



Development and Application of Drought Index Based on Accumulative Pattern of Daily Rainfall

Kwon, Minsung^a · Park, Dong-Hyeok^b · Jun, Kyung Soo^a · Kim, Tae-Woong^{c*}

^aGraduate School of Water Resources, Sungkyunkwan Univ., Suwon 16419, Korea

^bDept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang Univ., Seoul 04763, Korea

^cDept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang Univ., Ansan 15588, Korea

Paper number: 15-086

Received: 10 October 2015; Revised: 13 November 2015 / 17 November 2015; Accepted: 17 November 2015

Abstract

This study proposed a new drought index considering the accumulative pattern of daily rainfall, i.e., Rainfall Accumulation Drought Index (RADI). The RADI can be easily calculated at daily scale by comparing the long-term averaged cumulative rainfall to the observed cumulative rainfall for a specific duration. This study evaluated the availability of the RADI in the field of monitoring short-term and long-term droughts by investigating the spatial and temporal variability and the recurrence cycle of drought in South Korea. To present the short-term and long-term droughts, the various SPIs with different durations should be used in practice. However, the RADI can present and monitor both short-term and long-term droughts as a single index. By investigating the national average of the RADI, specific drought patterns of 20-year cycle were identified in this study. This study also proposed a five-level drought classification considering occurrence probability that would be a suitable alternative as a drought criterion for drought forecast/response.

Keywords: accumulative pattern, daily rainfall, drought index

일 단위 강수량의 누적 패턴을 이용한 가뭄지수 개발 및 적용

권민성^a · 박동혁^b · 전경수^a · 김태웅^{c*}

^a성균관대학교 수자원전문대학원, ^b한양대학교 대학원 건설환경공학과, ^c한양대학교 공학대학 건설환경플랜트공학과

요 지

본 연구에서는 일강수량의 누적 패턴을 고려하여 새로운 가뭄지수(RADI)를 개발하였다. RADI는 누적 강수량의 장기간의 평균과 특정 기간에 관측된 누적 강수량을 비교하여 일단위로 가뭄지수를 간단히 산정할 수 있도록 개발되었다. 우리나라의 대표적인 가뭄기간 동안의 RADI의 시·공간적 변동성과 재현 주기를 살펴봄으로써 장·단기 가뭄의 감시에 대한 RADI의 적용성을 평가하였다. SPI의 경우, 장·단기 가뭄을 표현하기 위해서는 여러 가지 지속기간을 가지는 SPI를 사용해야 하지만, RADI는 하나의 지수로 단기 및 장기가뭄을 표현하고 모니터링 할 수 있다. RADI의 전국 평균값을 살펴본 결과, 우리나라에서 20년 주기로 가뭄이 발생하고 있다는 사실을 확인하였다. 또한 RADI의 발생확률 및 통계 분석을 통해 5단계의 가뭄 등급을 제안하였으며, 이는 가뭄 예보와 대응을 위한 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 가뭄지수, 누적 패턴, 일강수

*Corresponding Author. Tel: +82-31-400-5184
E-mail: twkim72@hanyang.ac.kr (T.-W. Kim)

1. 서론

최근 2014년에 이어 2년 연속 지속되는 가뭄으로 인하여 사회·경제적으로 우려의 목소리가 커지고 있다. 가뭄은 사회적으로 광범위한 피해를 발생시키지만, 지역별로 수자원의 사용량, 확보량, 공급능력 등이 다르기 때문에 어느 시점에 어떤 대비를 해야 할지 그 기준을 설정하는 것조차 매우 어렵다.

다양한 사회적 영향을 불러오는 가뭄을 표현하기 위해 많은 연구자들에 의해 다양한 가뭄지수들이 개발되어 왔다. 가뭄지수는 연구의 대상 및 목적에 따라 강수량, 증발산량, 유출량, 토양수분, 물공급 능력 등을 이용하여 여러 가지 관점으로 산정하게 된다. 가뭄의 정의와 분류 또한 다양하게 제시되고 있는데 Wilhite and Glantz (1985)는 가뭄을 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄, 사회·경제적 가뭄으로 분류하였다. 기상학적 가뭄을 나타내는 가뭄지수는 Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee *et al.*, 1993), Reconnaissance Drought Index (RDI) (Tsakiris and Vangelis, 2005), Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010) 등이 있으며, 농업적 가뭄을 나타내는 가뭄지수는 Crop Moisture Index (CMI), (Palmer, 1968), Crop Specific Drought Index (CSDI) (Meyer *et al.*, 1993), Soil Moisture Deficit Index (SMDI)와 Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) (Narasimhan and Srinivasan, 2005) 등이 있다. 또한, 수문학적 가뭄을 나타내는 가뭄지수는 Surface Water Supply Index (SWSI) (Shafer and Dezman, 1982), Reclamation Drought Index (RDI) (Weghorst, 1996), Regional Streamflow Deficiency Index (RSDI) (Stahl, 2001) 등이 있다. 사회·경제적 가뭄은 기상학적 가뭄과 수문학적 가뭄의 영향으로 물 공급의 감소 또는 인구증가와 낙후된 수자원 관리기술 등과 같은 인간이 유발하는 요인의 결과로 인해 사회·경제적 재화의 수요와 공급을 초과할 때 또는 공급이 수요를 충족하지 못할 때 발생한다(Tallaksen and van Lanen, 2004). 이와 같이 여러 가지 목적으로 개발된 수많은 가뭄지수들이 존재하지만, PDSI, SPI, CMI, SWSI 등은 기상학적 가뭄과 농업적 가뭄 그리고 수문학적 가뭄의 모니터링 및 예측 등에 널리 사용되고 있다. 우리나라에서도 기상청, 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등에서 독자적으로 가뭄지수를 개발하여 사용하고 있다. 비록 최근에 통합가뭄지수의 필요성도 제기되고 있지만(Bae *et al.*, 2013), PDSI와 SPI와 같이 공통적으로 활용되는 가뭄지수와 더불어 각 기관의 고유 업무에 부합되는 특정 가뭄지수를 개발하고 가뭄 상황판단에 적절히 활용하는 것도 필요하다.

Changnon (1987)에 의하면 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄, 수문학적 가뭄은 모두 강수의 부족에 기인하는 것으로, 이러한 강수의 부족이 유출, 토양수분, 하천 유량, 지하수위에 미치는 영향은 시계열을 통해 표현될 수 있다. 이는 강수량에 의해 판단되는 기상학적 가뭄 정보의 제공이 무엇보다 중요하다는 것을 보여준다. 하지만, 최근 기상청이 가뭄판단지수(Drought Decision Index (DDI))의 정보 제공을 중단했고(Energy Economy, 2015), 강수의 부족을 평가하는 기상학적 가뭄지수의 신뢰성에 대한 문제가 꾸준히 제기되고 있다(Bae *et al.*, 2013). 현재 기상청에서는 1년 누적 강수량 평년비, 표준강수지수(SPI), 파머가뭄지수(PDSI), 평균치비율 등을 제공하고 있지만, 1년 누적 강수량 평년비는 과거의 강수량이 현재에도 동일한 영향을 미치는 것으로 가정하기 때문에 최근의 가뭄 정보를 적절히 제공할 수 없으며, SPI는 주로 3개월 단위의 강수를 대상으로 하여 가뭄지수를 산정하기 때문에 장기간의 가뭄 평가에 취약하다. PDSI는 강수량, 증발량, 유출량, 토양수분량 등 다양한 인자를 반영하여 산정되나, 증발량, 유출량, 토양수분에 대한 자료가 충분하지 않아 실용성이 낮으며, 평균치 비율은 평년 대비 강수 비율로 나타내지만, 그 기간에 대한 정의가 없으며, 1년 누적 강수량 평년비와 마찬가지로 효율성이 낮다.

이에 본 연구에서는 기상학적 가뭄지수는 평년대비 강수량의 부족량을 나타내는 지표라는 기본 가정에서 출발하여, 누적 강수량의 장기간의 패턴을 고려하여 누적 관측 강수량을 표준화하여 새로운 가뭄지수인 RADI (Rainfall Accumulation Drought Index)를 제안하고, 그 적용성을 평가하였다. RADI는 일단위로 계산이 가능하고, 단기 및 장기가뭄을 모두 확인할 수 있어, 기상학적 가뭄 정보를 제공하기 위한 적절한 대안이 될 수 있다고 판단된다.

2. RADI 산정 및 적용

본 연구에서는 1986년부터 일강수량 자료를 보유하고 있는 기상청 관할 58개 관측소(Fig. 1)를 대상으로 2015년 7월 29일까지 일강수량 자료를 이용하여 RADI를 산정하고 적용성을 분석하였다. 2.1절에서는 RADI 산정방법에 대해 설명하였고, 2.2절은 2000년 이후의 대표적 가뭄사례에 대해 RADI의 적용성을 평가하였으며, 2.3절에는 RADI의 가뭄등급을 제안하였다.

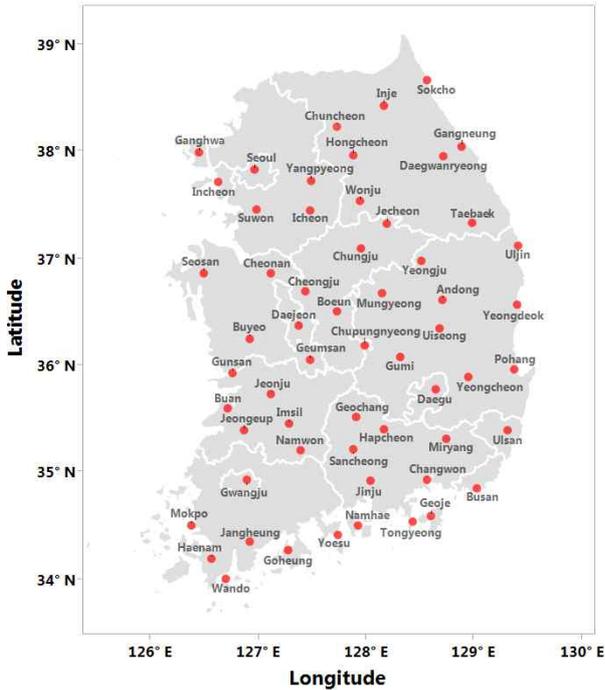


Fig. 1. Rainfall Observation Stations Used in This Study

2.1 RADI 산정

RADI는 장기간의 평균인 기대강수량(CMDR: Cumulative Mean Daily Rainfall)에 대한 누적 관측강수량(COR: Cumulative Observed Rainfall)의 부족량 비율을 통해 산정된다. CMDR을 추정하기 위해 먼저 1년을 365일로 하여 연도별 해당일의 강수량을 평균한 일평균 강수량(MDR: Mean Daily Rainfall)을 산정한다(Eq. (1)). 이렇게 산정된 MDR을 관측연도별로 해당 일에 할당하고, 관측시작일부터 순번을 부여하여 NMDR (New Mean Daily Rainfall)로 정의한다(Eq. (2)). 본 연구에서는 윤년의 2월 29일 강수량은 2월 28일로 합산하여 MDR를 계산하고, 다시 윤년의 2월 28일과 29일의 NMDR는 2월 28일의 MDR의 1/2씩 각각 적용하였다.

$$\begin{bmatrix} DR \\ MDR_2 \\ \vdots \\ MDR_{365} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{1,1} & R_{2,1} & \cdots & R_{,1} \\ R_{1,2} & R_{2,2} & \cdots & R_{N,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{1,365} & R_{2,365} & \cdots & R_{N,365} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} / N \quad (1)$$

여기서, R_{ni} 는 n 번째 해의 i 번째 일의 강수량이고, N 은 총 관측연수, MDR_i 는 연중 i 번째 일의 평균 강수량이다.

$$\begin{bmatrix} NMDR_1 \cdots NMDR_{365} \\ NMDR_{366} \cdots NMDR_k \cdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} MDR_1 \cdots MDR_{365} \\ MDR_1 \cdots MDR_i \cdots \end{bmatrix} \quad (2)$$

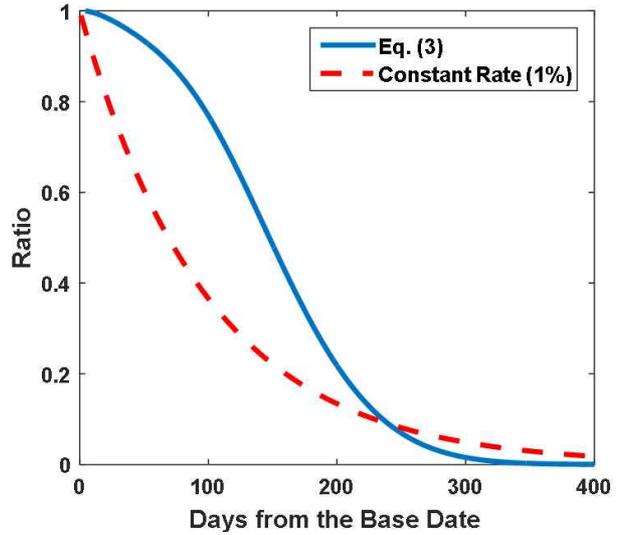


Fig. 2. Two Kinds of Reduction Factor

여기서, $NMDR_k$ 는 MDR_i 를 관측연도별로 해당 일에 할당된 값(k 는 관측시작일부터 연속된 순번이다)이다.

현재를 기준으로 과거 강수량에 대한 가중치는 Eq. (3)과 같은 감소계수(RF: Reduction Factor)를 적용하며, 이는 CMDR의 계산뿐만 아니라, 누적 관측 강수량(COR)을 산정할 때도 동일하게 적용된다.

$$\begin{bmatrix} F \\ RF_3 \\ \vdots \\ RF_k \end{bmatrix} = \alpha_1 \exp\left(-\frac{l-\beta_1}{\gamma_1}\right) + \alpha_2 \exp\left(-\left(\frac{l-\beta_2}{\gamma_2}\right)^2\right), \quad l=2:k \quad (3)$$

여기서, RF_k 는 기준일로부터 k 일 이전의 강수량에 대한 감소계수이다.

본 연구에서는 $\alpha_1 = 0.47, \beta_1 = -40, \gamma_1 = 70, \alpha_2 = 0.85, \beta_2 = 60, \gamma_2 = 120$ 을 적용하였다. Fig. 2는 1%씩 일정비율로 감소했을 때와 본 연구에서 사용한 Eq. (3)을 적용하였을 때의 과거 강수에 대한 영향을 보여 준다. 일정비율로 감소하는 방법은 계산일 기준으로 최근의 강수의 영향이 너무 빨리 줄어드는 경향을 가지나, Eq. (3)에 의한 감소계수는 관측일 기준 최근 강수의 영향은 크게 유지하고, 그 전 강수의 영향은 최근에 비해 크게 감소시킨다. 물론 이 또한 개념적인 접근으로 향후 물리적 사회적 영향을 고려하여 매개변수를 수정하면 새로운 RADI를 산정할 수 있어 실무 적용에 유연성이 큰 장점이 있다.

마지막으로 기대강수량인 $CMDR_k$ 는 Eq. (4)에서와 같이 $NMDR_k$ 에는 1의 가중치를 부여하고, 1일부터 $(k-1)$ 일까지의

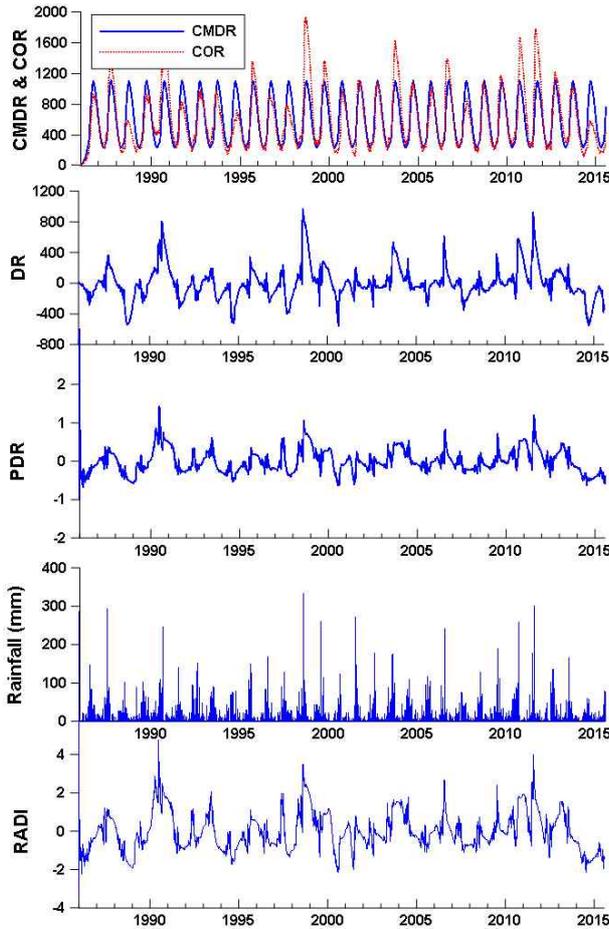


Fig. 3. Calculation Examples of RADI at Seoul Station

$NMDR_{1 \sim (k-1)}$ 는 RF_{k-2} 의 감소계수를 곱한 뒤 합하여 산정할 수 있다.

$$MDR = \begin{bmatrix} NMDR_1 & NMDR_2 & NMDR_3 & \dots & NMDR_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} RF_k \\ RF_{k-1} \\ RF_{k-2} \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서, $CMDR$ 는 $NMDR$ 에 RF 를 적용한 누적 일평균 강수량이다.

누적 관측강수량(COR)은 $CMDR$ 과 같이 관측일 기준으로 과거 관측 강수량에 RF 를 적용하여 Eq. (5)와 같이 계산한다. Eqs. (4)와 (5)에 의해 산정된 $CMDR$ 과 COR 의 편차(DR : Difference in Rainfalls)를 Eq. (6)을 이용하여 산정하고, 일에 산정된 DR_k 를 $CMDR_k$ 로 나눠, 기대강수량에 대한 부족 비율(PDR_k : Proportion of DR to $CMDR$)을 Eq. (7)을 이용하여 산정한다. 이는 우기와 건기의 기대강수량에 대한 관

측강수량의 과부족을 상대적으로 평가하여, 우기와 건기의 가뭄 기준에 일관성을 부여할 수 있게 된다. 최종적으로 $RADI$ 는 PDR 을 표준화(Eq. (8))하여 산정할 수 있다. 이때, 일별로 표준편차를 나눠주지 않고, 전체 PDR 에 대한 표준편차를 구해서 나눠준다. 이는 일별 표준편차를 적용하는 것보다 지수의 변동성을 줄여주는 장점이 있다. Fig. 3은 서울지점의 $RADI$ 산정 과정에서 계산되어지는 $CMDR$, COR , DR , PDR 과 일강수량 및 $RADI$ 를 보여준다.

$$OR = R_1 R_2 R_3 \dots R_k \begin{bmatrix} RF_k \\ RF_{k-1} \\ RF_{k-2} \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$DR_k = COR_k - CMDR_k \quad (6)$$

$$PDR_k = DR_k / CMDR_k \quad (7)$$

$$RADI_k = PDR_k / \sigma(\forall PDR) \quad (8)$$

여기서, COR 은 RF 를 적용한 누적 관측강수량이고, DR 은 $CMDR$ 에 대한 COR 의 편차이고, PDR 은 $CMDR$ 에 대한 DR 의 비율이다. $\sigma()$ 는 표준편차를 의미한다.

$RADI$ 의 장점은 일단위뿐만 아니라 여러 시간단위로 계산이 가능하고, 계산이 간편하며, 누적일의 기준을 따로 두지 않으므로 단기 및 장기가뭄을 모두 확인할 수 있다. 또한 일별로 가뭄지수를 표준화하지 않아 지수의 변동성이 적고, 감소계수(RF) 산정식의 매개변수를 조정하면 $RADI$ 를 조정할 수 있어 유연성이 크다.

2.2 RADI의 적용 및 평가

$RADI$ 의 적용성을 평가하기 위해 2001년, 2008~2009년, 2012년, 2014년, 2015년 가뭄 기간 동안 $RADI$ 의 시간 및 공간적 변화를 확인하였다(Fig. 4). 본 연구에서 산정한 과거 시점의 $RADI$ 는 최근까지의 강수량자료를 기반으로 일괄 산정하였다.

2001년 가뭄은 2001년 3월부터 6월까지 전국 72개 관측지점 중 57개 지점에서 관측 이래 최소 강수량을 기록하였으며, 인천과 부산은 1904년 최초 관측 이래 최소 강수량을 기록하였다(MOCT, 2002). Fig. 4(e)의 2001년 가뭄의 시·공간적 변화를 살펴보면 5월 초에 일부지역에서 가뭄이 나타나고, 5월 중순에는 전라북도 일부지역을 제외한 전국에서 가뭄이 심

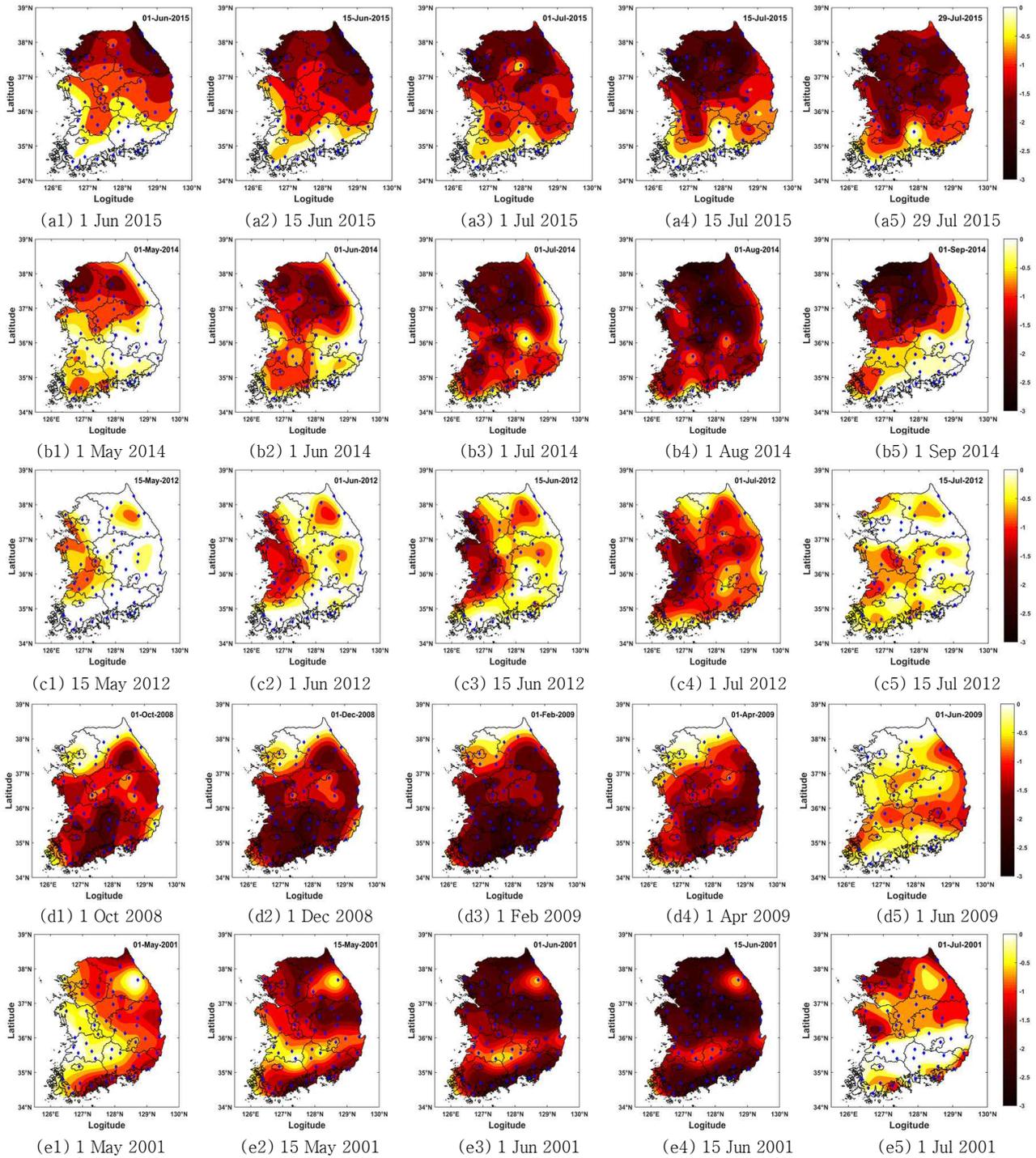


Fig. 4. Temporal and Spatial Variation of RAD

각하게 나타났으며, 6월 중순에는 전국적으로 가뭄이 극심해졌다. 6월 말의 강수로 인해 남부지방은 평균 기대강수량(CMDR)을 거의 회복하였고, 중부지방도 가뭄이 약해진 것을 잘 나타내고 있다.

2008-2009년 가뭄은 경남, 전남, 강원 동해 지역에서 극심하게 발생하였다(Shim and Moon, 2009). Fig. 4(d)는 당시의 가뭄상황을 나타내고 있으며, 2009년 2월 전국적으로 가뭄이 가장 심하고 나타났고, 이후 4월 초에는 전라북도, 경상북도

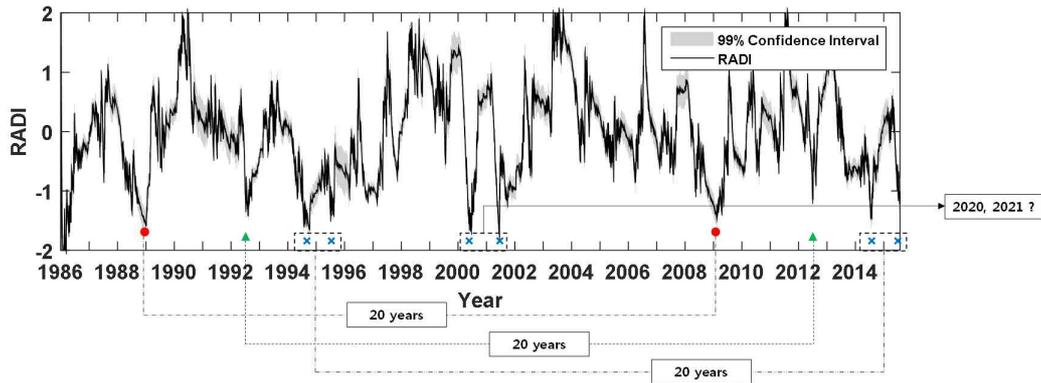


Fig. 5. Time Series of Mean of RADI and 99% Confidence Interval at 58 Stations

및 동해안 지역을 제외하고는 대부분 회복되었음을 알 수 있다. 또한 남부지방에서 중부 해안지역으로 가뭄지역이 넓어지고 있음을 확인할 수 있다.

2012년 가뭄은 6월 29일 내린 비로 가뭄이 일부 해소되기 직전까지 평년의 31%밖에 안 되는 적은 강수량과 평년보다 21.9% 낮은 저수율을 나타냈다(KRCC, 2012). 2012년 가뭄은 충남 및 전북을 중심으로 전국적으로 확대되어 가다 7월 중순에는 대부분의 지역에서 CMDR을 회복한 것을 RADI를 통해 잘 나타나고 있음을 알 수 있다(Fig. 4(c)).

2014년의 경우 장마전선이 주로 남쪽에 머물면서 제주도는 강수량이 평년보다 많았으나, 5-7월 남부·중부지방의 강수량이 평년의 50% 수준으로 매우 적으며, 8월은 남부지방에 평년대비 많은 비가 내렸다(KMA, 2014). Fig. 4(b5)에 나타난 바와 같이 8월 초까지 가뭄이 전국적으로 확대되다 8월 내린 비로 인해 9월 1일에는 남부지방은 가뭄이 해소되었다.

2015년 5월의 남부지방은 평년 수준의 강수량을 유지하였으나, 전국 강수량은 평년대비 51% 수준이었으며, 6월과 7월 또한 평년대비 62% 수준으로 적은 강수량을 기록했다(KMA, 2015). Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 2015년의 가뭄은 남부 해안지역을 제외하고 7월 29일까지 전국적으로 가뭄이 확대되고 있는 것을 잘 나타내고 있다.

2001년, 2008~2009년, 2012년, 2014년, 2015년 가뭄 기간 동안의 RADI의 시간적 공간적 변화를 확인한 결과, 본 연구에서 제안한 RADI는 문헌에서 확인한 가뭄의 시간적 공간적 변화를 잘 묘사하고 있는 것으로 확인하였다.

Fig. 5는 58개 지점의 RADI 평균값과 99% 신뢰구간을 나타내고 있다. 평균을 통해 전국적인 가뭄에 대한 정보를 확인할 수 있으며, 신뢰구간의 범위를 통해 RADI의 전국적인 편차를 직관적으로 확인할 수 있다.

특히 최근 30년간 전국 평균 RADI의 시계열을 통해 최근

우리나라의 가뭄 발생의 특별한 패턴을 확인할 수 있었다. 1988~1990년의 해를 넘기는 가뭄 발생 후, 3년 뒤인 1992년, 그리고 2년 뒤인 1994년과 1995년 2년 연속으로 가뭄이 발생하였으며, 5년 뒤인 2000년 2001년 연속으로 가뭄이 발생하였다. 위와 같은 첫 번째 패턴이 2008~2009년 해를 넘기는 가뭄으로 다시 시작되었고, 다시 3년 뒤인 2012년, 그리고 2년 뒤에 2014년 2015년에 연속으로 가뭄이 발생했다. 즉, Fig. 5에 나타난 것과 같이 20년 주기로 일정한 패턴의 가뭄이 발생하였다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 패턴으로 가뭄이 발생한다면, 1994~1995년, 2000~2001년, 2014~2015년과 같이 연속적인 가뭄이 수년 내에 또 다시 발생할 수 있다고 추정할 수 있다. 따라서 앞으로의 가뭄 대책은 단기적인 가뭄뿐만 아니라, 해를 거듭해 발생하는 연속적인 가뭄에 대한 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

2.3 가뭄 등급 제안

가뭄의 상황을 파악하고 대책을 수립하기 위해서는 가뭄 지수에 따른 적절한 가뭄 등급이 필요하다. RADI의 가뭄 등급을 설정하기 위해 58개 관측소에 대해 RADI의 발생확률 및 통계 분석을 실시하였다. Table 1은 비초과확률 0.35, 0.25, 0.15, 0.10, 0.05일 때의 RADI의 평균, 표준편차, 평균표준오차를 나타내고 있다. 표준편차와 평균표준오차의 값이 매우

Table 1. Statistics of 58 Stations for Non-Exceedance Probability

Non-Exceedance Probability	Mean	Standard Deviation	Standard Error of the Mean
0.35	-0.5	0.0501	0.0066
0.25	-0.7	0.0486	0.0064
0.15	-1.0	0.0579	0.0076
0.10	-1.2	0.0791	0.0104
0.05	-1.5	0.1022	0.0134

Table 2. Drought Severity Classification

Non-Exceedance Probability (p)	Ranges	Description
$0.35 \geq p > 0.25$	$-0.5 \geq x > -0.7$	Mild Drought
$0.25 \geq p > 0.15$	$-0.7 \geq x > -1.0$	Moderate Drought
$0.15 \geq p > 0.10$	$-1.0 \geq x > -1.2$	Severe Drought
$0.10 \geq p > 0.05$	$-1.2 \geq x > -1.5$	Extreme Drought
0.05 or less	-1.5 or less	Exceptional Drought

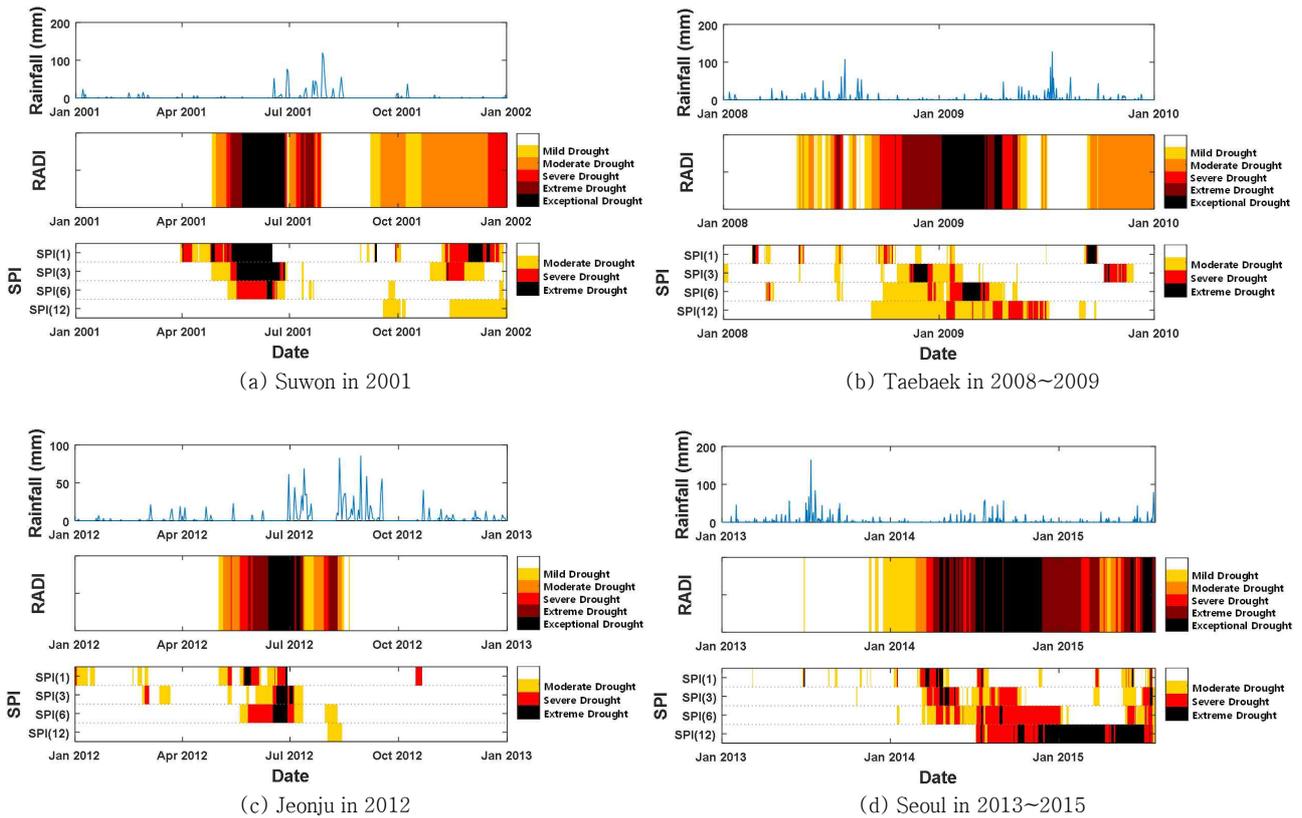


Fig. 6. Comparisons of RADI and SPI

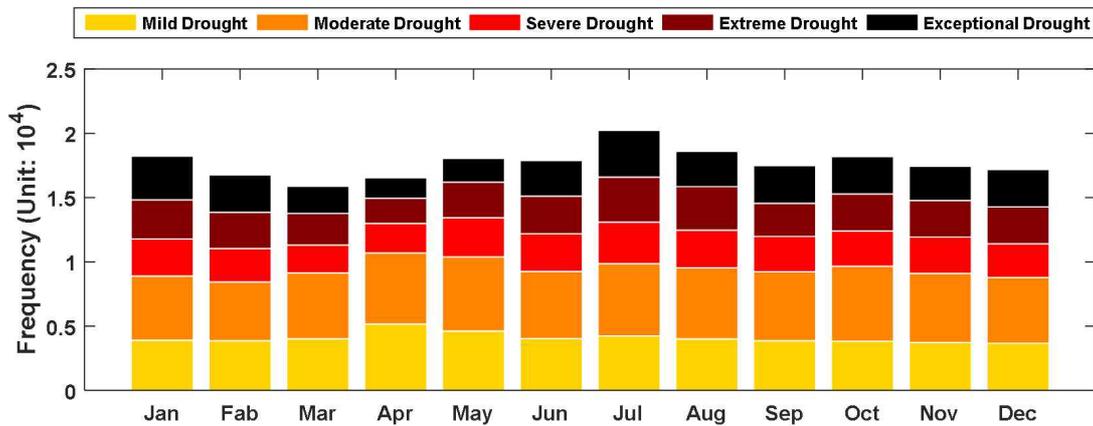


Fig. 7. Temporal Distribution of Drought Occurrences

작아 산정된 각 비초과확률별 평균이 58개 지점의 평균을 대표할 수 있다고 판단되며, 이를 토대로 Table 2와 같이 다섯 등급으로 가뭄을 분류하였다.

Fig. 6에서는 앞서 확인한 가뭄기간 동안의 특정 지점의 강수현황과 RADI 그리고 SPI를 비교하였다. SPI는 1개월(SPI1), 3개월(SPI3), 6개월(SPI6), 12개월(SPI12)를 산정하였다. SPI의 경우 단기 가뭄과 중장기 가뭄에 대한 정보를 SPI 산정 기간별로 특정 기간에 대한 정보 전달만 가능했다. 하지만, Fig. 6에서 보여진 바와 같이 RADI는 2001년과 2012년의 단기 가뭄에 대한 정보뿐만 아니라 2008~2009년, 2014~2015년 장기적인 가뭄에 대한 정보 또한 잘 나타내고 있어, RADI만으로도 다양한 지속기간에 대한 SPI의 가뭄정보, 즉, 단기 및 장기 가뭄에 대한 정보를 제공할 수 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 7에는 가뭄 등급별 발생 빈도를 월별로 나타내었다. 여기서 빈도는 58개 지점의 일별 가뭄등급을 모두 합한 것으로 'Severe Drought' 등급 이상의 심한 가뭄 발생은 3월과 4월에 상대적으로 발생 비율이 낮은 것으로 나타났으나, 전반적으로 가뭄 발생의 빈도는 월별로 큰 차이는 없는 것을 확인하였다. 가뭄은 1년 365일 언제라도 발생할 수 있는 자연재해로 항상 대비의 필요성을 잘 보여주고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 기대강수량에 대한 관측 누적강수량의 부족량 비율을 통해 새로운 가뭄지수인 RADI를 제안하고 적용성을 확인하였으며, RADI를 활용한 가뭄등급을 제안하였다.

2001년, 2008~2009년, 2012년, 2013~2015년 가뭄기간 동안의 RADI의 시간 및 공간적 변화를 확인하였고, RADI가 과거 가뭄의 시-공간적 변화를 잘 묘사하고 있는 것으로 분석되었다. 또한 RADI의 전국 평균을 통해 20년 주기로 가뭄이 발생하는 사실을 확인하였고, 이는 향후 가뭄 대비에 활용도가 높을 것으로 판단된다.

가뭄의 상황을 파악하고 대책을 수립하기 위한 가뭄등급을 설정하기 위해 비초과확률 0.35, 0.25, 0.15, 0.10, 0.05에 대한 RADI의 기준값을 제시하고 5단계의 등급을 제안하였으며, 단기 및 장기 가뭄 구분없이 가뭄 상황을 잘 묘사하고 있음을 확인하였다. 또한 월별 가뭄 발생의 빈도에는 큰 차이가 없으므로 항상 가뭄을 대비할 필요가 있으며, 본 연구에서 제안한 RADI가 다음의 장점으로 가뭄 예보와 대응을 위한 기준으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

RADI는 (1) 일단위로 계산이 가능하고, 계산이 간편하며, (2) 누적일의 기준을 따로 두지 않으므로, 단기 및 장기 가뭄을 모두 확인할 수 있고, (3) 감소계수 산정식의 매개변수를 조정하면 RADI를 조정할 수 있어 유연성이 크다. 본 연구에서는 개념적인 감소계수 산정식을 적용하였지만, 향후 물리적 사회적 요인들을 고려해 지역 특성에 적합한 감소계수를 적용하면 RADI의 지역화로 가뭄 대응에 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(2013R1A1A2013160)과 국토교통부 물관리사업(14AWMP-B082564-01)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bae, D.-H., Sohn, K.-H., Kim, H.-K., Lee, J.-H., Lee, D.-R., Ahn, J.-H., and Kim, T.-W. (2013). "Standardization and evaluation of PDSI calculation method for Korean drought management agencies." *Atmosphere*, Vol. 23, No. 4, pp. 539-547.
- Changnon, S.A. (1987). *Detecting drought conditions in Illinois*, Vol. 169, Illinois State Water Survey.
- Energy Economy (2015). "KMA, Provided wrong DDIs last 7 years." July 14.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2014). *Press release of meteorological characteristic (May, June, July, and August)*.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2015). *Press release of meteorological characteristic (May, June, and July)*.
- Korea Rural Community Corporation (KRCC) (2012). *White paper on drought 2012*.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales." *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, Boston, MA, USA, Vol. 17, No. 22, pp. 179-183.
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., and Wilhite, D.A. (1993). "A crop-specific drought index for corn: I. Model development and validation." *Agronomy Journal*, Vol. 85, No. 2, pp. 388-395.
- Ministry of Construction Transportation (MOCT) (2002). *Research report on drought records in 2001*.
- Narasimhan, B., and Srinivasan, R. (2005). "Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 133, No. 1, pp. 69-88.

- Palmer, W.C. (1965). *Meteorological drought* (Vol. 30). Washington, DC, USA: US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Palmer, W.C. (1968). "Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index." *Weatherwise*, Vol. 21, No. 4, pp. 156-161.
- 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 Western Snow Conference*, Fort Collins, CO, Vol. 50, pp. 164-175.
- Shim, K.O., and Moon, S.Y. (2009). *A study on the extreme drought countermeasures by climate changes*. National Disaster Management Institute.
- Stahl, K. (2001). *Hydrological drought - a study across Europe*, Ph.D. Dissertation, Universitätsbibliothek Freiburg.
- Tallaksen, L.A., and van Lanen, H.A.J. (2004). *Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*, Elsevier, The Netherlands.
- Tsakiris, G., and Vangelis, H. (2005). "Establishing a drought index incorporating evapotranspiration." *European Water*, Vol. 9, No. 10, pp. 3-11.
- 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." *Journal of Climate*, Vol. 23, No. 7, pp. 1696-1718.
- Weghorst, K. (1996). "The reclamation drought index: guidelines and practical applications." *North American Water and Environment Congress & Destructive Water*, ASCE, pp. 637-642.
- Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. (1985). "Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions." *Water International*, Vol. 10, No. 3, pp. 111-120.