

이변수 가뭄빈도해석을 통한 서울지점의 가뭄평가

Evaluation of Seoul Droughts Using Two-Dimensional Drought Frequency Analysis

연제문*, 김태웅**, 이정규***, 위성욱****

Je Mun Yeon, Tae Woong Kim, Jong Kyu Lee, Sung Wook Wi

요 지

가뭄에 대한 대책을 수립하기 위해서는 가뭄의 심도 및 지속기간 등 가뭄특성을 산정하여 가뭄을 정량화 하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 가뭄을 해석하기 위하여 강수를 이용한 표준강수지수(SPI, Standardized precipitation Index)를 이용하여 가뭄 특성을 산정하였다. 서울지점은 강수의 근대 관측 기간이 약 100년 정도(1907년 ~ 2003년) 이기 때문에 측우기 자료를 이용하여 조선 말까지(1770년 ~ 1907년) 자료를 확장하여 가뭄지수를 산정하였다. 산정된 SPI로부터 절단 수준별 개념을 이용하여 SPI의 -1이하를 가뭄으로 정의 하고, 연속된 가뭄으로부터 가뭄 심도 및 가뭄 지속기간을 구하였다.

가뭄의 지속기간과 심도를 이변수 감마 분포(Bivariate Gamma Distribution)를 이용하여 가뭄의 재현특성을 분석하였고, 가뭄의 지속기간만을 고려한 재현기간과 본 연구에서 산정된 이변수 가뭄 재현기간을 서로 비교하였다.

핵심용어 : 표준강수지수(SPI), 이변수 감마 분포, 가뭄빈도해석

1. 서 론

모든 수문학적 재해 중에서 가뭄(drought)은 홍수와 함께 가장 두려운 재해라 할 수 있다. 가뭄은 지역에 따라 그 발생 양상이 상당히 다르지만, 모든 지역에서 발생한다. 건조한 기후상태는 강우가 적은 지역에 국한되는 영구적인 현상이지만 가뭄은 모든 지역의 정상 상태에서 일시적으로 이탈하거나 차이가 나타나면 발생한다(이재수 2005). 이러한 가뭄의 해석에는 그 목적에 따라 여러 가지 지표를 이용하여 가뭄을 정의한다. 여러 가지 가뭄 지표중 강수와 하천 유량은 기상 및 수문학적 가뭄을 판단하기 위해 널리 사용되고 있다. 특히 강수는 다른 지표들에 비하여 가뭄을 일으키는 물부족의 주된 요인이기 때문에, 강수를 효과적으로 고려한다면 가뭄의 영향을 쉽게 평가할 수 있다.

이번 연구에서는 측우기 자료를 이용하여 월 강수량의 관측기간을 조선 말까지 확장하였고, 이를 통해 가뭄 지수를 산정하였다. 절단 수준별 개념을 적용하여 가뭄을 정의하고, 가뭄의 중요 특성인 지속기간과 심도를 결합분포 시켜 가뭄을 분석하였다.

* 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : moon2291@hotmail.com
** 정회원 · 한양대학교 건설환경시스템공학과 전임강사 · E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr
*** 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : leejk@hanyang.ac.kr
**** 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : eg4uws@hanmail.net

2. 서울지점의 강수량자료

이번 연구에서는 서울 지점의 월 강수량 자료를 이용하여 표준강수지수(SPI)를 산정하였다. 서울 지점의 월 강수량 자료는 조선시대 측우기 기록(1770년 이후부터 1907년까지)과 근대 관측기록(1908년부터 2003년까지)을 이용하였다. 측우기를 이용한 기록은 겨울철 강설에 의한 관측과 약 2mm이하의 강수량은 관측에서 제외가 되었다. 이것을 연 강수량으로 보면 약 75~80mm 정도가 되고 이는 측우기와 근대 관측의 연평균 강수량 차이로 나타난다. 또한 근대 관측 기록 중에서 한국전쟁기간(1950~1953)의 관측도 제외하였다.

3. SPI

SPI지수는 Mckee등(1993)이 가뭄의 발생이 강수량 감소에 의한 물부족이라는 것을 착안하여, 가뭄을 모니터하고 정의하기 위하여 개발하였다. SPI는 계산 시간 단위를 1, 3, 6, 12, 24, 48개월 등과 같이 설정하고 시간 단위 별로 강수 부족량을 측정하여 개개의 강수량이 가뭄에 미치는 영향을 산정하는 것이다.

본 연구에서는 6개월의 표준강수지수(6months SPI)를 구축하여 가뭄 재현 및 특성을 분석하였다. Mckee등 (1993)은 SPI가 0의 아래 위로 자주 변하는 3, 6개월을 가뭄의 단기 특성을 표현하고, 그 변화가 작은 12, 24, 48개월은 가뭄의 장기 특성을 나타낸다고 분류하였다. 우리나라 가뭄은 비교적 단기간의 강우부족으로 인하여 발생하기 때문에 가뭄의 단기 특성을 잘 나타내는 6months SPI를 채택하여 가뭄 지수를 산정하였다.

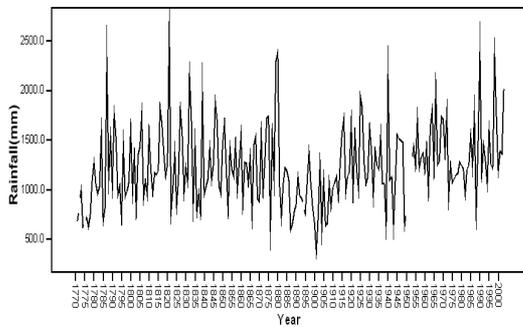


그림 1. 서울 지점의 년 강수량

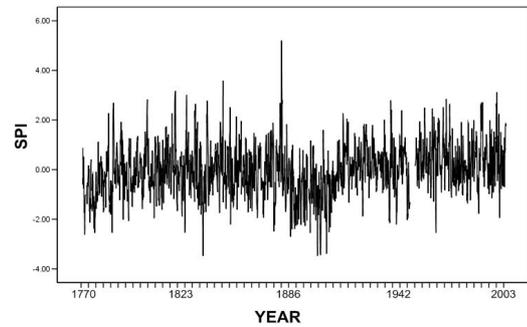


그림 2. 6month SPI

SPI로부터 얻은 각 월의 지수를 분류하기 위하여, 다음과 같은 분류 체계를 이용하였다.(Mckee et al., 1993)

표 1. SPI and moisture categories

SPI Values	Drought Category	Time in Category
0 to -0.99	Mild drought	~24%
-1.00 to -1.49	Moderate drought	9.2%
1.50 to -1.99	Severe drought	4.4%
≤ -2.00	extreme drought	2.3%
		~40%

4. 가뭄의 정의

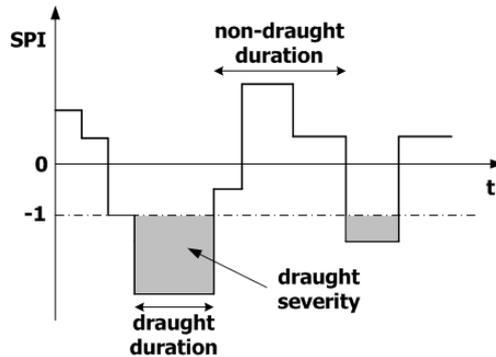


그림 3. Concept and Definition of Runs

이번 연구에서는 가뭄의 특성을 SPI를 이용하여 산정하였다. Yevjevich(1967)에 의해 제안된 Run이론을 이용하여 SPI의 -1이하의 연속된 사건을 가뭄으로 정의하였다. 위의 정의를 이용하여 그림 3과 같이 각 가뭄 사상의 지속기간(duration)과 심도(severity)를 구할 수 있다. 가뭄의 지속기간은 절단수준인 -1이하의 SPI가 지속된 기간을 의미하며, 심도는 가뭄사상에 대하여 -1이하의 크기를 더한 면적이 된다. 산정된 서울 지점 6months SPI를 이용하여 각 가뭄 사상의 지속기간 및 심도특성을 살펴보았다.

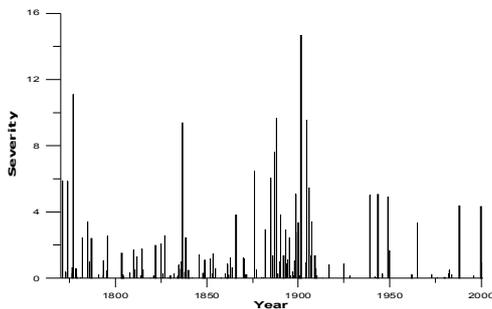


그림 4. Draught severity

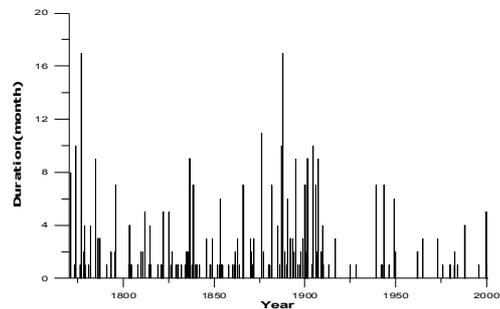


그림 5. Draught duration

5. 가뭄의 지속기간 분포

가뭄의 지속기간 분포는 이론적으로 유도될 수 있다(Mathier et al. 1992). Run이론을 이용하여 시간 t 에 발생한 가뭄에 대하여 절단수준 아래를 가뭄(drought) 절단수준 위를 습윤(non drought)으로 나타낼 수 있다. 만약, 시간 t 에 발생한 가뭄이 이전시간 $t-1$ 에 발생한 가뭄 상태에 영향을 받는다면 지체-2 마코프 모형을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_D(d) = P_{DW}P_{DD}^{d-1}, \quad d = 1, 2, 3, \dots$$

여기서, $P_{DD} = P(SPI_{t+1} \leq -1 | SPI_t \leq -1)$, $P_{DW} = P(SPI_{t+1} > -1 | SPI_t \leq -1)$, d 는 가뭄 지속 기간이다. 위 식을 이용하여 가뭄 지속기간 분포를 그림 6에 나타내었다.

6. 가뭄의 2변수 분포

일반적으로 관측된 가뭄 지속기간과 심도를 각각 분리하여 분포시켜 가뭄의 특성을 얻어 내지만 이러한 경우 가뭄의 지속기간과 특성의 상호관계를 명백히 알아 낼 수 없다. 그렇기 때문에 가뭄의 지속기간과 심도를 결합하여 가뭄 특성에 접근할 수 있다. 가뭄 지속기간과 심도의 결합 확률 밀도 함수는 가뭄지속기간의 주변 분포와 지속기간이 주어졌을 때 가뭄심도의 조건부 분포의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$f_{D,s}(d, s) = f_D(d) \cdot f_{S|D=d}(s)$$

여기서, D, d 는 가뭄 지속기간, S, s 는 가뭄 심도, $f_{D,s}(d, s)$ 는 지속기간과 심도가 주어졌을 때 결합밀도함수, $f_{S|D=d}(s)$ 는 지속기간이 주어졌을 때 가뭄 심도의 조건부 분포이고 $f_D(d)$ 는 가뭄 지속기간 분포이다.

감마 분포를 이용하여 지속 기간이 주어졌을 때 심도의 조건부 분포를 나타내면 다음과 같다.

$$f_{S|D=d}(s) = \frac{s^{\alpha_d-1} e^{-s/\beta_d}}{\beta_d^{\alpha_d} \Gamma(\alpha_d)}; \quad s > 0$$

감마분포의 매개변수(α_d, β_d)는 지속기간과 심도의 높은 상관관계로 인하여 주어진 가뭄 지속기간에 따라 선형적으로 나타난다(Shiau and Shen, 2001). 그러므로 지속기간과 심도의 결합 확률 밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{D,s}(d, s) = \frac{s^{\alpha_d-1} e^{-s/\beta_d}}{\beta_d^{\alpha_d} \Gamma(\alpha_d)} P_{DW} P_{DW}^{d-1}; \quad s > 0 \text{ and } d = 1, 2, 3, \dots$$

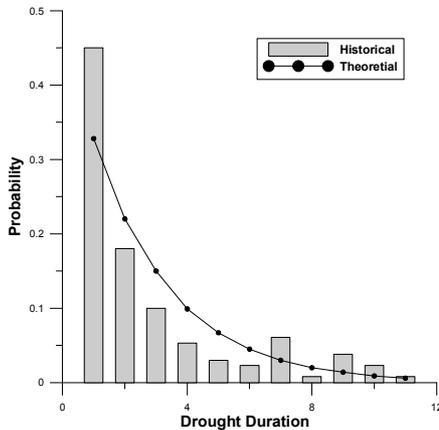


그림 6. Drought duration distribution

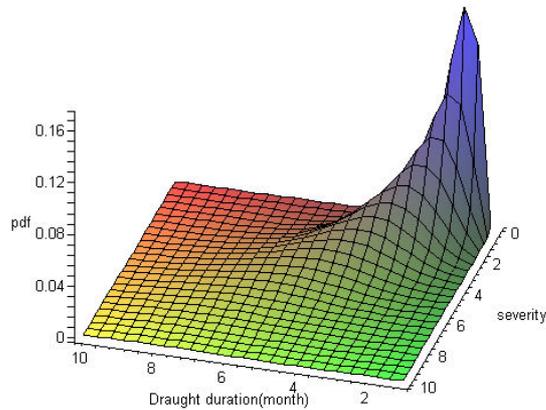


그림 7. JPDF

7. 가뭄 재현기간 산정

어느 관측된 사건의 재현기간은 그것의 초과확률($P(X > x_T)$)에 역수를 취하면 된다.

$$T = \frac{1}{P(X > x_T)} = \frac{1}{1 - P(X \leq x_T)}$$

여기서, x_T 는 재현기간 T 를 갖는 사건의 크기이다. 임의 변수 X 는 그림 에서 정의 되어 있는 가뭄의 지속기간 혹은 심도의 한 특성이다.

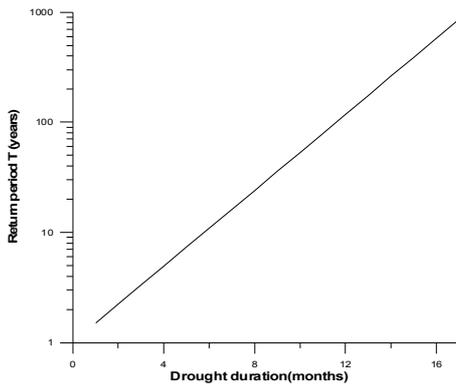


그림 8. Return period of durations

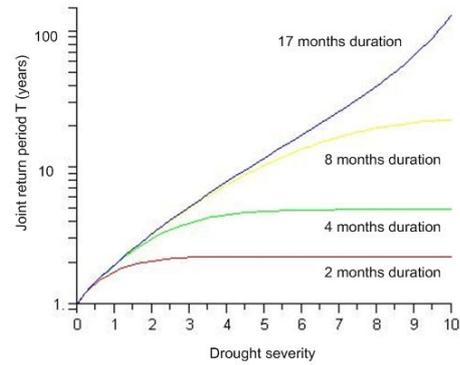


그림 9. Joint return period

7. 결론

이번 연구의 목적은 2가지 가뭄 특성의 상호 관계 즉, 모형의 기본인 가뭄 지속기간의 주변분포와 지속기간이 주어졌을 때 가뭄의 심도의 조건부 분포를 결합하여 재현기간과 결합 분포로 나타내는 것이다. 특히, 여기서는 가뭄 관리에 중요한 인자인 가뭄 심도와 지속기간과의 관계를 2변수 감마 확률 분포를 이용하여 그 재현 특성을 살펴보았다. 이러한 2변수 분포의 목적은 서로 다른 가뭄의 사건의 빈도 해석에 있어서 추가적인 가뭄의 정보를 제공하는 것이다. 그림 8과 9에도 나타나듯이 하나의 변수만을 이용하여 빈도 해석을 했을 경우 보다 여러 변수를 이용하여 빈도해석을 하는 경우가 보다 일관성 있는 가뭄 정보를 제공하고 있음을 알 수 있다. 이러한 방법을 통하여 각 가뭄 사상의 재현 특성을 추정할 수 있고, 이는 가뭄과 관련된 정책 결정에 유용하게 이용될 수 있다.

참고문헌

1. 이재수(2006). 수문학, 구미서관
2. Mathier, L., Perreault, L., bobé, B., and Ashkar, F. (1992). "The use of geometric and gamma-related distributions for frequency analysis of water deficit." *Stochastic Hydro, and Hydr.*, 6(4), 239-254
3. 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.
4. Shiau, J.-T., and Shen, H. W.(2001). "Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity." *J. Water Resour. Plan. Manage.* 127(1), 30-40
5. Yevjevich, V. M. (1967). "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts." hydrologic paper 23, Colorado State Univ., Fort Collins, Colo