

# WUDAPT 절차를 활용한 창원시의 국지기후대 제작과 필터링 반경에 따른 비교 연구\*

김태경<sup>1</sup>·박경훈<sup>2</sup>·송봉근<sup>3</sup>·김성현<sup>4</sup>·정다운<sup>1</sup>·박건웅<sup>4\*\*</sup>

## A Comparative Study on Mapping and Filtering Radii of Local Climate Zone in Changwon city using WUDAPT Protocol\*

Tae-Gyeong KIM<sup>1</sup>·Kyung-Hun PARK<sup>2</sup>·Bong-Geun SONG<sup>3</sup>  
Seoung-Hyeon KIM<sup>4</sup>·Da-Eun JEONG<sup>1</sup>·Geon-Ung PARK<sup>4\*\*</sup>

### 요 약

기후변화와 도시 문제를 고려해 다양한 영역에 걸친 환경계획의 수립과 비교를 위해서는 일관된 기준으로 분류된 지역 규모 수준의 공간자료 구축이 중요하다. 본 연구는 World Urban Database and Access Portal Tools(WUDAPT)에서 제시한 절차를 사용하여 기후 및 환경 연구가 활발히 이루어지고 있는 창원시의 Local Climate Zone(LCZ)를 분류하였다. 또한, 동질적인 기후 특성을 가진 지역일지라도 일부 격자가 다른 기후 특성으로 분류되는 파편화 문제를 개선하기 위해 필터링 기법을 적용하고 필터링 반경에 따른 LCZ 분류 특성을 비교하였다. 위성영상과 지상참조자료, 감독분류 머신러닝 기법인 Random Forest를 활용하여 필터링하지 않은 분류지도와 필터링 반경이 1, 2, 3인 분류지도를 제작하여 정확도를 비교하였다. 또한, 도시지역의 건물 유형에 따른 LCZ 분류특성을 비교하기 위해 GIS를 활용한 분류방법론에서 사용되는 도시형태지수를 제작하여 선행 연구에서 제시한 범위와 비교하였다. 그 결과, 전체 정확도는 필터링 반경이 1일 때 가장 높은 값을 보였다. 도시형태지수를 비교하였을 때 LCZ 유형별 차이는 적었고 대부분 선행연구의 범위를

2024년 5월 13일 접수 Received on May 13, 2024 / 2024년 6월 18일 수정 Revised on June 18, 2024 /  
2024년 6월 25일 심사완료 Accepted on June 25, 2024

\* 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다  
(No.NRF-2022R1F1A1074483).

1 창원대학교 환경공학과 석사과정 M.S. Student, Dept. of Environmental Engineering, Changwon National University

2 창원대학교 스마트그린공학부 교수 Professor, School of Smart & Green Engineering, Changwon National University

3 창원대학교 산업기술연구원 전임연구교수 Research Professor, Institute of Industrial Technology, Changwon National University

4 창원대학교 산업기술연구원 전임연구원 Full-time Researcher, Institute of Industrial Technology, Changwon National University

\*\* Corresponding Author E-mail : ersgup@changwon.ac.kr

만족하는 것을 확인하였다. 그러나 연구 결과를 통해 건물의 높이 정보를 반영하지 못하는 한계를 확인하였고, 이를 보완할 수 있는 데이터를 추가하여 분류한다면 더 높은 정확도의 결과물을 획득할 수 있을 것이라 판단된다. 연구 결과는 국내 도시기후 관련 환경 연구분야의 기초 공간자료 제작하기 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : WUDAPT, 국지기후대, 도시형태지수, 기후·환경계획

## ABSTRACT

For the establishment and comparison of environmental plans across various domains, considering climate change and urban issues, it is crucial to build spatial data at the regional scale classified with consistent criteria. This study mapping the Local Climate Zone (LCZ) of Changwon City, where active climate and environmental research is being conducted, using the protocol suggested by the World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT). Additionally, to address the fragmentation issue where some grids are classified with different climate characteristics despite being in regions with homogeneous climate traits, a filtering technique was applied, and the LCZ classification characteristics were compared according to the filtering radius. Using satellite images, ground reference data, and the supervised classification machine learning technique Random Forest, classification maps without filtering and with filtering radii of 1, 2, and 3 were produced, and their accuracies were compared. Furthermore, to compare the LCZ classification characteristics according to building types in urban areas, an urban form index used in GIS-based classification methodology was created and compared with the ranges suggested in previous studies. As a result, the overall accuracy was highest when the filtering radius was 1. When comparing the urban form index, the differences between LCZ types were minimal, and most satisfied the ranges of previous studies. However, the study identified a limitation in reflecting the height information of buildings, and it is believed that adding data to complement this would yield results with higher accuracy. The findings of this study can be used as reference material for creating fundamental spatial data for environmental research related to urban climates in South Korea.

*KEYWORDS : WUDAPT, Local Climate Zone(LCZ), Urban Morphology Parameter, Climate and Environmental Planning*

## 서론

IPCC 특별보고서 지구온난화 1.5 °C에 따르면, 산업화 이후 지구의 평균온도는 0.8~1.2 °C 상승하였다(IPCC, 2018). 대한민국은 1912년부터 2017년까지 약 1.8 °C의 기온상승이 있었으며(National Institute of Meteorological

Sciences, 2019), 이는 전 지구 평균 상승량을 상회하는 수치이다. 1950년대 이후 가속화된 도시화가 평균 기온 상승에 미치는 영향은 증가하는 추세를 보이고 있으며, 이와 더불어 대기 오염, 인공열의 발생, 인공피복의 증가와 같은 요인들은 기후환경에 부정적인 영향을 미치며 문제를 심화시키고 있다(An et al., 2011; Kim et al., 2001). 기후변화는 재난, 에너지, 탄소

등 다양한 영역에 걸쳐 영향을 주므로 종합적인 정책 수립과 비교를 위해서는 일관된 기준으로 분류된 공간자료를 활용하는 것이 중요하다(Kang et al., 2023). 또한, 도시 문제를 파악하고 관리하기 위해서는 지역 규모 수준에서 나타나는 공간정보 구축이 필요하다.

현재 Local Climate Zone(LCZ) 분류지도는 피복과 건물 특성 등을 반영하여 도시의 기후 특성을 지역 규모 수준에서 묘사할 수 있기에, 다양한 기후 환경 문제를 분석하는 연구에 활용 중이다(Kim et al., 2023; Maleki et al., 2023; Khamchiangta and Yamagata, 2024). World Urban Database and Access Portal Tools(WUDAPT)는 전 세계 도시지역의 환경 및 기후 데이터베이스를 구축하는 데 목적을 둔 글로벌 프로젝트로 LCZ 분류지도를 만들기 위한 절차와 함께 데이터를 제공하고 있다. WUDAPT에서 제시한 절차를 통해 생성된 LCZ 분류지도는 주로 격자 형식의 공간자료로 생성되기 때문에, 지역 내 어떠한 현상의 분포나 패턴을 파악하여 지역에 대한 통찰력을 제공하고 공간적으로 지역의 특성을 세분화하기에 용이하다(Im et al., 2014). WUDAPT에서 제시한 절차는 위성영상과 감독분류 방법인 Random Forest를 사용하며 주변 격자를 고려하지 않고 개별 격자에 주어진 토지피복, 건물 배치, 지표면 온도 등의 입력 변수만 이용해 분류를 수행한다(Bechtel et al., 2015). 이러한 분류 절차는 실제 수백 미터에서 수 킬로미터에 이르는 동질적인 기후 특성을 가진 영역의 LCZ 라도, 일부 격자의 피복 또는 건물 특성이 다른 다른 특성을 가진 LCZ로 파편화되어 분류되는 문제가 발생할 수 있음을 의미한다. 이러한 기초 공간자료의 문제는 기후 환경 분석의 신뢰성을 하락시키므로 LCZ 분류지도의 파편화에 대한 개선이 필요하다.

LCZ의 파편화를 완화하기 위해 다수필터(majority filter)를 적용할 수 있다(Huang et al., 2023). 다수필터는 대상 격자를 대상으로 반경에 따라  $n \times n$  크기의 범위를 설정한 후 해당 범위 내에서 가장 많이 나타나는 값을 찾

아 대상 격자에 적용하는 필터링 기법이며, 파편화된 LCZ 격자들을 감소시킬 수 있다. 파편화를 처리하기 위해 필터링 기법은 여러 번 중복되어 수행되거나 넓은 반경을 대상으로 수행될 수 있다. 국내의 도시에 대해 적정 필터링 횟수와 관련된 연구는 Kim 와 Eum(2017)의 연구에 의해 수행되었으나, 적정 필터링 반경에 대해서는 자세히 다루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 WUDAPT 절차를 따라 창원시를 대상으로 필터링 반경에 따른 LCZ 분류지도를 제작하고, 정확도를 평가하였다. 또한, 건축유형에서의 활용성을 더 세밀하게 확인하기 위해 GIS 분류방법에서 사용하는 도시형태지수를 활용하여 선행연구에서 제시된 결과와 비교하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과는 추후 국내 연구에 LCZ 분류지도를 활용할 수 있는 도시기후·환경과 관련된 연구를 위한 기초 자료로 활용될 것이 기대되며, 더 나아가 개선된 방법론을 제시하는 데에도 도움이 될 것으로 판단된다.

## 선행연구 고찰

### 1. 국지기후대(Local Climate Zones, LCZ)

Stewart and Oke(2012)는 건폐율, 투수표면비율, 불투수표면비율, 건물높이, Sky View Factor(SVF), 종횡비와 같은 도시형태지수(Urban Morphology Parameter)와 해당 지역의 열, 복사 에너지의 방출 또는 전달, 대사활동을 고려하여 표면알베도, 연평균 인위적 열유속 밀도와 같은 열적 특성을 반영하여 전 세계적으로 도시열섬현상을 비교하고, 효과적으로 연구하기 위해 개발된 체계이다. LCZ는 17개의 유형으로 구분되고 있으며, 건축 유형(LCZ 1~10)과 피복 유형(LCZ A~G)으로 나뉘며 부록의 그림 1과 같다. 건축 유형에서 1~3 유형은 고밀도의 도시지역을 나타내며 불투수표면비율이 높고, 건폐율이 높으며, SVF와 투수표면비율이 낮다. 식생이 거의 없으며 건물이 밀집된 특성이 있으며, 토지피복이 대부분 포장면으로

이루어진 특성을 보인다. LCZ 1(Compact high-rise)이 평균 25m 이상의 고층 고밀집 유형, LCZ 2(Compact mid-rise)가 평균 10~25m인 중층 고밀집 유형, LCZ 3(Compact low-rise)이 평균 3~10m인 저층 고밀집 유형을 나타낸다. 4~6 유형은 중·저밀도의 도시지역을 나타내고 낮은 건폐율, 불투수 표면비율을 보이며, 높은 투수표면비율과 SVF 값을 보인다. 건물의 밀집도가 고밀도 유형에 비해 낮으며, 토지피복이 잔디 혹은 나무와 같은 투수성 재질로 이루어져 있다. LCZ 4(Open high-rise)는 평균 25m 이상의 고층 중·저밀집 유형, LCZ 5(Open mid-rise)가 평균 10~25m인 중층 중·저밀집 유형, LCZ 6(Open low-rise)이 평균 3~10m인 저층 중·저밀집 유형을 나타낸다. LCZ 7(Lightweight low-rise) 유형은 주로 단층 건물이 밀집된 유형으로 건폐율이 높으며 평균 건물의 높이가 2~4m에 해당한다. LCZ 8(Large low-rise) 유형은 주로 낮고 넓은 창고 건물 및 현대식 공장이 포함된다. LCZ 9(Sparsely built) 유형은 주로 투수성 자연피복이 대부분인 유형에 건축물이 드물게 존재하는 유형이며, LCZ 10(Heavy industry) 유형은 화학 공장, 정유 공장 및 기타 중공업 제조 시설과 같은 대규모 산업 단지를 나타내는 유형이다. 피복 유형에서 LCZ A~D는 식생의 밀도와 피복 특성에 따라 나뉘게 된다. LCZ A(Dense trees)는 식생이 고밀집한 유형이며, 숲과 같은 유형이 속한다. LCZ B(Scattered trees) 유형은 LCZ A에 비해 식생이 저밀집한 특성을 가지며, 주로 도시공원과 같은 유형이 속한다. LCZ C(Bush, scrub)는 맨땅 혹은 모래에 관목과 같은 낮은 식생들이 중·저밀도로 분포하는 유형이다. LCZ D(Low plants) 유형은 주로 초지와 같은 낮은 식물들이 다수 분포하는 특성을 가진 유형이다. LCZ E(Bare rock or paved)는 바위 또는 포장된 피복면으로 이루어진 유형이며, LCZ F(Bare soil or sand)는 흙 혹은 모래로 이루어진 나지 유형, LCZ G(Water)는 수역을 나타낸다.

위와 같은 분류체계를 기반으로 Abougenidia (2023)는 카이로의 나일강에 분포하고 있는 주요 섬들을 대상으로 LCZ 분류지도를 생성하여 LCZ 유형과 UHI 간의 관계를 분석하였으며, UHI의 공간적 분포 특성을 확인하였다. Kim et al(2023)은 LCZ를 활용하여 부산시를 대상으로 도시의 형태와 미세먼지(PM10, PM2.5) 농도 간의 관계를 분석하였으며, Maleki et al(2023)은 이란 테헤란을 대상으로 LCZ의 변화가 PM10 농도 분포에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 또한 Khamchiangta and Yamagata (2024)는 태국 방콕의 건물 부문에서 발생하는 탄소 배출량을 LCZ 분류체계를 활용하여 정량적으로 분석하였다. 이를 통해 LCZ 분류체계는 열환경 및 도시열섬현상뿐만 아니라 다양한 기후·환경연구의 기초자료로 활용되고 있다.

## 2. 국지기후대 분류 방법론

Stewart and Oke(2012)가 제시한 LCZ 체계를 토대로 분류지도를 생성하기 위해서 다양한 방법론이 제안되었다. 이는 주로 GIS 데이터를 활용한 방법과 원격탐사로 획득한 영상을 통해 분류하는 방법으로 나뉜다. GIS 데이터를 이용한 분류는 벡터 및 래스터 형식의 데이터를 이용해 분류되며(Quan and Bansal, 2021), 도시형태지수와 도시열형태지수를 활용하여 분류가 이루어지고 있다. 도시형태지수를 고려하여 분류하는 방법의 경우 도시지역에서 원격탐사 방법에 비해 정확도가 더 높지만(Wang et al., 2018), 데이터 확보의 어려움으로 인해 일부만 사용되며, 분류의 복잡성과 같은 단점이 있기에 원격탐사로 획득한 영상을 활용한 분류 방법이 주로 이용되고 있다(Yan et al., 2022). 원격탐사 영상을 통해 분류하는 방법은 위성영상과 사용자에 의해 제작된 훈련데이터를 이용하여 감독분류 인공지능을 통해 분류한다. 주로 인공위성 영상을 활용하여 분류를 진행하기에, GIS 데이터를 활용한 분류 방법에 비해 데이터 확보에 있어 시공간적 제약이 낮아 다양한 연구에서 사용되고 있다(Chen et al., 2020; Zhou et al.,

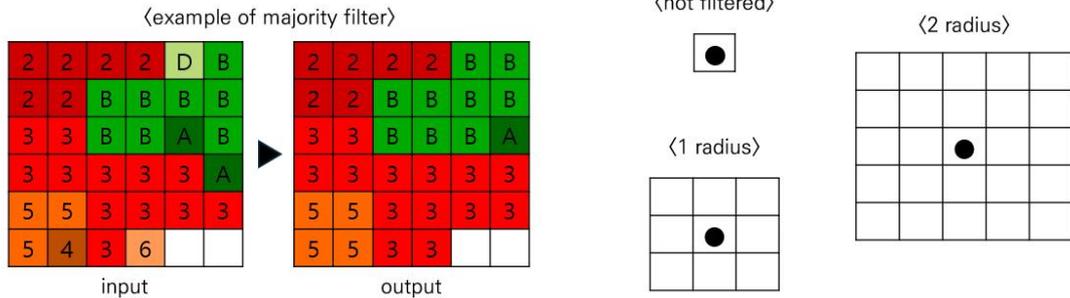


FIGURE 1 Majority filter (left) and filtering radius (right) examples

2020; Wang et al., 2021). 특히, WUDAPT에서 제시한 절차를 활용한 분류가 많이 이용되고 있다.

WUDAPT는 전 세계 도시지역의 환경 및 기후 데이터베이스를 구축하는 데 목적을 둔 글로벌 프로젝트이다. 이 사업의 핵심 요소 중 하나는 LCZ 분류지도 제작 절차를 제공하여 연구자들이 전 세계 도시의 LCZ 분류지도를 제작, 수집, 공유할 수 있게 하는 것이다. WUDAPT에서는 쉽게 접근 가능한 입력데이터와 도구를 사용하여 이를 제작할 수 있도록 분류절차를 제시하고 있다(Bechtel et al., 2015). WUDAPT에서 제시하는 분류 절차는 총 5단계로 구분되어 있다. 1단계에서는 구글 어스를 활용하여 대상지를 대표하는 LCZ 유형별 지상참조자료를 제작한다. 2단계에서는 대상지가 포함되는 Landsat 위성영상을 다운로드한다. 3단계는 구글 어스를 활용하여 LCZ 분류지도의 제작을 원하는 대상지 영역 파일을 만든다. 4번째 단계에서는 Landsat 위성영상의 해상도를 SAGA GIS를 활용하여 모두 동일한 해상도로 수정한다. 마지막으로 5단계에서는 SAGA GIS를 이용하여 앞서 제작 및 가공한 지상참조자료와 Landsat 위성영상을 활용하여 최종 결과물인 LCZ 분류지도를 제작한다. 이와 같은 절차로 제작된 LCZ 분류지도는 파편화가 발생하여 LCZ의 개념을 충족하기에 부족할 수 있으며, 이로 인해 후처리 필터링이 적용된다. 후처리 필터링은 WUDAPT 절차에서 제시한 SAGA GIS를 통해 이루어지며, 다수필터(majority

filter)가 사용되며, 직접 반경을 지정하여 필터링할 수 있다(그림 1).

## 연구방법

### 1. 연구대상지

본 연구의 공간적 범위는 경상남도 창원시로 설정하였다. 창원시는 1,036,862명이 거주하며, 총면적 748.1km<sup>2</sup>로, 경상남도 소재 최대규모의 도시이다. 창원시는 주변이 산으로 둘러싸인 분지 형태의 지형적 특성으로 인해 공기 순환이 좋지 않고, 시가화건조지역의 증가로 인해 인공열 방출이 증가하고 있다(Song and Park, 2011; Changwon-si, 2021). 이에 도시열섬현상, 폭염, 미세먼지 등 다양한 도시기후·환경문제가 지속적으로 발생하고 있으며, 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있지만 서로 상이한 공간자료를 사용하여 각각의 효과를 비교하기엔 무리가 있었다(Lee et al., 2010; Song and Park, 2012; Kim and Kang, 2022; Kim et al., 2022). 따라서, 객관적이고 전문적으로 활용할 수 있는 기초공간자료인 LCZ의 제작이 필요할 것으로 판단되어 경상남도 창원시를 연구대상지로 선정하였다.

### 2. 국지기후대(LCZ) 제작

본 연구에서는 Bechtel et al.(2015)에서 제시된 WUDAPT 절차에 따라 LCZ 분류지도를 생성하였다. 분류 절차는 위성영상 취득 및 가

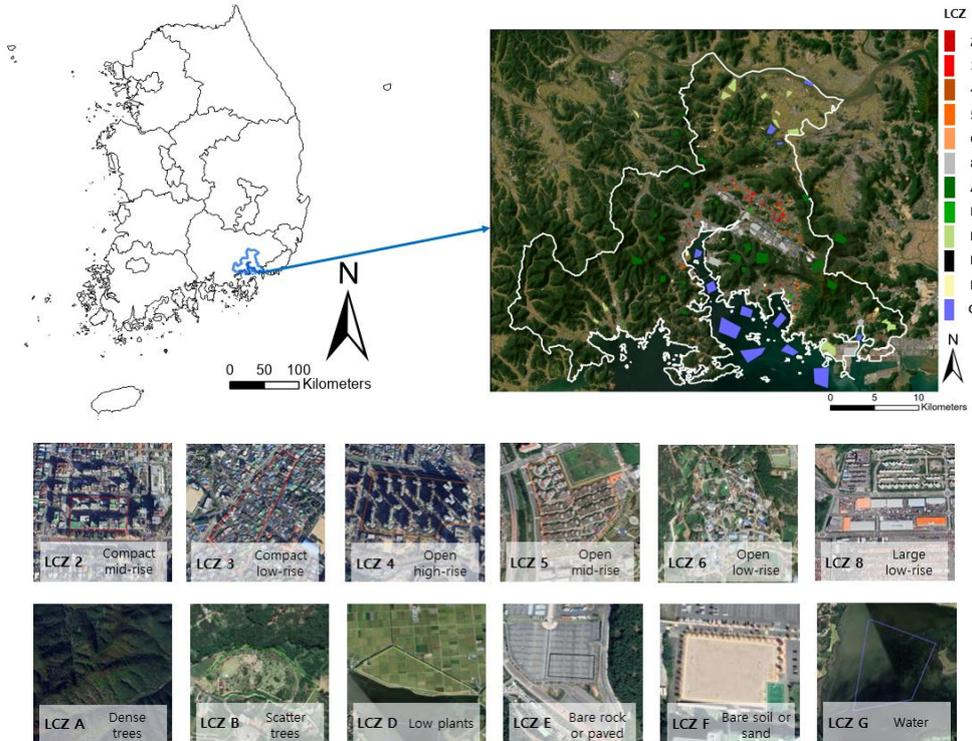


FIGURE 2. Study area and ground reference data for each LCZ classes

공, 훈련데이터 생성, 분류지도 생성의 순으로 진행된다. 표 1은 LCZ 분류를 위해 사용한 위성 영상에 대한 정보이다. 위성영상은 USGS Earth Explorer에서 취득하였으며, Landsat8 Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensors(OLI/TIRS) 영상의 1~7, 9~11번 밴드의 영상을 사용하였다. 분류하는 지역의 cloud cover가 10% 미만인 영상을 사용하였으며, 시기 및 개수의 경우 분류 정확도 향상을 위해 다양한 계절적 특성을 고려하여 취득하였다. 위성영상의 1~7, 9번 밴드는 30m 해상도를 가지고 있으며 10, 11번은 100m로 다른 해상도를 가지고 있기에 SAGA GIS를 사용하여 100m 해상도로 모든 영상을 리샘플링한 후 분류지도 생성에 사용하였다.

지상참조자료는 Bechtel et al.(2015)에서 제시한 훈련데이터 제작 절차를 따라 그림 2과 같이 제작하여 LCZ 분류 및 정확도 검증에 사

용하였다. 가공한 위성영상과 지상참조자료를 이용하여 SAGA GIS 프로그램에서 100m 해상도의 창원시 LCZ 분류지도를 생성하였다. 분류지도는 필터링 반경에 따른 정확도 차이를 확인하기 위해 기본 설정값인 반경 3과 반경 2, 반경 1, 필터링이 되지 않은 결과물을 GeoTiff 형식으로 생성하여 분석에 활용하였다.

### 3. 정확도 평가

지상참조자료는 LCZ 유형별 6:4 비율로 나누어 6은 훈련데이터로, 4는 정확도 평가를 위한 데이터로 사용하였다. 정확도 평가는 혼동행렬(confusion matrix)을 통해 진행하였다. 평가지표는 Overall Accuracy(OA), User's Accuracy(UA), Producer's Accuracy(PA), Kappa 값, F-1 score가 있다. OA는 정확하게 분류된 샘플을 전체 샘플로 나눈 수로 전체 분

TABLE 1. Acquired data for LCZ classification

Satellite image	Landsat scene identifier	Image date	Cloud cover(%)
Landsat 8	LC81140362019022LGN00	2019-01-22	0.50
	LC81140362019086LGN00	2019-03-27	9.08
	LC81140362019310LGN00	2019-11-06	0.10
	LC81140362019342LGN00	2019-12-08	1.62
	LC81140362020121LGN00	2020-04-30	1.00
	LC81140362020233LGN00	2020-08-20	0.31

류 정확도를 나타낸다. UA는 해당 유형을 올바르게 분류한 샘플 수를 모델이 해당 클래스로 예측한 전체 샘플 수로 나눈 값으로, 주어진 분류 결과의 신뢰도를 확인할 수 있는 지표이다. PA는 해당 유형을 올바르게 분류한 샘플 수를 실제 해당 클래스에 속하는 전체 샘플 수로 나눈 값으로, 실제 해당 유형에 속하는 샘플을 얼마나 잘 예측하는지 나타내는 지표이다. Kappa 값은 다양한 클래스의 정확도를 고려한 표준 정확도 측정값이다. F-1 score는 PA와 UA의 조화평균을 나타낸 값으로, 유형별 개수의 차이가 있을 때 평가하기 용이한 값이다.

#### 4. 도시형태지수 생성 및 비교

WUDAPT 절차를 통해 분류된 LCZ 결과와 Stewart and Oke(2012)에서 제시된 도시형태

지수 범위에 부합하는지 비교하여 도시지역에서의 정확성을 정성적으로 비교하였다. 이를 위해 수치지형도와 환경부 토지피복도를 이용하여 100m 격자 범위로 5가지의 대표 도시형태지수를 제작하였고 표 2와 같다. 첫 번째로 건물높이(BH, Building Height)는 LCZ 건축유형의 high, mid, low 유형을 구분하는 중요한 도시형태지수이다. 이는 100m 격자 내에서 각 건물의 높이(BH<sub>i</sub>)에 각 건물의 면적(BS<sub>i</sub>)을 가중치로 하여 계산한 수치이다. 수치지형도의 건물 층수 데이터를 활용하여 생성하였으며, 건물의 1층당 높이는 선행연구에서 제시된 기준을 참고하여 (Kim and Eum, 2017) 3m로 적용하였다. 두 번째로, 건폐율(BSF, Building Surface Fraction)은 격자 면적(A<sub>grid</sub>) 대비 건물이 차지하는 면적의 비율을 나타낸 수치로, LCZ의 주요 건축 유형인 건물 밀집(compact) 유형(LCZ 1~3)과

TABLE 2. Urban morphology parameters

Parameter	Definition	Used data	Calculation methods
Building Height(BH)	Area - weighted mean building height of each 100m grid	Digital topographic map	$BH = \frac{\sum_{i=1}^n BS_i \times BH_i}{\sum_{i=1}^n BS_i}$
Building Surface Fraction(BSF)	Building coverage ratio of each 100m grid	Digital topographic map	$BSF = \frac{\sum_{i=1}^n BS_i}{A_{grid}}$
Pervious Surface Fraction(PSF)	pervious surface fraction of each 100m grid	Land cover map	$PSF = \frac{\sum_{i=1}^n PS_i}{A_{grid}}$
Impervious Surface Fraction(ISF)	Impervious surface fraction of each 100m grid	Land cover map	$ISF = 100 - PSF - BSF$
Sky View Factor(SVF)	Areal mean SVF of non-building areas of the each 100m grid	Digital topographic map	$SVF = \frac{\sum_{i=1}^n SVF_i}{n}$

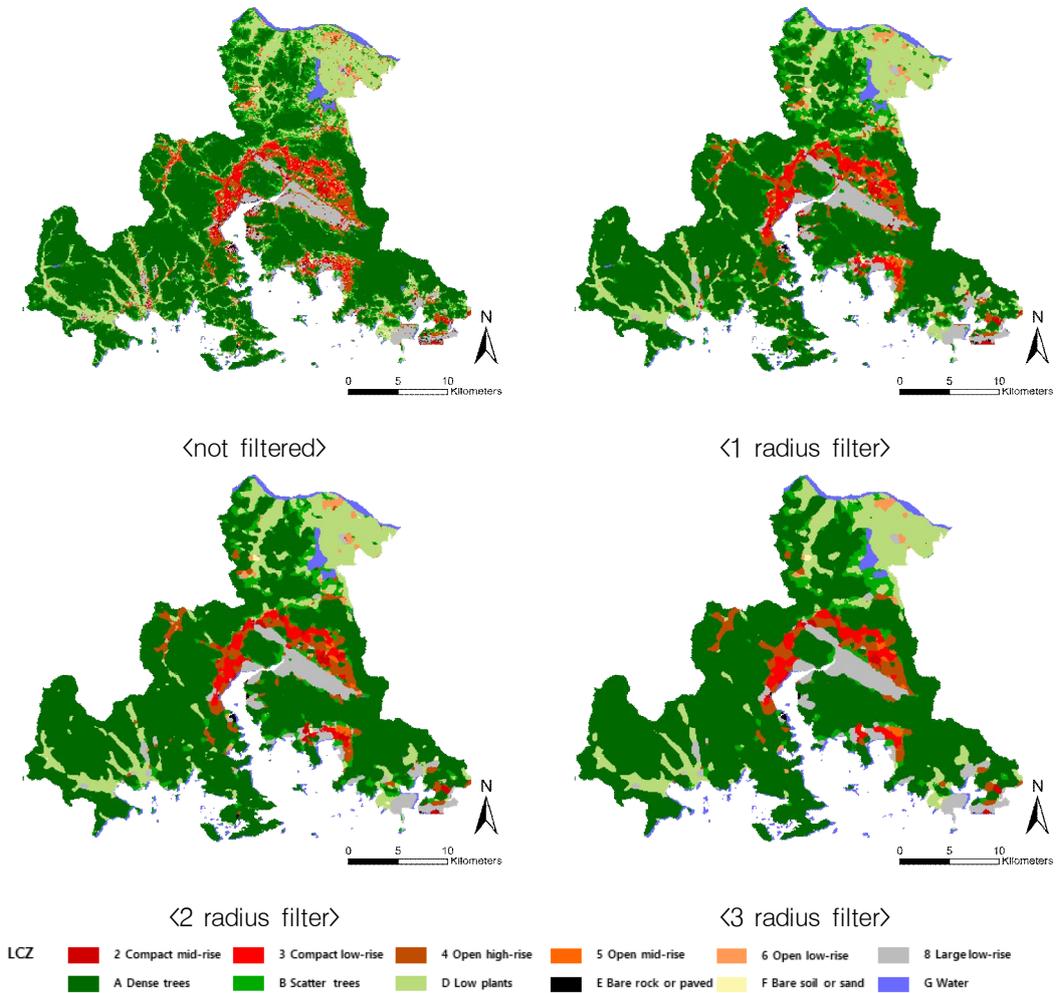


FIGURE 3. 100m resolution LCZ classification maps

건물 저밀집(open) 유형(LCZ 4~6)을 구분하는 데 있어 중요한 변수이다(Zheng et al., 2018). 건물 벡터데이터가 격자에서 차지하는 면적을 구하기 위해, 수치지형도의 건물 데이터를 활용하여 생성하였다. 세 번째로, 투수표면비율(PSF, Pervious Surface Fraction)은 격자 면적 대비 투수표면(PS<sub>i</sub>)의 비율을 계산한 수치이며, 환경부 토지피복도의 분류 기준을 참고하여 투수지역에 해당하는 피복특성만 추출한 후, 격자별 투수표면비율을 산정하였다. 네 번째로, 불투수표면비율(ISF, Impervious Surface

Fraction)은 격자 내 차지하는 건물의 면적과 투수표면을 제외한 나머지 면적으로 산정하였다. 마지막으로, SVF(Sky View Factor)는 수치지형도의 등고선 데이터와 건물 데이터를 활용하여 10m 해상도의 DSM을 구축한 후 이를 SAGA GIS의 입력 데이터로 사용하여 10m 해상도의 SVF를 생성하였다. 건물 상부 SVF는 고려하지 않고 지상 부분만 추출하여 격자별 평균값을 사용하였다.

TABLE 3. Number and ratio(%) of cells by LCZ type on each map

	LCZ	2	3	4	5	6	8	A	B	D	E	F	G
Not Filtered	Num	918	1,701	3,787	647	1,572	3,972	40,272	8,885	10,522	283	367	1,709
	Ratio	1.23	2.28	5.07	0.87	2.11	5.32	53.96	11.90	14.10	0.38	0.49	2.29
Filtered (1 rad)	Num	575	2,004	3,485	442	1,041	4,340	43,033	7,103	10,383	120	184	1,925
	Ratio	0.77	2.69	4.67	0.59	1.39	5.81	57.66	9.52	13.91	0.16	0.25	2.58
Filtered (2 rad)	Num	687	1,745	3,444	312	700	4,581	46,442	4,548	9,747	79	94	2,256
	Ratio	0.92	2.34	4.61	0.42	0.94	6.14	62.23	6.09	13.06	0.11	0.13	3.02
Filtered (3 rad)	Num	318	1,935	3,292	275	424	4,647	48,387	3,375	9,209	61	109	2,603
	Ratio	0.43	2.59	4.41	0.37	0.57	6.23	64.83	4.52	12.34	0.08	0.15	3.49

결과 및 고찰

1. 필터링 반경에 따른 국지기후대 분류 결과

공간해상도 100m × 100m인 필터링 반경에 따른 창원시의 LCZ 분류결과는 그림 3과 같으며, 표 3은 각 유형별 차지하는 격자의 개수와 면적 비율을 필터링 반경에 따라 나타낸 결과이다. 피복 유형에서는, 수목 밀집 지역인 LCZ A(Dense trees)가 53.96~64.83%로 가장 많은 비율을 차지하였으며, 그 다음으로 농경지, 경작지, 초지를 나타내는 LCZ D(Low plants)가 12.34~14.10% 높은 비율을 나타냈다. 건축 유형에서는 LCZ 8(Large low-rise)이 5.32~6.23%로 가장 많은 비율을 차지하였으

며, 이어서 LCZ 4(Open high-rise)가 4.41~5.07%, LCZ 3(Compact low-rise)이 2.28~2.69%의 비율을 나타냈다.

그림 4는 LCZ 분류지도를 확대하여 필터링 반경에 따른 LCZ의 변화를 시각화한 것이다. 필터링 없이 분류한 결과, 그림 4의 지역에서 주차장 등 불투수 포장면에 해당되는 LCZ E, 나지에 해당되는 LCZ F, 호수 지역에 해당되는 LCZ G 유형이 과편화되어 분포하였다. 필터링 반경이 증가할수록 과편화 경향이 줄어들고, 차지하는 면적 비율이 높은 대표 유형으로 병합되는 것을 확인하였다. 표 3의 면적 비율의 증가 및 감소 패턴을 보면 건물 유형에서는 LCZ 3, 8 유형을 제외한 모든 유형과 피복 유형에서는

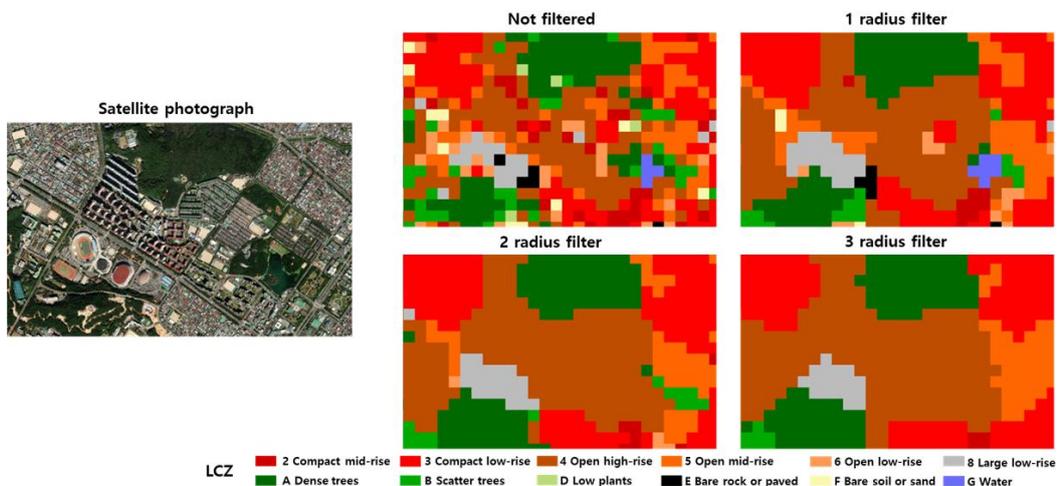


FIGURE 4. Example of classification map according to filter radius in this study

LCZ B, D, E 유형의 면적 비율이 필터링 반경이 증가할수록 감소하였다. LCZ A와 8 유형의 경우 필터링 반경이 커질수록 주변 LCZ 유형이 병합되면서 면적 비율이 커지는 것으로 나타났다. 이는 도시지역에는 공업단지(LCZ 8)가, 도시 외곽에는 산림지역(LCZ A)이 가장 광범위하게 분포하는 연구대상지의 공간적 특성이 반영된 것으로 판단된다. LCZ 3, F의 경우 필터링 반경의 증가에 따른 일정한 변화 특성이 나타나지 않았고 그 변화 또한 0.02 ~ 0.47% 범위로 크지 않았다. 이는 일부 공간에서 필터링 범위에 따른 공간적 분포 특성이 달라지기 때문으로 판단된다.

## 2. 필터링 반경에 따른 LCZ 분류 정확도 비교

그림 5는 필터링 반경에 따른 각 LCZ 분류 지도의 F1 score, OA, Kappa를 나타낸 그래프이다. F1 score, OA, Kappa는 혼동행렬을 기반으로 산출되었으며, 필터링 반경에 따른 LCZ 분류지도의 혼동행렬은 부록의 그림 2와 같다. OA와 Kappa의 경우 필터링 반경에 따른 값을 산정하였고, F1 score는 분류지도의 유형별 분류 정확도를 필터링 반경에 따라 비교할 수 있도록 제작하였다.

OA와 Kappa를 확인해 봤을 때, 필터링하지 않은 분류지도의 OA는 79%, Kappa는 76%이었다. 반경 1로 필터링한 경우 OA는 85%,

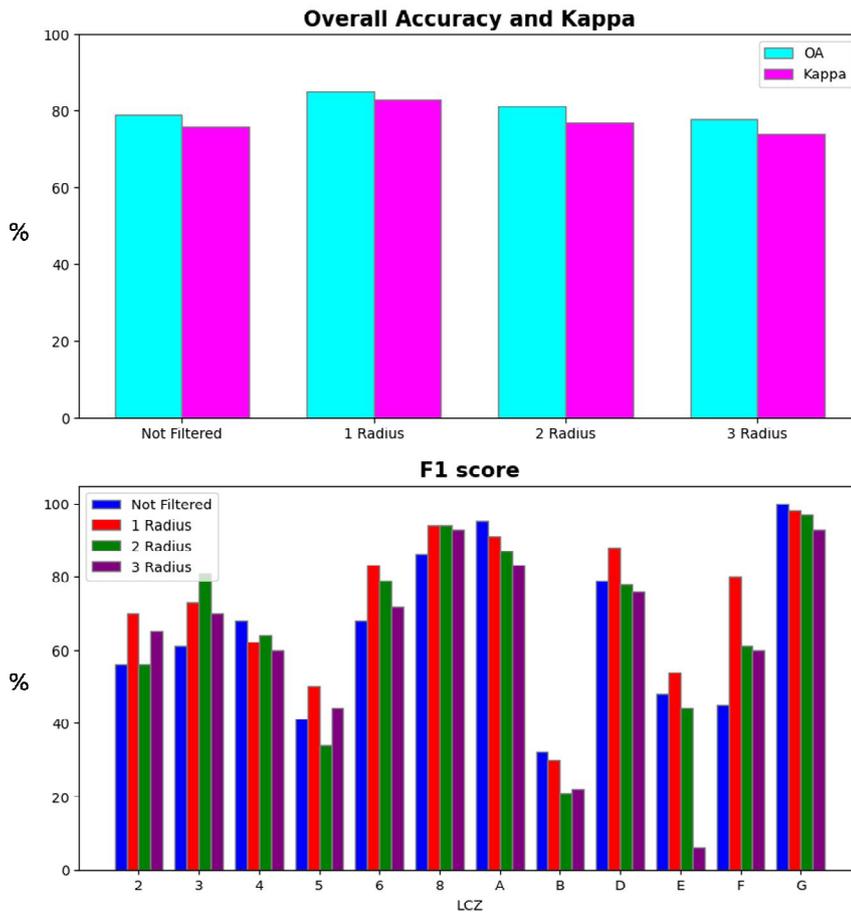


FIGURE 5. Overall accuracy, Kappa, F1 score according to filtering radius

Kappa는 83%, 반경 2로 필터링한 경우 OA는 81%, Kappa는 77%, 반경 3으로 필터링한 경우 OA는 78%, Kappa는 74%로 나타났다. 반경 1로 필터링했을 때가 OA와 Kappa가 가장 높은 것을 확인하였다. 또한 반경이 1보다 큰 2, 3에서 정확도가 감소하는 것을 확인하였다. 이는 필터링 반경을 2, 3으로 적용하였을 때, 반경 1보다 창원시의 특성을 충분히 반영하지 못하는 것을 알 수 있었다. 하지만 필터링 반경이 2와 3인 경우도 WUDAPT 분류절차를 통해 제작된 LCZ 지도의 일반적인 정확도 범위인 50~60%(Bechtel et al., 2019), 전 세계 LCZ 매핑에 대한 정확도 범위인 70%(Demuzere et al., 2022), 중국 20개 도시의 LCZ 분류지도 정확도 범위인 60~89%(Ren et al., 2019) 등 선행연구에서 제시된 정확도 범위를 만족하기에, 연구 목적에 따라 필터링 반경 2와 3도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

각 유형별 분류 정확도를 F1 score를 통해 확인해 보면, 필터링 반경에 따라 LCZ A(Dense trees)는 83~95%로 나타났으며, LCZ G(Water)는 93~100%로 나타났다. LCZ B(Scatter trees)의 경우 21~32%로 비교적 낮은 F1 score를 보였는데, 이는 주로 골프장 유형과 같이 수목이 밀집한 지역과 초지가 밀집한 지역이 혼재되어 있는 지역에서 LCZ A와 LCZ D로 혼동이 일어나는 것을 확인하였다. LCZ E 유형의 경우 반경 1로 필터링했을 때 필터링하지 않았을 때에 비해 F1 score가 48%에서 54%로 증가하였다. 반경 3으로 필터링한 경우에는 F1 score가 6%로 급격하게 낮아지는 것을 확인하였는데, 비교적 영역의 크기가 작은 LCZ E가 주변의 다른 대표 유형으로 병합되었기에 낮은 정확도가 나타난 것으로 보인다.

건축 유형에서는 LCZ 8(Large low-rise)이 필터링에 관계없이 93~94%로 비교적 높은 정확도를 나타냈으며, LCZ 5에서 34~50%로 가장 낮은 정확도를 보였다. 나머지 건축 유형에서는 선행연구에서 제시된 일반적인 분류 정확도인 50~60%(Bechtel et al., 2019)를 만족하는 것을 확인하였다. 건축 유형에서 건물의

밀집도에 따른 구분은 원활하게 이루어진 것을 확인하였다. 하지만 건물의 높이에 따른 분류는 비교적 미비한 것을 확인하였다. 건물의 밀집도에 따라 유형을 나누어 보면, Compact 유형인 LCZ 2와 3, Open 유형인 LCZ 4~6유형으로 나누어 볼 수 있는데, 주로 밀집도 구분이 동일한 유형들 간 혼동이 발생하는 것을 확인하였다. 이는 위성영상만을 활용한 분류는 건물 높이에 따른 LCZ 유형을 정확하게 구분하기에는 한계가 있음을 시사한다(Qiu et al., 2019). 최근에 위와 같은 한계점을 극복하기 위해 위성영상과 건물 높이 데이터(Yoo et al., 2020), 스트리트 뷰 이미지(Cao et al., 2023) 데이터를 융합하여 LCZ 분류 시 건물 높이로 인한 오분류를 개선하는 방법론들이 제시되고 있어 추후 더욱 정교한 LCZ 분류지도 생성이 가능할 것으로 판단된다.

### 3. 도시형태지수 비교 결과

각 건축 유형의 도시형태지수를 생성하여 Stewart and Oke(2012)에서 제시된 값의 범위와 박스플롯 그래프로 비교한 결과는 그림 6과 같다. Stewart and Oke(2012)에서 제시한 도시형태지수 범위는 표 4와 같고, 그림 6에서 베이지색으로 표현하였다. 연구에서 LCZ 분류 시 학습 및 검증에 사용된 지상참조자료는 붉은색 박스플롯으로 대부분 Stewart and Oke(2012)에서 제시된 범위인 베이지색 박스의 범위를 만족하였다.

LCZ 유형별 결과를 확인해봤을 때, SVF와 관련있는 건폐율과 건물의 높이의 경우 제시된 범위를 만족하였지만 SVF에서 LCZ 3 유형과 LCZ 6 유형의 범위가 제시된 범위의 최대값보다 높은 분포를 보였다. LCZ 3, 6유형은 대부분 단독주택이 분포하는 유형 특성상 도로 폭은 주로 10m 이내이다. 공간 분석을 통해 제작된 SVF는 고해상도 제작이 어려워 좁은 도로의 특성을 반영하기에 한계가 있어 선행연구에서 제시된 값과 직접적인 비교가 어려운 것으로 판단된다. 추후, LCZ 분류 결과에 대한 검증으로

SVF를 활용하기 위해서는 현장 측정을 통한 표본으로 비교하거나 10m 이내의 좁은 도로 특성까지 반영할 수 있는 고해상도 SVF 지도를 구축해 비교해야 할 것으로 사료된다.

필터링 반경에 따른 LCZ 분류결과를 확인해

보았을 때, 필터링 반경에 따른 차이는 적은 것을 확인하였고, 대부분의 유형에서 제시된 범위를 만족하는 것을 확인하였다. 각 유형별 분류 특성을 확인해 보았을 때, 건폐율은 대부분의 유형에서 제시된 범위의 최솟값 부분에서 겹쳤

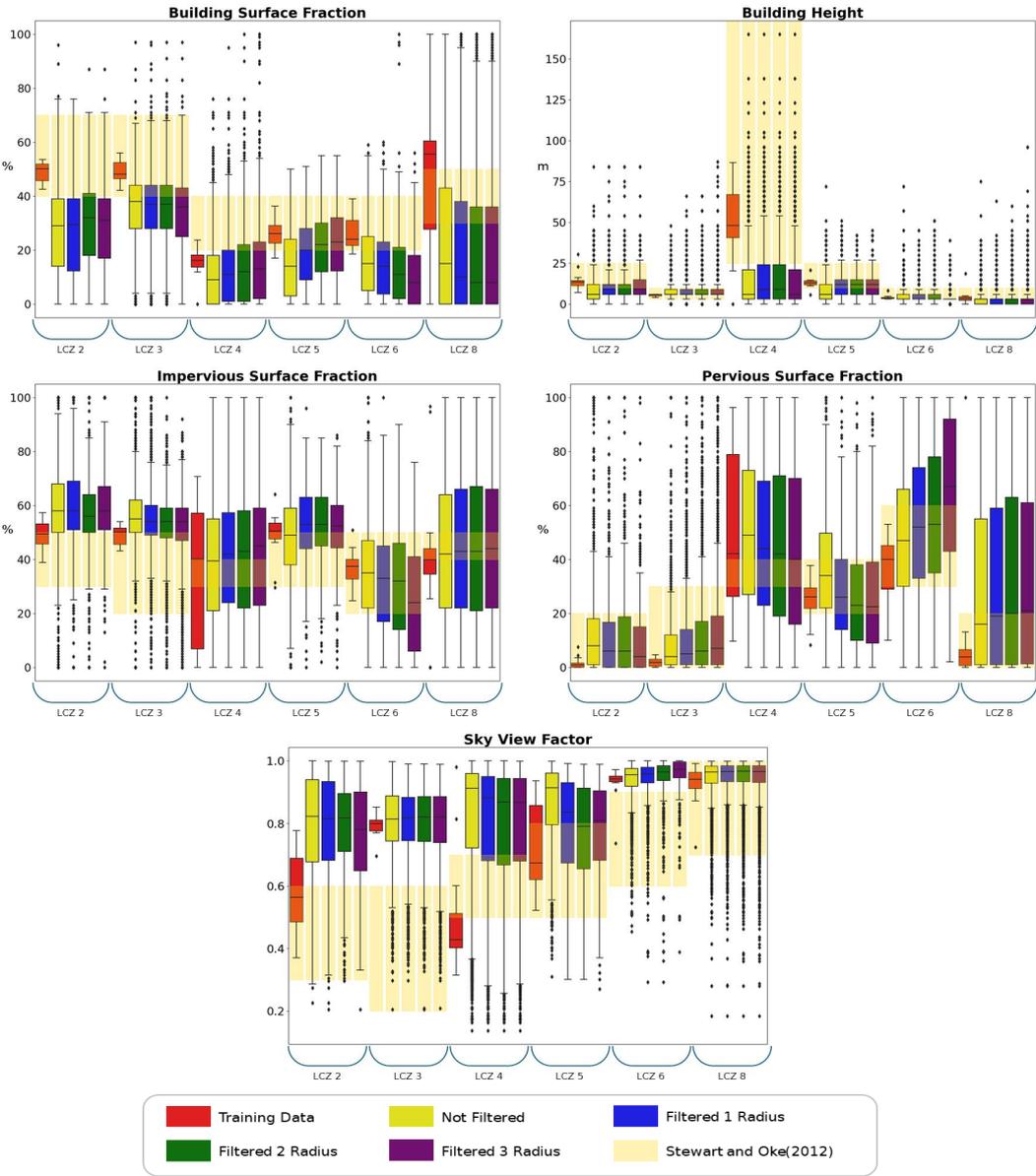


FIGURE 6. Comparison with reference value of urban morphology parameters

으며, 절반 이상 벗어나는 부분이 많은 것을 확인하였다. 건물 높이는 LCZ 4 유형을 제외하고 나머지 유형에서 대부분 제시된 범위를 만족하는 것을 확인하였고, LCZ 4 유형의 대부분은 제시된 범위의 최솟값보다 낮은 것을 확인하였다. 불투수표면비율은 건물 밀집 유형인 LCZ 2, 3에서 제시된 범위를 상회하였지만, 나머지 유형에서는 범위를 만족하는 것을 확인하였다. 투수표면비율에서는 대부분 범위를 만족하는 것을 보였다. SVF에서는 LCZ 5 유형의 필터링 된 분류결과와 LCZ 8 유형을 제외하고 나머지 유형에서 대부분 만족하지 못하는 것을 확인하였다. 건폐율과 SVF가 다른 도시형태지수에 비해 제시된 범위를 만족하지 못하는 경우가 많았는데, 이는 100m 해상도에서 건물의 밀집도를 잘 반영하지 못했기 때문으로 보이며, 보다 고해상도 SVF 지도를 제작하여 수치를 반영한다면 더 만족스러운 결과를 얻을 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구는 접근성과 활용성이 높아 전 세계 연구에서 많이 활용되고 있는 WUDAPT 분류 절차를 활용하여 창원시를 대상으로 LCZ 분류 지도를 구축하였으며, 적절한 필터링 반경을 도출하기 위해 필터링 반경별 분류 정확도와 LCZ 유형별 도시형태지수를 비교하였다. 분류 정확도를 비교하였을 때, 필터링 반경이 1인 경우 OA 85%, Kappa 83%로 가장 좋은 결과를 보였다. 필터링을 적용하지 않은 분류지도의 경우 유형별로 상세한 결과를 볼 수 있었으나 과편화된 격자들이 다수 분포하였다. 반경 1로 필터링 한 분류지도의 경우 유형별 상세한 결과가 잘 반영되면서 개별 격자로 분포하고 있는 과편화된 지역이 주변의 대표 유형으로 적절하게 나타났다. 또한 필터링 반경이 2, 3일 때 도시공간 내 많은 유형들이 혼재되어 있는 창원시의 도시 특성을 비교적 잘 반영하지 못하는 것을 확인하였다. 전체 정확도 또한 감소하는 것을 보았을 때, 반경 1로 필터링하는 것이 100m 해상도에서의 창원시 LCZ 분류지도에 가장 적절한 것으로

로 판단하였다. 하지만 필터링 반경이 2와 3인 경우도 선행연구에서 제시된 일반적인 정확도 범위를 만족하거나 그 이상을 상회하였기에 창원시에 비해 도시구조가 단순하거나, 도시의 규모가 큰 경우에는 필터링 반경 2와 3도 적용할 수 있을 것이라 판단된다. 도시형태지수의 필터링 반경에 따른 차이점은 적었으며, 건폐율과 SVF가 선행연구에서 제시한 범위를 일부 벗어나는 유형도 있었지만, 대부분의 유형이 제시된 범위를 만족하는 것을 확인하였다. 이는 건물의 밀집도가 100m 해상도일 때 반영이 어려운 것으로 판단하였고, 추후 도시형태지수를 제작하여 비교할 때 보다 고해상도로 구축하여 극복할 수 있을 것으로 보인다. 따라서 정확도와 도시형태지수를 고려하였을 때, 반경 1로 필터링한 결과가 창원시의 100m 해상도 LCZ 분류지도에 가장 적절한 것으로 판단된다.

본 연구는 WUDAPT 분류 절차를 활용하여 창원시 도시 전 지역을 대상으로 LCZ를 분류하였으며, 필터링 반경에 따른 유형별 정확도를 비교하여 분류 시 최적 필터링 조건을 도출한 것에 의의가 있다. 또한, 본 연구 결과는 용인시, 고양시와 같은 유사 규모의 국내 도시에서도 LCZ 분류를 적용하고 비교할 수 있는 기초 자료가 될 수 있다. 이와 같은 연구 결과들이 축적된다면 LCZ를 기후 및 환경 정책 수립에 활발하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구에서 건물 높이에 따른 분류는 건물 밀집도를 구분하는 것보다 미흡한 것으로 확인 되었으므로, 위성영상 외에 건물 높이를 구별할 수 있는 데이터를 추가하여 분류한다면 더 높은 정확도의 분류지도를 획득할 수 있을 것이라 예상된다. 이에 대한 추가적인 연구가 진행된다면 기후 및 환경계획 연구의 기초자료로서 더욱 높은 활용 가능성이 기대된다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Abougendia, S. M. 2023. Investigating surface UHI using local climate zones(LCZs), the case study of Cario's

- River Islands. *Alexandria Engineering Journal* 77(15):293–307.
- An, S.I., Ha, K.J., Seo, K.H., Yeh, S.W., Min, S.K., C.H. Ho. 2011. A Review of Recent Climate Trends and Causes over the Korean Peninsula. *The Korean Society of Climate Change Research* 2(4):237–251 (안순일, 하경자, 서경환, 예상욱, 민승기, 허창희. 2011. 한반도 기후변화의 추세와 원인 고찰. *한국기후변화학회지* 2(4):237–251).
- Bechtel, B., Alexander, P.J., Beck, C., Böhner, J., Brousse, O., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L., I. Stewart., 2015. Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4(1):199–219.
- Bechtel, B., Alexander, P.J., Beck, C., Böhner, J., Brousse, O., Ching, J., Demuzere, M., Fonte, C., Gil, T., Hidalgo, J., Hoffmann, P., Middel, A., Mills, G., Ren, C., See, L., Sismanidis, P., Verdonck, Xu, M., G. Y. Xu. 2019. Generating WUDAPT Level 0 data – Current status of production and evaluation. *Urban Climate* 27:24–45.
- Cao, R., Liao, C., Li, Q., Tu, W., Zhu, R., Luo, N., Qiu, G., W. Shi. 2023. Integrating satellite and street-level images for local climate zone mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 119(103323).
- Changwon-si. 2021. Final Report on the Planning of Urban Ecological Status Map and Wind Road Construction in Changwon City 514pp (창원시. 2021. 창원시 도시생태현황지도 제작 및 바람길 조성 방안 용역 최종보고서. 514pp).
- Chen, X., Xu, Y., Yang, J., Wu, Z., H. Zhu. 2020. Remote sensing of urban thermal environments within local climate zones: A case study of two high-density subtropical Chinese cities. *Urban Climate* 31(100568).
- Demuzere, M., Hankey, S., Mills, G., Zhang, W., Lu, T., B. Bechtel. 2020. Combining expert and crowd-sourced training data to map urban form and function for the continental US. *Scientific Data* 7(1):264.
- Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., van Vliet, J., B. Bechtel. 2022. A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science. *Earth System Science Data* 14:3835–3873.
- Huang, F., Jiang, S., Zhan, W., Bechtel, B., Liu, Z., Demuzere, M., Huang, Y., Xu, Y., Ma, L., Xia, W., Quan, J., Jiang, L., Lai, J., Wang, C., Kong, F., Du, H. Miao, S., Chen, Y., J. Chen. 2023. Mapping local climate zones for cities: A large review. *Remote Sensing of Environment* 292(113573).
- Im, E.S., Lee, Y.J., Hwang, M.H., M.S. Cha. 2014. Development and Application of a Model for Integrating Geospatial and Statistical Information. Korea Research Institute for Human Settlements. 112pp (임은선, 이영주, 황명화, 차미숙. 2014. 국토정책 수요변화에 대응한 공간-통계 융합모델 개발 및 적용 방안 연구. 국토연구원 112pp).
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas*

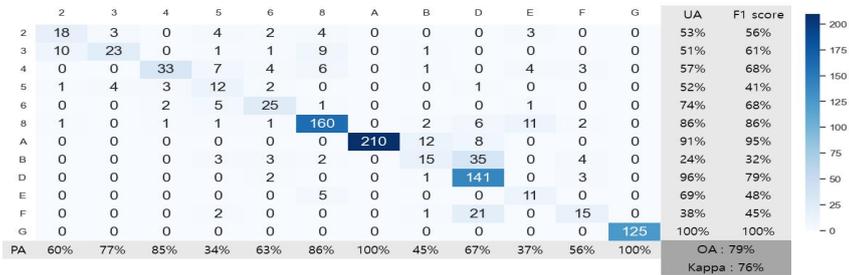
- emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. 32pp.
- Kang, S.W., Mun, H.S., Pakr, H.M., J.C. Jung. 2023. Application and Usability Analysis of Local Climate Zone using Land-Use/Land-Cover(LULC) Data. *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies* 26(1):69-88 (강승원, 문한솔, 박혜민, 정주철. 2023. 토지이용/피복(LULC) 데이터를 이용한 도시기후구역의 적용가능성 분석. *한국지리정보학회지* 26(1):69-88).
- Khamchiangta, D., Y. Yamagata. 2024. Mapping urban carbon emissions in relation to local climate zones: Case of the building sector in Bangkok Metropolitan Administration, Thailand. *Energy and Built Environment* 5:337-347.
- Kim, J.S., J.E. Kang. 2022. An Analysis of Thermal Environment Change According to Urban Development Project Using ENVI-met Model : Focused on Changwon. *The Korean Society of Climate Change Research* 13(5):659-677 (김중성, 강정은. 2022. ENVI-met을 활용한 도시개발사업에 따른 열환경 변화 분석 : 창원시를 대상으로. *한국기후변화학회지* 13(5):659-677).
- Kim, K., J.H. Eum. Classification of Local Climate Zone by Using WUDAPT Protocol - A Case Study of Seoul, Korea -. 2017. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* 45(4):131-142 (김권과 엄정희, WUDAPT Protocol을 활용한 Local Climate Zone 분류 - 서울특별시를 사례로 -. 2017. *한국조경학회지* 45(4):131-142).
- Kim, S. B., Kim, G. H., J.H. Cho. 2001. The Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies. *Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute* 6(1):63-89 (김수봉, 김기호, 조진희. 2001. 도시열섬현상의 원인과 대책. *환경과학논집* 6(1):63-89).
- Kim, S.H., Park, K.H., Lee, S.A., B.G. Song. 2022. Analysis of Thermal Environment Characteristics by Spatial Type using UAV and ENVI-met. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 25(1):28-43 (김성현, 박경훈, 이수아, 송봉근. 2022. UAV와 ENVI-met을 활용한 공간 유형별 열환경 특성 분석. *한국지리정보학회지* 25(1):28-43).
- Kim, Y.J., Mun, H.S., J.C. Jung. 2023, An Exploratory Study on the Effect of LCZ Type on Particulate Matter. *Korea Society of Environmental Impact Assessment* 32(5) : 338-352 (김연주, 문한솔, 정주철. 2023. LCZ 유형이 미세먼지에 미치는 영향에 관한 탐색적 연구. *한국환경영향평가학회지* 32(5):338-352).
- Lee, W.S., Jung, S.G., Park, K.H., K.T. Kim. 2010. Analysis of Urban Thermal Environment for Environment-Friendly Spatial Plan. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(1):142-154 (이우성, 정성관, 박경훈, 김경태. 2010. 친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석. *한국지리정보학회지* 13(1):142-154).
- Maleki, M., Asadi, M., Naghadehi, S. Z., Khosravi, A., Wang, J., Stewart, I. D., M. Shakeryati. 2023. Detecting local climate zone change and its effects on PM10 distribution using fuzzy machine learning in Tehran, Iran. *Urban Climate*

- 49(101506).
- National Institute of Meteorological Sciences. 2019. 100 Years of Climate Change on the Korean Peninsula. p.31 (국립기상과학원. 2019. 한반도 100년의 기후변화. 31쪽).
- Qiu, C., Mou, L., Schmitt, M., X.X. Zhu. 2019. Local climate zone-based urban land cover classification from multi-seasonal Sentinel-2 images with a recurrent residual network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 154:151-162.
- Quan, S. J., P. Bansal. 2021, A systematic review of GIS-based local climate zone mapping studies. *Building and Environment* 196(107791).
- Ren, C., Cai, M., Li X., Zhang, L., Wang, R., Xu, Y., E. Ng. 2019. Assessment of Local Climate Zone Classification Maps of Cities in China and Feasible Refinements. *Scientific Reports* 9(18848).
- Song, B.G., K.H. Park. 2011. The Classification of Spatial Patterns Considering Formation Parameters of Urban Climate - The case of Changwon city, South Korea -. *Korea Society of Environmental Impact Assessment* 20(3):299-311 (송봉근과 박경훈. 2011. 도시기후 형성 요소를 고려한 공간유형 분류 - 창원시를 대상으로 -. *한국환경영향평가학회지* 20(3):299-311).
- Song, B.G., K.H. Park. 2012. Analysis of Heat Island Characteristics Considering Urban Space at Nighttime. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(1):133-143 (송봉근과 박경훈. 2012. 도시공간을 고려한 야간 시간대의 열섬특성 분석. *한국지리정보학회지*. 15(1):133-143).
- Stewart, I.D., T.R. Oke. 2012. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12):1879-1900.
- Wang, R., Ren, C., Xu, Y., Lau, K., Yuan. Shi. 2018. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. *Urban Climate* 24:567-576.
- Wang, Y., Ni, Z., Hu, M., Chen, S., B. Xia. 2021. A practical approach of urban green infrastructure planning to mitigate urban overheating: A case study of Guangzhou. *Journal of Cleaner Production* 287(124995).
- Yan, L., Ma, L., He, W., Zhou, L., Lu, H., Liu, G., G. Huang. 2022. Comparing Object-Based and Pixel-Based Methods for Local Climate Zones Mapping with Multi-Source Data. *remote sensing* 14(15):3744.
- Yoo, C.H., Lee, Y.S., Cho, D.J., Im, J.H., D.H. Han. 2020. Improving Local Climate Zone Classification Using Incomplete Building Data and Sentinel 2 Images Based on Convolutional Neural Networks. *Remote Sensing* 12(21).
- Zhou, X., Okaze, T., Ren, C., Cai, M., Ishida, Y., A. Mochida. 2020. Mapping local climate zones for a Japanese large city by an extended workflow of WUDAPT Level 0 method. *Urban Climate* 33(100660).
- Zheng, Y., Ren, C., Xu, Y., Wang, R., Ho, J., Lau, K., E. Ng. 2018. GIS-based mapping of Local Climate Zone in the high-density city of Hong Kong. *Urban Climate* 24:419-448. **KAGIS**

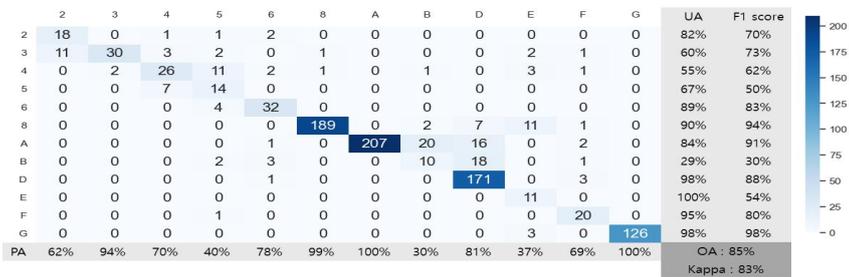
## APPENDIX



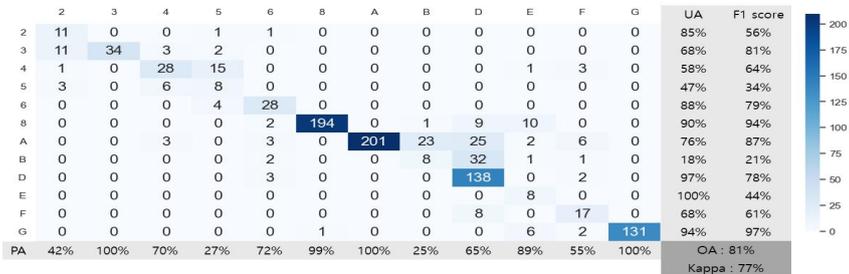
FIGURE 1. Local Climate Zone definition(Demuzere et al., 2020)



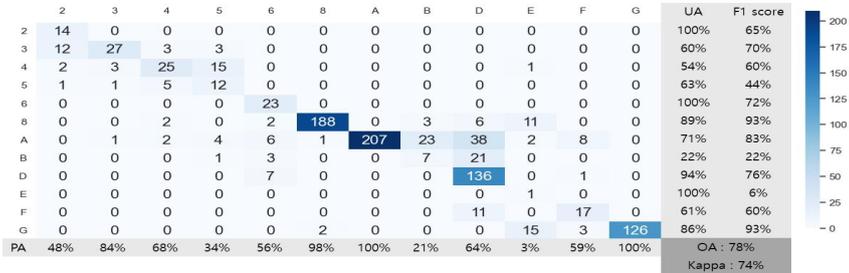
<Not Filtered>



<1 Radius Filtered>



<2 Radius Filtered>



<3 Radius Filtered>

FIGURE 2. Confusion matrix for LCZ classification of Changwon (From the top Not filtered, 1 radius filtered, 2 radius filtered, 3 radius filtered)