

다목적댐 수력발전 설계의 SSR 적용에 관한 연구

김창범* 민훈진* 한정균* 박성오* 김경완*
K-water*

The Study on SSR Application of Designing of Hydropower in Multi-Purpose Dam

Chang-Beom Kim*, Hoon-Jin Min*, Jung-Kyun Han*, Sung-Oh Park*, Kyoung-Wan Kim*,
K-water*

Abstract - 홍수조절과 용수공급을 우선순위로 갖는 다목적댐에서의 수력발전 설계는 발전전용 발전소, 수로식 발전소, 조정지식 발전소 및 양수식 발전소와는 에너지 잠재량을 산정하는 방식에서 다르다. 용수공급조건을 충족시키면서도 무효방류량을 최대한 유효저수량으로 활용하는 다목적댐의 경제적인 연간발전량을 산정하기 위해서는 단지 SSR(Sequential Streamflow Routing) 방법을 이용하여 정확하게 수행될 수 있다. 본 논문에서는 B댐의 소수력발전기 용량산정을 기존의 라우팅 방식과 SSR을 적용한 라우팅 방식으로 연간발전량을 비교 추정하여 보았다.

1. 서 론

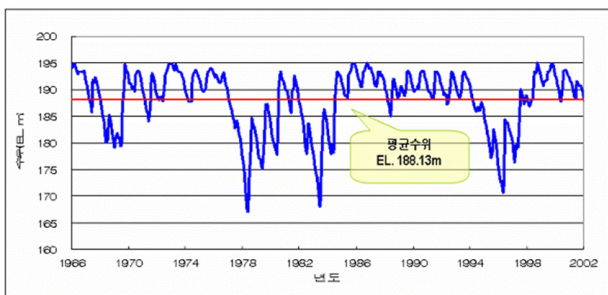
다목적 저수지가 있는 수력개발계획의 에너지 잠재량을 추정하는 것은 수로식 수력개발 계획의 에너지잠재량을 측정하는 것보다 더 복잡하다. 다목적 발전소의 에너지잠재량을 추정하기 위해서 필요한 수문자료는 저수위(계획홍수위, 홍수위, 상시만수위, 저수위, 사수위), 강우량, 유입량, 유출량, 저수량-수위곡선, 저수면적-저수위곡선, 방류량곡선, 증발손실량, 댐 누수를 통한 손실량, 최소 하천유입 요구량, 매달 발전요구량, 수압절관과 관계된 손실낙차 등이다. 이들 자료는 다양한 홍수조절과 수력발전 분석을 포함한 유효저수량 계획을 평가하기 위해 HEC-5와 같은 다목적 저수지 모의시험 프로그램을 통해 모델화 된다. B댐에서는 경제적인 수차발전기 선정에 위한 연간발전량을 산정하기 위해 기존의 확보 가능한 최대 수문자료를 활용하는 Routing 방법과 미공병대의 수력발전 설계방식중 하나인 SSR 라우팅 방법을 활용하여 Critical Period를 설정한 후 Routing을 수행하는 방법으로 연간발전량을 산정 비교해 보았다.

2. 본 론

2.1 전 기간 수문자료를 활용한 라우팅

2.1.1 전 기간 수문자료를 활용한 낙차, 사용수량 산정

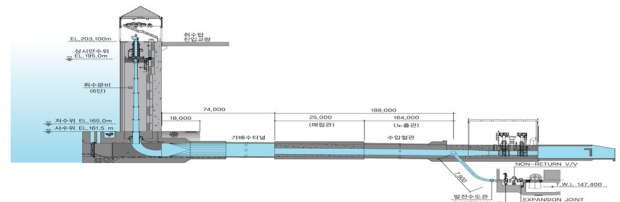
B댐의 유역의 전 기간의 수문자료는 1967년 ~ 2002년까지의 37년간 수문자료를 활용하였다. 아래는 용수공급량을 확보한 저수지 모의운영 결과로 EL.188.13m 평균수위를 정격낙차로 선정하였다.



<그래프 1> B댐 저수지 모의운영에 의한 저수지 수위변화 곡선

2.1.1 사용수량의 선정

다목적댐의 발전사용수량은 기본적으로 용수공급량에 무효방류량을 추가하여 산정된다. B댐의 경우 용수공급량(1.37m³/s) + 홍수기 무효방류량(2.086m³/s)을 합한 최대 (3.398m³/s)을 발전사용수량으로 사용할 수 있으며 B댐 월별 용수공급량과 홍수기 무효방류량 표1과 같다. 사용수량이 결정되었다고 그대로 발전사용수량으로 결정할 수는 없다. 취수탑의 취수용량과 수압절관의 통수능력을 함께 고려하여야 하는데 B댐의 취수설비의 통수능력은 (2.01m³/s)이며, 취수설비 관경이 800mm ~ 1,600mm, 도수터널관경이 2,800mm로 분기부의



<그림 1> 취수설비 모식도

유속범위를 수차의 효율을 고려하여 (4m/s)로 제한하였다. 이는 일본의 댐·연식설기술기준(일본댐·연식설기술협회, 2001.07. p518)을 참조하였다.

$$Q = A \times V \text{에서 } Q = \frac{3.14}{4} \times 0.8^2 [m^2] \times 4.0 [m/s] = 2.01 [m^3/s]$$

<표 1> B댐 월별 용수공급량과 홍수기 무효방류량

(단위: m³/s)

구 분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
발전사용 수량(A+B)	1.049	1.049	1.049	1.078	1.226	1.464	2.547	3.398	3.065	1.049	1.049	1.049	2.464
용수공급량 (A)	1.049	1.049	1.049	1.078	1.226	1.372	1.288	1.312	1.243	1.049	1.049	1.049	1.152
홍수기 무효방류량 (B)	-	-	-	-	-	0.092	1.259	2.086	1.812	-	-	-	1.312

2.1.2 전 기간 수문자료를 활용한 연간발전량 산정

전 기간 수문자료를 활용하여 HEC-5를 통한 Routing을 실행한 결과 600kW 발전기를 설치할 경우 3,310MWh의 연간발전량이 산정되었다.

Location No. 10/02 Codes	Annual Summary												
	10.10.093	10.10.093	10.10.093	10.10.103	10.10.103	10.10.223	10.10.250	10.10.333	10.10.323	10.10.164			
	Reservoir Inflow	Reservoir Min level	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg	Reservoir Reservoir Avg
1966	1.90	1.15	0.00	42459.96	2.09	193.74	599.99	45.26	0.94	3994.64			
1967	1.02	1.15	0.00	34401.09	1.15	189.96	600.00	41.48	0.00	3364.63			
1968	0.75	1.15	0.00	22680.00	1.15	189.97	600.00	35.10	0.00	2846.99			
1969	2.07	1.15	0.00	26439.19	1.27	185.22	599.99	36.72	0.10	3030.69			
1970	2.11	1.15	0.00	38072.90	2.17	191.75	600.00	43.27	0.97	3677.80			
1971	1.16	1.15	0.00	32443.31	1.16	189.99	600.00	40.45	0.00	3290.47			
1972	1.80	1.15	0.00	36539.66	1.33	190.91	599.99	42.41	0.12	3644.96			
1973	1.20	1.15	0.00	41702.34	1.42	193.40	599.99	44.92	0.22	3814.93			
1974	1.64	1.15	0.00	35942.48	1.43	190.47	600.00	42.18	0.24	3530.59			
1986	1.73	1.15	0.00	40782.72	1.48	192.98	599.99	44.49	0.43	3927.29			
1997	1.68	1.15	0.00	23471.76	1.15	183.48	600.00	35.17	0.00	2861.18			
1998	2.79	1.15	0.00	36191.01	2.45	190.74	599.99	42.24	1.24	3624.26			
1999	2.13	1.15	0.00	40485.98	2.00	192.85	599.99	44.36	0.76	3880.70			
2000	2.72	1.15	0.00	37817.73	2.72	191.59	600.00	43.10	1.51	3676.93			
2001	1.03	1.15	0.00	35567.48	1.15	190.58	600.00	42.09	0.00	3414.48			
2002	3.28	1.15	0.00	35442.36	3.00	190.40	600.00	41.91	1.80	3594.11			
Sum	61.10	42.43	0.04	1172846.42	58.35	6941.21	22199.88	1467.09	14.46	122480.55			
Max	3.28	1.15	0.04	42459.96	3.00	190.74	600.00	45.26	1.80	3994.64			
Min	0.64	1.15	0.00	13594.03	1.12	176.41	599.99	27.92	0.00	2204.56			
PKMax	1902.00	1966.00	1978.00	1966.00	1902.00	1966.00	1967.00	1966.00	1902.00	1966.00	1902.00	1966.00	
Avg	1.65	1.15	0.00	31690.56	1.58	189.14	600.00	39.65	0.60	3310.29			
PKMin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

<그림 2> HEC-5 프로그램을 활용한 600kW 연간발전량 산정

2.2 SSR(Sequential Streamflow Routing) 활용한 연간발전량 산정

2.2.1 수력발전소 에너지 잠재량 평가방법

수력발전소 에너지 잠재량을 평가하는 방법으로는 크게 세가지가 있다 (1)유황곡선법(Flow - duration curve) : 하천유량으로 작성한 유황곡선을 이용하는 기법으로 %값으로 환산된 하천유량은 수력발전식에 적용된다. 기본적으로 유황곡선을 사용하면 비교적 간단하고 신속하다는 장

접이 있으며, 따라서 이 기법은 일 하천유량 자료를 이용해 경제적으로 발전량을 계산하는데 이용한다. 따라서, 낙차가 고정되어 있거나(고낙차 수력발전 계획) 또는 낙차가 방류량에 따라 변하는(저낙차 계획)의 수로식 발전에서 유허곡선법은 일반적으로 가장 좋은 평가방법이다. 그러나, 댐식 및 저수지식 계획이 포함된 시스템의 한 부분으로 운영되는 수로식 계획에서는 SSR법이 사용된다.

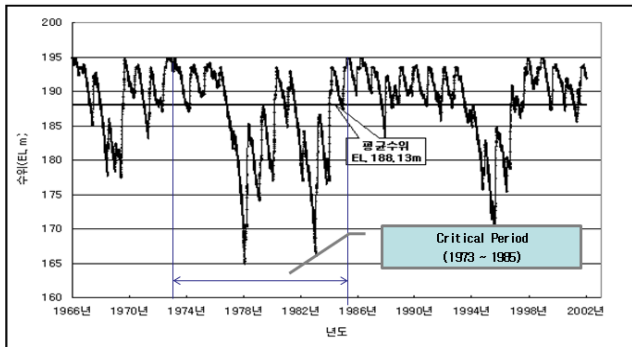
(2)SSR법 : 발전을 포함한 다목적 저수지 또는 발전용 저수지 수력발전 계획의 평가를 위한 실행가능한 유일한 평가 방법이다.
 (3)Hybride Method : 유허곡선법과 SSR 법의 특징을 혼합하여 사용하는 방법이다. 이 기법들을 활용한 에너지 잠재량 평가 컴퓨터 모델로는 유허곡선법을 활용한 HYDUR, NAVOP, SSR법을 활용한 HEC-5, SUPER, HYSSR 등이 있고, 복합방식을 활용한 DURAPLOT 모델이 있다.

2.2.2 SSR Method

SSR Method는 연속적인 하천유량 추이에 의한 평가방법에서, 발전출력은 대상기간중 일정한 간격으로 연속적으로 계산한다. 이 방법은 계획기간을 통해 하천유량 추이의 연속방정식을 이용하고, 따라서 저수지 유량 조정에 따른 저수지 수위변화를 설명할 수 있다. 이 방법은 홍수조절, 용수공급, 관개와 같은 전력생산의 목적이 아닌 댐은 물론이고, 수력발전소의 저수지 모의운영이 가능한 방법이다. SSR의 장점은 낙차가 각각의 하천유량에 대해 가변적인 개소의 수력발전계획시 이용되며, 수력발전 또는 다른 목적의 저수지 모의운영이 가능하며, 시스템 각 부분별 운영계획을 분석할 수 있다. SSR의 주요 단점은 복잡하다는 것이다. SSR 방법에서는 우선 평가를 위한 중요한 시기를 설정하는데 이 기간을 Critical Period라 한다.

2.2.3 Critical Period

Critical Period는 하천유량이 가장 불안정한 시기를 언급하며 저수지가 완전히 답수된 시기에 시작한다. 일반적으로 Critical Period이라고 불리는 이런 불안정한 하천유량 기간은 과거의 하천유량 기록을 조사함으로 알 수 있다. Critical Period는 사용하는 지역마다 약간 다르나, 본 논문에서는 그림 2와 같이 저수지가 완전히 찬 시점에서 시작하여 가뭄기간을 거쳐 저수지가 완전히 비워지고 이후 저수지가 다시 찬 한주기를 Critical Period라 정의 한다. B댐의 37년간 저수지 수위변화 곡선을 보면 그래프 2와 같이 Critical Period를 설정할 수 있으며, 그 기간은 1973년 ~ 1985년 사이가 된다.



〈그래프 2〉 B댐 저수지 수위변화 곡선의 Critical Period

2.2.4 홍수기 무효방류량 비교(전 기간 수문자료 vs Critical Period)

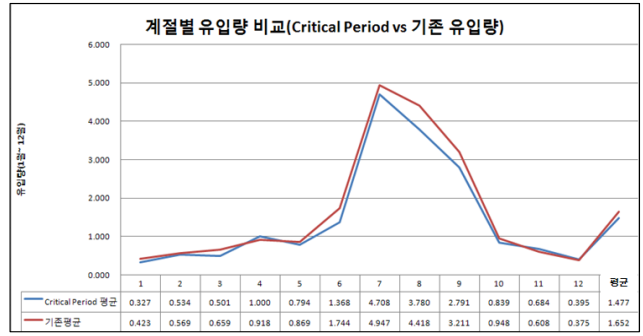
연간발전량을 산정하기 위한 수문자료인 홍수기 무효방류량을 전 기간과 Critical Period으로 구분하여 비교하였다. 표2와 같이 전 기간 홍수기 무효방류량에 비해 Critical Period 구간의 홍수무효 방류량에 비해 60% 이상 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 전 기간에 걸쳐 분석한 자료에는 2002년 태풍 루사시와 같은 대규모 무효방류량이 포함되었음을 알 수 있다

〈표 2〉 B댐 홍수기 무효방류량 비교

구분	6월	7월	8월	9월	연평균
평균 (critical period)	0.020	0.841	0.812	1.528	0.796
37년 평균	0.092	1.259	2.086	1.812	1.312

2.2.5 계절별 유입량 자료비교(전 기간 수문자료 vs Critical Period)

연간발전량을 산정하기 위한 중요 수문자료인 계절별 유입량을 전 기간과 Critical Period으로 구분하여 비교하였다. Critical Period 적용시 계절별로 전체적으로 적게 산정되며 그래프 3을 보면 특히 홍수기중 8월 유입량에서 특히 적게 나타남을 알 수 있다.



〈그래프 3〉 B댐 저수지 수위변화 곡선의 Critical Period

2.2.6 전 기간 수문자료를 활용한 연간발전량 산정

Critical Period 수문자료를 활용하여 HEC-5를 통한 Routing을 실행한 결과 600kW 발전기를 설치할 경우 3,128MWh의 연간발전량이 산정되었다.

Location No. R/R Code	Annual Summary											
	10.10.099	10.10.053	10.10.063	10.10.113	10.10.103	10.10.223	10.10.250	10.10.333	10.10.323	10.10.164		
Year	Reservoir Inflow Avg	Reservoir Min Desi Avg	Reservoir Res-Q-Shor Avg	Reservoir EOP Stor Avg	Reservoir Outflow Avg	Reservoir EOP Elev Avg	Reservoir Peak Cap Avg	Reservoir Power He Avg	Reservoir Q-Sp11 Avg	Reservoir Eseggy 5 Avg	Sum	
1973	1.20	1.15	0.00	41717.27	1.44	193.41	599.98	44.92	0.23	3850.99		
1974	1.64	1.15	0.00	35962.68	1.43	190.67	600.00	42.18	0.24	3530.53		
1975	1.97	1.15	0.00	38455.76	1.80	191.91	600.00	43.42	0.60	3668.66		
1976	1.04	1.15	0.00	38470.97	1.20	191.85	600.00	43.47	0.03	3547.11		
1977	0.64	1.15	0.00	23907.79	1.15	184.28	600.00	35.81	0.00	2905.02		
1978	1.28	1.15	0.04	13594.03	1.12	176.41	600.00	27.92	0.00	2204.56		
1979	1.34	1.15	0.00	19024.25	1.15	180.95	600.00	32.45	0.00	2625.75		
1980	1.80	1.15	0.00	24678.21	1.20	185.29	600.00	36.79	0.13	3052.64		
1981	1.09	1.15	0.00	33550.48	1.15	189.55	600.00	41.07	0.00	3328.87		
1982	0.70	1.15	0.00	20903.50	1.15	182.39	600.00	33.92	0.00	2741.12		
1983	1.41	1.15	0.00	14995.69	1.15	174.45	600.00	28.95	0.00	2325.00		
1984	2.15	1.15	0.00	27217.40	1.56	185.60	600.00	37.10	0.39	3080.87		
1985	2.72	1.15	0.00	38316.61	2.45	191.79	599.98	43.29	1.21	3789.31		
Sum =	18.98	14.98	0.04	372494.62	18.05	2421.66	7799.97	491.29	2.83	40668.43		
Max =	2.72	1.15	0.04	41717.27	2.45	193.41	600.00	44.92	1.21	3850.99		
Min =	0.64	1.15	0.00	13594.03	1.12	176.41	599.98	27.92	0.00	2204.56		
FXMax =	1985.00	1973.00	1978.00	1973.00	1985.00	1973.00	1974.00	1973.00	1985.00	1973.00		
FXMin =	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Avg =	1.46	1.15	0.00	28453.43	1.39	186.28	600.00	37.79	0.22	3128.34		

〈그림 2〉 HEC-5 프로그램을 활용한 600kW 연간발전량 산정

3. 결 론

위와 같이 다목적댐 수력발전 설계를 위한 연간발전량을 기존의 전기간 수문자료 평가방법과 Critical Period 구간으로 나누어 평가해 보았다. 표3과 같이 연간발전량에 있어서 약 5%의 발전량의 차이를 보임을 알 수 있다. Critical Period 구간이 적게 산출되는 것을 볼 수 있다. 이유는 홍수기 무효방류량이 산정에 의한 것으로 평가되며, HEC-5를 이용하여 2002년 루사 대풍시 대규모 무효방류량 발생연도를 전기간 수문자료에서 제외하면 연간발전량이 적어짐을 확인할 수 있었다. 따라서, Critical Period으로 연간발전량을 산정하는 방식이 보다 정확하게 산출될 수 있음을 보여준다.

〈표 3〉 전 기간 수문자료 vs Critical Period 연간발전량 비교

구분	전 기간 수문자료	Critical Period
연간발전량	3,310MWh	3,128MWh

〈참 고 문 헌〉

- [1] 미 공병대 Engineering and Design of Hydropower
- [2] 댐·연시설기술기준(일본댐·연시설기술협회, 2001.07. p.518)