

쌍치유역의 감수특성 분석

Recession Characteristics Analysis of Ssangchi Watershed

이 재 형* · 윤 재 민 · 이 희 주 · 박 정 인 (경상대)

Lee, Jae Hyoung · Yoon Jae Min · Lee Hee Ju · Park Jeong In

Abstract

The objective of this study is to analyze hydrologic recession curve at the outlet of the ssangchi basin. For the development of recession equation, the initial discharge(Q_0) and the recession parameters are estimated. It is shown that the accurate estimates of recession curve is easily obtained. The obtained parameters can be related to the basin characteristics, drainage area, and the total stream length so that they can be used for the development of the regional low flow estimation model.

1. 서론

우리 나라의 수자원은 경제발전과 더불어 급속한 산업화와 생활수준 향상 등으로 인해 그 수요가 증가하고 있다. 그리고 전 세계적으로 이상기후 현상이 발생하면서 우리 나라의 평균 강우량도 최근 몇 년 동안 감소하고 있다. 이로 인해 가뭄이 지속되어 지역에 따라 심각한 물 부족 현상이 발생하고 있다. 우리 나라의 수자원 공급이 대부분 하천 유량에 의존하고 있기 때문에 이러한 현상은 용수확보와 더불어 수질오염의 증가, 하천 생태계 파괴 등의 많은 문제점을 야기하게 되었고, 이는 갈수에 대한 관심을 집중케 했다. 이에 정부는 하천을 좀더 체계적이고 종합적으로 관리하기 위해 1995년 소하천정비법을 제정하였다. 따라서 본 연구에서는 간수시 하천의 관리를 좀더 효율적이고 정확히 하여 소하천정비법의 실효를 거두기 위해 하천의 감수시기에 해당하는 유출의 특성을 파악하고 분석하고자 한다.

많은 수문학자들은 감수부 해석에 정확한 결론을 얻어내지 못하고 있다. 이는 유출에 유역면적, 투수계수, 지표면 경사, 공극률, 대수층 특성 등의 유역의 지형학적, 지질학적 인자들과 물리적인 요소들이 영향을 미치고 있기 때문이다. 그래서 초기유량 Q_0 과 감수계수 K 를 도입해 유출에 영향을 미치는 인자들을 선형화하여 해석하고 있다. 여기서 초기유량은 지질 및 대수층의 특성에 많은 영향을 받는 인자로 평가하기가 어렵다. 그렇기 때문에 초기유량값을 결정하는 문제는 여러 방법이 소개되고 있으나 객관적이고 정확한 방법을 제시하지는 못하고 있다. 본 연구에서는 Brutsaert & Nieber[1977]가 제시한 방법을 도입하여 이 문제를 해결하려고 한다. 그리고 감수계수를 구하는 방법은 여러 수문학자들에 의해 제시되고 있다. 종래에는 matching strip 방법, correlation 방법 등의 도해적 방법이 사용되었으나 이러한 방법들은 상당히 주관적이어서 많은 오차를 포함하고 있어, 최근에는 이를 개선하기 위한 많은 연구가 이루어져왔다.

그 결과 최소자승법, maximum likelihood 방법에 의한 회귀모형의 매개변수 추정법, vogel & Kroll이 제시한 방법 등이 제시되고 있다. 이러한 방법들은 기존의 방법들보다 객관적이고, 컴퓨터에 의해 좀더 간편하게 감수계수를 산정할 수 있다. 그러나 산정된 감수계수가 유출에 영향을 미치는 인자들을 포함하는지 판단할 수는 없다.

이에 본 연구에서는 감수식을 선형화하여 초기유량 Q_0 과 감수계수 K 를 산정하는 등 연구 대상구역의 감수 특성을 파악하고자 한다.

2. 감수 이론

단일호우에 의하여 유발되는 대표적인 수문곡선은 상승부, 침투부, 감수부로 구성된다. 이중 침투부를 지나면서 유량이 감소하여 하강곡선이 그려지는 유출을 감수부라고 한다.

강우가 발생한 후 시간이 경과함에 따라 그 구역에서 발생하는 유출은 점차 감소하게 된다. 많은 시간이 흐르면 강우에 의한 지표유출이 중단되고 토양속에 침투하였거나, 지하로 저장된 물이 유출의 주성분이 된다. 이때의 유출함수 q_t 는 지하수의 저류량 함수와 같다.

$$q_t = q_0 e^{-t/k} \quad (1)$$

여기서 q_0 는 $t=0$ 에서의 유출량, k 는 시간정수이다. 그러나 식(1)의 선형이론은 지하수계에 항상 적용되는 것은 아니다. 그러므로 지하수유출이 호수 등의 영향을 받고 있는 경우에는 비선형 저수지 형태의 유출함수로 표현하는 것이 타당하다.

$$q = \frac{1}{K} s^c \quad (2)$$

식(2)에서 s 는 저류량, K 와 c 는 상수이다. 이때 유출량이 감소하고 있다면, 다음과 같은 함수 형태로 쓸 수 있다.

$$q_t = q_0 \{1 + t/ka\}^{-a} \quad -ka \leq t < \infty \quad (3)$$

여기서 $k = K^{1/c} q_0^{-1/a}$ 그리고 $a = c/(c-1)$ 이다.

식(3)은 Wilfried Brutsaert 와 John L. Nieber[1977]가 제시한 비선형 유출량 모형과 같음을 알 수 있다. Wilfried Brutsaert 와 John L. Nieber[1977]는 선형화된 Dupuit-Boussinesq 대수층에 대해, 선형일 경우($n=1$)와 비선형일 경우($n \neq 1$)에 대해 유출량 함수를 다음과 같이 제시하였다.

$$\text{선형인 경우, } Q = Q_0 e^{-c_1 t} \quad (4)$$

$$\text{비선형인 경우, } Q = Q_0 (1 + c_2 t)^{n/(1-n)} \quad (5)$$

여기서 c_1, c_2 는 상수이다. 이 때 시간에 대한 유량의 변화율과 유량을 log-log지에 도시함으로써 유역에 대한 선형성 판단을 할 수 있다. 식은 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dQ}{dt} = f(Q) \quad (6)$$

식(6)의 좌변은 각각 시간에 대한 유량의 변화율을 나타내고, 우변은 대상구역에 대한 특성치를 나타내는 유량의 함수로 표현된다. 따라서 식(6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{Q_t - Q_{t-1}}{\Delta t} = f\left(\frac{Q_t + Q_{t-1}}{2}\right) \quad (7)$$

식(6)과 식(7)에 의해서 다음의 함수식을 얻었다.

$$dQ/dt = -aQ^b \quad (8)$$

여기서 a , b 는 상수이며, 대상유역의 유출량자료를 분석하여 $b=1$ 즉, $n=1$ 이면 유역이 선형임을 알 수 있다. 그리고 상수 a , b 는 식(5)과 비교했을 때, 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$a = n(n-1)^{-1} C_2 Q_0^{(1-n)/n} \quad (8a)$$

$$b = (2n-1)/n \quad (8b)$$

3. 대상유역 및 관측소 현황

본 연구의 대상유역은 섬진강 수계내의 섬진강 다목적 댐 상류에 있는 쌍치 수위관측소 지점을 출구로 한 유역이다. 본 유역은 전 유역면적에 비해 논과 밭 등의 면적이 적고, 산지가 대부분이며, 저수지 등이 비교적 적게 분포하여 자연적인 유출조건을 갖추고 있다. 쌍치유역은 섬진강 최상류에 위치하고 있으며, 섬진강 다목적댐으로 유입하는 섬진강수계 제1지류이다. 본 유역의 유역면적은 126.3km², 유로연장 36km이다. 본 유역은 평·갈수시의 유출량이 적고, 홍수시의 지체시간이 짧은 것이 특징이다. 유역내에는 전북 순창군 쌍치면 쌍계리 제1쌍계교에 수위관측소, 쌍치면 시산리에 우량관측소가 각각 운영되고 있다. 수위관측소는 1990년 12월 15일에 T/M관측을 개시하였다. 쌍치면 시산리에 위치하고 있는 우량관측소는 1961년 8월부터 자기관측을 시작하였으며, 1990년 12월 15일부터 T/M에 의한 관측이 실시되어 운영되고 있다. 본 연구에서는 T/M에 의해서 관측된 수위자료를 사용하였다.

4. 자료의 선정

유출량 자료는 1993년부터 1998년까지의 일유출량 자료를 사용하였다. 그러나 1993년의 경우 극심한 한파로 인해 감수계열을 획득할 만한 호우사상이 없어 이를 제외하였다. 유출량자료중 감수계열을 선정하는 데 보다 신뢰성있는 감수계열을 추출하기 위해 3일 이동평균을 사용하였다. 3일 이동평균법은 3일간의 연속된 유출량자료를 평균하여 감수계열을 취득하는 방법이다. 이는 대상유역의 유출량자료가 부족하여 더 많은 감수계열을 취득하기 위해 사용한 방법이다. 3일 이동평균방법에서 감수부는 3일 이동평균이 감소하는 부분을 시작으로 하고 다시 증가할 때 끝난다. 본 연구에서는 1994년부터 1998년까지 10일~24일의 감수기간을 갖는 총 22개의 감수계열을 추출했다.

5. 감수계수 산정

기저유출을 표현하는 방정식은 여러 수문학자들에 의해 제안되었다. 이중 대표적인 선형방정식은 Barnes[1939]가 제시한 것으로써 다음과 같다.

$$Q_t = Q_0 K^t \quad (9)$$

여기서 Q_t 는 시간 t 에 따른 유량, Q_0 는 $t=0$ 일때의 유량이다. 그리고 K 는 상수로써 유출의

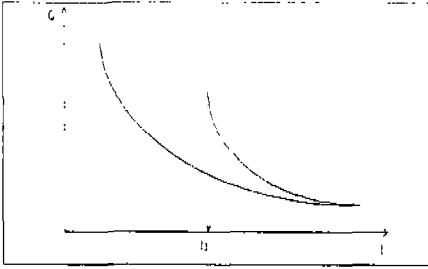


그림 1. 감수곡선 예

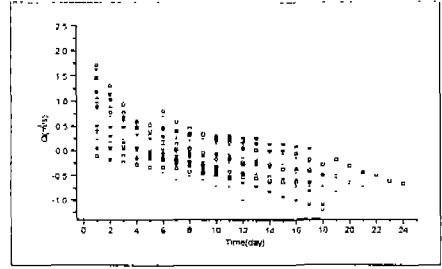


그림 2. 감수계열

감수특성을 대표하는 감수계수이다.

감수계수의 산정에는 최소자승법, Vogel & Kroll 그리고 M. D. Bako와 D. N. Hunt 등이 제시한 여러 가지의 방법이 있다. 이중 최소자승법과 Vogel & Kroll이 제시한 방법은 각각의 감수계열에 대해서 감수계수를 산정하여 산술평균한 값이다. 그러나 M. D. Bako와 D. N. Hunt[1988]가 제시한 감수계수 산정방법은 각각의 감수계열의 감수계수를 통계적인 방법을 통해 평균함으로써 그 값을 구하는 방법으로 본 연구에서는 M. K. Bako와 D. N. Hunt[1988]가 제시한 방법을 사용하여 감수계수를 산정하였다. M. D. Bako와 D. N. Hunt[1988]는 식(9)를 이용하여 감수계수를 산정하였다. 이 방법은 통계적인 방법으로 각각의 감수계열을 log-log 좌표상에 도시하여 얻어진 곡선을 직선으로 가정한다. 즉, 식(9)를 다음과 같이 변형한다.

$$y_t = \alpha + \beta t \quad (10)$$

여기에서 $y_t = \log Q_t$, $\alpha = \log Q_0$, $\beta = \log K$ 이다. 이는 단일 감수계열에 해당하는 것으로써 여러개의 감수계열에 대해 같은 조건을 적용시키면 다음과 같다. 즉, t_0 에서의 또 하나의 감수곡선이 존재한다고 가정하자(그림 1). 식(9)는 같은 K값을 가지며 다음과 같은 형태가 된다.

$$Q'_i = Q'_0 K^{(t-t_0)} \quad (11)$$

식(11)을 식(10)의 형태로 변형을 하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$y'_i = \alpha' + \beta' t \quad (12)$$

여기에서 $y'_i = \log Q'_i$, $\alpha' = \log Q'_0 - t_0 \log K$, $\beta' = \log K = \beta$ 이다. 식(10)과 식(11)로부터 기울기 β 를 갖고 식(9)를 따르는 서로 다른 감수계열이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

여러 개의 감수계열중 i 번째 감수곡선으로부터 취한 관측자료를 block i 로 정의하고, 각 감수부의 초기값을 단위 시간에 맞추어 감수계열을 다시 배열한다. 이렇게 해서 얻어진 각 block에 대해 Brownlee[1965]의 방법을 사용하여 감수곡선들의 평균 기울기를 얻는다.

Brownlee[1965]는 block에 대해 다음의 모형을 제시하였다.

$$y_{iv} = \alpha_i + \beta v + \zeta_{iv} \quad (13)$$

식(13)은 좌측항을 유출량으로 하고 우측항의 각 항을 block에 대한 시간적효과와 오차의 항으로 표시한 것이다. 여기에서 i 는 각 계열을 나타내고, v 는 각 계열의 유출량 자료이다. 식(13)과 같이 표현하는 각 block에 대해 다음과 같은 방식으로 평균 기울기를 얻을 수 있다.

$$\bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^k [\sum_{j=1}^{n_i} v_j y_{ij} - \frac{1}{2} n_i (n_i + 1) y_i]}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{12} (n_i^3 - n_i)} \quad (14)$$

여기서 n_i 는 block i 의 관측자료 수, y_i 는 block i 의 평균 y 를 의미한다. 본 연구에서는 쌍치 유역에서 추출한 22개의 감수계열을 사용하여 감수계수를 산정하였으며(그림 2), 그 결과 $K=0.780$ 로 산정되었다.

6. 매개변수 산정

본 연구에서 사용된 비선형 기저유출 모형은 Wilfried Brutsaert 와 John L. Nieber[1977]가 제시한 것을 사용하였으며 식(5)에서 제시되었다. 비선형 기저유출 모형에서의 Q_0 , c_2 , n 은 시간에 영향을 받는 매개변수로 감수계열의 선정에 따라 달라질 수 있다. 매개변수를 결정하기 위해 유출량 자료를 식(6)과 같은 관계로 세로축에 dQ/dt , 가로축에 Q 를 도시한다. 이때 자료는 식(7)에서와 같은 형태로 변형되어 log-log 좌표상에 도시된다(그림 3). 이렇게 도시된 유출량 자료를 회귀분석하여 다음의 선형식을 얻었다[Peter A. Troch et al., 1993].

$$\frac{dQ}{dt} = 0.252Q^{0.99} \quad (15)$$

매개변수를 산정하기 위해서는 초기 유량값을 구해야 한다. 이를 산정하기 위해 그림 3과 같이 도시된 자료에 대해 포락선을 그린다[Peter A. Troch et al., 1993]. 이때 식(8)에서의 dQ/dt 는 오차를 포함하기 때문에 포락선의 정확한 위치를 찾기는 힘들다. 그래서 이러한 전제 아래, 1.5와 3의 경사를 갖는 포락선을 자료의 5%를 제외한 곳에 도시한다(그림 4). 이렇게 해서 얻어진 포락선이 만나는 곳의 유량값은 임계값으로써, 초기 유량값으로 정한다. 본 연구에서 구한 초기 유량값은 $Q_0=4.795\text{m}^3/\text{s}$ 이다. 초기 유량값이 결정되면 식(8a), (8b)에 의해서 식(8)의 비선형 모형의 매개변수를 결정한다. 유출량 자료를 회귀분석하여 얻은 식(15)에서 매개변수를 결정하기 위한 상수 a , b 가 각각 0.252와 0.99로 결정되었다. 그러므로 식(15)에서의 결과와 결정된 초기 유량값에 의해 $c_2 = -0.022$, $n = 99$ 을 얻었다. 쌍치유역의 선형 유출량 모형과 비선형 유출량 모형은 다음과 같다.

$$Q = 4.795 \times 0.780^t \quad (16)$$

$$Q = 4.795(1 - 0.022t)^{99} \quad (17)$$

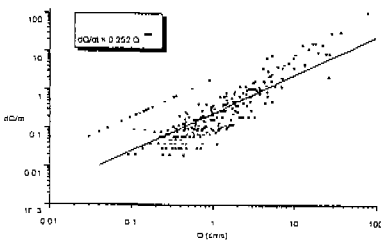


그림 3. 회귀분석

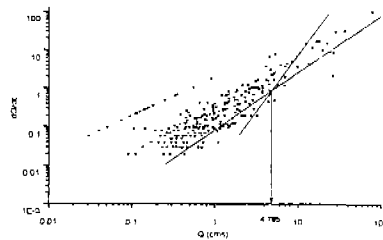


그림 4. 초기유량 결정

7. 기저유출모형 비교

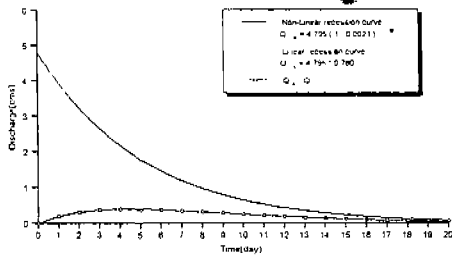


그림 5. 비선형 곡선식과 선형 곡선식의 비교

본 연구에서는 쌍치유역에 대해 Wilfried Brutsaert 와 John L. Nieber[1977]가 제시한 비선형 모형을 완성하였다. 이렇게 해서 얻어진 쌍치유역에 대한 비선형 곡선식을 제안하였으며, 동일 유역에 대한 선형식을 개발하여 그 식을 제안하였다. 다음 그림 5는 쌍치유역에 대한 비선형 곡선식과 선형 곡선식을 보여준다(그림 5).

8. 결론

본 연구에서는 쌍치유역에 대해 매개변수를 산정하고 감수부를 해석함으로써 그 특성을 분석하였다. 그 결과 선형과 비선형 곡선식을 개발하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 22개의 감수계열의 유량자료를 분석하여 초기유량값 $Q_0=4.795\text{m}^3/\text{s}$ 를 계산하였다.
- ② 감수계수를 산정한 결과 $K=0.780$ 이었으며, 이를 토대로 $Q=4.795 \times 0.780^t$ 의 선형유출량 관계식을 얻었다.
- ③ 비선형유출량 관계식의 매개변수를 산정한 결과 $n=0.99$, $c_2=-0.002$ 를 얻었으며, 산정된 매개변수 값을 토대로 $Q=4.795(1-0.022t)^{0.99}$ 의 비선형유출량 관계식을 얻었다.
- ④ 쌍치유역의 감수곡선식을 비교한 결과 선형 곡선식과 비선형 곡선식이 유사한 경향을 보였으며, 감수가 시작하고 5일후부터는 그 차이가 점차 줄어들었다.

참고문헌

1. Wilfried Brutsaert and John L. Nieber, 1977, Regionalized Drought Flow Hydrographs from a Nature Glaciated Plateau, Water Resour. Res., v.13, No. 3, pp 637~643
2. Peter A. Troch and Francois P. De Troch, 1993, Effective Water Table Depth to Describe Intial Conditions Prior to Storm Rainfall in Humid Regions, Water Resour. Res., v. 29, No. 2, pp 427~434
3. M. D. Bako and D. N. Hunt, 1988, Derination of Baseflow Recession Constant using Computer and Numerical Analysis, Hydrol. Sci. J., v. 33, NO. 4, pp 357~367
4. Richard M. Vogel and Charles N. Kroll, 1992, Regional Geohydrologic-Geomorphic Relationship for the Estimation of Low-Flow Statistics, Water Resour. Res., v. 28, No. 9, pp 2451~2458
5. Lars Gottschalk, Lena M. Tallaksen, Grzegorz Perzyna, 1996, Derivation of Low Flow Distribution Function using Recession Curve, Journal of Hydrology, 194, pp 239~262