



## 개발제한구역 해제에 따른 도시열섬의 형성 가능성 연구: 부산광역시를 대상으로

### Possibility of Urban Heat Island Formation by Lifting Green Belts: Focusing on the Cases of Busan Metropolitan City, Korea

박지용\* · 강승원\*\* · 전선민\*\*\* · 정주철\*\*\*\*

Park, Jiyong\*, Kang, Seungwon\*\*, Jun, Sunmin\*\*\*, and Jung, Juchul\*\*\*\*

#### Abstract

We analyzed the temperature changes in cities and regions due to the lifting of the green belt in Busan Metropolitan City. The difference between the average temperature change in the summer surface due to the lifting of the green belt was analyzed in Local Spatial Autocorrelation Analysis (LISA) for the two points in 2000, when the green belt was fully preserved, and in 2018, when the recent record heatwave was recorded. Consequently, approximately 28.14% of the areas where the green belt was lifted from the cluster map became a hotspot. In Busan Metropolitan City, the changes in the soil quality, resulting from the development of new towns, creation of industrial complexes, reduction of green areas, and an increase in impervious areas due to largescale housing development projects following the lifting of the green belt, lead to the temperature rise in the city, thereby causing urban heat island phenomenon. This study contributes to the field by revealing that the urban heat island phenomenon can be affected in the long term depending on the urban development project involved in the lifting of the green belt. In addition to its original function of preserving the environment and preventing urban sprawl, the green belt can be a major urban planning tool for mitigating the rising urban heat island phenomenon caused by climate change, which demonstrates its policy implications.

**Key words** : Green Belt, Urban Heat Island, Urban Expansion, LISA

#### 요 지

도시열섬은 폭염을 유발해 사망위험을 높이고 열사병 등 온열질환을 야기하는 등 문제를 낳고 있다. 본 연구는 부산광역시를 대상으로 개발제한구역 해제에 따른 온도 변화를 분석하였다. 개발제한구역이 온전히 보전된 상태인 2000년과 최근 기록적인 폭염을 기록한 2018년의 두 개 시점에 대해 개발제한구역 해제에 따른 여름 지표면 평균기온 변화의 차이를 LISA 분석하였다. 그 결과 클러스터 맵에서 개발제한구역이 해제된 곳 중 핫스팟으로 변한 지역이 전체의 약 28.14%에 달했다. 부산광역시에서는 개발제한구역 해제 후 진행되는 신도시개발, 산업단지 조성, 대규모 택지개발사업 등으로 인한 녹지 감소 및 불투수 면적 증가 등의 토질 변화가 도시의 기온 상승에 영향을 미치고 그 결과 도시열섬 형성의 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 본 연구는 개발제한구역 해제가 잠재적으로 개발을 야기하는 정책수단이라는 차원에서 장기적으로 해당 지역의 도시열섬 형성의 가능성을 높일 수 있음을 밝히는데 의의가 있다. 이는 또한 개발제한구역이 본래의 기능 외, 방계계획 차원으로 도시열섬현상을 완화하는데 있어 주요한 도시계획 수단이 될 수 있다는 정책적 함의를 보여준다.

**핵심용어** : 개발제한구역, 도시열섬, 도시확산, LISA

\*정회원, 부산대학교 도시공학과 박사과정(E-mail: jyxnq@daum.net)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning & Engineering, Pusan National University

\*\*정회원, 부산대학교 도시공학과 박사과정(E-mail: allan92@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning & Engineering, Pusan National University

\*\*\*정회원, 부산대학교 도시공학과 박사수료(E-mail: sunminjun@pusan.ac.kr)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning & Engineering, Pusan National University

\*\*\*\*교신저자, 정회원, 부산대학교 도시공학과 교수(Tel: +82-51-510-3521, Fax: +82-51-513-9108, E-mail: jcjung@pusan.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Urban Planning & Engineering, Pusan National University

## 1. 서론

최근 기후변화에 따라 폭염의 빈도 및 강도가 증가하는 추세이며, 그로 인한 피해 또한 커지고 있다. 이에 대응하기 위한 노력의 일환으로 우리나라 정부는 2018년 폭염을 자연재난으로 지정하였다. 특히 2018년 여름에는, 우리나라에 기록적인 폭염이 발생하였다. 폭염 일수는 1973년 이래 가장 많은 31.5일, 최고기온은 서울 39.6 °C로 기상관측이 시작된 1907년 이후 최고 온도를 기록하였다(Hwang et al., 2019).

도시에서의 폭염 피해는 기후변화의 영향을 받아 도심열섬현상과 상호작용하여 증가해 왔다(Lemonsu et al., 2015). 대부분의 폭염 피해는 주로 사회경제적 수준이 낮은 사람들이 많이 거주하는 도시에 도심열섬현상으로 발생하고 있다(Rudolph et al., 2018). 나무가 적고 녹지면적이 부족하며 빌딩이 많아 에너지 소비가 과다하게 이루어지고, 아스팔트와 콘크리트 등 불투수면적이 많은 도심지역은 주변 지역에 비해 높은 온도를 나타내는 도심열섬현상에 쉽게 노출되며 일반적으로 폭염 피해에 더욱 취약해지기 쉽다. 또한 도심열섬현상은 생물의 다양성 저하, 자원 고갈 등 생태계에도 악영향을 미치고 있다(Li and Norford, 2016).

도심열섬현상을 가중시키는 요인과 이를 완화하는 방법에 관한 연구는 그간 많이 이루어져 왔다. 불투수 면적의 비율, 도로의 폭 및 교통시설 확충, 건축 용적률, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 녹지와 거리 등 다양한 도시계획 요소가 도심열섬현상에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다(Song, 2002; Kim and An, 2017). 우리나라 지자체들은 도심열섬현상과 폭염 피해를 완화하기 위해 그늘막 및 쿨링포그(cooling fog) 설치, 녹지 및 오픈스페이스 확보 등의 노력을 하고 있다. 도심열섬현상을 완화하기 위해 도심 내에서 여러 대응책이 마련되고 있으며 실행에 옮겨지고 있다.

그런데 도심지역 안이 아닌 바깥의 녹지 및 오픈스페이스 감소는 해당 도심지역의 열섬현상과 무관할까? 나무가 부족해지고 녹지면적이 감소하여 도심열섬현상이 가중된다면, 대부분이 녹지 등 오픈 스페이스로 이루어진 도심 외곽의 개발제한구역 해제와 그에 따른 도시개발은 도심열섬현상에 어떠한 영향을 미칠까? 도심열섬현상이 도심지역과 주변 지역의 온도차로 인해 발생하는 것이라면, 도시의 확산으로 온도차가 낮아질 경우 도심열섬현상은 완화된다고 볼 수 있을 것이다. 혹은 도시외곽의 개발에 따라 발생하는 기존 도심지역과 주변지역의 온도차가 낮아지더라도, 개발 이전에 비해 평균온도는 높아져 실질적으로 도심열섬현상에 따른 피해는 더욱 커질 수도 있다.

본 연구의 목적은 첫째, 개발제한구역의 해제가 그것이 감싸고 있는 인근 도심의 평균 지표면 온도에 미쳐서 도심열섬현상을 일으키고 가중시키는지 분석하는 것이다. 둘째, 부산광역시를 대상으로 대도시의 외곽을 둘러싸고 있는 개발제한구역의 해제가 해당 지역의 온도를 상승시키는지

밝히는 것이다. 이에 따라 본 연구는 탐색적 연구로써, 최종적으로 개발제한구역의 해제에 따른 도시열섬 형성의 가능성과 그 관계를 이해하고자 한다.

## 2. 개발제한구역 해제와 도시열섬 현상

도시열섬 현상은 일반적으로 도시지역의 온도가 주변보다 높은 현상으로 정의된다(Goward, 1981; Oke, 1982; Park, 2001; Priyadarsini, 2009; Kim and Choi, 2012; Kim and An, 2017). 본 연구는 첫째, 개발제한구역 해제에 따른 토지이용 변화로 인해 해당 해제지역에 새로운 도시열섬이 형성될 가능성을 분석한다. 둘째, 이러한 도심열섬현상이 해당 도심지역이 아닌 외부의 개발제한구역 해제라는 토지이용 변화로 인해 심화되는지 분석한다.

도시열섬은 측정되는 방법에 따라 도시 대기열섬과 도시 지표열섬으로 나뉘는데, 본 연구는 지표온도를 활용함에 따라 도시 지표열섬에 관한 연구라 볼 수 있다. 연구목적에 따라 아래와 같이 개발제한구역의 해제에 따른 토지이용의 변화와 도시열섬 형성의 가능성에 관한 문헌을 검토하였으나, 특정 지역의 토지이용 변화가 다른 지역의 도시열섬에 미치는 영향을 분석한 문헌은 아직까지 매우 부족하다. 또한, 개발제한구역의 해제와 같이 도시확산 또는 도시스프롤(Urban Sprawl)을 야기할 수 있는 도시계획 및 정책이 해당지역과 주변지역의 온도 변화에 미치는 영향을 분석한 연구 또한 매우 부족하다. 이로 인해 개발제한구역 해제가 도시열섬의 형성 간의 인과관계를 명확히 밝히기에는 이론적 차원에서 많은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 그 가능성을 경험적으로 추론하기 위한 연구 질문과 함께 분석을 진행하였다.

### 2.1 개발제한구역 해제에 따른 토지이용의 변화

개발제한구역의 해제로 인해 도시열섬이 형성될 수 있다면, 개발제한구역 해제가 어떠한 토지이용 변화를 야기하는지 살펴볼 필요가 있다. 개발제한구역 해제에 의한 토지이용의 변화는 해제 후 진행되는 개발사업을 통해 살펴볼 수 있을 것이다. 우리나라 개발제한구역의 해제 및 조정 정책은 조정가능지역, 집단취락, 국책사업, 지역현안사업의 4가지 카테고리로 나누어 각 방향에 맞게 집행된다(Land and Housing Institute, 2011). 이 중 국책사업과 지역현안사업은 여러 도시개발사업을 야기함으로써 해당지역 토지이용의 큰 변화를 가져온다.

국민임대주택사업 등 국가적 차원에서 필요한 개발사업이 포함된 국책사업과 도시발전을 위해 불가피한 시·군의 지역현안사업은 단순히 묶여있는 개발제한을 푸는 것이 아니라 해당지역의 토지이용 및 공간구조를 급격하게 변화시키는 도시개발사업을 수반한다. 본 연구에서는 위와 같은 개발사업의 목적을 가진 개발제한구역 해제 건에 집중하고자 한다.

분당신도시와 판교신도시를 중심으로 신도시 개발이 도시열섬현상에 미치는 영향을 분석한 연구결과, 주거지, 상업지, 교통시설이 지역의 전체 지표면 평균 온도의 주요상승요인인 것으로 나타났다(Song, 2002). 또한 인구밀도, 주거지역 비율, 버스정류장 밀도와 같은 요소도 도시열섬현상에 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났다(Ko and Park, 2019). 도시열섬현상에 따른 피해와 관련 있는 열쾌적성에 관한 국내연구에서 불투수면적률, 용적률, 녹지와의 거리 등은 생리적 등가 온도(Physiologically Equivalent Temperature, 이하 PET)를 상승시키고 하천면적률, 식생활력도(Normalized Difference Vegetation Index, 이하 NDVI) 등은 PET를 저감시키는 것으로 나타났다(Oh et al., 2013). 이에 따르면 녹지면적률의 감소 외에 녹지와의 거리 또한 도시지역의 온도 상승에 따른 피해에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다. 이처럼 토지이용과 관련한 여러 다양한 요소들은 도시열섬현상에 직·간접적인 영향을 끼치며 이는 다시 열쾌적성을 변화시키는 등 폭염 피해를 가중시킬 수 있다.

## 2.2 개발제한구역 해제에 따른 도시개발사업과 도시열섬 형성의 가능성

국책사업, 지역현안사업을 포함하는 개발제한구역의 해제는 토지이용의 급격한 변화를 가져오며, 이는 새로운 도시열섬을 형성할 수 있는 가능성을 지닌다. 예를 들어 국책사업으로써 국민임대단지나 보금자리주택단지를 개발할 경우, 해당 지역의 녹지 및 임목지의 나무가 제거되고 척박한 황무지로 바뀌는 등 사업 초기부터 지표면 온도를 상승시키는 활동이 일어날 수 있다. 이후 건물이 들어서고 사람이 모여 살게 되면 인간 정주에 따른 여러 활동으로 에너지 소모가 발생하고 이는 곧 해당 지역의 평균온도를 상승시키는 결과를 가져오게 된다. 즉, 개발제한구역이 해제될 경우 대개 국가 차원에서 도시화를 야기하는 개발사업이 이루어지고, 이를 통해 새로운 도시열섬이 형성될 가능성이 나타날 수 있는 것이다.

개발제한구역 해제에 따른 도시개발사업은 크게 국책사업과 지역현안사업으로 구분할 수 있으나, 토지이용 측면에서는 산업단지 조성, 유통단지 조성, 임대주택단지 조성, 신도시 개발 등 사업의 성격 측면에서 분류할 수 있다. 산업단지 조성은 공장 및 산업 관련시설과 시설의 종사자 및 이용자를 위한 주거·문화·의료·복지시설 등을 집단적으로 설치하기 위해 포괄적 계획에 따라 지정·개발되는 등 산업단지의 역할과 범위가 확대됨에 따라 대규모 사업이 추진되는 경우가 많다(Park and Choi, 2011). 유통단지 조성은 물류시설과 상류시설로 이루어진 유통시설과 이를 지원하기 위해 설치되는 지원시설을 집단적으로 설치한 단지를 의미하며(Kim and Oh, 2003), 산업단지 개발과 마찬가지로 대규모 사업이 추진되는 경우가 대다수다. 따라서 산업단지 및 유통단지 조성과 같은 개발사업은 대규모의 토지피복의 전환으

로 해당 지역의 지표온도를 상승시킬 가능성이 높다.

임대주택단지의 경우 개발제한구역 해제예정지역에서의 개발이 지속적으로 추진되어 왔다. 2002년 8·15 대통령 경축사를 계기로 당초 임대주택 계획물량이 20만호에서 100만호로 대폭 확대됨에 따라 부족 택지 중 일부를 개발제한구역 해제 예정지에서 확보한 사례로 예를 들 수 있다(Yoo, 2006).

본 연구는 부산광역시를 분석대상지로 선정하였는데, 부산광역시에는 당초 부산권(부산시, 양산시, 김해시 일부, 울산시 일부)을 권역으로 하여 597,090천 m<sup>2</sup>의 개발제한구역이 지정되었는데, 2002년 86,285천 m<sup>2</sup> 해제를 시작으로 2018년 12월까지 총 183,757천 m<sup>2</sup>가 해제되었다. 부산광역시에서는 신도시 개발사업의 경우도 개발제한구역 해제예정지역에서 개발이 추진되어 왔다. 에코델타시티, 명지신도시, 미음신도시 등이 개발제한구역 해제를 통해 사업이 진행되었다. 임대주택단지 조성 사업은 주거지의 집약적인 조성을 위한 개발을 추진하고, 신도시개발 사업은 대규모 주택단지 뿐만 아니라 여러 도시인프라가 동시에 투입되기 때문에 산업단지 및 유통단지와 마찬가지로 대규모의 토지피복 전환, 인간 정주 활동으로 인한 지표온도 상승이 이루어질 가능성이 높다.

또한 모든 도시개발 유형은 지표면 상승에 영향을 미칠 가능성이 높으나, 각 도시개발 사업 유형별로 지니는 토지이용적 특징은 상이하게 나타날 것으로 예상된다. 다시 말해 개발제한구역 해제에 따른 도시개발사업은 사업 특성에 따라 도시열섬현상 또한 다른 방식으로 나타날 것으로 보인다.

선행연구 결과 본 연구는 다음과 같은 연구질문을 설정하였다.

Research Question (RQ) 1: 개발제한구역 해제는 해당 개발제한구역 해제지역의 인근 도시의 열섬현상을 가중시킬 가능성이 있는가?

Research Question (RQ) 2: 개발제한구역 해제로 인해 해당 해제지역에 새로운 도시열섬이 형성될 가능성이 있는가?

## 3. 분석방법 및 자료

본 연구에서는 개발제한구역의 해제에 따라 도시열섬이 형성될 수 있는 가능성을 분석하기 위해 2000년 8월 21일 자료와 2018년 7월 14일 자료 두 시점에 대한 부산광역시 개발제한구역 지도를 지표온도와 함께 교차비교하였다. 이때 분석을 위한 지도자료는 500 m \* 500 m 격자로 구축하였으며, 지표면 온도는 Landsat7과 Landsat8으로부터 추출한 지표온도자료(Land Surface Temperature, LST)를 사용하였다. Landsat 위성자료는 품질이 좋고, 자료 획득이 용이하여 도시기후 및 도시열섬 분석에 적합하다. Landsat7은 2003년 6월, Landsat8은 2013년 2월 NASA와 USGS에 의해 발사된 위성이다. 705 km 상공에서 동서로 183 km, 남북으로 170 km

관측한다. 전 지구영역을 관측하는데 약 15일이 소요되며, 같은 지역을 다시 관측하는데 걸리는 재방문시간은 16일이다. Landsat8은 Operational Land Imager (OLI) 센서의 9개 Band와 Thermal Infrared Sensor (TIRS)의 2개 Band (10&11)를 포함한 11개 Band를 갖고 있다(USGS, 2019b). Landsat7과 Landsat8 모두 미국지질조사국(USGS)에서 무료로 제공하고 있다. 위성 영상자료는 촬영주기가 정해져 있어 자료 선별 시 구름의 양이 30% 이하이며, 7-8월경인 것을 우선적으로 고려하여 구축하였다. 2000년 자료는 Landsat7에 의해 8월 21일 1시 50분경 촬영되었고 2018년 자료는 Landsat8에 의해 7월 14일 1시 58분경 촬영되었다.

2018년 지표온도(LST)는 Landsat8 위성자료로부터 채널별 관측된 에너지량 Digit Number (DN)와 복사전달방정식 및 식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 등을 이용하여 직접 산출하였으며, 이는 다음 Eq. (1)을 통해 산출가능하다. Band에 대한 계수값 정보 등은 Landsat8 위성자료로부터 얻을 수 있다.

$$L_{\lambda} = ML + Qcal + AL \quad (1)$$

$L_{\lambda}$ : 센서에 도달하는 스펙트럼 복사량( $W/m^2sr\mu m$ )

ML: 해당 Band에 대한 배수 환산계수

Qcal: 해당 화소의 DN값

AL: 해당 Band에 대한 가산 환산계수

지표온도를 구하기 위해 밝기온도를 다음 Eq. (2)를 통해 계산하였다. 이 때 Band의 보정상수는 Table 1과 같다.

$$T = K2/\ln (K1/L_{\lambda}+1) \quad (2)$$

T: 밝기온도(K)

K1, K2: Landsat 센서의 적외선 밴드계수

밝기온도를 기반으로 지표면 온도 산출을 위해 방출률( $\epsilon$ )을 계산하였다. 방출률은 시간에 따라 조금씩 또는 급격하게 변화하기 때문에 실시간 위성 관측 자료를 바탕으로 NDVI를 통해 직접 계산된 방출률을 사용하여 지표면 온도를 산출한다(Kim et al., 2018). NDVI는 해당 화소의 식생 비율을 바탕으로 경험적으로 방출률을 계산한다. NDVI는 -1에서 +1의 범위를 갖는데, +1에 가까울수록 식생의 분포량과 활동성이 높다는 것을 의미한다(Kim, 2008). 방출률은

**Table 1.** Band-Specific Thermal Conversion Constant of Landsat8 Sensor

Category	K1	K2
Band 10	774.89	1,321.08
Band 11	480.89	1,201.14

NDVI값을 바탕으로 분류된 지표 피복에 따라 다음 Eqs. (3), (4)와 같이 계산할 수 있다. 참고로 2000년의 경우 Landsat7, 2018년의 경우 Landsat8의 위성자료를 필요로 했기에 각기 다른 밴드값을 통해 NDVI를 계산하였다.

$$NDVI \text{ in Landsat8} = \frac{(Band5 - Band4)}{(Band5 + Band4)} \quad (3)$$

$$NDVI \text{ in Landsat7} = \frac{(Band4 - Band3)}{(Band4 + Band3)} \quad (4)$$

2018년 지표온도는 Landsat8 위성에서 제공하는 DN을 바탕으로 계산된 적외채널의 밝기온도값과 Table 2의 NDVI별 지표면 방출률을 이용하여 다음 Eq. (5)와 같은 방법으로 계산할 수 있다.

$$Ts = \epsilon^{1/4} T \quad (5)$$

Ts: 지표면온도(K)

$\epsilon$ : 지표면 방출률

T: 밝기온도(K)

2000년 지표온도는 Landsat7 위성에서 제공하는 DN을 방사휘도로, 방사휘도를 절대온도로, 절대온도를 섭씨온도로 변환하는 과정을 거쳐 계산한다.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \cdot (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (6)$$

$LMIN_{\lambda}$  (최소방사휘도):  $QCAL = 0$ 일 때 분광복사에너지 Watts/( $m^2 \times sr \times \mu m$ )

$LMAX_{\lambda}$  (최대방사휘도):  $QCAL = QCALMAX$ 일 때 분광복사에너지 Watts/( $m^2 \times sr \times \mu m$ )

QCALMIN: DN단위로 정량화된 최소복사에너지(DN = 1: LPGS products 또는 '04.4.4. 이후 NLAPS products, DN = 0: '04.4.4. 이전 NLAPS products)

QCALMAX: DN단위로 정량화된 최대복사에너지(DN = 255)

QCAL: Digital Number, DN

본 연구에서 구축한 모든 위성영상자료는 2000년 7월 1일 이후이므로 Grescale인( $LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}$ ) / ( $QCALMAX$

**Table 2.** NDVI Ranges and Land Surface Emissivity

NDVI ranges	Emissivity ( $\epsilon$ )
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI < 0.157	0.970
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.0094 + 0.047ln (NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

- QCALMIN) 값은 Band6을 기준으로  $(17.04 - 0) / (255 - 1) = 0.0671$ 을 사용한다(USGS, 2019a).

Landsat7과 Landsat8으로부터 추출한 지표온도 데이터를 ArcGIS 상에서 구축하였다. 2018년 개발제한구역 지도자료는 국토교통부 국가공간정보포털에서 2018년을 기준으로 테이블정의서가 작성되어 있는 개발제한구역 Shp파일을 구해 표시하였다. 2000년 개발제한구역 지도자료는 개방된 자료로 구할 수가 없었다. 따라서 그간 해제된 지역의 지도자료를 따로 구한 다음 기 구축된 2018년 Shp파일과 육안으로 비교해가며, ArcMap10.3.1에 있는 Editor의 Construction Tools를 활용해 수작업으로 2000년 개발제한구역 지도자료와 개발제한구역 해제지도를 구축하였다. 위 과정에 덧붙여 개발제한구역 해제와 관련한 지도자료의 속성값은 개발제한구역 사업별 해제현황자료를 토대로 비교해가며 구축하였다. 본 연구는 데이터 구축 작업 후 LISA 분석과 ArcGIS 지도의 중첩분석을 통해 개발제한구역의 해제에 따른 도시 열섬 형성의 가능성을 분석하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1 지표온도의 자기상관성 분석 및 시각화

본 연구에서는 개발제한구역 해제가 해당지역의 열섬현상에 영향을 미치는지 분석하기 위해 공간단위들이 가지는 고유한 지리적 특성을 공간통계학적으로 추정할 수 있는 공간자기상관을 이용하였다. 공간자기상관은 인문사회 혹은 자연적 현상들이 지리적 공간에서 갖는 상호의존성 및 상호작용을 의미하며, 공간에 분포하고 있는 객체들의 위치 유사성 및 차이성을 나타낸다(Jung and Son, 2009). 본 연구는 개발제한구역의 해제로 인해 해당 지역의 지표온도 변화가 공간적으로 인접공간에 영향을 미쳐 열섬현상을 발생시킬

수 있다는 가능성을 밝히고자 하기에, 공간적 자기상관성을 이용한 가설검정이 필요하다.

본 연구에서는 공간적 자기상관성을 탐색하기 위해 Moran's I 통계량 검정으로 지표면 온도의 공간자기상관을 파악하고 국지공간자기상관지표(local Indicators of spatial association, LISA)를 통해 공간자기상관을 시각화하였다. Moran's I 통계량 검정과 LISA분석은 Geoda 프로그램을 사용하였다. Moran's I 통계량 검정 결과는 Fig. 1과 같다. 산출되는 Moran's I 계수는 -1인 부적 공간자기상관에서 +1인 정적 공간자기상관까지의 값을 가지는데, 0에 가까울수록 약한 공간적 자기 상관을 가지고 있다고 볼 수 있다(Kim, 2003). 본 연구에서 사용된 2000년, 2018년 지표면온도의 검정결과 Moran's I 지수가 각각 0.565, 0.549로 나타나 강한 공간적 자기상관을 가지고 있는 것으로 나타났다.

지표면온도의 공간자기상관 시각화를 위한 LISA군집도는 Fig 2와 같다. LISA지수는 연구 대상지 내의 특정 지역들이 전체의 공간적 자기상관성에 얼마나 영향을 미치고 있는지에 대한 시각적 지표이며, LISA를 통해 변수의 공간자기상관이 특정 지역에서 높게 나타나는 핫스팟(hot spot)을 찾을 수 있다(Kim, 2003). 공간적 연관성이 존재하는 경우 지수 값이 높은 지역주변에 높은값이 인접하는 HH유형(High-High), 지수 값이 낮은 지역주변에 낮은 값이 인접하는 LL유형(Low-Low), 지수 값이 높은 지역 주변에 낮은 값이 인접하는 HL유형(High-Low), 마지막으로 지수 값이 낮은 지역 주변에 높은 값이 인접하는 LH유형(Low-high)으로 구분되어 나타난다.

부산광역시는 2000년의 경우 개발제한구역이 설정되어 있는 도시 외곽에 LL유형이, 도심에 HH유형이 많이 분포하고 있으며, 이는 확연하게 구분되어 나타났다. 하지만 2018년의 경우 개발제한구역이 해제된 지역을 중심으로 HH유형이 산발적으로 분포하고 있으며, 기존에 분포하고 있던 LL유형

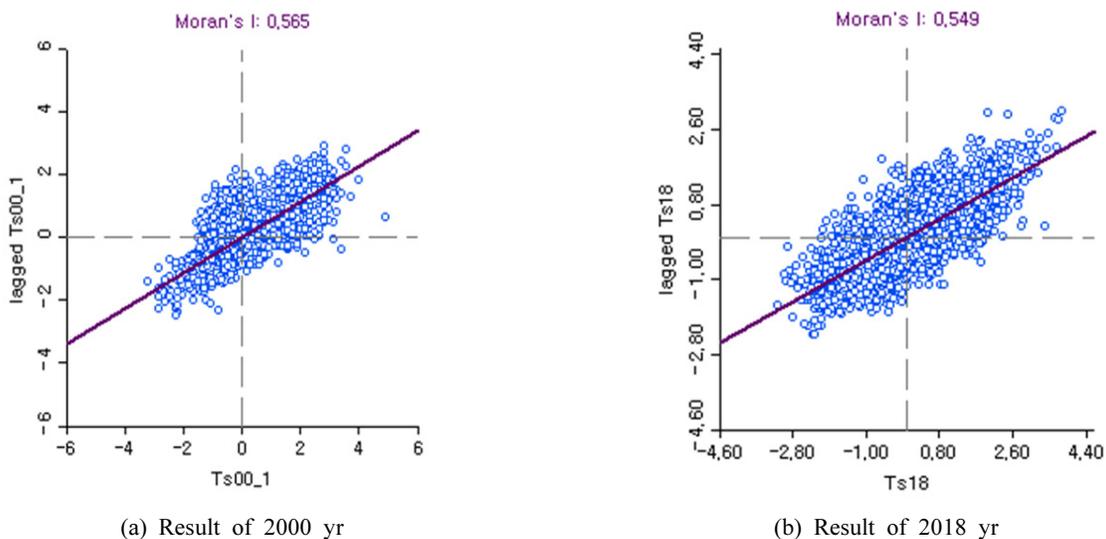
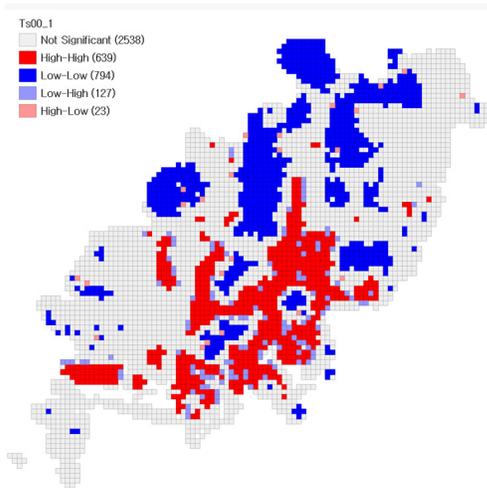
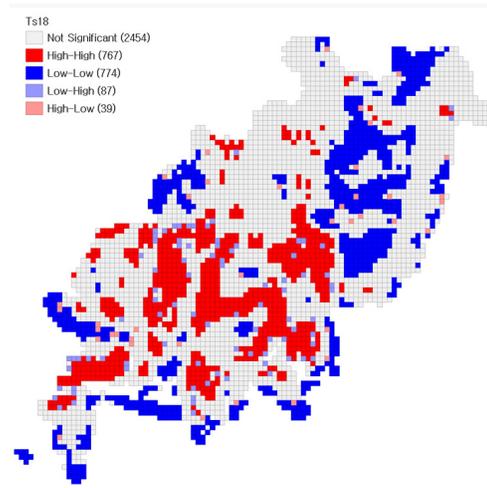


Fig. 1. Result of Local Moran's I



(a) Result of 2000 yr



(b) Result of 2018 yr

Fig. 2. Result of LISA Analysis

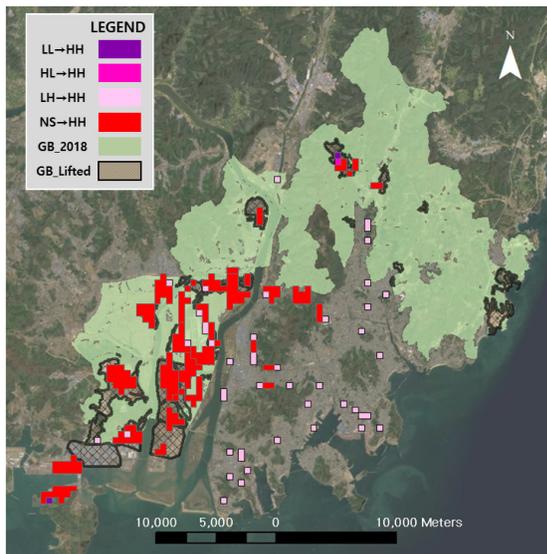


Fig. 3. Result of GIS Overlay Analysis about RQ1

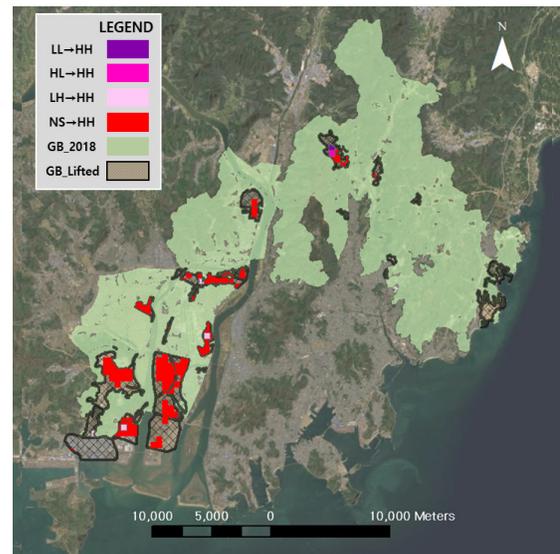


Fig. 4. Result of GIS Overlay Analysis about RQ2

이 사라졌음을 확인할 수 있다. 위와 같은 공간자기상관 변화를 통해 부산광역시는 지난 20년 동안 지속적인 도시확산으로 인해 개발제한구역이 지정되어 있는 도시외곽에서 대규모 개발이 이루어져왔고, 이는 지표온도 변화에 상당한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4.2 GIS 중첩분석

핫스팟은 HH유형, 콜드스팟은 LL유형으로 나타난다. HH유형을 띠는 지역은 높은 온도값을 지니면서 주변에도 높은 값을, LH유형을 띠는 지역은 낮은값 주변에 높은 값을 가지고 있다고 볼 수 있다. 이를 통해 주변지역과의 연관성 속에 두 시점 간 온도 차이가 어떻게 변화하였는지 파악할

수 있다. 첫째로 도심열섬현상이 가중되거나 확산되는 것은 2000년의 LL/HL/LH유형에서 2018년의 HH유형으로 변화하는 지역을 파악함으로써, 둘째로 새로운 도시열섬이 형성되는 것은 유의하지 않은 지역(Not significant, NS)이 HH유형인 지역으로 바뀌는 지역을 파악함으로써 분석할 수 있다. 참고로 Figs. 3, 4의 범례(legend)에서 GB는 개발제한구역(Green Belt)를 뜻한다. ‘GB\_2018’은 2018년의 개발제한구역역을 나타내며 ‘GB\_Lifted’는 2018년을 기준으로 해제된 개발제한구역역을 가리킨다.

Table 3, Fig. 4를 통해 알 수 있듯이 부산광역시는 도시열섬현상이 가중되거나 확산되는 것보다 새로운 도시열섬이 형성되는 지역이 훨씬 많은 것을 알 수 있다.

우선 연구질문1에 대한 분석 결과, 개발제한구역 해제로 인해 개발제한구역이 감싸고 있는 부산광역시의 기존 도심 지역에서 핫스팟으로 나타난 지역은 도시열섬이 새로 형성될 수 있는 가능성을 지닌 곳(NS→HH)이 5.75 km<sup>2</sup>, 인접지역으로 인해 해당지역의 온도가 상승한 곳(LH→HH)이 11.5 km<sup>2</sup>로 나타났다. 중첩분석 결과만 놓고 보았을 때, 핫스팟으로

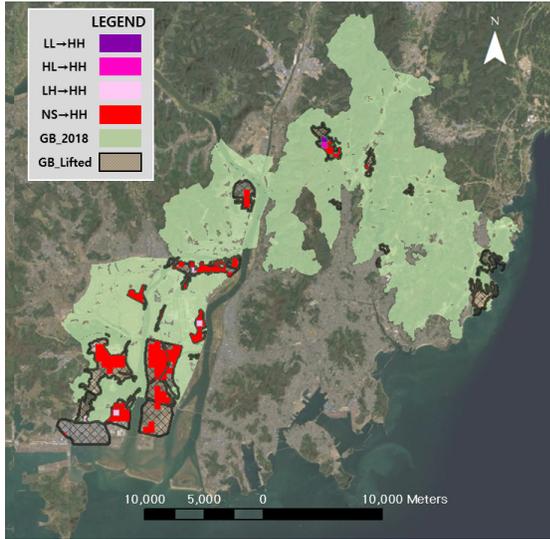


Fig. 4. Result of GIS Overlay Analysis about RQ2

변화된 지역이 대부분 LH유형이었다는 점이 부각되고 있다. 그러나 연구질문1에 대한 답변으로써 기존 도시의 열섬현상이 심화되었다고 하기에는 11.5 km<sup>2</sup>에 해당하는 지역들이 파편화된 정도가 크다고 볼 수 있다. 따라서 연구질문1을 연구가설로 발전시켜 나가는 추론의 근거로 활용하기에도 한계점이 많은 분석결과라 할 수 있다.

Table 4, Fig. 4는 연구질문2에 대한 GIS 중첩분석 결과를 보여주고 있다. 개발제한구역 해제로 인해 새로운 도시열섬이 형성될 가능성을 가진 지역(NS→HH)은 총 18.157 km<sup>2</sup>이며, 개발제한구역 내 도시열섬현상이 심화된 지역은 1.237 km<sup>2</sup> (LL→HH: 0.216 km<sup>2</sup>, LH→HH: 0.780 km<sup>2</sup>, HL→HH: 0.241 km<sup>2</sup>)로 나타났다. 2018년까지 부산광역시에서 개발제한구역이 해제된 총 면적은 71.176 km<sup>2</sup>인데, LISA분석에서 클러스터를 형성하기에 유의하지 않았던 지역(NS)이 HH유형의 지역으로 바뀐 곳이 전체 해제된 지역에서 25.51%를 차지했다. 또한 해당지역의 2000년과 2018년 평균 지표온도차는 5.46 °C로 나타났다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 개발제한구역이 해제된 지역에 새로운 도시열섬이 형성될 가능성이 핫스팟으로써 나타났다. 즉 연구질문2에 대한 GIS 중첩분석 결과, 개발제한구역 해제는 해당지역에 새로운 도시열섬을 형성할 가능성을 지닌다고 할 수 있다. 비록 두 시점 간 비교이긴 하나 단순히 두 시점 간 온도차를 분석한 것이 아니라 해당지역과 인접지

Table 3. Result of GIS Overlay Analysis about RQ1

A region changed to HH	Area (km <sup>2</sup> )	Temperature Rise Value between 2000 and 2018 (°C)			
		Mean	SD	Min	Max
LL → HH	0.5	8.03	0.53	7.50	8.56
LH → HH	11.5	5.94	1.77	3.38	11.4
HL → HH	0.25	6.22	-	6.22	6.22
NS → HH	52.5	5.22	1.51	2.66	9.58
Total	54.75	-			

\*Low-Low (LL), Low-High (LH), High-Low (HL), Not Significant (NS), High-High (HH)

Table 4. Result of GIS Overlay Analysis about RQ2

A region changed to HH	Area (km <sup>2</sup> )	Temperature Rise Value between 2000 and 2018 (°C)			
		Mean	SD	Min	Max
LL → HH	0.22	7.50	-	7.50	7.50
LH → HH	0.78	7.27	2.74	3.70	10.89
HL → HH	0.24	6.22	-	6.22	6.22
NS → HH	18.16	5.46	1.45	3.28	9.58
Total	19.39	-			

\*Low-Low (LL), Low-High (LH), High-Low (HL), Not Significant (NS), High-High (HH)

역 간의 온도변화를 간접적으로 분석할 수 있는 LISA 분석을 활용한 결과로 나타난 것이기에, 그 가능성이 더욱 높다고 볼 수 있다. 개발제한구역 해제지역에서 실시되고 있는 도시개발사업 지역의 위성사진을 보면 개발제한구역 해제로 인한 도시열섬 형성의 가능성을 더욱 명확하게 확인할 수 있다. Figs. 5, 6은 부산시에서 개발제한구역 해제를 통해 실시된 대규모 개발사업의 예시다.

부산 에코델타시티 조성사업의 경우 부산 강서구 강동동, 명지동, 대저2동 일원에서 약 11.770 km<sup>2</sup>의 규모로 진행되고 있는 신도시 개발사업이며, 2012년 사업지역의 개발제한구역이 해제되었다. 서부산유통단지 조성사업의 경우 부산 강서구 대저2동 일원에서 약 0.82 km<sup>2</sup>의 규모로 진행되었던 유통단지 개발사업이며, 2005년에 사업지역의 개발제한구역이 해제되었다.

부산 에코델타시티 조성사업과 서부산 유통단지 조성사업 모두 개발을 위해 대규모의 토지피복 전환이 진행되었으며, 앞서 제시된 분석결과를 보았을 때 실제 해당 지역의 지표온도가 상당부분 상승하였음을 확인할 수 있다. 주목할 만한 점은 에코델타시티 개발사업의 경우 녹지 및 농경지가 대부분 연약지반 개량공사 등으로 황무지로 변화하였는데, 이러한 변화가 실제 개발이 완료되고 사람이 들어서기 직전 입에도 온도차에 따른 핫스팟 형성을 야기한다는 것이다.



(a) Before Lifting the Green Belt (2003.02.)

(a) After Lifting the Green Belt (2018.08.)

**Fig. 5.** Satellite Photograph of Distribution Complex Construction Project in Busan



(a) Before Lifting the Green Belt (2003.02.)

(a) After Lifting the Green Belt (2018.08.)

**Fig. 6.** Satellite Photograph of Eco-Delta City Construction Project in Busan

## 5. 요약 및 결론

본 연구는 개발제한구역 해제가 해제 지역이 아닌 기존 도심 지역의 열섬현상을 증대시키는지, 새로운 도시열섬의 형성 가능성을 지니는지 분석하였다. 그 결과, 개발제한구역 해제는 인근 기존 도심지역의 열섬현상을 가중시킬 수 있는 가능성을 지니다고 하기에는 한계가 많았다. 그러나, 해제지역 내 개발로 인해 새로운 도시열섬을 형성할 가능성은 지니는 것으로 나타났다. 특정 지역의 도시열섬현상이 도시열섬현상을 가중시키기에는 개발제한구역의 해제 면적이 부족한 것인지, 충분히 거리가 있는 외곽의 그린벨트 해제가 기존 도심지역의 열섬현상 변화에는 무관한 것인지에 대해서는 후속연구가 필요하다.

개발제한구역 해제는 그 목적에 따라 토지이용의 급격한 변화를 가져올 수 있다. 집단취락 및 단절토지 등 개발제한구역의 조정이 필요한 지역은 해제 이후에도 토지이용의 변화가 크지 않을 수 있다. 그러나 대규모 택지개발, 국민임대주택 건설, 신도시 개발, 산업단지 및 유통단지 조성 등 국가 혹은 지방자치단체가 계획을 주도하는 사업을 진행하기 위한 사전단계로써 진행되는 개발제한구역 해제는 해당 지역 토지이용의 급격한 변화를 가져온다. 그리고 이는 도시확산과 함께 도시열섬의 형성 가능성을 지닌다.

개발제한구역의 지정은 도시의 무질서한 확산 방지, 도시 주변의 자연환경 보전을 통한 도시민의 건전한 생활환경 보호를 목적으로 한다. 그러나 이 외, 분석결과에 따라 개발제한구역은 개발을 제한함으로써 얻게 되는 재산관리 상의 편익도 고려할 필요가 있다. 개발제한구역을 해제하고 대규모 토지이용변화를 야기하는 도시개발사업을 진행하게 될 경우 또 다른 도시열섬을 형성할 가능성이 높다. 이는 성장관리 차원에서 자연환경을 훼손하더라도 도시민의 건전한 생활환경을 저해하지 않는 지속가능한 개발과는 거리가 멀다고 할 수 있다.

모든 도시 내 개발은 토지이용의 변화를 일으켜 지표면 온도를 상승시킬 수 있다. 그러나 본 연구는 도시개발 그 자체로 인한 해당지역의 단순 온도변화를 분석하고자 한 것이 아니다. 개발제한구역이 해제될 경우 도시확산 또는 스프롤(Sprawl)을 일으킬 수 있다는 점에서, 개발제한구역에 대해 도시계획·정책수단의 새로운 역할을 제시할 수 있다는데 본 연구의 의의가 있다. 앞으로는 개발제한구역 해제와 도시열섬현상 간의 인과관계를 파헤치는 연구가 필요하며, 이에 따라 개발제한구역 해제가 도시열섬의 형성에 미치는 영향에 대한 충분한 숙고를 거친 후 개발제한구역을 해제할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

## References

- Goward, S.N. (1981). Thermal behavior of urban landscapes and the urban island. *Physical Geography*, Vol. 2, No. 1, pp. 19-33.
- Hwang, S.S., Song, K.J., Hong, K.J., You, M.S., Park, J.O., Choi, B.K., et al. (2019). *Health Effects of the 2018 Heat Waves in South Korea*. Korea Disease Control and Prevention Agency.
- Jung, D.Y., and Son, Y.G. (2009). A analysis on the spatial features of the neighborhood trade area using positive spatial autocorrelation method. *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 17, No. 1, pp. 141-147.
- Kim, G.H., Lee, Y.G., Kim, J.H., Choi, H.W., and Kim, B.J. (2018). Analysis of the effects in urban green areas using the landsat 8 satellite data. *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 34, No. 2-1, pp. 167-178.
- Kim, K.J., and An, Y.S. (2017). An empirical study on the Definition and Classification Methodology of Urban Heat Island Areas. *Journal of the Korean Regional Science Association*, Vol. 33, No. 2, pp. 47-59.
- Kim, K.K. (2003). Exploring spatial autocorrelation and utilizing spatial regression. *Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation*, Vol. 13, No. 1, pp. 273-294.
- Kim, Y.J., and Choi, Y.E. (2012). A Study on the intensity of urban heat islands in the Seoul metropolitan area by weather conditions. *The Geographical Journal of Korea*, Vol. 46, No. 1, pp. 1-9.
- Kim, Y.P. (2008). A study on distribution characteristic of NDVI according to the topographic position. *Journal of the Korean Institute of Forest Recreation*, Vol. 12, No. 4, pp. 48-54.
- Kim, Y.S., and Oh, D.S. (2003). The study on the development features of distribution complex - Focused on germany, Japan and Korea -. *Journal of the architectural institute of korea planning & design*, Vol. 38, No. 5, pp. 33-46.
- Ko, D.W., and Park, S.H. (2019). How the neighborhood environment characteristics affect the urban heat island effect in Seoul, Korea. *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, Vol. No. 3, 20, pp. 55-67.
- Land and Housing Institute. (2011). *Development Restriction Area 1971-2011*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- Lemonsu, A., Viguie, V., Daniel, M., and Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, Vol. 14, pp. 586-605.
- Li, X.X., and Norford, L.K. (2016). Evaluation of cool roof and vegetations in mitigating urban heat island in a tropical city, Singapore. *Urban Climate*, Vol. 16, pp. 59-74.
- Oh, K.S., Lee, M.B., and Lee, D.W. (2013). An evaluation of thermal comfort of new towns in Seoul metropolitan area. *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 21, No. 2, pp. 55-71.
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 108, No. 455, pp. 1-24.
- Park, M.H. (2001). A study on the urban heat island phenomenon using LANDSAT TM thermal infrared data -In the case of Seoul-. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 21, No. 6D, pp. 861-874.
- Park, T.W., and Choi, J.H. (2011). A study on the time series classification and characteristics of industrial complex development in Korea. *The Korea Spatial Planning Review*, Vol. 68, pp. 99-119.
- Priyadarsini, R. (2009). Urban heat island and its impact on building energy consumption. *Advances in building energy research*, Vol. 3, No. 1, pp. 261-270.
- Rudolph, L., Harrison, C., Buckley, L., and North, S. (2018). *Climate change, health, and equity: A guide for local health departments*. Oakland, CA and Washington D.C.: Public Health Institute and American Public Health Association.
- Song, Y.B. (2002). Influence of new town development on the urban heat islands - In the case of Pan - Gyo Area and Bun - Dang New Town -. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol. 30, No. 4, pp. 37-46.
- USGS. (2019a). *Landsat7 Data Users Handbook*. USGS.
- USGS. (2019b). *Landsat8 Data Users Handbook*. USGS.
- Yoo, S.Y. (2006). A study on the better development plan of housing estates for national rental housing in development restricted zone. *Journal of the Korean housing association*, Vol. 17, No. 1, pp. 77-84.

---

Received	September 9, 2021
Revised	September 9, 2021
Accepted	September 23, 2021