

청천강계단식발전소의 운영이 하류물자원개발과 보호에 주는 영향평가

조 명 봉

최근시기 청천강계단식발전소의 운영과 관련하여 강하천물자원의 적극적인 개발리용에 의한 자연상태의 물흐름특성변화를 평가하려는 시도들이 제기되고있다.[1-5] 그중에서 자연상태와 변화된 상태에서의 물흐름특성을 재현하는 동적물바란스모의와 그에 기초한 분석방법이 주목을 끌고있는데 여기서도 기본은 변화된 상태 즉 인공적으로 건설된 발전소들에서의 물리용과정을 앞으로의 현실그대로 재현하려는것이다.

논문에서는 청천강계단식발전소저수지체계의 동적물바란스모형과 물리용과정에 대한 운영모의분석방법, 체계말단에서의 방출량변화과정(물흐름상태)의 정량적평가방법에 대하여 논의하였다.

1. 청천강계단식수력발전소저수지체계의 운영모의모형과 검증

1) 물조절 및 수리동력학적모의모형

청천강계단식수력발전소저수지체계는 1개 저수지의 물만이 류역변경식으로 넘어오고 나머지는 계단식으로 구성되어있다. 개별적인 저수지를 하나의 분체계로 볼 때 그안에서의 부분요소들은 언제, 저수용적, 취수구와 발전소, 무덤이들로 나누어볼수 있다.

수력발전소저수지체계의 운영과정을 특징짓는 변량은 체계요소들에서의 변동물량이며 운영상황을 밝힐수 있는 수학적모형화는 이 체계요소들에서의 동적물바란스모형에 기초하고있다.

계단식수력발전소저수지체계에서의 동적물바란스를 반영하는 물조절모의모형은 일반적으로 다음과 같이 쓸수 있다.

$$\begin{cases} \frac{dV_i(t)}{dt} = \begin{cases} q_i(t) - Q_i(t) + \Delta W_i(t) & (i=1) \\ q_i(t) + Q_{i-1}(t) - Q_{li-1}(t) - Q_i(t) - Q_{0i}(t) + \Delta W_i(t) & (i=2) \\ q_i(t) + Q_{i-1}(t) - Q_i(t) - Q_{0i}(t) + \Delta W_i(t) & (i \geq 3) \end{cases} \\ Q_i(t) = Q_{wi}(t) + Q_{li}(t) \\ \Delta W_i(t) = U_{li}(t) - U_{0i}(t) + P_i(t) - E_i(t) \\ Q_{li}(t) = \varphi(Z_i(t)), Z_i(t) = f(V_i(t)) \end{cases} \quad (*)$$

여기서 i 는 저수지번호, $V_i(t)$ 는 저수지물용적, $q_i(t)$ 는 저수지류역자연류입량, $Q_i(t)$ 는 저수지방출량, $Q_{0i}(t)$ 는 저수지물의 체계외부리용량, $Q_{wi}(t)$ 는 발전소사용물량, $Q_{li}(t)$ 는 무덤이흐름량, $\Delta W_i(t)$ 는 저수지에서 기타 물바란스요소성분들의 편차합, $U_{li}(t)$ 는 지하류입량, $U_{0i}(t)$ 는 지하류출량, $P_i(t)$ 는 물면강수량, $E_i(t)$ 는 물면증발량, φ 는 무덤이흐름량곡선함수,

f 는 용적곡선함수이다.

식 (*)의 미분방정식은 저수지체계의 개별적인 저수지들에서 류입량과 방출량사이의 물량변화관계를 반영하는 물바란스방정식(또는 저수지상태방정식)이다. 일반적으로 운영과정의 저수지 혹은 건설하여야 할 저수지체계가 주어졌다면 이 식에서 왼변의 $V_i(t)$ 와 오른변의 $Q_{ui}(t)$ 가 기본미지변수로 제기된다. 만일 $V_i(t)$ 와 $Q_i(t)$ 가 동시에 미지변수로 설정된다면 우의 방정식은 풀수 없다. 그런데 실천에서는 수력발전소운영에서 물저수량상태와 보장출력(수요출력)을 고려하여 발전소사용물량($Q_{ui}(t)$)을 운영자가 규정하면서 전력을 생산하게 되므로 수리동력학적모의분석을 위한 조종변수는 사용물량($Q_{ui}(t)$)으로 되며 이에 따라 우의 식 (*)은 풀릴수 있는 닫긴 계로 된다.

수력발전소체계에서 전력생산과정은 저수지체계의 물조절과정과 밀접히 연관되어있는 것으로 하여 물흐름량에 따르는 낙차와 에네르기손실 등을 고려하여 물조절량에 따라 출력을 모의한다.[1]

2) 수값계산모형의 작성과 검증

식 (*)의 미분방정식에 있는 미지변량($V_i(t)$, $Q_i(t)$)의 함수들이 주어지지 않기때문에 이 식의 해석적풀이를 얻기는 곤란하다. 때문에 $\Delta W_i(t)$ 를 무시하는 조건에서 시간간격 Δt 안에서 선형화하여 수값계산모형을 작성하고 근사풀이를 구한다.

우의 모의모형화방법을 핵심으로 하여 계단식으로 이루어진 수력발전소운영모의분석체계를 개발하였다. 설계한 모의체계는 반드시 모의과정의 정확성검증을 거쳐야 실천문제에 적용할수 있다. 이를 위하여 현재 관측값들이 준비되어있는 1 발전소체계의 모든 구조물들의 특성값들과 모의기초자료들을 입력하고 모의운영시험을 진행하였다.

모의과정의 정확성검증은 여러가지 방법으로 할수 있는데 여기서는 가장 간단한 체계에서의 입출력량분석을 적용하였다. 즉 1 발전소의 물리용체계에 들어온 월별물자원량이 체계의 운영을 거쳐 계밖으로 방출되는 과정에 류입량과 방출량의 호상관계가 정확한가를 검토하였다.

체계내부에서의 물자원손실이 없다고 보면 고찰하는 시간안에 총류입량과 총방출량의 편차가 없어야 모의체계가 정확히 운영된다고 할수 있는데 모의시험을 진행한 60년간의 모의운영결과를 종합분석한데 의하면 설계한 모의체계는 상대오차 0.2%이하의 정확도로 실지대상체계의 운영과정을 묘사할수 있었다.

2. 청천강계단식발전소의 운영방출량과 하류물수요보장능력평가

청천강계단식발전소의 운영방출량과 하류의 물수요보장능력, 환경보호를 위한 방출능력을 평가하는 공정은 다음과 같다.

① 모의기간은 설계기준에 맞게 최근 30년간으로 한다.

② 20만kW이상의 생산을 정상보장할수 있는 DP, PSO기술에 기초하여 작성된 최량운영도와 모의분석체계를 결합하여 30년간 운영모의를 진행한다. 이때 12호말단에서의 월별 운영방출량을 확정한다.

③ 연풍호관계대상 3만 5천정보의 30년간 순별, 월별물요구량을 확정한다.

④ 운영방출량과 물요구량사이의 바란스분석을 진행한다.

⑤ 12호발전소 하류에서의 도시급수 및 공업용수량을 분석하고 최종결론을 내린다. 분석결과는 표와 같다.

표. 자연흐름량과 운영방출량인 때 단절되는 월별, 순별모의계산평가결과

년	월	순	새로운 관개요구 량/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	12호운영방출 량/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	12호지점 자연흐름량 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	자연부족량 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	운영부족량 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	12호하류방출량 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	
								자연	운영
1985	6	상	35.20	48	21	14.2	0	0.0	12.8
		중	29.74	48	21	8.74	0	0.0	19.3
		하	24.32	48	21	3.32	0	0.0	23.7
1987	5	상	8.24	58	34	0.00	0	25.8	49.8
		중	14.90	58	34	0.00	0	19.1	43.1
		하	35.33	58	34	1.33	0	0.0	22.7
1988	5	상	8.29	55	34	0.00	0	25.3	46.7
		중	0.00	55	34	0.00	0	34.0	55.0
		하	34.43	55	34	0.43	0	0.0	20.6
1989	5	상	8.35	51	25	0.00	0	16.6	32.7
		중	10.95	51	25	0.00	0	14.1	40.1
		하	27.38	51	25	2.38	0	0.0	23.6
1994	6	상	35.21	57	34	1.21	0	0.0	21.8
		중	30.63	57	34	0.00	0	3.4	26.4
		하	33.64	57	34	0.00	0	0.4	23.4
1999	6	상	31.54	52	29	2.54	0	0.0	20.5
		중	12.67	52	29	0.00	0	16.3	39.3
		하	34.39	52	29	5.39	0	0.0	17.6
2000	6	상	34.18	49	23	11.18	0	0.0	14.8
		중	36.52	49	23	13.52	0	0.0	12.5
		하	18.36	49	23	0.00	0	4.6	30.6
2001	9	상	14.53	33	24	0.00	0	9.4	18.5
		중	27.95	33	24	3.95	0	0.0	5.1
2002	6	상	36.62	42	17	19.62	0	0.0	5.4
		중	32.14	42	17	15.14	0	0.0	8.9
		하	27.88	42	17	10.88	0	0.0	14.1
2008	6	상	35.67	55	29	6.67	0	0.0	19.3
		중	31.58	55	29	2.58	0	0.0	23.4
		하	35.17	55	29	6.17	0	0.0	19.8

보장률을 분석해보면 자연흐름일 때 순별단절률은 4.3%, 순별보장률은 95.7%이며 년단절률은 33.3%, 년보장률은 66.7%이다. 그리고 운영흐름일 때 순별단절률은 0%, 순별보장률은 100%이며 년단절률은 0%, 년보장률은 100%이다.

하류환경보호적전지에서 방출량을 분석해보면 자연흐름일 때 순별단절률은 4.1%, 순별보장률은 95.9%이며 년단절률은 26.7%, 년보장률은 73.3%이다. 운영흐름일 때 순별단절률은 0%, 순별보장률은 100%이며 년단절률은 0%, 년보장률은 100%이다.

맺 는 말

자연상태에서 순별보장률이 95.7%, 년보장률이 66.7%로 관개용수를 보장할수 있는데 청천강계단식발전소를 최량운영하면 순별보장률과 년보장률이 100%로 관개용수를 보장할수 있다. 12호발전소 하류방출을 최소한 $5\text{m}^3/\text{s}$ 이상으로 보장할수 있다.

환경보호의 견지에서 보면 자연상태에서는 현재 계획하는 물길을 고려할 때 순별보장률이 95.9%, 년보장률이 73.3%로 12호발전소 하류에 물을 보낼수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 조명봉; 농업수리학, 4, 35, 주체103(2014).
- [2] R. Oliveira et al.; W. R. R., 33, 4, 839, 1997.
- [3] G. Chung et al.; Environmental Modeling & Software, 23, 893, 2008.
- [4] S. K. Gupta; Modern Hydrology and Sustainable Water Development, Wiley-Blackwell, 20~69, 2011.
- [5] E. M. Shaw; Hydrology in Practice, Spon Press, 155~457, 2011.

주체105(2016)년 9월 5일 원고접수

The Evaluation of the Effects of the Operation of the Power Stations in Tiers on the Chongchon River on the Development and Conservation of the Downstream Water Resources

Jo Myong Bong

The effects of the power stations in tiers on the Chongchon river on the development and conservation of the water resources on the lower Chongchon river are evaluated by the dynamic changing process of the water resources to develop on the lower of the river.

In natural, they are able to supply the irrigation water with 95.7% of the ten days exceed probability and 66.7% of the year exceed probability, and if they operate optimally the stairstep Chongchon river hydropower stations, they are able to supply the irrigation water with 100% of the ten days and year exceed probability and the No.12 station is able to release at least a minimum of $5\text{m}^3/\text{s}$ into downstream.

Key words: irrigation water, water resource