

## 우리나라 과거 가뭄사상의 정량적 특성 분석 -5대강 유역의 가뭄빈도분석을 중심으로-

### Quantitative Characterization of Historical Drought Events in Korea - Focusing on Drought Frequency Analysis in the Five Major Basins -

이 주 현\* / 장 호 원\*\* / 김 종 석\*\*\* / 김 태 응\*\*\*\*

Lee, Joo-Heon / Jang, Ho-Won / Kim, Jong-Suk / Kim, Tae-Woong

#### Abstract

This study aims to investigate droughts from the magnitude perspective based on the SPI (Standardized Precipitation Index) and the theory of runs applicable to quantitative analysis of drought in South Korea. In addition, the dry spell analysis was conducted on the drought history in the five major river basins of South Korea to obtain the magnitude, duration and severity of drought, and the quantitative evaluation has been made on historical droughts by estimating the return period using the SDF (Severity-Duration-Frequency) curve gained through drought frequency analysis. The analysis results showed that the return periods for droughts at the regional and major river basin scales were clearly identified. The return periods of severe drought that occurred around the major river basins in South Korea turn out to be mostly 30 to 50 years with the years of the worst drought in terms of severity being 1988 and 1994. In particular, South Korea experienced extremely severe droughts for two consecutive years during the period between 1994 and 1995. Drought in 2014 occurred in the Han River basin and was evaluated as the worst one in terms of severity and magnitude.

**Keywords** : drought frequency analysis, drought index, historical droughts, severity-duration-frequency curve

#### 요 지

본 연구에서는 표준강수지수(SPI)를 이용하여 우리나라의 과거 가뭄사상을 규모적 관점에서 정량적 평가를 실시하였다. 이를 위하여, 5대강 권역에 대한 가뭄사상의 지속기간, 규모, 평균심도를 연속이론을 바탕으로 산정하였다. 또한 과거 가뭄사상의 재현기간을 추정하고 가뭄 평균심도-지속기간-빈도 곡선을 작성하기 위하여 가뭄빈도분석을 실시하였다. 분석결과, 우리나라에 발생했던 심한 가뭄의 재현기간은 대부분 30~50년으로 분석되었으며, 가뭄규모로 평가할 때 가장 가뭄이 심했던 해는 1988년과 1994년으로 나타났다. 특히, 1994년과 1995년에는 2년 연속 가뭄이 발생하여 가장 극심했던 장기가뭄으로 분석되었다. 또한 2014년의 가뭄은 한강 권역을 중심으로 발생하였으며 가뭄의 규모와 평균심도 면에서 볼 때 우리나라 역사상 가장 극심했던 가뭄으로 평가되었다.

**핵심용어** : 가뭄빈도해석, 가뭄지수, 과거 가뭄사상, 평균심도-지속기간-빈도 곡선

\* 중부대학교 공과대학 토목공학과 교수 (e-mail: leejh@joongbu.ac.kr)

Professor, Dept. of Civil Engineering, Joongbu University, Goyang 10279, Korea

\*\* 중부대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (e-mail: hs980216@hotmail.com)

Ph.D. Student, Dept. of Civil Engineering, Joongbu University, Goyang 10279, Korea

\*\*\* 서울시립대학교 도시홍수연구소 연구교수 (e-mail: jongsuk@uos.ac.kr)

Research Professor, Urban Flood Research Institute, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

\*\*\*\* 교신저자, 한양대학교 공학대학 건설환경플랜트공학과 부교수 (e-mail: twkim72@hanyang.ac.kr, Tel: 82-31-400-5184)

Corresponding Author, Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

## 1. 서론

가뭄을 예측하고 정량화하기 위해서 수문자료, 기상자료 및 가뭄지수를 활용한 통계학적 분석이 많이 시도되었으며 가뭄을 시의 적절하게 모니터링하기 위한 연구가 계속해서 진행되고 있다. 가뭄을 정량화하는 방법으로는 가뭄지수를 활용하는 방법이 가장 일반적이며, 통계학적 빈도해석을 통해서 가뭄사상의 특성변수에 대한 재현기간을 산정하여 가뭄을 정량적으로 분석할 수 있다(Lee et al., 2006a; 2006b; Loukas et al., 2008, Mishra and Singh, 2009; Lee and Kim, 2011). 예를 들어, Lee et al. (2006a, 2006b)은 우리나라 전역에 대하여 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI), 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)와 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI) 등의 가뭄지수를 산정하여 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성을 검증한 바 있다. 특히, SPI는 다양한 지속기간(1~12개월)을 반영할 수 있어 단기 및 장기가뭄을 효율적으로 모니터링 할 수 있다는 점을 강조하였다.

가뭄지수는 특정 관측소 및 특정 지역의 가뭄심도를 정량적으로 표현할 수 있지만, 가뭄은 단순히 심도만으로 표현될 수 없는 자연현상이다. 따라서 많은 연구자들이 가뭄의 지속기간, 재현기간, 가뭄면적 등을 종합적으로 고려하여 가뭄을 정량적으로 표현하고 분석하는 방법을 개발하려고 노력하고 있다. 이러한 방법 중의 하나로서, 가뭄 평균심도-면적-빈도(Severity-Area-Frequency, SAF) 곡선이 있으며, 이는 가뭄의 공간적인 영향면적을 고려하여 효과적으로 가뭄사상을 분석하는 도구이다(Henriques and Santos, 1999; Jang et al., 2006). Loukas et al. (2008)은 캐나다 전지구기후모형(General Circulation Model, GCM)을 이용하여 여러 가지 지속기간의 SPI를 산정하고 SAF 곡선을 작성한 후 기후변화에 따른 가뭄심도의 변화를 평가한 바 있다. Mishra and Singh (2009)는 12개의 GCM을 이용하여 여러 지속기간(1, 3, 6, 9, 12개월)의 SPI를 산정하고 기후변화 시나리오별 SAF 곡선을 작성하여 미래 가뭄을 전망하였다. 이 연구에서는 3개월 SPI와 12개월 SPI를 이용한 미래 가뭄 전망에서 여러 지역에 걸쳐 극심한 가뭄이 발생할 것으로 예상되었다.

가뭄을 정량적으로 평가하는 또 다른 방법으로서, Lee and Kim (2011)은 서울을 비롯한 5개의 주요 기상관측소(대전, 대구, 광주, 부산)에 대하여 가뭄지수를 이용한 빈도해석을 실시하고, 가뭄 평균심도-지속기간-발생빈도(Severity-Duration-Frequency, SDF) 곡선을 개발하였

다. 또한 관측소별 SDF 곡선을 이용하여 과거 가뭄사상에 대한 재현기간을 제시한 바 있다. Yoo et al. (2010)은 가뭄을 단기와 장기 사상으로 구분하여 특성변수를 추출하고 주성분 분석과 군집 분석을 통해 동질성을 갖는 관측지점들의 분류하였다. 또한, 이변량 확률분포함수를 적용하여 주요 가뭄특성(지속기간과 심도)에 이변량 재현기간을 산정하여 지역적 가뭄 특성을 분석하였다. Yoon and Park (1997)은 우리나라를 47개의 소유역으로 분할한 후 월 강우량과 L-모멘트 법을 이용하여 지역빈도분석을 실시하였으며 강우의 지속기간별, 재현기간별 가뭄우량을 산정하여 지속기간별 확률가뭄우량도를 작성한 바 있다.

최근 들어 기후변화에 따른 가뭄심도의 변화를 추정하는 연구도 많이 시도되고 있다. 예를 들어, Kim et al. (2010)은 현재 및 미래 기후에서의 가뭄 심도-영향면적-지속기간(Severity-Area-Duration, SAD) 곡선을 작성하여 극한 가뭄사상에 대한 기후변화의 영향을 분석한 바 있다.

본 연구에서는 대부분의 가뭄관련 연구의 대상이 되는 과거의 역사적 가뭄에 대한 정량적인 평가를 실시하였다. 이를 위해서 기상학적인 가뭄을 효율적으로 정량화할 수 있는 가뭄지수인 SPI를 이용하여 우리나라에 실제로 발생했던 가뭄사상을 규모를 기준으로 순위를 산정하였다. 또한 가뭄빈도해석을 실시하여 대상 가뭄의 재현기간을 추정하고 SDF 곡선을 개발함으로써 과거의 역사적인 가뭄사상을 정량적으로 분석하였다. 이러한 분석은 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 등 5대강 권역을 대상으로 수행되었으며, 가뭄의 지역적 발생특성을 분석하였다.

## 2. 가뭄분석 이론 및 방법

### 2.1 가뭄 지속기간-규모 - 평균심도의 관계

Pereira and Paulo (2004)은 연속이론(Run's Theory)을 바탕으로 가뭄이 가지는 특성을 지속기간(duration), 규모(magnitude), 평균심도(severity)로 분류하여 제시하였다. Lee and Kim (2011)에 의하면, 가뭄사상의 지속기간은 강우가 위험 수준 이하로 유지되는 시간의 개수로 임의 가뭄사상에 대해 음의 이산이 연속되는 기간을 의미한다. 또한 지속기간의 합을 연속합(run sum)이라 하는데 본 연구에서는 각 월별 SPI 합을 가뭄의 규모(magnitude)라고 정의할 수 있다. 가뭄의 평균심도는 규모를 지속기간으로 나눈 값을 의미한다(즉,  $severity = magnitude / duration$ ).

따라서 가뭄이 얼마나 극심한가를 평가하는 기준은 여러 가지 관점에서 평가될 수 있다. 예를 들어, 가뭄지수는 현재 시점의 가뭄상황에 대하여 심도의 관점에서 판단기

준을 제공할 수 있다. 그러나 가뭄은 얼마나 심각한 가뭄이 얼마나 오래 지속되는 것인지를 평가하는 것이 중요하다. 따라서 가뭄사상의 세 가지 특성, 즉 지속기간, 규모, 평균심도를 종합적으로 분석해야 한다. 이 중에서 규모는 가뭄사상의 전체적인 크기를 보여줄 수 있는 특성인자로, 본 연구에서는 과거의 가뭄사상을 정량적으로 평가하기 위해서 가뭄의 규모를 우선적으로 평가하였다. 이와 동시에 가뭄사상의 지속기간과 평균심도를 산정하여 여러 가지 관점에서 가뭄의 정량적인 분석을 실시하였다.

## 2.2 표준강수지수(SPI)를 활용한 가뭄 평가

Mckee et al. (1993, 1995)은 물의 수요에 비해 상대적인 물 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 가뭄이 시작된다는 점에 주목하였다. 즉, 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양함유수분량, 하천유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다고 가정하여 SPI를 개발한 것이다. SPI는 특정한 시간(보통은 월)에 대한 강수량 부족량을 산정하기 위하여 계산 시간단위(강우의 지속기간)를 1, 3, 6, 12, 24개월 등과 같이 설정하고 지속기간별 누적 강우량을 계산하고 누적 강우량에 대한 상대적인 강수 부족량을 표준화하여 지수로 표현한 것이다. 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 분야에 사용될 수 있다. 예를 들면, 1개월 및 3개월 지속기간의 SPI(이하 SPI(1), SPI(3)이라 표현)는 단기간의 강수 부족으로 발생하는 단기 가뭄을 평가하는데 사용될 수 있으며, 12개월 지속기간의 SPI(이하 SPI(12)이라 표현) 등과 같은 장기간 지속기간의 SPI는 오랜 기간의 연속적인 강수부족으로 야기되는 장기 가뭄을 평가하는데 효율적으로 사용될 수 있다.

SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수시계열을 구하여야 하며, 각 월을 기준으로 하여 시간단위에 해당하는 누가강수시계열을 산정하여 지속기간별 시계열을 구한다. 지속기간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하고 적절한 확률분포형을 선정한 후 이를 이용하여 개개 변량의 누가확률을 산정한 후, 표준정규분포로 변환시켜 SPI를 산정한다(Lee and Kim, 2011). Table 1은

SPI의 지수범위에 따른 가뭄심도를 나타낸 것으로서 SPI가 -1.0 이하가 되면 보통수준의 가뭄상태임을 의미한다.

SPI는 연구자의 주관적인 판단에 따라서 서로 다른 지속기간을 갖는 강우시계열로부터 산정하여 다양한 관점에서 가뭄을 분석할 수 있다는 장점과 강수량만을 입력자료로 사용하기 때문에 증발산, 토양수분, 저수지 저류량 등과 같은 복잡한 수문학적 현상을 고려하지 않고 간단하고 명료하게 지수를 산정하여 기상학적 가뭄현상을 감시할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 다양한 지속기간의 SPI를 산정하여 하천수량, 저수지 수위, 지하수 수위, 토양수분 등의 독립적인 수문사상과의 상관성을 분석하여 기상학적 가뭄, 농업적 가뭄 및 수문학적 가뭄까지도 모니터링 할 수 있다는 강점을 갖고 있다.

하지만 SPI가 갖고 있는 한계점도 있다. SPI는 지수산정의 기본 입력자료인 강우자료의 확률분포형을 검증하고 이를 표준화시켜서 지수를 산정하게 된다. 따라서 강우자료의 길이가 늘어남에 따라서 과거에 산정했던 SPI와 최근의 강우자료를 포함하여 산정된 SPI는 과거의 동일시간에 대해서 산정된 값이 다르게 된다. 이는 다른 가뭄지수가 갖고 있지 않은 단점이자 한계점이다. 강우자료의 길이에 의해서 확률분포형이 달라질 수도 있으며, 확률분포형이 Gamma 분포로 동일하다 하더라도 형상모수와 축척모수가 달라짐에 따라서 상이한 값이 산정될 수 있으므로 SPI를 이용하는 경우에는 이와 같은 현상을 직시해야 한다. 특히 강우자료의 확률분포형이 다른 경우에는 SPI는 상당히 어긋난 값을 갖는다. Mishra and Singh (2010)은 SPI 산정할 때에 적용되는 확률분포형과 강우자료의 기간에 대해서 다음과 같은 두 가지의 문제점이 있다고 지적하고 있다. 첫 번째로는 지속기간의 12개월 이상 또는 24개월의 누적강우를 사용하여 SPI를 산정하는 경우에는 짧은 지속기간을 사용하여 산정하는 경우보다 사용되는 강우자료의 기간에 더 많은 영향을 받게 된다. 따라서 관측 강우자료의 기간이 짧은 경우에는 긴 지속기간의 SPI를 사용하는 것이 바람직하지 않다. 두 번째로는 강우의 계절성이 뚜렷한 지역의 경우에는 건기에 강우량이 0으로 표시되는 무강우 사상이 너무 많기 때문에

Table 1. Moisture Condition and Drought Classification Using SPI Value

Range	Condition	Range	Condition
More than 2.00	Extremely Wet	-1.00~-1.49	Moderately Dry
1.50~1.99	Very Wet	-1.50~-1.99	Severely Dry
1.00~1.49	Moderately Wet	Less than -2.00	Extreme Dry
-0.99~0.99	Near Normal		

짧은 지속기간의 SPI를 산정하는 경우에는 강수량의 분포형이 많이 왜곡되어 정상적인 정규분포에 맞지 않는다.

이러한 단점에도 불구하고 SPI가 갖고 있는 뚜렷한 장점으로 인하여 2009년 전 세계의 가뭄 전문가들이 한자리에 모인 “Inter-Regional Workshop on Indices and Early Warning Systems for Drought”에서 SPI를 기상학적 가뭄을 감시할 때 전 세계적으로 사용할 수 있는 표준가뭄 지수로 선정하였을 정도로 기상학적 가뭄감시에 효율적인 지수임을 알 수 있다(WMO, 2009). 따라서 본 연구에서는 우리나라에서 발생했던 과거의 기상학적 가뭄현상을 정량적으로 분석한다는 관점에서 SPI를 적용하였다.

### 2.3 가뭄빈도해석

과거에 발생했던 가뭄사상의 발생빈도와 재현기간과 같은 확률·통계학적 특성을 분석하기 위하여 많은 연구에서 통계학적 빈도해석이 시도되었다. Lee and Kim (2011)은 우리나라 5개 관측소의 SPI를 산정하여 모수적 빈도해석(parametric frequency analysis)을 통하여 관측소별 SDF 곡선을 유도하였으며, Oh et al. (2011)은 경계핵밀도 함수를 이용한 비모수적 빈도해석(non-parametric frequency analysis)을 통하여 계절별로 발생했던 가뭄의 재현기간을 추정한 바 있다. 또한, Yoo et al. (2010)은 가뭄의 지점빈도해석이 갖고 있는 한계를 극복하기 위하여 지역빈도해석을 시도하였으며, 이변량 핵밀도함수를 적용한 비모수적 빈도해석을 통하여 가뭄지속기간과 재현기간의 변화에 따른 가뭄심도가 지역별로 다르게 나타난다

는 사실을 입증하였다.

본 연구에서는 Yoo et al. (2010)에 의해 제시된 가뭄의 지역적 특성을 반영한 지역빈도해석의 결과를 반영하여 5대강 대권역 단위로 산정된 SPI(6)를 이용하여 지속기간별 최소치 계열을 구축하고 Lee and Kim (2011)에서 제시된 모수적 가뭄빈도해석을 실시하여 대권역별 SDF 곡선을 작성하였다. Fig. 1은 본 연구에서 SDF 곡선을 작성하는 과정을 도식적으로 나타낸 것이다.

모수적 빈도해석에 적용될 적정 확률분포형을 결정하기 위해서 Gamma, GEV (General Extreme Value), Gumbel, Log-Gumbel, Lognormal, Log-Pearson Type III, Weibull, Wakeby 분포형에 대해 적합도 검정을 실시하였으며, 확률분포형의 적합도 검정방법으로는 KS (Kolmogorov-Smirnov) 검정을 사용하여 유의수준 5%에 대한 검정을 실시하였다. 적합도 검정을 통하여 Gamma, Weibull, Log-Gumbel, GEV, Gumbel, Lognormal 분포형이 가뭄지수의 빈도해석을 위한 적정 확률분포형인 것으로 평가되었으며 그 중에서도 가장 높은 순위의 적합성을 나타낸 GEV 분포형을 지속기간별 빈도해석을 위한 최적확률분포형으로 선정하였다.

### 2.4 기상 자료

본 연구에서는 SPI를 산정하기 위하여 가능한 장기간의 동일한 자료기간을 적용할 수 있는 기상청 산하 59개 관측소를 기준으로 하여 1974~2014년도까지 40년간 강우자료를 수집하였다. 수집된 59개 관측소의 월 강우량

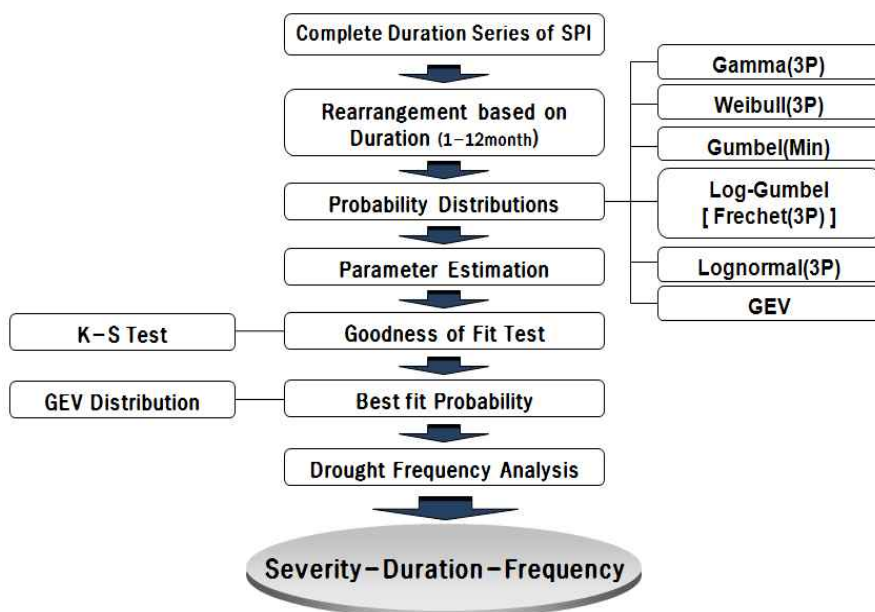


Fig. 1. Schematic Diagram for the Parametric Drought Frequency Analysis (Lee and Kim, 2011)

자료를 이용하여 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 등 5대강 권역의 권역별 평균 강수량을 산정하고 최종적으로 권역별 SPI를 산정하였다. 하지만 1970년 이전의 강우자료의 경우, 양질 관측자료를 보유하고 있는 관측소가 너무 적어 대권역별 평균강수량 산정이 불가능하였다. 따라서 1960년대(1960~1973) 자료는 자료보유기간이 비교적 장기간인 권역별 대표관측소를 선정(한강유역은 서울, 낙동강 유역은 대구, 금강유역은 추풍령, 영산강 유역은 광주, 섬진강 유역은 여수관측소)하여 관측소별 SPI를 산정한 후 1970년이 이후의 권역별 자료와 함께 분석에 활용하였다. 하지만, 대표관측소에 의한 지점강수량에 의한 결과이므로 권역별 평균 강수량을 이용한 결과와 절대적인 비교가 될 수 없다고 판단되며 다만 상대적인 비교를 위해서 결과를 제시하였다.

5대강 권역별 과거에 발생했던 가뭄을 정량적으로 분석하기 위하여 과거에 발생했던 가뭄사상에 대한 지속기

간(duration), 규모(magnitude), 평균심도(severity)를 계산하고 빈도해석을 통하여 권역별 SDF 곡선을 작성하였다. 앞서 설명한 바와 같이 1960년대 가뭄의 경우에는 관측소의 부족으로 인하여 지역빈도해석 결과가 아닌 유역별 대표관측소를 분석한 결과로서 대권역별 분석 결과에 포함되어 나타냈지만, 관측소에 대한 지속기간, 규모, 평균심도만을 추정하여(재현기간 제외) 대권역별 분석 결과와 함께 제시하였다.

### 3. 대권역별 가뭄평가 및 분석 결과

#### 3.1 한강유역의 주요 가뭄

Fig. 2는 한강유역의 SPI(6) 산정결과와 빈도해석을 통하여 유도된 SDF 곡선을 나타낸 것이다. Table 2는 과거의 가뭄사상에 대한 가뭄 지속기간, 규모, 평균심도, 그리고 재현기간을 분석한 결과이다. 한강유역의 가장 극심

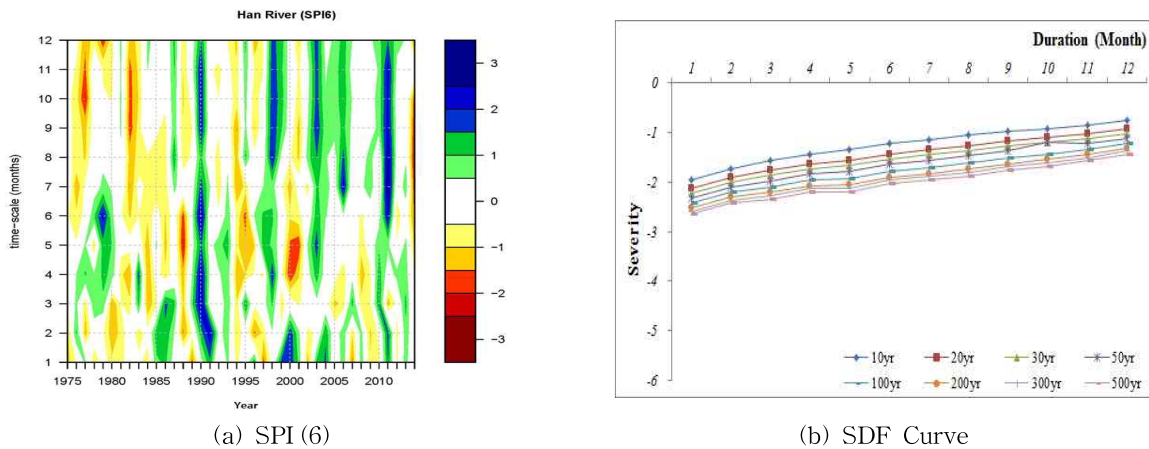


Fig. 2. SPI and SDF Curve for Han River Basin

Table 2. Drought Magnitude and Return Period for Historical Droughts (Han River Basin)

No	Year	Magnitude	Severity	Duration (months)	Return Period (Year)
1	2014	-16.3	-1.4	12	300
2	1982	-12.8	-1.3	10	50
3	1988	-12.8	-1.2	11	30
4	1994	-12.7	-1.1	12	30
5	1965	-10.5	-2.6	4	Seoul Station
6	1962	-9.8	-1.2	8	Seoul Station
7	2001	-9.1	-0.9	10	10
8	1977	-8.7	-0.8	11	10
9	1984	-7.7	-1.0	8	10
10	1996	-7.0	-0.6	11	10

했던 가뭄사상은 2014년으로서 가뭄규모는 -16.3, 지속기간은 12개월, 가뭄기간의 평균심도는 -1.4로 나타났으며, SDF 곡선을 통한 2014년 가뭄사상의 재현기간은 300년으로 나타났다. 평균심도의 기준으로 보면 1965년이 -2.6으로서 가장 심했던 것으로 나타났다. 한강 지역의 주요 가뭄연도는 1982년, 1988년, 1994년, 1965년 순으로 나타났으며 주로 30~50년 빈도를 가진다. 1960년대의 가뭄의 경우 1965년, 1962년이 가뭄 순위에 포함되었으며 우리나라 가뭄연도의 기준이 되는 1967년 및 1968년 가뭄은 한강지역에서는 심하지 않았던 것으로 평가되었다.

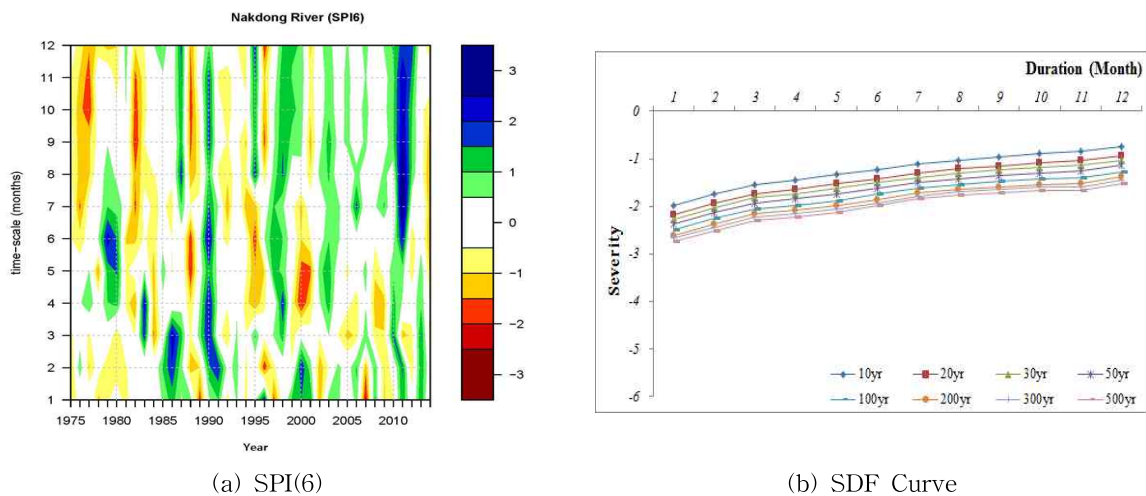
### 3.2 낙동강유역의 주요 가뭄

Fig. 3은 낙동강유역의 SPI(6) 산정결과와 빈도해석을 통하여 유도된 SDF 곡선을 나타내었으며, Table 3은 과거의 가뭄사상에 대한 규모, 지속기간, 평균심도, 그리고

재현기간을 분석한 결과이다. 낙동강유역에서 가장 심했던 가뭄연도는 1988년으로서 규모는 -15.5, 지속기간은 11개월, 평균심도는 -1.4, 재현기간은 100년으로 나타났다. 낙동강유역의 주요 가뭄연도는 1968년, 1982년, 2014년, 1996년 및 2001년으로 재현기간은 10~50년인 것을 확인할 수 있다. 60년대의 가뭄의 경우 1967, 1968년이 가뭄 순위에 속하며 그 중 1968년의 경우, 규모는 -13.6으로 나타났으며, 지속기간은 11개월, 평균심도는 -1.2로 나타났다. 한편 2년 이상 연속된 가뭄으로서 1967~1968, 1976~1977, 1994~1996 가뭄이 매우 극심했던 장기가뭄으로 평가되었다.

### 3.3 금강유역의 주요 가뭄

Fig. 4는 금강유역의 SPI(6) 산정결과와 빈도해석을 통하여 유도된 SDF 곡선을 나타내었으며, Table 4는 과거의 가뭄사상에 대한 규모, 지속기간, 평균심도, 그리고 재



(a) SPI(6)

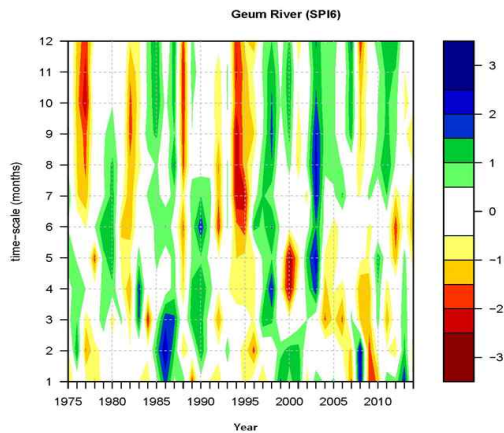
(b) SDF Curve

Fig. 3. SPI and SDF Curve for Nakdong River Basin

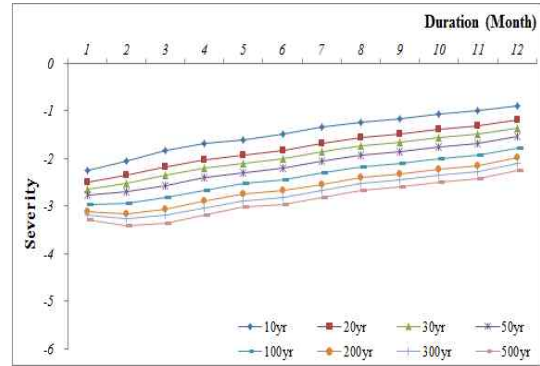
Table 3. Drought Magnitude and Return Period for Historical Droughts (Nakdong River Basin)

No.	Year	Magnitude	Severity	Duration (months)	Return Period (Year)
1	1988	-15.5	-1.4	11	100
2	1968	-13.6	-1.2	11	Daegu Station
3	1982	-13.0	-1.3	10	50
4	2014	-12.3	-1.0	12	20
5	1996	-10.6	-1.0	11	10
6	2001	-8.3	-0.9	9	10
7	1994	-8.2	-0.7	12	10
8	1977	-8.2	-0.7	11	10
9	1976	-8.1	-1.2	7	10
10	1967	-8.0	-0.7	12	Daegu Station





(a) SPI (6)



(b) SDF Curve

Fig. 4. SPI and SDF Curve for Geum River Basin

Table 4. Drought Magnitude and Return Period for Historical Drought Year (Geum River Basin)

No.	Year	Magnitude	Severity	Duration (months)	Return Period (Year)
1	1994	-16.6	-1.8	9	30
2	1988	-16.2	-1.5	11	10
3	1995	-13.6	-1.1	12	10
4	1968	-13.6	-1.1	12	Chupoongryung Station
5	1977	-13.5	-1.2	11	10
6	1982	-13.2	-1.3	10	10
7	1992	-11.7	-1.1	11	10
8	2008	-10.1	-1.0	10	10
9	1967	-8.3	-1.0	8	Chupoongryung Station
10	2009	-7.8	-1.3	6	10

현기간을 분석한 결과이다. 금강유역에서 가장 극심했던 가뭄연도는 1994년으로 나타났으며 규모는 -16.6, 지속기간은 9개월, 평균심도는 -1.8로 나타났으며, 재현기간은 30년으로 나타났다. 다른 유역의 가뭄심도에 비해서 금강유역에서 발생했던 1994년 가뭄의 평균심도는 매우 큰 것으로 나타났다. 금강유역의 주요 가뭄연도는 1988년, 1995년, 1977년 등으로 나타났으며, 1960년대 가뭄의 경우에는 1967, 1968년이 극심했던 주요 가뭄연도에 속하며 그 중 1968년의 경우, 규모는 -13.6으로 나타났고, 지속기간은 12개월로 나타났다. 금강유역에서도 1967~1968, 1994~1995, 2008~2009 가뭄은 2년 연속된 가뭄으로서 매우 극심했던 장기가뭄으로 나타났다.

### 3.4 영산강유역의 주요 가뭄

Fig. 5는 영산강유역의 SPI(6) 산정결과와 빈도해석을

통하여 유도된 SDF 곡선을 나타내었으며, Table 5는 가뭄 규모, 지속기간, 평균심도 그리고 재현기간별로 주요 가뭄 연도를 분석하여 나타낸 것이다. 영산강유역에서 가장 극심했던 가뭄연도는 1988년으로서, 규모는 -13.9, 지속기간은 11개월, 평균심도는 -1.3, 재현기간은 50년으로 나타났으며 영산강 권역의 주요 가뭄연도는 1988년, 1994년으로 재현기간은 30~50년으로 나타났다. 광주관측소의 자료만을 이용한 1960년대 가뭄의 경우를 포함하는 경우에는 1967, 1968년이 가뭄 순위로 볼 때 영산강유역에서 가장 극심했던 가뭄연도로 나타났다. 그 중 1968년의 가뭄의 경우 규모는 -18.4로서 5대강 전체의 분석 결과 중에서 가장 심한 규모로 나타났으며 지속기간은 12개월, 평균심도는 -1.5로 나타났다. 평균심도를 기준으로 볼 때 가장 심했던 가뭄연도는 2000년으로서 -1.9로 매우 극심했던 가뭄연도로 분석되었다. 영산강유역에서도 1967~

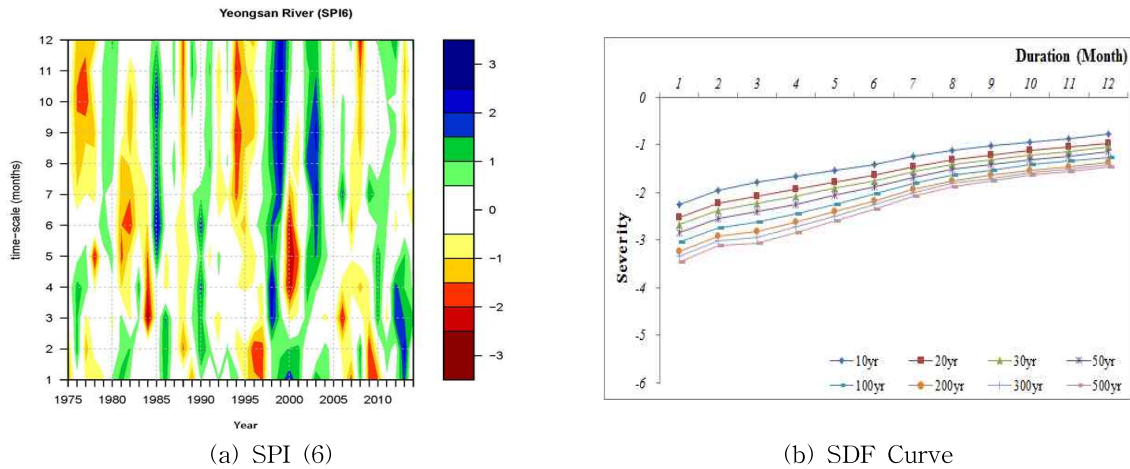


Fig. 5. SPI and SDF Curve for Yeongsan River Basin

Table 5. Drought Magnitude and Return Period for Historical Drought Year (Yeongsan River Basin)

No.	Year	Magnitude	Severity	Duration (months)	Return Period (Year)
1	1968	-18.4	-1.5	12	Gwangju Station
2	1967	-16.3	-1.4	12	Gwangju Station
3	1988	-13.9	-1.3	11	50
4	1994	-13.4	-1.2	11	30
5	1982	-9.9	-1.1	9	10
6	2008	-9.6	-1.1	9	10
7	2000	-9.6	-1.9	5	20
8	1995	-9.5	-0.8	12	10
9	1978	-9.2	-0.8	12	10
10	1977	-8.4	-0.7	12	10

1968, 1977~1978, 1994~1995 등 3개의 가뭄사상이 2년 이상 연속된 장기가뭄으로 평가되었다.

### 3.5 섬진강유역의 주요 가뭄

Fig. 6은 섬진강 유역의 SPI(6) 산정결과와 빈도해석을 통하여 유도된 SDF 곡선을 나타내었으며, Table 6은 가뭄 규모, 지속기간, 평균심도 그리고 재현기간별로 주요 가뭄 연도를 분석하여 나타낸 표이다. 섬진강유역은 1994년과 1995년이 가장 심했던 가뭄연도로 나타났으며 30~50년 빈도의 재현기간을 갖는 가뭄사상이 2년 연속으로 발생했던 것으로 분석되었다. 이상의 분석으로 볼 때, 1994~1995 가뭄사상은 금강, 영산강, 섬진강 유역에 집중되었던 매우 극심했던 가뭄사상으로 나타났다. 1960년대의 여수관측소 자료를 포함하는 경우에는 1968년 가뭄이 매우 극심했던 것으로 나타났으며 1965년도 가뭄연도로 포함되었다. 따라서 1967~1968년 가뭄은 영산강과 섬진

강 유역에 집중되었던 가뭄으로 평가된다. 섬진강 유역의 장기가뭄으로는 1976~1977, 1994~1995 등 두 번의 극심했던 장기가뭄이 있었던 것으로 분석되었다.

## 4. 우리나라 전체의 주योग뭄연도 및 장기가뭄 분석

### 4.1 우리나라 전체의 주योग뭄연도 분석

Table 7은 우리나라 전체를 대상으로 유역별 SPI 산정결과 및 1960년대 관측기록을 보유하고 있는 관측소를 이용하여 산정한 SPI를 이용하여 가뭄 규모, 지속기간 그리고 평균심도를 분석한 결과이다. 연도별 가뭄특성치를 산정하기 위해서 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 유역별로 산정된 가뭄 특성 분석결과를 연도별로 산술평균하여 나타내었으며, 1960년대의 경우에도 서울, 포항, 추풍령, 광주 및 여수 관측소의 가뭄 특성치를 평균하여 유역



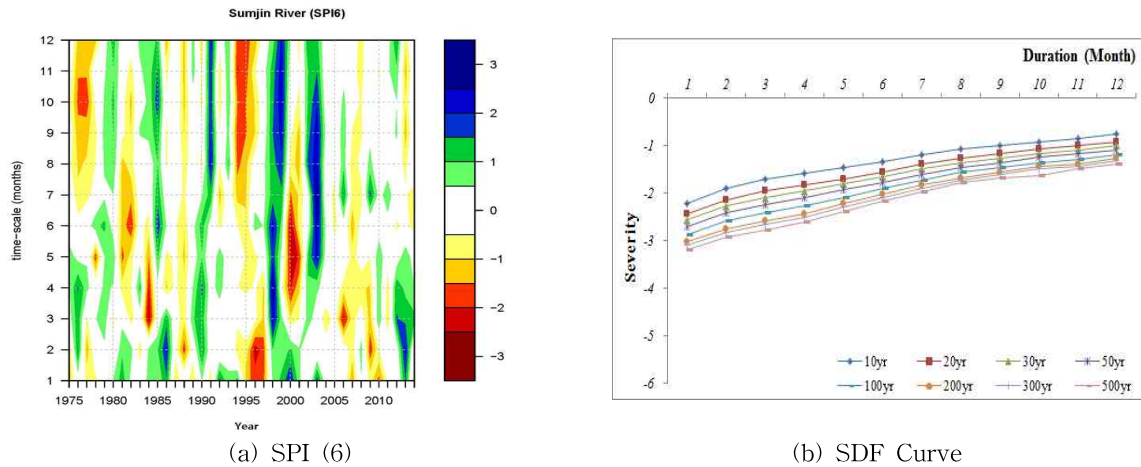


Fig. 6. SPI and SDF Curve for Sumjin River Basin

Table 6. Drought Magnitude and Return Period for Historical Drought Year (Sumjin River Basin)

No.	Year	Magnitude	Severity	Duration (months)	Return Period (Year)
1	1968	-17.2	-1.6	11	Yeosu Station
2	1995	-12.8	-1.1	12	50
3	1994	-12.1	-1.1	11	30
4	1988	-11.8	-1.1	11	30
5	2000	-10.2	-1.7	6	30
6	1965	-9.8	-1.0	10	Yeosu Station
7	1982	-9.1	-1.0	9	10
8	1977	-8.8	-0.7	12	10
9	2007	-8.6	-1.0	9	10
10	1976	-7.6	-1.3	6	10

Table 7. Drought Magnitude and Average Severity for Historical Drought Year of Korea

No.	Year	Magnitude	Severity	Gauge Station Analysis
1	1988	-14.0	-1.3	
2	1968	-13.3	-1.3	○
3	1994	-12.6	-1.2	
4	1982	-11.6	-1.2	
5	1977	-9.5	-0.8	
6	1995	-9.4	-1.2	
7	1967	-8.8	-0.9	○
8	2014	-7.8	-0.7	
9	2000	-7.5	-1.7	
10	1965	-7.3	-1.3	○

별 산정결과에 포함하여 분석하였다. 우리나라 전체에 대한 분석 결과, 가뭄규모는 1988년에 -14.0으로 가장 큰 규

모를 나타냈고 평균심도는 -1.3으로 나타났다. 따라서 우리나라 전체에 영향을 미친 극심했던 주요 가뭄연도는

Table 8. Drought Magnitude and Return Period for Historical Successive Droughts

No.	Year	Magnitude	Severity
1	1967~1968	-22.3	-1.1
2	1994~1995	-21.4	-1.0
3	1976~1978	-20.3	-0.7
4	2007~2009	-11.8	-0.4
5	1981~1982	-11.7	-0.6
6	2000~2001	-11.4	-0.5
7	1964~1965	-4.7	-0.2

1988년, 1968년(관측소 자료), 1994년, 1982년 및 1977년 순으로 나타났다.

#### 4.2 장기 연속가뭄연도 분석

Table 8은 과거 가뭄사상 중 2년 이상 연속으로 가뭄이 발생된 가뭄사상에 대하여 가뭄 규모, 지속기간 그리고 평균심도를 분석한 결과이다. 1960년대의 가뭄의 경우 1964~1965년, 1967~1968년이 2년 연속 가뭄연도로 나타났다. 그 중 1967~1968년에 발생한 가뭄의 규모는 -22.3, 평균심도는 -1.1로 연속된 가뭄사상 중 가장 심했던 가뭄으로 나타났다. 하지만, 5개의 주요 관측소로부터 산정된 결과이므로 유역별로 산정된 유역평균값과 절대적인 비교가 될 수 없음을 감안할 필요가 있다. 유역별로 추정된 연속 가뭄연도로는 1976~1978년, 1981~1982년, 1994~1995년, 2000~2001년, 2007~2009년이 장기연속 가뭄연도로 나타났다. 그 중 1994~1995년의 발생한 가뭄의 규모는 -21.4, 평균심도는 -1.0으로 가장 극심했던 가뭄사상으로 나타났다. 또한 과거 가뭄사상 중 1976~1978년과 2007~2009년의 가뭄은 3년 연속된 가뭄으로서 과거 가뭄사상 중 지속기간이 가장 긴 것으로 나타났다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 주요 5대강인 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역에 대하여 대표적인 기상학적 가뭄지수인 SPI를 선정하여 실제로 발생했던 우리나라 가뭄의 규모별 순위를 파악하였으며, 가뭄의 지역적 발생 특성을 분석하였다. 또한 가뭄의 평균심도, 지속기간, 규모 등 다양한 관점에서 과거 가뭄을 정량적으로 분석하였다.

분석결과, 유역별로 극심한 가뭄이 발생했던 연도가 다

소 다르게 나타났으며, 지역적인 가뭄과 전국적인 가뭄이 발생했던 연도도 뚜렷하게 구분되었다. 1967~1968년 가뭄은 한강유역을 제외한 중·남부 지역에서 발생한 가뭄으로 나타났으며, 1988년 가뭄과 1994~1995년 연속된 장기 가뭄은 우리나라 전역에 걸쳐서 발생했던 심한 가뭄으로 평가되었다. 특히 1988년 가뭄은 대부분의 유역에서 가뭄 규모로 평가할 때 가장 가뭄이 심했던 해로 분석되었다. 2014년도에 발생한 가뭄은 한강유역을 중심으로 발생한 것으로 나타났으며 가뭄의 평균심도와 규모면에서 볼 때 매우 극심했던 것으로 나타났다.

우리나라에서 발생했던 유역별 극심한 가뭄규모의 재현기간은 대부분 30~50년으로 나타났으며 한강유역의 2014년 가뭄은 300년 빈도로서 그만큼 한강유역의 가뭄이 다른 유역에 비해서 과거에 심하지 않았음을 상대적으로 나타내고 있다. 낙동강유역에서 발생한 1988년 가뭄의 재현기간도 100년으로서 매우 극심했던 가뭄으로 평가되었다.

우리나라에서 발생했던 2년 이상 연속된 장기가뭄도 정량적으로 평가되었으며, 1967~1968년 가뭄이 가장 극심했던 2년 연속 가뭄으로 나타났지만, 5개 관측소의 분석결과인 것을 감안할 필요성이 있으며, 유역단위 분석결과에 의하면 1994~1995년 가뭄이 가장 극심했던 장기가뭄으로 평가되었다.

이상의 분석결과는 향후 지속될 가뭄관련 연구에 중요한 기본자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 댐 건설 및 수자원장기계획 수립시 유역별 가뭄연도를 기준으로 설정하는 경우에도 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 생각한다. 다만, 본 연구는 기상학적 가뭄을 대상으로 연구에 초점을 맞추었기 때문에 가뭄에 의한 피해의 척도가 되는 수문학적 또는 농업적 가뭄을 대상으로 한 연구가 추가로 실시되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 본 논문은 한국연구재단 이공분야 기초연구사업(NRF-2013R1A1A2057517) 및 국토교통부 물관리연구사업(15AWMP-B079625-02)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Henriques, A.G., Santos, M.J.J. (1999). "Regional drought distribution model." *Phys. Chem. Earth(B): Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Vol. 24, No. 1-2, pp. 19-22.
- Jang, Y.G., Kim, S.D., and Choi, G.W. (2006). "A study of drought spatio-temporal characteristics using SPI-EOF analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 8, pp. 691-702. (in Korean)
- Kim H.S. Park J.H. Yoon, J.Y., and Kim, S.D. (2010). "Assessing climate-change impacts on spatio-temporal characteristics of extreme drought events." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 6, pp. 561-569. (in Korean)
- Lee, J.H., Kim C.J. (2011). "Derivation of drought severity-duration-frequency curves using drought frequency analysis." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 44, No. 11, pp. 889-902. (in Korean)
- Lee, J.H. Jeong, S.M., Kim, S.J., and Lee, M.H. (2006a). "Development of drought monitoring system : I. Applicability of drought indices for quantitative drought monitoring." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 9, pp. 787-800. (in Korean)
- Lee, J.H., Jeong, S.M., Kim, J.H., and Ko, Y.S. (2006b). "Development of drought monitoring system : II. Quantitative drought monitoring and drought outlook methodology." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 9, pp. 801-812. (in Korean)
- Loukas, A., Vasilades, L., and Alcamo, J. (2008). "Climate change effects on drought severity." *Advances in Geoscience*, Vol. 17, pp. 23-29.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). "The relationship of drought frequency and duration of time scales." *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Mckee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1995). "Drought monitoring with multiple time scales preprints." *9th Conference on Applied Climatology*, Dallas, TX, 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, No. D6, D06120.
- Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010). "A review of drought concepts." *Journal of Hydrology*, Vol. 391, No. 1-2, pp. 202-216.
- Oh, T.S, Moon, Y.I, Kim, S.S., and Park, G.S. (2011). "Frequency analysis of meteorologic drought indices using boundary kernel density function." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 31, No. 2B, pp. 87-98. (in Korean)
- Pereira, L.S., and Paulo, A.A. (2004). "Drought: concepts, indices and prediction." *Options Mediterraneennes, Series B*. 47, pp. 113-144.
- WMO. (2009). *Experts agree on a universal drought index to cope with climate risks*. WMO Press release No. 872, United Nations, Geneva, Switzerland.
- Yoo, J.Y., Kim, T.W., and Kim, S.D. (2010). "Drought frequency analysis using cluster analysis and bivariate probability distribution." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 5, pp. 1851-1860. (in Korean)
- Yoon, Y.N, and Park, M.J. (1997). "Regional drought frequency analysis of monthly rainfall data by the by the method of L-moments." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 30, No. 1, pp. 55-62. (in Korean)

paper number : 15-072

Received : 8 September 2015

Revised : 20 October 2015

Accepted : 20 October 2015