

가뭄 예·경보를 위한 지수 개발에 관한 연구

유재복*, 이재웅**, 김문모***

1. 서론

가뭄을 단순히 한두 마디의 단어로 정의하기는 매우 어렵다. 일반적으로 가뭄이란 강우가 오랫동안 발생하지 않거나, 적게 발생하는 기간이 지속되는 현상으로 인식되고 있다. 하지만 가뭄현상을 정의하는 관점에 따라서 그 기준을 달리하게 된다. 수자원 공학 측면에서 보면 물의 주요 공급원인 하천유출과 저수지 저수량의 결핍 현상이 주된 인자가 되며, 수문학적 관점에서 보면 강수량 부족과 그로 인한 유출량 결핍을 가뭄의 지표로 삼게된다. 즉, 사용되는 주요 변수들에 따라 여러 가지 가뭄지수가 개발되었다.

본 연구에서는 Palmer 가뭄지수와 하천유출을 이용한 가뭄지수를 개발하여 안성천 유역에 적용해 보았다.

2. 시범유역 선정

유역면적이 큰 유역일수록 유역의 지리·지형학적 특성 및 기후학적 특성 분포가 다양할 가능성이 크며, 이로 인한 수문학적 동질성이 결여될 가능성이 크다. 이로 인해 대유역에서는 임의 빈도의 가뭄이 발생할 경우 유역 전역에서 동일한 정도의 가뭄이 동시에 발생할 가능성은 작아지며, 소유역의 특성에 따라 심도가 다른 빈도의 가뭄이 발생하게 될 것이다. 한편 우리나라에는 장기적이고 체계적으로 정리되며 신뢰도가 높은 과거 강우자료를 보유한 유역이 드물다. 그러나 안성천 유역은 유역면적이 1,699.6 km²으로서 비교적 작은 유역에 속하므로 수문학적 동질성이 있고 장기적이고 신뢰도가 높은 과거 강우자료를 보유하고 있다. 또한 안성천 유역은 경기도와 충남의 2개 도에 걸쳐 있고 유역의 북쪽 상류에는 경기도 도청 소재지인 수원시와 수도권 위성 도시인 군포시, 의왕시 일부가 위치하고 있다. 유역내 토지 이용은 논, 밭, 과수원이 63%로 높은 비율을 보이며, 시가지 지역은 약 5% 정도를 차지하고 있어 도시뿐만 아니라 농촌에서 수자원의 이용이 활발한 유역이다. 또한 안성천 유역에서는 1982년, 1983년, 1984년, 1987년, 1988년 1989년, 1994년, 1995년, 1996년에 큰 가뭄이 발생하여 큰 피해를 겪었기 때문에 본 연구에서 안성천 유역을 시범 유역으로 선정하였다.

* 아주대학교 토목공학과 석사과정

** 아주대학교 토목공학과 조교수

*** 신구대학 토목공학과 부교수

3. 가뭄 지수

3.1 Palmer 가뭄지수

Palmer는 가뭄을 장기간의 이상습윤부족이라 정의하였으며 여기서 이상습윤부족을 정상적인 기후에서 현저하게 벗어난 비정상적인 습윤부족 기간이라 정의하고 있다. Palmer 가뭄지수를 계산하기 위한 입력자료는 단지 강수량, 기온 및 유효토양수분량(Available Water Content, AWC)으로 매우 간단하다. Palmer 가뭄지수를 얻기 위해서는 사전에 증발산량, 함양량, 유출량 및 손실량 그리고 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration, PE), 잠재함양량(Potential Recharge, PR), 잠재유출량(Potential Runoff, PRO) 및 잠재손실량(Potential Loss, PL)을 수분수지모형을 이용하여 산정해야 한다. 이러한 Palmer 가뭄지수는 미국 전역에 걸쳐 여러 가지 분야에 널리 적용되고 있으나 적설 등을 고려하지 못하는 점과 수분수지 모형의 단순화에 따르는 한계를 가지고 있다.

그림 1은 Palmer 가뭄지수를 안성천 유역에 적용하여 1968년부터 1998년까지 구한 것이고, 표 1은 Palmer 가뭄지수의 습윤기와 건조기의 범위를 나타낸 것이다.

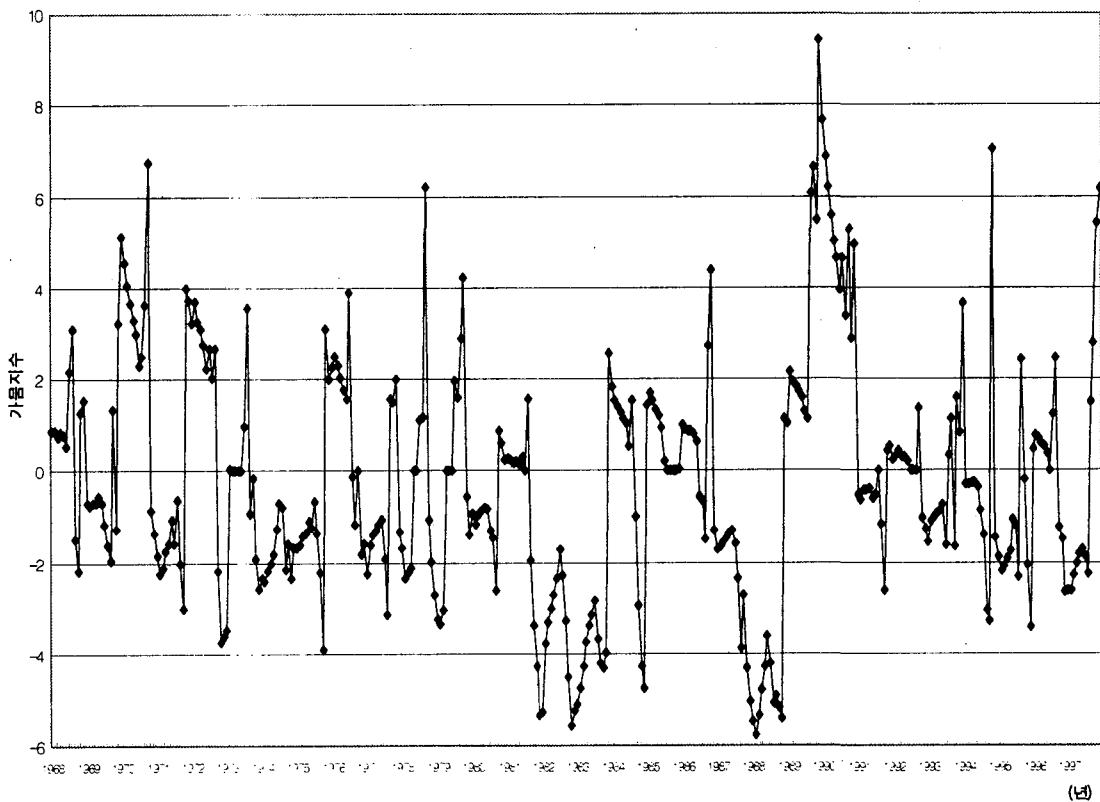


그림 1. 안성천 유역의 월별 Palmer 가뭄지수

표 1. 습윤기와 건조기의 범위

가뭄지수의 범위	수분상태	비고
4.0이상	Extremely wet	
3.0 ~ 4.0	Very wet	
2.0 ~ 3.0	Moderately wet	
1.0 ~ 2.0	Slightly wet	
0.5 ~ 1.0	Incipient wet spell	
-0.5 ~ 0.5	Near normal	
-1.0 ~ -0.5	Incipient drought	
-2.0 ~ -1.0	Mild drought	
-3.0 ~ -2.0	Moderate drought	
-4.0 ~ -3.0	Severe drought	
-4.0이하	Extreme drought	

1960년대 이후에 우리 나라 발생한 주요 가뭄기간은 67~68년의 호남 및 영남 지역에 심각했던 가뭄과 76~77년, 81년~82년, 87년~88년의 영남지역의 가뭄, 그리고 94년의 영호남지역 및 중부지역에서 가뭄이 발생했던 것으로 알려져 있다(가뭄기록 조사보고서, 1995). 따라서 본 안성천 유역의 경우 가뭄의 상태를 비교해 보면 Palmer 가뭄지수가 어느 정도 신뢰도를 가지고 있다고 판단된다. 하지만 Palmer 가뭄지수는 장기간에 대한 가뭄심도를 판단하기 위한 지수로서, 중기가뭄예보에는 취약하다는 단점을 가지고 있다.

3.2 하천유량을 이용한 정규화

가뭄을 한 가지 변수로 완전히 나타낸다는 것은 어려운 일이기 때문에 본 연구에서는 Palmer 지수 이외에 하천유량을 그 지역의 가뭄을 나타내는 새로운 지표로 사용하였다. 우리 나라는 지역적으로 수자원이 불평등하게 분포되어 있으므로 생활용수 공급에 광역상수도의 사용이 확충되고 있으며, 공업용수의 사용에도 광역 공업용수도의 사용이 확충되고 있는 실정이다. 따라서, 지역 외에 위치한 저수지들이 지역 내 가뭄과 상관없이 수자원의 공급여부를 결정할 수 있는 경우가 많으므로 저수지의 영향은 분석에서 제외하고 순수한 지역 내 하천유량을 다른 한가지의 가뭄지표로 고려하였다. 이의 유도를 위하여 다음 두 가지 기준을 설정하였다. 첫째, 하천유량은 가능한 한 인간의 영향을 받지 않은 유역의 유량을 사용한다. 둘째, 유역의 하천유량을 대표할 수 있도록 지역화된 하천유량을 사용한다. 여기서 지역화된 하천유량이란 그 지역을 대표할 수 있는 하천유량을 의미하며, 지역내 수위 관측소가 두 개 이상 존재할 때 이들 관측소에서 정규화된 하천 유량값들의 평균을 나타낸다. 셋째, 가능한 한 장기간의 자료가 존재하여 분석의 신뢰성을 높일 수 있어야 한다. 안성천 유역은 대규모 댐이 존재하지 않고 비교적 장기간의 수위자료를 보유하고 있어

안성천 유역을 대상으로 다음과 같이 가뭄지수를 유도하였다.

첫째, 하천유량을 식 (1)과 같이 무차원 시계열로 정규화시킨다.

$$N_{i,k,n} = \frac{X_{i,k,n} - \bar{X}_{k,n}}{S_{k,n}} \quad (1)$$

여기서 i 는 시계열의 순서이고, k 는 i 와 관련된 월 n 은 유역내 수위관측소의 개수, $N_{i,k,n}$ 는 정규화된 시계열, $X_{i,k,n}$ 는 관측 월 하천유량의 시계열, $\bar{X}_{k,n}$ 는 월 하천유량 k 의 평균, $S_{k,n}$ 는 월 하천유량 k 의 표준편차이다.

둘째, 유역을 대표할 수 있는 지역화된 정규화 무차원 하천유량 시계열을 식 (2)에 의해 구한다.

$$R_{i,k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (N_{i,k,n}) \quad (2)$$

3.3 새로운 가뭄지수의 개발

Palmer 가뭄지수는 강수량, 기온 및 유효토양수분량의 입력자료만으로도 계산되기 때문에 매우 간편한 가뭄지수가 된다. 또한 과거의 가뭄정도를 판단하는데 효용성이 있다. 하지만 용수부족 측면의 가뭄을 대변하기에는 무리가 있고 현재의 가뭄정도를 나타내는데는 문제가 있다.

하천유량을 이용한 정규화 모형은 직접적으로 현재의 상태를 나타내는 것으로 현시점의 가뭄 상태를 볼 수 있는 장점이 있는 반면에 강수량 및 기온 등 수문인자 고려가 빈약하다.

따라서 이 두 가지의 단점을 보완하고 장점을 살리는 새로운 가뭄지수(RPDSI : River and Palmer Drought Severity Index)를 개발하였다. 식 (3)은 새로운 가뭄지수를 산정하는 식으로 Palmer 가뭄지수에 α 와 하천유량을 이용한 정규화($R_{i,k}$)에 β 를 곱하여 구한다.

$$RPDSI_{i,k} = \alpha \times PDSI_{i,k} + \beta \times R_{i,k} \quad (3)$$

여기서 α , β 는 유역의 특성에 따라 결정되는 가중인자 ($\alpha + \beta = 1$)

그림 2는 Palmer 가뭄지수와 RPDSI 값을 비교한 그래프이다. 그래프를 보면 Palmer 가뭄지수가 RPDSI 보다 3개월에서 6개월 정도 늦는 것을 볼 수 있으므로, RPDSI가 Palmer 가뭄지수의 단점인 현재의 가뭄상태를 보완하는 것을 볼 수 있다.

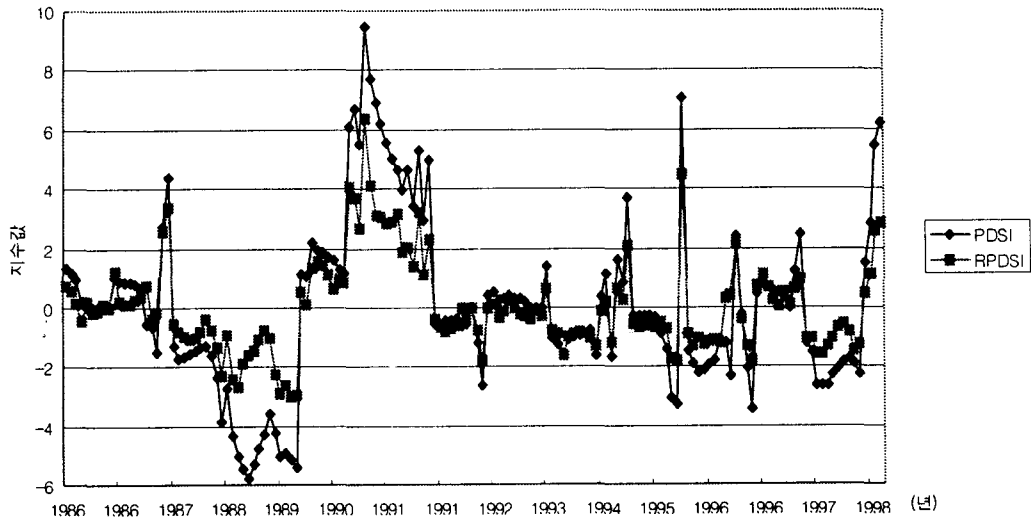


그림 2. 안성천 유역의 Palmer 가뭄지수와 RPDSI 월별 비교

4. 결론

우리 나라는 21세기에 심각한 용수부족이 예상되고 있고, 이상 기후로 인하여 지속적인 가뭄이 발생하고 있지만 새로운 수자원 개발을 위한 장소가 부족한 실정이다. 따라서 가뭄을 미리 예측할 수 있다면 가뭄으로 인한 피해를 줄이기 위한 대책을 마련할 수 있으며, 가뭄지수에 따라 가뭄 방지 대책을 다양화하여 피해를 최소화할 수 있고, 가뭄을 언론매체를 통해 국민들에게 알릴 수 있다면 국민들의 물 낭비를 줄이고 절수에 대한 경각심을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 자연재해의 하나인 가뭄을 정량적인 방법으로 해석하고 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

첫째, Palmer 가뭄지수는 강수량, 기온 및 유효토양수분량만을 사용해서 계산되어 간편하게 가뭄지수를 구할 수 있다. 하지만 가뭄기간이 강우량의 빈도분석 결과에 따라 결정된 주요 가뭄기간에 비해 보통 6개월에서 1년 정도 늦게 나타났다. 이는 토양의 수분수지변동이 강우 발생시점보다 늦게 나타나기 때문이라고 사료되며 확실적인 문제로 인하여 현재의 가뭄상태를 잘 나타낸다고는 볼 수 없고 우리 나라의 수자원 확보에 절대적인 하천 유량인자가 고려되지 않았으므로 우리 나라의 가뭄상태를 적절하게 표현한다고는 볼 수 없다. 하지만 과거 가뭄지수를 정량적으로 나타내고 과거의 가뭄지수를 판단하는데 있어서는 그 효용성이 있다고 사료된다.

둘째, 하천 유량을 이용한 정규화 모형은 우리 나라의 수자원 확보에 절대적인 하천 유량을 인자로 계산한 값이므로 우리 나라의 실정에 맞고 현시점의 가뭄상태를 직접적으로 나타내는 장점이 있다. Palmer 가뭄지수 보다 6개월에서 1년 정도 빨리 나타나는 이유는 하천유량의 정규화 모형이 Palmer 가뭄지수 보다는 현시점을 잘 반영하기 때문이다. 하지만 강수량 및 기온 등 수문인자의 고려가 빈약하여 유역 전체를 대표하는 가뭄지수로 볼 수 없다.

셋째, RPDSI는 Palmer 가뭄지수와 하천 유량을 이용한 정규화 모형의 장·단점을 보완한 새로운 가뭄지수로써 Palmer 가뭄지수가 현재의 가뭄 상태를 반영하지 못하는 단점을 현재의 가뭄 정도를 직접적으로 잘 반영하는 하천 유량을 이용한 정규화값을 도입함으로써 현재의 가뭄상태를 비교적 잘 반영한다. 또한 하천 유량을 이용한 정규화 모형의 단점인 모형내 다양한 수문인자의 결핍을 PDSI 값을 도입함으로써 유역을 대표하는 가뭄지수가 될 것으로 사료된다.

넷째, RPDSI를 안성천 유역에 적용함으로써 월별 가뭄의 변화추이를 살펴 볼 수 있었으며, 이를 이용하여 월별 가뭄대책 수립이 가능하리라 사료된다.

다섯째, 이상의 분석을 통하여 볼 때 Palmer 가뭄지수, 하천을 이용한 정규화 모형, RPDSI는 가뭄을 정량적으로 나타내는데 아주 유효한 방법으로 판단되며, 장래 이러한 지수가 가지는 특성에 대한 연구가 진행된다면 단기, 중기, 장기간에 발생하는 가뭄에 대한 예보 및 정보가 가능하리라 사료된다.

5. 참고문헌

1. Alley, W. M., The Palmer Drought Severity Index : limitation and assumptions, Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984.
2. Palmer, W.C., Meteorological Drought, U.S. Weather Bureau, 1965.
3. Wilhite, D, A., and M. H. Glantz, Understanding the Drought Phenomenon : The Role of Definition, Water international, 10, pp.111-120, 1985.
4. 건설교통부, 안성천, 형산강 홍수 예경보 시스템 기본계획 조사. 1993.
5. 건설교통부, 가뭄기록조사보고서, 1995.12.
6. 건설교통부, 한국수자원공사, 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사 보고서, 1996.
7. 조흥제, 도시지역 용수관리를 위한 가뭄 예경보지수에 관한 연구, 한국수자원학회지 논문집, 1996.