수정 SPI 지수(Modify Standardized Precipitation Index) 제시 및 과거 극한가뭄사례를 이용한 효용성 평가

Modified Standardized Precipitation Index and Evaluation of its Effectiveness using Past Extreme Drought Cases

정세진* · 박종렬** · 양동민*** · 김병식****

Jeung, Sejin*, Park, Jongyul**, Yang, Dongmin***, and Kim, Byungsik****

Abstract

The standardized precipitation index (SPI) was developed based on the fact that if precipitation decreases, a relative shortage of water would occur compared to the required water demand, resulting in drought. However, similar to other drought indexes, the relative standard distribution of the time series of precipitation or runoff is calculated. The analysis suggests that relatively high-rainfall areas occur with no actual occurrence. Hence, modified drought analysis techniques are required to mitigate this phenomenon. Therefore, in this paper, a gamma distribution, calculated for the time series of points in the SPI calculation process, was expanded nationwide, and the drought index was calculated by applying it to the standard regular distribution after the calculation. In addition, the modified SPI (M-SPI) was verified for its effectiveness using the extreme drought and drought duration in areas where there was limited water supply in the past. Consequently, the SPI recognized drought only in 1995, 2001, and 2014, while the drought duration in 2010 and 2014 remained underestimated as a result of the comparison with the year of limited water supply and the results of the SPI and M-SPI. However, the M-SPI determined droughts in 1995, 1996, 2001, and 2010. In the case of Yeosu, although the SPI did not recognize two extreme droughts, M-SPI successfully recognized one extreme drought. In the case of Goheung, both the drought indexes recognized extreme drought.

Key words : Extreme Drought, M-SPI, SPI, Space Time Series, Gamma Distribution

요 지

SPI지수는 강수량이 감소하기 시작하면 필요한 물수요에 비해서 상대적으로 물부족을 유발하게 되고, 가뭄발생의 발단이 된다는 것에 착안하여 개발된 지수이다. 하지만 다른 가뭄지수와 마찬가지로 강수량 또는 유출량 시계열을 상대적인 표준정규분포로 산정하였기 때문에 인근 지역에 비해 상대적으로 강수량이 많은 지역도 실제로 발생하지 않은 가뭄이 발생한다고 분석이 된다. 이러한 현상을 완화시키기 위해 수정된 가뭄분석 기법이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 이런 현상을 완화시키기 위해 SPI지수 계산과정에서 해당지점의 시계열을 대상으로 계산되는 Gamma 분포를 전국으로 확장 시켜 산정 후 표준정규분포에 적용하여 가뭄지수를 산정하였다. 또한 과거 제한급수가 발생했던 지역을 대상으로 극한가뭄과 가뭄지속기간을 이용하여 M-SPI지수의 효용성을 확인한 결과, 제한급수 실시년도와 SPI, M-SPI 결과와의 비교결과 속초의 경우 SPI지수가 1995년, 2001년, 2014년 만 가뭄으로 인식하였고, 2010년과 2014년의 가뭄지속기간은 과소 추정되었다. 하지만 M-SPI는 1995년, 1996년, 2001년, 2010년을 가뭄으로 인식하였다. 여수의 경우 SPI는 2개의 극한가뭄을 인식하지 못하였지만, M-SPI는 1개의 극한가뭄을 인식하였다. 고흥의 경우 두 가뭄지수 모두 극한가뭄을 인식하였다.

핵심용어 : 극한가뭄, M-SPI, SPI, 공간시계열, Gamma 분포

*정회원, 노아에스앤씨(주) 공공사업부 과장(공학박사) (E-mail: climate@noaa.co.kr)

Member, Ph.D., Manager, Gov. & Public Business division, NOAA SNC Co., Ltd.

**정회원, 노아에스앤씨(주) 공공사업부 차장(E-mail: jrpark82@noaa.co.kr)

Member, Deputy General Manager, Gov. & Public Business division, NOAA SNC Co., Ltd.

***정회원, 노아에스앤씨(주) 대표(공학박사) (E-mail: ydm320@noaa.co.kr)

Member, Ph.D., CEO, NOAA SNC Co., Ltd.

****교신저자, 정회원, 강원대학교 방재전문대학원 도시환경·재난관리전공 교수(Tel: +82-33-570-6819, Fax: +82-33-570-6819, E-mail: hydrokbs@kangwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Dep. of Urban Environment & Disaster Management, Kangwon National University

1. 서 론

지구온난화로 인한 기후변화는 대규모의 심각한 악영향을 미칠 것으로 예측됨에 따라 전 세계적으로 이슈가 되고 있다. 이러한 기후변화는 인간 삶의 기반 약화, 생태계의 악화, 수자원 및 식량문제, 해안 및 저지대의 위협, 산업 및 인간의 건강을 해치는 등 여러 부문에 광범위하게 영향을 미칠 것이며, 기온상승으로 인한 증발산량의 증가는 극한 가뭄발생에 큰 위협이 된다. 가뭄은 기후학적, 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄으로 크게 4개로 구분 할 수 있으며, 기후학적 가뭄은 사용 가능한 수량으로 전환된 강수량이 그 평균이 미달하는 것을 의미한다. 기상학적 가뭄은 기후학적 가뭄과 의미는 유사하지만, 강수량 이외에 기온에 따른 증발산량 등이 고려한다는 차이가 있다. 농업적 가뭄은 농작물 성장에 필요한 토양수분이 확보되지 못하는 것을 의미하며 보통 유출량, 저수지 수위 등을 이용하여 산정한다. 수문학적 가뭄은 댐, 저수지 그리고 하천에 수량이 고갈되어 물부족의 피해가 예상되는 것을 말하며 지하수의 고갈, 용수 사용의 증가, 하천 유속증가 등 인위적인 요소가 포함된다. 따라서 기후학적, 기상학적, 농업적 가뭄과는 의미가 명확하게 다르다.

가뭄은 근본적으로 강수량이 평균보다 부족할 시 발생한다. 강수량의 부족은 대기속 수증기부족, 수증기를 응결에 영향을 주는 에어로졸의 부족할 때 발생한다. 가뭄의 원인에 규명하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 사례로 Nam et al. (2008)는 북한지역을 대상으로 Phillips Drought Index (PDI), Standardized Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI) 등 총 5개의 기상학적 가뭄지수를 산정하여 비교하고 각 가뭄지수들이 과거 가뭄을 정량적으로 재현하는지 확인하였다. Na et al. (2018)은 수문학적 가뭄지수인 Reconnaissance Drought Index (RDI)를 Multi-GCMs에 적용하여 앙상블기법에 따른 극한 가뭄 발생 시나리오를 추정하였다. Kim (2011)은 가뭄빈도해석을 통한 한반도 가뭄을 평가하였으며, Kim et al. (2013)은 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)의 효용성을 입증하고 RCP8.5기후변화 시나리오를 이용하여 미래가뭄의 변화양상을 분석하였다. Hisdal and Tallaksen (2003)은 기상학적, 수문학적 가뭄 특성을 모두 고려하는 덴마크의 지역적 가뭄 특성을 분석하였다. Lee et al. (2015)는 SPI지수를 이용하여 우리나라의 과거 가뭄사상을 규모적 관점에서 5대강 권역에 대해 정략적 평가를 실시하였다. 그 결과 2014년의 가뭄은 한강 권역을 중심으로 발생하여 우리나라 역사상 가장 극심했던 가뭄으로 평가하였다. Khadr et al. (2009)은 지속기간에 따라 SPI를 계산하여 Ruhr강 유역의 가뭄경향성을 분석하였다. Hosseinzadeh Talaei et al. (2012)은 수문학적 가뭄지수를 이용하여 이란 서부의 가용 수자원 대해 분석하였고, Tigkas et al. (2012)은 RDI와 Streamflow Drought Index

(SDI) 가뭄지수를 이용하여 기상학적 가뭄지수가 수문학적 가뭄을 얼마만큼 평가 할 수 있는지를 분석하였다. Jain et al. (2015)은 SPI, Effective Drought Index (EDI), China-Z Index (CZI), Rainfall Departure (RD), RDI 가뭄지수를 이용하여 인도 Ken강 유역의 기상학적 가뭄에 대하여 분석하였다. Kim et al. (2013)은 한강유역의 수문 시계열 자료에 절단 수준법과 조건부 확률 개념을 적용하여 가뭄 분석을 수행하였다.

선행 연구사례를 살펴본 결과 SPI지수를 가장 많이 사용하는 것을 확인하였다. SPI지수는 McKee et al. (1993)이 강수량이 감소하기 시작하면 필요한 물수요에 비해서 상대적으로 물부족을 유발하게 되고, 가뭄발생의 발단이 된다는 것에 착안하여 개발된 지수이다. 하지만 다른 가뭄지수와 마찬가지로 강수량 또는 유출량 시계열을 표준정규분포로 산정하기 때문에 인근 지역에 비해 상대적으로 강수량이 많은 지역도 가뭄이 발생한다고 분석이 되며, 실제 가뭄을 재현하기 위해서는 이러한 현상을 개선한 가뭄분석 기법이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 이런 현상을 완화시키기 위해 SPI지수 계산과정에서 해당지점의 시계열을 대상으로 계산되는 Gamma 분포를 전국으로 확장 시켜 산정 후 표준정규분포에 적용하여 가뭄지수를 산정하였다. 또한 과거 제한급수가 발생했던 지역을 대상으로 극한가뭄과 가뭄지속기간을 이용하여 Modify Standardized Precipitation Index (M-SPI)지수의 효용성을 확인하였다. 본 논문의 2장에서는 방법론과 분석에 사용된 데이터를 소개하고, 3장에서는 수정된 가뭄지수 산정결과를, 4장에서는 요약 및 결론을 수록하였다.

2. 방법론 및 자료

2.1 방법론

2.1.1 개요

본 연구에서는 기상학적 가뭄지수인 SPI지수의 각 계산과정을 분해하고, 시계열 단위로 계산되는 Gamma분포를 공간적인 개념을 추가한 Gamma분포를 산정하였다. 이어 표준정규분포를 적용하여 수정된 SPI지수를 산정하였다. 또한 가뭄으로 인해 제한급수를 시행한 지역을 대상으로 수정된 SPI지수를 효용성을 확인하였다. Fig. 1에 본 연구의 연구흐름도를 도시하였다.

2.1.2 관측 기후 자료(M-SPI)

SPI 가뭄지수는 상대적으로 물의 필요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 생각에 착안하여 McKee et al. (1993)에 의해 개발되었으며 가뭄분석에서 가장 많이 쓰이는 지수이다. 먼저 산정할 SPI의 시간척도

Fig. 1. Research flow chart

(1개월, 3개월, ..., 12개월 등)를 결정하고, 결정한 시간척도에 대해 일자별 이동누적시계열을 구성한다. 그리고 각 일자에 따라 구성된 이동누적시계열의 확률분포를 추정하고, 확률분포에 따라 누적확률 값으로 변환한다. 여기서 누가확률분포는 Eq. (1)의 Gamma분포를 사용한다.

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

여기서 α 는 규모변수, β 는 형상변수, $\Gamma(\alpha)$ 는 감마함수 (Gamma function)이다.

$\hat{\alpha}$ 와 $\hat{\beta}$ 는 모멘트법과, 확률가중모멘트법을 통해 추정 할 수 있으며, 본 연구에서는 모멘트법을 통해 매개변수를 추정 하였다. 즉

$$\bar{x}_t = \hat{\alpha}\hat{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_t)_i \quad (2)$$

$$s_t^2 = \hat{\alpha}^2 \hat{\beta} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((x_t)_i - \bar{x}_t)^2 \quad (3)$$

여기서 $\hat{\alpha}$ 와 $\hat{\beta}$ 는 표본자료로부터 추정된 값으로 모집단에 대한 α, β 를 대표하며, 시간에 따른 x_t 에 대한 $\bar{x}_t$ 와 s_t^2 은 각각 표준자료 집단의 평균과 분산이다.

따라서 Eqs. (2)와 (3)을 연립하여 풀면 아래 Eqs. (4), (5)와 같이 $\hat{\alpha}$ 와 $\hat{\beta}$ 를 결정할 수 있다.

$$\hat{\beta} = \left(\frac{\bar{x}_t}{s_t} \right)^2 \quad (4)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{x}_t}{\hat{\beta}} = \frac{s_t^2}{x_t} \quad (5)$$

마지막으로 변환된 누적 Gamma 분포 값에 대한 표준정규 분포의 Z (SPI) 값을 산출한다. SPI 가뭄지수는 특정한 시간 규모에 대하여 강수의 평균치로부터 차이를 구하고 표준편 차로 나누어 계산하게 된다. Fig. 2는 SPI 지수의 산정과정을 도시화한 그림이다. SPI 값이 -1보다 작은 값에 도달할 때 가뭄이 발생하며 월 강수량으로 가뭄의 심도와 지속기간을 구분하여 분석한다. 가뭄의 크기를 Drought Magnitude (DM) 라 하며, 가뭄 사상에 속한 모든 기간에 대한 지수의 합으로서 Eq. (6)로 계산되며 가뭄지수의 범위와 상태를 Table 1과 같다.

$$DM = - \left(\sum_{j=i}^x SPI_{ij} \right) \quad (6)$$

여기서 i 는 임의기간 월, j 는 가뭄시작 첫 번째 달부터 가뭄이 끝날 때(x)까지 증가한다.

Fig. 2. SPI Calculation Concepts

Table 1. Classification Range of SPI Value

SPI	Classifications
0 ~ -0.99	Normal
-1.0 ~ -1.5	Moderately dry
-1.5 ~ -2.0	Severely dry
< -2.0	Extremely dry

본 연구에서는 기존 SPI 산정 과정 처럼 각 지점별로 각각 추정하지 않고 전국 60개 기상관측소의 강수량 자료 (x_{ts})를 Eqs. (8), (9)에 적용하여 α, β 를 산정 후 Eq. (1)의 Gamma분포에 적용하여 누적확률 값으로 변환하였다.

$$\overline{x_{ts}} = \hat{\alpha}/\hat{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ts})_i \quad (8)$$

$$s_{ts}^2 = \hat{\alpha}^2/\hat{\beta}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n ((x_{ts})_i - \overline{x_{ts}})^2 \quad (9)$$

이어서 SPI지수와 동일하게 표준정규분포에 적용하여 Modify Standardized Precipitation Index (M-SPI) 지수를 산정하였다(Fig. 3). 이 방법은 전국 기상관측소 자료를 이용하여 누적확률 값을 사용하였기 때문에 강수량이 많이 발생하는 지역은 상대적으로 가뭄지수가 작게 나타나고, 강수량이 상대적으로 적게 발생하는 지역은 가뭄지수가 크게 나타난다.

2.2 관측 기후 자료

본 연구의 대상지점은 기상자료를 40년 이상 보유한 기상청 산하 60개 기상관측소의 1973년부터 2019년 10월 까지 총 47년간의 월 자료를 사용하였다(Table 2, Fig. 4). 또한 집중호우나 국지성호우 등에 따른 지표변화가 빠르게 진행되는 우리나라 기후특성을 반영하기위해 각 지점별 지속시

간 3개월의 M-SPI를 산정하였다. 또한 국가가뭄정보포털의 제한급수 정보를 이용하여 9개 지역(속초 6개, 여수 2개, 고흥 1개)의 제한급수지역을 대상으로 M-SPI를 검증하였다 (Table 3).

Fig. 4. Location Information for Observation Sites

3. M-SPI지수를 이용한 가뭄분석

이 장에서는 기상청 산하 60개 기상관측소 자료를 이용하여 지속기간 3개월의 M-SPI를 산정하였으며, Table 3과 같이 과거 제한급수가 시행되었던 지역을 극한가뭄이 발생한 것으로 가정하고 해당기간에 가뭄지수가 '-2' 이하로 떨어지는 순간과 일치하는지 확인하고, 해당 가뭄기간의 가뭄지속기간이 실제 가뭄지속기간을 잘 재현하는지 확인하여, M-SPI 지수의 효용성을 검토하였다.

Fig. 3. M-SPI Calculation Concepts

Table 2. Information on Observation Locations Used in the Present Study (ID: indentification Number)

ID	Name	Lon	Lat	Elev.	ID	Name	Lon	Lat	Elev.
90	Sokcho	128.5	38.25	17.8	201	Ganghwa	126.4	37.7	45.7
100	Daegwallyeong	128.8	37.7	842.5	202	Yangpyeong	127.5	37.5	47
101	Chuncheon	127.7	37.9	76.8	203	Icheon	127.5	37.3	77.8
105	Gangneung	128.9	37.7	25.9	211	Inje	128.1	38.1	198.6
108	Seoul	126.9	37.6	86	212	Hongcheon	127.9	37.7	140.6
112	Incheon	126.6	37.5	68.9	221	Jecheon	128.2	37.2	363.2
114	Wonju	127.9	37.3	149.8	226	Boun	127.7	36.5	174.1
115	Ulleungdo	130.9	37.5	33.6	232	Cheonan	127.1	36.8	234.9
119	Suwon	126.9	37.3	114.1	235	Boryeong	126.6	36.3	15.3
127	Chungju	127.9	36.9	25.9	236	Buyeo	126.9	36.3	11.3
129	Seosan	126.5	36.8	49.4	238	Gumsan	127.5	36.1	171.3
130	Uljin	129.4	37	57.4	243	Buan	126.7	35.7	10.7
131	Cheongju	127.4	36.6	68.3	244	Imsil	127.3	35.6	246.9
133	Daejeon	127.4	36.4	242.5	245	Jeongeup	126.9	35.6	44.1
135	Chupungryung	128	36.2	140.1	247	Suncheon	127.2	35.1	74.4
138	Pohang	129.4	36	1.9	260	Jangheung	126.9	34.7	45.2
140	Gunsan	126.7	36	25.6	261	Haenam	126.6	34.6	13.7
143	Daegu	128.6	35.9	57.6	262	Gohung	127.3	34.6	53.3
146	Jeonju	127.2	35.8	53.5	272	Yongju	128.5	36.8	210.2
152	Ulsan	129.3	35.6	34.7	273	Mungyeong	128.1	36.6	170.4
156	Gwangju	126.9	35.2	70.5	277	Youngdeok	129.4	36.5	41.2
159	Busan	129	35.1	69.2	278	Uisung	128.7	36.4	81.1
162	Tongyeong	128.4	34.8	31.7	279	Gumi	128.3	36.1	47.9
165	Mokpo	126.4	34.8	37.9	281	Yeongcheon	129	36	94.1
168	Yeosu	127.7	34.7	66.1	284	Geocheong	127.9	35.7	220.9
170	Wando	126.7	34.4	35.2	285	Hapcheon	128.2	35.6	32.7
184	Jeju	126.5	39	19.9	288	Miryang	128.7	35.5	12.6
188	Seongsan	16.8	33.4	17.7	289	Sanchong	127.9	35.4	138.6
189	Seogwipo	126.6	33.2	50.4	294	Geoje	128.6	34.9	45.3
192	Jinju	128.1	35.2	21.3	295	Namhae	127.9	34.8	51.3

Table 3. Status of Major Droughts in Our Country

Area	City	Release date	End date	Drought Period
Gangwon-do	Sokcho	1995-09	1995-12	4
		1996-02	1996-06	5
		2001-03	2011-06	3
		2005-10	2006-03	6
		2010-10	2011-02	5
		2014-11	2015-07	9
Jeollanam-do	Yeosu	1990-10	1990-12	3
		1995-03	1996-03	13
Jeollanam-do	Gohung	1991-12	1996-03	42

(Sources: National Drought Information-Analysis Center)

본 연구에서는 기상학적 가뭄지수인 SPI의 시계열 분석을 공간적인 시계열 분석으로 수정하여 과거 제한급수가 발생하였던 속초, 여수, 고흥 지역을 대상으로 지속기간 3개월의 M-SPI 지수를 산정하였다. 또한 기존의 SPI지수와 M-SPI지수를 정량적 비교를 하였으며(Figs. 5~7), 과거 가뭄 지속기간과, SPI와 M-SPI의 가뭄지속기간을 비교하였다(Table 4).

먼저 Figs. 5~7의 그림을 살펴보면 기존 SPI의 경우 비가 적게 발생하는 지역은 (+)값이 크게 발생하는 경향이 있고, 비가 많이 발생하는 지역은 (-)값이 상대적으로 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 반면 M-SPI지수는 실제 강우량의 규모가 작은 지역은 (+)값이 상대적으로 작게 분석되고 (-)값이 크게 발생하는 것을 확인하였다. 분석결과를 종합하여

확인한 결과 M-SPI지수가 가뭄을 더 잘 반영하는 것을 확인하였으며, 제한급수 실시년도의 SPI지수와 M-SPI지수를 정량적으로 비교하고 가뭄이 지속하였던 기간을 산정하여 비교하였다.

제한급수 실시년도와 SPI지수, M-SPI지수 결과와의 비교 결과 속초의 경우 SPI지수가 1995년, 2001년, 2014년 만 가뭄으로 인식하였고, 2010년과 2014년의 가뭄지속기간은 과소 추정되었다. 하지만 M-SPI는 1995년, 1996년, 2001년, 2010년을 가뭄으로 인식하였다. 그중 2005년은 Severely dry로 분석되었다. 여수의 경우 SPI는 2개의 극한가뭄을 인식하지 못하였지만, M-SPI는 1개의 극한가뭄을 인식하였다. 고흥의 경우 두 가뭄지수 모두 극한가뭄을 인식하였고, M-SPI지수가 가뭄지속기간을 잘 재현하였다.

Fig. 5. SPI Index and M-SPI Index Comparison - Sokcho (090)

Fig. 6. SPI Index and M-SPI Index Comparison - Yeosu (168)

Fig. 7. SPI Index and M-SPI Index Comparison - Gohung (262)

Table 4. Status of Major Droughts in Our Country

Area	City	Release date	End date	Drought Period	SPI	SPI Drought Period	M-SPI	M-SPI Drought Period
Gangwon-do	Sokcho	1995-09	1995-12	4	-2.8	4	-2.3	5
		1996-02	1996-06	5	-1.9	4	-2.4	7
		2001-03	2011-06	3	-2.9	4	-2.8	5
		2005-10	2006-03	6	-0.9	0	-1.6	4
		2010-10	2011-02	5	-1.2	2	-2.3	8
		2014-11	2015-07	9	-2.0	6	-2.5	11
Jeollanam-do	Yeosu	1990-10	1990-12	3	-0.9	1	-1.2	1
		1995-03	1996-03	13	-1.4	3	-2.1	8
Jeollanam-do	Gohung	1991-12	1996-03	42	-2.1	21	-2.7	32

4. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 SPI지수 계산과정에서 해당지점의 시계열을 대상으로 계산되는 Gamma 분포를 전국으로 확장 시켜 산정 후 표준정규분포에 적용하여 가뭄지수(M-SPI)를 제시하였다. 또한 과거 제한급수가 발생했던 지역(속초, 여수, 고흥)의 가뭄 정보와 지속기간 3개월 단위로 기존 SPI지수, M-SPI지수를 산정하여 각 가뭄지수들의 재현정도를 비교하고자 하였다.

M-SPI지수는 SPI지수의 한계점인 비가 적게 발생하는 지역은 (+)값이 크게 발생하는 경향이 있고, 비가 많이 발생하는 지역은 (-)값이 상대적으로 크게 발생하는 현상을 해소하는 것을 확인하였다. 그 근거를 입증하기 위해 제한급수 실시년도와 SPI지수, M-SPI지수 결과와의 비교결과 속초의 경우 SPI지수가 1995년, 2001년, 2014년 만 가뭄으로 인식하였고, 2010년과 2014년의 가뭄지속기간은 과소 추정되었다. 하지만 M-SPI지수는 1995년, 1996년, 2001년, 2010년을 가뭄으로 인식하였다. 여수의 경우 SPI는 2개의 극한가뭄을 인식하지 못하였지만, M-SPI는 1개의 극한가뭄을 인식하였다. 고흥의 경우 두 가뭄지수 모두 극한가뭄을 인식하였다.

기존의 가뭄지수인 SPI지수와 M-SPI지수를 비교한 결과, 강수량이 상대적으로 적은 지역의 경우 가뭄이 더욱 심하게 발생하는 것을 확인하였다. 특히 과거 제한급수가 시행되었던 지역을 대상으로 SPI지수와 M-SPI 지수를 비교해본 결과 SPI지수에서 과소 추정되었던 기간의 가뭄지수가 M-SPI지수에서는 잘 재현 되는 것을 확인 할 수 있었고, 과소추정되었던 가뭄지속기간도 M-SPI지수를 사용하였을 때 과거 사례를 잘 재현하는 것을 확인하였다. 하지만 지금의 M-SPI지수는 가뭄에 큰 영향을 주는 증발산량과, 고도 등 지형의 특성을 고려하지 않았기 때문에 일부의 가뭄사상을 재현하지 못하였다. 따라서 향후 증발산량과 지형적 특성을 고려한 가뭄지수의 산정이 필요하며, 우리나라를 기후대 별로 구분

하고 강수량 및 기온자료를 기후대 별로 지역화하여 가뭄지수를 산정하게 된다면 기상학적 가뭄의 영향에 대해 평가할 수 있다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 극한재난대응기술사업의 연구비지원(2017-M-OIS31-004)에 의해 수행되었습니다.

References

- Hisdal, H., and Tallaksen, L.M. (2003). Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: A case study for Denmark. *Journal of Hydrology*, Vol. 281, No. 3, pp. 230-247.
- Hosseinzadeh Talaei, P., Tabari H., and Sobhan Ardakani, S. (2012). Hydrological drought in the west of Iran and possible association with large-scale atmospheric circulation patterns. *Hydrological Processes*, Vol. 28, No. 3, pp. 764-773.
- Jain, V.K., Pandey, R.P., Jain, M.K., and Byun, H.R. (2015). Comparison of drought indices for appraisal of drought characteristics in the Ken River basin. *Weather and Climate Extremes*, Vol. 8, pp. 1-11.
- Khadr, M., Morgenschweis, G., and Schlenkhoff, A. (2009). Analysis of meteorological drought in the Rhur Basin by using the standardized precipitation index. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, Vol. 3, No. 9, pp. 291-300.
- 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 RCP 8.5 climate

- change scenario. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 13, No. 2, pp. 97-109 (in Korean).
- Kim, S.S. (2011). *Drought assessment in the Korean Peninsula through drought frequency analysis*. Master's thesis, University of Seoul (in Korean).
- Lee, B.R., Sung, J.H., and Chung, E.S. (2015). Comparison of meteorological drought and hydrological drought index. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 48, No. 1, pp. 69-78 (in Korean).
- McKee, T.B., Doeskin, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of 8th Conference on Applied Climatology*, January 17-22, 1993, American Meteorological Society, Anaheim, CA, USA, pp. 179-184.
- Na, R., Jo, S.G., Yoo, S.H., Lee, S.H., Choi, J.Y., Jeong, K.H., et al. (2018). Analysis of agricultural reservoir drought under climate change using Multi-GCMs and RDI. *Proceedings of the 2018 KSAE Annual Conference*, The Korean Society of Agricultural Engineers, p. 98.
- Nam, W.H., Yoo, S.H., Jang, M.W., and Choi, J.Y. (2008). Application of meteorological drought indices for North Korea. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 50, No. 3, pp. 3-15.
- Tigkas, D., Vangelis, H., and Tsakiris, G. (2012). Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*, Vol. 440, pp. 33-41.

Received	November 4, 2019
Revised	November 6, 2019
Accepted	November 12, 2019