

수자원 기후변화 취약성 평가모형의 공간 및 유역규모별 적용 연구

Application Study of Vulnerability Assessment Models for Water Resources to Climate Change by Spatial and Watershed Scales

정지웅 · 이우균^{*} · 최계선 · 이상철 · 최성호 · 최현아

Chung, Ji Woong, Lee, Woo-Kyun^{*}, Cui, Guishan, Lee, Sang Chul,
Choi, Sungho and Choi, Hyun-Ah

고려대학교 환경생태공학과

Dept. of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

요 지

본 연구에서는 홍수, 가뭄, 물관리 등 수자원 분야 취약성을 기준(criteria) 및 지표(indicators)를 활용하여 평가하는 방법을 제시하였다. 제시된 방법을 통해 전국 및 지역 단위의 취약성 평가를 실시하였다. 또한, 평가 규모별 적정 유역 크기에 대한 방안도 아울러 제시하였다. 수자원 취약성 평가에 이용한 기준은 크게 평가 대상지의 민감도, 기후에의 노출, 기후변화에 대한 적응력으로 분류할 수 있으며, 각 기준을 지표로 계량화 및 표준화하여 취약성 평가에 반영한다. 기후변화에 대한 수자원 분야의 취약성은 일반적으로 시간이 갈수록 증가하는 것으로 평가되었다. 평가 대상지의 유역 규모는 국가 차원의 취약성 평가는 대유역을 기준으로 설정하는 것이 유의하며, 지역 차원의 평가는 소유역을 기준으로 적절함을 알 수 있었다.

키워드 : 기후변화, 수자원, 홍수, 가뭄, 물관리, 취약성 평가

ABSTRACT

In this study, vulnerability of water resources to climate change was assessed in terms of flood, drought and water management. Criteria and indicators were employed for assessing the vulnerability. The criteria used to assess the vulnerability was sensitivity of the study area, the exposure to climate and the adaptability to climate change. These criteria were quantified and standardized using corresponding indicators. Vulnerability of water resources to climate change is assessed to be generally increasing over time. The appropriate watershed scales are the large drainage basin for national level vulnerability assessment and the small drainage basin for local one.

Key words : Climate Change, Water Resource, Flood, Drought, Water Management, Vulnerability Assessment

^{*} Corresponding author : E-mail: leewk@korea.ac.kr

1. 서론(이론적 고찰)

기후변화의 영향에 대응하기 위하여 본 연구에서는 수자원 관련 현상 및 영향요인을 정량적인 시공간 자료로 나타내는 과정을 분석하고, 극한현상에 대한 취약성을 공간 규모별로 평가하여 비교하며, 기후변화 연구동향에 발맞춰 수자원 극한현상에 대한 연구에 국한되어 있는 우리나라에 대하여 가용한 자료를 이용하여 물관리 분야에 대한 취약성을 평가한다.

1.1 수자원 기후변화 취약성

기후변화에 대한 취약성은 지질 물리학적, 생태학적, 사회경제적 시스템들이 기후변화의 악영향에 영향을 받기 쉬워 대처할 수 없는 정도로 정의된다(Fussler과 Klein, 2006). 수자원 측면의 취약성을 평가한 연구에는 방법론적으로 평가모델을 이용하는 방법과 지표를 이용하는 방법이 있다(한화진 등, 2007).

1.2 수자원 취약성의 기준 및 지표

1.2.1 기후변화 취약성의 기준

기후변화 취약성이란 기후변화에 대한 시스템의 민감성 척도를 나타내는 것으로 노출(exposure), 민감도(sensitivity) 및 적응 능력(adaptive capacity), 세 기준의 함수로 나타낸다. 노출은 기후변화에 민감한 시스템의 요소가 기후와 접촉되어 있는 정도를 나타내며, 민감도는 적응을 고려하지 않는 상황에서 시스템이 기후변화에 얼마나 영향을 받는가를 나타내고, 적응 능력은 기후변화와 같은 외부 자극에 대해 야기되는 시스템 거동의 변화를 나타낸다(배덕효, 2005).

1.2.2 수자원 취약성의 기준별 지표

취약성을 평가하고자 하는 대상지역의 사회경제, 사회기반시설, 기술수준, 자원 현황 등을 파

악하고, 자료의 가용성과 활용성을 고려하여 평가목적에 적합한 취약성 지표(vulnerability indicator)를 선정하여야 한다. 선행연구의 기준별 지표현황을 기초로 하여 기후변화에 의한 수자원 취약성을 구성하는 적용 가능한 대리변수를 선정하고, 국가 수자원관리 종합정보 시스템의 유출량, 용수 수요량, 하천 개수율, 유역면적 자료와 시도별 급수·지하수 이용량, 고도, 인구, 상·하수도 보급률 자료를 이용하여 Table 1과 같은 기준별 지표 자료를 구축하였다.

1.3 수자원 관련 극한현상의 취약성 평가: 취약성 지수를 이용한 평가 방법

1.3.1 취약성 평가 방법

취약성 평가 방법론은 첫째, 이러한 기준간의 관계를 가감의 산술관계에 둘 것인지, 배수의 비례 혹은 역수의 반비례 관계에 둘 것인지에 의해 구분된다. 이는 지표에 의한 취약 정도의 편차를 결정하며, 기능적 관계를 나타낸다. 둘째, 어떠한 기준 및 지표에 비중을 두어 가중치 설정을 할 것인지에 의해 나타난다.

UNDP(2005)는 취약성을 어떤 시스템의 기후변화에 대한 민감도와 적응 능력의 함수로 보고 다음과 같이 정의하였다.

$$Vulnerability = f[Sensitivity, Adaptive Capacity] \quad (1)$$

이 경우, 기후변화에 따른 위해(hazard)는 시스템 외적인 요소로 취약성의 정의 안에는 포함되지 않는다. IPCC는 취약성을 적응조치가 취해진 이후의 기후변화 잔여 영향으로 정의하고 다음과 같이 나타내고 있다(IPCC, 1996).

$$취약성 = 위험(예상된 기후의 영향) - 적응 \quad (2)$$

여기서 기후변화 취약성은 미래 배출 추세의 예측에서 시작된 기후 시나리오에 근거하여 생

물·물리적 시스템이 반응하는 정도 및 사회경제적 시스템이 이에 대응하는 적응 능력을 모두 포괄하는 개념이다.

1.3.2 취약성 지수를 이용한 수자원 관련 극한현상의 취약성 평가 방법

유가영 등(2008)은 취약성 평가지표를 취약성-탄력성 지표(Vulnerability- Resilience Indicator: VRI)라 명명하며, 수식을 다음과 같이 정의하였다.

$$VRI = \frac{Avg(Sensitivity, Exposure) + Adaptive Capacity}{2} \quad (3)$$

이는 기후변화 취약성에 대한 잠재영향과 적응 능력의 기여도를 일대일로 반영한 것으로, 이 식에 의하면 각각의 민감도 지수와 노출 지수에는 적응 능력 지수보다 낮은 가중치가 주어지는 것으로 전제되어 있다.

한화진 등(2007)은 수자원 부문 기후변화에 따른 극한현상의 취약성 평가를 위해 취약성을 노출과 민감도의 곱을 적응력으로 나눈 값으로 정의하였다. 수식 (3)과 가장 큰 차이는 기준별 가중치에 대한 전제가 없다는 점이다.

$$Vulnerability = \frac{Exposure \times Sensitivity}{Adaptive Capacity} \quad (4)$$

이는 동일한 적응력을 가질 때 기후에 대한 민감도가 높을수록, 노출 정도가 심할수록 취약성이 증가하는 것을 표현하고 있다. 또한 동일한 민감도에서도 노출 정도에 따라 취약성이 다르게 나타나는 것을 잘 반영하고 있다.

1.3.2.1 자료의 표준화

위와 같은 취약성 평가식에 지표를 취약성 지수로 나타내기 위하여 자료를 가공하는 첫 번째

단계는 표준화이다. 각 지표를 취약성 평가식에 통합하여 계산하기 위해서는 표준화 과정을 거쳐야 한다.

표준화 방법에는 우선 순위 매기기, Z-스코어 방법, 스케일 재조정 등의 방법이 있다(Nardo 등, 2005). 가장 보편적으로 많이 사용되는 방법은 Z-스코어 방법으로, 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만들어 자료의 수치가 그 분포의 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다. 하지만 자료가 정규분포를 하지 않을 경우 왜곡된 결과를 가져올 수 있다.

$$Z \text{ score} = \frac{Actual Value - Mean}{Standard Deviation} \quad (5)$$

본 연구에서는 자료의 표준화를 위하여 UNDP(2006)에서 사용한 스케일 재조정 방법을 사용하였다. 이는 모든 자료들을 모두 동일한 범위(0~100%)로 만든다. 이는 자료를 전체 자료범위 내에서 등수에 따라 일렬로 줄 세우는 방법으로써, 비교적 무리가 없지만 최대값이나 최소값이 이상치일 경우 자료 구조가 왜곡될 수 있다.

Dimension Index

$$= \frac{Actual Value - Minimum Value}{Maximum Value - Minimum Value} \times 100 \quad (6)$$

취약성 평가에 시나리오를 적용할 경우, 미래 지표의 표준화 기준 설정이 중요하다. 일반적으로 시나리오는 시간 혹은 특정 흐름에 따른 경향을 보이며, 이 경향의 정도가 평가 결과에 적용되는데, 도출한 평가 결과를 비교할 경우, 기준이 되는 표준화 경향의 범주 안에서 수행되어야 한다. 시간을 기준으로 표준화를 한 결과는 현재와 미래를 비교하여 분석하는 범위 안에서만 유효하다.

1.3.2.2 부호의 결정

두 번째 단계는 부호의 결정이다. 만일 표준화 값이 Z-스코어 방법처럼 어떤 기준에 대한 차이 값으로 표현된다면 기준보다 큰 수에는 양수, 기준보다 작은 수에는 음수가 부여될 것이다. 그러나 스케일 재조정처럼 결과치에 부호가 없을 경우에는 지표와 취약성과의 비례·반비례와 같은 기능적 관계가 부호의 역할을 한다. 지표와 취약성과의 기능적 관계가 취약성과 양의 상관관계에 있으면 표준화값을 그대로 사용하되, 지표가 취약성과 음의 상관관계에 있으면 표준화 한 값을 역 정규화하여 계산한다.

$$Denormalized Value = 100 - Dimension Index \quad (7)$$

1.3.2.3 지표간의 연산

세 번째 단계는 지표간의 연산이다. 각 규준별로 지표가 한 개씩 있다면 그대로 취약성 평가식 변수에 대입할 수 있지만 규준별로 지표가 두 개 이상인 경우에는 규준별로 지표값을 통합하여 계산해야 한다. 지표간의 가중치가 전제되어 있는 경우에는 가중비율만큼 계수를 설정하여 통합하며, 가중치를 고려하지 않는 경우에는 지표간의 산술평균으로 규준별 지표값을 계산한다.

2. 재료 및 방법

2.1 평가 방법

노출, 민감도, 적응 능력 각 규준별 지표에 대해 다음의 스케일 재조정 표준화 방법을 이용하여 0에서 1 사이의 값으로 정규화 한다(2.3. 수식 (6) 참조).

$$Normalized Value = (X - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}) \quad (8)$$

지표와 취약성과의 기능적 관계가 양의 상관관

계일 경우, 그대로 정규화 된 값을 사용하나, 지표와 취약성과의 기능적 관계가 음의 상관관계일 경우에는 역정규화 한 값을 사용한다(수식 (7) 참조).

$$Denormalized Value = 1 - Normalized Value \quad (9)$$

정규화 또는 역정규화한 각 지표값을 규준별로 산술평균하여 취약성 평가식의 규준변수에 대입한다. 기후변화에 따른 수자원 취약성을 평가하기 위해 취약성에 대해 노출과 민감도의 곱을 적응 능력으로 나눈 값으로 정의하였다(수식 (4) 참조).

$$취약성 = (노출 \times 민감도) / 적응능력 \quad (10)$$

2.2 평가 범위 및 지표

본 연구의 대상은 수자원 극한현상인 홍수와 가뭄 및 물관리에 대한 취약성 평가로, 수자원 극한현상인 홍수 및 가뭄 취약성에 대한 선행연구를 바탕으로 공간 규모 설정에 따른 평가 결과를 비교하고, 안정적인 수자원 공급 측면의 물관리 분야에 취약성 평가 기법을 적용하였다.

2.3 공간 규모

자료의 공간적 범위는 전국, 인천광역시 및 경상북도이며, 수자원 극한현상의 취약성에서 전국은 대권역으로, 인천광역시는 중유역으로, 경상북도를 소유역으로 세분화하여 현재 취약성을 평가하였으며, 물관리 분야 취약성은 전국을 시도 행정구역 기준으로, 인천광역시와 경상북도는 시군구 행정구역을 기준으로 세분화하여 수행하였다.

2.4 시간 범위

극한현상의 현재 취약성 평가는 최근 30년(1975~2005) 자료를 이용하여 수행하였으며, 현재 물관리 취약성 평가는 최근 5년(2001~2005)

표 1. 본 연구에 적용한 수자원 취약성 지표 자료 리스트

구 준	구 분	지표	구역 구분	기간	구 준	구 분	지표	구역 구분	기간		
민 감 도	홍 수	일강수량이 80mm 이상인 날의 일수	전국대유역	'01~'05	노 출	홍 수	가뭄기준별 과부족량(m ³)	전국대권역	'03, '06, '11, '16, '20		
			전국중유역	1975~'05				전국대유역	'01~'05		
		1일 동안의 최대강수량 (mm)	전국대유역	'01~'05			전국중유역	1975~'05	유역별 단위면적당 인구(인/km ²)	전국대유역	'01~'05
			전국중유역	1975~'05				전국중유역		1975~'05	
		연최대일유출량 (m ³ /s)	전국대유역	'01~'05			전국중유역	1975~'05	유역별 단위면적당 용수 수요량(톤)	전국대유역	'01~'05
			전국중유역	1975~'05				전국중유역		1975~'05	
		여름철 강수량(mm)	전국대유역	'01~'05			전국중유역	1975~'05	평균고도	시군구	'07
			전국중유역	1975~'05				전국시도			
		가 뭄	연강수량 (mm)	전국대유역			'01~'05	물 관 리	인구수	시군구	'01~'05
				전국중유역			1975~'05			전국시도	
	일강수량이 1mm 이상인 날의 일수		전국대유역	'01~'05	홍 수	하천개수율 (%)	전국대유역		'01~'05		
			전국중유역	1975~'05			전국중유역		1975~'05		
	물 관 리	연강수량	시군구	1971~'00	적 응 능 력	가 뭄	유역 면적 (km ²)	전국대유역	'01~'05		
			전국시도	'21~'50				전국중유역	1975~'05		
		연 평균기온	시군구	1971~'00		물 관 리	상수도 보급률 (%)	시군구	'00, '01, '3~'05		
			전국시도	'21~'50				전국시도			
		급수 사용량(m ³)	시군구	1996, 1997, '00, '01, '05		물 관 리	하수도 보급률 (%)	시군구	1998, 1999, '03~'05		
			전국시도	'01~'05				전국시도			

자료: Lonergan 등, 1999; Brooks 등, 2005; 배덕효, 2005; Moss 등, 2001; 국토해양부, 2006; World Economic Forum, 2002.

자료를 이용하였다. 미래 물관리 취약성은 가까운 미래(2021~2050)와 먼 미래(2071~2100)로

구분하여 평가하였다(차유미 등, 2007).

미래 취약성 전망을 위한 물 수요 및 가뭄 시나

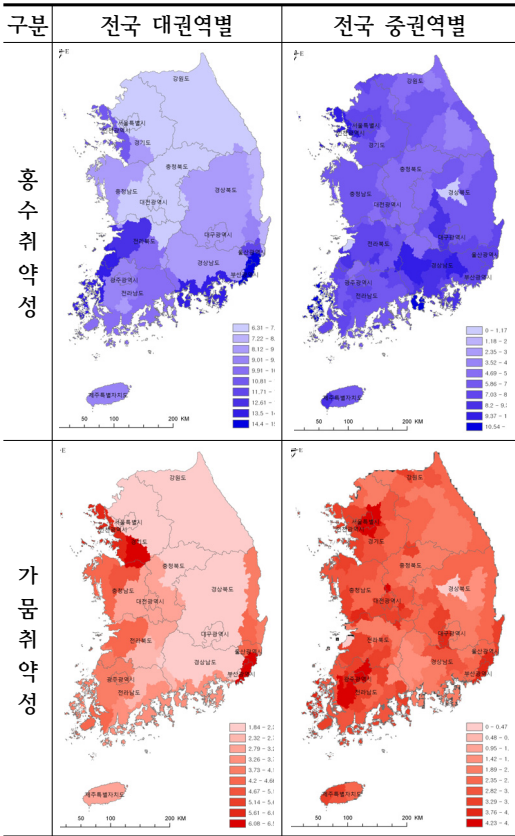


Fig. 1. 전국 권역기준별 극한현상 취약성.

리오별 미래(2006, 2011, 2016, 2020년) 수자원과 부족량은 목표 연도별로 최대 가뭄년인 1978년의 가뭄이 발생할 경우와 평균년인 1971년에 대해 예측한 국토해양부의 2006 수자원 장기종합계획 자료를 반영하였다. 기타 자료는 고정하여 현재와 변화없다는 가정 하에, 시도 및 시군구 행정구역별 최근 5년(2001~2005) 자료를 이용하여 취약성을 평가하였다.

수자원 장기 종합계획(국토해양부, 2006)의 장래 물 수요 및 공급량에 따른 과부족량 시나리오는 2020년까지 전망되어 2020년까지의 시나리오를 고정하여 2020년부터 2100년까지의 미래 과부족량 지표에 반영하였다. 그러므로 수자원 과부족량 지표는 현재와 미래의 변화를 보여주며, 가가

운 미래와 먼 미래의 변화는 나타내지 않는다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수자원 관련 극한현상의 취약성 평가 및 고찰

3.1.1 전국단위 취약성 평가 및 권역 규모에 따른 결과 비교

전국을 대권역 및 중권역을 기준으로 세분화하여 홍수와 가뭄의 취약성 평가 결과를 도출하였다(Fig. 1). 전국 중권역별 취약성 지도에서 경상북도 일부 지역은 자료가 없어 취약성 평가에서 제외하였다.

대권역을 기준으로 하면 단위유역의 면적은 넓고 취약성의 지역별 편차는 크게 나타나며, 중권역을 기준으로 하면 단위유역의 면적이 상대적으로 작아지며 취약성의 변이가 다양하게 나타나, 전반적으로 취약성이 높게 나타난다.

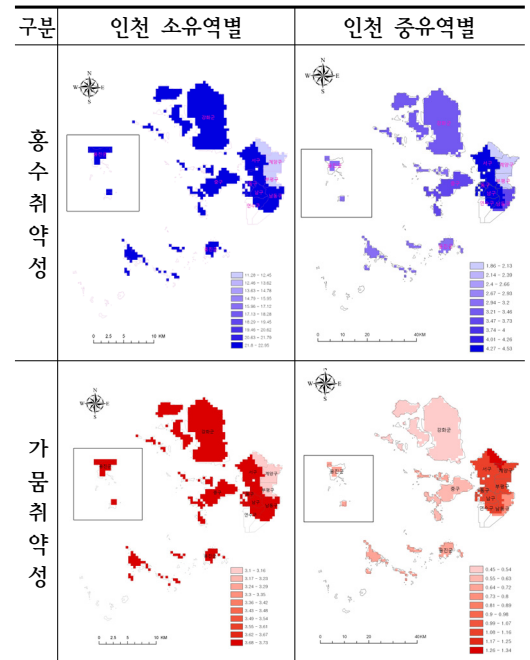


Fig. 2. 유역기준별 인천시 극한현상 취약성.

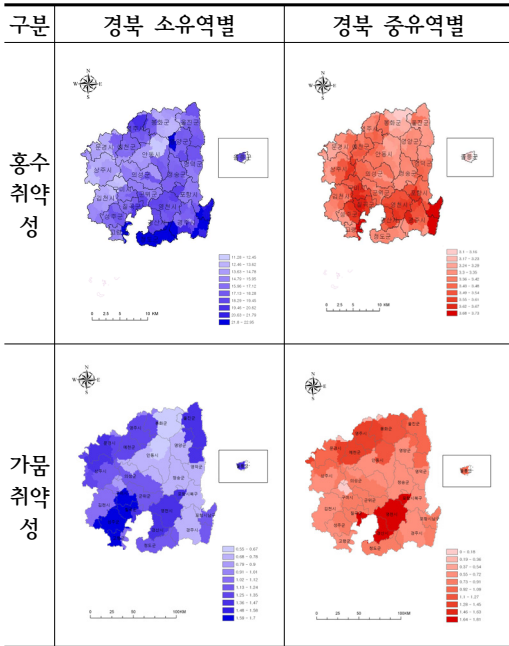


Fig. 3. 유역기준별 경상북도 극한현상 취약성.

3.1.2 지역 단위 취약성 평가 및 권역 규모에 따른 결과 비교

인천광역시는 중유역을 기준으로, 경상북도는 소유역을 기준으로 세분화 하여 홍수와 가뭄의 취약성 평가 결과를 도출하였다(Fig. 2 and Fig. 3). 인천광역시는 중유역 구분은 총 3개, 소유역 구분은 10개로 이루어져 있고, 경상북도는 중유역 구분은 총 29개, 소유역 구분은 181개로 이루어져 있다.

세분화 규모가 작은 지역이 상대적으로 큰 지역으로 재평가될 경우, 지역 값 차이의 정도에 따라 부각되거나 희석될 수 있다. Classification의 기준을 절대적인 취약성 값으로 할 경우와 값의 분포를 고려한 분포도 값으로 하는 경우에 따라 달라질 수 있다.

상대적으로 넓은 지역을 큰 기준으로 평가하고 작은 지역을 작은 기준으로 평가하는 경우, 대조적인 결과를 나타낸다. 인천광역시의 경우, 단위 유역의 면적은 넓고 취약성의 지역별 편차는 크게 나타나며, 유역이 3개로 적기 때문에 지역적인 변이는 구체적으로 나타내지 못한다. 경상북도 단위유역의 면적은 상대적으로 좁고 취약성의 지역별 편차는 비교적 적지만 다양하고 구체적으로

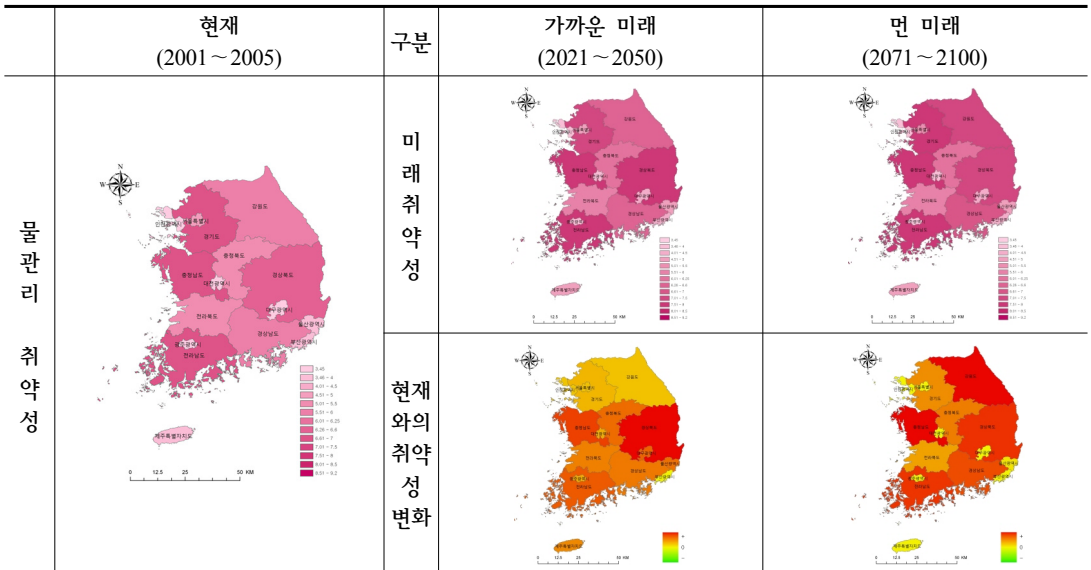


Fig. 4. 가뭄 평균년 저수요 시나리오의 전국 물관리 취약성 평가 결과.

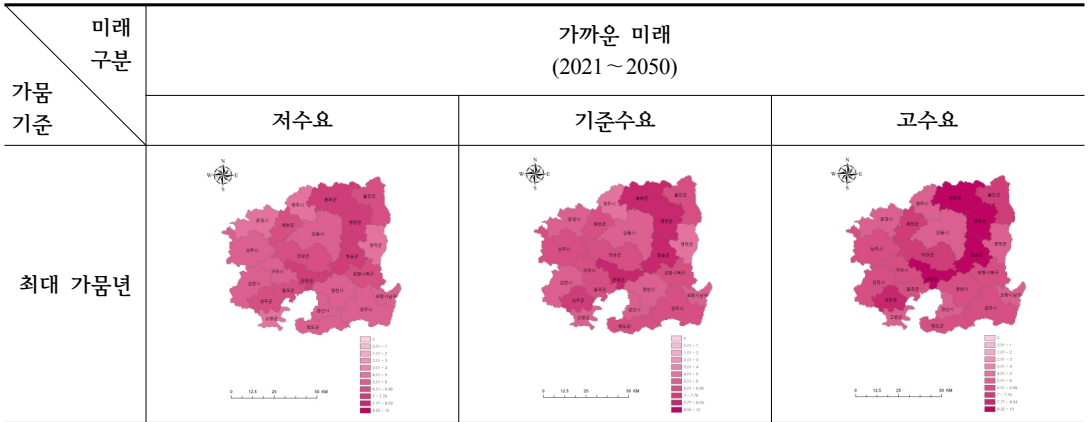


Fig. 5. 최대 가뭄년 가까운 미래의 경상북도 물관리 취약성 평가 결과.

나타난다.

3.2 물관리 분야의 취약성 평가 결과

물관리 취약성 평가를 위하여 전국을 시도 행정구역별로, 경상북도와 인천광역시를 시구군 행정구역별로 구분하여 규준별 지표 자료를 적용하여 물관리 취약성을 분석했다.

경상북도 시구군별 물관리 취약성 평가의 미래 변화 경향에서는 현재와의 변화가 물 수요 기준별로 대체로 고르게 나타났으며, 북북서 지역에 위치한 예천군과 북북동 지역의 봉화군이 비교적 고수요와 저수요의 차이가 크게 나타났다(Fig. 5).

가뭄 평균년, 기준수요 시나리오의 경우, 봉화군, 영양군, 청송군의 취약성이 점차적으로 높

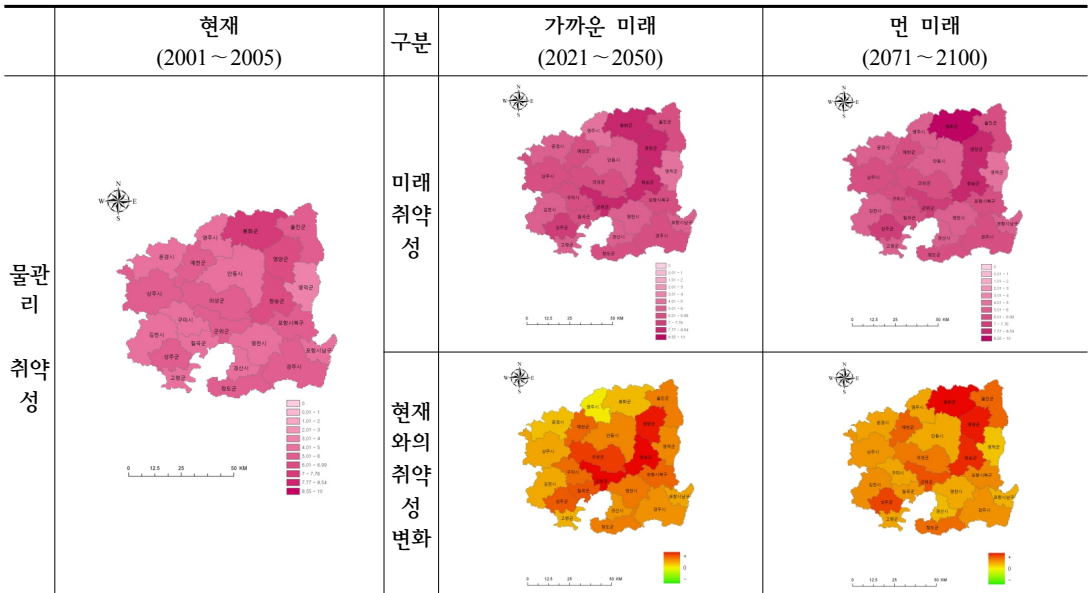


Fig. 6. 가뭄 평균년 기준 수요 시나리오의 경상북도 물관리 취약성 평가 결과.

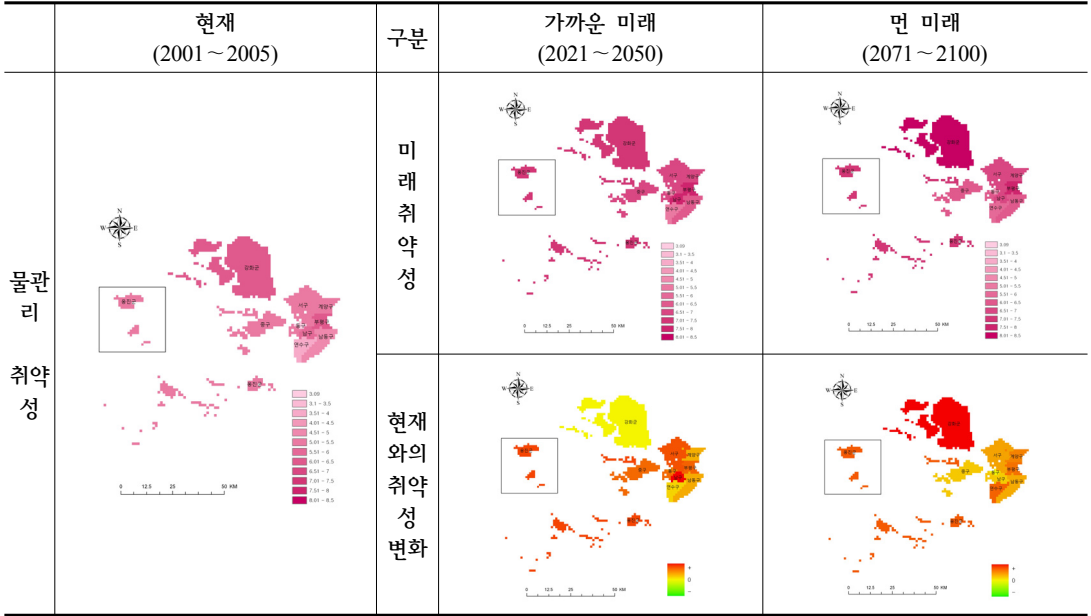


Fig. 7. 최대 가뭄년 고수요 시나리오의 인천광역시 물관리 취약성 평가 결과.

지는 지역으로 가장 현저하게 나타났다(Fig. 6). 이는 민감도 표준인 미래 연강수량의 증가 및 연평균기온의 상승에 의한 것이다.

전국 규모의 평가에서는 인천광역시의 취약성이 비교적 낮았지만, 최대 가뭄년의 고수요 시나리오에서 강화군의 취약성은 미래로 갈수록 점차적으로 높게 나타났으며(Fig. 4 and Fig. 7), 동쪽의 내륙 지역에 비해 서쪽의 해안·도시지역의 취약성이 높게 나타났다. 이는 상·하수도 보급률 지표의 영향이다.

4. 결론

취약성 평가 기법을 적용하는 대상지의 세분화 규모는 평가 결과에 큰 영향을 미친다. 전국 및 인천광역시, 경상북도의 극한현상 취약성 평가 결과에 나타난 공간적 변이는 평가 목적 및 지역 규모에 적절한 세분화 기준을 설정해야 기후변화에 따른 국가정책 및 지자체의 대응 마련에

유효한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 일반적으로 세분화 규모를 크게 설정할 경우, 지역별 변이의 차이가 크게 나타나며, 세분화 규모를 작게 설정할 경우, 지역별 변이는 작게 나타나고, 단위 지역별로 다양한 결과를 도출할 수 있다.

미래 기후 시나리오와 가뭄 기준별 물 수요 시나리오를 적용한 물관리 취약성 전망 결과는 미래로 갈수록 대체로 취약성이 높게 나타났다. 표준화 시 물 수요 시나리오를 기준으로 수행했기 때문에 지역적인 변이가 가장 점진적으로 두드러지게 나타난 기준은 물 수요 시나리오이다. 가까운 미래와 먼 미래의 변이는 물 수요 시나리오에 비해 상대적으로 급진적이다. 가까운 미래와 먼 미래의 변이는 연 강수량과 연 평균기온 시나리오의 차이를 반영한다.

취약성 평가 결과는 결과 자체의 종합적 취약성 정도의 의미가 있기 보다는 목적으로 한 분야에서 취약성 평가 결과를 산출할 때, 그 과정에서 어떤 자료가 어떠한 기준으로 지표화되어 결

과값을 도출하였는지를 분석하는데 해석적인 취약성 평가의 의미가 있다. 이러한 취약성 평가연구의 모호성은 취약성 평가 결과를 해석·검증하는 과정에서 실제값과 지표값 사이의 연관성을 분석하는 연구 결과의 축적으로 해소될 가능성이 있다.

참고문헌

- 국토해양부, 2006, 수자원장기종합계획(2006~2020) 보고서.
- 배덕효, 정일원, 김광천, 2005, 기후변화 수자원 영향평가의 유출해석 기초 연구. 제3차 기후변화 학술대회, pp. 9-14.
- 배덕효, 2005, 기후변화가 수자원에 미치는 영향과 과제, 국토 2005 (3): 32-38.
- 유가영, 김인애, 2008, 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입 방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 차유미, 이효신, 문자연, 권원태, 부경은, 2007, ECHO-G/S를 활용한 미래 동아시아 기후전망, 대기, 기상연구소.
- 한화진, 안소은, 유가영, 조광우, 이상엽, 김정은, 안선욱, 이정택, 나영은, 김명현, 최은진, 김경남, 이우균, 손요환, 조용성, 배덕효, 정일원, 2007, 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축 III, 한국환경정책·평가연구원, pp. 196-207.
- Brooks, N., W. N. Adger, and P. M. Kelly, 2005, The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation -, **Global Environmental Change**, **15**, 151-163.
- Fussler, H. M., and R. J. T. Klein, 2006, Climate change vulnerability assessments - an evolution of conceptual thinking, *Climatic Change*, **75 (3)**, 301-329.
- IPCC, 1996, Climate Change 1995 - The Science of Climate Change. J. T. Houghton *et al.* (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lonergan, S., K. Gustavson, and M. Harrower, 1999, Mapping Human Insecurity. *Environmental Change, Adaptation and Security*, pp. 397-413.
- Moss, R. H., E. L. Brenkert, and A. L. Malone, 2001, Vulnerability to Climate Change - A Quantitative Approach. Prepared for the US Department of Energy.
- Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli, and S. Taranta, 2005, Tools for Composite Indicators Building. European Communities. Available at <http://europa.eu.int>
- World Economic Forum. 2002. Environmental Sustainability Index. World Economic Forum. Available at <http://www.ciesin.columbia.edu/indicators/ESI>