



주성분 분석을 이용한 농업생산기반의 재해 취약성 평가에 관한 연구

A Study on the Vulnerability Assessment for Agricultural Infrastructure using Principal Component Analysis

김성재* · 김성민** · 김상민***,†

Kim, Sung Jae · Kim, Sung Min · Kim, Sang Min

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate climate change vulnerability over the agricultural infrastructure in terms of flood and drought using principal component analysis. Vulnerability was assessed using vulnerability resilience index (VRI) which combines climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity. Ten flood proxy variables and six drought proxy variables for the vulnerability assessment were selected by opinions of researchers and experts. The statistical data on 16 proxy variables for the local governments (Si, Do) were collected. To identify major variables and to explain the trend in whole data set, principal component analysis (PCA) was conducted. The result of PCA showed that the first 3 principal components explained approximately 83 % and 89 % of the total variance for the flood and drought, respectively. VRI assessment for the local governments based on the PCA results indicated that provinces where having the relatively large cultivation areas were categorized as vulnerable to climate change.

Keywords: Climate change; vulnerability assessment; vulnerability resilience index; principal component analysis; agricultural infrastructure

1. 서 론

최근에 발생하는 기후변화로 인해 국내에도 강우의 계절적 변동성이 점차적으로 증가하는 추세이며 강수일수는 감소하나 강우강도는 증가함에 따라 강수량의 증가로 인한 인명 및 재산 피해가 급증하고 있다 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008). 국립기상연구소에서 A1B 시나리오를 기준으로 한반도의 기후변화를 예측한 결과 20세기말 (1971~2000) 대비 21세기말 (2001~2100)의 기온변화는 한반도 전 지역에 대하여 4 °C 상승하고, 강수량은 한반도 전 지역에 대하여 17 % 증가할 것으로 전망하였다 (NIMR, 2009). 이러한 변화로 인해 기후변화의 영향에 가장 민감한 분야 중 하나인 농업분야의 경우 농산물 시장의 교란이 발생되고, 기상재해로 인한 농업생산기반의 피해가 증가할 것으로 예상된다.

인류가 기후변화에 잘 적응하기 위해서는 취약성에 대한 정보

가 필요하며, 취약성의 개념은 전염병이나 기근 문제 등 여러 분야에서 오래 전부터 사용되어 오던 개념이다. 기후변화에 따른 취약성평가는 IPCC 1995년 제 2차 평가보고서부터 도입되기 시작하여, 2001년 제 3차, 2007년 제 4차 평가보고서에 이르러 취약성이 기후변화 적응과 영향을 연계시키는 주요한 개념으로 자리잡게 되었다.

Yoo and Kim (2008)은 우리나라 16개 시·도를 대상으로 취약성을 평가하기 위해 UNDP (2005), Brooks et al. (2005) 및 Moss et al. (2001)의 연구에서 사용한 민감도와 적응능력을 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 개념들에 따라 기후에 대한 노출, 시스템의 민감도 정도 및 시스템이 이에 대응할 수 있는 적응능력의 함수 등 세 범주로 구성하여 취약성의 개념으로 사용하였고, 기존의 연구들에서 적용된 바 있는 대리변수 항목들의 비교를 통해 총 33개의 대리변수 (Proxy variables)를 선정하여 표준화 과정을 거쳐 취약성-탄력성 지표 (Vulnerability Resilience Index, VRI)를 나타내었으며 각 대리변수에 대한 주성분 분석을 통해 지역별 공통 지표 및 지역별 차이를 보이는 요소를 도출하였다.

Kim et al. (2011a)은 수자원 분야의 전문가 집단을 대상으로 델파이 기법을 사용하여 우리나라 중·소하천의 기후변화에 따른 취약성 평가를 진행한 바 있고, Myeong et al. (2010)은 전문가 설문 방법으로 미래 기후변화 시나리오에 따라 평균기온

* (주)그린텍아이엔시 시스템사업부 R&D팀
 ** 경상대학교 대학원 농공학과
 *** 경상대학교 지역환경기반공학과 (농업생명과학연구원) 부교수
 † Corresponding author Tel.: +82-55-772-1931
 Fax: +82-55-752-0884
 E-mail: smkim@gnu.ac.kr

2012년 11월 8일 투고
 2012년 11월 28일 심사완료
 2013년 1월 14일 게재확정

상승, 홍수, 가뭄, 혹서 및 태풍에 대한 사회기반시설의 노출정도를 5단계로 구분하여 취약성 평가를 실시한 바 있다. Kim (2010)은 기후변화 취약성 계산에 필요한 민감도, 적응능력 지수를 계산하기 위하여 사회·경제적 자료를 지역별로 수집하였고, 기후 노출 지수에 따른 기후변화 취약성 정도를 알아보기 위해 선행 연구와 기상청 특보 발효 기준을 바탕으로 설정한 12개의 지표를 이용하여 기후변화가 미치는 영향이 가장 민감할 것이라 예상되는 농업, 임업, 생태계 등 세 분야에 대해 지역별 기후노출 지수를 산정한 바 있다.

Lee (2010)는 5개의 대유역 (한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강)으로 구성된 우리나라 전역을 대상으로 과거기간의 기상, 수문 자료, 유역의 지형, 인문·사회 정보 등을 수집하여 노출, 민감도, 적응능력 지표로 구성된 현재 기후상태 하에서의 홍수에 따른 취약성을 평가하고 평가 기법을 제안하였으며, 기후변화에 따른 미래 홍수 취약성을 평가하기 위해 기존의 3개 온실가스 배출시나리오, 13개 GCMs (Global Climate Models), 3개 수문모형 (2~3개 증발산량 산정방법)으로 생산된 39개의 미래 기후시나리오 및 312개의 미래 수문시나리오를 이용하여 홍수 취약성의 시·공간적 변화 및 불확실성을 평가한 바 있다.

국내 농업분야에 대한 취약성 평가의 경우 Park et al. (2006)은 우리나라 지역별 농업가뭄을 평가하기 위해 농업용저수지 저수율, 표준강수지수, 평년강우비율 및 무 강우일수 등 4가지 지표를 사용하여 농업가뭄의 시작시기와 심도를 판단하여 가뭄대책 수립을 위한 농업가뭄단계를 설정하였고, Jang (2006)은 농업가뭄에 영향을 미치는 토지이용, 수자원함양, 지형도양, 농업기상, 농업생산기반 등의 인자들에 대한 주성분 분석을 시행함으로써 시·군단위의 농업가뭄 취약성 평가를 수행하고 농업가뭄취약성지수 (Drought Vulnerability Index for Paddy, DVIP)를 제안한 바 있다.

현재 우리나라의 기후변화에 따른 지역별 취약성 평가를 위한 지표의 개발 및 적용에 관한 연구는 미흡한 실정이며, 특히 농업분야의 기반시설에 대한 취약성 평가와 적응대책 개발은 시급히 요구되고 있다. 따라서 이러한 분야에 대한 취약성 평가 지표의 개발을 통해 향후 국가 적응정책을 수립할 때 지역별, 부문별 취약정도를 파악하고 우선순위를 결정하는데 도움을 줄 수 있으며, 구체적 적응정책의 방향성을 세우는데 근거로 활용 가능할 것이다 (Kim et al., 2011b).

본 연구에서는 기후변화에 민감한 분야인 농업생산기반을 중심으로 전국 시도별로 발생하는 홍수와 가뭄 현상에 대한 영향인자를 고려하여 취약성 평가에 이용되는 다양한 변수들 사이의 상관구조를 주성분 분석 방법을 적용하여 각 시도별 취약성을 평가하고 그 결과를 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 기후변화 취약성 평가

취약성이란 재해로 인해 발생할지 모르는 잠재적 피해량을 의미한다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차보고서에서는 취약성을 외부 스트레스에 대한 결과물과 시스템 내부상태의 취약성을 통합하는 관점으로 정의하고 있다 (IPCC, 2007). IPCC의 기후변화 취약성 정의를 살펴보면 기후변화에 대한 시스템의 노출, 민감도 및 적응 능력의 세 가지 구성요소로 나타내며, 이는 기후변화로 인해 초래하게 될 비용과 위험을 감소 또는 증가시키는 핵심적인 요인이다 (Füssel and Klein, 2006; Go, 2009).

기후변화 취약성은 추상적 개념이므로 직접적으로 측정하거나 관찰될 수 없다. 그러므로 취약성 지표 연구에서는 취약성의 개념 틀을 잘 반영할 수 있는 대리변수를 이용한다. 이상적인 대리변수의 조건으로는 필요한 정보를 종합하고 단순화시키며, 관심의 대상이 되는 현상을 가시화하거나 인지할 수 있도록 만들고, 필요한 정보들을 정량화하고 상호 교환할 수 있어야 한다 (Yoo and Kim, 2008).

Moss et al. (2001)은 전 세계를 대상으로 국가별 기후변화 취약성을 비교 분석하는 목적으로 기후변화에 따른 취약성을 연구한 바 있으며, Brooks et al. (2005)은 국가 수준의 취약성을 구성하는 여러 변수들을 종합하여 주요한 변수를 추출하려는 목적으로 연구한 바 있다.

2. 대리변수의 선정 및 자료수집

기후변화에 대한 영향을 고려한 취약성 평가에 대한 대리변수 및 지표는 기존 발표된 연구들을 참고하여 선정하였다. 취약성 평가 지표의 선정은 취약성 평가 및 적응 간의 명확한 개념을 선정하고 연관성 분석이 이루어져야 한다. 농업생산기반의 취약성 평가를 위한 지표는 가변성이 높은 기후를 대상으로 잠재적인 영향을 평가하기에 유용하나, 개념이 복잡적 이어서 직접적인 관측이나 측정에 어려움이 있다. 과거 Moss et al. (2001)의 연구에서는 취약성 지수의 개념을 잘 나타내었고 각 요소를 평가할 수 있는 세부항목 설정을 위해 대리변수의 개념을 적용하여 동일시하였으며, Myeong et al. (2010)은 국내에 주로 피해를 일으키는 기후사상인 태풍과 홍수에 대해 전국을 대상으로 사회기반시설의 취약성 평가를 위해 민감도, 노출 및 적응력에 대해 6개의 상위요소와 9개의 하위요소 및 42개의 세부항목으로 구분한 바 있다. Chung et al. (2010)은 홍수, 가뭄, 물관리 등 수자원 분야의 취약성을 기준 및 지표를 활용하여 평가 대상지의 민감도, 기후에의 노출, 기후변화에 대한 적응력으로 분류하여

Table 1 The proxy variables selected for the agricultural infrastructure vulnerability assessment over the flood and drought

Classification	Category		
	Sensitivity	Exposure	Adaptation
Flood	일 강수량이 80 mm 이상인 날 평균	경지면적 또는 비율	배수로 연장
	일 강수량이 80 mm 이상인 날 일수	시설재배 면적	배수장 용량
	1일 동안의 최대강수량 (mm)	농경지 평균고도	경지정리 면적 하천 개수율 (%)
Drought	연 강수량 (mm)	경지면적 또는 비율	수리안전담 면적 또는 비율
	연속적인 무 강수일수의 최대값 (day)	천수담면적 또는 비율	산림면적 비율 (%)

기후변화에 대한 수자원 분야의 취약성을 평가한 바 있는데 본 연구에서도 이러한 개념을 적용하였다.

본 연구에서 선정한 농업생산기반 취약성 평가 지표는 재해 취약성 평가 지표로 국내에서 발생하는 홍수와 가뭄에 대해 농업생산기반을 고려하여 취약성 평가 지표를 선정하고 민감도, 노출 및 적응력에 대한 카테고리도 구분하였다 (Table 1). 대리변수의 통계자료는 전국 시·군별 통계연보와 한국농어촌공사에서 발간하는 농업생산기반정비사업 통계연보를 바탕으로 작성하였고, 강우자료의 경우 전국 81개 기상대의 일자별 강우자료를 바탕으로 작성하였다. 또한 농경지의 평균고도의 경우 2006 환경부 중분류토지피복분류도 (1 : 25,000)와 수치표고모델 (Digital Elevation Model, DEM) 및 전국 시·군단위 행정구역 Shape 파일을 사용하여 추출하였다.

선정된 대리변수 항목 중 노출 카테고리의 경지면적 변수의 경우 홍수 및 가뭄 모두에 영향을 받을 것으로 판단하여 두 가지 구분 모두에 대리변수로 선정하였다.

3. 취약성 평가 지표의 계산

취약성-탄력성 지표 (VRI)를 구하기 위해서는 이를 구성하는 민감도 지수 (Sensitivity Index, SI), 노출 지수 (Exposure Index, EI) 및 적응능력 지수 (Adaptive Capacity Index, ACI)간의 연산을 수행해야 한다. 만약 각 지수들의 가중치가 서로 다를 경우에는 정확한 결과 해석에 어려움이 생길 수 있는데 유가영 등 (2008)의 연구에서는 SI와 EI에 ACI보다 낮은 가중치를 주었다 (Fig. 1). 이는 기후노출과 시스템의 민감도가 합쳐져 잠재영향을 가져오게 되며, 잠재영향이 적응능력과 합쳐져 VRI가 계산되기 때문이다 (Yoo and Kim, 2008). 계산된 VRI의 값은 클수록 탄력성을 구성하는 양수가 많다는 의미이고 취약성은 작아지게 된다. 일반적으로 취약성은 부정적인 의미를 가진 용어로 이를 양수로 표시할 경우 크면 클수록 부정적 요인이 커진다는 의미이다. SI, EI 및 ACI의 계산은 각각을 구성하는 세부 요소 내의 변수들을 표준화한 후 표준화된 변수들을 산술평균하였고, 세 지수의 연산을 통해 VRI를 계산하였다.

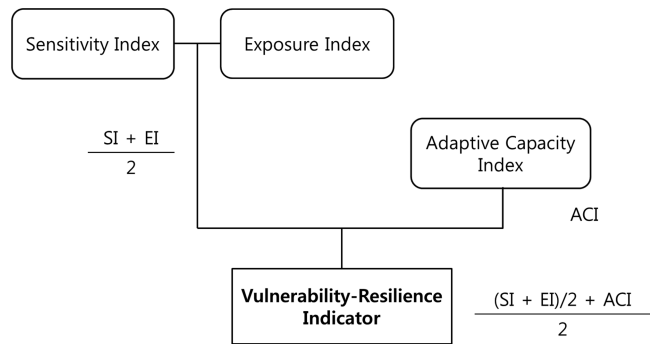


Fig. 1 Calculation process of VRI (Yoo et al., 2008)

4. 주성분 분석 방법

본 연구에서는 서로 상관관계가 있는 지표들의 정보 손실을 최소화하고 시각적인 파악을 위해 주성분 분석 방법을 선택하였다. 주성분 분석 (Principal Component Analysis, PCA)은 서로 상관관계가 높은 여러 개의 변수들을 조합하여 그 변수들의 정보를 함축하고 있는 새로운 인위적 변수를 만들어내기 위한 다변량 통계 분석 기법이다. 이는 다변량 통계 분석 기법 중에서 가장 오래되고 폭넓게 사용되는 기법으로 분석자체로 어떤 결론에 도달하기 위한 분석이 아닌 차후의 분석을 위한 수단을 제공하여 주는 단계이다 (Jang, 2004). 즉, 변수들의 전체 분산을 소수의 주성분을 통해 설명하는 것으로 처음 발생한 주성분은 변수들의 전체 분산 중 가장 큰 부분을 설명하도록 유도되고, 이후 발생한 주성분은 먼저 발생한 주성분과 독립적 관계를 가지면서 앞에서 설명되지 않은 나머지 분산 부분을 최대한 설명하도록 한다 (Yoo and Kim, 2008). 주성분 분석은 변수들 간의 측정단위의 상이함으로 인해 가장 큰 분산을 가지는 변수가 중요한 변수로 해석 될 수 있으므로 이러한 오류를 방지하기 위해 모든 데이터를 표준정규분포로 표준화하고 난 후 주성분 분석에 적용하는 것이 중요하다.

주성분 분석에 적용되는 성분 점수는 각 주성분의 지역별 취약성 정도를 비교하는데 적용 가능하며, 성분 점수를 이용해 각 지표들의 점수를 합하는 과정은 각 지표의 원점수를 표준 점수로 변환하고, 인자분석방법을 실행하여 각 지표의 인자점수를 구

Table 2 The proxy variables lists and their codes for flood and drought

Factor	Flood proxy variable	Factor	Drought proxy variable
FS01	일 강수량이 80 mm 이상인 날 평균	DS01	연 강수량 (mm)
FS02	일 강수량이 80 mm 이상인 날 일수	DS02	연속적인 무 강수일수의 최대값 (day)
FS03	1일 동안의 최대강수량 (mm)	DE01	경지면적 또는 비율
FE01	경지면적 또는 비율	DE02	천수답면적 또는 비율
FE02	시설재배 면적	DA01	수리안전답 면적 또는 비율
FE03	농경지 평균고도	DA02	산림면적 비율 (%)
FA01	배수로 연장		
FA02	배수장 용량		
FA03	경지정리 면적		
FA04	하천 개수율 (%)		

하여 표준 점수와 곱한 후 지표를 더한다. 식 (1)은 선형 결합을 수행하여 성분 점수를 구하는 과정을 나타낸 것이다.

$$F_{jk} = \sum_{i=1}^P W_{ji} Z_{ik} \quad (1)$$

여기서, P 는 지표의 개수, Z_{ik} 는 표준화된 지표, W_{ji} 는 각 지표에 주어지는 가중치, F_{jk} 은 개별 원지표의 요인점수이다.

III. 결과 및 고찰

1. 지표 간 상관분석

선정된 평가지표를 표준화하고 각 시·도별 표준화 값을 생성한 후, PASW 18.0 프로그램을 활용하여 홍수 구분과 가뭄 구분을 구성하는 변수들 간의 통계분석을 실시하였다. 이는 지표 간의 상관관계가 존재하지 않으면 분석결과가 무의미하므로 반드시 수행해야 한다. Table 2와 같이 각 지표에 해당하는 Code를 부여하고 상관분석을 실시하여 Table 3, 4로 나타냈다.

일 강수량이 80 mm 이상인 날의 평균, 1년 중 일 강수량이 80 mm 이상인 날 일수, 1일 최대 강수량은 0.77~0.83에 이르는 양의 상관관계를 나타내었고, 시설재배면적, 배수로 길이, 경지정리면적의 농업생산기반시설은 경지면적의 크기에 따라 증가하는 높은 양의 상관관계를 보였다. 시설재배면적과 배수장 용량, 배수로 길이와 경지정리면적 간의 상관관계는 각각 0.78, 0.91의 높은 양의 상관관계가 나타났으며 경작지에 농업용수를 공급하는 형태에 따른 관계인 것으로 판단된다. Table 4의 경지면적, 천수답 면적 및 수리안전답 면적 간 상관관계는 0.94~1.00에 이르는 매우 높은 값을 보였으며 특히, 경지면적과 수리안전답 면적 간에는 1.00의 완전한 양의 상관관계를 가지는 것

Table 3 Correlation matrix between flood proxy variables

Factor	FS01	FS02	FS03	FE01	FE02	FE03	FA01	FA02	FA03	FA04
FS01	1.00	0.78	0.83	0.10	0.48	-0.15	0.14	0.38	0.02	-0.24
FS02		1.00	0.77	-0.07	0.38	-0.25	0.11	0.58	-0.14	-0.30
FS03			1.00	-0.24	0.20	-0.14	-0.13	0.08	-0.36	-0.15
FE01				1.00	0.75	-0.09	0.93	0.53	0.90	0.11
FE02					1.00	-0.19	0.63	0.78	0.48	-0.22
FE03						1.00	-0.22	-0.16	-0.11	-0.22
FA01							1.00	0.52	0.91	0.22
FA02								1.00	0.42	-0.46
FA03									1.00	0.17
FA04										1.00

Table 4 Correlation matrix between drought proxy variables

Factor	DS01	DS02	DE01	DE02	DA01	DA02
DS01	1.00	-0.23	-0.12	-0.08	-0.15	-0.20
DS02		1.00	-0.06	-0.13	-0.04	0.25
DE01			1.00	0.97	1.00	0.41
DE02				1.00	0.94	0.34
DA01					1.00	0.42
DA02						1.00

으로 나타나 경지면적의 크기에 따라 수리안전답 면적이 증가하거나 감소하는 특징을 잘 반영 한 것으로 판단된다. 변수들의 음의 상관관계의 경우, -0.46~ -0.15의 범위로 낮은 상관관계를 나타냈다.

2. 주성분 추출

각 변수의 설명정도 (공통성, Communality)의 추정을 통해 주성분 분석을 사용하는 것이 가능한지를 판단한 결과, 전반적으로 추정치들이 큰 값을 가지는 것으로 나타나 주성분 분석을 적용

Table 5 Eigenvalues and total variances explained by components

Component		Initial eigenvalues			Extraction sums of squared loadings			Rotation sums of squared loadings		
		Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %	Total	% of variance	Cumulative %
Flood	1	4.01	40.09	40.09	4.01	40.09	40.09	3.83	38.26	38.26
	2	2.99	29.89	69.99	2.99	29.89	69.98	3.08	30.81	69.07
	3	1.34	13.43	83.42	1.34	13.43	83.42	1.44	14.35	83.42
	4	0.82	8.21	91.63	-	-	-	-	-	-
	5	0.36	3.59	95.21	-	-	-	-	-	-
	6	0.33	3.31	98.52	-	-	-	-	-	-
	7	0.13	1.32	99.85	-	-	-	-	-	-
	8	0.02	0.15	100.00	-	-	-	-	-	-
	9	0.00	0.00	100.00	-	-	-	-	-	-
	10	0.00	0.00	100.00	-	-	-	-	-	-
Drought	1	3.18	53.03	53.03	3.18	53.03	53.03	3.12	52.02	52.02
	2	1.38	22.93	75.96	1.38	22.93	75.96	1.44	23.93	75.95
	3	0.80	13.25	89.21	-	-	-	-	-	-
	4	0.60	9.91	99.12	-	-	-	-	-	-
	5	0.05	0.88	100.00	-	-	-	-	-	-
	6	0.00	0.00	100.00	-	-	-	-	-	-

하는데 무리가 없을 것으로 판단하였으며 요인간의 고유값 차이와 각 요인의 분산에 대한 설명정도를 비율로 홍수와 가뭄 구분에 대해 각각의 요인을 추출하였다 (Table 5). 산정된 성분은 홍수 구분이 총 변량의 83.4 %, 가뭄 구분은 총 변량의 76.0 %를 설명하였으며 최종적으로 홍수 구분은 상위 3개, 가뭄 구분은 상위 2개의 주성분을 선택하는 것이 안정적인 것으로 나타났다.

3. 성분 부하량 산출

요인에 대한 설명력을 높이기 위해 하나의 요인에 높은 적재값을 갖도록 하고 나머지 요인들에는 낮은 적재값을 갖도록 요인회전 (Factor rotation) 방법을 적용하였으며, Varimax 방식을 적용하여 주성분을 추출하였다 (Kim, 2010). 이는 요인간의 관계가 서로 독립적일 때 적용하는 직각 회전 방식 중 요인들과 요인에 높게 적재되는 변수의 수를 줄여 요인의 해석을 쉽게 할 수 있다. 각각의 고유치는 홍수 구분의 경우 제 1주성분이 3.83, 분산비가 38.26 %로 나타났고, 제 2주성분은 고유치 3.08, 분산비 30.81 %, 제 3주성분은 고유치 1.44, 분산비 14.35 %로 나타났으며, 가뭄 구분의 경우 제 1주성분과 제 2주성분 각각 고유치 3.12, 1.44, 분산비가 각각 52.02 %, 23.93 %로 나타났다. 각 주성분의 의미를 파악하기 위해 선택된 주성분과 원변수간의 관련 정도를 분석하였다. 적재값은 그 값이 큰 변수에 해당하는 주성분에서 중요한 변수로 작용하며, 요인적재값은 취약성 평가에서 가중치로 적용하게 되므로 성분별 요인적재값을 크기에 따라 순서대로 정리하였다 (Table 6).

Table 6 Factor loading by principal components

Code	Principal components		
	1	2	3
FE01	0.97		
FA01	0.93		
FA03	0.90		
FE02	0.78		
FA02	0.69		
FS02		0.93	
FS03		0.90	
FS01		0.90	
FA04			0.87
FE03			-0.60
DA01	0.98		
DE02	0.98		
DE01	0.99		
DS02		0.80	
DS01		-0.67	
DA02		0.58	

4. 성분 점수 및 취약성 지표 산정

본 연구에서는 농업생산기반의 홍수 및 가뭄에 대한 재해 취약성 지수의 산정을 위해 Jang (2004)이 제안한 포괄적 지역 농업가뭄 지역 취약성 지수 (Regional Agricultural Drought Vulnerability Index, RADVI)와 해석된 취약성 주성분별 농업가뭄 취약성 지수 (Componential Agricultural Drought

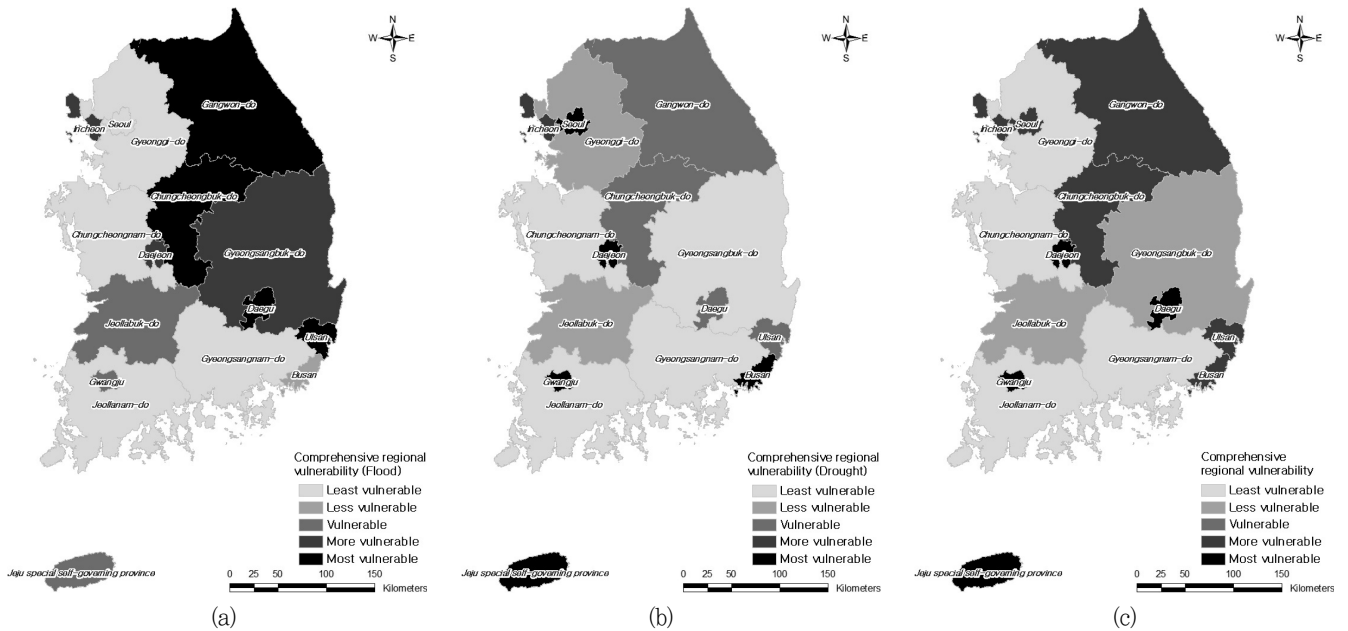


Fig. 2 Classification of comprehensive regional vulnerability

Vulnerability Index)의 개념을 적용하였으며, 성분 점수(Component score)의 산정은 각 주성분을 대표하는 지표들을 PASW 18.0 프로그램을 이용하여 선형 결합 수행하였다. 이로부터 주성분별 대표변수로부터 계산한 성분 점수의 표준 정규 누적 분포 함수값을 계산한 후, 이를 이용하여 농업생산기반의 홍수 및 가뭄 구분별 취약성을 평가하였다.

주성분 분석 결과, 홍수에 대한 제 1주성분의 가중치가 가장 크기 때문에 대체로 제 1주성분에서 높은 취약성을 나타낸 지역이 포괄적인 취약성 평가에서도 취약성이 높은 지역으로 나타났다. 제 2주성분과 차이가 많이 나지 않아 경상북도 지역의 경우 제 2 및 3주성분에서 공통적으로 취약성이 낮은 것으로 나타났으며, 포괄적인 취약성 평가 결과에서는 취약성이 낮은 지역으로 분류되었다. 가뭄에 대한 포괄적인 취약성 평가 결과는 전국 주요 대도시와 제주특별자치도의 취약성이 낮은 것으로 나타났으며, 제 1주성분의 가중치가 크기 때문에 포괄적인 취약성 평가에서도 상대적으로 경작지 면적이 넓은 지역들이 대부분 취약성이 높은 지역으로 분류되었다. Fig. 2의 (a), (b)는 이러한 분석 결과를 홍수 및 가뭄에 대한 포괄적인 취약성 평가 결과로서 나타내고 있으며 (c)는 종합적인 농업생산기반의 재해 취약성 평가 결과를 도시하여 나타낸 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 기후변화에 따른 농업생산기반의 취약성을 평

가하기 위해 홍수와 가뭄에 대한 재해 취약성을 국내외 문헌을 참고하여 민감도, 노출 및 적응능력의 3가지 카테고리에 대해 홍수에 관련된 10개의 대리변수와 가뭄에 관련된 6개의 대리변수를 선정하여 각 시·군별 통계자료와 농업생산기반정비사업 통계연보 등을 참고하여 기초 통계 데이터를 수집하였다. 대리변수의 통계자료는 전국 시·군별 통계연보와 한국농어촌공사에서 발간하는 농업생산기반정비사업 통계연보를 바탕으로 작성하였고, 강우자료의 경우 전국 81개 기상대의 일차별 강우자료를 바탕으로 작성하였다. 또한 농경지의 평균고도는 수치표고자료 등을 이용하여 구축하였다.

취약성-탄력성 지표 (VRI)를 구하기 위해 이를 구성하는 민감도 지수 (SI), 노출 지수 (EI) 및 적응능력 지수 (ACI)간의 연산을 수행하였다. SI, EI 및 ACI의 계산은 각각을 구성하는 세부 요소 내의 변수들을 표준화한 후 표준화된 변수들을 산술평균하였고, 세 지수의 연산을 통해 VRI를 계산하였다. 산술평균에 의한 취약성 지수 산정방법은 각 카테고리를 구성하는 매개변수가 각 범주에 미치는 영향이 동일한 것을 전제로 평가를 진행하기 때문에 산정된 결과를 그대로 적용하기에는 다소 무리가 따른다. 따라서 각 대리변수별 중요도를 파악하고 취약성을 평가할 수 있는 다변량 분석 방법인 주성분분석 방법을 적용하여 영향인자를 고려한 취약성 지수를 산정하였다. 주성분 분석에 적용되는 성분 점수는 각 주성분의 지역별 취약성 정도를 비교하는데 적용 가능하며, 성분 점수를 이용해 각 지표들의 점수를 합하는 과정은 각 지표의 원점수를 표준 점수로 변환하고, 인자분석방법을

실행하여 각 지표의 인자점수를 구하여 표준 점수와 곱한 후 지표를 더하여 계산하였다. 선정된 평가 지표들 간의 통계분석은 지표 간의 상관관계가 존재하지 않으면 분석결과가 무의미하므로 반드시 수행해야 한다. 본 연구에서 선정된 지표에 대한 상관분석 결과, 일 강수량이 80 mm 이상인 날의 평균, 1년 중 일 강수량이 80 mm 이상인 날 일수, 1일 최대 강수량은 0.77~0.83에 이르는 양의 상관관계를 나타내었고, 시설재배면적과 배수장 용량, 배수로 길이와 경지정리면적 간의 상관관계는 각각 0.78, 0.91의 높은 양의 상관관계가 나타났으며 경작지에 농업용수를 공급하는 형태에 따른 관계인 것으로 판단된다. 특히, 경지면적과 수리안전답 면적 간에는 1.00의 완전한 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타나 경지면적의 크기에 따라 수리안전답 면적이 증가하거나 감소하는 특징을 잘 반영 한 것으로 판단되며 변수들의 음의 상관관계의 경우, -0.46~ -0.15의 범위로 낮은 상관관계를 나타냈다.

각 변수의 설명정도의 추정을 통해 주성분 분석을 사용하는 것이 가능한지를 판단한 결과, 전반적으로 추정치들이 큰 값을 가지는 것으로 나타나 주성분 분석을 적용하는데 무리가 없을 것으로 판단하였으며 요인간의 고유값 차이와 각 요인의 분산에 대한 설명정도를 비율로 홍수와 가뭄 구분에 대해 각각의 요인을 추출하여 선정된 성분은 홍수 구분이 총 변량의 83.4 %, 가뭄 구분은 총 변량의 76.0 %를 설명하였고 최종적으로 홍수 구분은 상위 3개, 가뭄 구분은 상위 2개의 주성분을 선택하는 것이 안정적인 것으로 나타났다. 그 결과, 홍수에 대한 제 1주성분의 가중치가 가장 크기 때문에 대체로 제 1주성분에서 높은 취약성을 나타낸 지역이 포괄적인 취약성 평가에서도 취약성이 높은 지역으로 나타났으나 제 2주성분과 차이가 많이 나지 않아 경상북도 지역의 경우 제 2 및 3주성분에서 공통적으로 취약성이 낮은 것으로 나타났으며, 포괄적인 취약성 평가 결과에서는 취약성이 낮은 지역으로 분류되었다. 가뭄에 대한 포괄적인 취약성 평가 결과는 전국 주요 대도시와 제주특별자치도의 취약성이 낮은 것으로 나타났으며, 제 1주성분의 가중치가 크기 때문에 포괄적인 취약성 평가에서도 상대적으로 경작지 면적이 넓은 지역들이 대부분 취약성이 높은 지역으로 분류되었다.

향후 전반적인 농업생산기반 분야를 평가하는데 본 연구에서의 결과를 기초로 하여 수정 및 보완을 통해 지속적인 연구를 진행하고, 다양한 평가 기법의 개발을 통하여 기상재해로 인한 농업생산기반의 피해를 사전에 예방할 수 있는 위험 관리 프로그램 개발 및 운영에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 “기상재해에 따른 농업 생산기반 피해 저감기술 개발” 과제의 일환으로 농촌진흥청의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. 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.
2. Chung, J. W., W. K. Lee, G. Cui, S. C. Lee, S. Choi, and H. A. Choi, 2010. Application study of vulnerability assessment models for water resources to climate change by spatial and watershed scales. *Journal of the Korean Society of Climate Change Research* 1(1): 21-30 (in Korean).
3. Füssel, H. M. and R. J. T. Klein, 2006. Climatic change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75: 301-329.
4. Gbetibouo, G. A. and C. Ringler, 2009. Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability. IFPRI Discussion Paper 00885.
5. Go, J. K., 2009. A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-Do. Gyeonggi Research Institute (in Korean).
6. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Fourth Assessment Report. Cambridge, University Press. Cambridge, UK.
7. Jang, M. W., 2004. Development of regional vulnerability assessment methodology for agricultural drought using GIS. Ph. D. diss., Seoul: Seoul National University (in Korean).
8. Jang, M. W., 2006. County-based vulnerability evaluation to agricultural drought using principal component analysis - The case of Gyeonggi-do -. *Rural Planning* 12(1): 37-48 (in Korean).
9. Kim, C. L., 2010. PASW data analysis. 21st company (in Korean).
10. Kim, D. U., Y. Jung, M. J. Park, J. Y. Yoon, S. D. Kim, and M. H. Choi, 2011a. Vulnerability analysis of water resources considering climate change. *Korean Wetlands Society* 13(1): 25-33 (in Korean).
11. Kim, E. H., 2010. Estimation of climate change vulnerability indicator using routine meteorological data. Master thesis, Busan: Busan National University (in Korean).
12. Kim, S. J., T. Y. Park, S. M. Kim, and S. M. Kim.

- 2011b. The proxy variables selection of vulnerability assessment for agricultural infrastructure according to climate change. *Journal of Korean National Committee on Irrigation and Drainage* 18(2): 33-42 (in Korean).
13. Lee, M. H., 2010. Korean flood vulnerability assessment on climate change. Master thesis, Seoul: Sejong University (in Korean).
14. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008. Planning research of flood defence technology for next generation (in Korean).
15. Moss, R. H., E. L. Brenkert, and A. L. Malone, 2001. Vulnerability to climate change: a quantitative approach. Prepared for the U. S. Department of Energy.
16. Myeong, S. J., J. Y. Kim, S. H. Shin, and B. O. An, 2010. Assessing vulnerability to climate change of the physical infrastructure and developing adaptation measures in Korea II, Korea Environment Institute (in Korean).
17. NIMR (National Institute of Meteorological Research), 2009. Understanding Climate Change 2 – Climate Change of Korean Peninsula: Present and Future (in Korean).
18. Park, K. W., J. T. Kim, and J. N. Lee, 2006. Evaluation of the drought indicator for regional drought assessment. Proceeding of Korean Water Resources Association: 214-220 (in Korean).
19. UNDP, 2005. *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures*. Cambridge University Press.
20. Yoo, G. Y. and I. A. Kim, 2008. Development and application of a climate change vulnerability index, Korea Environment Institute (in Korean).