환경보건적 요소가 도시 내 폭염 취약성 평가 결과에 미치는 영향 분석

이원정* · 강재은** · 김유근†

*부산대학교 환경시스템협동과정, **부산대학교 지구환경시스템

The Impact of Environmental Health Factors on Extreme-heat Vulnerability Assessment in a Metropolitan City

Won-jung Lee*, Jae-Eun Kang**, and Yoo-Keun Kim†

*Environmental System, Pusan National University, Busan, South Korea

**Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan, South Korea

ABSTRACT

Objectives: This analysis seeks to evaluate the impact of environmental health factors (EHF; e.g. hospital beds per capita, employees of medical institutions) on extreme-heat vulnerability assessment in Busan Metropolitan City during 2006-2010.

Methods: According to the vulnerability concept suggested by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), extreme-heat vulnerability is comprised of the categories of Exposure, Sensitivity, and Adaptive Capacity (including EHF). The indexes of the Exposure and Sensitivity categories indicate positive effects, while the Adaptive capacity index indicates a negative effect on extreme-heat vulnerability. Variables of each category were standardized by the re-scaling method, and then each regional relative vulnerability was computed with the vulnerability index calculation formula.

Results: The extreme-heat vulnerability index (EVI) excepting EHF was much higher in urban areas than in suburban areas within the metropolitan area. When EHF was considered, the difference in the EVI between the two areas was reduced due to the increase of the Adaptive capacity index in urban areas. The low EVI in suburban areas was induced by a dominant effect of natural environmental factors (e.g. green area) within the Adaptive capacity category.

Conclusions: To reduce the vulnerability to extreme heat in urban areas, which were more frequently exposed to extreme heat than others areas, public health and natural environments need to be improved in sensitive areas.

Keywords: Adaptation, Environmental health, Extreme heat, Geographic information system (GIS), Vulnerability assessment

I. 서 론

최근 기후변화로 인한 지구 온난화와 급속한 도시화에 의해 한반도를 포함한 전 세계의 폭염 발생빈

도가 증가하고 있는 추세이다. 대도시인 부산의 경우, 폭염 발생의 대표적 현상인 열대야 현상이 지난 104년간(1905~2008년) 10년마다 1.0일 비율로 꾸준히 증가한 것으로 조사된 바 있다.¹⁾ 폭염은 고온에

†Corresponding author:

Fig. 1. Location of the Busan and its constituent regions.

대한 체온조절의 어려움으로 초과 사망률과 각종 질병의 발생률을 증가시키고, 저온으로 인한 사망률보다 폭염과 같이 고온으로 인한 사망률이 더욱 크게 발생하므로 그 피해의 심각성이 커지고 있다.^{2,5)} 폭염으로 인해 유럽에서는 2003년 6~8월동안 약 3만 5천여 명이 사망하였고, 러시아에서는 2010년에 130년 만의 폭염으로 약 1만 5천여 명이 사망하는 등 최근 폭염으로 인한 인명 피해가 증가되고 있다.^{4,6,7)} 우리나라에서도 폭염 발생에 따른 일별 사망자수 증가 관계가 밝혀진 바 있다.⁸⁾ 현재 뿐 아니라 미래에 대해서도 기후변화로 인한 기온상승 조건에서 지역 사회의 미래 인구수, 사망률 수준, 인간의 적응정도 등을 고려하여 고온에 의한 사망률이 증가함을 제시한 바 있다.⁹⁾ 이처럼 폭염발생으로 인한 피해는 지역의 사회적·경제적 피해 뿐 아니라 직·간접적 인적 피해로 더욱 확대될 것으로 예상된다.

자연재난에 대한 취약성이란 잠재적 피해 현상으로부터 생긴 손실의 정도로 정의될 수 있으며, 기후변화에 의한 기상이변 및 악영향의 최소화를 위해 자연적·인위적 조절작용으로 그 피해를 줄이도록 하는 적응대책 수립에 취약성 평가가 적용된다.^{4,10)} 대표적으로 Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)에서 취약성은 ‘한 시스템이 기후변화의 악영향에 쉽게 영향을 받거나 대처하지 못하는 정도’로 보고, 시스템이 자극에 노출(접촉)되는 정도를 나타내는 노출(exposure)과 자극에 의해 시스템

이 영향을 받는 정도를 나타내는 민감도(sensitivity), 그리고 시스템이 자극에 의한 영향에 대해 적응할 수 있는 잠재력 또는 능력을 의미하는 적응능력(adaptive capacity)으로 정의하였으며,⁴⁾ 본 연구에서는 IPCC의 취약성 개념을 차용하여 취약성 평가의 함수로 적용하였다(노출과 민감도를 잠재적 영향(potential impact)으로 봄).^{10,12)} 취약성 정의는 차이를 가질 수 있으나, 취약성 평가시 각 함수별 평가 목적에 적합한 변수를 설정하여 평가하는 것이 중요하다.¹²⁾

국외에서는 기후변화 분야 뿐 아니라 식생 환경 및 식·음료 등 다양한 분야의 취약성 연구가 수행되었으나, 국내에서는 기후변화에 의한 영향분석 위주의 취약성 평가에 연구가 집중되었다.¹³⁻¹⁶⁾ 국내 폭염에 대한 취약성 평가 역시 기후변화 취약성 평가의 일부로 다수 수행되었다.^{12,17-22)} 한반도는 최근 폭염 노출 증가와 더불어 이에 민감한 고령인구의 증가 등으로 폭염으로 인한 건강 민감도가 증가하고 있으며, 환경보건 정책의 예산 증가가 동반되고 있다.²³⁾ 따라서 본 연구에서는 건강과 밀접한 환경보건적 요소의 물적·인적 인프라가 폭염 취약성 평가에 미치는 영향을 분석하였다.

II. 연구범위 및 연구방법

1. 연구범위 및 연구자료

Table 1. Variables, research paper, and source in the each category of extreme-heat vulnerability assessment for Case 1 and 2.

Category	Variables	Research paper	Source
Exposure	Extreme-heat day (daily maximum temperature 33°C)	KEI, 2008; GO JK, 2009; Ahn KS, 2011 ²⁹⁾ ; NIER, 2012;	Korea Meteorological Administration(KMA) http://www.kma.go.kr/weather/observation/ currentweather.jsp
	Tropical night day (daily minimum temperature 25°C)	Hardy, 2003 ³⁰⁾ ; KEI, 2008; GO JK, 2009; Ahn KS, 2011; Kim SM, 2012; NIER, 2012	
	Road area (m ²)	NIER, 2012	
		Busan city hall homepage http://www.busan.go.kr/library/03statistics/ 01_04.jsp	
Sensitivity	Elder who lives alone (people)	KEI, 2008; GO JK, 2009; Kim EY, 2012 ³¹⁾	Statistics Korea, Korea statistical information service(KOSIS) http://kosis.kr/abroad/ abroad_01List.jsp?parentId=A
	Recipient of national basic livelihood security (people)	GO JK, 2009; Kim EY, 2012; Kim SM, 2012	
	Population density (people/km ²)	GO JK, 2009; Kim SM, 2012	
	Built buildings before 1979 (num)	GO JK, 2009; Kim SM, 2012	
	Population > 65 years of age (people)	Keskitalo ECH, 2008 ³²⁾ ; Go JK, 2009; Kim EY, 2012; Kim SM, 2012; Winston TLC, 2012 ³³⁾	
	Civil servants per capita (people)	Kim EY, 2012; Kim SM, 2012; NIER, 2012	
	GRDP per capita (millionwon)	KEI, 2008; GO JK, 2009; NIER, 2012	
Adaptive Capacity	Self-reliance ratio of local finance (%)	Keskitalo ECH, 2008; GO JK, 2009; Kim SM, 2012	Busan city hall homepage http://www.index.go.kr/egams/sts/jsp/potal/sts/ PO_STTS_IdxMain.jsp?idx_cd=2458&bbs=IND X_001&clas_div=C&rootKey=1.48.0
	Green area per capita (m ²)	KEI, 2008; GO JK, 2009; Kim EY, 2012; NIER, 2012;	
	Hospital beds per capita (number)	GO JK, 2009;	
	Hospitals per capita (number)	GO JK, 2009; Kim SM, 2012	
	Healthcare personnel in hospital (people)	GO JK, 2009;	
	Labor number of public health center	GO JK, 2009;	
	Beneficiaries of health insurance	KEI, 2008;	
		Busan city hall homepage, National Health Insurance Corporation	

Environment
al health
variables
only for
Case 2

본 연구에서 폭염발생일은 일최고 기온이 33°C 이상인 날을 기준으로 하였으며, 폭염과 관련된 야간 고온현상인 열대야발생일은 일최저 기온이 25°C 이상인 날이다. 본 연구의 대상지역은 한반도 남동쪽에 위치한 대도시인 부산광역시로 여름철 열대야 일수가 최근 급격히 증가하였으며(평균 열대야 일수가 1905~1914년에 3.6일, 1999~2008년에 10.6일로 3배 이상 증가), 폭염에 취약한 인구계층인 노인인구 비율(65세 이상, 11.8%)이 전국 광역권 대도시 중 가장 높은 곳이다.^{1,24)} Fig. 1과 같이 대상도시는 16개의 구/군 행정구역으로 분류되며, 자료 수집의 용이성 및 연구결과의 활용도 등을 고려하여 해당 행정구역별 공간적 취약성 평가를 실시하여 비교분석하였다.

Table 1에 제시된 취약성 변수를 위해 이용된 자료는 기상청에서 제공한 Automated Synoptic Observing System(ASOS) 및 Automatic Weather System(AWS)의 기상자료를 사용하였으며, 인구밀도와 65세 이상 인구수, 그리고 독거노인수의 인구자료와 자립제정도, 1인당 녹지면적, 건강보험적용인구자료와 도로면적, 기초생활수급자, 1979년 이전 건물수, 1인당 공무원수, 1인당 Gross regional domestic product(GRDP, 지역 내 총 생산), 병원수, 1인당 병상수, 의료기관 종사자수, 보건소 인력 등 사회경제자료는 통계청, 국가통계포털사이트, 부산시청통계에서 취득하여 사용하였다.^{24,25)}

연구 대상기간은 2010년 총인구조사 자료 등 최근의 다양한 통계자료 구축이 완료된 2006~2010년의 5년간이다. 매년 구축되지 않는 통계자료는 2010년 자료를 대표 자료로 이용하였고, 기상관측자료의 경우 관측지점이 없는 행정구역은 ArcGIS의 보간법(interpolation) 중 Kriging 방법을 통해 계산된 값을 적용하였다.

2. 취약성 평가

취약성 평가를 위해 노출, 민감도, 적응능력의 세 카테고리에 해당하는 대응변수는 다수의 취약성 관련 문헌조사를 바탕으로 폭염과 관련된 변수를 정량적 자료의 취득이 가능한 범위 내에서 선정 및 수집하여 각 카테고리별로 분류한 것이다(Table 1). 폭염 취약성을 위한 노출은 폭염의 기후적 영향을 나타내는 폭염발생일(일최고기온 33°C 이상)과 함께

열대야일수(일최저기온 25°C 이상)를 포함한다.²²⁾ 민감도는 폭염 노출에 대하여 생물물리적 시스템이 반응하는 정도로서, 폭염의 지역적 특성을 고려하고, 부정적 영향을 받는 요소로 선정하였으며, 그 변수로는 도로 면적(m²), 독거노인 수, 기초생활수급자수, 인구밀도(people/km²), 1979년 이전 건물수, 65세 이상 인구수가 적용된다. 적응능력은 사회적 시스템이 폭염 영향에 대처할 능력으로서, 지역적 특성을 나타내는 사회적 물적 인프라, 경제적 능력, 제도적 역량의 요소로 1인당 GRDP(백만원), 1인당 공무원 수, 재정자립도(%), 녹지면적(m²)이 포함되며, 적응능력 내 환경보전적 요소로 병상 수, 병원 수, 의료종사자 수, 보건소 인력 수, 건강보험적용 인구수를 적용했다. 여기에서 사용된 환경보전적 요소는 환경보전법 제 2조 1항에 용어정의에 근거하여 환경적 요인이 사람의 건강, 생태계에 미치는 영향을 조사평가하고 예방관리 가능한 물적 인프라로 보고 이에 준하는 요소를 변수로 정하였다. 적응능력 카테고리의 변수로 환경보전적 요소가 고려되지 않은 경우를 Case 1으로, 고려된 경우를 Case 2로 하여 각각 취약성 평가를 실시함으로써 환경보전적 요소가 폭염 취약성에 미치는 영향을 살펴보았다.

취약성 지수 산정을 위해서는 각 카테고리 내 단위가 다른 값들로 구성되어 있는 변수들을 표준화하는 작업이 필요하다. 표준화 방법에는 규모 재조정(re-scaling), Z-스코어(z-score), 순위매기기(ranking), 기준선과 차이(distance to reference country), 범주스케일(categorical scale) 등이 있으나, 본 연구에서는 다수의 취약성 평가에 이용되었으며, 취약성 평가시 적합성이 확인된 바 있는 규모 재조정 방법을 선정하여 SPSS 통계프로그램을 통해 표준화된 값을 도출하였다.^{18,22,26)} 규모 재조정 방법은 (1)의 방법을 통해 진행되며(Actual value: 실제 변수값, Minimum value: 변수 범위 내 최소값, Maximum value: 변수 범위 내 최대값), 변수의 범위에 기반을 둔 변환 방법으로 표준화 된 각 카테고리 내 변수는 0에서 1 사이의 동일한 범위 내 값을 가지며, 서로 다른 단위가 통일되어진다.^{12,27)} 하지만 이 방법은 비교적 무리가 없지만 자료의 극값(최고값, 최저값)이 이상치가 되어 변환된 변수들에게 왜곡된 효과를 줄 수 있으나, 본 연구의 변수들은 단기간의 에피소드를 다루는 통계자료가 아닌 비교적 장기간의 통계자료들

Fig. 2. Spatial distributions and regional variations of (a) the Exposure index, and (b) the Sensitivity index in Busan, 2006-2010.

기반으로 하여 이러한 단점을 보완하였다.^{12,26)}

Re – scaling =

$$\frac{\text{Actual value} - \text{Minimum value}}{\text{Maximum value} - \text{Minimum value}} \quad (1)$$

표준화된 변수들을 가진 세 카테고리는 기후변화 취약성의 개념적인 방향성에 따라 노출 지수(Exposure Index, EI)와 민감도 지수(Sensitivity Index, SI)의 두 카테고리는 폭염 취약성에 양의 관계를, 적응능력 지수(Adaptive capacity Index, AI) 카테고리는 음의 관계를 가짐에 따라 (2)와 같은 정의로 폭염 취약성 지수(Vulnerability Index, VI)를 산정한다.^{22,28)}

$$VI = EI + SI - AI \quad (2)$$

지수 산출과정은 노출, 민감도, 적응능력 세 카테고리에 1씩 할당하여 카테고리별로 해당 변수를 표준화 방법(1)을 이용하여 표준화 시켜 값을 산출 후 변수끼리 평균을 하여 각 카테고리별 지수 값을 산정한다. 이렇게 산출된 EI, SI, AI를 취약성 지수 산정식(2)을 이용하여 VI를 산출한다.

행정구역별 산정된 폭염 취약성 지수(VI)를 비롯한 각 카테고리별 지수 값의 공간분포도는 ArcGIS를 이용하여 제시하였다.

III. 연구결과 및 고찰

폭염 취약성 평가에 이용된 노출 지수(EI)와 민감도 지수(SI)의 행정구역별 공간분포도는 Fig. 2와 같다. 두 지수 값(EI, SI)은 폭염에 대해 부산지역이 가지는 부정적인 영향을 뜻한다.

노출 지수(EI)는 지형적 특성 차이에 따라 주·야간 해륙풍 영향을 받는 연안으로부터 거리를 가지는 내륙 쪽에 위치하며 고층건물이 밀집되어 공기흐름이 수렴되는 경향을 가지는 도시중심지역(이후, 도심지역으로 표기)(동래, 금정, 연제, 부산진 등)에서 대체로 높은 값(0.65~0.87)을 가진다. 따라서 도심지역이 교외에 위치한 지역(이후, 교외지역으로 표기)(강서와 기장의 노출 지수(EI): 0.23~0.40)보다 폭염 발생의 노출빈도가 높음을 확인할 수 있다.

Fig. 2의 민감도 지수(SI)는 노출 지수(EI)와 다소 차이를 보이며, 관련 변수(도로면적, 인구밀도, 65세

Fig. 3. Spatial distributions of (a) roads, (b) the population density (people/km², 2010), and (c) the populations aged over 65 years in Busan, 2006-2010.

Fig. 4. Spatial distributions and regional values of the Adaptive capacity index for Case 1 and Case 2 in Busan, 2006-2010.

이상 인구수)의 지역별 분포 및 변화를 나타낸 Fig. 3을 통해 알 수 있듯이 높은 인구밀도(65세 이상 인구수 포함) 및 밀집된 열적 구조물(예, 도로면적)을 가진 도심지역(부산진, 해운대, 사하, 남구 등: 0.47~0.73)이 교외지역(강서, 기장: 0.13~0.19)보다 높은 값(2.5~5.6배)을 가진다.

Fig. 4는 Case 1과 Case 2의 적응능력 지수(AI)를 나타낸 것이다. 이 값은 취약성을 극복할 수 있는 긍정적 영향을 가지며, Case 1의 경우 교외지역인 강서와 기장이 다른 지역과 비교시 뚜렷이 높은 적응능력 지수값(AI)(0.6 이상, 타 지역의 2~4배)을 가진다(단, 경제적 요소의 지수값이 높은 중구 역시 높은 적응능력 가짐, Table 2). 환경보건적 요소를 고려한 Case 2의 경우 도심지역의 적응능력 지수(AI)가 증가(중구 제외시, 0.02~0.29 → 0.15~0.36, 1.2~7.5 배 증가)하였으며, 상대적으로 교외지역의 적응능력 지수(AI)는 감소(0.63~0.94 → 0.46~0.57)하였다. 이는 도심지역이 교외지역보다 병원이나 보건인력 등 환경보건적 요소가 잘 구비되어 있으며 그로 인해 긍정적 영향을 보다 크게 받은 것으로 볼 수 있다. 즉, Case 2에서 환경보건적 요소 고려시 지역 간의 적응능력 차이는 크게 감소(강서(최고값)와 북구(최저값)의 차이가 0.91에서 0.42로 약 1/2 수준으로 감소)하였으나 여전히 교외지역이 도심지역보다 적응능력 지수값(AI)이 높으며, 이는 교외지역의 경우 환경보건적 요소 이외의 영향에 의한 적응능력이 높은 것으로 볼 수 있다. 대표적 교외지역인 강서와 기장의 경우, Table 2와 Fig. 5에서 알 수 있듯이 자연환경적 요소인 녹지면적의 비율이 다른 지역에 비해 뚜렷이 높아 폭염 취약성에 대한 적응능력이 매우 높은 수준에 있음을 알 수 있다(또한 경제적 요소인 1인당 GRDP는 강서, 재정자립도는 기장이 부산지역 내에서 가장 높은 수준임).

환경보건적 요소가 고려됨에도 불구하고 도심지역에서 여전히 낮은 적응능력을 가지는 북구와 영도(0.2 이하)는 Table 2와 같이 환경보건적 요소(병상수, 의료종사자 수 등)를 비롯한 자연환경적(녹지면적 등) 및 경제적 요소(1인당 GRDP 등) 등으로부터의 적응능력 향상을 위한 동반 개선이 필요한 지역이다.

기후변화 적응 정책 개발을 고려하여 적응능력 중 환경보건적 요소간의 영향을 살펴보았다. Fig. 6을

보면 부산시의 환경보건적 요소는 건강보험적용자의 영향이 가장 크며, 병상수와 병원수의 영향은 비슷하게 나타나고, 보건소 인력의 영향이 가장 작으며, 의료 종사자 수가 그 뒤를 잇는다. 이는 환경보건적 요소 중 인적 효과가 가장 적은 것으로 확인된다. 지역별로 중구는 보건소 인력과 의료 종사자 수가 다른 지역들에 비해 상대적으로 높아 환경보건적 요소의 영향을 가장 크게 받으며, 영도구는 전반적으로 환경보건적 요소들의 영향이 가장 약하게 받는 것으로 나타난다. 이러한 결과는 환경보건적 요소의 인적 확대와 정부나 지자체 차원의 개선이 필요하다는 것으로 분석된다.

Fig. 7은 노출, 민감도, 적응능력 지수(EI, SI, AI)가 모두 고려된 폭염 취약성 지수(VI)의 공간분포를 Case 1과 Case 2에 대해 나타낸 것이다. 전체적으로 부산시 폭염은 노출 지수(EI)와 민감도 지수(SI)가 높고 적응능력 지수(AI)는 낮은 도심지역이 교외지역보다 취약도가 높은 것을 확인할 수 있다. Case 1에서 교외지역(강서와 기장)은 폭염 취약성 지수(VI)가 음의 값으로 폭염에 매우 강한 적응상태임을 알 수 있다.

환경보건적 요소가 적용된 경우(Case 2)와 비적용시(Case 1)를 비교하면, 변화된 적응능력 지수(AI)가 반영됨에 따라 도심지역의 폭염 취약성 지수값(VI)은 감소(0.13~1.18 → 0.12~1.03)하였으며 교외지역의 폭염 취약성 지수값(VI)은 증가(-0.58~-0.04 → -0.21~-0.13)하여 폭염 취약성의 지역 간 차이가 감소하였다(부산진(최고값)과 강서(최저값)의 취약성 지수값(VI) 차이가 1.8에서 1.2로 감소). 즉, 폭염 취약성 지수(VI)가 높은 도심지역은 환경보건적 요소에 의해 폭염에 대한 취약한 정도가 낮아졌음을 확인할 수 있다. 그러나 환경보건적 요소에 의한 취약성 개선에도 불구하고 도심지역은 교외지역에 비해 폭염에 매우 취약한 수준을 유지하고 있으며(폭염 취약성 지수값(VI)이 최고 5배 차이), 부산지역 내 행정구역별 취약성 수준에 큰 변화를 유도하지 않았다.

두 Case 모두에서 폭염에 가장 취약한 지역은 부산진(폭염 취약성 지수값(VI): 1.03~1.18)으로 다른 지역에 비해 노출 지수(EI)(0.65)보다 민감도 지수(SI)(0.73)가 높은 곳이며(Fig. 2), Fig. 3에서 알 수 있듯이 민감도 변수 중 특히 65세 이상 인구수가 가장 많다. 부산진의 적응능력 지수(AI)는 높은 편으

Table 2. Basic statistics values of the adaptive capacity variables.

Adaptive capacity variables	Gang-Seo	Jung-Gu	Gi-Jang	Busan-Jin	Seo-Gu	Dong-Gu	Dong-Nae	HaeUn-Dae	Yeon-Je	Sa-Sang	Su-Yeong	Geum-Jeong	Sa-Ha	Nam-Gu	Buk-Gu	Young-Do
Civil servants per capita (people/10,000)	85.19	91.04	57.39	22.24	42.41	56.22	21.49	18.82	26.26	23.42	28.65	26.57	19.33	22.41	19.88	36.03
GDP per capita (million won)	104.45	53.39	27.71	13.40	14.84	35.94	9.43	8.89	13.80	20.59	9.10	11.67	13.57	12.47	6.57	12.58
Self-reliance ratio of local finance (%)	32.68	28.32	35.54	29.32	13.62	20.62	26.32	29.08	25.86	23.92	23.92	21.58	21.94	22.88	14.68	15.12
Green area per capita (m ² /person)	2824.71	6.67	2346.68	34.50	62.23	29.50	19.96	90.37	17.38	79.26	20.68	210.73	61.17	42.07	90.24	50.21
Hospital beds per capita (num)	20.80	173.49	94.66	111.16	290.64	224.13	131.91	79.77	124.65	194.49	125.61	152.30	108.19	67.18	80.91	52.72
Hospitals per capita (num/10,000 people)	3.60	29.77	8.69	16.03	10.78	17.41	13.66	11.25	13.29	8.46	13.39	11.66	9.97	10.09	9.20	9.20
Healthcare personnel in hospital	19.98	219.48	54.76	112.77	344.54	193.31	98.24	53.94	97.00	83.10	105.17	93.10	68.94	56.04	68.38	62.94
Labor number of public health center	5.81	6.47	3.72	1.18	2.86	3.25	1.36	0.96	1.58	1.48	1.93	1.50	1.17	1.22	1.07	2.29
Beneficiaries of health insurance	92.40	91.46	93.69	94.25	89.85	88.00	96.29	96.23	94.94	94.33	94.72	94.12	95.16	94.84	94.41	90.43
Adaptive capacity Index (AI)	0.57	0.55	0.46	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.26	0.24	0.18	0.15

Fig. 5. The adaptive capacity variables of (a) the high vulnerability regions(BusanJin, NamGu, and DongNae) and (b) the low vulnerability regions(GangSeo and GiJang) in Busan, 2006-2010.

로 병원수가 많고 재정자립도가 높은 편에 속하나 공무원 수와 환경보건적 요소 중 보건소 인력이 다른 지역보다 낮아, 고령인구에 대한 공적 인력의 보완 및 개선이 필요한 지역으로 보인다(Fig. 4,5). 이와 함께 폭염 취약성이 높은 남구나 동래구(폭염 취약성 지수(VI): 0.98~1.03)의 경우는 부산진과 다르게 민감도 지수(SI)(0.43~0.47)에 비해 노출 지수(EI)(0.79~0.87)가 높으며(Fig. 2), 적응능력 지수(AI)를 보면, 남구는 작은 값을 가지며 적응능력 변수 또한 전체적으로 다른 지역에 비해 낮고, 동래구는 건강보험적용자 수와 병원수는 많았으나 보건소인력, 공무원수, GRDP등 다른 요소들은 현저히 낮은 편

으로 적응능력 지수(AI)는 부산시 전체에서 중간 정도 수준이다(Figs. 4,5). 남구와 동래구는 폭염노출의 감소를 위한 녹지면적 확대 등의 자연환경적 요소가 우선되고 공적 인력 증대와 환경보건 및 경제적 요소 등이 뒷받침 된 다각적인 적응능력 개선이 필요할 것으로 예상된다.

Case 2에서 다른 지역과 다르게 폭염 취약성 지수 값(VI)이 증가된 교외지역(강서와 기장)은 증가에도 불구하고 여전히 다른 지역에 비해 폭염 취약성 지수 값(VI)이 낮은 수준(0.13 이하)으로 나타났다. 이는 교외의 자연환경적 요소(예, 녹지면적)가 다른 지역에 비해 월등히 크게 기여(약 10배 높은 지수값)

하고, 경제적 요소 또한 기여도가 높아(강서의 경우 1인당 GRDP와 재정자립도, 기장의 경우 재정자립도) 적응능력이 매우 높은 수준에 있기 때문에 볼

HB : Hospital beds
HP : Healthcare personnel in hospital
LPH : Labor number of public health center
BHI : Beneficiaries of health insurance

Fig. 6. Radar-graph of the environmental health factor values in Busan, 2006-2010.

수 있다(Fig. 5).

환경보건적 요소에 의한 행정구역별 폭염 취약성의 개선(또는 개악) 정도를 살펴보기 위해 Case 1과 Case 2의 폭염 취약성 지수값(VI) 차이를 Fig. 8에 나타내었다. 환경보건적 요소는 부산지역 내 폭염 취약성에 대해 교외지역인 강서와 기장을 제외하고 개선시키는 것으로 나타났다. 가장 큰 개선효과를 가지는 곳은 서구로 환경보건적 요소인 병상 수와 의료종사자 수가 다른 지역에 비해 뚜렷이 높은 수준(병상수: 1.3~10배, 의료종사자수: 1.6~10배)에 있음을 확인할 수 있다(Table 2).

또한, Case별 지수값(VI) 차이가 클수록 환경보건적 영향이 크게 작용함을 의미한다. 폭염 취약성 지수값(VI) 차이가 가장 크고 폭염 취약성이 보다 증가된 지역인 강서의 경우 환경보건적 기반시설이 도심지역에 비해 많이 부족하다. 예를 들어, 강서의 2010년 지역별 병상 수와 병원 수는 도심지역인 부산진의 약 5.6%와 약 3.7% 밖에 되지 않으며, 병상 수와 의료종사자 수의 매우 낮은 수준을 Table 2을 통해서도 확인할 수 있다. 한편, Case별 폭염 취약

Fig. 7. Spatial distributions and regional values of the Vulnerability index for Case 1 and Case 2 in Busan, 2006-2010.

본 연구에 사용된 민감도 변수 중 독거노인 수는 65세 이상 인구 수 안에 포함되는 개념으로 중복적인 변수라 생각하기 쉽지만, 65세 이상 인구수가 같은 지역이라도 그 안에 포함된 독거노인 수는 다르므로 다른 취약성 결과를 가져올 수 있기 때문에 문제가 없을 것으로 사료된다.

폭염 취약성 평가 결과, 폭염 노출과 이에 대한 민감도는 크나 적응능력은 낮은 도심지역이 교외지역보다 취약도가 높은 것으로 나타났다. 환경보전적 요소가 폭염 취약성 평가에 반영될 시, 도심지역은 적응능력이 증가되어 폭염 취약성이 감소하였고, 교외지역은 반대 경향을 보임에 따라 폭염 취약성의 지역 간 차이가 감소하였다. 그러나 환경보전적 요소에 의한 취약성 개선에도 불구하고 도심지역은 교외지역에 비해 폭염에 매우 취약한 수준을 유지하였다. 이는 교외지역의 녹지면적과 같은 자연환경적 요소가 타 지역에 비해 월등히 크게 기여하여 적응능력이 매우 높은 수준에 있기 때문으로 분석되었다.

도심지역의 폭염 취약성은 폭염 노출 및 민감도, 적응능력(자연환경적, 경제적, 환경보건적 요소 등)에 따라 지역별 차이를 보였으며, 이에 따라 폭염 취약성 감소를 위해서는 지역별 특성에 맞는 적응능력의 보완 및 개선이 요구되었다. 또한 부산지역 내 폭염 발생시 주요 수용체인 인간의 건강과 관련된 환경보건적 요소가 취약성에 미치는 영향정도의 차이를 확인하였다. 다만 본 연구는 취약성 지수 산정시 가중치를 설정하지 않아 각 변수들의 상대적 기

여도를 반영하지 않았으나, 폭염과 관련된 다수의 변수들을 고려하였고 각 변수에 대해 신뢰성 있는 지역별 통계자료를 적용하였으며 객관화된 지역별 변수값 생성 및 지수값 도출 과정을 통해 도출된 결과로 지역적 특성이 충분히 반영된 폭염 취약성 평가 결과로 사료된다.

본 연구결과는 폭염을 비롯한 다양한 자연재해 발생시 질병 및 사망 등과 같은 인간 건강상의 피해 최소화과 취약성 극복을 위해 환경보건적 영향을 반영할 수 있는 지역별 특성에 따른 효율적 적응대책 수립시 기초자료로 활용가능하다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER_2012-6140)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. BDI(Busan Development Institute). Adaptation of Busan getting hot the city. *BDI Focus*. June 27th 2011; 108.
2. Kysel J. Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*. 2004; 49(2): 91-97.
3. Meehl G and Tebaldi C. More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century. *Journal of Science*. 2004; 305: 994-997.
4. IPCC(Intergovernmental Pannel on Climate Change). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*. 2007.
5. Lim YH and Kim H. Climate change and health © A systemic review of low and high temperature effects on mortality. *Journal of Environmental Health Sci*. 2011; 37(6): 397-405.
6. Debby GS, Femke V, Regina B, Sylvain P. Annual disaster statistical review 2010. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2011; p.15, p.32.
7. Park JK, Jung WS, Kim EB. A study on development of the extreme heat standard in Korea. *Journal of the Environmental Sciences*. 2008; 17(6): 657-669.
8. Hong YC. Climate change and human health. *Journal of Korean Med Assoc*. 2008; 51(8): 764-769.
9. Yang JH and Ha JS. Estimation of future death burden of high temperatures from climate change. *Journal of the Environ Health Sci*. 2013; 39(1): 19-31.
10. Bohle H, Downing TE, Watts M. Climate change and society vulnerability: the sociology and geography of food insecurity. *Journal of Global Environmental Change*. 1994; 4(1): 37-48.
11. Fssel HM and Klein RJT. Climate change vulnerability assessments: and evolution of conceptual thinking. *Journal of Climatic Change*. 2006; 75: 301-329.
12. KEI(Yu GY and Kim IA). Development and application of a climate change vulnerability index. *KEI/2008/RE-05*. 2008.
13. Chipanshi AC, Chanda R, Totolo O. Vulnerability assessment of the maize and sorghum crops to climate change in Bostswana. *Journal of Climate change*. 2003; 61: 339-360
14. Mavroulidou M, Hughes SJ, Hellawell EE. A qualitative tool combining an interaction matrix and a GIS to map vulnerability to traffic induced air pollution. *Journal of Environmental Management*. 2004; 70: 283-289
15. Namdeo A, Tiwary A, Farrow E. Estimation of age-related vulnerability to air pollution: Assessment of respiratory health at local scale. *Journal of Environment International*. 2011; 37: 829-837
16. Wu G, Li L, Ahmad S, Chem X, Pan X. A dynamic model for vulnerability assessment of regional water resources in arid area: a case study of Bayingolin, China. *Journal of Water Resour Manage*. 2013; 27: 3085-3101
17. GRI(GO JK). A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-Do. Gyeonggi Research Institute. 2009.
18. Choi HA, Lee WK, Kwak HB, Choi SH, Byun JG, Yoo SJ. Climate change vulnerability assessment based on spatio-temporal information. *Journal of Korea Spatial Information System Society*. 2009; 11(3): 63-69.
19. Hwang HS and Byun BS. Building vulnerability index on climate change: Focused on Seoul metropolitan city. *Journal of Environmental policy and administration*. 2011; 19(4): 93-119.
20. Yoo SJ, Lee WK, Oh SH, Byun JY. Vulnerability assessment for public health to climate change using spatio-temporal information based on GIS. *Journal of Korea Spatial Information System Society*. 2012; 20(2): 13-24.
21. Kim SM and Kim NE. A study on vulnerability

- assessment to climate change - Focused on 22 municipalities of JeollaNamDo. *Journal of the Korean association for governance*. 2012; 19(2): 99-123.
22. NIER(National institute of Environmental Research). Sectoral climate change vulnerability map. 2012.
23. MW(Ministry of health and Welfare) "Ministry of health and welfare statistical year book 2012". 2012; 58.
24. Busan City hall. Busan Statistics Data Base. http://stat.kosis.kr/nsieu/view/tree.do?task=branchView&id=202_202_1001*MT_OTITLE&hOrg=202. [accessed December 2012-October 2013]
25. Korean Statistical Information Service. Subjective Statistics. http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=A. [accessed December 2012-October 2013]
26. Lee JB, Lee HJ, Moon KJ, Hong SC, Kim DR, Song CK, Hong YD. Vulnerability assessment of human health sector due to climate change: Focus on ozone. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. 2012; 28(1): 22-38.
27. Nardo M, Saisana M, Saltell A, Taranta S. Tools for composite indicators building. *European Communities*. 2005; EUR 21682EN.
28. IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Third Assessment Report. *Cambridge University Press*. 2001.
29. Ahn KS. Vulnerability assessment and counterplan for disaster from climate change in the shinangun, Jeollanamdo. *Journal of Korean island*. 2011; 23(4): 163-181.
30. Hardy JT. Climate Change: Cause, Effects and Solutions. John Wiley & Sons. *LTD*. 2003; 230.
31. Kim EY, Jeon SW, Lee JW, Park YH, Lee DK. Local adaptation plan to climate change impact in Seoul: Focused on heat wave effects. *Journal of Korean society of Environmental Impact Assessment*. 2011; 21(1): 71-80.
32. Carina E and Keskitalo H. Climate Change and Globalization in the Arctic: An Integrated approach to vulnerability assessment. *Stylus Pub Llc. the UK and USA*. 2008.
33. Winston TLC, Chuang WC, Gober P. Vulnerability to extreme heat in metropolitan phoenix: Spatial, temporal and demographic dimensions. *The Professional Geographer*. 2012; 64(2): 286-302.