

섬진강댐 저수위변경에 따른 최적용수배분

Optimal Water Allocation at the Varying Storage Levels of the Sumjin Dam

강민구(서울대)* · 박승우(서울대)

Kang, Min Goo · Park, Seung Woo

Abstract

A model using a nonlinear programming technique was applied for allocating the optimal water depending on storage level changes of the Sumjin dam. The objective function of optimization model was set up to maintain the storage at target level, to satisfy the water demand, and to maximize the hydropower production. In this way, the water allocation as to target level and instream flow was optimized and compared with historical operational data.

I. 서론

우리나라의 연평균강수량은 1,274 mm로 세계평균 970 mm의 약 1.3 배로 양적으로는 풍부한 편이나, 최저 강수량이 754 mm, 최고 강수량이 1,683 mm로 변동폭이 크고, 연강수량의 2/3 정도가 6~9월의 홍수기에 집중되기 때문에 여름에는 홍수가 빈번하고, 겨울과 봄에는 가뭄의 발생 빈도가 크다. 또한, 인구가 증가하고 산업사회의 발달로 전력이나 용수수요가 증가하고 있으나 공급가능한 수자원량은 한정적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 안정적인 용수확보와 홍수방지기능을 담당하면서 이용가능한 수자원을 적극 활용한다는 측면에서 댐건설이 가장 확실한 방법이다. 그러나, 최근에는 대규모 다목적댐 건설을 위한 적지가 드물고, 수몰지구민의 반대와 댐건설에 따른 환경문제로 인하여 댐건설을 통한 수자원확보는 어려운 실정이다.

현재 운영되고 있는 다목적댐의 목적은 계획당시의 환경을 토대로 하여 설정이 되어 있지만, 현재의 운영은 건설당시와는 다른 물관리 환경을 반영하면서 운영되고 있다. 따라서, 과거 계획당시 물관리 환경과 현재 물관리 환경의 차이점이 많으므로 이에 대한 재평가가 필요하다. 추가적인 수자원을 확보하기 위해서는 용수분배 최적화를 통한 댐의 최적 운영방안 수립이나 댐군의 연계운영 등과 같은 비구조적인 방법으로 수자원을 개발할 수 있다. 또한, 최근에는 여수토의 숭상, 저수위(L.W.L.) 이하의 저류량을 사용하는 방안, 준설을 통하여 퇴사량을 제거하여 저수지 용량을 증대시키는 방안 등과 같은 구조적인 재개발을 통한 수자원개발의 필요성이 대두되고 있다.

섬진강댐은 섬진강의 지표수를 유역변경하여 동진강 유역의 농경지에 관개용수를 공급하기 위한 단일 목적사업으로 건설되었으나 현재에는 전력생산과 생활용수 공급, 댐하류의 하천유지용수 공급 등의 다목적 댐의 역할을 수행하고 있다. 따라서, 건설당시의 물관리 환경과 현재 운영되고 있는 물관리 환경이 상이한 상태이므로 이에 대한 재평가가 필요하다. 또한, 섬진강댐의 설계시 운영수위는 상시만수위인 EL. 196.50 m로 설계되었으나 수몰지 보상문제로 인하여 운영수위를 EL. 191.50 m로 운영하고 있으나 지역의 용수수요가 증가함에 따라 운영수위를 상승시킬 필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 섬진강댐의 최적운영을 위하여 전역최적해를 탐색하는 SCE-UA법을 사용하는 비선형계획법을 적용한 최적화 모형을 구성하고 과거 운영자료를 사용하여 모형의 적용성을 검토하고 분석하였다. 또한, 섬진강댐의 운영수위 상승으로 인하여 발생하는 추가용수를 댐하류로 추가적으로 공급함에 따른 댐운영상의 문제점과 해결책을 제시하고자 한다.

II. 섬진강댐

2.1 주요제원

우리나라 5대강 유역의 하나인 섬진강은 전북 장수, 임실, 진안 등 3개군의 경계를 이루는 팔공산에서 발원하여 약 82.4 km를 남서류하여 섬진강댐에 이르게 되며 이후 남동류하여 요천, 보성강 등과 같은 지류와 합류하여 전라남도 광양군과 경상북도 하동군 지점에서 남해로 유입한다. 섬진강의 유로연장은 212.3 km, 유역면적은 4,896.5 km²에 달하며 섬진강댐은 하구로부터 136.1 km 지점인 전라북도 임실군 강진면 옥정리 부근의 계곡에 위치하고 있다. 섬진강댐의 최초 개발목적은 수자원이 풍부한 섬진강의 지표수를 유역변경하여 동진수리조합관할의 농경지에 관개용수를 공급하기 위한 것이었다. 최초 댐은 높이 40 m, 길이 305 m의 곡선형 중력식댐으로 1929년에 완공되었으며, 유효저수량 6,065 만 m³를 저수하여 19,665 ha의 관개면적에 관개용수를 공급하였다. 그 후, 제 1차 경제개발 5개년 계획에 반영되어 신댐이 1965년 12월에 준공되었으며, 원래 목적인 관개용수공급 뿐만이 아니라 발전과 홍수조절, 생활용수 공급등의 다목적댐의 역할을 수행하게 되었다.

섬진강댐의 유역면적은 763.0 km²이며, 연평균강수량은 1379.2 mm, 연평균 유입량은 15.77 m³/sec이다. 댐의 높이는 64 m, 길이는 344.2 m, 댐의 체적은 410, 000 m³, 총저수량은 466 백만 m³인 콘크리트 중력식댐이다. 섬진강댐의 년용수공급량은 385.3 백만 m³이며, 이 중 동진강 유역의 농업용수로 350 백만 m³을 공급하고 있으며, 섬진강 광역상수도 용수로 27.4 백만 m³(75,000 m³/일)을 공급하고 있으며, 댐하류 유지용수로 7.9백만 m³을 공급하고 있다.

섬진강댐은 14,500 kW 용량의 1, 2호기와 6,230 kW 용량의 3호기 등 3대의 수차를 사용하여 총 35,230 kW의 용량으로 수력발전을 하고 있다. 섬진강댐의 최대발전유량은 26.39 m³/sec이며, 유효낙차는 댐저수위와 동진강 방수위의 차로 계산된다.

2.2 섬진강댐 운영

섬진강댐의 주목적은 동진강 수계에 위치한 29,860 ha에 대하여 농업용수를 공급하는 것과 칠보발전소를 통한 발전에 있었으나 1993년 섬진강광역상수도의 준공으로 전라북도 남서부 일원과 전주시에 75,000 m³/일(0.87 m³/sec)의 생활용수를 공급하고 있으며, 댐하류에 유지용수로 7.9 백만 m³/년을 공급하고 있다.

섬진강댐의 설계시 운영수위는 상시만수위인 EL. 196.50 m로 계획되었으나 섬진강댐 상류유역 건축물의 최저표고가 EL. 193.65 m이므로 상시만수위로 운영할 경우 수몰지 보상 문제가 발생하여 EL. 191.50 m 이상으로 수위를 상승하여 운영하기 어려운 실정이다. 그러나, 현행수위를 그대로 유지할 경우 농업용수의 공급에도 지장을 초래할 정도이나 운영수위를 상시만수위인 196.50 m로 상향 조정할 경우 농업용수 공급 및 섬진강 광역상수도의 생공용수를 공급하고 추가적인 용수를 하류로 공급할 수 있다.

III. 최적화 모형

최적화 모형에 적용된 목적함수는 식 (1), (2)와 같이 관개기와 비관개로 구분하여 적용하였다. 관개기에는 발전으로 인한 편익을 최대화 하면서 용수수요량을 만족시키는 방향으로 용수를 공급하도록 하며, 비관개기에는 발전으로 인한 편익을 최대화하면서 목표저수량을 확보하는 방향으로 댐이 운영되도록 하였다.

$$Max z_t = W_1 \times GE(t) - W_2 \times [ST(t) - OST(t)]^2 - W_3 [REQ(t) - REL(t)]^2 \quad (1)$$

$$Max z_t = W_1 \times GE(t) - W_3 \times [ST(t) - OST(t)]^2 - W_4 [REQ(t) - REL(t)]^2 \quad (2)$$

여기서, $GE(t)$ 는 철보발전소를 통한 발전량, $ST(t)$ 는 댐운영 후 순별 저수량, $OST(t)$ 는 목표저수량으로 섬진강댐 운영수위에 해당된 저수량, $REQ(t)$ 는 해당 순의 필요수량, $REL(t)$ 는 해당 순의 방류량, W_1, W_2 는 관개기의 가중치, W_3, W_4 는 비관개기의 가중치, t 는 해당 순을 나타낸다.

최적화 모형을 구성하기 위한 섬진강댐의 연속방정식과 제약조건은 식 (3)~식 (6)과 같다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t - R_1(t) - R_2(t) - R_3(t) - LO(t) \quad (3)$$

$$S_{0A} \leq S_t \leq S_{max} \quad (4)$$

$$R_n^{min} \leq R_n(t) \leq R_n^{max} \quad (5)$$

$$R_n(t) \geq 0 \quad (6)$$

여기서, S_t 는 각 순별 저수량, S_{t-1} 은 전단계 순의 저수량, I_t 는 유입량, $R_1(t)$ 는 철보발전소 발전유량, $R_2(t)$ 는 운암수갱 방류량, $R_3(t)$ 는 댐하류 유지용수량, $LO(t)$ 는 저수지 손실량, S_{max} 는 상시만수위의 저수량, S_{0A} 는 운암수갱을 통한 방류의 한계저수량, $R_n(t)$ 는 각각의 방류량을 나타내며, R_n^{min} 는 각각의 방류가 가능한 최소방류량, R_n^{max} 는 각 방류의 최대가능수량을 나타낸다.

IV. 댐하류 유지용수량별 최적운영

본 연구에서는 섬진강댐을 단독으로 최적운영할 경우 댐 하류유지용수를 추가적으로 공급할 경우 용수분배상황을 실측유입량 자료가 있는 1982년~2001년에 대하여 최적운영하여 고찰하였다. 이를 위하여 동진강 수계로 방류되는 농업용수는 관개지구의 필요수량을 고려한 모의결과를 사용하였으며, 섬진강광역상수도 용수는 75,000 m³/일가 공급되는 것으로 하였으며, 댐하류 유지용수량은 0.5, 1.0, 3.0 m³/sec로 구분하였다.

V. 요약 및 결론

본 과업에서는 섬진강댐의 최적운영을 위하여 전역최적해를 탐색하는 SCE-UA법을 사용하는 비선형계획법을 적용한 최적화 모형을 구성하고 과거 운영자료를 사용하여 모형의 적용성을 검토하고 분석하였다. 또한, 섬진강댐의 운영수위 상승으로 인하여 발생하는 추가용수를 댐하류로 공급함에 따른 댐운영상의 문제점을 파악하기 위하여 과거 자료를 사용하여 최적운영한 결과를 비교 분석하였다.

Table 1. Optimal water allocation as to instream flow and target level

하류유지 용수량(CMS)	사용용수		운영수위(m)			
			188.68	191.50	194.00	196.50
0.50	발전용수	용수량 (백만 m ³)	347.2	346.1	341.1	322.7
		발전량(GWh)	115.2	115.5	114.4	109.0
	농업용수 (운암수갱)	용수량 (백만 m ³)	144.6	134.4	124.9	122.0
	농업용수 +섬진강광역상수도	용수량 (백만 m ³)	491.8	480.5	466.0	444.8
	하천유지용수	용수량 (백만 m ³)	7.2	7.3	7.3	7.3
		용수량 (백만 m ³)	15.4	15.7	16.0	16.0
	월류량 (백만 m ³)		35.4	45.5	57.6	76.7
	총방류량 (백만 m ³)		505.0	514.5	520.4	515.7
	3월말 목표 저수위 확보 년수	188.68m	4	7	9	9
		191.50m	3	3	5	7
최저저수위 (m)		156.0	156.0	155.5	155.8	
1.0	발전용수	용수량 (백만 m ³)	339.9	338.1	333.7	316.9
		발전량(GWh)	112.8	112.9	111.9	107.0
	농업용수 (운암수갱)	용수량 (백만 m ³)	143.7	134.3	124.7	119.9
	농업용수 +섬진강광역상수도	용수량 (백만 m ³)	483.6	472.4	458.4	436.8
	하천유지용수	용수량 (백만 m ³)	15.4	15.7	16.0	16.0
		용수량 (백만 m ³)	30.6	31.2	31.2	31.5
	월류량 (백만 m ³)		35.5	45.1	56.7	76.0
	총방류량 (백만 m ³)		503.7	511.8	518.3	515.8
	3월말 목표 저수위 확보 년수	188.68m	1	5	10	13
		191.50m	0	0	2	9
최저저수위 (m)		156.0	156.5	156.8	155.2	
3.0	발전용수	용수량 (백만 m ³)	333.9	334.2	329.0	310.7
		발전량(GWh)	110.8	111.5	110.4	104.9
	농업용수 (운암수갱)	용수량 (백만 m ³)	144.2	131.9	122.3	119.5
	농업용수 +섬진강광역상수도	용수량 (백만 m ³)	478.1	466.0	451.3	430.2
	하천유지용수	용수량 (백만 m ³)	21.5	22.0	22.3	22.4
		용수량 (백만 m ³)	89.4	91.5	92.1	92.7
	월류량 (백만 m ³)		35.1	45.2	57.4	76.2
	총방류량 (백만 m ³)		501.3	512.9	519.1	514.2
	3월말 목표 저수위 확보 년수	188.68m	1	5	10	13
		191.50m	0	0	2	9
최저저수위 (m)		156.1	156.8	155.9	156.2	

참고문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사, 1999. 기존댐 용수공급능력조사(섬진강수계) 보고서.
2. 신일선, 권순국, 1987. 농업용 저수지의 다목적 이용을 위한 용수의 적정배분, 한국농공학회지, 29(3),