

우리나라 폭염 피해 결정요인 산정 및 관리 방향

이채연*† · 권혁기** · 배민기***

*한국외국어대학교 대기환경연구센터 책임연구원, **한국외국어대학교 대기환경연구센터 선임연구원, ***충북연구원 선임연구위원

Research on determination of heat wave damage in Korea and direction for management

Yi, Chaeyeon*† · Kwon, Hyuk-Gi** and Bae, Min Ki***

*Principle Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUFs, Yongin, Korea

**Researcher, Research Center for Atmospheric Environment, HUFs, Yongin, Korea

***Chungbuk Research Institute, Cheongju, Korea

ABSTRACT

This study used a causal model to determine the factors that could affect the incidence of heat-related illnesses in heat waves. Through this, the causes of damage caused by heat waves are not simply limited to weather phenomena, but a data-based perspective is provided to understand the overall impact of heat waves on the human body, ecosystem, socio-economic system, etc. and the mechanism for the damage. We would like to provide it. For this purpose, this study selected detailed indicators of the number of heat wave diseases, heat wave meteorological factors, personal factors, environmental factors, disease factors, and social factors targeting 229 local governments, and constructed a database. In addition, factor analysis was performed to reduce the large number of detailed indicators, and a regression model was applied to analyze causal relationships with patients with heat-related illnesses. As a result of applying the regression model, the significance of personal factors, environmental factors, and social factors was shown, and the explanatory power of the model was only 40.1%. It is necessary to discover variables that can increase the explanatory power of the model in the future, but management by local governments is necessary for variables that represent the current explanatory power. The results of this study can be used as a basis for the national and local governments to establish reasonable heat wave damage reduction measures and can also contribute to the development of future institutionalization plans and heat wave damage prediction models.

Key words: Heat-Related Illnesses, Local Government, Factor Analysis, Generalized Additive Models (GAM)

1. 서론

전 세계적으로 기후위기가 심각해지면서 인간과 생태계에 미치는 피해가 갈수록 대형화, 일상화, 복잡화되고 있다. 그중 폭염은 세계보건기구(WHO)가 21세기 사람들의 건강을 위협하는 가장 큰 기상요인으로 지목한 바 있다. 실제로 우리나라에서 2011년~2019년까지 통계청의 폭염 사망자 수는 총 493명으로 같은 기간 태풍과 호우에 의한 인명 피해를 합친 것보다 3.6배 정도 많았다. 최근기온, 열대야 일

수, 폭염특보 첫 발효일, 폭염 지속기간 등 폭염 관련 지표가 갈수록 나빠지면서 폭염 노출 위험성이 증가되는 반면, 고령화 및 사회양극화로 인한 기후위기 취약계층이 확대되고 있어(Park and Chae, 2020) 폭염으로 인한 리스크 관리가 국가적인 부담이 되고 있다. 세계기상기구(WMO)와 세계보건기구(WHO)가 폭염 피해관련 열-건강 정보 및 대응체계를 빠르게 강화하고 있음을 감안할 때, 우리나라에서도 기후위기로 인한 폭염 증가에 대비하여, 어떤 피해가 어떻게 나타나는지를 분석하고, 주기적인 감시를 통해 그 영향

†Corresponding author : prpr2222@hufs.ac.kr (81, Oedae-ro, Mohyeon-eup, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 17035, Korea. Tel. +82-31-8020-5586)

ORCID 이채연 0000-0003-2802-2431
권혁기 0000-0001-5337-5867

배민기 0000-0001-8127-131X

의 정도와 변화 양상을 시급히 파악해야 할 시점이다.

물론, 우리 정부에서도 2018년 최악의 폭염피해를 계기로 재난 및 안전관리 기본법의 개정을 통해 폭염을 자연재난으로 지정하고, 환경부는 국가기후위기 적응계획 수립과 추진, 질병관리청은 온열질환자 감시체계 운영 및 기후보건영향평가 실시, 농촌진흥청은 농업기상 재해정보 시스템 운영, 국토부는 재해취약성 평가 등을 통해 폭염에 적극적으로 대응하고 있다. 지자체에서도 매해 폭염대응 계획을 수립하고 그늘막, 쿨링포그 설치 등의 구조적 대책과 다양한 취약계층 보호사업을 추진하고 있다. 하지만 이러한 노력에도 불구하고 폭염피해는 단순히 기온이라는 하나의 문제로 발생하는 것이 아니라, 폭염 위험 노출, 취약, 대응 과정에서의 많은 요인들간의 관계에 의해 결정되기 때문에 부서별 단편적인 접근으로는 해결하기에 한계가 있다. 더불어 단기간내 집중적인 투자를 통해 폭염 피해를 완전히 막을 수 없다는 현실을 고려할 때 폭염 피해를 결정하는 중요한 요인들을 우선 해결하는 방식의 합리적인 접근 방안 도출도 필요하다.

기존의 연구들은 폭염 피해자의 연령, 소득수준, 직종, 학력수준, 고용상태 등과 같은 인구학적 속성과 불투수면, 녹지면적 등 거주 지자체의 사회·환경적 요인들간의 관계를 분석하거나(Kim et al., 2016, 2021; Lee et al., 2019), 폭염으로 인한 건강영향을 분석하여 폭염이 인체에 미치는 위해성과 사회경제적 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다(Hong, 2018; Lim et al., 2015; Nitschke et al., 2011). 하지만, 폭염 피해를 결정하는 요인들을 도출하고 폭염피해와 결정요인들간의 관계를 정량적으로 해석한 연구는 거의 없었다. 폭염 피해에 효율적으로 대응하기 위한 정책·사업을 수립·추진하기 위해서는 폭염 피해수준이 주로 어떤 요인들과 인과관계가 있는지를 파악하는 것이 필수적이지만 아직까지 이 같은 연구의문을 해소할 만큼의 충분한 연구 결과들이 축적되지 않아 이론적 근거와 연구방법론의 신뢰성이 미흡한 실정이다. 그럼에도 불구하고, 갈수록 심각해져 가는 폭염 위험을 고려할 때 기초지자체별로 폭염피해 수준과 폭염 노출 특성, 열 노출 환경, 거주민의 사회·경제적 수준 및 질환 수준, 대응역량들 간의 정량적 인과관계 해석을 시도하는 것은 아주 중요한 과제이다.

따라서, 본 연구는 인과모형을 활용하여 폭염 질환자수에 영향을 미칠 수 있는 결정요인이 무엇인지를 도출하고자 하며, 이를 통해 폭염을 단순하게 날씨 현상의 하나로 국한하지 않고, 자료를 기반으로 폭염이 미치는 인체, 생태계, 사회경제 시스템 등에 대한 전반적인 영향과 그 피

해에 대한 기제(mechanism)를 이해하기 위한 시각을 제공해주고자 한다. 이를 위하여 본 연구는 광역자치단체 뿐만 아니라 기초자치단체 229개 시군구를 대상으로, 폭염 질환자 수, 폭염 기상요인, 개인요인, 환경요인, 질환요인, 사회요인 분야의 세부지표들을 선정 및 DB를 구축하고 요인분석과 회귀모형을 적용하였다.

2. 연구재료 및 방법

2.1. 통계분석 자료

본연구의 조사 단위는 229개 시군구로서, 폭염 기상요인 자료와 질병관리청 지역사회건강조사 자료를 이용해 독립변수를 구성하고, 폭염 피해자(온열질환자) 자료를 이용해 종속변수를 구성하여 도출된 통계적 결정요인을 통해서 폭염 피해 원인을 규명해 보고자 하였다.

2.1.1. 독립변수

본 연구에서 다루고자 하는 독립변수는 시군구 단위에서 집계할 수 있는 폭염기간 기상요인 및 지역사회건강요인이다. 첫 번째로 기상요인 관련 독립변수는 시군구 공간규모 다양성을 고려해 기상청의 1시간 단위 기온 동네예보 실황 분석장(5 km 해상도)에 가우시안 프로세스(Gaussian process)를 적용해(Yi and Yang, 2020) 산출한 일 최고기온, 일 최저기온, 일 평균기온을 1 km 해상도 자료를 이용해 구성하였다. 5 km 해상도에서 나타나지 않는 공간의 지표면 특성을 1 km 해상도로 상세화하기 때문에 기온 및 습도 등의 공간적 편차를 확인하고 강남구 등 면적이 작은 행정구역에도 폭염 통계모형을 적용할 수 있다. 두 번째로, 지역사회건강요인(개인, 환경, 질환, 사회) 관련 독립변수는 질병관리청에서 구축한 개인 및 가구 대상 지역사회건강조사 자료를 이용해 구성하였다. 이 자료는 건강 관련 계측조사, 건강행태, 의료 이용, 활동 제한(장애), 보건기관 이용률 등 다양한 지역사회건강 조사 항목을 시도 또는 시군구 단위로 구축하고 있다. 질병관리청 조사원이 표본 선정한 가구를 방문하여 일대일 면접을 진행한다. 매년 만 19세 이상 성인을 대상으로 조사된 지역사회 건강통계는 맞춤형 건강정책을 수립과 보건사업 추진에 활용된다. 본 연구에서는 기상요인 독립변수 구성 기간(2018년 8월)에 맞춰 같은 기간 조사된 개인, 환경, 질환, 사회 분야 폭염 피해 관련 분류 자료를 독립변수로 구성하였다(Table 1).

Table 1. Individual variables codes and correlation evaluation

		Description of heat wave damage variable			
		Positive correlation	Negative correlation	Not significant	Variable
Weather (기상)	Number of heat wave days (폭염일수)				b7
	Number of tropical nights (열대야일수)				b8
	Heat index (열지수)				b11
	Black Globe Temperature Index (흑구온도지수)				b12
	Perceived temperature (PT, 체감온도)				b5
	Daily PT _{max} difference (일최고체감온도차, 201808-201708)				b1
	Daily PT _{min} difference (일최저체감온도차, 201808-201806)				b2
	Daily PT _{min} difference (일최저체감온도차, 201808-201708)				b3
	Daily T _{max} (일최고기온)				b13
	Daily average humidity (일평균습도)				b14
	Daily PT _{min} difference (일최저체감온도차, 201808-201706)				b4
	Daily PT _{min} range (체감온도일교차, 201808)				b5
	Individual (개인)	Elderly population rate (고령자비율)			
Single-Person HouseholdRate (1인가구비율)					c3
Number of leisure and welfare facilities per 1,000 elderly people (노인천명당 여가복지시설수)					c4
Rate of elderly people living alone (독거노인비율)					c8
Rate of rural population (농촌인구수비율)					c10
Rate of registered disabled individual (등록장애인비율)					c11
Rate of basic pension recipients (기초연금수급자율)					c14
Rate of basic pension recipients aged 65 or older (65세이상기초연금수급자율)					c15
Rate of national basic livelihood recipients (국민기초생활수급자수비율)					c16
Rate of national pension regional enrollees reporting income (국민연금지역가입자소득신고자수비율)					c19
Rate of under-5 years of age (5세미만비율)					c2
Health insurance coverage rate (건강보험적용비율)					c5
Walking practice rate (걷기실천율)					c6
Healthy lifestyle practice rate (건강생활실천률)					c7
Urban population rate (도시인구수비율)					c9
Population density (인구밀도)					c12
Home ownership rate (주택소유율)					c13
National pension local insured contribution exemption rate (국민연금지역가입자 납부예외자수비율)					c20
National pension total insured population rate (국민연금 총 가입자수 비율)					c17
National pension workplace enrollment rate (국민연금 사업장가입비율)					c18
Environment (환경)	Non-urban area rate (비도시면적비율)				d1
	Vacancy rate (빈집비율)				d3
	Old housing rate (노후주택비율)				d4
	Access unavailability rate within designated time center, general hospital, local emergency medical center, emergency room)				d12
	Urban area rate (도시면적비율)				d2
	Number of sports facilities per 1,000 people (인구천명당스포츠업수)				d7
	Pedestrian-only road area rate (보행자전용도로면적비율)				d8
	Medical utilization rate within designated time (기준시간 내 의료이용률 상급종합병원)				d09

Description of heat wave damage variable				
	Positive correlation	Negative correlation	Not significant	Variable
Disease (질환)	Number of parks per 1,000 population (인구천명당 공원개수)			d5
	Park area per capita (인구일인당 공원면적)			d6
	Number of physicians per 1,000 population (인구천명당 의료기관 종사의사수)			d19
	Number of Hospital Beds per 1,000 population (인구천명당 의료기관 병상수)			d20
	Female obesity body measurements (여자비만율 신체계측)			e12
	Hypertension clinic patients rate (고혈압인원 비율)			e17
	Diabetes clinic patients rate (당뇨병인원 비율)			e18
	Mental illness clinic room population rate (정신질환인원 비율)			e19
	Nervous system disease rate (신경계질환 비율)			e20
	Respiratory system disease rate (호흡기계질환 비율)			e21
	Circulatory system disease rate (순환기계질환 비율)			e22
	Digestive system disease rate (소화기계질환 비율)			e23
	Subjective obesity perception rate (주관적 비만인지율)			e1
	Annual weight control attempt rate (연간 체중조절시도율)			e2
	Obsessive-compulsive disorder (OCD) counseling rate (우울증 정신상담률)			e9
	Stress perception rate (스트레스 인지율)			e14
	Alcohol abstinence or abstention attempt rate (절주 또는 금주 시도율)			e3
	Annual high-risk drinking rate among alcohol users (연간 음주자의 고위험음주율)			e4
	Annual alcohol-related harm experience rate (연간음주폐해경험률)			e5
	Early recognition rate of myocardial infarction symptoms (심근경색조기증상인지율)			e6
	Early recognition rate of stroke symptoms (뇌졸중조기증상인지율)			e7
	Counseling rate for stress-related issues (스트레스로 정신상담률)			e8
	Male obesity rate_body measurements (남자비만률 신체계측)			e11
	Subjective health status awareness rate (주관적 건강수준인지율)			e13
	Depression experience rate (우울감경험률)			e15
	Incidence rate of cognitive impairment (인지장애경험률)			e16
	Society (사회)	Natural increase rate (자연증가율)		
Fiscal autonomy (재정자주도)				f8
Emergency Room Visits (응급실이용자수)				f16
Quality of life index (삶의 질 지수) ¹⁾				f1
Population decline risk index (소멸위험지수) ²⁾				f7
Nutrition label comprehension rate (영양표시 독해율)				f3
Nutrition label utilization rate (영양표시 활용률)				f4
Population growth rate (인구증가율)				f5
Fiscal independence (재정자립도)				f9
Proportion of social welfare budget in general accounts (사회복지예산비중)				f10
Proportion of public administration budget in general accounts (일반회계 중 공공행정예산비중)				f11
Employee rate in health and social welfare services (보건 및 사회복지사업 종사자비율)				f12
Rate of health and social welfare enterprises (보건 및 사회복지사업체비율)				f13
Number of cultural infrastructure facilities per 100,000 population (10만명당 문화기반시설수)				f14
Annual healthcare facility utilization rate (연간보건기관 이용률)				f15

1) Quality of life index (삶의 질 지수) : EQ-5D 지수로서, 건강관련 삶의 질에 대한 5가지 차원의 기술체계를 종합한 값. 1에 가까울수록 만족도가 높은 것을 의미함

2) Population decline risk index (소멸위험지수) : 만 20~39세 여성 인구를 만 65세 이상 인구로 나누어 낸 지수. 1.5 이상이면 소멸 위험이 매우 낮고, 0.5 미만이면 소멸 위험이 매우 높음

Table 2. Calssified heat-related disease codes applied in this study (KCD-8th revision)

Code	Classification	Main symptoms
T67.0	Heatstroke and sunstroke (열사병)	Central nervous system dysfunction (unconsciousness/coma) Dry and hot skin due to lack of sweat Severe headache, chills, tachycardia, tachypnea, low blood pressure
T67.1	Heat syncope (열실신)	Fainting (temporary loss of consciousness) Dizziness
T67.2	Heat cramp (열경련)	Muscle cramps (shoulders, arms, legs, abdomen, fingers)
T67.3 T67.4 T67.5	Heat exhaustion, anhydrotic (열탈진)	Body temperature is normal or elevated ($\leq 40^{\circ}\text{C}$) Sweating a lot (excessive sweating) Extreme helplessness and fatigue Paleness, muscle cramps nausea or vomiting
T67.7	Heat oedema (열부종)	Swelling of the hands, feet or ankles
T67.8 T67.9	Other effects of heat and light (기타)	Other effects of heat and light Effects of heat and light, unspecified

2.1.2. 종속변수

본 연구에서 다루고자 하는 종속변수는 시군구 단위에 서 발생하는 폭염 피해의 취약성(1만 명당 폭염 피해자 수)이다. 국민보험공단은 2002년 이후 가입자의 자격·보험료, 진료내역, 건강검진, 의료급여, 노인장기요양 내역을 DB로 구축하고 있다. 맞춤형연구와 표본연구를 위한 DB 이용이 가능하지만 그 크기가 매우 방대하여 이용자가 공단 내의 장소인 데이터분석실에서 통계분석 도구를 조작하여 열람 및 연구 분석할 수 있는 자료를 가공해야 하는데, 본 연구에서는 이 서비스를 이용해 시군구 단위의 1만명 당 폭염 피해자 수를 집계하고 종속변수를 구성하였다. 맞춤형연구 DB는 전국 229개 시군구별 코드와 더불어 ICD-10 T67 코드가 기록된다. T67은 ‘열 및 빛의 영향’을 받은 질병을 열사병·일사병(T67.0), 열실신(T67.1), 열경련(T67.2), 탈수성 열탈진(T67.3)을 구분하고(Table 2), 개개의 온열질환자를 증상의 강도에 따라 주상병, 부상병으로 기록하고 있다. 본 연구에서는 2010년~2020년의 6월~8월 동안 주상병과 제1부상병의 증상 코드가 등록된 온열질환자 코드(T67.x)를 추출하여 229개 시군구별 1만명 당 환자수를 집계해 종속변수를 구성하였다.

2.2. 분석 방법

Table 3은 폭염 피해 결정모형의 독립변수로부터 요인 선별된 자료의 유형과 단위를 보여준다. 다중공선성 검사 결과 자료 각각의 속성과 단위(명, 개, % 등)가 다양하여, 이러한 이질적이고 상대적인 크기를 0과 1 사이로 분포하게 표준화를 수행하였다(식 1). 최솟값(x_{\min})은 0, 최대값(x_{\max})은 1로, 모든 데이터가 [0, 1] 범위 안에 들어가도록 조절하였다. 시군구별로 기준 다를 경우(인구, 면적 등) 단위 인구당(또는 면적당) 등으로 환산하고 전국 평균 기준 상대적 크기 Z-score로 계산하였다(식 2). Z-score(z)는 하나의 값(x)이 그룹의 평균(μ)에 대한 값의 관계를 평균(μ)과의 표준편차(σ)로 측정한다. Z-score가 0이면 평균과 동일, 양수 값은 평균보다 높음, 음수 값은 평균보다 낮음 가리킨다. 229개 시군구 단위의 기상, 개인, 환경, 질환, 사회 요인 관련 변수를 이를 통해 점수화하였다.

$$x' = \frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad (1)$$

$$z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (2)$$

Table 3. Representative types and unities applied in this study

Factor	Description	Units
Meteorology	Elements necessary to indicate certain atmospheric conditions such as temperature, pressure, humidity, wind direction, wind speed, and precipitation	Number of days, °C
Individual	Factors that can indicate the characteristics of an individual's body, economy, education, occupation, etc., such as population and households	Number of people, %, count
Environment	Physical environmental factors such as natural and artificial exposure environments and heat wave response and adaptation facilities	m ² , %, count
Disease	Types and rates of physical and mental illnesses directly and indirectly related to heat waves	Number of people, %
Society	Factors such as social welfare status, activity status, degree of social problem education and resolution, capital and self-reliance, etc.	Number of people, grade, count, %

본 연구에서는 요인분석을 통해 독립변수의 상호관계 분석 기반 상관이 높은 변수로 묶고자 했으며 중요도가 낮은 독립변수들을 제거하였다. 묶여진 독립변수들이 요인을 이루지만 상호 독립적이다.

요인분석을 통해 정제된 변수들과 229개 시군구별 1만명 당 환자수를 종속변수로 하는 다항회귀식, 회귀스플라인, 단계적 회귀분석, GAM 모형을 적용한 후 결정계수(R²)값이 큰 GAM을 적용하였다. 일반화가법모델(GAMs, generalized additive models)은 회귀모델을 만들 때 독립변수를 그대로 이용하는 것이 아니라 다른 함수의 선형 결합으로 표현하는 기법이다. 선형모델은 1만명 당 환자수 발생 요인 해석과 추론이 비교적 단순할 경우 적용이 가능하나, 모델 추정치 분산을 줄이며 선형의 해석력은 높이기 위해서는 비선형모델을 적용하였다.

3. 연구결과

3.1. 전국 폭염피해 결정요인

전국 대상 요인분석 결과, 선택된 주요 요인의 누적 설명력은 70.93%였다. 5개 요인 중 개인(I) 설명력이 요인이 가장 높았고 이어서 환경(E), 기상(W), 질환(D), 사회(S) 순으로 높았다(Table 4). 개인요인(I) 설명력(Variance Explained)은 38.97%, 고유값(Eigenvalue)은 8.573이었으며, 고령인구(0.932), 기초연금수급자(0.927), 등록장애인(0.917), 노인천명당 여가복지시설(0.824), 농촌인구수

(0.794), 65세 이상 기초연금수급자(0.713), 국민연금지역 가입자수급자(0.684), 국민기초생활수급자(0.666), 1인가구(0.653), 독거노인가구(0.339) 순으로 높았다. 환경요인(E) 설명력은 9.88%, 고유값은 2.173이었으며, 종합병원(0.819), 상급종합병원(0.787), 응급실(658), 권역응급의료센터(0.652) 순으로 높았다. 기상요인(W) 설명력은 8.39%, 고유값은 1.848이었으며, 일 최저체감온도의 변화량³⁾(0.912), 일 최고체감온도 변화량⁴⁾(0.810), 일 최저체감온도 변화량⁵⁾(0.661) 순으로 높았다. 질환요인(D) 설명력은 7.40%, 고유값은 1.627이었으며, 심근경색조기증상 인지율(0.964), 뇌졸중조기증상인지율(0.953), 양호한 주관적 건강수준 인지율(0.258) 순으로 높았다. 사회요인(S) 설명력은 6.29%, 고유값은 1.384이었으며, 인구10만명당 문화기반시설수(0.895)와 연간 보건기관 이용률(0.882) 순으로 높았다.

3.2. GAM 기반의 폭염피해 결정모형

GAM모형 기반 회귀분석을 통해 선별된 요인들과 229개 시군구 각각의 1만명 당 환자 발생 수를 비선형 회귀 분석한 결과, 개인(Factor 1)의 결정계수(2.235), 환경(Factor 2)의 결정계수(3.448), 사회(Factor 5)의 결정계수(1.955)만이 통계적으로 유의하고, 기상(Factor 3)의 결정계수(1.000), 질환(Factor 4)의 결정계수(1.754)는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다(Table 5).

Fig. 1에서 x축에는 229개 시군구의 폭염 피해 요인 선정 값을 표준화한 Z-Score를 순차적으로 나열하고 y축은

3) 일 최저체감온도 변화량: 2018년 8월 평균 일 최저체감온도와 2017년 8월 평균 일 최저체감온도의 차이
 4) 일 최고체감온도 변화량: 2018년 8월 평균 일 최고체감온도와 2017년 8월 평균 일 최고체감온도의 차이
 5) 일 최저체감온도 변화량: 2018년 8월 평균 일 최저체감온도와 2018년 6월 평균 일 최저체감온도의 차이

Table 4. Results of factor analysis for 229 local government (shaded area: statistically significant)

	Detailed Indicators of Heatwave Damage	Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5
Individual	Elderly population rate	c1	0.932	0.208	-0.124	0.068	-0.006
	Rate of basic pension recipients	c14	0.927	0.213	-0.208	0.064	-0.028
	Rate of registered disabled individual	c11	0.917	0.174	-0.255	0.074	-0.009
	Number of leisure and welfare facilities per 1,000 elderly people	c4	0.824	0.147	-0.275	0.012	0.115
	Rate of rural population	c10	0.794	0.302	-0.137	-0.007	0.096
	Rate of basic pension recipients aged 65 or older	c15	0.713	0.160	-0.488	0.028	-0.121
	Rate of national pension regional enrollees reporting ncome	c19	0.684	0.258	-0.122	-0.153	0.065
	Rate of national basic livelihood recipients	c16	0.666	-0.006	-0.255	0.108	-0.204
	Single-Person Household Rate	c3	0.653	0.232	0.020	0.092	-0.010
	Rate of elderly people living alone	c8	0.339	-0.065	-0.282	-0.157	-0.047
Environment	Access unavailability rate within designated time (general hospital)	d11	0.221	0.819	-0.093	-0.012	0.042
	Access unavailability rate within designated time (tertiary general hospital)	d9	0.051	0.787	-0.123	0.175	0.039
	Access unavailability rate within designated time (emergency room)	d13	0.457	0.658	-0.027	-0.011	0.058
	Access unavailability rate within designated time (regional emergency medical center)	d10	0.450	0.652	-0.136	0.021	0.033
Weather	Daily PT _{min} difference (201808-201708)	b3	-0.206	-0.189	0.912	-0.032	-0.014
	Daily PT _{max} difference (201808-201708)	b1	-0.276	0.001	0.810	-0.102	0.082
	Daily PT _{min} difference (201808-201806)	b4	-0.267	-0.244	0.661	0.064	-0.161
Disease	Early recognition rate of myocardial infarction symptoms	e6	-0.002	0.060	-0.008	0.964	0.002
	Early recognition rate of stroke symptoms	e7	0.025	0.078	-0.081	0.953	0.034
	Subjective health status awareness rate	e13	0.243	0.012	0.187	0.258	0.167
Society	Number of cultural infrastructure facilities per 100,000 population	f14	-0.063	0.034	0.011	0.035	0.896
	Annual healthcare facility utilization rate	f15	0.013	0.077	-0.032	0.043	0.882
Eigenvalue			8.573	2.173	1.846	1.627	1.384
Variance Explained			38.97%	9.88%	8.39%	7.40%	6.29%
Cumulative Variance Explained			38.97%	48.85%	57.24%	64.63%	70.93%

Table 5. Heatwave damage factors determined by GAM model

Factor	Department	Coefficient
Factor 1	Individual	2.325***
Factor 2	Environment	3.488**
Factor 3	Weather	1.000
Factor 4	Disease	1.754
Factor 5	Society	1.955*

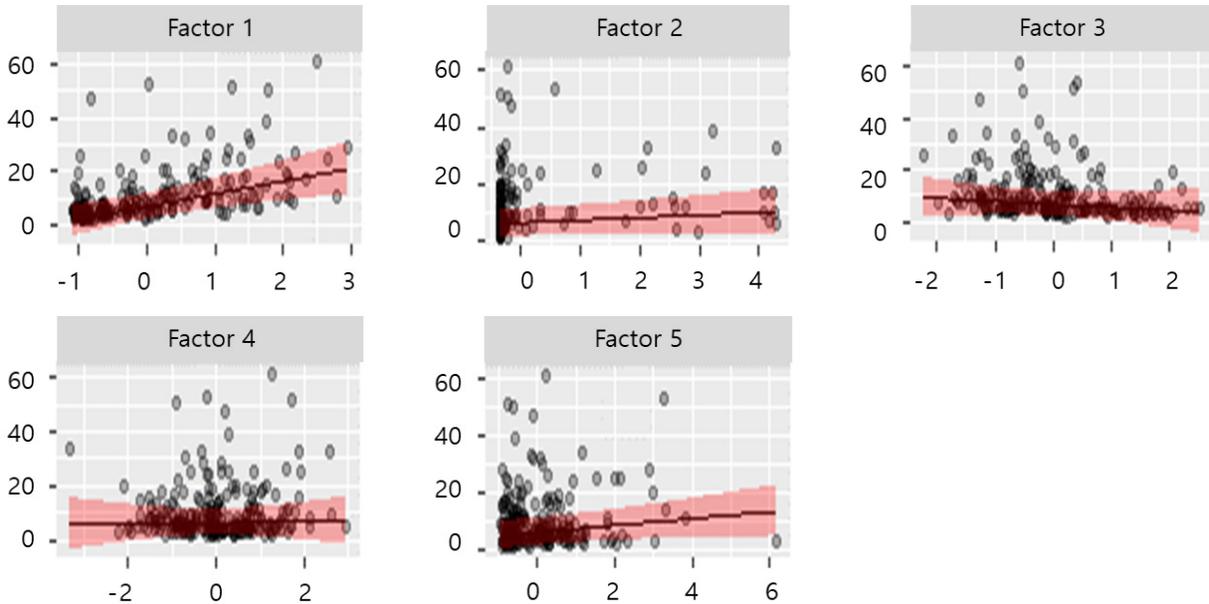


Fig. 1. The relationship between factor-specific z-scores and patient incidence rates

1만명 당 환자 발생 수를 순차적으로 나열한 산점도를 보여준다. 각 요인 별 GAM 모형 비선형 회귀분석 곡선의 기울기와 표준편차 범위(적색) 내에 들어오는 시군구 분포를 확인할 수 있다. 개인(Factor 1)의 GAM모형의 경우 시군구의 폭염 피해 요인을 산정한 Z-Score가 커질수록 1만명 당 환자 발생 수가 비례하여 커짐을 가장 뚜렷하게 보여주고 있다. 환경(Factor 2)의 GAM모형과, 사회(Factor 5)의 GAM모형에서도 이러한 비선형 회귀선의 약한 경향성을 확인할 수 있으나, 기상(Factor 3)의 GAM모형, 질환(Factor 4)의 GAM모형에서는 비선형 회귀선의 경향성이 다르게 나타남을 확인할 수 있다. 개인(Factor 1), 환경(Factor 2), 사회(Factor 5) GAM 모형의 통계적 설명력은 40.1%였다.

229개 시군구 중 1만명 당 환자 발생 수가 큰 임실군(61.52), 태안군(52.97), 김제시(51.33), 보성군(50.46), 서귀

포시(47.5), 신안군(38.78), 창녕군(30.47), 영양군(32.84), 정선군(32.63), 증평군(32.16) 10개 시군구를 대상으로 GAM 모형 기반 개인, 환경, 사회 요인 Z-score 비교 결과 시군에 따라서 전국 단위로 결정된 폭염피해 결정 인자 중에서도 높은 Z-score가 달랐다. Table 6에서 진한 음영은 1 이상인 Z-score를, 연한 음영은 0~1 사이의 Z-score를 나타낸다. 10개 시군구 중 8개 시군의 개인(Factor 1) 관련 Z-score가 높게 나타났지만, 서귀포시와 증평군은 상대적으로 Z-score가 낮았다. 서귀포시는 병상수(3.08)과 응급실수(1.03)의 Z-score가 높았다.

4. 고찰

국가데이터를 이용하여 전국 시군구의 선별된 폭염피해 요인의 설명력은 70% 이상 나타났다. 더불어 5개 요인

Table 6. Z-score values for individuals, environmental, disease, and social factors of the top 10 local-government with the highest incidence of heat-related illnesses in 2018

Ranking		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Local government		Imsil-gun	Tae'an-gun	Gimje-si	Bosong-gun	Seogwipo-si	Shinan-gun	Changnyeong-gun	Yeongyang-gun	Jeongseong-gun	Jeungpyeong-gun
Incidence rate per 10,000 people		61.52	52.97	51.33	50.46	47.5	38.78	34.07	32.84	32.63	32.16
Individual	c1	1.55	1.04	1.19	1.98	-0.28	1.72	1.05	1.87	0.64	-0.55
	c14	1.63	0.82	1.24	2.05	-0.47	1.97	1.10	1.95	0.48	-0.47
	c11	1.78	0.62	1.88	1.72	-0.18	1.74	0.80	1.72	1.03	-0.16
	c4	1.53	-0.17	-0.94	-0.93	-0.55	-0.36	1.12	0.39	1.20	0.04
	c10	1.78	0.53	0.77	0.72	-0.44	1.53	1.02	1.15	0.38	-0.73
	c15	1.22	0.33	1.06	1.30	-0.70	1.61	1.00	1.31	0.24	0.07
	c19	1.12	-0.32	2.98	1.02	-0.28	0.30	0.23	1.86	-0.20	-0.32
	c8	0.26	-0.13	0.27	0.56	-0.50	0.29	0.54	0.46	0.16	-1.04
Environment	d11	-0.22	0.56	-0.36	-0.23	-0.17	3.25	-0.26	4.31	2.13	-0.36
	d9	-0.38	1.68	-0.38	-0.38	3.08	2.15	-0.38	3.08	2.85	-0.38
	d13	0.14	0.90	-0.46	-0.33	1.03	2.86	-0.16	4.03	2.22	-0.52
	d10	-0.23	1.97	-0.57	0.59	0.77	1.55	-0.44	1.97	1.97	-0.66
Disease	e6	1.14	-0.89	1.41	-1.43	0.47	0.89	-2.94	2.63	1.67	-0.19
	e7	1.25	-0.20	1.73	-0.90	0.20	0.30	-3.30	2.58	1.87	-0.34
	e13	1.65	-1.91	-0.93	1.23	-0.13	-0.25	1.17	1.69	0.38	-1.41
Society	f14	0.24	3.26	-0.77	-0.65	-0.11	-0.59	1.14	-0.15	0.07	-0.1
	f15	0.07	3.27	-1.00	-0.89	-0.54	-0.89	1.15	1.35	-0.03	0.68

중 가장 설명력이 높았던 개인요인(I)의 중요성이 높음을 계량적으로 제시하여 초고령 사회의 폭염 피해 원인에 개인의 연령(고령), 경제적 기반(기초연금수급자, 기초생활보장수급자), 활동제약(장애) 등의 요소를 적극적으로 고려해야 할 계량적 근거를 제시한 점도 의의가 있다. GAM모형을 통해서 229개 시군구 각각의 폭염 피해 요인을 산정한 결과에서 선택된 개인요인은 1만명 당 환자 발생 수가 비례하여 커지는 경향이 잘 보이 있어 관련한 폭염 대응 계획을 적극적으로 구체화할 필요가 있다. 두 번째로 설명력이 높았던 환경요인(E) 관련 GAM모형 비선형 회귀선도 229개 시군구 분포와 Z-Score 증가에 따른 1만명 당 환자 발생 수가 비례하는 경향성을 잘 나타내고 있다. 목록화한 여러 환경적 폭염피해 결정 요인 중 의료기관의 접근성 관련 기준시간내 병원(종합병원, 응급의료시설) 접근 불가비율 이 높을수록 발생률이 증가하는 것

으로 나타나 국가적으로 병원 접근성을 더욱 높일 필요가 있다. 더불어 이 연구를 통해서 229개 시군구 각각이 전국적으로 표준화된 환경(E), 기상(W), 질환(D), 사회(S) 요인 Z-Score를 기반으로 지역의 폭염 위험 요인 결정 특성에 맞는 지역별 대응계획을 수립할 수 있도록 데이터 기반 대응체계를 마련할 수 있을 것으로 기대된다. 1만명 당 환자 발생 수가 큰 상위 10개 시군구를 대상으로 GAM 모형 기반 개인, 환경, 사회 요인 Z-score 비교 결과에서 보듯이 각각의 시군구가 먼저 고려할 폭염피해 요인이 다르게 나타났다. 서귀포시는 개인요인보다 환경요인과 질환요인 관리에 역점을 두어야 하지만 임실군은 환경요인이 상대적으로 양호하지만 개인요인에서 취약함을 나타냈다. 이와 같이 229개 시군구별 폭염피해 결정요인은 지역 별 데이터 기반 폭염 관리를 위한 근거가 될 수 있을 것이다.

5. 결론

5.1. 정책적 시사점

본 연구는 2018년 폭염을 사례로 229개 기초자치단체의 폭염 피해 관련 독립변수와 종속변수를 구성하고 통계 분석을 하였다. 229개 시군구의 1만명 당 환자 발생 수에 대한 폭염 피해 결정요인을 통계적으로 기술하여 적용 가능성과 향후 과제를 제시하였다.

첫째, 대부분의 시군구에서 공통으로 1만명 당 환자 발생 수 관련 개인요인 설명력과 결정계수가 높게 나타났고 비선형 회귀선도 시군의 폭염 환자 발생 특성을 잘 보여 주었다. 이러한 결과는 폭염 질환자 감소를 위해서는 지자체를 중심으로 해당 지역내 폭염 취약계층 맞춤형 지원 대책 시행이 효과적이라는 것을 의미한다. 개인요인을 고려한 폭염정책으로는 1) 기존의 무더위쉼터와 폭염 저감 시설 확충, 경로당 냉방비 지원 등 취약계층 관리 강화, 온열질환 응급실 감시체계 운영 등을 고도화하고, 2) 폭염에 가장 취약한 홀몸노인, 노숙인, 쪽방촌 주민, 농촌 및 건설노동자, 열악한 작업환경 근로자 등에 대한 주거 및 생활환경 관리와 보호를 철저히 할 필요가 있다. 더불어 3) 폭염으로부터 재산피해를 예방하기 위해 전력 수급 안정화, 도로시설물 관리 강화, 안전보험 지원금 신설 등을 예방 및 피해지원도 중요하다. 또한, 4) 폭염 피해의 영향 범위를 고려할 때, 과거 부처별 담당 업무 중심의 개별적이고 산발적으로 사업을 추진하는 것이 아니라 폭염피해 저감을 목표로 예방, 대비, 대응, 복구 전 단계에서 국토환경, 복지, 재난, 소방, 경찰, 행정 등 유관부서 및 기관들이 포괄적으로 대처하는 방식으로 전환될 필요가 있다. 더욱 중요한 것은 공간적인 접근방식이다. 지금까지 행정구역별로 최고기온이 몇 ℃인지, 65세 이상 노인인구 및 기초생활수급자수가 몇 명인지와 같은 총계자료만으로는 개인특성을 반영한 폭염대책을 수립하는데 한계가 있다. 왜냐하면 여름철 복사온도는 행정구역내에서도 지역별로 편차가 크며, 고령자도 어디에 거주하는가에 따라서 피해 위험도가 다르기 때문이다. 따라서 5) 폭염시 지자체별 상세 열분포도를 구축할 필요가 있으며 취약계층 거주공간에 대한 공간정보를 구축하여 폭염 위험성과 취약계층 거주공간간의 공간관계를 분석할 필요가 있다. 6) 향후 개인 타겟형 폭염 지원정책들을 발굴하고 시행하기 위해서 취약계층 관련 정보를 확대 개방할 필요가 있다. 현재 개인 정보 보호를 사유로 대부분 비공개되어 있지만 특정 공익

적 지원을 위해서는 동의를 통해 소득정보, 건강보험자료 및 의료분야 자료 등을 개방한다면 시의적절하고 맞춤형 지원방안 도출이 용이해질 것이다.

둘째, 분석결과 시군구마다 환경(E), 기상(W), 질환(D), 사회(S) 요인 Z-Score가 다르게 분포하는 것으로 나타난 것은 국가 단위의 획일적인 폭염대책 보다 지역특성이 반영된 상향식 정책추진이 효과적임을 의미한다. 국가가 모든 지자체별 폭염피해 특성을 파악하여 일일이 대책을 마련해 줄 수는 없다. 이는 결국 지자체의 폭염대응 역량이 어느 정도인가와 직접적으로 연계되어 있는데 대부분의 지자체가 추진하는 폭염대책이 거의 유사하다는 것을 감안할 때 시사하는 바가 크다. 우리나라 법규상 폭염은 자연재난으로 분류되어 있지만 취약계층과 관련이 높은 사회재난 특성을 가지고 있다. 폭염은 취약계층과 지역에 피해가 집중되는 경향이 뚜렷하며, 주거, 소비, 노동, 여가, 사회교류 등 일상생활 전반의 변화와 밀접하게 연계되어 있다는 점에서 지자체별로 특성에 맞는 폭염의 사회적 영향을 파악하고 적절한 대응책을 마련해야 한다. 하지만 대부분의 지자체에선 「재난 및 안전관리 기본법」에 따라 자연재난을 전제로 한 구조적인 대응 체계에 초점을 두고 있으며 비구조적 대책은 많지 않다. 근본적인 폭염 대책을 수립하려면 지자체별로 발생한 폭염 피해자의 인구·사회학적 정보와 폭염 위험기간뿐만 아니라 평소 생활 실태를 파악하는 사회부검 수준의 기초조사가 필요하며, 지역내 독거노인, 어린이, 실외노동자, 취약주거 거주자, 1인가구, 저소득가구, 만성질환자 등을 대상으로 한 심층 인터뷰를 통해 실제 체감도 있는 대책발굴 노력 및 공문화 과정보도 필요하다. 현재처럼 폭염 피해자가 발생할 때마다 응급구조하는 방식의 대책이 아니라 평소 지자체내 주민들의 생활속에서 폭염시 서로간의 배려와 참여, 작업환경 개선 등을 통해 자연스럽게 폭염에 대응하는 방식으로 전환되도록 유도하여야 한다.

셋째, 사회요인과 관련하여, 지자체별로 한정된 예산을 비롯한 여건에 따라 폭염피해 규모나 시급성에도 불구하고 추진 가능한 사업이 제한적일 수 있고 대책의 지역 간 격차가 불평등이 발생할 수 있기 때문에 중앙-광역-지방 간의 거버넌스 구축 및 재정적 지원 수단이 마련될 필요가 있다. 특히, 폭염으로의 노출과 그로 인한 영향을 낮추기 위한 녹지축 조성, 물순환시설 설치 등 국토환경분야의 사업들은 공모에 참여한 지자체만을 지원해주는 사업형식에서 벗어나 폭염 위험이 높은 지역이면 국가가 직접 지원하는 2가지 방식을 혼용할 필요가 있다.

마지막으로, 폭염관리 사각지역에 놓인 취약계층과 시설 등에 대해 세부적인 관리대책을 발굴하고, 폭염으로 인해 파생가능한 사회재난에 대한 위험 모니터링 등 지속적인 노력이 필요하다. 최근 제기되었던 폭염 발생 시 입산부의 조산과 저체중아 출산 등 건강위험, 폭염 기간동안 외국인 노동자의 처우개선 및 제도 미비, 폭염 상황에서 주유소 유증기 증가로 화재·폭발 위험 증가, 재생타이어의 폭발, 공항 활주로 및 기차 철로 파손 등에 대한 선제적 대비책 마련도 필요하다.

본 연구는 시군구별 취약 세부 지표를 제시하였고, 시군구 단위 폭염 대응 기본계획 수립을 위한 기초자료를 제공했으며, 폭염 집중관리 지역 및 취약계층 지원시설 확충 근거 마련 등에 활용할 수 있을 것이다.

5.2. 장차의 연구

본 연구에 적용한 요인분석 및 GAM 모형은 폭염 피해 요인의 설명과 결정과 관련한 시범적 연구에 해당하며 다음처럼 도출된 문제들을 보완하여 데이터 기반 시군 폭염 대응 활용성을 제고할 필요가 있다. 먼저, 전국 시군구의 폭염피해 요인을 선별한 누적 설명력(70.93%)과 개인, 환경, 사회 GAM 모형의 통계적 설명력(40.1%) 높여야 할 것이다.

GAM 모형 도면에서 보듯이 많은 시군의 분포가 표준편차 범위를 크게 벗어나고 있다. 환경요인과 관련하여 의료시설의 기준시간 내 접근 불가비율 관련 Z-score가 높음에도 환자 발생 수가 낮거나, 사회요인과 관련하여 모형에서 대도시의 도서관 등 문화시설 수와 비율이 증가하는 현상에 대한 정성적 설명이 가능하나 이를 어떻게 데이터 기반에서 지역 맞춤형으로 관리가 가능할지에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 또한 전체적인 GAM 모형의 신뢰성을 높이는 방안, 도시 및 비도시의 특성을 구분하여 결정할 수 있는 유의미한 요인들의 선택 등의 향후 연구가 필요하다. 특히 기온의 차이 등 기상적 요인과 관련하여 GAM이 통계적으로 유의하게 1만명 당 환자 발생 수를 설명하거나 결정하지 못한 점은 본 연구 활용의 큰 장애가 될 수가 있으므로 향후 보완을 통해 1만명 당 환자 발생 수에 대한 설명력을 높여야 할 것이다. 국내에서도 대구는 기온이 높지만 1만명 당 환자 발생 수가 적은 지역이 있고, 강원도는 기온이 낮은 지역에서 1만명 당 환자 발생 수가 많은 지역이 나타나고 있어, 향후 관련 데이터 및 GAM 모형 양측에서 고르게 개선되어야 한다. 이는

기상요인만으로 폭염피해 온열질환자 발생을 설명하기 어렵다는 점을 보여주며, 지역적으로 폭염피해 온열질환자 발생에 영향을 미치는 요인과 그 정도가 다양하다는 것을 알 수 있다. 따라서 폭염 정책은 각 지역의 기온 분포와 개인, 환경, 질환, 사회 요인을 고려하여 맞춤형 할 수 있는 연구가 수행되어야 한다.

더불어, 본 논문에서 활용한 요인분석과 GAM모형을 연동시킨 방법은 초기에 투입된 많은 변수들을 최소화한 후 통계적으로 유의한 인과관계를 규명하기 위해 필요하였지만, 다중공선성에 대한 우려가 뿐만 아니라, GAM모형은 비선형으로 모델 추정치 분산을 줄이는 데는 적합하지만 모형의 결과의 의미를 해석하기에 난해한 면이 있었다. 추후 연구에서는 지자체의 폭염피해 결정요인을 구체화하는데 유용하면서 설명력이 조금은 낮더라도 단순하고 가벼운 모형을 활용해 볼 필요도 있다.

사사

본 연구는 행정안전부 자연재난 정책연계형 기술개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2020-MOIS35-002(RS-2020-ND629022)).

References

- Hong YC. 2018. Estimation of acute-chronic diseases and mortality in extreme weather (heat/cold) in Korea. Cheongju, Korea: Korea Centers for Disease Control & Prevention. Annual Report. doi: 10.23000/TRKO201800037994
- Kim D, Kim JE, Jang CR, Jang MY. 2021. Assessment of heatwave vulnerability in Korea considering socioeconomic indices (in Korean with English abstract). J Korean Soc Hazard Mitig 21(5): 39-47. doi: 10.9798/KOSHAM.2021.21.5.39
- Kim T, Baek J, Ban Y. 2016. Analyzing the relationship between health damage caused by heat wave and socioeconomic factors (in Korean with English abstract). Crisisonomy 12(5): 67-78. doi: 10.14251/crisisonomy.2016.12.5.67
- Lee S, Kweon I, Kim Y. 2019. A study on the influence of urban environment on the generation of thermal

- diseases (in Korean with English abstract). *J Korea Contents Assoc* 19(12): 84-92. doi: 10.5392/JKCA.2019.19.12.084
- Lim YH, Park MS, Kim YH, Kim H, Hong YC. 2015. Effects of cold and hot temperature on dehydration: A mechanism of cardiovascular burden. *Int J Biometeorol* 59(8): 1035-1043. doi: 10.1007/s00484-014-0917-2
- Nitschke M, Tucker GR, Hansen AL, Williams S, Zhang Y, Bi P. 2011. Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in adelaide, South Australia: A case-series analysis. *Environ Health* 10: 42. doi: 10.1186/1476-069X-10-42
- Park J, Chae Y. 2020. Analysis of heat-related illness and excess mortality by heat waves in South Korea in 2018 (in Korean with English abstract). *J Korean Geogr Soc* 55(4): 391-408. doi: 10.22776/kgs.2020.55.4.391
- Yi C, Yang H. 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