

# 다목적댐 용량 재할당에 대한 연구(II) - 이수용량 분석

## A Study for Storage Reallocation of Multipurpose Reservoir(II) - Conservation Storage Analysis

이재응\* / 권용익\*\*  
Yi, Jaeung / Kwon, Yong Ik

### Abstract

In the past, it was unnecessary to consider the reallocation of reservoir storage because new reservoir construction was relatively not difficult. However, it became necessary since it is so difficult to construct new reservoirs in these days. In this study, the change of the water supply capability is evaluated through conservation storage drawdown frequency analysis, hydropower analysis, reliability, resiliency and vulnerability analyses for Geum River basin. As a result, it is confirmed that water supply capability of Daechung reservoir can be increased by reallocating flood control storage to conservation storage.

**Keywords** : Reservoir Reallocation, Drawdown Frequency, Reliability, Resiliency, Vulnerability

### 요 지

과거에는 신규댐 건설 여건이 비교적 양호하였으므로 기존댐의 용량 재할당을 고려할 필요가 없었다. 그러나 신규댐의 건설이 어려운 현 상황에서 기존댐의 효율적 이용이 절실히 필요하게 되어, 다목적댐의 용량 재할당에 대한 연구가 필요하게 되었다. 본 연구에서는 금강유역의 대청다목적댐을 대상으로 여러 가지 저수용량 재할당 대안에 대하여 현재 금강유역 수문상황의 변화를 적절히 반영할 수 있는 저수지 재할당 기법을 적용하고, 수위하강 빈도, 발전량, 신뢰도, 복원도 및 취약도 분석을 통하여 이수능력의 변화를 평가하였다. 그 결과 용담댐으로 인한 유입량 감소에 따른 대청댐 이수능력의 감소는 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당 함으로써 일부분 증가시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

**핵심용어** : 용량 재할당, 수위하강 빈도, 신뢰도, 복원도, 취약도

\* 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수, 공학박사  
Assistant Prof., Dept. of Env., Civil and Trans. Eng., Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea  
(E-mail : jeyi@ajou.ac.kr)

\*\* 아주대학교 건설교통대학원 석사과정  
Graduate Student, Dept. of Const. and Trans. Eng., Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea  
(E-mail : sxxl01@ajou.ac.kr)

## 1. 서론

본 연구의 목적은 기존댐을 효율적으로 이용하기 위하여 기존 다목적댐의 용량 할당 현황을 검토하고 국내 실정에 적합하도록 저수용량을 재할당하여 용수공급량의 증대효과를 분석하는데 있다. 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당하는 기법을 적용하여 대청댐의 상시만수위를 변화시키는 방법으로 여섯 가지 대안을 설정하여 이수능력의 변화를 분석하였다. 이를 위하여 저수지 모의운영 기법을 사용하여 각 대안에 대한 월말 저류량, 발전량, 방류량 등을 결정하였으며, 이러한 자료는 이수능력의 변화를 분석하는데 기본 입력자료로 사용되었다.

재할당으로 인한 대청댐의 이수용량을 평가하기 위하여 수위하강 빈도를 분석하였고, 모의운영 결과로부터 얻은 연평균 발전량으로 각 대안별 발전량을 분석하였다. 또한, 용수공급 신뢰도는 저수지가 사용자의 수요를 만족시키는 시간의 비율로 정의하여 대청댐의 용수공급량과 용수수요량을 비교하여 평가하였다. 저수지가 용수공급에 실패한 후 얼마나 빨리 복원되는가와 용수공급 실패의 결과가 얼마만큼 심각한가를 평가하기 위하여 복원도 및 취약도에 대한 평가도 수행하였다.

## 2. 댐 재할당에 따른 이수용량의 변화 평가기법

### 2.1 이수용량 평가

이수용량을 평가하기 위하여 수위하강 빈도를 분석하였다. 본 연구에서 수위하강 기간은 저수지의 수위가 상시만수위에서 하강한 후 다시 상시만수위가 되는 기간으로 정의하였다. 여러 가지 저수용량 재할당 계획에 대해, 이수용량이 완전히 소모되는 경우와 최소한 50% 소모되는 수위하강 횟수를 빈도분석을 위한 입력자료로 사용하였다. 어느 해에 저수지의 저류량이 고갈될 확률은 전년도의 저류량과 관계가 있기 때문에, 연 계열 수위하강 자료는 통계적으로 독립사상으로 간주할 수 없다. 그러나 수위하강 빈도를 간략히 정량화하기 위하여 재현기간으로 표현하였으며, 재현기간은 모의운영 기간을 수위하강의 횟수로 나눔으로써 얻을 수 있다.

### 2.2. 발전량 평가

발전량은 방류관을 통과하는 유량과 저수지 상·하류 수위의 낙차에 비례한다. 수력발전소의 발전기는 물의 운동에너지와 위치에너지를 기계적 에너지로, 결국은 전기에너지로 전환시키며, 발전량은 식 (1)을 통해

얻을 수 있다.

$$P = \eta_1 \eta_2 \rho g Q H \quad (1)$$

여기서, P는 수력발전(kW),  $\eta_1$ 은 발전기의 효율,  $\eta_2$ 는 터빈의 효율,  $\rho$ 는 물의 밀도(1000kg/m<sup>3</sup>), Q는 사용유량(m<sup>3</sup>/s), g는 중력가속도(9.81m/s<sup>2</sup>), H는 유효낙차(m)이다.

### 2.3. 신뢰도(Reliability) 평가

수자원공학에서 신뢰도는 다양한 의미로 사용되는데 본 연구에서는 “주어진 기간동안 저수지가 사용자의 수요를 만족시킬 수 있는 기간의 비율”로 정의한다. 저수지의 특정 모의운영 기간 t에서 모의운영의 결과로 얻은 유량을 무작위 변수  $X_t$ 라 한다면,  $X_t$ 는 용수수요를 만족시키거나 만족시키지 못하는 두 가지 상태로 분류할 수 있다. 모의운영의 결과로 얻은 유량이 사용자의 용수수요를 만족시킬 때를 S(Success), 만족시키지 못할 때를 F(Failure)라 한다면, 어떠한 기간 t에서 모의운영의 결과는 두 상태중 하나를 따르게 된다. 신뢰도는 다음 식 (2)와 같이 확률로서 표현이 가능하다.

$$\alpha = Prob [ X_t \in S ] \quad (2)$$

하지만, 신뢰도만으로는 실패의 결과가 얼마만큼 심각한가에 대한 평가를 하지 못하기 때문에 저수지의 실패(Failure)를 엄밀히 설명할 수가 없고, 이를 위해서는 다음에 설명할 복원도(Resiliency)와 취약도(Vulnerability)의 개념이 필요하다.

### 2.4 복원도(Resiliency) 평가

“저수지의 저류량으로 용수공급에 실패(Failure)한 후 얼마나 빨리 성공상태로 회복이 되느냐”에 대한 문제는 복원도(Resiliency)로서 평가가 가능하다. Hashimoto 등(1982)은 복원도를 다음과 같이 정의하였다. 시스템이 용수공급을 만족시키지 못하는 기간을  $T_F$ 라 한다면, 복원도는  $T_F$ 의 기대값의 역수로 표현된다.

임의의 기간 t에서 저수지의 상태를 다음과 같이 무작위 변수  $Z_t$ 로 나타낸다.

$$\begin{aligned} Z_t &= 1, & X_t &\in S \\ Z_t &= 0, & X_t &\in F \end{aligned}$$

여기서,  $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t$ 는 t=1부터 t=n 까지의 수요를 만족시키고, 장기간 저수지를 운영한다면, 식 (3)과 같이 저수지가 수요를 만족시키는 확률이 되며, 이는 식 (2)의 신뢰도와 같아진다.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Z_t = \alpha \quad (3)$$

또한, 임의의 기간 t에서 저수지의 상태가 다음과 같다고 하고 장기간 운영하면, 어떠한 기간 t에서 저수지가 성공하고, t+1에서 실패할 확률  $\rho$ 는 식 (4)로 나타낼 수 있다. 여기서  $W_t$ 는 이진변수(binary variable)로 다음과 같은 경우에 각각 0 또는 1의 값을 갖는다.

$$\begin{aligned} W_t &= 1, & X_t \in S, & X_{t+1} \in F \\ W_t &= 0, & \text{otherwise} \end{aligned}$$

$$\rho = \text{Prob}\{X_t \in S, X_{t+1} \in F\} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n W_t \quad (4)$$

저수지가 수요를 만족시키지 못하는 동안의 평균시간  $\bar{T}_F$ 는 다음의 식 (5)와 같이 표현되고, 이때 운영기간 n을 무한히 늘린다면  $\bar{T}_F$ 의 기대값은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{T}_F = \frac{1}{\rho} \sum_{t=0}^{\infty} (1 - Z_t) \left( \frac{1}{n} \sum_{t=0}^n W_t \right)^{-1} \quad (5)$$

$$E[T_F] = \frac{1 - \alpha}{\rho} \quad (6)$$

따라서, 복원도  $\gamma$ 는  $T_F$ 의 역수이므로 식 (7)로써 산정이 가능하다. 단, 신뢰도  $\alpha = 1$ 일 경우는 복원도가 존재할 수 없으므로  $\alpha \neq 1$ 이다.

$$\gamma = \frac{\rho}{1 - \alpha} = \frac{\text{Prob}\{X_t \in S \text{ and } X_{t+1} \in F\}}{\text{Prob}\{X_t \in F\}} \quad (7)$$

## 2.5. 취약도(Vulnerability) 평가

“저수지의 용수공급 실패(Failure)의 결과가 얼마나 심각한가”에 대한 문제는 취약도(Vulnerability)로써 평가가 가능하다. Hashimoto 등(1982)은 취약도(Vulnerability)에 대한 수학적 개념을 도출하였다. Moy (1983)에 의하면 취약도는 일반적으로 평균과 분산에 의해 표현되기 힘든 드문 극한사상을 측정하기 위하여 개

발되어졌고, 저수지 운영에 있어 이러한 극한사상을 모의 운영 기간동안 발생한 최악의 부족량으로 정의하였다. 국내에서는 심명필 등 (1997)이 신뢰도, 복원도, 취약도 등의 지표를 수학적으로 정의하고 저수지 시스템의 기능 수행 능력을 평가하였다. 본 논문에서 취약도는 모의운영 기간 동안 발생한 최악의 부족량으로 평가하였다.

## 3. 저수용량 재할당 기법의 적용

### 3.1 저수용량 재할당 방안

본 연구에서는 저수용량 재할당 방안으로 Johnson 등(1990)이 제안한 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당하는 방안을 선택하였다. 이러한 재할당방안은 유역 내에 신규 저수지의 추가 건설로 홍수조절량을 분담할 수 있는 경우에 가능하고, 금강유역 대청댐의 경우 상류에 용담댐이 신규로 건설되어 홍수조절 역할을 분담할 것으로 기대되므로, 기존의 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당할 가능성을 평가하였다.

### 3.2 저수용량 재할당 계획

본 연구에서는 대청댐의 재할당 계획을 여섯 가지 대안으로 분류하였다. 용담댐 완공후 대청댐에서의 이수용량의 상대적인 변화를 평가하기 위하여 대안 1에서는 대청댐을 단독으로 운영하고, 대안 2에서 용담댐과 연계운영을 실시하였다. 대안 3 ~ 6는 대청댐의 상시만수위를 변화시키기에 따른 이수용량의 변화를 대안 2와 비교하기 위하여 대청-용담댐 연계운영을 실시하였다. 각 대안별 대청댐의 수위 할당 계획을 표 1에 제시하였다.

### 3.3 HEC-5의 이수 운영

이수용량의 변화를 분석하기 위한 기본자료를 획득하기 위하여 HEC-5를 사용한 저수지 모의운영을 수행하였다. HEC-5 저수지 모의운영 프로그램은 미공병단에서 개발된 HEC series 중 하나로, 단일 저수지 및 다중 저수지의 홍수조절은 물론 이수기의 저수지 운영을 모의할 수 있다. HEC-5에 사용되는 저수지 운영기준을 간략히 요약하면 다음과 같다.

(1) 각 저수지에 대한 제한조건을 만족시키고 하류 조절지점에서의 지정유량을 유지시키며, 시스템을 조화롭게 유지시키기 위해 운영한다. 각 저수지의 제약조건은 다음과 같다.

- ① 저수지의 수위가 상시만수위와 계획홍수위 사이에 위치할 경우 저수지의 방류설비용량 및 하류조절점의 하도 통수능을 초과하지 않는 범위 내에서 수위가 상시만수위로 저하될 때까지 방류한다.

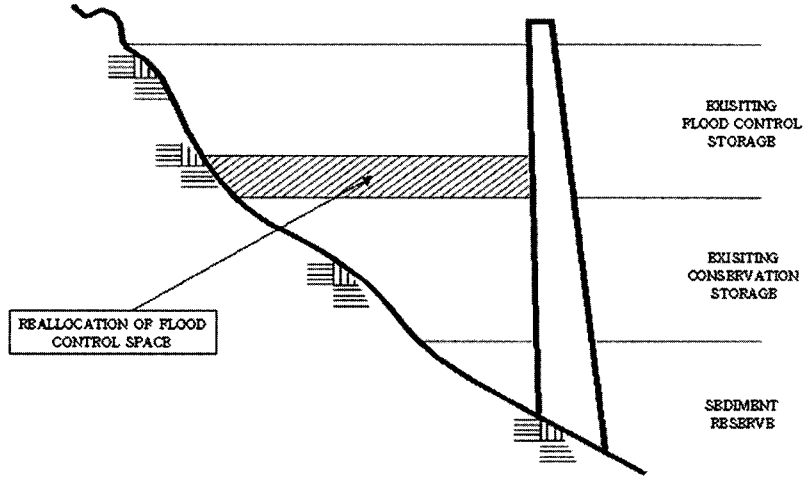


그림 1. 홍수조절용량의 재할당

표 2. 대안별 수위 할당 계획

(단위 : EL.m)

수위	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6	비 고
	단축 기본 상시만수위	연계 기본 상시만수위	연계 상시만수위 1m 증가	연계 상시만수위 2m 증가	연계 상시만수위 1m 감소	연계 상시만수위 2m 감소	
최 고 수 위	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	
계 획 홍 수 위	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	대청댐 홍수기 가변수위 운영
상 시 만 수 위	76.5	76.5	77.5	78.5	75.5	74.5	- 6.20 ~ 7.20 : 72.0 - 7.21 ~ 8.31 : 74.0
저 수 위	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	- 9.1 ~ 9.20 : 74 ~ 76.5

- ② 수위가 저수위 이상일 경우 하류 지역의 Minimum Desired Flow 이상을 방류해야 하며, 수위가 저수위와 사수위 중간에서는 Minimum Required Flow만 방류하고 사수위 이하일 경우 방류를 중단한다.
  - ③ 홍수시 방류는 계획홍수위 이내에서는 규정된 하도의 통수능 이내로 하고, 초과 시는 방류설비가 허용하는 한 전량 방류한다. 방류설비의 통수능이 부족할 경우에는 surcharge routing을 한다.
  - ④ 저수지가 surcharge operation을 하는 경우를 제외하고는 저수지의 방류량은 댐 지점에서의 하도 통수능을 초과하지 않도록 한다.
- (2) 하류의 조절점에 대한 수문조절이 가능한 저수지 운영기준

- ① 저수지의 홍수조절용량에 여유가 있는 한, 예측기간 동안 하류조절점에서의 홍수조절을 위해 방류하지 않는다.
  - ② 저수지 방류는 홍수시에는 하류하도의 통수능에 따라 방류하고, 용수공급 차원에서는 하류의 최소 필요유량에 따라 방류한다.
- (3) 수문에 의한 조절방류가 가능한 저수지군에서 수위의 등가 조정에 의한 홍수시 운영기준
- ① 하나의 조절지점에 대해 두개 이상의 저수지가 병렬로 운영되는 곳에서 하류지역에서의 유량을 목표치까지 증가시키기 위해서는 지침수위(index level)가 가장 높은 저수지부터 지침수위의 순서에 따라 방류한다.
  - ② 두개의 병렬저수지 중 어느 한 저수지의 상류에

두 저수지간의 방류 우선순위 결정시 고려해야 할 저수량을 가지는 저수지가 있을 경우, 등가저 침수위는 직렬로 연결된 각 저수지의 저수량을 합한 저수량을 기준으로 결정한다.

- ③ 두 개의 저수지가 직렬로 연결되어 있을 경우는 상류 저수지는 두 저수지 사이의 조절지점에 대해 운영될 수 있다.

### 3.3.1 유입량 자료

용담댐의 유입량자료는 1963년부터 1990년까지는 급강수계 기존댐 용수공급능력 조사보고서(건설교통부, 1998)의 자료를 사용하였으며, 1991년부터 2000년까지의 유입량은 대청댐의 유입량을 기준으로 유역면적비를 이용하여 환산하여 구성하였다. 대청댐의 유입량 자료

는 1981년부터 2000년까지는 다목적댐 운영 실무편람(수자원공사, 2002) 자료를 기본으로 대청다목적댐 저수지 운영방안연구 보고서(산업기지도개발공사, 1986)의 1963년부터 1984년까지의 유입량 자료를 보완, 수정하여 구성하였다.

### 3.3.2 용수이용 자료

저수지의 모의운영에는 과거와 미래의 용수이용 자료가 포함된다. 생활용수, 공업용수, 농업용수 및 하천유지용수가 대표적인 용수이용 자료이고, 이러한 용수는 댐내 취수 또는 댐하류 취수를 통해 공급된다. 다목적댐 운영 실무편람(1998)을 참조하여 표 2에 대청댐의 월별 용수공급 계획을 제시하였다.

표 3. 대청댐 월별 용수공급 계획

(단위 : m<sup>3</sup>/s)

취수방법	월	생·공용수	농업용수	하천유지용수	계	월	생·공용수	농업용수	하천유지용수	계
저수지내	1월	20.9	0.0	0.0	20.9	7월	20.9	0.0	0.0	20.9
댐 하류		20.3	0.0	0.0	20.3		20.3	24.3	0.0	44.6
저수지내	2월	20.9	0.0	0.0	20.9	8월	20.9	0.0	0.0	20.9
댐 하류		20.3	0.0	0.0	20.3		20.3	21.2	0.0	41.5
저수지내	3월	20.9	0.0	0.0	20.9	9월	20.9	0.0	0.0	20.9
댐 하류		20.3	0.0	0.0	20.3		20.3	18.1	0.0	38.4
저수지내	4월	20.9	0.2	0.0	21.1	10월	20.9	0.2	0.0	21.1
댐 하류		20.3	0.9	0.0	21.2		20.3	0.0	0.0	20.3
저수지내	5월	20.9	0.9	0.0	21.8	11월	20.9	0.9	0.0	21.8
댐 하류		20.3	3.9	0.0	24.2		20.3	0.0	0.0	20.3
저수지내	6월	20.9	9.5	0.0	30.4	12월	20.9	9.5	0.0	30.4
댐 하류		20.3	38.1	0.0	58.4		20.9	0.0	0.0	20.9
계	취수방법		생·공용수		농업용수		하천유지용수		계	
	저수지내	m <sup>3</sup> /s	20.9		2.2		0.0		23.1	
		106m <sup>3</sup>	660.0		70.0		0.0		730.0	
	댐하류	m <sup>3</sup> /s	20.3		8.8		0.0		29.1	
		106m <sup>3</sup>	240.0		279.0		0.0		919.0	
	총계	m <sup>3</sup> /s	41.2		11.0		0.0		52.2	
106m <sup>3</sup>		1,300.0		349.0		0.0		1,649.0		

## 4. 재할당에 따른 이수능력 평가 결과

### 4.1 이수용량 평가

수위하강 빈도분석에 입력자료로 사용된 수위하강

빈도, 즉, 이수용량이 완전히 소모되는 경우와 50% 소모되는 수위하강 결과를 그림 2 ~ 그림 7에 제시하였다.

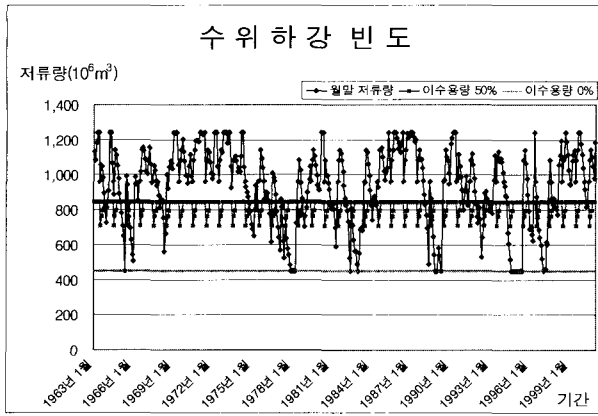


그림 2. 수위하강 빈도(대안 1)

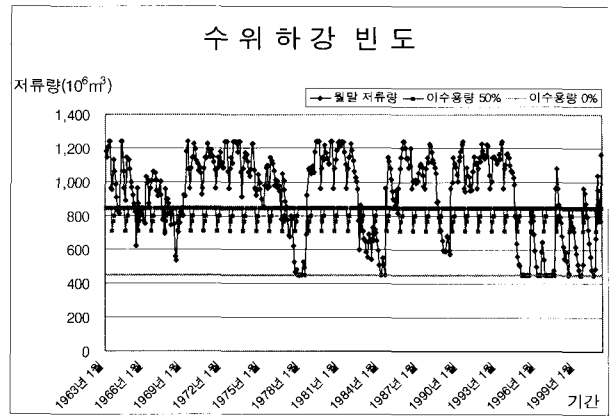


그림 3. 수위하강 빈도(대안 2)

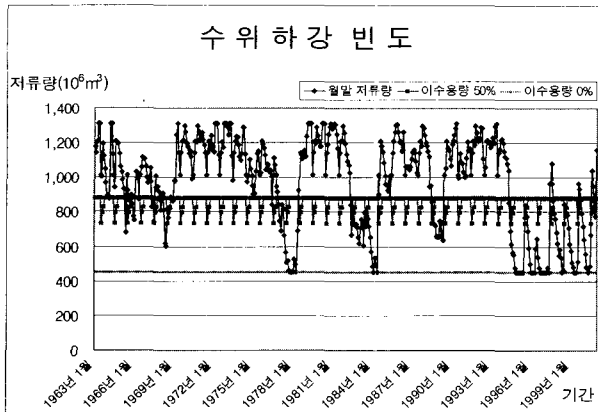


그림 4. 수위하강 빈도(대안 3)

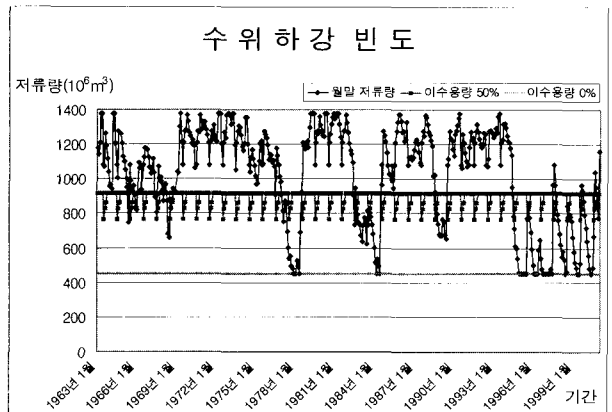


그림 5. 수위하강 빈도(대안 4)

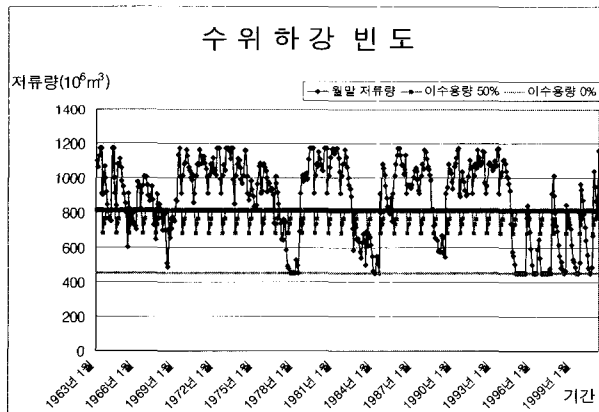


그림 6. 수위하강 빈도(대안 5)

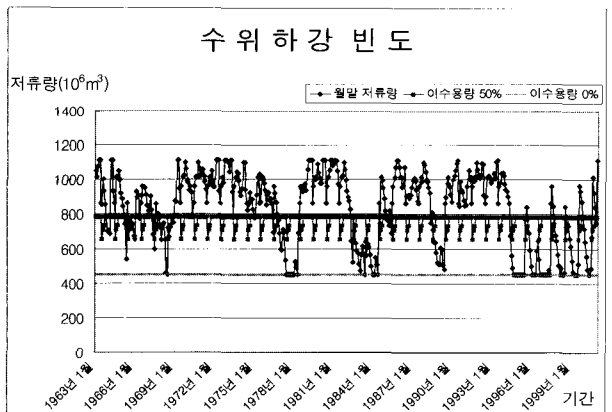


그림 7. 수위하강 빈도(대안 6)

위 그림의 수위하강 횟수로 총 모의운영 기간인 456개월을 나눔으로써 수위하강의 재현기간을 산정하였고, 그 결과를 표 3에 제시하였다.

대청댐 단독운영의 경우(대안 1) 이수용량이 최소한 50% 소모되는 횟수와 완전히 소모되는 횟수는 각각 135회, 25회에서 용담댐과의 연계운영의 경우(대안 2)에서는 각각 142회, 37회로 증가하고, 이수용량이 완전히

소모되는 재현기간이 18.24개월 이상에서 12.32개월로 감소하는 것을 표 3에서 확인할 수 있다. 대청-용담댐 연계운영시 수위하강 빈도가 증가하는 이유는 용담댐에서 전주권으로의 도수량이 15.63m<sup>3</sup>/s에 달하기 때문이다. 대안 3과 대안 4의 경우 대안 2와 비교하여 수위하강 횟수가 약간 감소하는 것을 볼 수 있다.

표 3. 대안별 이수용량 모의운영 결과

구분		대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
		단독	연계	연계	연계	연계	연계
		기존 상시만수위	기존 상시만수위	상시만수위 1m 증가	상시만수위 2m 증가	상시만수위 1m 감소	상시만수위 2m 감소
최 소 한 50% 소모	수위하강 횟수(회)	135	142	139	129	145	148
	재 현 기 간 (달)	3.38	3.21	3.28	3.53	3.14	3.08
완 전 히 소 모	수위하강 횟수(회)	25	37	33	31	39	48
	재 현 기 간 (달)	18.24	12.32	13.82	14.71	11.69	9.5

표 4. 대청댐 연평균 발전용량

(단위 : GWh)

구분		대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
		단독	연계	연계	연계	연계	연계
		기존 상시만수위	기존 상시만수위	상시만수위 1m 증가	상시만수위 2m 증가	상시만수위 1m 감소	상시만수위 2m 감소
연 평균 발 전 량		166.86	131.86	133.50	135.28	129.83	127.89

#### 4.2. 발전량 평가

각 대안별 저수지 모의운영 결과로 얻은 연평균 발전량을 표 4에 제시하였다.

대청댐 단독운영시 연평균 발전량은 모의운영 결과 166.86GWh로 나타났다. 용담댐과의 연계운영인 대안 2의 경우에는 131.86GWh로 약 35GWh가 감소하였다. 대안 3과 대안 4의 경우 대청댐의 상시만수위가 각각 1m, 2m 증가한만큼 발전에 사용할 수 있는 용수량과 유효낙차가 증가하였기 때문에 연평균 발전량이 약 2 ~ 4GWh 정도 증가함을 확인할 수 있다. 이와 반대로 대청댐의 상시만수위를 각각 1m, 2m 감소시킨 대안 5와 대안 6의 경우는 연평균 발전량 또한 감소하는 결과를 보인다.

#### 4.3 신뢰도(Reliability) 평가

대청댐의 용수공급 신뢰도를 평가하기 위하여 대청댐의 용수공급량 즉, 방류량과 도수량의 합이 대청댐의 월별 용수공급 계획량을 만족시키는 달의 수를 모의운

영 기법으로 도출하여 식 (2)에 의하여 신뢰도를 계산하였다. 그림 8 ~ 13은 각 대안별로 HEC-5 모의운영 결과로부터 획득한 대청댐의 용수 공급량과 표 2의 대청댐 월별 용수 공급계획의 관계를 도시한 것이다. 이 자료를 입력자료로 하여 대청댐의 용수공급 신뢰도를 산정하였으며, 그 결과를 표 5에 제시하였다.

대청댐 단독운영(대안 1)의 경우 총 모의 운영기간 456달 중 용수 수요량을 만족시키는 달의 횟수가 432회로 용수공급 신뢰도는 94.74%로 나타났다. 용담댐과의 연계운영(대안 2)에서 용수공급 신뢰도가 92.11%로 감소된 이유는 용담댐에서의 도수량이 상당히 크기 때문에 대청댐으로의 유입량이 감소하기 때문이다. 대안 3과 대안 4의 경우 이수용량이 증가하여, 용수공급 신뢰도는 각각 92.98%, 93.64%로 대안 2의 92.11%과 비교하여 0.87%, 1.53% 증가하였다. 대청댐의 상시만수위를 각각 1m, 2m 증가시킨 대안 3과 대안 4의 경우 대청댐 단독운영인 대안 1의 경우보다는 용수공급 신뢰도가 감소하나, 대안 2 즉, 용담-대청댐 연계운영 보다는 용수공급 신뢰도가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

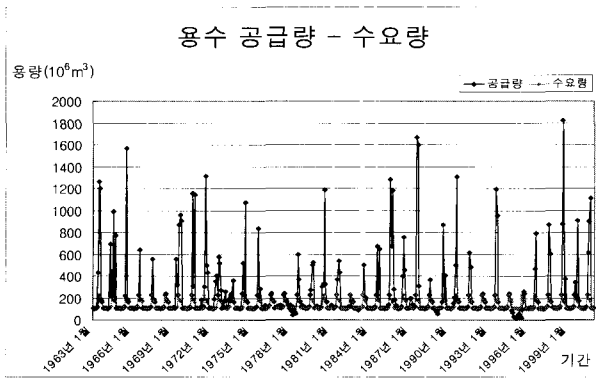


그림 8. 용수 공급량-수요량(대안 1)

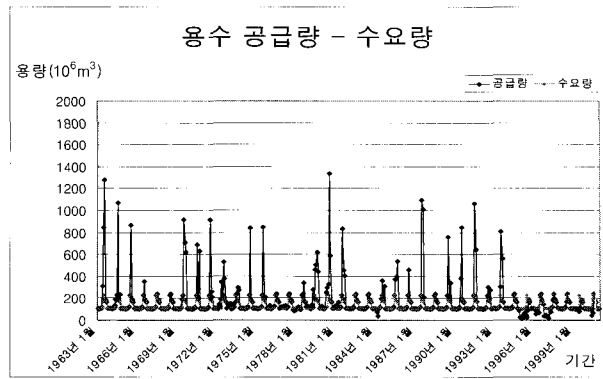


그림 9. 용수 공급량-수요량(대안 2)

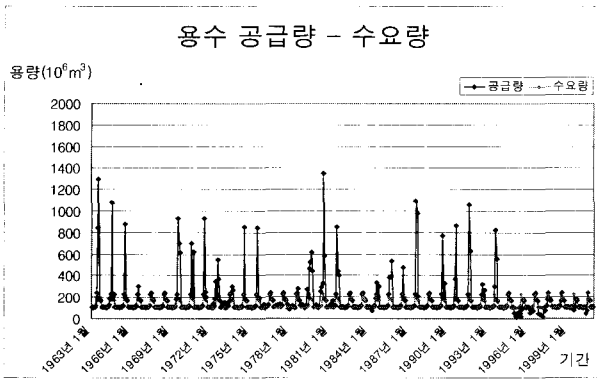


그림 10. 용수 공급량-수요량(대안 3)

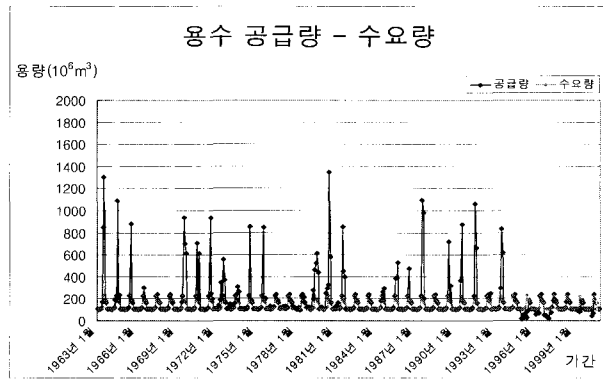


그림 11. 용수 공급량-수요량(대안 4)

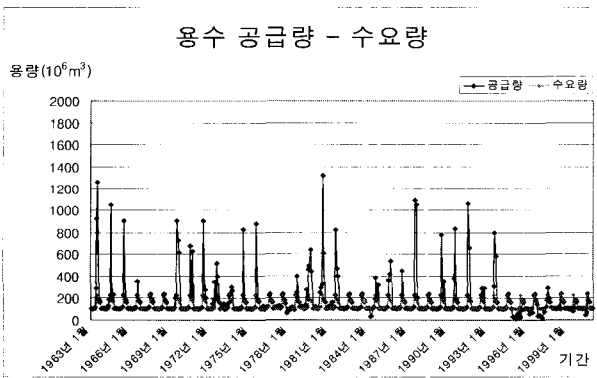


그림 12. 용수 공급량-수요량(대안 5)

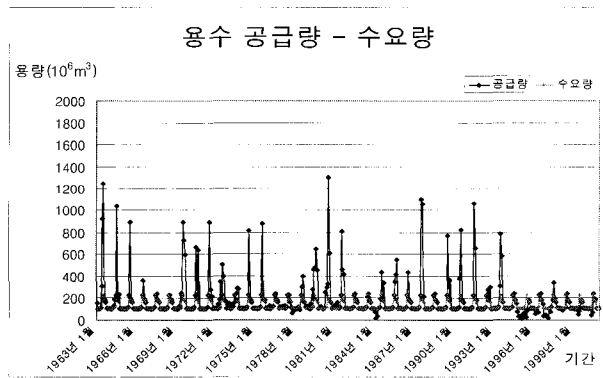


그림 13. 용수 공급량-수요량(대안 6)

표 5. 신뢰도 평가 결과

구분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
	단독	연계	연계	연계	연계	연계
	기존 상시만수위	기존 상시만수위	상시만수위 1m 증가	상시만수위 2m 증가	상시만수위 1m 감소	상시만수위 2m 감소
용수수요량 만족 달 수	432	420	424	427	418	411
신뢰도 (%)	94.74	92.11	92.98	93.64	91.67	90.13



#### 4.4 복원도(Resiliency) 평가

식 (7)에 의하여 각 대안별 복원도를 평가하였고, 결과를 표 6에 제시하였다.

복원도(Resiliency) 평가 결과 대청댐 단독운영(대안 1)의 경우 복원도는 0.375로 평가되었다. 대청-용담댐 연계운영시 복원도는 0.306으로 대청댐 단독운영시 보다 약 0.07정도 감소하였다. 저수지 복원도의 경우도 근본적으로 저수지의 유입량에 의해 변화하므로, 용담댐에서의 도수량으로 인한 대청댐으로의 유입량 감소가 연계운영시 복원도를 감소시키는 원인이 된다. 대청댐의 상시만수위를 각각 1m, 2m 증가시킨 대안 3과 대안 4의 경우에 복원도는 대안 2의 경우와 비교할 때, 약

0.04, 0.07정도 증가하고, 특히 대안 4 경우의 복원도는 대청댐 단독운영시보다 커지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 대청댐의 상시만수위를 2m 증가시키면, 용담댐에서 전주권으로 용수를 도수하더라도 복원도는 대청댐의 단독운영시 보다 증가한다는 결과를 얻을 수 있다. 대안 5와 대안 6의 경우는 대청댐의 저류량이 감소하여 용수 공급량이 적어지기 때문에 복원도 또한 감소한다.

#### 4.5 취약도(Vulnerability) 평가

각 대안에 대하여 총 모의운영 기간동안 최악의 용수공급 부족량으로 측정된 취약도 평가의 결과를 표 7에 제시하였다.

표 6. 복원도(Resiliency) 평가 결과

구분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
	단독	연계	연계	연계	연계	연계
	기존 상시만수위	기존 상시만수위	상시만수위 1m 증가	상시만수위 2m 증가	상시만수위 1m 감소	상시만수위 2m 감소
Wt	9	11	11	11	11	13
p	0.0197	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241	0.0285
a	0.9474	0.9211	0.9298	0.9364	0.9167	0.9013
l a	0.0526	0.0789	0.0702	0.0636	0.0833	0.0987
v	0.375	0.306	0.344	0.379	0.290	0.289

표 7. 취약도(Vulnerability) 평가 결과

구분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
	단독	연계	연계	연계	연계	연계
	기존 상시만수위	기존 상시만수위	상시만수위 1m 증가	상시만수위 2m 증가	상시만수위 1m 감소	상시만수위 2m 감소
최대 공급 부족량 (MCM)	482.0	675.5	675.5	673.2	675.5	675.5

취약도(Vulnerability)의 평가결과 대청댐 단독운영(대안 1)의 경우 취약도, 즉, 모의운영 기간동안 용수공급량의 최대 부족량이 482MCM으로 나타났다. 대청-용담댐 연계운영인 대안 2 - 대안 6에서 대청댐의 취약도는 675.5MCM으로 평가되었다. 이처럼 대청댐의 상시만수위를 증가 또는 감소시키더라도 취약도가 변하지 않는 것은 위의 결과가 도출된 1995년의 극심한 가뭄으

로 인하여 공급할 수 있는 용수가 없었기 때문이다.

### 5. 결 론

저수지의 용량 제한당을 평가하고 결정하기 위해서는 수문학적 고려, 즉, 공학적 고려뿐만 아니라 경제적 타당성, 법적 가능성, 환경에 미치는 영향에 대한 평가, 제도적 문제, 사회적 수용 가능성 등도 고려해야 하지

만, 본 연구에서는 예비조사 차원에서 기존의 저수지 운영시스템의 효율을 최적화하기 위한 방안으로서 수문학적, 통계학적 분석을 통한 이수능력의 변화를 분석하였다.

본 연구에서는 금강유역의 대청댐을 대상으로 여러 가지 재할당 기법 중 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당하는 기법을 적용하여 모의운영과 통계학적 방법을 통하여 이수용량의 변화를 평가하였고, 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 대청댐의 상시만수위를 증가시켜 운영했을 경우 대청댐 단독운영의 경우보다 수위하강 빈도가 증가하나 현재 수위로 운영했을 경우보다는 수위하강 빈도가 감소한다.
- 2) 모의운영의 결과로 발전량과 신뢰도를 평가한 결과 상시만수위를 증가시켰을 경우에 현재의 상시만수위로 운영했을 경우보다 발전량은 약 2 ~ 4GWh, 신뢰도는 약 0.9% ~ 1.5% 정도 증가한다.
- 3) 용담-대청댐 연계운영시 대청댐의 단독운영시보다 복원도는 감소한다. 그러나 대청댐의 상시만수위를 2m 증가시켰을 경우 복원도는 대청댐의 단독운영시보다 증가하는 결과를 보인다.
- 4) 취약도의 평가 결과 대청댐 단독운영보다 대청-용담댐 연계운영시에 최대 공급 부족량이 약 200MCM 정도 크게 산정되었으며, 연계운영시에는 상시만수위가 변화에도 최대 공급 부족량은 크게 변하지 않았다. 이는 1995년의 극심한 가뭄으로 인한 결과라고 판단된다.

2001년 완공되어 운영중인 용담댐으로 인하여 대청-용담댐 연계운영시에는 대청댐의 단독운영보다 전체적인 이수능력이 감소하는 결과를 보였다. 이는 용담댐에서의 전주권으로의 15.63m<sup>3</sup>/s(135만톤/일)를 도수함으로써 대청댐으로의 유입량이 감소했기 때문이라 판단된다.

용담댐의 완공으로 금강유역의 수문상황은 상당히

변화하였으며, 그중 대청댐의 이수능력은 급격히 감소하였다. 본 논문에서는 예비조사 차원에서 수문학적, 통계학적 분석을 실시하였지만, 이러한 변화를 반영하고 미래의 용수수요의 증가를 감안한다면, 좀더 세밀한 분석을 통하여 저수용량의 재할당의 가능성을 평가하는 것이 바람직하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-4-1)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- 건설교통부 (1998). **기존댐 용수공급능력 조사(금강수계)**. 산업기지 개발 연구 공사 (1986). **대청다목적댐 저수지 운영방안연구 보고서**. 수자원공사 (2002). **다목적댐 운영 실무 편람**. 심명필, 이봉희, 김경탁 (1997). 저수지 물공급을 위한 신뢰도 분석에 관한 연구, **한국수자원학회논문집**, 제30권, 제5호, pp. 527~537.
- Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks, D.P. (1982). "Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 14-20.
- Johnson, W.K., Wurbs, R.A., and Beegle, J.E. (1990). "Opportunities for reservoir storage reallocation." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 116, No. 4, pp. 550-566.
- Moy, W.S. (1983). *Reliability, resilience, and vulnerability in reservoir operation*. Ph.D. dissertation, University of Johns Hopkins.

(논문번호:03-91/접수:2003.10.17/심사완료:2004.03.24)