

Research Paper

서울 도심 공지의 개발 시나리오에 따른 미기후 영향 분석 - 풍속 및 기온 비교 -

백지원* · 박 찬** · 박소민* · 최재연* · 송원경*** · 강다인**** · 김수련*****

서울시립대학교 일반대학원 조경학과*, 서울시립대학교 도시과학대학 조경학과**, 단국대학교 환경원에·조경학부***,
국립생태원 생태평가연구실****, 서울시립대학교 도시과학대학 도시공학과*****

Analysis of Microclimate Impact According to Development Scenarios of Vacant Land in Downtown Seoul - A Comparison of Wind Speed and Air Temperature -

Jiwon Baek* · Chan Park** · Somin Park* · Jaeyeon Choi* ·
Wonkyong Song*** · Dain Kang**** · Suryeon Kim*****

Department of Landscape Architecture, General Graduate School, University of Seoul*
Department of Landscape Architecture, College of Urban Sciences, University of Seoul**
School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University***
National Institute of Ecology****
Department of Urban Planning & Design, College of Urban Sciences, University of Seoul*****

요약: 건물이 밀집되고 인구밀도가 높은 도시는 열섬현상이 가중되고 열쾌적성에 취약하다. 도심에서 방치되고 있는 공지는 주거환경과 도시미관을 저해하고 지역 전체의 경제적 활력이 낮아지며 도시를 쇠퇴하는 하나의 요인으로 다루어진다. 이에 본 연구에서는 서울 종로구 송현동의 공지를 대상으로 개발 시나리오에 따라 주변 미기후 영향을 비교하고자 하였다. 현 상태 유지, 녹지 중심, 건물 중심, 녹지-건물 절충 시나리오를 설정하고, ENVI-met을 사용하여 개별 시나리오별로 대상지와 대상지 주변 1 km 내 변화되는 풍속, 기온, 평균복사온도를 개발 시나리오별 내·외부 영향을 비교분석하였다. 연구 결과, 대상지 내·외부는 녹지 중심의 시나리오가 현 상태 유지 시나리오와 비교했을 때 계절별 평균 기온은 낮아졌고, 풍속이 빨라진 것으로 도출되었다. 여름철 최대 $-0.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 낮아지거나 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 상승될 것으로 예상되었고, 풍속은 시나리오에 따라 최대 210 m 범위까지 영향이 있었다. 또한, 녹지는 내·외부, 건물 배치 및 크기는 녹지보다 효과는 적으나 인접한 외부 공간에 영향을 주는 것을 확인하였다. 본 연구는 송현동 개발 방향에 대한 의사결정 지원 도구로서 도움을 줄 수 있고, 향후 환경영향평가 제도에 미기후에 대한 부분을 반영하는데 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어: 공지, 의사결정, ENVI-met, 열쾌적성, 바람길

First Author: Jiwon Baek, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: jwbaek9708@naver.com, ORCID: 0000-0002-5422-2288
Corresponding Author: Suryeon Kim, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: landsue20@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-2326-432X
Co-Authors: Chan Park, Tel: +82-2-6490-2849, E-mail: chaneparkmomo7@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0002-4994-6855
Somn Park, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: dey1365@naver.com, ORCID: 0000-0001-6657-7206
Jaeyeon Choi, Tel: +82-2-6490-5520, E-mail: mmm9026@uos.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5837-6279
Wonkyong Song, Tel: +82-41-550-3636, E-mail: wksong@dankook.ac.kr, ORCID: 0000-0002-9130-7774
Dain Kang, Tel: +82-41-950-5478, E-mail: rkdekds44@nie.re.kr, ORCID: 0000-0002-5443-6489

Received: 26 February, 2021. Revised: 31 March, 2021. Accepted: 8 April, 2021.

Abstract : In the city of high population density crowded with buildings, Urban Heat Island (UHI) is intensified, and the city is vulnerable to thermal comfort. The maintenance of vacant land in downtown is treated as a factor that undermines the residential environment, spoils the urban landscape, and decreases the economic vitality of the whole region. Therefore, this study compared the effects on microclimate in the surrounding area according to the development scenarios targeting the vacant land in Songhyeon-dong, Jongno-gu, Seoul. The status quo, green oriented, building oriented and green-building mediation scenarios were established and ENVI-met was used to compare and analyze the impact of changes in wind speed, air temperature and mean radiant temperature (MRT) within 1 km of the target and the target site. The result of inside and 1 km radius the targeted area showed that the seasonal average temperature decreased and the wind speed increased when the green oriented scenario was compared with the current state one. It was expected that the temperature lowered to $-0.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ or increased to $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in summer, and the wind speed was affected up to 210 meters depending on the scenario. And it was revealed that green area inside the site generally affects inside area, but the layout and size of the buildings affect either internal and external area. This study is expected to help as a decision-making support tool for developing Songhyeon-dong area and to be used to reflect the part related to microclimate on the future environmental effects evaluation system.

Keywords : Vacant Land, Decision Making, ENVI-met, Thermal Comfort, Ventilation Corridor

I. 서론

20세기 중반 이후, 산업화와 도시화를 거치며 도심 부 지역에는 점점 더 건물들이 밀집되고 인구밀도가 증가하여 여러 환경문제가 야기되고 있다(Suh et al. 2009). 서울은 바람길이 막혀 산에서 만들어진 산곡풍이 도심으로 진입하지 못한다(Song 2020). 이로 인해 도시 열섬이 심화되었고, 건축물로 인한 공기 순환 감소 및 풍향 변화, 오염물질의 확산 정체와 같은 도시 특유의 기후환경 문제가 발생하였다. 특히 미기후는 건축물의 폭, 높이, 녹지, 도시 가로의 폭원 등에 영향을 받고(Lee et al. 2019a), 인공적인 토지피복유형이 밀집된 시가지지역에서 도시열섬현상이 가중되고 열쾌적성이 취약한 현상을 보인다(Song et al. 2019). 토지피복은 도시 내부에서의 다양한 유형의 토지이용 및 개발 규모와 결합한 산물이기에 시민의 건강과 쾌적도 수준에 직결된다(Kim et al. 2010). 대기질 개선, 기후위기 대응 등의 사회적 문제가 대두되며 도시환경과 연계되는 도시계획의 중요성이 주목받고 있다.

본 연구의 대상지인 송현동 부지는 서울 종로구 도시에 있는 공지이다. 지금과 같이 계속해서 공지로 유지할 경우 주거환경과 도시미관을 저해하고, 지역 전체의 경제적 활력이 낮아지며 쇠퇴해 가는 하나의 요인으로 다루어질 우려가 있다(Kim 2015). 현재 토지 소유주인 대한항공은 관광호텔과 같은 '상업시설' 목적의 활용을 주장하고 있으나, 서울시는 '공적으로 활용하는 공원'을 주장하고 있다. 개발 방향에 대해 많은 이해관계가 얽혀있어 쉽게 결정을 내리지 못하는 상황이다. 더불어 대상지는 도심 내 대형 미개발지인 만큼 해당 공간의 개발이 주변 기후환경에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 현재 시점에서, 우리 연구진은 서로 다른 특징의 시나리오에 따른 공간 변화가 주변 미기후에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 검토가 선행되어야 한다고 판단하였다.

이에 본 연구의 목적으로 도심 공지의 개발 방향에 따라 주변 미기후에 어떤 영향을 미치는지, 시물레이션 모델 ENVI-met을 사용해 평가 결과를 비교·분석하여 공간 의사결정에 활용 가능한 시사점을 도출하는 것으로 설정하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

송현동 부지는 서울시 종로구에 위치한 곳으로 면적은 36,642 m²이고, 인근에 경복궁, 창덕궁, 광화문 광장과 인접해있다. 대상지 남쪽에는 왕복 8차선 대로가 위치하고 주변에는 상업·업무지역이 형성되어 있다.

조선왕조실록(성종실록 125권 성종 12년 1월 20일 을미 6번째기사)에 따르면, 과거 송현동 부지는 조선 시대 경복궁의 풍수적 보안을 위해 소나무를 심었던 곳으로 추정된다(http://sillok.history.go.kr/id/kia_11201020_006). 일제강점기 이후 조선식산은행 사택과 미국 대사관 직원들의 숙소로 사용되었다(Seoul History Archive 2018). 이후 1997년 민간 소유로 변경되고, 2000년대 들어 약 20년간 도심 내 공지로 유지되었다.

2. 시나리오 구성

현재 송현동 부지의 개발 방향이 정해지지 않아, 4개의 시나리오를 구성하고 시나리오에 기반한 평가 결과를 비교하였다. 시나리오는 미개발(이하, 현 상태유지) 시나리오, 녹지와 건물 규모에 따른 3개의 개발 시나리오(녹지, 건물, 녹지-건물 절충)로 구성하였다. 시나리오는 도시계획규제와 법규, 서울시(2011)의 “대규모 미개발 부지의 개발 기본계획 수립”을 바탕으로 구성하였다. 미기후 변화를 살펴보기 위해 대상지 내부와 외부의 요소를 반영했는데, 외부의 경우 주변 1 km 범위에서 시나리오를 구성하였다



Figure 1. Songhyeon-dong Site Map.

(Figure 1 참고). 해당 부지는 ‘도시관리계획 용도지구 최고고도지구(경복궁)’ 및 ‘교육환경보호구역’으로 지정되어 있어, 건축물 높이가 16 m 이하로 제한되기 때문에 개발 시나리오에서 건물의 층수를 4층 이하로 설정하였다.

현 상태 유지 시나리오는 위성사진과 환경부 토지 피복지도(중분류)를 바탕으로 기타 나지로 설정하였고, 3개의 개발 시나리오는 규제 정도에 따라 건폐율과 녹지율을 기준으로 차별화했다.

1) 녹지 중심의 시나리오

녹지 중심의 시나리오는 근린공원으로 조성하는 경우를 가정하였다. 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에 따라 건폐율 20% 이하로 구성하였으며 서울시의 ‘송현동 대한항공 부지 활용방안 마련을 위한 시민 의견조사’ 결과를 반영하여 숲(녹지) 중심의 공원으로

Table 1. Comparison of Development Scenarios

Factors		Green Oriented Scenario	Building Oriented Scenario	Mediation Scenario
Urban Regulation	Law / Plan	Act on Urban Parks, Green Areas, ETC	Bukchon District Units Plan	Act on Urban Parks, Green Areas, ETC
	Building Coverage Ratio	20%	60%	40%
Scenario Design	Building Arrangement	Distributed layout of small-size buildings	Centered layout of large-size buildings	Distributed layout of medium-size buildings
	Building Coverage Ratio	19% (7,000 m ²)	55% (21,153 m ²)	38% (14,000 m ²)
	Green Area Ratio	75% (27,405 m ²)	38% (13,909 m ²)	52% (18,902 m ²)

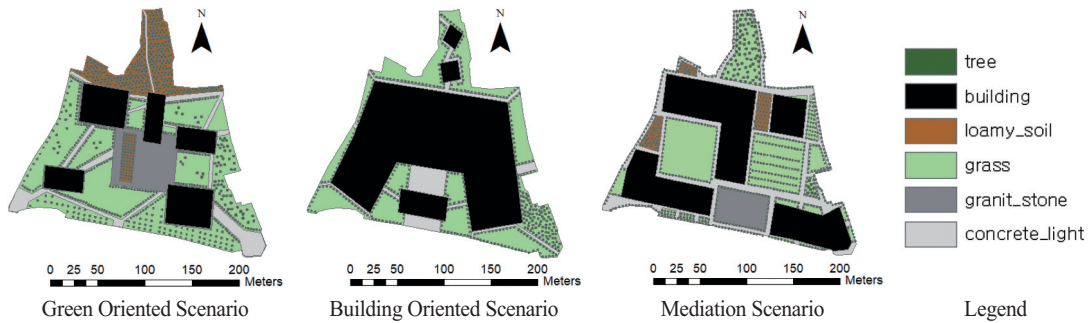


Figure 2. Land Cover of Each Scenario

조성하였다(Seoul 2020). 또한, 디자인은 바람길을 확보한 형태로 환경부 도시 생태휴식공간(자연마당)을 참고하였다. 건축 면적은 7,000 m²으로 가장 낮고, 건폐율과 녹지율은 각각 19%, 75%이다.

2) 건물 중심의 시나리오

건물 중심의 시나리오는 도시계획 규제가 완화되어 건축물 중심으로 공간이 사용되는 상황을 가정하였다. 「북촌 지구단위계획(Seoul 2021)」의 제1종 일반주거지역 기준인 건폐율 60%를 적용하였다. 시나리오는 현재 종로구의 주변 환경과 비슷하게 구성하였고, 디자인 측면에서 문화, 상업적 이용을 위해 주변 지역과 연결성 및 건축 공간을 확보해 계획하였다. 건축 면적은 21,000 m²으로 가장 높고, 건폐율과 녹지율은 각각 55%, 38%이다.

3) 녹지-건물 절충 시나리오

절충 시나리오는 ‘문화공원’으로 조성하는 것을 가정하였다. 건폐율은 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」의 문화공원 기준 40% 미만으로 가정하였다. 디자인 측면에서 건축물 주변에 마당 형태의 녹지를 배치하였다. 건축 면적은 14,000 m²이고, 건폐율과 녹지율은 각각 38%, 52%로 구성하였다.

3. 미기후 시뮬레이션

본 연구에서는 주변 미기후에 어떤 영향을 미칠 수 있는지 살펴보기 위해, 변화되는 미기후 현상을 평가할 수 있는 모델 중 CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학)를 기반으로 한 ENVI-

met 프로그램을 사용하였다. ENVI-met은 3차원 미기후 수치 모의 프로그램으로 독일 Bochum 대학의 Michael Bruse에 의해 1998년도에 개발되었고, 매우 세밀한 미기후 변화를 모의 분석할 수 있는 특성이 있다(J.D Wilson et al, 2010, Ryu et al, 2010). ENVI-met을 사용한 연구는 도시공원 조성에 따른 미기후 환경 변화 분석(Kim et al, 2010), 개발 및 입지에 따른 미기후환경 변화 분석(Jung et al, 2006, Kim et al, 2017, Song 2012), 개발 후 미기후 환경 개선방안 연구(Kim et al, 2008)가 있다. 국내뿐만 아니라 해외에서도 ENVI-met을 이용해 미기후 예측 연구를 진행하는 등 공간 변화에 따른 미기후 변화에 있어 활용 가능성이 크다. 시뮬레이션의 출력자료는 온도, 습도, 풍향, 풍속 등의 정보를 담고 있고 수치자료를 데이터 테이블로 도출 및 온도분포도로 시각화된 형태로 도출하여 자료 분석이 가능한 장점이 있다(Kwon et al, 2019).

본 연구에서는 시뮬레이션의 출력 자료 중 풍속, 기온, 평균복사온도(Mean Radiant Temperature, 이하 MRT)를 중심으로 살펴보았다. 도심 내 열섬과 바람길 영향은 풍속과 기온 항목을 중심으로 살펴보고, 건조한 환경의 열 쾌적성은 MRT를 중심으로 비교하였다. MRT는 열쾌적성 평가에 큰 영향을 미치는 요소로 정확한 MRT를 계산하는 것이 열쾌적성 평가에 매우 중요한 요소로 작용된다(Kim et al, 2004). 또한, 사람의 몸에 미치는 열부하를 측정하는 매개 변수로 도시 형태에 따라 크게 다르며, 열 완화에 중요한 역할을 해 본 논문에서 검토 항목으로 활용하였다(Heris et al., 2020).

Table 2. ENVI-met input data

Data	Factors		Value			
			Spring (Mar~May)	Summer (Jun~Aug)	Autumn (Sep~Nov)	Winter (Dec~Feb)
Configuration	Average Wind Direction (deg)		195	165	141	185
	Average Wind Speed (m/s)		1.4	1.38	1.34	1.28
	Temperature (min/max, °C)		3.1/24.9	18.4/32.1	0/26	-9.1/9.4
Area	Building Wall Surface		Concrete			
	Land Cover	Inside of Site Area	Granit Stone Pavement (Road)		Loamy Soil (Soil Texture)	
		1 km Radius of Site Area	Asphalt (Main Street)		Concrete Pavement Light (Alley)	

ENVI-met 모형의 구동을 위해 2가지 입력자료(Configuration File, Area File)가 필요하다. Configuration File에는 시간, 온도, 습도, 풍향, 풍속 등 환경정보를, Area File에는 시뮬레이션 지역의 건축물 위치와 높이, 재질, 식생의 위치와 수목, 토양 및 토지피복 정도 등과 같이 벽체를 반영한 공간정보를 입력한다(Kwon et al. 2019).

환경정보 중 대상지의 온도, 풍향, 풍속 데이터는 기상청에서 제공하는 AWS 데이터를 활용하였다. 풍속 및 풍향은 2019년 3월~2020년 2월까지의 종로구에 관측된 계절별 평균 자료를 사용해 시뮬레이션하였다. 기온의 경우 일평균 기온 중 최저, 최고 기온을 계절별로 입력하였다(Table 2의 Status Quo Scenarios 참고). 대상지의 공간정보인 Area File에는 도로포장, 건물 외벽 재질, 건물의 높이를 입력하였다. 대상지 외부의 토지피복은 위성지도와 환경부 세분류 토지피복도를 바탕으로 구축하였다. 건물 외벽과 높이는 서울 열린데이터 광장의 서울특별시 건축물대장 중 건축물 층에 대한 정보와 건축물 구조를 참고하여 현황과 유사하게 모사하였다. 시뮬레이션 시 대상지 내부만 분석할 때 Cell Size는 2 m X 2 m, 대상지 내부와 외부를 함께 분석할 때 Cell Size는 7 m × 7 m로 실시하였다.

시뮬레이션 후 현 상태 유지 시나리오와 3개의 개발 시나리오의 건축물 배치, 면적, 수목에 따라 발생하는 결과값의 차이가 통계적으로도 유의한지 살펴보았다. ANOVA 분석은 두 개 이상 집단들의 평균을 동시에 비교하고자 할 때 사용되는 분석기법이다(Jung & Eom 2011). 이 방법은 집단별 차이는 확인

되나, 어떤 집단간 차이가 있는지 확인할 수 없어 사후검증을 통해 어떤 집단의 평균이 유의미한 차이를 보이는지 확인이 필요하다(Chang 2000). 이에 본 연구에서는 R 소프트웨어를 활용한 ANOVA로 시나리오에서 차이를 보이는지 여부를 확인하였다. 이후 사후분석을 통해 각 시나리오별 차이를 확인하였다. 결과 유의미한 차이가 있다면 시나리오별 차이를 확인하기 위해 사후분석을 시행하였다.

III. 시뮬레이션 결과

1. 대상지 내부 시뮬레이션 결과

공지가 개발되면 대상지 내부를 사람들이 이용할 것이기 때문에 내부 미기후의 변화를 보고자 하였다. 대상지 내부의 경우 4개 시나리오 중 현 상태 유지 시나리오의 풍속이 가장 빠르고, 기온과 MRT가 가장 낮게 도출되어 오염물질이나 열섬의 문제가 가장 적은 것으로 분석되었다. 그러나 현재와 같은 상태로 미래에도 유지된다면, 도시미관을 저해하고 경제활력을 감소시킬 우려가 있어 공간의 변화는 검토될 필요가 있다. 개발 시나리오 중에서는 녹지 중심의 시나리오의 내부가 가장 쾌적한 것으로 나타났다.

1) 현 상태 유지 시나리오

현 상태 유지 시나리오 시뮬레이션에서 도출된 4계절 평균 기온은 각각 16.09 °C, 25.69 °C, 16.18 °C, 2.33 °C이다. MRT는 계절별로 각각 9.94 °C, 17 °C, 9.68 °C, 3.89 °C로 나타났다. 풍속은 4계절 각각 0.98 m/s, 1.18 m/s, 1.01 m/s, 0.68 m/s로 나타났다.

Table 3. Results of Wind Speed, Air Temperature, MRT Analysis of Study Area

Scenario	Factor	Inside of Site Area				1 km Radius of Site Area			
		Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
Status Quo Scenario	Wind speed (m/s)	0.98 (0.95)	1.18 (0.94)	1.01 (1.16)	0.68 (1.20)	1.81 (1.20)	1.37 (0.90)	1.65 (1.22)	2.05 (1.11)
	Temperature (°C)	16.09 (0.85)	25.69 (0.71)	16.18 (1.04)	2.33 (1.12)	17.22 (1.06)	23.67 (1.56)	15.54 (0.97)	3.86 (1.05)
	MRT (°C)	9.94 (0.95)	17.00 (0.98)	9.68 (1.12)	3.89 (1.26)	10.15 (1.68)	16.46 (1.81)	10.13 (1.54)	5.15 (1.01)
Green Oriented Scenario	Wind speed (m/s)	0.86 (1.35)	1.09 (1.05)	0.80 (1.63)	0.54 (1.57)	2.43 (1.61)	2.01 (1.42)	1.73 (1.14)	2.24 (0.94)
	Temperature (°C)	16.18 (1.57)	26.60 (1.68)	16.30 (0.81)	2.55 (1.59)	17.17 (1.83)	22.94 (2.04)	14.81 (1.86)	3.52 (0.87)
	MRT (°C)	10.14 (1.19)	18.07 (1.39)	10.07 (1.60)	4.02 (1.61)	9.88 (1.02)	16.39 (1.80)	9.42 (1.21)	4.58 (1.86)
Building Oriented Scenario	Wind speed (m/s)	0.61 (0.84)	0.87 (0.94)	0.60 (1.67)	0.42 (1.42)	1.54 (1.02)	1.26 (0.64)	1.07 (0.86)	1.94 (0.96)
	Temperature (°C)	16.22 (1.28)	26.80 (1.03)	16.30 (1.37)	2.96 (1.28)	19.16 (0.92)	24.24 (0.88)	18.14 (1.54)	4.74 (1.14)
	MRT (°C)	10.26 (1.13)	18.94 (1.69)	10.20 (1.27)	4.36 (1.11)	10.23 (1.24)	17.15 (1.43)	10.20 (1.39)	5.22 (1.54)
Mediation Scenario	Wind speed (m/s)	0.78 (2.01)	1.03 (1.04)	0.62 (0.86)	0.57 (1.46)	1.72 (1.18)	1.39 (0.92)	1.19 (0.78)	1.98 (0.99)
	Temperature (°C)	16.22 (1.43)	26.68 (1.55)	16.31 (1.68)	2.94 (1.13)	17.68 (0.85)	23.88 (1.46)	17.04 (0.82)	4.14 (1.18)
	MRT (°C)	10.22 (1.46)	18.34 (1.28)	10.14 (1.35)	4.28 (1.21)	10.19 (1.32)	16.92 (1.34)	10.17 (1.22)	5.16 (1.74)

* () write a standard deviation

2) 녹지 중심 개발 시나리오

개발 시나리오 중 녹지 중심의 시나리오 결과 4계절 평균기온은 각각 16.18 °C, 26.6 °C, 16.3 °C, 2.55 °C이고, MRT 온도는 각각 10.14 °C, 18.07 °C, 10.07 °C, 4.02 °C로 나타났다. 현 상태 유지 시나리오를 기준으로 여름철 기온 및 MRT는 각각 0.91 °C, 1.07 °C 올라갔다. 봄과 겨울의 평균 기온이 0.09 °C, 0.22 °C 올라갔고, 풍속은 -0.12 m/s, -0.14 m/s 만큼 감소하였다.

3) 건물 중심 개발 시나리오

건물 중심의 시나리오로 개발되었을 때 현 상태 유지 시나리오보다 여름철 기온 및 MRT는 각각 1.11 °C, 1.94 °C 상승하였다. 봄과 겨울 기온이 0.13 °C, 0.61 °C 올라갔고, 풍속은 -0.37 m/s, -0.26 m/s

감소하였다. 시뮬레이션 결과 가을의 기온 및 MRT는 각각 16.30 °C, 10.20 °C이고, 미개발 시나리오와 비교하면 각각 0.12 °C, 0.52 °C 올라갔다.

4) 녹지-건물 절충 시나리오

녹지와 건물이 절충된 형태의 개발안으로 시뮬레이션 했을 때 평균 기온은 계절별로 각각 16.22 °C, 26.68 °C, 16.31 °C, 2.94 °C, MRT는 10.22 °C, 18.34 °C, 10.14 °C, 4.28 °C로 도출되었다. 절충 시나리오로 개발되었을 때 현 상태 유지 시나리오와 비교하면 평균 온도는 계절별로 각각 0.13 °C, 0.99 °C, 0.13 °C, 0.61 °C씩 상승하였고, MRT는 각각 0.28 °C, 1.34 °C, 0.46 °C, 0.39 °C 올랐다. 봄과 겨울 온도가 각각 0.13 °C, 0.61 °C 상승했고 풍속은 -0.2 m/s, -0.11 m/s 감소하였다.

2. 대상지 내·외부 시뮬레이션 결과

대상지 내부와 주변 1 km로 확장한 지역을 분석한 결과 녹지 중심의 시나리오 즉, 바람길을 고려한 설계안이 평균 기온, MRT가 다른 개발 시나리오보다 기온은 낮아지고 풍속이 증가해 가장 쾌적한 결과가 도출되었다.

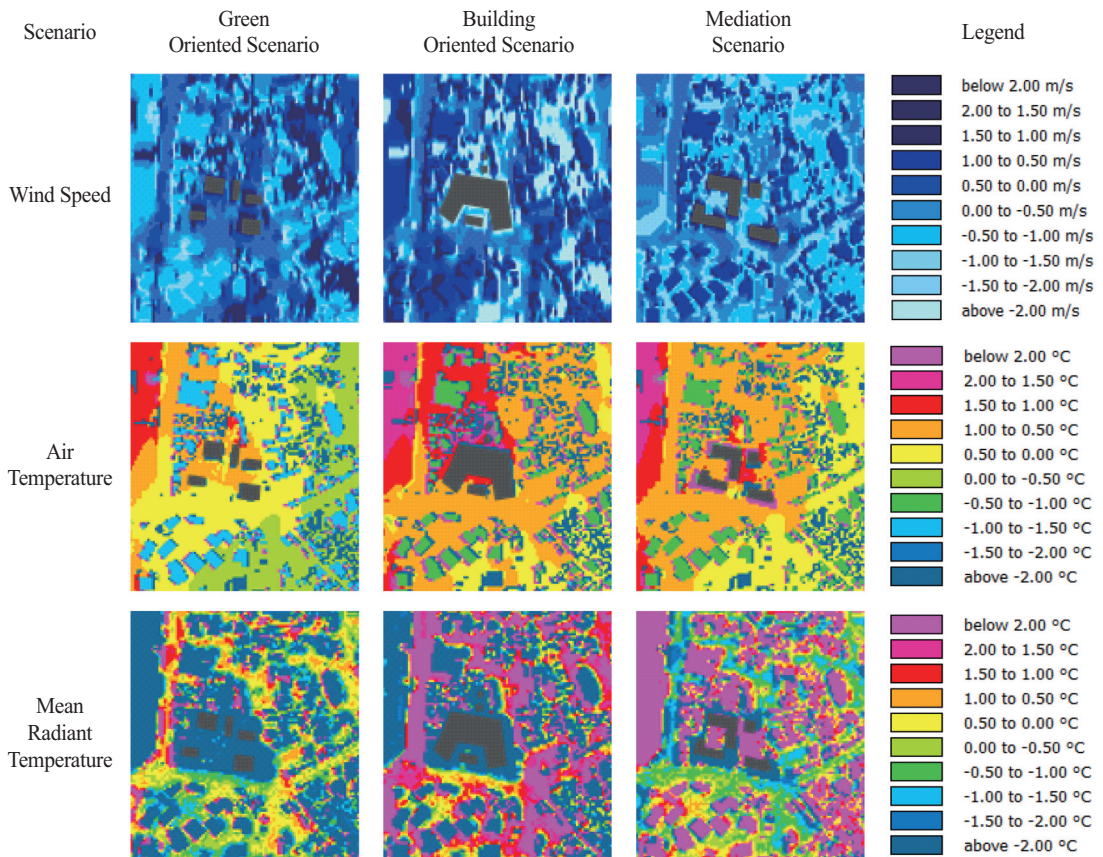
1) 현 상태 유지 시나리오

대상지 내·외부 지역의 현 상태 유지 시나리오의 평균 기온은 계절별 각각 15 °C, 23.67 °C, 15.54 °C, 3.86 °C로 도출되었고, MRT는 10.15 °C, 16.46 °C, 10.13 °C, 5.15 °C로 시뮬레이션 결과가 도출되었다. 풍속의 경우 4계절별 각각 1.81 m/s, 1.37 m/s, 1.65 m/s, 2.05 m/s로 나타났다.

2) 녹지 중심 개발 시나리오

현 상태 유지 시나리오와 녹지 중심의 시나리오를 비교한 결과 계절별 평균 기온은 각각 -0.05 °C, -0.73 °C, -0.73 °C, -0.34 °C로 나타났고, MRT는 각각 -0.27 °C, -0.07 °C, -0.71 °C, -0.57 °C가 떨어진 결과를 나타냈다. 봄과 겨울의 평균 기온은 -0.05 °C, -0.34 °C 떨어졌고, 풍속은 0.62 m/s, 0.19 m/s 빨라졌다.

녹지 중심의 시나리오는 바람길을 고려한 시나리오이므로 건물과 건물 사이에서도 바람의 흐름이 원활하게 이루어져 다른 시나리오와 차이를 보였다 (Figure 2). 또한, 풍속이 미치는 영향 범위가 대상지 인근 최대 210 m까지 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이는 대상지 서측, 동측에 위치한 도로 및 보행



* $T_0 - T_i$ (T_0 : Status Quo Scenario T_i : Each Scenario)

Figure 3. Comparative Analysis of Status Quo and Three Development Scenarios.

로와 남측에 있는 8차선 옆 보행로까지 영향을 미쳐 기온이 0~0.5 °C 낮아졌다.

3) 건물 중심 개발 시나리오

건축물 중심으로 개발되었을 때 4계절별 평균 기온은 각각 19.16 °C, 24.24 °C, 18.14 °C, 3.52 °C이고, MRT는 각각 10.23 °C, 17.15 °C, 10.20 °C, 5.22 °C로 도출되었다. 현 상태 유지 시나리오와 비교하면 건물 중심의 시나리오 기온은 계절별 각각 1.94 °C, 0.57 °C, 2.6 °C, 0.88 °C 상승했고, MRT는 0.08 °C, 0.69 °C, 0.07 °C, 0.07 °C 상승하였다. 현 상태 유지와 건물 중심의 시나리오의 기온 차를 봄과 겨울 풍속과 비교해보면 기온이 1.94 °C, 0.88 °C 올랐고 풍속은 -0.27 m/s, -0.11 m/s 감소하였다.

현 상태 유지 시나리오와 비교해보면, 중앙에 큰 건물이 위치해 바람의 전체적인 통행을 막고 있어 주변 120 m까지 영향을 미쳐 대상지 근처 상업지역과 주거지역 온도가 평균 1~1.5 °C 상승한 것을 확인할 수 있었다.

4) 녹지-건물 절충 시나리오

녹지와 건물이 절충된 시나리오에서는 여름철 평균 기온 및 MRT가 각각 23.88 °C, 16.92 °C로 나타났다. 가을 평균 기온과 MRT는 17.04 °C, 10.17 °C로 나타났다. 현 상태 유지 시나리오와 비교했을 때 절충 시나리오의 여름철 평균 기온 및 MRT는 각각 0.21 °C, 0.46 °C 올라갔다. 봄과 겨울 기온은 각각 0.46 °C, 0.28 °C 올라갔고, 풍속은 각각 -0.09 m/s, -0.07 m/s 감소하였다.

현 상태 유지 시나리오와 비교해보면, 절충 시나리오 오는 건물과 건물 사이에 풍속이 평균 1~1.5 m/s 정체되어 있어 기온과 MRT 온도가 주변보다 최대 2 °C 상승하였다. 풍속이 정체되어 대상지 주변 130 m 내에 있는 보행로 및 주변 상업지역까지 영향을 미친 결과를 보여주었다.

3. ANOVA 분석 결과

대상지 내부와 대상지 외부 기온을 ANOVA 분석 결과 4개의 시나리오가 p-value p<.001로 유의한

Table 4. Results of ANOVA

Scale	Factors	p-value
Inside of Site Area	ANOVA	<1e-15***
	C-S1	<2e-16***
	C-S2	0.1744
	C-S3	3.0e-15***
1 km Radius of Site Area	ANOVA	<2e-16***
	C-S1	3.9e-14***
	C-S2	0.5257
	C-S3	7.6e-14***

*C: Status Quo Scenario, S1~S3: Each Scenario
p-value: * p<0.001

결과를 도출했다. 이후 시나리오별 차이가 있는지 확인하기 위해 사후분석을 시행하였다. 녹지 중심 시나리오, 건물 중심의 시나리오에서 p-value p<.00으로 유의했고, 녹지-건물 절충 시나리오는 대상지 내부, 주변 1km 지역 각각 p-value 0.1744, 0.5257로 시나리오 간 차이가 없었다.

시나리오별 차이를 보인 경우를 살펴보면, 녹지 중심과 절충 시나리오의 건물은 분산배치 되었고, 건물 중심의 시나리오는 대형건물이 중앙에 배치된 차이를 보인다. 이를 통해 건물 배치와 건물 면적에 따라 바람의 방향과 속도가 달라져 기온에 영향을 미친 것으로 추정할 수 있다. 수목의 경우 3개의 개발 시나리오에서 수목이 식재되어 있는 부분에는 기온이 하강하는 영향을 보였으나, 범위를 넓혀 대상지 외부에서는 수목이 큰 영향을 미치지 않은 것으로 해석할 수 있다. 사후분석 결과를 보면 녹지 중심 및 건물 중심 시나리오의 건물 배치 및 면적에 따라서 통계적으로 유의미한 차이가 나타난 것으로 해석된다.

IV. 논의

앞서 4개의 시나리오에 대한 미기후 영향을 살펴본 결과, 녹지 중심의 시나리오로 개발되었을 때 기온이 낮아지고 풍속이 빨라진 것으로 도출되었다. 이 결과는 선행연구에서 건폐율은 낮을수록, 천공률이 높을수록, 연면적이 감소할수록, 용적률이 낮을수록 도시 열섬효과를 완화하는 것으로 나타난 것과 유사한 맥

락의 결과를 보인다(Park et al. 2017). 반면, 건물 중심의 시나리오는 대형 건축물이 남북방향 도시 가로에 인접하여 바람의 유동을 막는 경우 풍속이 약해져 정체 구간이 증가하였다. 풍속이 정체된 구간이 증가하면 도시 내 대기오염을 심화시킬 수 있다(Lee et al. 2019b). 바람길이 단절되어 풍속이 정체되면서 녹지-건물 절충 및 건물 중심의 시나리오에서는 주거지역과 대로의 기온이 상승한 것으로 도출되었다. Martin et al(2020)는 지구 단위 지역의 평균 기온이 낮 동안 1.2 °C 올랐을 때 냉방 수요는 5%, 최대 8% 까지 증가한다고 하였다. 해당 결과를 토대로 볼 때, 본 연구에서 건물 중심의 시나리오는 대상지 내·외부 기온 변화가 최대 1~1.5 °C가 상승하여 대상지 인근 지역은 선행연구와 유사한 수준의 에너지 수요량 증가에 영향을 미치는 것으로 예상되었다.

또한, 개발 시나리오에 따른 기온 저감의 영향범위는 시나리오별로 120 m, 130 m, 210 m로 차이를 보였다. Yoon(2001)은 대기오염이 녹지의 저감효과 범위를 풍속이 강할 때 320~360 m, 약할 때 280~320 m, 가장 약할 때 250~300 m로 도출되어 본 연구의 결과를 지지하는 것을 알 수 있다. 또한, 본 연구를 통해 대상지와 비슷한 35,000 m² 규모의 도시 공간 변화에서도 녹지와 건축물의 형태, 배치에 따라 바람길, 풍속에 영향을 미쳐 대상지 내, 외부의 대기 환경에 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 녹지 중심의 공간 활용은 대상지 내부와 외부의 쾌적성을 높이는 데 긍정적이고, 건축물은 상대적으로 녹지보다 효과는 적으나 대상지와 인접한 외부공간에 영향을 주는 것으로 확인되었다. 이러한 계획 요소에 따른 영향 범위는 영향평가 시 고려될 필요가 있다.

마지막으로 송현동 개발 방향에 대한 서울시 시민 의견조사에서 대상지를 공원(숲)으로 조성되는 것이 58.5%로 가장 높게 나타났다. 대상지 주변에 경복궁, 창덕궁, 광화문광장과 같은 역사·문화적 명소는 즐비해 있지만, 반경 500 m 이내 시민들이 쉴 수 있는 공간인 공원과 커뮤니티 공간이 부족한 실정이다. 근린 생활권 공원녹지는 커뮤니티 형성을 유도하고, 공간 이용의 질을 향상시키는 역할을 하므로(Kim 2019), 대상지는 시민의 여가와 휴식의 증진을 위한 공원녹

지와 커뮤니티 공간으로서의 잠재력이 있다. 이 같은 점을 고려하여 송현동 부지의 공간 변화에 대한 의사 결정 시 공간 자체가 갖는 역사성, 경제적 효과, 시민 만족도 향상, 환경적 영향, 에너지 수요량 등에 대한 고려가 충분히 이루어질 필요가 있다.

V. 결론

본 연구는 도심 내 공지 개발 시나리오에 따른 계절별 주변 미기후가 어떻게 변화되는지 ENVI-met을 사용해 풍속, 기온, MRT를 비교 분석하였다. 본 연구에서는 개발 전과 후, 대상지 내·외부 지역까지 확장해 비교하였다. 기존 선행연구에서는 주로 여름철을 기준으로 시뮬레이션한 반면, 본 연구는 4계절 변화되는 미기후를 비교분석해 계절별 차이를 보았다는 점에서 선행연구와 차별성을 갖는다.

또한, 공간 구성 방식에 따른 시나리오의 차별성을 두어 평가 결과의 차이를 확인하였다. 즉, 대상지 규모의 토지이용 변화로 인한 대상지의 내부, 외부 미기후 영향의 비교 가능성을 타진할 수 있었다.

대상지 내부, 내·외부에 대한 시뮬레이션 결과를 통해 시나리오에 따라 여름철 최대 -0.73 °C가 낮아지거나 1.5 °C까지 상승하는 것으로 확인되었다. 풍속은 시나리오에 따라 최대 210 m까지 영향을 미쳤다. 여름철 기온 상승, 저감은 에너지 소비량에 영향을 미치는 점, 시민은 대상지를 공원, 커뮤니티 공간으로 이용하기를 바라는 점 등을 고려한 의사결정이 요구된다. 특히 녹지와 건축물의 공간 구성에 따라 바람길, 풍속에 영향을 미쳐 대상지 내·외부의 미기후에 미치는 영향이 다르게 확인되었다. 이를 고려하여 영향평가 과정에서 어느 부분을 중점적으로 검토할 것인지 참고할 수 있을 것이다.

다만, 이러한 시나리오는 전반적인 개발 방향과 건물의 배치 결정 단계에서 고려할 수 있지만, 대상지 내부 보행로, 녹지 유형 등의 세부적인 비교가 어려운 한계가 존재한다. 이러한 한계점을 고려하여 향후 고도화된 방식으로 건물의 형태와 위치는 동일하되, 건폐율 및 녹지율을 다르게 조성하거나, 녹지의 유형 등 세부 조건을 달리하는 등 기온 저감에 효과적인 개

발 형태에 관한 후속 연구를 진행할 수 있을 것이다.

현재 환경영향평가 평가항목 중 대기환경 분야에
서 기상(미기상포함)을 검토하고 있으나, 미기후에
대한 영향은 고려되지 않고 있다. 도시 지역의 열섬
문제, 시민이 체감하는 열 쾌적성 등에 대한 고려가
함께 이루어지기 위해서는 제도적으로 미기후 시뮬레
이션을 통해 개발 전·후 비교하는 과정이 포함될 필
요가 있다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술
원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을
받아 연구되었습니다(2019002760001).

References

- Chang SH. 2000. A Two-Sample Comparison for Multiple Ordered Event Data. *Biometrics* 56: 183-189
- Heris MP, Middel A, Muller B. 2020. Impact of form and design policies on urban microclimate: Assessment of zoning design guideline choices in urban redevelopment projects. *Landscape and Urban Planning*. 202.
- Jung MM, Eom HJ. 2011. Understanding and Interpretation of Interaction Effects in Multi-factor ANOVA Designs. *Korean Society for Measurement and Evaluation in Physical Education and Sports Science* 13(2): 1-15 [Korean Literature]
- Jung WS, Park JK, Lee HW. 2006. An Analysis on Influence of Geographical Variation Induced by Development Affecting to the Local Scale Wind Environment –Numerical Simulation using the ENVI-met Model–. *Journal of Korea Society for Atmospheric Environment* 22(6): 888-903. [Korean Literature]
- Kim CH. 2015. Causes and Problems of the Publication from the Urban Planning Point of View. *Journal of Environmental Studies* 56: 50-57. [Korean Literature]
- Kim DW, Kim JK, Jung EH. 2010. An Analysis of Micro-climate Environmental Changes Followed by Establishment of an Urban Park. *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design* 11(2): 77-94. [Korean Literature]
- Kim JK, Jung EH, Kim DW, Ryu JW, Cha JG. 2008. A Study on the microclimate Improvement of an apartment complex using the Envi-Met model. *Journal of the Korean Housing Association* 297-302. [Korean Literature]
- Kim MS, Lim JH. 2017. An Analysis of the Urban Thermal Environment of Songdo International City Using an ENVI-met Model. *Journal of Architectural Institute of Korea* 37(2): 1014-1017. [Korean Literature]
- Kim SE, Noh KC, Oh MD. 2004. Evaluation of the Indoor Thermal Comfort in Consideration of the Solar Radiation. *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering* 16(12): 1140-1148. [Korean Literature]
- Kim WJ. 2019. A Study on the Relationship between Neighborhood Green Space and Community Building in the Newtown –A Case Study on the Resident Participation of the First Village in Sejong City–. Ph.D thesis. Seoul National University. Seoul. [Korean Literature]
- Kwon YJ, Lee DK, Ahn SK. 2019. Urban Street Planting Scenarios Simulation for Micro-

- scale Urban Heat Island Effect Mitigation in Seoul. *Journal of Environmental Impact Assessment* 28(1): 23-34. [Korean Literature]
- Lee GW, Jeong YN. 2019a. An Observation Study of the Relationship of between the Urban And Architectural Form and Microclimate. *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology* 9(7): 337-349. [Korean Literature]
- Lee GW, Jeong YN, Moon YD. 2019b. The Relation of between the Architectural and Urban Form, Microclimate Factors and Buildings Energy Consumption. *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology* 9(10): 923-934. [Korean Literature]
- Martin MR, Maiullari D, Pijpers-van Esch MME, Schlueter A. 2020. An Integrated Microclimate-Energy Demand Simulation Method for the Assessment of Urban Districts. *Frontiers in Built Environment*.
- Park JB, Im HN, Kim SH, Choi CG. 2017. An Effect of Building-Coverage Ratio and Floor-Area Ratio on Urban Heat Island Effect –Focused on Multi-Family Housing and Apartments with Automatic Weather Station in Seoul–. *Journal of Korea Planning Association* 52(7): 159-176. [Korean Literature]
- Ryu BR, Ko EA. 2010. Wind Simulation and Optimal Building Allocation using Envi-met 3-D Model. *Journal of Korean Society of Environmental Technology* 11(4): 207-215. [Korean Literature]
- Song BG, Park KH. 2019. A Study on the Relationship between Land Cover Type and Urban Temperature –focused on Gimhae city–. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 22(2): 65-81. [Korean Literature]
- Song DW. 2012. An Analysis of Local Wind Field by Location of Industrial Complex using CALMET and ENVI-MET. *Journal of Environmental Impact Assessment* 21(3): 417-429. [Korean Literature]
- Song IJ. 2020. A study on the Spatial Characteristics of Climate Environment and the Effect of Planning Techniques on Response to Climate Change in Seoul. *Seoul symposium on Climate Change Response*.
- Suh JE, Park BY, Kim SG, Kim TY, Leigh SB. 2009. An Analysis of Elements that Cause Heat Island in Urban Area-Focused on Seoul Metropolitan Area-. *Proceedings of Architectural Institute of Korea* 29(1): 581-584. [Korean Literature]
- Wilson JD. 1988. A second order closure model for flow through vegetation. *Boundary Layer Meteorology* 42: 371-392.
- Yoon YH. 2001. The study of Cooling Effect on Heat Island by Parks –Relationship between Wind Velocity–. *Journal of Korea Planning Association* 36(2): 187-196. [Korean Literature]
- National Institute of Korean History: *Annals of the Joseon Dynasty* [Internet]. *Sungjong's Annals* vol 125, Jan. 20th. *Sungjong* 12; [cited 2020 Nov 11]. Available from http://sillok.history.go.kr/id/kia_11201020_006
- ENVI_MET: *Cities and Health* [Internet]. *Building Physics*; [cited 2020 Oct 03]. Available from: <http://www.envi-met.com/> *Seoul History Archive: Songhyeon-dong* [Internet].

Songhyeon article; [cited 2021 Jan 15]
<https://museum.seoul.go.kr/www/search/archive/search.jsp?sso=ok>

Seoul Opinion Survey: Songhyeon-dong survey

[Internet]. Citizen's opinion for songhyeon-dong; [cited 2020 Nov 02] [http:// research.seoul.go.kr/answerResult/list.do#](http://research.seoul.go.kr/answerResult/list.do#)