

# 기후변화 건강 취약성 평가지표 개발\*

신호성<sup>1)</sup> · 이수형<sup>2)\*\*</sup>

## Development of a Climate Change Vulnerability Index on the Health Care Sector

Hosung Shin<sup>1)</sup> · Suehyung Lee<sup>2)\*\*</sup>

1)원광대학교 치과대학 인문사회치의학교실(Dept. of Dentistry, College of Dentistry, Workwang University)

2)한국보건사회연구원 보건정책연구본부(Dept. of Health Policy Research, Korea Institute for Health and Affairs)

제 출 : 2013년 12월 31일 승 인 : 2014년 2월 28일

### 국 문 요 약

본 저자는 IPCC 기후변화 취약성 평가 모형에 근거하여 취약성 지표를 선정하고 실증자료를 구축하여 전국 시군구 행정단위 수준의 기후변화 건강 취약성 지표를 개발하였다. 건강 취약성 지표는 선행연구와 달리 매개체 감염병, 홍수, 폭염, 대기오염/알레르기의 네 가지 건강영향별로 취약성을 평가할 수 있도록 개발하였고, 건강영향별 기후변화 취약성은 다양한 요인에 의해 발생함을 고려하여 특정 건강영향의 취약성을 여섯 가지 하부 지표(기상요소, 기후변화 건강영향(질환), 환경요소, 건강위험 취약계층, 사회여건, 보건의료체계)로 분해하여 위험요인별 기후변화 취약성을 살펴볼 수 있도록 하였다. 취약성 지표는 이론적 모형과 국내외 참고문헌을 바탕으로 가급적 우리나라 실정에 맞게 선정하였다. 지표 산출방식은 복합지표산정의 구체적인 방법에 따라 산출하였고, 이를 위하여 자료의 표준화, 가중치 계산, 산출된 지표의 합산방법 등에 신중을 가하였다. 표준화 방법으로는 자료의 극단값을 이용하는 Min-Max법을, 가중치는 위계적 계층분석법(AHP)에 의한 가중치를, 지표 합산방법은 비보상성 다기준 합산방법을 이용하였으며, 가중치 산정에 있어서 위계적 계층분석법의 예산배분법(BA)에 의한 가중치를 사용하여 가중치의 신뢰도를 고려하였다. 개별 지표는 단순 합산할 경우 지표에 따라서는 특정지표의 영향이 다른 지표에 의해 상쇄되어 버릴 수 있는 개연성을 줄이기 위해 지표의 합산과정에서 나타나는 보상성을 보정하였고, 합산방법을 달리하여 분석결과와 민감도를 평가하였다. 개발된 지표 적용결과, 기후변화 건강 취약성이 낮은 지역은 부산광역시 10개 구로 가장 많았고 경상남도 4개 시군구, 서울, 인천, 전라남도가 각 3곳, 경기도, 충청남도, 울산이 각각 1곳으로 나타났다. 건강영향별 기후변화 취약성 평가결과, 매개체 감염병은 남부지방을 중심으로 특히 전라도, 경상남도, 충청도 해안가를 중심으로 취약했으며, 홍수로 인한 기후변화 취약성은 남해안과 서해안, 강 주변 지역에서, 폭염으로 인한 기후변화 취약성은 대도시나 그 주변 지역에서 높았다. 대기오염/알레르기인 기후변화 취약성은 다른 건강영향과 달리 강원도, 경상북도 이외에 서울, 부산, 대구, 인천, 대전 등의 대도시와 경기도 일부 지역을 포함하여 70여 개의 시군구에서 취약한 것으로 나타났다. 기 개발된 기후변화 건강 취약성 지표는 시도, 지자체가 기후변화 적응대책 세부 시행계획을 수립해야 하는 현시점에서 건강에 대한 기후변화 취약성 정도를 파악하는 데 유용하게 사용될 것이며, 하부지표 또한 취약성의 중요 원인을 파악하는 데 도움이 될 것을 판단된다.

【주제어】 기후변화 취약성 지표, 건강영향, 매개체 감염병, 홍수, 폭염, 대기오염 및 알레르기

\* 본 논문은 환경부의 차세대에코이노베이션기술개발사업(No.412-111-004) 연구비지원으로 수행되었음.

\*\* 교신저자 : sue1st@kihasa.re.kr

Abstract

The aim of this research was to develop a climate change vulnerability index at the district level (Si, Gun, Gu) with respect to the health care sector in Korea. The climate change vulnerability index was estimated based on the four major causes of climate-related illnesses : vector, flood, heat waves, and air pollution/allergies. The vulnerability assessment framework consists of six layers, all of which are based on the IPCC vulnerability concepts (exposure, sensitivity, and adaptive capacity) and the pathway of direct and indirect impacts of climate change modulators on health. We collected proxy variables based on the conceptual framework of climate change vulnerability. Data were standardized using the min-max normalization method. We applied the analytic hierarchy process (AHP) weight and aggregated the variables using the non-compensatory multi-criteria approach. To verify the index, sensitivity analysis was conducted by using another aggregation method (geometric transformation method, which was applied to the index of multiple deprivation in the UK) and weight, calculated by the Budget Allocation method. The results showed that it would be possible to identify the vulnerable areas by applying the developed climate change vulnerability assessment index. The climate change vulnerability index could then be used as a valuable tool in setting climate change adaptation policies in the health care sector.

**Keywords** | Climate Change Vulnerability Index, Health Impact, Infectious Disease, Heat Wave, Flood, Air Pollution and Allergy

---

## I. 서론

기후변화에 관한 정부간협의체(IPCC, 2007)는 2020년대에는 말라리아 등 열대성 전염병이 전 세계적으로 만연하고, 2080년대는 해수면 상승으로 해안가의 30% 이상이 유실되며, 전 세계 인구의 20% 이상이 홍수로 위협받을 것으로 예상하고 있다(환경부, 2007). IPCC는 현세대와 미래 세대가 기후변화로 인해 직면할 문제와 취약성을 평가하여 이에 대한 악영향을 최소화하기 위한 적응(adaptation)의 중요성을 강조하였다. 다만, 그 영향이나 위협이 지정학적 위치에 따라 다양하게 나타나므로 지역별 기후변화 영향의 취약성 조사를 통하여 적응능력을 강화하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 차원에서 취약성 평가는 기후변화 대응에 있어 선택이 아닌 필수적인 수단으로 인식되고 있고(김운수 외, 2010) IPCC 또한 국가차원에서 적응계획 수립을 권장하고 있다. 우리나라도 제3차 기후변화대책위원회에서 국가 기후변화 적응 마스터플랜을 수립하고 2010년 「저탄소 녹색성장 기본법」 시행에 따라 최초 법정 국가 적응대책인 국가기후변화적응대책(2011-2015)을 수립하였다.

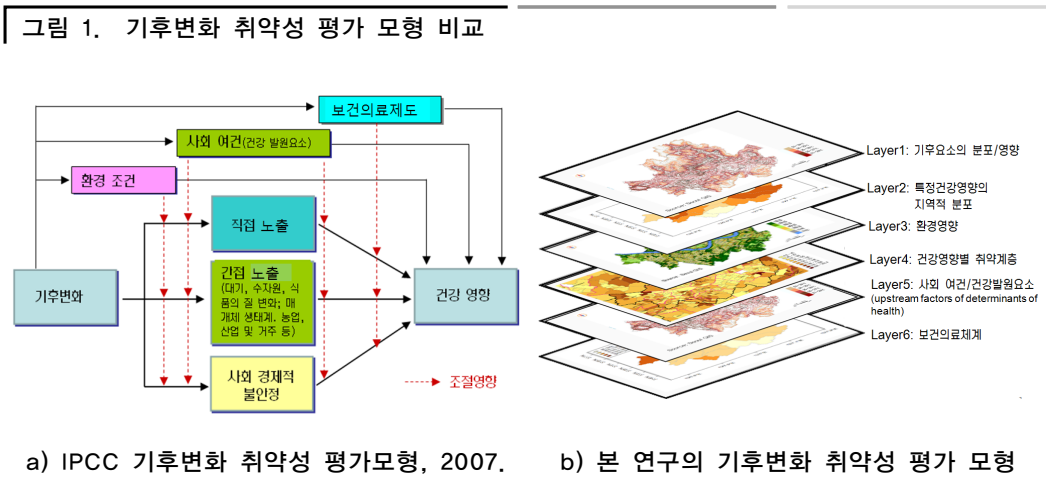
지역별 기후변화 적응대책을 수립하기 위해서는 우리나라 실정에 맞는 기후변화 취약성 지표 개발과 더불어 해당 지표를 이용한 종합적이고 상대적인 평가가 필요하다. 그러나 기존의 지표 및 평가연구는 홍수, 건강, 수자원, 농업 등 부문별 기후변화 영향평가 위주로 이루어져 있다. 일부 취약성 지표를 이용한 연구 또한 Moss et al.(2001)의 국가 단위 취약성-탄력성 지표 원형모형(Vulnerability-Resilience Indicator Prototype Model, VRI)을 우리나라에 맞게 변형하여 개발한 유가영과 김인애(2008)의 지표를 취약성 평가 대상에 따라 수정·보완하여 사용(장남정, 인정이, 2009; 김운수 외, 2010; 조경두, 장훈, 2010; 추장민 외, 2010, 2011; 황혜선, 변병설, 2011)한 것이 대부분이다. 물론 기후변화 부문별(물관리, 해양/수산, 재해(기반시설), 보건, 산림 등)로 취약성 지표를 산출한 국립환경과학원(2012)의 연구가 있으나 기존 연구의 대부분은 총괄적 기후변화 취약성 연구로 기후변화의 총괄적 취약성과 기후노출, 민감도, 적응능력에 대한 취약성 정도만을 파악할 뿐, 기후변화 위험요인에 따른 취약성 정도를 파악하기 어렵다. 따라서 특정 위험요소에 대한 취약성 평가는 제한적일 수밖에 없다. 이런 경향은 기후변화 부문별 취약성 연구, 가령 홍수(이문환, 2011; 황혜선, 변병설, 2011; 김성재 외, 2013), 수자원(정지용 외, 2010), 농업(이버들 외, 2011), 산림(변정연 외, 2012) 등의 취약성 연구와, 홍수, 가뭄, 해수면 상승, 폭염 등 기후변화 영향을 발생시키는 기후자극을 중심으로 경기도 기후변화 취약성을 평가한 고재경과 김희선(2009)의 연구도 마찬가지인 것처럼 보인다.

본 연구의 목적은 기후변화로 인한 건강분야에 대한 기후변화 취약성 지표를 개발하는 것이다. 기존의 총괄지표와는 달리 건강분야에 대한 총괄적 평가와 기후변화 건강위험요소(risk factor)별 평가가 가능하도록 하여 개별 건강위험에 대한 적응 대책 개발에 있어서 건강위험요소별 지표가 실제적, 정책적 의미를 가질 수 있도록 작성한다. 또한 기후변화의 특정 건강영향과 그 영향의 범위는 미래의 기상변화 이외에 환경, 교육, 보건, 의료제도, 공공보건, 사회적 자원, 경제적 발달, 기후변화의 스트레스에 적용할 수 있는 역량 등에 좌우됨(IPCC, 2007)을 감안하여 기후변화 경로와 건강영향에 관계되는 요소를 고려한다.

## II. 서론기후변화 건강 취약성 지표 개발 및 평가모형

2007년 IPCC 4차 보고서는 기후변화가 건강에 미치는 영향을(그림 1 a)와 같이 도식화하였다. 이는 기후변화가 건강에 미치는 영향의 경로뿐 아니라 환경이나, 사회여건, 보건제도 등이 기후변화 건강영향에 직접적 혹은 매개/조절하는 역할을 보여준다. 즉, 기후변화의 특정 건강영향과 그 영향의 범위는 미래 기상변화 이외에 환경, 교육, 보건의료제도, 공공보건, 사회적 자원, 경제적 발달, 기후변화의 스트레스에 대응할 수 있는 적응역량 등에 의해 좌우된다는 것을 나타낸다.

본 연구에서는 기후변화의 취약성 평가 모형을 IPCC 기후변화 건강 영향에 미치는 요소 및 경로(그림 1 a)를 기반으로 하는 6개 층(vulnerable layers)으로 구성하였다(그림 1 b 참조). 기후변화 건강 취약성에 영향을 미치는 요소로 제1층 특정 건강에 영향을 미치는 기상요소, 제2층 기후변화 건강위험 건강영향분야별 영향의 범위와 크기 정도, 제3층 건강위험요소와 매개 또는 연결되는 환경의 변화와 기후변화 적응관련 사회적 환경요소조건, 제4층 해당 건강위험요소의 기후변화 취약계층의 지역적 분포, 제5층 분석단위 지자체가 가진 사회여건, 제6층 사회경제적 제도(특히 보건의료체계)이다.



기후변화 취약성은 노출정도와 기후변화에 대한 민감도, 적응능력에 의존한다(IPCC, 2007). 기상요소는 취약성 평가의 노출과 관련이 있는 것으로 기존의 연구들을 살펴보면 기상요소와 관련하여 주로 강수량, 기온, 해수면 상승과 관련한 지표들이 주로 사용되었다(고재

경, 김희선, 2009; 손민우 외, 2011; 강정은, 이명진, 2012). 호우의 경우 1일 최대 강수량, 호우일수, 강우강도지수, 혹서의 경우 열대야 일수, 일 최고 기온이 일정 온도 이상인 경우 등이 주요 지표로 사용되었다. 그러나 이러한 노출정도에 대한 평가는 분석단위 지역의 크기에 따라 해상도가 달라질 수 있다는 문제가 있다. 기후변화 연구는 분석단위에 맞고 보다 해상도 높은 자료의 생산이 요구되며, 기온, 강수량 외에도 습도, 오존 등의 기상요소가 포함될 필요가 있다.

기후변화 환경요소는 크게 기후변화에 의한 자연환경요소의 변화와 기후변화 적응관련 사회적 환경요소로 구별된다. 기후변화에 의한 건강영향은 자연적 환경 변화 외에도 기후변화의 적응 과정 또는 기후변화와 관계없이 인간에 의해 인위적으로 만들어진 적응관련 사회적 환경요소에 의해서도 영향을 받게 된다. 적응 관련 사회적 환경요소는 건물 및 주거 환경요소와 녹지 및 도시 열섬 현상으로 구분할 수 있으며, 본 연구 모형에서는 제3층 환경영향에서 이러한 점을 반영하였다. 그러나 이는 사회여건이 지역사회가 가진 사회적 물질적 인프라에 초점이 맞춰져 있으므로 제5층의 사회여건과는 구분된다. 제5층의 경우 IPCC 취약성 평가 틀의 적응능력에 포함될 수 있는 것으로, 지역사회의 결핍과 배제의 측면에서의 기후변화 취약성에 영향을 미치는 사회여건을 의미한다.

기후변화는 단순히 건강상의 문제를 넘어 다양한 분야에서 개인의 삶의 질에 영향을 미칠 것이라 예상된다. EU 기후대응 보고서(2010)는 기후변화의 가장 심각한 사회, 환경, 경제적 영향은 건강, 사회적 불평등, 식품안전, 집단이주 분야일 것으로 예측하고 있다. Sniffer 보고서(2009)는 기후변화의 사회적 취약계층에 대해 기후변화에 취약한 지역에 사는 사람, 사회적 결핍집단, 기후변화 배제집단이 복합적으로 구성되는 다차원의 분류방법을 제안하였다. 이에 따르면 기후변화는 보건·건강분야를 넘어 사회적 차별을 확대하는 방향으로 나아가고 있으며, 기후변화의 영향은 소득 수준이나 사회경제적 위치에 따라 다른 형태로 전개될 수 있다. 따라서 빈곤층일수록 기후변화에 취약한 지역에 거주할 가능성이 높으며, 사회 배제집단일수록 적응 정책 결정 참여나 지원에서 소외될 가능성이 높다. 따라서 취약계층의 파악에는 지역, 결핍, 배제의 측면을 모두 고려하는 것이 필요하다. 기후변화 취약성을 결정하는 요소 가운데 특히 적응 능력과 관련하여 취약계층의 분포를 고려할 필요가 있다. 본 연구의 모형 개발에서는 제4층에서 이러한 점을 반영하였다.

지역사회가 가진 자원은 기후변화가 인구집단에 미치는 영향을 조절할 수 있는 기능을 가지게 된다. 지역사회의 동원 가능한 자원 중 기후변화의 영향에 영향을 미치는 요소는

지역사회의 보건의료체계이다. 이는 본 연구 모형의 제6층에 해당하는 것으로 보건의료체계는 민간 및 공공영역을 모두 포괄하는 것이지만 기후변화에 대한 대응을 일차적이며 능동적으로 조직 대처하는 것은 공공영역일 것이다. 이에 따라 공공영역에서의 기후변화 대응정도를 주요하게 고려하였다.

본 연구에서 개발한 취약성 평가 모형은 6개의 취약성 평가 층을 지역단위별로 산출하고 이를 총화하면, 특정건강영향의 취약성이 강점과 약점, 기회와 위협의 형태로 나타낼 수 있다. 따라서 건강영향의 취약성이 6개의 층 가운데 어디에서 비롯하는 것이며, 외부의 영향은 주로 어떠한 층에서 기인하는 것인지 확인 가능하다.

### III. 기후변화 건강 취약성 지표 산출

복합지표(composite index) 개발은 일반적으로 지표의 선정과 지표의 조합에 근거가 되는 이론을 바탕으로 지표를 선정하고 자료의 표준화, 가중치 부여, 견고성과 민감도 검정, 총화 등의 과정을 거친다. 유럽연합이 제시하는 복합지표 산출 방법은 다양한 분야에서 적용되어지고 있으며 복잡한 상황이나 다차원의 이슈를 종합하고 시간 경과에 따라 요약된 정보를 제공할 수 있다는 장점을 가진다(OECD and European Commission, 2008). 본 연구는 복합지표산정의 구체적 방법에 따라 취약성 지표를 산출하였다.

#### 1. 지표의 선정

취약성 지표산정을 위한 하부지표 선정은 국내외의 참고문헌을 바탕으로 가급적 우리나라 실정에 맞게 선정하고자 하였다. 기후변화 건강 취약성 복합지표를 산출함에 있어 평가 지표는 일차적으로 본 연구에서 개발한 이론적 개념모형(2장 참고)을 바탕으로 구성하였다. 이후 자료의 가용성, 시군구 단위로 수집한 자료의 질, 지표의 타당성 분석 결과를 반영하여 최종 지표를 선정하였다. 취약성 평가모형의 6개 층별 하부 지표 도출 과정은 다음과 같다.

제1층 기상요소의 하부지표로 기온, 강수량, 강우강도지수, 강우 80mm 이상인 날수, 열대야 일수, 1일 최고 기온, 연간 최고기온, 연간 강수량을 각각 선정하였다. 특히 강우강도지수와 강우 80mm 이상인 날수는 홍수 취약성 지표 중 주요 지표(배덕효, 이문환, 2010; 손민우 외, 2011; 국립환경과학원, 환경부, 2012; 강정은, 이명진, 2012)임을 고려하여 선정하였

다. 매개체 감염병 발병에 있어 기온의 역치점이 다름을 고려하여 매개체 감염병 기상요소의 하부지표인 기온은 말라리아와 쯤쯤가무시증을 구분하여 정의하였다. 말라리아는 16°C 이후 기온 상승에 따라 환자수가 증가하고(신호성, 김동진, 2008), 31°C 이상이 되면 기온이 상승하더라도 환자수가 감소한다는 기존 연구(신호성 외, 2010)를 고려하여 '연간 16-30°C 해당일수'로 정의하였다. 반면, 쯤쯤가무시증은 20°C 여름철과 5°C 이하의 겨울철에 발생자가 거의 없고 주로 늦가을에 많다는 점, 23°C 이후에는 1°C 상승할 때마다 쯤쯤가무시증 발생률은 20.0%씩 감소한다(신호성 외, 2010)는 점을 고려하여 '늦가을(10-12월) 사이 연간 5-23°C 해당일수'로 정의하였다.

제2층 질환분포의 하부지표는 매개체 감염병의 경우 말라리아, 쯤쯤가무시증을, 홍수의 건강영향은 홍수로 인한 이재민 및 사망을, 폭염의 건강영향은 심혈관질환 및 열사병을, 대기오염/알레르기의 건강영향은 호흡기질환 및 심혈관질환으로 하였다. 말라리아, 쯤쯤가무시증은 기후변화의 영향을 직접적으로 받는 대표적인 매개체 감염병 질환임을 고려하여 선정한 것이고, 폭염과 같은 고온은 열스트레스 발생과 더불어 심혈관계 질환의 이환과 치사율에 영향을 미침을(Hardy, 2003) 고려하여 열사병 외 심혈관질환을 폭염의 질환분포로 정의하였다.

기후변화 관련 환경요소는 기후변화에 의한 '자연적인 환경 변화'와 기후변화의 적응과정 또는 기후변화와 관계없이 인간에 의해 인위적으로 만들어진 '적응관련 환경요소'로 구분된다(신호성 외, 2010). 제3층의 환경영향의 하부지표는 이 두 가지 요소를 기본 틀로 하여 선정하였고 하부지표로 녹지면적, 도로면적, 숙주분포, 산림 내 경사도, 하천 개수율, 재해 피해액, 대기오염물질 농도를 선정하였다. 하부지표 중 녹지면적은 기후변화(특히 기온)와 직접적인 연관이 있기에(조혜진, 임지현, 2011) 모든 건강영향의 하부지표로 선정하였다. 이외 불투수층이 많을수록 홍수 피해 위험이 커짐(강정은, 이명진, 2012; 임희진, 2013)을 고려하여 홍수의 건강영향에서의 도로면적은 불투수층 면적으로 정의하였다.

제4층 취약계층 하부지표는 Sniffer 보고서(2009)의 '기후변화의 사회적 취약계층' 분류 개념을 이용하여 선정하였다. Sniffer 보고서(2009)는 기후변화의 사회적 취약계층을 기후변화에 취약한 지역에 사는 사람(지역), 사회적 결핍집단(빈곤층, 허약집단, 이동성 장애집단, 취약주거집단 등), 기후변화 배제집단(정보/지원서비스/적응능력/의사결정구조에서 배제된 집단 등)이 복합적으로 이루어진 결과로 정의하였다. 이를 기준으로 취약계층의 하부지표를 선정하면 취약지역으로서 하부지표로 매개체 감염병은 10m 이하 저지대 가구 비율을, 홍수는 상습 수해지역(또는 재해위험지구 면적), 폭염은 옥탑방 거주가구 비율을, 대기

오염/알레르기는 반지하/지하거주가구 비율과 공업지역 면적 비율을 선정하였다. 사회적 결핍요소 또는 배제요소로 건강영향에 따라 다소 다르나 노인/아동 비율, 기초생활수급자 비율, 장애인/외국인 비율, 야외 작업근로자 비율, 활동제한자 비율, 심뇌혈관질환자 비율 등을 선정하였다. 본 연구에서 외국인 비율을 하부지표로 선정한 이유는 외국인 인구의 지속적인 증가도 있으나 외국인의 경우 '정보, 지원서비스, 적응능력, 의사결정 참여' 등의 사회적 배제측면에서 저소득 계층에 비해 상대적으로 취약하기 때문이다.

취약성 평가모형의 5층에 해당하는 사회여건은 기후변화의 적응역량을 의미하기보다는 기후변화가 건강영향에 미치는 영향을 매개하는 조절 요소이다. 사회적 여건은 IPCC 취약성 평가들의 적응능력에 포함될 수 있으나, 경제적 능력, 거버넌스, 교육, 환경역량, 산업구조, 사회적 자본, 제도적 역량 등으로 구성되는 IPCC 적응역량은 지역사회 전체 기후변화 영향을 포괄하는 총괄지표의 성격을 지니고 있어 특정 건강영향 기후변화 취약성 지표를 산출하기에는 다소 무리가 있다. 따라서 사회여건의 하부지표는 WHO의 건강결정요인(Social determinants of health) 중 사회적 요인(Mikkonen, Raphael, 2010)을 바탕으로 선정하였으며, 건강영향별로 영향의 차이가 없을 것으로 간주하여 모든 건강영향에 동일한 지표를 선정하였다. 사회여건의 하부지표로 지역의 사회수준을 나타내는 주거환경수준(최저주거기준미달 가구비율), 재정자주도, 학생 1인당 교육경비 투자액, 실업률, 선거참여율, 일반회계 중 복지예산(사회보장) 비중을 선정하였다. 이 중 선거참여율은 사회여건이 사회자본(social capital)과 사회통합(social cohesion)에 기반을 두어 형성됨(WHO, 2010)을 고려하여 사회통합의 대표적인 대리변수(강신욱 외, 2012)로 사회여건의 하부지표로 선정하였다.

취약한 공중보건시스템이나 일차의료에 대한 낮은 접근성 등은 기후변화로 인한 취약성을 증가시키는 반면 인구집단에 대한 적응능력을 저해하는 요소로 작용할 수 있기 때문에 IPCC에서는 건강분야에서 기후변화로 인한 취약성이나 대응전략 마련 시 보건의료시스템의 역할을 강조한다(신호성 외, 2010). 본 연구의 목적은 건강영향별 기후변화 취약성 지표 개발이므로, 적응역량 내 하부지표로 사용되는 보건의료체계를 별도의 측정영역(layer)으로 하여 건강영향 취약성 지표의 특성을 살렸다. 마지막 6층의 보건의료체계 하부지표는 WHO(Murray, Frenk, 2000), OECD(2002)의 보건의료체계 성과지표 및 우리나라 보건사업 통합평가 지표(김상용 외, 2008), 지역보건의료계획 시행 평가지표(2008)를 참고하여 접근성 및 반응성, 자원, 형평성 차원에서 인구천명당 의사수, 응급의료기관수, 보건소 직원 1인당 관할인구수, 주민1인당 보건의료예산, 소득집단별 응급의료이용률을 선정하였다. 하



부지표는 사회여건과 마찬가지로 건강영향별로 큰 차이가 없을 것으로 판단하여 모든 건강 영향에 동일하게 적용하였다. 단, 폭염의 경우 해당 건강영향 특성을 반영하여 무더위 쉼터 변수를 추가하였다. 건강영향별 기후변화 취약성 평가지표의 구성은 <표 1>과 같다.

표 1. 건강영향별 기후변화 취약성 평가 지표

건강 영향	계층	하부지표	하부지표에 대한 정의
매개체 감염병	기상요소 (1층)	기온	말라리아: 연간 16-30℃ 해당 일수 쯔쯔가무시: 늦가을(10~12월) 사이 연간 5-23℃ 해당 일수
		강수량	연간 강수량
	질환분포 (2층)	매개체 감염병 분포	인구 10만 명당 매개체 감염병 환자수 (말라리아, 쯔쯔가무시)
	환경영향 (3층)	녹지면적	식생지수
		숙주분포	단위면적당 가축수
	취약계층 (4층)	취약지역	10m 이하 저지대 가구비율
		노인+아동 비율	노인+아동 비율
		기초생활수급자 비율	기초생활수급자 비율
		장애인+외국인 비율	장애인+외국인 비율
		야외 작업근로자 비율	야외 작업근로자비율
	사회여건/건강 발현 요소 (5층)	최저주거기준미달가구 비율	최저주거기준미달가구비율
		재정자주도	재정자주도
		학생 1인당 교육경비투자액	학생 1인당 교육경비투자액(천원)
		실업률	15-64세 인구 중 구직상태에 있으면서 신체적으로 일 을 할 수 있는 사람비율
		선거참여율	전국동시지방선거 투표율
	보건의료체계 (6층)	일반회계 중 복지예산비중	일반회계 중 복지/사회보장 비율
		인구 천 명당 의료인력	의사, 간호사, 약사인력
		인구 천 명당 의료지원인력	기타 보건의료인력
		보건소 직원 1인당 관할인구수	보건소 직원 0.01명당 관할인구수
		주민 1인당 보건의료예산	인구 1인당 보건지출액(만원)
지역 내 응급의료기관수	응급의료 시설구(인구 ~명당)		
홍수	기상요소 (1층)	강우강도지수	강우강도지수
		강우 80mm 이상인 날 수	강우 80mm 이상인 날 수
	질환분포 (2층)	이재민 분포	홍수로 인한 이재민 분포
		사망자 분포	홍수로 인한 사망자 분포
	환경영향 (3층)	녹지면적	식생지수
		도로면적	불투수층 면적(m <sup>2</sup> )
		산림 내 경사도	산림 내 평균경사도
	하천 개수율	하천 개수율	

건강 영향	계층	하부지표	하부지표에 대한 정의	
	취약계층 (4층)	재해 피해액	홍수로 인한 재해 피해액(억 원)	
		해안,강,도심 취약지역	상습수해지역 또는 재해위험지구 면적	
		노인+아동 비율	노인+아동 비율	
		기초생활수급자 비율	기초생활수급자 비율	
		장애인+외국인 비율	장애인+외국인 비율	
		활동제한자 비율	활동제한자 비율	
	사회여건(5층)	매개체 감염병과 상동	매개체 감염병과 상동	
	보건의료체계 (6층)	매개체 감염병과 상동	매개체 감염병과 상동	
	폭염	기상요소 (1층)	열대야 일수	열대야 일수
			1일 최고 기온	1일 최고 기온
질환분포 (2층)		폭염관련 질환분포	인구 10만 명당 심혈관계질환 환자수	
		열사병 환자수	인구 10만 명당 열사병 환자수	
환경영향 (3층)		녹지면적	식생지수	
		도로면적	도로면적(m <sup>2</sup> )	
취약계층 (4층)		취약지역	옥탑방 거주 가구비율	
		노인+아동 비율	노인+아동 비율	
		기초생활수급자 비율	기초생활수급자 비율	
		장애인+외국인 비율	장애인+외국인 비율	
		심뇌혈관질환자 비율	인구 10만 명당 심뇌혈관질환자 비율	
		야외 작업근로자 비율	야외 작업근로자 비율	
사회여건(5층)		매개체 감염병과 상동	매개체 감염병과 상동	
보건의료체계 (6층)		무더위 쉼터수 추가	매개체 감염병과 상동 + 65세 이상 노인 천 명당 쉼터수	
대기 오염/알레르기	기상요소 (1층)	기온(최고, 평균, 최저)	연간 최고기온	
		강수량	연간 강수량	
	질환분포 (2층)	대기오염/알레르기 질환분포	인구 10만 명당 호흡기+심혈관계질환자수	
	환경영향 (3층)	녹지면적	식생지수	
		도로면적	도로면적(m <sup>2</sup> )	
		대기오염물질 농도	CO, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM10, O <sub>3</sub> , VOC(kg) (단, 오존은 6-9월달 오존농도 사용)	
	취약계층 (4층)	취약지역	반지하/지하 거주가구비율	
		공업지역	공업지역 면적(m <sup>2</sup> )	
		노인+아동 비율	노인+아동 비율	
		기초생활수급자 비율	기초생활수급자 비율	
		장애인+외국인 비율	장애인+외국인 비율	
	사회여건(5층)	매개체 감염병과 상동	매개체 감염병과 상동	
보건의료체계 (6층)	매개체 감염병과 상동	매개체 감염병과 상동		

## 2. 자료 수집 및 결측치 대처

본 연구의 분석단위는 시군구이며, 시점단위는 2010년이다. 따라서 자료는 2010년 시군구 단위로 수집하였고, 2010년 자료가 없을 경우 최근 자료를 이용하여 결측값을 대체하였다. 제1층 기상요소 자료는 기상청 기상자료를 이용하였다. 제2층 특정 질환분포 자료는 2010년 국민건강보험공단 청구자료를 이용하여 산출하였다. KCD-5 코드를 기반으로 하여 건강영향별 질환을 선정한 후, 시군구별 환자수를 추출, 이를 인구 10만 명당 유병률을 계산하여 지표 산출 시 사용하였다. 제3층의 환경요소 중 녹지면적은 미국 NASA의 자료 제공 웹사이트를 통해 위성자료를 활용하여 정규식생지수(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)를 시군구별로 산출하여 이용하였다. 이외 환경요소의 하부지표는 통계청 가족동향조사, 지자체 통계연보, 국립환경과학원의 CCGIS 자료를 이용하였다. 제4층의 취약계층 중 노인, 여성, 옥탑, 반지하/지하거주 가구수, 활동제한자 비율, 야외 작업근로자 비율은 2010년 인구주택 총조사자료 10% 표본 및 전수자료를 이용하여 산출하였다. 제5층에 해당하는 사회여건의 실업률과 최소주거기준미달 가구비율도 2010년 인구주택 총조사자료를 이용하여 산출하였고, 선거참여율은 중앙선거관리위원회 자료를, 일반회계 중 복지예산 비중은 지자체 통계연보 자료를 이용하였다. 이 중 최소주거기준미달 가구비율은 2004년부터 건설교통부 공고로 법제화된 최저주거기준을 이용하여 산출하였다.<sup>14)</sup> 마지막 6층의 보건의료체계 지표는 지자체 통계연보 자료 또는 행정안전부 내부자료 등을 이용하여 구축하였다. 본 연구에서 사용한 변수별 자료원은 <부록 1>과 같다.

## 3. 다변량 분석

이론적 틀에 근거하여 지표가 선정되었다 하더라도 복합지표 영역 간, 또는 영역 내 하부지표 간 상관성(interrelationships)으로 인해 복합지표의 왜곡이 발생할 수 있다. 따라서 복합지표 산출에 앞서 하부지표가 상위 영역 또는 복합지표를 잘 설명하는지, 하부지표 간 구성은 적절한지 확인할 필요가 있다. 동시에 지표 간 그룹핑을 확인하고 유사한 집단으로 분류하여 결과 해석에 참고한다. 이러한 자료의 내재적 구조 탐색은 요인분석, 주성분분석, 군집분석, Cronbach Coefficient Alpha 등을 이용하여 가능한데, 본 연구는 요인분석, 주성분분석, Cronbach Coefficient Alpha를 이용하여 자료의 내재적 구조를 살펴보았다.

14) 지표구성 및 산출방식은 신호성 외(2009)의 “표준사망비와 지역결핍지수의 상관관계: 지역사회 통합결핍지수 개발” 연구를 참고할 것.

#### 4. 자료의 표준화

서로 다른 단위와 특성을 가진 자료들을 취합하여 하나의 지표로 정의하기 위해서는 반드시 표준화(normalization) 과정이 필요하다. 표준화 방법으로는 가장 보편적으로 사용되는 Z-score 법과, 가장 단순한 방법인 순위(ranking)법, 자료의 극값을 이용하는 스케일 재조정 (Min-Max)법, 일정 지표를 기준으로 하는 기준선과의 차이(Distance to reference country) 법 등이 있다. 일반적으로 Z-score 변환이라고 알려진 표준화 방법은 지표의 평균값 차이에서 오는 변형을 방지할 수 있지만 이상치 값이 가지는 영향력을 줄이지는 못하는 단점이 있다. 본 연구는 표준화 방법으로 스케일 재조정법을 이용하였다. 이 방법은 지표값의 분산에 의존하지 않고 지표값들의 범위에 근거하여 값을 산출한다. Min-Max법에 의해 산출된 지표 값은  $0(x_{qc}^t = \min_c(x_q^t))$ 일 경우인데 시점  $t$ 에서의 대안  $c$ 의 지표  $q$ 값인  $x_{qc}^t$ 이 비교대상 모두( $x_q^t$ )에서 가장 작은 값일 경우)에서 1(시점  $t$ 에서의 대안  $c$ 의 지표  $q$ 값인  $x_{qc}^t$ 이 비교대상 모두( $x_q^t$ )에서 가장 최고의 값일 경우) 사이의 값을 가지며, 작은 범위에 몰려 있는 지표의 경우 재계산 과정을 통하여 지표값의 범위가 넓어지게 되어 Z-score 방법보다 각 지표가 가지는 의미를 보다 정확히 반영한다.

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^t)}{\max_c(x_q^t) - \min_c(x_q^t)} \quad (1)$$

#### 5. 가중치 산정

가중치 산출방법은 크게 통계적인 기법에 기초한 가중치 산출방법과 개인의견 조사에 근거한 가중치 산출 방법으로 분류할 수 있다. 그러나 어떤 가중치 산출방법을 적용하든 간에 모두가 동의하는 가중치 산출방법은 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 전문가 의견에 의한 가중치 산출방법 중 위계적 계층분석법(Alytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하여 가중치를 산출하였다. 전문가 조사는 기후변화 환경·보건분야 전문가 26명(이 중 환경분야 전문가는 14명, 보건분야 전문가는 12명이었음)을 대상으로 이메일 조사 방법으로 진행하였으며 설문조사기간은 2011년 10월 14일부터 21일까지였다. 설문지는 크게 기후변화 취약성 평가 모형 및 지표를 설명하는 부분과 계층분석 설문부분으로 구성하고 가중치는 건강영향별 6개 계층과 계층별 하부지표에 대해 9점 척도로 측정하였다. 총 26부의 설문이 회수되었고 이 가운데 일관성 비율(Consistency Ratio)이 낮은 4개의 설문을 제외한 총 22개의 설문 결과를 분석에 사용하였다.

## 6. 합산

단일지표를 생성하기 위해서는 가중치가 고려된 변수들을 합산(agggregation)하는 방법이 선행되어야 한다. 합산방법에는 단순 합산(Linear aggregation), 기하평균 이용한 합산 방법, 다기준 합산방법 등이 있으며, 많은 변수들을 합산할 때에는 보상성(compensability)에 주의해야 한다. 본 연구는 관련 지표들을 단일한 종합 지표로 합산하는 방법으로 비보상성 다기준 합산법(non-compensatory multi-criteria approach, 2009)을 이용하였다. 보상성은 특정 변수가 다른 변수의 과(過) 또는 소(少)를 서로 보상하는 것인데 변수들 간에 보상성이 나타나지 않으면 비보상성(non-compensatory)라 명명하며 그렇지 못한 경우 보상성이라 명한다. 다기준분석법은 지표산정에 있어서 여러 가지 목표가 모두 중요하고 필요한 조건이 될 때, 각 지표의 특성을 모두 고려하는 방법으로 지표간의 합산에서 발생할 수 있는 보상성을 방지한다. 다기준분석에 사용되는 자료는 선호도 정도, 특정 지표에 적용되는 변수의 수, 각 변수의 가중치, 특정 지표가 다른 지표들과 가지는 관계 등의 특성을 가지는데 이런 특징들로 인하여 다양한 합산 방법이 제안되고 있다. 비보상성 다기준 합산법은 지표에 포함되는 모든 변수들 간의 쌍대선호도 비교를 수행하고 이 결과를 활용하여 각 대안들의 우선순위(ranking)를 매기는 방법으로 구분된다. 쌍대선호도 비교를 수행하는 식은 다음과 같다.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k w_j \times P_j(a,b) \quad (2)$$

여기서  $w$ 는 가중치,  $P(a,b)$ 는 변수  $a$ 와  $b$ 에 대한 쌍대선호도 함수(pairwise preference function)를 나타낸다. 본 연구에서는 visual PROMETHEE 1.2를 이용하여 지표들을 합산하였다.

## 7. 지표의 타당성 : 견고성과 민감도 검증

산출된 지표의 타당성을 살펴보고자 AHP에 의한 가중치 외 전문가 의견에 의한 가중치 산출방법인 예산배분법(Budget allocation)을 이용하여 가중치를 산출하고 AHP 가중치 적용 결과와 예산배분법 가중치 적용 결과와 비교하였다. 또한 합산 방법을 달리하여 분석결과의 민감도를 평가하였다. 새로운 합산법은 영국에서 지역 결핍지수를

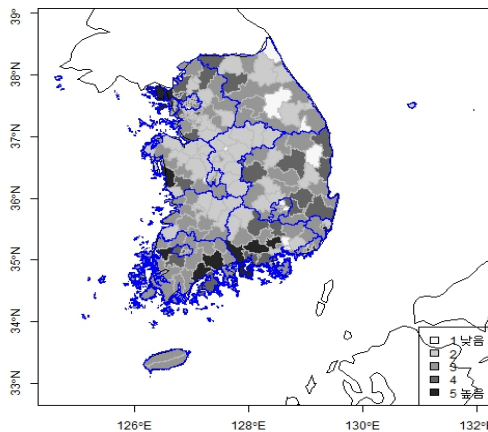
산출하는 데 적용하였던 방법(Office of the Deputy Prime Minister, 2004)으로 한 영역의 순위가 미치는 과도한 영향을 축소하여 모든 영역의 지표가 영향을 미칠 수 있게 구성하였다. 이 변환식을 이용할 경우 0에서 100 사이의 값이 산출되는데 예를 들면 한 변수의 변환값이 0이고 다른 변수의 변환값이 100일 때 동일 가중치 정규분포를 가정할 경우 선형 합산된 값은 50분위에 해당하게 되지만 새로운 합산법을 적용하면 90분위에 해당하는 값을 가진다.

## IV. 기후변화 건강 취약성 평가 결과

### 1. 기후변화 건강 취약성 통합지표

네 가지 건강영향에 대한 취약성 평가 결과를 활용하여 기후변화 건강분야에 대한 종합적인 취약성 지표인 기후변화 통합지표를 산출하였다. 비보상성 다기준 합산법을 이용하고 각 건강영역 간 가중치는 모두 동일한 것으로 간주하였다. 251개 시군구 통합지표를 군집분석한 결과 기후변화 취약성이 가장 낮은 것으로 평가된 1그룹은 12곳이며, 2그룹은 63곳, 3그룹은 104곳, 4그룹은 46곳, 가장 취약한 것으로 산출된 5그룹은 26곳으로 구분되었다. 그룹별 분포는 <그림 2>와 같다. 5그룹에 속한 지역은 대도시지역이 17개 지역인데 부산광역시 10개 구로 가장 많고 경상남도가 4개 시군구, 서울특별시, 인천광역시, 전라남도가 각각 3곳, 경기도, 충청남도, 울산광역시가 각각 1곳으로 산출되었다.

그림 2. 기후변화 통합지표 순위분포



기후변화 통합지표의 5 그룹별 기후변화 하부 지표의 분포를 살펴보면 주로 1층 기상요소, 2층 질환 분포, 3층 환경요소 차이가 전체 시군구별 기후변화 취약성을 야기하는 것으로 나타났다. 특히 기상요소와 질환 분포의 영향이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 4층 취약계층이나 5층 사회여건의 영향력은 상대적으로 낮은 것으로 나타났으나 특히 6층의 보건의료체계의 기후변화 취약성에 대한 영향력은 일정한 경향을 가지지 못하였다. 4층 취약계층이나 5층 사회여건은 기후변화 건강영향에 따라 다른 양성을 보였는데 폭염이나 매개체 감염병에서는 상대적으로 높은 영향을 보였으나 홍수로 인한 기상재해나 대기오염에서는 일정한 경향이 없어 취약계층이나 사회여건의 분포가 통합지표 순위에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

## 2. 건강영향별 기후변화 건강 취약성 복합지표

기후변화 매개체 감염병은 말라리아와 쯤쯤가무시 질환에 국한된 기후변화 취약성으로 남부지방을 중심으로 특히 전라도, 경상남도, 충청도 해안가 중심으로 취약성이 높게 나타났다. 251개 시군구를 5개 그룹으로 군집분석하면 매개체 감염병 기후변화 취약성이 가장 높은 지역은 40개 시군구로 부산광역시(4), 충청남도(4), 전라북도(6), 전라남도(14), 경상북도(2), 경상남도(9), 제주도(1)이다. 반면 가장 덜 취약한 지역은 48개 시군구인데 서울특별시, 경기도, 강원도, 충청북도 지역에 주로 분포하였다. 군집분석결과 1그룹과 2그룹은 다른 3개 그룹과 다른 줄기에서 비롯되었다(그림 3 참조). 매개체 감염병 취약성과 가장 관련성이 높은 하위 지표는 매개체 질환분포이며 그 다음으로 취약계층, 환경요소, 기상요소, 사회여건의 순으로 나타났다. 그러나 보건의료체계는 높은 순위의 시군구에서 오히려 높은 매개체 감염병 취약성을 나타내어 상관관계가 음의 값을 보였다.

그림 3. 기후변화 취약성 지표(매개체 감염병) 군집분석

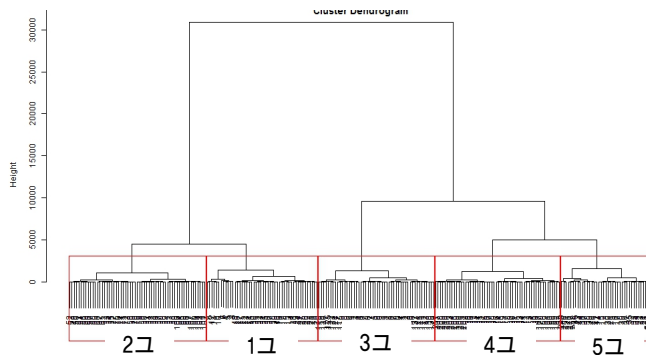
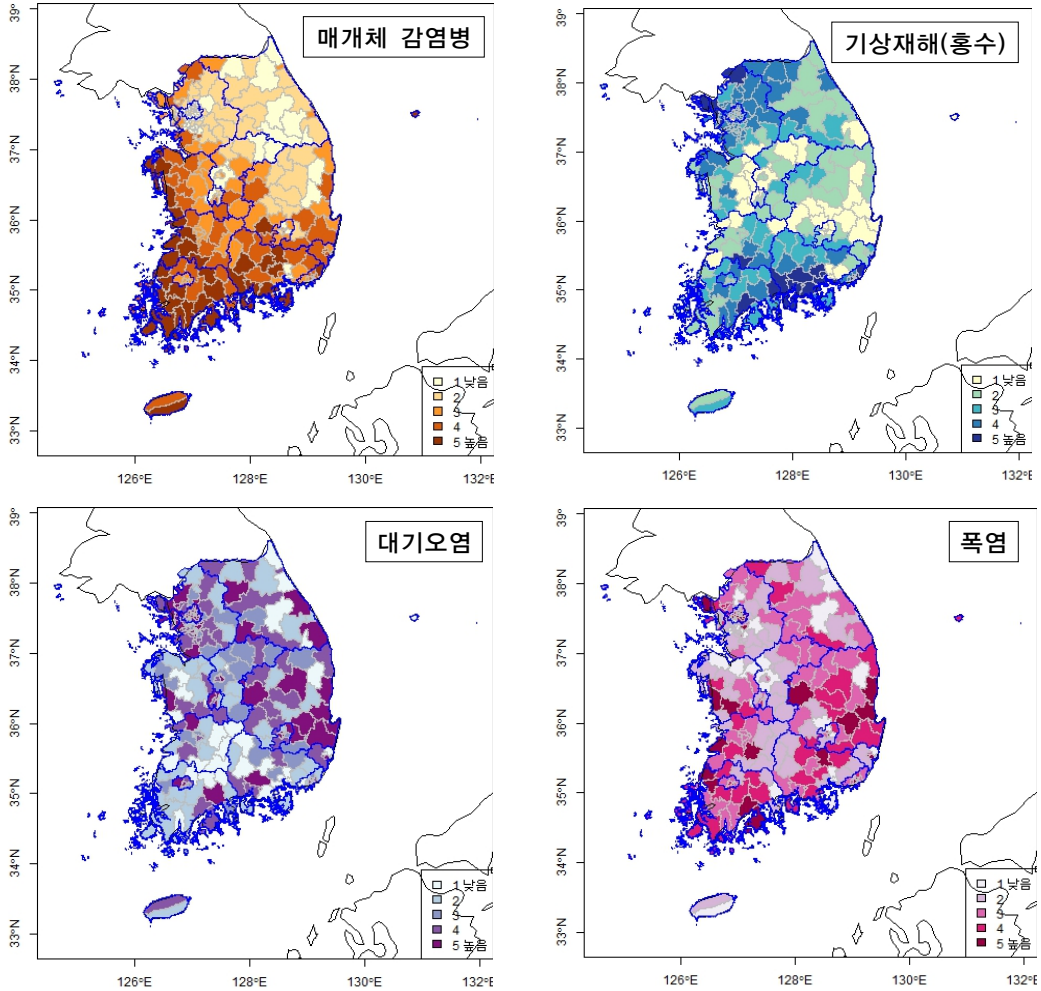


그림 4. 기후변화 건강 분야 취약성 지표



홍수로 인한 기후변화 취약성은 홍수피해 중 사망이나 이재민 피해를 기준으로 그와 관련된 6개 하부지표를 사용하여 산출하였다. 홍수 취약성 지표 값은 기상요소의 영향이 월등하며 그 외에 보건체계, 사망이나 이재민 피해, 환경요소(녹지면적, 도로면적, 산림내 경사도, 하천 개수율, 재해 피해액) 등이 취약성 증가에 기여한 것으로 나타났다. 반면 해안, 강, 도심 취약지역, 노인 및 아동비율, 활동제한자 비율 등의 취약계층 하부지표나 최저주거기준 미달가구 비율, 재정자주도, 일반회계 중 복지예산 비중 등의 사회여건 하부지표는 홍수 취약성에 거의 영향을 미치지 않았다. 홍수로 인한 취약성이 높은 지역은 31개 시군구로



주로 남해안과 서해안 및 강 주변 지역에 분포하였다.

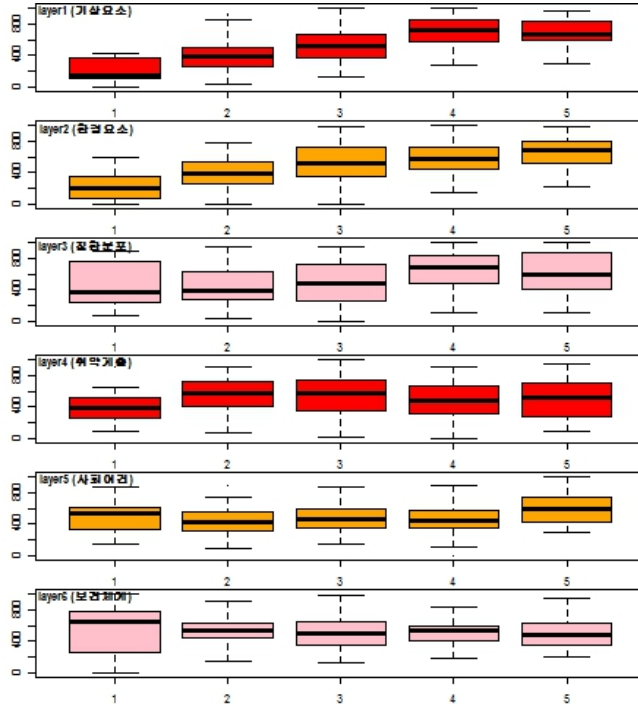
폭염 기후변화 취약성은 <그림 4>에서 나타난 것과 같이 매개체 감염병이나 홍수와 달리 취약성이 높은 지역의 일정한 경향이 일견 보이지 않는다. 그러나 앞선 두 건강영향과는 달리 주로 대도시나 그 주변 지역에서 폭염과 관련된 취약성이 높은 것으로 조사되었는데 충청남도, 전라남북도, 경상북도 일부지역 역시 폭염 취약성이 높은 것으로 나타났다. 폭염 취약성은 기상요소와 폭염관련 질환의 분포가 큰 영향을 미치며 동시에 취약계층의 분포, 녹지나 도로 면적 등의 환경요소, 사회여건도 취약성 지표와 양의 상관성을 보인다. 반면 보건의료체계의 영향은 낮은 음의 상관성이 보여 보건의료체계가 지역의 폭염관련 취약성을 낮추는 데 기여하고 있는 것으로 보인다.

표 2. 기후변화 취약성 하부지표와 전체 순위와의 상관관계(폭염)

계층	기상요소	질환분포	환경요소	취약계층	사회여건	보건의료체계	순위
기상요소	1						
질환분포	0.0756	1					
환경요소	0.2932	-0.1441	1				
취약계층	-0.1872	0.6591	-0.5012	1			
사회여건	-0.1209	0.3926	-0.2289	0.4271	1		
보건체계	0.1024	-0.4511	0.4547	-0.6801	-0.4172	1	
순위	0.6291	0.7184	0.2541	0.3909	0.2433	-0.2182	1

대기오염/알레르기 기후변화 취약성은 다른 지표와 달리 강원도, 경상북도의 많은 지역에서 대기오염/알레르기 관련 취약성이 높게 나타났다. 취약성이 높은 지역은 강원도, 경상북도 이외에 서울과 부산, 대구, 인천, 대전 등의 대도시와 경기도 일부지역이며 취약성이 높은 시군구 수는 70개가 넘는다. 반면 상대적으로 덜 취약한 1그룹은 35개 지역이다. 충청남도, 전라남도, 전라북도, 경상남도는 다른 시도에 비하여 대기오염/알레르기에 덜 취약한 것으로 나타났다. 취약성을 5개 지역으로 구분할 경우 취약성이 상대적으로 낮은 1,2그룹과 높은 4,5그룹으로 크게 구분된다. 대기오염/알레르기 기후변화 취약성에 미치는 하부지표 중 1층 기상요소, 2층 질환 분포, 3층 환경요소는 양의 상관성을 보이며 4층 취약계층은 음의 관련성을 보였다(그림 5 참조). 6층 보건의료체계와 5층 사회여건은 각각 양과 음의 상관성을 보였으나 크기가 상대적으로 미약하다.

그림 5. 기후변화 취약성지표와 하부지표와의 관련성(대기오염/알레르기)



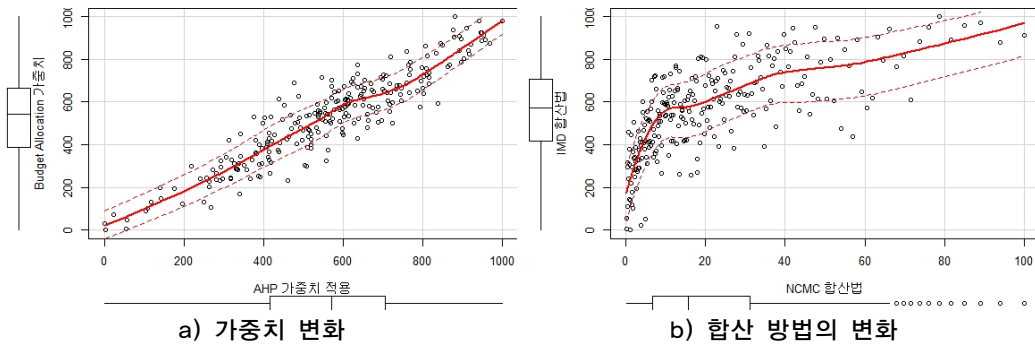
### 3. 다변량 분석

지표산출 과정의 단변량 분석결과, 건강영향별 복합지표를 이루는 하부지표는 전반적으로 해당 지표를 잘 설명하고 있었다. Cronbach 검정결과 4번째 계층인 사회연결은 하부 변수 간에 상당한 내적 일치도(reliability)를 보였는데 모든 지표의 Cronbach alpha 값이 0.8 이상이었다. 3번째 계층인 취약계층을 이루는 하부지표간의 요인분석과 주성분분석 결과, 매개체 감염병의 경우 저지대가구 비율을 제외한 나머지 변수가 하나의 요소로 구성됨을 알 수 있었고, 폭염의 경우 요인분석 및 주성분 분석 모두 노인/아동인구비율, 기초생활수급자, 장애인/외국인 비율, 야외활동근로자 비율이 한 그룹으로, 옥탑거주 가구비율, 최저기준미달가구 비율이 한 그룹으로, 심뇌혈관환자수가 한 그룹으로 분류됨을 알 수 있었다. 또한 첫 번째 요소는 4개의 하부지표로 구성되었음에도 전체 분산에 대한 설명력은 55-57% 정도였고, 두 번째 요소의 설명력은 22-23%, 세 번째 요소의 설명력은 21-22%로 나타났다.

#### 4. 민감도 분석

가중치를 측정하는 방법을 달리하여 기후변화 취약성 통합지표의 순위변화를 살펴보았다. 본 연구에서 적용한 가중치인 AHP 방법으로 산출한 기후변화 취약성 순위값과 Budget allocation 방법으로 산출한 취약성 지표와의 상관관계값은 0.904이다. 통합지표가 다섯 가지 건강영향을 취합한 순위값이어서 각 건강영향은 다시 6개의 하부지표로 이루어지고 각 하부지표는 최대 7개의 변수로 이루어지는 것을 감안하면 이 상관관계 계수 값은 아주 높은 것으로 판단된다. 두 가중치를 사용하여 생성된 기후변화 취약성 통합지표의 scatter plot은 <그림 6>과 같다. 가운데 굵은 실선은 평균 예측값이며 양쪽 점선은 95% 신뢰구간을 의미한다.

그림 6. 기후변화 취약성 통합지표 민감도 분석



가중치가 부여된 변수값을 합산하는 방법을 달리할 경우 기후변화 통합지표의 민감도는 좀 더 낮아진다. 두 지표 간의 상관계수값은 0.68로 계산되어 여전히 높은 상관성을 보이지만 가중치 값을 달리할 때보다 상관계수값이 작아졌다. 이는 동일한 가중치 값을 적용하더라도 합산방법에 따라 순위가 많이 달라질 수 있음을 보여준다. 본 연구에서 사용한 합산 방법은 여러 가지 변수의 적용으로 인한 보상성을 방지할 수 있는 방법이다.

## V. 고찰 및 결론

기후변화 건강 취약성을 평가하는 지역의 기후변화 취약성 평가는 지표에 의한 접근 정량적 방법과 전문가에 의한 정성적 평가 위주로 이루어진다. 본 연구는 시군구 단위의 기후변화 취약성 평가 모형에 근거하여 취약성 지표를 선정하고 실증자료를 구축하여 전국 시군구 행정단위 수준의 기후변화 건강 취약성 평가 지표를 산출하였다. 기후변화 건강 취약성 평가모형을 구축하기 위하여 IPCC가 제안한 취약성 평가 기본모형을 창의적으로 발전시키려 하였다. 다양한 문헌 조사를 근거로 취약성 모형의 타당도를 확보하고 건강영향별로 6개의 하부지표를 구성하였다. 본 연구에서 건강영역별로 기후변화 취약성 복합지표를 산출한 것은 각 건강영역이 독자적인 특성을 지니고 있을 뿐만 아니라 이에 관여하는 지표 또한 다르기 때문이다. 그러나 현실적인 필요성에 의해 네 가지 건강영향을 모두 합한 기후변화 건강분야 복합지표가 필요하게 되어 네 가지 건강영향을 모두 고려한 지표(이를 기후변화 통합지표로 함)도 산출하였다.

지표 산출 방법은 선정된 지표에 따라 시군구 행정단위 자료를 단순 가공하여 지표를 만드는 방법을 지양하고 복합지표 산정의 구체적인 방법에 따라 지표를 산출하였다. 이를 위하여 자료의 표준화, 가중치 계산, 산출된 지표의 합산 방법 등에 지표 개발 과정에 신중을 기하였다. 가중치의 산정에 있어서 통계적 방법과 전문가 설문조사 법을 동시에 사용하여 가중치의 신뢰도를 고려하고 민감도를 판단할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 사용한 개별 지표(변수)는 총 72개로 지표를 단순 통합(합산)할 경우 지표에 따라서는 특정지표의 영향이 다른 지표에 의해 상쇄되어 버릴 수 있는 개연성이 충분히 존재한다. 이런 경우 본 연구에서 사용하고자 한 지표의 특성을 온전히 보존할 수 없게 되는데 지표의 합산과정에 통합지표 산정에 있어서 나타나는 보상성을 보정할 수 있도록 하였다.

연구결과 건강영향별 기후변화 취약성은 다양한 요인에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발한 기후변화 취약성 평가도구는 위험요소별로 6개의 세부층으로 문제점을 분석하여 해당지자체가 처한 상황을 분석하고 문제점이 어디에 있는지, 이를 해결하기 위한 대책 수립 시 필요한 요소가 무엇인지 구체적인 진로를 제공해준다는 장점을 가진다. 본 연구에서 산출한 기후변화 취약성 자료를 활용하면 기후변화 취약성에 대응하는 적응대책을 수립하기 위해서 해당 지자체에서 어떤 적응대책을 우선적으로 수립하여야 하는지 확인할 수 있다. 예를 들어 폭염 취약성에서 다른 하부지표보다 기

상요소의 취약성이 높은 지자체의 경우 특정 기상 요소로 인한 건강영향을 최소화하기 위하여 기상요소에 대한 사전 예보제나 특보 발령 등의 적응대책이 필요할 것이다. 건강영향별로 취약성을 평가함으로써 기후변화 건강영향의 모든 분야에 자원을 배분하는 비효율적인 방식을 벗어나 지역적 상황에 근거한 특정 질환(또는 질환군)에 집중할 수 있도록 해준다. 이는 지역에 가장 심각한 영향을 미치는 분야를 중심으로 민감도를 낮추고 적응능력을 높이는 방향으로 자원의 배분과 사업의 우선순위가 결정될 수 있음을 의미한다.

본 연구에서 제안한 기후변화 취약성 평가 도구는 기후변화 위험요소별 취약성 평가에 활용 가능하다. 기존의 취약성 평가모형은 공간적으로는 지역사회에 기초하고 있으나 특정 건강영향별 지표가 아니라 지역사회 전체 기후변화 영향을 포괄하는 총괄지표의 성격을 지니고 있다. 이런 유(類)의 평가지표는 지역사회 전체의 기후변화 취약성 정도를 파악하는 데 기여할 수 있으나 특정 위험요소에 대한 적응정책의 우선순위를 결정하거나 취약성 평가결과를 바탕으로 한 정책적 제안 수립에 제한적일 수밖에 없다.

또한 본 연구에서 제안한 취약성 평가모형은 기후변화 건강영향에 관계하는 핵심지표(변수)를 중심으로 하는 층으로 구성되어 GIS를 이용한 지도 시각화에 도움을 준다. GIS를 활용한 취약성 평가는 기후변화 적응에 대한 이해당사자의 이해와 참여를 높일 수 있는 좋은 도구인 동시에 지역사회 주민 대상의 교육 수단으로, 의사소통의 방법으로 활용 가능할 것이다.

그러나 본 연구에서 산출한 기후변화 취약성 지표는 기후변화 취약성에 대한 절대적 기준이 아니라 우리나라 251개 시군구 단위의 특정 지표(변수)에 대한 상대적인 순위에 근거하고 있다. 따라서 기후변화 취약성이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다고 할지라도 우리나라 전체가 기후변화에 취약한 수준일 경우 해당 지자체도 취약성이 상존하는 것으로 보아야 한다. 상대적인 취약성은 분석대상의 순위를 결정하기에는 적합하지만 절대적인 측면에서 취약성을 담보하는 것은 아니다. 따라서 지역간 취약성 비교가 아닌 해당 지역의 기후변화 적응 이슈의 우선순위 파악을 목적으로 할 경우 정량적인 평가와 동시에 정성적인 평가가 병행될 필요가 있다. 또한 향후 절대적 기준에 대한 보완적 연구가 필요하다.

상대성을 가지는 지표는 하부지표의 영향력에서 한계를 보인다. 절대적 기준에서 취약성을 평가하는 것이 아니기 때문에 하부지표상에 큰 변화가 없으면 상대적인 순위로 만들어진 취약성 지표에서는 하부지표의 영향력이 잘 나타나지 않는다. 이런 점에서 결

과 해석상 주의가 필요하다.

기후변화는 돌이킬 수 없는 현실로 우리 앞에 와 있다. 기후변화의 불확실성과 사용 가능한 자원의 한계를 고려할 때 기후변화가 지역사회에 미칠 영향을 파악하고 이를 기초로 취약성을 평가하는 일은 효과적인 기후변화 적응 대책을 수립하는 데 필수적인 요소이다. 우리나라에서 기후변화 취약성을 평가하고 이를 기초로 적응정책을 수립하는 과정은 아직 시작 단계에 있다. 더구나 기후변화의 건강영향에 주목하여 이에 대한 취약성을 평가하는 작업은 이 분야에 대한 방법론이 개발되어 있지 않아 기후변화의 건강 영향을 종합적으로 이해하는 데 어려움이 있다. 이러한 점에서 본 연구는 새로운 방법론을 적용하여 기후변화 건강영향을 종합적으로 이해하는 도구를 개발하였다는 점에서 의의가 있다.

## 참고 문헌

- 강신욱 외. 2012. “사회통합지수 개발연구”. 「사회통합위원회」 pp. 1-149.
- 강정은, 이명진. 2012. “퍼지모형과 GIS를 활용한 기후변화 홍수취약성 평가-서울시 사례를 중심으로”. 「한국지리정보학회지」 15(3): 119-136.
- 고재경, 김희선. 2009. “경기도 기후변화 취약성 평가 연구”. 「경기개발연구원」 pp. 1-182.
- 김상용 외. 2008. “지방자치단체 보건사업 통합평가체계 연구”. 「한국보건산업진흥원」 pp. 1-551.
- 김선명, 김남의. 2012. “기후변화 취약성 평가에 관한 연구 - 전남 22개 시, 군을 중심으로 -”. 「한국거버넌스학회보」 19(2): 99-123.
- 김성재, 김성민, 김상민. 2013. “기후변화에 따른 농업생산기반 취약성 평가지표 개발방법 연구”. 「농업생명과학연구」 47(1): 205-213.
- 김운수, 최유진, 김정아. 2010. “서울시 기후변화 고도적응 방안 연구”. 「서울시정개발연구원」. p.1-221.
- 배덕효, 이문화. 2010. “기후변화에 따른 홍수취약성 평가와 사례분석”. 「국토」 244: 20-31.
- 변정연 외. 2012. “시공간 정보기반 산림 생태계의 기후변화 취약성 평가”. 「한국원격탐사학회지」 28(1):159-171.
- 손민우 외. 2011. “기후변화를 고려한 홍수취약성지표의 개발”. 「한국수자원학회논문집」 44(3): 231-248.
- 신호성, 이수형, 추장민. 2009. “표준사망비와 지역결핍지수의 상관관계: 지역사회 통합결핍지수 개발”. 「예방의학회지」 42(6): 392-402.
- 신호성 외. 2010. “사회보건분야 기후변화 취약성 평가 및 적응역량 강화”. 「한국보건사회연구원」 pp. 1-415.
- 유가영, 김인에. 2008. 「기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안」. 한국환경정책평가연구원pp.1-88.
- 이문환. 2011. 「기후변화에 따른 국내 홍수 취약성 평가」. 세종대학교 석사학위 논문. pp. 1-65.
- 이버들, 김봉태, 조용성. 2011. “국내 수산 부문의 지역별 기후변화 취약성 평가 연구”. 「수산경영론집」 42(1): 57-70.
- 임희진. 2013. 「도시홍수 피해규모에 영향을 미치는 요인」. 연세대학교 석사학위 논문. pp. 1-42
- 장남정, 안정이. 2009. “기후변화 적응대책 수립을 위한 전라북도 기후변화 취약성 연구”. 「전북발전연구원」 pp. 1-181.
- 정지웅. 2010. 「기후변화에 따른 수자원 취약성 평가모형 적용 연구」. 고려대학교 석사학위 논문. pp. 1-58.
- 조경두, 장훈. 2010. “인천지역 기후변화 실태분석 및 적응대책 도입을 위한 기초연구”. 「인천발전연구원」 pp. 1-190.
- 조혜진, 임지현. 2011. “도시도로 녹지의 도로 표면온도 저감 효과에 관한 연구”. 「한국조경학회지」 39(3): 107-116.
- 추장민, 공성용, 백승아. 2010. 「저소득계층의 기후변화 적응역량 강화를 위한 정책방안 연구(I)」. 한국환경정책평가연구원. pp. 1-165
- \_\_\_\_\_. 2011. “저소득계층의 기후변화 적응역량 강화를 위한 정책방안 연구(II)”. 한국환경정책평가연구원.

- pp. 1-180.
- 환경부. 2012a. 「지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도 - 물관리, 해양/수산(양식), 재해(기반시설) -」. 국립환경과학원. pp. 1-205.
- \_\_\_\_\_. 2012b. 「지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도 - 보건 -」. 국립환경과학원. pp. 1-144.
- \_\_\_\_\_. 2012c. 「지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 부문별 취약성 지도 - 산림 -」. 국립환경과학원. pp. 1-135.
- 환경부. 2007. 「기후변화 적응대책 마스터플랜 수립 추진」. 환경부 보도자료.  
<http://attfile.konetic.or.kr/konetic/xml/market/51A4A0720125.pdf>. [2013.12.01].
- 황혜선, 변병설. 2011. “기후변화 취약성 평가지표의 개발 - 서울시를 중심으로”. 『환경정책』 19(4): 93-119.
- Sniffer. 2009. *Differential Social Impacts of Climate Change in the UK*. Edinburgh: SNIFFER. Project UKCC22. pp. 1-32.
- EU Environment Agency. 2010. *Urban regions: vulnerabilities, vulnerability assessments by indicators and adaptation options for climate change impacts- scoping study*. ETC/ACC Technical Paper. pp. 1-208.
- Hardy, R. R. 2003. “Isolation of Ly-1+/CD5+ B cells by cell sorting”. *Curr Protoc Immunol*, pp. 3-5.
- IPCC. 2007. *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mikkonen, J. and D. Raphael. 2010. *Social determinants of health: The Canadian facts*. Toronto: York University School of Health Policy and Management. pp. 1-62.
- Moss, R. H., A. L. Brenkert and E. L. Malone. 2001. “Vulnerability to Climate change: A Quantitative Approach”. Prepared for the US Department of Energy.
- Murry C. J. and J. Frenk. *A WHO framework for health system performance assessment*. World Health Organization. <http://www.who.int/healthinfo/paper06.pdf> [2013.12.01].
- OECD, *European Commission, 2008. Handbook on Constructing Composite Indicators, Methodology and User Guide*. pp. 1-108.
- OECD. 2002. *Measuring up improving health system performance in OECD countries*. pp. 1-363.
- Office of the Deputy Prime Minister. 2004. *The English Indices of Deprivation 2004*. ODPM Publications. pp. 1-180.
- WHO. 2010. *A conceptual framework for action on the social determinants of health*, Social determinants of health. discussion paper2. World Health Organization, Geneva. pp. 1-76.



기후변화 건강 취약성 평가지표 개발

부록 1. 취약성 지표 산출을 위한 변수별 자료원

계층	하부지표	자료원	측정연도
기상 요소	기온	기상청 기상자료	2010
	강수량		
	강우강도지수		
	강우 80mm 이상인 날수		
	열대야 일수		
	1일 최고 기온		
	연간 최고기온		
	연간 강수량		
질환 분포	매개체 감염병 분포	건강보험공단, 청구자료	2010
	폭염으로 인한 질환분포		
	대기오염/알레르기 질환분포		
	홍수로 인한 이재민/사망자 분포	재해연보	2010
환경 영향	녹지면적	NASA, MODIS 자료	2010
	숙주분포(가축수 등)	통계청, 가축동향조사 자료	2010
	산림 내 경사도	국립환경과학원, CCGIS자료	2000s
	하천 개수율		
	대기오염물질농도		
	도로면적	지자체통계연보	2010
	재해피해액	재해연보	2010
취약 계층	지역(10m 이하 저지대가구비율)	국립환경과학원, CCGIS자료	2000s
	지역(상습수해지역)	국토해양부	2010
	지역(공업지역)	지자체통계연보	2010
	지역(반지하/지하 등)	통계청, 인구센서스 자료	2010
	지역(옥탑방 등)		
	활동제한자 비율		
	야외 작업근로자 비율		
	노인+아동 비율		
	장애인+외국인비율	지자체 통계연보	2010
	기초생활수급자 비율	보건복지부 기초생활보장과 자료	2010
	심뇌혈관질환자 비율	건강보험공단 청구자료	2010
사회 여건 /건 강발 현요 소	최저주거기준미달가구비율	통계청, 인구센서스 자료	2010
	재정자립도	통계청, KOSIS	2010
	학생 1인당 교육경비투자액	국정감사 보도자료	2010
	실업률	통계청, 인구센서스 자료	2010
	선거참여율	중앙선거관리위원회	2010
보건 의료 체계	일반회계 중 복지예산 비중	지자체통계연보	2010
	인구 천 명당 의료인력 및 지원인력	지자체통계연보	2010
	소득집단별의료이용률	지역사회건강조사	2010
	보건소직원 1인당 관할인구수	지자체통계연보	2010
	주민 1인당 보건의료예산	지자체통계연보	2010
	무더위 쉼터 수	행정안전부	2010
	지역 내 응급의료기관수	중앙응급의료센터	2010