

가뭄심도-영향면적-지속기간곡선을 이용한 가뭄의 시공간적 정량화 Spatio-Temporal Drought Quantification using Severity-Area-Frequency Curve

김보경*·김상단**·경민수***·김형수****

Kim, Bo Kyung·Kim, Sangdan·Kyoung, Minsoo·Kim, Hung Soo

요 지

본 연구에서는 제반 수문학적 문제 해결을 위하여 강우사상에 대해 최대평균우량깊이-유역면적-지속기간 관계곡선의 항목 중 최대평균우량깊이를 가뭄심도의 향으로 대체한 가뭄심도-영향면적-지속기간 관계 곡선의 작성방법을 제시하고자 한다. 제주도를 포함한 우리나라 전역의 기상청 월강수량을 이용하여 SPI 가뭄지수를 산정하고 EOF 기법을 적용하여 공간정보로 축약하였다. 이후 Kriging 기법으로 6km×6km의 해상도를 가진 SPI값으로 할당함으로써 격자기반의 가뭄지수 자료의 시간 및 공간특성을 고려할 수 있다. 이에 근거하여 주요 가뭄사상을 식별 및 분석하여 영향면적별 가뭄지수를 산정하고 이에 따라 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 관계곡선을 도출하였다. 관계곡선 작성 결과 각 지속기간에 대하여 특정한 면적 이상에서 가뭄심도가 완만하게 감소하는 형태를 보여 공간적 국지성 및 시간적 단속성이 강한 홍수와는 시·공간적으로 다르게 거동되고 있었으며 가뭄심도의 면적에 따른 감소율은 가뭄분석시의 강우깊이의 면적에 따른 감소율과 비교하였을 때 훨씬 작은 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 가뭄, 표준강수지수, 경험적 직교함수, 크리깅

1. 서 론

가뭄은 홍수와는 달리 장기적이고 지속적인 특성으로 그 시작과 끝을 인식하기 어렵고 진행속도가 느리며 광역적으로 시간과 공간을 통하여 전파된다. 시간적으로 한시적이며 공간적으로 국부적인 특성을 지닌 홍수에 관한 연구가 활발히 진행된 반면 가뭄에 대한 연구는 상기 특성에 따른 학문적 진전이 어려웠음도 간과할 수 없다(Wilhite, 1991). 따라서, 가뭄의 잠재적인 영향평가와 합리적인 수자원관리를 위하여 가뭄의 공간적인 영향면적에 관한 분석이 연구되어야 한다.

가뭄은 용도 및 관점에 따라 정의하며 일반적으로 기상학적 가뭄, 수문학적 가뭄, 농업적 가뭄이 널리 쓰이고 있다. 기상학적 가뭄은 강수부족량을 정상상태와 비교하여 그 정도 및 상태의 지속기간을 기초로 정의하는 가뭄이며, 수문학적 가뭄은 하천유량, 저수량, 지하수 등의 양과 기준이 되는 수치와의 비교를 통하여 정의되는 가뭄이다. 농업적 가뭄은 강수부족량으로 인하여 토양수분의 부족에 따른 작물 생산에 관련한 가뭄이다. 이외에도 기상학적, 농업적, 수문학적 가뭄인자와 관련하여 물의 수요와 공급을 고려하는 사회경제적 가뭄이 있다(최창환, 심명필, 2000).

가뭄을 해석하기 위하여 강수 및 기타 기상인자는 물론 가뭄의 특성상 현재와 가까운 과거의 기상상태로 현재 가뭄상황을 설명할 수 있는 가뭄지수를 이용한다. 가뭄지수에는 PDSI(Palmer Drought Severity

* 정회원·인하대학교 환경토목공학부 석사과정·E-mail : winnerbk@naver.com

** 정회원·부경대학교 환경시스템공학부 전임강사·E-mail: skim@pknu.ac.kr

*** 정회원·인하대학교 환경토목공학부 석사과정·E-mail : gigatg@empal.com

**** 정회원·인하대학교 환경토목공학부 부교수·공학박사·E-mail : sookim@mail.inha.ac.kr

Index), SWSI(Surface Water Supply Index), SPI(Standard Precipitation Index) 등이 개발되어 있다. PDSI는 장기간의 이상 수분부족으로 정의되고 SWSI는 가뭄에 영향을 미치는 강수, 적설, 하천유량, 저수지 저수량으로 구성된다. 이 외에도 작물 상태를 감시하기 위한 CMI(Crop Moisture Index), 한 지역의 강우에 대한 가장 간단한 측정 방법으로 알려져 있는 PNP(Percent of Normal Precipitation) 등이 가뭄을 나타내기 위하여 사용되고 있다. 본 연구에서는 비교적 산정이 용이한 SPI를 이용하여 우리나라 전국에 대하여 12개월의 지속기간을 고려한 수문학적 가뭄에 공간적 특성을 적용하였다.

2. SPI(Standard Precipitation Index) 산정

SPI는 이동 누가에 의하여 시간단위별 누가 강수시계열을 작성하고 적정 확률분포형을 도입하여 표준정규분포에 적용하는 방법으로 현재의 가뭄뿐 아니라 가뭄이 끝나기에 필요한 강수의 확률 결정 또한 가능함을 제시하였다(Mckee et al., 1993). 본 연구에서는 다양한 지속기간을 설정할 수 있는 SPI를 이용하여 다음과 같이 적용하였다. 이동 누가에 의한 방법을 적용하여 월 강수량을 시간단위별로 누가하여 강수 시계열을 구성하고 이를 누가된 월수로 나누어 고려해준 월에 따른 이동 평균 강수계열을 획득한다. 지속시간별 시계열을 구성하고 이 시계열을 월별로 분석하여 적정 확률분포형을 선정하였다. 이후 여 각 변량의 누가 확률을 표준 정규 분포에 적용시켜 표준강수지수를 산정하였다. 표 1은 지수의 범위에 따른 수분상태이다.

표 1. SPI의 습윤상태 분류

가뭄지수의 범위	습분 상태
2.00 이상	극한습윤
1.50 ~ 1.99	심한습윤
1.00 ~ 1.49	보통습윤
-0.99 ~ 0.99	정상상태
-1.49 ~ -1.00	보통가뭄
-1.99 ~ -1.50	심한가뭄
-2.00 이하	극한가뭄

본 연구에서는 우리나라 전역의 기상청 관할 58개 우량관측소 1973년~2004년의 월강수량 자료를 이용하여 지속기간 중 수자원공급 관리에 보다 합리적이고 긍정적인 기대효과를 도출할 목적으로 비교적 장기간인 12개월 지속기간을 채택하였다. 유원희(2000)가 각 분포형별 지수 값에 큰 차이가 없었으며 Guttman(1999)은 Pearson Type III분포를 적절한 분포형으로 제시함에 따라 12개월의 이동평균 강수계열에 Pearson Type III 분포를 적용하고 이를 표준 정규분포에 적용함으로써 각각의 SPI를 산정하였다.

2. 경험적 직교함수(EOF : Empirical Orthogonal Function) 분석

경험적 직교함수(EOF)는 공간적 변동성의 주된 형태를 파악할 수 있으며 적용하는 원자료의 형태를 대부분의 정보를 포함하며 원자료의 차원을 줄이는데 그 목적이 있다(von Storch, 1995 ; Willks, 1995). EOF분석을 실시하여 가뭄지수의 시공간적 변동성을 지배하는 핵심인자들을 추출하고 이를 SPI에 적용함으로써 가뭄의 지역적 거동을 정량적으로 분석할 수 있다. 원자료 행렬 A 에 대하여 비정칙치 분해 혹은 고유치분해(Single Value Decomposition, SVD)를 수행하여 얻을 수 있으며 식 (1)과 같다.

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

여기서, 행렬 U 의 열들은 A 의 EOF이며 각각의 EOF는 서로 독립적인 성분이다. 행렬 S 의 대각요소들은 고유값으로써 이는 EOF가 설명하는 원자료의 분산값으로 모든 EOF의 고유값을 더하면 원자료의 분산이 된다. 행렬 V 의 각 열은 시계열의 계수로 행렬 U 의 열에 대응하는 EOF의 시간적 전개를 나타낸다.

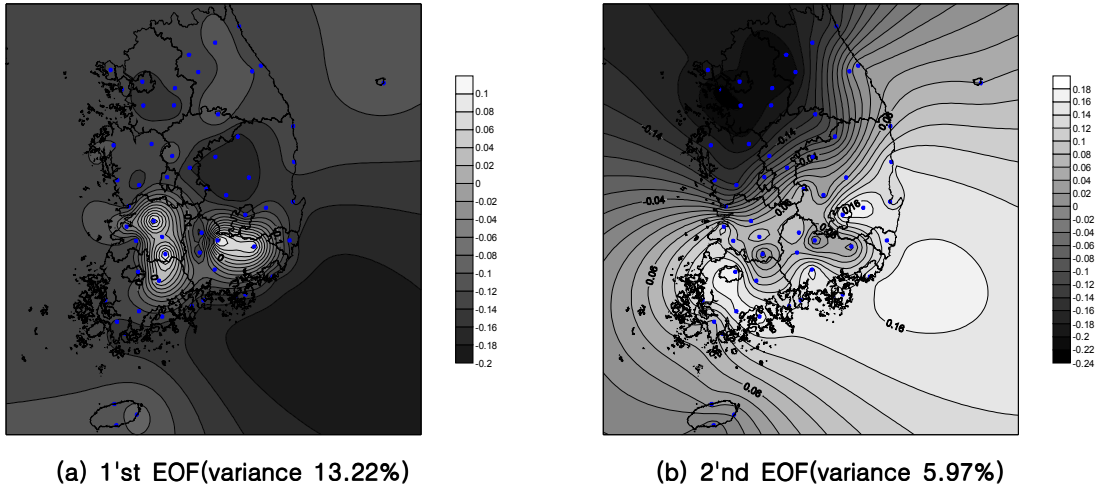


그림 1. 주요 EOF의 공간적 분포

그림 1은 1번 EOF에서 2번 EOF까지의 공간적 패턴으로 양과 음 사이에서 진동하는 EOF 시계열에 의한 공간적 양상만을 표현하고 있다. 그림 1(a)인 1번 EOF에서 보이는 공간적 거동양상은 남부 내륙지방인 합천과 밀양, 진주와 남원지역을 중심으로 진동하는 패턴을 보이며, 그림 1(b)인 2번 EOF는 우리나라의 위도에 따른 공간패턴이 비교적 뚜렷하게 분포되고 있다.

4. 공간분포를 적용한 SPI 산정

산정한 SPI 자료를 EOF분석한 결과는 단지 EOF 시계열에 의한 공간적 양상을 표현한 것으로 본 연구에서 제시하고자하는 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선을 작성하기 위해서는 공간적인 확장이 요구된다. 윤강훈 등(2004)은 공간적인 현상을 설명할 수 있는 수문변수는 인근 지점의 상황이 공간적 의존성 혹은 상관성을 포함하므로 공간적으로 완전히 무작위 특성을 가질 수 없으며 이러한 특성에 의거하여 일부 공간적인 표본자료로 지역적 현상 및 변동성에 대한 공간적인 패턴구조로 설명할 수 있다고 하였다.

공간적 확장을 위하여 본 연구에서는 기지점의 정보와 거리에 따라 변화하는 반분산(semivariogram)을 이용하여 공간상의 추정오차를 최소화하면서 구하고자 하는 지점의 값을 내삽(interpolation)하는 Kriging 기법을 적용하였다. 가뭄심도에 따른 가뭄 영향면적을 알기 위하여 우리나라 전체를 가로, 세로 각 6km의 크기로 구성된 10,000개(100×100)의 격자로 나누고 각 격자를 하나의 지점으로 생각하였다. Benjamin(2002)은 기 산정된 m 개 지점의 EOF에 Kriging 기법을 적용하여 각각의 격자에서의 EOF값을 산정하였으며, 본 연구에서도 이와 같은 방법에 따라 1번~58번 EOF를 각각 Kriging 기법에 적용하여 각각의 EOF들을 100×100 격자 크기로 공간 확장하였다. 이는 앞서 EOF 분석에서 식 (1)에서 제시한 각 행렬을 공간 확장된 행렬 U 로 다시 표현하면 식(2)과 같으며 이를 계산함으로써 확장된 SPI를 획득할 수 있다.

$$A = U \times S \times V^T \quad (2)$$

5. 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간의 곡선 작성

4절에서 공간 확장된 SPI 자료를 이용하여 가뭄심도에 따른 가뭄의 영향면적과 지속기간을 고려하고자 한다. 이러한 접근 방법은 Hisdal and Tallaksen(2003)의 연구 가뭄심도-영향면적-생기빈도에 적용되었으며 국내에서는 장연규 등(2004)이 이를 변형하여 사용한 바 있는데, 본 연구에서는 Hisdal and Tallaksen(2003) 및 장연규 등(2004)의 연구에서 생기빈도를 지속기간으로 대체한 후, 연구 방향에 맞추어 적절한 변형을 취한 후 적용하였다. 우선 표 1에서 -1.5 이하의 심한 가뭄과 극한 가뭄에 근거하여 총 20개의 가뭄사상을 추출하였으며 가뭄사상별로 짧게는 2개월에서 길게는 3년동안 가뭄이 지속되고 있음을 알 수 있다.

그림 2는 본 연구에서 선정한 SPI의 가뭄심도에 의거하여 2001년 9월~2002년 4월까지 7개월동안 지속된 가뭄의 생성 및 분포과정을 제시하고 있다. 이 사상은 우리나라 중부지방을 중심으로 가뭄이 발생하여 2001년 12월까지 3개월에 걸쳐 가뭄의 영향이 확장하고 있으며 2001년 1월 이후 경북지역의 문경, 추풍령을 경계로 분리되면서 점차적으로 감소하는 양상을 보이고 있다.

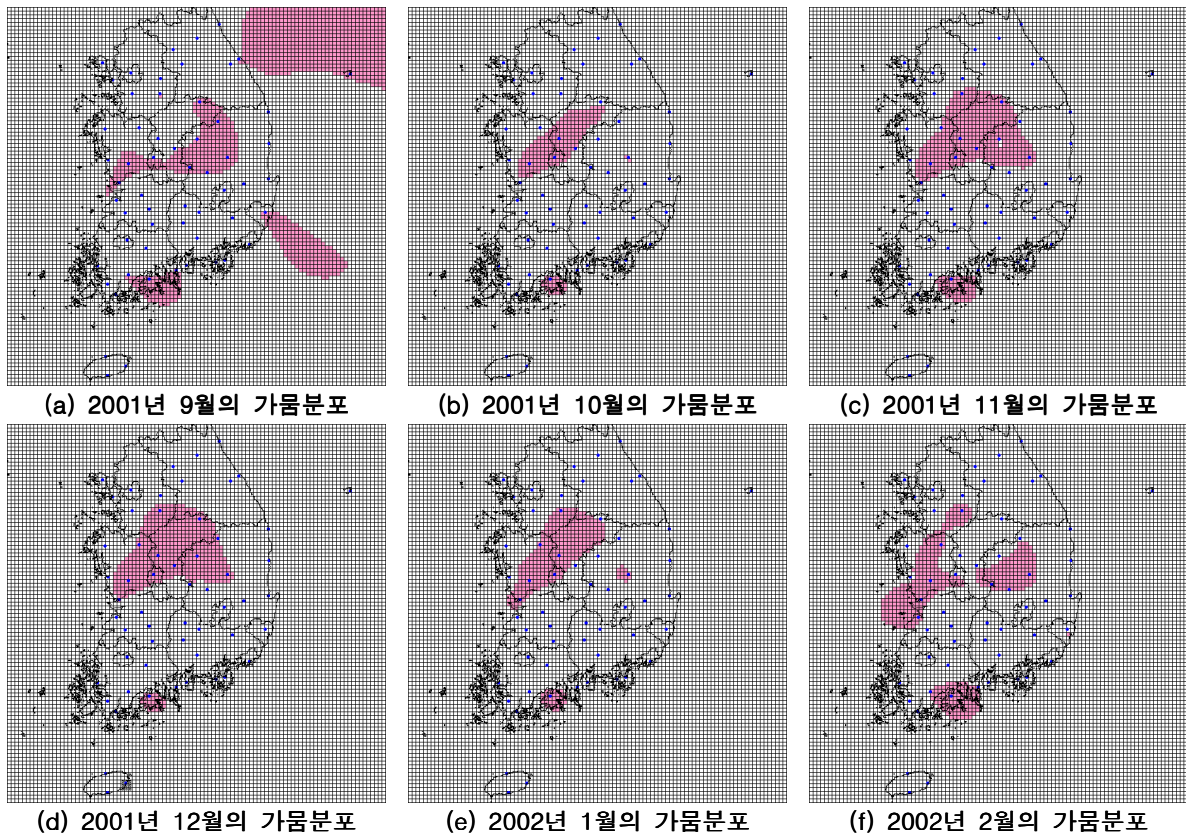


그림 2. 가뭄의 생성 및 분포과정

6km×6km의 크기로 구성된 10,000개의 격자에 확장한 SPI를 적용하는 과정에서 해안을 제외하고 실제 강우관측소가 위치하고 있는 내륙 및 제주도만 고려하여 가뭄 공간분포의 정확도와 신뢰성을 높이고자 하였다. 제주도를 포함한 우리나라 내륙에 대하여가로, 세로 6km의 격자의 면적을 1~30까지의 거듭제곱으로 증가시켜 면적 36.0km²~32.4×10³km²의 가뭄심도를 고려하였다. 10,000개로 나누어 공간 확장한 자료 중에서 우리나라 내륙의 4,674개(57×82)의 격자와 제주도 126개(14×9)로 총 4,800개의 격자에 대하여 좌측 상단에서부터 우측 하단까지 좌우, 상하로 window를 이동시키면서 각 window에 부여된 가뭄심도 SPI를 평균하였다.

그림 3은 본 연구 과정에서 가뭄의 공간적 특성을 고려하여 가뭄 영향면적 최대 32.4×10³km², 각 지속기간

1, 3, 6, 9, 12개월을 표현한 가뭄심도-영향면적-지속기간 곡선으로 지속기간이 짧고 영향면적이 작을수록 가뭄심도가 깊어지고 각 지속기간에 따라 특정한 면적을 초과하는 경우 가뭄심도가 보다 완만하게 감소하는 형태를 보인다. 각 지속기간에서 가뭄의 영향면적이 증가함에 따라 가뭄심도는 감소하고 특히 지속기간 1개월의 가뭄심도가 약 -4.5에서 -2.3으로 낮아져 가뭄의 공간적 특성을 잘 반영하고 있다.

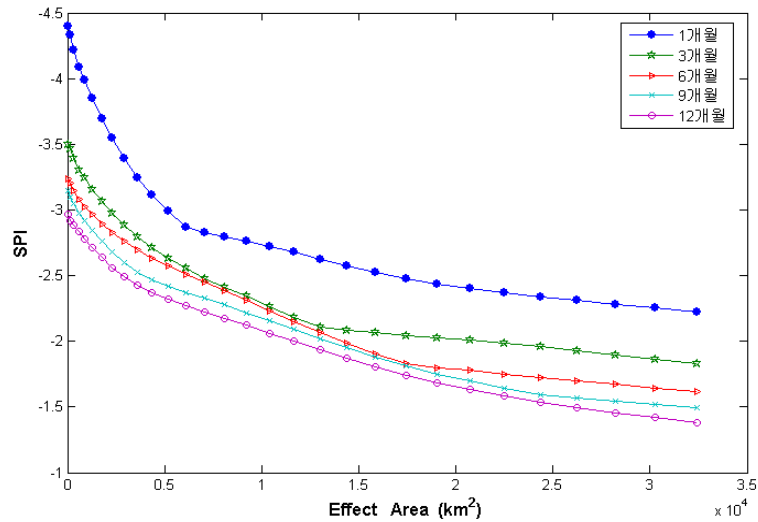


그림 3. 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선

6. 결론

면적에 따른 SPI를 산정하기 위하여 window를 1, 3, 6, 9, 12개월의 지속기간에 이동시킨 결과 지속기간이 커질수록 동일한 면적에 대한 가뭄심도가 감소하는 양상을 보였다. 즉, 가뭄심도-영향면적-지속기간 관계곡선은 지속기간이 짧고 영향면적이 작을수록 가뭄심도가 깊어지며 영향면적이 증가할수록 가뭄심도가 낮아진다는 점에서는 강우사상에 대한 최대평균우량깊이-유역면적-지속기간의 특성과 일치한다고 할 수 있다. 또한, 관계곡선의 작성결과 공간적인 특성이 반영되었을 경우 1994~1995년 발생한 가뭄이 지금까지 발생한 가뭄 중 가장 심각한 가뭄인 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 유원희(2000) 유출량 계열을 이용한 가뭄지수 산정. 석사학위논문, 인하대학교.
2. 윤강훈, 서봉철, 신현석(2004) 크리깅 기법을 이용한 낙동강 유역 홍수강우의 공간해석 연구. 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권3호, pp.233-240.
3. 장연규, 김상단, 최계운(2004) SPI 가뭄지수의 EOF 분석을 이용한 가뭄의 공간적 특성 연구. 대한토목학회 2004년도 학술발표 논문집, 대한토목학회, pp.4897-4902.
4. Hisdal, H., and Tallaksen, L. M(2003) Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics : a case study for Denmark. Journal of Hydrology, Vol. 281, pp.230-247
5. Wilhite, D. A.,(1991) Drought Planning and State Government Current Status, Bulletin of the American Meteorological Society., Vol. 72, No. 10, p.1531-1536.