

## 평화의 댐 홍수지체 효과에 따른 화천댐 계통 이수 능력의 증대에 대한 검토

### Identification of Expanding the Usability of the Water Resources in Hwacheon Dam System Due to the Flood Surcharging Effects of Peace Dam

유 주 환\* / 박 창 근\*\* / 조 효 섭\*\*\*

Yoo, Ju Hwan / Park, Chang Kun / Cho, Hyo Seob

#### Abstract

Peace dam constructed against the water attack had stopped in the first step, linked with Hwacheon dam through bypass tunnels and had an effect of flood surcharging in its pocket on Hwacheon dam downstream. To study the utility of Peace dam, the flood control effects of Peace dam and the restricted water level(RWL) in Hwacheon dam were reviewed and identified with operating Hwacheon dam system. Analysing the results the ideas of expanding the usability of the water resources in Hwacheon dam system were suggested. To do that, the criteria and the model of reservoir operation were established first and then the optimization of the operation have done. Based on the results the performance of the optimization was e-valuated as an reference coefficient with relative value of the registered data to the optimized. And examining several alternatives for the RWL in Hwacheon reservoir operation made more feasible RWL suggested. And its economic benefit was also reckoned.

*keywords* : Peace dam, Hwacheon dam, flood surcharging, restricted water level, optimization, reservoir operation, Incremental DP, hydropower

#### 요 지

수공 방어용으로 건설된 평화의 댐은 화천댐과 연계되어 있고 배수 터널과 함께 1단계 준공 상태로서 화천댐 상류에 위치하여 댐 하류에 홍수지체 효과를 갖는다. 따라서 본 연구에서는 현 평화의 댐의 활용방안을 연구할 목적으로 화천댐 시스템 조작을 수행하여 평화의 댐 홍수지체효과와 화천댐의 홍수기 제한수위 등을 검토하고 평가하였다. 그리고 이 결과를 분석하여 화천댐 계통의 이수 증대 방안을 제시하였다. 이를 위해서 우선 저수지 조작 기준과 모형을 설정한 다음 저수지 조작의 최적화를 수행하였다. 이 결과를 바탕으로 최적치에 대한 실적치의 상대적

- 
- \* 정회원 · 영동대학교 건설공학부 토목환경공학전공 전임강사  
Full-time Lecturer, Dep't of Civil and Environmental Engineering, Div. of Construction Engineering, Youngdong Univ., Youngdong, Chungbuk, ROK. 370-701 (E-mail : jhyoo@youngdong.ac.kr)
  - \*\* 정회원 · 관동대학교 토목공학과 부교수  
Professor, Dept. of Civil Eng. Kwandong University, Yangyang, Kangwon, ROK. 215-800  
(E-mail : ckpark@mail.kwandong.ac.kr)
  - \*\*\* 정회원 · 유니세크(주) 기술연구소 차장  
Vice Chief, UNISEC Technical Institute, Yeoksam, Kangnam, Seoul, ROK. 135-080 (E-mail : chohs@cnu.ac.kr)

인 값으로 조정계수를 평가하였다. 그리고 화천댐 제한수위의 몇가지 대안에 대하여 최적 저수지 조작을 수행하여 제한수위 적정 수준을 제시하고 경제적인 편익 또한 평가하였다.

**핵심용어** : 평화의 댐, 화천댐, 홍수지체, 제한수위, 최적화, 저수지 조작, 증분 동적계획법, 수력발전

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

정치적인 건설배경은 논외로 할지라도 애초 금강산댐의 水攻을 방어할 목적의 평화의 댐은 1987년 2월 시작하여 1988년도에 1단계 준공하여 제 기능을 발휘하지 못하는 상태로 10여년이 지났다. 특히 1993년 8월 감사원 감사 결과, 평화의 댐의 건설 목적이 과대적임이 밝혀졌고 평화의 댐은 국내외 언론에 논란이 되어 왔다. 그리고 관련 학술 연구로 선우중호(1986)는 금강산댐 건설의 기술적인 검토를 통하여 공유하천의 평화적인 이용을 제안하였고 전병호 등(1993)은 화천댐 상류 유출분석을 통하여 평화의 댐 건설에 따른 화천댐 홍수유입량과 수위가 감소함을 보여 화천댐 제한 수위 조정 가능성을 시사하고 화천댐의 최적인영을 통한 댐 조작기준의 설정이 요구된다고 발표한 바 있다. 또한 화천댐 및 평화의 댐 연계운영 및 관리 방안 조사(1995)를 기초로 하여 권오현 등(1996)은 화천댐 및 평화의 댐 시스템에 대한 이수적 효과를 발표하였고, 심명필과 권오익(1996), 심명필 등(1998a, 1998b)의 연구에서는 금강산댐, 평화의 댐의 건설 전후로 과거, 현재, 미래의 시나리오를 설정하여 화천댐의 연계운영을 면밀히 분석함으로써 평화의 댐이 화천댐 홍수조절능력에 미치는 효과와 이에 따른 홍수조절 측면에서 화천댐 제한 수위 대안 및 재설정을 제안한 바 있다. 이와 같이 평화의 댐은 유입홍수를 지체시켜서 화천댐 하류에 홍수조절 효과를 나타내고 있지만 화천댐 또는 평화의 댐의 운영상 변화는 뚜렷이 없는 실정에 있다.

한편 수자원은 한정되어 있는데 용수수요는 증가 일로에 있는 현실에서 극한기(67/68년 갈수 기준) 2011년에 한강권 물 부족이 11억톤 정도가 예견되고 있는 바(건설교통부, 1996)와 같이 수자원의 효율적인 관리가 더욱더 중요하다는 것은 재론의 여지가 없을 것이다.

이에 본 연구에서는 북한강의 수자원을 효율적으로 이용하기 위해서 평화의 댐에 의해서 홍수 조절된 만큼을 이수 기능으로 전환하는 방안으로 화천댐 하류 홍수 조절 목적을 갖도록 1973년부터 현재까지 설정되어서

용수공급 등 이수 측면을 위축시켜 온 화천댐 제한수위를 재검토하고 이수적 측면에서 저수지 조작의 최적화를 수행하여 화천댐 제한수위의 대안별로 평가함으로써 적정 수준을 제시함과 동시에 이수적 편익을 평가하여 평화의 댐 또는 화천댐 운영상에 기초자료를 제공할 수 있도록 하였다.

### 1.2 연구대상 및 범위

우선 화천댐은 한강수계 전체 계통의 일부분으로 전체 댐 계통의 연계 운영을 바탕으로 이수 효과를 분석해야 하지만 본 연구에서는 화천댐 유역내에 위치한 평화의 댐의 영향력을 평가하는 것에 주안점을 두어서 대상을 화천댐 직하류 이상의 상류 시스템으로 하였다. 현재 화천댐 상류에는 금강산댐과 평화의 댐이 직렬로 연결되어 있으나 연구 목적상 금강산댐의 영향을 받지 않은 경우에 대하여 분석하였다.

화천댐은 유역면적이 동해안으로 판유리댐을 제외하면 4,092Km<sup>2</sup>으로 북한강 유역의 약 35%를 점유하고 초기 1944년 5월에 수차 1호기가 발전을 시작한 수력발전 전용댐이었다. 이때 만수위(HWL)는 EL.181m으로 운영되었으나 한강 중하류의 홍수조절을 목적으로 1973년 7월부터 홍수기 제한수위로 EL.175m가 설정되어 운영되고 있다. 한편 평화의 댐 건설의 계기가 된 금강산댐은 서울 중심부인 한강 인도교로부터 약 230Km 상류에 평화의 댐으로부터 약 36Km 상류지점에 위치하고 유역면적은 2,394Km<sup>2</sup>이고 댐 바닥의 표고는 EL.190m으로 알려져 있다. 그리고 1988년 5월에 준공된 평화의 댐은 화천댐으로부터 24Km 상류에 위치하고 금강산댐 유역을 제외한 자기 유역은 833Km<sup>2</sup>이고 댐 표고는 EL.145.0m 이다.

그림 1과 같은 물리적 시스템에서 보는 바와 같이 평화의 댐 저수용량을 최대로 활용하기 위해서는 비무장지대(DMZ)는 물론 북한지역의 침수를 고려해야 하므로 북한과 긴밀한 협의가 필요할 것이다. 그러나 본 연구에서는 이수 효과 분석상 평화의 댐 상류의 침수에 대한 분석은 북한지역의 자료 제한과 협의 사항이기 때문에 논외로 하였다.

화천댐 계통은 이수 기능과 치수 기능을 갖고 있다.

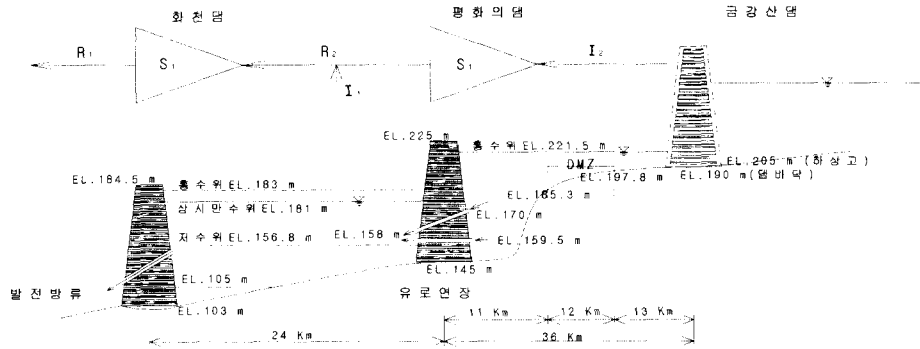


그림 1. 대상시스템 개요

본 연구의 목적은 이수효과 분석에 앞서 치수적인 안전성이 우선적으로 고려될 수 있도록 저수지의 홍수조절 공간을 치수공간으로 할당하였다. 그리고 이수 기능에는 용수공급, 수력발전, 주운, 휴양 등 여러 가지 있지만 본 대상 시스템 화천댐이 수력발전 전용댐이므로 저수지 운영에서 주목적을 수력발전 최대화로 하였고 이때 시스템 특성상 용수공급 또한 극대화한다고 할 수 있다. 보다 엄밀한 분석은 용수공급 최대화를 조작의 목적으로 두어야 하지만 현재 운영체계상 수력발전을 최대화하도록 하고 용수공급을 평가하고 그 밖에 기능은 제약조건상 부대기능으로 취급하였다. 댐 유입량은 화천댐의 유입량 기록을 이용하였고 각 댐 별로 유역면적비를 적용하여 산정하였다. 자료의 기간은 금강산댐의 건설로 인한 유출 영향을 받지 않는 기간인 1953년부터 1992년까지로 설정하였다.

## 2. 연구과정

### 2.1 연구흐름

본 연구의 목적을 달성하기 위해서 그림 2와 같은 연구 과정을 수행하였다.

### 2.2 평화의 댐의 홍수지체 효과 검토

화천댐은 건설당시 설계 계획홍수량은  $9,500\text{m}^3/\text{s}$ 이고 여수로 통수능력은 만수위 EL.181m에서  $5,428\text{m}^3/\text{s}$  이었으나 1986년 이후  $6,110\text{m}^3/\text{s}$ 로 상향 조정되었으며 홍수위 EL.183m에서의 최대 방류량은  $9,230\text{m}^3/\text{s}$ 로 분석되었다(화천수력댐 안전진단보고서, 1986). 한편 화천댐 상류에 위치한 평화의 댐 홍수지체 효과를 조사 분석한 결과(한국수자원공사, 1995)를 요약하면 표 1과 같다. 3

개 빈도의 모의결과로 100년, 200년은 홍수위를 초과하여 월류하므로 50년의 경우를 분석해 보면 평화의 댐 홍수지체 효과에 의한 화천댐의 홍수조절 능력은 건설 전보다 42~47%정도 신장됨을 보여 준다.

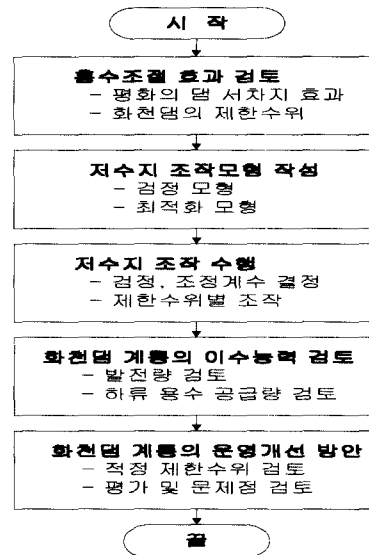


그림 2. 연구 흐름

이를 바탕으로 현재 설정되어 있는 제한수위 EL.175m를 증고하여 EL.179m, EL.180m, EL.181m 등으로 설정할 때 100년 빈도 홍수량에 대하여 화천댐 조절 방류량의 분석 결과(심명필 등 1998b)를 요약하면 표 2와 같다. 이때 평화의 댐 계획홍수를 EL.221.5m로 설정하고 화천댐은 계획 홍수위 EL.183m를 넘지 않도록

표 1. 평화의 댐 건설 전후의 화천댐 홍수능력 비교

제한수위 : EL.175m 기준

구분	조절방식	빈도 (년)	침투유입량 (m <sup>3</sup> /s, A)	최대방류량 (m <sup>3</sup> /s, B)	방류율 (B/A, C)	조절률 (1-C)	최고수위 (EL.m)	비고
건설전	일정률	50	11,500	8,620	0.75	0.25	180.0	← 화천댐
		100	13,000	9,225	0.71	0.29	183.1	월류
		200	14,700	9,006	0.61	0.39	183.3	월류
	일정량	50	11,500	7,510	0.65	0.35	183.0	
		100	13,000	9,225	0.71	0.29	183.2	월류
		200	14,700	9,006	0.61	0.39	183.3	월류
건설후	일정률	50	7,327	4,922	0.67	0.33	205.9	← 평화의댐
		100	8,106	5,414	0.67	0.33	209.2	
		200	8,926	5,916	0.66	0.34	212.4	
	일정량	50	7,326	4,000	0.55	0.45	206.1	
		100	8,106	4,500	0.56	0.44	209.3	
		200	8,926	5,000	0.56	0.44	212.5	

표 2. 화천댐 제한수위별 홍수조절 효과

평화의 댐 건설후, 100년 빈도 홍수유입량 기준

홍수조절방식	제한수위(EL.m)	평화의 댐 최고수위(EL.m)	최대방류량(m <sup>3</sup> /s)	비고
일정률	181	217.0	7,818	홍수유입량 : 8,106 m <sup>3</sup> /s
	180	210.6	7,247	
	179	210.3	6,619	
	175	209.2	5,414	
일정량	181	211.0	5,700	
	180	210.6	5,200	
	179	210.3	5,000	
	175	209.3	4,500	

모의 운영한 결과이다.

표 1과 2에서 보는 바와 같이 화천댐내 평화의 댐이 건설되면서 100년 빈도 기준할 때 유입 홍수량이 13,000m<sup>3</sup>/s에서 8,106m<sup>3</sup>/s로 감소되고 조절방식에 따라 제한수위별로 4,500m<sup>3</sup>/s에서 크게는 7,818m<sup>3</sup>/s까지 홍수 조절됨을 보여 준다. 즉, 표 1에서 보는 바와 같이 건설전에는 50년 빈도 홍수량에 대하여 조절방식에 따라 하류 조절 방류량은 7,510~8,620m<sup>3</sup>/s이었으나, 표 2에서 보는 바와 같이 건설후에는 100년 빈도 홍수량에 대해서도 제한수위를 EL.179~181m까지 증고한다고 할지라도 하류 조절 방류량은 5,000~7,818m<sup>3</sup>/s의 수준이었다. 이때 제한수위 EL.175~181m에서 화천댐 홍수조

절능력은 4,500~7,818m<sup>3</sup>/s 수준이고 평화의 댐 서차지 수위는 EL.209.2~211m 수준이다. 종합하면 100년 빈도 홍수 유입량에 대해 제한수위를 현 EL.175m에서 만수위 EL.181m로 증고한다고 해도 과거 평화의 댐이 없을 때 홍수 조절 방류량 9,225m<sup>3</sup>/s보다 1,407~3,525m<sup>3</sup>/s만큼 감소한 5,700~7,818m<sup>3</sup>/s 수준에 머문다. 다만 최고수위에 증가에 따른 급강산댐까지의 침수 문제는 별도의 남북협업의 문제가 될 수 있다.

### 2.3 저수지 조작 모형

#### 2.3.1 조작기준

저수지 조작기준은 치수와 이수 관점으로 대별될 수

있다. 본 연구는 치수적 바탕을 둔 이수 효과 분석이므로 홍수조절용량을 우선 치수적 저수공간으로 우선 할당하고 이수 관점에서 저수지 조사를 최적화하도록 기준을 설정하였다. 이때 이수 조사의 목표를 용수 공급 또는 수력에너지로 함에 따라 최적해 또한 달라지나 본 계통의 경우에는 시스템 특성상 용수공급과 수력 에너지 최대화 조작 사이에 큰 차이를 두기 어렵다. 본 연구에서는 화천댐이 수력발전 전용댐임을 감안하여 수력발전 에너지를 최대화하도록 저수지 조사를 수행하고 보장공급 수량 등 용수공급을 평가하였다. 이때 부대기능은 제약조건을 적용하였다.

### 2.3.2 모형구성

현재 평화의 댐 배수 터널에는 계수변이 없으므로 이수적 저수지 조사의 경우 화천댐의 방류량을 1개의 결정 변수로 하는 1차원 최적화 모형이 된다. 이때 저수지 조작 모형은 장기(long term) 월단위 모형인 검정모형과 최적화 모형으로 구분하였다. 검정모형은 저수지 최적화 성과를 운영실적에 접근하도록 검증, 조정하기 위한 모형으로 조작기간은 수차 4대를 전면 가동한 1968. 7. 1이후부터 평화의 댐 공사의 영향을 받기 이전인 1985. 12. 31까지 비교적 에너지 생산이 안정적인 17년간을 선택하였다. 최적화 모형은 저수지의 최대 생산능력을 평가하는 모형으로 조작기간은 연구 목적상 급강산댐 영향을 적게 받는 1953년부터 1992년까지 40년간을 적용하였다. 분석 목적상 2개 모형으로 구분하였지만 수학적인 모형 구성으로는 동일 형태의 목적함수를 갖는다. 다만 제약조건과 입력변수, 조작기간 등에서 다소 구분이 있다. 따라서 본 연구의 모형은 수력발전 목적함수 1개 및 2개의 제약 조건식과 보장 공급수량 결정 모형으로 구성된다.

(1) 목적함수 및 시스템 연속조건  
목적함수는 식(1)과 같이 설계하였다.

$$\text{Max}_R \sum_{k=1}^N E(k), \quad E(k) = [\eta \rho g R H - P_c] T \quad (1)$$

여기서  $E(k)$ 는  $k$ 기간 수력발전 발전총량이고 이때  $\eta$ 는 수차와 발전기의 합성효율을 나타내고  $\rho$ 는 물의 밀도,  $g$ 는 중력가속도,  $R$ 은 화천댐의 발전 사용수량 및 하루 방류량으로 그림 1의 시스템상  $R1$ 에 해당된다. 그리고 순낙차(m)는  $H = WL - TWL - HL$ 가 되고

이때  $WL$ 는 저수지 수위이고,  $TWL$ 은 방수위,  $HL$ 은 손실수두,  $P_c$ 는 발전소내 소비 전력,  $T$ 는 발전시간,  $N$ 은 저수지 조작기간을 나타낸다.

한편 시스템의 연속조건에 따라 화천댐과 평화의 댐을 첨자 1과 2로 구분하여 나타내면 시스템 방정식은 식 (2a)와 같다. 그런데 두 댐의 연결은 자유배수 터널이므로 이수조작에서 평화의 댐 유입량( $I_2$ )은 방류량( $R_2$ )이 된다. 즉 평화의 댐 저류공간이 포함된 화천댐 단독 조작이 된다. 따라서 화천댐 저수량(w/o 평화의 댐)  $S_1$ 과 평화의댐 저수량  $S_2$ 의 합계를  $S$ 로 유입량  $I_1$ 과  $I_2$ 의 합계를  $I$ 로, 증발량  $Evp_1$ 과  $Evp_2$ 의 합계를  $Evp$ 로 하여 나타내면 시스템 방정식은 식 (2b)와 같다.

$$S_1(k+1) = S_1(k) + I_1(k) - R_1(k) - Evp_1(k) + R_2(k) \quad (2a)$$

$$\begin{aligned} S_2(k+1) &= S_2(k) + I_2(k) - Evp_2(k) + R_2(k) \\ S_2(k+1) &= S(k) + I(k) - R(k) + Evp(k) \end{aligned} \quad (2b)$$

(2) 검정모형의 변수제약

$$S_{\min} \leq S(t) \leq S_{\max} \quad (1969 \sim 1972) \quad (3)$$

$$S_{\min} \leq S(t) \leq S_{\max}(t) \quad (1973 \sim 1985) \quad (4)$$

$$R_{\min} \leq R(t) \leq R_{\max} \quad (5)$$

여기서  $S(t)$ 는 시간축  $t$ 월 저수량이고  $S_{\max}$ 는 최대 저수량으로서 만수위 저수용량이고,  $S_{\min}$ 은 저수위 저수용량이고  $S_{\max}(t)$ 는 홍수기(6월 21일~9월 20일) 제한수위 저수량이고, 비홍수기는 만수위 저수량이다. 그리고  $R_{\min}$ 은 최소 방류제약이고  $R_{\max}$ 는 최대제약으로 월 단위에서는 비활성적이다.

(3) 최적화 모형의 변수제약

40년간의 조작기간을 갖는 최적화 모형의 제약조건은 2개 식으로 요약할 수 있다. 이때 방류량의 최소치는 팔당댐 하루 방류량  $100\text{m}^3/\text{s}$ 에 상당한  $16\text{m}^3/\text{s}$ 을 적용하였다.

$$S_{\min} \leq S(t) \leq S_{\max}(t) \quad (6)$$

$$R_{\min} \leq R(t) \leq R_{\max} \quad (7)$$

(4) 보장 공급수량 모형

저수지 조작결과로 결정된 연간 상시보장 공급수량

을 결정하기 위해서는 다음과 같은 평가모형을 구성하였다.

$$FW(k) = \text{Min}_y \left\{ \text{Min}_j \cdot [ R(k)/\alpha(j) ] \right\} \quad (8)$$

여기서, FW(k)는 연간 상시보장 공급수량이고,  $\alpha(j)$ 는 j월 용수수요의 연간 수요량에 대한 비율( $0 < \alpha < 1.0$ )이고, y는 전 조작 기간중 년의 수(1~40), j는 k년중 월(j = 1, 2, 3, ..., 12)을 나타낸다.

#### 2.4 모형 입력자료

유입량은 화천댐의 실적치(한국전력공사, 1995)를 적용하였고 증발 손실은 춘천 축후소의 접시 증발량을 조정, 적용하였다. 발전 정격 사용수량, 낙차, 손실수두 등은 표 4의 값을 적용하였고 방수위는 방수위와 방류

량 자료(양홍석과 박영문, 1975)를 내삽하여 적용하였다. 조작 초기수위는 10일전 기록 수위의 평균치를 적용하였고(한국수자원공사, 1995) 조작 말기조건은 특별한 의미를 갖지 않으므로 제약하지 않았다. 조작기간 단위별 발전시간은 1차(5시간), 2차(5시간-24시간) 발전으로 구분하여 24시간 상시발전하는 것으로 하였다. 용수 수요비는 10년간(1984~1993)의 정상 상태 수요비를 표 3과 같이 추출하여 적용하였다(한국수자원공사, 1995). 저수지 조작을 위한 댐 및 저수지 자료는 댐 설계 및 관리 보고서(한국전력공사, 1969 ; 1981 ; 건설부, 1989 ; 1991) 자료를 이용하였고 주요 자료는 표 4와 같다.

#### 2.5 해석기법

동적계획법은 프로그래밍이 복잡하고 연산시간이 많

표 3 월별 수요비

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
수요비	0.083	0.075	0.083	0.081	0.084	0.083	0.087	0.087	0.084	0.085	0.083	0.085	1.00

표 4. 주요 댐 및 저수지 자료

구 분	단 위	평화의댐	화천댐	비 고
최고수위	EL.m	221.5	183.0	1973년 설정
만 수 위	EL.m	-	181.0	
제한수위	EL.m	-	175.0	
저 수 위	EL.m	-	156.8	
높 이	m	80.0	81.5	
마루표고	EL.m	225.0	184.5	
바닥표고	EL.m	145.0	103.0	
이수용량	106m <sup>3</sup>	-	658.0	만수위 기준
홍수조절용량	106m <sup>3</sup>	-	75.4	만수위~홍수위 저수공간
발전합성효율	%	-	88	산업기지개발공사 업무자료
정격출력	kw/기	-	30,000	
정격사용수량	m <sup>3</sup> /s/기	-	46.25	
손실수두	m	-	3.5	양홍석과 박영문(1975)
소내소비전력	kw	-	96	

표 5. 증분 동적계획법의 초기 및 수렴 조건

구 분	조 건
증분 결정변수	월간 방류량(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
초기 증분	(Smax - Smin) × 0.1
증분 감소	초기증분 * 0.1
종기 증분	(Smax - Smin) × 0.1 × 0.07
수렴 조건	① 증분/종기 증분 ≤ 1.0 ② 반복회수 100회 이내, 또는 ③ 완전 수렴

이 소요되는 단점을 갖지만 동적시스템인 저수지 계통 조작에 적합하다(유주환 등, 1999). 따라서 최적화 모형을 40년간 월단위 480 단계 증분 동적계획법(Incremental Dynamic Programming)을 다음 조건하에서 적용하였다. 이때 적용한 증분 동적계획법은 전기간 결정변수를 초기치로 주고 증분의 가감을 통하여 최적 결정변수 계열(optimal policy)을 선택하는 기법(권오현, 1979)으로 본 연구에서는 표 5와 같은 초기 및 수렴 조건을 갖는다.

## 2.6 결과 분석

### 2.6.1 결과 검증 및 조정

검정모형 결과와 댐운영 실적치를 비교하여 표 6과 같이 조정계수(reference coefficient)를 산정하였다. 여기서 조정계수는 화천댐 조작 관행이나 기술 수준과 동등하게 최적화 발전 성과를 조정하기 위한 값으로 1보다 작은 것은 저수지 운영기술을 고도화시키면 발전

량을 더욱 증산시킬 수 있음을 보여 주는 것이다.

### 2.6.2 제한수위별 저수지 조작 결과 및 이수 능력 검토

표 7과 그림 3과 같이 제한수위에 따라 발전량 차이는 최대 4.3%정도로 완만한 증가를 나타내고 제한수위 EL.179~181m 구간이 발전량에 비교적 덜 민감하여 이수 운영 관점에서 적절하다고 판단된다. 한편 홍수조절 관점에서도 제한수위 EL.175~181m에서 평화의 댐의 홍수조절 효과로 인하여 기존 평화의 댐이 없을 경우보다 조절효과가 모두 크므로 이수측면에서 편익이 가장 큰 제한수위 대안으로 수위 EL.180~181m가 검토될 수 있다. 다만 제한수위를 상향조정할 경우의 평화의 댐 서차지 수위는 100년 빈도 홍수에 대하여 평화의 댐이 있는 현재 제한수위 EL.175m일 경우의 EL.209m보다 1.8m만큼 높은 EL.211m로 예측되므로 수위 증가에 따른 평화의 댐 상류의 침수문제가 발생된다.

표 6. 최적화 조정계수

조작기간	연간발전량(Gwh/년)		조정계수(A/B)
	실적(A)	최적화(B)	
1969.1 ~ 1985.12	340.2	390.9	0.87

표 7. 제한수위 변화에 따른 연간 발전량

제한수위(EL.m)	발전량(Gwh/년)		발전량 증가율	비고
	최적화	조정(0.87)		
175	397.0	345.4	1.000	현 RWL  현 RWL 초과
177	401.1	349.0	1.010	
179	405.7	353.0	1.022	
180	407.3	354.4	1.026	
181	408.3	355.2	1.028	
182	414.1	360.3	1.043	

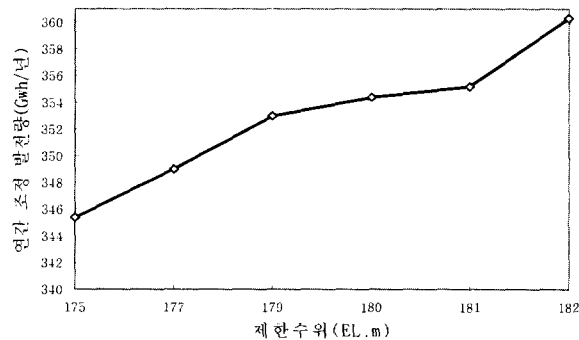


그림 3. 제한수위별 조정 발전량

표 8. 화천수력발전소 생산량과 실적 대비

조작기간	제한수위 (EL.m)	연간 발전량(Gwh/년)		증산율	비고
		실적(화천)	최적화(화천-평화)		
1969~1985	175	340.2	390.9	-	1973년 이후 설정
1953~1992	175	-	397.0 (A)	1.000	
1953~1992	180	-	407.3 (B)	1.026	
1953~1992	181	-	408.3 (C)	1.028	
증산량 (B-A)	180	-	10.3	-	
(C-A)	181	-	11.3	-	

2.6.3 제한수위 증가에 따른 이수 편익 평가

제한수위를 EL.180~181m로 검토한 결과, 표 8과 같은 연간 10.3~11.3Gwh 정도 화천댐 발전량 증산은 화천댐 하류에 위치한 춘천, 의암, 청평 및 팔당 댐에 긍정적인 이수 효과를 파급시킨다. 이 증산은 1999년 현재 공시된 한전의 소수력 구매단위 60.93원/Kwh를 적용하면 매년 6억원 이상의 추가 수입이 된다. 실적치와 직접 비교하면 무려 20%의 증산효과를 나타내며 조정계수 0.87을 적용하면 최소 4% 이상의 증산이 기대된다.

3. 결 론

평화의 댐의 홍수 지체 효과에 따른 화천댐 이수 능력의 증대 효과를 분석한 결과, 평화의 댐 홍수조절 효과 만큼에 화천댐 제한수위를 증가시킬 수 있고 적절한 제한수위는 EL.181m로 검토할 수 있고 이때 발전 편익은 10.3~11.3Gwh로 연간 6억원 이상되었고 화천댐 하류 홍수조절량 최소 1,400m<sup>3</sup>/s 이상 되었다.

다만 평화의 댐 유역의 침수를 일으키는 서차지 수위는 100년 빈도 홍수에 대하여 현재 EL.209.2m 수준에서 1.8m 증가된 EL.211m 수준이 될 것이다. 따라서 평화의 댐 상류의 침수에 대한 영향은 북한과 협의 평가 사항이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사(1995)의 과제 『화천댐 및 평화의 댐 연계운영 및 관리방안 조사』의 <이수부문> 연구의 일환으로 故 權五憲 회원님과 함께 수행했음을 밝히고 고인의 뜻을 기리고 관계 기관에 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

건설교통부(1996). 수자원장기종합계획(1997~2011).  
 건설부(1989). 평화의 댐 건설사업(1단계) 기본설계보고서.  
 건설부(1991). 한강수계유출프로그램 개선 방안.  
 권오현, 박창근, 유주환(1996). "화천댐 및 평화의 댐 시스템 이수효과분석." 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 421-430.  
 선우중호(1986). "금강산댐 건설영향에 대한 기술적 검토." 한국수문학회지, 제19권, 제4호, pp. 294-302.  
 심명필, 권오익(1996). "화천댐 및 평화의 댐 연계운영에 의한 홍수조절효과 분석." 한국수자원학회 학술발표회논문집, pp. 431-437.  
 심명필, 권오익, 김경탁(1998a). "평화의 댐과 연계한 화천댐의 홍수조절효과 1. 화천댐의 홍수조절능력 검토." 대한토목학회논문집, 제18권, 제II-2호, pp. 163-172.  
 심명필, 권오익, 김경탁(1998b). "평화의 댐과 연계한 화천댐의 홍수조절효과 2. 화천댐의 제한수위 설정." 대한토목학회논문집, 제18권, 제II-2호, pp. 173-183.  
 유주환, 김재한, 정관수(1999). "한강수계 복합 저수지 시스템의 최적 수력발전 운영을 위한 LIN-EAR TRACKING의 적용." 한국수자원학회논문집, 제32권, 제5호, pp. 579-591.  
 전병호, 신현석, 이재철, 윤용남(1993). "화천댐의 홍수량 및 수위에 미치는 평화의 댐의 영향분석." 한국수문학회지, 제26권, 제1호, pp. 93-101.  
 한국수자원공사(1995). 화천댐 및 평화의 댐 연계운영 및 관리방안 조사.



한국전력공사(1969). 수력발전소운용자료집.  
한국전력공사(1981). 한전계통운용자료집.  
한국전력공사(1995). 수력발전소운용자료집.  
한국전력기술주식회사(1986). 화천수력댐 안전진단보  
고서.

양홍석, 박영문(1975). 한강수계 수력 효과적 다목적  
운영에 관한 연구 보고서, 서울공대 응용과학 연  
구소.

(논문번호:01-044/접수:2001.06.09/심사완료:2001.10.09)