금강 수계 다목적 저수지 유입량의 신뢰도 분석

○김주철*, 유주환**, 김재한***,정관수****

1. 서론

여러 가지 이수 목적을 위하여 댐 관리 운영 방안을 수립할 경우 저수지 유입량은 가장 기본적인 요소가 된다. 특히 수자원 공급구조가 하천 유량에 절대적으로 종속적인 우리나라의 경우, 한발로 인한 갈수기 저수지 유입량에 대한 분석은 단기적 댐 관리 운영 방안 수립 뿐 만 아니라 장기적인 수자원 개발 계획 수립에 기초를 제공하는 필수적인 부분이라 할 수 있다. 최근 세계 각국에서는 잦은 한발로 인하여 갈수 발생 빈도가 높아지고 있으며, 우리나라의 경우 1994-1995 기간 동안 평균 강수량의 70-80% 수준에 불과한 극심한 가뭄이 발생한 바 있다. 하지만 아직 이러한 사상의 발생 빈도나 심도 및 이에 따른 저수지 유입량 계열의 거동 특성 등에 대한 분석이 이루지지 않고 있어 신뢰성 있는 댐 관리 운영 방안의 수립에 장애가 되고 있다.

본 연구에서는 저수지 유입량을 임의변수(Random variable)로 하여 기존에 발생한 갈수 사상들에 대한 빈도 분석을 수행하였다. 특히 우리나라의 이수안전도 기준인 1967-1968 기간과 최근 발생한 사상들과의 정량적 비교를 수행하였고, 연유입량 및 월유입량의 거동 특성을 개별적으로 분석하여 신뢰성 있는 계열 자료의 구성을 시도하였다.

저수지 유입량은 확률과정(Stochastic process)을 따르는 임의변수이다. 따라서 그 거동 특성을 분석하기 위해서는 계열 자료 상호간의 복잡한 상관성 분석이 수행되어야 할 것이다. 하지만 본 연구에서는 수년(Water year) 개념에 따라 계열자료를 구성, 표본 자료간의 독립성을 가정하여 분석의 편이를 도모하였다. 대상 지점은 금강 수계의 용담 및 대청 댐 지점으로 본 연구를 통하여 구성된 유입량 계열은 직렬 다목적 댐 군의 연계 운영 방안을 위한 기초 자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 확률 분포형 및 적합도 검정

대부분의 수문 변수들은 왜곡된 분포를 가지는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 빈도분석 수행시 홍수계열 자료에는 Log-Pearson Type-Ⅲ분포형이나 Gumbell분포형이, 갈수계열 자료에는 Weibull분포형이 적합한 것으로 알려져 있다. 하지만 본 연구의 경우 저수지 연유입량 및 월유입량 자료를 확률변수로 하여 특정 기간에 발생한 갈수 사상에 대한 분석을 그 목적으로 하고 있다. 따라서 특정 계열에 적합한 확률 분포형에 대한 가설보다는 일반적인 확률 분포형에 대한 가설이

* 정회원, 충남대학교 토목공학과 박사수료 (kjoocheol@hanmail.net)
** 정회원, 영동대학교 건설공학부 토목환경공학 조교수 (jhyoo@youngdong.ac.kr)
*** 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수 (jhkim@cnu.ac.kr)
**** 정회원, 충남대학교 토목공학과 조교수 (ksjung@cnu.ac.kr)

더 적합할 것으로 판단되므로 본 연구에서는 다음과 같이 정규분포와 Gamma분포 계열의 4가지 분포형을 대상 분포형으로 하였다.

식(2.1)과 식(2.2)는 각각 정규분포 및 대수정규분포의 확률밀도 함수이고 식(2.3)과 식(2.4)는 2매개변수 Gamma분포 및 3매개변수 Gamma분포의 확률밀도 함수이다.

$$p_X(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \tag{2.1}$$

$$p_X(x)=\frac{1}{x}\frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\log x-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \tag{2.2}$$

여기에서 x는 확률변수, μ와 σ는 각각 x의 평균 및 표준편차, μ_y와 σ_y는 각각 $y=\log x$의 평균 및 표준편차를 나타낸다.

$$p_X(x)=\frac{1}{bI(a)}\left(\frac{x}{b}\right)^{a-1}e^{-\left(\frac{x}{b}\right)} \tag{2.3}$$

$$p_X(x)=\frac{1}{bI(a)}\left(\frac{x-c}{b}\right)^{a-1}e^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)} \tag{2.4}$$

여기에서 a는 형상(shape) 매개변수, b는 축적(scale) 매개변수, c는 위치(location) 매개변수, $I(\cdot)$는 Gamma함수를 나타낸다.

이상의 확률분포 가설에 대한 검정은 χ-Squre검정을 이용하여 유의수준을 5%로 하여 수행하였다. 식(2.5)와 식(2.6)은 각각 χ-Squre변량 및 적합도 기준을 나타낸다.

$$\chi_c^2=\sum_{i=1}^{k}\frac{(O_i-E_i)^2}{E_i} \tag{2.5}$$

여기에서 χ_c^2은 χ-Squre변량, k는 계급구간의 개수, O_i는 관측도수, E_i는 기대도수를 나타낸다.

$$\chi_c^2 < \chi_{1-a,k-p-1}^2 \tag{2.6}$$

여기에서 a는 유의수준, p는 매개변수의 개수, $k-p-1$는 자유도의 수를 나타낸다.

본 연구에서는 적합도 검정 수준을 높이기 위하여 기대도수 값들이 일정하도록 계급구간을 설정하였다. 계급구간의 개수는 기대도수 값을 10%로 하는 방법과 식(2.7)의 Sturge공식에 의한 두 가지 방법을 동시에 적용하여 효율적인 검정이 되도록 하였다.

$$k=1+3.3\log n \tag{2.7}$$

여기에서 n은 표본집단의 크기를 나타낸다.

3. 저수지 유입량 계열의 확률 거동 분석

용담, 대청 두 지점에 대한 빈도 분석을 위하여 매년 10월부터 익년 9월까지를 1년으로 하는 수년 개념에 따라 연유입량 및 월유입량 계열을 구성하였다. 대청댐 지점의 경우 기존 보고서 및 대청댐 운영 실적 자료로부터 총 42개년(1959-2000)에 대한 계열자료를 구성하였고, 용담댐 지점의 경우 용담 수위표 지점 유량자료를 이용하였는데 이는 대상 지점의 수위-유량 곡선으로부터 계산되어진 것이다.(금강유역 유량분석 및 홍수조사, 1994) 하지만 93년 이후 기간에 대해서 기존 수위-유량 곡선의 적용이 불가능하여 대상 기간에 대하여 본 연구에서 신규 작성한 수위-유량곡선을 적용하여 총 37개년(1964-2000)에 대한 계열자료를 구성하였다. 계산된 유입량에 대한 신뢰성은 두 지점의 중복 기간에 대한 비유량 곡선의 작도를 통하여 검증하였다.

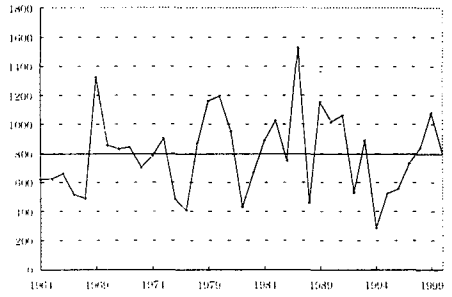

그림 3.1 용담댐 연유입량 계열

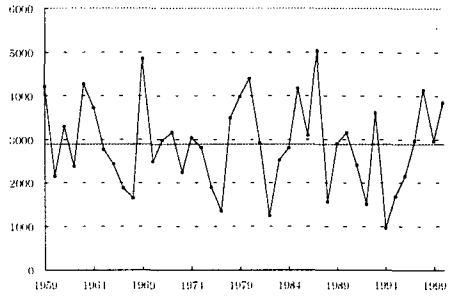

그림 3.2 대청댐 연유입량 계열

그림 3.1과 3.2는 구성된 용담댐 및 대청댐 지점의 연유입량 계열 및 연평균 유입량을 나타낸다. 두 지점의 연평균 유입량은 각각 795.96 MCM 및 2884.46 MCM으로 두 지점 모두에서 갈수 현상이 빈번히 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히 이수안전도 기준인 1967-1968 기간에 비하여 1994-1995 기간의 갈수 심도가 더 심각한 것으로 보여진다.

연유입량 및 월유입량 계열에 대하여 전 기간에 걸쳐 적합도 검정을 수행하였다. 그 결과는 표 3.1과 같다.

표 3.1 적합도 검정 결과

	Year	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
용담	N	LN	LN	LN	LN	2G	2G	LN	LN	LN	LN	2G	LN
대청	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	2G	LN	2G	LN	2G

※ N : 정규분포, LN : 대수정규분포

2G : 2매개변수 Gamma분포, 3G : 3매개변수 Gamma분포

Year : 연유입량

연유입량의 경우 두 지점 모두 정규분포를 따르는 것으로 나타났으며, 월유입량의 경우는 대부분 대수정규분포를 따르지만 몇 개의 월유입량은 2매개변수 Gamma분포를 따르는 것으로 나타났다. 표 3.1의 결과로부터 1967-1968 및 1994-1995 기간의 연유입량에 대한 신뢰도를 분석한 결과는 표 3.2와 같다. 표 3.2에서 보듯이 그 동안 이수안전도 기준으로 사용되어 온 1967-1968 기간보다 최근 1994-1995 기간 동안 발생한 갈수 현상이 훨씬 더 빈도가 큰 것을 알 수 있다. 두 기간(1968,1994)의 신뢰도를 월유입량에 적용하여 두 지점의 월유입량 계열의 구성을 수행하였다. 이를

갈수 및 저수량 신뢰도 계열과 같이 나타내면 그림 3.3 및 3.4와 같다. 여기에서 갈수 및 저수량 신뢰도는 유황곡선 상에서 각각 1년중 355일과 275일은 이보다 저하하지 않는 유량에 대한 확률값을 의미한다.

표 3.2 기존 갈수기 연유입량의 신뢰도

	용담		대청	
	유입량(MCM)	신뢰도(%)	유입량(MCM)	신뢰도(%)
1967	513.77	15.53	1886.76	16.13
1968	487.97	13.42	1645.29	10.96
1994	286.95	3.37	966.29	2.86
1995	524.17	16.64	1684.74	11.72

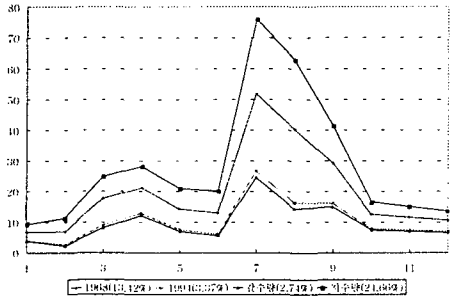

그림 3.3 용담지점 신뢰도별 유입량 계열

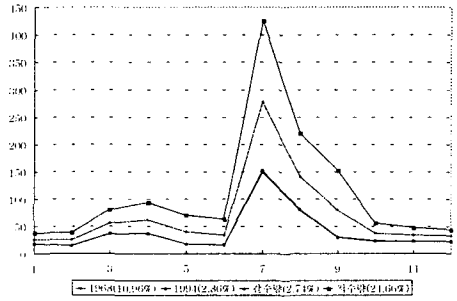

그림 3.4 대청지점 신뢰도별 유입량 계열

신뢰도별 월유입량 계열의 합은 용담지점이 235.87 MCM과 123.47 MCM, 대청지점이 846.73 MCM과 469.95 MCM으로 이들은 표 3.2의 동일한 신뢰도의 연유입량과 비교할 때 약 0.5배에 불과한 크기이다. 이것은 저수지 유입량 계열의 연거동과 월거동이 서로 상이한 양상을 보이기 때문으로 보인다. 따라서 좀 더 신뢰성있는 월유입량 계열의 구성을 위해서는 신뢰도별 월유입량 계열의 시간분포에 대한 분석이 필요할 것으로 보인다.

4. 월 유입량 계열의 시간 분포 분석

월유입량 계열의 시간 분포에 대한 분석을 위하여 용담, 대청 두 지점의 1967-1968 및 1994-1995 기간에 대한 월유입량 빈도를 계산하고 빈도 계열의 구성을 수행하였다. 이는 표 4.1, 4.2 및 그림 4.1, 4.2와 같다.

1967-1968 및 1994-1995 두 기간의 빈도 계열에 있어 두드러진 특징은 홍수기에 해당하는 6-9월의 월별 유입량의 빈도들이 나머지 평/갈수기 기간의 빈도들과 구별되어 진다는 점이다. 즉 홍수기 월별 유입량들의 빈도는 대부분 매우 작은 경향을 보이는 반면 평/갈수기의 월별 유입량들의 빈도는 용담 지점의 경우 95년 11월의 경우는 거의 100%에 가까운 값을 보이는 등 계절에 따라 상이한 거동 특성을 나타내고 있는 것이다. 특히 용담댐의 경우 그림 4.1에서 보듯이 매우 분명하게 이러한 특징을 보여주고 있다. 결국 저수지 유입량은 홍수기와 평/갈수기에 각기 서로 다른 확률 거동을 하고, 연유입량의 빈도에 영향을 주는 것은 홍수기 월유입량 계열의 거동임을 알 수 있다.

표 4.1 용담댐 월유입량 빈도

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967	0.3883	0.4432	0.6137	0.6698	0.0657	0.2800	0.3015	0.0848	0.7621	0.0990	0.7407	0.6816
1968	0.5127	0.2086	0.8280	0.4643	0.0393	0.1710	0.2480	0.5998	0.1672	0.9004	0.9389	0.8009
1994	0.6717	0.7248	0.3061	0.1226	0.2629	0.3749	0.0228	0.0661	0.0228	0.5003	0.5799	0.3511
1995	0.5896	0.3599	0.0864	0.0241	0.0765	0.2449	0.0371	0.0385	0.0134	0.6252	1.0000	0.9813

표 4.2 대청댐 월유입량 빈도

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967	0.3219	0.5581	0.7009	0.5880	0.0745	0.4613	0.4082	0.1028	0.4468	0.2010	0.5814	0.8539
1968	0.5945	0.1605	0.6754	0.2896	0.0489	0.1220	0.1783	0.6506	0.1210	0.8738	0.8740	0.7161
1994	0.4902	0.3443	0.2915	0.1005	0.4384	0.0981	0.0421	0.0414	0.0253	0.3715	0.0977	0.0638
1995	0.0461	0.0524	0.0984	0.2930	0.0816	0.0483	0.0098	0.8483	0.5062	0.1054	0.0266	0.0147

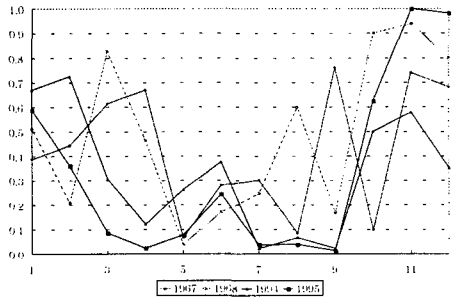

그림 4.1 용담댐 빈도계열

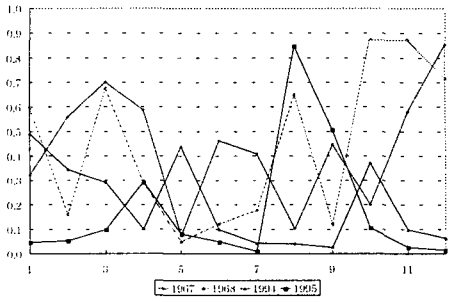

그림 4.2 대청댐 빈도계열

따라서 본 연구에서는 홍수기와 평/갈수기에 서로 다른 신뢰도를 적용하여 월유입량 계열의 구성을 시도하였다. 6-9월의 4개월을 홍수기로 나머지 8개월을 평/갈수기로 정의하여 각 기간의 빈도들의 평균을 해당 기간의 신뢰도로 하였다. 신뢰도의 산정은 전 절에서와 같이 1968년과 1994년의 월유입량들에 대하여 수행하였다. 신뢰도 산정 결과 및 신뢰도 별 월유입량 계열은 표 4.3 및 그림 4.3, 4.4와 같다.

표 4.3 홍수기 및 평/갈수기 별 신뢰도

	용담		대청	
	홍수기(%)	평/갈수기(%)	홍수기(%)	평/갈수기(%)
1968	29.65	58.66	26.80	52.91
1994	12.17	43.99	5.17	27.48

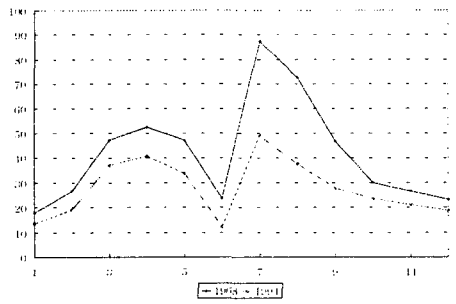

그림 4.3 용담지점 신뢰도별 유입량 계열

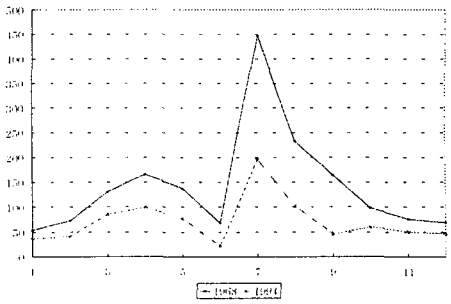

그림 4.4 대청지점 신뢰도별 유입량 계열

홍수기와 평/갈수기에 대한 개별적 신뢰도별 월유입량 계열의 합은 용담지점이 501.49 MCM과 334.24 MCM, 대청지점이 1715.02 MCM과 862.64 MCM으로 이 값들은 전 절의 경우와는 달리 표 3.2의 연유입량과 거의 일치하고 있다. 결국 그림 4.3과 4.4의 월유입량계열은 갈수 사상에 대한 연유입량 거동 특성과 월유입량 거동 특성이 동시에 고려된 것으로 보다 신뢰성있는 계열의 구성으로 평가할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 직렬 다목적 댐 군을 형성하는 금강 유역의 용담 및 대청 지점의 저수지 유입량을 확률변수로 하여 연거동 및 월거동을 개별적으로 분석하여 보았다. 이상에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 과거 대상 지점에서 발생한 갈수 사상에 대하여 저수지 유입량의 정량적인 빈도 분석을 수행하였다. 특히 1994-1995 기간 동안 발생한 갈수 사상은 우리나라의 이수안전도 기준인 1967-1968 기간에 비하여 갈수 빈도 및 심도가 더 큰 것으로 나타났다.

2) 저수지의 연유입량과 월유입량은 서로 다른 확률거동을 하는 것으로 나타났다. 따라서 같은 신뢰도에 대하여 서로 다른 크기의 유입량 계열이 구성될 수 있음을 알 수 있었다.

3) 월유입량 빈도 계열에 대한 분석을 통하여 연유입량 빈도에 지배적인 영향을 미치는 인자는 홍수기 월유입량 계열의 빈도인 것으로 나타났다. 따라서 홍수기와 평/갈수기에 대하여 개별적인 신뢰도를 적용함으로써 보다 신뢰성있는 월유입량 계열을 구성할 수 있었다.

4) 본 연구에서 구성된 월유입량 계열은 갈수 사상에 대한 댐 관리 운영 방안 수립에 기초자료로서 이용할 수 있으며 더 나아가 보다 신뢰성 있는 이수안전도 기준 수립에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

5) 본 연구의 경우 홍수기 및 평/갈수기에 대한 개별적 신뢰도를 단순히 대상 기간의 빈도들에 대한 평균의 산정으로 하였다. 이것은 매우 단순한 방법으로서 저수지 유입량의 계절별 거동에 대한 좀 더 체계적인 연구가 추후 수행되어야 할 것으로 보인다.

6. 참고문헌

일본공영주식회사(1973), 대청다목적댐 타당성보고서

건설부(1979), 금강유역조사보고서

건설부, 산업기지개발공사, 성균관대학교(1980) 대청다목적댐 저수지운영 전산화연구

유주환(1992), "저수지 유입량의 신뢰도를 고려한 최적 계약발전량의 결정", 충남대학교 대학원 석사학위논문

건설교통부(1993-1999), 수문연보

한국수자원공사(1994), 금강유역 유량분석 및 홍수조사

Charles T. Hann(1977), Statistical Methods in Hydrology, Iowa state university press