

주성분 분석법을 이용한 시군단위별 농업가뭄에 대한 취약성 분석에 관한 연구 - 경기도를 중심으로 -

장 민 원

서울대학교 농업생명과학연구원

County-Based Vulnerability Evaluation to Agricultural Drought Using Principal Component Analysis - The case of Gyeonggi-do -

Jang, Min-Won

Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

ABSTRACT : The objectives of this study were to develop an evaluation method of regional vulnerability to agricultural drought and to classify the vulnerability patterns. In order to test the method, 24 city or county areas of Gyeonggi-do were chose. First, statistic data and digital maps referred for agricultural drought were defined, and the input data of 31 items were set up from 5 categories: land use factor, water resource factor, climate factor, topographic and soil factor, and agricultural production foundation factor. Second, for simplification of the factors, principal component analysis was carried out, and eventually 4 principal components which explain about 80.8% of total variance were extracted. Each of the principal components was explained into the vulnerability components of scale factor, geographical factor, weather factor and agricultural production foundation factor. Next, DVIP (Drought Vulnerability Index for Paddy), was calculated using factor scores from principal components. Last, by means of statistical cluster analysis on the DVIP, the study area was classified as 5 patterns from A to E. The cluster A corresponds to the area where the agricultural industry is insignificant and the agricultural foundation is little equipped, and the cluster B includes typical agricultural areas where the cultivation areas are large but irrigation facilities are still insufficient. As for the cluster C, the corresponding areas are vulnerable to the climate change, and the D cluster applies to the area with extensive forests and high elevation farmlands. The last cluster E indicates the areas where the farmlands are small but most of them are irrigated as much.

Key words : Drought vulnerability, Principal component analysis, Cluster analysis

I. 서 론

방재계획은 지역의 자원과 환경이 자연재해에 대응하는 능력을 평가하는 것에서부터 시작한다. 이러한 능력은 취약성(vulnerability)이라는 말로 정의되는데, 취약성이란 일반적으로 재해로 인해 발생할지 모르는 잠재적 피해량을 의미한다. Granger 등(1999)은 자연재해에 대한 지역취약성을 임의의 재해 요소 혹은 그러한 요소들의 집합에 의해 일어나는 손실의 정도라고 정의하였고, Mileti(2001)는 취

약성이란 재해의 충격에 따른 저항, 복구, 기상측면에서의 역량(capacity)이라고 하였고, Kelly와 Adger(2000)는 한 지역의 생계와 복리가 외부 충격에 의해 영향 받을 때 이를 극복 혹은 대응할 수 있는 개인과 사회 전체의 능력 혹은 무능력으로서 나타낼 수 있다고 하였다. Ghosh 등(2002)은 가뭄 취약성을 정의하고 물관리 정책 수립에 앞서 지역의 취약성을 평가하였는데, 가뭄 취약성은 농업 혹은 수문학적 가뭄에 의해 작물 생산량의 감소, 가축의 피해, 용수부족 등을 수반할 확률을 높게 갖는 한 지역의 특성이 라고 하였다. 또한 IPCC(International Panel on Climate Change, 2001)는 농업 혹은 수문학적 가뭄에 의해 작물 생산량의 감소, 가축의 피해, 용수부족 등을 수반할 확률을 높게 하는 지역의 특성을 농업가뭄의 취약성으로 정의하였다.

Corresponding author : Jang, Min-Won

Tel : 02-880-4589

E-mail : noche@snu.ac.kr

전통적으로 정부나 관련 산업 부문에서 자연재해로 인한 재정위험을 최소화하기 위하여 재해 취약성 평가 기술을 발전시켜 왔다. 취약성 평가를 통하여 재해 발생의 위험이 있는 취약지구를 찾고 피해를 줄이기 위한 전략을 수립하고 구현하기 위한 정보를 얻을 수 있기 때문이다. 농업가뭄의 취약성 평가는 기상학적, 물리학적 현상으로서 단순히 물 부족만을 다루는 것이 아니라 가뭄에 노출된 지역의 모든 자원과 환경조건을 고려해서 시행되어야 한다(Downing과 Bakker, 2000). 취약성은 재해 자체의 성격뿐만 아니라 지역의 자원과 대응능력에 따라서도 달라지기 때문에 농업가뭄의 지역별 취약성을 평가하기 위해서는 취약성 평가에 영향을 주는 다양한 인자들 사이의 관계를 객관적으로 설명할 수 있는 기준과 방법이 제시되어야 한다. 이러한 포괄적 재해 취약성 평가 기법으로는 NOAA CSC(Coastal Service Center)의 CVAT(Community Vulnerability Assessment Tool) 등이 개발되고 있으나 아직 상당한 보완이 필요한 것으로 평가받고 있다(Flax 등, 2002). 그리고 실용적 관점에서 볼 때 농업가뭄에 대한 지역 취약성 평가는 실제 정책이 수행되는 행정단위에서 이뤄져야 한다. 하지만 기존의 취약성 평가 연구들은 대부분 특정 지역 또는 유역이나 특정 개별 시설과 같은 단위에 한정되어 있기 때문에 연구와 현실 사이에 괴리가 존재하였다(Bender, 2002). 그러므로 농업가뭄의 취약성을 평가하고 효과적인 정책 수행을 추진하기 위해서는 분석대상을 가뭄대책을 담당하는 일선 행정 단위로 일치시키는 것이 중요하다.

지역이 가진 자원의 가치와 농업가뭄에 대한 이해의 부족은 효과적인 자원이용계획이나 농업가뭄 대책 수립을 어렵게 하는 원인이 된다. 지역이 보유한 자원 환경을 이해하고 계량화할 수 있으며 상호관계와 영향을 파악할 수 있을 때 가뭄대책과 같은 현실적인 문제에 대하여 적절한 대안을 마련할 수 있어야 한다. 이에 본 연구는 농업가뭄과 관련된 다양한 인자들을 조사하고 이에 대한 통계적 분석으로 통하여 농업가뭄 취약성을 나타내는 지역단위 지표를 개발하고자 하였다. 그리하여 경기도 지역에 대하여 농업가뭄에 대한 취약성을 평가하고, 가뭄대책 행정을 담당하는 시군단위별로 적절한 가뭄대책 추진 방향을 세울 수 있도록 농업가뭄 취약성의 유형을 분류하는데 목적을 두었다.

II. 연구방법

농업가뭄에 대한 지역별 취약성은 계량하기 힘든 가뭄 피해량을 직접적으로 예측하기 보다는 행정구역 단위에서의 지리적 조건, 농업적 특성, 수리적 조건 등과 더불어

어 기상학적 가뭄발생 특성을 종합적으로 분석하고 농업가뭄 발생의 지역적 차이를 나타내도록 하여야 한다. 많은 인자들이 농업가뭄 취약성에 영향을 미치기 때문에 이들 인자들을 선택하고 각각의 가중치를 결정하는 과정이 반드시 있어야 한다. 따라서 특정 현상에 영향을 미치는 인자를 뽑아내고 유형을 분류할 수 있는 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA) 기법을 이용하면, 농업가뭄 취약성에 영향을 주는 지역 인자들을 통계학적 분석을 통해 추출하고 여기에 지역용수수급분석을 포함한 가뭄크기의 확률적 위험 평가 결과를 반영함으로써 가뭄심도별 지역별 농업가뭄 취약성을 평가하고 상호 비교할 수 있는 객관적 지표를 제시할 수 있다.

1. 대상인자의 선정

논벼에 대한 농업가뭄 취약성을 평가하기 위해 사용하는 자료는 기존의 통계와 조사 자료들에서 5개 카테고리 모두 31개 항목으로 표 1과 같이 선정하였다. 통계청 웹 DB와 시군발행 통계연보, 농업생산기반정비사업통계연보(농업기반공사), 작물통계(농산물품질관리원), 경지면적통계(농림부), 가뭄극복(농림부), 농림업 주요통계(농산물품질관리원), 농업총조사(통계청) 등과 건설교통통계연보(건설교통부), 한국수문조사연보(한강홍수통제소), 지하수조사연보(건설교통부) 등을 통하여 수집한다. 또한 공간분포를 해석하기 위해서 표 2와 같이 수치주제도를 작성하였다. 각 항목들은 농업가뭄에 대한 취약성을 높이는 부정적(Negative) 항목과 취약성을 낮추는 긍정적(Positive) 항목으로 구분된다.

가. 토지이용인자

토지이용인자에는 농경지, 산림, 주거지 등의 면적과 면적비 등이 포함된다. 농경지는 농업가뭄의 노출대상으로서 용수의 수요처이므로 그 면적이 크거나 한 지역에서 차지하는 비중이 클수록 농업가뭄 취약성이 높고 가뭄대책 행정과 정책의 중요성이 그만큼 타 지역보다 높게 평가된다.

나. 수자원함양인자

수자원 함양은 기본적으로 토양속으로 침투하고 저류된 물의 양으로 설명된다. 불투수 포장면적(impervious Area)이 적고 산림이 많으며 토양의 침투능이 높아 수자원 함양 능력이 양호한 지역일수록 농업가뭄 취약성은 낮게 평가된다.

다. 지형도양인자

농경지 입지 조건이 좋을수록 용수이용 조건이 나은

것이므로 농업가뭄 취약성은 낮게 평가된다. 논벼의 경우에 용수원에 가깝고, 고도가 낮고, 경사가 완만하며, 토양의 유효토심(effective soil depth)이 깊고, 배수조건(drainage condition)이 양호한 면적이 많이 분포할수록 농업가뭄에 대한 취약성이 높다.

라. 농업기상인자

타 지역에 비하여 강수량이 적을수록, 연간 편차가 커서 기상이 불안정할수록, 잠재증발산량(potential evapotranspiration)이 클수록 농업가뭄에 대한 지역 취약성을 높게

평가한다. 지역의 평균적인 기상조건을 설명하기 위해서 모든 인자들은 과거 30년간 자료의 평균치로 사용한다.

마. 농업생산기반인자

관개시설이 잘 갖춰진 경지정리 면적을 확대되고, 수리시설 수혜면적을 증가시키고, 천수답을 줄이는 대신 한밭빈도 10년 이상의 수리답을 늘이는 것은 모두 농업가뭄의 발생 가능성을 낮추게 된다. 영농 규모화 사업, 경지정리사업, 대단위농업개발사업 등으로 농업생산기반이 잘 발달된 지역일수록 수리시설, 수원공의 개발과 관리가

표 1. Items for the evaluation of agricultural drought vulnerability

Categories	Code	Items	Effect	Unit	Remarks
Land use	LU01 ^a	cultivated area	N	ha	
	LU02 ^a	% of cultivated area	N	%	LU01/LU00
	LU03 ^a	paddy area	N	ha	
	LU04 ^a	% of paddy area	N	%	LU03/LU00
	LU05 ^a	upland area	N	ha	
	LU06 ^a	% of upland area	N	%	LU05/LU00
Water resource	GW01 ^a	impervious area	N	ha	
	GW02 ^a	% of impervious area	N	%	GW01/LU00
	GW03 ^a	forest area	P	ha	
	GW04 ^a	% of forest area	P	%	GW03/LU00
	GW05 ^b	poor drained unpaved area	N	ha	
	GW06 ^b	% of poor drained unpaved area	N	%	GW05/LU00
Topography & Soil	TS01 ^{a,c}	cultivated area over elevation 200 m	N	ha	
	TS02 ^{a,c}	% of cultivated area over elevation 200 m	N	%	TS01/LU01
	TS03 ^{a,c}	% of paddy area over elevation 200 m	N	%	
	TS04 ^a	cultivated area included in buffered stream with 200 m	P	ha	
	TS05 ^a	% of cultivated area included in buffered stream with 200 m	P	%	TS04/LU01
	TS06 ^{b,c}	cultivated area with low effective soil depth	N	ha	
	TS07 ^{b,c}	% of cultivated area with low effective soil depth	N	%	TS06/LU01
Climate	AC01 ^d	normal annual precipitation	P	mm/yr	
	AC02 ^d	normal annual precipitation during growing season	P	mm/yr	
	AC03 ^d	normal ratio of PET & precipitation during growing season	N	ratio	
	AC04 ^d	standard deviation of precipitation during growing season	N	mm	
Production foundation	PF01 ^a	consolidated paddy area	P	ha	
	PF02 ^a	% of consolidated paddy area	P	%	PF01/LU03
	PF03 ^e	benefitted area by irrigation facilities	P	ha	
	PF04 ^e	rainfed paddy area	N	ha	
	PF05 ^e	% of rainfed paddy area	N	%	PF04/LU03
	PF06 ^a	water surface area	P	ha	
	PF07 ^e	irrigated area by drought frequency over 10 years	P	ha	
	PF08 ^e	% of irrigated area by drought frequency over 10 years	P	%	PF07/LU03

* LU00 : administration area(ha)

^a: NGIS Landuse map, ^b: Reconnaissance Soil map, ^c: Digital Elevation map, ^d: Korea Meteorological Administration,

^e: Yearbook of Agricultural Land and Water Development Statistics(2003)

표 2. Digital thematic maps and attributes

Theme	Format	Feature	Attribute			Remark	
			name	type	description		
Land Use	coverage	poly	ucb	string	land use code	1:5,000 scale	
Reconnaissance Soil	coverage	poly	number	int	soil number	1:50,000 scale	
			name	string	soil name		
			drain	int	drainage		
			soiltype	int	soil type		
			soildepth	int	effective depth		
			landuse	int	land use		
Administration Boundary	coverage	poly	ad_admin	string	administration code	1:50,000 scale	
			gunname	string	city name		
Meteorological Observation Station	coverage	point	station_id	string	station code		
			name	string	station name		
Thiessen Network	coverage	poly	station_id	string	station code		
			name	string	station name		
Digital Elevation	grid	grid	elevation	float	25m resolution		
Water Facilities	coverage	point	std_code	string	management code		1:50,000 scale
			pro_code	string	facilities symbols		
			sisulname	string	facilities name		
Stream	coverage	line	streamname	string	stream name		
			streamlevel	string	stream level		

타 지역에 비하여 비교적 잘 이뤄지는 곳이므로 농업가
 목 취약성을 낮게 평가하게 된다.

2. 주성분분석

주성분분석은 서로 상관관계가 높은 여러 개의 변수들
 을 조합하여 그 변수들의 정보를 가능한 많이 함축하고
 있는 새로운 인위적 변수를 만들어내기 위한 다변량 통계
 분석 기법이다. 주성분의 분산이 최대일 때 원래의 변수
 들이 가지고 있는 정보를 최대로 함축하게 되고, 원변수
 들을 대신해서 사용할 수 있다. 주성분분석의 일반적인
 절차는 그림 1과 같다. 먼저, 자료 분석의 왜곡을 막기
 위하여 변수들의 차원을 통일하는 표준화(standardization)
 작업을 수행하는 것이 필요하다. 그리고 상관관계 매트릭
 스를 작성하여 변수 사이의 상관성을 파악한 후 고유치
 (eigenvalue)를 기준으로 총분산의 60% 이상을 설명해 주
 는 성분까지를 주성분의 수로 결정한다. 다음, 주성분별
 성분적재량(factor loading)을 계산하여 이 값이 큰 항목들
 로 각 주성분의 대표변수를 정한다. 주성분 회전(factor ro
 tation)은 주성분을 보다 명확하게 하기 위한 과정으로서
 회전축을 회전하는 방식에 따라 Quartmax, Varimax, Equa
 max 방식 등이 있다. 최종적으로 주성분이 추출되면 같
 은 요인으로 묶여진 변수들의 공통된 특성을 조사하여
 보편적인 동의가 가능한 의미를 부여한다.

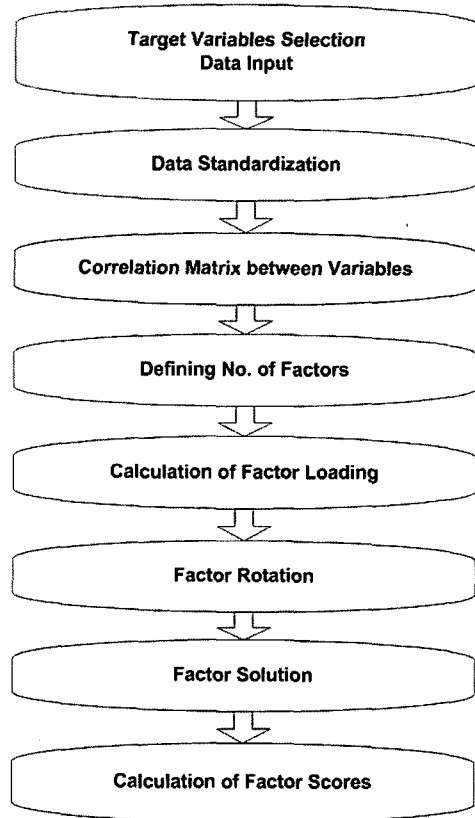


그림 1. General procedure of PCA

3. 농업가뭄 취약성 평가

농업가뭄 취약성의 지수화를 통해서 지역별 농업가뭄 취약성의 변화와 지역간의 차이를 단순하게 나타낼 수 있다. 주성분분석을 통하여 계산된 각 주성분별 대표변수들의 성분적재량의 절대값을 각 대표변수의 가중치로 놓고, 주성분별로 대표변수와 그 가중치 곱의 합으로 성분점수(factor score)를 계산한다. 단, 본 연구에서는 식 (1)과 같이 각 변수와 농업가뭄 취약성과의 정반관계를 고려할 수 있도록 지수를 사용하여 성분점수를 계산하도록 하였다.

$$CS_p = \sum_{i=1}^m ((-1)^v x_i CL_i) \quad (1)$$

여기서 CS_p 는 주성분별 대표변수만을 이용한 성분점수, x 는 각 변수 값, m 은 대표변수의 수, CL 은 대표변수의 성분적재량, v 는 0과 1을 갖는 정수로서 해당 변수가 농업가뭄에 대한 취약성을 개선하는 영향을 미치면 1, 반대면 0을 사용한다.

최종적으로 주성분별로 계산된 성분점수를 표준 정규 누적 분포 함수(standard normal cumulative distribution function)를 이용하여 0에서 1까지 값을 갖도록 범위를 조정(rescale)하여 농업가뭄 취약성 지수 DVIP(drought vulnerability index for paddy)를 결정한다. 그리고 DVIP에 따라 5단계로 구분하여 취약성의 정도를 평가하도록 하였다.

III. 적용 및 결론

1. 대상 자료의 구축

본 연구에서 대상 자료는 2002년을 기준으로 수집되었으며, 가뭄피해 통계는 가뭄극복 혹은 한해극복(농림부)에 있는 1977, 1981, 1982년의 총계를 이용하였고, 기상 자료는 1974년부터 2003년까지 30년간의 자료를 수집하였다. 표 1에서 정리한 항목에 대하여 각각의 입력자료를 그림 2에서와 같이 시군별로 작성하였다. 이들 다양한 자료를 구축, 통합하고 분석하기 GIS(Geographic Information System)을 도입하였다. GIS는 자료 관리의 효율성과 함께 적절한 방식으로 분석 결과를 도출할 수 있는 장점 때문에 재해관리에 많이 활용되고 있다(Wilhelmi와 Wilhite, 2002, Odeh, 2002).

가. 토지이용인자

그림 2(a)에서 보듯이 화성, 이천, 안성, 평택, 여주 등은 넓은 농경지, 특히 논면적이 큰 농업중심의 지역으로 농업가뭄의 위협에 노출된 면적이 크므로 취약성이 높은

지역이라 판단되었다. 또한 이들 지역들은 양평, 용인과 함께 발면적에 있어서도 타 지역에 비해 큰 특성을 보였다.

나. 수자원함양인자

주거지와 산업단지로 구성되어 있는 안산, 구리, 안양, 부천, 광명 등과 같은 수도권 위성도시들은 수자원 함양에 불리한 불투수 포장면적의 비율이 높은 반면 경지면적이 적은만큼 농업용수의 총수요는 적은 특성을 보였다. 그림 2(e)에서 보듯이 경기도 북동부에 위치한 가평, 광주, 양평 등은 산림이 발달하여 수자원 함양 조건이 우수한 지역들로 경지면적에 비하여 산림면적이 최소 4.5배 이상인 반면 불투수 포장면적은 상대적으로 적어 수자원 함양 측면에서 농업가뭄에 대한 지역 취약성이 매우 낮은 지역으로 분석되었다.

다. 지형도양인자

수자원함양 측면에서 농업가뭄에 대한 취약성이 낮은 가평, 양평, 그리고 광주지역에서 고도 200 m 이상 경작지의 면적과 상대적 비중이 높은 것으로 분석되었다(그림 2(h) & 그림 2(i)). 이중 가평과 양평은 지역 총생산 중 농업 부문 비율이 10% 이상 높게 차지하는 지역들로서, 특히 가평은 전체 경지면적의 약 28%(1,926 ha), 논면적의 약 20%(519 ha) 정도가 고도 200 m 이상 지형에 분포하고 있어 타 지역에 비하여 농업용수 이용에 제약이 있을 것으로 추정된다. 하천 경계로부터 200 m, 500 m, 1,000 m 버퍼링을 실시한 결과, 안양, 구리, 군포, 과천, 하남 등 수도권 위성도시들은 그림 2(j)와 그림 2(k)에서처럼 전체 농경지 면적 중에서 200 m 버퍼링 구간의 농경지 면적이 차지하는 비율이 대상지역 평균 45%에도 미치지 못할 정도로 하천 취수 여건이 열악한 것으로 나타났다.

라. 농업기상인자

서울을 둘러싼 부천, 광명, 구리, 의정부, 하남 등의 지역들은 정상연잠재증발산량(normal annual potential evapotranspiration)은 높고 정상연강수량(normal annual precipitation)은 낮은 특성을 보였다. 즉 타 지역에 비하여 단위면적당 용수수요는 크지만 강우량이 적으므로 농업가뭄에 대한 취약성이 높은 것으로 평가된다. 논농사가 많이 이뤄지는 이천과 안성의 경우에도 정상연잠재증발산량이 대상지역 평균보다도 높게 나타났지만 정상연강수량도 지역 평균 770 mm를 넘을 정도로 많아 농업가뭄에 대한 취약성이 앞서의 도시지역들에 비하여 낮은 것으로 판단된다. 또한 농업용수의 수요를 결정하는 증발산량과 지역 수자원량을 결정하는 강우량의 관계를 통해서 대략적인 지역의 물 수지를 비교한 결과, 그림 2(p)와 같이 서울 인접 지역들에

장 민 원

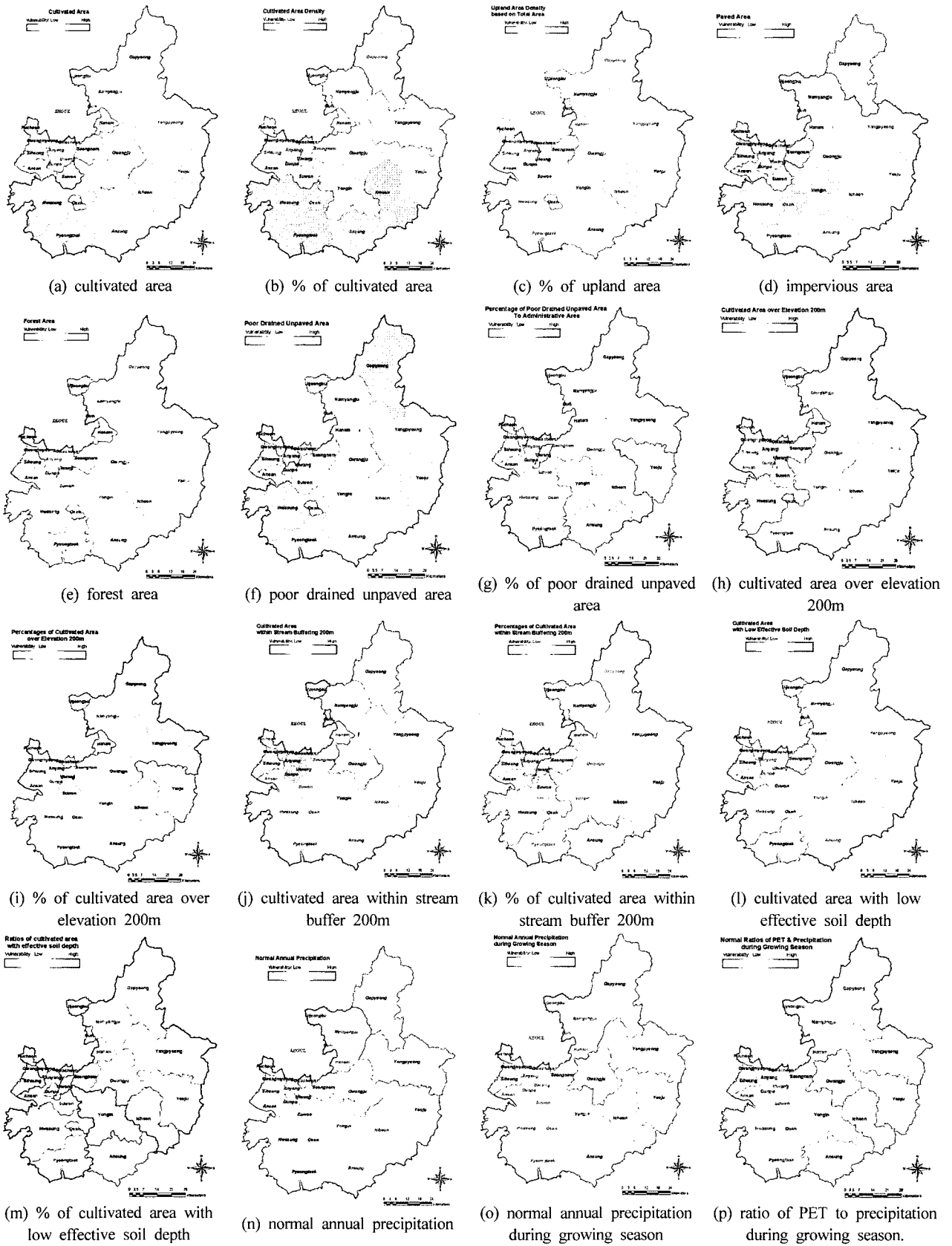


그림 2 Comparison of vulnerability items to agricultural drought

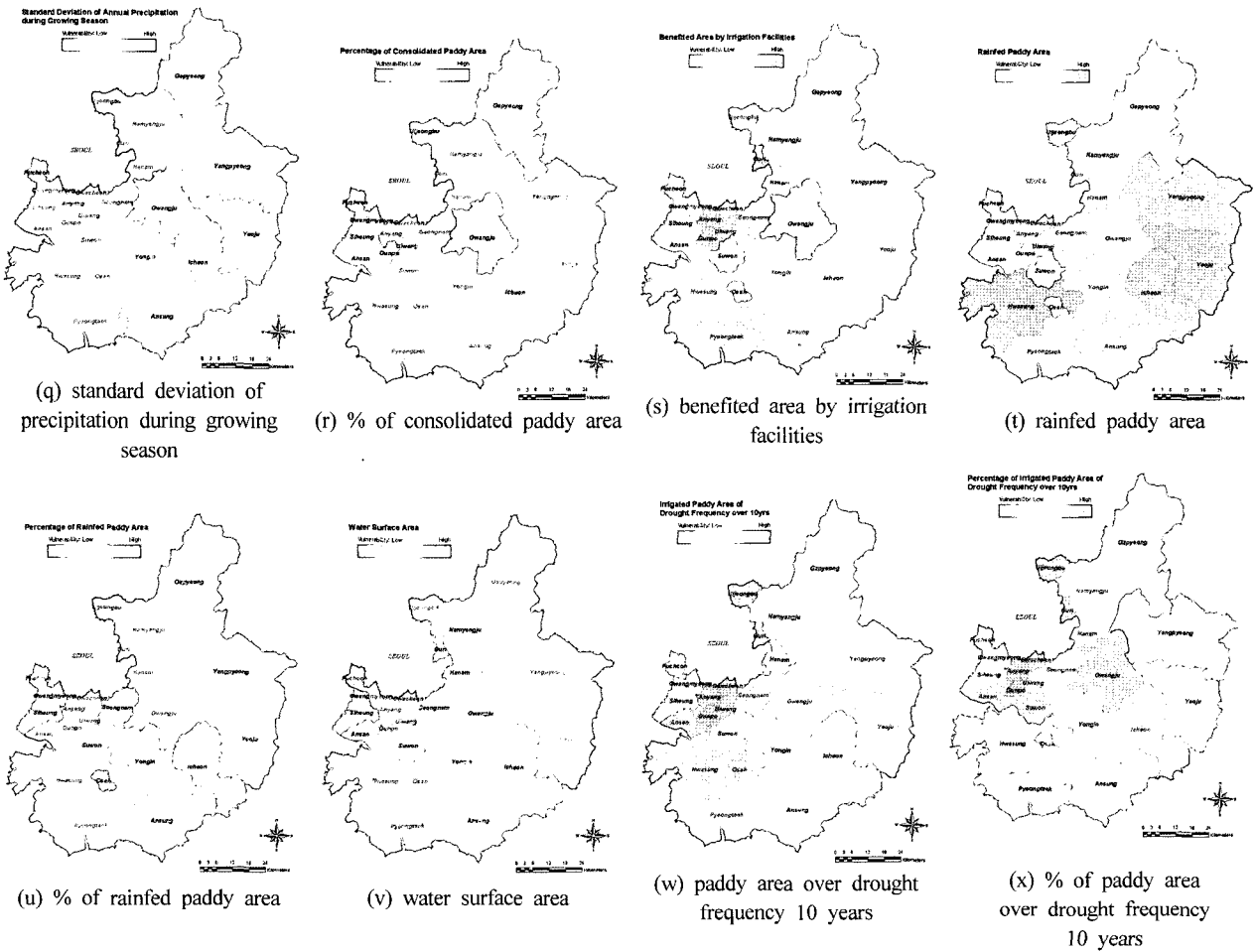


그림 2. Comparison of vulnerability items to agricultural drought(continued)

서 상대적으로 취약성이 높은 지역들이 분포하였고, 화성, 평택, 안성 등의 지역들은 물관리 측면에서 기상조건이 타 지역과 비교하여 양호한 것으로 판단되었다. 지역별 연 강우량의 편차는 그림 2(q)에서와 같으며, 연간 강우량의 변화폭이 클수록 용수공급의 불안정을 가져와서 농업가뭄의 취약성을 높하게 된다. 이상의 결과들로부터 경기도 내 다른 지역에 비하여 평택, 화성, 안성, 용인 등 남부와 서부에 위치한 지역들에서 농업이 발달할 수 있었던 기상학적 입지 조건을 확인할 수 있었다.

마. 농업생산기반인자

그림 2(t)에서 보듯이 농경지가 많고 수리시설의 수혜 면적이 많은 화성, 평택, 안성, 여주, 이천, 양평 등에서 가뭄 취약성이 높은 천수답 면적도 컸다. 그림 2(u)의 전체 논면적에서 천수답 면적이 차지하는 비율을 보면 화성과 광주가 취약성이 높은 편에 속하였는데 이것은 논면적의 절대적 크기를 고려한다고 하여도 타 지역에 비하여 수원 공 개발 등 용수시설의 수요가 여전히 높은 것으로 추정

된다. 또 경기도 북동부에 있는 가평, 양평, 여주 지역은 한밭빈도 10년 이상 논면적의 양적 규모도 크고 전체 논면적에서 차지하는 상대적 비율도 높기 때문에 농업가뭄에 대한 취약성이 높은 것으로 평가된다. 반면 남서부의 주요 농업지역들은 천수답 면적이 클 뿐만 아니라 그림 2(x)에서 보듯이 한밭빈도 10년 이상을 견딜 수 있는 수리답 면적의 비율도 낮아 농업 수리기반의 확충을 위한 투자와 기술의 집중이 여전히 더 필요한 것으로 판단된다.

2. 주성분의 추출과 해석

가. 주성분의 추출

주성분의 수를 결정하기 전에 먼저 최소 고유치 1을 기준으로 그 이상인 성분의 분산 설명량을 산정한 결과, 모두 5개의 성분이 추출되었다. 산정된 성분은 분석에 사용된 31개 인자, 즉 분석지표의 약 1/6에 해당하는 수준이고 총 변량의 약 86%를 설명하였다. 주성분의 수를 결정하기 위하여 Scree plot를 사용하였고, 최종적으로 전체 총분산의 약 80.8%를 설명하는 상위 4개의 주성분을

선택하였다. 여러 가지 회전기법 중에서 요인을 단순화하는 Varimax 방식을 사용하여 주성분을 추출하였으며, 각 주성분의 정보량을 나타내는 주성분점수의 분산인 고유치는 제 1 주성분이 11.95, 분산비가 39.44%로 원변수에 대한 정보량을 가장 많이 함축하고 있으며, 제 2 주성분은 6.30, 분산비가 20.65 %, 제 3 주성분과 제 4 주성분의 고유치는 각각 4.58, 2.13, 분산비가 각각 14.76, 6.87이다. 선택된 4개의 주성분과 원변수간의 관련 정도를 분석하여 각 주성분의 의미를 파악해 보기 위해서 표 3과 같이 주성분 부하량(loading)을 분석하였다.

표 3. Factor loading by principal components

Factors	Principal Components				Factors	Principal Components			
	1	2	3	4		1	2	3	4
LU01	0.982				LU06		0.932		
TS04	0.972				TS02		0.918		
LU03	0.969				TS03		0.913		
LU05	0.953				TS01		0.912		
PF01	0.895				GW03		0.833		
PF07	0.872				GW04		-0.598		
PF04	0.866				TS05		0.551		
PF03	0.865				AC04			-0.929	
LU02	0.817				AC02			0.882	
TS06	0.811				AC03			-0.793	
LU04	0.801				AC01			0.736	
GW01	0.782				PF02			0.659	
PF06	0.769				TS07			-0.538	
GW05	0.749				PF08				0.756
GW02	0.504				PF05				-0.703
					GW06				-0.629

표 4. Vulnerability assessment indices by regions(Si/Gun)

Region	DVIP				Region	DVIP			
	PC1	PC2	PC3	PC4		PC1	PC2	PC3	PC4
Ansan	0.30	0.62	0.13	0.65	Namyangju	0.48	0.05	0.86	0.06
Ansung	0.77	0.21	0.29	0.36	Osan	0.50	0.55	0.10	0.70
Anyang	0.11	0.86	0.52	0.96	Pucheon	0.26	0.89	0.84	0.02
Gapyeong	0.35	1.00	0.38	0.35	Pyeongtaek	0.85	0.70	0.09	0.61
Gunpo	0.18	0.53	0.14	0.83	Seongnam	0.27	0.49	0.82	0.12
Guri	0.31	0.78	0.96	0.93	Siheung	0.58	0.61	0.46	0.53
Gwacheon	0.19	0.43	0.91	0.78	Suwon	0.34	0.80	0.11	0.34
Gwangju	0.37	0.27	0.49	0.56	Uijeongbu	0.22	0.28	0.92	0.92
Gwangmyeong	0.41	0.66	0.90	0.36	Uiwang	0.20	0.21	0.21	0.66
Hanam	0.24	0.53	0.87	0.01	Yangpyeong	0.58	0.75	0.54	0.40
Hwasung	0.99	0.21	0.12	0.66	Yeoju	0.92	0.05	0.46	0.48
Icheon	0.99	0.19	0.37	0.69	Yongin	0.66	0.11	0.27	0.39

나. 주성분별 취약성 지수 산정

주성분별 대표변수로부터 계산한 성분점수(component scores)의 표준 정규 누적 분포 함수값을 계산하였으며, 이를 이용하여 농업기물에 지역 취약성을 표 4와 같이 평가하였다. 그리고 각 지수를 동일한 0.2 간격씩 5단계로 구분하여 주성분별로 그림 3에 도시하였다.

다. 주성분의 해석

1) 제 1 주성분

제 1 주성분은 약 39.44 %의 설명량을 갖는 가장 주요한 인자로서 15개 주요 변수로 구성되었다. 발면적율을 제외한 모든 토지이용인자와 불투수 포장면적, 불투수 포장면적율, 배수불량 토양면적의 수자원함양인자, 하천 버퍼링 200 m 이내 경지면적과 저유효토심 토양면적의 지형토양인자, 경지정리면적, 수계면적, 수혜면적, 천수답면적, 한밭빈도 10년 이상 논면적 등 농업생산기반인자와 높은 상관성을 나타내었다. 불투수 포장면적율을 제외한 모든 변수들에 대하여 공히 정(+)의 관계를 나타내는 주성분이므로 농업기물에 노출되는 대상(경지)의 규모(면적)와 관련이 있다고 할 수 있다. 따라서 제 1 주성분은 ‘규모의 요인에 의한 취약성’이라고 정의하였다. 그림 3(a)에서 경지면적이 많은 경기도 남부지역의 취약성이 높게 나타났는데 이들 지역들은 여러 가지 관개사업의 실시와 물관리 기술의 집중으로 가물의 위험이 매우 낮지만 여전히 다른 지역들보다 많은 천수답이 남아있기 때문에 농업기물의 취약성을 높게 평가하는 것이 타당하다고 판단된다.

2) 제 2 주성분

제 2 주성분은 약 20.31 %의 설명량을 갖는 인자로서 7개의 변수로 높은 상관성을 보였다. 산림면적과 산림면적율의 수자원함양인자와 고도 200 m 이상 경지면적, 경지면적율, 논면적율, 그리고 하천버퍼링 200 m 이내 경지면적율 등의 지형토양인자와 높은 정(+)의 상관성을 보였고, 토지이용인자인 발면적율과는 낮은 부(-)의 상관성을 나타냈다. 그러므로 제 2 주성분은 ‘지형적 요인에 의한 취약성’으로 판단되었다. 그림 3(b)를 보면 수도권 일부 위성도시들과 가평군, 평택 등이 취약성이 높게 평가되었다. 가평군은 산림이 많아 수자원함양조건이 우수하겠지만 용수이용이 어려운 해발고도 200 m 이상의 경지면적이 많고, 평택은 면적에 비해 산림면적이 매우 적고 주변 농촌지역보다 비교적 도시가 발달한 편이기 때문에 높은 취약성을 보인 것으로 분석되었다.

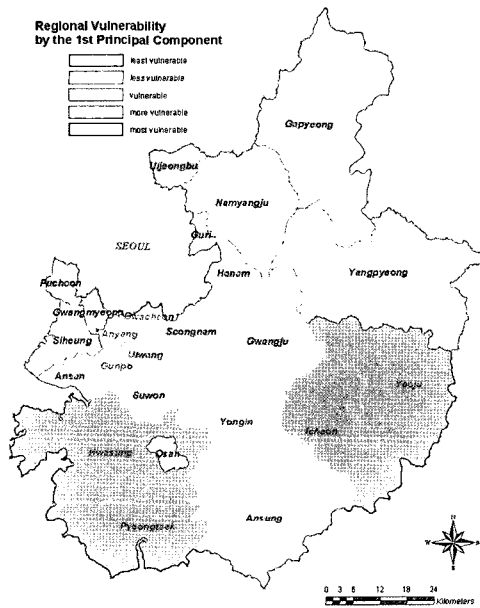
3) 제 3 주성분

4개 기상인자들 중 30년 빈도의 강우량 대비 잠재증

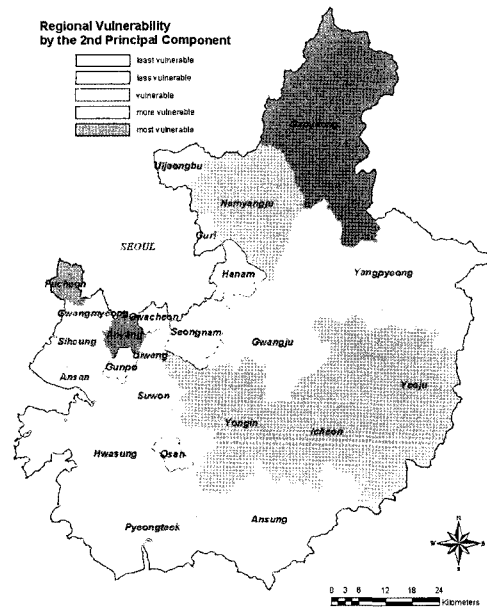
발산량의 비와 관개기 강우량의 표준편차는 부(-)의 상관성을 보였고, 비초과 30년 빈도 연강우량과 관개기 연강우량은 정(+)의 상관성을 나타냈다. 지형토양인자인 저유효토심 토양면적의 비율과는 부(-)의 상관성을 나타냈고, 농업생산기반인자인 경지정리면적율은 정(+)의 관계를 나타냈다. 제 3 주성분은 ‘기상학적 요인에 의한 취약성’을 나타내는 인자로 구분하였다. 그림 3(c)를 보면 앞서 분석에서 상대적으로 불리한 농업기상을 보여줬던 서울과 양평의 기상관측소에 영향권에서 가장 취약성이 높게 평가되었다.

4) 제 4 주성분

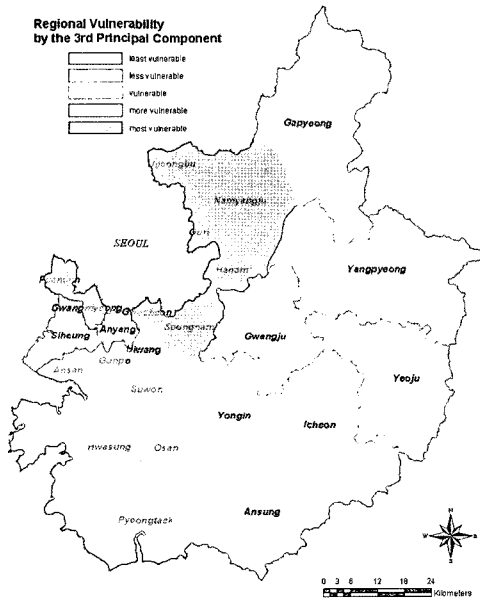
제 4 주성분의 대표변수는 천수답 면적비와 한발빈도 10년 이상 논면적비, 그리고 배수불량 토양면적 등 3개이다. 한발빈도 10년 이상을 견딜 수 있는 논면적의 비율에 대해서는 정(+)의 관계를, 천수답 면적과 배수불량 토양면적의 비율에 대해서는 부(-)의 상관성을 나타내는 성분이다. 답의 내한능력이나 천수답의 비율은 수리시설 등 농업생산기반의 조성 정도에 따라 결정되는 것이므로 제 4 주성분을 ‘농업생산기반 요인에 의한 취약성’ 인자로 정의하였다. 일부 도시지역을 제외하면 평야부인 화



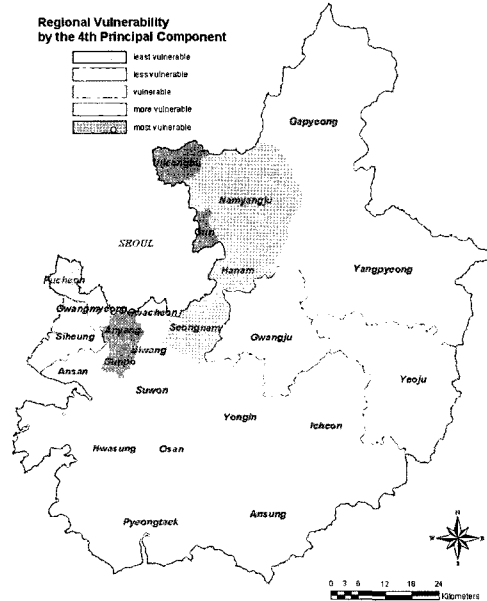
(a) The 1st principal component



(b) The 2nd principal component



(c) The 3rd principal component



(d) The 4th principal component

그림 3. Regional vulnerability with each principal component

성, 평택, 이천 등이 농업가뭄에 대한 취약성이 높게 평가되었다(그림 3(d)). 경지면적에 비하여 아직 수리시설의 규모나 능력이 충분하지 않고 토양조건이 지하수 함양에도 불리하여 수자원에 제약이 있을 수 있기 때문에 농업수리 생산기반의 측면에서 취약성에 높게 나온 것으로 분석할 수 있다.

IV. 취약성 유형 분류

주성분은 변수들의 대부분의 정보를 함축하고 있고 각 주성분이 서로 다른 의미를 가지며 서로 독립이기 때문에 각 변수들 사이의 중복부분은 제거되었다고 할 수 있다. 따라서 주성분에 대한 성분계수행렬을 표준화한 변

표 5. Results of cluster analysis

Cluster	Average DVIP by Principal Component				Frequency	Regions
	PC1	PC2	PC3	PC4		
A	0.39	0.49	0.20	0.59	7	Ansan, Gunpo, Osan, Siheung, Suwon, Uiwang, Yongin
B	0.90	0.27	0.27	0.56	5	Ansung, Hwasung, Icheon, Pyeongtaek, Yeosu
C	0.25	0.60	0.84	0.79	5	Anyang, Guri, Gwacheon, Gwangmyeong, Uijeongbu
D	0.43	0.67	0.47	0.44	3	Gapyeong, Gwangju, Yangpyeong
E	0.31	0.49	0.85	0.05	4	Hanam, Nanyangju, Pucheon, Seongnam

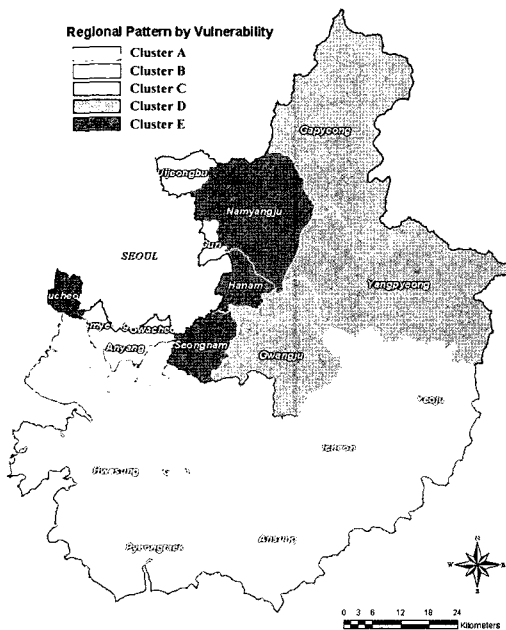


그림 4. Pattern classification by agricultural drought vulnerability

수에 곱하여 산출한 성분점수를 군집분석(cluster analysis)의 자료로 사용할 수 있다. 군집분석을 통하여 지역의 가뭄 취약 특성을 유형화하고 그에 따라 지역별로 적절한 가뭄 대응 전략을 수립할 수 있다. 본 연구에서는 K-평균 군집분석(K-mean cluster analysis)법을 사용하여 표 5와 같이 대상시군을 5개 군집으로 분류하였다. 표 5에서 각 유형별로 해당 시군의 주성분별 DVIP의 평균값을 계산하였다.

1. A 유형

그림 4에서 보는 바와 같이 안산, 군포, 오산, 시흥, 수원, 의왕, 용인 등 7개 시군이 A 유형에 해당되었다. 특히 안산, 군포, 오산, 시흥, 수원, 의왕 등 6개 지역은 기상요인의 영향을 설명하는 제 3 주성분에서 취약성이 낮은 반면 농업생산기반 요인을 대표하는 제 4 주성분에서는 취약성이 높게 평가된 지역들이다. 즉 기상학적 조건이 비교적 양호하여 가뭄발생의 위험이 적은 지역들이지만 관개시설 등 생산기반이 발달되어 있지 않기 때문에 이상기후에 의한 기상학적 가뭄이 발생하는 경우 심각한 피해가 발생할 수 있는 가능성이 높은 지역들이라 하겠다. 또한 이들 지역은 재배면적에 상관없이 농업부분 생산규모가 지역내총생산의 1%에도 미치지 못할 정도로 비농업적 성격이 강하기 때문에 행정기관의 관심도 미비한 실정이다.

2. B 유형

B 유형에는 안성, 평택, 화성, 이천, 여주 등 5개 지역이 분류되었다. 이들 지역은 규모의 취약성이 높음으로 분석된 지역으로서 경지면적이 34~67%에 이를 정도로 농업이 중심인 지역이다. 전반적으로 수리시설이 비교적 잘 구축되어 있고 경지정리가 타지역에 비하여 잘 이뤄져 있으며 수리시설 수혜면적, 한발빈도 10년 이상에 해당하는 논면적도 가장 높게 나타났다. 반대로 천수답면적이 대상지역 중에서 가장 높고, 경지면적에 비하여 아직 수리시설의 혜택이 부족하므로 가뭄 취약성이 매우 높다. 과거 가뭄피해 기록을 보더라도 이들 지역에서 가뭄피해 면적이 가장 컸다. 현재까지 농업용수 관리를 위한 시설과 운영기술의 투자가 우선시 되어온 지역들이지만 아직도 수리시설의 확대, 재이용수의 활용 등 수자원 확보와 이용을 위한 관심이 계속되어야 할 것으로 판단된다.

3. C 유형

C 유형은 안양, 구리, 과천, 광명, 의정부 등 5개 지역이 해당한다. 표 5에서 보듯이 C 유형은 제 3 주성분과

제 4 주성분에서 높은 취약성 지수를 나타냈으며 제 2 주성분에서도 상대적으로 높은 취약성을 나타낸 지역들이다. 농지가 적고 수리시설도 열악할 뿐만 아니라 관개기 연장우량의 표준편차와 강수량 대비 잠재증발산량의 비가 높아 기상변화에 민감한 특성을 나타내었다. 사실상 가뭄에 그대로 노출되어 있다고 판단되며 조직적인 물관리나 가뭄대책이 어려우므로 전적으로 개별 농가단위의 자체적인 용수 확보 능력에 의존할 수밖에 없는 지역들이다.

4. D 유형

D 유형에는 대상 24개 시군 중에서 산림이 전체 면적의 70%에 달할 정도로 발달한 광주, 가평, 양평의 3개 시군 지역이 포함되었다. 행정구역의 크기에 맞게 경지면적도 넓고 주변에 한강 수계가 발달하여 수자원의 접근성도 나쁘지 않은 환경이고, 산림이 발달하여 지하수함양으로 수자원 확보가 용이한 지역이다. 그러나 주성분 분석 결과를 보면 제 2 주성분인 지형학적 요인에 의한 취약성이 약간 높은 결과를 보였다. 지형적 특성에 의해 농지의 상당부분이 하천 주변에 발달했음에도 산림지역인 만큼 다른 지역에 비하여 고도 200 m 이상에 농지가 많이 분포하고 있어 국부적인 가뭄 피해 발생의 가능성이 있다. 논농사의 경우에 냉해와 용수 확보의 문제 때문에 되도록 고도 200 m 이상에서의 영농을 지양하고 있으므로 장기적으로 작부체계의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

5. E 유형

하남, 남양주, 부천, 성남 등 4개 도시가 E 유형으로 분류되었다. C 유형의 도시들과 마찬가지로 강우량의 변동이 크고 상대적으로 잠재증발산량의 크기가 커서 제 3 주성분에서 가뭄에 대한 취약성이 높게 평가되었다. 반면에 제 4 주성분에서는 취약성이 매우 낮게 평가되었는데, 이는 이들 지역의 농지면적은 크지 않지만 천수답이 적고 내한년도 10년 이상의 농지가 대부분이기 때문이다. 관개기반이 잘 갖춰져 있고 가뭄에 노출되는 농지가 적기 때문에 사실상 가뭄 발생 우려가 매우 적은 지역들로 판단된다.

V. 요약 및 결론

농업용수의 직접적인 수급조건 뿐만 아니라 지역 전반의 물리적 자원과 사회경제적 환경이 통합적으로 고려되는 농업가뭄 대책의 수립과 추진의 필요성이 높아지고 있다. 농업가뭄에 대한 지역 취약성 평가는 이러한 통합방재계획에 기본적으로 수행되어야 하는 과정으로서, 지역별 취약성의 차이와 크기를 비교하고 적절한 대책의 수

립과 우선순위를 결정하는 바탕이 된다. 그러나 아직 재해 취약성에 대한 개념적 정립도 부족하고 실용적인 취약성 평가 기준이 마련되지 않아 체계적인 농업가뭄 대책의 추진이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 농업가뭄 대책 사업이 실질적으로 추진되고 자원 통합적 접근이 가능하도록 시군단위를 중심으로 다양한 지역 자원을 정의하고, 이를 반영하여 지역별 농업가뭄에 대한 취약성을 객관화하고, 지역별 가뭄대책 수립의 유형을 제시할 수 있는 기법을 개발하였다.

연구의 결과를 요약하자면, 먼저 농업가뭄에 영향을 미치는 다양한 인자들을 정의하였고, 경기도 24개 시군에 대하여 토지이용인자, 수자원함양인자, 기상인자, 지형토양인자, 그리고 농업생산기반인자 등 5개 카테고리 31개 항목의 입력자료를 통계자료와 GIS분석을 통하여 구축하였다. 다음 농업가뭄 취약성에 미치는 요인을 단순화하기 위하여 주성분분석을 시행하였고, 총 분산의 약 80.8%를 설명하는 4개의 주성분을 추출하였다. 각 주성분은 규모의 요인에 의한 취약성, 지형적 요인에 의한 취약성, 기상학적 요인에 의한 취약성, 그리고 농업생산기반 요인에 의한 취약성으로 정의되었고, 각 주성분별 성분점수를 계산하고 이를 다시 정규화하여 농업가뭄 취약성 지수 DVIP (Drought Vulnerability Index for Paddy)를 계산하였다. 마지막으로 주성분별 DVIP에 대한 통계적 군집분석을 통하여 대상 경기도 시군을 5개의 유형으로 분류하였고, 각 유형별 농업가뭄 취약성의 성격을 논의하였다. A 유형은 안산, 군포, 오산 등 도시가 발달한 지역들로 영농규모도 작고 관개시설도 열악한 조건을 가지고 있고, B 유형은 평택, 화성, 이천 등과 같이 전통적인 농업지역들로 여전히 수리시설의 확충이 필요한 지역들이었으며, C 유형은 서울 주변의 안양, 과천, 의정부 등으로 기상학적 요인에 의하여 가뭄 취약성이 높은 지역들이고, D 유형은 광주, 가평, 양평 등 산림이 발달한 지역으로 비교적 양호한 조건을 가지고 있으나 용수이용에 제약을 받는 고도 200 m 이상의 농지가 많은 문제를 보였으며, E 유형은 하남, 남양주, 성남 등으로 C 유형과 비슷하나 농업생산기반조건이 양호하여 사실상 가뭄의 우려가 적은 지역들이었다.

본 연구를 통하여 지역의 다양한 자원과 통계정보를 바탕으로 농업가뭄에 영향을 미치는 여러 인자들의 가중치를 통계적으로 결정할 수 있었고, 이로부터 지역별 농업가뭄에 대한 유형별 취약성을 지수화하고 지역별 성격을 구분할 수 있었다. 따라서 이 기법을 이용함으로써 가뭄대책과 자원이용 시나리오에 따라 지역별 농업가뭄 취약성의 변화를 평가하고 시군별 합리적인 정책수립에 기여할 수 있다. 향후 전국적으로 본 기법을 적용하기 위해서는 지속적으로 지역별 자료를 수집하고 갱신할 수 있

는 정보체계의 구축이 필요하며, 읍면단위 혹은 도단위, 국가단위에서 적용하는 경우에는 그 공간스케일에 맞는 적절한 대상인자의 선택에 관한 연구가 선행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 농림수산부, 1983, '81'82 한해극복지
2. 농림수산부, 1995, '94-'95 가뭄극복
3. 농업기반공사, 2003, 농업생산기반정비사업통계연보, 농림부
4. 농수산부, 1978, 旱害克服誌
5. Bender, S., 2002, Development and Use of Natural Hazard Vulnerability-Assessment Techniques in the Americas, *Natural Hazards Review* 3(4) : 136-138
6. Downing, T. T. and Bakker, K., 2000, Drought discourse and Vulnerability, drought: A Global Assessment, *Natural Hazards and Disasters Series*, Routledge publishers
7. Flax, Lisa K., Russel W. Jackson, and David N. Stein, 2002, Community Vulnerability Assessment Tool Methodology, *Natural Hazards Review* 3(4) : 163
8. Ghosh, J., 2002, Water Policy For Drought Proofing Chhattisgraph, Institute For Human Development, sponsored by the Planning Commission, India
9. Granger, K., Jones, T., Leiba, M., and Scott, G., 1999, Community Risk in Cairns: A Provisional Multi Hazard Risk Assessment, Australian Geological Survey Organization, Australia
10. IPCC, 2001, IPCC Third Assessment Report(TAR), 995
11. Kelly, P. M. and Adger, W. N., 2000, Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitation Adaption, *Climatic Change* 47 : 325-352
12. Mileti, D., 2000, Disasters by Design: A Reassessment of Hazards in the United States, Joseph Henry Press
13. Odeh, David J., 2002, Natural Hazards Vulnerability Assessment for Stationwide Mitigation Planning in Rhode Island, *Natural Hazards Review* 3(4) : 177-187
14. Wilhelmi, O. V. and Wilhite, D. A., 2002, Assessing Vulnerability to Agricultural Drought: A Nebraska Case Study, *Natural Hazards* 25 : 37-58