

홍수조절지의 제수문 하류부 감세공 설계



1. 서론

홍수조절지(flood control reservoir)는 하천에 댐(dam) 또는 보(weir)를 설치하여 하도 내 또는 천변에서 홍수량을 일부 저류시켜 하류부의 침투홍수량을 저감하는 시설이라 할 수 있다. 국내 댐설계기준(2011, 한국수자원학회, P.64)에 의하면 홍수조절댐(flood control dam)은 댐의 기능상 지체댐(detention dam)으로 분류되며, '유수를 일시 저류하여 하류부의 하도통수능을 초과하지 않도록 자연방류 또는 수문조절에 의해 수류를 지체시키는 기능의 댐'으로 정의되어 있다.

본 글에서는 전라남도 화순군 영산강의 지류하천 중 지방하천 지석천에 설치된 한국수자원공사 화순 홍수조절지 제수문¹⁾ 하류부의 감세공(energy dissipator) 설계 및 운영점검 사례를 소개하고자 한다. 소개순서는 제수문 홍수조절계획, 제수문 하류부 유속 및 유황검토, 수리모형실험 검증, 제수문 하류부 감세공 설치 후 운영점검 사례이다.

- 화순 홍수조절지 주요시설물
 - 천변 홍수조절지 2개소 : 제방증고, 횡월류위어, 방류수문 등
 - 홍수조절용 제수문 : 3@ B10.0m × H9.1m(Radial gate type)
 - 기타 시설 : 진입 및 이설도로, 관리동, 휴게시설 등



〈그림 1〉 화순 홍수조절지 평면계획도

주 1) 제수문:홍수조절지의 시설물 중 본류를 횡단하여 설치된 구조물로 수문 조작을 통해 홍수량 조절이 가능한 시설

2. 제수문 하류부의 감세공 설계

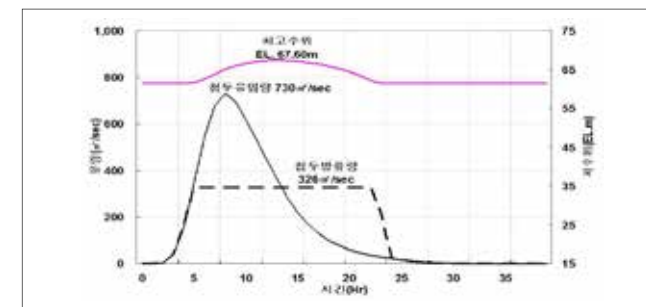
2.1 제수문 홍수조절계획

화순 홍수조절지는 영산강 유역의 홍수분담계획에 의거 지석천의 200년빈도 홍수량 $Q=730\text{m}^3/\text{s}$ 유입 시에도 $Q=326\text{m}^3/\text{s}$ 로 조절방류함으로써 하류부 홍수피해를 저감하도록 설계하였다. 화순 홍수조절지의 제수문은 영산강 유역내 분담홍수량을 조절하기 위해 본류를 횡단하여 설치된 구조물로, 3개의 수문을 조작하여 홍수 시 송석천 합류 후 홍수량이 $Q=550\text{m}^3/\text{s}$ 이하로 유지되도록 계획되었다.



〈그림 2〉 화순 홍수조절지 홍수조절계획 모식도

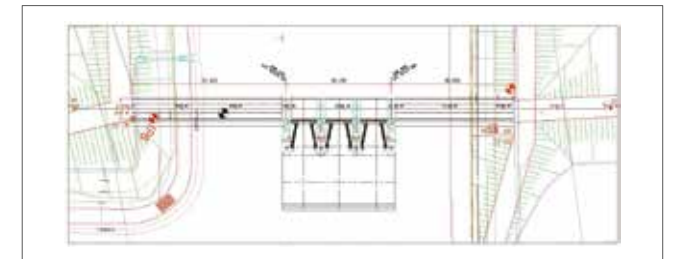
홍수조절지의 저류지 규모는 홍수조절운영계획에 따라 홍수조절시 필요한 저류용량으로 계획해야 한다. 화순 홍수조절지는 제수문 하류부 제방으로 방어할 수 있는 하류부 계획홍수량을 고려하여 유입되는 홍수량이 $326\text{m}^3/\text{s}$ 이하일 경우에는 전량 하천으로 방류하고, $326\text{m}^3/\text{s}$ 이상의 유량만 조절지에 저류되도록 계획하였다. 홍수조절 계획 분석결과, 200년빈도 설계홍수량 유입 시 제1조절지, 제2조절지 및 하도저류공간을 모두 활용하는 조건에서 최고수위는 67.60m이며, 이 때의 조절지 저류용량은 7.25백만 m^3 로 검토되었다.



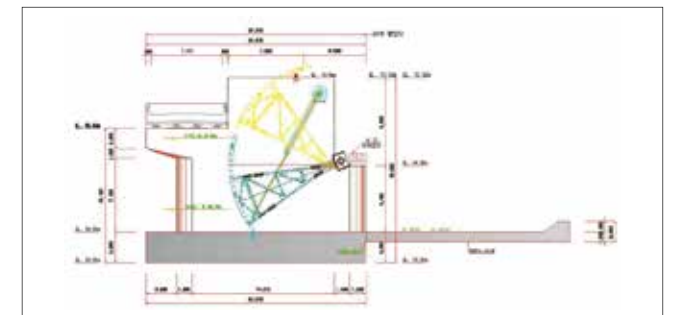
〈그림 3〉 화순 홍수조절지 제수문 홍수조절 운영계획

2.2 제수문 하류부 감세공 설치전 설계단면

화순 홍수조절지 제수문은 콘크리트중력식 보로 계획되었다. 설계 시 지석천의 200년빈도 홍수량 $Q=730\text{m}^3/\text{s}$ 유입 시 $Q=326\text{m}^3/\text{s}$ 로 조절방류할 경우 하류하천에 세굴 영향이 없도록 콘크리트 에이프런(apron) 및 사석보호공을 계획하였다.



화순 홍수조절지 제수문 평면계획도(감세공 설치 전)



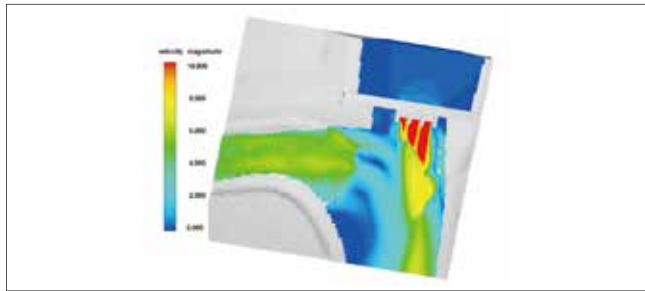
화순 홍수조절지 제수문 표준단면도(감세공 설치 전)

〈그림 4〉 제수문 평면 및 표준단면도(감세공 설치 전)

2.3 제수문 하류부 유속 및 유황검토

하천에 설치되는 보(weir)의 경우, 하류부에 발생하는 고유속으로 인해 하상세굴이 발생하는 경우가 많다. 특히, 제수문과 같은 가동보의 경우 상하류 수두차이로 인한 고유속의 사류가 발생되므로 하상보호공 설치 이후 구간에서도 세굴이 발생되어 하천시설물의 손상이 발생되기도 한다.

홍수조절지가 설치되면 제수문의 조절방류로 인해 제수문 하류부에 고유속이 발생된다. 또한 제수문 방류량과 지천인 송석천 유량이 합류되는 수리현상은 매우 복잡하여 1차원 계산만으로는 해석이 어렵기 때문에, 설계 시 3차원 수치해석을 통해 제수문 하류부 유속 및 유황검토를 수행하였다. 3차원 수치해석은 Flow-3D 모형을 사용하였다. 3차원 수치해석 결과, 200년빈도 계획홍수량 조절 시 제수문 하류부 유속이 $V=6\sim 8\text{ m/s}$ 빠르게 나타났으며, 송석천 유입량의 영향으로 편류가 발생하는 것으로 나타났다.



화순 홍수조절지 제수문 하류부 유황 및 유속분포(200년빈도 홍수조절, 감세공 설치 전)

〈그림 5〉 화순 홍수조절지 제수문 하류부 3차원 수치해석 결과

화순 홍수조절지 제수문 설계 시 하류부에 고유속으로 인한 하상세굴 및 제방시설물 손상에 예상됨에 따라 수리모형실험을 통해 제수문 하류부의 고유속 감쇄를 위한 감세공 설계를 검토하였다.

2.3 수리모형실험 검증

1) 개요

수리모형실험은 복잡한 수리현상을 수치해석으로 확신하기 어려울 경우 수행한다. 화순 홍수조절지의 경우 제수문에서 고유속으로 조절방류되는 홍수량과 지천인 송석천 유입량이 직각으로 충돌하면서 하상세굴, 주변 제방 침식 등 손상이 우려되는 구간에 대해 수리모형실험을 수행하였다.

하천의 수리모형실험은 충적하천 하상의 변동성을 확인하기 위한 이동상 실험과 수위 및 유속을 주로 확인하기 위한 고정상 실험이 있으며, 화순 홍수조절지 제수문 하류부는 수위 및 유속확인 주 목적이므로 고정상 실험으로 수행하였다. 수리모형실험은 설계보고서 및 도면에 의거하여 (주)한림수리모형실험연구소에서 수행하였다.

2) 모형축척

하천의 제수문의 흐름은 관성력과 중력이 지배하므로 상사법칙은 Froude 상사법칙을 적용할 수 있다. 상사법칙이란 원형에서 흐름을 지배하는 지배력의 영향을 모형에서 그대로 적용시키는 것이므로 모형에서도 원형과 같은 지배력이 흐름을 지배해야 한다.

○ Froude 수(Fr) : 밀도 ρ , 중력가속도 g , 속도 U , 길이 L ,

$$\frac{\text{관성력}}{\text{중력}} = \frac{\rho L^2 U^2}{\rho g L^3} = \frac{U^2}{gL} = Fr^2$$

– 동력학적 상사가 성립 시 속도(U)비와 시간(T)비

$$U_r = \frac{L_r}{T_r} = \sqrt{g_r L_r}$$

– 여기서, 원형과 모형의 중력가속도비

$$U_r = \sqrt{L_r}$$

따라서, 화순 홍수조절지 제수문의 수리모형 축척은 원래 하천상태를 축소시켰을 때에도 지배적인 수리흐름특성이 유사하게 발생할 수 있도록 수평 및 수직 1/60로 정상모형으로 제작하였다.

3) 실험조건

제수문 수리모형실험은 개도별 방류량 실험, 계획홍수량 방류 시 제수문 하류부 유황, 수위 및 유속실험 등을 수행하였으며 본 글에서 소개하고자하는 제수문 하류부 유황, 수위 및 유속실험 조건은 다음과 같다.

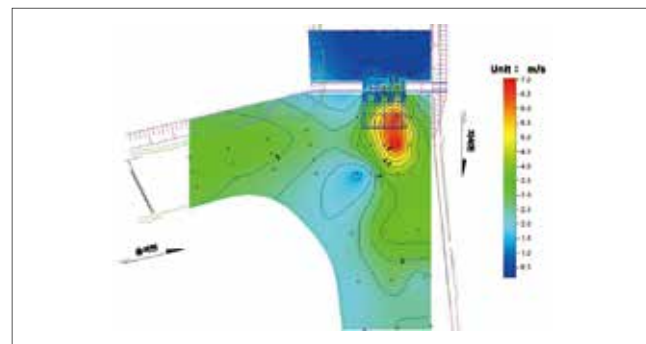
○ 실험조건 :

- 유량 : $Q=730\text{m}^3/\text{s}$ 유입 시 $Q=326\text{m}^3/\text{s}$ 로 조절방류
- 범위 : 제수문 하류부 유속, 수위 및 유황 검토(지천 합류부 포함)

4) 실험내용

○ 감세공 미설치 조건

실험조건에 따라 계획홍수량 조절방류(제수문 3문 동시개방 조건) 시 감세공이 없을 경우, 제수문 직하류부에서 최대 7.19m/s의 고유속이 발생되었으며 우안부 지천인 송석천 유입홍수량 영향에 따라 좌안으로 편류가 발생되는 것으로 나타났다. 고유속으로 인한 흐름이 제수문 하류방향으로 약 30m까지 발생되는 것으로 나타났다.



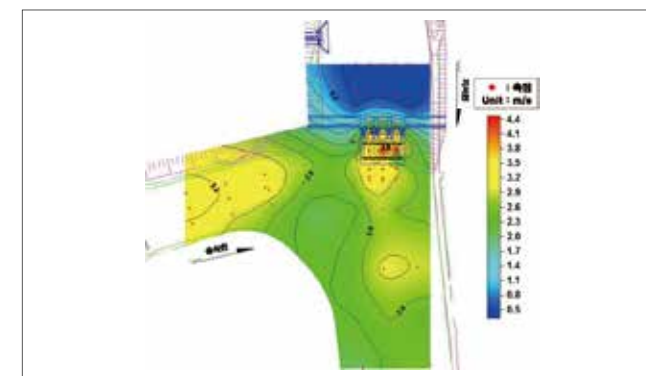
〈그림 6〉 제수문 하류부 유황 및 유속분포(200년빈도 홍수조절, 감세공 미설치)

○ 배플피어(baffle pier) 2열 및 3열 설치조건

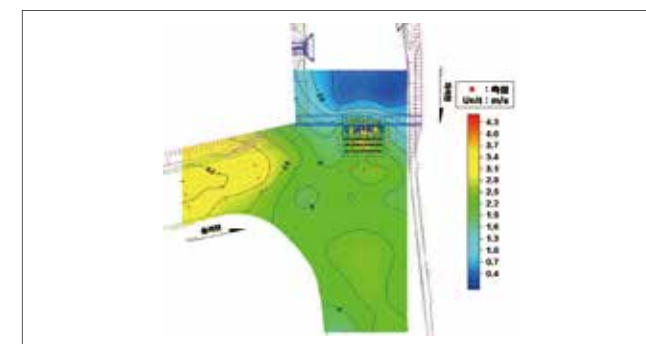
제수문 하류부 흐름특성상 에너지 감쇄에 가장 적합한 형식인 배플피어(baffle pier)를 2열 및 3열 블록으로 설치 후 제수문 하류부 유속

검토 결과, 2열 블록(최대 유속 4.56m/s)에 비해 3열 블록설치(최대 유속 3.33m/s) 시 유속의 감소 효과가 큰 것으로 나타났다.

수리모형실험 결과, 제수문 하류부 유황 및 유속의 안정을 위해 3열의 배플피어(baffle pier)형식의 감세공이 필요한 것으로 나타났다. 따라서, 화순 홍수조절지의 제수문 하류부에 3열의 배플피어(baffle pier)를 설치함으로써 제수문 하류부 하상 및 주변 제방의 손상이 없도록 유속저감 및 유황개선 효과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다.



〈그림 7〉 제수문 하류부 유황 및 유속분포(200년빈도 홍수조절, baffle pier 2열 설치)



〈그림 8〉 제수문 하류부 유황 및 유속분포(200년빈도 홍수조절, baffle pier 3열 설치)

3. 제수문 하류부의 감세공 시공점검

화순 홍수조절지는 제수문 하류부의 유황 및 유속안정을 위해 검토한 3차원 수치해석 및 수리모형실험 결과에 의거, 제수문 하류부에 배플피어 형식의 감세공을 3열 설치하였다. 공사 중 시설물 안전점검 차원에서 한국수자원공사에서 수행한 화순 홍수조절지 시공점검 시 참여하여 확인한 결과, 홍수기 방류 시 유속감쇄 효과가 있음을 확인하였다.



〈그림 9〉 제수문 시공현황 및 태풍 볼라벤(2012.9) 집중호우 시 감쇄현황

4. 결론

본 글에서는 홍수조절지 제수문 하류부의 고유속으로 인해 발생하는 시설물 파손 등의 문제를 예방하고자 설치한 감세공에 대해 설계부터 시공까지의 검토과정을 소개하였다.

화순 홍수조절지는 설계 및 시공점검 과정을 거쳐 무사히 시공되어 운영 중이며, 홍수 시에는 하류하천의 홍수조절을 하면서 평상시에는 인라인 스케이트 라이딩, 자전거, 휴게공간 등 레크레이션 공간으로 활용되고 있다.



〈그림 10〉 화순 홍수조절지 설계 시 조감도 및 2016년 현황(저류지 내 전경)

최근 건설기술진흥법 전면 개정·시행에 따라 그동안 분리돼 있던 설계, 감리, CM 및 품질관리가 하나의 건설기술용역업으로 통합됨에 따라, 국내 건설기술자의 실무역량도 설계부터 품질관리까지 확대되어야 하는 실정이다. 따라서, 본 글에서 소개한 설계 및 시공점검 사례와 같이 설계업무를 수행하는 건설기술자가 시공 및 운영 시 문제점 개선방안까지 고려할 수 있도록 수치해석, 모형실험, 시공점검 등 다양한 검토요건이 조성된다면 설계단계에서 시설물 완공 후 내구성 및 안전성을 확보하는 데 도움이 될 것으로 기대된다. ^{카셈}