

# 기후변화 적응을 위한 도시열섬 영향 시뮬레이션 평가<sup>†</sup>

- 전주시 완산구를 대상으로 -

김재경<sup>\*\*</sup>, 안중현<sup>\*\*\*</sup>, 강준석<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>서울대학교 대학원 협동과정 조경학 박사수료, <sup>\*\*</sup>대학원 융합전공 스마트시티 글로벌 융합 박사수료,

<sup>\*\*\*</sup>서울대학교 공과대학 건설환경공학부 스마트도시공학전공 박사과정, <sup>\*\*\*\*</sup>서울대학교 농업생명과학대학 조경·지역시스템공학부 부교수

## 1. 서론

기후변화로 인한 도시의 열섬 문제는 현대사회가 안고 있는 가장 큰 재난재해 문제 중 하나이다. 기후변화와 관련된 문제의 복잡성 및 시의성을 해결하기 위해서 국제사회는 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)를 출범하였으며, IPCC는 기후변화와 관련된 과학적 정보를 제공하고 있다(Bernstein et al., 2008). IPCC가 제공하는 정보들은 국제기구, 비정부기구 등의 기관에서 참고되어 시민 레벨에서 활용할 수 있는 정책이 개발되고 있다. IPCC에서는 최근 기후변화 완화와 더불어 기후변화 적응(climate mitigation and adaptation)을 강조하고 있으며, 국내외의 많은 유관 연구들이 진행되고 있다.

Kim and Kang(2023a)은 기후변화 진단 및 적응을 위해서 HCFD(hazard capacity factor design) Model을 개발하여 수원시 홍수 저감 가능성을 평가한 바 있다. Kim and Kang(2023b)은 전산유체역학(CFD, computational fluid dynamics)과 머신러닝을 활용한 parametric study를 수행하여, 환경요인과 도시열섬의 관계를 규명한 바 있다. 하지만, 선행연구들은 도시열섬 취약지역을 찾아내기 위한 별도의 기술 및 학술적 근거가 마련되지 않았으며, 기후변화 취약지역을 발견하기 위한 근거기반(evidence-based)의 계획이 필요한 실정이다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 크게 세 가지의 방법론을 활용하여 연구를 수행한다. 첫 번째 방법론은 대상지 선정 및 국토정보플랫폼을 활용한 전산유체역학 모델 제작, 두 번째 방법론은 시간이력 해석(transient analysis)와 현장 환경 데이터를 활용한 검증, 마지막 세 번째는 STAR-CCM+의 데이터셋을 이용하여 Random Forest와 XGBoost의 Ensemble 기법을 활용한 도시열섬 모델 최적화 및 취약지구 도출로 구분된다.

### 2.1 대상지 선정 및 전산유체역학 모델 제작

본 연구의 대상지는 전주시에 위치한 완산구 신시가지 일대를 선정하였다. 전주시 완산구는 2018년 환경부에서 시행한 IPCC 폭염 취약지수 분석 결과, 가장 취약한 지역으로 나타났다. 특히 기후 노출의 정도가 0.5로 높고, 기후 영향을 줄일 수 있는 적응 능력은 0.03으로 나타나, 적응시설의 필요성이 높은 지역으로 나타났다.

상세한 대상지의 크기는 2.7km<sup>2</sup>로 위도 35°48'07.0"N-35°49'08.6"N, 경도 127°05'37.3"E-127°06'49.2"E 사이에 위치한 지역이다. 2022년 통계청 자료 기준 인구 밀도는 3,676.2로 타 전주시에 대비하여 매우 높은 정도로 나타났다. 국토정보플랫폼에서 대상지의 지형 정보, 빌딩 정보, 녹지 정보 등을 제공받았으며, Rhino 7.0을 활용하여 CFD 형상을 제작하였다. 지형의 크기는 대상지의 대기 난류 유동을 활성화하기 위하여 4km<sup>2</sup>의 형상을 모델링하였다. 도메인 대상지의 녹지 비율은 6.4%로 매우 낮은 수치를 보였다.

### 2.2 현장 환경 데이터 수집 및 검증

CFD 모델의 검증을 위해서 대상지 내 지형/환경적 특징이 뚜렷한 세 곳의 지점을 선정하여 환경정보를 수집하였다. 환경 데이터는 2023년 8월 26일 오전 8시부터 18시까지 1분 간격으로 온도, 습도, 풍향, 풍속을 수집하였다. 수집된 환경 데이터는 CFD 모델의 경계조건 및 검증용 데이터로 활용되었으며, 환경정보를 위해 사용된 장치의 제원은 Table 1과 같다. 검증을 위해서는 RMSE와 R<sup>2</sup> 등 통계적 분석을 수행하였다.

### 2.3 도시열섬 모델 최적화 및 취약지구 도출

본 연구에서는 6.4%의 낮은 대상지 녹지 비율을 약 15% 정도로 증가하였을 때, 전체 대상지에 가장 많이 온도를 저감할 수 있는 방법을 CFD와 딥러

<sup>†</sup>본 성과는 환경부의 재원을 지원받아 한국환경산업기술원 "신기후체제 대응 환경기술개발사업"의 연구개발(2022003570004)과 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00259403). 이 발표는 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업과 환경부 지식기반 환경서비스 전문인력 양성사업으로 지원을 받아 수행한 과제입니다.

Table 1. Specifications of sensor

	Temperature	Humidity	Wind direction	Wind speed
Product	S-THC-M002		S-WCF-M003	
Shield	RS3-B		-	
Range	-40°C-75°C	0-100%	0-359°	0-76m/s
Accuracy	±0.2°C	±2.5%	±7°	±1.1m/s
Resolution	0.02°C	0.1% RH	1°	0.5m/s
Logger	H21-USB			

닝을 활용하여 분석한다. 현재 상태에서 0.235km<sup>2</sup>의 녹지 면적이 직사각형 형태로 적용되었을 때 온도저감효과를 분석하였다. 일사에 대한 영향을 분석할 수 있도록 격자 크기, 주요 물리·경계 조건을 Table 2 및 Table 3과 같이 설정하였다(Kim and Kang, 2022).

Table 2. Mesh size of the CFD model (Unit: m)

	Building	Street	Domain
Target surface size	10	10	1,000
Prixm layer total thickness	2	2	
Minimum surface size	1	1	50

Table 3. Physical model of the CFD

Physical model	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unsteady</li> <li>• K-epsilon turbulence model</li> <li>• Segregated fluid temperature model</li> </ul>
----------------	--

머신러닝 최적화를 위해서 위치 변화에 따른 온도 분포 시뮬레이션 데이터셋을 구축하였으며, 타겟 녹지 위치의 S,Y좌표, 면적에 대한 가로/세로 길이, 도시 평균 온도를 추출하였다. 100개의 시뮬레이션 데이터 셋을 구축하였으며, 평균 온도를 .CSV 파일 형태로 변환하여 Random Forest, XGBoost 두 가지 모델의 Ensemble 기법을 활용한 머신러닝 최적화 프로세스를 구축하였다(Figure 1 참조).

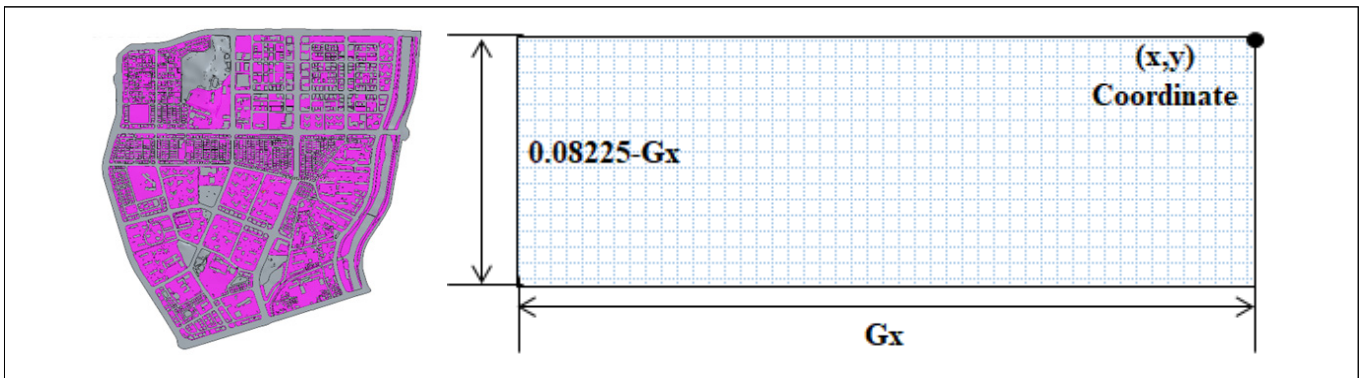


Figure 1. Green space optimization process and data-set construction

### 3. 결과 및 결론 고찰

위의 방법론을 통해 분석한 결과, 대상지 내의 특정 공간을 녹지 지역으로 변경하였을 때 온도저감효과가 가장 큰 장소는 우전1길, 우전2길, 봉곡로 세 도로를 경계로 형성되는 2중 주거지역으로 나타났다. 해당 지역은 옥외공간의 비율이 높고 건물의 간격이 비교적 넓음에도 불구하고, 대상지의 온도가 매

우 높고 바람의 순환이 잘 되지 않는 것으로 나타났다.

이에 대한 원인으로서는 바람의 주 풍향과 건축물의 배치와 밀접한 연관성을 가진다. 해당 지역의 건축물의 배치는 주 풍향과 대각선으로 배치된 경향을 볼 수 있는데, 이는 일사로 형성된 복사에너지 및 열 에너지가 바람길을 통해 빠져나가지 못했기 때문이다. 이를 통해 향후 연구에서는 도심지의 광역 계획을 할 때에는 환경 데이터의 주요 영향 조건을 분석하고, 건축물과 녹지를 계획해야 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Bernstein, L., P. Bosch, O. Canziani, Z. Chen, R. Christ and K. Riahi(2008) IPCC, 2007: Climate Change 2007: synthesis report.
2. Kim, J. and J. Kang(2023a) Development of hazard capacity factor design model for net-zero: Evaluation of the flood adaptation effects considering green-gray infrastructure interaction. Sustainable Cities and Society 96: 104625.
3. Kim, J. and J. Kang(2023b) AI based temperature reduction effect model of fog cooling for human thermal comfort: Climate adaptation technology. Sustainable Cities and Society 95: 104574.
4. Kim, J. and J. Kang(2022) Evaluating the efficiency of fog cooling for climate change adaptation in vulnerable groups: A case study of Daegu Metropolitan City. Building and Environment 217: 109120.