

화천댐 및 평화의 댐 시스템 이수효과 분석

권오현*, 박창근**, 유주환***

1. 서론

화천댐은 당초 발전단일 목적으로 건설되었으나, 한강수계의 홍수 조절 기능이 부족하여 1973년 부터 제한수위를 설정하여 홍수기에 만수위를 EL. 181.0 m 로부터 EL. 175.0 m 로 낮추어 운영하고 있다. 이것은 이용수심인 24.2 m 의 1/4 이 손실이고 총이수량(619MCM)의 33%가 감소되어 용수공급이나 발전 등 利水側面에서 댐기능이 위축되었다. 한편 수도권의 용수공급 수요는 증가일로에 있으므로 용수공급 측면에서도 화천댐의 기여가 요구된다. 따라서 현재 한강수계의 치수운영에 직접 기여하고 있지 못하는 평화의 댐을 화천댐과 연계하여 홍수 조절 기능을 유지하면서 동시에 파로호의 이수기능을 보다 활성화시키는 방안을 마련하는 것은 자원을 고도로 이용하고 투자의 효율성을 높이는 기본 방안이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 화천댐과 평화의 댐 계통을 이수적 측면에서 최적조작하여 화천댐의 제한수위에 따른 홍수 조절 기능의 분석,평가를 주요 목적으로 한다. 그리고 본 계통이 한강수계내에 미치는 영향 및 효과를 평가하였다.

화천댐은 유역면적이 4,092 km² 이고 북한강 유역의 약 35%를 점유하는 댐으로 1944년 5월에 수차 1호기가 처음 발전하여 1968년 7월에 마지막 제 4호기까지 증설되어 현재 발전가동 중에 있다. 또한 화천댐 유역은 판유리댐, 금강산댐, 평화의 댐, 화천댐 등의 소유역을 포함한다. 여기서 판유리댐은 금강산댐 유역의 상류에 있고 유역면적이 244 km² 으로 일제시대에 축조되어 동해안으로 유역변경되면서 수력발전을 하고 있다. 그리고 금강산댐은 서울중심부(한강인도교)로부터 약 230 km 상류에 위치하고 그 유역면적은 2,394 km²이다. 금강산댐의 바닥표고는 190.0 m 이다.

1988년 5월 17일 완공된 평화의 댐은 화천댐보다 약 24 km 상류에, 금강산댐 보다 36 km 하류지점에 위치하고 있다. 유역면적은 3,227 km² 이고 바닥표고는 EL. 145.0 m 이고 댐마루 표고는 EL. 225.0 m 이다. 그리고 평화의 댐 11 km 상류에 표고 185.3 m인 남방한계선과 댐 상류 23 km지점에 표고 197.8 m 북방한계선이 가로 지른다.

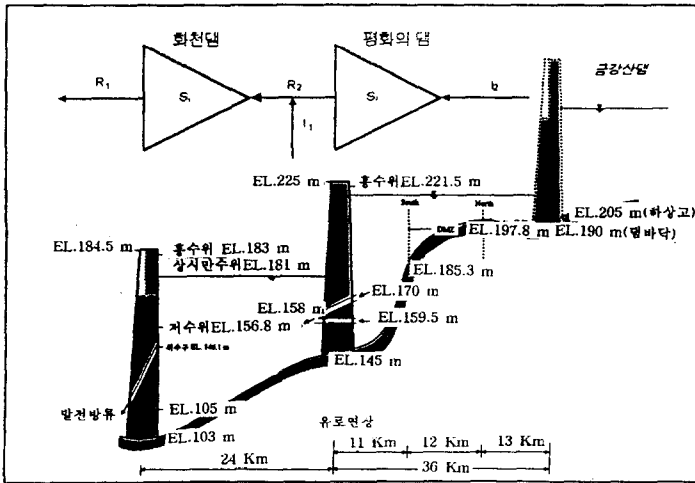


그림 1 화천댐-평화의 댐 계통 모형

* 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

*** 충남대학교 공과대학 토목공학과 조교

2. 저수지 계통 조작 이수효과 분석

저수지 조작에 대한 수학적 모형은 일반적으로 目的函數(objective function)와 制約條件(constraints)으로 구성된다.

목적함수는 일종의 設計基準으로서 貯水池 利水操作 문제는 수력발전의 최대화, 用水供給量의 最大化 또는 兩 조합으로 나눌 수 있다. 수력발전의 최대화에는 보장출력, 평균출력 등의 발전출력 최대화와 계획 또는 기준 발전 시간내의 1차 에너지 또는 총에너지 생산 등의 최대화 등이 있다. 그리고 용수공급 최대화에는 연간 보장수량(annual firm water supply) 또는 연간 95% 시간보장수량의 최대화 등이 있다.

2.2 모형구성 및 방향설정

(1) 조작 기준

이수 조작의 목표를 용수 공급 또는 수력에너지로 함에 따라 최적해 또한 달라지나 본 계통의 경우에는 극한적인 상황을 제외하면 용수공급과 수력 에너지 최대화 조작 사이에 큰 차이를 두기 어렵다. 원론적으로 조작 목표는 용수 공급에 두어야 하나 여러가지 사안의 검증, 확인과 기준 설정 및 비교 목적상 에너지 생산의 최대화를 목적함수로 하고 이때 보장공급수량을 함께 분석하였다.

(2) 최적화 및 검증

경제 급성장 및 수도권 팽창에 따라 한강 하류부에 홍수피해 잠재성이 증가되어 70년대 초 화천댐에 제한수위가 설정되었으나 근래 하류 수질개선 및 용수공급 보장이 중요한 현안으로 되었다. 따라서 화천댐과 평화의 댐을 계통운영함으로써 홍수조절 목적을 달성하면서 수력발전 향상, 용수공급 증대, 하류 수질개선 등 이수효과를 확대하는데 이수운영 목표를 두고 있다. 아울러 다목적 기능을 활성화시킬 수 있는 가능성과 효율성 등을 검토하였다. 여기서 화천댐 제한수위 6개 안을 설정하여 최적조작에 반영하여 홍수조절 효과를 분석하였다.

(3) 시스템 구성

시스템 구성은 그림 1과 같이 화천댐 하류방류량만을 결정변수로 하는 1차원 모형과 화천댐 발전방류량 및 평화의 댐 방류량을 결정변수로 하는 2차원 모형으로 구분, 적용 하였다. 여기서 2차원 모형은 평화의 댐 방류량이 실제와는 달리 조절가능하다고 가정한 것이다.

2.3 검정 및 최적화 모형

우선 1차원으로 실적에 근접하는 검정 모형과 최적화 모형을 월단위 시간축으로 구성하고 화천댐-평화의 댐 계통의 최적화 성과를 운영 실적에 근접하도록 검증,조정하였다.

(1) 검정모형 및 제약조건

水車を 전면 가동한 1968.7.1이후부터 평화댐 공사의 영향을 받기 이전인 1985.12.31까지, 비교적 에너지 생산이 안정적인 17년간을 비교 검정기간으로 선택하였다. 이 때 실제적인 제약조건은 다음과 같이 반영하였다.

$$S_{min} \leq S(t) \leq S_{max} \quad (1953 \sim 1972년) \quad (1)$$

$$S_{min} \leq S(t) \leq S_{min}(t) \quad (1973 \sim 1992년) \quad (2)$$

$$R_{min} \leq R(t) \leq R_{max} \quad (3)$$

여기서, $S(t)$: 시간축 t (월)의 말기 저수량.

S_{max} : 최대 저수량으로서 HWL. 181.0 m 의 저수용량.

S_{min} : 최소 저수량으로서 LWL. 156.0 m 의 저수용량으로서 사수량 (死水量)과 불용용량(不用容量)의 합을 나타냄.

$S_{max}(t)$: 제한수위 EL. 175.00 m의 저수량(6월21일~9월20일),
또는 EL. 181.00 m의 저수량(9월21일~이듬해 6월 20일).

R_{min} : 최소방류제약으로 화천댐 40년간 방류실적 중 97.3% 초과확률 유량인 355일 갈수량인 $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 적용함.

R_{max} : 최대제약으로 월단위에서는 비활성적이므로 적용치 없음.

(2) 최적조작 모형

① 목적 함수

1차원 및 2차원 모형의 목적함수는 식(4) 및 식(5)와 같이 설계하였다.

$$\underset{R_1}{\text{Max}} \sum_{k=1}^N [E(k) \text{ 또는 } FW(k)] \quad (4)$$

$$\underset{R_1, R_2}{\text{Max}} \sum_{k=1}^N E(k) \quad (5)$$

여기서, $E(k) = [\rho g R_1 H - P_c] T$ (kwh) (6)

$E(k)$: k 기간 1차 또는 2차 발전량으로, 계획 발전시간이내 발전량은 1차, 그외 발전을 2차 발전량임.

ρ : 물의 밀도($1,000 \text{ kg/m}^3$)

g : 중력가속도 (9.81 m/s^2)

R_1 : 화천댐의 발전 사용수량(m^3/s)

R_2 : 평화의 댐 하류 방류량

$H = HWL - TWL - H_L$: 순낙차(m). (7)

H : 순낙차

HWL : 상시만수위

TWL : 방수위

H_L : 손실수두

P_c : 발전소내 소비 전력(kW).

T : 발전시간(hr).

N : 조작 단위수로서, 40년간 월단위 조작은 480단위임.

$$FW(k) = \underset{y}{\text{Min}} \{ \underset{j}{\text{Min}} [R_1(k) / \alpha(j)] \} \quad (8)$$

여기서, $FW(k)$: 연간 상시공급수량⁵⁾

$\alpha(j)$: j 월 용수수요의 연간 수요량에 대한 비율($0 < \alpha < 1.0$)

Y : 전 조작기간중 年의 수(1~40)

j : k 월의 年中 月の 수 ($j = 1, 2, 3, \dots, 12$)

② 제약조건

상태변수 및 결정변수에 대한 제약 조건식은 다음 식 (9) 및 (11)과 같다.

$$S_{min} \leq S(t) \leq S_{max}^0 \tag{9}$$

$$R_{min} \leq R(t) \leq R_{max} \tag{10}$$

여기서, $S(t)$: 기간축(월단위) t의 저수용량

S_{min} : 저수용량의 하한

S_{max}^0 : 저수용량의 상한으로 각 제한수위별 저수용량임.

R_{min} : 팔당댐 방류량 100m³/s 및 200m³/s에 상당한 16m³/s 및 33m³/s을 적용함.

③ 입력자료

유입량은 화천댐의 실적치를 적용하였고 증발 손실은 춘천 측후소의 접시 증발량을 조정, 적용하였다. 발전 정격수두 및 유량은 62.2 m 및 46.25 m³/s 이고 조작기간 초기수위는 10일전 기록 수위의 평균치를 적용하였고 조작 말기조건은 특별한 의미를 갖지 않으므로 제약하지 않았다. 용수 수요비는 최근 10년간(1984~93) 팔당댐의 생공용수 취수실적 자료를 분석하여 다음의 정상상태 수요비를 추출, 적용하였다.

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

④ 해석기법

동적계획기법(D.P.)는 프로그래밍이 복잡하고 연산시간이 많이 소요되는 단점을 가지지만 동적시스템인 저수지 계통 조작에 적합하다. 따라서 최적화 모형을 40년간 월단위 480 단계 증분 동적 계획기법(Incremental Dynamic Programming)을 다음조건하에서 적용하였다.

- * 증분 변수 : 월간 방류량(MCM)
- * 초기 증분 : ($S_{max} - S_{min}$) × 0.1
- * 증분 감소 : 초기 증분 * 0.1
- * 중기 증분 : ($S_{max} - S_{min}$) × 0.1 × 0.07
- * 수렴 조건 : ① 증분 / 중기증분 ≤ 1.0
 ② 반복회수 100회 이내, 또는
 ③ 완전 수렴

2.4 최적화 결과 분석

2.4.1 결과 조정 및 검증

1차원 모형으로 검정모형과 최적화 모형 결과를 비교, 조정할 수 있는 조정계수를 산정하였다. 여기서 조정계수는 현재까지 저수지 조작 관행이나 기술 수준과 동등하게 최적화 발전을 조정하기 위한 값으로 1 보다 작은 것은 저수지 운영기술을 고도화시키면 발전량을 더욱 증산시킬 수 있음을 보여 주는 것이다.

표 2 최적화 조정계수

비교기간	연간 발전량(GWH / Y)		조정계수 (A/B)
	실적(A)	최적화(B)	
1969.1 ~ 1985.12	340.2	390.9	0.87

2.4.2. 최소방류량에 대한 민감도

기존 제한수위 EL. 175.0 m 를 유지하면서 최소제약 변동에 따라 발전량과 연간 보장공급수량은 표 3과 같다. 여기서 12m³/s 를 16m³/s 까지 늘리면 발전량에는 큰 변동이 없으

나 하류 보장유량은 다소 증가하고 33m³/s 으로 상향시키면 보장수량은 비교적 완만하게 증가하므로 최적조작에서는 16m³/s 로 설정하였고 추후에 하류 용수수요가 증가하면 점차 하류 방류량은 증가시켜야 할 것으로 판단된다.

표 3 화천댐 최소방류량 및 저수지계의 반응

최소방류량 (m ³ /s)	발전량 (10 ⁶ KWH/Y)	보장공급수량(MCM/Y)*				비고
		95%시간보장	대비	연평균	대비	
12.0	397.12	284.77	1.00	760.76	1.00	HWL. 181.0m
16.0	397.03	284.77	1.00	841.48	1.11	
33.0	396.80	253.32	0.89	1,004.15	1.32	

2.4.3 제한수위에 따른 발전량 변동

표 4와 같이 발전량 차이가 최대 4%로 별로 크지 않고 제한수위 EL.179.0m~181.0m 구간이 발전량에 비교적 덜 민감하여 이수운영 관점에서 적절하다고 판단된다. 그리고 만수위를 현행보다 1m 더 높이면 발전량 증가율은 상대적으로 높아짐을 알 수 있다.

표 4 제한수위별 연간 발전량

제한 수위 (EL.m)	연평균 발전량(GWH/Y)		조정 발전량 증가율	비고
	최적화	조정(0.87)		
175.0	397.0	345.4	-	현행 현행제한수위 철폐 HWL 상향 조정
177.0	401.1	349.0	1.01	
179.0	405.7	353.0	1.02	
180.0	407.3	354.4	1.03	
181.0	408.3	355.2	1.03	
182.0	414.1	360.3	1.04	

2.4.4 화천댐 이수용량 증가에 따른 발전 편익 분석⁴⁾

제한수위를 EL.180.0 m로 검토한 결과, 연간 10.26 GWH 정도 화천댐 발전량 증산은 화천댐 하류에 위치한 춘천, 의암, 청평 및 팔당 댐에 긍정적인 이수 효과를 파급시킨다. 이 증산은 韓國電力公社의 小水力 購買單價 48.09원/kwh 를 적용하면 매년 4億 9千 3百萬원의 추가 수입이 된다. 실적치와 직접 비교하면 무려 20%의 증산 효과를 나타내며 조정계수 0.87을 적용해도 최소 기대치는 4% 이상의 증산이 기대된다.

표 5 화천수력발전소 생산량과 실적 대비

조작기간	제한수위 (EL.m)	연간 발전량(GWH/Y)		증산율	비고
		실적(화천)	최적화(화천-평화)		
1969 ~ 1985	175.0	340.2	390.87	-	*1973년 이후 설정
1953 ~ 1992	175.0	-	397.03	1.000	
1953 ~ 1992	180.0	-	407.29	1.026	
증산량		-	10.26	-	

2.5 평화의 댐 용량배분과 그 효과

평화의 댐 HWL를 표 6과 같이 3개 안에 대하여 2차원 DP에 의한 최적조작을 수행한 결과, HWL.197.5m로 설정하면 발전량이나 보장수량이 크게 신장되었다. 그러나 발전량의 경우 금강산댐 유역변경이 없는 경우에 92% 수준으로 계통 운영하여도 유역변경에 따른 감소를 회복하지 못한다. 여기서 표고 197.5m는 비무장지대 北方限界線에 해당되며, 금강산댐 하류측 河床표고를 약 200.0m로 보면 2.5m의 여유로서 금강산댐의 침수여부는 背水 영향을 검토하여야 판단할 수 있다.

표 6

평화의 댐 HWL 시안별 계통 조작 성과

평화댐HWL (EL.m)	연평균 발전량		연평균 상시공급량		비고
	GWH/Y	대비	MCM/Y	대비	
미설정	249.45	1.000	500.4	1.000	금강산댐
197.5	376.58	1.509	606.1	1.211	유역변경
200.0	377.80	1.514	609.9	1.219	
210.0	387.67	1.554	614.9	1.229	

3. 한강수계 댐군 연계운영 효과

화천댐이 한강수계 댐군에 주는 영향을 분석하기 위해서 수계 7개 댐을 연계 조작하기 위한 모형으로 제어 이론을 적용한 선형추적(Linear Tracking) 모형은 다음과 같다.

3.1 평가함수

평가함수에서 저수위가 정격수위를 추적하도록 하여 궁극적으로 발전량이 최대화되도록 평가 함수를 설계하였다.

$$J = \frac{1}{2} [X(N) - \bar{X}(N)]^T V [X(N) - \bar{X}(N)] + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{N-1} \{ [X(k) - \bar{X}(k)]^T Q [X(k) - \bar{X}(k)] + U(k)^T R U(k) \} \quad (11)$$

- 여기서 $X : n \times 1$ 상태벡터로서, 각 저수지의 저류수준.
- $\bar{X} : n \times 1$ 상태벡터의 기대치 벡터로서, 定格水頭의 저류수준.
- $U : m \times 1$ 제어벡터로서, 각 저수지의 방류수준.
- $V : n \times n$ 實數 대칭 加重行列, PSD.
- $Q : n \times n \sim " \sim$, PSD.
- $R : m \times m \sim " \sim$, PD.
- k : 離散化된 時間軸.
- N : 최종 시간축 단계로서, 조작기간을 나타냄.
- n, m : 벡터의 차원으로서 각각 7임.

3.2 시스템 방정식

$$X(k+1) = A X(k) + B U(k) + A Y(k) \quad (12)$$

- 여기서, A : 단위행렬(I_n).
- B : 저수지의 幾何學的 구성을 나타내는 行列($n \times m$)
- Y : 시스템 매개변수 벡터로서
- $Y(k) = I(k) - D(k) - E(k)$ 을 나타냄.

$$Y(k) = I(k) - D(k) - E(k) \quad (13)$$

- I : 댐별 자기 유입량.
- D : 저수지 상류 하천 및 저수지 取水量.
- E : 수면 증발 손실 및 침투손실.

3.3 最適制御律(optimal control law)

폰트리아진의 최소원리를 적용하면 무제약 선형추적 최적제어율은 다음 식 (14)와 같다. 여기서 뒀침자 *는 최적치, -1은 역행렬, T는 전치행렬을 나타낸다.

$$U^*(k) = F(k) X^*(k) + G(k) \quad (14)$$

여기서

$$F(k) = -R^{-1}B^T A^{-1} [P(k) - Q] \quad (15)$$

$$G(k) = -R^{-1}B^T A^{-1} [S(k) + Q \bar{X}] \quad (16)$$

3.4 제약조건식에 따른 보정¹⁾

식 (14)로부터 구한 최적 방류량(optimal history) 및 저류량(trajectory)은 저수지계 무제약 변수의 해이다. 그러나 실제 저수지계 결정변수 및 상태변수에는 물리적인 제약이 있다. 따라서 무제약상에서 구한 선형추적 해가 제약조건을 벗어날 경우에 결정변수 및 상태변수에 대하여 벗어난 량과 파급효과 등을 연쇄적으로 보정하여 최적해를 결정하였다.

3.5 계통 구성

화천댐 계통과 6개 댐 계통 구성은 다음 그림 3과 같다.

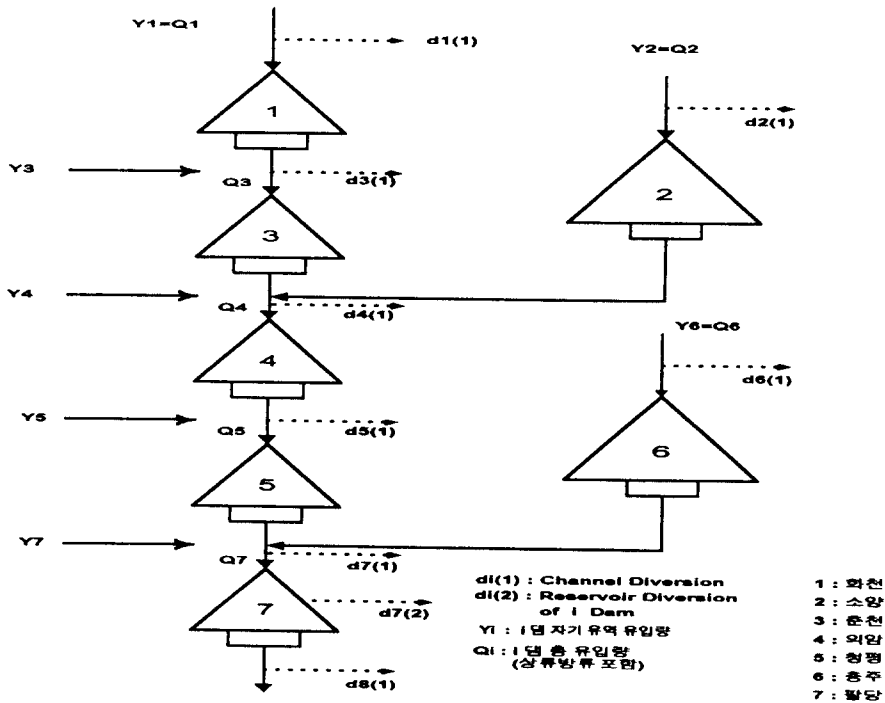


그림 3 모형 계통도

3.6 입력자료

(1) 댐별 자기유역 유입량

춘천, 의암, 청평 및 팔당댐의 기록 유입량 자료는 상류댐 방류량을 포함하므로 댐별 자기 유입량은 댐자료 공통기간인 19년간(1974~1992) 유입량⁴⁾ Q_i 를 기준하여 구하는 식 (17)

을 이용하여 산정하였다. 여기서 기록 유입량의 저류방정식에 의한 계산오차는 장기간의 자료이므로 소거될 것이다.

$$Y_i = \frac{1 - C_i}{C_i} \sum_{j=i}^{i-1} Y_j \quad (17)$$

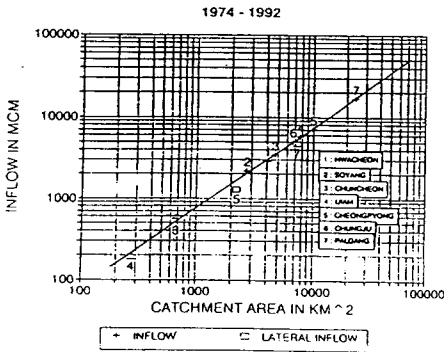


그림 4 댐별 유입량과 유역면적

여기서, Y_i : i 댐의 자기유역 유출량
 C_i : i 댐의 상류댐에 유입된
 연간유입량(Q_{i-1})과 i 댐의
 연간유입량(Q_i)의 비
 Q_i : i 댐 지점의 총 유입량
 (상류댐 유출 포함)

계산된 자기유입량에 대한 신뢰성을 검증하기
 위해서 양대수지에 총유입량을 댐별 유역면적에
 대하여 도시한 결과 그림 4 와 같이 계산된
 자기유입량이 적정함을 보여 준다.

3.7 댐별 최소 하류 방류량⁴⁾

댐별 하류방류량은 식 (18)로 계산한 표 7의 값을 적용하였다. 여기서 기준치 팔당댐 $200\text{m}^3/\text{s}$ 은 화천댐 방류실적의 87.4% 시간보장유량 $33\text{m}^3/\text{s}$ 에 상당한다.

$$R_m^i = \left(\frac{CA_i}{CA_7} \right)^\alpha \times R_m^7 \quad (18)$$

여기서 CA_i : i 댐지점 유역면적(km^2)
 R_m^i : i 댐 최소 하류 방류량(MCM)
 α : 양대수지상 유역면적-유출량의 기울기 0.7125임.

표 7 댐별 최소하류방류량

구 분	화천	소양	춘천	의암	청평	충주	팔당	비고
유역면적(km^2)	4092	2703	4736	7709	9921	6648	23,800	* 기준치
최소방류량(m^3/s)	33.0	42.5	63.3	89.6	107.2	80.6	200.0*	

3.8 댐 계통 연계 최적 조작 결과

계통 연계 최적화한 화천댐 발전량이나 보장수량이 단독 조작과 다소 다른 것은 조작기
 간, 최적화 방법 및 수렴조건 등이 다르기 때문으로 판단된다. 표 8과 표 9는 평화의 댐 계
 통 인입 효과와 화천댐 제한수위 설정 등을 보여 준다.

평화의 댐 인입으로 화천댐 발전량이나 연평균 보장수량은 4~5% 증산으로 계통 전체에
 주는 영향은 미미함을 알 수 있다. 이는 평화의 댐의 기여를 홍수시 단순한 서차지 효과만
 을 고려한 까닭이다. 방수터널 통수량을 조절하면 평화의 댐 저류 공간을 효율적으로 활용
 할 수 있으므로 그 기여도는 당연히 커진다.

표 8

화천댐-평화의 댐과 기존댐 연계 운영 결과

댐	연간발전량 (GWH/Y)		연간 보장수량 (MCM/Y)		w/o화천댐, RWL=EL.175m			비고
	실적 ³⁾	최적화	최소	연평균	발전량 (GWH/Y)	연간 보장 수량 (MCM/Y)		
						최소	연평균	
화천	299.20	401.06	983.17	1554.05	381.52	983.17	1491.73	
소양	454.48	748.11	1266.21	1695.35	747.76	1266.21	1689.14	
춘천	160.68	224.95	1885.90	2283.32	218.58	1885.90	2308.76	
의암	160.82	187.25	2669.46	3059.91	177.34	2669.46	3056.55	
청평	279.08	309.48	3193.82	3894.23	316.35	3193.82	3887.26	
충주	779.02	723.97	2401.32	3214.05	747.66	2401.32	3196.48	
팔당	312.34	473.06	5958.62	8995.62	458.46	5958.62	8871.13	

표 9

화천댐-평화의 댐 계통이 수계 댐군에 주는 기여도

구분	화천댐				화천댐의 6개댐			팔당댐 보장 수량(MCM/Y)		
	발전량(GWH/Y)		보장량(MCM/Y)		발전량(GWH/Y)			최소	연평균	
	기준 ²⁾	실적 ³⁾	계통조작	최소	연평균	기준 ²⁾	실적 ³⁾			계통조작
w/o평화의댐,A	326.0	299.2	381.5	983.2	1491.7	2359.1	2142.7	2666.1	5959.6	8871.1
w/ 평화의댐,B	-	-	401.1	983.2	1554.1	-	-	2666.5	5958.6	8995.6
대 비	-	-	1.05	1.00	1.04	-	-	1.00	1.00	1.01

4. 결과 검토 및 결론

화천댐-평화의 댐 계통을 이수 모형화하여 1차원 및 2차원 DP모형, 제어이론 등을 적용하여 최적조작하여 분석한 결과 및 결론은 다음과 같다.

1. 6개 제한수위에 대하여 계통 조작한 결과, 발전량은 연간 397 GWH 로부터 414 GWH 범위에서 생산되었다. EL.179.0~181.0 m 구간에서 제한수위 상승에 따른 발전량 증가의 민감도가 작았다. 따라서 제한수위를 EL. 180.0m로 결정하여 계통조작에 적용하였다.
2. 1차원 DP모형에 의하여 최적화 성과와 실적치에 대하여 전력생산이 비교적 안정적인 기간 1969~1985 동안 최적화 발전량은 연간 390.9 GWH 이고 실적치는 340.2 GWH 로서 조정계수 0.87을 적용하였다. 이 조정계수는 현재까지의 저수지 운영 수준을 나타내는 수치로 저수지 운영을 고도화할 경우 운영편익이 증대될 수 있는 가능성을 보여준다.
3. 화천댐 최소방류량에 대하여 민감도를 분석한 결과, 현행 최소방류량 12 CMS를 16 CMS로 늘리면 발전량은 큰 변동이 없으나 하류 보장수량이 다소 증가하고 33 CMS로 늘리면 발전량은 약간 감소하고 보장수량은 완만하게 증가하였다. 따라서 화천댐 방류량은 16 CMS로 최적화에 반영하였다. 추후 하류 수요가 증가하면 확장되어야 할 것으로 판단된다.
4. 제한수위 EL.175m 에서 EL.180.0m 로 상향 조정하면 발전량은 10.26GWH 정도 증산되었다. 이는 소수력 구매 단가를 적용하면 4억 9천 3백만원, 대체 화력편익을 적용하면 4억 8천만원의 추가 수익을 매년 기대할 수 있음을 나타낸다. 조정계수 0.87을 적용해도 4%의 증산이 예상된다.

5. 화천댐 단독조작에 대하여 평화의 댐을 활용하면 연평균 보장수량이 10% 증가한다. 반면에 제한수위를 EL.180.0 m 로 높일 경우 26% 증가하여 95% 시간 보장유량은 65%, 평균적으로는 14%의 보장수량이 증가한다. 발전량 측면에서 매년 약 4%증산을 보였다.
6. 장래 화천댐 수력 에너지 생산성 저하, 하천유지 용수 증가 등의 사회적 욕구에 의한 댐 고유 기능 약화 등 현 상황을 타개하는 대안은 평화의 댐을 효율적으로 활용할 수 있는 화천댐-평화의 댐 연계운영이라고 판단된다.
7. 평화의 댐이 한강 수계 댐군에 인입으로 화천댐 발전이나 용수공급 측면에서 4~5 % 정도의 미미한 변동을 가져왔다. 이는 저수지 운영에서 댐군 연계의 잠재적인 중요성을 보여준다.

참 고 문 헌

- 1) 권오현, 이산형 선형추적에 의한 제약 저수지계의 최적제어, 박사학위 논문, 서울대학교, 1984.
- 2) 權五憲 外, 漢江水系, 昭陽江 및 忠州 多目的댐 저수지 최적 연계 운영방안 연구, 산업기지기개발공사, 1986.
- 3) 水力發電所 運用資料集(1971-1992), 한국전력공사, 1993.
- 4) 화천댐 및 평화의 댐 연계운영 및 관리방안 조사 본보고서, 한국수자원공사, 1995.12.