

경계핵밀도함수를 이용한 Effective Drought Index 지수의 가뭄빈도해석

Drouhgt Frequency Analysis for Effective Drought Index using Boundary Kernel Function

오 태 석*, 문 영 일**, 권 현 한***, 김 성 실****

Tae-Suk Oh, Young-Il Moon, Hyun-Han Kwon, Seong-Sil Kim

요 지

최근의 지구온난화에 따른 기후변화로 인하여 홍수와 가뭄과 같은 극한 사상의 발생 빈도가 증가하고 있는 추세이다. 특히, 가뭄은 장기간에 걸쳐 피해를 유발시키는 대표적인 자연재해 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 가뭄의 크기와 정도를 정량화 할 수 있는 가뭄빈도해석을 수행하였다. 가뭄빈도해석을 위하여 우리나라의 61개 지점을 대상으로 EDI 가뭄지수를 산정하였다. 일별로 산정된 EDI 지수를 이용하여 연도별로 최저값을 추출하였다. 추출된 EDI 자료를 이용하여 빈도해석을 수행하였다. 빈도해석은 복합 확률 분포형 등의 장점을 갖고 있는 경계핵밀도함수를 이용하여 수행하였다. 분석 결과에서 재현기간 5년 내지 10년에서 극단적으로 건조함을 나타내는 가뭄지수인 -2.0 이하의 값을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 가뭄은 평균적으로 재현기간 5년에서 10년 사이에 반복적으로 발생할 수 있다. 그러므로 가뭄에 대한 지속적인 모니터링 시스템의 구축과 가뭄피해를 최소화 할 수 있도록 해야 한다.

핵심용어 : 가뭄지수, 경계핵밀도함수, Effective Drought Index

1. 서 론

최근의 지구온난화에 따른 기후변화로 인하여 극한강우의 발생빈도가 증가하고 있으며, 극한 가뭄의 발생 가능성도 커지고 있는 실정이다(Bates et al, 2008). 이중에서 가뭄은 모든 수문학적 재해 중에서 전세계적으로 극심한 피해를 유발시킬 수 있는 자연재해 중의 하나이다.

가뭄의 크기와 정도를 정량화 시키는 과정은 수자원의 확충과 가뭄의 피해를 최소화 하는데 있어 매우 중요한 연구라 할 수 있다. Guttman(1999)는 표준강수지수를 다양한 확률분포형에 적용하여 적정 확률분포형을 제시하였다. Dracup(1980)은 가뭄의 빈도해석에 이용되는 변수의 객관성을 확보하기 위하여 절단변수를 이용하여 정량화 할 것을 추천하고 있다. Kim et al.(2003)은 비매개변수적 추정 방법을 이용하여 가뭄 사상의 2차원 해석을 수행하였으며, Shiau and Shen(2001)은 이변수 감마분포를 이용하여 가뭄의 재현기간을 산정하였다. 가뭄빈도해석에 관련된 대부분의 연구는 관측자료가 특정한 모집단에 의한 확률밀도함수로부터 추출된다는 가정 하에 진행되어 왔다. 따라서 통계학적으로 확률분포형에 관측자료를 적합시키는데 주안점을 갖는 연구가 많이 진행되었다. 그러나 관측자료가 항상 단일 확률밀도함수에 적합될 수는 없다. 수문자료가 통계학적으로 이질적인 모집단으로부터 추출되거나, 복합 분포형을 갖는 가능성도 배제

* 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사후과정 · E-mail : taesuk79@gmail.com

** 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr

*** 정회원 · 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : hkwon@gmail.com

**** 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 · E-mail : sierie@uos.ac.kr

할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 일별로 가뭄지수를 산정할 수 있는 Effective Drought Index(EDI)를 우리나라 61개 지점을 대상으로 산정하였다. 산정된 EDI를 이용하여 연최저치계열을 구성하여 경계핵밀도함수(boundary kernel density function)를 이용하여 빈도해석을 수행하였다.

2. EDI 가뭄지수의 산정

가뭄은 수자원(주로 지표수와 지하수)의 부족으로 발생한다. 이 수자원은 강수나 증발과 같은 요인으로 매일 변하기 때문에 ‘지속성’의 개념으로 계산되어야 한다. 그렇지만 기존의 PDSI, SPI, CMI, Deciles 등과 같은 가뭄지수들은 시간규모가 주 또는 월 단위로 어떤 특정 기간의 기상학적 평균에 대한 강수 부족만을 평가하고 있다. 가뭄은 강수량뿐만 아니라 강수의 시간적 집중도가 함께 계산되어야 한다. 즉, 양의 시간적 변화가 고려되어야 하는 Intensive Measure이다. 그런데 이런 가뭄 강도를 Intensive Measure로 하여 계산된 가뭄지수가 바로 EDI이다.

EDI(Effective Drought Index)는 Byun and Wilhite(1999, J. of Climate)이 제안한 방법으로, 강수로 인해 생긴 수자원을, 시간에 따른 손실을 감안하면서 일 년 이상의 기간 동안 누적하여, 이를 평년치와 비교하는 방법으로 가뭄강도를 계산한다. 단지 강수량을 이용하여 일별 가뭄의 정도를 파악할 수 있고 계산과정이 간단한 장점이 있다.

$$EP_i = \sum_{n=1}^i ((\sum_{m=1}^n P_m)/n) \quad (1)$$

P_m : 특정일로부터 m일 전의 일 강수량, i : 365일

따라서 EP는 특정일로부터 365일 동안의 누적 유효강수량이다. EP의 30년 평균(DEP)계산하고 MEP로부터 EP의 편차(DEP)계산하는데 이것은 어떤 특정 기간과 공간에서의 물 부족과 잉여를 의미한다. 음의 DEP가 평년으로 회복하기 위해 필요한 일 강수량(PRN_j)은 다음 식(2)과 같다.

$$PRN_j = DEP_j / \sum_{N=1}^j (1/N) \quad (2)$$

j : 추가되는 강수 누적 기간

그러나 PRN은 기후학적 상태에 의존 따라서 이에 독립적인 EDI는 다음 식 (3)과 같이 표현한다.

$$EDI_j = PRN_j / ST(PRN_j) \text{ or } EDI_j = DEP_j / ST(DEP_j) \quad (3)$$

$ST[f(n)]$: $f(n)$ 의 표준편차

이 가뭄지수는 표준편차에 의해 표준화된 지수로 작은 값일수록 가뭄이 심함을 의미한다. EDI 가뭄지수는 봄과 장마철 그리고 그 외의 기간에 따라 심도의 구분되며 표준화된 지수의 의미는 다음 표 1과 같다.

표 1. EDI가뭄지수의 심도분류

구분	봄철	장마철	그 외 기간
보통 가뭄	-0.5	-1.0	-0.7
심한 가뭄	-1.0	-2.0	-1.5
극심한 가뭄	-2.0	-3.0	-2.5

기상청 관할에 있는 61개 강우관측소의 강우자료를 이용하여 각 지점에 대하여 EDI(Effective Drought Index) 가뭄지수를 산정하였다. 다음 그림 2는 73년부터 08년까지 전국의 각 지점의 가뭄지수를 평균으로 계산하여 산정한 결과를 도시하였다. 전국평균 EDI지수는 77년, 82년 88년, 94년, 95년, 01년, 08년에 -0.7이하의 값을 나타내면서 보통 가뭄과 심한가뭄이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

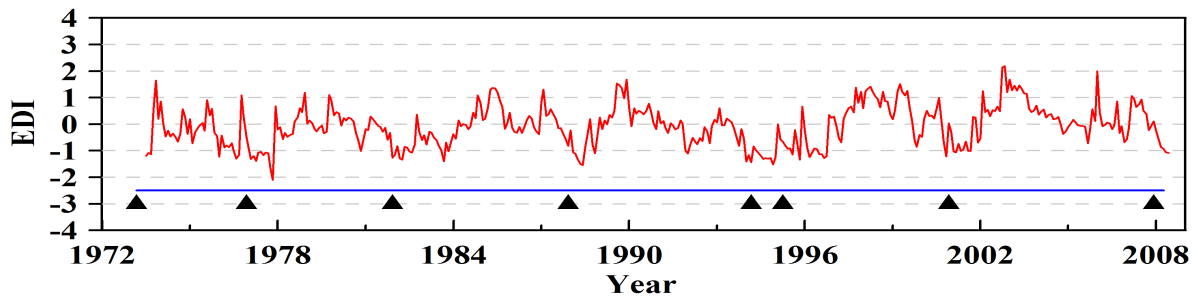


그림 1. EDI 전국평균 분석결과

EDI 가뭄지수와 PDSI 및 SPI 가뭄지수를 비교하였다. 분석 방법은 각각의 가뭄지수가 갖는 범위가 다르므로 Z-score를 이용하여 표준화를 수행하였다. 분석 결과에서 EDI는 PDSI와 비슷한 거동을 보이는 것으로 나타났다. 다음 그림은 서울지점을 대상으로 비교분석한 결과를 도시한 것이다.

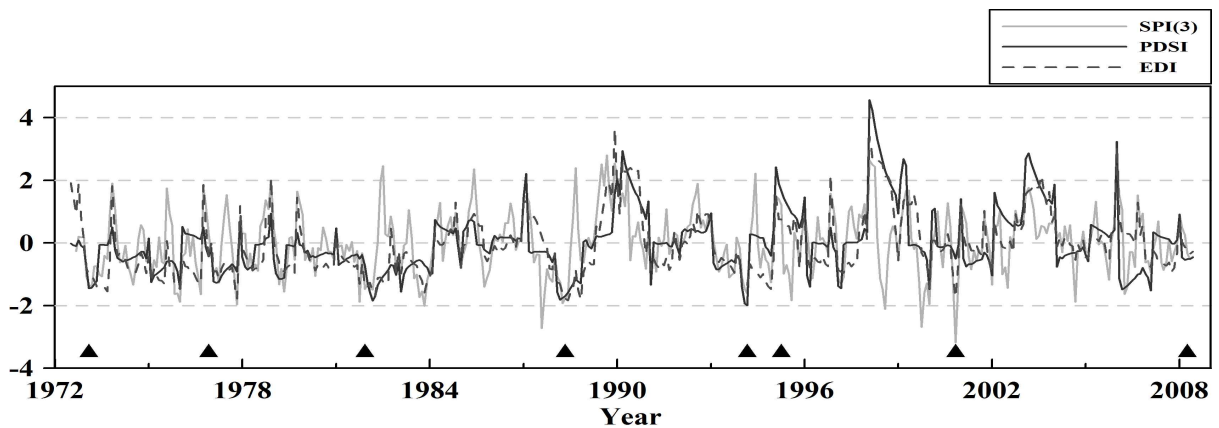


그림 2. 서울지점의 가뭄지수들에 대한 비교분석결과

표준화를 통해 각각의 가뭄지수의 비교분석결과, SPI(3개월)지수는 독립적인 지수의 변화를 보였으나, PDSI지수와 EDI지수는 가뭄의 심도에서 PDSI지수가 EDI지수보다 가뭄의 심도가 크게 나오는 차이가 있지만은 변화경향은 대부분 일치하는 것으로 분석되었다. 또한, 각각의 가뭄지수는 지역에 따라 가뭄지수의 심도가 다르게 분석됨에 따라 가뭄에 의한 피해가 큰 지역을 쉽게 구분할 수 있었으며 가뭄이 발생한 해와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 경계핵밀도함수를 이용한 빈도해석

경계 핵 함수에 의한 빈도해석 추정식의 구성은 관측자료의 경험적 발생확률값과 핵함수의 핵

완화와 초과확률에 대한 경계 핵함수에 근거를 두고 있다. 경험적 발생확률은 임의의 표준도시공식을 통하여 구할 수 있고, 표준도시공식으로 Adamowski(1981) 공식을 사용하면 다음 식(4)와 같다.

$$p_i = \frac{i - 0.25}{n + 0.5} \quad (4)$$

여기서, $i(i = 1, 2, \dots, n)$ 는 내림차순의 배열이고, p_i 는 표준도시공식을 이용하여 경험상으로 추정되는 확률값이다.

빈도해석 함수의 분위값(quantile) $\hat{x}(p)$ 는 Gasser-Muller(1984)가 식 (5)와 같이 제시한 핵함수를 이용한 회귀추정식으로 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{x}(p) &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{h} \int_{s_{i-1}}^{s_i} y_i K\left(\frac{p-u}{h}\right) du \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{h} y_i \int_{s_{i-1}}^{s_i} K\left(\frac{p-u}{h}\right) du \\ &= \sum_{i=1}^n y_i w_i \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, h 는 점 p 와 관련된 대역폭(bandwidth), $K(\cdot)$ 는 핵함수(Kernel function)이며, $s_i = (p_i + p_{i+1})/2$, ($i = 1, \dots, n-1$), $s_0 = 0$, $s_n = 1$ 이다. 이 때 p 는 초과확률을 나타내는 구간 $[0,1]$ 에서의 임의의 값이다.

따라서 경계핵밀도함수를 이용하여 연최저치의 EDI 지수에 대한 빈도해석을 수행하였다. 다음 그림은 서울과 부산 지점을 대상으로 회귀추정식을 통해 추정한 결과이다.

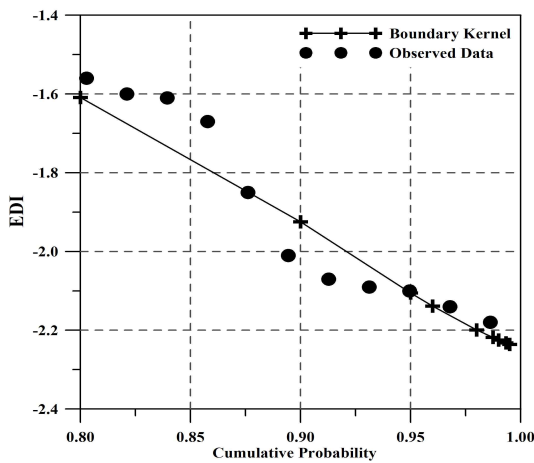


그림 3. 서울지점의 재현기간별 가뭄지수

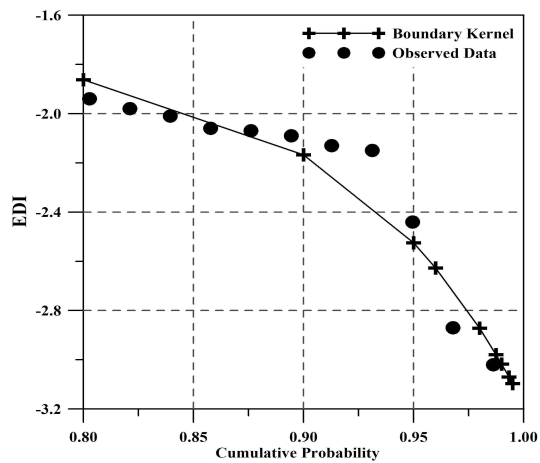


그림 4. 부산지점의 재현기간별 가뭄지수

대상지점별로 산정된 재현기간별 가뭄지수를 이용하여 다음 그림 5 및 그림 6과 같이 공간분포를 적용하여 도시하였다. EDI에서 극한가뭄상태를 나타내는 -2.0 이하의 값은 재현기간 5년에서 10년 사이의 값에서 분포하는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 기상학적 가뭄지수인 EDI를 이용하여 가뭄빈도해석을 수행하였다. 가뭄빈도해석

은 비매개변수적 방법인 경계핵밀도함수를 이용하였다. 경계핵밀도함수법은 확률밀도함수를 추정하는데 있어 외삽에 의하여 누가확률밀도함수가 1을 초과하지 않도록 하는 비매개변수적 기법이다.

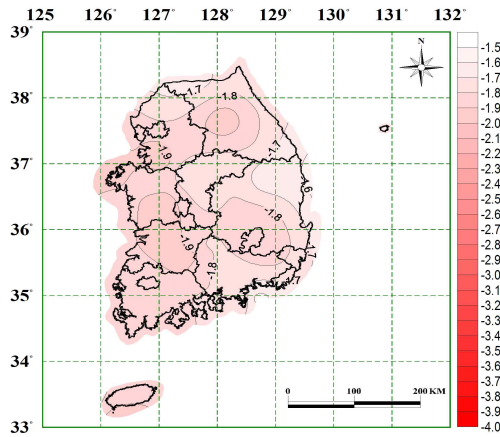


그림 5. 재현기간 5년의 EDI 가뭄지수

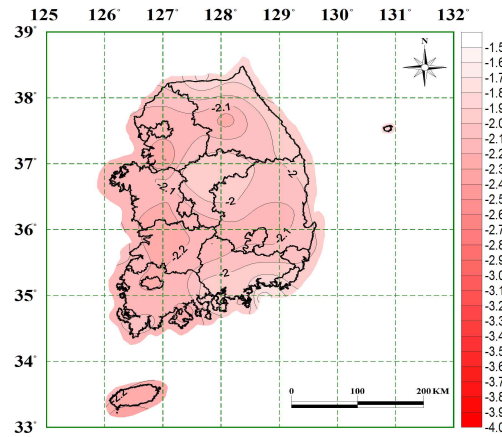


그림 6. 재현기간 10년의 EDI 가뭄지수

EDI 가뭄지수는 PDSI 및 SPI와 비교 분석한 결과에서 PDSI와 보다 비슷한 결과를 산정해 주는 것으로 나타났다. 즉, EDI 지수는 우리나라의 가뭄분석에 많이 활용되는 PDSI와 비슷한 결과를 보이면서, 일별로 가뭄지수를 산정할 수 있는 장점이 있다고 할 수 있다.

경계핵밀도함수를 이용한 빈도해석 결과에서 극심한 가뭄을 나타내는 -2.0 이하의 값은 5년빈도와 10년 빈도의 사이에 대부분 분포하는 것으로 나타났다. 이는 가뭄이 평균적으로 5년에서 10년 사이의 재현기간을 가지며, 극심한 가뭄상태가 반복되어 발생할 수 있는 가능성이 매우 큼을 의미한다. 따라서 가뭄에 의한 피해를 최소화하기 위한 대비가 필요한 것으로 판단된다.

감 사 의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-08-NH-05] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Byun and Wilhite, 1999, "Objective quantification of drought intensity and duration", Journal of Climate, Vol. 12, No. 9, pp. 2747-2756.
2. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008, Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva.
3. Dracup, J.A., Lee, K.S. and Paulson, E.G.Jr., 1980, On the Definition of Droughts. Water Resources Research, Vol. 16, No. 2, pp. 270-288.
4. Guttman, N.B., 1999, Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. Journal of the American Water Resources, Vol. 35, No 2, pp. 311-322.
5. Kim, T., Valdes, J.B., and Yoo, C., 2003, A nonparametric approach for estimation return periods of droughts in arid regions. journal of hydrologic Engineering, Vol. 8, No 5, pp. 237-246.
6. Shiau, J.-T., and Shen, H.W., 2001, Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. Journal of Water Resources Planning and Managements, ASCE, Vol. 127, No 1, pp. 30-40.