

## 다목적댐 용량 재할당에 의한 용수공급량 증대

○이재용<sup>1)</sup>, 권용익<sup>2)</sup>, 안태진<sup>3)</sup>, 김형수<sup>4)</sup>, 윤용남<sup>5)</sup>

### 1. 서론

우리나라에서는 저수지가 건설되기 이전에 이미 이용 계획에 따라 용량이 할당되고, 방류량의 조절로 운영 정책이 확립된다. 이렇게 수립된 저수지 할당 계획은 댐의 증고 또는 용도변경과 같은 특별한 사항이 발생하기 전까지는 변화되지 않는다. 하지만 시간이 경과함에 따라 공공의 필요성과 목적에 변화가 발생할 수 있고, 최초 용수공급 목적의 변화와 새로운 목적에 용수를 공급하기 위해 할당량과 운영정책이 변경될 수 있고, 최초 목적의 사용량과 우선권이 변할 수도 있으므로, 주기적으로 저수지의 재할당을 분석하고 고려할 수 있어야 한다. 국내의 기존 다목적댐들 중의 일부는 이미 건설 후 많은 시일이 경과하여, 건설 당시와 비교할 경우 주변 수문상황의 변화, 용수수요 및 에너지수요의 변화, 홍수터의 개발, 인근에 신규댐의 건설, 댐 용수 이용목적 우선순위의 변화 등 많은 변화가 발생했기 때문에 이를 반영하기 위한 하나의 대안으로서 다목적댐의 용량 재할당에 대한 연구가 필요하게 되었다. 과거 저수지 재할당에 대한 연구로는 William K. Johnson, Ralph A. Wurbs 등(1990)이 어떠한 경우에 저수용량을 재할당하는지에 대한 기준을 제시하였고, Ralph A. Wurbs와 L. Moris Cabezas (1987)은 수문학적·경제학적 평가방법을 통하여 이수용량과 홍수조절용량 사이의 용량 재할당을 실시 하였다.

본 연구의 목적은 기존댐을 효율적으로 이용하기 위하여 기존 다목적댐의 용량 할당 현황을 검토하고 국내 실정에 적합하도록 저수용량을 재할당하여 용수공급량의 증대효과를 분석하는데 있다. 이를 위하여 대청다목적댐을 선정, 재할당 기법을 적용하여 설계홍수량의 변화 영향을 검토하였다.

### 2. 저수지 재할당

본 연구에서는 금강유역의 대청댐을 대상으로 다양한 다목적댐 재할당의 평가를 위해 모의운영 기법을 적용하였다. 대청댐을 대상으로 선정한 이유는 1) 2001년 대청댐 상류에 용담댐 완공, 운영으로 인한 수자원 상황 변화, 2) 행정수도 이전 계획에 따른 용수수요 증가 예상, 3) 시스템 구성의 용이성 등이다. 또한, 용량 재할당의 방법으로는 다음 그림에 제시된 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당하는 방안을 선택하였고, 전반적

- 1) 아주대학교 환경도시공학부 조교수
- 2) 아주대학교 건설교통공학과 석사과정
- 3) 환경대학교 이공학부 조교수
- 4) 인하대학교 공과대학 토목공학과 조교수
- 5) 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

인 평가기법은 저수지 시스템의 모의운영과 다음 네 가지 분석결과를 따른다.

1. 홍수조절용량 검토
2. 이수용량 검토
3. 발전량과 신뢰도에 대한 검토
4. 복원도(Resiliency)에 대한 검토

본 논문에서는 이 중에서 저수용량 재할당 이 홍수조절에 미치는 영향을 분석하였다.

그림 1은 홍수조절용량의 재할당을 보여 주고 있으며, 이와 같은 재할당 기법은 다음의 네 가지 경우에 적용이 가능하다.

첫째, 재할당량이 적어 홍수조절에 큰 영향이 없을 경우 재할당을 고려할 수 있다.

둘째, 하류의 홍수터에 홍수에 대한 대책이 변화되었거나 추가되었을 경우 홍수조절용량의 재분배가 가능하다.

셋째, 홍수조절용량이 과대 설계된 경우 이를 다른 목적으로 사용 가능하다.

네째, 유역내에 신규 저수지의 추가 건설로 홍수조절량을 분담하는 경우 재할당이 가능하다. 우리나라의 대청댐의 경우도 상류에 용담저수지가 신규로 건설됨으로서 기존의 용량을 재할당할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

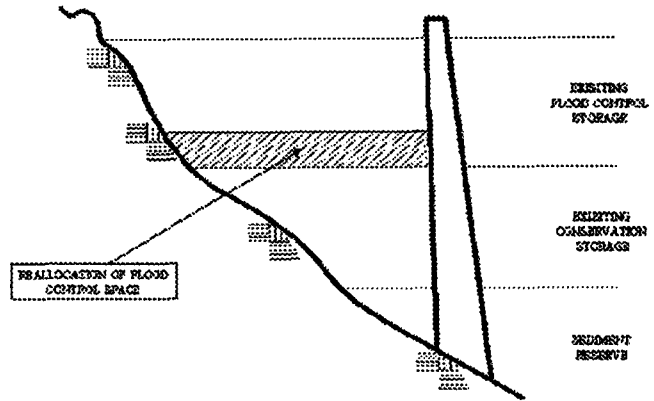


그림 1. 홍수조절용량의 재할당

### 3. 대안별 저수지 재할당이 홍수조절에 미치는 영향

홍수조절용량과 이수용량 사이의 용량 재할당을 여섯 가지 대안으로 구분하여 홍수조절에 미치는 영향에 대한 분석을 실시하였다. 본 연구에 사용된 여섯 가지 대안은 다음과 같으며, 대안 1은 용담댐의 영향 없이 대청댐을 단독으로 운영하였을 경우이며, 상류에 용담댐이 완공된 후 대청댐에서의 홍수조절용량과 이수용량의 상대적인 변화를 평가하기 위해 대안 2에서 대청-용담댐의 연계운명을 실시하였다. 대안 3 ~ 대안 6은 각각 대청댐의 상시만수위를 변화시킴에 따른 대청댐의 홍수조절용량과 이수용량의 상대적인 변화를 평가하기 위해 대청-용담댐의 연계운명을 실시하였다.

- 대안 1 : 기존 대청댐(대청댐 단독 운영)
- 대안 2 : 기존 대청댐(대청-용담댐 연계 운영)
- 대안 3 : 기존 대청댐 상시만수위를 1m 증가(대청-용담댐 연계 운영)
- 대안 4 : 기존 대청댐 상시만수위를 2m 증가(대청-용담댐 연계 운영)
- 대안 5 : 기존 대청댐 상시만수위를 1m 감소(대청-용담댐 연계 운영)
- 대안 6 : 기존 대청댐 상시만수위를 2m 감소(대청-용담댐 연계 운영)

저수지에서 다양한 홍수조절 대안들이 홍수조절의 효율성에 미치는 영향을 평가하기 위해 전통적으로 통계학적, 가상적 유입수문곡선을 저수지까지 추적하는 방법 등을 많이 사용한다. 저수지 홍수조절의 효율성은 홍수조절용량을 초과하지 않는 가장 큰 홍수의 확률로 표현될 수 있다.

본 연구에서는 여러 가지 저수용량 재할당 대안에 대하여 홍수조절 공간을 100% 채우는 유량에 관한 초과 확률을 추정하는 기법을 사용하였다. 이를 위하여 모의운영에서 획득한 월말 저류량을 이용하여 빈도해석을 수행하였다.

초과확률 P는 어느 해에 주어진 크기와 같거나 초과하는 확률로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 주어진 홍수조절 용량을 100% 채울 수 있는 연 최대 저류량의 초과확률을 산정하고, N년의 모의 운영기간 동안 발생하는 연 최대 저류량 자료계열을 이용하여 다양한 대안에 따른 홍수조절 용량을 평가, 분석하였다. 홍수조절용량의 100%를 초과하는 연 최대 저류량이 존재할 경우, 저수지의 홍수조절용량이 무한하다고 가정했을 때 발생했을 저류량으로 수정하였다. 따라서, 이 경우 무작위 변수인 연 최대 저류량은 홍수조절용량의 100%보다 커질 수 있다.

빈도분석을 위한 자료 계열은 모의운영으로 계산된 월말 저류량을 이용하였다. 사실 순간 연 최대 저류량은 연 최대 월말 저류량보다 클 것이다. 따라서, 어느 달의 최대 저류량은 최대 저류가 발생한 후 방류를 실시한다는 가정 하에 월말 저류량에 그 달의 총방류량을 더하고 그 달의 일정방류량(하천유지용수 또는 하류 용수공급에 따른 방류량), 증발량, 도수량을 제하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$Q_t = S_t + R_t - RR_t - E_t - D_t \quad (1)$$

여기서,  $Q_t$ 는 홍수조절 공간 분석에 사용할 월 t의 말기 저류량,  $S_t$ 는 월 t의 말기 저류량,  $R_t$ 는 월 t 동안의 총 방류량,  $RR_t$ 는 월 t 동안의 일정방류량(하천유지용수 또는 하류 용수공급에 따른 방류량),  $E_t$ 는 월 t 동안의 증발량,  $D_t$ 는 월 t 동안의 댐내 취수량이다.

본 연구에서는 다목적댐 홍수조절용량의 25% 미만의 연 최대 저류량은 25%를 초과하는 연 최대 저류량과 확률분포가 상이하다고 가정하고, 홍수조절용량의 25%를 초과하는 첨두저류량을 발생시키는 홍수사상만 고려하였다.

총확률이론에 근거한 빈도분석기법에 의해 사상 A의 발생확률을 식 (2)와 같이 표시할 수 있다.

$$P(A) = P(A | E_1)P(E_1) + P(A | E_2)P(E_2) \quad (2)$$

본 연구에서 각 사상을 다음과 같이 정의하고, 다음의 정의에 의해,  $P(A | E_2) = 0$ 이다.

A : 홍수조절용량의 100%와 같거나 초과하는 최대 저류량

$E_1$  : 홍수조절용량의 25%와 같거나 초과하는 최대 저류량

$E_2$  : 홍수조절용량의 25% 미만의 최대 저류량

N년 동안 모의 운영된 연간 최대 저류량은 (1) 홍수조절용량의 25% 이상의 연 최대 저류량과 (2) 홍수조절용량의 25% 미만의 연 최대 저류량의 두 가지의 범주로 나누어진다. 어느 해에 홍수조절용량의 25% 이상의 연 최대 저류량이 발생할 확률  $P(E_1)$ 는  $n/N$ 으로 계산된다. 여기서 N은 모의운영 자료의 총 연 수이고, n은 최대 저류량이 홍수조절용량의 25%를 초과하는 자료의 연 수이다.

홍수조절용량의 25% 이상의 연 최대 저류량이 발생한다는 조건에서 홍수조절용량의 100% 이상의 연 최대 저류량이 발생할 확률,  $P(A | E_1)$ 을 추정하기 위하여 극치값 Type I 분포를 사용하였다.

$$P = 1 - \exp\left(-\exp\left(-\frac{1}{0.7797s}(X - \bar{X} + 0.45s)\right)\right) \quad (3)$$

여기서, P는 초과확률, X는 무작위 변수,  $\bar{X}$ 와 s는 각각 평균과 표준편차를 나타낸다. 본 연구에서 P =

$P(A | E_1)$ 이고,  $X$ 는 홍수조절용량의 100%,  $\bar{X}$ 와  $s$ 는 연 최대 저류량이 홍수조절용량의 25%와 같거나 초과하는  $n$ 개의 자료로부터 계산된다.

#### 4. 결론

앞에서 제시한 각 대안과 같이 대청댐의 상시만수위를 변화시키면서 HEC-5 모의운영을 통하여 홍수조절용량에 대한 평가를 실시하였다. 모의운영 모형으로 계산된 월말저류량을 홍수조절용량 평가의 입력자료로 사용하였고, 홍수조절용량 평가 결과를 표 1에 제시하였다.

표 1. 홍수조절용량 평가 결과

구 분	대안 1	대안 2	대안 3	대안 4	대안 5	대안 6
	단 독	연 계	연 계	연 계	연 계	연 계
	기존 상시만수위	기존 상시만수위	상시만수위 1m 증가	상시만수위 2m 증가	상시만수위 1m 감소	상시만수위 2m 감소
평 균( $10^6 m^3$ )	1705.8	1580.8	1644.9	1690.1	1502.9	1462.3
표 준 편 차( $10^6 m^3$ )	387.0	205.6	205.0	218.6	212.9	198.8
$PE_1$	0.79	0.47	0.47	0.50	0.50	0.47
$P(A   E_1)$	0.68	0.63	0.77	0.84	0.45	0.37
$P(A)$	0.54	0.30	0.36	0.42	0.23	0.18

식(2)에 의해 홍수조절용량의 100%를 초과할 확률  $P(A)$ 를 산정하였다. 대청댐 단독운영의 경우(대안 1) 초과확률  $P(A)$ 는 0.54이나, 용담댐과 연계운영의 경우(대안 2)에는 초과확률  $P(A)$ 가 0.30으로 감소하는 것을 표 2에서 확인할 수 있다. 이는 동일한 홍수사상에 대하여 대청댐 단독운영의 경우 보다 용담댐과의 연계운영에서 홍수방지의 수준이 증가한다는 것이다. 즉, 대청댐 상류에 위치하는 용담댐에서 홍수조절 역할을 충실히 분담하는 것을 확인하였다. 또한, 용담-대청댐 연계운영시 대청댐의 상시만수위를 각각 1m, 2m 증가시킨 대안 3과 대안 4의 경우  $P(A)$ 가 각각 0.36, 0.42로 대안 2의 0.30과 비교하여 증가하여 홍수조절능력이 다소 감소하는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 대안 1의 초과확률 0.54와 비교하면 작은 값을 갖는다. 이를 달리 해석해보면 2001년 완공되어 운영중인 용담댐을 고려한다면 대청댐의 상시만수위를 증가시켜 1m 또는 2m의 홍수조절용량을 이수용량으로 재할당 하더라도, 홍수 경감의 측면에서는 기존의 대청댐의 할당을 그대로 사용하여 단독 운영한 경우보다 홍수조절효과가 커진다는 것이다. 용담-대청댐의 연계운영시 대청댐의 상시만수위를 각각 1m, 2m 감소시킨 대안 5와 대안 6은 각각  $P(A)$ 가 대안 2의 초과확률 0.30과 비교하여 각각 0.23, 0.18로 감소하여 홍수조절 능력이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 참고문헌

- William K. Johnson, Ralph A. Wurbs, Members, ASCE, and Jean E. Beegle (1990). "Opportunities for Reservoir-Storage Reallocation", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 116, No. 4, pp 550-566
- Ralph A. Wurbs and L. Moris Cabezas (1987). "Analysis of Reservoir Storage Reallocation", Journal of Hydrology, 92, pp. 77-95