

빈도분석에 의한 댐의 누가월유입량 산정

Estimation of Cumulative Monthly Inflow of Dam Using Frequency Analysis

맹승진, 이현규
충북대학교

Maeng seung-jin, Lee hyeon-gyu
Chungbuk National University

요약

이상기후에 대응하고 수자원의 사용상황, 갈수의 발생 빈도, 지속기간에 따라 안정적인 용수 공급을 목표로, 본 연구에서는 다목적댐 운영에 있어서 갈수에 대한 수문자료의 특정 확률분포형 적용에 대한 이론적 근거 및 빈도 분석의 신뢰성을 부여하고 지속적인 분석의 효율성을 기하기 위하여 프로그램 개발을 통한 분석방법의 공식화를 꾀하고자 한다.

Abstract

For a stable water supply, it is necessary to consider the present unusual change in the weather, seasonal variation of water use, and the frequency and duration of low flow. Therefore, in this study, a theoretical background of specific probability distribution type and the reliability of frequency analysis for the time series of low flow data was investigated and programmed to support the operation of multipurpose dam.

I. 서론

확률 홍수량, 확률 갈수량 및 확률 강우량의 산정은 크게 두 가지 방법으로 분류 할 수 있다. 한 방법은 표본 자료의 확률 분포에 가장 이상적인 새로운 확률 밀도함수를 개발하여 적절한 확률 홍수량, 확률 갈수량 및 확률 강우량을 추정하는 방법이며, 다른 한 방법은 기존에 발표된 확률 밀도함수의 매개변수를 유도하는데 있어서 그 방법을 달리하여 매개변수를 구한 후 확률밀도함수에 의해 적절한 확률 홍수량, 확률 갈수량 및 확률 강우량을 추정하는 방법이다. 현재 국내·외에서는 표본 자료에 대한 확률 홍수량, 확률 갈수량 및 확률 강우량의 추정에 있어서 상기의 방법 중 후자의 방법에 대한 경향이 우세한 추세이다.

과거 국내·외에서 확률밀도함수의 매개변수 유도방법으로 많이 사용되어 왔던 방법으로는 모멘트법(method of moments), 최우법(method of maximum likelihood) 등이 있다. 모멘트법은 가장 고전적이고 간단하여 많이 사용하는 방법 중의 하나로 모집단의 모멘트와 표본자료의 모멘트를 같게 하여 매개변수를 추정하는 방법이다. 그러나 모멘트법은 매우 왜곡된 분포함수의 경우 불완전한 추정치를 얻게 되며, 고차모멘트로 갈수록 부정확해지는 단점이 있다. 최우법은 추출된 표본자료가 나올 수 있는 확률이 최대가 되도록 매개변수를 추정하는 방법이다. 일반적으로 최우법은 가장 효율적인 추정치를 얻을 수 있으며 표본자료의 크기가 충분히 클 때 다른 매개변수 추정방법에 대하여 추정치의 효율성을 비교하는데 기준으

로 사용된다. 그러나 최우법은 모멘트법이나 후술될 확률가중 모멘트 법(method of probability weighted moments)과 달리 비교적 쉽게 매개변수 추정치를 얻을 수 없는 경우가 많다. 왜냐하면 많은 경우에 비선형 방정식으로 표현되므로, 해를 얻기 위하여 Newton-Raphson 법과 같은 수치기법이 필요하며, 해를 구하지 못하는 어려움이 따르기도 한다. 또한 표본의 크기가 작을 때 일반적으로 잘 일치하지 않는 결과를 얻는 단점이 있다.

최근에는 상기의 모멘트법과 최우법 등의 대안으로 Greenwood(1979) 등에 의해 소개된 확률가중 모멘트법이 가장 널리 쓰이는 매개변수 추정방법이다. 확률가중 모멘트법은 모멘트법과 마찬가지로 모집단의 확률가중 모멘트와 표본자료의 확률가중 모멘트를 같다고 하여 매개변수를 추정한다. 확률가중 모멘트법은 표본자료의 크기가 작고, 부분적으로 상관된 자료(correlated data), 작은 quantile에 대하여 가장 효율적인 것으로 연구 된 바 있다. 또한, 부분적으로 상관된 자료에 대하여 확률가중 모멘트법에 의한 추정치도 편의는 되었지만 다른 추정방법 보다 작게 편의되는 것으로 나타났다. Hosking(1986, 1991)은 확률가중 모멘트의 선형조합(linear combination)으로 이루어진 L-모멘트를 이용하여 확률밀도함수의 매개변수를 유도하였다. L-모멘트의 내용과 사용된 각종의 분포는 우리에게 약간 생소한 부분이며, 현재 접할 수 있는 참고문헌도 많지 않으므로 약간 자세하게 기술하기로 한다.

따라서 본 연구에서는 충주댐 유역의 유입량 자료를 사용하

여 10개의 확률분포함수에 대한 매개변수를 확률가중 모멘트의 선형조합인 L-모멘트법에 의해 추정된 후 댐 유입량자료와 확률밀도함수들에 의해 추정된 설계 누가 월평균유입량과의 비교 분석을 통해 적절한 확률밀도함수를 제시하고자 한다.

II. 자료의 구성

본 연구의 수행을 위해 선정된 자료는 “다목적 댐 운영 실무편람(한국수자원공사, 1996)”에 게재된 1956년부터 1996년까지의 충주댐 지점에 대한 월평균유입량을 이용하여, 매년 각 월의 월평균유입량 자료를 1개월부터 36개월까지 누가 시킨 누가유입량을 구성하였다. 예를 들면, 1개월의 누가유입량은 “다목적 댐 운영 실무편람”에 게재된 충주댐 지점에 대한 월평균유입량 그 자체이고, 2개월의 누가된 월평균유입량은 각 년의 누가시작 월과 다음 월의 월평균유입량을 합한 값으로 한다. 이러한 방법으로 누가 월을 36개월까지 하여 총 36개의 자료 군을 형성하였다. 향후 최근의 자료를 활용한 분석을 시도할 예정이다.

III. 결과

1. 댐 유입량 자료의 L-모멘트비 산정

L-모멘트법은 통계학적 효율성 면에서 PWM 법과 동일하나 L-모멘트 비를 사용함으로써 모멘트법의 변동계수, 왜곡도 및 첨예도와 유사한 L-변동계수, L-왜곡도 및 L-첨예도를 적용할 수 있으며, 또한, 이들은 본 연구에 적용된 확률분포함수들의 매개변수를 유도하는데 사용된다. 따라서 본 분석에서는 누가 개월 수에 따른 각 월의 L-모멘트비를 산정하였다.

2. L-모멘트법에 의한 적용분포의 매개변수 산정

누가 개월 수에 따른 각 월의 누가 월평균유입량에 Gamma 분포(GAM), Generalized extreme-value 분포(GEV), Generalized logistic 분포(GLO), Generalized normal 분포(GNO), Generalized pareto 분포(GPA), Gumbel 분포(GUM), Normal 분포(NOR), Pearson type 3 분포(PE3), Wakeby 분포(WAK) 및 Log pearson type 3 분포(LPE3)를 적용하여 각 분포들의 확률밀도함수에 대한 매개변수를 구하였다. 여기서 Log pearson type 3분포는 Hosking의 L-모멘트 프로그램에는 포함되어 있지 않으나 현재 실무에서 사용하고 있는 분포이므로 본 연구에서 L-모멘트 프로그램에 새롭게 포함시켰다.

3. 확률 플로팅 포지션법과 적정 분포의 선정

누가 개월 수에 따른 각 월의 누가 월평균유입량을 사용하여 본 연구에서 적용한 확률분포들에 의해 유도된 확률분포형별 설계 누가 월평균유입량을 그것들과 비교함으로써 누가 개월 수에 따른 각 월의 가장 적절한 분포를 선정하고자 한다.

먼저, 각 분포들에 대한 적합도 검정을 위하여 확률분포들에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량을 플로팅 포지션법에서 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 공식에 의한 비초과확률인 다음의 식(1), (2), (3), (4)에 의해 정규확률지에 도시하였다.

$$P = 1 - m / (N + 1) \quad (1)$$

$$P = 1 - (2m - 1) / 2N \quad (2)$$

$$P = 1 - (m - 0.4) / (N + 0.2) \quad (3)$$

$$P = 1 - (i - 0.44) / (N + 0.12) \quad (4)$$

여기에서 N 은 표본크기이며 m 은 가장 작은 값부터 나열한 순서이다.

이상의 플로팅 포지션 방법에 따른 누가월평균 유입량과 확률분포들에 의해 유도된 설계 누가월평균 유입량들 간의 상대평균오차(relative mean error, RME) 및 상대절대오차(relative absolute error, RAE)를 식(5), (6)에 의해 누가 개월 수에 따른 각 월별로 구하였다.

$$E = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right) \right]^{0.5} \quad (5)$$

$$RAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_0 - Q_c}{Q_0} \right| \quad (6)$$

여기에서 Q_0 는 플로팅 포지션 방법에 따른 누가월평균 유입량이며 Q_c 는 확률분포들에 의해 유도된 설계 누가월평균 유입량이다.

이상의 결과에서 각 확률분포에 사용된 4개 플로팅 포지션법 중에서 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 상대평균오차 및 상대절대오차가 Hazen, Cunnane, Gringorten 플로팅 포지션법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 누가개월 수에 따른 각 월의 상대평균오차 및 상대절대오차를 계산하여 누가 개월 수에 따른 각 월에 대한 적정 분포를 선정하였다. 그 결과 전체 432개(36개월 × 12월)의 적용 자료 중 상대평균오차와 상대절대오차가 가장 작게 나타난 분포는 Wakeby 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 각각 150개 및 165개가 선정되었다. 다음으로 상대평균오차와 상대절대오차가 작게 나타난 분포

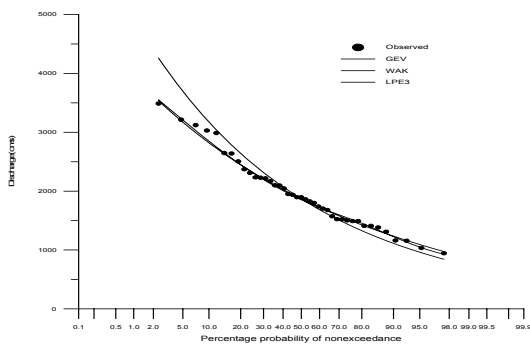
는 Generalized extreme-value 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 각각 123개 및 98개가 선정되었다. 따라서 본 연구에 사용된 충주댐 지점의 유입량 자료에 갈수빈도분석 결과 이들에 적용된 10개 분포들 중 Wakeby 분포가 가장 적절한 것으로 나타났다.

그러나, 누가 개월 수 1개월부터 24개월까지는 Wakeby 분포가 가장 적절한 분포로 나타났으나, 누가 개월 수 25개월부터 36개월까지는 Generalized extreme-value (GEV) 분포가 보다 적절한 것으로 나타났다. 따라서 어느 한 지점에 대한 유입량 자료의 갈수빈도분석을 시도하는데 있어서 적정 분포를 선정할 때 유입량 자료의 누가 개월 수를 적절하게 고려 할 필요가 있을 것이다.

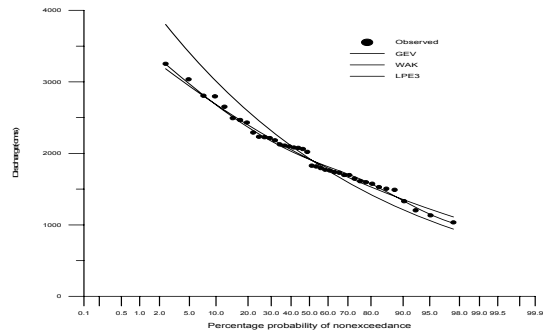
4. 적정분포 및 Log Pearson type 3 분포에 의해 유도된 설계 누가 월평균유입량의 비교

충주댐 지점의 누가 월평균유입량 자료의 갈수빈도분석 결과 적정 분포로 선정된 Wakeby 분포와 그 다음으로 적정 분포로 선정된 Generalized extreme-value (GEV) 분포 및 현재 실무에 적용하여 사용 중인 Log pearson type 3분포에 의해 유도된 각각의 빈도별 누가 월평균유입량을 구하였으며, 그에 대한 결과는 표본 예로 누가 개월 수 12개월, 24개월 및 36개월에 대한 결과만을 표 2.7에 나타내었다.

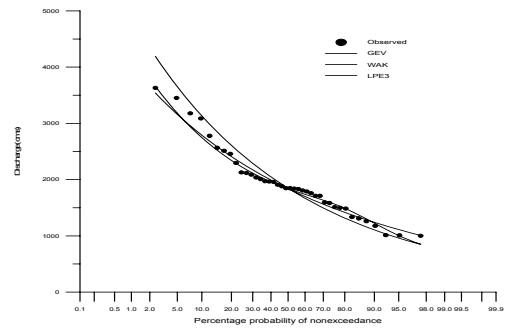
또한, Weibull 플로팅 포지션 방법에 따른 누가 월평균유입량과 상기의 3개 분포들에 의해 유도된 설계누가월평균유입량을 표본 예로 누가 개월 수 12개월, 24개월 및 36개월의 1월, 5월 및 10월에 대한 것을 정규확률지에 도시한 것은 그림 2.1~2.9와 같다.



▶▶ 그림 1. 적정 분포들에 의해 유도된 설계누가월평균유입량의 비교 (누가 12개월의 1월)



▶▶ 그림 2. 적정 분포들에 의해 유도된 설계누가월평균유입량의 비교 (누가 12개월의 5월)



▶▶ 그림 3. 적정 분포들에 의해 유도된 설계누가월평균유입량의 비교 (누가 12개월의 10월)

이상의 그림 1~3을 보면 월평균유입량 자료의 누개월 수가 증가함에 따라 log pearson type 3 분포에 의해 유도된 설계 누가월평균유입량이 타 분포들에 의해 유도된 것들 보다 비초과확률 0.5를 중심으로 0.5 이하에서는 크게, 0.5 이상에서는 작게 나타났다. 이에 대한 정도는 월평균유입량 자료의 누개월 수가 증가함에 따라 더해지는 경향을 보이고 있다. 즉 이를 재 정리해 보면, 누개월수 12개월에서 log pearson type 3 분포에 의해 유도된 100년 빈도의 누가 월평균유입량이 Wakeby 분포에 의해 유도된 것 보다 2.35%~22.73% 작게 산정 되었으며, GEV 분포에 의해 유도된 것보다는 14.30%~18.07% 작게 산정되었다. 이러한 현상은 월평균유입량 자료의 누개월 수가 증가함에 따라 자료의 분산정도 및 산포정도를 나타내는 변동계수 및 표준편차가 작아지는 경향 때문인 것으로 사료된다.

따라서 이러한 자료에 대수를 취하는 log pearson type 3 분포를 적용하는 것은 자료의 분산정도 및 산포정도를 더욱 감소시킴으로써 타 분포에 의해 유도된 설계누가월평균유입량 보다 적절치 못한 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

VI. 결론

충주댐 지점에 대한 월평균유입량을 이용하여, 매년 각 월의 월평균유입량 자료를 1개월부터 36개월까지 누가 시킨 누가 월평균유입량에 대한 갈수빈도분석을 10개의 확률분포에 적용 분석을 시도하였다. 적용 확률분포에 의해 유도된 설계누가 월평균유입량과 Weibull, Hazen, Cunnane 및 Gringorten 플로팅 포지션법에 의한 누가 월평균유입량과의 비교를 위해 상대평균오차 및 상대절대오차를 구한 결과 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 것들이 타 플로팅 포지션법에 의한 것보다 전반적으로 작게 나타났다.

본 연구에서는 Weibull 플로팅 포지션법에 의한 누가 개월 수에 따른 각 월의 상대평균오차 및 상대 절대오차를 계산하여 누가 개월 수에 따른 각 월에 대한 적정 분포를 선정한 결과, 전체 432개(36개월 × 12월)의 적용 자료 중 상대평균오차와 상대절대오차가 가장 작게 나타난 분포는 Wakeby 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 각각 150개 및 165개가 선정되었다. 다음으로 상대평균오차와 상대절대오차가 작게 나타난 분포는 Generalized extreme-value 분포로서 이들은 전체 적용 자료 중 각각 123개 및 98개가 선정되었다. 따라서 본 연구에 사용된 충주댐 지점의 유입량 자료에 대한 갈수빈도분석 결과 이들에 적용된 10개 분포들 중 Wakeby 분포가 가장 적절한 것으로 나타났다. 그러나 누가 개월 수 1개월부터 24개월까지는 Wakeby 분포가 가장 적절한 분포로 나타났고, 누가 개월 수 25개월부터 36개월까지는 Generalized extreme-value(GEV) 분포가 적절한 분포로 나타났다. 따라서 어느 한 지점에 대한 유입량 자료의 갈수빈도분석을 시도하는데 있어서 적정 분포를 선정할 때 유입량 자료의 누가 개월 수를 적절하게 고려할 필요가 있을 것이다.

충주댐 지점의 누가 월평균유입량 자료의 갈수빈도분석 결과 적정 분포로 선정된 Wakeby 분포와 그 다음으로 적정 분포로 선정된 GEV 분포 및 현재 실무에 적용하여 사용 중인 log pearson type 3분포에 의해 유도된 각각의 빈도별 설계누가 월평균유입량을 구한 결과, 월평균유입량 자료의 누가월수가 증가함에 따라 log pearson type 3 분포에 의해 유도된 설계누가월평균유입량이 타 분포들에 의해 유도된 것들 보다 비초과 확률 0.5를 중심으로 0.5 이하에서는 크게, 0.5 이상에서는 작게 나타났다. 이에 대한 정도는 월평균유입량 자료의 누가월수가 증가함에 따라 더해지는 경향을 보이고 있다. 즉 이를 재정리해 보면, 누가월수 12개월, 24개월 및 36개월에서 log pearson type 3 분포에 의해 유도된 100년 빈도의 설계누가월평균유입량이 Wakeby 분포에 의해 유도된 것 보다 각각 2.35%~22.73%, 17.34%~25.63% 및 24.33%~28.09% 작게 선정되었으며, GEV 분포에 의해 유도된 것보다는 각각

14.30%~18.07%, 18.90%~19.88% 및 20.64%~21.83% 작게 선정되었다. 이러한 현상은 월평균유입량 자료의 누가월수가 증가함에 따라 자료의 분산정도 및 산포정도를 나타내는 변동계수 및 표준편차가 작아지는 경향 때문인 것으로 사료되며 그 양상은 표 2.1에서 알 수 있었다. 따라서 이러한 자료에 대수를 취하는 log pearson type 3 분포를 적용하는 것은 자료의 분산정도 및 산포정도를 더욱 감소시킴으로써 타 분포에 의해 유도된 설계누가월평균유입량 보다 적절치 못한 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 박성우, 응용수문학, 향문사, 2000.
- [2] 허준행, 수문통계학의 기초(1), 한국수자원학회지 29권 2호, pp. 77-86, 1996
- [2] Hosking, J.R.M., Fortran Routines for Use with the Method of L-Moments, Research Report RC17097, IBM T. J. Watson Research Center Yorktown Heights, New York, 1991