

ㄴ 강 발전소저수지계의 모의운영방법

조명봉, 김영근, 김진혁

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우자면 발전된 과학기술을 받아들이는것과 함께 새로운 과학기술분야를 개척하고 그 성과를 인민경제에 적극 받아들여야 합니다.》

(《김정일선집》 제11권 증보판 138~139페이지)

우리는 ㄴ 강에 건설된 계단식수력발전소저수지계의 모의운영방법을 연구하였다.

선행연구방법[1-3]으로는 실천에서 제기되는 여러가지 운영조건과 그것으로부터 산생되는 효과성의 변화관계를 민감하게 반영할수 없었으며 특히 목적에 따라 문제를 다시 설정하고 연구하여야 하는 반복을 피할수 없었다.

이로부터 우리는 ㄴ 강 물리용계에 대한 체계론적고찰에 기초하여 개별적인 발전소 저수지들을 기본요소로 설정하고 체계내에서의 류출조절과정과 전력생산과정을 통일적으로 모의분석할수 있는 방법론을 확립하였다.

ㄴ 강에서의 수력발전소저수지체계는 하천을 따르는 개별적인 저수지들의 결합으로 이루어져있고 또 저수지자체를 하나의 분체계로 보면 그 기본요소들은 저수용적과 언제, 취수구, 무덤이, 발전소들로 된다. 이러한 요소들의 종합체로서 저수지계가 형성된다.

수력발전소저수지체계의 변화동태 즉 운영과정을 특징짓는 기본변량은 체계요소들에서의 변동물량으로서 이 요소들에서의 동적물балан스모형에 따라 수학적모형화가 이루어지게 된다.

저수지계의 류출조절모형은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_i(t)}{dt} &= \begin{cases} q_i(t) - Q_i(t) + \Delta W_i(t) & i=1 \\ q_i(t) + Q_{i-1}(t) - Q_i(t) + \Delta W_i(t) - q_{\text{관개}}(t) & i=2 \\ q_i(t) + Q_{i-1}(t) - Q_i(t) + \Delta W_i(t) & i \geq 3 \end{cases} \\ V_i(t) &= f_i[Z(t)] \\ Q_i(t) &= Q_{\text{사}i}(t) + Q_{\text{무}i}(t) \\ Q_{\text{무}i}(t) &= \varphi_i[Z(t)] \\ \Delta W_i(t) &= U_{\text{H}}(t) - U_{\text{O}i}(t) + P_i(t) - E_i(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

여기서 i 는 저수지번호($i=\overline{1,7}$), $V_i(t)$ 는 저수지물용적, $q_i(t)$ 는 저수지들사이류역의 자연류입량, $q_{\text{관개}}(t)$ 는 발전소저수지에서 취수하게 되는 관개용수량, $Q_i(t)$ 는 저수지방출량, $Q_{\text{사}i}(t)$ 는 발전소사용수량, $Q_{\text{무}i}(t)$ 는 무덤이물량, $\Delta W_i(t)$ 는 저수지에서 기타 물балан스요소성분들

의 편차합, $U_{li}(t)$ 는 지하류입량, $U_{Oi}(t)$ 는 지하방출량, $P_i(t)$ 는 물면강수량, $E_i(t)$ 는 물면증발량, ϕ 는 무덤이흐름량곡선함수, f 는 저수지용적곡선함수이다.

식 (1)에서 첫 식은 저수지체계의 개별적인 저수지들에서 류입량과 방출량에 따르는 저수지의 물량변화관계를 반영하는 물발란스방정식이다. 다시말하면 저수지의 상태방정식이다.

식 (1)의 나머지식들은 저수용적과 물높이의 관계, 저수지방출량의 구성요소관계, 지하 및 물면에서의 자연류입-방출관계를 보여준다. 즉 이것들은 첫 식을 위한 보조식들이라고 말할수 있다.

수력발전소저수지들의 전체 계에 대한 자연류입량과 기타 자연적인 물발란스요소들이 주어지거나 미소량으로서 무시된다면 식 (1)에서 왼변의 $V_i(t)$ 와 오른변의 $Q_i(t)$ 는 동시에 설정되는 미지량이기때문에 이 방정식 하나만 가지고는 풀이를 얻을수 없다. 그러므로 서로 밀접히 련관되어있는 이 량들의 호상관계를 반영하는 저수지용적곡선, 무덤이흐름량곡선, 방수로흐름량곡선을 결합시켜야 한다.

특히 $Q_i(t)$ 를 이루는 $Q_{\text{부}i}(t)$ 가 무덤이흐름량곡선으로 주어지는 조건에서 전력생산에서 제기되는 $Q_{\text{사}i}(t)$ 는 설비조건과 전력수요제한조건이 동시에 반영되도록 모의체계의 운영알고리즘에서 고려되어야 한다.

수력발전소체계에서 전력생산과정은 저수지체계의 류출조절과정과 밀접히 련관되어있다.

저수지의 류출조절과정에 따라 수력발전소들에서 수리동력모의모형은 다음과 같이 작성할수 있다.

$$\left. \begin{aligned} E_i(t) &= N_i(t) \cdot t \\ N_i(t) &= A_i \cdot Q_{\text{사}i}(t) \cdot H_i(t) \\ H_i(t) &= Z_i(t) - Z_{\text{하}i}(t) - \Delta H_i \\ Z_{\text{하}i}(t) &= \phi_i[Q_i(t)] \\ \Delta H_i &= \sum_{j=1}^k \Delta h_{ij}^{\text{길이}} + \sum_{j=1}^k \Delta h_{ij}^{\text{국부}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

여기서 i 는 수력발전소번호 ($i=1, 7$), $E_i(t)$ 는 발전소전력생산량, A_i 는 발전기출력계수, $N_i(t)$ 는 발전소출력, $Q_{\text{사}i}(t)$ 는 발전소사용수량, $Z_{\text{하}i}(t)$ 는 저수지방수로바닥표고, ϕ 는 방수로흐름량곡선함수, $Z_i(t)$ 는 발전소저수지물면표고, $H_i(t)$ 는 발전소유효낙차, ΔH_i 는 발전소손실락차, $\Delta h_{ij}^{\text{길이}}$ 는 물길굴(혹은 압력물길)의 길이에 의한 손실락차, $\Delta h_{ij}^{\text{국부}}$ 는 국부적손실락차, j 는 물길굴(혹은 압력관로)에서 구간첨수 ($j=1, k$) 이다.

식 (1), (2)에 의하여 ㄴ 강 수력발전소체계운영모의를 위한 기본모형계가 이루어진다. 이때 $V_i(t)$ 와 $Q_{\text{사}i}(t)$, $Z_i(t)$ 와 $N_i(t)$ 는 다음과 같은 제한속에서 해석되어야 한다.

$$\left. \begin{aligned} V_{i, \min} &\leq V_i(t) \leq V_{i, \max} \\ Q_{i, \min} &\leq Q_{\text{사}i}(t) \leq Q_{i, \max} \\ Z_{i, \min} &\leq Z_i(t) \leq Z_{i, \max} \\ N_{i, \min} &\leq N_i(t) \leq N_{i, \max} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

여기서 $V_{i, \min}$ 은 저수지사용적, $V_{i, \max}$ 는 저수지총용적, $Q_{i, \min}$ 은 최소사용수량, $Q_{i, \max}$ 는 최대사용수량, $Z_{i, \min}$ 은 저수지사수위, $Z_{i, \max}$ 는 저수지정상수위(또는 큰물수위)이다.

식 (3)에서 보는바와 같이 구체적인 모의조건에 따라 웃제한 및 아래제한값들을 다르게 설정할수 있다.

$V(t)$ 와 $Q(t)$ 의 해석식이 일반적으로 주어지지 않는 조건에서 식 (1), (2)를 선형화하여 수값계산모형을 작성한다.

$\Delta W_i(t)$ 를 무시하는 조건에서 식 (1)을 시간간격 Δt 안에서 선형화하면 다음과 같다.

$$V_{2i} = \begin{cases} V_{1i} + \bar{q}_i \cdot \Delta t - \bar{Q}_i \cdot \Delta t: & i=1 \\ V_{1i} + \bar{q}_i \cdot \Delta t + \bar{Q}_{i-1} \cdot \Delta t - \bar{Q}_i \cdot \Delta t - \bar{q}_{\text{관개}} \cdot \Delta t: & i=2 \\ V_{1i} + \bar{q}_i \cdot \Delta t + \bar{Q}_{i-1} \cdot \Delta t - \bar{Q}_i \cdot \Delta t: & i \geq 3 \end{cases} \quad (4)$$

여기서 \bar{q}_i 는 Δt 시간동안에 저수지들사이류역의 평균류입량, \bar{Q}_i 는 Δt 시간동안의 저수지평균방출량($\bar{Q}_i = \bar{Q}_{\text{사}i} + \bar{Q}_{\text{무}i}$), $\bar{Q}_{\text{사}i}$ 는 Δt 시간동안의 발전소평균사용수량, $\bar{Q}_{\text{무}i}$ 는 Δt 시간동안의 저수지언제평균무넘이량, $\bar{q}_{\text{관개}}$ 는 Δt 시간동안의 평균관개용수량, V_{1i} 는 Δt 시간초저수지물용적, V_{2i} 는 Δt 시간말저수지물용적이다.

식 (2)에 대한 수값계산모형은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} \bar{N}_i &= A_i \cdot \bar{Q}_{\text{사}i} \cdot \bar{H}_{\text{유효}i} \\ E_i &= \bar{N}_i \cdot \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

여기서 \bar{N}_i 는 Δt 시간동안의 발전소평균출력, E_i 는 Δt 시간동안의 발전소전력생산량, $\bar{H}_{\text{유효}i}$ 는 Δt 시간동안의 평균유효낙차이다.

우리는 1 강 발전소체계에 있는 모든 구조물들의 특성값들과 모의기초자료들(60년)을 입력하고 운영시험하였다.

대표적으로 2007년의 시험결과는 표와 같다.

표. 모의체계검증결과

월	류입량 $/(\cdot 10^6 \text{ m}^3)$	관개용수방출량 $/(\cdot 10^6 \text{ m}^3)$	체계말단발전소 방출량 $/(\cdot 10^6 \text{ m}^3)$	체계내의 저수지용적변화량 $/(\cdot 10^6 \text{ m}^3)$	절대오차 $/(\cdot 10^6 \text{ m}^3)$	상대오차/%
2	41.370	0	98.220	-56.370	0.480	1.160
3	93.400	0	114.100	-20.690	0.010	0.010
4	312.570	3.450	164.600	145.500	0.980	0.310
5	392.750	19.360	289.000	84.320	0.070	0.020
6	158.880	21.770	394.500	-257.650	0.260	0.160
7	238.210	17.140	145.170	75.870	0.030	0.013
8	3 339.530	0.990	3 299.920	38.550	0.070	0.002
9	976.630	2.850	796.910	176.810	0.060	0.006
10	232.630	4.550	262.750	-34.650	0.020	0.008
11	108.800	0	114.830	-6.750	0.720	0.660
12	66.800	0	99.100	-32.320	0.020	0.330

표에서 보는바와 같이 이 모의체계로는 상대오차 0.3%이하의 정확도로 운영과정을 묘사할수 있다.

맺 는 말

이 모의분석체계로는 충분한 정확도로 ㄴ 강 물자원의 개발리용에서 제기되는 수문학적 및 수리동력학적문제들을 해결할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 조명봉; 기상과 수문, 5, 18, 주체91(2002).
- [2] 조명봉 등; 국토관리, 4, 16, 주체97(2008).
- [3] 조명봉 등; 기상과 수문, 4, 35, 주체98(2009).

주체103(2014)년 4월 5일 원고접수

Operation and Simulation Method of “ㄴ” Power Plant Reservoir System

Jo Myong Bong, Kim Yong Gun and Kim Jin Hyok

We set each power plants and reservoirs as main elements based on system theoretical consideration and established principles and methods to simulate and analyze electric power generation process coordinately and developed operation and simulation system of “ㄴ” power plant reservoir system.

This simulation and analysis system have enough correctness and can get results of hydrological and hydrodynamical problems in development and use of water resource of “ㄴ” river.

Key words: reservoir, water power plant