

## 폭염 취약성과 노인 인구를 고려한 무더위 쉼터 입지 연구: 서울시 행정동에 대한 공간 분석

강수와\* · 김진주\* · 전수민\*\* · 한진희\*\*\* · 김유미\*\*\*\*†

\*이화여자대학교 행정학과 학부생, \*\*이화여자대학교 불어불문학과 학부생,  
\*\*\*이화여자대학교 행정학과 박사과정, \*\*\*\*이화여자대학교 행정학과/환경블라인드스팟연구소 부교수

### Locations of cooling centers according to spatial patterns of heatwave vulnerability and elderly inhabitants of administrative districts in Seoul

Kang, Soowa\* · Kim, Jinju\* · Jeon, Sumin\*\* · Han, Jinhee\*\*\* and Kim, Yoomi\*\*\*\*†

\*Undergraduate Student, Dept. of Public Administration, Ewha Womans University, Seoul, Korea

\*\*Undergraduate Student, Dept. of French Language and Literature, Ewha Womans University, Seoul, Korea

\*\*\*Ph.D. Student, Dept. of Public Administration, Ewha Womans University, Seoul, Korea

\*\*\*\*Associate Professor, Dept. of Public Administration and Center of SEBIS (Strategic Solutions for Environmental Blindspots in the Interest of Society), Ewha Womans University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

The impacts of heatwaves exacerbated by climate change are particularly severe in densely populated cities with high-rise buildings, where vulnerable groups such as the elderly are at the greatest risk of adverse effects. Seoul, Korea, has implemented policies to address heatwave-related risks, with the establishment of cooling centers as a key initiative to reduce heatwave vulnerability. However, analysis of the effectiveness of these cooling centers for mitigating heatwave-related impacts has been limited. In particular, studies that integrate spatial analysis with the distribution of the elderly population in the context of heatwave vulnerability remain scarce. In this study, we empirically evaluate the effectiveness of Seoul's cooling center policy by conducting spatial analysis using data illustrating heatwave vulnerability and the spatial distribution of elderly inhabitants, including those living alone, across 423 administrative districts. We assessed the heatwave vulnerability of each district and calculated the capacity of cooling centers. We used visual mapping and LISA analysis via QGIS to examine the spatial alignment between cooling center locations and the distribution of the elderly population. The results indicate that the current locations of cooling centers do not sufficiently account for the distribution of the elderly population in areas with high heatwave vulnerability. This finding underscores the need for better-targeted policies at the district level. We provide policy insights by presenting empirical evidence through spatial analysis and visualization, offering recommendations for more effective placement of cooling centers.

*Key words : Heatwave Vulnerability, Cooling Center, Heatwave, Seoul, Elderly, Spatial Analysis*

**Lead authors :** Kang, Soowa · Kim, Jinju · Jeon, Sumin

**ORCID** 강수와 0009-0000-4946-0233

한진희 0000-0001-6325-8031

†**Corresponding author :** kimym@ewha.ac.kr (52, Ewhayodae-gil, Seodaemun-gu, Seoul, 03760, Korea. Tel. +82-2-3277-4030)

김진주 0009-0004-9265-8201

김유미 0000-0003-1521-6069

전수민 0009-0006-7194-3884

Received: July 22, 2024 / Revised: August 28, 2024 1st, October 30, 2024 2nd / Accepted: December 6, 2024

## 1. 서론

기후변화에 대한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에 따르면, 세계적인 기후 위기로 인한 자연재난은 빈도와 정도가 날로 심해지고 있으며(IPCC, 2022), 특히, IPCC 제5차 종합보고서에서 언급된 바와 같이 폭염은 기후변화에 따른 대표적인 재해 현상 중 하나이며(IPCC, 2014b; Shin and Park, 2016), 한국을 포함한 아시아 지역에서도 폭염의 증가는 기후변화로 인한 심각한 위협으로 여겨지고 있다(Shim et al., 2019). 세계기상기구는 폭염을 해당 지역의 평년 기온보다 현저히 높은 기온이 최소 3일 이상 지속되는 현상으로 정의하며, 대한민국 기상청에서는 일 최고 체감온도가 섭씨 33도 이상일 경우를 폭염으로 정의한다(KMA, 2021). 2024년 7월, 일일 지구 평균기온이 17.16도를 기록하며 사상 최고치를 경신했다(WMO, 2024). 한국의 폭염일수도 최근 10년간 14.0일로 급증하며 장기화되고 있으며, 2018년에는 기상관측 이래 최고기온인 41도를 기록하며 폭염일수도 평년 대비 3배 이상 많은 31.5일로 관측되었다(KMA, 2021; Park et al., 2019).

폭염은 다른 기후변화 관련 자연재해와 달리 직접적인 시설물 파괴는 적은 편이지만, 노출 대상이 광범위하고 많은 인명 피해로 이어질 수 있다(Kim et al., 2006). 폭염은 열사병, 실신, 경련 등 중증 질환으로 이어지며, 사망까지 이를 수 있다(Kim et al., 2014). 한국의 경우 2018년에 4,526명의 온열 질환자가 발생하였고(Park et al., 2019), 2022년 유럽의 폭염 관련 사망자 수는 6만 1,000명 이상으로 조사되었다(Ballester et al., 2023). 그리고 폭염으로 인한 농작물 피해나 수자원 부족 현상, 산불 발생과 같은 이차적 피해도 인류의 생존과 직결된다. 따라서 효과적인 기후변화 적응 정책 수립을 위해 효과적인 폭염 대책 마련이 필수적이다.

한국 정부는 기후변화 적응 정책의 일환으로 폭염 정책 수립에 힘쓰고 있다. 재난 및 안전관리 기본법을 통해 폭염이 국민의 생명·신체·재산과 국가에 막대한 피해를 줄 수 있는 자연재해임을 명시하고, 인명 피해를 고려한 폭염 종합 대책을 매년 수립하고 있다. 또한, 폭염 취약 분야 집중 관리를 위하여 사회경제적 취약 계층 보호 대책 추진을 강화하고 있다(Kim et al., 2023). 대표적으로, 무더위 쉼터 정책은 온열 질환에 따른 건강 위험을 줄일 수 있는 사전 예방적 정책으로 폭염으로 인한 인명 피해 가능성이 높은 노약자, 독거노인 등 폭염 취약 계층의 사

망자 발생을 줄이는 정책으로 주목받고 있다(Jang and Lee, 2019; MOIS, 2010). 공공시설을 이용한 사업으로 접근성이 높다는 장점이 있으며(Yang and Yoon, 2019), 예방적 차원의 정책으로 폭염 취약 계층의 적응 능력을 향상시키는 효과가 있는 것으로 평가된다(Chae et al., 2016).

재해는 위해 요소(Hazard)와 취약한 사회적 조건(Vulnerable social conditions) 간의 상호작용으로 인해 발생한다(IPCC, 2014b). 따라서, 폭염 정책이 효과적으로 수립되고 이행되기 위해서는 폭염의 위험(Risk)을 면밀히 파악함과 동시에 해당 정책의 정책 대상에 대한 고려가 필요하다. 그러나, 현 무더위 쉼터 정책은 각 지자체별 폭염 취약성과 취약 계층의 분포를 효과적으로 고려한 정책이 아니라는 비판이 존재한다(Chae et al., 2016; Ha et al., 2014; Kim DS et al., 2020). 왜냐하면, 대부분의 무더위 쉼터 입지는 구청, 동주민센터, 체육관 등 기존의 공공시설의 위치로 결정되고 있으며, 실질적인 수요 및 대상에 대한 분석이 이루어지지 않고 있는 실정이기 때문이다(Chae et al., 2016; Yoon, 2022; Yun et al., 2016). 서울시의 경우, 2023년 기준 전체 4,113개 무더위 쉼터의 77%에 해당하는 3,116개가 경로당 시설을 활용하여 운영되고 있으며, 어르신복지과에서 무더위 쉼터의 운영 및 관리를 담당하고 있다. 이는 무더위 쉼터 정책 수립 시 노인에 대한 고려가 중요함을 시사한다.

실제로 학자들은 현행 무더위 쉼터 정책이 지역별 폭염 취약성과 취약 계층의 분포 특성을 고려하고 있지 못하고 있음을 지적한다(Cho and Lee, 2018; Eum and Yoon, 2015; Kang et al., 2020; Yang and Yoon, 2020). 그러나 지금까지의 선행 연구는 다양한 사회적 요인을 고려한 정책적 함의를 제시하기에는 한계가 있으며, 방법론적 측면에서도 공간적 이질성 등 지역적 특성이 충분히 고려되지 못하고 있다. 무더위 쉼터의 분포 및 입지에 대한 연구를 일부 찾아볼 수 있으나(Kwon et al., 2020; Seo et al., 2016; Yoon, 2022), 대부분의 연구가 폭염 유형 등 현상에 대한 분석과 예측이며(Jang and Min, 2021; Kang and Kim, 2021), 피해 자체에 초점을 맞추고 있다(Kim EY et al., 2012; Ryu, 2006).

이에 본 연구는 서울시 423개 행정동의 무더위 쉼터 입지에 대하여 폭염 취약성과 대표적인 폭염 취약 계층이자 주된 정책 대상자인 노인 인구의 분포를 종합적으로 고려하여 실증 분석을 통해 정책적 함의를 도출하고자 한다. 이를 위하여 지역별 폭염 취약성 지수를 도출하고, 독거

노인을 포함한 노인 인구 데이터를 활용하여 맵핑을 통한 시각화와 공간 분석을 실시하였다. 특히, 이 연구는 행정동을 분석 대상으로 하여 시, 도, 구 단위를 분석한 기존 연구보다 공간적 이질성을 세밀하게 고려하고자 한다. 이를 통하여 폭염에 보다 효과적으로 대응할 수 있는 무더위 쉼터 정책의 구체적인 개선 방안을 모색하고자 한다.

## 2. 선행 연구

### 2.1. 기후변화 취약성 개념과 측정에 관한 논의

기후변화 취약성(Climate Change Vulnerability)에 대한 국제사회의 논의는 IPCC를 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 이 연구는 IPCC의 개념 정의와 관련 선행 연구를 바탕으로 기후변화 취약성의 개념 및 구성 요소를 검토하여, 폭염 취약성에 대한 실증 분석의 토대를 마련하고자 한다. 기후변화 취약성은 시스템이 기후변화의 부정적인 영향에 취약하고 대처할 수 없는 정도이다(IPCC, 2001, 2007b, 2014b).

기후변화 취약성에 대한 개념과 구성 요소는 조금씩 변화하고 있다. 2007년 IPCC 제4차 종합보고서는 취약성을 기후변화의 잠재적인 부정적 영향을 받는 정도로 정의하며, 노출(Exposure), 민감도(Sensitivity), 적응 능력(Adaptive Capacity)의 3가지 요소로 결정된다고 규정하였다. 즉, 취약성은 기후변화에 어느 정도 노출되고, 그 변화에 얼마나 민감하며, 그에 대응할 수 있는 능력이 얼마나 되는지를 반영한 종합적 개념이다. 그러나, 2014년 IPCC 제5차 종합보고서에서는 취약성의 정의가 보다 광범위하고 복합적으로 발전했다. 기존의 취약성 개념이 이미 발생한 기후변화의 결과에 초점을 맞췄다면, 제5차 종합보고서의 취약성 개념은 보다 과정적이고 포괄적인 개념으로 기후변화의 부정적 영향을 받을 가능성으로 정의한다. 취약성과 위험<sup>1)</sup> 개념을 통합하고 확장하였으며, 기후변화의 위험은 취약성이 노출과 민감도 등과 상호작용하여 결정된다고 설명한다. 특히, 제4차 종합보고서는 민감도를 취약성 측정의 주요 지표이자 직접적인 요소로 논의하였으나, 제5차 종합보고서는 위험 개념을 정교하게 도입하면서 민감도를 단독 지표로 평가하지 않으며, 노출 및 적응 능력과 상호작용하는 다차원적인 요소이자 취약성의 한 측면으로 다룬다(IPCC, 2007b, 2014b).

기후변화 취약성을 실증적으로 분석한 선행 연구는 대부분 IPCC 제4차 종합보고서에서 제안한 노출, 민감도, 적응 능력에 기반하여, 노출과 민감도의 부정적인 영향과 적응 능력에 대한 함수로 평가하고 있다. 이는 제5차 종합보고서의 위험 개념의 잠재적이고 확률적인 특성과 측정의 어려움에 기인한다(Choi et al., 2018; Hwang et al., 2023; Moss et al., 2001; Park et al., 2017; Yoo and Kim, 2008). 이에, 이 연구는 취약성을 실증 분석한 선행 연구에 기반하여 노출, 민감도, 적응 능력에 대한 서울시 행정동별 폭염 취약성을 파악하고 무더위 쉼터 입지를 평가하고자 한다.

노출, 민감도, 적응 능력은 기후변화의 위험에 영향을 미치는 핵심적인 요소이며, 이에 따라 취약성이 결정된다고 볼 수 있다(Ko and Kim, 2009; Nam and Kim, 2013). 기후변화에 대한 노출과 민감도가 높을지라도 높은 적응 능력을 갖춘다면 취약성이 상쇄될 수 있다. 필연적으로 지역이나 인구 집단의 특성에 따라 취약성이 상이하게 나타나게 되므로(Kenney et al., 2014; Kim et al., 2022), 세 가지 요소에 대한 종합적인 고찰이 필수적이다. 먼저, 노출은 인간, 생태, 종 혹은 생태계, 환경 기능, 서비스 및 자원, 기반 시설이나 경제, 사회 혹은 문화적 자산이 기후변화의 부정적인 영향을 받는 환경에 놓이게 되는 것을 의미한다(IPCC, 2014b). 이러한 노출은 해당 지역의 민감도와 적응 능력에 따라 각기 다른 위험으로 나타난다(Choi et al., 2018; IPCC, 2007b). 또한, Kim et al. (2022)은 노출이 사망률 및 유병률 등 피해와 위험 가능성의 증가에 직결되며 높은 기후변화 취약성으로 이어진다고 주장하며, 취약성과 위험을 파악하고 이해하는 기본 요소라고 보았다. 따라서, 노출에 대한 측정은 미래의 기후변화 대응을 위해 필수적이다(Shim et al., 2017). 노출의 측정은 평균기온 변화, 폭염·폭우·가뭄·홍수 등의 극한기후현상의 발생 빈도, 해수면 상승률, 강수량의 변화, 태풍과 허리케인 같은 기상재해의 빈도와 강도를 활용한다(Adger, 2006; Fussler and Klein, 2006; IPCC, 2007b, 2014b, 2022).

다음으로, 민감도는 시스템이 기후변화에 의한 긍정적, 부정적 자극을 받는 정도이다(Hwang et al., 2023; IPCC, 2007b). 즉, 높은 민감도는 기후변화와 같은 외부 변화에 더 큰 영향을 받을 가능성이 높다는 것이다. 그러나, 민감도가 높아도 그 영향을 완화하거나 대응할 수 있는 능력

1) 위험은 기후변화가 초래할 수 있는 부정적 결과의 가능성을 의미하며, 기후 관련 위해 요소와 인간 및 자연계의 노출, 취약성 및 적응 역량 간 상호작용에서 발생한다(IPCC, 2014a; Kim et al., 2022; Yu, 2020).

이 있다면, 취약성은 낮을 수 있다. 취약성은 민감도뿐만 아니라 적응 능력과 노출 수준도 중요한 영향을 미치기 때문이다. 민감도는 작물 생산량 변화, 생태계 변화, 기후 변화 취약 지역 거주 인구 비율 및 밀도, 재산 및 경제적 손실 등을 고려하여 측정한다(Adger, 2006; Füssel and Klein, 2006; IPCC, 2007b, 2014b, 2022).

마지막으로, 적응 능력은 기후변화에 대응하고 이를 효과적으로 극복할 수 있는 능력을 의미하며, 이는 자연적, 인위적 자산, 사회적 네트워크와 권리, 인적 자본과 제도, 관리 역량, 국가 소득, 보건, 그리고 기술 등 사회의 생산력 기반에 크게 의존한다(IPCC, 2007b). 적응 능력은 기후변화로 인해 발생하는 위기와 불확실성에 대응하는 능력을 강화하고, 궁극적으로는 기후변화의 영향을 최소화하여 노출과 민감도에 의한 기후변화 위험을 완화시킨다(Choi et al., 2018; IPCC, 2007a, 2007b, 2014b). 이처럼 높은 적응 능력은 전체적인 기후변화 취약성을 낮출 수 있다(Choi et al., 2018; IPCC, 2007b). 적응 능력은 정부나 지방자치단체의 기후변화 대응 전략 및 정책, 홍수 방지 시설 등 인프라의 수준, GDP 등 경제력, 의료 시스템 역량 등의 지표가 고려된다(Adger, 2006; Füssel and Klein, 2006; IPCC, 2007b, 2014b, 2022).

이러한 IPCC의 개념을 바탕으로 실제 기후변화 취약성을 측정하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 대표적으로 Moss et al. (2001)은 기후 노출, 민감도와 적응 능력에 대한 구체적인 변수를 선정하고 표준화 과정을 거쳐 기후변화 취약성을 종합적으로 측정하는 취약성-탄력성 지표 모델(Vulnerability-Resilience Indicator model, VRI)을 개발하였다. VRI는 취약성 측정에 가장 활발하게 활용되는 모델로 다양한 실증 연구에 적용되고 있다. Brenkert and Malone (2005)과 Malone and Brenkert (2008)는 VRI를 활용하여 인도의 기후변화 취약성을 분석하였으며, 한국 관련 연구로는 Yoo and Kim (2008)과 Park et al. (2017)이 VRI를 한국의 현황에 맞도록 개선하여 지역별 취약성 지표와 활용 방안을 제시하였다. 이외에도 취약성의 개념에 기초한 다양한 모델과 지표를 이용한 연구도 이루어지고 있다. Dessai and Hulme (2004)은 기후 예측 시뮬레이션 모델을 사용하여 잠재적인 취약성을 평가하였으며, Apreda et al. (2019)은 이탈리아 나폴리 지역의 기후변화 취약성이 도시 시스템에 미치는 영향을 평가하기 위해 계층적 모델을 적용하였다. 그리고 Sugar et al. (2013)은 독자적인 도시 기후변화 데이터를 분석하여 완화 및 적응의 시너지 개발 전략을 수립하였으며,

Birkmann et al. (2015)은 자카르타를 대상으로 전 세계 위험도 지수(World Risk Index)와 질적 평가를 동시에 적용하여 데이터 기반의 맞춤형 재난 관리 대응 전략을 제안했다.

이러한 기후변화 취약성을 응용하여 대상이 되는 기후현상의 취약성에 대한 실증 분석이 가능하다. 폭염에 주목하여 취약성을 분석한 선행 연구는 일평균기온, 폭염일수, 열대야일수 등을 활용하여 노출을 측정하였으며(Choi et al., 2018; Eum and Kim, 2024; Hondula et al., 2012; Hwang et al., 2023; IPCC, 2007a; Jang et al., 2023; Rosenthal et al., 2014), 특히, 폭염일수 등 폭염의 강도와 지속 시간, 빈도가 중요하다고 강조한다(Shim et al., 2017). 민감도는 노인 등 취약 계층 인구 및 부양비, 인구 밀도, 장애인 수 비율 등의 지표를 활용하며(Choi et al., 2018; Eum and Kim, 2024; Hondula et al., 2012; Hwang et al., 2023; IPCC, 2007a; Jang et al., 2023; Rosenthal et al., 2014), 적응 능력은 보건소 등 의료 기관 및 인력, 인구당 공무원 비율, 녹지 면적 등으로 평가한다(Choi et al., 2018; Hondula et al., 2012; Hwang et al., 2023; IPCC, 2007a; Kim and Kang, 2022; Myeong, 2011; Oh and Won, 2023; Rosenthal et al., 2014).

예를 들어, Hondula et al. (2012)과 Rosenthal et al. (2014)은 일최고기온과 폭염 발생 빈도 및 강도 등의 기후 관련 지표와 인구 밀도, 소득 수준, 주거 환경, 녹지 접근성 등 사회적 지표를 사용하여 미국 피닉스와 뉴욕의 폭염 취약성이 열 관련 질병 및 사망률에 미치는 영향을 분석하였다. Choi et al. (2018)은 VRI에 기반하여 기후 노출을 일평균기온, 폭염일수, 열대야일수로, 민감도를 만 65세 이상 인구 비율, 국민기초수급자 비율, 저소득 노인 비율 등 10개 요소로, 적응 능력을 무더위 쉼터, 노인 여가 복지 시설, 병상 수 등 6개 요소로 측정하여 폭염 취약성을 산출했다. Bae et al. (2020)은 SOLWEIG 모델을 활용하여 10m×10m 격자 기반으로 복사온도를 산출하여 폭염 취약성이 높은 지역을 판단했으며, Kwon et al. (2020)은 Landsat 위성 영상을 이용하여 제작한 열 분포도를 바탕으로 폭염 취약성을 계산했다.

## 2.2. 효과적인 폭염 대응 정책을 위한 노인 분포 고찰의 필요성

효과적인 폭염 대응 정책의 수립과 이행을 위해서는 정책 대상 집단, 즉 폭염 취약 계층의 분포 및 특성에 대한

고려가 더욱 중요하다(Cheng et al., 2021; Cho et al., 2015; Kim YM et al., 2012). 사회적 취약 계층의 경우 경제, 신체, 환경, 정보 접근성 측면에서 취약하여 재난 위험에 대한 대비와 대처 능력이 일반 사람들에 비해 부족하다. 따라서, 재난 노출에 대한 타격이 크고 재난회복력이 상대적으로 부족하여 그 피해가 크다(Bae et al., 2020).

폭염 취약 계층의 범위 및 정의에 대해서는 다양한 논의가 있으나, 위험 인구 집단으로는 노년층, 저소득층, 유년층, 면역체계가 약한 계층이 거론되며(Patz et al., 2000), 취약 집단으로는 노인, 어린이, 심폐 질환, 신장 질환, 당뇨병 등의 만성 질환 환자, 저소득층이 포함된다(Arsad et al., 2022; Bao et al., 2015; Williams et al., 2013). 2020년 한국 기후변화 평가보고서는 65세 이상 노인, 유아와 어린이, 심뇌혈관 및 호흡계 만성 질환자, 장애인, 노숙인, 직업상 노출이 많은 사람들을 폭염 등 극한기상에 민감한 취약 집단으로 분류하고 있다(KMA, 2020). 이외에도 사회경제적 보호가 필요한 독거노인, 국민기초생활수급자, 노인 돌봄 서비스 대상자, 방문 보건 대상 가구가 포함된다(Chung, 2021; Seong et al., 2020; Song, 2013).

특히, 65세 이상 노인은 폭염 취약성이 매우 높은 집단으로 많은 연구에서 논의되고 있다(Kim et al., 2022; Millyard et al., 2020; National Institute on Aging, 2022; Shim et al., 2017, 2019). 대표적으로 Kim et al. (2022)은 인구 고령화를 고려한 폭염 노출과 취약성, 위험에 대한 정량화의 중요성을 강조하며, 동아시아의 초고령화 현상에 주목해야 한다고 지적하였다. 실제로, 폭염으로 인한 사망률은 경제 수준이 낮은 지역과 65세 이상 노인 인구 비율이 높은 지역에서 높게 나타난다(Bae et al., 2020). 65세 이상의 노인 인구의 약한 면역력과 저항력은 외부 환경 변화에 민감해지고 높은 스트레스로 이어지며, 냉방 장치의 사용이 어렵거나 광열비에 대한 경제적 부담으로 고온 환경에 대한 적응 능력이 부족한 경향이 있기 때문이다(Cho et al., 2015; Fujimoto et al., 2023; Kim et al., 2022; Shim et al., 2017; Vu et al., 2019). 뿐만 아니라, 신체적 노화로 인해 체온 조절 능력이 감소하고 만성 질환의 가능성도 높아진다(Kenney et al., 2014; Kim et al., 2022; Shim et al., 2017). 더 나아가, 독거노인의 경우에는 경제적 자립도가 낮으며 열악한 주거 환경으로 폭염 취약성이 더욱 증가한다(Forsyth et al., 2019; Kim et al., 2022; Pleschberger et al., 2019). 실제로, 2014년부터 2018년까지의 65세 이상 온열 질환자 발생률은 10.4%(5

년 평균)로 65세 미만 발생률 4.7%에 비해 약 2배 높다(Park et al., 2019). 또한, 선행 연구에 따르면 한국 인구 구조의 빠른 고령화로 2050년대에는 약 1,040만 명의 65세 이상의 노인이 폭염에 노출되며, 그로 인한 위험도 크게 증가할 것이라고 주장한다(Shim et al., 2017, 2019).

따라서, 효과적인 폭염 정책 수립을 위해서는 폭염 취약 계층인 노인 인구에 대한 면밀한 파악과 고찰이 필요하다. 선행 연구는 경험적인 자료와 과학적인 모델링 바탕으로 폭염 취약성을 평가하고 피해를 분석하고 있으나(Choi et al., 2018; Hwang et al., 2023; Kim KW et al., 2020), 무더위 쉼터 등 구체적인 정책에 주목하여 다양한 사회경제학적 특성들을 종합적으로 평가한 연구는 제한적이다. 따라서, 이 연구는 무더위 쉼터 정책의 주된 정책 대상이자 대표적인 폭염 취약 계층인 노인 인구의 분포와 폭염 취약성을 종합적으로 고찰하여 무더위 쉼터 입지를 분석한다.

### 2.3. 서울시 폭염 정책과 무더위 쉼터 입지 선정의 중요성

인구 밀집도가 높은 대도시 서울의 폭염 피해는 날로 심화하고 있다. 질병관리청에 따르면, 지난 10년간(2014년~2023년) 서울의 평균 폭염일수는 15.6일로 집계되었고, 2023년 서울시 온열 질환자는 201명으로 전년 대비 82.7% 증가하였다(KDCA, 2023). Kim et al. (2022)은 미래 한국의 초고령화는 폭염에 대한 취약성을 증폭시킬 것이며 특히, 서울이 가장 취약한 지역이 될 것이라고 전망하였다. 이에 서울시는 폭염에 대응하기 위한 정책을 다각적으로 모색하고 있다. 서울시 기획조정실에서 발표한 ‘2023 여름철 종합 대책’에 따르면, 폭염 위기 경보 단계별 대응 체계 가동, 그늘막과 물안개 분사 장치 등 폭염 저감 시설 설치, 도로 물청소차 투입 등을 시행하고 있다. 또한, 폭염 취약 계층을 보호하기 위해 무더위 쉼터 운영, 돌봄 인력 투입, 음수대, 에어컨 등의 설치 지원, 에너지바우처 지급 등도 추진하고 있다.

이중 무더위 쉼터는 대표적인 폭염 취약 계층인 노인이 주된 정책 대상이다. 무더위 쉼터 정책은 효과적인 단기적, 구조적, 예방적 대책으로서 온열 질환의 발생을 낮춰 폭염 취약성을 낮추고 정보 교환 공간으로서도 중요한 역할을 하는 것으로 평가되고 있다(Yang and Yoon, 2020). 주로 마을회관, 주민센터, 경로당 등 공공시설물이 일정 기간 무더위 쉼터로 지정되며, 지방자치단체가 냉방비와

운영비를 지원한다. 2023년 서울시가 발표한 ‘폭염 취약 계층 보호·지원 대책’에 따르면, 시민의 건강과 쾌적한 휴식 보장을 위해 주민 접근이 용이한 시설을 활용하여 무더위 쉼터 4,200개소 운영을 목표로 하며, 그 수를 확대하는 것에 주안점을 두고 있다. 또한, 무더위 쉼터를 운영하는 자치구에는 냉방비, 관리 인력, 연장 야간 쉼터 설치비 등 약 40억 원 규모의 운영비를 지원하고, 특히 전기요금 인상에 따른 운영비 부족 문제를 방지하기 위해 냉방비를 10% 증액하여 지원한다 (Seoul Metropolitan Government, 2023).

무더위 쉼터와 같은 공공 서비스 시설의 경우, 시장에서 거래되는 상품과는 달리 개인이 서비스의 질과 수준을 선택하기 어렵고, 모든 지역에 동질의 서비스가 제공되기 힘들며, 접근에 있어서 형평성 문제가 발생할 가능성이 높다. 따라서, 이용자의 효용을 고려하여 신중한 입지 선정이 필수적이다(Chung, 2012; Koo and Chang, 2021; Tiebout, 1956). 특히, 무더위 쉼터와 같이 이용자가 직접 방문해야 하는 시설의 경우 접근성이 더욱 중요하므로, 예상되는 이용자 수요 및 접근의 형평성과 효과성을 고려한 입지 선정이 필수적이다(Eum and Yoon, 2015; Kim DS et al., 2020; Yoon, 2022). 그러나 현재 시행되고 있는 무더위 쉼터 정책은 면밀한 입지 평가가 전제되지 않으며, 기존에 설치된 공공시설물 위주로 선정되고 있다.

공공시설 최적 입지를 선정하기 위해서는 지역의 특성과 이용 대상자의 접근성 등을 고려한 공간적 접근이 필수적이다(Chen and Fu, 2023; Umar et al., 2015). 공간적 자기상관성 분석을 활용하여 통계적으로 유의한 지역적 특성을 선별할 수 있으며, 관련 영향 요인에 대한 집중도와 독립성도 분석할 수 있다(Kim and Lee 2014; Kim et al., 2004; Koo and Chang, 2021). 무더위 쉼터 관련 선행 연구에서도 공간 분석이 활용되고 있다. 공간 네트워크 분석을 통해 현행 무더위 쉼터의 접근성을 평가하거나(Nam et al., 2020), Landsat 위성 영상 기반의 도시 내 열 분포와 노인 인구, 노후 주택 분포를 이용하여 무더위 쉼터 입지를 연구하였다(Kwon et al., 2020). 그러나, 지금까지 대부분의 연구는 무더위 쉼터의 현황 정보를 제시하는데 그치고 있으며, 지역별 폭염 취약성과 폭염 취약 계층 분포 등 지역 특성에 대한 종합적인 고려가 부족하다.

### 3. 연구 설계

#### 3.1. 연구 방법

이 연구는 서울시 25개 자치구 423개 행정동의 폭염 취약성을 평가하고, 무더위 쉼터 입지와 노인 인구의 분포 현황을 파악한 후 공간 분석을 적용하여 무더위 쉼터 입지를 평가한다. 첫째, 선행 연구를 바탕으로 기후변화 취약성 평가 모형인 VRI를 바탕으로 각 행정동의 폭염 취약성을 도출한다(Choi et al., 2018; Hwang et al., 2023; Moss et al., 2001; Yoo and Kim, 2008). 폭염 취약성은 식 (1)과 같이 IPCC의 기후변화 취약성 개념에 기반하여 노출과 민감도의 합에서 적응 능력을 차감하여 계산한다. 취약성은 측정된 값이 클수록 해당 행정동의 폭염 취약성이 높음을 의미한다<sup>2)</sup>.

$$\text{Vulnerability} = \{(\text{Exposure} + \text{Sensitivity}) / 2 - \text{Adaptive Capacity}\} / 2 \quad (1)$$

이를 위하여 폭염 관련 노출, 민감도, 적응 능력 관련 데이터를 수집하였다(Choi et al., 2018; Hwang et al., 2023; Park et al., 2017; Yoo and Kim, 2008). 구체적인 측정 지표는 다음과 같다. 노출 관련 지표는 폭염일수와 열대야일수가 포함되며, 폭염일수는 일최고기온이 33도 이상, 열대야일수는 일최저기온이 25도 이상인 날이 포함된다(Jang et al., 2023; Park et al., 2017). 민감도 측정 지표는 만 65세 이상 인구 비율, 국민기초수급가구 비율, 국민기초수급자 비율, 저소득 노인 비율, 독거노인 비율, 국민기초수급자 독거노인 비율, 유년 부양비, 노년 부양비, 인구 밀도, 장애인 수 비율이 포함된다(Garssen et al., 2005; Klinenberg, 2003; Michelozzi et al., 2005; Moss et al., 2001; Patz et al., 2000). 적응 능력은 폭염 취약성 저감에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 요소인 무더위 쉼터 수용 인원, 보건소 및 보건분소 수, 병상 수, 의료 인력 비율, 녹지 면적으로 측정된다(Heinrichs et al., 2013; Park et al., 2017; Smit and Wandel, 2006; Sternberg, 2003). 각 지표는 Z-score로 표준화하였다.

둘째, 서울시 행정동별 폭염 취약 계층인 노인 및 독거

2) 선행 연구에서는 노출과 민감도보다 적응 능력에 높은 가중치를 부여하고 있다(Choi et al., 2018; Yoo and Kim, 2008). 이는 잠재 영향과 적응 능력이 결합하여 취약성을 결정하는 IPCC의 기후변화 취약성 개념을 충실히 반영한 것으로, 잠재 영향은 노출과 민감도의 합으로 구성되기 때문이다(IPCC, 2001, 2007b).

노인 인구나 무더위 쉼터의 분포 현황을 파악하고, 각 행정동별 노인 및 독거노인 비율과 무더위 쉼터 수용 인원 비율의 차로 계산된 무더위 쉼터 수용력을 도출한다. 이를 바탕으로 폭염 취약성, 노인 인구, 무더위 쉼터 분포, 무더위 쉼터 수용력 데이터의 하위 25%, 50%, 75%, 상위 100%까지의 사분위수를 시각화하는 맵핑을 실시하여 분석한다. 마지막으로, 서울시 각 행정동의 폭염 취약성과 무더위 쉼터 수용력에 대한 공간 분석을 실시하여 무더위 쉼터의 입지 적절성을 평가한다. 구체적으로는 Moran's I 분석을 통해 인접 지역 쉼터의 접근성 및 수용력의 영향을 고려한 공간적 자기상관성을 살펴본다(Tobler, 1970). 이 연구에서는 공간가중행렬 구축을 위하여 퀸 인접성(Queen contiguity)을 활용하였다. Moran's I는 단일 지수로 공간적 자기상관성의 유무를 판별할 수는 있으나, 공간적 패턴(군집 지역 및 이례 지역)을 판별하는 데는 한계가 있다. 따라서, Local Indicators of Spatial Association (LISA) 분석을 실시하여 서울시 행정동별 폭염 취약성과 무더위 쉼터 수용력에 대한 공간적 군집 분포 패턴을 확인한다(Seo et al., 2016). LISA 분석은 단순 현황 분석을 넘어서 분석 대상 지역에 내재된 공간적 자기상관성을 고려하여 폭염 취약 핫스팟(Hotspot)과 콜드스팟(Coldspot)과 같은 공간적 분포를 유형화하여 지역적 패턴을 보여준다(Chen, 2024). LISA 분석을 통해 시각화된 지역적 패턴은 환경, 사회, 경제 등 다양한 분야에서 효과적인 사회문제 해결 방안 수립에 유용하게 활용되고 있다(Anselin, 1995; Moons et al., 2008). 이 연구와 같이 마이크로 지역 단위의 분석을 실시할 경우, 특정 구 내 행정동별 폭염 취약성의 핫스팟과 콜드스팟을 식별할 수 있다는 점에서 유용하다(Oh et al., 2023). 즉, 시 및 구 단위의 분석에서 도출하기 어려운 행정동 단위의 국지적 상관성에 대한 클러스터를 시각적으로 확인할 수 있어 지역 맞춤형 정책 수립에 기여하는 바가 크다. 이 연구는 이러한 공간 분석 결과를 바탕으로 서울시 무더위 쉼터가 효과적으로 분포되어 있는지 평가하고 정책적 함의를 제시하고자 한다. 분석 결과의 맵핑과 LISA 분석은 QGIS 프로그램과 Geoda 프로그램을 활용하였다.

### 3.2. 연구 대상과 분석 자료

이 연구는 한국의 수도이자 가장 높은 인구 밀도를 기록하는 서울시 25개 자치구의 423개<sup>3)</sup> 행정동을 대상으로 무더위 쉼터의 입지를 분석한다. 이를 위하여 각 지역의 폭염 취약성과 무더위 쉼터의 주된 정책 대상이자 대표적인 폭염 취약 계층인 노인의 분포를 종합적으로 고려한다. 이 연구는 한국 기후변화 평가보고서와 많은 선행 연구에서 폭염 취약성이 매우 높은 집단으로 분류되는 65세 이상 노인 인구를 대상으로 한다(Kim et al., 2022; KMA, 2020; Millyard et al., 2020; National Institute on Aging, 2022; Shim et al., 2017, 2019). 또한, 만 65세 이상 노인 인구 전체와 독거노인에 대한 분석을 각각 실시하여 보다 구체적인 정책적 함의를 도출한다.

분석을 위하여 서울시 열린데이터광장과 기상청 기후정보포털에서 제공하는 최신 자료를 활용하였다. 폭염 취약성 지수 계산을 위하여 폭염에 대한 노출 정도를 측정하기 위한 지표인 폭염일수와 열대야일수는 기상청 기후정보포털의 행정구역별 2021년 Representative Concentration Pathways (RCP) 시나리오를 활용하였다(KMA, 2021).<sup>4)</sup> 이 연구는 행정동 단위 분석을 위하여 RCP 시나리오를 활용하였다. 폭염일수와 열대야일수에 대한 실제 관측 자료는 도 및 광역시의 관측 지점별 데이터만 제공되고 있으나, RCP 시나리오 데이터를 통해 행정동 수준의 데이터를 확보할 수 있다. RCP 시나리오는 지역 기후 모델을 통해 생성한 12.5 km 공간해상도에 통계적 상세화 기법을 적용하여 1 km 격자 단위의 정보를 제공하기 때문에 행정동 단위 분석이 가능하다는 장점이 있다. 이 연구는 기후변화의 심각성과 최악의 상황에 대응하기 위한 정책 수립 관련 많은 선행 연구에서 활용하고 있는 RCP 8.5 시나리오를 적용하여 분석하였다(Choi et al., 2018; Kim KW et al., 2020; Riahi et al., 2011).<sup>5)</sup>

다음으로, 민감도 측정 지표인 만 65세 이상 인구 비율과 독거노인 비율, 국민기초수급자 비율, 저소득 노인 비율, 국민기초수급자 노인 비율, 유년 부양비, 노년 부양비, 인구 밀도, 장애인 수 비율은 2021년 '서울시 고령자 현황

3) 2020년 행정 개편으로 향동이 오류2동에서 분리되어 본 연구의 분석에서 향동과 오류2동을 제외하였다. 또한, 2021년 이후 상일동이 상일1동과 상일2동으로 개편되어 상일1동과 상일2동의 값을 통합하여 분석하였다.

4) 폭염일수와 열대야일수 등 극한기후지수는 행정구역별 기후 요소 일자료를 기반으로 각 도 및 광역시에 해당하는 1 km 격자 데이터의 평균값으로 산출된다(KMA, [date unknown]).

5) IPCC 제5차 종합보고서에서 제시된 RCP 시나리오는 온실가스 농도에 따른 미래 기후변화를 예측한 것으로 RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0과 RCP 8.5 등 다양한 시나리오가 제시되어 있다. 그중, RCP 8.5는 온실가스 배출이 계속해서 증가하는 최악의 상황을 가정하고 있다(Kim et al., 2022; KMA, [date unknown]).

(동별)', '서울시 국민기초생활보장 수급자(동별)', '서울시 독거노인 현황(성별/동별)', '서울시 부양비 및 노령화 지수(동별)', '서울시 인구 밀도(동별)', '서울시 장애인 현황(장애유형별/동별)' 통계를 활용하였다(Seoul Open Data Plaza, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021f, 2021h).

마지막으로, 무더위 쉼터 데이터는 2023년 '서울시 무더위 쉼터',<sup>6)</sup> 보건소 및 보건분소는 2021년 '서울시 보건소 및 보건분소(동별)'에서 수집하였다(Seoul Open Data Plaza, 2021g, 2023). 병상 수와 의료 인력 비율은 가장 최신 자료인 2017년의 '서울시 의료 기관(동별) 통계'와 '서울시 의료 기관 종사 의료 인력(동별) 통계'를(Seoul Open Data Plaza, 2017a, 2017b), 녹지 면적은 2021년 '서울시 녹지 현황 통계'의 구별 데이터를 활용하였다(Seoul Open Data Plaza, 2021e).

## 4. 분석 결과

### 4.1. 지역별 폭염 취약성

서울시 각 행정동별 폭염 취약성을 사분위로 맵핑하면 Fig. 1과 같으며, 짙은 붉은색으로 표시된 행정동이 취약성이 높은 지역이다. 강북구 번3동(0.93)이 가장 취약한 지역으로 확인되었으며, 종로구 이화동(-1.89)은 취약성이 가장 낮은 지역으로 나타났다. 전체적으로는 서울시 중부(광진구, 성동구, 동대문구, 중랑구, 용산구 일대)와 북동부(강북구 일대), 남동부(강동구, 송파구 일대), 그리고 일부 서부(양천구 일대)가 폭염에 취약한 지역으로 확인되었다.

폭염 취약성 지수의 상하위 10개 행정동은 Table 2와

Table 1. Measurement indicators and data sources

Category	Measurement indicator	Unit	Data source
Exposure	Days of heatwave	days	KMA (2021)
	Tropical night days	days	
Sensitivity	The proportion of population over the age of 65	%	Seoul Open Data Plaza (2021d)
	The proportion of the elderly who lives alone	%	Seoul Open Data Plaza (2021c)
	The proportion of low-income elderly	%	
	The proportion of elderly living alone who are recipients of National Basic Livelihood Security Act benefits	%	
	The proportion of recipients of receiving National Basic Livelihood Security Act benefits	%	Seoul Open Data Plaza (2021h)
	Youth dependency ratio	persons per 100 inhabitants	Seoul Open Data Plaza (2021a)
	Old dependency ratio	persons per 100 inhabitants	
	Population density	persons/km <sup>2</sup>	Seoul Open Data Plaza (2021f)
The proportion of disabled people	%	Seoul Open Data Plaza (2021b)	
Adaptive capacity	Capacity of cooling centers	persons	Seoul Open Data Plaza (2023)
	The number of public health centers	centers	Seoul Open Data Plaza (2021g)
	The number of beds in hospitals	per thousand beds	Seoul Open Data Plaza (2017b)
	The proportion of medical service personnel	%	Seoul Open Data Plaza (2017a)
	Green areas	m <sup>2</sup>	Seoul Open Data Plaza (2021e)

6) 무더위 쉼터의 경우 최신의 누적 자료만을 제공한다.

같다.7) 폭염 취약성이 높은 행정동이 과반 이상인 것으로 확인된 구는 광진구(15개 중 11개), 강북구(13개 중 9개), 강동구(18개 중 11개), 성동구(17개 중 10개), 동대문구

(14개 중 8개), 중랑구(16개 중 9개)이다. 반대로, 폭염 취약성이 낮은 행정동이 과반 이상인 구는 마포구(16개 중 9개), 강서구(20개 중 10개)로 확인되었다. 이처럼, 각 행정동의 폭염 취약성 분포는 지역적인 차이가 있음을 확인할 수 있다.

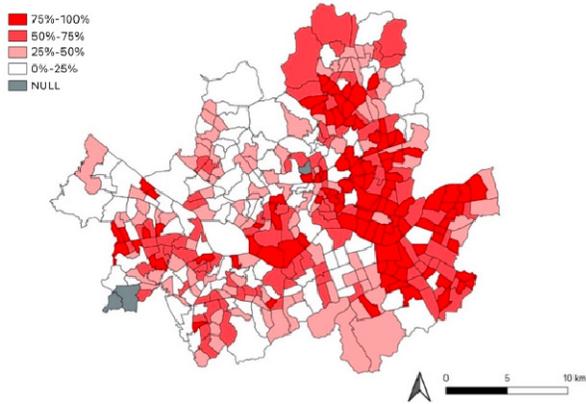


Fig. 1. Spatial distribution of heatwave vulnerability

#### 4.2. 노인 인구를 고려한 무더위 쉼터 수용력

무더위 쉼터 수용력을 살펴보기 위하여 423개 행정동의 노인 인구나 무더위 쉼터의 분포 현황을 사분위로 맵핑하면 Fig. 2와 Fig. 3과 같다.8) 먼저, Fig. 2는 65세 이상 전체 노인 인구나 독거노인 인구의 분포 현황이다. 전체 노인 인구가 가장 많은 행정동은 은평구 역촌동으로 8,445명이며, 독거노인 인구가 가장 많은 지역은 강서구 등촌3동으로 2,696명으로 확인되었다. 전체 노인 인구는 도봉구, 강북구, 성북구, 중랑구, 금천구, 구로구, 강서구,

Table 2. Ranking of heatwave vulnerability index

Ranking	Local name	Heatwave vulnerability index
1	Beon 3-dong, Gangbuk-gu	0.9360
2	Suseo-dong, Gangnam-gu	0.7958
3	Namyeong-dong, Yongsan-gu	0.6809
4	Jeonnong 1-dong, Dongdaemun-gu	0.6569
5	Gayang 2-dong, Gangseo-gu	0.6509
6	Myeonmokbon-dong, Jungnang-gu	0.6155
7	Jegi-dong, Dongdaemun-gu	0.6066
8	Songcheon-dong, Gangbuk-gu	0.6021
9	Junggye 2.3-dong, Nowon-gu	0.5378
10	Cheongnyangni-dong, Dongdaemun-gu	0.5346
...		
414	Yeomchang-dong, Gangseo-gu	-0.6767
415	Gayang 1-dong, Gangseo-gu	-0.6820
416	Gongneung 2-dong, Nowon-gu	-0.6897
417	Banpo 4-dong, Seocho-gu	-0.7613
418	Sanggye 1-dong, Nowon-gu	-0.8125
419	Guro 2-dong, Guro-gu	-0.8907
420	Pungnap 2-dong, Songpa-gu	-1.1159
421	Irwonbon-dong, Gangnam-gu	-1.3139
422	Sinchon-dong, Seodaemun-gu	-1.5288
423	Ihwa-dong, Jongno-gu	-1.8992

Note: A higher score indicates a region with greater vulnerability.

7) 전체 행정동에 대한 폭염 취약성 지수는 Appendix 1(<https://url.kr/6etx4g>)에 수록되어 있다.

8) 오류2동과 향동은 관련 데이터가 수집되지 않아 분석에서 제외하였다.

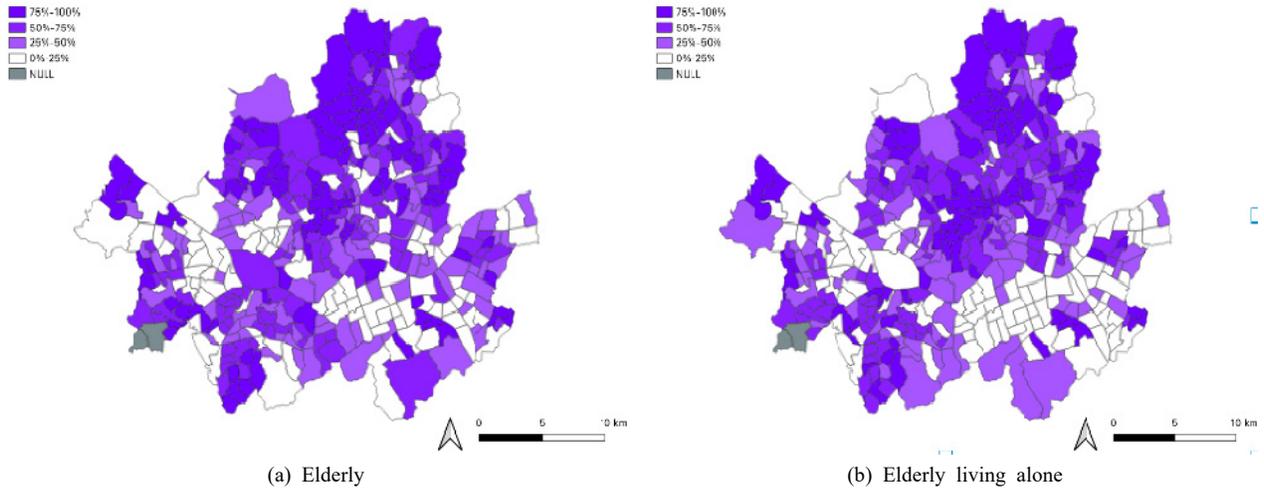


Fig. 2. Population distribution of elderly and elderly living alone

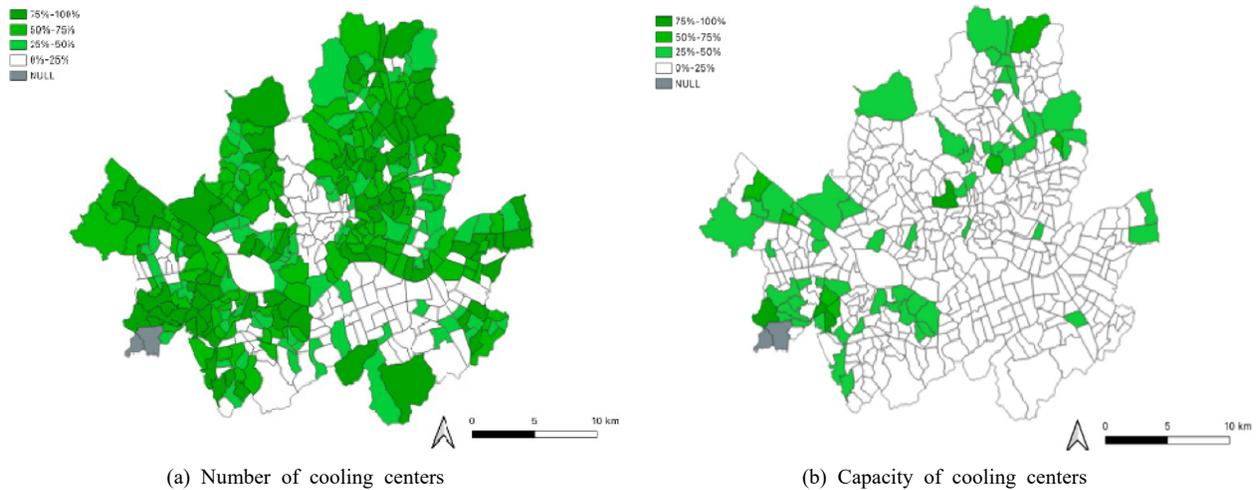


Fig. 3. Distribution of cooling centers

은평구, 송파구, 강남구의 행정동에서 상대적으로 높은 분포를 보이며, 독거노인의 경우 도봉구, 강북구, 성북구, 중랑구, 금천구, 구로구, 강서구, 은평구, 송파구, 강남구의 행정동에서 상대적으로 높은 분포를 보였다. 이처럼, 전체 노인과 독거노인의 분포는 대체로 유사하지만, 영등포구, 동작구, 관악구, 용산구에서는 차이가 있었다.

다음으로, 무더위 쉼터 개수와 수용 인원에 대한 사분위 맵핑은 Fig. 3과 같다. 먼저, 무더위 쉼터의 개수를 기준으로 살펴보면, 은평구, 강서구, 구로구, 금천구, 서초구, 동작구, 송파구, 강동구, 노원구, 중랑구, 도봉구 행정동에 많이 설치되어 있다. 그러나, 노인과 독거노인 인구 밀집 지역으로 확인된 종로구, 성북구, 중구, 용산구의 경우 무

더위 쉼터가 상대적으로 부족한 것으로 확인되었다. 흥미로운 점은, 무더위 쉼터의 수용 인원의 경우, 지역별로 편차가 크며, 전체 423개 행정동 중 357개의 행정동이 수용 인원이 597명 이하인 하위 25%에 해당하는 것으로 확인되었다는 점이다. 실제로 구로구 구로2동은 무더위 쉼터 수용 인원이 2,387명으로 가장 많은 인원을 수용 가능하지만, 서초구 반포본동과 강동구 둔촌1동의 경우에는 무더위 쉼터가 설치되지 않아 수용 인원이 없었다.

또한, 무더위 쉼터의 개수가 많은 지역일지라도 시설당 수용할 수 있는 인원은 한정적인 지역이 대부분을 차지한다는 사실을 확인할 수 있다. 예를 들어, 구로구는 무더위 쉼터가 상대적으로 많이 설치된 지역이지만, 수용 인원은

매우 부족하다. 이처럼, 현재 무더위 쉼터는 폭염에 취약한 노인 인구 밀집 지역에 충분하게 입지 되어 있지 않으며, 특히, 수용 인원 측면에서 매우 열악한 상황임이 밝혀졌다. 이러한 논의를 바탕으로, 무더위 쉼터 정책 평가를 위해서는 쉼터의 개수보다는 수용 인원을 반영하는 것이 현실을 보다 정확히 반영할 수 있음이 확인되었다.

무더위 쉼터 수용 인원을 바탕으로 노인 인구의 무더위 쉼터 수용력을 계산하면 Fig. 4와 같다. 지도에서 가장 진하게 표시된 지역(75%~100%)이 무더위 쉼터 수용 인원 대비 노인 및 독거노인 비율이 높은 지역이다.<sup>9)</sup> 흰색으로 표시된 성북구, 구로구, 동작구, 도봉구, 강서구, 마포구의 경우 무더위 쉼터 수용력이 상대적으로 확보된 행정동이 비교적 많이 분포하는 것으로 확인되었다. 그러나, 공통적으로 강남구, 관악구, 은평구, 송파구, 강북구, 강서구 행정동은 무더위 쉼터의 노인 인구 수용력이 낮았다. 특히, 은평구 역촌동의 경우 전체 노인 인구는 8,445명, 독거노인 인구는 1,982명이 분포하지만, 무더위 쉼터 수용 인원은 135명에 불과한 것으로 나타났다. 또한, 일부 행정동은 전체 노인 인구와 독거노인 인구를 기준으로 다른 양상이 확인되었다. 전체 노인 분석에서는 중랑구 묵1동, 종로구 평창동이 상대적으로 더 낮은 수용력을 보이거나, 독거노인에 대한 분석에서는 구로구 가리봉동, 마포구 성산1동, 용산구 남영동과 청파동 등 일부 행정동이 상대적으로 낮은 수용력을 보이는 지역으로 분류되었다.

종합하면, 서울시 도심권을 제외한 강북 지역(은평구, 강북구 일대)과 강남 지역의 동남권(강남구, 관악구, 송파구 일대)과 강서 지역(강서구 일대)에 속하는 행정동이 노인과 독거노인 인구 분포에 비해 무더위 쉼터가 부족한 지역으로 밝혀졌다. 따라서, 이러한 지역에 무더위 쉼터의 추가적인 설치 및 수용 인원의 증대가 우선적으로 고려되어야 한다.

Table 3은 상하위 5개 행정동의 무더위 쉼터 수용력 지수이다. 전체 노인 인구를 기준으로 은평구 역촌동, 강서구 화곡1동, 강북구 인수동, 영등포구 여의동, 강남구 세곡동이 수용력이 낮은 것으로 나타났으며, 독거노인 인구를 기준으로 강북구 인수동, 강북구 송천동, 은평구 역촌동, 노원구 상계3.4동, 강북구 수유3동이 수용력이 낮은 지역으로 분석되었다. 특히, 강북구 인수동과 은평구 역촌동의 경우, 전체 노인과 독거노인 기준 모두에서 수용력이 낮은 것으로 확인되었다. 반면, 무더위 쉼터 수용력이 높은 것으로 확인된 상위 5개 행정동은 전체 노인과 독거노인 기준 분석 모두에서 종로1.2.3.4가동, 구로구 구로2동, 구로구 수궁동, 중랑구 신내2동, 성북구 월곡1동이다.

### 4.3. 폭염 취약성과 무더위 쉼터 수용력에 기반한 무더위 쉼터 입지 분석

앞선 분석을 바탕으로 서울시 행정동별 폭염 취약성과 노인 인구에 대한 무더위 쉼터 수용력에 대한 공간 분석을

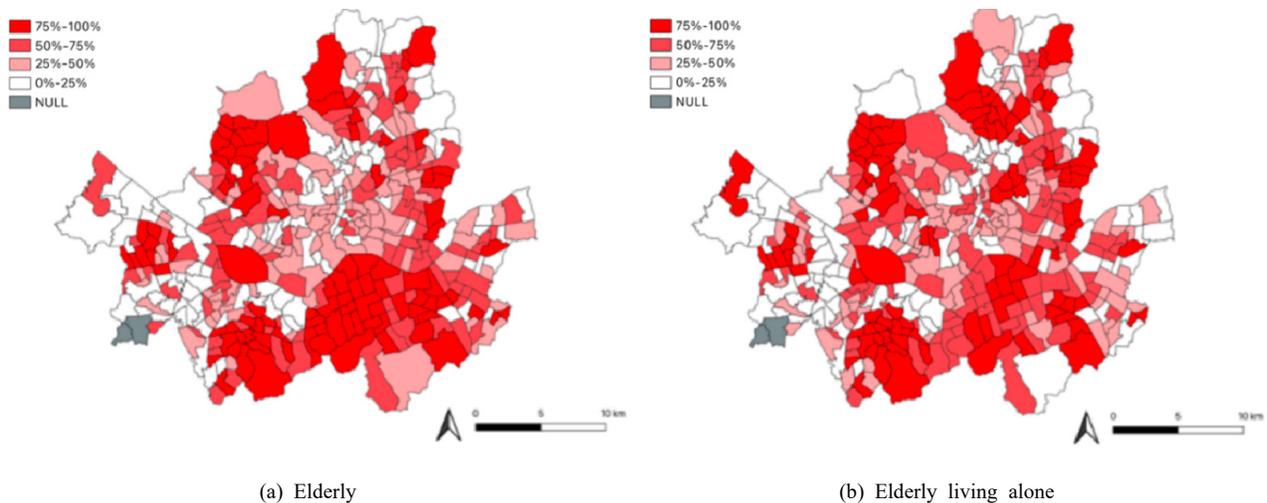


Fig. 4. Distribution of capacity of cooling center

9) 전체 행정동에 대한 무더위 쉼터 수용력 지수는 Appendix 2(<https://url.kr/6etx4g>)에 수록되어 있다.

Table 3. Capacity index of cooling center

Rank	Elderly		Elderly living alone	
	Local name	Index	Local name	Index
1	Yeokchon-dong, Eunpyeong-gu	-0.444	Insu-dong, Gangbuk-gu	-0.507
2	Hwagok 1-dong, Gangseo-gu	-0.370	Songcheon-dong, Gangbuk-gu	-0.462
3	Insu-dong, Gangbuk-gu	-0.313	Yeokchon-dong, Eunpyeong-gu	-0.422
4	Yeoui-dong, Yeongdeungpo-gu	-0.296	Sanggye 3.4-dong, Nowon-gu	-0.415
5	Segok-dong, Gangnam-gu	-0.295	Suyu 3-dong, Gangbuk-gu	-0.367
...				
419	Wolgok 1-dong, Seongbuk-gu	0.734	Sinnae 2-dong, Jungnang-gu	0.753
420	Sinnae 2-dong, Jungnang-gu	0.787	Wolgok 1-dong, Seongbuk-gu	0.755
421	Sugung-dong, Guro-gu	1.023	Sugung-dong, Guro-gu	1.048
422	Guro 2-dong, Guro-gu	1.127	Jongno 1.2.3.4-ga-dong, Jongno-gu	1.078
423	Jongno 1.2.3.4-ga-dong, Jongno-gu	1.266	Guro 2-dong, Guro-gu	1.082

Note: A lower score indicates a reduced capacity of the cooling center.

통해 무더위 쉼터 입지 적절성을 평가하였다. 분석 결과, 폭염 취약성에 대한 Moran's I 값은 0.257, 무더위 쉼터 수용력에 대한 Moran's I 값은 각각 노인에서 0.284, 독거노인에서 0.263으로 나타났으며, 모두 1% 수준에서 유의한 것으로 확인되었다.<sup>10)</sup> 따라서, 서울시 행정동의 폭염 취약성과 무더위 쉼터 수용력 지수 모두 인접한 지역끼리 비슷한 관측 값을 나타내고 있으며, 낮은 수준이지만 통계적으로 유의한 정적 공간적 자기상관성이 존재한다.

다음으로, 폭염 취약성과 무더위 쉼터 수용력에 대한 LISA 분석을 실시하였다. LISA 분석은 공간적 자기상관성이 존재하는 행정동의 국지적 공간적 자기상관성을 나타내며, 국지적 공간의 양상을 High-High (높은 값이 높은 값과 인접함, HH), Low-Low (낮은 값이 낮은 값과 인접함, LL), Low-High (낮은 값이 높은 값과 인접함, LH), High-Low (높은 값이 낮은 값과 인접함, HL)의 네 가지 유형으로 분류한다. 또한, 핫스팟과 콜드스팟에 대한 클러스터 맵을 구현할 수 있다(p-value=0.05).

폭염 취약성에 대한 LISA 분석 결과는 Fig. 5와 같다. 분석 결과, 폭염 취약성이 높은 행정동은 서울 동부에, 폭염 취약성이 낮은 행정동은 대체로 서부에 밀집되어 있는 것으로 확인되었다. 구체적으로, 폭염 취약성이 높은 것으로 확인된 지역(HH)에는 송파구, 강동구, 광진구, 강북구, 도봉구, 성북구, 동대문구가 포함되며, 폭염 취약성이 낮

은 지역(LL)에는 서초구, 강서구, 은평구, 종로구, 서대문구, 중구, 강남구가 포함되는 것으로 나타났다. 이러한 지역적 차이는 상이한 무더위 쉼터 운영 정책에서 찾아볼 수 있다. 일반적으로 무더위 쉼터는 평일 18시까지 운영하는 경우가 많지만, 폭염 취약성이 낮은 지역(LL)의 경우 연장 운영을 실시하고 있다. 예를 들어, 은평구의 경우 무더위 쉼터의 84%(188개 중 158개)가 18시 이후로 연장 운영을 실시한다. 반면, 폭염 취약성이 높은 지역(HH)인 광진구의 경우 116개의 무더위 쉼터 중 어느 곳도 야간에 운영하지 않는다.

한편, 동일한 구에서 행정동별로 다른 양상이 나타난 지역도 발견할 수 있었다. 구로구의 경우, 개봉1동, 구로1동, 구로3동, 가리봉동이 폭염 취약성이 낮은 지역(LL)으로 분류되었지만, 구로4동은 폭염 취약성이 낮은 주변 지역과 달리 높은 폭염 취약성을 나타내는 이례적인 지역(HL)으로 분류되었다. 구로4동의 경우 타 행정동에 비해 폭염에 대한 민감도 지표인 만 65세 이상 인구 비율, 국민 기초수급자 비율 등이 상대적으로 높아, 높은 폭염 취약성을 보였다. 중랑구의 경우에도 상봉2동, 망우본동, 면목3.8동은 주변 행정동과 달리 폭염 취약성이 낮은 지역(LH)으로 분류되었지만, 동일 구 타 행정동인 목2동, 중화1동, 중화2동, 면목2동, 면목5동, 면목본동은 폭염 취약성이 높은 지역(HH)의 군집이 확인되었다. 중랑구의 경우

10) Moran's I 값은 1에 가까울수록 인접한 지역들의 관측 값들이 비슷한 경향을 보이는 완전한 정적 공간적 자기상관성을 의미한다 (Mathur, 2015). Moran's I 분석의 Z-score는 폭염 취약성 8.980 (p < 0.001), 무더위 쉼터 수용력 중 노인 9.878 (p < 0.001), 독거노인 9.011 (p < 0.001)이다.

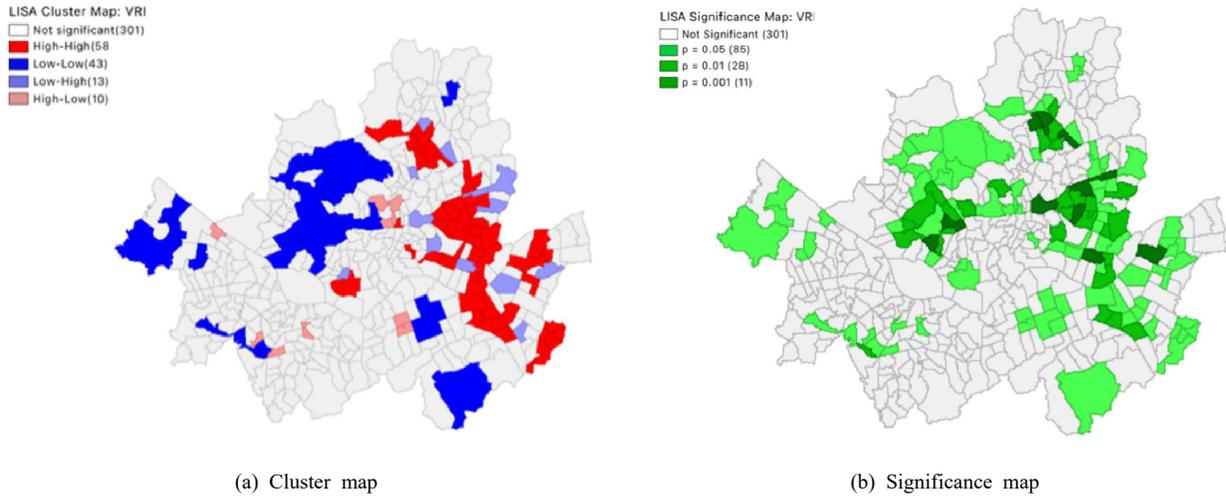


Fig. 5. LISA analysis results for heatwave vulnerability

병상 수, 의료 인력 비율 등 적응 능력 지표가 행정동별로 큰 차이가 있었다. 따라서, 같은 중랑구 지역일지라도 상봉2동, 망우본동, 면목3.8동과 같이 폭염 취약성이 낮은 행정구의 경우, 폭염 적응 능력이 상대적으로 높아 폭염 노출과 민감도의 부정적인 영향이 상쇄되었음을 추정할 수 있다.

다음으로 Fig. 6은 전체 노인 인구나 독거노인 인구를 기준으로 무더위 쉼터 수용력을 LISA 분석한 결과이다. 노인과 독거노인 분석 모두에서 서울시 동남권과 서북권은 HH지역으로, 서남권과 서북권 및 중심 지역이 LL지역으로 확인되었다. 구체적으로, 노인에 대한 분석 결과, 은평구, 중랑구, 금천구, 강남구, 서초구, 관악구, 송파구가 무더위 쉼터 수용력이 낮은 HH지역으로 나타났으며, 강서구, 영등포구, 구로구, 종로구, 동대문구는 비교적 수용력이 높은 LL지역으로 분류되었다. 독거노인에 대한 분석에서는 은평구, 중랑구, 금천구, 강남구, 서초구, 관악구가 HH지역으로, 강서구, 영등포구, 구로구, 동작구, 강북구가 LL지역으로 나타났다.

흥미로운 점은 노인과 독거노인 대상 분석에서 다른 경향이 발견되었다는 점이다. 무더위 쉼터 수용력은 노인의 경우 강남 지역의 서초구와 강남구 일대가, 독거노인의 경우 강북구와 중랑구 일대가 추가로 HH지역으로 분류되었다. 망우3동, 면목본동, 면목3.8동, 상봉동 일대의 경우, 무더위 쉼터의 독거노인 수용 인원이 상대적으로 부족한 지역으로 밝혀졌다. 또한, 강서구 발산1동과 동작구 일대가 각각 노인과 독거노인 분석의 LL지역으로 추가로 분류되었다.

한편, 노인 인구를 고려한 무더위 쉼터 수용력에 대한 분석에서도 동일한 구 내 행정동별 다른 양상이 나타났다. 예를 들어, 노인 인구 기준 무더위 쉼터 수용력 분석 결과인 Fig. 6(a)를 살펴보면, 양천구 내 신정3동과 신정6동은 수용력이 높은 지역(LL)으로 분류되었으나, 신정7동은 주변 지역과 달리 수용력이 낮은 지역(HL)으로 분류되었다. 또한, 독거노인 인구 기준 무더위 쉼터 수용력 분석 결과인 Fig. 6(c)에서도, 종로구의 삼청동과 이화동은 수용력이 높은 지역(LL)이지만, 동일 구 내 청운효자동, 혜화동, 종로5.6가동은 주변 지역과 달리 낮은 수용력을 가지는 지역(HL)으로 분류되었다. 이는 동일한 구임에도 행정동별로 노인 및 독거노인 인구 분포가 다르며 무더위 쉼터 수용 인원에도 있어 차이가 있음을 보여주며, 무더위 쉼터 입지에 대한 행정동 수준의 고려가 필요함을 알 수 있다.

분석 결과를 바탕으로 무더위 쉼터의 입지가 지역의 폭염 취약성과 중요한 정책 대상인 노인 인구를 충분히 반영하고 있는지 평가할 수 있었다. LISA 분석에서 폭염 취약성이 높은 지역(HH)이 무더위 쉼터 수용력은 낮은 지역(HH)으로 분류되었다면(예: 송파구 삼전동, 잠실본동, 잠실2동, 잠실3동, 잠실7동), 행정동의 무더위 쉼터 입지가 노인 인구를 고려한 지역의 폭염 취약성을 적절히 반영하고 있지 않음을 의미한다. 이처럼, 행정동별 공간적 차이를 보여주는 LISA 분석 결과는 지역별 폭염 취약성과 정책 대상인 노인 인구를 고려한 무더위 쉼터 입지 선정을 위한 구체적인 실증적 증거를 제공한다.

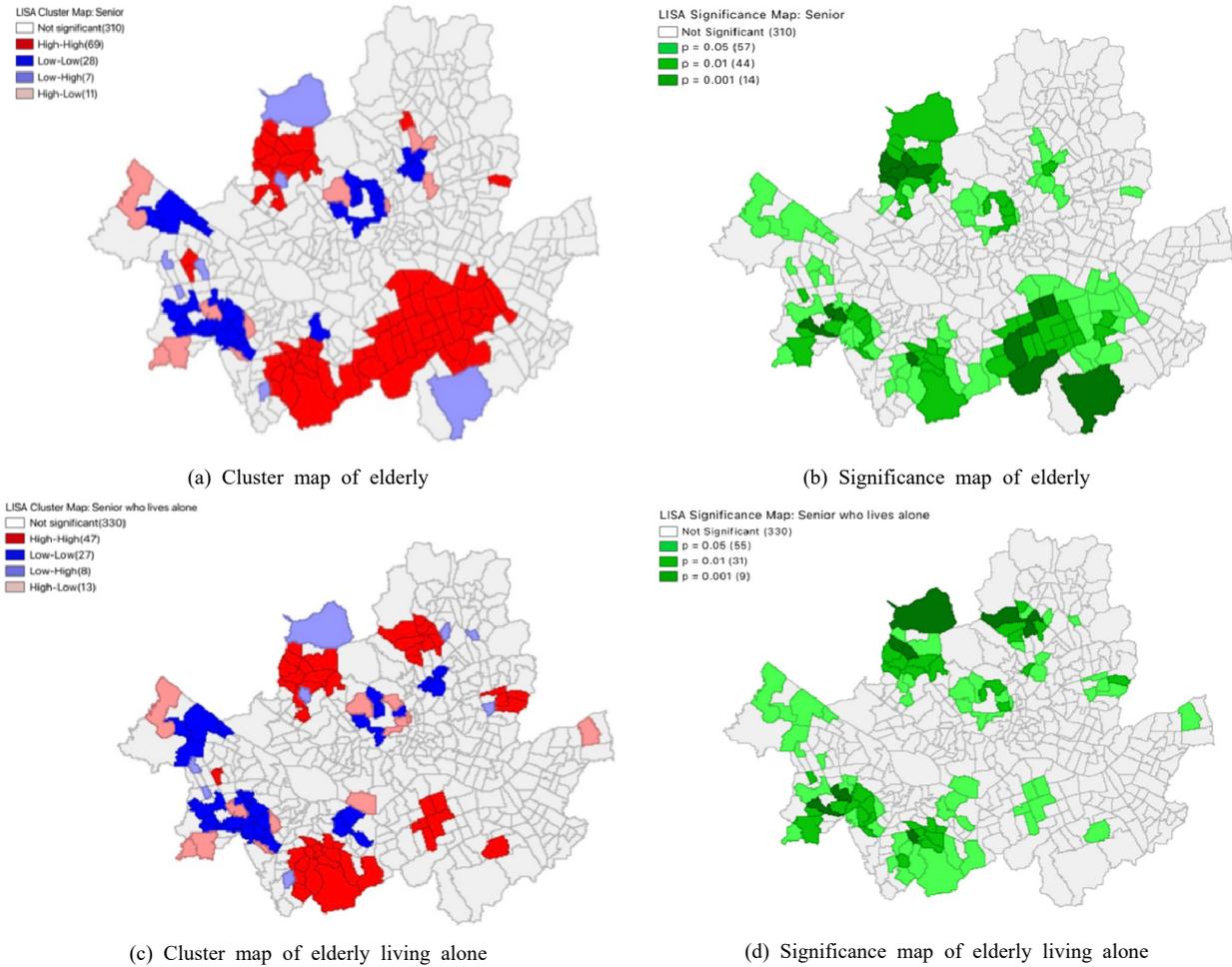


Fig. 6. LISA analysis results for capacity of cooling centers

### 5. 결론

이 연구는 서울시 423개 행정동의 무더위 쉼터 입지를 지역별 폭염 취약성과 폭염 취약 계층 중 노인 인구의 분포를 종합적으로 고려하여 분석하였다. 이를 위하여, 폭염에 대한 노출, 민감도, 적응 능력에 대한 행정동별 폭염 취약성 지수를 도출하고, 무더위 쉼터의 주된 정책 대상인 노인 인구에 대한 무더위 쉼터 수용력 지수를 계산하였다. 각 지수는 맵핑을 통한 시각화로 폭염 취약 지역과 무더위 쉼터 수용력에 대한 효과적인 비교 분석이 가능하였다. 마지막으로, 지역의 폭염 취약성과 무더위 쉼터 수용력에 대한 LISA 분석을 실시하여 무더위 쉼터의 입지 적절성을 평가하였다.

분석 결과, 폭염 취약성은 서울시 동부권(광진구, 강북

구, 강동구, 성동구, 동대문구, 중랑구, 송파구, 용산구 일대)의 행정동에서 높은 것으로 밝혀졌다. 또한, 서울시 도심권을 제외한 강북 지역(은평구, 강북구 일대)과 강남 지역의 동남권(강남구, 관악구, 송파구 일대), 강서 지역(강서구 일대)의 행정동이 노인 인구를 고려한 무더위 쉼터 수용력이 낮은 지역으로 확인되었다. 그리고, 공간적 군집을 확인한 LISA 분석 결과, 폭염 취약성이 높은 행정동은 서울 동부에, 폭염 취약성이 낮은 행정동은 서울 서부에 주로 밀집된 패턴을 보임을 확인하였다. 또한, 동일 구 내에서도 행정동별로 폭염 취약성과 무더위 쉼터의 수용력이 상이할 수 있음을 알 수 있었다.

이러한 분석 결과는 무더위 쉼터의 입지가 폭염 취약성을 효과적으로 반영하지 못하고, 무더위 쉼터 정책의 수립과 이행 과정에서 노인 분포에 대한 고려가 필요

함을 시사한다. 또한, 행정동 단위의 정책 수립의 중요성을 보여준다. 이에 다음과 같은 정책적 시사점을 도출할 수 있다. 첫째, 효과적인 무더위 쉼터 정책 수립을 위해서는 행정동 단위의 폭염 취약성을 고려한 입지 선정이 이루어져야 한다. 현재, 무더위 쉼터 정책은 구별로 수립되고 있으나(Seoul Metropolitan Government, 2024), 분석 결과는 폭염 취약성이 동일 구 내에서도 행정동에 따라 상이할 수 있음을 보여준다. 또한, 경제적인 수준이 높은 지역이 폭염 취약성이 낮은 것이 아니라는 점에도 주목해야 한다. 즉, 폭염 정책 수립 시 지역의 경제 수준과는 별개로 폭염 취약성에 대한 객관적인 고려가 필요하다는 점을 시사한다. 실제로, 강남구는 폭염 취약성이 높은 수서동, 일원1동, 일원2동이 포함되어 있으나, 국가통계포털에 따르면 취약성 데이터 기준 연도인 2021년 서울시 지역 내 총생산과 서울시 종합 부동산세 결정세액(KOSIS, 2021a, 2021b) 모두 가장 높은 지역이다.

둘째, 노인 인구의 특성과 분포를 고려한 무더위 쉼터 입지 선정이 필요하다. 무더위 쉼터 수용력 분석 결과, 전체 노인 인구와 독거노인에서 상이한 양상이 확인되었다. 하지만, 현재 대부분의 폭염 정책은 폭염 노출에 취약한 계층에 대한 면밀한 분석이 고려되지 않은 채 단기적 대응만 이뤄지고 있으며, 무더위 쉼터 정책의 경우에도 입지 결정을 위한 구체적인 기준이 존재하지 않는다(Kwon et al., 2020; Shim et al., 2019). 따라서, 폭염 정책의 수립과 집행 과정에서 정책 대상자에 대한 특성을 체계적으로 고려할 수 있는 방안이 모색되어야 한다.

이 연구는 서울시 행정동의 폭염 취약성과 노인 인구 분포를 종합적으로 고려한 공간 분석을 실시하여 무더위 쉼터 정책 개선을 위한 실증적 증거를 제시하였다. 구체적인 지수 도출과 맵핑을 통한 시각화는 무더위 쉼터 입지 선정에 대한 방향성을 제시해 주었으며, 기후변화 시대의 폭염 대응 방안 체계를 구축하기 위한 유용한 자료로써 활용될 수 있다. 또한, 기존 연구와는 다르게 행정동 단위의 데이터 구축과 분석을 실시하여 마이크로 단위의 지역 특성과 공간적 자기상관성을 반영하였다는 점에서 방법론적 의의가 있다.

이처럼 본 연구는 행정동 단위의 폭염 취약성과 노인 인구를 고려한 무더위 쉼터 입지 적절성에 대한 실증적인 증거를 제공하여 향후 관련 연구의 기초 자료를 제공하였다. 그러나, 단년도에 대한 분석이며, 시나리오 데이터를 일부 활용하였다는 점, 그리고 교통수단이나 보행 거리와 같은 무더위 쉼터까지의 실질적 접근성은 포함하지 않았

다는 한계가 있다. 또한, 분석 대상을 노인에 한정하여 연령에 따른 신체적인 취약성에 주목하였으나, 재산 수준이나 주거 환경 등 다양한 사회경제적 특성이 고려되지 못했다. 후속 연구에서는 접근성 등 다양한 영향 요인과 폭넓은 폭염 취약 계층의 사회경제적 특성에 대한 다년도 데이터를 활용한 연구가 이루어져야 한다. 또한, 기후변화 시나리오에 대한 비교 분석과 공간회귀모형 등을 활용한 정책 영향 요인 분석도 필요하다.

## 사사

본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00217228). 본 논문은 한국행정학회 제21회 우수학술논문대회 최우수상 수상 논문을 발전시켜 분석하였습니다.

## Reference

Adger WN. 2006. Vulnerability. *Glob Environ Change* 16(3): 268-281. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. *Geogr Anal* 27(2): 93-115. doi: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x

Aprada C, D'Ambrosio V, Di Martino F. 2019. A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. *Environ Sci Policy* 93: 11-26. doi: 10.1016/j.envsci.2018.12.016

Arsad FS, Hod R, Ahmad N, Ismail R, Mohamed N, Baharom M, Osman Y, Radi MFM, Tangang F. 2022. The impact of heatwaves on mortality and morbidity and the associated vulnerability factors: A systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 19(23): 16356. doi: 10.3390/ijerph192316356

Bae MK, Kim BE, Lee CY. 2020. Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave (in Korean with English abstract). *J Environ Policy Adm* 28(3): 243-280. doi: 10.15301/jepa.2020.28.3.243

Ballester J, Quijal-Zamorano M, Méndez Turrubiates RF, Pegenaute F, Herrmann FR, Robine JM, Basagaña X,

- Tonne C, Antó JM, Achebak H. 2023. Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nat Med* 29(7): 1857-1866. doi: 10.1038/s41591-023-02419-z
- Bao J, Li X, Yu C. 2015. The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *Int J Environ Res Public Health* 12(7): 7220-7234. doi: 10.3390/ijerph120707220
- Birkmann J, Cutter SL, Rothman DS, Welle T, Garschagen M, Van Ruijven B, O'neill B, Preston BL, Kienberger S, Cardona OD, et al. 2015. Scenarios for vulnerability: Opportunities and constraints in the context of climate change and disaster risk. *Clim Change* 133: 53-68. doi: 10.1007/s10584-013-0913-2
- Brenkert AL, Malone EL. 2005. Modeling vulnerability and resilience to climate change: A case study of India and Indian States. *Clim Change* 72(1): 57-102. doi: 10.1007/s10584-005-5930-3
- Chae YR, Ahn YJ, Kim DS. 2016. Measures to improve the effectiveness of cooling centers in preparation for heat waves. *KEI Focus* 4(1): 1-24.
- Chen C, Fu S. 2023. A method for optimizing the layout of public service facilities based on the needs of different age groups: An analysis of Hongkou district, Shanghai. *Systems* 11(8): 426. doi: 10.3390/systems11080426
- Chen Y. 2024. Reconstruction and normalization of LISA for spatial analysis. *PLOS One* 19(5): e0303456. doi: 10.1371/journal.pone.0303456
- Cheng W, Li D, Liu Z, Brown RD. 2021. Approaches for identifying heat-vulnerable populations and locations: A systematic review. *Sci Total Environ* 799: 149417. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149417
- Cho HM, Lee YH. 2018. Measures to improve heat wave response in Seoul. Seoul, Korea: Seoul Institute. Policy Report No. 257.
- Cho YS, Shin DH, Lee NY. 2015. Analyzing mortality rate and social costs of climate vulnerable groups caused by heat waves in Korea (in Korean with English abstract). *J Environ Policy* 14(1): 3-32.
- Choi YS, Kim JW, Lim U. 2018. An analysis on the spatial patterns of heat wave vulnerable areas and adaptive capacity vulnerable areas in Seoul (in Korean with English abstract). *J Korea Plan Assoc* 53(7): 87-107. doi: 10.17208/jkpa.2018.12.53.7.87
- Chung HT. 2021. Investigation of the causes of vulnerable groups in body temperature control due to heat waves in climate change (in Korean with English abstract). *J Next-Gener Converg Technol Assoc* 5(1): 65-73.
- Chung JB. 2012. Fairness in siting public facilities: New York City's fair share criteria and its implication to Korea (in Korean with English abstract). *GRI Rev* 14(2): 5-28.
- Dessai S, Hulme M. 2004. Does climate adaptation policy need probabilities? *Clim Policy* 4(2): 107-128.
- Eum JI, Kim HK. 2024. Assessment of flood vulnerability of semi-basement households in Seoul (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 15(1): 35-46. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.1.035
- Eum JY, Yoon SJ. 2015. A study on the heatwave management plan for low-income aged people (in Korean with English abstract). *Space Environ* 25(4): 319-344.
- Forsyth A, Molinsky J, Kan HY. 2019. Improving housing and neighborhoods for the vulnerable: Older people, small households, urban design, and planning. *URBAN Des Int* 24: 171-186. doi: 10.1057/s41289-019-00081-x
- Fujimoto M, Hayashi K, Nishiura H. 2023. Possible adaptation measures for climate change in preventing heatstroke among older adults in Japan. *Front Public Health* 11: 1184963. doi: 10.3389/fpubh.2023.1184963
- Füssel H, Klein RJ. 2006. Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Clim Change* 75(3): 301-329.
- Garssen J, Harmsen C, De Beer J. 2005. The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Netherlands. *Eurosurveillance* 10(7): 13-14.
- Ha JS, Jeong HC, Lee JH, Kim DH, Choi JH. 2014. A study on establishment and management of a long-term heatwave plan addressing climate change (in Korean with English abstract). Seoul, Korea: Korea

- Environment Institute. Research Report 2014-19. doi: 10.23000/TRKO201800042186
- Heinrichs D, Krellenberg K, Fragkias M. 2013. Urban responses to climate change: Theories and governance practice in cities of the Global South. *Int J Urban Reg Res* 37(6): 1865-1878. doi: 10.1111/1468-2427.12031
- Hondula DM, Davis RE, Leisten MJ, Saha MV, Veazey LM, Wegner CR. 2012. Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: A case-series analysis. *Environ Health* 11(16): 16.
- Hwang HS, Choi JY, Kang JE. 2023. Analysis of regional type according to spatial correspondence between heat wave vulnerable areas and health damage occurrence (in Korean with English abstract). *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 26(1): 89-113. doi: 10.11108/KAGIS.2023.26.1.089
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. [accessed 2024 Jul 14]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII\\_TAR\\_full\\_report-2.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007a. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. [accessed 2024 Jul 14]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007b. Climate change 2007: Synthesis report. [accessed 2024 Jul 14]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014a. Climate change 2014: Mitigation of climate change. [accessed 2024 Jul 14]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014b. Climate change 2014: Synthesis report. [accessed 2024 Jul 14]. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. Climate change 2021: Summary for all. [accessed 2024 Jul 14]. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SummaryForAll.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll.pdf)
- Jang AH, Min KH. 2021. A study on the types and modelling of heat wave on the Korean peninsula using cluster analysis. *Proceedings of the Conference of the Korean Meteorological Society; 2021 Apr 22~Apr 23; Online. Seoul, Korea: The Korean Meteorological Society.* p. 41.
- Jang KE, Sohn DW, Park CR, Lee JH. 2023. Measures to strengthen disaster management through climate change comprehensive vulnerability analysis -Focused on Seoul- (in Korean with English abstract). *Korea Inst Ecol Archit Environ J* 23(3): 39-50. doi: 10.12813/kieae.2023.23.3.039
- Jang YG, Lee SK. 2019. A case study on the heatwave policy for vulnerable population due to climate change -Focused on the elderly in Daegu City- (in Korean with English abstract). *Crisisonomy* 15(10): 43-60. doi: 10.14251/crisisonomy.2019.15.10.43
- Kang JY, Heo JB, Park BC, Kim KW. 2020. A study on the improvement of heat wave adaptation through questionnaire survey on the heat wave cognition in Busan (in Korean with English abstract). *Korea Spat Plan Rev* 107: 79-92. doi: 10.15793/kspr.2020.107..005
- Kang MH, Kim HK. 2021. Prediction of heat wave based on LSTM considering urban-social characteristics of Busan (in Korean with English abstract). *Korea Spat Plan Rev* 109: 23-36.
- KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency). 2023. 2023 annual report on heat-related illnesses.
- Kenney W, Craighead DH, Alexander L. 2014. Heat waves, aging, and human cardiovascular health. *Med Sci Sports Exerc* 46(10): 1891-1899. doi: 10.1249/MSS.0000000000000325
- Kim DS, Park JC, Chae YR. 2020. The policy measures to reduce heat-wave damage of vulnerable groups in

- Korea (in Korean with English abstract). *J Environ Policy Adm* 28(2): 211-230. doi: 10.15301/jepa.2020.28.2.211
- Kim DW, Chung JH, Lee JS, Lee JS. 2014. Characteristics of heat wave mortality in Korea (in Korean with English abstract). *Atmosphere* 24(2): 225-234.
- Kim EY, Jeon SW, Lee JW, Park YH, Lee DG. 2012. Local adaptation plan to climate change impact in Seoul: Focused on heat wave effects (in Korean with English abstract). *J Environ Impact Assess* 21(1): 71-80.
- Kim JS, Kang MG. 2022. A study on the micro-scale heat wave vulnerability assessment using urban data sensors (S-DoT) in Seoul (in Korean with English abstract). *J Korea Plan Assoc* 57(5): 215-234. doi: 10.17208/jkpa.2022.10.57.5.215
- Kim JY, Lee DG, Park IS, Choi BC, Kim JS. 2006. Influences of heat waves on daily mortality in South Korea (in Korean with English abstract). *Atmosphere* 16(4): 269-278.
- Kim KM, Lee HI. 2014. Patterns of crime occurrence in the metropolitan area: Identification of spatial autocorrelation. *J Environ Stud* 53: 102-104.
- Kim KW, Park BC, Heo JB, Kang JY, Lee IJ. 2020. Assessment of heat wave vulnerability in Busan using the IPCC climate change vulnerability assessment framework (in Korean with English abstract). *Korea Spat Plan Rev* 104: 23-38. doi: 10.15793/kspr.2020.104..002
- Kim OS, Han JH, Kim KW, Matthews SA, Shim CS. 2022. Depopulation, super aging, and extreme heat events in South Korea. *Clim Risk Manag* 38: 1-16. doi: 10.1016/j.crm.2022.100456
- Kim SR, Lee TU, Kim JG, Yuk JM, Park CH, An KH, Kim JY, Park BG, Kim GM, Oh CH. 2023. Planning for climate change adaptation, heatwave disaster assessment, and response system enhancement. Ulsan, Korea: National Disaster Management Research Institute. Research Report.
- Kim Y, Ha CH, Ahn JG. 2004. A comparative study on urban structure with spatial autocorrelation and interaction analysis in Masan and Changwon (in Korean with English abstract). *J Korea Plan Assoc* 39(6): 7-22.
- Kim YM, Kim SY, Cheong HK, Ahn BO, Choi KS. 2012. Effects of heat wave on body temperature and blood pressure in the poor and elderly. Proceedings of the Symposium and Academic Conference of the Korean Society of Environmental Health and Toxicology; 2012 May 10; Seoul National University Samsung Convention Center. Seoul, Korea: The Korean Society of Environmental Health and Toxicology. p. 163-164.
- Klinenberg E. 2003. Review of heat wave: Social autopsy of disaster in Chicago. *N Engl J Med* 348(7): 666-667. doi: 10.1056/NEJM200302133480721
- KMA (Korea Meteorological Administration). [date unknown]. Climate information portal: Types of scenarios. [accessed 2024 Jul 14]. [http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents\\_2021/Definition.html#](http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_2021/Definition.html#);
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2020. Korean climate change assessment report 2020.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2021. Climate information portal: Administrative division. [accessed 2024 Jul 8]. [http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents\\_2021/33\\_2\\_areapoint\\_basic\\_ssp.php](http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents_2021/33_2_areapoint_basic_ssp.php)
- Ko JK, Kim HS. 2009. A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-Do. Suwon, Korea: Gyeonggi Research Institute. Policy Research 2009-37.
- Koo BJ, Chang DH. 2021. Spatial regression analysis of factors affecting the spatial accessibility of the public libraries in Busan (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Libr Inf Sci* 55(4): 67-87. doi: 10.4275/KSLIS.2021.55.4.067
- KOSIS (Korean Statistical Information System). 2021a. Status of GRDP by economic activity in Seoul. [accessed 2024 Sep 8]. <https://kosis.kr/statHtml/statHtml>

- .do?orgId=201&tblId=DT\_201012\_D040019&conn\_path=I2
- KOSIS (Korean Statistical Information System). 2021b. Status of comprehensive real estate tax determined amount (by city/county/district). [accessed 2024 Sep 8]. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=133&tblId=DT\\_133N\\_A7112&conn\\_path=I2](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=133&tblId=DT_133N_A7112&conn_path=I2)
- Kwon CY, Kim JE, Lee MH, Kim DW. 2020. Development of an evaluation methodology for accessibility of cooling centers in Ulsan using Landsat images. Proceedings of the Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences; 2020 Feb 05~Feb 07; Gangwon YongPyong Resort. Seoul, Korea: The Korean Institute of Communications and Information Sciences. p. 496-497.
- Malone EL, Brenkert AL. 2008. Uncertainty in resilience to climate change in India and Indian States. *Clim Change*. 91: 451-476. doi: 10.1007/s10584-008-9472-3
- Mathur M. 2015. Spatial autocorrelation analysis in plant population: An overview. *J Appl Nat Sci* 7(1): 501-513.
- Michelozzi P, De Donato F, Bisanti L, Russo A, Cadum E, DeMaria M, D'Ovidio M, Costa G, Perucci CA. 2005. The impact of the summer 2003 heat waves on mortality in four Italian cities. *Eurosurveillance* 10(7): 161-165.
- Millyard A, Layden JD, Pyne D, Edwards AM, Bloxham SR. 2020. Impairments to thermoregulation in the elderly during heat exposure events. *Gerontol Geriatr Med* 6. doi: 10.1177/2333721420932432
- MOIS (Ministry of the Interior and Safety). 2010. Visit “cooling center” during the heatwave alerts (Press release). [accessed 2024 Sep 9]. [https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR\\_000000000008&nttId=27571#none](https://www.mois.go.kr/frt/bbs/type010/commonSelectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000008&nttId=27571#none)
- Moons E, Brijs T, Wets G. 2008. Hot spot analysis: Improving a local indicator of spatial association for application in traffic safety. Proceeding of International Conference on Computational Science and Its Applications; 2008 Jun 30~Jul 3; University of Perugia. Perugia, Italy: ICCSA. p. 221-231.
- Moss RH, Brenkert AL, Malone EL. 2001. Vulnerability to climate change: A quantitative approach. Richland, USA: Pacific Northwest National Laboratory. Report No. PNNL-SA-33642.
- Myeong SJ. 2011. Assessment of climate change vulnerability using spatial analysis. *Water Future* 44(2): 57-62.
- Nam KP, Kim CH. 2013. Study on sensitivity of different standardization methods to climate change vulnerability index (in Korean with English abstract). *J Environ Impact Assess* 22(6): 677-693. doi: 10.14249/eia.2013.22.6.677
- Nam SH, Kim SG, Shin SG. 2020. Establishing a shelter network map in response to heatwave considering risks and vulnerabilities by region and age. Proceedings of the Conference of the Korean Society of Civil Engineers; 2020 Oct 22~Oct 23; Jeju Shinwha World Landing Convention Centre. Seoul, Korea: The Korean Society of Civil Engineers. p. 2073-2074.
- National Institute on Aging. 2022. Hot weather safety for older adults. [accessed 2024 Sep 12]. <https://www.nia.nih.gov/health/safety/hot-weather-safety-older-adults>
- Oh H, Won JH. 2023. Heat wave vulnerability assessment reflecting social anxiety (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 14(6-1): 637-650. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.6.637
- Oh SW, Ha DJ, Jung JC. 2023. Analysis of spatial patterns among vulnerable groups in the community vulnerable to heat waves from the perspective of environmental justice (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Hazard Mitig* 23(4): 31-41. doi: 10.9798/KOSHAM.2023.23.4.31
- Park DS, Park BY, Jung EH. 2017. Guidelines for the VESTAP-based climate change vulnerability assessment (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 8(4): 339-346. doi: 10.15531/kscrcr.2017.8.4.339
- Park SW, Jo HJ, Baek SJ, Yoo HS, Woo KM. 2019.

- Analysis of heat-related illness surveillance in 2018 (in Korean with English abstract). *Public Health Wkly Rep* 12(20): 630-638.
- Patz JA, McGeehin MA, Bernard SM, Ebi KL, Epstein PR, Grambsch A, Gubler DJ, Reither P, Romieu I, Rose JB. 2000. The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive summary of the report of the health sector of the U.S. national assessment. *Environ Health Perspect* 108(4): 367-376. doi: 10.1289/ehp.00108367
- Pleschberger S, Reitingner E, Trukeschitz B, Wosko P. 2019. Older People Living Alone (OPLA) - Non-kin-carers' support towards the end of life: Qualitative longitudinal study protocol. *BMC Geriatr* 19: 219. doi: 10.1186/s12877-019-1243-7
- Riahi K, Rao S, Krey V, Cho C, Chirkov V, Fischer G, Kindermann G, Nakicenovi N, Rafaj P. 2011. RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Clim Change* 109: 33-57. doi: 10.1007/s10584-011-0149-y
- Rosenthal JK, Kinney PL, Metzger KB. 2014. Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City, 1997-2006. *Health & Place* 30: 45-60. doi: 10.1016/j.healthplace.2014.07.014
- Ryu SB. 2006. The impact of weather on elderly mortality and heat warning systems. *Magazine of the Korean Society of Hazard Mitigation* 6(2): 114-121.
- Seo MH, Lee JS, Choe Y. 2016. Estimation of the natural damage disaster considering the spatial autocorrelation and urban characteristics (in Korean with English abstract). *KSCE J Civ Environ Eng Res* 36(4): 723-733.
- Seong JH, Lee KR, Kwon YS, Han YK, Lee WH. 2020. A study on identification of the heat vulnerability area considering spatial autocorrelation - Case study in Daegu (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Surv Geod Photogramm Cartogr* 38(4): 295-304.
- Seoul Metropolitan Government. 2023. Planning and administration news. [accessed 2024 Jul 4]. [https://news.seoul.go.kr/gov/archives/550276#sns\\_elem\\_dr\\_opdownmenu](https://news.seoul.go.kr/gov/archives/550276#sns_elem_dr_opdownmenu)
- Seoul Metropolitan Government. 2024. Seoul Metropolitan Government implements proactive measures to protect vulnerable populations from heatwaves: Over 2,000 cooling centers in operation (Press release). [accessed 2024 Sep 17]. <https://opengov.seoul.go.kr/press/31184878>
- Seoul Open Data Plaza. 2017a. Statistics on healthcare professionals in medical institutions in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10127/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2017b. Statistics on medical institutions in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10123/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021a. Statistics on dependency ratio and aging index in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10583/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021b. Statistics on disabled persons in Seoul (by type of disability and district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10577/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021c. Statistics on elderly people living alone in Seoul (by sex and district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10178/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021d. Statistics on elderly population in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10020/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021e. Statistics on green spaces in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/368/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021f. Statistics on population density in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10584/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021g. Statistics on public health centers and health sub-centers in Seoul (by district). [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10151/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2021h. Statistics on recipients of national basic livelihood security in Seoul (by district).

- [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/10113/S/2/datasetView.do>
- Seoul Open Data Plaza. 2023. Cooling center in Seoul. [accessed 2024 Jul 9]. <http://data.seoul.go.kr/dataList/OA-21065/S/1/datasetView.do>
- Shim C, Kim OS, Han J, Song S, Na G, Kim KW. 2019. A projected population exposed to future hot weather events considering the Korean society with low birth rate and rapid aging: For supporting regional policy measures (in Korean with English abstract). Sejong, Korea: Korea Environment Institute. KEI Research Report 2019-12.
- Shim CS, Seo JH, Han JH, Ha JS, Ro TH, Hwang YS, Oh JJ. 2017. Projection of future hot weather events and potential population exposure to this in South Korea. *Clim Res* 72: 29-38. doi: 10.3354/cr01446
- Shin CH, Park SJ. 2016. A study on climate change vulnerability assessment of industrial estate in Gangwon Province. Proceedings of the Conference of the Korea Society of Energy & Climate Change; 2016 Nov 29; Busan Haeundae Grand Hotel. Daegu, Korea: The Korea Society of Energy & Climate Change. p. 204.
- Smit B, Wandel J. 2006. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Glob Environ Change* 16(3): 282-292. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008
- Song KO. 2013. Emergency measure for vulnerable populations in heat wave. Busan, Korea: Busan Development Institute. BDI Policy Focus No. 207.
- Sternberg E. 2003. Planning for resilience in hospital internal disaster. *Prehosp Disaster Med* 18(4): 291-299. doi: 10.1017/s1049023x00001230
- Sugar L, Kennedy C, Hoornweg D. 2013. Synergies between climate change adaptation and mitigation in development: Case studies of Amman, Jakarta, and Dar es Salaam. *Int J Clim Change Strategies Manag* 5(1): 95-111. doi: 10.1108/17568691311299381
- Tiebout CM. 1956. A pure theory of local expenditures. *J Political Econ* 64(5): 416-424.
- Tobler WR. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Econ Geogr* 46(1): 234-240.
- Umar AA, Adepoju MO, Adesina EA, Bamgbose MO. 2015. Optimal location determination of some public facilities within Minna metropolis: A geospatial technique approach. *J Geogr Inf Syst* 7(6): 658-666. doi: 10.4236/jgis.2015.76053
- Vu A, Rutherford S, Phung D. 2019. Heat health prevention measures and adaptation in older populations—A systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 16(22): 4370. doi: 10.3390/ijerph16224370
- Williams S, Trewartha G, Kemp S, Stokes K. 2013. A meta-analysis of injuries in senior men's professional rugby union. *Sports Med* 43(10): 1043-1055.
- WMO (World Meteorological Organization). 2024. UN secretary-general issues call to action on extreme heat. [accessed 2024 Sep 27]. <https://wmo.int/news/media-centre/un-secretary-general-issues-call-action-extreme-heat-0>
- Yang HJ, Yoon HY. 2019. Measuring the efficiency of heat-wave action programs in urban environments -Using heat-related illness data in Seoul, South Korea- (in Korean with English abstract). *J Korean Urban Manag Assoc* 32(1): 31-45. doi: 10.36700/KRUMA.2019.03.32.1.31
- Yang HJ, Yoon HY. 2020. Evaluating the effectiveness of heat-wave adaptation policies against climate risk: Application of local-level health impact assessment (in Korean with English abstract). *J Korea Plan Assoc* 55(2): 101-110. doi: 10.17208/jkpa.2020.04.55.2.101
- Yoo GY, Kim IA. 2008. Development and application of a climate change vulnerability index (in Korean with English abstract). Seoul, Korea: Korea Environment Institute. KEI Research Report No. RE-05.
- Yoon SB. 2022. The spatial distribution characteristics of disaster-vulnerable population and cooling center [master's thesis] (in Korean with English abstract). Pusan National University.
- Yu IS. 2020. Methodology of an analysis of snow disaster risk for establishing climate change adaptation

measures (in Korean with English abstract). *J Korean Soc Hazard Mitig* 20(1): 351-364. doi: 10.9798/KOSHAM.2020.20.1.351

Yun YS, Lee SG, Ahn HH. 2016. A long-term counterproposal of heat wave damage measures for climate change. *J Disaster Prev* 18(5): 12-35.