



도시재생사업의 소규모 녹지 조성이 바람길 형성 및 열 환경에 미치는 영향 - 대구 인동촌 백년마을 도시재생활성화 지역을 중심으로 -

The Impacts of Creation of Small Green Areas within Urban Regeneration Projects on the Formation of Wind Paths and the Thermal Environment

- Focused on Indongchon, One of the Urban Regeneration and Revitalization Areas in Daegu -

이건원*

Gunwon Lee*

* Associate Professor, Dept. of Architecture, Hoseo Univ., South Korea (gwlee@hoseo.edu)

ABSTRACT

Purpose: Under a wide range of urban regeneration projects, efforts are undergoing to transform abandoned or empty plots, and lots in low use into small green areas, such as linear green space, public gardens, pocket parks, and ally gardens. Green areas within the cities are indeed known to bring positive effects, such as mitigating urban heat island effects through the development of fresh wind, decreasing air pollution, including fine dust, and the revitalization of communities. However, the quantitative analysis of positive effects of vegetation and the range of the impacts is not enough, whose verification is the aim of this study. **Method:** This study performed CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation and the actual measurements of weather to examine the effects of green areas in Indongchon, one of the regeneration and revitalization areas in Daegu Metropolitan City, and surrounding areas on the nearby environment. The results were used to estimate the influence of previously created green space and analyze that of planned green areas. **Result:** It compared the examination results of the weather data and CFD simulation results and verified the feasibility of the model. The simulation model was utilized to inspect the impacts of previously formed green areas on the nearby environment and confirm that each type of green space has a different effect.

KEYWORD

도시 녹지
전산유체역학(CFD)
도시 열섬
도시 재생

Urban Green
CFD(Computational Fluid Dynamics)
Urban Heat Island
Urban Regeneration

ACCEPTANCE INFO

Received Oct. 8, 2021
Final revision received Oct. 24, 2021
Accepted Oct. 26, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

1970년대 이후 진행된 도시개발은 토지피복의 변화를 일으켜 도시 내 녹지 면적이 크게 줄어들었다. 이로 인하여 도시열섬현상(Urban Heat Island)이 발생하고, 도시 외부에서 내부로의 시원하고 신선한 공기의 유입이 차단되었다. 이러한 도시열섬 현상은 도시 내 인공열 발생, 지상 녹지의 감소, 지표면 포장의 증가, 인간 산업 활동에서 기인한 것으로 알려져 있다[1].

특히, 도시 내 다른 지역들에 비해서 상대적으로 초기에 개발된 원도심은 건축면적이 상당히 넓은데 반해 녹지면적이 매우 적은 특징이 있다. 공원 및 녹지 이외의 각종 인프라 시설이 부족하거나 노후되어 있고, 노후 건축물들이 밀집되어 있어 개선이 절실한 상황이다. 이를 위해서 2013년 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법이 제정되고 도시재생 뉴딜사업 등 대대적인 도시재생사업이 전국적으로 진행되고 있다. 이러한 도시재생사업 추진에 있어 녹지의 확보는 주요한 이슈이다. 녹지는 인간의 건강과도 관련이 있고, 공동체의 만남의 장소의 역할도 수행한다. 또한, 도심 내 가로수 및 가로 녹지

는 심미적 환경 개선뿐만 아니라 도시의 기온 조절 효과를 가지고 있어 도시열섬 완화 및 도시 내 신선한 공기 유입에 도움을 줄 수 있는 것으로 알려져 있다[2].

하지만 도시재생사업의 예산은 한정이 있고, 이미 높은 건축면적을 가지고 있는 사업지 내에서 녹지를 확보하는 것은 쉬운 일이 아니다. 녹지가 커뮤니티에 주는 혜택이 정량적으로 산정되지 못하고 있다 보니 상대적으로 주민의 편의 및 경제적 활성화와 관련이 깊은 주민 커뮤니티 시설, 공영주차장, 복지 및 문화시설 등에 밀려 녹지의 공급이 축소되거나 미뤄지는 경우가 많다.

이러한 맥락에서 본 연구는 도시재생사업 또는 도시 내 나지나 공지를 활용해 확보된 소규모 공원 및 녹지가 도시열섬 완화에 가지고 올 수 있는 긍정적인 효과를 정량적으로 검증해보고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 공간적 범위는 대구광역시 서구 비산2·3동 5-1번지 일원의 '인촌동 백년마을 도시재생활성화 계획' 수립지역을 중심으로 한다. 이 지역은 과거 대구 섬유산업의 발달로 인해 그 배후 주거지로 개발되었다. 2018년 12월에 도시재생 선도지역으로 선정되어 마을텃밭, 짬지공원, 골목정원 등이 계획되었으며, 주변의 일부 대지와 경부선 철로 주변에는 공원과 녹지가 조성된 곳이다.

실제로, 도시재생사업에서 공원 및 녹지를 조성함으로써 쾌적한 환경을 조성하여 보행자의 방문을 유도하고 이로 인해 주변 상권을 살리려는 시도들이 있어 왔다. 특히, 이러한 공원 및 녹지는 주민들 및 방문자들을 위한 모임의 장소로 기능하며 다양한 커뮤니티 활동을 촉진하여 도시재생의 추진 동력을 제공하여 더욱 도시재생사업에서의 공원녹지의 가치를 증명해내고 있다. 그렇다보니 공원 및 녹지를 조성하여 지역 도시재생에 성공한 사례들이 늘어나고 있다. 국외의 경우, 싱가포르 파크커넥터(Park Connector Network), 보스턴 로즈 케네디 그린웨이(The Rose Kennedy Greenway, 소위 빅딕(BigDig)), 뉴욕의 하이라인(High Line) 등이 우리에게 아주 잘 알려진 사례들이다. 또한, 국내에서도 서울 마포의 경의선숲길, 광주의 초록길 등 역시 우리에게 그 성공의 효과가 잘 알려지면서 많은 도시재생사업들에서 버려진 공간이나 저이용 공간 등을 공원 또는 녹지로 조성하여 자연적 지속가능성과 사회적 지속가능성 또한 경제적 지속가능성까지 획득하려는 노력이 이루어지고 있다.

본 연구의 시간적 범위는 2021년으로 한정한다. 지형, 건축물의 형태 및 높이, 도로 선형 등의 기초 도시·건축형태 데이터는 국토지리정보원 해당 지역에 대해서 제공하는 가장 최신 데이터인 2015년 수치지형도를 기반으로 민간 및 공공 지도포털에서 제공하는 항공사진을 참고하고, 실제 답사를 통해서 2021년을 기준으로 최신화하였다. 미래의 계획에 대한 부분은 인촌동 백년마을 도시계획활성화 계획 보고서를 참고하였다. 이를 통해서 과거부터 현재의 공원 및 녹지의 변화는 물론, 미래의 계획을 반영하여 녹지 위치 및 형상을 모델링하였다. 시뮬레이션을 위한 경계조건 및 기상 조건 또한 2021년 7~8월의 측정 자료를 활용하여 분석하였다.

본 연구는 총 네 단계로 진행되었다. 첫째, 문헌검토를 통해서 녹

지의 도시열섬 저감 효과를 검토하고, 도시열섬에 영향을 미치는 요인들을 검토하였다. 둘째, 기상측정 장비를 활용하여 대상지의 7월 1일 전후의 기상 정보를 취득하였다. 셋째, 기존에 형성된 녹지들에 대해서 항공사진 자료를 참고하고, 미래에 계획 중인 녹지에 대해서는 도시재생활성화 계획안을 참고하여 시기별로 시나리오를 작성하여 모델링을 실시하고, 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 활용하여 시뮬레이션하였다. 넷째, 도출된 결과를 통해 소규모 녹지의 형태와 그것의 증감에 따른 온도저감 효과를 분석함으로써 시사점을 도출하였다.

2. 이론 고찰

2.1. 이론 검토

1) 도시열섬 현상

도시열섬 현상은 교외 지역에 비해 인구가 밀집되고 고층건물의 밀도가 높은 도시 중심지의 기온이 상대적으로 높은 현상을 말한다. 이러한 도시 내부의 높은 기온은 냉방을 위한 전력소비를 증가시키며, 도시 외부와 내부 간의 공기 순환을 방해하여 대기오염과 스모그 현상을 심화시킨다. 이러한 현상들은 다시 도시 거주민들의 건강에도 부정적인 영향을 미친다.

도시열섬 현상의 원인은 세 가지로 꼽을 수 있는데, 첫째는 피복상태의 변화이다. 도시개발 등 인간의 활동으로 인하여 지표면의 피복이 변화되는데, 도로와 건물, 지붕은 개발되지 않은 자연상태에 비해서 더 높은 흡수율과 낮은 반사율을 갖는다. 이것들은 입사되는 태양복사 에너지를 흡수함으로써 열을 계속 축적하여 도심부의 온도를 높인다. 둘째는 인공열의 발생이다. 자동차, 공장은 물론, 건축물의 냉·난방기 가동으로 인해 발생하는 인공열은 도심의 기온을 높인다. 셋째는 대기오염이다. 오염된 대기는 대기의 순환을 방해함으로써 열이 외부로 방출되는 것을 막는다. 이외에 직접적인 도시열섬의 원인은 아니지만 그것에 영향을 미치는 요소로 도시·건축형태를 꼽을 수 있다. 도시·건축형태는 미기후에 영향을 미침으로써 앞서 언급된 요소들이 도시열섬 현상에 미치는 효과를 강화하기도 하고, 완화하기도 한다. 실제로, D.J.Sailor(2013)는 건물의 높이와 건물 사이의 간격의 형태를 주목했으며[3], Baruch Givoni(1998)는 높은 건물의 밀도를[4], Y.N.Jeong et al.(2014)은 토지피복을[5], 이진원(2016)은 건물의 용도에 따른 인공열, 건물 간의 인동간격, 1층부 후퇴 깊이 등[6]에 주목한 바 있다. 이러한 도시열섬 현상에 대해 지금까지 알려진 해결책은 반사율이 높은 포장 재료로의 교체, 도시 녹지 조성, 바람길 조성 등이 있다[1].

2) 도시재생과 소형녹지

우리나라의 도시재생사업에 대한 필요성이나 그것의 기초적인 개념 정의 등은 이미 2000년을 전후로 이루어졌다. 하지만 본격적인 시작은 도시재생 R&D와 관련이 있다. 2007년에 시작된 도시재생 R&D는 도시재생이 나아가야 할 길을 제시했다고 평가할 수 있다. 2007~2013년까지 1단계 도시재생 R&D 사업이 진행되었고 그 결과 도시쇠퇴에 대한 평가 방법론, 재생기법들이 개발되었으며, 도시

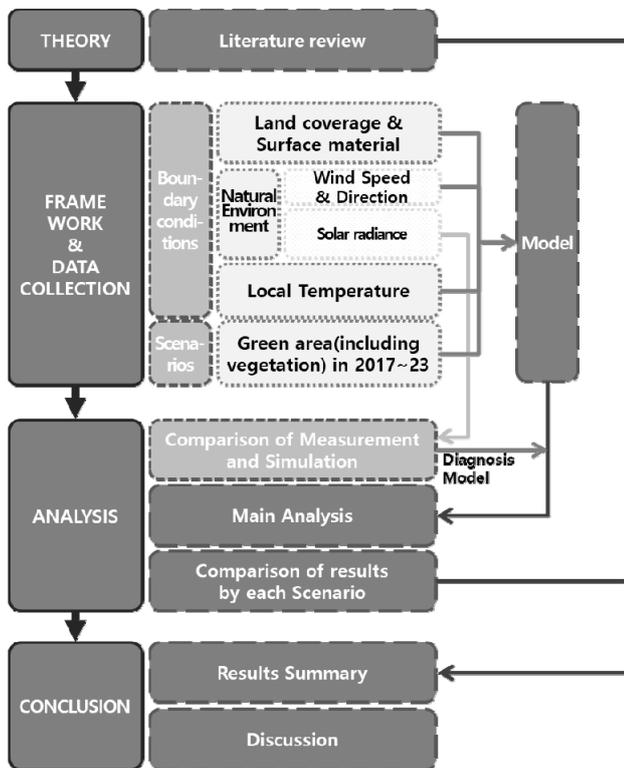


Fig. 1. Research Process

재생 활성화 및 지원에 관한 특별법(이하 도시재생법)이 제정되었다. 이 법을 기반으로 2014년부터 도시재생 선도사업이 실시되기 시작했다. 비슷한 시기인 2014~2018년까지 2단계 도시재생 R&D 사업이 진행되며 비슷한 시기에 시작된 도시재생 시범사업을 지원하며 도시재생 지원기구, 도시재생센터, 도시재생 정보포털 등이 개발 및 적용되었다. 그 이후 2018년부터 대대적으로 도시재생 뉴딜사업이 시작되며, 전국적으로 2021년 13곳(9월 기준), 2020년 117곳, 2019년 116곳, 2018년 99곳, 2017년 68곳, 2016년 33곳, 2014년 13곳을 포함하여 총 459곳에서 도시재생사업이 진행 중이다. 2019년부터 3단계 도시재생 R&D 사업이 진행 중이며, 이는 특별도시재생지역과 같이 쇠퇴지역의 재해재난 취약성을 진단하고 기후변화로 부터의 커뮤니티의 회복력을 증진하는 목적으로 하고 있다.

도시재생 뉴딜사업지들에서는 다양한 사업들을 진행하고 있으며, 그 중 노후주거지에 부족한 인프라 중 공원 및 녹지를 조성함으로써 공간을 재생하여, 주거지에 대한 정체성을 높이며 방치된 공간을 쓸모 있는 공간으로 변화시키려는 노력이 진행되어왔다. 이는 장기적으로 이웃과 마을에 대한 관심을 향상시키고, 주거지에 지속적으로 거주하려는 정주 의식 및 의지를 강화시킨다[7]. 또한 사회·문화적인 측면에서 공원과 녹지는 주민들의 쉼터로서 대면 활동을 촉진하여 지역 네트워크 형성에 큰 영향을 미친다. 환경적인 측면에서는 도시 공기 정화 및 기온 조절에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 더욱이 앞서 언급한 바와 같이, 도시재생의 흐름이 변화하면서 기후변화 대응이라는 목표를 달성하기 위해서 쇠퇴한 도시지역에 공원 및 녹지를 공급하려는 노력이 진행되고 있다. 이러한 측면에서 도시재생 사업지에서의 녹지 조성의 확대는 그 의미와 필요성이 더욱 강화되고 있다[8]. 하지만 이러한 공원 및 녹지가 부지의 확보 및 예산의 문제로 그 조성이 쉽지 않은 실정이다.

2.2. 선행연구 검토

본 연구의 핵심적인 연구방법인 미기후 분석 방법을 중심으로 선행연구들을 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 직접 측정방법이다. 이는 AWS를 활용하여 해당 지역의 온도, 습도, 풍속, 풍향, 기압 등의 미기후를 측정한다. 이를 위해 다양한 측정계가 활용되며, 동일한 장소에서 24시간 이상 측정 혹은 1년 이상의 측정된 결과를 활용한다. 하지만 이는 지표면의 복잡성이 높아 동일한 온도가 분포되는 영역이 매우 좁은 도심지에서 측정의 어려움이 발생한다는 단점을 지닌다. 이에 대한 보완책으로 다수의 AWS를 도입하기도 하나, 이는 상당한 규모의 비용과 인력 투입을 필요로 하는 한계를 갖는다. 이에 대한 해결책으로 다양한 지점을 이동하며 미기후를 측정하는 방법도 있지만, 이 또한 측정치의 정확성과 측정 시점의 특수성을 해결하기 어렵다는 단점을 지닌다[9]. 그러므로 최근들어서는 이 방법 하나만을 사용하기 보다는 이 방법의 한계를 보완하기 위해 두 번째와 세 번째 방법들을 혼합해서 사용하는 경향이 점차 늘어나고 있다.

먼저, 오규식·홍재주(2003)는 서울시를 대상으로 위성영상과 AWS 실측자료에 대해서 회귀분석을 실시함으로써 교목 식피율에 따른 온도 변화를 분석하여 녹지의 온도저감효과를 실증하였다. 그 결과, 1~3ha의 공원 및 녹지의 경우 50~150m 범위에서 온도 저감 효과를 보이며, 교목 식피율을 상승시킬 경우 온도 저감 효과가 상승

함을 확인하였다[10]. 이진원·정운남(2018)은 기상청 AWS와 연구자의 AWS를 사용하여 미기후 지도를 작성함으로써 쇠퇴지역의 미기후 상황을 분석하였고, 500m 반경 내에서도 공간형태 및 피복의 상태에 따라서 2℃ 이상 차이가 날 수 있음을 밝혀 낸 바 있다[9].

두 번째 방법은 보다 큰 공간규모를 대상으로 위성 또는 항공영상을 이용한 분석 방법이다. 이에 해당하는 연구들은 다음과 같다. 고동원·박승훈(2019)은 공간정보시스템을 활용하여 Landsat8 고해상도 위성영상 자료를 기반으로 도시열섬을 측정, 공간계량모형을 사용하여 도시열섬 현상에 긍정 및 부정적 영향을 미치는 주요 요인을 도출했다. 이에 따라 정규화식생지수(NDVI)가 도시열섬 현상을 완화하는데 가장 큰 영향을 미친다는 것을 확인하였다[11]. 파오위린·김영훈(2021) 또한 Landsat 위성영상 자료를 활용하였으며, 녹지 블록의 내·외부 온도의 공간적 분포패턴을 바탕으로 각 녹지 블록의 면적, 둘레, 형태 지수에 따른 온도 저감 효과의 영향범위를 산출하였다. 그 결과 해당 지역에서의 녹지 온도 저감 효과에 가장 적합한 녹지 면적은 21,000㎡임을 확인하였다[12].

세 번째 방법은 CFD 기반의 시뮬레이션 기법이다. 이 방법은 전산 모의를 기반으로 한 기법으로 유체 유동, 열전달 및 화학반응 등 유체의 다양한 물리적 현상을 포함하는 시스템에 대한 해석기법을 말한다. 이는 1960년대부터 우주산업 분야에 적용되기 시작하였으며, 이후 자동차, 유체기계, 에너지, 전자 등의 응용 분야에 활용되고 있다. 건축 및 도시 분야에서는 환경영향평가 등에서도 널리 사용되고 있다. 이 방법은 앞서 두 방법에 비해서 보다 구체적인 연구가 가능하며, 미래시점이나 예상되는 효과를 추정할 수 있다는 장점이 있

Table 1. Summary of literature review

Contents	Author (year)	Location and object	Method
Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect	K.S.Oh J.J.Hong (2005)	Neighborhoods in Seoul	Satellite imagery AWS
Relationship between the Urban and Architectural Form and Microclimate	G.W.Lee Y.N.Jeong (2018)	Neighborhoods in Seoul	AWS
Effect of neighborhood environment characteristics on urban heat island effect	D.W.Ko S.H.Park (2019)	Neighborhoods in Seoul	Satellite imagery ArcGIS Spatial Econometrics
Relationship between cooling Effects and spatial influences	P., Yulin Y.H.Kim (2021)	Urban blocks in Cheongju	Satellite imagery ArcGIS
Effect of design elements of apartment house complex on heat island effect	W.K.Bae K.H.Yoon (2012)	Apartment house complex in Korea	CFD (STAR-CCM+) Radtherm
Effect of urban characteristics on the 24-hour temperature distribution	J.C.Park W.K.Bae (2021)	Outdoor Space of Banpo Apartment Complex in Seoul	AWS CFD (ENVI-met)
Effect of urban street planting methods on micro-scale urban heat island	Y.J.Kwon D.K.Lee S.K.Ahn (2019)	Neighborhood around Gang station in Seoul	CFD (ENVI-met)

다. 이처럼 CFD 시뮬레이션을 이용하여 미기후를 분석한 연구는 다음과 같다.

먼저, 배용규·윤기학(2012)은 공동주택 계획사례를 기반으로 공동주택의 유형을 분류하고, 각 유형에 대해 대표적인 CFD 프로그램인 STAR-CCM+를 이용하여 열섬현상 완화를 위한 공동주택 외 부공간의 설계 방향을 도출하였다. 이에 따라 공동주택 유형 중 혼합형에서 가장 높은 온도 분포와 가장 낮은 온도 분포가 모두 관찰되었다. 이에 따라 혼합형이더라도 배치와 녹지의 비율 등의 피복상태에 따라 다른 결과를 가져올 수 있음을 확인하였다[13]. 박진철·배용규(2021)은 서울시 반포 주공아파트를 대상으로 CFD기반의 미기후 모델링 프로그램인 ENVI-met과 현장 실측을 이용하여 보행자 레벨에서의 온도 분포 특성을 분석하여 동일한 단지 내에서도 그 주변 특성에 따라 온도분포 양상이 달라짐을 확인하였다[14]. 권유진 외 2인(2019)은 서울시를 대상으로 ENVI-met을 이용하여 수목의 크기와 배치를 각각 다르게 조합한 시나리오별 도시 온도 분포 변화를 분석하였다[15].

살펴본 바와 같이 도시열섬 현상에 대해 AWS, 영상분석, CFD 시뮬레이션 등을 활용한 도시·건축형태, 피복상태 등이 미기후에 미치는 영향을 밝히려는 연구들이 꾸준히 진행되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이들 연구들은 먼저, 실측을 중심으로 연구가 이루어진 경우에는 미래의 계획 시나리오 즉, 다양한 건축·도시형태, 녹지의 형태 등의 변화에 따른 효과 검토를 실시하지 못하여, 향후 활용 가능한 시사점을 제시하지 못하는 한계를 드러내고 있다. 두 번째로, 영상을 이용해 분석한 연구와 CFD 시뮬레이션을 활용한 연구들은 대체로 실측치를 활용하여 연구자가 설정한 연구 모델을 검증하는 절차를 누락하는 경우가 많았다. 실제로, 각 연구들에서 다루어진 모델들에서의 온도 예측값은 대체로 1km 이내의 넓지 않은 공간임에도 불구하고 10~15°C 이상 온도 차이가 나타나는 경우가 많아 현실과의 차이가 발견되었다. 이진원·정윤남(2018)의 실측 기반의 연구결과에 따르면 반경 500m 내에서 2°C 이상의 온도 차이가 발견되는 것도 상당한 온도 차이였다는 점[9]을 감안할 때, 이들 CFD 시뮬레이션 연구들의 연구 모델의 검증과 보정이 이루어지지 않았다는 점은 명백한 한계이다.

따라서 본 연구는 소규모 녹지의 형태적 유형이 도시 온도에 미치는 영향을 검토하고, 미래 시나리오를 적용하여 CFD 시뮬레이션을 통해 그것을 예측한다는 점에서 차별성을 갖는다. 그리고 실측값을 기준으로 CFD 모델을 검증하고, 그것을 활용하여 예측을 실시했다는 점에서 기존 연구들과 역시 차이를 갖는다.

3. 분석 체계

3.1. 분석 대상지역 설정

분석 대상지는 대구광역시 서구 비산2·3동 5-1번지를 중심으로 한 반경 500m 내 구역이다. 이 대상지 내에 인동촌 백년마을 도시재생 선도지역이 포함되어 있다. 이곳은 과거 대구지역의 섬유산업 호황기에 제3산업단지, 염색산업단지, 서대구 산업단지 등에 기반한 배후 주거지로 발달된 지역이다. 현재는 산업의 고도화, 산업구조의

변화에 따라 다수의 근로자의 인구유출이 가속화되어 빈집이 증가하고, 주변 노후가 가속화되고 우범지대화 되고 있다. 또한 입지 여건 상 노후 산업과 근접하고 북측으로 경부선이 지나가는 특징으로 주거 매력도 일시 저하된 상황이다. 이러한 환경을 개선하고자 2025 대구광역시 도시재생전략계획 내 13개 창조거점 중 하나로 2018년 12월 비산2·3동 북측의 인동촌 일원이 도시재생 선도지역으로 지정되었다.

이 지역은 선도지역 지정 이전에도 골목정원 만들기 등 주민들이 자발적으로 마을을 가꾸고, 원고개 재생사업(2016) 및 원대동 우리동네살리기(2017)와 연계하여 거주환경 개선 및 마을 활력 증진을 도모하고 있었다. 사업지역의 면적은 174,452㎡이며, 제2종일반주거지역(67.6%), 근린상업지역(31.5%)에 일부 자연녹지지역(0.97%)의 용도지역을 이루고 있다. 또한 과소필지의 비율은 60.8%에 이르고 있고, 전체 956개 동 중 66개동(약 7%)의 폐공가가 밀집되어 있다. 이들은 단독주택, 다가구주택, 다세대주택, 아파트 등 주거용으로 사용되고 있는 비율이 94.3%이며, 단독주택이 89.0%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 2017년 기준 건물노후화는 87.6%에 이르고 있어 노후도가 심각한 상황이다.

이를 해결하기 위해서 건강한 주민, 건강한 환경, 건강한 공동체라는 3대 기본방향을 수립하고, ‘쾌적한 주거환경 조성’과 더불어 마을의 전 세대가 함께 만들어가는 백년마을, 스스로 그리고 더불어 건강한 인동촌 백년마을’을 비전으로 삼고 있다. 세부 목표로 건강 불평등 해소, 마을소멸 해소, 공동체 지속가능성 담보, 전략으로 건강 나눔공동체 형성, 지속가능 마을시스템 구축, 쾌적한 주거환경 조성을 삼고 있다. 이들 전략에 따른 구체적인 사업들은 다음과 같다. 먼저, 건강 나눔공동체 형성을 위해서 인동촌 건강나눔방 조성, 100세 건강증진공간 조성, 100년 나눔공간 조성, 건강백세 운동교실 운영, 어르신 안부안심전화 웰레폰 등의 사업을 추진 중이다. 다음으로 지속가능 마을 시스템 구축을 위해서 햇빛나눔발전소 시스템 구축, 인동촌 마을관리협동조합 설립, 인동촌 백년지인 육성, 인동촌 현장지원센터 운영을 목표로 하고 있다. 마지막으로 쾌적한 주거환경 조성을 위해서 100% 안심마을 조성, 100%쾌적한 마을 조성, 스마트 공공임대주택 보급, 범죄예방 환경개선 사업, 빈집 및 유휴지 정비사업 등을 추진하고 있다.

이중 첫 번째 전략인 건강 나눔공동체 형성을 위해 100년 나눔공간 조성의 일환으로 마을공유텃밭을 5개소 조성하는 것과 썸지공원 2개소 및 골목정원 5개소를 조성하는 사업을 추진 중에 있다. 이들 사업들을 본 연구의 시나리오로 포함하여 그 효과를 예측하였다.

전술한 바와 같이, 대상지는 도시재생계획이 수립되기 전부터 주



Fig. 2. Site satellite map and Indongchon Baeknyeong Village Masterplan



Fig. 3. Indongchon Baeknyeon Village Alley Garden



Fig. 5. Current Status of Parks



Fig. 4. Current Status of the Target Site for Pocket Parks

민들의 자발적 노력으로 골목정원 만들기, 주민쉼터 만들기 등이 지속적으로 추진되어 왔다. 차량이 다니지 않는 골목 위주로 소규모 녹지공간이 조성되었으며, 경부선 주변의 한국철도시설공단 부지를 활용하여 선형 녹지를 공급한 바 있다.

인동촌 백년마을 도시재생 활성화 계획안에는 마을 공유텃밭, 썸지공원 및 골목정원에 대한 계획이 예정되어 있다. 마을 공유텃밭은 빈집 및 나대지에 조성될 계획이며, 썸지공원은 비산2·3동 2208번지 일원(빈집)과 2538번지(나대지) 일대에 조성 계획이 세워져 있다. 이를 통해 인동촌의 골목 환경을 개선과 주민 공동체 강화를 도모하고 있다.

이렇듯 본 대상지는 다양한 도시재생 뉴딜사업자들 중에서 소규모 공원 및 녹지를 꾸준히 조성해왔고, 향후 조성계획을 가지고 있는 대상지이다. 아울러, 경부선 주변의 선형녹지라는 특수한 녹지를 공급한 바 있으며, 도시재생 R&D 및 스마트시티 혁신성장 프로젝트 R&D 사업의 실증대상지로 선정되어 온도 및 환경부하 저감을 위한 다양한 실험들이 계획 중이다. 또한, 우리나라의 주거지 쇠퇴지역의 특성을 대표하고 있기도 하며, 격차체계와 불규칙한 도시공간 유형이 혼재되어 있다. 이러한 점에서 본 연구에서는 다양한 변수를 통제 한 채 공원녹지 조성의 효과를 검증할 수 있을 뿐 아니라, 국내 도시재생 사업지들도 공통적으로 적용할 수 있는 일반화 가능성이 엿보인다는 점에서 이곳을 연구대상지로 선정하였다.

3.2. 분석 대상 녹지 설정

본 연구의 목적인 도시 녹지가 도시 열환경에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 녹지 형성 시나리오를 설정하였다. 시나리오의 설정 기준은 최근 5년 내에 녹지가 새로 조성되었거나, 앞으로 조성계획에 있는 공원 및 녹지이다. 시나리오는 총 5개로, 첫 번째 시나리오는(G1) 비산동 인동촌 부근 철도 주변 공원녹지이다. 2017년부터

조성되었으며, 철도 바깥쪽으로 선형의 긴 네트워크형 녹지가 조성되어 있다.

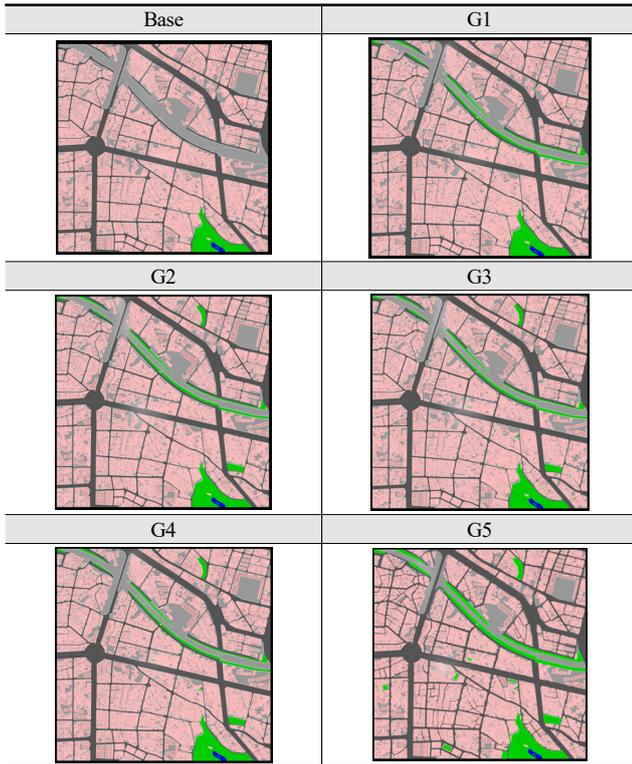
두 번째 시나리오(G2)는 대상지 내에서 공원화 사업으로 조성된 원대동 제일공원(서구 원대동 1458번지 일대)와 재개발 사업으로 조성된 바 있는 달성파크 푸르지오 힐스테이트 공원(중구 달성동 180-17일대)이다. 원대동 제일공원은 인구 공동화와 노후 주택 등으로 발생한 폐가로 인해 열악한 주거환경 지역인 원대동에 위치해 있다. 슬럼화된 일부 부지에 대한 개발 요구에 따라 2014년 공원화 사업이 확정되어 2018년 5월 준공된 공원이며, 달성파크 푸르지오 힐스테이트 공원은 재개발사업의 기부채납형태로 공급된 공원으로 역시 2018년 조성되었다. 두 공원 모두 현재 주민들의 쉼터로 활발히 이용되고 있다. 이상의 시나리오는 기존에 이미 형성된 공원 및 녹지에 대한 효과를 검토하는 시나리오이다.

세 번째 시나리오(G3)는 인동촌 백년마을 도시재생사업의 썸지공원 조성 예정지이다. 비산2·3동 22-8번지 일원(132㎡) 및 비산2·3동 2538번지 일원(228㎡)으로 총 두 곳이다. 인동촌 백년마을 도시재생 활성화 계획에서 가장 핵심적인 녹지 확충 지역으로, 이들이 녹화되었을 때 주변에 미치는 영향을 예측할 수 있는 시나리오이다.

네 번째 시나리오(G4)는 인동촌 백년마을 도시재생사업에서 조성 예정된 마을 텃밭이다. 총 8개소로 서구 비산동 15-5번지(약 169㎡)(이하 구·동 생략), 15-12번지(약 103㎡), 2182번지(약 85㎡), 2194번지 일대(약 63㎡), 5-8번지(약 23㎡), 2304번지(약 46㎡), 2292번지(약 59㎡), 3-80번지(약 76㎡)이다. 모두 100㎡ 남짓의 작은 소규모 녹지이며, 텃밭의 특성상 다른 공원 및 녹지들과는 다소 상이한 피복특성을 가지고 있어 역시 그것들이 주변에 미치는 독특한 특성을 살펴볼 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 최근 많은 도시재생 사업지들에서 마을 텃밭을 공급하려고 하는 만큼 그 검증은 통한 시사점이 클 것으로 예상된다.

마지막 다섯 번째 시나리오(G5)는 대상지 내에 위치한 공영주차장의 녹화를 가정한 것이다. 공영주차장을 기준으로 삼은 이유는 도시재생 사업에서 상당히 많이 공급되고 있는 대표적인 기반시설이며, 인구밀도를 고려하여 조성됨에 따라 일정한 간격 및 규모로 공급되어 이를 옥상녹화함으로써 얻어지는 효과를 검토해볼 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다. 기존의 건물형 주차장인 경우는 지붕을 녹지로, 야외 주차장인 경우는 6m 높이의 건물형 주차장으로 재건축될 경우를 가정하여 지붕을 녹지로 설정하여 모델링하였다. 이상의 시나리오에 따라 대상지를 모델링한 것은 아래 그림과 같다. 각 시나리오에는 이전 시나리오의 공원 및 녹지를 포함하였다.

Table 2. Modeling results for each green areas



3.3. 분석방법

1) 활용자료

해당 대상지의 건물, 도로 등 기본 도시·건축형태와 관련된 자료는 국토지리정보원의 2015년도 수치지형도를 활용하였다. 녹지, 아스팔트 등의 피복정보는 ‘V-World’의 공간정보와 토지피복지도 자료를 참고하여 반영하였다. 2015년 이후의 상황에 대해서는 민간지도포털과 현장답사를 통해 2021년 기준으로 최신화하였다. 기상자료는 기상청 AWS에서 제공하는 2021년 7~8월의 평균 풍속, 평균 풍향, 평균 온도 등의 기상데이터를 활용하였다.

이를 활용하여 1km×1km×0.05km의 모델링 영역을 설정하고, 도메인은 Hu&Wang(2005)의 연구 기준에 따라 가로와 세로는 5배, 높이는 10배를 상정하여[16], 5km×5km×0.5km로 설정하였다. 이에 대해 기본적인 격자 모델인 Trimmed Mesh와 난류가 생성되어 보다 구체적인 시뮬레이션과 관찰이 필요한 지역에 대해서는 Prism Layer 3개를 적용하여 격자를 생성하여 연구결과의 구체성을 제고하고자 하였다. 각 모델별로 적용 안의 형태가 다소 달라서 격자수의 차이는 낮으나 대부분 약 2천 5백만 개 내외의 격자가 생성되었다.

2) CFD 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 CFD모델을 활용하여 시뮬레이션을 시행했다. 이에 적용된 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식이며, 대표적인 난류 모델인 Realizable K-epsilon Turbulence 모델이 적용하였다. 이러한 모형의 CFD시뮬레이션을 위하여 Siemens사의 STAR-CCM+v13.06을 활용하였다. 이 분석을 위해서 적용한 경계조건은 아래 표 2와 같다. 이 지역의 2021년 6월 30일 ~ 7월 2일까지 측정된 평균풍

Table 3. Boundary Conditions

Contents		Conditions
Domain Size		5,000m × 5,000m × 500m
Cell Type		Trimmed Mesh
Cell		25,000,000
Prevailing Wind Direction		NorthEastEast(72°)
Inlet	Velocity	2.6m/s(Height: 1.5m)
	Temperature	Temperature profile(Table 4.) (6:00 21.6°C ~ 19:00 27.7°C)
Outlet Condition		Pressure Outlet
Surface Condition		Concrete, Asphalt, Green, Water, Soil

Table 4. Property of Surface material

	ρ kg/m ³	Cp J/kg·K	k W/mK	ϵ
Concrete	2050	960	1.0	0.81
Asphalt	2120	920	0.698	0.96
Green	1500	1842	2.6	0.6
Water	1000	4187	0.598	0.1
Soil	1500	1842	2.6	0.6

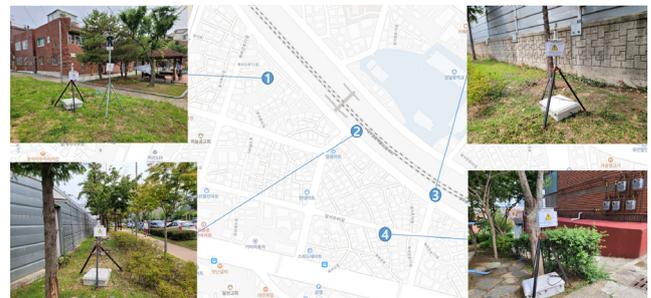


Fig. 6. Locations for Measurement

속, 평균풍향, 평균온도 값을 활용하였다. 북동동쪽(72도)에서 2.6 m/s의 바람이 불어오는 상태를 가정하였으며, 평균 대기 온도는 30.3°C로 상정하였다. 피복은 녹지, 물, 아스팔트, 건축물(콘크리트), 흙으로 상정하여 다음의 열복사 특성을 정의하였다.

이 분석을 위해서 적용한 경계조건은 아래와 같다. 피복은 기본적인 대지, 녹지, 물, 아스팔트, 건축물(콘크리트), 흙으로 상정하여 다음의 열복사 특성을 정의하였다[17-18]. 열복사 특성은 각각 밀도(ρ), 비열(Cp), 열전도계수(k), 방사율(ϵ)이다. 여기서 지표면의 두께는 표면의 온도변화 영향을 받지 않도록 충분한 깊이(4m)까지 설정하였다. 단, 녹지의 경우에는 증발잠열을 고려하였다.

이 지역은 기상청 AWS가 설치되지 않은 지역이다. 대구광역시 내 기상청 AWS 설치하는 총 4곳이며, 이중 지점 정보가 제공되는 곳은 3곳이다. 대상지와 서구 AWS는 약 4km, 북구 AWS는 약 3.5km, 달성 AWS는 25.5km 정도 떨어져있어 해당 자료를 이용하기 어려웠다. 이에 본 연구에서는 대상지에 직접 AWS를 설치하여 측정을 실시하였다. 측정이 이루어진 지역은 총 4개소로 아래 지도와 같다.

4개 지점에 대한 기상측정은 2021년 6월 30일~7월 2일까지 48 시간 동안 이루어졌다. 정상 해석의 경우에는 평균풍속, 평균온도 값을 활용하였다. 평균풍향이라는 개념은 없기 때문에 측정된 풍향 중 가장 빈번하게 관찰되어 해당 지역의 지배적인 풍향을 정의하였다. 이렇게 하여 북동동쪽(72도)에서 2.6 m/s의 바람이 불어오는 상태를 가정하였으며, 평균 대기 온도는 30.3°C로 상정하였다.

Table 5. Climate condition of analysis area

Specification	Contents			
Climate condition	A City (2021.7.1)			
Temperature Profile (for unsteady)	6:00	21.6°C	13:00	31.2°C
	7:00	22.8°C	14:00	32.8°C
	8:00	23.8°C	15:00	33.2°C
	9:00	25.1°C	16:00	30.9°C
	10:00	26.7°C	17:00	29.9°C
	11:00	28.1°C	18:00	29.3°C
	12:00	29.1°C	19:00	27.7°C
Temperature (for steady)	30.3°C			
Velocity	2.6m/s			
Wind direction	NorthEastEast			

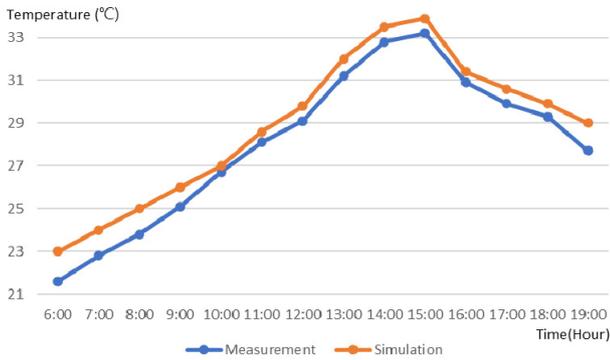


Fig. 7. Comparison of Measurement and Simulation

4. 분석 결과

4.1. 모델 검증

각 시나리오 검증 전에 기초 물리모델에 대한 현실 반영 수준을 검증했다. 이를 위해서 실측 AWS에서 2021년 7월 1일을 기준으로 오전 6시부터 오후 7시까지 시간별로 AWS 측정 온도값을 추출한 후, 예측모델 역시 6시부터 오후 7시까지의 시간변화를 고려한 비정상 (unsteady) 시뮬레이션을 실시하여 이를 비교했다.

전체적으로 시뮬레이션 결과치가 AWS 측정치에 비해서 다소 온도가 높게 나타났으며, 양자의 차이는 아래 그래프와 같다. 두 수치 간의 상관관계는 0.89로 상당히 높은 수준으로 나타나 본 연구에서 초기모델로 설정한 모델의 적합성을 확인했다.

4.2. 현재 대상지 적용 결과 분석

전술한 모델을 기반으로 정상(steady) 해석을 시행하여 평균적인 열환경 분포에 대한 시뮬레이션을 수행했다. 대체로 대상지에는 가열된 대기로부터 발생한 복사열이 남동측에서 불어오는 느린 바람에 의해 주로 북동측으로 이동하는 경향이 나타났다. 특히, 개방성이 상대적으로 높은 동편이 온도가 상대적으로 낮았고, 건물의 밀집도가 높고 도로의 체계가 복잡하여 개방성이 낮은 서편이 온도가 높았다. 이미 대규모의 달성공원이 조성되어 있는 공원인접의 남측은 온도가 낮았다.



Fig. 8. Result of Base Scenario



Fig. 9. Result of 1st Scenario

4.3. 시나리오 적용 결과 분석

시나리오 적용 결과를 분석하기 위해서 온도분포는 33~36.5°C로 고정하여 분석하였기 때문에 범례는 생략하였다.

첫 번째 시나리오에서는 역시 경부선로를 따라 온도저감효과가 뚜렷하게 나타났다. 실제, 녹지가 조성된 지역과 인접한 곳들은 크게 온도가 1°C 이상 저감되었다. 녹지를 중심으로 약 50m 범위에 이르기까지 0.6~1°C 정도의 온도저감 효과가 관찰되었다.

두 번째 시나리오에서 역시 공원이 조성된 지역들에서 온도저감효과가 관찰되고 있다. 특히, 남측의 공원에서는 공원 조성지점도 온도가 저감되었으나 바람을 따라 개방감이 좋아진 공원의 서측의 부지들에서도 작지만 온도가 저감되는 효과가 관찰되었다. 그 저감효과는 공원이 조성된 대상지의 경우에는 북측 공원은 최대 1.1°C, 남측 공원은 최대 3.7°C의 저감 효과가 나타났다. 특히, 큰 온도 저감효과가 있었던 남측 공원으로부터 바람이 불어가는 방향으로 약 60m 떨어진 인접 블록까지 온도 저감 효과가 나타났고 그 정도는 0.8°C 정도였다.



Fig. 10. Result of 2nd Scenario



Fig. 11. Result of 3rd Scenario

세 번째 시나리오에서부터는 인촌동 백년마을 도시재생 대상지를 중심으로 살펴봤다. 실제로 공원 및 녹지가 해당 대상지를 중심으로 조성되었기 때문이다. 짬지공원이 조성될 두 곳에서 모두 온도 저감효과가 관찰되었다. 해당 지점들의 온도저감은 2.3~2.6°C이며, 이 효과는 주변 5~10m 정도까지 영향이 있는 것으로 나타났다. 두 번째 시나리오의 공원들에 비해서 그 영향 범위가 좁았는데, 이는 상대적으로 공원의 크기도 작고, 도시재생 사업의 일환으로 조성되는 짬지공원의 특성상 공원의 주변이 다수의 건물로 둘러싸여 있기 때문에 영향범위가 좁은 것으로 파악된다.

네 번째 시나리오에서는 큰 온도변화를 관찰하기 어려웠다. 실제로 너무 작은 텃밭들이 분포되어있고, 그 피복 역시도 실제 녹지와는 다른 관계로 판단된다.

마지막 다섯 번째 시나리오는 공영주차장 상부를 녹화한 것으로 실제로 1.5m 높이에서의 온도 변화는 크게 관찰되지 않았다. 이를 보다 심도있게 분석하기 위해서 단면을 분석한 결과는 다음과 같다.



Fig. 12. Result of 4th Scenario

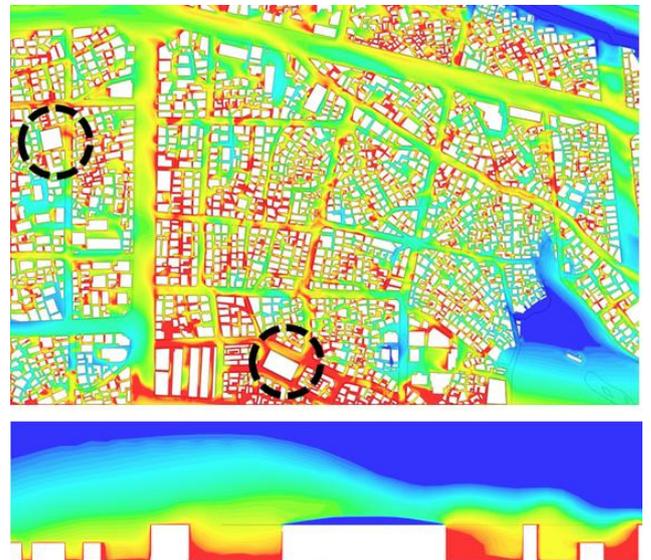


Fig. 13. Result and Section of 5th Scenario

그 결과 다른 건축물의 상부 온도에 비해서 8~9°C 정도 낮은 것으로 나타났다. 건축물의 옥상부는 직달일사를 직접적으로 받아 표면온도의 경우 20°C 내외로 높은 경우가 많고 그 주변의 온도도 높게 형성된다. 옥상녹화의 경우 표면온도를 낮추고 그 주변의 온도를 크게 저감하는 것을 알 수 있었다. 다만, 그 온도가 상부의 10~15m까지는 영향을 주나 상대적으로 건물의 전·후면이나 좌·우면에 대해서 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

4.4. 시나리오별 비교 분석

시나리오별 온도 변화를 정량적으로 비교하기 위해서 대상지의 10m 간격으로 총 10,000개 지점에 대해서 1.5m 높이에서 온도를 추출하여 평균 값을 비교하였다. 공원녹지가 조성된 것은 대상지 전체를 볼 때, 부분적이나 온도 추출은 전체 1km×1km 구간에서 이루어져 그 효과의 절대값은 매우 적으나 실제 온도저감효과를 정량적으로 비교할 수 있다는 장점이 있다.

시나리오별 온도 저감효과를 살펴보면, 가장 큰 온도 저감효과를

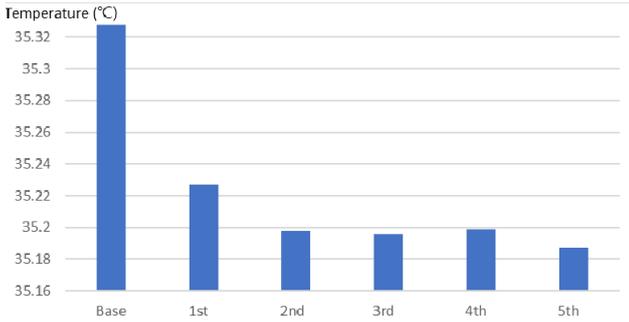


Fig. 14. Comparison of the Reduction of Temperatures by Each Scenario

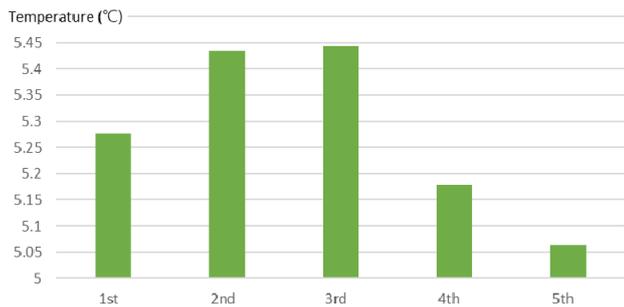


Fig. 15. Comparison of the Reduction of Temperatures per Unit Area by Each Scenario

보인 것은 첫 번째 시나리오로, 경부선로를 따라 조성된 선형공원으로 나타났다. 평균적으로 0.1°C를 저감하고 있다. 이는 선형공원의 면적이 넓고 경부선로를 따라 개방공간을 만들어 대상지에 전반적으로 유동을 촉진했기 때문으로 풀이된다. 특히, 선형공원 주변의 온도저감효과는 앞선 분석에서 살펴본 바와 같이 1°C 이상 저감된 것으로 나타났기 때문이다. 두 번째 시나리오인 과거에 조성된 두 개의 공원들 역시 온도 저감 효과가 상당히 있는 것으로 나타났다. 시나리오 1에 비해 0.02°C의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이들 공원 역시 규모가 작지 않고 바람의 유동 측면에서 중요한 위치에 조성되었고, 기존의 건축물들을 철거하고 만들어진 공원이기 때문에 그 효과가 큰 것으로 풀이된다.

반면에 네 번째 시나리오인 마을텃밭의 경우에는 온도저감효과가 없는 것으로 나타났다. 오히려 온도가 상승하는 상황이 일어났는데 이는 피복의 특성이 일반적인 공원녹지와는 상이한 이유로 풀이된다. 다만, 토양이 가지고 있는 수분과 그것에 의한 증발산 잠열이 본 연구 모델에서는 구체적으로 모델링되지 않았으므로 반드시 텃밭이 온도를 상승시킨다는 결과를 도출하기에는 충분하지 않다는 점을 밝혀둘 필요가 있다. 이 부분은 후속 연구 등에서 다루어질 필요가 있다.

다음으로 조성된 공원녹지의 면적으로 온도저감효과를 나눈 단위면적당 온도저감효과를 시나리오별로 비교했을 때, 가장 큰 효과를 나타낸 시나리오 역시 첫 번째 시나리오와 두 번째 시나리오 순서였다. 흥미로운 것은 네 번째와 다섯 번째 시나리오인데 해당 효과가 이전 시나리오의 누적값이라는 점을 고려한다면 실제로 두 시나리오 오는 첫 번째 시나리오에서 얻어진 온도저감효과 보다 못한 효과를 나타내고 있다. 마을텃밭이 다소 온도저감효과가 적은 것은 앞선 분

석과 동일하고, 공영주차장의 상부를 녹화하는 것은 실제로 온도저감효과는 있었으나 단위면적당 효과는 적은 것으로 나타났다. 이는 본 분석이 1.5m에서 이루어진 것도 영향을 미친 것으로 풀이된다. 실제로 앞선 다섯 번째 시나리오에 대한 분석에서 공영주차장 상부의 온도저감효과는 충분히 드러났으나 그 주변 특히, 1.5m 높이에서의 온도저감 효과는 크지 않았기 때문이다.

5. 결론

본 연구 결과를 통해서 다음의 시사점을 도출할 수 있었다. 첫째, 선형녹지의 경우 상당한 온도저감효과를 얻을 수 있었다. 그 이유는 선형녹지는 단위 면적에 비해서 넓은 분포를 갖으며, 특히 바람의 흐름 즉, 바람길을 만들어내기 상대적으로 용이했기 때문에 상대적으로 극적인 온도저감 효과를 나타낼 수 있었다고 생각된다.

두 번째로, 재개발 또는 철거를 바탕으로 한 공원 및 녹지의 조성 역시 상대적으로 높은 온도저감 효과를 관찰할 수 있었다. 이는 기존의 유동을 가로막는 밀집된 건축물들을 철거하고 개방공간인 공원 및 녹지가 형성되기 때문으로 풀이된다. 공원 및 녹지는 개방공간이기 때문에 바람의 흐름을 가로막지 않고, 그 피복 역시 증발산 작용으로 온도를 떨어뜨릴 수 있는 식생이 주를 이루기 때문으로 생각된다. 특히, 도시 공간 내 식생의 존재는 온도를 저감시켜 주변과의 온도차이에 의한 대류 등의 바람의 흐름을 만들어내기 때문에 온도저감 효과를 만들어 낼 수 있다는 점을 확인할 수 있었다.

세 번째로, 도시재생사업을 통해서 조성되는 골목정원이나 짬지 공원은 상대적으로 온도저감 효과를 얻을 수 있었으나 마을텃밭은 온도저감 효과를 얻기에는 어려웠다. 이는 그 크기가 상대적으로 작은 것도 있으며, 피복 역시 교목 중심의 식생이 아닌 지피 또는 흙을 중심으로 하기 때문인 것으로 생각된다.

마지막으로 공영주차장의 상부를 녹화하는 기법은 분명 온도저감효과는 있는 것으로 나타났다. 하지만 그 효과가 보행자 레벨에는 큰 영향을 미치지 못하고 전체적으로 상부 공기의 온도저감 효과를 관찰할 수 있었다는 한계가 있었다.

본 연구는 기존 연구들과 달리 측정, 모델 정합성 검토, 시나리오 기반의 시뮬레이션을 복합적으로 수행했다는 점에서 보다 체계적인 연구 프로세스를 거쳤다는 점에서 의미를 갖는다. 또한, 도시재생사업을 통해서 조성되는 공원 및 녹지의 몇 가지 유형을 검토하여 그것의 효과를 간접적으로 규명했다는 점에서 역시 의미를 지닌다. 다만, 벽면녹화와 같은 녹화 유형을 다루지 못했다는 점과 교목 및 관목 등의 식생의 크기, 식생의 종류, 다양한 피복의 효과 등 보다 구체적인 연구를 수행하지 못했다는 점에서 한계를 노정하고 있었다. 이러한 보다 구체적이고 정교한 연구는 후속연구를 통해서 추가적으로 그 효과에 대한 검토가 필요하다고 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21UMRG-B158194-02).

Reference

- [1] 김수봉, 김기호, 조진희, 도시열섬현상의 원인과 대책, 한국: 환경과학 논집, 제6권 제1호, 2001.12, pp.63-89. // (S.B.Kim G.H.Kim, J.H.Cho, The Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies, Korea: Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute, 6(1), 2001.12, p.63-89.)
- [2] 정희은, 한봉호, 광정인, 서울 도심 가로수 및 가로녹지의 기온 저감 효과와 기능 향상 연구, 한국: 한국조경학회지, 제43권 제4호, 2015.08, pp.37-49. // (H.E.Jung, B.H.Han, J.I.Kwak, A Study on Air Temperature Reduction Effect and the Functional Improvement of Street Green Areas in Seoul, Korea, Korea: Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, 43(4), 2015.08, pp. 37-49.)
- [3] D. J. Sailor, Energy Buildings and Urban Environment, Climate Vulnerability, 3, 2013.03, pp.167-182.
- [4] Baruch Givoni, Climate Considerations in Building and Urban Design, p.480, Wiley, 1998, p.464.
- [5] Y.N.Jeong, G.W.Lee, S.Y.Kim, Analysis of the Relation of Local Temperature to the Natural Environment, Land Use and Land Coverage of Neighborhoods, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 14(1), 2015.01, pp.33-40.
- [6] 이건원, 기후변화 대응 에너지 저감형 지구단위계획을 위한 형태기반 계획모델개발, 고려대학교 박사학위논문, 2016.08, pp.151-178. // (G.W.Lee, Developing Energy-Saving Form-based Urban Design Model for Climate Change Response, Ph.D dissertation, Korea University, Seoul, Korea, 2016.08, pp.151-178.)
- [7] 김묘경, 노후주거지 공원녹지공간재생이 정주의식에 미치는 영향, 한국: 한국주거학회논문집, 제25권 제6호, 2014.12, pp.85-92. // (M.J.Kim, Impact on Settlement Consciousness from Regeneration of Park and Green Space at Deteriorated Residential Area in Busan, Korea: Journal of the Korean Housing Association, 25(6) 2014.12, pp.85-92.)
- [8] 소미경, 박천보, 도시재생뉴딜사업의 공원녹지계획 발전방안: 대전광역시를 중심으로, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제39권 제2호, 2019.10, pp.581-582. // (M.K.So, C.B.Park, Development of Park & Green Plan in Urban Renewal New-Deal Project: Focused on Daejeon Metropolitan City, Korea: Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 39(2), 2019.10, pp.581-582.)
- [9] 이건원·정윤남, 도시·건축형태와 미기후의 관계에 대한 관찰 연구, 예술인문사회 융합 멀티미디어 논문지, 제8권 제11호, 2018.11, pp.109-119. // (G.W.Lee, Y.N.Jeong, An Observation Study of the Relationship of between the Urban and Architectural Form and Microclimate, Korea: Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, 8(11), 2018.11, pp.109-119.)
- [10] 오규식, 홍재주, 도시공간 구성요소와 도시열섬현상의 관련성 연구, 한국: 한국도시계획학회지, 제6권 제1호, 2005.03, pp.47-63. // (K.S.Oh, J.J.Hong, The Relationship between Urban Spatioal Elements and the Urban Heat Island Effect, Korea: Journal of Urban Design Institute of Korea, 6(1), 2005.03, pp.47-63.)
- [11] 고동원, 박승훈, 근린환경특성과 도시열섬현상과의 상호관계에 관한 연구, 한국: 한국도시계획학회지, 제20권 제3호, 2019.06 pp.55-67. // (D.W.Ko, S.H.Park, How the Neighborhood Environment Characteristics Affect the Urban Heat Island Effect in Seoul, Korea: Journal of Urban Design Institute of Korea, 20(3), 2019.06, pp.55-67.)
- [12] 파오위린, 김영훈, 도시녹지블록의 기온 저감 효과와 영향 범위 분석 : 청주시를 사례로, 한국: 한국지역지리학회지, 제27권 제1호, 2021.02, pp.27-39. // (Piao, Yulin, Kim, Young-Hoon, An Analysis of Cooling Effects and Spatial Influences on Urban Green Blocks: a case study of Cheongju, Korea, Korea: Journal of The Korean Association of Regional Geographers 27(1), 2021.02, pp.27-39.)
- [13] 배용규, 윤기학, 공동주택단지 적용된 주거군의 유형분석을 통한 열섬현상 완화 설계방안 연구, 한국: 한국도시계획학회지, 제13권 제2호, 2012.04, pp.47-60. // (W.K.Bae, K.H.Yoon, A Design Guideline of the Apartment House Complex for Mitigation of Heat Island Effect, Korea: Journal of Urban Design Institute of Korea, 13(2), 2012.04, pp.47-60.)
- [14] 박진철, 배용규, CFD시뮬레이션을 통한 공동주택단지 외부공간 보행자레벨의 폭염기 24시간 온도분포 특성 분석, 한국: 한국도시계획학회 2021 춘계학술발표대회 논문집, 2021.4. // (J.C.Park and W.K.Bae, A Study on the Characteristics of the 24-hour Temperature Distribution of Pedestrian Level in the Outdoor Space of Apartment Complex through CFD Simulation, Korea: Urban Design Institute Conference 2021.04.)
- [15] 권유진, 이동근, 안새결, 미시적 열섬현상 저감을 위한 도시 가로수 식재 시나리오별 분석, 한국: 환경영향평가, 제28권 1호, 2019.01, pp.23-24. // (Y.J.Kwon, D.K.Lee, S.K.Ahn, Urban Street Planting Scenarios Simulation for Micro-scale Urban Heat Island Effect Mitigation in Seoul, Korea: Journal of Environmental Impact Assessment. 28(1), 2019.01, pp.23-34.)
- [16] C. H. Hu and F. Wang, Using a CFD approach for the study of street-level winds in a built-up area, Building and Environment, 40, 2005, pp.617-631.
- [17] 박은진, 도시수목의 이산화탄소 흡수량 산정 및 흡수효과 증진방안, 경기개발연구원, 2009. // (E. J. Park, Quantification of CO₂ Uptake by Urban Trees and Greenspace Management for C Sequestration, Korea: Gyeonggi Development Research Institute, 2009.)
- [18] 이주희, 김재권, 윤재욱, 태양복사열에 따른 지표면 온도와 열, 기류 환경 시뮬레이션 연구, 한국: 한국생태환경건축학회, 제14권 제3호, 2014.06, pp.65-70. // (J. H. Lee, J. G. Kim, and J. O. Yoon, CFD Simulations of the Ground Surface Temperature and Air Temperature, Air flow Coupled with Solar Radiation, Korea: Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 14(3), 2014.06, pp.65-70.)