

# 가뭄빈도해석을 통한 가뭄심도-지속시간-생기빈도 곡선의 유도

## Derivation of Drought Severity-Duration-Frequency Curves Using Drought Frequency Analysis

이 주 현\* / 김 창 주\*\*

Lee, Joo Heon / Kim, Chang Joo

### Abstract

In this study, frequency analysis using drought index had implemented for the derivation of drought severity-duration-frequency (SDF) curves to enable quantitative evaluations of past historical droughts having been occurred in Korean Peninsular. Seoul, Daejeon, Daegu, Gwangju, and Busan weather stations were selected and precipitation data during 1974~2010 (37 years) was used for the calculation of Standardized Precipitation Index (SPI) and frequency analysis. Based on the results of goodness of fit test on the probability distribution, Generalized Extreme Value (GEV) was selected as most suitable probability distribution for the drought frequency analysis using SPI. This study can suggest return periods for historical major drought events by using newly derived SDF curves for each stations. In case of 1994~1995 droughts which had focused on southern part of Korea, SDF curves of Gwangju weather station showed 50~100 years of return period and Busan station showed 100~200 years of return period. Besides, in case of 1988~1989 droughts, SDF of Seoul weather station were appeared as having return periods of 300 years.

**Keywords :** drought index, standardized precipitation index, frequency analysis, SDF curve, SPI

### 요 지

본 연구에서는 한반도에서 발생했던 과거 가뭄사상의 정량적 평가를 위한 가뭄심도-지속시간-생기빈도 (Severity-Duration-Frequency, SDF) 곡선을 유도하기 위해서 가뭄지수를 이용한 빈도해석을 실시하였다. 분석지점으로는 4대강 유역을 중심으로 하는 기상청 산하의 서울, 대전, 대구, 광주, 부산관측소를 선정하였으며 강수량자료는 1974~2010년 (37년)의 강수 자료를 이용하였다. 가뭄빈도해석에는 기상학적 가뭄지수인 SPI (Standardized Precipitation Index)를 선정하였으며 확률분포형에 대한 적합도 검증에서는 일반극치분포 (GEV, Generalized Extreme Value)가 최적의 확률분포형으로 선정되었다. 가뭄지수의 빈도해석을 통하여 유도된 주요 관측소별 SDF (Severity-Duration-Frequency) 곡선을 이용하여 과거의 주요 가뭄사상에 대한 재현기간을 제시하였으며 1994~1995년 가뭄의 경우 남부지방을 중심으로 하는 극심한 가뭄으로서 광주관측소에서는 50~100년, 부산관측소에서는 100~200년의 높은 재현기간을 나타내었다. 그밖에 1988~1989년 가뭄의 경우 서울관측소에서는 300년의 재현기간을 나타내었다.

**핵심용어 :** 가뭄지수, 표준강수지수, 빈도해석, SDF 곡선, SPI

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

Professor, Dept. of Civil Eng., Joongbu University, Daejeon, Korea

\*\* 교신저자, 중부대학교 토목공학과 석사과정 (e-mail: yubkipd@nate.com)

Corresponding Author, Graduate Student, Dept. of Civil Eng., Joongbu University, Daejeon, Korea

## 1. 서 론

최근 기후변화와 기상이변으로 우리나라에 홍수 및 가뭄 등의 자연재해의 빈도가 증가하고 있으며 홍수와 달리 가뭄은 그 기간에 따라 그 피해를 산정하기 쉽지 않다. 하지만, 진행속도가 느려 대처할 여유가 많기 때문에 가뭄에 대한 대책수립을 위해 가뭄을 정량화 하는 기술이 어느 때보다도 필요한 실정이다. 가뭄을 정량화 하는 방법으로는 가뭄지수를 활용하는 방법이 가장 일반적이며 그 밖에도 가뭄의 빈도해석을 통한 가뭄의 재현기간, 지속기간, 심도 등의 수문변수를 활용하는 방법이 있다.

가뭄지수를 통한 가뭄의 통계학적 특성을 분석하는 방법으로서 가뭄의 경향성 및 주기성을 분석할 수 있으며 이와 관련된 국내 연구사례의 경우 김창주 등 (2011)은 춘천, 서울 등 6개 기상관측소를 선정하여 기후변화를 고려한 GCM (General Circulation Model) 자료를 이용하여 Mann-Kendall 검정 및 Wavelet transform 분석을 통하여 미래에 나타날 수 있는 가뭄의 경향성을 분석하였으며, Khadr (2009)은 Ruhr강 유역의 가뭄에 대하여 SPI (Standardized Precipitation Index)와 Mann-Kendall 경향성 검정법을 적용하여 연구했고, Grinsted et al. (2004)은 지구물리학상의 시계열에 대하여 경향성과 주기성을 분석함에 있어서 Cross Wavelet Transform (XWT)와 Wavelet Coherence (WTC) 분석법을 적용하여 연구하였다.

가뭄지수를 활용한 빈도해석 연구에서는 경민수 등 (2007)은 지속시간 1, 3, 6, 9, 12개월의 SPI를 이용하여 군집별로 SAD (Severity-Area-Depth)곡선을 작성하였으며 김보경 등 (2006)은 한반도를 대상으로 공간분포를 적용한 SPI를 산정하여 주 가뭄사상을 식별 및 분석하여 영향면적별 가뭄지수를 산정하고 이에 따라 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 관계곡선을 도출하였다.

김대하와 유철상 (2006)은 구형필스모형을 이용하여 가뭄심도-지속기간-생기빈도 해석방법을 적용하여 전국 59개 지점에 대한 분석을 수행하여 남한전체 가뭄심도의 공간분포를 특성화 하였으며 연제문 등 (2006)은 SPI를 도입하여 이변수 감마분포를 이용하여 가뭄심도와 지속기간의 결합확률밀도함수를 추정하고 이를 통하여 가뭄의 이변수 재현기간을 산정하여 분석하였다. 장연규 등 (2006)은 가뭄상황에 따른 피해규모를 산정하기 위하여 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성하여 제시하였다.

최근에 와서는 기후변화를 고려한 가뭄관련 연구도 많이 이루어지고 있는데 김호성 등 (2010)은 현재 및 미래

기후에서의 가뭄심도-영향면적-지속기간 곡선의 비교를 통하여 극한 가뭄 사상에 대한 기후변화의 영향을 분석하였다.

국외 연구사례의 경우, Ghosh and Mujumdar (2007)은 SPI (2)를 이용하여 미래 10년 단위별 가뭄전망을 하였으며 Loukas et al. (2008)은 SPI (1, 3, 6, 9, 12)를 이용하여 SAF (Severity-Areal extent-Frequency)곡선을 개발하였다. Mishra and Singh (2009)은 SPI를 이용하였으며 확률분포는 EV-1 (Extreme Value Type-1)을 사용하여 빈도해석을 실시하였으며 Lehner et al. (2008)은 유럽대륙을 대상으로 '2020s' (mid-term future)과 '2070s' (long-term future)을 전망하였다. 빈도해석은 시간 축으로 자료를 조합하였으며 확률분포는 Log Pearson Type-3를 사용하였으며 100년 빈도 가뭄심도를 유럽대륙 Map에 표시하여 제시하였다. Vidal and Wade (2009)는 SPI (3, 6, 12, 24)를 이용하여 표준화된 SPI의 표준정규분포 곡선과의 비교를 통해 미래 가뭄심도 변화를 연구하였다. 선행 연구사례를 조사한 결과, 대부분 가뭄빈도해석을 위해 기상학적 가뭄지수인 SPI를 사용하였으며 SAF, SAD 등의 해석방법을 개발하여 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 한반도에서 발생했던 과거 가뭄사상의 정량적 평가를 위해 대표적인 기상학적 가뭄 지수인 SPI를 선정하여 기상관측소별로 지속기간 6개월의 SPI를 산정하였다.

산정된 관측소별 SPI를 활용한 가뭄빈도해석을 통해 관측소별 가뭄심도-지속기간-생기빈도 곡선인 SDF (Severity-Duration-Frequency) 곡선을 유도하였으며 작성된 SDF 곡선을 이용하여 서로 다른 지속기간을 갖는 과거 주요 가뭄사상에 대한 재현기간을 제시하였다.

## 2. 자료의 구축 및 가뭄이론

### 2.1 기상관측소 및 강수량자료

본 연구에서는 과거 한반도에서 발생했던 과거 가뭄사상의 정량적 평가를 위한 SDF 곡선을 유도하기 위하여 한반도내의 주요 기상관측소에 대한 점빈도해석 (Point Frequency Analysis)을 실시하였으며 기상청 산하 59개의 전 관측소 중 비교적 자료 보유기간이 길고, 한강, 낙동강, 금강, 영산강 유역을 대표할 수 있는 서울, 대전, 대구, 광주, 부산관측소를 선정하여 분석을 실시하였다. 선정된 관측소의 강수량자료는 1974~2010년 (37년)의 자료를 이용하였으며 5개 관측소의 위치 정보는 Table 1과 같다.

Table 1. Weather Stations Used in This Study

Code	Gauge Name	Latitude	Longitude
108	Seoul	37° 34'	126° 58'
133	Daejeon	36° 22'	127° 22'
143	Daegu	35° 53'	128° 37'
156	Gwangju	35° 10'	126° 54'
159	Busan	35° 06'	129° 02'

## 2.2 SPI (Standardized Precipitation Index)

Mckee et al. (1993, 1995)은 가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 SPI를 개발하였다. 즉, 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양함유수분, 하천유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 가정으로부터 개발한 것이다. SPI는 특정한 시간에 대한 계산 시간단위를 3, 6, 12, 24개월 등과 같이 설정하고, 시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 방법이다. 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 분야에 사용될 수 있다. 예를 들면, 1개월 및 3개월 지속기간의 짧은 시간단위는 단기간의 극심한 강수부족으로 발생하는 단기가뭄을 평가하는데 사용될 수 있으며, SPI12 등과 같은 장기간 지속기간의 지수는 오랜 기간의 연속적인 강수부족으로 야기되는 장기가뭄을 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 확률 분포형을 산정한 후 이를 이용하여 개개 변량의 누가확률을 산정한 후, 표준정규분포에 적용시켜 산정한다.

Gamma 확률 밀도 함수의 매개변수  $\alpha$ ,  $\beta$ 는 지점별, 시간 축척별 (1, 3, 6, 9, 12개월 등) 으로 추정된다. 매개변수의 추정은 최우도법 (maximum likelihood method)을 사용하였으며 이를 통해 계산된 매개변수를 이용해 대상지점의 시간간격에 대한 강수사상의 누가확률을 계산한다.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (1)$$

여기서,  $\alpha$ 는 형상매개변수 (shape parameter)이고,  $\beta$ 는

축척매개변수 (scale parameter)이며,  $x$ 와  $\Gamma(\alpha)$ 는 각각 강수량 (precipitation amount)와 Gamma 함수 (gamma function)를 말한다.

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \quad (2)$$

$$0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \quad (3)$$

$$0 < H(x) \leq 1.0$$

여기서,  $t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)}$ ,  $0 < H(x) \leq 0.5$  (4)

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)}$$
,  $0.5 < H(x) \leq 1.0$  (5)

단,  $x$ 는 강수량이며  $H(x)$ 는 강수량 관측값의 누가확률이고  $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ 는 다음과 같은 상수값을 갖는다.

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 & c_1 &= 0.802853 & c_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

Mckee 등 (1993)은 SPI의 결과로부터 얻어지는 가뭄강도를 정의하기 위해 Table 2와 같은 SPI 가뭄 분류를 이용하였다. 또한 어느 시간규모에나 적용되는 가뭄사상에 대한 기준을 명시하였다. 가뭄사상은 SPI가 지속적으로 음의 값을 유지하다가 (-1) 이하의 강도에 도달할 경우에 발생한다. 그 가뭄사상의 끝은 SPI가 양의 값이 되는 시기이다. 그러므로 각 가뭄사상은 그것의 시작과 끝으로 확정되는 기간을 가진다. 그리고 가뭄사상이 지속되는 각 월에 대한 강도도 갖게 된다. 또한 가뭄기간 동안의 축적된 규모가 가뭄의 크기가 될 수도 있는데, 그것은 가뭄사상 동안의 모든 월에 대한 SPI의 합으로 표현될 수 있다

Table 2. Moisture Condition and Drought Classification Using SPI Values

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		

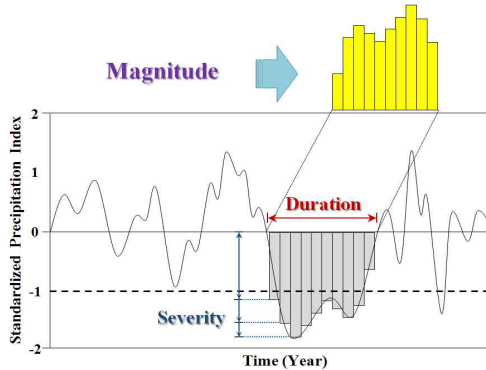


Fig. 1. Concept and Definition of Drought

(국토해양부, 2008).

본 연구에서는 여러 가지 지속기간의 SPI 중에서 단기 가뭄의 속성과 장기가뭄의 속성을 대체적으로 원만하게 표현한다는 점과 본 연구에서 대상으로 하는 과거 가뭄이 전국적인 대형 가뭄을 대상으로 하여 2001년에 발생한 단기가뭄과 1994~1995년에 나타난 장기가뭄 등을 모두 대상으로 한다는 점을 감안하여 지속기간 6개월의 SPI (6I) (이주현 등, 2006)를 선정하였다.

### 2.3 가뭄의 정의

Table 2에 의한 SPI의 분류기준에 의하면 SPI가 (-1) 이하의 값을 나타낼 때 보통가뭄이 시작되는 것으로 정의할 수 있으며, 본 연구에서도 가뭄의 시작과 종료를 구분하는 기준으로서 SPI값 (-1)을 기준으로 설정하였다. 한편, Fig. 1과 같이 가뭄의 지속기간(Duration)은 가뭄 월(Month)이 시작과 종료 사이의 기간을 의미하며 또한, 지속기간(Duration)에 해당하는 각 월(Month)별 SPI의 합을 가뭄규모(Magnitude)라고 정의할 수 있고, 가뭄심도(Severity)는 가뭄규모(Magnitude)를 지속기간(Duration)으로 나눈 값 또는 각 월별 SPI 값을 의미하게 된다.

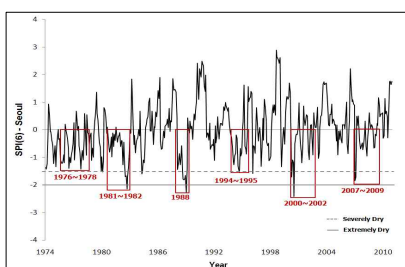
### 2.4 과거 가뭄조사 및 SPI 검증

과거에 한반도에서 발생했던 주요 가뭄을 조사하기 위해서 가뭄과 관련된 보고서 및 방송에 보도된 기사를 토대로 과거 가뭄 피해연도를 조사하였다. 조사된 보고서로는 가뭄관리 모니터링체계 수립보고서 (건설교통부, 2005), 가뭄관리정보체계 수립보고서 (건설교통부, 2006), 가뭄정보시스템 시험운영 (1차년도) 보고서 (건설교통부, 2007), 가뭄기록조사보고서 (건설교통부, 1995), '2001 가뭄기록조사 보고서 (건설교통부, 2002)'가 있으며 대표적인 과거 가뭄이 1976~1978년, 1981~1982년, 1988년, 1994~1995년, 2000~2002년, 2007~2009년에 발생했던 것을 확인할 수 있었다. 과거 가뭄연도에 대한 피해지역 및 지속기간은 Table 3과 같다.

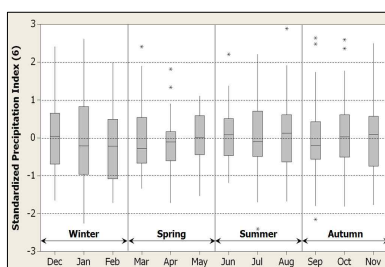
한편, 본 연구에서 사용될 SPI 가뭄지수의 적용성을 검증하기 위하여 산정된 지속기간 6개월의 SPI가 과거가뭄을 정량적으로 잘 표현하는지를 검증하기 위해 과거가뭄을 대상으로 지수의 정확성을 검토하였다. 검토를 위한 가뭄사상은 조사된 가뭄관련 보고서 및 미디어에 보도된 기사를 토대로 조사한 1976~1978년, 1981~1982년, 1988

**Table 3. Historical Major Drought Event of Korea**

Year	Damage Area/Period		
	Area	Period (Month)	Duration (Month)
1976	All Area	Winter (1~2)	2
		Spring ~Summer (5~6)	2
1977	All Area	Winter (1~2)	2
	Southern Districts	Summer (6~7)	2
1978	All Area	Winter ~Summer (2~6)	5
1981	Southern Districts	Spring (5)	1
	All Area	Summer (6)	1
1982	All Area	Winter (1~2)	2
	Southern Districts	Summer (6~7)	2
1988	Central Districts	Winter ~Spring (1~3)	3
		Summer (6~7)	2
	All Area	Fall (10~11)	2
1994	All Area	Winter ~Spring (1~5)	5
	Southern Districts	Summer (7~8)	2
1995	Southern Districts	Winter ~Spring (1~4)	4
		Summer ~Winter (7~12)	6
2000	Southern Districts	-	6
2001	All Area	Spring ~Summer (4~6)	3
	Central Districts	Fall ~Winter (9~12)	4
2002	All Area	Winter ~Spring (1~4)	4
2007	All Area	Winter (1)	1
2008	Yeongdong Area, Southern Districts	Fall (9~10)	2
2009	Yeongdong Area (Gangwon)	Winter ~Spring (1~3)	3



(a) SPI(6) with Historical Major Drought



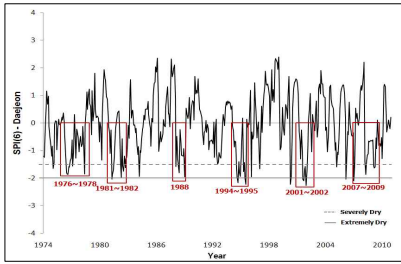
(b) Box-Plot of SPI(6)

**Fig. 2. Time Series and Box Plot of SPI for Seoul Weather Station**

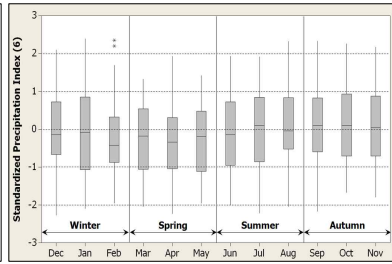
년, 1994~1995년, 2000~2002년 및 2007~2009년의 대형 가뭄을 선정하였다. Fig. 2-6의 시계열에서 SPI 값이 (-1) 이하는 보통가뭄 (Moderately Dry), 굵은 점선은 SPI 값이 (-1.50)에서 (-1.99)의 심한가뭄 (Severely Dry), 굵은

실선은 SPI 값이 (-2) 이하의 극한가뭄 (Extremely Dry) 을 나타내고 있다.

1988년 중부지방을 중심으로 한 가뭄의 경우, 서울과 대 전권측소는 (-1.5) 이하의 값을 보이며 심한가뭄 이하로

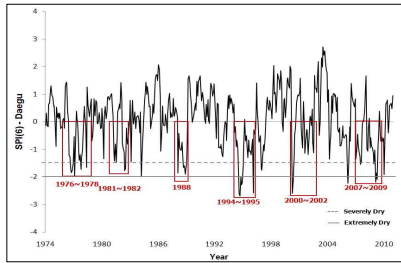


(a) SPI(6) with Historical Major Drought

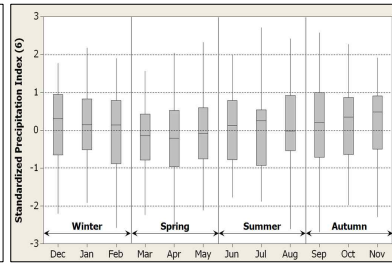


(b) Box-Plot of SPI(6)

Fig. 3. Time Series and Box Plot of SPI for Daejeon Weather Station

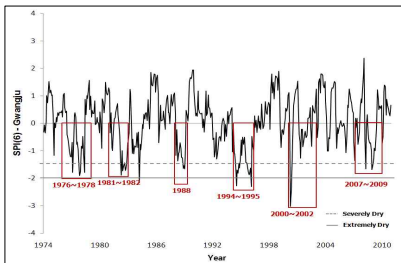


(a) SPI(6) with Historical Major Drought

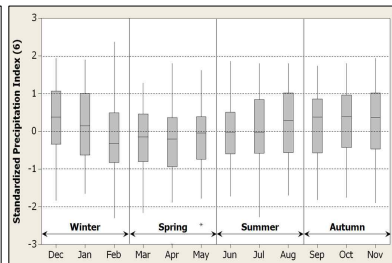


(b) Box-Plot of SPI(6)

Fig. 4. Time Series and Box Plot of SPI for Daegu Weather Station



(a) SPI(6) with Historical Major Drought



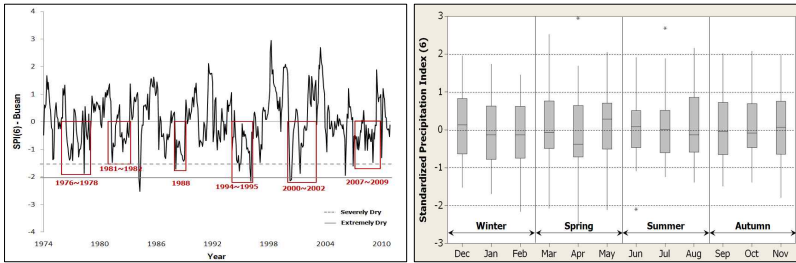
(b) Box-Plot of SPI(6)

Fig. 5. Time Series and Box Plot of SPI for Gwangju Weather Station

표현되고 있다. 1994~1995년 남부지방을 중심으로 한 가을에서는 서울관측소의 경우 보통가뭄을 나타내지만 대구, 광주, 부산관측소의 경우 심한가뭄은 물론 극한가뭄으로 표현되고 있다. 또한, 대전관측소에서도 유사하게 표현되고 있다. 2000년 남부지방을 중심으로 한 가을에서는

대구, 광주, 부산관측소에서 (-2)이하의 값을 보이며 극한가뭄으로 표현되고 있으며 광주관측소에서는 (-3) 이하의 값도 표현되고 있다.

서울, 대전, 대구, 광주, 부산관측소의 산정된 SPI6 값 증결과, 과거가뭄사상은 (-1) 이하의 값을 보이며 보통가



(a) SPI(6) with Historical Major Drought

(b) Box-Plot of SPI(6)

Fig. 6. Time Series and Box Plot of SPI for Busan Weather Station

몸이상으로 나타났다. 또한, 가뭄피해연도에 따른 가뭄피해지역에 따라 심한가뭄과 극한가뭄이 나타나는 등 산정된 SPI (6)가 전반적으로 과거의 가뭄사상을 잘 표현하고 있는 것으로 분석되었다.

한편, Fig. 2-6의 Box-Plot 보게 되면, SPI의 계절별 변동폭은 서울, 대전, 대구, 광주관측소의 경우 겨울에는 가장 크게 나타나고 봄에는 가장 작게 나타났으며 부산관측소에서는 봄에는 가장 크게 나타나고 겨울에는 가장 작게 나타났다. 이와 같은 결과는 겨울철에 발생하는 강설량에 의한 지역별 편차로 나타난 결과로 분석된다. 극한 가뭄에 해당하는 SPI(-2) 이하의 값을 나타내는 관측소를 보게 되면 대구, 대전관측소가 서울, 광주, 부산관측소에 비해 많이 나타난 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 가뭄 빈도해석

#### 3.1 빈도해석 절차

가뭄지수를 활용한 빈도해석은 Fig. 7과 같은 절차에 의해서 수행되었다. 빈도해석에 이용된 가뭄지수는 1974년부터 2010년까지 산정된 월별 SPI 전 기간치 계열을 구성하였으며, 빈도해석을 통한 SDF 곡선을 유도하기 위하여 지속기간별 (1~12개월)로 최대가뭄심도를 갖는 계열로 재구성하였다.

#### 3.2 적합도 검정

본 연구에서는 빈도해석을 위한 확률분포형을 선정하

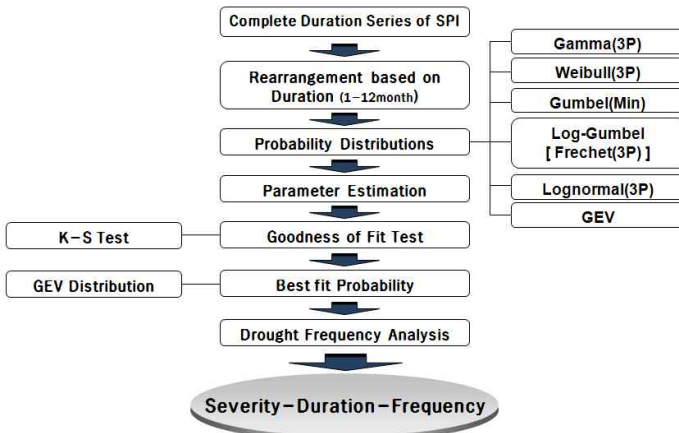


Fig. 7. Schematic Diagram for the Derivation of SDF Curves using Frequency Analysis

**Table 4. Results of Goodness of Fit Test(Kolmogorov-Smirnov statistics) for Daejeon and Daegu Weather Station**

Gauge	Duration (Month)	Log-Gumbel [Frechet(3P)]	Gamma (3P)	GEV	Gumbel (3P)	Lognormal (3P)	Weibull (3P)
Dae jeon	1	0.11289	0.09798	0.09590	0.21166	0.10758	0.09654
	2	0.08802	0.08804	0.07315	0.17753	0.08714	0.08387
	3	0.08527	0.08259	0.07784	0.12022	0.09013	0.08539
	4	0.12166	0.08138	0.07011	0.10503	0.07577	0.09185
	5	0.12595	0.08440	0.07261	0.11217	0.08187	0.08570
	6	0.11902	0.09208	0.07459	0.11418	0.08564	0.08018
	7	0.11828	0.09375	0.08198	0.10660	0.09632	0.09456
	8	0.11379	0.08164	0.06787	0.10197	0.08324	0.08019
	9	0.13664	0.08763	0.07660	0.10693	0.08985	0.08892
	10	0.13237	0.10896	0.09679	0.12271	0.11078	0.10791
	11	0.12611	0.10007	0.07739	0.10496	0.08983	0.10733
	12	0.13282	0.12495	0.09016	0.11820	0.10726	0.12631
Dae gu	1	0.07128	0.08375	0.07443	0.16860	0.08487	0.07965
	2	0.11822	0.08076	0.07159	0.13767	0.08134	0.08352
	3	0.11147	0.10443	0.10028	0.15191	0.09828	0.11226
	4	0.19738	0.13918	0.10360	0.13676	0.13176	0.11677
	5	0.16454	0.14885	0.12247	0.15377	0.14481	0.12779
	6	0.14620	0.14013	0.11246	0.13450	0.13202	0.11683
	7	0.11224	0.09372	0.07665	0.11462	0.09204	0.07847
	8	0.11209	0.10159	0.08041	0.12927	0.09591	0.08176
	9	0.10628	0.07410	0.06703	0.13204	0.07267	0.06434
	10	0.11298	0.07862	0.06989	0.13575	0.07501	0.06998
	11	0.11297	0.09056	0.07287	0.11910	0.08646	0.07920
	12	0.10657	0.07132	0.06729	0.10157	0.06549	0.06311

기 위하여 일반적으로 수문자료 해석에 사용되는 Gamma, GEV (General Extreme Value), Gumbel, Log-Gumbel, Lognormal, Log-Pearson type III, Weibull, Wakeby 분포형에 대해 적합도 검정을 실시하였다. Table 4는 적합도 검정을 실시한 분포형 중 수문자료에서도 극심한 가뭄 등의 분석에 이용하는 Gamma, Weibull, Log-Gumbel, GEV, Gumbel, Lognormal 분포형의 적합도 검정 결과를 나타내었다.

적합도 검정방법으로는 Kolmogorov-Smirnov 검정을 사용하였는데 Kolmogorov-Smirnov 검정은 비매개수변수적 검정방법으로 표본자료의 누적분포함수와 가정된 이론확률분포의 누적분포함수를 비교하여 양자의 최대편차로 정의되며, 그 표본의 크기와 유의수준에 따라 결정되는 한계편차보다 작어야 적합성이 인정된다.

분석에 이용된 자료는 1974~2009년 (37년)의 자료를 이용하였으며 유의수준 5%에 대한 검정을 실시하였다.

이상과 같은 과정의 적합성 검정을 실시한 결과, Gamma, Weibull, Log-Gumbel, GEV, Gumbel, Lognormal 분포형이 가뭄지수의 빈도해석을 위한 적정 확률분포형으로 평가 되었으며 Table 4에 나타난 바와 같이 그 중에서 가장 높은 순위의 적합성을 나타낸 GEV 분포형을 지속기간별 빈도해석을 위한 최적확률분포형으로 선정하였다. Table 4는 대전관측소와 대구관측소의 적합도 검토 결과이며 서울, 광주, 부산 관측소에서도 GEV 분포형의 적합성이 높게 나타났다.

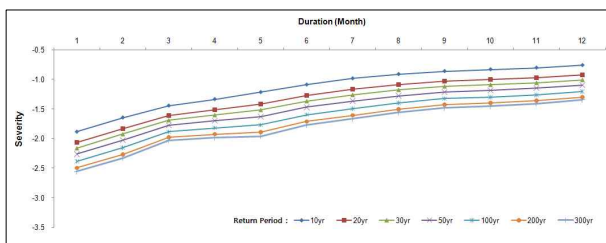
#### 4. SDF (Severity-Duration-Frequency) 곡선의 유도

##### 4.1 관측소별 SDF 곡선

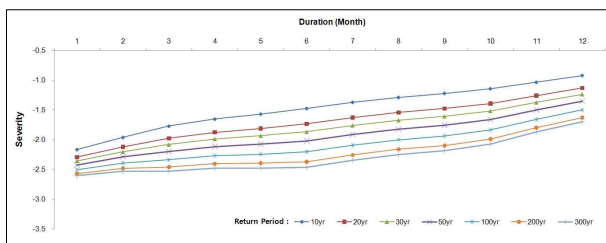
1974~2010년 (37년)의 월 단위 가뭄지수를 이용하여 지



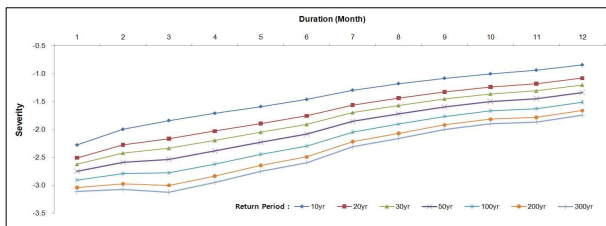
(a)  
Seoul



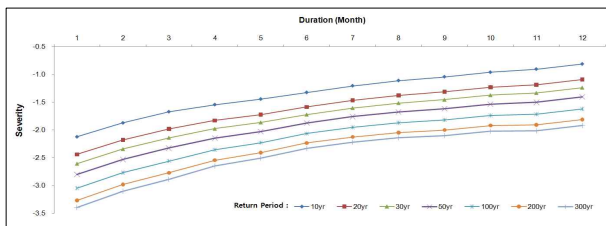
(b)  
Daejeon



(c)  
Daegu



(d)  
Gwangju



(e)  
Busan

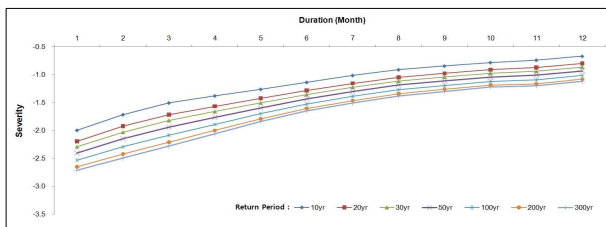


Fig. 8. SDF(Severity–Duration–Frequency) Curve for each Weather Station

Table 5. Drought Severity–Duration–Frequency for Each Weather Station

Gauge	Duration (Month)	Frequency						
		10yr	20yr	30yr	50yr	100yr	200yr	300yr
Seoul	1	-1.8847	-2.0677	-2.1592	-2.2625	-2.3863	-2.4956	-2.5542
	2	-1.6453	-1.8300	-1.9228	-2.0280	-2.1546	-2.2670	-2.3275
	3	-1.4452	-1.6075	-1.6878	-1.7780	-1.8852	-1.9793	-2.0285
	4	-1.3354	-1.5120	-1.6003	-1.7001	-1.8198	-1.9256	-1.9824
	5	-1.2175	-1.4146	-1.5149	-1.6296	-1.7690	-1.8940	-1.9617
	6	-1.0901	-1.2724	-1.3646	-1.4698	-1.5971	-1.7107	-1.7720
	7	-0.9853	-1.1671	-1.2594	-1.3646	-1.4921	-1.6061	-1.6679
	8	-0.9136	-1.0889	-1.1771	-1.2770	-1.3973	-1.5040	-1.5615
	9	-0.8624	-1.0315	-1.1158	-1.2109	-1.3246	-1.4248	-1.4784
	10	-0.8321	-1.0034	-1.0886	-1.1844	-1.2988	-1.3994	-1.4533
	11	-0.8052	-0.9730	-1.0559	-1.1489	-1.2594	-1.3562	-1.4078
	12	-0.7621	-0.9266	-1.0076	-1.0981	-1.2054	-1.2992	-1.3490
Daejeon	1	-2.1631	-2.2923	-2.3543	-2.4224	-2.5014	-2.5690	-2.6044
	2	-1.9603	-2.1215	-2.2001	-2.2874	-2.3900	-2.4790	-2.5260
	3	-1.7703	-1.9761	-2.0793	-2.1959	-2.3360	-2.4599	-2.5285
	4	-1.6531	-1.8745	-1.9861	-2.1129	-2.2658	-2.4017	-2.4750
	5	-1.5692	-1.8098	-1.9321	-2.0718	-2.2414	-2.3932	-2.4754
	6	-1.4751	-1.7332	-1.8655	-2.0173	-2.2030	-2.3702	-2.4610
	7	-1.3719	-1.6279	-1.7587	-1.9086	-2.0911	-2.2553	-2.3444
	8	-1.2888	-1.5424	-1.6715	-1.8193	-1.9989	-2.1599	-2.2471
	9	-1.2218	-1.4767	-1.6064	-1.7549	-1.9352	-2.0970	-2.1846
	10	-1.1444	-1.3916	-1.5171	-1.6602	-1.8339	-1.9893	-2.0733
	11	-1.0364	-1.2607	-1.3737	-1.5021	-1.6568	-1.7944	-1.8685
	12	-0.9217	-1.1310	-1.2361	-1.3553	-1.4987	-1.6259	-1.6944
Daegu	1	-2.2764	-2.5061	-2.6204	-2.7490	-2.9027	-3.0380	-3.1104
	2	-1.9953	-2.2757	-2.4196	-2.5851	-2.7876	-2.9703	-3.0697
	3	-1.8377	-2.1642	-2.3342	-2.5315	-2.7756	-2.9983	-3.1203
	4	-1.7093	-2.0280	-2.1929	-2.3836	-2.6185	-2.8315	-2.9480
	5	-1.5886	-1.8900	-2.0452	-2.2240	-2.4432	-2.6414	-2.7494
	6	-1.4616	-1.7558	-1.9075	-2.0822	-2.2967	-2.4907	-2.5965
	7	-1.2938	-1.5607	-1.6971	-1.8539	-2.0450	-2.2170	-2.3103
	8	-1.1779	-1.4360	-1.5678	-1.7185	-1.9023	-2.0671	-2.1566
	9	-1.0819	-1.3264	-1.4506	-1.5922	-1.7640	-1.9178	-2.0009
	10	-1.0024	-1.2403	-1.3609	-1.4985	-1.6654	-1.8145	-1.8951
	11	-0.9374	-1.1822	-1.3070	-1.4501	-1.6243	-1.7806	-1.8635
	12	-0.8428	-1.0799	-1.2010	-1.3398	-1.5088	-1.6608	-1.7432
Gwangju	1	-2.1222	-2.4386	-2.6052	-2.8002	-3.0438	-3.2679	-3.3917
	2	-1.8727	-2.1808	-2.3423	-2.5308	-2.7653	-2.9803	-3.0987
	3	-1.6720	-1.9782	-2.1383	-2.3251	-2.5571	-2.7696	-2.8865
	4	-1.5451	-1.8293	-1.9760	-2.1454	-2.3537	-2.5425	-2.6455
	5	-1.4451	-1.7208	-1.8627	-2.0260	-2.2264	-2.4072	-2.5058
	6	-1.3255	-1.5869	-1.7210	-1.8752	-2.0637	-2.2337	-2.3262
	7	-1.2061	-1.4686	-1.6039	-1.7597	-1.9509	-2.1237	-2.2180
	8	-1.1115	-1.3771	-1.5143	-1.6729	-1.8678	-2.0446	-2.1411
	9	-1.0442	-1.3143	-1.4543	-1.6167	-1.8169	-1.9989	-2.0986
	10	-0.9629	-1.2322	-1.3722	-1.5348	-1.7358	-1.9190	-2.0195
	11	-0.9066	-1.1858	-1.3320	-1.5025	-1.7143	-1.9084	-2.0152
	12	-0.8149	-1.0914	-1.2367	-1.4065	-1.6180	-1.8123	-1.9194
Busan	1	-1.9943	-2.1922	-2.2905	-2.4010	-2.5328	-2.6488	-2.7107
	2	-1.7147	-1.9236	-2.0287	-2.1479	-2.2916	-2.4192	-2.4879
	3	-1.5052	-1.7139	-1.8189	-1.9379	-2.0813	-2.2086	-2.2771
	4	-1.3782	-1.5663	-1.6595	-1.7641	-1.8886	-1.9980	-2.0363
	5	-1.2597	-1.4237	-1.5038	-1.5928	-1.6975	-1.7884	-1.8365
	6	-1.1359	-1.2826	-1.3536	-1.4321	-1.5238	-1.6028	-1.6445
	7	-1.0123	-1.1543	-1.2229	-1.2986	-1.3870	-1.4630	-1.5031
	8	-0.9095	-1.0468	-1.1129	-1.1857	-1.2705	-1.3433	-1.3815
	9	-0.8432	-0.9766	-1.0407	-1.1110	-1.1927	-1.2627	-1.2993
	10	-0.7811	-0.9106	-0.9726	-1.0406	-1.1195	-1.1869	-1.2223
	11	-0.7386	-0.8731	-0.9378	-1.0092	-1.0923	-1.1636	-1.2011
	12	-0.6690	-0.7989	-0.8615	-0.9305	-1.0108	-1.0797	-1.1159

**Table 6. Return Period of Historical Major Drought Event Based on SDF Curves**

Gauge	Period	Duration (Month)	Magnitude	Severity	Return-Period (Year)
Seoul	1976-07~1976-10	4	-4.53	-1.13	10
	1977-10~1977-11	2	-2.52	-1.26	10
	1982-06~1982-11	6	-9.60	-1.60	100
	1988-02~1988-03	2	-2.66	-1.33	10
	1988-05~1988-06	2	-2.38	-1.19	10
	1988-08~1989-02	7	-12.14	-1.73	300
	1994-01~1994-02	2	-2.42	-1.21	10
	1994-07~1994-09	3	-4.25	-1.42	10
	2000-04~2000-07	4	-4.41	-1.10	10
2007-01~2007-02	2	-3.55	-1.78	10~20	
Daejeon	1976-05~1976-12	8	-12.51	-1.56	20~30
	1981-04~1981-07	4	-6.88	-1.72	10~20
	1982-03~1982-04	2	-3.18	-1.59	10
	1982-06~1982-11	6	-8.68	-1.45	10
	1988-04~1988-06	3	-4.80	-1.60	10
	1988-09~1988-11	3	-3.57	-1.19	10
	1994-07~1995-01	7	-12.13	-1.73	20~30
	1995-04~1995-07	4	-7.41	-1.85	10~20
	2000-04~2000-05	2	-4.18	-2.09	10~20
	2001-07~2002-01	7	-12.42	-1.77	30~50
2007-01~2007-02	2	-3.55	-1.78	10	
2008-03~2008-07	5	-7.06	-1.41	10	
2009-02~2009-04	3	-4.79	-1.60	10	
Daegu	1976-07~1976-12	6	-9.32	-1.55	10~20
	1977-07~1977-12	6	-7.77	-1.30	10
	1981-04~1981-05	2	-2.55	-1.28	10
	1982-05~1982-07	3	-4.55	-1.52	10
	1982-05~1982-06	2	-2.05	-1.03	10
	1988-08~1989-01	6	-9.76	-1.63	10~20
	1994-07~1995-01	7	-15.24	-2.18	100~200
	1995-09~1995-11	3	-3.31	-1.10	10
	2000-03~2000-06	4	-7.28	-1.82	10~20
	2007-01~2007-02	2	-2.39	-1.20	10
2007-05~2007-08	4	-5.34	-1.34	10	
2008-11~2009-04	6	-9.83	-1.64	10~20	
Gwangju	1976-11~1976-12	2	-2.42	-1.21	10
	1977-10~1977-12	3	-5.3	-1.77	10~20
	1978-04~1978-05	2	-2.96	-1.48	10
	1982-03~1982-11	9	-13.46	-1.50	30~50
	1988-04~1989-01	10	-12.47	-1.25	10~20
	1994-04~1994-12	9	-13.96	-1.55	30~50
	1995-07~1996-02	8	-13.76	-1.72	50~100
	2000-04~2000-06	3	-6.75	-2.25	30~50
2008-11~2009-02	4	-5.52	-1.38	10	
Busan	1976-09~1976-12	4	-4.94	-1.24	10
	1977-10~1977-12	3	-3.28	-1.09	10
	1981-04~1981-05	2	-2.57	-1.29	10
	1988-08~1989-01	6	-7.6	-1.27	10~20
	1994-08~1995-02	7	-9.98	-1.43	100~200
	1995-11~1996-02	4	-6.05	-1.51	10~20
	2000-04~2000-07	4	-7.59	-1.90	100
	2001-04~2001-05	2	-3.05	-1.53	10

속기간별 빈도해석을 실시하였으며 대표 관측소의 재현기간별 SDF 곡선을 작성하였다. 재현기간은 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 200년, 300년으로 설정하였으며 5개 관측소의 지속기간별 빈도해석 결과는 Fig. 8 and Table 5와 같다.

재현기간별 심도의 차이에서는 대전, 대구, 광주관측소가 서울, 부산관측소에 비해 크게 나타났으며 전 관측소에서 지속기간이 길어질수록 재현기간별 가뭄의 규모(Magnitude)는 커졌지만 심도(Severity)는 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 과거가뭄연도의 가뭄사상에 대한 재현기간

과거 관측자료를 대상으로 산정된 SPI를 이용하여 가뭄빈도해석을 실시하였으며 유도된 SDF 곡선을 이용하여 과거가뭄사상에 대한 재현기간을 제시하였다. 본 연구에서는 가뭄 월(Month)을 지속기간(1개월, ..., 12개월) 별로 정리하여 각각의 가뭄사상으로 분류하였다. 분류된 지속기간(Duration)별 가뭄사상의 가뭄규모(Magnitude)는 가뭄 월(Month)의 SPI 값을 합산하여 나타낼 수 있으며, 이를 지속기간(Duration)으로 나누어 가뭄심도(Severity)로 환산하게 된다. 마지막으로, 가뭄빈도해석을 통해 작성된 관측소별 SDF 곡선에 가뭄심도(Severity)를 대입하여 재현기간을 제시하였다. 특히, 가뭄의 지속기간을 결정함에 있어서 가뭄의 시작과 종료는 보통가뭄을 나타내는 SPI 값(-1)을 기준으로 결정하였으며 분석결과는 Table 6과 같다.

1988년 중부지방을 중심으로 한 가뭄의 경우 서울관측소에서는 가뭄의 지속기간이 7개월로 나타났으며 재현기간은 300년 빈도로 나타났다. 반면, 서울관측소에 비해 대전관측소에서는 비교적 지속기간이 짧은 3개월, 대구와 부산관측소에서는 서울관측소와 유사한 6개월, 광주관측소에서는 비교적 긴 10개월로 나타났지만 재현기간은 모두 10~20년 빈도로 낮게 나타났다. 이는 1988년 가뭄이 서울, 경기지역을 중심으로 발생했던 가뭄이었음을 간접적으로 확인할 수 있다.

1994~1995년 남부지방을 중심으로 한 가뭄의 경우 대구와 부산관측소에서는 지속기간이 7개월로 나타났으며 재현기간 100~200년 빈도로 나타났다. 광주관측소에서는 1994년 지속기간 9개월, 1995~1996년 지속기간 8개월로 나타났으며 재현기간은 각각 30~50년, 50~100년 빈도로 나타났다. 반면, 대전관측소의 경우 대구, 부산관측소와 동일한 지속기간이 7개월로 나타났지만 재현기간은 20~30년 빈도로 낮았으며 서울관측소의 경우 지속기간 3

개월로 나타났고 재현기간은 10년 빈도로 나타났다.

2000년 남부지방을 중심으로 한 가뭄의 경우 부산관측소에서는 지속기간이 4개월로 나타났으며 재현기간은 100년 빈도로 나타났다. 광주관측소에서는 지속기간 3개월로 나타났으며 재현기간은 30~50년 빈도로 나타났다. 반면, 서울, 대구관측소에서는 지속기간 4개월, 대전관측소에서는 지속기간 2개월로 재현기간은 10~20년 빈도로 나타났다.

### 5. 결론

본 연구에서는 한반도 가뭄의 정량적 평가를 위해 서울, 대전, 대구, 광주, 부산관측소의 지속기간 6개월의 SPI를 산정하여 SDF 곡선을 작성하였다.

- 1) 지속기간 6개월의 SPI를 산정하여 가뭄관련 보고서 및 방송에 보도된 기사를 토대로 조사한 과거주요 가뭄사상(1976~1978년, 1981~1982년, 1988년, 1994~1995년, 2000~2002년, 2007~2009년)에 대하여 검증 한 결과, 과거가뭄연도를 전반적으로 잘 재현하는 것으로 나타났으며 가뭄지수를 활용하여 과거자료 전 기간치계열(1974~2000년, 37년간)의 지속기간별(1~12개월) 빈도해석 결과, GEV분포형이 Kolmogorov-Smirnov 적합도 검증에서 최적 확률분포형으로 선정되었다.
- 2) 서울, 대전, 대구, 광주, 부산 기상관측소를 대상으로 하여 SPI에 의한 가뭄빈도해석을 통해 작성된 가뭄 심도-지속기간-생기빈도(SDF)곡선은 가뭄의 지속기간이 길어짐에 따라 동일한 빈도에서 가뭄의 심도(Severity)가 작아지는 일반적인 형태를 나타내는 것으로 확인되었다. 또한 작성된 SDF 곡선을 활용하여 과거가뭄에 대한 빈도 추정과 함께 특정 빈도와 지속기간을 갖는 가뭄 심도의 정량화 등에 적절히 활용 될 수 있을 것으로 기대되며 특히, 수자원장기 종합계획의 이수계획 수립시 기준이 되는 지역별, 빈도별 가뭄의 정량화가 가능할 것으로 사료된다.
- 3) 기상관측소별로 유도된 SDF 곡선을 이용하여 과거주요가뭄연도의 재현기간을 추정하여 본 결과, 동일 가뭄사상에 대해 관측소별 재현기간은 다소의 차이를 나타내는 것으로 분석되었으며 이는 기상관측소를 기준으로 한 점빈도해석(Point Frequency Analysis)에 의한 결과로 추정된다. 특히, 1988년 가뭄의 경우 서울관측소에서는 재현기간이 300년으로 나타났지만

대전, 대구, 광주, 부산 관측소에서는 10년 내외의 재현기간을 갖는 것으로 나타났다. 반면에 1994~1995년 남부지방을 중심으로 한 가뭄의 경우에는 대구, 부산관측소에서는 재현기간은 100~200년의 빈도를 나타내었지만 대전관측소의 20~30년의 재현기간을 갖는 것으로 나타내었다. 이와 같은 SDF 곡선을 통한 과거가뭄의 재현기간 추정은 가뭄의 지속기간을 어떻게 설정하는 가에 따라서 동일한 관측소에서도 다소의 차이가 발생할 수 있으며 본 연구에서는 SPI 가 (-1) 이하의 값을 갖는 연속적인 가뭄현상에 대해서 분석한 것임을 밝혀두는 바이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부와 한국건설교통기술개발원의 기 후변화에 의한 수문 영향분석과 전망 연구단에 의해 수행 되는 2009 건설혁신사업에 의해 지원되었습니다.

## 참고문헌

건설교통부 (1995). 가뭄기록조사 보고서  
 건설교통부 (2000). 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서-제1권 한국 확률강우량도 작성. pp. 29-72.  
 건설교통부 (2002). 2001 가뭄기록조사 보고서  
 건설교통부 (2005). 가뭄관리모니터링체계수립. pp. 74-114.  
 건설교통부 (2006). 가뭄관리정보모형체계수립. pp. 228-301.  
 건설교통부 (2007). 가뭄정보시스템 시험운영-1차년도 보고서. pp. 38-74.  
 국토해양부 (2008). 가뭄정보시스템 (물공급 Guideline 중심으로) 보고서. pp. 11-128.  
 경민수, 김상단, 김보경, 김형수 (2007). "군집분석을 통한 수문학적 가뭄의 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제3B호, pp. 267-276.  
 김대하, 유철상 (2006). "가뭄심도-지속기간-빈도해석을 통한 우리나라 가뭄의 공간분포 분석." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, pp. 745-754.  
 김장주, 서지연, 박민재, 신정수, 이주현 (2011). "기후변화에 의한 한반도의 미래 가뭄 경향성 분석." **한국방재학회 학술발표회 논문집**, 한국방재학회, pp. 205.  
 김보경, 김상단, 경민수, 김형수 (2006). "가뭄심도-영향면적-지속기간곡선을 이용한 가뭄의 시공간적 정량화." **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회,

pp. 1991-1995.  
 김호성, 박진혁, 윤재영, 김상단 (2010). "극한가뭄의 시공간적 특성에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위한 SAD 곡선의 적용." **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제6B호, pp. 561-569.  
 연제문, 김태용, 이정규, 위성욱 (2006). "이변수 가뭄 해석을 통한 서울지점의 가뭄평가." **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1121-1215.  
 이주현, 정상만, 김성준, 이명호 (2006). "가뭄모니터링 시스템 구축 : I. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석?" **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, p. 890.  
 장연규, 김상단, 최계운 (2006). "SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 시공간적인 특성연구." **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제8호, pp. 671-702.  
 Ghosh, S., and Mujumdar, P.P. (2007). "Nonparametric methods for modeling GCM and scenario uncertainty in drought assessment." *Water Resources Research*, Vol. 43, No. 7, W07405-W07406.  
 Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S. (2004). "Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series." *Nonlinear Processes in Geophysics*, Vol. 11, No. 5-6, pp. 561-566.  
 Khadr, M. (2009). "Analysis of Meteorological Drought in the Ruhr Basin by Using the Standardized Precipitation Index." *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 57, pp. 607-616  
 Loukas, A., Vasilades, L., and Tzabiras, J. (2008). "Climate change effects on drought severity." *Advances in Geosciences*, Vol. 17, pp. 23-29.  
 Lehner, B., Doll, P., Alcamo, J. (2008). "Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis." *Climatic Change*, Vol. 75, No. 3, pp. 273- 299.  
 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, Jan., 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, 15-20 January, 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, D06120.

Vidal, J.P., and Wade, S. (2007). "A multimodel assessment of future climatological droughts in the United

Kingdom." *International Journal of Climatology*, Vol. 29, No. 14, pp. 2056-2071.

논문번호: 11-062	접수: 2011.06.10
수정일자: 2011.09.06/10.12	심사완료: 2011.10.12