

## 포아송과정을 이용한 가뭄의 공간분포 분석

### Analysis of Drought Spatial Distribution Using Poisson Process

유철상\* / 안재현\*\* / 류소라\*\*\*  
Yoo, Chulsang / Ahn, Jae-Hyun / Ryoo, Sora

#### Abstract

This study quantifies and compares the drought return and duration characteristics by applying the Poisson process as well as based on by analyzing the observed data directly. The drought spatial distributions derived for the Gyunggi province are also compared. The monthly rainfall data are used to construct the SPI as a drought index. Especially, this study focuses on the evaluation of the Poisson process model when applying it to various data lengths such as in the spatial analysis of drought. Summarizing the results are as follows. (1) The Poisson process is found to be effective for the quantification of drought, especially when the data length is short. When applying the Poisson process, two neighboring sites are found insensitive to the data length to show similar drought characteristics, so the overall drought pattern becomes smoother than that derived directly from the observed data. (2) When the data length is very different site by site, the spatial analysis of drought based on a model application seems better than that based on the direct data analysis. This study also found more obvious spatial pattern of drought occurrence and duration when applying the Poisson process.

**Keywords** : Standardized Precipitation Index, Drought, Return, Duration, Poisson process, spatial distribution

#### 요 지

본 연구에서는 경기도 지역을 중심으로 관측자료로부터 아울러 포아송 과정을 적용하여 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화하고 그 공간분포를 비교·분석해 보았다. 본 연구에서는 관측된 월 강수량 자료를 가뭄지수인 SPI로 변환하여 분석에 이용하였다. 특히, 가뭄의 공간분포 특성 파악을 위해 관측길이가 서로 다른 자료에 포아송 과정을 적용하는 경우의 장·단점 등을 파악해 보고자 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. (1) 포아송 과정을 이용한 가뭄의 정량화는 특히 관측기록이 짧은 경우에 유리한 것으로 나타났다. 공간적으로 가까운 위치에 있는 두 지점의 특성이 관측기록의 길이에 덜 민감해짐에 따라 전체적으로 유사한 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다. (2) 지점별 관측기록의 길이가 크게 다른 경우 모형에 의한 가뭄의 공간적 특성 파악이 단순히 관측자료를 이용한 경우에 비해 우월할 수 있다. 본 연구의 경우에 있어서도 모형을 이용한 경우 가뭄의 공간분포가 관측을 직접 분석하여 얻은 가뭄의 공간분포보다 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있었다.

**핵심용어** : 표준강수지수, 가뭄, 재현특성, 지속특성, 포아송 과정, 공간분포

\* 고려대학교 토목환경공학과 부교수

Associate professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Korea University, Seoul, 136-701, Korea (E-mail: envchul@korea.ac.kr)

\*\* 서경대학교 토목공학과 조교수

Assistant professor, Department of Civil Engineering, Seokyeong University, Seoul, 136-704, Korea (E-mail: wrr@skuniv.ac.kr)

\*\*\* 한국수자원공사 수자원연구소 수자원연구부 위촉연구원

Researcher, Water Resources Research Institute, KOWACO, Daejeon, 306-711, Korea (E-mail: sora004@empal.com)

## 1. 서론

기후변화의 영향으로 홍수 및 가뭄의 발생빈도가 커질 수 있다고 예견되고 있고, 우리나라의 경우에도 유사한 결과가 발표되고 있다(한국과학기술연구원, 1994; 1995; 오재호와 홍성길, 1995; 윤용남 등, 1999; 건설교통부 등, 2000). 최근 몇 년 사이에 발생한 큰 태풍 루사나 매미의 경우도 지구온난화에 따른 기후변화를 가장 큰 원인으로 지목하고 있는 상황이다. 그러나 현실은 관측자료에 나타난 기상현상의 다양한 측면을 분석할 수 있는 방법론의 결핍으로 인해 정량적인 판단보다는 정성적 판단이 오히려 난무하는 상황이기도 하다. 가뭄 분석에는 홍수의 경우보다 더 긴 관측기간을 요구하므로 그 정량화에 보다 제한적일 수밖에 없다.

가뭄의 경우는 특히 다른 재해와 비교하는 경우 몇 가지 다른 특징을 가지고 있다. 가뭄은 아주 서서히 찾아오는 자연재해로서 그 시작과 끝을 인식하기 어렵다. 아울러 그 진행속도도 굉장히 느리며 또한 장기간에 걸쳐 지속되는 특징을 보인다. 가뭄은 또한 진원지나 경로가 없으며 시간과 공간을 통해 전파된다(Wilhite와 Glantz, 1985). 그러나 가뭄은 간접적이기는 하나 아주 커다란 경제적인 손실을 유발하며 이에 대한 대책의 마련이 쉽지 않다. 이러한 문제는 가뭄의 예측이 어렵다는 점을 가장 큰 원인으로 꼽을 수 있다. 아직까지 전 세계적으로 가뭄을 체계적인 정량화 방안이나 장기적인 예측기법은 확립되어 있지 못한 실정이다. 다만 선진국을 중심으로 가뭄 발생시의 사후대처 방안이 수립되고 있을 뿐이다.

가뭄의 평가나 대처에는 기본적으로 가뭄의 크기에 대한 정량화가 필요하다. 홍수의 경우는 일반적으로 년 최대 유량 또는 우량과 같은 단일 항목만을 이용해 상대적으로 쉽게 특성화된다. 그러나 가뭄의 경우는 그 지속기간, 평균심도 및 최대 심도 등 다양한 특성을 함께 고려하여야 하는 어려움이 있다. 두 경우 모두 그 재현특성의 중요성은 재론의 여지가 없다. 그러나 아직까지 가뭄의 여러 측면을 모두 고려하여 가뭄의 특성을 정량화 할 수 있는 방법론은 개발되어 있지 않다.

현재까지도 이러한 가뭄의 해석은 주로 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; Wang과 Salas, 1989). 이 외에도 최근에는 마코프 연쇄(Markov chain)를 적용하는 경우(Chang과 Kleopa, 1991; Fernandez와 Salas, 1999a; 1999b) 및

기타 Bernoulli 시행 또는 DARMA(Discrete Auto Regressive Moving Average) 모형을 적용하는 경우(Chung과 Salas, 2000)도 살펴볼 수 있다. 포아송과정(Poisson process)을 이용하는 경우도 위의 경우와 크게 다르지는 않다. 포아송 과정을 따르는 경우 그 발생특성이 마코프 연쇄와 유사하게 나타난다는 것은 이미 알려진 사실이다(Rodriguez-Iturbe, 1986; Rodriguez-Iturbe 등, 1987).

일반적으로 위에서 언급된 방법의 적용 및 평가는 상대적으로 긴 자료가 가용한 경우에 한한다. 자료가 긴 경우에는 관측자료 만으로도 가뭄의 특성을 파악하는 것이 가능하므로 이를 모형의 결과와 쉽게 비교할 수 있다.

그러나 대부분의 경우에는 가뭄의 특성화를 가능하게 하는 충분한 길이의 강수기록은 존재하지 않는다. 특히, 가뭄은 홍수의 경우보다 훨씬 장기적인 시간 규모에서 발생하는 현상이므로 그 해석에 더 큰 제약이 있을 수밖에 없다. 예를 들어 홍수의 경우 최소 30 - 40년 정도의 기록으로도 빈도해석을 수행한다. 즉 30 - 40년 기간 동안의 분석에 같은 수만큼의 년 최대치 자료가 이용된다. 그러나 가뭄의 경우는 수년에 걸쳐 발생할 수도 있고 또한 수십 년 동안 발생하지 않을 수도 있다. 따라서 년 최대치를 정의할 수 없는 가뭄의 경우는 강수기록의 길이 자체가 훨씬 더 큰 문제가 된다. 본 연구에서는 이런 강수기록의 길이 문제를 가뭄 모형을 이용하여 어느 정도 보완할 수 있는지를 살펴보고자 한다.

먼저, 본 연구에서는 가뭄 모형으로서 포아송 과정을 이용하였다. 포아송 과정의 경우 유철상(2002), 유철상과 류소라(2003)에서 그 적용을 살펴볼 수 있다. 주로 가뭄의 재현 및 지속특성을 파악하는 것을 목적으로 하며, 가뭄의 발생이 독립이라는 가정을 가지고 분석을 수행하게 된다.

본 연구는 한강 하류부인 경기도 지역을 중심으로 분석을 수행하였다. 먼저, 기존의 연구인 서울지점 자료의 분석결과(유철상과 류소라, 2003)를 참고하여 서울을 중심으로 한 경기도 지역의 가뭄의 재현 및 지속특성을 파악하였다. 다음으로, 장기간 강수의 특성이 경기도 지역이라는 범위에서 크게 다르지 않을 것이며, 아울러 가능한 변화의 정도도 공간적으로 급격히 나타나지는 않을 것을 전제로 모형적용 결과를 평가하였다. 즉, 경기도 지역에 분포되어 있는 각 우량계 지점의 강수기록은 그 길이가 매우 다양한데, 이러한 강수기록을 직접 이용하여 가뭄의 특성을 평가하는 경우와 모형을 적용하여 간접적으로 가뭄의 특성을 평가하는 경우를 비교·평가하고, 이를 통해 가뭄모형이 어떤 역할을 할 수 있는지를 판단하고자 하였다.

## 2. 대상지역 및 자료

본 연구의 대상은 경기도 지역으로 한다. 경기도 지역은 국가하천인 한강의 하류유역과 임진강의 중·하류유역을 포함하며 기타 안성천과 같은 지방하천 유역으로 구성되어 있다. 경기도 지역은 수도 서울을 에워싸고 있기 때문에 가용한 기상자료의 기록년수도 길고 다양하다고 할 수 있다. 아울러 자료의 질도 여타 지역에 비해 좋은 편이다.

한강의 중·하류 지방에는 많은 댐이 건설되어 있어, 서울을 비롯한 도시 지역에서는 역사적으로 단수를 기록한 적이 없을 정도로 수자원의 공급량이 풍부한 편이다. 그러나, 농업이나 산업의 측면에서는 그렇지도 않아서 특히 봄철의 물 스트레스가 큰 편이다.

본 연구에서는 기상청과 건설교통부 산하 43개 우량관측소의 월 강수량 자료를 이용하여 연구를 수행하였다. 수집된 강수 자료는 적절히 지수화 되어야 한다. 지수화는 기본적으로 가뭄을 정량적으로 살펴보기 위함이며, 아울러 이를 통해 강수가 가지는 계절성의 문제를 해결할 수도 있다. 앞서 설명한 것처럼 가뭄에 대해서는 여러 가지 정의가 있으며 그 중 수문학적 가뭄은 가용수자원의 정도를 고려하는 가뭄이며 기상학적 가뭄은 주로 강수량만을 고려하는 가뭄이다. 수문학적 가뭄지수로는 SWSI(Surface Water Supply Index; Shafer와 Dezman, 1982)가 대표적이다. 반면에 기상학적 가뭄지수로는 팔머가뭄심도지수(Palmer Drought Severity Index; Palmer, 1965), SPI(Standardized Precipitation Index; McKee 등, 1993), 정상강우백분률(Percent of Normal Precipitation; Guttman, 1999), 십진분류(Deciles) 등 여러 가지가 있다. 본 연구에서는 이들 중 방법이 간단하며 제약조건이 적어 기상학적 가뭄해석에 가장 많이 쓰이고 있는 SPI를 이용하였다.

## 3. 가뭄지수의 구성

McKee 등(1993)은 가뭄은 상대적으로 물의 수요에 비해 물의 부족을 유발하는 강수량의 감소에 의해 시작된다는 것에 착안하여 SPI(Standardized Precipitation Index)를 개발하였다. 즉, 강수량이 부족하면 용수 공급원인 지하수량, 적설량, 저수지 저류량, 토양 함유 수분, 하천 유출량 등에 각기 다른 영향을 미친다는 것으로부터 표준강수지수를 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 산정 하는 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.

이렇듯 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

표준강수지수는 강수 부족에 선형적으로 비례하고 강수확률, 누가강수평균백분율 그리고 누가강수 부족량을 고려한다. 이렇게 산정된 표준강수지수는 확률분포형을 도입하였기 때문에 현재의 가뭄뿐만 아니라 가뭄이 끝나기에 필요한 강수의 확률을 결정하는 것을 가능하게 한다(McKee 등, 1993).

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 시간단위별로 해당하는 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, 표준 정규 분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정하게 된다. McKee 등(1993)은 SPI로부터 얻은 가뭄 심도를 정의하기 위하여 표 1과 같은 분류체계를 이용하였다.

## 4. 가뭄지수의 분석

### 4.1 포아송과정을 이용한 가뭄 분석

포아송 과정을 적용하여 가뭄을 분석하기 위해서는 먼저 가뭄의 정의를 명확히 할 필요가 있다. 본 연구에서는 특히 건조월의 개념을 사용하고 있는데 이는 주어진 기준 이하의 SPI를 나타내는 월로 정의된다. 이러한 건조월은 한달만 발생할 수도 있고 또한 여러 달 계속해서 발생할 수도 있다. 본 연구에서는 이들 건조월의 연속된 발생과정을 가뭄이라고 정의하였다. 따라서 어떤 가뭄(또는 가뭄사상)은 건조월 한달로 구성될 수도 있고, 어떤 경우는 연속된 여러 달의 건조월로 구성되기도 한다. 건조월 사이에 비 건조월이 있는 경우에는 각각을 하나의 가뭄으로 분류한다.

표 1. 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

이렇게 정의되는 가뭄에 대해 포아송 과정을 적용하여 그 재현 및 지속특성 분석하는 방법을 설명하면 다음과 같다(유철상과 류소라, 2003). 먼저, 건조월의 발생이 서로 독립인지를 판단해야 한다. 즉 적절한 절단수준을 결정하여 건조월의 발생이 포아송 분포를 따르도록, 또는 그 발생간격이 음의 지수분포를 따르도록 하여야 한다. 이렇게 구한 절단수준보다 더 낮은 절단수준에서는 건조월의 발생은 일반적으로 포아송 분포를 따르게 된다(Ashkar와 Roussele, 1987). 포아송 분포의 확률밀도함수는 다음과 같다.

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

여기서,  $\lambda$ 는 평균 발생확률이다. 건조월의 발생이 포아송 분포를 따르는 지는 확률밀도함수를 사용하는  $\chi^2$  테스트나 분포함수를 사용하는 Kolmogorov-Smirnov 테스트를 이용하여 간단히 확인할 수 있다.

포아송 과정을 적용하는 경우  $t$ 개월 연속으로 건조월이 발생할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 특히 이 확률은  $t+1$ 개월 이상의 가뭄이 발생할 확률을 제거하고 정확히  $t$ 개월의 가뭄이 발생할 확률을 나타내는 값이다.

$$p_t(t) = (\lambda t)^t e^{-\lambda t} / t! - [\lambda(t+1)]^{t+1} e^{-\lambda(t+1)} / (t+1)! \quad (2)$$

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

$$p_t(0) = [(1-\lambda)t]^t e^{-(1-\lambda)t} / t! - [(1-\lambda)(t+1)]^{t+1} e^{-(1-\lambda)(t+1)} / (t+1)! \quad (3)$$

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

중요하다. 모수  $\lambda$ 는 절단수준에 따른 건조월의 발생횟수를 총 기록월수로 나누어 추정한다.

#### 4.2 장기 관측기록의 분석 결과

본 연구에서는 먼저 서울지점 강수기록을 SPI 지수화하여 분석한 유철상과 류소라(2003)의 연구 결과를 간단히 요약하고자 한다. 이들의 연구에서는 상대적으로 긴 길이의 강수자료를 이용하였으므로(측우기 자료 포함 200년 이상; 정현숙, 1999). 특히 가뭄의 경우 그 재현 및 지속특성을 보다 정확하게 추정할 가능성이 크다. 이러한 결과는 본 연구에서처럼 다양한 길이의 자료를 이용하여 추정한 결과의 신뢰도를 파악하는데 도움이 된다.

유철상과 류소라(2003)의 연구에서는 서울지점 월강수량자료를 가지고 지속기간 10개월의 표준강수지수(10-SPI) 형태로 자료를 구축하여 각 자료에 대한 가뭄의 재현 및 지속특성을 파악하여 비교·분석하였다(그림 1). 관측자료의 분석을 통해 살펴본 연속된 건조월(가뭄)의 재현 및 지속특성은 보통가뭄의 경우 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. 이상의 결과로부터 연속된 건조월의 경우가 건조월 자체보다 일반적으로 받아들여지는 가뭄의 재현 및 지속특성을 적절히 설명해 주고 있다고 판단되었다. 심한 가뭄의 경우 건조기(1900년 전후 30여년간에 걸쳐 발생한 건조기) 전반부가 후반부에 비하여 가뭄의 재현기간이 매우 크게 나타났으며, 지속기간은 매우 작게 나타나는 결과를 보였다.

포아송과정을 이용한 결과도 관측결과와 유사하게 파악되었다(표 2 및 3). 이 결과는 절단수준을 포아송 과정을 따르는 수준으로 결정한 데서 나타나는 당연한 결과이기도 하다.

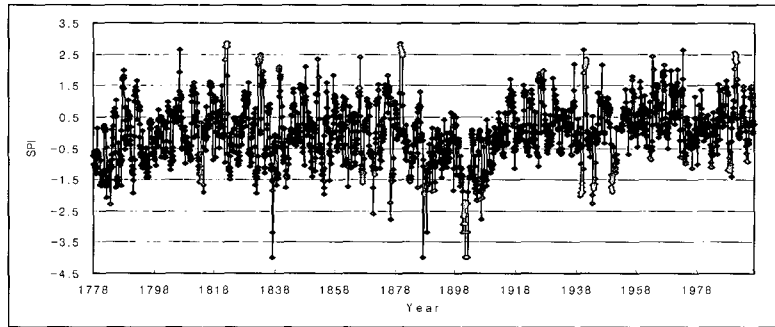


그림 1. 서울지점에 대해 산정된 10-SPI

표 2. 절단수준에 대한 연속된 건조월(가뭄)의 평균 재현기간 비교

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

표 3. 절단수준에 대한 연속된 건조월(가뭄)의 평균 지속기간 비교

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

### 4.3 가뭄의 공간패턴 분석

#### 4.3.1 관측기록에 근거한 분석

각 지점에 대해 구축된 가뭄지수는 그 자체의 분석으로도 여러 가지 특성을 끄집어 낼 수 있다. 가장 대표적인 것이 가뭄의 시-공간적 진행 패턴이다. 즉, 가뭄에 가장 취약한 지역을 찾아볼 수도 있고, 가뭄의 공간적인 전파방향 등도 찾아낼 수 있다. 시간축에 대해서도 동일한 분석이 가능하여 가뭄의 진행특성을 살펴볼 수도 있을 것이며, 궁극적으로는 다변량 시계열 분석을 통해 가뭄의 진행을 보다 정교하게 예측할 수도 있을 것이다. 물론 이러한 분석을 위해서는 신경망모형 등과 같은 보다 발달된 추계학적모형의 이용이 필수적이다.

본 연구에서 수행한 분석은 각 지점 SPI에 나타난 가뭄의 재현 및 지속특성을 공간적으로 살펴보는 것이다. 기본적으로, 관측된 현상을 바로 정량화하기 때문에 특히 관측기록이 긴 경우 유리할 수 있으며, 유역 내 관측지점들의 기록년수가 유사한 경우에는 이를 토대로 유도한 가뭄의 공간분포도 큰 신뢰도를 갖게 된다. 그러나 본 연구에 이용된 자료는 대략 5년 이상의 다양한 길이를 가지고 있으며 따라서 이를 통해 파악한 가뭄의 공간분포에도 의문을 가질 수 있다. 이는 기본적으로

자료의 길이가 5년으로 한정되어 있으면 이 기간 중 발생한 최대 가뭄은 대략 5년의 재현기간 또는 지속기간을 갖는다고 판단할 수밖에 없기 때문이다. 따라서 기록의 길이가 길수록 보다 현실적인 결과를 유도할 수 있다. 본 연구의 결과는 이러한 관점에서 해석된 것이다. 그 내용을 정리하면 아래와 같다.

먼저, 지속기간 3개월의 SPI(농업가뭄과 관련)를 분석한 결과에서는 수원을 중심으로 한 경기도 남부 및 김포 지역에 가뭄이 발생하는 경우 그 지속기간이 제일 긴 것으로 나타난다. 아울러, 지속기간 12개월의 SPI(수문학적 가뭄)에서도 대체로 수원을 중심으로 한 경기 남부에서의 가뭄 지속기간이 긴 것으로 나타나고 있다. 가뭄의 재현 기간은 한강을 중심으로 한 경기도 외곽지역이 짧은 것으로 나타나고 있다.

농업가뭄(지속기간 3개월의 SPI)의 경우 약한 가뭄은 거의 매년 발생하고, 약간 심한 가뭄은 매 2년마다 발생하는 것으로 나타나고 있으며, 아주 심한 가뭄의 경우도 평균 4 - 5년에 1회 정도 발생하는 것으로 나타난다. 이 경우 각각의 지속기간은 대략 2.0 - 2.2, 1.8 - 2.0, 1.4 - 1.8 개월 정도로 나타난다. 반면에, 수문학적 가뭄(지속기간 12개월의 SPI)의 경우 약한 가뭄은 매 2년마다 발생하고, 약간 심한 가뭄은 매 4 - 5년마다 발생하는 것으로

나타나고 있으며, 아주 심한 가뭄의 경우도 평균 8 - 10년에 1회 정도 발생하는 것으로 나타난다. 이 경우 각각의 지속기간은 대략 3 - 6 개월 정도로 나타난다.

### 4.3.2 모형을 이용한 분석

이미 앞에서 언급한 바와 같이 관측자료의 분석에서 확연히 드러나지 않는 가뭄의 공간적 발생 및 지속 패턴을 가뭄 모형을 이용함으로써 확인하는 것이 본 분석의 초점이다. 부연하여 설명하면, 가뭄의 발생은 연속적인 과정 속에서의 현상이므로 전체 자료를 고려하는 경우뿐만 아니라, 일부자료를 이용하여서도 추출할 수 있다는 것에 근거한다. 따라서 장기간의 관측기록이 존재하는 경우는 두 경우가 일치하는 결과를 줄 것이나, 짧은 관측기록만이 존재하는 경우에는 모형을 통한 분석 결과와 관측기록을 분석한 결과가 크게 다를 수 있다. 본 연구에서 기대하는 결과도 지점마다 관측기록의 길이가 달라 궁극적으로 공간적 패턴을 왜곡시키는 결과를 줄 수 있으므로 모형을 이용하면 공간적으로 보다 연속적이며 아울러 일관된 공간패턴을 유도할 수 있지 않을까 하는 것이다.

본 연구에서는 다양한 가뭄기준에 대해 관측치를 이

용한 결과와 모형에 의한 결과를 비교하였다(그림 2 - 9). 전체적으로 모형에 의해 유도된 결과와 관측된 결과와는 유사한 패턴을 나타내고 있는 것으로 확인되었다. 그러나 모형에 의한 결과의 경우에 공간적으로 가까운 위치에 있는 두 지점의 특성은 관측기록의 길이에 크게 민감하지 않고 유사하게 나타남을 파악할 수 있었다. 아울러 포아송 과정을 적용한 경우가 가뭄의 공간분포를 보다 뚜렷하게 나타내 주고 있는 것으로 파악되었다. 즉, 모형에 의한 결과가 관측결과에 비해 상대적으로 공간적 변동정도가 작고 그 패턴도 뚜렷한 것으로 확인되어 모형이 관측기록의 다양한 차이를 어느 정도 보완하고 있는 것으로 이해할 수 있었다.

이러한 결과는 관측기록이 상대적으로 짧은 경우에도 모형에 의한 가뭄의 분석에 어느 정도 신뢰도를 가질 수 있다는 것을 의미한다. 이는 관측기록이 충분히 길지 않은 우리나라의 경우 모형에 의한 분석으로 유용한 결과를 얻을 수 있는 가능성을 보여주는 것이기도 하다. 특히, 지점별 관측기록의 길이가 크게 다른 경우 모형에 의한 가뭄의 공간적 특성 파악이 단순히 관측자료를 이용한 경우에 비해 우월할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

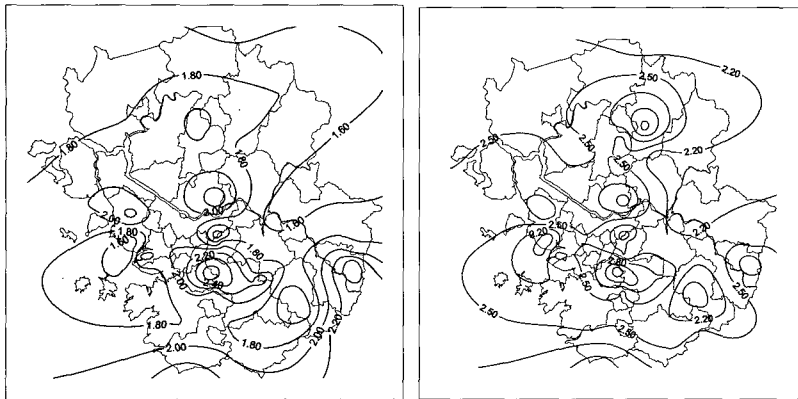


그림 2. 관측된 가뭄(왼쪽)과 모형 결과(오른쪽)의 비교: 지속특성 (지속기간 3개월 SPI; 기준 -1.0)

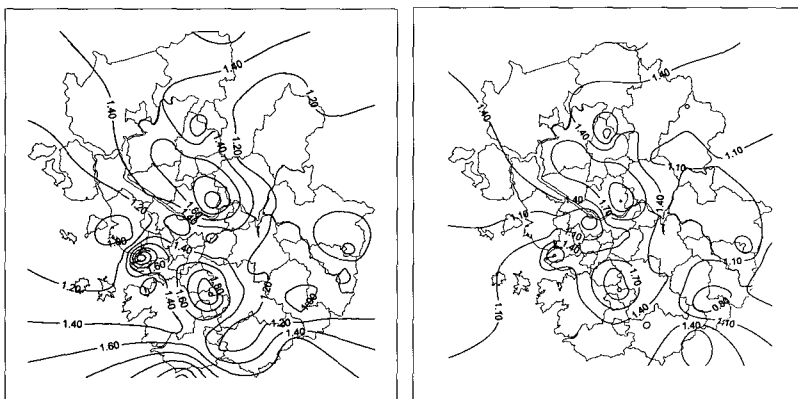


그림 3. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 지속특성 (지속기간 3개월 SPI; 기준 -2.0)

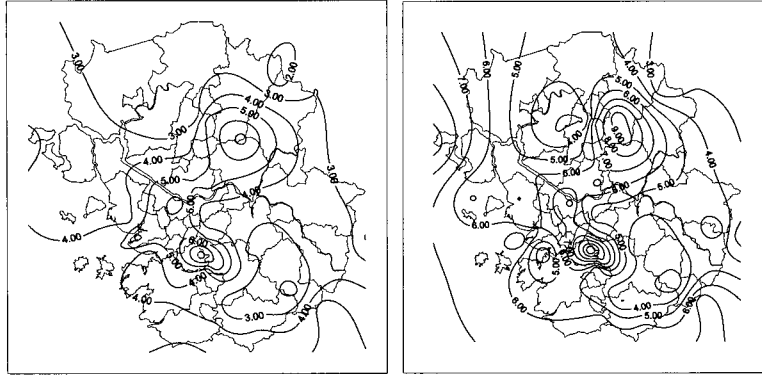


그림 4. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 지속특성 (지속기간 12개월 SPI; 기준 -1.0)

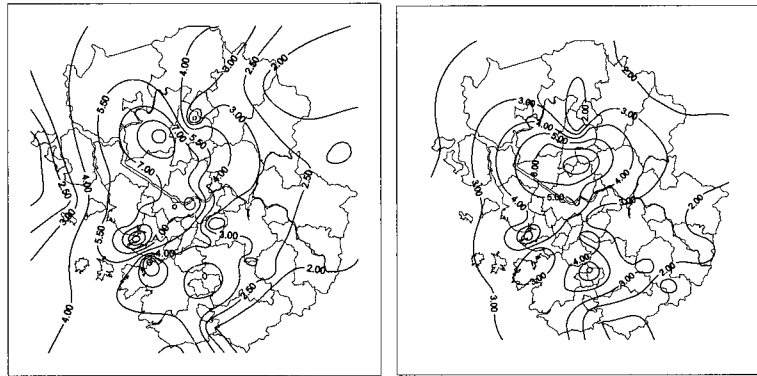


그림 5. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 지속특성 (지속기간 12개월 SPI; 기준 -2.0)

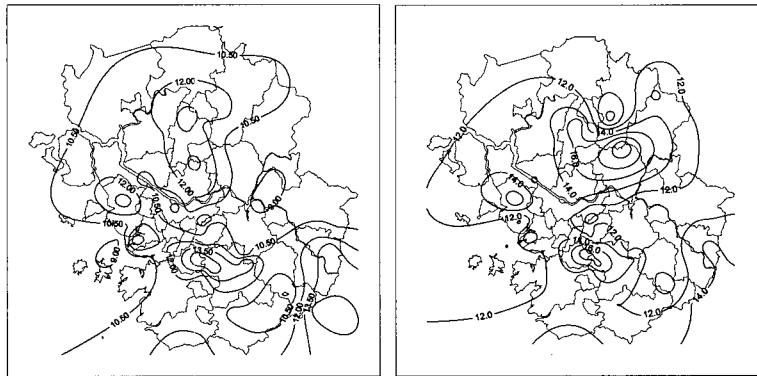


그림 6. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 재현특성 (지속기간 3개월 SPI; 기준 -1.0)

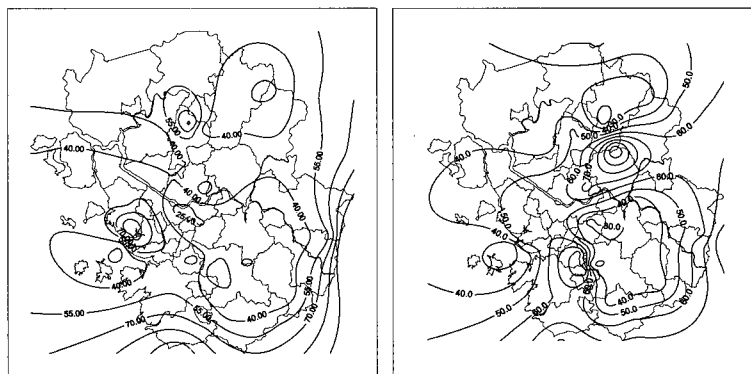


그림 7. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 재현특성 (지속기간 3개월 SPI; 기준 -2.0)

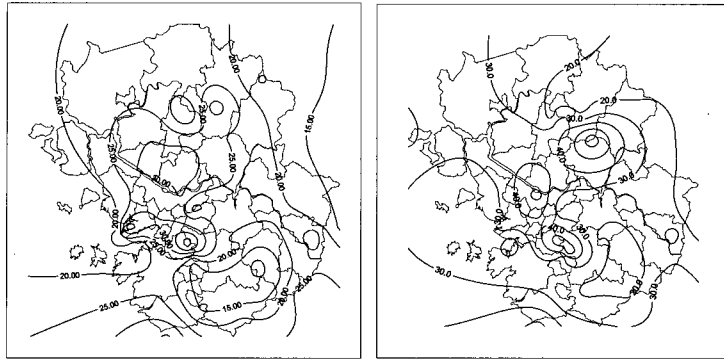


그림 8. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 재현특성 (지속기간 12개월 SPI; 기준 -1.0)

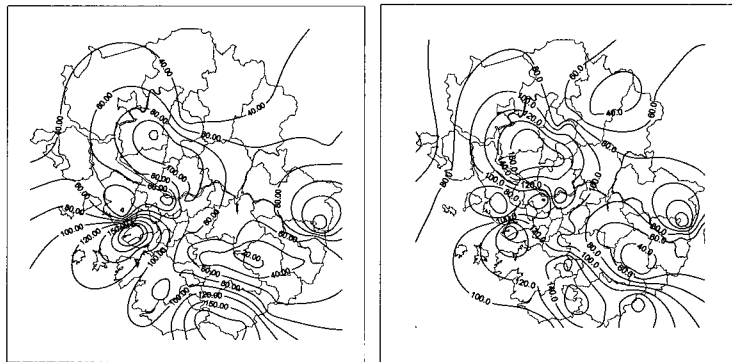


그림 9. 관측된 가뭄과 모형 결과의 비교: 재현특성 (지속기간 12개월 SPI; 기준 -2.0)

## 5. 결론 및 제언

본 연구에서는 경기도 지역을 중심으로 관측자료에 근거하여 아울러 포아송 과정을 적용하여 가뭄의 재현 및 지속특성을 정량화 하고 아울러 비교해 보았다. 본 연구에서는 관측된 월 강수량 자료를 가뭄지수인 SPI로 변환하여 분석에 이용하였다. 가뭄의 시간적 특성 분석에는 공간적으로 경기도 지역의 중심에 위치하며 장기간의 기록을 보유하고 있는 서울 지점을 대상으로 하였고, 가뭄의 공간적 특성 분석에는 경기도 지역 및 인근의 지점을 포함하여 총 43개 지점의 자료를 이용하였다. 특히, 관측 기록에 나타난 가뭄의 재현 및 지속특성을 살펴보고 이를 정량화하기 위한 수단으로 포아송 과정을 이용하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 장기 기록을 보유한 서울 지점 자료의 분석을 통해서 가뭄의 재현 및 지속특성을 살펴보면, 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.

- (2) 농업가뭄(지속기간 3개월의 SPI)의 경우 약한 가뭄은 거의 매년 발생하고, 약간 심한 가뭄은 매 2년마다 발생하는 것으로 나타나고 있으며, 아주 심한 가뭄의 경우도 평균 4 - 5년에 1회 정도 발생하는 것으로 나타난다. 이 경우 각각의 지속기간은 대략 2 - 2.2, 1.8 - 2, 1.4 - 1.8 개월 정도로 나타난다.
- (3) 수문학적 가뭄(지속기간 12개월의 SPI)의 경우 약한 가뭄은 매 2년마다 발생하고, 약간 심한 가뭄은 매 4 - 5년마다 발생하는 것으로 나타나고 있으며, 아주 심한 가뭄의 경우도 평균 8 - 10년에 1회 정도 발생하는 것으로 나타난다. 이 경우 각각의 지속기간은 대략 3 - 6 개월 정도로 나타난다.
- (4) 경기도 지역에서는 경기북부의 포천군과 경기남부의 여주, 이천 및 용인시 인근이 가뭄의 재현기간이 가장 짧게 나타난다. 특히, 포천군의 경우는 가뭄의 지속기간도 길어 가뭄에 가장 취약한 지역으로 나타나고 있다.
- (5) 포아송 과정을 이용한 가뭄의 정량화는 특히 관측기록이 짧은 경우에 유리한 것으로 나타났다. 특히, 공간적으로 가까운 위치에 있는 두 지점의



특성은 관측기록의 길이에 덜 민감하며, 따라서 전체적으로 유사한 특성을 나타냄을 확인할 수 있었다.

- (6) 지점별 관측기록의 길이가 크게 다른 경우 모형에 의한 가뭄의 공간적 특성 파악이 단순히 관측 자료를 이용한 경우에 비해 우월할 수 있다. 본 연구의 경우에 있어서도 모형을 이용한 경우 가뭄의 공간분포가 관측을 직접 분석하여 얻은 가뭄의 공간분포보다 뚜렷하게 나타남을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부, 한국수자원공사, 한국건설기술연구원(2000). **수자원계획의 최적화 연구(Ⅳ)-기후변화에 따른 수자원계획의 영향평가**.
- 류재희 (2000). **가뭄평가를 위한 가뭄지수의 비교연구**, 석사학위논문, 고려대학교.
- 오재호, 홍성길 (1995). "대기중 CO2 증가에 따른 한반도 강수량 변화", **한국수자원학회 논문집**, 제28권, 제3호, pp. 143-157.
- 유철상 (2002). "포아송 과정을 이용한 가뭄의 재현 및 지속특성 분석", **한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 1262-1267.
- 유철상, 류소라 (2003). "서울지점 가뭄의 재현 및 지속 특성 분석", **한국수자원학회논문집**, 제36권, 제4호, pp. 561-573, 2003.
- 윤용남, 유철상, 이재수, 안재현 (1999). "지구온난화에 따른 홍수 및 가뭄 발생빈도의 변화와 관련하여: 1. 연/월강수량의 변화에 따른 일강수 분포의 변화분석", **한국수자원학회논문집**, 제32권, 제6호, pp. 617-625.
- 정현숙 (1999). **서울지역 강수량의 시계열에 나타난 시간 변동성의 해석**, 박사학위논문, 서울대학교.
- 한국과학기술연구원 (1994). **기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구 (I)**, 과학기술처.
- 한국과학기술연구원 (1995). **기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II)**, 과학기술처.
- Alley, W. M. (1984). "The Palmer drought severity index: limitations and assumptions", *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 23, pp. 1100-1109.
- Ashkar, F. and Rousselle, J. (1987). "Partial duration series modeling under the assumption of a Poissonian flood counts", *Journal of Hydrology*, Vol. 90, pp. 135-144.
- Chang, T. J. (1991). "Investigation of precipitation droughts by use of Kriging method", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 6, pp. 935-943.
- Chang, T. J. and Kleopa, X. A. (1991). "A proposed method for drought monitoring", *Water Resources Bulletin*, Vol. 27, No. 2, pp. 275-281.
- Chung, C. and Salas, H. D. (2000). "Drought occurrence probabilities and risks of dependent hydrologic processes", *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 5, No. 3, pp. 259-268.
- Fernandez, B. and Salas, J. D. (1999a). "Return period and risk of hydrologic events. I. Mathematical formulation", *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 4(4), pp. 297-307.
- Fernandez, B. and Salas, J. D. (1999b). "Return period and risk of hydrologic events. II. Applications", *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 4, No. 4, pp. 308-316.
- 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.
- Jones, K. H. (1984). *An Evaluation of the Palmer Drought Index in Southern Saskatchewan*, Report No. CSS-R84-01, Scientific Services Regina, Saskatchewan.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J (1993). *The relationship of drought frequency and duration of time scales*, Department of Atmospheric Science Colorado State University, Fort Collins, CO B0523.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.
- Rodriguez-Iturbe, I. (1986). "Scale fluctuation of rainfall models", *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 9, pp. 15S-37S.
- Rodriguez-Iturbe, I., Febres De Power, B., and Valdes, J. B. (1987). "Rectangular pulses point process models for rainfall: Analysis of empirical data", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. D8, pp. 9645-9656.
- Shafer, B. A., Dezman, L. E. (1982). "Development of Surface Water Supply Index to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff

- areas", *Proceedings of Western Snow Conference*, pp. 164-175.
- Yevjevich, V. (1967). *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*, Hydrology Papers No. 23, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Wang, D.-C. and Salas, J. D. (1989). "Stochastic modeling and generation of droughts", *Hydrologic Engineering '89 Proceedings*, ASCE.
- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. (1985). "Understanding the drought phenomenon: The Role of definition", *Water International*, Vol. 10, pp. 111-120.
- (논문번호:03-104/접수:2003.11.10/심사완료:2004.08.31)