

## 홍수기중 가변제한수위에 의한 저수지 운영 Reservoir Operation by Variable Restricted Water Level during Flood Period

심 명 필\* · 권 오 익\*\* · 이 환 기\*\*\*  
Shim, Myung Pil · Kwon, Oh Ig · Lee, Hwan Ki

---

### Abstract

For optimal reservoir operation during flood period, a general and systematic policy is suggested to make balance of the conflicting purposes between water conservation and flood control. The purpose of this study is to decide the restricted water level of the reservoir during flood period specially to meet water demand in non-flood period. The optimal policy is derived by reallocation of storage capacity through the application of variable restricted water level (VRWL) and minimum required water level(MRWL) for shorter intervals. This study also suggests water level conditions to secure conservation storage capacity at the end of the flood period estimated by reservoir operation study. This paper illustrates an application of the methodology through the simulation of multipurpose reservoirs at the DaeCheong Dam and the Chungju Dam respectively during flood and the results are reviewed.

---

### 요 지

홍수기중 최적의 저수지운영을 위해 서로 상반되는 이수과 치수를 조화시키기 위한 전반적이고 체계적인 운영방안을 제안하였다. 본 연구는 비홍수기의 용수수요 보장을 고려한 홍수기중 저수지의 제한수위를 결정하기 위한 것이다. 단기간별로 가변제한수위(VRWL)와 최소 확보저수위(MRWL)를 적용하여 저수용량의 재할당으로 최적 운영방안이 유도되었다. 또한 갈수빈도해석에 따른 저수지운영분석으로 비홍수기의 용수공급을 위해 확보되어야 할 홍수기 말 저수지의 수위조건에 관하여 대청과 충주 다목적댐을 대상으로 적용하고 그 결과를 분석하였다.

- 
- \* 인하대학교 토목공학과 교수
  - \*\* 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정
  - \*\*\* 한국수자원공사 관리본부 설계관리실장

## 1. 서 론

수자원 개발의 기본목표는 인간의 기초자원인 물의 시간적, 공간적인 수요와 공급의 균형을 유지하고 예기치 못할 수해에 대비함으로써 인간의 생명과 재산보호는 물론 삶의 질을 높이는데 있다. 인구증가와 경제성장에 따른 증대하는 양질의 물수요를 충족시키고 토지이용의 고도화에 따른 홍수피해 경감을 위해서는 관련된 각종 변화요인과 문제점등을 파악하여 그 대책을 마련하여야 한다. 이를 위해 댐과 저수지는 그 주요 수단으로 정치, 경제, 사회, 환경등의 복잡한 특성을 감안하여야 한다. 장기적으로는 구조물적인 대책으로 새로운 댐의 건설을 계획하면서 단기적으로는 비구조물적인 대책으로 기존 저수지의 효율적인 이용을 고려하여야 한다. 저수지의 운영 역시 장기적으로 비홍수기의 용수공급을 위한 이수대책과 단기적으로 홍수기의 홍수피해경감을 위한 치수대책을 각각 수립하여야 한다. 특히 홍수기에는 홍수기에 집중하는 우리나라의 강우특성상 한정된 저수지의 저수공간을 최대한 활용하여 홍수조절을 우선순위로 홍수기의 진행에 따라 비홍수기를 대비한 용수확보에도 전념하여야 한다. 따라서 홍수기를 통해 용수도 확보하고 홍수피해도 최소화할 수 있는 한정된 저수공간의 탄력적인 운영을 필요로 한다. 그러나 각종 자연현상의 불확실성과 현실적인 제약조건들은 효율적인 저수지의 운영을 어렵게 한다. 특히 유입량의 불확실성은 한정된 저수공간의 효율적인 이용을 근본적으로 어렵게 만든다. 본 연구에서는 이러한 유입량의 불확실성을 고려하여 한정된 저수지의 저수공간을 탄력적으로 운영하는 방안을 검토해 보고자 한다. 이를 위해 대청과 충주 다목적 댐을 대상으로 홍수빈도해석과 갈수빈도해석을 통해 홍수조절과 용수보존을 위해 한정된 저수공간을 구간별로 적절히 할당하여 이용하는 방안에 대하여 검토하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

다목적 댐의 경우 저수공간은 일반적으로 그 목

적과 기능에 따라 홍수조절용량, 이수용량, 불용용량으로 구분할 수 있다(Wurbs 등, 1985). 이수용량은 이수목적용을 위해 유수를 저장하고 조절하는데 쓰이는 용량으로 저수위로부터 상시만수위까지의 저수공간을 뜻한다. 일반적으로 홍수조절용량은 이수용량의 일부로 포함되기도 하나 홍수발생예측이 어려운 지역에서는 상시만수위 위에 홍수조절용량을 추가로 설치하기도 하는데 이를 홍수조절전용용량이라고 한다. 한편 우리나라와 같은 문순지대에서는 홍수기중에 이수용량중의 일부를 홍수기 전에 미리 방류하여 이를 치수목적용으로 쓰기도 하는데 이를 공용용량이라고 한다(댐시설기준, 1993; 권오현, 1994). 일반적으로 다목적 저수지의 운영은 홍수조절용량과 이수용량을 합한 한정된 활용공간 내에서 유입량과 저류량, 방류량, 손실량등으로 구성된 저수지의 물수지에 의해 이루어 진다. 한정된 활용용량을 이용한 홍수기중의 저수지 운영방법으로는 제한수위방식과 예비방류방식이 있다. 제한수위방식은 저수지의 수위를 일정수위로 유지하여 홍수조절용량을 확보함으로써 홍수를 대비하는 것이며, 예비방류방식은 제한수위를 정하지 않고 이수목적에 비중을 두어 사용하다가 홍수가 예상될때만 예비방류에 의해 저수지의 수위를 낮추어 홍수조절용량을 확보하는 것이다. 두 방법 모두 홍수조절의 기본원칙중 이상상황에 대한 즉각적인 대응 개념보다는 확실한 조작과 효과를 발휘하는 개념에 치중하는 일종의 일정용량 확보방식이다(다목적댐의 건설, 1987). 우리나라의 경우 댐 규정에 의하면 홍수조절을 위해 홍수조절전용용량을 설치하였고 공용용량의 이용도 가능하도록 되어 있으며 저수지 운영은 제한수위방식을 기준으로 필요에 따라 예비방류도 허락하는 조합방식의 형태를 취하고 있다. 댐 규정(다목적댐 운영실무 편람, 1994)에 의하면 일반적으로 홍수기를 6월 중순에서 9월 중순까지로 구분하여 홍수기중에는 일정한 제한수위를 유지하여 홍수조절용량을 확보하고 비홍수기에는 상시만수위를 유지하도록 명시되어 있다. 댐 규정에 따르면 홍수기중 내내 저수공간은 규정된 제한수위를 기준으로 고정된 홍수조절용량과 이수용량을 유지하여야 하고 비홍수기가 시작되는 9월 중순 이후에는 상시만수위로 복귀하여야 한다. 그러나 9

월 중순이후 상시만수위로 복귀하지 못한다면 경우에 따라서는 남은 비홍수기의 용수공급에 심각한 차질을 초래할 수도 있으므로 홍수기말의 저수지 운영은 홍수조절과 함께 상시만수위로의 원활한 복귀도 중요한 과제이다. 따라서 상반되는 이수과 치수 목적을 달성하여야 하는 홍수기중 저수지 운영은 한정된 저수공간의 고정적인 이용보다는 적극적으로 활용하여 탄력적으로 이용하는 방안을 검토하여야 한다(Wurbs 등, 1985). 국내의 경우 소양강과 충주댐을 대상으로 유입량의 분포에 따른 가변제한수위의 이용은 일정제한수위보다 효율적이라는 홍수기 저수지 이수모형이 검토된바 있다(이길성과 강부식, 1992). 저수지의 홍수조절을 위한 방류량 결정방법으로는 일반적으로 모의기법과 최적화기법이 이용되고 있다. 특히 홍수기말에 가까워지면 수문예측자료의 불확실성에 따른 이수용량확보의 위험도를 고려하여야 한다(한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정수지 시스템개발, 1992). 홍수기의 저수지 운영은 댐운영자의 경험과 적응적인 판단을 필요로 하며 이를 위해 수개의 저류구간으로 나누어 구간에 따라 운영방안을 달리 하기도 한다(HEC5, 1985).

### 3. 운영기준의 수립

홍수기 저수지 운영은 홍수조절을 우선순위로 비홍수기의 용수공급을 위해 한정된 저수공간을 최대 활용하여 홍수조절용량과 이수용량을 확보하여야 한다. 홍수조절을 위해서는 제한수위를 낮추어 홍수조절용량을 추가적으로 확보하는 것이 안전하나 비홍수기를 대비한 용수확보에는 위험이 따르게 된다. 따라서 홍수기에 집중하는 강우특성을 감안하여 홍수기말에 원활한 상시만수위를 확보하기 위해서는 홍수기를 적절히 구분하여 이수과 치수의 비중을 점차적으로 달리하는 방안이 검토되어야 한다(다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구, 1992). 본 연구에서는 유입량의 불확실성을 고려한 한정된 저수공간의 탄력적인 운영을 위해 다음과 같은 저수지 운영방안을 검토하였다. 첫째, 홍수기의 홍수조절을 위해 과거의 유입량 자료로부터 홍수사상을 선정하여 홍수의 규모와 크기를 파악한

후 홍수기를 월 또는 순(旬)별로 단위기간으로 구분하고 홍수빈도해석에 의하여 초과확률별로 월 또는 순별로 유지되어야할 가변제한수위를 결정한다. 둘째, 비홍수기의 용수공급을 위해 확보되어야할 월별 저수지의 수위조건을 검토한다. 유입량의 불확실성을 고려하여 갈수빈도해석에 따라 재현기간별로 월별로 최소로 확보되어야할 최소확보저수위를 산정한다. 셋째, 월 또는 순별로 빈도해석에 따라 구분된 가변제한수위와 최소확보저수위의 비교를 통해 홍수기 저수지 운영방안을 검토하여 댐 운영자의 경험을 바탕으로 판단할 수 있는 기준을 제시한다.

#### 3.1 홍수사상의 선정

홍수의 규모와 크기를 판단할 홍수빈도해석을 위해서는 과거의 유입량 자료로부터 무해유량(non-damaging discharge)을 기준으로 홍수사상을 추출할 수 있다(Votruba, 1989). 무해유량은 저수지로부터 예비방류 또는 본 방류를 하는 경우, 하류의 범람위험이 없는 안전한 유량을 뜻하는 것으로 그 크기는 지류의 유입량과 하도의 저류효과 및 하구조전동의 하도의 상황에 따라 시간적으로 변하는 값이다. 무해유량의 결정은 정확한 하도추적모형에 의해 사전에 추정하여야 하며 예비방류는 무해유량을 넘지 않는 범위내에서 결정되어야 한다. 홍수사상은 그림 1(a)와 같이 무해유량( $Q_{nd}$ )을 기준으로 무해유량을 넘는 유입량의 용적  $W$ 로 선정된다. 유입량의 용적을  $W_1, W_2, W_3$ 라 할때, 그림 1(b)와 같이  $W_1$ 이  $W_2$ 보다 큰 경우는  $W_1, W_2, W_3$  모두를 하나의 홍수로, 그림 1(c)와 같이  $W_1$ 이  $W_2$ 보다 적은 경우는  $W_1$ 과  $W_3$ 만을 별개의 홍수로 간주한다.

#### 3.2 가변제한수위 (Variable restricted water level; VRWL)의 검토

홍수기 전 기간동안 저수공간의 고정된 할당으로 일정한 수위를 유지하는 기존의 제한수위방식은 홍수의 발생빈도와 규모를 고려하여 단위기간별로 그 제한수위를 달리하여 한정된 저수공간의 재할당에 따른 이수과 치수의 효율을 높일 수 있다(다목적

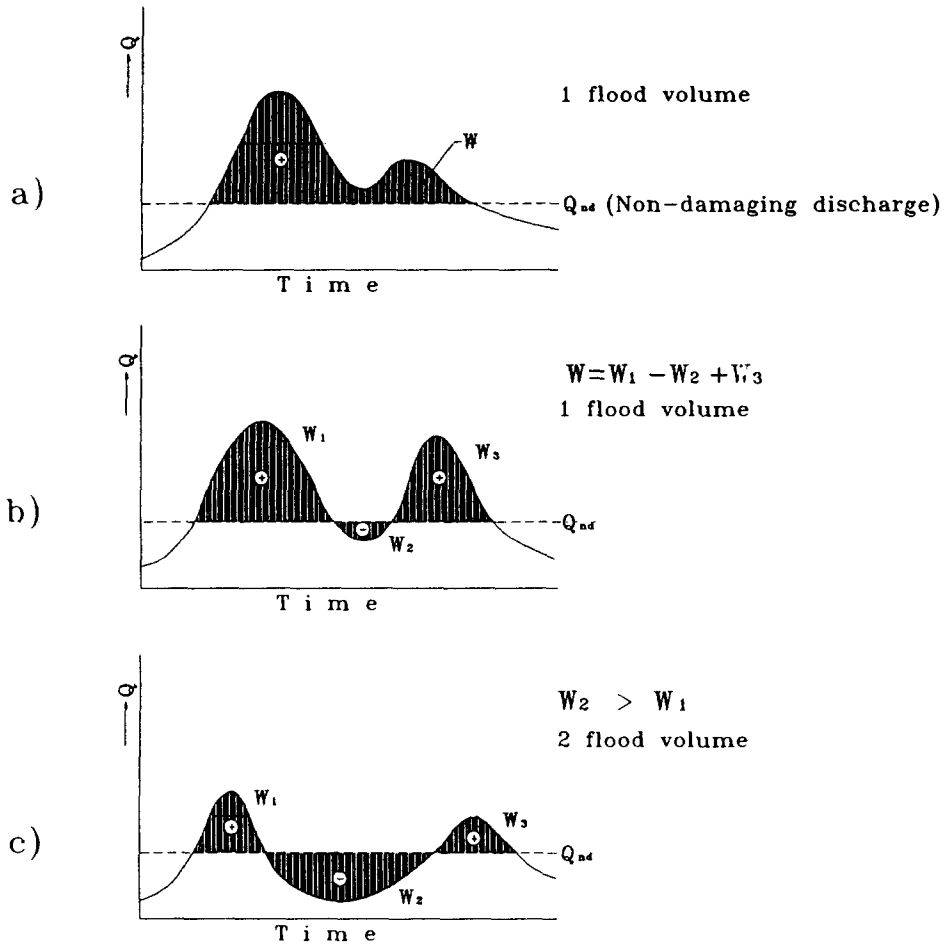


그림 1. 홍수사상의 선정

댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구, 1992). 충주댐의 경우 홍수기 전 기간(6월 21~9월 20일)을 홍수기 제한수위인 138m를 유지하도록 되어 있으나 9월 21일부터는 상시만수위인 141m를 유지하여야 한다. 이는 불확실하고 임의적인 댐 유입량의 특성을 고려할때 위와 같이 명시된 기간을 기준으로한 댐 규정의 준수는 실제운영에 있어 상당한 어려움이 따른다. 따라서 홍수기의 진행에 따라 홍수조절과 용수보존의 비중을 달리하여 한정된 저수공간의 가변적인 할당으로 단계적으로 제한수위를 상승시켜 홍수기말에 원활한 상시만수위를 유지하도록 가변제한수위방식을 검토하였다. 이를 위해 홍수기간을 가능한 단위기간별로 구분하고 각 단위기간별 관측된 유입량 자료로부터 통계적인 기

법을 이용하여 적절한 분포를 가정하고  $\chi^2$ -검정, Kolmogorov-Smirnov검정 등의 적합도 검정을 실시하였다. 적합도 검정의 결과 가정한 이론적 분포들중 가장 적합하다 생각되는 분포를 선택하여 빈도해석을 통해 홍수기 단위기간별 특정 유입량의 규모와 크기를 예측하여, 예측된 빈도별 홍수량에 대해 상응하는 홍수조절용량과 관련있는 저수지의 수위를 가변제한수위로 결정하였다.

### 3.3 최소 확보저수위 (Minimum required water level; MRWL) 산정

비홍수기의 용수공급을 위한 저수지의 운영은 강우특성상 홍수기말에 확보된 이수용량에 의존하여 비홍수기의 물수지에 따라 이루어진다. 일반적으

로 홍수기말에 상시만수위를 확보함으로써 비홍수기의 용수공급을 계획하게 된다. 그러나 비홍수기의 유입량 역시 불확실하여 극심한 가뭄에 따른 이상상황에 대비하여야 한다. 본 연구에서는 비홍수기의 안정적인 용수공급을 위하여 갈수빈도해석에 따라 갈수빈도별로 확보되어야 할 홍수기말 저수위 조건을 검토하여 임의의 갈수빈도에 대응하는 홍수기말의 저수위를 최소확보저수위로 산정하였다. 이를 위해 저수지운영분석을 통해 갈수유입량에 대한 갈수빈도해석을 수행하였다. 저수지운영분석은 저수지를 하나의 시스템으로 보았을 때 기간별 입력과 출력을 가지고 저류량의 시간적인 변화를 따지는 물수지분석이라 할 수 있다(윤용남, 1991). 저수지로의 입력은 댐지점에서의 유입량과 저수지 표면에 떨어지는 강수량이며, 출력에는 저수지 표면으로부터의 증발량 및 용수수요량이 포함된다. 여기서 저수지상에 떨어지는 강수량과 저수지 표면으로부터의 증발량을 체적으로 환산하기 위해서는 매월의 저수지 평균수위에 해당하는 수표면적을 강수심과 증발심에 각각 곱해 주면 된다. 따라서 월자료를 사용하여 저수지운영분석을 하는 경우에는 각 월별 저수지상의 강수량 및 증발량을 저수지유입량에 가감하여 순저수지유입량을 용적으로 계산한 후 월별로 용수수요량이 순저수지유입량을 초과하는 용적(월별 물부족량)을 합산하여 홍수기말의 소요저수용량을 결정할 수 있다. 이상의 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$I + R - E = N \quad (1)$$

$$D = O - N \quad (2)$$

여기서, I는 월별(갈수)유입량, R은 저수지상에 떨어지는 강수량(강수량x매월 저수지평균수위의 수표면적), E는 증발 손실량(접시증발량x증발접시계수x평균수위의 수표면적), N는 월별 순유입량, O는 월별 용수수요량(생.공용수+발전용수+관개용수+하천유지용수 ……), D는 월별 물부족량 또는 물잉여량(음수인 경우)이다.

## 4. 대청 및 충주댐의 적용

### 4.1 홍수사상의 선정

대청댐과 충주댐의 경우 자료가 불충분하여 홍수사상의 통계적인 특성치와 이론적 분포를 추정하기 어려우나, 이용할 수 있는 대청(1981~1991)과 충주(1986~1991)댐의 매년 6월에서 9월까지의 일평균 유입량자료로부터 단위기간별로 상대적인 값들을 비교하였다. 충주댐의 과거 홍수유입량을 분석하기 위해 비홍수기로부터 홍수기로 전환시 예비방류의 한계(댐시설기준, 1993)를 기준으로 일평균 유입량 2000m<sup>3</sup>/sec를 무해유량으로 하여 홍수사상을 추출하였다(Votruba, 1989). 실제 홍수사상의 기저시간은 기저유량을 기준으로 하는 경우에 수일에 불과하나 본 연구와 같이 유입량자료를 근거로 홍수사상을 추출하는 경우에는 일반적으로 기저시간이 길어진다. 선정된 충주댐의 홍수사상의 기저시간은 6일에서 15일 사이에 분포하였고 이에 기저시간을 이들의 평균치인 10.5일로 추정하였다. 추정된 기저시간을 이용하여 6월에서 10월까지의 대청댐과 충주댐의 순별 자연유입량자료로부터 통계적인 방법을 이용하여 그 이론적인 분포를 찾아 빈도해석에 따른 초과확률개념을 사용하여 10%에서 50%사이의 유입량에 대한 순별 가변제한수위를 검토하였다. 자료의 부족으로 일평균 유입량을 사용하여 홍수사상의 평균기간을 산정하고 순별유입량의 빈도해석을 하는 것은 이론적 근거에 있어 무리가 있으나 상대적인 홍수빈도에 따른 가변제한수위를 추정할 수는 있을 것이다. 대청댐의 순별유입량의 자료수는 부족하여 통계적 특성치를 추정하기 어려우므로 대청댐의 경우는 월별로, 충주댐은 순별로 분석하였다. 홍수에 대한 적합한 확률분포를 구하기 위해 통계 package인 STATGRAPHICS(Ver. 5)를 이용하였다. 표 1과 2는 대청댐과 충주댐의 홍수기중 월별 및 순별유입량의 이론적분포와 유의수준을 나타낸 것이다. 표 1과 2에서 유의수준이 상대적으로 낮은 값들은 과거의 실측자료가 부족한 것이 주요인으로 자료의 변동이 크고 또한 사용한 통계 package의 사용범위가 제한된 결과라고 생각된다.

표 1. 대청댐 홍수기 월별 유입량의 이론적 분포 (1981~1991)

월 별	이론적 분포	Approximate Significance Level
6	Lognormal	0.933417
7	Lognormal	0.928184
8	Lognormal	0.647321
9	Lognormal	0.95048

표 2. 충주댐 홍수기 순(10일)별 유입량의 이론적 분포 (1986~1991)

순별기간	최적분포	Approximate Significance Level
6월 말	Lognormal	0.85747
7월 초	Lognormal	0.92517
7월 중	Weibull	0.95982
7월 말	Exponential	0.66796
8월 초	Weibull	0.88925
8월 중	Weibull	0.81604
8월 말	Lognormal	0.95599
9월 초	Lognormal	0.99638
9월 중	Lognormal	0.99770
9월 말	Weibull	0.95018

표 3. 대청댐 월별 가변 제한수위

순별기간	초과확률(%)별 저수위					현 제한수위 (76.5m) 초과확률 (%)
	50	25	20	15	10	
6	79.65	79.23	78.87	78.49	77.83	6
7	78.32	74.77	72.95	69.75	62.61	33
8	78.65	77.19	76.61	75.77	74.39	20
9	78.88	77.63	77.13	76.41	75.21	16

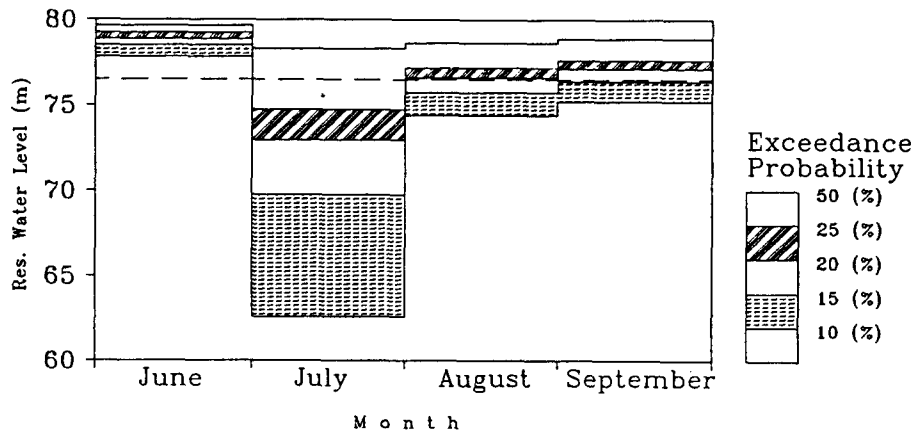


그림 2. 대청댐의 초과확률에 대한 가변제한수위

#### 4.2 가변제한수위(VRWL)의 검토

표 3과 4는 방류를 고려하지않은 상태에서 초과 확률유입량에 대한 가변제한수위(VRWL)를 대청댐과 충주댐에 관하여 각각 구한것이며 이들을 도시한 것이 그림 2와 3이다. 그림 2와 3에서 기존의 제한수위인 76.5m(대청댐)와 138m(충주댐)를 점선으로 나타내었으며 두 저수지 모두 홍수기

전반부는 제한수위를 현재보다 낮추는 것이 바람직하나, 후반부에는 제한수위를 다소 올려주므로서 이수를 위한 대비를 할 수 있다. 그림 2와 3의 가변제한수위로부터 구한 홍수조절용량은 실제 홍수시 예비방류와 본 방류를 통해 추가적인 홍수조절용량을 확보할 수 있으므로 비교적 정확한 홍수유입량을 예측할 수 있다면 홍수기 가변제한수위의 적용은 가능하다 할 수 있다.

표 4. 충주댐 월별 가변 제한수위

순별기간	초과 확률(%)별 저수위					현 제한수위 (138m) 초과확률(%)
	50	25	20	15	10	
6월 말	144.0	142.7	142.2	141.4	140.1	6
7월 초	142.9	139.5	138.0	135.7	131.4	20
7월 중	139.7	135.1	133.6	131.6	128.8	38
7월 말	140.4	135.2	133.4	130.9	127.1	36
8월 초	142.0	138.7	137.5	136.0	133.8	22
8월 중	142.3	140.2	139.6	138.0	137.7	11
8월 말	141.9	139.7	138.9	137.9	136.3	16
9월 초	141.6	138.4	137.1	135.4	132.4	24
9월 중	142.9	140.0	139.2	137.7	135.1	16
9월 말	143.6	142.7	142.4	142.1	141.7	1

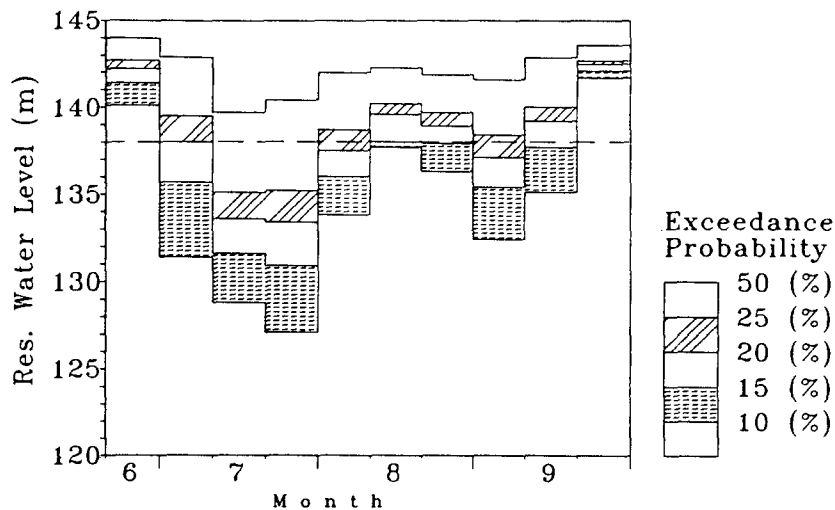


그림 3. 충주댐의 초과확률에 대한 가변제한수위

### 4.3 최소확보저수위(MRWL) 산정

대청댐과 충주댐의 갈수기에 대비해서 확보하여야 할 저수량을 산정하기 위해서 저수지운영의 제약조건으로 작용하는 갈수기의 월별 유입량으로는 수자원공사에서 조사한 재현기간별, 지속기간별 확률유입량을 사용하였다(충주댐지점 갈수분석 및 신뢰도별 필요확보저수량, 1991). 저수지상에 떨어지는 강수량은 대청댐의 경우 1981년에서 1991년 사이의 대청댐의 월별 평균강우량 자료를 이용하였고, 충주댐의 경우 한강수계내의 80여개의 우량관측소에서 관측된 충주지역의 월별 평균강우량 자료를 이용하였다. 증발손실량은 대청댐의 경우 대전과 청주의, 충주댐의 경우 서울과 강릉의 월별 증발량을 평균하여 증발잠시계수 0.7과 수표면적을 곱하였다. 수표면적은 다른 변수에 비해 영향이 작다고 판단하여 계산의 편의상 저수지 수위를 대청댐의 경우 70m, 충주댐의 경우 130m로 일정하다고 가정하고 그에 따른 각각의 수표면적량을 사용하였다. 월별 용수수요량은 대청댐의 경우 댐설계기준용량을 사용하였고, 충주댐의 경우 장래의 수요를 고려한다는 의미에서 최종목표년도인 2011년 계획량을 채택하였다(다목적댐 운영 실무편람, 1994). 표 5는 대청댐의 월평균 누가갈수유입량(Low flow)을 12개월 주기로 분석하여 월평균 수문량, 용수공급량 및 갈수빈도별 물부족량을 구한 것이다. 사용한 누가갈수 유입량은 비홍수기의

마지막 달인 6월 말을 기준으로 역순으로 누가한 값을 구한 것이다. 갈수재현기간은 갈수유입량분포의 누적확률(Cumulative probability)의 역수로서 임의의 유입량과 같거나 적은 값이 평균 1회 일어나는데 소요되는 기간이다. 표 5의 갈수빈도별 물부족량은 월별로 용수수요량을 충족하기 위한 소요저수용량을 뜻하며, 주로 7월에서 9월사이의 음수값들은 유입량이 용수수요량을 넘어서 물부족이 없는 경우를 나타낸다. 표 5의 물부족량의 값에서 비홍수기의 마지막달인 6월말부터 역으로 누적하여, 6월말 용수공급을 충족시키기 위해 확보해야 할 매월말의 최소확보저수위를 구하였다.

표 6은 충주댐의 용수용 최저소요저수위인 110m를 6월말에 유지하기 위한 매월 말의 확보저수위이다. 표 6의 충주댐의 경우에는 9월말의 최소확보저수위는 50년과 100년빈도의 갈수가 예상될때 각각 139.6m와 140.7m로서 상시만수위 141m보다 낮은 값을 나타낸다. 그러나 홍수기중인 7월과 8월말의 최소저수위는 50년과 100년 빈도의 갈수인 경우 139.1m와 141.4m로서 제한수위(138m)보다 높은 값을 확보하여야 한다. 현실적으로는 홍수기중에 홍수조절을 위해 저수위를 제한수위 이하로 유지하여야 하므로 50년빈도 이상의 갈수가 예상될 때에는 9월말의 소요저수위를 확보하는데 어려움이 따른다. 따라서 이러한 갈수에 대비하기 위해서는 홍수기중에 저수위를 현행 제한수위보다 다소 높게 유지하고 홍수예상시에는 예비방류를 실시하는 방안을 고려할 필요가 있다.

표 5. 대청댐의 용수공급량과 갈수빈도별 물부족량

월	강수량 (MCM)	증발량 (MCM)	용수공급량 (MCM)	갈수 재현기간(년)별 물부족량 (MCM)					
				5	10	20	50	100	200
1	1.7	1.0	110.4	51.7	60.6	68.1	76.0	81.0	85.0
2	2.0	1.1	99.7	34.1	44.4	51.9	59.7	64.4	68.4
3	2.6	2.4	110.4	-5.1	24.6	45.8	65.4	76.0	84.2
4	3.3	3.3	109.6	-23.8	8.2	29.9	49.7	60.6	69.0
5	3.4	5.0	123.2	30.3	54.3	69.9	83.7	90.9	96.5
6	6.9	5.3	230.2	187.8	201.8	209.4	215.2	218.0	220.0
7	15.5	3.9	192.0	-455.4	-329.7	-234.9	-139.5	-83.2	-36.5
8	10.4	4.1	181.3	-132.3	-80.9	-45.7	-12.6	6.3	21.7
9	7.1	2.9	165.4	-121.0	-96.5	-82.2	-68.9	-60.5	-52.8
10	2.3	2.9	110.4	27.0	46.4	61.1	75.5	83.6	90.0
11	2.2	1.5	106.8	36.6	44.1	50.4	57.6	62.3	66.5
12	1.4	1.1	110.4	46.7	57.1	65.5	74.2	79.5	84.0



표 6. 충주댐의 용수공급을 위한 최소확보저수위

월	갈 수 빈 도 (년)				
	5	10	20	50	100
7	122.2	129.9	134.8	139.1	141.4
8	127.6	132.3	135.4	138.3	140.0
9	132.1	135.3	137.6	139.6	140.7
10	130.8	133.7	135.7	137.5	138.6
11	128.6	131.6	133.6	135.4	136.4
12	126.3	129.4	131.3	133.1	134.0
1	123.0	126.1	128.1	129.8	130.8
2	119.8	123.0	125.0	126.7	127.7
3	117.7	120.5	122.2	123.7	124.5
4	118.1	119.6	120.5	121.3	121.7
5	115.9	116.5	116.8	117.1	117.3
6	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0

한편, 표 5에서는 갈수분석을 위해 월평균 유량을 이용한 누가유입량의 지속기간을 1~12개월로 분석하였으나 보다 장기적인 갈수특성을 파악하기 위해 갈수지속기간을 1~36개월로 보고 매월별로 최저저수위로부터 Mass curve에 의해 최대갈수량을 추정하여 용수공급을 위해 확보하여야 할 소요저수위를 분석해보았다. 분석결과 12개월 주기로 분석한 값들에 비해 상당히 큰 값이 나타났고 계획홍수위를 넘는 값들이 수개월간 요구됨으로 현실성이 없다고 할 수 있다(한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정수지 시스템 개발, 1992). 36개월을 주기로 분석한 값들은 이수만을 고려한 월별 최소확보저수위를 구하는 경우로서 초기의 저수지 용량을 결정할 때는 가능한 방법이나, 홍수기의 홍수조절목적도 고려하면서 동시에 이수목적의 소요확보저수위를 추정하기에는 무리한 방법이라 할 수 있다. 이수만을 고려하는 경우에는 보다 장기적인 36개월을 주기로 갈수량을 분석하는 것이 바람직하나, 저수용량이 제한된 기존의 저수지운영이나 특히 이수과 치수를 고려하는 홍수기의 저수지운영에는 12개월을 주기로 구한 최소확보저수위가 타당하다고 할 수 있다.

#### 4.4 적용결과 및 분석

그림 4는 대청댐의 홍수조절을 위한 가변제한수위(VRWL)와 이수를 위한 최소확보저수위(MRWL)를 비교한 것으로, 각각 홍수유입량의 초과확률과 갈수유입량(Low flow)의 누적확률과 관계를 가진다. 내부 4각형은 그림 2의 가변제한수위를 나타내고 바깥 4각형속의 실선들은 최소확보저수위를 도시한 것이다. 그림 4는 대청댐의 홍수기 동안 예비방류의 결정을 위한 저수지운영의 기준이 되며, 두 저수위선이 서로 겹치는 경우에는 이수과 치수목적이 상반되어 소요저수위가 각기 다르다는 것을 뜻한다. 예를 들면 8월의 제한수위는 초과확률별로(혹은 재현기간별로) 74.39m에서 78.65m를 확보해야 하나, 용수공급목적의 최소확보저수위는 재현기간별로 66.86m에서 75.99m로 상당한 부분이 겹치게 된다. 실제로 홍수기중의 이수과 치수를 고려한 저수지운영을 위해서는 해당기간의 제한수위곡선과 최소확보저수위를 비교하여 예비방류를 통해 운영하도록 한다. 홍수기말에는 이수목적은 고려하여 홍수예상시 예비방류를 통해 필요한 홍수조절용량을 확보하도록 저수지를 운영하면 서로 상반되는 이수과 치수를 함께 고려할 수 있을 것이다. 홍수기말의 제한수위는 현 관리규정에 의한 값보다 다소 높은 값을 갖도록 가변적으로 운영함으로써 비홍수기초의 상시만수위와 쉽게 연결시켜 줄수 있다. 제한수위를 올려주는 것은 홍수조절공간을 감

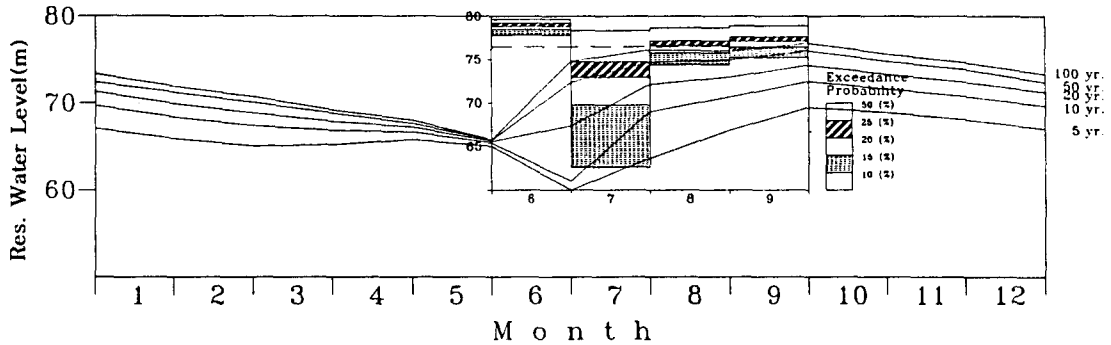


그림 4. 대청댐의 최소확보저수위와 가변제한수위

소시킴으로 치수목적에는 위험이 따를 수 있으나, 예비방류에 의해 저수위를 사전에 낮추어 홍수유입량을 감소시키므로 결과적으로 홍수조절공간을 확보하게 된다. 제한수위의 상황 조정에 따른 치수용량의 감소는 예비방류를 통해 저수위를 낮추어 주므로서 치수용량의 확보를 기하는 것이 바람직하다. 홍수기말의 가변제한수위의 설정은 현 관리규정의 제한수위와 상시만수위 사이에 있는 값을 취하도록 하여 이수 목적을 고려한 최소확보저수위와 균형을 갖도록 설정하는 것이 바람직하다. 대청댐의 경우 일년중 제한수위와 상시만수위가 일치하므로 홍수기말에 제한수위(76.5m)를 유지한다면 50년 빈도의 갈수가 발생하더라도 비홍수기간 중의 최저수위(60m) 확보에는 어려움이 없다고 볼 수 있다. 9월의 제한수위 76.5m는 초과확률 16%에 상당하므로 8월의 저수위를 약 76m로 유지한다면 15% 정도의 치수용 저수위를 확보하게 된다. 이수를 위해서는 100년 빈도의 갈수가 발생하더라도 다음해 6월 말에 최저수위(60m)를 확보하게 될 것이다.

#### 5. 홍수기 저수지 운영방안의 수립

그림 5는 충주댐의 경우를 나타낸 것으로 그림 5에서 홍수조절을 위한 제한수위곡선(초과확률별

가변제한수위와 기존의 일정제한수위를 포함)을 VRWL이라 하고 이수를 위한 최소확보 저수위곡선을 MRWL이라 하면 이들 저수위 곡선 사이에는 두가지의 경우가 있을 수 있다. 그 하나는 홍수기동안 해당기간의 제한수위를 나타내는 곡선 VRWL이 곡선 MRWL보다 높은 경우이다. 이는 두 곡선 사이에 어떤 저수위를 유지하더라도 이수와 치수 목적을 충족시키는 경우로서 곡선 VRWL의 낮은 초과확률치 또는 곡선 MRWL에 저수위를 유지하도록 하여 치수에 중점을 두도록 한다. 홍수기 초반부가 주로 이 경우에 해당될 수 있다. 다른 하나는 곡선 MRWL이 제한수위인 곡선 VRWL을 넘는 경우이다. 이는 이수와 치수 목적이 상반되는 경우를 뜻하며 많은 기간들이 이 경우에 해당한다. 특히 홍수기 후반부에는 치수에 치중하여 곡선 VRWL에 저수위를 유지하는 경우에 예상 홍수가 발생하지 않으면 심각한 용수부족을 초래할 수 있으므로, 곡선 MRWL의 해당 확률치에 저수위를 유지하여 이수에 중점을 두도록 한다. 이와 같은 경우 저수위는 제한수위를 넘을 수 없다는 댐 관리규정에 위배되고 홍수조절에도 위험이 따르나, 예측홍수의 정도에 따라서는 적절한 예비방류를 통하여 홍수조절용량의 확보를 기할 수 있을 것이다. 곡선 VRWL과 MRWL이 겹치는 경우 해당확률의 결정은 댐 운영자가 과거에 발생한 홍수의 크기

와 빈도를 참고하여 예상되는 홍수에 대하여 각 저수위별로 예비방류를 통한 모의운영을 실시하여 과거의 운영경험을 바탕으로 판단하여 결정하여야 한다. 홍수예측에 의한 예비방류에 대해 별도로 발표될 후속논문을 참고하기 바란다.

그림 6은 충주댐의 과거홍수에 대한 홍수조절을

위한 소요저수위곡선과 이수용 최소확보저수위와의 관계를 나타내는 것으로 곡선 VRWL과 MRWL이 겹치는 경우에 그림 6의 과거기록을 참고하면 예비방류의 효과를 고려한 확률저수위를 결정하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

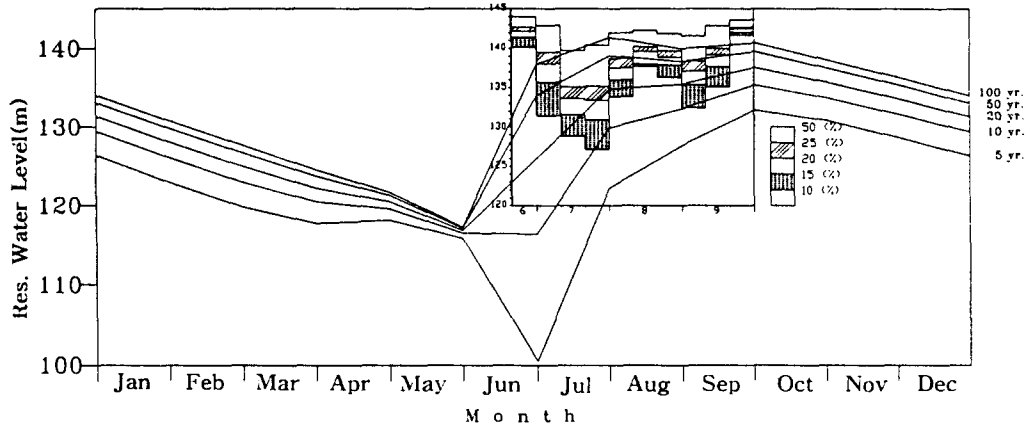


그림 5. 충주댐의 최소확보저수위와 가변제한수위

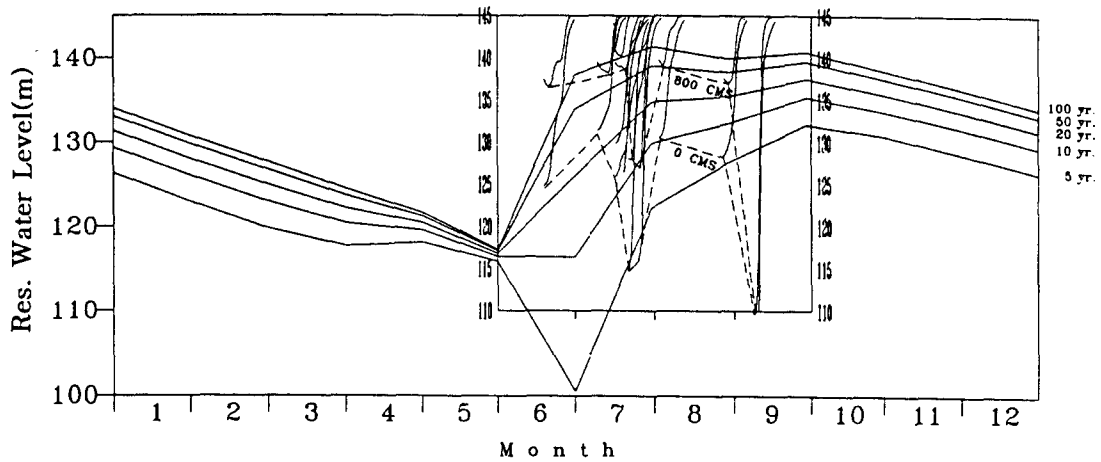


그림 6. 충주댐의 과거홍수에 대한 홍수조절을 위한 소요저수위와 최소확보저수위

## 6. 결 론

본 연구는 홍수기중 저수지 운영방안에 관한 것으로 한정된 저수공간의 효율적인 이용으로 서로 상반되는 이수과 치수목적의 달성하기 위한 것이다. 이를 위해 대청과 충주 다목적댐을 대상으로 비홍수기의 용수공급을 위해 홍수기말에 확보되어야 할 최소확보저수위와 한정된 저수공간의 재할당에 따른 단기간별 가변제한수위방식을 검토하였다. 검토결과 예측정보의 신뢰도가 향상될수록 한정된 저수공간을 적극 활용하여 홍수기중 이수과 치수를 고려한 저수지의 운영효율을 높일 수 있으리라 판단되며, 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 대청댐과 충주댐을 비롯한 국내 다목적 댐의 경우 홍수기중 일정제한수위를 유지하도록 되어있어 정확한 홍수예측 없이는 홍수기말 상시만수위의 확보에 어려움이 따르므로 비홍수기의 용수공급에 차질이 우려된다.

2. 한정된 저수공간의 효율적인 이용으로 홍수의 발생빈도와 규모에 따라 단기간별로 저수공간을 재할당하여, 홍수기 초기에는 홍수조절을 우선으로 하고, 홍수기말에는 상시만수위를 확보할 수 있도록 홍수기의 진행에 따라 단계적으로 제한수위를 상승시키는 방안을 검토할 수 있다.

3. 예측정보의 신뢰도가 향상된다면 예비방류와 연계한 가변제한수위방식으로 이수과 치수를 고려한 홍수기 저수지 운영의 효율을 높일 수 있을 것이다.

4. 본 연구의 가변제한수위와 최소확보저수위는 각 월별 또는 순별자료로부터 검토된 것으로 자료

의 수집이 용이하다면 각 기간별 홍수의 천이확률을 이용한 보다 다각적인 분석도 가능할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 권오현 (1994). 수자원공학. 세론.  
다목적댐의 건설-제 2권 조사편. (1987). 일본 건설성 하천국.  
다목적댐의 홍수조절을 위한 예비방류 대책 연구. (1992). 한국수자원공사.  
다목적댐 운영 실무편람. (1994). 한국수자원공사.  
댐시설기준. (1993). 건설부.  
이길성, 강부식 (1992). "위험도제약 선형계획법에 의한 홍수기 저수지 운영." 대한토목학회논문집, 제 12권, 제3호, pp. 139~151.  
윤용남 (1991). 공업수문학. 청문각.  
충주댐지점 갈수분석 및 신뢰도별 필요확보저수량. (1991). 한국수자원공사 수자원 연구소.  
한강수계 충주저수지 시스템의 실시간 최적운영을 위한 의사결정수지 시스템개발(이수관리부문). (1992). 92-WR-3-1, 한국수자원공사 수자원 연구소.  
Hydrologic Engineering Center (1985). *HEC-5 simulation of flood and conservation systems, users manual*. U.S. Army Corps of Engineers.  
Votruba, L. (1989). "Water management in reservoirs." *Development in Water Science* 33. pp. 297~313, pp. 330~340.  
Wurbs, R.A., Cabezas, L.M., and Tibbets, M.N. (1985). "Optimum reservoir for flood control and conservation purposes." *Technical Report No. 137*, Texas Water Resources Institute.  
(접수: 1995년 9월 28일)