

SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 시공간적인 특성 연구

A Study of Drought Spatio-Temporal Characteristics Using SPI-EOF Analysis

장 연 규* / 김 상 단** / 최 계 운***

Chang, Yungyu / Kim, Sangdan / Choi, Gyewoon

Abstract

This study introduced a method to evaluate the probability of a specific area to be affected by a drought of a given severity and shows its potential for investigating agricultural drought characteristics. The method was applied to South Korea as a case study. The proposed procedure included Standardized Precipitation Index(SPI) time series, which were linearly transformed by the Empirical Orthogonal Functions(EOF) method. These EOFs were extended temporally with AutoRegressive Moving Average(ARMA) method and spatially with Kriging method. By performing these simulations, long time series of SPI can be simulated for each designed grid cell in whole area. The probability distribution functions of the area covered by a drought and the drought severity are then derived and combined to produce drought severity-area-frequency(SAF) curves.

keywords : Drought, SPI, EOF, Kriging, ARMA

요 지

본 연구에서는 우리나라 가뭄의 공간적인 특성을 파악하고 가뭄의 진행에 따른 피해규모를 산정하기 위하여 가뭄 심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성하여 제시하였다. 이를 위하여 전국의 기상관측소 지점별로 SPI를 산정하였으며, 산정된 지점별 SPI 자료를 이용하여 EOF 분석을 실시하였다. EOF 분석으로부터 추출된 핵심 공간패턴자료들은 다시 공간적으로는 Kriging 기법을 이용하여 보다 세밀한 공간정보를 갖는 자료로 확장되었으며, ARMA 모형을 이용하여 장기간의 가뭄사상을 모의발생하였다. 모의발생된 공간적인 장기간의 가뭄사상들로부터 특정 가뭄심도별 영향면적별 생기빈도 곡선을 작성할 수 있었다.

핵심용어 : 가뭄, SPI, EOF, Kriging, ARMA

1. 서 론

가뭄은 특성 자체가 점적이기보다는 공간적인 측면

을 가지고 있음에 따라 가뭄이 발생하는 경우에는 홍수와 비교하였을 때 그 영향면적이 상대적으로 넓으며, 시간적으로도 장기간에 걸쳐 영향을 미치게 된다. 따라서

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정

Doctor's course, Dept. of Civil & Environmental System Engineering., Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(e-mail: ravage@incheon.ac.kr)

** 부경대학교 환경시스템공학부 전임강사

Professor, Dept. Environmental System Engineering., Pukyong National Univ., Pusan 402-749, Korea
(e-mail: skim@pknu.ac.kr)

*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 정교수

Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering., Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(e-mail: gyewoon@incheon.ac.kr)

이러한 시공간적인 특성, 특히 공간적인 영향면적을 고려하여 가뭄현상을 분석할 필요가 있다. 이러한 공간적인 가뭄의 특성에 관한 분석은 다양한 물 관련 활동에 중요한 정보를 제공하게 되며, 따라서 합리적인 수자원 관리를 위한 물 관련 장단기 계획 수립 시에 가뭄의 공간적인 특성이 반드시 고려되어야 한다 (Hisdal과 Tallaksen, 2003). 공간적인 가뭄의 특성은 지점 가뭄의 공간적 패턴을 분석함에 의하거나(신현석과 박무중, 1999; 김형수 등, 2000; Hisdal et al., 2001), 가뭄에 의해 영향을 받는 면적 또는 가뭄 영향면적 내의 물 부족량과 같은 공간적인 자료의 해석(Sen, 1980; Santos, 1983; Sen, 1998)을 통해서 규명될 수 있다. 또한, 이러한 공간적인 자료의 해석을 통한 시간적인 가뭄의 생기빈도를 고려하여 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성하여 가뭄의 재현특성 및 영향면적을 산정할 수 있다 (Heriques and Santos, 1999). 본 연구에서는 덴마크 전역의 가뭄의 공간적 해석을 수행한 Hisdal과 Tallaksen (2003)의 연구에서 착안하여 이를 발전시켜 우리나라 전역의 가뭄의 공간적 분포특성 및 가뭄의 영향면적에 대한 확률적인 분석을 실시하고자 한다.

이를 위하여 먼저 2장에서는 전국의 기상관측소에서 관측한 강우자료를 바탕으로 지점별 SPI(Standardized Precipitation Index)를 산정하는 것에 대하여 소개하였다. 3장에서는 이러한 지점별 SPI 자료를 바탕으로 한 EOF(Empirical Orthogonal Function) 분석으로부터 어떻게 공간적인 핵심정보를 추출하는가에 대하여 기술하였다. 4장에서는 SPI-EOF 분석과정을 거쳐 생성된 공간적인 정보들이 Kriging 기법을 이용하여 보다 상세한 공간적인 정보를 갖도록 확장되고, 다시 ARMA 기법을 이용하여 장기간의 공간적인 가뭄사상을 모의발생시킬 수 있는 방법을 나타냈었다. 5장에서는 위와 같은 일련의 과정을 거쳐 장기간 모의발생된 가뭄사상을 이용하여 특정 심도의 가뭄에 영향을 받는 면적별 확률을 구하게 되는 과정을 설명하였으며, 이로부터 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선이 작성될 수 있음을 보여주고 있다. 6장에서는 결론을 기술하였다.

2. SPI의 산정

가뭄의 정도를 정량화하고 가뭄을 관리하기 위해서

다양한 가뭄지수가 개발되어져 왔다. 이러한 가뭄지수들은 그 자체의 분석만으로도 가뭄취약지역, 가뭄의 공간적인 전파방향, 가뭄의 진행특성 등 여러 가지 가뭄 특성을 끄집어낼 수 있다(유철상 등, 2004a). 가뭄지수의 종류로는 PDSI(Palmer Drought Severity Index; Palmer, 1965), SWSI(Surface Water Supply Index; Shafer와 Dezman, 1982) 그리고 SPI(Standardized Precipitation Index; Mckee 등, 1993)가 현재까지 널리 사용되고 있으며, 이 외에도 토양수분지수(Crop Moisture Index), 정상강우백분률(Percent of Normal), RDI(Reclamation Drought Index), 십진분류법(Deciles) 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 여러 가뭄지수들 중에서 가뭄에 대한 표현력이 높고 다양한 적용성을 가지고 있으며, 산정에 있어 비교적 제약조건이 적은 SPI를 이용하였다. SPI를 개발한 Mckee 등(1993)은 가뭄이 상대적으로 물의 수요에 비하여 물 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해서 시작된다는 것에 착안하여 계산 시간단위를 3, 6, 9, 12 개월 등과 같이 설정하고 시간단위별로 강수 부족량을 산정하고 Table 1과 같이 SPI에 값에 따라 가뭄심도를 정의하였다.

이런 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 분야에 적용될 수 있어 단기간의 시간축척은 농업적 관심에 사용될 수 있으며, 비교적 장기간의 시간축척은 수자원공급관리 등에 사용될 수 있다. 또한, 이렇게 산정된 SPI는 현재의 가뭄뿐만이 아니라 가뭄이 해소되기에 필요한 강수의 확률을 결정하는 것을 가능하게 한다.

본 연구에서 SPI를 산정하기 위하여 사용된 자료는 Fig. 1과 Table 2와 같이 제주도와 울릉도를 포함한 우리나라 전 지역을 대상으로 기상청 산하 59개 우량관측소의 일 강수량 자료를 이용하여 연구를 수행하였다.

추후 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function : EOF) 분석을 수행하기 위하여 모든 자료의 자료기간은 동일하게 구성하여 1973년~2001년의 29개년의 자료를 이용하였다. SPI의 시간축척은 현재 가뭄상황과 농업적 가뭄을 가장 잘 표현하는 3개월을 이용하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 가뭄이 극심하였던 2001년 5월과 6월 당시의 지속기간 3개월 SPI의 산정 결과이며, Fig. 4는 서울지점의 지속기간 3개월 SPI 시계열을 나타낸다.

Table 1. Drought by SPI value

SPI Value	2.0 +	1.5~1.99	1.0~1.49	-.99~.99	-1.0~-1.49	-1.5~-1.99	-2.0 less
	extremely wet	very wet	moderately wet	near normal	moderately dry	severely dry	extremely dry

Table 2. The name of rainfall stations

No.	station name	No.	station name	No.	station name	No.	station name	No.	station name	No.	station name
1	속초	11	청주	21	통영	31	인제	41	정읍	51	의성
2	대관령	12	대전	22	목포	32	홍천	42	남원	52	구미
3	춘천	13	추풍령	23	여수	33	제천	43	순천	53	영천
4	강릉	14	포항	24	완도	34	보은	44	장흥	54	거창
5	서울	15	군산	25	제주	35	천안	45	해남	55	합천
6	인천	16	대구	26	서귀포	36	보령	46	고흥	56	밀양
7	울릉도	17	전주	27	진주	37	부여	47	성산포	57	산청
8	수원	18	울산	28	강화	38	금산	48	영주	58	거제
9	서산	19	광주	29	양평	39	부안	49	문경	59	남해
10	울진	20	부산	30	이천	40	임실	50	영덕		

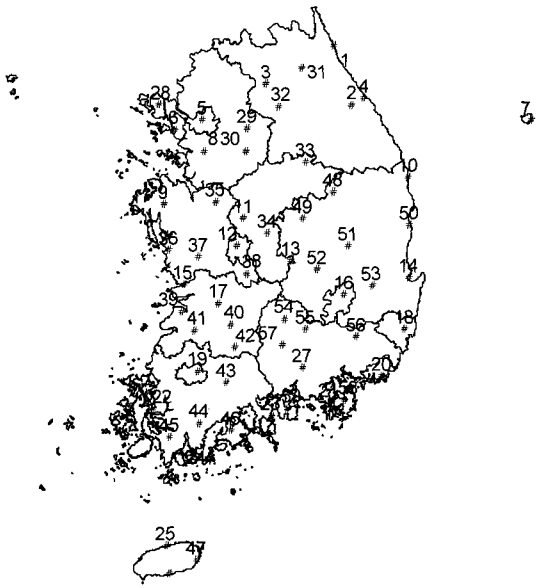


Fig. 1. Location of Rainfall stations in South Korea

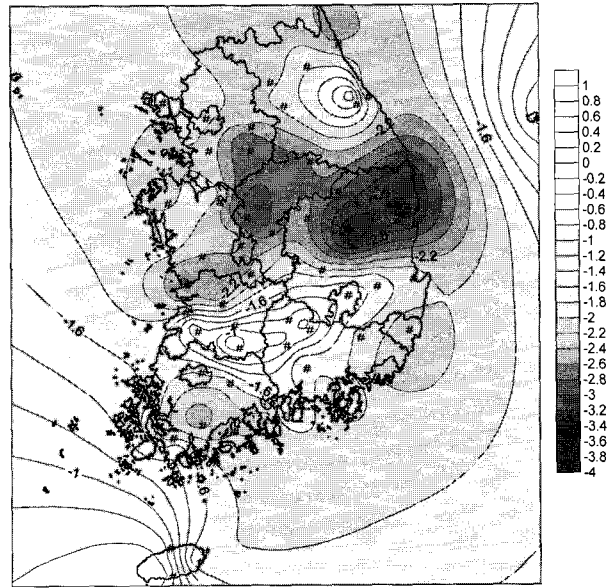


Fig. 2. Distribution of SPI value (2005. 6)

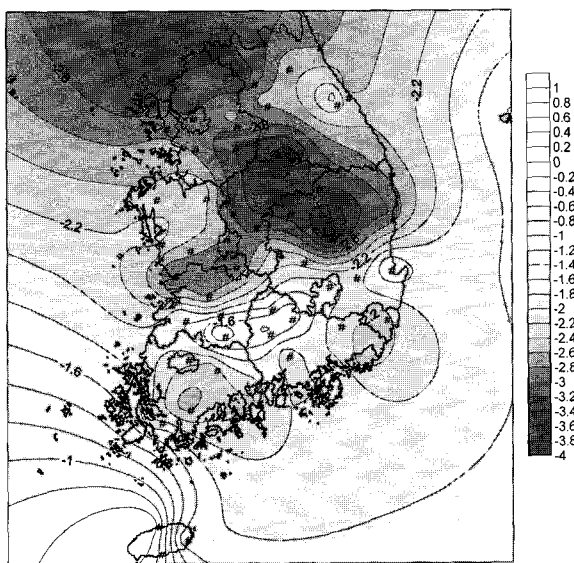


Fig. 3. Distribution of SPI value (2005. 7)

Fig. 2와 Fig. 3에서는 전국의 대부분의 지역에서 -2.0 이하의 SPI 값을 보여주고 있어 2001년 5월과 6월 당시 극심했던 가뭄 상황이 잘 표현되고 있으며, Fig. 4에서의 SPI 시계열을 통해 1994년, 1995년, 2001년 등 가뭄이 심하였던 시기 역시 SPI가 -2.0 이하로 떨어져 있음을 알 수 있다.

3. EOF 분석

EOF 분석은 주성분분석(Principal Component Analysis: PCA)이라고 불리기도 하며, 기상학, 영상처리, 전자신호 등 여러 분야에서 사용되어 왔다. 최근에는 수문학에서도 점차 적용 빈도가 증가되고 있는 방법으로, Tomozeju et al.(2000)은 강우량의 시계열 자료를 이용하여 여름철 강우량의 시·공간분석을 수행한 바 있으며, Hisdal and Tollaksen(2003)이 강우량과 유량자료를 이용하여 덴마크의 가뭄 특성을 추출하였다. 또한,

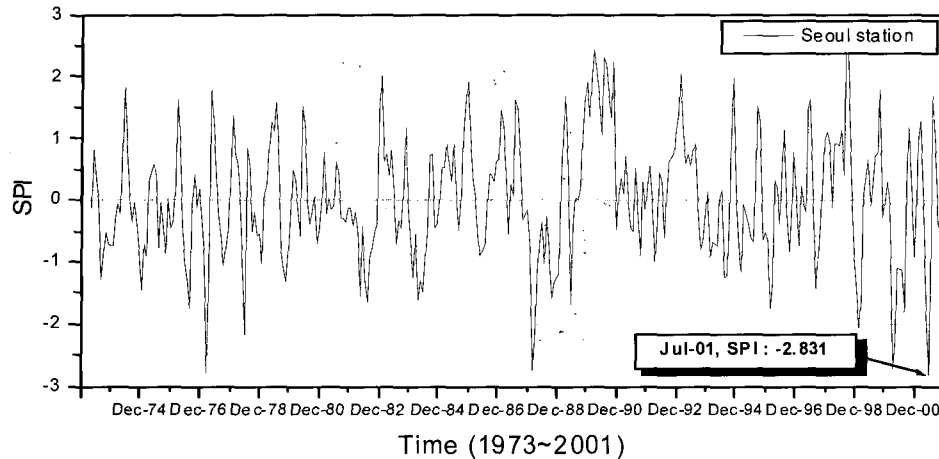


Fig. 4. SPI time series at Seoul station (1973~2001)

이에 관한 국내 수문학자들의 연구로는 토양수분자료의 EOF 분석을 수행한 Yoo and Kim(2004)의 연구와 한강유역 산지효과 추정용 EOF 분석을 이용한 유철상 등(대한토목학회, 2004b)의 연구를 들 수 있다.

자연현상의 공간적 변동성은 주로 점형태로 구성된 관측망으로부터 얻어진 공간자료를 통하여 파악될 수 있다. 강수량 또한 이러한 점구조로 된 관측망을 통하여 공간적인 패턴을 분석할 수 있다. 이때, 자연현상의 공간적인 변동성의 주된 특징은 EOF 분석에 의해 압축적으로 설명될 수 있다. EOF는 자료의 선형변환을 통해 비상관 분포된 원자료를 설명하는 모든 변수들을 원자료의 대부분을 설명할 수 있으면서 더 작은 수의 변수들을 얻는 통계적 기법이다(유철상 등, 대한토목학회, 2004b). 이러한 EOF 분석을 SPI에 응용하면 가뭄지수의 공간적, 시간적 분포를 지배하는 인자들을 추출할 수 있다. EOF 산정방법은 비정적치분해(Singular Value Decomposition : SVD)를 이용하며 다음 Eq. (1)을 이용한다.

$$SVD(A) = U \times S \times V^T \quad (1)$$

여기서, 원자료인 행렬 A 는 $M \times N$ 의 크기를 가지며, M 은 관측소의 개수, N 은 SPI 자료의 시간적 길이이다. 행렬 U 는 좌측 비정적 벡터(left singular vectors)라고 하며 $M \times M$ 의 크기를 갖는데, 이 때 각 열이 자료 A 에 대한 EOF이다. 행렬 S 는 비정적치(singular value)라고 하며 $M \times N$ 의 크기를 가지는 대각행렬로서 대각행렬의 요소는 각각 상응하는 EOF가 설명하는 원자료의 분산값이다. 행렬 V 는 우측 비정적 벡터(right singular vectors)라고 하며 $N \times N$ 의 크기를 가지게 되고 각 열은 각각의 EOF들의 시계열을 나타낸다(Wall et al., 2003).

앞 절에서 산정한 SPI 자료는 59개 관측소에서 각각

345개월 길이의 시계열을 가지고 있다. 따라서, 원자료 행렬 A 는 59×345 의 크기를 가지게 된다. 행렬 A 에 SVD를 수행하게 되면 행렬 U 는 59×59 의 크기를 갖게 되며, 이 때 첫 번째 열이 첫 번째 EOF가 되며, 59번째 열은 59번째 EOF가 된다. 또한 각각의 EOF들은 59개의 요소를 가지며, 이는 각 관측소에 해당하는 값에 대응된다. 행렬 S 는 59×345 의 크기를 가지며 행렬의 대각 요소들은 대응하는 각 EOF가 설명하는 원자료의 대한 분산값 즉, 첫 번째부터 59번째까지의 EOF 가중값을 의미하고, 행렬 V 는 345×345 의 크기를 가지는 EOF 시계열자료가 된다.

Fig. 5는 EOF 분석의 스크린 도표로서, 첫 번째부터 59번째까지 EOF가 설명하는 원자료의 분산이며, 첫 번째 EOF는 전체 분산의 20.14%, 두 번째 EOF는 7.30%, 세 번째 EOF는 5.29%를 각각 설명함으로써, 이들 초기 세 번째까지의 EOF 분산은 원자료에 대해 32.73%의 설명력을 가지게 됨을 의미한다. EOF를 이용한 일반적인 분석 목적은 EOF들의 분산값들을 비교하여 분산에 대한 설명력이 큰 일부를 추출하여 차원을 축약하는데 있으며, 이런 작업은 크게 2가지 방법이 사용되고 있다. 첫 번째 방법은 누가 분산값 70%내의 EOF들을 선택하여 사용하는 것이고, 두 번째 방법은 가장 작은 분산값에서부터 필요없다고 생각되어지는 EOF들을 제거시켜 나가는 방법이 있다(Dunteman, 1989). 그러나 본 연구에서는 EOF 분석을 통하여 가뭄의 공간적인 특성을 파악하는 것과 함께 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성하는 것을 주 목적으로 하고 있는 바, 59개의 EOF들을 모두 사용하는 것이 보다 적합하다고 판단되었으며, 가뭄의 공간적 패턴에 대해서는 EOF 초기 세 번째까지의 비교적 설명도가 높은 것들에 대해서만 도시하였다(Figs. 6~8).

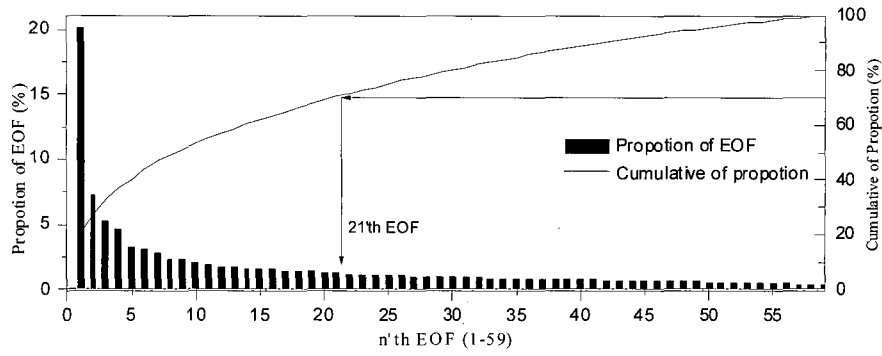


Fig. 5. Proportion of 1~59'th EOF

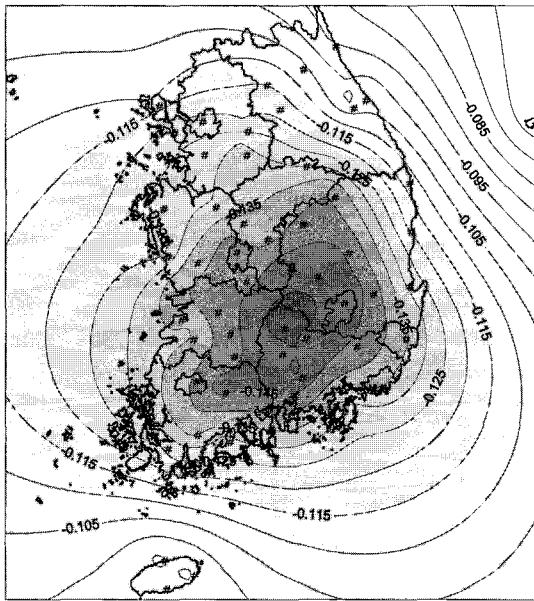


Fig. 6. Distribution of 1'st EOF

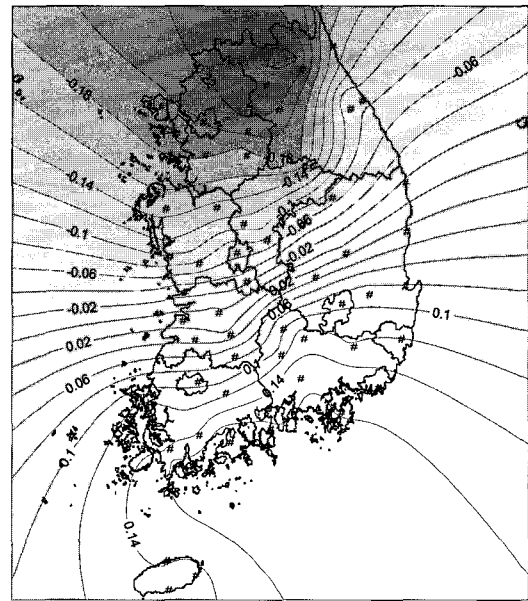


Fig. 7. Distribution map of 2'nd EOF

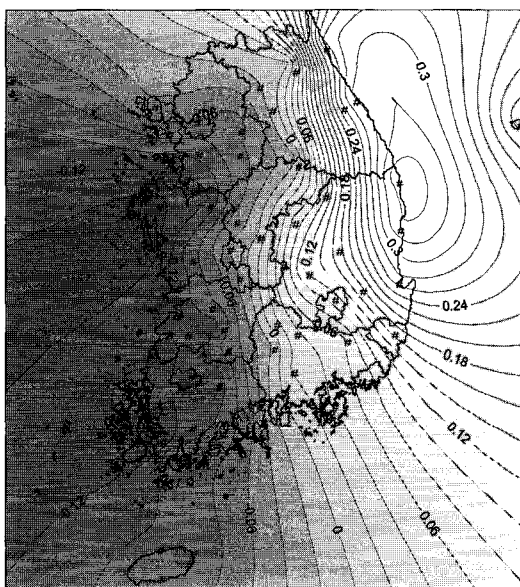


Fig. 8. Distribution map of 3'rd EOF

Fig. 6의 첫 번째 EOF는 가뭄심도의 공간적 특성 중 가장 큰 영향을 미치는 요인의 분포를 보여주고 있다. 첫 번째 EOF는 우리나라 남부 내륙지역을 중심으로부터 해안선 방향으로 가뭄의 공간적 분포 경향이 나타나고 있음을 보여주고 있다. Fig. 7에서는 두 번째 EOF의 공간적 분포를 통해 우리나라 남부지역으로부터 북부 지역으로 위도가 높아짐에 따라 가뭄의 공간적 분포 경향이 변화하는 것을 보여주고 있으며, Fig. 8에서는 경도에 따라 동서방향으로 특히, 태백산맥을 중심으로 동서의 가뭄의 공간적 분포 경향이 크게 바뀌는 것을 지시하고 있다.

Fig. 9는 초기 세 번째 EOF들의 시계열에 가중값을 주어 나타낸 것으로 상하 진폭이 순서대로 작아지고 있음을 나타내고 있다. 가장 설명력이 큰 첫 번째 EOF 시계열의 양의 값이 클수록 가뭄심도가 깊어지는 것으로, 실제로 과거 가뭄이 극심했던 '76, '77, '87, '88, '94,

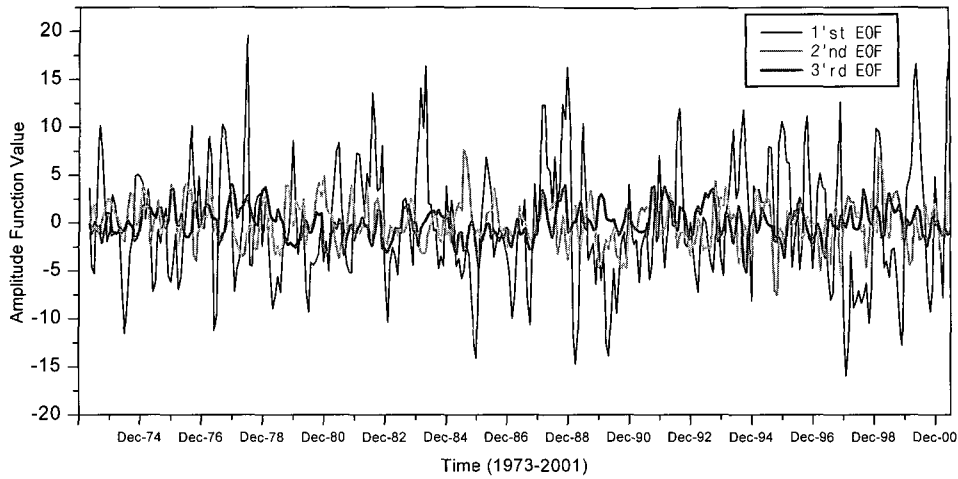


Fig. 9. Amplitude Functions based on SPI for the period 1973~2001

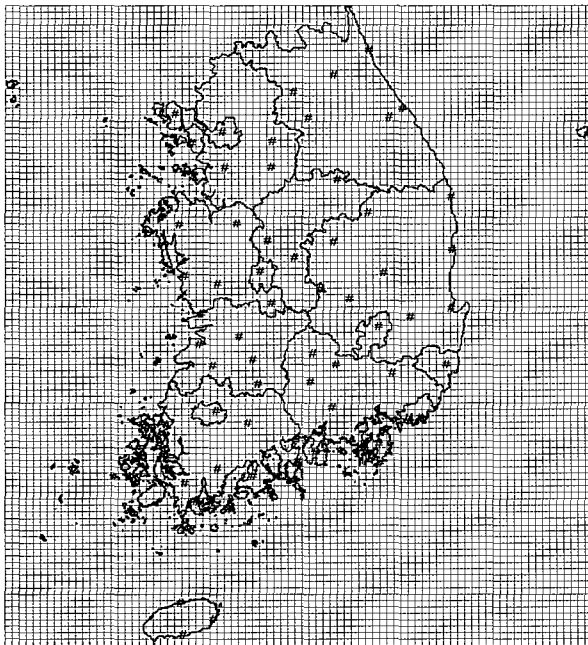


Fig. 10. Divided map by 10,000(100×100) grid cells

'95, '01년에는 약 10.0 이상의 값을 가지고 있어 실제 가뭄사상과 비교적 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 확장 SPI의 산정

4.1 EOF 자료의 확장

3장에서는 SPI의 EOF 분석결과로부터 가뭄의 시·공간적 특성을 나타내는 EOF 자료를 획득하였다. 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성하기 위하여 획득된 EOF 자료를 공간적으로는 Kriging 기법을, 시간적으로 ARMA 모의를 이용하여 확장하였다. Kriging 기법은 공간상에 분포된 관측망을 통해 얻은 기지의 값과

변동수(semivariograms)를 이용하여 미계측 공간의 값을 추정하는 지형통계학적인 방법으로서 자연과학분야에서는 강수량, 기온, 일광량 등의 기후자료에서부터 관정의 수위정보를 이용한 지하수위의 내삽 값, 수문학적 인자들의 추정 등 다양한 분야에서 응용되어 쓰여지고 있다(de Marsily, 1986).

가뭄심도에 따른 영향면적을 산정하기 위해 대상지역을 Fig. 10과 같이 가로 5.5km 세로 6.0km의 크기를 가지는 10,000개(100×100)의 격자로 나누고, Kriging 기법을 이용하여 59개 관측소에서의 1~59번 EOF 값들을 나누어진 각각의 격자에서의 값으로 확장하였다.

공간적으로 확장되어진 EOF는 10,000(지점수)×59(1~59번 EOF)의 크기를 가지는 행렬U'로 표현할 수 있다.

EOF 시계열의 확장을 위하여, 59개 지점의 EOF 시계열 자료를 ARMA(p, q)모형을 이용하여 각각 500년 기간의 자료(6,000월)를 모의 발생시켰다. Table 3은 원자료와 모의발생시킨 1번~3번 EOF의 통계적 특성 값을 비교한 것이며, Figs. 11~13은 각각 1번~3번 EOF 시계열의 자기상관함수(AutoCorrelation function: ACF)를 나타내는 상관도표이다.

원자료와 모의발생결과를 비교한 결과 두 자료의 평균, 표준편차, 자기상관함수 등 통계적 특성이 비교적 일치하는 것으로 나타났으나, 왜곡도의 경우 ARMA모형을 통한 모의발생과정에서 생겨난 것으로 판단되는 약간의 차이를 보이고 있다. EOF 시계열 자료의 모의 발생으로 EOF 시계열을 의미하는 행렬 V는 345×59의 크기에서 6,000×59의 크기를 가지는 행렬 V'로 표현할 수 있게 된다.

4.2 확장 EOF의 SPI로의 변환

4.1에서 확장되어진 EOF 자료를 이용하여 확장된 SPI를 나타내는 행렬 A'는 다음 Eq. (2)에 의하여 계산할 수 있다.

$$A' = U' \times S' \times V'^T \quad (2)$$

여기서, 각각의 행렬 크기는 $U'(10,000 \times 59)$, $S'(59 \times 59)$,

$V'^T(59 \times 6,000)$ 으로 나타낼 수 있으며, 이때 각각의 EOF의 분산을 나타내는 행렬 S(59×345)의 60열 이후부터는 0(zero)값을 가지므로 S'(59×59)로 나타낼 수 있다. Eq. (2)를 이용하여, 계산된 행렬 A'는 10,000×6,000(지점×시간)의 크기를 가지는 확장 SPI를 의미한다. Table 4는 59개 관측소 지점 중 강릉, 서울, 대구, 제주 4개 지점의 원자료 SPI 시계열과 확장 SPI 시계열 자료를 비교한 것이다.

Table 3. Comparison of original with generated EOF time series

		1'st EOF	2'st EOF	3'st EOF
ARMA (p,q)	P	1	1	1
	q	1	1	1
Mean	historical	0.00002753	-0.00054812	-0.0005713
	generated	-0.00009369	0.00059313	-0.0032271
Standard Deviation	historical	0.053916	0.053912	0.053913
	generated	0.057489	0.056666	0.058456
Skewness	historical	0.29297	0.039248	0.12235
	generated	-0.03185	-0.029038	0.04240
1'st ACF	historical	0.62324	0.54427	0.63998
	generated	0.65891	0.56020	0.66944
2'nd ACF	historical	0.20376	0.13537	0.23035
	generated	0.30076	0.16813	0.30906

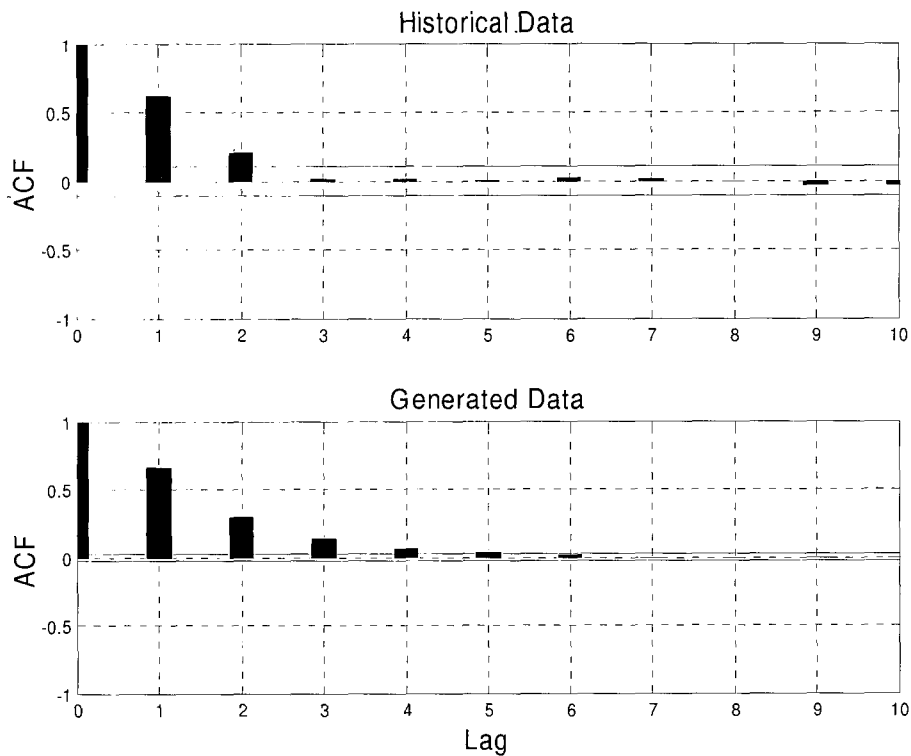


Fig. 11. ACF correlogram of 1'st EOF

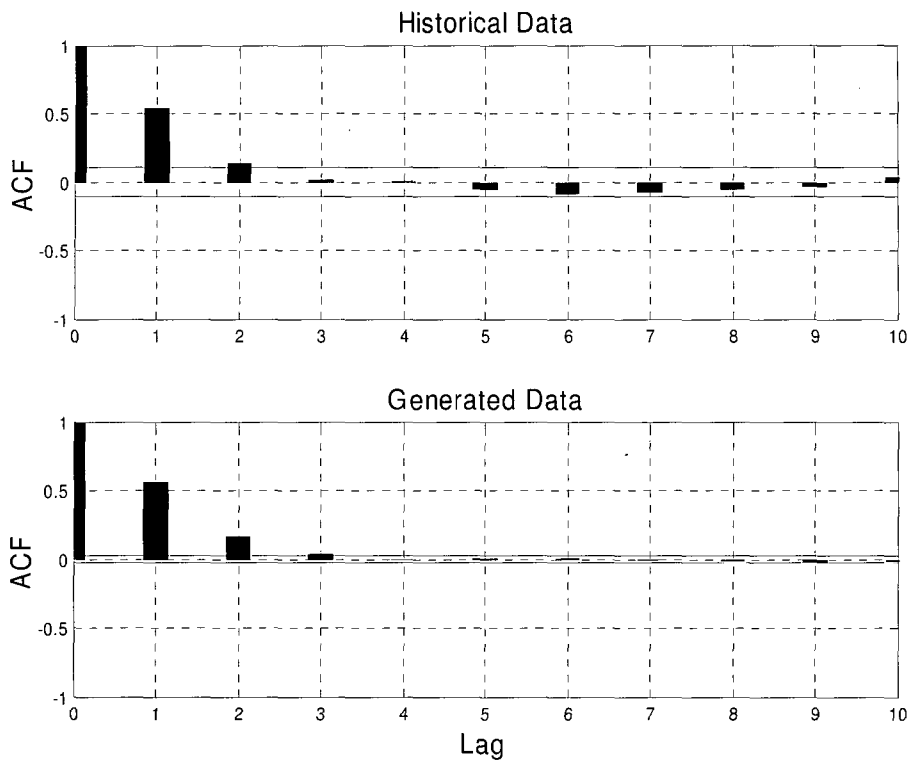


Fig. 12. ACF correlogram of 2'nd EOF

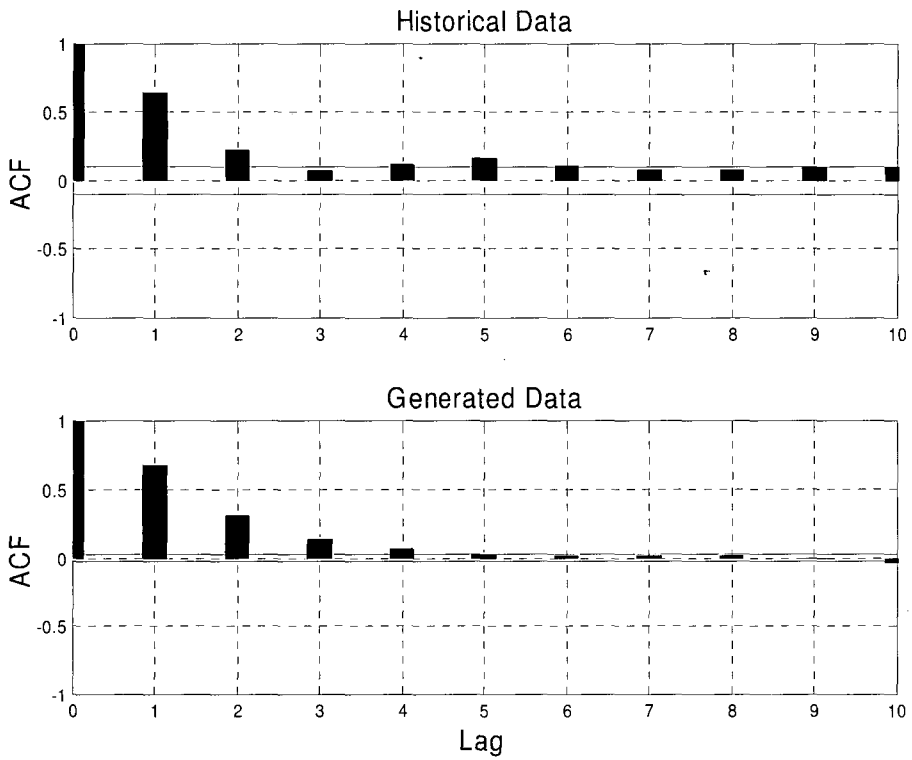


Fig. 13. ACF correlogram of 3'rd EOF

Table 4. Comparison of original with expanded SPI

SPI time series		강릉 (4)	서울 (5)	대구 (16)	제주 (25)
Mean	original	0.003067	0.008814	-0.007939	0.007130
	expanded	-0.022153	0.002009	0.038862	0.035974
Standard Deviation	original	0.99602	0.97722	1.0414	0.9786
	expanded	1.04230	0.96771	0.9854	1.0123
Skewness	original	-0.075771	0.016235	-0.40643	0.000451
	expanded	0.089131	0.069303	0.02967	0.046962
1'st ACF	original	0.60641	0.61246	0.58356	0.63713
	expanded	0.64859	0.65875	0.61675	0.61966

Table 4에서 SPI의 EOF 분석 후 EOF 자료를 공간적, 시간적으로 확장한 후 다시 SPI로 변환한 결과, 원래 SPI와 확장된 SPI의 자료 특성이 유사하게 나타났다. 이는 SPI가 표준정규분포를 이용하여 산정되고 있어, 모의를 통한 복잡한 변환과정에서도 자료의 특성이 크게 변하지 않는 것으로 판단된다.

5. 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선

가뭄심도별 영향면적을 산정하기 위해서는 가뭄심도에 따른 대상지역의 면적현황이 필요하다. 4절에서 산정한 확장 SPI 자료를 이용하여 지속기간별로 가뭄심도-영향면적-생기빈도를 계산할 수 있다. Hisdal과 Tollaksen(2003)의 연구에서도 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성한 것을 찾아볼 수 있으나, 본 연구에서는 본 연구의 특성에 맞게 변형하여 사용하였다. 먼저 확장 SPI 자료의 각 지점에서가뭄심도 0에서 -4.0까지 0.1단위 40단계의 심도별 영향면적을 산정하였다. 또한 가뭄 지속기간(1, 3, 6, 12개월)을 반영하기 위하여, 지속기간동안 해당지점의 가뭄심도가 각 단계에서의 심도 이하일 때의 영향면적을 함께 계산하였다. 즉, 해당 월 t 에 주어진 격자 u_i 에서의 확장 SPI 값을 $\hat{X}(u_i, t)$ 라고 하면, 가뭄심도 Z 에서 영향을 받는 격자는 1 값을, 영향을 받지 않는 격자는 0 값을 주어 가뭄심도별 영향지역을 다음 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_Z(u_i, t) = \begin{cases} 1: \hat{X}(u_i, t) \leq Z \\ 0: \hat{X}(u_i, t) > Z \end{cases} \quad (3)$$

가뭄 지속기간 D에서의 영향면적을 구하기 위해, Eq.(3)의 $I_Z(u_i, t)$ 는 다음 Eq. (4)와 같이 $D_Z(u_i, t)$ 로 표현할 수 있다.

$$D_Z(u_i, t) = \begin{cases} 1: \sum_{t=t-D+1}^t I_Z(u_i, t) = D \\ 0: \sum_{t=t-D+1}^t I_Z(u_i, t) \neq D \end{cases} \quad (4)$$

따라서, n개의 격자로 나누어진 대상지역의 가뭄지속기간별 가뭄심도별 해당 시간 t 에서의 영향면적(격자합계) $A_Z(t)$ 는 다음 Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_Z(t) = \sum_{i=1}^n D_Z(u_i, t) \quad (5)$$

위와 같은 방법으로 지속기간에 따라 가뭄심도별 영향면적을 계산한 후, 각각의 심도에서 년 중 가장 큰 영향면적을 값을 가지는 월의 값을 골라낸 후, 큰 값에서 작은 값의 크기순으로 나열하면 n번째 자료는 500/n 년의 재현빈도를 가지게 된다. Figs. 14~17은 각각 지속기간 1, 3, 6, 12개월의 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 위와 같은 방법으로 작성한 것이다.

작성된 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선은 심도가 깊어짐에 따라 영향면적이 감소하고 있으며, 대체로 선형을 띄고 있다. 또한, 재현빈도가 클수록 심도는 깊어지고 영향면적이 커지며, 지속기간이 클수록 심도는 낮아지고 영향면적도 작아짐을 볼 수 있다. Fig. 14에서 지속기간 1개월의 곡선에서 재현기간 10년 일때 가장 깊은 가뭄심도는 약 -3.25이며, 대상지역의 약 40% 정도가 -2.0의 가뭄심도를 가진다. 이는 재현기간 10년의 가뭄 시 남한지역의 40%정도가 SPI -2.0의 극심한 가뭄을 겪게 되며, 부분적으로는 SPI -3.25까지의 심각한 가뭄이 올 수도 있음을 말해준다. Fig. 18은 실제 2001년 가뭄 상황과 작성된 지속기간 1개월의 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선과 비교한 것이다.

Fig. 18에서 2001년 6월의 가뭄상황이 재현기간 10년 정도에 해당하는 것을 알 수 있으며, 2001년 4월에는

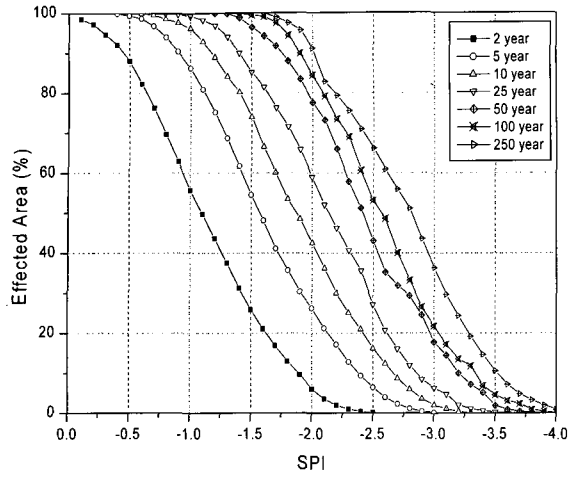


Fig. 14. Severity–Area–Frequency Curve (duration 1 month)

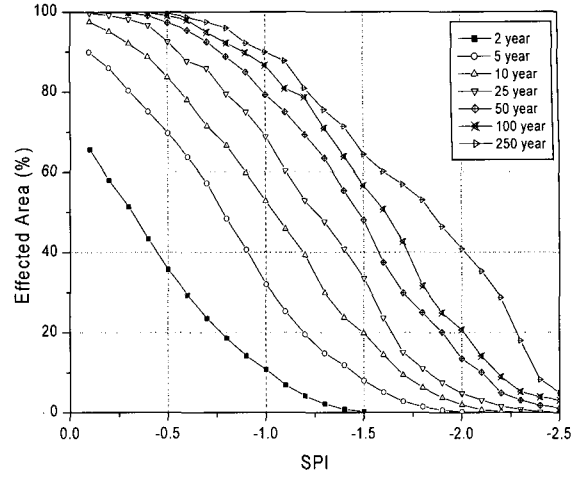


Fig. 15. Severity–Area–Frequency Curve (duration 3 month)

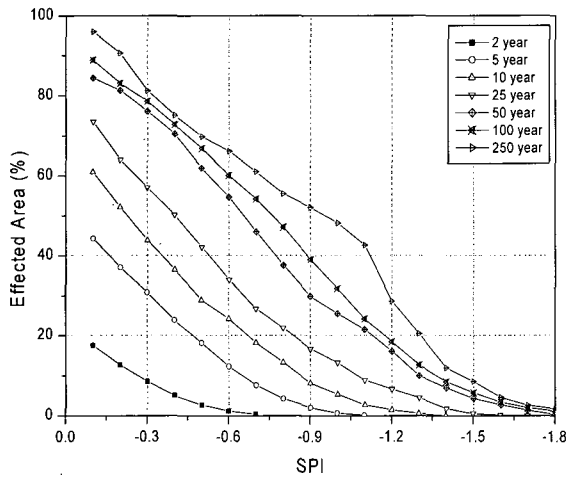


Fig. 16. Severity–Area–Frequency Curve (duration 6 month)

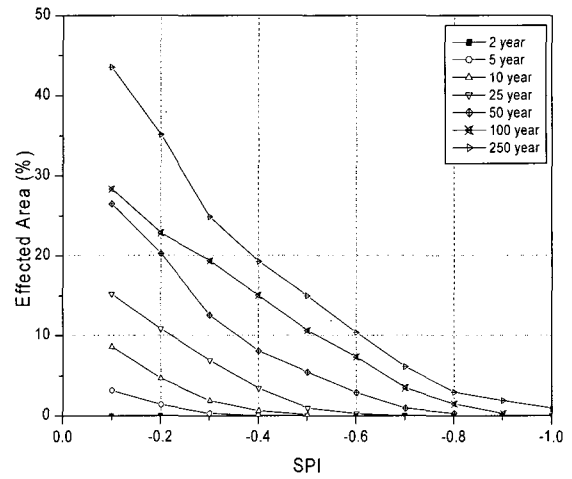


Fig. 17. Severity–Area–Frequency Curve (duration 12 month)

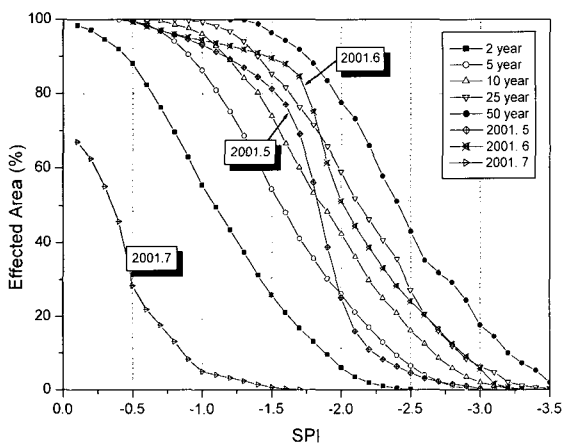


Fig. 18. comparison of real data drought event with simulated data

평년 수준이었던 가뭄이 2001년 5월 재현기간 5년 정도의 가뭄으로 심화되다가, 2001년 6월에는 재현기간 10년 정도의 가뭄으로 발전 2001년 7월에는 해갈 강우로 인하여 다시 평년 수준으로 가뭄으로 약화되는 것을 볼 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 가뭄상황에 따른 피해규모를 산정하기 위하여 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선을 작성하여 제시하였다. 이를 위하여, 기상청 산하 59개 우량관측소의 강우량 자료를 이용하여 SPI를 산정하고, 이를 EOF 분석하여 가뭄의 시·공간적 특성을 살펴보고, EOF 분석된 자료를 공간적으로는 Kriging 기법을,

시간적으로는 ARMA모형을 이용하여 각각 확장하였다. 확장된 자료는 본 연구에서 제시한 방법에 의해 지속기간 1, 3, 6, 12개월의 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선으로 작성되었다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) EOF 분석 결과 우리나라의 가뭄의 공간적 분포 경향은 1~3번 EOF 에 의하여 각각 남부내륙지방에서 해안선쪽으로, 위도에 따라 남부지방에서 북부지방으로, 경도에 따라 서부지역에서 동부지역으로 태백산맥을 중심으로 변화하는 것으로 나타났다.
- (2) SPI의 EOF 분석 결과 자료를 시·공간적으로 확장한 후 다시 SPI로 재변환했을 때, 원자료와 확장된 SPI자료의 통계적 특성이 대체로 잘 맞는 것으로 나타났다.
- (3) 작성된 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선은 심도가 깊어짐에 따라 영향면적이 감소하고 있으며, 대체로 선형을 띄고 있다. 또한, 재현빈도가 클수록 심도는 깊어지고 영향면적이 커지며, 지속기간이 클수록 심도는 낮아지고 영향면적도 작아짐을 알 수 있었다. 또한, 지속기간 1개월의 SAF 분석 결과 10년 빈도의 가뭄시 남한지역의 약 40% 이상이 SPI -2.0의 심각한 가뭄을 겪는 것으로 나타났다.
- (4) 제시된 가뭄심도-영향면적-생기빈도 곡선은 가뭄 발생시 가뭄에 관한 좀더 다각적인 정보를 제공할 수 있어 가뭄상황에 따른 피해규모 예측과 사전대책 마련에 있어 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

김형수, 문장원, 김재형, 김중훈 (2000). "한강유역의 가뭄경향에 관한 연구", **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 33권, pp. 437-446.

신현석, 박무중 (1999). "신경망을 이용한 우리나라의 시공간적 가뭄의 해석", **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 32권, pp.15-29.

유철상, 안재현, 류소라 (2004a). "포아송과정을 이용한 가뭄의 공간분포 분석", **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권 제10호, pp.281-289.

유철상, 전경수, 김기욱 (2004b). "한강유역 강수의 산지효과 추정 -II. EOF분석-", **대한토목학회논문집**,

대한토목학회, 제24권 제1B호, pp. 41-46.

de Marsily, G. (1986). "*Quantitative Hydrogeology*", Academic Press.

George H. Dunteman (1989). "*Principal Components Analysis*", Sage Pubns.

Hege Hisdal, Lena M. Tallaksen (2003). "*Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for denmark*", *Journal of Hydrology* 281, pp. 230-247.

Henriques, A. G., M. J. J. Santos (1999). "*Regional Drought Distribution Model*", *Phys. Chem. Earth(B)*, Vol. 24, No. 1-2, pp. 19-22.

Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L.M. and Demuth, S. (2001). "*Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent?*", *International Journal of Climatology*, 21, pp. 317-333.

Mckee, T. B., Doesken, N. j. and J. Kleist (1993). "*The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints*", 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184.

Palmer, W.C. (1965). "*Meteorological Drought*", Research Paper No. 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.

Santos, M.A. (1983). "*Regional drought: a stochastic characterization*", *Journal of Hydrology*, 66, pp. 183-211.

Sen, Z. (1980). "*Regional drought and flood frequency analysis: theoretical consideration*", *Journal of Hydrology*, 46, pp. 256-279.

Sen, Z. (1998). "*Probabilistic formulation of spatio-temporal drought pattern*", *Theoretical and Applied Climatology*, 61, pp. 197-206.

Shafer, B.A. and L.E. Dezman (1982). "*Development of a Surface Water Supply Index(SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas*", *Proceeding of the Western Snow Conference*, pp. 164-175.

Tomozaju, R., Busuioc, A., Marletto, V., Zinoni, F. and Cacciamini C. (2000). "*Detection of Changes in the Summer Precipitation Time Series of the Region Emilia-Romagna*", Italy, *Theor. Appl. Climatol.*, Vol.67, pp. 193-200.

Wall, Micheael E., Andreas Rechtsteiner, Luis M. Rocha. (2003). "*Singular value decomposition and*

principal component analysis”, in A Practical Approach to Microarray Data Analysis, D. P. Berrar, W. Dubitzky, M. Granzow, eds. pp. 91-109.
Yoo, C. and Kim, S. (2004). “*EOF Analysis of*

surface soil moisture field variability”, *Advances in Water Resources*, 27, pp. 831-842.

(논문번호:05-69/접수:2005.05.17/심사완료:2006.07.20)