가뭄지수에 따른 가뭄평가 결과 비교연구

Comparison of Drought Assessment Results According to Three Drought Indices

장쉬엔후이* · 박무종** · 김하룡*** · 조지현**** · 주진걸*****

Zhang, Xuanhui*, Park, Moojong**, Kim, Hayong***, Cho, Jihyun****, and Joo, Jingul*****

Abstract

Although drought is a very damaging natural disaster, it is difficult to define the beginning of drought accurately. In this study, three drought indexes including the standardized precipitation index (SPI), generalized extreme value index (GEVI), and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) were calculated in six cities, and the correlations among the drought indices were examined. Drought incidence rates, Pearson's correlation coefficients, and Spearman's correlation coefficients were compared. The results showed that the correlation between the SPI and SPEI was very high but that the correlation with the GEVI was slightly lower. However, in the case of long-term drought and extreme drought, the correlations among the three indices were very high.

Key words : Drought, SPI, GEVI, SPEI, Pearson's Correlation Coefficient, Spearman's Correlation Coefficient

요 지

가뭄은 매우 큰 피해를 주는 자연재해임에도 불구하고, 그 시작을 정확하게 정의하기 어려운 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 6개 도시에서 SPI, GEVI, SPEI 등 3개 가뭄지수를 산정하고, 각 가뭄지수간의 상관성을 검토하였다. 심도별 가뭄발생비율, 피어슨 상관계수 및 스피어만 상관계수를 사용하여 3개 가뭄지수를 비교하였다. 분석결과 SPI, SPEI의 상관성은 매우 높게 나타났으며, GEVI는 다소 낮게 나타났다. 다만, 가뭄분석 시간단위가 긴 장기가뭄과 가뭄심도가 깊은 극한가뭄의 경우 세 지수간의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 가뭄, SPI, GEVI, SPEI, 피어슨 상관계수, 스피어만 상관계수

1. 서 론

우리나라의 연강수량은 약 1,300 mm로 비교적 습윤한 기후에 속하나, 총 강수량의 약 50~60% 가 6~10월 우기에 집중되어 강수량의 계절별 불균등이 뚜렷하다. 겨울 및 봄철 강수량은 연간 강수량의 약 20~30% 정도에 불과하며, 특히 겨울철 강수는 대부분 강설로 장기간 무강우로 인한

계절성 가뭄발생 우려가 매우 크다. 최근에는 마른장마 등 여름철에도 장기간 가뭄이 지속되고 있어, 가뭄으로 인한 피해가 속출하고 있는 실정이다(Kim et al., 2016). 대표적인 예로 2015년 6월 19일에는 지속된 가뭄으로 인해 소양강댐 저수량이 1978년 이후 최저에 달하였으며, 국토 곳곳에서 물 부족으로 인해 용수공급 및 농업피해가 발생한 바 있다.

*정회원, 동신대학교 공과대학 박사과정(E-mail: xuanhui8468@naver.com)

Member, Ph.D Course Student, Department of Civil Environmental Engineering, Dongshin University

**정회원, 한서대학교 토목공학과 교수

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

***정회원, 공주대학교 건설환경공학부 연구교수

Member, Research Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Kongju National University

****동신대학교 사회복지학과 조교수

Assistant Professor, Dept. of Social Welfare, Dongshin University

*****교신저자, 정회원, 동신대학교 토목환경공학과 조교수(Tel: +82-61-330-3137, Fax: +82-61-330-3138, E-mail: jgjoo@dsu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Environmental Engineering, Dongshin University

일반적으로 평상시보다 긴 기간에 걸친 강수의 부족 및 이로 인한 수자원의 부족을 가뭄으로 정의하는데, 가뭄의 시작은 정확히 정의 및 인지 할 수 없을 정도로 서서히 발생한다(Kim et al., 2010; Kim et al., 2013). 가뭄은 피해금액의 측면에서 가장 가혹한 자연재해로, 각 국가는 가뭄현상을 모니터링하고 예측 및 전망하는데 다양한 노력을 기울이고 있다(Svoboda et al., 2002; Burke et al., 2006; Sheffield and Wood, 2008).

효과적인 가뭄평가를 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다(Heim, 2002; Keyantash and Dracup, 2002). 기후학적으로 필요한 강수량과 실제 강수량을 비교하여 가뭄을 판단하는 Palmer Drought Severity Index (Palmer, 1965), 관측기간 동안의 강수량 대비 해당 기간의 강수량 부족 여부로 가뭄을 판단하는 Standard Precipitation Index, SPI (McKee et al., 1993), Generalized Extreme Value Index, GEVI (Wang et al., 2012)와 강수량과 증발산의 영향을 고려한 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010)등이 제시되었다. 토양수분을 고려한 Soil Moisture Index, SMI (Yoo et al., 2006), 지표수 물공급 체계를 반영한 Surface Water Supply Index, SWSI (Shafer and Dezman, 1982), SWSI를 국내 실정에 맞게 개선한 Modified SWSI (Kwon et al., 2006)가 제시되었으며, 저수지 저수량을 이용한 Reservoir Drought Index, RDI와 Integrated Agricultural Drought Index, IADI 등은 농업가뭄을 평가하기 위하여 제시되었다. 이러한 다양한 지수들은 각각의 목적에 따라 개발되었고, 각 지표별 장단점을 갖고 있어 특정 지수의 우월성을 따지기 곤란하며, 적용지역의 수문·기상학적 특성과 여건을 고려하여 가뭄평가에 활용되어야 한다(Kim et al., 2012).

심도와 기간을 명확하게 정의하기 어려운 가뭄을 평가하고 이에 따른 대책을 수립하기 위한 다양한 연구가 수행되었으나, 각 가뭄지수들 간의 수평적인 비교를 통한 가뭄 정량화를 위한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 다양한 가뭄지수 중 강수량을 이용한 특징을 가진 가뭄지수 SPI, GEVI, SPEI를 사용하여, 가뭄을 평가하고 각 방법에 따른 결과를 비교하고자 한다. 이를 위해, 서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 강릉 등 6개 도시에서의 월강우를 사용하여 3가지 방법(SPI, SPEI, GEVI)의 가뭄지수를 산정하여 가뭄을 분류하고, 가뭄 발생 특성을 정량적으로 비교하였다.

2. 연구방법

2.1 가뭄지수 산정방법

2.1.1 Standard Precipitation Index (SPI)

McKee et al. (1993)가 제안한 SPI는 강수량만으로 가뭄을 평가할 수 있다는 간편함에 다양한 연구에서 사용되고 있다.

SPI를 산정하기 위해서는 강수 시계열을 분석하고자 하는 시간단위(예를 들어 1, 3, 6, 9, 12, 24개월 등)에 따라 이동누가하여, 누가강우 시계열을 작성한다. 누가강우 시계열을 Gamma 분포형에 대입하여, 각 변량에 대한 누가 확률을 산정한다. 최종적으로 표준정규분포에서 동일한 누가확률을 갖는 Z값을 결정하면 이 값이 SPI가 된다(Moon, 2011).

2.1.2 Generalized Extreme Value Index (GEVI)

지역별 강우 특성이 다른 것으로 나타나고 있으며, 지역에 따라 강우시계열이 다른 분포형을 따르는 것으로 나타나고 있다. 월강수 시계열이 Gamma 분포를 따르는 것으로 가정한 SPI를 개선하려는 연구들이 수행되었다. Guttman (1999)은 미국의 1,035개 지점에서 Gamma, Pearson Type III (P-III), GEV, Kappa, Wakeby 분포 등 5가지 분포형을 사용하여 가뭄을 평가하였다. 그 결과 60년 이상 관측강수량 자료를 사용할 경우 산정된 가뭄지수 값의 차이가 적은 것을 발견하였다. Lana and Burgueño (2000)는 스페인에서, Angelidis et al. (2012)은 포르투갈에서 동일한 연구를 수행하였으며, 분포형에 따른 가뭄지수 값의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 Wang et al. (2012)은 중국의 강우는 GEV 분포형에 적합하며, 이를 활용한 새로운 가뭄지수 GEVI를 제안하였다. GEVI는 중국의 강우특성을 잘 반영하는 것으로 알려져 있으며, GEVI는 중국의 다양한 연구에서 활발하게 활용되고 있다.

2.1.3 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

Vicente-Serrano et al. (2010)은 인간의 영향을 배제하고 자연현상만으로 가뭄을 평가한다면, 강수량과 더불어 증발산량이 가뭄에 영향을 직접적으로 주는 인자로 판단하였다. 이에 강수량과 더불어 증발산량을 고려할 수 있는 가뭄지수인 SPEI를 제안하였다. SPEI는 강수량과 기온 인자를 사용하여 가뭄을 평가할 수 있다. 국내에서는 Kim et al. (2012)가 SPEI를 활용하여 국내 가뭄을 평가한바 있다.

Table 1은 SPI, GEVI, SPEI에 따른 가뭄분류를 나타낸 것이다. McKee et al. (1993)은 가뭄을 Moderately drought, Severely drought, Extremely drought 등 3단계로 나누었으나, 본 연구에서는 GEVI, SPEI와 비교를 위하여 Slight drought를 추가하여 4단계로 구분하였다. Slight drought와 Moderately drought의 범위는 GEVI, SPEI와 동일한 누가확률을 갖는 Z값으로 결정하였다.

2.2 대상지역

서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 강릉 등 전국 6개 도시를 대상으로 가뭄지수를 산정하였다. Fig. 1은 대상지역의 위치를 나타내며, Table 2는 각 도시의 분석에 사용된 강우관측기간과 해당 기간동안의 연평균 강수량을 나타낸다.

Table 1. Drought Classification Criteria by Drought Index

	SPI		GEVI	SPEI
	McKee et al. (1993)	This study		
SLD	-1.49 ~ -1.0	-0.99 ~ -0.50	-0.15 ~ 0.36	-0.99 ~ -0.50
MD		-1.49 ~ -1.00	-0.99 ~ -0.16	-1.49 ~ -1.00
SD	-1.99 ~ -1.50		-1.32 ~ -1.00	-1.99 ~ -1.50
ED	Less than -2.0		Less than -1.33	Less than -2.0

※ SLD: Slight Drought, MD: Moderately Drought, SD: Severely Drought, ED: Extremely Drought

Fig. 1. Location of 6 Gauge Stations Used

Table 2. Rainfall Monitoring Record by 6 Gauge Stations

Gauge Station	Rainfall observation period	Average Annual Precipitation (mm)
Seoul	1908.01 ~ 2017.12 (110year)	1,276.8
Daejeon	1969.01 ~ 2017.12 (49year)	1,353.3
Daegu	1909.01 ~ 2017.12 (109year)	1,013.5
Busan	1908.01 ~ 2017.12 (110year)	1,453.7
Kwangju	1940.01 ~ 2017.12 (78year)	1,323.9
Gangneung	1912.01 ~ 2017.12 (106year)	1,339.0

2.3 가뭄지수별 상관성 분석

세 가지 가뭄지수간 상관성을 알아보기 위해 지수값 간 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 구하였다. 피어슨 상관계수는 두 변수가 연속형 변수이고 모두 정규성을 따른다는 가정이 필요한 모수적 상관계수로 두 변수간 선형의 관련정도를 나타낸다. 상관계수는 -1부터 1사이의 값을 가지는데 -1이나 1에 가까울수록 두 변수가 거의 직선의 모양으로 점들이 위치하여 어느 한 변수를 알면 다른 변수를 쉽게 예측할 수 있다는 의미이고, 0에

가까울수록 직선에서 퍼져 있어서 어느 한 변수를 알아도 다른 변수를 예측하기 쉽지 않음을 의미한다. Eq. (1)은 피어슨 상관계수 산정식을 나타낸다.

$$r = \frac{n\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (1)$$

또한, 각 지수의 실제 값 보다는 지수가 나타내는 가뭄의 정도를 비교하고자 하였다. 즉, 가뭄지수는 지수별로 가뭄

의 심도를 나타내는 척도이기 때문에, 각 지수의 값은 ‘Normal=0’, ‘Slight drought=1’, ‘Moderately drought=2’, ‘Severely drought=3’, ‘Extremely drought=4’의 순위로 범주화하였다. 범주화 된 값들은 비모수적 상관관계수인 스피어만 상관계수(Spearman’s correlation coefficient)를 사용하여 상관성을 나타내었다. 스피어만 상관계수는 변수가 서열척도일 때 사용하는 값으로 변수의 값이 아닌 순위만을 가지고 두 변수간의 연관성을 보는 지표이다. 스피어만 상관계수는 두 변수간의 선형적 관계가 아닌 한 변수가 증가할 때 다른 변수가 증가하는지 감소하는지에 대한 관계를 나타낸다. Eq. (2)은 스피어만 상관계수 산정식을 나타낸다.

$$\rho = \frac{6\sum(x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

3. 가뭄지수 산정결과

3.1 SPI 산정결과

본 연구에서는 6개 도시에서의 월강수량 자료를 사용하여 SPI를 산정하고 결과를 검토하였다. 3, 6, 9, 12개월로 분석기간을 구분하여, 분석기간 단위별 SPI를 상호 비교하였다(Fig. 2). 상단의 그림은 분석 전체 기간에 대한 SPI로 각 도시별로 Table 2의 기간동안의 SPI를 나타낸 것이다. 그림 하단에는 상세한 검토를 위해 6개 관측소의 2000년 1월부터 2017년 12월까지 18년간의 SPI를 확대하여 나타내었다. 분석기간 단위에 상관없이 전반적으로 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

지점별로 총 관측기간 대비 가뭄 심도별 가뭄기간의 비율을 분석하였다(Table 3). 가장 극심한 가뭄인 Extremely

Fig. 2. SPI Results at Six Cities

Table 3. The Ratio of Drought Occurrences to Total Observations by SPI (%)

Range	Seoul				Daejeon				Daegu			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
ED	2.05	2.74	3.28	3.51	2.05	2.06	1.90	1.73	3.06	2.38	2.00	1.70
SD	4.10	3.57	3.13	3.59	4.61	5.15	5.69	5.55	3.75	4.53	4.69	5.40
MD	8.80	8.06	7.16	5.12	9.22	9.78	8.97	9.19	9.19	9.13	9.85	9.10
SLD	14.34	13.38	13.19	15.13	15.02	15.44	15.52	16.12	14.01	15.35	16.00	17.12
Range	Busan				Kwangju				Gangneung			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
ED	2.50	2.13	1.60	1.99	2.89	3.54	3.45	3.78	2.44	2.45	2.37	2.78
SD	4.48	4.49	4.95	4.51	4.50	4.51	5.39	5.19	4.72	4.26	4.59	3.33
MD	8.95	9.28	10.52	8.79	8.14	7.84	8.30	8.32	8.82	8.92	8.78	8.33
SLD	15.33	16.88	15.70	17.80	14.78	13.86	12.72	12.65	13.23	14.76	15.27	17.76

drought의 경우 모든 분석기간 단위, 모든 지역에서 모두 2~3%내외로 나타났다. 가장 완만한 가뭄인 Slight drought 가뭄기간은 분석기간 단위 및 지역에 따라 12.6~17.8%까지 다양한 범위로 나타났다. 가뭄의 심도가 깊을수록(Extremely drought), 기간 및 지역에 따른 편차가 적었으며, 반대로 가뭄의 심도가 낮을수록(Slight drought), 기간 및 지역에 따른 편차가 큰 것으로 나타났다. 즉, 극심한 가뭄은 전국 모든 지역에서 비슷하게 발생할 것으로 예상된다.

3.2 GEVI 산정결과

SPI와 동일한 방법으로 6개 도시에서 GEVI를 산정하고 결과를 검토하였다(Fig. 3, Table 4). GEVI역시 SPI와 동일하게 분석기간 단위에 상관없이 전반적으로 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

지점별로 총 관측기간 대비 가뭄 심도별 가뭄기간 비율을 GEVI지수 기반으로 분석하였다(Table 4). 가장 극심한 가뭄인 Extremely drought의 경우 분석기간 단위 및 지역에 따라 1.5~5.3% 범위로 나타나, 일정한 값을 보인 SPI와의 차이를 보였다. 가장 완만한 가뭄인 Slight drought 가뭄기간은 분석기간 단위 및 지역에 따라 12.9~20.1%까지 다양한 범위로 나타났다. SPI와 마찬가지로 가뭄의 심도가 낮을수록(Slight drought), 기간 및 지역에 따른 편차가 큰 것으로 나타났다. 다만, 기간 및 지역에 따른 편차의 크기는 SPI에 비하여 GEVI가 더 크게 나타났다.

3.3 SPEI 산정결과

SPI와 동일한 방법으로 6개 도시에서 SPEI를 산정하고 결과를 검토하였다(Fig. 4, Table 5). SPEI역시 SPI와 동일하게 분석기간 단위에 상관없이 전반적으로 유사한 경향을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

지점별로 총 관측기간 대비 가뭄 심도별 가뭄기간 비율을 SPEI 지수 기반으로 분석하였다(Table 5). 가장 극심한 가뭄

인 Extremely drought의 경우 분석기간 단위 및 지역에 따라 0.2~2.6% 범위로 나타나, 일정한 값을 보인 SPI와의 차이를 보였다. 가장 완만한 가뭄인 Slight drought 가뭄기간은 분석기간 단위 및 지역에 따라 13.4~17.8%까지 범위로 나타났다. SPEI는 기간 및 지역에 따른 편차가 가뭄의 심도에 영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

4. 가뭄지수별 결과비교

4.1 가뭄심도별 가뭄지수에 따른 가뭄발생일수 비교

SPI, GEVI, SPEI 등 3개 가뭄지수를 사용하여 가뭄 지속기간에 따른 가뭄 발생일수를 비교하였다(Fig. 5). 3개월 가뭄에 비하여 12개월 가뭄(장기가뭄)에서 가뭄지수별 가뭄일수의 편차가 작게 나타났다. SPI와 SPEI는 가뭄일수 평가에서 거의 비슷한 결과를 나타냈으며, GEVI는 나머지 2개 지수와 다소간의 차이를 나타내었다. 가뭄의 심도가 깊을수록(Extremely drought) SPI 및 SPEI와 가뭄일수가 유사하였으며, 보통이하의 가뭄(Moderately and Slight drought)에서는 GEVI가 가뭄일수가 더 많은 것으로 평가되었다. 이러한 경향은 6개 도시 모두 비슷한 경향을 나타내었다.

4.2 가뭄 지수별 상관성 분석

4.2.1 가뭄지수 비교

세 가지 가뭄지수간 상관성을 알아보기 위해 동일한 기간으로 산정된 가뭄지수값 간 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 산정하였다(Table 6). SPI와 SPEI 사이에는 상관성이 매우 높은 것으로 나타났으며, GVEI는 다소 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 이는 Fig. 4에서도 예측할 수 있는 결과이다. 그리고 3개월 단기가뭄보다는 12개월 장기가뭄으로 갈수록 가뭄지수간의 상관성이 높아지는 경향이 나타났다.

Fig. 3. GEVI Results at Six Cities

Table 4. The Ratio of Drought Occurrences to Total Observations by GEVI (%)

Range	Seoul				Daejeon				Daegu			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
ED	3.72	1.52	3.81	5.35	3.07	1.54	3.79	5.55	3.52	2.15	3.23	3.93
SD	6.68	10.57	8.69	3.90	8.02	10.81	7.93	3.81	7.20	9.90	7.69	6.48
MD	11.23	13.23	9.91	5.65	11.62	13.04	9.31	10.23	11.64	11.74	10.38	9.02
SLD	17.30	15.36	12.96	20.55	16.55	16.12	16.03	20.10	16.85	16.04	16.62	19.35
Range	Busan				Kwangju				Gangneung			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
ED	3.34	3.12	4.44	3.90	3.32	2.04	3.23	4.76	4.02	2.68	3.72	4.76
SD	7.74	9.13	6.33	6.26	7.60	10.20	8.19	7.03	6.61	8.45	7.44	4.04
MD	11.84	10.57	9.91	8.79	11.99	11.28	10.56	8.76	10.47	11.13	9.73	8.56
SLD	15.78	15.97	16.39	19.56	15.42	17.19	17.35	14.49	16.06	16.18	15.59	20.06

Fig. 4. SPEI Results at Six Cities

Table 5. The Ratio of Drought Occurrences to Total Observations by SPEI (%)

Range	Seoul				Daejeon				Daegu			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
ED	1.82	2.43	2.44	2.60	2.05	0.86	1.03	0.52	0.92	1.07	1.31	1.54
SD	4.32	3.59	4.80	4.97	3.75	4.80	4.48	5.72	5.44	4.91	4.15	3.70
MD	10.39	8.37	7.55	6.34	11.95	12.18	11.72	10.57	11.94	11.59	12.15	11.80
SLD	15.02	14.83	13.72	15.97	14.85	15.09	15.34	16.81	14.32	16.19	15.62	16.19
Range	Busan				Kwangju				Gangneung			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
ED	1.14	1.22	0.76	0.99	1.39	0.86	0.43	0.22	0.87	1.42	1.27	1.19
SD	4.93	4.64	4.42	4.58	4.82	6.34	7.33	6.49	5.28	5.52	6.09	5.31
MD	10.93	11.18	13.03	11.23	9.74	10.53	11.31	12.65	11.65	9.63	9.18	10.39
SLD	16.62	17.34	16.08	17.88	16.49	15.25	13.47	13.73	14.25	15.00	15.03	15.86

Fig. 5. Comparison of SPI, GEVI and SPEI Days of Drought in Seoul

Table 6. Pearson's Correlation Coefficient by Drought Index

		3 Month			6 Month			9 Month			12 Month		
		SPI	GEVI	SPEI	SPI	GEVI	SPEI	SPI	GEVI	SPEI	SPI	GEVI	SPEI
Seoul	SPI	1	0.475	0.993	1	0.517	0.994	1	0.736	0.994	1	0.952	0.995
	GEVI	0.475	1	0.47	0.517	1	0.513	0.736	1	0.738	0.952	1	0.953
	SPEI	0.993	0.47	1	0.994	0.513	1	0.994	0.738	1	0.995	0.953	1
Daejeon	SPI	1	0.466	0.995	1	0.503	0.997	1	0.717	0.998	1	0.973	0.998
	GEVI	0.466	1	0.463	0.503	1	0.503	0.717	1	0.717	0.973	1	0.970
	SPEI	0.995	0.463	1	0.997	0.503	1	0.998	0.717	1	0.998	0.970	1
Daegu	SPI	1	0.474	0.992	1	0.529	0.997	1	0.742	0.998	1	0.975	0.998
	GEVI	0.474	1	0.475	0.529	1	0.529	0.742	1	0.741	0.975	1	0.970
	SPEI	0.992	0.475	1	0.997	0.529	1	0.998	0.741	1	0.998	0.970	1
Busan	SPI	1	0.551	0.994	1	0.603	0.997	1	0.804	0.998	1	0.977	0.998
	GEVI	0.551	1	0.552	0.603	1	0.602	0.804	1	0.800	0.977	1	0.971
	SPEI	0.994	0.552	1	0.997	0.602	1	0.998	0.800	1	0.998	0.971	1
Kwangju	SPI	1	0.515	0.994	1	0.548	0.994	1	0.745	0.995	1	0.943	0.993
	GEVI	0.515	1	0.510	0.548	1	0.547	0.745	1	0.753	0.943	1	0.961
	SPEI	0.994	0.510	1	0.994	0.547	1	0.995	0.753	1	0.993	0.961	1
Gangneung	SPI	1	0.626	0.994	1	0.658	0.997	1	0.818	0.997	1	0.975	0.997
	GEVI	0.626	1	0.625	0.658	1	0.655	0.818	1	0.811	0.975	1	0.964
	SPEI	0.994	0.625	1	0.997	0.655	1	0.997	0.811	1	0.997	0.964	1

4.2.2 가뭄등급 비교

각 지수가 나타내는 가뭄의 심도간의 상관성을 비교하기 위하여 각 지수의 값을 'Normal=0', 'Slight drought=1',

'Moderately drought=2', 'Severely drought=3', 'Extremely drought=4'의 순위로 범주화하여 스피어만 상관계수를 산정하였다(Table 7). 피어슨 상관계수와 마찬가지로 SPI와 SPEI

Table 7. Spearman's Correlation Coefficient by Drought Index

		3 Month			6 Month			9 Month			12 Month		
		SPI	GEVI	SPEI	SPI	GEVI	SPEI	SPI	GEVI	SPEI	SPI	GEVI	SPEI
Seoul	SPI	1	0.370	0.981	1	0.337	0.977	1	0.551	0.976	1	0.984	0.98
	GEVI	0.370	1	0.367	0.337	1	0.309	0.551	1	0.523	0.984	1	0.983
	SPEI	0.981	0.367	1	0.977	0.309	1	0.976	0.523	1	0.980	0.983	1
Daejeon	SPI	1	0.360	0.978	1	0.298	0.977	1	0.529	0.974	1	0.994	0.980
	GEVI	0.360	1	0.352	0.298	1	0.296	0.529	1	0.538	0.994	1	0.980
	SPEI	0.978	0.352	1	0.977	0.296	1	0.974	0.538	1	0.980	0.980	1
Daegu	SPI	1	0.295	0.965	1	0.312	0.987	1	0.561	0.990	1	0.985	0.987
	GEVI	0.295	1	0.320	0.312	1	0.318	0.561	1	0.558	0.985	1	0.983
	SPEI	0.965	0.320	1	0.987	0.318	1	0.990	0.558	1	0.987	0.983	1
Busan	SPI	1	0.344	0.983	1	0.397	0.988	1	0.627	0.983	1	0.989	0.985
	GEVI	0.344	1	0.352	0.397	1	0.406	0.627	1	0.632	0.989	1	0.984
	SPEI	0.983	0.352	1	0.988	0.406	1	0.983	0.632	1	0.985	0.984	1
Kwangju	SPI	1	0.428	0.976	1	0.379	0.976	1	0.660	0.979	1	0.983	0.970
	GEVI	0.428	1	0.409	0.379	1	0.369	0.660	1	0.644	0.983	1	0.983
	SPEI	0.976	0.409	1	0.976	0.369	1	0.979	0.644	1	0.970	0.983	1
Gangneung	SPI	1	0.518	0.978	1	0.490	0.985	1	0.664	0.982	1	0.984	0.988
	GEVI	0.518	1	0.519	0.490	1	0.478	0.664	1	0.653	0.984	1	0.984
	SPEI	0.978	0.519	1	0.985	0.478	1	0.982	0.653	1	0.988	0.984	1

사이에는 상관성이 매우 높은 것으로 나타났으며, GEVI는 다소 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 다만, 12개월 가뭄의 경우 SPEI와 GEVI 모두 0.98이상의 매우 높은 상관성을 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 가뭄지수별 상관성 검토를 목적으로 가뭄 지수값을 산정하고 정량적인 값을 상호비교 하였다. 이를 위해, 서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 강릉 등 6개 도시에서 SPI, GEVI, SPEI 등 3개 가뭄지수값을 산정하고, 이를 기반으로 가뭄을 분류하였다. 가뭄 분석시간단위에 따른 가뭄지수 값은 전반적으로 유사한 경향을 나타내며 분석시간단위가 길어질수록 상대적으로 완만한 값이 나타나는 것으로 확인되었다. 가뭄지수별로 가뭄발생일을 비교한 결과 SPI, SPEI는 유사한 결과를 나타냈다. GEVI는 극한가뭄의 경우 앞의 두 가뭄지수와 발생일이 비슷하였으나, 얕은 심도의 가뭄에서는 발생일을 과대하게 산정하는 것으로 나타났다.

가뭄지수간의 상관성을 분석하기 위하여 피어슨 상관계수와 스피어만 상관계수를 산정하였다. 두 계수 모두 가뭄발생일과 마찬가지로 SPI, SPEI의 상관성은 매우 높게 나타났으며, GEVI의 상관성은 다소 낮게 나타났다. 다만, 가뭄분석 시간단위가 긴 장기가뭄평가의 경우 세 가뭄지수간의 상관성이 매우 높게 나타났다.

세 가뭄지수를 비교평가한 결과 가뭄의 심도가 높고, 가뭄기간이 긴 경우 어떤 가뭄지수를 사용하더라도 유사한 결과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다. 다만, 가뭄심도가 낮거나 단기가뭄의 경우 가뭄지수별로 평가결과가 다르게 나타날 수 있어, 가뭄지수 적용에 유의해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업의 연구비 지원(2019-MOIS31-010)에 의해 수행되었습니다.

References

- Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N., and Hrisanthou, V. (2012). Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water Resources Management*, Vol. 26, No. 9, pp. 2453-2473.
- Burke, E.J., Brown, S.J., and Christidis, N. (2006). Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre climate model. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 7, No. 5, pp. 1113-1125.
- Guttman, N.B. (1999). Acceptation the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal*

- of the American Water Resources Association, Vol. 35, No. 2, pp. 311-322.
- Heim, R.R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, No. 8, pp. 1149-1166.
- Keyantash, J., and Dracup, J. (2002). The quantification of drought: An evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, No. 8, pp. 1167-1180.
- Kim, B.S., Sung, J.H., Kang, H.S., and Cho, C.H. (2012). Assessment of drought severity over South Korea using standardized precipitation evapo-transpiration index (SPEI). *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 887-900.
- Kim, B.S., Sung, J.H., Lee, B.H., and Kim, D.J. (2013). Evaluation on the impact of extreme droughts in South Korea using the SPEI and RCP8.5 climate change scenario. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 2, pp. 97-109.
- Kim, H., Park, J., Yoon, J., and Kim, S. (2010). Application of SAD curve in assessing climate-change impacts on spatio-temporal characteristics of extreme drought events. *Journal of Korean Society Civil Engineering*, Vol. 30, No. 6B, pp. 561-569.
- Kim, J.H., Lee, J.H., Park, M.J., and Joo, J.G. (2016). Effect of climate change scenarios and regional climate models on the drought severity-duration-frequency analysis. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 2, pp. 351-361.
- Kwon, H.J., Park, H.J., Hong, D.O., and Kim, S.J. (2006). A study on semi-distributed hydrologic drought assessment modifying SWSI. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 8, pp. 645-658.
- Lana, X., Burgueño, A. (2000). Some statistical characteristics of monthly and annual pluviometric irregularity for the Spanish Mediterranean Coast. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 65, No. 1-2, pp. 79-97.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*, January 17-22, 1993, American Meteorological Society. Anaheim, CA, USA, pp. 179-184.
- Moon, J. W. (2011). Development of drought index based on hydrologic characteristics and water supply system in Korea. Master's thesis, Korea University.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought*. Research Paper, No. 45, U.S. Weather Bureau, U.S. Department of Commerce.
- Shafer, B.A., and Dezman, L.E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the 50th Annual Western Snow Conference*, Reno, NV, USA, pp. 164-175.
- Sheffield, J., and Wood, E.F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate Dynamics*, Vol. 31, No. 1, pp. 79-105.
- Svoboda, M., LeCompte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., et al. (2002). The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, No. 8, pp. 1181-1190.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., and López-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index-SPEI. *Journal of Climate*, Vol. 23, No. 7, pp. 1696-1718.
- Wang, C.H., Wang, Z., and Guo, Y. (2012). Application and verification of drought index in meteorology drought monitor and prediction. *Advances in Earth Science (China)*, Vol. 27, No. 9, pp. 957-968.
- Yoo, C.S., Kim, D.H., and Kim, S.D. (2006). Evaluation of agricultural drought prevention ability based on EOF analysis and multi-variate time series model. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 7, pp. 617-626.

Received	October 17, 2019
Revised	October 17, 2019
Accepted	October 21, 2019