

기초 및 광역지자체 기후변화 취약성 평가를 위한 웹기반 지원 도구(VESTAP) 개발

오관영^{1,2} · 이명진^{1*} · 한도은¹

Development of Web-Based Supporting Tool (VESTAP) for Climate Change Vulnerability Assessment in Lower and Municipal-Level Local Governments

Kwan-Young OH^{1,2} · Mounj-Jin LEE^{1*} · Do-Eun HAN¹

요 약

기후변화는 환경 분야에서 가장 주목받는 화두이며, 인류에게 직면한 가장 도적적인 과제이다. 이러한 문제를 해결하는 방법은 다양하지만, 우리나라의 경우 국가 차원의 1~2차 국가기후변화 적응대책을 수립하고, 각 광역 및 기초 지자체의 기후변화 적응 시행대책 수립을 의무화하고 있다. 기후변화 취약성 평가는 기후변화 적응 시행대책을 수립함에 있어 필수적인 역할을 담당한다. 그러나 취약성 평가는 다양한 영향인자의 복합적 연산을 통해 도출됨으로 개별적인 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 기초 및 광역 지자체 차원에서 활용 가능한 웹기반 기후변화 취약성 평가 지원도구(VESTAP)를 개발하였다. VESTAP은 크게 지표 DB와 취약성 평가 및 표출 도구로 구성되어 있다. 지표 DB는 RCP(Representative Concentration Pathways) 4.5와 8.5로 모의된 총 455개의 미래 기후자료, 대기 환경자료, 기타 인문사회통계 자료와 그에 따른 메타데이터 정보를 포함한다. 표출 도구는 각 취약성 평가의 결과에 대한 공간분포, 편향성, 도표화 등 다양한 분석 기능을 제공함으로써 편의성을 극대화 하였다. VESTAP를 활용하여 세종특별자치시에 대한 미세먼지에 의한 건강 취약성 평가를 시범적으로 수행하였으며, 부강면이 상대적으로 취약성이 가장 높은 수치를 나타냈다. 개발된 도구를 활용하여 각 지자체는 보다 쉽고, 편리하게, 그리고 과학적 증거에 기반한 기후변화 적응 시행대책을 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 기후변화, 취약성 평가, 웹기반, 적응능력, VESTAP

2015년 10월 26일 접수 Received on October 26, 2015 / 2015년 12월 11일 수정 Revised on December 11, 2015 / 2015년 12월 28일 심사완료 Accepted on December 28, 2015

1 한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터 Korea Adaptation Center for Climate Change, Korea Environment Institute

2 서울시립대학교 공간정보공학과 Dept. of Geoinformatics, The University of Seoul

* Corresponding Author E-mail : leemj@kei.re.kr

ABSTRACT

Climate change is the issue that attracts the most attention in the field of environment, as well as the most challenging task faced by the human race. There are various ways to resolve this issue. South Korea has established the primary and secondary national climate change adaptation plans at the national level, and is making it compulsory for each local government (lower and municipal-level) to establish climate change adaptation plans. Climate change vulnerability assessment plays an essential role in establishing climate change adaptation action plans. However, vulnerability assessment has a difficulty performing individual assessments since the results are produced through complex calculations of multiple impact factors. Accordingly, this study developed a web-based supporting tool(VESTAP) for climate change vulnerability assessment that can be used by lower and municipal-level local governments. The VESTAP consists of impact DB and vulnerability assessment and display tool. The index DB includes total 455 impacts of future climate data simulated with RCP (Representative Concentration Pathways) 4.5 and 8.5, atmospheric environment data, other humanities and social statistics, and metadata. The display tool has maximized convenience by providing various analytical functions such as spatial distribution, bias and schematization of each vulnerability assessment result. A pilot test of health vulnerability assessment by particulate matters in Sejong Metropolitan Autonomous City was performed using the VESTAP, and Bukang-myeon showed the highest vulnerability. By using the developed tool, each local government is expected to be able to establish climate change adaptation action plans more easily and conveniently based on scientific evidence.

KEYWORDS : *Climate Change, Vulnerability Assessment, Web-Based, Adaptation Capacity, VESTAP*

서론

기후변화는 최근 이슈화 되고 있는 가장 위협적인 환경요인 중 하나이다(Joh *et al.*, 2011). 2050년 한반도는 평균 기온 3.2° C 상승, 강수량 15.6% 증가, 해수면 27cm 상승과 더불어 폭염, 열대야 등의 고온현상, 일 강수량 80mm 이상 집중호우와 같은 극단적 이상기후가 3~6배 이상 급증 할 것으로 전망되고 있다. 전술된 기후변화는 개인의 건강, 산업계의 이윤 창출 등 인류사회 전반에 걸쳐 큰 피해와 영향을 미치는 것이다. 이러한 변화를 사전에 평가하고, 취약요인을 분석함으로써 적

응과 저감을 수행하기 위한 국가차원의 정책 마련, 이를 지원하기 위한 기술적 수단의 개발이 요구되고 있다.

한편, 국내에서는 기후변화로 인한 영향 및 피해를 최소화하기 위하여 저탄소 녹색성장 기본법 제48조 및 동법 시행령 38조에 기후변화 적응대책 수립을 위한 근거를 명시하고, 광역 및 기초 지자체의 기후변화 적응대책 세부 시행계획의 수립의 의무화하고 있다. 제1차 국가 기후변화 적응대책(2011년~2015년)이 성공적으로 수립되었으며, 제2차 적응대책(2016년~2020년)이 수립·이행되고 있다. 이러한 국가 차원의 적응대책을 바탕으로 제1차 광역단위 세부시행계획(2012년~2016년)이 시행중이며,

2017년부터 2차 계획(2017년~2021년)을 수립예정이다. 또한 기초지자체는 2015년부터 법정 의무 계획으로 기후변화 적응 세부 시행 계획을 수립하고 있다.

효과적인 기후변화 적응대책 세부시행계획의 수립을 위해서는 기후변화로 인하여 어떤 지역에 어떠한 영향과 피해가 있고, 취약한지 평가하는 것이 필요하다. 취약성 평가는 기후변화에 대한 기초 및 광역지자체의 적응역량을 표현하는 방법이며, 평가 결과의 분석을 통하여 해당 지자체의 적응역량 향상 전략을 수립할 수 있다(IPCC, 2007). 국내에서는 전술된 기후변화 취약성 평가를 위하여 정부차원의 평가 방법론 개발을 시작하였으며, (Rue and Kim, 2008; Han *et al.*, 2007) 환경부는 국가 차원의 취약성 평가 도구를 개발·보급하였다. 보급된 취약성 평가도구는 CCGIS(Climate Change adaptation program based on GIS) 및 LCCGIS(Local Climate Change adaptation program based on GIS)로 구분되며, CCGIS는 광역지자체의 시군구에 대하여, LCCGIS는 기초지자체의 읍면동에 대한 상대적 기후변화 취약성 평가결과를 제공한다(Kim *et al.*, 2012). 한편, 전술된 평가도구의 보급 및 활용 확대와 더불어, 관련 전문가들을 중심으로 해당 도구의 한계점 및 개선사항에 대한 논의가 진행되었다. 제시된 주요 의견은 첫째, 오프라인 형식의 개발에 따른 알고리즘의 오류 개선 및 DB 최신화의 어려움, 둘째, 기후노출 시나리오가 RCP 8.5만을 활용, 셋째, 평가단위가 기초지자체 또는 광역지자체로 분리되어 있어, 통합된 비교분석이 불가능, 넷째, 취약성 평가에 사용되는 지표의 누락 및 신뢰성의 부족, 다섯째, 인터페이스의 복잡성에 따른 기능구현의 어려움 등으로 구분된다(Kim and Lee, 2014; MEV and KEI, 2014).

이상의 배경에서 기존의 문제점을 개선한 평가도구의 개발에 대한 요구가 증가 되었으며, 이를 위하여 기초 및 광역지자체 단위의 취약성 평가를 웹기반의 동일한 시스템 내에서 통합적으로 수행할 수 있는 VESTAP(Vulnerability

Assessment Tool to build Climate Change Adaptation Plan)을 개발하였다. 개발된 도구는 취약성 지수를 3가지 지표들 즉 기후노출, 민감도, 적응능력으로 구분하고, 대리 변수의 표준화 및 가중치 부여를 통해 기후변화 취약성 평가를 수행한다. 각각의 대리 변수들은 우리나라 17개 광역지자체와, 251개 기초지자체의 시군구 및 읍면동별로 기후변화 취약성과 연관된 자료의 수집을 통해 산정되었다. 개발된 도구는 과거 기초자료 2000년대(2001년~2010년)를 비롯하여, 미래 기후변화와 관련된 IPCC 시나리오 RPC 4.5 및 8.5를 기반으로 2010년대(2011년~2020년), 2020년대(2021년~2030년), 2030년대(2031년~2040년), 2040년대(2041년~2050년)에 대한 시군구 및 읍면동 단위의 미래 기후자료, 대기환경자료, 기타 다양한 기후변화 적응과 관련된 자료들을 제공함으로써 각 부분별 전문가들의 취약성 평가 및 활용을 극대화 하도록 구성되었다. 또한, 정책 수립을 위한 지자체 공무원 등 주 사용자 특성을 고려하여 보다 직관적이고 편리한 인터페이스 개발에 주력하였으며, 구축 방법 및 사용된 원시자료를 명확히 명시하여 제공되는 정보의 신뢰성을 강화하였다.

본 연구에서는 VESTAP 개발을 위한 지표 DB의 구축, 취약성 평가 및 표출 도구 등 전반적인 개발내용을 소개하고자 한다. 또한, 개발된 도구를 통해 도출된 취약성 평가결과를 제시함으로써 도구 활용을 통한 평가 및 분석 결과 등을 제시하고자 한다.

기후변화 취약성 평가

1990년대 초반부터 기후변화에 대한 전 세계적인 관심이 증대됨에 따라 기후변화 영향 및 취약성 평가에 대한 다양한 연구들이 진행되었다. 기후변화 영향 및 취약성에 대한 개념은 국가·기관별로 약간의 상이함이 존재하나, 대체적으로 어떤 분야에서 기후변화에 의해 받는 지속적 피해에 대해 영향을 받기 쉬운 정도 또는 기후변화의 악영향에 대해 시스템(기초

및 광역 지자체 등 공간적 단위)이 대처할 수 없는 정도로 기후노출, 민감도, 적응능력 등을 통합한 개념으로 사용되고 있다. 여기서 기후노출이란 시스템에 영향을 미치는 기후자극을 의미하며, 민감도는 기후자극에 얼마나 민감하게 반응하는가를 의미한다. 또한, 적응능력이란 기후자극에 대한 시스템의 적응역량을 지칭한다. 즉, 기후변화 취약성평가는 기후변화에 대하여 시스템의 적응역량정도를 상대적인 수치로 나타낸 결과를 의미하며, 일반적으로 기후변화에 대한 영향이 크고, 적응능력이 작으면 취약성이 높은 것으로 판단한다(Kang and Lee, 2012).

기후변화 취약성은 IPCC(1997)에서 정의한 개념이 가장 일반적이다. IPCC(1997)은 취약성을 적응조치가 이행된 이후 기후변화에 대한 잔여영향으로 나타낸다. 즉, 여기서 기후변화 취약성은 온실가스 배출과 관련된 미래 기후변화 시나리오에 근거하여 생물·물리적 시스템 및 사회경제적 시스템이 이에 반응하는 정도와 적응능력에 따른 일련의 평가결과를 의미한다. 이와 같은 개념적 틀을 기초로 국내외 관련 연구들이 시도되었다. 국내의 경우, Yoo and Kim (2008)은 Moss *et al.*(2001)이 제안한 취약성 지수의 개념을 국내의 실정에 맞게 적용하여 취약성 평가의 결과를 도출하였다. 식 (1)은 Moss *et al.*(2001) 및 Yoo *et al.*(2010)이 사용한 취약성 평가 방법으로 기후노출, 민감도, 적응능력 지표 및 그에 대한 가중치의 함수로 표현한다.

$$Vulnerability = \alpha \times exposure + \beta \times sensitivity - \gamma \times adaptive capacity \quad (1)$$

(α, β, γ : weighting per variables)

이때, 각각의 지표들은 수집된 자료의 표준화 과정을 통해 계산된다. 표준화란 어떤 대응 변수를 무차원화 하는 것으로 단위가 다른 변수들 간의 연산을 위하여 필요한 과정이다. 자료의 표준화 방법은 z-스코어, 스케일 재조정, 범주 스케일 등의 방법이 있으며, 식 (2)는 UNDP

(2005)에서 제시한 표준화 방법을 표현한다.

$$\frac{Actual Value - Minimum Value}{Maximum Value - Minimum Value} \quad (2)$$

식 (2)를 통하여, 기후노출, 민감도, 적응능력 지표에 대한 항목이 모두 표준화 되면, 식 (1)에서 제시된 각 지표에 대한 가중연산에 따라 최종적인 취약성 평가결과를 도출한다. 비록, 취약성 평가의 개념 및 기본적인 방법론은 IPCC의 정의가 가장 일반적으로 활용되지만, 각 지표에 대한 가중치에 따라 최종적인 결과에 큰 차이를 나타낼 수 있다. 한편, MEV and NIER(2012)은 각 취약성 부문 및 항목에 대한 정의 및 취약성 평가를 위한 각 지표별 가중치에 대한 표준화된 연구결과를 제시하였다. 본 연구를 통해 개발된 VESTAP은 식 (1)의 취약성 평가방법, 식 (2)의 표준화 방법을 적용하였으며, 각 지표에 따라 부여되는 가중치는 MEV and NIER(2012)에서 제시한 결과를 기본적으로 활용하였지만, 각 지자체의 특성에 맞게 수정하였다.

VESTAP의 구성

웹기반 기후변화 취약성 평가도구(VESTAP)은 과거, 현재, 미래에 대한 정량화된 기후변화 취약성 평가결과를 제공함으로써 국내 광역 및 기초지자체의 기후변화 적응 대책 수립을 위한 과학적 근거를 제시하고, 사용자의 활용 편의성을 극대화하였다. VESTAP은 7개 분야 32개 항목(건강(9), 산림(7), 물관리(3), 생태계(3), 농업(5), 해양/수산(1), 재난/재해(4))에 대한 취약성 평가결과를 제공하고 있다(표 1). VESTAP의 시스템 구성은 크게 지표 DB와 결과 표출 도구로 구분할 수 있으며, 지표 DB는 455개의 평가지표와 메타데이터를 포함한다.

1. 지표 DB 구축

취약성 평가의 항목에 대한 지표 DB를 구성하기 위하여, 기후변화 영향 및 취약성 평가와

TABLE 1. Basic vulnerability assessment Item list provided by VESTAP

Division	Name of vulnerability assessment item	Division	Name of vulnerability assessment item
Health (9)	Health vulnerability by flood	Water control (3)	Vulnerability in water control
	Health vulnerability by typhoon		Vulnerability in irrigation
	Health vulnerability by heat wave		Vulnerability in water quality and aquatic ecology
	Health vulnerability by cold wave	Ecosystem (3)	Vulnerability of coniferous trees
	Health vulnerability by increase of ozone concentration		Vulnerability of insects
	Health vulnerability for fine dust		Vulnerability of national park
	Health vulnerability for other air contaminants	Agriculture (5)	Vulnerability of soil erosion in farmland
	Vulnerability for infections diseases by insects and rodents		Vulnerability of cultivation/breeding facilities
	Health vulnerability for waterborne diseases		Vulnerability of rice productivity
	Landslide by localized torrential downpours		Vulnerability of apple productivity
Vulnerability of forest road by landslide	Vulnerability of livestock productivity		
Forest (7)	Vulnerability by elements	Marine/ Fishery (1)	Vulnerability of fishery (aquaculture) due to water temperature change
	Vulnerability of pine trees due to disease and pest	Disaster/ Calamity (4)	Vulnerability of infrastructure due to flood
	Vulnerability of pine trees and pine mushrooms		Vulnerability of infrastructure due to heat wave
	Vulnerability of forest vegetation		Vulnerability of infrastructure due to cold wave
	Vulnerability of forest vegetation due to draught		Vulnerability of infrastructure due to sea level rise

관련된 보고서 237개와 106개의 논문을 수집·분석하였다(MEV and KEI, 2014). 지표 DB는 7개 분야 32개 항목에 대한 455개 기후/비기후 평가 지표와 사용된 원시 자료에 대한 메타데이터를 포함한다. 구축된 지표 DB는 크게 적용 시점 및 온실가스 감축 정도(RCP 4.5, 8.5 등)에 따라 변화하는 변수지표(기상기후 시나리오, 대기환경 시나리오)와 상수지표(인문, 사회 보건 등 통계자료)로 구분될 수 있다. 변수지표의 경우, 과거기초 및 RPC 4.5/8.5 기반의 미래예측자료 2010년대(2011년~2020년), 2020년대(2021년~2030년), 2030년대(2031년~2040년), 2040년대(2041년~2050년)를 포함한다(Back *et al.*, 2011). 총 455개의 지표는 기후노출, 민감도, 적응능력으로 그룹화 하여 지표 DB로 구성하였다. 기후노출에는 강수량, 평균기온, 토양수분 등 기후변화자료를 포함하며, 민감도 부문에는 육체적/정신적 건강, 연령, 인구, 분야별 생산성 등을, 적응 능력에는 위험 분산 능력, 투자 여건, 인적 자원, 환경 역량, 시스템의 적응 의지 등을 포괄한다.

또한, 455개 지표와 원시자료간의 관계를 정의하는 메타데이터를 구축하였으며, 이는 원시자료의 자료형태, 범위, 구축기관, 자료위치, 좌표계 정보 등을 포함한다.

각 지표에 대한 가중치는 MEV and NIER (2012)에서 제시한 결과를 반영하여 VESTAP에서 부여하였다. 또한 가중치는 지자체의 고유 특성화 현황에 따라서 달라 질 수 있으며, VESTAP의 기능으로 각 지자체의 특성에 맞도록 가중치를 조정·수정 할 수 있도록 구성하였다. 즉, 사용자의 판단과 연구의 결과를 반영하여 가중치 변경이 가능하도록 설계(MEV and KEI, 2014)되고 구현되었다.

2. 취약성 평가 및 표출 도구

VESTAP의 취약성 평가 및 표출 도구는 기본 사용자를 위한 편의성 강화, 전문 사용자를 위한 편집 및 분석 기능의 강화를 주된 목적으로 설계되었다. VESTAP의 표출 기능은 크게 취약성평가 조회, 지자체별 인벤토리, 시나리오



FIGURE 1. VESTAP assessment tool

DB 조회, DB 조회로 구분된다. 취약성 평가 조회의 경우, 기본 사용자를 위한 편의성 강화에 중점을 두었으며, 최소 4개의 기능 실행(① 분야선택, ② 취약성 평가항목 선택, ③ 시나리오 선택, ④ 결과창 팝업)으로 기초 및 광역지자체의 평가결과가 도출되도록 구성되었다. 또한, 기초 및 광역지자체 평가결과와 연동 기능을 통하여, 광역지자체 평가에 대한 단위구역을 클릭하면, 기초지자체 단위 평가결과 또한 확인 가능하다. 지자체별 인벤토리는 기초 및 광역지자체 사용자가 취약성 평가항목을 만들고, 지표자료를 입력 및 관리할 수 있는 고급 기능을 제공한다. 해당 기능을 이용하여 사용자가 수식을 직접 입력하거나, 평가 항목 및 평가 지표에 대한 정의를 수행할 수 있다. 또한, 진술된 사용자 정의 기능을 활용하여, 새로운 항목을 추가하거나, 삭제가 가능하고, 평가 지표의 변경 및 각 지표 간 가중치의 재정의도 가능하다. 시나리오 DB 조회는 기상청 제공 RCP 4.5 및 8.5에 기반한 최고기온, 최저기온, 평균기온 및 강수량 데이터에 대한 시계열 조회 기능을 제공한다. 마지막으로 DB 조회는 VESTAP에서 기본 제공하는 455개 지표에 대한 조건별 조회 및 원시자료 정보를 제공한다(그림 1).

세종특별자치시 VESTAP 적용 사례

VESTAP은 기초 및 광역지자체의 기후변화 취약성 평가결과를 제공하고 있다. 광역지자체의 경우, 시군구 단위의 결과를 제공하며, 기초지자체의 경우, 읍면동 단위의 결과를 제공한다. VESTAP은 서로 다른 크기의 공간단위에 대한 연동기능 또한 지원하고 있다. 즉, 시군구 단위의 평가결과를 클릭 하면, 읍면동 단위의 세부적인 평가결과까지 연동하여 표출하는 특징을 지니고 있다.

본 연구에서는 VESTAP를 활용한 취약성 평가 사례를 제시하기 위하여, 지역적으로 세종특별자치시를, 평가의 단위로 기초지자체 단위(읍면동)를, 평가에 적용된 미래 기후 및 대기질 자료는 RCP 8.5 기반 2020년대를 평가의 기준으로 선정하였다. 이때, RCP 8.5는 온실가스에 대한 저감없이 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우의 미래 기후변화 취약정도를 의미한다.

미세먼지에 의한 건강 취약성 항목은 기후노출 부문 3개 지표, 기후변화 민감도 부문 6개 지표, 적응능력 부문 총 6개 지표를 사용한다. 기후노출의 경우, 일 최고기온의 연간 평균값($^{\circ}\text{C}$), 시간미세먼지농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 날의 횟수(회), 연평균 미세먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 지표로 사용하며, 해당 기후노출 지표의 현

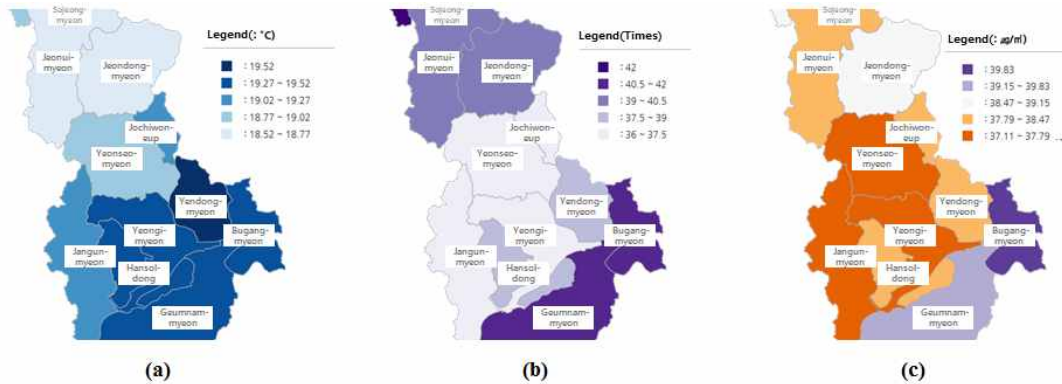


FIGURE 2. Climatic exposure impacts in Sejong metropolitan autonomous city, (a) annual average of daily maximum temperature, (b) number of times that fine dust concentration is 100ug/m³ or more days, (c) annual average concentration of fine dust

황은 그림 2와 같다. 세종특별자치시의 경우, 일 최고기온의 연간 평균값은 세종특별자치시의 중·남부권이 상대적으로 높으며 특히 연동면의 수치가 가장 높게 나타났다. 시간미세먼지 농도가 100ug/m³ 이상인 날의 횟수는 남부와 북부권이 상대적으로 많으며 특히, 부강면 및 금남면이 높은 수치를 나타냈다. 연평균 미세먼지 농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 남부권이 높은 것을 알 수 있으며, 특히 부강면에서 가장 높은 결과를 나타냈다.

민감도의 경우, 14세이하 인구 (명), 65세이

상 인구 (명), 기초 생활수급자 비율 (%), 독거노인(65세이상) 비율 (%), 심혈관질환 사망자 수 (명), 호흡기 질환 입원 환자 수 (명)를 지표로 사용하며, 주요 민감도 지표의 현황은 그림 3과 같다. 14세 이하 인구는 조치원읍과 한솔동에서 많은 수를 나타냈으며, 이는 호흡기 질환 입원 환자 수와도 유사한 경향을 나타냈다. 65세 이상 독거노인은 연기면에서 가장 높은 수치를 보인 반면, 조치원읍과 한솔동에서는 가장 낮은 수치를 나타냈다. 즉, 상대적으로 활발한 지역개발이 이뤄지고 있는 조치원읍과 한

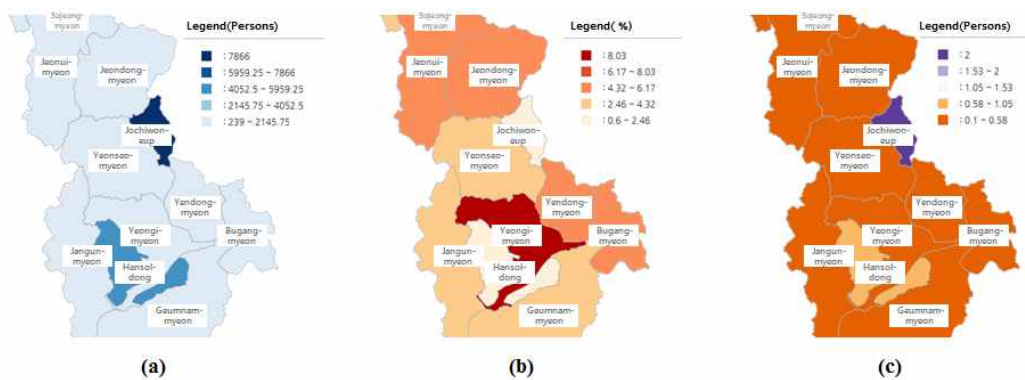


FIGURE 3. Sensitivity impacts in Sejong metropolitan autonomous city, (a) population under 14 years old, (b) elderly people living alone (aged 65 and over) rate, (c) number of patients hospitalized respiratory disease

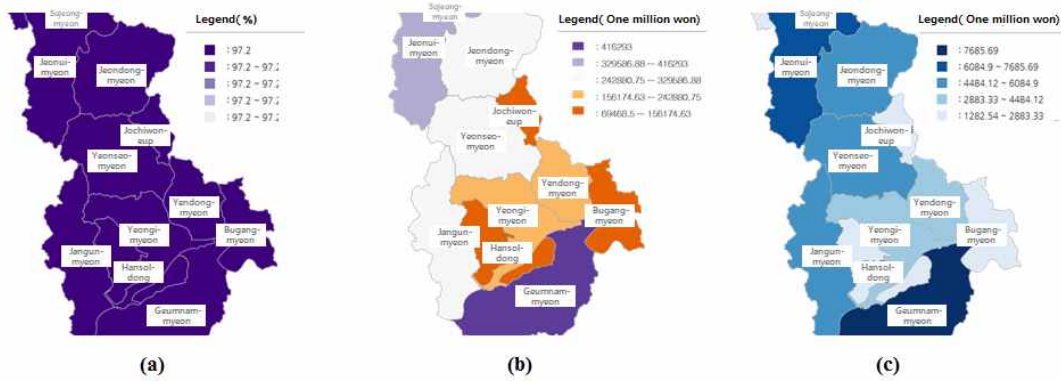


FIGURE 4. Adaptive capacity impacts in Sejong metropolitan autonomous city, (a) health insurance coverage population ratio, (b) regional GDP, (c) GRDP healthcare services and social services

솔동에는 상대적으로 젊은층의 인구가 분포하지만, 전통적인 농경지역인 연기면, 연동면 등의 지역에는 노년층의 인구비율이 높게 나타났다.

적응능력의 경우, GRDP 보건업 및 사회복지 서비스업(백만원), 건강보험적용 인구비율(%), 인구당 보건소 인력(명/만명), 인구당 응급의료 기관수(개/십만명), 재정 자립도(%), 지역 내 총생산(GRDP)(백만원)를 지표로 사용하며, 주요 적응능력 지표의 현황은 그림 4와 같다. 건강보험적용 인구비율의 경우, 세종특별자치시 전 지역에서 동일한 비율을 나타냈으며, 이는 대상지역의 모든 인구가 동일한 보험혜택을 받을 수 있다는 것을 의미한다. 지역 내 총생산은 금남면과 전의면이 상대적으로 높으며,

조치원읍, 부강면, 한솔동의 보건업 및 사회복지 서비스업 비율이 낮은 것으로 나타났다. 하지만, 현 데이터는 2011년 지역내총생산량 통계를 기반으로 도출된 것으로 2016년 현재에는 다수의 부처 등 기관이전과 더불어 다소 변화가 있었을 것으로 판단된다.

VESTAP은 이상의 기후노출, 민감도, 적응능력에 대한 지표에 대한 가중연산을 통하여, 읍면동 단위의 취약지역 순위와 정규화된 수치의 취약성 평가결과를 도출한다(표 2). 종합적인 평가결과, 미세먼지에 의한 건강 취약성은 부강면이 상대적으로 가장 높은 수치를 나타냈다. 이와 같은 분석결과는 지역별 지도화, 막대 그래프를 통해 제공되며, 방사형 그래프를 통해

TABLE 2. Assessment result of climate change vulnerability in Sejong city

Ranking	Location	Vulnerability index	Exposure	Sensitivity	Adaptive capacity
1	Bugang-myeon	0.48	0.45	0.06	0.03
2	Geumnam-myeon	0.39	0.41	0.06	0.08
3	Sojeong-myeon	0.39	0.37	0.03	0.01
4	Jochiwon-eup	0.34	0.14	0.20	0.00
5	Hansol-dong	0.28	0.22	0.07	0.01
6	Dong-myeon	0.25	0.23	0.05	0.03
7	Jeondong-myeon	0.24	0.25	0.05	0.06
8	Jeonui-myeon	0.23	0.22	0.08	0.07
9	Yeongi-myeon	0.16	0.14	0.08	0.06
10	Jangun-myeon	0.11	0.12	0.05	0.06
11	Yeonseo-myeon	0.03	0.03	0.06	0.06

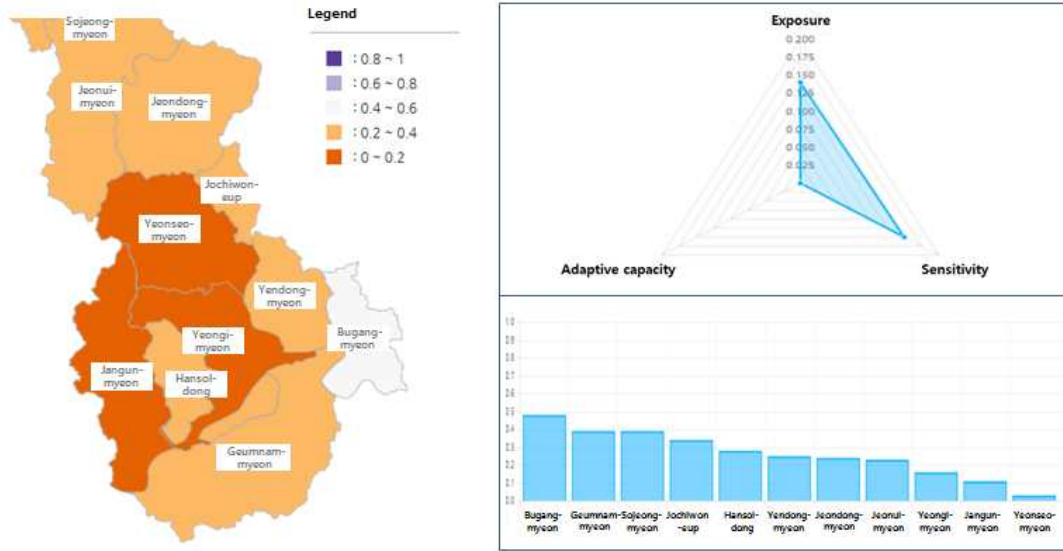


FIGURE 5. Results of VESTAP by using visualizing tool

기후노출, 민감도, 적응능력에 대한 편이 또한 확인할 수 있다(그림 5). 이때 도출된 취약성 평가결과는 세종특별자치시 내 평가단위에 대한 상대적인 연산결과 값으로 절대적인 수치가 아니다. 즉, 다른 지역의 취약성 평가결과와의 단순 수치비교를 통한 해석을 수행 할 수 없다.

전술된 바와 같이, 이상의 결과는 VESTAP 기본 지표 DB를 기반으로 분석된 결과이므로 수집된 사회통계 등의 데이터의 신뢰도에 따라 실제 정확한 취약성 평가결과와는 차이가 있을 수 있다. 따라서 보다 정확한 평가결과를 산출하기 위해서는 각 항목별 또는 지역별로 수집된 비기후 지표 DB의 신뢰도를 향상시키고, 지역 특성에 밀착된 가중치 부여 등 발생 가능한 오차를 최소화 할 수 있는 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

결론 및 토의

기후변화에 따른 영향 및 취약성을 평가하고, 그에 따른 올바른 대책 수립은 미래사회 적응을 위한 필수 과제라고 할 수 있다. 보다 신뢰

성 높고, 현실적인 대책 수립을 위해서는 다양한 변화요인을 복합적으로 고려한 평가 및 분석 시스템이 필수적이다. 또한, 분석된 결과를 바탕으로 세부 지역의 다양한 특성이 고려된 맞춤형 대책을 수립하고, 시행하는 노력이 필요하다. 본 연구를 통해 개발된 웹기반 취약성 평가 도구(VESTAP)는 전술된 요구사항을 지원하는 과학적이고, 신뢰성 있는 도구라 할 수 있다.


VESTAP은 기초 및 광역지자체에 대한 기후변화 취약성 평가를 복합적으로 지원한다. VESTAP 지표 DB는 기후/비기후 지표로 구분되며, 2000년대 과거기초자료(2001년~2010년) RCP 4.5 및 8.5 기반의 2010년대(2011~2020년), 2020년대(2021년~2030년), 2030년대(2031년~2040년), 2040년대(2041년~2050년)의 시군구 및 읍면동 자료를 구축하였다. VESTAP은 웹 기반으로 개발되어 사용의 편리성이 강화된 인터페이스를 기반으로 사용자의 활용도를 극대화하였다. 모든 평가결과는 GIS 기반의 결과 표출을 비롯하여, 도표, 방사형 그래프 등 다양한 시각화 기능을 통해 제공된다. 따라서 기후변화 적응대책의 수립을

위한 공무원 및 전문가들이 현 VESTAP을 활용하여 보다 편리하고, 질 높은 연구분석을 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 현재 및 차기 광역 및 기초 지자체의 기후변화 적응 세부시행계획 수립에 보다 쉽고 편리한 기후변화 취약성 평가를 수행할 수 있다. 또한 취약성 평가 결과를 바탕으로 과학적 근거 기반의 세부시행계획을 수립할 수 있다.

VESTAP를 활용한 취약성 평가 사례를 제시하기 위하여 세종특별자치시에 대한 미세먼지에 의한 건강 취약성 평가를 수행하였다. 평가에 적용된 미래 기후 및 대기질 자료는 RCP 8.5 기반 2020년대를 평가의 기준으로 선정하였다. 최종적인 평가결과, 부강면이 상대적으로 가장 높은 수치를 나타냈다.

한편, VESTAP에서 제시하는 취약성 평가결과를 바탕으로 특정 지자체의 시군구 또는 읍면동이 특정 기후변화 항목에 더 취약하다고 분석하기는 어려움이 있다. VESTAP의 주요 개발 목적은 기초 및 광역지자체의 기후변화 적응대책 수립을 위한 기본 참조자료 제공에 있다. 즉, 평가의 결과는 평가에 활용되는 지표의 신뢰성 또는 평가 지역에 대한 지역적 특성의 반영 여부에 따라 달라질 수 있다. 따라서 보다 정확한 취약성 평가를 위해서는 기본적으로 제공하는 지표에 반영되지 않은 정보의 최신화 또는 지역적 특성을 반영한 가중치 설정 등 보다 전문적인 세부 조정이 필요하다. 또한 본 VESTAP에 활용되는 데이터를 지속적으로 갱신하여 보다 신뢰도 높은 결과를 유지할 수 있을 것이다. 이를 위하여 국가 차원의 지속적인 관리와 데이터 갱신이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국환경정책·평가연구원이 수행하는 “2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구사업(NRF-2014R1A1A1002704)”입니다. 

REFERENCES

- Back, G.H., M.J. Lee and B.J. Kang. 2011. Development of spatial statistical downscaling method for KMA-RCM by using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(3):136-149 (백경혜, 이명진, 강병진. 2011. GIS를 활용한 KMA-RCM의 규모 상세화 기법 개발 및 검증. *한국지리정보학회지* 14(3):136-149).
- Han, H.J., S.Y. Ann, Y.J. Cho, G.J. Han, J.T. Lee, H.D. Kim, Y.H. Son, Y.H. Park, G.Y. Cho, J.H. Yoon, Y.A. Lee and S.M. Kim. 2007. Climate change impact assessment and development of adaptation strategies in Korea. Korea Environment Institute Research Report. p.432 (한화진, 안소은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만. 2007. 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축Ⅲ. *한국환경정책·평가연구원 연구보고서*. 432쪽).
- IPCC. 1997. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- Joh, H.G., S.B. Kim, H. Jung, H.J. Sin and S.J. Kim. 2011. Projection of future snowfall by using climate change scenarios. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 14(3):188-202 (조형경, 김셋별, 정혁, 신형진, 김성준. 2011. 기후변화 시나리오를 이용한 미래의 강설량 예측. *한국지리정보학회지* 14(3):188-202).

- Kang, J.Y. and M.J. Lee. 2012. Assessment of flood vulnerability to climate change using fuzzy model and GIS in Seoul. *Korean Journal of Environment and Ecology* 15(3):119-136 (강정은, 이명진. 2012. 퍼지모형과 GIS 를 활용한 기후변화 홍수취약성 평가-서울시 사례를 중심으로. *한국지리정보학회지* 15(3):119-136).
- Kim, C.H., C.G. Song, Y.D. Hong, J.A. Ryu, S.H. Ryu and G.Y. Lim. 2012. Development and application of CCGIS for the estimation of vulnerability index over Korea. *The Korean Society of Climate Change Research* 3(1):13-24 (김철희, 송창근, 홍유덕, 유정아, 류성현, 임광영. 2012. 한반도 기후변화 취약성 지수 산정을 위한 CCGIS 의 개발 및 활용. *한국기후변화학회지* 3(1):13-24).
- Kim, Y.S and S.H. Lee. 2014. Improvement of vulnerability assessment to climate change using LCCGIS. *The Korean Society of Climate Change Research* 5(2):165-178(김영수, 이승훈. 2014. LCCGIS를 활용한 취약성 평가방법의 개선. *한국기후변화학회지* 5(2):165-178).
- Ministry of Environment, Korea Environmental Institute. 2014. Establishment of climate change adaptation information utilization system (환경부, 한국환경정책·평가연구원. 2014. 기후변화 적응 정보 공동 활용체계 구축).
- Ministry of Environment, National Institute of Environmental Research. 2012. Climate change vulnerability maps for local climate change adaptation planning (환경부, 국립과학원. 2012. 지자체 기후변화 적응 세부시행계획 수립 지원을 위한 기후변화 취약성 지도).
- Moss, R.H., A.L. Brenkert, and E.L. Malone. 2001. Vulnerability to climate change : a quantitative approach. Pacific Northwest National Laboratory operated by Batelle for the United States Department of Energy.
- UNDP. 2005. Adaptation Policy Framework for Climate Change Developing Strategies, Policy and Measure. Cambridge University Press.
- Yoo, G.Y. and I.H. Kim. 2008. Development and application of a climate change vulnerability index. *Korea Environment Institute Research Report*. p.97 (유가영, 김인애. 2008. 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안. *한국환경정책·평가연구원 연구보고서*. 97 쪽).
- Yoo, G.Y., S.W. Park, D.K. Chung, H.J. Kang, and J.H. Hwang. 2010. Development and application of a methodology for climate change vulnerability assessment-sea level rise impact on a coastal city. *Environmental Policy Research* 9(2):185-205. **KAGIS**