

## 사회불안 지표를 반영한 폭염 취약성 평가

오후\* · 원정훈\*\*†

\*한국환경연구원 국가기후위기적응센터 초빙연구원, \*\*충북대학교 안전공학과 / 방재공학학과간협동과정 교수

### Heat wave vulnerability assessment reflecting social anxiety

Oh, Hoo\* and Won, Jeong-hun\*\*†

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

\*\*Professor, Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea

#### ABSTRACT

Identifying the groups and regions vulnerable to heat wave is important to proactively prevent the continued increase in damage related to climate change. Even though the IPCC has presented a heat wave vulnerability assessment methodology based on exposure, sensitivity, and adaptive capacity, socio-structural factors should be included since the damage caused by heat wave is affected by socio-structural factors. This study developed a heat wave vulnerability assessment methodology reflecting social anxiety defined socio-structural factors as well as exposure, sensitivity, and adaptive capacity. For 229 local government regions, the heat wave vulnerability assessment was carried out considering social anxiety. The influence of social anxiety indicators was analyzed by comparing the results of vulnerability assessment with or without social anxiety. Results showed that regions with relatively high heat wave vulnerability shared negative indicators of exposure, sensitivity, and social anxiety. In some local governments, vulnerability to heat wave increased due with consideration of social anxiety indicators. These results could lead to meaningful discussion in emphasizing the social risks caused by heat waves and in recognizing heat waves as a type of social disaster.

Key words: Heat Wave, Climate Crisis, Vulnerability Assessment, Social Anxiety

### 1. 서론

최근 전 세계는 기후변화를 넘어서 기후위기를 경험하고 있으며, 기후위기와 관련이 깊은 재난이 끊임없이 발생하고 있다. 특히 세계보건기구(WHO)에서는 21세기 사람들의 건강을 위협하는 가장 큰 요인으로 폭염에 주목하고 있다. 세계 각국에서는 최고기온을 경신하는 등 이상 고온 현상에 따른 피해가 증가하고 있으며, 우리나라 역시 2018년 역대 최대 폭염일수와 온열질환 발생에 따라 「재난 및 안전관리 기본법」 개정을 통해 폭염을 자연재난으로 지정하고 관련 대책을 수립해오고 있다.

폭염에 대한 다양한 대책을 수립하고 이행하는 노력에

도 불구하고 폭염으로 인한 피해는 매년 반복되고 있으며, 향후 폭염 발생 빈도와 강도는 더욱 증가할 것으로 예측되고 있다. 특히 폭염은 태풍이나 호우 등 일반적인 기상재난과 달리 눈에 잘 보이지 않아 대응하기 어렵고, 물리적 피해보다 인명피해가 더 높게 나타나는 문제가 있다. 폭염에 의한 피해는 모든 개인과 인구집단에 동등하게 나타나지 않으며, 고령자나 저소득자 등 취약계층에 집중되는 경향이 있고(Choi et al., 2018; Koh and Kim, 2010), 동일한 강도의 폭염에도 주변 상황이나 조건에 따라 폭염의 결과와 양상이 다르게 나타난다(Park et al., 2016).

기존의 연구에서는 폭염의 특성을 반영한 효과적인 정

†Corresponding author : [jhwon@chungbuk.ac.kr](mailto:jhwon@chungbuk.ac.kr) (Department of Safety Engineering, Chungbuk National University, Chungbuk 28644, Korea. Tel. +82-43-261-2459)

ORCID 오후 0009-0006-3488-810X

원정훈 0000-0002-1362-4096

책 이행을 위해 취약성(vulnerability) 개념을 활용하고 있으며, 폭염에 취약한 계층과 지역을 평가함으로써 정책적 시사점을 제시하고 있다. 특히 폭염의 영향에 한 번에 대처하는 것은 현실적으로 한계가 있고, 폭염 대책 수립에 필요한 예산과 인력도 한정되어 있으므로 폭염 취약성 평가 결과는 정책 우선순위의 근거자료로 제시될 수 있다 (Choi et al., 2018; Hamin et al., 2014; Lee et al., 2014).

취약성 평가와 관련하여 대부분의 연구에서는 IPCC에서 제시한 기후변화에 대한 노출(exposure), 민감도(sensitivity), 적응능력(adaptive capacity)의 함수로 정의하고 있다(Li et al., 2021; Park and Song, 2014). 최근에는 사회적 자본이나 사회적 연결망(Li et al., 2021; Na and Lee, 2022)을 비롯하여 범죄율(Tiihonen et al., 2017), 자살률(Ngu et al., 2021) 등의 사회적 현상과 기후변화에 따른 피해의 연관성을 분석하는 연구가 관심을 끌고 있다. 또한, 폭염 피해의 원인을 규명하기 위해 폭염 사망자의 죽음에 대한 근본적 사회문제를 밝혀내기 위한 ‘사회적 부검(social autopsy)’의 개념도 등장하였다(Klinenberg, 2018). 폭염 자체는 자연으로부터 발생한 현상이나, 더운 날씨에도 야외 등에서 일을 해야 하는 빈곤 계층의 문제, 피해가 발생했을 때 폭염 정보 등을 알리는 사회적 연결망의 단절과 고립 등의 발생으로 폭염 피해가 사회적 영향까지 확대되는 현상이 발생되고 있다. 지역사회가 갖는 다양한 사회구조적 문제는 개인의 노력만으로 해결할 수 없으므로 국가와 지역의 개입이 필요하며(Chae, 2020), 취약성 평가 측면에서도 개인 수준의 위험 요인에 대한 진단과 함께 지역의 사회구조적 상황에 대한 진단이 병행되어야 한다. 즉, 개인이 지닌 폭염 취약특성은 동일하더라도 일반 노인과 독거노인이 처해있는 사회구조적 상황은 다르므로 폭염 취약성에도 차이가 발생하는 현상을 반영할 수 있어야 한다. 또한 사회구조적 상황을 반영하여 폭염으로 발생할 수 있는 사회적 위험을 깨닫고 사회재난의 관점에서 폭염에 대한 정책 방향을 수립해야 한다(Han and Back, 2022). 그러나 폭염 취약성 평가와 관련하여 사회구조적 요인들을 고찰하고, 사회구조적 요인을 반영한 취약성 평가에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 폭염에 대해 사회재난의 관점에서 접근하고, 폭염 피해에 영향을 주는 다양한 사회구조적 요인들을 폭염 취약성의 잠재영향으로 반영하여 폭염 취약성을 평가하였다. 먼저, 폭염 피해에 대한 고찰과 선행연구 검토를 수행하여 지역사회 내 폭염 피해를 증가시킬 수 있는 다양한 사회구조적 요인들을 ‘사회불안’ 지표로

정의하였다. 사회불안 지표가 반영된 폭염 취약성 평가방식을 새롭게 제시하였으며, 평가방식을 우리나라 시군구에 적용하여 사회불안이 반영된 폭염 취약성을 분석·평가하였다. 마지막으로, 연구의 목적인 사회불안 지표의 반영 필요성을 검증하기 위하여 사회불안 지표의 반영 유무에 따른 시군구의 취약성 평가 결과를 비교하였다. 본 연구를 통해 지역 내 폭염 취약요인을 다각적으로 고찰하고, 지역 상황을 보다 현실적으로 반영할 수 있는 취약성 평가방식을 제시하고자 하였으며, 정책 대상자가 체감할 수 있는 증상기적 차원의 맞춤형 적응대책 수립을 위한 근거자료를 마련하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰 및 선행연구 검토

### 2.1. 주요 폭염 피해 및 대책 현황

폭염은 평소보다 더운 날씨가 수일 이상 지속되는 현상으로, 폭염에 대한 기준은 지역이나 국가별로 차이가 있다. 세계기상기구(WMO)에서는 ‘5일 연속으로 최고기온이 평년보다 5℃ 이상 초과하는 경우’로 정의하고 있다. 우리나라에서는 일 최고체감온도가 33℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염 주의보를, 일 최고체감온도가 35℃ 이상인 상태가 2일 이상 지속될 것으로 예상될 때 폭염 경보를 발령해오고 있다. 우리나라 주요 폭염 피해를 살펴보면, 지난 2018년 역대 최악의 폭염이 기록되었는데 당시 전국 평균 폭염일수는 평년 10.1일 대비 약 3배인 31.5일, 열대야일수는 17.7일로 나타났다. 최고기온은 홍천이 41℃를 기록하며 관측 이후 최고기온을 경신하였으며, 온열질환자 역시 질병관리청에서 집계를 시작한 이래 가장 많은 44,526명이 발생하였고 48명이 사망하였었다.

폭염은 에너지 문제, 수질 악화, 농작물 고사, 가축 및 양식장 어류 폐사, 온열질환 발생 등 사회·경제 전반에 걸쳐 영향을 미친다. 특히 물리적인 피해보다 인명피해가 크게 나타나는데, 1901년부터 2008년까지 108년간 기상재해에 따른 연간 사망자수 순위 결과, 1994년 폭염 사망자가 3,384명으로 나타나 인명피해가 가장 많은 기상재해로 분석된 바 있다(Kysel and Kim, 2009). 또한, 폭염은 에너지 소비 지출에 따른 취약계층 부담 증가 등 사회적 불평등 문제와도 연관되며, 자살률이나 폭력범죄 및 교통사고 증가, 농·축·수산물 물가 상승, 열 축적에 따른 화재·발화 등의 복합적인 영향까지 고려하면 폭염에 의한 피해

는 더욱 클 것으로 분석된다.

폭염 위험성에 대한 인식이 증가하는 계기가 되었던 2018년에는 「재난 및 안전관리 기본법」이 개정되어 폭염을 자연재난으로 지정하였으며, 폭염 피해 저감을 국가와 지자체의 법적 의무로 명시하였다. 범정부 폭염종합대책이 수립되고 무더위 쉼터 운영, 취약계층 냉방용품 지원, 폭염 대비 행동지침 배포, 도시숲 조성, 온열질환 감시체계 운영 등 다양한 방면에서 폭염 피해 저감대책이 지속적으로 추진되고 있다. 기후위기 적응대책을 분석한 결과, 폭염 대책이 약 47% (451개)를 차지하며, 이 중에서도 건강 부문이 77.6% (349개)인 것으로 나타났다(Jung and Shin, 2022). 또한 2022년에는 「중대재해처벌에 관한 법률」 시행을 통해 폭염으로 인한 열사병을 중대산업재해로 새롭게 규정하였으며, 야외근로자 등 폭염 취약군에 대한 피해 최소화 및 사각지대 해소를 위한 노력이 지속적으로 요구되고 있다.

## 2.2. 폭염 취약성 평가 관련 연구동향

현재 우리나라의 주요 폭염 대책은 온도에 기반한 폭염 특보에 따라 일괄적으로 추진되는 경향이 있다. 모든 대상을 고려한 포괄적인 대책도 중요하나, 물리적·사회적·환경적 자원의 불평등에 따라 특정 대상에게 피해가 집중되기 때문에(Koh and Kim, 2010; Oh, 2023; Park et al., 2013) 보다 실효성 높은 폭염 대책을 위해서는 차별화된 대응방안이 필요하다. 즉, 폭염 노출에 취약한 계층이나 지역을 파악하고 많이 노출되는 주요 요인을 밝힘으로써, 기상학적 자료뿐 아니라 저출산 및 고령화 등과 같은 인구통계학적 변화나 지역 환경의 이질성 등에 근거한 맞춤형 폭염 대책이 마련되어야 한다(Kim et al., 2022; Shim et al., 2017).

기존 연구에서는 취약성 평가를 기반으로 정책 우선순위 및 추진방향 등을 제시해오고 있으며, 취약성 평가 틀은 연구자와 연구 목적에 따라 조금씩 차이가 있지만 주로 IPCC의 정의를 활용하고 있다. IPCC (2001)는 취약성을 기후에 대한 노출(exposure), 민감도(sensitivity), 적응능력(adaptive capacity)의 함수로 정의하고 있다. 시스템이 노출되는 기후변화의 정도는 시스템의 민감도에 기반하여 잠재영향(potential impacts)으로 나타나고, 잠재영향과 시스템의 적응능력을 종합하여 고려한 결과가 취약성으로 나타내게 된다. 따라서 폭염으로 인한 위험은 단순히 고온환경 자체에 대한 노출의 증가만으로 결정되는 것

이 아니며, 똑같은 노출에 대해서도 취약성 정도에 따라 위험수준이 달라진다.

IPCC 개념을 활용한 취약성 평가 관련 연구동향을 살펴보면, Lee et al. (2015)은 대기오염 관련 영향분석 지표를 선정하여 노출, 민감도, 적응 지수를 계산하고, 단순합산과 취약성-탄력성 지표의 합산 두 가지 방법에 따른 취약성 지수를 비교하였다. Park and Song (2014)은 재해노출 지수, 물리적 취약성 지수, 사회적 대응력 지수를 산술평균한 통합 침수 취약성 지수를 산정하여 사회적 취약계층 거주비율 간 상관관계를 분석하였다. Choi et al. (2018)은 기후노출과 민감도 지수를 산술평균한 값을 기준으로 적응능력 지수의 반영 여부에 따른 취약성 결과를 비교하여 적응능력 수준에 따른 지역 유형화를 수행하였다. Kim et al. (2021)은 폭염 취약성과 관련된 사회·경제적 인자를 고려하여 폭염 취약성 지수를 산정하고, 시군구 온열질환 통계와 폭염 취약성 지수를 비교하였다. Li et al. (2021)은 기후노출, 민감도, 적응능력 지수를 계산해 기후변화 취약성 지수를 산정하고, 지역사회건강조사 자료를 활용하여 사회적 자본과 기후변화 취약성 사이의 다중회귀분석을 수행하였다.

지수 산정과정에서 취약성 평가지표들의 영향력은 모두 동일하지 않기 때문에 대부분의 선행연구에서는 지표별 가중치를 부여하고 있다. 일반적으로 활용되는 가중치 산정방식은 전문가 설문조사 기반의 AHP 기법이나 델파이 기법, 또는 자료 값의 정보를 활용하는 엔트로피(entropy) 기법 등이 대표적으로 사용되고 있다. 다만 AHP 기법이나 델파이 기법 등은 연구자의 주관적 개입에 따라 자료의 왜곡이 발생할 수 있다는 점에서 한계점으로 지적되고 있다(Lee et al., 2015). 최근 취약성 관련 연구에서는 비교적 객관적인 가중치 산정방식으로서 연구자의 주관성이 배제되고 정량적 자료에 기반한 통계적 기법을 통해 산정되는 엔트로피 기법이 지표의 불확실성을 고려할 수 있다는 점에서 활발히 활용되고 있다(Kim et al., 2021; Lee et al., 2015; Shannon, 1948). 본 연구에서는 엔트로피 기법을 활용한 지표별 가중치가 부여된 지수를 산정함으로써 폭염 취약성을 평가하고자 하였다.

## 2.3. 폭염 대응과 사회구조적 요인 간 관계

폭염에 대한 관심이 높아지면서 폭염 대응을 위한 다양한 노력과 대책 수립이 이루어지고 있으나, 전세계적으로 폭염의 빈도와 강도는 심화되고 있다. 질병관리청에 따르

면 폭염 감시기간은 2011년 65일에서 2020년 105일로 증가하였고, 폭염으로 인한 피해 역시 증가할 것으로 예측되고 있다. 보다 적극적이고 장기적인 폭염 대응 및 차별화된 폭염 적응전략을 수립하기 위해서는 기존 방식에서 더 나아가 폭염 피해를 야기하는 근본적 원인을 해결하기 위한 새로운 접근방식이 요구된다.

특히 폭염을 비롯한 기후변화 피해는 개인적 특성뿐 아니라 조직이나 지역의 상황에 의해서도 영향을 받게 되는 점에 주목할 필요가 있다(Kim et al., 2016). 1995년 발생한 시카고 폭염 사례를 통해 확인할 수 있는데, 당시 발생한 768명의 사망자 중 대부분은 부유층 거주지역보다는 범죄율이 높고 빈민층이 주로 사는 우범지역, 눈에 잘 띄지 않고 이웃과 교류가 없는 노인 및 1인 가구 등에서 더 많이 발생한 것으로 밝혀졌다(Klinenberg, 1999). 동일한 강도의 폭염이 발생하였으나, 지역사회에 존재하는 사회구조적 문제의 영향으로 폭염 피해가 상대적으로 크게 발생한 것을 알 수 있다.

사회구조적 불평등 측면에서 가장 대표적인 영향관계로 볼 수 있는 요인이 바로 빈곤 특성이다. 열악한 경제적 여건은 위험을 알면서도 여름철 냉방기기 운용에 제약을 야기하거나 야외노출 가능성을 높아지게 한다. 또 다른 측면에서 Kim (2018)은 폭염 피해가 특정 계층에게 더 가혹하게 나타나는 이유로 사회와의 단절이나 배제, 고립 등의 문제에 주목하였다. Na (2020)와 Chae (2020) 역시 언어적 문제나 사회적 편견 등 문화적 고립 가능성이 높은 다문화 가구에 대해, Lee and Cha (2019)는 다인가구에 비해 경제적 지위, 건강상태, 거주형태 등이 열악한 1인 가구에 초점을 두었다. 단절, 배제, 고립의 해소 측면에서 Li et al. (2021)은 기후변화의 잠재적 위협에 대처하기 위해 정부의 물질적 지원만큼 개인과 지역사회의 사회적 자본이 중요하다고 강조하였으며, Koh and Kim (2010)과 Petzold and Ratter (2015)는 지역주민 간 참여와 소통이 기후변화 적응에 매우 중요하다고 강조하였다.

최근에는 개인 또는 지역사회의 전반적 건강수준 측면에서의 폭염 대응에 대한 중요성도 강조되고 있다. Kim et al. (2019), Burke et al. (2018), Jun (2022) 등은 실제 폭염 발생에 따른 자살률 증가의 영향을 분석하였고, Tiihonen et al. (2017), Sanz-barbero et al. (2018), Cianconi et al. (2020) 등은 범죄 발생률 증가의 영향을 분석하였다. Fatima (2022)는 사회경제적 배경, 기후변화에 따른 신체적 건강 악화 및 지역사회 결속력 파괴, 범죄율과 심리적 피로감 및 적대감 증가 등과의 영향을 분석

하기도 하였으며, Zhang et al. (2023)은 스트레스와 음주 등의 정신 복지에 미치는 영향을 분석하였다.

폭염 연구에 있어 사회구조적 요인을 반영하는 연구의 대부분은 국내보다 국외에서 주로 이루어지고 있으며, 국외에서도 사회구조적 요인들의 적응 영향과 입증에 대한 필요성은 아직 과소평가 되고 있다(Fatima, 2022). 앞서 언급한 다양한 사회구조적 요인은 폭염이 발생하지 않을 때에도 상시 우리 주변에 존재하기 때문에 사회구조에서 발생 되는 문제를 해소하지 않고는 여름철 폭염 피해가 반복될 수밖에 없는 실정이다. 따라서 폭염에 의한 대규모 피해 사례가 재발하지 않기 위해서는 폭염 발생 자체는 막을 수 없지만 최소한 폭염 피해가 사회적 참사로 확대되는 것은 방지해야 할 것이다. 지역사회 내 복합적으로 작용하는 다양한 사회구조적 문제들까지 고려하는 폭염에 대한 접근방식이 필요하며, 기존보다 적극적인 차원에서 폭염을 재난으로 인식해야 한다(Han and Back, 2022). 즉, 폭염을 자연재난인 동시에 사회구조적 요인의 영향을 받는 사회재난이라는 문제의식을 갖고 해결방안을 모색해야 한다.

본 연구에서는 중장기적 차원의 근본적인 폭염 대응을 위해 지역 내 다양한 사회적·구조적 불평등의 문제를 나타내는 빈곤, 단절, 배제, 정신건강 등과 관련된 전반적 요인들을 고찰하여 사회구조적 요인으로 재분류하였다. 개인적 특성보다는 폭염 영향 및 피해에 대한 불평등과 사회적 책임에 초점을 두고자 하였으며, 도출된 요인들을 ‘사회불안’ 지표로 정의하여 폭염 취약성의 잠재영향으로 반영하고자 하였다. 사회불안을 반영한 폭염 취약성 평가를 통해 폭염에 대한 관점을 사회재난으로 확대하고, 사회불안 지표의 반영 유무에 따른 취약성 평가결과 및 취약지역을 비교·분석하여 본 연구의 차별성을 확보하고자 하였다.

### 3. 연구 방법

#### 3.1. 지표구성 및 자료수집

폭염 취약성 평가를 위해 활용된 자료의 공간적 범위는 우리나라 전국 17개 광역시도의 229개 시·군·구를 대상으로 하였다. 시간적 범위는 국내에서 발생한 폭염 현상 중 영향과 피해가 가장 극심했던 2018년으로 설정하였다. 폭염 취약성 평가지표는 국내·외 폭염 관련 선행연구를 검토하여 선정하였으며, 기존에 널리 활용되는 IPCC의 노

Table 1. Vulnerability assessment indicators

Classification	Indicator	Min	Max	Mean	SD	Source
Exposure	The number of days with heat wave	2.00	45.00	29.68	7.76	Yi and Yang (2020)
	The number of days with tropical nights	5.00	65.00	44.56	11.94	
Sensitivity	The ratio of old houses	1.40	70.20	25.61	14.34	Statistics Korea
	The ratio of road area	0.02	32.04	4.50	5.51	Ministry of Land, Infrastructure and Transport
	The ratio of the combined population of children(under 14) and elderly(over 65)	20.79	46.77	31.20	6.24	Statistics Korea
	The ratio of outdoor workers	1.31	31.47	10.57	5.33	Ministry of Employment and Labor
Social anxiety	Suicide rate per 100,000 people	0.00	57.43	29.34	7.78	Statistics Korea
	Health related quality of life(EQ-5D)	0.89	0.97	0.94	0.02	Korea Disease Control and Prevention Agency
	The ratio of basic livelihood recipients	0.93	8.84	3.75	1.45	Statistical year book of the region
	The ratio of unemployment	0.00	6.30	3.03	1.68	Statistics Korea
	The ratio of the elderly who lives alone	11.38	32.44	21.33	4.43	
	The ration of multicultural household members	0.66	4.99	2.32	0.91	
	The ration of single-person households	18.24	47.61	31.50	5.14	
Adaptive capacity	Number of cooling centre per 1,000 people	0.07	12.59	2.23	2.82	Ministry of the Interior and Safety
	The ratio of green areas	0.00	87.80	27.03	26.54	Ministry of Land, Infrastructure and Transport
	Number of public health centers per 1,000 people	0.00	1.21	0.23	0.28	National Health Insurance Service
	Fiscal self-reliance ratio	4.10	60.10	21.21	12.82	Ministry of the Interior and Safety

출, 민감도, 적응능력 지표와 함께 본 연구에서 제시한 사회구조적 요인인 사회불안(Social anxiety)을 지표로 정의하였다.

각 지표별 선정기준은 대표성과 자료 취득 용이성으로 설정하였으며, 각 부문별로 선행연구에서 3건 이상 활용되면서, 연구의 공간·시간적 범위에 맞게 일관성 있는 자료 구득·보정이 가능한 17개의 정량지표를 최종 선정하였다. 최종 선정된 각 지표별 수집된 값의 범위는 Table 1과 같다. 노출 지표는 폭염 발생에 영향을 미치는 기상 상태 등을 나타내며, 주로 폭염일수, 열대야일수, 일최고기온, 일최저기온, 일평균기온, 습도 등이 활용되고 있다(Eum, 2016; Kim and Jung, 2020; Kim et al., 2022; Koo et al., 2015; Lee, Kang, et al., 2013; Park and Kim, 2021). 다만 기상청에서는 지점별로 구축된 전국 및 광역 단위의 평균 데이터만 제공하는 등 229개 시군구에 대한 자료 취득의 한계로 인해, 본 연구에서는 한국외국어대학교에서 제공하는 ‘폭염 및 한파 기상요소와 재해부문별 열환경 응용 지수 산출정보’ 및 Yi and Yang (2020)의 연구를 참고하

여 일최고체감온도가 33℃ 이상인 날의 수를 폭염일수로, 일최저체감온도가 25℃ 이상인 날의 수를 열대야일수로 집계하였다. 자료는 1 km 격자 단위로 제공되어 ArcGIS를 활용해 점(point) 데이터로 변환해 격자 데이터의 평균 값을 산출하였다. 그 결과, 폭염일수의 범위는 평균 2.00일이며 최대 45일(광주 서구·남구)일부터 최소 2일(강원 태백시, 제주 제주시)까지로 나타났다. 열대야일수는 평균 5.00일이며 최대 65일(전남 신안군)부터 최소 5일(강원 정선군)까지 비교적 지역 간 편차가 크게 나타났다.

민감도 지표는 폭염 영향을 받는 정도 또는 민감성을 나타내며, 똑같은 폭염 환경에 노출되더라도 신체적 특성에 따라 적응능력이 떨어지는 아동과 노인(Chae, 2020; Eum, 2016; Na, 2020; Shim et al., 2017; Shin and Lee, 2014), 고온 환경 노출 가능성이 높은 건설업·농업·임업·어업 등의 야외근로자(Chae, 2020; Kim and Jung, 2020; Shin and Lee, 2014; Won et al., 2020)를 선정하였다. 전체인구 대비 아동과 노인 인구의 비율은 최소 20.79%(경기 안산시)부터 최대 46.77%(전남 고흥군)까지 나타났으

며, 야외근로자 비율은 최소 1.31%(울산 동구)부터 최대 31.47%(경북 봉화군)까지 나타났다. 신체적 측면 외에도 노후주택(Eum, 2016, 2022; Kim et al., 2021; Lee, Kang, et al., 2013)과 도로면적(Chae, 2020; Choi and Han, 2021; Lee et al., 2019; Lee, Yang, et al., 2013) 역시 폭염에 민감하게 영향을 받기 때문에 포함하였다. 전체 주택 수 대비 30년 이상의 노후주택 비율은 최소 1.40%(인천 연수구)부터 최대 70.20%(전남 신안군)까지 나타났으며, 도로면적 비율은 0.02%(인천 옹진군)부터 32.04%(서울 구로구)까지의 범위로 나타났다.

사회불안 지표는 지역사회 내 빈곤, 단절·배제, 건강 등의 사회구조적 상황을 나타내며, 빈곤특성 측면에서 기초생활수급자(Lee and Cha, 2019; Lee, Kang, et al., 2013; Na, 2020; Won et al., 2020)와 실업률(Choi, 2020; Kim et al., 2021; Shin and Lee, 2014)을 사회불안 지표로 선정하였다. 또한 단절·배제 특성 측면에서 독거노인(Chae, 2020; Kim, 2004; Kim et al., 2021; Klinenberg, 1999; Lee, Kang, et al., 2013) 및 1인가구(Kim, 2020; Lee and Cha, 2019; Park and Kim, 2021)와 다문화가구(Chae, 2020; Kim, 2010; Na, 2020)를 사회불안 지표로 선정하였다. 기초생활수급자 비율의 범위는 최소 0.93%(경기 용인시)부터 8.84%(부산 동구)까지, 실업률은 0.00%(전남 진도군)부터 6.30%(인천 남동구)까지의 범위로 나타났다. 독거노인 비율은 최소 11.38%(서울 서초구)부터 최대 32.44%(경남 의령군), 다문화가구 비율은 최소 0.66%(대구 수성구)부터 4.99%(전북 진안군), 1인가구 비율은 최소 18.24%(경기 과천시)부터 최대 47.61%(서울 관악구)까지의 범위로 나타났다. 최근 폭염과 정신건강 간의 영향관계가 부각됨에 따라 자살률(Jun, 2022; Kim et al., 2019; Ngu et al., 2021), 질병관리청에서 관리하는 삶의 질(EQ-5D) 점수(Choi, 2020; Jun, 2022; Kim et al., 2016; Park and Chae, 2020)도 정신건강 특성 측면의 사회불안 지표로 선정하였다. 인구 십만 명당 자살률의 범위는 0.00%(인천 옹진군)부터 57.43%(충남 태안군)까지로 나타났으며, 삶의 질 지수는 최소 0.89점(전남 신안군)부터 0.97점(대구 수성구)까지로 나타났다.

마지막으로 적응능력 지표는 폭염 피해를 완화시키고 적절히 대처할 수 있는 정도를 나타내며, 인프라 측면의 무더위쉼터(Choi et al., 2018; Eum, 2016, 2022; Kim and Jung, 2020; Shin and Lee, 2014)와 보건소·보건지소(Kim and Jung, 2020; Lee and Cha, 2019; Lee, Kang, et al., 2013; Won et al., 2020)를 선정하였다. 또한 지자체 차원

에서 도시계획적으로 도시온도 저감에 기여하는 녹지(Eum, 2016; Kim et al., 2021; Lee et al., 2019; Won et al., 2020)와 폭염대책 수립을 위한 재정능력을 나타내는 재정자립도(Kim and Jung, 2020; Kim et al., 2021; Lee, Kang, et al., 2013; Na, 2020)를 추가 선정하였다. 인구 천명당 무더위쉼터 수는 최소 0.07개소(경기 용인시)부터 12.59개소(전북 임실군)까지 나타났으며, 녹지지역 비율은 최소 0.00%(인천 옹진군)부터 87.80%(대전 유성구)까지 지역 간 편차가 가장 높은 것으로 나타났다. 인구 천명당 보건소·보건지소 등의 수는 최소 0.00개소(서울 강서구)부터 최대 1.21개소(전북 임실군), 재정자립도는 최소 4.10%(경북 영양군)부터 최대 60.10%(경기 화성시)까지의 범위로 나타났다.

### 3.2. 폭염 취약성 분석방법

사회불안 지표 유무에 따른 폭염 취약성 비교·분석 방법은 Fig. 1과 같다. 첫째, 이론적 고찰 및 선행연구 검토를 통해 평가지표를 선정하였다. 둘째, 선정된 지표는 표준화 과정을 거쳤으며, 표준화된 자료에 가중치를 적용하여 노출, 민감도, 사회불안, 적응능력 4개 부문별 지수를 산정하였다. 셋째, 각 부문별 지수를 토대로 최종 폭염 취약성 지수를 산정하고 넷째, 사회불안 지표의 유무에 따른 최종 폭염 취약성 평가 결과를 비교 분석하였다.

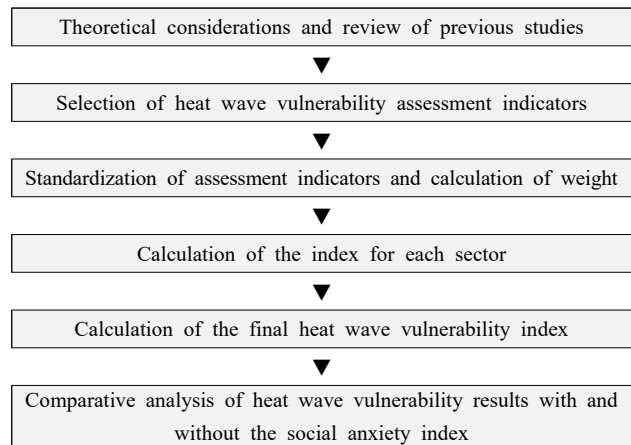


Fig. 1. Analysis procedure

#### 3.2.1. 지표 표준화

선정된 폭염 취약성 평가지표들은 단위와 범위가 상이하기 때문에 지표 간 직접적 비교와 연산이 가능하도록 평가지표들을 표준화하였다. 보편적으로 사용되는 표준화

방법은 Z-score과 스케일 재조정(re-scaling) 등이 있으며 (Li et al., 2021; Yoo and Kim, 2008), 본 연구에서는 지표 범위에 기반을 두고 0~1 사이의 값을 갖게 하는 스케일 재조정을 활용하였다. 특히 표준화된 지표 속성값은 폭염 취약성에 미치는 영향이 같아지도록 전환하고, 평가지표의 값이 커질수록 취약성이 커지는 지표는 식 (1)의  $y_{ij}^+$ 와 같이, 취약성이 작아지는 지표는 식 (2)의  $y_{ij}^-$ 와 같이 표준화하였다(Table 2).

$$y_{ij}^+ = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad (1)$$

$$y_{ij}^- = \frac{x_{jmax} - x_{ij}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad (2)$$

### 3.2.2. 가중치 산정

평가지표가 폭염 취약성에 미치는 영향은 모두 동일하지 않기 때문에 각 지표의 중요도를 반영하기 위해 가중치를 산정하여 적용해야 한다. 본 연구에서는 엔트로피 기법을 적용하여 가중치를 산정하였으며, 가중치 산정절차는 다음과 같다. 먼저 식 (3)과 같이 지표의 자료 행렬을 구성하고, 정규화 과정을 거쳤으며, 이때 m은 행정구역 개수, n은 지표 개수를 의미한다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (4)$$

다음으로 식 (5)와 같이 정규화된 자료를 이용하여 지

표별 엔트로피 값( $E_j$ )을 산정하고, 식 (6)과 같이 지표 다양성을 나타내는 척도( $d_j$ )를 계산하였다(Table 3).

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \log p_{ij} \quad \left( k = \frac{1}{\log m} \right) \quad (5)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (6)$$

최종적으로 식 (7)과 같이 지표별 엔트로피 다양성을 고려해 지표별 엔트로피 가중치( $w_j$ )를 산정하였다.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (7)$$

### 3.2.3. 지수 산정

폭염 취약성 평가를 위해 식 (1)에서 구한 평가지표별 표준화 값에 지표별 가중치를 곱하여 합산하고, 각 부문의 가중치 합으로 나누어 노출 지수(Exposure Index, EI), 민감도 지수(Sensitivity Index, SI), 사회불안 지수(Social Anxiety Index, SAI), 적응능력 지수(Adaptive capacity Index, AI)를 산정하였다. 4개의 부문별 지수들은 식 (8)과 같이 산술평균하여 최종 폭염 취약성 지수(Heat wave Vulnerability Index, HVI)로 통합하였으며, 값이 클수록 취약성이 증가하도록 설정하였다.

$$HVI = \frac{EI + SI + SAI + AI}{4} \quad (8)$$

Table 2. Example of standardization(single-person households)

Code	Region	Value	Standardized value
11010	Jongno-gu, Seoul	39.71	$(39.71-18.24)/(47.61-18.24) = 0.73$
11020	Jung-gu, Seoul	39.18	$(39.18-18.24)/(47.61-18.24) = 0.71$
		⋮	
39020	Seogwipo-si, Jeju	30.92	$(30.92-18.24)/(47.61-18.24) = 0.43$

\*  $x_{jmax} = 47.61, x_{jmin} = 18.24$

Table 3. Example of weight calculation (single-person households)

Code	Region	Standardized value	$\sum_{i=1}^m x_{ij}$	$p_{ij}$	$E_j$	$d_j$
11010	Jongno-gu, Seoul	0.73	103.34	0.007074	0.984271	0.015729
11020	Jung-gu, Seoul	0.71		0.006897		
		⋮		⋮		
39020	Seogwipo-si, Jeju	0.43		0.004177		

\*  $m = 229, \log m = 7.8392, k = 0.1275$

### 4. 분석 결과

#### 4.1. 엔트로피 가중치 결과

본 연구에서 선정된 폭염 취약성 평가지표별 엔트로피 가중치 산정 결과는 Table 4와 같다. 대부분 민감도와 사회불안 지표들의 가중치가 높은 것으로 분석되었다. 민감도 부문의 도로면적 비율(0.2442), 노후주택비율(0.0791), 아동+노인 비율(0.0761)의 순으로 높게 나타났고, 사회불안 부문의 인구 십만 명당 자살률(0.0154)이 가장 낮고, 적응능력 부문의 인구 천 명당 무더위 쉼터 수(0.0208), 인구 천 명당 보건소·보건지소 등의 수(0.0218) 등도 비교적 가중치가 낮게 분석되었다.

Table 4. Weight of assessment indicators

Classification		Weight	
Exposure	The number of days with heat wave	0.0222	0.0461
	The number of days with tropical nights	0.0239	
Sensitivity	The ratio of old houses	0.0791	0.4689
	The ratio of road area	0.2442	
	The ratio of the combined population of children(under 14) and elderly(over 65)	0.0761	
	The ratio of outdoor workers	0.0695	
Social anxiety	Suicide rate per 100,000 people	0.0154	0.3630
	Health related quality of life(EQ-5D)	0.0694	
	The ratio of basic livelihood recipients	0.0602	
	The ratio of unemployment	0.0717	
	The ratio of the elderly who lives alone	0.0448	
	The ration of multicultural household members	0.0649	
	the ration of single-person households	0.0364	
Adaptive capacity	Number of cooling centre per 1,000 people	0.0208	0.1220
	The ratio of green areas	0.0511	
	Number of public health centers per 1,000 people	0.0218	
	Fiscal self-reliance ratio	0.0283	

#### 4.2. 폭염 취약성 평가 결과

본 연구는 기존 노출, 민감도, 적응능력 지표와 함께 사회불안 지표에 주목하여, 사회불안 지표를 반영한 폭염 취약성을 평가하였다. 지표별 표준화 값에 엔트로피 가중치 값을 적용하여 4개 부문별 지수를 산정하였으며, 각 부문별 지수의 공간분포는 Fig. 2와 같다. 범례는 산정된 지수 값이며, Jenks의 자연적 구분법(Natural breaks)을 적용하여 1등급부터 5등급까지 구간을 나누고, 지수가 높을수록 5등급에 해당 되도록 설정하였다.

먼저 노출 지수(EI)의 경우, 5등급 지역에는 광주·남구·서구·북구·광산구 등 27개 지역(11.8%)이 해당되며, 1등급 지역에는 강원 태백시·정선군·평창군 등이 해당되는 것으로 분석되었다. 민감도 지수(SI)는 5등급 지역이 5개 지역(2.2%)이며 서울 구로구·광진구·성북구·양천구 등이 해당되는 반면, 울산 북구, 대전 유성구, 광주 광산구, 경기 광주시·포천시 등은 1등급에 해당되는 것으로 분석되었다. 사회불안 지수(SAI)는 부산 동구, 전북 임실군·김제시, 전남 보성군·곡성군·진도군 등 26개 지역(11.4%)이 5등급 지역에 해당되며, 경기 과천시, 충남 계룡시, 대전 유성구, 경기 용인시 등이 1등급에 해당되는 것으로 분석되었다. 적응능력 지수(AI)의 경우 5등급 지역은 60개 지역(26.2%)이며 강원 철원군·인제군·양구군 등이 해당되고, 1등급 지역에는 경기 성남시·하남시·의왕시·과천시 등이

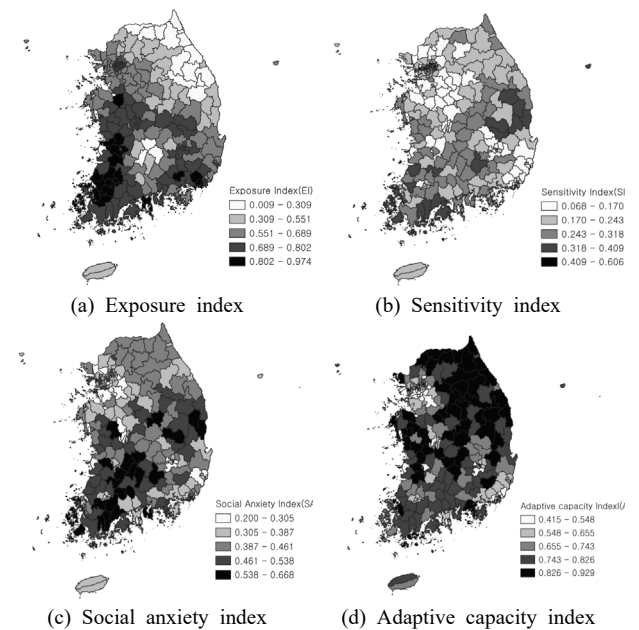


Fig. 2. Results of sectoral index



Table 5. The top and bottom 10 regions of heat wave vulnerability index value

Ranking	The top 10 regions(vulnerability index value)		Ranking	The bottom 10 regions(vulnerability index value)	
	HVI <sup>1</sup>	HVI <sup>2</sup>		HVI <sup>1</sup>	HVI <sup>2</sup>
1 (Highest)	Hampyeong-gun, Jeonnam(0.6580)	Guro-gu, Seoul(0.7186)	1 (Lowest)	Yongin-si, Gyeonggi(0.3524)	Jeongseon-gun, Gangwon(0.3454)
2	Guro-gu, Seoul(0.6421)	Hampyeong-gun, Jeonnam(0.7109)	2	Jeongseon-gun, Gangwon(0.3718)	Taebaek-si, Gangwon(0.3651)
3	Dong-gu, Busan(0.6418)	Gwangjin-gu, Seoul(0.6749)	3	Taebaek-si, Gangwon(0.3765)	Pyeongchang-gun, Gangwon(0.3781)
4	Gimje-si, Jeonbuk(0.6408)	Yangcheon-gu, Seoul(0.6657)	4	Yuseong-gu, Daejeon(0.3768)	Jung-gu, Incheon(0.3948)
5	Jung-gu, Busan(0.6389)	Jung-gu, Busan(0.6625)	5	Pyeongchang-gun, Gangwon(0.3803)	Yongin-si, Gyeonggi(0.4007)
6	Naju-si, Jeonnam(0.6342)	Naju-si, Jeonnam(0.6582)	6	Gyeryong-si, Chungnam(0.3805)	Geochang-gun, Gyeongnam(0.4085)
7	Boseong-gun, Jeonnam(0.6258)	Seodaemun-gu, Seoul(0.6574)	7	Hanam-si, Gyeonggi(0.3828)	Sokcho-si, Gangwon(0.4098)
8	Sinan-gun, Jeonnam(0.6209)	Muan-gun, Jeonnam(0.6537)	8	Uiwang-si, Gyeonggi(0.3852)	Gijang-gun, Busan(0.4109)
9	Gangjin-gun, Jeonnam(0.6202)	Seongbuk-gu, Seoul(0.6531)	9	Buk-gu, Ulsan(0.3991)	Yanggu-gun, Gangwon(0.4260)
10	Jindo-gun, Jeonnam(0.6183)	Dongdaemun-gu, Seoul(0.6454)	10	Gwangju-si, Gyeonggi(0.4006)	Hanam-si, Gyeonggi(0.4275)

HVI<sup>1</sup> : Considering social anxiety HVI<sup>2</sup> : Non-considering social anxiety

해당되는 것으로 분석되었다.

산정된 4개 부문별 지수를 산술평균하여 사회불안 지표를 반영한 최종 폭염 취약성 지수(HVI<sup>1</sup>)를 산정하였으며, 노출, 민감도, 적응능력 지표만을 적용한 폭염 취약성 지수(HVI<sup>2</sup>)와 비교하여 폭염 취약성이 높아지거나 낮아진 지역을 선별하였다. 사회불안 지표가 반영된 HVI<sup>1</sup>의 공간 분포는 Fig. 3(a)이며, 반영되지 않은 HVI<sup>2</sup>의 공간분포는 Fig. 3(b)과 같다. HVI<sup>1</sup>의 취약성 범위는 0.352 ~ 0.658이며, 상대적으로 폭염 취약성이 높게 나타나는 5등급 지역은 전체 229개 시군구 중 39개(17.0%)로 분석되었다. 반대로 다른 지역에 비해 상대적으로 폭염 취약성이 낮게 나타난 1등급은 31개(13.5%)로 분석되었다. HVI<sup>2</sup>의 폭염 취약성 범위는 0.345 ~ 0.719로, 폭염 취약성이 높은 5등급은 57개(24.9%), 폭염 취약성이 낮은 1등급은 21개(9.2%)로 분석되었다.

산정된 폭염 취약성 지수를 토대로 폭염 취약성의 상·하위 10개 지역을 평가한 결과는 Table 5와 같다. HVI<sup>1</sup>의 경우 폭염 취약성이 가장 높은 지역은 전남 함평군(0.6580)으로 분석되었다. 함평군은 전국에서 폭염일수가 7번째, 열대야일수가 3번째로 많으며, 노후주택 비율은 전

국에서 5번째, 아동+노인 비율은 전국에서 8번째로 높으나, 재정자립도는 전국에서 16번째로 낮은 것으로 나타난 특징과 관련이 있다. 이 외에도 서울 구로구(0.6421), 부산 동구(0.6418), 전북 김제시(0.6408), 부산 중구(0.6399) 등이 상대적으로 폭염 취약성이 높게 평가되었으며, 해당 지역 역시 노출, 민감도, 사회불안 관련 지표의 현황이 다른 지역에 비해 비교적 부정적인 편에 해당되는 것으로 나타났다. 반면 폭염 취약성이 가장 낮게 평가된 지역은 경기 용인시(0.3524)이며, 강원 정선군(0.3718), 강원 태백시(0.3765), 대전 유성구(0.3768), 강원 평창군(0.3803) 순으로 나타났다. 특히 경기 용인시는 노후주택 비율이 전국에서 3번째로 낮으며, 대표적인 폭염 취약계층인 기초생활수급자 비율은 전국에서 1번째로, 독거노인 비율은 전국에서 2번째로, 다문화가구원 비율은 전국에서 7번째로 낮은 특징을 지닌다. 또한 재정자립도는 전국에서 4번째로 높으므로 폭염 취약성이 낮게 평가된 것으로 판단된다.

사회불안 지표를 반영하지 않은 HVI<sup>2</sup>의 경우 폭염 취약성이 높은 지역은 서울 구로구(0.7186), 전남 함평군(0.7109), 서울 광진구(0.6749), 서울 양천구(0.6657), 부산 중구(0.6625) 등의 순으로 나타났으며, 폭염 취약성이 낮

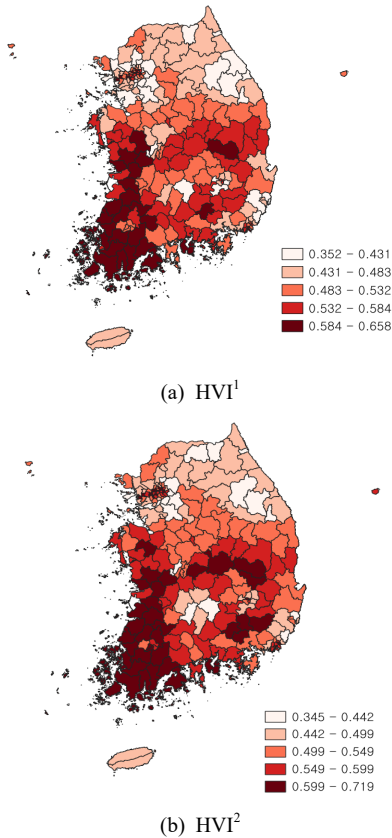


Fig. 3. Results of heat wave vulnerability index

은 지역은 강원 정선군(0.3454), 강원 태백시(0.3651), 강원 평창군(0.3781), 인천 중구(0.3948), 경기 용인시(0.4007) 등의 순으로 나타났다. HVI<sup>1</sup>의 평가결과와 비교했을 때, 전남 함평군, 서울 구로구, 부산 중구, 전남 나주시 등의 지역은 대체로 사회불안 지표를 반영한 경우와 그렇지 않은 경우 모두 취약성이 높은 상위 지역에 해당되는 것으로 나타났다. 또한 강원 정선군, 강원 태백시, 강원 평창군, 경기 용인시 등의 지역은 대체로 사회불안 지표를 반영한 경우와 그렇지 않은 경우 모두 취약성이 낮은 하위 지역에 해당되는 것으로 나타났다. 사회불안 지표를 반영하지 않은 취약성 평가방식에 의해 도출된 취약 지역들이 본 연구에서 제시한 사회불안 측면에서도 비교적 취약한 상태임을 시사한다. 즉, 대체로 노출, 민감도, 적응능력 현황이 좋지 않은 지역이 사회불안 현황도 좋지 않아 사회불안 지표 유무와 상관없이 하위 지역에 해당되는 것으로 해석된다.

지역별 사회불안 지표의 영향력과 취약성 변화를 분석하기 위해 취약성 지수 간 차이값(HVI<sup>1</sup>-HVI<sup>2</sup>)을 나타낸

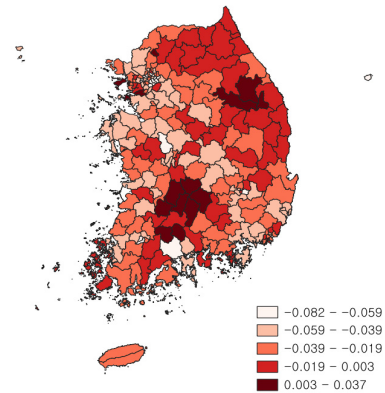


Fig. 4. Results of HVI<sup>1</sup>-HVI<sup>2</sup>

결과는 Fig. 4와 같다. 사회불안 유무에 따른 취약성 지수의 차이값은 -0.082부터 0.037까지의 범위로 나타났다. 양(+)의 값이 나타난 지역은 사회불안 지표를 반영한 폭염 취약성이 더 높아진 곳으로 총 20곳(8.733%)이 해당되는 것으로 분석되었다. 취약성 지수의 차이값이 가장 큰 지역은 전북 장수군(0.037), 강원 정선군(0.026), 전북 무주군(0.024) 순이며, 이들 지역은 대체로 삶의 질 지수가 낮음과 동시에 기초생활수급자와 1인가구 비율이 비교적 높은 지역에 해당되어 사회불안 지표가 반영됨으로써 폭염 취약성이 높아진 것으로 해석된다.

### 5. 결론

본 연구는 기후위기 시대에 발생하는 신종재난 중 하나인 폭염에 주목하여, 기존 IPCC에서 제시한 노출, 민감도, 적응능력 외에도 사회구조적 요인으로 구성되는 사회불안 지표까지 새롭게 정의한 폭염 취약성 평가방식을 제시하였다. 전국 229개 시군구를 대상으로 사회불안이 고려된 폭염 취약성을 평가하였으며, 사회불안 지표의 반영 유무에 따른 취약성 평가 결과를 비교·분석하였다. 주요 분석 결과는 다음과 같다.

첫째, 사회불안 지표를 고려한 폭염 취약성 분석결과, 상대적으로 취약성이 높은 지역은 공통적으로 노출과 민감도, 사회불안 지표 모두 부정적인 특성을 지니고 있는 것으로 나타났다. 단순히 기후요인만으로 폭염에 취약하다고 판단할 수 없으며, 폭염 취약성에 영향을 미치는 다양하고 복합적인 요인에 대한 현황진단이 선행되어야 함을 의미한다. 또한 도출된 지역별 취약특성을 반영하여 한정된 예산과 인력 등 현실적인 상황을 고려한 맞춤형

대책을 통해 실효성을 높이기 위한 노력이 필요하다.

둘째, 사회불안 지표가 반영된 경우와 반영되지 않은 경우 폭염 취약지역이 대체로 중복되는 것으로 분석되었다. 노출, 민감도, 적응능력이 취약한 지역이 사회불안 측면에서도 상대적으로 취약한 상태일 가능성이 높음을 의미하며, 특히 일부 지자체는 사회불안 지표가 반영되어 폭염 취약성이 높아지는 데에 주목할 필요가 있다. 사회불안 지표의 구성 요인들은 개인의 노력만으로 해결할 수 없는 문제이므로 해당 지역을 중심으로 국가나 지자체의 공공정책 및 공공개입 등 정책 수단 강화·확대를 통한 적극적인 사회불안 해소방안이 필요하다.

본 연구는 폭염에 대한 인식과 피해 발생이 증가하는 기후위기 시대에 기존에 추진 중인 기후적 노출 저감을 위한 구조적 대책이나 취약계층 개인에 초점을 둔 대책뿐 아니라, 폭염 발생 이후 그 피해를 가중시킬 수 있는 사회구조적 현황 등 보다 근본적인 문제 해소방안의 필요성에 주목하였다. 즉, 폭염을 단순 계절성 자연재난이 아닌 사회적 위험을 야기할 수 있는 사회재난으로 접근한 점은 의미가 있는 연구결과이다. 또한 정책 수립의 기본단위이자 실질적 시행 주체인 시군구 단위의 폭염 취약성을 평가하여 취약지역과 지역별 취약특성을 도출하고, 사회불안 지표에 따른 평가결과를 비교하여 지역적인 폭염 대응 계획 및 자율적인 정책 추진방안의 당위성을 제시하였다. 연구결과는 국가 정책과 지역 정책 간의 연계를 강화하고 지역주민들의 체감도가 높은 대책을 마련하는 데에 활용될 수 있다. 정책 입안자에게도 쿨링포그, 인공차양막, 옥상녹화 등 폭염 피해저감시설 우선 설치 및 예산 투입과 같은 정책 의사결정 지원의 근거자료로 활용될 수 있을 것이다. 다만, 현재까지 국내에서 사회구조적 특성을 나타낼 수 있는 사회불안 지표에 대한 연구가 많지 않은 만큼 향후 연구에서는 본 연구에서 도출한 사회불안 지표의 객관성 확보를 위한 전문가 설문 등의 검증 절차가 필요하다. 또한 본 연구에서 시도한 새로운 지표 탐색과 적용 방식을 기반으로 지속적인 지표개선 연구를 수행하고, 읍면동 및 집계구 등 미시적 단위의 연구를 보완하고, 공간적으로 상세한 결과를 제시하여 현실적인 지역 맞춤형 폭염 취약성 연구를 지속하여야 한다.

## 사사

본 논문은 행정안전부의 자연재난 정책연계형 기술개발사업 (2020-MOIS35-001(RS-2020-ND629021))의 지원

을 받아 한국환경연구원이 수행한 “도심환경을 고려한 폭염 저감 기술 최적화 개발(2023-014(R))” 사업의 연구결과로 작성되었습니다.

## References

- Burke M, González F, Baylis P, Heft-Neal S, Baysan C, Basu S, Hsiang S. 2018. Higher temperatures increase suicide rates in the United States and Mexico. *Nat Clim Change* 8: 723-729. doi: 10.1038/s41558-018-0222-x
- Chae SM. 2020. Adaptation to the health effects of heat waves in sensitive groups. Sejong, Korea: Korea institute for health and social affairs. Research Report 2020-18.
- Choi HL, Han WS. 2021. Heat wave disaster vulnerability assessment and identification of vulnerable area characteristics considering medical vulnerability. *Korea Spat Plan Rev* 110: 63-79 (in Korean with English abstract). doi: 10.15793/kspr.2021.110..004
- Choi MJ. 2020. Different role of urbanization on heat vulnerability between urban and rural areas [dissertation]. Seoul National University (in Korean with English abstract).
- 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 Plan Assoc* 53(7): 87-107 (in Korean with English abstract). doi: 10.17208/jkpa.2018.12.53.7.87
- Cianconi P, Bero S, Janiri L. 2020. The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review. *Front Psychiatry* 11: 74. doi: 10.3389/fpsy.2020.00074
- Eum JH. 2016. Vulnerability assessment to urban thermal environment for spatial planning: A case study of Seoul, Korea. *J Korean Inst Landsc Archit* 44(4): 109-120 (in Korean with English abstract). doi: 10.9715/KILA.2016.44.4.109
- Eum JY. 2022. The effects of new town development on changes in heatwave vulnerability of old downtowns: The case of innovation cities, Jinju & Naju

- [dissertation]. Seoul National University (in Korean with English abstract).
- Fatima E. 2022. Impact of climate change on individual and community mental health. *J Dev Policy Res Pract* 6(1): 85-103. doi: 10.59926/jodprp.vol06/06
- Hamin EM, Gurran N, Emlinger AM. 2014. Barriers to municipal climate adaptation: Examples from coastal Massachusetts' smaller cities and towns. *J Am Plan Assoc* 80(2): 110-122. doi: 10.1080/01944363.2014.949590
- Han YG, Back JS. 2022. Perception of the risk of heat waves as a disaster and the Seoul metropolitan government's response task. *Seoul Health On Air* 45: 1-9.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Third assessment report.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Jun SM. 2022. A study on the derivation and measurement of livability indicators considering the vulnerability of urban climate change [dissertation]. Pusan National University (in Korean with English abstract).
- Jung HC, Shin JY. 2022. A study on climate risk and adaptation assessment system to prepare mid- to long-term adaptation strategies. Sejong, Korea: Korea Environment Institute.
- Kim DW, Kim JE, Jang CR, Jang MY. 2021. Assessment of heatwave vulnerability in Korea considering socio-economic indices. *J Korean Soc Hazard Mitig* 21(5): 39-47 (in Korean with English abstract). 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 (in Korean with English abstract). doi: 10.15531/KSCCR.2020.11.6.621
- Kim HL. 2010. Health status of marriage-based immigrants in Korea and policy directions. *Health and Welf Policy Forum* 165: 46-57. doi: 10.23062/2010.07.5
- Kim OS, Han JH, Kim KW, Matthews SA, Sim CS. 2022. Depopulation, super aging, and extreme heat events in South Korea. *Clim Risk Manag* 38: 100456. doi: 10.1016/j.crm.2022.100456
- Kim SY. 2004. The effect of summer heat wave on death rate due to climate change [dissertation]. Ajou University (in Korean with English abstract).
- Kim TH, Baek JI, Ban YU. 2016. Analyzing the relationship between health damage caused by heat wave and socioeconomic factors. *Crisisonomy* 12(5): 67-78 (in Korean with English abstract).
- Kim WC. 2018. Looking through the window of social disasters, not natural disasters: Summer 2018, what did the heat wave leave us. *ECO* 22(2): 331-339.
- Kim WJ. 2020. Single-person households and crime. *Korean J Law Econ* 17(1): 137-160 (in Korean with English abstract). doi: 10.46758/kjle.2020.04.17.1.137
- Kim YH, Kim H, Honda Y, Guo YL, Chen BY, Woo JM, Ebi KL. 2019. Suicide and ambient temperature in East Asian countries: A time-stratified case-crossover analysis. *Environ Health Perspect* 124(1): 75-80. doi: 10.1289/ehp.1409392
- Klinenberg E. 1999. Denaturalizing disaster: A social autopsy of the 1995 Chicago heat wave. *Theory Soc* 28(2): 239-295. doi: 10.1023/A:1006995507723
- Klinenberg E. 2018. *Palaces for the people.* New York: Crown Publishing Group.
- Koh JK, Kim HS. 2010. A study on local vulnerability assessment to climate change: The case of municipalities of Gyeonggi-do. *J Environ Policy Adm* 18(2): 79-105 (in Korean with English abstract).
- Koo YS, Kim JE, Kim JS, Lee SH. 2015. Study on the improvement of adaptation ability by vulnerability analysis of heat wave: The case of Busan metropolitan city. *J Korean Reg Dev Assoc* 27(5): 331-347 (in Korean with English abstract).
- Kysely J, Kim JY. 2009. Mortality during heat waves in South Korea, 1991 to 2005: How exceptional was the 1994 heat wave? *Clim Res* 38(2): 105-116. doi: 10.3354/cr00775
- Lee GJ, Cha JW. 2019. A study on identification of the

- heat vulnerability area: Case study in Chungcheongnamdo. *J Korean Soc Rural Plan* 25(1): 67-74 (in Korean with English abstract). doi: 10.7851/ksrp.2019.25.1.067
- Lee NY, Cho YS, Lim JY. 2014. Effect of climate change on mortality rate analysis of vulnerable populations. *Health Soc Welf Rev* 34(1): 456-484 (in Korean with English abstract).
- Lee SH, Kang JE, Bae HJ, Yoon DK. 2015. Vulnerability assessment of the air pollution using entropy weights: Focused on ozone. *J Korean Assoc Reg Geogr* 21(4): 751-763 (in Korean with English abstract).
- Lee SM, Kweon I, Kim YJ. 2019. A study on the influence of urban environment on the generation of thermal diseases. *J Korea Contents Assoc* 19(12): 84-92 (in Korean with English abstract). doi: 10.5392/JKCA.2019.19.12.084
- Lee WJ, Kang JE, Kim YK. 2013. The impact of environmental health factors on extreme-heat vulnerability assessment in a metropolitan city. *J Environ Health Sci* 39(6): 492-504 (in Korean with English abstract). doi: 10.5668/JEHS.2013.39.6.492
- Lee YH, Yang IC, Kim DG, Lim JH. 2013. A study on the factors affecting air temperature on roadside: Focusing on road conditions and traffic characteristics. *J Korean Soc Civil Eng* 33(4): 1619-1629 (in Korean with English abstract). doi: 10.12652/KSCE.2013.33.4.1619
- Li JG, Hong Z, Yun, SJ. 2021. The impact of local social capital on climate change vulnerability. *J Environ Policy Adm* 29(1): 183-210 (in Korean with English abstract). doi: 10.15301/jepa.2021.29.1.183
- Na YJ. 2020. Regional vulnerability assessment of heat wave using analytic hierarchy process [dissertation]. Chungbuk National University (in Korean with English abstract).
- Na YJ, Lee SS. 2022. Analysis of heatwave disaster using social capital based on community health survey. *Crisisonomy* 18(6): 53-65 (in Korean with English abstract).
- Ngu FF, Kelman I, Chambers J, Ayeb-Karlsson S. 2021. Correlating heatwaves and relative humidity with suicide(fetal intentional self-harm). *Sci Rep* 11: 22175. doi: 10.1038/s41598-021-01448-3
- Oh H. 2023. An analysis of the effects of heat wave vulnerability considering social anxiety on the occurrence of heat-related illness [dissertation]. Chungbuk National University (in Korean with English abstract).
- Park HN, Song JM. 2014. Empirical study on environmental justice through correlation analysis of the flood vulnerability indicator and the ratio of the poor population. *J Korea Plan Assoc* 49(7): 169-186 (in Korean with English abstract). doi: 10.17208/jkpa.2014.11.49.7.169
- 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 (in Korean with English abstract). doi: 10.22776/KGS.2020.55.4.391
- Park JE, Heo BY, Sun WY. 2016. A study on human damage due to heat wave by region. *J Korean Soc Hazard Mitig* 16(1): 103-109 (in Korean with English abstract). doi: 10.9798/KOSHAM.2016.16.1.103
- Park JK, Bae HJ, Seo YW. 2013. A study of environmental welfare policy for climate and environment-susceptible populations (I). Sejong, Korea: Korea Environment Institute.
- Park MH, Kim HK. 2021. Effects of heat vulnerability on the distribution of young single-person households in the seoul metropolitan area. *J Urban Des Inst Korea* 22(3): 41-53 (in Korean with English abstract). doi: 10.38195/judik.2021.06.22.3.41
- Petzold J, Ratter BMW. 2015. Climate change adaptation under a social capital approach-an analytical framework for small islands. *Ocean Coast Manag* 112: 36-43. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.003
- Sanz-barbero B, Linares C, Vives-Cases C, González JL, López-Ossorio JJ, Díaz J. 2018. Heat wave and the risk of intimate partner violence. *Sci Total Environ* 644: 413-419. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.368

- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J* 27(3): 379-423. doi: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x
- 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 HS, Lee SH. 2014. Development of a climate change vulnerability index on the health care sector. *J Environ Policy* 13(1): 69-93 (in Korean with English abstract). doi: 10.17330/joep.13.1.201403.69
- Tiihonen J, Halonen P, Tiihonen L, Kautiainen H, Storvik M, Callaway J. 2017. The association of ambient temperature and violent crime. *Sci Rep* 7: 6543. doi: 10.1038/s41598-017-06720-z
- Won JS, Min BH, Kim SY. 2020. The improvement of diagnostic indicators for decline cities considering the vulnerabilities in climate change: Focusing on the vulnerability of heat wave disasters. *Korea Inst Ecol Archit Environ J* 20(6): 147-158 (in Korean with English abstract). doi: 10.12813/kieae.2020.20.6.147
- Yi CY, Yang HJ. 2020. Heat exposure information at screen level for an impact-based forecasting and warning service for heat-wave disasters. *Atmosphere* 11(9): 920. doi: 10.3390/atmos11090920
- Yoo GY, Kim IA. 2008. Development and application of a climate change vulnerability index. Sejong, Korea: Korea Environment Institute. Research Report 2008-05.
- Zhang X, Chen F, Chen Z. 2023. Heatwave and mental health. *J Environ Manag* 352: 117385. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117385