

# CFD 모형을 이용한 홍수조절지 해석

## Analysis of Flood Control Reservoir Using CFD Model

안상도\*, 이호진\*\*, 전계원\*\*\*, 윤영호\*\*\*\*  
Sang Do An, Ho Jin Lee, Kye Won Jun, Young Ho Yoon

### 요    지

본 연구에서는 3차원 CFD 모형인 FLOW-3D 모형을 이용하여, 군남 홍수조절지 접근수로의 안정성과 웨어의 월류능력을 검토하였다. 이를 위해서 현지측량자료와 1:5,000도의 수치지도를 이용하여 지형과 기본계획 설계(안)의 여수로를 구성하였다.

지형은 모델링 범위를 충분히 포함하도록 홍수조절지의 상·하류에 걸쳐 작성하였으며, 연직범위는 가능 최대 홍수량(PMF)시 저수지의 최고수위를 초과하는 범위까지 재현하였다.

모델링 범위는 웨어와 같은 구조물 주변에서는 조밀한 격자를 사용하여 정밀한 흐름현상을 재현도록 하였으며, 저수지 부분과 하류하천 부분에 대하여는 느슨한 격자망을 적용하여 최종적으로 2가지 격자망으로 모델링 전체범위에 대하여 격자를 구성하였다.

상류 경계조건으로는 저수지 수위를 경계조건으로 설정하였고, 하류 경계조건으로는 군남 홍수조절지가 일반댐과 달리 상·하류의 표고차가 크지 않아 방류시 하류하천 수위 상승으로 인하여 통수능에 영향을 줄 것으로 판단되므로, 방류량 대 하류하천 형성수위 관계식을 산정하여 방류량에 따른 하류하천의 수위를 하류 경계조건으로 설정하였다.

**핵심용어 :** 홍수조절지, FLOW-3D, 접근수로, 월류능력

### 1. 서 론

최근 들어 이상강우에 의해 대규모 홍수피해가 발생하고 있어 기존에 설치된 수공구조물의 홍수방어능력을 검토하고, 홍수방어 능력을 증가시키기 위한 연구가 진행되고 있다.

임진강유역은 지난 1996년 이후 대규모 홍수피해가 발생하고 있으나, 유역면적의 약 63%가 북한지역에 위치하고 있어 수해방지대책 수립이 불리하며, 1996년, 1998년 및 1999년의 집중호우로 임진강유역의 파주시, 동두천시, 연천군, 포천시, 철원군, 양주시 일대에 사망 및 실종 128명, 이재민 31,439명, 재산피해 10,466억원의 막대한 홍수피해가 발생하였다.

임진강유역의 보다 근원적이고 항구적인 수해방지대책이 요구됨에 따라 “임진강 하천정비 기본계획-보완(2001. 12, 건설교통부)”과 “임진강 군남 홍수조절지 예비타당성조사(2003. 6, KDI)”가 수행되었다. 이를 보고서에서는 국지성 집중호우가 빈번하게 나타남에 따라 제방 등 기존 하천시설물로는 수해방지에 한계가 있어 홍수량을 분담할 수 있는 홍수조절지의 필요성을 제시하고 있다. 이와 같은 이유로 임진강 본류의 홍수조절 능력 확보 및 북축댐으로 인한 불규칙한 유황 개선 등을 위해 임진강 수방대책의 일환으로 군남 홍수조절지 설치 계획이 수립되었다.

본 연구에서는 3차원 전산유체역학 모형인 FLOW-3D 모형을 이용하여 홍수조절지의 수리학적 안정성을 확보하기 위해서, 접근수로의 안정성과 웨어의 월류능력을 검토하였다. 이 결과를 이용하여 경제적이며 안정적인 홍수조절지 구조물 건설에 필요한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다.

\* 정회원-한국수자원공사 설계처 E-mail : [sdan99@kwater.or.kr](mailto:sdan99@kwater.or.kr)  
\*\* 정회원-충북대학교 토목공학과 E-mail : [hjce@chungbuk.ac.kr](mailto:hjce@chungbuk.ac.kr)  
\*\*\* 정회원-강원대학교 방재기술전문대학원 E-mail : [kwiun@kangwon.ac.kr](mailto:kwiun@kangwon.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원-강원전문대학 건설시스템과 E-mail : [yhyoon@gw.ac.kr](mailto:yhyoon@gw.ac.kr)

## 2. CFD 모형의 적용

### 2.1 3차원 CFD 모형

댐 상류 하천의 경우 좌·우안 간의 수위 및 유속 편기가 거의 없어 1차원 모형으로 해석할 수 있기 때문에 초기 단계에 많이 사용하고 있다. 그러나, 댐 여수로의 흐름은 접근수로부의 흐름과 조절부를 넘어 급경사수로를 거치는 고속의 흐름 및 고유속을 감세시키는 감세부 흐름으로 구성되어 흐름형태가 복잡하기 때문에 기존의 1차원 모형으로는 정확한 해석을 할 수 없다.

따라서, 댐 여수로 등 수리구조물에서 3차원적인 흐름 거동을 모의하기 위해서는 3차원 CFD 모형을 사용해야 한다. FLOW-3D 모형은 자유수면을 가지는 흐름을 잘 모의하는 것으로 알려져 있으며, 최근 국내의 여수로 설계에 적용된 사례가 있어 비교적 신뢰성이 있는 모형을 판단된다.

FLOW-3D 모형은 유한차분법에 FAVOR(Fractional Area and Volume Obstacle Representation)기법을 도입한 유한체적법을 사용하며, 해석 영역을 격자로 나눈 후, 이 격자 단위로 계산이 이루어진다. 각 격자에 대해서 주어진 압력에 대해 다음 시간에서의 속도를 구하며 이 속도를 이용하여 압력방정식의 해를 구한 다음 다시 속도를 교정하고, 그 후에 자유수면 해석이 요구될 때는 VOF(Volume of Fluid) 방정식을 풀어나가는 방법을 이용한다.

### 2.2 모형의 적용

본 연구에서는 현지측량 자료와 1:5,000도의 수치지도를 이용하여 지형을 구축하고 군남홍수조절지 설계 안에 따라 여수로를 구성하였다. 지형은 모델링 범위를 충분히 포함하도록 댐의 상·하류에 걸쳐 작성하였으며, 연직범위는 가능최대 홍수량(PMF)시 저수지 최고수위를 초과하는 범위까지 재현 하였다.

그림 1은 수치지도를 이용하여 구축한 지형도를 도시한 것이며, 그림 2는 여수로 및 접근 수로부를 도시한 것이다.



그림 1. 지형, 댐 및 여수로의 재현결과

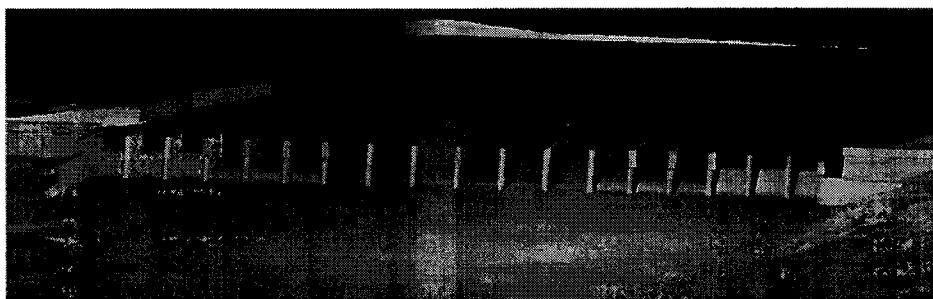


그림 2. 여수로 및 접근수로부

모델링을 수행하기 위하여 웨어와 같은 구조물 주변에서는 조밀한 격자를 사용하여 정밀한 흐름현상을 재현토록 하였으며, 저수지 부분과 하류하천 부분에 대하여는 느슨한 격자망을 적용하여 모델링을 수행하였다. 표 1은 계산에 사용된 격자의 크기를 제시한 것이다.

표 1. 격자망 구성

구 분	$\Delta x$			$\Delta y$			$\Delta z$			격자 개수
	최소 크기 (m)	최대 크기 (m)	개수	최소 크기 (m)	최대 크기 (m)	개수	최소 크기 (m)	최대 크기 (m)	개수	
격자망	3.20	9.29	150	2.50	13.89	180	0.97	0.97	30	810,000

상류 경계조건으로는 저수지 수위를 경계조건으로 설정하였으며, 하류경계 조건으로는 군남 홍수조절지가 일반 댐과는 달리 상하류를 표고차가 크지 않아 방류량에 따른 하류하천 수위를 하류 경계조건으로 설정하였다. 또, 상-하류 경계를 제외한 경계는 고체경계이므로 벽면의 조도를 반영할 수 있는 비활(no-slip)조건을 부여하였다.

### 2.3 적용결과

위에 제시된 모델링 범위와 격자조건, 초기 및 경계조건을 이용하여 수치모의를 수행하여 물류능력과 접근수로의 안정성을 검토하였다.

### 2.3.1 월류능력

여수로 위어의 월류능력을 검토하기 위하여, 수문을 완전 개방한 상태에서 저수지 수위별 방류량을 검토했다. 댐설계기준(한국수자원학회, 2005)에서 제시하고 있는 여수로 방류량,  $Q$ 는 다음과 같다.

$$Q = CL_c H_e^{1.5} \quad (1)$$

여기서,  $C$ 는 유량계수,  $H_e$ 는 전수두,  $L_e$ 는 월류마루의 유효길이로 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$L_e = L - 2(N \cdot K_p + K_d)H_e \quad (2)$$

여기서  $L$ 은 월류마루의 순길이,  $N$ 은 교각의 수,  $K_p$ 는 교각수축계수로 원형두부의 경우 0.01 값을 가진다.  $K_q$ 는 교대수축계수로 교대의 곡률반경이 전수두의 0.5배 이상이면 0.0의 값을 갖는다. 유량계수  $C$ 는 접근수로의 형상 및 수심, 여수로의 형상, 하류수위 영향 등을 받는다. 저수지 수위에 따라 식(1)을 이용한 방류량 계산결과와 수치모의에 의한 해석결과를 그림 3에 도시하였다. 저수지 수위가 최고수위 EL. 40.0m에 도달한 경우 수문 전개시 식(1)을 이용한 계산결과는 수치모의 결과에 비해 약 16%정도 방류량이 적게 나타났다. 이것은 식(1)에 하류하천 수위 상승으로 인한 통수능 저하를 임의적으로 적용한 결과라 판단된다.

### 2.3.2 접근수로의 안정성

접근수로의 안정성 검토는 100년 빈도 조절 방류량인  $11,000\text{m}^3/\text{s}$ 에 대하여, 홍수조절계획에 의거 중앙부 권양식 수문 6문을 전개할 경우에 대해 수행하였다. 접근수로의 안정성을 확보하기 위해서는 접근수로에서의 유황은 교란되어서는 안 되며, 계획방류량에 대해 접근유속은  $4\text{m/s}$ 를 넘어서는 안 된다. 모의결과, 교대 상류부의 접근수로의 유황은 교란되지 않고 있으나, 접근 유속은  $4\text{m/s}$ 를 초과하고 있다.

홍수조절지의 유속이 비교적 높게 나타난 이유는 군남홍수조절지가 일반댐과 달리 여수로 웨어 표고와 상류 저수지 표고와의 차이가 적어 수체의 단면적이 비교적 작게 형성되기 때문이다. 즉, 유량이 수면적과 유속에 비례함을 고려할 경우, 일정한 방류유량을 유지하기 위하여 적어진 수면적 만큼 접근유속이 증가해야

하기 때문이다. 그림 4는 수치모의로부터 얻은 접근수로부의 유황분포를 도시한 것이다.

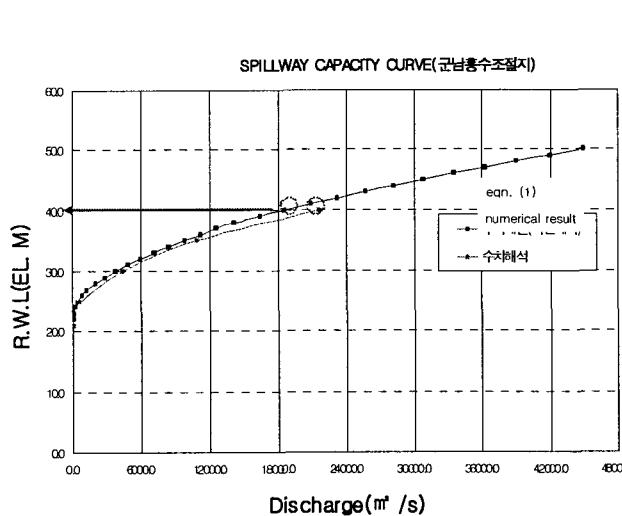


그림 3. 저수지 수위-방류량 관계곡선

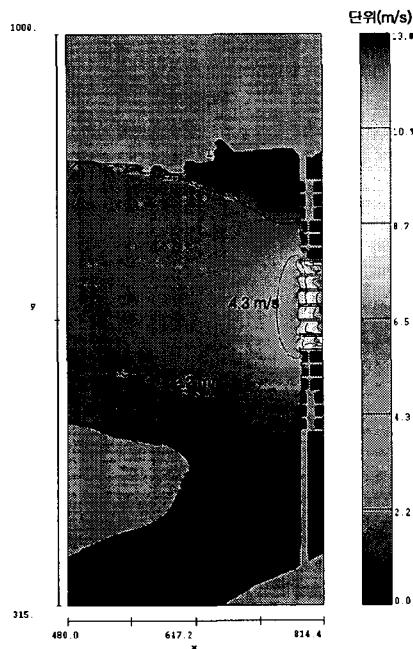


그림 4. 접근수로의 2D 유속분포

### 3. 결 론

복잡한 수리현상을 해석하기 위해서 최근 사용이 증가하고 있는 3차원 CFD 모형인 FLOW-3D를 이용하여 군남 홍수조절지의 수리특성을 분석하였다. 모의결과를 이용하여 월류능력과 접근수로의 안정성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

저수지 수위와 방류량과의 관계를 댐시설기준에 제시된 방류량 식과 수치모의 결과를 이용하여 비교하였다. 수치모의에 의한 방류량이 방류량 식에 의한 계산결과보다 약 16%정도 크게 계산되었다. 방류량 식이 하류하천 수위 상승으로 인한 통수능의 저하를 합리적으로 고려할 수 없으므로, 수치모의에 의한 계산결과가 더 유효할 것으로 판단된다.

접근수로의 안정성을 분석한 결과, 교대 상류쪽에서 접근수로부의 유황은 교란되지 않고 있으나, 접근유 속은 설계기준 유속인 4m/s를 초과하고 있어, 이에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 오병동, 김경호, 이환기, 안상도 (2004). FLOW-3D에 의한 파살플롭 흐름 해석, 한국수자원학회 논문집, 제 37권 제5호, pp. 375 ~ 386.
2. 이길성, 김남일 (1997). 여수로 유입수로의 3차원 흐름해석, 대학토목학회 학술발표회 논문집(II), pp.71 ~ 74.
3. 한국수자원공사 (2005). 군남홍수조절지 기본 및 실시설계 3차원 수치모형 보고서, 한국수자원공사.
4. 한국수자원학회 (2005). 댐시설기준, 한국수자원학회
5. Kim, N. L., (2003). Investigation of Scale Effects of Hydraulic Model for Dam Spillway using 3-D CFD Model, Ph. D. Dissertation, Seoul National University, pp. 1 ~ 70.
6. Flow Science, Inc., (2000). FLOW-3D User's Manual, Flow Science, Inc.