

# 공간분석을 활용한 기후변화 취약성 평가



명수정 |

한국환경정책·평가연구원 국가기후변화적응센터  
부연구위원  
sjmyeong@kei.re.kr

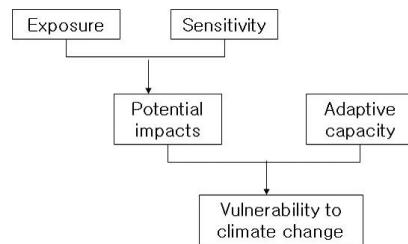


그림 1. 기후변화 취약성 개념도

## 1. 기후변화 취약성 평가와 연구 동향

### 1.1 기후변화 취약성 평가

취약성이란 어떤 시스템이 교란이나 외적영향에 대해 얼마나 쉽게 영향을 받느냐 하는 것으로 그 시스템이 그러한 영향에 대해 얼마나 잘 대처하고 빨리 회복하느냐에 따라 취약성의 정도는 달라진다. 기후변화에 대한 취약성 평가는 연구자에 따라 다소간의 차이는 있으나 특정 시스템의 기후변화에 대한 노출과, 민감도, 그리고 적응역량에 대한 함수로 표현하는 것이 일반적이다. 기후변화 취약성 평가의 개념은 IPCC 제2차 평가보고서(1995)에서 본격적으로 도입되었으며, 이후 IPCC의 제3차 평가 보고서에서는 CCIAV(Climate Change Impacts, Adaptation, and Vulnerability)평가 개념이 도입되었다. 제4차 평가보고서에서는 그 범위가 확대되어 CCIAV 평가의 내용에 생물·물리적 영향평가 중심에서 사회·경제적 취약성 평가까지 확대되었다. 취약성평가의 기본 틀로 주로 활용되는

IPCC(2001)의 취약성평가 틀은 기후변화 취약성을 기후노출과 시스템의 민감도를 포함하는 잠재영향 및 적응역량의 함수로 표현하는데, 노출이란 시스템에 충격을 가하는 자극이나 영향을 의미하며, 민감도는 기후영향에 시스템이 얼마나 민감하게 반응하는가를 의미한다(그림 1).

$$\begin{aligned} \text{기후변화 취약성} &= f(\text{민감도}, \text{노출}, \text{적응역량}) \\ &= \text{잠재적 영향} - \text{적응역량} \end{aligned}$$

즉, 기후변화 취약성이란 어떤 시스템의 기후변화에 대한 잠재적 위험과 적응역량의 함수라고 할 수 있다.

### 1.2 기후변화 취약성 평가 연구동향

기후변화 적응의 중요성에 대한 인식이 높아지면서, 기후변화 영향 및 취약성 평가가 점차 여러 지역을 대상으로 수행되고 있다. 기후변화 취약성은

한 사회가 기후변화에 생물·물리적으로 반응하는 민감도 뿐 아니라 정치, 경제, 사회 등 여러 측면을 포함하고 있기 때문에 관련 정보를 종합하여 정리하는 데에 용이한 관련 지표 연구가 활발히 진행되어 왔다(Moss et al., 2001; Wehbe et al., 2005).

Germanwatch는 기후변화 위험 인덱스(CRI: Climate Risk Index)를 제공하고 있는데, 이는 보험사 Munich Re의 자료를 기초로 기후변화로 인해 발생한 태풍과 홍수, 가뭄과 같은 자연재해로 인한 인명 및 재산피해 등을 종합적으로 평가하는 것이다. 각국의 CRI 점수는 여러 세부지표의 평균치에서 산출되는데, 경제와 인구 데이터와 같은 사회경제적 변수가 포함된다. Moss 등(2001)은 전 세계를 대상으로 국가별 기후변화 취약성을 비교 분석하기 위해 취약성을 생물·물리적 민감도와 사회·경제적 적응역량의 함수로 정의하고 취약성-탄력성 지표 원형모형(VRIP)을 평가 방법으로 사용하였다. Moss 등이 사용한 모형은 민감도와 적응능력 부문으로 구성되어 있는데, 민감도는 인간정주·기반시설, 식량안보, 보건, 생태계, 수자원을 포함하며, 적응능력은 경제적 능력, 인적자원, 환경역량을 포함한다. 각각의 요소는 1~3개의 대리변수로 표현되며, 표준화 작업을 거치고 몬테카를로 분석과 연계하여 미래의 취약성 지표를 계산하였다. Brooks 등(2005)은 국가 수준의 취약성을 이루는 여러 변수를 종합하여 사용하였다. Brooks 등은 문헌조사와 전문가 의견을 따라 취약성에 대한 대리변수로 경제, 보건과 영양, 교육, 인프라, 거버넌스, 지리·인구학적 요인, 농업, 생태 및 기술분야의 46개 변수를 도출하였다. 이 중 특히 중요한 변수를 찾기 위해 잠재적 대리변수와 기후위험에 따른 초과사망률 자료 간의 상관성을 분석하여 10개의 주요 평가 지표를 선정하였다. 한편 전문가 의견 취합을 위해 포커스 그룹 분석을 실시하였고, 이를 통해 지표에 가중치를 두어 국가 기후변화 취약성 순위를 분석하였다.

유가영과 김인애(2008)는 우리나라의 지역별 취

약성을 평가하기 위한 지표 개발과 그 활용 방향을 제시하고자 IPCC(2001)의 기후변화 취약성의 개념들을 우리나라 현황에 맞도록 조정하여 연구를 수행한 바 있다. 그들은 기후에 대한 노출, 시스템의 민감 정도, 그리고 시스템이 대응할 수 있는 적응역량으로 구성되는데, 해당되는 세부요소별 33개의 대리변수를 선정하고 수집, 표준화 과정을 거쳐 우리나라 시도별 취약성-탄력성 지표(VRI)를 계산하였다. 최근 지자체 수준에서도 기후변화 취약성 평가가 활발히 진행되고 있는데, 고재경 등(2009)은 경기도 지역을 대상으로 기초지자체에 활용 가능한 취약성 평가 지표를 도출하여 지역간 상대적 취약성을 비교하여 취약지역을 파악하는 데 목적을 두고 경기도 내 지역간 상대적 기후변화 취약성을 평가하였다. 이 연구는 홍수, 가뭄, 해수면 상승, 폭염 등 기후변화 영향을 발생시키는 기후자극을 중심으로 지자체의 민감도와 적응역량을 종합적으로 평가하여 그 결과를 바탕으로 취약성 유형과 특성에 따른 기후변화 적응방안 등을 제시하였다.

취약성 평가에 있어 최근 동향은 지표 중심의 평가 뿐 아니라 취약성을 공간적으로 분석하는 것이다. Cutter 등(2003)은 미국 전역을 대상으로 GIS를 활용하여 환경적 위험에 대한 취약성을 평가하였다. Cutter 등이 제시한 Social Vulnerability Index(SoVI)는 지역 단위의 사회·경제 및 인구통계 자료를 기반으로 환경적 위험에 대한 사회적 취약성을 나타내는 것으로, 이 연구의 SoVI는 42개 변수의 요인분석을 통해 11개의 독립적 요소로 축소시켜 사용하였고, 그 결과 미국 전역에 대한 취약성 지도를 도출하였다. Cutter 등(2008)은 지역사회의 재해로부터 회복역량을 파악하기 위한 DROP(the Disaster Resilience of Place) 모델을 제시하기도 하였다. Yusuf & Francisco(2009)는 서남아시아 지역 일부 국가를 대상으로 기후변화 취약성을 공간적으로 나타내어 기후변화 적응을 위한 국제협력과 원조 등이 어느 지역을 중심으로 이루어져야 하는지를 보여준 바 있는데, 이처럼 취

약성 평가는 지표를 바탕으로 GIS를 이용한 공간분석적 요소가 포함되어 그 결과를 지도로 나타내는 추세이다.

## 2. 기반시설에 대한 기후변화 취약성 평가 사례

기후변화 취약성은 여러 부문에 적용될 수 있는데, 여기서는 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가 사례를 소개한다. 사회기반시설은 기후변화로 인해 피해를 받기도 하지만 기후변화에 대한 적응 도구로 활용될 수도 있기 때문에 기후변화 대응에 있어 그 중요성이 높다. 기후변화가 기반시설에 미치는 영향은 대부분 자연재해와 같은 극한 기상재해의 발생으로 초래되며, 특히, 도로 및 철도와 같은 사회기반시설과 주거시설과 같은 인간 정주지에 서의 피해가 크다. 따라서 여기서 소개하는 평가 사

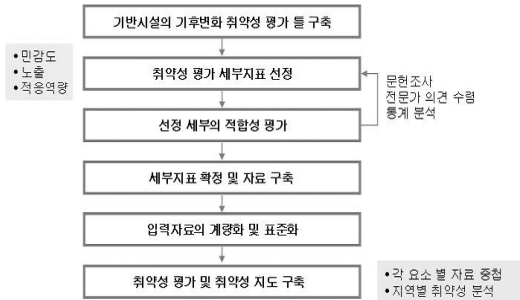


그림 2. 기반시설의 기후변화 취약성 평가 분석 흐름도

례는 정주지를 중심으로 기반시설의 기후변화 취약성 평가를 하는데 있어 입력 자료를 공간적으로 구축 및 분석하여 최종 취약성 평가 결과를 지도로 구축하였다. 전체적인 분석 과정은 그림 2와 같다.

### 2.1 지표 선정과 입력자료 구축

기반시설의 기후변화에 대한 취약성 평가에 필요

표 1. 부문별 지표

부 문	상위 단계	하위 단계	세부 지표
민감도	재해취약성	재해이력	- 기반시설 재해이력 - 재해발생건수 - 인명피해
		홍수 취약성	- 홍수취약지 - 상습침수피해 - 수해취약지
	자연·사회적 요소	자연적 특성	- 해안선 - 하천 - 해발고도
노출	기반시설	토지이용적 특성	- 하천부지점용 - 시가화 면적
		사회적 취약성	- 노후주택 - 인구밀도 - 노령인구 - 취약계층 아동
		교통시설	- 도로 - 철도 - 공항 - 항만
		에너지시설	- 발전소
		하천시설	- 제방
		시설환경	- 주거시설 - 교육시설 - 환경기초시설 - 국립공원 - 산업단지
	기후	홍수	- 호우경보수준의 강우횟수 - 100년 빈도 홍수량 - 강우강도
적응역량	경제적·제도적 역량	태풍	- 태풍 발생빈도
		경제적 능력	- GRDP - 재정자주도
	물리적 역량	제도적 역량	- 공무원 - 재해관리 역량
		녹지 보급률	- 녹지 보급률
		하천개수율	- 하천개수율
		도로망보급률	- 도로망보급률
		상하수도	- 상수도보급률 - 하수도보급률 - (우수)배수로
의료시설	- 의료시설		
인터넷 보급률	- 인터넷 보급률		

한 입력자료를 구축하기 위해 먼저 문헌조사와 전문가 의견수렴 및 통계분석 과정을 거쳐 기반시설 및 기후변화와 관련된 부문별 세부 지표를 선정하였다. 표 1은 최종 선정된 취약성 평가의 부문별 지표이다. 본 사례는 대상 기후사상을 우리나라 기반시설에 가장 많은 피해를 입혀 왔으며, 앞으로도 많은 피해를 입힐 것으로 예상되는 홍수와 태풍을 중심으로 분석하였기 때문에 홍수 및 태풍 관련 지표가 많이 포함되어 있다.

그러나 개별 입력 지표는 그 단위나 범위가 서로 달라 통합된 분석이 불가능하므로 평가 지표들 간의 연산을 가능하게 하기 위하여 자료의 표준화 과정이 필요하다. 본 사례는 데이터 표준화 방법으로 자연적 구분법(Natural Breaks)을 적용하였다. 자연적 구분법은 데이터 상에 나타난 본래 패턴 및 그룹 특성을 토대로 구분한다. 각 세부지표의 입력 자료는 1 - 10 단계로 표준화하여 각 지표간의 비교와 통합이 용이하도록 하였다. 각 단계별로 세부 입력지표를 중첩분석으로 통합하고 표준화 과정을 거쳐 최종적으로 민감도와 노출 및 적응역량 부문별 자료를 구축하였다.

## 2.2 취약성 평가 및 최종 결과

기반시설의 기후변화 취약성 분석을 위한 민감도, 노출, 적응역량 부문은 10단계로 등급을 나누어 자료를 구축하였다. 각 부문별로 구축된 지도는 그

림 3과 같다.

각 부문별로 구축된 최종 자료는 기후변화 취약성 개념을 표현한 공식을 적용하여 최종적으로 취약성을 분석하였다. 기후변화에 대한 민감도와 기후변화 노출 정도, 그리고 적응능력의 함수로 표현되는 기후변화 취약성 공식은 여러 가지가 있을 수 있다. 그러므로 기후변화 취약성 개념을 반영한 여러 후보공식을 시범적으로 적용하여 민감도가 가장 작은 공식을 선정하여 적용하였다. 본 연구에서 사용한 기후변화 취약성 평가 공식은 다음과 같다.

$$V = (S + E) - A$$

V : 기후변화 취약성

S : 민감도

E : 노출

A : 적응역량

취약성 평가 분석 과정을 요약하면 그림 4와 같다.

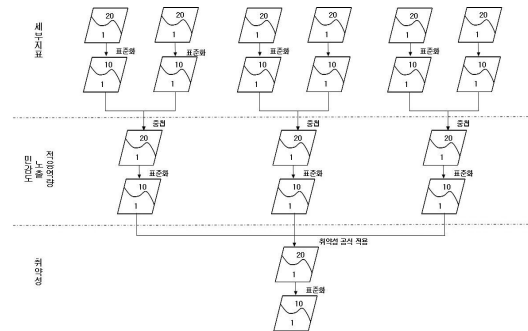


그림 4. 취약성 분석 과정의 요약

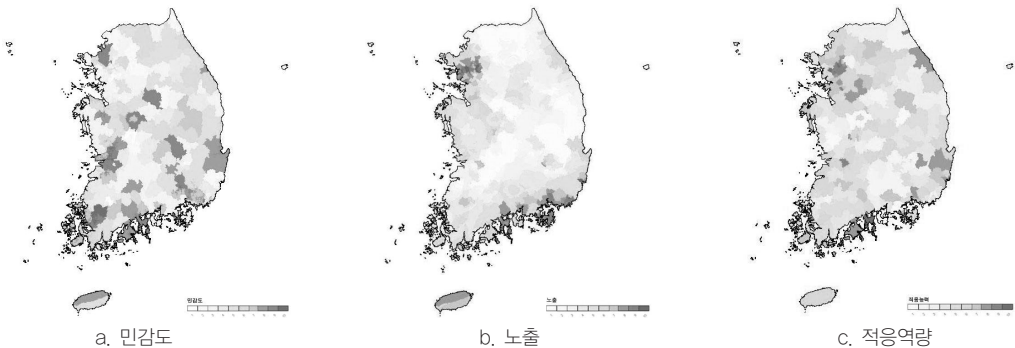


그림 3. 기반시설의 민감도, 노출, 적응역량 지도

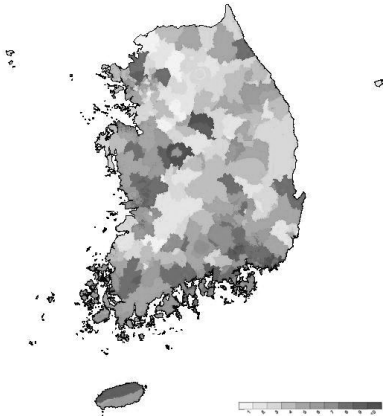


그림 5. 기반시설의 기후변화 취약성 지도  
이러한 과정을 거쳐 최종적으로 구축된 기반시설의 기후변화 취약성 지도는 그림 5와 같다.

### 3. 결론

효과적인 기후변화 적응정책을 수립하기 위해서는 먼저 기후변화의 영향과 취약성 평가를 통해 사

회의 어느 부문이 기후변화에 취약한지를 파악하여야 한다. 또, 국가적 차원에서 취약한 지역을 중심으로 기후변화 적응역량을 강화하기 위해서는 먼저 어느 지역이 기후변화에 취약한지를 파악해야 한다. 공간분석을 통한 기후변화 취약성 평가는 취약한 지역의 공간적 분포를 파악하게 해주므로, 기후변화에 대한 우선 조치 지역을 선정하는 것과 같은 적응대책 수립에 필요한 기초 정보를 제공할 수 있다. 앞으로 기후변화 취약성 평가 방법론의 지속적인 개선과 이를 통한 기후변화 취약성에 대한 주기적인 모니터링으로 기후변화에 체계적으로 대응해 나가야 할 것이다.

### 알림

본 논고는 한국환경정책·평가연구원의 녹색성장연구 ‘기후변화 적응강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구’ 내용의 일부임을 알려드립니다. ☺

### 참고문헌

1. 고재경, 김희선 (2009). 「경기도 기후변화 취약성 평가 연구」. 경기개발연구원.
2. 유가영, 김인에 (2008). 「기후변화 취약성 평가지표의 및 도입 방안」. 한국환경정책·평가연구원.
3. Brooks, Nick, W. Neil Adger, P. Mick Kelly (2005). “The Determinants of Vulnerability and Adaptive Capacity at the National Level and the Implications for Adaptation”, *Global Environmental Change*, 15(2): 151-163.
4. Cutter, S.L., L. Borens, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, J. Webb. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*. 18(4): 598-606.
5. Cutter, S.L., B.J. Boruff and W.L. Shirley (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards.
6. IPCC (2001). *Climate Change 2001: Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Third Assessment Report*. McCarthy et al.(Eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
7. Moss, R.H., E.L., Brenkert, A.L., Malone (2001). “Vulnerability to Climate Change: A Quantitative Approach” Prepared for the US Department of Energy.

8. Wehbe, M.B., R.A. Seiler., M.R. Vinocur., H. Eakin, C. Santos, H. M. Civitaresi (2005). Social methods for assessing agricultural producers' vulnerability to climate variability and change based on the notion of sustainability. Assessments of Impacts and Adaptations of Climate Change (AIACC) Working Papers.
9. Yusuf A.A., H. Francisco (2009). Climate Change Vulnerability Mapping for Southeast Asia.