

Research Paper

# 시가화지역 공간상 위치분배와 폭염현상과의 관계성: 5개 광역시 사례

강상준

국립강릉원주대학교 도시계획·부동산학과

## Relationship between the Spatial Allocation of Developed Area and the Heat Wave Phenomenon: The Case of Five Metropolitan Cities

Sangjun Kang

Department of Urban Planning · Real Estate, Gangneung-Wonju National University

**요약:** 도시지역 폭염에 대한 보다 나은 이해를 위해서는 토지이용의 총량적 이해와 더불어서 토지이용의 공간적 위치분배와 폭염현상과의 관계성 이해도 필요하다. 본 연구의 목적은 군집개발과 파편화된 개발이 폭염일수와 순위상관관계를 보이고 있는지를 살펴보는 것이다. 주요연구방법으로는 형태학적공간패턴, 공간자기상관성, 스피어만상관성 분석을 이용하였다. 연구대상지는 대구, 광주, 울산, 부산, 대전광역시이며 폭염지표는 30년간 연간폭염일수로 설정하였다. 본 연구는 군집개발 유무보다는 나홀로 개발 등의 파편화개발방식이 폭염에 부정적이라는 점을 보여주고 있으며 이는 곧 개발형태가 폭염과 관계가 있음을 의미한다.

**주요어:** 시가화지역, 위치분배, 폭염, 형태학

**Abstract:** To better understand the heat wave phenomenon in the urban areas, it is desirable to explore the relationship between spatial allocation of land use and the heat wave. The purpose of this paper is to investigate the ranking correlation between heat wave days and developed types, specifically, core and islet developments. The methods employed are morphological spatial pattern, spatial autocorrelation, and spearman ranking correlation analyses by using the 30-year annual heat wave day records for the five metropolitans. This research indicates that a fragmented development pattern including islets has mostly negative effects to the urban heat wave phenomenon. It means there is a relation between development pattern and heat wave.

**Keywords:** Developed Area, Spatial Allocation, Heat Wave, Morphology

## I. 서론

폭염은 매우 심한 더위를 의미하며 폭염이 지속되면 온열질환 발생이나 가축과 어패류의 폐사 또는 야외근로자 사망 등을 초래하는 현상으로 2018년부터 우리나라는 폭염을 재난의 한 유형으로 정의하고 있다. 기상청에서 발표한 한반도 기후변화 전망보고서 2020에 따르면 고탄소 시나리오의 경우 먼 미래의 온난일은 약 4배 증가하는 것으로 전망하고 저탄소 시나리오에서는 온난일이 약 2배 증가할 것으로 전망하고 있다(KMA 2020). Kim & Kang(2018)에 따르면 도시지역은 많은 인구와 재산이 집중된 공간으로 고온화로 인한 열환경 약화는 도시민의 건강에 일차적으로 영향을 미치며 특히 취약계층에는 생명의 위협을 초래할 수도 있다고 강조하고 있다. 이에 유럽을 비롯한 여러 서구국가에서는 폭염으로 인한 고온 문제를 국가적 안보관점으로 접근하고 있다(Lee et al. 2014). 도시의 폭염 등 고온현상은 에너지와 깊은 관계성을 가지고 있는데 도시 내 에너지 사용증가는 도시 열환경에 매우 부정적 영향을 초래한다. Cho et al.(2014)에 따르면 도시 열환경은 도시 공간구조와 관계성을 맺고 있다고 한다. 일반적으로 도시의 공간구조를 결정하는 토지이용이나 지면의 투수정도 그리고 인구와 개발의 규모와 밀집 등이 이에 해당한다. 따라서 도시의 열환경 특히 폭염과 같은 자연재난에 대한 보다 나은 이해를 위해서는 도시 공간구조 또는 토지이용 패턴과 같은 다양한 도시의 물리적 이해가 필요하다고 볼 수 있다.

공간상 위치분배(Spatial allocation)란 토지정보를 담고 있는 기본단위들이 주어진 특정 제약조건들을 만족하면서 특정수요에 대한 만족을 최대화하는 의사결정과정으로 정의할 수 있다(Shirabe 2005). FAO(Food and Agriculture Organization of UN)는 토지이용계획을 토지사용자의 생산성을 높이고 지속가능하며 사회의 요구에 부응하는 선택지를 선정하기 위하여 물리적, 사회적, 경제적 요인을 체계적으로 평가하는 것이라고 정의하고 있다(FAO 1993). 즉 토지이용계획은 토지평가에 기초하고 경제적·사회적 요구를 만족시키는 토지이용 최적화 과정으로 이해되

며 이러한 토지이용 최적화 모델은 일반적으로 토지이용의 공간패턴과 크기 최적화 과정을 포함한다(Chen & Chen 2006). 최근까지 이러한 토지이용 공간패턴분석(Spatial pattern analysis)과 공간모델링은 매우 광범위하게 사용되고 있다(Antrop 2004, 2000; Carsjens GJ & van der Knaap 2002; Chen et al. 200; Yin et al. 2010).

토지이용 공간패턴과 크기로 나타나는 다양한 토지이용개념들이 대기환경과 갖는 관계성은 기존 연구들에서 많이 이루어져 왔다. 특히 국내에서는 Kim & Ahn(2011), Jo(2009), Nam et al.(2008) 등이 압축도시 공간구조나 도시의 교통통행과 대기환경과의 관계성에 대한 연구를 진행하였다. 하지만 도시내 폭염과의 관계성 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 근집개발과 파편화된 개발이 폭염일수와 순위상관관계를 보이고 있는가를 국내 5개 광역시를 사례로 살펴보는 것이다.

압축형 도시는 고밀개발과 중심지의 집중되고 근집된 개발, 토지이용 혼합, 그리고 녹지공간 확보 등의 특징을 가지고 있다. 기존연구에서는 압축형 도시 공간구조는 열환경에 긍정적 영향이 있음을 보여주고 있는데 이는 주로 집중·근집된 개발은 훼손되는 평면 공간절약을 통해 지표면 포장면적이 감소되며 그만큼의 녹지공간이 확보될 수 있으며 더불어 차량통행으로 인한 에너지 소비감소가 도시열섬감소에 긍정적이라는 것이다(Cho et al. 2014; Song & Park 2012). 반면 Newman(2005)은 좁은 지역 내 높은 인구밀도를 지닌 압축도시에는 충분한 녹지공간이 확보되지 못하고 오히려 다양한 교통수단 등의 여건 미흡 그리고 집중되는 에너지 소비가 오히려 도시기온 상승에 부정적이라는 의견을 제시하고 있다.

압축형 도시공간구조와 폭염과의 관계성 연구로 Stone & Rodgers(2001)는 53개 미국 대도시를 대상으로 중심성, 연속성, 밀도 등 혼합적인 토지이용으로 구성된 스프롤 지수를 활용하여 폭염발생 일수와 의 관계를 확인하였으며, 도시의 외연 확산 정도가 높을수록 폭염 발생일 수가 많고 상대적으로 압축화된 도시공간구조의 도시는 폭염발생 일수가 적은 것으로 기술하고 있다. 토지이용패턴은 일반적으로 밀도에

관한 속성정보를 담고 있으며 이러한 밀도는 개발밀도라는 의미로 실질적인 사회경제환경적 변화의 매우 주요한 요인으로 이해되어 왔다. 따라서 토지이용패턴의 이해를 위한 보다 완결성 높은 접근은 입체적 공간과 개발의 시기에 해당하는 시공간을 포함하는 해석이 바람직 할 것이다. Newman(2005)의 연구에서 도시의 밀도 증가가 차량이용을 줄여 교통에너지 소비에 기여하는 반면 밀도 증가가 대기오염 발생원을 집중시켜 대기오염 농도를 오히려 악화시킨다는 결과가 그 예가 될 것이다. 또한 Kim & Kang(2018)은 도시 전 지역의 높은 평균 인구밀도는 인구활동의 증가로 이어져 결과적으로 도시 열환경을 악화시키는 것으로 나타난다는 결과를 제시하였다.

이와 같이 개념적으로 정의될 수 있는 특정개발 형태와 폭염과의 관계성 연구들은 토지이용과 폭염의 관계성 이해에 매우 중요한 기회를 제공한다. 더불어서 본 연구에서 논의하고자 하는 토지이용의 공간적 위치분배와 폭염현상과의 관계성 연구는 직관적으로 관찰할 수 있는 평면적 토지이용이 대기환경에 미치는 영향에 이해를 높여줄 것으로 기대한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구방법 개요

폭염현상이 특정 개발형태와 갖는 관계성을 살펴 보기 위해 본 연구는 다음과 같은 과정으로 진행되었다: (1) 폭염지표 선정, (2) 도시화의 형태학적 특징이 관찰되는 정도로서 도시화과정에서 이루어진 연구대상지 설정, (3) 연구대상지의 선정된 폭염지표 자료 수집, (4) 특정개발형태를 살펴볼 수 있는 연구대상지 토지피복도 자료수집, (5) 형태학적공간패턴분석을 위한 토지피복도 자료가공과 군집·파편화 개발지역(Core-Islet development) 분석, (6) 군집·파편화 개발지역(Core-Islet development)에 대한 공간적 자기상관성 분석, (7) 군집·파편화 개발지역(Core-Islet development) 비율과 폭염지표값과의 Spearman rank correlation 분석, (8) 군집·파편화 개발지역(Core-Islet development)의 Moran's Index와 폭염지표값과의 Spearman rank correlation 분석 과정

으로 진행되었다. 본 연구에서 논의하는 군집개발의 의미는 다소간의 차이가 있다.

군집개발(Cluster development)은 기존의 무분별한 확장형 주거단지개발에 대한 대안적 개발방식으로 제시되었던 개발개념이다(<https://www.planning.org/media/document/9150666>). 미국 펜실베이니아주 체스터카운티는 군집개발을 오픈스페이스 공간을 보존하고 해당지역에서 중요하다고 간주되는 자연·농업자원으로부터의 충분한 공간적 이격을 유지 상태에서의 개발을 가능하게 하는 토지이용 또는 설계개념으로 정의하고 있다([www.chescoplanning.org/MuniCorner/Tools/Cluster.cfm](http://www.chescoplanning.org/MuniCorner/Tools/Cluster.cfm)). 하지만 본 연구에서 논의하는 군집개발이란 미국에서 논의하는 주거지 군집개발의 의미가 아닌 여러 국내 연구에서 의미하는 일반적으로 국내에서 찾아볼 수 있는 기존 시가지지역과 공간적 연결성 또는 체계 없이 이루어진 나홀로 아파트 등의 난개발의 반대개념으로 기존 시가지지역과의 공간적 연계성을 가지고 이루어진 시가지형태로 개념 설정하였다(Kang & Kwon 2019; Kim & Kang 2018).

### 2. 폭염일수와 토지피복도

Bae et al.(2020)에 따르면 기존연구에서의 폭염 위험 관련 지표는 대부분 일 최고 기온이나 33℃ 이상인 날 수 등을 활용하여 판단하고 있으며 이와 관련하여 극한기상지수인 폭염일수와 여름일수는 폭염위험사회를 보여주는 지표로 자주 이용된다고 기술하고 있다. 본 연구에서는 기존연구와 기상청에서 제공하는 일 최고기온 33℃ 이상인 날의 수를 의미하는 폭염일수를 폭염지표로 설정하였다. 해당자료는 월 및 연간자료로 제공되며 기상청 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/climate/heatWave/selectHeatWaveChart.do?pgmNo=106>)을 통해 자료 수집하였다. 연구대상지로는 인천광역시를 제외한 국내 5개 광역시인 대전·대구·울산·대구·부산·광주광역시를 선정하였다. 국내의 경우 광역시는 기초자치단체에 비해 보다 큰 규모로의 도시화 현상을 관찰할 수 있을 것이라는 점을 가정으로 하였다. 인천광역시의 경우 국내 여러 기초 및 광역자치단체와는 다른 수도

Table 1. Heat wave trends for the study areas

Station		Heatwave days		
#	Name	1991-2000	2001-2010	2011-2020
159	Busan Metropolitan	28	26	62
143	Daegu Metropolitan	239	249	321
152	Ulsan Metropolitan	133	147	161
133	Daejeon Metropolitan	134	68	162
156	Gwanju Metropolitan	123	135	210

권 도시화 특성을 담고 있어 연구대상지에서 제외하였다. 서울특별시의 경우 국내 타지역과 비교할 수 없는 예외적 수준으로의 높은 도시화특성을 보이고 있어 본 연구대상지에 포함하지 않았다.

본 연구에서는 2018년 단일연도의 토지피복과 지난 30년간 연구대상지 폭염일수를 상관지어 살펴보았다. 논리적으로 당해연도의 토지피복과 폭염일수를 살펴보는 것이 가장 바람직하나 토지피복도는 일정기간을 두고 제작 배포되므로 그러한 관계성 설정은 불가능한 실정이다. 하지만 지난 2018년도의 토지피복상태는 과거 30년의 시간동안 이루어진 토지이용행위에 따른 현재의 결과 값이며 그 기간 동안 군집개발 또는 파편화개발을 조절하기 위한 별도의 토지이용관리정책이 수립·시행되지 않았다면 2018년도 기준 토지피복상태는 과거 30년 동안의 개발특성 즉, 군집 또는 파편화개발을 유지해 오고 있다고 유추할 수 있을 것이다. 실제 기존 연구에서 미국 주요도시들의 스프롤정도와 폭염과의 관계성 연구에서도 본 연구와 동일한 가정으로 스프롤에 가까운 도시일수록 지난 30년간의 폭염정도가 높았음을 보여주었다. 따라서 본 연구에서는 30년 전부터 2018년에 이르는 동안 해당지역의 토지피복특성이 군집 또는 파편화 개발을 조절하기 위한 별도의 성장관리방안이 적용·시행되지 않았을 것이라는 가정으로 2018년 토지피복도와 30년간 폭염일수와의 관계를 설정하고 분석을 진행하였다.

하지만 비록 가정으로 설정된 상황이지만 실제 5개 광역시의 군집개발지 증가정도와 파편화 개발지 증가정도의 관계성 경향이 높은 정도의 양의 관계( $r^2 = 0.9484$ )를 보인다는 점은 비교대상의 시공간적 상이성은 있으나 시간적·공간적 거리로 인한 토지이용특

성의 차별성은 나타나지 않을 수 있다는 가정의 타당성을 일부 뒷받침하고 있다. 토지피복도는 대분류토지피복도(<https://egis.me.go.kr/intro/land.do>)로 촬영시기는 2018년~2019년, 해상도 30m, 분류는 시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7개 항목으로 구분된다.

### 3. 형태학적 공간패턴분석

형태학적 공간패턴분석(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)은 입력되는 공간·이미지 자료의 픽셀단위분석을 통해 입력공간정보의 형태학적 특성을 해석할 수 있는 연구방법이다(Vogt 2010). MSPA는 집합이론에 기초한 형태학 이미지 프로세스(Morphology image processing)로 이분화된 이미지(Binary image)로 처리된 공간자료를 골격만 남기는 현상(Skeletonization), 삭제·수축(Erosion), 팽창(Dilation)과정의 연속적인 형태학적 연산을 통해 입력 공간자료의 연결성을 해석한다(Soille & Vogt 2009; Vogt et al. 2007). Soille and Vogt(2009)에 따르면 MSPA 분석은 사용자가 정의하는 연결성 법칙(Connectivity rule)과 입력되는 공간자료의 픽셀크기(Pixel Size, P)의 유효경계폭(Effective Edge Width, EE)을 조정할 수 있는 크기변수(Size Parameter, S)에 의해 분석 값이 조정되는데, 본 연구에서는 가장 바람직한 수준으로 제안되는 경계폭 변수값(Edge Width =1), 픽셀 단위값(30meter), 연결법칙(8 Connectivity, Queen)을 설정하였다.


$$EE(MSPA \text{ Effective Edge Width}) = S * \sqrt{2} * P$$

이때 크기변수(Size Parameter, S) 증가는 군집(Core)개발지의 비율을 감소시키고 결과적으로 군

Table 2. Definition of MSPA classes

MSPA class	Definition
Core	Foreground pixels surrounded on all sides by foreground pixels and greater than the specified edge width distance from background
Bridge	Foreground pixels that connect two or more disjunction areas of core
Loop	Foreground pixels that connect an area of core to itself
Branch	Foreground pixels that extend from an area of core, but do not connect to another area of core
Edge	Pixels that form the transition zone between foreground and background
Perforation	Pixels that form the transition zone between foreground and background for interior regions of foreground. Consider a group of group of foreground pixels in the shape of a doughnut. The pixels forming the inner edge would be classified as perforations, whereas those forming the outer edge would be classified as edge
Islet	Foreground pixels that do not contain core. Islet is the only unconnected class. Edges and perforations surround core, and loops, bridges and branches are connected to core.

Source: Wickham et al. 2010

MSPA class example	Morphological segmentation of binary patterns
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <math>X</math> Input binary image</li> <li>■ <math>X_1 = T_{d \geq \delta} [EDT(X)]</math> Core</li> <li>■ <math>X_2 = X \setminus R_X^\delta(X_1)</math> Islet</li> <li>■ <math>Y = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7\}</math> Resulting segmented image</li> </ul>

Where :

$X_i$ : Intermediate steps, Bod characters: Successive processing steps (the name of the final categories are typeset in bold only for core and islet),  $T$ : Threshold operator. EDT: Euclidean distance transform,  $\setminus$ : Set difference,  $R_X^\delta(X_1)$ : Reconstruction by dilation of  $X_1$  using  $X$  as seed.  $X_3 = \text{Loop}$ ,  $X_4 = \text{Bridge}$ ,  $X_5 = \text{Perforation}$ ,  $X_6 = \text{Edge}$ ,  $X_7 = \text{Branch}$ .

Source: Soille & Vogt 2009

Figure 1. MSPA Class example and morphological segmentation of binary patterns.



Figure 2. Images represented as an islet development type from MSPA Class.

Source: <https://map.kakao.com/>

집 외 개발지의 유형을 증가시킬 수도 있는데 Vogt et al.(2007)에 따르면 입력되는 크기 변수(Size Parameter, S)와 픽셀크기(Pixel Size, P) 변화는 MSPA에 의해 도출되는 결과 값의 양적인 변화(Amount)는 분명히 관찰되지만 전체적인 형태학적 모습이나 구성비(Proportion)에 변화를 초래하지는 않는다고 주장하고 있다. 하지만 기존연구에 따르면 고해상도의 공간정보자료와 가능한 최소크기의 MSPA Size Parameter(S)는 보다 세부적인 형태학 특성분석에 효과적임을 보여주고 있다(Ritters et al. 2007; Vogt et al. 2009).

4. Moran's I 분석 및 비모수 스피어만 순위 상관분석

MSPA 분석결과를 이용하여 5개 광역시 각각의 군집 또는 파편화 개발지역에 대하여 Moran's I 분석과 국지적 공간자기상관성 분석(Local Indicator of Spatial Association, LISA)을 실시하였다. 전체지역의 통계 값을 국지적 구성요소로 분해하고 공간자기상관성 분석을 실시하면 공간의 국지적 군집성 평가가 가능하다(Anselin 1995; Kang & Kwon 2017). 5개 광역시 각각에 대하여 픽셀단위로 도출된 군집 및 파편화 개발지역을 GIS 포인트 자료로 변환하여 읍면동별로 개발 유형별 공간분석을 실시하였다. 분

석은 Luc Anselin's GeoDa (<http://geodacenter.github.io/>) 프로그램을 이용하였으며 분석방식은 기존연구를 참조하였다(Anselin 1995; Kang & Kwon 2017; Kim & Kwon 2013). 살펴보고자 하는 자료가 정규성을 만족하지 못하는 경우 고려되는 비모수검정에 해당하는 스피어만 분석은 토지이용이나 도시경관 등의 주제로 개발현상과 지역경제와의 관계성 등의 연구에서 사용되었다(Salvati et al. 2015; Zambon et al. 2017). 따라서 스피어만 분석방법은 Kang(2020) 연구에서 진행된 바와 같이 폭염일수와 시가화지역 특성과의 관계성을 살펴보기 위해 적용하였다.

III. 연구결과

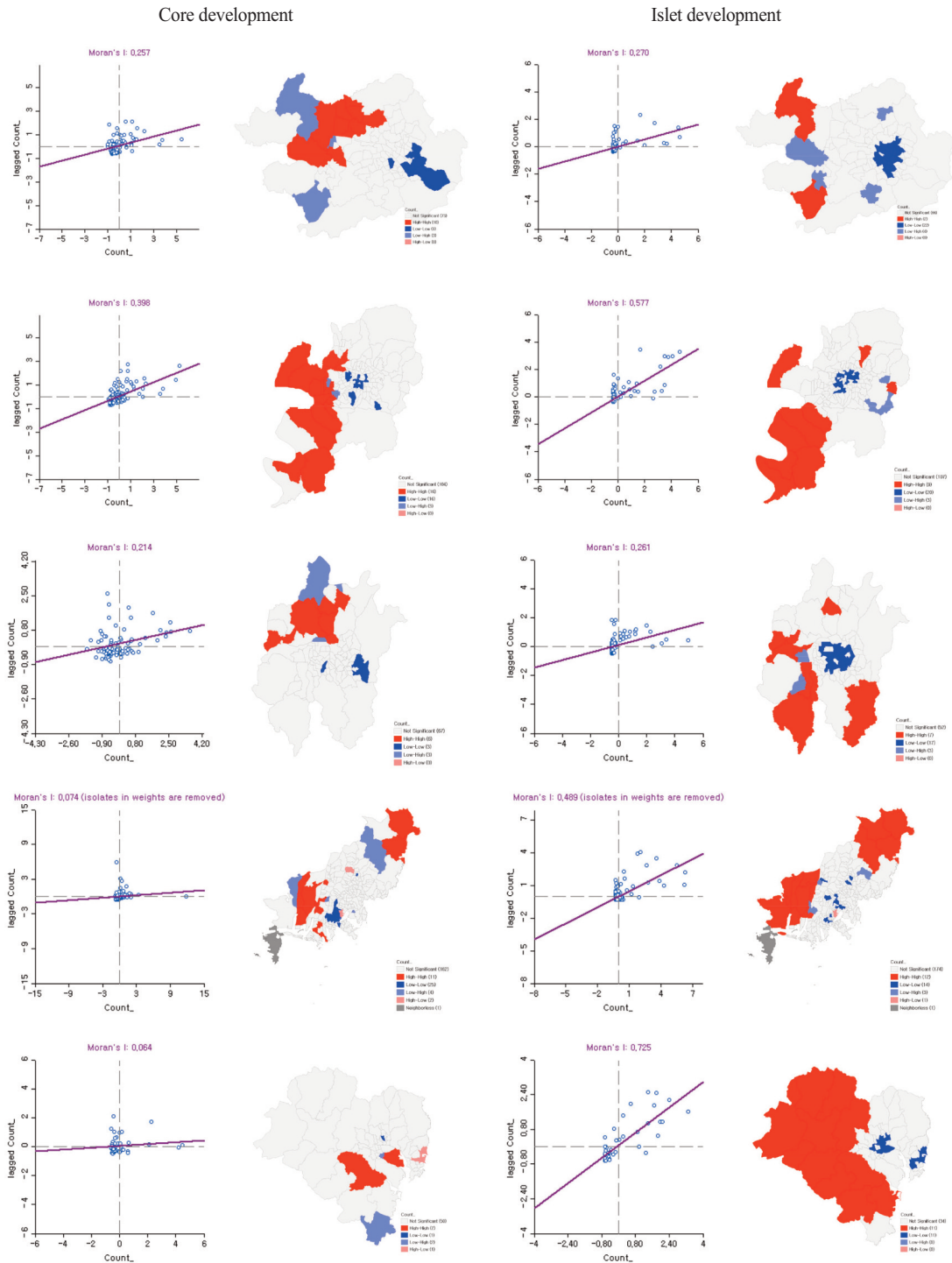
첫째, 5개 광역시의 시가화 비율을 살펴보면 부산은 30%, 대구는 22%, 울산은 15%, 대전은 22%, 광주는 27% 정도로 나타나고 있어 서울시 시가화 면적비율 61.39%(2019년 기준)과 많은 차이를 보이고 있다(<https://data.seoul.go.kr/dataList/569/S/2/dataSetView.do>). 시가화 개발정도는 부산, 광주, 대전, 대구, 울산의 순서를 보이고 있다. 시가화 개발형태 비율을 살펴보면 군집형 개발(Core)이 가장 높게 나타난 곳은 대구 76%, 부산 72%, 광주 71%, 대전

Table 3. Development proportion for the study area

Name	Count (# Rater cell)			Development proportion (%)
	Total	Developed	Non-development	
Busan	856,478	256,632	599,846	29.96
Daegu	973,572	214,114	759,458	21.99
Ulsan	1,173,360	170,068	1,003,292	14.49
Daejeon	599,504	131,950	467,554	22.01
Gwanju	553,747	151,717	402,030	27.40

Table 4. The proportion from the total development area and Moran's I for the core an islet developments

Name	Proportion from the total development area				Moran's I	
	Core	Islet	Others	Total	Core	Islet
Busan	72.3	2.2	25.5	100	0.074	0.489
Daegu	75.8	3.6	20.6	100	0.398	0.577
Ulsan	67.9	5.3	26.8	100	0.064	0.725
Daejeon	69.4	4.8	25.8	100	0.214	0.261
Gwanju	70.6	5.1	24.3	100	0.257	0.270



Note: Red and blue indicate High-High, Low-Low spatial autocorrelation, respectively. Other colors indicate either Low-High or High-Low

Figure 3. Moran's I scatter plots and LISA cluster maps (From top to down: Gwangju, Daegu, Daejeon, Busan, Ulsan)

69%, 울산 68%로 나타나고 있고 비율은 크지 않지만 파편화 개발(Islet)이 가장 높게 나타난 곳은 울산 5.3%, 광주 5.1%, 대전 4.8%, 대구 3.6%, 부산 2.2%로 나타난다. 울산의 경우 상대적으로 높지 않은 개발정도라는 점을 고려할 때 상대적으로 높은 파편화 개발과 낮은 군집개발의 형태를 보이고 있다는 특이점이 관찰된다. 전체적으로는 개발의 정도와 개발형태와는 다소 차이가 나타나고 있다.

둘째, 각 지역별 군집개발에 대한 Moran's I 값은 부산 0.074, 대구 0.398, 울산 0.064, 대전 0.214, 광주 0.257로 대구지역이 가장 높은 정도의 공간상관성을 보이거나 전체적으로 낮은 수준의 공간상관성을 보이고 있다. 파편화개발에 대한 값은 부산 0.489, 대구 0.577, 울산 0.725, 대전 0.261, 광주 0.27로 군집개발보다 상대적으로 높은 정도의 공간상관성을 보이고 있다. 특히 울산의 경우 지역 내 파편화 개발들이 아무런 패턴이 존재하지 않는 것이 아니라 비교적 높은 정적공간상관을 가지고 있는 것으로 나타나고 있다. Moran's I 지수가 연구대상지 전체에 대한 공간상관성 정도를 보여준다면 국지적 공간자기상관성분석(LISA)는 지역 내 어느 지역들에서 공간적 유사성이 나타나는지를 보여주는데 특히 울산 내 많은 지역에서 높은 수준의 파편화개발이 공간적 자기상관성을 보이고 있으며 반면에 군집개발은 일부지역에서만 공간적 자기상관성을 보이고 있다(Figure 3).

셋째, 30년간의 폭염일수와 5개 광역시에서 도출한 군집 또는 파편화개발과의 순위상관성은 다음과 같다: (1) 폭염일수와 Core 비율과는 순위관계성이 없는 것으로 나타난다( $\rho = 0.112, p > 0.05$ ). (2) 폭염일수와 군집개발에 대한 Moran's I와는 정의 순위관계성을 보이고 있다( $\rho = 0.396, p < 0.01$ ). (3) 폭염일수와 파편화개발 비율과는 정의 순위관계성을 보이고 있다( $\rho = 0.211, p < 0.01$ ). (4) 폭염일수와 파편화 개발에 대한 Moran's I와는 정의 순위관계성을 보이고 있다( $\rho = 0.195, p < 0.05$ ). 도시화의 양적증가는 폭염현상에 부정적 영향을 미친다는 점은 기존 여러 연구에서 논의되고 있다(Cho et al 2014; Song and Park 2012; Kim and Kang 2018). 따라서 동일한 수준으로의 총량적 한계상황아래 토지이용

위치분배가 서로 다른 사회·경제·환경적 영향을 초래할 수 있다는 본 연구가설을 고려하여 총량적 관점에서의 각 지역별 시가화지역면적과 폭염일수와의 관계성은 별도로 분석하지 않았다.

## IV. 결론

광의적 관점에서 지속가능한 토지이용을 위한 위치분배 최적화과정은 다양한 사회적·물리적 제약을 만족시킴과 동시에 효율성 관점에서 최대의 수요충족을 목표로 한다(Ligman-Zielinska et al. 2008). 토지이용에 있어 위치와 분포는 전통적인 도시·지역계획의 주요 관심대상이며 특히 많은 경우 토지이용에 있어 총량적 요인이 위치 및 배분요인에 비해 지배적으로 작용하고는 있으나 제한된 양적상황에서의 위치 및 배분요인 최적화는 토지이용의 공간적 최적화라고 의미를 갖는다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 시가화 개발지역의 공간상 위치분배로 표현되는 공간상 양적개념과 형태학적 특성으로 표현되는 공간상 위치·분포개념을 폭염현상과의 관계성을 통해 살펴보고 있다.

30년간의 폭염일수와 광주, 대구, 대전, 부산, 울산광역시에서 도출한 군집 또는 파편화개발과의 순위상관성은 다음과 같이 이해할 수 있다. 첫째 폭염일수와 군집개발 비율과는 순위관계성 없는 것으로 나타난다( $\rho = 0.112$ , 상관관계가 0.05수준에서 유의). 이는 높은 군집개발정도가 많은 폭염일수라는 순위관계에 있어서 통계적 유의성은 없다는 것을 의미한다. 둘째, 폭염일수와 군집개발에 대한 Moran's I와는 정의 순위관계성을 보이고 있다( $\rho = 0.396$ , 상관관계가 0.01수준에서 유의). 즉, 군집개발 자체는 관계성을 보이지 않지만 군집개발들이 많이 모여 있으면 폭염일수가 높다는 의미로 단위 군집개발의 규모와는 관계없지만, 단위 군집개발들이 모인 형태가 증가하면 폭염일수도 증가하는 관계를 보이는 것으로 나타나고 있다. 이때 상관계수는 크지 않지만 유의수준으로 나타나고 있어 이는 곧 개발의 방식, 즉 개발형태가 폭염과 관계가 있음을 의미하고 있으므로 이해할 수 있다. 셋째, 폭염일수와 파편화개발 비율과는

정의 순위관계성을 보이고 있다( $\rho=0.211$ , 상관관계가 0.01수준에서 유의), 즉 파편화 개발이 많아지면 폭염일수가 늘어나는 관계이므로, 나홀로 개발 등의 난개발은 폭염에 부정적이라고 이해할 수 있을 것이다. 순위관계로 살펴볼 때 군집개발 유무보다는 나홀로 개발이 바람직하지 않다는 점이 상대적으로 명확하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 넷째, 폭염일수와 파편화 개발에 대한 Moran's I와는 정의 순위관계성을 보이고 있다( $\rho=0.195$ , 상관관계가 0.05수준에서 유의), 이는 높은 파편화 개발정도가 많은 폭염일수라는 순위관계에 있어서 통계적 유의성이 높다는 것을 의미한다.

토지이용의 공간적 위치분배를 통해 나타는 토지이용의 형태학적 특징은 폭염 뿐 아니라 수문학적 관점에서도 다소간의 차이를 만들어 낸다. 예를 들어보면 Braden(2004)은 benefits transfer methods를 사용하여 홍수량 저감에 효과적인 토지이용기법의 위치분배에 따른 하류지역의 경제적 효과를 살펴보았다. 그의 연구에 따르면 위치분배에 따른 하류지역 주거지역의 시장가치 차이는 홍수피해의 경우 약 0.5%, 그리고 수질개선 관련해서는 최대 15%까지의 시장가치 편차가 나타나는 것으로 기술하고 있다. 기존연구들은 토지이용의 공간상 위치분배는 다양한 형태의 자연·사회적 환경에 영향을 초래할 수 있음을 암시하고 있다. 이러한 인과관계는 작은 공간단위들로 이루어진 하나의 큰 공간은 작은 공간단위 상호간에 일관적이지 않게 나타나는 관계성 또는 단위 소단위들의 누적효과의 결과로 유추할 수 있을 것이다. 이러한 해석은 물리적·생물학적·사회적 등으로 이루어지는 다양한 시스템은 개별 시스템들의 합이 아닌 전체로 이해되어야 한다는 Holism 개념 또는 Capra(1996)가 주장하는 상호연결성의 중요성을 바탕으로 하는 Holistic approach 개념을 고려해 볼 때 유추 가능한 관계로 볼 수 있을 것이다.

도시계획적 관점에서 볼 때 Kim & Kang(2018), Newman(2005)의 연구에서 압축도시 공간구조개념이 초래하는 긍정적 효과와 부작용에 대한 논의에서도 언급되었듯이 군집 또는 파편화 개발이 폭염현상 등 거주환경에 부정적 영향을 주는 현상과의 관계성

에 대한 이해가 필요하다. 본 연구는 과거 30년간의 폭염일수를 폭염현상의 지표로 설정하여 군집 또는 파편화 등의 토지이용형태와의 순위관계를 살펴 본 것으로 토지이용이 입체적 특성을 고려하지 않았다는 점, 그리고 폭염일수 당해연도의 토지이용정보를 해석하지 못했다는 한계를 지닌다.

## 사사

본 논문은 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2020S1A3A2A01095064)

## References

- Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association (LISA). *Geographical Analysis* 27: 93-115.
- Antrop M. 2004. Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67(1-4): 9-26.
- Antrop M. 2000. Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecology* 15: 257-270.
- Bae MK, Kim BE, Lee CY. 2020. Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. *Korea Environmental Policy and Administration* 28(3): 243-280. [Korean Literature]
- Braden JB. 2004. The downstream economic benefits of storm water management. *Journal of Water Resources Planning and Management* 130(6): 498-505.
- Capra F. 1996. The web of life: A new scientific understanding of living systems.
- Carsjens GJ, van der Knaap W. 2002. Strategic

- land-use allocation: dealing with spatial relationships and fragmentation of agriculture. *Landscape and Urban Planning* 58(2-4): 171-179.
- Chen B, Chen G. 2006. Ecological footprint accounting based on energy: a case study of the Chinese society. *Ecological Modeling* 198: 101-114.
- Chen LD, Messing I, Zhang SR, Fu BJ, Ledin S. 2003. Land use evaluation and scenario analysis towards sustainable planning on the Loess plateau in China – case study in a small catchment. *Catena* 54(1-2): 303-316.
- Cho HS, Joung YJ, Choi MJ. 2014. Effects of the urban spatial characteristics on urban heat island. *Korea Environmental Policy and Administration* 22(2): 27-43. [Korean Literature]
- Food and Agricultural Organization (FAO). 1993. Guidelines for land use planning.
- Jo YA. 2009. Empirical study on the relationship between compact city and transportation energy consumption: the case of 7 metropolitan cities. *Korean Society and Public Administration* 19(4): 113-132. [Korean Literature]
- Kang SJ. 2020. Exploratory analysis for the concentration of PM10 air particulates and the morphological pattern of green infrastructure: the case of Gyeonggi-do. *GRI Review* 22(4): 25-40. [Korean Literature]
- Kang SJ, Kwon TJ. 2019. The changing spatial patterns of new urban development areas in Gangneung city in Korea. *Urban Design* 20(2): 65-75. [Korean Literature]
- Kang SJ, Kwon TJ. 2017. Spatial relations of the urban expansion intensity and flooded buildings. *37(4): 759-764*. [Korean Literature]
- Kang SJ, Kim Jo. 2015. Morphological analysis of green infrastructure in Seoul metropolitan area, Korea. *Journal of Landscape and Ecological Engineering* 11(2): 259-268.
- Kim HC, Ahn KY. 2011. The effects of compact city planning strategies on commuting distance of different income levels: focused on Seoul, Korea. *Urban Design* 12(1): 55-70. [Korean Literature]
- Kim JI, Kwon JH. 2013. The spatial changes of commuting pattern and its effect on job-housing mismatch: The case of Seoul metropolitan region. *Korea Transport* 20(4): 79-90. [Korean Literature]
- Kim JS, Kang JE. 2018. Effects of compact spatial characteristics on the urban thermal environment. *Urban Design* 19(1): 21-36. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA). 2020. Korean climate change assessment report. [Korean Literature]
- Lee NY, Cho YS, Lim JY. 2014. Effect of climate change on mortality rate analysis of vulnerable populations. *Health and Social Welfare Review* 34(1): 456-484.
- Ligmann-Zielinska A, Church RL, Jankowski P. 2008. Spatial optimization as a generative technique for sustainable multiobjective land-use allocation. *International Journal of Geographical Information Science* 22: 601-622.
- Nam KC, Kim HS, Son MS. 2008. A study on the correlation between compact of population and transport energy: An application of compact Index. *Journal of Korea Planning Association* 43(2): 155-168. [Korean Literature]
- Neuman M. 2005. The compact city fallacy. *Journal of Planning Education and Research* 25(1): 11-26.
- Riitters KH, Vogt P, Soille P, Kozak J, Estreguil

- C. 2007. Neutral model analysis of landscape patterns from mathematical morphology. *Landscape Ecology* 22: 1033-1043.
- Salvati L, Moretti V, Sabbi A, Ippolito A, Ferrara A. 2015. A multivariate assessment of fringe landscape dynamics in Rome, Italy, and implications for peri-urban forest conservation. *Rendiconti Lincei*. 26: 587-596.
- Shirabe T. 2005. Classification of spatial properties for spatial allocation modeling. *Geoinformatica* 9: 269-287.
- Soille P, Vogt P. 2009. Morphological segmentation of binary patterns. *Pattern Recognition Letters* 30: 456-459.
- Song BK, Park KH. 2012. Analysis of heat island characteristics considering urban space at nighttime. *Journal of Geographic Information Studies* 15(1): 133-143. [Korean Literature]
- Stone B, Rodgers MO. 2001. Urban form and thermal efficiency: how the design of cities influences the urban heat island effect. *Journal of the American Planning Association* 67(2): 186-198.
- Vogt P. 2010. User guide of GUIDOS.
- Vogt P, Joseph J Ferrari, Todd L, Robert G, Kurt R, Katarzyna O. 2009. Mapping functional connectivity, *Ecological Indicators* 9(1): 64-71.
- Vogt P, Riitters K, Iwanowski M, Estreguil C, Kozak J, Soille P. 2007. Mapping landscape corridors. *Ecological Indicators* 7(2): 481-488.
- Wickham J, Riitters K, Wade T, Vogt P. 2010. A national assessment of GI and change for the conterminous United States using morphological image processing. *Landscape and Urban Planning* 94: 186-195.
- Yin RS, Xiang Q, Xu JT, Deng XZ. 2010. Modeling the driving forces of the land use and land cover changes along the upper Yangtze river of China. *Environmental Management* 45: 454-465.
- Zambon I, Serra P, Grigoriadis E, Carlucci M, Salvati L. 2017. Emerging urban centrality: An entropy-based indicator of polycentric development and economic growth. *Land Use Policy* 68: 365-371.