

ENVI-met을 활용한 부산지역 노후공업단지 바람길숲 조성 방식에 따른 미기후 개선효과 비교

조종훈¹ · 반권수^{2*}

¹동아대학교 대학원 도시계획조경학과 석박사 통합과정, ²동아대학교 디자인환경대학 조경학과 조교수

A Comparison of Microclimate Improvement Effects by the Construction Method of Wind Road Forest in Busan's Old Industrial Complex Using ENVI-met

Jong Hun Cho¹ and Gwon Soo Bahn^{2*}

¹Integrated Master's and Doctoral Course, Department of Urban Planning and Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

²Professor, Department of Urban Planning and Landscape Architecture, Dong-A University, Busan 49315, Korea

Received 20 November 2024, revised 14 March 2025, accepted 18 March 2025, published online 31 March 2025

ABSTRACT: This study compared efficiency of improving the thermal environment by conducting simulations of creating wind road forests in various ways for Sasang Industrial Complex, an old industrial complex, using ENVI-met, a microclimate analysis program. Simulation 1 modeled on the target site and placed wide instead of wide gaps and Simulation 2 placed wide and narrow were simulated using pine trees and fir trees, respectively, to determine differences between conifers and broad-leaved trees. When thermal comfort, latent temperature, physiologically equal temperature (PET), predicted mean vote (expected warmth), SET (Standard Effective Temperature), and UTCI (general heat climate index) were compared, in both scenarios using pine trees, the reduction effect was shown, and in Scenario 2, the highest level was 0.03°C for PET, 1.11°C for PMV, 0.36°C for SET, and 0.13°C for UTCI. Scenario 2, which placed a large amount of green space with a narrow width, was relatively advantageous for improving thermal comfort.

KEYWORDS: ENVI-met, Old industrial complex, Thermal comfort, Urban heat island, Wind ventilation forest

요 약: 본 연구는 미기후 분석 프로그램인 ENVI-met을 활용하여 부산지역의 대표적인 노후 공업단지인 사상공업단지를 대상으로 바람길숲 조성 방식에 따른 열 환경 개선 효과를 비교하였다. 이를 위해 대상지의 물리적 환경을 모델링한 후, 바람길숲의 배치 방식에 따른 두 가지 시나리오를 설정하였다. 시나리오 1은 폭을 넓게 배치하되 간격을 크게 두는 방식이며, 시나리오 2는 폭과 간격을 모두 좁게 배치하는 방식이다. 또한, 식재 수종에 따른 차이를 분석하기 위해 침엽수(소나무)와 활엽수(아까시나무)를 각각 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 열 쾌적성 비교를 위해 잠재기온, PET (Physiologically Equivalent Temperature), PMV (Predicted Mean Vote), SET (Standard Effective Temperature), UTCI (Universal Thermal Climate Index) 등의 지표를 추출하여 분석하였다. 그 결과, 소나무를 활용한 두 시나리오에서 모두 열 환경 개선 효과가 확인되었으며, 시나리오 2에서 PET는 최대 0.03°C, PMV는 1.11, SET는 0.36°C, UTCI는 0.13°C 더 낮은 것으로 나타났다. 전반적으로 좁은 폭으로 다수의 바람길숲을 배치한 시나리오 2가 노후 공업단지의 열 쾌적성 개선에 더 효과적인 것으로 평가되었다.

핵심어: ENVI-met, 노후공업단지, 열 쾌적성, 도시 열섬, 바람길 숲

*Corresponding author: populus76@dau.ac.kr, ORCID 0000-0002-3817-3391

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derives (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도시 열섬은 도시의 기온이 주변의 타 지역보다 높게 나타나 등온선이 폐곡선을 이루는 도시 지역을 의미한다. 이러한 도시 열섬 현상은 도시에 폭염을 유발하여 에너지 소비를 부추기고 열사병, 일사병 등의 온열질환을 유발해 사망 위험을 높인다. 일반적으로 도시 열섬 현상의 주요 원인은 세가지로 자동차 배기 가스 등에 의한 대기 오염, 도시 내 인공열의 발생, 지표면의 포장이나 건축물의 건설 등에 의한 지상 피복의 상태 변화 등으로 인간 생활이나 산업 활동에 수반된 복잡한 요인이 도시 열섬의 원인으로 작용하고 있다(Kim et al. 2001).

도시의 열환경은 도시의 형태(구조물, 피복 등)에 따라 다르게 형성된다. 공간 구성요소들의 에너지 흡수, 반사, 방출량 등 물리적 요인들의 차이에 따라 각 공간에 형성되는 에너지의 차이가 발생한다(Lim et al. 2022). 질병관리본부에서 발표한 2018년 온열 질환 감시체계 보고서에 따르면 폭염 발생으로 인한 온열 질환자는 총 4,526명이었으며 그 중 고령자가 30.6%를 차지하였다(Park 2023). 이러한 열섬 현상의 피해를 완화하기 위해서는 도시 내 녹지 공간 확보, 옥상정원 조성, 바람길 숲 생성 등의 다양한 대책이 필요하다. 이에 따라 그린 인프라의 조성 효과를 예측하고 최적의 조성 방식을 검토하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, ENVI-met과 같은 3차원 미기상 모델링 프로그램의 활용도 또한 증가하고 있다.

ENVI-met을 활용하여 열 환경을 시뮬레이션하고 그 개선 효과를 분석한 연구가 다수 수행되어 왔다. Park (2023)은 사상공업단지의 공장 및 노후 주택지에서 폭 10 m와 20 m의 녹지 조성 시나리오를 모의한 결과, 열 쾌적성에 유의미한 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. Ryu and Ko (2010)는 Envi-met을 활용하여 바람길을 고려한 공동주택 단지를 재배치하여 미기상 모의실험을 통해 바람대기의 온도와 흐름변화를 살펴보고 그에 따른 최적의 공동주택 단지배치를 제안하였다. Lim et al. (2022)은 여름철 도로 방향과 가로수 식재 형태에 따른 도시공간의 열환경 개선 효과를 분석하였다. 수목 식재 시 평균복사온도와 인간 열환경지수 PET, UTCI가 감소하는 경향을 보였으며 평균복사온도가 가장 큰 변화를 보였다. 수관폭이 넓고 수고가 낮으며 엽면적지수가 높은 수목의 간격을 좁게 식재하는 시나리오

가 가장 큰 저감효과를 보였다. Choi (2016)는 ENVI-met을 활용하여 도심 내 난류량, 기온, 습도, 연직 확산 속도, 열적 쾌적도 등의 요소를 분석하고, 도시 열환경의 안정성을 평가하였다. 연구 결과, 도심 구조물이 바람장의 발산·수렴 및 수송 구조에 미치는 영향을 진단하는 것은, 바람장에 의해 확산 또는 수송되는 열과 물질의 이동 및 축적을 결정짓는 중요한 요소로 작용할 수 있음을 시사하였다. Kim and Lim (2017)은 국내 신도시를 대상으로 도심지의 온습도 조건이 같다고 가정할 시, 주변의 발전 상황에 따른 지역별 열 환경을 파악 및 분석하고, 이를 통해 어떤 주변 요소들이 열 환경 차이에 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 이를 위해 Envi-met 모델을 활용하여 송도국제도시를 대상으로 주거지역, 녹지지역, 공업지역에 대한 모델을 구축하고 각 지역별 열 환경을 시뮬레이션하였다.

도시의 열섬효과를 높이는 대표적 공간인 공업지역은 토지이용 특성 중에서 가장 높은 지표온도를 보인다. 건물 면적 대비 녹지 비율이 매우 낮고 건물 간 밀집도가 높아 열에 취약한 물리적 환경을 갖고 있으며, 산업 활동으로 인해 많은 에너지 소비가 발생하여 인공 열 방출이 높은 지역이다(Park 2023). 그리고 우리나라의 노후 공업단지는 도시 열섬 문제로 주목받기 이전부터 인근 지역에 심각한 환경 문제를 초래해왔다. 이는 1980년대 이전에 공업단지가 조성된 지역에서 급격히 증가한 주거 수요를 해소하기 위해 무분별한 단독 주택 중심의 주택 공급 정책이 추진되었으며, 그 과정에서 미세먼지, 소음, 악취 등의 환경적 요소가 전혀 고려되지 않았기 때문이다(Park 2023). 공업단지의 특성상 공장 밀집도나 도로 등의 이유로 해당 구역을 녹지로 확보하거나 대체하는 데에 제약이 많으며 공업단지 내에서 효과적인 바람길 숲 조성을 위한 과학적 예측이 필요하다.

이에 본 연구에서는 3차원 미기상 모델링 프로그램인 ENVI-met을 활용하여 부산의 노후 공업단지를 대상으로 바람길 숲을 조성할 시, 총 면적은 동일하되 폭과 간격을 다르게 배치한 시나리오별 저감 효율을 분석하였다. 또한, 적용된 수종에 따른 저감 효율도 비교하고자 하였다.

2. 연구 방법

저감효과를 비교하기 위하여 ENVI-met 프로그램

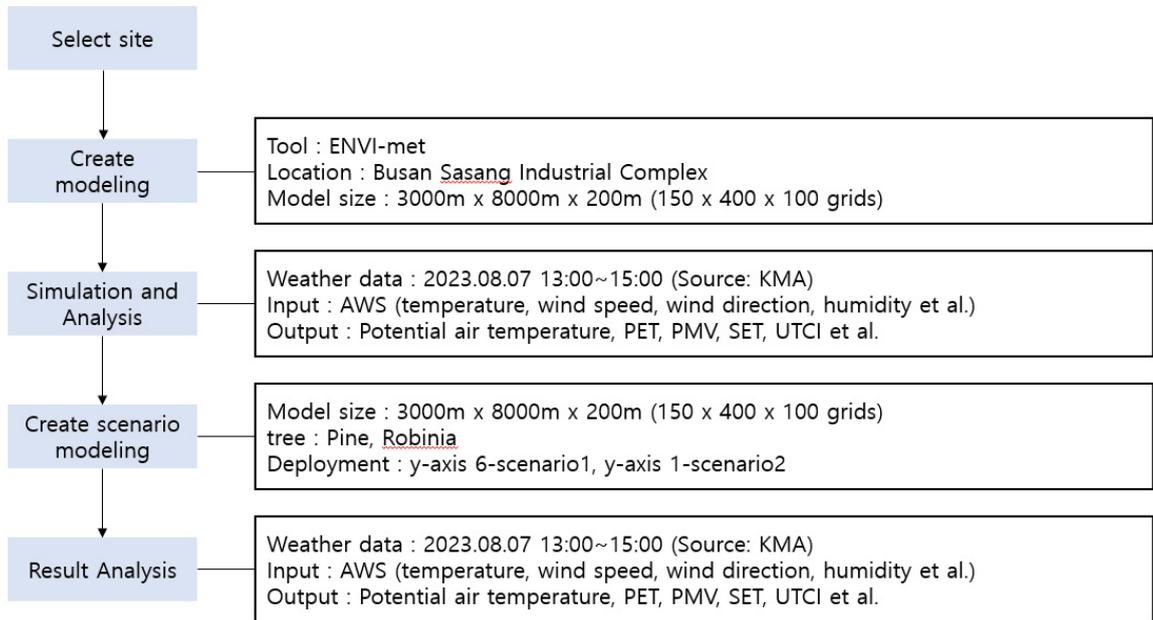


Fig. 1. Flow chart.

을 통해 대상지의 현재 상태에 대한 시뮬레이션 후 수목 배치와 수중에 따른 각각의 시나리오에 대해 시뮬레이션 및 분석을 실시하였다(Fig. 1).

2.1 연구의 범위

공간적 범위는 부산광역시 사상구 사상공업단지로 1975년 부산지역에 흩어져 있던 공단들이 이전하면서 형성되었으며 학장동, 감전동, 꾀법동, 덕포동, 모라동, 삼락동, 주례동, 엄궁동, 구포동 등으로 이루어진 사상구 낙동간변에 조성된 지역이다. 사상공업단지는 부산 내에서 열섬 현상이나 열대야가 일어나는 지역이며 다른 지역에 비해 높은 지표온도를 나타내고 있다. Park (2023)의 연구에서 Landsat 8 위성자료의 지표온도 지도를 근거로 다른 공업지역들과 마찬가지로 사상공업단지도 34°C 이상의 높은 지표온도가 나타났다고 하였다. 해당 연구에서는 이곳의 공업단지와 인접한 주거지역의 일부를 대상으로 하였으나 본 연구에서는 사상공업단지 전체를 대상으로 진행하였다(Fig. 2).

시간적 범위는 2023년 8월 7일 13~15시로 설정하였다. 이는 기상청 관측자료에 따르면 최근 5년 내의 사상구에서 최고 기온의 평균이 가장 높게 나타난 시기이며 해당 시간대에 최고 기온을 기록하였다.

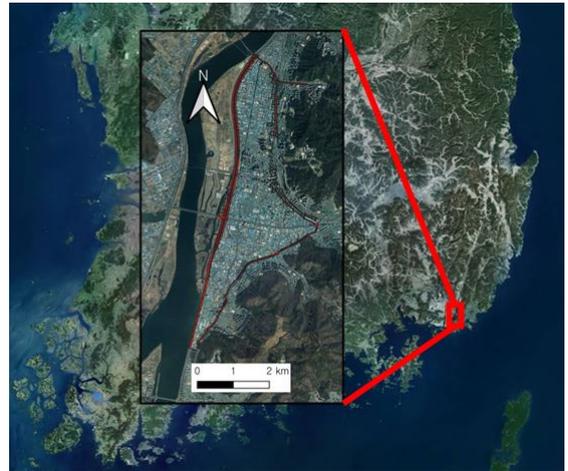


Fig. 2. Location of Sasang industrial complex.

2.2 시뮬레이션 시나리오

ENVI-met은 3차원 미기상 모델링 프로그램으로 독일 Bochum university의 Michael Bruse에 의해 1998년에 개발된 것으로 1차원의 토양 모델, 식생 모델, 열교환 모델이 포함되어 있고 세밀한 미기후 변화를 수치적으로 분석할 수 있으며, 도시 지역의 고층 건물에 의한 주변 지역의 기류나 유체의 흐름장, 온도와 습도의 분포 같은 미기후 변화 등을 모델링을 통해 계산할 수 있다.

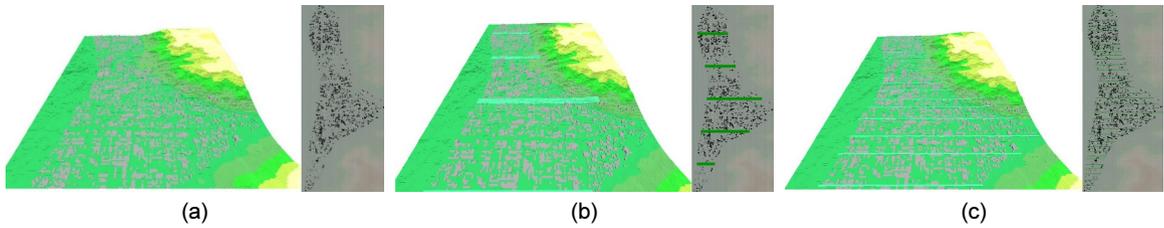


Fig. 3. Sasang industrial complex modeling (a), simulation 1 (b), simulation 2 (c).

Table 1. Scenario organization

	Scenario1		Scenario2	
Tree	Pine	Robinia	Pine	Robinia
Tree size (m)	7×7×15	7×7×12	7×7×15	7×7×12
y-axis	6		1	
Schematic diagram				
Grid	150×400×100			
Pixel (m)	20×20×2			

(Choi 2016). Park (2023)의 연구에서 ENVI-met 모델의 시뮬레이션 결과와 실측값 간의 강한 상관계수를 보여 노후 공업단지과 인접 단독주택지의 복잡한 열 환경의 시뮬레이션에 적합하다고 보고하였다.

국토지리정보원 국토정보플랫폼의 수치지도(<https://map.ngii.go.kr/ms/map/NlipMap.do>)와 국토교통부 디지털 트윈국토의 국가중점데이터 GIS 건물통합정보(https://www.vworld.kr/dtmk/dtmk_ntads_s001.do)를 다운받아 QGIS 3.26을 통해 대상 범위 내의 도로와 건물높이에 대한 데이터를 취득하였다. 해당 데이터를 이용하여 모델을 생성하였으며, 분석 범위는 UTM zone 52에서 x좌표 498630.468, y좌표 3890340.035를 중심으로 총 x축 3000 m, y축 8000 m의 크기를 가지도록 설정하였다. 대상지 분석 범위는 10° 회전시켜, 이를 20 m × 20 m 크기의 격자로 나누었고, z축은 2 m 단위로 100칸을 설정하여 총 200 m에 해당하는 150 × 400 × 100 크기의 격자 구조를 형성하였다. 완충 녹지 및 바람길 숲 조성을 위한 시나리오 1에서는 같은 크기의 녹지를 비교적 넓은 폭과 간격을 가진 몇 개의 구역으로 배치하였으며, 이 경우 녹지는 y축으로 6칸, 120 m의 폭을 가진다. 반면, 시나리오 2는 비교적 좁은 폭과 간격으로 더 많은 구역을 배치하여, y축으로 1칸, 20 m

의 폭을 가지며 대체되는 건물의 수가 적어지도록 배치하였다 (Fig. 3).

Park (2023)은 식재수종으로 상록수(소나무, 아카시아, 잣나무)를 사용하였으나 본 연구에서는 그 중 소나무(Pine)만을 사용한 시나리오와 침엽수와 활엽수의 차이를 비교하기 위해 아카시아 나무(Robinia Pseudo-acacia)만을 사용한 시나리오를 진행하여 분석을 진행하였다. 아카시아 나무는 낙엽활엽수로 Kim (2001)의 논문 따르면 사상공원 주변에서 출현하는 종이다. 각 수종의 식생 모델은 ENVI-met 프로그램이 제공하는 기본 규격으로 소나무는 수고 15 m, 수관폭 7 m, 아카시아 나무는 수고 12 m, 수관폭 7 m를 적용하였다(Table 1).

2.3 기상자료

기상 자료는 기상청에서 제공하는 지역별 상세 관측 자료에서 부산 사상구의 23년 8월 7일 데이터를 가져와 온도, 습도, 풍향, 풍속 데이터 등의 정보를 입력하여 시뮬레이션을 진행하였다. 13시에는 기온 34.8°C, 습도 58%, 14시에는 기온 35.1°C, 습도 55%, 15시에는 기온은 34.6°C 습도는 57%이며 풍속은 4 m/s, 풍향각은 55°로 설정하였다.

2.4. 열 쾌적성 평가

본 연구에서는 열 쾌적성을 평가하기 위해 잠재기온, PET (Physiologically Equivalent Temperature, 열쾌적성지표), PMV (predicted mean vote, 예상온열감), SET (Standard Effective Temperature, 표준유효온도), UTCI (universal thermal climate index, 일반적인 열기후지수)를 사용하였다. ENVI-met 보조프로그램인 BioMet을 사용하여 산출되었으며 기상 조건과 더불어 인간의 대사열량과 변수를 고려하였다. 해당 프로그램에서 제공하는 Default Male, Summer Clothing (35세, 남성, 신장 1.75 m, 체중 75 kg, 야외의류 0.5, 실내의류 0.9, 대사율 86.21 W/m^2)으로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

시나리오 적용 결과, 열 쾌적성에 대한 일정 정도의 상대적인 저감 효과가 나타났다(Fig. 4). 소나무를 사용한 시나리오에서 잠재기온은 시나리오 1이 시나리오 2보다 최저 수치를 1.12°C 더 낮추었으나, Fig. 4의 b와 d와 같이 시나리오 2에서는 더 많은 영역에서 낮은 색상이 나타났다. 시나리오 2는 시나리오 1보다 최고수치에서 PET가 0.03°C , PMV가 1.11, SET가 0.36°C , UTCI가 0.13°C 가 더 낮게 나타났다. 구체적으로, 시나리오 1에서는 잠재기온이 $26.24^\circ\text{C} - 33.55^\circ\text{C}$, PET가 $23.32^\circ\text{C} - 59.30^\circ\text{C}$, PMV가 $-0.20 - 6.72$, SET가 $31.47^\circ\text{C} - 43.22^\circ\text{C}$, UTCI는 $36.55^\circ\text{C} - 42.47^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 시

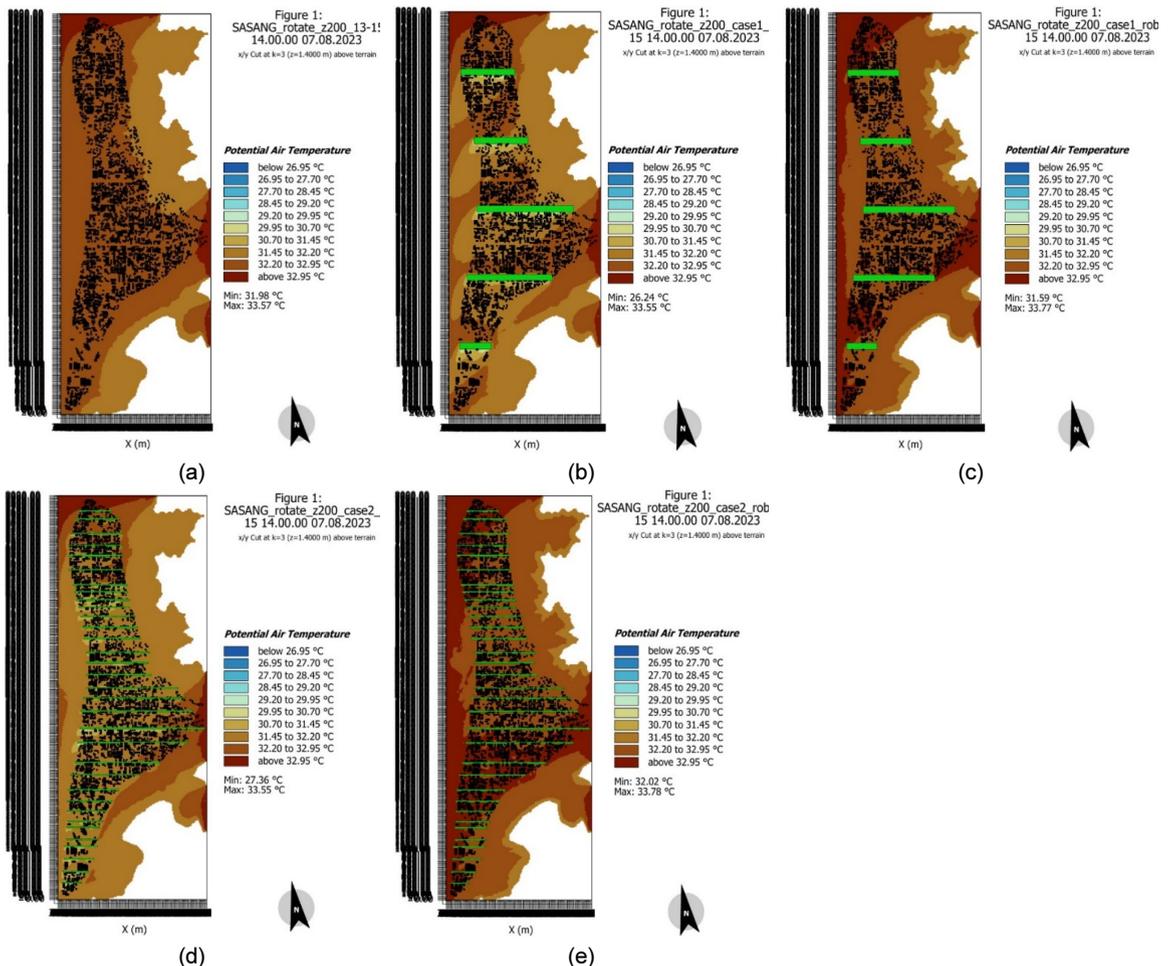


Fig. 4. Potential air temperature Sasang industrial complex modeling (a), simulation 1 modeling using *Pine* (b), simulation 1 modeling using *Robinia Pseudoacacia* (c), simulation 2 modeling using *Pine* (d), simulation 2 modeling using *Robinia Pseudoacacia* (e).

Table 2. Thermal comfort comparison - *Pine*

14:00		Nomal	Scenario1	Scenario2
Potential air temperature (°C)	Max	33.57	33.55	33.55
	Min	31.95	26.24	27.36
PET (°C)	Max	59.30	59.30	59.27
	Min	33.84	23.32	24.61
PMV	Max	6.72	6.71	6.60
	Min	1.99	-0.20	0.15
SET (°C)	Max	43.18	43.22	42.86
	Min	31.80	31.47	31.62
UTCI (°C)	Max	42.51	42.47	42.34
	Min	37.65	36.55	36.80

Table 3. Thermal comfort comparison - *Robinia Pseudoacacia*

14:00		Nomal	Scenario1	Scenario2
Potential air temperature (°C)	Max	33.57	33.77	33.78
	Min	31.95	31.59	32.02
PET (°C)	Max	59.30	58.59	58.59
	Min	33.84	34.11	34.68
PMV	Max	6.72	5.13	5.14
	Min	1.99	2.02	2.13
SET (°C)	Max	43.18	43.80	43.55
	Min	31.80	33.84	34.10
UTCI (°C)	Max	42.51	43.17	43.26
	Min	37.65	36.50	37.39

나리오2에서는 잠재기온이 27.36 - 33.55°C, PET가 24.61°C - 59.27°C, PMV는 0.15~6.60, SET가 31.62°C - 42.86°C, UTCI는 36.80°C - 42.34°C로 나타났다 (Table 2). 따라서 시나리오2가 시나리오1보다 저감 효과가 상대적으로 더 유리하다고 판단된다.

아까시 나무를 사용한 시나리오의 경우, 두 시나리오 모두 PET와 PMV의 최고 수치가 기본 시나리오보다 각각 약 0.71°C, 1.6 낮아진 것을 제외하면, 오히려 일부 수치는 상승한 경우도 있었다. 구체적으로는 시나리오1에서는 잠재기온이 31.59°C - 33.77°C, PET가 34.11°C - 58.59°C, PMV는 2.02 ~ 5.13, SET가 33.84°C - 43.80°C, UTCI는 36.50°C - 43.17°C로 나타났다. 시나리오2에서는 잠재기온이 32.02°C - 33.78°C, PET가 34.68°C - 58.59°C, PMV는 2.13~5.14, SET가 34.10°C - 43.55°C, UTCI 37.39°C - 43.26°C 로 나타났다 (Table 3). Choi et al. (2017)의 연구에서는 침엽수인 소나무림과 활엽수인 아까시나무림, 그리고 활엽수 혼효

림의 표면 온도를 비교하고 녹지 용적과 표면 온도의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 표면 온도는 활엽수가 더 낮게 나타났으며 소나무림과 활엽수 혼효림은 녹지 용적이 증가함에 따라 표면 온도가 감소한 반면, 아까시나무림은 용적이 증가함에 따라 미세하게 표면 온도가 상승했다고 하였다. 본 연구에서도 해당 연구와 마찬가지로 일부 경우에서 수치가 상승한 결과가 나타났으므로 사용한 아까시나무는 침엽수와 활엽수의 개선 효과 비교 대상으로 적합하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 추후 보다 다양한 활엽수를 적용한 시뮬레이션 분석이 필요할 수 있다.

전반적으로 좁은 폭으로 많은 열의 녹지를 배치한 시나리오 2는 상대적으로 열쾌적성 저감 효과가 더 유리한 것으로 예측되었다. 이는 밀집하고 균일한 노후 공업단지에서 동일 총량의 녹지를 설치할 때, 소수의 대형 녹지보다는 작은 폭의 선형 녹지를 다수 배치하는 것이 열쾌적성 개선에 더 유리함을 보여주는 결과이다.

단, 본 대상지의 밀집된 토지 이용 특성상 신규 녹지 설치에도 기존의 극심한 열 스트레스 개선에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 산업 구조와 업종의 근본적인 개선이 전제되어야 하며, 보다 다양한 유형과 규모의 녹지 설치가 병행되어야 할 것으로 생각된다. 또한, 두 시나리오에서 배치된 녹지의 면적은 동일하지만 대체된 건물의 수는 다르며, 소나무를 배치한 시나리오 1과 2에서 잠재기온, PET, PMV 최소치가 다른 수치들에 비해 상대적으로 큰 차이를 보였다. 따라서 해당 사항에 대해서는 대체되는 건물의 면적을 같게 하는 등 여러 방면에서 추가적인 실험 및 비교를 진행하는 것이 필요하다. 또한, 최대치의 차이가 미미하게 나타났는데, 이는 분석에 사용된 모델에서 분석 범위가 좌측 상단이 나중양 우측 부분과 같이 건물들이 존재하지 않는 영역이 포함되어 있어, 해당 영역들은 나무의 배치에 거의 영향을 받지 않았기 때문으로 보인다.

Park (2023)의 연구에서도 완충녹지의 폭을 10 m와 20 m로 조성했을 때, 폭의 증가가 냉각효과와 열 쾌적성을 약간 향상시켰지만 차이는 거의 없었다고 보고하였다. 해당 연구는 완충녹지가 선형으로 밀도 높게 식재되어 폭과 관계없이 북서쪽에서 불어오는 바람을 차단함으로써 넓은 범위까지 냉각 효과가 확산되지 못하게 만들었고, 단독주택지 내 가로가 3 m로 매우 좁아 완충녹지의 냉각 효과가 광범위하게 영향을 미치지 못했다고 분석하였다. 본 연구는 완충녹지의 전체 면적이 다른 점에서 차이가 있지만, 이 역시 결과에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 ENVI-met 프로그램을 활용하여 부산 사상공업단지에서 바람길 숲 조성 방식에 따른 열 쾌적성 변화를 비교하고, 녹지 배치 방식과 수종에 따른 효과를 분석하였다.

소나무를 사용한 두 시나리오 모두 저감 효과가 나타났으며, 시나리오 2는 시나리오 1보다 최고 수치에서 PET는 0.03°C, PMV는 1.11, SET는 0.36°C, UTCI는 0.13°C 더 낮았다. 전반적으로 좁은 폭으로 많은 열의 녹지를 배치한 시나리오 2가 열 쾌적성 개선에 상대적으로 유리한 것으로 나타났다. 다만, 아까시나무를 사용한 시나리오에서는 일부 수치가 오히려 상승하여 적용하기 적합하지 않은 것으로 판단되므로 추후 다른 활

엽수에 대해서도 분석이 필요하다. 본 연구에서는 식재 모델 설정 시 소나무와 아까시나무를 사용하였고, 시나리오 1과 2에서 잠재기온, PET, PMV의 경우 소나무를 사용한 모델에서 최저 수치가 다른 수치들에 비해 비교적 급격히 차이가 나는 것으로 나타났다. 차후에는 다른 수종과의 비교를 통해 더 상세한 분석을 실시하고 두 시나리오를 혼합하는 모델의 식재 방식도 추가적으로 진행할 예정이다. 분석 결과에서 최대치의 차이가 미미하게 나타났는데, 이는 나무가 배치되지 않은 부분들이 영향을 미친 것으로 보이므로 건물과 나무가 존재하는 영역으로 분석 범위를 좁히는 방식에 대해서도 고려가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구 결과는 노후 공업단지에서 열 환경 개선을 위한 바람길 숲 조성의 필요성에 대해 기술적 타당성을 제공하고 장래에 실효성 있는 녹지 조성 방안 마련에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

This research was supported by Green Restoration Specialized Graduate Program through the Korea Environmental Industry & Technology Institute (KEITI) funded by the Ministry of Environment (MOE), and by the Dong-A University research fund.

References

- Choi, H.J. 2016. Diffusion simulation using Envi-met. in urban planetary boundary layer. *Journal of Climate Change Research* 7(3): 357-371. (in Korean)
- Choi, T.Y., Moon, H.G., and Cha, J.G. 2017. Analysis of surface temperature on urban green space using unmanned aerial vehicle images - A case of Sorasan Mt. Nature Garden, Iksan, South Korea -. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 20(3): 90-103. (in Korean)
- Kim, H.S. 2001. A study of environmental effects to tree vitality in park : focused on the Sa-Sang Park of Busan. Master's thesis, Dong-A University, RISS. (in Korean)
- Kim, M.S. and Lim, J.H. 2017. An analysis of the urban thermal environment of Songdo International City using an ENVI-met model. *Proceedings of the Architectural Institute of Korea* 37(2): 1014-1017. (in Korean)
- Kim, S.B., Kim, G.H., and Cho, J.H. 2001. The urban heat island phenomenon and potential mitigation strategies. *Journal of Nakdonggang Environmental Research* 11-

- stitute 6(1): 63-89. (in Korean)
- Lim, H.W., Jo, S.M., and Park, S.K. 2022. Analysis of thermal environment modification effects of street trees depending on planting types and street directions in summertime using ENVI-Met simulation. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 50(2): 1-22. (in Korean)
- Park, J.H. 2023. Evaluating thermal comfort in the detached house area adjacent to the old industrial complex using ENVI-met v4.0. *Journal of Digital Contents Society* 24(1): 153-166. (in Korean)
- Ryu, B.R. and Ko, E.A. 2010. Wind simulation and optimal building allocation using Envi-met 3-D model. *Journal of Korean Society of Environmental Technology* 11(4): 207-215. (in Korean)