

# 昭陽江 多目的댐의 水文學的 安定性 檢討

Hydrological Stability Analysis of the Existing Soyanggang Multi-purpose Dam

신용노\*, 고석구\*\*, 이희승\*\*\*

## 1. 序 論

4대강 유역 종합 개발 사업의 일환으로 1968년에 착공하여 1974년에 완공된 소양강 다목적댐은 춘천시에서 동북방으로 13 km 떨어진 강원도 춘성군 동면 월곡리에 위치한 댐으로 높이 123 m 길이가 약 530 m인 국내 최대의 중앙 차수벽형 사력댐(zone fill dam)이다. 본 댐은 총 저수용량 29억 m<sup>3</sup>, 5억 m<sup>3</sup>의 홍수조절 용량을 확보하고 있는 동시에 발전시설용량 200,000kw의 대규모 수력 발전소를 보유한 우리나라 초유의 다목적댐으로 홍수조절, 수력발전, 댐하류의 용수공급, 수도권을 포함한 하류 지역의 위락 환경 조성 및 수질 보전등의 역할을 수행하고있다. 그러나 본댐의 여수로로는 200년 빈도 홍수 hydrograph(계획 홍수량 10,500 m<sup>3</sup>/s, 계획 방류량 5,500 m<sup>3</sup>/s)로 설계되었는데 댐 준공후 200년 빈도를 초과하는 홍수(1984년 9월 2일 11,995 m<sup>3</sup>/s, peak 貯水位 EL. 197.79 m, 1990년 9월 11일 10,653 m<sup>3</sup>/s, Peak 貯水位 EL. 197.99 m)가 2번이나 발생했으며, 수도권을 포함한 댐하류 지역의 도시화 및 산업화로 사회 여건의 변화 및 수계내 댐군의 형성등으로 대규모 수공 구조물의 파괴시 경제 단위로 표시할 수 없을 정도로 엄청난 경제 손실과 인명 피해가 예상되므로, 현시점에서 댐 건설이후 보다 신뢰성있게 확보된 호우자료 등을 이용하여 頻度별 홍수량의 비교와 소양강댐 유역에서의 최악의 기상 조건을 고려한 可能 最大 降水量(PMP, probable maximum precipitation) 및 可能 最大 洪水量(PMF, probable maximum flood)을 현시점에 맞추어 재 算定한다. 산정된 가능 최대 홍수량을 설계 홍수량으로 採擇할 경우에 따른 이수 용량의 축소, 비상 여수로의 추가, 上流 洪水 調節用댐 건설 방안 및 댐 증고 방안 등을 검토하여 소양강 다목적댐의 수문학적 안정성을 도모할 수 있는 最適의 치수 능력 개선 방안 수립을 위한 본 연구의 과업 범위는 소양강 다목적댐 유역 轉移對象豪雨의 DAD(depth-area-duration) 해석, 豪雨의 수분 최대화 및 전이, 代表 單位圖 유도 및 PMF 추정, PMF 유입에 따른 댐 안정성 評價 및 최적의 치수 능력 개선 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 昭陽江 多目的댐의 既存 水文資料 檢討

### 가. 昭陽江 多目的댐의 一般 概況

昭陽江 총 유로연장 160 km로서 한강 수계를 형성하는 북한강의 최대 지류이며, 총 유로 연장이 160 km로서 한강 수계를 형성하는 북한강의 최대 지류이며, 오대산(EL.1,563 m) 부근에서 발원하여 남으로 유하하고 春川市 부근에서 북한강과 합류된다. 昭陽江 多目的댐은 유역 면적이 약 2,703 km<sup>2</sup>로서 년 강수량은 775 mm에서 2,018 mm 까지 변하며 년평균 강수량은 1,146 mm 이다. 댐 계획시 홍수 수문자료는 극히 제한되어 1958년 부터 1970년 까지의 홍수 기간중 주천과 인제 수위관측소의 시간수위 기록과 1965년 부터 1969년 까지 5년 동안 春川, 麟蹄, 麟蹄, 江村 및 華川등 5개 우량 관측소의 시간 강우량 자료와 상기 5개 관측소에 7 년간(1962-1968년)의 관측 기록을 가진 서화 관측소를 포함한 6개 관측소의 일우량 관측기록이 있었다. 그러나 댐 준공 이후 계속적인 증설로 우량 관측소는 1992년 현재 총 18개소(건설부 : 7 개소, 기상청 : 1 개소, 한국수자원공사 : 10 개소)로 150 km<sup>2</sup>당 1 개소의 분포를 보이며, 수위 관측소는 한국수자원공사에서 2 개소를 설치하여 운영중에 있다. 소양강 다목적댐 설계 보고서에 따르면 댐의 높이는 1,000년 빈도 홍수량 유입시 peak 홍수량 13,300 m<sup>3</sup>/s로 결정하였으며, 여수로로는 일본의 설계기준에 따라 200년 빈도 홍수 hydrograph로 설계되었다. 본 연구와 관련된 주요 구조물 제원 및 수문 관련 사항을 要約하면 다음과 같다.

본댐 및 저수지		여수로	
설계 홍수량	: 13300 m <sup>3</sup> /s	여수로 설계홍수량	: 10500 m <sup>3</sup> /s
댐 정상 표고	: EL. 203.0 m	peak 방류량	: 5500 m <sup>3</sup> /s
계획 홍수위	: EL. 198.0 m ( 200 yr freq.)	여수로 정부표고	: EL. 185.5 m
이상 홍수위	: EL. 200.5 m (1000 yr freq.)	gates	: 5 tainter gates of 13m * 13m
상시 만수위	:	발전소 및 옥외변전소	
홍수기	: EL. 190.3 m	계획 방수위	: EL. 87.2 m
비 홍수기	: EL. 193.5 m	계획 홍수량	: 5500 m <sup>3</sup> /s (200 yr freq.)
홍수조절용량	: 500 억 m <sup>3</sup>		

\* 정회원, 한국수자원공사 수자원연구소, 연구원  
 \*\* 정회원, 한국수자원공사 조사계획처장, 공학박사  
 \*\*\* 정회원, 한국수자원공사 부사장

나. 單位 流量圖(unit hydrograph)

댐 계획시 설계홍수량은 적용이 간편하며 자료 확장이 쉬운 단위 유량도법을 이용하여 산정하였다. 본 계산에서는 시간 강우기록이 일정한 9개 호우(1966-1968년) 기록을 이용하였으며 이때의 peak 유량은 956 에서 5051 m<sup>3</sup>/s로 여수로 설계홍수량에 비해 적은 유량이었다. 이들 개개 호우의 강우-유량자료에 Nakayasu법을 적용하여 추정된 流域 遲滯時間 t<sub>p</sub> 및 단위도 peak 유량 q<sub>p</sub>는 다음의 표 1에서 보는 바와 같이 호우 사상별 많은 變動을 보이므로 採擇된 단위 유량도는 많은 偏差를 보이는 2개를 제외한 7개 값을 산술 평균한 t<sub>p</sub> = 8 시간, q<sub>p</sub> = 46.1 m<sup>3</sup>/s로 최종 결정하였다.

표 1 댐 계획시 호우 사상별 단위도 특성 계수값

unit hydrograph Statistics	time to peak (t <sub>p</sub> )	peak discharge (q <sub>p</sub> )	remarks
minimum	5.0 hours	31.7 m <sup>3</sup> /s	
maximum	16.0 hours	108.1 m <sup>3</sup> /s	
average of 7 events	7.7 hours	46.1 m <sup>3</sup> /s	
standard deviation	1.6 hours	8.1 m <sup>3</sup> /s	

다. 댐 건설 전후의 確率 洪水量 比較

洪水量 분석은 관측 기록을 가지고 확률년에 대한 개념으로 분석하는것으로써 본자료는 여수로 및 배수로등 수공 구조물의 수문학적 설계 기준에 유용할수 있다. 현재 소양강 다목적댐의 홍수량 자료는 소양강 다목적댐 건설전에 11년간 (1958~1968년)의 자료와 댐 준공후 17년 (1974~1990년)간의 Peak 홍수 유입량 자료가 있다. 1958년부터 1990년 사이에 소양강 다목적댐 지점에서 발생한 년 최대 홍수 28개 사상에 대한 년 최대 홍수량은 댐 준공 이후 10,000 m<sup>3</sup>/s가 넘는 극대 홍수량이 두번이나 발생했다. 따라서 본 연구에서는 댐 준공 이후의 peak 홍수량 자료를 추가하여 댐 건설 전후의 확률 수문량을 비교하였다. 분석 방법으로는 홍수량 빈도 해석에 유용한 Log-Normal, Pearson type III, Log-Pearson type III, Gumbel 분포에 대한 fitting 결과 소양강 다목적댐 Peak 홍수량 시계열에 Gumbel 분포가 가장 적합함을 알 수 있었다. 따라서 Gumbel 분포를 이용하여 산정된 확률 홍수량을 댐 건설전의 확률 홍수량의 비교는 아래의 표 2에 수록된 바와 같이 200년 빈도 홍수량의 경우 1.267배 크게 나타났으며, 전반적으로 동일 재현 빈도에 대하여 홍수량이 크게 나타났다.

표 2 소양강 다목적댐 건설 전후의 확률 홍수량 비교

recurring interval (year)	original design (A) (m <sup>3</sup> /s)	updated statistical results		remarks
		new estimate(B) (m <sup>3</sup> /s)	increased ratio (B/A)	
5	4,130	5490	1.329	
10	5,270	7030	1.334	
50	8,240	10,430	1.266	
100	9,360	11,870	1.268	
200	10,500	13,300	1.267	
500	12,090	15,200	1.257	
1000	13,340	16,600	1.244	

라. 豫想되는 問題點

ICOLD(international commission on large dams)에서 최근에 출판된 selection of design flood, current method(1992) 및 현재의 댐설계 기준 추세에 비추어 볼때 현재 소양강 다목적댐의 수문학적 안정성 관련 예상되는 문제점은 다음과 같이 요약될수 있다.

- 1) 영국의 토목공학 연구소의 floods and reservoir safety - an engineering guide(1978)에 따르면 소양강 다목적댐은 댐 파괴시 막대한 재산 및 인명 피해가 예상되어 댐 준공이후 신뢰성 있게 확보된 수문자료를 이용하여 재 산정된 가능 최대 홍수량(probable maximum flood)으로 설계 홍수량을 변경할 필요가 있다.
- 2) 설계 홍수량 유도시 기준이 되는 단위 유량도는 작은 홍수량이 아니라 큰 홍수로 부터 유도될 필요가 있으며 댐 준공이후 신뢰성 있게 확보된 수문자료를 이용하여 보완할 필요가 있다.
- 3) 댐 파괴시 막대한 재산 및 인명 피해가 예상되는 지역에서는 현 시점에서 재 산정된 가능 최대 홍수량에 근거하여 댐 안정성 평가 및 치수능력을 개선 보완할 필요가 있다.

### 3. 昭陽江 多目的댐의 可能最大 洪水量

#### 가. 代表 單位圖

유역 특성의 시간적 不變性, 線形性 및 시간적 공간적 均一性에 근거한 단위도 이론은 방법의 간편성과 정확성으로 인하여 단위 유량도법에 의한 수문곡선 계산은 널리 사용되고 있다. 그러나 한유역에 대해 유도된 개개 단일 호우 또는 복합 호우로부터 구한 단위도는 서로 다르다. 이를 해결하기 위해 보통 각각 단위도의 첨두 종거값과 그 발생 시간을 단순히 산술 평균하고 면적이 1 이 되도록 任意로 조정하였다. 그러므로 이와같은 방법으로 구한 단위도에 대표성을 부여할 만한 合理性이 결여되어 있음을 인정하지 않을 수 없다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방안으로 관측 유량값과 계산 유량값의 오차가 최소가 되도록 최소 자승법이나 최적화 기법이 많이 이용되고 있다. 본 연구에서는 소양강 다목적댐의 대표 단위도를 유도하기 위하여 복합호우를 동시에 고려할 수 있는 Mays and Coles(1980)에 의해 제안된 선형 계획기법(linear programming algorithm)을 이용하였으며 이때 구성된 모형은 다음과 같다.

#### 目的 函數

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^{N_i} (Z_i(n) + V_i(n)) \quad \text{----- (1)}$$

#### 制約 條件

$$Q_i(n) = \sum_{m=1}^m [P_i(n-m+1) U(m)] + Z_i(n) - V_i(n) \quad \text{----- (2)}$$

$$\sum_{m=1}^M U(m) = 1 \quad \text{----- (3)}$$

$$2U_m \leq U(m-1) + U(m+1) \quad (m > m_p : m_p \text{ 하강부 변곡점}) \quad \text{----- (4)}$$

$$U(m) \geq 0 ; Z_i(n) \geq 0 ; V_i(n) \geq 0 \quad \text{----- (5)}$$

여기서,

- $Q_i(n)$  : i번째 홍수의 n번째 직접 유출량 ( $m^3/s$ )
- $P_i(n-m+1)$  : i번째 홍수의 유역평균 유효우량(mm)으로  $n-m+1 \leq 0$ 이면  $P_i(n-m+1) = 0.0$
- $U(m)$  : 단위도 m번째 종거 ( $m^3/s$ )
- $Z_i(n)-V_i(n)$  : 관측 유량과 계산 유량의 오차 ( $m^3/s$ )
- $M$  : 단위유량도의 기저시간 (base time)
- $I$  : 독립 홍수 사상 수
- $N_i$  : i번째 홍수 사상의 관측수문 곡선 종거수

이상과 같이 模型을 구성하여 LINDO(Linus Schrage, 1991) 프로그램을 강우의 공간분포가 균 일한 3개 홍수사상('90년 6월 20-23일 : peak 유량 2773  $m^3/s$ , '90년 7월 17-19일 : peak 유량 4791  $m^3/s$ , '90년 9월 10-13일 : peak 유량 10653  $m^3/s$ )에 적용하여 단위도를 산정한 결과 상승 부에 진동이 있어, 수문곡선 상승부에도 다음과 같은 제약조건을 추가하여 소양강 다목적댐의 대 표 단위도를 유도하였다.

$$- U(m-1) + 2 U(m) - U(m+1) \geq 0 ; \quad (2 \leq m \leq m_p - 1) \quad \text{----- (6)}$$

복합호우 사상으로부터 새롭게 유도된 단위도와 댐 계획시 사용된 단위도 및 댐 건설중에 발 생한 1972년 8월 홍수(peak 유량 9175  $m^3/s$ )에서 산정된 단위도를 비교한 결과는 다음의 표 3과 그림 1과 같다. 위에서 산정된 단위도를 대표 단위도 유도시 적용된 3개 호우 및 1984년 9월 홍 수(peak 유량 11995  $m^3/s$ )에 적용한 결과 비교적 잘 일치하여 본 단위도를 소양강 다목적댐의 대 표 단위도로 결정하였다.

표 3 댐 건설 전후의 단위도 비교

estimated year	current design 1968 (A)	new estimation			
		1972 (B)	ratio (B/A)	1992 (C)	ratio (C/A)
united hydrograph					
memory time(hours)	55.0	40.0	0.727	32.0	0.582
time to peak(hour)	8.0	7.0	0.875	69.0	0.750
peak discharge(m <sup>3</sup> /s)	46.1	66.9	1.451	58.2	1.262

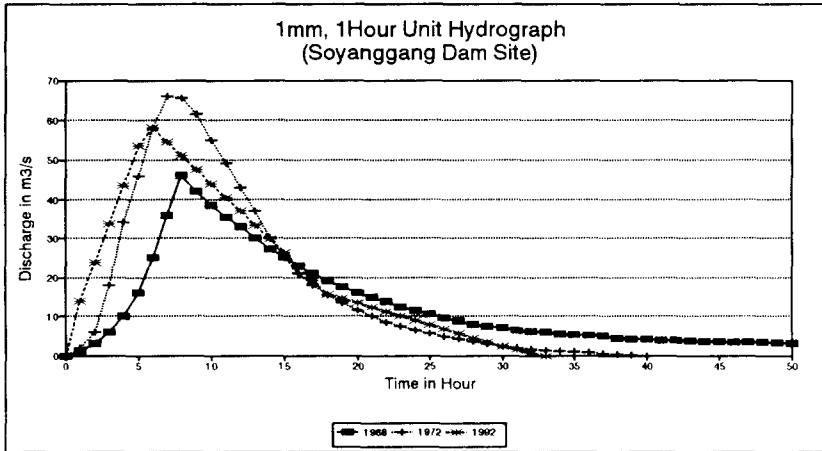


그림 1 댐건설 전후의 단위도 비교

나. 昭陽江 多目的댐 流域의 PMF

1) 可能 最大 降水量 推定

“주어진 지속기간에 있어서 어느 특정 위치에 주어진 호우 면적에 대하여 년중 어느 지정된 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론적 최대 강수량의 깊이” 본 정의는 유역의 형상과 관계없이 호우의 우량 분포를 중심으로 잠재 강수량의 상한계를 나타낸 것이기 때문에 이 정의하에서 유도된 PMP를 임의 유역에 직접 적용할 수 없다. 따라서 유역 평균 PMP를 추정하기 위해서는 호우 중심 PMP를 약간 수정할 필요가 있다. Hansen등(1982)에 의하면 PMP 호우 분포와 알맞은 설계 절차로 유역 전체에 걸쳐 호우 중심 PMP를 분포시킨 후에 그 유역 전체에 평균 PMP를 추정하는 것으로 PMP를 정의하고 있다.

댐 계획 당시 지속시간 72 hr PMP는 789 mm이다. 이는 1925년 7월 15-17일 사이에 인제 우량 관측소에서 관측된 435.6 mm에 1965년 7월 13-15일의 기상관측 자료로부터 추정된 수분 최대화 비를 적용하여 산정한 값이다. 이는 1000년 빈도 확률 강우량 783.3 mm와 거의 비슷한 양이다. 본 연구에서는 한강유역 일원에 가장 큰 홍수피해를 입혔고 강우 기록상 기록적인 3개 호우('84년 8월 31- 9월 4일, 87년 7월 21-23일, 90년 9월 8-13일)를 선택하였는데, 이들 호우의 3일간 연속 강우량은 84년 9월 홍수 457.9 mm, 87년 7월 홍수 483.0 mm, 90년 9월 홍수 538.0 mm로 이는 댐 계획 당시 적용된 최대 강수량 보다 1.05에서 1.24배 큰양이다. 따라서 미국 기상국의 표준 방법으로 권장하는 누가 곡선법을 이용하여 DAD(depth area duration) 분석을 실시한 후 수분 최대화 및 전이한 후, 포락등 수문기상학적 방법으로써 전통적 방법(traditional approach)으로 소양강 다목적댐의 PMP를 추정할 결과는 다음의 표 4에 수록된 바와 같이 72hr 지속시간의 경우 760mm로 이값은 당초의 계산값 789.0 mm보다 약간 작은 것으로 나타났다.

2) 昭陽江 多目的댐 流域의 PMF

昭陽江 多目的댐 流域의 PMF에 代表 單位圖를 適用하여 PMF 산정시 HEC-1(HEC,1987)을 이용하였다. 소양강 다목적댐 유역의 PMF를 算定하기 위한 HEC-1 Program의 주요입력 변수인 강우량 손실률은 有效雨量 분석시 산정된 값중 최소값, 즉 초기 손실 4.0 mm, 일정손실 1.9 mm 와 소양강 다목적댐 공사지에 수록된 일정 손실 우량의 최소값인 1.1 mm 와 앞절에서 誘導된 대표 단위도를 소양강 다목적댐 유역에서 발생한 가장 큰 홍수인 '84년 9월 홍수('84. 8. 31. - 9. 9.)에 적용한 결과, 一定 損失率을 1.1 mm로 채택시 계산 오차가 상대적으로 적으므로 初期 損失量은 4.0 mm, 일정 손실량은 1.1 mm로 최종 選擇 하였으며, PMP의 공간 분포는 상류 수위표 지점의 rating curve가 신뢰성이 부족하여 유역 평균 PMP를 적용하였으며, 시간 강우량 분포는 '90년 9월 관측 호우형을 이용하였다. 또한 홍수 도래 이전의 유량을 의미하는 기저유량은 소양강 다목

적댐 건설 당시 추정된 최대 기저 유량 400 m<sup>3</sup>/s를 초기 유량 값으로 채택 하여 基底 流量을 計算하였으며, 홍수 hydrograph 減水曲線上에서 地下水流出이 시작되는 시점의 유하량(recession threshold flow)은 peak유량의 9 %로, 減水曲線 기울기는 1.02를 각각 적용 하여 산정한 PMP 지속 시간별 PMF는 아래의 표 4 및 그림 2와 같고, 이값들은 소양강 다목적댐 지점의 1,000년 에서 10,000년 頻度 사이의 洪水量으로 나타났다.

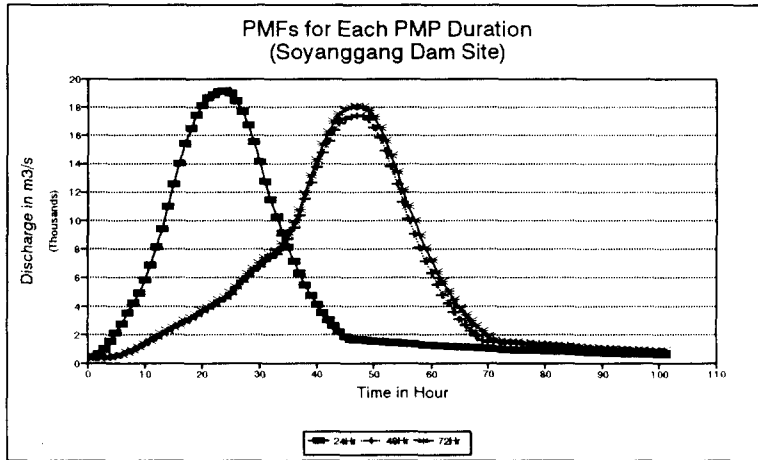


그림 2 소양강댐 유역의 PMP 지속시간별 PMF

표 4 소양강댐 유역의 PMP 지속 시간별 PMF

지속시간 (hr)	PMP (mm)	PMF (m <sup>3</sup> /s)	비고
12	420	18100	
18	521	18900	
24	590	19100	
48	690	17400	
72	760	18100	

#### 4. PMF를 收容하는 對案 檢討

소양강 다목적댐의 치수능력을 재검토 하기 위하여 최악의 기상 조건을 고려하여 산정된 가능 최대 홍수량을 설계 홍수량으로 채택할 경우 소양강 다목적댐의 수문학적 안정성을 도모할수 있는 방안은 하계 제한수위를 낮추는 방안, 기존댐의 여수로를 확대하는 방안, 상류 홍수 조절용 댐 건설 및 댐 증고 방안, saddle 이나 계곡 사이에 fuse plug 설치방안(Shen, 1994) 등이 있을 것이다. fuse plug는 이상 홍수 발생시 본댐의 전도를 예방하기 위하여 저수지 구역내 함몰지 혹은 saddle에 설치된 균질 dyke, 중심 혹은 경사 core를 갖는 dyke나 membrane로 보강된 sand gravel dyke 구조물로 i) by overtopping, ii) by pilot channels of tubes to breach or iii) by explosion에 의해 이상 홍수를 소통시키는 경제적인 방법으로 외국에서 많은 시공예가 있다. 그러나 소양강 다목적댐 유역은 산악지형으로 적당한 saddle이나 함몰지가 없어 본 방안은 검토에서 제외하였다. 현재 소양강 다목적댐 홍수조절 운영 지침에 의거 PMP 지속 시간별 PMF에 대한 최고 홍수위는 72 지속 시간의 PMP에 대한 PMF유입시 소양강 다목적댐의 Peak 저수위가 EL. 203.679 m 이다. 따라서 소양강 다목적댐에서 최고 Peak수위를 기록한 72시간 PMF를 설계 유입 hydrograph로 채택하였다. 또한 소양강 다목적댐의 계획 홍수위는 EL. 198.0 m 이지만 소양강 다목적댐 설계 보고서(건설부, 1969)에 따르면 댐 중심 core zone의 불 투수층의 표고는 EL. 202.6 m로 되어 있으며, 설계 당시 계산된 파고 1.5 m를 감안할때, 댐 안정을 고려한 계획 홍수위는 EL. 201.1 m 이나 댐 건설 당시 시공의 불 확실성, 제체의 침하등을 고려하여 PMF 유입시 설계 홍수위를 EL. 200.5 m (댐 건설 당시 1000년 빈도 홍수량 유입시 peak 저수위)로 결정하여 상기 방안들을 검토하였다.

소양강 다목적댐 홍수 조절을 위한 각안별 건설 사업비는 최근 실시 설계가 완료된 密梁댐 및 橫城 多目的댐 과 寧越댐 妥當性 調査의 각 공종별 단가를 적용하여 概略 工事費를 산출한 결과는 추가 여수로의 개략 건설비가 555 억원, 麟蹄댐 건설 개략 事業費는 3,160 억원, 기존댐을 증고 시키는 안의 개략 사업비가 618억원이다. 이들 각안은 현재의 보상수위(EL. 198.0 m)에서 EL. 200.5 m 까지의 증가되는 저수면적 1.9 km<sup>2</sup>에 해당되는 보상비가 포함되지 않은 사업비이다. 따라서 PMF를 설계 홍수량으로 채택시 보상기준 수위에 대한 구체적인 검토가 추후 있어야 할 것으로 판단된다. 이상에서 검토된 소양강 다목적댐의 가능 최대 홍수량 (PMF)을 설계 홍수량으로 채택할 경우 소양강 다목적댐의 수문학적 안정성을 도모할수 있는 最適의 方案은 治水 管理能力 效率面에서 가장 유리한 비상 餘水路를 追加하는 案으로 제시 하였으며 각 안별 검토 내용은 다음과 같다.

##### 가. 夏季 制限 水位를 낮추는 方案

本 方案은 昭陽江 多目的댐의 既存 시설을 변경치 않고 단지 夏季 制限 水位를 낮추어 홍수 조절 용량을 확대함으로써 PMF유입시 소양강 다목적댐의 홍수위를 넘지 않게 하는 방법이다. 따라서 소양강 다목적댐의 기존 operation rule을 적용한 결과, PMF를 수용할 수 있는 하계 제한 수위는 현재의 EL. 190.5 m에서 EL 177.6 m로 낮추어 유지 하여야 하나, 본 방안을 채택할 경우 활용 용 저수용량 축소에 따른 利水 目的 評價 (Labadie, 1990)를 18년간 ('74-'91년)의 유입량 자료를

이용하여 평가한 結果, 발전량은 현재의 501.6 GWh/Yr 에서 448.8 GWh/Yr 로, 용수 공급량은 1557.6 MCM/Yr 에서 1265.6 MCM/Yr로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 본 방안은 홍수기 저수위 수위를 하계 제한 수위로 유지해야 하는 점을 상기할 때, 여수로 越流高 이하 하계 제한 수위 이상의 저류량에 대해서는 신속한 調節이 불가능한 상태이므로 별도의 放流 設備가 필요한 것으로 判斷된다.

나. 非常 餘水路를 追加 하는 案

既存 여수로를 좌 또는 우안쪽으로 擴張하여 추가 문비를 설치하는 것은 좌안쪽의 산지 형태로 보아 표토까지의 굴착량이 대단히 클것으로 추정될뿐 아니라 구조 역학적 측면에서 댐의 양안이 취약하므로 홍수기 댐 안정을 확보하기 어려운 것으로 판단되고, 본댐 좌,우안의 지형상태를 고려할때 추가 여수로는 댐의 안정 및 경제적인 측면(토공량)을 考慮하여 터널을 통한 배수가 적절한 것으로 판단되나, 터널 입구에서 수문조작이 어려워 미국의 HOOVER댐 형식을 고려케 되었다. 이는 하계제한수위를 초과하는 저수위에 대해서는 자연 월류에의해 Weir을 통하여 방류되며, 일단 월류량은 터널을 통하여 댐하류로 유도케 하였다. 따라서 昭陽江 多目的댐의 1000년 頻度 홍수위인 EL. 200.5 m 를 초과하지 않는 최소 직경의 터널 단면 및 weir폭을 찾은 결과는 아래와 같고, 운영 結果는 다음의 그림과 같다.

- o weir 폭 : 85.0 m
- o weir crest 표고 : EL. 190.3 m (소양강댐의 하계제한수위)
- o 터널 단면형 및 直徑 : 직경 15.0 m 의 원형 터널
- o 터널 유입구 바닥標高 : EL 170.0 m
- o 터널 유출구 바닥標高 : EL 60.0 m
- o 터널 길이 : 900 m
- o 만곡점 위치 : 터널 출구로부터 400 m 지점
- o 소양강 다목적댐의 최대 홍수위 : EL. 200.5 m
- o 最大 放流量 : 12,095.0 m<sup>3</sup>/s
  - 既存 餘水路 : 7,223.0 m<sup>3</sup>/s
  - 터널 放流量 : 4,672.0 m<sup>3</sup>/s
  - 발전 방류량 : 200.0 m<sup>3</sup>/s

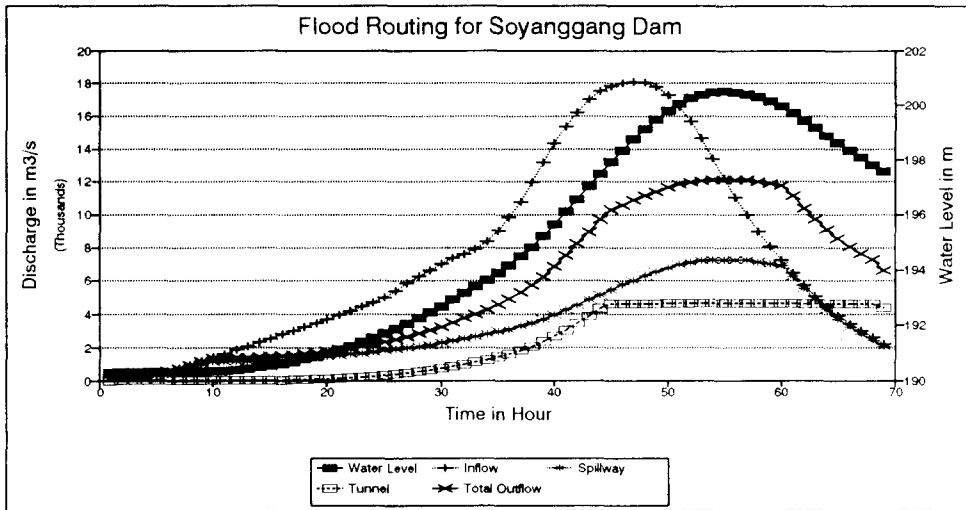


그림 3 여수로 추가시 PMF유입에 따른 소양강댐의 운영 결과

다. 既存 댐을 增高시키는 方案

현재 소양강 다목적댐 홍수조절 운영지침에 따라 수문조작시 PMF에 대한 최고 홍수위는 EL. 203.7 m 이며, core zone의 표고는 1000년 홍수 유입시 Peak 저수위 에서 파랑등을 고려한 2.1 m 의 여유를 갖고 있으므로 기존댐 증고시 core zone의 표고는 본 여유고를 적용하여 EL. 205.8 m 로 결정하였으며 신규 댐 높이는 2.5 m 의 여유를 두어 EL. 206.2 m로 결정하였다. 댐 증고시 상류측 사면은 기존 coffer dam 상단표고 EL. 128.0 m 에서 부터 기존 사면구배인 1:2.3을 적용하여 EL. 206.2 m 까지 증고하는 것으로 하였으며, 하류사면의 구배는 기존 구배를 약 10% 정도 하향 조정된 1:2.2를 적용하여 개략 공사비를 산정한 결과 약 618억원으로 나타났다. 본 사업비 내역중 보상비는 타안과 동등한 비교를 위해 PMF 유입시 계획 홍수위 EL. 200.5 m 에서 EL. 203.7 m 까지 저수면적에 대한 보상비만을 고려하였다. 본 방안을 채택할 경우는 기존 댐체를 포함한 신규 증축 단면에 대하여 사면 안정 및 안정성 검토가 이루어져야 할 것이다.

## 라. 상류에 洪水 調節用댐 建設 方案

소양강 다목적댐에 PMF유입시 필요한 홍수 조절 용량이 개략 8.5억<sup>m<sup>3</sup></sup> 요구되며, 현행 5억<sup>m<sup>3</sup></sup>을 제외하면 추가로 필요한 용량이 3.5억<sup>m<sup>3</sup></sup>이다. 그러나 소양강 다목적댐 유역은 山岳地形으로 강우가 지형 영향을 받아 편기 될수있는점을 감안할때 효율적인 홍수 조절용댐 후보지는 합류점 하류에 댐지점을 선정 하는것이 바람직 할것이나, 합류점 하류에 있는 麟蹄 제 1 및 제 2지점은 상류에 위치한 麟蹄군이 수몰 될것으로 판단되어 본류상 麟蹄郡 麟蹄面 古沙리에 위치한 인제댐 지점을 선택하였다. 상류 댐지점의 PMF hydrograph를 유도하기 위한 代表單位圖는 소양강 다목적댐에서와 마찬가지로 3개 대표 호수에 대하여 기저 유출 분리 및 유효 우량을 결정후 선형 계획법을 적용하여 유도된 내린천 수위표 지점의 대표 단위도로 추정하였으며, 인제댐에 수문 이 있는 餘水路를 計劃할때 Gate의 높이가 25 m 이상인 관계로 저수지 수위 변동에 따라 자동적으로 홍수량이 조절되는 터널식 여수로를 선택하여 두댐을 연계 운영한 결과, 소양강 다목적댐에서 PMF를 收容하는 인제댐의 최소 터널 직경은 12.5 m (원형단면)이며, 이때 소양강 다목적댐의 peak 홍수위는 EL. 200.348 m, 인제댐 지점에서 홍수위는 EL. 315.114 m 이므로 인제댐 지점의 댐 頂点 標高는 洪水位에서 약 2m 가량 여유고를 합한 EL. 317.0 m로 결정하였다.

## 5. 結 論

本 研究는 20년전에 建設 완료된 우리나라 最大 多目的댐인 昭陽江 多目的댐의 治水 能力을 再 檢討 하기위하여 最惡의 氣象 條件을 고려한 可能 最大 降水量 (PMP) 및 可能 最大 洪水量 (PMF)를 推定하였다. 산정된 可能 最大 洪水量 을 設計 洪水量으로 採擇할 경우에 따른 利水 容量의 縮小, 非常 餘水路 追加 및 上流 洪水 調節用댐 建設등 昭陽江 多目的댐의 水文學的 安定性 을 도모할수 있는 最適의 改善 方案을 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 水文學 氣象學의 方法에 의한 昭陽江 多目的댐 流域의 72時間 持續 PMP는 760 mm로 나타났으며 昭陽江 多目的댐 地點에 발생한 댐 建設 前後의 觀測 洪水量을 比較한 結果 年 最大時系列이 약간씩 增加하는 傾向을 보이며 200년 頻度 確率 洪水量의 境遇 1.27배 크게 나타났다.

2. 昭陽江 多目的댐 流域의 代表 單位圖는 여러개 豪雨 事象을 동시에 考慮할수 있는 最適化 技法으로 誘導 하였으며, PMP 시간 분포는 '90년 9월 觀測 호우형을 이용하여 산정한 72 지속 시간 PMF는 18,100 m<sup>3</sup>/s로, 이는 1,000년 에서 10,000년 頻度 사이의 洪水量으로 나타났다.

3. 可能 最大 洪水量을 設計 洪水量으로 採擇할 경우의 3개 對案: 1) 夏季 制限水位를 낮추는 案, 2) 非常 餘水路를 追加 하는 案, 3) 既存 댐을 增高시키는 方案, 4) 上流에 洪水 調節用댐 을 건설하는 안을 검토한 결과 經濟性, 治水 管理 能力 效率面에서 昭陽江댐의 水文學的 安定性 을 도모할수 있는 最適의 改善 方案은 非常 餘水路를 追加하는 안으로 판단되므로 현 여수로에 부가하여 非常 餘水路를 追加하는 方案이 보다 더 구체적으로 檢討 되어야 할것이다.

## 參 考 文 獻

The Institution of Civil Engineers, "Floods and Reservoir safety : An Engineering Guide", ICE, London, 1978.

Mays, L.W., and S.L. Coles, "Optimization of Unit Hydrograph Determination," J. Hydraul. Div., ASCE, 106(HY1), pp 85-97, 1980.

Hansen, E.M., Schreiner, L.C., and Miller, J.F., "Application of Probable Maximum Precipitation Estimates, United States East of the 105th Meridian", Hydrometeorological Report No.52, U.S. National Weather Service, U.S. Dept. of Commerce., Silver Spring, Md. 1982.

ICOLD F, "Selection Of Design Flood", Commission International des Grands Barrages W.M.O. "Manual For Estimation Of Probable Maximum Precipitation Second Edition" Operation Report No. 1, WMO-NO. 332, 1986.

HEC, "HEC-1 Flood Hydrograph Package", User's Manual, 1987.

Labadie, J. W., "Dynamic Programming with the Microcomputer: Program CSUDP", Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1990.

Linus Schrage, "User's Manual For Linear, Integer And Quadratic Programming With LINDO Release 5.0", 1991.

Shen Chonggang, "Emergency Spillways and Fuse Plugs for Safety of Reservoirs", 1994.

건설부, "소양강 다목적댐 설계보고서", 1969.

한국수자원공사, "소양강 다목적댐 공사지", 1974.

건설부, "수자원 관리 기법 개발 연구조사 보고서 제 3 권 가능 최대강수량 추정", 1988.

한국수자원공사, "밀양댐 건설 실시 설계 기본계획 보고서", 1990.

한국수자원공사, "횡성 다목적댐 건설 사업 실시설계 보고서", 1990.

건설부, "영월댐 타당성 조사 보고서", 1992.