

일 단위 SPI와 ROC 분석을 이용한 단기가뭍의 평가

유지영* · 송호용** · 김태웅*** · 안재현****

Yoo, Ji Young*, Song, Hoyong**, Kim, Tae-Woong***, Ahn, Jae-Hyun****

Evaluation of Short-Term Drought Using Daily Standardized Precipitation Index and ROC Analysis

ABSTRACT

The Standardized Precipitation Index (SPI) is widely applied to evaluate for meteorological droughts. However, the SPI is limited to capture a drought event with a short duration, especially shorter than one month. In this study, we proposed a daily SPI (DSPI) as a way to overcome the limitation of the monthly SPI for drought monitoring. In order to objectively assess the ability of the drought reproduction of the DSPI, we performed a receiver operating characteristic (ROC) analysis using the quantified drought records from official reports, newspapers, etc. The results of ROC analysis showed that the DSPI has an ability to reproduce short-term drought compared with other indices. It also showed that the main cause of historical droughts was the shortage of rainfall accumulated during the time period less than 90 days compared with the rainfall of normal years.

Key words : Short-Term drought, Daily standardized precipitation index, ROC analysis

초록

SPI(Standardized Precipitation Index)는 계산절차가 간단하기 때문에 기상학적 가뭍을 평가하는데 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 월 단위 기반으로 산정되기 때문에 1달 이내의 짧은 지속기간을 가지는 가뭍사상을 포착하지 못하는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 월 단위로 계산되는 SPI의 단점을 극복하기 위한 방안으로 일 단위 SPI(DSPI)를 제안하였다. 또한, DSPI의 가뭍재현능력을 객관적으로 평가하기 위해 과거의 가뭍발생기록을 이용하여 ROC 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 우리나라의 단기가뭍을 재현하는데 적절한 지속기간을 제시하였으며, 가뭍의 발생유무를 결정하는 데 활용하는 3가지 등급(보통, 심한, 극한 가뭍)별 DSPI의 가뭍예보능력을 검토하였다. 그 결과 3가지 등급에 대한 재현능력이 우수한 가뭍 지속기간을 결정하였다. 또한, 과거 2000년 이후에 발생한 우리나라 대부분의 가뭍은 90일(3개월) 이내의 누적 강수량이 평년의 수준에 비하여 부족하기 때문에 발생한 기상학적 측면의 단기가뭍인 것으로 나타났다.

검색어 : 단기가뭍, 일 단위 SPI, ROC 분석

1. 서론

현재 전 세계적으로 기후변화로 인한 대규모 가뭍의 발생 가능성이 높아지고 있으며, 우리나라도 예외는 아니다. 이는 전지구적 온난화 현상의 영향으로 우리나라는 강수량의 감소와 더불어 증발량도 크게 증가하고 있으며, 결국 가뭍과 관련된 피해도 더욱 커질

* 정회원 · 전북대학교 토목공학과 연구교수 (7924pooh@hanyang.ac.kr)

** 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 (hysong86@hanyang.ac.kr)

*** 정회원 · 교신저자 · 한양대학교 공학대학 건설환경플랜트공학과 부교수

(Corresponding Author · Hanyang University · twkim72@hanyang.ac.kr)

**** 정회원 · 서경대학교 토목건축공학과 부교수 (wrr@skuniv.ac.kr)

Received April 8, 2013/ revised May 8, 2013/ accepted June 11, 2013

것이다(Choi et al., 2008). 또한, 가뭄은 그 특성상 다른 자연재해와는 달리 진행속도가 느리므로 시·공간적으로 정확하게 판단하기 쉽지 않다.

일반적으로 가뭄은 크게 4가지 원인으로 구분하며, 이는 강수량의 부족을 원인으로 하는 기상학적인 가뭄, 지표수 및 지하수의 부족을 원인으로 하는 수문학적 가뭄, 토양수분의 부족을 원인으로 하는 농업적 가뭄, 용수 및 전력공급의 제한을 원인으로 하는 사회경제학적 가뭄이다. 이러한 가뭄은 주로 가뭄지수에 의해 상황을 판단하며, 현재까지 다양한 가뭄지수들이 개발되었다. 우리나라도 가뭄에 대한 많은 연구들이 지속적으로 진행되고 있으며(Yoo, 2006; Kim and Yoo, 2006; Yoo et al., 2008; Choi and Kim, 2010; Kim and Lee, 2011; Kim et al., 2011; Ahn et al., 2012), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI), 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI) 등이 대표적으로 활용되고 있다.

이처럼 가뭄을 정의하고 판단하기 위한 목적으로 활용되는 다양한 가뭄지수 중에서 SPI는 다른 지수들과 비교하여 가뭄지수를 계산하는 과정에서 월강수량 자료만을 이용하기 때문에 비교적 자료구축에 대한 제약조건이 적다. 또한 다양한 시간척도(time scale)를 고려하여 계산할 수 있기 때문에 단기 및 장기적인 강수 부족량을 평가할 수 있는 장점이 있다. 그러나 SPI는 월 단위로 계산되기 때문에 짧은 기간 동안의 수문학적 변동성을 고려하지 못하는 한계가 있다. 특히 1개월 이내에 단기 가뭄사상이 발생하고 해소되는 경우를 포착하지 못하는 경우가 종종 발생한다. 예를 들어, 5월 1일 큰 강수가 발생한 후, 5월 2일부터 6월 29일까지 강수가 내리지 않는다면 심한 가뭄(severe drought)이 발생할 수 있으나, 6월 30일에 또 다시 큰 강수가 발생한다면 월 단위 기반의 가뭄지수에서는 해당 가뭄 상황을 표출되지 못하게 된다.

본 연구에서는 기존의 월 단위 SPI가 갖는 적용상의 한계를 극복하고 단기가뭄을 평가하기 위하여 일단위의 누적강수량을 기반으로 강수 부족분을 계산하여 일 단위 SPI를 개발하였다. 또한, 다양한 시간척도별 일 단위 SPI에 대한 적용상의 효율성을 검토하기 위해 ROC(Receiver Operating Characteristic) 분석을 실시하였다. ROC 모형은 주로 기상분야에서 확률예보의 정성적 검증에 활용되는 기법이다(Mason, 1982). Kim and Lee (2011)는 실제 가뭄 사례와 가뭄지수와의 정량적인 평가를 위해 통계적 기법인 ROC 분석을 적용한 바 있다. 이러한 ROC 분석을 위해서 본 연구에서는 2000년 이후(2000년, 2001년, 2008년, 2009년, 2012년) 우리나라에서 실제 발생했던 단기가뭄 기록을 여러 가지 가뭄관련 보고서 및 언론 보도자료 등을 활용하여 수집하였으며, 다양한 시간척도를 가지는 일 단위 SPI와 비교분석하였다. 이는 단기가뭄을 평가할 수 있는

가뭄지수를 개발하고 활용하기 위한 기초연구로서 일 단위 가뭄지수를 기반으로 한 효율적인 가뭄 모니터링을 가능케 할 것이다.

2. 일 단위 SPI를 이용한 가뭄특성 분석

2.1 가뭄의 정의 및 일 단위 SPI 개념

강수의 부족은 가뭄의 주된 요인이라 할 수 있으며, 가뭄의 정량적 평가에 효과적으로 이용되고 있다. 즉 평균적인 수준을 설정하고, 이를 기준으로 가뭄을 정의하고 가뭄사상의 지속기간, 심도, 발생빈도 등을 정량화한 후, 시계열 분석법을 이용하여 가뭄의 특성을 분석하는 것이다.

일반적으로 가뭄의 단기 및 장기적인 특성을 복합적으로 해석하기 위하여 월별 강수량 시계열을 다양한 시간척도(3, 6, 9, 12개월 등)의 누가강수 시계열을 구성하고, 각 시간척도별 강수 부족량을 계산하여 월 단위 SPI(Monthly SPI, MSPI)를 산정한다(McKee et al., 1993). 그러나 MSPI를 이용하여 가뭄평가를 수행할 경우, 짧은 지속기간을 가지는 가뭄현상을 설명하는 데에는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 일 단위 SPI를 개발하여 월 단위 SPI가 가지는 적용상의 한계점을 보완할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

일 단위 SPI의 개념은 월 단위 SPI와 개념적으로는 동일하며, SPI의 계산을 위해 누가강수 시계열을 구축할 경우에 일 강수량(daily precipitation)을 다양한 시간척도를 고려하여 일별 누가강수 시계열(daily cumulative precipitation time series)을 구성한다. 일별 누가강수의 확률분포함수를 추정하여, 누가확률값에 해당하는 표준정규변량을 추정하면, 일 단위 SPI(Daily SPI, DSPI)가 된다. 본 연구에서는 Gamma 분포의 확률밀도함수(Eq. (1))와 누적분포함수(Eq. (2))를 이용하여 우리나라 228개 행정구역별 MSPI 및 DSPI를 모두 산정하였다. DSPI를 산정하는 과정에서 Gamma 분포의 적합도 검정을 수행한 결과, 228개 행정구역별 DSPI를 계산하는 데 적용되어진 총 365개의 Gamma 분포함수 중 대부분이 적합도 검정(Chi-Square Test와 Kolmogorov-Smirnov Test)을 통과하는 것으로 확인되었다.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right) \quad (1)$$

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \int_0^x \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right) dx \quad (2)$$

여기서, α 는 축척매개변수(scale parameter), β 는 형상매개변수(shape parameter), $\Gamma(\beta)$ 는 감마함수(Gamma function)이다.

Table 1. Definition of the SPI Classes and Corresponding Event Probabilities

SPI interval	SPI classes	Occurrence probability (%)
More than 2.00	Extreme wet	2.3
1.99 to 1.50	Severe wet	4.4
1.49 to 1.00	Moderate wet	9.2
0.99 to -0.99	Normal	68.2
-1.00 to -1.49	Moderate drought	9.2
-1.50 to -1.99	Severe drought	4.4
Less than -2.00	Extreme drought	2.3

Table 1은 위와 같은 과정을 통해 산정된 DSPI의 등급 분류기준으로 가뭄의 심도를 판단하는 기준이 된다.

2.2 행정구역별 일 단위 SPI 산정 및 적용성 검토

일반적으로 지역적 가뭄관리를 위하여 행정구역에 따른 지자체가 가뭄대응 및 피해복구를 수행하고 있으나, 실제 가뭄을 판단하는데 활용되는 가뭄지수의 대부분은 강우관측지점을 기준으로 계산되고 있다. 그러므로 보다 효율적인 가뭄관리를 위해서는 실제 행정구역별 강수특성을 반영하는 행정구역별 가뭄지수의 산정이 필요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 우리나라 기상청 산하의 57개 강우관측소별 강수량을 Fig. 1과 같이 티센망을 이용하여

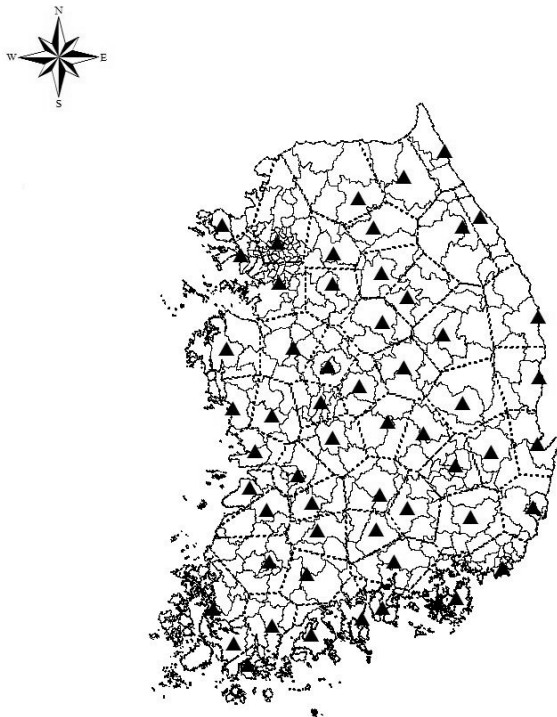


Fig. 1. Thiessen Polygons to Transform Point Rainfalls(▲) Into Area Average Rainfalls

행정구역별 면적평균 일강수량으로 구축한 후, 이를 기반으로 행정구역별 SPI를 계산하였다.

우리나라는 강원영동, 강원영서, 서울경기, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 지역으로 총 9개의 대권역, 세부적으로는 총 228개 시군구로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 228개 행정구역별 가뭄의 평가를 목적으로 일 강수량을 6가지 시간척도(30일, 60일, 90일, 120일, 150일, 180일)의 일별 누가강수 시계열을 구성하고, Gamma 분포의 확률분포함수의 누가확률값에 해당하는 표준정규변량을 추정하여 행정구역별 DSPI(SPI_D30, SPI_D60, SPI_D90, SPI_D120, SPI_D150, SPI_D180)를 계산하였다. 또한 위의 6가지 시간척도에 상응하는 MSPI(SPI_M1, SPI_M2, SPI_M3, SPI_M4, SPI_M5, SPI_M6)를 행정구역별로 계산하였다. 행정구역별 DSPI를 월별로 평균한 후 MSPI의 비교한 결과, DSPI의 평균과 MSPI는 대부분 9개 대권역에서 비슷한 변동성을 가지는 것으로 나타났다. 반면, 두 가뭄지수의 최대 및 최소치는 MSPI에 비하여 DSPI에서 모두 크게 나타나, DSPI가 극한 습윤 및 극한 가뭄을 나타내는 데 있어 보다 효과적인 것으로 확인된다(Fig. 2 참고).

특히 두 가뭄지수에 대한 최소치(극한 가뭄)를 검토하면, 6가지 시간척도에 따른 DSPI에서 모두 큰 절대값을 나타내었다. 예를 들어, SPI_D30와 SPI_M1을 비교했을 경우에는 충청남도 지역에서 가장 큰 차이(0.956)를 나타내는 것으로 확인되었으며, SPI_D60와 SPI_M2를 비교했을 경우에는 충청북도 지역에서 가장 큰 차이(0.920), SPI_D90와 SPI_M3을 비교했을 경우에는 전라북도 지역에서 가장 큰 차이(0.920), SPI_D120와 SPI_M4, SPI_D150와 SPI_M5, SPI_D180와 SPI_M6를 비교했을 경우에는 모두 서울경기 지역에서 큰 차이(0.676, 0.676, 0.545)를 나타낸다.

또한 두 가뭄지수에 대한 최대치(극한 습윤)를 검토하면, 6가지 시간척도에 따른 DSPI에서 모두 큰 절대값을 나타내었으며, SPI_D30와 SPI_M1, SPI_D60와 SPI_M2를 비교했을 경우에는

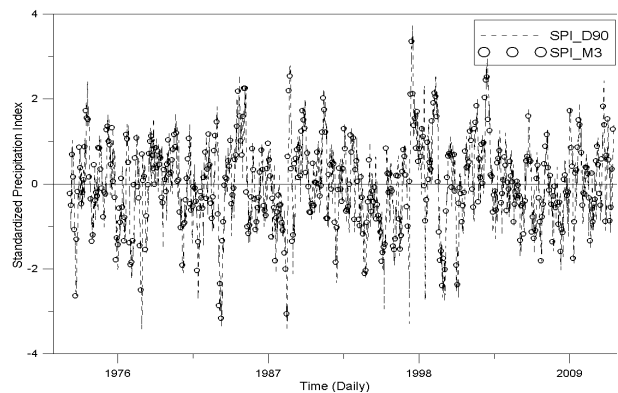


Fig. 2. Daily SPI and Monthly SPI for Gyeongsangnamdo (Time Scale : 90days (3month))

경상남도 지역에서 가장 큰 차이(1.073, 1.110)를 나타내는 것으로 확인되었으며, SPI_D90와 SPI_M3, SPI_D120와 SPI_M4를 비교했을 경우에는 강원영동 지역에서 가장 큰 차이(0.704, 0.653), SPI_D150와 SPI_M5를 비교했을 경우에는 경상남도 지역에서 가장 큰 차이(0.603), SPI_D180와 SPI_M6을 비교했을 경우에는 전라남도 지역에서 가장 큰 차이(0.529)를 나타낸다.

Table 2는 두 가지 SPI의 상관계수를 정리한 것으로, 여기서 MSPI와 비교되었던 DSPI는 월별 최솟값(음의 값)을 이용하였다. 그 결과, 특히 90일 이하 기간 동안의 누적 강수량을 이용하여 계산한 SPI_D30(vs SPI_M1), SPI_D60(vs SPI_M2), SPI_D90 (vs SPI_M3)은 낮은 상관성을 나타내었으나, 90일을 초과하는 기간 동안의 누적 강수량을 이용하여 계산한 SPI_D120(vs SPI_M4), SPI_D150(vs SPI_M5), SPI_D180(vs SPI_M6)은 상대적으로 상관정도가 점차 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 장기간의 누적 강수량을 이용하여 장기 가뭍을 평가할 경우에는 반드시 두 가지 SPI를 구분하여 사용해야 할 필요는 없지만, 3개월 미만의

단기가뭍을 평가할 경우에는 일 단위 SPI를 반드시 검토해야 할 필요가 있을 것이다.

예를 들어, 지난 1973년 4월 강원도 강릉시 가뭍을 SPI_M1 (0.542)을 이용하여 평가한다면, 표 1의 구분에 따라 정상(Normal) 상태라고 판단된다. 반면, 동일시점인 1973년 4월의 일별 SPI_D30을 확인해보면, 4월 1일에는 4월 중 최솟값이(-2.459)이 계산되어 극한(Extreme) 가뭍상태이며, 4월 24일에는 4월 중 최대값(0.721)이 계산되어 정상(Normal) 상태로 확인되었다. 이는 4월 중순에 내린 강수량으로 인해 4월 초까지 지속되었던 가뭍상태가 해결되어 MSPI는 정상(Normal) 상태인 것으로 표현된 것이나, 실제 가뭍의 시작 및 해결의 시점을 정확하게 판단하기 위해서는 DSPI를 이용한 가뭍 모니터링의 필요성을 재확인 할 수 있다.

본 연구에서 제안한 DSPI를 활용하는 가뭍해석의 적용성을 우리나라에서 실제로 발생한 2012년 봄 가뭍을 대상으로 검토하였다. 2012년 5월 1일부터 6월 27일 기간 동안, 전국적으로 내린 강수량은 평년(248mm)의 28.7%(71.2mm)에 불과한 수준이었으

Table 2. Correlation Coefficients Between Minimum Value of Daily SPI and Monthly SPI

	SPI_D30 (SPI_M1)	SPI_D60 (SPI_M2)	SPI_D90 (SPI_M3)	SPI_D120 (SPI_M4)	SPI_D150 (SPI_M5)	SPI_D180 (SPI_M6)
Gangwon Youngdong	0.556	0.768	0.827	0.866	0.860	0.881
Gangwon Youngseo	0.522	0.794	0.851	0.891	0.896	0.917
Seoul Gyeonggi	0.534	0.762	0.830	0.859	0.860	0.869
Chungcheongbukdo	0.546	0.772	0.840	0.874	0.880	0.890
Chungcheongnamdo	0.548	0.778	0.849	0.881	0.888	0.897
Gyeongsangbukdo	0.528	0.766	0.840	0.885	0.890	0.902
Gyeongsangnamdo	0.545	0.788	0.851	0.890	0.902	0.918
Jeollabukdo	0.539	0.785	0.854	0.880	0.887	0.902
Jeollanamdo	0.532	0.775	0.837	0.873	0.876	0.904

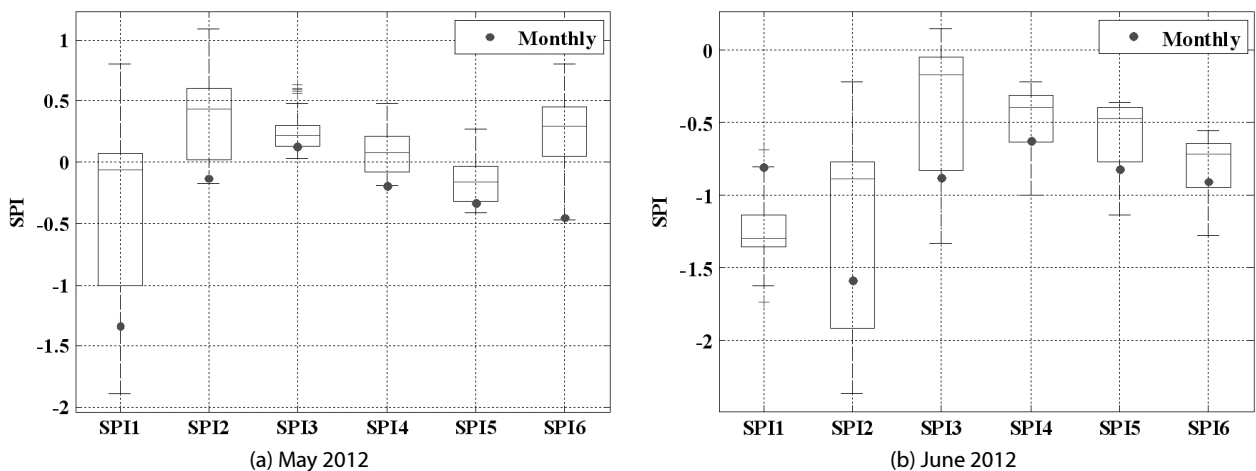


Fig. 3. Daily SPI and Monthly SPI for Seoul-Gyeonggi Region

며, 이로 인해 봄 가뭄이 발생한 바 있다. 특히, 서울 지역에서는 동일한 기간 동안 전국에서 가장 적은 강수량(10.6mm)이 내렸다고 보고되었다(Ahn, et al., 2012). Fig. 3은 2012년 봄 가뭄이 발생한 5월과 6월에 대한 서울경기 지역의 MSPI 및 DSPI를 나타내며, 여기서 박스플롯은 해당 월의 DSPI이고, 박스플롯 내 표기된 점은 해당 월의 MSPI이다.

Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)의 결과를 비교하기에 앞서 강수발생 특성

을 크게 두 가지로 구분해야 한다. 즉, 한 달 내내 강수가 내리지 않는 경우와 해당 월 내 특정 기간 동안 충분한 강수가 내리는 경우로 나뉜다. 실제 지난 2012년 5월은 전자의 경우이며, 6월은 후자의 경우로서 2012년 6월 29일과 30일에 걸쳐 30mm~110mm의 강수가 발생하였다. 즉, 전자의 경우에는 MSPI와 DSPI는 모두 극한 가뭄상태로 표현되고 있으나(Fig. 3(a)), 후자의 경우에는 DSPI가 표현하는 극한 가뭄상태를 MSPI는 극한 가뭄상태를 표현

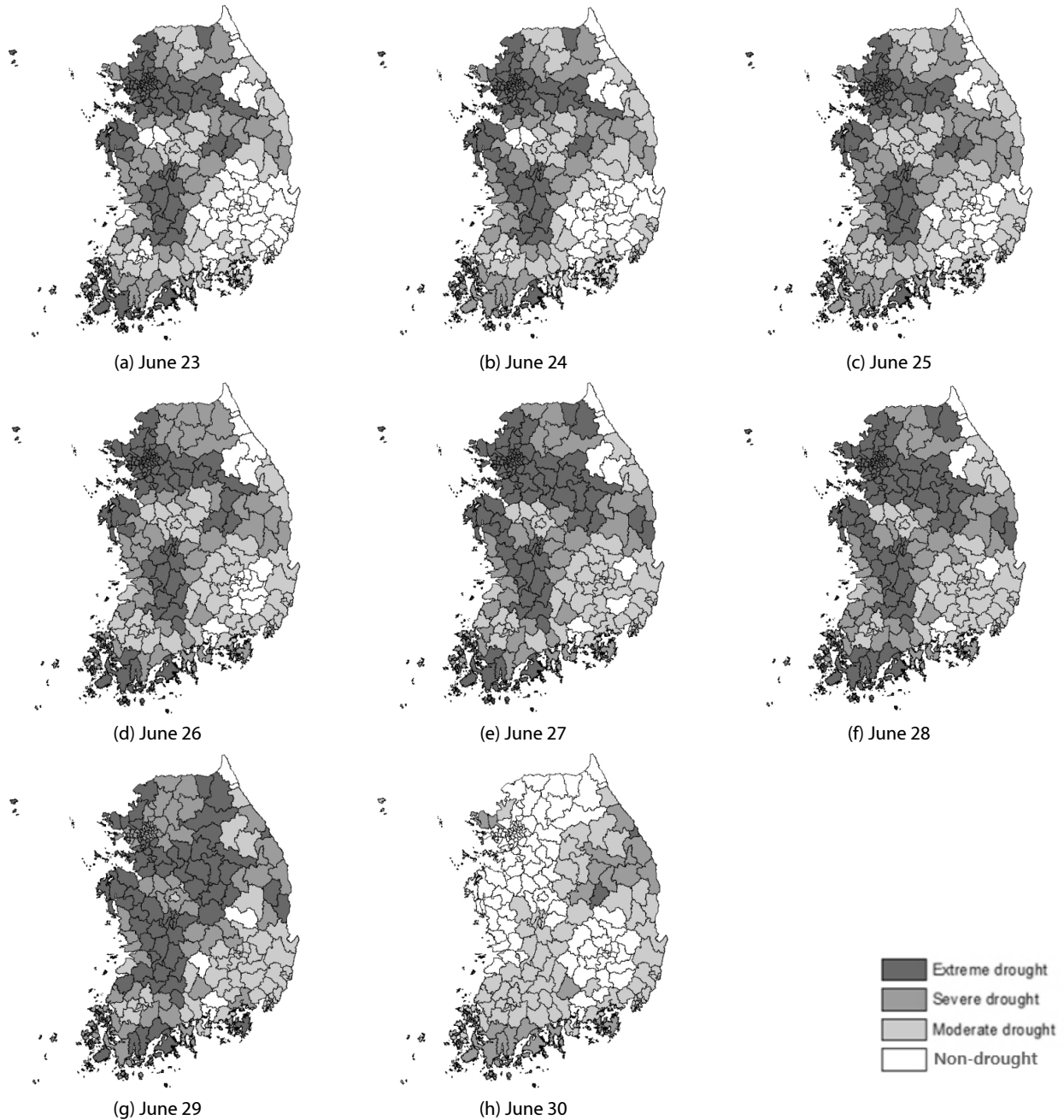


Fig. 4. Drought Monitoring Using Daily SPI_D30 From June 23 Through 30, 2012

하는 데 한계가 있는 것으로 확인된다. 이는 MSPI를 산정하는 데 있어, 6월의 습윤기간(2012년 6월 29일과 30일: 30mm~110mm 강수 발생) 동안에 내린 일 강수량이 포함된 월 강수량을 이용하여 MSPI가 계산된 것이기 때문이다. 그러므로 행정구역별 DSPI는 가뭄을 진단하고 평가하는 데 있어, 기존 월 단위 가뭄지수를 이용한 가뭄평가방법과 비교하여 보다 상세한 시간적(일 단위)의 가뭄 모니터링이 가능하다. 또한, DSPI를 활용한 가뭄평가를 통해 건조한 상태가 습윤한 상태로 변화되는 가뭄해소과정의 모니터링이 가능하다(Fig. 4 참고). 이는 기존의 MSPI를 활용하여 가뭄을 관리 및 감시를 수행하는 데 있어 발생하는 적용상의 한계점을 극복하기 위한 방안으로 DSPI의 활용성을 증명할 수 있는 하나의 객관적인 근거로 판단된다.

3. ROC 분석을 통한 단기가뭄 재현능력 평가

본 연구에서는 DSPI의 가뭄재현능력을 보다 객관적으로 평가하기 위해서 ROC(Receiver Operating Characteristics) 분석을 수행하였다. 이는 우리나라 대권역별 단기가뭄을 평가하는 데 있어 과거에 실제 발생한 가뭄기록을 기반으로 DSPI의 가뭄재현 능력을 평가하는 것이다.

3.1 ROC 분석 개념 및 모형 설정

ROC 분석은 주로 기상분야에서 확률예보의 정성적 검증에 활용되는 기법으로, Kim and Lee (2011)는 실제 가뭄사례와 가뭄지수와의 정량적인 평가를 위해 ROC 분석을 적용한 바 있다. 본 연구에서는 가뭄지수를 활용한 실제 가뭄의 재현능력을 평가하기 위해서 Table 3과 같이 ROC 모형을 설정하였다. 2000년 이후에 기록된 가뭄발생 현황을 조사하여 “관측 결과(Observed value)”로 설정하고, 해당 시점을 대상으로 계산된 가뭄지수를 “예측 결과(Prediction value)”로 분류하여 “가뭄(○)”과 “가뭄(×)”에 의해서 각각 2가지씩 분류하였다.

본 연구에서 설정한 모형은 실제 가뭄이 발생한다고 기록된 경우에 가뭄지수(SPI)에서도 가뭄이 발생했다고 나타나면 “성공(Hit, H)”, 그렇지 않다면 “잘못된 경고(Missing, M)”로 나타내었다. 반면, 실제 사건이 발생하지 않을 경우 예측 결과에서 사건이 발생한다면 “실패(False, F)”, 그렇지 않다면 “음의 성공(Negative hit, N)”으로 나타내었다. 이 중 성공(H)과 음의 성공(N)의 경우는 각각 참의 값으로 판단하고, 실패와 잘못된 경고는 거짓의 값으로 결정한다.

Table 3과 같이 분류된 4가지의 구분을 통해 Eqs. (3) and (4)를 이용하여 적중률(Hit Rate, HR)과 비적중률(False Alarm Rate, FAR)을 각각 계산하며, Fig. 5와 같은 ROC 좌표계 내에

Table 3. ROC Model

		Previous drought records	
		Drought	Non-drought
Drought Index (SPI)	Drought	Hit (H)	False (F)
	Non-drought	Missing (M)	Negative hit (N)

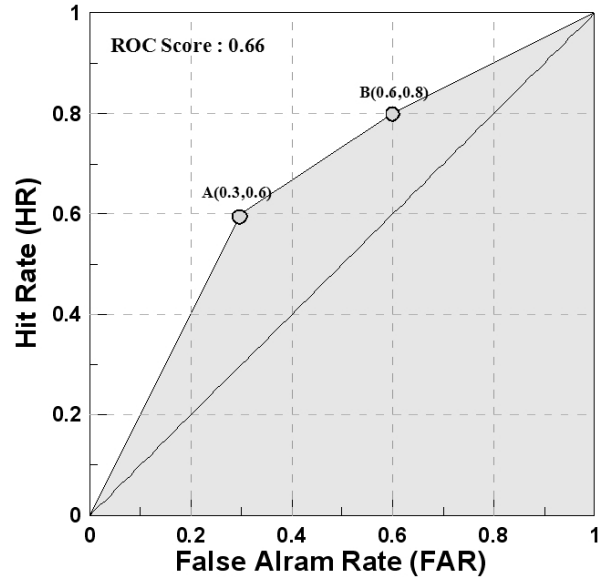


Fig. 5. ROC Curve

하나의 점으로 표현함으로써 ROC 곡선을 구성할 수 있다. ROC 값의 범위는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 곡선 아래의 면적(Area Under Curve, AUC)이 산정된다. 또한 완벽한 예측일 때 HR=1, FAR=0 이므로 ROC 곡선이 좌측 상단에 가까이 위치할수록 가뭄지수의 재현능력 우수하다고 판단할 수 있다(Fawcett, 2006).

$$HR = H / (H + M) \tag{3}$$

$$FAR = F / (F + N) \tag{4}$$

3.2 실제 과거 가뭄기록 수집 및 단기가뭄 평가

ROC 분석을 수행하기 위해서는 가뭄지수의 재현능력을 판단해 줄 근거를 수집해야 하며, 본 연구에서는 여러 가지 가뭄관련 보고서(가뭄기록조사 보고서(MLIT, 2001; 2005), 태백시 가뭄백서(Tae Back City, 2009)) 및 언론보도 자료 등을 수집하여 2000년 이후의 극한 단기가뭄(2000년(7건), 2001년(45건), 2008년(45건), 2009년(13건), 2012년(3건)) 기록을 수집하였다. Table 4는 수집된 자료 중 2009년 가뭄상황에 대한 자료를 예시로 보여준다. 또한 DSPI를 이용한 가뭄상태의 유무를 판단하는 데 기준이 되는 절단점

Table 4. The Collection of Previous Records for Extreme Drought in 2009

Year	Area	Starting date	Finishing date	Contents	Duration(Day)
2009	Hongcheon	01-01	01-31	Rainfall(0.4mm)	31
	Incheon	01-01	01-31	Rainfall(1.2mm)	31
	Inje	01-01	01-31	Rainfall(1.7mm)	31
	Taebaek	01-06	01-14	Restriction on water supply: 1,2 step (3ton/day, Decrease 5~30%)	9
	Taebaek	01-15	04-02	Restriction on water supply : 3step(3ton/day Decrease 50%)	87
	The west coast of Chungcheong	01-18	01-18	Daejun(8), Geumsan(7.5), Boryeong(7), Yesan(4), Cheonan(1.5)	1
	Gangwon, Youngseo	03-03	03-03	Gangwon 1~3cm(Snow)	1
	Korea south-central area	03-03	03-03	Heavy snow in Korea south-central area	1
	Korea	03-20	03-21	Seoul(41.5), Jinju(100.5), Daegu(11.5), Chuncheon(40.5), Taebaek(48.8),	2
	Busan	08'12-03	01-07	Rainfall(9.5mm: 20% of rainfall compare to last year)	35
	Busan	08'12-25	01-18	Drought warning	24

Table 5. Cut-off Value of ROC Curve

DSPI \ Degree	Moderate Dry	Severe Dry	Extreme Dry
	-1.49 to -1.00	-1.99 to -1.50	Less than -2.00
SPI_D30	SPI_D30(MD)	SPI_D30(SD)	SPI_D30(ED)
SPI_D60	SPI_D60(MD)	SPI_D60(SD)	SPI_D60(ED)
SPI_D90	SPI_D90(MD)	SPI_D90(SD)	SPI_D90(ED)
SPI_D120	SPI_D120(MD)	SPI_D120(SD)	SPI_D120(ED)
SPI_D150	SPI_D150(MD)	SPI_D150(SD)	SPI_D150(ED)
SPI_D180	SPI_D180(MD)	SPI_D180(SD)	SPI_D180(ED)

(cut-off value)은 Table 5와 같이 3가지 가뭄등급으로 결정하였다. 다양한 시간적도를 고려한 DSPI의 적중률(Hit Rate, HR)과 비적중률(False Alarm Rate, FAR)을 각각 계산하고, ROC 곡선 아래의 면적(AUC)을 계산하였다. Figs. 6(a), 6(b) and 6(c)는 3가지 가뭄의 등급별 가뭄지수의 적중률을 나타내며, 각 그림 상단에는 각 가뭄지수(SPI_D30, SPI_D60, SPI_D90, SPI_D120, SPI_D150, SPI_D180)에 대한 각각의 적중률이 표기되어 있고 Fig. 6(d)는 3가지 가뭄 등급별 AUC를 나타낸다.

일반적으로 ROC 곡선은 좌측 상단에 가까이 위치할수록, 또는 적중률 값이 1.0에 가까울수록 가뭄지수의 재현능력 우수하다고 해석된다. 본 연구에서는 보통 가뭄에서는 적중률 0.76과 0.74로 확인되는 SPI_D30와 SPI_D150, 심한 가뭄에서는 적중률 0.83과 0.81로 확인되는 SPI_D90과 SPI_D60, 극한 가뭄에서는 적중률 0.68로 확인되는 SPI_D30가 DSPI를 이용하여 가뭄을 재현하는데 있어 보다 효율적인 것으로 판단된다.

이처럼, 실제 단기가뭄의 평가를 목적으로 한다면, 기존에 3개월

이동평균강수량을 기반으로 산정한 SPI_M3과 더불어 SPI_D30와 SPI_D60과 같은 보다 짧은 기간의 누적강수량을 이용하여 계산된 DSPI를 추가로 검토할 필요가 있다. 반면, 예보의 적중률이 낮게 나타난 가뭄지수를 이용하여 단기가뭄을 평가할 경우에는 상대적으로 가뭄판단의 신뢰도가 저하될 가능성이 있으므로, 단기가뭄 평가를 위해 가뭄지수를 선정할 경우에는 세심한 주의가 필요하다.

3.3 유효가뭄지수(EDI)를 이용한 DSPI의 적용성 평가

앞 절에서 산정한 DSPI의 적용성을 검토하기 위해서 기존에 개발된 가뭄지수 중 유일한 일 단위 가뭄지수인 유효가뭄지수(Effective Drought Index, EDI)와 비교하였다. Byun and Wilhite (1999)에 따르면, 일반적으로 EDI는 특정일의 “유효누적강수량(EP)”을 계산한 후, 그 날의 기후 평균인 “유효강수량”과 비교하여 부족량 혹은 초과량을 계산한 후 이를 표준화한다. 여기서, “유효누적강수량”이란 이전 365일(혹은 그 이상) 동안 누적된

일 단위 SPI와 ROC 분석을 이용한 단기가뭄의 평가

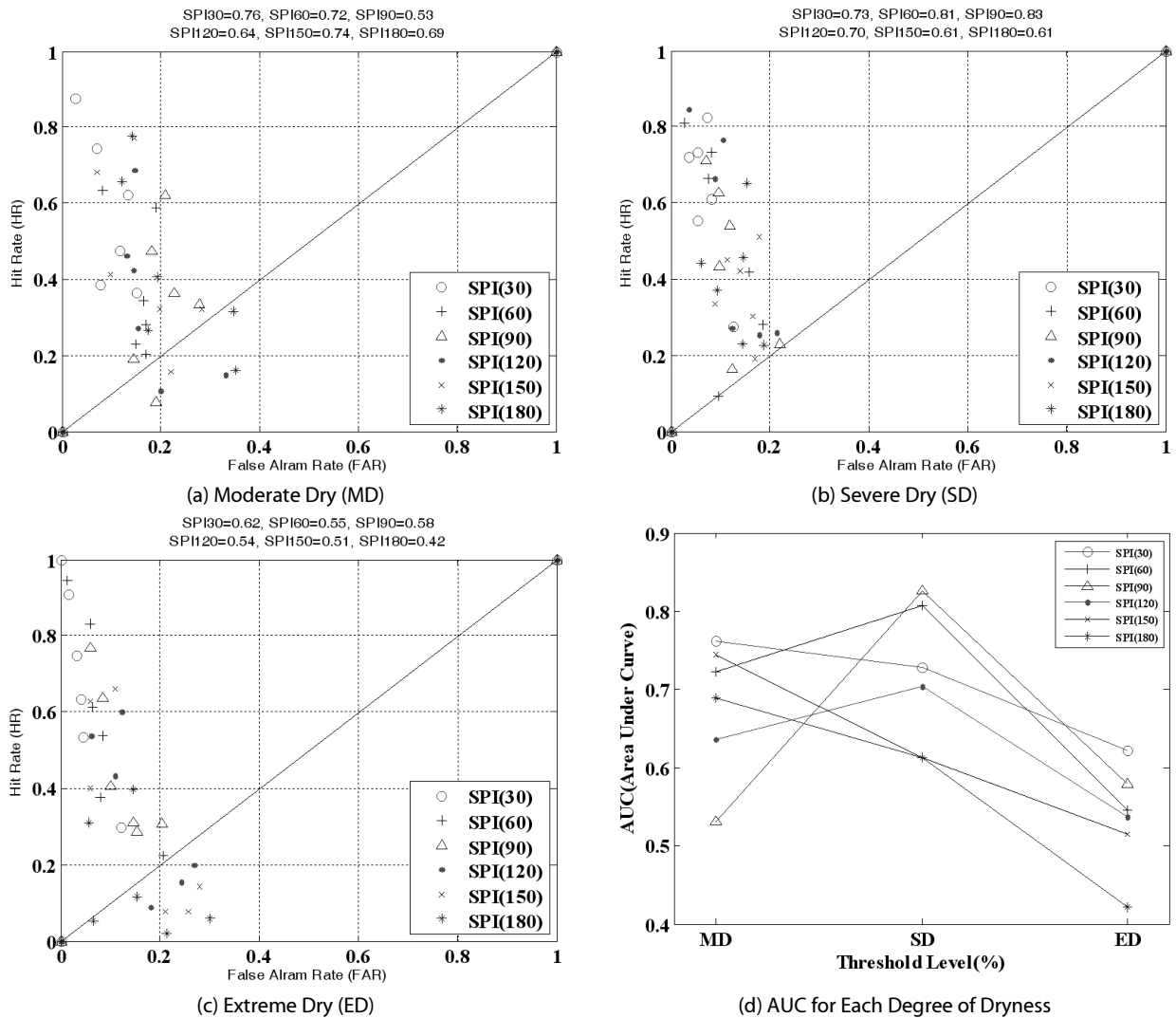


Fig. 6. The results of ROC Analysis (HR, FAR, AUC)

Table 6. The Results of ROC Score for Daily SPI and EDI in 9 Regions

Region	Degree	Moderate Dry(MD)				Severe Dry(SD)				Extreme Dry(ED)			
		SPI_D30	SPI_D60	SPI_D90	EDI	SPI_D30	SPI_D60	SPI_D90	EDI	SPI_D30	SPI_D60	SPI_D90	EDI
South Korea		0.761	0.723	0.530	0.663	0.729	0.807	0.825	0.648	0.622	0.546	0.578	0.496
Gangwon Youngdong		0.589	0.559	0.532	0.531	0.812	0.674	0.689	0.571	0.618	0.588	0.522	0.479
Gangwon Youngseo		0.621	0.516	0.577	0.581	0.656	0.519	0.506	0.498	0.660	0.541	0.593	0.512
Seoul Gyeonggi		0.621	0.512	0.531	0.502	0.576	0.511	0.620	0.507	0.601	0.582	0.588	0.502
Chungcheongbukdo		0.653	0.516	0.443	0.453	0.574	0.498	0.667	0.449	0.857	0.727	0.654	0.887
Chungcheongnamdo		0.925	0.699	0.707	0.571	0.876	0.893	0.767	0.977	0.947	0.886	0.775	1.000
Gyeongsangbukdo		0.837	0.590	0.646	0.492	0.842	0.794	0.710	0.408	1.000	0.966	0.855	0.886
Gyeongsangnamdo		0.606	0.539	0.524	0.581	0.748	0.630	0.503	0.465	0.797	0.649	0.582	0.491
Jeollabukdo		0.680	0.556	0.528	0.577	0.838	0.547	0.521	0.459	0.746	0.775	0.566	0.490
Jeollanamdo		0.745	0.775	0.567	0.724	0.764	0.825	0.820	0.685	0.589	0.508	0.551	0.488

강수량이며, 365일 동안 강수량 합산을 구할 때 오래 전 강수량은 이미 많이 소실되었음을 가중인자를 통해 반영하고 동시에 최근 강수량은 많은 부분 남아 있음을 고려하여 개발된 가뭄지수이다.

본 연구에서는 부경대학교 방재기상연구소(<http://atmos.pknu.ac.kr/~mdr/>)에서 제공하는 EDI 계산 소프트웨어를 활용하였으며, SPI_D30, SPI_D60, SPI_D90과 행정구역별 EDI를 활용하여 우리나라 2000년 이후에 발생한 극한 단기가뭄(2000년, 2001년, 2008년, 2009년, 2012년) 기록을 바탕으로 ROC 분석을 수행하였다. 그 결과 전국적으로는 보통 가뭄(MD)을 재현할 경우에는 SPI_D30의 적중률(0.761)이 높게 나타났으며, 반면 SPI_D90의 적중률(0.530)이 가장 낮은 것으로 확인되었다. 또한 심한 가뭄(SD)에서는 SPI_D90의 적중률(0.825)이 가장 높고 EDI의 적중률(0.648)은 가장 낮았으며, 극심한 가뭄(ED)에서는 SPI_D30의 적중률(0.622)이 가장 높고 EDI의 적중률(0.496)은 가장 낮은 것으로 확인되었다(Table 6 참고).

4. 결론

본 연구에서는 우리나라의 행정구역을 9개의 대권역으로 구분하여 기상학적 가뭄의 개념을 적용하여, 기존의 월 단위 기반으로 계산되어진 SPI에 대한 적용상의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 일 단위 SPI를 제안하였다. 또한 6개월 미만의 단기가뭄을 평가할 경우 일 단위 SPI의 필요성 및 활용도를 객관적으로 검토하고자, 실제 과거에 발생한 가뭄사례를 수집하여 비교·분석하였다. 그 결과, 단기적인 측면에서 기존의 월 단위 기반의 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 판단할 경우에 발생가능한 적용상의 한계를 본 연구에서 제안한 일 단위 SPI를 활용하여 극복이 가능하였다. 이는 실제로 발생한 가뭄사상의 진행 정도를 연속적으로 일별 모니터링하여 가뭄을 감지한 후, 가뭄이 해결되는 전 과정을 일 단위로 감시할 수 있게 되었다.

더불어 일 단위 SPI의 타당성을 검토하기 위해서 2000년 이후에 발생한 과거 가뭄기록을 수집한 후, 이를 기반으로 우리나라의 대권역별 단기가뭄에 대하여 다양한 시간척도에 따른 일 단위 SPI의 가뭄재현능력을 평가하였다. 본 연구에서는 ROC 모형을 활용하여 가뭄재현의 적중률을 계산하였으며, 그 결과 가뭄발생의 유무를 결정하는 절단점의 변화에 따라 가뭄을 재현하는데 있어 효율성이 높은 SPI의 시간척도를 발견할 수 있었다. 즉, 일 단위 SPI를 활용하여 6개월 미만의 단기가뭄을 평가할 경우, 며칠 동안의 누적강수량을 고려하여 계산되어진 일 단위 SPI를 복합적으로 활용해야 실제 발생하는 가뭄을 진단함에 있어 신뢰성을 향상시킬 수 있는가에 대한 판단이 가능해 진다.

특히, 다양한 시간척도에 따른 일 단위 SPI 중에서 SPI_D30,

SPI_D60, SPI_D90 등의 순서로 극한 가뭄에 대한 재현능력이 우수한 것으로 확인되었다. 여기서 극한 가뭄은 30일, 60일, 90일과 같이 대부분 3개월 미만의 시간 동안에 누적된 강수량이 평년의 수준과 비교하여 크게 부족함으로 인해 발생한 가뭄이라고 해석되어진다. 다시 말해, 기존의 3개월, 6개월 등의 누적강수량을 기반으로 산정된 월 단위 SPI를 이용하여 실제 단기적인 강수부족으로 인해 발생한 가뭄을 진단하고 평가하는 데에는 실질적인 한계점이 있는 것으로 판단된다.

결론적으로 일 단위 SPI를 기반으로 지속적인 가뭄 모니터링을 통해 가뭄의 정도를 보다 효과적으로 표현해 줄 수 있는 누적강수일수를 사전에 먼저 결정한 후, 이를 기반으로 계산한 가뭄지수를 선정하여 활용해야 한다. 또한 미래 가뭄재해를 대비하기 위한 방안으로 극한 가뭄발생 및 장기적으로 지속되는 가뭄을 감시하고 관리하기 위해서는 일 단위 가뭄지수를 활용한 가뭄모니터링은 필수적일 것이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청의 자연재해저감기술개발사업[NEMA-자연-2011-40] 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Ahn, J.-H., Hwang, P.-S. and Kang, S.-W. (2012). "The situation and corresponding in the spring drought, 2012." *Magazine of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 84-91 (in Korean).
- Byun, H. and Wilhite, D. A. (1999). "Objective quantification of drought severity and duration." *Journal of Climate*, Vol. 12, pp. 2747-2756.
- Choi, D. and Kim, S. (2010). "Revisiting Horton index using a conceptual soil water balance model." *Journal of Civil Engineering*, Vol. 30, No. 5B, pp. 471-477 (in Korean).
- Choi, G., Kwon, W.-T., Boo, K.-O. and Cha, Y.-M. (2008). "Recent spatial and temporal changes in means and extreme events of temperature and precipitation across the Republic of Korea." *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 43, No. 5, pp.681-700 (in Korean).
- Fawcett, T. (2006). "An introduction to ROC analysis." *Pattern Recognition Letters*, No. 27, pp. 861-874.
- Kim, G. and Lee, J. (2011). "Evaluation of drought indices using the drought records." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 8, pp. 639-652 (in Korean).
- Kim, D.-H. and Yoo, C. (2006). "Analysis of spatial distribution of droughts in Korea through drought severity-duration-frequency analysis." *Journal of Civil Engineering*, pp. 1597-1600 (in Korean).
- Kim, D.-H., Yoo, C. and Kim, T.-W. (2011). "Application of spatial

- EOF and multivariate time series model for evaluating agricultural drought vulnerability in Korea." *Advances in Water Resources*, Vol. 34, No. 3, pp. 340-350.
- Mason I. (1982). "A model for assessment of weather forecasts." *Australian Meteorological Magazine*, Vol. 30, pp. 291-303.
- McKee T. B., Nolan J. D. and John K. (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales." *Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim, California*, pp. 179-184.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2001). *Drought records survey report in the 2001* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2005). *Drought management monitoring system reports* (in Korean).
- Tae Baek City (2009). *The Drought Basic Books* (in Korean).
- Yoo, C. (2006). "Long term analysis of wet and dry years in Seoul, Korea." *Journal of Hydrology*, Vol. 318, pp. 24-36.
- Yoo, C., Kim, D., Kim, T.-W. and Hwang, K.-M. (2008). "Quantification of drought using a rectangular pulses poisson process model." *Journal of Hydrology*, Vol. 355, pp. 34-48.