

수위변화에 따른 조압수조 내 수면진동에 대한 분석

Analysis of Water Surface Oscillation in the Surge Tank Due to the Variation of Water Level

전계원* · 이호진** · 박재성*** · 안상도**** · 윤영호*****

Jun, Kye Won · Lee, Ho Jin · Park, Jae Sung · An, Sang Do · Yoon Young Ho

Abstract

Surge tank generally are used near the downstream end of tunnels of penstocks to reduce change in pressure caused by waterhammer resulting from load changes on the turbines.

In this paper, the surge tank with chamber is selected to analyze water surface oscillation. the governing equation are derived using the law of conservation of mass and momentum. the water surface oscillation in the surge tank are computed using governing equation.

In the case of upsurging, water surface oscillation is damped gradually and in the case of downsurging, it is damped rapidly.

key words : Surge tank, Waterhammer, Water surface oscillation

1. 서론

관수로 내를 흐르는 유체가 갑자기 정지하게 되면, 유체 운동 에너지의 변화가 유발되고, 그로 인해 관내에 급격한 압력의 상승이 일어나게 된다. 반대로 정지하고 있던 유체가 빠른 속도로 흐르게 되면 압력 감소가 급격하게 발생한다. 이와 같이 유체 운동 상태의 급변에 의한 압력변화와 그에 따른 압력파가 음속의 속도로 상·하류로 전파되는 현상을 수격작용(waterhammer)이라 한다(한국수자원학회, 1998).

통상적으로 수격작용은 밸브 개폐 정도가 갑자기 바뀔 때, 펌프의 급격한 기동이나 정지 시, 터빈 내 전력소요가 갑자기 바뀔 때, 댐 수위의 갑작스런 변화, 펌프 임펠러의 진동, 물 수요의 급격한 변화 등에 의해 발생하며, 수격작용은 유체의 질량과 운동량 때문에 관 벽에 큰 힘을 가하게 되어 정상적인 동수압 보다 몇 배나 큰 압력을 발생시킴으로 관 자체는 물론 펌프, 밸브, 터빈 등 관 시설물을 파손시키거나 진동, 소음 등을 야기시킴으로 대규모 건물, 공장, 발전소 등을 설계할 경우 그에 대한 적절한 대책을 강구하여야 한다.

저수지 또는 조정지로부터의 도수로가 압력수로이며 그 길이가 상당히 크면 수차가 급정지했을 경우 수격작용에 의해서 압력터널 내에 과도한 압력상승이 일어난다. 이 압력상승을 방지함과 함께 발전소 부하의 증감에 따라서 수량을 공급하거나, 흡수할 목적으로 압력도수로와 수압관과의 접합부에 자유수면이 있는 수조를 설치한다. 이것을 조압수조(surge tank)라 한다(최영박, 1979).

조압수조에서 부하의 급속한 차단에 의해서 수차로 유입될 수량이 차단되면 도수로 내로 흘러 들어온 물은 관성 때문에 수조 내의 수위를 상승시키고, 수조 수위가 어느 정도 이상으로 되어 저수지 수위 보다 상승하면 수조로의 유입이 정지하고 반대로 수조에서 저수지로 역류하여 수조수위는 하강한다. 즉, 조압수조는 도수로 내에 발생한 과도한 압력을 수조 내 수면의 승강운동을 이용하여 감소시키고 원래의 안정적인 수위로 회복시킨다.

***** 정희원 · 강원대학교 방재기술전문대학원 · 조교수 · E-mail: kwjun@kangwon.ac.kr

** 정희원 · (주)에이퍼테크 · 기술이사 · 공학박사

*** (주)에이퍼테크 · 대표이사 · 공학박사

**** 한국수자원공사 설계처 · 대리 · 공학석사

***** 정희원 · 강원전문대학 건설시스템과 · 부교수

본 연구에서는 조압수조 내 수면진동의 특성을 파악하여, 수격현상 제어에 필요한 정보를 제공하기 위하여 운동량방정식과 질량보존법칙을 댐 시스템에 맞게 변형하여 조압수조에 대한 기본방정식을 유도하였다. 또 홍수위(FWL), 상시만수위(NHWL), 정격수위(RWL), 저수위(LWL)의 4가지 경우를 선정하고, 사고에 의해 부하가 급차된 경우에 상승 서징과 하강서징에 의한 수면진동을 분석하였다.

2. 조압수조의 기본방정식

조압수조가 설치된 경우의 관수로 흐름의 기본방정식을 유도하기 위하여 다음과 같은 가정을 한다.(우효섭, 1989a, 1989b, 1990 ; 최영박, 1979 ; Chaudhry, 1987)

첫째, 관벽은 강체로 되어 있고, 관내를 흐르는 유체는 비압축성이다.

둘째, 조압수조 내의 유체의 관성은 도수로 내의 유체의 관성에 비해 미소하므로 무시한다.

셋째, 비정상 상태일 때 발생하는 손실은 정상상태일 때의 손실공식을 이용하여 계산할 수 있다.

조압수조가 설치된 관수로에서 흐름의 운동방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{z - cv}{L/g} \quad (1)$$

여기서, v 는 도수로 내에서의 유속, z 는 조압수조 내의 수위변화, L 은 도수로의 길이, g 는 중력가속도, c 는 수로의 전 손실수두를 표현할 때 사용되는 계수이다.

조압수조가 설치된 관수로에서 흐름의 연속방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q - av}{F} \quad (2)$$

여기서, a 는 도수로의 단면적, F 조압수조의 단면적을 나타낸다.

위의 기본 식들은 일반적으로 다음과 같은 연립1계 상미분 방정식으로 표현된다.

$$\frac{dz}{dt} = \phi(z, v, \dots; t) \quad (3)$$

$$\frac{dv}{dt} = \psi(z, v, \dots; t) \quad (4)$$

위 식을 Runge-Kutta법을 이용하여 수치적분을 수행하면 $t=t_0$ 일 때 $z=z_0, v=v_0, \dots$ 가 되는 z, v, \dots 의 값을 알고 있을 경우에는 $t_1=t_0+\Delta t$ 일 때 z, v, \dots 의 값은 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$z_1 = z_0 + \Delta z \quad (5)$$

$$v_1 = v_0 + \Delta v \quad (6)$$

위 식에서 Δz 와 Δv 는 Runge-Kutta 법에 의해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta z = \frac{1}{6} [(\Delta z)_1 + 2(\Delta z)_2 + 2(\Delta z)_3 + (\Delta z)_4] \quad (7)$$

$$\Delta v = \frac{1}{6} [(\Delta v)_1 + 2(\Delta v)_2 + 2(\Delta v)_3 + (\Delta v)_4] \quad (8)$$

이와 같은 방법으로 기본방정식을 시간에 대해 적분하여 수위변동 곡선을 추적하였다.

3. 적용 및 고찰

3.1 적용대상

본 연구에서는 용담댐을 그 적용대상으로 선정하였다. 용담댐은 전주, 익산, 군산, 군장 지역 등 상습 용수부족 지역의 안정적 용수공급을 보장하고, 유역 변경에 의한 홍수의 전환으로 금강 중·하류 지역의 홍수 피해 경감과 더불어 유수전환에 의한 고낙차의 수력에너지 얻기 위해 개발되었다. 용담댐은 대청댐으로부터

터 190km, 금강 하구언으로부터 340km 상류지점인 전라북도 진안군 용담면 월계리와 안천면 삼락리 사이에 건설되었고, 유역면적이 930 km², 총저수용량이 815백만 m³인 콘크리트 표면차수벽형 석피댐이다. 그림 1은 용담댐의 제원과 각각의 수위조건을 제시한 것이다. 조압수조 수실의 지름은 10m이고, shaft의 지름 5m이다 (한국수자원공사, 1996).

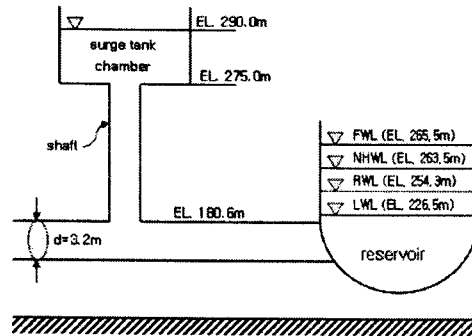


그림 1. 적용대상과 수위조건

3.2 해석결과

그림 2~그림 5는 각 수위에 대하여 부하 급차단에 의해 상승 서징이 발생할 때 수위변동을 도시한 것이고, 그림에서 가로축은 수위변동곡선을 추적한 경과시간을 나타내고 세로축은 시간에 따라 변하는 수위를 나타낸다.

그림 2~그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 상승 초기에는 수면 변동이 매우 크지만 시간이 지남에 따라 수면 변동폭이 점진적으로 감소함을 알 수 있다. 또, 수실이 설치된 구간 EL. 275m 이상에서는 수실의 영향으로 수위 변동곡선이 완만해 짐을 알 수 있다. 수위 조건별로 살펴보면 수위가 감소함에 따라 수면변동 파의 주기가 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림 6~그림 9는 부하 급중에 의한 하강 서징을 각 수위에 대해서 도시한 것으로 그림에서 가로축은 수위변동곡선을 추적한 경과시간을 나타내고 세로축은 시간에 따라 변하는 수위를 나타낸 것이다.

그림 6~그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 하강 서징이 발생한 초기에는 수위가 급격히 하강하지만 일단, 수위 회복이 일어난 후에는 수위가 지속적으로 안정된다.

4. 결론

댐에서 사고에 의해 발생하는 수격작용을 감소시키기 위해 설치된 조압수조 내의 수면진동을 수위조건에 따라 분석하였다. 상승서징에 의해 발생하는 수면진동은 시간에 지남에 따라 점진적으로 감소하지만, 하강서징에 의해 발생하는 수면진동은 초기에 급격히 하강하지만, 수위가 회복된 이후에는 진동의 매우 급격하게 소멸됨을 알 수 있다.

참고문헌

1. 우효섭 (1989). 수격작용(I). 한국수문학회지, 제22권, 제3호, 한국수자원학회 pp. 268-272.
2. 우효섭 (1989). 수격작용(II). 한국수문학회지, 제22권, 제4호, 한국수자원학회 pp. 380-388.
3. 우효섭 (1990). 수격작용(III). 한국수문학회지, 제23권, 제1호, 한국수자원학회 pp. 50-59.
4. 최영박 (1979). 발전수력. 동명사
5. 한국수자원공사 (1996). 용담댐 제1발전소 설계경에 따른 수리검토계산서, 한국수자원공사.
6. 한국수자원학회 (1998). 제6회 수공학익샛 교재, 한국수자원학회
7. Chaudhry, M.H. (1987). Applied Hydraulic Transients. Van Nostrand Reinhold Company.

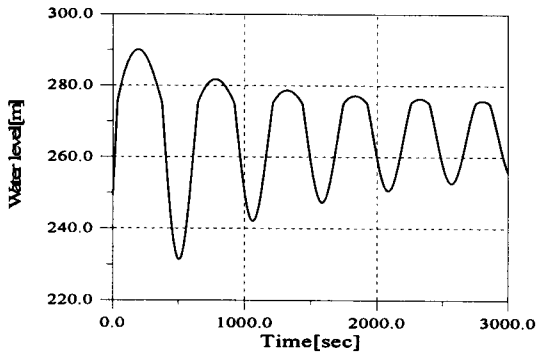


그림 2. 상승서징에 의한 수면변동, 홍수위

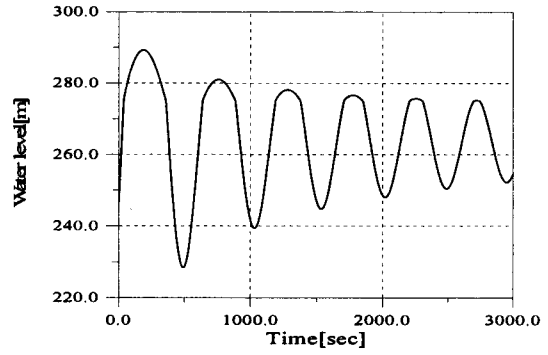


그림 3. 상승서징에 의한 수면변동, 상시만수위

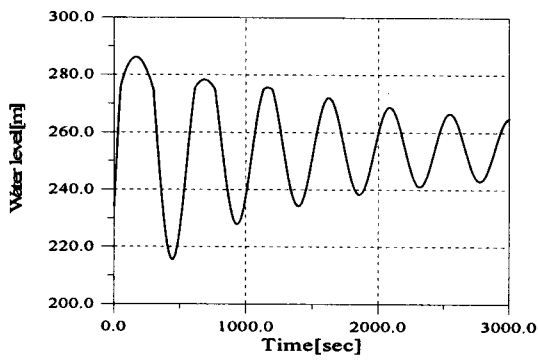


그림 4. 상승서징에 의한 수면변동, 정격수위

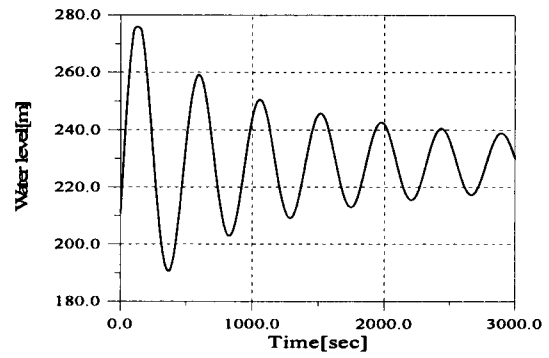


그림 5. 상승서징에 의한 수면변동, 저수위

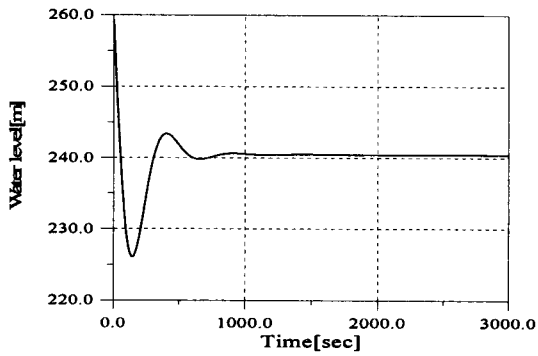


그림 6. 하강서징에 의한 수면변동, 홍수위

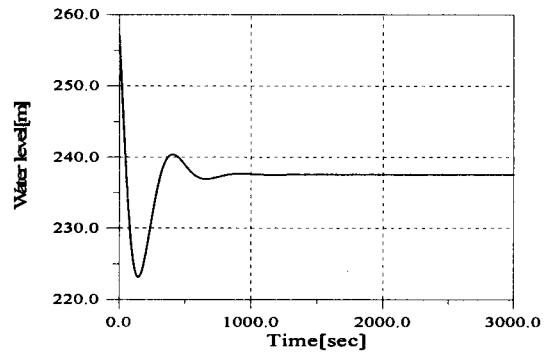


그림 7. 하강서징에 의한 수면변동, 상시만수위

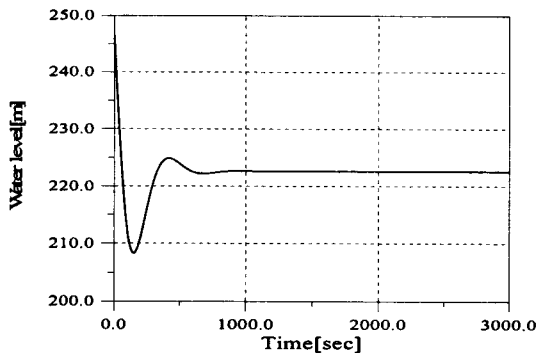


그림 8. 하강서징에 의한 수면변동, 정격수위

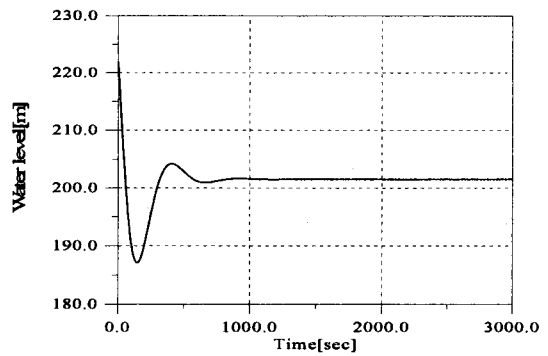


그림 9. 하강서징에 의한 수면변동, 저수위