

토지이용/피복(LULC) 데이터를 이용한 도시기후구역의 적용가능성 분석*

강승원¹ · 문한솔¹ · 박혜민² · 정주철³*

Application and Usability Analysis of Local Climate Zone using Land-Use/Land-Cover(LULC) Data*

Seung-Won KANG¹ · Han-Sol MUN¹ · Hye-Min PARK² · Ju-Chul JUNG³*

요 약

효율적인 공간계획은 기후변화에 성공적으로 대응하기 위해 필요한 요소 중 하나이다. 연구자들은 흔히 토지이용 및 공간계획 연구를 수행하기 위해 LULC(Land-Use/Land-Cover) 데이터를 활용하고 있다. 그러나 LULC 데이터는 어떠한 도시 표면의 특징을 분류할 수 있는 조건이 몇 가지로 한정되어 있어 여러 도시에서 나타나는 각기 다른 도시구조를 기존 토지피복 분류법으로는 쉽게 분석할 수 없다. 이러한 토지피복 자료의 한계는 도시 열섬 분야에서 사용되는 LCZ(Local Climate Zone) 자료를 통해 극복될 것으로 보인다. 따라서 본 연구는 먼저 LCZ 데이터가 도시 열섬 분야뿐만 아니라 다른 분야에도 적용될 수 있는지를 논의하고, 두 번째로 LCZ 데이터가 기존 LULC 데이터의 문제점을 동일하게 가지는지 논의하는 것을 목적으로 한다. 연구 방법론은 크게 두 가지로 진행된다. 첫째, 문헌고찰을 통해 LCZ와 관련된 기후, 토지이용, 도시공간구조 분야의 연구를 종합하여 현재 어떤 연구에 LCZ 데이터가 활용되고 있는지, 토지이용과 도시공간구조 분야에서 어떻게 적용·활용될 수 있는지 분석한다. 다음으로 GIS 공간분석을 활용하여 LCZ 데이터도 역시 LULC 데이터에 내재한 몇 가지 오류를 공유하고 있는지에 대해 비교·분석한다.

주요어 : 도시기후구역, 토지이용 및 피복 데이터, 기후변화, 공간분석

ABSTRACT

Efficient spatial planning is one of the necessary factors to successfully respond to

2023년 02월 01일 접수 Received on February 01, 2023 / 2023년 02월 22일 수정 Revised on February 22, 2023 / 2023년 03월 03일 심사완료 Accepted on March 03, 2023

* 본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었으며, 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A2C10077131162182065300101).

1 부산대학교 도시공학과 박사과정 / Ph.D. Student, Urban Planning & Engineering, Pusan National University

2 부산대학교 도시공학과 석사과정 / Master Student, Urban Planning & Engineering, Pusan National University

3 부산대학교 도시공학과 교수 / Professor, Urban Planning & Engineering, Pusan National University

※ Corresponding Author E-mail: jcjung@pusan.ac.kr

climate change. And researchers often use LULC(Land-Use/Cover) data to conduct land use and spatial planning research. However, LULC data has a limited number of grades related to urban surface, so each different urban structure appearing in several cities is not easily analyzed with existing land cover products. This limitation of land cover data seems to be overcome through LCZ(Local Climate Zone) data used in the urban heat island field. Therefore, this study aims to first discuss whether LCZ data can be applied not only to urban heat island fields but also to other fields, and secondly, whether LCZ data still have problems with existing LULC data. Research methodology is largely divided into two categories. First, through literature review, studies in the fields of climate, land use, and urban spatial structure related to LCZ are synthesized to analyze what research LCZ data is currently being used, and how it can be applied and utilized in the fields of land use and urban spatial structure. Next, the GIS spatial analysis methodology is used to analyze whether LCZ still has several errors that are found in the LULC.

KEYWORDS : *Local Climate Zone, LULC(Land-Use/Land-Cover) Data, Climate Change, Spatial Analysis*

서론

유엔 산하 재난위험감사무국(UNDRR)에 따르면 지난 20년 동안 세계에서 7,348건의 재해가 발생해, 123만명이 사망하고 3,400여조원의 재산피해가 발생한 것으로 집계되었다. 이는 앞선 20년보다 재해 건수가 1.7배 증가한 수준으로, 주요 원인은 기후변화인 것으로 진단된다(2000~2019년 세계 재해 보고서). 이러한 기후변화 리스크에 성공적으로 대응하기 위해 필요한 전략 중 하나는 효율적인 공간계획이다(Wilson, 2006; Wilson & Piper, 2010; Hurlimann & March, 2012; Van Buuren *et al.*, 2013). 예를 들어, 집약적 토지이용계획을 수립함으로써 에너지 효율을 높이거나, 재해의 위험이 낮은 지역으로 개발을 집중시켜 기후변화 저감 및 적응을 도모할 수 있다(Wang, 2008). 이처럼 공간계획의 핵심 목표는 토지이용의 공간분포를 최적화하고 향후 토지이용에 대한 의사결정을 하는 것이다. 공간계획은 공간적 맥락에서 기후변화에 대한 적응과 기후변화 영향을 통제하는데 이용 가능한 주요 도구 중 하나로 간주된다. 그리고 이러한 과제를 해결하기 위해 공간계획

은 기후변화가 지역 및 지역 규모 수준에 미치는 영향에 관한 정보를 요구한다(Rannow *et al.*, 2010).

공간계획 연구를 수행하기 위해 사용되는 데이터 중 가장 대표적인 것은 토지이용 및 토지피복(LULC, Land-Use/Land-Cover) 데이터를 꼽을 수 있다. LULC 데이터는 많은 연구에서 사용되어 왔고, 최근의 LULC 데이터는 신뢰할 수 있는 출처를 제공하며 정기적으로 업데이트되고 있어, 데이터의 신뢰도가 높아지고 있다. 또한 데이터 복제가 가능해지면서 효율성과 비용 측면에서 활용도가 높아지고 있다(Grekousis *et al.*, 2015).

한편, 토지이용 및 토지피복의 변화는 도시열섬, 미기후 변화, 미세먼지 등 기후와 관련된 지표면 특성에도 영향을 미치고 있어(Cha *et al.*, 2007; Baek and Jung, 2009; Mun *et al.*, 2020), 토지이용 관리 관행에 따라서는 기후변화로 인해 토지이용의 결정이 변경될 수 있다. 이러한 다방향 영향은 토지이용 및 토지피복 변화와 기후변화 사이의 상호작용을 강화하거나 약화시키는 피드백을 통해 연결될 수 있다(Verburg, 2006). 따라서 토지이용 및 토지피복의 가장 중심적인 역할을 고려하여, 기후변화

영향에 대한 대부분의 평가는 토지이용 및 토지 피복에 관한 데이터를 활용한다(Verburg *et al.*, 2011). 하지만 기후변화 평가에 중요한 영향을 미칠 수 있는 기존의 LULC 관련 데이터들은 불확실성의 오류를 내포하고 있으며, 특히 데이터의 일관성에 대한 문제를 가진다(Verburg *et al.*, 2011).

기후변화에 대응하는 효율적 공간계획 수립을 위해서는, 기후변화 위험과 대책에 대한 효과적인 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해 기후변화 영향의 범위, 규모, 내용에 일관성 있는 데이터가 필요한데, 도시기후구역(LCZ, Local Climate Zone) 데이터가 대안이 될 수 있다(Demuzere *et al.*, 2021). LCZ는 Stewart and Oke(2012)가 제시한 토지이용 및 토지피복 분류법으로 도시를 17개 등급으로 나누어 표현한 분류체계를 말하며, 이 중 10개 등급(1-10)은 도시유형, 나머지 7개 유형(A-G)은 기타 토지피복 유형으로 이루어져 있다. 이 분류 시스템은 원래 도시 열섬 연구를 위한 프레임워크를 제공하기 위해 설계되었으며, 도시 온도 관찰의 표준화된 교환이 가능하다(Stewart & Oke, 2012).

위 논의 아래, 본 연구는 기존 LULC 데이터가 활용되던 방계계획, 도시계획, 토지이용 및 도시공간구조 분야에서의 LCZ의 적용 및 활용 가능성을 탐색하는 것을 목적으로 한다. LCZ는 도시 경관을 특징짓는 새로운 표준으로, 미시적 규모의 토지 피복과 관련 물리적 특성을 고려한 총체적 분류 접근법이다(Demuzere *et al.*, 2021). 따라서 기존 LULC 데이터와 성격이 유사하므로 열섬 연구를 위해 개발되었던 본래의 목적을 넘어 폭넓게 적용 가능할 것으로 보인다.

LULC 및 LCZ의 문헌적 검토

1. 토지이용/피복(LULC)의 특징, 범위 및 한계

토지이용은 기후변화, 식량문제, 도시의 가속화, 생물다양성 위기 등의 지속가능성 과제를 이해하고 잠재적으로 해결하기 위한 핵심이며

(Miller and Munroe, 2014), 그렇기에 LULC 데이터는 서로 다른 공간적, 시간적 규모에 걸친 인간-환경 간의 상호작용을 더 잘 이해하고 지속 가능한 개발을 위한 경로를 설명하는 데 기여할 수 있다. LULC 데이터는 여러 분야에서 다양한 형태로 활용되는데, 이로 인해 LULC 데이터는 취득되는 데이터 출처에 따라 다양한 해상도, 공간 및 시간 범위, 연구주체의 특성을 가진다. LULC 데이터는 대부분 원격탐사 및 인구주택총조사(Census) 등의 인구조사로부터 취득 및 가공되지만, 이밖에 현장조사, 참여지도, 지적정보 등의 출처를 가진다. 각 데이터 출처에 따른 LULC 데이터의 특성은 표 1과 같다.

LULC 데이터가 다양한 형태로 존재하고, 각 형태별로 여러 특성이 존재하기 때문에 LULC 데이터는 여러 분야 및 주제에 활용되어 왔다. 하지만 이러한 다양성으로 인해 LULC 데이터는 몇 가지 오류를 가지며, 이 오류들은 모두 일관성의 문제로부터 기인한다. 관련하여, Comber(2008)는 “이 세상에서 불변하는 것 외, 변하지 않는 것은 없다.”는 아일랜드 소설가 조너선 스위프트(Jonathan Swift)의 문구를 인용하며 LULC 데이터의 일관성 문제를 지적하였다. Comber(2008)에 따르면 오늘날 대부분의 토지피복 데이터는 토지이용의 요소를 포함하고, 토지이용 데이터 역시 토지피복의 요소를 포함하고 있다. 또한 현존하는 어떤 토지피복 데이터와 토지이용 데이터도 순수하게 각 피복이나 이용 자료만 포함하고 있지 않고 모두 혼합되어 있기 때문에, 대부분 관련 연구에서 토지피복과 토지이용이 마치 상호 교환 가능한 개념인 것처럼 다루어지고 있다. 이는 내용적 불일치를 야기할 가능성이 있다(Comber, 2008). 많은 경우에 토지이용은 토지피복에 의해 추론될 수 있지만 토지이용이 항상 쉽게 관찰될 수 있는 것은 아니다. 예를 들어, 농업통계에서 제시되는 농지의 증감이 원격 감지로 측정된 토지피복 데이터에서는 관찰될 수 없다. 농지가 말 사육과 같은 다른 기능을 위해 포기된 경우, 원격 감지 데이터에서는 여전히 농지로 표현될 가능성이 있기 때문이다. 즉, 목초지나 건초를 만들기 위

TABLE 1. Characteristics of LULC Data by Data Source

Data source	Spatial resolution	Spatial extent	Temporal resolution	Temporal extent	Thematic properties
Remote sensing/ Aerial photography	Dependent on sensor (remote sensing mostly between 0.6 m and 1 km)	Dependent on sensor. Coverage is limited in case of clouds (not for radar)	Frequent depending on sensor/satellite	Depending on launching and life time of sensor. Few remote sensing data are available before 1970s except for aerial photographs	Land-cover classes. Classification is based on sensor characteristics and user preferences
Census/ survey data	Administrative units	Often national level	Infrequent depending on census, often less than every 10 years	Country specific depending on statistical system	Focused on economic sectors (mostly agriculture and forestry)
Land-use maps based on field survey	Dependent on scale of mapping (often between 1:25000 and 1:1 million)	Varying	Often made for 1 year only	-	Varying and fixed within a specific map
Participatory maps	Dependent on scale of mapping	Often restricted to territory of one or more communities	For one moment only	Participatory back casting possible	Depending on purpose of mapping
Cadastral information	Precise information at property level	Dependent on cadastral system	Continuously updated	Often available for long time period	Limited to tenure conditions with limited information about land-use, especially in urban environments

Excerpts and modifications from Verburg *et al.* (2011)

한 토지이용의 변화와 초원의 실제 사용은 원격 감지로 관찰할 수 없어 농업통계와의 불일치를 초래한다.

이러한 내용적 불일치와 함께 Verburg *et al.*(2011)는 시간 및 공간적 일관성 문제, 주제의 불일치 문제를 지적하였다. 먼저 서로 다른 데이터 출처 간의 공간적 불일치는 원격 감지 데이터의 지리 참조 또는 벡터 맵의 일반화 수준에 의해 발생하는 위치 오류와 관련이 있을 수 있다(Castilla and Hay, 2007). 동일한 형태의 데이터라도 만약 지리참조(georeferencing)가 적절히 수행되지 않는다면, 데이터에서 도출될 수 있는 토지이용 관련 통계에 큰 영향을 미칠 수 있으며 이러한 차이가 추정에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 두 번째로, 시간 측면에서 데이터의 불일치 문제가 발생할 수 있다. 토지이용 및 피복의 변화 모니터링 및 분석을 위해서는 장기간에 걸쳐 일관된 데이터를 보유하는 것이 필수적이며, 이때 데이터는 동일한 처리 기법을 적용하여 정확히 동일한 데이터 출처에서 도출하는 것이 바람직하다. 하지만 이를 정확히

수행하는 것은 어려우며, 이에 따라 토지이용 및 피복의 변경이 과대 또는 과소평가 될 가능성이 있다. 마지막으로 범주에 대한 불확실성이 존재한다. 관측 기법의 특성을 고려할 때 데이터 출처마다 특정 토지이용 및 토지피복 유형을 포착하는 용량(capacities)이 다르기 때문에, 이는 최종 토지이용 및 토지피복 데이터의 범주에 대한 불확실성으로 이어질 수 있다. 예를 들어 유사한 범례를 사용한 서로 다른 데이터 집합이 토지이용 및 토지피복 등급에 대해 서로 다른 정의를 사용할 수 있다.

2. 도시기후구역(LCZ)의 특징

Stewart and Oke(2012)에서 처음 소개된 이후 LCZ는 도시 경관을 특징짓는 새로운 표준으로 발전되어, 미시적 규모의 토지 피복과 관련 물리적 특성을 고려한 총체적 분류 접근법을 제공하고 있다. LCZ는 도시 형태학, 토지이용, 도시의 신진대사¹⁾ 측면에서 모두 균일한 특징을 보이는 최소 지름이 400m인 지역을 의미한다

TABLE 2. LCZ Classification

Zone	Figure	Zone	Figure
LCZ 1: Compact high-rise		LCZ A: Dense trees	
LCZ 2: Compact mid-rise		LCZ B: Scattered trees	
LCZ 3: Compact low-rise		LCZ C: Bush, scrub	
LCZ 4: Open high-rise		LCZ D: Low plants	
LCZ 5: Open mid-rise		LCZ E: Bare rock or paved	
LCZ 6: Open low-rise		LCZ F: Bare soil or sand	
LCZ 7: Lightweight low-rise		LCZ G: Water	
LCZ 8: Large low-rise			
LCZ 9: Sparsely built			
LCZ 10: Heavy industry			

다. 또한 고요하고 맑은 하늘 아래 특성화된 도시 스크린 및 온도 체제를 가지며(Leconte *et al.*, 2015), 이는 도시 및 토지피복 유형을 포함한 총 17개의 유형으로 분류된다(표 2).

2015년, 커뮤니티 기반의 WUDPT(World Urban Database and Access Portal Tools) 프로젝트의 일환으로 오픈소스 데이터와 소프트웨어 패키지를 사용하여 LCZ로 도시를 매핑할 수 있는 프로토콜이 개발되었으며, 현재 이를 수행할 수 있는 온라인 플랫폼이 제공되고 있다. LCZ는 기후변화와 도시 간의 영향관계를 파악하기 위해, 특히 도시 열섬 연구의 목적으로 개발되었기 때문에 온라인 플랫폼을 통해 전세계 도시 간 열섬을 규명하기 위한 도시형태 및 생태 프로세스에 대한 체계적 비교가 가능하다. 또한 해당 도시에 대한 관련 데이터 인프라가 불충분해도, 모델 생성을 위한 어플리케이션을 지원하기 때문에 각 도시마다 보편적인 LCZ 데이터를 구득할 수 있다는 이점이 있다(Demuzere

et al., 2021). WUDPT의 온라인 플랫폼에서 제공하는 어플리케이션은 LCZ 생성을 위한 모든 개발 절차를 통합함과 동시에, 자동화된 정확도 평가를 제공하기 때문에 사용자는 일관된 데이터를 구득할 수 있다.

연구설계

1. 연구질문

LCZ는 LULC가 나타내는 토지피복 및 이용의 정보를 담고 있으면서 기후변화가 도시에 미치는 영향에 대해 LULC 데이터보다 더 세부적인 분석이 가능하기 때문에, 기후변화 대응을 위한 공간계획 관련 연구를 수행하기 위한 주요한 데이터로 활용될 수 있다. 하지만 LCZ가 LULC를 완벽히 대체할 수 있는가에 대해서는 관련 연구가 거의 없으며, 기존 LCZ 관련 문헌 검토 후에도 이와 관련하여 여전히 의문이 존재한다. 이에 따라 본 연구의 질문은 크게 두 가

지로 나뉜다. 첫 번째는 도시열섬 연구의 목적으로 개발된 LCZ가 도시열섬 뿐만 아니라 자연재해 연구에도 활용가능한지, 그리고 토지이용 및 도시공간구조 등 도시계획 내 여러 분야에서 활용될 수 있는지에 대한 질문이다. 특히 여러 분야에서 활용되어왔던 LULC 데이터의 활용 범위를 LCZ가 충족시킬 수 있는지를 중심으로 첫 번째 연구 질문을 규명하고자 한다. 두 번째는 LCZ가 LULC가 가지고 있는 여러 한계점들을 여전히 가지고 있는지, 아니면 이러한 한계점들이 보완될 수 있는지에 대한 질문이며, LULC 데이터가 가지고 있는 다양한 일관성 문제를 바탕으로 두 번째 연구 질문을 규명하고자 한다.

- 연구질문 (1): LCZ 데이터가 도시열섬 분야 뿐만 아니라 타 분야에서도 적용 가능한가?
- 연구질문 (2): LCZ 데이터는 기존 LULC 데이터가 가지고 있는 일관성 문제를 여전히 가

지고 있는가?

- 가설1(내용적 일관성): LCZ 데이터는 토지이용 통계에서 다루고 있는 여러 토지이용의 변화에 대한 정보를 포함하고 있을 것이다.
- 가설2(공간적 일관성): LCZ 데이터의 해상도는 각 용도지역의 정보를 충분히 담을 수 있을 정도로 높을 것이다.
- 가설3(시간적 일관성): LCZ 데이터는 실제 토지이용에 대한 시간적 변화를 고려하고 있을 것이다.
- 가설4(범주의 불일치): 동일한 영역에 대해 LCZ 데이터와 LULC 데이터의 토지이용 및 피복 유형이 서로 일치할 것이다.

2. 방법론 및 데이터

연구질문 (1)을 분석하기 위해 LCZ를 사용한 이론 및 실증연구의 문헌검토를 수행하였다. 먼저 LCZ 데이터에 대해 도시열섬뿐만 아니라 타 연구주체의 분석에 활용한 문헌을 검토하였

TABLE 3. Data and Verification Methods for Each Hypothesis

Hypothesis	Method	Data
H1 (Content Consistency)	Comparison between LCZ data & zoning data overlapping mapping results and LULC data & zoning data overlapping mapping results	LCZ data Land-cover map Zoning data
H2 (Spatial Consistency)	Comparison of raster cells based on hypothesis 1 methodology	LCZ data Land-cover map (subdivided land-cover) Zoning data
H3 (Temporal Consistency)	Comparison between LCZ data and satellite image mapping (in the case of satellite images, analysis of changes in land-use over time)	LCZ data Satellite image map
H4 (Thematic inconsistencies)	Comparison of LCZ data, LULC data sets for the same area (same land-cover and land-use type)	LCZ data Land-cover map

TABLE 4. Data Source & Time Range

Data	Data Source	Time Range
LCZ data	LCZ-Generator(online platform)	2022
Land-Cover map	Korea Environmental Space Information Service	2018 - 2019 2020 (Subdivided)
Zoning data	Korea Environmental Space Information Service	2020
Satellite image map	Google Satellite	2022

다. 다음으로 각 LULC 데이터 형태에 따른 연구주체의 분류를 바탕으로 LULC 데이터 형태와 LCZ 간의 비교 분석을 통해 LCZ를 적용시킬 수 있는 연구주체를 재분류하였다.

연구질문 (2)를 분석하기 위해서 LULC 데이터가 가지고 있는 오류 및 한계점들을 바탕으로 LCZ가 이러한 오류들을 보완할 수 있는지에 대해 가설을 세우고, 각 가설을 검증하였다. 각 가설을 검증하기 위한 방법론은 표 3과 같으며, 관련 데이터의 정보는 표 4에서 제시되었다.

먼저 연구가설 1의 경우 원격 감지를 통해 생성된 토지피복 정보가 실제 이루어지고 있는 토지이용 정보와 일치하는지, 즉 토지피복 및 토지이용 간 정합성을 분석하기 위해 LCZ 데이터와 토지이용 데이터 간의 비교를 위한 매핑을 진행하였다. 다음으로 연구가설 2의 경우 데이터 출처 간 공간의 불일치로 인해 발생하는 공간적 일관성과 관련되어 있으며, 특히 데이터

해상도의 일관성에 대한 문제와 연관되어 있다. 따라서 LCZ 데이터의 각 레스터 셀과 토지피복 지도의 레스터 셀을 비교한 후, 실제 위성 이미지와 중첩하여, LCZ 데이터의 해상도가 실제 도시의 토지피복을 나타내고 있는지 분석하였다. 연구가설 3의 경우 시간적 일관성과 관련되어 있으며, LCZ 데이터가 실제 토지이용의 시간적 변화를 포함하고 있는지 분석하였다. 마지막으로 연구가설 4의 경우 데이터 출처마다 특정 토지이용/표지 유형을 포착하는 용량이 다르기 때문에 발생하는 범주의 불일치와 관련되어 있으며, 위성지도를 기반으로 구축된 토지피복 지도의 각 토지피복 유형별 범주와 LCZ 데이터의 유형별 범주의 일치 정도를 분석하였다.

1) LCZ 데이터

본 연구는 WUDPT의 온라인 플랫폼에서 제공하는 어플리케이션을 사용하여 LCZ 데이터를

TABLE 5. LCZ Data Accuracy Criteria

Factor	
OA	Overall accuracy
OAu	Overall accuracy for the urban LCZ classes only
OAbu	Overall accuracy of the built vs. natural LCZ classes only
OAw	a weighted accuracy

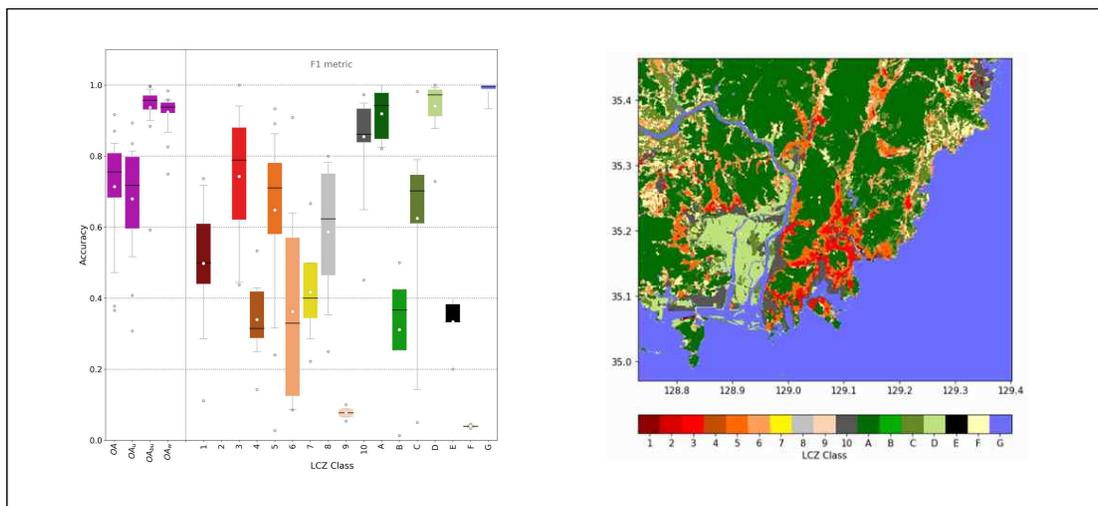


FIGURE 1. Data Information of LCZ (The Case of Busan)

제작하였다. 이 플랫폼에서는 데이터의 정확도를 평가할 수 있는 기준을 제공하고 있다. OA, OAu, OAbu, OAw 4가지 결과 항목이 0.00~1.00 범위 내의 숫자로 표현된다(표 5).

OA는 LCZ 전체의 정확도를 의미하고, OAu는 LCZ 전체에서 도시지역의 정확도를 의미한다. OAbu는 내부 차별화를 무시하고 내장 LCZ 클래스와 자연 LCZ 클래스의 전체 정확도를 의미한다. OAw는 행렬에 가중치를 적용해서 얻어지는 것으로, 유형 간의 유사성을 나타낸다(Demuzere, *et al.*, 2021).

본 연구에서는 부산광역시를 대상으로 LCZ를 구축하여 분석에 사용하였으며, 제작된 LCZ의 정보는 그림 1과 같다. 정확도의 경우 OA:0.71, OAu: 0.68, OAbu: 0.94, OAw:0.92가 산출되었다.

2) LULC 데이터

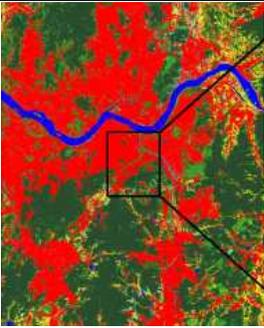
본 연구에서 LCZ와의 비교를 위해 사용되는 LULC 데이터는 환경공간정보서비스에서 제공되는 토지피복지도이다. 환경공간정보서비스의 토지피복지도는 해상도에 따라 대분류(해상도 30m급), 중분류(해상도 5m급), 세분류(해상도

1m급)로 나뉘며, 각각의 지도는 대분류 7개 항목, 중분류 22개 항목, 세분류 41개 항목으로 분류되어 점점 세분화된다. 본 연구의 경우 대분류 및 세분류 토지피복지도를 사용하였다. 해상도별 토지피복지도의 특징은 표 6과 같다.

3. 연구 사례지역

본 연구의 사례지역은 부산광역시이다. LCZ 데이터는 도시를 총 17개 등급으로 나누어 표현한 분류체계이기 때문에, 10개의 도시유형과 7개의 기타 토지피복 유형을 모두 포함시키기 위해서는 도시와 농촌 지역을 적절히 포함하고 있는 대도시를 선정하여야 했다. 부산은 1990년대 주택개발 이후 해운대 신시가지를 중심으로 대규모 아파트 단지가 들어서게 되었지만, 영도구를 비롯한 원도심은 여전히 낮은 층수의 주택들이 존재하고 있어 층수에 따른 다양한 도시유형의 구득이 가능하다. 또한 기장군, 강서구 등의 도시 외곽지역은 최근 일부 도시화가 진행되고 있음에도 여전히 농촌의 특성을 보이는 지역이 많이 존재하여, 농촌지역의 토지피복 유형의 구득이 용이하다. 부산광역시는 또한 지역 내 크고 작은 산과 강들이 많이 존재하고 있기

TABLE 6. Characteristics of Land Cover Maps by Resolution

	Large-Scale Land Cover Classification	Middle-Scale Land Cover Classification	Fine-Scale Land Cover Classification
Resolution			
	30M	5M	1M
Number of categories	7	22	41
Scale	1:50,000	1:25,000	1:5,000
Characteristic	Land-Cover	Land-Cover+Land-Use	Land-Cover+Land-Use(detailed)

Source: Korea Environmental Space Information Service

때문에 자연적 토지피복 유형의 구득이 용이하므로 LCZ의 각 유형이 고루 나타날 수 있는 부산광역시를 본 연구의 사례지역으로 선정하였다.

연구 결과

1. 연구 결과 (1)

먼저 LCZ 데이터를 활용하여 여러 연구에 활용된 사례들은 표 7과 같이 요약할 수 있다. 본래 LCZ는 도시기후 및 온도 관측을 위한 목적에서부터 출발하였지만, 적용은 기후나 열섬 연구에 국한되지 않고 다양한 연구 영역에서 탐구되고 있다. 크게 기후 모델링, 기후변화 적응, 기후 회복력, 열쾌적성, 에너지 소비, 탄소배출, 대기질 문제로 확대 적용되어 도시계획가들을 위한 도구로서의 잠재력을 증명하였다.

먼저 기후변화 적응과 관련된 연구들에서는 도시의 날씨 및 기후를 시뮬레이션하는 기상 모델에서 주로 적용되고 있다. 주로 시뮬레이션을 통해 도시 LCZ의 영향을 조사하거나 홍수와 LCZ 간의 상관관계를 분석하는 연구가 주를 이룬다(Patel *et al.*, 2020; Savić *et al.*, 2020). UHI(Urban Heat Island)와 토지이용 간의 관계를 분석하기 위해 LCZ를 이용하여 여러 대상지 간의 UHI 차이를 산출하기도 한다(Chieppa *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2020). LCZ에서 제공하는 지표 속성 정보는 기상 모델에서 도시를 매개변수화하는 데 사용된다. 이는 시뮬레이션 모델의 기능을 크게 향상시키는 이점이 여러 연구자에 의해 입증되었기 때문이다(Alexander *et al.*, 2016; Alexander *et al.*, 2015; Hammerberg *et al.*, 2018).

기후변화로 인한 리스크가 증가하면서 최근에는 회복력이 중요한 개념으로 발전되고 있다(Sanchez *et al.*, 2018; Schewenius *et al.*, 2014). 지속가능하고 탄력적이며 기후친화적인 도시를 구성하기 위해 향후 개발 계획 및 정책에서 특정 도시형태를 고려할 필요성을 강조하는 데에 LCZ를 도구로 활용하여 논의하고 있다(Emmanuel and Krüger, 2012; Aslam *et al.*,

2022; Perera and Emmanuel, 2018). 기후변화의 주요 키워드로 떠오르고 있는 환경 정의 연구에서 역시 LCZ가 적용되었다. 예를 들어, Heidger *et al.*(2021)은 LCZ 유형과 인종, 소득 수준 및 교육의 세 가지 사회인구학적 요인 간의 관계를 분석하였으며, 이러한 요인들 간의 상관관계를 이해하면 도시계획, 정책 결정 및 환경 정의 캠페인을 위한 통찰력과 새로운 잠재적 방법을 제공하는 데 도움이 될 수 있다는 결론을 제시하였다.

이제 LCZ는 단순히 기후나 환경분야 연구를 위한 도구로 여겨지는 것이 아니라, 도시계획 및 설계를 위한 도구로서 활발히 적용되고 있다. 계획자가 직관적으로 이해하고 쉽게 적용할 수 있는 가시성이 높은 프레임워크는 지속가능한 도시 계획을 이루는데 도움이 될 것으로 평가된다(Yang *et al.*, 2022). LCZ를 활용하여 도시 온도를 개선하기 위한 가장 효과적인 도시형태로 컴팩트한 개발에 대해 논의하거나, 도시 공간구조와 열쾌적성 사이의 관계를 규명하여 최적의 도시공간 계획 지침을 제시하고 기후적응형 도시계획 방안에 대해 제안하는 등 도시계획 분야의 정책적 제언을 위한 흥미로운 근거자료로 활용되고 있다(Middel *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2018; Kong *et al.*, 2018).

에너지 효율적 개발에 중점을 두면서 건물에 에너지 효율에 영향을 미치는 도시형태의 역할을 논의하기도 하였다. 이는 미기후가 실제로 건물 에너지 소비에 미치는 도시형태 영향의 주요 원인이라는 가설에 기초하기 때문에 LCZ를 활용하는 것이 적합하다고 밝혔다(Bansal, 2019). 건물에너지 시뮬레이션을 위해 서로 다른 LCZ에 위치한 건물의 에너지 성능을 분석한 연구도 있다(Yang *et al.*, 2020). 일부 연구에서는 도시 공간의 형태적, 기능적 구조는 탄소배출량과 밀접한 관련이 있기 때문에 도시의 건물 탄소배출량을 연구하기 위해 LCZ를 적용하였다(Xue *et al.*, 2020). 예를 들어, Wu *et al.*(2018)의 연구에서는 건물의 탄소배출량을 조사하여 LCZ1의 유형에서 다른 LCZ보다 더 많은 탄소를 배출한다고 밝혀 이를 증명하였다.

TABLE 7. Result of Literature Review

Topic	Author	Contents
Climate modeling	Patel <i>et al.</i> (2020)	To analyze heavy rainfall simulation in urban areas, they performed the analysis by using default land use/land cover as Control run and LCZs as WUDAPT run. It results in notably improving the model performance for heavy rainfall simulation in urban areas.
	Savić <i>et al.</i> (2020)	The land was classified using LCZ, and the relationship between heavy rainfall and land cover type was analyzed based on the ANOVA-F test.
Heatwave & Urban Heat Island	Chieppa <i>et al.</i> (2018)	By using the LCZ classification system, 1) to detect UHI in two small cities and 2) to determine whether similar zones experienced similar intensity or magnitude of UHIs.
	Middel <i>et al.</i> (2014)	Utilizing the scenarios of the Envi-met model, they explored the most effective urban forms and urban design strategies to improve the temperature in the various urban forms classified as LCZs. They discussed the virtues of compact development for sustainable urban planning.
	Yang <i>et al.</i> (2020)	They simulated and compared the energy performance of buildings located in different local climate zones (LCZ) and found a difference of up to around 20% in cooling and heating loads.
Environmental justice	Heidger <i>et al.</i> (2021)	It aims to analyze for urban planning, policy making and environmental justice campaigns. The LCZ results and EJscreens data were combined and correlations were analyzed between regional climatic zone types and three sociodemographic factors: race, income level and education.
Climate Resilience	Emmanuel and Krüger (2012)	It aims to determine the microclimate impact of the LCZ using historical weather data for sites in Glasgow and explore the city for a sustainable low-carbon future.
	Aslam <i>et al.</i> (2022)	It aims to map land cover to improve urban resilience to disasters and climate risks, and to formulate LCZs to ensure resilient cities.
	Perera and Emmanuel (2018)	It categorizes cities into regional climate zones (LCZs) and explore the implications of this approach for climate-sensitive urban planning and decision-making.
Human thermal comfort	Liu <i>et al.</i> (2018)	Quantitative equations were derived to express the relationship between urban spatial indicators and local human thermal comfort. The optimal urban space and preferable LCZ class should be expressed as theoretical guidance for urban planning.
	Kong <i>et al.</i> (2018)	For housing site development districts, regions were subdivided according to climatic characteristics, and the thermal environment characteristics that city residents could experience were identified. This led to the need for spatial planning and green infrastructure aimed at creating a more comfortable urban space in preparation for summer heat waves and abnormal temperatures.
Energy Consumption	Bansal (2019)	It Investigates the relationship between LCZ classes and building electricity and gas consumption to analyze how energy consumption differs for each LCZ class. This will help city planners decide on energy-efficient city shapes.
Carbon Emission	Wu <i>et al.</i> (2018)	It preliminarily investigates the building carbon emission of different LCZs in Shanghai, and demonstrated that LCZ 1 (compact high rise) emitted more carbon than other LCZs.
	Jarvi <i>et al.</i> (2019)	LCZ provides a way to classify the features of the investigated sites in modeling studies. It validated their CO ₂ exchange model against the data collected from two sites, which were classified as LCZ 2 and LCZ 6.
	Sharifi and Javadpour (2020)	The correlation between urban form and carbon dioxide emission pattern was analyzed by calculating the average carbon dioxide emission per hectare and per capita emission for the zones classified as LCZ.
Air pollution	Yang <i>et al.</i> (2022)	The aim is to investigate the effect of urban landscape pattern on PM2.5 concentration. Impacts of urban landscape composition and configuration on PM2.5 were evaluated through PM2.5 difference analysis of inter-LCZ categories and intra-built category and correlation analysis between PM2.5 and landscape metrics adopted in LCZ scheme.

오늘날 도시의 인위적 활동과 직접적으로 이어지는 탄소배출에 대한 이슈가 증가함에 따라 LCZ를 대기질 문제에 확대 적용하기도 하였다. 이러한 연구들은 LCZ로 설명되는 도시형태 및 도시경관과 탄소배출 패턴 또는 대기오염물질 농도 간의 관계를 분석하는 연구가 주를 이루었다(Jarvi *et al.*, 2019; Sharifi and Javadpoor, 2020; Yang *et al.*, 2022). 도시경관 패턴과 미세먼지 관계를 분석하는 기존의 연구들은 landscape metrics(e.g., PLAND, NDVI, and SEI)를 사용하는데, 다양한 건축 영역이 하나의 경관 유형으로 취급되어 건물 구성의 변화가 무시되는 한계가 있다는 점이 지적되었다(Shi *et al.*, 2019; Cao *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2022). 이와 같은 한계를 해소하기 위해 LCZ를 도구로서 적용하였다고 언급되기도 했으며, 이는 LCZ가 미세먼지의 도시 공간적 변동을 충분히 반영할 수 있음을 암시한다(Yang *et al.*, 2022).

본 장에서는 위와 같이 이론 및 실증연구의 문헌검토를 통해 도시열섬이 아닌 타 연구주제에의 적용 가능성을 증명하였다. 따라서 LCZ

데이터가 기존에 여러 연구분야에서 활용되어왔던 LULC 데이터의 활용 범위를 충족하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

2. 연구 결과 (2)

연구 결과 (2)의 경우 연구질문 (2) 아래 구성된 네 가지 가설을 검증하는 과정에 대한 결과를 제시하였다.

[연구가설 1]

먼저 연구가설 1의 경우 내용적 일관성에 대한 가설로 “LCZ 데이터는 토지이용 통계에서 다루고 있는 여러 토지이용의 변화에 대한 정보를 포함하고 있을 것이다”에 대한 내용을 다루고 있다. 분석을 위해 먼저 부산광역시 LCZ의 각 구역별 면적과 비율을 표 8과 같이 산출하였다. 다음으로 부산광역시 LULC 및 용도지역의 각 지역(구역)별 면적과 비율을 표 9와 같이 산출하여, 세 지도에 대한 토지이용 정보를 비교하였다.

분석의 경우 각 데이터지도가 공통적으로 포함하고 있는 지역에 대한 비교를 수행하였으며,

TABLE 8. Area and Ratio by LCZ Zone

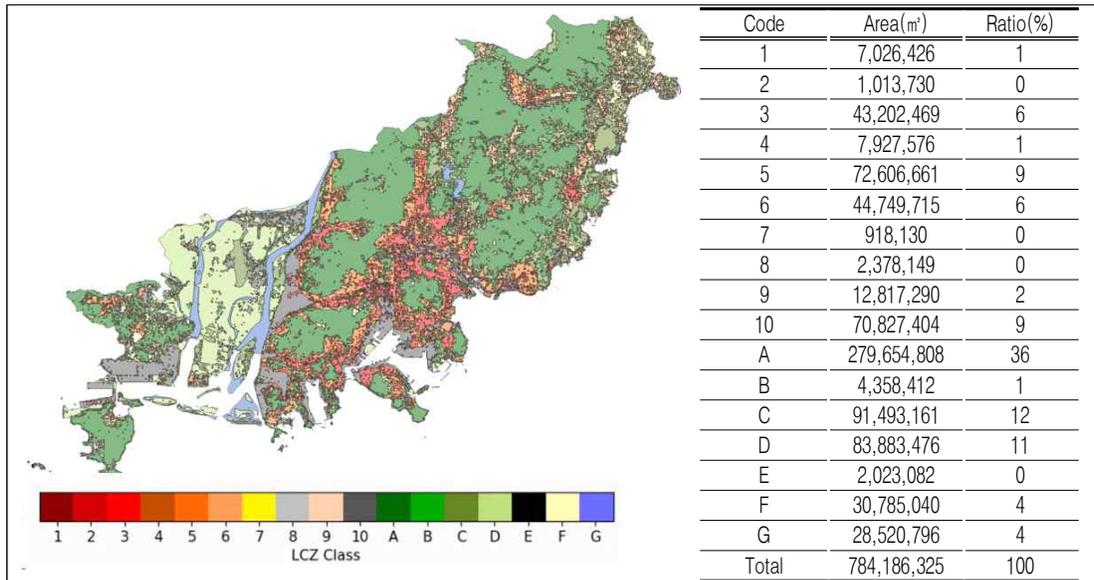


TABLE 9. Area and Ratio by LULC Zone & Actual Land Use zone (Statistical Data)

LULC Zone	Area(m ²)	Ratio(%)	Special-Purpose Areas	Area(m ²)	Ratio(%)	
Barren	52,043,711.23	7	Urban	Residential area	144,843,543	15
Agricultural Land	72,466,519.48	9		Commercial area	26,014,520	3
Forest	331,537,808.2	42		Industrial area	64,436,737	6
Water	30,422,798.51	4		Green area	544,711,620	55
Wet land	11,806,991.09	2		Undesignated area	160,818,635	16
Urban Area	208,390,222.5	27		Total	940,825,055	95
Grass	77,331,523.18	10	Natural environment conservation areas	52,710,694	5	
Total	783,999,574.3	100	Total	993,535,749	100	

TABLE 10. Comparison of urbanization & industrial areas

Urbanization Areas			Industrial Areas		
Zone	Area(m ²)	Ratio(%)	Zone	Area(m ²)	Ratio(%)
Special-Purpose Areas Residential + Commercial + Industrial	235,294,800	24	Industrial Area	64,436,737	7
LCZ Built types (1-10)	263,467,550	34	Built types (10)	70,827,404	9
LULC Urbanization	208,390,223	27	Industrial Area	17,130,141	2

비교를 위한 지역으로는 시가화지역과 공업지역을 선택하였다.

시가화지역 및 공업지역에 대한 각 데이터별 비교 분석 결과는 표 10과 같다. 각 데이터의 용도 및 사용 목적이 다름을 감안하여 수치 비교의 경우 면적 비율을 사용하였다.

먼저 시가화지역의 경우 용도지역 통계 데이터에서는 주거지역, 상업지역, 공업지역 면적을 합산하여 시가화지역 면적을 산출하였다. LCZ 데이터의 경우 구역1-10(빌트 타입)의 면적을 합산하여 시가화 면적을 산출하였으며, LULC 데이터의 경우 시가화/건조지역이 명시되어 있기에, 해당 지역 면적을 사용하였다. 다음으로 공업지역의 경우 용도지역 통계 데이터 및 LULC 데이터에서는 명시된 공업지역 면적을 사용하였고, LCZ 데이터의 경우 구역10을 사용하였다. 분석결과 시가화지역의 경우 LULC 데이터에서 LCZ보다 토지이용 통계에서 다루고 있는 시가화지역의 정보와 더 가깝게 면적을 산출하고 있는 것으로 나타났다. LCZ 데이터의 경우 시가화지역 면적을 다소 과다추정하고 있는 것으로 나타났으며 이는 LCZ 데이터에서 시가화지역에 해당되는 구역을 빌트 타입으로 명명하며, 10개의 구역으로 세분화시켰기 때문인

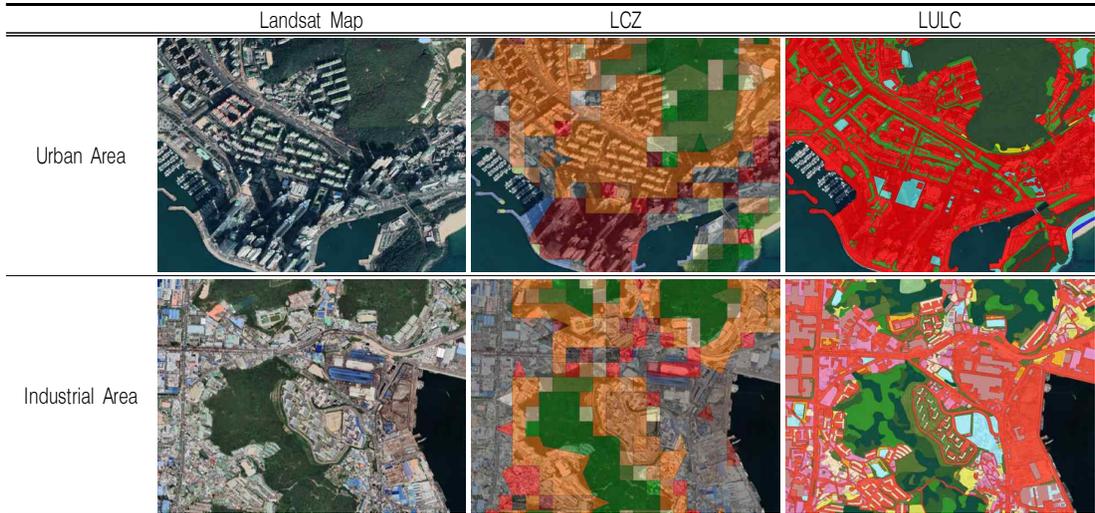
것으로 사료된다. 공업지역의 경우 LCZ 데이터가 LULC 데이터보다 실제 시가화지역의 통계 정보와 더 가깝게 면적을 산출하고 있었다. 공업지역의 경우 LCZ 데이터에서 개별 구역으로 설정되었기 때문에 시가화지역 보다는 현실적으로 면적이 산출되었다고 사료된다. 해당 결과를 통해 LCZ 데이터는 개별 구역으로 설정된 토지이용의 경우 LULC 데이터보다 토지이용 통계에 가깝게 토지이용 면적이 산출되지만 여러 LCZ 구역이 합산되어 토지이용이 산출될 경우 면적이 다소 과다추정 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

[연구가설 2]

연구가설 2의 경우 공관적 일관성에 대한 가설으로 “LCZ 데이터의 해상도는 각 용도지역의 정보를 충분히 담을 수 있을 정도로 높을 것이다”에 대한 내용을 다루고 있다. 분석을 위해 사례도시 내 특정 지역의 위성 지도와 LCZ 및 LULC 데이터를 중첩하였으며, 분석결과는 표 11과 같다.

비교를 위한 샘플 지역은 도시지역과 공업지역을 선정하였다. 도시지역의 경우 해운대 마린시티 신시가지를 선정하였으며 해당 지역의 경

TABLE 11. Comparison of resolution between LCZ and LULC data



우 건물의 높이가 다양하게 분포하고 있으며, 시가화지역과 녹지지역이 적절하게 위치하고 있어 도시지역의 해상도 비교에 적합하다고 판단하여 선정하였다. 공업지역의 경우 사하구에 위치한 공업지역을 선정하였다. 해당 지역의 경우 공업지역과 시가화지역이 서로 섞여 있어 해상도가 높은 데이터일수록 혼합되어 있는 시가화지역과 공업지역을 명확하게 구분할 수 있을 것으로 예상되어 해상도 비교의 용이를 위해 선정하였다. 분석 결과 LULC 데이터의 해상도가 LCZ 데이터의 해상도보다 월등히 높게 나타났다. LCZ의 경우 각 구역이 최소 82m×82m의 그리드로 표현되었지만, LULC 데이터의 경우 위성지도에서 표현된 지형의 형태에 따라 각 구역이 구분되어 있음을 확인하였다. 따라서 중첩 분석 등의 공간분석에 대해서는 LCZ 보다는 LULC 데이터가 더욱 정밀한 분석이 가능할 것으로 보인다.

[연구가설 3]

연구가설 3의 경우 시간적 일관성에 대한 가설으로 “LCZ 데이터는 실제 토지이용에 대한 시간적 변화를 고려하고 있을 것이다” 에 대한 내용을 다루고 있다. 구체적인 시간적 일관성

문제를 다루기 위해서는 LCZ 데이터 제작 후, 1~2년 후 동일 지역에 대해 LCZ 데이터가 다시 제작되어야 한다. 하지만 본 연구에서 사용된 LCZ 데이터의 경우 2022년 1월에 제작되었기 때문에, 정확한 시간적 일관성 분석은 현재로서는 한계가 존재한다. 따라서 문헌분석을 통해 시간적 일관성을 다루었으며, 시간적 일관성에 대한 문헌적 고려를 위해 LCZ 제작 사이트인 WUDPT에서 제공하고 있는 LCZ 생성을 위한 가이드라인(Guidelines for Digitizing Training Areas)을 참고하였다. 가이드라인에서는 그림 2에서와 같이 시간 경과에 따라 변동성이 높은 지역에 대한 훈련을 지양할 것을 권고하고 있었다. 예를 들어 농업지역이나 건설 중인 지역, 해안선 등 시간에 따른 토지이용의 변화가 높을 것으로 예상되는 지역에 대해 LCZ 생성을 위한 훈련을 실시한다면, 시간적 일관성에 대한 오류가 발생할 가능성이 있다. 반면 가이드라인의 권고에 맞게 제작된 LCZ 데이터의 경우 시간적 일관성이 높게 나타날 것으로 사료된다.

[연구가설 4]

연구가설 4의 경우 범주의 불일치에 대한 가설으로 “동일한 영역에 대해 LCZ 데이터와

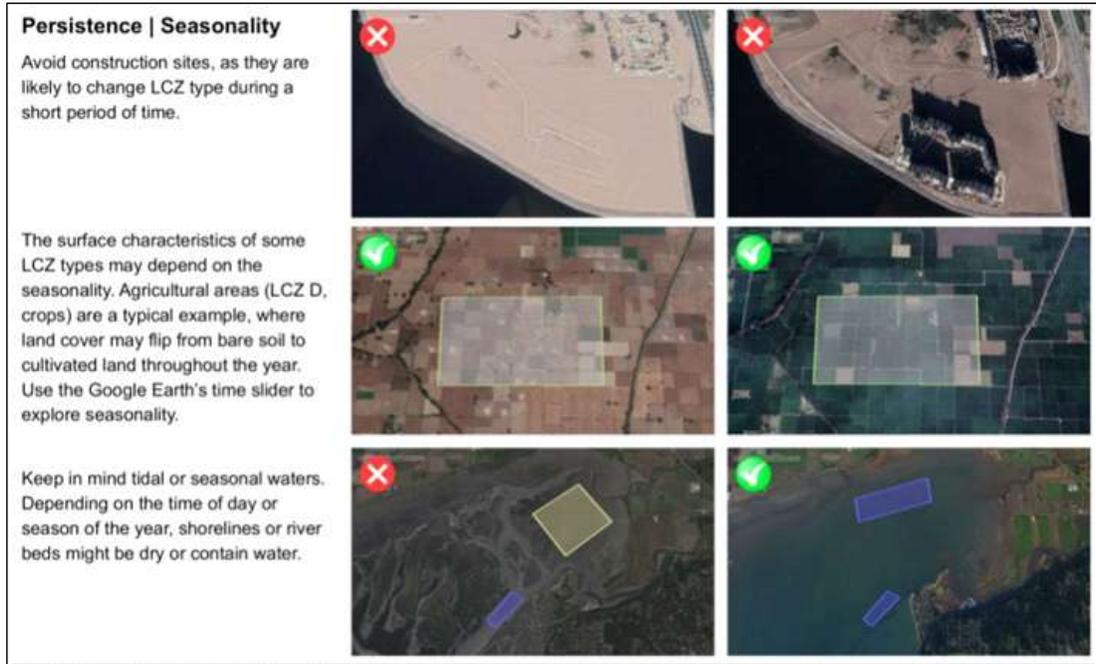


FIGURE 2. Guidelines for digitizing training areas

LULC 데이터의 토지이용 및 피복 유형이 서로 일치할 것이다”에 대한 내용을 다루고 있다. 연구가설 4의 경우 연구가설 2와 유사하게 위성지도와 LCZ 및 LULC 데이터를 중첩하는 방법론을 사용하였지만, 연구가설4의 경우 각 데이터가 나타나고 있는 토지이용 영역에 대한 비교가 실시되어야 했기 때문에 단순 해상도의 비교를 위한 연구가설2의 중첩 분석보다 더욱 지도도를 확대하여 분석을 진행하였다. 비교 분석을 위한 샘플 지역은 주거단지(해운대구 주거단지), 공업단지(사하구 공업단지), 녹지(부산시민공원)를 선정하였다.

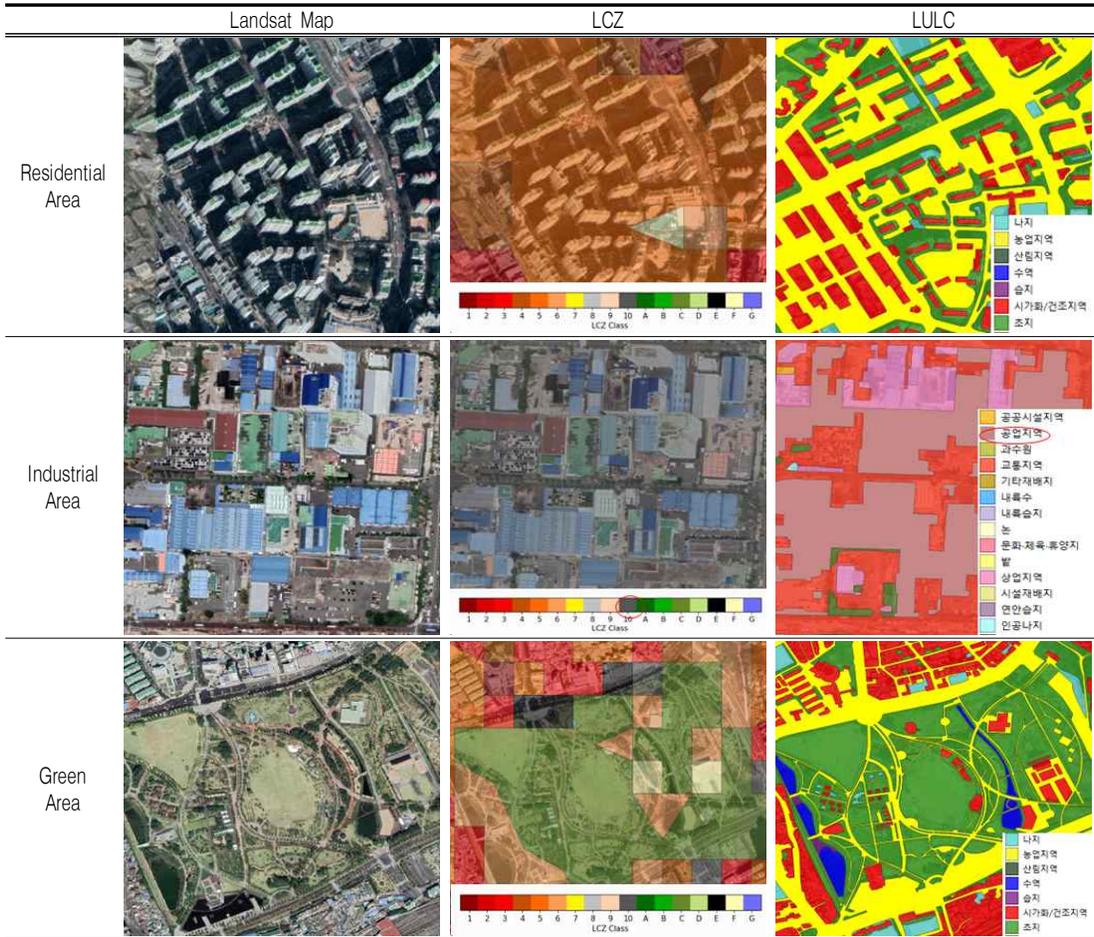
분석 결과는 표 12와 같다. 먼저 주거단지의 경우 LCZ와 LULC 데이터 모두 샘플지역이 주거 관련 구역으로 표현되고 있었다. 특히 LCZ의 경우 건물의 높이 관련 정보까지 일치하는 것으로 나타났다. 해당 주거지역은 해운대구 신시가지로 주로 중간 높이의 아파트 단지가 밀집되어 있는 지역이다. 해당 주거지역에 대해 LCZ는 LCZ 5(Open mid-rise)로 표현되고 있

어 실제 토지이용 정보와 일치하는 영역 표현을 나타내고 있었다. 공업단지 역시 LCZ와 LULC 모두 공업지역 관련 영역으로 표현되고 있었으며 녹지지역 역시 해상도의 차이만 발생할 뿐 LCZ와 LULC 모두 녹지지역 관련 영역으로 표현되고 있었다. 특히 LCZ의 경우 부산 시민공원 지역이 LCZ B(Scattered tree)로 표현되고 있는 것으로 보아 녹지의 밀도 또한 실제 영역과 거의 동일하게 구현되고 있음을 확인하였다.

결론 및 논의

본 연구에서는 LCZ 데이터가 LULC 데이터의 한계를 보완하고 본래의 목적인 도시열섬 분야뿐만 아니라 타 분야에서 적용 및 활용할 수 있는지에 대해 분석하였다. 분석결과 LCZ를 활용한 다양한 연구들에서 LCZ는 기후변화, 방재, 도시계획, 건물에너지, 탄소배출과 관련된 주제로 확대 적용되고 있었다. 이를 통해 이론·문헌적으로 LCZ 데이터가 해당 분야에서

TABLE 12. Comparison of categories by zone between LCZ and LULC data



활용될 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 데이터 활용성 측면에서 LCZ 데이터는 LULC 데이터가 가지고 있던 일관성의 오류를 대부분 포함하고 있었으며 특히 공간적 일관성 측면에서 LULC 데이터에 비해 해상도가 낮음을 확인하였다. 해상도 부분은 오히려 최신 제작된 LULC 데이터가 더 개선된 모습을 나타냈다. 이에 따라 고해상도의 토지피복 및 용도데이터가 사용되어야 하는 분야에서는 LCZ를 적용하기 어려울 것으로 보인다. 하지만 LCZ 데이터의 경우 데이터 활용성 측면에서 몇 가지 가능성을 나타냈다. 먼저 LCZ 데이터는 그림 3과 같이 높이 및 밀도에 따른 토지 피복 간 차이가 명확

하게 나타남에 따라 건물의 높이 및 밀도, 녹지의 밀도 등이 주요하게 영향을 미치는 인자들(예를 들어 에너지, 탄소배출 등)에 대해 LULC 데이터 보다 더욱 세부적인 분석이 가능할 것으로 보인다. 또한 LCZ 데이터가 가지고 있는 구역 분류 형태는 도시계획이론과 연계가 가능할 것으로 보인다. 예를 들어, 트랜섹트 플래닝(transect planning) 이론을 기반으로 LCZ 데이터를 활용하여, 열섬과 같은 특정 도시문제에 대한 해결방안 제시할 수 있다.

트랜섹트 플래닝(transect planning)은 미국 도시계획가인 안드레 듀아니(Andres Duany)의 계획이론으로 ‘도시 스프롤이란 무엇이며, 무엇

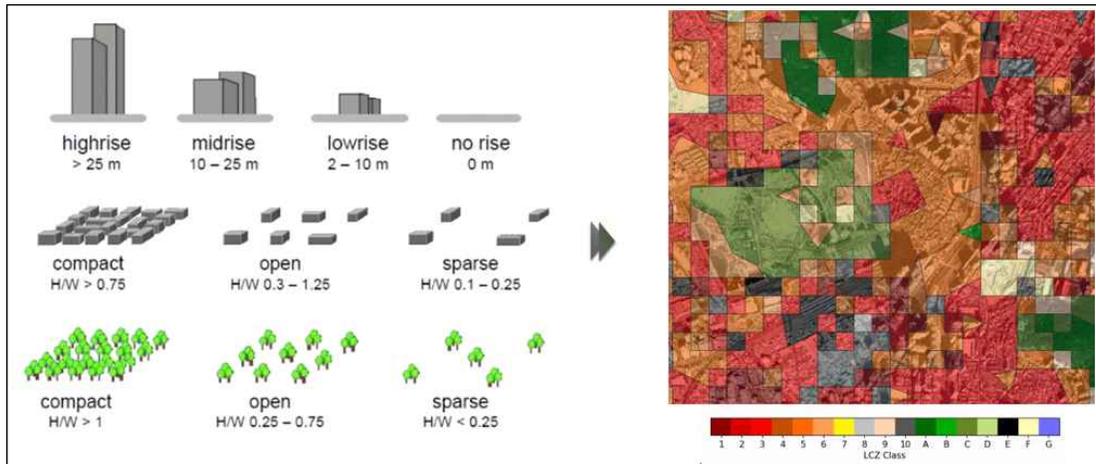


FIGURE 3. Guidelines for digitizing training areas

이 문제인가'에 대한 질문을 용도와 밀도가 아닌 형태(form)를 통해 해결하려는 노력이다(Han, 2007). 트랜젝트 플래닝에서 제시된 비개발지와 개발지 사이의 연속된 환경을 세분화한 색터의 개념은 도심의 밀도를 더욱 높이고, 보존이 필요한 곳은 개발을 더욱 억제하는 성격을 가지고 있다. 그리고 트랜젝트 플래닝에서 제시하고 있는 색터는 특정한 도시 형태를 달성하기 위한 규제 수단으로 작용되는 형태기반코드(form-based codes)로 표현된다. LCZ의 각 구역과 형태기반코드를 연계한다면 토지이용에 기반을 둔 다양한 도시문제 해결책이 제시될 수 있을 것으로 사료된다.

한편 LULC 데이터와 LCZ 데이터를 연계한다면 더욱 정확성이 높고 다차원적인 토지이용 및 피복 분류가 가능하다. LULC의 경우 위성 영상에서 나타나는 가시적인 지표면의 차이를 구분하는 토지피복 정보뿐만 아니라 각 지역별 토지의 특성을 파악할 수 있는 토지이용의 정보를 가진다. 따라서 LULC 데이터는 각 국가 혹은 지역마다 특성화된 토지이용 정보를 구득할 수 있다는 특징을 가진다. 반면 LCZ 데이터의 특징 중 하나는 전 세계 다른 도시 내에 있는 모든 토지를 공통의 구역으로 정의하는 것이다. LCZ의 데이터를 사용하여 분석한다면 각 도시들이 가지고 있는 토지이용의 이질성을 극복하

여 일관적인 분석결과를 획득할 수 있지만, 이 과정에서 각 도시들이 가지고 있는 다양한 인구학적, 문화적, 지리적 특성이 배제될 수 있다는 한계를 가진다. 따라서 LULC와 LCZ 데이터를 연계한다면, 각 데이터들이 가지는 한계를 극복함으로써 더 높은 정확성을 가지는 토지이용 데이터를 구득할 수 있다. 예를 들어, Wicki & Parlow(2017)은 LCZ 체계의 장점을 사용하고 이를 고전적인 LULC 분류에 적용하기 위해 형태학적 매개 변수를 사용하여 원격 감지 기반 LULC 분류와 LCZ 방식을 조합하는 방법을 제시하였다. 연구 결과 LULC 및 LCZ를 조합한 다항목 데이터는 실제 토지이용과의 정합성 측면에서 정확도가 향상되었으며, 역사적 도심 및 이질적인 도시 구조를 구분하였다.

본 연구는 LCZ가 실제로 도시열섬이 아닌 타 연구주제에서 적용 및 활용이 가능한가에 대해 LULC 데이터와의 비교를 통해 미시적 단위의 매핑을 수행했다는 점에서 의의가 있다. 하지만 추후 연구에서 첫째, LCZ 정확도에 따른 데이터 오류의 차이를 매핑하거나 둘째, 건물의 밀도와 높이, 녹지의 밀도 등의 토지 패턴에 영향을 받는 요인들을 매핑하거나 셋째, 전국 단위 LCZ 구축에 따른 통계적 접근을 시도한다면 더욱 완성도 있는 논의가 진행될 수 있을 것이다. **KAGIS**

주

1) 도시 내 물질과 에너지의 흐름

REFERENCES

- Alexander, P.J., Bechtel, B., Chow, W.T., Fealy, R., and Mills, G. 2016. Linking urban climate classification with an urban energy and water budget model: Multi-site and multi-seasonal evaluation. *Urban Climate*. 17:196–215.
- Alexander, P.J., Mills, G., and Fealy, R. 2015. Using LCZ data to run an urban energy balance model. *Urban Climate*. 13:14–37.
- Aslam, A., Rana, I.A., and Bhatti, S.S. 2022. Local climate zones and its potential for building urban resilience: a case study of Lahore, Pakistan. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*. 13(2):248–265.
- Baek, S.H. and E.H. Jung. 2009. A Study on Microclimate Change Via Time Series Analysis of Satellite Images –Centered on Dalseo District, Daegu City–. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 12(2):34–43 (백상훈, 정응호. 2009. 위성영상의 시계열 분석을 통한 미기후변화 분석-대구시 달서구를 대상으로. *한국지리정보학회지*. 12(2):34–43).
- Bansal, P. 2019. Urban Form Classification under Local Climate Zone Framework for Energy Efficient City Development. Master. Thesis, Univ. of Seoul, Seoul, Korea. (Bansal, P. 2019. 에너지 효율적 개발을 위한 LCZ 기반의 도시형태 분류 : 서울시를 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문).
- Bechtel, B. 2011. Multitemporal Landsat data for urban heat island assessment and classification of local climate zones. In 2011 Joint Urban Remote Sensing Event 129–132. IEEE. Germany, Apr. 11–Apr. 13, 2011. pp129–132.
- Bechtel, B., and Daneke, C. 2012 Classification of Local Climate Zones Based on Multiple Earth Observation Data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 5(4):1191–1202.
- Bechtel, B., Foley, M., Mills, G., Ching, J., See, L., Alexander, P., ... and Gál, T.M. 2015. CENSUS of cities: LCZ classification of cities (level 0)-workflow and initial results from various cities. 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment. June. 30. 2015.
- Cao, Q., Luan, Q., Liu, Y., and Wang, R. 2021. The effects of 2D and 3D building morphology on urban environments: A multi-scale analysis in the Beijing metropolitan region. *Building and Environment*. 192: 107635.
- Castilla, G., and Hay, G.J. 2007. Uncertainties in land use data. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11(6):1857–1868.
- Cha, J.G., E.H. Jung, J.W. Ryu and D.W. Kim. 2007. Constructing a Green Network and Wind Corridor to Alleviate the Urban Heat-Island. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 10(1):102–112 (차재규, 정응호, 류지원, 김대욱. 2007. 도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축. *한국지리정보학회지*. 10(1):102–112).
- Chieppa, J., Bush, A., and Mitra, C. 2018. Using “Local Climate Zones” to detect urban

- heat island on two small cities in Alabama. *Earth Interactions*. 22(16):1–22.
- CRED, UNDRR. Human cost of disasters: an overview of the last 20 years 2000–2019, 2020.
- Comber, A.J. 2008. Land Cover or Land Use?. *Journal of Land Use Science*. 3(4):199–201.
- Demuzere, M., Kittner, J., and Bechtel, B. 2021. LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps. *Frontiers in Environmental Science*. 9: 637455.
- Emmanuel, R., and Krüger, E. 2012. Urban heat island and its impact on climate change resilience in a shrinking city: The case of Glasgow, UK. *Building and Environment*. 53:137–149.
- Gamba, P., Lisini, G., Liu, P., Du, P., and Lin, H. 2012. Urban climate zone detection and discrimination using object-based analysis of VHR scenes. *Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil*, May. 7–May. 9, 2012. pp.70–79.
- Grekousis, G., Mountrakis, G., and Kavouras, M. 2015. An overview of 21 global and 43 regional land-cover mapping products. *International Journal of Remote Sensing*. 36(21):5309–5335
- Hammerberg, K., Brousse, O., Martilli, A., and Mahdavi, A. 2018. Implications of employing detailed urban canopy parameters for mesoscale climate modelling: a comparison between WUDAPT and GIS databases over Vienna, Austria. *International Journal of Climatology*. 38(S1):e1241–e1257.
- Han, G.Y. 2007. A study on Andres Duany's Planning Theory. *Seoul Studies*. 8(2):35–50 (한광야. 2007. 안드레 듀아니 계획이론의 특성에 관한 연구. *서울도시연구*. 8(2): 35–50).
- Heidger, L., Leconte, F., Quirino, R., and Petrissans, M. 2021. Environmental Justice in Climate Change Adaptation Context: A Case Study in Atlanta, Georgia, Using Local Climate Zones and Sociodemographic Indicators. In *American Geophysical Union Fall Meeting*. New Orleans, LA, December. 13–December. 17. 2021.
- Hurlimann, A.C., and March, A.P. 2012. The role of spatial planning in adapting to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 3(5):477–488.
- Järvi, L., Havu, M., Ward, H.C., Bellucco, V., McFadden, J.P., Toivonen, T., ... and Grimmond, C.S.B. 2019. Spatial modeling of local-scale biogenic and anthropogenic carbon dioxide emissions in Helsinki. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 124(15):8363–8384.
- Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R., and Petrissans, M. 2015. Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*. 83:39–49.
- Lelovics, E., Unger, J., Gál, T., and Gál, C.V. 2014. Design of an urban monitoring network based on Local Climate Zone mapping and temperature pattern modelling. *Climate research*. 60(1):51–62.
- Liu, L., Lin, Y., Xiao, Y., Xue, P., Shi, L., Chen, X., and Liu, J. 2018. Quantitative effects of urban spatial characteristics on outdoor thermal comfort based on the LCZ scheme. *Building and Environment*. 143:443–460.

- Middel, A., Häb, K., Brazel, A.J., Martin, C.A., and Guhathakurta, S. 2014. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and urban planning*. 122:16–28.
- Mun, H.S., B.G. Song, G.H. Seo, T.H. Kim and G.H. Park. 2020. Analysis of PM2.5 Distribution Contribution using GIS Spatial Interpolation -Focused on Changwon-si Urban Area-. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*. 23(2):1–20 (문한솔, 송봉근, 서경호, 김태형, 박경훈. 2020. GIS 공간내삽법을 활용한 PM2.5 분포 특성 분석 -창원시 도시지역을 대상으로-. *한국지리정보학회지*. 23(2):1–20).
- Müller, D., and Munroe, D.K. 2014. Current and future challenges in land-use science. *Journal of Land Use Science*. 9(2):133–142.
- Patel, P., Karmakar, S., Ghosh, S., and Niyogi, D. 2020. Improved simulation of very heavy rainfall events by incorporating WUDAPT urban land use/land cover in WRF. *Urban Climate*. 32:100616.
- Perera, N.G.R., and Emmanuel, R. 2018. A “Local Climate Zone” based approach to urban planning in Colombo, Sri Lanka. *Urban Climate*. 23:188–203.
- Rannow, S., Loibl, W., Greiving, S., Gruehn, D., and Meyer, B.C. (2010). Potential impacts of climate change in Germany—identifying regional priorities for adaptation activities in spatial planning. *Landscape and urban planning*. 98(3–4):160–171.
- Ren, C., Wang, R., Cai, M., Xu, Y., Zheng, Y., and Ng, E. 2016. The accuracy of LCZ maps generated by the world urban database and access portal tools (WUDAPT) method: A case study of Hong Kong. In 4th Int. Conf. Countermeasure Urban Heat Islands, Singapore. May. 30–June. 1. 2016.
- Sanchez, A., Heijden, J., and Osmond, P. 2018. *The City Politics of an Urban Age : Urban Resilience Conceptualisations and Policies*. Palgrave Communications. 4(25): 1–12.
- Savić, S., Kalfayan, M., and Dolinaj, D. 2020. Precipitation spatial patterns in cities with different urbanisation types: Case study of Novi Sad (Serbia) as a medium-sized city. *Geographica Pannonica*. 24(2):88–99.
- Schewenius M., McPhearson T, and Elmqvist T. 2014. Opportunities for Increasing Resilience and Sustainability of Urban Social-ecological Systems: Insights from the URBES and the Cities and Biodiversity Outlook Projects. *AMBIO*. 43(4):434–444.
- Sharifi, A., and Javadpoor, M. 2020. Spatial Analysis of Building-related Urban CO2 Emissions Based on the Local Climate Zones Classification System. *International Conference on Applied Energy 2020*. Bangkok, Thailand, Nov. 29–Dec. 2. 2020.
- Shi, Y., Ren, C., Lau, K.K.L., and Ng, E. 2019. Investigating the influence of urban land use and landscape pattern on PM2.5 spatial variation using mobile monitoring and WUDAPT. *Landscape and urban planning*. 189:15–26.
- Stewart, I.D. 2011. *Redefining the urban heat island*. Ph.D. Thesis., Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Stewart, I.D., and Oke, T.R. 2012. *Local climate*

- zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 93(12):1879–1900.
- Van Buuren, A., Driessen, P.P., van Rijswijk, M., Rietveld, P., Salet, W., Spit, T., and Teisman, G. 2013. Towards adaptive spatial planning for climate change: Balancing between robustness and flexibility. *Journal for European Environmental & Planning Law*. 10(1):29–53.
- Verburg, P.H. 2006. Simulating feedbacks in land use and land cover change models. *Landscape Ecology*. 21(8):1171–1183.
- Verburg, P.H., Neumann, K., and Nol, L. 2011. Challenges in using land use and land cover data for global change studies. *Global change biology*. 17(2):974–989.
- Wang, G.I. 2008. The role of spatial planning and response strategies in preparation for climate change. KRIHS Policy Brief. 198:1–8 (왕광익. 2008. 기후변화에 대비한 공간계획의 역할과 대응전략. 국토정책 Brief. 198:1–8).
- Wicki, A. and Parlow, E. 2017. Attribution of local climate zones using a multitemporal land use/land cover classification scheme. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(2):026001–026001.
- Wilson, E. 2006. Adapting to climate change at the local level: the spatial planning response. *Local environment*. 11(6):609–625.
- Wilson, E., and Piper, J. 2010. *Spatial planning and climate change*. Routledge. UK.
- Wu, Y., Sharifi, A., Yang, P., Borjigin, H., Murakami, D., and Yamagata, Y. 2018. Mapping building carbon emissions within local climate zones in Shanghai. *Energy Procedia*. 152:815–822.
- Xue, J., You, R., Liu, W., Chen, C., and Lai, D. 2020. Applications of Local Climate Zone Classification Scheme to Improve Urban Sustainability: A Bibliometric Review. *Sustainability*. 12(19):8083.
- Yang, X., Peng, L. L., Jiang, Z., Chen, Y., Yao, L., He, Y., and Xu, T. 2020. Impact of urban heat island on energy demand in buildings: Local climate zones in Nanjing. *Applied Energy*. 260:114279.
- Yang, H., Leng, Q., Xiao, Y., and Chen, W. 2022. Investigating the impact of urban landscape composition and configuration on PM_{2.5} concentration under the LCZ scheme: A case study in Nanchang, China. *Sustainable Cities and Society*. 84:104006.
- Zhang, Y., Zhang, J., Zhang, X., Zhou, D., and Gu, Z. 2020. Analyzing the characteristics of UHI (urban heat island) in summer daytime based on observations on 50 sites in 11 LCZ (local climate zone) types in Xi'an, China. *Sustainability*. 13(1):83. **KAGIS**