

OC9 다목적댐의 용수공급능력 평가지표 산정에 관한 연구

박기범*, 차상화, 박종권

안동과학대학 건설정보과

1. 서 론

수자원시스템에서 저수지의 운영은 강우에 의해 발생하는 유출에 의한 저수지의 유입량과 저수지의 저류량 그리고 방류량 혹은 용수공급량으로 이루어진다. 강우는 자연현상의 하나로서 실제 예측하기가 상당히 어려운 부분이며, 유출은 강우사상에 대해 많은 경험과 축적된 기술에 의해 상당히 많은 연구를 통해 예측하고 있는 실정이다. 따라서 예측된 저수지 유입량 혹은 관측된 유입량을 이용해서 저수지의 운영을 하여 용수공급 계획을 수립하게 된다. 그러나 저수지를 통한 용수공급을 계획하는데 있어 얼마만큼의 신뢰도를 가지고 안정성있게 공급을 하느냐 하는 문제는 아직도 신뢰도의 다양한 기준과 평가방법에 있어 확립되지 않은 점이 있다. 저수지 운영에 있어 신뢰도 해석에 있어서 불확실성을 정량화 하기 위해 불확실한 요소를 어떠한 확률 값 또는 극한의 조건의 값을 사용하거나 단기간 동안의 유입량자료를 사용하여 확률론적인 방법으로 저수지 시스템의 용수공급능력을 평가하여 저수지 시스템의 신뢰도를 결정하는 방법이 주로 사용되어 왔다.

그러나 신뢰도를 평가하는데 있어 과소 혹은 과대 평가된 신뢰도를 기준으로 저수지를 운영하는 방법은 저수지 시스템으로부터의 추정된 결과의 신뢰도 평가가 과대 혹은 과소 추정될 수 있어 보다 보완적인 지표나 평가방법들이 요구되고 있다.

저수지 시스템의 신뢰도를 측정하는 척도로서 가장 보편적으로 사용되는 빈도기준 신뢰도는 운영목표를 만족하는 빈도를 가리키며, 위험도는 이와 반대로 운영목표를 충족하지 못하는 빈도를 나타낸다. 그러나 이러한 빈도기준 신뢰도만으로 저수지 시스템의 신뢰도를 평가하였을 경우 용수부족 발생 정도의 심각성을 충분히 나타내지 못한다. 따라서 저수지 시스템의 용수공급을 위한 신뢰도를 분석함에 있어 용수공급 부족의 빈도, 용수부족 지속기간 및 용수부족량의 개념이 고려된 신뢰도 분석기준의 제시와 지표상호간 상관관계 해석이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 안동댐을 분석대상으로 선정하여 1966년부터 1997년까지의 총 31개년 동안의 과거 유입량 자료를 사용하여 계획용수공급량을 기준으로 공급량을 증가 또는 감소시켜가면서 저수지 모의 운영을 실시하고 그 결과를 이용하여 신뢰도(양적기준, 빈도기준, 시간기준), 복원도 및 취약도를 산정한 후 용수공급량과 이들 지표인자와의 상관성을 분석검토하였다.

2. 용수공급능력의 평가지표

2.1. 신뢰도

신뢰도(reliability)란 “그 시스템의 상태가 만족스러운 경우의 빈도 또는 확률” 이라고 Hasimoto 등(1982)은 정의하고 식(1)과 같이 제시하였다.

$$\alpha = \text{Prob}[X_t \in S] \quad (1)$$

여기서, α 는 신뢰도, X_t 는 용수공급량에 대한 시간에 대한 변수, S 는 용수수요량의 충족상태를 나타낸다. 그리고 수자원 시스템의 설계 및 운영에 사용되는 신뢰도 분석기준은 크게 빈도기준, 시간기준, 양적기준 신뢰도로 구분되며, 일반적으로 신뢰도의 정의만으로는 물부족에 대한 심각도를 만족스럽게 표현할 수 없으며 추가로 복원도 및 취약도의 평가기준이 필요하다.

2.2. 복원도

복원도(resiliency)란 물부족이 발생한 후 얼마나 빨리 정상적 상태로 회복되는가를 나타내는 개념으로서, 역으로 물부족이 발생할 경우 부족 현상이 얼마나 오래 지속될 것인가를 나타낼 수 있는 척도이기도 하며, 다음 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma = \frac{1}{E[T_F]} = \frac{\text{Prob}\{X_t \in S \text{ and } X_{t+1} \in F\}}{\text{Prob}\{X_t \in F\}} \quad (2)$$

여기서, γ 는 복원도, T_F 는시스템 파괴 발생후 파괴상태의 지속기간, $E[T_F]$ 는 T_F 의 기대치로서 시스템 파괴상태의 평균지속기간 즉, 용수부족의 평균지속시간을 나타낸다.

2.3. 취약도

취약도(vulnerability)는 발생 가능한 물부족의 크기를 의미하는 것으로서, 수자원 시스템의 신뢰도가 높아 물부족이 발생할 확률이 작더라도 물부족의 양이 많을 경우에는 특별한 관심이 요구된다. 취약도의 정량적 지표는 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta = \sum_{j \in F} s_j b_j \quad (3)$$

여기서 δ 는 취약도, s_j 는 j 번째 사상에서 시스템이 얼마나 파괴되었는가를 나타내는 시스템파괴의 크기 즉, 용수부족량, b_j 는 시스템 파괴상태에서 s_j 에 상응하는 용수부족 사상 x_j 의 발생확률이다. 취약도는 용수부족의 상태가 얼마나 오래 지속될 것인가(용수부족기간)보다 시스템 파괴의 결과가 얼마나 심각할 것인가(용수부족량)의 양적인 면에 중점을 둔 것이며, 계산을 위하여 일정한 크기의 단위로 표현이 가능하며 용수부족기간 동안의 평균 용수부족량으로도 표시할 수 있다.

3. 용수공급능력 평가지표의 산정 및 분석

3.1. 저수지 모의 운영

본 연구에서는 안동다목적댐 유역을 분석대상유역으로 선정하여 저수지의 용수공급능력을 평가하기 위하여 시뮬레이션 기법의 일종인 HEC-5 모형을 이용하여 저수지 모의 운영을 실시하였으며, 분석에는 1966부터 1997년까지의 31개년 자료를 분석대상기간으로 하여 관측치가 있는 1977~1997년은 관측자료를 이용하고, 관측치가 없는 1966~1976년은 Tank 모형에 의해서 계산된 유출량 결과를 사용하였다.

HEC-5 모형을 이용하여 용수공급량을 +5%~-5%로 변화시켜 가면서 저수지 모의 운영을 실시한 결과를 분석해보면 안동댐의 계획 용수공급량의 경우(0%) 총 부족년수는

9개년, 총 부족량은 $1,451.81 \times 10^6 \text{m}^3$, 평균저류량은 $641.548 \times 10^6 \text{m}^3$, 평균수위는 141.35m, 평균발전량은 98.15Gwh로 나타났다. 용수공급량을 5%증가한 30.83m³/sec일 경우에는 총 부족년수가 14개년, 총부족량은 $2,485.68 \times 10^6 \text{m}^3$ 이고, 평균저류량은 573.648 10^6m^3 , 평균수위는 138.78m, 평균발전량은 93.16Gwh로 나타났다. 용수공급량이 -5%증가한 27.89m³/sec인 경우는 총 부족년수는 3개년, 총 부족량은 $502.96 \times 10^6 \text{m}^3$, 평균저류량은 $726.025 \times 10^6 \text{m}^3$, 평균수위는 144.51m, 평균발전량은 104.21Gwh로 나타났다. 또한, 용수공급량이 감소할수록 발전량은 증가하는 추세를 보이고 있으며 평균수위가 높아짐에 따라 발전량이 증가하는 것으로 분석되었으며 그 결과를 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1. Results of dam operation

Water-supply (m ³ /sec)	Total Deficit (10 ⁶ m ³)	No. of defiiit years	Mean storages (10 ⁶ m ³)	Mean elevation (EL. m)	Mean hydropower (Gwh)
30.83(+5%)	2,485.68	14	573.648	138.78	93.16
30.53(+4%)	2,251.08	13	588.389	139.34	94.12
30.24(+3%)	2,035.25	13	602.062	139.85	94.97
29.95(+2%)	1,842.98	11	614.152	140.31	95.86
29.65(+1%)	1,644.08	10	629.945	140.79	96.94
29.36(0%)	1,451.81	9	641.548	141.35	98.15
29.07(-1%)	1,259.54	8	656.362	141.90	99.19
28.77(-2%)	1,060.64	8	671.960	142.47	100.39
28.48(-3%)	868.37	7	687.522	143.06	101.58
28.18(-4%)	669.47	5	704.440	143.69	102.73
27.89(-5%)	502.96	3	726.025	144.51	104.21

3.2. 용수공급능력 평가지표의 산정

본 분석에서는 안동다목적댐을 대상으로 계획 용수공급량이 +5%~-5%로 변하게 될 경우 총 용수부족량 및 평균용수부족량, 용수부족 사상수, 용수부족 년수 등을 산정하여 용수공급능력 평가지표 즉, 빈도기준 신뢰도, 시간기준 신뢰도, 양적기준 신뢰도, 복원도 및 취약도를 분석하였으며 그 결과는 Table 2에 나타내었다.

분석결과를 살펴보면, 먼저 신뢰도의 경우는 용수수요량이 증가함에 따라 세가지 기준 모두 신뢰도 값이 감소하였고, 빈도기준 신뢰도의 감소 폭이 가장 크게 나타났다. 먼저 안동댐의 계획 용수공급량을 지속적으로 공급할 경우(0%) 빈도기준 신뢰도는 71%이며, 시간기준 신뢰도는 92.4%, 양적기준 신뢰도의 경우 95.5%로 양적기준 신뢰도가 가장 높은 신뢰도를 보여주고 있다. 용수공급량을 +5%증가 하였을 경우 빈도기준 신뢰도는 54.*%이며, 시간기준 신뢰도는 88.7%, 양적기준 신뢰도는 92.7%를 나타내고 있으며, 용수공급량을 -5%감소하였을 경우 빈도기준 신뢰도는 90.3%, 시간기준 신뢰도는 97.2%, 양적기준 신뢰도는 98.4%로 분석되었다.

다음으로, 용수부족 평균지속기간의 역수로 정의되는 복원도의 경우도 신뢰도와 마찬가지로

가지로 용수부족량이 증가함에 따라 감소하는 추세를 나타내었으며, 계획용수공급량을 공급할 경우(0%)에는 0.321로서 부족이 발생하고 정상상태로 되돌아 오는 평균 기간이 31일 정도이며, 용수공급량을 +5% 증가하였을 경우에는 복원도가 0.310으로서 정상상태로 되돌아오는 기간이 평균 32일 정도이며, 용수공급량을 -5% 감소하였을 경우에는 복원도는 0.355로 평균 25일 정도가 소요되는 것으로 분석되었다.

마지막으로, 평균 용수부족량으로 정의되는 취약도의 경우에는 댐의 계획 용수공급량을 공급할 경우(0%)는 17.283m³/sec로, 용수공급량을 +5% 증가하였을 경우에는 19.698 m³/sec로, -5% 감소하였을 경우에는 16.135 m³/sec로 나타났다.

용수공급량의 증감에 따른 평가지표인자와의 상관관계는 Fig. 1~Fig. 5에 나타낸 바와 같으며 이를 자세히 살펴보면, 용수공급량이 증가할수록 신뢰도는 감소하는 추세, 용수공급량의 증감에 따른 복원도는 증가하는 추세를 보여주고 있으며, 시간기준 및 양적 기준 신뢰도와 취약도는 신뢰도가 감소할수록 취약도도 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 복원도와 취약도의 변화는 취약도가 증가하면 복원도는 감소하는 추세를 보여주고 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Results of Reliability and Risk analysis

Water-supply (m ³ /sec)	Reliability			Resiliency	Vulnerability (m ³ /sec)
	Occurrence based	Time based	Quantity based		
30.83(+5%)	0.548	0.887	0.927	0.310	19.698
30.53(+4%)	0.581	0.895	0.934	0.290	19.240
30.24(+3%)	0.581	0.905	0.940	0.330	19.200
29.95(+2%)	0.645	0.910	0.945	0.333	18.430
29.65(+1%)	0.677	0.918	0.950	0.297	18.067
29.36(0%)	0.710	0.924	0.955	0.321	17.283
29.07(-1%)	0.742	0.935	0.961	0.375	17.424
28.77(-2%)	0.742	0.942	0.967	0.385	16.248
28.48(-3%)	0.974	0.952	0.973	0.426	16.001
28.18(-4%)	0.839	0.961	0.979	0.440	15.488
27.89(-5%)	0.903	0.972	0.984	0.355	16.135

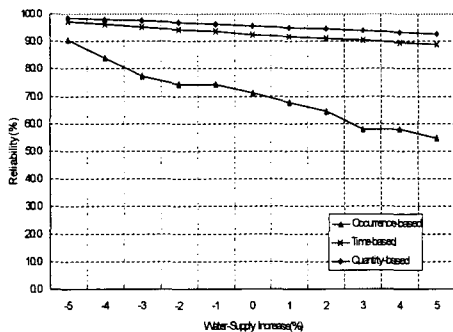


Fig. 1. Condition of Reliability for water-supply

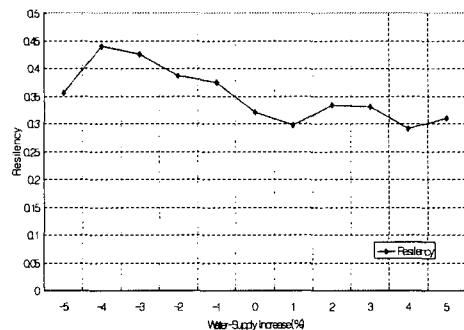


Fig. 2. Condition of Resiliency for water-supply

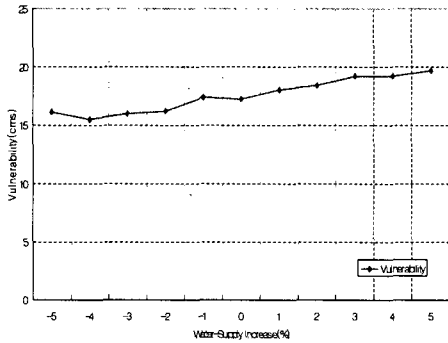


Fig. 3. Condition of Vulnerability for water-supply

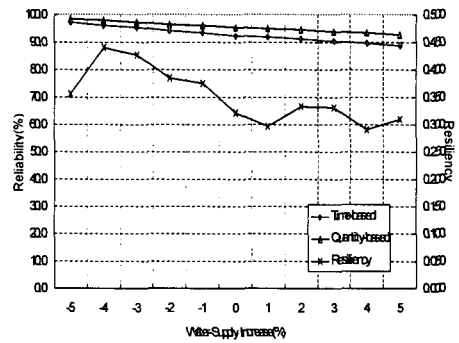


Fig. 4. Comparison of Resiliency and Reliability for water-supply

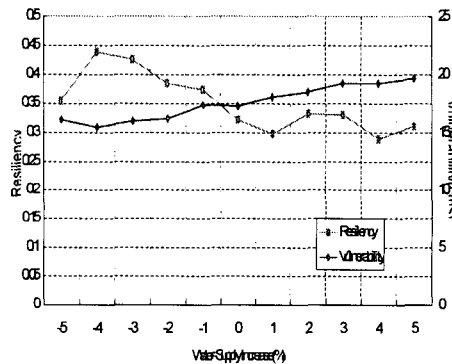


Fig. 5. Condition of Resiliency and Vulnerability for water-supply

4. 결 론

본 연구에서는 용수공급의 효율화를 최대화하고 비상시 수자원시스템의 최적운영을 위하여 수자원 시스템에 존재하는 위험도 분석을 실시하기 위하여 안동댐을 대상으로 실측유입량 자료를 이용하고 용수공급량을 +5%~ -5%까지 변화시켜가면서 저수지 모의 운영을 실시한 후, 용수부족 사상수, 부족량 및 부족기간 등을 산정하고 이를 토대로 용수공급의 신뢰도, 복원도 및 취약도를 산정하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 모의운영한 결과를 이용하여 신뢰도 분석을 한 결과 빈도기준 신뢰도는 용수공급량이 증가하면 그 변화가 크게 나타났으며, 시간기준 신뢰도의 경우 88.7%~97.2%, 양적기준 신뢰도의 경우 92.7%~98.4로 나타났다. 복원도의 경우 최대치와 최소치의 경우 0.29~0.44로 34일~22일 정도의 복원기간이 소요되는 것으로 분석되었고, 취약도의 경우는 19.698m³/sec~15.488m³/sec이 부족한 것으로 나타났다.

2) 용수공급능력 평가지표를 비교분석한 결과 빈도기준 신뢰도의 경우는 발생빈도 단위를 연단위로 할 경우 그 변화폭이 크게 나타났으며, 시간기준 신뢰도와 양적기준 신뢰도의 경우는 비슷한 값을 나타내 주고 있는 것으로 분석되었다.

3) 용수공급량의 증감에 따른 위험도 평가에서 신뢰도와 복원도와 취약도의 변화의 경우 신뢰도가 감소함에 따라 복원도는 감소하는 것으로 나타나 용수부족의 발생할 경우 정상상태로 복원되는 기간이 길어짐을 알 수 있었다. 또한, 취약도의 경우 용수공급량을 증가시킴에 따라 취약도의 값이 증가하는 것을 알 수 있었다.

향후 용수공급능력 평가지표인자들의 산정은 물론, 이들 지표인자들간의 상관성에 관한 연구가 계속 이루어진다면 더 정확한 댐의 용수공급능력 평가를 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 요약

본 연구에서는 용수공급의 효율화를 최대화하고 비상시 수자원시스템의 최적운영을 위하여 다목적댐의 용수공급능력 평가지표를 산정하였다. 분석대상 유역으로는 비교적 자료구축이 잘되어있다고 판단된 안동댐을 선정하였으며 용수공급량을 -10~10%까지 증가시켜가면서 댐 모의운영을 실시하였다. 저수지 모의운영에 의해 용수부족사상수, 부족량, 부족기간 등을 산정하였으며, 이를 토대로 다목적댐의 용수공급능력 평가지표인 신뢰도(시간기준, 빈도기준, 양적기준), 복원도 및 취약도를 산정하고 계획용수공급량의 증감에 따른 이들 지표들의 영향성에 관하여 분석하였다.

참 고 문 헌

- Klemes. V, 1969, Reliability estimates for a storage reservoir with seasonal input. Journal of Hydrology Vol.13. No.2 .
- Vogel. R.M. and Bolognese R.A.(1995) Storage-reliability-yield relations for over-year water supply systems. WRR. Vol 31. No.3.
- Hashimoto, 1982, Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resources System Performance Evaluation. WRR, VOL. 18 No.1
- Moy. M. A, 1986, programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. WRR Vol. 22. No. 4.
- 고석구, 고익환, 이광만, 1991, 신뢰도를 고려한 저수지 운영율의 개발, 수자연. 한국수자원공사 수자원연구소 연구보고서, 91-WR-4.
- 정상만, 신현민, 1994, 다목적댐의 용수공급능력 평가방법의 개선. 한국건설기술연구원 연구보고서 74-WR-111.
- 장인수, 1984, 저수지의 저류량 해석. 영남대학교 대학원 석사학위논문.
- 심명필, 이봉희, 김경탁, 1997, 저수지 물공급을 위한 신뢰도 분석에 관한 연구. 한국수자원 학회지, 제30권, 제5권.
- 박명기, 김재한, 정관수, 2002, 위험도 평가기준을 적용한 저수지 최적운영방안 연구(I) (대청댐을 중심으로). 한국수자원학회 논문집 제35권, 제1호.
- Hydrologic Engineering Center, 1989, HEC-5 Simulation of flood Control and Conservation Systems users maunal.