



## 홍수 취약성 평가를 위한 대표 지표 선정에 관한 연구

# A Study on the Selection of Representative Indicators of Flood Vulnerability Assessment

주홍준\* · 이명진\*\* · 최창현\*\*\* · 김수전\*\*\*\* · 김형수\*\*\*\*\*

Joo, Hongjun\* , Lee, Myungjin\*\* , Choi, Changhyun\*\*\* , Kim, Soojun\*\*\*\* , and Kim, Hung Soo\*\*\*\*\*

### Abstract

The purpose of this study is to select representative indicators that strongly influence flood vulnerability in existing methods. Indicators for assessing the degree of vulnerability are widely scattered among previous studies, which creates challenges in adopting of flood vulnerability assessment measures. Therefore, it is necessary to remove duplicate indicators in such assessment measures and to select indicators with high impact. Therefore, the present study considers indicators in six existing evaluation methods such as FRI, PFD, FDRRI, FVA, FDI, and RSA. For this purpose, the representative indicators were selected by factor and principal component analysis (PCA) of Chungcheong-Do including Daejeon metropolitan and Sejong metropolis cities, and the explanatory power was verified by multiple regression analysis. An index consisting of representative indices was identified as the flood vulnerability indicator (R), and the characteristics were compared with the existing flood vulnerability index. R showed better results in metropolitan areas than indices of existing methods. This study can provide guidance when considering the representative indicators used in flood vulnerability assessment.

**Key words :** Flood Vulnerability Assessment, Representative Index, Principal Component Analysis, Factor Analysis, Multiple Regression Analysis, Flood Vulnerability Indicator (R)

### 요 지

본 연구에서는 기존의 홍수 취약성 평가를 구성하는 여러 지표를 대상으로 대표 지표를 선정하고자 하였다. 홍수 취약 정도를 평가하는 지표는 선행 연구를 통해 많이 산재되어 있으며, 이러한 현황은 홍수 취약성 평가 수립자에게 있어서 채택적인 측면에서도 난해한 실정이다. 따라서, 홍수 취약성 평가에 의미가 중복되는 지표를 제거하고 영향력이 큰 지표를 선정할 필요가 있다. 본 연구는 대표 지표를 선정하기 위해 6개 기존 평가 방법(FRI, PFD, FDRRI, FVA, FDI, RSA)내의 지표를 고려하였으며 대전광역시, 세종특별자치시를 포함하는 충청도 일대를 대상으로 통계 기법인 요인 분석(factor analysis) 및 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 수행하여 대표 지표를 선정하고 다중회귀분석을 통해 설명력을 검증하였다. 대표 지표로 구성된 홍수 취약성 평가 지표를 홍수 취약성 지표(R)로 명칭하고 기존 방법에서 제시하는 지표와 비교하여 특징을 고찰한 결과, 홍수 취약성 지표(R)가 기존 방법의 지표에 비해 대도시에서 나은 결과를 보여 주는 등 여러 가지 측면에서 개선된 결과를 보여주었다. 본 연구는 홍수 취약성 평가를 구성하는 대표 지표를 고려할 때 일종의 지침안을 제시할 수 있다는 점에서 의미가 있다고 판단된다.

**핵심용어 :** 홍수 취약성 평가, 대표 지표, 요인 분석, 주성분 분석, 다중회귀분석, 홍수 취약성 지표(R)

\*정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 박사과정(E-mail: engineer1026@nate.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*인하대학교 사회인프라공학과 박사과정(E-mail: lmj3544@naver.com)

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 박사과정(E-mail: karesma0cch@naver.com)

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*\*교신저자, 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 조교수(Tel: +82-32-860-7563, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: sk325@inha.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*\*\*정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수(E-mail: sookim@inha.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

## 1. 서론

홍수는 자연 재해 중에서 가장 많이 발생하는 요소이며 매년 전 세계적으로 많은 피해를 발생시키고 있다. 이러한 홍수는 사회 전반적으로 큰 파장을 일으키고 있으며 여러 가지 기반시설을 비롯한 2차, 3차적인 간접피해를 불러온다. 특히, 국내의 홍수는 기상학적 요인, 지형학적 요인, 사회경제적 요인 등에 의해 빈번하게 일어나고 있으며(MLTMA, 2010), 이를 위해 해당 지역의 홍수 위험 정도의 검토를 통해 위험 요소에 대한 현 주소를 파악하고 그에 맞는 비구조적, 구조적 대책을 수립해야 한다.

국외에서의 홍수 위험 관련 평가 사례는 일본 국토기술정책종합연구소(NILM)에서 개발한 홍수 취약성 지수(Flood Vulnerability Index, FVI)가 있으며 전 세계적인 치수정책 우선순위를 개발하기 위해 개발되었다. 특히, 개발도상국을 위주로 지표가 구성되어 있으며, 각 지표들의 입력값에 따라 FVI값을 0에서 1까지 5등급으로 구분하였다. 유럽연합(EU)에서는 EPSON (The European Spatial Planning Observation Network) 사업을 통해 홍수를 비롯한 산사태, 눈사태, 가뭄, 산림화재, 지진 등을 포함한 자연재해와 방시능 재난 등과 같은 기술적 사고를 포함한 13개의 위험 요소에 대해서 위험정도를 지수화하는 연구를 수행한 바 있다. 또한, 미국 해양대기관리처(NOAA)에서는 위험에 노출된 인명, 재산, 시설물을 분석하기 위해서 RVAT (Risk and Vulnerability Assessment Tool)을 개발하여 시범운영중에 있다. 또한, 개인의 연구로는 Rygel et al. (2006)은 취약성 평가에서 가장 중요한 것은 적합한 지표들을 선정하는 것에 있다고 하였으며, 취약성을 노출과 사회학적 지표로 구분하여 선정 및 수집한 뒤 Pareto ranking process를 이용하여 사회학적 취약성 지표를 통합하여 취약성 평가기법을 제시하였다. Chang and Huang (2015)은 타이완의 도시지역을 대상으로 잠재영향 지표(PI)를 선정하고, 이를 적응능력 지표(AI)와 종합하여 홍수취약성 지수를 선정하였다. Kablan et al. (2017)에서는 기후변화취약성 평가이론을 기본으로 재난위험관리 및 기후변화적응과 관련된 대리변수를 통한 노출성, 민감도, 적응능력의 3가지 평가지표(EI, SI, AI)를 이용하여 홍수취약성 지수를 선정하였다.

국내에서는 홍수 위험도를 평가하는 모형 및 시스템은 개발자에 의해서 조금씩 다르게 거론되고 있지만 일반적으로 ‘홍수 취약성 지수’로 불리고 있으며, 이에 대한 연구 및 사업이 2000년대 이후부터 활발하게 진행되어 오고 있다(MLTMA, 2001, 2010; KRIHS, 2005; SI, 2006; KEI, 2008; MOIS, 2008; KICT, 2009; Jthink, 2010; NDMI, 2011). 이들의 사업 및 연구의 특징은 과정의 차이는 있겠지만 결과적으로는 홍수 위험 인자에 대한 적절한 지표를 선정하여 구성한 후 홍수 취약성 지수를 개발하는 것이다.

홍수 취약성 평가를 하기 위해서는 먼저 홍수에 영향을

미치는 지표가 선정된 후, 적절한 지표 블렌딩(blending) 측면의 기법을 수반하여 평가가 이루어져야 한다. 그 동안의 지표 선정 방법은 홍수에 영향이 있을거라는 막연한 예상으로 이루어지고 있으며, 타 연구에서의 지표 활용 빈도와 주관적인 중요함을 내세워 구성된 사례가 대부분이다. 홍수 취약성의 평가 방식에 있어서 기존의 모든 지표를 적용하면 이론적으로 가장 좋은 방안이 되겠으나 자료 구축의 방대함, 접근성의 부족, 지표 의미 중복 등으로 인해 현실적으로 어려움이 많다. 따라서, 최소한의 대표 지표로 홍수 취약성을 대변할 수 있어야 하며, 이러한 과정은 실질적으로 홍수 취약성 평가를 수립하는 최종 사용자(end-user) 입장에서도 필요하다고 할 수 있다. 하지만, 대표 지표를 선정함에 있어서 홍수 취약성을 평가하는 요소들이 이미 지표로 포함되어 있는 경우가 많아 비교 기준이 없기 때문에 쉽지 않으며, 이러한 문제는 취약성 평가를 함에 있어서 많은 지표 중 채택적인 측면에서 혼란을 불러일으키고 있다.

이에 본 연구에서는 보다 정량적인 방법으로 대표 지표를 선정하고자 기존의 선행된 연구의 홍수 취약성 평가 방법의 지표를 취합한 후, 시범 지역을 대상으로 통계기법인 요인 및 주성분 분석을 통해 지표를 선정하고 다중회귀분석을 통해 설명력을 검증하였다. 선정된 지표로 구성된 홍수 취약성 평가 지표를 홍수 취약성 지표(R)로 명칭하였으며, 이를 기존의 홍수 취약성 지표와의 비교를 통해 특징을 고찰하였다.

## 2. 연구 방법론

### 2.1 기존 홍수 취약성 평가 지표

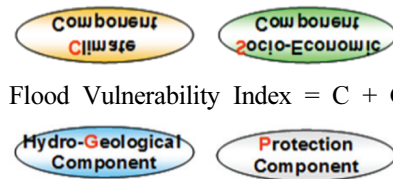
본 연구에서는 기존 홍수 취약성 지표를 고려하기 위해 총 6개의 취약성 평가 방법을 검토하였다. 검토한 방법은 국토교통부(MLTMA, 2001, 2010)의 수자원장기종합계획에서 제시하고 있는 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD) 및 홍수 위험도 지수(Flood Risk Index, FRI)와 국립재난안전연구원(NDMI, 2011)의 홍수피해저감지수(Flood Disaster Risk Reduction Index, FDRRI), 전북연구원(Jthink, 2010)의 홍수 취약성 평가(Flood Vulnerability Assessment, FVA), 국토연구원(KRIHS, 2005)의 홍수 피해 지수(Flood Damage Index, FDI), 서울연구원(SI, 2006)의 홍수 피해에 대한 지역 안전도 평가(Regional Safety Assessment, RSA)로 구성하였다. 이상 6개의 방법은 국외의 선진 사례가 잘 반영되어 있으며, 과거부터 수립된 방법을 충분히 대변하고 있기 때문에 지표 선정에 있어서 부족함이 없으리라 판단된다.

그 외에 한국건설기술연구원(KICT, 2009)의 이상홍수취약성 지수(Excess Flood Vulnerability Index, EFVI)와 환경정책평가연구원(KEI, 2008)의 취약성-탄력성 지표(Vulnerability-Resilience Indicator, VRI) 등이 존재하나 FRI에서는 EFVI를 토대로 개량화하여 제시하고 있고, VRI는 홍수 취약성 이외에 이수,

환경 등을 같이 고려하였기 때문에 치수 측면의 본 연구에서는 범위가 맞지 않다고 판단하여 각각 제외하였다.

통상적으로는 홍수에 대한 위험을 재해위험성(hazard), 자산이나 인명의 노출성(exposure), 홍수방어능력의 부족을 의미하는 취약성(vulnerability)의 3가지 요소들을 곱하는 개념으로 홍수 위험을 표현한다(WMO, 2006). 하지만, 선행 연구들의 지수들은 여러 가지 용어를 동반하여 조금씩 다르게 표현되고 있으며, 지표의 구성과 추구하고자 하는 목적은 홍수 위험관리라는 측면으로 귀결되고는 있다. 기존의 홍수 취약성 지수를 구성하는 지표를 요약해보면 크게 잠재성(potential), 위험성(risk), 취약성(vulnerability), 노출성(exposure), 민감도(sensitivity), 방어(protect) 등으로 구성되어 있으며, 이러한 요소 아래 많은 세부 지표가 혼재되어 있다. 중복되는 지표를 감안한 6개 지수의 세부 지표는 총 28개의 정량적인

지표로 구성할 수 있으며, 많은 지표를 군집하기 위한 요소로는 FRI에서 제시하고 있는 수문 지형(hydro-geology), 사회경제적(socio-economy), 홍수 방어(flood protection), 기상학적(climate) 요소로 구현하였다(Table 1). 이러한 구현은 홍수 취약성 지수를 산정할 시 수문 지형, 사회 경제적, 기상 지표가 증가할수록 홍수 위험도가 증가하고 홍수 방어가 증가할수록 홍수 위험도가 감소한다는 개념식으로 나타낼 수 있다(Eq. 1).



**Table 1.** Existing Flood Vulnerability Index and Composition Indicators

Components	Classification Index	MLTMA		NDMI	JTHINK	KRIHS	SI
		FRI	PFD	FDRI	FVA	FDI	RSA
A. Hydro-geology	(1) Flood Risk Area	⊙					⊙
	(2) Flood damage cost	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙
	(3) Imperviousness	⊙		⊙		⊙	⊙
	(4) Urban rate		⊙				
	(5) Curve Number (CN)				⊙		
	(6) Slope of watershed	⊙		⊙	⊙		
	(7) Lowland area rate				⊙		⊙
	(8) Stream density					⊙	
B. Socio-economy	(9) Population density	⊙	⊙	⊙		⊙	
	(10) Property		⊙	⊙			⊙
	(11) Financial independence rate	⊙		⊙	⊙	⊙	
	(12) Social overhead capital		⊙			⊙	⊙
	(13) Dependence population	⊙		⊙			
	(14) Production amount of manufacturing industry					⊙	
	(15) Total number of houses					⊙	
C. Flood protection	(16) Embankment improvement	⊙	⊙		⊙		⊙
	(17) Embankment length					⊙	
	(18) Pump station (number)	⊙	⊙				
	(19) Pump station (capacity)						⊙
	(20) Dam & reservoir index		⊙		⊙		
	(21) Drainage capacity						⊙
	(22) Number of public servants per resident					⊙	
	(23) Damage reduction capacity index			⊙			⊙
D. Climate	(24) Frequency of hourly rainfall (P>=50mm)	⊙		⊙			
	(25) Frequency of daily rainfall (P>=150mm)	⊙		⊙			
	(26) Maximum rainfall per hour						⊙
	(27) Annual precipitation					⊙	
	(28) Rainfall quantile		⊙				

## 2.2 대표 지표 선정 방법

요인 분석(factor analysis)은 측정변수를 공통적인 요인으로 그룹화하여 자료의 복잡성을 줄이고 측정된 변수들이 목적하는 자료를 동일한 구성개념에서 측정하고 있는지를 파악하기 위한 방법이다. 따라서 요인 분석은 주로 어떤 측정 척도의 개발과정에서 변수의 타당성을 파악하기 위해 많이 사용된다. 이러한 특징은 목적하는 대상을 측정하는데 타당하지 못한 변수에 대해서는 요인으로 그룹화 되지 않아서 변수를 선정하고 변수를 수정 또는 제외하는데 유용하다는 장점이 있다(Seong, 2007). 또한, 변수들의 상관을 기초로 분석되고 있기 때문에 다중공선성의 제약으로부터 비교적 자유롭다고 할 수 있다.

요인 분석 내의 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)은 서로 상관관계가 높은 지표 또는 변수들을 조합하여 새로운 변수를 만들어 내는 기법이며, 자료의 차원(dimensionality of data)을 줄임으로써 여러 변수들을 대표하는 지표를 구성하기 위해 쓰이고 있다. 또한, 각 변수들의 성분을 정량화할 수 있기 때문에 그룹 내에서 설명력이 가장 높은 성분을 찾아내는데 용이하다. 즉, 요인 분석은 상관 관계를 고려하여 의미가 비슷한 지표끼리 그룹화를 해주는 것이며, 주성분 분석은 그룹화과정을 위한 기법임과 동시에 그룹에서 주요 성분(Factor)을 찾아내는 기법이다(Fig. 1).

분석 과정을 요약하면, 요소 내에서 비슷한 의미를 가진 지표들로 그룹화한 뒤 그 중 설명력이 가장 높은 지표를 선정하는 것이다. 즉, A라는 지표와 B라는 지표가 C라는 요소에 큰 영향을 미쳐도, A와 B의 의미하는 바가 비슷하면 그 중 설명력이 높은 1개의 지표만 선정되는 방식이며, 이는 곧 본 연구가 지향하는 최소한의 지표로 최대한 많은 지표를 대변할 수 있어야 한다는 것과 같다.

## 3. 홍수 취약성 평가를 위한 대표 지표 선정

### 3.1 시범지역 선정

대표 지표를 선정하기 위해서는 일정한 입지 유형이 아닌

다양한 입지 유형이 분포되어 있는 지역으로 선정해야 한다. 또한, 국내의 치수를 비롯한 방재에 대한 계획 및 투자 대책은 행정구역별로 이루어지고 있기 때문에 이를 고려할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 시범지역으로 대전광역시, 세종특별자치시를 포함한 충청남·북도 내의 시군을 대상으로 하였다(Fig. 2). 해당 지역은 2개의 광역자치단체 및 11개의 시와 15개의 군을 포함한 총 28개의 시군으로 구성되어 있으며 대도시, 중소도시, 해안도시, 산지, 촌락 등이 다양하게 분포되어 있어 홍수 취약성 지표의 선정에 있어서 다양한 입지 유형을 고려할 수 있을 것이다.

### 3.2 지역별 지표 DB 구축

지표의 DB 구축에 필요한 요소는 크게 통계 자료 및 GIS 기반 자료로 요약된다. 대부분의 자료는 국가통계포털(KOSIS)을 비롯한 지자체 통계연보, 재해연보, 기상청 등에서 습득 가능하며, 일부 GIS 기반 자료를 토대로 한 분석이 요구되고 있다. 본 연구에서는 자료의 보유 상태가 온전한 2016년을 기준으로 지표 DB를 구축하였다.

각 지표의 DB 구축 방식을 살펴보면 먼저 홍수 위험 지역은 행정안전부의 국가재난관리시스템(NDMS)의 침수 면적을 이용하였다. 홍수피해액은 홍수 취약성 지수에서 일반적으로 사용하고 있는 지표이며 재해연보상의 11개의 재해유형 중에 홍수와 관련된 태풍, 호우, 호우태풍, 태풍호우 4개 유형의 피해액을 고려하였다. 다만, 2016년 1개년도만 적용할 경우 피해가 없는 지역은 과거 이력과 상관없이 취약성이 매우 낮아질 우려가 있기 때문에 최근 10개년(2007~2016)의 피해액 자료를 합산하여 이용하였다.

불투수율, 유출곡선지수(CN)는 토지피복도와 토양도 등을 이용하여 GIS 분석을 동반하였으며, 유역경사도는 전국 DEM 자료를 토대로 시범 지역내의 행정구역만을 고려한 후 행정구역별 평균 경사도를 구축하였다. 유역경사도의 의미는 경사가 클수록 홍수 도달시간이 짧아져서 홍수 피해가 가중될 수 있음을 고려한 것이다(Jang, 2010). 저지대 면적(10 m 이하 면적) 비율 및 하천 밀도는 통계지리정보서비

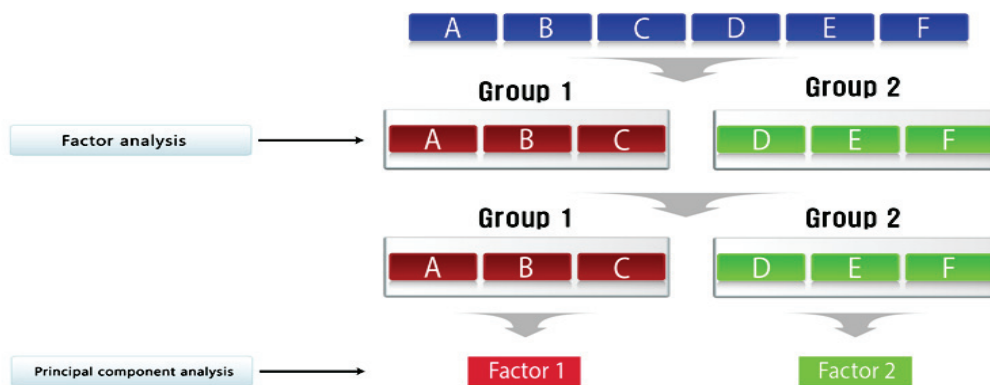


Fig. 1. Factor Analysis & Principal Components Analysis

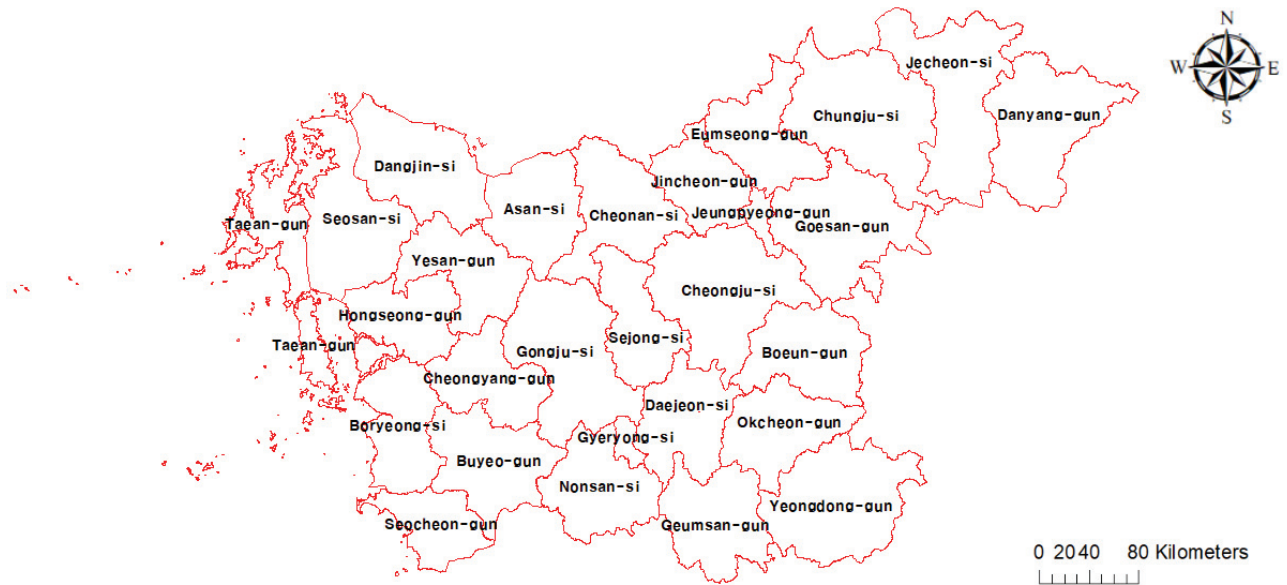


Fig. 2. Map of Demonstration Area

스에서 제공하는 자료를 이용하였으며, 하천밀도는 KOSIS에서 하천길이를 제공하기 때문에 행정구역 면적을 고려하여 구축할 수도 있다. 저지대 면적과 하천밀도가 의미하는 것은 내수침수의 위험성을 강조한 것이라 볼 수 있다.

사회경제적 요소로 그룹한 각 지표들은 KOSIS 및 지자체 통계 연보를 통해 구축할 수 있다. 인구밀도는 홍수피해액과 마찬가지로 홍수 취약성에서 자주 쓰이고 있는 지표이고 인구 밀도가 높은 지역일수록 인명피해가 높다는 전제로 평가한 것이다. 의존인구비율(재난취약자)은 15세 미만 65세 이상 인구 비율을 지칭하고 있으며 이들이 주 피해 대상이 된다는 내용을 담고 있다. 자산(공시지가), 제조업 생산액, 재정자립도, 사회기반시설, 총 주택수(단독, 아파트, 연립, 다세대, 영업용 건물 내 주택 포함)는 홍수 발생시 홍수 피해 규모 측면에서 좀 더 취약하다는 전제로 구성된 지표이다.

홍수 방어 요소들도 마찬가지로 통계 자료를 이용하여 구축할 수 있으며, 피해저감능력지수는 행정안전부(MOIS, 2016)에서 실시한 ‘지역 안전도 진단 결과’를 이용하였다. 해당 자료는 지자체별로 안전도에 대한 등급을 책정하였으며 등급이 높을수록 해당 지역의 홍수에 대한 위험은 상승하는 방식이다.

기상학적 요소는 홍수 취약과 연관이 있는 강우 사상이 주를 이루고 있으며, 기본적으로 강우 티센망을 고려하여 행정구역별 강우 관련 지표를 구축하였다. 모든 강우 사상의 정량적인 양과 발생 빈도는 홍수 취약에 직접적인 영향을 미칠 것이며, 양(+)의 강우 사상은 양(+)의 홍수 취약성으로 나타날 것이다.

앞서 언급한 절차를 따라, 본 연구에서는 대전광역시, 세종특별자치시를 포함한 충청도 일원 28개의 시군을 대상으로 DB를 구축하였으며, 표기 간소화를 위하여 각 지표별(Table 1의

numbering 참조)로 정규분포를 통한 일련의 정규화 과정을 거친 뒤 최종적인 값으로 제시하였다(Table 2).

### 3.3 요인 분석 및 주성분 분석을 이용한 지표 선정

본 연구에서는 먼저 각 지표들로 구성된 수문 지형, 사회경제적, 홍수 방어, 기상학적 요소를 대상으로 각각 요인 분석을 통해 공통적인 지표들로 구성하였다(SPSS 사용). 요인 추출 방법에 있어서 주성분 분석을 이용하여 같은 성분끼리 그룹화한 뒤, 그룹 내에서 가장 성분 점수가 높은 지표를 선정하여 의미 중복을 피함과 동시에 해당 요소를 대표할 수 있는 지표로 구성되도록 하였다. 분석의 적합 여부는 KMO (Kaiser-Meyer-Olin)와 Bartlett의 구형성 검정을 수행하였고, 고유값(eigen value)이 1이상인 값을 주성분으로 채택하기 위해 Kaiser-Harris 기준을 이용하였다(Table 3).

결과를 요약하면, KMO 0.5이상, 유의확률 0.05 미만을 유지함으로써 분석에 사용된 지표들은 모두 적합한 것으로 평가되었으며 기상학적 요소에서 2개의 그룹으로, 그 외 요소는 3개의 그룹으로 구성이 되었다. 수문지형 요소에서는 1그룹으로는 유출곡선지수, 저지대 면적, 2그룹으로는 불투수율, 도시화율, 3그룹으로는 홍수 위험지역, 홍수 피해액, 유역경사도, 하천밀도로 선정되었다. 이는 해당 지역이 유출곡선지수가 높을수록 저지대 면적인 경우가 많았다는 것이며, 개발에 따른 도시화로 인해 불투수 지역이 증가하였다고 볼 수 있다. 또한, 다른 지표보다 홍수 위험지역이고 유역경사도 및 하천 밀도가 높은 곳에서 홍수피해액이 많았다는 것으로 해석할 수 있을 것이다.

사회 경제적 요소에서는 재정자립도, 제조업 생산액이 2그룹으로 책정됨으로써 재정자립도는 제조업 생산액과 관련이 있음을 보여주고 있다. 3그룹으로 의존인구비율만

**Table 2.** Database Construction of Existing Flood Vulnerability Index

District	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Daejeon-si	0.22	0.25	1.00	1.00	0.45	0.42	0.24	0.60	1.00	1.00	0.90	1.00	0.05	0.76
Cheongju-si	0.66	0.48	0.81	0.83	0.61	0.35	0.24	0.71	0.84	0.97	0.64	0.99	0.06	0.96
Chungju-si	0.64	0.53	0.58	0.42	0.13	0.74	0.24	0.78	0.40	0.49	0.41	0.88	0.17	0.42
Jecheon-si	0.21	0.81	0.21	0.33	0.17	0.92	0.24	0.14	0.36	0.56	0.34	0.64	0.19	0.30
Boeun-gun	0.49	0.40	0.14	0.28	0.66	0.85	0.24	0.12	0.29	0.31	0.20	0.37	0.94	0.27
Okcheon-gun	0.16	0.33	0.34	0.40	0.69	0.83	0.24	0.18	0.32	0.35	0.25	0.30	0.77	0.28
Yeongdong-gun	0.33	1.00	0.08	0.29	0.02	0.92	0.24	0.74	0.29	0.34	0.21	0.42	0.77	0.26
Jeungpyeong-gun	0.09	0.32	0.69	0.52	0.22	0.41	0.24	0.14	0.57	0.34	0.34	0.12	0.25	0.28
Jincheon-gun	0.59	0.55	0.55	0.33	0.09	0.47	0.24	0.97	0.37	0.32	0.60	0.30	0.30	0.59
Goesan-gun	0.35	0.49	0.07	0.25	0.25	0.91	0.24	0.11	0.29	0.30	1.00	0.47	0.76	0.27
Eumseong-gun	0.51	0.44	0.61	0.34	0.14	0.39	0.24	0.12	0.38	0.36	0.49	0.45	0.27	0.63
Danyang-gun	0.16	0.98	0.04	0.30	0.46	0.99	0.24	0.59	0.28	0.28	0.27	0.36	0.74	0.28
Cheonan-si	0.67	0.32	0.88	0.62	0.17	0.33	0.48	0.73	0.88	0.64	0.86	0.77	0.03	0.95
Gongju-si	0.92	0.48	0.12	0.34	0.48	0.70	0.45	1.00	0.34	0.36	0.32	0.65	0.36	0.31
Boryeong-si	0.27	0.26	0.35	0.32	0.47	0.44	0.70	0.56	0.37	0.40	0.35	0.52	0.61	0.28
Asan-si	0.50	0.32	0.88	0.50	0.80	0.15	0.87	0.73	0.66	0.43	0.86	0.44	0.16	1.00
Seosan-si	0.39	0.57	0.73	0.55	0.97	0.09	0.78	0.37	0.41	0.39	0.62	0.31	0.40	0.98
Nonsan-si	0.97	0.32	0.57	0.38	0.82	0.21	0.44	0.69	0.40	0.41	0.27	0.52	0.58	0.31
Gyeryong-si	0.06	0.33	0.72	1.00	0.38	0.75	0.24	0.41	0.72	0.28	0.40	0.14	0.16	0.25
Dangjin-si	0.64	0.48	0.87	0.40	0.96	0.04	0.99	0.19	0.41	0.38	0.67	0.47	0.43	0.79
Geumsan-gun	0.20	0.58	0.10	0.31	0.08	0.87	0.24	0.71	0.32	0.33	0.32	0.28	0.70	0.31
Buyeo-gun	1.00	0.45	0.40	0.34	0.73	0.29	0.78	0.46	0.33	0.35	0.11	0.37	0.91	0.27
Seocheon-gun	0.87	0.25	0.60	0.33	0.94	0.14	0.98	0.16	0.35	0.30	0.23	0.31	0.97	0.29
Cheongyang-gun	0.56	0.27	0.11	0.25	0.31	0.62	0.48	0.50	0.30	0.30	0.23	0.30	0.95	0.27
Hongseong-gun	0.70	0.31	0.53	0.36	0.89	0.17	0.72	0.17	0.41	0.36	0.32	0.27	0.58	0.28
Yesan-gun	0.57	0.29	0.65	0.34	0.89	0.24	0.49	0.22	0.35	1.00	0.29	0.36	0.78	0.31
Tae'an-gun	0.08	0.54	0.53	0.29	0.71	0.08	1.00	0.40	0.33	0.32	0.35	0.22	0.82	0.25
Sejong-si	0.60	0.22	0.79	0.76	0.38	0.33	0.24	0.95	0.63	0.42	0.98	0.46	0.27	0.44

District	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)	(26)	(27)	(28)
Daejeon-si	1.00	0.80	0.52	0.48	0.38	0.61	0.99	0.10	0.43	0.32	0.93	0.15	0.90	0.66
Cheongju-si	0.98	0.37	0.78	0.35	0.33	0.50	0.90	0.06	0.24	0.32	0.93	0.47	0.36	0.05
Chungju-si	0.54	0.22	0.99	0.89	0.96	1.00	0.77	0.17	0.85	0.32	0.25	0.45	0.16	0.14
Jecheon-si	0.43	0.58	0.20	0.35	0.34	0.23	0.67	0.24	0.06	0.32	0.93	0.97	0.45	0.68
Boeun-gun	0.29	0.81	0.23	0.24	0.28	0.51	0.29	0.93	0.73	0.32	0.93	0.39	0.95	0.90
Okcheon-gun	0.31	0.84	0.10	0.24	0.28	0.96	0.42	0.62	0.57	0.32	0.93	0.57	0.94	0.66
Yeongdong-gun	0.32	0.30	0.68	0.35	0.40	0.39	0.27	0.81	0.01	0.32	0.25	0.43	0.84	0.02
Jeungpyeong-gun	0.30	0.95	0.05	0.24	0.28	0.23	0.32	0.43	0.73	0.32	0.93	0.52	0.20	0.05
Jincheon-gun	0.34	0.09	0.54	0.24	0.28	0.23	0.34	0.35	0.85	0.32	0.25	0.50	0.23	0.16
Goesan-gun	0.30	0.80	0.58	0.24	0.28	0.23	0.41	0.87	0.39	0.32	0.25	0.41	0.47	0.16
Eumseong-gun	0.38	0.72	0.31	0.48	0.34	0.96	0.27	0.25	0.39	0.32	0.25	0.81	0.13	0.66
Danyang-gun	0.29	0.40	0.63	0.35	0.34	0.23	0.22	0.96	0.85	0.32	0.93	0.42	0.87	0.56
Cheonan-si	0.92	0.49	0.97	1.00	0.88	0.23	0.80	0.07	0.73	0.32	0.25	0.28	0.36	0.46
Gongju-si	0.42	0.64	1.00	0.72	0.50	0.89	1.00	0.50	0.02	0.32	0.25	0.47	0.66	0.52
Boryeong-si	0.39	0.01	0.26	0.61	0.40	0.24	0.33	0.59	0.73	0.32	0.25	0.08	0.03	0.97
Asan-si	0.59	0.21	0.29	0.61	0.89	0.23	0.47	0.10	0.73	0.32	0.25	0.28	0.36	0.46
Seosan-si	0.49	0.13	0.60	0.24	0.28	0.23	0.30	0.27	0.85	0.98	0.25	0.25	0.17	0.81
Nonsan-si	0.41	0.48	0.66	0.82	0.97	0.31	0.41	0.40	0.13	0.32	0.93	0.88	0.83	0.33
Gyeryong-si	0.29	0.70	0.05	0.24	0.28	0.24	0.23	0.38	0.85	0.32	0.93	0.09	0.89	0.75
Dangjin-si	0.48	0.13	0.31	0.35	0.37	0.23	0.41	0.22	0.39	0.98	0.25	0.25	0.18	0.79
Geumsan-gun	0.32	0.11	0.61	0.24	0.28	0.69	0.26	0.75	0.13	0.32	0.25	1.00	0.97	0.05
Buyeo-gun	0.34	0.82	0.76	0.99	1.00	0.87	0.32	0.83	0.39	0.32	0.25	0.84	0.62	0.49
Seocheon-gun	0.33	0.86	0.23	0.24	0.28	0.58	0.25	0.83	0.85	0.32	0.25	0.94	0.60	0.61
Cheongyang-gun	0.29	0.90	0.35	0.24	0.28	0.79	0.26	0.99	0.85	0.32	0.25	0.76	0.52	0.57
Hongseong-gun	0.41	0.27	0.18	0.48	0.39	0.23	0.39	0.38	0.57	0.98	0.25	0.16	0.09	0.95
Yesan-gun	0.35	0.94	0.49	0.61	0.43	0.23	0.33	0.61	0.85	0.98	0.25	0.27	0.24	0.69
Tae'an-gun	0.34	0.43	0.58	0.24	0.28	0.23	0.24	0.70	0.39	0.98	0.25	0.21	0.13	0.88
Sejong-si	0.52	0.17	0.47	0.61	0.40	0.66	0.72	0.18	0.13	0.32	0.25	0.26	0.53	0.35

**Table 3.** Grouping by Factor Analysis and Principal Component Analysis

Classification		Component Points			Eigen value			KMO	Barlett's test of sphericity	
Components	Index	Group 1	Group 2	Group 3	Factor 1	Factor 2	Factor 3		Chi-square	df (p)
1. Hydro-geological	(1)	.420	-.168	.751	4.425	1.964	1.337	0.751	128.363	36 (0.000)
	(2)	-.479	-.518	.951						
	(3)	.351	.674	.055						
	(4)	-.229	.895	-.092						
	(5)	.658	.096	-.080						
	(6)	-.237	-.172	.378						
	(7)	.850	-.096	-.042						
	(8)	-.333	.124	.627						
2. Socio-economic	(9)	.764	.286	.198	4.348	1.544	1.012	0.666	164.769	21 (0.000)
	(10)	.694	.088	.001						
	(11)	.147	.957	.237						
	(12)	.595	.216	.150						
	(13)	-.412	-.326	.523						
	(14)	.144	.351	.010						
	(15)	.902	.354	.158						
3. Flood protection	(16)	.802	-.030	-0.32	2.871	1.461	1.253	0.545	78.704	28 (0.000)
	(17)	.610	.562	-.045						
	(18)	.928	.096	-.119						
	(19)	.522	-.042	.024						
	(20)	.372	.398	.526						
	(21)	.199	.862	-.071						
	(22)	-.216	-.349	.667						
	(23)	.103	.624	.073						
4. Climatic	(24)	.827	-.018	-	2.299	1.176	-	0.658	27.218	10 (0.002)
	(25)	-.572	.580							
	(26)	.628	-.500							
	(27)	.108	.903							
	(28)	-.342	.776							

이 책정이 된 것은 다른 지표와의 의미 중복성이 낮다는 것을 표현하기 때문에 홍수 취약성 지표 선정시 고려될 것이다.

홍수 방어 요소에서의 1그룹인 제방정비율, 제방 연장, 배수펌프장(개소), 배수펌프장(용량)은 배수펌프장의 개소가 많을수록 상대적으로 총 용량이 많아지는 것을 의미하며, 배수펌프장은 제방의 유무와 밀접한 연관이 있다는 것을 보여준다. 다만, 제방 연장에 따라 제방정비율이 증가한다고 볼 수는 있으나, 해당 지역의 면적 등에 따라 달라질 수도 있음을 고려해야 할 것이다.

기상학적 요소는 1그룹으로는 극한강우사상 빈도와 시간당 최대 강우량, 2그룹으로는 일강우사상빈도, 연 강수량, 확률 강우량으로 책정되었다. 극한강우사상은 시간당 50 mm 이상 내린 횟수를 의미하며 시간당 최대 강우량과 관련이

있는 것으로 나타났다.

요인 및 주성분 분석을 통해 각 성분 중에 기여도(가중치)가 가장 큰 지표를 선정하였으며, 이러한 과정은 앞서 언급한 바와 같이 그룹 내의 지표간의 의미 중복을 최대한 배제하고 해당 그룹의 대표 지표를 선정하는데에 있다.

분석 결과, 총 28개의 지표 중에서 제거된 지표는 17개, 선정된 지표는 각각 수문 지형 요소 3개(피해액, 도시화율, 저지대 면적), 사회 경제 요소 3개(총 주택수, 재정자립도, 의존인구 비율), 홍수 방어 3개(배수펌프장(개소), 하수도 용량, 주민당 공무원 수), 기상학적 요소 2개(극한강우사상 빈도, 확률강우량)로 11개가 선정되었다(Table 4). 기존 지수의 지표가 평균적으로 약 10개임을 감안하면 본 연구에서의 지표 개수는 적절하게 선정되어졌다고 판단된다.

**Table 4.** Selected and Non-selected Indicators

Components	Classification Index	Selected			Removed
		Group 1	Group 2	Group 3	
1. Hydro-geological	(1) Flood Risk Area				⊙
	(2) Flood damage cost			⊙	
	(3) Imperviousness				⊙
	(4) Urban rate		⊙		
	(5) Curve Number (CN)				
	(6) Slope of watershed				⊙
	(7) Lowland area rate	⊙			⊙
	(8) Stream density				⊙
2. Socio-economic	(9) Population density				⊙
	(10) Property				⊙
	(11) Financial independence rate		⊙		
	(12) Social overhead capital				⊙
	(13) Dependence population			⊙	
	(14) Production amount of manufacturing industry				⊙
	(15) Total number of houses	⊙			
3. Flood protection	(16) Embankment improvement				⊙
	(17) Embankment length				⊙
	(18) Pump station (number)	⊙			
	(19) Pump station (capacity)				⊙
	(20) Dam & reservoir index				⊙
	(21) Drainage capacity		⊙		
	(22) Number of public servants per resident			⊙	
(23) Damage reduction capacity index				⊙	
4. Climatic	(24) Frequency of hourly rainfall (P>=50mm)	⊙			
	(25) Frequency of daily rainfall (P>=150mm)				⊙
	(26) Maximum rainfall per hour				⊙
	(27) Annual precipitation			⊙	
	(28) Rainfall quantile				⊙
Total	28	11			17

**3.4 다중 선형 회귀 분석을 통한 선정 지표 검증**

본 연구에서는 요인 및 주성분 분석을 통하여 선정된 지표를 종속 변수로 설정하고 각 요소의 나머지 지표를 독립 변수로 설정하는 다중 선형 회귀 분석을 실시하여 선정된 지표에 대한 설명력을 검증하고자 하였다(SPSS 이용). 회귀 분석(regression analysis)은 일반적으로 해당 항목의 고유 상수를 유도하여 회귀식을 도출하는데에 그 목적이 있으며, 종속 변수 y와 한 개 이상의 독립 변수 x와의 선형 관계를 모델링할 수 있다. 기존 연구에서 제시하는 지표는 종속 변수에 대한 마땅한 기준이 없어서 비교하기에는 무리가 있지만, 선정된 지표에 대해서는 각 해당 요소에 대한 설명력의 다소를 확인해 볼 수 있을 것이다.

분석 결과, 모든 결과는 유의 확률은 0.05이하로 분석 내용이 적합한결로 판단됐다. Durbin-Watson (DW)의 값이

2에 근접해 있어서 자기상관은 없는 것으로 나타났으며, 이는 해당 지역별로 DB값이 상이하기 때문이다. 상관관계(R)는 0.647~0.988로 높은 상관 관계를 보였으며, 설명력(R<sup>2</sup>)은 0.419~0.977로 분석되었다. 설명력이 의미하는 바는 선정된 지표가 해당 요소에 41.9%~97.7%의 설명력을 보여주는 것으로 비교적 높은 수치를 가지는 것을 알 수 있었다. 특히, 사회 경제적 요소의 총 주택수 지표는 각각 0.988의 상관관계와 0.977의 높은 설명을 보임으로써 해당 요소를 대표하는 지표임을 부인할 수 없을 것이다(Table 5). 통상적으로 사회 과학 분야에서는 0.26이상의 설명력은 높은 것으로 보고 있으며 홍수 취약성 지표는 사회 전반에 걸친 분야가 주를 이루고 있다. 따라서, 해당 분석에서는 설명력이 낮은 항목이 없으며, 앞선 요인 분석 및 주성분 분석을 통해 다중공선성(선정 지표간의 의미 중복)을 제거하였기 때문에 본 분석의 결과는 타당하다고 사료된다.



**Table 5.** Explicit Power Verification Through Multiple Regression Analysis

Components	Classification	R	R <sup>2</sup>	Durbin-Watson (p)
	Index (dependent variable)			
A. Hydro-geology	(2) Flood damage cost	.726	.527	2.231 (0.021)
	(4) Urban rate	.649	.421	1.729 (0.032)
	(7) Lowland area rate	.850	.723	1.949 (0.024)
B. Socio-economy	(11) Financial independence rate	.712	.507	1.706 (0.000)
	(13) Dependence population	.744	.553	1.642 (0.003)
	(15) Total number of houses	.988	.977	2.551 (0.000)
C. Flood protection	(18) Pump station (number)	.881	.776	1.727 (0.000)
	(21) Drainage capacity	.821	.674	1.604 (0.000)
	(22) Number of public servants per resident	.718	.516	1.827 (0.000)
D. Climate	(24) Frequency of hourly rainfall (P>=50mm)	.825	.681	1.336 (0.021)
	(27) Annual precipitation	.647	.419	1.816 (0.014)

#### 4. 홍수 취약성 지표(R) 및 기존 방법의 지표 비교

본 연구에서는 앞서 선정된 지표를 이용하여 새로운 홍수 취약성 지표를 구성하였으며, 이를 홍수 취약성 지표(R) [FVI(R)] 로 명칭하였다. FVI (R)과 기존 방법에서 제시하고 있는 지표 간의 일관된 비교를 위해 정규 분포를 따르는 정규화를 수행한 후 4가지 요소 (수문-지형, 사회-경제, 홍수 방어, 기상)의 지표에 각각 동일 가중치를 부여하였으며 요소 가중치가 1이 되는 분배 모드(Distribute mode)로 구성하였다. 여기서 정규화를 거쳐 도출된 수치값의 의미하는 것은 1에 가까울수록 홍수 취약성이 높음을 의미하며, 반대로 홍수 방어는 1에 가까울수록 홍수 방어가 높음을 의미한다. Fig. 3은 각 요소별로 산정된 값을 보여주고 있고 각 그래프의 가로축은 지역을 숫자(1~28)로 표현하고 있으며 숫자에 해당하는 지역명은 밑면에서 확인할 수 있다.

산정된 결과를 요약해보면, 기존의 방법들의 각 요소들은 전반적으로 대도시 및 중소도시(대전, 청주, 천안 등)에서 높게 산정이 되었으나 홍수 방어는 이러한 경향을 보이지 않았다(Figs. 3, 4). 즉, 기존의 지표는 의미가 중복되는 경우가 많고 불투수율, 사회기반시설, 인구밀도 등 도시 지역이 높아질 수 밖에 없는 지표로 다수 구성되어 있지만 방어적인 요소는 그에 미치지 못하기 때문에 홍수 취약성이 무조건적으로 높게 산정될 것이다. 이러한 결과는 PFD를 포함한 기존의 일부 방법에서 오래전부터 야기되어 온 문제점과 부합하며 FVI (R)은 이러한 문제가 어느 정도 해결되어졌다고 볼 수 있다.

기상학적 요소에서 FRI 및 FDRRI의 극한 강우사상빈도(시간당 50 mm 이상)와 일 강우사상빈도(일 150 mm 이상)는 발생 횟수 및 등급을 고려하였기 때문에 지역간의 편차가 일정하게 도출되었으나 지역별로 강우사상을 정확하게 고

려하지 못한다는 문제점이 발생할 수 있다. 또한, FVA는 홍수 취약성 평가에서 중요한 기상학적 요소가 누락 되어 있기 때문에 방법론에 대한 문제가 제기될 수 있을 것이다.

FVI (R)은 지표의 적절한 구성으로 인해 대도시 및 중소도시에서의 신뢰할만한 취약성 평가가 이루어졌으며, 지역의 여러 현실적인 특징을 잘 반영하고 있다. 따라서 본 연구의 FVI (R)은 기존 방법의 지표에 비해 적용성 측면에서 개선된 결과를 보여줬으며, 홍수 취약성 지표 선정시 지침안을 제시 하였다는 점에서 의미가 있다고 판단된다. 본 연구의 목표는 대표 지표 선정임을 감안하여, 향후에는 지표간의 가중치 및 지수 산정 방법에 대한 추가 연구를 통해 최적 홍수 취약성 지수를 개발하는 것이 필요할 것이다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 기존의 홍수 취약성 평가 방법을 구성하는 지표를 대상으로 대표 지표를 선정하였다. 이를 위해, 기존의 지표를 취합한 후 시범지역을 대상으로 요인 및 주성분 분석을 통해 대표 지표를 선정하고 다중회귀분석을 통해 설명력을 검증하였다. 대표 지표는 별도로 구성하여 홍수 취약성 지표(R) [FVI(R)] 라고 명칭하고, 기존 홍수 취약성 평가 방법의 지표와 비교하여 특징을 고찰하였다. 전체 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존 홍수 취약성 지수를 고려하기 위해 총 6개의 평가 방법(FRI, PFD, FDRRI, FVA, FDI, RSA)을 검토 하였으며, 총 28개의 정량적인 지표로 구성할 수 있었다. 대표 지표 선정을 위해 다양한 입지 유형이 존재하는 충청도 일원(대전광역시, 세종특별자치시 포함)을 대상으로 하였으며 28개 지표에 대한 DB를 구축할 수 있었다.

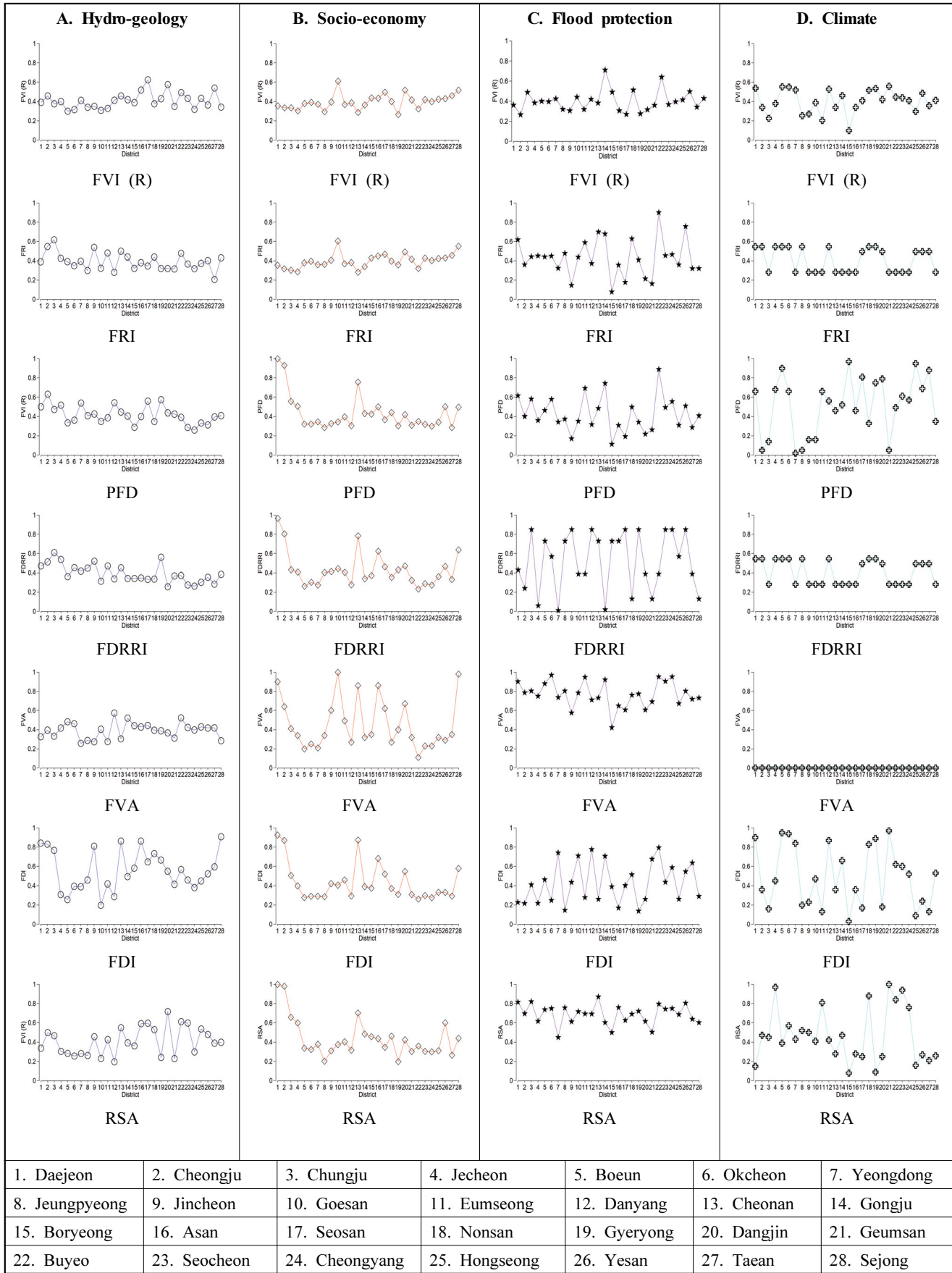


Fig. 3. Results from Estimating FVI (R) and Existing Flood Vulnerability Indicator

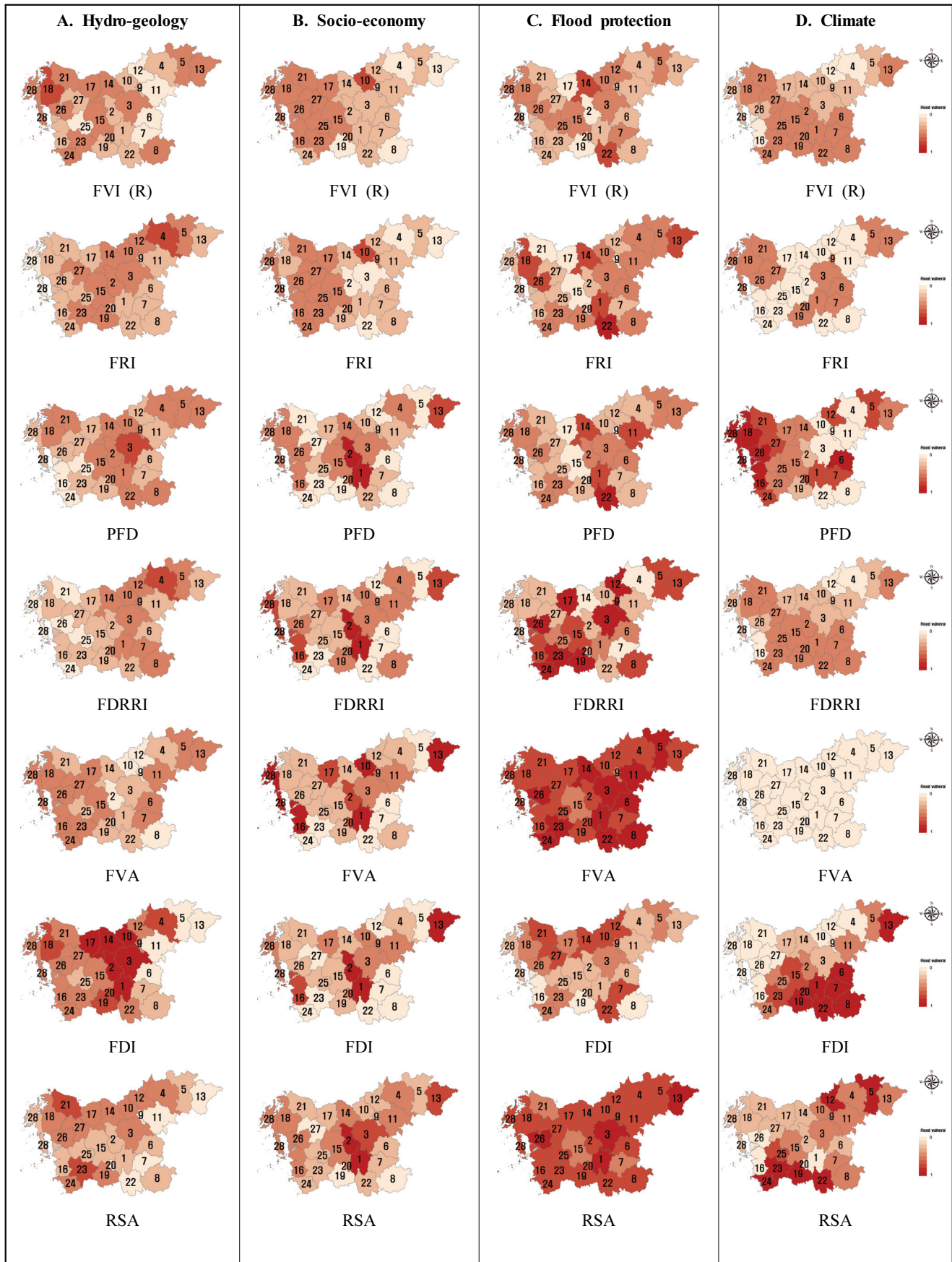


Fig. 4. Results from Estimating FVI (R) and Existing Flood Vulnerability Index (distribution map)

- (2) 요인 및 주성분 분석을 통해 총 11개의 지표(홍수피해액, 도시화율, 저지대 면적, 재정자립도, 의존인구비율, 총 주택수, 배수펌프장(개소), 하수도 용량, 주민당 공무원 수, 극한강우사상빈도, 연강수량)가 선정되었다. 선정된 지표를 종속함수로 두고 해당 요소 내의 다른 지표를 독립 변수로 두는 다중회귀분석 실시 결과, 41.9%~97.7%의 설명력을 보여주며 높은 수치를 가지는 것을 알 수 있었다.
- (3) 기존 홍수 취약성 평가 방법에서 제시하고 있는 지표와 FVI (R)의 지표 구성을 비교하기 위해 정규분포를 따르는 정규화 과정을 거친 후, 4가지 요소(수문-지형, 사회-경제, 홍수 방어, 기상)별로 가중치의 합이 1이 되는 동일 가중치를 적용하여 그 특징을 고찰하였다. 그 결과, 기존 방법의 지표는 전반적으로 대도시에서 무조건적으로 높게 산정되는 등의 여러 문제가 있기 때문에 적용성 측면에서 한계가 있다고 판단되었다.
- (4) 따라서, FVI (R)은 기존 방법에서 제시하는 지표 보다 여러 가지 측면에서 개선된 결과를 보여줬다고 판단되며, 연구 목표인 지표 선정에 이어 향후에는 지표간의 가중치 및 홍수 취약성 지수의 산정 방법에 대한 추가 연구를 통해 최적 홍수 취약성 지수를 개발하는 것이 필요하리라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발 사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2015-05].

## References

Chang, L.F., and Huang, S.L. (2015). Assessing urban flooding vulnerability with an emergy approach. *Landsc. Urban Plan.*, Vol. 143, pp. 11-24.

Jang, D.W. (2010). *Development and application of risk management index for flood prevention alternatives*. Ph.D. dissertation, Inha University, Incheon, Korea.

Jthink (Jeonbuk Development Institute). (2010). *Improving*

*flood plans against climate change in Jeollabuk-do*. Jthink 2010-PR-10.

Kablan, M.K.A., Dongo, K., and Coulibaly, M. (2017). Assessment of social vulnerability to flood in urban Côte d'Ivoire using the MOVE Framework. *Water*, Vol. 9, No. 4, Article No. 292.

KEI (Korea Environment Institute). (2008). *Development and introduction of indicators to assess vulnerability of climate change*.

KICT (Korea Institute of Civil engineering and building Technology). (2009). *Strengthen facility standards against excess climate*.

KRIHS (Korea Research Institute for Human Settlements). (2005). *Analysis of flood damage characteristics and development of flood damage index*.

MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). (2001). *National water resource plan*.

MLTMA. (2010). *National water resource plan (2010-2020)*.

MOIS (Ministry of the Interior and Safety). (2016). *Regional safety test*.

NDMI (National Disaster Management Research Institute). (2011). *Development of community-based flood disaster risk reduction index*.

Rygel, L., O'Sullivan, D., and Yarnal, B. (2006). A method for constructing a social vulnerability index: An application to hurricane storm surges in a developed country. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Vol. 11, No. 3, pp. 741-764.

Seong, T.J. (2007). *Easy statistical analysis*. Seoul: HAKJISA corp.

SI (The Seoul Institute). (2006). *Development of the Regional Safety Assessment Model in Seoul: Focusing on Flood*.

---

<b>Received</b>	August 28, 2018
<b>Revised</b>	August 30, 2018
<b>Accepted</b>	September 11, 2018