

고정보 단면형상에 따른 월류능력 분석

Development of a culvert design model

박용수*, 김상욱**, 박영진***

Yong Soo Park, Sang Ug Kim, Young Jin Park

요 지

최근 들어 국가하천의 주요구간에 대규모 보가 설치되고 있으며 설치된 고정보와 가동보는 형식에 따라 부분적으로 상이한 기능을 나타내나 기본적으로 상류의 수위가 일정하게 유지되도록 하여 하천 내 수자원을 확보하는데 기본적인 목적이 있다. 그러나 이로 인해 치수 및 하천환경에 많은 변화가 예상되므로 발생 가능한 하천관리의 문제점을 최소화하기 위해서는 하천정비에 따른 수리학적 영향을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 4가지 형식의 고정보 본체의 형식별 월류능력을 수치해석모형인 Flow-3D 모형을 이용하여 검토하여 하천에서 고정보 설계시 단면형식 결정의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다. 이를 위해 선정된 고정보 단면의 형상에 따라 보 하류측 사면형태 및 경사별 월류량 검토를 수행하였으며 하류관리수위가 없을 때와 있을 때의 월류량과 하류부 흐름양상을 분석하였다. 고정보 단면 형식 선정을 위한 분석결과 적용된 4가지 유형중 선행한 월류능력별 수치해석 결과에서는 월류능력, 월류수맥의 수층, 구조체의 수축·팽창에 의한 불안정성 등을 종합적으로 고려할 때 오지형이 가장 적합한 구조인 것으로 검토되었다.

핵심용어 : 보 운영, 고정보, RMA2, FLOW-3D, 흐름해석

1. 서론

4대강 살리기 사업 등을 통해 국가하천의 주요구간에 다양한 보가 설치되고 있으며 설치된 고정보와 가동보는 형식에 따라 부분적으로 상이한 기능을 나타내나 기본적으로 상류의 수위가 일정하게 유지되도록 하여 하천 내 수자원을 확보하는데 기본적인 목적이 있다. 그러나 이로 인해 치수 및 하천환경에 많은 변화가 예상되므로 발생 가능한 하천관리의 문제점을 최소화하기 위해서는 하천정비에 따른 수리학적 영향을 검토할 필요가 있다. 본 연구에서는 4가지 형식의 고정보 본체의 형식별 월류능력을 수치해석모형인 Flow-3D 모형을 이용하여 검토하여 하천에서 고정보 설계시 단면형식 결정의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다. 이를 위해 선정된 고정보 단면의 형상에 따라 보 하류측 사면형태 및 경사별 월류량 검토를 수행하였으며 하류관리수위가 없을 때와 있을 때의 월류량과 하류부 흐름양상을 분석하였다.

2. Flow-3D 모형의 특징

기존의 경우 수체와 수리구조물을 해석 시 수리구조물은 정적인 상태에서 수체의 동수역학적 특성에 주안점을 두고 해석을 수행하였지만, 최근 수리구조물의 운영을 고려한 동적 상태에서 수체의 동수역학적 특성을 파악하는 추세이다.

본 연구에서 적용된 3차원 수치모형인 Flow-3D는 x, y, z 방향의 유속을 모두 고려하여 수치모의를 수행하는 완전한 3차원 난류모형으로서 자유수면을 가지는 개수로흐름, 정상-비정상 유동

* 정회원 · 건화엔지니어링 수자원부 부장 · E-mail : E-mail : pysoo71@hanmail.net
** 정회원 · 정회원 · 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : sukim70@kangwon.ac.kr
*** 정회원 · 서울대학교 토목공학과 교수 · E-mail : profpark@seoul.ac.kr

해석, 층류 및 난류해석, 뉴턴 및 비뉴턴 유체계산, 압축성 및 비압축성 유체계산 등이 가능하며 또한, 심플한 격자체계, 정확한 형상표현 및 자유표면 모델링, 엑스퍼트 시스템(Expert System), 다양한 물리모델을 지원하는 유체에 대한 범용 소프트웨어이다.

비 압축성 유체의 흐름을 해석하기 위해서 Flow-3D에서 사용하는 지배방정식은 직교좌표계 (, y, z) 상에서 다음과 같은 시간적분 레이놀즈방정식이다(Flow Science, 2003).

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + f_i + F_i$$

여기서, t 는 시간, U_i 는 x_i 방향의 유속, ρ 는 물의 밀도, P 는 압력, f_i 는 점성력항, F_i 는 중력 전향력 등과 같은 외력이다.

물과 공기의 경계인 자유수면을 모델링하기 위하여 VOF(Volume Of Fluid) 함수를 정의하는데, 함수의 값이 1인 경우는 검사체적에 물이 가득한 상태를 의미하고 함수의 값이 0인 경우는 검사체적에 물이 없는 경우를 의미하고 자유수면에서는 0과 1 사이의 값을 가진다. FLOW-3D에서의 VOF방법은 상이경계면(sharp interface)에서 정확한 압력과 운동을 재현하기 위한 경계조건을 적용하고 있으며(Hirt and Sicilian, 1985) 차분시에 상이 경계면의 번지는 현상(Smearing)을 방지하기 위해 특별한 수치차분을 사용하여 두 유체사이의 운동을 표현할 수 있는 수치해석기법이 적용되었다.

3. 고정정보 단면형상별 월류능력 검토

하천에서 고정정보 설계시 단면형식 결정의 기초자료로 활용하고자 수치해석모형인 Flow-3D 모형을 이용하여 고정정보 본체의 형식별 월류능력을 모의하였다.

3.1 고정정보 단면 형식 선정

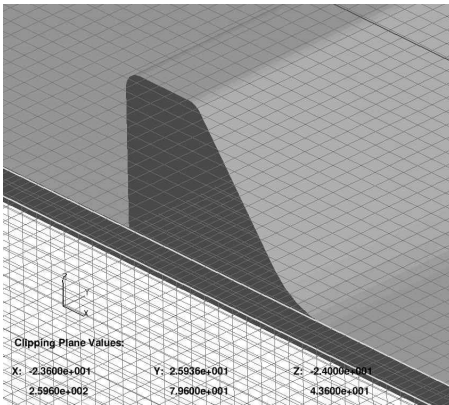
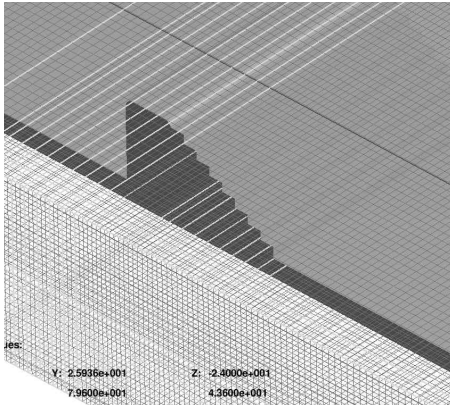
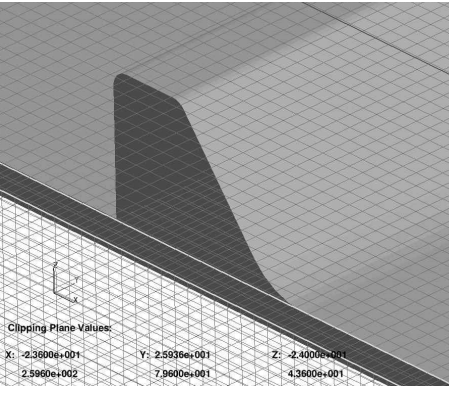
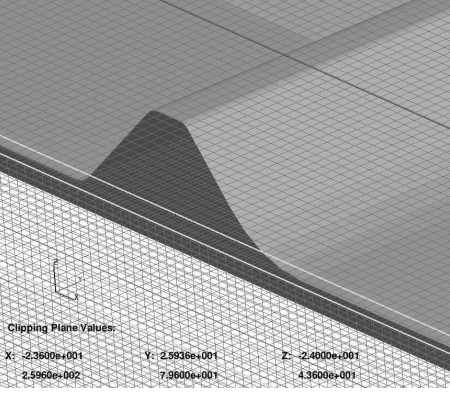
고정정보의 형식별 월류능력을 검토하기위해 표 1에서 제시된 것처럼 4가지 유형의 보 하류측 사면형태 및 경사별 월류량을 하류관리수위가 없을 때와 있을때로 나누어 월류량과 하류부 흐름양상을 모의하였다.

<표 1> 비교대상 고정정보 형식

형식별	일반형	계단형	오지형	경사형
단면 형태				
장단점	<ul style="list-style-type: none"> • 월류웨어 하류부 급경사로 인한 흐름 불안정 유발 • 월류시 보 상부에 공동 현상 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 도수 후 흐름 불안정 • 계단부 파손에 대비한 보강 필요 • 중소하천에 유리 • 폭기작용 유도 	<ul style="list-style-type: none"> • 월류후 전 단면을 통한 안정한 유속 분포 • 월류능력 우수 • 상·하류의 낙차가 클 때 효율적 •댐여수로의 시공사례 다수 	<ul style="list-style-type: none"> • 월류시 상·하류측 유수 흐름 안정적 • 콘크리트 대량소요 • 팽창 및 수축균열에 가장 취약

비교대상 고정보의 월류량 검토 지점은 보 마루 상류단 기준 상류 30m 지점, 보 마루, 보 마루 상류단 기준 하류 40m 지점으로 정하였고, 해석 범위는 보 마루 상류단으로부터 100m 그리고 월류부 폭: 50m로 제한하였다. 사용된 경계조건은 월류부에서 완전월류가 일어나도록 상하류 수위차를 크게 지정하였다. 또한, 수치모의를 위해 보 형식에 따라 표 2와 같은 유한 차분망을 구성하였다.

<표 2> 보형식별 유한 차분망 구성

형식별	일반형	계단형
유한 차분망		
	오지형	경사형
		

<표 3> 형식별 위치별 유하량(보마루 상류단 기준)

(단위:m /s)

형식별	일반형	계단형	오지형	경사형
상류30m 지점	670.37	610.60	760.23	683.67
보 마루	689.89	627.38	764.87	708.52
하류 40m 지점	669.86	610.71	760.61	683.09

보 상류측의 사면 경사별 월류능력을 모의하기위해 관리수위를 반영한 월류능력을 검토하기위해 일반형, 계단형, 오지형, 경사형 4가지 유형의 고정보 단면에 대해 수치해석을 수행하였다.

<표 4> 보 하류측 비탈면 경사에 따른 월류능력 검토결과

형식별	3차원 유속 분포	종단면
일반형		
	<ul style="list-style-type: none"> • 월류량: 689.89 m³/s • 월류웨어 하류부 급경사로 인한 흐름 불안정 유발 	
계단형		
	<ul style="list-style-type: none"> • 비교안 중 월류능력 최소(Q = 627.38 m³/s) • 월류 흐름의 에너지 감세, 공기 유입을 통한 폭기 효과 발생 	
오지형		
	<ul style="list-style-type: none"> • 비교안 중 월류능력 최대(Q = 764.87 m³/s) • 월류 후 전 단면을 통한 고른 유속 분포 	
경사형		
	<ul style="list-style-type: none"> • 월류량: 708.52 m³/s • 웨어 상류부가 경사형으로 되어 있어 유사퇴적에서 타 형식보다 유리 	

5. 결과

본 연구에서는 4가지 형식의 고정본체의 형식별 월류능력을 수치해석모형인 Flow-3D 모형을 이용하여 검토하여 하천에서 고정본체 설치시 단면형식 결정의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다. 이를 위해 선정된 고정본체 단면의 형상에 따라 보 하류측 사면형태 및 경사별 월류량 검토를 수행하였으며 하류관리수위가 없을 때와 있을 때의 월류량과 하류부 흐름양상을 분석하였다. 고정본체 단면 형식 선정을 위한 분석결과 적용된 4가지 유형중 선행한 월류능력별 수치해석 결과에서는 월류능력, 월류수맥의 수층, 구조체의 수축·팽창에 의한 불안정성 등을 종합적으로 고려할 때 오지형이 가장 적합한 구조인 것으로 검토되었다.

참고문헌

1. 강영승, 김평중, 현상권, 성하근(2008). FLOW-3D를 이용한 항주과 수치모의. 한국해안·해양공학회 논문집, 제20권 제3호, pp. 255~267.
2. 이재수 (2007). 수리학, chap. 12.4, pp. 485-499 구미서관.
3. Flow Science(2003). Flow-3D.
4. Wei, Gengsheng (2005a). A fixed-mesh method for general moving objects. Flow Science, Inc., Technical Notes, FSI-05-TN73.
5. Wei, Gengsheng (2005b). An implicit method to solve problems of rigid body motion coupled with fluid flow. Science, Inc., Technical Notes, FSI-05-TN76.