

Power Distribution을 이용한 저수시 하천유량 추정

Estimation of Low-flow by Power Distribution

김상욱*, 손민우**, 홍일표***
Sang Ug Kim, Minwoo Son, Il Pyo Hong

요 지

저수시 하천유량(Low Streamflow)의 추정은 하천의 수질관리, 용수공급계획, 댐 방류계획등의 수자원관리에 있어서 매우 중요한 부분이다. 이러한 중요성에 따라 Vogel과 Kroll (1989)은 저수시 하천유량을 추정하기 위한 여러 가지 확률분포함수를 제안하였다. 가장 흔히 제안되어지는 이변수 확률분포(Two-Parameter Distribution)로는 Lognormal 분포와 Weibull 분포가 있으며 이와 더불어 Three-Parameter Lognormal, Three-Parameter Weibull, Log Person Type III 분포도 널리 사용되어진다. 그러나 이러한 여러 가지 확률분포함수 중에서 가장 적절한 확률분포의 선택은 저수시 하천유량의 물리적인 측면과는 상관없이 주로 적합도(Gooness of Fit)에 기인된 통계치에 의해서만 결정되기도 하는데 이러한 경우 잘못된 가정을 받아들이는 확률이 높아짐에 따라 추정결과의 신뢰성(Reliability)을 감소시킬 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 Onoz와 Bayazit (2001)는 Recession Curve를 지수함수로 가정하고 최대 갈수 기간의 길이(Maximum Dry Period Length)의 확률에 대한 이론적인 결과치들을 사용하여 Weibull 분포의 특정한 경우에 해당되어지는 Power 분포를 유도하였으며 유도된 Power 분포의 매개변수를 추정하기 위하여 L-Moment 방법을 사용하였다. 또한 Onoz와 Bayazit (2001) 작은 유출량에서 확률분포와 잘 맞지 않는 경우 작은 유출량값에 작은 가중치를 부여하여 확률분포에 대한 영향을 줄이는 방법인 LL-Moment 방법을 제안하였다. 본 연구에서는 낙동강 유역의 1번부터 5번 소유역에 대해 SSARR 모형을 이용하여 모의한 유출량을 이용하여 Weibull 분포, L-Moment방법에 의해 추정된 매개변수를 사용한 Power 분포, LL-Moment 방법에 의해 추정된 매개변수를 사용한 Power 분포를 적용하였으며 이들 분포의 적합도를 PPCC Test를 사용하여 평가해봄으로써 낙동강 유역에서의 저수시의 유출량 추정에 대한 Power 분포의 적용성을 판단해 보았다.

핵심용어 : Power Distribution, LL-Moment, L-Moment, PPCC test

1. 서 론

저수시 하천유량(Low Streamflow)의 추정은 하천의 수질관리, 용수공급계획, 댐 방류계획등의 수자원관리에 있어서 매우 중요한 부분이며 특히 근래에 들어서 환경적인 여러 가지 문제의 대두와 하천의 유지유량의 결정에 있어서 많은 연구가 수행되고 있는 실정이다. Vogel과 Kroll (1989)은 저수시 하천유량을 추정하기 위하여 Lognormal 분포, Weibull 분포, 및 Log Person Type III 분포를 제안한 바 있다. 확률분포의 선정과 더불어서 주어진 확률분포의 매개변수를 추정하기 위한 추정방법도 주어진 확률분포가 저수시의 유출량을 얼마나 잘 표현하게 하기 위한 방법으로서 중요하게 다루어져야 한다. 그러나 이러한 여러 가지 확률분포함수중에서의 가장 적절한 확률분포의 선택은 저수시 하천유량의 물리적인 측면과는 상관없이 주로 적합도(Gooness of Fit)에 기인된 통계치에 의해서만 결정되기도 하는데 이러한 경우 잘못된 가정을 받아들이는 확

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : sukim@kict.re.kr

** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 · E-mail : minwooson@gmail.com

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원 · E-mail : iphong@kict.re.kr

률이 높아짐에 따라 추정결과의 신뢰성(Reliability)을 감소시킬 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 Onoz와 Bayazit (2001)는 감수곡선(Recession Curve)를 지수함수로 가정하고 최대 갈수 기간의 길이(Maximum Dry Period Length)의 확률에 대한 이론적인 결과치들을 사용하여 Weibull 분포의 특정한 경우에 해당되어지는 Power 분포를 유도하였다. 또한 Onoz와 Bayazit (2001)는 유도된 Power 분포의 매개변수를 추정하기 위하여 Hosking (1990)이 개발한 L-moment방법을 사용하였으며 저수시의 확률분포에서 꼬리(Tail)부분에서 Power 분포와 잘 맞지 않는 저수시 유출량에 대한 Power 분포의 매개변수를 L-moment방법의 변형인 LL-moment방법을 이용하여 다시 추정하였다. 본 연구에서는 Onoz와 Bayazit (2001)이 개발한 저수시 하천유량의 물리적인 개념을 반영한 Power 분포를 소개하고 낙동강 유역에서의 1번 소유역부터 5번 소유역까지의 소유역 말단 저수시의 하천유량을 Power 분포를 이용하여 추정하였다. 개발된 Power 분포의 매개변수의 추정은 L-Moment방법을 이용하였으며 Lower Tail이 뚜렷이 나타나는 부분에 대해서는 Onoz와 Bayazit (2001)이 사용한 LL-Moment방법에 의해 수행하였다. 개발된 Power 분포의 합리성을 알아보기 위해서 Power 분포와 같은 수의 매개변수를 가지는 Weibull 분포와 Lognormal 분포를 사용하여 같은 자료에 대한 추정을 실행하였으며 이들의 결과를 Probability Plot Correlation Coefficient(PPCC) Test로 분석하여 서로의 결과를 비교하였다.

2. Power Distribution 및 매개변수의 추정

2.1 Power Distributon의 유도

X 는 유량을 나타내는 확률변수이며 x 는 직접유출이 끝나고 기저유출이 시작되는 시점의 임의의 유량을 나타낸다고 하면, T 는 무강우기간의 시간을 나타내는 확률변수이며 t 는 직접유출이 끝난 시간부터 다음 강우에 의해 유출량이 x 를 초과하기까지의 임의의 시간을 나타낸다. Random Variable이 Minimum flow X 인 경우 확률분포함수 $F_x(x)$ 는 Sen (1980)이 제안한 최대 저수 기간길이에 대한 확률분포 함수와 Recession Curve를 지수함수로 가정하여 식 1을 정리한 후, $(x/x_0)^c \ll 1$ 의 가정을 이용하면 식1의 Power 분포를 얻을 수 있다.

$$F_x(x) = 1 - \exp[-(x/x_0)^c] \quad (\text{식 1})$$

2.2 L-Moment에 의한 매개변수의 추정

본 연구에서는 최근들어 가장 널리 사용되어지고 있는 Method of L-Moment를 사용하였다. Stedinger et al (1993)에 따르면 L-Moment를 계산하는 과정에 있어서는 자료의 자승이나 삼승이 필요하지 않고 사용되는 자료의 선형조합만을 필요하게 되므로 자료의 극치값에 대한 영향이 적어 보다 효과적인 매개변수의 추정이 가능한 것으로 알려져 있다. L-Moment를 이용하여 Power 분포에 대한 처음 두 개의 모멘트를 구하면 식2를 얻을 수 있으며, 식2로부터 λ_1 , λ_2 를 구하면 Power 분포의 매개변수 x_0 , c 를 결정할 수 있다.

$$\lambda_1 = \frac{c x_0}{c + 1}, \quad \lambda_2 = \frac{c x_0}{c + 1} \quad (\text{식 2})$$

2.3 LL-Moment에 의한 매개변수의 추정

저수시 유량에 대한 확률도시는 두가지의 분리된 확률분포를 나타내게 된다. 특히 이러한 다른 두가지의 확률분포는 유량이 작을수록 Power 분포와는 다른 분포를 나타낸다. 이러한 저수시의 확률분포의 특징을 고려하기 위하여 Nathan과 McMahon (1990)은 저수유출량 중에서 80%만의 자료만을 이용하여 Weibull 분포

를 이용하여 저수시의 유출량에 대한 확률분포식을 구한 바 있으며 Durran (1996)은 확률분포함수의 값이 0.25보다 같거나 큰 값에 대해서만 Weibull분포를 사용할 것을 권고한 바 있다. 이러한 저수시 유출량의 확률분포가 가지는 두가지의 다른 특징을 고려하기 위하여 Onoz와 Bayazit (2001)은 작은 값을 가지는 유출량에 대해서는 작은 가중치를 부여하는 방법을 이용하여 L-Moment 방법을 수정하여 LL-Moment방법을 제안하였다. LL-Moment방법에 의해 가중치가 부여된 처음 2개의 모멘트를 산정하여 정리하면, 식3-1, 2와 같다.

$$\lambda_1^m \approx l_1^m = \frac{1}{\binom{n}{1+m}} \sum_{i=1}^n \binom{n-i}{m} x_i \quad (\text{식 3-1})$$

$$\lambda_2^m \approx l_2^m = \frac{1}{2+m} \frac{1}{\binom{n}{2}} \sum_{i=1}^n \left[\binom{n-i}{m} \binom{i-1}{1} - \binom{n-i}{1+m} \right] x_i \quad (\text{식 3-2})$$

자료가 주어지면 위 식들을 이용하여 λ_1^m , λ_2^m 을 계산한 후, Power 분포의 매개변수 x_0 , c 를 결정할 수 있다.

3. Power Distribution의 적용

3.1 선정된 확률분포의 매개변수 추정

본 연구에서는 낙동강유역에서 1번부터 5번 소유역의 1966년부터 1997년 지의 SSARR 모형에 의해 구해진 각 소유역의 말단 유출량을 이용하였다. 주어진 유출량을 이용하여 7-day minimum flow를 계산하였으며, 계산된 7-day minimum flow를 이용하여 2변수 Weibull 분포와 Power 분포에 대하여 L-Moment 및 LL-Moment를 이용한 추정된 매개변수를 산정하여 이에 대한 PPCC Test를 수행하였으며, 각 추정방법에 의해 산정된 Power분포의 매개변수를 표1에 수록하였다.

표 1. L-Moment 방법을 사용하여 추정한 매개변수

소유역	L-Moment				LL-Moment (m=3)			
	λ_1	λ_2	c	x_0	λ_1	λ_2	c	x_0
1번	7.1	1.71	1.58	11.62	5.4	0.98	2.21	15.64
2번	1.6	0.72	0.6	4.24	1.5	0.65	1.65	9.45
4번	0.7	0.21	0.75	3.27	0.4	0.17	1.54	4.56
5번	6.7	1.89	1.27	11.77	3.5	0.74	1.89	16.54

3.2 산정된 분포에 대한 적합성 분석

추정된 매개변수를 사용하여 Power 분포와 Weibull 분포에 대해서 PPCC Test를 수행하였다. 표2로부터 Weibull 분포를 사용한 것보다는 Power 분포를 사용한 경우가 보다 나은 결과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다. 그러나 LL-Moment를 사용한 경우에는 L-Moment를 사용한 경우보다 우수하다고 할 수는 없는 결과를 얻을 수 있었다. Weibull 분포에서 85 %이상의 적합도를 보이는 1번, 2번, 4번 소유역의 경우는 Power 분포를 사용하였을 때 크게 적합도가 향상되지는 않았지만 이에 비해서 상대적으로 보았을 때 Weibull 분포에서 85 %이하의 낮은 적합도를 보이는 3번, 5번 소유역에서는 Power 분포를 사용하였을 때 적합도가 크게 향상되어지는 것을 알 수 있었다. 이러한 이유는 Weibull 분포에서는 표현할 수 없었던 작은 유출량에 대한 값들을 Power 분포를 사용함으로써 표현할 수 있게 된 것을 의미하며 이로써 Power 분포의 저수시의 사용이 낙동강유역의 자료에 보다 타당하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

표 2. 각 분포에 대한 PPCC Test 결과

소유역 구분	Weibull Dist.	Power Dist. (L-Moment)	Power Dist. (LL-Moment)
1번 소유역	0.9142	0.9644	0.9548
2번 소유역	0.8675	0.9726	0.9759
3번 소유역	0.8456	0.9634	0.9623
4번 소유역	0.8759	0.9564	0.9487
5번 소유역	0.8324	0.9654	0.9554

4. 결 론

본 연구에서는 Onoz와 Bayazit (2001)가 유도한 저수시 수문곡선의 물리적 과정을 나타내는 Power 분포를 소개하였으며 유도된 분포의 매개변수를 추정하는데 있어서 L-Moment 방법 및 LL-Moment 방법을 사용하였으며, 낙동강 유역의 1966년부터 1997년까지의 1번부터 5번 소유역의 SSARR모형에 의한 소유역 말단 유출량에 적용한 결과 다음과 같은 사항을 도출할 수 있었다.

1) Weibull 분포를 사용하여 얻은 PPCC Test 결과보다는 Power 분포를 사용하였을 때 얻은 결과가 더 우수하였다. 특히 Weibull 분포에서 낮은 적합도를 가지는 소유역인 3번, 5번 소유역의 경우에는 1번, 2번, 4번 소유역보다 적합도가 크게 개선되어진 것을 알 수 있었다. 2) L-Moment 방법에 의해 추정된 매개변수를 사용한 Power 분포와 LL-Moment 방법에 의해 추정된 매개변수를 사용한 Power 분포의 PPCC Test 결과는 크게 다른 값을 보이고 있지는 않는데 이는 L-Moment 방법에 의한 Power 분포에서 뚜렷히 다른 분포를 나타내기 보다는 몇 개의 유출량이 다른 값에 비해 현저히 작은 값이므로 매개변수의 새로운 추정이 적합도의 결과에는 큰 영향을 미치지 않아 PPCC Test 결과가 크게 향상 되지는 않은 것으로 생각된다. 3) 본 연구로부터 얻을 수 있는 중요한 점은 낙동강유역에서 저수시의 유출량을 추정하기 위해서는 Power 분포를 사용하는 것이 좋은 결과를 낼 수 있다는 것과 Weibull 분포에서 뚜렷히 다른 분포를 보이는 것이 아니라 몇 개의 유출량값이 다른 유출량값에 비해 현저히 작은 경우에는 LL-Moment방법에 의한 매개변수의 추정이 적합도 향상에 큰 기여를 하지 않게 된다는 것이다.

참고문헌

1. Durrans, S. R. (1996). Low-flow analysis with a conditional Weibull tail model, *Water Resour. Res.*, 32, 1749-1760.
2. Nathan, R. J. M., and McMahon, T. A. (1990). Practical aspects of low flow frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 26, 2135-2141.
3. Onoz, B., and Bayazit, M. (2001). Power distribution for low streamflows, *Journal of Hydrologic Eng.*, ASCE, Vol. 6, No. 5, 429-435.
4. Sen, Z. (1980). Statistical analysis of hydrologic critical drought, *Journal of Hydr. Div.*, ASCE, 106(1), 99-115.
5. Stedinger, L., Vogel, R. M., and Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency analysis of extreme events, *Handbook of hydrology*, D. R. Maidment, ed., McGraw-Hill, New York, 18.1-18.66.
6. Vogel, R. M., and Kroll, C. N. (1989). Low-flow frequency analysis using probability-plot correlation coefficients, *Journal of Water Resour. Plng. and Mgmt.*, ASCE 115(3), 338-357.