극한 가뭄상태의 정량적 정의를 위한 포락곡선 방법의 적용

Application of Envelope Curve Method for Quantitative Definition of Extreme Drought Conditions

이찬욱* · 정동휘** · 박무종*** · 유도근****

Lee, Chan Wook*, Jung, Donghwi**, Park, Moo Jong***, and Yoo, Do Guen****

Abstract

Recent climate change is causing changes in temperature and rainfall patterns. The frequency of droughts has also steadily increased gradually strengthening the possibility of a Black Swan-type drought; as such, it is necessary to establish a customized response. Such a drought would not just be a disaster, but also a complex natural disaster that could have a direct and indirect impact on society as a whole. Therefore, we consider the definition of extreme drought through analyses of domestic and international literature and propose a methodology to quantitatively determine a domestic definition of extreme drought. Taking advantage of the cumulative Standard Precipitation Index (SPI) index and drought period of a nation's major drought areas, an envelope curve was created to propose a quantitative definition method. In the future, it is expected that the definition of this study will be used as basic data for establishing response criteria based on the scenario of extreme drought.

Key words : Extreme Drought, Quantitative Definition, Envelope Curve, Standard Precipitation Index

요 지

최근 기후변화의 영향으로 이전에는 없던 블랙스완형 가뭄재해 발생가능성이 증대되고 있어 이에 대한 맞춤형 대응전략 구축이 필요한 실정이다. 이러한 가뭄은 단순 재난이 아닌 사회전반에 걸쳐 직/간접적인 영향력을 미칠 수 있는 복합형 자연재난이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 국내외 문헌 분석을 통해 극한가뭄의 정의사항을 검토하고 극한가뭄이 장기간 지속되는 상태에 대한 정량적인 판단기준 정의를 위한 방법론을 제안 하였다. 국내 과거 주요 가뭄발생 지역에 대한 표준강수지수를 활용하여 극한가뭄의 누적 가뭄지수 및 지속 기간을 지역 별로 산정하고 포락곡선을 만들어 정량적인 정의 방안을 제시하였다. 산정된 포락곡선은 지역적 또는 전국적 자료의 활용여부에 따라서 그 경향성이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 향후 본 연구의 정의 사항을 토대로 극한가뭄의 발생 시나리오에 따른 대응기준 설정에 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 극한가뭄, 정량적 정의, 포락곡선, 표준강수지수

1. 서 론

가뭄은 특성상 단기간의 피해뿐만 아니라 장기적 관점에

서의 사회 및 경제적으로 극심한 피해를 야기할 수 있다. 따라서, 실제적인 가뭄에 대한 대응을 위해서는 가뭄을 미리 예측하고 정량적으로 판단하여 선제적 대책 마련을 수렴하

*정회원, 수원대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: skyblue985@naver.com)

Member, Master's course, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

**정회원, 계명대학교 토목공학과 조교수(E-mail: donghwiku@gmail.com)

Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Keimyung University

***정회원, 한서대학교 토목공학과 교수(E-mail: mjpark@hanseo.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

****교신저자, 정회원, 수원대학교 토목공학과 조교수(Tel: +82-31-229-8676, Fax: +82-31-220-2522, E-mail: dgyoo411@suwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

는 것이 필요하다.

이를 위해 전 세계적으로 가뭄 판단을 위한 다양한 가뭄지수를 개발하고 활용하는 연구가 진행되어져 왔다. Palmer (1965)는 기후학적으로 필요한 강수량과 실제 발생한 강수량을 비교하여 가뭄을 판단하는 Palmer Drought Severity Index (PDSI)를 개발하였으며 이외에도 계산과정이 비교적 쉽고, 강수의 부족량으로 가뭄을 판단할 수 있어 활발하게 활용되고 있는 Standardized Precipitation Index (SPI; McKee et al., 1993)와 하천수가뭄지수(Streamflow Drought Index, SDI; Nalbantis, 2008), 토양수분지수(Soil Moisture Index, SMI; Baier, 1969), 다양한 특성을 지닌 우리나라의 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI; Shafer et al., 1982)를 보완한 수정지표수공급지수(Modified Surface Water Supply Index, MSWSI; Kwon and Kim, 2006) 등 전 세계적으로 다양한 수문학적, 기후학적, 농업적 가뭄과 관련된 수많은 가뭄지수를 개발하고 활용하는 연구가 진행되어져 왔다.

우리나라의 경우 2014년에 이전에는 없었던 극심한 가뭄이 시작되어 기록적인 가뭄을 겪었다. 특히, 우리나라는 연 강수량의 대부분이 여름철 장마기간에 집중되는 특성을 보이고 있어 단기간에 공급되는 수자원을 제대로 확보하지 못하면 갈수기에 용수부족 등과 같은 문제가 발생할 소지가 있다. 그러므로 새로운 가뭄 사상에 대한 대응 및 대책 마련이 필요하다. 이를 위해서는 이전에는 없던 극한가뭄에 대한 정의가 필요하며 국외의 경우 Woodhouse and Overpeck (1998)는 가뭄의 심각성, 기간, 공간적 범위를 세기별로 비교하여 13세기~16세기에 발생한 큰 가뭄사건(2개)을 기준으로 극한가뭄이라 정의하였으며 Stahle et al. (2000)은 20세기 동안 미국 대륙에서 가장 심각하고 지속기간이 길었던 가뭄(1930년 및 1950년)을 PDSI지수를 활용하여 극한가뭄이라 정의하였다. Ault et al. (2016)은 건기가 수십년(35년)이상 지속되는 것을 극한가뭄으로 정의하며 향후 극한가뭄의 발생확률은 20~50%로 증가될 것으로 예측하였다. 국내의 경우 환경부 산하 국가가뭄정보분석센터에서는 SPI지수와 같은 가뭄지수를 활용하여 극심한 가뭄발생 여부를 제시하고 있으며 기상청 산하 수문기상가뭄정보시스템은 SPI지수의 극심한 가뭄단계가 20일 이상 지속되는 경우로 정의하였으나 공통적으로 규정되어있는 정의사항은 없다. 본 연구에서는 극한가뭄의 정의사항을 검토하고 극한가뭄이 장기간 지속되는 상태에 대한 정량적인 극한가뭄 상태 판단기준 정의를 위한 방법론을 제안 하였다.

2. 방법론

2.1 가뭄판단의 지표

전 세계적으로 가뭄을 판단하기 위한 방법으로 가뭄지수를 활용하고 있다. 우리나라는 현재 국가가뭄정보분석센터,

수문기상가뭄정보시스템에서 SPI, MSWSI, PDSI, SMI 등의 가뭄지수를 통해 가뭄상황을 일별로 보도하고 있다. 어떠한 가뭄에 활용되는가에 따라 각각 다른 가뭄지수를 활용하곤 한다. 예를들어, 수문학적 가뭄지수를 의미하는 MSWSI, 기후학적 가뭄지수 PDSI, 농업적 가뭄지수 즉 농업에 큰 영향을 미치는 SMI등이 있다.

SPI는 기상학적 가뭄지수를 의미하며 관측지점별로 시간 단위 강수 부족량을 사용자가 원하는 개월(1, 2, 3월...)단위로 계산하여 각각의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 가뭄지수로 비교적 산정과정이 쉬워 세계적으로 많이 사용되고 있으며 본 연구에서는 정량적 극한가뭄의 정량적 정의를 위한 요소로 활용하고자 하였다.

2.2 방법론 절차

본 연구에서 제안한 정량적 지속성이 높은 극한가뭄의 정의 절차는 Fig. 1과 같다. 먼저, 극한가뭄을 판단하고자하는 지역을 선정한다. 다음으로는 선정된 지역의 SPI 자료를 확보한다. 본 연구에서는 국가가뭄정보분석센터의 SPI3, 6, 9를 사용하였다. 확보된 데이터를 통해 SPI지수의 값이 가정한 기준(-2.0)이하의 값이 되는 지점을 찾고 그 값이 일정 기간의 지속기간(20일 이상)을 유지 하고 있는지 확인하여 누적 SPI와 누적기간을 산정한다. 본 연구에서는 수문기상가뭄정보시스템에서 제시한 바 있는 극심한 가뭄에 대한 SPI 값인 -2.0 이하, 그리고 20일의 지속기간을 기준으로 분석을 실시하였다. 다음으로는 산정된 누적SPI와 누적기간을 그래프에 도시한다. 마지막으로 도시된 누적 SPI에 대한 회귀식을 산정하여 회귀식의 상단 부분(Fig. 1 상의 오른쪽 아래 그림)에 해당하는 지점에 위치되는 상태를 극한가뭄으로 도입되는 지점으로 판단하고자 하였다. 만일 회귀식 아랫부분에 가뭄사상이 위치할 경우 과거 보다 심한 가뭄 발생 이력이 있던 것으로 간주되며 극한가뭄이하의 상태로 정의된다.

3. 적용 및 결과

3.1 적용대상지역

우리나라 가뭄사례 및 극심한 가뭄이 발생한 이력이 있는 주요 지역을 조사하여 본 방법론을 적용하였으며 해당하는 지역은 Fig. 2와 같다. 2018년 전라북도 정읍, 전라남도 장흥, 경상북도 영천, 경상남도 거창에 극심한 폭염 및 가뭄이 발생한 사례, 경기도 이천의 경우 2016기준 262 mm의 누적 강수량에 비해 2018년에는 96 mm밖에 오지 않아 극심한 가뭄이 발생한 사례, 2019년에는 강원도 철원, 충청북도 대진, 충청남도 보령, 제주도에서 극심한 가뭄피해가 발생한 사례 등을 바탕으로 충청남도의 보령을 포함한 총 12지역을 선정하였다.

Fig. 1. Defining Methodology Procedure for the Extreme (Mega) Drought

Fig. 2. Application Area

3.2 누적 SPI 및 극한가뭄 지속기간

극심한 가뭄의 사례조사를 통해 얻은 적용대상지역의 SPI3, SPI6, SPI9에 해당하는 데이터를 국가가뭄정보분석센터 및 기상청에서 확보하였다. 분석기간은 가능한 장기간의 자료를 확보하는 것이 필요하나 본 연구에서는 극심한 가뭄이 3~5년동안 지속된 바 있는 2013년 이후 2019년 8월까지의 SPI지수를 활용하였다. 해당 자료를 통하여 누적 SPI(3, 6, 9)를 산정한 결과는 Tables 1, 2와 같다. Table 1은 충청남도만을 기준으로 산정된 지속기간별 누적SPI의 결과이며 SPI3~9모두 2014년에 발생하여 2015년까지 지속된 우리나라의 극심한 가뭄을 잘 표현하고 있다. 충청남도에 SPI기준 가뭄이 가장 극심했던 지역은 충청남도 천안으로 2015년 8월 초부터 12월 중순까지 총 124일 동안 지속되었다. Table 2는 우리나라 전국지역과 충청남도를 같이 비교한 결과로서 산정 결과 SPI3는 2015년 발생한 극심한 가뭄으로 인한 여파로 충청남도 지역에 극심한 피해가 있었다는 것을 잘 도출 해내었으며 제주도는 2017년 극심한 가뭄이 발생하였던 결과가 도출되었다. SPI6 기준으로는 SPI3와 마찬가지로 충남 보령, 천안, 부여가 동일한 결과를 나타내었으며 그 외에도 충남 서산, 충북 증평, 경기도 이천, 강원도 철원에서 2014년의 발생한 우리나라의 극심한 가뭄으로 인한 사상을 나타내었다. SPI9 역시 SPI6와 동일한 결과가 나타났다. 가장 긴 극한가뭄의 지속기간을 갖은 지역은 SPI9의 충청남도 천안으로 2015년 8월 초부터 12월

Table 1. Cumulative SPI by Duration of Chungcheong Nam-do, South Korea

Drought Index	Area	Year of occurrence	Duration	Cumulative spi	source
SPI3	Cheonan	150809~151007	60	157.94	Meteorological Agency
	Buyeo	150811~151001	52	145.35	
SPI6	Seosan	150910~151107	59	127.46	
	Cheonan	150809~151124	108	283.61	
	Boryeong	190701~190725	24	52.19	
	Buyeo	150815~151112	90	215.07	
SPI9	Seosan	150906~151106	62	134.97	
	Cheonan	150809~151210	124	312.37	
	Cheonan	160109~160215	36	75.75	
	Boryeong	190706~190725	20	44.38	
	Buyeo	150820~151009	51	125.52	

Table 2. Cumulative SPI by Duration of Chungcheong Nam-do and Nationwide, South Korea

Drought Index	Area	Year of occurrence	Duration	Cumulative spi	source
SPI 3	Jeju	170713~170804	23	48.57	K-water
	Boryeong				
	Cheonan	150809~151007	60	157.94	Meteorological Agency
	Buyeo	150811~151001	52	145.35	
SPI 6	Cheorwon	150914~151110	58	127.54	K-water
	Icheon	150904~151007	34	74.62	
		150828~151115	80	186.44	
		140826~141019	55	115.01	
		140728~140820	24	51.21	
	Jeungpyeong	150914~151115	63	141.72	Meteorological Agency
	Boryeong	190701~190725	24	52.19	
	Seosan	150910~151107	59	127.46	
	Cheonan	150809~151124	108	283.61	
	Buyeo	150815~151112	90	215.07	
SPI 9	Cheorwon	150903~151107	66	138.08	K-water
	Icheon	160111~160131	22	45.08	
		150829~151115	79	172.75	
		140904~141020	47	99.84	
	Jeungpyeong	150901~151107	68	140.8	Meteorological Agency
	Boryeong	190706~190725	20	44.38	
	Seosan	150906~151106	62	134.97	
	Cheonan	150809~151210	124	312.37	
		160109~160215	36	75.75	
	Buyeo	150820~151009	51	125.52	

중순까지 지속되는 가뭄으로 124일 동안 지속되었으며 결과적으로 앞서 적용대상 지역을 선정한 총 12개의 지역중에는 충남 천안이 가장 지속기간이 긴 극한 가뭄을 겪은 것으로 나타났다.

3.3 극한가뭄판단을 위한 포락곡선

본 방법론에서는 생성된 포락곡선을 기준으로 활용하여 SPI기준으로 극한 가뭄의 상태가 20일 이상 지속되고, 해당 지속기간 동안의 SPI지수의 누적 절대값 값이 회귀식의

상단부분에 현 상황이 위치 할 경우 극한가뭄에 진입하였다고 판단한다. 따라서, 해당지역의 과거 가뭄사례에서 가뭄상태의 심도(SPI)와 지속기간이 클수록 극한가뭄의 진입기준이 높아지게 된다. 즉, 본 연구에서 정의하고자 하는 오랜 지속기간을 갖는 극한가뭄은 과거에 경험해보지 못한 가뭄으로 정의할 수 있으나, 현시대의 국민이 겪는 가뭄의 체감정도와 가뭄관리의 실무적인 관점을 고려할 경우에는 과거 수세기 역사 동안의 기간모두를 분석대상으로 삼는 것은 합리적이지 않으므로, 현 시대 상황을 반영할 수 있는 과거 가뭄사례를 대상으로 한다고 볼 수 있다.

앞서 산정된 누적 SPI와 극한가뭄의 지속기간을 그래프화하여 포락곡선을 생성한 결과는 Figs. 3~4와 같다. Fig. 3은 충청남도만을 기준으로 생성한 포락곡선으로서 SPI6의 회귀식 곡선의 기울기가 가장 가파른 결과가 나타났다. Fig. 4의 전국 및 충청남도의 누적 SPI곡선 역시 SPI6가 가장 가파른 결과가 도출되었다.

활용자료의 구분에 따른 포락곡선의 경향을 살펴보면, SPI3의 경우에는 회귀식을 산정하는데 활용된 자료의 개수가 제한적이므로, 그 경향성을 나타내는 것에는 한계가 있다고 판단된다. SPI6와 SPI9의 경우에는 전국을 기준으로 산정된 포락곡선은 비교적 한 구역(충청남도)만을 가지고 산정한

것 보다 더 완만한 기울기를 갖는 것으로 나타났다. 이것은 극한가뭄의 정의를 위해 전국 지자체 자료를 활용할 경우에는 극한가뭄의 진입에 있어 상대적으로 보수적인 극한가뭄의 정의를 내릴 수 있어 적극적이고 선제적 가뭄 대응을 할 수 있다는 것을 보여준다. 그러나, 이 경우 정확한 지역적 가뭄 특성을 반영하지 못 할 수 있다. 지역 지자체 자료를 활용할 경우 지역의 과거 자료를 충분히 활용한 극한가뭄의 진입여부를 판단할 수 있지만, 판단기준에 활용된 자료의 불확실성 등을 고려할 경우 선제적인 대응을 위한 기준으로 활용하기에는 한계점이 어느 정도 존재한다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 과거 국내 가뭄사례를 분석하고 해당하는 주요 지역(12개 지점)에 대하여 포락곡선을 생성하였다. 포락곡선 생성을 위해 현재 사용되고 있는 가뭄상황 단계를 그대로 적용하고자 수문기상가뭄정보시스템에 제시된 가뭄 단계를 활용하여 SPI의 값이 -2이하, 20일 지속되는 구간에 한해 극심한 가뭄이 발생하였다고 가정하였으며 누적SPI의 값을 산정하였다. 방법론을 적용한 결과 극한가뭄의 정의를 위해 전국 지자체 자료를 활용할 경우에는 극한가뭄의 진입

(a) Cumulative SPI3 Envelope Curve of Chungcheongnam-do

(b) Cumulative SPI6 Envelope Curve of Chungcheongnam-do

(c) Cumulative SPI9 Envelope Curve of Chungcheongnam-do

Fig. 3. Chungcheongnam-do Cumulative SPI Envelope Curve

(a) Chungcheongnam-do and Nationwide Cumulative SPI3 Envelope Curves

(b) Chungcheongnam-do and Nationwide Cumulative SPI6 Envelope Curves

(c) Chungcheongnam-do and Nationwide Cumulative SPI9 Envelope Curves

Fig. 4. Chungcheongnam-do and Nationwide Cumulative SPI Envelope Curve

에 있어 상대적으로 안전측의 극한가뭄의 정의를 내릴 수 있어 적극적이고 선제적 가뭄 대응을 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 이 경우 정확한 지역적 가뭄 특성을 반영하지 못 할 수 있다. 반대로, 지역 지자체 자료를 활용할 경우 지역의 과거 자료를 충분히 활용한 극한가뭄의 진입여부를 판단할 수 있지만, 선제적인 대응을 위한 기준으로 활용하기에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 20일 지속되는 극한가뭄사상을 활용하여 방법론을 적용하였으나, 실제 국민 또는 의사결정자가 체감하는 적절한 지속시간을 설정할 필요가 있다. 향후 가뭄발생시 누적 SPI값이 기존 과거데이터 기반 포락곡선상의 윗부분에 해당 하게 된다면 극한가뭄으로 판단되어질 수 있을 것이다.

현재 방법론을 적용한 기간은 2013년 이후의 SPI를 활용하였으나 향후 2013년 이전의 발생한 우리나라의 극심한 가뭄 역시 고려되어야 하며 농업적, 수문학적인 가뭄지수(SMI, PDSI 등)를 활용하여 포락곡선을 갱신 할 필요가

있다. 또한 지역적, 생활방식 등 개개인마다 가뭄을 느끼는 체감이 다르므로 보다 더 국내에 적합한 극한가뭄의 정의를 위해서는 설문조사와 같은 방식의 정성적 정의 역시 추가적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- Ault, T.R., Mankin, J.S., Cook, B.I., and Smerdon, J.E. (2016). Relative impacts of mitigation, temperature, and precipitation on 21st-century megadrought risk in the American Southwest. *Sci. Adv.*, Vol. 2, No.

10, e1600873. doi:10.1126/sciadv.1600873

- Baier, W. (1969). Concepts of soil moisture availability and their effect on soil moisture estimates from a meteorological budget. *Agricultural Meteorology*, Vol. 6, No. 3, pp. 165-178.
- Korea Meteorological Administration (KMA). *Hydrological drought information system*. Retrieved from <http://hydro.kma.go.kr>
- Kwon, H.J., and Kim, S.J. (2006). Evaluation of semi-distributed hydrological drought using SWSI (Surface Water Supply Index). *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 48, No. 2, pp. 37-43.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, USA.
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, Issue 23/24, pp. 67-77.
- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought*. Research Paper No. 45, Weather Bureau, U.S. Department of Commerce.
- Shafer, B.A., Dezman, L.E., Simpson, H.D., and Danielson, J.A. (1982). Development of surface water supply index: A drought severity indicator for Colorado. *Proceedings of the International Symposium on Hydrometeorology*, American Water Resources Association, Denver, Colorado, pp. 337-341.
- Stahle, D.W., Cook, E.R., Cleaveland, M.K., Therrell, M.D., Meko, D.M., Grissino-Mayer, H.D., et al. (2000). Tree-ring data document sixteenth-century mega-drought over North America. *Eos*, Vol. 81, No. 12, pp. 121-125.
- Woodhouse, C.A., and Overpeck, J.T. (1998). 2000 Years of drought variability in the central United States. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, Vol. 79, No. 2, pp. 2693-2714.

Received	September 24, 2019
Revised	September 25, 2019
Accepted	October 14, 2019