

## 기상학적 가뭄지수와 수문학적 가뭄지수의 비교

### Comparison of Meteorological Drought and Hydrological Drought Index

이 보 람\* / 성 장 현\*\* / 정 은 성\*\*\*

Lee, Bo-Ram / Sung, Jang Hyun / Chung, Eun-Sung

#### Abstract

In this study, meteorological drought indices were examined to simulate hydrological drought. SPI (Standardized Precipitation Index) and SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) was applied to represent meteorological drought. Further, in order to evaluate the hydrological drought, monthly total inflow and SDI (Streamflow Drought Index) was computed. Finally, the correlation between meteorological and hydrological drought indices were analyzed. As a results, in monthly correlation comparison, the correlation between meteorological drought index and monthly total inflow was highest with 0.67 in duration of 270-day. In addition, a meteorological drought index were correlated 0.72 to 0.87 with SDI. In compared to the annual extremes, the relationship between meteorological drought index and minimum monthly inflow was hardly confirmed. But SDI and SPEI showed a slightly higher correlation. There are limitation that analyze extreme hydrological drought using meteorological drought index. For the evaluation of the hydrological drought, drought index which included inflow directly is required.

**Keywords** : SPI, SPEI, hydrological drought, SDI

#### 요 지

본 연구는 기상학적 가뭄지수가 수문학적 가뭄에 대한 모사정도를 검토하였다. 기상학적 가뭄지수 중에서 강수량을 변수로 하는 SPI(Standardized Precipitation Index)와 강수량 및 증발산량을 변수로 하는 SPEI(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)를 이용하였고, 수문학적 가뭄 평가를 위하여 월 총 유입량과 하천수 가뭄지수인 SDI(Streamflow Drought Index)를 계산하여, 최종적으로 기상학적 가뭄지수와 수문학적 가뭄지수의 상관정도를 분석하였다. 월별 상관계수 비교결과, 지속기간 270일에 기상학적 가뭄지수와 월 총 유입량과 상관정도가 가장 높아서 0.67로 나타났고 기상학적 가뭄지수로 SDI와의 상관정도는 0.72~0.87이었다. 연별 극한값을 비교한 결과, 월 총 유입량의 최저값과 기상학적 가뭄지수의 연관성은 거의 확인되지 않았다. 다만 SDI와 SPEI가 매우 높은 상관정도를 보였다. 기상학적 가뭄지수로 수문학적 극한가뭄에 해석하는 데에 한계가 있는 만큼 수문 가뭄해석이 목적이라면 유량자료가 직접 활용될 수 있는 가뭄지수가 필요하다.

**핵심용어** : SPI, SPEI, 수문학적 가뭄, SDI

\* 국민안전처 국립재난안전연구원 재난정보연구실 연구원 (e-mail: boram1024@korea.kr)  
Ministry of Public Safety and Security, National Disaster Management Institute, Disaster Information Research Division

\*\* 국토교통부 영산강홍수통제소 예보통제과 시설연구사 (e-mail: jhsung1@korea.kr)  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Yeongsan River Flood Control Office

\*\*\* 교신저자, 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 조교수 (e-mail: eschung@seoultech.ac.kr)

Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology

## 1. 서론

일반적으로 가뭄은 농업적(agricultural), 기상학적(meteorological), 수문학적(hydrological) 및 사회·경제학적(socio-economic) 가뭄으로 구분된다(Wilhite and Glantz, 1985; Correia et al., 1991; Tate and Gustard, 2000). 각각의 가뭄은 목적에 따라 여러 지수들로 분석되고 있다. 그 중 가장 빈번하게 연구되고 있는 기상학적 가뭄은 강수량 규모에 의존하여 구분되며 전 세계적으로 강수량 자료를 이용한 다양한 지수들이 개발되어 활용되고 있다(Keyantash and Dracup, 2002; Hernandez and Uddameri, 2013).

그 중에서 SPI (Standardized Precipitation Index; Mckee et al., 1993)는 계산과정이 쉽고, 강수의 부족만으로 가뭄을 직관적으로 판단할 수 있어 가장 활발하게 이용되고 있다. 최근에는 강수량과 증발산량을 함께 고려하여 조금 더 물리적으로 가뭄을 평가할 수 있는 SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; Vicente-Serrano, 2010)가 많은 주목을 받고 있다. 수문학적 가뭄은 하천수, 지하수, 저수지와 호소 등을 포함하는 수문 순환에서 정상상태 이하의 유량으로 정의할 수 있다(Sung and Chung, 2014a, b). Nalbantis (2008)는 하천수 가뭄지수인 SDI (Streamflow Drought Index)를 제안하였는데, 월 유량으로 가뭄의 심도와 지속기간을 구분해 내는 방법으로써, Sung and Chung (2014a, b)도 이와 유사하게 임계수준 방법과 결합하여 하천수 부족량을 산정하는 방법을 제안하였다.

이와 같이 기상학적 가뭄과 수문학적 가뭄의 결정에는 강수량, 증발량 및 유량 등 상이한 변수가 이용되고 있다. 우리나라 수문분야 연구에서는 주로 기상학적 가뭄지수의 적용이 활발하며 이를 확장하여 수문학적 가뭄 결정에도 이용하고 있다. 하지만 수문학적 가뭄은 기상학적 가뭄에 비하여 응답수준이 느리기 때문에 확장하여 사용하기에는 무리가 있다. Vasiliades and Loukas (2009)는 SPI와 수문학적 가뭄지수인 PDSI (Palmer Drought Severity Index)의 상관관계를 분석하였고, Dai (2011)는 PDSI와 연 유입량과의 상관정도를 전 세계의 대표 유역에 적용하여 비교한 바 있다. 이와 유사한 다수의 연구사례에서는 가뭄을 하나로 정의하여 판단하기에는 어려움이 있으므로 여러 가뭄지수 간의 특징을 살려 상호 보완하여 사용하기를 권장하고 있다(Zhai et al., 2010; Lorenzo-Lacruz et al., 2010; Kauffmann and Vonck, 2011; McEvoy et al., 2012).

물 순환 안에서 물리·역학적인 과정을 거쳐 기상학적 가뭄이 수문학적 가뭄까지 전이된다 하더라도 실무 또는 일부 연구에서는 기상학적 가뭄지수로 수문학적 가뭄의

판단까지 활용 또는 이를 시도하고 있다(Begueria et al., 2013; Kim et al., 2011; 2012; 2013). 하지만 이에 앞서 기상학적 가뭄지수의 수문학적 가뭄에 대한 모사능력을 반드시 검토하여야 하지만 이러한 시도는 거의 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 소양강 댐을 대상으로 기상학적 가뭄지수 중 보편적으로 쓰이고 있는 SPI와 SPEI의 수문학적 가뭄에 대한 모사 정도를 알아보았다. 수문학적 가뭄판단에는 SDI와 이동평균한 최저 유입량 시계열 값을 이용하였다. 검토 후 기상학적 가뭄지수로 수문학적 가뭄 해석에 대한 확신이 떨어진다면 확대적용은 충분한 논의과정이 필요하겠다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 연구 절차

본 연구는 기상학적 가뭄지수의 수문학적 가뭄에 대한 모사능력을 검토하기 위하여 상관성 분석을 실시하였다 (Fig. 1). 우선 대상 기상학적 가뭄지수는 강수량을 변수로 하는 SPI와 강수량 및 증발산량을 변수로 하는 SPEI로 지속기간 3개월, 6개월 및 9개월에 따라 계산하였다. 수문학적 가뭄 평가를 위하여 지속기간 3개월, 6개월 및 9개월에 따라 이동평균한 월 총 유입량과 동일한 지속기간을 갖는 SDI (수문학적 가뭄지수)를 계산하였다. 계산한 기상학적, 수문학적 가뭄지수와 유입량 간의 월별 상관정도와 연최저 값(연별)간의 상관정도를 계산하였다.

### 2.2 SPI와 SPEI

기상학적 가뭄지수인 SPI는 시간 단위별 누가강수 시계열의 작성, Pearson Type-III (PT-III) 분포를 이용한 매개변수 추정, 누가분포함수(cumulative distribution function) 산정 및 표준정규분포에 적용시킨 가뭄지수의 산정 등의 단계로 계산되며, 최종적으로 산정한 SPI는 다음과 같이 총 7 단계로 구분된다(Mckee et al., 1993).

가뭄은 SPI값이 -1.0 혹은 더 작은 값에 도달할 때 발생하며 0보다 클 때 가뭄이 끝나게 된다. 가뭄 사상은 가뭄 시작과 끝의 시간 간격으로 정의된 지속기간과 SPI 값으로 표현되는 가뭄 심도로 표현하며 누적된 가뭄의 총량도 구분할 수 있다. 이를 가뭄 크기(Drought Magnitude, DM)라 하며, 가뭄 사상에 속한 모든 기간에 대한 지수의 합으로서 Eq. (1)로 계산된다.

$$DM = - \left( \sum_{j=i}^x SPI_{ij} \right) \quad (1)$$

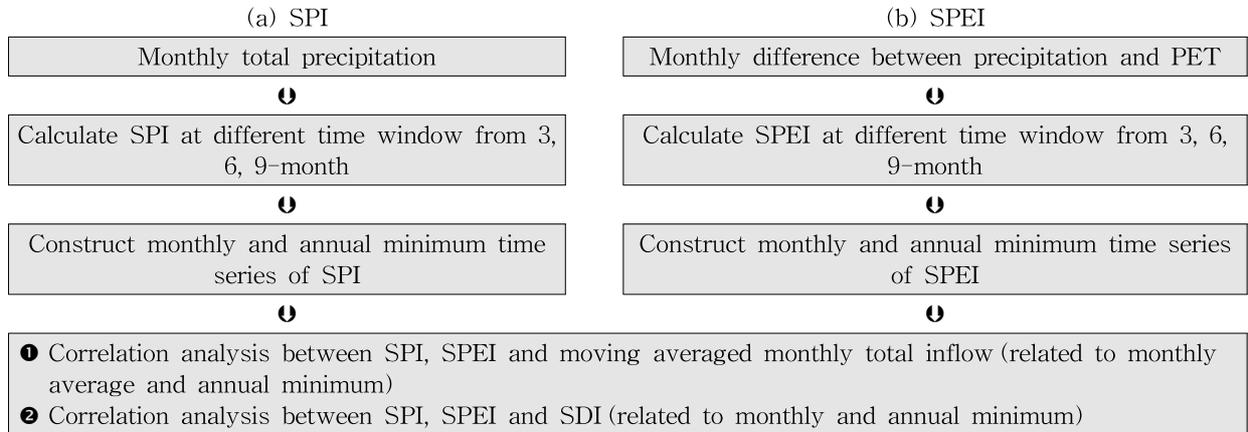


Fig. 1. Procedure of this Study

**Table 1. Classification Range for SPI Values (Mckee et al., 1993)**

SPI range	Drought classification
> 2.0	Extremely wet
1.5 ~ 1.99	Very wet
1.0 ~ 1.49	Moderately wet
-0.99 ~ 0.99	Near normal
-1.00 ~ -1.49	Moderately dry
-1.5 ~ -1.99	Severely dry
< -2.0	Extremely dry

여기서, 임의의 기간  $i$ 월 단위에 대하여,  $j$ 는 가뭄 시작 첫 번째 달로부터 가뭄이 끝날 때( $x$ )까지 계속해서 증가한다. SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010)는 강수량과 잠재 증발산량인 PET (Potential Evapo Transpiration)의 차이에 의해 계산되며, 가뭄심도의 분류는 SPI와 같다. 증발산량의 계산에는 간단하며, 자료 획득이 쉬운 Thornthwaite (Thornthwaite, 1948)의 방법을 이용하였다.

$$D_i = P_i - PET_i \quad (2)$$

$D$ 는 Eq. (3)과 같이 각 시간규모에서 합성된다.

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} P_{n-i} - PET_{n-i} \quad (3)$$

여기서,  $k$ 는 합성의 시간 규모,  $n$ 은 계산에 이용된 달(month)이다.

### 2.3 SDI

수문학적 가뭄지수인 SDI는 Eq. (4)와 같으며,  $Q_{i,j}$ 는 월 유량, 누적값  $V_{i,k}$ 는 Eq. (4)에 의하여 계산된다(Nalbantis, 2008).

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad j = 1, 2, \dots, 12, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

여기서,  $V_{i,k}$ 는  $i$ 번째 연도에서  $k$ 번째 기간 동안 누가한 유량이다. 예를 들어  $k=1$ 이면 특정 년도의 10월부터 12월,  $k=2$ 이면 10월부터 그 다음해의 3월,  $k=3$ 이면 10월부터 그 다음해 9월까지를 의미한다.

누가한 유량  $V_{i,k}$ 를 이용하여 SDI는 특정  $i$ 번째 연도의  $k$ 기간에 대하여 Eq. (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

여기서,  $\bar{V}_k$ 와  $s_k$ 는 각각 누적한 하천수량의 평균과 표준편차(standard deviation)를 나타낸다. 임계수준은 주로 평균인  $\bar{V}_k$ 가 사용된다. 작은 규모의 하천에는 유량이 Gamma 분포형에 근사하게 되어 확률분포형이 왜곡되므로 유량을 정규분포에 적합하게 변환하여야 한다. 2변수 대수정규(log-normal) 분포형로 변환하면, SDI는 최종적으로 Eq. (6)와 같으며,  $y$ 는 하천수량에 자연로그를 취한 값이다(Eq. (7)).

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{s_{y,k}}, \quad i = 1, 2, \dots, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}), \quad i = 1, 2, \dots, \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

Nalbantis and Tsakiris (2009)에 의하면, SDI에 의해 정의되는 수문학적 가뭄은 다음과 같이 5단계로 구분된다 (Table 2).

### 2.4 대상유역

소양강은 12~3월에 시베리아에서 발달한 한랭하고 건

**Table 2. Definition of States of Hydrological drought with the Aid of SDI (Nalbantis and Tsakiris, 2009)**

Description	Drought classification
Non-drought	$SDI \geq 0.0$
Mild drought	$-1.0 \leq SDI < 0.0$
Moderate drought	$-1.5 \leq SDI < -1.0$
Severe drought	$-2.0 \leq SDI < -1.5$
Extreme drought	$SDI \leq -2.0$

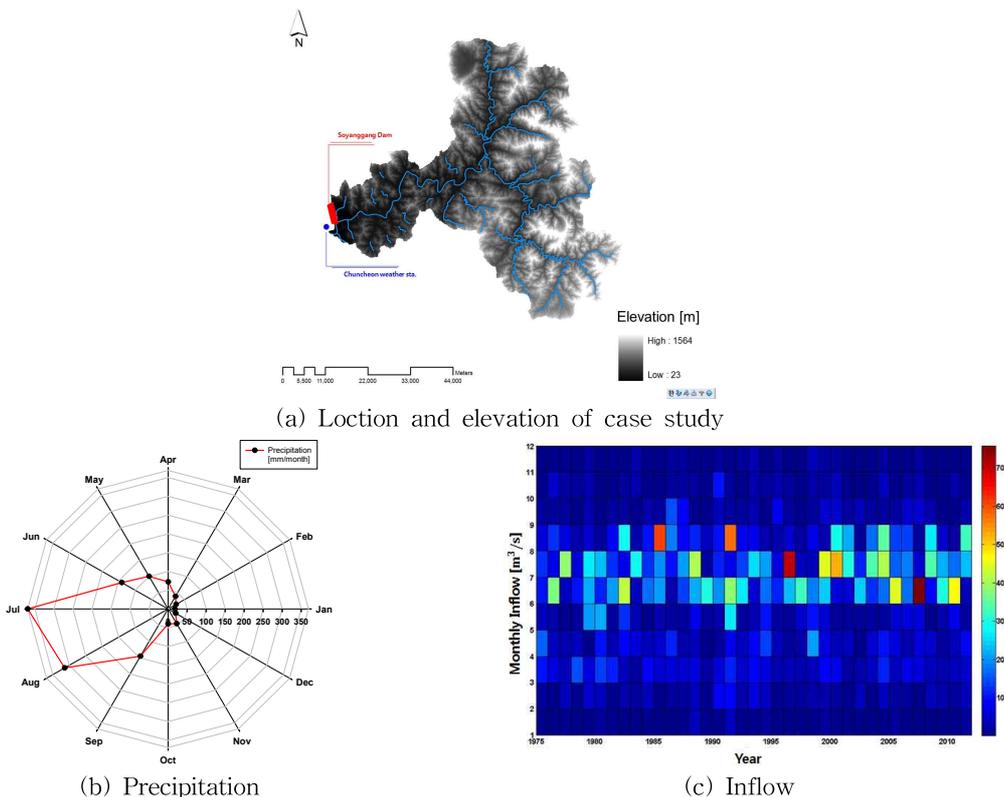
조한 북서풍의 영향을 받아서 결빙되고, 6~8월에 습하고 더운 남동풍 및 남서풍이 지배적이거나 때때로 남태평양에서 발생한 폭우를 동반한 태풍의 영향으로 홍수가 발생하기도 한다(Fig. 2(b), (c)). 1975년부터 2012년까지의 월별 유입량을 보면 시간이 지날수록 여름철에 유입량이 많아지는 비정상성(non-stationary)이 확인되기도 한다(Fig. 2(c)). 소양강댐은 우리나라의 대표적인 다목적댐으로써 한강유역의 홍수조절 기능뿐 아니라 수도권 지역의 음·용수공급, 경기지방의 관개용수와 한강하류의 하천유지용수 공급, 전력생산 및 댐 주변 지역 생활환경 개선 및 지역주민 소득증대 등에 기여하고 있다.

따라서 가뭄에 대한 연구가 반드시 필요한 지점으로 국가수자원정보시스템에서 1974년 1월 1일부터 2012년 12월 31일까지 유입량 자료를 수집하여 이용하였다. 하천유량은 수위, 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 산정되고, 이렇게 산정한 하천유량은 주로 홍수 시 정확한 유량 산정을 목표로 하고 있어 환산된 유량 값 중 저유량은 비교적 큰 불확실성을 내포하고 있다(Sung and Chung, 2014a). 가뭄 관련 연구에서는 유역 수문 모델링 결과 또는 댐 유입량 자료를 이용하여 위와 같은 문제를 해결하고 있다. 우리나라 하천예보 주무기관인 국토교통부 홍수통제소에서는 관측자료의 사용을 우선하고 있어서 향후 하천수 분야의 활용을 기대하며, 자료에 대한 접근성이 좋은 댐 유입량을 대상으로 하였다. 또한 월 강수량과 월 평균 기온은 소양강 댐 가장 인근의 기상 관측소의 춘천 관측소의 자료를 이용하였다.

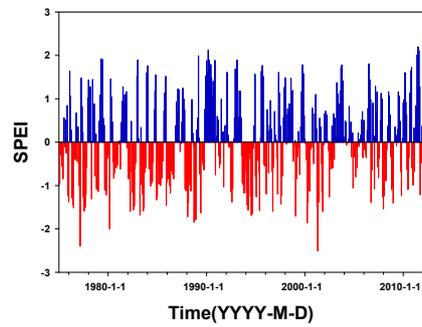
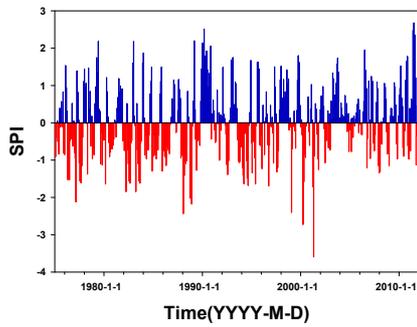
### 3. 가뭄지수의 적용

#### 3.1 SPI와 SPEI의 적용

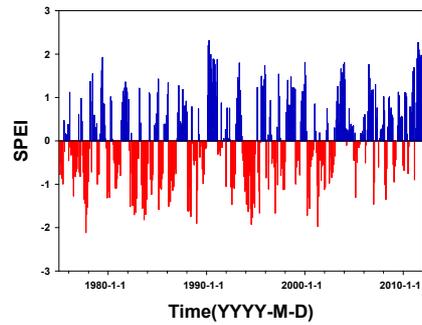
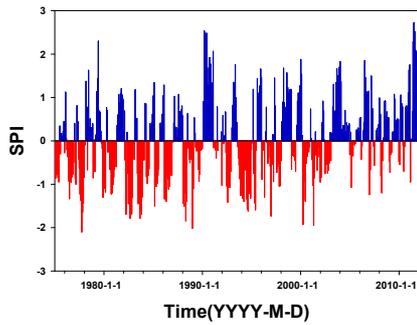
기상학적 가뭄을 평가하기 위해 SPI와 SPEI를 지속기간별로 계산하였다(Fig. 3). 두 지수 모두 지속기간이 길



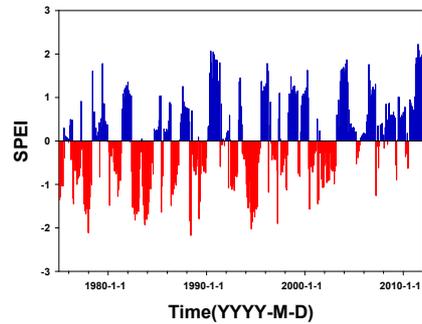
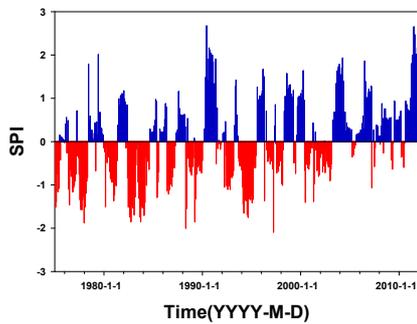
**Fig. 2. Location and Monthly Variations of Precipitation, Inflow of Soyanggang Dam Basin**



(a) 90-day



(b) 180-day



(c) 270-day

Fig. 3. Timeseries of SPI and SPEI

어질수록 가뭄이 다소 완화되고 있었는데, 이는 지속기간이 길어질수록 많은 양의 강수가 발생하는 기간이 포함되기 때문이다. 지속기간별 역대 가뭄을 보면 SPI3(여기서 숫자 3은 지속기간 3개월을 의미)은 2001년에 -3.594, SPI6는 1977년에 -2.100, 그리고 SPI9는 1997년에 -2.091로 가장 심각하였고, SPEI3은 2001년에 -2.501, SPI6는 1977년에 -2.113, 그리고 SPEI9는 1997년에 -2.170로 심각한 수준이었다. 종합해 보면 1977년, 1997년과 2001년 기상학적 가뭄이 심각한 수준이었고, 강도가 가장 강했던 가뭄은 2001년, 가뭄의 영향이 가장 길었던 시기는 1997년이었다. 2001년은 SPI가 SPEI보다 크게 작았는데 이는 강우량은 매우 적었으나 증발산량이 상대적으로 적었던 특성을 보였던 시기이다. 당시는 증발산량이 많지 않았기 때문에 토양수분량이 줄지 않아서 농업적 가뭄의 체감정도는 크

지 않았다.

### 3.2 SDI의 적용

소양강댐 유역의 수문학적 가뭄을 평가하기 위해 1975년부터 2012년까지 유입량으로 SDI를 계산하였다(Fig. 4). 앞서 분석된 가뭄지수들과 같이 y축의 0을 기준으로 하여 -1 이하일 때 가뭄이며, 값이 더 작아질수록 가뭄 심도가 깊어진다. 계산결과, -2 이하의 극심한 가뭄은 확인되지 않았다. 지속기간별 역대 가뭄을 보면 SDI3(여기서 숫자 3은 지속기간 3개월을 의미)은 1988년에 -1.668, SDI6은 1994년에 -1.778, 그리고 SDI9는 1994년에 -1.817로 심각한 수준의 가뭄이었다. 앞서 기상학적 가뭄이 나타난 시기와 잘 일치하지는 않았다.

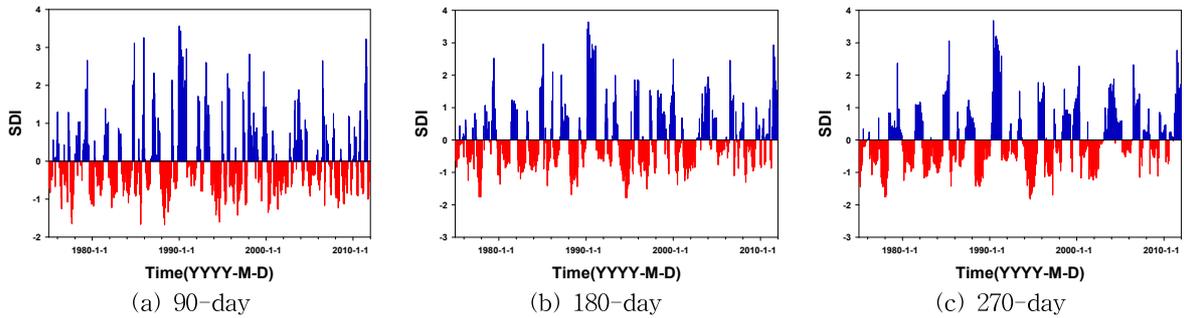


Fig. 4. Timeseries of SDI

### 3.3 기상학적 가뭄지수와 월 총 유입량의 상관분석

#### 3.3.1 월별 기준의 상관계수 계산 결과

SPI, SPEI와 월 총 유입량의 상관분석을 통하여 기상학적 가뭄지수가 월별 유입량의 상태를 잘 반영하고 있는지를 Table 3과 같이 확인하였다. 각각 대응하는 지속기간에서 높은 상관정도를 보이고 있었으며, 대응하는 지속기간 이전에서 상관계수가 증가하다가 대응 지속기간 이후로는 감소하고 있었다. 상관계수는 지속기간 3개월에서 약 0.4, 6개월에서 약 0.5이었고, 9개월에서 약 0.67이었고 (Table 3), 상관계수의 평균을 보더라도 지속기간이 길어질수록 기상학적 가뭄지수와 월 총 유입량의 상관정도가 높아졌다. 짧은 기간 동안 지속된 기상학적 가뭄보다는 상대적으로 길었던 기상학적 가뭄이 갈수에 더 큰 영향과 신호를 주기 때문에 지속기간이 길어질수록 기상·수문학적 가뭄의 연관성이 커지고 있었다. 또한 두 개의 기상학적 가뭄지수는 월 총 유입량과의 상관정도가 매우 비슷한 것으로 확인되었다.

#### 3.3.2 연별 극값 기준의 상관계수 계산 결과

SPI, SPEI와 월 유입량의 연도별 최저치에 대한 상관분석을 통해 기상학적 가뭄지수가 극한상태의 수문학적

가뭄을 잘 반영하고 있는지를 확인하였다(Table 4). 극한값들에 의한 상관분석 결과, SPI3은 지속기간 9개월의 월 총 유입량의 최저값과, SPEI3은 지속기간 7개월에 해당하는 월 총 유입량의 최저값과 가장 높은 상관정도를 보였다. SPI6과 SPEI6은 지속기간 2개월에 해당하는 월 총 유입량의 최저값과 높은 상관정도를 보였다. 지속기간이 긴 SPI9와 SPEI9는 지속기간 9개월에 해당하는 월 총 유입량의 최저값과 가장 높은 상관정도가 확인되었다. 극한값에서는 기상학적 가뭄지수와 월 총 유입량의 지속기간이 길어질수록 상관정도가 높아지는 추세는 확인하기 어려웠고, 지속기간이 비교적 긴 9개월에 해당하는 기상학적 가뭄지수만이 수문학적 가뭄과의 높은 연관성이 확인되었다. 이는 극한값은 무작위성을 띠고 있어서 평균 상태로 비교되는 것보다 일대일의 대응정도는 떨어질 수밖에 없기 때문이다. 하지만 지속기간의 변화에 따른 상관정도의 변화추세가 예측불가하다는 점에서 수문학적 가뭄해석 활용에 다소 어려우리라 판단된다.

### 3.4 기상학적 가뭄지수와 SDI의 상관분석

#### 3.4.1 월별 기준의 상관계수 계산 결과

SPI, SPEI와 수문학적 가뭄지수인 SDI의 상관분석 결

Table 3. Correlation of SPI, SPEI with Monthly Total Inflow

	Monthly total inflow considering moving average (30, 60, ..., 270-day)								
	MA30	MA60	MA90	MA120	MA150	MA180	MA210	MA240	MA270
SPI3	0.304	0.359	<b>0.404</b>	0.318	0.271	0.254	0.239	0.220	0.220
SPEI3	0.300	0.360	<b>0.409</b>	0.322	0.271	0.251	0.237	0.218	0.221
SPI6	0.277	0.317	0.342	0.377	0.428	<b>0.495</b>	0.459	0.436	0.441
SPEI6	0.269	0.310	0.336	0.373	0.425	<b>0.492</b>	0.455	0.429	0.433
SPI9	0.242	0.275	0.304	0.335	0.373	0.420	0.483	0.569	<b>0.678</b>
SPEI9	0.234	0.268	0.298	0.330	0.369	0.416	0.479	0.564	<b>0.673</b>
Ave.	0.271	0.315	0.349	0.343	0.356	0.388	0.392	0.406	0.444

과, 각각 대응하는 지속기간과의 상관정도가 가장 높았다. 또한 앞서 분석된 기상학적 가뭄지수와 월 총 유입량과의 상관도 보다 더 높았고, 지속기간이 길어질수록 SPI와 SPEI 모두에서 상관계수가 높게 추정되는 일관성 또한 확인되었다(Table 5). 이는 지속기간이 길어질수록 기상·수문학적 가뭄의 연관성이 더 커지기 때문이다. 또한 두 개의 기상학적 가뭄지수와 SDI와의 상관계수는 차이 거의 없는 것으로 확인되었다.

### 3.4.2 연별 극값 기준의 상관계수 계산 결과

SPI, SPEI와 SDI 각각의 연별 극값을 이용하여 상관정

도 분석하였고, 그 결과 각각 대응하는 지속기간의 결과가 가장 높은 상관정도를 보였다(Table 6). 기상학적 가뭄지수 중에서 SPI 보다 SPEI가 SDI를 잘 모사하고 있었고, 3개의 지속기간 중에서 지속기간 6개월에서 가장 높은 상관정도 확인되었고, 상관정도의 평균은 전반적으로 유입량의 극값을 대상으로 한 결과보다 다소 높았다. 모든 지속기간에서 SPEI는 SPI에 비하여 상관계수가 더 높았는데 SPEI는 강수와 증발산량을 동시에 고려하는 가뭄지수로서, 수문학적 가뭄은 강수의 부족에 이어 기온의 상승에 따른 증발산량의 증가로 야기되는 농업적 가뭄 이후에 비롯된다. 이처럼 수문학적 극한가뭄은 강수의 부족뿐만

Table 4. Extreme Value Correlation of SPI, SPEI with Monthly Total Inflow

	Monthly total inflow considering moving average(30, 60, ..., 270-day)								
	MA30	MA60	MA90	MA120	MA150	MA180	MA210	MA240	MA270
SPI3	0.396	0.394	0.332	0.358	0.329	0.308	0.433	0.441	<b>0.491</b>
SPEI3	0.466	0.484	0.433	0.423	0.393	0.390	<b>0.518</b>	0.458	0.507
SPI6	0.344	<b>0.467</b>	0.363	0.356	0.277	0.291	0.397	0.321	0.339
SPEI6	0.400	<b>0.518</b>	0.393	0.417	0.341	0.355	0.460	0.394	0.416
SPI9	0.099	0.189	0.138	0.183	0.244	0.282	0.338	0.345	<b>0.459</b>
SPEI9	0.119	0.206	0.135	0.218	0.293	0.331	0.379	0.391	<b>0.498</b>
Ave.	0.304	0.376	0.299	0.326	0.313	0.326	0.421	0.392	0.452

Table 5. Correlation of SPI, SPEI with SDI

	Monthly total inflow considering moving average(3, 6, ..., 9-month)		
	SDI3	SDI6	SDI9
SPI3	<b>0.733</b>	0.467	0.280
SPEI3	<b>0.727</b>	0.457	0.284
SPI6	0.597	<b>0.844</b>	0.548
SPEI6	0.584	<b>0.834</b>	0.538
SPI9	0.375	0.624	<b>0.873</b>
SPEI9	0.364	0.616	<b>0.866</b>
Ave.	0.563	0.640	0.565

Table 6. Extreme Value Correlation of SPI, SPEI with SDI

	SDI3	SDI6	SDI9
SPI3	<b>0.610</b>	0.565	0.459
SPEI3	<b>0.679</b>	0.651	0.567
SPI6	0.669	<b>0.821</b>	0.560
SPEI6	0.670	<b>0.850</b>	0.606
SPI9	0.326	0.567	<b>0.760</b>
SPEI9	0.343	0.590	<b>0.774</b>
Ave.	0.550	0.674	0.621

아니라 기온의 상승도 주요 변수이기 때문에 SPEI가 보다 효율적으로 설명이 가능하다고 판단된다. 월 총 유입량에서도 이러한 이유로 SPEI와의 상관정도가 더 높은 편이었다.

#### 4. 결 론

우리나라에서는 기상학적 가뭄지수를 확대하여 수문학적 가뭄의 분석에까지 활용하고 있다. 하지만 최근에는 하나의 가뭄지수에 의존하기 보다는 여러 가뭄지수 간의 특징을 살려 상호·보완하여 사용하기를 권하고 있으므로 본 연구에서는 소양강댐 지역의 기상학적 가뭄지수 중 강수량을 주요변수로 하는 SPI와 강수량 및 기온(증발산량)을 주요 변수로 하는 SPEI와 수문학적 가뭄을 비교하였다.

수문학적 가뭄을 대표하기 위하여 월 총 유입량과 SDI를 사용하였고, 지속기간에 따라 월별 및 연별 극한값의 상관정도를 분석한 결과, 월별 결과에서는 기상학적 가뭄지수 모두 지속기간이 길어질수록 단기간에 비하여 수문학적 가뭄을 잘 모사하고 있었다. 건조한 지역에서는 다년간 지속될 수 있는 가뭄을 겪을 가능성이 큰 반면에 우리나라와 같은 몬순기후 지역에서는 다년간 또는 연 단위로 지속될 확률이 거의 없다. 이는 강수의 계절 변동성으로 겨울부터 봄까지의 강수 부족이 여름철에는 완전히 회복되기 때문이다. 본 연구의 결과에서 지속기간 270일에 기상학적 가뭄지수와 월 총 유입량과 상관정도가 가장 높아서 0.67로 나타났고 기상학적 가뭄지수와 SDI의 상관정도는 0.727~0.87이었다.

연별 극한값을 비교한 결과, 기상학적 가뭄의 극한값이 수문학적 가뭄의 극한상태를 표현하는데에 한계가 있음을 확인하였다. 다만 기상학적 가뭄지수들은 SDI와의 상관관계가 높은 편이었고, SPEI의 결과가 SPI 보다 우수한 편이었다. 발생 기작이 서로 다른 가뭄, 즉 기상학적 가뭄지수로 수문학적 가뭄을 해석할 때에 무엇보다 중요한 점은 결과 사이의 일관성이 확인되어야 한다는 점이다. 일대일의 상관정도가 낮더라도 일관성 있는 추세가 확인된다면 확대하여 해석이 가능하다. 하지만 이러한 해석에 있어서 일관성이 담보되어 있지 않다면 더 큰 불확실성을 야기할 수도 있다.

본 연구를 통하여 기상학적 가뭄만을 활용하여 수문학적 가뭄을 해석하기에는 다소의 한계가 확인되었다. 특히 극한값 분석에서는 월 총 유입량의 최저값과 기상학적 가뭄지수의 연관성은 거의 확인되지 않았다. 물론 SDI와

SPEI가 다소 높은 상관정도를 보였다하더라도 단일 지점의 적용사례로써 일반화하기에는 어려움이 있으므로 극한가뭄에 해석에 있어서는 더 많은 고민이 필요하겠다.

현재 수문기상 실무자들은 기상학적 가뭄지수로 하천 또는 유역의 가뭄의 평가를 시도하고 있으며, 기상학적 가뭄지수 중 SPEI는 증발산량의 관계가 포함되어 있어, SPI 보다 수문학적 가뭄을 효율적으로 모사할 수 있다고 판단하고 있지만 이 역시 분명한 한계를 확인하였다. 가뭄의 복잡한 응답과정을 고려해 볼 때 지속기간이 긴 평균적인 물 부족을 해석한다면 기상학적 가뭄지수의 효율적 활용을 부분적으로 기대할 수 있겠다. 하지만 수문학적 가뭄을 해석하기 위해서는 분명히 수위 또는 유량 자료의 활용이 필요함을 확인하였고, 이는 갈수 또는 수문학적 가뭄예보를 수행에 따른 관련 부처 간의 주체 결정 및 업무방향에 분명히 기여할 수 있으리라 판단한다. 하지만 수자원 계획 및 관리를 위한 극한 가뭄에 대한 중요도가 커지고 있는 상황에서는 수문학적 가뭄에 대한 정량화가 무엇보다도 중요해지고 있으므로 다양한 유역을 대상으로 비교하여 보다 보편적인 결론을 도출할 필요가 있다. 또한 최근의 가뭄관련 연구에서는 가뭄의 크기뿐만 아니라 지속기간도 주목하고 있는데(Mishra et al., 2009; De Michele et al., 2013), 이러한 가뭄의 다변량(multivariate) 특성을 고려하여 Sung and Chung (2014b)은 하천수의 부족량과 지속기간에 대한 연구를 수행하였다. 향후 관련 연구들을 참고하여 지속기간에 관한 연구를 보완할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- Beguiria, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., and Latorre, B. (2013), "Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring." *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.3887.
- Correia, F.N., Santos, M.A., and Rodrigues, R.P. (1991). "Reliability in regional drought studies." *Water Resources Engineering Risk Assessment*, pp. 63-72.

- Dai, A. (2011). "Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), Vol. 116, doi:10.1029/2010JD015541.
- De Michele, C., Salvadori, G., Vezzoli, R., and Pecora, S. (2013). "Multivariate assessment of droughts: Frequency analysis and dynamic return period." *Water Resources Research*, Vol. 49, pp. 6985–6994.
- Hernandez, E.A., and Uddameri, V. (2013). "Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas." *Environmental Earth Sciences*, pp. 1–11.
- Kauffmann, G.J., and Vonck, K.J. (2011). "Frequency and intensity of extreme drought in the Delaware basin." *Water Resources Research*, Vol. 47, pp. 1600–2002, doi:10.1029/2009WR008821.
- Keyantash, J., and Dracup, J. (2002). "The quantification of drought: an evaluation of drought indices." *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 83, No. 8, pp. 1167–1180.
- 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 RCP8.5 Climate Change Scenario." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 2, pp. 097–109. (in Korean)
- Kim, B.-S., Sung, J.H., Kang, H.S., and Cho, C.H. (2012). "Assessment of Drought Severity over South Korea using Standardized Precipitation Evapo-transpiration Index (SPEI)." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 887–900. (in Korean)
- Kim, B.-S., Kwon, H.-H., and Kim, H.-S. (2011). "Evaluation on impact of climate change on drought risk." *Korean Wetlands Society Journal*, Vol. 13, No. 1, pp. 1–11. (in Korean)
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S.M., Lopez-Moreno, J.I., Begueria, S., Garcia-Ruiz, J.M., and Cuadrat, J.M. (2010). "The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain)." *Journal of Hydrology*, Vol. 386, pp. 13–26, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.01.001.
- McEvoy, D.J., Huntington, J.L., Abatzoglou, J.T., and Edwards, L.M. (2012). "An evaluation of multiscale drought indices in Nevada and Eastern California." *Earth Interactions*, Vol. 16, pp. 1–18, doi:10.1175/2012EI000447.1.
- McKee, T.B., Doeskin, N.J., and Kleist, J. (1993). *Drought Monitoring with Multiple Time Scales*. Proceeding of 9th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, pp. 233–236.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. (2009). "Analysis of drought severity-area-frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 114, D06120, doi: 10.1029/2008JD010986.
- Nalbantis, I., and Tsakiris, G. (2009). "Assessment of hydrological drought revisited." *Water Resources Management*, Vol. 23, pp. 881–897.
- Nalbantis, I. (2008). "Evaluation of a hydrological drought index." *European Water*, Vol. 23, No. 24, pp. 67–77.
- Sung, J.H., and Chung, E.-S. (2014a) "Application of streamflow drought index using threshold level method." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 5, pp. 491–500. (in Korean)
- Sung, J.H., and Chung, E.-S. (2014b) "Development of streamflow drought severity-duration-frequency curves using the threshold level method." *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 18, pp. 3341–3351, doi: 10.5194/hess-18-3341-2014.
- Tate, E.L., and Gustard, A. (2000). *Drought definition: A hydrological perspective*, Springer, Netherlands.
- Thornthwaite, C.W. (1948). "An approach toward a rational classification of climate." *Geographical Review*, Vol. 38, No. 1, pp. 55–94.
- Vasiliades, L., and Loukas, A. (2009). "Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece." *Desalination*, Vol. 237, No. 1, pp. 3–12.
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., and Lopez-Moreno, J.I. (2010). "A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapo-transpiration index." *Journal of Climate*, Vol. 23, No. 7, pp. 1696–1718.
- 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.

Zhai, J., Su, B., Krysanova, V., Vetter, T., Gao, C., and Jiang, T. (2010). "Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of China." *Journal of Climate*, Vol. 23, pp. 649–663, doi:0.1175/2009JCLI2968.1.

paper number : 14-105

Received : 29 October 2014

Revised : 3 January 2015 / 17 January 2015

Accepted : 17 January 2015