

열취약성 평가를 통한 열환경 개선 정책 제시*

- 대구광역시를 사례로 -

김권¹ · 엄정희^{2*}

Policies for Improving Thermal Environment Using Vulnerability Assessment*

- A Case Study of Daegu, Korea -

Kwon KIM¹ · Jeong-Hee EUM^{2*}

요 약

본 연구에서는 열환경 개선 정책을 효율적으로 수립하기 위해 정책과 연계한 열 취약성 평가 방법을 제시하였다. 평가지표 선정에 위해 국내 17개 도시의 열환경 개선 정책과 국내·외 35개 선행연구의 열환경 평가지표를 고찰하였고, 최종적으로 열환경 개선정책과 연계된 15개 열취약성 평가지표를 선정하였다. 선정된 지표는 열지수, PM10 농도, 지표면 온도, 건물 표면적, 5세 미만 인구, 심혈관 질환자 수 등이 있다. 또한, 선정된 평가지표에 대한 이론적 근거를 확보하였다. 평가지표의 적용을 위해 사례지역인 대구광역시의 열환경 취약성 평가를 실시하였다. 평가를 위한 기초자료는 30m×30m 해상도를 기준으로 수집하였다. 이후 Z-Score와 매트릭스 방법을 활용하여 4개 등급으로 구분된 대구광역시의 열환경 취약성 평가 결과를 도출하였다. 분석 결과, 대구광역시에서 열에 가장 취약한 1등급의 면적 비율이 가장 높은 지역은 동구였으며, 그 다음으로 달서구, 북구 순으로 높았다. 또한, 대구광역시의 139개 동 중에서 열취약성 1등급의 면적비율이 가장 높은 동은 동구의 안심1동이었는데, 15개 지표의 표준화 지수를 살펴본 결과 열취약성과 가장 높은 관계성을 가지는 요인이 되는 것은 기초생활수급자의 수, 심혈관 계통 사망자의 수, 열지수, 지표면온도 순 이었다. 이에 따라, 안심1동의 열환경을 개선하기 위해 우선적으로 시행해야하는 정책은 무더위 쉼터의 확충과 관리, 온열환자 감시체계 및 DB 구축, 도심내 그늘 확대 등의 정책이 우선적으로 시행되어야 한다. 본 연구는 열환경 개선 정책과 평가지표를 연계시켜 활용함으로써 도시·군관리계획, 지구단위계획 등에서 전략적이며 효율적인 열환경 개선 정책을 수립하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2018년 3월 6일 접수 Received on March 6, 2018 / 2018년 4월 10일 수정 Revised on April 10, 2018 / 2018년 5월 8일 심사완료 Accepted on May 8, 2018

* 이 논문은 한국연구재단(과제번호: 2015R1C1A2A01052513) 및 2017년도 대구녹색환경지원센터의 연구 사업 재원을 지원받아 수행하였음.

1 계명대학교 건축학과 Dept. of Architecture, Keimyung University

2 계명대학교 생태조경학전공 Dept. of Landscape Architecture, Keimyung University

* Corresponding Author E-mail : eumjh99@kmu.ac.kr

주요어 : 열환경, 취약성 평가, 정책, 지표, 기후변화

ABSTRACT

This study aims to propose a way for evaluating thermal environment vulnerability associated with policy to improve thermal environment. For this purpose, a variety of indices concerning thermal vulnerability assessment and adaptation policies for climate change applied to 17 Korean cities were reviewed and examined. Finally, 15 indices associated with policies for improving thermal environment were selected. The selected indices for thermal vulnerability assessment were applied to Daegu Metropolitan City of South Korea as a case study. As results, 15 vulnerability maps based on the standardized indices were established, and a comprehensive map with four grades of thermal vulnerability were established for Daegu Metropolitan City. As results, the area with the highest rated area in the first-grade(most vulnerable to heat) was Dong-gu, followed by Dalseo-gu and Buk-gu, and the highest area ratio of the first-grade regions was Ansim-1-dong in Dong-gu. Based on the standardized indices, the causes of the thermal environment vulnerability of Ansim-1-dong were accounted for the number of basic livelihood security recipients, the number of cardiovascular disease deaths, heat index, and Earth's surface temperature. To improve the thermal environment vulnerability of Ansim-1-dong, active policy implementation is required in expansion and maintenance of heat wave shelters, establishment of database for the population with diseases susceptible to high temperature environments, expansion of shade areas and so on. This study shows the applicability of the vulnerability assessment method linked with the policies and is expected to contribute to the strategic and effective establishment of thermal environment policies in urban master district plans.

KEYWORDS : *Thermal Environment, Vulnerability Assessment, Policy, Index, Climate Change*

서론

1. 연구의 배경 및 목적

기후변화에 따른 영향으로 지구의 기온은 지난 100년 동안(1911~2010년) 0.75℃ 상승하였고(Korea Meteorological Administration, 2011), 한국 또한 산업화와 도시화를 거치면서 지난 90년간 기온이 약 1.0℃ 상승하였다(National Institute of Meteorological Research, 2009). 기온상승으로 인해 더욱 심화되는 여름철 이상 고온현상은 심혈관 질환 및 열사병을 초래하는데, 1994년에는 한국에서 폭염으로 인해 약 3,384명

이 사망한 것으로 나타났다(IPCC, 2012; Lee *et al.*, 2016). 국제사회는 기후변화로 인해 발생하는 피해를 줄이기 위해 그린인프라 도입과 더불어 기후변화 적응 및 대응 대책 등과 같은 방안을 찾고 있는데, 그 기초가 되는 것이 기후변화 취약성 평가이다(Yoo *et al.*, 2012). 기후변화 취약성 평가에 대한 여러 가지 정의가 있지만, 일반적으로 사용되는 것은 IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널; Intergovernmental Panel on Climate Change)의 정의이다. IPCC는 기후변화 취약성을 기후노출, 민감도, 적응능력의 함수로 표현이 된다고 정의하고 있으며, 이러한 정의에 따라 국·내외에서 기후변화 취

약성과 관련한 연구들이 진행되고 있다(Eum, 2016).

국내의 경우 국가차원에서 국토교통부령의 법률인 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 특별시·광역시·특별자치시·특별자치도·시 또는 군이 도시·군기본계획과 도시·군관리계획 수립 및 입안을 위해 재해취약성 분석을 실시하여야 하는 제도를 마련하였다. 이와 관련하여 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」에서는 기후변화 재해 취약성 분석 지표 및 방법론을 제공하고 있다. 한편 환경부령의 「저탄소 녹색성장 기본법」이 2010년 4월에 시행됨에 따라 2015년 1월부터 기후변화 재해취약성 분석을 반영한 지자체별 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립을 의무화 하고 있으며, 현재 각 지자체에서는 제2차 기후변화 적응대책 세부시행계획을 수립 및 검토 중이다.

본 연구는 열환경 개선 정책을 효율적으로 수립하기 위해 정책과 연계한 열 취약성 평가 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 국내·외 열환경 취약성 평가에 관한 연구들 및 국내 지자체에서 시행된 열환경 개선 및 열섬완화 정책들을 고찰하였다. 이를 바탕으로 열환경 개선 정책과 연계되는 열취약성 평가지표를 선정하였으며, 이를 바탕으로 사례연구지인 대구광역시의 열환경 취약성 평가를 실시하였다. 평가결과에 따라 대구광역시의 열환경 취약지역을 도출한 후 취약요인과 연계되는 열환경 개선 정책을 제안하였다. 본 연구는 정책과 연계한 평가지표를 바탕으로 열 취약지역에 대응하는 정책을 제시함으로써, 도시·군관리계획, 지구단위계획 등에서 전략적이며 효율적인 열환경 개선 정책을 수립하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 선행연구 고찰

도시 열환경 취약성 평가에 관한 국내 사례의 특징을 분석하기 위해 선행연구를 고찰하였다. Eum(2016)은 서울특별시를 대상으로 열환경 취약성 평가를 하였는데, 국내에서 사용하지 않

았던 도시구조적 및 공간적 지표를 활용하기 위해 국내·외의 취약성 평가 선행연구를 분석하여 평가지표를 선정하였다. 특히 「건축법 시행규칙」에서 1979년 9월에 처음으로 단열관련 조항이 신설된 법적 근거를 바탕으로 민감도 분야에 1980년 이전에 완공된 건축물을 지표로 활용하였다. 취약성 평가 분석 방법으로 퍼지이론(Fuzzy theory)을 활용하였다. Lee *et al.* (2013)은 부산광역시의 16개 구·군별로 폭염에 대한 취약성을 평가하였는데, IPCC의 취약성 개념을 바탕으로 기후변화 취약성을 노출 분야, 민감도 분야, 적응능력 분야로 구분하였다. 지표는 총 17개를 사용하였으며, 취약성 지수 산정을 위해 규모 재조정 방법을 선정한 후 SPSS 통계프로그램을 활용하여 표준화 작업을 하였다. Koo *et al.*(2015)은 부산광역시 16개 구·군을 대상으로 IPCC의 기후변화 취약성 개념을 적용하여 현재와 미래에 대한 폭염 취약성을 평가하였다. 이를 위해, 기후노출의 대응변수는 일 최고 기온이 33℃ 이상인 날의 수(일), 일 최저 기온이 25℃ 이상인 날의 수(일) 등 3개, 민감도의 대응변수로는 기초생활수급자 비율(%), 인구밀도(인구/km²), 온열질환자 수(명) 등 5개, 적응능력의 재가노인복지시설 서비스 능력, 보건인력 비율(%) 등 3개를 선정하였으며, 전문가, 공무원 등 31명을 설문 조사한 후 계층분석기법(AHP)를 활용하여 대응변수에 대한 가중치를 산정하였다. Shin and Lee(2014)는 한국의 251개 시군구를 대상으로 건강에 영향을 주는 폭염, 홍수 등 4개 부문에 대한 취약성 평가지표를 개발하였다. 평가 모형을 기후변화로 인해 건강에 영향을 미치는 요소와 경로를 바탕으로 6개 계층으로 구성하여 지표를 선정하였다. 기상요소에 해당하는 1층에는 열대야 일수, 1일 최고 기온, 2층(질환분포)에는 심혈관계질환인 폭염관련 질환분포, 열사병 환자 수, 3층(환경영향)은 녹지면적, 도로면적, 4층(취약계층)은 취약지역, 심혈관질환자 비율 등 6개, 5층(사회여건)은 재정자주도 등 6개, 6층(보건의료체계)는 무더위 쉼터, 지역 내 응급의료기관 수 등 6개를 선정하였다.

국내의 선행연구를 고찰한 결과 선행연구의 대부분이 IPCC 취약성 분석 개념에 따라 지표를 분류 및 선정하였다. 지표 선정에 있어서 선행연구들이 건강 및 폭염에 초점이 맞춰져 있었으나(Yoo *et al.*, 2012; Shin and Lee, 2014), 도시 및 환경계획과 같은 공간계획에 활용이 가능한 지표를 선정한 연구(Eum, 2016)도 있었다. 특히 서울특별시를 대상으로 연구한 사례(Eum, 2016)에서 지표 선정에 있어 국내 실정에 맞게 법적 근거를 바탕으로 1980년 이전에 완공된 건축물의 단열재 문제로 열환경에 취약하다고 판단하여 활용하였다. 취약성 평가 방법에서는 지표에 가중치를 산정한 후 표준화한 사례(Yun *et al.*, 2013; Koo *et al.*, 2015)도 있으나, 지표에 가중치를 사용안하고 표준화를 한 사례(Ahn *et al.*, 2016)도 있었다.

대상지 현황 및 연구방법

1. 연구 대상지

대상지는 한국의 광역시 중 폭염에 가장 취약한 것으로 알려진 대구광역시이다(National Institute of Environmental Research and Ministry of Environment, 2012). 면적 884.1km², 인구 약 251만 명(Daegu Metropolitan City, 2010)인 대구광역시의 행정구역은 중구, 동구, 서구, 남구, 북구, 수성구, 달서구, 달성군 등 8개 구·군으로 구분된다(그림 1). 기후적 현황을 살펴보면, 대구광역시의 2010년대 평균기온은 14.62℃로 1960년대보다 1.66℃ 상승하였다(<https://data.kma.go.kr/>). RCP 4.5 시나리오에 따르면 21세기 후반기(2071년~2100년)의 폭염 일수는 현재(2001~2010년 연평균)보다 15.2일 증가할 전망이다(Korea Meteorological Administration, 2012). 이러한 폭염 현상은 시민들의 건강에도 영향을 미치는데, 1997~2011년 동안 대구광역시에서는 폭염으로 인한 사망자가 18명으로, 같은 기간 전국 광역시 중 폭염으로 인한 사망자가 가장 많은 서울특별시(27명) 다음으로 많았다(Kim *et al.*, 2014).



FIGURE 1. Study area

2. 취약성 평가 지표 선정

취약성 평가 분석에 관한 많은 선행연구들이 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC, 2007)의 취약성 정의에 따라 노출(exposure) - 민감도(sensitivity) - 적응능력(adaptive capacity)으로 취약성 평가 지표를 구성하고 있기 때문에(Eum, 2016), 본 연구에서도 기후노출, 민감도, 적응능력으로 분류하여 평가 지표를 도출하였다(그림 2). 이를 위해, 우선 열환경 취약성 평가 지표에 관한 국내·외 선행연구를 고찰하였는데, 16개 국외 연구, 제1차 기후변화 세부시행계획(2012-2016) 수립에 활용된 국내 9개 시·도의 폭염 취약성 분석 사례 및 10개 국내 연구가 선행연구에 포함되었다. 다음으로, 지표와 국내 열환경 개선 정책과 연계성을 위해, 17개 시·도의 제1차 기후변화 적응대책 시행계획 중 열환경 개선 및 열섬완화에 관한 정책을 조사하였다. 마지막으로, 선정된 지표의 신뢰성을 확보하기 위해 각 지표의

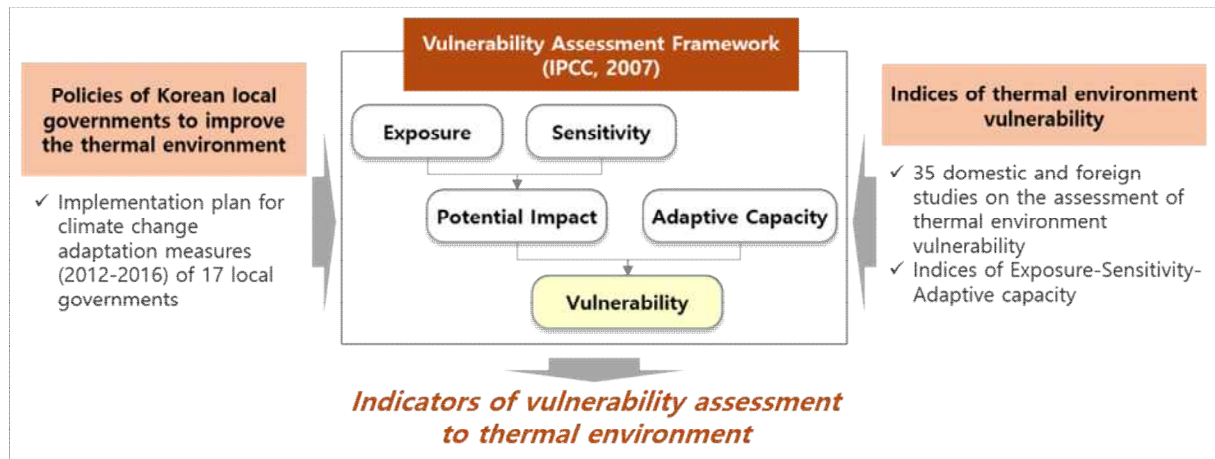


FIGURE 2. Research process

학술적·과학적 근거를 고찰하였다.

3. 자료 구축

선정된 지표에 대한 취약성 분석 자료는 한국 국가기관 및 미국 지질조사국 등 공공기관에서 구축된 자료를 획득하였으며(표 1), 자료 분석에는 ArcGIS v.10가 사용되었다. 획득한 자료는 30m×30m의 해상도를 기준으로 재구축되었으며, 구·군 또는 읍·면·동 등의 단위로 제공되는 자료는 기준 해상도로 변환하여 활용하였다. 기상자료는 대구광역시 내 부족한 관측 자료의 한계를 극복하고자 기상청에서 제공하는 1.5km 공간해상도를 가지는 국지예보모델(LDAPS: Local Data Assimilation and Prediction System)의 산출자료를 활용하였는

데, 여름철 61일간의 (2016년 7월 1일 ~ 8월 31일) 15시 결과를 Raster data로 추출한 후 ArcGIS의 Resample Tool을 이용하여 30m×30m 공간해상도로 변환하였다. 열지수 지표와 관련해서는 LDAPS 자료를 활용할 수 있는 미국 해양기상청(National Oceanic and Atmospheric Administration; NOAA)에서 개발한 Heat Index(HI) 산정식(식 1)을 사용하였다. 이 때, T는 기온(°C), RH는 상대습도(%)이다(Rothfus, 1990; Kim *et al.* 2014).

$$HI = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times RH - 0.22475541 \times T \times RH - 0.00683783 \times T^2 - 0.05481717 \times RH^2 + 0.00122874 \times T^2 \times RH + 0.00085282 \times T \times RH^2 - 0.0000199 \times T^2 \times RH^2 \quad (1)$$

TABLE 1. Analysis indices and data sources

index	Data	Data source
Number of days with daily maximum temperature above 33 °C	Local forecasting model from the Korea Meteorological Administration (LDAPS) (July-August 2016, 15:00)	https://data.kma.go.kr/
Number of days with daily minimum temperature above 25 °C	Local forecasting model from the Korea Meteorological Administration (LDAPS) (July-August 2016, 06:00)	https://data.kma.go.kr/
Heat index	Local forecasting model from the Korea Meteorological Administration (LDAPS) (July-August 2016, 15:00)	https://data.kma.go.kr/
PM10 concentration	Air Korea DB (12 sites in the Daegu area)	https://www.airkorea.or.kr/
Surface temperature	Landsat 8 thermal band (13.09.05,14.09.14,14.09.21)	http://earthexplorer.usgs.gov/
Road ratio	Continuous topographic map (National Geographic Information Institute), Road boundary data	https://www.ngii.go.kr/

TABLE 1. Continued

index	Data	Data source
Surface area of buildings	Building data from the Korea National Spatial Data Infrastructure Portal (GIS building integrated information data, Buildings with new addresses)	http://www.nsd.go.kr/
Water and green area ratio	Land cover map from the Ministry of Environment (2007)	https://egis.me.go.kr/
Buildings constructed before the 1980s	Building year data from building integrated information (Korea National Spatial Data Infrastructure Portal)	http://www.nsd.go.kr/
Number of agricultural workers	SGIS output area unit data	https://sgis.kostat.go.kr/
Number of people aged 65 and over	Output area unit on people aged 65 and over in 2015 Population Census	https://sgis.kostat.go.kr/
Number of people aged 5 and under	Output area unit on people aged 5 and under in 2015 Population Census	https://sgis.kostat.go.kr/
Number of elderly living alone	SGIS output area unit data	https://sgis.kostat.go.kr/
Number of basic livelihood security recipients	Data on each district from Statistics Korea	http://kosis.kr/
Number of cardiovascular disease deaths	Statistical data on causes of death from Statistics Korea	http://kosis.kr/

지표면 온도는 Landsat 8의 Thermal Infrared Sensor (TIRS) images를 사용하여 추출했으며, PM10 농도 자료의 경우 한국환경공단에서 운영하는 에어코리아를 이용하여 자료를 제공받았으며, 도로 자료는 국토지리정보원에서 연속수치지형도를 제공받아 사용하였다. 건축물 관련 자료는 국가공간정보포털의 GIS건물통합정보 수집하여 이용하였고 수복지 면적비율 자료는 환경부의 중분류 토지피복지도를 활용하여 구축하였다. 인구 연령 관련 자료는 통계지리정보서비스에서 2015년 인구주택총조사 집계구 단위의 자료를 제공받아 활용하였다. 독거노인과 농업인구는 통계지리정보서비스의 집계구 단위 통계자료를 사용하였다. 기초생활수급자 수는 통계청을 활용하여 읍면동 단위의 자료를 획득하였다. 한편, 자료획득의 한계로 인해 심혈관계통 사망자 수는 구군별 단위의 자료를 구축하여 활용하였다.

4. 취약성 평가 분석

취약성을 분석하기 위해 한국의 국토교통부령의 행정규칙인 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」에서 명시하고 있는 재해

취약성 분석방법을 활용하였다. 위 방법은 한국의 지자체에서 기후변화에 대한 재해취약성을 평가하는데 보편적으로 사용하고 있는 방법이다. 분석방법의 순서는 Excel을 활용한 Z-Score법과 표준화지수를 이용한 표준화 방법, ArcGIS 프로그램의 자연적구분법(jenks의 최적화방법)을 이용한 노출부문과 민감도부문의 등급구간 분류 방법, 매트릭스를 사용한 열환경 취약성 등급화 순이다. 먼저, 취약성을 분석하기 위해서 측정단위가 서로 다른 분석지표 간에 직접적인 비교를 가능하게 하는 표준화 과정이 필요하다. 이를 위해, 보편적으로 많이 사용되는 Z-Score 법을(식 1) 이용하여(Chung *et al.*, 2010) 계산한 Z-score를 표준화지수로 변환하여(식 2) 그리드별로 값을 산출하였다. Z-score는 음수부터 양수의 범위를 가지며, 표준편차를 단위로 설정하여 측정된 값으로 평균에서 일탈된 정도를 도출할 수 있다. 표준화지수는 Z-score를 0과 1사이의 수치로 변환한 값이다.

$$z_i = \frac{X_i - X_{mean}}{X_{Std}} \quad (1)$$

여기서 Z_i 는 구역별 i 의 Z-score, X_i 는 구역별 i 의 분석지표 X 측정치, X_{mean} 은 전체 구역별 분석지표 X 평균, X_{std} 는 전체 구역별 분석지표 X 표준편차이다.

$$Z-score_{Normal} = a \times z-score + b \quad (2)$$

$Z-score_{Normal}$ 은 구역별 i 의 표준화지수이며, a 와 b 는 다음과 같이 계산되었다.

$$a = \frac{1}{(Z-score_{max}) - (Z-score_{min})} \quad (3)$$

$$b = \frac{-Z-score_{min}}{(Z-score_{max}) - (Z-score_{min})} \quad (4)$$

이때, $Z-score_{max}$ 은 전체 구역의 Z-score 중 최대값, $Z-score_{min}$ 은 전체 구역의 Z-score 중 최소값이다.

매트릭스 방법은 2개 부문을 활용하여 최종 등급을 도출하기 때문에 분석지표별로 산출된 표준화지수를 활용하여 기후노출 부문과 민감도 부문별로 평균을 구하였다. 기후노출의 경우 적응능력 부문에 해당하는 지표를 합산하여 평균을 산출하였다. 부문별 등급구간을 분류하기 위해 자연적 구분법(jenks의 최적화방법)을 이용하였으며, 분석 값을 I~IV등급(I등급이 가장 취약)으로 구분하여 도출하였다. 마지막으로 열환경 취약성 분석 결과는 자연적 구분법에 의해 도출된 기후노출 부문 등급과 민감도 부문 등급을 매트릭스를 이용하여 산출하였다. 매트릭스 방법은 노출 부문과 민감도 부문의 각각의 취약성 분석 값인 I~IV등급을 중첩하여, 두 부문의 등급 중 취약성이 낮은 등급(IV등급이 가장 취약성이 낮은 등급)을 최종 등급으로 선정하는 방법이다.

결과 및 고찰

1. 열환경 취약성 평가 지표 분석

표 2는 국내·외 선행연구에서 도출된 열환경 취약성 평가 지표를 기후노출, 민감도, 적응능력으로 분류한 결과이다. 기후노출 분야에서는 기온(temperature) 및 지표면 온도(surface temperature) 등 온도에 관한 지표가 많이 사용(35개의 연구 중 31개 연구에서 사용)되었는데, 국내 연구에서는 일 최고기온 및 일 최저기온에 관한 지표가 대부분이었으며, 지표면 온도는 국외 연구에서 주로 사용되었다. 국내에서는 지표면 온도 대신 도로열을 지표로 사용하고 있는데, 아스팔트 도로는 지표면 온도를 높이는 주요한 요소이며, 인공열을 방출하는 자동차 통행량을 간접적으로 반영할 수 있는 지표이기 때문인 것으로 판단된다. 이 외에, 토지이용 및 토지피복에 관한 지표도 많이 사용(17개 연구)되고 있다.

민감도 분야에서는 열에 취약한 인구, 특히 노인층에 대한 지표가 많이 사용(31개 연구)되고 있다. 또한, 빈곤층 인구(27개 연구), 독거인구(23개) 및 열환경에 취약한 질병 보유인구(20개) 등 경제적 및 신체적 여건이 폭염 등에 민감한 요소로 고려되고 있다. 국외 연구에서는 특히 문맹률과 같은 교육지표 및 타 인종에 관한 지표도 자주 사용(총 16개 국외연구 중 14개 연구에서 사용)되는데, 이는 폭염에 대한 정보 습득 정도를 반영하기 위함이다. 국내 연구에서는 단열이 좋지 않은 노후 건축물이 폭염이 발생했을 경우 열취약성을 더 높이는 민감한 요소로 고려되고 있다.

적응능력 분야에서는 의료(15개 연구), 지역 재정 자립도(15개), 녹지(10개), 무더위 쉼터(4개) 등을 지표로 사용하였다. 에어컨 구비 현황에 관한 지표(8개)도 있었으나, 에어컨 사용이 건물 내에서 효과적인 열환경 적응요소이긴 하지만, 실외기를 통한 폐열증가로 외부의 열환경을 더욱 악화시킬 수 있다. 열대야 일 수 감소에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 바람길도 지표로 고려되고 있다.

국내·외 선행연구에서 도출된 열환경 취약성 평가 지표를 고찰한 결과, 노출과 민감도 분야의 지표가 많이 사용되었다. 노출 분야에서는

TABLE 2. Vulnerability assessment indices on thermal environment in previous studies

Division	Index	Foreign												Domestic (Korea)													Total									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		26	27	28	29	30	31	32	33	34
Exposure	Temperature	0			0					0		0	0	0	0	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	26
	Heat index														0	0	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12	
	Fine dust														0																				1	
	Ozone														0																				1	
	Surface temperature		0			0		0	0	0																									5	
	Land use and coverage				0		0	0			0				0	0		✓	✓	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	17
	Road														0				✓	✓				✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	7	
	etc			0																																1
	Buildings																	✓									✓					✓	✓	✓	5	
Activity space													0																					✓	2	
Age		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	31	
Isolation		0	0	0	0		0	0		0	0	0			0	0	✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	23	
Financial factors		0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	✓						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	27	
Disease		0	0			0				0						0	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	20	
Communication(language)		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0																	✓	15	
Housing/population density				0	0						0	0	0		0	0		✓	✓									✓	✓		✓	✓	✓	✓	12	
etc			0																																12	
Water and green areas		0				0											✓					✓	✓				✓							✓	10	
Wind path																																		✓	1	
Heat wave shelter			0														✓																	✓	4	
Air conditioners		0	0					0	0									✓	✓														✓	✓	8	
Health and medical													0	0	0	✓		✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15	
Public official																							✓	✓								✓			3	
Local government finance													0	0		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	15	
Population less sensitive to heat															0																		✓		2	
Senior welfare							0								0																				2	
etc				0									0	0	0																				4	

1: Vescovi *et al.*(2005), 2: Reid *et al.*(2009), 3: Rinner *et al.*(2010), 4: Hondula *et al.*(2012), 5: Chow *et al.*(2012), 6: Tomlinson *et al.*(2012), 7: Loughnan *et al.*(2012), 8: Johnson *et al.*(2012), 9: Wolf *et al.*(2013), 10: Aubrecht *et al.*(2013), 11: Harlan *et al.*(2013), 12: Maier *et al.*(2013), 13: Dong *et al.*(2014), 14: Zhu *et al.*(2014), 15: El-Zein *et al.*(2015), 16: Megan *et al.*(2017), 17: Seoul Metropolitan City(2012), 18: Daegu Metropolitan City(2012), 19: Province of Chungcheongbukdo(2012), 20: Province of Gyeongsangnamdo(2012), 21: Province of Jeollanamdo(2012), 22: Gwangju 23: Province of Gyeongsangbukdo(2012), 24: Province of Jeollabukdo(2012), 25: Ulsan Metropolitan City(2012), 26: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017), 27: Park(2016), 28: Jung *et al.*(2012), 29: Koo *et al.*(2015), 30: Ahn *et al.*(2016), 31: Lee *et al.*(2015), 32: Lee *et al.*(2013), 33: Yoo *et al.*(2012), 34: Shin *et al.*(2014), 35: Eum(2016)

온도, 열쾌적성 등 열취약성에 직접적인 영향을 끼치는 '기상적 요소'와 토지피복, 도로율 등 간접적으로 열섬현상 증가에 영향을 끼치는 '도시구조적 요소'가 주요한 지표로 분석되었다. 민감도 분야에서는 나이, 경제력, 질병 등 '사회인구적 요소'가 주요한 지표로 사용되었다.

2. 국내 열환경 개선 관련 정책 조사 결과

표 3은 평가지표와 정책을 연계하기 위해 조사한 한국의 17개 지자체의 제1차 기후변화 적응대책 세부시행계획 중 열환경 개선 정책을 Eum(2016)의 분류기준에 따라 기후노출(direct forcing 및 indirect forcing), 민감도(물리적 민감도 및 사회인구적 민감도), 적응능력 분야(장기적 저감조치 및 단기적 회피조치)로 분류한 것이다.

노출 분야의 경우 기상학적 환경에 직접적으로 대응하기 위해 폭염 감시체제 시스템 구축 및 활용 정책이 있다. 또한, 도시의 구조를 개선하여 간접적으로 온도 저감에 대응하는 정책으로 도시녹지계획과 가로수 조성 계획, 비오뎀 조성, 인공지반 녹화 등과 같은 도시·군기본계획 및 도시·군관리계획 차원의 열환경 개선 공간계획이 있다.

민감도 분야의 경우 물리적 민감도에는 열에 더욱 취약한 구조물인 노후 주거지의 주택을 개량하는 정책, 가축의 폐사를 막기 위한 축사의 환기시설 점검 및 단열재 개선 사업이 있다. 사회인구적 민감도에서는 고온 환경에 취약한 계층을 위한 정책들이 많았는데, 취약계층 DB구축(영유아, 65세 이상 인구, 독거노인 등), 취약계층을 대상으로 한 건강관리 모니터링 시스템

TABLE 3. Policies of Korean local governments to improve the thermal environment

Division	Subdivision	Policy	Source	
Exposure	Direct forcing	Establishment of heat wave warning and alarm systems and monitoring systems	1, 4, 7, 8, 13, 14	
		Urban greening, such as roadside planting	3, 4, 9, 14, 16	
	Indirect forcing	Restoration of urban ecosystems, including biotope creation	3	
		Artificial ground greening	13	
		Urban forest creation	4, 9, 10, 14, 16	
		Ecological park creation	4, 5, 9, 14, 16	
Sensitivity	Physical sensitivity	Improvement of farmhouses, such as attachment of stable ceiling insulator and ventilation facility inspection	9	
		Housing improvement projects and vacant house maintenance projects	13, 14	
		Improvement of rural medical services	9	
	Socio-demographic sensitivity		Establishment of regional emergency medical care plans and systems	9, 11, 12, 14
			Prevention and management of cerebrovascular diseases	1, 9, 11
			Establishment of heat wave and UV research institutes	4
			Establishment of monitoring systems for health management of vulnerable classes	7
			Development of management plans and manuals for each class vulnerable to heat waves	1, 2, 4, 5, 13, 15, 11
			Survey of vulnerable classes (preschool children, elderly aged 65 or over, elderly living alone, and other health-vulnerable classes)	1, 7, 8
			Establishment of DB on heat wave periods, vulnerable areas, heat wave diseases, and vulnerable classes	9
			Management and support for home visits and care	3, 4, 9, 11, 15
			Training of helpers for classes vulnerable to heat waves	4, 14, 15
			Health care services for the elderly in vulnerable classes	3, 15
			Establishment of an emergency care service system for the elderly living alone	2, 5, 7, 9, 14, 15
			Adaptive capacity	Long-term measures
Cool loop installation	9, 15			
Wall greening projects	4			
Rooftop greening projects	3, 4, 5, 9, 10, 14			
Wind path creation	3, 9			
Short-term measures	Prioritized building greening projects in vulnerable areas	4		
	Ecological river restoration	9, 16		
	Establishment of DB on heat wave shelters and selection management	1, 2, 4, 5, 7, 9, 13, 14, 15		
	Establishment and operation of T/F team to manage the situation against prolonged heat waves	1, 14		
	Establishment and promotion of emergency medical support systems	7, 14		
		Customized promotional and educational activities in response to heat wave	1, 5, 8, 11, 14, 15	
		Measures for health management in preparation for heat waves	6	

1: Busan Metropolitan City(2012), 2: Province of Chungcheongbukdo(2012), 3: Province of Chungcheongnamdo, 4: Daegu Metropolitan City(2012), 5: Daejeon Metropolitan City(2012), 6: Province of Gangwondo(2012), 7: Gwangju Metropolitan City(2012), 8: Province of Gyeonggi-do, 9: Province of Gyeongsangbukdo(2012), 10: Province of Gyeongsangnamdo(2012), 11: Incheon Metropolitan City(2012), 12: Province of Jeju(2012), 13: Province of Jeollanamdo(2012), 14: Sejong Metropolitan City(2012), 15: Seoul Metropolitan City(2012), 16: Ulsan Metropolitan City(2012)

구축, 가정방문 및 홈케어 센터 운영·지정, 취약계층 도우미 양성 등이 있다. 또한 심뇌혈관과 같은 특정 질병에 대한 예방·관리 정책도 있다. 한편, 농어촌 및 지방에 특화된 정책으로는 농어촌 의료서비스 개선, 지방 응급의료 시설장비 보강 지원 및 체계 개선 정책이 있다.

적응능력 분야의 경우 기온저감을 위한 장기적 정책으로 쿨루프, 벽면녹화, 옥상녹화와 같은 그린인프라 활성화 사업과 취약밀집 지역 우선순위 건물 녹화사업 등이 있다. 폭염 등 extreme heat event시 더위를 회피하기 위한 단기적 조치로는 무더위 쉼터 DB 구축·지정·관리, 폭염시 발생하는 응급환자를 위한 긴급의료 지원체계 구축·홍보, 폭염 홍보 및 교육활동 등이 있다.

국내 열환경 개선 관련 정책들을 고찰한 결과, 노출 및 적응능력분야에서 공통적으로 녹지공간 확충이 정책의 많은 비중을 차지하고 있으며, 독거노인 등 폭염취약계층을 대상으로 한 응급체계 구축, 매뉴얼 개발, 교육 활동 확대 등 운영시스템에 관한 요소들이 주요한 정책으로 활용되고 있다.

3. 열환경 취약성 평가지표 선정

열환경 취약성 평가 결과에 취약성이 높은 지역에 대해 지표별로 집중 분석을 한 다음, 취약요인이 되는 지표를 도출한 후 각 지표에 대응하는 정책을 지역별로 우선순위를 선정하여 제시하기 위해 국내의 열환경 개선 정책과 국내·외의 관련 선행연구 분석을 하였다.

이를 바탕으로 기후노출 분야 7개, 적응능력 분야 1개, 민감도 분야 7개로 총 15개의 평가지표를 선정한 후 각 지표에 대응하는 정책을 제시하였다(표 4). 선정된 지표는 Eum(2016)의 분류기준을 따라 분류하였는데, '기후노출' 분야는 기상학적 요소와 도시구조적 환경을 기준으로 분류하였다. 기상학적 요소는 직접적인 영향을 미치고, 도시구조적 환경은 간접적으로 영향을 미친다. '민감도' 분야는 물리적 민감도와 사회인구적 민감도로 분류가 된다. 물리적

민감도에는 취약 구조물이 포함되며, 사회인구적 민감도는 연령, 경제 수준, 고열 환경에 민감한 질환이 있다. '적응능력' 분야의 경우 열환경 개선 및 열섬을 완화/저감할 수 있는 옥상녹화, 벽면녹화와 같은 장기적 조치와 무더위 쉼터 에어컨 보유와 같은 회피요소에 해당하는 단기적 조치가 있었다. 본 연구에서는 회피요소를 배제하였는데, 무더위 쉼터와 같은 회피요소의 경우 선정된 지표의 정책 제안에 포함하였기에 제외를 하였다. 에어컨 지표는 에어컨 사용 시 사용자의 실내 열환경은 쾌적해 지지만, 실외기를 통해 열을 배출하여 열환경을 더욱 악화시켜 논란의 여지가 있었다. 각 지표에 제안된 정책은 실현 가능성을 위해 국내에서 활용하고 있는 정책을 바탕으로 구성하였다.

1) 기후노출 분야 평가지표

기후노출 분야에서 선정된 평가지표의 이론적 근거로 대한민국 폭염특보 발표기준 기온과 열대야 기준 기온을 근거로 일 최고기온 33도 이상 날의 수와 최저기온 25도 이상 날의 수를 선정하였다. PM10의 경우 농도가 높을수록 태양열을 더욱 많이 흡수하여 열섬현상을 가중시킨다는 연구결과가 있었다(Cao *et al.* 2016). 열지수의 경우 인간의 실제로 느끼는 온도를 산정하기 위해서 기온과 습도를 고려하였으며, 지표면 온도의 경우 콘크리트 건물, 아스팔트 등과 같은 인공피복면적이 늘어나면서 태양열을 흡수하는 특성을 반영하기 위해 선정을 하였다. 도로열은 인공열을 방출하는 자동차의 통행량을 측정하는데 한계가 있어 선정된 지표이다. 건물 표면적은 많아질수록 태양에너지를 흡수하는 면적이 늘어나 도시 열섬현상을 더욱 가중시킨다.

각 지표에 대응하는 정책으로는 먼저, 일 최고기온 33도 이상 날의 수의 경우 폭염 시 대응 요령을 시민들에게 교육 및 홍보할 수 있는 시스템 구축이 있다. 열대야 발생 일 수에 해당하는 일 최저기온 25도 이상 날의 수의 대응 정책으로 야간에 산의 계곡 부에서 생성되어 흘러나오는 찬바람을 이용하는 바람길 계획이 있다. 관련 사례로 Eum and Son(2016)은 낙동

TABLE 4. Vulnerability assessment indices associated with policies

Division	Subdivision		Index	Examples of Policies		
Exposure	Direct forcing	Meteorological factor	Number of days with daily maximum temperature above 33 °C	Customized promotional and educational activities in response to heat wave		
			Number of days with daily minimum temperature above 25 °C	Wind path creation		
			Heat index	Urban greening, such as roadside planting		
	Indirect forcing	Structural factor	PM10 concentration	Supply of electric vehicles		
			Surface temperature	Shade installation		
Adaptive capacity	Long-term measures	Reduction / mitigation	Road ratio	Clean-road implementation		
			Surface area of buildings	Wall greening		
	Physical sensitivity	Vulnerable structure	Water and green area ratio	Support for rooftop greening, Restoration of rivers		
			Buildings constructed before the 1980s	Provision of cool roofs		
	Sensitivity	Age	Activity space	Number of agricultural workers	Maintenance of rural areas	
				Number of people aged 65 and over	Survey of elderly aged 65 or over classes	
				Number of people aged 5 and under	Heat wave promotion and educational activities	
		Socio-demographic sensitivity	Economy	Disease	Number of elderly living alone	Care for the elderly living alone
					Number of basic livelihood security recipients	Expansion and maintenance of heat wave shelters
					Number of cardiovascular disease deaths	Prevention and management of cerebrovascular diseases

정맥을 대상으로 독일에서 개발한 찬공기 분석 모형을 활용하여 야간시간에 찬공기의 흐름과 높이를 분석한 후 도시계획 차원에서 관리방안을 제시하였다. 이러한 사례와 연계하여 열대야에 취약한 지역에 바람길 계획을 한다면, 열환경 개선에 더욱 효과적일 것이라고 판단된다. 열지수를 높이기 위한 방안으로 녹음수 조성 정책이 있다. Jo *et al.*(2017)은 가로수가 여름철에 인간의 열환경 지수에 미치는 영향을 분석하였는데, 상록활엽교목과 느티나무와 같은 녹음수의 열지수 상승 효과를 검증하였다. PM10의 발생 원인 중 하나로 자동차의 배기가스가 있는데, 이를 저감하기 위해 전기차 보급을 지원하는 한편 홍보 정책도 같이 시행하여야 한다. 지표면 온도의 경우 취약지역 중 지표면 온도가 높은 곳을 우선적으로 횡단보도, 교통섬 등에 설치를 해야 한다. 도로울 지표에 대한 대응 정책으로 중앙분리대에 살수노즐을 설치하여 도로

면에 물을 분사하는 클린로드 시스템이 있다. 이와 관련하여 소방차를 활용하여 도로면에 살수를 하는 정책도 있다. 건물 표면적과 관련하여 Kim and Kim(2016)은 건물 벽면에 녹화를 한 건축물의 실내외에서 기온저감 효과를 확인하였는데, 민간에서는 사업비의 이유로 벽면녹화에 대한 제약이 있을 것으로 판단이 된다. 이에, 우선적으로 공공기관 및 학교를 중심으로 벽면녹화를 시행해야 한다.

2) 적응능력 분야 평가지표

수·녹지면적 중 수공간의 기온저감 효과와 관련하여 Kim and Song(2015)은 Landsat 7 ETM+를 활용하여 청계천의 복원 전후의 기온을 산정하였는데, 2000년에 청계 고가로 부터 100m 가까워질수록 0.05°C 상승을 하였으나 2010년에 복원된 청계천으로부터 100m 가까워질수록 0.39°C 하락하는 것을 확인하였다. 녹

지면적은 10% 증가할 때 기온은 최대 0.9℃ 감소한다는 연구 결과가 있었다(Jin and Byun, 2000). 관련 정책으로 하천복원과 소공원 조성 등이 있다.

3) 민감도 분야 평가지표

민감도 분야 평가지표의 경우 대부분 취약계층에 해당하는 인구에 대한 지표를 선정하였다. 지난 21년간(1991년-2011년) 폭염으로 인한 전체 사망자 중 60세 이상 인구(58.7%)의 비율이 가장 높았다는 연구 결과가 있었다(Kim *et al.*, 2014). 일반적으로 고령자는 65세 이상 인구로 정의되어 65세 이상 인구를 평가지표로 선정하였다. 5세 미만 인구는 보편적으로 체온 조절 능력이 떨어져 고온 환경에 취약하다고 알려져 있다. 지표 ‘독거노인’에 대해서는 Eum and Yun(2015)의 연구를 선정근거로 하였다. 이 연구에 따르면, 폭염 기간(2011~2015년) 장소별 온열환자 발생신고 수는 거주지 주변과 집에서 발생한 경우가 전체의 13%를 차지하였고, 특히 독거노인이 폭염에 취약한 계층이라고 제시하고 있다. 기초생활수급자 지표의 경우 빈곤 할수록 물적자원 및 정보에 대한 접근에 어려움이 있어 전기료 및 에어컨 설치비 등의 사유로 집안을 쾌적하게 유지하는데 제약이 있다. 심혈관 질환 지표의 경우 Jeon(2011)의 연구 결과로 여름철 고온으로 인해 발생하는 초과사망의 원인이 심혈관 질환이라고 하였다. 농촌인구 지표는 여름철 야외에서 일하는 근로자는 고온에 노출되는 작업을 하므로 열환경에 취약하다고 판단되는데 건설 현장 등에서 일하는 야외 근로자 수의 자료를 획득하는 데는 한계가 있어서 농업인구를 지표로 선정하였다. 1980년 이전에 완공된 건축물 지표의 경우 1979년에 「건축법 시행규칙」에서 건축물에 단열재를 사용해야 한다는 조항 신설을 근거로 1980년 이전에 완공이 된 건축물은 1980년 이후에 완공된 건축물보다 열환경에 더 취약하다고 판단하여 선정하였다.

민감도 분야의 각 평가지표에 대응하는 정책으로 먼저, 여름철 온열환자가 많이 발생하므로

65세 이상 인구에 대한 자료 구축 및 감시체제 구축이다. 5세 미만 인구의 경우 의사를 전달하는데 한계가 있으므로, 아동을 담당하는 유치원 교사와 부모에게 폭염에 대한 대응 대책 교육 정책이 있다. 독거노인에 대한 정책으로는 독거노인을 대상으로 전화, 방문과 같은 방법으로 독거노인을 관리하는 노인돌봄서비스이다. 농업인구와 관련한 정책으로 폭염감시원 구축을 통한 농촌지역 폭염관련 홍보 및 관리를 통한 농촌지역 정비가 있다. 기초생활수급자에 대한 정책으로는 지자체들이 운영하는 무더위 쉼터가 있다. 심혈관 질환의 경우 대상자에 대한 기초 자료를 구축과 예방 및 관리방안이 있다. 80년 이전에 완공된 건축물들은 노후화돼 있다고 판단하여 옥상녹화보다는 쿨루프(Cool-roof)를 정책으로 선정하였다.

4. 열환경 취약성 평가 분석

그림 3은 각 지표별 기초자료를 공간데이터화 시킨 다음, 측정단위가 서로 다른 분석지표 간에 직접적인 비교를 하기 위해 Z-score법을 활용해 0~1의 값을 가지는 표준화 지수로 변환한 것이다. 열지수를 제외한 노출 지표와 민감도 지표는 1에 가까울수록 고온에 더 많이 노출되거나 열환경에 민감한 계층이 많다는 것을 의미하기 때문에 상대적으로 열환경에 더 취약한 지역을 나타낸다. 하지만, 열지수와 적응능력 지표인 수·녹지 면적은 0에 가까울수록 열환경에 더 취약한 지역을 의미한다. 일 최고기온 33℃ 이상 날의 수, 일 최저기온 25℃ 이상 날의 수는 대구광역시의 중심지인 중구를 중심으로 높은 값을 가지고 있으며, 대구시의 북동쪽 부근과 남동쪽 부근의 값이 낮은 것은 각각 팔공산과 앞산의 영향으로 판단된다. 대구의 시가지를 따라 높은 값을 가지는 지표들은 도로 율, 지표면 온도, 건물 표면적이며, 반대로 낮은 값을 가지는 지표는 수·녹지면적이다. PM10의 농도는 서구의 북서쪽과 동구의 남동쪽에 높은 값을 가지고 있었는데, 서구에 위치한 일반산업단지와 동구에 위치한 대구연료산업단지에서

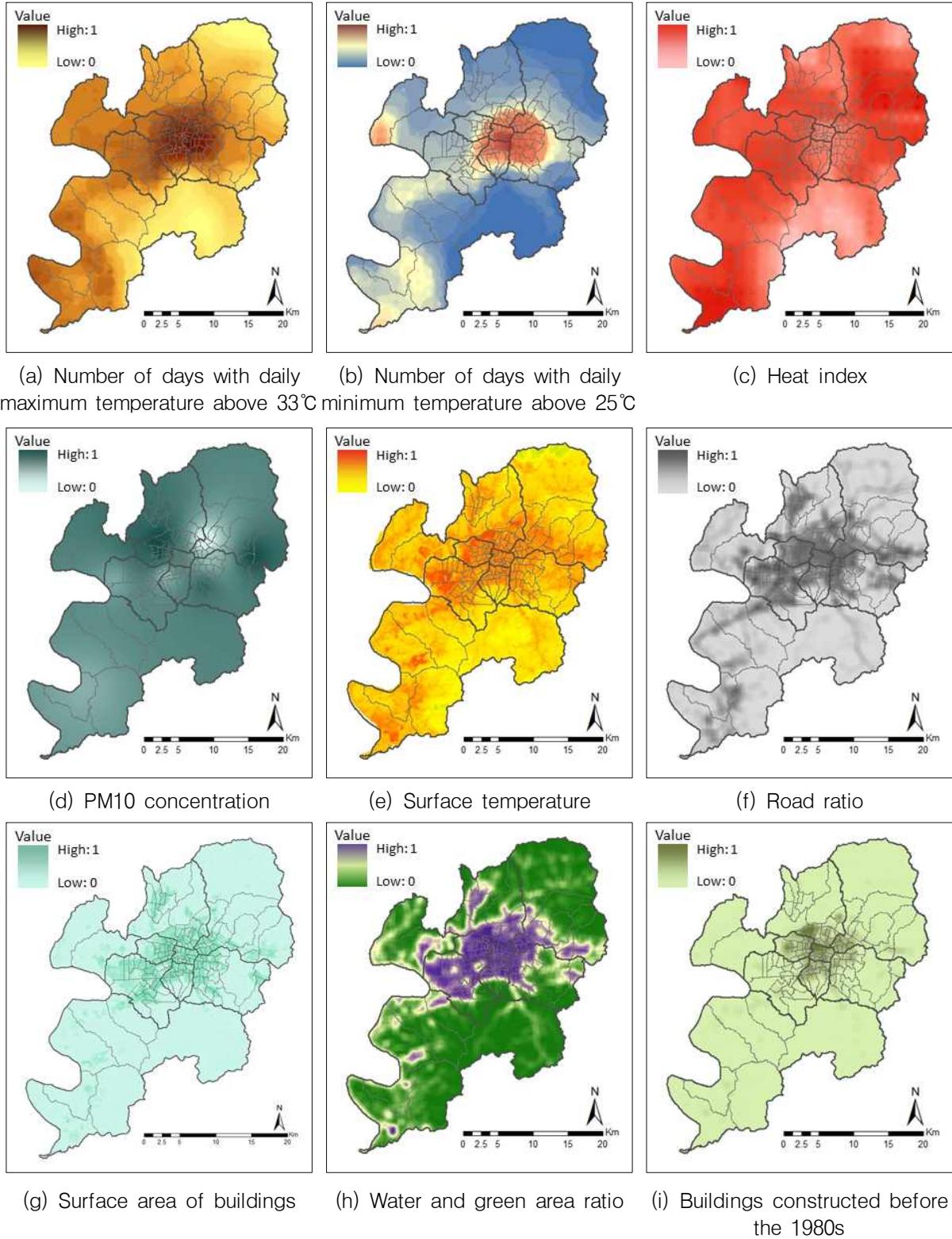


FIGURE 3. Thermal vulnerability of each index converted into a standardized index (continued)

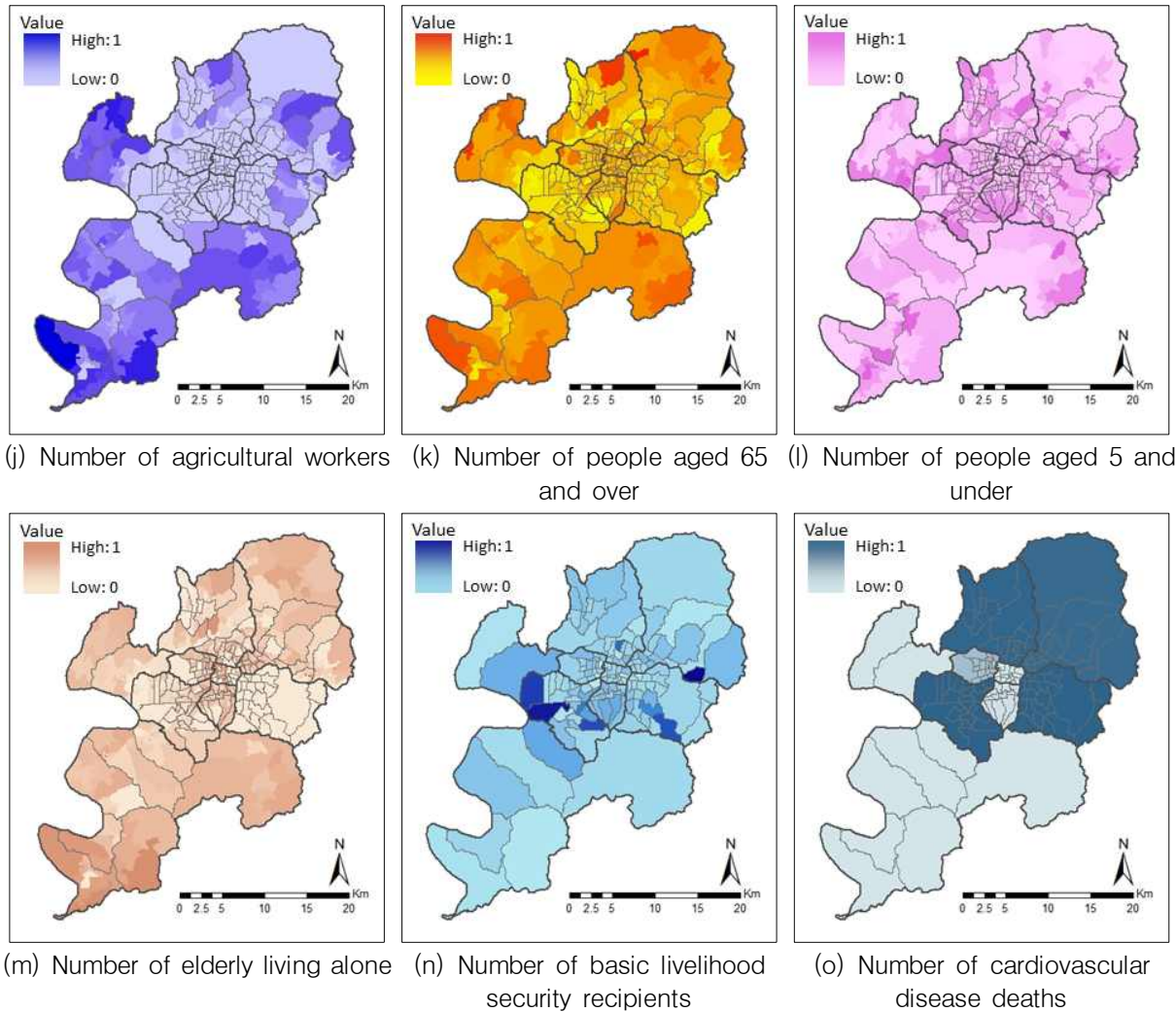


FIGURE 3. Continued

PM10을 많이 생성되는 것으로 판단된다. 1980년대 이전에 완공된 건축물은 중구를 중심으로 높은 값이 나왔다. 한편, 기초생활수급자 수와 커뮤니티 조성전략에 해당하는 65세 이상 인구수, 5세 이하 인구수, 독거노인 수, 기초생활수급자 수, 심혈관 계통 질병 사망자 수는 인구·사회적 원인으로써 대구광역시 전역에 일정하게 분포하고 있다.

그림 4는 개별 지표를 종합하여 1~4등급으로 구분한 것이다. 노출 지표를 취합하여 4등급화한 결과 대구광역시의 시가지를 따라 열에 가장 취약한 등급인 1등급이 많이 분포하고 있다.

달성군 남쪽에 위치한 테크노폴리스지구 부근도 1등급의 비율이 높는데, 공업지역이 많은 것이 원인으로 파악된다. 민감도 지표의 경우 동구의 동서쪽에 위치한 신서혁신도시, 안심동과 달성군에 위치한 테크노폴리스지구, 북구의 칠곡에서 1등급이 많이 분포되어 있다.

노출 지표와 민감도 지표의 취약성 등급을 활용하여 도출된 대구광역시의 열환경 취약성(그림 4 및 표 5)에서는 열에 가장 취약한 1등급의 면적 비율이 가장 높은 지역은 동구(3.29%)였으며, 그 다음으로 달서구(3.28%), 북구(3.18%) 순으로 높았다. 동구의 남쪽에 취약성

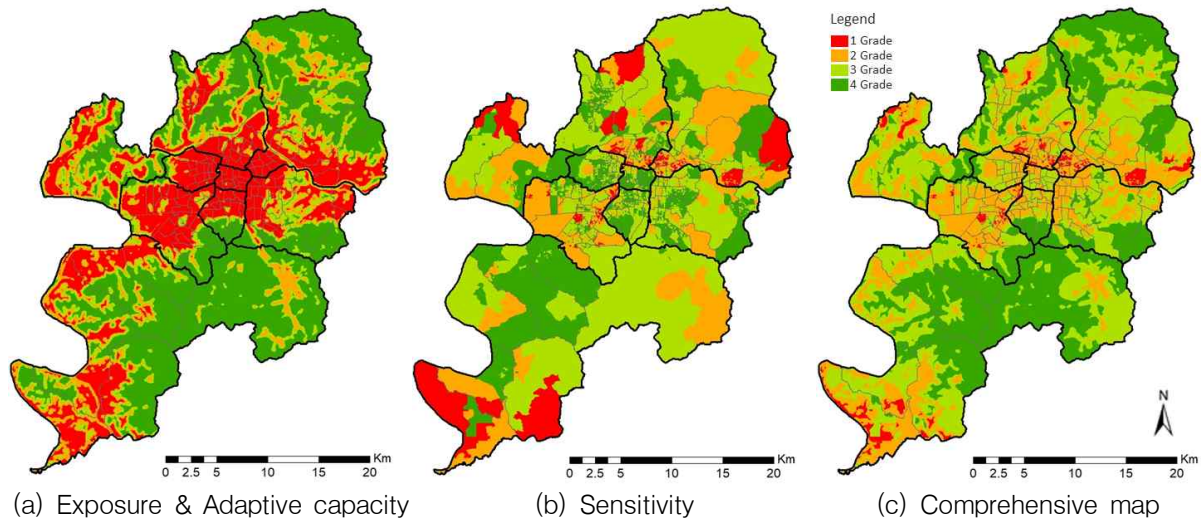


FIGURE 4. Maps of vulnerability assessment on thermal environment of Daegu Metropolitan City

TABLE 5. Area and area ratio for each thermal environment vulnerability grade in each district

Division	First grade		Second grade		Third grade		Fourth grade		Total	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Jung-gu	0.03	0.44	2.15	30.57	4.86	68.99	0.00	0.00	7.04	100
Dong-gu	5.95	3.29	35.98	19.91	70.64	39.08	68.17	37.72	180.74	100
Seo-gu	0.06	0.37	7.76	45.12	7.71	44.87	1.66	9.64	17.19	100
Nam-gu	0.00	0.02	6.22	35.53	5.28	30.16	6.00	34.29	17.49	100
Buk-gu	2.96	3.18	24.09	25.88	42.99	46.17	23.06	24.77	93.11	100
Suseong-gu	0.03	0.03	22.04	28.91	32.68	42.87	21.48	28.18	76.23	100
Dalseo-gu	2.08	3.28	32.11	50.63	19.05	30.04	10.18	16.05	63.42	100
Dalseong-gun	10.60	2.55	77.25	18.57	161.61	38.85	166.55	40.03	416.00	100
Daegu	21.71	13.16	207.6	255.12	344.82	341.03	297.10	190.68	871.22	100

1등급지역이 분포하고 있으며, 북구는 북쪽과 남동쪽에 1등급지역이 분포하고 있다. 1등급의 면적이 넓은 지역은 달성군(10.6km²)이며, 다음으로 동구가 5.95km²로 넓었다. 달성군이 1등급의 면적이 높음에도 면적대비 1등급의 비율이 낮은 이유는 비도시지역의 면적이 넓기 때문인 것으로 판단된다. 상대적으로 열환경이 쾌적한 4등급의 면적이 높은 지역은 달성군(40.03%)이며, 다음으로 동구(37.72%), 남구(34.29%) 순이었다. 달성군과 동구의 4등급 면적이 넓은 이유는 각각 비슬산과 팔공산이 구군의 총 면적 중 많은 부분을 차지하고 있기 때문인 것으로 생각된다. 남구 역시 앞산이 행정동의 많은 면

적을 차지하고 있는 것이 4등급의 면적비율이 높은 이유라고 판단된다.

한편, 대구광역시의 139개 동 중에서 열취약성 1등급의 면적비율이 가장 높은 동은 동구의 안심1동이었다(그림 5). 안심 1동은 139개 동 중에서 유일하게 1등급의 면적비율이 70% 이상인 동으로써, 열환경 개선 정책이 최우선적으로 시행될 필요가 있는 동이다. 표 6은 안심 1동의 열환경 취약원인을 파악하기 위해 15개 취약성 지표의 표준화 지수를 정리한 것이다. 그 결과, 안심 1동의 열 취약성에 가장 큰 원인이 되는 것은 기초생활수급자의 수(0.99), 심혈관 계통 사망자의 수(0.79), 열지수(0.78), 지

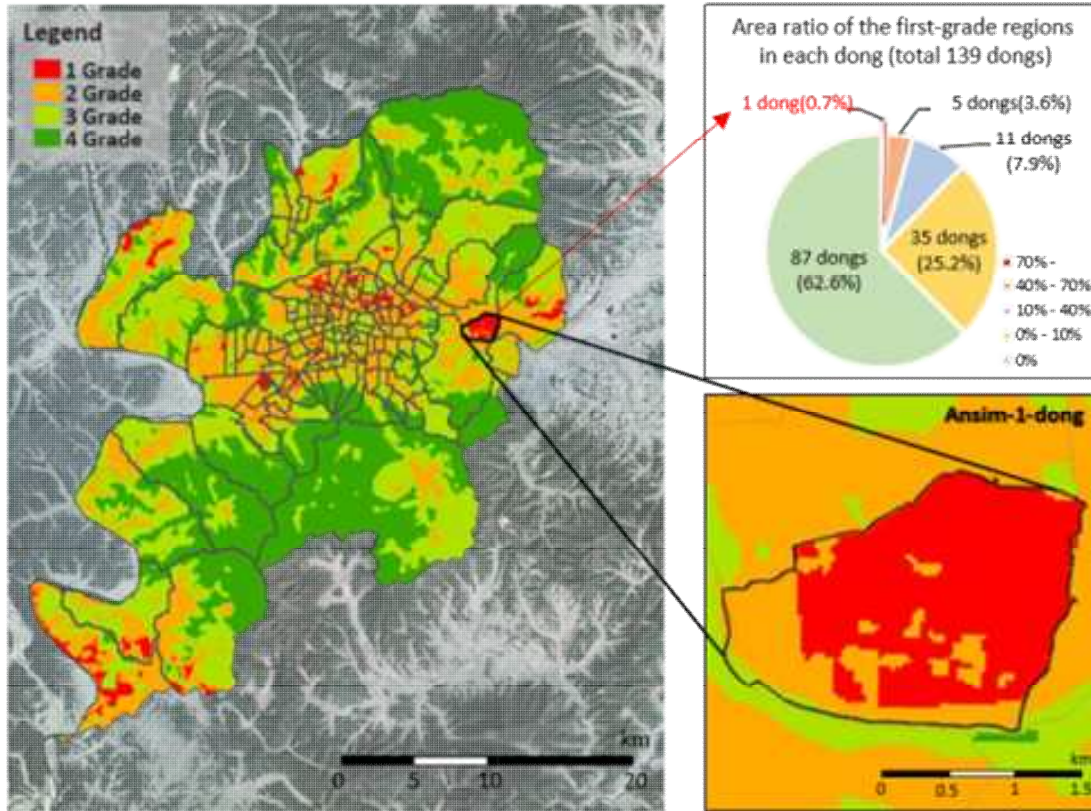


FIGURE 5. Vulnerability distribution of Ansim-1-dong

TABLE 6. Standardized index for each index in vulnerable areas (A high score represents a high level of vulnerability)

Division	Index	Ansim-1-dong
Exposure	Number of days with daily maximum temperature above 33 °C	0.53
	Number of days with daily minimum temperature above 25 °C	0.32
	Heat index	0.78
	PM10concentration	0.70
	Surface temperature	0.75
	Road ratio	0.51
Adaptive capacity	Surface area of buildings	0.04
	Water and green area ratio	0.70
Sensitivity	Buildings constructed before the 1980s	0.06
	Number of agricultural workers	0.02
	Number of people aged 65 and over	0.15
	Number of people aged 5 and under	0.29
	Number of elderly living alone	0.11
	Number of basic livelihood security recipients	0.99
	Number of cardiovascular disease deaths	0.79

표면온도(0.75), PM10 농도(0.70), 수·녹지율(0.70)순이었다. 이러한 평가결과에 따라 안

심1동의 열환경을 개선하기 위해서 우선적으로 시행이 되어야하는 정책의 사례는 다음과 같다.

우선 가장 높은 점수가 산출된 기초생활수급자를 위해서는 공공을 위해 설치되는 무더위쉼터를 기초생활수급자가 밀집한 지역에 확충하고, 기존의 무더위쉼터에 비치된 장비를 정비해야 한다. 또한 고열환경에 취약한 질병을 가진 인구에 대한 DB를 구축하여 온열환자 감시체계를 구축하여야 하고, 열질환에 대한 예방 요령 등에 대한 홍보와 교육활동이 집중적으로 필요하다. 지표면 온도를 낮추기 위해서는 콘크리트 보도블럭을 열저감 보도블럭으로 교체하고, 그늘막 설치 및 녹음수 확대를 통해 도심내 그늘을 확대하는 정책을 우선적으로 실시해야 한다. 한편, PM10의 농도를 개선하기 위해서는 미세먼지가 발생하는 원인을 해소해야 하는데, 공공전기차 보급을 확대하는 정책을 우선적으로 시행하는 것을 예시로 들 수 있다. 마지막으로 수·녹지율을 높이기 위해 녹지 공간을 확충해야 하지만, 도시지역인 안심1동의 특성상 대규모의 녹지공간을 확보하는 것은 한계가 있다. 그러므로 자투리공간을 활용한 포켓공원, 도로변 띠형 녹지 조성, 옥상녹화, 학교 녹지공간 조성 등을 우선적으로 고려할 필요가 있다.

결론

본 연구에서는 열환경 개선 정책을 효율적으로 수립하기 위해 정책과 연계한 열 취약성 평가 방법을 제시하였다. 취약성 평가로 도출된 취약지역에 대해 효과적이면서 전략적인 정책을 제시하기 위해 국내 지자체의 열환경 개선 정책과 국내·외의 열환경 취약성 평가 선행연구를 고찰하였다. 이를 통해 15개 평가지표를 선정하였으며, 개별 평가지표와 연계된 정책들을 종합하였다. 또한, 선정된 15개 평가지표에 대한 신뢰성 확보를 위해 지표 선정에 대한 이론적 근거를 제시하였다. 선정된 지표를 활용하여 사례지역인 대구광역시에 대한 열 취약성 평가를 실시하였는데, 국가기관과 미국 지질조사국에서 제공하는 기초자료를 획득하여 15개 지표에 대한 공간정보를 구축하였다. 마지막으로, 개별지표를 종합하여 대구광역시 열취약성에 대해

1~4등급으로 평가결과를 도출하였다.

분석 결과, 대구광역시에서 열에 가장 취약한 1등급의 면적 비율이 가장 높은 지역은 동구(3.29%)였으며, 그 다음으로 달서구(3.28%), 북구(3.18%) 순으로 높았다. 또한, 대구광역시의 139개 동 중에서 열취약성 1등급의 면적비율이 가장 높은 동은 동구의 안심1동이었었는데, 15개 지표의 표준화 지수를 살펴본 결과 열취약성에 가장 큰 원인이 되는 것은 기초생활수급자의 수(0.99), 심혈관 계통 사망자의 수(0.79), 열지수(0.78), 지표면온도(0.75), PM10 농도(0.70), 수·녹지율(0.70)순이었다. 이러한 평가결과에 따라 안심1동의 열환경을 개선하기 위해서는 기초생활수급자를 위한 무더위쉼터의 확충과 관리, 고열환경에 취약한 질병인구에 대한 DB구축과 온열환자 감시체계, 지표면 온도를 낮추기 위한 열저감 보도블럭 사용 및 그늘막과 녹음수를 통한 도심내 그늘 확대, PM10의 농도를 개선하기 위한 공공 전기차 보급 확대, 수·녹지율을 높이기 위한 녹지 공간 확충 정책 등이 우선적으로 시행되어야 한다. 한편, 지자체에서는 열취약성 평가 결과를 기초로 하여 열환경 개선 정책을 수립할 경우 각 지역의 취약성 정도에 따라 예산을 전략적으로 편성해야한다.

본 연구는 정책과 연계한 지표를 선정하고 이를 활용하여 열취약성 평가를 수행한 후, 열에 취약한 지역의 열환경을 개선하기 위해 우선적으로 시행해야 하는 정책을 제시하는 등 열환경 개선 정책을 전략적으로 제시할 수 있는 열환경 정책과 연계한 효율적인 방안들을 제시하였다. 하지만, 열취약성 평가를 위한 기초자료의 한계로 인해, 기초생활수급자, 질병사망자수에 관한 자료를 각각 읍면동 단위 및 구군 단위로 수집하는 등 지표별 동일한 기준의 자료를 사용하지 못하였다. 또한, 질병사망자수의 경우 열환경과 밀접한 관련이 있는 일사병 및 열사병환자의 자료는 확보하지 못하였다. 기온 데이터의 경우 기상청에서 운영하는 자동기상관측소(AWS)의 부족으로 대구광역시 전역에 대한 공간자료 구축에 제약이 있었으나, 국지예보모델(LDAPS)의 기온, 바람, 습도 자료를 활용하여 공간데이

터화 하였으며, 또한 열환경과 밀접한 열지수를 활용할 수 있었다. 이러한 문제점에도 불구하고, 본 연구는 정책과 연계한 평가지표를 바탕으로 열 취약지역에 대응하는 정책을 제시함으로써, 효율적이면서 지역별 차별화된 열환경 개선 정책을 수립하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. **KAGIS**

REFERENCES

- Ahn. Y.J., Y.E. Kang. and C.S. Park. 2016. Developing Indexes for Analyzing Severe Heat Hot Spot Under Climate Change. *Journal of Korea Planning Association* 51(4):199-209 (안윤정, 강영은, 박창성. 2016. 기후변화에 따른 폭염 관심지역(Hot spot) 평가 지표 개발 및 적용. *대한국토·도시계획학회* 51(4):199-209).
- Aubrecht. C and D. Ozceylan. 2013. Identification of heat risk patterns in the U.S. National Capital Region by integrating heat stress and related vulnerability. *Environ. Int.* 56: 65-77.
- Busan Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Busan Metropolitan City(2012-2016) (부산광역시. 2012. 부산광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Cao. C., X. Lee., S. Liu., N. Schultz., W. Xiao and L. Zhao. 2016. Urban heat islands in China enhanced by haze pollution. *Nat. Commun* 7:12509. doi: 10.1038/ncomms12509.
- Chow. W.T.L., W.C. Chuang and P. Gober. 2012. Vulnerability to extreme heat in metropolitan phoenix: Spatial, temporal, and demographic dimensions. *Prof. Geogr.* 64, 286-302.
- Christenson. M., S. D. Geiger., J. Phillips., B. Anderson., G. Losurdo and H.A. Anderson. 2016. Heat vulnerability index mapping for Milwaukee and Wisconsin. *Journal of Public Health Management and Practice* 23(4):396-403.
- Chung, J.W., W.K. Lee., G.S. Cui., S.C. Lee., S.H. Choi and H.A. Choi. 2010. Application Study of Vulnerability Assessment Models for Water Resources to Climate Change by Spatial and Watershed Scales. *Climate Change Research* 1(1):21-30 (정지웅, 이우균, 최계선, 이상철, 최성호, 최현아. 2010. 수자원 기후변화 취약성 평가모형의 공간 및 유역규모별 적용 연구. *한국기후변화학회지* 1(1): 21-30.
- Daegu Metropolitan City. 2010. 2020 Daegu Metropolitan City Master Plan (대구광역시. 2010. 2020 대구도시기본계획).
- Daegu Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Daegu Metropolitan City(2012-2016) (대구광역시. 2012. 대구광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Daejeon Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Daejeon Metropolitan City(2012-2016) (대전광역시. 2012. 대전광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Dong. W.H., Z. Liu., L.J. Zhang., Q.H. Tang., H. Liao and X.E. Li. 2014. Assessing Heat Health Risk for Sustainability in Beijing's Urban Heat Island. *Sustainability.* 6:7334-7357.
- El-Zein. A and F.N. Tonmoy. 2015. Assessment of vulnerability to climate change using a multi-criteria outranking approach with application to heat stress in Sydney. *Ecol. Indic.* 48:207-217.
- Eum. J.H. 2016. Vulnerability Assessment to Urban Thermal Environment for

- Spatial Planning: A Case Study of Seoul, Korea. *Journal of Korean institute of landscape architecture* 44(4):109~120 (엄정희. 2016. 공간계획 활용을 위한 도시 열환경 취약성 평가 연구. *한국조경학회지* 44(4):109~120).
- Eum, J.H. and J.M. Son. 2016. Management of the Nakdong-Jeongmaek based on the Characteristics of Cold Air: Focused on Busan, Ulsan, Pohang. *Journal of Korean institute of landscape architecture* 44(5): 103-115 (엄정희, 손정민. 2016. 찬공기 특성을 고려한 낙동정맥 관리방안 연구. *한국조경학회지* 44(5):103-115).
- Eum, J.Y. and S.J. Yun. 2015. A Study on the Heatwave Management Plan for low-income aged people. *Space & Environment* 54(0):317-342 (엄지연, 유수진. 저소득 노인계층에 대한 폭염대응대책 연구: 서울시 관악구를 중심으로. *공간과 사회* 54(0):317-342).
- Gwangju Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Gwangju Metropolitan City(2012-2016) (광주광역시. 2012. 광주광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Harlan, S.L., J.H. Decler-Barreto., W.L. Stefanov and D.B. Petitti. 2013. Neighborhood Effects on Heat Deaths: Social and Environmental Predictors of Vulnerability in Maricopa County, Arizona. *Environ. Health Perspect* 121: 197-204.
- Hondula, D.M., R.E. Davis., M.J. Leisten. M.V. Saha., L.M. Veazey and C.R. Wegner. 2012. Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: A case-series analysis. *Environ Health* 11, 16, doi:10.1186/1476-069X-11-16.
- Incheon Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Incheon Metropolitan City(2012-2016) (인천광역시. 2012. 인천광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- IPCC. 2007. "Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007," Cambridge Univ. United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Jeon, H.J. 2011. Effect of Climate Change on the Health of Vulnerable Populations: Health Impact Assessment of Weather Variables. Ph.D. Thesis, Univ. of Hanyang, Korea. (전영진. 2011. 기후변화가 취약 인구집단의 건강에 미치는 영향: 기상요인의 건강영향평가. 한양대학교 대학원 박사학위논문).
- Jeju Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Jeju Metropolitan City(2012-2016) (제주특별자치시. 2012. 제주특별자치시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Jin, B.H. and H.R. Byun. 2000. On the Impacts to the Local Climate Change of Urban Area due to the Vegetation

- Canopy. Journal of the Korean Environmental Sciences Society 9(2): 101-108 (진병화, 변희룡. 녹지대 분포가 도시 지역의 소기후에 미치는 영향. 한국환경과학회지 9(2):101-108).
- Jo. S.M., C.J. Hyun and S.K. Park. 2017. Analysis of the Influence of Street Trees on Human Thermal Sensation in Summer. Journal of Korean institute of landscape architecture 45(5):105-112 (조상만, 현철지, 박수국. 2017. 여름철 인간 열환경지수에 미치는 가로수의 영향 분석. 한국조경학회지 45(5):105-112).
- Johnson. D.P., A. Stanforth., V. Lulla and G. Luber. 2012. Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. Appl. Geogr. 35:23-31.
- Jung. H.C., W.K. Lee. and J.G. Cho. 2012. A Study on Climate Change Vulnerability for Supporting Pilot Project of Local Government Adaptation Implementating Planning. National Institute of ENvironmental Research (정휘철, 이우균, 조절길. 기초지자체 적응 세부시행계획 수립 시범사업 지원을 위한 기후변화 취약성 연구. 국립환경과학원).
- Kim. D.W., J.H. Chung., J.S. Lee and J.S. Lee. 2014. Characteristics of Heat wave Mortality in Korea. Korea Meteorological Society 24(2):225-234 (김도우, 정재학, 이종설, 이지선. 2014. 우리나라 폭염 인명피해 발생특징. 한국기상학회 24(2):225-234).
- Kim. H.D and K.Y. Kim. 2012. A Study on the effects of Green Walls on a Building' s Room Temperature Reduction. Journal of nakdonggang environmental research institute 16(1):181-192 (김해동, 김기영. 2012. 벽면녹화가 건물의 실내기온 저감에 미치는 영향에 관한 연구. 환경과학논집 16(1):181-192).
- Kim. Y.J., H.S. Kim., Y.K. Kim., J.K. Kim and Y.M. Kim. 2014. Evaluation of Thermal Environments during the Heat Waves of Summer 2013 in Busan Metropolitan Area. Journal of Environmental Science International 23(11):1929-1941 (김영준, 김현수, 김유근, 김진국, 김연매. 2014. 2013년 부산지역 폭염사례일의 열쾌적성 평가. 한국환경과학회 23(11):1929-1941).
- Korea Meteorologica Administration. 2011. How Should We Use Cli-mate Change Information of Region?: Suggestions for Adapting to Climate Change Policy (기상청. 2011. 지역기후변화정보 어떻게 활용해야 하나?: 기후변화 적응정책 수립에 대한 제언중심).
- Korea Meteorological Administration. 2012. Climate change of Daegu · Gyeongsangbukdo (기상청. 2012. 대구 · 경상북도 기후변화 전망보고서).
- Koo. Y.S., J.E. Kim., J.S. Kim and S.H. Lee. 2015. Study on the Improvement of Adaptation Ability by Vulnerability Anlysis of Heat Wave: the Case of Busan Metropolitan City. Journal of The Korean Regional Development Association 27(5):331-347 (구유성, 김자은, 김지숙, 이성호. 2015. 폭염 취약성평가를 통한 도시의 적응능력 향상: 부산광역시를 중심으로. 한국지역개발학회지 27(5):331-347).
- Lee, J.S., M.K. Kim and J.C. Park. 2016. The effects of socio- economic factors on mortality under high temperature in Seoul, South Korea. Journal of The Korean Association of Regional Geographers 22(1):195-210 (이지수, 김만규, 박종철. 2016. 서울의 사회 · 경제적 요인이 고온 현상 발생 시 사망자에 미치는 영향. 한국지역

- 지리학회지 22(1):195-210).
- Lee. S.S., Y.A. Jeong., J.J. Yoon., J.G. Pyo., S.H. Yoon., T.K. Kim. and J.Y. Ahn. 2015. .ChungNam Institue (이상신, 정연양, 윤종주, 표정기, 윤수향, 김태균, 안지용. 2015. 충청남도 기후변화 취약성 평가 Prototype 개발. 충남연구원).
- Lee. W.J., J.E. Kang. and Y.K. Kim. 2013. The Impact of Environmental Health Factors on Extreme-heat Vulnerability Assessment in a Metropolitan City. Korean Journal of Environmental Health 39(6):492-504 (이정원, 강재은, 김유근. 2013. 환경보건적 요소가 도시 내 폭염 취약성 평가 결과에 미치는 영향 분석. 한국환경보건학회 39(6):492-504).
- Loughnan. M., N. Nicholls and N.J. Tapper. 2012. Mapping heat health risks in urban areas. International Journal of Population Research 1-12.
- Maier. G., A. Grundstein., W. Jang., C. Li., L.P. Naeher and M. Shepherd. 2014 Assessing the performance of a vulnerability index during oppressive heat across Georgia, United States. Weather Clim. Soc. 6:253-263.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2017. Guideline for Analysis of Climate Change Driven Disaster Vulnerability in Urban Area (국토교통부. 2017. 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침).
- National Institute of Meteorological Research. 2009. Understanding the climate change III. National Institute of Meteorological Research (국립기상연구소. 2009. 기후변화 이해하기 III).
- National Institute of Environmental Research and Ministry of Environ-ment. 2012. Sectoral maps of climate change vulnerability for supporting climate adaptation implementation plans of local government. (환경부·국립환경과학원. 2012. 기후변화 부문별 취약성 지도).
- Park. I.K. 2016. A Study on Climate Change Vulnerability Assessment of Ulsan Local Government using VESTAP. Master Thesis, Univ. of Sejong, Korea (박인규. 2016. VESTAP을 이용한 지자체의 기후변화 취약성평가 비교 연구: 울산광역시를 대상으로. 세종대학교 대학원 석사학위논문).
- Province of Chungcheongnamdo. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Chungcheongnamdo(2012-2016) (충청남도. 2012. 충청남도 기후변화 적응대책 세부 시행계획(2012~2016)).
- Province of Chungcheongbukdo. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Chungcheongbukdo(2012-2016) (충청북도. 2012. 충청북도 기후변화 적응대책 세부 시행계획(2012~2016)).
- Province of Gyeonggido. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Gyeonggido (2012-2016) (경기도. 2012. 경기도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Province of Gyeongsangbukdo. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Gyeongsangbukdo(2012-2016) (경상북도. 2012. 경상북도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Province of Gyeongsangnamdo. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Gyeongsangnamdo(2012-2016) (경상남도. 2012. 경상남도 기후변화 적응대책 세부 시행계획(2012~2016)).
- Province of Jeollabukdo. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Jeollabukdo (2012-2016) (전라북도. 2012. 전라북도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).

- Province of Jeollanamdo. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Jeollanamdo (2012–2016) (전라남도. 2012. 전라남도 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Reid. C.E., M.S. O' Neill., C.J. Gronlund., S.J. Brines., D.G. Brown and A.V. Diez-Roux. 2009. Schwartz, J. Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environ. Health Perspect* 117(11):1730-1736.
- Rinner. C., D. Patychuk., K. Bassil., S. Nasr., S. Gower and M. Campbell. 2010. The role of maps in neighborhood-level heat vulnerability assessment for the city of Toronto. *Cartography and Geographic Information Science* 37(1):31-44.
- Rothfus, L.P. 1990. The Heat Index "Equation" (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index, Technical attachment, SR 90-23, Scientific Services Division NWS., Fort Worth, Texas, USA.
- Seoul Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Seoul Metropolitan City(2012–2016) (서울특별시. 2012. 서울특별시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Sejong Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Sejong Metropolitan City(2012–2016) (세종특별자치시. 2012. 세종특별자치시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Shin. H.S. and S.H. Lee. 2014. Development of a Climate Change Vulnerability Index on the Health Care Sector. *Journal of environmental policy* 13(1):69-93 (신호성, 이수형. 2014. 기후변화 건강 취약성 평가지표 개발. *환경정책연구* 13(1):69-93).
- Tomlinson. C.J., L. Chapman., J.E. Thornes and C.J. Baker. 2011. Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: A case study for Birmingham, UK. *Int. J. Health Geogr.* 10:42
- Ulsan Metropolitan City. 2012. Climate Change Adaptation Plan of Ulsan Metropolitan City(2012–2016) (울산광역시. 2012. 울산광역시 기후변화 적응대책 세부시행계획(2012~2016)).
- Vescovi. L., M. Rebetez and F. Rong. 2005. Assessing public health risk due to extremely high temperature events: Climate and social parameters. *Clim Res* 30:71-78.
- Wolf. T and G. McGregor. 2013. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather Clim. Extremes* 1:59-68.
- Yoo, S.J., W.K. Lee., S.H. Oh and J.Y. Byun. 2012. Vulnerability Assessment for Public Health to Climate change Using Spatio-temporal Information Based on GIS. *Journal of Korea Spatial Information Society* 20(2):13-24 (유성진, 이우균, 오수현, 변정연. 2012. 공간정보 구축 및 응용: GIS기반 시공간정보를 이용한 건강부문의 기후변화 취약성 평가. *한국공간정보학회지* 20(2):13-24).
- Yun, S.G., B.S. Choi and E.C. Jeon. 2013. A Study on Vulnerability Assessment to Climate Change in Siheung-si. *Journal of Climate Change Research* 4(1):1-10 (윤성권, 최봉석, 전의찬. 2013. 시흥시 기후변화 취약성 평가 연구. *한국기후변화학회지* 4(1):1-10).
- Zhu. Q., T. Liu., H.L. Lin., J.P. Xiao., Y. Luo., W.L. Zeng., S.Q. Zeng., Y. Wei., C. Chu., S. Baum and et al. 2014. The

spatial distribution of health vulnerability to heat waves in Guangdong Province, China. Glob Health Action 7:25051.

<https://data.kma.go.kr/> (가상자료개방포털)

<http://kostat.go.kr/> (통계청) 