

다목적댐의 용수공급능력 평가지표 산정에 관한 연구

차 상 화 · 박 기 범*

안동과학대학 건설정보과, *영남대학교 토목도시환경공학부
(2003년 10월 24일 접수; 2004년 2월 28일 채택)

A Study on Estimate of Evaluation Indices of Water Supply Capacity for Multipurpose Dam

Sang-Hwa Cha and Ki-Bum Park*

Dept. of Computational Civil Engineering, Andong Science College, Andong 760-822, Korea

*Division of Civil and Environment engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

(Manuscript received 24 October, 2003; accepted 28 February, 2004)

In this study analyzed the reliability indices against the water supply ability of Andong dam. The water supply analysis of Andong dam used the HEC-5 model. So Andong dam simulated planed water-supply capacity of Andong dam as increase and decrease +5%~-5% of water supply quantity. Water-supply capacity of Andong dam estimated, deficit occurrence, deficit quantity, deficit period. As the results estimated reliability(occurrence based, time based, quantity based) and resiliency vulnerability and with water supply capacity evaluation indices of Andong dam. Also reliability(occurrence based, time based, quantity based), resiliency, vulnerability and resiliency indices are estimated to evaluated the performance of water supply on Andong dam, and their relationships are evaluated.

Key Words : Reservoir Operation, Water-supply, Reliability, Resiliency, Vulnerability

1. 서 론

우리나라는 계절별, 연도별, 지역별 강수량의 편차가 매우 심하다. 또한 국토의 65%가 산악지대이고, 하천의 경사도 급한데다 여름철에 비가 많이 오는 아시아 몬순 기후적 특성 때문에 홍수로 강물이 한꺼번에 바다로 흘러가 버리므로 갈수기에는 수량이 지극히 적어 수자원의 관리에 있어서 시간적·공간적 편중이 심해 용수공급 문제에 있어 효율적인 관리가 상당히 어려운 실정이다.

다목적댐은 이러한 한정된 수자원의 시간적·공간적 편중을 극복하는 수단이며, 안정적인 용수 공급 측면에 있어서 다목적댐의 역할은 매우 중요하다. 앞으로 수자원 이용수준이 더욱 고도화되는 추세에 비추어 볼 때 다목적댐의 용수공급에 대한 역할을 더욱 증대될 것으로 보인다.

따라서 다목적댐의 용수공급능력 평가는 다목적 댐뿐만 아니라 다목적댐이 포함되는 수자원 시스템의 계획 및 운영방안의 수립에 있어서 매우 중요한 절차이다. 그러나 과거 댐의 용수공급능력을 평가하는 방법은 신뢰도 기준의 평가가 이루어지지 않거나 빈도기준에 의한 신뢰도 평가에 따라 용수공급 계획의 수립에 따른 신뢰도 및 이에 따른 물 부족 사태의 특성을 나타내 주는 추가적인 위험도 지표가 제공되지 못하였다. 이러한 다목적댐의 용수공급 시 신뢰도에 관한 연구들을 살펴보면, Klemes¹⁾는 댐의 저수용량을 결정하기 위하여 과거의 유입량 자료를 이용하여 초기 저수용량을 0에서부터 유효 저수용량까지 변화시켜 가면서 그에 따른 신뢰도 분석을 실시한 바 있으며, Vogel과 Bolognese²⁾는 저수지의 상태가 정상, 파괴 두 형태인 Markov연쇄 모형을 이용하여 시스템 파괴의 지속시간, 평균재현 기간 및 복원도 지수와의 관계에 대한 연구를 수행하여 저수지 상태에 따른 복원도 지수의 사용범위를 제안하였고 Hashimoto 등³⁾과 Moy⁴⁾는 각각 추

Corresponding Author : Sang-Hwa Cha, Dept. of Computational Civil Engineering, Andong Science College, Andong 760-822, Korea
Phone : +82-54-851-3604
E-mail : tnwkdjns@lycos.co.kr

계학적인 동적 프로그래밍 기법과 다목적 mixed-interger 선형계획기법을 이용하여 저수지의 용수 공급에 대한 능력을 신뢰도, 복원도, 취약도의 세 가지 관점을 기준으로 평가하고 상호간의 관계에 대한 연구를 수행한 바 있다. 국내의 경우에는 고석구 등⁵⁾이 다목적 저수지의 월별 운영에 있어 신뢰도를 고려한 월별 운영을 개발에 관한 연구를 수행하였으며 정상만 등⁶⁾은 댐의 용수공급능력을 평가하기 위한 지표로서 신뢰도, 복원도, 취약도 등을 사용한 바 있고, 장인수⁷⁾은 천이확률 행렬법에 의한 저수지 용량해석으로 저수지의 용수공급 신뢰도를 평가하여 저수지 용량결정에 관한 연구를 하였으며, 심명필 등⁸⁾은 저수지의 물 공급을 위한 신뢰도 분석에 필요한 저수지 유입량 자료를 추계학적으로 모의 발생한 후 용수공급능력을 평가하였고, 박명기 등⁹⁾은 위험도 평가기준을 적용한 저수지 최적운영방안에 관한 연구를 수행한 바가 있다.

따라서 본 연구에서는 합리적인 저수지 규모의 결정과 운영계획의 수립에 필요한 용수공급능력 평가지표를 산정하기 위하여 안동다목적댐을 분석대상 저수지로 선정하여 HEC-5모형을 이용하여 저수지의 모의운영을 실시한 후 용수공급능력 평가지표인 신뢰도(시간기준, 빈도기준, 양적기준)를 결정하고 또한 추가지표로 사용할 수 있는 복원도 및 취약도 등도 동시에 산정 하여 비교 분석토록 하였다.

2. 용수공급능력의 평가지표

다목적댐의 용수공급능력에 대한 평가는 일반적으로 용수공급의 부족상황을 나타낼 수 있는 다음의 세가지 측면의 특성을 기술하는 평가지표에 의해 나타낼 수 있다. 첫째, 얼마나 자주 물부족 현상이 발생하는 가를 나타내는 신뢰도, 둘째 물부족 현상이 발생한 이후 얼마나 빨리 정상상태로 회복될 것인가를 나타내는 복원도, 마지막으로 물부족의 결과가 얼마나 심각하게 나타날 것인가를 나타내는 취약도이다.

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.

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

여기서, α 는 신뢰도, X_i 는 용수공급량에 대한 시간에 대한 변수, S는 용수수요량의 충족상태를 나타낸다. 그리고 수자원 시스템의 설계 및 운영에 사용되는 신뢰도 분석기준은 크게 빈도기준, 시간기준, 양

적기준 신뢰도로 구분되며, 일반적으로 신뢰도의 정의만으로는 물부족에 대한 심각도를 만족스럽게 표현할 수 없으며 추가로 복원도 및 취약도의 평가기준이 필요하다.

2.1.1. 빈도기준 신뢰도

빈도기준 신뢰도(occurrence-based reliability)란 전체 계획기간에 대한 시스템 파괴가 발생하지 않는 시간수와의 비로 정의되며, 주로 연단위 신뢰도를 표현된다. 시스템 파괴발생년 수의 빈도개념이 포함되어 있으며 시스템 파괴가 발생하지 않는 년수와의 비로 정의될 경우 신뢰도(R_v)로 나타낸다.

$$R_v = \frac{\sum F_s}{\sum F_t} \quad (2)$$

여기서 R_v 는 빈도기준 신뢰도, $\sum F_s$ 는 용수부족이 발생한 년의 합, $\sum F_t$ 는 전체 용수공급 년수이다.

2.1.2. 시간 기준 신뢰도

시간기준 신뢰도(time-based reliability)란 전체 계획기간에 대한 시스템 파괴가 발생하지 않는 총 지속시간의 비로 정의되며, 시스템파괴의 지속기간 개념이 포함되어 있다.

$$R_v = \frac{T_f}{T_t} \quad (3)$$

여기서 R_v 는 시간기준 신뢰도, T_f 는 용수부족이 발생한 시간의 합, T_t 는 n기간동안의 총 시간단위 수이다.

2.1.3. 양적기준 신뢰도

양적기준 신뢰도(quantity-based reliability)란 주어진 기간동안 공급해야할 공급량에 대한 실제로 소비자에게 공급된 양과의 비로 정의되며, 물부족량의 개념이 포함되어 있다. 장기간의 용수공급 능력 평가할 경우 부족량이 작은 양임에도 불구하고 용수부족 1회로 간주되는 경우가 많이 발생하므로 이런 단점을 보완하는데 있어 양적기준 신뢰도가 적절할 것으로 판단된다.

$$R_v = \frac{\sum Q_r}{\sum Q_t} \quad (4)$$

여기서 R_v 는 양적기준 신뢰도 Q_r 은 용수부족량, Q_t 는 용수공급계획량이다.

2.2. 복원도

복원도(resiliency)란 물부족이 발생한 후 얼마나 빨리 정상적 상태로 회복되는가를 나타내는 개념으

로서, 역으로 물부족이 발생할 경우 부족 현상이 얼마나 오래 지속될 것인가를 나타낼 수 있는 척도이며, 다음 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma = \frac{1}{E[T_F]} = \frac{\text{Prob}\{X_t \in S \text{ and } X_{t+1} \in F\}}{\text{Prob}\{X_t \in F\}} \quad (5)$$

여기서, γ 는 복원도, T_F 는시스템 파괴 발생후 파괴상태의 지속시간, $E[T_F]$ 는 T_F 의 기대치로서 시스템 파괴상태의 평균지속시간 즉, 용수부족의 평균 지속시간을 나타낸다. $\text{Prob}\{X_t \in S \text{ and } X_{t+1} \in F\}$ 는 용수공급이 X_t 에 성공하였다가 X_{t+1} 에 실패할 확률이며, $\text{Prob}\{X_t \in F\}$ 는 X_t 에 용수공급이 실패할 확률이다. 즉, 식(5)는 시스템의 파괴되었다가 정상상태로 되돌아오는 확률이라 할 수 있다.

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(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta = \sum_{j \in P} s_j p_j \quad (6)$$

여기서 δ 는 취약도, s_j 는 j번째 사상에서 시스템이 얼마나 파괴되었는가를 나타내는 시스템파괴의 크기 즉, 용수부족량, p_j 는 시스템 파괴상태에서 s_j 에 상응하는 용수부족사상 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 용수부족기간동안의 평균 용수부족량으로도 표시할 수 있다.

3. 용수공급능력 평가지표의 산정 및 분석

3.1. 분석대상 유역의 개황

낙동강은 우리나라 제2의 대하천으로서 유역면적

은 23,859km²이며, 본 분석대상으로 선정된 안동다목적댐은 낙동강 하구로부터 340km 상류에 위치하고 있다. 유역면적은 1,584km²로서 전체 낙동강 유역면적의 6.7%에 해당하며, 년평균 강우량은 1,075.5mm에 달하며, 댐으로 유입되는 평균 연간 유입량은 949.2 × 10⁶m³에 달한다. 분석대상 유역인 안동댐의 유역도는 Fig. 1과 같다.

또한, 안동댐의 계획 용수공급량은 926 × 10⁶m³/year, 계획 발전량은 89GWH/year이며, 댐의 형식은 토석댐으로서 댐의 높이는 83m이고 길이는 612m이며 댐의 체적은 4,013,976m³으로서 댐의 자세한 제원은 Tabel 1과 같다(댐시설기준, 1994.12, 건설부). 또한 안동댐은 댐 건설 이전의 비교적 장기간에 걸친 유입량 자료가 있으며, 1976년 댐 건설이 완료된 이후 지금까지 26개년의 운영실적에 의해 유입량 자료를 포함한 각종 자료가 잘 축적되어 있으므로 신뢰성 있는 용수공급능력 평가결과를 기대할 수 있다고 판단되어 본 분석대상유역으로 선정하였다.

3.2. 댐 모의운영 프로그램(HEC-5 모형)의 개요

일반적으로 댐의 용수공급능력을 분석하는 방법으로는 시뮬레이션 기법, 추계학적 기법, 최적화 기법 등이 있으며, 본 연구에서는 시뮬레이션 기법 중

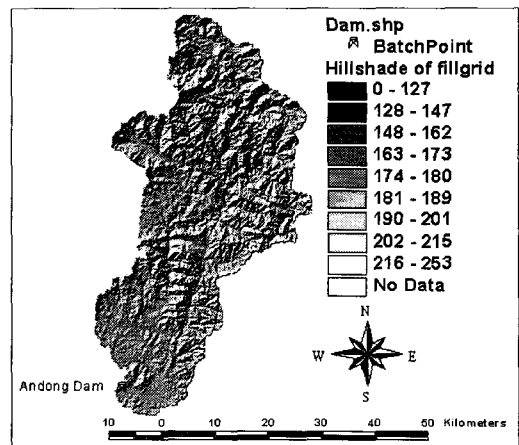


Fig. 1. Basin area of Andong dam.

Table 1. Detail of Andong dam

Elevation	EL.m	Storage (106m ³)	Outflow (m ³ /s)	Hydropower (KW)	Remarks
Top inactive	121.0	114.967	0.00	0	Planned water-supply : 926 (10 ⁶ m ³ /year) Planned hydropower : 89(GWH/year)
Top buffer	130.0	237.429	0.00	0	
Top conservation	160.0	1,224.022	3,121.18	85,300	
Top flood control	162.5	1,355.979	4,621.19	89,250	
Top of dam	163.9	1,433.220	5,554.31	90,000	

실무에서 가장 일반적으로 널리 사용되어지고 있는 HEC-5(U.S. Army Corps of Eng., 1982 : Wurbs et al., 1985)¹¹⁾ 모형을 이용하였다.

HEC-5 모형은 댐의 홍수조절과 이수목적 사이에서 상대적인 저수용량을 평가하고 홍수시의 하류상황을 고려한 댐의 최적방류를 위해 널리 이용되고 있다. 본 모형은 미 육군 공병단에 의해서 단일 수문 사상 홍수조절을 위하여 1973년 5월에 처음 개발되어, 다목적 댐군의 홍수조절과 이수목적을 위한 운영과 최종 주요방류를 포함하도록 확장되고 발전되어 왔다. 각 댐은 시점 저류량과 각 목표수위에 대한 저류량을 가지고 활용목적에 대한 할당을 세분하는 목표수위와 하류하천의 조절점에 따라 운영되며, 각 조절점은 수로용량과 댐의 수위에 따라 운영되고 유량자료는 정상적인 계통추적에서 증가되는 관측된 유량과 댐 방류량을 포함하는 국지유량을 사용한다. 용수공급능력평가 방법의 일종인 모의 운영기법은 댐을 하나의 시스템으로 보고 이 계의 입력과 출력 및 시스템의 상태변화를 고려하는 일종의 물수지 분석이며, 댐 모의운영 또는 형태분석이라고도 한다.

HEC-5 모형에서 댐으로의 입력에는 유입량과 강수량 등이 있으며, 출력에는 방류량, 수면증발량 및 기타 손실량이 포함된다. 일반적으로 댐 수면의 강수량과 기타 손실량은 무시하며, 다음과 같은 댐의 상태를 나타내는 물수지 방정식으로 댐의 상태변화를 모의한다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + O_t + E_t \quad (7)$$

여기서, S_t 와 S_{t-1} 는 각각 t 및 $t-1$ 시점에서 의 저수량, I_t , O_t 및 E_t 는 t 및 $t-1$ 시점 사이의 유입량, 방류량, 증발량이다. 또한 계산시간 단위는 월 또는 순단위를 사용하는 것이 일반적이며, 저수량 S 는 유효저수량과 최저저수량 사이의 범위에 있어야 한다는 제약조건과 댐의 운영률을 고려하여 저수량에 따른 방류량의 제한을 반영할 수 있으며, 목적별 댐의 조작 우선순위는 Table 2와 같다.

3.3. 모의 운영 결과

본 연구에서는 안동다목적댐 유역을 분석대상유역으로 선정하여 저수지의 용수공급능력을 평가하기 위하여 시뮬레이션 기법의 일종인 HEC-5 모형을 이용하여 저수지 모의운영을 실시하였으며, 분석에는 1966부터 2002년까지의 37개년 자료를 순별(10일) 단위로 하여 관측치가 있는 1977~2002년은 관측자료를 이용하고, 관측치가 없는 1966~1976년은 Tank 모형에 의해서 계산된 유출량 결과를 사용하였으며, 평균유입량은 28.18m³/s, 평균방류량은 29.16m³/s로 나타났다.

HEC-5 모형의 입력자료인 용수공급량을 Table 1에 나타난 댐의 계획용수공급량을 0%로 설정하여 +5%~-5%까지 변화시켜 입력하였다.

용수공급량을 +5%~-5%로 변화시켜 가면서 저수지 모의운영을 실시한 결과 안동다목적댐의 계획용수공급량의 경우(0%) 총 부족년수가 10개년이며

Table 2. Dams operation priority¹¹⁾

Classification	State
Condition	- During flooding at downstream location : - If primary power releases can be made without increasing flooding downstream
	- During flooding at downstream location : - If minimum desired flows can be made without increasing flooding downstream - If minimum required flows can be made without increasing flooding downstream
	- Diversions from reservoirs(expect when diversion is a function of storage) :
Normal priority	- No release for power requirement - Release down to top of buffer pool
	- No release for minimum flow - Release min flow between top of conservation and top of buffer pool. - Release min flow between top of conservation and top of inactive pool
	- Divert down to top of buffer pool
Optional priority	- Release for primary power - Release down to top of inactive (level 1)
	- Release minimum desired flow - same as normal
	- Divert down to top of inactive pool (level 1)

다목적댐의 용수공급능력 평가지표 산정에 관한 연구

Table 3. Results of dam operation

Water-supply (m ³ /s)	Total Deficit (106m ³)	No. of deficit years	Mean storages (106m ³)	Mean elevation (EL. m)	Mean hydropower (Gwh)
30.83(+5%)	2,662.03	16	574.267	138.90	93.28
30.53(+4%)	2,458.01	15	589.445	139.57	94.16
30.24(+3%)	2,152.39	15	603.743	140.24	95.02
29.95(+2%)	1,991.96	13	615.229	140.49	95.92
29.65(+1%)	1,833.62	12	630.786	141.28	96.99
29.36(0%)	1,575.88	10	642.632	141.72	98.34
29.07(-1%)	1,390.71	10	656.549	142.08	99.32
28.77(-2%)	1,174.94	8	672.602	142.74	100.58
28.48(-3%)	930.48	8	688.790	143.52	101.77
28.18(-4%)	732.39	6	705.728	143.83	102.95
27.89(-5%)	650.86	4	727.846	144.72	104.54

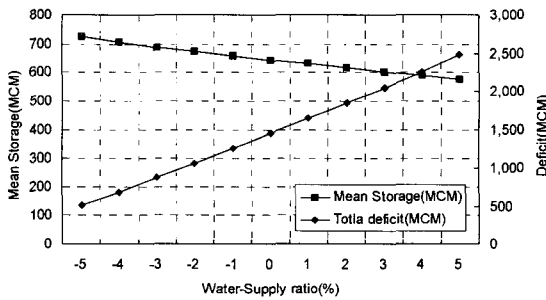


Fig. 2. Comparison of mean storage-total deficit.

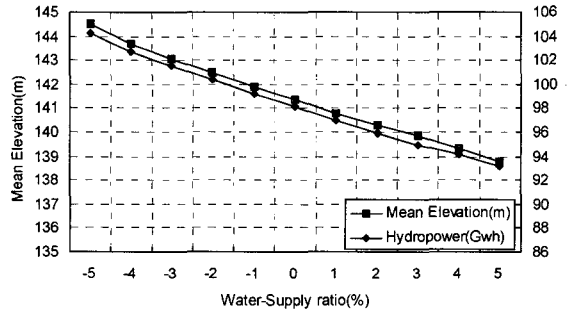


Fig. 3. Comparison of mean elevation-mean hydropower.

총 부족량은 1,575.88×106m³이며 평균저류량은 642.632×106m³ 평균수위는 141.72m, 평균발전량은 98.34Gwh이다. 용수공급량을 5%증가한 30.83m³/s일 경우 총 부족년수가 16개년이며 총부족량은 2,662.03×106m³이며, 평균저류량은 574.267×106m³. 평균수위는 138.90m, 평균발전량은 93.28Gwh로 나타났다. 용수공급량을 -5%인 27.89m³/s로 할 경우 총 부족년수는 4개년이며 총 부족량은 650.86×106m³, 평균저류량은 727.846×106m³, 평균수위는 144.72m, 평균발전량은 104.54Gwh로 나타났다. 용수공급량이 감소할수록 발전량은 증가하는 추세를 보이고 있으며 이는 평균수위가 높아짐에 따라 발전량이 증가하는 것으로 판단되며 분석결과는 Table 3 및 Fig. 2~Fig. 3과 같다.

3.4. 용수공급능력 평가지표의 산정결과

본 분석에서는 안동다목적댐을 대상으로 계획 용수공급량이 +5%~ -5%로 변화게 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 4에 나타내었다.

분석결과를 자세히 살펴보면, 먼저 신뢰도의 경우는 용수수요량이 증가함에 따라 세가지 기준 모두 신뢰도 값이 감소하였고, 빈도기준 신뢰도의 감소폭이 가장 크게 나타났다. 먼저 안동댐의 계획 용수공급량을 지속적으로 공급할 경우(0%) 빈도기준 신뢰도는 70.3%이며, 시간기준 신뢰도는 92.7%, 양적기준 신뢰도의 경우 95.4%로 양적기준 신뢰도가 가장 높은 신뢰도를 보여주고 있다. 용수공급량을 +5% 증가 하였을 경우 빈도기준 신뢰도는 56.7%이며, 시간기준 신뢰도는 88.9%, 양적기준 신뢰도는 92.6%를 나타내고 있으며, 용수공급량을 -5% 감소 하였을 경우 빈도기준 신뢰도는 89.1%, 시간기준 신뢰도는 97.8%, 양적기준 신뢰도는 98.0%로 분석되었다.

다음으로, 용수부족 평균지속기간의 역수로 정의되는 복원도의 경우도 신뢰도와 마찬가지로 용수부족량이 증가함에 따라 증가하는 추세를 나타내었

Table 4. Results of Reliability and Risk analysis

Water-supply (m ³ /s)	Reliability			Resiliency	Vulnerability (m ³ /s)
	Occured based	Time based	Quantity based		
30.83(+5%)	0.567	0.886	0.926	0.304	19.694
30.53(+4%)	0.595	0.897	0.931	0.285	19.231
30.24(+3%)	0.595	0.907	0.939	0.324	19.152
29.95(+2%)	0.649	0.914	0.943	0.326	18.420
29.65(+1%)	0.676	0.919	0.947	0.292	18.046
29.36(0%)	0.703	0.925	0.954	0.317	17.270
29.07(-1%)	0.730	0.937	0.959	0.369	17.412
28.77(-2%)	0.730	0.946	0.965	0.374	16.220
28.48(-3%)	0.784	0.957	0.972	0.420	15.966
28.18(-4%)	0.838	0.965	0.978	0.434	15.250
27.89(-5%)	0.891	0.976	0.980	0.350	16.112

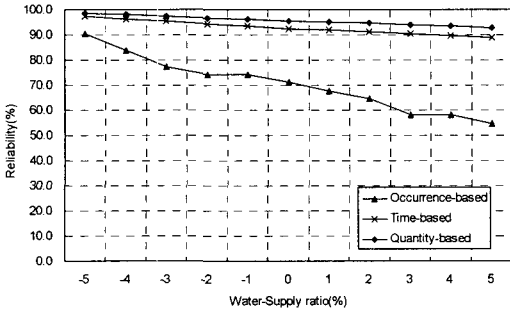


Fig. 4. Condition of Reliability for water-demand.

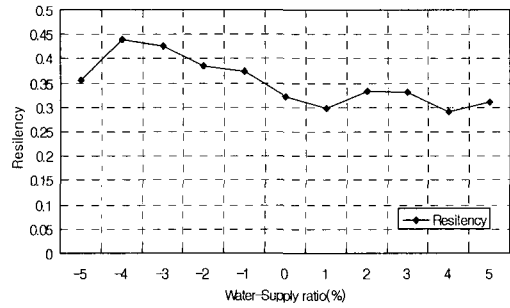


Fig. 5. Condition of Resiliency for water-demand.

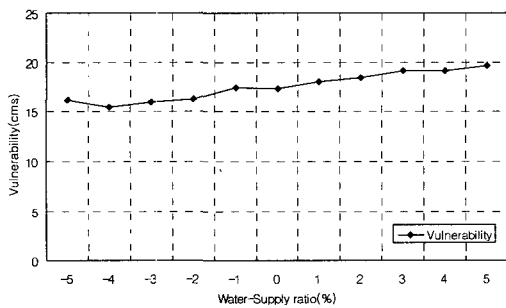


Fig. 6. Condition of Vulnerability for water-demand.

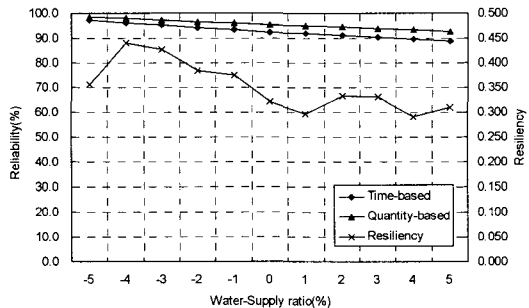


Fig. 7. Comparison of Resiliency and Reliability for water-demand.

며, 이는 한번 용수부족이 발생하였을 경우 용수부족이 비교적 장기간 지속됨을 나타낸다. 복원도의 경우 안동댐의 계획용수공급량을 공급할 경우(0%)에는 0.317로서 부족이 발생하여 정상상태로 되돌아오는 평균 기간이 순환단위이므로 평균 32일 정도이며, 용수공급량을 +5%증가하였을 경우 복원도는 0.304로서 정상상태로 되돌아오는 기간이 평균 33일

정도이며, 용수공급량을 -5%감소 하였을 경우 복원도는 0.350로 평균 29일 정도가 소요되는 것으로 분석되었다.

평균 용수부족량으로 정의되는 취약도의 용수공급량의 증가에 따른 변화는 용수공급량이 증가함에 따라 용수부족발생 사상수의 증가분보다 총 용수부족량의 증가분이 더 커져서 취약도가 점차 증가하

는 것으로 나타났다. 취약도의 경우 안동댐의 계획 용수공급량을 공급할 경우(0%) 17.270m³/s 로 나타났으며, 용수공급량을 +5% 증가하였을 경우 19.694m³/s 로 나타났으며, -5% 감소하였을 경우 16.112m³/s 로 나타났다.

다목적 댐의 용수공급 신뢰도 95%기준의 적용에 있어서 빈도기준 신뢰도를 적용할 경우 용수공급 계획량 기준에서 약 -3% 감소된 28.48m³/s가 적절한 공급량으로 분석되었으며, 이때 양적기준 신뢰도는 0.972이며, 복원도는 0.420로서 한 번 부족이 발생한 후 정상상태로 회복되는데 분석단위가 순단위(10일)이므로 약 24일 이 소요된다는 것이며, 부족량의 평균인 취약도의 경우 15.966m³/s로서 부족기간동안은 공급계획량 28.48m³/s에서 평균 12.514m³/s 정도만 공급이 가능한 것으로 분석되었다

용수공급량의 증감에 따른 신뢰도와 신뢰도 지표 인자와의 관계를 나타낸 것이 Fig. 4~Fig. 8에 나타내었다. 용수공급량이 증가할수록 신뢰도는 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 용수공급량의 증감에 따른 복원도는 증가하는 추세를 보여주고 있으며, 시간기준 신뢰도와 양적기준 신뢰도와 취약도는 신뢰도가 감소할수록 취약도도 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 복원도와 취약도의 변화는 취약도가 증가하면 복원도는 감소하는 추세를 보여주고 있다.

복원도와 취약도의 관계에서 볼 때 평균용수부족 지속기간이 길어짐에 따라 용수부족 발생횟수와 총 용수부족량은 증가하지만, 용수부족 사상수의 증가는 비교적 작은 증가율을 보였으며, 총용수부족량을 용수부족 사상수로 나눈 값인 평균 용수부족량 즉, 취약도는 증가하게 됨을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 용수공급의 효율화를 최대화하고 비상시 수자원시스템의 최적운동을 위하여 댐의 용수공급능력을 평가하기 위하여 안동다목적댐을 분석대상유역으로 선정하고, 실적유입량 자료를 이용하여 용수수요량을 +5%~ -5%까지 변화시켜가면서 저수지 모의 운영을 실시하여 용수부족사상수, 부족량 부족기간 등을 산정하였으며, 이를 토대로 용수공급의 평가지표인 신뢰도, 복원도 및 취약도를 산정하였으며, 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 저수지 모의운영을 실시한 결과, 용수공급량이 29.36m³/s일 경우 용수부족 발생년수는 10개년이었으며 +5%증가한 30.83m³/s를 공급할 경우 용수부족 발생년수가 16개년이며, -5%감소한 27.89m³/s 일 경우 용수부족년수가 4개년으로 분석되었다. 이는 빈도기준 신뢰도인 년수가 용수공급량이 증

가함에 따라 부족년수가 많이 발생하여 용수공급량을 증가하면 빈도기준 신뢰도가 56.7%~89.1%로 변화폭이 크게 나타난 것으로 판단된다.

- 2) 1)의 산정결과를 이용하여 용수공급능력 평가지표인자들을 산정한 결과, 빈도기준 신뢰도는 용수공급량이 증가하면 신뢰도의 변화가 크게 나타났으며, 시간기준 신뢰도의 경우 88.9%~97.8%, 양적기준 신뢰도의 경우 92.6%~98.0로 나타났다. 복원도의 경우 최대치와 최소치의 경우 0.29~0.43로 34일~22일 정도의 복원기간이 소요되는 것으로 분석되었다. 취약도의 경우는 19.694m³/s~15.250m³/s이 부족한 것으로 나타났다.
- 3) 2)에서 산정된 용수공급능력 평가지표 인자들의 상관성을 분석한 결과, 신뢰도와 복원도와 취약도의 변화의 경우 신뢰도가 감소함에 따라 복원도는 감소하는 것으로 나타나 용수부족이 발생할 경우 정상상태로 복원되는 기간이 길어짐을 알 수 있었다. 취약도의 경우 용수공급량을 증가 시킴에 따라 취약도의 값이 증가하며 즉, 평균부족량이 커짐을 알 수 있었다.
- 4) 분석결과들을 전체적으로 비교검토했던 결과, 어떤 기준의 신뢰도를 설정하는가에 따라 용수공급량이 변화할 수 있으며 또한, 복원도와 취약도를 산정함으로써 평균부족기간 및 평균부족량을 파악하고 정량적인 용수부족사태를 효율적으로 대비할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) Klemes, V., 1969, Reliability estimates for a storage reservoir with seasonal input, Journal of Hydrology, 13, 198-216.
- 2) Vogel, R. M. and R. A. Bolognese, 1995, Storage-reliability-yield relations for over-year water supply systems, Water Resources Research, 31, 645-654.
- 3) Hashimoto, T., J. R. Stedinger and D. P. Loucks, 1982, Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation, Water Resources Research, 18, 489-498.
- 4) Moy, M., 1986, A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir, Water Resources Research, 22, 489-498.
- 5) 고석구, 고익환, 이광만, 1991, 신뢰도를 고려한 저수지 운영의 개발, 수자연, 한국수자원공사 수자원연구소 연구보고서, 전기연 91-WR-4.

- 6) 정상만, 신현민, 1994, 다목적댐의 용수공급능력 평가방법의 개선, 한국건설기술연구원 연구보고서, 74-WR-111.
- 7) 장인수, 1984, 저수지의 저류량 해석, 영남대학교 대학원 석사학위논문, 20-24pp.
- 8) 심명필, 이봉희, 김경탁, 1997, 저수지 물공급을 위한 신뢰도 분석에 관한 연구, 한국수자원학회지, 30(5), 527-537.
- 9) 박명기, 김재한, 정관수, 2002a, 위험도 평가기준을 적용한 저수지 최적운영방안 연구(I) (대청댐을 중심으로), 한국수자원학회지, 35(1), 37-49.
- 10) 건설부, 1994, 댐시설관리기준, 498, 503pp,
- 11) Hydrologic Engineering Center, 1989, HEC-5 Simulation of flood Control and Conservation Systems users manual.