

지역별 폭염취약 유형 및 폭염환자 발생 요인에 관한 연구

A Study on the Types of Heat Wave Vulnerabilities and Factors of Heat Wave Patients by Region

김규환* · 류주현** · 홍민지*** · 임나리****

Gyuhwan Kim · Joohyun Ryu · Minji Hong · Nari Im

요약: 본 연구는 퍼지셋 질적비교분석(fs/QCA) 방법을 활용하여 지역별로 폭염취약의 유형을 분류하고 폭염환자를 발생시키는 필요조건과 충분조건을 확인하였다. 폭염취약성 유형의 기준은 노출도, 민감도, 적응도를 활용하였다. 분석결과 노출도가 높은 지역은 시간이 지나도 여전히 노출도가 높은 상태를 유지하고 있었으며, 폭염에 대한 민감도는 시간이 지날수록 더 높아지는 것으로 나타났다. 이는 폭염이라는 사회적 위험에 대응하여 지역별로 적극적인 적응정책이 필요하다는 것을 의미한다. 한편, 지역별로 폭염환자를 발생시키는 필요조건은 65세이상 인구로 나타났다. 그리고 충분조건 배열에서도 65세 이상 인구가 높을 때 폭염환자를 발생시키는 충분한 조건으로 나타났다. 이러한 연구 결과는 향후 고령화 사회에서 폭염환자를 줄이기 위해 지역의 적극적인 정책이 필요함을 시사한다.

핵심주제어: 폭염취약 유형, 폭염환자, fs/QCA

Abstract: The present study classified the types of vulnerability to heat wave by region, using the fuzzy set qualitative comparative analysis(fs/QCA) method, and identified the conditions necessary for the incidence of patients with heat wave-related symptoms. Exposure, sensitivity, and adaptability were used as the criteria for establishing the type of vulnerability to heat wave. The analysis conducted showed that regions with high exposure to heat wave maintained this level of exposure over time, while sensitivity to heat wave increased over time. These findings mean that a policy of adaptation is required for each region in response to the social risk caused by heat waves. The condition necessary, on a regional basis, for the incidence of patients with heat wave-related symptoms was found to be a large elderly population. The results of the analysis conducted suggest that active local policies are needed to reduce the number of patients with heat wave-related symptoms in an increasingly aging society.

Key Words: Heat wave vulnerability type, Heat wave patient, fs/QCA

* 주저자 및 교신저자, 고려대학교 미래성장연구원 연구교수

** 공동저자, 서울대학교 환경대학원 석사졸업

*** 공동저자, 포항공과대학교 환경공학부 박사과정

**** 공동저자, 연세대학교 비가역적기후변화연구센터 연구원

I. 서론

기후변화에 관한 정부간협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)에 따르면, 기후변화는 기후 특성의 평균 및 변동성의 변화를 의미한다(IPCC, 2014). 최근 사회적으로 이러한 기후변화에 관심이 점차 높아지고 있는데, 그 이유는 기후변화에 따른 홍수, 폭염, 한파 등의 기상재난의 빈도가 점차 많아지고 있으며, 이에 따른 지역 사회의 피해 규모도 점차 커지고 있기 때문이다(Schipper and Pelling, 2006; Schipper et al., 2016). 그 중 폭염은 기후변화가 진행됨에 따라 피해가 증가할 것으로 우려되는 기상재난 중 하나이다(Kim et al., 2014; Peng et al., 2011; Bernard and McGeehin, 2004; Trenberth and Fasullo, 2012; 김도우 등, 2014; 이나영 등, 2014; 박종철·채여라, 2020, 재은박 등, 2016).

폭염으로 인한 사회적 피해는 국내에서도 목격할 수 있었는데, 일례로 2018년의 여름은 1973년 이래 가장 많은 폭염일수와 최고기온을 기록하고 많은 인명피해를 발생시켰다. 그 당시 서울의 최고기온은 39.6℃로써 1994년 38.4℃와 비교할 때 높은 수치였으며, 폭염일수는 총 22일로 1943년 이후 최장기간을 기록하였다(조항문·이윤혜, 2018). 또한, 건강보험심사평가원에 따르면 국내 폭염과 관련이 있는 폭염환자는 2015년 17,330명, 2016년 20,268명, 2017년 18,854명, 2018년 31,008명, 2019년 21,082명으로 2019년을 제외하면 매년 증가하는 추세이다.

이상고온 현상은 국가뿐만 아니라 지역적으로도 기후변화 적응계획을 수립해야 한다는 사회적 요구를 증가시켰다(Lawrence, 2013; Taylor et al., 2014). 그리고 기후변화 적응계획을 수립하기 위해서는 기후변화 위험의 정도를 평가할 수 있어야 하며(Dickson et al., 2012), 이를 평가하기 위한 모델 중 하나가 IPCC(2014)의 기후변화 취약성 평가모델이다. IPCC(2014)가 기후변화 취약성 평가모델을 제시한 이후, 해당 모델을 활용하여 폭염 및 홍수 취약지역을 평가하거나(유가영·김인애, 2008; 최현아, 2009; 신호성, 2014; 윤성권 등, 2013; 김선명, 2012), 기후변화가 사회적으로 얼마만큼 피

해를 미치는지 파악하려는 연구들이 지속적으로 이루어져 왔다(이연상, 2018; 김기욱, 2020; 조혜민 등, 2019; 최예술 등, 2018). 이러한 연구들은 어느 지역이 기후변화에 취약한지 이해하는 데 의미가 있지만, 지역별로 기후변화 취약성이 어떻게 변화해 왔는지 그 궤적을 살펴보는 데에는 어려움이 있다. 그리고 대부분의 연구는 통계적 접근을 통해 폭염환자 발생과 이에 영향을 미치는 요인들 간의 인과관계를 분석하고 있다. 그런데 이러한 접근방법은 원인변수의 독립적인 영향을 파악하는 데 적합하지만, 대개 사회현상은 요인들의 독립적 영향으로 발생하기보다는 결합된 조건 속에서 발생하기 때문에 기존 접근방법으로는 이러한 효과를 통합적으로 고려할 수 없다는 한계를 보인다.

따라서 본 연구에서는 기후변화에 따른 이상기온 현상 중 폭염과 폭염에 따른 폭염환자 발생에 초점을 두고, 16개 광역지방자치단체를 대상으로 2005년부터 2020년까지 기후변화 취약성 평가모델을 활용하여 지역별로 폭염 취약성 유형이 어떻게 변화해 왔는지를 살펴보고자 한다. 또한, 폭염환자를 발생시키는 요인들의 결합조건을 도출하는 것을 목적으로 한다.

II. 선행연구

취약성은 식량, 안보, 자연재해 및 빈곤, 전염병 분야 등에서 주로 논의되는 개념이다. 하지만 근래 기후변화의 규모와 속도는 유례를 찾아볼 수 없을 정도로 크고 빠른 탓에 인간과 생태계가 직면한 위험은 더욱 커지고 있어 취약성 분석은 기후변화 담론의 실질적인 출발점이 될 수 있다(김동현 등, 2013).

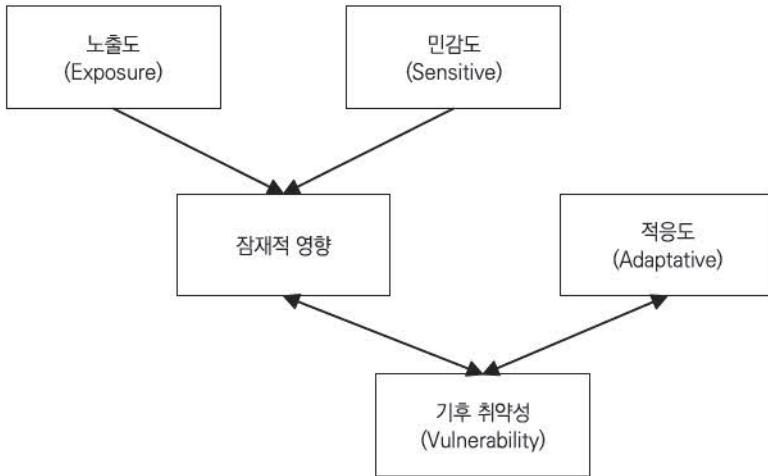
Burton and Lim.(2005)의 연구에서는 기후변화 취약성을 민감도와 적응능력으로 구분하여 정의하고 있다. 어떤 지역이 민감도가 높은 상태임에도 불구하고 적응능력이 낮다면, 해당 지역의 기후변화 취약성은 높은 상태로 볼 수 있다. 반대로 민감도가 높아도 적응능력이 높으면 해당 지역

은 기후변화에 적절하게 적응하며 대응할 수 있는 역량을 보유한 상태로 볼 수 있다. IPCC(2014)의 연구에서도 기후변화 취약성(Vulnerability)을 기후변화의 변동성과 극단성을 포함하는 부정적인 효과에 대하여 사회가 더욱 민감해지거나 혹은 대처할 수 없는 정도로 정의를 하고 있다. 그리고 이를 평가하는 방법으로 노출도(Exposure), 민감도(Sensitivity), 적응능력(Adaptive capacity)의 3가지 기준을 제시하고 있는데, 이를 함수로 표현하면 <식 1>과 같다.

$$\text{Vulnerability} = f(\text{Exposure, Sensitivity, Adaptive capacity}) \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

노출도란 기후변화 위험요소에 해당지역이 어느 정도 노출되어 있는지를 의미한다. 노출도를 구성하는 요소들을 살펴보면, 연평균 기온, 폭염일수, 강수량, 태풍 등의 현상을 포함하고 있다. 민감도란 기후변화로 영향을 받는 사회체제가 얼마만큼 민감하게 반응하는지를 의미하며, 여기에는 사회적, 경제적, 문화적, 환경적 조건들이 포함된다. 마지막으로 적응능력은 기후변화에 따른 노출도와 민감도에 대응할 수 있는 자원을 의미하는데, 여기에는 녹지면적, 무더위쉼터, 복지부문의 행정 시스템 등이 포함된다. 다시 말해, 적응능력이란 기후변화에 노출된 사회체제의 잠재적 피해를 완화하기 위한 조절능력을 의미하며(Füssel and Klein, 2006; Soares et al., 2012; Méndez-Lázaro et al., 2018), 이는 경제적 자원, 제도적 역량, 사회적 자본, 인적 자본, 기술적 대안 등에 의하여 결정될 수 있다(Yusuf and Francisco, 2009). 민감도와 적응도는 국가 및 지역 수준에서 상이한 특징을 보일 수 있으며, 시간의 흐름에 따라 그 영향의 정도도 달라질 수 있다(Füssel and Klein, 2006). 여기서 노출도와 민감도는 잠재적 영향에 속하는데, 지금까지의 내용을 정리하면 아래 <그림 1>과 같다.

〈그림 1〉 기후변화 취약성 모델



기후 취약성 기준들은 지역별로 기후변화에 얼마만큼 위협에 처해있는지를 평가하는데 이용될 수 있으며, 사회적 피해와의 인과관계를 분석하는데 사용될 수 있다. 본 연구의 관심 대상인 폭염도 폭염환자를 발생시킨다는 점에서 사회적 피해를 입히기 때문에 기존 연구에서도 다루어지고 있는 부분이다(Ofori et al., 2017). 그런데 폭염 뿐만 아니라 잠재적 영향인 민감도도 폭염환자를 발생시킬 수 있는데, 민감도에는 높은 연령, 극심한 빈곤과 불평등, 아스팔트와 콘크리트가 밀집된 도시환경 등이 포함된다. 반면, 폭염으로 발생하는 위협은 적응능력을 통해 완화될 수 있는데, 예를 들어 GRDP, 의료기관 병상 수, 녹지면적 등이 해당한다(Khajuria and Ravindranath, 2012; Soares et al., 2012).

이러한 요인들을 활용하여 폭염의 취약성을 다룬 선행연구들을 살펴보면, 농업에 종사하는 사람들이 많은 지역, 도시화율이 높은 지역, 고령화가 높은 지역이 폭염에 취약한 지역으로 나타났다(최예슬 등, 2018; Füssel and Klein, 2006; Méndez-Lázaro et al., 2018). 또한 폭염환자 발생과의 인과관계를 살펴보는 연구에서는 소득이 없는 노인인구의 비율, 독거노인 비율, 폭염일수가 높을수록 폭염환자의 발생이 높아지는 반면, 1인당 병원수가 많고, 녹지면적이 높을수록 폭염환자의 발생이 감소하는 것으로 나타

났다(이나영 등, 2014; Basu and Samet, 2002; Barreca, 2012).

III. 자료수집 및 분석방법

1. 자료수집

폭염환자¹⁾ 발생을 폭염에 따른 사회적 피해의 결과로 보고, 선행연구를 충분히 검토한 후 폭염을 유발하는 요인들 중 자료구득이 가능한 요인들을 선택하였다. 그 결과 노출도는 기존 선행연구에서 사용된 노출도 요소 중 폭염과 연관된 폭염일수와 일최고기온을 선정하였다(김기욱 등, 2020; 최예술 등, 2018; He et al., 2019). 여기서 폭염일수란 일년 중 일최고기온이 33도 이상인 날의 수를 의미하며, 일 최고기온은 각 광역에 설치된 지점에서 측정된 일 최고기온을 의미한다. 민감도는 폭염에 영향을 받는 사회적 조건으로 폭염에 비교적 취약한 65세 이상 인구비율, 기초생활수급자 비율로 설정하였다(김운수 등, 2010). 그리고 아스팔트와 콘크리트 등 폭염에 비교적 취약한 영향을 미치는 도시의 물리환경적 요소를 도시화율로 선정하였다(이수미 등, 2019). 마지막으로 폭염 대응 및 위험을 완화시킬 수 있는 적응능력을 나타내는 경제적 지표로 재정자립도를 선택하였고, 폭염환자를 수용하고 치료할 수 있는 의료시스템 역량으로써 의료기관 병상수를 선택하였으며, 폭염 피해를 감소시켜 줄 환경적 조건으로 녹지면적으로 산정하였다(김운수 등, 2010).

자료는 <표 1>에 해당하는 출처에서 수집하였는데, 통계청과 건강보험심사평가원은 시도별로 구분하여 자료를 제공하기 때문에, 이를 그대로 활용하였다. 다만, 기상청 자료 중 폭염일수는 시군구 단위로 제공하기 때문에 폭염일수는 광역시단위로 통합하여 분석하였다.

1) 건강보험심사평가원에 따르면 폭염환자란 한국표준질병사인 분류의 '열 및 빛의 영향(T67)'을 기준으로 일사병, 열사병, 열경련, 열실신, 열부종 등을 포함하는 질환으로 내원한 환자를 의미하며, 본 연구에서는 이 기준에 따라 자료를 수집하였다.

〈표 1〉 변수의 구성

변수		측정방법	자료출처	
기후 취약성 평가 기준	노출도	폭염일수	33도 이상 일 수	기상청
		일 최고기온	일 최고기온 온도	기상청
	민감도	65세 이상 인구비율	65세 이상 인구 / 인구수	통계청
		기초생활수급자 비율	기초생활수급자 수 / 인구수	통계청
		도시화율	인구수 / 도시지역면적(용도지역 기준)	통계청
	적응도	재정자립도	자체수입/일반회계 예산규모	통계청
의료기관 병상 수		의료기관병상수 / 인구수	통계청	
사건	폭염환자 수	폭염환자 / 인구수	건강보험심사 평가원	

2. 퍼지셋 질적비교 분석

비교 연구는 변수중심의 방법과 사례중심의 방법으로 구분할 수 있다. 각각의 연구방법에는 한계점이 존재하는데, 변수중심 방법은 선형성, 동질성, 가법성을 가정하기 때문에 원인변수들이 동시에 결과변수에 영향을 정도를 추정하기 어려우며, 사례중심 연구는 2~3개 정도의 사례만을 비교할 수 있기 때문에 점에서 그 수가 제한적이고 주관적 해석에 의존한다(김규환·박인권, 2018).

퍼지셋 질적 비교분석(fuzzy Set Qualitative Comparative Analysis)은 이러한 한계점을 극복하기 위해 제한되었다(Ragin, 1987, 2000, 2008). 사례중심 연구의 기본적 가정을 수용하면서, 사례 수의 제약을 극복하기 위해 고안된 퍼지셋 질적 비교분석은 결과에 영향을 미치는 원인들의 결합 형태도 분석할 수 있기 때문에 변수중심 연구의 한계도 극복할 수 있다(Ragin and Rihoux, 2004, 2009).

1) 퍼지점수

퍼지점수는 비율 척도보다 나은 측정유형으로 언급되고 있다. 퍼지 집합은 이분법적 구분을 지양하며, 정보 손실을 막을 수 있는 장점이 있다

(김규환·박인권, 2018). 퍼지 점수는 집합의 속성(Set theory)을 활용하여 0에서 1사이의 소속(membership)뿐만 아니라 소속의 정도(degree)까지도 나타내는데, Ragin (2008)은 원점수를 퍼지 점수로 변환하기 위해 3가지 고정축을 제시한다. 첫 번째 고정축은 완전 소속으로 0.95의 값을 가지며, 최댓값을 의미한다. 두 번째 고정축은 완전 비소속으로 0.05의 값을 가지며, 최솟값을 의미한다. 마지막으로 소속과 비소속을 구분 짓는 분기점은 0.5의 값을 갖는다. 본 연구에서는 선행연구들을 참고하여 원점수의 중간값을 분기점으로 사용하였다.

2) 집합관계

일관성과 설명력은 퍼지 집합의 검정 기준이다. 일관성은 원인 집합이 결과 집합의 하위 집합이 되는 정도를 나타내는데, 이는 이론적 논증이 얼마나 지지되는가를 검증하는 기준이다. 설명력은 이론으로 설명할 수 있는 사례의 정도를 의미한다.

일관성은 Y일관성과 N일관성으로 분류하는데, Y일관성 검증은 X집합(원인집합)이 Y집합(결과집합)의 하위 집합이 되는 기준을 정하고, 그 기준과 비교하여 해당 모델이 얼마만큼 유의미한 차이가 나는지를 검증하는 방법이다. 반면, N일관성 검증은 X집합이 Y집합의 하위 집합이 되는 일관성과 X집합이 Y여집합의 하위 집합이 되는 일관성 사이에 유의미한 차이가 나는지를 검증하는 방법이다.

일관성과 설명력²⁾을 통해 필요조건과 충분조건을 검증할 수 있다. Y집합이 X집합의 하위 집합이 되는 경우 필요조건이 성립하며, 일관성은 <식 2>를 통해 계산할 수 있다. 설명력은 Y집합에 의해 설명되는 X집합이 얼마나 되는지를 나타내며, <식 3>을 통해 계산할 수 있다(Ragin, 2008).

$$Consistency(Y_i \leq X_i) = \sum \min(X_i, Y_i) / \sum Y_i \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

2) 일관성(Consistency)는 OLS추정방법에서 유의수준과 유사한 의미를 갖으며, 설명력(Coverage)는 OLS추정방법에서 R-sqaure와 유사한 의미를 갖는다.

$$\text{Coverage}(Y_i \leq X_i) = \sum \min(X_i, Y_i) / \sum X_i \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

충분조건은 원인이 존재하면 결과는 항상 존재하는 것을 의미한다. X집합이 Y집합의 하위집합이 되는 경우 충분조건이 성립한다. 충분조건에 일관성 값은 식 (4)를 통해 계산할 수 있으며, 충분조건에 설명력 값은 식 (5)를 통해 계산할 수 있다(Ragin, 2008).

$$\text{Consistency}(X_i \leq Y_i) = \sum \min(X_i, Y_i) / \sum X_i \quad \langle \text{식 4} \rangle$$

$$\text{Coverage}(X_i \leq Y_i) = \sum \min(X_i, Y_i) / \sum Y_i \quad \langle \text{식 5} \rangle$$

3) 퍼지셋 이상형 및 결합형 분석

퍼지셋 이상형 분석은 합집합, 교집합, 여집합의 불리언 대수 법칙(Boolean algebra)을 통해 계산하며, 다음과 같은 절차로 수행한다. 첫째, 이론을 기반으로 속성 공간(property space)을 구성한다. 본 연구에서는 노출도, 민감도, 적응도를 활용하여 총 $8(=2^3)$ 개의 조합으로 이뤄진 속성 공간을 구성하였다. 둘째, 각각의 지표의 값들은 최댓값, 최솟값, 중앙값을 통해 연속 퍼지점수로 변환하였다. 셋째, 불리언 대수 법칙을 통해 각 지방자치단체의 퍼지 점수를 도출하고, 산점도를 통해 16개의 지방자치단체를 속성 공간에 배치하였다.

퍼지셋 결합형 분석은 앞서 설명한 퍼지셋 이상형 분석의 단계를 동일하게 수행한 뒤에, 변환한 퍼지 점수를 사용하여 필요조건과 충분조건 검증 수행하였다.

IV. fs/QCA 분석결과

1. 지역별 폭염취약 유형의 변화

1) 자료처리 방법

시간변화에 따른 지역별 폭염 취약성 유형을 분석하기 위해서는 노출도, 민감도, 적응도를 구성하는 하위변수들의 퍼지 소속 점수를 산출해야 한다. 그런데 노출도, 민감도, 적응도를 구성하는 변수들의 단위가 상이하므로 Z값으로 표준화하여 평균을 도출하였다.

1시기(2005~2009) 서울을 예로 들면, 서울의 노출도는 서울의 폭염일수를 표준화시킨 값과 서울의 일 최고기온을 표준화시킨 값의 평균이다. 이러한 방법으로 17개 시도의 1시기에 대한 노출도의 값을 산출하고, 나면, 각 시도의 노출도를 연속된 퍼지점수로 변환한다. 그리고 변환을 위해서는 최솟값, 중앙값, 최댓값 3개의 고정축이 필요하다. 한편, 중앙값은 평균 등 다양한 값으로 대체될 수 있는데, 본 연구에서는 평균대신 중앙값을 사용하였다. 그 이유는 중앙값이 사례 수를 50:50으로 소속과 비소속을 가르는 기준이 될 수 있기 때문이다(Ragin, 2008).

그런데 시간변화에 따라 지역별 폭염 취약성 유형의 궤적을 살펴보기 위해서는 최솟값, 중앙값, 최댓값을 시기별로 동일하게 설정할 필요가 있다. 따라서 노출도, 민감도, 적응도에 대한 최솟값, 중앙값, 최댓값의 기준을 3시기(2015~2019)로 하되, 만약 최솟값과 최댓값이 다른 시기에서 더 낮거나 더 높은 경우에는 그 값을 활용하였다. 다시 말해, 3시기의 값을 기준으로 하되 전체 시기 중 3시기보다 더 작은 값이 있다면 그 값을 최솟값으로 사용하였고, 전체 시기 중 더 높은 값이 있다면 그 값을 최댓값으로 사용하였다.

2) 기초통계 분석결과

분석결과 폭염에 대한 노출도는 경남, 대구, 경북, 광주지역이 타지역 대비 상대적으로 높았으며, 민감도는 부산, 대구, 전북, 전남이 높은 것으로 나타났다. 반면 타지역과 비교할 때 상대적으로 적응도가 높은 지역은 부산, 대전, 광주지역으로 나타났다.

〈표 2〉 퍼지점수 변환 결과

지역	1시기(2005~2009)			2시기(2010~2014)			3시기(2015~2019)		
	기후 노출도 (E)	기후 민감도 (S)	기후 적응도 (A)	기후 노출도 (E)	기후 민감도 (S)	기후 적응도 (A)	기후 노출도 (E)	기후 민감도 (S)	기후 적응도 (A)
서울	0.306	0.237	0.551	0.208	0.300	0.599	0.529	0.438	0.653
부산	0.071	0.745	0.818	0.088	0.874	0.796	0.099	0.946	0.796
대구	0.929	0.701	0.607	0.940	0.824	0.495	0.914	0.876	0.513
인천	0.102	0.259	0.448	0.072	0.260	0.490	0.047	0.414	0.498
광주	0.812	0.712	0.798	0.897	0.789	0.819	0.735	0.859	0.899
대전	0.202	0.402	0.871	0.319	0.433	0.639	0.669	0.542	0.545
울산	0.298	0.065	0.542	0.308	0.055	0.596	0.140	0.047	0.622
경기	0.489	0.078	0.416	0.519	0.063	0.475	0.651	0.054	0.489
강원	0.485	0.714	0.277	0.396	0.767	0.196	0.357	0.734	0.141
충북	0.348	0.496	0.250	0.308	0.419	0.260	0.477	0.316	0.248
충남	0.460	0.304	0.255	0.332	0.171	0.273	0.430	0.130	0.261
전북	0.648	0.937	0.402	0.834	0.935	0.484	0.546	0.945	0.444
전남	0.342	0.953	0.436	0.471	0.905	0.462	0.289	0.821	0.419
경북	0.900	0.808	0.302	0.840	0.752	0.299	0.937	0.671	0.304
경남	0.953	0.388	0.739	0.854	0.300	0.572	0.890	0.274	0.506
제주	0.124	0.683	0.047	0.165	0.736	0.087	0.084	0.457	0.125

* 퍼지점수가 0.8 이상인 경우 음영으로 처리

3) 지역별 기후 취약성 유형분석 결과

〈표 3〉을 통해 지역별 폭염 취약성 유형의 시간적 변화를 분석한 결과 다음과 같은 특징을 발견할 수 있었다.

첫째, 폭염에 대한 노출도가 낮은 지역은 시간이 변화함에도 낮은 수준

에 머무르고 있으며(부산, 인천, 울산, 강원, 충북, 충남, 전남, 제주), 노출도가 높은 지역은 시간이 변화함에도 높은 수준에 머무르는 모습을 보여주었다(대구, 광주, 전북, 경북, 경남). 노출도가 높은 수준에서 낮은 수준으로 변화하는 사례는 없었으며, 서울, 대전, 경기지역은 오히려 노출도가 낮은 수준에서 높은 수준으로 변화하는 모습을 보여주고 있었다. 둘째, 폭염에 대한 민감도는 시간이 변화함에 따라 높아지는 것으로 분석되었다. 1시기에 분기점을 기준점으로 민감도가 높은 지역은 8개 지역이지만, 2시기에는 8개 지역, 3시기에는 8개 지역으로 나타나 시간이 지나도 개선되지 않는 모습을 보여주고 있다. 셋째, 폭염에 대한 적응력이 높은 지역은 대부분 노출도와 민감도 높은 지역으로 나타났다. 다만, 전북과 경북의 경우 노출도와 민감도가 높음에도 불구하고 1시기부터 3시기까지 적응력이 낮은 수준에 머무는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 폭염 취약성 유형분석 결과(표)

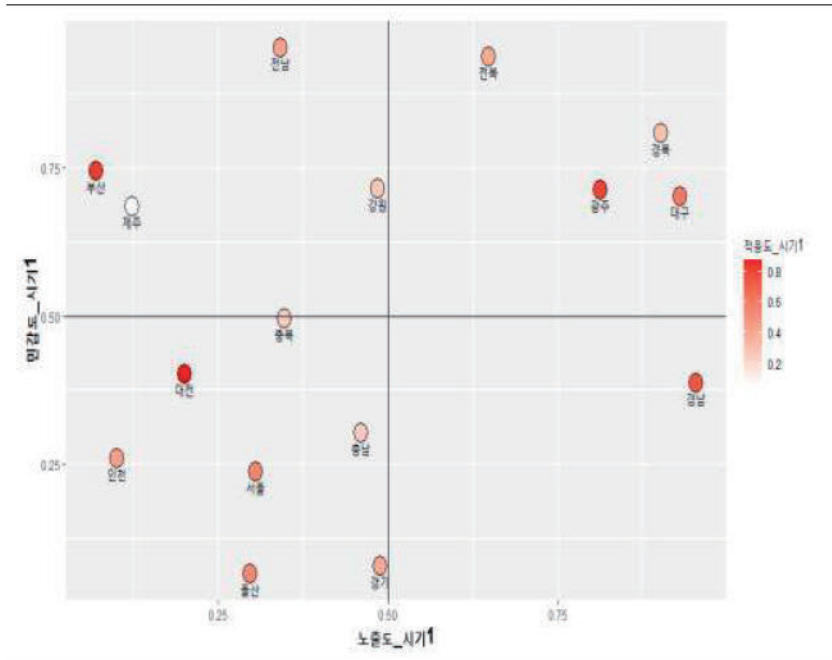
지역	1시기(2005~2009)	2시기(2010~2014)	3시기(2015~2019)
서울	esA	esA	EsA
부산	eSA	eSA	eSA
대구	ESA	ESa	ESA
인천	esa	esa	esa
광주	ESA	ESA	ESA
대전	esA	esA	ESA
울산	esA	esA	esA
경기	esa	Esa	Esa
강원	eSa	eSa	eSa
충북	esa	esa	esa
충남	esa	esa	esa
전북	ESa	ESa	ESa
전남	eSa	eSa	eSa
경북	ESa	ESa	ESa
경남	EsA	EsA	EsA
제주	eSa	eSa	esa

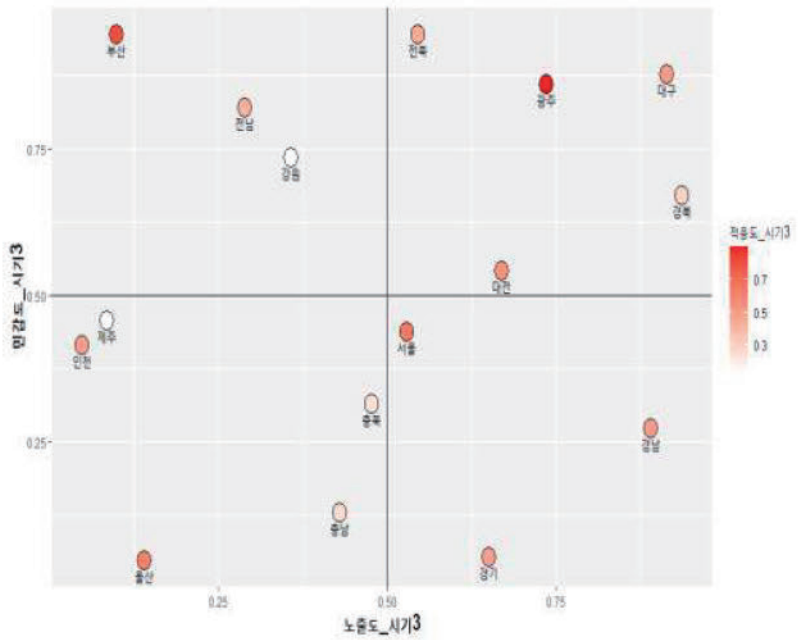
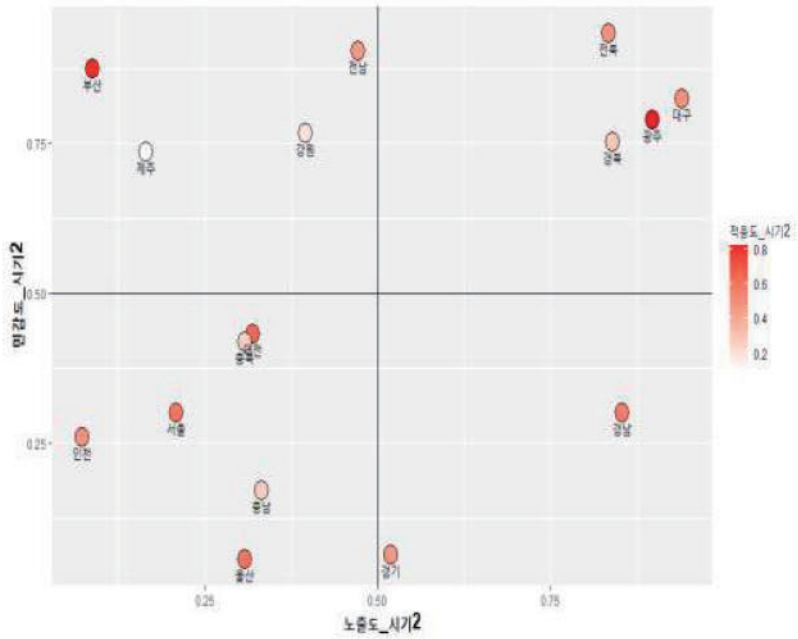
1) E : 노출도 높음 / e : 노출도 낮음 2) S : 민감도 높음 / s : 민감도 낮음
3) A : 적응도 높음 / a : 적응도 낮음

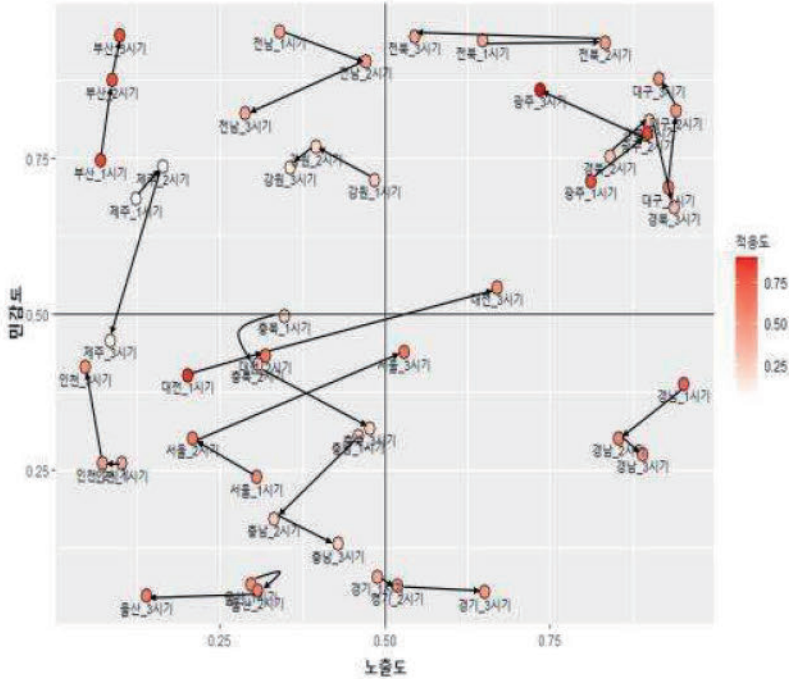
〈표 4〉는 〈표 3〉의 결과를 산점도로 가시화한 자료이다. 산점도의 X축은 노출도, Y축은 민감도를 가리키며, 적응도는 하얀색부터 빨간색의 그라디언트(Gradient)로 표시하였다. 즉, 점이 오른쪽으로 분포할수록 폭염 노출도가 크다는 것을 의미하며, 위쪽으로 분포할수록 폭염에 더욱 민감하게 반응하는 것으로 나타난다. 그리고 빨간색이 진할수록 폭염에 대한 적응도가 높은 것을 의미한다.

각 사분면을 구체적으로 설명하면 1사분면(ES형)은 노출도와 민감도가 모두 높은 상태로 폭염에 가장 취약한 지역을 의미하며, 반대로 3사분면(es형)은 노출도와 민감도가 모두 낮은 상태로 폭염에 가장 취약하지 않은 지역을 의미한다. 그 외 2사분면(eS형)은 노출도는 낮고 민감도는 높은 상태를 의미하며, 4사분면(Es형)은 노출도는 높으나 민감도는 낮은 상태를 의미한다.

〈표 4〉 시기별 지역별 폭염 취약성 유형분석 결과와 변화







2. 폭염환자 발생의 필요조건과 충분조건

1) 기초통계 분석결과

폭염환자를 발생시키는 변수들의 결합조건을 확인하기 위하여 3시기³⁾에 대하여 퍼지셋 결합형 분석을 수행하였다. 연도별 폭염환자 건수는 <표 5>와 같으며, 전체 변수에 대한 기초통계는 <표 6>과 같다.

<표 5> 연도별 폭염환자 건수

	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
서울	2,791	3,706	4,112	6,591	4,930
부산	1,526	1,618	1,229	1,729	1,211
인천	372	455	345	735	371

3) 자료구득의 한계로 3시기에 대해서만 분석을 수행했다.

대구	966	243	243	532	245
광주	363	525	423	748	417
대전	263	312	212	450	290
울산	279	370	304	612	320
경기	2,283	2,576	2,522	4,155	2,976
강원	438	502	532	940	472
충북	879	1,074	1,090	1,716	1,043
충남	1,284	1,552	1,385	1,692	971
전북	643	1,081	1,071	1,698	836
전남	1,012	1,682	1,426	2,152	1,468
경북	1,259	1,592	1,215	1,916	1,244
경남	2,810	2,630	2,080	3,306	2,523
제주	161	350	656	1,987	1,738

〈표 6〉 변수별 퍼지점수 변환 결과

	폭염 환자	폭염일수	일 최고 기온	65세이상 인구 비율	기초생활 수급 비율	도시화율	재정 자립도	의료기관 병상수
최댓값	4426.0	25.8	39.2	0.2151	0.0546	100.0	84.1	27.2
최솟값	305.4	3.6	34.7	0.1007	0.0187	71.6	25.0	7.5
중간값	1113.1	16.7	37.0	0.1460	0.0364	91.8	46.3	14.2

폭염환자의 발생건수는 2015년부터 2019년까지의 지역별 평균을 말하며, 이러한 결과를 발생시키는 원인 변수들은 노출도, 민감도, 적응도의 하위 7개의 변수로 구성하였다. 본 연구에서 사용한 분석 모델은 다음의 식 (6)과 같다.

$$\text{폭염환자 발생(A)} = \text{폭염일수(C)} + \text{일 최고기온(D)} + \text{65세이상 인구 비율(E)} + \text{기초생활수급자 비율(F)} + \text{도시화율(H)} + \text{재정자립도(J)} + \text{의료기관병상수(K)} \quad (6)$$

〈표 7〉은 결과변수와 원인 변수의 퍼지 점수 변환결과를 보여준다. 먼저, 결과변수인 폭염환자는 제주, 전남, 경남지역이 타 지역과 비교할 때 높게 나타났다. 그리고 원인 변수 중 노출도를 나타내는 폭염일수는 광주,

대구, 경남지역이, 일 최고기온은 경북, 경남, 대구지역이 타 지역과 비교할 때 높은 수준으로 나타났다. 다음으로 민감도를 나타내는 65세 이상 인구 비율은 전남, 경북, 전북지역에서, 기초생활수급 비율은 전북, 광주, 부산지역, 도시화율은 서울, 부산, 광주지역에서 타 지역과 비교할 때 상대적으로 높게 나타났다. 마지막으로 적응도를 나타내는 재정자립도는 서울, 경기, 울산지역, 의료기관병상수는 광주, 전남, 전북지역이 타 지역과 비교할 때 높은 수준에 있음을 확인할 수 있었다.

〈표 7〉 변수별 퍼지점수 변환 결과

	온열 질환환자	폭염일수	일 최고 기온	65세이상 인구 비율	기초생활 수급 비율	도시화율	재정 자립도	의료기관 병상수
서울	0.510	0.681	0.452	0.373	0.203	0.953	0.953	0.081
부산	0.463	0.106	0.151	0.678	0.802	0.953	0.725	0.802
대구	0.066	0.953	0.831	0.411	0.797	0.950	0.658	0.544
인천	0.047	0.106	0.047	0.131	0.477	0.892	0.823	0.208
광주	0.263	0.953	0.427	0.182	0.882	0.952	0.557	0.953
대전	0.080	0.852	0.503	0.158	0.518	0.948	0.647	0.591
울산	0.236	0.106	0.253	0.047	0.047	0.949	0.848	0.376
경기	0.097	0.652	0.644	0.108	0.078	0.602	0.853	0.140
강원	0.340	0.090	0.759	0.821	0.716	0.177	0.070	0.246
충북	0.699	0.382	0.592	0.632	0.457	0.167	0.196	0.415
충남	0.652	0.426	0.471	0.756	0.270	0.054	0.237	0.404
전북	0.601	0.606	0.524	0.871	0.953	0.152	0.071	0.841
전남	0.752	0.164	0.497	0.953	0.798	0.047	0.047	0.850
경북	0.573	0.815	0.953	0.875	0.638	0.115	0.122	0.624
경남	0.737	0.868	0.869	0.538	0.335	0.285	0.400	0.717
제주	0.953	0.047	0.216	0.441	0.481	0.458	0.254	0.047

* 퍼지점수가 0.8 이상인 경우 음영으로 처리

2) 진리표

모델을 설정하고 퍼지 점수로 변환을 하고 난 후에는 진리표를 통해 원 인 변수들의 논리적 배열을 확인해야 한다(Schneider and Wagemann, 2010). 〈표 8〉은 각 사례들이 어느 배열에 속하는지를 나타낸다. 여기서

1은 원인 변수가 분기점 이상으로 큰 값을 갖는 경우, 0은 분기점 미만으로 작은 값을 경우를 의미한다. 원인 변수의 배열 수는 총 2^n 으로, 본 연구에서는 7가지의 변수를 사용하였기 때문에 126개의 배열이 나타난다. 이중 실제 사례가 존재하며, 일관성 값이 0.9보다 높은 경우 폭염환자가 발생하는 집합으로 보고 1로 표시하였다.

사례 수가 가장 많은 원인 변수의 배열을 살펴보면, 도시화율과 재정자립도를 제외한 나머지 조건이 높은 배열이 폭염환자를 발생시키는 집합의 하위집합이 될 일관성이 높다고 할 수 있다. 이 배열에서 소속점수가 분기점 이상인 지역은 전북과 경북으로 나타났다. 진리표에 따르면 일관성 값이 0.9이상인 경우 모든 배열에서 도시화율과 재정자립도가 나타나지 않았으며, 0.9이하인 경우에는 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한, 65세 이상 인구비율의 경우에도 0.8이상의 경우에는 모두 나타나고 있으며, 0.8이하의 모두 나타나지 않고 있음을 확인할 수 있다. 이는 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮으며, 65세 이상 인구비율이 많은 배열이 많은 폭염환자를 발생시키는 집합의 하위집합으로 소속될 수 있음을 의미한다.

〈표 8〉 진리표

배열	원인 변수							결과 변수 온열 질환 환자	지역	Y-con
	폭염 일수	일 최고 기온	65세 이상 인구	기초 생활 수급자	도시화율	재정 자립도	병상수			
cDEfhjk	0	1	1	0	0	0	0	1	충북	0.996
CDEfhjK	1	1	1	0	0	0	1	1	경남	0.996
CDEFhjK	1	1	1	1	0	0	1	1	전북, 경북	0.983
cdEfhjk	0	0	1	0	0	0	0	1	충남	0.972
cdefhjk	0	0	0	0	0	0	0	1	제주	0.949
cDEFhjk	0	1	1	1	0	0	0	0	강원	0.86
cdEFHJK	0	0	1	1	1	1	1	0	부산	0.806
CdefHJK	1	0	0	0	1	1	0	0	서울	0.683
CDefHJK	1	1	0	0	1	1	0	0	경기	0.658
cdefHJK	0	0	0	0	1	1	0	0	인천, 울산	0.62
CdefHJK	1	0	0	1	1	1	1	0	광주	0.617
CDeFHJK	1	1	0	1	1	1	1	0	대구	0.606

C : 폭염일수, D : 일최고기온, E : 65세이상 인구비율, F : 기초생활수급 비율, H : 도시화율.

J : 재정자립도, K : 의료기관병상수

3) 폭염환자 발생의 필요조건

〈표 9〉와 〈표 10〉은 원인 변수 집합의 결과 집합에 대한 필요조건 분석 결과이다. 이 연구에서는 폭염환자를 발생시키는 필요조건을 도출하기 위하여 Y-일관성과 N-일관성 검증을 실시하였다. 필요조건 검증 결과 Y-일관성과 N-일관성의 조건을 동시에 만족하는 변수는 나타나지 않았지만, 유의확률 검증기준을 제외할 경우 65세 이상 인구가 폭염환자를 발생시키는 필요조건으로 나타났다. 즉, 많은 폭염환자 집합에 소속될 경우, 65세 이상 인구는 거의 항상(almost always) 필요조건이라고 볼 수 있다. 다른 변수들은 폭염환자를 발생시키는 필요조건으로 나타나지는 않았지만, 다른 변수들과 결합했을 때 폭염환자를 발생시킬 수 있으며, 이는 충분조건 분석을 통해 확인가능하다.

〈표 9〉 필요조건 Y-일관성 검증결과

	검증기준 benchmark $\geq .80$, $p < .05$				설명력	검증결과
	Y-CON	검증기준값	F	P		
폭염일수	0.608	0.8	2.62	0.126	0.55	
일 최고기온	0.756	0.8	0.24	0.632	0.652	
65세이상 인구	0.833	0.8	0.23	0.637	0.738	PASS*
기초생활수급자	0.715	0.8	1.15	0.301	0.598	
도시화율	0.455	0.8	14.16	0.002	0.372	
재정자립도	0.447	0.8	15.03	0.001	0.424	
의료기관병상수	0.72	0.8	0.46	0.51	0.649	

*검증기준에서 유의확률을 제외하고 Y-CON이 0.8보다 높은 변수

〈표 10〉 필요조건 N-일관성 검증결과

	검증기준 Y-con \geq N-con, $P < .05$				설명력	검증결과
	Y-CON	N-CON	F	P		
폭염일수	0.608	0.748	0.48	0.501	0.55	
일 최고기온	0.756	0.691	0.18	0.677	0.652	PASS*
65세이상 인구	0.833	0.528	5.4	0.035	0.738	PASS

기초생활수급자	0.715	0.654	0.15	0.701	0.598	PASS*
도시화율	0.455	0.752	2.6	0.128	0.372	
재정자립도	0.447	0.848	7.23	0.017	0.424	
의료기관병상수	0.72	0.668	0.06	0.806	0.649	

*검증기준에서 유의확률을 제외하고 Y-CON이 N-CON보다 높은 변수

4) 폭염환자 발생의 충분조건

폭염환자가 많이 발생하는 지역을 설명하는 원인 변수들은 다양한 배열로 구성될 수 있다(Wagemann and Schneider, 2010). 필요조건과 마찬가지로 충분조건 배열을 도출하기 위하여 Y-일관성과 N-일관성 검증을 수행하였다. <표 11>을 살펴보면, 5개 배열이 충분조건으로 나타났다. 폭염환자를 발생시키는 5개의 충분조건 배열을 좀 더 구체적으로 설명하면 다음과 같다.⁴⁾

첫 번째 배열인 cDEfhjk는 폭염일수가 적고, 일 최고기온이 높으며, 65세 이상 인구가 많고, 기초생활수급자가 적고, 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮고, 의료기관 병상수가 적은 배열을 의미한다. 이 배열에 속하는 최적 사례는 충북지역으로 나타났다.

두 번째 배열인 CDEfhjk는 폭염일수가 많고, 일 최고기온이 높으며, 65세 이상 인구가 많고, 기초생활수급자가 적고, 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮고, 의료기관 병상수가 많은 배열을 의미한다. 이 배열에 속하는 최적 사례는 경남지역으로 나타났다.

세 번째 배열인 CDEfhjk는 폭염일수가 많고, 일 최고기온이 높으며, 65세 이상 인구가 많고, 기초생활수급자가 적고, 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮고, 의료기관 병상수가 적은 배열을 의미한다. 이 배열에 속하는 최적 사례는 없는 것으로 나타났다. 최적 사례가 0이라는 의미는 그 배열

4) 5개 배열을 구성하는 변수들을 설명하면 다음과 같다. C: 폭염일수, D: 일최고기온, E: 65세이상 인구비율, F: 기초생활수급 비율, H: 도시화율, J: 재정자립도, K: 의료기관병상수이다. 여기서 대문자는 0.5 이상으로 소속공간에 속하는 경우이며, 소문자는 소속공간에 속하지 못하는 경우를 의미한다. 예를 들어 C는 폭염일수가 많은 것을 의미하며, c는 폭염일수가 적은 것을 의미한다.

의 퍼지 점수가 0.5이하이기 때문에 통과하지 못하는 것을 의미한다. 하지만, 통과하지 못해도 모든 사례는 부분적으로 속성 공간에 포함된다 (Ragin, 2000). 따라서 비록 최적 사례는 없지만, 본 연구에서는 세 번째 배열도 충분조건의 결과로 해석하기로 하였다.

네 번째 배열인 CDEFhjK는 폭염일수가 많고, 일 최고기온이 높으며, 65세 이상 인구가 많고, 기초생활수급자가 많고, 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮고, 의료기관 병상수가 많은 배열을 의미한다. 이 배열에 속하는 최적 사례는 전북과 경북지역으로 나타났다.

다섯 번째 배열인 cdEfhjk는 폭염일수가 적고, 일 최고기온이 낮으며, 65세 이상 인구가 많고, 기초생활수급자가 적고, 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮고, 의료기관 병상수가 적은 배열을 의미한다. 이 배열에 속하는 최적 사례는 충남지역으로 나타났다.

상기의 결과를 통해 살펴보면, 의료기관병수가 많아 폭염에 대한 적응 능력을 갖추고 있다고 하더라도 폭염일수가 많고, 최고온도가 높고, 취약 계층이 많고, 재정자립도가 낮을 경우 폭염환자가 많이 발생하는 지역에 포함될 수 있음을 의미한다. 또한, 재정자립도와 도시화율이 높은 지역들 보다는 오히려 재정자립도와 도시화율이 낮은 지역들이 폭염환자가 많이 발생하는 집합에 소속될 수 있음을 확인할 수 있다.

〈표 11〉 충분조건 검증결과

배열	검증기준							최적사례
	benchmark $\geq .80$, $p < .05$				Y-con \geq N-con, $P < .05$			
	Y-CON	검증기준 값	F	P	N-CON	F	P	
cDEfhjk	0.996	0.8	1715.73	0	0.784	6.29	0.024	1
CDEFhjK	0.996	0.8	1716.62	0	0.834	3.63	0.076	1
CDEfhjk	0.995	0.8	1409.12	0	0.92	4.24	0.057	0
CDEFHJK	0.982	0.8	140.21	0	0.833	18.58	0.001	2
cdEfhjk	0.971	0.8	42.89	0	0.727	3.47	0.082	1

C : 폭염일수, D : 일최고기온, E : 65세이상 인구비율, F : 기초생활수급 비율, H : 도시화율,
J : 재정자립도, K : 의료기관병상수

다섯 개의 참인 충분조건 배열들은 공통된 요인을 활용하여 2개의 배열로 축약할 수 있으며, 그 결과는 <표 12>와 같다. 최종적으로 온열질환을 발생시키는 충분조건 배열을 설명하면 다음과 같다. 첫 번째 배열은 cEfhjk로 65세 이상 인구를 제외한 나머지 변수들이 다른 지역과 비교할 때 낮은 경우이며, 두 번째 배열인 CDEhjK는 폭염일수가 많고, 일 최고기온이 높으며, 65세 이상 인구가 많고, 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮고, 의료기관병상수가 많은 경우이다. 첫 번째 배열(cEfhjk)은 노출도가 낮아도 65세 이상 인구가 많은 경우 많은 폭염환자가 발생하는 집합에 포함될 수 있음을 의미하며, 두 번째 배열(CDEhjK)에는 65세 이상 인구에 더하여 폭염일수, 일 최고기온과 같은 노출도뿐만 아니라 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮으면 의료기관병상수가 많더라도 폭염환자 발생이 많은 집합에 포함될 수 있다.

〈표 12〉 축약결과

	Raw coverage	Unique Coverage	Consistency
c*E*f*h*j*k	0.395	0.130	0.975
C*D*E*h*j*K	0.447	0.182	0.981

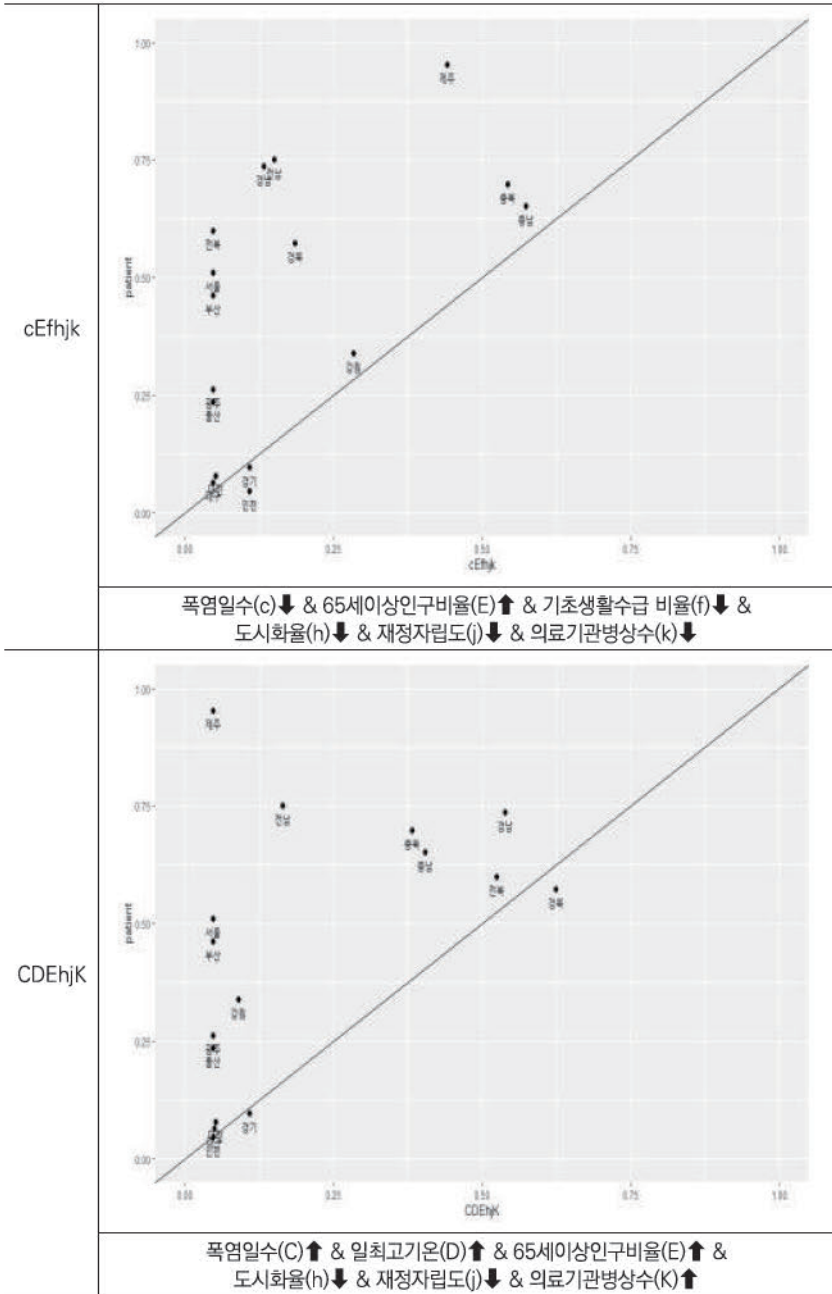
Total Coverage : 0.577 Solution Consistency : 0.971

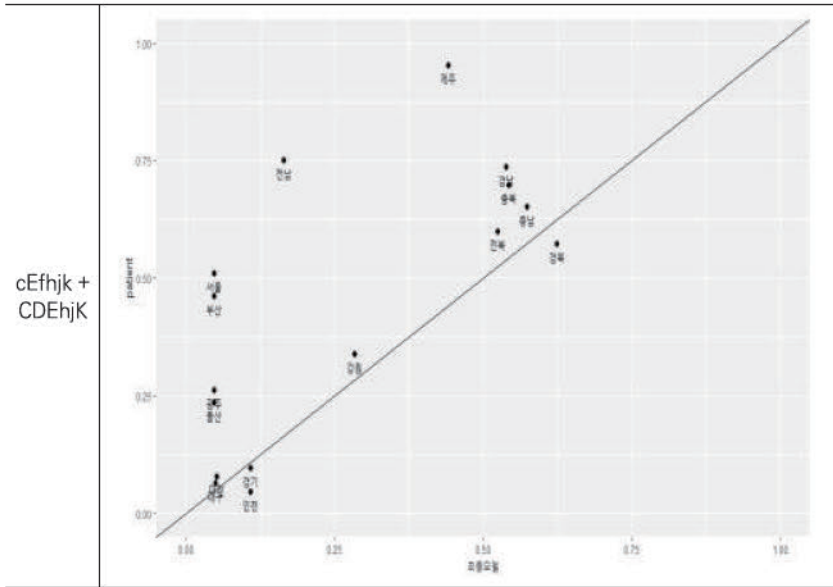
C : 폭염일수, D : 일최고기온, E : 65세이상 인구비율, F : 기초생활수급 비율, H : 도시화율.

J : 재정자립도, K : 의료기관병상수

<표 13>은 사례분석을 기반으로 원인조합의 배열과 폭염환자 수 간의 관계를 보여준 산점도이다. Y축은 폭염환자 수를 나타내고, X축은 원인조합의 열을 나타낸다. 원인조합의 배열이 모든 사례를 설명한다면 일관성 값은 1이 된다. 대부분의 사례가 대각선 위쪽으로 위치하고 있어 일관성이 높게 나타났음을 확인할 수 있다. 즉, 경기, 인천, 경북을 제외한 나머지 지역들의 경우 기후 취약성 요소와 폭염환자 발생 사이의 관계에 관한 이론적 진술에 부합함을 보여준다.

〈표 13〉 폭염환자와 충분조건 배열 점수 간의 산점도





V. 결론 및 정책적 시사점

본 연구는 퍼지셋 질적비교분석을 활용하여 지역별 폭염유형을 분류하고 폭염환자를 발생시키는 충분조건과 필요조건을 확인하기 위해, IPCC에서 제시한 기후 취약도의 노출도, 민감도, 적응도를 기준으로 분석을 수행하였다. 분석 결과, 노출도가 높은 지역은 시간이 변화해도 노출도가 감소하기 보다는 여전히 높은 수준에 머물고 있었다. 노출도가 낮거나 높은 수준을 유지하거나 낮은 수준에서 높은 수준으로 변화하는 사례는 있었으나, 높은 수준에서 낮아진 사례는 없었다. 민감도는 시간이 변화함에 따라 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 적응력의 경우 적응력이 높은 지역은 대부분 노출도와 민감도 모두 높은 지역이었다.

폭염환자를 발생시키는 필요조건은 65세 이상 인구로 나타났으며 충분조건은 총 2가지 배열(cEfhjk, CDEhJK)로 나타났다. 첫 번째 배열(cEfhjk)은 노출도가 낮아도 65세 이상 인구가 많은 경우 많은 폭염환자가 발생하는 집합에 포함될 수 있음을 의미하며, 두 번째 배열(CDEhJK)은 65세 이

상 인구에 더하여 폭염일수, 일 최고기온과 같은 노출도뿐만 아니라 도시화율이 낮고, 재정자립도가 낮으면 의료기관 병상 수가 많더라도 폭염환자 발생이 많을 수 있음을 뜻한다.

본 결과는 지역별로 폭염 적응 정책의 수립과 집행에 대한 노력이 더 필요함을 시사하며 다음과 같은 정책들이 마련되어야 할 것이다. 첫째, 65세 고령자 인구에 대한 사회적 지원과 관리가 필요하다. 65세 이상 고령자 인구는 폭염환자의 필요조건으로 나타났다. 첫 번째 배열(cEfhjk)에 따르면 폭염일수, 기초생활수급자 비율, 도시화율 등 다른 요인이 낮아도 65세 이상인구비율이 높으면 폭염환자가 발생할 수 있다. 이는 곧, 65세 이상 인구에 대한 집중관리가 필요함을 의미한다. 65세 이상 인구는 일반 시민에 비해 폭염특보 인지 및 폭염 정보 입수 비율이 낮고 긴급재난문자 보다는 TV 또는 라디오를 통해 폭염 특보를 입수한다(조항문 등, 2021). 이러한 특성을 고려하여 폭염 특보 안내와 대응 요령을 반복적으로 고령층도 이해하기 쉬운 언어로 안내해야 할 것이다.

또한, 두 번째 배열(CDEhJK)에서는 폭염일수, 일 최고기온 등 노출도가 높은 경우에는 의료기관 병상 수가 많아도 65세 이상인구비율이 높고, 도시화율과 재정자립도가 낮으면 폭염환자가 발생할 수 있음을 보여준다. 따라서 의료기관 인프라 확충도 필요하지만 이와 더불어 고령화 비율이 높고 재정자립도가 낮은 지자체를 폭염 취약지역으로 선정하여 특별히 관리해야 할 것이다. 재정자립도가 낮으면 해당 지역에 특화된 대응 방안 마련이 어려울 수 있다. 따라서 폭염 취약지역을 선정하고 해당 지역의 특성을 고려한 맞춤형 폭염 대응 정책을 마련해야 한다. 특히 두 번째 배열에 해당하는 전북과 경남 지역은 노출도와 민감도가 높음에도 불구하고 모든 시기에 적응력이 낮은 수준에 머물렀다. 이러한 지역은 도시화율이 낮은 지역적 특성을 반영하여 생활주변 도로물청소 보다는 이용자의 이동 거리를 고려한 폭염대피소 운영, 이동형 그늘막 설치, 폭염 경보 발령 시 작업 시간 조정 및 작업 중지 등 폭염에 대한 노출 자체를 줄이는 대안이 마련되어야 한다.

본 연구는 광역자치단체 수준에서 노출도, 민감도, 적응도의 기준을 사용하여 폭염유형을 구분하고, 폭염환자를 발생시키는 요인들의 결합조건들을 살펴보았다. 폭염피해는 기초자치단체별로 편차를 보일 수 있지만 그럼에도 불구하고 본 연구에서 광역자치단체 수준에서 분석을 한 이유는 폭염적응정책 수립은 광역 및 기초자치단체의 상호 간의 긴밀한 거버넌스 속에서 이루어져야 하기 때문이다. 따라서 본 연구에서 제시하는 폭염유형은 과거부터 현재까지 각 광역자치단체가 폭염에 대하여 어떤 상황에 처해 왔는지 이해하는 데 도움이 될 것이다. 이를 바탕으로 노출도와 민감도가 지속적으로 높아지거나 개선이 안 되는 지역들은 기초자치단체에 대한 더 면밀한 조사를 수행하여 폭염사회에 적극적으로 대응할 필요가 있다. 따라서 이에 대한 정책을 제시하기 위해 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다.

■ 참고문헌 ■

- 김규환·박인권, 2018, “퍼지셋 질적비교분석을 이용한 우리나라 지역혁신의 유형 및 요인 분석”, 『지역연구』, 34(4), pp.3-18.
- 김기욱·박봉철·허종배·강지윤·이인재, 2020, “IPCC 기후변화 취약성 평가 체계를 적용한 부산지역 폭염 취약성 평가”, 『국토연구』, 104, pp.23-38.
- 김도우·정재학·이종설·이지선, 2014, “우리나라 폭염 인명피해 발생특징”, 『대기』, 24(2), pp.225-234.
- 김동현·김성재·이예은·김상민, 2013, “기후변화에 따른 농업생산기반 취약성 평가 연구”, 『한국농공학회 학술대회초록집』, 2013, pp.57-57.
- 김선명·김남의, 2012, “기후변화 취약성 평가에 관한 연구”, 『한국거버넌스학회보』, 19(2), pp.99-123.
- 김운수·최유진·김정아, 2010, 『서울시 기후변화 고도적응 방안 연구』, 서울: 서울시정 개발연구원.
- 박종철·채여라, 2020, “2018년 폭염으로 인한 온열질환자와 초과사망자 분석”, 『대한지리학회지』, 55(4), pp.391-408.
- 신호성·이수형, 2014, “기후변화 건강 취약성 평가지표 개발”, 『환경정책연구』, 13(1), pp.69-93.
- 유가영·김인애, 2008, 『기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안』, 세종: 한국환경연구원.

- 윤성권·최봉석·전의찬, 2013, “시흥시 기후변화 취약성 평가 연구”, 『한국기후변화학회지』, 4(1), pp.1-10.
- 이나영·조용성·임재영, 2014, “폭염으로 인한 기후변화 취약계층의 사망률 변화 분석”, 『보건사회연구』, 34(1), pp.456-484.
- 이인상·하경준·추수현, 2018, “경남 폭염 피해현황 및 대응방안”, 『중점정책연구 현안 연구』, pp.1-40, 창원: 경남연구원
- 이수미·권일·김용진, 2019, “도시 환경이 온열질환 발생에 미치는 영향에 관한 연구”, 『한국콘텐츠학회논문집』, 19(12), pp.84-92.
- 재은박·보영허·우영선, 2016, “폭염에 의한 지역별 인명피해 발생에 관한 연구”, 『한국방재학회 논문집』, 16(1), pp.103-109.
- 조항문·이윤혜, 2018, 『서울시 폭염 대응력 향상 방안』, 서울: 서울연구원.
- 조항문·손창우·유기영·최유진·이윤혜·김정아, 2017, 『서울시 폭염 대응력 강화방안』, 서울: 서울연구원.
- 조혜민·하재현·이수기, 2019, “서울시 도시열섬현상 지역의 물리적 환경과 인구 및 사회경제적 특성 탐색”, 『지역연구』, 35(4), pp.61-73.
- 최예술·김재원·임업, 2018, “서울시 폭염 취약지역의 공간적 패턴 및 적응능력 취약지역 분석”, 『국토계획』, 53(7), pp.87-107.
- 최현아·이우균·곽한빈·최성호·변재균·유성진, 2009, “시·공간정보기반 기후변화 취약성 평가”, 『한국공간정보시스템학회 논문지』, 11(3), pp.63-69.
- Barreca, A. I., 2012, “Climate change, humidity, and mortality in the United States”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 63(1), pp.19-34.
- Basu, R. and Samet, J. M., 2002, “Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence”, *Epidemiologic reviews*, 24(2), pp.190-202.
- Bernard, S. M. and McGeehin, M. A., 2004, “Municipal heat wave response plans”, *American journal of public health*, 94(9), pp.1520-1522.
- Burton, I. and Lim, B., 2005. “Achieving adequate adaptation in agriculture”, *Climatic change*, 70(1), pp.191-200.
- He, C., Ma, L., Zhou, L., Kan, H. D., Zhang, Y., Ma, W. C. and Chen, B., 2019, “Exploring the mechanisms of heat wave vulnerability at the urban scale based on the application of big data and artificial societies”. *Environment International*, 127, pp.573-583
- Dickson, E., Baker, J. L., Hoornweg, D. and Tiwari, A., 2012, “Urban risk assessments: understanding disaster and climate risk in cities”. World Bank Publications.
- Füssel, H. M. and Klein, R. J., 2006, “Climate change vulnerability assessments: an

- evolution of conceptual thinking”, *Climatic change*, 75(3), pp.301-329.
- IPCC, 2014: “Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]”, Geneva: IPCC.
- Khajuria, A. and Ravindranath, N. H., 2012, “Climate change in context of Indian agricultural sector”, *Journal of Earth Science and Climate Change*, 3, 110.
- Kim, D. W., Chung, J. H., Lee, J. S. and Lee, J. S., 2014. “Characteristics of heat wave mortality in Korea”. *Atmosphere*, 24(2), pp.225-234.
- Lawrence, W., Soim, A., Lu, Y., Lipton, E., Lin, Z., Zhang, W. et al., 2018, “Racial-and Ethnic-Specific Associations between Maternal Exposure to Heatwave and Term Low Birth Weight: A Large Population-Based Case-Control Study”. APHA’s 2018 Annual Meeting & Expo., APHA.
- Méndez-Lázaro, P. A., Pérez-Cardona, C. M., Rodríguez, E., Martínez, O., Taboas, M., Bocanegra, A. and Méndez-Tejeda, R., 2018, “Climate change, heat, and mortality in the tropical urban area of San Juan, Puerto Rico”. *International journal of biometeorology*, 62(5), pp.699-707.
- Ofori, B. Y., Stow, A. J., Baumgartner, J. B., and Beaumont, L. J., 2017, “Influence of adaptive capacity on the outcome of climate change vulnerability assessment”, *Scientific reports*, 7(1), pp.1-12.
- Peng, R. D., Bobb, J. F., Tebaldi, C., McDaniel, L., Bell, M. L. and Dominici, F., 2011, “Toward a quantitative estimate of future heat wave mortality under global climate change”, *Environmental health perspectives*, 119(5), pp.701-706.
- Ragin, C. C.(Eds.), 2008, *Redesigning social inquiry: Fuzzy sets and beyond*, Chicago: University of Chicago.
- Ragin, C. C.(Eds.), 1987, *The Comparative Method: Moving Beyond Qualitative and Quantitative Strategies*, California: University of California Press.
- Ragin, C. C. and Rihoux, B., 2004, “Qualitative comparative analysis(QCA): State of the art and prospects,” *Qualitative Methods*, 2(2), pp.3-13., DOI: 10.5281/zenodo.982222
- Rihoux, B. and Ragin, C. C., 2009, “Configurational comparative methods: qualitative comparative analysis(QCA) and related techniques”, London: Sage.
- Schipper, E. L. F., Thomalla, F., Vulturius, G., Davis, M. and Johnson, K., 2016, “Linking disaster risk reduction, climate change and development”, *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*. 7(2), pp.216-228
- Schipper, L. and Pelling, M., 2006, “Disaster risk, climate change and international

- development: scope for, and challenges to, integration”, *Disasters*, 30(1), pp.19-38.
- Soares, M. B., Gagnon, A. S. and Doherty, R. M., 2012, “Conceptual elements of climate change vulnerability assessments: a review”, *International Journal of Climate Change Strategies and Management*. 4(1), pp.6-35
- Soares-Filho, B., Silvestrini, R., Nepstad, D., Brando, P., Rodrigues, H., Alencar, A., et al. 2012, “Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters”, *Landscape Ecology*, 27(4), pp.585-598.
- Taylor, A., de Bruin, W. B., and Dessai, S., 2014, “Climate change beliefs and perceptions of weather-related changes in the United Kingdom”, *Risk Analysis*, 34(11), pp.1995-2004.
- Trenberth, K. E. and Fasullo, J. T., 2012. “Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D17).
- Yusuf, A. A. and Francisco, H. 2009, “Climate change vulnerability mapping for Southeast Asia”, Ottawa: IDRC-CRDI

김규환: 서울시립대학교 도시행정학과 대학원과정에서 행정학 박사학위를 취득하고, 현재 고려대학교 미래성장연구원의 연구교수로 재직중이다. 혁신을 주제로 기술혁신, 사회혁신, 지역혁신 등 다양한 주제에 대하여 정성적, 정량적 분석방법을 사용하여 연구를 수행하고 있다(therute@korea.ac.kr).

류주현: 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 환경관리전공에서 석사학위를 취득하고, 서울연구원에서 근무하였다. 주요 관심 분야는 기후변화·에너지·환경 정책 등이다(sabedorsabio@gmail.com).

임나리: 연세대학교 대기과학과에서 석사학위를 취득하고 동대 비가역적 기후변화 연구센터에 재직 중이다. 현재 기후변화에 따른 기후 시스템의 회복성 관점에서 극한 기상현상을 연구하고 있다. 기후변화 정책·에너지 전환 등에 관심을 가지고 있다(imnari1256@yonsei.ac.kr).

홍민지: 포항공과대학교 환경공학부에서 박사과정 중이며, 현재 데이터 분석을 통한 영양염 기반 동아시아 해역의 연간 이산화탄소 흡수량 산정 연구를 진행하고 있다. 해양 내 이산화탄소 순환 및 예측 모델링 등에 관심을 가지고 있다(mjhong@postech.ac.kr).