

2018년 여름 도시와 비도시지역의 상세 폭염취약성 공간관계 분석

권혁기* · 이채연**†

*한국외국어대학교 대기환경연구센터 선임연구원, **한국외국어대학교 대기환경연구센터 책임연구원

Spatial relationship of heat wave damage between urban and rural areas in summer 2018

Kwon, Hyuk-Gi* and Yi, Chaeyon**†

*Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUFs, Yongin-si, Korea

**Principle Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUFs, Yongin-si, Korea

ABSTRACT

In this study, the characteristics of heat wave damage in urban and rural areas in 2018 were analyzed and a heat wave risk map was prepared through spatial analysis. The study areas were Gurye-gun and Sunchang-gun in rural areas, and Dobong-gu and Seodawmun-gu in Seoul urban areas. Heat wave vulnerability factors were constructed at the census output area level. Shadow pattern, sky view factor (SVF), and mean radiant temperature distribution were calculated using high-resolution geographic information data. On the heat wave risk map, the difference in the control group area was clearly shown, and heat wave vulnerability factors with high spatial correlation were also different. The occurrence pattern of patients with heat-related illness was analyzed by region. The number of patients with thermal diseases in Data from the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) and Prevention and the National Health Insurance Service (NHIS) showed a big difference in the same study area. Detailed analysis of heat wave vulnerability in urban and rural study areas revealed varied spatial correlation of vulnerability factors, and accordingly, differences in heat wave risk. Detailed heat wave vulnerability analysis using census output units calculated through this study can inform local government policies for detailed heat wave management suitable for local conditions in rural and urban areas.

Key words: Heat Wave, Urban Area and Rural Area, Mean Radiant Temperature, Spatial Autocorrelation, Vulnerability Analysis

1. 서론

폭염은 심각한 인명 및 재산피해를 발생시키는 자연재해로서 매년 심각성이 대두되고 있다. 특히 2018년의 폭염 인명피해는 2011년 이후의 어느 해에 비해도 수배에 이르는 규모였다. 2018년의 폭염은 역대 최악의 폭염으로 기록되었으며, 2018년 8월 1일은 서울 39.6°C, 홍천 41.0°C의 기상관측이래 역대 최고기온을 기록하였고, 강릉에서는 역대 가장 높은 최저기온인 30.9°C를 기록하였다(KMA, 2019, p. 75). 2018년의 폭염일수는 31.5일, 열대

야일수는 17.7일로 1973년 관측이래 최고치를 기록하였으며, 질병관리본부의 조사에 따르면 2018년 온열질환으로 인한 사망자는 48명으로 2011~2017년 평균인 11명보다 약 4배가 넘는 수치를 나타냈다(KDCA, 2019). 온열질환자수는 약 4,500명으로 폭염으로 인한 폭염일수와 온열질환자수, 온열질환 사망자수가 매년 증가하고 있는 추세이다. 기온이 상승해 폭염이 심화될수록 사망위험이 증가하며(Ha and Kim, 2013), 2018년의 경우 폭염으로 인한 초과사망률이 10만명 당 1.79명으로 2011~2017년에 비해 2.2~6.9배 높게 나타났다(Park and Chae, 2020). 기후

†Corresponding author : prpr2222@hufs.ac.kr (81, Oedae-ro, Mohyeon-eup, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17035, Korea. Tel. +82-31-8020-5586)

ORCID 권혁기 0000-0001-5337-5867

이채연 0000-0003-2802-2431

변화에 대한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 6차 평가보고서(AR6)에서는 기후 변화를 평가하기 위해 새롭게 기후영향인자(Climate Impact-Drivers, CIDs)를 정의하고, 지역별 미래 기후영향 인자 변화를 전망하였는데, 특히 지구온난화가 심해질수록 우리나라를 포함한 동아시아 지역에서 폭염 등 더위 관련 기후영향인자가 증가할 것으로 전망하였다(IPCC, 2021). 최근의 폭염관련 연구들은 폭염이 보다 빈번하게 발생할 것이며, 강도가 더 강해지고 지속시간이 길어지며 발생하는 피해가 더 커질 것을 우려하고 있다(Kim et al., 2016; Luo and Lau, 2017; Stocker et al., 2013).

폭염에 의한 피해가 커지면서 폭염을 예측하고 대응하기 위한 여러 연구들이 진행되어 왔다. 기존 연구들의 폭염 특성 및 원인파악에는 기상청 ASOS (Automated Surface Observing System)자료, ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)등의 기상 모델 결과를 이용한 중관규모적 분석을 통해 이루어졌으며(Back et al., 2018; Lee et al., 2020) 지역 단위의 분석은 통계자료의 수집이 용이한 시군구 단위의 분석이 이루어져 왔다(Kim et al., 2014; NDMI, 2014; Park and Chae, 2020). 그러나 폭염으로 인한 인명 피해는 지역에 따라 매우 상이하며, 도시보다는 농촌의 질환 또는 사망 발생률이 높게 나타나고, 주변 지역에 비해 발생률이 두드러지게 높거나 낮은 지역들이 나타나 지역간의 큰 차이를 나타낸다(Part et al., 2020). 도시와 비도시지역의

폭염 발생 및 피해발생 특성이 다르게 나타나는데, 도시 지역은 여름철 내내 폭염 발생에 따른 피해가 꾸준히 발생하는 특징을 보이지만, 비도시지역은 폭염 특보가 발효되는 날에만 피해가 급증하는 특성을 보인다(Kim et al., 2014). 같은 행정구역 내에서도 토지피복과 지형, 건물의 밀도와 높이에 따라 여름철 복사온도의 편차가 커서 지역별 피해 위험도가 다르게 나타나기도 한다(Bae et al., 2020). 이러한 지역별 편차의 원인을 파악하고 대책을 마련하기 위해서는 온열질환자 발생에 원인이 될 수 있는 다양한 요인들의 상세 공간상관분석이 필요하며, 분석을 위한 상세단위의 위험도 자료가 필요하다. 기상청에 따르면 지난 48년간(1973 ~ 2020년) 우리나라 30곳의 기상관측자료를 기반으로 도시화 효과가 기온상승에 미치는 영향 분석 결과 중소도시 건조환경의 지속적인 확장이 폭염의 증가에도 영향을 미칠 수 있음을 보였다(KMA, 2023). 기상청에서는 폭염 피해를 최소화하고자 2019년 6월 1일부터 폭염 위험수준별로 지역 환경을 고려하여 각 분야별 영향 정보를 제공하는 폭염 영향예보 서비스를 제공하고 있다. 그러나 현재 대다수 폭염연구는 과거의 기상자료와 보건자료 간의 통계적 관련성에 기초하고 있으며, 미래에 심화 될 수 있는 기후변화 영향을 고려하여 정상적인 범위를 넘어서는 폭염 상황에 대한 대비와 도시와 비도시지역의 폭염 피해 특성을 고려한 차별화된 접근이 필요하다. 최근 2년 폭염발생일수는 농촌보다 도시에서 평균 2.7일 더 발생하였고, 온열질환

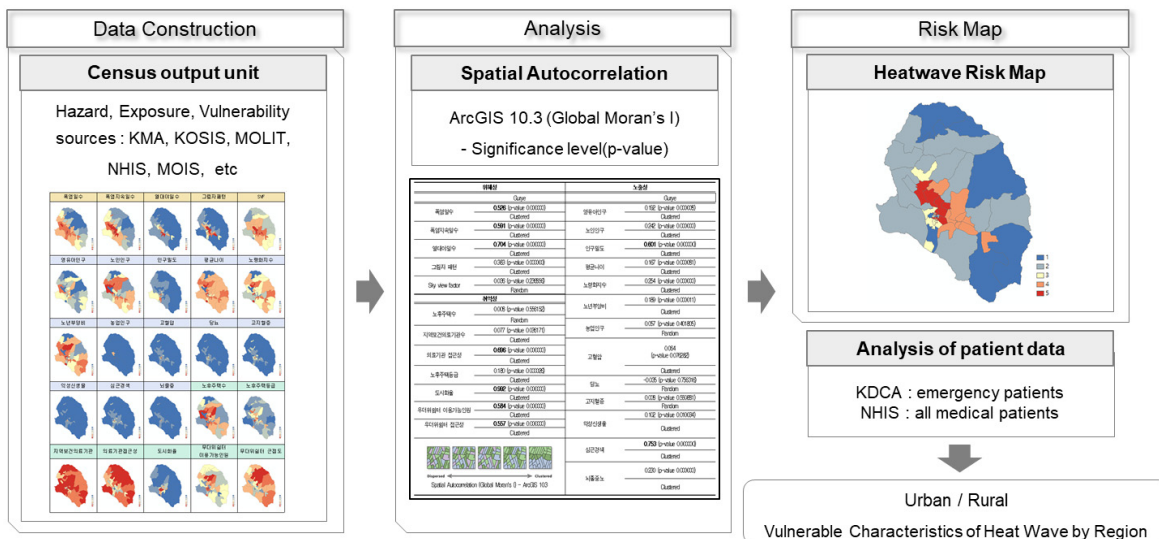


Fig. 1. Conceptual framework for this study

자수는 도시에서 평균 25.7명 더 발생하였으며, 상대적으로 임계온도가 낮은 도시지역의 피해를 줄이기 위해서 보건서비스, 녹지율 증대 등의 중장기적 대책이 필요하지만, 비도시지역은 폭염특보의 효과적인 전달 및 위험성에 대한 교육 및 홍보 등 인식 제고의 노력이 필요하다 (Park, 2022).

구례군과 순창군을 대상으로 집계구 단위의 상세 공간자기상관분석을 수행한 결과 폭염지속일수, 천개지수에서 가장 큰 차이를 보였으며, 이는 기상요인의 공간적 상세화 및 다양화로 지역의 취약요인을 변별력 있게 구분해주는 것으로 분석되었다(Kwon et al., 2021). 하지만 이는 비도시지역에 해당하는 구례군과 순창군의 한정적인 예시일 수 있으므로 도시지역을 추가로 분석하여 도시와 비도시지역의 특성을 비교하고, 지역 특성에 따른 취약요인을 파악하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 도시와 비도시지역의 상세 폭염취약요인을 비교 분석하고 피해 발생 차이에 대한 원인을 알아보기 위해 2018년 서울시 서대문구, 도봉구(도시지역), 구례군, 순창군(비도시지역)을 대상으로 공간자기상관분석 방법을 통해 지역별 폭염취약요인들을 분석하고, 지역별 폭염위험지도를 작성하였다. 지역의 폭염피해현황을 보다 상세히 분석하기 위해 질병관리청과 국민건강보험공단의 온열질환자 자료를 이용하여 온열질환자 발생 특성을 분석하였다(Fig. 1). 본 연구를 통해 도시와 비도시지역 대조군 지역의 폭염피해 특성을 분석하여, 지역별 특성에 따른 폭염대응 정책수립을 지원할 수 있는 가능성을 보이고자 하였다.

2. 연구자료 및 방법

2.1. 온열질환자 현황 자료

온열질환이란 열로 인해 발생하는 급성질환으로 뜨거운 환경에 장시간 노출 시 두통, 어지러움, 근육경련, 피로감, 의식 저하 등의 증상을 보이고 방치 시 생명이 위태로울 수 있는 질병을 말한다. 온열질환은 체열 방출을 증가시키기 위해 순환혈액량이 증가하고, 이로 인해 혈관 장애가 일어나 뇌에 산소공급이 부족해지며 내장의 혈관이 수축하기 때문에 발생한다. 한국표준질병사인(KCD)에 의하면 폭염 피해를 야기하는 온열 질환 관련 사망원인 분류는 T67(열 및 빛의 영향), X30(과다한 자연 열에 노출) 및 X32(일광에 노출)가 해당하며 주요 원인은 열사병

(T67.0), 열실신(T67.1), 열경련(T67.2), 열탈진(T67.3-5) 등이 있다.

온열질환자 현황 분석을 위해 이용 가능한 자료로는 질병관리청 온열질환감시체계 운영결과 자료와 국민건강보험공단의 보험청구 자료가 있다(Table 1). 질병관리청의 온열질환감시체계 자료는 온열질환자 발생 현황을 감시하고 신속히 정보를 공유함으로써 국민주의를 환기하고 예방활동을 유도하여 건강피해를 최소화하기 위해 2011년도부터 시행되었으며, 매년 5~9월 전국 응급실 500여 곳에서 폭염으로 인한 온열질환자 및 온열질환 추정 사망자를 신고하는 체계이다 (<http://www.cdc.go.kr>). 온열질환 응급실 감시체계 자료는 전국의 응급실 운영 의료기관 중 자발적인 참여를 통해 수집된 신고자료로 온열질환 발생 전체를 의미하는 자료는 아니며, 온열질환자 발생 현황을 신속하게 모니터링할 수 있는 자료로서 온열질환으로 인한 응급환자 수를 추정할 수 있다. 국민건강보험공단 맞춤형 연구 DB자료는 공단이 수집, 보유, 관리하는 건강정보자료를 정책 및 학술 연구목적으로 이용할 수 있도록 수요맞춤형 자료로 가공하여 제공하는 데이터를 말하며, 우리나라의 모든 의료기관에서 제출된 보험료 청구자료를 기반으로 작성된 자료로서 건강보험 가입자의 자격 및 보험료, 진료, 검진, 의료기관 등에 대한 정보를 제공한다. 본 연구에서 사용된 맞춤형 연구 DB자료는 ICD-10 T67 코드를 이용하여 추출하였으며, 온열질환 코드가 주상병 또는 제1부상병에 포함되고, 무진료기간을 14일로 설정 (Park and Chae, 2020)한 후 진료에피소드(동일인이 특정 기간 이내에 이용한 의료서비스를 하나의 사건으로 특정)를 추출하였다. 무진료기간은 동일인에게 발생한 사건을 동일하게 취급하는 기간을 뜻한다(Jang, 2016). 추출된 진료에피소드 자료 중 환자를 여름(6~8월)으로 한정하였다. 국민건강보험공단의 온열질환자 자료는 외래와 입원, 응급을 포함한 모든 온열질환자의 수를 추정할 수 있지만, 진단명이 확정되지 않은 상태에서의 호소, 증세 등에 따라 1차 진단명을 부여하고, 청구한 내역 중 주진단명을 기준으로 발췌하고 있어 최종 확정된 질병과 다소 상이할 수 있으며 건강보험에 가입되지 않은 사람은 집계되지 않는다.

본 연구에서는 질병관리청 온열질환감시체계 자료를 이용하여 도시와 비도시 대조군지역의 응급 온열질환자 발생 특성을 분석하였으며, 국민건강보험공단의 온열질환자 수를 이용해 입원, 외래, 응급을 포함한 전체 온열질환자 발생 특성을 함께 분석하였다.

Table 1. Data on heat-related patients

	Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA)	National Health Insurance Service (NHIS)
Subject of investigation	About 500 emergency room patients nationwide	A hospital patient with health insurance
Classification method	Diagnostic code classified as thermal disease	Diagnostic code contains T67. 3 days without medical treatment
Organization in charge	Si/Gun/Gu, gender, age, occupation, date of occurrence of symptoms, time of occurrence of symptoms, place of occurrence of symptoms, name of heat disease	Si/Gun/Gu, gender, age, date of hospitalization, route of hospitalization, number of days of hospitalization, number of days of medical treatment, results of medical treatment, insurance premiums, occupation, outdoor work, etc
Data characteristic	Number of patients with emergency thermal disease	Total number of patients with thermal disease

2.2. 도시와 비도시 연구대상지역 선정 및 온열질환자 발생 특성 비교

본 연구의 도시연구지역은 서울시 도봉구, 서대문구이며 비도시연구지역은 구례군과 순창군이다. 도시지역과 비도시지역의 구분은 통계청 도시화율 자료를 기준으로 40%가 넘는지역은 도시, 넘지않는 지역을 비도시로 하였다. 도봉구와 서대문구는 도시화율 100%로 도시지역, 구례군과 순창군은 각각 2.46%, 2.04%로 비도시지역으로 구분하였다. 대조군 지역 선정 방법은 2018년의 통계자료를 이용하여 총 248개 기초지자체의 노출도, 민감도, 적응 능력에 따른 폭염 영향변수 자료간의 유사성을 이용하여 선별하였으며, 영향변수들과 지자체별 온열질환자 수를 상관분석하여 최종영향변수(총인구, 65세 이상 인구, 65세 이상 1인 가구수, 기초생활수급자, 5세 미만 영유아인구수, 순환계질환자 수, 도로면적, 장애인 수, 노후주택수, 1인당 녹지면적, 열대야일수)를 이용하여 Euclidean 거리 유사도 분석을 수행한 수, 비슷한 조건 속 폭염 피해지표인 온열질환자수가 두드러진 차이를 보이는 대조군 선정 결과(Baek and Lee, 2022)를 이용하였다.

대조군 지역의 온열질환자 발생 현황을 분석하기 위해 2016년부터 2020년까지 대조군 지역의 국민건강보험(NHIS)의 맞춤형 연구 DB로 제공받은 온열질환자 수와 질병관리청(KDCA) 온열질환감시체계 환자수를 비교하였

다. 질병관리청 온열질환감시체계 자료의 경우 순창군보다 구례군의 환자수가 많았으며, 폭염이 가장 극심하였던 2018년의 경우 구례군은 16명, 순창군은 3명으로 구례군의 환자수가 5배 이상 높게 나타났다. 2018년 구례군의 온열질환자 발생장소는 14명이 실외지역이었으며, 온열질환자중에는 8명이 열사병, 4명이 열탈진으로 나타났다. 순창군의 온열질환자는 3명 모두 실외에서 발생하였고, 열탈진, 열실신, 열경련 환자로 분류되었다. 질병관리청 온열질환자수 분석결과 구례군이 순창군보다 온열질환 응급환자가 더 많이 발생하였음을 알 수 있다. 건강보험공단 맞춤형 연구DB를 이용한 2016~2020년 온열질환자수는 2020년을 제외하고 구례군보다 순창군이 환자수가 더 많았으며, 2018년의 경우 구례군보다 순창군이 약 3배 많은 환자수를 보였다(Fig. 2).

도시지역 대조군인 도봉구와 서대문구의 경우 응급 환자수를 나타내는 질병관리청 온열질환자수는 도봉구가 서대문구보다 많았으며, 특히 2018년에는 도봉구의 환자수가 91명, 서대문구의 환자수가 10명으로 도봉구가 9배 이상 많았다. 건강보험관리공단의 2016년 온열질환자수는 도봉구가 서대문구보다 많으며, 도봉구 48명, 서대문구 381명으로 서대문구가 약 8배 많았으며, 2018년도에는 3배 이상 많이 나타났다. 특히 도봉구는 매년 두자리수의 환자가 발생한 반면 서대문구는 세자리수의 많은 온열질환자가 발생한 것으로 나타났다(Fig. 3).

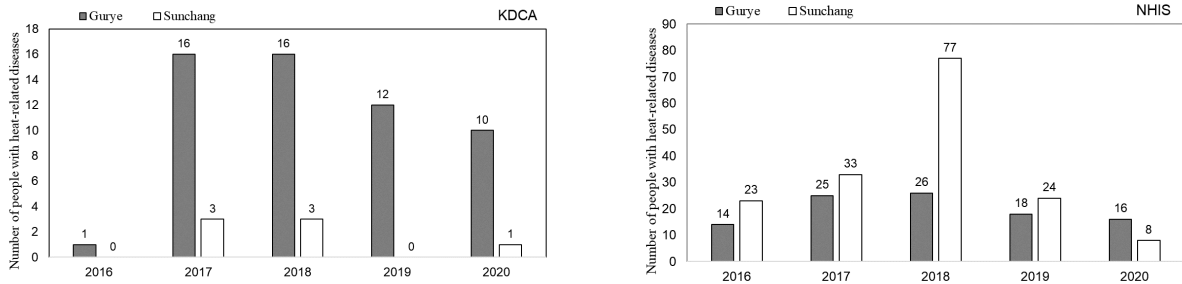


Fig. 2. Annual incidence of heat-related disease in Gurye-gun and Sunchang-gun

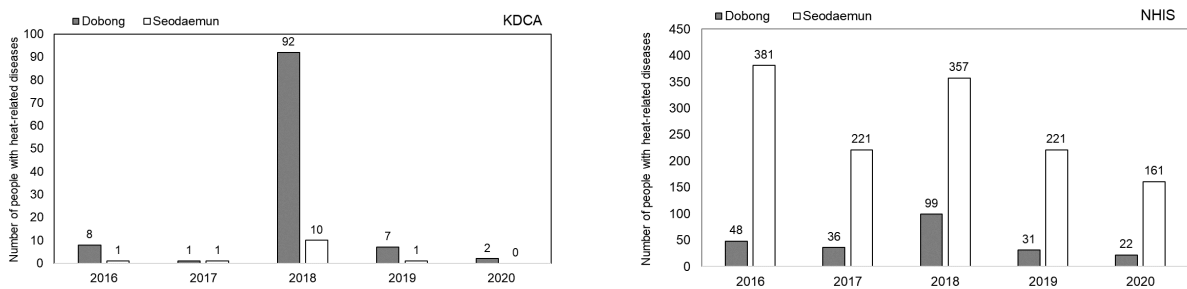


Fig. 3. Annual incidence of heat-related disease in Dobong-gun and Seodaemun-gun

2.3. 집계구 단위 폭염피해요인 DB 구축

폭염피해요인 공간관계 분석을 위해 가장 상세한 행정 구역 경계인 집계구 단위로 자료들을 구축하였다. 집계구는 기초단위구를 기반으로 인구규모(최적 500명), 사회경제적 동질성(주택유형, 지가), 집계구 형상을 고려하여 구축한 최소 통계 집계구역을 뜻한다. 읍면동의 약 1/30 규모로, 서울 약 16,000개, 경기 약 20,000개, 인천 약 5,000개 구역으로 나누어져 있으며, 경계기준은 기초 단위구로 읍면동별로 가구수에 상관없이 도로, 하천, 철도, 산능선과 같은 준항구적인 명확한 지형지물을 이용하여 구획한 단위구역을 뜻한다. 대조군의 집계구 수는 구례군 50개, 순창군 58개, 도봉구 637개, 서대문구 626개이며, 통계청 자료를 이용해 구축한 통계자료는 영유아인구수, 노인인구수, 인구밀도, 평균나이, 노령화지수, 노년부양비, 노후주택수, 농업, 임업 및 어업인구수 등이다.

집계구단위의 기상요인 구축에는 상세기상 공간분포자료인 GPRM (Gaussian Process Regression Model) 자료를 이용하였다. 기상청에서 운영중인 관측자료는 기상관측표준화법에 적합한 지점을 선정하여 주변환경을 대표하고 있지만, 보행자들이 주로 생활하는 지역과는 인접하지 않

은 경우가 있기 때문에 이용하지 않았다. GPRM은 기상청 동네예보(5 km 해상도) 자료에 통계적 내삽기법을 이용하여 해발고도, 경사각, 해안선으로부터의 거리, 토지피복, 우묵한 지형의 깊이, 동서방향경사, 남북방향경사 등 부변수들을 내삽하여 1 km 해상도로 산출된 상세기상자료이다. 특히 GPRM은 시가지 건조지역과 농경지에서 동네예보에 비해 정확도가 향상된 일 최고 및 최저기온을 산출하기 때문에 보행자의 환경과 관련된 폭염 영향 분석에 사용하기에 적합하다(Yang et al., 2019). 2018년 여름(6, 7, 8월)을 대상으로 대조군 지역의 폭염일수와 열대야일수, 각각의 최대 지속일수를 집계구 단위로 구축하여 공간상관분석에 사용하였다.

GPRM을 이용해 집계구 단위로 산출된 구례군의 폭염일수는 최대 36일, 최소 0일, 평균 27.8일(기상청 폭염일수 29일), 순창군의 폭염일수는 최대 39일, 최소 22일, 평균 36.5일(기상청 폭염일수 40일)로 나타났다. 구례군의 집계구 단위 평균폭염일수가 순창군보다 약 9일 적으며, 구례군은 지역 내 집계구간 편차가 큰 것으로 분석되었다. 폭염지속일수는 구례군의 경우 최장 19일, 최단 0일, 평균 12.6일(기상청 최장지속일수 7일), 순창군은 최장 29일, 최단 9일, 평균 21.9일(기상청 최장일수 24일)로 순창

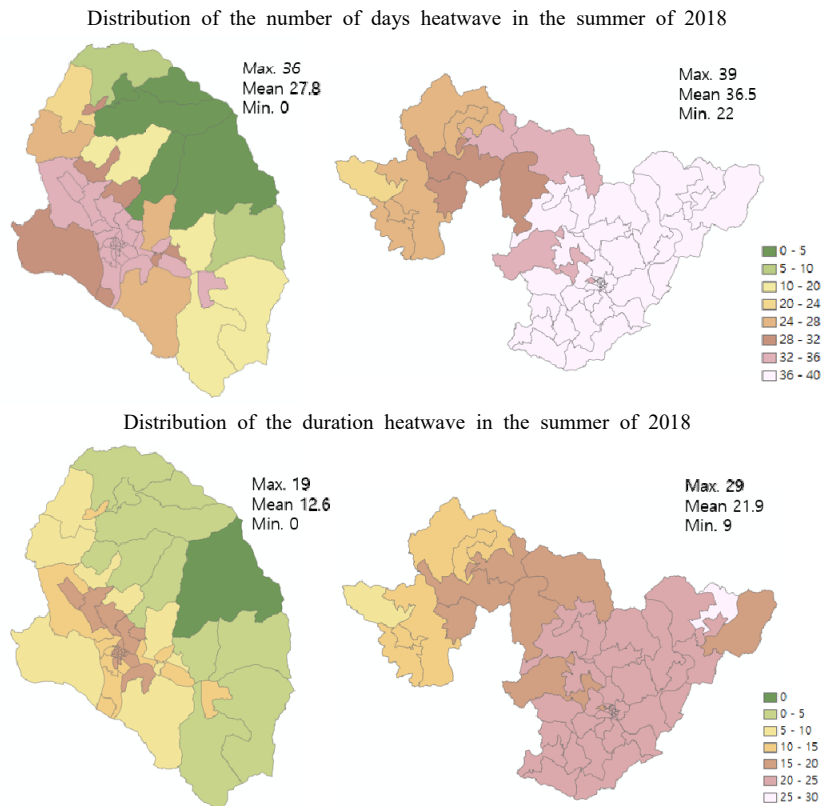


Fig. 4. The number of days of heatwave and duration of heatwave in 2018 in Gurye-gun and Sunchang-gun

군의 최장지속일수가 구례군보다 10일 길었으며, 최단지속일수도 9일로 순창군은 모든 집계구에서 폭염 지속일수가 나타났다. 구례군과 순창군의 평균 지속일수는 순창군이 약 9일 길고, 구례군은 지역 내 집계구간 편차가 큰 것으로 나타났다(Fig. 4).

도봉구의 폭염일수는 최대 32일, 최소 22일, 평균 27.5일, 서대문구의 폭염일수는 최대 32일, 최소 31일, 평균 27일(서울 ASOS 지점 폭염일수 35일)로 나타났다. 도봉구와 서대문구의 평균 폭염일수는 비슷하지만 집계구 최소 폭염일수가 도봉구보다 서대문구가 9일 많으며, 따라서 도봉구는 집계구간 폭염일수의 편차가 크지만 서대문구는 편차가 작게 나타났다.

폭염지속일수의 경우 도봉구는 최장 22일, 최단 9일, 평균 15.1일이며, 서대문구는 최장 22일, 최단 14일, 평균 20.3일로서(서울 ASOS 지점 폭염 최장지속일수 22일) 서대문구의 최단 지속일수가 도봉구보다 5일 길었으며, 평균 지속일수도 약 5일 길었다. 폭염지속일수 또한 도봉구가 서대문구에 비해 집계구간 편차가 큰 것으로 나타났다(Fig. 5).

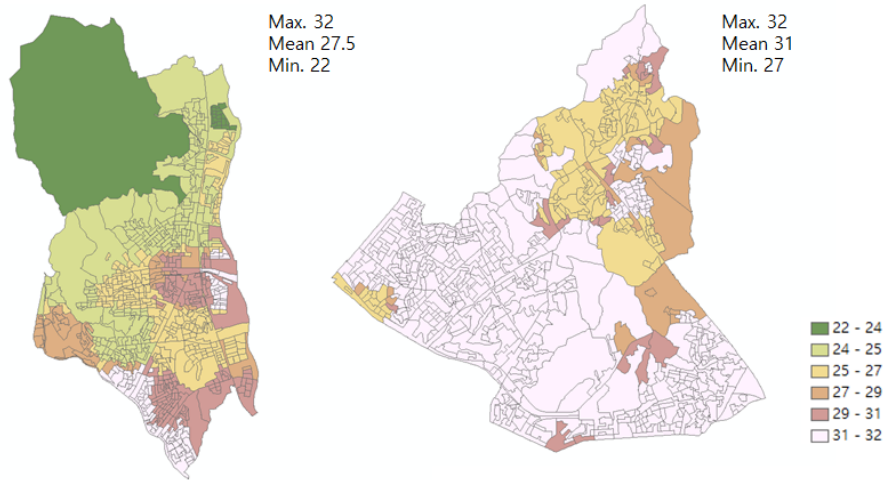
2.4. 대조군 지역의 체감 열노출 자료산출

보행자 높이에서의 체감 열노출 정보를 산출하기 위해 태양복사모델 SOLWEIG (SOlar and Longwave Environment Irradiance Geometry-model)를 이용하여 대조군지역을 대상으로 10 m 해상도의 그림자패턴, 천개지수(Sky View Factor, SVF), 평균복사온도를 산출하였다. SOLWEIG를 이용해 계산된 그림자패턴은 0~1의 값을 가지며 0에 가까울수록 지형이나 주변 피복물에 의한 그림자의 영향이 큰 것으로 판단할 수 있다(Yi et al., 2018).

비도시지역의 일 평균 그림자패턴 분석결과 구례군의 행정구역 전체 일 평균 그림자패턴 값은 0.37, 순창군은 0.49로 구례군이 지형이나 식생, 주변 피복물에 의한 그림자의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 구례군은 지역 중심이 지형이 낮고 주변으로 산지가 둘러싸고 있는 지리적 특성을 가지고 있으며(Fig. 6), 순창군은 상대적으로 산지가 고르게 분포되어 있는 특징을 가지고 있다.

도시지역인 도봉구와 서대문구의 그림자패턴 분석결과 도봉구의 평균은 0.61, 서대문구는 0.64로 도봉구 영

Distribution of the number of days heatwave in the summer of 2018



Distribution of the duration heatwave in the summer of 2018

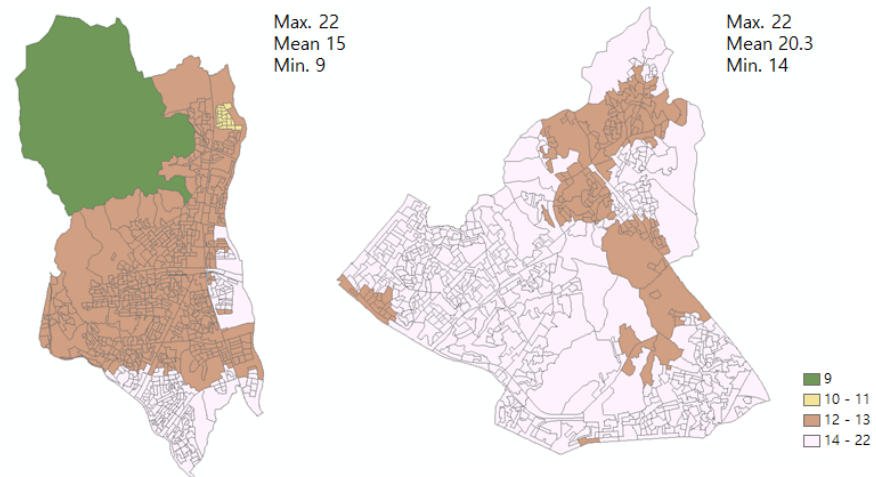


Fig. 5. The number of days of heatwave and duration of heatwave in 2018 in Dobong-gu and Seodaemun-gu

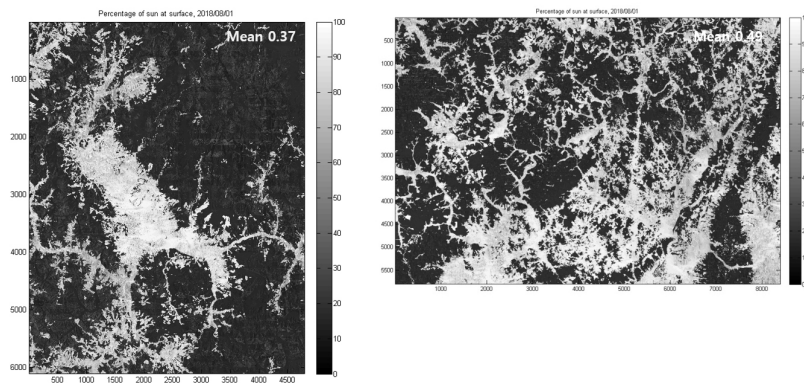


Fig. 6. Distribution of daily average shadow patterns in Gurye-gun and Sunchang-gun

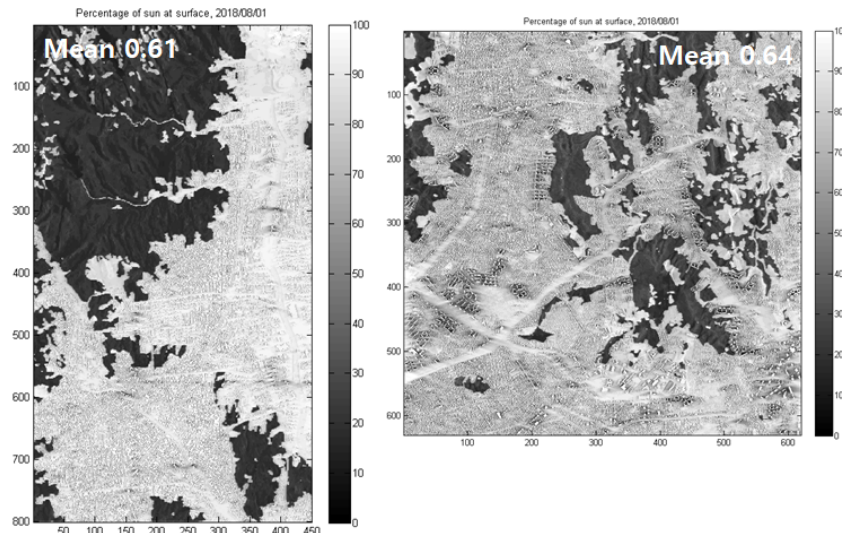


Fig. 7. Distribution of daily average shadow patterns in Dobong-gu and Seodaemun-gu

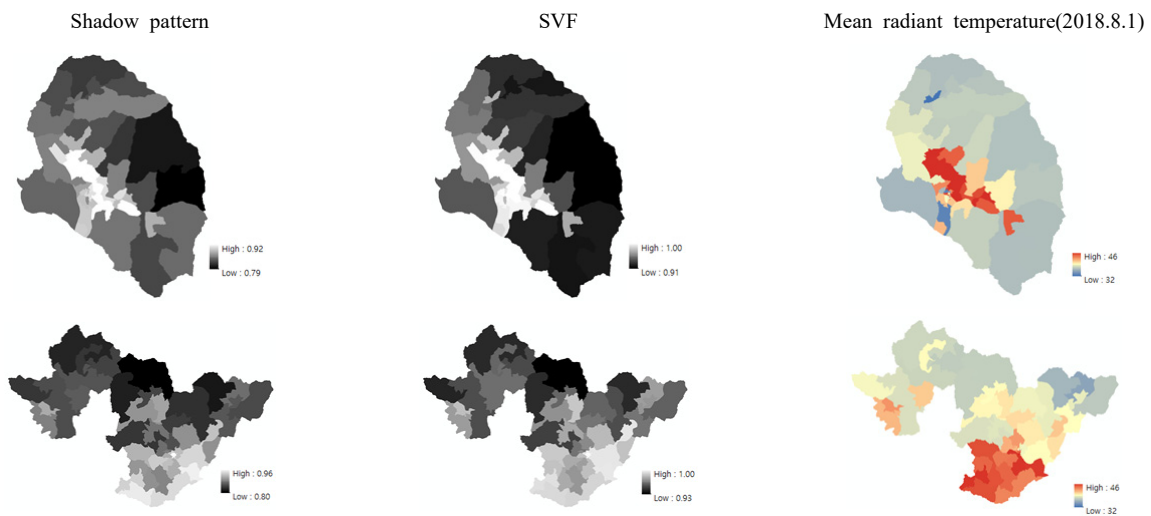


Fig. 8. Distribution of shadow patterns, sky view factor, and mean radiant temperature in Gurye-gun, Sunchang gun

역이 그림자의 영향을 더 많이 받는 것으로 분석되었으며, 산지를 제외한 지역에서 도봉구는 높은 그림자패턴 값을 보인 반면 서대문구는 건물에 의한 그림자 영향으로 상대적으로 낮은 그림자패턴값을 보이는 지역이 나타났다(Fig. 7).

도시와 비도시 대조군지역을 대상으로 10 m 해상도로 산출된 그림자패턴, SVF, 평균복사온도를 공간상관분석에 이용하기 위해 ArcGIS 10.3 Spatial analyst의 Zonal statistics를 이용하여 집계구 단위로 변화하여 자료를 구축하였다(Fig. 8 ~ 9).

2.5. 집계구 단위 도시화율 자료 구축

상세 공간정보자료를 이용하여 집계구 단위 도시화율 자료를 구축하였다. 도시화율에 대한 의미는 전체인구 대비 도시지역의 인구비율을 뜻하며, 용도지역과 행정구역을 기준으로 나눌 수 있는데 용도지역을 기준으로는 ‘도시지역인구와 비도시지역인구’의 비율을 뜻하며, 도시지역의 기준은 주거, 상업, 공업, 녹지지역이며 비도시지역의 기준은 관리, 농림, 자연환경 보전지역으로 나뉜다 (Table 2). 행정구역을 기준으로 한 도시화율 산정은 ‘도

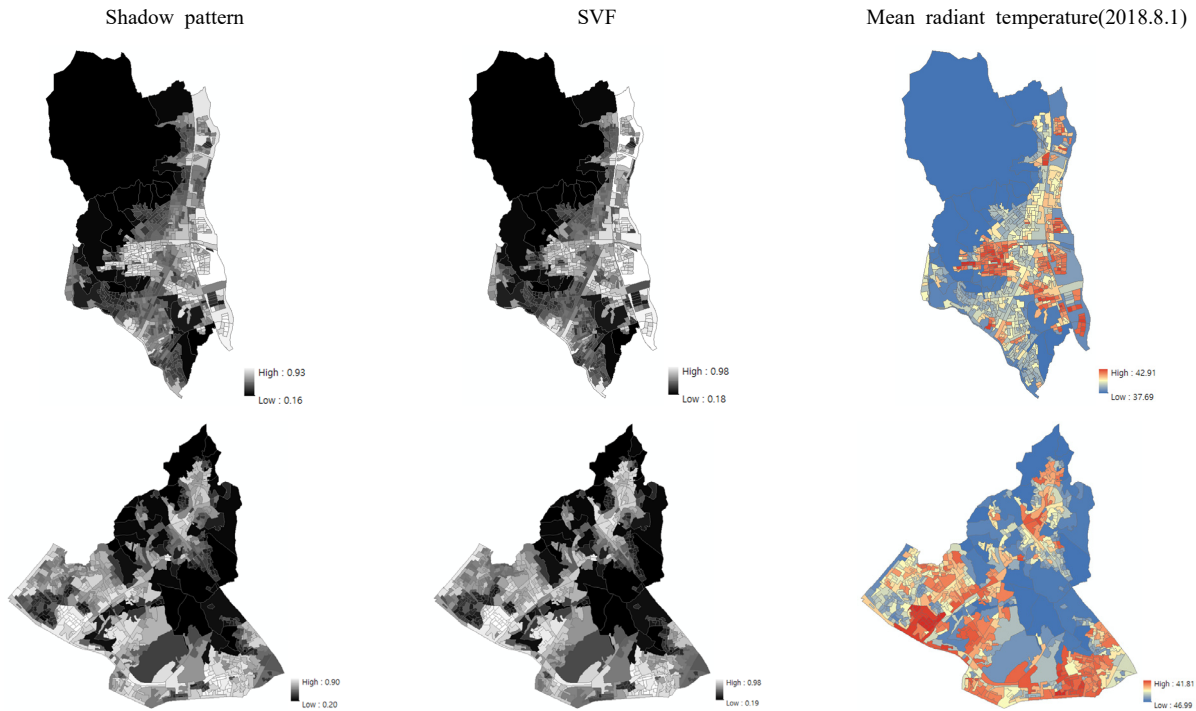


Fig. 9. Distribution of shadow patterns, sky view factor, and mean radiant temperature in Dobong-gu, Seodaemun-gu

Table 2. Calculation method of population ratio in urban areas

Standard	Calculation method
Use area	- Percentage of the population living in the 'urban area' of the use area among the total population ※ Urban area : residential, commercial, industrial and green Rural area : menegement, agriculture and forestry, natural environment conservation area
Administrative district	The proportion of the population living in the 'Eup and Dong' with an urban form among the total population ※ Urban area : eup, dong Rural area : myeon

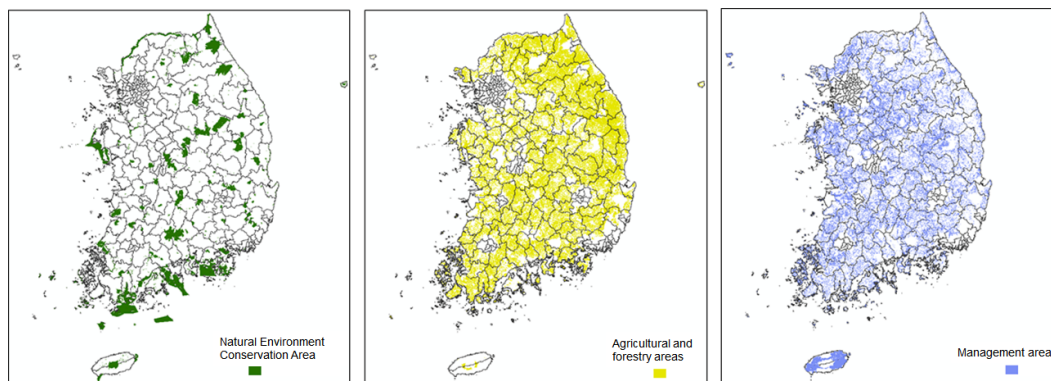


Fig. 10. Shape file of natural environment conservation area, agriculture and forestry area, and management area

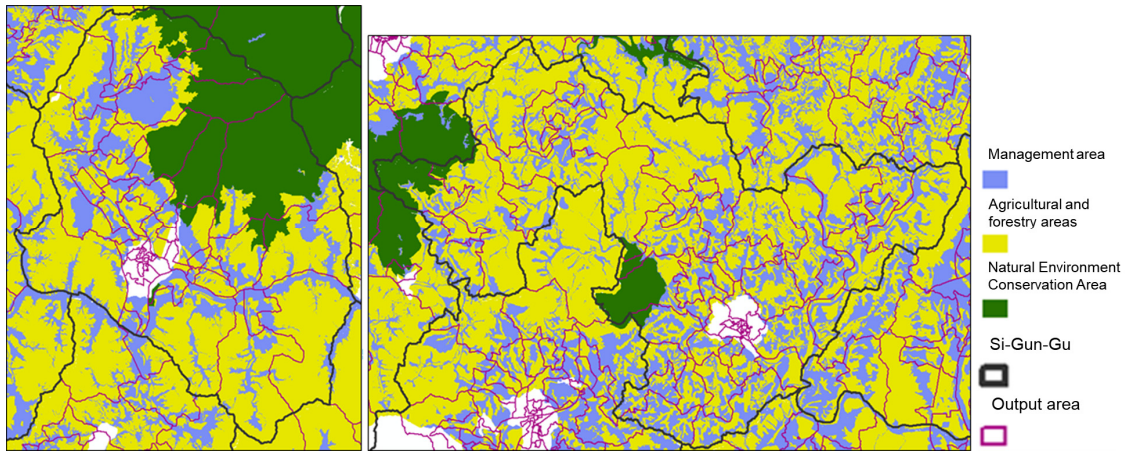


Fig. 11. Distribution of urban and rural areas in Gurye-gun and Sunchang-gun

시인구와 농촌인구'의 비율을 뜻하며 행정구역을 기준으로 한 도시기준은 읍, 동 지역이며 농촌기준은 면 지역이다(LX, 2022).

본 연구에서는 집계구 단위의 상세 도시화율 자료를 구축하기 위해 용도지역을 기준으로 도시와 비도시를 나누었으며, 국토교통부 부동산 종합공부시스템 자료(Fig. 10)를 이용하여 자연환경보전지역, 농림지역(국토계획), 관리지역(국토계획) 자료를 수집하였다. 3가지 지역을 결합하여 비도시지역을 구축하고, 나머지를 도시지역으로 나누어 집계구 단위 도시화율을 계산하였다(Fig. 11).

2.6. 무더위쉼터, 의료기관 위치정보를 이용한 접근성 자료 구축

노인과 어린이 등 폭염 위험군이 폭염을 피할 수 있는 무더위쉼터는 2021년 3월 기준 전국에 약 5만여 곳이 있으며, 행정안전부 국민재난안전포털(<http://www.safekorea.go.kr/>)은 무더위쉼터의 위치와 이용가능인원에 대한 정보를 제공하고 있다. 지역별 무더위쉼터 수는 계절에 따라 한파 쉼터나 미세먼지쉼터로 변경이 가능하기 때문에 검색 시점에 따라 달라질 수 있다. 따라서 2018년 여름에 운영되었던 무더위쉼터의 정확한 지점 수를 파악하기 위해 행정안전부 재난안전관리본부의 기후재난대응과에서 자료를 제공받아 집계구 단위의 무더위쉼터수를 구축하였다. 2018년 무더위쉼터 운영 지점은 총 46,669개이며, 구례군 176개, 순창군 159개, 도봉구 155개, 서대문구 139개로 지역별 차이는 크지 않았다(Fig. 12). 지역별 무더위쉼터 위치정보를 이용하여 집계구별 무더위쉼터 접근성을 계산하였다. 접근성 계산에는 Euclidean

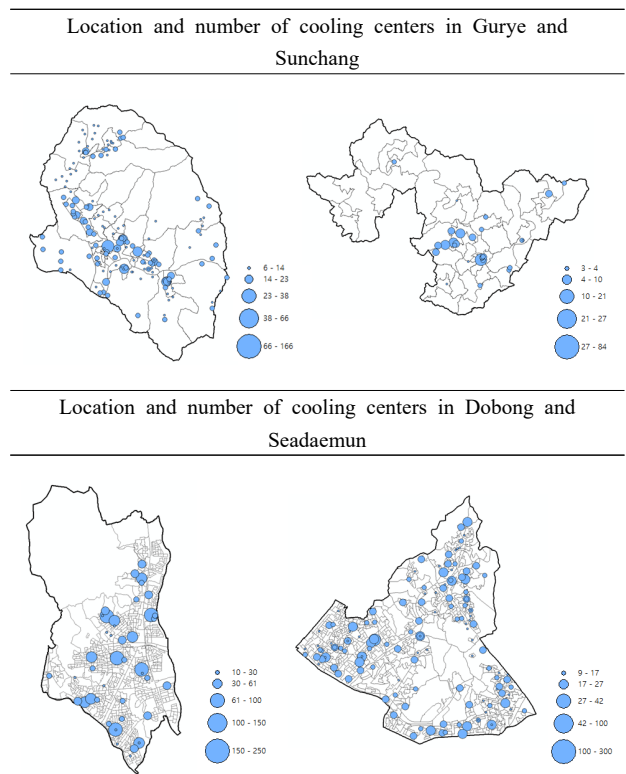


Fig. 12. Location and number of cooling centers

distance geometry를 이용하였으며, 10 m 해상도로 산출하여 집계구 단위의 무더위쉼터 접근성 자료를 구축하였다(Fig. 13).

온열질환자는 응급으로 발생하는 경우가 많기 때문에 발생 즉시 빠른 조치가 필요하다. 따라서 의료기관의 접근성에 대한 분석이 필요하다. 건강보험심사평가원에서

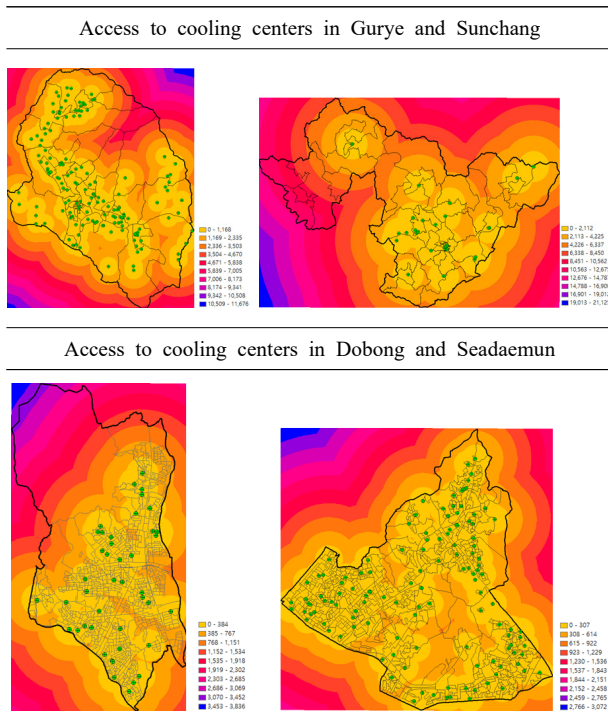


Fig. 13. Access to cooling centers

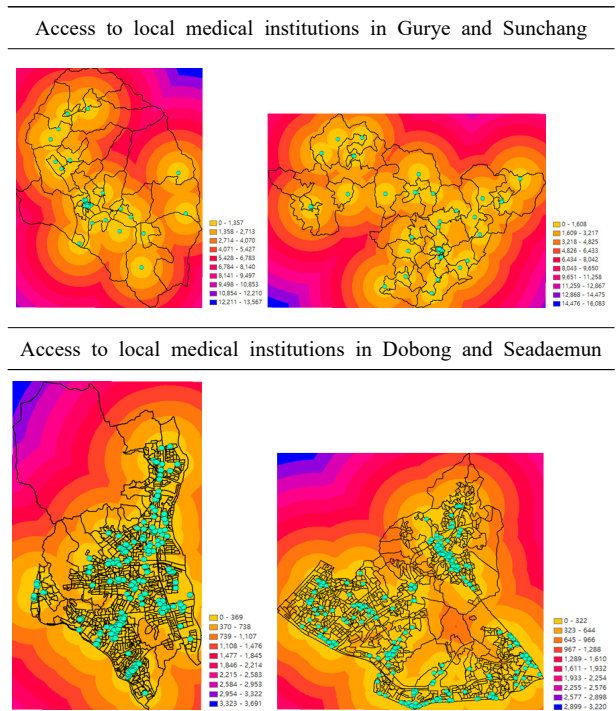


Fig. 14. Access to local medical institutions

제공하는 병원, 약국 등의 지역보건의료기관 위치정보를 이용하여 집계구 단위의 의료기관 접근성 자료를 구축하였다. 구례군 49개, 순창군 65개, 도봉구 382개, 서대문구 463개의 의료기관이 있으며, 상대적으로 의료기관의 수는 순창군과 서대문구에 많은 것으로 나타났다. 지역보건의료기관 중 온열질환과 연관이 적은 치과, 정형외과, 정신병원 등은 제외하였으며, 무더위쉼터와 같은 방법으로 10 m 해상도의 집계구 단위 거리 가중치를 계산하였다(Fig. 14).

2.7. 공간자기상관분석

공간통계분석은 ArcGIS 10.3을 이용하여 전역적 공간자기상관분석 Global Moran's I 방법을 사용하였다. 공간자기상관(spatial autocorrelation) 분석은 특정 현상의 공간적 패턴을 기술하고 설명하는 데 있어서 공간적 배열이 우연한 것인지 아니면 유사한 변량을 가진 지역들이 공간적으로 일련의 패턴을 형성하고 있는지를 탐색하기 위한 분석방법이다(Anselin, 1988). Moran's I의 값은 공간상에 특정 현상의 분포패턴이 일정한 질서를 가졌는지를 혹은 무작위적인지를 알려주는 지수이다.

$$I = \frac{n}{\sum_j \sum_i} \times \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

식 (1)의 I는 Global Moran's I 통계량 값을 의미한다. 대상변수(x_i)와 이웃변수(x_j)의 전체 평균으로부터 편차의 곱을 계산한다. n 은 집계구 수, \bar{x} 는 해당 영역의 평균적인 속성값을 의미하며, x_i 와 x_j 는 각각 i 지역의 속성값과 j 지역의 속성값을 나타낸다. w_{ij} 는 공간가중치행렬을 구성하는 가중치를 의미한다. Moran's I 계수는 인접한 지역이 유사한 성격을 가지면 값이 커지면서 (+)값을 가지고 양의 자기상관관계(positive spatial autocorrelation)가 있으며, 서로 이질적이면 (-)값을 가지고, -1이면 완전한 음의 자기상관관계(negative spatial autocorrelation)가 존재함을 나타낸다. 폭염취약요인들의 공간자기상관분석 결과를 이용해 공간자기상관성을 가지고 있는 요인들을 추출하고, 환경부에서 기상, 보건, 환경, 행정, 통계 등 폭염 관련 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 계층화 분석(Analysis Hierarchy Process, AHP)을 하였는데, 여기에서 도출된 폭염위험도 가중치를 이용해 인체 열 취약성 및 위험성을 나타내는 평균복사온도 기반의 열노출과 중첩

하여 폭염위험이 높고, 취약한 지역을 파악하고 특징을 분석하였다.

3. 연구결과

3.1. 비도시지역 대조군의 집계구 단위 폭염취약요소 공간자기상관분석

Moran's index 값이 0보다 크면 높음 또는 낮은 속성 단위들의 군집(clustered)을 나타내며, 0일 경우는 속성 단위들 간 공간연관성이 부재함을 의미하며, 0보다 작을 경우 높음 또는 낮은 속성단위들의 분산(dispersed)을 의미한다.

비도시지역인 구례군과 순창군은 취약요인별 공간자기상관분석 결과가 비교적 상이하게 분석되었다. Moran's index 값이 0.5 이상으로 나타나는 취약요인으로는 구례군은 폭염일수, 폭염지속일수, 열대야일수, 인구밀도, 심근경색 환자수, 의료기관 접근성, 도시화율, 무더위쉼터 이용가능인원, 무더위쉼터 접근성으로 분석되었으며 순창군은 그림자패턴, SVF, 노후주택수, 주택노후등급, 평균 나이, 심근경색, 뇌졸중 환자수, 의료기관 접근성, 도시화율, 무더위쉼터 이용가능인원, 무더위쉼터 접근성 등 총 9개 요인으로 분석되었다. 비도시지역 중 국민건강보험공단(NHIS) 온열질환자수가 더 많았던 순창군의 경우 폭염 위험 취약요인 중에서 위해성요소 5개 중 2개, 취약성요소 7개 중 5개, 노출성 13개 요인 중 3개 요인으로 총 10개 요인이 상관성이 높은 것으로 나타났다(Table 3).

도시지역인 도봉구와 서대문구의 경우 도봉구는 위해성 요소인 폭염지속일수, 열대야지속일수에서 0.5 이상의 Moran's index가 나타났으며, 서대문구는 위해성 요소인 폭염일수와 폭염지속일수, 취약성 항목인 주택노후등급에서 공간상관성이 높은 것으로 나타났다. 도시지역은 대조군은 '노출성' 요소에서 자기상관성 0.5 이상인 항목이 나타나지 않았으나, 노출성 전체 요소들의 Moran's index는 도봉구보다 서대문구에서 높았다. 따라서 폭염위험도 노출성 요소들은 도봉구보다 서대문구가 공간상관성이 높음을 알 수 있다(Table 4).

3.2. 비도시지역과 도시지역의 집계구 단위 폭염위험지도 산출

폭염 위험지도산출에는 폭염취약요소들을 이용한 공간자기상관분석 결과를 이용하였다. 폭염취약요소들을 Jenks

natural breaks classification(전체 값들의 평균값을 기준으로 등급 내의 분산은 줄이고, 각 등급간 분산을 최대화하는 방식으로 7~10등급 이하로 구분할 때 주로 활용됨(Jenks, 1967)) 방법을 기준으로 7단계로 구분하여, Moran's index를 산출하였다. 위험도 산출은 위해성, 노출성, 취약성에 각각 가중치를 부여한 후 합산하는 방법을 사용하였다. 각각의 가중치는 위해성(0.37), 노출성(0.36), 취약성(0.27)이며, 가중치는 환경부에서 기상, 보건, 환경, 행정, 통계 등 폭염 관련 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하여 계층화 분석(AHP)을 통해 도출된 값을 이용하였다(Ministry of Environment, 2019). 위험도는 1~5 등급으로 나누었으며, 5등급이 가장 폭염위험도가 높음을 뜻한다.

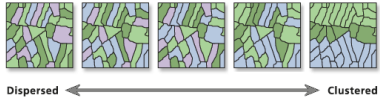
폭염위험도(risk) 세부지표로는 구례군에서 위해성(hazard) 항목들이 높은 상관관계를 나타냈으며, 순창군은 취약성(vulnerability) 항목에서 높은 상관관계를 나타내었다. 폭염위험지도 산출결과 구례군은 총 집계구 50개 중 12개 집계구가 폭염위험도 5등급을 나타내었고, 행정구역 전체 면적의 약 3.4%를 차지하였으며, 순창군은 총 집계구 58개 중 7개의 집계구가 폭염위험도 5등급을 나타내고 행정구역 전체면적의 약 10.4%를 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 15). 구례군에 비해 순창군의 폭염위험도 5등급 집계구 개수는 적지만 면적은 3배 넓게 나타났다. 폭염위험의 위해성 항목(기상요인)에서 구례군과 순창군의 폭염지속일수와 SVF가 상호간에 가장 큰 편차를 보이는 요인으로 나타났으며, 폭염지속일수와 SVF 모두 구례군은 집계구 간 차이가 크고 높은 값을 나타내는 군집화된 특성이 잘 나타나지 않는 반면 순창군은 높은 값을 나타내는 군집화된 특성이 뚜렷하게 나타났다. 순창군의 넓게 분포된 폭염 위험지역은 주거지가 폭염위험도가 높은 지역에 있다면 주거지 주변 생활반경 또는 높은 폭염위험도를 나타낼 수 있는 가능성이 높다는 것을 의미한다.

도봉구와 서대문구의 경우 도봉구는 총 637개 집계구 중 128개 집계구가 폭염위험도 5등급을 나타내었으며, 도봉구 전체면적의 5.9%로 나타났다. 서대문구는 총 626개 집계구 중 152개 집계구가 폭염 위험도 5등급으로 나타났으며, 전체면적의 약 15.6%를 차지하였다(Fig. 15). 서대문구는 도봉구와 달리 폭염위험도가 높은 집계구가 넓고 고르게 분포하였으며, 5등급 면적의 비율이 도봉구에 비해 2배 이상 높게 나타났다. 서대문구는 특히 '폭염일수'와 '주택노후등급' 항목에서 높은 상관관계가 있는 것으로 분석되었으며, 도봉구는 '열대야지속일수'에서 높은 상관성을 보였다.

Table 3. Moran's index for each heat wave vulnerability factor in Gurye and Sunchang (Moran's index is grater than 0.5 written in bold)

Hazard			Exposure		
	Gurye	Sunchang		Gurye	Sunchang
Heat wave days	0.526 (p-value 0.000000)	0.402 (p-value 0.000001)	Infant population	0.192 (p-value 0.000008)	0.427 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Duration of heatwave	0.591 (p-value 0.000000)	0.017 (p-value 0.454450)	Elderly population	0.242 (p-value 0.000000)	0.475 (p-value 0.000000)
	Clustered	Random		Clustered	Clustered
Tropical night days	0.704 (p-value 0.000000)	0.437 (p-value 0.000000)	Population density	0.601 (p-value 0.000000)	0.265 (p-value 0.001243)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Shadow value	0.383 (p-value 0.000000)	0.739 (p-value 0.000000)	Average age	0.167 (p-value 0.000081)	0.580 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Sky view factor	0.036 (p-value 0.236856)	0.703 (p-value 0.000000)	Aging index	0.254 (p-value 0.000000)	0.457 (p-value 0.000000)
	Random	Clustered		Clustered	Clustered
Vulnerability					
Number of old houses	0.008 (p-value 0.556152)	0.510 (p-value 0.000000)	Support fee for the elderly	0.189 (p-value 0.000011)	0.493 (p-value 0.000000)
	Random	Clustered		Clustered	Clustered
Number of nursing homes	0.077 (p-value 0.036171)	0.044 (p-value 0.467206)	Agriculture population	0.057 (p-value 0.401805)	0.050 (p-value 0.392016)
	Clustered	Random		Random	Random
Access to local medical institutions	0.696 (p-value 0.000000)	1.155 (p-value 0.000000)	Hypertensive	0.064 (p-value 0.076282)	0.177 (p-value 0.026834)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Grade of old houses	0.180 (p-value 0.000026)	0.738 (p-value 0.000000)	Diabetes	-0.035 (p-value 0.756316)	-0.064 (p-value 0.594331)
	Clustered	Clustered		Random	Random
Urbanization rate	0.992 (p-value 0.000000)	1.448 (p-value 0.000000)	Hyperlipidemia	0.008 (p-value 0.550881)	-0.015 (p-value 0.974844)
	Clustered	Clustered		Random	Random
Number of people available to use the cooling center	0.584 (p-value 0.000000)	0.790 (p-value 0.000000)	Cancer	0.102 (p-value 0.010034)	0.359 (p-value 0.000019)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Access to cooling center	0.557 (p-value 0.000000)	1.080 (p-value 0.000000)	Cardiac infarction	0.753 (p-value 0.000000)	1.104 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
 <p style="text-align: center;">Dispersed ← → Clustered</p>			Stroke	0.230 (p-value 0.000000)	0.651 (p-value 0.000000)
Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) - ArcGIS 10.3				Clustered	Clustered

Table 4. Moran's index for each heat wave vulnerability factor in Dobong and Seodaemun
(Moran's index is grater than 0.5 written in bold)

Hazard			Exposure		
	Dobong	Seodaemun		Dobong	Seodaemun
Heat wave days	0.386 (p-value 0.000000)	0.694 (p-value 0.000000)	Infant population	0.032 (p-value 0.000000)	0.264 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Duration of heatwave	0.535 (p-value 0.000000)	0.656 (p-value 0.454450)	Elderly population	0.108 (p-value 0.000000)	0.244 (p-value 0.000000)
	Clustered	Random		Clustered	Clustered
Tropical night days	0.409 (p-value 0.000000)	0.140 (p-value 0.000000)	Population density	0.051 (p-value 0.000000)	0.204 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Shadow value	0.552 (p-value 0.000000)	0.128 (p-value 0.000000)	Average age	0.143 (p-value 0.000000)	0.318 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Sky view factor	0.178 (p-value 0.000000)	0.422 (p-value 0.000000)	Aging index	0.151 (p-value 0.000000)	0.239 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Sky view factor	0.136 (p-value 0.000000)	0.418 (p-value 0.000000)	Support fee for the elderly	0.155 (p-value 0.000000)	0.296 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Vulnerability					
Number of old houses	0.155 (p-value 0.000000)	0.200 (p-value 0.000000)	Hypertensive	0.217 (p-value 0.000000)	0.330 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Number of nursing homes	0.009 (p-value 0.000000)	0.066 (p-value 0.000000)	Diabetes	0.191 (p-value 0.000000)	0.314 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Access to local medical institutions	0.144 (p-value 0.000000)	0.432 (p-value 0.000000)	Hyperlipidemia	0.174 (p-value 0.000000)	0.358 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Grade of old houses	0.267 (p-value 0.000000)	0.556 (p-value 0.000000)	Cancer	0.131 (p-value 0.000000)	0.289 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
Number of people available to use the cooling center	-0.002 (p-value 0.000000)	-0.016 (p-value 0.000000)	Cardiac infarction	0.085 (p-value 0.000000)	0.189 (p-value 0.000000)
	Random	Random		Clustered	Clustered
Access to cooling center	0.145 (p-value 0.000000)	0.455 (p-value 0.000000)	Stroke	0.124 (p-value 0.000000)	0.268 (p-value 0.000000)
	Clustered	Clustered		Clustered	Clustered
			 <p style="text-align: center;">Dispersed ← → Clustered</p>		
			Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) - ArcGIS 10.3		

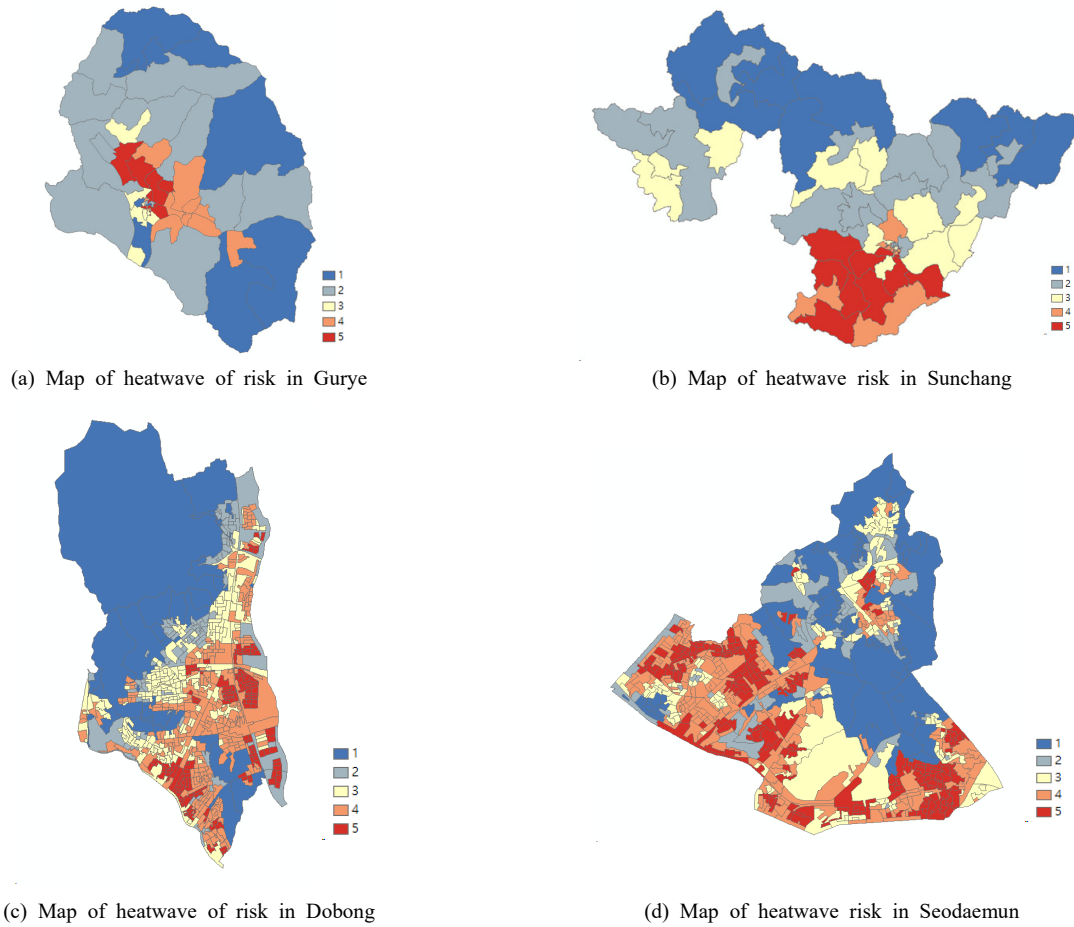


Fig. 15. Map of heatwave risk in (a) Gurye, (b) Sunchang, (c) Dobong, (d) Seodaemun

3.3. 기온과 제공기관별 온열질환자 발생 특성

국민건강보험공단(NHIS)의 맞춤형 연구DB로 제공받은 온열질환자수는 외래, 입원, 응급을 모두 포함하며, 질병관리청(KDCA)의 온열질환감시체계 자료는 응급실 방문 현황을 신고받아 작성되기 때문에 응급환자 수를 나타낸다. 질병관리청 온열질환감시체계는 진단명이 온열질환으로 분류되고, 총 6가지로 나누어 구분된다. 건강보험관리공단의 맞춤형 연구DB는 총 8가지 온열질환명으로 나누어 구분된다(Table 5). T670(열사병), T671(열실신), T672(열경련)는 중증의 온열질환으로 분류되며 나머지는 상대적으로 경증 온열질환으로 분류된다.

Table 6에서는 기관별, 온열질환 코드별 환자수를 비교하였다. 중증 온열질환인 T670(열사병) 환자수는 건강보험공단은 구례군보다 순창군이 많으나, 질병관리청은 구례군이 더 많은 것으로 집계되었다. 이는 전체 열사병 환

Table 5. Disease codes for KDCA and NHIS

Disease code	
KDCA(6)	NHIS(8)
T670 Heatstroke and sunstroke	T670 Heatstroke and sunstroke
T671 Heat syncope	T671 Heat syncope
T672 Heat cramp	T672 Heat cramp
T673, 674, 675 Heat exhaustion, anhydrotic	T673 Heat exhaustion due to dehydration
T677 Heat oedema	T674 Heat exhaustion due to salt loss
T678, T679 Other effects of heat and light	T675 Heat exhaustion of unknown details
	T676 Transient heat exhaustion
	T677 Heat oedema

자수는 순창군이 많고, 응급 열사병 환자수는 구례군이 더 많음을 의미한다. 도봉구와 서대문구도 비슷한 패턴을 나타냈다. 질병관리청의 열사병 환자수는 도봉구가 더 많

Table 6. Number of patients by disease code in urban and rural areas

Disease code	KDCA	NHIS	KDCA	NHIS	KDCA	NHIS	KDCA	NHIS		
	T670	T670	T671	T671	T672	T672	T673,4,5	T673	T674	T675
Gurye	8	9	0	0	0	1	4	2	6	1
Sunchang	0	47	1	1	1	1	1	2	0	9
Dobong	14	8	2	1	2	4	73	9	0	34
Seodaemun	7	18	0	1	0	1	3	219	4	27

았지만, 건강보험공단의 열사병 환자수는 서대문구가 더 높게 나타나, 전체 환자수는 서대문구가 더 많고 응급환자수는 도봉구가 더 많은 것으로 나타났다.

상대적으로 경증의 온열질환인 T673-5(열탈진) 환자는 응급환자의 경우 구례군이 더 많으나, 전체 진료환자수는 순창군이 더 많았으며, 구례군은 T674(염분상실에 의한 열탈진) 환자가 많고, 순창군은 T675(상세불명의 열탈진) 환자가 많은 것으로 나타났다.

비도시지역인 구례군과 순창군은 전체 온열질환자 중 상대적으로 중증인 T670(열사병) 환자의 비율이 높고, 도시지역은 경증의 온열질환인 T673-5(열탈진) 환자가 많이 발생하는 특성을 보였다. 도시지역의 경우 응급환자수를 나타내는 질병관리청 환자수는 서대문구 3명, 도봉구 73 명으로 도봉구가 훨씬 많이 나타났지만 국민건강보험공단 환자수는 도봉구보다 서대문구가 훨씬 많았으며, 서대문구에서는 특히 T673(탈수성 열탈진)환자가 많이 발생하는 특성을 보였다.

기상자료와 환자발생 특성을 분석하기 위해 일 최고기온과 온열질환자 자료를 이용하여 일최고기온과 환자발생 특성을 분석하였다. 국민건강보험공단 온열질환자 발생 현황은 개인정보보호를 위해 1주일 단위로 발생한 환자수를 합하여 나타냈으며, 일 최고기온은 매일의 가장 높은 기온을 나타낸다. 순창군은 열사병 응급(Emergency Room, ER) 환자가 발생하지 않았다. 7월 중순 이후 폭염이 지속되었으며, 8월 중순 이후 일 최고기온은 구례군보다 순창군이 높았다(Fig. 16). 순창군의 열사병환자는 폭염이 약 2주 지속된 후 폭증하였으며, 구례군의 열사병 응급환자는 폭염이 시작되면서 발생하기 시작하였다. 두 지역의 열사병환자 발생 특성이 뚜렷하게 다르게 나타났다. 일최저기온과 온열질환자 발생 그래프에서는 구례군과 순창군의 열대야일수가 적었으며, 7월 중순 이후 일최저기온이 높아지면서 구례군의 열사병환자가 발생하기 시작하였다. 높은 일최저기온이 지속되면서 순창군에서 다수의 열사병 환자가 발생하였다(Fig. 17).

도시지역인 도봉구와 서대문구는 열탈진 환자가 많이 발생하였으며, 여름철 일최고기온의 변화는 두 지역이 비슷한 패턴을 보였다. 도봉구는 폭염이 시작되면서 전체 열탈진 환자와 응급환자가 집중적으로 발생한 반면, 서대문구는 여름철 내내 열탈진환자가 발생하였다. 폭염이 지속되면서 환자수가 증가하고 특히 T675(상세불명의 열탈진) 환자가 발생하는 특징을 보였다. 도봉구의 열탈진환자는 폭염기간에 집중된 반면 서대문구의 열탈진 환자는 여름기간 내내 지속적으로 발생하였다(Fig. 18).

일 최저기온의 경우 7월 말부터 8월 중순까지 도봉구와 서대문구에 열대야가 나타났으며, 도봉구는 일 최저기온이 높은 기간에 집중적으로 열탈진 환자가 발생하였다. 서대문구는 일 최저기온이 높은 시기에 T675 환자가 발

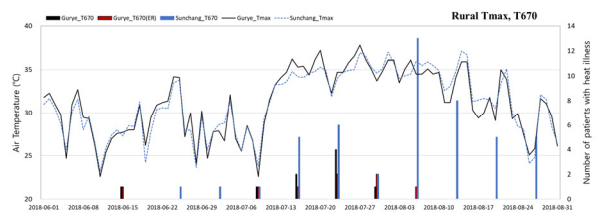


Fig. 16. Patients (T670) with daily maximum temperature and heat-related illness in Gurye-gun and Sunchang-gun

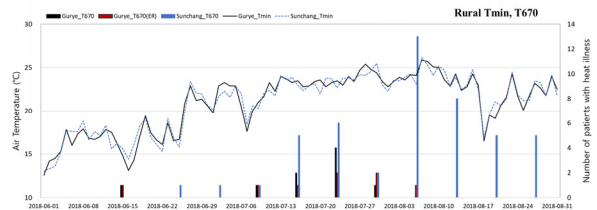


Fig. 17. Patients (T670) with daily minimum temperature and heat-related illness in Gurye-gun and Sunchang-gun

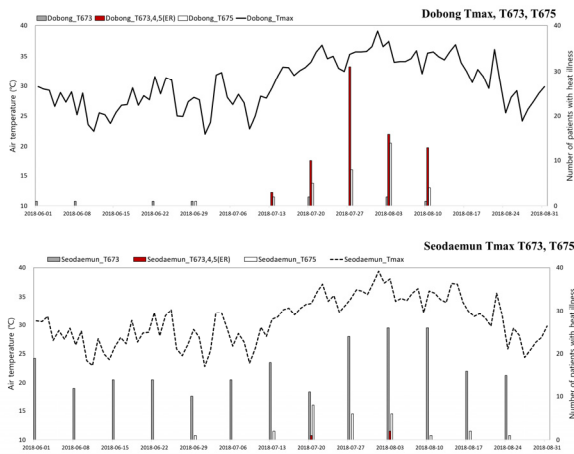


Fig. 18. Patients (T673, T675) with daily maximum temperature and heat-related illness in Dobong-gu and Seodaemun-gu

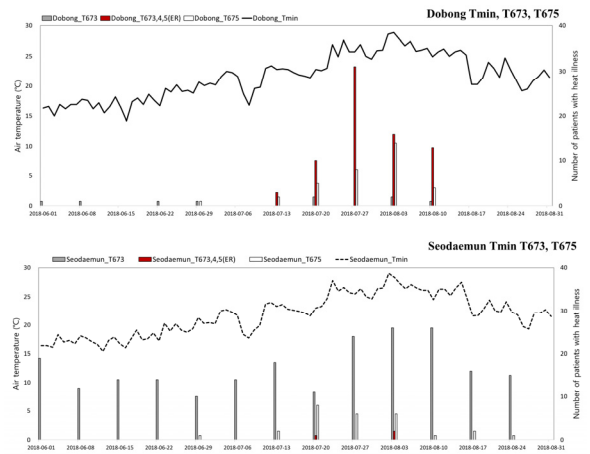


Fig. 19. Patients (T673, T675) with daily minimum temperature and heat-related illness in Dobong-gu and Seodaemun-gu

생하였으며, 열대야가 아닌 구간에서는 일 최저기온이 이전에 비해 급격히 높아지는 구간에 열탈진 환자수가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 19). 인구가 많고, 상대적으로 의료기관 접근성이 높은 도시지역의 경우 경증의 온열질환자가 많이 발생하였지만 대조군지역의 온열질환자 발생 특성이 뚜렷한 차이를 나타냈다. 본격적인 폭염이 시작되면서 환자가 급증하는 도봉구의 경우 폭염 대비를 위한 교육이나 홍보 등의 소프트웨어적인 사회적 대책이 요구된다면 여름내내 지속적으로 열탈진 환자가 발생하는 서대문구는 도시의 물리적인 개선을 통한 하드웨어적인 구조적 대책이 필요할 것이다.

4. 고찰

본 연구에서는 온열질환자가 많이 발생하였던 2018년 여름 비도시지역과 도시지역 대조군의 집계구 단위 상세 폭염취약성 분석을 위해 폭염위험지도를 작성하고, 온열질환환자 자료를 분석하여 도시지역과 비도시지역 각각에 맞는 폭염대책수립지원을 위해 수행되었다. 통계적 수치가 비슷하고 지리적으로 인접해있는 대조군 지역의 온열질환발생 특성이 어떻게 다르게 나타나고 그 원인은 무엇인지 파악하기 위해 상세단위 공간관계 분석을 수행하였다. 집계구 단위의 폭염취약요소 자료를 구축하기 위해 통계청, 국토교통부, 행정안전부, 기상청 등의 자료를 이용하였으며, 집계구 단위의 폭염일수, 폭염지속일수, 열대야일수, 열대야지속일수, 고해상도 지면요소를 반영한 그

림자패턴, SVF 등의 자료를 구축하였다. 또한 온열질환자 발생 특성을 함께 분석하기 위해 기존 연구자료에서 사용되었던 질병관리청 온열질환감시체계 자료 뿐만 아니라 국민건강보험공단 맞춤형 연구 DB 자료를 제공받아 제공기관의 특성에 따른 환자발생 특성을 분석하였다. 그 결과 주로 응급환자 자료가 수집되는 질병관리청 자료와 모든 온열질환 환자의 수를 수집하는 국민건강보험공단의 환자 수가 지역에 따라 뚜렷한 차이를 나타내었다. 취약요인별 공간자기상관분석 결과 두 지역간 편차가 가장 큰 요인으로는 폭염지속일수와 SVF로 본 연구에서 구축한 요소들로서 보행자 환경에서의 체감정도를 나타내는 요인들이 지역의 취약요인을 변별력있게 구분해주는 것으로 해석되었다. 도시지역인 도봉구와 서대문구의 경우 비도시지역과 달리 노출성에 해당하는 취약요인들의 공간상관성이 낮게 분석되었으며, 위해성 요소들의 상관성이 높게 나타났다. 도시지역 또한 두 지역간 편차가 가장 큰 요인은 그림자패턴, SVF로 나타나 비도시와 도시지역 모두 고해상도 지면자료를 이용하여 보행자 높이에서의 상세 자료를 구축하여 폭염취약성을 분석 시 지역별 차이를 보다 명확하게 나타낼 수 있음을 알 수 있었다. 집계구 단위로 구축된 폭염취약 요소들을 이용하여 폭염위험지도를 산출한 결과 비도시지역의 폭염위험도 5등급 면적은 구례군은 전체 면적의 약 3.4%, 순창군은 약 10.4%로 순창군이 약 3배 넓은 것으로 분석되었으며, 도시지역의 경우 도봉구는 전체면적의 약 5.9%, 서대문구는 15.6%로 서대문구가 더 넓게 나타났다. 온열질환자 자료를 이용해

분석된 온열질환자 발생 특성은 비도시지역의 경우 응급 환자수는 구례군이 높았지만, 전체 온열질환 환자수는 순창군이 약 3배 많았으며, 특히 비도시지역의 환자는 열사병으로 분류된 환자가 많았다. 도시지역의 경우 응급환자수는 도봉구가 서대문구보다 많았지만 전체 온열질환 환자수는 서대문구가 약 3배이상 많았으며, 도시지역은 열탈진으로 분류된 환자수가 가장 많은 것으로 분석되었다. 기온자료와 온열질환자 발생 특성을 함께 분석한 결과 도시지역인 도봉구는 폭염시 환자발생이 급격히 증가하는 경향을 보여, 갑자기 발생하는 극심한 폭염에 대비하기 위해 교육과 홍보 등 소프트웨어적인 사회적 대책이 필요하고, 서대문구는 도시열섬으로 인해 더위가 지속되는 경향으로 여름내 환자가 지속적으로 발생하기 때문에 도시의 물리적구조를 개선하는 하드웨어적인 구조적 대책이 필요할 것으로 사료된다. 도시지역의 피해를 줄이기 위해서는 노인, 실외 노동자 등 폭염 취약계층에 대한 보건서비스와 녹지율 증대 등의 중장기적 대책의 강화가 요구되지만, 비도시지역의 경우 폭염특보의 효과적인 전달 및 폭염 위험성에 대한 교육이나 홍보 등을 통한 인식 제고의 노력이 필요하다. 공간상관분석을 통해 분석한 결과 취약요소의 공간상관성이 다르게 나타나고, 이에 따라 폭염위험지도의 차이를 나타냈다. 대조군 비교 결과 구례군과 도봉구의 환자발생 특성이 유사하고, 순창군과 서대문구의 환자발생 특성이 유사하게 나타났다.

5. 결론

도시와 비도시지역의 폭염 피해 발생 양상은 다르게 나타나며, 이에 따라 폭염대책 또한 다르게 적용되어야하고 지자체별 폭염대책을 수립하기 위해서는 상세 폭염취약 분석이 필요하다. 본 연구를 통해 산출된 집계구 단위의 상세폭염취약성 분석은 보다 상세단위의 폭염대책을 마련하고자 하는 지자체의 정책에 반영될 수 있을 것으로 사료되며, 비도시와 도시의 온열질환자 발생 특성에 따라 지역 특성에 맞는 폭염대책 마련에 근거가 될 수 있을 것이다. 그러나 자연 재난으로 규정된 폭염 대책은 지역 규모와 특성에 따라 수립 규모와 방법이 상이하기 때문에 본 연구에서 제시된 방법이 적합하지 않은 지역도 존재할 수 있으며, 본 연구의 대상지역이 도시와 비도시에 대한 대표성을 나타내기는 어렵다는 한계가 있다. 향후 전국단위로 지역을 더 확장하여 비슷한 패턴의 폭염취약성 결과가 나타나는 지역을 확인하고 그룹화하여, 폭염취약 요인

을 보다 명확하게 규명해야한다. 또한 지역별로 폭염취약 요인이 비슷한 지역을 대상으로 폭염대책을 마련하여 적용할 수 있을 것이다. 현재 지자체의 ‘기후변화 적응대책 세부시행계획’의 폭염 관련 사업은 주로 고령자, 독거노인 등 취약 계층에 대한 건강 영향 분야에 치우쳐있어 기후변화로 인한 도시 공간 전반의 폭염 위기 대응에는 미흡하다. 보다 효과적인 폭염대책마련을 위해서는 환경적 요소 뿐만 아니라 온열질환에 영향을 미칠 수 있는 개인의 주변환경, 경험, 개인특성 등 개인별 차이가 나타날 수 있는 사회적 요소들을 반영하여 폭염이 인체에 미치는 위생과 사회경제적인 영향과 더불어 지역별 피해 원인을 예측하여 포괄적인 고려가 필요할 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 행정안전부 자연재난 정책연계형 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2020-MOIS35-002 (RS-2020-ND629022)).

References

- Anselin L. 1988. Spatial econometrics: Methods and models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Back SY, Kim SW, Jung MI, Roh JW, Son SW. 2018. Classification of heat wave events in Seoul using self-organizing map. *J Clim Change Res* 9(3): 209-221 (in Korean with English abstract). doi: 10.15531/ksccr.2018.9.3.209
- Bae MK, Kim BE, Yi CY. 2020. Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. *J Environ Policy Admin* 28(3): 243-280 (in Korean with English abstract). doi: 10.15301/jepa.2020.28.3.243
- Baek JH, Lee S. 2022. Analysis of contrast regions under heatwave. *Crisisonomy* 18(2): 71-84 (in Korean with English abstract). doi: 10.14251/crisisonomy.2022.18.2.71
- Ha J, Kim H. 2013. Changes in the association between summer temperature and mortality in Seoul, South Korea. *Int J Biometeorol* 57(4): 535-544. doi: 10.1007/s00484-012-0580-4

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2021. Summary for policymakers. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R, Zhou B (eds). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge: Cambridge University Press. p. 3-32. doi: 10.1017/9781009157896.001.
- Jang EJ. 2016. A study on the utilization of big data in health care. *HIRA Policy Trends* 11(1): 8-18.
- Jenks GF. 1967. The data model concept in statistical mapping. *Int Yearb Cartogr* 7: 186-190.
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2019. Health effects of the 2018 heat waves in South Korea.
- Kim DW, Chung JH, Lee JS, Lee JS. 2014. Characteristics of heat wave mortality in Korea. *Atmosphere* 24(2): 225-234 (in Korean with English abstract). doi: 10.14191/Atmos.2014.24.2.225
- Kim JA, Kim KR, Lee CC, Sheridan SC, Kalkstein LS, Kim BJ. 2016. Analysis of occurrence distribution and synoptic pattern of future heat waves in Korea. *J Clim Res* 11(1): 15-27 (in Korean with English abstract). doi: 10.14383/cri.2016.11.1.15
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2019. 2018 yearbook. Daejeon, Korea: Author. 11-1360000-000011-10.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2023. Heat wave in small and medium cities goes beyond large cities. Daejeon, Korea: Author. Press Release.
- Kwon HG, Choi MY, Yi C, Park J. 2021. Analysis of the causes of heatwave vulnerability on a detailed scale in the summer of 2018 - Focus on Gurye-gun, Sunchang-gun -. *J Clim Change Res* 12(6): 661-676 (in Korean with English abstract). doi: 10.15531/KSCCR.2021.12.6.661
- Lee HD, Min KH, Cha DH. 2020. Characteristics and comparison of 2016 and 2018 heat wave in Korea. *Atmosphere* 30(1): 1-15 (in Korean with English abstract). doi: 10.14191/Atmos.2020.30.1.001
- Luo M, Lau NC. 2017. Heat waves in Southern China: Synoptic behavior, long-term change, and urbanization effects. *J Clim* 30(2): 703-720. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0269.1
- LX (Korea Land and Geospatial InformatiX Corporation). 2022. Urban planning status. https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=460&tblId=TX_315_2009_H1002&conn_path=I2
- Ministry of Environment. 2019. The risk of heat waves in Korea will also increase over the next 10 years. Sejong, Korea: Author. Press Release.
- NDMI (National Disaster Management Institute). 2014. Construction of heat wave risk map based on various heat wave-related information.
- Park J, Chae Y. 2020. Analysis of heat-related illness and excess mortality by heat waves in South Korea in 2018. *J Korean Geogr Soc* 55(4): 391-408 (in Korean with English abstract). doi: 10.22776/kgs.2020.55.4.391
- Park JH. 2022. Current Sstatus and implications of heat wave measures in local governments. Sejong, Korea: Korea Research Institute for Human Settlements. WP 22-32.
- Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis*. Geneva, Switzerland: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. doi: 10.1017/CBO9781107415324
- Yang H, Yi C, Bae MK. 2019. The analysis of road surface characteristics for road risk management in heat wave: Focused on Cheongju city. *J Environ Policy Admin* 27(3): 51-73 (in Korean with English abstract). doi: 10.15301/jepa.2019.27.3.51
- Yi CY, Kwon HG, Lindberg F. 2018. Radiation flux impact in high density residential areas - A case study from Jungnang area, Seoul -. *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 21(4): 26-49. doi: 10.11108/kagis.2018.21.4.026