

2018년 여름 집계구 단위의 상세 폭염취약성 원인 분석 - 구례군과 순창군을 대상으로 -

권혁기* · 최민영** · 이채연***† · 박종철****

*한국외국어대학교 대기환경연구소 선임연구원, **한국외국어대학교 대기환경연구소 연구보조원,
한국외국어대학교 대기환경연구소 책임연구원, *공주대학교 지리학과 부교수

Analysis of the Causes of Heatwave Vulnerability on a Detailed Scale in the Summer of 2018 - Focus on Gurye-gun, Sunchang-gun -

Kwon, Hyuk-Gi* · Choi, Min-Young** · Yi, Chaeyeon***† · Park, Jongchul****

*Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUFS, Korea

**Research assistant, Research Center for Atmospheric Environment, HUFS, Korea

***Principle Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUFS, Korea

****Professor, Department of Geography, Kongju National University, Korea

ABSTRACT

This study attempted to analyze the characteristics of heatwave damage in Gurye-gun and Sunchang-gun in 2018, at the height of a severe heatwave, and to identify detailed heatwave-vulnerable areas through spatial analysis. Data were assembled in units of aggregation zones for detailed spatial analysis. Shadow patterns, Sky view factor (SVF), and average radiation temperature distributions of 5m resolution were calculated using a solar radiation model for high-resolution thermal environment analysis. Individuals, environments, diseases, and weather factors that can affect heat wave damage were analyzed in units of census, and variables with spatial autocorrelation for Gurye-gun and Sunchang-gun were extracted through the model of Global Moran's I. In the analysis, Gurye-gun and Sunchang-gun showed the greatest difference in correlation between SVF and heatwave duration days calculated based on the characteristics of the high-resolution indicators in this study. Using the extracted variables and the average radiation temperature calculated from the solar radiation model, a map of high risk of heatwaves and high vulnerability was produced. The proportional area with high risk of heatwaves (level 4-5) was 7.2% for Gurye workers and 21.4% for Sunchang-gun, an about three-fold difference. The results of this study can contribute to establishment of local government heatwave response plans and can be reflected in customized response policies tailored to detailed areas, especially depending on vulnerable factors.

Key words: Heatwave, Mean Radiant Temperature, Spatial Autocorrelation, Vulnerability Analysis

1. 서론

이상기후 문제가 대두되면서, 기후변화 적응을 위한 취약지역 분석과 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 폭염은 많은 온열질환자와 사망자를 발생시키며 점차 심화되는 양상을 보이고 있다. 실제 기상관측이 시작된 1973년부터

2019년까지 일 최고기온의 극값은 1.5°C, 폭염일수는 6.9일이 증가하였으며(Korea Environment Institute, 2020), 특히 폭염이 자연재난으로 지정된 2018년의 폭염일수는 31.5일이며(Korea Meteorological Administration, <https://data.kma.go.kr>), 우리나라 폭염일수는 현재 연간 10.1일에서 21세기 후반에는 35.5일(RCP 8.5)로 큰 폭으로 증가할 것으

†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

최민영 0000-0001-9363-8027
박종철 0000-0002-7814-6232

로 예측되었다(Ministry of Environment, 2020). 최근 30년 기온은 20세기 초보다 1.4°C 상승했는데 1980년대에는 연평균 기온이 13.4°C였으나 1990년대에는 14°C로 크게 상승했다. 2018년에는 우리나라 관측 기록상 폭염일수 최다, 온열질환 응급실감시체계 운영 이래 신고 환자수가 역대 최다를 기록했다. 폭염에 의한 온열질환자 역시 연평균(2011 ~ 2017년) 온열질환자 1,132명, 사망자가 11명인데 반해 2018년에는 온열질환자 4,526명, 사망자는 48명으로 큰 폭으로 증가한 것으로 집계되었다(Ministry of Environment, 2019). 폭염의 심각성은 기후변화에 의해 더 크게 증가할 것이며, 21세기 말(2081 ~ 2100년), 전지구 평균기온은 온실가스 배출 정도에 따라 현재(1995 ~ 2014년) 대비 +1.9 ~ 5.2°C 상승할 것으로 전망되며(National Institute of Meteorological Sciences, 2020), 2050년까지 폭염이 2 ~ 7배 증가될 것으로 예측된다(Fischer, 2021). 이러한 폭염 빈도와 강도의 증가는 인명, 사회, 경제 등 다양한 분야에서의 피해를 발생시킨다. 미국에서는 80년대 후반부터 2003년까지 기상재해 중 폭염과 가뭄으로 인한 인명피해가 91.6%를 차지하였고, 폭염이 심했던 2003년 유럽에서는 35,000여 명이 사망하고 130억 달러 이상의 피해가 발생했다(Heo et al., 2009). 폭염은 알리지, 천식, 탈진, 실신, 탈수 등의 온열질환을 발생시키거나(Kim et al., 2014) 체내 체온조절 기능을 저하시켜 각종 질병 발생률을 높이고(Kim et al., 2016), 특히 일 최고기온이 33°C를 초과할 시 사망률이 급증하는 양상을 보인다(Kim et al., 2014). 취약계층이 받는 폭염의 피해와 관련한 많은 연구들이 진행되어 왔으며, 호주의 노인 인구수와 폭염 사망자 사이에 유의미한 연관성이 있으며(Jian Chenga, 2018), 전 세계적으로 지역별 폭염피해 차이가 나타나고(Sharon, 2018), 특히 농촌과 도시의 온열질환 발생률이 다르게 나타나 지역간의 폭염피해 차이 특성을 분석하는 연구가 진행되어왔다(Park and Chae, 2018). 지역적 관점에서 보았을 때 한 공간에 해당하는 지역 일지라도 폭염관련 피해는 불균형적으로 나타나며(George Lubber, 2008), 폭염에대한 적응을 위해 보다 더 정확성을 높이는 연구를 위해서는 다양한 분야의 지역 특성을 고려하여 포괄적인 접근이 필요하다고 제시되었다(Julia Kravchenko, 2013).

폭염에 의한 피해는 특히 65세 이상 고령자나 대응할 경제적 능력이 부족한 취약계층에게 매우 치명적이고(Kim et al., 2014), 지역별로는 같은 행정구역 내에서도 여름철 복사온도의 편차가 커서 지역별 피해 위험도가 다르게 나타난다(Bae et al., 2020). 따라서 피해위험에 대한 공간적 분석이 필요하다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel

on Climate Change, IPCC) 5차 보고서에서는 폭염의 ‘위험도(risk)’는 위험성(hazard), 노출성(exposure), 취약성(vulnerability) 간의 상호작용에 의해 발생하는 영향 정도를 의미하며, 폭염위험도 지표를 도출하였는데 이러한 폭염위험도 지표의 공간해상도는 시군구로 한정되어 실제 온열질환자가 발생하는 상세한 지역의 특성을 파악하고 지자체의 대책수립에 직접적으로 반영하기에는 제약이 있다. Choi et al.(2018)은 서울시를 대상으로 행정동 단위 기후변화에 대한 노출정도, 민감도, 적응능력 등에 대한 통계자료를 구축하고, 폭염취약성 공간분포를 분석하였다. 해당 연구결과는 행정동 단위의 취약성 지수에 따라 폭염적응정책을 수립하는데 중요한 자료로 활용될 수 있음을 보였다. 그러나 비교적 동단위 통계자료가 잘 구축되어있고, 행정력이 우수한 서울시에 비해 지방의 구단위 지역은 상세한 통계자료가 잘 구축되어있지 않으며, 구단위보다 더 상세한 지역단위 분석이 이루어지지 않고 있다. Bae et al.(2020)은 청주시를 대상으로 집계구 단위의 폭염지도를 작성해 폭염노출 위험 수준과 취약계층 거주가능성에 대한 공간관계를 해석하였다. 이를 통해 구도심에서의 취약성이 높음을 알 수 있었다. 집계구 단위의 공간분석은 폭염피해가 발생할 수 있는 상세 폭염위험요인 지도를 나타낼 수 있으며, 폭염위험을 저감시킬 수 있는 현실적인 정책을 수립하는데 기여할 수 있다. 하지만 자료수집의 한계로 상대적으로 취약성이 큰 만성질환자 등의 질환요인에 대한 변수가 누락되어 한계점을 제시하였다.

본 연구에서는 폭염피해의 발생원인 차이를 규명하기 위해, 폭염피해가 극심했던 2018년 여름에 일반적으로 인구와 지리적환경이 유사한 전남 구례군과 전북 순창군을 대조군 지역으로 선정하였다. 해당 지역의 폭염피해 발생현황을 비교하고, 집계구 단위의 상세 폭염취약성 원인분석을 위해 기상요인, 환경요인, 개인요인, 질환요인들을 구축하여 공간자 기상관성 분석을 하였다. 공간자기상관분석에서 나타나는 위험도와 열노출정보를 이용하여 폭염피해 위험지도를 작성하고 폭염피해 온열환자수와의 비교를 통해, 집계구 단위의 상세 폭염위험도를 도출하고 지자체에서의 상세단위의 폭염 대응 정책수립에 근거를 만드는데 기여하고자 하였다.

2. 연구자료 및 방법

2.1. 폭염피해 현황 자료

본 연구에서는 2018년 지역별 폭염피해 현황을 분석하기 위해 질병관리청의 온열질환 감시체계 자료, 국민건강보험공

단의 맞춤형연구 DB자료를 이용하였다. 질병관리청의 온열질환 감시체계 자료는 전국 응급실 운영 의료기관 중 519개 참여 기관에서 여름철 응급실 내원환자, 폭염으로 인한 온열질환자 및 온열질환 추정 사망자를 대상으로 신고된 자료이다. 본 자료는 시군구별로 증상발생일시, 발생시간, 성별, 연령 등의 정보를 제공한다. 온열질환 감시체계 자료는 응급실을 방문한 온열질환자현황을 모니터링한 자료이기 때문에 응급실이 아닌 외래 진료 등으로 의료기관에 내원한 온열질환자 수와는 차이가 나타날 수 있다(Table 1). 온열질환 감시체계는 한국표준질병·사인분류인 KCD (Korean Standard Classification of Diseases)-8의 범위와 정의에 따른다(Table 2). 2018년까지는 ‘응급실 소재지’를 기준으로 수집되었으며, 2018년 이후로는 ‘증상발생지역’을 기준으로 자료가 수집되었다. 국민건강보험공단에서 제공하는 맞춤형 연구 DB 자료는 의료보험에 가입된 모든 환자를 대상으로 보험료 청구 자료를 토대로 작성된 자료로서 국민건강보험공단이 수집, 보유, 관리하는 건강정보자료를 정책 및 학술 연구목적으로 이용할 수 있도록 가공하여 제공한다(Park and Chae, 2020). 2018년 질병관리청 온열질환 감시체계를 통해 산정된 온열질환환자수는 4,526명, 사망자는 48명이며, 국민건강보험공단 맞춤형 연구 DB를 통해 산정된 온열질환환자수는 44,094명으로 질병관리청 온열질환 감시체계 보다 약 10배 많은 환자수가 집계되었다. 따라서 폭염에 의한 온열질환자수 자료를 연구에 활용할 시에는 기관별 각 자료들의 특성을 이해하는 것이 필요하다.

Table 1. Statistical data on the status of health damage in the heatwave

	Data provider	Explanation
Heat-related illnesses surveillance	Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA)	Information on patients and deaths who visited the emergency room due to thermal disease (T67)
Customized research data	National Health Insurance Service (NHIS)	Health information data prepared based on insurance premium claim data submitted by all medical institutions

Table 2. Main symptoms and disease codes of heat-related diseases (KCD-8th revision)

Code	Classification	Major symptoms
T67.0	Heatstroke and sunstroke	Central nerve dysfunction
T67.1	Heat syncope	Fainting, Dizziness
T67.2	Heat cramp	Muscle spasm
T67.3	Heat exhaustion, anhydrotic	Raising body temperature
T67.4		Sweating a lot
T67.5		Sense of helplessness
		Vomiting
T67.7	Heat oedema	Edema
T67.8	Other effects of heat	
T67.9	and light	

2.2. 연구대상지와 상세규모의 기상요인 자료

Baek et al.(2020)은 2018년을 대상으로 전국 229개 지자체의 민감도, 적응능력, 노출도 등의 폭염 영향변수들과 질병관리청의 온열질환자 자료를 이용하여 상관성을 분석하였다. IBM SPSS statistics subscription을 이용하였으며, 총 25개 영향변수와 온열질환자 수 사이의 상관분석 결과 최종 11개 영향변수를 도출하였다. 229×229 지자체 쌍에 대해 11차원의 Euclidean distance를 산출하여, 지자체 쌍 유사도 분석을 통해 가장 비슷한 대조군인 전남 구례군과 전북 순창군을 선정하였다.

대상지역에 대한 폭염일의 기상현황 분석을 위해 상세기상의 공간분포 자료를 이용하였다. 기상청에서 자동기상관측(AWS)장비를 운영하고 있으나, 구례군은 자료가 공개되어 있지만 순창군은 공개되어 있지 않다. 또한 지점자료는 기상관측표준화법에 적합한 지점을 선정하여 주변환경을 대표하고 있지만, 보행자들이 주로 생활하는 지역과는 인접하지 않은 경우가 있으므로 기상청의 동네예보의 실험분석장 자료를 상세화한 격자기반의 기온자료를 이용하였다. Yang et al.(2019)은 폭염영향 예측을 위해 기상청 동네예보(5 km 해상도) 자료에 GPRM (Gaussian Process Regression Model)을 이용하여 해발고도, 경사각, 해안선으로부터의 거리, 토지피복, 우묵한 지형의 깊이, 동서방향경사, 남북방향경사, 사면향 등의 부변수들을 내삽하여 1 km 해상도의 상세기상자료를 산출하였다. 2018년 여름철을 대상으로 통계적 내삽방법인 IDW, Co-Kriging, GPRM을 이용해 모의성능을 비교하였으며, GPRM이 다양한 부변수의 활용이 용이하고 모의 효율이 우수하며 지형과 토지피복의 영향을 잘 묘사하고 있음을 보였

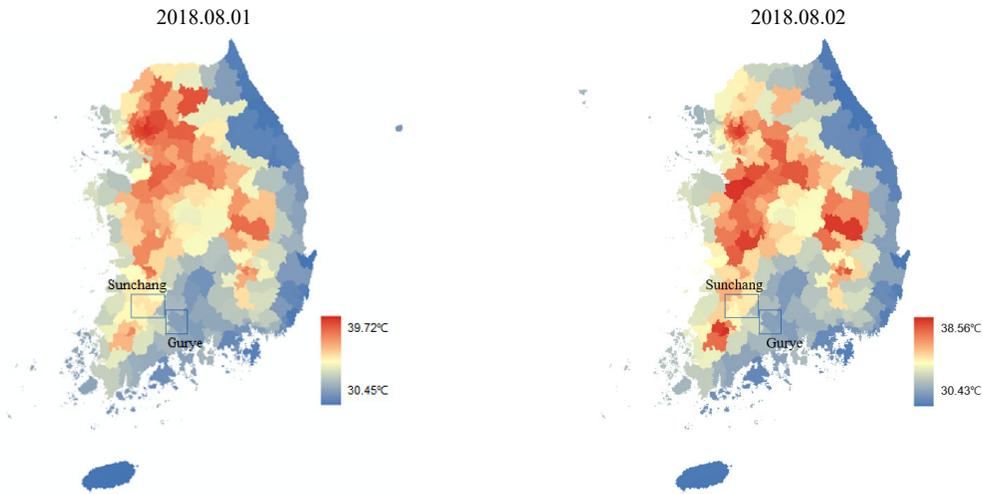


Fig. 1. Distribution of GPRM Tmax in cities, counties, and districts and districts on August 1 and 2, 2018

다. GPRM을 통해 생성된 상세기상장은 시가지 건조지역과 농경지에서 동네예보에 비해 정확도가 향상된 일 최고 및 최저기온을 산출하기 때문에, 보행자의 환경과 관련한 폭염영향 분석에 사용하기에 적합하다. 2018년 질병관리청의 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보(Korea Disease Control and Prevention Agency, 2019)에 따르면 폭염 사망자의 증상 발생일 중 가장 많은 날을 차지한(약 20.8%) 8월 1 - 2일을 대상으로 GPRM을 이용해 일 최고기온 분포를 분석하였다(Fig. 1). 구례군과 순창군의 일 최고기온 분포가 다르게 나타났으며, 내륙지역을 중심으로 높은 기온이 나타난 사례일로 분석되었다. 본 연구에서는 GPRM 상세기상장을 이용하여 2018년 여름 구례군과 순창군의 집계구 단위 폭염일수, 폭염지속일수, 열대야 일수를 산정하여 비교 분석하였다.

2.3. 집계구 단위 환경, 개인, 질환요인 자료

구례군과 순창군의 상세 폭염취약성 원인분석을 위해 집계구 단위(census output area)로 자료를 구축하였다. 집계구는 기초단위구를 기반으로 인구규모(최적 500명), 사회경제적 동질성(주택유형, 지가)을 고려하여 구축한 최소 통계 집계구역이다(통계청 통계지리정보서비스(SGIS, <https://sgis.kostat.go.kr/>)). 읍면동의 약 1/30 규모로, 통계청에서 통계정보를 제공하는 최소 통계구역 단위로 서울 약 16,000개, 경기 약 20,000개, 인천 약 5,000개 구역으로 나누어져 있다(Fig. 2). 집계구 경계기준은 기초 단위구로 읍면동별로 가구수에 상관없이 도로, 하천, 철도, 산능성 등과 같은 준항구적인 명확한 지형지물을 이용하여 구획한 단위구역을 뜻한다. 집계구 조사 자료는 통계청에서 자체 생산한 통계지

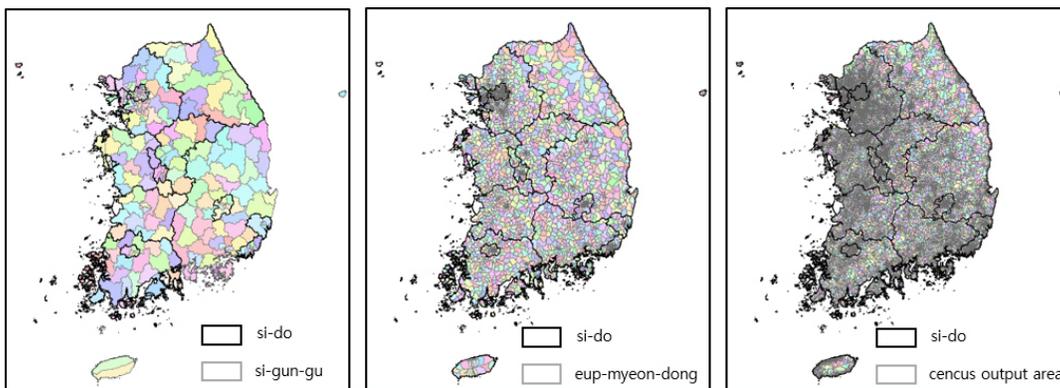


Fig. 2. Administrative district of Korea (sigungu, eupmyeondong, census output area)

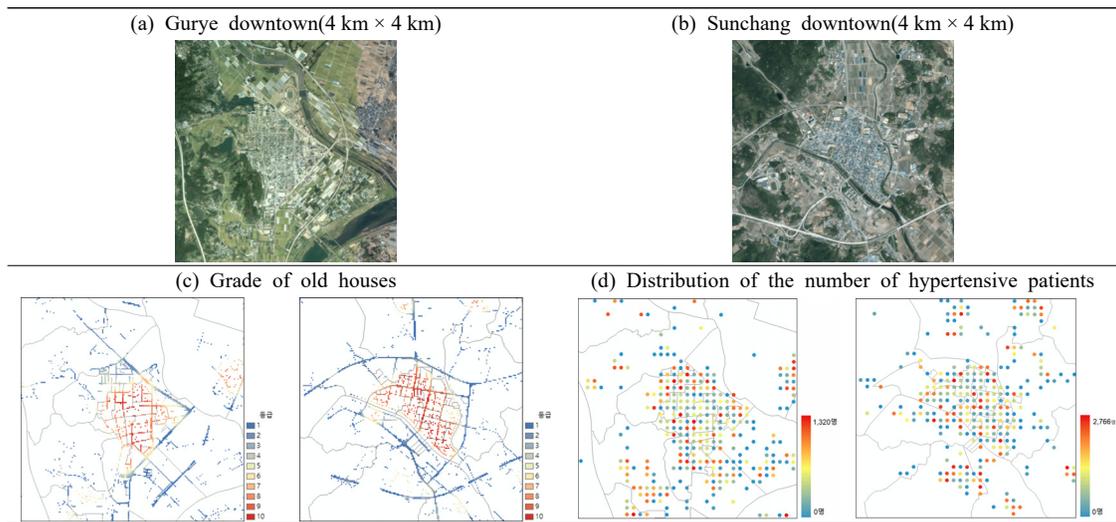


Fig. 3. The grade of old houses in urban areas (4 km x 4 km) and the distribution of the number of hypertensive patients in Gurye gun, Sunchang gun

리정보자료를 정부기관 및 민간에서 활용하여 더 큰 부가가치를 통계청에서 창출할 수 있도록 제공되고 있다. 구례군의 집계구는 총 50개, 순창군의 집계구는 58개이다. 집계구 단위의 통계자료는 영유아인구수, 노인인구수, 인구밀도, 평균나이, 노령화지수, 노년부양비, 노후주택수, 농업, 임업, 및 어업 인구수를 이용하였다.

상세 폭염취약성 원인분석을 위해 집계구 단위로 구축 가능한 자료를 수집하여 분석하였다. 질병관리청의 ‘2018년 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 연보’에 따르면 온열질환 신고현황 중 가장 많은 장소는 ‘집’으로 전체의 약 13.8%를 차지했다. 실내 장소 중에는 약 51.9%로 절반 이상을 차지했다. 서울시는 65세 이상 노령인구의 경우 지난 5년간 온열질환자 41.2%가 ‘집’에서 발생했다. 특히 노후주택의 경우 건물 단열에 영향을 받는데, 건물 단열은 기상학적 환경으로 인해 변하는 외부 기온에 따른 실내 온도의 변동폭을 줄이는데, 여름철 더운 외부 기온을 차단하는데 기여할 수 있다(Mavrogianni et al., 2012). 국내에서는 1979년 9월 ‘건축법 시행규칙’에서 처음으로 단열기준을 법적으로 규정하였다. 본 연구에서는 국립재난안전연구원 에서 개발한 ‘집계구별 노후주택비율’을 적용하였다. 집계구별 노후주택비율 지도는 생활안전지도 시설안전 노후건축물 집계구별 노후 등급도 정보를 나타내며, 노후 등급도에 따라 1 ~ 10 등급으로 나누어 집계구 단위로 표출된다.

또한 온열질환 취약자인 기저질환자수를 반영하기 위해 국민건강보험공단의 ‘건강보험 가입자의 주요질환 분포 현황’

을 반영하였다. 적용된 주요질환은 고혈압(상병기호 I10 ~ I15), 당뇨(상병기호 E10 ~ E14), 고지혈증(상병기호 E78), 악성신생물(암환자 산정특례 등록자(V193) 수), 심근경색(상병기호 I21 ~ I22), 뇌졸중(상병기호 I60 ~ I64)이며, 200 m 격자 단위의 환자수가 제공된다. 환자수 분포를 이용해 구례군과 순창군의 집계구 단위 기저질환자수를 구축하고 공간상 관분석에 반영하였다(Fig. 3).

2.4. 체감 열노출 자료산출을 위한 방법

대상지역의 열 노출 현황을 분석하기 위해 태양복사모델 SOLWEIG (Solar and LongWave Environmental Irradiance Geometry-model)를 이용하였다. 이 모델은 스웨덴 Gothenburg 대학 Urban climate group에서 개발되었다(Lindberg et al., 2008). 2009년 1.0버전이 공개되었으며, 상세한 지형과 건물높이, 토지피복 정보를 이용해 격자별 음영정보와 천개지수(Sky View Factor, SVF)를 계산하며, 3차원 복사속(flux), 열 취약성 평가에 중요한 평균복사온도의 시간적 공간적 변화를 수치적으로 모의할 수 있다(Fig. 4). 본 연구에서는 토지피복에 따른 파라미터 적용이 가능한 2019a 버전을 이용하였다. Lindberg et al.(2016)은 관측실험을 통해 SOLWEIG 모델이 실제 복사플럭스를 잘 모의하고 있음을 확인하였고, Yi et al.(2018)은 서울 중랑 지역을 대상으로 여름과 겨울, 맑은 날과 흐린 날에 대해 SOLWEIG를 검증한 결과, 상향장파복사의 R²는 0.98, RMSE는 25.84 W/m²로 높은 성능을 나타냄을 보였다. SOLWEIG 구동을

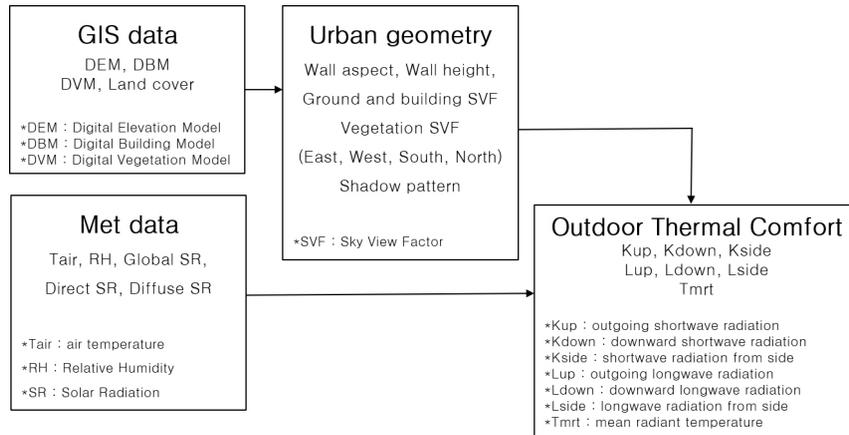


Fig. 4. Flow chart of SOLWEIG

위해서는 상세 지형, 건물높이, 토지피복, 식생높이 정보가 필요하다. 본 연구에서는 국토지리정보원의 수치표고모형(2013년)을 이용해 지형 높이를 산정하고, 행정안전부 도로명주소 건물(2021년 2월)지도를 이용해 건물높이, 환경부 토지피복 세분류(2019년) 지도를 이용해 토지피복을 산정하고, 산림청 임상도(1 : 5,000, 2019년 7월)를 이용해 식생높이 정보를 산정하여 구례군과 순창군에 대해 5 m 해상도로 SOLWEIG 입력자료를 구축하였다(Fig. 5).

SOLWEIG 모의를 위해서는 대상지역의 시간별 기온, 습

도, 일사량(전천, 직달, 산란) 등의 기상요소가 필요하다. 기상청 관측자료의 경우 일사량은 종관기상관측지점(Automated Synoptic Observing System, ASOS)에서만 관측이 이루어지고 있는데, 구례군은 ASOS 지점이 없고 한 지점 값만을 적용하기에는 상세한 지역 특성을 반영하기에 제약이 있어 본 연구에서는 기상청에서 운영중인 국지예보모델(LDAPS, Unified Model)의 시간별 기온, 습도, 일사량(전천, 직달, 산란) 자료를 이용하였다. 기상청 LDAPS 자료의 공간해상도는 1.5 km이며, 연직으로 약 40 km까지 70층으로 구

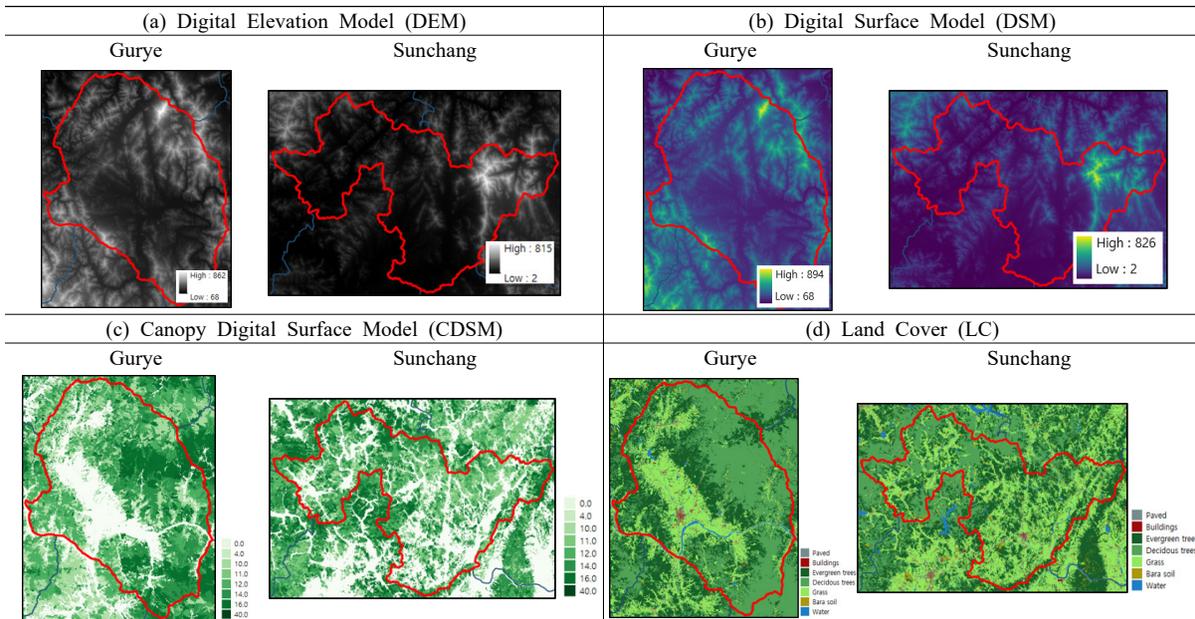


Fig. 5. The input data on (a) Digital Elevation Model, (b) Digital Surface Model (building and ground), (c) Canopy Digital Surface Model, (d) Land Cover in Gurye, Sunchang

성되어 있다. LDAPS 자료는 WMO (World Meteorological Organization)에서 제시한 Grib2 형식으로 제공되며, Grib 자료를 Ascii 코드로 변환하는 kwgrib2를 사용하여 구례군과 순창군에 해당하는 격자들을 추출하여 시간별 기온, 습도, 전천일사(tdsws), 직달일사(swdir), 산란일사(swdif) 등을 추출하였다. 사례일은 2018년 여름 중 온열질환 사망자가 가장 많이 발생하였던 8월 1일로 선정하였다. 기상자료 추출 결과 기온은 전체적으로 순창군이 더 높고(최대 2.4℃, 16 ~ 18시), 표면온도 또한 구례군보다 순창군이 약간 더 높았다. 일사량은 큰 차이가 없었지만, 13시 이후 순창군이 약간 더 높았으며 14시에 최대 38.2 W/m² 높게 나타났으며, 일변화 패턴은 유사하게 나타났다(Fig. 6).

2.5. 공간자기상관분석 방법

상세 폭염취약성 원인분석을 위해 폭염피해 취약요인을 기상요인, 환경요인, 개인요인, 질환요인으로 구분하였다(Table 3). 취약계층이 거주할 가능성이 높은 지역일수록 폭염에 의한 취약성이 높다. 폭염피해 취약요인별 공간분포를 도면화 하고 자기 상관성이 있는지를 검증하기 위해 Jenks natural breaks classification 방법을 기준으로 7단계로 구분하였다. 이 방법은 전체 값들의 평균값을 기준으로 등급 내의 분산은 줄이고, 각 등급간 분산을 최대화하는 방식으로 7 ~ 10등급 이하 구분할 때 주로 활용된다(Jenks, 1967). 공간통계분석은 ArcGIS 10.3 을 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 공

간상에 특정 현상의 분포패턴이 일정한 질서를 가졌는지 혹은 무작위적인지 알려주는 지수이다.

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

수식 1의 I는 Global Moran's I 통계량 값을 의미한다. 대상변수(x_i)와 이웃변수(x_j)의 전체 평균으로부터 편차의 곱을 계산한다. n은 집계구 수, \bar{x} 는 해당 영역의 평균적인 속성값을 의미하며, x_i와 x_j는 각각 i 지역의 속성값과 j 지역의 속성값을 나타낸다. w_{ij}는 공간가중치행렬을 구성하는 가중치를 의미한다. Moran's I 계수는 인접한 지역

Table 3. Variables by vulnerable factors

	Factors vulnerable to heatwave damage
Weather factors	Heatwave days Duration of heatwave Tropical night days Shadow pattern value Sky view factor
Environmental factors	Grade Grade of old houses Number of old houses Number of nursing homes
Personal factors	Infant population Elderly population Population density Average age Aging index Support fee for the elderly Agriculture population
Disease factors	The number of patients with underlying diseases (Hypertensive, Diabetes, Cancer, Cardiac infarction, Stroke)

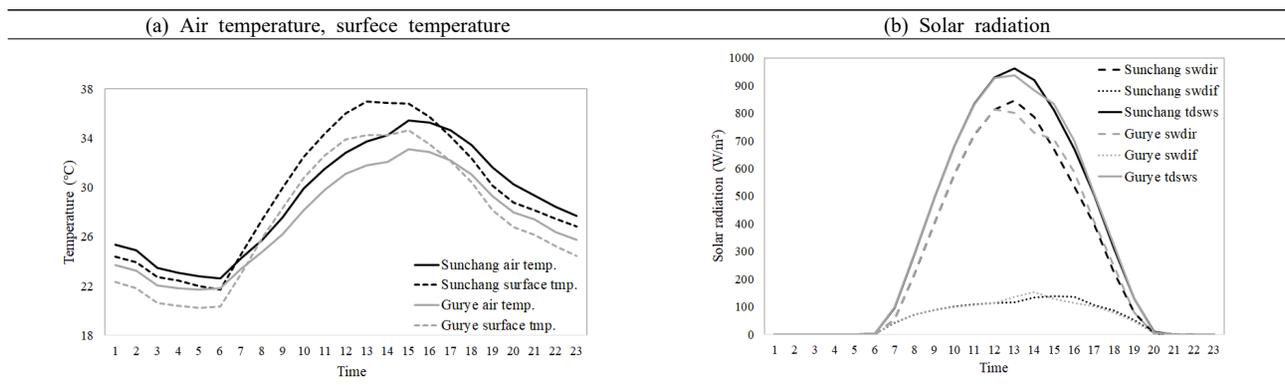


Fig. 6. Time series distribution of meteorological data extracted from LDAPS from LDAPS on August 1, 2018

이 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. 폭염피해 취약요인들의 공간자기상관분석 결과를 이용해 공간자기상관성을 가지고 있는 요인들을 추출하고, 환경부에서 기상, 보건, 환경, 행정, 통계 등 폭염 관련 전문가 대상으로 설문조사를 실시하여 계층화 분석(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 하였는데, 여기에서 도출된 폭염위험도 가중치를 이용해 인체 열 취약성 및 위험성을 나타내는 평균복사온도 기반의 열노출과 중첩하여 폭염위험이 높고, 취약한 지역을 파악하고 특징을 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 2018년 여름 구례군과 순창군의 온열질환자수와 폭염위험 특성

온열질환자수는 질병관리청과 건강보험공단 자료로 나뉘며 응급실을 대상으로 집계되는 질병관리청의 경우 구례

군이 16명, 순창군이 3명으로 구례군이 약 5배 높았다. 그러나 모든 의료기관을 대상으로 집계되는 건강보험공단 자료에서는 구례군이 27명, 순창군이 152명으로 순창군이 약 5.6배 많은 온열질환자수가 집계되었다. 집계 기관의 방법에 따라 온열질환자수의 차이가 매우 상이하게 나타났다.

구례군과 순창군을 대상으로 IPCC에서 제시된 폭염위험도(risk)에 따라 위해성, 노출성, 취약성에 해당하는 세부지표들을 산정하여 위험도를 비교하였다(Table 4). 위해성은 기후변화와 이로 인한 물리적 영향의 심각성 정도를 나타내는 지표로 일 최고기온, 일 최고기온 33℃ 이상일 수, 상대습도 등이 있으며, 기상청 ASOS자료를 이용해 산정하였다. ASOS지점이 없는 구례군은 가장 가까운 순천지점의 자료를 이용하였다. 노출성은 사람이나 사물이 장소나 환경적으로 기후변화 피해에 노출된 정도로 65세 이상비율, 독거노인 비율, 기초수급생활자 비율 등이 있다. 취약성은 기후변화 피해에 민감한 정도나 대응능력 부족 정도를 나타내는 지표로서 도시화면적 비율, 재정자립도, 인구당 응급의료기관수 등이 있다. 인구수는 행정안전부 주민등록 인구통계(MOIS, <https://jumin.mois.go.kr/>) 자료를 이용하였으며, 독

Table 4. Detailed indicators of the number of people with thermal diseases and the risk of heatwaves in Gurye gun, Sunchang gun (2018)

Patients with heat-related illness	Exposure		Vulnerability				
	Gurye	Sunchang	Gurye	Sunchang			
KDCA	16	3	Ratio of the elderly population	31.4% 31.8%	Urbanized area ratio	2.46%	2.04%
NHSI	27	152	Ratio of infants and toddlers	2.0% 3.2%	Green area ratio	74.41%	90.24%
			Ratio of the elderly living alone	7.4% 8.6%	Water area ratio	2.62%	2.52%
Hazard			Ratio basic livelihood recipients	5.0% 3.5%	Gross regional domestic product (GRDP)	553,644 (million won)	720,399 (million won)
Tmax	30.0℃	31.6℃	Total population	27,117 29,209	Financial independence (before the reorganization)	18.5%	14.8%
Heatwave days	29	40	Female population	13,191 14,156	Financial independence (after the reorganization)	6.3%	6.3%
Tropical night days	2	4	Male population	13,926 15,053	Ratio of people covered by health insurance	95.7%	96.4%
Relative humidity	82.3%	75.6%	Population density	61.18/km ² 58.9/km ²	Number of shelters in the heat	176	159

*source : <https://jumin.mois.go.kr>, <https://kosis.kr>, <https://data.kma.go.kr>

거노인, 기초생활 수급자, 도시화면적, 녹지면적 등의 통계 자료는 통계청 국가통계포털(KOSIS, <https://kosis.kr/>)에서 제공되는 자료를 이용하였다. 환경부에서 계층화분석(AHP)을 통해 계산된 가중치는 위해성이 0.37, 노출성이 0.36, 취약성이 0.27로 위해성지수의 가중치가 가장 큰 것으로 분석되었다. 환경부의 폭염 위험도 세부지표 비교 결과 위해성지수의 경우 순창군이 일 최고기온과 폭염일수, 열대야일수가 약간 더 높고 상대습도가 약 7% 정도 낮지만 큰 차이를 나타내지는 않았다. 노출성 또한 대부분의 항목에서 큰 차이를 나타내지 않았다. 취약성의 경우 녹지면적 비율이 순창군이 구례군보다 약 15% 높게 나타났으며, 나머지 항목들은 구례군과 순창군이 비슷한 값을 나타냈다.

3.2. 2018년 집계구 단위 폭염피해 기상요인

대조군 두 지역의 기상요인 특성을 비교하기 위해 먼저 GPRM을 이용해 2018년 여름철(6, 7, 8월) 총 92일을 대상

으로 집계구 단위의 폭염일수, 폭염지속일수, 열대야일수를 비교하였다. 집계구 단위의 구례군 폭염일수는 최대 36일, 최소 0일, 평균 27.8일로 나타났으며, 순창군 폭염일수는 최대 39일, 최소 22일, 평균 36.5일로 나타났다(Fig. 7). 기상청에서 발표된 구례군의 폭염일수가 29일인 것과 다르게 집계구에 따라 공간적 차이를 보였으며, 특히 산림이 많이 분포한 집계구에서는 폭염일수가 0일로 나타났다. 순창군은 58개의 집계구의 폭염일수 편차가 작고, 대부분의 집계구에서 30일 이상의 폭염일수가 나타났으며, 폭염일수가 가장 적은 집계구는 22일로 0일인 구례군과는 다른 분포를 보였다. 폭염일수 뿐 아니라 폭염지속일수는 고온사례가 지속되어 열 스트레스가 증가하는 원인이 된다. 구례군과 순창군의 폭염지속일수 분포를 분석한 결과 구례군의 폭염지속일수는 최대 19일, 최소 0일, 평균 12.6일로 지역간의 편차가 크고, 순창군은 최대 29일, 최소 9일, 평균 21.9일로 모든 집계구에서 전체적으로 폭염지속일수가 비슷하게 나타났다.

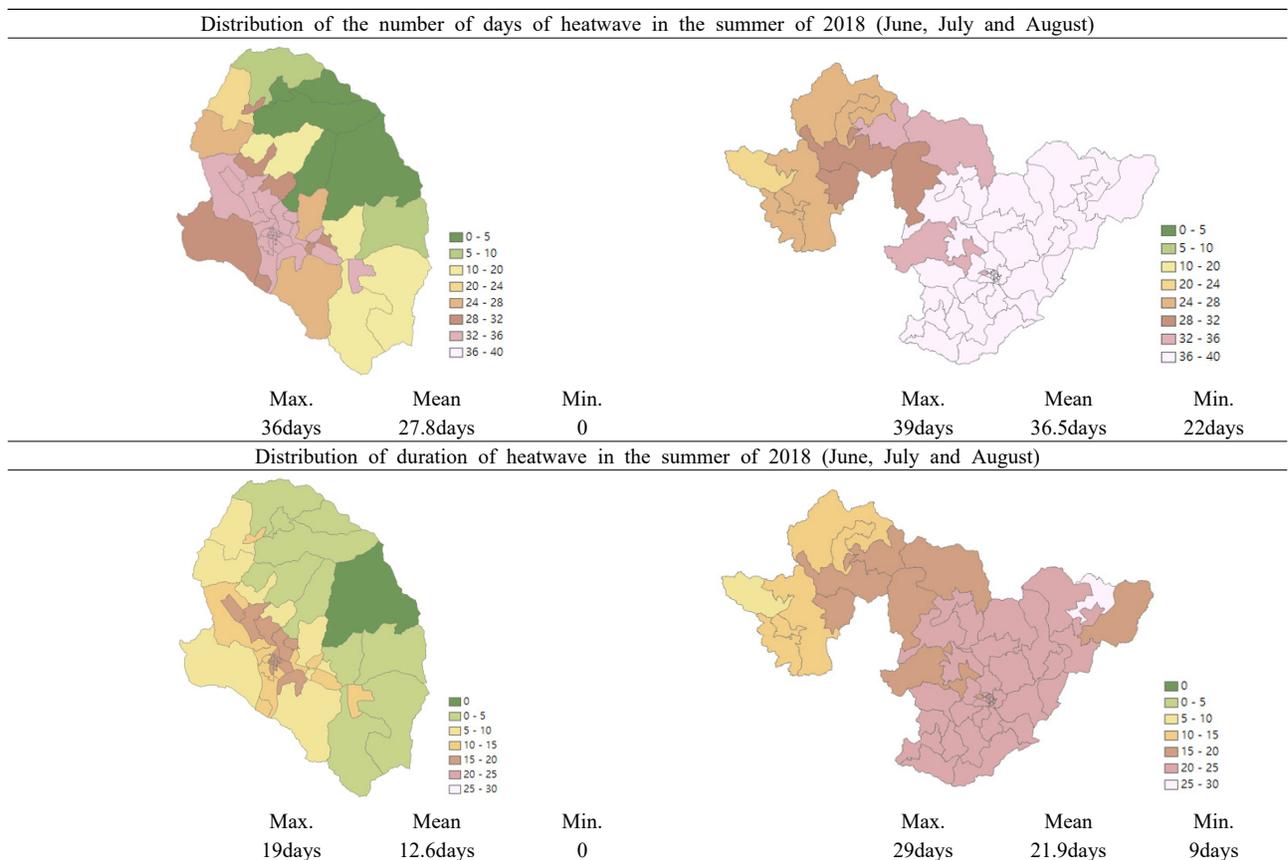


Fig. 7. In the summer of 2018, the number of days of heatwaves per count and the number of days of heatwaves continued in Gurye gun, Sunchang gun

GPRM을 이용해 분석된 폭염일수, 폭염지속일수 모두 구례군과 순창군의 집계구 분포에서 큰 차이를 보였으며, 기상청의 구례군의 2018년 폭염일수는 29일인데 반해 집계구 결과 최대 36일까지 나타나 큰 차이를 나타냈다(Fig. 7).

3.3. 기상요인 중 보행자환경에서의 열노출

보행자환경에서의 열노출 분석을 위해 그림자유무, 천개지수, 평균복사온도를 산출하여 집계구 단위의 분포를 분석하였다. 그림자유무는 일출 직후(오전 6시)부터 일몰 직전(오후 7시 30분)까지 30분 간격으로 계산되며, 시간단위 및 일평균 그림자유무를 0 ~ 1의 값으로 산출한다. 그림자유무 값이 0에 가까울수록 주변 지형, 식생, 건물에 의해 그림자가 많이 생기는 격자로 볼 수 있다. 천개지수는 하늘을 가리는 장애물들의 영향을 계량화하고 복잡한 기하특성과 태양복사의 입사와 방사관계를 설명하는 주요 인자이다. 주변에 장애물이 없고 평평한 지면에서 천개지수는 1이고, 주변 지형이나 건물, 식생등에 의해 모두 가려지는 경우에는 0을 극단값으로 두고

대상 지역의 입체적인 기하특성을 이 사이의 값으로 지수화하여 설명한다. 본 연구에서는 Lindberg and Grimmond (2011)에서 사용한 방법을 이용하여 구례군과 순창군의 5m 해상도 천개지수를 계산하였다. 그림자유무, 천개지수 정보들을 이용하여 장파, 단파 복사플럭스와 최종 열 취약성 평가에 사용되는 평균복사온도를 산출하게 된다. 평균복사온도는 인체와 복사를 통해 열을 교환하는 주변 표면의 평균온도로서 인체를 둘러싸고 있는 불균일한 주변 표면의 단파 및 장파 속(flux)의 총 합을 의미한다(Ashrae, 2001). 유럽에서는 평균복사온도를 열쾌적성 평가에 주로 사용하고 있다.

폭염으로 인한 온열질환 사망자가 가장 많이 발생했던 2018년 8월 1일 구례군의 일평균 평균복사온도(average daytime Tmrt)는 최대 53.8℃, 최소 29.0℃, 평균 34.1℃로 나타났다. 순창군은 최대 56.3℃, 최소 30.8℃, 평균 37.3℃로 최대, 최소 평균복사온도는 구례군과 비슷하나 일평균 평균복사온도가 구례군보다 3.2℃ 높게 나타났다(Fig 8). 산출된 평균복사온도 분포를 토지피복도를 이용해 산림과

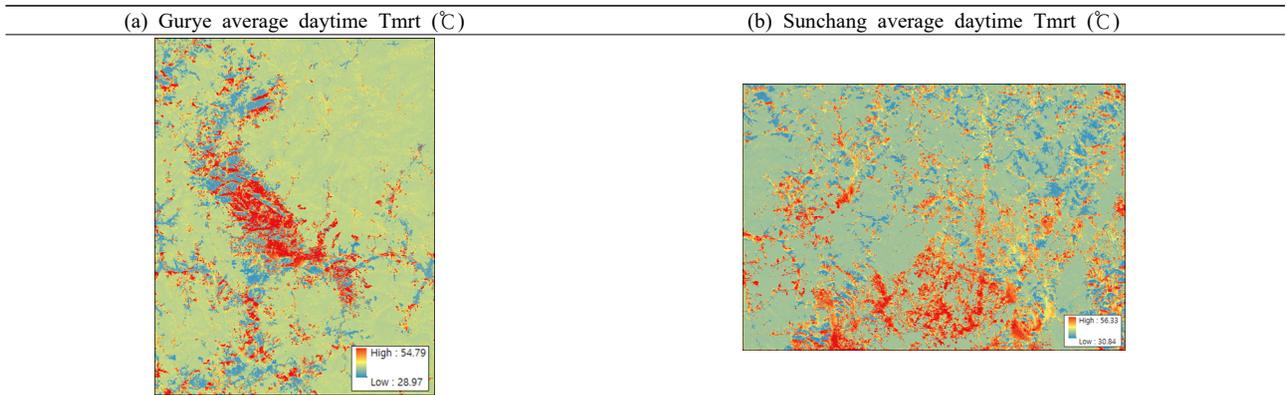


Fig. 8. Gurye and Sunchang's average day Tmrt (5 m x 5 m)

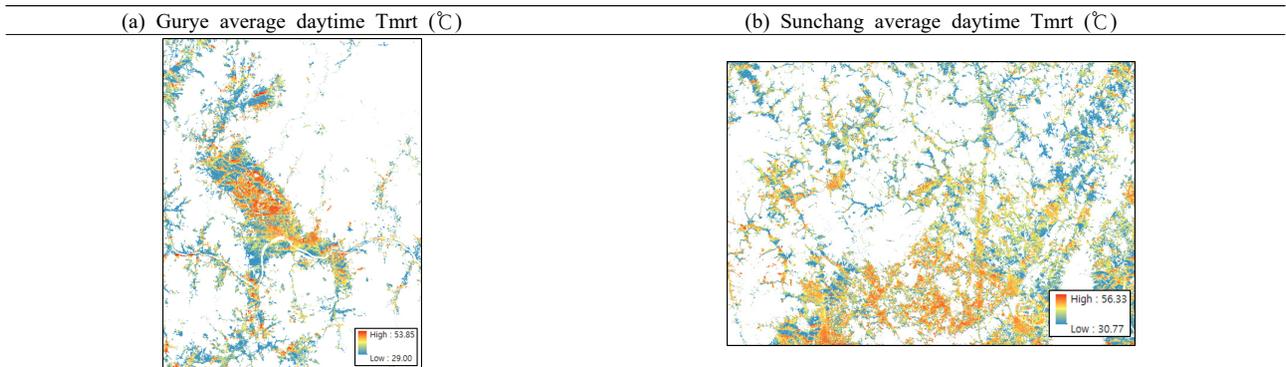


Fig. 9. Average day time Tmrt in urbanized agricultural areas of Gurye-gun and Sunchang-gun (5 m x 5 m)

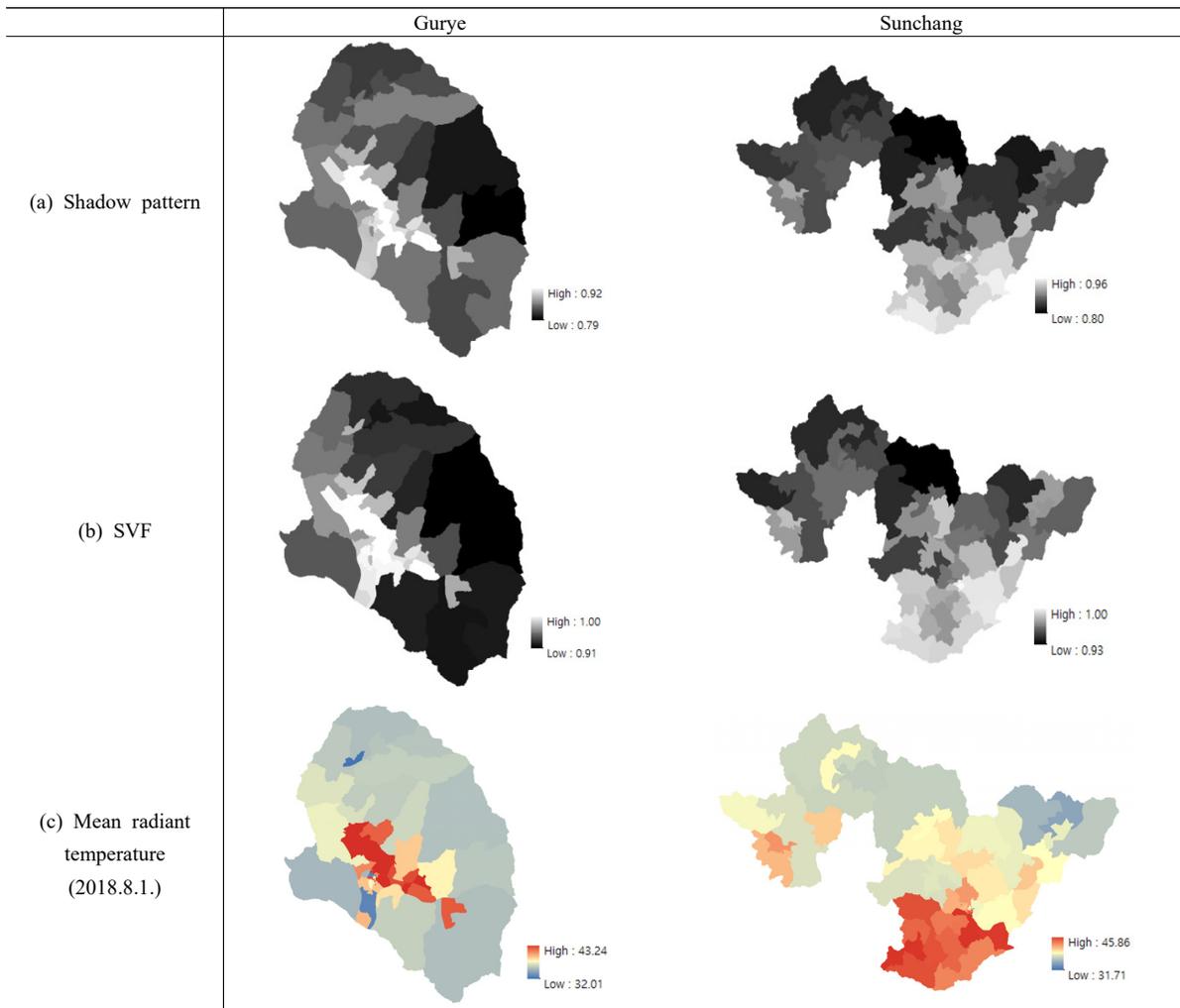


Fig. 10. The distribution of shadow patterns, sky view factor, and mean radiant temperature in Gurye-gun and Sunchang-gun

하천구역을 제외하고, 사람이 많이 거주하고 생활하는 시가화·농경지 지역만 추출하여, 비교하였다(Fig 9). 구례군의 시가화·농경지지역의 일평균 평균복사온도(average daytime Tmrt)는 최대 53.9℃, 최소 29.0℃, 평균 35.6℃이며, 순창군은 최대 56.3℃, 최소 30.8℃, 평균 39.2℃로 구례군의 시가화·농경지지역의 평균복사온도의 평균보다 3.6℃ 높게 나타나 전체영역 평균보다 더 큰 차이를 보였다. 공간분포 분석을 위해 SOLWEIG에서 계산된 그림자유무, 천개지수, 평균복사온도를 zonal statistics 방법을 이용해 집계구 단위로 변환하였다(Fig. 10).

3.4. 폭염피해 위험요인들의 공간자기상관성

전역적 공간자기상관분석을 통해 산출된 Moran's index와 p-value, 군집분포 특성을 Table 5에 나타내었다. 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 경우는 높음 또는 낮은 속성단위들의 분산(dispersed)을 의미한다.

구례군과 순창군은 폭염피해 위험요인별 공간자기상관분석 결과는 비교적 상이하게 분석되었다. Moran's index 값이 0.5 이상으로 나타나는 위험요인으로는 구례군의 경우 폭염일수, 폭염지속일수, 열대야일수, 인구밀도, 심근경색 환자수

로 분석되었으며, 순창군은 그림자유무, 천개지수, 노후주택 수, 주택노후등급, 평균나이, 심근경색, 뇌졸중으로 분석되었다. 폭염위험도(risk) 세부지표로는 구례군에서 위해성(hazard) 항목들이 높은 상관관계를 보였으며, 순창군은 취약성(vulnerability) 항목에 높은 상관관계를 보였다.

폭염위험의 위해성 항목(기상요인에 해당)에서 구례군과 순창군의 폭염지속일수와 천개지수가 상호간에 가장 큰 편차를 보이는 요인으로 나타났다. 폭염지속일수와 천개지수 모두 구례군은 집계구 간 차이가 크고 높은 값을 나타내는 군집화된 특성이 잘 나타나지 않는 반면 순창군은 높은 값을 나타내는 군집화된 특성 구분이 뚜렷하게 나타난다(Fig. 11). 기상요인에서 두 지역의 가장 큰 편차로 변별력을 나타내준 천개지수와 폭염지속일수는 통계청이나 타 기관에서 제공받아 구축한 자료가 아닌 본 연구에서 산출한 자료이다. 고해상도 지표면과 주변 환경 특성을 반영한 보행자환경에서의 체감정도

를 나타내는 요인들이 추가되어, 기존연구에서보다 기상요인의 공간적 상세화 및 다양화로 인해 상세단위로 분석할 경우 지역의 위험도 차이를 구분해 주는 것으로 해석할 수 있다.

대조군 내에서 2018년 국민건강보험공단 맞춤형연구 DB 온열질환자수가 더 많이 집계된 순창군의 경우 폭염 위험요인 중 위해성 5개 중 2개, 취약성 3개 중 2개, 노출성 13개 중 8개 요인으로 총 12개 요인이 더 높은 공간자기상관성을 나타냈다(Table 5). 구례군이 총 5개 요인에서 높게 나타난 것에 비해 순창군의 취약요인이 양적으로 더 많은 것을 알 수 있다.

순창군은 위해성 항목의 기상요인 중 체감을 나타내주는 그림자유무, 천개지수가 높게 나타났고, 취약성 항목의 환경요인인 노후주택수, 노후주택등급과 관련이 높고, 노출성 항목 중 개인요인에서 영유아인구, 노인인구, 노령화지수, 노년부양비가 높고, 질환요인에서는 심근경색, 뇌졸중 요인이 높게 나타났다. 구례군과 순창군은 환경부에서 제시한 표4에서

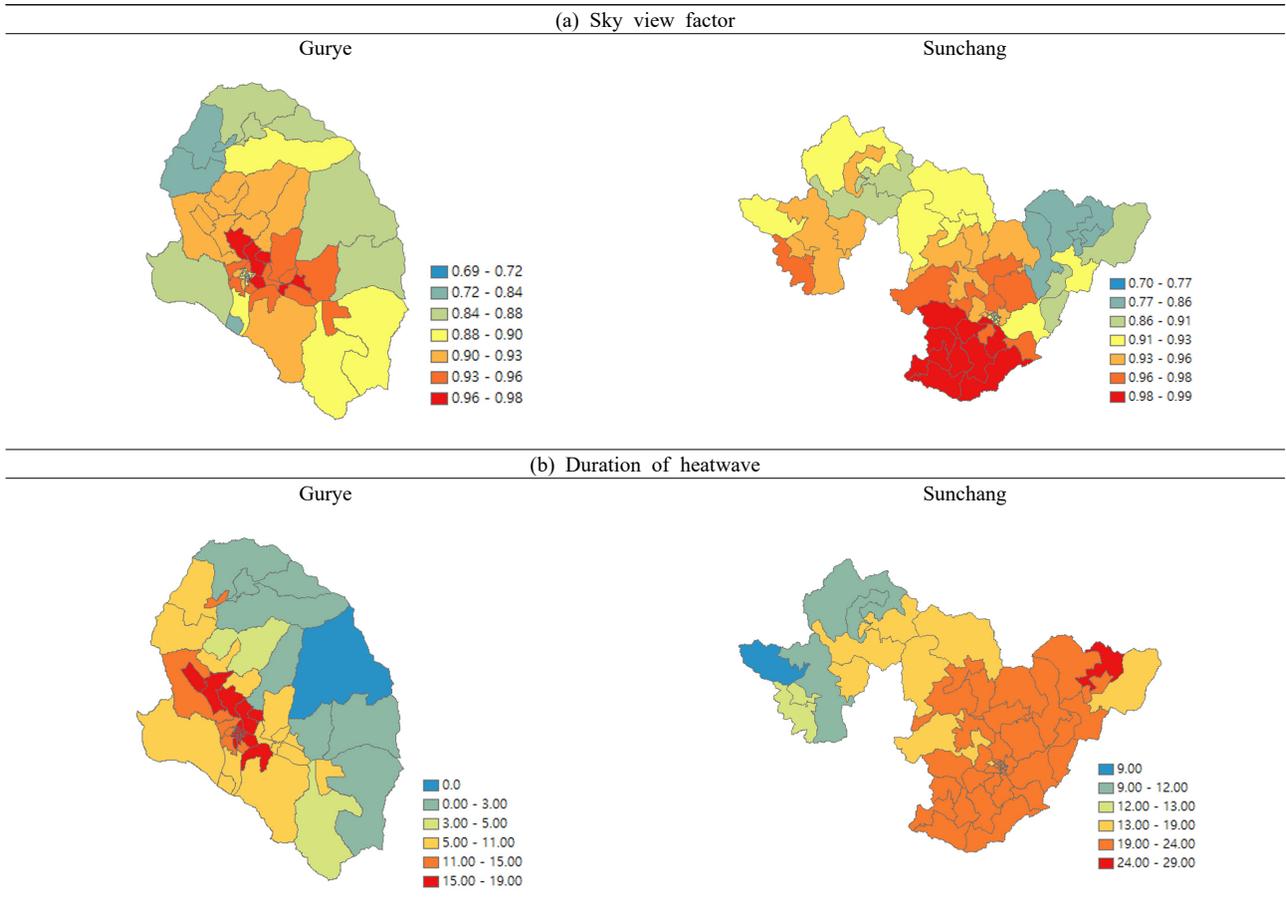


Fig. 11. Gurye and Sunchang's SVF and duration of heatwave

처럼 취약성과 노출성 항목이 서로 유사하게 제시되어 있으나, 취약성 항목 내의 환경요인과 노출성 항목 내의 개인 및 질환요인이 얼마나 상세하고 다양하게, 즉 공간적으로 개인 단위까지의 특성을 나타내는 요인이 구성되어 있느냐에 따라 취약성지수 값이 달라지는 것을 알 수 있다. 고해상도 지표면 및 주변환경 특성을 반영하여 폭염위험정도를 나타낼 수 있

는 평균복사온도와 공간자기상관분석 결과를 이용해 구례군과 순창군의 폭염위험지도를 산출하였다(Fig. 13). 본 지도를 이용하여 공간자기상관성이 높은 취약요인들을 반영한 폭염 피해 위험이 높은 지역을 제시하고자 하였다. 취약요인에 따른 가중치는 위해성 0.37, 취약성 0.27, 노출성 0.36을 적용하였다. 폭염위험지도는 위험도를 5단계로 나누었고, 가장 위험

Table 5. Moran's index for each heatwave vulnerability factor in Gurye-gun and Sunchang-gun (Moran's I value is grater than 0.5 written in bold)

Hazard		Exposure	
	Gurye	Sunchang	
Heatwave days	0.526	0.402	Infant population
	(p-value 0.000000)	(p-value 0.000001)	
	Clustered	Clustered	
Duration of heatwave	0.591	0.017	Elderly population
	(p-value 0.000000)	(p-value 0.454450)	
	Clustered	Random	
Tropical night days	0.704	0.437	Population density
	(p-value 0.000000)	(p-value 0.000000)	
	Clustered	Clustered	
Shadow value	0.383	0.739	Average age
	(p-value 0.000000)	(p-value 0.000000)	
	Clustered	Clustered	
Sky view factor	0.036	0.703	Aging index
	(p-value 0.236856)	(p-value 0.000000)	
	Random	Clustered	
Vulnerability		Agriculture population	
	Gurye	Sunchang	
Number of old houses	0.008	0.501	Hypertensive
	(p-value 0.556152)	(p-value 0.000000)	
	Random	Clustered	
Grade of old houses	0.180	0.738	Diabetes
	(p-value 0.000026)	(p-value 0.000000)	
	Clustered	Clustered	
Number of nursing homes	0.190	0.020	Hyperlipidemia
	(p-value 0.000008)	(p-value 0.666900)	
	Clustered	Random	
Cancer	0.102	0.359	Cardiac infarction
	(p-value 0.010034)	(p-value 0.000019)	
	Clustered	Clustered	
Stroke	0.230	0.651	Stroke
	(p-value 0.000000)	(p-value 0.000000)	
	Clustered	Clustered	



Dispersed ← → Clustered

Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) - ArcGIS 10.3

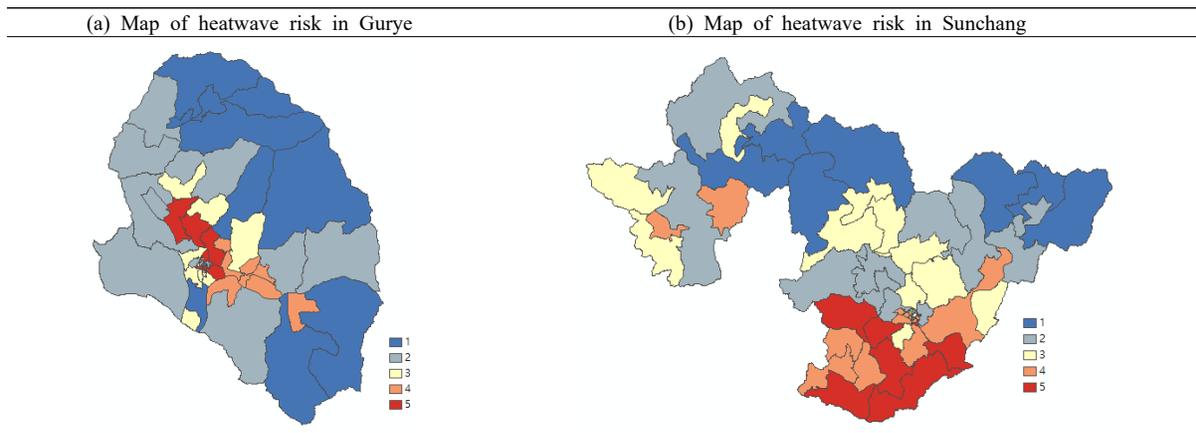


Fig. 12. Map of heatwave risk in Gurye-gun and Sunchang-gun

도가 높은 위험도 5등급은 구례군의 경우 시가지 중심으로 분포하고 있으며, 총 50개의 집계구 중 11개의 집계구가 위험도 5를 나타냈으며, 구례군 전체면적의 3.1%에 해당한다. 순창군은 총 58개 집계구 중 7개의 집계구가 위험도 5등급을 나타냈고 순창군 전체면적의 10.4%에 해당하며, 집계구 개수로는 구례군의 22%, 순창군의 12%에 해당한다. 구례군보다 면적이 넓고 위험도 5등급의 집계구 주변으로 위험도 4등급의 집계구들이 분포하고 있다. 구례군은 위험도 1~2등급의 집계구가 넓게 분포하고 있고, 순창군은 위험도 1~4등급이 넓은 범위에 걸쳐 다양하게 분포한다. 폭염위험도가 높게 나타나는 4등급과 5등급의 분포 비율은 구례군이 총 19개 집계구로 집계구 개수로는 38%, 면적으로는 7.2%를 차지하는 것으로 나타났다. 순창군의 경우에는 총 20개의 집계구가 4~5등급을 나타냈으며, 집계구 개수로는 34.5%, 면적으로는 21.4%를 나타냈다. 전체 면적으로 비교하였을 때 구례군보다 순창군의 폭염위험도가 높은 면적이 약 3배 높은 것으로 나타났다. 순창군의 넓게 분포된 폭염 위험지역은 주거지가 폭염위험도가 높은 지역에 있다면 주거지 주변 생활환경 또한 높은 폭염위험도를 나타낼 수 있는 가능성이 높다는 것을 의미한다. 온열질환자수와 비교하였을 때 국민건강보험공단 자료의 경우 구례군이 27명, 순창군이 152명으로 순창군이 약 5.6배 많아 큰 차이를 보였는데, 폭염위험도의 분포 차이에 의한 영향이 있을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 폭염피해가 가장 극심했던 2018년 여름을 대상으로, 대조군으로 선정된 전남 구례군과 전북 순창군 지

역에 대해 집계구 단위의 상세 폭염 위험도에 대한 원인을 분석하였다. 구례군과 순창군은 기존의 인구, 지역통계 수치들이 비교적 비슷하지만, 2018년 폭염피해 발생현황(국민건강보험공단 맞춤형연구 DB 온열환자 수)에서 큰 차이를 보였고, 차이가 나타나는 원인을 공간자기상관분석을 통해 찾을 수 있었다. 폭염피해 취약요인으로는 집계구 단위의 기상, 환경, 개인, 질환 요인들을 구축하였고 공공데이터로 제공받은 요인 이외 각 요인들의 상세성과 다양성을 높이기 위해 거주자들의 보행환경 및 개인단위 특성을 반영하는 요인들을 산출하였다. 통계청이나 국민건강보험공단에서 제공되는 자료들을 이용한 기존 연구들과는 달리 폭염위험 위해성 항목(기상요인)을 상세규모로 분석하기 위해 GPRM 기반의 집계구 단위의 폭염일수, 폭염지속일수, 열대야 일수 등을 산정하였다. 집계구 단위의 순창군 폭염일수는 구례군보다 최대 3일, 최소 22일, 평균 8.7일 높게 나타났다. 폭염지속일수는 순창군이 구례군보다 최대 10일, 최소 9일, 평균 9.3일로 나타났다. 또한 그림자유무, 천개지수, 평균복사온도를 산출하여 집계구 단위로 열노출 자료를 구축하였는데, 순창군에서 열노출 위험정도가 더 높은 것으로 분석되었다. 환경요인으로 재난안전연구원의 노후건물 등급도 지도와 질환요인으로 국민건강보험공단의 주요질환 분포자료를 통해 기저질환자 수를 반영하여 분석하였다. 공간자기상관분석 결과 구례군에서 위해성 항목들이 높은 상관관계를 보였으며, 순창군은 취약성 항목에 높은 상관관계를 보였다. 공간자기상관분석에 가장 큰 차이를 보인 폭염지속일수와 천개지수는 본 연구에서 구축한 상세 변수들로서 고해상도 지표면과 주변환경 특성을 반영한 보행자환경에서의 체감정도를 나타내는 요인들이다. 이 요인들이 추가되어, 기존연구에서보다 기상요인의 공간적

상세화 및 다양화로 인해 집계구 단위로 폭염위험도를 분석할 때 지역의 위험요인을 변별력있게 구분해주는 것으로 해석될 수 있다. 구례군과 순창군은 전국 시군구 단위로 제공되는 통계기반의 취약요인들을 비교하였을 때, 두 지역의 폭염피해 취약성이 매우 유사해 보이지만, 상세한 집계구 단위의 자료분석을 통해 폭염피해 위험요인들의 편차가 크고, 분포 또한 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 2018년 국민건강보험공단 맞춤형연구 DB 온열질환자수가 더 많이 집계된 순창군의 경우 폭염위험 취약요인 21개 중 12개 요인이 더 높은 공간자기상관성을 나타냈고 구례군은 5개 요인에서 높게 나타난 결과에서 순창군의 취약요인이 양적으로 더 많은 것을 찾아낼 수 있었다. 본 연구를 통해 도출한 집계구 단위의 상세 폭염위험도 원인분석 방법과 결과는 지자체에서 잠재적 폭염피해자들을 지원하기 위한 폭염대응 정책수립에 보다 상세한 규모에서 반영될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 시군구 단위로 제공되는 폭염피해현황을 분석하였을 때 온열질환자 현황이 지역마다 자료간의 큰 차이를 보이기 때문에 상세 폭염취약위험도에 대한 원인분석과 해석이 반드시 필요하다. 자연재해는 그 현상 뿐만 아니라 기상, 환경, 개인, 질환, 사회, 경제적 요인들이 결합하여 복합적인 피해를 발생시킬 수 있기 때문에, 다양한 관점에서의 접근과 대책 마련이 필요하다. 본 연구는 2018년 한 해의 폭염피해 발생현황과 폭염피해 위험요인에 대해서만 한정하여, 대조군 하나의 그룹에 대해서 공간자기상관분석을 수행하고 폭염위험도를 작성하였다. 해마다 폭염피해발생현황과 폭염피해 위험도 원인을 분석하여 결과를 도출한다면 분석된 지역의 취약요인의 시공간적 변화, 위험성 대응 전략 등을 찾아낼 수 있을 것이다. 또한 대조군 그룹의 수를 확장하여 폭염피해자들이 상대적으로 많이 발생하는 지역에 대한 지역특성 별 원인을 찾아내고 상세규모 단위에서의 공통적으로 지원을 할수 있는 방안을 찾을 수 있을 것이다. 향후 폭염피해원인 분석을 위해서는 단순히 기상청 발표기준의 폭염경보, 폭염주의보 같은 기온에 의존한 위험도가 아닌, 지역사회의 개인단위까지의 특성을 나타내는 상세하고 다양한 요인들의 반영이 필수적이다. 특히 기존 연구들에서 반영되지 못했던 개개인의 사회적 요인, 정량적으로 산정하기 어렵지만 개인의 특성, 성격 등의 다양한 요인들이 반영된 분석이 추가되어 다양한 폭염 취약성 평가 기법이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 행정안전부 자연재난 정책연계형 기술개발사

업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2020-MOIS35-002).

References

- Anselin L. 1988. *Spatial Econometrics : Methods and Models*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ashrae A. H. 2001. *Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.
- Bae MK, Kim B, Yi C. 2020. Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. *Journal of Environmental Policy and Administration* 28(3): 243-280.
- Baek JH, Lee SS, Lee JY, Lee WH. 2020. A Study on Influence Parameters of Heatwave in Literature. 2020 Korean Society Of Civil Engineering Association conference 1286-1287.
- Choi YS, Kim JW, Lim U. 2018. An Analysis on the Spatial Patterns of Heatwave Vulnerable Areas and Adaptive Capacity Vulnerable Areas in Seoul. *Journal of Korea Planning Association* 53(7): 87-107.
- Fischer E.M, Sippel S, Knutti R. 2021. Increasing probability of record-shattering climate extremes. *Nat. Clim. Chang.* 11, 689-695. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9>.
- Lindberg F., Holmer B., Thorsson S., 2008. SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings. *Int J Biometeorology*, 52, 697-713.
- Lindberg F, C. S. B. Grimmond. 2011. The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperature in urban areas. *Model development and evaluation, Theoretical and Applied Climatology* 105(3): 311-323.
- Lindberg F, Onomura S, C. S. B. Grimmond, 2016. Influence of ground surface characteristics on the mean radiant temperature in urban areas. *International Journal of Biometeorology* 60(9): 1439-1452.
- George Luber, Michael McGeekin. 2008. *Climate change*

- and extreme heat events. *American Journal of Preventive Medicine* 35(5): 429-435.
- Heo BY, Sim JH, Choi WJ. 2009. Major heatwave damage in the world. *J. Korea Water Resour. Assoc. Water for future* 42(5): 114-118.
- Jenks G.F. 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186-190.
- Jian Chenga, Zhiwei Xua, Hilary Bambricka, Hong Sub, Shilu Tonga,c,d, Wenbiao. 2018. Heatwave and elderly mortality: An evaluation of death burden and health costs considering short-term mortality displacement. *Environment International* v.115 334-342.
- Julia Kravchenko, Amy P. Abernethy, Maria Fawzy, H. Kim Lyerly. 2013. Minimization of Heatwave Morbidity and Mortality. *American Journal of Preventive Medicine* 44(3): 274-282.
- Kim DO, Chung JH, Lee JS, Lee J.S. 2014. Characteristics of Heatwave Mortality in Korea. *Journal of Korean Meteorological Society* 24(2): 225-234.
- Kim TH, Beak JI, Ban YU. 2016. Analyzing the Relationship between Health Damage Caused by Heatwave and Socioeconomic Factors. *Crisisonomy* 12(5) 67-78.
- Korea Disease Control and Prevention Agency, 2019, Annual report on the notified patients with heat-related illness in Korea (2018).
- Korea Environment Institute (KEI) Center for Climate Change Risk. 2020. 2020 Heatwave impact report.
- KMA (Korea Meteorological Administration). Weather data open portal. (<https://data.kma.go.kr/climate/heatWave/selectHeatWaveChart.do>)
- KOSIS (Korea Statistical Information Service). <https://kosis.kr>
- Mavrogianni A, P. Wilkinson, M. Davies, P. Biddulph, E. Oikonomou. 2012. Building characteristics as determinants of propensity to high indoor summer temperatures in London dwellings. *Building and Environment* 55: 117-130.
- Ministry of Environment (ME). 2019. Press release 'The risk of heatwaves in Korea will also increase over the next 10 years'. 4-5.
- Ministry of Environment (ME). 2020. Korea climate change assessment report 2020. 249-251.
- MOIS (Ministry of the Interior and Safety). <https://jumin.mois.go.kr>
- National Institute of Meteorological Sciences. 2020. Global Climate Change Prospect Report. 4-5.
- Park JC, Chae YR. 2020. Analysis of heat-related illness and excess mortality by heatwaves in South Korea in 2018. *Journal of the Korean Geographical Society* 55(4): 391-408.
- SGIS (Statistical Geographic Information Service). <https://sgis.kostat.go.kr>
- Sharon Campbell, Tomas A. Remenyi, Christopher J. White, Fay H. Johnston. 2018. Heatwave and health impact research: A global review. *Health & Place* v.53 210-218.
- Yang HJ, Yi C, Bae MK. 2019. The analysis of road surface characteristics for road risk management in heatwave: focused on Cheongju city. *Journal of Environmental Policy and Administration* 27(3): 51-73.
- Yi C, Kwon H-G, F. Lindberg. 2018. Radiation Flux Impact in High Density Residential Areas. *Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies* 21(4): 40-46.