

서울지점 가뭄의 재현 및 지속특성 분석

Analysis of Drought Return and Duration Characteristics at Seoul

유 철 상* / 류소라**
Yoo, Chulsang / Ryoo, Sora

Abstract

This study has analyzed the drought return and duration characteristics using the monthly rainfall at Seoul, and compared them with those obtained by applying the Poisson process. The Standardized Precipitation Index (SPI) was used as the drought index along with the 10 month moving average for the rainfall smoothing. The thresholds applied for the analysis of drought were -1.00, -1.50, and -2.00. The drought return and duration characteristics derived from the analysis of observed data show that: (1) The moderate drought occurs every 2 years and lasts about 4 - 5 months. (2) The severe drought occurs every 3 - 5 years and lasts about 2 - 4 months. (3) The extreme drought occurs every 8 - 23 years and lasts about 1 - 4 months. Especially, the severe droughts (thresholds of -1.5 and -2.0) before the long dry period were found to have longer return periods but shorter durations than those after the long dry period. This seems to be because of the high variability of precipitation as well as the fact that no snowfall has been added for the winter precipitation before the long dry period. Finally, the comparison of results derived from the analysis of observed data and those derived by applying the Poisson process shows that the Poisson process well explain the return and duration characteristics of drought.

Keyword : Standardized Precipitation Index, Drought, Return, Duration, Poisson process

요 지

본 연구에서는 서울지점 월강수량 자료에 나타난 가뭄의 재현 및 지속특성을 관측자료의 분석하고, 아울러 포아송 과정을 적용하여 비교하였다. 가뭄을 나타내는 지수로서 표준강수지수(SPI)를 이용하였으며, 10개월의 지속기간을 적용하였다. 관측자료의 분석을 위한 절단수준으로는 -1.00, -1.50, -2.00을 적용하였다. 관측자료의 분석을 통해서 나타난 서울지점 가뭄의 재현 및 지속특성은, 먼저, 보통 가뭄은 대략 2년에 한번 발생하며, 평균 지속기간은 4~5개월 정도이다. 심한 가뭄은 대략 3~5년 정도에 한번 발생하며, 평균 지속기간은 대략 2~4개월 정도로 나타났다. 아주 심한 가뭄의 경우에는 8~23년에 한번 발생하며, 그 평균 지속기간은 1~4개월 정도이다. 특히, 심한가뭄의 경우(절단수준 -1.5 및 -2.0 기준)에는 장기 건조기 전반부가 후반부에 비하여 그 재현기간이 매우 크게 나

* 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 부교수
Asso. Prof., Dept. of Civil and Env. Engr., Korea University, Seoul, 136-701, Korea
(E-mail: envchul@korea.ac.kr)

** 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부 위촉연구원

타났으며, 반대로 지속기간은 매우 짧았던 것으로 나타났다. 이는 기본적으로 장기건조기 전반부에 강수 자체의 변동성이 더 컸다는 데서 그 원인을 찾을 수 있으며, 여기에 겨울철 강설량이 포함되지 않은 강수량을 사용한 것도 한 원인으로 작용한 것으로 판단된다. 마지막으로, 관측치에 나타난 결과와 포아송 과정을 적용한 결과를 비교해 본 결과 포아송 과정이 가뭄의 재현 및 지속특성을 잘 설명하고 있음을 파악할 수 있었다.

핵심용어 : 표준강수지수, 가뭄, 재현특성, 지속특성, 포아송 과정

1. 서 론

가뭄은 홍수와 더불어 강수와 관련된 가장 큰 자연 재해의 하나이다. 가뭄은 물과 관련된 각 분야의 특성에 따라 여러 가지로 분류되며, 주로 강수의 정도를 고려하는 기상학적인 가뭄이 대표적이다. 그러나, 농업분야에서는 토양수분의 정도를 중요하게 고려하고(농업적 가뭄), 수자원분야에서는 공급 가능한 가용수량의 정도를 중요하게 고려한다(수문학적 가뭄). 아울러, 이러한 경우를 모두 포함하여 수요 및 공급의 차원에서 물을 고려하는 사회경제적 가뭄 등이 있다(이재수, 2000).

이러한 가뭄의 해석에는 RUN의 개념(Yevjevich, 1967)을 이용하는 경우가 일반적이다. 즉 주어진 절단수준(truncation level)에 대해 가뭄의 지속기간, 가뭄의 심도, 가뭄의 발생간격 등을 정의한 후 이를 시계열 분석하여 그 특성을 찾아보고자 하는 것이다(Chang, 1991; Wang and Salas, 1989). 최근의 연구에서는 마코프 연쇄(Markov chain)를 적용하는 경우도 찾아볼 수 있으며, 주로 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화 하는데 이용된다(Chang and Kleopa, 1991; Fernandez and Salas, 1999a; 1999b). 유사한 목적으로 Bernoulli 시행 또는 DARMA(Discrete Auto Regressive Moving Average) 모형을 적용시키기도 한다(Chung and Salas, 2000). 최근에는 포아송 과정(Poisson process)을 이용하는 경우도 살펴볼 수 있으며(유철상, 2002), 그 특성은 궁극적으로 마코프 연쇄와 유사하다는 것이 관련 연구에서 밝혀진 바 있다(Rodriguez-Iturbe, 1986; Rodriguez-Iturbe et al., 1987).

그러나, 가뭄의 모형화와 관련하여 언급된 이러한 방법들은 해석 방법에서 약간의 차이를 나타내기는 하나 궁극적으로는 유사한 결과를 주게된다. 가뭄의 여러 측면, 즉 가뭄의 재현, 지속, 평균심도 및 최대심도 등을 함께 고려하여 분석하는데 매우 제한적이다. 기껏해야 가뭄의 2가지 특성정도가 함께 고려될 수 있을 뿐이다. 본 연구에서 적용하고자 하는 포아송 과정의 경우도 마찬가지이다.

본 연구에서는 먼저, 서울지점 월강수량자료(1777~1996년)에 대해 지속기간 10개월을 적용한 표준강수지수(이하 10-SPI라 칭함)를 구축하고, 이를 이용하여 가뭄의 재현 및 지속특성을 파악하고자 하였다. 가뭄의 특성분석은 전체자료뿐만 아니라 1900년을 전후한 장기건조기의 전반부 및 후반부에 대해서도 각각 실시하여 비교가 될 수 있도록 하였다. 이를 통해 측우기 자료의 문제점 및 가뭄 특성의 변화 등도 살펴볼 수 있도록 하였다.

마지막으로, 관측자료의 분석을 통해 파악된 가뭄의 특성을 포아송 과정을 이용하여 재현해 보고, 이를 통해 포아송 과정이 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화하는 데에 효과적인지를 파악해 보았다.

2. 서울지점 월 강수량 자료의 특성

본 연구에서는 서울지점의 월 강수량 자료를 이용하여 가뭄의 재현 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 나타내었다. 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

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 |

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 |

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. 지속기간 10개월의 표준강수지수 구축

본 연구에서는 서울지점 월 강수량자료에 대해 지속기간 10개월의 표준강수지수(10-SPI)를 구축하여 가뭄의 재현 및 지속특성을 분석하였다. 본 연구에서 지속기간 10개월을 선택한 이유는 일반적으로 지속기간 9 - 12개월을 적용하는 경우가 다른 가뭄의 장기적 특성을 잘 나타내는 것으로 알려져 있으며, 특히 10개월의 경우가 다른 가뭄지수인 Palmer 가뭄심도지수(PDSI)나 지표수공급지수(SWSI)와 가장 큰 상관성을 보이는 것으로 나타나고 있기 때문이다(류재희, 2000).

10-SPI의 구축절차는 다음과 같다. 먼저 서울지점 월 강수량 자료(원자료)를 이용하여 이동평균 10개월의 강수 시계열(10-MA)을 작성한다. 다음으로 이렇게 작성된 10-MA 자료에 대해 적정 확률분포형을 선정한다. 각 월에 대해 필요한 매개변수를 결정하면, 각 월의 확률분포함수가 결정되고, 결정된 확률분포함수에서 누가확률을 산정할 수 있게 된다. 이렇게 산정된 누가확률의 값과 표준정규분포의 누가확률값이 같아지는 값을 찾아 표준정규분포의 변수(X)값을 읽으면 그 값이 지속기간 10개월에 해당하는 SPI가 되는 것이다. 이 방법으로 구한 지속기간 10개월에 해당하는 SPI는 그림 1에 나타내었다.

McKee 등(1993)은 SPI로부터 얻은 가뭄 심도를 정의하기 위하여 표 2와 같은 분류체계를 이용하였다.

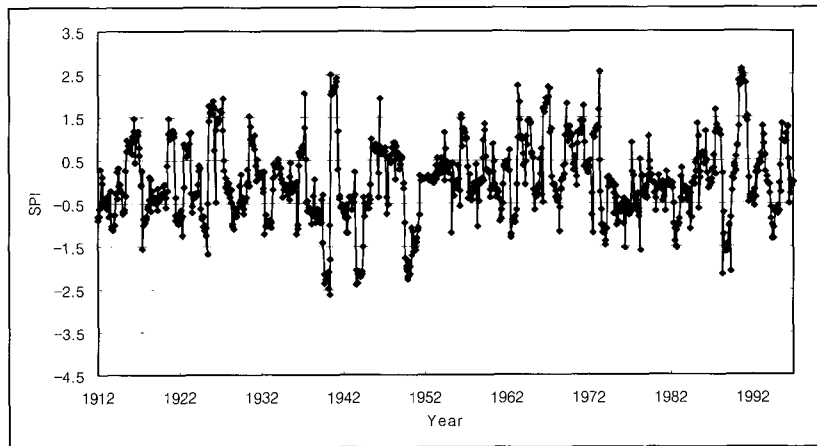
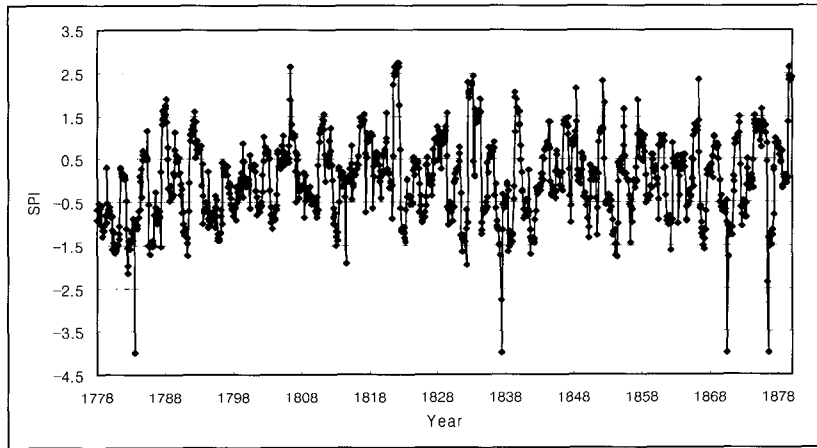
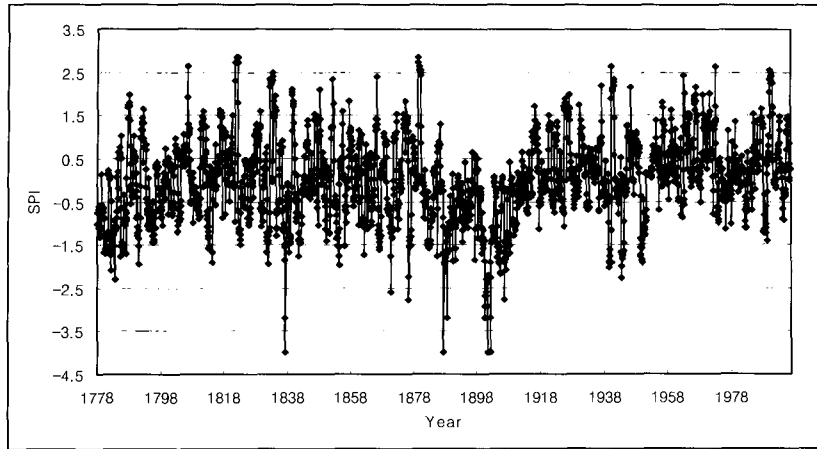


그림 1. 지속기간 10개월의 SPI: 위에서부터 전체자료(1777-1996),
 건조기 이전(1777-1879), 건조기 이후(1911-1996)

Guttman(1999)은 SPI를 산정하기 위한 누가강수 시계열의 적정 확률분포형은 Pearson Type-III분포라고 보고한 바 있으며, 유원희 등(2000)도 주어진 시계열에 대해 최적으로 판단된 확률분포와 Pearson Type-III분포의 차이는 미미한 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서도 적정 확률분포형을 Pearson Type-III분포로 가정하여 이용하였다.

Pearson Type-III분포는 3개의 매개변수를 가지고 있으며, 3변수 Gamma 분포라고도 알려져 있다. 이 분포형은 연 최대치 홍수량, 저류량, 연유출량, 계절별 유출량 등 수문자료의 해석에 널리 사용되어 오고 있다. Pearson Type-III분포의 확률밀도함수 및 누가확률분포함수는 각각 식 (1) 및 (2)와 같다.

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

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

여기서, α 는 규모 매개변수(scale parameter), β 는 형상 매개변수(shape parameter), x_0 는 위치 매개변수(location parameter)이다. α 가 양수일 때는 $x_0 \leq x < \infty$ 이고, α 가 음수일 때는 $-\infty < x \leq x_0$ 이며, $\beta > 0$ 이다. 각 매개변수는 모멘트법, 확률가중모멘트법 및 최우도법을 이용하여 추정할 수 있다. 본 연

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 | $D_n^\alpha = 0.092$ n=220 | 0.059 | o.k | $D_n^\alpha = 0.134$ n=103 | 0.069 | o.k | $D_n^\alpha = 0.144$ 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 | |

구에서는 이중 방법이 간단한 모멘트법을 이용하였다.

표 3는 각 월별로 추정된 매개변수를 정리한 것이며, 추정된 매개변수를 이용하여 Pearson Type-III분포의 적합도 검정을 실시한 결과는 표 4과 같다. 모든 경우에 대해 Pearson Type-III분포를 사용하는데 문제가 없음을 확인할 수 있다.

4. 10-SPI 자료에 대한 가뭄의 재현 및 지속특성

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 보통가뭄, 심한가뭄, 아주 심한가뭄을 분류하는 기준이다. 주어진 절단수준 이하로 강수일이 발생하는 경우를 각 절단수준에 대한 건조월로 정의하였다. 아울러, 가뭄은 이러한 건조월이 연속적으로 발생하는 경우에 해당하며, 본 연구에서는 이를 연속된 건조월로 정의하였다. 예를 들어 3개월간 지속된 연속된 건조월은 건조월이 3회 연속하여 발생한 것과 같다.

4.2 가뭄의 재현 및 지속 특성 분석

각 절단수준에 대한 건조월의 발생횟수는 표 5에 나타내었다. 아울러, 연속된 건조월의 발생횟수는 그 재현 및 지속기간 별로 표 6에 정리하였다. 특히, 표 6에서 재현기간 0개월은 건조월이 연속적으로 발생한 경우를 의미하며, 따라서 건조월 자체의 재현기간에는 고려되나 연속된 건조월의 재현기간에는 고려되지 않는다.

주어진 절단수준에 대하여 건조월의 평균재현기간을 정리하면 표 7과 같다. 이는 건조월의 재현기간별 발생 확률에 각 재현기간을 곱하여 계산된 값이다. 건조월의 평균재현기간을 살펴보면 보통가뭄(절단수준 -1.00)은 5~9개월, 심한가뭄(절단수준 -1.50)은 11~22개월, 아주 심한가뭄(절단수준 -2.00)은 23~187개월의 재현기간을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과는 일반적으로 파악되는 가뭄 특성과는 동떨어진 결과이다.

이는 기본적으로 가뭄이 건조월이 아닌 연속된 건조월이기 때문이다. 즉, 연속된 건조월의 평균 재현기간은 재현기간이 0개월인 경우는 고려되지 않으므로, 표 7에 나타난 건조월의 평균재현기간에 ((재현기간 0개월을 포함한 재현기간 별 건조월 발생횟수 총합)/(재현기간 0개월을 제외한 재현기간 별 건조월 발생횟수 총합))을 곱하면 이 값이 연속된 건조월의 평균재현기간이 된다. 그 결과는 표 8에 나타내었다.

따라서 연속된 건조월의 평균재현기간은 보통가뭄(절단수준 -1.00)의 경우는 26~30개월, 심한가뭄(절단수준 -1.50)의 경우는 33~59개월, 아주 심한가뭄(절단수준 -2.00)의 경우는 95~281개월 정도로 나타난다. 특히, 아주 심한 가뭄의 경우는 건조기 전반부가 281개월 정도로 후반부의 95개월에 비해 매우 크게 나타났다. 이는 장기건조기 전반부에 비해 후반부에 가뭄의 위험성이 더 커졌음을 나타내는 결과로 이해할 수 있다.

연속된 건조월의 평균지속기간을 정리한 것은 표 9와 같으며, 이는 연속된 건조월의 지속기간 별 발생확률에 각 지속기간을 곱하여 계산된 값이다. 연속된 건조월의 평균지속기간은 보통가뭄의 경우는 4~5개월, 심한가뭄의 경우는 2~4개월, 아주 심한가뭄의 경우는 1~4개월의 지속기간을 갖는 것으로 나타났다. 이 중 심한가뭄과 아주 심한 가뭄의 경우에 건조기 전반부에서 지속기간이 1~2개월 정도로 후반부의 3개월에 비해서 매우 짧게 나타났다. 이 역시 건조기 후반부에 가뭄 위험성이 커졌음을 나타내는 결과로 이해할 수 있다.

이상과 같은 결과를 정리하면 다음과 같다. 보통가뭄은 대략 2년에 한번 발생하며, 평균 지속기간은 4~5개월 정도이다. 심한가뭄은 대략 3~5년 정도에 한번 발생하며, 평균지속기간은 대략 2~4개월 정도로 나타났다. 아주 심한가뭄의 경우에는 8~23년에 한번 발생하며, 그 평균 지속기간은 1~4개월 정도이다. 이는 1906년 기상 관측이후 1998년까지 93년간 강우주기 분석하여 얻은 결과, 즉 연강우량 1,000 mm 이하의 가뭄이 5~6년 주기로 발생한다는 이대희(2002)의 연구결과와도 일치하는 것이다.

표 5. 절단수준에 따른 건조월의 발생횟수

| 절단수준 | -1.0 | -1.5 | -2.0 |
|----------------|------|------|------|
| 전체(1777-1996) | 401 | 155 | 40 |
| 전반부(1777-1879) | 173 | 41 | 7 |
| 후반부(1911-1996) | 112 | 47 | 26 |

표 6. 연속된 건조월(가뭄)의 재현기간 및 지속기간 별 발생 횟수

| (월) | 재현기간 별 발생횟수 | | | | | | | | | 지속기간 별 발생횟수 | | | | | | | | |
|-----|---------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|---------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| | 전체(1777-1996) | | | 전반부(1777-1879) | | | 후반부(1911-1996) | | | 전체(1777-1996) | | | 전반부(1777-1879) | | | 후반부(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 |
| 이상 | 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 |

표 7. 절단수준에 따른 건조월의 평균재현기간(월)

| 절단수준 | -1.0 | -1.5 | -2.0 |
|----------------|------|-------|--------|
| 전체(1777-1996) | 5.34 | 10.62 | 48.62 |
| 전반부(1777-1879) | 5.87 | 22.05 | 187.17 |
| 후반부(1911-1996) | 8.76 | 14.36 | 22.88 |

표 8. 절단수준에 따른 연속된 건조월(가뭄)의 평균재현기간(월)

| 절단수준 | -1.0 | -1.5 | -2.0 |
|----------------|-------|-------|--------|
| 전체(1777-1996) | 25.73 | 32.50 | 158.00 |
| 전반부(1777-1879) | 29.71 | 35.83 | 280.75 |
| 후반부(1911-1996) | 26.69 | 58.73 | 95.33 |

표 9. 절단수준에 따른 연속된 건조월(가뭄)의 평균지속기간(월)

| 절단수준 | -1.0 | -1.5 | -2.0 |
|----------------|------|------|------|
| 전체(1777-1996) | 4.77 | 2.98 | 3.08 |
| 전반부(1777-1879) | 4.94 | 1.58 | 1.40 |
| 후반부(1911-1996) | 3.73 | 3.62 | 3.71 |

4.3 장기 건조기 이전 이후의 차이에 대한 원인 검토

앞서 살펴본 것처럼 심한가뭄의 경우(절단수준 -1.5 및 -2.0 기준)에는 장기 건조기 전반부가 후반부에 비하여 가뭄의 재현기간이 매우 크게 나타났으며, 반대로 지속기간은 매우 짧았던 것으로 나타난다. 이는 기본적으로 장기건조기 전반부에 강수 자체의 변동성이 더 컸다는 데서 그 원인을 찾을 수 있다. 강수의 변동성이 큰 경우, 건조월이 연속적으로 발생할 확률이 상대적으로 낮아지게 되기 때문이다.

여기에 겨울철 강설량이 포함되지 않은 강수량을 사용한 것도 심한가뭄의 재현빈도는 크게 및 지속기간은 짧게 만드는 한 원인으로 작용했을 것이다. 기본적으로 겨울철 강수가 작게 추정되고 반대로 그 변동정도는 상대적으로 더 크게 추정되므로(표 1 참고), 10개월 이동 평균을 적용하여 구축한 SPI는 그 평균이 상대적으로 작아지고, 반대로 변동성은 커져 극단적으로 작은 SPI를 줄 가능성을 낮추게 되었을 것이다. 궁극적으로는 이와 같은 두 가지 원인이 궁극적으로 표 9에 나타난 것과 같은 차이를 만들어 낸 것으로 보인다.

5. 포아송과정을 이용한 가뭄의 재현 및 지속특성 분석

5.1 포아송과정 및 이의 적용

본 절에서는 포아송 과정을 이용하여 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화 해 보았다. 유철상(2002)의 연구 결과를 토대로 10-SPI 자료에 포아송 과정을 적용하고 그 결과를 관측치와 비교함으로써 포아송 과정이 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화 하는 데에 효과적으

로 이용될 수 있는지 판단하였다.

포아송과정의 적용을 위해서는 먼저 건조월의 발생이 서로 독립인지를 판단해야 한다. 즉 적절한 절단수준을 결정하여 건조월의 발생이 서로 독립적이고 그 발생간격이 음의 지수분포를 따르도록 하여야 한다. 이렇게 구한 절단수준보다 더 낮은 절단수준에서는 건조월의 발생은 일반적으로 포아송 분포를 따르게 된다 (Ashkar and Roussele, 1987). 포아송 분포의 확률 밀도함수는 다음과 같다.

$$p_i = \lambda^i e^{-\lambda} / i!, \quad i=0,1,2,3, \dots \quad (3)$$

여기서, λ 는 평균 발생확률이다.

본 연구에서 고려한 절단수준은 4장에서 언급한 것과 같다. 표 5 및 6에 나타난 건조월의 발생이 포아송 분포를 따르는 지는 확률밀도함수를 사용하는 χ^2 테스트나 분포함수를 사용하는 Kolmogorov-Smirnov 테스트를 이용하여 간단히 확인할 수 있다. 즉 임의의 시간 t를 선택하여 그 때까지의 발생횟수를 세고 이를 전체 발생횟수로 나누면 이것이 $P[N_t = n]$ 의 상대빈도의 추정치가 되고 이를 위의 테스트를 통하여 포아송 분포에 적합한지를 확인하면 된다. 본 연구에서는 Kolmogorov-Smirnov 테스트를 이용하여 적합성을 파악하였으며 그 결과를 요약하면 표 10과 같다. 결과적으로 장기 건조기 전반부 및 후반부의 경우에는 절단수준 -1.5이하에 대해 전체자료를 사용하는 경우는 절단수준 -2.0이하에서 포아송 과정을 적용할 수 있는 것으로 판단되었다.

표 10. 절단수준 결정을 위한 Kolmogorov-Smirnov 테스트 결과(95% 유의수준)

| 절단수준 | -1.0 | -1.5 | -2.0 |
|----------------|----------|----------|----------|
| 전체(1777-1996) | rejected | rejected | accepted |
| 전반부(1777-1879) | rejected | accepted | accepted |
| 후반부(1911-1996) | rejected | accepted | accepted |

5.2 포아송 과정을 이용한 가뭄의 재현 및 지속 특성 분석

유철상(2002)에 의하면 포아송 과정을 적용하는 경우 t 개월 연속으로 건조월이 발생할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 특히 이 확률은 $t+1$ 개월이상의 가뭄이 발생할 확률을 제거하고 정확히 t 개월의 가뭄이 발생할 확률을 나타내는 값이다.

$$p_A(t) = (\lambda t)^t e^{-\lambda t} / t! - [\lambda(t+1)]^{t+1} e^{-\lambda(t+1)} / (t+1)! \quad (4)$$

이와 유사하게 건조월의 재현기간, 즉 t 개월 동안 건조월이 전혀 발생하지 않을 확률은 다음과 같이 계산된다.

$$p_A(0) = [(1-\lambda)t]^t e^{-(1-\lambda)t} / t! - [(1-\lambda)(t+1)]^{t+1} e^{-(1-\lambda)(t+1)} / (t+1)! \quad (5)$$

위 식에서 살펴볼 수 있는 것처럼 이러한 계산은 하나의 모수인 λ 에만 의존하므로 건조월의 발생이 독립이 되도록 적절한 절단수준을 선정하는 것이 무엇보다도

중요하다. 모수 λ 는 절단수준에 따른 건조월의 발생횟수를 총 기록월수로 나누어 추정하게 되며 그 결과는 측치에 나타난 결과를 비교하면 그림 2 및 3과 같다.

5.3 포아송 과정을 이용한 가뭄의 평균 재현기간 및 지속기간

건조월의 평균 재현기간은 단순히 포아송 과정의 매개변수의 역수로 나타내며 그 결과는 표 12와 같다. 이는 건조월 자체의 평균 재현기간에 해당한다. 연속된 건조월의 평균 재현기간의 경우에는 앞서서와 같이 표 12에 나타난 건조월의 평균재현기간에((재현기간 0개월을 포함한 재현기간 별 건조월 발생횟수 총합)/(재현기간 0개월을 제외한 재현기간 별 건조월 발생횟수 총합))을 단순히 곱하여 계산한다. 그 결과는 표 13과 같다.

아울러, 연속된 건조월의 평균 지속기간은 각 지속기간별 발생확률(그림 3)을 지속기간과 곱하여 계산할 수 있다. 그러나 이는 총 기록 월수에 대한 값을 나타내는 것이므로, 발생한 건조월에 대한 평균 지속기간을 알기 위해서는 이 값에 ((총 기록 월수)/(지속기간 별 발생횟수의 총합))을 단순히 곱해주면 된다. 그 결과는 표 14와 같다.

포아송과정을 이용한 연속된 건조월의 재현기간 및

표 11. 절단수준에 대한 포아송 과정의 모수 λ

| 기간 | 전체(1777-1996) | | 전반부(1777-1879) | | 후반부(1991-1996) | |
|-----------|---------------|--|----------------|-------|----------------|-------|
| 절단수준 | -2.0 | | -1.5 | -2.0 | -1.5 | -2.0 |
| λ | 0.015 | | 0.033 | 0.006 | 0.046 | 0.025 |

표 12. 절단수준에 대한 건조월의 평균 재현기간 비교 (obs-관측결과, poi-포아송 과정 적용 결과)

| 기간 | 전체(1777-1996) | | 전반부(1777-1879) | | 후반부(1991-1996) | |
|------|---------------|-------|----------------|-------|----------------|--------|
| | -2.0 | | -1.5 | | -2.0 | |
| 절단수준 | obs. | poi. | obs. | poi. | obs. | poi. |
| 재현기간 | 48.62 | 65.70 | 22.05 | 29.85 | 187.17 | 174.96 |
| | 14.36 | 21.70 | 22.88 | 39.23 | | |

표 13. 절단수준에 대한 연속된 건조월(가뭄)의 평균 재현기간 비교 (obs-관측결과, poi-포아송 과정 적용 결과)

| 기간 | 전체(1777-1996) | | 전반부(1777-1879) | | 후반부(1991-1996) | |
|------|---------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|
| | -2.0 | | -1.5 | | -2.0 | |
| 절단수준 | obs. | poi. | obs. | poi. | obs. | poi. |
| 재현기간 | 158.00 | 213.53 | 35.83 | 47.07 | 280.75 | 262.44 |
| | 58.73 | 83.18 | 95.33 | 163.46 | | |

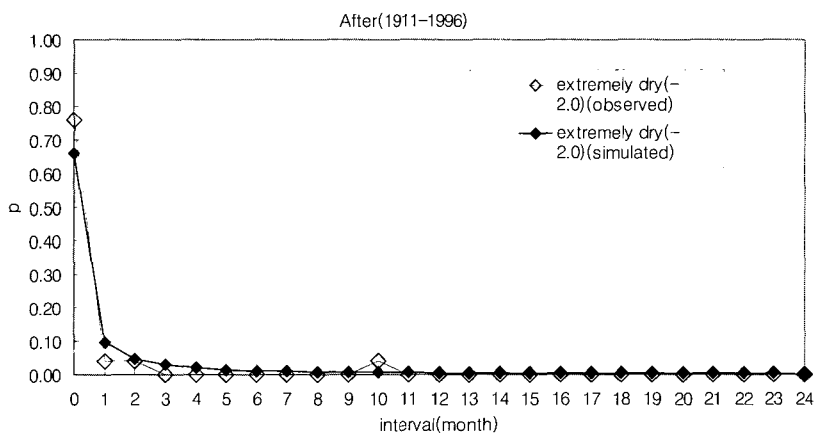
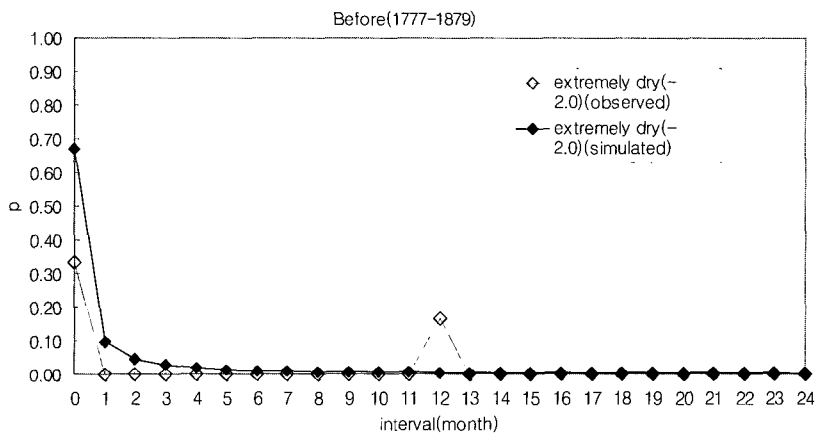
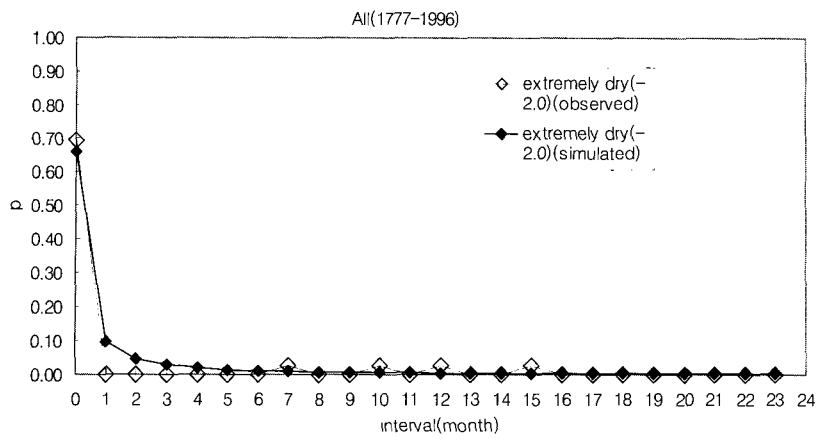


그림 2. 건조월의 재현기간 별 발생확률 비교
(위로부터 각각 전체자료를 사용한 경우, 장기건조기의 전반부 및 후반부)

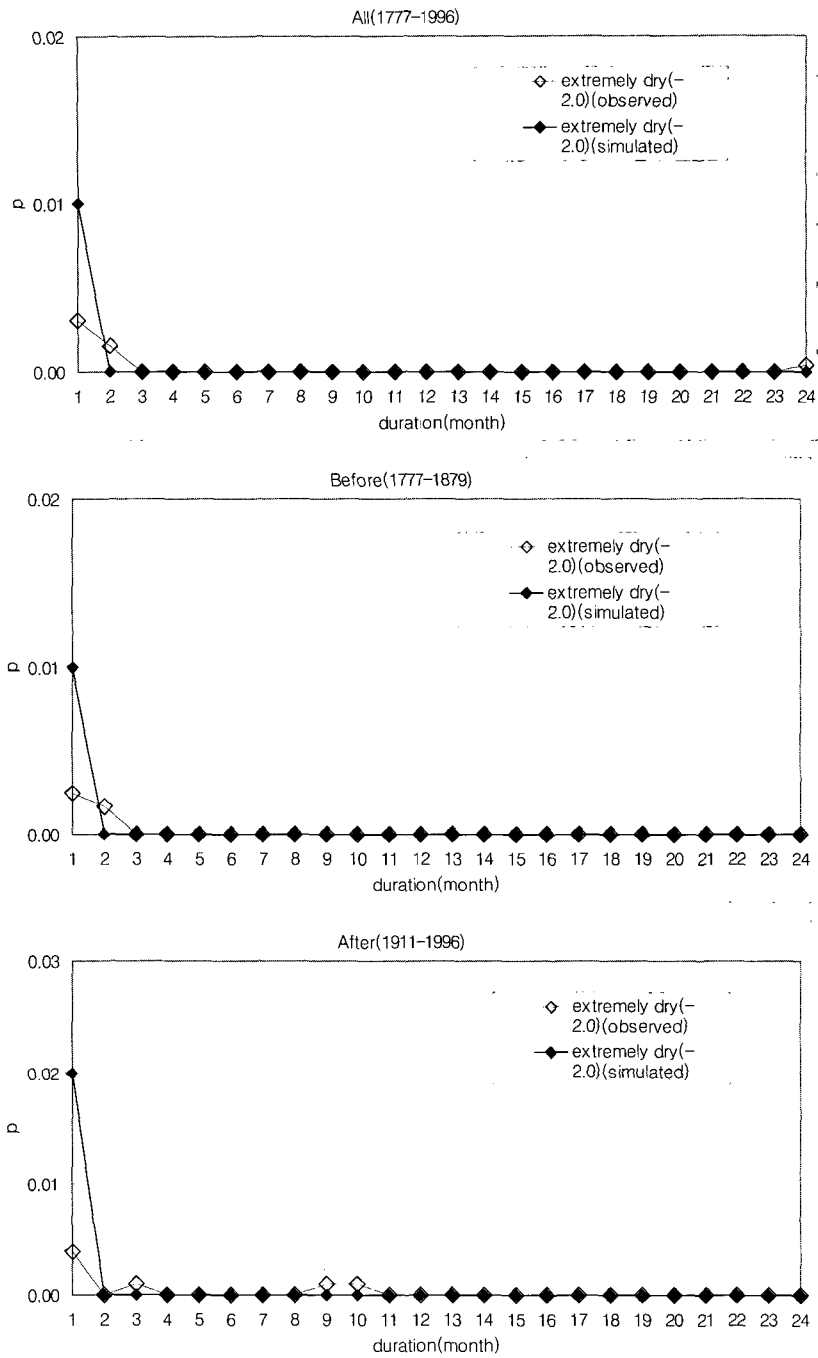


그림 3. 연속된 건조월의 지속기간 별 발생확률 비교
(위로부터 각각 전체자료를 사용한 경우, 장기건조기의 전반부 및 후반부)

표 14. 절단수준에 대한 연속된 건조월(가뭄)의 평균 지속기간 비교
(obs-관측결과, poi-포아송 과정 적용 결과)

| 기간 | 전체(1777-1996) | | 전반부(1777-1879) | | | | 후반부(1991-1996) | | | |
|------|---------------|------|----------------|------|------|------|----------------|------|------|------|
| 절단수준 | -2.0 | | -1.5 | | -2.0 | | -1.5 | | -2.0 | |
| | obs. | poi. | obs. | poi. | obs. | poi. | obs. | poi. | obs. | poi. |
| 지속기간 | 3.08 | 3.12 | 1.58 | 1.63 | 1.40 | 1.41 | 3.62 | 3.79 | 3.71 | 3.81 |

지속기간을 관측치와 비교해 본 결과 포아송 과정이 가뭄의 재현 및 지속특성을 적절히 나타내고 있다는 것을 쉽게 알 수 있었다. 이는 절단수준을 포아송 과정을 따르는 수준으로 결정한 데서 나타나는 당연한 결과이기도 하다(유철상, 2002).

6. 결 론

본 연구에서는 서울지점 월강수량 자료에 나타난 가뭄의 재현 및 지속특성을 관측자료의 분석하고, 아울러 포아송 과정을 적용하여 비교하였다. 가뭄을 나타내는 지수로서 표준강수지수(SPI)를 이용하였으며, 10개월의 지속기간을 적용하였다. 관측자료의 분석을 위한 절단수준으로는 -1.00, -1.50, -2.00을 적용하였으며, 각각 보통가뭄, 심한가뭄 및 아주 심한가뭄을 나타낸다.

먼저 관측자료의 분석을 통해서 살펴본 서울지점 가뭄의 재현 및 지속특성은 다음과 같다. 보통 가뭄은 대략 2년에 한번 발생하며, 평균 지속기간은 4~5개월 정도이다. 심한 가뭄은 대략 3~5년 정도에 한번 발생하며, 평균 지속기간은 대략 2~4개월 정도로 나타났다. 아주 심한 가뭄의 경우에는 8~23년에 한번 발생하며, 그 평균 지속기간은 1~4개월 정도이다. 특히, 심한가뭄의 경우(절단수준 -1.5 및 -2.0 기준)에는 장기 건조기 전반부가 후반부에 비하여 그 재현기간이 매우 크게 나타났다. 이는 기본적으로 장기건조기 전반부에 강수 자체의 변동성이 더 컸다는 데서 그 원인을 찾을 수 있으며, 여기에 겨울철 강설량이 포함되지 않은 강수량을 사용한 것도 심한가뭄의 재현빈도는 크게 및 지속기간은 짧게 만드는 한 원인으로 작용한 것으로 판단된다.

마지막으로, 포아송 과정을 이용하여 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화 하기 위해서 절단수준을 포아송 과정을 따르는 수준으로 결정하였으며, 그 결과 기록전체에 대해서는 절단수준 -2.0이하에서, 건조기 전반부 및 후반부의 각각의 경우에 대해서는 절단수준 -1.5이하에서 포아송 과정을 따랐다. 이러한 절단수준에 대해 관

측치에 나타난 결과와 포아송 과정을 적용한 결과를 비교해 본 결과 포아송 과정이 가뭄의 재현 및 지속특성을 잘 설명하고 있음을 파악할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2002-041-D00516)에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- 류재희 (2000). 가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구, 석사학위논문, 고려대학교.
- 유원희 (2000). 유출량 계열을 이용한 가뭄 지수 산정, 석사학위논문, 인하대학교.
- 유철상 (2002). 포아송 과정을 이용한 가뭄의 재현 및 지속특성 분석, 한국수자원학회 학술발표회논문집, 한국수자원학회, pp. 1262-1267.
- 유철상, 류소라, 김정환 (2002). 서울지점 월강수량 자료에 나타난 가뭄의 장기 재현특성, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, Vol. 22, No.3-B, pp. 281-289.
- 이대희 (2002). 최근 국내가뭄의 특성 변화, 2002 가뭄 대책 심포지움-가뭄의 진단과 가뭄극복 종합대책-, 한국방재협회, pp.29-62.
- 정현숙 (1999). 서울지역 강수량의 시계열에 나타난 시간 변동성의 해석, 박사학위논문, 서울대학교.
- Ashkar, F. and Roussele, J. (1987). Partial Duration Series Modeling under the assumption of a Poissonian flood counts, *Journal of Hydrology*, Vol. 90, pp.135-144.
- 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 Klest J. (1993). *The Relationship of Drought Frequency and*

Duration of Time Scales, Department of
Atmospheric Science Colorado State University,
Fort Collins, Colorado.
Parzen, E. (1962). *Stochastic Processes*, Holden-Day,

U.S.A.

(논문번호:03-21/접수:2003.02.26/심사완료:2003.06.11)