

폭염 피해-취약 집중지역의 공간적 구조와 대응 불균형 분석

오후* · 신지영**† · 문소희*** · 황무동***

*한국환경연구원 국가기후위기적응센터 초빙연구원, **한국환경연구원 국가기후위기적응센터 선임연구원,

***한국환경연구원 국가기후위기적응센터 위촉연구원

Spatial structure of heatwave damage-vulnerability concentration areas and analysis of response inequality

Oh, Hoo* · Shin, Ji-Young**† · Moon, So-Hee*** and Hwang, Mu-Dong***

*Visiting Research Fellow, Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

**Chief Research Fellow, Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

***Researcher, Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute, Sejong, Korea

ABSTRACT

This study aims to diagnose spatial inequality in heatwave damage - vulnerability - response conditions across local jurisdictions in South Korea by adopting an integrated analytical framework. Rather than focusing solely on climatic exposure, this study emphasizes observed heatwave-related health damage, represented by heat-related illness incidences, and examines its spatial associations with vulnerability and response capacity. First, regression analysis was conducted using heat-related illness incidences as a damage indicator to determine key vulnerability factors associated with heatwave-related health damage. Second, Bivariate Local Moran's I was applied to examine spatial associations between heatwave damage and significant vulnerability factors, leading to the identification of heatwave damage - vulnerability concentration areas. Third, the spatial overlap of these concentration areas was assessed, and their association with response capacity was examined using road-network-based accessibility indicators to neighborhood parks, emergency medical facilities, and fire stations, in order to identify spatial inequality in heatwave responses. The results indicate that the proportions of older adults, basic livelihood security beneficiaries, multicultural households, and old housing significantly affect heat-related illness incidences. Among 229 local governments, 12 regions were identified as high-damage, high-vulnerability but low-response areas, requiring priority intervention. This study provides an integrated understanding of spatial interactions among heatwave damage, vulnerabilities, and response capacity, offering evidence for redistributing response facilities and developing locally tailored climate adaptation strategies.

Key words : Climate Change, Heatwave, Heat-Related Illness, Spatial Inequality, Bivariate Local Moran's I

1. 서론

전 지구적 기후변화의 심화로 폭염 발생의 빈도와 강도가 증가하고 있으며, 이에 따른 건강피해가 주요 사회문제로 대두되고 있다(IPCC, 2022). 폭염은 인간의 건강을

직접적으로 위협하는 대표적인 기후재난으로, 고령자, 유소년, 저소득층 등 신체적·사회적·경제적 취약계층에게 피해가 집중된다. 이들은 동일한 폭염 조건에서도 체온조절 능력의 한계, 열악한 주거환경, 냉방기기 부족, 사회적 지원체계의 취약성 등으로 인해 상대적으로 높은 위험에 노

†Corresponding author : sjirang@kei.re.kr(Korea Adaptation Center for Climate Change, 5F, 411 Hannuri-daero, Sejong-si, 30116, Korea. Tel. +82-44-415-7691)

ORCID 오 후 0009-0006-3488-810X
문소희 0009-0007-8450-5290

신지영 0009-0008-8106-5127
황무동 0009-0000-7768-0321

출된다. 따라서 폭염은 단순한 자연현상이 아니라 기후위기 속 사회적 불평등이 복합적으로 드러나는 사회문제로 이해할 필요가 있다.

이와 같은 문제 인식에 따라 취약계층 보호와 대응 역량 강화는 기후위기 적응대책의 핵심 과제로 대두되고 있다. 국가는 2023년 수립된 「제3차 국가 기후위기 적응 강화대책」을 통해 취약계층 실태조사를 최초로 추진하는 등 취약계층 맞춤형 적응대책 발구를 위한 노력을 추진하고 있다(Ministry of Climate, Energy and Environment, 2023). 이는 폭염 대응이 보편적·획일적 지원에서 벗어나 지역별·계층별 차별화된 맞춤형 정책 설계로 전환되고 있음을 보여준다.

그러나 지금까지의 폭염 연구는 주로 폭염일수나 열대야일수 등 기후노출 중심 지표를 활용하거나, 사회·경제적 취약요인을 단일 지수로 통합해 지역 간 상대적 취약성을 비교하는 데 집중해 왔다. 이러한 접근은 지역 간 단순 비교나 폭염 취약지역을 개괄적으로 파악하는 데에는 유용하지만, 폭염 피해가 실제로 발생한 지역을 대상으로 정책적 개입이 필요한 지점을 구분하고 판단하는 데에는 한계가 있다. 폭염 대응 연구 역시 주로 무더위쉼터를 중심으로 행정구역 단위 개소수나 밀도 등 단순 분포 분석에 의존하고 있는데, 무더위쉼터는 기존 공공시설을 활용하여 지정되는 경우가 많아 제도적·운영상의 한계와 실효성 문제가 지속 제기되고 있다(Choi and Yi, 2025; Kang et al., 2024; Kim, Park, et al., 2020; Oh et al., 2023; Yoon, 2022). 무엇보다도 대응시설의 효과성은 단순 개소수보다 이용자가 얼마나 용이하게 접근할 수 있는지에 의해 좌우될 가능성이 높아, 이용자의 접근성(Accessibility)에 기반을 둔 분석이 필요하다(Kang et al., 2024; Umar et al., 2015). 최근에는 폭염 대응시설의 운영 특성과 기능적 차이에 따른 유형화와 재분류에 대한 논의도 이루어지고 있다(Kim et al., 2025).

이에 본 연구는 실제 발생한 폭염 피해의 결과에 초점을 두어 전국 단위에서 취약요인과의 공간적 관계를 분석하고, 폭염 대응 과정에서 수행하는 역할과 기능의 관점에서 대응시설을 재분류함으로써 기능별 대응 수준의 불균형을 진단하는 것을 목적으로 한다. 이 과정에서 폭염일수나 최고기온 등 기후노출 요인을 직접적으로 분석에 포함하지 않고, 노출의 결과로 나타나는 온열질환 발생률을 폭염 피해의 결과로 반영하였다. 이를 통해 기후노출이 실제 건강피해로 나타난 지역을 대상으로 취약요인과 대응 수준이 공간적으로 어떻게 결합되어 불균형을 나타

내는지 진단하고자 하였다.

이를 위해 첫째, 온열질환 발생률을 활용하여 폭염으로 인한 실질적 건강피해가 나타난 지역을 식별하고, 다양한 회귀모형을 통해 온열질환 발생률과 관련된 주요 취약요인을 도출하였다. 둘째, 온열질환 발생률과 통계적으로 유의한 관련성을 보인 취약요인 간 이변량 국지적 공간상관분석(Bivariate Local Moran's I)을 통해 폭염 피해(Damage)와 취약요인(Vulnerability)이 동시에 높게 나타나는 지역(High-High)을 ‘폭염 피해-취약 집중지역(Heatwave damage-vulnerability concentration areas)’으로 정의하였다. 셋째, 도출된 피해-취약 집중지역을 대상으로 대응시설 접근성과의 공간적 결합을 추가로 분석하여 피해-취약-대응 간의 공간적 불균형을 진단하고, 정책 개입이 요구되는 지역을 유형화하였다.

본 연구는 폭염으로 인한 피해-취약-대응 간 공간적 관계를 분석하고 불균형 지역을 진단함으로써, 정책 집행 단계에서 정책 개입의 우선순위를 판단하고 지역 여건에 적합한 폭염 대응전략을 검토하는 데 활용 가능한 분석틀을 제공한다.

2. 이론적 배경

2.1. 폭염 피해와 취약요인

기후변화로 인한 피해와 영향은 모든 지역과 집단에서 동등하게 나타나지 않으며, 물리적·사회적·환경적 자원의 불평등에 따라 특정 대상에게 집중되는 경향이 있다(Koh and Kim, 2010; Park et al., 2013; Mitchell and Chakraborty, 2014; Suh and Kim, 2024). 이는 기후정의(Climate justice)의 논의와도 연계되며, 폭염은 자연적으로 발생하는 기상현상을 넘어 사회·구조적 불평등과 결합된 사회재난으로 해석해야 한다는 필요성이 제기되고 있다(Klinenberg, 1999; Oh and Won, 2023; Suh and Kim, 2024). 무엇보다 취약계층은 폭염 대응 과정에서 공공대책에 의존하는 경향이 높아(Jenerette et al., 2011), 취약계층의 폭염 대응은 개인 차원을 넘어 국가·지자체의 개입이 필수적이다(Bae et al., 2020).

폭염 취약계층의 정의와 범위는 연구 목적에 따라 차이가 있으나, 신체조절 능력이 낮은 노인과 아동이 대표적이다(Bae et al., 2020; Fujimoto et al., 2023; Kenney et al., 2014; Kim et al., 2022). 또한 농촌은 도시보다 폭염으로 인한 인명피해 발생률이 높게 나타나는 것으로 보고되고

있으며, 농림어업 종사자는 야외노동 비중이 높아 고온 노출 위험이 특히 큰 계층으로 분류된다(Kang et al., 2022; Park and Chae, 2020; Song et al., 2020). 이 외에도 노후·불량 주거환경 거주자, 다문화가구, 기초생활수급자 등 역시 냉방 접근성 제약과 주거환경 개선의 어려움으로 폭염 취약계층에 포함된다(Bae et al., 2020; Lee and Cha, 2019).

이처럼 폭염 피해는 연령, 사회·경제적 조건, 주거 및 노동환경 등 복합적 취약요인의 결합에 의해 강화되며, 정책적 개입의 우선순위를 합리적으로 판단하기 위해서는 다양한 취약요인에 대한 종합적 검토가 필요하다. 이에 따라 선행연구에서는 다양한 요인을 반영한 폭염 취약성 지수를 산출하고 등급화하여 지역 간 비교 및 취약지역 도출을 위한 분석을 수행해 오고 있다(Choi and Han, 2021; Choi et al., 2018; Kim and Jung, 2020; Kim et al., 2021; Lee et al., 2024; Oh and Won, 2023). 그러나 취약요인을 표준화해 하나의 지수로 요약하는 방식은 정책적 판단이 용이한 장점은 있지만, 지수화 과정에서 각각의 요인이 단일점수로 단순화되어 요인별 세밀한 상호구조나 실제 피해 발생과의 관계를 규명하는 데에는 어려움이 있다.

이에 본 연구는 통합지수 방식에서 벗어나, 개별 취약요인별로 폭염 피해가 집중되는 지역을 단계적으로 도출하고자 한다. 정책 추진 과정에서는 예산과 인력의 제약이 존재하는 만큼, 이러한 접근은 단순한 고온노출 여부보다 고온으로 인해 실제 피해가 발생한 지역과 특정 취약계층의 밀집 양상을 함께 고려함으로써 보다 효과적인 정책 우선순위 설정에 활용될 수 있다.

2.2. 폭염 대응요인과 불균형

정부는 2018년 발생한 기록적인 폭염을 계기로 폭염을 자연재난으로 지정하고, 다양한 폭염 대응대책을 수립해 오고 있다. 특히 무더위쉼터는 주민들이 가장 쉽게 접근할 수 있는 대표적인 폭염 대응시설로, 기존 연구들에서는 무더위쉼터의 운영 효과, 입지 선정, 효율적 배치 등을 중심으로 활발한 논의를 지속해 왔다(Bouchama et al., 2007; Choi and Yi, 2025; Kang et al., 2024; Kim, Park, et al., 2020).

그러나 무더위쉼터의 지정 및 운영 방식은 주로 지자체 재량에 의존하며, 별도 표준화된 설치 기준이나 운영 매뉴얼이 부재하다. 이로 인해 기존 공공시설을 활용·지정하

는 경우가 많고, 지역 간 서비스 제공 능력 또한 차이가 있다. 그 결과, 이용률이 낮고 취약계층의 분포를 효과적으로 고려하지 못하며, 이용자 또한 고령층이나 복지시설 이용자 등 특정 집단에 치중되는 등 실효성 문제가 지속 제기되고 있다(Choi and Yi, 2025; Kang et al., 2024; Kim, Park, et al., 2020; Oh et al., 2023; Yoon, 2021). 이는 무더위쉼터만으로는 지역의 폭염 대응역량을 충분히 설명하기 어렵고, 대응체계에 대한 기능별 유형화가 필요함을 시사한다(Kim et al., 2025).

또한 폭염 대응시설을 포함한 대부분의 공공서비스시설은 이용자가 직접 방문해야 하는 특성에 따라 단순히 시설 존재의 여부보다는, 접근성 기반의 평가를 통해 대응 불균형을 진단하고 개선하는 작업이 요구된다. 대응시설이 존재하더라도 접근이 어려운 지역이 발생할 수 있고, 반대로 시설이 부족하더라도 인근 지역 접근성이 높아 대응 효율이 보완될 수 있기 때문이다. 따라서 공공서비스시설은 접근성 및 활용능력의 제약으로 인해 개인 혹은 집단 간 사회적·공간적 불평등을 유발할 수 있어, 형평성과 효과성을 고려한 입지 선정이 필수적이다(Choi and Kang, 2025; Kang et al., 2024; Yoon, 2021).

이에 본 연구는 기존 무더위쉼터 중심의 단일 대응에서 벗어나, 폭염 대응 과정에서 수행하는 주요 기능에 따라 대응시설을 구분하고자 한다. 대응시설의 기능은 고온 환경에서 체감 위험을 완화하는 ‘완화’ 기능, 폭염으로 인한 건강 이상 발생 시 의료적 처치가 가능한 ‘의료대응’ 기능, 신속한 구조·구급 및 현장 대응을 담당하는 ‘공공안전망’ 기능으로 분류하였다. 이는 폭염 대응이 단일 시설에 의해 이루어지기보다는 다단계 과정으로 이루어지며, 기능은 상이하더라도 주민이 체감하는 대응 수준이 해당 시설에 얼마나 신속하게 접근할 수 있는지에 좌우된다는 공통점에 주목한 것이다. 이를 통해 본 연구는 기능적으로 구분된 대응요인을 동일한 분석 프레임 안에서 비교해봄으로써 전반적인 폭염 대응체계의 공간적 불균형을 진단하고 정책적 판단에 필요한 기초 정보를 제공하고자 한다.

3. 연구 방법

3.1. 지표구성 및 자료수집

본 연구는 폭염으로 인해 발생한 실제 건강피해를 중심으로, 피해-취약-대응 요인 간 공간적 관계를 종합적으로 분석하고자 하였다. 각 요인별 지표는 Table 1과 같이 구

성하였으며, 지표 간 시간적 일치성을 확보하기 위해 모든 지표의 데이터 확보가 가능한 최신 시점인 2023년을 분석의 시간적 범위로 설정하였다.

먼저 피해요인은 폭염 건강피해를 대표하는 온열질환 발생률을 활용하였다. 온열질환은 기상지표와 달리 고온 노출의 인체 영향이 직접적으로 표출되는 지표로, 단순히 뜨거운 지역이 아닌 실제 피해가 발생한 지역을 식별할 수 있는 직접적인 결과지표가 된다. 해당 지표는 질병관리청의 온열질환 감시체계 자료를 기반으로 하며, 시군구 별 인구 10만 명당 발생률로 산출하였다.

취약요인은 선행연구 고찰을 바탕으로 신체적, 사회경제적, 고온노출 3가지 측면에서 총 6개의 세부 지표로 구성하였다. 신체적 취약요인은 고령자(65세 이상)와 유소년(14세 이하) 비율, 사회경제적 취약요인은 기초생활수급자와 다문화가구 비율, 고온노출 취약요인은 노후주택과 농림어업 종사자 비율을 활용하였다.

대응요인은 폭염 발생 시 수행되는 기능적 역할을 고려하여 ‘완화-의료대응-공공안전망’ 기능을 대표하는 시설의 접근성 지표를 활용하였다. 접근성 자료는 국토지리정보원에서 제공하는 자료를 활용하였으며, 도로망 데이터를 기반으로 500 m*500 m 격자 단위에서 가장 가까운 해당 시설까지의 최단 도로 이동거리를 측정한 후 시군구 단위로 평균 집계하여 산출되었다.

기능별 대응시설로는 폭염 발생 이전 또는 초기 단계에서 체감온도를 완화하고 일상적 회피공간을 제공하는 생활권공원을 ‘완화’ 기능 시설로, 온열질환 발생 시 즉각적 치료와 초기 의료 대응을 수행하는 응급의료시설을 ‘의료대응’ 기능 시설로, 폭염 기간 중 응급이송·냉방차 운영·

취약계층 순찰 등 지역 공공안전망 역할을 수행하는 소방서를 ‘공공안전망’ 기능 시설로 선정하였다(Choi and Yoon, 2015; Lee et al., 2020). 이들 시설은 실제로 관련 법령이나 지침을 통해 생활권 단위의 접근성이 전제되고 있다는 공통점을 지닌다. 생활권공원은 「도시·군기본계획 수립지침」에서 공원·녹지의 형평성과 보행 접근성 확보를 강조하고 있으며, 응급의료시설은 「응급의료에 관한 법률」을 통해 주민 생활권을 고려한 응급의료자원의 배치와 골든타임 확보를 위한 이송시간 기준을 제시하고 있다. 소방서 역시 「재난현장 신속출동 종합대책」 등을 통해 7분 내 도착률을 정책목표로 설정함으로써 사실상 생활권 단위 접근성이 요구된다.

다만 이들 시설은 설치 및 운영주체와 정책 결정 단위가 모두 상이하므로, 본 연구에서는 개별 시설에 대한 구체적인 개선방안을 제시하기보다는 폭염 대응 과정에서 수행되는 서로 다른 기능적 역할을 종합적으로 진단하는데에 분석 목적을 두었다. 폭염 대응은 단일 시설에 의해 이루어지기보다는 다단계 대응체계로 구성되며, 따라서 본 연구의 결과는 피해와 취약성의 집중 수준에 대응하여 신규 시설 설치, 기존 시설의 기능 보완, 운영 체계 개선, 광역권 연계 등 기능 전반의 대응 여건을 종합적으로 검토하여 정책적 판단을 지원하고자 하였다.

3.2. 분석방법

본 연구는 크게 세 단계의 절차로 진행된다(Fig. 1). 첫째, 폭염 피해를 나타내는 온열질환 발생률의 공간상 기상관성을 검증하기 위해 Global Moran's I 분석을 수행하고, 최적의 회귀모형을 선정하여 온열질환 발생률과 관

Table 1. Indicators and data sources

Indicators			Source
Damage	Heat-related illness incidence (cases per 100,000 persons)		Korea Disease Control and Prevention Agency (2023)
	Physical Vulnerability	Percentage of elderly population (65 years and over) (%)	
Vulnerability		Socioeconomic Vulnerability	Percentage of young population (aged 0-14) (%)
	Percentage of basic livelihood security recipients (%)		Korea Social Security Information Service (2023)
	Heat-exposure Vulnerability	Percentage of multicultural households (%)	Ministry of the Interior and Safety (2023)
		Percentage of agriculture, forestry, and fishery workers (%)	Ministry of Employment and Labor (2023)
Response	Percentage of old housing (%)		Ministry of Data and Statistics (2023)
	Accessibility to neighborhood parks (road-network distance, km)		National Geographic Information Institute (2023)
	Accessibility to emergency medical facilities (road-network distance, km)		
Accessibility to fire stations (road-network distance, km)			

련된 주요 취약요인을 분석하였다. 둘째, 공간적 상관관계 분석을 통해 온열질환 발생률과 유의한 관련성을 보인 취약요인을 대상으로, 온열질환 발생률이 높으면서 해당 취약요인 비율 또한 높은 HH (High-High) 유형을 ‘폭염 피해-취약 집중지역’으로 정의하였다. 셋째, 도출된 피해-취약 집중지역을 대상으로 공간적 중첩수준을 산출하고, 이를 대응요인과 결합한 공간적 상관관계 분석을 추가로 수행하였다. 이를 통해 폭염 대응의 공간적 불균형 지역을 유형별로 분류하였다.

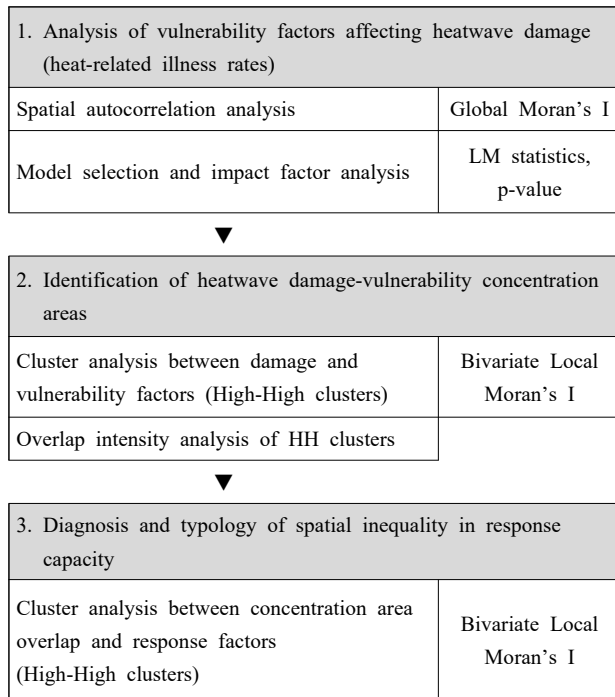


Fig. 1. Analysis procedure

이때 공간적 상관관계 분석에는 GeoDa 1.14.0을 활용하여, 이변량 국지적 공간상관분석(Bivariate Local Moran's I)을 적용하였다. 일반적인 중첩분석(Overlay)이나 전역적 공간상관분석(Global Moran's I)은 연구지역 전체의 공간자기상관성을 하나의 값으로 나타내어 공간적으로 인접한 지역 간 상호의존성이나 상관구조를 반영하는 데에 한계가 있다(Kim, Lee, et al., 2020). 그러나 이변량 국지적 공간상관분석은 특정 지역의 변수가 인접한 지역의 변수와 어떠한 공간적 상관관계를 보이며, 상관정도의 속성과 강도가 지역에 따라 어떻게 변화하는지 보여줌으로써 두 변수 간의 공간적 상관구조를 권역 단위로 정밀하게 진단할 수 있다(Kim, 2011).

4. 분석 결과

4.1. 폭염 피해-취약 영향관계 분석

온열질환 발생률의 공간분포 분석 결과(Fig. 2), 경북 울릉군(59.397명/십만 명당), 전남 함평군(51.266명/십만 명당), 전북 무주군(49.105명/십만 명당)에서 높게 나타났다. 반면, 강원 인제군, 전남 화순군, 경북 영양군(0명/십만 명당)에서 가장 낮고, 서울 양천구(0.237명/십만 명당)와 서초구(0.260명/십만 명당)도 낮게 나타났다.

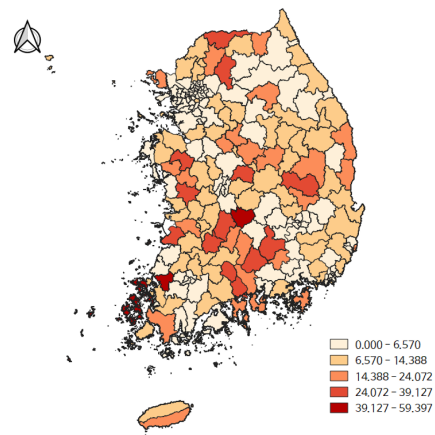


Fig. 2. Spatial patterns of heat-related illness incidence

온열질환 발생률에 영향을 미치는 요인 역시 공간적 특성에 따라 상이하게 나타날 수 있어, 영향관계 분석에 앞서 Global Moran's I값을 활용하여 온열질환 발생률의 공간자기상관성을 검증하였다. 그 결과 Moran's I값은 0.304로 유의하게 나타나 공간자기상관성이 존재하는 것으로 확인되었다(Fig. 3).

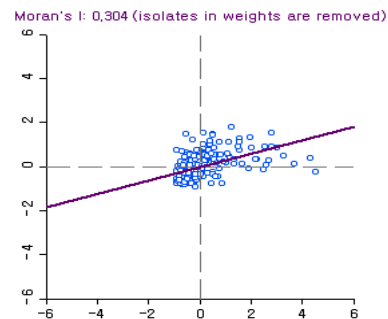


Fig. 3. Global Moran's I scatterplot

이는 온열질환 발생률이 무작위로 나타나기보다는 유사한 값을 가진 지역끼리 공간상 군집되어 있음을 의미하며, 전통적 회귀모형(OLS)보다는 공간자기상관성을 제어할 수 있는 공간회귀모형을 사용하는 것이 더 적합할 수 있음을 의미한다(Anselin, 1988). 이에 공간회귀모형인 공간시차모형(SLM)과 공간오차모형(SEM)을 대안모형으로 설정하여 LM 검정을 실시하였다. 그 결과 LM (lag)와 LM (error) 통계량 모두 통계적으로 유의하고, Robust LM 검정에서는 Robust LM (error)만이 유의하게 나타나 SEM이 SLM보다 통계적으로 더 적합한 것으로 판단된다 (Table 2).

Table 2. LM test results

TEST	MI/DF	Value	P-value
Moran's I (error)	0.1166	3.1123	0.00186
LM (lag)	1	3.9376	0.04722
Robust LM (lag)	1	0.4974	0.48063
LM (error)	1	7.5000	0.00617
Robust LM (error)	1	4.0598	0.04392
LM (SARMA)	2	7.9974	0.01834

구체적인 모형 적합도를 확인하고자 전통적 회귀모형 (OLS), 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM)을 비교 하였으며, 모형 적합도는 LL (Log-likelihood) 값이 증가하고, AIC (Akaike Information Criteriaton)와 SC (Schwarz Criterion) 값은 감소할수록 향상된 것으로 판단한다(Lee and Noh, 2024). 모형 적합도를 비교한 결과는 Table 3과 같으며, 모든 독립변수의 분산팽창계수(VIF)는 10 미만으로 다중공선성에 문제가 없고, 공간오차모형(SEM)이 가장 우수한 모형으로 채택되었다.

이에 따라 공간오차모형을 중심으로 분석결과를 해석 하였다. 먼저 공간오차계수($\lambda=0.3162$)가 통계적으로 유의 하게 나타났는데, 이는 온열질환 발생의 공간자기상관이 종속변수인 온열질환 발생 자체의 직접적인 영향이나 전 이 효과보다는, 지역 간 공유되는 사회·환경적 조건, 의료 접근성, 기후노출 특성 등의 구조적 요인에 의해 형성되었을 가능성이 높음을 의미한다. 즉, 온열질환 발생의 공간적 군집이 개별 지역의 특성에 국한된 현상이 아니며, 유사한 취약구조나 대응여건 등 관측되지 않은 다양한 요 인들에 의해 나타남을 보여준다. 이는 피해-취약-대응 요

Table 3. Heatwave impact factor analysis results

Classification		VIF	Traditional regression model	Spatial regression model	
			Ordinary Least Squares (OLS)	Spatial Lag Model (SLM)	Spatial Error Model (SEM)
(Constant)		-	-19.0134	-15.6524	-14.4304
Physical vulnerability	Percentage of elderly population (65 years and over) (%)	5.008	0.6156***	0.5145***	0.5797***
	Percentage of young population (aged 0-14) (%)	3.829	0.8026*	0.5852	0.5409
Socioeconomic vulnerability	Percentage of basic livelihood security recipients (%)	1.619	-0.6656*	-0.6694*	-0.6963*
	Percentage of multicultural households (%)	1.201	0.9305**	0.7900**	0.7719**
Heat-exposure vulnerability	Percentage of agriculture, forestry, and fishery workers (%)	2.125	-0.5991	-0.9633	-1.2248
	Percentage of old housing (%)	1.578	0.1387	0.1352	0.1514*
Spatial autoregressive coefficient ρ (rho)			-	0.1839*	-
Spatial error coefficient λ (lambda)			-	-	0.3162***
Model explanatory power	R ²		0.2986	0.3161	0.3392
Model fit	Log-likelihood		-808.029	-805.917	-803.597
	AIC		1630.06	1627.83	1621.19
	SC		1654.09	1655.3	1645.23

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

인 간 공간적 결합 구조에 대한 정밀 분석의 필요성을 뒷받침한다.

또한 고령자 비율($t=0.5797, p=0.0002$), 다문화가구 비율($t=0.7719, p=0.0010$), 노후주택 비율($t=0.1514, p=0.0357$)은 온열질환 발생률과 정(+)의 관계를 나타내는 것으로 나타났다. 이는 온열질환 발생률이 높은 지역에서 해당 취약요인이 상대적으로 높은 수준으로 분포하고 있음을 의미한다. 반면, 기초생활수급자 비율($t=-0.6963, p=0.0307$)은 통계적으로 유의미하지만, 부(-)의 관계를 나타내는 것으로 확인되었다. 이는 일반적인 취약성 가설과는 상이한 결과이나, 온열질환 발생률이 모니터링 목적의 응급실 기반 감시체계 자료라는 점에서 자료수집 방식에 따른 한계가 존재할 가능성을 고려해야 함을 의미한다. 또한 기초생활수급자 비율이 높은 지역의 경우 기존 복지제도나 공공 지원체계가 일정 부분 보호 효과로 작용하고 있을 가능성도 시사한다.

4.2. 폭염 피해-취약 집중지역 분석

본 연구는 온열질환 발생률과 통계적으로 유의한 관련성을 보인 고령자 비율, 기초생활수급자 비율, 다문화가구 비율, 노후주택 비율을 대상으로 이변량 국지적 공간상관

분석을 실시하였다. 이를 기반으로 온열질환 발생률이 높으면서 취약요인 비율도 높은 High-High 지역을 ‘폭염 피해-취약 집중지역’으로 정의하였다. 분석 결과(Fig. 4), 고령자 피해-취약 집중지역은 총 30곳으로, 충청 일부, 경북 동부·중부, 경남 내륙, 전라 남부 등 주로 내륙 및 남부권 중심으로 분포한다. 기초생활수급자 피해-취약 집중지역은 총 15곳으로 전북 전역, 전남 동부, 경남 서부, 경북 동부 등으로 나타났다. 다문화가구 피해-취약 집중지역은 총 20곳으로 전북 전역, 충청권 일부, 전남 서부·남부, 경남 서부 등에 집중되며, 노후주택 피해-취약 집중지역은 23곳으로 경북 동부와 남부 전역, 호남, 충청, 경남 일부 등에 산발적으로 분포하였다.

또한 도출된 4개 유형별 피해-취약 집중지역의 공간적 중첩 수준을 분석한 결과(Fig. 5), 4개 유형이 모두 중첩되는 지역은 5곳, 3개 유형이 중첩되는 지역은 8곳, 2개 유형이 중첩되는 지역은 17곳, 1개 유형만 해당하는 지역은 15곳, 어떠한 유형도 나타나지 않은 지역은 184곳으로 나타났다. 이들 중첩지역은 서로 다른 유형의 피해-취약 집중지역이 동일한 공간에 집약되어 나타나는 곳으로, 특히 전북 내륙, 충북 남부, 경북 일부 지역을 중심으로 중첩 수준이 상대적으로 높게 분포하는 경향을 보였다. 이는 구조적으로 연관된 폭염 피해와 취약요인이 동일한 공간에 집중되어 나타나는 양상이 지역에 따라 상이함을 나타내며, 피해-취약 집중지역의 중첩 정도를 기준으로 지역 단위의 정책적 관심과 개입 우선순위를 검토하는 데 활용될 수 있다.

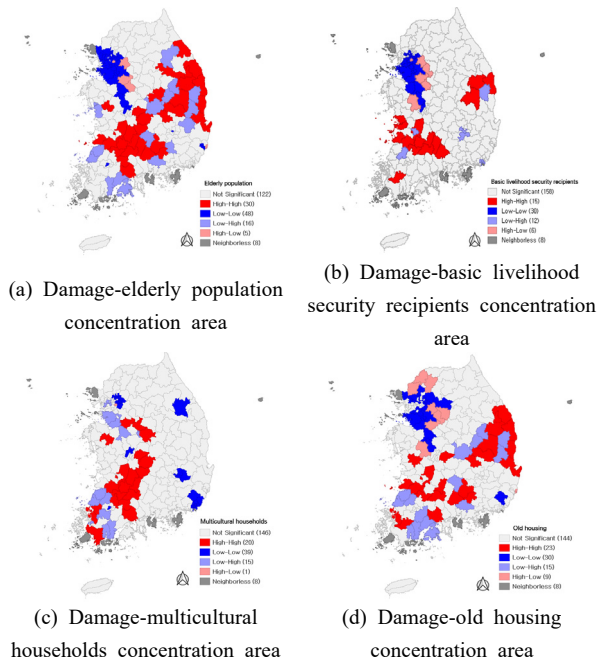


Fig. 4. Bivariate Local Moran's I results (damage-vulnerability factors)

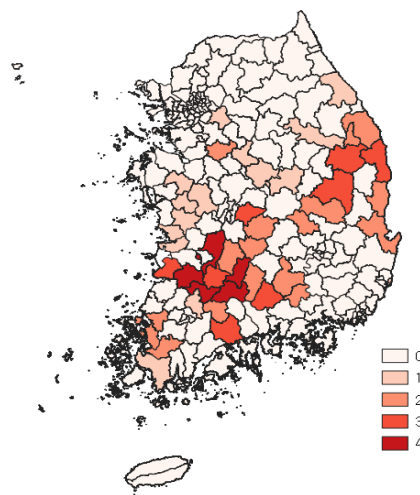


Fig. 5. Spatial overlap of concentration areas

4.3. 폭염 대응의 공간적 불균형 분석

앞서 도출한 4개 유형별 피해-취약 집중지역의 공간적 중첩수준과 대응요인 간 이변량 국지적 공간자기상관분석을 추가 수행하여, 폭염 대응 수준의 공간적 불균형을 HH, HL, LH, LL 네 가지 유형으로 분류하였다(Table 4). 대응요인은 최근접 이동거리 기반의 접근성 지표로, 주민관점의 이용가능성을 반영하며 클수록 이동거리가 길어 접근성이 낮음(대응 열악)을 의미한다.

Table 4. Types of response inequality diagnosis

Category	Diagnostic type
HH	Priority 1: Areas where intensive policy intervention is required
HL	Priority 2: Areas where policy performance should be sustained and best practices disseminated
LH	Priority 3: Areas where resource reallocation should be considered
LL	Priority 4: Areas where continued monitoring is needed

먼저 HH (High-High) 유형은 피해-취약 집중지역 중첩수준이 높은 반면 대응 수준은 열악한 지역으로, 정책적 검토가 가장 우선적으로 요구되는 지역이다. 이들 지역에 대해서는 시설 유형과 지역 여건에 따라 신규 설치, 기존 시설의 기능 보완, 운영체계 개선, 광역권 연계 등 다양한 정책 수단이 필요하다. HL (High-Low) 유형은 피해-취약 집중지역 중첩수준은 높지만, 대응 수준은 상대적으로 양호한 지역으로, 기존 대응체계의 유지와 성과관리가 중요한 지역이다. 시설 간 연결성 강화나 서비스 범위 확장 등

을 통해 정책 성과 유지 및 모범사례 확산이 필요하고, 비교적 단기간 내 대응 수준 개선이 기대되는 2순위 지역으로 해석할 수 있다. LH (Low-High) 유형은 현재 피해-취약 집중지역 중첩수준은 낮으나 대응 수준이 취약한 지역으로, 향후 위험 확대 가능성을 고려한 선제적 대응과 예방적 정책 개입이 요구되는 3순위 지역이다. LL (Low-Low) 유형은 전반적인 여건이 모두 양호한 지역으로, 정책 우선순위는 가장 낮지만, 정기적인 모니터링과 현 수준 유지를 위한 지속적 관리가 필요한 지역이다.

이러한 분류를 바탕으로 폭염 대응의 공간적 불균형 현황을 분석한 결과, 정책 우선순위가 가장 높은 HH 유형은 생활권공원 22곳, 응급의료시설 15곳, 소방서 25곳으로 나타났다(Table 5). 시설별 HH 유형의 공간적 분포를 살펴보면(Fig. 6), 생활권공원의 HH 유형(22곳)은 강원 4곳, 충북 1곳, 전북 6곳, 경북 8곳, 경남 3곳에 분포하는 것으로 나타났다. 생활권공원은 소규모 공간 단위에서 운영되는 특성을 고려할 때 신규 설치보다는 기존 공원의 폭염 대응 기능 강화를 중심으로 한 접근이 현실적이다. 이에 따라 그늘 조성, 휴식공간 확충, 이용 시간 조정, 폭염 시 임시 쉼터 기능 강화 등 운영 방식 개선을 통한 단기간 내 대응수준 제고가 필요하다. 응급의료시설의 HH 유형(15곳)은 강원 4곳, 충북 3곳, 경북 8곳에 분포하는 것으로 나타났다. 응급의료시설은 설치 및 운영 권한이 개별 지자체를 넘어 광역 단위에서 관리되는 경우가 많아, 인접 지자체 간 의료자원 연계, 응급 이송체계 개선, 폭염기간 중 의료인력 및 운영시간 조정 등 광역권 협력 기반의 대응 전략 검토가 필요하다. 마지막으로 소방서의 HH 유형(25곳)은 강원 3곳, 충북 1곳, 전북 7곳, 전남 3곳, 경북 8곳, 경남 3곳에 분포하는 것으로 나타났다. 소방서 역시 신규 설치보다는 운영체계 개선과 권역 간 연계를 중심으로 검

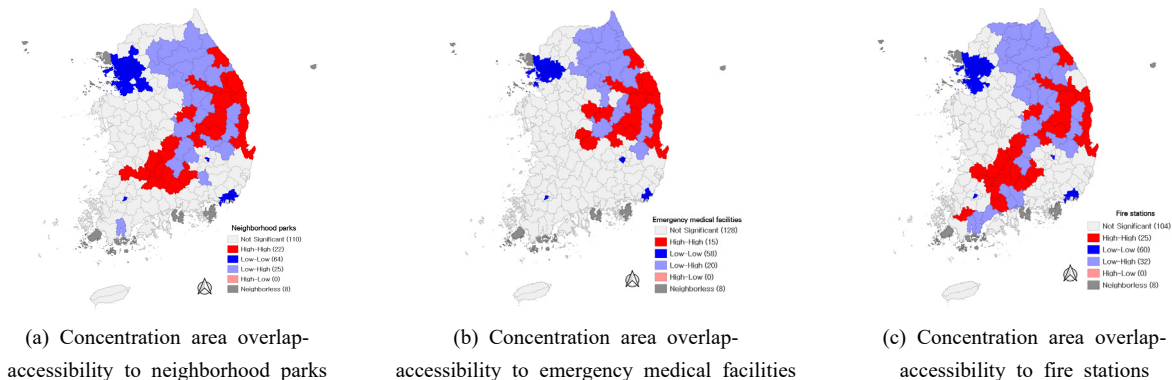


Fig. 6. Bivariate Local Moran's I results (concentration area overlap-response factors)

토될 필요가 있으며, 출동 권역 조정, 인접 지역 간 협력 체계 강화, 인력 및 장비의 탄력적 운용 등을 통해 대응 역량의 지역 간 격차를 보완할 필요가 있다.

이를 종합한 결과, 세 가지 대응요인 모두에서 HH 유형으로 나타난 지역은 총 12곳으로 나타났으며(Fig. 7), 강원 3곳(강릉시·태백시·영월군), 충북 1곳(영동군), 경북 8곳(포항시·안동시·구미시·문경시·의성군·영덕군·봉화군·울진군)에 해당한다. 이들 지역은 피해-취약 집중 수준이 높을 뿐 아니라 다차원적 대응체계 전반에서 접근성이 취약한 지역으로, 폭염 대응 정책에서 최우선적으로 관리가 요구되는 핵심 관리지역으로 해석할 수 있다.

Table 5. Results of response inequality diagnosis

Category	Neighborhood parks	Emergency medical facilities	Fire stations
HH	22	15	25
HL	0	0	0
LH	25	20	32
LL	64	58	60

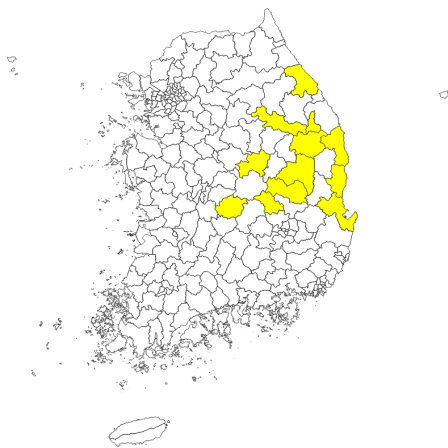


Fig. 7. Areas with high response inequality across all response factors

5. 결론

본 연구는 온열질환 발생률을 폭염 피해의 핵심 지표로 설정하고, 폭염 피해-취약-대응 간 공간적 관계를 종합적으로 분석하여 폭염 대응의 공간적 불균형을 진단하였다. 주요 결과와 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 폭염 피해를 나타내는 온열질환 발생률은 유의한 양(+)의 공간자기상관성을 보여, 온열질환이 인접 지역 간 서로 군집되는 공간적 패턴을 형성하며 발생하고 있음을 확인하였다. 또한 폭염 피해의 영향요인을 가장 적합하게 설명하는 모형은 공간오차모형(SEM)이며, 이는 온열질환 발생이 개별 지역의 특성만으로 설명되기보다는, 인접 지역과 공유되는 구조적 요인의 공간효과에 의해 형성될 가능성이 높음을 의미한다.

둘째, 공간오차모형 분석 결과 통계적으로 고령자 비율, 다문화가구 비율, 노후주택 비율은 온열질환 발생률과 정(+)의 관계를 보였으며, 기초생활수급자 비율은 부(-)의 관계로 유의한 연관성을 나타냈다. 이는 폭염으로 인한 피해가 단순한 고온 노출의 문제가 아니라 인구구조, 사회경제적 취약성, 주거환경 등 다양한 요인이 결합된 다층적 위험임을 보여준다. 다만 기초생활수급자 비율과 같은 결과는 의료 이용 행태나 자료수집 방식에 따라 영향을 받았을 가능성도 존재한다. 이에 따라 해당 결과를 인과적으로 해석하기보다는, 후속 연구를 통해 보다 정밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

셋째, 온열질환 발생률과 관련 취약요인이 동시에 높게 관측되는 ‘피해-취약 집중지역’이 확인되었다. 이변량 국지적 공간상관분석 결과, HH (High-High) 유형의 지역이 다수 도출되었으며, 특히 전북 내륙, 충북 남부, 경북 일부 지역에서는 여러 유형의 피해-취약 집중지역이 공간적으로 중첩되어 분포하는 경향을 보였다. 이는 특정 취약계층에 국한된 접근보다는 중첩 정도에 따른 복합적 정책 검토가 필요함을 시사한다.

넷째, 유형별 피해-취약 집중지역의 중첩수준과 대응요인별 접근성 간 이변량 국지적 공간상관분석을 통해 폭염 대응의 불균형을 진단한 결과, 강원, 충북, 경북 지역 일대의 12곳에서 모든 대응요인과의 관계가 High-High 유형으로 나타나는 것으로 확인되었다. 이들 지역은 피해-취약 집중지역 중첩수준이 높은 동시에 다차원적 대응 수준 또한 열악한 지역으로, 피해와 취약성이 높아도 대응 수준은 불균형을 나타낼 수 있음을 보여준다. 또한 HH 유형 외에도 HL, LL, LH 유형의 불균형 진단 결과에 따라 기능별·권역별 맞춤형 폭염 대응 전략이 요구된다.

본 연구는 새로운 방법론이나 이론적 모형을 제시하는데 목적을 두기보다는, 폭염 피해-취약-대응 간 공간적 결합 구조와 불균형을 단계적으로 진단할 수 있는 정책 분석 프레임워크를 제시했다는 점에서 의의가 있다. 이를 통해 기존의 단일 지표 기반 비교나 단순 중첩분석에서

벗어나, 폭염으로 인한 피해와 취약요인이 집중된 지역을 선별하고, 이들 지역의 대응 여건을 결합하여 검토함으로써 정책적 개입이 요구되는 지역을 유형화하였다. 이러한 접근은 정책 수립의 주체인 각 지자체가 취약계층 보호와 취약성 저감, 대응시설 접근성 개선과 대응역량 강화 등 정책 개입의 방향을 유형별로 구분하고, 지역 여건에 따른 정책적 우선순위를 설정하는 데 활용할 수 있는 실질적 근거를 제공한다.

다만 기후변화와 인구구조 변화가 빠르게 진행되고 있는 만큼, 다년도 패널자료 또는 시계열 기반 변화 분석을 통해 변화 양상을 검토할 필요가 있다. 또한 대응요인 접근성 자료의 경우 시군구 단위로 평균 집계하는 과정에서 생활권 내부의 이질성이 충분히 반영되지 못할 수 있다는 한계가 존재한다. 향후 연구에서는 보다 세분화된 공간 단위를 활용하여 접근성 분석의 정밀도를 제고하고, 폭염 이외의 다양한 유형의 기후재난을 대상으로 본 연구에서 제시한 정책 프레임워크를 확장·적용할 필요가 있다. 아울러 본 연구는 기후노출 자체의 영향력은 고려하지 않았으므로, 향후 기후노출-피해-취약-대응 간 관계를 통합적으로 분석하는 연구까지 수행된다면, 지역 내 발생 가능한 기후위험과 이로 인한 피해, 취약성, 대응역량 간 상호작용을 보다 심층적으로 규명할 수 있을 것으로 기대된다.

사사

본 논문은 한국환경연구원에서 기후에너지환경부의 위탁과제로 수행된 「국가 기후위기 적응대책 수립 및 주류화 지원(2025-001-01)」의 지원으로 작성되었습니다.

Reference

- Anselin L. 1988. *Spatial econometrics: Methods and models*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- 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. *J Environ Policy Administration* 28(3): 243-280. doi: 10.15301/jepa.2020.28.3.243
- Bouchama A, Dehbi M, Mohamed G, Matthies F, Shoukri M, Menne B. 2007. Prognostic factors in heat wave-related deaths: A meta-analysis. *Arch Intern Med* 167(20): 2170-2176. doi: 10.1001/archinte.167.20.ira70009
- Choi HL, Han WS. 2021. Heat wave disaster vulnerability assessment and identification of vulnerable area characteristics considering medical vulnerability. *Korea Spatial Plann Rev* 110: 63-79. doi: 10.15793/kspr.2021.110.004
- Choi JY, Kang JE. 2025. Assessing the adequacy of provision of child-friendly facilities using spatial accessibility and influencing factor analysis: A Case study of busan metropolitan city. *J Korea Plann Assoc* 60(3): 5-25. doi: 10.17208/jkpa.2025.06.60.3.5
- Choi MH, Yoon TH. 2015. Trends in amenable mortality to health care across the districts in Korea from 1993 to 2013. *J Crit Soc Policy* 49: 404-432.
- Choi WJ, Yi MS. 2025. Selection of optimal locations for heatwave shelters in Seoul. *J Korean Data Inf Sci Soc* 36(2): 217-228. doi: 10.7465/jkdi.2025.36.2.217
- 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. *J Korea Plann Assoc* 53(7): 87-107. doi: 10.17208/jkpa.2018.12.53.7.87
- Fujimoto M, Hayashi K, Nishiura H. 2023. Possible adaptation measures for climate change in preventing heatstroke among older adults in Japan. *Front Public Health* 1: 1-10. doi: 10.3389/fpubh.2023.1184963
- IPCC. 2022. *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability — Working group II contribution to the sixth assessment report*.
- Jenerette GD, Harlan SL, Stefanov WL, Martin CA. 2011. Ecosystem services and urban heat riskscape moderation: water, green spaces, and social inequality in Phoenix, USA. *Ecol Appl* 21: 2637-2651. doi: 10.1890/10-1493.1
- Kang CO, Oh JE, Lee WH, KIM H. 2022. Difference in heat-related mortality risk between urban and rural areas depending on temperature metrics: A Nationwide time-Series study in Korea. *J Clim Change Res* 13(6): 729-739. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.6.729

- Kang SW, Kim JJ, Jeon SM, Han JH, Kim YM. 2024. Locations of cooling centers according to spatial patterns of heatwave vulnerability and elderly inhabitants of administrative districts in Seoul. *J Clim Change Res* 15(6): 1001-1022. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.6.1001
- 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 BE, Lee MH, Lee DG, Kim JY. 2020. Study on the characteristics of spatial relationship between heat concentration and heat-deepening factors using MODIS based Heat distribution map. *Korean J Remote Sens* 36(5-4): 1153-1166. doi: 10.7780/kjrs.2020.36.5.4.2
- Kim DS, Park JC, Chae YR. 2020. The policy measures to reduce heat-wave damage of vulnerable groups in Korea. *J Environ Policy Administration* 6: 211-230. doi: 10.15301/jepa.2020.28.2.211
- Kim DW, Kim JE, Jang CR, Jang MY. 2021. Assessment of heatwave vulnerability in Korea considering socio-economic indices. *J Korean Soc Hazard Mitigation* 21(5): 39-47. doi: 10.9798/KOSHAM.2021.21.5.39
- Kim GH, Jung HC. 2020. Climate justice assessment considering regional inequality: A focus on heatwave. *J Clim Change Res* 11(6): 621-628. doi: 10.15531/KSCCR.2020.11.6.621
- Kim OS, Han JH, Kim KW, Matthews SA, Shim CS. 2022. Depopulation, super aging, and extreme heat events in South Korea. *Clim Risk Manage* 38: 1-16. doi: 10.1016/j.crm.2022.100456
- Kim SL, Ahn SH, Kim YJ. 2025. Spatial analysis of heat-vulnerable areas and accessibility to heatwave response facilities by type for the elderly in Seoul. *J Urban Des Inst Korea* 26(4): 21-39. doi: 10.38195/judik.2025.08.26.4.21
- Kim YH. 2011. A study about bike and bus connection using a bivariate measure of spatial correlation. *J Korean Urban Geogr Soc* 14(3): 55-72.
- Klinenberg E. 1999. Denaturalizing disaster: A social autopsy of the 1995 Chicago heat wave. *Theory Soc* 28(2): 239-295.
- Koh JK, Kim HS. 2010. A study on local vulnerability assessment to climate change: The case of municipalities of Gyeonggi-do. *J Environ Policy Administration* 18(2): 79-105
- Lee GJ, Cha JW. 2019. A study on identification of the heat vulnerability area: Case study in Chungcheongnamdo. *J Korean Soc Rural Plann* 25(1): 67-74. doi: 10.7851/Ksrp.2019.25.1.067
- Lee HJ, Jang HB, Han JH, Chung GH. 2024. Heat wave vulnerability in Korea: An analysis using D-P-S-I-R techniques. *J Korean Soc Hazard Mitigation* 24(4): 173-184. doi: 10.9798/KOSHAM.2024.24.4.173
- Lee HR, Jung HJ, Lee HC. 2020. Analysis of life SOC accessibility for spatial equity. *J Korean Reg Dev Assoc* 32(1): 69-88
- Lee HY, Noh SC. 2024. Advanced statistical analysis. Goyang: Moonwoosa.
- Ministry of Climate, Energy and Environment. 2023. The enhanced 3rd national climate crisis adaptation plan.
- Mitchell BC, Chakraborty J. 2014. Urban heat and climate justice: A landscape of thermal inequity in pinellas county, Florida. *Geogr Rev* 104(4): 459-480.
- Oh H, Won JH. 2023. Heat wave vulnerability assessment reflecting social anxiety. *J Clim Change Res* 14(6-1): 637-650. doi: 10.15531/KSCCR.2023.14.6.637
- Oh SW, Ha DO, Jung JC. 2023. Analysis of spatial patterns among vulnerable groups in the community vulnerable to heat waves from the perspective of environmental justice. *J Korean Soc Hazard Mitigation* 23(4): 31-41. doi: 10.9798/KOSHAM.2023.23.4.31
- Park JC, Chae YR. 2020. Analysis of heat-related illness and excess mortality by heat waves in South Korea in 2018. *J Korean Geogr Soc* 55(4): 391-408. doi: 10.22776/kgs.2020.55.4.391
- Park JK, Bae HJ, Seo YW. 2013. A study of environmental welfare policy for climate and environment-susceptible populations (I). Sejong: Korea

Environment Institute.

- Song BG, Park KH, Kim GA, Kim SY, Park GU, Mun, HS. 2020. Analysis of relationship between the spatial characteristics of the elderly population distribution and heat wave based on GIS: Focused on Changwon City. *J Korean Assoc Geogr Inf Stud* 23(3): 68-84. doi: 10.11108/kagis.2020.23.3.068
- Suh JE, Kim HS. 2024. Relationship between heatwave impacts and urban attributes in Seoul: In the point of view of climate justice. *Geogr J Korea* 58(4): 319-333. doi: 10.22905/kaopj.2024.58.4.3
- 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
- Yoon SB. 2022. The spatial distribution characteristics of disaster-vulnerable population and Cooling center [dissertation]. Pusan National University.