31.83
18:00	32.52	30.99	30.92	30.98	31.17	31.03	31.06

* 1.4m above the surface

제외하고 녹지가 조성된 면적만 추출해 비교할 경우 A2는 A1보다 기온이 평균 0.14℃(저감율 0.43%), 최대 0.7 2℃ 낮았으며, A3은 평균 0.55℃(저감율 2.11%), 최대 1.44℃ 낮았다. 수목의 밀도가 높아질수록 평균 기온은 낮아 지는 경향을 보였고, 특히 14시부터 16시 시간대에서 비교적 높은 기온 저감 폭을 보였다. 열쾌적성 지표인 PET의 경우 분석 전 시간대 평균, A2가 47.57℃로 제일 높았고, 다음으로 A1이 46.40℃, A0이 46.18℃, 마지막으로 A3 이 제일 낮은 45.94℃를 기록하였다(Table 5, Figure 11 참조). 기온과 마찬가지로 A0은 건축 면적의 데이터를 제 외하였고, 기존 건축물의 일사 차양 역할로 PET 역시 모든 시나리오들 중 제일 낮은 결과를 보였다. 기온 결과와 상이하게 A2에서 제일 높은 PET 결과가 나타났는데, 수목의 증가로 지표면 차양 면적이 늘어나는 등 기온 저감에 는 효과를 보였으나 동시에 상대습도가 높아지고 풍속이 감소하는 등 열쾌적성에 부정적인 요소들의 영향이 더 강 하게 작용하여 결과적으로 A1보다 수목 밀도가 증가했음에도 열쾌적성은 비교적 악화된 것으로 판단된다(Figure 5 는 각 시나리오의 결과값 차를 보여준다).

Table 5. Average PET per hour from Case A to Case E (°C)

	A0	A1	A2	A3	B0	B1	B2	C0	C1	C2	C3
10:00	44.27	44.19	45.87	43.75	44.30	44.10	45.87	43.88	43.08	43.60	45.11
11:00	45.55	45.44	47.24	45.04	45.81	45.60	47.43	45.24	44.57	44.98	46.65
12:00	46.03	45.98	47.88	45.58	46.46	46.24	48.08	45.65	45.03	45.40	47.22
13:00	47.43	47.48	48.93	47.07	48.01	47.83	49.09	47.06	46.49	46.89	48.25
14:00	48.66	48.89	50.00	48.53	49.12	48.97	50.15	48.26	47.74	48.21	49.14
15:00	49.09	49.63	50.64	49.21	49.70	49.55	50.65	48.71	48.10	48.69	49.50
16:00	48.97	49.61	50.38	49.11	49.30	49.14	50.01	48.64	47.89	48.62	49.12
17:00	46.95	47.31	47.74	46.67	46.64	46.49	47.08	46.28	45.27	46.25	46.35
18:00	38.63	39.08	39.46	38.54	38.32	38.17	38.81	38.14	37.11	38.05	38.10

	D0	D1	D2	D3	E0	E1	E2
10:00	44.81	43.98	44.65	43.87	48.38	48.42	48.42
11:00	48.11	46.49	47.20	46.36	48.82	48.85	48.85
12:00	50.53	48.77	49.63	48.65	49.95	49.97	49.99
13:00	51.69	49.27	50.41	48.99	50.74	50.71	50.78
14:00	51.86	49.24	50.71	49.08	51.44	51.45	51.48
15:00	52.01	49.39	50.02	49.16	52.82	52.74	52.85
16:00	52.16	47.80	48.45	47.73	51.88	51.65	51.91
17:00	49.58	45.02	45.17	44.92	48.30	48.06	48.35
18:00	45.93	40.36	40.60	40.27	39.40	39.14	39.51

* 1.4m above the surface

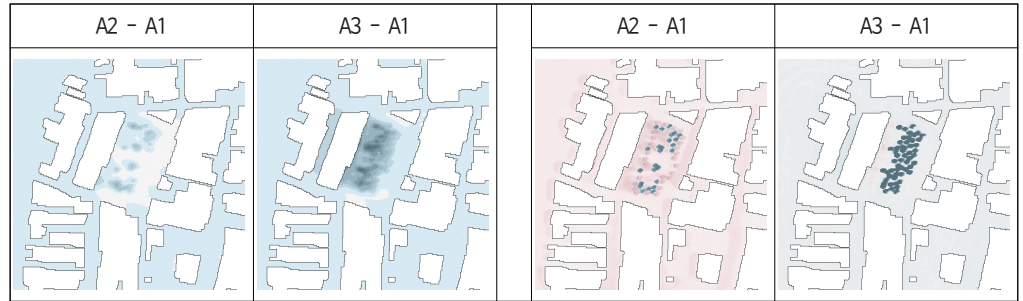


Figure 5. Air temperature(left) and PET(right) differences among Case A scenarios
* at 16:00, 1.4m above the surface

Legend:

Temp. -1.5°C +1.5°C PET -10°C +10°C

3.2 소공원 조성: Case B

소공원 조성은 분석 전 시간대의 평균을 비교했을 때 기온 및 PET 모두 뚜렷한 차이를 보이지 않았는데, 식재 한 수목의 수관 면적이 B1은 전체 분석 면적의 0.2%, B2는 0.7%로 전체 면적에 비해 수관 면적이 매우 적어 효과가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 소공원이 주변 열환경에 주는 영향을 확인하기 위해 B1에서 소공원을 조성한 지점을 중심으로 이를 가로지르는 수직 단면을 잘라 모든 시나리오를 비교하였다. 소공원 조성 전인 B0과 소공원을 한 개소 조성한 B1을 비교하였을 때 B1에서 조성한 소공원의 중심을 기준으로 지표면과 수평 방향으로 최대 반경 56m까지 기온 저감 효과가 확인되었으며, 0.1°C 이상의 기온저감은 반경 39m 이내에서 나타났다. 이때 반경 중 23m는 공원 내부이며, 수직 방향으로로는 최대 24m까지 기온 저감 효과를 보였다. 소공원을 4개소 조성한 B2를 B0과 비교했을 때, 이전과 같은 지점에서 최대 반경 63m까지 기온 저감 경향을 보였고 0.1°C 이상의 기온 저감은 마찬가지로 반경 39m 이내에서 나타났으며, 수직 방향으로로는 최대 31m까지 기온 저감 효과를 보였다. PET의 경우 분석 전체 시간을 기준으로 B0이 46.41°C, B1이 46.23°C, B2가 47.46°C로 B2에서 PET가 제일 높게 나타났다. 식재된 수목 하부에서 PET가 주로 저감되었고 공원 외부로는 영향을 미치지 않았다(Figure 6 참조).

3.3 주차장 녹화: Case C

주차장 녹화는 분석 전 시간대 평균 기온이 녹지를 조성하기 전인 C0에서 31.34°C로 제일 높았고, 그 뒤로 포장만 변경한 C2가 31.24°C, 교목만 식재한 C1이 31.20°C, 마지막으로 교목 식재 및 포장 변경을 모두 시행한 C3이 31.16°C로 제일 기온이 낮았다. C2의 포장 변경은 일사 차단 역할을 하지 않지만, 녹지 조성 전보다 평균 0.1°C 기온이 저감되었다. 추가로 다른 시간대를 비교한 결과, 햇빛의 영향을 많이 받는 14시-16시에는 기온 저감 폭이 비교적 적었으나, 14시 이전에는 기온이 녹지 조성 전보다 비교적 더디게 증가하는 경향을 보여 최대 0.16°C 까지 기온 저감 효과를 보였다. 또한 C3은 교목 식재 및 포장 변경을 둘 다 시행함으로써 C1 및 C2보다 높은 기온 저감 폭을 보여, 조성 전보다 평균 0.18°C, 최대 0.22°C 기온이 낮게 나타났다. PET의 경우 전 시간대 평균 C3이 제일 높은 46.60°C, 그 뒤로 C0이 45.76°C, C2가 45.63°C, C1이 제일 낮은 45.03°C로 나타났다. C0과 비교하였을 때 C1은 1.63%, C2는 0.29% 저감되었으나 C1과 C2를 둘 다 시행한 C3에서는 오히려 C0보다 PET가 1.81% 증가하였다. 그중 한낮 시간대는 PET 차이가 미미했으나, 오전-점심 시간대에서 최대 3.42% PET가 증가

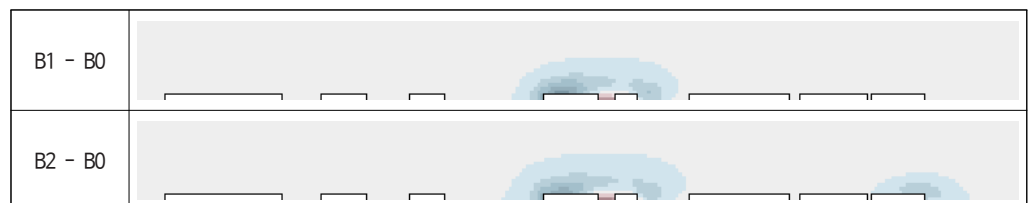


Figure 6. Temperature difference between Case B scenarios
* at 16:00

Legend: -0.7°C +0.7°C

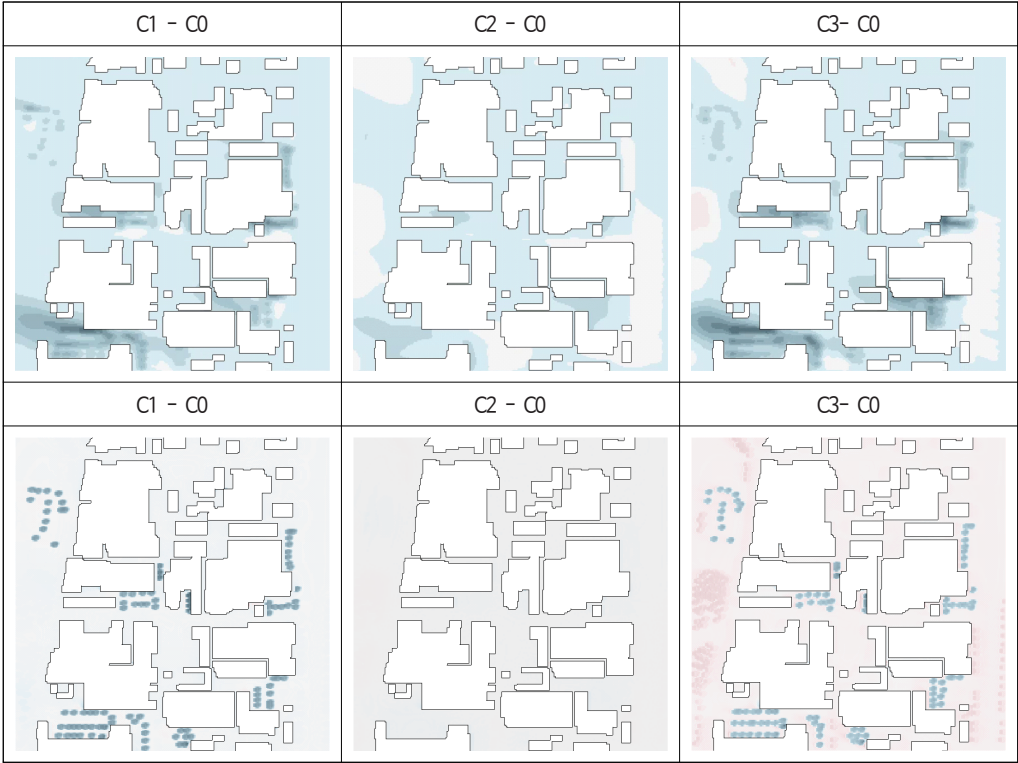


Figure 7. Temperature(top) and PET(bottom) differences between Case C scenarios
*at 16:00, 1.4m above the surface

Legend: Temp. -1.5°C +1.5°C PET -14°C +14°C

하여 열쾌적성은 비교적 악화된 경향을 보였다(Figure 7 참조).

3.4 가로수 식재: Case D

가로수 식재는 분석 전 시간 가로수를 식재하기 전인 D0이 30.71°C로 평균 기온이 제일 높았고, 20m 간격으로 가로수를 식재한 D1이 30.34°C, 20m 간격 식재 및 하부 관목을 식재한 D3이 30.32°C, 마지막으로 10m 간격으로 가로수를 식재한 D2가 30.26°C로 제일 낮은 기온을 보였다. 수목의 밀도가 높아질수록 기온이 저감되는 경향을 보였으며, D1, D2, D3 시나리오 모두 오전 시간대는 가로수 식재 전보다 오히려 기온이 높은 경향을 보였다. 반면 14시 이후로 높은 기온 저감 효과를 보여주었으며 특히 D2에서 최대 1.68°C(감소율 5.07%) 기온이 저감되었다. PET는 D0이 제일 높은 49.63°C, D2가 47.43°C, D1이 46.70°C, 마지막으로 D3이 제일 낮은 46.56°C로 나타났다. 기온과 마찬가지로 가로수 식재 전 열쾌적성이 제일 쾌적하지 못하였으며, D2는 기온은 제일 낮았던 반면, PET는 두 번째로 높았다. 또한 D1과 D3을 비교하였을 때 D3의 PET가 평균적으로 0.15°C(감소율 0.31%) 낮아 하부 관목이 열쾌적성 개선에 긍정적인 영향을 주나 정도가 미미한 것으로 판단된다. PET는 가로수 조성 후 전 시간대에서 개선되는 경향을 보였으며 특히 저녁 시간에 높은 저감 정도를 보여 D3은 조성 전과 비교하였을 때 최대 5.6°C(감소율 12.33%) PET가 낮았다(Figure 8 참조).

3.5 옥상·벽면녹화: Case E

옥상·벽면녹화는 분석 시간 전체의 평균 기온이 녹화를 시행하기 전인 E0에서 30.80°C로 제일 높았고, 벽면녹화를 시행한 E2가 30.75°C, 그리고 옥상녹화를 시행한 E1이 30.65°C로 제일 낮았다. E1의 경우 E0과 비교했을 때 매 시간대마다 유사하게 0.14~0.16°C 정도 기온이 낮아졌고, E2는 14시 이전까진 결과의 차이를 보이지 않았으나 그 이후 시간부터 0.03~0.1°C 정도의 기온저감 효과를 보였다. 특히 옥상녹화의 경우 5m 높이의 건축물 옥상면적에 녹화를 진행하였는데, 지표면으로부터 1.4m 높이에서 평균 0.15°C 기온이 저감되는 경향을 보였다.

PET의 경우 E2가 제일 높은 49.13°C를 기록하였고, 그 뒤로 E0이 49.08°C, 그리고 E1이 제일 낮은 49.00°C를

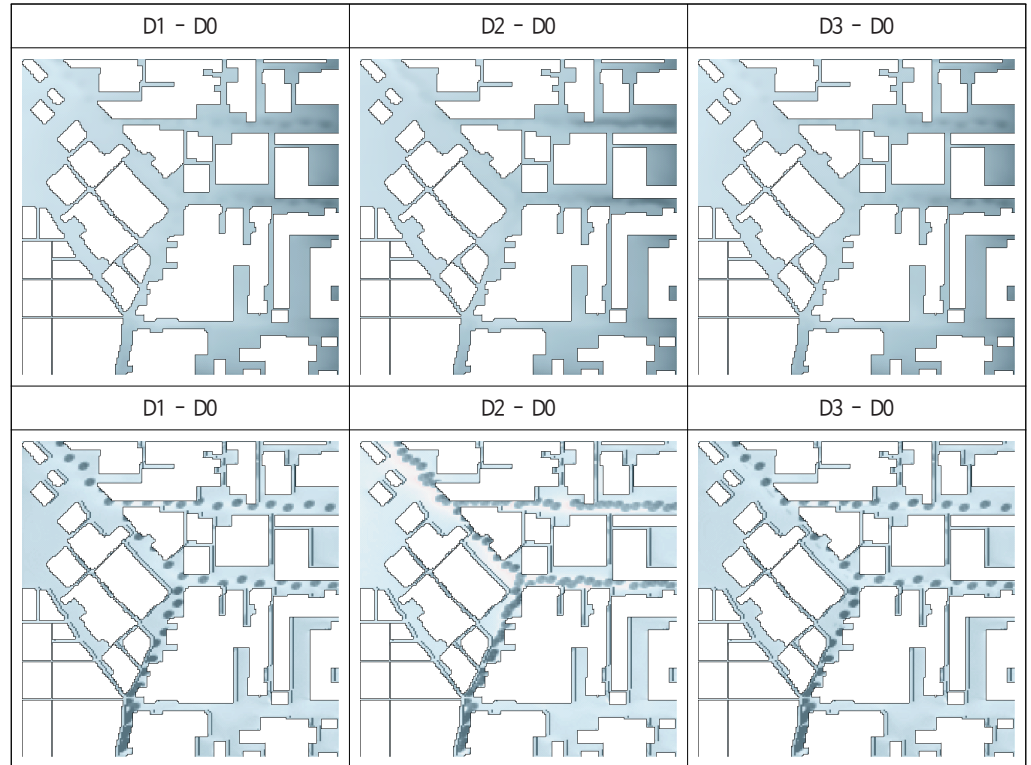


Figure 8. Temperature(top) and PET(bottom) differences between Case D scenarios
* at 16:00, 1.4m above the surface

Legend: Temp. -1.5°C +1.5°C PET -15°C +15°C

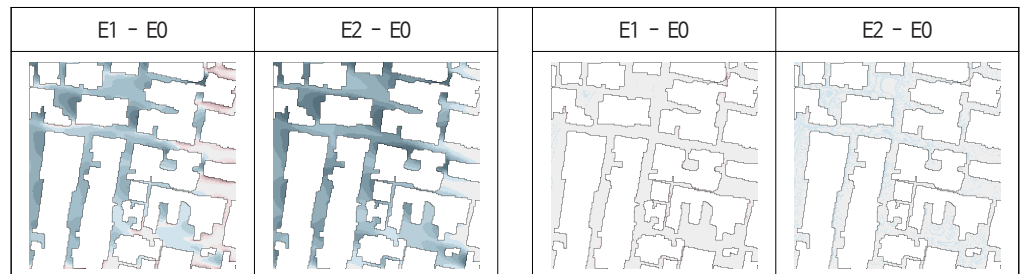


Figure 9. Temperature(top) and PET(bottom) differences between Case E scenarios
* at 16:00, 1.4m above the surface

Legend: Temp. -0.3°C +0.3°C PET -5.0°C +5.0°C

기록하였다. E0과 비교하였을 때 E1은 14시 이전에는 PET 변화가 거의 나타나지 않았고, 14시 이후로는 PET가 감소하는 경향을 보였으나 평균적으로 큰 차이를 보이지 않았다. E2의 경우 E0과 모든 시간대에서 결과의 차이를 보이지 않았고, 평균적으로 E0보다 PET가 약간 증가하긴 하였으나 0.09%의 변화율로 그 정도가 미미했다(Figure 9 참조).

4. 결론

4.1 결과 종합

본 연구를 통해 생활권 녹지 조성 방법인 근린공원 조성, 소공원 조성, 주차장 녹화, 가로수 식재, 옥상·벽면녹화 다섯 가지 유형에 대하여 효과적인 개선 전략을 도출하기 위해 ENVI-met 시뮬레이션을 활용하여 다양한 녹화 시나리오를 구축하고 열환경 개선 효과를 분석하였다.

시뮬레이션 분석 결과, 근린공원 조성 시 수관투영면적이 공원 면적의 5%에서 15%로 증가하며 평균 기온은

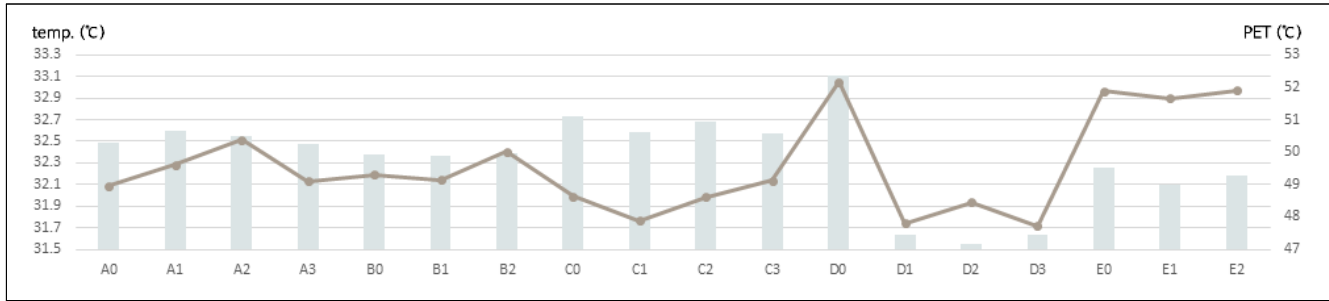


Figure 10. Average temperature at 16:00 from Case A to Case E

Legend: Temperature, PET

0.03℃(감소율 0.11%) 감소하였고, 5%에서 30%로 증가하며 0.10℃(감소율 0.31%) 감소하여 수목의 밀도가 높아 질수록 기온이 저감율이 높아지는 경향을 보였다. 반면 수목의 밀도가 증가함에 따라 PET가 증가하는 경우가 존재 하였는데, 이는 수목의 증가로 상대습도가 증가하고 풍속이 감소하여 열쾌적성에 부정적인 영향을 준 것으로 사료 된다.

1,629m² 면적의 소공원을 한 개소 조성한 결과 공원 중심에서 최대 56m까지 기온 저감 효과를 보였다. 비슷한 면적의 공원을 세 개소 추가한 경우 동일한 소공원에서 기온 저감 범위가 7m(12.5% 증가) 증가하여 최대 63m까 지 기온저감 효과를 보였다. 따라서 작은 면적의 소공원을 조성하여 녹지 네트워크를 구축하였을 때 더욱 기온 저 감에 효과적일 것으로 판단된다.

주차장 녹화 역시 기온 저감에 긍정적인 영향을 주었는데, 특히 주차면적의 포장을 아스팔트에서 잔디블록으로 변경하는 것은 평균 0.1℃의 기온 저감 효과를 보였다. 이 경우 직접적인 차양 역할을 하지 않아 한낮 시간대에선 기온 저감 효과가 미미했으나, 오전 시간대에서는 비교적 높은 효과를 보였다. 교목 식재와 포장 변경 각각의 시나 리오는 둘 다 기온 저감 및 열쾌적성 개선에 긍정적인 효과를 주었으나, 교목 식재와 포장 변경을 둘 다 시행한 시 나리오에선 기온 저감엔 제일 효과적이었으나 PET는 조성 전보다 1.81% 증가하여 열쾌적성은 비교적 악화되는 경 향을 보였다.

가로수는 식재 간격이 좁을수록 기온 저감에 효과적이었으며 열쾌적성의 경우 식재 간격이 넓은 시나리오가 제 일 효과적이었으나, 가로수 식재 전과 비교할 경우 가로수를 식재한 두 시나리오 모두 열쾌적성이 4.46% 이상 개 선되었다. 특히 햇빛의 영향이 강한 낮 시간대부터 기온 및 PET가 높은 폭으로 감소하여 여름철 도시 열섬 개선에 가로수 식재가 효과적일 것으로 판단된다. 가로수길과 풍향 사이에는 유의미한 관계를 파악하지 못하였는데, 이는 시뮬레이션 분석에 적용한 풍속값이 크지 않아 풍속의 변화에 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

옥상 및 벽면 녹화 역시 기온 저감에 긍정적인 영향을 주었다. 특히 두 녹화 유형 모두 일사 차양의 역할을 하 지 않고 옥상녹화는 5m 높이에서 조성되었음에도 불구하고, 보행자 활동 높이인 지표면으로부터 1.4m 높이에서 기온 저감 효과가 있었다는 점에서 의의가 있다. 옥상·벽면녹화는 녹화를 위한 토지를 추가적으로 확보하지 않고 도 시행할 수 있는 녹화 유형이므로 도시화로 이미 건축물이 밀집된 도시 환경에서 도시 열섬현상을 개선하는 데 에 큰 역할을 할 것으로 사료된다.

4.2 결론 및 고찰

PET 분석에 대한 선행연구에 따르면 수목을 식재해 그림자를 형성하면 PET를 감소시킬 수 있고(Makaremi et al., 2012) 본 연구에서도 일반적으로 그림자를 형성할 수 있는 교목을 많이 식재할수록 PET가 감소하는 경향을 보 였다. 하지만 Case A와 Case C, Case D에서 교목의 수가 증가하였으나 PET는 오히려 악화되는 경우도 확인되었 다. 이는 교목의 양이 증가하며 기온 및 복사온도가 감소해 열쾌적성 개선에 긍정적인 영향을 줌과 동시에, 오히려 상대습도는 증가하고 풍속이 감소하여 동시에 열쾌적성 개선에 부정적인 영향이 함께 발생하기 때문으로 판단된다. 따라서 수목의 증가에 따른 미기후 변화 요소들을 파악하고 열쾌적성 개선에 효과적인 식재량 임계치를 도출하는 연구를 추가적으로 진행할 필요가 있다. 또한 지표면 포장 변경의 경우 차양의 역할을 하지 않아 기온 저감 효과가 비교적 미미하다(Shashua-Bar et al., 2009; Tseliou et al., 2022)는 선행연구와 유사하게 본 연구에서도 지표면 포 장을 아스팔트에서 잔디블록으로 변경한 C2 시나리오에서 미미한 기온 저감이 나타났다. 하지만 Tseliou et al.(2022)의 연구에서 잔디만 추가로 식재하며 오히려 PET가 악화되었던 것과 상이하게 본 연구에서는 잔디블록을

통해 PET가 다소 감소하였다. 이는 선행연구의 경우 알베도가 0.8인 기존 포장재에서 0.3으로 알베도가 더 낮은 잔디를 식재하며 오히려 단파 복사 및 흡수가 증가해(Grant et al., 2000; Lin et al., 2010) PET가 상승한 반면, 본 연구에서는 알베도가 0.1인 기존 아스팔트 포장에서 알베도가 더 높은 잔디블록(알베도 0.3의 잔디와 0.6의 블록을 혼합 사용)으로 교체해 결과의 차이가 나타난 것으로 사료된다. 따라서 단순히 포장재를 잔디 혹은 잔디블록으로 변경하는 것이 열환경 개선에 효과적이라고 판단하는 것은 어려움이 있고, 열환경 개선을 위한 녹지 조성 시 기존 포장의 알베도에 따라 교목만 식재하는 것이 오히려 더 효율적일 수 있어, 대상지 여건에 맞는 녹화 유형 및 시나리오를 적절히 선택하는 것이 중요하다고 판단된다.

본 연구를 통하여 도시열섬 현상 완화를 위해 조성할 수 있는 생활권 녹지의 녹화 유형을 분류하고, 각 녹화 유형 내에서 수목의 식재율 또는 녹화 면적 등을 기준으로 시나리오를 세분화하여 각 시나리오를 비교하였다. 이는 효율적인 열환경 개선을 위한 녹지 조성 가이드라인으로 활용될 수 있다는 점에서 의의가 있다. 하지만 수종에 따라 열환경 개선 효과에 차이가 있을 수 있으나 수종을 고려하지 않고 분석했다는 점, 그리고 시뮬레이션에만 기반해 연구를 진행하였다는 한계가 있다. 따라서 각 녹화 유형 내에서 식재량 및 면적뿐만 아니라, 수종 및 식재 배치 등 다양한 요소를 고려하여 추가적인 연구를 할 필요가 있고, 추후 현장 관측을 통한 데이터 수집 및 보정을 통해 연구 결과의 정확성을 보완할 필요가 있다고 판단된다.

References

1. Duarte, D. H., P. Shinzato, C. dos Santos Gusson and C. A. Alves(2015) The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. *Urban Climate* 14: 224-239.
2. Eum, J. H., J. M. Son, K. H. Seo and K. H. Park(2018) Management strategies of ventilation paths for improving thermal environment-A case study of Gimhae, South Korea. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 21(1): 115127.
3. Grant, I. F., A. J. Prata and R. P. Cechet(2000) The impact of the diurnal variation of albedo on the remote sensing of the daily mean albedo of grassland. *Journal of Applied Meteorology* 39(2): 231-244.
4. Hoppe, P.(1999) The physiological equivalent temperature-A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* 43(2): 71-75.
5. Jeong, D. I., K. H. Park and B. G. Song(2016) A comparison between *in-situ* PET and ENVI-met PET for evaluating outdoor thermal comfort. *KIEAE Journal* 16(1): 11-19.
6. Kim, J. H., W. D. Son and Y. H. Yoon(2012) Prediction of effect on outside thermal environment of building and green space arrangement by computational fluid dynamic. *Journal of Environmental Science International* 21(1): 69-81.
7. Kim, M. K., S. P. Kim, N. H. Kim and H. G. Sohn(2014) Urbanization and urban heat island analysis using LANDSAT imagery: Sejong city as a case study. *KSCE Journal of Civil and Environmental Engineering Research* 34(3): 1033-1041.
8. Kolokotroni, M. and R. Girdharan(2008) Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy* 82(11): 986-998.
9. Kolokotroni, M., I. Giannitsaris and R. Watkins(2006) The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy* 80(4): 383-392.
10. Kwon, Y. S.(2015) Consideration for a Environment-Friendly City by Reducing the Urban Heat Effect. *Daegu Gyeongbuk Development Institute Daegu*. pp. 1-122.
11. Lee, S. M., I. Kwon and Y. J. Kim(2019) A study on the influence of urban environment on the generation of thermal diseases. *The Journal of the Korea Contents Association* 19(12): 84-92.
12. Li, X. X. and L. K. Norford(2016) Evaluation of cool roof and vegetations in mitigating urban heat island in a tropical city, Singapore. *Urban Climate* 16: 59-74.
13. Lin, T. P., A. Matzarakis, R. L. Hwang and Y. C. Huang(2010) Effect of Pavements Albedo on Long-Term Outdoor Thermal Comfort. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* 497.

14. Makaremi, N., E., Salleh, M. Z. Jaafar and A. GhaffarianHoseini(2012) Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Building and Environment* 48: 7-14.
15. Mirzaei, P. A. and F. Haghighat(2010) Approaches to study urban heat island-abilities and limitations. *Building and Environment* 45(10): 2192-2201.
16. Monteiro, M. V., K. J. Doick, P. Handley and A. Peace(2016) The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening* 16: 160-169.
17. Oh, K. S. and J. J. Hong(2005) The relationship between urban spatial elements and the urban heat island effect. *Urban Design Institute of Korea* 6(1): 47-63.
18. Oke, T. R.(1973) City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967) 7(8): 769-779.
19. Park, J. H. and G. H. Cho(2016) Examining the association between physical characteristics of green space and land surface temperature: A case study of Ulsan, Korea. *Sustainability* 8(8): 777.
20. Park, S., H. Y. Kong and H. Kang(2020) Comparison of differences on microclimatic factors and human thermal sensation between *in situ* measurement and computer modeling. *Ecology and Resilient Infrastructure* 7(1): 43-52.
21. Saito, K., I. Said and M. Shinozaki(2017) Evidence-based neighborhood greening and concomitant improvement of urban heat environment in the context of a world heritage site-Malacca, Malaysia. *Computers, Environment and Urban Systems* 64: 356-372.
22. Santamouris, M.(2015) Regulating the damaged thermostat of the cities-Status, impacts and mitigation challenges. *Energy and Buildings* 91: 43-56.
23. Sarrat, C., A. Lemonsu, V. Masson and D. Guédalia(2006) Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric Environment* 40(10): 1743-1758.
24. Shashua-Bar, L., D. Pearlmutter and E. Erell(2009) The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning* 92(3-4): 179-186.
25. Shen, T., D. H. C. Chow and J. Darkwa(2013) Simulating the influence of microclimatic design on mitigating the urban heat island effect in the Hangzhou metropolitan area of China. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 11(1): 130-139.
26. Song, B. G. and K. H. Park(2015) An analysis of rational green area ratio by land use types for mitigating heat-island effects. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 18(2): 59-74.
27. Taha, H.(1997) Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25(2): 99-103.
28. Tseliou, A., I. Koletsis, K. Pantavou, E. Thoma, S. Lykoudis and I. X. Tsiros(2022) Evaluating the effects of different mitigation strategies on the warm thermal environment of an urban square in Athens, Greece. *Urban Climate* 44: 101217.
29. Tsoka, S., A. Tsikaloudaki and T. Theodosiou(2018) Analyzing the ENVI-met microclimate model's performance and assessing cool materials and urban vegetation applications-A review. *Sustainable Cities and Society* 43: 55-76.