

연구논문

표준화 방법에 따른 기후변화 취약성 지수의 민감성 연구

남기표 · 김철희

부산대학교 대기환경과학과

(2013년 9월 20일 접수, 2013년 11월 7일 승인)

Study on Sensitivity of different Standardization Methods to Climate Change Vulnerability Index

Ki-Pyo Nam · Cheol-Hee Kim

Department of Atmospheric Sciences, Pusan National University

(Manuscript received 20 September 2013; accepted 7 November 2013)

Abstract

IPCC showed that calculation of climate vulnerability index requires standardization process of various proxy variables for the estimation of climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity. In this study, four different methodologies of standardization methods: Z-score, Rescaling, Ranking, and Distance to the reference country, are employed to evaluate climate vulnerability-VRI (Vulnerability-Resilience Indicator) over Korean peninsula, and the error ranges of VRI, arising from employing the different standardization are estimated. All of proxy variables are provided by CCGIS (Climate Change adaptation toolkit based on GIS) which hosts information on both past and current socio-economic data and climate and environmental IPCC SRES (A2, B1, A1B, A1T, A1FI, and A1 scenarios) climate data for the decades of 2000s, 2020s, 2050s, and 2100s. The results showed that Z-score and Rescaling methods showed statistically undistinguishable results with minor differences of spatial distribution, while Ranking and Distance to the reference country methods showed some possibility to lead the different ranking of VRI among South Korean provinces, depending on the local characteristics and reference province. The resultant VRIs calculated from different standardization methods showed Cronbach's alpha of more than 0.84, indicating that all of different methodologies were overall consistent. Similar horizontal distributions were shown with the same trends: VRI increases as province is close to the coastal region and/or it close toward lower latitude, and decreases as it is close to urbanization area. Other characteristics of the four different standardization are discussed in this study.

Keywords : Climate change, Climate vulnerability index, Standardization, Proxy variables, Sensitivity study

I. 서론

기후변화로 나타나는 극단적인 기후현상의 빈도와 강도는 단기적인 환경 변화뿐만 아니라 장기간에 걸친 온도 상승, 강수량의 변화, 해수면 상승 등을 유발하며 현재 관측자료를 통해 설명되고 있다(환경부, 2010). 지난 100년(1911~2010년)간 전 지구의 평균 기온 경향과 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 보고서 등에서 향후 100년간 지구의 평균기온은 A1B 시나리오를 따를 경우 약 2.8°C 증가하고, 우리나라의 경우 약 4°C 상승할 것으로 예측되고 있어 향후 기후변화에 의한 기상이변을 포함한 미래세대가 직면하게 될 기후변화에 의한 악영향을 최소화하기 위한 적응조치의 필요성을 알렸다. 기후변화 대응조치는 크게 완화(Mitigation)와 적응(Adaptation)으로 구분되며, 스텐보고서(Stern *et al.*, 2006)에서는 현재 모든 온실가스 배출을 멈추더라도 약 1°C의 온도 상승은 불가피하다는 사실과 함께 적응 정책은 기후변화에 의한 피할 수 없는 영향을 대처하는데 있어 중요하지만 많은 국가에서 과소 평가 되어 있음을 지적하였다. 국내에서도 온실가스 배출저감을 통한 완화만으로는 기후변화 영향을 줄이는데 한계가 있으므로 기후변화 적응 정책 또한 동일하게 강조되어야 한다고 보고하였다(국립환경과학원, 2012).

기후변화에 대한 적응 정책을 수립하기 위해서는 우선 국가별 또는 지역별로 기후변화에 취약한 정도

를 나타내는 취약성 평가가 수행되어야 한다. 이와 연관된 국내외 선행연구에서는 주로 IPCC에서 제시한 취약성의 개념적 틀에 따라 기후변화에 노출된 정도(Exposure)와 기후변화에 대한 민감도(Sensitivity) 그리고 그에 대한 적응능력(Adaptive Capacity)의 함수로써 기후변화 취약성을 평가하였다(Figure 1).

민감도는 기후관련 자극에 의하여 시스템이 긍정적 또는 부정적으로 영향을 받는 정도를 나타내며, 기후노출은 시스템이 기후와 관련된 자극에 노출되는 정도를 나타낸다. 적응능력은 시스템이 기후변동과 극한 기상현상을 비롯한 기후변화를 조절하고 잠재적인 피해를 완화하며 이를 기회로 활용하거나 대처하는 정도를 나타낸다. 취약성을 구성하는 이 세 가지 요소는 기후변화가 시스템에 초래하게 될 위험을 줄이거나 증가시키는 핵심적인 요인들로서, 기후변화의 위협과 이러한 위협을 줄이기 위한 세 영역에서의 행동을 파악할 수 있어 취약성 평가에 유용한 정보를 제공한다(고재경, 2009). 하지만 취약성을 비롯하여 기후노출, 민감도, 적응능력의 각각의 범주는 직접 측정할 수 없기 때문에 기후변화의 영향을 크게 받는 분야 또는 영역에 대하여 기후노출, 민감도, 적응능력의 범주를 대표할 수 있는 대리변수(Proxy Variables)를 선정하 뒤, 상호간의 연산을 위하여 표준화(Standardization) 과정을 수행하여 기후변화 취약성을 평가하는 혼합 지표 (Composite Indicator) 연구가 가장 활발히 수행되어 왔다(Moss *et al.*, 2001, Wehbe *et al.*, 2006).

기후변화 취약성과 관련하여 수행된 국외 연구로 Downing *et al.*(1996)은 취약성 지수(Dimension of Vulnerability)를 보건·복지 부분의 지표와 경제 부분의 지표를 복합적으로 사용하여 평가하였고, Lonergan *et al.*(1999)의 경우 인간정주/기반시설과 거버넌스 부분을 추가하여 자연적 노출정도와 대응능력평가를 포함한 취약성(Index of Human Insecurity, IHI) 평가를 추천하였다. Moss *et al.*(2001)은 인간정주/기반시설, 보건/복지, 경제 분야와 생태계 분야에 대

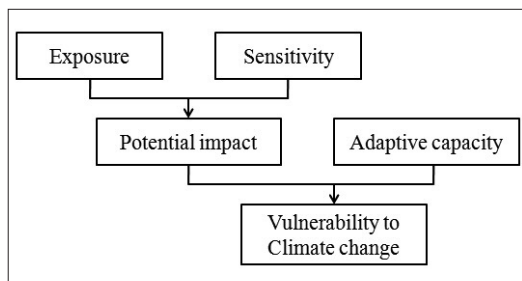


Fig. 1. Categorized variables required to identify the climate change vulnerability index defined by IPCC (2007)

하여 총 17개의 대리변수를 이용하여 취약성(Vulnerability-Resilience Indicator)을 산출하여 국가별 기후변화 취약성을 비교·분석 하였으며, Brooks *et al.*(2005)은 여기에 농업, 교육, 기술 분야에 대한 대리변수를 추가하여 취약성(National-level vulnerability)을 산출하였다. 하지만, 기후변화 적응정책 마련을 위하여 개발된 취약성 지표에 관한 기존의 연구들은 전 세계를 대상으로 국가별 취약성을 비교하기 위한 취약성 지표의 개발 및 분석을 수행한 것이 대부분이며, 이 중에서 주로 인간정주·기반시설 부분과 보건·복지 부분의 변수들이 많이 사용되고 있다. 또한 기후변화 취약성 산정을 위한 해외 선행 연구들은 대부분 전 세계를 대상으로 또는 각 국가별 취약성 비교에 그 목적이 있어 각 국가의 특성을 반영하는 것에는 제한적이라는 평가가 지배적이다(국립환경과학원, 2009).

국내 연구의 경우 고재경(2009)은 경기도 지역을 대상으로 기초지자체에 활용 가능한 취약성 평가 지표를 도출하여 지역간 상대적 취약성을 평가하였으며, 최현아 등(2009)은 UNDP(2005)와 IPCC(2001)의 개념틀에 따라 한반도 수자원, 보건, 재난, 생태계 분야의 취약성을 평가하였다. 또한 최근에는 경기도를 대상으로 기후변화에 대한 잠재적 영향과 적응능력을 기준으로 취약성의 유형과 특성을 분석(고재경, 2011), 전국 지자체단위 기후변화 부문별 취약성 평가를 위한 표준화 방법론 개발(유정아 등, 2011), 한반도 기후변화 적응을 위한 취약성 지수 산정방법(김철희 등, 2011), 전라남도를 대상으로한 기후변화 취약성 평가(김선명·김남익, 2012)등 최근 기후변화 취약성에 대한 활발한 연구가 수행되어지고 있다. 특히, 유가영·김인애(2008)는 선행 연구에서 제안된 취약성-탄력성 지수(Vulnerability-Resilience Indicator: VRI)를 우리나라에 동일하게 적용한 결과 전 세계를 대상으로 한 것보다 그 변동의 폭이 매우 좁게 나타나 통계적으로 유의하다고 보기 어려워 우리나라 실정에 맞는 취약성 지표의 추가적 연구의 필요성을 지적하였다. 이러한 측면에서 볼 때 한반도 전체를 대상으로 한 기후변화 취약성 분석은 여전히 불확실성이 많고 여러 자료 또한 부족한 실정이며,

기후변화 취약성을 구성하는 대리변수의 통계적 유의성 및 가중치 부여에 대한 연구 또한 부족하다. 그리고 김연주 등(2010)은 기존의 VRI 산정에 이용된 원 자료를 이용한 국가간 분석에서는 우리나라의 순위가 26위(스케일 재조정법 이용), 49위(Z-score법 이용), 154위(기준선과의 차이법 이용)로 표준화 방법에 따라 차이가 나타나 향후 지수 개발시 원 자료 분포를 파악하고 적절한 방법을 사용하는 것이 중요함을 알렸는데, 이와 같이 취약성 지수 계산시 표준화 방법이 최종적으로 산출되어지는 취약성 지수의 오차 범위를 결정하는 하나의 인자가 될 수 있음에도 불구하고 국내에서는 주로 표준화 과정에서 Z-score 방법을 획일적으로 사용하여 왔다. 또한 국내의 취약성 지수 산출 연구는 대리변수의 취사선택 및 가중치 문제, 민감도 분석, 지역의 특성 및 대리변수에 대한 주요 변이요인에 대한 연구 등이 주류를 이룬 반면, 표준화 과정에 따른 기후변화 취약성 지수의 불확실성에 연구는 거의 전무하였다.

따라서 본 연구에서는 취약성 지수를 산출하기 위하여 각 분야별 대리변수들 간의 연산을 위해 시행되는 표준화 과정에서 나타나는 취약성 평가 결과의 민감성 연구 및 이를 통한 오차를 분석하였다. 즉 여러 가지 표준화 방법들에 의해 산출되는 취약성 지수 결과들이 우리나라 지역에 적용되었을 경우 통계적으로 얼마나 유의한지에 대한 분석 연구를 수행하였다. 이러한 연구를 통하여 현재 국내에서 적용되고 있는 기후변화 취약성 지수들의 신뢰도 확보와 아울러 기후변화 취약성 지수의 불확실성 요인, 민감도 분석, 지역의 특성 및 대리변수에 대한 주요 변이요인등의 연구 결과의 해석에 있어 보다 의미있는 통계적 기초 지표가 제공될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 자료 및 방법

1. 분석 방법

본 연구에서 사용된 기후변화 취약성 지수 산정 방법의 개념적 틀은 Moss *et al.*(2001)이 제안한 기후변화 취약성-유연성 지표(VRI)를 산정하여 기후변

Table 1. Employed minimum data set with proxy variables for the calculation of vulnerability index in this study.

Category	Subtleties	Proxy variables in CCGIS	Sign*
Sensitivity	Human settlements/ Infrastructure	• Distribution rate of water supply (%)	(-)
		• Distribution rate of sewerage (%)	(-)
		• Levee area (‰)	(-)
		• Water supply per capita (l/day)	(-)
		• Rate of reservoir water (Jan.~Dec.) [%]	(-)
		• Rate of reservoir water (Mar.~Oct.) [%]	(-)
		• Rate of reservoir water (Apr.~Jun.) [%]	(-)
	Ecosystem	• The percentage of land managed (%)	(+)
		• The percentage of forest area (%)	(-)
		• Forest stock per unit area (m)	(-)
	Health/Welfare	• Birthrate	(+)
		• Life expectancy	(-)
		• Ratio of health insurance beneficiaries	(-)
• Ratio of the elderly living alone (total population)		(+)	
Adaptive capacity	Adaptation	• Gross regional domestic product (GRDP)	(+)
		• The percentage of school attendance (%)	(+)
		• (Primary industry+Secondary industry)/(Primary industry+Secondary industry+Tertiary industry)×100 (%)	(-)
	Environment capacity	• SOx(Emission except residential heating) + SOx(Industrial Emission)	(-)
Climate exposure	Flood	• Number of days with precipitation over 80mm (days)	(+)
		• Daily maximum precipitation (mm)	(+)
	Intense heat	• Days with maximum temperature over 33 deg. (days)	(+)
		• Days with minimum temperature over 25 deg. (days)	(+)
	Drought	• Maximum of continuous non-precipitation days (days)	(+)

* Sign of correlation between subtleties and proxy variables.

화의 취약성을 평가하는 방법으로, 본 연구에서 계산된 VRI는 기후변화에 의해 받을 수 있는 악영향과 그에 대처할 수 있는 유연성을 동시에 고려하고 있으며 VRI 값이 클수록 기후변화 대응능력이 높고, 작을수록 기후변화에 취약함을 나타내도록 설계하였다. 하지만 유가영·김인애(2008)의 연구에서 Moss *et al.*(2001)의 연구에서 제안한 15개 대리변수들은 우리나라 16개 시·도에 대하여 적용하기에는 지역별 VRI 수치의 분포 범위가 좁아 이들 간의 차이가 통계적으로 유의하다고 보기 어려움을 나타내었다. 즉 우리나라에 맞는 취약성 지표를 개발하기 위해서는 계산과정에서 필요한 기후노출, 민감도, 적응능력 항목의 결정에 사용되는 항목별 대리변수들의 취사선택적 연구가 필요함을 지적하였고 이후 주성분 분석을

통하여 우리나라 실정에 맞는 기후변화 취약성 평가 지표의 최소자료 세트를 제시한 바 있다(유가영·김인애, 2008).

이러한 선행 연구 방법을 따라 본 연구에서는 선행 연구에서 제시된 주성분 분석 결과 우리나라 실정에 적절하다고 제시된 대리변수를 사용하였는데, 이를 요약하면 기후노출, 민감도, 적응능력의 세 범주는 각각 기후노출, 인간정주/기반시설과 생태계 및 보건/복지, 적응분야와 환경역량의 세 세부요소로 나누었고, 각 항목별 대리변수 목록은 기반시설, 보건, 교육, 거버넌스, 경제, 수자원, 기후, 생태계/농업 분야의 전문가 의견(experts' opinion)과 국내 통계자료의 가용성에 근거하여 대리변수를 구성하고 주성분 분석을 실시한 결과(유가영·김인애, 2008)를 사

Table 2. Summary of normalization methods.

Method	Equation
1. Ranking	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
2. Standardization (or z-scores)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^t = \bar{c}}{\sigma_{qc}^t = \bar{c}}$
3. Re-scaling	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_{qc}^t)}{\max_c(x_{qc}^t) - \min_c(x_{qc}^t)}$
4. Distance to a reference country	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^t = \bar{c}}$ or $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^t = \bar{c}}{x_{qc}^t = \bar{c}}$
5. Logarithmic transformation	$I_{qc}^t = \ln(x_{qc}^t)$
6. Categorical scales	if x_{qc}^t in the upper 5 - th percentile then $y_{qc}^t = 100$ if x_{qc}^t in the upper 15 - th percentile then $y_{qc}^t = 80$ if x_{qc}^t in the upper 35 - th percentile then $y_{qc}^t = 60$...
7. Indicators above or below the mean	if $x_{qc}^t, x_{qc}^t = \bar{c} > (1+p)$ then $I_{qc}^t = 1$ if $x_{qc}^t, x_{qc}^t = \bar{c} < (1-p)$ then $I_{qc}^t = -1$ if $(1-p) < x_{qc}^t, x_{qc}^t = \bar{c} < (1+p)$ then $I_{qc}^t = 0$
8. Cyclical Indicators (OECD)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t))}$
9. Balance of opinions (EC)	$I_{qc}^t = \frac{100}{Ne} \sum_e sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^t)$
10. Percentage of annual differences over consecutive years	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

Notes: x_{qc}^t is the value of indicator q for country c at time t . \bar{c} is the reference country. The operator sgn gives the sign of the argument (i.e. +1 if the argument is positive, -1 if the argument is negative). Ne is the total number of experts surveyed (Nardo *et al.*2005)

용하였다. Table 1에 본 연구에서 사용된 대리변수들을 요약하였다.

각 항목들의 연산에 필요한 표준화 방법은 Nardo *et al.*(2005)이 제안한 표준화 방법론을 참고하였으며, 본 연구에 사용된 표준화 방법들은 국내외 선행 연구에서 주로 사용된 Z 스코어(Z-score) 방법 또는 스케일재조정(Re-scaling) 방법을 포함하여, 순위매기기(Ranking)와 기준선과의 차이법(Distance to the reference country)을 사용하였다(Table 2).

Z 스코어 방법은 국내에서 수행되고 있는 취약성 평가에서 가장 많이 사용되는 표준화 방법 중 하나로 모든 자료들의 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 표준화를 시키는 방법이며 해당 자료의 수치가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지 나타낸다. 하지만 우리나라 232개 군·구의 자료값이 동일한 대리변수의 경우 분모인 표준편차가 0이 되어 연산이 불가하므로 해당 대리변수는 제외하고 취약성 지수를 계산하였다. 순위매기기 방법은 표준화 방

법 중 가장 간단하게 연산을 할 수 있는 방법으로 각각의 대리변수에 대하여 지역별로 순위를 판단한 뒤, 순위값과 VRI의 관계를 고려하여 대리변수의 부호를 설정하여 취약성 지수를 산출하였다.

스케일재조정 방법은 Z 스코어 방법과 유사하지만 Z 스코어 방법이 평균값과 표준편차를 이용하였다면 스케일 재조정법은 해당 변수의 전체 자료 중 최대값과 최소값을 이용하여 지표를 동일한 범위인 0~1로 표준화를 시킨 것으로 이해할 수 있다. 하지만 Nardo *et al.*(2005)에 따르면 최대값 및 최저값에서 극값이 존재할 경우 신뢰할 수 없는 이상치가 발생 할 수 있어 이러한 요인들이 왜곡된 효과를 발생시킬 수 있음을 알려 본 연구에서는 이상치에 대한 검증을 확인 후 분석하였다. 기준선과의 차이법의 경우 Moss *et al.*(2001)연구에서는 전 세계 국가를 대상으로 자료를 표준화 할 때 미국을 기준(reference)으로 사용하였는데, 이 때 가장 경제적 능력이 높은 지역을 100으로 보고, 이에 대한 상대적인 수치로 표현하였다.

Table 3. Relationship between subtleties and VRI (Vulnerability-Resilience Indicator) in 4 different standardization methods

Subtleties	Standardization method			
	Z-score	Ranking	Rescaling	Disttr
Climate exposure	(-)	(+)	(-)	(-)
Health	(-)	(+)	(-)	(-)
Settlements	(-)	(+)	(-)	(-)
Ecosystem	(-)	(+)	(-)	(-)
Adaptation	(+)	(-)	(+)	(+)
Environmental Capacity	(+)	(-)	(+)	(+)

국내 연구의 경우, 표준화 방법으로 기준선과의 차이법을 채택한 유가영·김인애(2008)의 연구에서도 경제적 능력이 가장 높은 서울지역을 기후변화에 대하여 유연성이 높을 것으로 보고 연구를 수행하였으며, 본 연구에서도 이를 참고로 하여 동일하게 서울 지역을 기준 지역으로 지정한 것을 제외하고는 Moss *et al.*(2001)과 동일한 방법으로 계산하였다. 즉 232개 구·군 지역의 대리변수 값과 서울지역 평균값의 차이를 이용하여 각 세부영역의 및 민감도, 기후노출, 적응능력 항목의 값을 산출한 뒤 이를 통하여 VRI를 계산하였다. 이 후, 네 가지 표준화 과정에 의해 산출되어진 값을 이용하여 이를 Figure 1의 개념틀에 따라 아래의 계산 방법에 의해 VRI를 계산하여 취약성 지수를 최종 계산하였다.

$$VRI = - \left[\frac{\text{평균(민감도 지수, 기후노출 지수)} - \text{적응능력지수}}{2} \right]$$

여기서 계산되는 VRI 값은 높을수록 기후변화에 대한 적응능력이 높음을, 그리고 낮을수록 기후변화에 취약함을 나타낸다. 따라서 본 연구에서 도입한 각각의 표준화 방법, 즉 Z 스코어, 순위매기기, 스케일재조정, 기준선과의 차이법에 따라 기후변화에 대하여 유연성을 증가시키는 요소는 양(+)의 부호를 기후변화에 대하여 취약성을 증가시키는 방향에는 음의 부호를 적용하였다(Table 3).

아울러 다양한 표준화 방법에 의해 산출된 VRI 결과를 객관적, 통계적으로 비교 분석하기 위하여, 각 표준화 방법별 결과를 최종 표준정규화하여 정량적으로 비교하였다. 또한 VRI 값의 정규분포 정도를 비교하기 위해 히스토그램, 왜도, 첨도를 비교 분석하였으며, Cronbach의 알파값(Nunnally, 1978)을 계

산하여 각 표준화 방법별 결과간의 내부일치성을 검증하였다.

2. 사용된 자료

본 연구에서 사용된 각 지자체별 변수에 필요한 입력자료는 CCGIS (Climate Change adaptation toolkit based on GIS, 국립환경과학원, 2010, 김철희 등, 2012)에 탑재된 자료를 그대로 사용하였다. CCGIS는 우리나라 내의 232개 각 지자체에서 기후변화 취약성 지수를 산출하도록 고안된 분석 도구로서, 계산에 필요한 각 항목들 즉 기후변화에 대한 노출, 민감도, 적응능력 항목의 계산에 사용될 수 있는 대리변수들을 각 분야별, 지자체별로 분류하여 제공하고 있다. 특히 CCGIS에서 제공하는 미래기후 자료는 기후 및 환경모델에 의해 산출되는데, 기상장은 전구기후 모델인 CCSM3 (Community Climate System Model version 3) 결과를 다운스케일링(down-

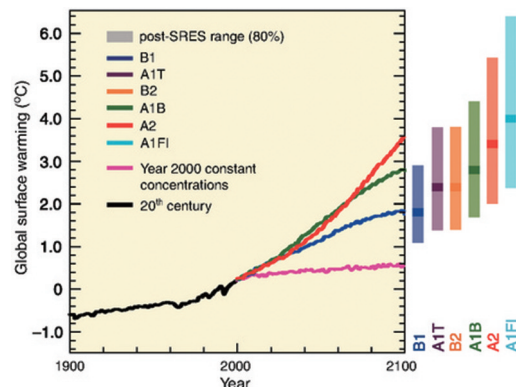


Figure 2. Scenarios of Global surface warming from 2000 to 2100 in the absence of additional climate policies (IPCC, 2007)

scaling)하고 이 자료를 지역기후모델(Regional Climate Model, RCM)인 MM5 중규모 기상모델의 입력자료로 사용하여 최종 생산한 자료이며, 대기환경자료는 GEOS-Chem (Goddard Earth Observing System Chemistry)의 결과를 지역규모 대기환경모델인 CMAQ (Community Multiscale Air Quality model)의 입력 및 경계 조건으로 사용하기 위해 기상장과 동일한 방법으로 역학적 규모 축소시kin linking tool(국립환경과학원, 2009)의 결과를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 대리변수(Table 1) 자료는 CCGIS에 탑재된 원자료를 그대로 이용하였으며, 이들 자료로부터 다양한 표준화 과정에 의해 산출되는 기후변화 취약성 지수인 VRI의 오차와 그 특징을 분석하였다.

CCGIS 프로그램에는 한반도를 기준으로 IPCC SRES 기후변화 시나리오(A2, A1B, A1T, A1FI, B1 및 B2)에 대하여 각각 2020년대(2016~2025년), 2050년대(2045~2055년), 2100년대(2091~2100년)의 미래 기후 자료가 구축되어 있으며, 본 연구에서 사용된 기후노출 자료는 SRES A1B 시나리오로서 미래에 경제성장을 가정하고 아울러 모든 에너지 공급원과 활용 기술이 동등하게 향상된다는 가정 하에서 특정한 종류의 에너지원에 의존하지 않는다는 시나리오이다. 기후 자료의 기간은 미래 특정 기간의 변칙에 의한 영향을 줄이기 위하여 2020년, 2050년, 2100년 자료의 평균값을 사용하였으며, 민감도와 적응능력의 대리변수는 2000년대(1996~2005년)자료로 CCGIS에서 사회·경제·지리 정보의 경우 미래가 아닌 현재의 자료를 기본적으로 사용하므로 이를 모두 여과 없이 사용하였다.

III. 결과

1. 시·도별 VRI 분석 결과

네 개의 표준화 방법들, 즉 Z 스코어, 순위매기기, 스케일재조정, 기준선과의 차이법으로 각각의 대리변수들을 표준화한 뒤 기후노출, 민감도, 적응능력의 세 범주를 구성하는 세부요소 내 대리변수들을 산술 평균하고, 표준화 방법에 따라 기후변화에 대하여 유

연성을 증가시키는 요소는 양(+)의 부호를, 기후변화에 대하여 취약성을 증가시키는 방향에는 음의 부호를 적용하여 VRI 지수를 산정 그 결과를 표준화 방법별로 Table 4~Table 7에 제시하였다.

Table 4는 표준화 방법 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 Z 스코어 방법에 의한 취약성 지수의 시도별 결과로 우리나라 232 군·구에 Z 스코어 방법을 적용하여 기후변화 취약성 지수를 산출하였을 때, 대전광역시, 경기도, 강원도 순으로 VRI 값이 높게 나타났다. 울산광역시, 부산광역시, 제주도 순으로 낮게 나타나 주로 남쪽에 위치한 지역이 다른 지역에 비하여 상대적으로 기후변화에 취약한 것으로 나타났다.

Z-스코어 표준화 방법론을 사용하였을 때 VRI 지수가 가장 높게 나타난 대전광역시의 경우 적응분야 항목이 -0.22 (16개 시·도 중에서 9번째)로서 상대적으로 높은 편은 아니나, 기후노출 항목이 -0.68 (16개 시·도 중에서 15번째)로 상대적으로 낮았으며, 민감도 항목에 해당하는 보건/복지 분야는 -0.55, 인간정주/기반시설은 -0.50으로 각각 11번째와 12번째로 상대적으로 낮게 나타났다(Table 4). 따라서 대전광역시의 경우 기후변화에 대한 노출이 적고, 기후변화 민감도가 낮아 기후변화에 덜 취약한 것으로 나타났다. 두 번째로 VRI가 높은 경기도 지역은 대전광역시와 유사하게 보건/복지 분야의 민감도 항목이 -0.59로 낮았으나, 적응능력 항목 중 환경영양이 전체 지역 중 네 번째로 높은 것으로 나타났다. 반면, 기후변화에 가장 취약한 것으로 나타난 울산광역시의 경우 기후노출 항목이 0.31로 16개 시·도 중 5번째로 높게 나타났으며, 적응분야와 환경영양이 각각 -0.67, -1.46로 모두 16개의 시·도 중에서 가장 낮게 나타나 다른 지역보다 상대적으로 더 취약한 것으로 계산되었다. 부산광역시의 경우 기후노출 항목이 1.22로 가장 높았으나 적응능력 항목인 환경영양과 적응분야의 값이 울산보다는 상대적으로 높게 나타나 전체 대상 지역 중 울산 지역에 이어 두 번째로 취약한 것으로 계산되었다.

Table 5는 표준화 방법 중 순위매기기(Ranking)법을 적용한 취약성 지수의 계산값을 나타낸 것이다.

Table 4. Results of VRI (Vulnerability-Resilience Indicator) over South Korea calculated by employing Z-score method.

Rank	Province*	Climate exposure	Sensitivity			Adaptive capacity		VRI
			Health	Human Settlements	Ecosystem	Adaptation	Environmental Capacity	
1	D	-0.68	-0.55	-0.50	-0.05	-0.22	0.13	0.24
2	B	-0.07	-0.59	-0.08	-0.08	0.24	0.13	0.17
3	J	-0.35	0.09	-0.17	-0.34	0.06	0.12	0.17
4	L	-0.41	0.74	-0.01	-0.91	0.01	0.05	0.13
5	E	-0.80	0.15	0.17	-0.69	-0.57	0.02	0.09
6	A	0.59	-1.01	-0.74	1.90	0.80	0.18	0.08
7	K	0.21	-0.60	1.15	-0.12	0.34	0.07	0.02
8	H	-0.34	0.69	0.39	-0.10	-0.22	0.15	-0.01
9	C	-0.06	-0.69	-0.75	1.05	-0.29	0.01	-0.02
10	G	0.05	-0.31	-0.21	0.20	-0.51	0.21	-0.06
11	I	-0.11	1.28	0.43	-0.27	0.11	-0.09	-0.09
12	M	0.32	0.35	0.03	-0.91	-0.22	-0.04	-0.10
13	F	-0.51	0.43	0.89	0.03	-0.40	-0.17	-0.13
14	P	1.17	0.10	0.10	-0.29	0.24	0.02	-0.22
15	O	1.22	-0.65	-0.56	0.36	-0.21	-0.23	-0.34
16	N	0.31	-0.48	-1.01	-0.61	-0.67	-1.46	-0.44

* Province indicates A: Seoul, B: Gyeonggi-do, C: Incheon, D: Daejeon, E: Chungcheongbuk-do, F: Chungcheongnam-do, G: Gwangju, H: Jeollabuk-do, I: Jeollanam-do, J: Gangwon-do, K: Daegu, L: Gyeongsangbuk-do, M: Gyeongsangnam-do, N: Ulsan, O: Busan, P: Jeju.

Table 5. Results of VRI (Vulnerability-Resilience Indicator) over South Korea calculated by employing Ranking method.

Rank	Province*	Climate exposure	Sensitivity			Adaptive capacity		VRI
			Health	Human Settlements	Ecosystem	Adaptation	Environmental Capacity	
1	B	113.30	98.62	-90.46	-42.65	22.00	-114.71	48.63
2	L	144.17	-14.04	-103.84	35.86	31.33	-105.96	47.86
3	A	68.39	118.17	-68.92	-135.44	0.33	-147.92	46.81
4	H	137.66	-14.19	-132.48	-36.43	25.00	-130.07	45.42
5	D	147.96	67.47	-63.37	-58.80	66.67	-114.50	44.39
6	J	153.26	30.78	-94.64	-35.24	35.00	-90.97	44.05
7	I	121.76	-38.80	-127.96	-15.32	28.33	-138.80	42.88
8	M	90.57	9.78	-106.54	35.78	34.00	-120.40	39.16
9	K	103.35	72.00	-129.80	-34.33	17.33	-86.56	35.47
10	C	107.74	88.33	-54.56	-115.70	50.00	-106.65	34.27
11	N	96.56	95.27	-58.97	3.40	79.67	-105.20	33.83
12	F	143.96	7.38	-157.90	-68.94	50.00	-100.44	30.31
13	O	49.90	75.02	-79.83	-85.00	43.33	-143.28	29.98
14	E	170.28	31.42	-125.01	5.83	98.67	-73.71	29.02
15	G	95.80	55.07	-98.91	-60.20	85.00	-130.40	26.63
16	P	83.30	17.83	-123.43	-18.83	35.00	-61.75	17.14

* Note; Province indications are the same as in Table 4.

Ranking법은 방법론 적용에 있어 문자 그대로 순위를 매기는 방법이므로, 민감도와 기후노출 대리변수의 순위 값이 높을수록 VRI 값이 커져 기후변화에 대한 유연성이 높아지고, 적응능력 대리변수의 값이 높을수록 VRI는 작아져 기후변화에 대해 취약한 것으로 나타난다. 따라서 각 계산값의 부호가 반대로 적용되어야 취약성 지수의 해석이 다른 방법과 비교 가능하다(Table 3). 예를 들어 대리변수 중 일 강수량이 80mm 이상인 날의 횟수의 경우 Z 스코어, 스케일 재조정, 기준선과의 차이를 이용하여 표준화 과정을 실시할 때 그 값이 클수록 기후변화에 취약한 것으로 볼 수 있으나, 순위매기기 방법은 일 강수량이 80mm 이상인 날의 횟수가 많을수록 해당 지역의 순위 값은 낮아지게 된다. 따라서 본 연구에서는 일관성 있는 비교 분석을 위하여 부호를 반대로 적용하여 그 결과를 Table 5에 수록하였다.

순위매기기 방법에 의한 계산 결과를 살펴보면, 경기도와 경북지역에서 기후변화에 대하여 가장 유연성이 높게 (취약성이 낮게) 나타났으며, 제주도와 광

주광역시가 다른 지역에 비해 상대적으로 더 취약한 것으로 나타났다. 경기도의 경우, 민감도에 해당하는 보건/복지 분야의 순위의 평균 98.62 (전체 지역 중 두 번째로 높은 순위)를 보여 기후변화에 대하여 유연성이 높은 것으로 나타났으며, 민감도 항목인 인간 정주의 경우에도 -90.46로 전체 16개 시·도 중 6번째로 높게 나타나 기후변화에 대한 민감도가 다른 지역에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 환경역량과 적응 분야의 경우에도 순위값이 -114.71, 22.00으로 다른 지역에 비해 낮게 나타나 상대적으로 다른 지역과 비교하여 높은 적응능력을 나타냈다. 반면 제주도의 경우 기후노출 대리변수의 순위 값이 83.30으로 매우 낮게 나타나 기후변화에 더 취약한 것으로 나타났으며, 기후변화에 대한 민감도 범주의 평균값을 산출하였을 때 16개 시·도 중에서 네 번째로 기후변화에 대하여 민감한 것으로 나타나 다른 지역에 비해 기후변화에 매우 취약한 것으로 나타났다.

스케일 재조정법을 적용한 VRI 값 (Table 6)은, 서울특별시와 경기도가 기후변화에 가장 유연하게(취약

Table 6. Results of VRI (Vulnerability-Resilience Indicator) over South Korea calculated by employing Rescaling method.

Rank	Province*	Climate exposure	Sensitivity			Adaptive capacity		VRI
			Health	Human Settlements	Ecosystem	Adaptation	Environmental Capacity	
1	A	0.50	-0.27	-0.60	-0.25	0.33	-0.01	0.05
2	B	0.33	-0.21	-0.51	0.29	0.19	-0.02	-0.01
3	C	0.32	-0.21	-0.66	-0.02	0.01	-0.03	-0.01
4	D	0.24	-0.18	-0.63	0.28	0.02	-0.02	-0.01
5	J	0.24	-0.00	-0.54	0.35	0.11	-0.02	-0.02
6	K	0.42	-0.16	-0.32	0.31	0.19	-0.02	-0.05
7	L	0.26	0.19	-0.49	0.51	0.11	-0.03	-0.06
8	H	0.28	0.15	-0.42	0.30	0.03	-0.02	-0.07
9	G	0.36	-0.09	-0.57	0.22	-0.07	-0.01	-0.07
10	E	0.19	0.01	-0.45	0.45	-0.07	-0.03	-0.07
11	I	0.33	0.33	-0.35	0.34	0.13	-0.04	-0.09
12	F	0.25	0.08	-0.26	0.26	-0.02	-0.06	-0.09
13	P	0.54	-0.02	-0.49	0.35	0.16	-0.03	-0.09
14	O	0.58	-0.16	-0.62	0.18	0.03	-0.04	-0.10
15	M	0.41	0.07	-0.47	0.51	0.04	-0.04	-0.11
16	N	0.41	-0.19	-0.69	0.43	-0.09	-0.20	-0.14

* Note; Province indications are the same as in Table 4.

Table 7. Results of VRI (Vulnerability-Resilience Indicator) over South Korea calculated by employing Distance to the reference country method.

Rank	Province*	Climate exposure	Sensitivity			Adaptive capacity		VRI
			Health	Human Settlements	Ecosystem	Adaptation	Environmental Capacity	
1	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	G	-0.20	0.17	0.16	1.04	-0.70	-0.87	-0.46
3	D	-0.37	0.09	0.16	1.15	-0.60	-6.92	-1.90
4	O	0.12	0.20	0.19	0.86	-0.57	-7.68	-2.20
5	K	-0.18	0.16	0.13	1.12	-0.66	-23.60	-6.14
6	H	-0.30	0.93	0.18	1.11	-0.84	-27.37	-7.16
7	B	-0.27	0.09	0.22	1.10	-0.75	-28.92	-7.47
8	C	-0.29	0.08	0.12	0.42	-0.88	-29.45	-7.56
9	J	-0.37	0.59	0.21	0.99	-0.73	-36.59	-9.39
10	E	-0.45	0.55	0.23	1.43	-1.02	-36.89	-9.55
11	P	0.18	0.68	0.29	1.31	-0.72	-41.65	-10.83
12	L	-0.35	0.98	0.22	1.56	-1.05	-54.11	-13.93
13	I	-0.19	1.46	0.29	1.25	-0.96	-94.78	-24.14
14	M	-0.12	0.71	0.19	1.62	-1.00	-100.17	-25.47
15	F	-0.35	0.73	0.27	1.11	-0.99	-159.86	-40.30
16	N	-0.14	0.12	0.16	1.39	-1.18	-423.60	-106.30

* Note; Provinces are the same as in Table 4.

성이 낮게) 나타났으며 울산광역시와 경상남도가 다른 시·도에 비하여 상대적으로 더 취약한 것으로 나타났다. 서울특별시의 경우 기후노출 항목이 0.50으로 16개 시·도 중 세 번째로 높았으나 민감도와 관련된 보건/복지, 인간정주, 생태계 분야의 대리변수 값이 각각 16위, 12위, 16위로 매우 낮게 나타났으며, 기후변화에 대한 적응능력 항목과 관련된 환경역량과 적응분야의 경우 -0.01, 0.33으로 각각 2위와 1위로 매우 높았다. 결국 서울특별시의 경우 기후에 상대적으로 많이 노출되지만, 기후변화에 대한 민감도 항목은 매우 낮고 적응능력 항목이 높아 기후변화에 대하여 유연성이 높게 나타났다. 반면 울산광역시의 경우 기후변화에 매우 취약한 것으로 나타났는데, 이는 적응능력 항목인 환경역량과 적응분야가 각각 -0.20, -0.09로 가장 낮게 나타난 것에 기인하였다 (Table 6). 그러나 스케일 재조정법은 자료의 최소값과 최대값을 이용하여 대리변수를 표준화 시키므로, 대리변수의 값에 극한 이상치가 존재할 경우 분모가 커짐에 따라 (Table 2) 기후변화 취약성 평가를 수행하는 경우 지

역간의 취약성 지수의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않을 수 있어 사용시 주의가 필요할 것으로 판단된다.

기준선과의 차이법을 이용하여 서울지역의 평균값을 기준으로 232개 구·군 지역의 대리변수 값의 차이를 이용하여 민감도, 기후노출, 적응능력 항목의 및 VRI 값을 계산하여 Table 7에 수록하였다. 그 결과 서울특별시와 광주광역시의 VRI 지수가 상대적으로 높게 (기후변화에 덜 취약하게) 나타났으며, 울산광역시와 충청남도에서는 VRI 지수가 상대적으로 낮게 (기후변화에 더 취약하게) 나타났다. 특히 서울특별시의 경우 기후노출 항목이 전체 시·도 중에서 3번째로 높게 나타낸 반면, 민감도 항목인 보건/복지, 인간정주/기반시설, 생태계는 대상 시·도 중에서 가장 낮게, 그리고 적응능력항목인 환경역량 및 적응분야의 경우에는 전체 시·도 중에서 가장 높게 나타났다. 이는 기준선과의 차이법에서 기준도시를 경제적인 능력이 가장 높은 서울지역이 기후변화에 대하여 유연성이 가장 높을 것이라고 가정한 방법론에 기인한 결과로 볼 수 있다. 반면 울산광역시가 기후변

Table 8. Comparisons of VRI results produced by Z-score, Ranking, Rescaling, Distance to the reference country method.

Rank	Z-score		Ranking		Rescaling		Disttr	
	Province*	VRI	Province	VRI	Province	VRI	Province	VRI
1	D	0.24	B	48.63	A	0.05	A	0.00
2	B	0.17	L	47.86	B	-0.01	G	-0.46
3	J	0.17	A	46.81	C	-0.01	D	-1.90
4	L	0.13	H	45.42	D	-0.01	O	-2.20
5	E	0.09	D	44.39	J	-0.02	K	-6.14
6	A	0.08	J	44.05	K	-0.05	H	-7.16
7	K	0.02	I	42.88	L	-0.06	B	-7.47
8	H	-0.01	M	39.16	H	-0.07	C	-7.56
9	C	-0.02	K	35.47	G	-0.07	J	-9.39
10	G	-0.06	C	34.27	E	-0.07	E	-9.55
11	I	-0.09	N	33.83	I	-0.09	P	-10.83
12	M	-0.10	F	30.31	F	-0.09	L	-13.93
13	F	-0.13	O	29.98	P	-0.09	I	-24.14
14	P	-0.22	E	29.02	O	-0.10	M	-25.47
15	O	-0.34	G	26.63	M	-0.11	F	-40.30
16	N	-0.44	P	17.14	N	-0.14	N	-106.30

* Note; Province indications are the same as in Table 4.

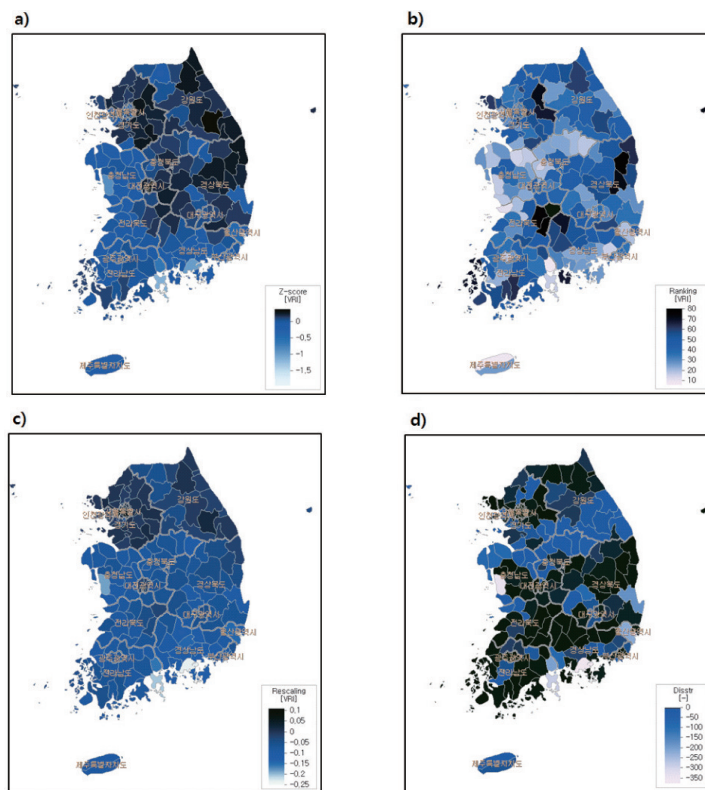


Figure 3. Spatial distributions of calculated VRI by employing four different standardization methods; a) Z-score, b) Ranking, c) Rescaling, d) Distance to the reference country.

화에 대하여 가장 취약한 것으로 나타났는데, 이는 기후노출의 값이 -0.14 (전체 시·도 중에서 5번째)로서 상대적으로 높은 값을 나타남과 동시에, 적응능력 항목인 환경역량과 적응분야에서 -423.6과 -1.18로 전체 시·도 중에서 16번째로 다른 지역에 비해 적응능력이 현저히 낮게 계산된 결과로 이해할 수 있으며, 또한 기준 지역으로 삼은 서울과 비교하여 지역적 특성 차이가 매우 뚜렷한데서 기인한 결과로 이해할 수 있다.

Z 스코어, 순위매기기, 스케일 재조정, 기준선과의 차이법을 이용하여 기후변화 취약성 평가를 실시한 결과, 전체적인 경향으로는 한반도 내에서 고위도에서 저위도 쪽으로, 내륙에서 해안으로 지역이 이동함에 따라 기후변화에 대하여 상대적으로 취약하며, 비도시지역이 도시지역에 비해 기후변화의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타나는 등 표준화 방법론별로 전체적으로 유사한 경향성을 나타냈다. 하지만 세부적으로 볼 때 한반도 내에서 기후변화에 따른 지역간의 상대적인 취약성 순위는 일부 상이하게 나타남을 알 수 있다(Table 8, Figure 3). 이러한 차이점을 보다 자세히 분석하기 위하여 전체 시도별 VRI의 공간 분포에 대한 추가적인 연구를 수행하였다.

2. 표준화 방법별 공간분포 특성 비교

Z 스코어, 순위매기기, 스케일 재조정, 기준선과의 차이의 표준화 방법에 따라 나타나는 정량적인 VRI 값은 각 방법에 따라 계산되는 지수값의 절대 크기가 상이하여 직접적인 비교가 어렵다. 따라서 표준화 방법에 따른 기후변화 취약성 지수 결과의 차이 및 특징을 정량적으로 비교하기 위하여, 각 표준화 방법에 따라 산출되어진 전체 232개 지역에 대한 각 항목별 대리변수의 최대값, 최소값, 표준편차값을 이용하여 공간적으로 상대적 크기 비교가 가능하도록 아래와 같은 통계적 분포특성 파라미터 (Statistical Distribution Parameter; SDP) 표준화 과정을 추가하였다.

$$SDP = \frac{\max (x_{ij}^0) - \min (x_{ij}^0)}{\sigma_{qc} = \bar{c}}$$

여기서 SDP는 각 표준화 방법별 전체 지역에 대한 최대값과 최소값의 차이와 편차의 비(ratio)로서 기

후변화 취약성 지수의 극값의 분포 특성, 즉 지역별 차이가 얼마나 두드러지는가에 대한 파라미터이며, x_{ij}^0 는 각각의 표준화 방법에 따라 산출되어진 각 VRI의 값을 의미하고, $\sigma_{qc} = \bar{c}$ 는 그에 따른 표준편차를 의미한다. 따라서 SDP는 각각의 Z 스코어, 순위매기기, 스케일재조정, 기준선과의 차이 방법에 의해 산출되어진 표준편차를 사용한 계산과정이므로 항목별 비교뿐만 아니라 계산되는 VRI의 지역분포 역시 직접적인 크기를 비교할 수 있게 된다.

이상에서 계산된 지역별 계산된 결과와 그 공간 분포를 Figure 4와 Table 9에 나타내었다. 그 결과 표준화 방법에 따라 기후변화 취약성을 구성하는 항목별 공간분포 결과는 표준화 방법간 다소 차이를 볼 수 있는데, 예를 들어 환경역량은 순위매기기 방법을 제외하였을 때 최대지역과 최소지역의 차이는 평균적으로 표준편차의 약 7.5배 이상으로 크게 나타난 반면, 적응분야는 지역 간의 차이가 표준편차의 약 4배 정도로 작게 나타났다. 표준화 방법별 세부 항목을 비교하였을 때, Z 스코어 방법은 기후노출, 보건/복지 분야와 인간정주/기반시설, 환경역량의 분포를 상대적으로 높게 계산하였으며, 스케일 재조정법은 환경역량의 분포의 차이를 가장 뚜렷하게 나타내었다. 기준선과의 차이법의 경우 Z 스코어 방법과 유사하게 인간정주/기반시설의 분포 정도를 표준편차의 7.4배, 환경역량의 분포정도를 표준편차의 7.6배로 높게 나타내었다. 또한, Z 스코어법을 이용하였을 때 산출되어진 VRI 값은 지역간 표준편차의 약 8.8배로 지역간 공간분포가 상대적으로 가장 뚜렷하게 나타난 반면,

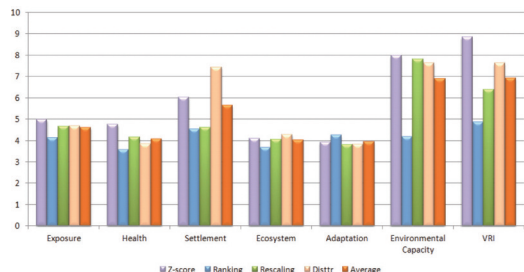


Figure 4. Comparisons of various VRI variables produced by employing four different standardization methods; Z-score, Ranking, Rescaling and Distance to the reference country.

Table 9. Comparisons of statistical distributions produced by Z-score, Ranking, Rescaling and Distance to the reference country.

Standardization	Field						
	Climate exposure	Health	Human Settlements	Ecosystem	Adaptation	Environmental Capacity	VRI
Z-score	4.98	4.75	6.02	4.10	3.92	7.98	8.83
Ranking	4.14	3.57	4.54	3.68	4.25	4.18	4.85
Rescaling	4.67	4.15	4.60	4.06	3.80	7.80	6.38
Distr	4.67	3.84	7.42	4.27	3.83	7.61	7.62
Average	4.61	4.08	5.64	4.03	3.95	6.90	6.92

순위매기기 방법은 기후변화 취약성을 구성하는 세부 요소 및 취약성 지표에서도 다른 표준화 방법에 비해 크게 뚜렷한 차이를 나타내지 못하였다. 또한 Z 스코어, 스케일 재조정, 기준선과의 차이법에 따른 표준화 방법에서는 다른 범주와 비교하여 가장 높은 지역간 공간분포 차이를 나타낸 환경역량 범주에서 상대적으로 낮은 차이를 나타내는 등의 차이를 보였고, 이는 순위매기기 방법에서 지역간 대리변수 값의 차이를 반영하지 않고 단순히 순위로만 나타내어 지역간의 분포가 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

3. 통계적 방법을 이용한 표준화 방법별 차이 분석

표준화 방법에 따른 기후변화 취약성 지수의 결과에 대한 통계적 정규성을 비교하기 위하여 232개 지역의 표준화 방법별 VRI 값을 표준정규분포로 Figure 5에 제시하였고 관련 통계값을 Table 10에 요약하였다. 표준정규분포를 이용하여 표준화 방법별 VRI 값을 비교한 결과, Z 스코어법은 첨도가

20.35로서 정규분포를 이루고 있을 때의 첨도인 3보다 높게 나타나 중심 부근에서 높은 밀도를 가지며, 좌측으로 긴 꼬리를 가지는 표준정규분포 형태를 나타냈다. 순위매기기의 경우 표준화 방법 중 표준정규분포의 형태가 가장 뚜렷하였으며 이는 대리변수로서 사용되어지는 자료 값의 지역별 차이가 반영되지 않고, 단순 순위로 변경되어 취약성 지수가 산출됨에 따라 취약성 평가 결과의 차이 또한 적게 나타난 것으로 판단된다. 스케일재조정법의 경우 중심 부근에서 빈도가 낮게 나타나는 경향을 확인하였으나 전체적으로 표준정규분포를 잘 나타내고 있는 반면, 기준선과의 차이법은 중심 부근에서 약 200여개의 VRI의 빈도가 밀집되어 나타나는 것을 확인하였다. 이는 Figure 3. d)에서 알 수 있듯이 지역간 VRI 값의 차이는 존재하지만, VRI 값의 차이는 다른 표준화 방법과 비교하여 매우 작으며 그 차이가 통계적으로 유의한지에 대한 검증이 필요함을 암시한다.

그리고 각각의 표준화 방법들이 가지는 내부일치

Table 10. Statistical summary of Z-score, Ranking, Rescaling, Distance to the reference country method.

	Z-score	Ranking	Rescaling	Distr
Average	0	0	0	0
Standard deviation	1.00	1.00	1.00	1.00
Variance	1.00	1.00	1.00	1.00
Skewness	-3.63	0.10	-0.08	-5.37
Kurtosis	20.35	-0.39	1.36	30.56
Range	8.83	4.85	6.38	7.62
Minimum	-7.38	-2.24	-3.53	-7.32
Maximum	1.45	2.61	2.86	0.30
Percentile 50	0.09	0.06	-0.22	0.26
Cronbach's alpha	0.81			

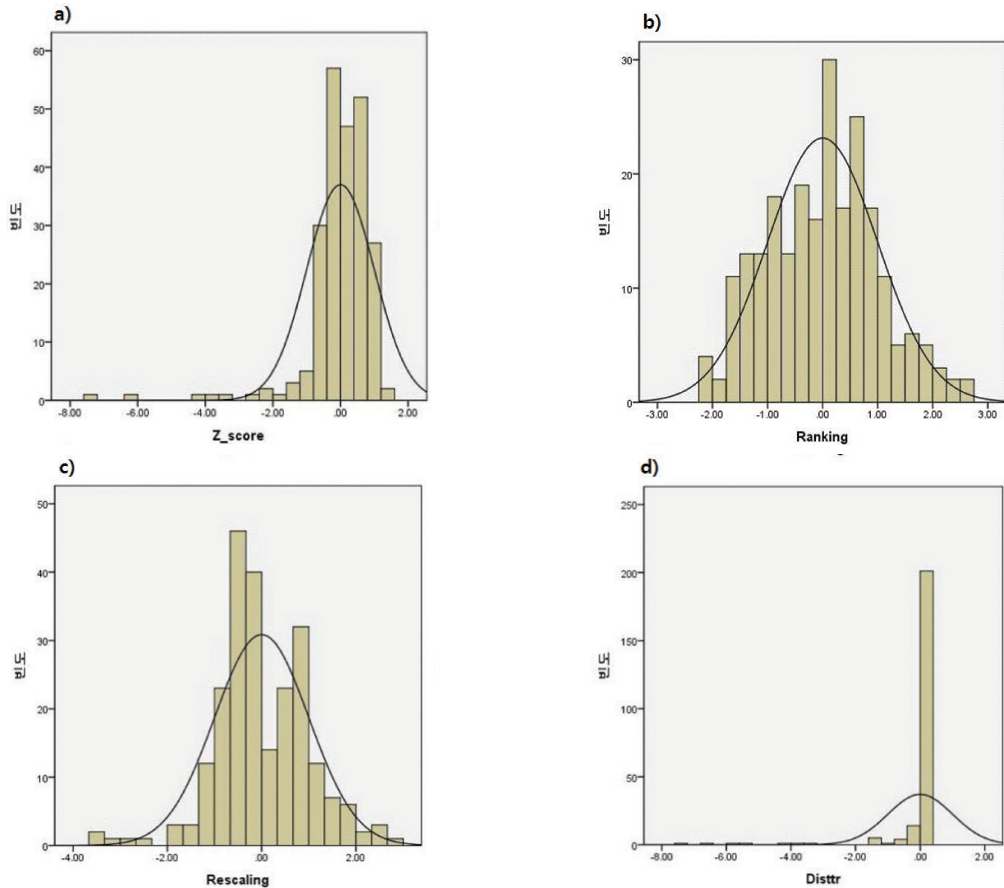


Figure 5. Distributions of calculated VRIs by employing four different standardization methods; a) Z-score, b) Ranking, c) Rescaling, d) Distance to the reference country.

성을 검증하기 위하여 아래와 같이 크론바하의 알파 (Cronbach's alpha) 값을 계산하였다.

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left(1 - \frac{\sigma_i^2}{\sigma_t^2} \right)$$

여기서 N은 평가 항목의 수, σ_i^2 는 각 항목의 분산, σ_t^2 는 총 분산을 의미하며, 선행 연구에서 탐색적인 연구 분야에서는 크론바하의 알파 계수가 0.6 이상이면 두 집단의 성질이 충분히 일치하는 것으로 통용되고, 기초과학연구 분야에서는 0.8 이상, 중요한 결정이 요구되는 응용연구 분야에서는 0.9 이상이 되어야 집단간 내부적으로 일치함을 나타냈다 (Nunnally, 1978). 본 연구에서 사용된 네 가지 표준화 방법을 하나의 척도로 보았을 때 Z 스코어, 순위 매기기, 스케일재조정, 기준선과의 차이 방법에 따라 산정되어진 VRI의 내부일치성을 확인하였을 때, 크

론바하의 알파 계수는 0.81로 매우 높게 나타났다. 이는 네 표준화 방법에 의한 기후변화 취약성 평가에서 고위도에서 저위도쪽으로, 내륙에서 해안으로 지역이 이동함에 따라 기후변화에 대하여 상대적으로 취약하며, 비도시지역이 도시지역에 비해 상대적으로 기후변화의 영향을 상대적으로 크게 받는 경향성을 네가지 표준화 방법에서 모두 유사하게 반영하는 것으로 판단된다. 또한 네 방법간의 내부일치성을 비교하기 위하여 하나의 표준화 방법을 차례로 제외하여 크론바하의 알파값을 산출하였을 때, Z 스코어 방법과 스케일재조정을 제외한 결과가 각각 0.68, 0.76로 나타나 다른 두 표준화 과정을 제거하였을 때의 결과보다 낮게 나타났다. 이는 Z 스코어 방법과 스케일 재조정법이 서로 매우 유사한 결과를 도출하

는 것을 나타내는 것이며 아울러 네 방법간 내부일치성을 높이는데 많은 기여를 하고 있는 것을 의미한다. 반면, 순위매기기와 기준선과의 차이법을 제거한 뒤 크론바하의 알파값을 산출하였을 때는 각각 0.81, 0.80으로 값의 뚜렷한 차이가 나타나지 않아 순위매기기와 기준선과의 차이는 방법론에서 볼 때 다소 내부일치성이 감소되는 것으로 나타났다. 표준화 방법간 VRI 결과의 상관행렬 값을 확인하였을 때 Z 스코어 방법과 스케일재조정법은 약 0.7로 높은 상관관계가 나타났지만, 순위매기기의 경우 Z 스코어와는 0.59, 스케일재조정법과는 0.44, 기준선과의 차이의 경우 0.34로 낮게 나타나, SDP를 이용한 분석의 결과와 유사하게 다른 표준화 과정과 상이한 결과를 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

결론적으로, 네가지 표준화 방법에 따라 나타나는 VRI의 계산 값은 대체로 전반적인 지역적 특성을 모두 반영하는 것으로 일관성 있게 나타났고, 특히 Z 스코어 법과 스케일재조정법은 매우 유사한 결과를 보였다. 하지만 네가지의 표준화방법을 통한 취약성 지수의 공간 분포는 다소 상이한 결과를 보여 주었으며, 지역별 취약성 순위 또한 소폭의 차이가 발견되었다. 예를 들어 순위매기기를 이용하여 기후변화 취약성 지수를 산정할 경우, 대리변수로 사용되어지는 지역 간 자료의 수치의 차이가 적게 나타남에도 불구하고 단순 순위의 차이는 분명히 무시할 수 없을 만큼 나타났고, 또한 평가 대상지역의 수가 가중치의 역할을 하여 기후변화 취약성 결과에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있어, 취약성 평가시 다각적인 검증이 필요할 것으로 판단된다. 그리고 기준선과의 차이법 또한 기준 설정에 대한 항목별 기준을 어디에 두느냐에 따라 다소 결과의 차이가 존재할 수 있음을 암시하므로 기준선 차이법 또한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 표준화 방법에 따른 기후변화 취약성 지수의 불확실성을 분석하기 위해 네 가지 표준화 방법을 도입하여 한반도 전체 232개 지역을 대상으로 기

후변화 취약성 지수를 산정하여 그 결과를 비교하였다. 분석에 사용된 자료 중 기후노출 자료는 IPCC SRES A1B 시나리오 자료를 이용하였으며, 각 항목별 대리변수는 선행 연구를 참고하여 선정하였다. 사용된 표준화 방법은 Nardo *et al.* (2005)에서 제시한 표준화 방법 중 Z 스코어(Z-score), 순위매기기(Ranking), 스케일재조정(Rescaling), 기준선과의 차이(Distance to reference country)를 이용하였으며, 최종적인 기후변화 취약성 지수 산정은 유가영·김인애(2008)에서 제시된 VRI 방법을 사용하였다. 네 가지 서로 다른 표준화 방법으로 기후변화 취약성 평가를 수행한 결과 전체적인 경향은 한반도 내에서 고위도에서 저위도 쪽으로, 내륙에서 해안으로 지역이 이동함에 따라 기후변화에 대하여 상대적으로 취약한 것으로 나타났으며, 비도시지역이 도시지역에 비해 상대적으로 기후변화의 영향을 많이 받는 것으로 나타나 전체적인 VRI의 공간 분포경향은 유사하게 나타났다. 그러나 시·도별 기후변화 순위는 다소 상이하게 나타나 표준화 방법이 기후변화 취약성 평가의 결과에도 지역에 따라 다소 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 특히 항목별 및 기후변화 취약성 결과의 공간 분포는 표준화 방법에 따라 다소 차이를 나타냈으며, 기후변화 취약성에서 Z 스코어 방법과 스케일재조정법이 상대적으로 지역간의 분포를 유사하게 나타낸 반면, 순위매기기 방법은 상대적으로 지역간의 차이를 작게 나타냄과 동시에 다른 표준화 방법의 결과와의 차이도 크게 나타났다. 이는 지역간 대리변수 값의 차이를 반영하지 않고 단순히 순위로만 나타내어 지역간의 분포가 뚜렷하게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

표준화 방법에 따른 정규성을 검증하기 위하여 각각의 표준화 방법에 따른 VRI 지수의 표준정규분포를 확인한 결과, Z 스코어 방법은 중심에서 높은 밀도를 나타내었으며, 순위매기기와 스케일 재조정법은 상대적으로 고른 정규 분포를 나타내었다. 하지만 기준선과의 차이법은 중심 부근에서 200개 정도의 값이 밀집되는 것으로 나타나 지역간의 취약성 지수의 차이가 통계적으로 유의한지에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 순위매기기 방법을 제외

한 표준화 방법에서 대리변수에서 이상 극값이 존재하는 경우, 표준화 과정에서 오차가 크게 발생하는 경향을 보였다. 그리고 순위매기기를 이용하여 기후변화 취약성 지수를 산정할 경우, 대리변수로 사용되는 자료의 지역간 수치 차이는 크지 않음에도 불구하고 단순 순위의 차이는 크게 나타났다. 이에 따라 대상 지역의 수가 가중치의 역할을 하여 기후변화 취약성 결과에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였으며, 기준선과의 차이법을 이용할 경우 기준 지역으로 선정된 지역이 기후변화에 대하여 유연성이 가장 높은 지역을 대표할 수 있는지에 대한 확인이 필요하다.

본 연구를 통하여 표준화 방법 중 Z 스코어 방법과 스케일 재조정법이 통계적으로 유사하며 또한 단점이 적어 취약성 지수 계산시 추천할만한 방법으로 판단되나, 각 표준화 방법에 따라 기후변화 취약성 평가의 결과 또한 어느 정도의 변동성이 발생할 수 있음을 확인하였으며, 향후 기후변화 취약성 지수 계산의 오차 평가시 계산상의 상대적인 불확실성을 참고할 수 있는 기초결과로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 취약성 평가를 위해 사용되는 자료의 기간이 짧을 경우 해당 기간의 특징에 취약성 평가의 결과가 영향을 받을 수 있으므로, 기후변화에 대한 취약성을 평가하기 위해서는 이상 극값을 제거하고, 취약성 평가를 위해 사용되어지는 대리변수들에 대하여 장기간의 자료가 확보되어야 할 것으로 판단된다. 마지막으로 본 연구에서는 미래사회 경제 시나리오를 사용하지 않았으나 추가적으로 미래사회 경제 시나리오를 개발하여 본 연구에 사용한다면 더 정확한 오차 분석 연구가 진행될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임

참고문헌

- 고재경, 2009, 경기도 기후변화 취약성 평가 연구, 경기개발연구원.
- 고재경, 2011, 지방자치단체 기후변화 취약성 유형 및 적응방안 연구: 경기도 사례를 중심으로, 한국사회와 행정연구, 22(2).
- 국립환경과학원, 2009, GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발(I).
- 국립환경과학원, 2010, 기후 및 대기환경 통합 모델링 구축 및 운영(III).
- 국립환경과학원, 2012, 기후변화 부문별 취약성 지도(총괄·요약).
- 김선명, 김남의, 2012, 기후변화 취약성 평가에 관한 연구 -전남 22개 시·군을 중심으로-, 한국거버넌스학회보, 19, 99-123.
- 김연주, 전성우, 채여라, 최현아, 2010, 기후변화 취약성 지수분석을 통한 국가적응역량 제고 방안 모색, 한국환경정책 평가연구원.
- 김철희, 김은화, 송창근, 홍유덕, 이정아, 홍성철, 2011, 한반도 기후 변화 적응을 위한 취약성 지수 산정에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 20(6), 789-798.
- 유가영, 김인애, 2008, 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 이정아, 송창근, 이현주, 홍유덕, 2011, 전국 지자체 단위 기후변화 부문별 취약성평가 표준화 방법론 개발, 한국대기환경학회 2011년 추계 학술대회 논문집, 154.
- 최현아, 이우균, 곽한빈, 최성호, 변재균, 유성진, 2009, 시·공간정보기반 기후변화 취약성 평가, 한국공간정보시스템학회 논문지, 11(3), 63-69.
- 환경부, 국가기후변화적응센터, 2010, 지자체 기후변화 영향평가 및 적응대책 수립·지원, 서울특별시 기후변화 영향평가 및 적응대책 세무시행계획 수립: 건강 및 재난분야.
- 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.
- Downing, T.E., M.J. Watts, and H.G. Bohle, 1996, Climate change and food insecurity: Toward a sociology and geography of vulnerability. In: *Climate Change and World Food Security* [Downing, T.E. (ed.)]. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 183-206.
- IPCC, 2007, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Lonergan, S., K. Gustavson, and M. Harrower, 1999, Mapping human insecurity, in S.C. Lonergan (ed.), *Environmental Change, Adaptation, and Security*, Dordrecht, NATO/Kluwer, 397-413.
- 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.
- Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli, and S. Taranta, 2005, *Tools for Composite Indicators Building*, European Commission Joint Resarch Centre, EUR 21682 EN.
- Nunnally, J. C., 1978, *Psychometric Theory* 2nd ed., McGraw-Hill.
- Stern, N., S. Peters, V. Bakhshi, A. Bowen, C. Cameron, S. Catovsky, D. Crane, S. Cruickshank, S. Dietz, N. Edmonson, S.-L. Garbett, L. Hamid, G. Hoffman, D. Ingram, B. Jones, N. Patmore, H. Radcliffe, R. Sathiyarajah, M. Stock, C. Taylor, T. Vernon, H. Wanjie, and D. Zenghelis, 2006, *Stern Review: The Economics of Climate Change*, HM Treasury, London.
- Wehhbe, M.B., R.A. Seiler, M.R. Vinocur, H. Eakin, C. Santos, and H.M. Civitaresi, 2005, *Social methods for assessing agricultural producer's vulnerability to climate variability and change based on the notion of sustainability, Assessments of Impacts and Adaptations of Climate Change Working Papers*.

최종원고채택 13. 12. 04