

폭염 시 위험지역과 취약계층 거주지역 간의 공간관계 분석*

Analysis on the Spatial Relationship between the Residential Area of the Vulnerable Groups and the Hazardous Area during the Heat Wave

배민기** · 김보은*** · 이채연****

Min-Ki Bae · Bo-Eun Kim · Chae-Yeon Lee

요약: 본 연구의 목적은 폭염노출 위험지역과 취약계층 거주지역간의 공간 관계를 해석하여 폭염에 가장 취약한 지역을 찾아내는 것이다. 이를 위해서, 본 연구에서는 충북 청주시를 대상으로 취약계층 거주가능성이 높은 지역을 집계구 단위에서 찾아내고, 폭염지도를 생성한 후, 폭염노출 위험 수준과 취약계층 거주가능성 간의 공간관계를 해석하였다. 세부적으로 1) 신체적 취약요인, 생활여건 취약요인, 경제적 취약요인에 해당 하는 9개의 변수를 선정한 후 지도화하였다. 2) SOLWEIG 모델을 이용하여 평균복사온도 분포를 산출하고 10m 격자 단위의 폭염지도를 생성하였다. 3) 국지적 공간자기상관 분석을 활용하여 폭염위험이 높으면서 취약계층에 의한 취약성도 높은 집계구를 산출하였다. 분석 결과, 구도심에 위치한 집계구들이 폭염위험이 높은 동시에 취약계층 거주가능성이 높았으며, 공간적으로도 밀집하고 있음을 통계적으로 검정할 수 있었다. 본 연구결과는 폭염위험에 노출된 취약계층의 정책 체감도를 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

핵심주제어: 폭염지도, SOLWEIG 모델, 공간자기상관분석, 밀집도, 집계구

Abstract: The purpose of this study was to find the areas most vulnerable to heat waves by interpreting the spatial relationship between the residential area of vulnerable groups and the hazardous area during the heat wave. For this purpose, nine vulnerability variables relating to physical condition, living conditions, and economic status were selected and mapped within the city of Cheongju, located in Chungbuk Province, South Korea. During the heat wave, the distribution of the average radiant temperature was mapped in 10m grid units using the SOLWEIG model. A local spatial autocorrelation analysis was used to find census output areas (COAs) with a high risk of heat waves and large populations of vulnerable groups. The analysis indicated that the COAs located in the old city center were at high risk for heat waves and highly likely to be inhabited by vulnerable groups. Additionally, the analysis demonstrated that it was statistically significant that these COAs were concentrated spatially. The results of this study could contribute to improving the environmental policy sentiment of vulnerable groups exposed to the risk of heat waves.

Key Words: Heat-Wave Map, SOLWEIG Model, Spatial Autocorrelation Analysis, Density, Census Output Area

* 본 과제는 행정안전부 폭염 등 기후재난 대응 기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(20009755).

** 주저자, 충북연구원 상생발전연구부 선임연구위원

*** 교신저자, 국립재난안전연구원 선임연구위원

**** 공동저자, 한국외국어대학교 대기환경연구소 기상기후서비스팀 책임연구원

I. 서론

일반적으로 취약계층은 신체적 혹은 사회·경제적 제약으로 인해 상대적으로 재난위험 회피력과 피해 회복력이 낮다. 이들은 단 한 번 위험에 노출되는 것만으로도 돌이킬 수 없는 피해를 겪을 수 있어 정책적 배려가 필요하다. 따라서 재난으로부터 취약계층을 어떻게 보호할 것인가? 하는 것은 국가 위기관리에 있어 핵심이슈 중 하나이다. 최근(2015년 9월) UN은 2030년까지 '아무도 소외되지 않게 한다(No-one left behind)'는 것을 인류 보편적, 환경, 경제, 사회문제 해결을 위한 새로운 의제로 설정하기도 하였다. 이에 우리나라 정부도 국민안전과 생명을 지키는 안심 사회를 핵심 국정과제로 결정하고 취약계층을 항상 정책의 우선순위로 고려해 왔다. 관계부처별로 주요 계획인 국토종합계획, 국가기후변화 적응대책, 공공보건의료 기본계획 등을 통해 취약계층 지원정책을 수립하고, 사회보장제도, 물품 지원, 시설 제공, 주거환경개선, 의료지원 등 다양한 사업을 시행하고 있다.

하지만, 기존에는 취약계층을 단순히 연령, 신체적, 경제적 특성으로만 결정하거나, 전국적으로 획일적인 경제지원에 치우쳐진 경향이 있어 관련 정책 실효성이 저하될 우려가 컸다. 이는 지금까지 취약계층이 누구인지에 주로 관심을 가졌을 뿐, 그들이 어떤 지역에 사는지, 그곳은 어떠한 재난에 상대적으로 더욱 취약한지 등에 관한 공간적인 측면에서의 관심은 부족하였기 때문으로 판단된다.

더불어, 취약계층은 재난회복력이 부족하므로, 더욱 강화된 지원 대책이 필요하다는 논리에 대해 근거확보도 필요한 시점이다. 고령자, 독거노인, 저소득자 등의 취약계층들이 그렇지 않은 사람들보다 집중호우, 폭염 등으로 인하여 상대적으로 큰 피해를 보고 있고, 당연히 그럴 것이라고 인식되고 있다. 실제로 그러한가에 대한 과학적 검증이 충분히 이루어져야 취약계층 관련 정책 추진 타당성이 확보될 것이기 때문이다. 이처럼 취약계층이 재난위험에 더 많이 노출되는 불평등이 발생하고 있음을 공간

적으로 입증하는 것은 재난안전 정책수립에 필수적인 정보임에도 불구하고 관련 연구는 미흡한 실정이다.

이와 관련한 기존 연구로는 행정구역단위에서 1인가구 성장패턴 분석(이희연 등, 2011), 집계구 단위에서 1인가구 밀집요인 분석(채정은 등, 2014; 신상영, 2010), 독거노인의 공간군집 분석(송은정·이우주, 2017), 노령인구 집중지역 분석(정지은·전명진, 2013) 등이 있었다. 기존 연구의 분석 대상은 1인 가구, 독거노인, 노령자 등 대표적 취약계층을 다루고 있지만, 공간적 분포를 확인하거나 주택공급 확대방안(Wulff, 2001; 원경미, 2012) 마련 등에 초점을 두고 있을 뿐, 위험과의 공간관계 해석은 거의 이루어지지 않았으며, 분석단위도 대부분 행정구역 단위라 연구결과의 활용에도 한계가 있었다.

한편, 재난위험 중 폭염은 자연재난 가운데 인명 피해가 가장 큰 재난으로서 기록적인 폭염이 발생했던 2018년에는 전국에서 4,526명의 온열질환자가 발생하고 이 중 48명이 사망하였는데 이는 2008년~2017년(10년) 동안 호우와 태풍 등으로 인한 인명 피해 15.2명과 비교하면 약 300배 수준이다. 앞으로 2019년 13.3일이던 폭염일수가 10년마다 약 1.55일 증가하고 40년 후엔 최대 32일까지도 기록할 것으로 예측됨에 따라(기상청, 2020; RCP8.5 기준) 폭염은 우리나라에서 가장 위험도가 높은 재난 중 하나로 지목되고 있다. 폭염으로 인한 온열질환자의 대부분이 고령자이거나 야외노동자 등으로 폭염은 취약계층과 관련이 높은 재난이지만, 폭염 위험지역과 취약계층 거주지역 간 공간관계에 대한 설명이나 규명은 충분히 이루어지지 못하고 있다. 지금처럼 특정 행정구역의 최고기온이 몇 ℃인지, 65세 이상 노인인구가가 몇 명인지 정도의 자료만으로는 적절한 폭염 대책을 수립하는데 한계가 있다. 왜냐하면 여름철 복사온도는 행정구역 내에서도 지역별로 편차가 크며, 고령자도 어디에 거주하는가에 따라서 피해 위험도가 다르기 때문이다. 이는 폭염 위험지역과 취약계층 거주지역 간 어떠한 관계가 있는지 통계적 검정을 통해 보완할 수 있다.

따라서, 본 연구는 청주시를 대상으로 취약계층의 공간적 분포 즉, 밀집

지역을 도출하고 밀집된 지역이 폭염위험과 어떤 공간관계를 갖는지 파악하여 폭염 대응대책 수립 시 기여하는 것을 목적으로 한다. 본 연구결과는 기후변화 적응계획 수립 시 폭염에 의한 취약성 평가방법 개선에 활용될 수 있을 것이며, 여타 공간을 기반으로 발생하는 재난 유형에도 적용할 수 있을 것이다.

II. 폭염 및 취약계층에 대한 이론 및 선행연구 고찰

1. 폭염과 취약계층에 대한 고찰

1) 폭염에 대한 고찰

지역마다 주어진 환경과 기온 환경에 대한 적응력의 범위 또한 상이하므로, 폭염의 기준은 국가별·지역별로 다르다(김진옥, 2005). 세계기상기구(WMO)는 평균 최고 기온이 5℃ 이상인 일수가 5일 이상 지속되는 경우, 미국 기상청은 일 기온이 32.3℃를 초과하는 일수가 3일 이상 연속되는 경우, 프랑스는 기온이 30~36℃이며 4일 이상 지속되는 경우, 우리나라는 일 최고 기온이 33℃ 이상인 경우를 ‘폭염’이라 한다(하종식 등, 2014). 기상청은 6~9월 일 최고 기온을 기준으로 폭염주의보와 경보를 발령하고 있으며, 2019년 6월 1일부터 폭염영향 예보서비스를 통해 폭염으로 인한 지역 및 영향 분야별(보건, 산업 등) 위험 수준을 감지하고 대응하고 있다.¹⁾

우리나라의 폭염은 2018년 9월 18일 재난 및 안전관리 기본법의 개정²⁾을 통해 자연재난의 하나로 포함되었다. 미국 질병통제예방센터도 자연재난의 하나로 폭염(Extreme Heat)을 분류하고, 장기간 지속될 경우 가뭄을

1) 분야별 위험 수준 산정 방식과 대응요령은 관련 정부부처와 협의 후 제시한다.

2) 재난 및 안전관리 기본법 제3조에서 “재난”이란 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것이라 정의하고 있으며 크게 자연재난과 사회재난으로 구분하고 있다. 법이 개정되면서 폭염이 자연재난에 포함되었다.

동반한 혹서로 매우 위험한 상황이 올 수 있다고 경고하면서, 폭염과 질병과의 관련성, 폭염 취약그룹(65세 이상 노인, 영유아, 저소득층, 운동선수, 야외노동자, 만성질환자, 반려동물)별 대처요령을 제시하고 있다.

이처럼 폭염은 최고 기온이 높고, 빈번히 발생하며, 지속기간이 길어질수록 산업, 경제, 인명 등에 미치는 직·간접적인 파급효과가 크기 때문에 개인 차원에서 다루어야 하는 문제를 넘어 국가와 정부가 관리해야 하는 하나의 재난이 되었다. 특히 일반적으로 취약계층이라 할 수 있는 65세 이상 노인, 야외노동자, 저소득층, 만성질환자, 영유아 등은 폭염 취약성이 높기 때문에(김지영 등, 2006, 질병관리본부, 2018), 이들을 어떻게 배려할 것인가 하는 것이 폭염 대응정책의 핵심이라 할 수 있다.

2) 취약계층에 대한 고찰

일반적으로 영아, 노인, 장애인 등을 신체적 취약계층, 기초생활수급대상자를 경제적 취약계층이라고 구분하지만, 연구주제에 따라 정신질환자(Steel, 2004), 소수인종, 노숙자, 치매노인, 의료서비스 및 사회서비스를 받지 못하는 집단 등도 포함하므로 합의된 대상을 규정하기는 어렵다. 기존의 연구에서 박정규 등(2013)은 취약계층을 연령, 소득수준, 사회적 지위에 따라 구분하면서 환경유해인자로 인한 건강영향이 우려되는 지역 및 주민들도 취약계층으로 정의한 바 있다. 고재경·정희성(2013)은 생물학적, 사회적 약자 및 취약지역이 동일한 환경오염에 노출되더라도 영향에 취약하면서 회피 능력이 부족하다고 지적하였다. 김명구 등(2014)은 재난 상황에서 보호나 도움이 필요한 사람이 취약계층이라고 하였으며, 관련 정보가 부족한 사람들도 포함하였다(유가영·김인애, 2008). 선행연구들을 보면, 취약계층은 경제, 신체, 환경, 정보 측면에서 일반 사람들과 비교해 위험에 대한 대비가 미흡하고 대처능력이 부족한 사람들로 정의하고 있다. 대표적으로 고령자, 장애인, 영유아, 노동자, 기초생활수급대상자 등이 해당되며, 재난위험에 우선 대응이 필요한 대상을 강조하고 있다. 하지만, 단편적으로 나이, 소득, 신체적 장애 등을 주요 기준으로 하여 취약

계층이라 판단하기는 어렵다. 예를 들어 장애인이라 하더라도 장애 유형과 등급에 따라 취약계층이라고 보기 어려울 수 있으며, 빈곤층이라고 보기 힘든 장애인도 있다. 또한, 65세 이상 노인이라 하더라도 그들의 경제적인 여건, 거주공간의 특성, 신체적 차이들을 고려하지 않고 무조건 65세 이상이면 취약계층이라고 단정할 수 없다. 이처럼 취약계층은 고령, 장애, 빈곤처럼 여러 취약조건을 통합하여 이해해야 좀 더 현실적인 판단을 할 수 있을 것이다.

이상의 취약계층에 대한 고찰을 통해 취약계층이라고 정의되는 대상은 신체적으로 취약하거나, 생활여건이 취약하거나, 경제적으로 취약한 속성을 가지고 있음을 알 수 있었으며, 각 취약 속성별로 해당되는 취약계층은 <표 1>과 같이 분류할 수 있었다.

<표 1> 주요 선행연구의 취약계층 고찰

구분	해당 취약계층
신체적 취약	정신질환자(유현정, 2008; Steel, 2004), 노숙자(Steel, 2004), 약물중독자(Steel, 2004), 소수인종(Steel, 2004), 수감자(Steel, 2004), 장애인(유현정, 2008; 신호성 등, 2014; Steel, 2004), 영유아(박정규 등, 2013), 산모(박정규 등, 2013), 14세 미만 아동인구(유현정, 2008; 박정규 등, 2013; 신호성 등, 2014; 이달별, 2016; 추장민 등, 2017; Steel, 2004), 65세 이상 인구(이달별, 2016; 추장민 등, 2017)
생활여건 취약	정보취약계층(유현정, 2008), 주거형태(김명구 등, 2014), 현거주지 건축시기(김명구 등, 2014), 풍수해보험 가입여부(김명구 등, 2014), 독거노인(이희연 등, 2016), 월세 거주가구(이희연 등, 2016), 노후단독주택가구(이희연 등, 2016), 노후주택 주택밀도(박한나, 2016), 10m 이하 저지대 가구(신호성 등, 2014), 1인 가구(이달별, 2016; 정승우 등, 2015), 주택이외 거주가구(이달별, 2016), 20년 이상 노후 주택(이달별, 2016; 이동성 등, 2018), 여성 1인 가구(정승우 등, 2015; 이근학 등, 2016), 여성인구(조민상 등, 2016; 오세연, 2017), 저학력층(박정규 등, 2013), 외국인(신호성 등, 2014) 등
경제적 취약	평균소득 하위 10%(이경주 등, 2015), 기초생활수급자(유현정, 2008; 이희연 등, 2016; 이동성 등, 2018), 저소득층(박정규 등, 2013; NEJAC, 2004) 등

본 연구는 기존 연구보다 취약계층을 구체적으로 정의하거나, 특정 취약계층을 정확하게 규정하거나, 하나의 취약계층만을 대상으로 하는 게 아니라, 연구대상지에서 취약계층이 거주하는 곳을 가능한 현실성있게 찾아내는데 목적이 있다. 이를 위하여 상기한 고찰을 통해 알 수 있었던 바와 같이 연구대상지에서 상대적으로 신체적 취약계층이 많이 거주하면서,

생활 여건도 떨어지면서, 경제적으로 취약한 계층들이 많이 거주하는 곳을 판별기준으로 하여 취약계층이 거주하는 지역을 도출하였다.

2. 폭염과 취약계층간의 관계에 대한 고찰

1) 폭염 대응정책 지원 대상으로서 취약계층에 대한 고찰

취약계층에 대한 보호(care)가 지금까지는 주로 개인적, 가정적 차원에서 이루어져 왔다면 이제는 사회적 차원으로 확대하여 적극적인 해결방안을 검토해 봐야 할 시점이다. 단지 장애가 있거나 소득이 낮거나 나이가 많다는 이유로 폭염을 비롯한 각종 자연 및 사회재난으로부터의 안전서비스에 차별을 받는 것은 불합리하다. 또한 누구나 동등하게 안전한 삶을 영위할 권리가 있다는 인식이 확산되고 있고, 취약계층을 일부 소수의 특수집단으로 여기고 개별적인 문제로 접근하기보다는 모든 사람이 극복해야 하는 사회문제로 인식하는 분위기가 조성되고 있다(이영아 등, 2000).

기본적으로 기초생활수급대상자, 장애인, 고령자³⁾ 등 신체적, 경제적 취약계층의 지속적 증가⁴⁾와 더불어, 폭염과 집중호우 등 빈번한 이상기상 발생, 경제적·사회적 격차 확대, 저출산, 고령화, 인구감소, 이혼율 증가, 실업률 증가, 1인 가구 증가 등은 취약계층과 관련한 중요한 여건 변화라 할 수 있다.⁵⁾ 만성질환자의 비중이 높고, 복구비, 의료비 등을 부담할 경제적 여력이 부족하여 단 한 번의 위험 노출로 인해 생명과 재산에 비가역

3) '18년 말 기준 등록장애인은 259만여 명으로 전체 인구대비(5,183만여 명) 5.0%이며, 65세 이상 노년층 장애인 비율은 지속적으로 증가('11년 38.0%→'14년 41.4%→'18년 46.7%)하고 있다.

4) 보건복지부(2019), '최근 5년간 기초생활수급자 현황' 자료에 따르면, 기초생활수급자는 전국적으로는 2013년 135만 명에서 2017년 158만 명으로 23만 명이 늘어나 17%의 증가율을 기록하였다.

5) 통계청(2017)은 2015년 전체 가구 중 1인가구 비중은 27.2%(518만 가구)에서 2045년 36.3%(809만 8천 가구)로 9.1%p(291만 9천 가구) 증가 전망. 65세 이상 1인가구는 2015년 120만 3천 가구(32.8%)에서 2045년에 371만 9천 가구(34.9%)로 2015년에 비해 3.1배로 증가할 전망이다.

적 피해를 볼 수 있는 취약계층 지원정책의 중요성은 갈수록 커질 것으로 전망된다.

하지만 취약성 관련 연구는 주로 취약계층이 누구이며 취약지역이 어디 인지를 기술하는데 초점을 두고 있다(박정규 등, 2013; 고재경 등, 2013; 김명구 등, 2014). 취약계층을 대상으로 한 연구는 취약계층 대상 교육 콘텐츠 개발(고윤환 등, 2012; 김윤희, 2012), 취약계층 관련 재난대응정책(최경식, 2014; 이주호, 2010; 심기오 등, 2010; 강종오, 2012) 등이 있는데 대부분 취약계층 자체를 연구 주제로 심도 있게 다루기보다 보건, 환경, 재난, 행정 등 각 매체별 정책 속에서 취약계층 배려 방안을 모색하는 수준이다. 특히, 삶의 질, 환경의 질, 안전 수준 등 다양한 측면에서 도시 내 취약계층 거주지역이 어떠한 특성을 가지고 있는지 집계구 수준에서 분석한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 취약계층 거주지역을 규정함에 있어 기존의 방식보다 합리적인 기준을 적용하여 찾아내고, 이들의 거주지역과 폭염 위험지역이 어떠한 공간관계가 있는지를 분석해 보고자 한다.

2) 폭염과 취약계층과의 관계에 대한 선행연구 고찰

기후변화로 인한 예상치 못한 이상기후 현상이 빈번하게 나타나고 그로 인한 위험성은 더욱 증대되고 있다. 이 중 폭염은 전 지구적 차원에서 심각한 문제로 다루어지고 있을 뿐만 아니라 도시와 같은 국지적 차원에서도 심화·가속화 되고 있어 폭염으로 인한 위험성과 피해의 심각성은 한층 더 높아질 것으로 예측된다. WHO는 폭염이 21세기에 사람들의 건강을 위협하는 가장 큰 요인이 될 것으로 전망하였으며(질병관리본부, 2012), 많은 연구에서 고온 현상과 기온 상승은 심뇌혈관 및 호흡기 질환의 위험과 온열질환으로 인한 사망자 증가 등 건강에 미치는 영향이 크다는 것이 밝혀졌다(Benmarhnia et al., 2015; Bunker et al., 2016). 또한 성별, 연령, 사회경제적 상황에 따라 그 위험성은 다르게 나타났다(전형진, 2011; Yu et al., 2012; Witt et al., 2015).

폭염의 영향에 관한 연구는 폭염이 발생함으로써 피해가 나타나는 산업(김창길 등, 2012; USDA, 2013; Garcia and Rosenberg, 2010; Williams et al., 2010), 환경보건(Phung, et al., 2016; Bunker et al., 2016; Guo et al., 2017; 이원정 등, 2013; 박재은 등, 2016; 우경숙 등, 2019; 김기선, 2019), 경제(Kjellstrom and McMichael, 2013), 환경(IPCC, 2007; Fiore et al., 2012; Peterson et al., 2014) 등 부문별 영향에 관한 연구와 폭염을 가중시키거나 완화시키는 요인(이영진 등, 2019; 권용석, 2018; 김민영·문은설, 2016; 김건후 등, 2018; 윤민호·안동만, 2009; 이동근 등, 2005; 이채연 등, 2015)에 관한 연구, 폭염 취약성과 관련한 연구로 구분해볼 수 있다.

폭염은 기후변화로 인한 극한 기상의 하나로서 기후변화 취약성 연구의 일환이었다(배현주 등, 2017; 유가영·김인애, 2008; Moss et al., 2001; Wehbe et al., 2005). 그러나 기록적인 폭염이 빈번하게 발생하고 심각한 피해가 증가하자(허보영·송재우, 2012), 폭염과 취약계층과의 관계 등을 주제로 한 연구들이 수행되었다(송교육, 2013; 김은영 등, 2012). 폭염으로 인한 피해 또는 사망률과 노인, 저소득계층, 영유아 등 취약계층 간에는 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 폭염으로 인한 사망률은 노년층 인구 비율이 높은 지역과(박재은 등, 2016; 김도우 등, 2014; 정지훈 등, 2014) 기초생활수급대상자나 독거노인이 비율이 높은 지역, 가구 소득이 낮은 지역에서 높게 나타났다(이나영 등, 2014; 이지수 등, 2016; Chan et al., 2012). 채여라 등(2017)은 1인당 소득수준별 주택용 전력사용량의 기온반응함수를 통해 소득과 냉방수요는 상관관계가 있음을 확인하였다. 여름철 폭염 발생 시 적응을 위한 냉방수요는 증가하며, 소득에 따라 냉방기기 소유 여부와 가동시간이 달라진다. 이는 곧 소득이 높을수록 고온 환경에 적응할 수 있는 능력이 충분하고 소득이 낮을수록 적응력이 낮아 폭염 취약성은 높아진다는 것을 의미한다.

폭염 취약성이 높아질수록 온열질환이 발생하거나 심하면 사망하는 등 피해 정도는 매우 커진다. 영유아 및 유소년(0~14세)층 또한 폭염과 같이

고온 현상이 발생할 때 사망위험이 증가하고, 응급실을 방문하거나 병원에 입원하는 등 의료처치가 필요한 상황들이 발생하는 것으로 나타났다. Basagana et al.(2011)은 스페인 카탈루냐 지역의 1986~2006년 간 발생한 1세 미만 영아 사망 자료를 대상으로 분석한 결과, 최고 기온이 1℃ 높아질 때마다 사망위험이 1.53배 증가하는 것으로 나타났다. Nitschke et al.(2011)의 연구 결과, 폭염 발생 시 0~4세 영유아의 사망 위험이 3.23배 높아졌으며 5~14세 청소년의 경우 호흡기계 질환으로 인한 구급차 호출이 1.47배 높아졌다. 양희진·윤희연(2019)은 서울시를 대상으로 폭염 대응정책의 성과 효율성을 분석한 결과, 저소득 거주자 비율이 높은 지역에서 온열질환 저감효과가 크게 나타났다. 이는 폭염에 취약한 계층의 거주비율이 높은 지역에 지속적인 보건사업 및 재정투자가 이루어져야 함을 시사한다. 구유성 등(2015), 김기욱 등(2020), 최예슬 등(2018) 등도 부산과 서울 등 도시를 대상으로 기후변화 취약성 평가 틀에 따라 행정구역별 폭염 취약성 평가를 시도하였으나, 폭염위험 지역이나 취약계층 거주지역을 상세히 고려하지는 못하였다.

기존 폭염에 대한 영향 및 취약계층간의 관계에 관련된 연구를 고찰해본 결과, 폭염의 피해는 노출, 민감도, 경제적, 환경보건적 요소 등에 따라 지역별로 차이는 있으나, 주로 적응능력이 부족한 취약계층이 많거나 이들의 거주비율이 높은 지역에서 더욱 피해가 클 것으로 지적되었다. 즉, 독거노인이나 기초생활수급대상자 등과 같은 사회경제적 취약계층 또는 영유아, 고령자, 만성질환자, 장애인 등 신체적 취약계층이 주로 거주하는 지역에서 상대적으로 큰 피해가 발생할 수 있다는 것이다. 따라서 폭염노출과 함께 취약계층의 공간적 분포를 동시에 고려한 폭염 대응정책 수립이 필요하다.

3. 선행연구와의 차별성

기존의 폭염관련 연구에서 폭염 위험은 대부분 행정구역 단위로 발표되는 일 최고 기온이나 33℃ 이상인 날 수 등의 지표를 활용하여 판단하고

있다. 하지만, 지자체 내에 설치된 특정 몇 개의 측정망에서 측정된 기온을 평균한 자료를 쓰는 것은 정확한 자료라고 하기 어렵다. 왜냐하면 기초지자체라 하더라도 면적이 넓고 다양한 토지이용이 이루어지고 있기 때문에 지역별로 복사 및 표면온도가 상이하기 때문이다. 즉, 특정 일의 특정 시군의 최고기온이 35℃라 할지라도 도로, 녹지, 공장, 아파트, 수면 등 지역별로 표면 온도가 크게 차이가 나기 때문에 어떤 지표 특성을 가진 지역에 거주하는지에 따라 폭염 노출 위험이 다름에도 기존의 연구는 행정구역 단위의 평균온도를 활용하고 있어 개선이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 SOLWEIG 모델을 활용하여 10×10 m 격자기반으로 복사온도를 산출하고, 폭염지도를 작성하였다. 복사온도가 높은 곳일수록 상대적으로 폭염노출로 인한 위험도가 높은 지역이라 판단하였다.

또한, 기존 폭염 및 취약계층 관련 연구에서 취약계층은 대부분 5세 이하 혹은 65세 이상 노인, 장애인, 기초생활수급대상자 등과 같은 사람들을 지칭하였으며, 행정구역 단위인 시군구 또는 읍면동을 기준으로 취약계층이 몇 명이나 거주하고 있는지를 기준으로 취약성을 판단하였다. 행정구역 단위의 총량 통계를 활용하는 것은 행정적인 측면과 거시적이고 중장기적 정책방향 결정에는 유용할 수 있으나, 취약계층이 체감할 수 있는 정책수립에 한계가 있다. 즉, 취약대상이 어디에 거주하는지 공간적 분포 특성이 반영되지 못한, 단순히 특정 행정구역 내 총 몇 명이 있다는 것만으로는 실효성 높은 정책 수립이 어렵기 때문이다. 특정 행정구역 내에 취약계층 100명이 거주하는 것이 50명이 거주하는 것보다 더 취약한 것은 맞지만, 그들이 어디에 모여 사는가, 즉 분포 패턴에 대한 정보가 반영되어야 실효성 있는 정책 도출이 가능하다. 특히 폭염이라는 위험이 특정되어 있을 때 이들 간의 공간관계를 해석하는 것은 매우 중요하다. 상대적으로 기온이 높은 지역 또는 인근에 취약계층 밀집 거주지역이 분포하고 있다는 것을 밝혀낼 수 있다면 체감도 높고 실효성 있는 사업이 추진될 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 현실적으로 취약계층 거주공간을 가장 상세하게 파악할 수 있는 집계구 단위로 공간DB 구축 및 분석을 수행하였다.⁶⁾

더불어, 취약계층 판별 시 65세 이상 고령자, 기초생활수급대상자 등 특정 지표만으로는 현실을 정확하게 반영하는데 한계가 있기 때문에 활용 가능한 다수의 보조지표들을 활용하여 현실과 가까운 정책 판단이 가능하도록 한계점을 보완할 필요가 있다. 기존의 연구와 같이 단순히 65세 이상 고령자들이 많은 지역을 취약계층이 많다고 판단하는 것 보다, 65세 이상 고령자 및 5세 미만 영유아 인구가 많고, 1인 가구가 많고, 공시지가도 낮으면서 30년 이상 노후건축물도 많은 지역을 취약계층 거주하는 지역이라고 판단하는 것이 합리적이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 다수의 취약요인이 중첩되는 지역일수록 취약계층이 거주할 가능성이 높은 지역이라 판단하였다.

종합하면, 기존의 연구에서는 행정구역 전체 면적을 동일한 폭염 위험 지역으로 규정짓거나, 특정 취약계층의 인구 수만으로 취약성을 판단하는 등 한계가 있었다. 즉, 동일 행정구역이라도 지역별로 기온이 상이하기 때문에 폭염의 위험성이 다르고, 취약계층 거주여건에 따라 취약성의 차이가 있기 때문에 위험성과 취약성 간의 공간관계 분석이 합리적인 정책결정에 꼭 필요함에도 이를 충분히 고려하지 못하고 있었다. 따라서 본 연구는 폭염 시 행정구역 내 10 m격자 별로 표면온도 분포를 나타내는 폭염지도를 작성하고, 행정구역보다 상세한 공간단위인 집계구를 대상으로 취약계층이 거주할 가능성이 높은 지역을 도출하여, 폭염 위험과 취약계층 거주지간의 공간관계를 해석하고자 한다.

III. 연구방법론

1. 연구대상지

본 연구는 충청북도 청주시를 대상으로 하였다. 청주시는 2018년 여름

-
- 6) 취약계층 거주지에 대한 주소 단위 자료를 활용하는 것이 가장 정확하겠으나 현실적으로 자료 수집이 불가능.

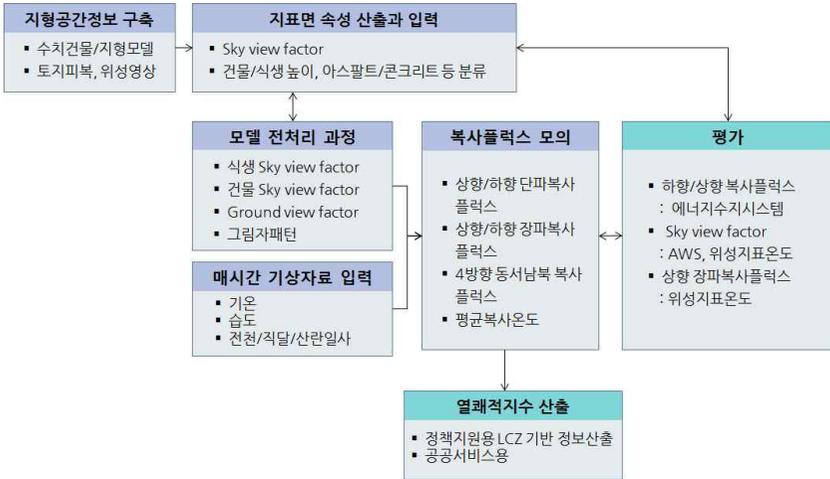
2. 폭염지도(평균복사온도)의 작성방법

본 연구는 충북 청주지역을 대상으로 지형공간정보 구축, 지표면 속성 산출과 입력, 모델 전처리 과정과 매시간 기상자료 입력, 복사플럭스 모의 등을 진행하였다. 여기서, 평균복사온도(mean radiant temperature)는 인체와 복사를 통해 열을 교환하는 주변 표면의 평균온도로서 인체를 둘러싸고 있는 불균일한 주변 표면의 단파 및 장파 속(flux)의 총 합을 의미한다. 초기에는 온열 스트레스가 심한 산업시설의 실내에서의 인체와의 열교환 과정 및 인체에 미치는 온열 스트레스 위험성 평가에 활용되었으나 근래에는 실외에서의 온열 쾌적성 설명 및 평가 등 연구범위가 확장되고 있다.

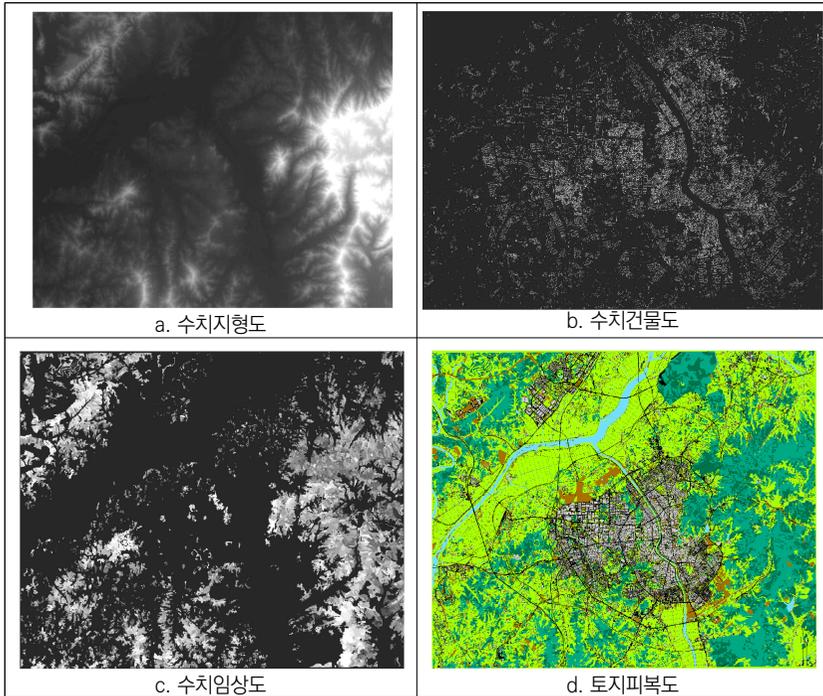
미시적 공간의 열환경 분석 방법은 SOLWEIG(the solar and longwave environmental irradiance geometry) 모델을 활용하였다.⁷⁾ 모델에서 계산된 평균복사온도를 이용하여 건물규모, 도로수준에서의 시공간적 변화를 수치적으로 모의하였다. 식생과 건물의 Sky view factor와 그림자효과, 지형에 의한 Ground view factor, 매 시간별 기온, 습도, 일사량 자료를 이용하여 3차원 단파, 장파 복사량을 계산하고 이를 이용해 평균복사온도를 산출하였다.

7) SOLWEIG모델은 3차원 복사 속(flux), 그림자 패턴 변화, 그로 인한 평균복사온도의 시간적-공간적 변화를 수치적으로 모의하기 위해 스웨덴 Gothenburg 대학에서 개발하였다. SOLWEIG모델은 2009년 1.0버전이 공개되었으며, 본 연구에서는 2013a 버전을 사용하였다. SOLWEIG의 인터페이스는 MCR(matlab compiler runtime)을 이용하여 만들어져 있다.

〈그림 2〉 평균복사온도 모의 흐름도



〈그림 3〉 모델에 입력되는 지형 및 지표면 자료



3. 취약계층 거주가능성 평가 방법

1) 조작적 정의 및 변수

본 연구에서 취약계층은 상대적으로 신체적으로 약하고, 경제적으로 어려워며, 생활여건이 나쁜 곳에 거주하는 주민을 의미한다. 본 연구에서는 취약계층에 대한 판별요인을 신체적 취약요인, 경제적 취약요인, 생활여건 취약요인 3가지로 구분하고 총 9개의 변수를 선정하였다(〈표 2〉 참조). 취약계층의 거주가능성이라는 것은 취약계층을 정의하는 취약요인을 가진 사람들이 거주할 확률을 의미한다. 예를 들어, 영아 인구수, 65세 이상 인구수, 30년 이상 노후건축물 수, 공시지가 낮은 집계구 일수록 상대적으로 취약계층 거주가능성이 높다고 할 수 있다. 나아가 취약계층 거주가능성이 높은 집계구일수록 취약계층에 의한 취약성이 높다고 이해할 수 있다.

〈표 2〉 취약계층을 정의하는 취약요인별 변수

구분	변수
신체적 취약요인	4세 이하(영아) 인구수
	5-14세 이하(아동) 인구수
	65세 이상 인구수
	노령화지수
생활여건 취약요인	1인 가구수
	30년 이상 노후건축물 수
	주택면적 20㎡ 이하 주택 수
	주택외거처 수
경제적 취약요인	공시지가

신체적으로 취약한 대상으로서 65세 이상의 노인은 일반 성인에 비해 면역력 감퇴 및 저항력 약화로 외부 환경의 변화에 더 민감하게 반응하는 취약 집단으로서 WHO에서도 기후변화에 따른 대표적인 취약 그룹으로 분류하고 있다. 4세 이하 및 5~14세 이하는 영유아 및 아동에 해당되는 연령으로서 재난안전 사고 노출 시 자발적인 대처가 어렵기 때문에 보호

가 필요한 대상이다. 노령화 지수는 유소년 인구(0~14세)에 대한 노년층 인구(65세 이상)의 비율로서 인구의 노령화 정도를 나타내는 지표로서, 동일한 지역 내에서도 유소년 인구 보다 노인인구가 더 많이 거주하고 있음을 알 수 있다.

생활여건 취약성을 반영하기 위한 지표인 1인 가구는 미혼 및 이혼률, 실업률, 범죄, 기러기 가족, 노인가구의 증가와 같은 사회적 현상 반영하는 지표로서, 재난안전 측면에서도 고립(isolation)은 안전, 보건과 같은 공공서비스 공급문제를 초래하는 요인 중 하나이다. 도시 및 주거환경정비법에 의하여 준공된 지 20년 이상 30년 이하 건축물은 안전사고의 우려가 있거나 주거지로서의 기능이 어려워 정비가 필요한 건축물로서 지정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 30년 이상 건축물이 많은 집계구가 취약계층이 많이 거주할 수 있는 집계구일 가능성이 높다고 판단하여 지표로 선정하였다. 주택공급에 의한 규칙(2018.12)에 의거 무주택으로 인정되는 주택면적 20㎡ 이하를 취약계층 판단을 위한 보조지표로 활용하였다. 주택면적 20㎡ 이하 주택이 많은 집계구일수록 취약계층이 많이 거주하는 집계구일 가능성이 높다고 판단하였다. 인구센서스 조사 항목에서 주택이외 거처란 호텔·여관 등 숙박업소의 객실, 기숙사 및 특수사회시설, 판잣집, 비닐하우스, 쪽방, 고시원·고시텔, 업소의 잠만 자는 방, 건설 공사장의 임시 막사 등 임시적 거주를 위한 구조물 등을 의미한다. 그러므로 주택이외 거처의 수가 많을수록 취약계층이 많이 거주하는 집계구이거나 폭염 위험에 취약할 가능성이 높다고 판단하였다.

경제적 취약요인으로는 공시지가 자료를 활용하였다. 공시지가의 평균가격이 높다는 것은 곧 부동산으로서의 가치가 크다는 것을 의미한다. 따라서 공시지가 평균가격이 낮은 집계구일수록 경제적 환경이 열악한 취약계층이 많이 거주하는 집계구일 가능성이 높다고 판단하였다.

2) 자료의 수집 및 분석 방법

본 연구에서 활용한 인구와 주택자료는 인구주택총조사를 기반으로 한 통계청의 2016년 청주시 집계구 자료이다. 인구 및 주택자료는 속성에 따라서 집계구별 총인구, 총가구수, 총주택수로 환산하였으며, 공시지가는 집계구의 평균가격을 활용하였다.

취약요인에 해당되는 9개의 변수는 거주가능성 방향에 따라서 1(취약할수록)~0(그렇지 않을수록)으로 표준화하였다. 가중치는 선행연구를 참고하여 토지이용에 따라 주거지역 6, 상업지역 2, 문화·체육·휴양지역 및 공공시설지역 1, 공업지역 0.6, 농업지역 0.3, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역, 교통지역 0.1을 부여하였다(이희연, 2004; 배민기 등, 2016). 이때 토지피복별 가중치를 적용한 이유는 연구대상지인 청주시가 도농복합시라는 점을 감안하여 외곽의 농촌지역과 중심의 도심지역 간 토지이용 특성을 고려하기 위해서이다. 또한 본 연구가 재난약자, 즉 ‘사람’에 초점을 두고 있는 만큼 실제 토지이용에 따른 환경 특성을 반영함으로써 분석결과와의 현실성 및 지표의 활용가능성을 높이기 위함이다. 실제로 취약계층이 거주할 가능성이 가장 높은 주거지역에 가중치를 높게 부여한 반면, 거주할 가능성이 없는 토지피복에는 가중치를 낮게 부여하였다. 각 변수별로 표준화값에 가중치를 곱한 값이 최종 값이 된다. 마지막으로, 취약요인의 합은 9개 개별 변수가 가지는 표준화 값에 가중치를 곱한 값을 모두 합산한 값이다.

본 연구에서는 연구대상지에서 각 취약요인의 공간분포를 확인하기 위해서 Jenks natural breaks classification(7단계)을 적용하였다. 이 방법은 전체 값들의 평균값을 기준으로 등급내의 분산은 줄이고 각 등급간 분산을 최대화하는 방식으로 7~10등급 이하 구분할 때 주로 활용된다(Jenks, 1967; Wiki.gis.com).

4. 폭염 위험과 취약계층 거주가능성간의 공간관계 검정 방법

본 연구에서는 ArcGIS 10.3을 이용하여 공간 및 속성정보를 구축하였으며, 공간통계분석은 GeoDa 1.14.0(Luc Anselin, 2018)⁸⁾을 활용하였다. 본 연구에서 중첩이 아니라 공간통계분석을 시도한 이유는 중첩을 하더라도 폭염위험 지역이면서 취약계층이 많이 거주하는 지역을 찾을 수는 있겠지만, 통계적 검정은 할 수 없기 때문이다. 첫째, 각 취약요인별로 공간 분포를 지도화하고 자기상관성이 있는지를 검정하기 위해서 전역적 공간 자기상관분석(Global Moran's I)을 시도하였다. Moran's I 계수는 인접한 지역이 유사한 성격을 가지면 값이 커지면서 (+)값을 가지고 양의 상관관계가 있으며, 서로 이질적이면 (-)값을 가지고 음의 상관관계가 있는 것으로 해석할 수 있다. 이를 위해서 집계구간 인접관계를 정의하는 공간가중 행렬을 구축하였다. 방법은 인접성 기준의 Queen 방식으로 인접차수를 1을 적용하였다. 집계구의 경계선을 직접적으로 공유하고 있는 지역만 선택하였다.

둘째, 도출된 폭염 취약계층의 취약성 값을 활용하여 청주시 내 폭염과 취약계층의 취약성 두 변수 간의 공간관계를 검정하기 위해서 국지적 공간자기상관성분석(Univariate Local Moran's I and Bivariate Local Moran's I)을 시도하였다. 공간가중행렬은 인접성을 기준으로 상하좌우, 대각선이 인접할 경우 모두 가중치를 부여하는 Queen방식 활용하였다. 유의성 기준은 $p < 0.001$ 로 하였다. 최종적으로, 인접 집계구와의 유사성(similarity)과 차이성(dissimilarity)을 구분하여 군집을 도출하였으며 공간 자기상관성 정도를 보여주는 클러스터 맵(cluster map)을 작성하였다.

8) <https://geodacenter.github.io/download.html>에서 내려 받아 사용할 수 있다.

〈그림 4〉 분석 틀



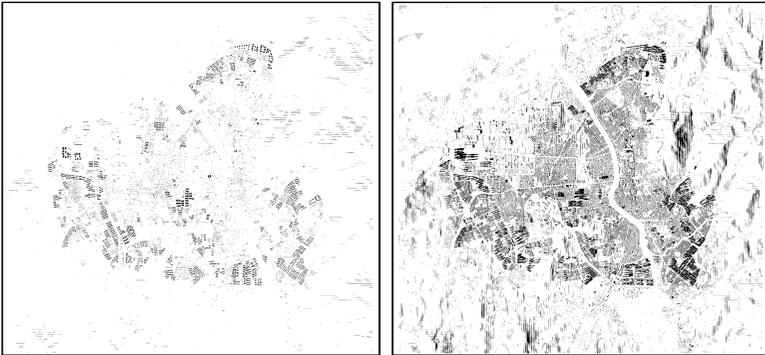
IV. 분석 및 고찰

1. 열환경 분석

1) 그림자 패턴 분석

먼저, 최근 최고기온을 기록한 2016년 8월 20일의 기상 상황을 적용하여 평균복사온도와 그림자 경향(Shadow Patterns)을 모의하였으며 6시부터 19시 사이, 30분 단위의 5 m 격자공간에 대한 그림자 유무와 평균 그림자 경향을 산출하였다. 8시 이후 그림자가 줄어들기 시작하여 11시 이후에는 저층 건축물 인근지역과 실외 대부분 지역의 그림자는 사라지고, 중·고층 건축물이 입지한 일부 지역에 제한적으로 그림자가 형성되었다. 그림자 면적은 12시 30분에 가장 좁게 형성되어 14시까지 비슷한 수준의 그림자 지역이 유지된다. 동일 시간대에 그림자가 형성되지 못하는 지역은 청주산업단지, 무심천변, 사직대로 및 상당로 등 간선도로변, 저층주거 밀집지역 등으로 나타났다. 13시부터 저층 건축물의 그림자가 형성되기 시작하고, 16시 30분 이후 저층 건축물 인근지역과 이면도로를 중심으로 빠른 속도로 그림자 면적이 확대된다.

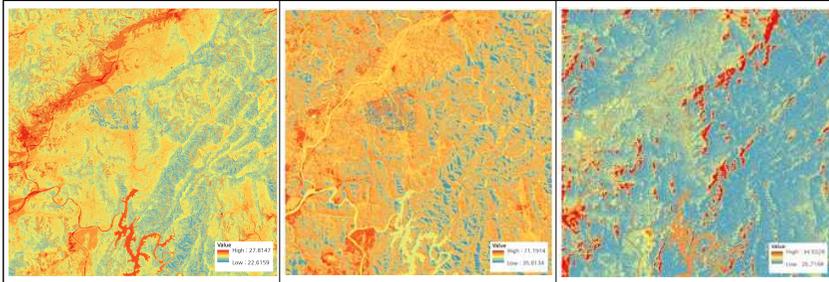
〈그림 5〉 그림자 경향(12시 30분, 16시 30분)



2) 평균복사온도 분석

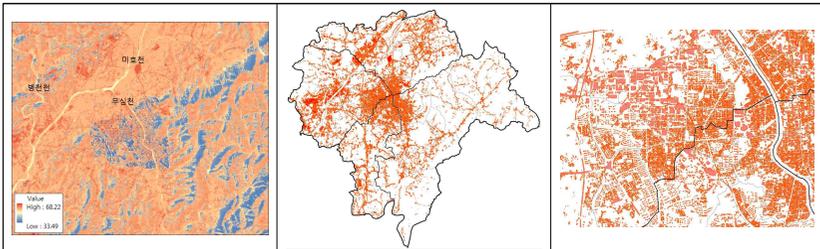
청주시의 평균복사온도 분석을 위해 전형적인 여름 날씨를 보이는 기온 자료를 활용하였고, 사람이 서 있는 높이(1 m)에서 느껴지는 평균복사온도에 대한 1시간 단위의 10 m×10 m 격자별 평균복사온도를 산출하였다. 일몰 이후 일출이 시작되는 5시 까지 청주시 평균복사온도는 비도시지역에 비해 도시지역에서, 도시지역 중 공동주택 밀집지역에서 높게 나타났다. 야간 도시지역의 온도가 높게 나타나는 것은 주간에 입사된 열이 건물이나 도로에 축적되어 일몰 후에 서서히 방출이 되는 장파복사의 영향으로 볼 수 있다. 일출 후 지표면 온도가 본격적으로 상승하는 7시 이후 부터 20시까지의 도시지역보다 논이나 밭, 하천변 등 비도시지역의 평균복사온도가 높게 나타나는 경향을 보였다.

〈그림 6〉 시간대별 복사온도의 변화(왼쪽부터 7:00, 14:00, 20:00)



도시지역 동쪽의 우암산 인근은 그림자의 영향으로 평균복사온도가 상대적으로 낮게 나타났다. 아스팔트 도로 및 건물 옥상에서 가장 높은 값이 나타났고, 고도가 상대적으로 낮은 하천 주변 또한 높은 평균복사온도 값을 보였다. 특히 미호천 및 무심천 주변의 눈과 밭은 태양으로부터의 단파 복사영향이 보다 크게 나타났다. 청주시 도심지역에서, 산업단지 지역은 낮은 건물과 넓은 도로에 의해 가장 높은 복사온도를 보이며 고층주거지역에서는 낮 시간 그림자 영향으로 상대적으로 낮은 복사온도가 나타나는 것으로 분석되었다. 저층의 고밀주거지역에서는 그림자의 영향이 적어 상대적으로 높은 복사온도를 보이고, 그림자 형성이 제한되는 도시하천(미호천, 무심천) 인근의 농지에서도 높은 복사온도가 나타났다. 청주시의 평균 표면 온도를 기준으로 natural break 기법을 통해 10개 등급지역으로 구분하고 가장 온도가 높은 상위 1등급 지역만 도출한 결과는 〈그림 4〉와 같다.

〈그림 7〉 평균복사온도가 가능 높은 지역(14시 기준)



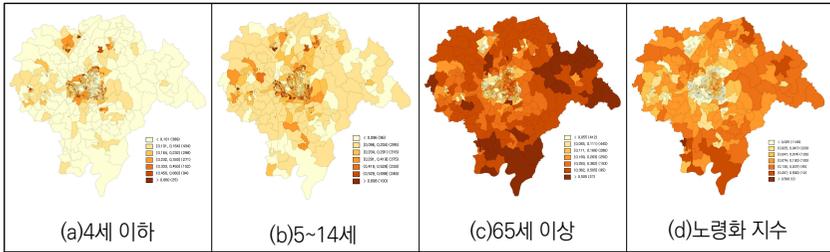
3. 취약계층 공간분포 현황 분석

1) 신체적 취약요인 분석

청주시에서 4세 이하 영유아 인구는 오송읍, 오창읍, 복대동, 성화동, 용암동, 율량동 등 공동주택단지가 주로 분포하는 집계구에 많이 분포하는 것으로 나타났다. 구축한 공간가중행렬을 이용하여 4세 이하 영유아 인구에 대한 공간적 자기상관성을 검정하였다. Y축은 공간가중행렬로 계산된 인접 집계구의 영향력이며, X축은 해당 집계구의 4세 이하 영아인구 수이다. 산점도를 통해 종속변수와 공간시차 변수 간 양(+)의 관계가 나타나고 있음을 알 수 있으며, 모란지수 값은 0.50($p<0.001$)으로 높은 편이다. 따라서 공간적 자기상관성을 가지고 있다고 할 수 있다. 청주시의 5~14세 아동인구는 오송읍, 오창읍, 복대동, 성화동, 산남동, 봉명동, 율량동, 용담동 등 지역에 상대적으로 많이 거주하는 것으로 나타났다 (Moran's $I=0.55$). 청주시의 65세 이상 인구는 상대적으로 미원면, 남성면, 현도면, 등 구)청원군 지역에 많이 거주하는 것으로 나타났으며 도심 지역에서는 수동, 대성동, 분평동, 석교동 등 지역에 많았다(Moran's $I=0.67$).⁹⁾ 노령화 지수가 높은 집계구는 청주시 외곽의 구) 청원군 지역 및 중앙동, 성안동, 사직1·2동, 모충동, 수곡1동, 내덕2동, 용담·명암·산성동 등 구도심 지역을 중심으로 강하게 군집되어 있었으며, 신규 개발 지역은 대부분 노령화 지수가 낮게 나타나는 경향을 보였다(Moran's $I=0.41$)(〈그림 8〉 참조).

9) 청주시의 65세 이상 고령자 인구 변화를 보면 증가가 가장 큰 지역은 내덕1동(121명), 복대1동(116명), 남이면(107명) 순이며, 증가율이 가장 큰 지역은 율량·사천동(8.7%), 봉명2·송정동(7.5%), 오근장 (6.8%) 순이다.

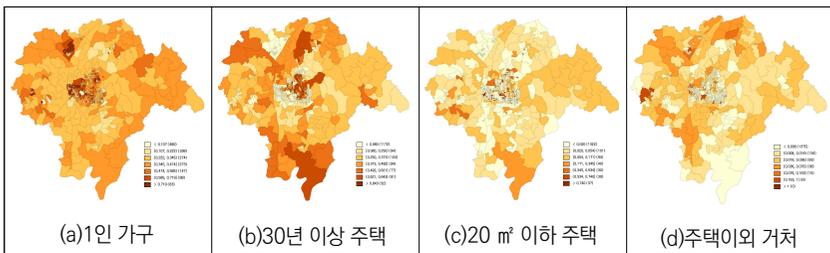
〈그림 8〉 신체적 취약요인의 집계구 공간분포



2) 생활여건 취약요인 분석

청주시에서 1인 가구 수가 많은 집계구가 밀집하고 있는 지역은 오송읍, 오창읍, 강서동, 북대동, 봉명동, 개신동, 내덕동 등으로 나타났다(Moran's I=0.40). 청주시에서 30년 이상 노후건축물은 대부분 도심에 많이 분포하는 것으로 나타났다. 특히, 우암동, 봉명동, 사창동, 사직동, 영운동, 탑동의 집계구에서 상대적으로 많이 분포하고 있었다(Moran's I=0.62). 청주시의 20 m² 이하 주택은 상대적으로 도심에 많이 분포하는 것으로 나타났다. 특히, 모충동, 가경동, 운천동, 율량동, 용암동에 많이 분포하는 것으로 나타났다(Moran's I=0.21). 청주시의 주택이외 거처는 오송읍, 오창읍, 북대동, 수동, 개신동, 분평동 등의 집계구에서 많이 분포하는 것으로 나타났다(Moran's I=0.13)(〈그림 9〉 참조).

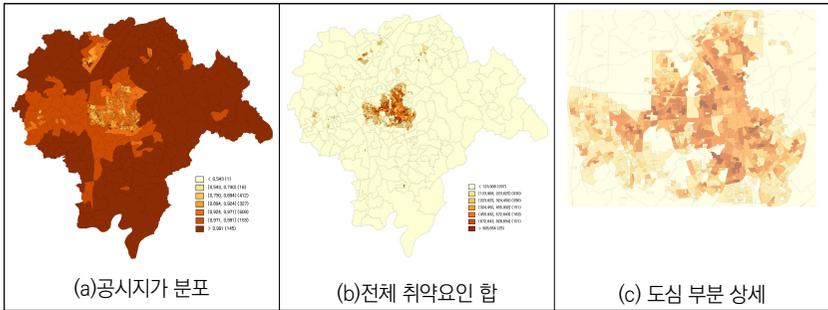
〈그림 9〉 생활여건 취약요인의 집계구 분포



3) 경제적 취약요인 분석

청주시에서 공시지가를 7개의 그룹으로 구분한 결과, 도심과 외곽지역 간 격차가 큰 것으로 나타났다. 도심에서는 모충동, 수곡동, 운천동, 수동, 대성동, 탑동, 용정동, 용암동 일부 집계구에서 공시지가 가격이 낮게 나타났다(Moran's $I=0.46$)(<그림 10> 참조).

<그림 10> 경제적 취약요인의 집계구 분포 및 전체 취약요인의 합



4) 취약계층 거주가능성 분석

취약계층 거주가능성 지도는 상기한 9개의 취약요인 변수 전체를 합한 것으로 <그림 10(b)>와 같다. 청주시에서 취약계층 거주가능성이 높은 집계구는 사창동, 봉명동, 우암동, 사직동, 내덕동, 수동, 탑동, 금천동, 수곡동, 모충동, 개신동 일부 지역에 분포하는 것으로 나타났다. 상세한 그림(<그림 10(c)>)을 보면, 신규 택지개발 중인 외곽지역보다 구도심지역 위주로 분포하고 있음을 알 수 있다. 청주시에서 취약계층에 의한 취약성이 높은 집계구가 밀집한 지역을 찾아내기 위해서 Local Moran's I 를 활용하여 국지적 공간자기상관(LISA, Local Indicator of Spatial Association) 분석을 수행하였다. 분석 결과,¹⁰⁾ 유의수준 5% 이내의 공간자기상관성이 나

10) Global Moran's I 는 취약성에 대하여 전체 지역을 대상으로 공간자기상관성을 제시할 수 있으나, 구체적으로 어떤 지역에서 군집이 나타나고 있는지 나타내지는 못한다. 따라서 Local Moran's I (LISA)를 통해 국지적 분포 특성을 분석하였다.

타났으며, 이는 유사한 취약성을 가지고 있는 집계구들이 서로 군집하고 있다는 것을 의미한다. Moran's I 값은 0.572($p < 0.001$)로 높은 양(+)의 공간적 자기상관이 존재하는 것으로 나타났다. 군집특성을 살펴보면 1% 유의수준에서 취약성이 높은 곳은 봉명동, 모충동, 내덕동, 탑동, 수곡동 등의 집계구들로 나타났다(〈그림 10(b), (c)〉 참조).

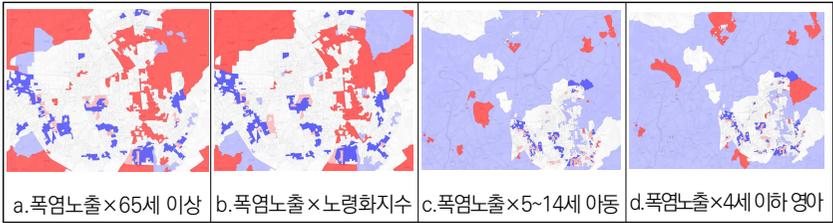
V. 폭염위험과 취약요인 간의 공간해석

1. 폭염위험과 신체적 취약요인 간의 공간관계 분석

폭염위험과 신체적 취약요인 간의 공간관계는 Bivariate Local Moran's I를 이용해 검정하였다. 본 분석을 통해 폭염위험 정도와 신체적 취약요인 간의 관계를 알 수 있다. 즉, 폭염 노출의 위험성이 높으면서 동시에 신체적 취약성이 높은 인구가 많이 거주하는 집계구를 찾아내고자 하였다.

분석결과, 연구대상지내에서 폭염위험이 높은 지역이면서 65세 이상 인구(Moran's $I=0.25$) 및 노령화 지수(Moran's $I=0.17$)가 높은 집계구는 주로 구도심지역으로 나타났다(〈그림 11(a), (b)〉 참조). 이 지역은 과거에 비해 현저히 활력이 떨어진 상가지역, 과거 노후주택들이 많이 분포하는 지역들로서 도시재생사업 대상지역이 많이 포함되어 있다. 폭염위험이 높은 지역이면서 4세 이하 영아(Moran's $I=-0.01$) 및 5~14세 아동(Moran's $I=-0.18$)가 높은 집계구는 주로 신도심지역에 많이 나타났다(〈그림 11(c), (d)〉 참조). 이 지역들은 새로운 주거단지가 건립되고 학원이나 상가들이 가까이 있는 지역이라는 특징이 있다.

〈그림 11〉 폭염노출과 신체적 취약요인 간의 관계

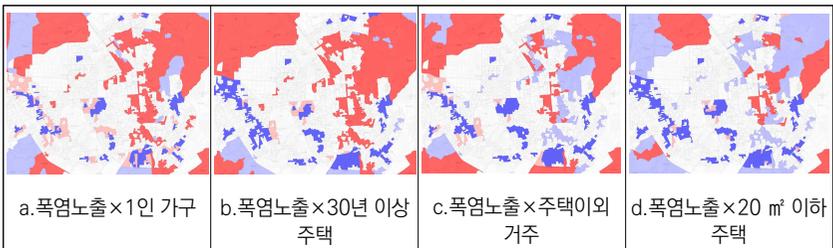


2. 폭염위험과 생활여건 취약요인 간의 공간관계 분석

폭염위험 정도와 생활여건 취약요인 간의 공간관계는 Bivariate Local Moran's I를 이용해 검정하였다. 이를 통해 폭염 노출의 위험성이 높으면서 동시에 생활여건이 나쁜 집계구를 찾아내고자 하였다.

분석결과, 연구대상지내에서 폭염위험이 높은 지역이면서 1인 가구가 많은 지역(Moran's I=0.21)은 앞서 도출된 고령자들이 많이 거주하는 공간과 유사한 것으로 나타났다. 이 지역들은 상대적으로 독거노인이 많이 거주할 가능성이 높은 지역이라고 판단할 수도 있다(〈그림 12(a)〉 참조). 폭염위험이 높은 지역이면서 30년 이상 주택이 많거나(Moran's I=0.24), 주택이외 거주가 많거나(Moran's I=0.10), 20 m² 이하 주택이 많은 집계구(Moran's I=0.02)는 다른 취약요인들에 비해 특정 지역에 밀집되어 있는 것으로 나타났다(〈그림 12(b), (c), (d)〉 참조). 이 지역은 연구대상지에서 오래된 주거지역들로서 도심산지와 인접해 있어 상대적으로 경사가 급하고, 과거부터 취약계층이 주로 거주했던 지역들이다.

〈그림 12〉 폭염노출과 생활여건 취약요인 간의 관계

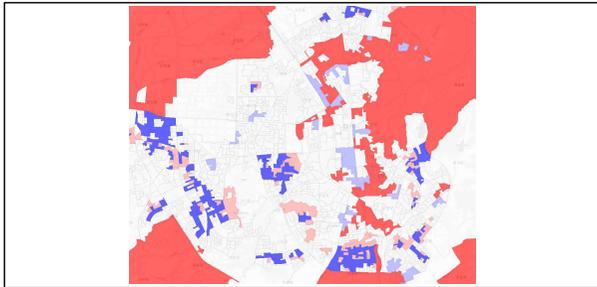


3. 폭염위험과 경제적 취약요인 간의 공간관계 분석

폭염위험 정도와 경제적 취약요인 간의 공간관계는 Bivariate Local Moran's I를 이용해 검정하였다. 취약계층에 대한 직접적인 소득관련 자료는 현실적으로 수집이 어려우므로 간접적으로 개별주택가격이나 공동주택 가격, 공시지가 등을 통해 유추할 수 있다. 본 연구에서는 폭염 노출의 위험성이 높으면서 동시에 공시지가가 낮은 집계구를 찾아내고자 하였다.

분석결과, 연구대상지에서 폭염노출 위험지역이면서 공시지가가 낮은 지역은 앞서 검토한 생활여건 취약요인이 많은 집계구와 유사하였다 (Moran's I=0.29; <그림 13> 참조). 연구대상지의 외곽부는 신규 아파트가 지속적으로 공급되면서 공시지가도 상승한 반면, 구도심은 개발이 늦어 경제적 격차가 심화되고 있다.

<그림 13> 폭염노출과 경제적 취약요인 간의 관계



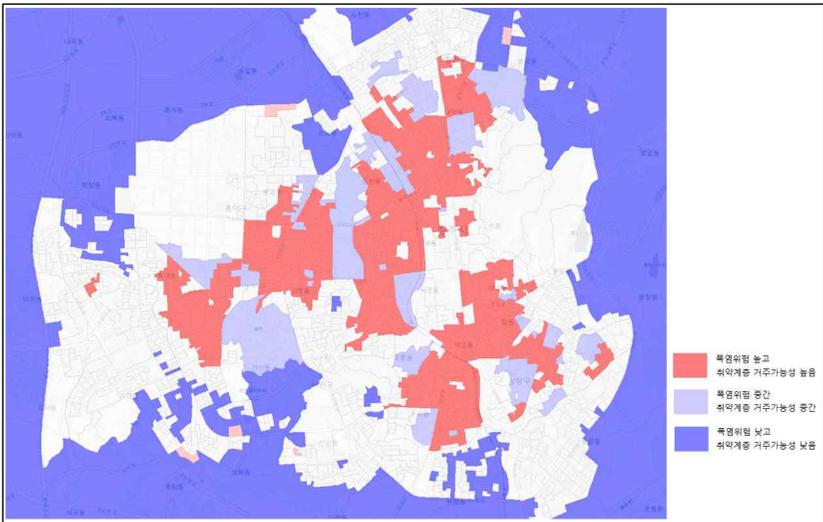
4. 폭염위험 지역과 취약계층 거주지역간의 공간관계

폭염지도에 나타난 폭염노출 위험성과 취약계층이 거주 가능성을 동시에 고려했을 때, 집계구간의 공간적 상관성을 Bivariate Local Moran's I를 통해 분석하였다. 그 결과, 유의수준 5% 이내의 공간자기상관성이 나타났다으며, 이는 폭염위험이 높은 지역에 취약계층 거주가능성이 높은 집계구가 군집하여 분포하고 있다는 것을 의미한다.

분석 결과, 앞서 각각의 취약 여건과 폭염위험 정도와의 공간자기상관분

석 결과와 유사하게 나타났다. 청주시는 도시가 확장되면서 주로 도심 내부가 구도심, 외부가 신도심으로 구분할 수 있다. 내덕동, 사창동, 탑동 등의 지역이 대부분 구도심에 해당되는 지역으로서 폭염위험도 높고 동시에 취약계층 거주 가능성도 높은 지역에 해당된다. 즉, 폭염에 노출 가능성이 높은 지역인 동시에 적응이 어려운 취약계층도 많이 거주할 가능성이 높기 때문에 폭염 취약성이 높은 지역이라고 할 수 있다(그림 14) 참조.

〈그림 14〉 폭염위험이 높으면서 취약계층 거주가능성도 높은 지역(도심지역 상세)



VI. 결론

1. 정책 시사점

폭염을 비롯하여 기존 극값을 넘어서는 이상 기후현상이 국민들의 삶에 악영향을 미치고 있으며 그 영향은 신체적, 사회·경제적 취약계층에게 더 가혹하다. 따라서 어떻게 하면 취약계층의 폭염 정책 체감도를 높일 수 있을 것인가? 하는 논의는 매우 중요하다.

폭염대응 계획이나 사업은 그 대상 지역이 어디인지가 중요한 의미를 가진다. 사업을 반드시 시행해야 하는 이유가 존재해야 하며, 효과가 큰 곳에 우선 시행되어야 하기 때문이다. 더욱이 실효성 있고 체감도 높은 취약계층 지원 사업을 추진하기 위해서는 상세한 취약지역을 규명하는 것이 우선되어야 한다. 따라서 본 연구에서 집계구를 대상으로 취약계층에 의한 폭염 취약성 지도를 작성한 것은 현재의 읍면동 단위의 분석 결과보다 한 단계 진보된 정책결정을 하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

무엇보다 본 연구의 가장 큰 의의라 할 수 있는 것은 본 연구방법을 여타 지자체에서도 적용할 수 있다는 것이다. 광역단위보다는 기초지자체 단위에서 폭염대응계획을 수립할 때, 실제로 도움이 될 수 있다고 판단된다. 취약계층에 대한 지원정책 수립뿐만 아니라, 쿨링포그, 쿨루프, 클린로드 등의 폭염 대응시설을 설치할 때 어떤 지역에 우선 설치할 것인지를 결정할 때도 도움이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서 도출한 폭염 위험지역 및 취약계층 밀집 집계구를 대상으로 추진할 수 있는 사업으로는 첫째, 사회복지 사업과 연계하여 에너지 진단·효율화 사업 및 주거환경개선 사업을 추진해 볼 수 있다. 대부분 주거환경이 열악하고, 에어컨과 같은 냉방시설을 구비할 수 없어 바깥기온과 유사한 고온에 노출되고 그 상태가 유지되는 경우가 많기 때문이다.

둘째, 취약계층이 많이 거주하는 지역을 중심으로 녹지대 설치, 대피·구호시설, 그늘막 및 무더위 쉼터와 같은 적응 인프라 구축 등 기후변화 안전망을 구축해 나가는 것이 바람직하다. 더불어 현재 무더위쉼터 위치와 취약계층 밀집 지역 간의 이동거리 등 접근성을 분석하여 효율적 운영 방안도 마련할 필요가 있다.

셋째, 대부분의 취약계층은 거주하고 있는 지역에 어떠한 위험이 있는지, 위험에 어떻게 대처하는지 관심이 없거나 관심이 있을지라도 관련 정보의 제한된 접근으로 모르는 경우가 많다. 따라서 발생할 수 있는 위험을 적극적으로 알리고 최소한 스스로 대응할 수 있는 능력을 키워주는 것이 가장 중요하다. 이를 위해 폭염, 한파, 홍수, 건강 등 주요 기후변화 적응

분야 별로 피해가 예상되는 취약계층을 분류하고 그에 따른 교육교재 및 프로그램 개발 및 대면 교육 사업이 필요하다. 기후변화 취약계층을 대상으로 적응 매뉴얼을 만들어 지역 내 안전이나 복지 관련 센터 등을 통해 프로그램을 보급할 수 있도록 지원하는 사업도 고려해 볼 수 있다.

넷째, 폭염은 사회적 성격이 강한 자연재난으로서 주변에 취약계층 간의 사회연결망 설정도 중요한 고려사항이다. 일반적으로 취약계층은 위급할 때 지인이나 친척 등 주변에 도움을 줄 사람이 없는 경우가 많으므로 취약계층 밀집 공간을 대상으로 기후변화 적응을 지원하기 위한 목적을 가진 거버넌스 구축이 필요하다. 기후변화 적응의 주체도 피해자도 대처 당사자도 주민이기 때문에 거버넌스 구축 및 의사결정 과정에서 아주 중요한 역할을 할 수 있어야 한다.

지금의 폭염 위험은 단순히 온도를 기준으로 결정될 뿐 사회·경제·환경적 요인이 반영되어 있지 않아 실제 폭염의 영향을 구체적으로 나타내지 못한다는 한계가 있다. 동일 지역 내에 거주한다고 할지라도 거주환경이나, 토지이용, 각종 시설의 분포 등 특성에 따른 위험도 설정이 필요하다. 같은 온도가 나타나는 지역이라도 어떤 사람이 어떤 일을 하는지에 따라서 위험도가 달라야 하며 그에 따른 적응 사업도 달라야 한다는 것이다. 본 연구결과는 이러한 맞춤형 적응 대책수립에도 기여할 수 있을 것이다.

2. 연구의 한계

본 연구는 취약계층의 공간적 분포 특성에 집중하고자, 취약계층 대상의 사회복지정책, 인권 존중, 동등한 기회부여, 교육, 지원시설 등은 논의하지 않았다. 또한, 본 연구에서 대상으로 하는 취약계층 분류가 항상 현실과 정확하게 일치하는 것은 아니다. 예를 들어 1인 가구라 할지라도 사회경제적 여건에 대한 편차가 크지만 이를 세밀하게 제공하는 공간자료는 없었다. 더불어, 폭염의 위험정도는 최고기온과 같이 단순히 기상적인 요건만으로 정도를 가늠할 수는 없다. 사회경제적, 환경적 여건 등과의 직·간접적인 영향이 동시에 고려되어야 한다. 따라서 폭염 시 온도의 분포와

함께 노출된 취약계층들을 대상으로 어떤 직업을 가진 사람들이 많은지, 주거 패턴이 어떠한지, 고립되지 않고 인근지역에 친밀하게 교류하는 지인은 있는지, 재정적 상황은 어떠한지, 기후변화 적응에 대한 정보는 어느 정도 알고 있는지, 더위를 피해 설만한 장소가 있는지 또는 알고 있는지 등에 대한 사회경제적인 추가 분석이 필요하다. 더불어, 현실적인 데이터 수집의 한계로 인해 본 연구에서는 취약요인별 9개의 변수만 활용되었지만, 장애인, 만성질환자 등의 취약계층 들이 누락되어 있기 때문에 추후 보완이 요구된다. 장차의 연구에서 폭염 영향지표의 구축을 통해 보다 현실적인 폭염대응 방안을 도출할 필요가 있다.

■ 참고문헌 ■

- 강종오, 2012, “변화의 시기에 사회적 약자를 위한 소방정책연구: 서울을 중심으로,” 석사학위논문, 강원대학교, 춘천.
- 고윤환·신창호·강시내·남기현·김종규·윤익수, 2012, 『재난 취약자 대상 재난안전 콘텐츠 모바일 앱 개발』, (주요사업; 2012-10-02), 서울: 국립방재연구원.
- 고재경·정희성, 2013, “환경복지 개념 도입에 관한 시론적 연구,” 『환경정책』, 21(3), pp.23-52.
- 구유성·김자은·김지숙·이성호, 2015, “폭염 취약성평가를 통한 도시의 적응능력 향상: 부산광역시를 중심으로,” 『한국지역개발학회지』, 27(5), pp.331-347.
- 권용석, 2018, “도시구조적 차원에서 바라본 대구 대도시 유역이 폭염 가중원인 추정과 해결과제,” 『국토연구』, 98, pp.23-35, DOI: 10.15793/kspr.2018.98..004.
- 기상청, 2020, 『2019년 이상기후 보고서』, 서울: 기상청.
- 김건후·인소라·손철, 2018, “농지의 도시화가 폭염상황에서 주변 지역 지상 기상요소에 미치는 영향,” 『국토연구』, 99, pp.113-130, DOI: 10.15793/kspr.2018.99..007.
- 김기선, 2019, “폭염 그리고 기후변화, 일하는 사람의 건강을 위협하다,” 『국제노동브리프』, 17(8), pp.3-5.
- 김기욱·박봉철·허종배·강지운·이인재, 2020, “IPCC 기후변화 취약성 평가 체계를 적용한 부산지역 폭염 취약성 평가,” 『국토연구』, 104, pp.23-38, DOI: 10.15793/kspr.2020.104..002.
- 김도우·정재학·이종설·이지선, 2014, “우리나라 폭염 인명피해 발생특징,” 『대기』, 24(2), pp. 225-234.

- 김명구·양기근·정기성, 2014, “자연재난에 의한 재난취약계층의 재난안전복지 개선 방향: 전라북도 임실군의 노인계층을 중심으로,” 『Crisisonomy』, 10(9), pp.113-135.
- 김민영·문은설, 2016, “폭염 및 도시열섬현상에 따른 노후주거지의 적응 계획기법에 관한 연구: 광진구 군자동 중심으로,” 『한국생태환경건축학회논문집』, 16(4), pp.31-39.
- 김윤희, 2012, “외국인을 위한 다중어 재난정보 웹 개발,” 『한국방재학회지』, 12(2), pp.18-21.
- 김은영·전성우·이정원·박용하·이동근, 2012, “서울시 기후변화 영향평가 및 적응대책 수립: 폭염영향을 중심으로,” 『환경영향평가』, 21(1), pp.71-80.
- 김지영·이대근·박일수·최병철·김정식, 2006, “한반도에서 여름철 폭염이 일 사망률에 미치는 영향,” 『대기』, 16(4), pp.269-278.
- 김진옥, 2005, “폭염에 대응하는 지역사회 비상대처 계획 수립 기반 연구,” 『지역사회발 전학회논문집』, 30(3), pp.11-22.
- 김창길·정학균·한석호·김정승·문동현, 2012, 『기후변화가 식량공급에 미치는 영향분석과 대응방안』, (연구보고서; R663), 서울: 한국농촌경제연구원.
- 박재은·허보영·선우영, 2016, “폭염에 의한 지역별 인명피해 발생에 관한 연구,” 『한국 방재학회논문집』, 16(1), pp.103-109.
- 박정규·배현주·서양원, 2013, 『기후환경 취약계층의 환경복지 정책연구』, (기후환경정책연구; 2013-04, 환경·경제의 상생 기반 구축 및 잠재력 활성화), 서울: 한국 환경정책·평가연구원.
- 박한나, 2016, “도시지역과 비도시지역의 침수 취약성 비교분석을 통한 환경정의 실증 연구,” 석사학위논문, 서울시립대학교, 서울.
- 배민기·김보은·반영운, 2016, “도시 내 생활안전 대응시설의 공간분포 특성 분석: 청주시를 대상으로,” 『환경정책』, 24(3), pp.25-49, DOI: 10.15301/jepa.2016.24.3.25.
- 배현주·정다운·간순영·박주영·임연희, 2017, 『이상기온에 따른 건강영향 평가·예측을 통한 기후변화 대응 전략 마련』, (기후환경정책연구; 2017-06), 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 보건복지부, 2019, 『2019 국민기초생활보장사업안내』, 세종: 보건복지부.
- 송교육, 2013, “폭염에 취약한 계층을 위한 긴급대책,” 『BDI 포커스』, 207, pp.1-16.
- 송은정·이우주, 2017, “별칭가능도함수를 이용한 1인가구와 저소득 독거노인의 공간군 집 탐색,” 『한국데이터정보과학회지』, 28(6), pp.1257-1269, DOI: 10.7465/jkdi.2017.28.6.1257.
- 신상영, 2010, “1인가구 주거지의 공간적 분포에 관한 연구: 서울시를 사례로,” 『국토계획』, 45(4), pp.81-95.
- 신호성·이수형, 2014, “기후변화 건강 취약성 평가지표 개발,” 『환경정책연구』, 13(1), pp.69-93, DOI: 10.17330/joep.13.1.201403.69.
- 심기오·박상현·정성희, 2010, 『재난약자 방재대책 실태조사 및 분석』, 서울: 국립방재 교육연구원 방재연구소.

- 양희진·윤희연, 2019, “도시 폭염 대응정책의 성과 효율성: 서울시 온열질환 상병자수 및 의료지출을 대상으로,” 『도시행정학보』, 32(1), pp.31-45, DOI: 10.36700/KRUMA.2019.03.32.1.31.
- 오세연, 2017, “사회적 약자 대상 강력범죄의 발생원인과 대책방안에 관한 연구: 여성대상 강력범죄를 중심으로,” 『한국경찰연구』, 16(3), pp.225-250, DOI: 10.38084/2017.16.3.10.
- 우경숙·김대은·채수미, 2019, “고온이 사망에 미치는 영향에 대한 메타분석,” 『보건사회연구』, 39(2), pp.10-36, DOI: 10.15709/hswr.2019.39.2.10.
- 원경미, 2012, “1인가구 증가에 따른 주택공급확대 방안에 관한 연구,” 석사학위논문, 고려대학교, 서울.
- 유가영·김인애, 2008, 『기후변화나 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안』, (KEI 연구보고서; 2008-RE-05), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
- 유현정, 2008, “국민 안전권 확보를 위한 고찰: 취약계층을 위한 받아들일 수 있는 위험의 수용기준을 중심으로,” 『Crisisonomy』, 4(2), pp.17-31.
- 윤민호·안동만, 2009, “위성영상을 이용한 도시녹지의 기온저감 효과 분석,” 『한국조경학회지』, 37(3), pp.46-53.
- 이건학·진찬우·김지우·김완희, 2016, “성폭력 범죄의 공간적 분포 특성에 관한 연구: 환경범죄학에 기반한 공간분석,” 『대한지리학회지』, 51(6), pp.853-871.
- 이경주·임준홍, 2015, “의료서비스 취약지역 탐색을 위한 분석방법론 구축 및 실증분석 연구,” 『도시행정학보』, 28(1), pp.105-125.
- 이나영·임재영·조용성, 2014, “폭염으로 인한 기후변화 취약계층의 사망률 변화 분석,” 『보건사회연구』, 34(1), pp.456-484, DOI: 10.15709/hswr.2014.34.1.456.
- 이달별, 2016, “소방서비스의 사회적 형평성에 관한 연구: 서울시를 대상으로,” 『2016 제4회 서울연구논문 공모전』, 서울시청 3층 대회의실.
- 이동근·윤소원·오승환·장성완, 2005, “옥상녹화조성에 따른 온도저감효과에 관한 연구: 서울대학교 실험구를 중심으로,” 『한국환경복원녹화기술학회지』, 8(6), pp.34-44.
- 이동성·김병석·문태훈, 2018, “전기안전 119 서비스 활용의 지역 격차에 관한 연구: 환경정의의 관점에서,” 『한국지역개발학회지』, 30(1), pp.151-168.
- 이영아·진영환·변재관, 2000, 『사회적 약자를 위한 도시시설 확충방안 연구』, (국토연: 2000-23), 안양: 국토연구원.
- 이영진·정대희·문현준, 2019, “폭염기간의 외부차양 설치에 따른 실내 열쾌적 및 냉방 부하 저감 성능 평가,” 『한국생활환경학회지』, 26(3), pp.345-350, DOI: 10.21086/ksles.2019.06.26.3.345.
- 이원정·강재은·김유근, 2013, “환경보건적 요소가 도시 내 폭염 취약성 평가 결과에 미치는 영향 분석,” 『한국환경보건학회지』, 39(6), pp.492-504, DOI: 10.5668/

JEHS.2013.39.6.492.

- 이주호, 2010, "사회취약계층을 위한 사회안전망 연구: 한국의 위기관리 정책을 중심으로," 『국가위기관리연구』, 4(2), pp.67-81.
- 이지수·김만규·박종철, 2016, "서울의 사회·경제적 요인이 고온 현상 발생 시 사망자에 미치는 영향," 『한국지역지리학회지』, 22(1), pp.195-210.
- 이채연·권태현·박문수·최영진·안승만, 2015, "서울시 건물형태에 따른 거칠기길이 분포특성 연구," 『대기』, 25(2), pp.339-351.
- 이희연, 2004, "응급의료기관의 공간분포와 응급의료 서비스 수급의 공간적 격차," 『한국지역지리학회지』, 10(3), pp.606-623.
- 이희연·노승철·최은영, 2011, "1인 가구의 인구경제사회학적 특성에 따른 성장패턴과 공간분포," 『대한지리학회지』, 46(4), pp.480-500.
- 이희연·안은경, 2016, "국토정보를 활용한 빈곤·취약지구 추출 방법에 관한 연구," 『지역과 국토정보』, 46(2), pp.5-25, DOI: 10.22640/lxsiri.2016.46.2.5.
- 전형진, 2011, "기후변화가 취약 인구집단의 건강에 미치는 영향," 박사학위논문, 한양대학교, 서울.
- 정승우·이경훈, 2015, "대도시 성범죄발생에 영향을 미치는 환경요인 분석," 『대한건축학회논문집』, 31(11), pp.179-186, DOI: 10.5659/JAIK_PD.2015.31.11.179.
- 정지은·전명진, 2013, "수도권 노령인구의 공간적 분포와 집중지역 특성분석," 『지역연구』, 29(1), pp.3-18.
- 정지훈·김인겸·이대근·신진호·김백조, 2014, "우리나라 지역별 고온 극한 현상에 의한 사망 취약도 비교," 『대한지리학회지』, 49(2), pp.245-263.
- 조민상·조호대, 2016, "여성 대상 강력범죄 실태 및 대응방안," 『경찰학논총』, 11(3), pp.211-235, DOI: 10.16961/polips.2016.11.3.211.
- 질병관리본부, 2012, 『2012년 폭염 건강피해 백서』, 청원군: 질병관리본부 기후변화대응 TF팀.
- _____, 2018, 『2018 질병관리백서』, 청주: 질병관리본부.
- 채여라·이승준·전호철·박종철·안윤정·이주형 등, 2017, 『국가 리스크 관리를 위한 기후변화 적응역량 구축·평가』, (사업보고서; 2017-13), 세종: 한국환경정책·평가연구원.
- 채정은·박소연·변병설, 2014, "서울시 1인가구의 공간적 밀집지역과 요인 분석," 『서울도시연구』, 15(2), pp.1-16.
- 최경식, 2014, "재난 취약계층 안전정책에 관한 연구: 국내·외 사례분석과 정책적 대안 제시를 중심으로," 석사학위논문, 고려대학교, 서울.
- 최예술·김재원·임엽, 2018, "서울시 폭염 취약지역의 공간적 패턴 및 적응능력 취약지역 분석," 『국토계획』, 53(7), pp.87-107, DOI: 10.17208/jkpa.2018.12.53.7.87.
- 추장민·김태현·이상윤·이지예, 2017, 『환경정의 실현을 위한 정책방안 마련 연구』, 세

종: 한국환경정책·평가연구원.

통계청, 2017.4.13, “장래가구추계(2015~2045년),” 보도자료.

하중식·정휘철·이정호·김동현·최지혜, 2014, 『기후변화 폭염 대응을 위한 중장기적 적응대책 수립 연구』, (연구보고서; 2014-19), 서울: 한국환경정책·평가연구원.
 허보영·송재우, 2012, “기후변화에 의한 폭염 증가와 대책,” 『한국방재학회지』, 12(6), pp.171-177.

Basagana, X., C. Sartini, J. Barrera-Gomez, and P. Dadvand, 2011, “Heat waves and cause-specific mortality at all ages,” *Epidemiology*, 22(6), pp.765-772, DOI: 10.1097/EDE.0b013e31823031c5.

Benmarhnia, T., S. Deguen, J. S. Kaufman, and A. Smargiassi, 2015, “Vulnerability to heat-related mortality: A systematic review, meta-analysis and meta-regression analysis,” *Epidemiology*, 26(6), pp.781-793, DOI: 10.1097/EDE.0000000000000375.

Bunker, A., J. Wildenhain, A. Vandenberg, N. Henschke, J. Rocklov, and S. Hajat, 2016, “Effects of air temperature on climate-sensitive mortality and morbidity outcomes in the elderly: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence,” *EBioMedicine*, 6, pp.258-268, DOI: 10.1016/j.ebiom.2016.02.034.

Chan, E. Y., W. B. Goggins, J. J. Kim, and S. M. Griffiths, 2012, “A study of intracity variation of temperature-related mortality and socioeconomic status among the chinese population in Hong Kong,” *Journal of Epidemiology and Community Health*, 66(4), pp.322-327, DOI: 10.1136/jech.2008.085167.

Fiore, A. M., V. Naik, D. Spracklen, and A. L. Steiner, 2012, “Global air quality and climate,” *Chemical Society Reviews*, 41, pp.6663-6683, DOI: 10.1039/c2cs35095e.

Garcia, S. M. and A. A. Rosenberg, 2010, “Food security and marine capture fisheries: Characteristics, trends, drivers and future perspectives,” *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences*, 365, pp.2869-2880, DOI: 10.1098/rstb.2010.0171.

Guo, Y., A. Gasparmini, B. G. Armstrong, B. Tawatsupa, A. Tobias, and E. Lavigne et al., 2017, “Heat wave and mortality: A multicountry, multicomunity study,” *Environmental Health Perspectives*, 125(8), 087006, DOI: 10.1289/EHP1026.

IPCC, 2007, *Climate change 2007-Impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report*, In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J.

- van der Linden, and C. E. Hanson (eds), Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Jenks, G. F., 1967, "The data model concept in statistical mapping," *International Yearbook of Cartography*, 7, pp.186-190.
- Kjellstrom, T. and A. J. McMichael, 2013, "Climate change threats to population health and well-being: The imperative of protective solutions that will last," *Global Health Action*, 6, 20816, DOI: 10.3402/gha.v6i0.20816.
- Moss, R. H., E. L. Brenkert, and A. L. Malone, 2001, *Vulnerability to climate change: A quantitative approach*, (PNNL-SA-33642), Oak Ridge, TN: US Department of Energy.
- National Environmental Justice Advisory Council (NEJAC), 2004, *Ensuring risk reduction in communities with multiple stressors: Environmental justice and cumulative risks/impact*, Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Nitschke, M., G. R. Tucker, A. L. Hansen, S. Williams, Y. Zhang, and P. Bi, 2011, "Impact of two recent extreme heat episodes on morbidity and mortality in adelaide, South Australia: A case-series analysis," *Environmental Health*, 10(42), DOI: 10.1186/1476-069X-10-42.
- Peterson, T. C., T. R. Karl, J. P. Kossin, K. E. Kunkel, J. H. Lawrimore, and J. R. McMahon et al., 2014, "Changes in weather and climate extremes: State of knowledge relevant to air and water quality," *Journal of Air and Waste Management*, 64, pp.184-187, DOI: 10.1080/10962247.2013.851044.
- Phung, D., P. K. Thai, Y. Guo, L. Morawska, S. Rutherford, and C. Chu, 2016, "Ambient temperature and risk of cardiovascular hospitalization: An updated systematic review and meta-analysis," *Science of the Total Environment*, 550, pp.1084-1102, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.01.154.
- Steel, R., 2004, *Involving marginalised and vulnerable people in research: A consultation document*, London: Involve.
- USDA, 2013, "Climate change and agriculture in the United States: Effects and adaptation, (USDA Technical Bulletin 1935), Washington, DC: USDA.
- Wehbe, M. B., R. A. Seiler, M. R. Vinocur, H. Eakin, C. Santos, and H. M. Civitaresi, 2005, *Social methods for assessing agricultural producers vulnerability to climate variability and change based on the notion of sustainability*, (Assessments of Impacts and Adaptations of Climate Change (AIACC) Working Papers No.19), www.aiaccproject.org.
- Witt, C., A. J. Schubert, M. Jehn, A. Holzgreve, U. Liebers, and W. Endlicher, 2015,

- “The effects of climate change on patients with chronic lung disease: A systematic literature review,” *Deutsches Arzteblatt International*, 112, pp.878-883, DOI: 10.3238/arztebl.2015.0878.
- Williams, A. P., D. A. Craig, I. M. Constance, W. W. Thomas, J. Michaelsen, and J. S. Christopher et al., 2010, “Forest responses to increasing aridity and warmth in the southwestern United States,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(50), pp.21289-21294, DOI: 10.1073/pnas.0914211107.
- Wulff, M., 2001, “Growth and change in one person households: Implications for the housing market,” *Urban Policy and Research*, 19(4), pp.467-489, DOI: 10.1080/08111140108727894.
- Yu, W., K. Mengersen, X. Wang, X. Ye, Y. Guo, and X. Pan et al., 2012, “Daily average temperature and mortality among the elderly: A meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence,” *International Journal of Biometeorology*, 56, pp.569-581, DOI: 10.1007/s00484-011-0497-3.
- Luc Anselin, 2018, <https://geodacenter.github.io/download.html>, [2020.8.20.]
- Wiki.gis.com, 2020, “Jenks Natural Breaks Classification,” http://wiki.gis.com/wiki/index.php/Jenks_Natural_Breaks_Classification, [2020.9.20.]

배민기: 현재 충북연구원 상생발전연구부 선임연구위원, 충청북도 재난안전연구센터장으로 재직하고 있으며, 기후변화, 도시안전 등에 관심을 가지며 연구를 수행하고 있다. 현재 재난안전정책, 미세먼지, 기후변화적응 등과 관련된 과제를 수행 중이며 “공간적 취약성 및 다발성 분석을 통한 심정지 중점관리구역선정(2018)”, 공간계획 수립시 취약계층 탐색방식의 개선방안(2020)” 등의 논문이 있다(mkbae@cri.re.kr).

김보은: 한국교원대학교에서 지리교육(GIS)전공으로 박사학위를 받았으며 현재 국립재난안전연구원의 선임연구원으로 재직 중이며 재난의 공간 특성 및 위성영상-공간정보 기반 융합 분석 등의 연구를 수행하고 있다. 주요 관심분야는 재난, 취약성, GIS, 공간분석 등이다(bek0616@korea.kr).

이채연: 현재 한국외국어대학교 대기환경연구센터 기상기후서비스팀 책임연구원으로 재직하고 있으며, 도시 미기상·미기후, 폭염건강영향 등에 관심을 가지며 연구를 수행하고 있다. 도시민의 쾌적성과 관련한 보행자 높이에서의 열, 바람, 미세먼지 등과 관련된 과제를 수행 중이며 “Development of an urban high-resolution air temperature forecast system for local weather information services based on statistical downscaling(2018)” 등의 논문이 있다(prpr2222@hufs.ac.kr).

투 고 일: 2020년 08월 19일
심 사 일: 2020년 09월 01일
게재확정일: 2020년 09월 29일