

# 기후불평등의 공간적 평가: 서울시 홍수재해를 대상으로

박지수\* · 임철희\*\*†

\*국민대학교 행정학과 학사과정학생, \*\*국민대학교 교양대학 조교수

## Spatial assessment of climate inequality: Focusing on flooding in Seoul

Park, Ji-Su\* and Lim, Chul-Hee\*\*†

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

\*\*Assistant Professor, College of General Education, Kookmin University, Seoul, Korea

### ABSTRACT

With climate change, the risk of climate-related disasters has increased, and the extent of this risk varies depending on social and economic conditions. In South Korea, climate inequality was highlighted through the concentrated heavy rainfall in the central region in August 2022, which resulted in significant casualties and property damage among vulnerable populations. Given the need to consider vulnerable groups who struggle to adapt to anticipated climate crisis situations and to reduce disparities among groups, this study aims to spatially identify flood inequality in Seoul to contribute to tailored policies for the region. The evaluation of inequality includes factors such as extreme precipitation data, socially vulnerable populations, and vulnerable residential areas. It also incorporates greenhouse gas emissions, which are the cause of climate change, to examine the correlation between high greenhouse gas emitting groups and groups with high climate risk. All the information was implemented as spatial data at the administrative district level for spatial analysis. The analysis results revealed a concentration of socially vulnerable populations in the northern region of Seoul. Therefore, it is necessary to improve the residential environment or expand infrastructure for the vulnerable in this and other such areas. Flood-prone areas are widely distributed in the south, requiring policies on flood prevention and safety. Overall, the western region of Seoul showed higher inequality. This analysis identified the degree and characteristics of inequality in different regions, highlighting the need for follow-up studies to establish practical policies through integration with climate adaptation strategies.

*Key words: Climate Change, Flood Inequality, Spatial Analysis, Vulnerability, Greenhouse Gas Emissions*

## 1. 서론

지구의 평균기온 상승에 따라 기후재해가 빈번하게 발생하고 있다(Park, 2022). 기후변화는 생태계를 비롯한 사회 전반에 부정적인 영향을 미치며(IPCC, 2022), ‘기후위기’라는 표현을 확산하였다(Park, 2021). 주목할 점은 기후위기로 인한 물리적, 경제적 영향이 전세계적으로 균일하게 작용하지 않는다는 것이다(Krusell and Smith, 2022). 기후재해로 인한 피해 정도는 인종과 소득 등에 따

라 다르게 나타나며(Schor, 2015), 이를 통해 ‘기후불평등’을 확인할 수 있다. 기후변화의 대표적인 원인인 온실가스는(IPCC, 2022), 기후불평등을 설명하는 요인 중 하나이다(Chancel, 2022). Kartha et al. (2020)과 Chancel (2022)에 따르면, 소득수준 상위 10%에 해당하는 부유 계층이 소득수준 하위 50%에 해당하는 계층보다 훨씬 많은 탄소를 배출하고 있다. 그러나 경제적으로 부유한 집단은 상대적으로 기후변화에 취약하지 않다.

기후변화 취약성은 여러 가지 환경적 요인과 사회·경제

†Corresponding author : [clim@kookmin.ac.kr](mailto:clim@kookmin.ac.kr) (77 Jeongneung-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02707, Korea. Tel. +82-2-910-6569)

ORCID 박지수 0009-0007-1708-422X

임철희 0000-0001-7752-0694

적 불평등 요인이 복합적으로 맞물려 결정되며(Lim and Lee, 2022), 취약성이 높을수록 기후적응 능력이 떨어짐을 의미한다. 기후변화에 관한 정부 간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)에서는 기후적응 능력의 차이를 효과적으로 설명하기 위해 취약성(Vulnerability), 노출성(Exposure), 위해성(Hazard)의 세 가지 개념을 바탕으로 ‘기후리스크(Risk)’를 구성하였으며, 기후리스크가 큰 집단일수록 기후적응 능력이 떨어진다고 볼 수 있다. 취약성, 노출성, 위해성에 따라 연령, 성별, 민족성, 소득수준, 기후재해의 빈도 등의 여러 하위 항목이 포함되는데, 이는 다양한 공간 수준에서 차이를 보이기 때문에(IPCC, 2022), 각 항목의 공간분포를 통해 기후불평등을 시각화할 수 있다.

많은 연구를 통해 사회·경제적으로 취약한 집단일수록 기후위기로 인한 위험성이 크다는 사실이 입증되었으며(Choi et al., 2018; Kim et al., 2023), 기후위기는 사회·경제적 취약 요인들을 더욱 악화하는 경향이 있다(Thomas et al., 2018). 즉, 사회·경제적 불평등과 기후불평등 간 존재하는 상관성에 따라(IPCC, 2022) 악순환이 발생한다. 불평등의 악순환을 끊기 위해서는 사회·경제적 불평등 요인 중 기후위기에 취약할 것으로 예상되는 요인을 사전에 탐지하고 예방하려는 노력이 필요하다.

여러 이상 기후 현상 중에서도 홍수는 전세계적으로 빈번하게 발생하며 심각한 인명피해와 재산피해를 유발한다(EM-DAT, 2020; Lim and Choi, 2020). 한국의 경우 태풍을 동반한 홍수가 매년 발생하고 있으며, 도시화가 빠르게 진행되면서 불투수면적이 증가하여 도시지역의 홍수의 위험성이 커지고 있다(Kim and Lee, 2022). 2022년 한국 중부지방에 발생한 집중호우는 홍수의 위험성을 경각하는 계기가 되었으며 반지하나 컨테이너 등에서 거주하는 거주 취약계층에게 피해가 집중되었다는 점에서 기후불평등을 드러냈다. 거주 취약계층 이외에도 거동이 불편한 노인이나 장애인 등의 사회 취약계층이 실질적으로 풍수해에 더 노출되어있기 때문에(Seo and Han, 2019), 지역별 홍수재해 위험성의 정도와 특성을 사전에 파악하고 맞춤형 대응을 마련해야 한다.

본 연구에서는 한국 내에서도 도시밀도가 높고 거주 취약계층인 반지하 가구가 많이 분포하고 있는 서울특별시 426개 행정동을 대상으로 평가 항목을 구성하여 홍수불평등을 공간적으로 규명하고자 한다. 평가 항목은 IPCC의 기후리스크 개념과 선행연구를 참고하여 구성하였으며, 기후변화의 원인이 되는 온실가스 배출량을 포함하였다.

평가를 통해 사회·경제적으로 취약함을 의미하는 기후불평등 지수가 높은 지역, 침수에 취약함을 의미하는 홍수리스크 지수가 높은 지역, 이 둘을 종합한 홍수불평등 지수가 높은 지역을 각각 도출하여 지역별 홍수 위험성의 성격과 정도를 규명하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1. 기후위기와 불평등

기후위험성과 적응능력은 여러 자연적 요인과 사회·경제적 요인에 따라 차이를 보이며, 시간과 공간에 따라 다르다(Krusell and Smith, 2022; Lim and Kim, 2022). 기후재해로 인한 피해는 기후적응 능력이 낮은 사람들에게 집중되는데(Thomas et al., 2018) 그 예시로 2012년 뉴욕에서 발생하여 많은 사망자를 낳은 허리케인 샌디는 의료 시설과 교통수단에 대한 접근이 부족한 노인들에게 집중적으로 피해를 입혔다(Thomas et al., 2018). 이처럼 자연재해로 인한 피해가 특정 취약계층에 집중되어 발생한다면 이는 사회 구조적인 문제로 인식될 필요성이 있다(Seo and Han, 2019).

기후위기의 원인으로는 온실가스 배출이 대표적인 한편, 기후 위험성에 해당하는 요인에는 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 이를 정의하기 위해 IPCC가 제시한 기후리스크(Risk) 개념을 활용하였다. 기후리스크는 기후변화가 유발하는 각종 부정적인 결과에 대한 잠재성을 나타내며 그 정도가 클수록 기후적응 능력은 낮다고 해석할 수 있다(IPCC, 2022).

기후리스크는 취약성(Vulnerability), 노출성(Exposure), 위해성(Hazards)의 세 가지 개념으로 구성되어있다. 먼저 취약성은 부정적인 영향을 받을 수 있는 경향을 의미하며, 주로 인구통계학적 특성과 관련된 변수를 포함한다(IPCC, 2022). 노출성은 사회·경제적 요인인 인프라 또는 문화 등과 관련된 변수를 포함한다(IPCC, 2022). 위해성의 경우 자연이나 인간에 의한 물리적인 사건의 잠재적인 발생으로 정의되는데 관련 연구에서는 주로 기상재해의 빈도, 강도 등의 수치가 변수로써 활용된다. Kim et al. (2021)은 IPCC의 기후리스크 개념을 통해 평가 항목을 구성하여 한국의 시군구를 대상으로 폭염에 취약한 상위 15%의 지역을 도출하였다. Kim et al. (2020)에서도 대한민국의 시군구를 대상으로 홍수 위험도를 파악하기 위해 IPCC의 Risk를 통해 평가 체계를 구성하여 2030년, 2050년, 2080년의

홍수 위험 지역 공간분포를 각각 제시하였다.

## 2.2. 기후불평등 평가

환경으로 인한 이익과 위험의 불평등한 결과에 관한 연구는 활발히 수행되어 온 것에 비해 환경 파괴의 원인에 방점을 둔 불평등 연구는 현저히 적다(Schor, 2015). 한국에서도 주로 기후불평등 연구의 일환으로 전자에 초점을 맞추어 기후 취약성 평가를 통해 기후에 취약한 요소들이 많은 지역을 도출하고 있다. Seo and Han (2019)은 제주 특별자치도를 대상으로 침수 취약 지역과 사회·경제적 취약계층의 분포를 파악하고 이들의 공간적 자기상관성을 검증하였다. 공간적 자기상관분석 방식으로는 Moran's I 지수가 대표적인데(Seo and Han, 2019), 불평등 요소에 대한 군집을 먼저 파악하고 공간적 의존성이 있는지를 살펴보는 방식이다. Bae et al. (2020)에서는 연구자가 설정한 경제적 취약성 변수를 중첩하여 지역별로 취약 지수를 매기고 Jenks natural breaks classification(7단계)를 통해 공간분포를 제시하였다. 최종적으로는 폭염위험성과 경제적 취약성 간의 공간적 자기상관성 분석을 통해 폭염 위험이 높은 지역에서 경제적 취약성도 높다는 사실을 도출하고 이를 기반으로 기후불평등 지역을 파악하였다.

환경 파괴 원인에서의 불평등이 환경 결과에 중요한 영향을 미치는 만큼(Marinucci and Ivanovski, 2023; Schor, 2015) 기후불평등 평가에 기후변화의 원인과 결과를 동시에 반영할 필요성이 있다. 온실가스 배출을 적게 한다고 해서 기후변화 취약성이 낮지 않으며, 오히려 기후변화 취약성이 낮다고 여겨지는 사회·경제적 부유집단이 전체 온실가스 배출량의 대부분을 차지한다는 연구 결과가 존재한다(Chancel, 2022; Kartha et al., 2020). 따라서 본 연구는 기존의 선행연구를 참고하며 온실가스 배출량을 평가 과정에 포함하였다. 결과적으로 온실가스 배출량이 적은 것에 비해 기후변화에 취약한 정도가 크다면, 기후불평등으로 정의할 수 있다.

홍수는 단기간에 집중적인 피해를 발생하는 경향이 있으며, 자산피해와 인명피해가 가장 큰 기후재해이므로(Lim and Choi, 2020), 효율적인 대응체계가 필수적이다. 한국 역시 홍수의 영향을 받는 곳으로 홍수 취약성 평가를 통해 불평등한 지역을 도출하는 연구가 활발히 수행되어 왔다. Kim and Lee (2022)에서는 서울시 25개 행정자치구를 대상으로 홍수 취약성과 홍수피해잠재능 지수를 PCD 매트릭스를 통해 비교 분석하였다. Kim and Hong (2021)

에서는 강우 강도와 홍수피해 규모에 따라 홍수피해를 4가지로 나누고, 각 특성에 따른 대표지역을 선정하여 지역별 홍수회복력을 측정하였다. Song et al. (2020)은 대구광역시를 대상으로 홍수에 취약하다고 판단되는 여러 변수를 종합하여 지역별 불평등 특성을 파악할 수 있는 홍수 취약성 평가를 진행하였다. Kim and Kim (2021)에서는 취약계층을 5개로 나누고 취약계층 간의 상관관계와 취약계층별 상관관계가 있는 취약요인을 도출하였다.

홍수로 인한 침수피해는 거주 환경의 영향을 많이 받으며 주거형태에 따라 위험 정도가 다르다. 도시화는 홍수피해를 악화하는 환경요인으로 볼 수 있는데 Feng et al. (2021)에서는 도시화로 인해 홍수 발생 시 범람으로 인한 침수면적과 침수심이 증가함을 증명하였다. Ha and Jung (2017)에서는 도시화에 따른 불투수면적의 증가가 도시홍수피해를 증가시킴을 입증하였다. 강우강도가 유사한 동일 지역 내에서 침수가 발생한다면 고층 아파트에 거주하는 집단에 비해 반지하에 거주하는 집단의 피해가 클 수밖에 없어 불평등하다. 거주 환경이 열악한 집단의 경우 사회·경제적으로도 취약한 요인을 많이 포함할 수 있는데, Seo and Han (2019)에서 제주도의 침수 취약지역과 사회적 취약계층 간의 공간적 상관성을 분석하여 이를 입증하였다. Lee (2020)에서는 건물을 기준으로 용적률, 지하층 수, 사용기간 등의 변수를 통해 홍수 취약지역 도출하는 모델을 제시하였다.

## 3. 연구 방법

### 3.1. 연구 대상지

본 연구는 서울특별시 426개 행정동을 대상으로 진행되었다. 한국의 중부지방에 해당하는 서울은 앞선 2011년, 2018년, 2020년에 상당한 홍수피해 기록이 있으며 도시화로 인해 도로 면적이 넓고 인구와 인프라가 밀집해 있어 피해 발생 규모가 클 것으로 보인다. 또한, 반지하 가구가 많아 침수에 취약할 것으로 예상되는 지역이다(Fig. 1). 서울특별시 기본통계에 따르면 2015년도 기준 서울시 불투수면적은 전체면적의 약 48.97%로 전체면적의 절반 수준이며, 도시화가 진행됨에 따라 더욱 늘어날 것으로 전망한다. 홍수로 인한 침수 가구의 경우 2011년도에는 14,851세대, 2018년도에는 1,465세대로 적지 않다. 서울시에는 침수에 취약한 반지하 가구가 많이 분포하고 있는데, 2020 인구주택 총조사에 따르면 전체 반지하 가구의

약 61%가 서울시에 분포하고 있으며, 전체 가구 대비 반 지하 가구 비율은 5%로 전국에서 가장 높았다. 위 통계에 기반하여 서울특별시를 연구 대상지로 선정하였으며, 맞춤형 정책에 효과적으로 기여하기 위해 연구에 활용된 데이터들이 분류되는 최소 단위인 행정동을 기준 삼아 가능한 세밀하게 분석하고자 하였다.

### 3.2. 연구지표 선정

연구지표는 크게 기후리스크(Risk), 기후변화를 유발하는 원인(CC, Cause of climate change), 기후변화로 인한 영향

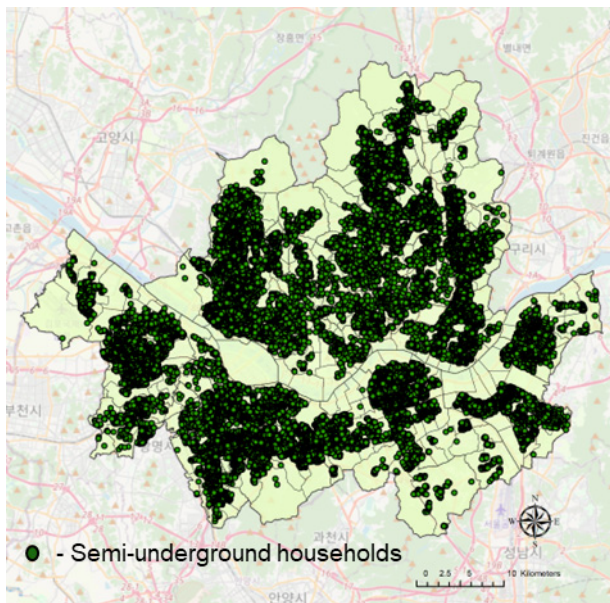


Fig. 1. Semi-underground households in the Seoul

(IC, Impact of climate change)으로 분류하였다. 기후리스크의 경우 홍수에 위험한 특성 및 정도를 파악하기 위해 구성된 지표로 IPCC의 기후리스크 개념에 따라 (Vulnerability), 노출성(Exposure), 위해성(Hazard)에 적절한 변수를 선정하였다(Table 1). 인구통계학적 특징을 포함하는 취약성의 경우 Seo and Han (2019)에서 활용한 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」과 Bae et al. (2020)를 참고하여 65세 이상 노인 및 5세 미만 어린이 인구, 장애인, 기초수급권자를 활용하였다. 노출성의 경우 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」에서 홍수에 취약한 건축물로 분류된 노후단독 주택 및 반지하주택 중 대상지의 특성을 반영하여 반지하주택을 변수로 선정하였다. 반지하 데이터는 서울시 건축물대장 표제부 및 층별개요를 통해 지하에 해당하는 주택을 선별하여 활용하였다. 위해성에는 기후정보에 해당하는 변수를 포함할 수 있는데(Kim, 2021), 2000년 이후 서울에서 가장 침수피해가 크게 나타났던 2010년과 2011년의 기후데이터를 수집하고 두 해의 평균값으로 변수를 마련했다. 기후데이터는 기상청 기후정보포털에서 제공하는 과거 극한기후지수 정보(MK-PRISM) 중, 극한강수에 해당하는 RX5DAY(5일최대강수량), SDII(강수강도), RAIN80(호우일수)가 활용되었다.

CC와 IC는 각각 기후리스크와의 관계성을 살펴보기 위해 구성된 지표이다. CC는 사회·경제적으로 홍수 위험군에 속하는 계층이 기후변화의 원인인 온실가스 배출량과 어떤 관계가 있는지 살펴보기 위해 설정하였으며, 본 연구에서는 대표성을 고려하여 탄소배출량으로 표기한다. 탄소배출량의 경우 읍면동 단위에서 적절하게 집계된 데이터가 없는 관계로 서울특별시 에너지 정보 포털에서 제

Table 1. Variables description of the data used for analyze

Category	Variables	Code	Range	Year	
Vulnerability	Number of 65-and-order population	V <sub>1</sub>	97-8,301	2020	
	Number of under the age of 5 population	V <sub>2</sub>	0-2,211	2020	
	Number of basic living support recipients	V <sub>3</sub>	0-5,485	2020	
	Number of the population of the disabled	V <sub>4</sub>	3-3,827	2020	
Risk	Exposure	Number of semi-underground households	E <sub>1</sub>	0-1,173	2020
	Hazard	RX5DAY	H <sub>1</sub>	3.01-5.08	2010-2011
		SDII	H <sub>2</sub>	20.18-23.15	2010-2011
	RAIN80	H <sub>3</sub>	317.76-435.45	2010-2011	
Cause of climate change	Carbon emissions	CC	0.00-6.04	2020	
Impact of climate change	Flooded area	IC	0-744951	2006-2020	

공하는 가정당 전력 사용량을 통해 산정된 탄소배출량을 1인당 배출량으로 환산하여 활용하였다. IC는 강수량이 많은 지역이 실제 침수가 많은 지역과 관계성이 있는지 파악하기 위해 지표로 구성하였으며 국민재난안전포털이 제공하는 침수흔적도에서 누적 침수면적 데이터를 변수로 활용하였다. 해당 데이터는 2006년도부터 2020년도까지 누적 침수면적을 보여주며 대부분의 침수기록이 2010년도와 2011년도인 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 이후 설명의 편의를 위해 침수면적으로 표기한다.

### 3.3. 분석 방법

홍수불평등 평가는 사회·경제적 불평등에 해당하는 기후불평등 지수와 홍수재해의 위험 특징에 해당하는 홍수리스크 지수를 합산한 홍수불평등 지수를 통해 진행되었다. 기후불평등 지수와 홍수리스크 지수의 구체적인 평가 방식은 피어슨 상관 분석(PCC, Pearson Correlation Coefficient)을 통해 변수 간 상관관계를 파악하고 이를 기반으로 마련하였다. 사회·경제적 요인에 해당하는 취약성, 노출성과 CC 간의 상관관계(Table 2)를 통해 Eq. (1)을 설계하였으며 홍수재해의 특성에 해당하는 위해성과 IC 간의 상관관계(Table 3)를 통해 Eq. (2)를 설계하였다. Eq. (3)은 두 결과를 합한 식이다. 식을 설계할 때는 Huynh et al. (2020), Song et al. (2020), Yun et al. (2013) 등의 연구를 참고하였다.

Eq. (1)은 기후불평등 지수(CI, Climate Inequality)를 도

Table 2. Pearson correlation coefficient for CI

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>	CC
V <sub>1</sub>	1					
V <sub>2</sub>	0.374**	1				
V <sub>3</sub>	0.461**	0.144**	1			
V <sub>4</sub>	0.570**	0.421**	0.883**	1		
E <sub>1</sub>	0.268**	0.110*	0.162**	0.136**	1	
CC	-0.279**	-0.234**	-0.191**	-0.267**	-0.154**	1

\*p<.05, \*\*p<.01

Table 3. Pearson correlation coefficient for FR

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	IC
H <sub>1</sub>	1			
H <sub>2</sub>	0.363**	1		
H <sub>3</sub>	0.341**	0.243**	1	
IC	-0.100*	0.018	-0.074	1

\*p<.05, \*\*p<.01

출하기 위한 식으로 사회·경제적 위험성을 나타내는 변수 중에서 탄소배출량과 음의 상관관계가 있는 변수를 활용하였다. 계산에 활용된 변수는 동일 가중치를 주기 위해 Min-Max 방식을 통해 정규화하였다. CI의 크기가 클수록 기후 위험성은 높지만 탄소배출량은 적은 지역에 해당한다. Eq. (2)는 홍수리스크 지수(FR, Flood Risk)를 산정하기 위한 식으로, 계산된 값이 클수록 강우강도에 비해 침수면적이 큰 것을 의미한다. Eq. (2)를 계산하는 과정에서 분모에 0이 들어가는 경우를 방지하기 위해 데이터 정규화는 진행하지 않았다. MIN-MAX를 1과 2사이 값으로 지정하여 정규화하는 방법이 있으나, 침수면적이 없어도 강수량이 적으면 취약지역으로 분류되는 문제가 발생하여 활용하지 않았다. 데이터를 정규화하지 않고 계산을 진행한 결과 대상지의 강우강도 편차가 크지 않아 유사 강수량 대비 침수면적을 파악하기 적합하였으며 침수면적이 0인 지역을 홍수리스크가 낮은 지역으로 분류해내기에 가장 적절하였다. 최종적으로는 Eq. (3)과 같이 정규화한 CI와 FR을 합산하여 지역별로 홍수불평등 지수(FI, Flood Inequality)를 산정하였으며 분포를 통해 홍수불평등 지역을 도출하였다. 지역별 CI, FR, FI 지수는 Natural Break Classification 기법을 통해 ‘매우 높음(Very High)’, ‘높음(High)’, ‘보통(Medium)’, ‘낮음(Low)’, ‘매우낮음(Very Low)’으로 분류하였다.

$$CI = (V_n + E_1) - CC \tag{1}$$

$$FR = \frac{IC}{H} \tag{2}$$

$$FI = CI + FR \tag{3}$$

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 지표별 관계성 분석 및 분포

사회·경제적 위험성을 의미하는 취약성 및 노출성에 해당하는 변수와 탄소배출량 간의 상관관계를 살펴본 결과 변수 65세 이상 노인인구(V<sub>1</sub>), 5세 미만 어린이 인구(V<sub>2</sub>), 장애인구(V<sub>3</sub>), 기초수급권자 수(V<sub>4</sub>), 반지하 가구수(E<sub>1</sub>)가 각각 탄소배출량과 유의확률 p=0.01에서 음의 상관관계를 보였다. 따라서 지역별로 사회·경제적 위험 요인인 V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, E<sub>1</sub>는 많지만 탄소배출량이 적은 정도를 파악하기 위해 Eq. (1)을 설계하였다. Eq. (1)을 통해 산정된



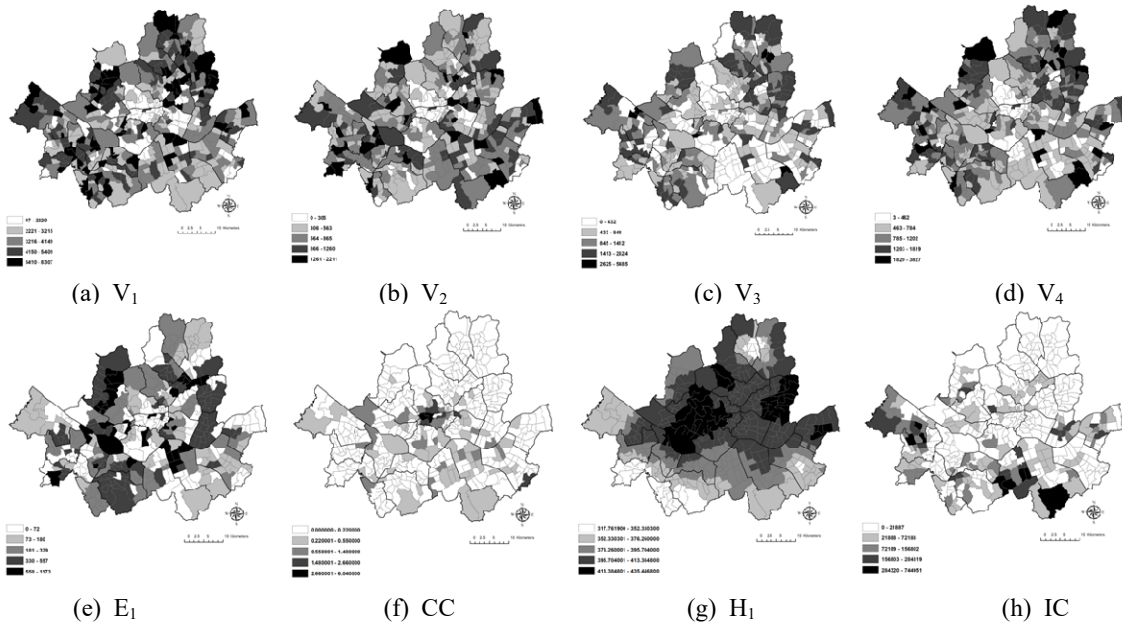


Fig. 2. Spatial distribution of each variables in study area

CI 지수가 높을수록 기후불평등 지역에 해당한다.

위해성에 해당하는 변수와 침수면적 간의 상관관계를 분석한 결과 5일최대강수량( $H_1$ )이 침수면적과 유의확률  $p=0.05$ 에서 음의 상관관계를 보였다(Table 3). 이에 5일최대강수량 대비 침수면적이 많은 지역을 파악하고자 Eq. (2)를 도출하였다. Eq. (2)를 통해 산정된 FR 지수는 강수량이 적고 침수면적이 클수록 높게 나타나며, 침수면적이 없는 경우  $FR = 0$ 이 된다. 즉, FR 지수가 높다면 홍수리스크 지역에 해당한다.

Eq. (1)과 Eq. (2)에 활용한 변수의 공간분포를 살펴본 결과 65세 이상 노인의 경우 은평구 노원구 등의 서울 북부와 강서구 등의 서부에 많이 분포하며, 서울의 중심인 중구와 종로구는 상대적으로 적은 경향이 있다. 5세 미만 어린이의 경우 특정 권역이나 자치구에 집중되지 않았다. 기초수급권자의 경우 강남구, 송파구 등의 서울 남부 권역에 비해 노원구 등의 서울 북부에 많이 분포하고 있다. 장애인 역시 남부대비 북부에 주로 분포하며 5세 미만 어린이와 마찬가지로 은평구 진관동에서 높게 나타났다. 반지하 가구의 경우 은평구 일대와 남서 권역의 영등포구 및 관악구 일대에서 높게 나타났다. 탄소배출량의 경우 전체적으로 편차가 크지 않았으나 서울 중심에 있는 중구와 종로구에서 높게 나타나는 것을 확인하였다. 서울의 남쪽 경계에 있는 지역은 강수량에 비해 침수면적이 넓게

형성된 것으로 보이며 홍수리스크가 높을 것으로 예상할 수 있다(Fig. 2).

#### 4.2. 기후불평등 평가

기후불평등 지수(CI)를 산정한 결과 은평구 역촌동, 강서구 등촌3동, 노원구 중계2,3동이 가장 높았으며 주로 은평구에 ‘매우 높음’에 해당하는 행정동이 많이 분포하는 모습을 확인할 수 있다(Fig. 3). 기초지자체 단위에서는 은평구의 평균이 가장 높고 중랑구와 강남구의 평균이 다음으로 높았다(Table 4). 표준편차는 중구에서 특히 높게 나타났다.

CI 지수가 가장 높은 1위 지역과 3위 지역에 해당하는 강서구 등촌3동과 노원구 중계2,3동의 경우 세부 데이터를 살펴본 결과 65세 이상 노인인구, 장애인구, 기초생활수급권자가 많이 분포하는 것을 확인하였다. 특히 강서구 등촌3동의 경우 장애인구와 기초수급권자수가 전체 행정동 중에서 가장 많은 것으로 나타났다. 따라서 장애인과 기초생활수급권자에 초점을 맞춘 기후 적응 정책이 필요하다. CI 지수 2위 지역에 해당하는 은평구 역촌동의 경우 65세 이상 노인 인구와 함께 반지하 가구가 많이 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 기후 적응 정책 주요 대상을 노인과 반지하 가구에 맞출 필요성이 있다.

한편 CI 지수가 가장 낮은 지역은 중구 명동, 중구 소공동, 중구 을지로동으로 상위 7개동이 모두 중구에 소속되

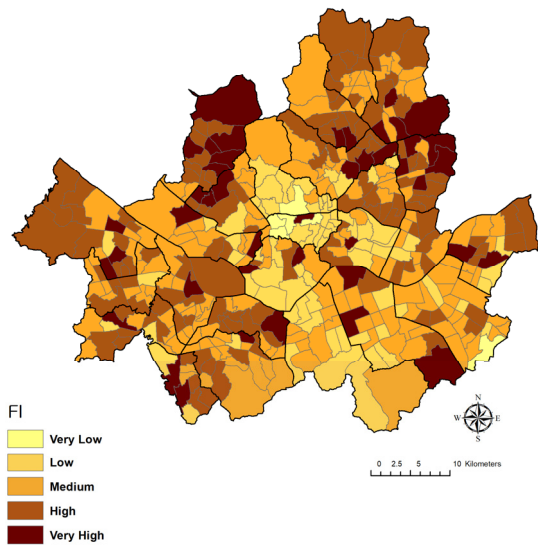


Fig. 3. Spatial distribution of Climate Inequality in study area

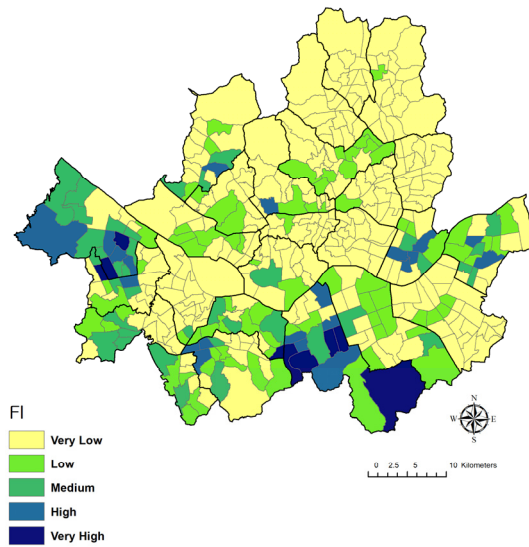


Fig. 4. Spatial distribution of Flood Risk in study area

Table 4. Mean and standard deviation of CI, FR, and FI of local governments

Name	CI		FR		FI	
	ava	std	ava	std	ava	std
Jongno-gu	0.52	0.06	0.03	0.06	0.34	0.04
Jung-gu	0.45	0.19	0.00	0.01	0.27	0.12
Yongsan-gu	0.59	0.03	0.04	0.08	0.39	0.06
Seongdong-gu	0.63	0.09	0.01	0.03	0.40	0.07
Gwangjin-gu	0.69	0.05	0.10	0.10	0.49	0.07
Dongdaemun-gu	0.71	0.05	0.02	0.04	0.46	0.05
Jungnang-gu	0.76	0.06	0.00	0.00	0.48	0.04
Seongbuk-gu	0.69	0.09	0.02	0.02	0.45	0.06
Gangbuk-gu	0.76	0.05	0.01	0.01	0.48	0.03
Dobong-gu	0.70	0.04	0.00	0.00	0.44	0.03
Nowon-gu	0.74	0.09	0.00	0.01	0.46	0.06
Eunpyeong-gu	0.82	0.08	0.05	0.07	0.54	0.08
Seodaemun-gu	0.72	0.09	0.01	0.02	0.46	0.06
Mapo-gu	0.69	0.08	0.02	0.02	0.44	0.05
Yangcheon-gu	0.69	0.04	0.08	0.12	0.48	0.09
Gangseo-gu	0.75	0.08	0.19	0.16	0.59	0.13
Guro-gu	0.71	0.06	0.04	0.06	0.47	0.07
Geumcheon-gu	0.70	0.10	0.05	0.06	0.47	0.07
Yeongdeungpo-gu	0.67	0.04	0.04	0.09	0.45	0.05
Dongjak-gu	0.72	0.05	0.09	0.09	0.51	0.09
Gwanak-gu	0.70	0.06	0.07	0.10	0.48	0.07
Seocho-gu	0.63	0.07	0.26	0.28	0.56	0.18
Gangnam-gu	0.65	0.07	0.04	0.03	0.43	0.05
Songpa-gu	0.67	0.06	0.01	0.02	0.42	0.04
Gangdong-gu	0.70	0.09	0.08	0.09	0.49	0.10

었다. Fig. 3을 통해 중구는 취약 인자가 많이 분포하지 않지만, 온실가스 배출량이 많음이 드러나므로 중구에서는 온실가스 감축에 초점을 맞춘 정책이 필요하다.

CI 지수가 높은 행정동은 탄소배출량 대비 사회 취약계층이 많이 분포하는 지역으로, 기후재해 발생 시 적응 능력이 떨어질 것으로 예상된다. 따라서 해당 지역들은 기후 적응 능력을 높일 수 있도록 세부 데이터를 통해 불평등으로 분류된 원인을 파악하여 맞춤형 정책을 시행해야 한다. 기후 취약계층을 위한 정책의 예시로는 주거 환경 개선 및 관련 인프라 확대 등이 있다(Ministry of Environment, 2020).

### 4.3. 홍수리스크 평가

홍수리스크 지수(FR)가 가장 높게 나타난 지역은 차례로 서초구 서초2동, 서초구 방배3동, 강서구 화곡1동이며 “매우 높음”에 해당하는 지역은 주로 서울 서남 권역에 위치하였다(Fig. 4). 기초지자체 단위에서 보면 서초구와 강서구의 평균이 높게 나타났으며 두 지역 모두 행정동별 편차가 크게 나타났다(Table 4). 특히 서초구의 경우 타 행정구역 대비 편차가 큰데, 이는 서초구 내에서도 행정동별 불평등 정도가 크다고 볼 수 있다. 서남 권역의 경우 강수량은 적지만 침수면적이 높은 지역이 많았는데, 이는 지대가 낮아 물이 모이기 좋은 여건이기 때문이다. Fig. 2와 같이 서울 북부에서는 노원구와 도봉구가 맞닿은 곳에 유독 강수량이 적었는데 침수면적 역시 낮은 관계로 FR

지수는 ‘매우 낮음’ 또는 ‘낮음’으로 도출되었다.

FR 지수가 ‘매우 낮음’에 해당하는 275개 행정동 중에서 136개 행정동은 침수면적이 없는 관계로 홍수 리스크 지수가 0으로 측정되었다. 따라서 해당 지역은 모두 “매우 낮음”으로 분류된다. 반지하 가구는 영등포구 신길5동, 성북구 석관동, 서대문구 남가좌1동 순으로 많았는데 신길5동과 남가좌1동은 누적 침수면적이 분포하지 않는 지역으로 반지하 가구의 침수 위험도는 낮을 것으로 예상할 수 있다. 반면 FR 지수가 ‘매우 높음’으로 분류된 성북구 석관동의 경우 침수 위험도가 높기에 침수 예방과 관련한 대책이 필수적이다.

**4.4. 홍수불평등 평가**

CI 지수와 FR 지수를 종합하여 도출한 홍수불평등 지수(FI)에서는 강서구 등촌3동, 은평구 역촌동, 강서구 화곡1동 순으로 높게 나타났다(Fig. 5). 기초지자체 단위에서는 강서구와 서초구의 경우 평균과 표준편차가 모두 높아 지역 간 불평등, 지역 내 불평등이 우려되는 지역이다 (Table 4). FR 지수가 높게 나타났던 남부 권역의 경우 기후 적응 능력이 떨어짐을 의미하는 CI 지수가 대체로 ‘매우 낮음’과 ‘낮음’으로 나타났기에 최종 FI 지수는 높지 않았다. 즉 위치적으로는 침수에 취약하지만, 사회적으로 취약한 요인은 많지 않음을 알 수 있다. 다만 서초구 서초2동의 경우 CI 지수도 높게 나타났으며, 주변 일대에 FI 지수가 높은 지역이 없기에 정책 고려대상에서 우선순위가 밀리지 않도록 주의가 필요한 지역이다. 서부권역에 소속된 강서구 행정동들의 경우 CI 지수와 FR 지수 모두 대체로 높게 나타났다. 따라서 해당 지역에는 침수 예방 대책과 더불어 기후 적응 능력을 높일 수 있는 정책이 복합적으로 시행되어야 한다.

홍수불평등(FI) 지수의 분포를 통해 홍수재해에 대한 지역의 취약 특성 및 정도를 규명할 수 있었다. 이를 기반으로 취약지역에 대한 맞춤형 정책을 마련하기 위해서는 해당 지역의 사회적·환경적 변수특성을 고려해야 할 것이다.

**4.5. 기후불평등 공간적 평가의 함의**

본 연구는 서울특별시 행정동을 대상으로 홍수불평등을 공간적으로 규명함으로써 지역별 불평등 정도를 시각화하였으며 홍수불평등 지수를 도출하는 단계적인 과정에서 불평등의 원인을 파악할 수 있도록 하였다. 홍수불평등 지수는 기후불평등 지수와 홍수리스크 지수를 합산

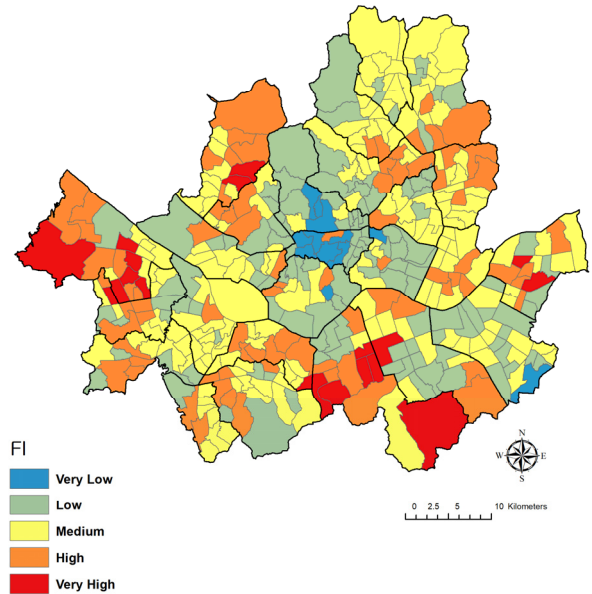


Fig. 5. Spatial distribution of Flood Inequality in study area

한 것으로 지수별 공간분포와 평가에 활용된 변수별 공간 분포를 통해 홍수불평등 지수가 높은 지역의 원인을 세부적으로 추적할 수 있다. 정책 도입의 기초 단위가 되는 자치구에 대해 각 지수의 평균과 표준편차를 산정하여 평가 해석에 반영함으로써 기초자치단체 차원의 적응대책 수립 및 정책 마련의 중요성을 고려하였다. 자치구의 지수별 평균치를 통해 불평등한 행정동이 집중되어있는 자치구 파악이 용이하며, 표준편차를 통해 타 지역대비 자치구 내의 불평등 정도가 심한 지역을 집적해볼 수 있다.

연구 결과를 통해 기후불평등 지수, 홍수리스크 지수, 홍수불평등 지수의 분포가 서로 상이하다는 점을 알 수 있었다. 이는 각 지역의 불평등 특성이 다르다는 것을 의미하며 지역 맞춤형 정책의 필요성을 강조한다. 기후불평등 지수가 높게 나타난 서울 북부권의 경우 인구통계학적으로 취약한 인자가 많은 곳으로 홍수재해 발생 시 대처 능력이 떨어지지만, 홍수리스크 지수가 낮게 나타나는 경향이 있어 실질적인 위험성은 떨어진다. 한편 홍수리스크 지수가 높게 나타난 지역의 경우 홍수재해 발생 시 침수 위험성이 높은 곳으로 반지하 가구 분포에 대한 사전 파악과 더불어 인명피해 대비를 위한 대피시설, 의료시설, 소방시설 등의 인프라 확충이 필요하다. 홍수불평등 지수가 높게 나타난 서울 외곽지역과 서부권역의 경우 종합적인 정책을 고려할 수 있는데 세부 데이터를 통해 파악한



불평등의 특성을 반영해야한다. 탄소배출량은 서울의 중심부에서 높게 나타났는데, 이는 낮은 불평등 지수와 상반되는 결과로 기후위기에 적게 기여하는 그룹이 오히려 기후위기에 대한 위험성이 높다는 것을 보여주었다.

본 연구는 다양한 요인을 고려하여 홍수불평등 평가를 진행하였다. 사회·경제적 요인을 통해 설계한 기후불평등 평가의 경우 홍수에 국한하지 않고 폭염, 한파 등에 다양하게 적용할 수 있으므로 높은 활용성이 기대된다. 또한, 평가 항목에 온실가스 배출량을 포함하여 기후변화 위험성뿐만 아니라 기후변화를 유발하는 과정에서의 불평등을 고려했다는 점에서 유사 연구와의 차별성을 지닌다 (Kim and Jung, 2020; Kim et al., 2022). 다만 불평등을 산정하는 과정에서 간소화된 변수를 활용하였고, 동일 가중치를 부여함으로써 변수별 중요성이 적절히 반영되지 못했다는 한계가 존재한다.

## 5. 결론

홍수에 취약한 서울특별시를 대상으로 홍수재해에 효과적으로 대응하기 위해 홍수불평등 평가를 진행하였다. 크게 두 가지 특성으로 나누어 평가를 진행한 결과 행정동별로 홍수에 취약한 정도와 특성이 상이하였으며, 결과적으로 같은 도시의 행정동 내에서도 불평등이 존재함을 나타낼 수 있었다. 서울 북부 지역에는 주로 사회·경제적으로 불평등함을 나타내는 기후불평등 지수가 높게 나타났고 침수에 취약한 정도를 나타내는 홍수리스크 지수는 주로 서울 남부와 서부에 위치한 지역에서 높게 나타났으며, 이를 종합적으로 살펴본 홍수불평등 지수는 서울의 외곽지역과 서부권역에서 높게 나타났다. 본 연구를 통해 지역별 불평등의 정도와 특성이 확인되었으며, 이에 따른 맞춤형 정책의 필요성이 강조된다. 평가에는 기후위기에 대한 위험성을 나타내는 항목과 함께 기후변화의 원인이 되는 온실가스 배출량을 포함하였으며 탄소배출량이 많은 지역이 상대적으로 기후 위험성은 낮은 것을 통해 탄소배출량과 기후 위험성 간의 상관성을 파악했다. 기후위기를 악화시키는 집단이 상대적으로 기후위기에 취약하지 않다는 점은 대표적 기후불평등이며, 사회적 차원에서 격차를 줄여가려는 개선이 필요하다.

## 사사

본 연구는 교육부 재원의 한국연구재단 인문사회분야 신진연구자지원사업(과제번호: NRF-2022S1A5A8051754)과 국민대학교의 학술지원으로 수행되었습니다.

## References

- 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. *Journal of Environmental Policy and Administration*. 28(3): 243-280. doi: 10.15301/jepa.2020.28.3.243
- Chancel L. 2022. Global carbon inequality over 1990-2019. *Nature Sustainability*. 5: 931-938. doi: 10.1038/s41893-022-00955-z
- 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. *Journal of Korea Planning Association*. 53(7): 87-107. doi: 10.17208/jkpa.2018.12.53.7.87
- EM-DAT (The International Disasters Database). 2020. The international disaster database; [accessed 2023 Jul 28]. [https:// www.emdat.be/](https://www.emdat.be/)
- Feng B, Zhang Y, Bourke R. 2021. Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*. 106(1): 613-627. doi: 10.1007/s11069-020-04480-0
- Ha K, Jung J. 2017. The impact of urbanization and precipitation on flood damages. *Journal of Korea Planning Association*. 52(4): 237-252. doi: 10.17208/jkpa.2017.08.52.4.237
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. AR6 climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Geneva, Switzerland: Author.
- Kartha S, Kemp-Benedict E, Ghosh E, Nazareth A. 2020. Emissions inequality dashboard; [accessed 2023 Jul 4]. [https:// www.sei.org/projects-andtools/emissions-inequality-dashboard](https://www.sei.org/projects-andtools/emissions-inequality-dashboard)
- Kim CI, Hong JH. 2021. An analysis of community flood

- resilience with a focus on flood damage characteristics. *Journal of Environmental Policy and Administration*. 29(3): 225-252. doi: 10.15301/jepa.2021.29.3.225
- Kim D, Kim YO, Jee HW, Kang TH. 2020. Development of index for flood risk assessment on national scale and future outlook. *Journal of Korea Water Resources Association*. 53(5): 323-336. doi: 10.3741/JKWRA.2020.53.5.323
- Kim E, Lee S. 2022. Comparison of assessments of urban areas using the flood vulnerability and potential flood damage methods. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 22(5): 227-234. doi: 10.9798/KOSHAM.2022.22.5.227
- Kim G, Jung H. 2020. Climate justice assessment considering regional inequality: A focus on heatwave. *Journal of Climate Change Research*. 11(6-1): 621-628. doi: 10.15531/kscrcr.2020.11.6.621
- Kim GH. 2021. Monitoring regional inequalities in climate change risk: A focus on heatwave. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*. 24(6): 97-107. doi: 10.13087/kosert.2021.24.6.97
- Kim H, Woosnam KM, Kim H, Lim CH. 2022. Green infrastructure and energy justice in health adaptation: Leveraging climate policy innovation and vulnerability-readiness nexus. *Journal of Environmental Policy & Planning*. 24(1): 21-38. doi: 10.1080/1523908X.2021.1940892
- Kim HR, Kim YJ. 2021. Identification of vulnerability factors for urban floods: Considering social vulnerability of vulnerable groups in Seoul. *Journal of Climate Change Research*. 12(2): 187-202. doi: 10.15531/kscrcr.2021.12.2.187
- Krusell P, Smith AA Jr. 2022. *Climate change around the world*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research. NBER Working Paper No. 30338. doi: 10.3386/w30338
- Lee E. 2020. Development of a vulnerability diagnosis model for urban surface water floods using building big data. *Journal of Climate Change Research*. 11(1): 65-75. doi: 10.15531/kscrcr.2020.11.1.65
- Lim CH, Kim HJ. 2022. Can forest-related adaptive capacity reduce landslide risk attributable to climate change?—Case of Republic of Korea. *Forests*. 13(1): 49. doi: 10.3390/f13010049
- Lim CH, Lee JC. 2022. The status of the humanities in climate crisis discourses: Promoting “climate humanities”. *Journal of Climate Change Research*. 13(5): 611-622. doi: 10.15531/KSCCR.2022.13.5.611
- Lim YT, Choi HI. 2020. Regression models on flood damage records by rainfall characteristics for regional flood damage estimates. *Journal of Wetlands Research*. 22(4): 302-311. doi: 10.17663/JWR.2020.22.4.302
- Park JH. 2022. Climate crisis caused by the increasing extreme weather phenomena. *Future Horizon+*. 53: 15-22.
- Park S. 2021. Climate adaptation policies and climate justice with focus on new legislation proposals addressing climate crisis. *Environmental Law Review*. 43(1): 39-81.
- Schor J. 2015. Climate, inequality, and the need for reframing climate policy. *Review of Radical Political Economics*. 47(4): 525-536. doi: 10.1177/0486613415576114
- Seo J, Han W. 2019. Exploring the relationship between floods and socially vulnerable groups: The case of Jeju. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 19(4): 103-113. doi: 10.9798/KOSHAM.2019.19.4.103
- Song Y, Park J, Kim H, Jeong S, Park M. 2020. Development of flood vulnerability assessment method considering urban characteristics: Daegu metropolitan city. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 20(6): 353-360. doi: 10.9798/KOSHAM.2020.20.6.353
- Thomas K, Hardy RD, Lazrus H, Mendez M, Orlove B, Rivera-Collazo I, ... Winthrop R. 2019. Explaining differential vulnerability to climate change: A Social Science Review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 10(2): e565. doi: 10.1002/wcc.565
- Yun SG, Choi BS, Jeon EC. 2013. A study on vulnerability assessment to climate change in Siheung-si. *Journal of Climate Change Research*. 4(1): 1-10.