



# 사회·경제적 인자를 고려한 우리나라의 폭염 취약성 평가

## Assessment of Heatwave Vulnerability in Korea Considering Socio-economic Indices

김동욱\* · 김지은\*\* · 장초록\*\*\* · 장문엽\*\*\*\*

Kim, Dongwook\*, Kim, Ji Eun\*\*, Jang, Cho-Rok\*\*\*, and Jang, Moon-Yup\*\*\*\*

### Abstract

The rising heatwave occurrences in recent times due to climate change have resulted in increased mortalities and socio-economic damage. Consequently, several studies have been conducted to examine heatwave vulnerability in Korea. However, most of these studies used the IPCC vulnerability framework and weighting techniques, such as the equal weight and AHP methods, which lacked objectivity in the process of calculating vulnerability. This study employed socio-economic data to measure the heatwave vulnerability index for individual local governments in Korea using the principal component analysis and entropy weighting methods. These techniques ensure that the aggregation of proxies and the weighting process remain objective, unlike previous studies. According to the obtained results, rural areas such as Jeollanam-do, Jeollabuk-do, Gyeongsangnam-do, and Gyeongsangbuk-do, and relatively decrepit urban areas demonstrated high vulnerability scores. In addition, a positive correlation was found between the calculated vulnerability index and mortalities from the recent heatwaves. The heatwave vulnerability index developed in this study can therefore be used to form effective heatwave response policies suited to the conditions of each local government.

**Key words :** Heatwave Vulnerability, Principal Component Analysis, Entropy Weight

### 요 지

최근 기후변화로 인해 폭염이 발생하여 인명피해를 비롯해 사회·경제적 피해가 증가하고 있다. 이에 우리나라에서는 폭염과 관련된 다양한 연구들이 진행되었다. 폭염 취약성과 관련된 선행 연구는 대부분 IPCC의 취약성 개념 틀과 동일 가중치, AHP 기법 등을 활용하였는데, 취약성 평가에 널리 활용되는 방법이지만 지표 구성 및 가중치 산정 과정에 있어 객관성을 확보하기 어렵다는 한계가 있었다. 본 연구에서는 통계적으로 객관성을 확보할 수 있는 주성분 분석과 엔트로피 가중치 산정 방법을 통해 우리나라의 시·군·구별 폭염 취약성 지수를 산정하였고, 분석 자료로 사회·경제적 인자를 활용하였다. 취약성 산정 결과 전라남도, 전라북도, 경상남도, 경상북도 등의 비도시 지역에서 취약성 지수가 높게 산정되었고, 상대적으로 노후화가 많이 진행된 도시 지역에서도 높은 취약성 값을 보였다. 또한, 산정된 취약성 지수는 최근 폭염으로 인한 인명 피해와도 유사한 경향을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 지자체별 여건에 맞는 폭염 대응 정책을 수립하는데 있어 본 연구에서 개발한 폭염 취약성 지수가 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어 :** 폭염 취약성, 주성분 분석, 엔트로피 가중치

\*정회원, (주)부린 부설연구소 연구원(E-mail: dwkim@eburin.com)  
Member, Researcher, R&D Center, Burin Co., Ltd.

\*\*한양대학교 건설환경시스템공학과 박사과정(E-mail: helloje2@nate.com)  
Ph.D. Candidate, Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University

\*\*\*정회원, (주)부린 부설연구소 책임연구원(E-mail: chorok8869@eburin.com)  
Member, Senior Research Engineer, R&D Center, Burin Co., Ltd.

\*\*\*\*교신저자, 정회원, (주)부린 부설연구소 책임연구원(Tel: +82-2-521-1286, Fax: +82-2-521-1287, E-mail: myjang@eburin.com)  
Corresponding Author, Member, Senior Research Engineer, R&D Center, Burin Co., Ltd.

## 1. 서론

폭염은 비정상적인 고온 현상이 여러 날 지속되는 것을 뜻한다. 폭염의 정의는 지역별 기후와 주민의 더위에 대한 적응도를 반영하여 선정하기 때문에 지역 및 국가별로 차이가 있으나, 우리나라에서는 한낮의 일 최고기온이 33 °C 이상인 날이 2일 이상 지속될 것으로 예상되는 경우 폭염주의보를, 35 °C 이상인 날이 2일 이상 지속될 것으로 예상되는 경우 폭염경보를 발령한다(NDMI, 2012).

폭염은 가장 많은 인명피해를 발생시키는 자연재해이며, 농·축·수산업, 에너지, 교통 등 사회·경제 전반에 영향을 미치기도 한다(KEI, 2020; KMI, 2021).

최근 가속화되고 있는 기후변화로 인해 전 세계적으로 폭염 현상이 증가하고 있으며, 인명 피해와 사회경제적 피해 또한 크게 증가하는 양상을 보이고 있다. 2019년 6월 프랑스에서는 최고기온 46 °C가 기록되어 국가 최고기온 기록을 경신하였고, 우리나라와 가까운 일본의 홋카이도 지역에서는 5월 기온 중 역대 최고기온인 39.5 °C가 기록되었다(KEI, 2020). 올해 여름 미국과 캐나다 서부지역에서는 극심한 폭염이 발생했는데, 캐나다 브리티시컬럼비아 주에서는 49.6 °C가 관측되며 현재까지 700명 이상의 사망자가 발생했다.

2018년 우리나라에서는 역대 최악의 폭염이 발생했다. 기상관측 이래 최고기온인 41 °C가 기록되었고 전국 평균 폭염일은 평년 대비 3배 이상 많은 31.5일이 발생했는데, 온열질환 감시체계에는 4,526명의 온열질환자가 기록되었다(KEI, 2020). 이 때 인명피해 뿐 아니라 22,509 ha의 농작물 피해, 9,079 마리의 가축 폐사가 발생하는 등 피해가 극심했다(The Government of the Republic of Korea, 2019). 기후변화에 따라 폭염 피해가 점점 심해짐에 따라 대한민국 정부는 2018년 9월 재난 및 안전관리 기본법을 개정해 폭염을 자연재난에 포함하여 관리에 나서고 있다(MOIS, 2019).

폭염은 같은 강도로 발생하더라도 개인의 적응능력, 지역별 기후 특성 등에 따라 피해 양상이 달라질 수 있다(Park et al., 2016). 따라서 폭염 위험을 효과적으로 대응하기 위해서는 기후, 지형, 사회 등 다양한 요인 고려하여 지역별 특성을 고려한 취약성에 대한 평가가 필요하다(Koo et al., 2015; Lee, 2017; Kim and Kim, 2020; K. Kim et al., 2020).

취약성 개념은 재난위험관리, 기후변화 등 다양한 영역에서 활용되며 분석하려는 목적에 따라 개념적 정의가 조금씩 다르다. UNDP (2005)는 취약성을 어떤 시스템의 기후변화에 대한 민감도와 적응능력의 함수로 정의하였으며, IPCC (2001)는 시스템이 기후변화에 따른 부정적 영향을 대처하지 못한 정도로 보고 이를 노출과 민감도 그리고 적응능력의 함수로 정의하였다.

국내에서는 폭염과 취약성에 관련된 다양한 연구들이 진행되고 있는데 Lee et al. (2013), Koo et al. (2015), K. Kim et al. (2020)과 Choi et al. (2018)은 IPCC의 기후변화

취약성 개념을 바탕으로 기후노출, 민감도, 적응능력에 해당하는 세부지표를 선정 후 부산광역시와 서울특별시의 폭염 취약성을 산정하였다. Lee (2017)는 기후변화 취약성 평가 프로그램인 VESTAP (Vulnerability Assessment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan)의 폭염 민감도 지표와 가중치를 개선하는 연구를 진행하였다.

하지만 앞서 언급한 연구들을 포함한 다수의 선행 연구들은 취약성 평가를 위해 IPCC의 취약성 개념 틀을 그대로 활용한 경우가 지배적이다. 이는 세부지표를 통한 지표의 구성과정이 주관적이기에 세부지표 선정에 주의가 필요하다는 한계가 있다(Kim et al., 2011; D. Kim et al., 2020). 또한, 지표 및 세부지표의 가중치를 결정하기 위해 동일 가중치를 적용하거나, 주관적 판단 기법인 계층적 분석 기법 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 등을 활용했는데, 이는 연구자의 주관에 반영되어 객관성을 확보하지 못하고 평가 결과의 정확도가 낮아질 가능성이 있다는 단점이 있다(Lee et al., 2015; Lee et al., 2020; Hwang et al., 2021).

Wolf and McGregor (2013), Macnee and Tokai (2016), Nayak et al. (2018)은 영국 런던, 일본 오사카, 미국 뉴욕 지역의 사회 및 경제적 자료와 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA) 기법을 활용하여 폭염 취약성을 산정한 바 있다. Kim et al. (2019), Ha et al. (2019), Lee et al. (2020)은 엔트로피 가중치 산정 방법을 활용해 홍수, 가뭄, 대설 취약성 평가를 위한 지표별 가중치를 산정한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 UNDP (2005)에서 제시한 취약성 개념의 민감도와 적응능력 항목을 중심으로, 지표 구성 과정에서 객관성을 확보할 수 있는 주성분 분석과 객관적인 가중치 산정 방법인 엔트로피 기법을 활용하여 우리나라의 폭염 취약성을 산정하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 연구 자료

본 연구는 우리나라의 229개 시·군·구를 대상으로 수행되었으며, 폭염 취약성 평가를 수행하기 위해 국내·외 선행 연구를 조사하여 세부지표로 활용할 인자들을 선정하였다. 선행 연구에서는 인구밀도, 5세 미만 인구 현황, 65세 이상 인구 현황, 독거노인 현황, 실업률, 저학력자 현황, 국민기초생활보장 총 수급자 현황, 응급의료시설 현황, 보건인력 현황, 녹지 비율, 불투수면적, 노후건축물, 무더위쉼터 현황, 온열질환자 현황, GRDP, 재정자립도 등이 폭염 취약성 평가를 위한 세부지표로 활용되었다(GRI, 2009; KEI, 2012; KRIHS, 2012; Wolf and McGregor, 2013; Koo et al., 2015; Macnee and Tokai, 2016; Lee, 2017; Choi et al., 2018; Nayak et al., 2018; Lee and Cha, 2019; K. Kim et al., 2020). 본 연구에서는 세부지표 간 중복성 및 자료 구축의 용이성을 고려해 Table 1과 같이 세부지표를 선정하였다.

**Table 1.** Definitions and Sources of Factors for the Heatwave Vulnerability Assessment

Factors	Definition	Period
Low education groups <sup>1</sup>	Ratio of people ( $\geq 25$ ) who did not graduate from high school	`15
GRDP <sup>1</sup>	Gross regional domestic product	`17-`18
Health vulnerable groups <sup>1</sup>	Ratio of people under 5 or over 65 years of age	`19
Health and welfare companies <sup>1</sup>	Number of health and welfare companies in the region	`19
Health and welfare workers <sup>1</sup>	Number of people working in health and welfare	`19
Doctors <sup>1</sup>	Number of doctors in the region	`20
Population density <sup>1</sup>	Number of people divided by administrative district area	`20
Social vulnerable groups <sup>1,2</sup>	Ratio of elders living alone, recipients of basic living, disabled, foreigners	`19
Agricultural and fishery groups <sup>3</sup>	Ratio of people working in agriculture, forestry and fishery	`20
Old buildings <sup>4</sup>	Ratio of buildings over 30 years old	`20
Impervious areas <sup>5</sup>	Ratio of impervious area to administrative district area	`19
Green areas <sup>5</sup>	Ratio of green area to administrative district area	`19
Sickbeds <sup>6</sup>	Number of sickbeds in the region	`20
Cooling centers <sup>7</sup>	Cooling centers per 10,000 people	`21*

\* Source

1. Korean Statistical Information Service; 2. Ministry of Health and Welfare; 3. Statistics Korea, 4. Electronic Architectural Administration Information System; 5. Environmental Geographic Information Service, 6. Ministry of the Interior and Safety; 7. Environmental Geographic Information Service

\* Data as of June, 2021

## 2.2 폭염 취약성 평가

폭염 취약성 평가를 수행한 절차는 다음과 같다. 먼저, 구축 자료를 표준화한 후 주성분 분석을 통해 지표를 구성하였다. 그 다음 엔트로피 방법을 활용하여 지표 및 세부지표의 가중치를 산정하였다. 마지막으로 표준화된 자료에 가중치를 적용한 후 합산하여 취약성 지수를 산정하였고, 결과를 비교·분석하였다.

### 2.2.1 표준화 방법

취약성 평가를 위해 활용된 세부지표들은 값의 단위가 제각기 다르기 때문에 표준화 과정을 거쳐야 한다. 지표를 표준화하는 방법은 여러 가지가 있으나, 대표적으로 활용되는 방법으로는 Z-Score 방법과 Min-Max 방법이 있다. 본 연구에서는 세부지표 자료의 표준화를 위해 0에서 1사이의 값을 갖게 하는 Min-Max 방법을 활용하였다. Eq. (1a)는 취약성과 양(+)의 상관관계를 가지는 세부지표에 대한 변환식을, Eq. (1b)는 음(-)의 상관관계를 가지는 세부지표에 대한 변환식을 의미한다. 여기서, 양의 상관관계는 세부지표의 값이 커질수록 취약성이 커지는 것을 의미하며, 음의 상관관계는 세부지표의 값이 커질수록 취약성이 작아지는 것을 의미한다(Kim et al., 2019).

$$p_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1a)$$

$$p_{ij} = \frac{\max(x) - x_{ij}}{\max(x) - \min(x)} \quad (1b)$$

### 2.2.2 주성분 분석

주성분 분석은 상관관계가 있는 여러 변수들을 활용해 정보의 손실을 최소화하며 차원을 축소하는 비지도 학습 기법이다. 주성분 분석은  $p$ 차원의 데이터 축을 회전시켜 데이터의 분산을 가장 많이 반영하는 축을 구하고, 이에 직교하는  $m(m < p)$ 개의 축 방향으로 데이터를 사영시키며 차원을 축소한다. 이를 통해 데이터의 분산을 최대한 보존하며  $p$ 차원의 데이터를  $m$ 차원으로 축소할 수 있다.

주성분 분석은 여러 변수들의 성분을 정량화하고, 변수들을 대표하는 지표를 구성하는 방법으로 활용되고 있으며(Joo et al., 2018), 본 연구에서는 폭염 취약성 평가를 위한 대표 지표를 구성하기 위해 활용되었다. 주성분의 개수를 결정하는 방법은 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 누적 분산 설명량이 80% 이상이 되는 주성분까지 추출하여 분석에 활용하였다.

### 2.2.3 가중치 산정 방법

지표 및 세부지표의 중요도를 나타내기 위해 가중치를 산정하는 것은 매우 중요하다. 대표적으로 많이 사용되는 기법으로 동일 가중치 기법, AHP 기법, 델파이 기법 등이 있으나, 연구자의 주관적 판단에 의존한다는 한계가 존재한다

다. 따라서 본 연구에서는 계산 과정이 간단하고 객관성이 입증된 엔트로피 가중치 산정 방법을 활용하였다.

Shannon (1948)의 정보이론에 기반 한 엔트로피 가중치 산정 방법은 각 정보 속성의 크기분포를 기반으로 분산에 따라 엔트로피가 결정되는 방법이며, 지표 값의 응집도가 클수록 엔트로피 가중치는 크게 산정된다(H.S. Kim et al., 2012; Lee et al., 2020). 엔트로피 가중치 산정방법은 지표의 가중치를 수학적으로 산정하기 때문에 객관성을 확보할 수 있으며, 정량적인 기법으로 불확실성을 고려할 수 있다는 장점이 있다(Lee et al., 2015). 본 연구에서의 엔트로피 가중치 산정을 위한 절차는 다음과 같다.

첫째, 분석에 활용할 자료를 Eq. (2)와 같이 나타낸다. 여기서  $n$ 은 세부지표의 개수를,  $m$ 은 분석 대상 지역의 개수를 의미한다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

둘째, 세부지표 자료를 Eq. (1)의 표준화 과정을 통해 변환한다.

셋째, Eq. (3)의 과정을 거쳐 세부지표별 엔트로피 값( $E_j$ )을 산정한다.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (k = \frac{1}{\ln(m)}) \quad (3)$$

$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$

넷째, Eq. (4)와 같이 지표 항목의 다양성을 나타내는 척도( $d_j$ )를 계산하고, Eq. (5)와 같이 세부지표별 가중치를 산정한다.

$$d_j = 1 - E_j \quad (4)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (5)$$

마지막으로, 표준화된 세부지표에 Eq. (5)를 통해 산정한 각 세부지표별 가중치를 곱해 폭염 취약성 지수(Eq. (6))를 산정하였고, 이를 0에서 1 사이의 값으로 변환하였다.

$$HVI_i = \sum_{j=1}^n w_j p_{ij} \quad (6)$$

### 3. 연구결과

#### 3.1 폭염 취약성 산정 결과

주성분 분석을 통해 추출한 대표 지표에 엔트로피 가중치 산정 방법을 통해 산정한 가중치를 적용하여 우리나라의 폭염 취약성 지수를 산정하였다.

먼저, 각 세부지표의 취약성에 대한 상관관계와 주성분 분석을 통해 구성된 대표 지표를 Table 2와 같이 나타냈다. Table 2에 나타난 바와 같이 제1주성분에는 사회취약계층인구 비율, 건강취약연령인구 비율, 저학력인구 비율, 농림어업인구 비율까지 4개의 세부지표, 제2주성분에는 인구 밀도,

**Table 2.** Loadings and Cumulative Explained Variance from Principal Component Analysis

Factors	Effect	Vulnerable group component	Urban environment component	Economy and welfare component
Social vulnerable groups	+	<b>-0.321</b>	0.248	0.156
Health vulnerable groups	+	<b>-0.374</b>	0.237	0.174
Low education groups	+	<b>-0.387</b>	0.142	0.139
Agricultural and fishery groups	+	<b>-0.382</b>	0.029	0.246
Population density	+	0.246	<b>0.455</b>	-0.060
Old buildings	+	-0.043	<b>0.471</b>	-0.010
Impervious areas	+	0.289	<b>0.483</b>	-0.064
Green areas	-	-0.236	<b>0.401</b>	0.076
GRDP	-	-0.149	0.083	<b>-0.312</b>
Sickbeds	-	-0.157	0.063	<b>-0.364</b>
Doctors	-	-0.148	-0.011	<b>-0.302</b>
Health and welfare companies	-	-0.238	0.094	<b>-0.451</b>
Health and welfare workers	-	-0.242	0.059	<b>-0.467</b>
Cooling centers	-	0.275	-0.125	<b>-0.331</b>
<b>Cumulative explained variance</b>		<b>0.612</b>	<b>0.768</b>	<b>0.852</b>

노후건축물 비율, 불투수면 비율, 녹지면적 비율까지 4개의 세부지표, 제3주성분에는 GRDP, 병상 수, 의사 인구, 보건복지사업체 수, 보건복지업종사자 인구, 인구만명당무더위쉼터 수까지 6개의 세부지표가 포함되었다. 그 다음, 엔트로피 가중치 산정 방법을 통해 산정된 가중치(Table 3)를 확인한 결과 제1주성분, 제2주성분, 제3주성분 순으로 높게 산정되었다.

본 연구에서는 제1주성분을 취약계층 지표, 제2주성분을 도시환경 지표, 제3주성분을 경제·복지 지표로 명명하였고, 각 지표에 포함된 세부지표별로 가중치를 곱한 후 더한 값과 지표별 가중 합으로 산정된 폭염 취약성 지수에 대한 공간분포를 10분위수로 구분하여 Figs. 1, 2에 나타냈다.

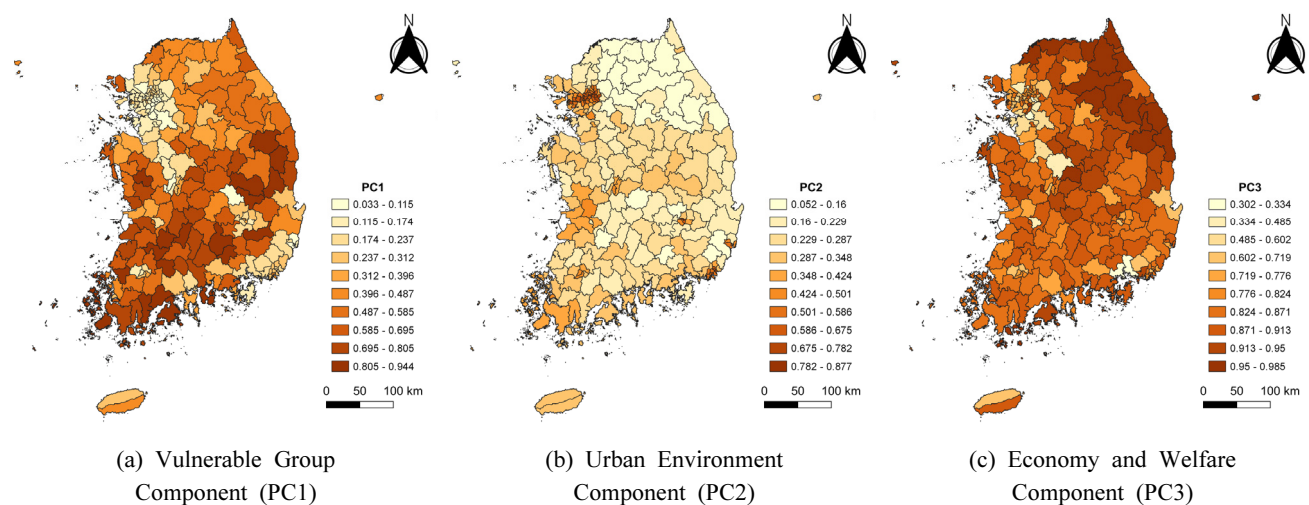
먼저, 취약계층 지표 값을 확인한 결과 전라남도(고흥군,

신안군, 진도군, 함평군 등)와 경상북도(의성군, 영양군, 청도군, 군위군 등), 경상남도(합천군, 남해군) 지역이 대체적으로 높은 값을 보였고, 서울특별시(서초구, 강남구, 송파구 등), 대전광역시 유성구, 경기도(과천시, 고양시 등), 충청남도 계룡시, 울산광역시 북구, 인천광역시 연수구 지역이 낮은 값을 보였다. 농림어업 종사자의 작업 환경은 다른 직업군과 대비해 상대적으로 고온에 노출되어 있고, 어린이와 고령자, 그리고 사회·경제적으로 열악한 환경에 노출된 사람들은 폭염과 같은 재난에 대한 회복력이 부족하다(Bae et al., 2020). 따라서 취약계층 지표 값이 높은 지역일수록 폭염 피해에 민감할 것으로 판단된다.

도시환경 지표 값을 확인한 결과 대구광역시(서구, 중구), 서울특별시(중구, 동대문구, 양천구, 영등포구, 송파구 등),

**Table 3.** Weights by Applying Entropy Method

Components	Factors	Weights
1) Vulnerable group component	Social vulnerable groups	0.077
	Health vulnerable groups	0.403
	Low education groups	0.112
	Agricultural and fishery groups	0.106
2) Urban environment component	Population density	0.045
	Old buildings	0.360
	Impervious areas	0.083
	Green areas	0.113
3) Economy and welfare component	GRDP	0.028
	Sickbeds	0.052
	Doctors	0.051
	Health and welfare companies	0.237
	Health and welfare workers	0.024
	Cooling centers	0.041



**Fig. 1.** Spatial Distribution of Each Principal Components

부산광역시(중구, 동구, 수영구 등) 지역이 높은 값을 보였으며, 강원도(인제군, 양양군, 정선군, 화천군 등), 경기도(가평군, 광주시, 포천시, 양평군 등), 충청북도 영동군, 경상남도(의령군, 양산시 등) 지역이 낮은 값을 보였다. 우리나라의 도시지역은 주거 난 해소를 목적으로 주택의 양적인 공급을 통해 성장하였기 때문에 도시화가 많이 진행된 지역은 인구

밀도가 높고 온도 상승에 민감하며, 노후건축물은 폭염 및 도시열섬현상에 취약하지만 기후변화에 대응하기 위한 대규모 정비 및 개발에 한계가 있다(Kim and Moon, 2016). 따라서 도시환경 지표 값이 높은 지역일수록 고밀도의 도시화 지역이거나 건축물의 노후화가 많이 진행된 곳으로 판단할 수 있다.

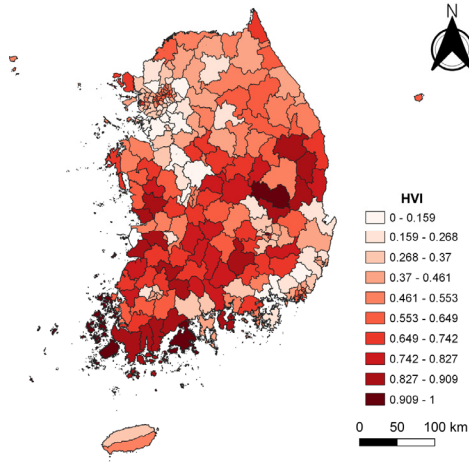


Fig. 2. Spatial Distribution of Heatwave Vulnerability Index in South Korea

경제·복지 지표 값을 확인한 결과 강원도(인제군, 고성군, 양양군, 평창군, 철원군 등), 충청남도 계룡시, 경상북도(울릉군, 봉화군 등) 지역의 값이 상대적으로 높고, 서울특별시(강남구, 송파구, 서초구 등), 경기도(수원시, 성남시, 고양시 등), 전라북도 전주시, 충청북도 청주시 지역의 값이 낮은 경향을 보였다. 폭염에 효과적으로 대응하기 위해서는 지역의 경제적 능력과 더불어 피해를 완화시키는 데 기여하는 의료복지 서비스, 무더위 쉼터 등이 중요한 역할을 한다(E. Kim et al., 2012; Choi et al., 2018). 따라서 본 연구에서 산정된 경제·지표 값의 양상을 확인했을 때 지표의 값이 낮은 지역이 대부분 경제력이 높고 의료복지 서비스가 잘 구축되어 있기 때문에 폭염에 대응할 수 있는 능력이 크다고 판단할 수 있다.

앞서 언급한 취약계층 지표, 도시환경 지표, 경제·복지 지표 값을 더해 폭염 취약성을 평가한 결과를 Table 4에 요약하였다. 광역시·도별 규모로 봤을 때 폭염 취약성 지수

Table 4. Regions with Highest and Lowest Heatwave Vulnerability Index

Case	Rank	Region (sigungu)	HVI	Rank	Region (sido)	HVI average
Highest	1	Jeollanam-do Goheung-gun	1.000	1	Jeollanam-do	0.722
	2	Busan Metropolitan City Jung-gu	0.995	2	Jeollabuk-do	0.688
	3	Jeollanam-do Shinan-gun	0.976	3	Gyeongsangnam-do	0.649
	4	Jeollanam-do Jindo-gun	0.951	4	Chungcheongnam-do	0.588
	5	Daegu Metropolitan City Seo-gu	0.936	5	Busan Metropolitan City	0.588
	6	Gyeongsangbuk-do Uiseong-gun	0.935	6	Chungcheongbuk-do	0.572
	7	Chungcheongnam-do Buyeo-gun	0.909	7	Gyeongsangbuk-do	0.567
	8	Gyeongsangnam-do Namhae-gun	0.905	8	Seoul Metropolitan Government	0.536
	9	Busan Metropolitan City Dong-gu	0.896	9	Daegu Metropolitan City	0.528
	10	Gyeongsangbuk-do Bonghwa-gun	0.888	10	Incheon Metropolitan City	0.513
Lowest	1	Gyeonggi-do Yongin-si	0.000	11	Gangwon-do	0.495
	2	Gyeonggi-do Seongnam-si	0.041	12	Jeju-do	0.431
	3	Gyeonggi-do Goyang-si	0.049	13	Gwangju Metropolitan City	0.368
	4	Gyeongsangnam-do Changwon-si	0.078	14	Daejeon Metropolitan City	0.364
	5	Gyeonggi-do Namyangju-si	0.116	15	Ulsan Metropolitan City	0.351
	6	Gyeonggi-do Hwaseong-si	0.120	16	Gyeonggi-do	0.298
	7	Chungcheongnam-do Cheonan-si	0.127	17	Sejong Special Self-Governing City	0.208
	8	Daejeon Metropolitan City Yuseong-gu	0.132			
	9	Gyeonggi-do Suwon-si	0.136			
	10	Chungcheongbuk-do Cheongju-si	0.144			

는 전라남도, 전라북도, 경상북도, 경상남도, 충청남도 순으로 높게 나타났으며, 시·군·구 규모로는 전라남도 고흥군, 부산광역시 중구, 전라남도 신안군, 진도군, 대구광역시 서구, 경상북도 의성군 순으로 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 폭염 취약성 지수가 높게 산정된 지역들은 전반적으로 경제·복지 지표 값이 높은 경향을 보였고, 이 중 도시화가 많이 진행 된 부산광역시 중구, 동구, 대구광역시 서구, 서울 특별시 중구 등의 경우 취약계층 지표에서는 상대적으로 낮지만 도시환경 지표에서는 높은 값을, 비도시 지역인 전라남도 고흥군, 신안군, 진도군, 완도군, 보성군, 경상북도 의성군, 봉화군, 청송군, 충청남도 부여군, 서천군, 청양군, 경상남도 남해군, 합천군, 전라북도 김제시, 순창군, 부안군 등은 취약계층 지표에서 높고 도시환경 지표에서 낮은 값을 보였다. 이를 통해 상대적으로 인구 밀도가 높고 노후화된 도시 지역 혹은 취약 인구가 많이 거주하는 비도시 지역이 의료·복지 인프라가 부족할 경우 폭염에 취약할 수 있다고 판단된다.

### 3.2 최근 폭염 피해와의 비교

본 연구에서는 질병관리청의 온열질환 감시체계를 통해 집계된 2019년, 2020년 온열질환자 통계와 연구를 통해 산정한 폭염 취약성 지수를 비교하였고, 인구 대비 피해가 컸던 지역을 Table 5에 나타냈다. 연구에 활용한 시·군·구

별 온열질환자 현황 자료는 질병관리청으로부터 제공받았으며, 2019년과 2020년 집계된 전체 온열질환자 수는 각각 1,841, 1,078명이다.

2019년 인구 만 명당 온열질환자가 1명이 넘는 지역은 51개 지역이었고, 이들 지역 대부분은 전라남·북도, 경상남·북도 등의 비도시 지역이었다. 피해가 컸던 상위 10개 지역의 평균 폭염 취약성 지수는 0.72가 산정되어 Fig. 2를 참고했을 때 7등급에 해당되었다. 2020년의 경우 인구 만 명당 온열질환자가 1명이 넘는 지역은 15개 지역으로 전년에 비해 피해는 적었으나, 이들 또한 비도시 지역이었고 상위 10개 지역의 평균 폭염 취약성 지수는 0.69로 높은 수치를 보였다. 전반적인 경향을 비교한 결과 폭염 취약성 지수가 높은 지역이 낮은 지역에 비해 피해 정도가 크기 때문에 본 연구의 결과가 유의미하다고 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 기존 연구 결과를 바탕으로 폭염 취약성과 관련이 있는 세부지표들을 도출하였고, 주성분 분석 및 엔트로피 가중치 산정 방법을 활용하여 폭염 취약성 지수를 산정하는 것을 목표로 하였다. 본 연구를 통해 우리나라의 폭염 취약성 평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

**Table 5.** 10 Regions with High Number of Thermal Patients Compared to Population in 2019 and 2020

Period	Rank	Region (sigungu)	Thermal patients (per 10,000 people)	HVI
2019	1	Chungcheongbuk-do Boeun-gun	6.68	<b>0.817</b>
	2	Gangwon-do Hwacheon-gun	6.02	0.440
	3	Jeollanam-do Gurye-gun	4.89	<b>0.825</b>
	4	Gangwon-do Yanggu-gun	4.39	0.489
	5	Jeollanam-do Hampyeong-gun	3.35	<b>0.812</b>
	6	Gyeongsangbuk-do Cheongsong-gun	3.15	<b>0.878</b>
	7	Chungcheongnam-do Yesan-gun	2.78	<b>0.733</b>
	8	Jeollanam-do Boseong-gun	2.41	<b>0.878</b>
	9	Chungcheonbuk-do Jincheon-gun	2.30	<b>0.700</b>
	10	Gyeonggi-do Yeoncheon-gun	2.28	0.601
2020	1	Jeollanam-do Gurye-gun	3.29	<b>0.825</b>
	2	Gyeongsangbuk-do Cheongsong-gun	3.09	<b>0.878</b>
	3	Jeollabuk-do Jinan-gun	2.66	<b>0.769</b>
	4	Gyeongsangbuk-do Yecheon-gun	2.04	<b>0.789</b>
	5	Gangwon-do Cheorwon-gun	1.70	0.517
	6	Jeollanam-do Gokseong-gun	1.33	<b>0.838</b>
	7	Jeollabuk-do Jeongeup-si	1.31	0.698
	8	Gangwon-do Yanggu-gun	1.27	0.489
	9	Jeollanam-do Gwangyang-si	1.20	0.370
	10	Gyeongsangnam-do Miryang-si	1.19	<b>0.727</b>

폭염 취약성에 가장 큰 영향을 보이는 대표 지표는 취약계층 지표로, 폭염에 취약한 인구가 많이 거주하는 전라남도과 전라북도, 경상남도, 경상북도의 비도시 지역이 전반적으로 높은 폭염 취약성 지수 값을 가졌다. 또한, 상대적으로 도시화가 많이 진행된 지역이더라도 인구밀도가 높고 노후건축물이 많은 지역들은 높은 값의 취약성 지수가 산정되었다. 따라서 폭염 대응 대책을 수립하는 과정에서 각 지역의 특성에 맞는 지표들을 고려한다면 지자체별 폭염 피해와 취약 정도를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 통계적인 방법을 통해 폭염 취약성을 산정하였기 때문에 기존의 연구들에 비해 객관성을 확보하였는데 의의가 있으며, 추후 기후 요인을 활용해 폭염 노출, 위해 등을 추가적으로 고려하는 연구가 진행된다면 현행보다 개선된 시·군·구별 폭염 위험도 또한 산정할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 폭염 피해 저감 및 대응 대책 마련을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난안전 취약핵심역량 도약기술 개발 사업(2020-MOIS33-006)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- Bae, M.-K., Kim, B.-E., and Lee, C.-Y. (2020). Analysis on the spatial relationship between the residential area of the vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol. 28, No. 3, pp. 243-280.
- Choi, Y.S., Kim, J.W., and 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.*, Vol. 53, No. 7, pp. 87-107.
- Gyeonggi Research Institute (GRI). (2009). *A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-Do*.
- Ha, J., Park, H., and Chung, G. (2019). Snow vulnerability analysis in Jeolla-do, South Korea using entropy theory. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 5, pp. 263-271.
- Hwang, B., Lee, J., Kim, D., and Kim, J. (2021). A study on the use of grid-based spatial information for response to typhoons. *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 17, No. 1, pp. 25-38.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Joo, H., Lee, M., Choi, C., Kim, S., and Kim, H.S. (2018). A study on the selection of representative indicators of flood vulnerability assessment. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 355-346.
- Kim, C.-H., Kim, E.-H., Song, C.-K., Hong, Y., Yoo, J., and Hong, S.-C. (2011). A review of studies on vulnerability indicator for the climate change adaptation over South Korea. *J. Environ. Sci. Int.*, Vol. 20, No. 6, pp. 789-798.
- Kim, D., Kim, Y.-O., Jee, H.W., and Kang, T.-H. (2020). Development of index for flood risk assessment on national scale and future outlook. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 53, No. 5, pp. 323-336.
- Kim, E., Jeon, S.-W., Lee, J.-W., Park, Y.-H., and Lee, D.-K. (2012). Local adaptation plan to climate change impact in Seoul: Focused on heat wave effects. *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 21, No. 1, pp. 71-80.
- Kim, H.S., Park, G.J., Kim, S.D., Choi, M.H., Park, M.J., and Yoon, J.Y. (2012). Assessment of flood vulnerability considering climate change and large-scale river restoration project. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 12, No. 2, pp. 107-113.
- Kim, J.E., Park, J.Y., Lee, J.-H., and Kim, T.-W. (2019). Socioeconomic vulnerability assessment of drought using principal component analysis and entropy method. *J. Korea Water Resour. Assoc.*, Vol. 52, No. 6, pp. 441-449.
- Kim, J.-S., and Kim, H.-Y. (2020). Analysis on the characteristics of heat wave vulnerable areas using Landsat 8 data and vulnerability assessment analysis. *J. Korean Assoc. Geo. Inf. Stud.*, Vol. 23, No. 1, pp. 1-14.
- Kim, K., Park, B.-C., Heo, J., Kang, J.Y., and Lee, I. (2020). Assessment of heat wave vulnerability in Busan using the IPCC climate change vulnerability assessment framework. *Korea Spat. Plan. Rev.*, Vol. 104, pp. 23-38.
- Kim, M.-Y., and Moon, E.-S. (2016). The research of planning method of adaption for old residential neighborhoods according to heat wave and urban heat-island phenomena. *KIEAE Journal*, Vol. 16, No. 4, pp. 31-39.
- Koo, Y., Kim, J., Kim, J., and Lee, S. (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.*, Vol. 27, No. 5, pp. 331-348.
- Korea Environment Institute (KEI). (2012). *Green infrastructure strategy for urban climate adaptation*.



- Korea Environment Institute (KEI). (2020). *2020 Heat wave impact report*. (한국환경정책·평가연구원 (2020). 2020 폭염영향 보고서).
- Korea Meteorological Institute (KMI). (2021). *Development of hazard impact model for heat wave*. (한국기상산업기술원 (2021). 폭염 분야 재해영향모델 개발 최종보고서.)
- Korea Research Institute for Human Settlements (KRIHS). (2012). *A study on the development of climate change adaptation city*. (국토연구원 (2012). 기후변화 적응도시 조성방안 연구.)
- Lee, G., and Cha, J. (2019). A study on identification of the heat vulnerability area - Case study in Chungcheongnamdo. *J. Korean Soc. Rural Plan.*, Vol. 25, No. 1, pp. 67-74.
- Lee, S., Choi, Y., and Yi, J. (2020). Urban flood vulnerability assessment using the entropy weight method. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 6, pp. 389-397.
- Lee, S.-H., Kang, J.E., Bae, H.J., and Yoon, D.K. (2015). Vulnerability assessment of the air pollution using entropy weights: Focused on ozone. *J. Korean Assoc. Reg. Geogr.*, Vol. 21, No. 4, pp. 751-763.
- Lee, T.-K. (2017). *A study on improvement of climate change vulnerability index focused on heat wave*. Master's thesis, Sejong University, Seoul, Korea.
- Lee, W.-J., Kang, J.-E., and Kim, Y.-K. (2013). The impact of environmental health factors on extreme-heat vulnerability assessment in a metropolitan city. *J. Environ. Health Sci.*, Vol. 39, No. 6, pp. 492-504.
- Macnee, R.G.D., and Tokai, A. (2016). Heat wave vulnerability and exposure mapping for Osaka City, Japan. *Environ. Syst. Decis.*, Vol. 36, pp. 368-376.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2019). *2018 statistical yearbook of natural disaster*. (행정안전부 (2019). 2018 재해연보.)
- National Disaster Management Institute (NDMI). (2012). *A Study on Improvement of Response and Legislation on Heat Wave*.
- Nayak, S.G., Shrestha, S., Kinney, P.L., Ross, Z., Sheridan, S.C., Pantea, C.I., et al. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health*, Vol. 161, pp. 127-137.
- Park, J.E., Heo, B.Y., and Sunwoo, Y. (2016). A study on human damage due to heat wave by region. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 1, pp. 103-109.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, No. 3, pp. 379-423.
- The Government of the Republic of Korea. (2019). *2018 abnormal climate report*. (관계부처합동 (2019). 2018년 이상기후 보고서.)
- United Nations Development Programme (UNDP). (2005). *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wolf, T., and McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather Clim. Extrem.* Vol. 1, pp. 59-68.

---

<b>Received</b>	August 30, 2021
<b>Revised</b>	September 1, 2021
<b>Accepted</b>	September 8, 2021