

농업가뭄의 재해예측을 위한 가뭄지수 설정 연구

A Study on Establishment of Drought Index for Agricultural Disaster Prediction

송영석* · 주진걸** · 김하룡*** · 정상만**** · 박무중*****

Song, Youngseok*, Joo, Jingul**, Kim, Hayong***, Jeong, Sangman****, and Park, Moojong*****

Abstract

This study aims to establish a drought index for disaster prediction in Gyeongsangnam-do, where the most agricultural drought damage occurred from 1965 to 2018. The drought index was analyzed for each duration (3, 6, 9, 12 months) targeting the SPI. Damage characteristics of the duration of agricultural drought were calculated. SPI for each duration of agricultural drought damage period in Gyeongsangnam-do was at least -2.0 or less, and the maximum was -1.0 or more, and weak and moderate drought were analyzed. However, due to the heavy rain effect during the rainy season, the average SPI12 was -1.06, and the impact of agricultural drought was negligible. It was analyzed that the correlation between the damage period of agricultural drought and the SPI by duration was high. However, there is not much difference in SPI for each duration to determine the occurrence of damage. In this study, the criterion for disaster prediction of agricultural drought was calculated as representative drought index by year as the minimum drought index of SPI for each duration of damage occurrence period of past agricultural drought. The Standard of drought index for disaster prediction was set to -1.64, the average of the SPI for each duration of year in which damage occurred in the past.

Key words : Agricultural Drought, SPI Index, Disaster Prediction, Damage Characteristic

요 지

본 연구에서는 1965년부터 2018년까지 농업가뭄피해가 가장 많이 발생한 경상남도를 대상으로 재해예측을 위한 가뭄지수를 설정하고자 한다. 가뭄지수는 SPI를 대상으로 지속기간(3, 6, 9, 12개월)에 대하여 분석하였으며 농업가뭄이 발생한 지속기간의 피해특성을 산정하였다. 경상남도의 농업가뭄 피해기간에 대한 지속기간별 SPI는 최소 -2.0 이하, 최대 -1.0 이상으로 약한가뭄과 보통가뭄이 분석되었다. 그러나 장마기간의 호우영향으로 SPI12는 평균 -1.06이며 농업가뭄의 피해영향은 미미하였다. 농업가뭄의 피해기간과 지속기간별 SPI의 상관관계는 높은 것으로 분석되었으나 피해발생을 판단하기에는 지속기간별 SPI의 차이가 크지 않다. 본 연구에서는 농업가뭄의 재해예측을 위한 기준을 과거 농업가뭄의 피해발생기간에 지속기간별 SPI의 최소 가뭄지수를 연도별 대표 가뭄지수로 산정하였다. 재해예측을 위한 가뭄지수의 기준은 과거 피해가 발생한 연도의 지속기간별 SPI의 평균인 -1.64로 설정하였다.

핵심용어 : 농업가뭄, SPI 지수, 재해예측, 피해특성

*정회원, 대구공업대학교 토목조경과 조교수(E-mail: kind711@hanmail.net)

Member, Assistant Professor, Civil Engineering and Landscape Architectural, Daegu Technical University

**정회원, 동신대학교 토목환경공학과 부교수(E-mail: jgjoo@dsu.ac.kr)

Member, Associate Professor, Department of Civil Environmental Engineering, Dongshin University

***정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 건설환경연구실 책임연구원(E-mail: civilkhy@kongju.ac.kr)

Member, Assistant Fellow, Department of Construction Environment Research Land & Housing Institute

****정회원, 공주대학교 건설환경공학부 교수(E-mail: smjeong@kongju.ac.kr)

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

*****교신저자, 정회원, 한서대학교 토목공학과 교수(Tel: +82-70-8238-5646, Fax: +82-41-660-1119, E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

1. 서론

가뭄은 풍수해같이 단일 호우사상으로 피해가 발생하는 재해와는 달리 긴 시간에 걸쳐 광범위하게 발생된다. 최근 기후변화의 영향과 지구온난화로 기온이 상승, 강우발생일수의 감소, 증발산의 증가 등의 영향으로 가뭄의 피해는 증가할 것이라고 제시되고 있다(Trenberth et al., 2004). 또한, 기온의 상승은 가뭄의 발생 빈도를 증가시킬 것이며 수년간 지속될 경우 농업 및 수자원 분야에 막대한 영향을 미칠 것이다. 최근 다년간 지속적으로 발생하는 가뭄피해를 메가 가뭄으로 정의하는 연구가 다양한 방법으로 수행되고 있다(Woodhouse and Overpeck, 1998; Acuna-Soto et al., 2002; Benson et al., 2007; Shanahan et al., 2009; Buckley et al., 2010).

가뭄에 대한 연구는 강우량 자료, 가뭄지수, 통계기법, 기후모델 등의 매개변수를 활용하여 가뭄을 평가 및 예측하고 재해에 대한 정량적인 지표 개발하는 다양한 연구가 수행되었다. 전 세계에서 가장 많이 활용되고 있는 대표적인 가뭄지수는 Palmer (1965)에 의해 개발된 Palmer Drought Severity Index (PDSI)와 McKee et al. (1993)에 의해 개발된 Standardized Precipitation Index (SPI)가 있다. 다양한 연구에서 가뭄지수를 이용하여 가뭄의 피해를 최소화하기 위해 다양한 수문학적 인자들을 고려한 가뭄평가, 예측기법개발, 적용성 분석 등이 제안되고 있다. 가뭄을 평가하는 일반적인 방법으로 단기 또는 장기의 가뭄을 기상예측정보를 이용하여 지속시간별 SPI와 PDSI를 산정하여 예보선행시간이나 가뭄예측을 평가하는 연구를 수행하였다(Palmer, 1965; McKee et al., 1993, 1995; Vicente-Serrano et al., 2010; Mo and Lyon, 2015). 미국 버지니아 지역에서는 장기적인 가뭄의 특성을 PDSI로 산정하여 가뭄 조기경보 기준을 개발하였다(Lohani and Loganathan, 1997). 다양한 기간동안 수문학적 형상에 대한 임계 가뭄지속시간을 PDSI를 통해 가뭄을 예측하는 매개변수로 활용하였다(Rao and Padmanabhan, 1984). 많은 연구에서 가뭄을 예측하기 위해 가뭄지수를 산정하고 정확도를 평가하였으나 실제 가뭄피해에 대한 수문학적 인자를 비교하여 농업가뭄이 발생하는 강우량의 가뭄지수를 산정하여 재해예측을 위한 기준을 설정하는 연구는 수행되지 않았다.

Guttman (1998)과 Hayes et al. (1999)은 SPI와 PDSI를 비교한 결과, SPI가 통계적으로 일관성이 있으면서 시기별에 따라 장단기적으로 가뭄의 영향을 표현할 수 있는 장점을 가지고 있다고 제시하였다. 그래서 SPI는 사용자에 따라 특정 지역의 충분한 강우자료가 확보된다면 다양한 지속기간(1, 3, 6, 9, 12개월 등)에 대해 산정할 수 있다(Edwards, 1997). 수문학적 자료를 관리하기 위해 다양한 국가에서는 가뭄정보 시스템과 가뭄 예경보를 운영하고 있다. 또한, 가뭄을 예측하고 판단하는 기준을 수립하여 재난관리 담당

자가 의사결정을 할 수 있는 가뭄지수를 개발하였다(Steinmann, 2006; Cancelliere et al., 2007). 하지만 SPI의 계산 과정에서 강수 이외의 기온과 관련된 변수를 고려하지 않기 때문에 이에 대한 우려도 커지고 있다(Mavromatis, 2007; Kempes et al., 2008). 가뭄에 대한 영향을 다양한 가뭄지수에 대하여 가뭄피해의 예측과 평가하는 기준을 설정하고 시스템이 운영되지만 가뭄을 대상으로 실제 피해가 발생한 기간의 가뭄지수를 산정하여 가뭄예방을 위한 기준 수립은 연구되지 않았다.

본 연구에서는 경상남도를 대상으로 농업가뭄의 피해사례를 조사하여 재해예측을 위한 가뭄지수를 산정하고 기준을 설정하고자 한다. 1965년부터 2018년까지 발생한 농업가뭄 피해기간의 강우량을 분석하여 SPI에 대한 지속기간별 정량적인 가뭄지수를 제시한다. 또한, 분석된 가뭄지수와 농업가뭄 피해특성을 고려한 가뭄지수의 상관관계를 분석하여 지속기간을 고려한 가뭄지수를 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 Standardized Precipitation Index (SPI)

McKee et al. (1993, 1995)은 강수량이 감소하기 시작하면 물의 수요에 비해 상대적으로 물의 공급이 부족한 상태는 가뭄발생이 시작된다는 것을 착안하여 가뭄에 대한 크기를 분석할 수 있는 SPI를 개발하였다. SPI의 분석은 시간단위나 월단위를 기준으로 누가강수시계열을 산정하여 지속시간별 시계열을 분석한다. 지속시간별 시계열 강우량을 월별로 분석하여 변량의 누가확률을 산정하고 표준정규분포에 적용시켜 산정한다. SPI를 이용한 가뭄분석은 Gamma 확률밀도함수를 이용하여 해당 관측지점에 대한 강수량의 주기분포를 토대로 시간축별로 3개월, 6개월, 9개월, 12개월 등의 가뭄지수를 추정한다. 가뭄의 사공간적인 변동성을 파악하기 위해 SPI를 활용하였으며 가뭄정도의 판정은 Table 1과 같다.

SPI의 매개변수 추정은 최우도법(Maximum likelihood method)을 사용하였으며 Eq. (1)을 통해 계산된 매개변수를

Table 1. Drought Classification by SPI Value and Corresponding Event Probability

SPI Values	Drought Category	Occurrence Probability (%)
$2.00 \leq X$	Extremely wet	2.3
1.50 ~ 1.99	Very wet	4.4
1.00 ~ 1.49	Moderately wet	9.2
-0.99 ~ 0.99	Near normal	68.2
-1.49 ~ -1.00	Moderately dry	9.2
-1.99 ~ -1.50	Severe dry	4.4
$X \leq -2.00$	Extremely dry	2.3

이용하여 대상지점의 시간간격에 대한 강우사상의 누가확률을 분석한다.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

여기서, α 는 형상매개변수(Shape parameter), β 는 축척매개변수(Scale parameter), x 는 강수량이며 Gamma 확률밀도함수의 계수로 지정된 시간 축척별 따라 해당 관측지점별로 추정된다. 이에 대한 α , β 의 추정치는 Eq. (2)~Eq. (3)에 의해서 계산할 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{\frac{1+4A}{3}}\right), \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (2)$$

$$A = 1n(\bar{x}) - \frac{\sum 1n(x)}{n} \quad (3)$$

그리고, n 은 강수량 자료의 개수이며, 얻어진 매개변수들은 다음과 같은 누가확률분포 함수식에서 Eq. (4)와 같이 이용된다.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (4)$$

위의 식에서 $t = x/\beta$ 로 하면 Eq. (5)와 같이 정리된다.

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^t x^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (5)$$

Gamma 함수는 $x = 0$ 으로 정의되지 않으나 강수량이 0인 경우가 있으므로, 누가확률은 Eq. (6)과 같다.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (6)$$

q 는 0인 경우의 확률로서 무강우 일수를 m , 강우관측일수를 n 이라고 하면 무강우 확률 q 는 $q = m/n$ 으로 나타낼 수 있다. 누가 확률 $H(x)$ 를 다시 평균 0 분산 1의 표준정규분포의 임의 변수 Z 로 나타낼 수 있도록 변환하면 SPI 값이 된다(Eq. (7)~Eq. (10)).

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{a + d_1 t + d_2 t + d_3 t} \right) \quad (7)$$

for $0 < H(x) \leq 0.5$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{a + d_1 t + d_2 t + d_3 t} \right) \quad (8)$$

for $0 < H(x) \leq 1.0$

$$t = \sqrt{1n\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad (9)$$

for $0 < H(x) \leq 0.5$

$$t = \sqrt{1n\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad (10)$$

for $0 < H(x) \leq 1.0$

여기서, $C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.802853$, $C_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$ 이며 x 는 강수량이며 $H(x)$ 는 강수량 관측 값의 누가확률이며 C_0 , C_1 , C_2 , d_1 , d_2 , d_3 는 상수 값이 된다.

2.2 농업가뭇의 피해현황

우리나라의 가뭇은 과거 약 10년을 주기로 큰 피해가 발생하였으며 2018년 ‘자연재해대책법 시행령, 2018. 06’의 개정으로 가뭇이 자연재해에 포함되어 과거 풍수해에 대한 피해가 대부분 이었다면 가뭇에 대한 체계적인 재난관리, 저감계획 등의 재해예방을 위한 제도의 개선과 피해현황에 대한 자료의 구축이 진행되고 있다. 2018년 이전의 가뭇의 피해현황은 지방정부에서 현황 파악용으로 기록된 피해자료가 전부이며 큰 가뭇피해 발생시 부처에서 ‘가뭇기록조사 보고서(1995, 2001)’, ‘이상기후보고서(2010-2018)’, ‘가뭇정보통계집(2019)’ 등의 보고서를 발간하였다. 본 연구에서는 우리나라에서 발생한 가뭇피해를 대상으로 1965년부터 2018년까지 발생한 가뭇에 대한 피해현황을 분석하고자 한다. 과거 발생한 가뭇의 피해는 대부분 농업가뭇으로서 논과 밭에 대한 피해만 제시되어 있을 뿐 생활가뭇이나 공업가뭇에 대한 피해자료는 구축되어 있지 않다. 우리나라에서 1965년부터 2018년까지 발생한 지자체별 농업가뭇 피해현황은 Fig. 1과 같다.

대한민국에서 1965년부터 2018년까지 논과 밭에서 작물의 고사와 시듦 등의 피해가 발생한 농업가뭇은 총 32회가 발생하였다. 농업가뭇의 피해는 최소 1개에서 많게는 12개의 지자체에서 피해가 발생하였으며 울산광역시만 피해가 발생하지 않았다. 농업가뭇의 피해는 최소 1개에서 많게는 12개의 지방정부에서 피해가 발생하였으며 울산광역시는 농업가뭇의 피해가 발생하지 않았다. 지자체에서 발생한 농업가뭇의 피해발생 횟수는 울산광역시를 제외하고 최소 1회에서 많게는 20회의 피해가 발생하였다. 농업가뭇의 피해는 특별시도와 광역시에서는 최소 0회에서 최대 2회가 발생하였으며 8개의 시도에서 최소 7회에서 최대 20회가 발생하였다.

가뭇피해가 10회 이상 발생한 지자체는 강원도가 15회, 경기도가 12회, 경상남도가 20회, 경상북도가 18회, 전라남도가 18회, 전라북도가 12회, 충청남도가 16회, 충청북도가

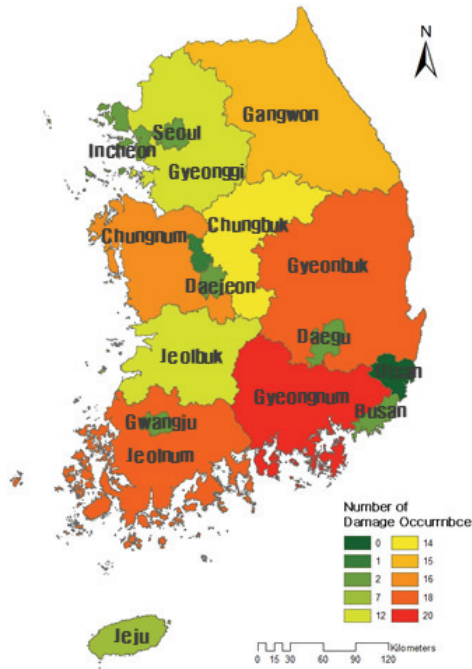


Fig. 1. Number of Agricultural Drought Damage Occurrences by Municipality (1965-2018)

14회로 특광역시를 제외한 지자체에서 대부분 농업가뭄의 피해가 발생하였다. 농업가뭄의 피해현황은 1965년부터 1982년까지는 매년 지속적인 피해가 발생하였다면 그 이후에는 1994년과 1995년, 2000년, 2001년, 2006년, 2013년 ~ 2018년에 가뭄피해가 발생하였다. 농업가뭄의 피해지역은 총 32회의 농업가뭄 피해기간 동안 145개의 지방정부에서 발생하였으며 평균적으로 4개 ~ 5개의 지역이 농업가뭄의 피해영향에 포함되었다.

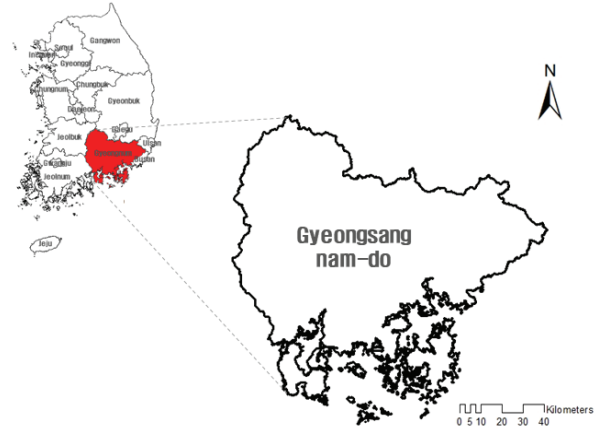
3. 농업가뭄피해를 고려한 가뭄지수 분석

3.1 대상지역 및 강우분석

본 연구에서는 과거 우리나라에서 1965년부터 2018년까지 발생한 농업가뭄피해를 고려한 가뭄지수를 분석하고자 한다. 대상지역은 17개 지자체 중에 총 농업가뭄 피해 32회 중 50%인 16회 이상이고 지속적인 가뭄피해가 5년 이상 지속된 경상남도를 대상지역으로 Fig. 2(a)와 같이 선정하였다. 우리나라는 지자체뿐만 아니라 다양한 부처에서 강우관측소를 운영하고 있으나, 설계기준이나 재해저감계획 등에서는 기상청에서 운영하고 30년 이상의 관측자료를 확보하고 있는 강우관측소를 사용하고 있다.

경상남도를 대상으로 강우량을 분석하기 위해서 경상남도 지역에 포함된 강우관측소와 인근지역에 위치한 강우관측소 15개를 선정하여 티센다각형을 작도하였다. 경상남도의 강우량을 산정하기 위해서는 다양한 설계기준에서 활용하고 있는 티센다각형 방법을 사용하였으며 경상남도와

강우관측소에 대한 티센다각형은 Fig. 2(b)와 같이 분석되었다. 경상남도의 강우량 산정은 티센다각형의 면적비를 가중치로 부여하여 평균 강우량을 산정하였다. 기상청에서 운영하고 있는 강우관측소의 관측기간은 1965년 ~ 2018년까지 일단위 강우량을 수집하였으며 15개 강우관측소의 지점번호, 관측소명, 티센가중치는 Table 2와 같다.



(a) Gyeongsangnam-do



(b) Rain gauge and Thiessen Polygon

Fig. 2. Study Area and Rain gauge

3.2 가뭄지수 분석

본 연구에서는 경상남도를 대상으로 15개 강우관측소에서 1965년부터 2018년까지 관측된 강우자료를 이용하여 지속기간 3개월, 6개월, 9개월, 12개월의 SPI를 분석하였다. SPI는 각 월별 지속시간에 따라 SPI 3은 가뭄지수가 최소 -3.23에서 최대 2.90, SPI 6은 최소 -2.83에서 최대 2.42, SPI 9는 최소 -2.36에서 최대 2.41, SPI 12는 최소 -2.60에서 최대 2.82가 Fig. 3과 같이 분석되었다.

SPI는 가뭄지수가 -1.0 이하일 때 가뭄으로 진입한다고 판단하며 -1.0 ~ -1.5는 약한가뭄, -1.5 ~ -2.0은 보통가뭄,

Table 2. Thiessen Weight by Rainfall Station

Station Index	Station Name	Thiessen weight	Station Index	Station Name	Thiessen weight
143	Daegu	0.001	279	Gumi	0.095
152	Ulsan	0.016	284	Geochang	0.107
155	Changwon	0.088	285	Hapcheon	0.118
159	Busan	0.028	288	Miryang	0.154
162	Tongyeong	0.036	289	Sancheong	0.120
192	Jinju	0.125	294	Geoje	0.037
247	Namwon	0.001	295	Namhae	0.053
248	Jangju	0.021	SUM	15	1.000

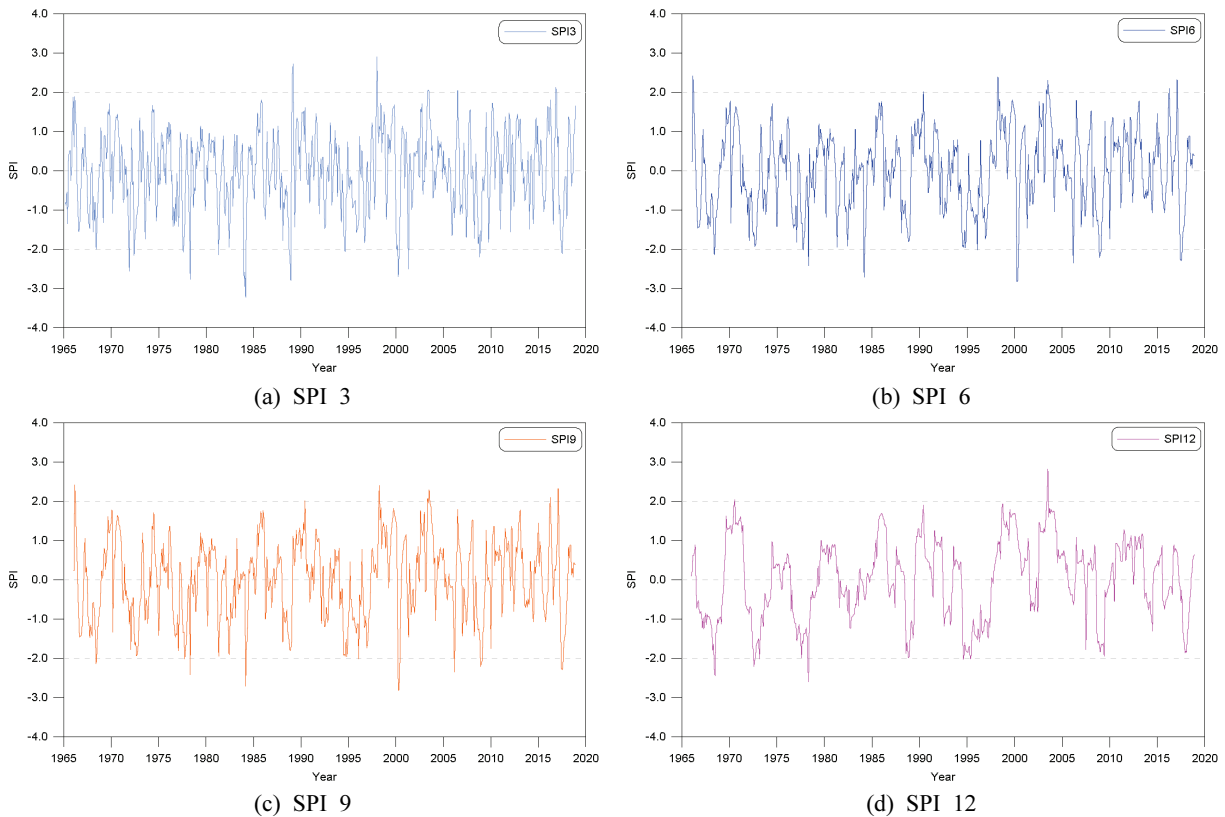


Fig. 3. Analysis of SPI by Duration

-2.0 이하는 심한가뭄이 발생하는 것으로 판단한다. 경상남도의 SPI 3에서 -1.0 이하의 가뭄은 총 40회가 분석되었으며 -1.5 이상의 약한가뭄은 18회, -2.0 이상의 보통가뭄은 9회, -2.0 이하의 심한가뭄은 13회가 발생하였다. SPI 6에서 -1.0 이하의 가뭄은 총 29회가 분석되었으며 -1.5 이상의 약한가뭄은 12회, -2.0 이상의 보통가뭄은 9회, -2.0 이하의 심한가뭄은 8회가 발생하였다. SPI 9에서 -1.0 이하의 가뭄은 총 18회가 분석되었으며 -1.5 이상의 약한가뭄은 6회, -2.0 이상의 보통가뭄은 5회, -2.0 이하의 심한가뭄은 7회가 발생하였다. SPI 12에서 -1.0 이하의 가뭄은 총 11회가 분석되었으며 -1.5 이상의 약한가뭄은 3회, -2.0 이상의 보통가뭄은 4회, -2.0 이하의 심한가뭄은 4회가 발생하였다.

4. 농업가뭄의 재해예측을 위한 기준 설정

4.1 농업가뭄 피해특성을 고려한 가뭄지수 분석

경상남도에서 1965년부터 2018년까지 발생한 농업가뭄의 피해현황을 조사하였으며 각 가뭄피해에 대한 재해발생기간을 분석하였다(Fig. 4). 경상남도의 농업가뭄은 총 20회가 발생하였으며 대부분의 재해발생기간은 5월부터 9월 사이에 대부분의 피해가 발생하였으며 장마기간을 전후로 해결되었다. 그 외 2000년은 2월부터 5월까지 봄 가뭄이 2008년은 9월부터 12월까지 가을 가뭄이 발생하였다. 가뭄의 지속기간은 1980년 이전에는 6월부터 9월까지 4개월이 1980년 이후에는 5월부터 8월 사이에 짧게는 1개월 길게는 2개월 동안 가뭄이 지속되었다.

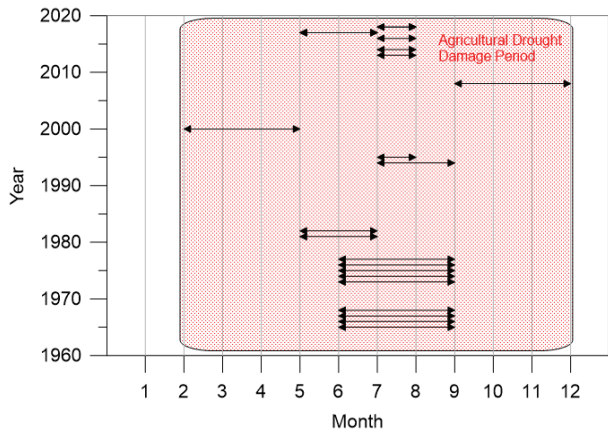


Fig. 4. Agricultural Drought Damage Period in Gyeongsangnam-do (1965-2018)

우리나라의 농업가뭄피해에 대한 지속시간은 4개월 이하이며 대부분 여름철 장마전선의 영향으로 가뭄이 종료된다. 이러한 영향으로 가뭄의 피해가 대부분 단기가뭄의 형태로 발생되기 때문에 지속시간이 긴 SPI를 분석하면 SPI 3에서는 가뭄이 발생하였는데 SPI 6에서는 가뭄이 해결되는 결과가 분석된다. 따라서, 본 연구에서는 SPI에 대한 가뭄피해기간을 적용할 때 가뭄지수가 0.0 이상의 경우 분석자료에서 제외하였다. 농업가뭄 피해발생기간에 대하여 지속시간별

SPI의 분석결과를 Fig. 5와 같이 산정하였다.

농업가뭄 피해기간의 SPI 3은 평균 -1.52 로 약한가뭄이며 최대 -0.36 에서 최소 -2.20 , SPI 6은 평균 -1.65 로 보통가뭄이며 최대 -0.65 에서 최소 -2.83 , SPI 9는 평균 -1.31 로 약한가뭄이며 최대 -0.18 에서 최소 -2.36 , SPI 12는 평균 -1.06 로 약한가뭄이며 최대 -0.07 에서 최소 -2.45 가 분석되었다 (Table 3). 지속시간별 SPI의 분석결과 농업가뭄의 피해범위는 최소 -2.0 이하, 최대 -1.0 이상에서 발생하는 것은 비슷하였다. 그러나 지속시간별 SPI의 평균은 SPI 3에서 SPI 6은 증가하는 반면 SPI 9에서 SPI 12는 감소하는 가뭄지수를 나타내는 것으로 보아 우리나라 장마기간의 호우영향이 반영된 것으로 판단된다.

4.2 재해예측을 위한 가뭄지수 기준 설정

지속시간별 SPI에 대하여 농업가뭄의 피해기간동안 발생된 연도별 최소 가뭄지수와 경상남도의 -1.0 이하로 약한가뭄이 발생하는 연도별 최소 가뭄지수에 대하여 상관계수 (Coefficient of correlation)를 Fig. 6과 같이 분석하였다. SPI 3의 -1.0 이하로 약한가뭄이 발생하는 경상남도의 연도별 최소 가뭄지수 40개와 농업가뭄 피해가 발생한 연도의 최소 가뭄지수 20개의 상관계수는 0.749 로 양의 상관성이 높은 것을 분석되었다. SPI 6의 -1.0 이하로 약한가뭄이 발생하는 경상남도의 연도별 최소 가뭄지수 29개와 농업가뭄 피해가

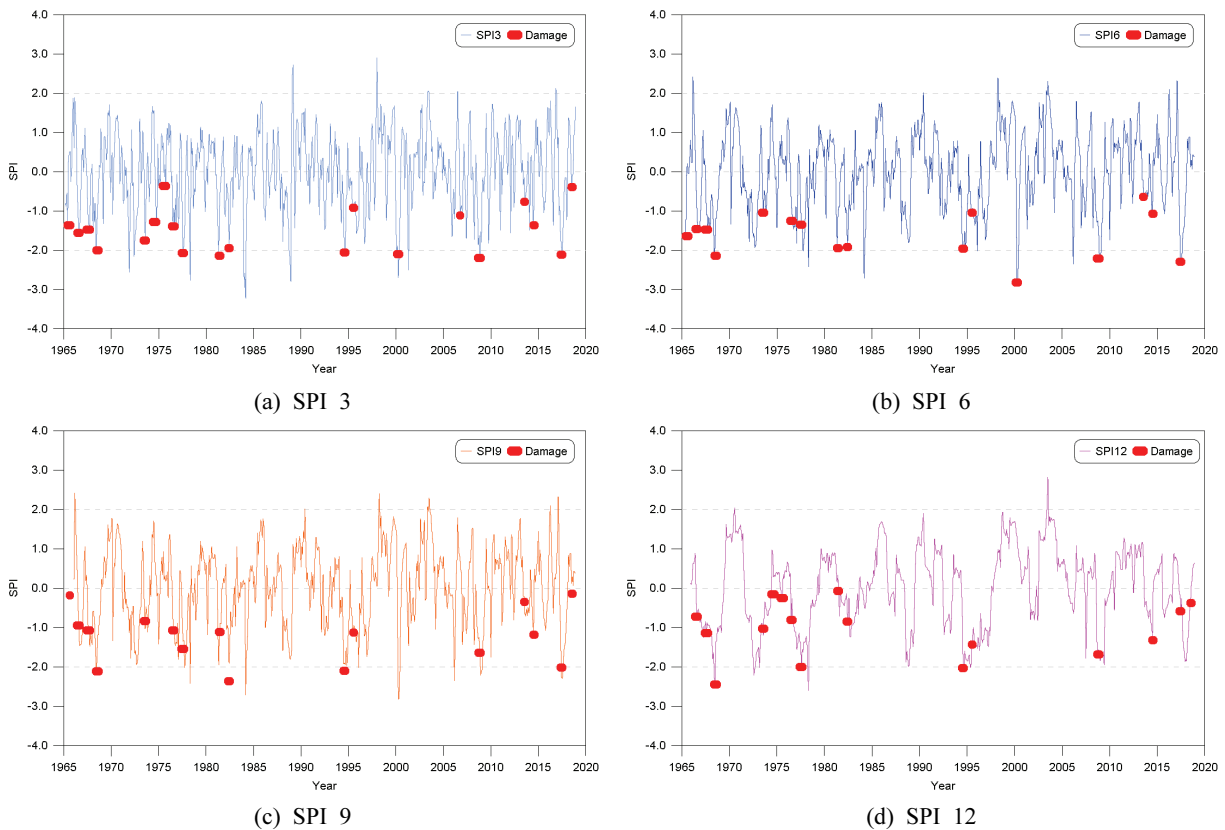
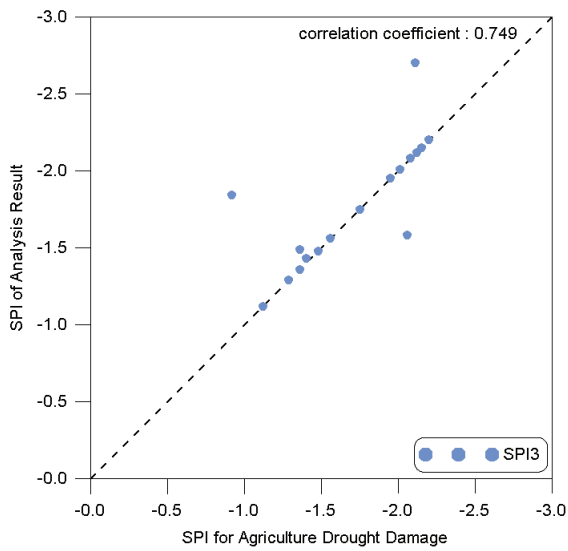


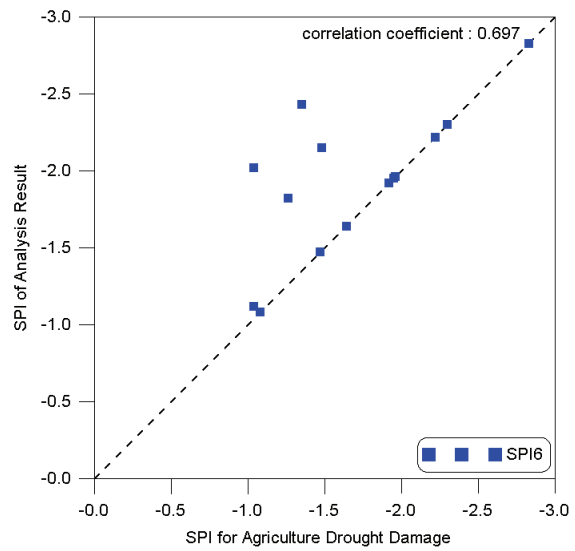
Fig. 5. Establishment of Drought Disaster Period considering Damage of Agricultural Drought

Table 3. SPI by Duration of Agricultural Drought Damage Period

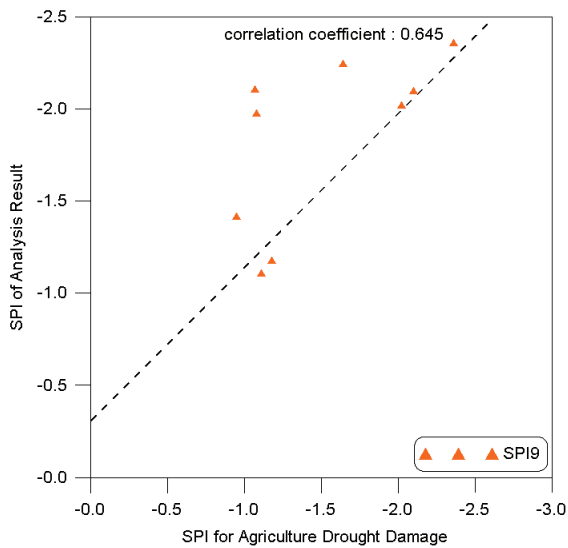
Year	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12	Year	SPI 3	SPI 6	SPI 9	SPI 12
1965	-1.36	-1.64	-0.18	-	1995	-0.92	-1.04	-1.13	-1.44
1966	-1.56	-1.47	-0.95	-0.73	2000	-2.11	-2.83	-	-
1967	-1.48	-1.48	-1.07	-1.14	2006	-1.12	-	-	-
1968	-2.01	-2.15	-2.11	-2.45	2008	-2.2	-2.22	-1.64	-1.68
1973	-1.75	-1.04	-0.84	-1.03	2013	-0.77	-0.65	-0.35	-
1974	-1.29	-	-	-0.15	2014	-1.36	-1.08	-1.18	-1.32
1975	-0.36	-	-	-0.25	2017	-2.12	-2.3	-2.02	-0.59
1976	-1.4	-1.26	-1.08	-0.81	2018	-0.39			-0.38
1977	-2.08	-1.35	-1.54	-2	Average	-1.52	-1.65	-1.31	-1.06
1981	-2.15	-1.95	-1.11	-0.07	Max	-0.36	-0.65	-0.18	-0.07
1982	-1.95	-1.92	-2.36	-0.85	Min	-2.20	-2.83	-2.36	-2.45
1994	-2.06	-1.96	-2.1	-2.03					



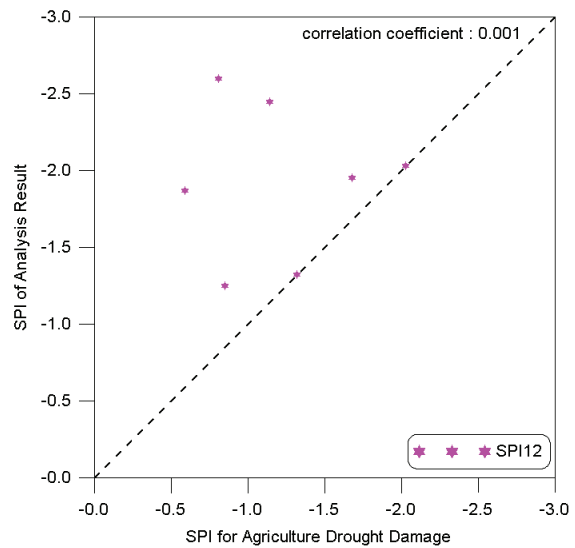
(a) SPI 3



(b) SPI 6



(c) SPI 9



(d) SPI 12

Fig. 6. Correlation Coefficient of SPI by Duration

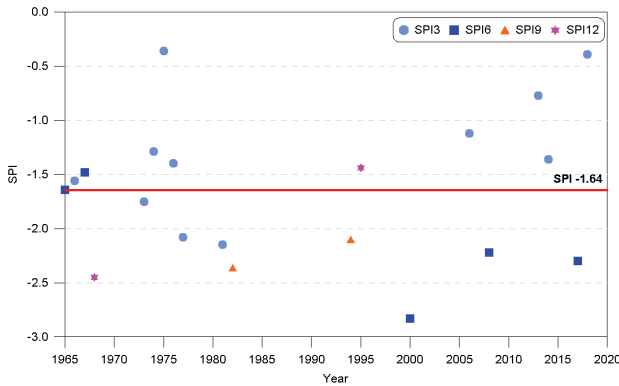


Fig. 7. Establishment of Drought Index Criteria for Disaster Prediction

발생된 연도의 최소 가뭄지수 16개의 상관계수는 0.697로 양의 상관성이 높은 것을 분석되었다. SPI 9의 -1.0 이하로 약한가뭄이 발생하는 경상남도의 연도별 최소 가뭄지수 18개와 농업가뭄 피해가 발생한 연도의 최소 가뭄지수 15개의 상관계수는 0.645로 양의 상관성이 높은 것을 분석되었다. SPI 12의 -1.0 이하로 약한가뭄이 발생하는 경상남도의 연도별 최소 가뭄지수 12개와 농업가뭄 피해가 발생한 연도의 최소 가뭄지수 16개의 상관계수는 0.001로 무상관으로 분석되었다. 따라서, 우리나라에서 발생한 농업가뭄의 피해특성을 고려한 재해예측은 SPI 3, SPI 6, SPI 9는 영향이 높으며 SPI 12는 농업가뭄의 피해와는 영향이 미미한 것으로 분석되었다.

경상남도에서 발생한 농업가뭄의 피해기간과 지속기간별 SPI의 상관관계는 높은 것으로 분석되었으나 재해예측을 위한 가뭄지수의 기준을 제안하기에는 어려움이 있다. 어떤 지속기간별 SPI가 농업가뭄의 피해발생을 예측하였는지 판단하기에는 지속기간별 SPI의 차이가 크게 발생하지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 농업가뭄의 재해예측을 위한 기준을 과거 농업가뭄의 피해가 발생한 기간의 지속기간별 (3개월, 6개월, 9개월, 12개월) SPI에 최소 가뭄지수를 연도별 대표 가뭄지수로 산정하여 통합적 기준을 Fig. 7과 같이 제안하고자 한다. 연도별 과거 농업가뭄의 지속기간별 최소 SPI는 피해횟수 총 20회 중에 SPI 3이 12회, SPI 6이 4회, SPI 9가 2회, SPI 12가 2회로 분석되었다. 농업가뭄의 재해예측을 위한 가뭄지수의 기준은 과거 피해가 발생한 연도의 지속기간별 SPI의 평균인 -1.64로 설정하였다.

5. 결론

가뭄은 장기간 수문기상의 불균형으로 강우량이 감소하여 발생하는 자연재해로서 농업, 생활, 공업 등의 다양한 분야에 걸쳐 영향을 미친다. 또한, 장기적인 가뭄의 발생은 물부족, 농작물 고사, 저수지 고갈 등의 문제에 영향을 미치며 매년 또는 계절별로 피해를 발생시킨다. 본 연구에서는

우리나라에서 1965년부터 2018년까지 발생한 농업가뭄의 피해사례를 조사하여 가장 많은 피해가 발생한 경상남도를 대상으로 농업가뭄의 재해예측을 위한 가뭄지수를 설정하였다.

경상남도는 1965년부터 2018년까지 농업가뭄피해의 발생은 총 20회이고 5년간 연속적으로 피해가 발생한 지역이다. 강우량 분석은 기상청에서 30년 이상의 관측자료를 보유하고 있는 15개 강우관측소를 대상으로 티센다각형의 면적 비율을 적용하여 경상남도의 강우량을 산정하였다. 농업가뭄에 대한 재해예측을 SPI로 분석한 결과 지속기간별 -1.0 이하의 가뭄지수는 SPI 3이 40회, SPI 6이 29회, SPI 9가 18회, SPI 12는 11회가 분석되었다. 또한, 과거 농업가뭄 피해기간의 지속기간별 평균 SPI는 SPI 3이 -1.52, SPI 6이 -1.65, SPI 9가 -1.31, SPI 12가 -1.06으로 장기가뭄으로 갈수록 가뭄지수가 감소하였다. 그 이유는 우리나라에서 발생하는 농업가뭄피해는 장마기간을 전후로 대부분 4개월 이전에 해결되는 영향인 것으로 판단된다.

농업가뭄의 재해예측을 위한 기준은 농업가뭄의 피해기간동안 발생한 연도별 최소 가뭄지수와 -1.0 이하로 약한가뭄이 발생하는 연도별 최소 가뭄지수에 대하여 상관관계를 분석하였다. SPI 3, SPI 6, SPI 9는 상관계수가 0.65 이상으로 양의 상관성이 높으나 SPI 12는 무상관성이 분석되었다. 지속기간별 SPI의 상관계수는 높으나 어떤 지속기간별 SPI가 농업가뭄의 피해발생을 예측하였는지 판단하기에는 지속기간별 SPI의 차이가 크게 발생되지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 농업가뭄의 재해예측을 위한 기준을 과거 농업가뭄의 피해가 발생한 기간의 지속기간별 SPI에 최소 가뭄지수를 연도별 대표 가뭄지수로 산정하여 기준을 분석하였다. 농업가뭄의 재해예측을 위한 가뭄지수의 기준은 과거 피해가 발생한 연도의 지속기간별 SPI의 평균인 -1.64로 설정하였다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2019002950003).

References

- Acuna-Soto, R., Stahle, D.W., Cleaveland, M.K., and Therrell, M.D. (2002). Megadrought and megadeath in 16th century Mexico. *Emerg. Infect. Dis.*, Vol. 8, No. 4, pp. 360-362.
- Benson, L., Petersen, K., and Stein, J. (2007). Anasazi (pre-Columbian Native-American) migrations during the middle-12th and late-13th centuries - Were they

- drought induced? *Clim. Change*, Vol. 83, No. 1, pp. 187-213.
- Buckley, B.M., Anchukaitis, K.J., Penny, D., Fletcher, R., Cook, E.R., Sano, M., et al. (2010). Climate as a contributing factor in the demise of Angkor, Cambodia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 107, No. 15, pp. 6748-6752.
- Cancelliere, A., Di Mauro, G., Bonaccorso, B., and Rossi, G. (2007). Drought forecasting using the standardized precipitation index. *Water Resour. Manag.*, Vol. 21, No. 5, pp. 801-819.
- Edwards, D.C. (1997). *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Master's thesis, Colorado State Univ., Colorado, USA
- Guttman, N.B. (1998). Comparing the Palmer drought severity index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 34, No. 1, pp. 113-121.
- Hayes, M.J., Svoboda, M., Wilhite, D.A., and Vanyarkho, O. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 80, No. 3, pp. 429-438.
- Kempes, C.P., Myers, O.B., Breshears, D.D., and Ebersole, J.J. (2008). Comparing response of *Pinus edulis* tree-ring growth to five alternate moisture indices using historic meteorological data. *Journal of Arid Environments*, Vol. 72, No. 4, pp. 350-357.
- Lohani, V.K., and Loganathan, G.V. (1997). An early warning system for drought management using the Palmer drought index. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, Vol. 33, No. 6, pp. 1375-1386.
- Mavromatis, T. (2007). Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*, Vol. 27, pp. 911-924.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of 8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, January 17-22, pp. 179-183.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. *Proceedings of the 9th AMS Conference on Applied Climatology*, Dallas, TX, January 15-20, pp. 233-236.
- Mo, K.C., and Lyon, B. (2015). Global meteorological drought prediction using the North American multi-model ensemble. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 16, No. 3, pp. 1409-1424.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorologic drought*. Weather Bureau Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce.
- Rao, A.R., and Padmanabhan, G. (1984). Analysis and modeling of Palmer drought index series. *J. Hydrol.*, Vol. 68, No. 1-4, pp. 211-229.
- Shanahan, T.M., Overpeck, J.T., Anchukaitis, K.J., Beck, J.W., Cole, J.E., Dettman, D.L., et al. (2009). Atlantic forcing of persistent drought in West Africa. *Science*, Vol. 324, No. 5925, pp. 377-380.
- Steinemann, A.C. (2006). Using climate forecasts for drought management. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, Vol. 45, No. 10, pp. 1353-1361.
- Trenberth, K., Overpeck, J., and Solomon, S. (2004). Exploring drought and its implications for the future. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, Vol. 85, No. 3, p. 27.
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., and López-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.*, Vol. 23, No. 7, pp. 1696-1718.
- Woodhouse, C.A., and Overpeck, J.T. (1998). 2000 years of drought variability in the central United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 79, No. 12, pp. 2693-2714.

Received	September 8, 2020
Revised	September 10, 2020
Accepted	September 15, 2020