다양한 가뭄정의에 따른 가뭄 특성 비교분석

Comparative Analysis of Drought Characteristics Considering Various Drought Definitions

유지영*, 박종용, 김태웅*****

Ji Young Yoo, Jong Yong Park, Tae-Woong Kim

요 지

가뭄 발생원인은 기후학적인 인자(온도, 바람, 상대습도 등)들과 밀접한 관계를 갖고 있으나, 가장 큰 원인은 강수부족이라고 말할 수 있다. 따라서 가뭄은 정상수준 이하의 강수 상황이 연속적으로 발생하여 나타나며, 설정된 절단수준에 대해 가뭄의 지속기간, 심도, 발생간격 등을 정의한 후 이에 대한 시계열 분석을 수행하여 가뭄의 특성을 분석한다. 본 연구에서는 가뭄 절단수준의 변화에 따른 한반도 내 가뭄의 특성분석을 위하여 하나의 절단수준으로 고정된 경우의 가뭄특성과 각 년도 월별 특성을 고려하여 절단수준이 지속적으로 변화하는 경우로 구분하여, 가뭄특성의 변화를 분석하였다. 또한 위 두 가지 경우에 대해 각각 가뭄해소 여부를 판단하여 총 4가지 경우에 따른 가뭄 특성을 분석하였다. 가뭄 절단수준의 변화 및 가뭄 해소여부에 따른 한반도 내 가뭄특성을 분석하기 위해, 가뭄의 지속기간, 심도의 기초통계량 등을 산정하여 비교 분석하였다. 본 연구는 한반도 내의 가뭄특성을 보다 정확하게 해석하기 위해서는 다양한 가뭄정의에 따라 가뭄해석결과가 나타내는 상대적 차이를 비교할 필요성이 있음을 증명하였다.

핵심용어: 가뭄 절단수준, 가뭄해소, 지속기간, 심도

1. 서 론

가뭄은 장기간에 걸친 물 부족으로 나타나는 기상재해를 말한다. 흔히 가뭄을 기상학적 가뭄, 기후학적 가뭄, 대기 가뭄, 농업적 가뭄, 공업적 가뭄, 수문학적 가뭄 등으로 구별하기도 한다. 이러한 가뭄 현상은 개별적 또는 독립적으로 발생하는 것이 아닌 기상학적 가뭄이 오래 지속되면 토양수분을 고갈시켜 농업가뭄을 유발시키며 하천이나 저수지의 수량을 감소시켜 수문학적 가뭄으로 나타나게 되는 상호간의 상관성이 있다. 우리나라는 가뭄을 평가하기 위해 여러 가지 가뭄지수를 이용하며 이러한 가뭄지수는 여러 가지 인자가 적용되어 지수를 산정하게 된다. 그러나 이러한 인자들을 선정하는 것 자체가 관점에 따라 달라질 수 있기 때문에 어느 한 방법이 모든 관점의 가뭄에 적합한 평가방법으로 인정되기는 어렵다(국립방재연구소, 2003). 그러므로 본 연구에서는 이러한 복합적인 인자들을 모두 고려하여 가뭄을 평가하는데 어려움이 있다는 점을 고려하여,

* 정회원・한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정・E-mail : 7924pooh@hanyang.ac.kr
** 정회원・한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정・E-mail : bajojjang@hanyang.ac.kr
*** 정회원・교신저자・한양대학교 건설환경공학과 조교수 ・E-mail : twkim72@hanyang.ac.kr

가뭄의 주원인을 강수부족이라는 하나의 대표적 인자로 결정하였다. 정상 이하의 강수 상황이 연속적으로 발생하는 Run의 개념(Yevjevich, 1967)을 이용하고 다양한 절단수준(threshold level)에 대해 가뭄의 지속기간, 심도, 발생간격 등을 정의한 후, 가뭄정의에 따른 각각의 시계열 분석을 수행하여 가뭄특성을 비교·분석하였다.

2. 가뭄평가를 위한 다양한 가뭄정의

2.1 절단수준 종류와 가뭄해소개념 적용 유무에 따른 가뭄 정의

본 연구에서는 한반도 내 가뭄의 특성분석을 위하여 다양한 가뭄 절단수준을 이용하여 하나의 절단수준으로 고정된 경우의 가뭄특성과 각 년도 월별 특성을 고려하여 절단수준이 연속적으로 변화하는 경우로 구분하여 두 가지 경우의 시계열을 분석하여 가뭄특성의 변화를 살펴보았다. 또한 위 두 가지 경우에 대해 각각 가뭄해소의 개념을 추가로 적용하여 표 1과 같이 총 4가지 경우(CASE)에 따른 가뭄 특성 분석을 비교하였다. 임의 달의 월 강우량이 정상수준(월 평균 강우량) 보다 클 경우 가뭄 상태가 아니라고 판단하지만, 현실적으로는 이전 달까지의 강우 부족분이 해소되지 않은 상태라면 가뭄 상태가 해소되었다고 판단하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 가뭄상태를 식 (1)과 같이 이전 가뭄사상의 누적 강우부족량의 해소 여부를 기준으로 판단한 가뭄해소개념을 적용하였다.

$$DS(i)=\begin{cases}1(wet\ state),\ \text{if}\ \ P(i)\geq\sum_{j=1}^{n}P(j)\\0(dry\ state),\ \text{if}\ \ P(i)<\sum_{j=1}^{n}P(j)\end{cases} \tag{1}$$

여기서 DS는 가뭄상태지수(Drought State Index), P(i)는 i번째 달의 강우량, 그리고 $\sum_{j=1}^{n}P(j)$는 (i-1)번째 달까지의 가뭄상태에서의 강우부족분이다.

표 1. 4가지 경우에 대한 가뭄정의 구분

	가뭄한계치의 월별변화 유무	가뭄해소 개념적용 유무
CASE 1	○	×
CASE 2	○	○
CASE 3	×	×
CASE 4	×	○

2.2 가뭄정의에 따른 가뭄 특성비교

가뭄 절단수준의 변화여부 및 가뭄 해소개념의 고려여부에 따른 가뭄특성을 분석하고, 장·단기 가뭄에 대한 영향을 분석하기 위하여 1, 3, 6, 9, 12개월의 이동평균강우량을 이용하였다. 우리나라 주요 강우관측소 지점별 가뭄사상 수, 가뭄지속기간, 가뭄심도의 기초통계량 등을 산정하여 가뭄정의에 따라 가뭄 특성결과가 어떤 차이를 나타내는지 비교분석하였다. 표 2는 서울지점의 가뭄특성치 산정결과이며, 여기서 C1M1이란 CASE1에 해당하는 1개월 이동평균강우량을 이용한 가뭄정의를 뜻하며, 단기가뭄과 장기가뭄을 모두 분석할 수 있도록 20가지 경우로 구분하여 분석하

였다.

표 2. 가뭄정의에 따른 서울지점의 가뭄특성치 산정결과(서울지점)

구분	C1M1	C1M3	C1M6	C1M9	C1M12	C2M1	C2M3	C2M6	C2M9	C2M12
가뭄사상 수	153	89	67	67	33	97	65	52	38	18
가뭄 지속기간 (monthly)	2.56,	4.05,	5.09,	5.91,	8.39,	3.06,	4.63,	5.69,	7.29,	13.67,
(평균, 표준편차)	1.79	3.06	4.91	6.38	11.87	1.99	3.15	5.25	6.90	13.59
가뭄 심도 (mm)	126.26,	127.92,	123.91,	111.41,	134.41,	156.42,	152.15,	146.77,	147.90,	230.99,
(평균, 표준편차)	127.84	139.98	156.01	161.12	233.86	137.21	149.07	167.56	177.18	281.05
구분	C3M1	C3M3	C3M6	C3M9	C3M12	C4M1	C4M3	C4M6	C4M9	C4M12
가뭄사상 수	82	54	52	47	37	59	52	52	45	30
가뭄 지속기간 (monthly)	5.40,	7.54,	6.46,	6.75,	10.27,	6.49,	6.61,	5.73,	6.29,	11.77,
(평균, 표준편차)	2.22	1.34	2.03	5.607	13.74	2.42	1.56	2.55	6.07	14.64
가뭄 심도 (mm)	405.07,	507.89,	376.38,	236.97,	181.05,	507.15,	485.51,	343.24,	217.73,	217.92,
(평균, 표준편차)	271.68	118.21	114.83	183.14	303.03	198.89	119.53	138.31	201.66	324.32

서울지점의 가뭄분석 결과 중 가뭄사상 수가 CASE에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있으며, 단기가뭄에서는 CASE1에서 가장 많은 가뭄사상 수가 나타났으며, CASE4에서 가장 적은 가뭄사상이 발견되었다. 또한 장기가뭄에서는 CASE1이나 CASE3에서 가장 많은 가뭄사상 수가 나타났으며, CASE2에서 가장 적은 가뭄사상 수가 발견되었다. 이처럼 가뭄정의를 내리는 기준에 따라 가뭄사상 수가 서로 달라지고 이에 따른 가뭄지속기간과 가뭄심도 또한 서로 상이하게 달라짐을 알 수 있다. CASE3, CASE4와 같이 절단수준을 연평균강우량으로 결정한 경우에는 가뭄사상수가 보다 적게 나타나고 이에 따라 가뭄지속기간은 평균적으로 길게, 가뭄심도는 크게 산정됨을 확인할 수 있다. 반면 CASE1, CASE2와 같이 월별 특성을 고려하여 절단수준이 월마다 연속적으로 변화하는 경우에는 계절적인 강우특성을 고려하여 절단수준을 결정하였기 때문에 보다 민감하게 가뭄분석이 수행되며, 그 결과 가뭄사상은 보다 많이 발견되었으며 가뭄지속기간과 가뭄심도의 평균 및 편차는 상대적으로 적게 산정됨을 확인할 수 있다.

또한 가뭄해소의 개념의 적용된 CASE2, CASE4는 가뭄해소 개념을 적용하지 않은 CASE1, CASE3에 비하여, 가뭄지속기간과 가뭄심도가 모두 크게 산정됨을 확인할 수 있다. 이는 가뭄해소의 개념으로 인해 해소될 수 있는 가뭄사상은 가뭄으로 정의하지 않는다는 특성이 반영되어, 보다 큰 가뭄의 지속기간과 심도를 갖는 가뭄사상만이 추출되어진 결과라고 해석할 수 있다.

3. 기존의 가뭄지수와 C1M1~C4M12의 비교분석

3.1 과거 가뭄기간에 대한 검토

본 연구에서는 C1M1~C4M12를 이용한 가뭄평가의 타당성을 확인하기 위해, 과거에 실제로 발생했던 가뭄기간에 대해 비교검토를 수행하였다. 먼저 1990년대에 발생한 1994년 5월부터 1995년 9월까지 지속되었던 극한가뭄기간과, 2000년 10월부터 2001년 봄에 발생한 극한가뭄을 대표적 가뭄사상으로 선정하였다. 2001년 가뭄기록조사 보고서(건설교통부, 2001)에 따르면, 1994년에 발생한 가뭄의 경우 5, 6, 7월의 강우량이 231.3mm로서 과우빈도가 30년에 이르는 심각한 상황이었으며, 2001년에 발생한 가뭄의 경우는 한강, 낙동강, 섬진강 유역의 일부 댐에서는 20~50년 빈도 이상의 극심한 가뭄상황이 계속되었다.

그림 1은 부산지점의 1994년 5월부터 1995년 9월까지 실제로 발생한 장기가뭄에 대해, 본 연구에서 적용한 C1M6, C1M9, C1M12와 기존의 가뭄지수(SPI6, SPI9, SPI12, PDSI)들 간의 가뭄심도를 나타내고 있다. 여기서 사용한 기존의 가뭄지수는 수자원공사에서 산정한 가뭄지수를 직접 제공받아서 이용하였으며, 그림 1에서 y축의 좌측은 C1M6, C1M9, C1M12로 정의한 절단수준에 따라 강우의 과·부족량을 나타내고 우측은 SPI6, SPI9, SPI12, PDSI의 지수 값을 나타낸다. 일반적으로 가뭄지수와 C1M6, C1M9, C1M12는 유사한 시계열 거동을 보이고 있음을 확인할 수 있으며, C1M6, C1M9, C1M12는 SPI지수를 산정하는 과정에서 지수화를 시키기 위한 표준화 이전 단계의 강우량을 나타내고 있기 때문에 SPI6, SPI9, SPI12와 매우 유사한 거동을 보인다는 것을 파악할 수 있다. 그러므로 가뭄지수로만 가뭄을 분류하였을 경우 가뭄지수가 나타내는 가뭄의 크기는 정성적으로 분류할 수 있으나, 강우량의 과·부족량도 함께 나타내어 비교분석 한다면, 정성적 해석과 정량적 해석을 동시에 수행할 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들어 1994년 9월의 SPI6는 -1.54이므로 Mckee et al.(1993)에 의하면 심한 가뭄상태임을 알 수 있고, C1M6은 -72.107이므로 72.107mm 크기의 가뭄심도를 나타내고 있다는 사실을 확인할 수 있다.

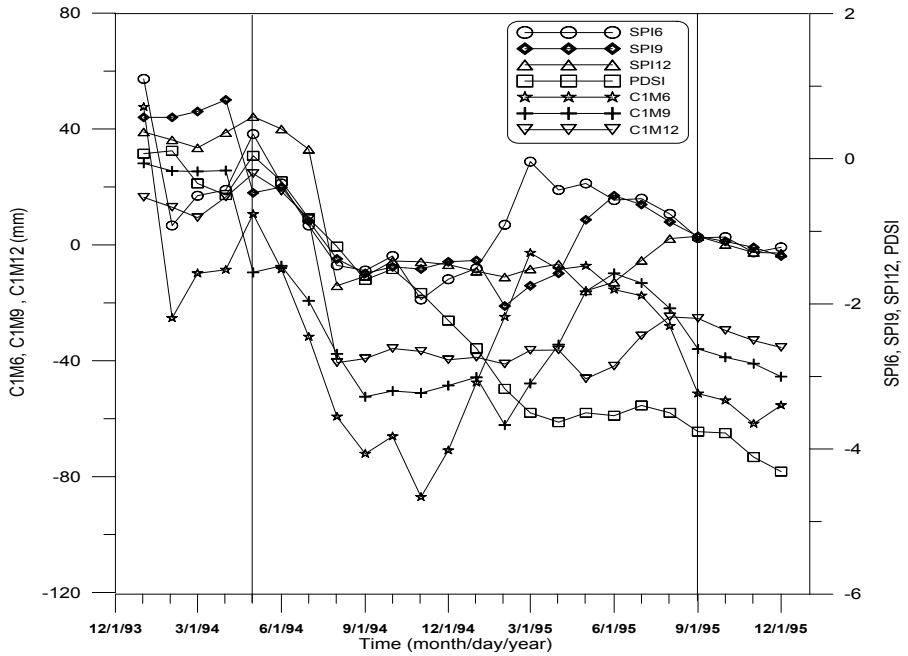

그림 1. 가뭄지수와 C1M6, C1M9, C1M12의 비교(부산지점)

3.2 가뭄지수(SPI, PDSI)와 C1M1～C4M6의 상관성 분석

본 연구에서는 지난 2000년 10월부터 2001년에 발생한 봄 가뭄을 대표적 가뭄사상으로 선정하여, 표 3과 같이 인천지점의 가뭄지수 값과 C1M1～C4M6 사이의 상관성을 분석하였다. 그 결과 단기가뭄을 나타내는 SPI1, SPI3, SPI6 지수와 C1M1, C1M3, C1M6 사이에는 높은 상관관계를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 또한 가뭄지수를 CASE2와 CASE4를 비교해 보면, 기존에 이용하는 가뭄지수에는 본 연구에서 언급한 가뭄해소의 개념과 상관성이 매우 적다는 결과를 확인할 수 있다. 이는 기존의 가뭄지수를 이용하여 가뭄을 평가할 경우에는 가뭄이 지속된 이후 즉시 그 가뭄을 해소해 줄 수 있는 강우가 내렸다고 해도 그 전의 가뭄사상은 그대로 가뭄상태로 평가되어 졌다고 판단된다. 그러므로 가뭄을 정의하는 방법에 따라 가뭄 평가결과가 상이하게 달라질 수 있

다는 것을 충분히 고려하여, 단순히 가뭄지수만을 신뢰하여 가뭄을 해석하는 것 보다는 평가하는 목적에 맞는 가뭄의 정의를 재설정하여 가뭄 평가를 수행해야 할 것으로 생각된다.

표 3. 가뭄지수와 C1M1～C4M6의 상관성 분석결과(인천지점)

구분	SPI1	SPI3	SPI6	PDSI	구분	SPI1	SPI3	SPI6	PDSI
C1M1	.856**	.198	.347	.278	C3M1	.609*	.177	.214	.067
C1M3	.245	.873**	.511	.553*	C3M3	.204	.521*	.505	.017
C1M6	.442	.774**	.970**	.273	C3M6	.461	.545*	.871**	-.067
C2M1	.506	-.288	-.196	.180	C4M1	.066	-.438	-.490	-.067
C2M3	.144	.398	-.040	.353	C4M3	.021	.006	-.044	-.234
C2M6	.523*	.232	.486	-.175	C4M6	.392	.045	.371	-.419

* 상관계수는 유의수준 α = 0.05에서 유의함.

** 상관계수는 유의수준 α = 0.01에서 유의함.

4. 결론

본 연구에서는 가뭄 절단수준의 변화여부 및 가뭄 해소개념의 고려여부에 따른 다양한 가뭄을 정의하여 각 경우별 가뭄특성을 분석하기 위해 과거에 실제로 발생했던 장기가뭄(1994-1995년) 기간과 봄 가뭄(2001년)기간에 대해 적용시킨 후, 이를 가뭄지수와 비교분석하였다. 결과적으로 가뭄 어떠한 방법으로 정의하고 분석하는가에 따라 가뭄사상의 수, 가뭄지속기간, 가뭄심도가 상이하게 달라지는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 기존에 이미 가뭄평가에서 사용되고 있던 가뭄지수의 가뭄상태평가와 C1M1, C1M3, C1M6 등과 같이 실제 강우부족량(가뭄심도)값을 동시에 고려하여 가뭄을 평가한다면, 정량적인 해석과 정성적인 해석을 동시에 가능하게 한다는 장점이 있음을 알 수 있었다. 그러므로 실제 발생한 가뭄이 신뢰성 있는 평가결과인지를 판단하기 위해서는, 가뭄평가 목적에 맞는 가뭄정의를 통해 가뭄분석을 수행한 것인지의 여부를 먼저 확인해야 할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-08-NH-05] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 국립방재연구소 (2003). 인공위성을 이용한 가뭄상황 관리체계구축 연구, 국립방재연구소, pp. 3.
2. 건설교통부 (2001). 가뭄기록조사 보고서, pp. 310～311.
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. Yevjevich, V. M. (1967). "An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts" H*ydrology Paper 23,* Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado.