



Socioeconomic vulnerability assessment of drought using principal component analysis and entropy method

Kim, Ji Eun^a · Park, Ji Yeon^b · Lee, Joo-Heon^c · Kim, Tae-Woong^{d*}

^aPh.D. Student, Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

^bMaster's Student, Department of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

^cProfessor, Department of Civil Engineering, Joongbu University, Goyang, Korea

^dProfessor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan, Korea

Paper number: 19-025

Received: 7 May 2019; Revised: 9 June 2019; Accepted: 9 June 2019

Abstract

Drought is a longer lasting and more extensive disaster than other natural disasters, resulting in significant socioeconomic damage. Even though drought events have same severity, their damage vary from region to region because of spatial, technical, economic, and social circumstances. In this study, drought vulnerability was assessed considering socioeconomic factors. Preliminary factors were identified from the case study for Chungcheong province, and evaluative factors were selected by applying the principal component analysis. The entropy method was applied to determine the weights of evaluative factors. As a result, in Chungcheong province, farm population, number of recipient of basic living, water fare gap indicator, area of industrial complex, amount of underground water usage, amount of water available per capita, water supply ratio, financial soundness for water resources, amount of domestic water usage, amount of agricultural water usage and agricultural land area were chosen as the evaluative factors. Among them, the factors associated with agriculture had larger weights. The overall assessment of vulnerability indicated that Cheongju, Dangjin and Seosan were the most vulnerable to drought.

Keywords: Drought vulnerability, Socioeconomic factors, Principal Component Analysis, Entropy

주성분 분석 및 엔트로피 기법을 적용한 사회·경제적 가뭄 취약성 평가

김지은^a · 박지연^b · 이주현^c · 김태웅^{d*}

^a한양대학교 대학원 건설환경시스템공학과 박사과정, ^b한양대학교 대학원 건설환경시스템공학과 석사과정, ^c중부대학교 건축토목공학부 교수,

^d한양대학교 공학대학 건설환경공학과 교수

요 지

가뭄은 다른 자연재해에 비해 지속기간이 길고 규모가 광범위하여 사회·경제적인 피해가 크게 발생한다. 또한 공간적, 기술적, 경제적 및 사회적 특성에 따라 같은 규모의 가뭄이 발생하더라도 피해 규모는 지역별로 상이하게 발생한다. 본 연구에서는 가뭄에 대한 사회·경제적 영향인자를 고려하여 가뭄 취약성 평가를 실시하였다. 충청도 지역을 대상으로 가뭄과 관련된 기존 사례 분석을 통해 영향인자들을 파악하고 주성분 분석을 적용하여 최종 평가인자를 선정하였다. 선정된 인자들에 대한 가중치 산정을 위해서 엔트로피 기법을 적용하였다. 그 결과 충청도에서는 농가인구수, 기초생활수급자수, 상수도요금격차지표, 산업단지면적, 지하수이용량, 1인당가용수자원량, 상수도보급률, 물재정건전성, 생활용수이용량, 농업용수이용량 및 농경지면적이 평가인자로 선정되었으며, 이 중 농업관련 인자가 큰 가중치를 가지는 것으로 나타났다. 또한, 취약성 평가를 수행한 결과 청주시와 당진시 그리고 서산시 가뭄에 가장 취약한 것으로 나타났다.

핵심용어: 가뭄 취약성, 사회·경제적 인자, 주성분 분석, 엔트로피

*Corresponding Author. Tel: +82-31-400-5184
E-mail: twkim72@hanyang.ac.kr (T.-W. Kim)

1. 서론

최근 기후변화로 인하여 기온과 강수패턴이 전 세계적으로 크게 변화할 것으로 예측되고 있다(Houghton *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2012). 이로 인해 기온과 강수의 계절적 및 지역적 편차가 커지면서, 강수의 집중 또는 부족으로 인한 가뭄의 발생빈도 및 규모가 증가할 것으로 예상된다. 게다가, 다른 자연재해의 비해 가뭄은 오랜 시간 지속되며 광범위한 지역에 영향을 주기 때문에 사회·경제적인 피해를 크게 발생시킨다. 우리나라도 기후변화로 인해 가뭄의 발생빈도가 증가하고 있다. 또한 가뭄의 크기 및 지속기간이 과거의 가뭄보다 큰 극한 가뭄이 종종 발생하고 있다. 특히, 최근의 극한가뭄으로 인하여 자연환경뿐만 아니라 산업, 경제 및 사회 전반에 걸쳐서 피해가 발생하고 있다. 이러한 피해는 동일한 지역에서 반복적으로 발생한다. 이에 대한 여러 원인 중의 하나는 가뭄에 대한 지역의 취약성을 파악하지 못한 것이다(Myeong and Yi, 2009). 따라서 극한가뭄에 효과적으로 대응하기 위해서는 지역적으로 적절한 가뭄 피해 저감 대책을 수립해야 하며, 이를 위해서는 가뭄으로 인해 발생할 수 있는 위험요인들에 대한 지역의 사회·경제적 취약성에 대한 평가가 수행되어야 한다.

가뭄 취약성이란 가뭄이 발생했을 때 지역에 미치는 사회·경제적인 영향을 의미한다. 최근 가뭄에 대한 취약성 평가의 필요성이 대두되면서 다양한 연구가 진행되고 있다. Park *et al.* (2012)은 가뭄의 발생확률을 바탕으로 한 가뭄 노출성 지수와 가뭄의 사회경제적인 영향을 의미하는 가뭄 취약성 지수를 산정하여 우리나라의 지역적 가뭄 위험도 평가를 수행하였다. Zarafshani *et al.* (2012)은 이란 서부 지역을 대상으로 3가지 가뭄 강도에 따른 경제적, 사회·문화적, 심리적, 기술적 및 사회 기반 시설의 취약성을 평가하였다. Yang and Kim (2013)은 낙동강 유역에 대해 수문학적, 강우 사상적, 인문학적 인자에 대해 경향성 분석과 델파이(Delphi) 기법을 적용하여 가뭄 취약성 평가를 수행하였다. 하지만, 현재까지의 취약성 평가는 대부분 계층화 분석 방법(Analytic Hierarchy Process, AHP) 및 델파이 기법과 같은 설문조사 기법을 사용하거나 단순평균을 통하여 수행되었다. 설문조사 기법을 사용하게 되면 의사결정 과정에 주관적 요소가 개입되면서 평가자의 경험과 능력에 따라 결과가 많이 달라진다. 또한, 단순평균을 통해 취약성 지수를 산정하는 경우, 각 평가인자의 영향력을 고려할 수 없다. 따라서 최근에는 취약성 평가에 확률·통계적인 기법을 적용하는 연구들이 수행되고 있다. Kim *et al.* (2013)은 주성분 분석을 이용하여 홍수와 가뭄에 대한 농업 기반 시설의 민감도, 노출성 및 적응능력 지수를 산정하고, 이를 통합하

여 기후변화 취약성-탄력성 지표 산정 및 평가를 수행하였다. Bengraïne and Marhaba (2003)는 미국 뉴저지의 퍼세이익 강(Passaic River)을 대상으로 자연적, 도시적, 농업 및 산업적 원인에 의한 수질 변화를 모니터링하기 위해서 주성분 분석을 사용하여 수질 변동성과 관련된 유기·생물·화학적 요인을 추출하였다. 또한, Song *et al.* (2013)은 낙동강 유역에 대해 압력 지수, 현상지수, 대책지수를 대표하는 세부지표들을 선정하고, T-Score 방법을 적용하여 표준화한 후 엔트로피 가중치를 사용하여 홍수 위험지수를 산정하였다. 그러나 아직까지는 농업가뭄뿐만 아니라 생활 및 공업용수에 영향을 미치는 전반적인 가뭄 취약성 평가에는 확률·통계적 기법이 적용된 연구가 많지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 주성분 분석 및 엔트로피 기법을 적용하여 객관적인 사회·경제적 가뭄 취약성 지수를 산정하여 평가하고자 하였다.

2. 연구지역 및 자료

충청도 지역은 2015년 극심한 가뭄으로 인해 수자원 시스템에 큰 피해가 발생하였다. 충청북도는 저수량이 최대 저수량에 비해 매우 낮아 심각한 수준에 이르렀으며, 충청남도의 경우 제한급수 및 국가 발전 시설 가동을 조절하는 등 큰 어려움을 겪었다(Lee, 2016). 따라서 본 연구에서는 충청북도 11개 시·군·구, 충청남도 15개 시·군·구, 세종특별자치시 및 대전광역시에 대해 2016년을 기준으로 가뭄 취약성 평가를 수행하였다.

취약성 평가를 수행하기 위하여 가뭄 취약성과 관련된 사회·경제적 영향인자를 도출할 필요가 있다. 본 연구에서는 취약성과 관련된 국내·외 사례 및 문헌을 조사하여 가뭄 취약성의 의미와 부합하는 영향인자들을 선정하였다. 각종 정부 보고서 및 사례 연구에서는 인구수(Population), 단위급수량(Daily water supply per capita), 농가인구(Farm population), 기초생활수급자수(Number of recipient of basic living), 상수도요금 격차지표(Water fare gap indicator), 4대강미취수원지역(Non-intake region from four large rivers), 산업단지면적(Area of industrial complex), 인구밀도(Population density), 독거노인인구수(Number of solitary senior citizen), 지하수이용량(Amount of underground water usage), 1인당가용수자원량(Amount of water available per capita), 상수도보급률(Water supply ratio), 물이용공평성(Water usage equity), 물재정건전성(Financial soundness for water resources), 생활용수이용량(Amount of domestic water usage), 공업용수이용량

(Amount of industrial water usage), 농업용수이용량(Amount of agricultural water usage), 피해민감도(Damage sensitivity), 농경지면적(Agricultural land area), 계획입지공단면적(Area of planned industrial complex) 등이 가뭄 취약성을 평가하는데 활용되었다(Yoo, 2008; Ko, 2009; Sim, 2011; Jung *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2012; Yang and Kim, 2013; Yoon, 2014; Lee, 2015a; Lee, 2015b; Yang, 2017). 이를 바탕으로 본 연구에서는 자료의 구축 용이성 및 인자간의 중복성을 고려하여 15 개의 영향인자를 Table 1과 같이 도출하였다.

단위급수량(F1)은 상수도 이용량을 급수인구로 나눈 값으로써, 1일 동안 1인당 급수량을 의미한다. 단위급수량은 상수도의 공급 능력을 나타내므로 용수 공급과 밀접한 관계가 있다.

농가인구(F2)는 개인농가에서 생계를 같이하며 농업에 종사하는 인구수를 의미한다.

기초생활수급자수(F3)는 소득 인정액이 중위소득 30% 이하로 최저 생계비에 못 미치며, 국민기초생활 보장법에 의거하여 생활비 지원을 받는 취약계층의 수를 의미한다.

상수도요금격차지표(F4)는 상수도 요금을 지역별로 비교한 지표로써, 상수도 요금 수준 및 상수도의 공급 능력을 확인할 수 있다. 산정하는 방법은 Eq. (1)과 같다(Yang and Kim, 2013).

$$\text{요금격차지표} = 1 - \frac{\text{지역요금} - \text{최저요금}}{\text{최고요금} - \text{최저요금}} \quad (1)$$

산업단지면적(F5)은 다양한 분야의 산업시설 및 관련 시설의 면적을 의미하며, 산업단지는 공업용수 이용과 관련이 있다.

인구밀도(F6)는 일정 지역 내의 인구수를 그 지역의 면적으로 나눈 값을 의미하며, 인구 밀집되어 있을수록 가뭄이 발생했을 때 피해가 크다.

지하수이용량(F7)은 생활·농업·공업·기타의 목적으로 이용되는 지하수 이용량 및 개발공수를 나타내는 지표이다.

1인당가용수자원량(F8)은 일정 지역의 연강수량을 해당 지역의 면적으로 나눈 것으로, 지역별 수자원 여건을 판단할 수 있는 척도이다.

상수도보급률(F9)은 일정 지역 내의 급수인구를 총 인구로 나눈 값으로, 상수도 공급과 관련 있는 지표이다.

물이용공평성(F10)은 상수도 보급률과 지역요금, 요금격차지표를 통하여 물이용 접근에 대한 공평성을 나타내는 지표이다. 산정하는 방법은 Eq. (2)와 같다(Choi *et al.*, 2009).

$$I_{Equity} = \frac{I_{Water} + I_{Sewer} + I_{Price}}{3} \times 100(\%) \quad (2a)$$

$$I_{Price} = (\alpha + (1 - \alpha)\beta) \times 100(\%) \quad (2b)$$

여기서 I_{Water} , I_{Sewer} , I_{Price} 는 각각 상수도보급률(%), 하수도보급률(%), 상수도요금공평성을 나타낸다. α 와 β 는 각각 최저요금수준과 요금격차지표를 나타낸다.

물재정건전성(F11)은 물관리 비용 중에서 물값 및 물 관련

Table 1. Primary factors' characteristics, sources and its effect on drought vulnerability assessment

Code	Factors	Sources	Effect
F1	Daily water supply per capita	Statistics of Waterworks	-
F2	Farm population	National Statistical Office	+
F3	Number of recipient of basic living	National Statistical Office	+
F4	Water fare gap indicator	National Statistical Office	+
F5	Area of industrial complex	National Statistical Office	+
F6	Population density	National Statistical Office	+
F7	Amount of underground water usage	Statistics of Waterworks	+
F8	Amount of water available per capita	National Statistical Office/Korea Meteorological Administration	-
F9	Water supply ratio	National Statistical Office	-
F10	Water usage equity	National Statistical Office	-
F11	Financial soundness for water resources	National Statistical Office	-
F12	Amount of domestic water usage	Statistics of Waterworks	+
F13	Amount of industrial water usage	Statistics of Waterworks	+
F14	Amount of agricultural water usage	Statistics of Waterworks	+
F15	Agricultural land area	National Statistical Office	+

분담금으로 조달하는 비율을 의미하며, 수자원 요금에 대한 효율성을 확인할 수 있다. 산정하는 방법은 Eq. (3)과 같다 (Yang and Kim, 2013).

$$\text{물재정건정성} = \frac{\text{상수도자본수입} + \text{하수도사용료} + \text{원인자부담금}}{\text{상수도세입} + \text{하수도세입}} \times 100(\%) \quad (3)$$

생활·공업·농업용수 이용량(F12, F13, F14)은 각 지역에서 생활, 공업 및 농업의 용도로 사용되고 있는 용수의 양을 나타낸다. 이 중 생활용수는 일상생활에서 사용되는 수자원, 공업용수는 공업의 생산과정에서 사용되는 수자원, 농업용수는 농경지에 공급되고 있는 수자원을 의미한다.

농경지면적(F15)은 농작물을 재배하거나 재배할 수 있는 땅의 면적을 의미한다.

3. 연구방법

2절에서 구축된 15개의 영향인자에 대하여 사회·경제적 가뭄 취약성 평가를 수행하는 절차는 Fig. 1과 같다. 먼저, 주성분 분석을 이용하여 15개의 영향인자 중 충청도 지역에서 가장 상관성이 높은 평가인자들을 선정하고, 선정된 평가인자에 대한 가중치를 엔트로피 방법을 활용하여 산정하였다. 평가인자들을 가중합하여 가뭄 취약성 지수를 산정하고, 결과를 비교·분석하였다.

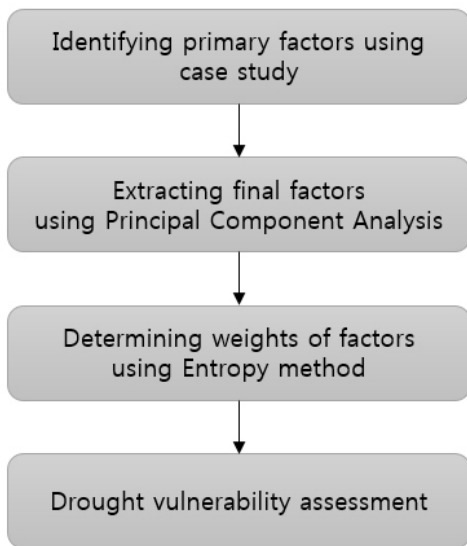


Fig. 1. Procedure for drought vulnerability assessment

3.1 표준화 과정

취약성 평가는 서로 다른 단위 및 성질을 가지는 여러 가지 평가인자들을 활용하기 때문에, 하나의 지수로 결합 및 통합하는 과정이 필요하다. 이 과정을 표준화(standardization) 또는 정규화(normalization) 과정이라고 한다. 표준화를 수행하는 방법은 매우 다양하나, 일반적으로 순위매기기(ranking), 정규화 점수(Z-score) 및 축척 재조정(re-scaling) 방법이 많이 사용된다.

순위매기기는 값의 크기별로 단순히 나열하는 방법으로써 가장 간단한 방법이지만, 평가인자에 대한 정보를 표현하기에 부족하며 높은 순위의 평가인자는 극값으로 수렴할 수 있으므로 부적절하다. 정규화 점수 방법은 인자들의 평균을 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법으로써 가장 일반적으로 사용된다. 하지만, 평가인자가 정규분포를 따르지 않을 경우 왜곡된 결과를 도출할 수 있으며, 음수가 발생하므로 가뭄 취약성 지수를 산정하기에 적절하지 않다. 축척 재조정 방법은 평가인자의 범위를 고려하여 인자 값이 모두 0~1 사이의 동일한 범위 내에 존재하도록 하는 방법이다. 게다가 평가인자 내에서 값의 순위에 따라 정렬되므로 상대적인 크기 비교가 가능하며, 음수가 발생하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 축척 재조정 방법을 적용하여 표준화 과정을 수행하였다.

Eq. (4a)는 양의 상관관계를 가지는 평가인자를 표준화하는 산정식이며, Eq. (4b)는 음의 상관관계를 가지는 평가인자를 표준화하는 산정식이다. 여기서, 양의 상관관계는 평가인자의 값이 커질수록 취약성이 커지는 것을 의미하며, 음의 상관관계는 평가인자의 값이 커질수록 취약성이 작아지는 것을 의미한다.

$$I = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (4a)$$

$$I = \frac{\max(x) - x}{\max(x) - \min(x)} \quad (4b)$$

3.2 주성분 분석

취약성 지수에 대한 평가인자의 수가 많을수록 계산이 복잡해지며, 직관적인 분석이 어려워진다. 따라서 가뭄에 대한 영향력이 큰 인자를 선정하여 평가인자의 개수를 줄일 필요가 있다. 주성분 분석은 서로 상관관계가 있는 다양한 평가인자들을 조합하여 각 인자들에 대한 정보를 가장 많이 포함하도록 하는 다변량 통계분석 기법이다(Yoo et al., 2010). 즉, 다차원 자료에 대해 선형변환을 함으로써, 분산이 작은 성분을 제거하여 자료의 차원을 저차원으로 축소할 수 있다. 본 연구에

Table 2. Procedure of principal component analysis (PCA) and entropy method

Step	PCA	Entropy
1	Creating a correlation matrix	Creating an alternative attribute matrix
2	Estimating eigenvalues and eigenvectors	Estimating entropy for attribute information
3	Calculating the explained variance	Calculating diversity degrees
4	Determining the number of principal components	Determining weights for evaluation factors
5	Extracting principal components and factors	

서는 영향인자들 사이의 상관성이 낮아 중요도가 떨어지는 변수를 제거하여, 가뭄 취약성을 가장 잘 설명해줄 수 있는 평가인자를 선정하기 위하여 주성분 분석을 사용하였다. 주성분 분석을 통해 평가인자를 선정하는 과정은 Table 2와 같다.

먼저, 표준화된 각 영향인자 사이의 상관성을 파악하기 위하여 두 가지 인자 사이의 상관계수를 계산하여 상관관계 매트릭스를 작성하고, 이를 활용하여 고유값(eigenvalues) 및 고유벡터(eigenvectors)를 추정한다. 여기서, 재정렬된 고유벡터는 주성분을 의미하며, 주성분의 분산 값을 주성분 분산 누적값으로 나눈 것을 분산설명량이라고 한다. 주성분 분석에서 차원 축소를 위하여 적절한 주성분 분석의 개수를 결정하는 것은 매우 중요하다. 주성분 분석의 개수를 결정하는 방법은 다양하지만, 일반적으로 주관적인 판단에 의지하는 경우가 많다. 누적기여율이 충분히 크다고 판단되는 주성분까지, 주성분의 분산이 1보다 큰 주성분까지, 또는 고유값의 크기가 현저히 작아지는 주성분까지를 기준으로 한다(Pei *et al.*, 2019). 본 연구에서는 모든 주성분 중에서 분산 설명량을 가장 많이 가지고 있다고 판단되는 제1주성분을 추출하였다.

3.3 엔트로피 방법

가뭄 취약성 지수를 산정하는 과정에서 평가인자에 대한 중요도를 의미하는 가중치(weights)를 결정하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 의사결정자가 이해하기 쉽고 계산과정이 매우 간단한 엔트로피 가중치 추정 방법을 적용하였다. 엔트로피 방법은 어떤 신호가 가지고 있는 정보량을 기반으로 응집력이 높은 신호를 발견하여 가중치를 높게 부여하는 정보이론(information theory)에 바탕을 둔 것으로(Berry *et al.*, 1999; Seong and Byun, 2016), 어떤 시스템 안에서 신호 또는 속성에 대한 정보를 수치로 표현한 것이다. 즉, 엔트

로피가 크다는 것은 해당 지역에서 불확실성의 감소 정도가 크고, 동일 속성에 대한 정보를 많이 포함하고 있다는 것을 의미한다(Lee *et al.*, 2011). 엔트로피 방법은 의사결정자의 주관적 요소를 배제하고 주어진 데이터의 속성을 이용하여 가중치를 추정해 낼 수 있는 객관성이 검증된 방법이다(Choi *et al.*, 2013).

본 연구에서는 의사결정자의 주관적 판단에 의해 평가 결과가 왜곡될 수 있는 것을 방지하기 위하여 엔트로피 방법을 적용하여 평가인자에 대한 가중치를 산정하였으며, 절차는 Table 2와 같다.

먼저, 각 주성분에 해당하는 평가항목별로 구축된 속성정보 값을 대상구역별로 행렬화하여 속성정보에 대한 엔트로피를 산정한다. 엔트로피를 이용하여 각 평가인자에 대한 가중치를 산정하고, 최종적으로 가뭄 취약성 지수를 결정한다. 엔트로피 기법은 대안-속성 행렬로부터 가중치를 추출하는 방법이며, 대안-속성 행렬은 Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

각 속성에 대한 엔트로피를 산정하기 위하여 대안-속성 행렬을 정규화해야 하지만, 본 연구에서는 엔트로피 기법을 적용하기 이전에 이미 정규화된 자료를 사용하기 때문에 해당 과정을 생략하였다. 따라서 대안-속성 행렬을 Eq. (6)에 그대로 적용하여 엔트로피 E_j 를 산정하며, 여기서, $k = \frac{1}{\log m}$ ($j = 1, 2, \dots, n$)이다.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \log p_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

각 평가인자에 대한 가중치를 구하기 위해 사용되는 자료들의 다양성 척도인 d_j 를 Eq. (7)를 사용하여 계산하며, 이 값을 속성정보에 대해 정규화한 것이 해당 평가인자의 가중치 (w_j)가 된다.

$$d_j = 1 - E_j \quad (7)$$

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (8)$$

Table 4. Eigenvectors and explained variance for principal component analysis

Component	Eigenvectors	Explained variance
1	37.59	37.59
2	21.22	58.81
3	12.79	71.60
4	7.02	78.62
5	5.74	84.36
6	5.35	89.71
7	3.15	92.86
8	2.88	95.74
9	2.09	97.84
10	1.06	98.90
11	0.47	99.37
12	0.39	99.76
13	0.16	99.91
14	0.07	99.98
15	0.02	100.00

Table 5. Weights of evaluation factors applying the entropy method

Factors	Weight
Farm population	0.15
Number of recipient of basic living	0.03
Water fare gap indicator	0.05
Area of industrial complex	0.06
Amount of underground water usage	0.13
Amount of water available per capita	0.07
Water supply ratio	0.12
Financial soundness for water resources	0.11
Amount of domestic water usage	0.04
Amount of agricultural water usage	0.12
Agricultural land area	0.14

자수, 생활용수이용량 및 상수도요금격차지표의 가중치는 낮게 산정되었다. 전반적으로 농업과 관련된 평가인자들이 높은 가중치를 가지는 것을 알 수 있다. 이는 대상 지역이 농업과 매우 밀접한 관계가 있다는 것을 의미하며, 실제로 충청도에서 농업용수 이용량이 총 용수 이용량 중 70%를 차지하고 있다. 이처럼, 충청도 지역이 농업지대라는 것을 고려했을 때, 본 연구 결과는 매우 유의미한 결과라고 할 수 있다.

마지막으로 가중치를 표준화된 인자에 곱하여 가뭄 취약성 지수를 산정하고 충청도의 가뭄 취약성 평가를 수행하였다. 각 지역의 위험정도를 파악하기 용이하도록 Fig. 2와 같이 행정구역 단위의 지도에 표출한 결과, 충청북도 청주시, 충청남도 당진시 및 서산시가 0.6 이상의 높은 취약성을 가지는 것으로 나타났다. 하지만, 충청북도 증평군과 충청남도 계룡시는 0.1 이하의 취약성을 가지는 것을 알 수 있다. 이는 청주시, 당진시 및 서산시가 가뭄에 대한 취약요소를 많이 가지고 있는 것으로 판단된다. 특히, 농가인구는 청주시가, 농경지면적은 당진시가, 지하수 이용량은 서산시가 평균의 2배 이상의 값을 가지고 있기 때문에 취약성이 높게 산정된 것을 알 수 있다. Park *et al.* (2012)에서도 당진시 및 서산시는 가뭄 취약지역 상위 5개 지역에 포함되었으며, 계룡시와 증평군이 하위 1, 2위로 본 연구 결과와 비슷하게 산정되었다. 또한, Lee *et al.* (2013)에서도 비슷한 결과가 산정되었다. 해당 연구에서는 사회-경제적 취약성을 민감도라고 정의하여 분석하였으며, 당진시와 서산시가 가장 취약하게 나타났다. 충청남도에서는 청주시가 제일 취약한 것을 확인할 수 있으며, 이는 본 연구 결과와 매우 유사하다. 또한, 실제로 당진시 및 서산시의 경우

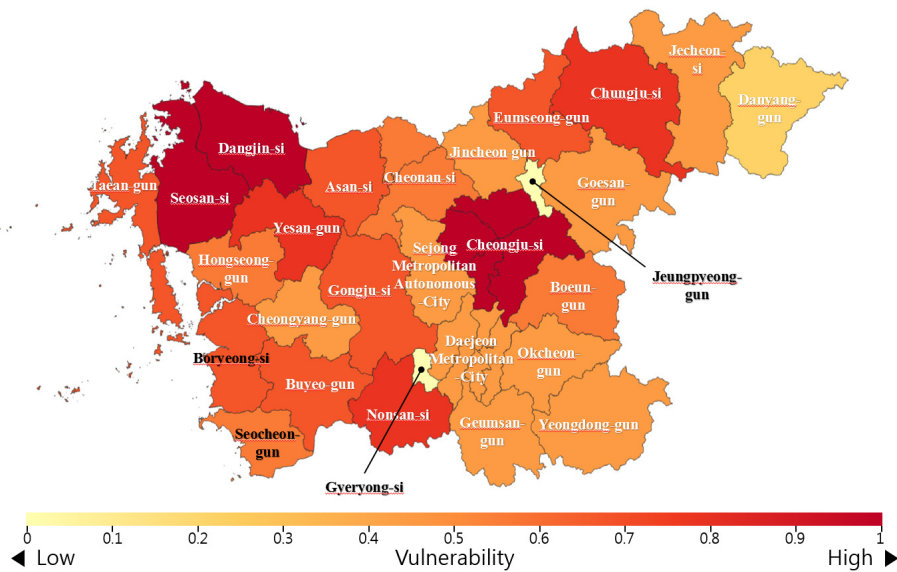


Fig. 2. Drought vulnerability map in Chungcheong-do, Sejong and Daejeon Metropolitan-city

금강본류와 연결되지 못하여 대청댐 또는 용담댐의 저수능력에 의존하지 못하는 구조적 문제가 존재한다. 따라서 충청북도 당진시 및 서산시는 가뭄에 대해 매우 취약한 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 가뭄 취약성 지수를 산정하여 충청도에 대해 가뭄 취약성 평가를 수행하였다. 먼저, 기존 연구사례를 바탕으로 가뭄 취약성과 관련된 15개의 영향인자를 도출하였으며, 주성분 분석을 적용하여 충청도에 영향을 미치는 평가인자를 선정하였다. 선정된 평가인자에 대한 가중치를 산정하기 위하여 엔트로피 기법을 적용하여 각 평가인자의 영향 정도를 분석하고, 충청도의 가뭄 취약성 평가를 실시하였다.

충청도는 농가인구수, 기초생활수급자수, 상수도요금격차 지표, 산업단지면적, 지하수이용량, 1인당가용수자원량, 상수도보급률, 물재정건전성, 생활용수이용량, 농업용수이용량 및 농경지면적에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 엔트로피에 대한 가중치를 고려하였을 때, 농가인구수가 가장 큰 영향력을 기초생활수급자수가 가장 작은 영향력을 나타내었다. 그 결과 충청북도 청주시, 충청남도 당진시 및 서산시가 가뭄 취약성이 높게 나타났다. 따라서 가뭄 대책을 수립할 때, 청주시, 당진시 및 서산시가 가장 우선적으로 고려되어야 한다.

본 연구에서는 가뭄 관련 적응대책 논의 과정에서 필요한 가뭄 취약성 평가 기법을 제시하였으며, 취약성 평가 결과를 통해 지역별 가뭄 취약 특성을 고려한 합리적이고 효율적인 맞춤형 가뭄 적응대책 수립에 기초자료로서 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리 사업의 지원(과제번호 83070)과 한국연구재단의 지원(2016R1D1A1A09918872)을 받아 수행되었습니다.

References

- Bengraïne, K., and Marhaba, T. F. (2003). "Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality." *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 100, pp. 179-195.
- Berry, M. W., Drmac, Z., and Jessup, E. R. (1999). "Matrices, vector spaces, and information retrieval." *SIAM Review*, Vol. 41, No. 2, pp. 335-362.
- Choi, D. J., Park, D. H., Park, S. J., Lee, J. H., and Lee, H. J. (2009). "Development of water policy indicators : Water use indicators." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 11, No. 3, pp. 153-160.
- Choi, H. I., Park, S. Y., Song, J. H., and Park, M. J. (2013). "Identification of flood risk areas using a multi-criteria decision making method." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 2, pp. 237-243.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguier, M., Van der Linden, P. J., and Xiaosu, D. (2001). *Climate change 2001 : The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, Vol. 57, No. 8, pp. 267-269.
- Jung, H. C., Lee, W. K., and Cho, J. G. (2012). *A study on climate change vulnerability for supporting pilot project of local government adaptation implementation planning*. National Institute of Environmental Research.
- Kim, S. J., Kim, S. M., and Kim, S. M. (2013). "A study on the vulnerability assessment for agricultural infrastructure using principal component analysis." *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 55, No. 1, pp. 31-38.
- Ko, J. K. (2009). *A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-do*. No. 2009-37, Gyeonggi Research Institute.
- Lee, J. H., Jun, H. D., Park, M. J., and Jung, J. H. (2011). "Flash flood risk assessment using PROMETHEE and Entropy method." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11, No. 3, pp. 151-156.
- Lee, S. E. (2015a). *On the development of the methodological framework for drought risk assessment*. No. 15-04, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Lee, S. S. (2015b). *Development of climate change vulnerability prototype in Chungcheongnam-do*. No. 2015-01, Chungnam Institute.
- Lee, S. S. (2016). *Drought analysis in Chungcheongnam-do according to climate change scenarios*. Report, No. 2016-34, Chungnam Institute.
- Lee, Y. H., Oh, Y. J., Na, C. S., Kim, M. H., Kang, K. K., and Yoon, S. T. (2013). "Vulnerability assessment on spring drought in the field of agriculture." *Journal of Climate Change Research*, Vol. 4, No. 4, pp. 397-407.
- Myeong, S. J., and Yi, D. G. (2009). "Assessing vulnerability to climate change of the physical infrastructure in Korea through a survey of professionals." *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 18, No. 6, pp. 347-357.
- Park, J. Y., Yoo, J. Y., Lee, M. W., and Kim, T. W. (2012). "Assessment of drought risk in Korea: Focused on data-based drought risk map." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 4, pp. 203-211.
- Pei, W., Fu, Q., Liu, D., Li, T., Cheng, K., and Cui, S. (2019). "A novel method for agricultural drought risk assessment." *Water Resources Management*, Vol. 33, pp. 2033-2047.

- Seong, J. H., and Byun, Y. S. (2016). "A study on the weights of the condition evaluation of rock slope used in entropy and AHP method." *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 31, No. 5, pp. 61-66.
- Sim, O. B. (2011). *Research for water management policy preparing with climate change-Focus on drought vulnerability and policy plan of territory-*. No. 2011-30, Korea Research Institute for Human Settlements.
- Song, J. H., Kim, S. D., Park, M. J., and Choi, H. I. (2013). "Estimation of flood risk index for the Nakdong River watershed." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 46, No. 1, pp. 35-45.
- Yang, D. M. (2017). *Construction of fundamental technology for disaster risk assessment and response*. No. 11-1741056-000017-01, National Disaster Management Research Institute.
- Yang, J. S., and Kim, I. H. (2013). "Development of drought vulnerability index using delphi method considering climate change and trend analysis in Nakdong River basin." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 6, pp. 2245-2254.
- Yoo, G. Y. (2008). *Development and application of a climate change vulnerability index*. No. 05, Korea Environment Institute.
- Yoo, J. Y., Choi, M. H., and Kim, T. W. (2010). "Spatial analysis of drought characteristics in Korea using cluster analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 43, No. 1, pp. 15-24.
- Yoon, S. T. (2014). *Development of DB and index for assessments of vulnerability on agricultural infrastructures*. No. PJ008317, Rural Development Administration.
- Zarafshani, K., Sharafi, L., Azadi, H., Hosseininia, G., Maeyer, P., and Witlox, F. (2012). "Drought vulnerability assessment: the case of wheat farmers in western Iran." *Global and Planetary Change*, Vol. 98, pp. 122-130.