

수문-추계 결합법에 의한 설계갈수량 추정법 연구

A Study on the Alternative to Estimate the Design Low-Flow based on the Runoff Hydrology and the Dry Spell Stochastics

이 재 형* / 윤 재 민**
Lee, Jae Hyoung / Yoon, Jae Min

Abstract

This study is to suggest a method to estimate the design low-flow based on the runoff hydrology. The recession time model to transform a return period into the recession time is derived under the similarity between dry spell and low-flow runoffs event. The proposed recession model can be applied to the gaging station and the ungaged outlet. This recession time model contains the parameters: for climate conditions, watershed characteristics, and runoff characteristics etc. And the recession model is composed of the parameters which are initial discharge and recession constant. This model is applied to the Yongdam gaging station and the other temporary gaging station. Consequently, it is proved that this model can be used for an alternative practice to estimate the design low-flow at the gaging station with short-term runoff data or the ungaged outlet.

keywords : design low-flow, dry spell, low-flow runoff, recession time

요 지

본 연구는 물리적인 방법을 이용하여 설계갈수량을 추정할 수 있는 방법을 제안한 것이다. 가뭄기간과 갈수유출 사상이 상사하다는 전제하에 재현기간을 감수시간으로 변환 할 수 있는 모형을 유도하였다. 또 계측지점이나 미계측지점에 적용할 수 있는 감수모형을 제안했다. 본 감수시간 모형의 매개변수는 기후조건치, 유역특성치, 유출특성치 등이고 감수모형의 매개변수는 초기유량, 감수상수이다. 본 모형을 용담수위표 지점과 다른 임시관측 지점에 적용해 본 결과 유량관측 기간이 짧은 계측지점이나 미계측지점에서 설계갈수량 추정 대안으로 채택할 수 있음을 확인했다.

핵심용어 : 설계갈수량, 가뭄기간, 갈수유출, 감수시간

* 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Chonbuk National Univ., Chonbuk 561-756, Korea
(E-mail : hyoung@moak.chonbuk.ac.kr)
** 전북대학교 대학원 토목공학과 박사수료
Doctoral Candidate, Dept. of Civil Engrg., Chonbuk National Univ., Chonbuk 561-756, Korea
(E-mail : jaminy@hanmail.net)

1. 서 론

하천정비기본계획이나 소하천정비종합계획의 수립 시 설계갈수량 산정이 필요하다. 설계갈수량은 하천에서 취수 및 저수관리, 저수로 유지관리, 하천환경의 개선 및 유지관리 등을 위해 설정한 갈수량으로서 주로 연갈수량의 빈도해석, 지속기간별 갈수량 등을 말한다(한국수자원학회, 2000). 설계갈수량 산정에는 연갈수량 자료를 이용하는 빈도해석이 널리 쓰인다. 연갈수량 빈도해석은 20년 이상 장기간의 자료를 확보할 수 있는 수위국이 있는 지점에 적용되는 방법으로 미계측지점이나 장기계측자료를 확보할 수 없는 지점에는 적용할 수 없다. 이러한 문제로 인해 현업에서는 비유량법 등을 사용하여 설계갈수량을 추정하고 있다. 그러나 갈수량은 유역의 특성뿐만 아니라 지형 및 지질학적 특성이 크게 반영되기 때문에 비유량법 등에 의해 추정된 값은 비현실적이다. 또한 현재의 수위국의 수위-유량 곡선식의 대부분은 홍수기 유출에 중점을 둔 것으로 저수위에는 그 신뢰성이 낮다. 때문에 이러한 자료를 이용하는 연갈수량 빈도해석 결과는 정확성이 낮다. 따라서 본 연구에서는 정확성이 낮은 연갈수량의 빈도해석이나 비현실적인 비유량법의 대안으로 물리적인 방법을 사용한 설계갈수량 추정법을 제안하고자 한다.

2. 갈수론

일반적으로 갈수는 하천이 제기능을 유지하기가 어려운 저유하량 상태를 말한다. 이런 경우는 비가 오지 않아 지하수가 고갈되고 갈수유출이 지속된다. 무강수 지속기간과 갈수유출량은 상사인 확률사상이며 하천기능유지를 위한 기준갈수량 설정의 골간이 될 수 있다.

2.1 가뭄기간의 확률 특성

갈수부의 유출은 무강수기에 발생한다. 강수가 있더라도 침투로 이어지지 않으면 지하수 유출에 영향을 주지 못한다. 무강수기간이란 명목상 "0"의 강수가 지속되는 시간을 말하고 어떤 문턱값 이하의 강수는 증발 등으로 지하수 증가에 기여하지 못한다. 그러한 강수기간까지로 확장한다면 무침루지속기간 표현이 보다 적절하다. 그러나 무침루지속기간을 실측하기란 어려운 일이므로 개념상 어떤 문턱값 이하의 강수를 기준으로, 전후의 강수 사상 사이의 무강수지속기간을 무침루기간이라고 명명하기로 한다. 이 기간이 길면 갈수록 지하수 고갈은 심해지고 지하수 유출량은 줄어든다. 자연하

천의 갈수 상태는 이와 유사하고 갈수지속기간과 무침루기간은 상사개념이다. 따라서 갈수가 확률사상이므로 무침루기간도 확률사상이다. 편의상 수문년중의 최장 무침루기간을 가뭄기간이라고 정의하기로 한다.

Gupta와 Duckstein (1975)은 무침루기간이 균질 포아송과정을 따른다고 하였으며 가뭄기간의 분포를 해석적으로 유도하였다. Nobilis(1986)는 가뭄기간의 연시계열이 범용 극치분포(General Extreme Value distribution)에 적합하다고 했다. 또한 Perzyna (1994)는 노르웨이의 수문상황에서 하계(夏季)의 무침루기간이 IID(Independent and Identically distributed)의 무작위변수임을 확인했고 가뭄기간의 연시계열 경험자료가 EV1 분포를 따른다고 하였다. 그는 이론적으로도 EV1 분포의 채용은 정당화 될 수 있다고 하였다. 즉, 모 분포가 지수 꼬리를 갖는 과정에서 발생하고 표본이 큰 극치들은 EV1분포를 한다는 것이다. 이는 포아송과정에서 발생한 어떤 경계치 이상의 지수 극치 분포에 관한 경우이다. 따라서 가뭄기간은 이러한 유형의 확률과정으로부터 실현된 것이라고 간주할 수 있다. 표본이 큰 경우는 모르지만 그렇지 못하면 여러 형태의 분포 함수들 중에서 적합한 것을 골라내는 효과적인 방법 또한 마땅하지 않다. 이재형(2000) 등은 이러한 점을 고려하여 용담수위표 지점의 자료로부터 가뭄기간의 연시계열이 EV1분포에 적합함을 확인하였다.

2.2 갈수부의 유출특성

갈수부의 유출수문곡선은 갈수시점, 초기유량, 감쇠형식, 감쇠상수 등으로 특정 지워진다. 갈수시점은 연구 목적에 따라 침투점, 복류수 유출시점, 지하수 유출시점 등일 수가 있다. 침투가 일어나지 않는 기간은 복류수 유출 중점이 지하수 유출 시점이 되므로 그에 상응하고 갈수시점이라고 할 수 있다. 이때의 유출을 초기유량이라고 정의 할 수 있다. 지상의 저수지에서 상시 만수위시의 방류량에 대응되는 이 유량을 유량시계열에서 식별해 내기는 쉽지 않다. 지하 대수층과 지표 사이의 반응계에서 일어나는 흐름 상태와 이 계에 유입되는 유량에 따라 무작위 변동을 보이기 때문이다. 갈수시점에 관계없이 이 유출수문곡선을 갈수곡선이라고 하지만 그 중에서도 지하수 유출부분을 주지하수 갈수곡선이라고 명명하는 이유는 이러한 무작위성 때문이라고 사료된다. 이 곡선은 유량시계열 자료로부터 얻을 수 있으나 저류수의 유출방정식으로부터 구할 수도 있다. 후자가 수문학적인 의미를 내포하며 양해적인 표현 상의 장점이 있

으므로 본 연구목적에 부합되는 방식이다. 감수부의 지하수 유출수문곡선은 갈수와 관계가 있다. 가뭄기간의 지하수 유출수문곡선은 유출지속시간이 길고 후반부에 갈수록 갈수정도가 심해지므로 이러한 유출을 갈수유출, 그에 상응하는 수문곡선을 갈수유출곡선이라고 명명하기로 한다. 이 곡선을 표현하는데는 4가지 모형이 있다 (Tallaksen, 1995). 즉, 운동방정식에 의한 모형, 저수지의 유출로서의 모형, 자기회귀과정으로서의 모형, 경험식 등이 그것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 수리학적 접근법이 본 연구의 대상이다. 여러 가지 유형의 감수식 중에서도 지수형의 감수식이 보편적으로 사용된다 (Smakhtin, 2001).

운동방정식의 해로써 얻어지는 지수형 감수식은 선형인 경우와 비선형인 경우로 구분된다. 비선형의 반응계가 보다 일반적인 현상을 포괄한다고 할 수 있으나 실용성을 고려해서 선형해석이 널리 채용되는 방식이라고 할 수 있다(이희주, 2000). 이 선형감수식이 저류수의 유출감쇠를 특징짓는 형식이며 그 정도는 감수상수 K 에 의해 결정된다.

2.3 기본갈수량

갈수의 정도는 지속시간과 유하량으로 나타내는데 전자를 갈수지속시간(P : period), 후자를 갈수량이라고 한다. 수문년 동안의 수문시계열에서 갈수기준은 지속기간 이동평균값(m/P)의 최소치나 일 평균값(m/day)의 하위 순위에 해당하는 일유량이다. 지속기간의 단위로는 1일, 5일, 1주일, 1순 등이 사용된다. 갈수의 규모는 기본갈수량을 빈도해석하여 비초과확률 또는 재현기간과 함께 나타낸다. 즉, 설계갈수량은 건천화 방지 등 자연하천이 보유하고 있는 최소의 기능 수행을 보장해 주어야 할 유량으로 정의된다(한국수문학회, 1995).

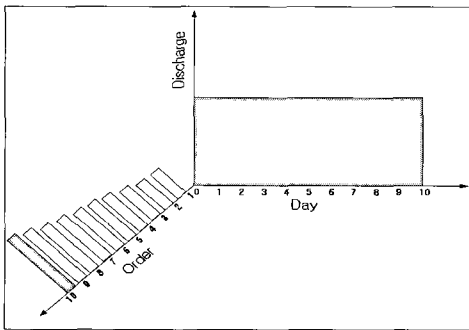


그림 1. 갈수량 개념 차이

설계갈수량의 규모는 나라마다 다르며 설계기준은 보편적으로 재현기간을 채택하고 있다. 따라서 설계갈수의 규모는 지속기간 갈수량, 재현기간(PQT)이나 순위, 갈수량, 재현기간(OQT)으로 표기할 수 있다.

국내에서 주로 사용하는 갈수량으로는 기준갈수량, 평균갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량(7Q10) 등이다. 기준갈수량은 10위 상당 갈수량의 10년 빈도값(10Q10)이나, 또는 최근 10~20년간의 연도별 갈수량 중 최저 1위 또는 2위에 해당하는 값이다. 평균갈수량은 10위 상당 갈수량을 자료 년 수로 산술 평균한 유량이다. 미국에서는 10년 빈도 7일 갈수량(7Q10)과 2년 빈도 7일 갈수량(7Q2)이 가장 광범위하게 사용된다. 영국에서는 최소 7일 이동평균값의 연중 최소치를 평균한 건천 후 유량(Dry Weather Flow) 또는 연평균 7일 최소 유량이 사용된다. 러시아와 동유럽에서는 1일과 30일 여름 갈수량과 겨울 갈수량이 가장 광범위하게 사용되기도 한다.

갈수량은 지속기간의 개념으로 보느냐 또는 순위의 개념으로 보느냐 따라 해석상의 차이가 있다(그림 1). 통계적인 접근법을 택하는 경우는 상관없으나 물리적인 접근법을 구사하고자 할 때는 전자의 절차를 따라야 한다. 외국의 경우 주로 지속기간 개념으로 갈수량(PQT)을 정의하여 상호 호환성이 있으나 국내의 현실은 그렇지 못하다. 현업에서는 달리 연구분야(윤용남, 1979; 안상진 등, 1981; 황규성, 2001)에서 전자의 절차에 따라 해석하는 경우도 있다. 따라서 두 접근법에 의한 해석 결과가 등가관계를 갖도록 연구할 필요가 있으며 본 연구에서는 단순 비교법에 의해 이 문제를 해소하기로 한다. 기준갈수량의 크기에 해당되는 지속기간별 최소 갈수량은 몇 일 지속기간 최소갈수량과 유사한가를 비교해 보았다. 그림 2는 용담수위표 지점의 지속기간별

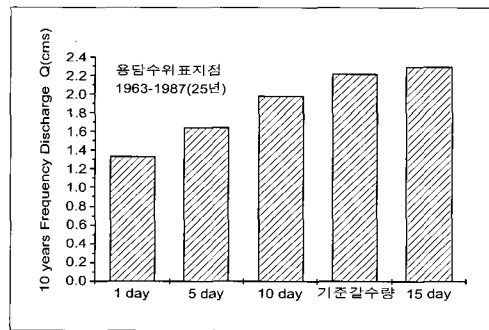


그림 2. 갈수량 비교

최소갈수량과 기준갈수량이다. 그림에서 알 수 있듯이 기준갈수량의 크기(CMS)는 대략 15일 지속기간 최소갈수량의 크기(CMS)와 유사함을 알 수 있다. 결국 10위 상당 갈수량은 15일 이동평균갈수량의 연최소치와 등가의 기본갈수량이라고 간주할 수 있다.

3. 설계갈수모형

앞장에서 가뭄기간의 확률분포함수와 갈수유출함수에 대하여 논의하였다. 또 가뭄기간과 기본갈수량은 무작위변수이며 상사인 확률사상이라고 하였다. 이러한 전제를 적용하면 가뭄에 대한 재현기간을 감수시간으로 변환 할 수 있고 이에 상응하는 갈수량을 추정 할 수 있다.

3.1 가뭄기간의 확률모형

가뭄기간의 연시계열은 EV1분포로 나타낼 수 있다. EV1분포는 주로 한계값이 없는 자료로서 분포의 꼬리 모양이 지수함수형으로 감소하는 모양을 가진 자료 분포에 많이 이용된다. 가뭄기간의 경우도 그 상한값을 알 수 없으므로 그 분포의 최 상단 꼬리에서 경계를 지을 수 없다. 또한 EV1분포는 최 하단 꼬리에서도 경계가 없으므로 가뭄기간의 지속기간이 음의 값이 될 수 없기 때문에 분포의 이론적인 결점이다(Gottschalk 등, 1997). 그러나 본 연구에서는 EV1분포의 최 상단 꼬리에 속하는 값들을 이용하므로 EV1분포를 가뭄기간에 대한 확률모형으로 적용할 수 있다. 수문년 동안에 가뭄기간을 τ 라 하면, 확률변수 τ 의 EV1분포는 식(1)과 같이 표현된다.

$$F_{\tau}(t_D) = \exp[-\exp(-(t_D - u)/\alpha)] \quad (1)$$

$$-\infty < t_D < \infty ; \alpha > 0$$

여기서 α 는 축적 매개변수이고, u 는 위치 매개변수로서 최대확률의 발생위치를 표시한다. 이 매개변수들은 가뭄기간에 대한 통계분석을 통해 추정되며, 일반적으로 안정하고 균등한 공간분포를 가지는 것으로 알려져 있다(Perzyna, 1994). 추정된 매개변수 값들은 설계갈수모형에 대한 기구입력자료로 사용된다.

3.2 갈수유출 모형

갈수유출모형으로 유동방정식에 의한 감수모형을 선택했다. 이 모형은 비피압대수층으로부터 하천으로의 유출을 설명하는 유로-대수층 모형이 그 근간을 형성한

다(조기태, 1999). 지금까지 제시되어왔던 다양한 유로-대수층 모형들은 식(2)으로 대변된다. 이 식은 유역의 복잡하고 다양한 유출특성을 초기유량과 감쇠상수를 이용하여 지수방정식 형태로 표현한 것으로 일반적으로 계측지점에 적용된다.

$$Q_t = Q_0 e^{-t/k} \quad t_p, t \geq 0 ; Q_0 \geq 0 \quad (2)$$

여기서 t 는 무침루기 개시로부터 경과시간, t_p 는 가능 최대 무침루기, Q_0 는 시간 $t=0$ 에서 초기유량, Q_t 는 시간 t 에서 하천유출량, 그리고 k 는 유량의 감쇠율을 나타내는 상수로서 $e^{-1/k} = K$ 의 관계를 가지며 K 는 감수상수이다.

유역의 유출특성을 나타낼 수 있는 유역특성변수를 사용하면 식(2)은 식(3)과 같이 표현될 수도 있다. 식(3)은 많은 수문학자들이 갈수량을 추정하기 위한 지역 수문 모형을 개발하기 위하여 시도한 지역 수문 회귀모형을 기초로 한 것으로 유역면적, 평균 유역경사, 감수상수, 그리고 유역 내의 저수지 유역면적이 차지하는 비율 등을 이용하여 지수함수형으로 표현한 것이다. 이러한 회귀모형의 장점은 미계측지점에 적용이 가능하다는 것이다. 국내에 적용된 사례로는 조기태(1999)가 미계측지점에서 설계갈수량 추정식을 개발하는데 이용하였으며, Jae-Hyoung Lee 등(2001)은 지역 주지하수 감수곡선 모형 개발을 위해 회귀모형을 이용하였다.

$$Q_t = b_0 A^{b_1} S^{b_2} (1-L)^{b_3} K^{b_4(t)} \quad (3)$$

여기서 Q_t 는 측정지점의 갈수량, A , S , K 는 각각 측정지점의 유역면적, 유역경사, 감수상수이며, b_0 , b_1 , b_3 , $b_4(t)$ 는 회귀상수이다. L 은 유역 내에서 저수지 유역면적이 차지하는 비율을 나타내는 것으로 유역 내의 저수지 유역면적을 유역면적으로 나눈 값이다.

3.3 감수시간 모형

갈수지속기간 사상과 무침루기 사상 상사사상이므로 식(2)으로부터 무침루기 t_D 에 상응하는 기본갈수량은 $Q_{t_D} = Q_0 \exp(-t_D/k)$ 이 된다. 초기유량 Q_0 와 감쇠상수 k , 그리고 가뭄기간 τ 을 확률변수로 간주하면 가뭄기간 말 최소갈수량 Q_{τ} 은 Q_0 , k 그리고 τ 의 함수가 된다. 확률변수들 중 Q_0 와 k 을 평균값과 같이 상수로 취급하면 Q_{τ} 는 τ 만의 함수가 된다. 따라서 τ 의 극대치 분포함수와 Q_{τ} 의 극소치 분포함수 사이에는

식(4)과 같은 관계가 성립된다(Gottschalk와 Perzyna, 1989).

$$F_{Q_c}(Q_{t_D}) = 1 - F_r(t_D) \quad (4)$$

여기서 $Q_{t_D} = Q_0 \exp(-t_D/k)$ 을 t_D 에 대해 정리하여 식(1)에 대입하고 $F_r(t_D)$ 을 식(4)에 대입하면 다음과 같은 갈수량 분포함수를 유도할 수 있다.

$$F_{Q_c}(Q_{t_D}) = 1 - \exp\left\{-\left[Q_{t_D} \frac{\exp(u/k)}{Q_0}\right]^{\frac{k}{\alpha}}\right\} \quad (5)$$

$$0 \leq Q_{t_D} \leq \infty$$

식(5)의 분포는 순간갈수량에 적용하는 것으로 본 연구에서 정한 기본갈수량에 적용하기 위해서는 $Q_{t_D} = Q_0 \exp(-t_D/k)$ 대신에 특정기간 t_D^* 에 관하여 평균한 식(6)을 적용한다.

$$Q_{t_D} = \frac{1}{t_D^*} \int_{t_D-t_D^*}^{t_D} Q_0 \exp(-t_D/k) dt_D \quad (6)$$

$$= \frac{Q_0 k [\exp(t_D^*/k) - 1]}{t_D^*} \exp(-t_D/k)$$

한편 갈수량 분포함수는 2변수 Weibull 분포와 음(-) EV1 변환변수 $y = \ln[\ln T/(T-1)]$ 을 이용하면 식(7)과 같은 이론분포 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_{t_D} = b \exp(a y) \quad (7)$$

식(7)의 a 와 b 는 매개변수로서 $a = a/k$ 이고 $b = kQ_0 [\exp(t_D^*/k) - 1]/[t_D^* \exp(u/k)]$ 이 된다. 여기서 식(7)의 좌변에 식(6)의 우변을 대입하고 무침루기간 t_D 에 대해 풀면 식(8a)과 같이 재현기간과 무침루기간의 관계를 설정 할 수 있다.

$$t_D = u - \alpha \ln \left[\ln \frac{T}{T-1} \right] \quad (8a)$$

또한 식(3)을 적용하면 미계측지점의 T 과 t_D 의 관계도 결정 할 수 있다. Jae-Hyoung Lee 등(2001)은 식(3)의 $b_4(t)$ 가 $\delta + t$ 임을 밝혔다. 따라서 감수상수를 제외한 나머지 부분을 $\overline{Q_0}$ 로 놓으면 $Q_{t_D} = \overline{Q_0} K^{(\delta+t)}$ 이 되며 이 식을 특정기간 t_D^* 에 관하여 평균하면 식(9)과 같다.

$$Q_{t_D} = \frac{\overline{Q_0} k [\exp(t_D^*/k) - 1]}{\exp(\delta/k) t_D^*} \exp(-t_D/k) \quad (9)$$

식(9)의 우변을 식(7)의 좌변에 대입하고 무침루기간에 대해 풀면 식(8b)과 같은 관계를 설정할 수 있다.

$$t_D = u_r - \alpha \ln \left[\ln \frac{T}{T-1} \right] \quad (8b)$$

$$u_r = u - \delta + \ln \left(\frac{\overline{Q_0}}{Q_0} \right)^k$$

위의 무침루기간과 재현기간의 관계는 기후인자인 α , u 에 의하여 조정됨을 알 수 있다. 설계기준인 재현기간이 정해지면 이에 상응하는 무침루기간은 지역의 기후조건과 이중 자연대수 함수관계에 의하여 결정되고 식(6)과 식(9)에 의해서 설계갈수량을 구 할 수 있다. 이때에 초기유량과 감수상수에 의해서 지하 저류지의 유출특성이 반영된다.

4. 모형 특성치 평가

본 연구모형은 유역특성치로 유역면적, 평균유역경사, 유역면적에 대한 저수지 유역면적비 등이고, 가뭄기간특성치로 α , u , 감수특성치로 Q_0 , K 등이 필요하다.

4.1 유역 특성치

본 연구의 대상유역은 금강수계 내의 용담수위표 지점을 출구로 하는 유역으로, 유역면적은 952.86km²이다. 본 연구에서 선정한 미계측지점의 갈수량 측정자료는 홍민(2002)의 자료를 이용하였다. 유역면적(A), 평균 유역경사(S), 저수지 유역면적(A_R) 등이 측정지점의 유역특성인자이다. 유역면적과 A_R 은 구적기를 이용하여 산정 하였으며, 평균 유역경사는 Strahler(1950)가 제안한 간이법을 이용하여 산정 하였다. 여기서 A_R 은 유역 내에서 저수지가 차지하는 면적이며, L 은 A_R 을 유역면적으로 나눈 값이다(표 1).

4.2 가뭄기간 특성치

가뭄기간의 특성치 α 와 u 는 가뭄기간에 대한 분포함수의 매개변수이다. 본 연구에서는 황규성(2001)이 추정한 값을 채택하였다(표 2). 또한 그는 진안 우량관측소의 경우는 3mm 장수와 용담 우량관측소의 경우는 2mm가 가장 적합한 것으로 분석하였다. 각 측정지점들과 우량관측소와의 관계는 티센망을 이용하여 구분하였다.

표 1. 유역특성치

하천	측정위치		㉠ A (km)	S	㉢ A _R (km)	L (㉢÷㉠)	1 - L
	· · "	· · "					
내오천	127-27-12	35-48-13	32.24	0.623	1.24	0.0385	0.9615
장계천	127-32-40	35-44-50	68.23	0.752	40.80	0.5980	0.4020
계북천	127-32-50	35-47-04	39.65	0.962	2.28	0.0575	0.9425
양약천	127-36-29	35-51-02	41.49	0.735	14.67	0.3536	0.6464
구량천	127-36-02	35-51-49	90.19	1.073	24.45	0.2711	0.7289
주자천	127-25-50	35-58-07	53.38	0.583	3.37	0.0631	0.9369
내동천	127-26-37	35-54-34	19.38	0.652	-	-	1.0000
신지천	127-31-38	35-54-34	27.90	0.472	3.02	0.1082	0.8918
유 천	127-34-50	35-43-09	43.67	0.525	21.67	0.4962	0.5038
정자천	127-26-37	35-50-54	44.72	1.018	16.35	0.3656	0.6344
용담수위표	127-32-10	35-57-58	952.86	0.238	930.00	0.9760	0.0240

표 2. 추정된 매개변수

우량관측소	매개변수	문턱값						적용하천
		0mm	1mm	2mm	3mm	4mm	6mm	
진안	α	5.09	7.67	7.99	11.50	11.59	10.73	계북천 · 내오천 정자천 · 내동천
	u	18.65	23.01	25.01	23.34	31.91	37.18	
장수	α	6.02	7.93	8.74	9.15	10.14	11.77	유천 · 장계천
	u	20.60	24.13	29.05	34.98	39.46	44.28	
용담	α	4.88	9.16	10.32	10.64	9.98	13.09	신지천 · 주자천 양약천 · 구량천
	u	19.79	25.77	28.47	31.80	36.43	42.82	

표 3. 미계측지점의 감수특성치

측정지점	α	β	Q_0	b	K	k
내오천	1.20E-2	1.013	0.16	-0.049	0.89	8.58
장계천	3.70E-5	4.316	2.47	-0.092	0.81	4.75
계북천	6.40E-3	1.585	0.38	-0.076	0.84	5.74
양약천	1.40E-3	2.271	0.48	-0.049	0.89	8.58
구량천	2.40E-2	1.696	1.89	-0.080	0.83	5.37
주자천	4.00E-3	1.683	0.30	-0.078	0.84	5.74
내동천	4.40E-4	1.926	0.06	-0.085	0.83	5.37
신지천	8.80E-3	1.070	0.14	-0.034	0.92	11.99
유 천	1.48E-1	0.304	0.32	-0.017	0.96	24.50
정자천	1.40E-2	1.434	0.56	-0.055	0.88	7.82
용담수위표			13.12	-0.039	0.91	10.60

4.3 감수 특성치

감수 특성치인 초기유량과 감수상수 값은 계측지점과 미계측지점으로 구분된다. 황규성(2001)은 용담수위표 지점의 초기유량 값을 13.12m³/sec로 산정 하였으며 본

연구에서도 이 값을 채택하였다. 미계측지점의 초기유량은 조기태(1999)가 제안한 계측지점과 미계측지점 간의 갈수량 관계식을 이용하여 산정 하였다. 즉, 수위표지점의 갈수량을 Q_g , 임시관측지점의 갈수량을 $Q_{u.g}$ 라 하면 $Q_{u.g} = \alpha Q_g^\beta$ 의 관계가 된다. α 와 β 값은 수위표지

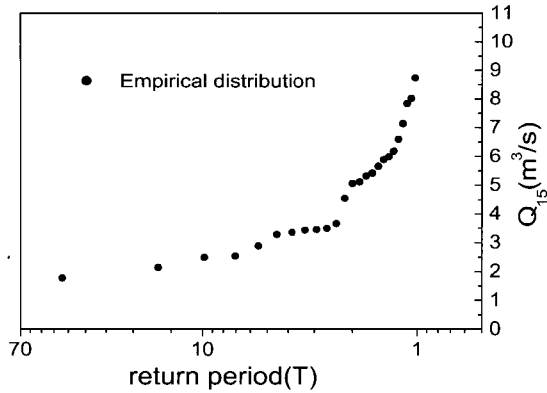


그림 3. 연 최소 유량계열의 확률도시

점과 측정지점 간의 갈수량을 도시하여 얻을 수 있는 상수로 a 와 β 의 추정값과 측정지점들의 초기유량을 표 3에 게재하였다.

황규성(2001)은 통계적인 방법을 사용하여 용담수위표 지점의 감수상수 값을 0.9595로 산정 하였으며 본 연구에서도 이 값을 채택하였다. 미계측지점의 감수상수는 홍민(2002)이 제안한 갈수량과 시간의 관계 즉, $Q_t = Q_0 K^{(t-t_0)}$ 을 이용하여 산정 하였다. 이 식은 어느 시간 즉, $t=t_0$ 에서 감수곡선으로 이 식의 양변에 \log 를 취하여 변환하면 $\log Q_t = \log Q_0 + t \log K$ 이 되며, 각 항을 다른 기호를 사용하여 치환하여 정리하면 $Y = a + bt$ 이 된다. a 와 b 는 관계식의 계수이고, $b = \log K$ 이므로 감수상수는 $K = 10^b$ 이라 할 수 있다. 이 관계를 이용하여 산정 된 측정지점의 감수상수를 표 3에 게재하였다. 표 3에서 용담수위표 지점의 감수상수가 0.91인 경우는 2001년 갈수기에 측정된 갈수량 자료로부터 산정한 값이며 참고자료로 제시했다.

5. 적 용

본 연구의 감수시간 모형의 평가에는 연 최소유량의 경험치 분포가 이용되므로 빈도해석이 필요하고 감수곡선은 설계갈수량을 구하는데 이용된다.

5.1 갈수 빈도해석

갈수 빈도해석을 위해 매년 1월 1일부터 12월 31일까지를 수문년으로 하는 1963년부터 1987년까지 25년간의 용담수위표 지점의 유출량자료를 이용하였다. 본 지점의 유출량자료는 자기수위기록계에 의한 오류와 홍

수기록 누락에 의한 수위자료의 보정이 이루어진 것이다(건설부, 1991).

갈수 빈도해석 방법으로 도시위치방법을 사용했다. 사용된 자료는 15일 지속기간의 연최소유량계열이다. 자료에 대한 확률도시를 위해 매년의 유출량 자료로부터 15일 지속기간의 평균유량을 계산하고 이를 순차 정렬하여 제일 작은 값을 그 해의 15일 지속기간의 최소유량 Q_{15} 로 정한다. 생성된 Q_{15} 를 Gringorten 도시공식을 사용하여 도시하였다. 연 최소유량 계열의 경험치는 본 감수시간 모형의 검증을 위한 자료로 이용된다.

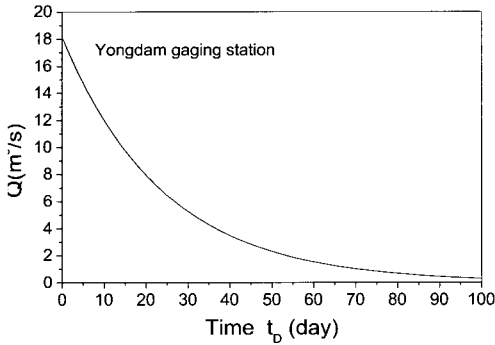
5.2 갈수유출 모형 평가

3.2절에서 갈수유출 모형으로 유동방정식에 의한 갈수모형 식(2)과 회귀모형 식(3)을 채택했다. 이 두 식은 순위 개념의 갈수량을 구하는데 적용되는 식으로 본 연구의 기본갈수량에 해당하는 값을 구하기 위해서는 지속기간 개념의 갈수량을 구할 수 있는 식(6)과 (9)를 이용해야 한다. 식(6)과 (9)는 각각 계측지점과 미계측지점에 적용된다. 따라서 식(6)에 용담수위표 지점의 감수 특성치를 대입하면 하나의 곡선식을 완성할 수 있으며 이 곡선식은 그 지점을 대표하는 감수곡선이 된다.

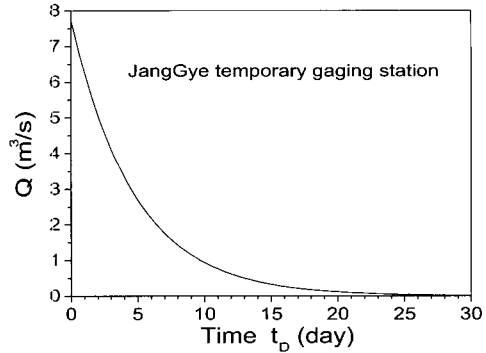
식(9)은 감수 특성치 뿐만 아니라 유역 특성치가 포함된다. 즉, $\overline{Q_0}$ 와 δ 값이 필요하며 이 값을 구하기 위해서는 회귀모형인 식(3)의 계수 값이 필요하다. 계수 값을 추정하기 위해 초기유량을 종속변수로 하고 유역 면적, 평균 유역경사, $(1-L)$, 감수상수 등을 독립변수로 하여 다중 선형회귀분석을 실시하였다. 분석에 사용된 자료는 표 1과 3, 추정된 계수는 표 4에 게재하였다. 모형 I은 갈수량과 시간 관계에 의해 산정 된 감수상수

표 4. 추정된 계수

모형		b_0	b_1	b_2	b_3	$\delta + t$	결정계수
AS(1-L)K	I	0.00469	1.25461	1.63026	-0.49856	-0.48363	0.934
	II	0.00445	1.23338	1.57064	-0.52772	-1.20335	0.935



(a) 용담수위표 지점



(b) 장계천 지점

그림 4. 감수곡선

값 0.91을 적용한 것이고, 모형II는 통계적인 방법에 의해 산정된 감수상수 값 0.9595를 적용한 것이다. 각 모형의 결정계수는 모형 I이 0.934, 모형II가 0.935로 평가되었다. 추정된 계수 값을 이용하면 식(9)을 완성할 수 있으며 이 곡선식은 미계측지점의 감수곡선이 된다. 그림 4는 용담수위표 지점과 장계천의 감수곡선을 나타낸 것으로 갈수량 자료의 통계치를 이용하였다.

5.3 감수시간 모형 평가

3.3절에서 재현기간과 무침루기간의 관계 식(8)을 결정하였다. 이 감수시간 모형은 식(8a)과 식(8b)으로 구분된다. 전자는 계측지점에 적용되는 식이고, 후자는 미계측지점에 적용되는 식이다. 계측지점인 용담수위표 지점은 장수 우량관측소의 문턱값 2mm에 해당하는 변수 값이 가장 적합한 것으로 나타났다. 따라서 $\alpha = 8.74$, $u = 29.05$ 를 식(8a)에 대입하고 재현기간에 상응하는 감수시간을 결정하였다. 미계측지점의 경우는 표 2에서

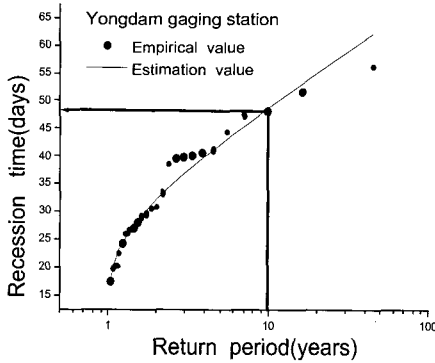
구분한 것을 이용하여 측정지점별로 해당 변수 값(표 5)을 산정하여 식(8b)에 대입하고 재현기간에 상응하는 감수시간을 결정하였다. 완성된 감수시간 모형을 평가하기 위해 용담수위표 지점과 장계천 지점에 적용하였다. 그림 5는 적용결과를 나타낸 것으로 용담수위표 지점은 5.1절의 연 최소유량 계열의 경험치를 이용하여 비교하였으나 미계측지점의 경우는 경험치를 취득할 수 없으므로 상·하류 관계식을 이용하여 추정한 값을 이용하였다. 한편 재현기간이 길어짐에 따라 오차가 증가하는 경향이 있으나 설계빈도(10년) 전후로는 오차가 크지 않으므로 대안으로는 적당하다고 사료된다.

6. 결 론

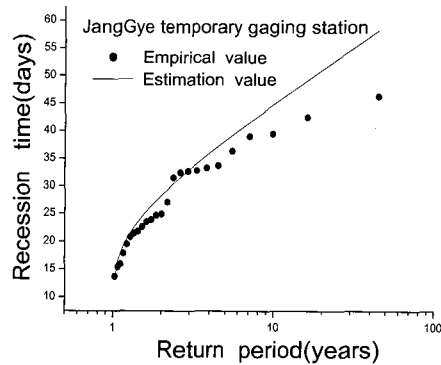
미계측지점이나 유량자료가 불충분한 계측지점의 설계갈수량 추정 대안을 모색했다. 즉, 가뭄사상이 갈수 유출사상과 상사하다는 전제하에 유출특성과 기후특성을 모형화하여 결합시킨 모형을 검토했다.

표 5. 미계측지점의 매개변수

변수	내오천	장계천	계북천	양악천	구랑천	주자천	내동천	신지천	유천	정자천
u_r	29.37	25.14	29.90	26.76	28.58	29.00	31.60	24.13	23.70	30.49
$\overline{Q_0}$	0.15667	0.84099	0.40434	0.34189	1.54177	0.26654	0.08798	0.08820	0.24486	0.63172
α	11.50	8.74	11.50	10.32	10.32	10.32	11.50	10.32	8.74	11.50



(a) 용담수위표 지점



(b) 장계천 지점

그림 5. 재현기간과 감수시간의 관계

본 모형을 유도하기 위해서 가뭄기간의 확률모형으로는 EV1분포를 선택하였고, 유출모형으로는 지수형의 선형 감수식을 선택하였다. 또한 순위개념 갈수량과 이동평균개념 갈수량의 혼용으로 인한 두 개념의 상호 호환성을 위해 기본갈수량을 정의하였다. 이렇게 하여 재현기간을 감수 지속기간으로 변환할 수 있는 식(8a, b)을 유도하였다.

본 모형을 평가하기 위해서 용담댐 지역의 유역특성치, 유출특성치, 기후특성치 등을 평가하였다. 그리고 미계측지점의 초기유량과 경험치는 상·하류 관계식을 이용하여 산정 하였고 감수상수는 갈수량 추정치를 이용하여 산정 하였다.

이상의 결과를 바탕으로 본 모형을 용담수위표 지점의 갈수량 빈도분석치와 비교해 본 결과 설계갈수량 추정 대안으로 채택할 수 있음을 확인했다.

참 고 문 헌

건설부 (1991). 용담다목적댐 건설사업 기본계획서. pp. 82~87.

안상진, 윤용남, 강관원 (1981). "금강수계의 하천형 태학적 특성인자에 의한 갈수량 산정." 한국수자원회 논문집, 한국수자원학회, 제14권, 제1호, pp. 31~37.

윤용남 (1979). "출력-출력모형에 의한 갈수량 빈도 곡선의 합성." 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제27권, 제2호, pp. 89~94.

이재형, 유양규, 이회주 (2000). "갈수량 빈도해석을

위한 수문-통계 모형." 도시 및 환경연구소 논문집, 전북대학교 도시 및 환경연구소, 제15권, 제1호, pp. 1~11.

이회주 (2002). 쌍치유역의 기저유출 특성분석. 석사학위논문, 전북대학교.

조기태 (1999). 미계측 산지하천 유역의 설계갈수량 추정식 개발. 박사학위논문, 전북대학교.

한국수문학회(1995). 하천시설기준(조사편).

한국수자원학회(2000). 하천설계기준.

홍민 (2002). 용담유역의 갈수 지역빈도분석. 석사학위논문, 전북대학교.

황규성 (2001). 용담수위표 지점의 갈수량 빈도해석을 위한 수문-통계모형. 석사학위논문, 전북대학교.

Gottschalk, L. and Perzyna, G. (1989). "A physically based distribution function for low flow." *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 34, No. 5, pp. 559~573.

Gottschalk, L., Tallaksen, L. M., and Perzyna, G. (1997). "Derivation of lowflow distribution functions using recession curves." *J. Hydrol.*, Vol. 194, pp. 239~262.

Gupta, V. K., and Duckstein, L. (1975). "A stochastic analysis of extreme droughts." *Water Resources Res.*, Vol. 11, pp. 221~228.

Jae-Hyoung L., Nam-Sun O., and HeeJu L. (2001). "A study on the development of regional

- master recession curve model." *J. KASSGE*, Vou. 6, No. 3, pp. 61~71.
- Nobilis, F. (1986). "Dry spells in the alpine country Austria." *J. Hydrol.*, Vol. 88, pp. 235~251.
- Perzyna, G. (1994). "Spatial and temporal characteristics of maximum dry spells in southern Norway." *Int. J. Climatol.*, Vol. 14, pp. 895~909.
- Smakhtin, V. U. (2001). "Low flow hydrology: a review." *J. Hydrol.*, Vol. 240, pp. 147~186.
- Strahler, J. R. (1950). "Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis." *Am. J. Sci.*, Vol. 248, pp. 673~696.
- Tallaksen, L. M. (1995). "A review of baseflow recession analysis." *J. Hydrol.*, Vol. 165, pp. 349~370.
- (논문번호:02-020/접수:2002.4.12/심사완료:2002.06.26)