

수정 표준강수지수의 제안 및 적용

A Modified Standardized Precipitation Index (MSPI) and Its Application

류 소 라* / 유 철 상**

Ryoo, Sora · Yoo, Chulsang

Abstract

This study proposes a modified standardized precipitation index (MSPI) which was developed to make up for the weakness of the SPI. Both MSPI and SPI are applied to the monthly rainfall at the Seoul station for the drought analysis. The MSPI proposed is nothing but the SPI for the normalized monthly rainfall, that is, an extra step for normalizing the monthly rainfall is included before driving the SPI. Thus, the MSPI has a structure to transfer the relative amount of rainfall to the next months, but the SPI the absolute amount of rainfall. The monthly rainfall data at the Seoul station used in this study are those collected from 1777 to 1996. The rainfall data collected before and after the long dry period around 1900 were also analyzed separately for the comparison. The results derived are as follows: (1) The MSPI was found to be more practical compared to the SPI. This was assured by comparing the analysis results of the data including and excluding the long dry period around 1900. (2) The MSPI is found to be less sensitive than the SPI to the extreme rainfall events. For the MSPI, the occurrence probabilities of moderate drought before and after the long dry period are similar, but those for the extreme drought becomes slightly decreased after the long dry period (from about 18 years of return period before the long dry period to the 16 years after the long dry period). However, the duration becomes longer after the long dry period (the duration for the extreme drought has been increased from 2 to 2.5 months after the long dry period). This results can also be compared with a rather unreasonable result derived by applying the SPI (for the extreme drought the return period has been decreased to be from 25 to 10 years after the long dry period, on the other hand the duration has been increased from 1.5 months to 3.5 months). So, we may conclude that the MSPI is more practical for the drought analysis than the SPI.

Keywords : Standardized Precipitation Index, MSPI, Drought, Return Period, Duration, Poisson Process

요 지

본 연구에서는 SPI의 문제점을 보완하는 측면에서 수정 SPI (MSPI)를 제안하고, 이를 서울지점의 가뭄분석에 적용하여 비교하였다. MSPI는 강수량을 이동평균하기 전에 정규화하는 과정을 추가하는 경우로 SPI가 강수의 절대량을 이월하는 반면 MSPI는 강수의 상대량을 이월하는 형태를 가지게 된다. 서울지점 월강수량자료는 1777년~1996년까지의 것으로 각각 전체자료 및 1900년을 전후로 한 장기건조기의 전반부 및 후반부를 따로 분석하여 비교될 수 있도록 하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) MSPI가 SPI에 비해 보다 현실적인 결과를 준다. 이는 1900년도 전후로의 장기건조기가 포함된 기록과 포함되지 않은 기록을 분석한 결과의 비교에서 확인되었다. (2) MSPI는 SPI

* 한국수자원공사 수자원연구원 수자원시스템연구소 위촉연구원 (전 고려대학교 환경공학과 석사과정)

** 고려대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 부교수

Asso. Prof., Dept. of Civil and Env. Engr., Korea University, Seoul, 136-701, Korea

(E-mail: envchul@korea.ac.kr)

에 비해 극단적인 강수사상에 덜 민감한 결과를 준다. 장기건조기의 전반부 및 후반부에 대해 MSPI를 적용한 결과를 비교하면 가뭄의 발생가능성은 보통 가뭄의 경우는 대체로 비슷하나 아주 심한 가뭄의 경우는 약간 줄어들었음을 파악할 수 있다(재현기간 약 18년에서 16년으로). 그러나 가뭄 발생시 그 지속기간은 전반부에 비해 후반부가 길게 나타나고 있다(아주 심한 가뭄의 경우 약 2개월에서 2.5개월로). 이러한 결과는 상대적으로 극단적인 결과로 나타내는 SPI(아주 심한 가뭄의 경우 재현기간은 약 25년에서 10년으로, 지속기간은 1.5개월에서 3.5개월로)에 비해 보다 현실적이라고 판단할 수 있다.

핵심용어 : 표준강수지수, 수정표준강수지수, 가뭄, 재현특성, 지속특성

1. 서론

가뭄의 해석에 있어 일반적으로 가뭄지수가 도입되어 이용된다. 가뭄지수가 도입되는 이유는 강수 및 기타 기상인자의 계절성을 고려해 주는 측면도 있지만 가뭄의 특성상 현재의 기상상태뿐만 아니라 가까운 과거의 기상상태도 현재의 가뭄상황을 설명하는데 필요하기 때문이다. 이러한 이유로 농업가뭄의 경우는 과거 3개월간의 기상상황이, 수문학적 가뭄의 경우는 이보다 긴 과거 9 - 12개월간의 기상상황이 고려되는 것이다. 이는 가뭄의 정의가 분야에 따라 다르게 나타나는 이유이기도 하다. 일반적으로 수문학적 가뭄은 가용수자원의 정도를 고려하는 가뭄이며, 농업가뭄의 토양수분의 상태를 고려하는 가뭄이고, 기상학적 가뭄은 주로 강수량만을 고려하는 가뭄이라고 할 수 있다. 수문학적 가뭄지수로는 SWSI(Surface Water Supply Index; Shafer and Dezman, 1982)가 대표적이다. 반면에 기상학적 가뭄지수는 팔머가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index; Palmer, 1965)가 대표적이며, 물수지방정식의 수요와 공급의 개념에 근거한 방법이다(Alley, 1984). 이외에도 표준강수지수(Standardized Precipitation Index; 이하 SPI라 부름; McKee et al., 1993), 정상강우백분율(Percent of Normal Precipitation; Guttman, 1999), 십진분류(Deciles) 등 여러 가지가 있다. 이들 중에서 SPI는 그 방법이 간단하며 제약조건이 적어 기상학적 가뭄해석에 가장 많이 쓰이고 있는 추세이다.

McKee et al.(1993)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, 토양 함유 수분, 하천 유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 것으로부터 SPI를 개발하였다. SPI는 특정한 시간에 대한 즉, 계산 시간단위를 3, 6, 9, 12 개월 등과 같이 설정하고 시간단위별로 강수 부족량을 산정하여 개개의 용수공급원이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 것이다. 이렇게 특정 시간단위로 산정된 SPI는 각 시간단위에 따라 여러 관심에 따른 분야에 사용될

수 있다. 예를 들면, 단기간의 시간축척은 농업적 관심에 사용될 수 있으며, 비교적 장기간의 시간축척은 수자원공급관리 등에 사용될 수 있다.

이와 같이 물의 공급 가능량을 초과하여 물 수요로부터 야기된 가뭄의 영향은 위에서 언급한 용수 공급원 중 하나 혹은 그 이상의 요소에서부터 시작되며, 강수가 시작되어 물을 이용할 수 있을 때까지의 기간은 요소에 따라 크게 다르다. 그러므로 물 부족의 영향은 가용 수자원과 물 이용량의 복잡한 함수로 나타나게 되며, 강수 부족이 지속되는 시간단위는 매우 중요하고 이 시간단위에 의해서 가뭄의 양상이 분리될 수 있다.

SPI는 강수 부족에 선행적으로 비례하고 강수확률, 누가강수평균백분율 그리고 누가강수 부족량을 고려한다. 이렇게 산정된 SPI는 확률분포형을 도입하였기 때문에 현재의 가뭄뿐만 아니라 가뭄이 끝나기에 필요한 강수의 확률을 결정하는 것을 가능하게 한다(McKee et al., 1993). SPI는 또한 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- (1) SPI는 확률 특성을 가지며 현재 기간의 강수 부족량을 계산하는데 이용될 수 있다.
- (2) SPI에서 이용된 강수는 수개월의 기간에 대한 평균강수의 현재 백분율을 계산하는데 이용될 수 있으며 정규분포를 따르므로 건조기간뿐만 아니라 습윤기간을 감시하는데 이용될 수 있다.
- (3) SPI는 용수 공급원 즉, 적설량, 저수지 저류량, 하천 유출량, 토양수분, 그리고 지하수량 등의 추정에 이용될 수 있다.

그러나, 강수의 절대량을 이월하는 형태인 SPI는 특히 우리나라와 같이 강수의 계절성이 심한 경우 다음과 같은 문제점을 가질 수 있다. 즉, 우기에 발생한 상대적으로 큰 강수량은 대부분 유출손실로 이어져 수자원의 확보에 큰 도움이 되지 못한다. 반면에 건기에 발생한 상대적으로 큰 강수는 유출손실로 바로 연결되지 않고 수자원의 확보에 직접 연결된다. 따라서 동일한 규모의 강수량이라 할지라도 우기나 건기냐에 따라 그 영향이 다르다. 아울러 반대의 경우도 마찬가지이다. 건기에는

상대적으로 작은 규모의 강수가 가뭄을 크게 심화시킬 수 있는 반면 우기의 경우에는 절대적으로 적은 강수가 아니라면 가뭄을 크게 심화시키지 않는다. 이러한 문제는 적용되는 계산단위 또는 시간축척이 어느 정도이냐에 크게 달라질 수 있다. 그러나 강수의 계절성, 특히 저류가능량을 훨씬 초과하여 강수가 발생하는 계절과 이에 현저히 부족한 수준으로 강수가 발생하는 계절성의 문제는 인공적인 저류시설이 충분히 확보되지 않은 상황에서 근본적인 해결책이 되지 못한다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하는 측면에서 수정(Modified) SPI (이하 MSPI라 칭함)을 제안하고자 한다. MSPI는 강수량을 이동평균하기 전에 정규화하는 과정을 추가하는 경우로 SPI가 강수의 절대량을 이월하는 반면 MSPI는 강수의 상대량을 이월하는 형태를 가지게 된다.

본 연구에서는 서울지점 월강수량자료(1777년~1996년)에 대해 SPI 및 MSPI를 적용하여 그 결과를 가뭄의 제현 및 지속특성의 관점에서 비교 평가 하였다. 이동평균은 각각 10개월을 적용하였고 이는 가뭄의 장기특성을 파악하기 위함이다.

2. 서울지점 월 강수량 자료의 특성

본 연구에서는 서울지점의 월 강수량 자료를 이용하여 가뭄의 제현 및 지속특성을 파악하였다. 서울지점의 월 강수량 자료는 조선시대 측우기기록(1777년 이후부터 1907년까지)과 근대 관측기록(1908년 이후)을 포함한다. 월 강수량 자료의 평균 및 표준편차는 표 1에 나

타내었다. 표 1을 통하여 가장 뚜렷하게 살펴볼 수 있는 것은 1900년 전후의 장기 건조기(이하 장기 건조기라 칭함) 이전의 겨울철 강수가 매우 적게 나타난다는 것이다. 이는 측우기를 이용한 조선시대 강우관측이 강설을 제외하고 있기 때문으로, 연평균 강수량의 차이도 주로 이 원인에서 찾을 수 있다. 즉, 겨울철의 강설로 인한 강수량(평균 40 mm/년 정도)과 약 2 mm 이하의 강수량이 측우기 관측에서 제외되는(연평균 35~40 mm 정도) 것을 고려하면 약 75~80 mm 정도가 되고, 이는 대략 측우기 관측기록과 근대 관측기록 사이의 연평균 강수량의 차이로 나타난다(정현숙, 1999).

또 다른 특징으로는 우기인 여름철의 경우 장기 건조기의 전반부가 후반부에 비해 대체로 더 큰 표준편차를 나타내고 있다는 점이다. 이는 우기의 월 강수량 변동이 근대의 경우보다 조선시대에 더 컸음을 나타내는 것이며, 이러한 특성은 연 강수량의 변동에서도 살펴볼 수 있다. 즉, 장기 건조기 이전의 연 강수량은 그 절대량에서 장기 건조기 이후의 연 강수량보다 작으나 그 표준편차는 더 큰 것으로 파악되었다(유철상 등, 2002).

3. SPI와 MSPI의 구축

3.1 SPI의 구축

SPI를 산정하기 위해서는 우선 시간단위별 누가강수 시계열을 구성하여야 하며 이는 이동 누가에 의한 방법으로 월 강수량을 시간단위에 따라 연속적으로 중첩하여 구한다. 즉, 각 월을 기준으로 하여 시간단위별에 해

표 1. 서울지점 월강수량 자료의 평균(mm) 및 표준편차(mm)

월	전체 (1777-1996)		전반부 (1777-1879)		후반부 (1911-1996)	
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
1	12.5	18.1	5.5	11.3	23.2	21.9
2	14.6	20.8	9.9	18.5	23.5	23.4
3	37.5	38.2	35.2	38.8	48.6	40.1
4	70.4	50.7	66.7	46.2	79.1	59.1
5	84.2	53.8	83.6	52.6	89.6	50.5
6	134.6	101.3	133.4	85.8	143.9	115.0
7	353.7	211.5	366.6	226.3	372.2	204.6
8	262.8	165.9	280.5	180.6	265.4	166.5
9	128.4	110.0	125.1	118.4	143.0	110.3
10	46.3	39.5	48.8	43.7	49.6	38.4
11	39.6	28.3	38.6	27.5	46.5	30.4
12	19.8	20.7	16.7	20.9	26.7	19.9
년	1219.3	370.5	1246.6	386.8	1304.9	330.4

당하는 누가강수 시계열을 산정하게 되며 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동 평균 강수계열을 획득하면 된다.

지속시간별 시계열이 구성되면 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 산정하고 산정된 적정 확률분포형을 이용하여 개개 변량의 누가확률을 산정한 후, 표준정규분포에 적용시켜 SPI를 산정하게 된다. 예를 들면, 적정 확률분포에 해당하는 누가확률을 P_1 이라고 하면 표준정규분포의 누가확률 P_2 가 P_1 과 같게 되는 Z값을 구할 수 있고, 이 값이 바로 SPI가 된다. SPI는 이론적으로 한계값이 없으며, 값 자체에 발생 빈도의 개념을 내포하고 있다. 따라서 사용되는 관측 자료의 크기에 따라 하한치 및 상한치 확률 조건을 줌으로서 임의의 변량에 해당하는 확률이 하한치 및 상한치 확률보다 작거나 클 경우 그 값은 하한치 및 상한치 확률 값에 해당하는 SPI로 산정된다. McKee et al.(1993)은 SPI의 결과로부터 얻은 가뭄 심도를 정의하기 위하여 표 2와 같은 분류체계를 이용하였다.

표 2. SPI에 의한 수분 상태의 분류

가뭄지수의 범위	수분 상태
2.00 이상	Extremely Wet
1.50 ~ 1.99	Very Wet
1.00 ~ 1.49	Moderately Wet
-0.99 ~ 0.99	Near Normal
-1.49 ~ -1.00	Moderately Dry
-1.99 ~ -1.50	Severe Dry
-2.00 이하	Extremely Dry

류재희(2000)에서는 누가길이 10개월에 해당하는 SPI가 다른 가뭄지수(PDSI, SWSI)와 가장 큰 상관성을 보이는 등 가장 적절한 값으로 판단하였다. 본 연구에서도 누가길이 10개월에 해당하는 SPI를 산정하여 자료를 구축하도록 하였다.

먼저 서울지점 월 강수량 자료(원자료)를 이용하여 누가길이 10개월의 누가강수 시계열을 산정한다. 그런 다음에 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동평균 강수계 자료에 대한 적정 확률분포형을 선정한다. Guttman(1999)에 의하면 SPI를 산정하기 위한 이동평균 강수 시계열의 적정 확률분포형은 Pearson

Type-III분포이며, 유원희(2000)도 기타 다른 확률분포형을 시계열의 적정 확률분포형이라 가정했을 때와 적정 확률분포형을 Pearson Type-III분포로 했을 때의 결과는 큰 차이를 보이지 않는다고 보고한 바 있다. 즉, 적정 확률분포형의 차이에 있어 가뭄의 심도나 변화의 양상이 커다란 차이를 보이지 않으므로 본 연구에서는 이동평균 시계열의 적정 확률분포형을 Pearson Type-III분포로 결정하였다. Pearson Type-III분포는 3개의 매개변수를 가지고 있으며, 이로 인하여 3변수 Gamma 분포라고도 불리우며, 연 최대치 홍수량, 저류량, 연유출량, 계절별 유출량 등 수문자료의 해석에 널리 사용되어 오고 있다.

Pearson Type-III분포는 식 (1)과 같고 누가확률분포는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$f(x) = \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right) \quad (1)$$

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{a}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-x_0}{a}\right) dx \quad (2)$$

여기서, a 는 규모 매개변수(scale parameter), β 는 형상 매개변수(shape parameter), x_0 는 위치 매개변수(location parameter)이다. a 가 양수일 때는 $x_0 \leq x < \infty$ 이고, a 가 음수일 때는 $-\infty < x \leq x_0$ 이며, $\beta > 0$ 이다. 각 매개변수는 Moment 법을 사용하여 추정하였다. 표 3은 지속기간 10개월에 해당하는 각 월별로 추정된 매개변수를 나타낸 것이며, 추정된 매개변수를 이용하여 적정분포로 선정된 Pearson Type-III분포의 적합도 검정을 실시한 결과는 표 4와 같다.

표 4를 보면 전체자료 및 건조기 전·후반부의 모든 월에서의 적합도 검정결과는 Pearson Type-III분포가 적정분포임을 알 수 있다. 따라서 적정분포형을 Pearson Type-III 분포로 결정한 것은 타당성이 있다고 판단된다.

표 3에서 추정된 각 월의 매개변수를 이용하여 각 월의 확률분포함수를 결정할 수 있으며 결정된 확률분포함수에서 누가확률을 산정할 수 있게 된다. 이렇게 산정된 누가확률의 값과 표준정규분포의 누가확률값이 같아지는 값을 찾아 표준정규분포의 변수(X)값을 읽으면 그 값이 누가기간 10개월에 해당하는 SPI가 되는 것이다. 이 방법으로 구하여진 SPI는 그림 1에 나타내었다.

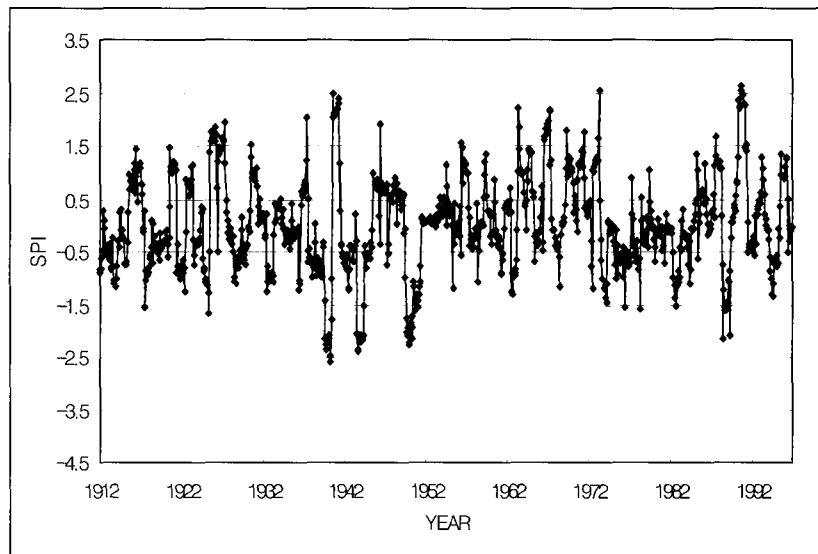
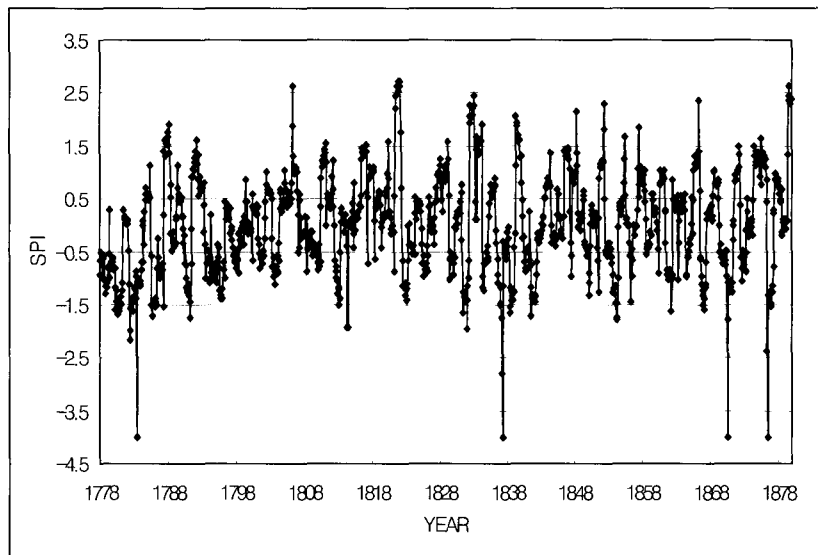
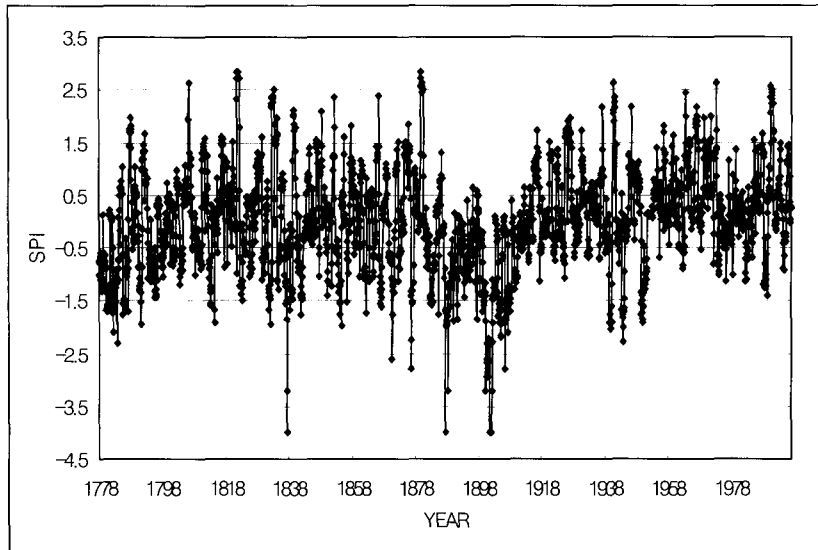


그림 1. 지속기간 10개월의 SPI
(위로부터: 전체, 전반기, 후반기)

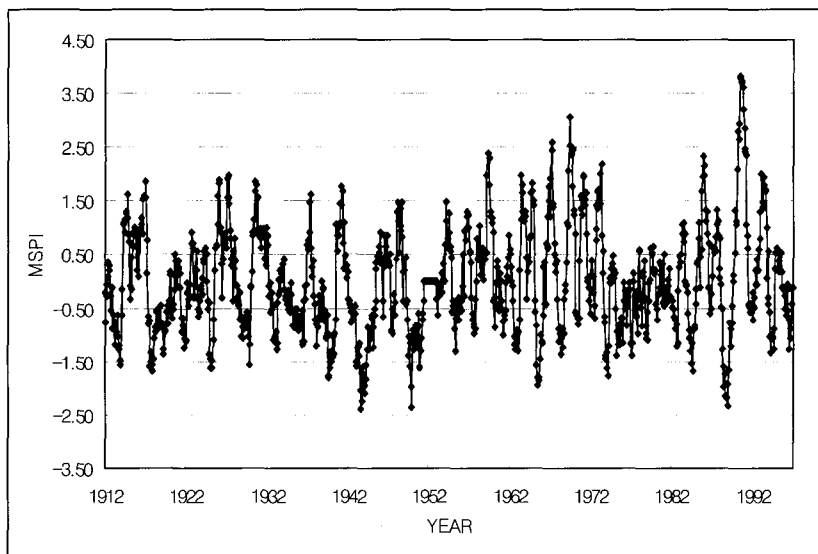
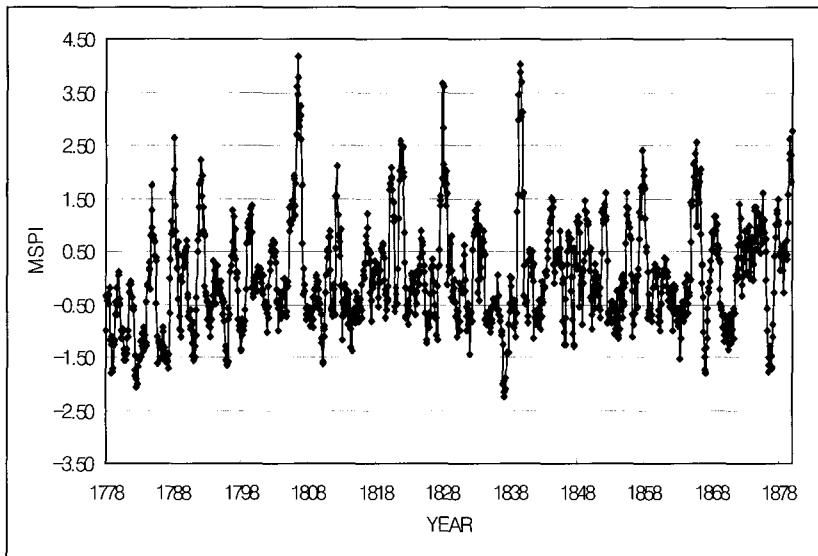
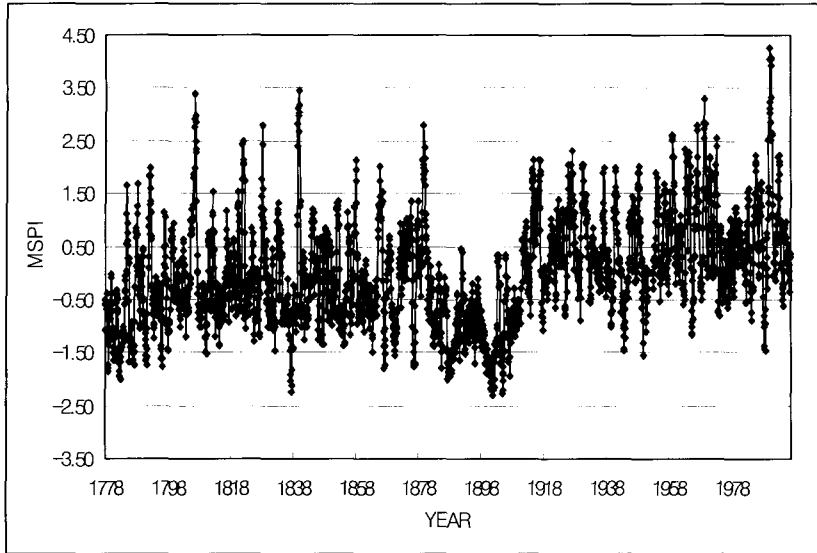


그림 2. 지속기간 10개월의 MSPI
(위로부터: 전체, 전반기, 후반기)

표 3. 월별 Pearson Type-III 분포형의 매개변수

월	전체(1778-1996)			전반부(1778-1879)			후반부(1912-1996)		
	α	β	x_0	α	β	x_0	α	β	x_0
1	13.0	8.0	11.3	14.5	7.0	14.1	7.8	18.9	-24.4
2	13.1	7.6	10.4	14.2	7.0	10.6	9.1	13.6	-4.9
3	13.7	6.7	13.1	16.0	5.2	21.4	9.9	11.1	4.8
4	13.9	6.2	11.7	14.4	6.2	8.7	11.0	8.5	15.0
5	7.8	9.5	-2.3	8.0	10.1	-9.3	7.6	9.0	11.3
6	8.5	5.6	11.0	10.5	3.6	18.8	8.9	4.8	24.8
7	13.2	4.4	23.5	17.0	2.6	35.7	9.9	8.1	10.8
8	13.0	7.0	12.7	19.2	3.8	30.1	3.5	81.0	-169.0
9	13.2	7.7	9.6	17.2	5.3	21.0	7.7	20.3	-35.3
10	13.3	7.7	12.7	17.2	5.4	23.5	7.8	19.9	-31.0
11	12.8	8.5	9.3	16.6	5.9	21.8	7.5	21.4	-35.0
12	12.5	8.8	8.0	16.8	5.8	22.8	6.7	26.7	-50.8

표 4. 월별 K-S 검정결과

월	전체 (1777-1996)			전반부 (1777-1879)			후반부 (1911-1996)		
	$\max F(x) - S(x) $	유의 수준 5%	비고	$\max F(x) - S(x) $	유의 수준 5%	비고	$\max F(x) - S(x) $	유의 수준 5%	비고
1	0.037	o.k	$D_n^a = 0.092$ n=220	0.059	o.k	$D_n^a = 0.134$ n=103	0.069	o.k	$D_n^a = 0.144$ n=86
2	0.039	o.k		0.057	o.k		0.064	o.k	
3	0.038	o.k		0.040	o.k		0.082	o.k	
4	0.032	o.k		0.035	o.k		0.078	o.k	
5	0.053	o.k		0.050	o.k		0.111	o.k	
6	0.059	o.k		0.090	o.k		0.088	o.k	
7	0.047	o.k		0.092	o.k		0.065	o.k	
8	0.032	o.k		0.055	o.k		0.084	o.k	
9	0.045	o.k		0.044	o.k		0.083	o.k	
10	0.043	o.k		0.042	o.k		0.079	o.k	
11	0.047	o.k		0.044	o.k		0.072	o.k	
12	0.043	o.k		0.046	o.k		0.082	o.k	

3.2 MSPI의 구축

MSPI의 구축은 SPI의 경우와 거의 유사하다. 단지 이동평균을 수행하기 전에 정규화를 먼저 수행하는 과정이 추가될 뿐이다. 정규화 과정을 먼저 수행하기 때문에 이동평균을 적용한 후의 값은 표준편차가 1보다 훨씬 작은 값을 갖게 된다. 따라서 SPI와의 절대적 비교를 위해서는 표준편차를 1로 늘려주는 과정이 필요하다. 이동평균의 길이는 SPI의 경우와 마찬가지로 10개월을 적용 하였다. 그 결과는 그림 2와 같다. 그림 1과

2의 비교에서는 특히 전체자료의 경우에 주목할 필요가 있다. SPI의 경우 장기건조기 전반부와 후반부의 평균 차이가 거의 없어 보이나 MSPI의 경우에는 뚜렷하게 나타난다. 이는 MSPI가 측우기 자료와 근대 강수기록 사이의 차이(표 1 참조)를 반영하여 나타낸 결과로서 이해할 수 있으며, 따라서 SPI에 비해 상대적인 장점이 있다고 판단할 수 있다.

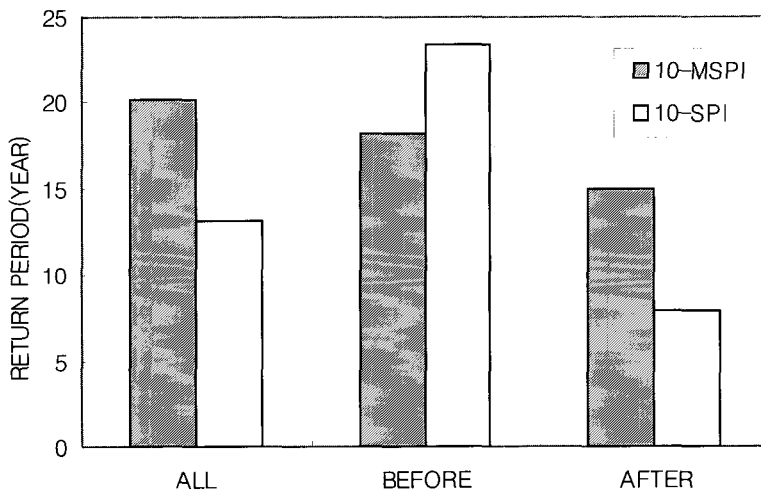
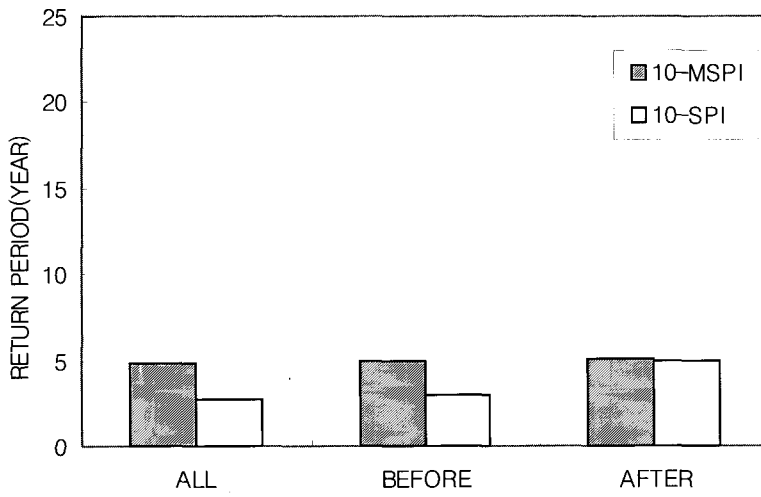
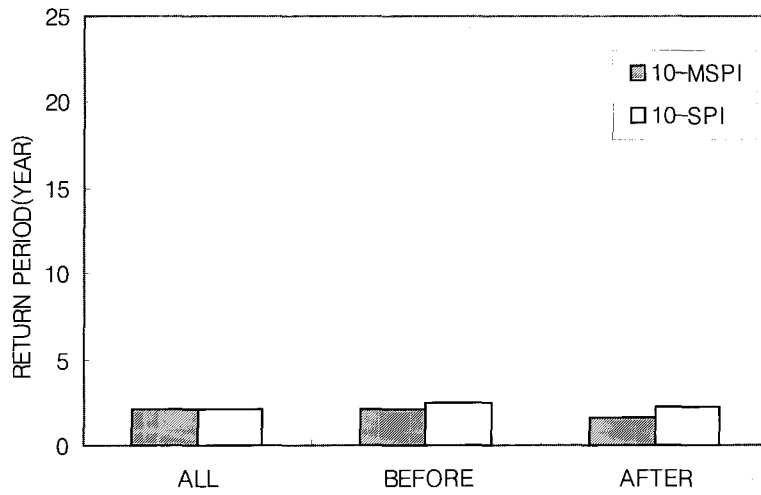


그림 3. 가뭄의 평균 재현기간
(위로부터: 보통가뭄, 심한가뭄, 아주심한가뭄)

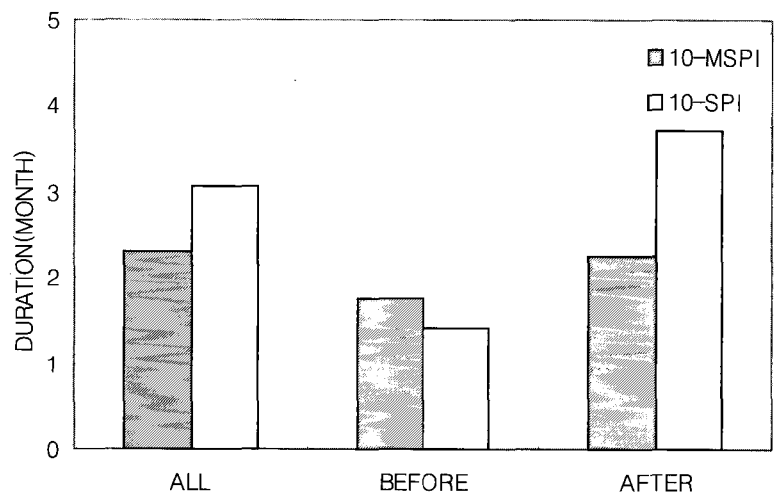
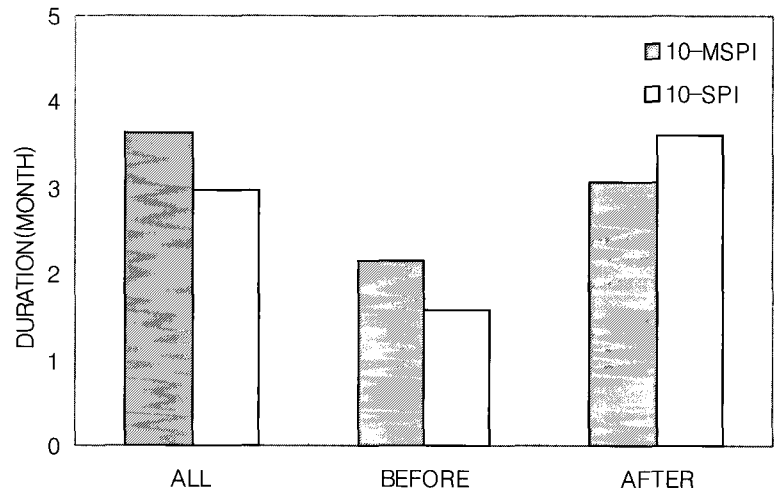
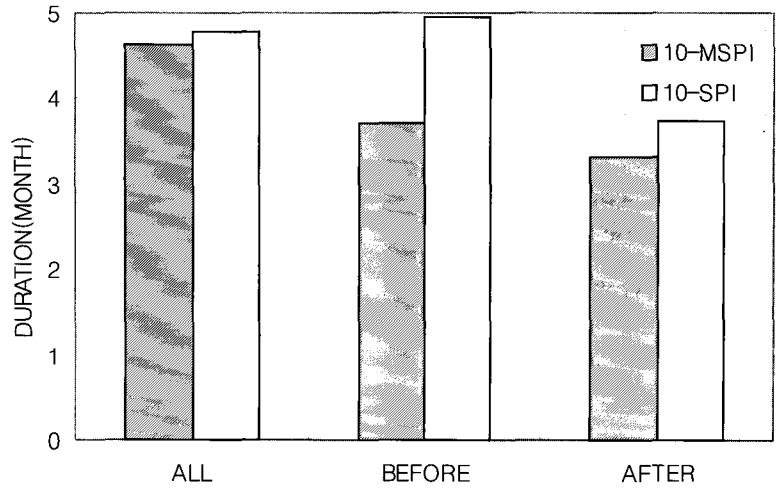


그림 4. 가뭄의 평균 지속기간
(위로부터: 보통가뭄, 심한가뭄, 아주심한가뭄)

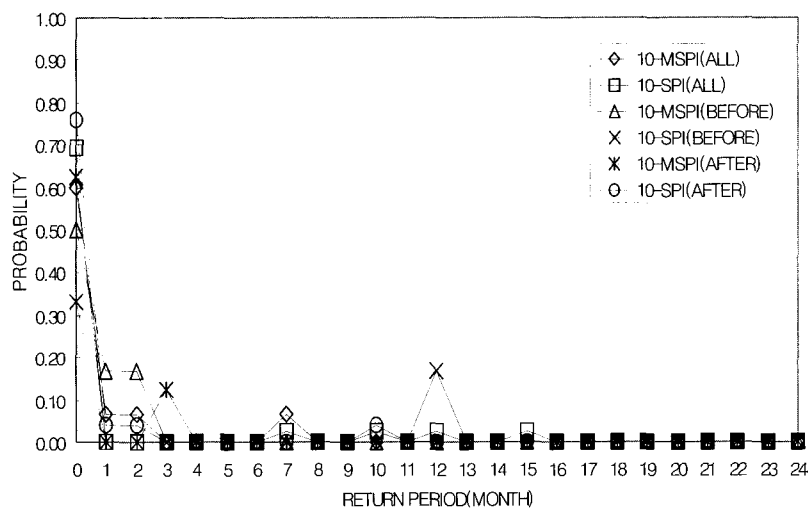
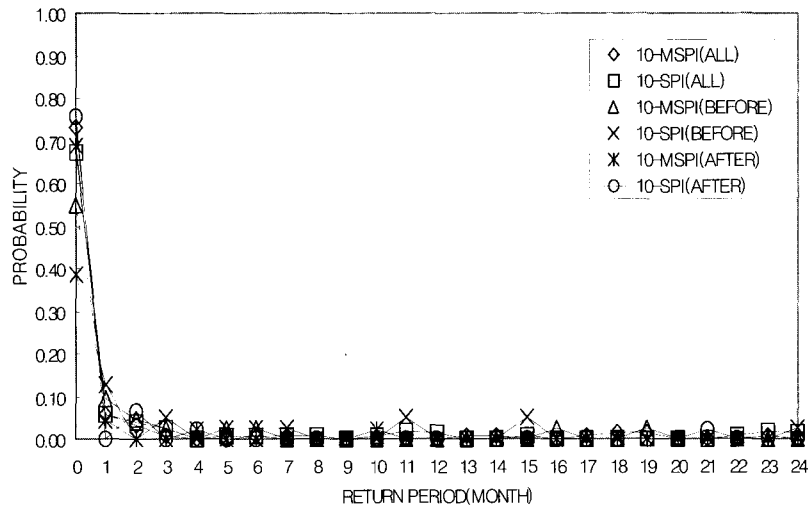
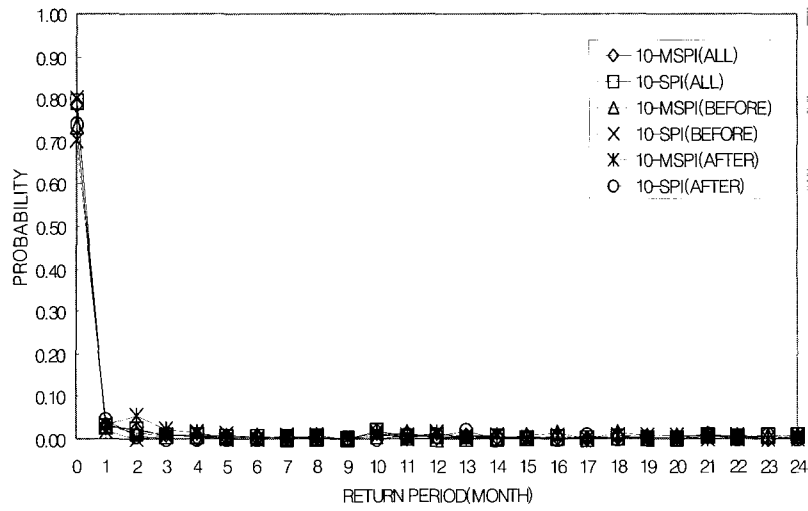


그림 5. 가뭄의 재현기간 별 발생확률
(위로부터: 보통가뭄, 심한가뭄, 아주심한가뭄)

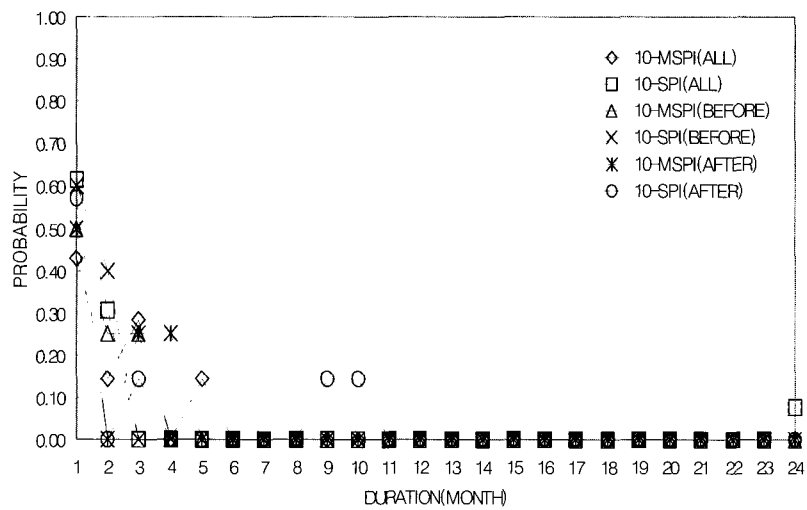
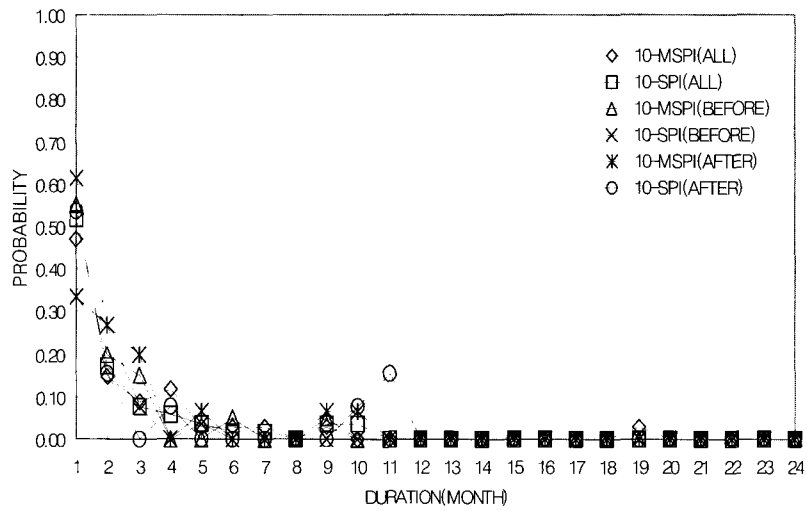
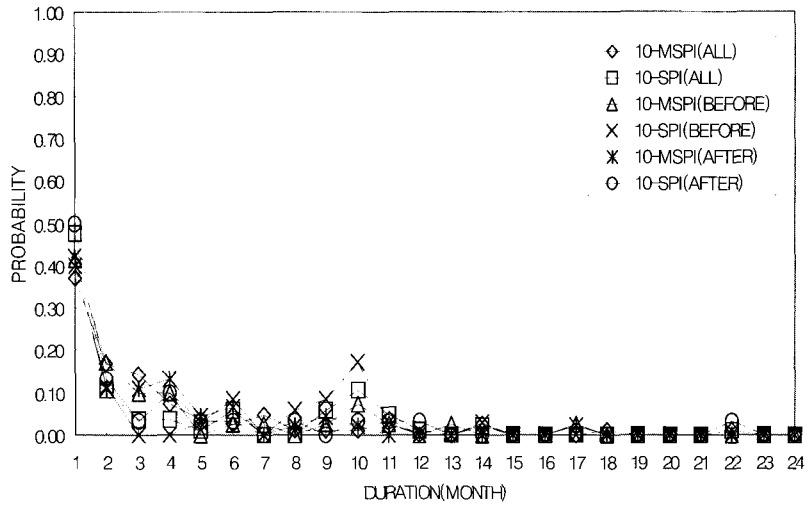


그림 6. 가뭄의 지속기간 별 발생확률
(위로부터: 보통가뭄, 심한가뭄, 아주심한가뭄)

4. 가뭄의 재현 및 지속특성 비교

4.1 절단수준 결정

가뭄의 재현 및 지속특성이 어떻게 나타나는지를 다음 3개의 절단수준에 대하여 조사하였다. 선정된 절단수준은 각각 -1.00, -1.50, -2.00이며, SPI의 가뭄지수 범위에서 각각 보통 가뭄, 심한 가뭄, 아주 심한 가뭄을 분류하는 기준이다. 주어진 절단수준 이하로 가뭄지수가 계산되는 월을 각 절단수준에 대한 건조월(또는, 가뭄발생월)로 정의하였다.

4.2 가뭄의 재현 및 지속특성 분석

각 절단수준에 대해 연속된 건조월(건조월이 연속으로 발생하는 경우)의 재현 및 지속기간 별 발생 횟수는

표 5와 같이 나타난다. 이 중 재현기간 “0”개월은 건조월이 발생하고 다음월에도 건조월이 발생하는 경우를 의미하며, 따라서 연속된 건조월의 재현기간에서는 고려되지 않고 건조월 자체의 재현기간에서만 고려된다.

주어진 절단수준에 대하여 연속된 건조월의 평균 재현기간은 재현기간이 “0”개월인 경우는 고려되지 않으므로, 건조월 자체의 평균재현기간에 (재현기간 “0”개월을 포함한 재현기간 별 건조월 발생횟수 총합)/(재현기간 “0”개월을 제외한 재현기간 별 건조월 발생횟수 총합)을 단순히 곱해주면 구할 수 있다(그림 3). 건조월 자체의 평균재현기간은 재현기간 별 발생확률(그림 5)에 각 재현기간을 곱하여 계산할 수 있다. 연속된 건조월의 평균지속기간은 그림 4에 나타내었으며, 이는 연속된 건조월의 지속기간 별 발생확률(그림 6)에 각 지속기간을 곱하여 계산된 값이다.

표 5. 연속된 건조월(가뭄)의 재현기간 및 지속기간 별 발생 횟수 (SPI 및 MSPI적용)
(SPI 적용)

(월)	재현기간 별 발생횟수									지속기간 별 발생횟수								
	(1777-1996)			(1777-1879)			(1911-1996)			(1777-1996)			(1777-1879)			(1911-1996)		
	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0
0	317	103	27	138	15	2	82	34	19									
1	12	9	0	3	5	0	5	0	1	40	27	8	14	16	3	15	7	4
2	9	6	0	0	0	0	1	3	1	9	9	4	4	7	2	4	2	0
3	3	4	0	1	2	0	0	0	0	3	4	0	0	2	0	1	0	1
4	3	0	0	2	0	0	0	1	0	3	3	0	0	0	0	3	1	0
5	2	1	0	2	1	0	0	0	0	1	2	0	1	1	0	1	0	0
6	1	1	0	0	1	0	0	0	0	5	1	0	3	0	0	1	0	0
7	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	3	0	0	0	0	1
10	7	1	1	1	0	0	0	0	1	9	2	0	6	0	0	1	1	1
11	1	3	0	1	2	0	1	0	0	4	0	0	1	0	0	1	2	0
12	3	2	1	2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
13	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	3	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
23	3	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
24+	24	14	8	15	9	3	16	6	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0
계	400	154	39	172	40	6	111	46	25	84	52	13	35	26	5	30	13	7

(MSPI 적용)

(월)	재현기간 별 발생횟수									지속기간 별 발생횟수								
	(1777-1996)			(1777-1879)			(1911-1996)			(1777-1996)			(1777-1879)			(1911-1996)		
	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.5	-2.0
0	304	90	9	111	23	3	104	31	5									
1	13	7	1	5	4	1	5	2	0	31	16	3	17	11	2	19	5	2
2	8	4	1	2	2	1	8	0	0	14	5	1	7	4	1	5	4	0
3	4	1	0	1	1	0	3	0	1	12	3	2	4	3	1	5	3	1
4	2	0	0	1	0	0	2	1	0	6	4	0	4	0	0	6	0	1
5	1	0	0	1	1	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	2	1	0
6	2	1	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	1	1	0	3	0	0
7	2	0	1	0	0	0	0	0	0	4	1	0	1	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	1	0
10	7	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	3	0	0	1	1	0
11	3	0	0	2	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0
12	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14	1	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
18	1	2	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	2	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24+	20	12	1	14	8	1	15	10	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0
계	387	123	7	151	42	6	148	45	8	84	34	7	41	20	4	45	15	4

가뭄은 건조월이 한번 또는 그 이상 연속적으로 발생하는 것으로 정의할 수 있다. 이러한 가뭄, 즉 연속된 건조월의 평균 재현기간(그림 3)과 재현기간별 발생확률(그림 5)을 살펴보면, 보통 가뭄(절단수준 -1.0이하)의 경우에는 전체기간뿐만 아니라 장기건조기 전반부와 후반부 각각에 대해서도 MSPI와 SPI가 거의 일치하는 결과를 보이고 있다. 또한 심한 가뭄(절단수준 -1.5이하)의 경우에도 비교적 비슷한 결과를 보이고 있으며, 특히 건조기 후반부의 경우에는 두 자료의 결과가 거의 일치한다. 그러나 아주 심한 가뭄(절단수준 -2.0이하)의 경우에는 MSPI와 SPI는 서로 다른 결과를 보인다. 이러한 결과는 기본적으로 절대량을 이월하느냐와 상대량을 이월하느냐의 차이이기도 하다. 즉, 상대량을 이월하는 경우가 절대량을 이월하는 경우에 비해 극단적인 강

수사상에 덜 민감한 반응을 나타낸다. 따라서 아주 심한 가뭄의 경우 그 SPI와 MSPI의 차이가 더욱 두드러지게 나타나는 것이다.

그러나 MSPI와 SPI중 어느 것이 적절한 것인지를 판단하는 것은 쉽지 않다. 그러나 본 연구의 결과에서는 MSPI의 경우가 보다 적절한 것으로 나타났다. 예를 들어 그림 3의 아주 심한 가뭄의 경우 그 재현기간이 전체의 경우는 약 20년, 장기건조기 전반부의 경우는 약 18년이며 후반부의 경우는 16년 정도이다. 여기서 주목할 것은 전체자료의 경우는 1900년 전후 약 30년간의 건조기를 포함한 자료이며 나머지 두 경우는 이 기간을 제외한 경우라는 것이다. 따라서 전체자료의 경우가 가뭄의 재현기간이 제일 커야하고, 나머지 두 경우는 이보다 작아야 한다. 이러한 결과는 MSPI를 적용하

여 유도되나, SPI를 적용하는 경우에는 나타나지 않는다. 오히려 13, 25, 및 7년과 같은 다소 왜곡된 결과를 나타내 주고 있다. 따라서 MSPI가 SPI에 비해 보다 현실적인 결과를 준다고 판단할 수 있다. 가뭄의 지속기간(그림 4)을 분석한 경우에서도 유사한 결과를 발견할 수 있다.

마지막으로 장기건조기의 전반부 및 후반부에 대해 MSPI를 적용한 결과를 비교하면 가뭄의 발생가능성은 보통 가뭄의 경우는 대체로 비슷하나 아주 심한 가뭄의 경우는 약간 줄어들었음(약 18년에서 16년으로)을 파악할 수 있다. 그러나 가뭄 발생시 그 지속기간은 전반부에 비해 후반부가 길게 나타나고 있으며(아주 심한 가뭄의 경우 약 2개월에서 2.5개월로), 이는 가뭄 발생시 그 피해가 더욱 커질 수 있다는 반증이기도 하다. 이러한 결과는 유사하지만 아주 극단적인 형태로 나타내는 SPI의 결과(아주 심한 가뭄의 경우 재현기간은 약 25년에서 10년으로, 지속기간은 1.5개월에서 3.5개월로)에 비해 보다 현실적이라고 판단할 수 있다. 즉, MSPI는 SPI에 비해 극단적인 강수사상에 덜 민감하게 반응을 파악할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 SPI의 문제점을 보완하는 측면에서 수정 SPI (MSPI)를 제안하고, 이를 서울지점의 가뭄분석에 적용하여 비교하였다. 기본적으로 MSPI는 강수량을 이동평균하기 전에 정규화하는 과정을 추가하는 경우로 SPI가 강수의 절대량을 이월하는 반면 MSPI는 강수의 상대량을 이월하는 형태를 가지게 된다. 이는 강수의 계절성이 심한 우리나라와 같이 강수의 절대량보다 상대량이 더 중요한 의미를 갖는 기후상황에 보다 적절하다. 즉, 우기에 발생한 상대적으로 큰 강수량은 대부분 유출손실로 이어져 수자원의 확보에 큰 도움이 되지 못한다. 반면에 건기에 발생한 상대적으로 큰 강수는 유출손실로 바로 연결되지 않고 수자원의 확보에 직접 연결된다. 따라서 동일한 규모의 강수량이라 할지라도 우기나 건기냐에 따라 그 영향이 다르다.

본 연구의 적용대상인 서울지점 월강수량자료는 1777년~1996년까지의 것으로 각각 전체자료 및 1900년을 전후로 한 장기건조기의 전반부 및 후반부를 따로 분석하여 비교될 수 있도록 하였다. 가뭄의 장기특성을 살펴보기 위해 10개월의 이동평균을 적용하였다.

그 결과를 정리하면 아래와 같다.

- (1) MSPI가 SPI에 비해 보다 현실적인 결과를 준다. 이는 1900년도 전후로의 장기건조기가 포함된 기

록과 포함되지 않은 기록을 분석한 결과의 비교에서 확인되었다.

- (2) MSPI는 SPI에 비해 극단적인 강수사상에 덜 민감한 결과를 준다. 장기건조기의 전반부 및 후반부에 대해 MSPI를 적용한 결과를 비교하면 가뭄의 발생가능성은 보통 가뭄의 경우는 대체로 비슷하나 아주 심한 가뭄의 경우는 약간 줄어들었음(재현기간 약 18년에서 16년으로)을 파악할 수 있다. 그러나 가뭄 발생시 그 지속기간은 전반부에 비해 후반부가 길게 나타나고 있다(아주 심한 가뭄의 경우 약 2개월에서 2.5개월로). 이러한 결과는 유사한 패턴이기는 하나 아주 극단적인 형태로 나타내는 SPI의 결과(아주 심한 가뭄의 경우 재현기간은 약 25년에서 10년으로, 지속기간은 1.5개월에서 3.5개월로)에 비해 보다 현실적이라고 판단할 수 있다.

그러나 현재까지의 결과는 서울지점 자료에 한정된 것으로, 다른 지점의 경우에도 유사한 장점을 나타낼지는 단정하기 어렵다. 따라서, 추후 연구로서 장기간의 기록을 가지고 있는 주요 지점에 대해 적용하고, 그 결과를 평가하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2002-041-D00516)에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- 류재희(2000). 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구, 석사학위논문, 고려대학교.
- 유원희(2000). 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 선정, 석사학위논문, 인하대학교.
- 유철상, 류소라, 김정환(2002). 서울지점 월강수량 자료에 나타난 가뭄의 장기 재현특성, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol. 22, No.3-B, pp. 281-289.
- 정현숙(1999). 서울지역 강수량의 시계열에 나타난 시간 변동성의 해석, 박사학위논문, 서울대학교.
- Alley, W. M.(1984). The Palmer drought severity index: limitations and assumptions, *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, pp. 1100-1109.
- Guttman, N. B.(1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm, *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 35, No. 2, pp. 311-322.

McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J.(1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale, *8th Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, American Meteorological Society, pp. 179-184.

Palmer, W. C.(1965). *Meteorological Drought*. U.S. Weather Bureau Research Paper No. 45, pp. 1-58,

Washington, D.C.

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

(논문번호:03-85/접수:2003.10.08/심사완료:2004.06.21)