

# 대청 다목적댐의 상시만수위 변경에 따른 이수 및 치수 영향 검토

## Effects on Conservation and Flood Control Systems According to Normal Water Level Change from Daechung Multi-Purpose Reservoir

이재응\* / 권동석\*\*  
Yi, Jaeung / Kwon, Dong Seok

### Abstract

Reallocation procedure of multipurpose reservoir storage capacity between flood control and conservation is presented as an alternative to secure more water resources. Storage reallocation is an adaptive management mechanism for converting existing normal pool level of reservoirs to more beneficial uses without requirement for physical alteration. This study is intended to develop a reservoir storage reallocation methodology that allows increased water supply storage without minimizing adverse impacts on flood control. The methodology consists of flood control reservoir simulation for inflows with various return periods, flow routing from reservoir to a potential damage site, analyzing river carrying capacity, and reservoir yields estimation for reallocated storages. For the flood control model, a simulation model called Rigid ROM(Reservoir Operation Method) and HEC-5 are used. The approach is illustrated by applying it to two reservoirs system in Geum River basin. Especially with and without new project conditions are considered to analyze trade-offs between competing objectives.

**keywords** : reservoir storage reallocation, conservation, flood control, river carrying capacity, reservoir simulation, reservoir yield

### 요 지

더 많은 수자원을 확보하기 위한 하나의 대안으로서 다목적 저수지의 홍수조절공간과 이수공간 사이에서 용량 재할당 방안을 제안하였다. 저수용량 재할당이란 기존의 저수지에 물리적 변화 없이 좀 더 많은 편익을 얻을 수 있도록 상시만수위를 조정하는 관리 기법이다. 본 연구의 목적은 홍수조절에 미치는 악영향을 최소화하면서 용수공급에 필요한 용량을 증대시킬 수 있는 저수지 용량 재할당 방법론을 개발하는 것이다. 이 방법은 다양한 빈도별 유입홍수량에 대한 홍수기 저수지 모의운영, 중요지점까지 홍수추적, 하천최대허용유량 검토, 재할당 수위에 대한 저수지 공급능력 검토 등으로 구성되어 있다. 홍수조절을 위한 저수지 모의운영 모형으로는 Rigid ROM과 HEC-5를 사용하였다. 본 연구에서 제안된 방법을 금강 유역에 적용하였다. 특히 상류의 저수지가 존재할 때와 존재하지 않을 때를 고려하여 서로 경합하는 목적들 사이의 절충을 분석하였다.

**핵심용어** : 저수지 용량 재할당, 이수, 홍수조절능력, 하천내 허용유량, 저수지 모의운영, 용수공급능력

\* 정희원 · 아주대학교 환경건설교통공학부 부교수  
(e-mail: jeyi@ajou.ac.kr)

\*\* 정희원 · 유량조사사업단 연구원  
(e-mail: kds011@kict.re.kr)

## 1. 서 론

수자원장기종합계획(건설교통부, 2000)에 따르면 우리나라에서도 가까운 장래에 용수수급 불균형이 예측된다고 한다. 2011년 약 18억 $m^3$ 의 물 부족이 예측되므로 사회적, 경제적 영향이 매우 심각할 것으로 판단된다. 물 부족을 감소시킬 수 있는 대표적인 방법은 댐, 저수지 건설을 통한 신규 수자원의 개발이지만 경제적, 환경적, 제도적, 정치적 문제 때문에 새로운 댐, 저수지의 건설은 과거에 비해 무척 어려워졌다. 한 예가 용수공급과 홍수조절 목적으로 건설을 추진했던 영월댐의 경우이다. 영월댐 건설 계획은 환경 등과 관련된 문제로 5년여에 걸친 논란 끝에 결국 1999년 취소되었다. 댐, 저수지 건설의 대안으로서 수요관리, 저수지 운영 최적화 등이 시도되고 있으나 아직 성과는 미미한 편이다.

다목적 저수지의 용량 재할당은 현재 운영 중인 저수지로부터 추가 수자원을 확보할 수 있는 한 가지 대안으로 고려할 수 있다. 저수지는 건설되기 이전에 이미 이용 계획에 따라 용량이 할당되고 운영정책이 확립된다. 기 수립된 저수지 용량 할당 계획은 댐의 증고 또는 용도변경과 같은 특별한 상황이 발생하기 전까지는 변화되지 않는다. 저수지 용량 재할당은 기존의 저수지를 물리적으로 변형시키지 않으면서 좀 더 큰 편익을 유발시킬 수 있도록 하는 방법이다.

우리나라에서 대부분의 대규모 다목적 댐들은 1960년과 1980년 사이에 건설되었는데, 그 이후 수문조건, 용수 및 에너지 수요, 동일한 유역에 다른 댐 건설, 용수이용 우선권 변동 등 많은 변화가 발생하였다. 비교적 신규댐 건설이 수월했던 몇 년 전까지만 해도 저수지 용량 재할당이 큰 주목을 받지 못했지만, 저수지 건설 상황이 바뀔에 따라 하나의 대안으로서 국내외적으로 빈번히 제안되고 있다.

Wurbs and Cabezas(1987)은 수문학적·경제학적 평가방법을 통하여 생·공용수 공급과 홍수조절 목적 사이의 저수지 용량 재할당 기법을 제안하였다. 그들은 용수수요를 만족시키지 못하거나 홍수를 방지하지 못할 위험도를 평가하였고, 용수공급 부족과 홍수로 인한 경제적 손실을 최소화하기 위한 모형을 구성하였다. Patrick(1988)은 저수지 용량 재할당의 잠재성과 서로 상반되는 목적들 사이의 절충(trade-offs)을 평가하기 위하여 수문학적 기법과 통계학적 기법을 사용하였다. 홍수조절능력은 홍수조절공간을 초과할 확률에 의해, 용수공급능력은 저수지 수위 하강빈도, 상시공급량과 신뢰도에 의해 평가되었다. USACE(1988)는 더 큰 편익을 얻기 위해 계절에 따라 기존의 저수지들의 홍수조

절용량을 변경할 수 있는 경우에 대한 연구를 수행하였다. Ford(1990)는 경합하는 수요들 간의 절충점을 찾기 위한 정보를 제공하기 위하여 PC 기반의 저수지 운영 모의기법을 개발하였다. Johnson et al.(1990)은 텍사스에서 USACE가 운영하는 저수지들에서 이루어진 저수지 용량 재할당에 대하여 검토하고 일반적으로 여덟 가지 경우에 저수지 재할당이 이루어진다고 주장하였다. 미국 스네이크강 유역의 하천유지유량을 증가시키기 위하여 MODSIM과 USGS MODFLOW를 저수지 용량을 산정하기 위해 사용한 연구도 있다(Larson and Spiazola, 2000).

국내에서는 평화의댐과 화천댐의 연계운영방안을 모의운영을 통해 검토한 연구가 있다(한국수자원공사, 1995). 이 연구에서는 화천댐의 제한수위와 빈도별 유입홍수량을 변화시키면서 화천댐의 자연방류 및 여수로 방류능력을 검토하였다. 심명필 등(1998a; 1998b)은 평화의 댐 건설을 전후로 한 화천댐의 홍수조절능력을 검토하고, 화천댐 유역의 시간적 상황의 변화에 대한 화천댐 단독운영 및 평화의 댐과의 연계운영을 모색하였다. 평화의 댐이 화천댐의 유입량을 지체시킬 수 있으므로 화천댐의 제한수위의 재조정을 분석하여, 화천댐 제한수위의 상향 조정이 가능하다는 결론을 도출하였다. 유주환 등(2001)은 평화의 댐 홍수조절효과와 화천댐의 홍수기 제한수위 등을 검토하여, 화천댐의 몇 가지 제한수위의 대안에 대하여 최적 저수지 조작을 실시하여 제한수위의 적정 수준과 이에 따른 경제적 편익을 제시하였다. 이재웅과 권용익(2004), 이재웅 등(2004)은 여러 가지 용량재할당 대안에 대하여 홍수조절용량과 이수능력의 변화를 평가하였다. 이재웅 등(2004)은 평화의 댐의 상시만수위와 화천댐의 제한수위를 변화시키면서 이수 및 치수 측면에서 적절한 조건을 검토하였다.

본 연구의 목적은 수자원의 효율적 이용이라는 차원에서 이수능력과 홍수조절능력의 변화를 검토하며 적절한 저수지 재할당을 결정할 수 있는 방법론을 제안하는 것이다. 저수지 용량 할당은 건설 당시에 한 번 이루어지면 변화되는 경우가 매우 드물지만, 건설 이후 유역의 상황 변화에 따라 결과적으로 유효저수용량이 과다하게 할당된 경우, 또는 홍수조절용량이 과다하게 책정된 경우가 있으리라고 판단된다. 이러한 경우 저수지 용량재할당을 위해 적용할 수 있는 방법론 개발이 본 논문의 목적이다. 특히 기존의 다목적댐이 위치하고 있는 유역에 새로운 다목적댐을 건설하는 경우, 기존의 저수지에서 담당하고 있는 홍수조절의 일부를 신규댐에서 담당하여 기존 다목적댐의 홍수조절공간을 이수 목적으로 전환하는 것이 가능한 지를 검토하였다. 최근의

이상기후로 인한 홍수피해 때문에 우리나라에서 다목적댐의 홍수조절의 중요성은 더욱 증가하는 추세이다. 따라서 본 논문의 목적은 홍수조절에 미치는 악영향을 최소화하면서 용수공급을 증대시킬 수 있는 저수지 용량 재할당 기법을 제안하는 것이다.

## 2. 접근방법과 적용

### 2.1 접근방법

본 연구에서 사용한 방법은 다음과 같다.

첫째, 상류에 위치하는 신규 저수지의 유·무 조건 하에서 기존의 저수지에서 대해 다양한 재현기간에 대한 유입홍수량을 구한다.

둘째, 이러한 빈도별 유입홍수량을 입력자료로 사용하여 제한수위를 변경하면서 다양한 재할당 계획에 대해 저수지 홍수 모의운명을 실시한다.

셋째, 저수지 홍수 모의운명의 결과인 저수지 방류량을 하류의 주요 조절지점까지 홍수추적하여, 각 저수지의 각 재할당 대안에 대해 조절지점에서의 첨두유량을 산정한다.

넷째, 주요 조절지점에서 제방을 월류하지 않는 하천 통수능력에 따라 저수지의 재할당 수위를 결정한다.

다섯째, 저수지 용량 재할당 이전과 이후의 공급능력을 산정하여 비교한다.

본 연구에서는 상류 저수지의 유·무, 여러 재현기간에 대한 유입홍수량의 변화, 여러 재할당 수위 등 다양한 조건을 고려하고, 홍수추적을 수행한 뒤 하류 주요 지점의 홍수량과 저수지 용량 재할당 수위 간의 관계를 정립

하였다. 이상과 같은 접근방법을 Fig. 1에 제시하였다.

저수지 용량 재할당 계획을 판정하고 결정하기 위해서는 수문학적 분석뿐만 아니라 경제적, 법적, 환경적, 제도적, 사회적 분석이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 문제 구성에서 발생할 수 있는 추가적인 불확실성을 피하고 문제의 간략화를 위하여 수문학적 분석만을 수행하였다. 이를 위해 금강 유역에 위치한 대청호를 대상으로 저수지 재할당 가능성을 평가하였다. 대청호를 저수지 재할당을 위한 시범 저수지로 선택한 이유는 다음과 같다.

첫째, 2001년 대청댐 상류에 용담댐이 건설된 이후 금강 유역의 수문학적, 수자원 상황이 상당히 변화하였다.

둘째, 대청댐 건설 이후 25년 이상의 기간이 경과하였으므로 유역에 홍수터의 변경, 제방의 축조 등 상당한 유역상황의 변화가 발생하였다.

셋째, 우리나라의 행정중심 복합도시가 2014년까지 금강 유역의 충청남도에서 건설될 계획이므로 금강 유역의 용수수요변화가 예측된다.

### 2.2 빈도별 유입홍수량

본 연구에서는 상류 용담댐의 유·무에 따른 50년, 100년, 200년, 500년 대청댐의 빈도별 유입홍수량과 PMF를 이용하여 분석을 수행하였다. 용담댐을 고려한다는 것은 용담댐의 홍수조절능력을 고려해서 금강 유역의 홍수조절을 실시한다는 것이며, 용담댐을 고려하지 않는다는 것은 용담댐이 건설되기 전의 상태로, 용담댐의 영향이 대청댐에 미치는 영향을 판단하기 위해 구분하여 검토하였다. 용담댐은 다목적댐으로 홍수조절

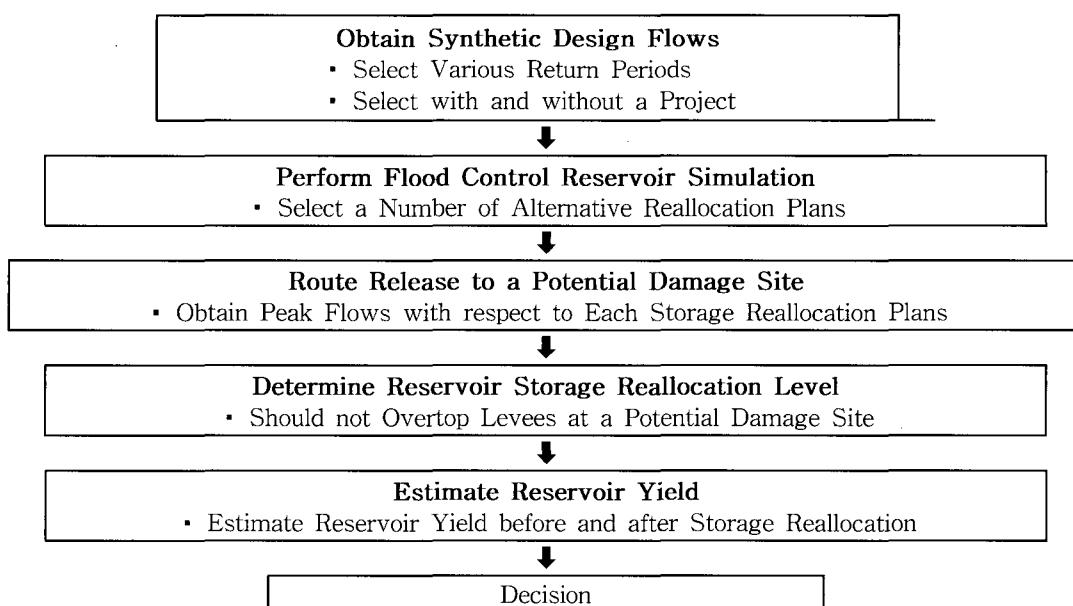


Fig. 1. Flow Chart for Analyzing the Reservoir Storage Reallocation Approach

기능을 가지고 있으므로 금강 유역의 홍수조절에 일정 부분 기여하기 때문에, 동일한 빈도에서 용담댐을 고려하지 않은 대청댐의 유입홍수량은 용담댐을 고려한 대청댐의 유입홍수량보다 크리라는 것은 명확하다.

### 2.3 주요 지점의 홍수량

어느 홍수보다 큰 홍수사상이 발생할 확률은 재현기간의 역수이다.

$$P(Q_p \geq Q_{pT}) = \frac{1}{T} \quad (1)$$

여기서 P는 초과확률,  $Q_p$ 는 무작위 연 최대유량,  $Q_{pT}$ 는 재현기간 T를 가지는 첨두유량이다.

누적분포함수는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$P(Q_p \geq Q_{pT}) = 1 - F(Q_{pT}) \quad (2)$$

여기서 F는 누적확률분포함수이다. Eqs. (1) and (2)로부터 Eq. (3)을 얻을 수 있다.

$$F(Q_{pT}) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3)$$

재현기간 T인 홍수로 인하여 하류의 주요 지점에서 발생하는 첨두유량은 상류에 위치한 저수지의 홍수조절 용량의 함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{pT} = f(S_f) \quad (4)$$

여기서  $S_f$ 는 상류 저수지의 홍수조절용량이다.

주어진 홍수조절 운영정책에 관해 함수  $f(\cdot)$ 는 상류 저수지의 다양한 홍수조절 용량에 대하여 일련의 홍수량을 하류의 주요 지점까지 추적하여 정의할 수 있다.

## 3. 시범유역 적용

### 3.1 Rigid ROM을 이용한 홍수기 저수지 운영

홍수기에 다목적 저수지의 운영은 하류의 피해를 감소시키기 위해 홍수조절용량을 이용하여 홍수 유입량을 저류하도록 이루어진다. 홍수기 저수지 운영기법으로는 최적화 기법과 모의기법이 주로 사용되어 왔으며, 우리나라에서는 Auto ROM, Rigid ROM, Technical ROM과 같은 모의기법들이 홍수조절을 위한 저수지 운영기법으로 널리 사용되고 있다.

본 연구에서 사용한 저수지 운영 방식은 기존의 Rigid ROM을 개선한 것으로, 유입량에 대해서 첨두유량까지는 일정률로 방류하는 것은 기존의 Rigid ROM과 같으나 그 방류량이 저수지의 가능최대 방류량을 넘을 경우는 가능최대 방류량으로 방류함으로써 댐을 운영하도록 하였다. 기본적으로 Rigid ROM은 최대 유량이 유입되기 전까지는 유입량의 일정률로 방류하고 최대 유량 이후에는 일정량으로 방류하여, 방류량과 유입량이 같아지는 시기 이후에는 유입량과 동일하게 방류량을 조절하는 방식이다. 대청댐에 PMF가 유입되는 경우 방류량을 유입량과 동일하도록 저수지를 운영하여 저수지의 수위가 계획홍수위를 초과하게 된다면, 유입량과 방류량이 같아진 이후에도 가능 최대 방류량으로 방류하여 저수지 수위가 계획홍수위와 같아지는 시점까지 방류를 계속하도록 설정하였다.

대청댐의 상시만수위는 EL.76.5m이고, 이를 0.5m, 1.5m 상승 및 하강시킨 수위 75m, 76m, 76.5m, 77m, 78m 등 다섯 가지 대안에 대하여 저수지 용량 재할당 대안에 따른 효과를 검토하였다. 상시만수위의 변화에 따른 유효저수용량과 홍수조절용량의 변화를 Table 1에 제시하였다. 대청댐의 각 저수지 재할당 계획과 24시간 지속기간 강우에 대한 50년, 100년, 200년, 500년 재현기간의 홍수량, PMF에 대하여 저수지 홍수 모의운영을 시행하고, 그 결과를 Table 2에 제시하였다.

모의운영 결과에 따르면 50년~500년 빈도 홍수에 대해서는 상시만수위 1.5 m 상향 조정 시에도 모두 계획홍수위 EL.80m 내에서 홍수조절이 가능한 것으로 나타났다. PMF 빈도에 대해서는 모두 계획홍수위인 EL.80m를 초과하여 홍수조절이 불가능하였다.

### 3.2 HEC-5를 이용한 홍수기 저수지 모의운영

본 연구에서는 Rigid ROM을 이용한 결과와 비교하기 위해 HEC-5 모형(USACE, 1998)을 이용하여 공주 지점의 최대홍수량을 산정하였다. HEC-5 모형은 저류량이 홍수조절공간 내에 위치하면, 하류의 조절지점(control point)에서 허용될 수 있는 유량 한도 내에서 저수지가 제한수위 이하로 떨어지도록 방류한다. 홍수위까지는 하류 조절지점의 허용유량 이하로 방류하지만, 홍수위를 초과하면 초과하는 양은 수문의 용량이 허용하는 최대한도 내에서 모두 방류한다. 유입량 예측 수문곡선을 이용할 수 있다면 홍수추적을 통하여 사전 방류한다. 저수지 방류는 이전 기간의 방류와 비교하여 미리 정해진 비율 이상으로 변동하여 방류할 수 없다.

모의운영을 위한 HEC-5 모형은 저수지, 제어지점, 본류 및 지류로는 갑천, 미호천을 포함하고 있다. HEC-5

Table 1. Flood Control and Conservation Storages according to Alternative Normal Pool Level (MCM)

Storage	Normal Pool Level				
	75m	76m	76.5m	77m	78m
Active Storage	695	759	792	825	894
	(87.8%)	(95.8%)	(100.0%)	(104.2%)	(112.9%)
Flood Control Storage	345	281	248	215	146
	(139.1%)	(113.3%)	(100.0%)	(86.7%)	(58.9%)

Table 2. Peak Flows at Gongju from Rigid ROM (m³/s)

Frequency	Restricted Water Level				
	75m	76m	76.5m	77m	78m
50 Year	6,717	7,121	7,352	7,578	8,094
100 Year	8,078	8,526	8,772	9,024	9,561
200 Year	9,272	9,749	10,023	10,296	10,895
500 Year	10,880	11,401	11,694	11,973	12,632
PMF	22,419	22,783	22,975	23,180	23,631

모형 모의운영에 사용된 대청댐 유입량 자료는 Rigid ROM에서 사용한 것과 동일한 1일 최대 빈도별 홍수량을 사용하였다.

HEC-5를 이용하여 자연유량과 조절유량에 대하여 각각 모의 운영을 실시하였다. 자연유량은 유역에 댐이 존재하지 않는다는 가정 하에 유입되는 홍수량을 댐운영 없이 자연 방류했을 때의 최대홍수량을 산정한 결과이다. 반대로 조절유량은 현 저수지 시스템에서 유입되는 홍수량을 하류 제어지점의 최대통수능을 넘지 않는 범위 내에서 댐운영을 함으로써 산정한 최대홍수량 결과이다.

또한 Tables 2 and 3으로부터 각각 홍수기 수정 Rigid ROM과 HEC-5 모의운영을 통해 산정된 공주지점 최대홍수량을 비교하면 전반적으로 수정 Rigid ROM에서 산정된 결과치가 HEC-5 모의운영을 통한 결과치보다 크다는 것을 알 수 있다. 유입되는 홍수량의 빈도가 작을수록 차이가 더 크며 홍수 빈도가 커질수록 HEC-5를 통한 결과치가 상대적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 이유는 수정 Rigid ROM과 HEC-5 모의운영 프로그램의 기본적인 운영방식의 차이에서 기인된다. 즉, 수정 Rigid ROM은 댐의 수위에 따라 방류량을 결정하는 반면 HEC-5 모의운영 프로그램은 홍수 발생 시 저수지의 홍수조절량을 유지하면서 하도의 홍수피해를 최소화하기 위해 적절한 방류량을 결정해 나가는 방식을 채택하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.3 하류 주요 지점에서의 침투 홍수량

금강 유역의 주요지점으로 대청댐에서 약 50km 하류에 위치한 인구 약 150,000명의 공주를 선정하였다. 공주 지점의 통수능은 제방의 높이 EL.20.55m에 해당

하는 유량 11,700m³/s로 추정된다(한국수자원공사, 2004). 대청호의 모의운영 결과인 방류량을 홍수추적하여 공주 지점의 유량을 산정하였다. 본 연구에서는 수문학적 홍수추적기법 중의 하나인 Muskingum 기법을 이용하였고, 상류의 유량 수문곡선으로 Rigid ROM의 모의결과를 통해 얻은 대청댐의 방류 수문곡선이 이용되었다. 대청댐과 공주 지점 사이에 유입되는 지류인 갑천, 미호천과 측방 유입량을 고려하여 홍수추적을 실시하였다.

다양한 빈도별 유입홍수량과 대청호의 재할당 수위에 의해 결정된 대청호의 방류량을 공주 지점까지 홍수추적하여 얻은 공주 지점에서의 침투유량을 Table 3에 제시하였다. 대청호의 재할당 수위가 높아지고 대청호의 설계유량이 증가함에 따라 공주 지점의 침투유량도 증가함을 확인할 수 있다.

또한 비교 목적으로 대청댐 설계 당시 상시만수위 75m에서 50년, 100년, 200년 홍수빈도에 대해 산정된 공주 지점에서의 침투홍수량을 Table 4에 제시하였다(한국수자원공사, 1998). 물론 이 값들은 용담 저수지가 완공되기 전에 산정된 값들이다. Table 3과 Table 4를 비교하면 동일한 상시만수위 75m에 대하여, 설계 당시 용담댐을 고려하지 않았을 경우, 공주 지점의 침투홍수량이 용담댐을 고려한 경우의 침투홍수량보다 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 50년, 100년, 200년 빈도의 홍수량이 유입되었을 경우 각각 26%, 10%, 12% 더 크다. 물론 여기서 고려된 침투유량 간의 비교가 하상의 변화, 유역 조건의 변화 등과 같은 수리, 수문학적 변화를 모두 고려한 것은 아니지만, 최소한 용담 저수지의 유무에 따른 홍수조절 효과를 간접적으로 확인할 수는 있다.

Table 3. Peak Flow at Gongju from HEC-5 Simulation Model (m<sup>3</sup>/s)

Peak Flow Normal Water Level	50 Year		100 Year		200 Year		500 Year	
	Natural Flow	Control Flow	Natural Flow	Control Flow	Natural Flow	Control Flow	Natural Flow	Control Flow
75m	9,021	5,478	10,563	7,492	11,921	8,837	13,697	10,582
76m	9,021	6,350	10,563	8,268	11,921	9,571	13,697	11,336
76.5m	9,021	6,814	10,563	8,654	11,921	9,954	13,697	11,645
77m	9,021	7,260	10,563	9,023	11,921	10,303	13,697	11,983
78m	9,021	8,003	10,563	9,627	11,921	10,867	13,697	12,505

Table 4. Peak Flows at Gongju when Daechung Reservoir is Designed (Normal Pool Level of Daechung Reservoir is 75m) (m<sup>3</sup>/s)

Frequency	50	100	200
Peak Flows	8,509	8,900	10,412

선형 회귀분석 기법을 이용하여 공주 지점에서의 첨두유량과 대청호 재할당 대안들 간의 관계를 유도하였다. 이를 Fig. 2와 Table 5에 제시하였다. Fig. 2에서 가로축은 대청저수지의 이수용량, 세로축은 공주지점의 첨두유량을, Table 5에서  $S_a$ 는 대청 저수지의 이수용량을 나타낸다.

대청댐이 1981년 건설되었을 때, 대청댐은 100년 빈도 홍수량에 대해 설계되었다. 용담댐이 건설될 때까지 금강 유역의 홍수조절은 주로 대청댐과 제방이 담당하였다. 2001년 용담댐이 완공됨에 따라 용담댐도 금강

유역의 홍수조절 기능을 분담하게 되었다. 일반적으로 국가하천의 주요구간의 제방 설계빈도가 200년임을 감안할 때 공주지점에서의 첨두유량은 200년 빈도 홍수량에 대해 제방을 월류해서는 안 된다. Fig. 2로부터 대청호에서 적절한 유효저수용량은  $1,350 \times 10^6 \text{ m}^3$ 으로 판단된다. 이 유효저수용량은 상시만수위를 78m로 재할당했을 경우에 해당하는 저류량이다. 즉, 용담댐을 고려한 대청댐의 운영은 대청호의 상시만수위를 78m까지 상승시킬 수 있고, 여전히 대청댐과 하류 제방을 월류하지 않으면서 200년 빈도의 홍수량을 조절할 수 있다.

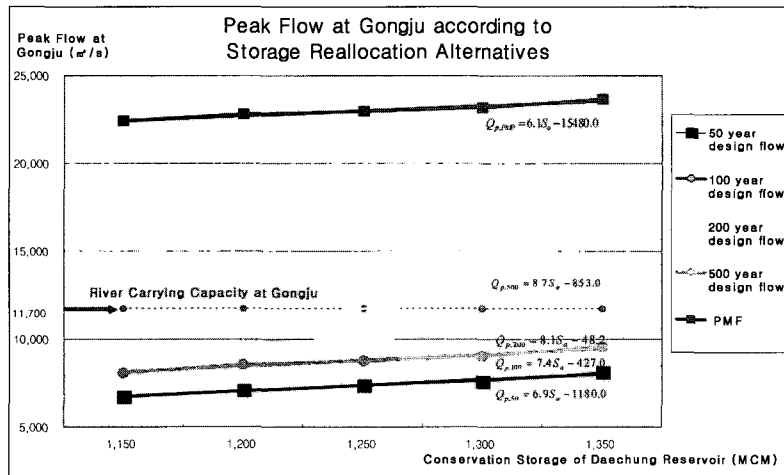


Fig. 2. Relationships between Peak Flow at Gongju and Reallocation Alternatives

Table 5. Relationships between Peak Flow at Gongju and Reallocation Alternatives

Frequency	Peak Flow at Gongju and Reallocation Alternatives	R <sup>2</sup>
50	$Q_{p,50} = 6.9S_a - 1180.0$	0.9984
100	$Q_{p,100} = 7.4S_a - 427.0$	0.9987
200	$Q_{p,200} = 8.1S_a - 48.2$	0.9986
500	$Q_{p,500} = 8.7S_a - 853.0$	0.9987
PMP	$Q_{p,PMP} = 6.1S_a - 15480.0$	0.9994

### 3.4 대청호 용량 재할당 후 용수공급능력

대청호의 저류용량 재할당이 이루어지면 용수공급능력에도 변화가 발생하므로 이에 대한 영향을 파악하기 위하여 모의운영을 실시하였다. 저수지 유입량은 저수지 운영에 큰 영향을 미치기 때문에, 유입량 자료는 저수지 모의운영의 중요한 요소이다. 대청댐과 용담댐은 각각 1981년과 2001년 운영을 시작했기 때문에 충분히 긴 운영 자료가 축적되지 못하였다. 따라서 비교적 유역면적이 작은 용담 저수지로의 유입량은 대청호의 자료를, 대청댐과 용담댐의 유역면적, 용담댐과 대청댐 사이에서 유입되는 지류 유입량을 고려하여 유역면적비를 이용해서 변환, 사용하였다. 또한, 대청댐 완공 이후의 자료인 1981년부터 2000년까지의 20년 실적자료를 이용하여 저수지 운영을 모의하였다.

#### 3.4.1 대청호와 용담 저수지의 용수공급 계획

저수지 모의운영 모형은 생활, 공업, 농업, 하천유지 용수 수요 자료를 필요로 한다. 2021년 대청호에서 각종 용수수요를 만족시키기 위한 용수공급량은  $1,649 \times 10^6 \text{m}^3$ 에 이른다. Table 6(한국수자원공사, 2004)에 대청호의 월 용수공급 계획을 제시하였다. 생·공용수는 연중 일정하게 공급되지만 농업용수는 4월부터 9월까지만 공급된다. 생·공용수는 저수지 내로부터  $20.9 \text{m}^3/\text{s}$ 가 공급되고 저수지 하류 금강으로부터  $20.3 \text{m}^3/\text{s}$ 가 공급된다. 또한 전주권의 생·공용수 공급을 위해  $15.63 \text{m}^3/\text{s}$ 를 공급하고 금강의 하천유지를 위해 용담 저수지에서 최소한  $5 \text{m}^3/\text{s}$ 를 상시 방류한다. Table 7에 용담 저수지의 월 용수공급 계획을 제시하였다.

#### 3.4.2 저수지 용량 재할당 후 대청호의 용수공급 능력

대청호의 용수공급능력은 HEC-5 모의기법을 사용하여 산정하였다. HEC-5는 미공병단에서 개발한 HEC 계열의 모형 중의 하나로, 저수지 시스템의 순차적 운영을 모의할 수 있도록 개발되었다. 분 간격에서 월 간격까지 이용할 수 있으며 단일 모의운영 내에서도 다양한 시간 간격에 대해 모의할 수 있다. 하류의 홍수 범람을 최소화하고, 가능한 한 신속히 홍수조절공간을 비우고, 하천의 유량을 조절하고, 수력발전을 하도록 저수지 모의운영 모형을 구성할 수 있다.

모의운영은 1981년부터 2000년까지 기왕의 월간 유량 자료를 사용하여 수행하였다. 금강 유역에 대한 HEC-5 모의운영 모형은 두 개의 다목적 저수지, 다섯 개의 지류, 열한 개의 조절지점, 도수를 위한 하나의 가상 조절지점, 수력발전소 등으로 구성되어 있다(Fig. 3).

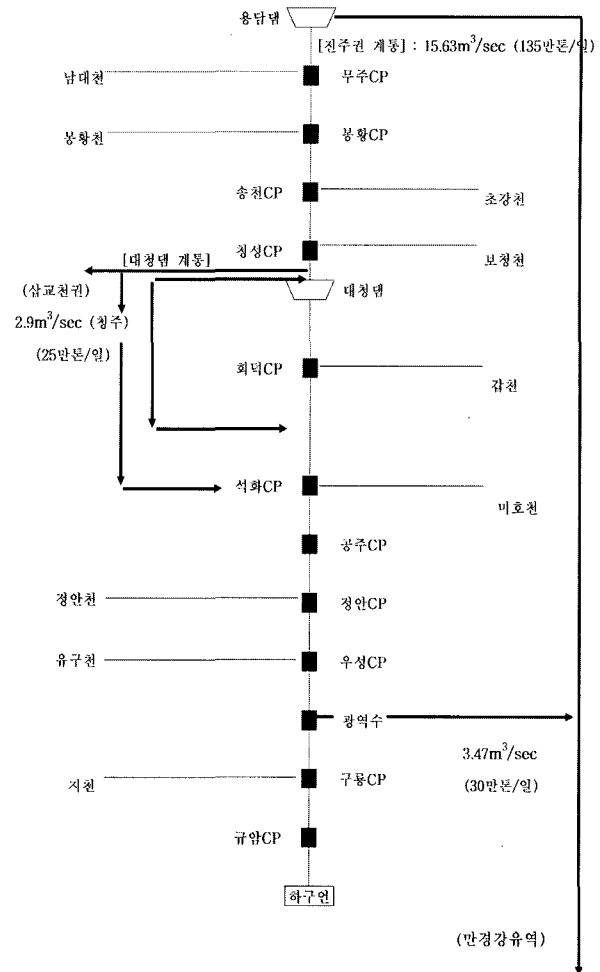


Fig. 3. Geum River Schematic Diagram for HEC-5

HEC-5를 이용하고 대청호의 상시만수위를 변경시키면서 95% 신뢰도로 저수지 공급량을 추정하였다. 여기서 95% 신뢰도란 분석 기간 동안 저수량을 사수량 이하로 떨어트리거나 홍수조절용량을 초과하지 않도록 유지하면서 각종 용수수요를 만족시킬 신뢰도가 95%임을 의미한다. 모의운영 결과 대청호의 원래 상시만수위 76.5m에 대해 신뢰도 95% 공급량은  $1,428.2 \times 10^6 \text{m}^3$ 으로 추정된다. 저수지 재할당 대안으로서 상시만수위를 각각 0.5m, 1.5m 증가시켜 77m, 78m로 하면 신뢰도 95% 용수공급능력은 각각  $1,446.6 \times 10^6 \text{m}^3$ ,  $1,465.0 \times 10^6 \text{m}^3$ 으로 증가한다. 반면에 상시만수위를 각각 0.5m, 1.5m 감소시켜 76m, 75m로 하면 신뢰도 95% 용수공급능력은 각각  $1,418.0 \times 10^6 \text{m}^3$ ,  $1,391.4 \times 10^6 \text{m}^3$ 으로 감소한다. 따라서 단일 대청호의 상시만수위를 홍수조절 관점에서 제안되었듯이 78m로 상승시킨다면 원래 76.5m의 상시만수위일 경우와 비교하여, 약 2.6%에 해당하는  $36.8 \times 10^6 \text{m}^3$ 의 용수공급 능력 증대가 가능하다. 대안수위별 용수공급 능력에 대한 분석결과를 Table 8에 제시하였다.

Table 6. Monthly Water Supply Plan for Daechung Reservoir (m<sup>3</sup>/s)

Month	Intake		Domestic and Industrial Water	Irrigation Water	Instream Water	Total
1	Reservoir		20.9	0.0	0.0	20.9
	Downstream		20.3	0.0	0.0	20.3
2	Reservoir		20.9	0.0	0.0	20.9
	Downstream		20.3	0.0	0.0	20.3
3	Reservoir		20.9	0.0	0.0	20.9
	Downstream		20.3	0.0	0.0	20.3
4	Reservoir		20.9	0.2	0.0	21.1
	Downstream		20.3	0.9	0.0	21.2
5	Reservoir		20.9	0.9	0.0	21.8
	Downstream		20.3	03.9	0.0	24.2
6	Reservoir		20.9	9.5	0.0	30.4
	Downstream		20.3	38.1	0.0	58.4
7	Reservoir		20.9	6.1	0.0	27.0
	Downstream		20.3	24.3	0.0	44.6
8	Reservoir		20.9	5.3	0.0	26.2
	Downstream		20.3	21.2	0.0	41.5
9	Reservoir		20.9	4.5	0.0	25.4
	Downstream		20.3	18.1	0.0	38.4
10	Reservoir		20.9	0.0	0.0	20.9
	Downstream		20.3	0.0	0.0	20.3
11	Reservoir		20.9	0.0	0.0	20.9
	Downstream		20.3	0.0	0.0	20.3
12	Reservoir		20.9	0.0	0.0	20.9
	Downstream		20.3	0.0	0.0	20.3
Total	Reservoir	m <sup>3</sup> /s	20.9	2.2	0.0	23.1
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	660.0	70.0	0.0	730.0
	Downstream	m <sup>3</sup> /s	20.3	8.8	0.0	29.1
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	640.0	279.0	0.0	919.0
	Total	m <sup>3</sup> /s	41.2	11.0	0.0	52.2
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	1,300.0	349.0	0.0	1,649.0

### 3.5 결과

대청댐 건설 당시 홍수조절을 위한 계획홍수는 100년 빈도 홍수를 채택하였으며, 금강하류 연안 홍수조절 대책은 제방과 대청댐의 조합방식이었다. Fig. 2에서 200년 빈도 홍수량 그래프를 기준으로 공주지점의 가능 최대 홍수량 11,700 m<sup>3</sup>/s에 상응하는 대청댐의 재할당 수위를 산정한 결과 78m를 얻을 수 있었다. 재할당된 상시만수위 78m로 대청댐을 운영할 경우 HEC-5 및 수정 Rigid ROM 등 홍수기 저수지 모의운영 프로그램 모두에서 각각 대청댐 및 공주지점의 계획홍수위를 만족시킬 수 있는 것으로 판단된다. 또한 Fig. 2로부터 공주지점에서 허용되는 가능최대 홍수량 11,700 m<sup>3</sup>/s에 대하여 용담댐을 고려한 대청댐의 운영으로 24시간 지속기간을 갖는 약 300년 빈도 홍수까지 홍수조절이 가능할 것으로 검토되었다. 또한, 재할당된 대청댐의 상시

만수위 78m로 저수지를 운영할 경우의 용수공급능력을 HEC-5 모의모형을 통하여 검토하였다. 기존의 상시만수위 76.5m일 때의 용수공급량 1,428.2MCM을 100%로 보았을 때, 상시만수위가 77m, 78m로 증대되면, 용수공급량은 각각 101.3%, 102.6%로 증가하고, 75m, 76m로 감소되면 각각 97.4%, 99.3%로 감소한다.

### 4. 요약 및 결론

좀 더 안정적으로 수자원을 확보하기 위한 한 가지 대안으로서 저수지 용량 재할당 방법을 제안하고, 금강유역을 시범유역으로 선정하여 적용하였다. 본 연구에서 시범유역으로 선정한 금강유역은 용담댐이 완공됨으로써 주변 수문상황이 많이 변화하였고, 행정중심 복합도시의 이전으로 장래 인구 증가와 용수수요량 증가가 예상되는 유역이다.



Table 7. Monthly Water Supply Plan for Yongdam Reservoir (m<sup>3</sup>/s)

Month	Intake		Domestic and Industrial Water	Irrigation Water	Instream Water	Total
1	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
2	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
3	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
4	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
5	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
6	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
7	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
8	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
9	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
10	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
11	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
12	Reservoir		15.63	0.0	0.0	15.63
	Downstream		0.0	0.0	5.0	5.0
Total	Reservoir	m <sup>3</sup> /s	15.63	0.0	0.0	15.63
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	492.7	0.0	0.0	492.7
	Downstream	m <sup>3</sup> /s	.0	0.0	5.0	5.0
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	0.0	0.0	157.7	157.7
	Total	m <sup>3</sup> /s	15.63	0.0	5.0	20.63
		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	492.7	0.0	157.7	650.4

Table 8. Water Yield of Daechung Reservoir

Normal Pool Level (m)	75	76	76.5	77	78
Water Yield (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1,391.4	1,418.0	1,428.2	1,466.6	1,465.0
Rate against Existing Normal Pool (%)	97.4	99.3	100.0	101.3	102.6

적절한 저수지 재할당 수위를 결정하기 위하여 상류의 신규 저수지의 유·무 조건 하에서 대청호의 다양한 빈도별 유입홍수량과 재할당 대안에 대해 홍수조절 모의운영을 실시하였다. 모의운영은 수정 Rigid ROM과 HEC-5 기법을 사용하였으며, 모의운영의 결과인 저수지 방류량을 하류의 주요 지점까지 홍수추적하여 각 저수지 용량 재할당 대안에 대한 침투유량을 산정하였다. 저수지 용량 재할당 수위는 주요 지점에서 월류되지 않는 홍수량에 의해 결정된다. 저수지 용량 재할당 전·

후 용수공급능력의 변화를 계산하고 비교하였다. 최종적으로 저수지의 홍수조절과 이수능력을 모두 고려한 저수지 재할당 수위를 결정하였다.

다목적댐 용량 재할당 이론을 대청 다목적 저수지에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 대청호에 대하여 현재의 상시만수위 76.5m보다 1.5m 상향된 상시만수위 78m로 재할당이 가능하다. 둘째, 홍수조절 측면에서 상시만수위 78m로 대청댐의 용량 재할당시에 용담댐을 고려한 대청댐의 운영으로 24시간 지

속기간을 갖는 300년 빈도 홍수에도 홍수조절이 가능할 것으로 판단된다. 셋째, 이수측면에서 신뢰도 95%를 만족시키는 용수공급량은 기존 상시만수위 76.5m로 운영했을 시  $1,428.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 에서 78m로 제한당 했을 시에는  $36.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  증가된  $1,465.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 으로 약 3% 증가하였다.

저수지의 홍수조절 기능은 이수기능과 상충될 수 있기 때문에 저수지 용량 재할당은 이러한 갈등을 더 심화시킬 수 있다. 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미에 의한 홍수 피해로 저수지의 홍수조절 기능이 더욱 강조되고 있기 때문에, 여수로 설계홍수량도 과거의 200년 빈도 설계홍수량에서 PMF로 바뀌고 있는 추세이다. 또한, 대청호를 포함한 여러 저수지에서 비상 여수로를 신설하는 등 치수능력 증대를 위해 노력하고 있는 형편이다. 기존의 대규모 다목적 저수지에서 저수용량 재할당만으로 용수공급 증대와 PMF와 같은 극한홍수 조절을 모두 만족시키기는 어렵지만, 여수로 추가 신설 또는 확장, 댐 증고와 같은 구조적 대안과 함께 고려한다면, 한정된 수자원의 효율적 관리 측면, 비용 절감 측면에서 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

건설교통부 (2000). **수자원장기종합계획 보고서**.  
 심명필, 권오익, 김경탁 (1998a). "평화의 댐과 연계한 화천댐의 홍수조절효과 1. 화천댐의 홍수조절능력 검토." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-2호, pp. 163-172.  
 심명필, 권오익, 김경탁 (1998b). "평화의 댐과 연계한 화천댐의 홍수조절효과 2. 화천댐의 제한수위 재설정." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-2호, pp. 173-183.  
 유주환, 박창근, 조효섭 (2001). "평화의 댐 홍수지체 효과에 따른 화천댐 계통 이수 능력의 증대에 대한 검토." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제34권, 제6호, pp. 617-625.  
 이재웅, 권용익 (2004). "다목적댐 용량 재할당에 대한 연구(I) - 치수용량 분석." **한국수자원학회논문집**,

한국수자원학회, 제37권, 제4호, pp. 273-281.  
 이재웅, 권용익, 윤용남, 안태진 (2004). "다목적댐 용량 재할당에 대한 연구(II) - 이수용량 분석." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제4호, pp. 283-292.  
 이재웅, 임동선, 이종태 (2004). "이수측면에서 평화의 댐 활용방안 연구." **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제8호, pp. 653-662.  
 한국수자원공사 (1995). **화천댐 및 평화의 댐 연계운영 및 관리방안 조사**.  
 한국수자원공사 (1998). **기존댐 용수공급능력조사(금강수계) 보고서**.  
 한국수자원공사 (2004). **다목적댐 운영 실무편람**.  
 Ford, D. T. (1990). "Reservoir Storage Reallocation Analysis with PC." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 116, No. 3, pp. 402-416.  
 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.  
 Larson R. L., and Spiazola J. (2000). "Conjunctive Management Analyses for Endangered Species Flow Augmentation Alternatives in the Snake River." *Proceedings of the Watershed Management & Operations Management 2000*. Reston, VA. pp. 1-7.  
 Patrick, E. C. (1988). *A hydrologic and statistical evaluation of storage reallocation for multipurpose reservoir system operation*. Ph. D. dissertation, University of Texas A&M.  
 U.S. Army Corps of Engineers (1988). *Opportunities for Reservoir Storage Reallocation*. IWR Policy Study 88-PS-2. Water Resource Center, Institute for Water Resources, Ft. Belvoir, VA.  
 U.S. Army Corps of Engineers (1998). *Simulation of Flood Control and Conservation Systems, User's Manual Version 8.0*, October, 1998.  
 Wurbs, R. A., and Cabezas, L. M. (1987). "Analysis of reservoir storage reallocations." *Journal of Hydrology*, Vol. 92, pp. 77-95.  
 (논문번호:05-152/접수:2005.12.5/심사완료:2006.12.5)