

가뭄우심도를 활용한 가뭄의 시공간적 분포특성분석

Analysis on the Spatio-Temporal Distribution of Drought using Potential Drought Hazard Map

이 주 현* / 조 경 준** / 김 창 주*** / 박 민 제****

Lee, Joo Heon / Cho, Kyeong Joon / Kim, Chang Joo / Park, Min Jae

Abstract

In this study, it was intended to analyze the spatio-temporal distribution of historical drought events occurred in Korea by way of drought frequency analysis using SPI (Standardized Precipitation Index), and Drought spell was executed to estimate drought frequency as per drought severity and regions. Also, SDF (severity-duration-frequency) curves were prepared per each weather stations to estimate spatial distribution characteristics for the severe drought areas of Korea, and Potential Drought Hazard Map was prepared based on the derived SDF curves. Drought frequency analysis per drought stage revealed that severe drought as well as extreme drought frequency were prominently high at Geum River, Nakdong River, and Seomjin River basin as can be seen from SDF curves, and drought severity was found as severer per each drought return period in the data located at Geum River, Nakdong River, and Seomjin River basins as compared with that of Seoul weather station at Han River basin. In the Potential Drought Hazard Map, it showed that Geum River, Seomjin River, and Yeongsan River basins were drought vulnerable areas as compared to upper streams of Nakdong River basin and Han River basin, and showed similar result in drought frequency per drought stage. Drought was occurred frequently during spring seasons with tendency of frequent short drought spell as indicated in Potential Drought Hazard Map of different season.

Keywords : SPI, drought spell, SDF curve, potential drought hazard map

요 지

본 연구에서는 기상학적 가뭄지수인 SPI(Standardized Precipitation Index)를 이용한 가뭄 빈도해석을 통하여 남한지역에서 발생했던 과거가뭄사상의 시, 공간적 분포 특성을 정량적으로 평가하고자 한다. 가뭄의 심도별, 지역별 발생빈도를 추정하기 위하여 Drought Spell 분석을 실시하였고, 또한 남한지역을 대상으로 심한 가뭄에 대한 가뭄우심지역의 공간적 분포특성을 평가하기 위하여 가뭄의 지속기간별 가뭄빈도해석을 통해 기상관측소별 SDF(severity-duration-frequency) 곡선을 작성하고 이를 이용하여 남한지역을 대상으로 하는 가뭄우심도(Potential Drought Hazard Map)를 작성하였다. 가뭄단계별 과거의 발생빈도를 분석한 결과, 금강, 낙동강, 섬진강 유역에서 심한가뭄과 극한가뭄단계의 발생빈도가 매우 큰 것으로 나타났으며 가뭄빈도해석을 통해 작성된 SDF 곡선에서도 한강유역에 위치한 서울관측소에 비해 금강, 낙동강, 섬진강 유역에 위치한 대전, 대구, 광주 관측소의 재현기간별 가뭄우심도가 심하게 나타났다. 가뭄빈도해석을 통해

* 교신저자, 중부대학교 토목공학과 교수 (e-mail: leejh@joongbu.ac.kr, Tel: 041-750-6744)

Corresponding Author, Professor, Department of Civil Engineering, Joongbu University, Kumsan, 312-702, Korea

** (주)대경E&C 대표이사 (e-mail: ckjyuil@lycos.co.kr)

CEO, Dae Kyung E&C. An Yang, 431-070, Korea

*** 중부대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (e-mail: yubkipd@nate.com)

Graduate Student, Department of Civil Engineering, Joongbu University, Kumsan, 312-702, Korea

**** 중부대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (e-mail: nd3424@nate.com)

Graduate Student, Department of Civil Engineering, Joongbu University, Kumsan, 312-702, Korea,

작성된 가뭄우심도에서는 한강 유역과 낙동강 유역의 상류 지역에 비해 금강, 섬진강, 영산강 유역이 가뭄에 취약했던 지역으로 분석되었으며 가뭄단계별 발생빈도와 유사한 결과를 나타내었다. 계절별 가뭄우심도의 경우 봄철에 가장 자주 가뭄이 발생하였으며 짧은 지속기간의 가뭄이 자주 발생했던 것으로 나타났다.

핵심용어 : 표준강수지수, 가뭄기간, 가뭄심도-지속기간-생기빈도 곡선, 가뭄우심도

1. 서 론

최근 들어 지구 표면의 평균온도가 상승하는 현상으로 인한 홍수와 가뭄 등 많은 자연재해로 인해 수많은 재산과 인명피해가 나타나고 있다. 특히, 가뭄은 홍수에 비해 장기간에 걸쳐 피해를 유발하는데 20세기 최대 자연재해 중 상위 5위 안에 4개의 가뭄이 기록될 정도로 그 피해가 심각한 것으로 나타났다. 최근 남한지역에서는 평균적으로 4~6년에 한번 꼴로 심한가뭄이 발생하고 있어 이 결과를 뒷받침하고 있다. 가뭄은 진행속도가 느려 대처할 여유가 많지만 그 피해는 즉각적으로 나타나지 않는 특징을 보이고 있어 사전예방 및 피해완화 차원의 대처 미흡으로 이어진다.

일반적으로 가뭄을 해석하기 위해서는 강수와 유출량 등의 원시 수문자료를 활용하는 방법이 있지만, 또 다른 방법으로서 수문자료를 통하여 가공된 가뭄지수를 이용하는 방법이 주로 이용되고 있으며 대표적인 가뭄지수는 SPI (Standardized Precipitation Index), PDSI (Palmer Drought Severity Index), SWSI (Surface Water Supply Index) 등이 있다(이주현 등, 2012).

가뭄지수를 활용한 가뭄 정량화 및 전망연구로는, 이주현 등(2006)은 과거 가뭄에 대한 재현정도, 가뭄단계의 일치성 및 상관관계를 분석하여 PDSI, SPI, MSWSI의 활용성을 판단하였다. 그 결과, 가뭄 사상별로 지수별 정확도에 차이를 보이는 것으로 나타났지만 가뭄의 공간분포 및 지속기간을 비교 분석한 결과에서 SPI와 PDSI는 상당히 우수한 결과를 보여 가뭄 모니터링을 위한 지표로 충분히 활용될 수 있음을 제시하였다. 장연규 등(2004)은 남한지역을 대상으로 기상청 관할 관측소의 일 강우량 자료를 이용하여 SPI를 산정한 후 경험적 직교함수 분석을 통해 가뭄의 공간적 특성을 도출하였으며, 경민수 등(2009)은 SPI와 기후변화를 고려한 서울지점의 2000~2009년을 가뭄을 전망하였다.

가뭄의 경향성 분석 및 주기성 분석연구로는 수문기상 자료를 활용한 연구가 대부분을 이루고 있었으며 가뭄지수를 활용한 분석의 경우에는 김창주 등(2011)과 이주현 등(2012)은 기후변화를 고려한 기상자료와 관측자료를 이

용하여 Mann-Kendall 검정 및 Wavelet Transform 분석을 실시하였으며 이를 통해 미래에 나타날 수 있는 가뭄의 경향성과 주기성을 분석하였다. 권현환과 문영일 (2005)은 Wavelet Transform 분석법을 소개하고 수문시계열에 대한 적용성을 평가하였으며 Torrence and Compo (1998)은 Wavelet Transform 분석법을 소개하고, 엘니뇨와 남방 진동(ENSO) 시계열을 이용하여 적용방법을 설명하였다. 또한, Grinsted et al. (2004)은 다양한 시계열에 대하여 경향성과 주기성을 분석함에 있어서 Cross Wavelet Transform (XWT)와 Wavelet Coherence (WTC) 분석법을 적용하여 그 적용성을 입증하였다.

가뭄지수를 이용한 가뭄빈도해석 연구로는 경민수 등(2007)은 지속기간 1, 3, 6, 9, 12개월의 SPI를 이용하여 군집별로 SAD (Severity-Area-Depth)곡선을 작성하였고 김보경 등(2006)은 남한지역을 대상으로 공간분포를 적용한 SPI를 산정하여 주 가뭄사상을 식별 및 분석하여 영향면적별 가뭄지수를 산정하고 이에 따라 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 관계곡선을 도출하였다. 이주현과 김창주(2011)는 가뭄빈도해석을 통한 주요 기상관측소의 SDF (severity-duration-frequency) 곡선을 작성하여 과거에 발생했던 가뭄사상의 빈도 및 지속기간을 정량적으로 평가하였다.

이러한 가뭄관련 통계학적 접근의 연구는 최근에 와서 기후변화를 고려한 연구로 확대되고 있으며 김호성 등(2010)은 현재 및 미래 기후에서의 가뭄심도-영향면적-지속기간 곡선의 비교를 통하여 극한 가뭄 사상에 대한 기후변화의 영향을 분석하였다. 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 실시하였다.

본 연구에서는 지속기간 6개월 강수자료를 이용하여 산정된 SPI를 이용하여 남한 전체(※ 본 연구의 대상지점은 우리나라(남한)로 한정되어 있습니다.)의 기상관측소별 가뭄 발생빈도와 가뭄에 취약했던 가뭄우심지역의 공간적 분포를 추정하고자 한다. 가뭄의 발생빈도를 추정하

기 위해 59개 관측소를 대상으로 가뭄단계별로 Drought Spell 분석을 실시하였다. 가뭄우심지역을 추정하기 위한 방법으로는 지속기간별 가뭄빈도해석을 실시하여 기상관측소별 SDF 곡선을 유도하였다. 또한, SDF 곡선을 이용하여 남한지역 전체의 극심한 가뭄에 대한 공간적 분포와 시간적 분포를 분석하기 위한 가뭄우심도(Potential Drought Hazard Map)를 작성하였다.

2. 분석방법 및 자료

2.1 기상관측소

본 연구에서는 남한지역 가뭄의 시간적-공간적 분포특성을 분석하기 위하여 Fig. 1과 같이 강수량자료의 확보가 용이하고 관측자료의 신뢰성이 확보되어 있는 기상청 산하 59개 기상관측소의 1976~2010년(35년)간 관측된 강수량을 활용하였다. 또한 가뭄의 공간적 분포특성 분석을 위해서 중유역 단위의 가뭄해석이 이루어졌다.

2.2 연평균 강우량의 시공간적 분포

Fig. 2는 35년간 관측된 남한의 연평균 강수량의 공간적 분포와 계절적 분포를 나타낸 것이다. 1976~2010년 사이의 중유역별 연평균 강수량을 보면 한강동해, 섬진강남해,

영산강남해, 낙동강남해 유역에서 연평균강우량이 크게 나타난 반면에, 낙동강, 형산강 유역의 연평균강우량은 다른 중권역에 비하여 상대적으로 적었던 것으로 나타났다.

한편, Figs. 2(b)~(c)는 연평균 강우량의 계절적 분포를 나타낸 것으로서 여름(46~60%)철의 강우가 봄(15~25%), 가을(17~26%), 겨울(5~10%)에 비해 월등히 높게 나타나며 남한지역의 여름철 강우량의 경우, 한강 북부지역에서 가장 크게 나타났다. 봄철 강우량도에서는 영산강남해, 섬진강남해, 낙동강남해에서 가장 크게 나타났으며, 가을철 강우량도는 한강동해와 낙동강동해, 형산강 유역에서 크게 나타난다. 한편 겨울철에서는 제주도와 낙동강동해 유역에서 강우량이 가장 큰 것으로 나타났다.

2.3 가뭄의 정의

SPI의 분류기준에 의하면 SPI가(-1) 이하의 값을 나타낼 때 보통가뭄이 시작되는 것으로 정의할 수 있으며, 본 연구에서도 가뭄의 시작과 종료를 구분하는 기준으로 SPI 값(-1)을 기준으로 설정하였다. 한편, Fig. 2와 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

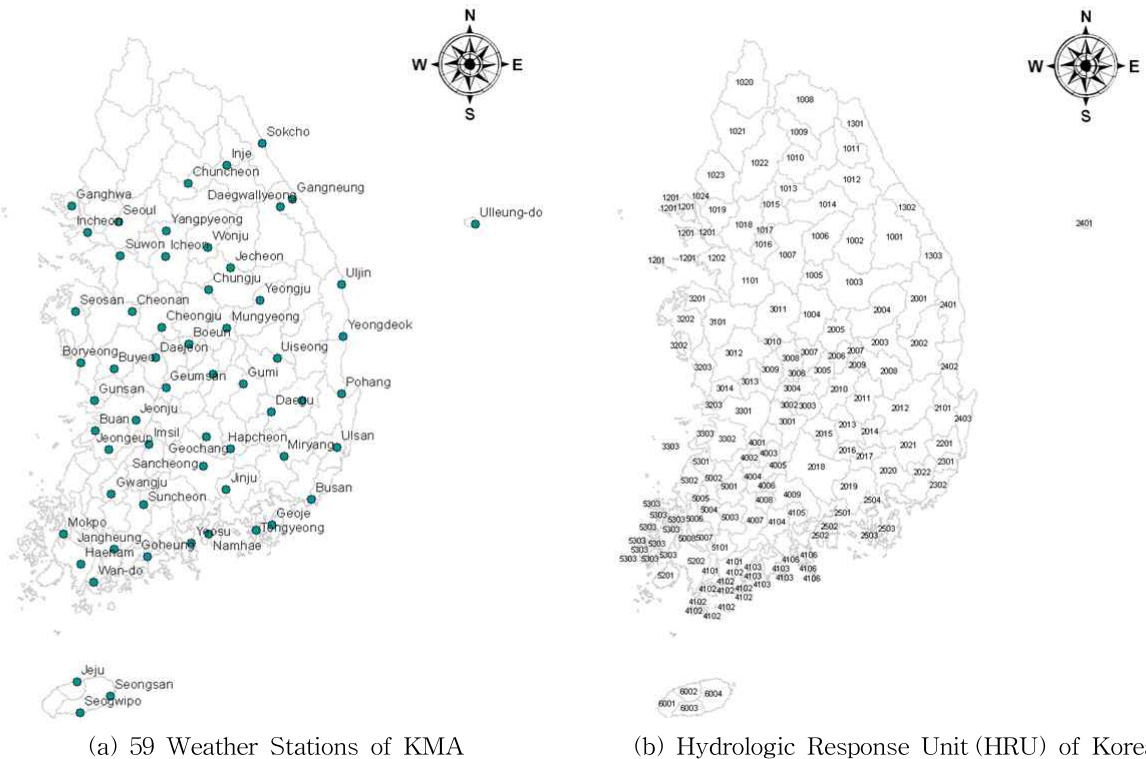


Fig. 1. Location and Map of Weather Stations and HRU of Korea

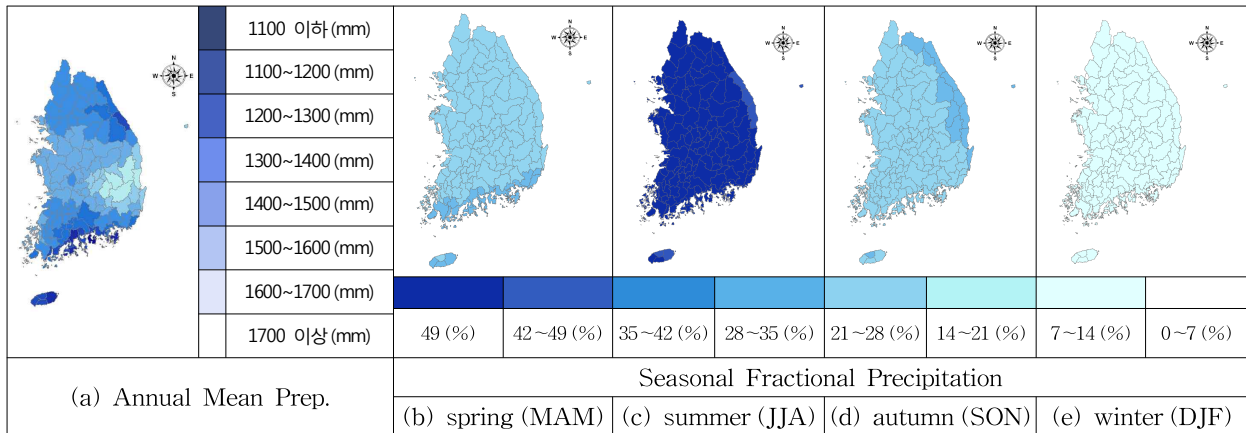


Fig. 2. Spatio-Temporal Distribution of Annual Mean Precipitation (1973~2010)

(Magnitude)를 지속기간(Duration)으로 나눈 값 또는 각 월별 SPI 값을 의미하게 된다.

2.4 가뭄지수의 선정

2.4.1 SPI (Standardized Precipitation Index)

본 연구에서는 남한지역을 대상으로 하는 가뭄우심지역 평가 및 가뭄의 시공간적인 분포특성을 분석하기 위하여 기상학적 가뭄을 평가할 수 있는 SPI를 이용하는 것으로 결정하였다. 이는 가뭄이 발생할 수 있는 잠재위험도를 평가함에 있어서 물공급능력 및 수자원공급시설을 고려한 가뭄 평가가 아닌, 기상학적 가뭄상태에 의한 평가를 통하여 가뭄의 잠재위험도를 평가한다는데 그 목적을 두고 있기 때문이다.

SPI는 강수량만을 이용하여 가뭄의 심도를 추정할 수 있는 대표적인 기상학적 가뭄지수이다. 특히, 지수산정을 위한 강수의 계산 시간단위를 1개월부터 3, 6, 12, 24개월 등과 같이 자유롭게 설정하고, 시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 단기가뭄 및 장기가뭄을 동시에 평가할 수 있는 장점이 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 확률밀도함수의 모수 α , β 는 지점별, 시간 축척별(1, 3, 6, 9, 12개월 등)로 추정된다. 모수의 추정은 최우도법(maximum likelihood method)을 사용하였으며 이

를 통해 계산된 모수를 이용해 대상지점의 시간간격에 대한 강우사상의 누가확률을 계산한다.

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

여기서, α 는 형상모수(shape parameter)이고, β 는 축척모수(scale parameter)이며, x 와 $\Gamma(\alpha)$ 는 각각 강수량(precipitation amount)와 Gamma 함수(gamma function)를 말한다.

$$Z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (2)$$

$$Z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), \quad 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (3)$$

여기서,

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

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

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 et al. (1993)은 SPI의 결과로부터 얻어지는 가

Table 1. Drought Severity Classification using SPI

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

뭍강도를 정의하기 위해 Table 1과 같은 SPI 가뭄 분류를 이용하였다. 또한 어느 시간규모에나 적용되는 가뭄사상에 대한 기준을 명시하였다.

2.4.2 과거 주요 가뭄사상에 의한 검증

과거 주요 가뭄사상을 이용하여 SPI의 적용성을 검증하기 위하여 각종 미디어 자료와 가뭄기록조사보고서(건설교통부, 1995), 가뭄기록조사보고서(건설교통부, 2002), 가뭄정보시스템 시험운영(1차년도) 보고서(건설교통부, 2007)를 이용하였으며 대표적인 과거 가뭄이 1976~1977년(남부지방 중심), 1981~1982년(중부지방 중심의 전국적 가뭄), 1988년, 1994~1995년(남부지방 중심의 전국적 가뭄), 2000~2001년(중부지방 중심), 2007~2008년(국지적 가뭄)에 발생했던 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 59개 관측소별 주요 가뭄사상에 대한 SPI 산정결과이다. 과거의 주요가뭄사상이 심한가뭄이었다는 점을 감안하여 SPI의 가뭄심도가 -1 이하의 보통가뭄과, 가뭄심도 -1.5 이하의 심한가뭄을 구분하여 관측소별 해당기간의 가뭄심도를 나타내었다. Fig. 3을 보면 1977년 6~7월의 가뭄은 남부지방을 중심으로 가뭄이 발생했던 것으로 나타나고 있다. 1981년 5월의 가뭄도에서도 대부분의 남부지방과 일부의 중부지방에 심한가뭄이 표현되고 있으며 이는 실제 가뭄 사상에서의 가뭄피해지역을 잘 표현하고 있다. 1994년 7~8월의 가뭄도에서는 남한지역 전체에 고르게 가뭄이 발생한 것을 볼 수 있다. 실제 가뭄 사상도 가뭄도와 같이 남한 전지역에서 가뭄피해가 발생했던 것으로 보고되어 있다. 2001년 9~12월의 가뭄도에서는 중부지방을 가뭄피해지역으로 나타내었으며 실제 가뭄 사상에서도 당시 중부지방을 피해지역으로 기록하고 있다.

2.5 가뭄빈도해석 및 가뭄우심도 작성

남한지역을 대상 하는 가뭄우심도를 작성하기 위해서

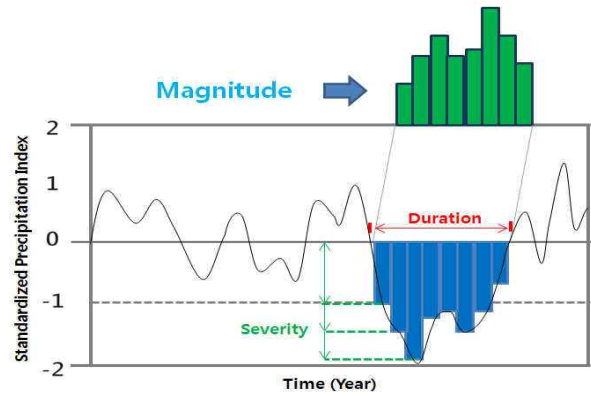


Fig. 3. Concept and Definition of Drought

관측소별로 산정된 가뭄지수를 활용한 가뭄빈도해석을 실시하였으며 Fig. 5와 같은 절차에 의해서 가뭄우심도를 작성하였다. 빈도해석에 이용된 가뭄지수는 1976년부터 2010년까지 산정된 월별 SPI(6) 전 기간치 계열을 이용하여 재구성하여 빈도해석을 실시하였다.

가뭄빈도해석을 위한 확률분포형을 선정하기 위하여 일반적으로 수문자료 해석에 사용되는 Gamma, GEV (General Extreme Value), Gumbel, Log-Gumbel, Lognormal, Log-Pearson type III, Weibull, Wakeby 분포형 등에 대해 적합도 검정을 실시하였다. 적합도 검정방법으로는 Kolmogorov-Smirnov 검정을 사용하였으며 유의수준 5%에 대해 실시하였다.

적합도 검정 결과, Gamma, Weibull, Log-Gumbel, GEV, Gumbel, Lognormal 분포형이 지속기간별 가뭄빈도해석을 위한 적정확률분포형으로 평가되었다. 본 연구에서는 이중 가장 높은 순위의 적합성을 나타낸 GEV 분포형을 지속기간별 빈도해석을 위한 최적확률분포형으로 선정하였다.

GEV 분포형은 홍수나 가뭄 같은 수문사상의 빈도해석에 많이 사용되는 분포함수로서 형상모수 β 에 따라 3가지 형태로 구분될 수 있는데, 누가분포함수와 확률밀도함수는 다음의 식과 같이 주어진다(Natural Environment Council: NERC, 1975).

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - \frac{\beta(X - X_0)}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right] \quad (6)$$

$$f(X) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \frac{\beta(X - X_0)}{\alpha}\right]^{\frac{1}{\beta} - 1} \exp\left[-\left(1 - \frac{\beta(X - X_0)}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\beta}}\right] \quad (7)$$

여기서, α 는 규모모수, β 는 형상모수, x_0 는 위치모수로 β

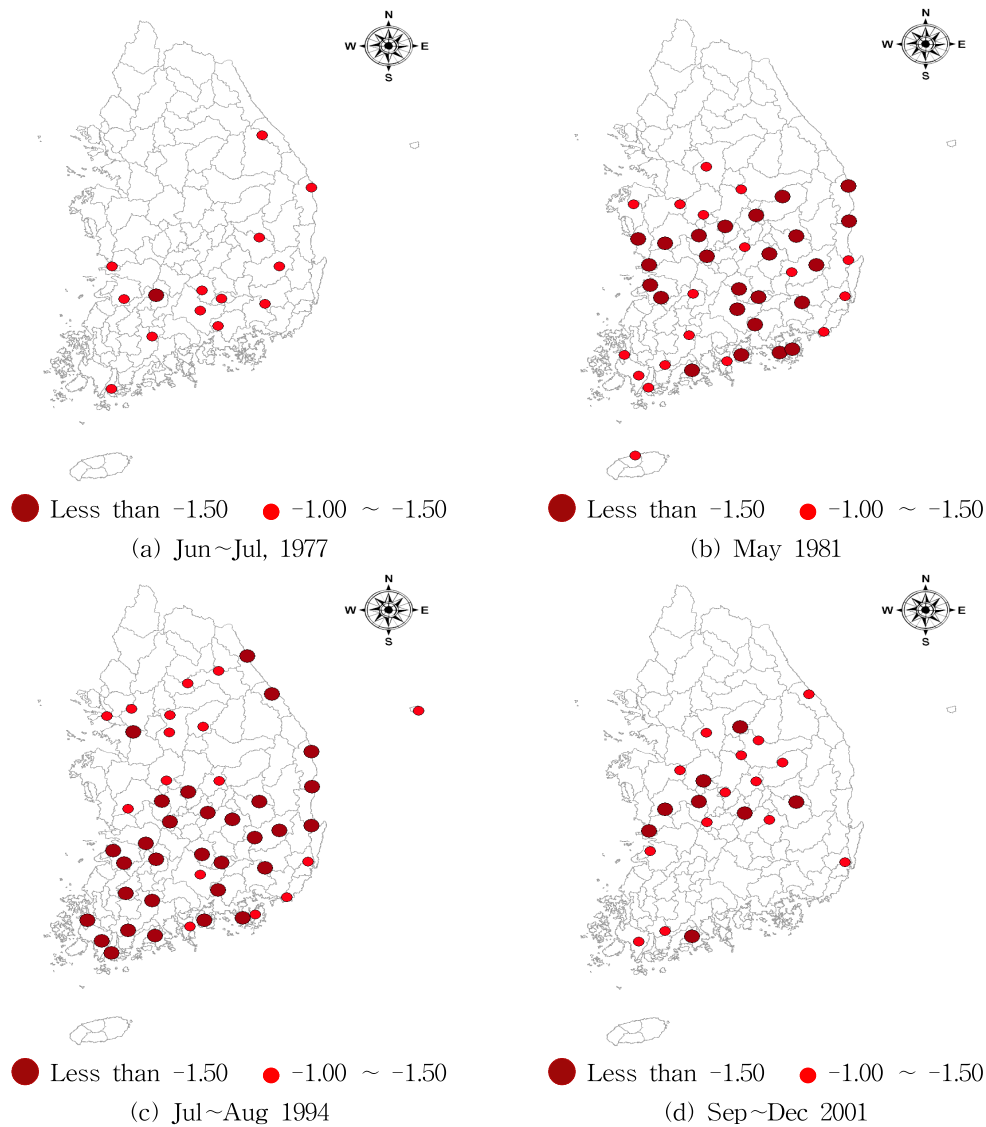


Fig. 4 Historical Drought Event Monitored by SPI (6)

가 음수이면 하한경계치를 갖는 GEV-2 분포이고(Frechet 분포 또는 log-Gumbel 분포라고도 함), β 가 양수이면 상한경계치를 갖는 GEV-3 분포(Weibull 분포라고도 함)이며, β 가 0이면 GEV-1 (Gumbel 분포) 분포가 된다. 가장 높은 적합성을 나타낸 GEV 분포형을 지속기간별 빈도해석을 위한 최적확률 분포형으로 선정하였다.

3. 가뭄의 공간적 분포특성

3.1 관측소별 SDF (Severity-Duration-Frequency) 곡선의 유도

본 연구에서는 59개 기상관측소를 대상으로 SPI를 이용한 가뭄빈도해석을 실시하였으며 Fig. 6은 가뭄 지속기

간별 빈도해석을 통해 작성된 서울, 대전, 대구, 광주, 부산 등 5개의 관측소의 대한 SDF 곡선이다. 재현기간은 10년, 20년, 30년, 50년, 100년, 200년, 300년, 500년으로 설정하였고, X축은 가뭄의 지속기간(1~12개월), Y축은 SPI의 가뭄심도를 나타내고 있다.

SDF 곡선 작성 결과, 재현기간별 심도의 차이에서는 대전, 대구, 광주관측소가 서울, 부산관측소에 비해 동일한 빈도 및 지속기간에서 가뭄심도가 심한 것으로 나타났으며 전 관측소에서 지속기간이 길어질수록 재현기간별 가뭄의 규모(Magnitude)는 커졌지만 가뭄심도(Severity)는 심해지고 있는 것을 알 수 있다.

또한 서울, 대전, 대구, 춘천관측소의 SDF곡선을 보게 되면 서울관측소의 경우 지속기간 6개월, 대전관측소의

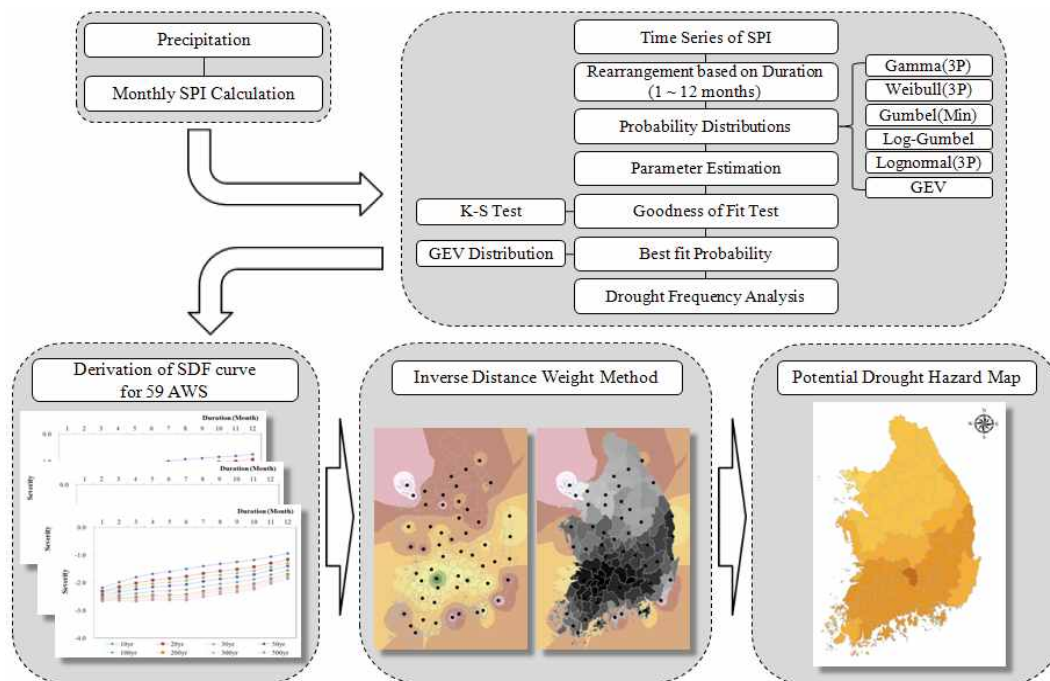


Fig. 5 Process for Derivation of SDF Curve and Drought Potential Hazard Map using Frequency Analysis

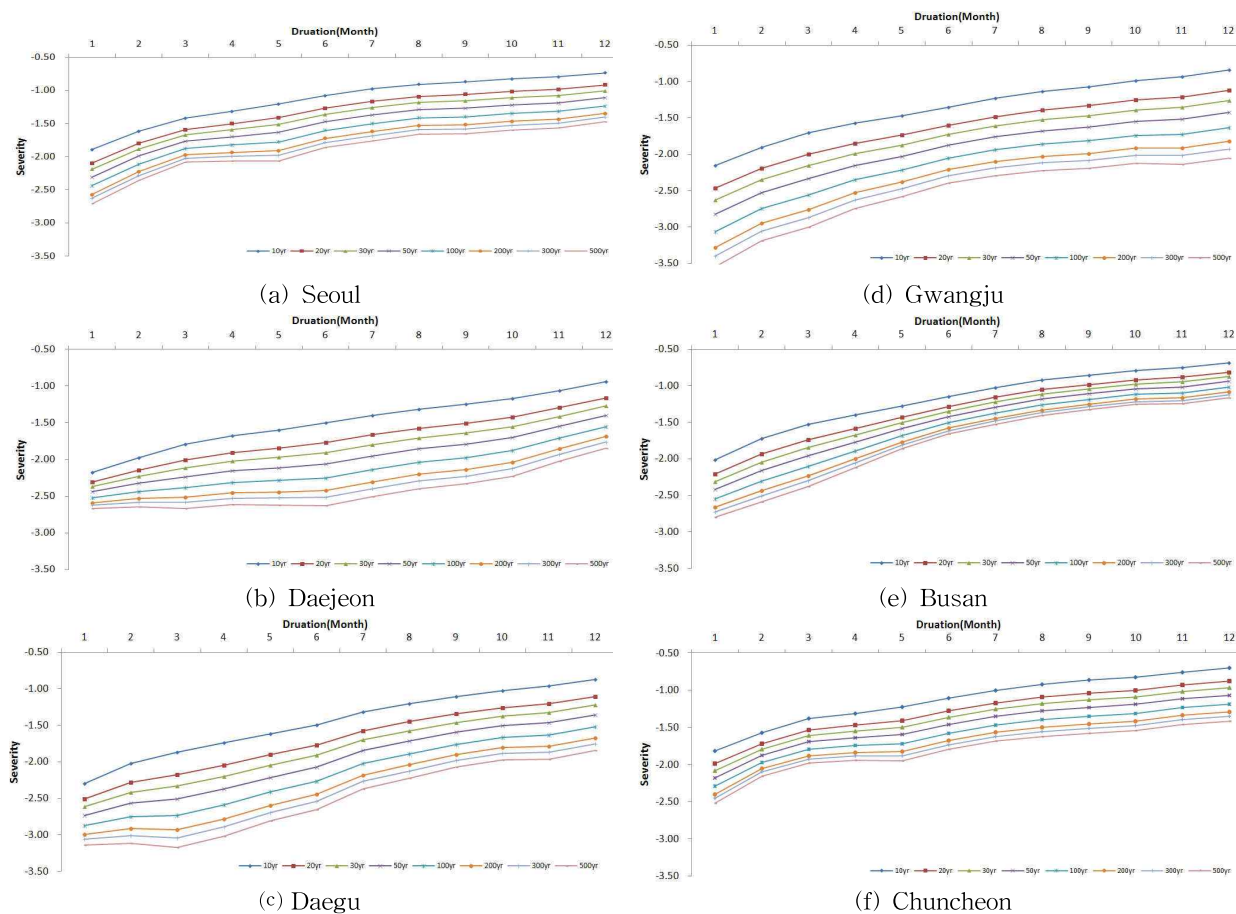


Fig. 6. SDF (Severity–Duration–Frequency) Curves for Each Weather Station Derived by Drought Frequency Analysis

경우 지속기간 6개월, 대구관측소의 경우 지속기간 3개월, 춘천관측소의 경우 지속기간 5개월에서 역전현상이 발생하고 있다. 이와 같은 현상은 GEV와 Gumbel 분포에서 나타나는 현상이다. 고연우 등(2000)의 연구에 의하면 우리나라 강우자료 및 극치사상의 빈도해석에 비교적 적합한 것으로 알려져 있는 GEV분포와 Gumbel 분포형을 이용하여 강우 지속기간별로 확률강우량을 산정할 때 발생할 수 있는 역전현상에 대하여 이론적으로 접근하여 얻은 결론이다. 대상지점에 대해 강우지속기간별로 동일한 확률분포형을 적용하는 경우에도 자료의 특성에 따라 이론적으로 확률강우량의 역전현상이 발생할 수 있는 것으로 나타났다. Gumbel 분포형은 GEV 분포형의 특별한 형태로 고정된 왜곡도계수 값을 가지므로, 역전현상이 상대적으로 적게 나타나지만 역전현상을 완전히 피할 수는 없는 것으로 나타났다.

3.2 Drought Spell에 의한 가뭄심도별 공간적 분포

본 연구에서는 가뭄의 시, 공간적인 분포 특성을 알아보기 위하여 Drought Spell 분석을 실시하였다. Spell 분석은 가뭄뿐만 아니라 강우일수 등과 같은 여러 가지 수문, 기상학적 현상에 대한 빈도해석에 사용되며 특정 기상 및 수문현상의 지속시간, 일수 또는 월수 등을 세어서 발생빈도를 분석하는 방법이다.

본 연구에서 정의하는 Drought Spell은 가뭄현상의 지속기간 및 가뭄월수를 세는 것으로써 기상청 산하 59개 관측소를 대상으로 산정된 월별 SPI (6)를 이용하여 가뭄의 계절별, 가뭄지속기간별 분포특성을 알아보았다. 특히, 본 연구에서 Spell에 해당되는 가뭄현상은 SPI (6)가(-) 0 이하로 나타나는 월로 정의하였다.

Fig. 7은 과거 SPI (6)와 Drought Spell을 통한 가뭄심도

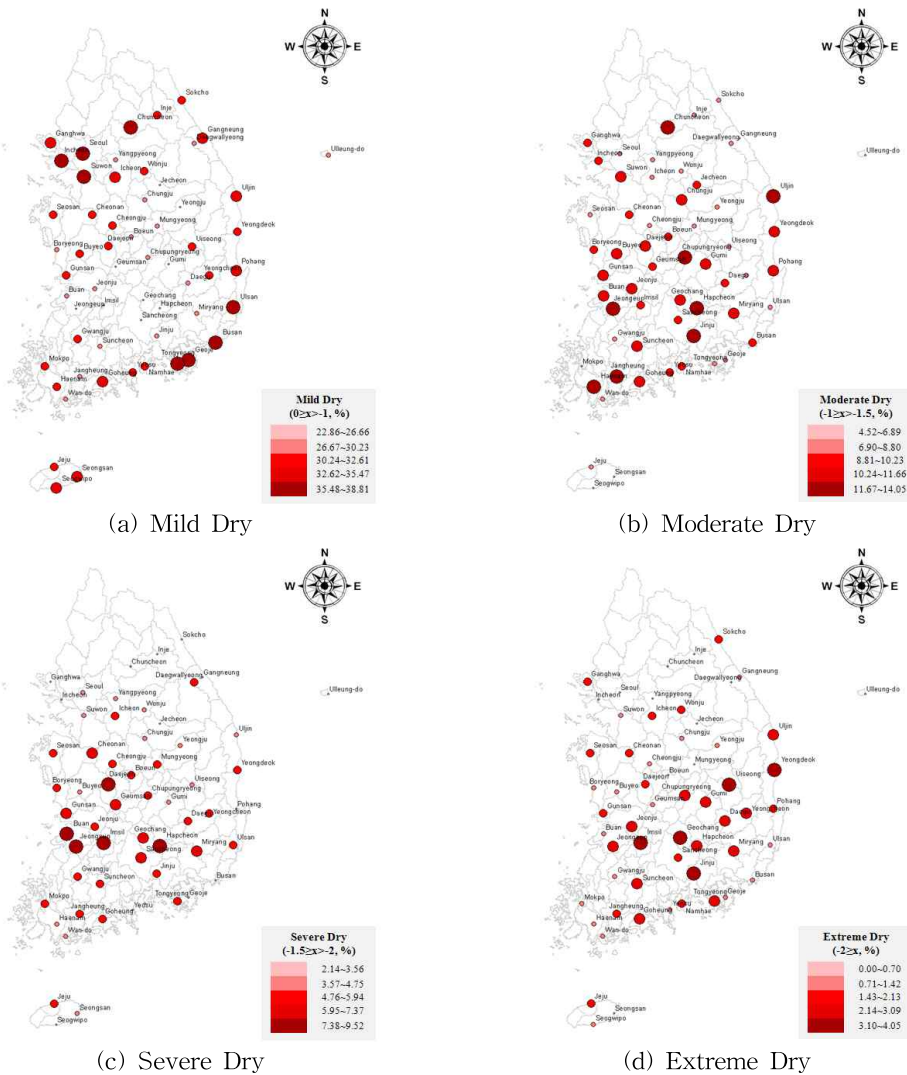


Fig. 7. Drought Spell for Each Weather Station using SPI (6)

별 공간분포 특성을 분석한 결과로서, 약한가뭄($0 \geq \text{SPI} > -1$), 보통가뭄($-1 \geq \text{SPI} > -1.5$), 심한가뭄($-1.5 \geq \text{SPI} > -2$), 극한가뭄($-2 \geq \text{SPI}$)의 가뭄발생빈도를 관측소별로 나타내고 있다. 또한 Table 2는 Drought Spell에 의해 분석된 59개 관측소중 심한가뭄과 극심한 가뭄이 자주 발생했던 상위 10개 관측소를 나타내고 있다.

SPI (6)를 이용한 Drought Spell 분석 결과, 약한가뭄의 경우 거제, 부산, 서울, 통영, 인천, 울산, 수원 등 낙동강, 한강 유역에서 큰 발생빈도를 나타냈으며 보통가뭄의 경우 진주, 해남, 합천, 울진, 춘천, 추풍령 등 유역에서 발생빈도가 크게 나타났다. 심한가뭄과 극한가뭄의 경우 극한가뭄은 부안, 정읍, 임실, 대진, 합천 등 낙동강, 영산강, 한강 유역에서 심한가뭄의 경우 의성, 진주, 임실, 영덕, 거창,

정읍 등 낙동강, 섬진강 유역에서 가뭄 발생빈도가 크게 나타났다.

3.3 가뭄우심도(Potential Drought Hazard Map)

본 연구에서 개발하고자 하는 가뭄우심도란 가뭄에 의해서 실제로 물 부족이 발생했거나 또는 농작물의 피해가 발생한 지역을 mapping하는 개념이 아니라, 일정기간 동안의 강수의 부족이 발생하여 물 부족을 유발할 수 있는 가능성이 있는 잠재 피해가능 지역을 mapping하는 개념이다. 즉, 수문학적 가뭄 또는 농업적 가뭄 피해지역이 아닌 기상학적 가뭄이 빈번하게 발생하여 잠재피해 가능성이 큰 지역을 의미하게 된다.

Fig. 8은 SPI를 활용하여 작성된 남한의 재현기간별

Table 2. Top 10 Most Frequent Weather Stations on Each Drought Class using SPI (6)

Mild Dry (%)				Moderate Dry (%)			
AWS	Frequency	AWS	Frequency	AWS	Frequency	AWS	Frequency
Geoje	38.81	Ulsan	38.10	Jinju	14.05	Chupungryeong	12.14
Busan	38.57	Suwon	36.90	Haenam	13.81	Jeongeup	12.14
Seoul	38.33	Chuncheon	36.43	Hapcheon	13.81	Jangheung	12.14
Tongyeong	38.33	Goheung	35.48	Uljin	12.62	Suncheon	11.67
Incheon	38.10	Icheon	35.00	Chuncheon	12.14	Suwon	11.43
Buan	9.52	Geumsan	7.38	Uiseong	4.05	Jeongeup	3.10
Daejeon	8.57	Miryang	7.14	Jinju	3.81	Uljin	2.86
Hapcheon	8.57	Sancheong	7.14	Imsil	3.57	Jeonju	2.86
Imsil	8.33	Gunsan	6.90	Yeongdeok	3.33	Gumi	2.86
Jeongeup	7.86	Geochang	6.67	Geochang	3.33	Chupungryeong	2.62

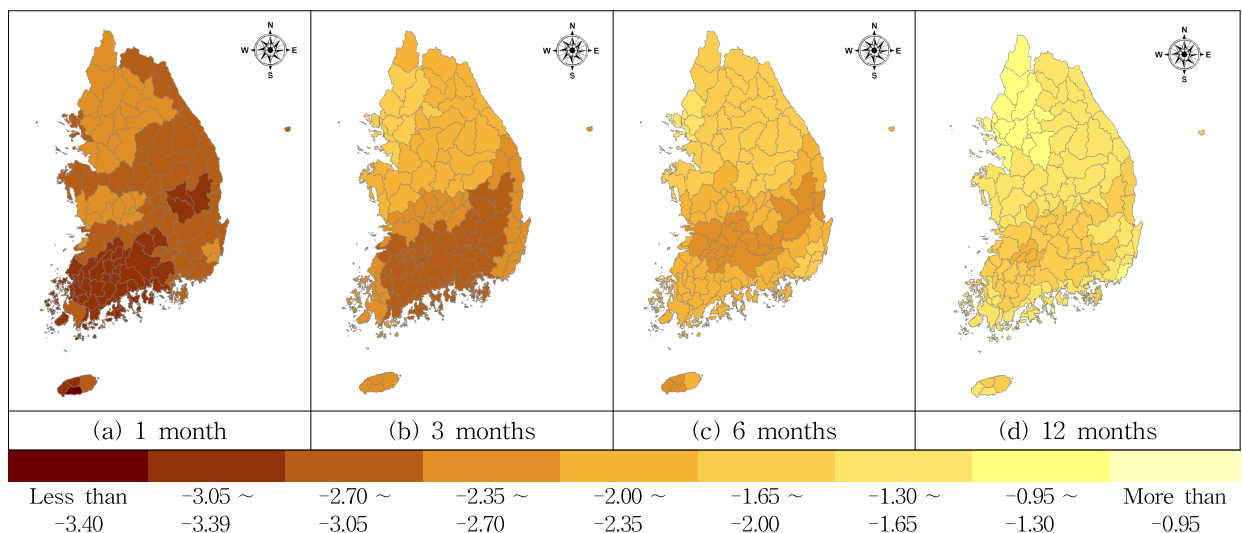


Fig. 8. Potential Drought Hazard Map of Different Drought Duration (Return Period - 200 yr)

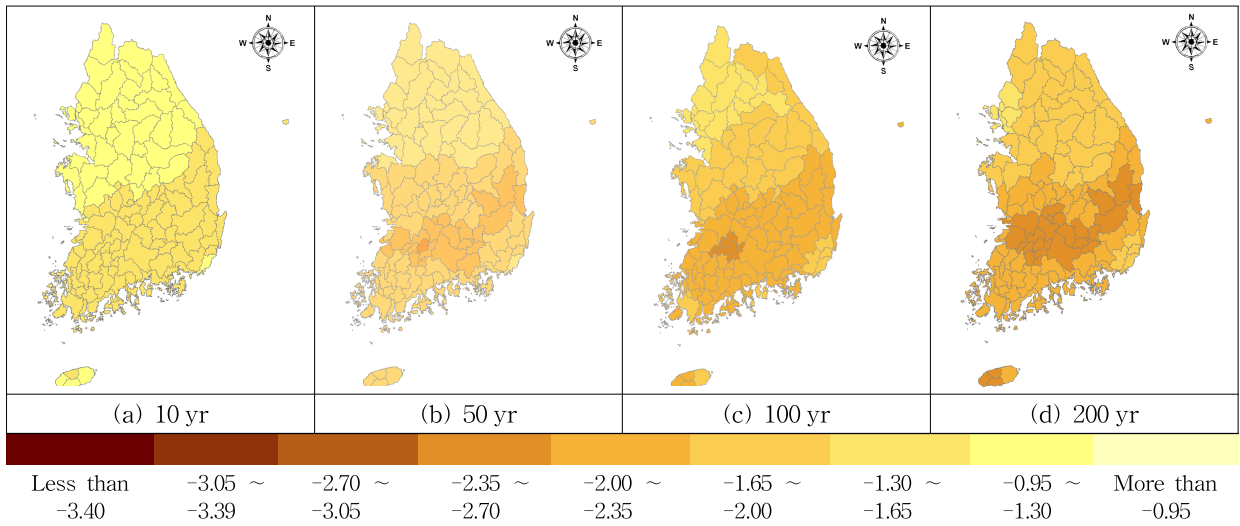


Fig. 9 Potential Drought Hazard Map of Different Return Period (Duration - 6 month)

(200년빈도) 지속기간별(1, 3, 6, 12개월) 가뭄우심도를 나타내고 있다. 분석대상에 해당되는 남한 즉, 117개의 중유역은 5대강(한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강) 유역을 포함한 총 21개의 대유역에 속해있다. 재현기간 200년 빈도의 지속기간별 가뭄우심도를 작성한 결과, 지속기간이 1개월에서 12개월로 길어질수록 태화강을 제외한 20개의 대유역에서의 가뭄심도가 완화되는 것으로 분석되었다.

지속기간별 남한의 가뭄우심도를 보면 지속기간 1개월의 가뭄우심도에서는 태화강과 한강서해를 제외한 나머지 19개의 대유역에서 극심한 가뭄이 나타났으며, 그 중 탐진강 유역(-3.25)에서 가장 심한 가뭄심도가 나타났다. 탐진강 유역 다음으로는 영산강(-3.22), 섬진강(-3.22), 섬진강남해(-3.17) 유역에서 가뭄심도가 낮게 나타났다. 지속기간 3개월의 가뭄심도의 경우에도 지속기간 1개월과 마찬가지로 한강서해 유역과 태화강 유역을 제외한 19개의 대유역에서 극심한 가뭄이 나타났다. 지속기간 1개월에 비해 남한의 가뭄심도가 평균 0.4017 높아지며 가뭄이 완화되었다. 지속기간 3개월의 가뭄심도에서는 섬진강 유역(-2.89)에서 가뭄심도가 가장 낮게 나타났으며, 섬진강 유역 다음으로 가뭄심도가 낮게 나타난 유역은 낙동강남해(-2.80), 섬진강남해(-2.74), 영산강(-2.73) 유역 순으로 심도가 낮게 나타났다. 지속기간 6개월의 가뭄우심도에서는 지속기간 3개월에 비해 남한의 평균 가뭄심도가 0.37 높아지며 가뭄이 완화되었다. 금강서해, 삽교천, 한강동해, 회야(수영), 안성천, 한강 유역이 극심한 가뭄에서 심한가뭄으로 가뭄이 완화되었고, 나머지 13개 유역에서는 가뭄심도는 완화되었지만 여전히 극심한 가뭄을 나타내고 있었다. 가장 낮은 가뭄심도를 나타낸 유역으로는 섬

진강 유역(-2.43)이었으며, 그다음으로 가뭄심도가 낮게 나타난 유역으로는 만경(동진)(-2.37), 제주도(-2.32), 낙동강동해(-2.29) 유역이다. 지속기간 12개월의 가뭄우심도에서는 지속기간 6개월에서 극심한 가뭄을 나타냈던 13개의 유역이 모두 심한가뭄으로 변화하였으며, 남한 평균 가뭄심도가 0.53 높게 나타났다. 또한 금강서해, 한강동해, 안성천, 한강, 회야(수영) 유역은 모두 심한가뭄에서 보통가뭄으로 가뭄이 많이 완화되었다.

Fig. 9는 SPI(6)를 활용하여 작성된 남한의 지속기간 6개월의 재현기간별(10, 50, 100, 200년빈도) 가뭄우심도(Potential Drought Hazard Map)를 나타낸 것이다.

재현기간 10년의 가뭄우심도의 경우 제주도, 한강, 한강서해, 태화강 유역을 제외한 17개의 유역에서 극심한 가뭄이 나타났으며 섬진강(-2.35) 유역에서 가장 낮은 가뭄심도가 나타났다. 섬진강 유역 다음으로 탐진강(-2.27), 낙동강(-2.26), 낙동강남해(-2.25) 유역의 심도가 낮게 나타났다.

재현기간 30년의 가뭄우심도에서는 재현기간 10년의 가뭄우심도에 비해 남한의 평균가뭄심도 값이 -0.45 낮아지며 가뭄이 심화되었다. 재현기간 10년과 마찬가지로 한강서해, 태화강 유역을 제외한 19개의 유역에서 극심한 가뭄을 나타냈으며 섬진강(-2.88) 유역에서 가장 낮은 가뭄심도가 나타났다.

재현기간 100년의 가뭄우심도의 경우에는 탐진강(-3.07), 섬진강(-3.06), 영산강(-3.03) 유역에서 -3 이하의 낮은 가뭄심도가 나타났으며 재현기간 50년의 가뭄우심도에 비해 남한의 가뭄심도가 평균 -0.15 낮게 나타났다. 재현기간 50년과 재현기간 10년의 가뭄우심도와 마찬가지로 한강서해,

태화강 유역을 제외한 19개의 유역에서 극심한 가뭄을 나타내었다.

재현기간 200년의 가뭄우심도에서는 가뭄심도값이 재현기간 100년의 가뭄우심도보다 가뭄심도가 -0.13 낮게 나타났으며 탐진강(-3.26), 섬진강(-3.22), 영산강(-3.03) 유역에서 낮은 가뭄심도를 나타냈고 한강서해, 태화강 유역을 제외한 19개 유역에서 극심한 가뭄을 나타냈다.

지속기간별 재현기간별 가뭄우심도를 살펴본 결과 남한의 가뭄은 재현기간이 길어질수록 가뭄심도가 낮아져 가뭄이 많이 심화되는 것을 나타냈다.

4. 가뭄의 시간적 분포특성

4.1 계절별 가뭄발생빈도

Fig. 10은 1976~2010년 35년치의 관측소별 가뭄(SPI

-1 이하) 발생빈도를 월별로 카운팅하여 계절별로 분석한 결과를 증권역별로 나타낸 가뭄의 시, 공간적 분포도이다. Fig. 9 (a)~(d)를 보면, 봄철에 가뭄의 발생빈도가 가장 높았던 것으로 나타났으며, 봄철가뭄은 임실(33), 천안(32), 합천(32), 대전(31)관측소에서 30회 이상의 가뭄이 발생되었던 것으로 나타났고 주로 남한의 중, 남부지방을 중심으로 발생했던 것으로 나타났다. 여름철의 가뭄은 다른 계절에 비해서 빈도가 작게 나타났지만, 진주(29), 정읍(26), 합천(25) 등 남부지방의 발생빈도가 높게 나타났고 봄철에 비해 중부지방권의 가뭄발생빈도가 많이 작아졌다. 가을철의 경우는 진주(24), 합천(24), 거창(23)에서 발생빈도가 가장 크게 나타나며 여름철과 비슷한 결과로 남부지방에서 큰 발생빈도를 나타냈다. 겨울철의 가뭄발생빈도를 보면 여름철과 가을철에 비해 가뭄발생빈도가 커지며 군산(26), 밀양(24), 진주(23), 합천(23)으로 가장

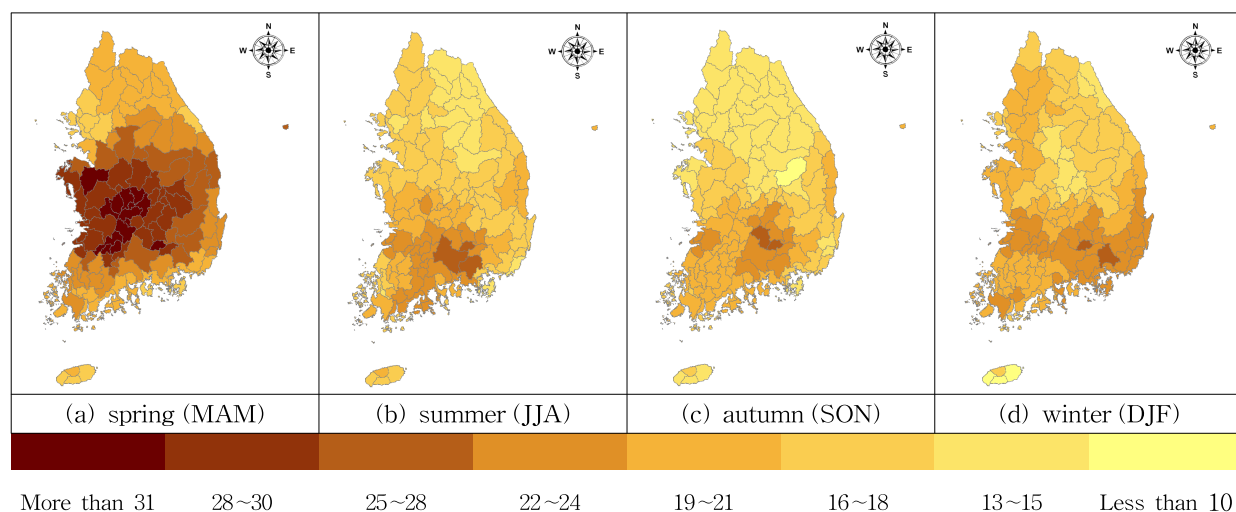


Fig. 10. Seasonal Variation of Drought Event (case of $SPI \leq -1$)

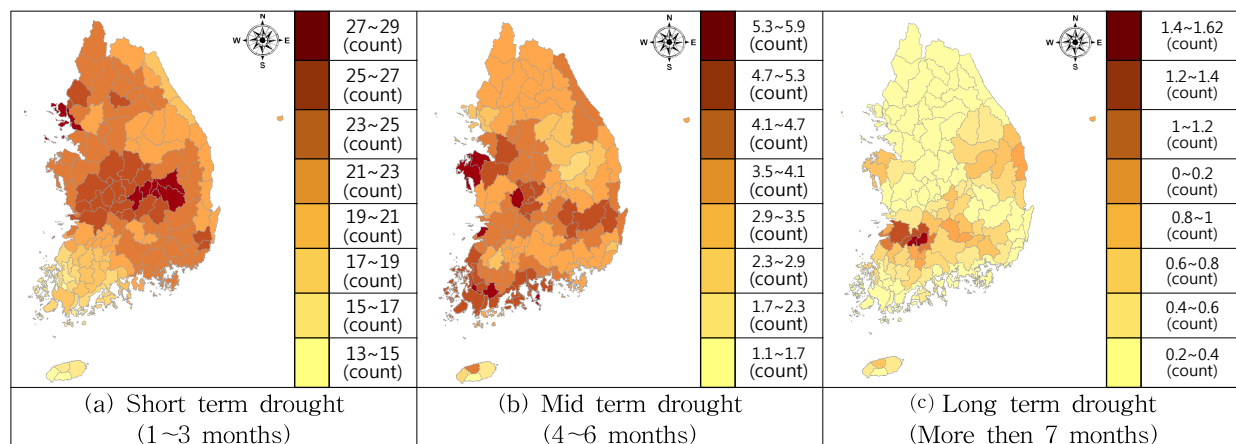


Fig. 11. Frequency of Drought Occurrence for Different Drought Duration

큰 발생빈도가 나타났다.

4.2 가뭄지속기간별 발생빈도

계절별 Drought Spell 분석의 경우, 산정된 월별 SPI(6)를 봄(3, 4, 5월), 여름(6, 7, 8월), 가을(9, 10, 11월), 겨울(12, 1, 2월)로 분류하고 보통가뭄 이하로 분류되는 SPI(-1.0) 이하의 가뭄사상만을 Counting 하였다. 그리고 관측소별 Drought Spell 결과를 IDW (Inverse Distance Weight) 방법을 이용하여 가뭄우심도로 표현하고 계절별 가뭄취약지역을 분석하였다.

지속기간별 Drought Spell 분석의 경우, 1976~2010년까지 산정된 관측소별 월별 SPI(6) 중 SPI(-1.0) 이하를 연속적으로 갖는 가뭄사상의 수를 단기(지속기간 1, 2, 3개월), 중기(지속기간 4, 5, 6개월), 장기(7개월 이상)으로 구분하여 가뭄우심도로 표현하였다.

Fig. 11은 관측소별 가뭄발생빈도를 가뭄의 지속기간별 단기(1~3개월 지속기간), 중기(4~6개월 지속기간), 장기(7개월 이상)로 구분하여 가뭄우심도로 나타낸 그림이다. Fig. 10을 보면, 단기 가뭄이 가장 많이 발생했던 관측소로는 입실(33), 서울(30), 영덕(30), 성산(29), 추풍령(28), 수원(28)에서 가뭄발생빈도가 가장 큰 것으로 나타났고 상위 20개의 관측소의 대부분은 금강 유역과 영산강 유역에서 발생빈도가 가장 크게 나타났다. 중기가뭄에서는 강릉(7), 청주(6), 고흥(6), 충주(6), 의성(6)에서 가뭄발생빈도가 크게 나타났으며 상위 20개의 가뭄이 강원도와 제주도 지역을 제외한 대부분의 지역에서 고르게 분포되어있다. 장기가뭄은 발생빈도가 단기가뭄이나 중기가뭄에 비해 크진 않지만 지속기간 13개월의 긴 장기가뭄이 서산과 제천관측소에서 발생하였으며 구미(7), 정읍(6), 합천(6), 진주(5), 입실(4), 순천(4), 고흥(4), 영덕(4), 거창관측소(4) 등 주로 남부지방에서 여러 차례 장기가뭄이 발생했던 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 과거에 발생했던 남한 가뭄의 정량적 평가와 남한의 가뭄우심지역에 대한 시간적, 공간적 분포 특성을 분석하기 위하여 SPI를 이용한 가뭄빈도해석으로 통하여 남한의 지속기간별, 빈도별 가뭄우심도를 작성하였다.

SPI를 이용하여 과거 주요 가뭄사상에 대한 모니터링 결과를 분석하여 본 결과, 본 연구에 사용되는 지속기간 6개월의 SPI는 가뭄의 지역적 분포 특성과 심도를 전반적

으로 잘 재현한 것으로 나타났다.

과거자료를 통해 산정된 지속기간 6개월의 SPI를 이용하여, 가뭄단계별 발생빈도를 분석하기 위한 Drought Spell 분석을 실시한 결과, 약한가뭄에서는 전반적으로 발생빈도가 한강 유역과 낙동강 남해 유역에서 크게 나타났다. 반면, 심한가뭄과 극한가뭄에서는 금강 유역과 낙동강 유역의 가뭄발생빈도가 크게 나타나 과거 대형가뭄이 발생한 지역을 확인할 수 있었다.

빈도해석을 통하여 유도된 관측소별 SDF곡선을 이용하여 작성된 가뭄우심도를 통한 남한의 평균 가뭄심도는 5대강 유역(한강, 금강, 낙동강, 영산강, 섬진강)중 영산강, 섬진강, 낙동강이 가뭄심도가 낮게 나타났으며 한강의 평균 가뭄심도가 다른 유역에 비하여 상대적으로 높게 나타났다. 즉, 기상학적인 가뭄만을 고려할 때, 우리나라의 전통적인 가뭄우심지역은 영산강 유역과 낙동강 유역으로 나타났다.

남한의 1976~2010년간 발생했던 가뭄의 시간적 분포 특성 결과에서는 사계절 중 봄에 해당하는 가뭄의 발생빈도가 가장 큰 결과를 나타냈으며 다음으로는 겨울에 가뭄이 자주 발생했던 것으로 나타났고, 가뭄의 지속기간별 분포특성의 경우, 단기가뭄의 경우에는 금강 및 낙동강 유역이 중점적으로 발생빈도가 높았으며 중기 및 장기가뭄의 경우에는 영산강 유역에서 발생빈도가 많았던 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 바탕으로 과거에 우리나라에서 발생했던 가뭄의 시, 공간적 분포특성은 향후 가뭄우심지역에 대한 평가 및 대책 수립에 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업의 [기후변화에 의한 수문 영향분석과 전망(09-기술혁신 C01)]과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 건설교통부 (1995). 가뭄기록조사 보고서.
- 건설교통부 (2002). 2001 가뭄기록조사 보고서.
- 건설교통부 (2007). 가뭄정보시스템 시험운영-1차년도 보고서. pp. 38-74.
- 경민수, 김상단, 김보경, 김형수 (2007). “군집분석을 통한 수문학적 가뭄의 가뭄심도-가뭄면적-가뭄 지속기간 곡

선의 작성.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제3B호, pp. 267-276.

경민수, 이용원, 김형수, 김병식 (2009). “기후변화가 서울 지역의 기온 및 가뭄에 미치는 영향평가: AR2 SRES A2 시나리오를 기반으로” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, Vol. 29, No. 2B, pp. 181-191.

고연우, 허준행, 김규호 (2000). “확률강우량 산정시 GEV 분포형 및 Gumbel 분포형의 역전현상.” **대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, 제3권, pp. 55-58.

권현한, 문영일 (2005). “Wavelet Transform을 이용한 수문시계열 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제65호, pp. 439-448.

김보경, 김상단, 경민수, 김형수 (2006). “가뭄심도-영향면적-지속기간곡선을 이용한 가뭄의 시공간적 정량화.” **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1991-1995.

김창주, 서지원, 박민재, 신정수, 이주현 (2011). “기후변화에 의한 한반도의 미래 가뭄 경향성 분석.” **한국방재학회 학술발표회 논문집**, 한국방재학회, p. 205.

김호성, 박진혁, 윤재영, 김상단 (2010). “극한가뭄의 시공간적 특성에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위한 SAD 곡선의 적용.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제6B호, pp. 561-569.

이주현, 김창주 (2011). “가뭄빈도해석을 통한 가뭄심도-지속기간-생기빈도 곡선의 유도.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제44권, 제11호, pp. 889-902.

이주현, 서지원, 김창주 (2012). “가뭄지수를 활용한 한반도 가뭄의 경향성, 주기성 및 발생빈도 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제45권, 제1호, pp. 75-89.

이주현, 정상만, 김성준, 이명호 (2006). “가뭄모니터링 시

스템 구축: I. 정량적 가뭄모니터링을 위한 가뭄지수의 적용성 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제9호, pp. 787-800.

장연규, 김상단, 최계운 (2004). “SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 공간적 특성 연구.” **대한국토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 4897-4902.

Grinsted, A., Moorel, 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. 6, pp. 561-566.

Loukas, A., Vasilades, L., and Tzabiras, J. (2008). “Climate change effects on drought severity.” *Advances in Geosciences*, 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, Jan., Anaheim, CA, pp. 179-184.

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

Natural Environment Research Council: NERC (1975). *Flood Studies Report*. Vol. I. NERC, London. UK

Torrence, C., and Compo, G.P. (1998). “A practical guide to wavelets analysis.” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 79, No. 1, pp. 61-78.

논문번호: 12-042	접수: 2012.04.30
수정일자: 2012.06.29/07.05	심사완료: 2012.07.05