

임계수준 방법을 이용한 물 부족량-지속기간-빈도 곡선의 제안 및 적용

Proposal and Application of Water Deficit-Duration-Frequency Curve using Threshold Level Method

성 장 현* / 정 은 성**

Sung, Jang Hyun / Chung, Eun-Sung

Abstract

This study evaluated hydrological drought the using the annual minimum flow and the annual maximum deficit method and proposed the new concept of water deficit-duration-frequency curves similar to rainfall intensity-duration-frequency curves. The analysis results of the annual minimum flow, the return periods of hydrological drought in the most duration of 1989 and 1996yr were the longest. The analysis results of the annual maximum deficit, the return periods of 60-days and 90-day deficit which are relatively short duration were the longest in 1995yr, about 35-year, Hydrological drought lasted longer was in 1995, the return period was about 20-year. Though duration as well as magnitude is a key variable in drought analysis, it was found that the method using the annual minimum flow duration not distinguish duration.

keywords : annual minimum flow, annual maximum deficit, hydrological drought, water deficit-duration-frequency curve

요 지

본 연구에서는 연 최저 유입량과 연 최대 부족량 자료를 이용하여 수문학적 가뭄을 평가하였고, 수자원 시설의 계획 및 관리에 이용할 수 있도록 물 부족량-지속기간-빈도 곡선을 제안하였다. 연 최저 유입량 분석결과, 대부분의 지속기간에서 1989년, 1996년 수문학적 가뭄의 재현기간이 가장 길었다. 연 최대 부족량 분석결과, 비교적 짧은 지속기간인 60일, 90일 부족량의 재현기간은 1982년에서 약 35년으로 가장 길게 나타났으며, 길게 지속되었던 수문학적 가뭄은 1995년으로 재현기간은 약 20년이었다. 가뭄은 크기와 함께 지속기간도 주요한 변수이지만 연 최저 유입량을 이용한 방법은 지속기간을 구분하지 못한다는 단점이 확인되었다.

핵심용어 : 연 최저 유입량, 연 최대 부족량, 수문학적 가뭄, 물 부족량-지속기간-빈도 곡선

1. 서 론

Tallaksen and van Lanen (2004)은 가뭄을 평균수량보

다 적은 수량으로 상당기간 광범위하게 유지되는 상태로 정의하였다. 우리가 흔히 분류하고 있는 기상, 수문, 농업 과 사회·경제학적 가뭄에 이를 적용해보면 기상학적 가뭄

* 국토교통부 영산강홍수통제소 예보통제과 시설연구사 (e-mail: jhsung1@korea.kr)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Yeongsan River Flood Control Office, Gwangju, Korea

** 교신저자, 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 조교수 (e-mail: eschung@seoultech.ac.kr, Tel: 82-2-970-9017)

Corresponding Author, Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Seoul 139-743, Korea

은 평균강수보다 부족한 강수를, 수문학적 가뭄은 평균유량 보다 적은 유량을 의미하는 것이다. 여러 형태의 가뭄을 정량적으로 분석하기 위해 전 세계에서는 다양한 가뭄지수를 이용하고 있고, 그 중에서 유역의 이수 시설물의 규모를 결정하는 데에는 주로 이용되고 있는 개념은 확률갈수량이다. 갈수(low flow) 분석 시에 유향곡선(flow duration curve)으로부터 특정 초과분위수(exceedance percentile)에 해당하는 유량 또는 n 일간의 연속유량 평균값 중 최소값을 이용하는 방법이 가장 보편적이며, 이 방법은 주로 가뭄의 크기 분석에 주안점을 두고 있다. 하지만 최근의 가뭄관련 연구에서는 가뭄의 특성을 구분하는 주요한 변수로 크기와 지속기간을 동시에 주목하고 있다 (Bonaccorso et al., 2003; González and Valdés, 2003; Mishra et al., 2009; Song and Singh, 2010a, b; De Michele et al., 2013). 이러한 가뭄의 다변량(multi-variate) 특성을 고려하여 Tallaksen et al. (1997)은 임계수준(threshold level) 방법을 도입해 갈수의 지속기간과 크기(부족량)를 분석하는 방법을 제안하였다.

임계수준 방법(threshold level method)은 임계수준 이하의 유량이면 갈수의 시작을, 그 이상이면 종료로 간주하여 갈수를 쉽게 구분할 수 있다는 장점이 있다(Sung and Chung, 2014a, b). 일반적으로 사용하고 있는 임계수준인 일별, 월별, 계절과 연별값은 각 시간 분해능에 따른 유향곡선의 해당 분위수의 초과유량이며(Hisdal et al., 2001; Kjeldsen et al., 2000), 이로부터 각각의 임계수준은 유량의 아노말리(anomalies)라는 사실을 알 수 있다. 즉, 물리적이기 보다 통계치에 근거한 값이며, 하천수의 사용요구가 다양해지고 있는 이 때에 보다 물리적 의미의 임계수준이 요구되고 있는게 현실이다. 여기서 물리적 의미의 임계수준이란 하천관리유량처럼 하천유지용수와 더불어 생·공용수 및 농업용수 기득 수리권이 포함된 수준을

의미한다.

따라서 본 연구에서는 하천수량과 하천관리유량으로부터 하천수 부족을 가능할 수 있는 연구에 앞서 비교적 신뢰도 높은 댐 유입량과 기본계획 공급량을 임계수준으로 보고 물 부족량을 정량적으로 평가하였다. 또한 이수용수 공급시설에 필요한 확률갈수량도 임계수준에 근거한 방법으로 계산하였는데, 계산한 방법은 수자원 계획 및 관리에 활용하기 위해 물 부족량-지속기간-빈도 곡선(water deficit-duration-frequency curve, DDF)의 형태로 제안하였다.

2. 본 론

2.1 연구 방법론

본 연구는 그림 1과 같이 두 가지 방법을 이용하였는데, 각각 유입량과 기본계획 공급량을 사용하였다. 첫 번째 방법은 이전해 9월 21일~이듬해 9월 20일까지의 60일, 90일, 120일, 150일 이동평균 유입량 중 연 최저치 시계열을 추출하여 빈도해석을 실시하였다. 여기서, 9월 21일부터 자료를 구분한 이유는 홍수기는 홍수가 발생할 가능성이 있는 6월 21일부터 9월 20일까지이며, 갈수기는 이를 제외한 기간이다. 즉, 홍수기 이후부터 갈수가 시작되므로 9월 20일을 시점으로 봤으며, 홍수기 유량은 최저 유입량 시계열에 영향을 미치지 않고, 자료의 연속성을 위하여 제외하지 않았다. 두 번째 방법은 댐 기본계획 공급량을 임계수준으로 하여 물 부족량(=기본계획 공급량-유입량) 또는 잉여량을 계산하여 60일, 90일, 120일, 150일 이동평균 물 부족량 중 연 최대 부족량을 추출하여 빈도해석하였다. 마지막으로 두 방법론으로 도출한 연도별 갈수의 크기와 빈도를 비교하고자 하였다.

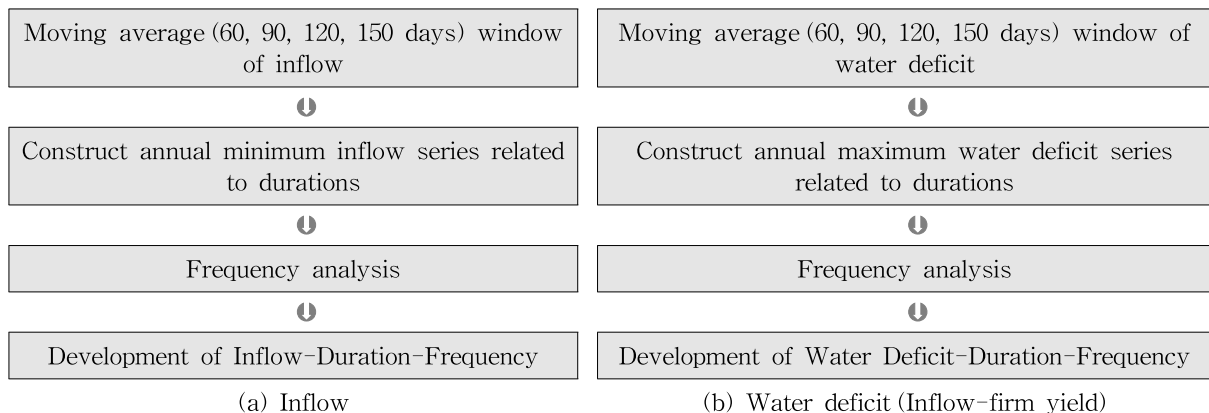


Fig. 1. Procedure of This Study

2.2 임계수준 방법

임계수준 방법은 우선 임계수준(threshold level, Q_0)을 결정하고 임계수준 아래로 떨어질 때 가뭄이 시작되며 유량이 다시 임계수준 이상으로 회복하게 되면 가뭄이 종료된다(Fig. 2). 유량 시계열에서 위와 같이 가뭄을 구분하면 각 가뭄사상에 대한 지속기간(D), 총 물 부족량(V)과 각 가뭄사상에 대한 규모(magnitude, 총 물 부족량/지속기간)를 도출할 수 있다(Sung and Chung, 2014b). 사용되는 자료의 시간 분해능은 유량 패턴에 따라 결정되는데 온대지역(temperate zone)에서 연별 자료를 이용하여 가뭄을 분석한다면 심각한 수준의 가뭄을 확인하기 어려우므로 계절 또는 그 이하의 자료가 요구되겠고, 건조지역에서는 다년간 유지되는 가뭄의 발생 가능성이 커, 연별 등의 자료를 이용해도 되겠다. Fig. 2를 보면 가뭄사상 사이에 미소가뭄(minor drought)이 확인되는데 이는 일자료를 사용할 때의 문제점으로 이를 위하여 Tallaksen et al. (1997)은 3개의 풀링 방법(Moving Average: MA, Sequent Peak Algorithm: SPA, Inter-event time and volume Criterion: IC)을 제안하였는데 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되는 MA를 이용하였다.

2.3 빈도해석

빈도해석에서는 주로 연최대 또는 연초과 자료의 시계열을 대상으로 하고 연최대 자료는 GEV (Generalized Extreme Value), 연초과 자료는 GPA (Generalized Pareto) 분포를 적용한다. 연 초과값 자료의 시계열은 자료의 무작위성(randomness)과 적정 임계값(optimum threshold)을 결정하는데 어려움이 있는 반면 연 최대값 자료의 시계열은 무작위성 확보와 임계값 결정이 자유로운 장점이

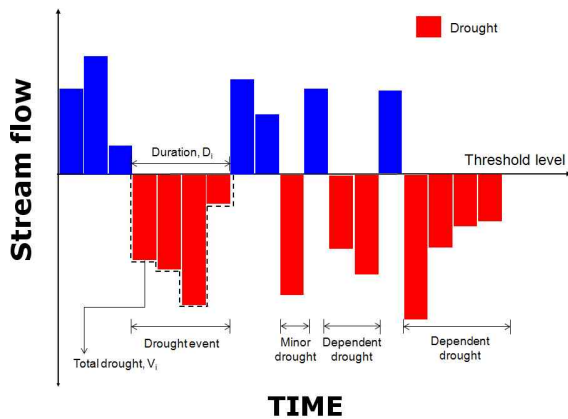


Fig. 2. Definition of Water Deficit Characteristics (Sung and Chung, 2014b)

있다. 현재 보편적으로 사용되고 있는 극치해석 방법은 연최대 자료를 추출하여 이를 확률분포형에 적합(fitting)함으로써 특정 크기에 대한 초과확률과 비초과확률($=1 - \text{초과확률}$)을 계산하는 과정을 일컫는다(Sung et al., 2012).

일반적으로 어떤 강수사상의 크기(강수량)가 평균 T 년 동안에 한번 이상 발생하면 재현기간(return period), T 년을 가진다고 말한다. 재현기간 T 의 역수는 어떤 해에 그 사상보다 같거나 큰 것이 발생할 확률이고 이는 곧 초과확률(exceedance probability)을 의미한다. Eq. (1)은 비초과확률과 재현기간의 관계이다.

$$T = \frac{1}{1 - P} \quad (1)$$

여기서, P 는 비초과확률이다. 극한사상의 비초과확률을 구하는데 이용되는 일반적인 확률분포형은 GEV 분포형이며 그 이유는 GEV 분포가 상위 꼬리부분이 두터워 극한사상을 표현하기에 적합하기 때문이다. GEV 분포의 비초과확률을 계산하는 누가분포함수(cumulative distribution function)는 Eq. (2)로 표현된다. 따라서 Eq. (2)의 해(x ; 여기서는 강수량)는 Eq. (3)과 같이 구할 수 있다(Stedinger et al., 1993).

$$F(x) = \exp\left[-\left(1 - \kappa \frac{x - \xi}{\alpha}\right)^{1/\kappa}\right], \quad \kappa \neq 0$$

$$= \exp\left[-\exp\left(-\frac{x - \xi}{\alpha}\right)\right], \quad \kappa = 0 \quad (2)$$

$$x = \xi - \alpha \log[-\log(P)], \quad \kappa = 0$$

$$= \xi + \frac{\alpha}{\kappa} \{1 - [-\log(P)]^\kappa\}, \quad \kappa \neq 0 \quad (3)$$

여기서, ξ , α , κ 는 각각 위치(location), 규모(scale), 형상(shape)에 관련된 매개변수이다. GEV 분포는 3개의 극치 분포가 결합된 것으로 형상 매개변수인 κ 에 따라 극치 Type I ($\kappa = 0$), Type II ($\kappa < 0$), Type III ($\kappa > 0$) 분포로 나눌 수 있으며, Type I은 Gumbel, Type III는 Weibull 분포로 불리기도 한다. Eq. (3)에서 변수 x 의 범위 역시 κ 에 따라 달라지는데, $\kappa < 0$ 일 때는 $\xi + \alpha/\kappa \leq x < \infty$, $\kappa = 0$ 일 때는 $-\infty < x < \infty$, $\kappa > 0$ 일 때는 $-\infty < x \leq \xi + \alpha/\kappa$ 가 된다(Hosking et al., 1985). 이 외의 분포형에 대한 확률밀도함수, 누가분포함수와 그 역함수와 관련한 내용은 Hosking and Wallis (1997)의 부록에 제시되어 있다.

2.4 대상지역

본 연구인 대상지인 대청댐 유역은 우리나라의 중서부

에 위치하고 있으며, 동쪽으로 낙동강유역, 북쪽으로는 한강유역, 남쪽은 만경강과 섬진강유역에 접해있다. 유역의 수문·기상학적 특성을 알아보면 유역면적과 유로연장은 각각 4,134 km², 250 km이고, 이는 금강 전유역의 약 42%에 해당하는 크기이다(Fig. 3). 1981년부터 2013년까지의 평균 강수량을 보면 연 중 7월이 가장 많으며, 여름철인 6~9월 사이에 연 강수량의 약 58%가 집중되고 있다(Fig. 4). 또한 금강수계 최초의 다목적댐으로써 홍수 조절기능과 함께 충청권을 포함한 전주, 군산 등의 전북지역까지 수자원을 공급하고 있어 물 부족에 대한 검토가 반드시 필요한 지점 중의 하나이다.

3. 결 과

3.1 연 최저 유입량

9.21~9.20일 동안의 연 최저 유입량의 시계열은 Fig. 5와 같다. 지속기간 60일, 90일과 120일 기준으로 유입량이 가장 적었던 시기는 1989년, 150일은 1996년이었고, 해당 유량은 각각 1.9, 2.7, 5.5와 8.0 m³/s였다. 지속기간이 길어질수록 연 최저 유입량이 많았는데 이는 지속기간이 길어질수록 비교적 많은 유입량이 관측되는 시기가 포함되기 때문이다. 지속기간 전반에 걸쳐 2000년대는 1990년대에 비하여 유입량이 다소 많았고, 그 중에서도 유입량이 가장 많았던 시기는 1987년이였다. 이는 당시의 많았던 강수량이 가져온 당연한 결과이다. 구체적으로 1987년에 지속기간 60일, 90일, 120일과 150일에 해당하는 유량은 각각 35.0, 41.4, 50.7과 54.6 m³/s였으며, 유황곡선의 갈수량을 비교하더라도 당시의 값이 역대 최고를 기록하고 있었다.

연 최저 유입량의 빈도해석을 위하여 Normal, Gamma2,

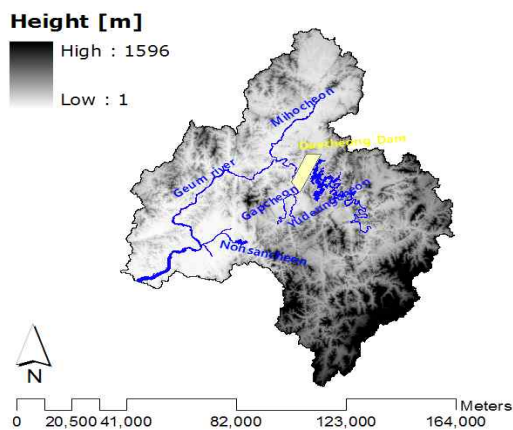
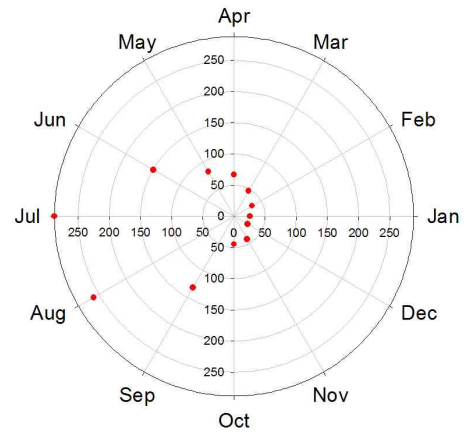
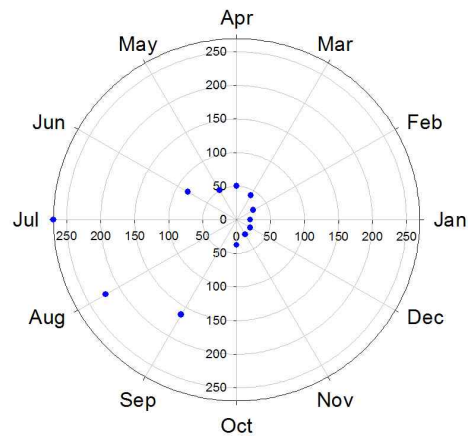


Fig. 3. Location of the Selected River Basin, Including Elevation and River

Gamma3, GEV (Generalized Extreme Value), Log-Normal 2, Log-Pearson 3, GLO(Generalized Logistic) 등 7개의 확률분포형 중에서 적합도 검정을 거쳐 최적 분포형



(a) Precipitation [mm/month]



(b) Inflow [m³/s]

Fig. 4. Monthly Variation of Precipitation (a), Inflow (b)

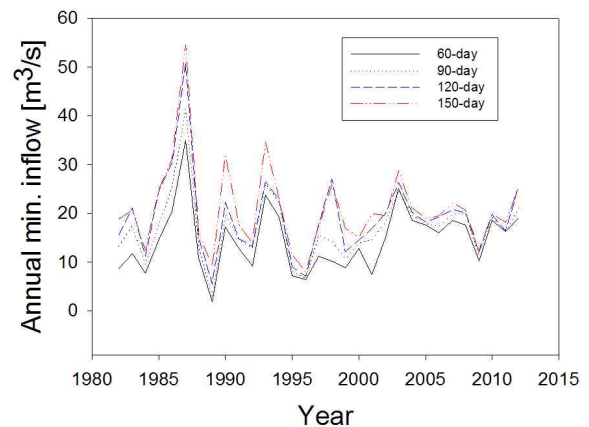


Fig. 5. Timeseries of Annual Minimum Inflows for 60, 90, 120 and 150 Days

으로 GEV 분포가 채택되었고, 확률가중모멘트법(probability weighted moment)으로 매개변수를 추정하였다 (Fig. 6). 지속기간별 추정된 위치 및 규모 매개변수는 지속기간이 길어질수록 커지고 있었으며, 형상 매개변수는 감소하고 있었다. 이는 연 최저 유입량의 평균적 크기와 변동성은 커지고, 크기가 큰 연 최저 유입량의 발생빈도가 잦아짐을 의미한다.

연 최저 유입량을 대상으로 하는 빈도해석은 확률밀도 함수의 왼쪽 꼬리가 중요하므로 기존 홍수빈도해석에서 사용하는 누가분포함수의 역함수에 초과확률을 대입하여 산정하였다. 이렇게 구한 지속기간 60일, 90일, 120일과 150일 기준의 10년, 20년, 30년, 50년, 80년과 100년 빈도에 해당하는 연 최저 유입량은 Fig. 7과 같다. 강수빈도해석의 결과인 I-D-F (Intensity-Duration-Frequency) 곡선과 유사하게 갈수빈도해석 결과를 도시하였다. 그림을 보면 지속기간이 길어질수록 최저 유입량의 크기가 커지

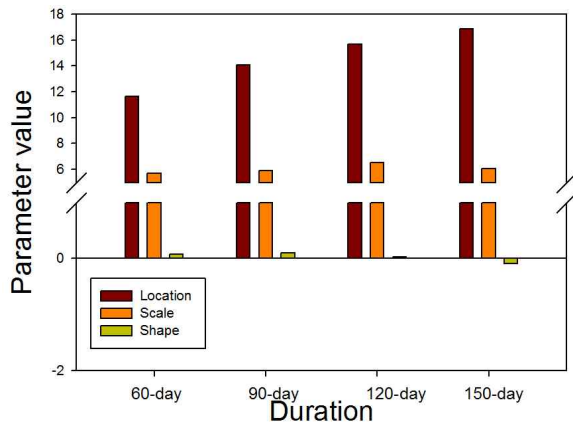


Fig. 6. Values for GEV Parameters for Inflows

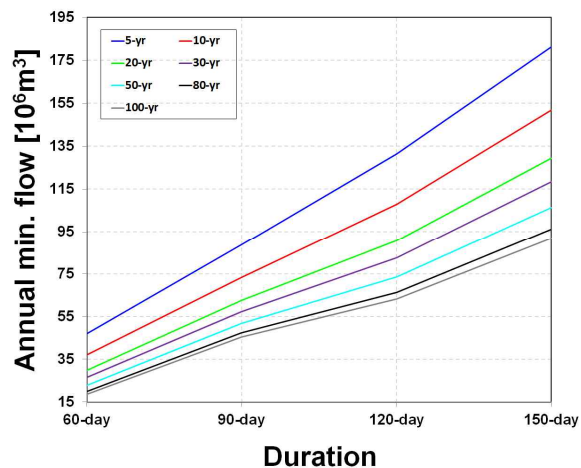


Fig. 7. Annual Minimum Flow-Duration-Frequency Curves

고 있었으며, 재현기간이 길어질수록 최저 유입량의 크기는 작아지고 있었다.

GEV 역함수를 이용하여 각 연도 연 최저 유입량의 재현기간을 계산하였다 (Fig. 8). 본 연구는 가용할 수 있는 자료의 기간이 제한적이므로 높은 빈도에서는 불확실성이 존재할 수 있다. 따라서 100년 이상의 빈도가 나타난 경우는 빈도를 자료년수의 두 배로 제한하였다. 계산결과, 대부분의 지속기간에서 1989년, 1996년에서 빈도가 가장 크게 확인되었으며 이를 제외한 나머지 기간에서는 10년 미만의 빈도가 확인되었다.

3.2 연 최대 부족량

Fig. 9는 대청댐 월별 유입량과 기본계획 공급량을 보여주고 있다. 대청댐의 기본계획 공급량의 구성을 보면 겨울철에는 생활 및 공업용수, 봄철부터 여름철까지는 생·공업용수와 더불어 농업용수로 구성되어 있다. 봄철부터 여름철까지는 기본계획 공급량 보다 유입량이 상회하고

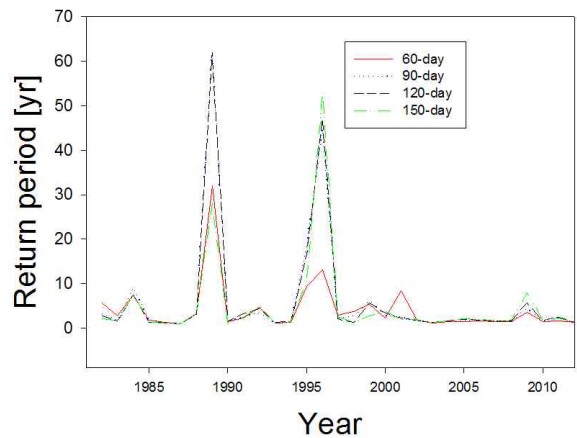


Fig. 8. Return Period of Annual Minimum Flow

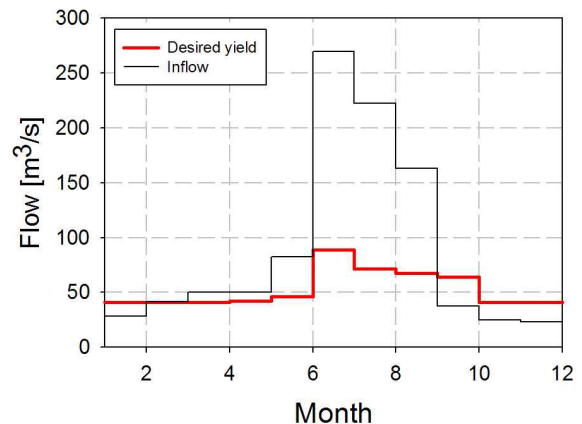


Fig. 9. Monthly Averaged Inflow and Desired Yield

있었으며, 겨울철에는 기본계획 공급량에 비하여 유입량이 적어서 다른 계절에 비하여 비교적 수문학적 가뭄에 노출될 위험성이 있음을 확인하였다.

Fig. 10은 기본계획 공급량을 임계수준으로 보고 계산한 연도별 최대 부족량(유입량-기본계획공급량) 규모(또는 강도=총부족량/지속기간)의 시계열도를 보여주고 있다. Fig. 10을 보면 지속기간 60일에서 각 기간 중 가장 강한 규모의 부족이 확인되었고 지속기간이 길어질수록 규모는 약해지고 있었다. 이는 강수강도와 비교해 볼 때 당연한 결과이다. 연도별로 부족량 규모를 보면 1982년의 부족량이 가장 강했던 반면 1987년은 부족량이 가장 적었던 것으로 확인되었다.

연 최저 유입량 빈도해석과 동일한 방법으로 연 최대 부족량 규모에 대한 지속기간별 매개변수를 보면 위치 및 규모 매개변수는 지속기간이 길어질수록 작아지고 있었으며, 형상 매개변수는 각각 -0.09, -0.03, 0.0과 0.099로 증가하고 있었다. 이는 평균적 크기와 변동성은 줄어들고, 큰 부족량 규모는 드물게 발생함을 의미한다(Fig. 11). 일반적으로 오른쪽 꼬리에 해당하는 극한사상 분석 시, 적정 형상 매개변수가 범위 확인이 중요하며, Martin and Stedinger (2000)는 대부분의 형상 매수변수가 음수 구간에 포함되어야 함을 제시하였고, 본 연구의 연구 결과도 이를 잘 따르고 있음을 확인하였다.

빈도해석으로 구한 지속기간 60일, 90일, 120일과 150일 기준의 10년, 20년, 30년, 50년, 80년과 100년 빈도에 해당하는 연 최대 부족량(=규모×지속기간)은 Fig. 12와 같다. 연 최대 부족량을 대상으로 하는 빈도해석은 연 최저 유입량과는 다르게 확률밀도함수 오른쪽 꼬리가 관심사로 기존 홍수빈도해석에서 사용하는 누가분포함수의 역함수에 비초과확률을 대입하여 구하였다. 그림을 보면 지

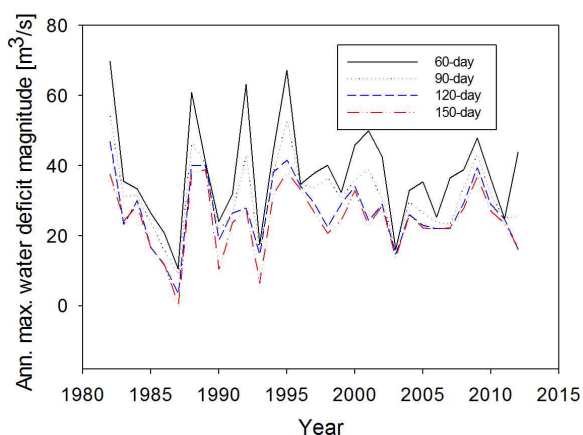


Fig. 10. Timeseries of Annual Maximum Water Deficits of 60, 90, 120 and 150 Days

속시간이 길어질수록 최대 부족량의 크기가 커지고 있었으며, 재현기간이 길어질수록 최대 부족량의 크기 역시 커지고 있었다.

GEV 역함수를 이용하여 각 연도 연 최대 부족량의 재현기간을 계산하였다(Fig. 13). 계산결과, 대부분의 지속기간에서 1982년, 1995년의 빈도가 가장 크게 계산되었으며 이를 제외한 나머지 기간에서는 10년 미만의 빈도가 확인되었다. 비교적 짧은 지속기간인 1982년도 60일, 90일에 해당하는 총 부족량의 재현기간 약 35년이었고, 1995년 120일, 150일에 해당하는 총 부족의 재현기간은 약 20년이었다. 2000년 이후로 2009년을 제외하고는 1980년대, 1990년대에 비해 큰 부족이 확인되지 않았다.

3.3 비교결과

연 최저 유입량과 연 최대 부족량 결과를 비교하면, 우선 연 최저 유입량에서 볼 때 1989년(60일, 90일과 120일)

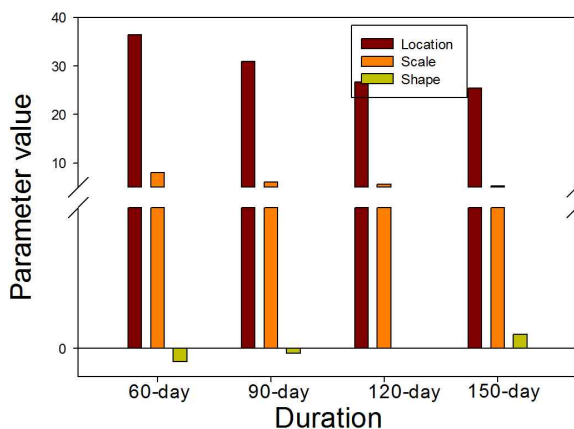


Fig. 11. Values for GEV Parameters for Water Deficits

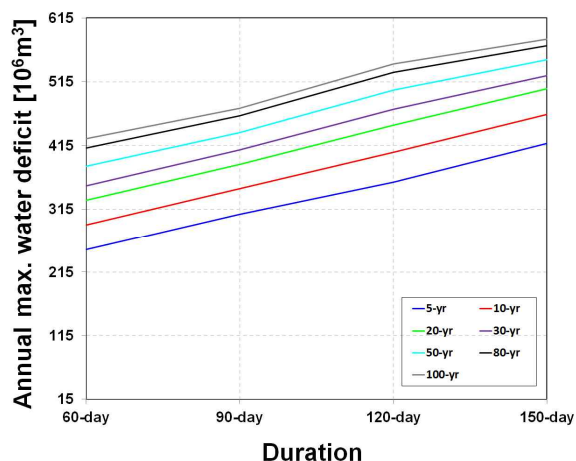


Fig. 12. Annual maximum water deficit-Duration-Frequency curves

과 1996년(150일)이 연 최대 부족량에서 볼 때 1982년(60일, 90일)과 1995년(120일, 150일)도가 가장 심각한 수준의 수문학적 가뭄이었다. 1982년, 1989년, 1995년과 1996년의 일 유입량, 기본계획 공급량과 둘의 차이인 물 부족

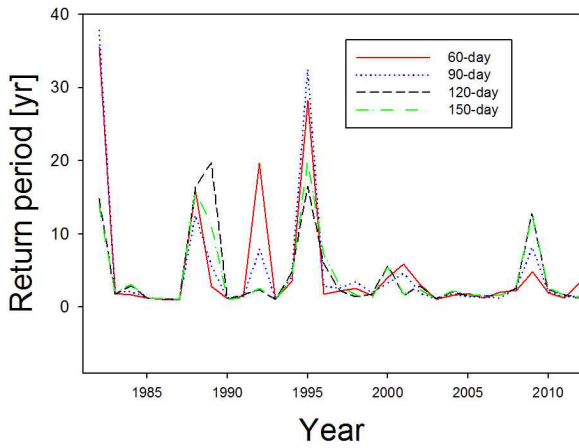
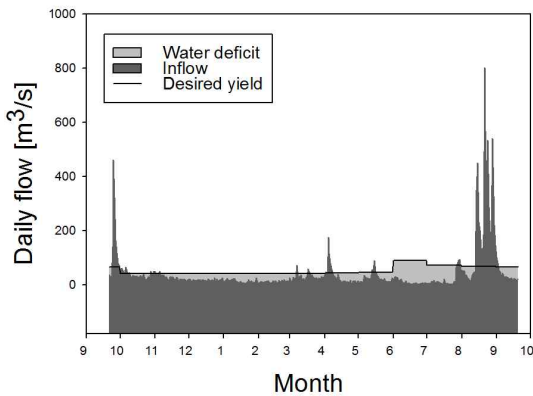


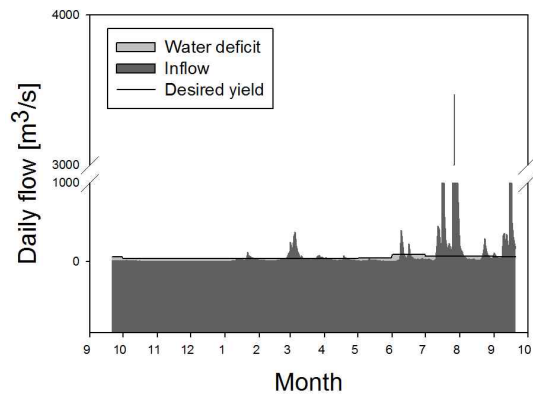
Fig. 13. Return Periods of Annual Maximum Water Deficit

량을 도시하였다(Fig. 14). 그림을 보면 1982년은 이수기 중 임계수준 보다 상당히 적은 유입량으로 부족량이 많았으나 유량 증가로 인한 해갈 덕분에 비교적 짧은 지속기간인 60일과 90일에 부족량이 많았다. 1995년은 비홍수기 중 상당기간 동안 유입량이 임계수준 이하였고, 특별한 유량 증가 사상이 없어서 가뭄의 오랫동안 지속되었다 (Fig. 14).

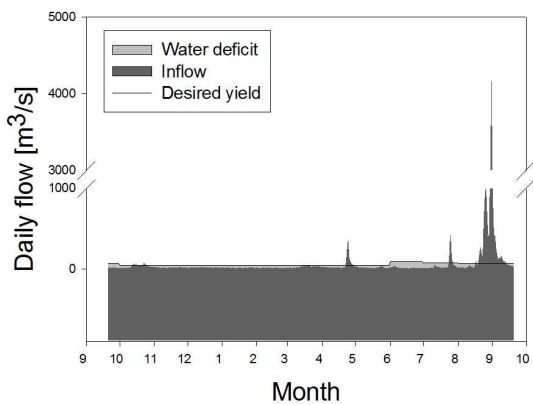
수문학적 가뭄은 일반적으로 강수량이 적어지는 전년 10월부터 시작되는데 연 최저 유입량, 연 최대 부족량 결과 중 연 최저 유입량 방법의 단점은 비홍수기 동안의 강수량으로 인한 유량 증가에 의한 해갈 등을 구분해 낼 수 없다는 점이다. 특히 하천수는 일반적으로 강수에 즉각적으로 반응하기 때문에 강수량으로 인한 해갈에 대한 고민이 반드시 필요하다. 연 최저 유입량 방법에서 심각한 수준이었던 1989년, 1996년은 전년 9월부터 특별한 변화가 없이 적은 유량이 지속적으로 유지되어 이동평균을 한 유입량도 적은 수준이었다. 1989년, 1995년과 1996년은 비홍수기 중 오랜 기간동안 유입량이 적었고, 해갈이 없었던



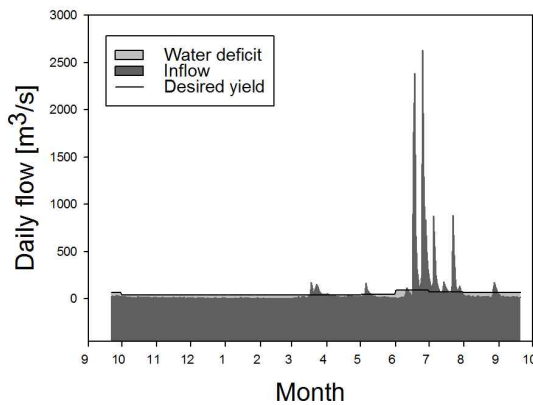
(a) 1982 yr



(b) 1989 yr



(c) 1995 yr



(d) 1996 yr

Fig. 14. Daily Flow, Desired Yield and Water Deficit

점에서 상당히 유사하다. 이러한 특징은 비교적 일반적인 수문학적 가뭄의 특징으로 두 가지 방법 모두 잘 구분해 내고 있었다. 임계수준을 이용하는 방법은 해갈을 고려할 수 있어 가뭄의 특징을 좀 더 세분하고 명확하게 구분할 수 있다는 장점이 재차 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 수문학적 가뭄을 평가하기 위하여 연 최저 유입량 방법과 임계수준 방법에 근거한 연 최대 부족량 방법을 적용하였다. 하천수 가뭄의 평가방법은 어떠한 임계수준을 사용하느냐에 따라 다양해 질 수 있다. 현재 까지 사용되고 있는 임계수준은 주로 유량의 통계특성(자연현상)에 근거하고 있으며 이는 하천에 대한 인간의 활동은 전혀 반영하지 못한다는 단점이 있어 수문학적 가뭄을 현실적으로 평가하기에는 다소의 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 댐 유입량 자료와 용수수요가 고려된 기본계획 공급량을 임계수준으로 보고 가뭄을 평가하였다.

앞서 언급한 방법들을 적용한 결과, 1982년, 1989년, 1995년과 1996년에 발생하였던 수문학적 가뭄이 심각하였다. 가뭄은 크기와 함께 지속기간도 주요한 변수로 주목되고 있으나 최저 유입량을 이용한 방법은 개별의 가뭄 사상에서 지속기간을 구분하지 못한다는 단점이 확인되었다. 1982년 사례를 보면 임계수준을 이용한 방법은 해갈을 고려할 수 있어 가뭄 간 구분이 명확해 진다는 장점을 확인하였다. 현재 치수 구조물 설계 시에 I-D-F 곡선이 일반적으로 이용되는 점에 착안하여 물 부족량-지속기간-빈도 곡선을 제안하였다.

하천유량은 수위, 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 산정되고, 이렇게 산정한 하천유량은 주로 홍수시 정확한 유량 산정을 목표로 하고 있어 환산된 유량 값 중 저유량은 비교적 큰 불확실성을 내포하고 있다. 따라서 본 연구에서는 우선 비교적 신뢰도가 높은 댐 유입량 자료와 기본계획 공급량을 임계수준으로 보고 가뭄을 평가하였지만 향후 신뢰도 높은 하천유량 자료가 확보되고, 기본계획 공급량을 하천유지 또는 관리유량으로 대체한다면 하천수 가뭄 평가에도 본 방법론이 효율적으로 활용될 수 있겠다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Bonaccorso, B., Cancelliere, A., and Rossi, G. (2003). "An analytical formulation of return period of drought severity." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 17, No. 3, pp. 157-174.
- De Michele, C., Salvadori, G., Vezzoli, R., and Pecora, S. (2013). "Multivariate assessment of droughts: Frequency analysis and dynamic return period." *Water Resources Research*, Vol. 49, No. 10, pp. 6985-6994.
- González, J., and Valdés, J.B. (2003). "Bivariate drought recurrence analysis using tree ring reconstructions." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 8, No. 5, pp. 247-258.
- Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L.M., and Demuth, S. (2001). "Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent?." *International Journal of Climatology*, pp. 21, pp. 317-333.
- Hosking, J.R., and Wallis, J.R. (1997). *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Hosking, J.R., Wallis, J.R., and Wood, E.F. (1985) "Estimation of the GEV distribution by the method of probability-weighted moment." *Technometrics*, Vol. 27, No. 3, pp. 251-261.
- Kjeldsen, T.R., Lundorf, A., and Dan, R. (2000). "Use of two component exponential distribution in partial duration modeling of hydrological droughts in Zimbabwean rivers." *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 45, No. 2, pp. 285-298.
- Martin, E.S., and Stedinger, J.R. (2000). "Generalized maximum likelihood GEV quantile estimator for hydrologic data." *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 11, pp. 3001-3010.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P. (2009). "Analysis of drought severity-area-frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty." *Journal of Geophysical Research*, Vol. 114, No. D6, 2009, p. D06120. doi:10.1029/2008JD010986.
- Song, S.B., and Singh, V.P. (2010a). "Frequency analysis of droughts using the Plackett copula and parameter estimation by genetic algorithm." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 24, pp.

783–805.

- Song, S.B., and Singh, V.P. (2010b). “Meta-elliptical copulas for drought frequency analysis of periodic hydrologic data.” *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 24, pp. 425–444.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M., and Foufoula-Georgiou, E. (1993). Chapter 18, Frequency analysis of extreme events, *Handbook of Hydrology*, edited by Maidment, D. R., McGraw-Hill.
- Sung, J.H., and Chung, E.-S. (2014a). “Application of stream-flow drought index using threshold level method.” *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 5, pp. 491–500. (in korean)
- Sung, J.H., and Chung, E.-S. (2014b). “Development of streamflow drought severity-duration-frequency curves using the threshold level method.” *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, pp. 3341–3351.
- Sung, J.H., Kang, H.-K., Park, S.-H., Cho, C.-H., Bae, D.-H., and Kim, Y.-O. (2012). “Project of extreme precipitation in Korea at the end of the 21st century based on RCP.” *Korean Meteorological Society*, Vol. 22, No. 2, pp. 221–231. (in korean)
- Tallaksen, L.M., and Van Lanen, H.A.J. (2004). *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Developments in Water Science 48, Elsevier Science B.V., The Netherlands.
- Tallaksen, L.M., Madsen, H., and Clausen, B. (1997). “On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume.” *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 42, pp. 15–33.

paper number : 14-067

Received : 28 July 2014

Revised : 24 September 2014

Accepted : 24 September 2014