

CCHE2D 모형을 이용한 보 주위의 흐름 및 하상변동 모의

CCHE2D Modeling of Flow and Bed Elevation Change in a Reach including a Weir

이성진* · 최성욱**

Lee, Sungjin · Choi, Sung-Uk

1. 서 론

보의 건설로 인해 유량의 변화 및 유사의 연속성에 따라서 하상특성의 변화가 예상된다. 일반적으로 하천에 설치된 보의 상류부에는 유사의 퇴적이 발생하며 하류부의 경우, 보에 의한 유사 차단 효과로 하상하강이 기대된다. 보 상류부에 퇴적이 진행되면 저수량이 감소하여 보 자체의 안전도 위협할 수 있다. 또한, 하류 하도에 세굴 및 하강현상이 지속되면 흐름 및 하도의 불안정과 하천 시설물의 안전을 위협하게 된다. 따라서 보 건설에 따른 하도의 퇴적 및 침식 현상을 예측하여 장차 발생할 수 있는 문제를 사전에 예측하는 것은 공학적으로 매우 중요하다. 본 연구에서는 수심적분 2차원 모형에 기초한 CCHE2D 모형을 이용하여 보 주위의 흐름과 퇴적 및 세굴에 대해 모의하고 이 결과에 대하여 고찰하였다.

2. 모형의 기본이론

CCHE2D 모형은 수심평균 값을 이용한 2차원 동수역학적 유사이송 모형으로써 유한요소법(FEM)을 이용하여, 흐름에 대한 지배방정식인 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0$$

여기서 t 는 시간, η 는 자유수면높이, u 와 v 는 각각 x, y 방향 유속, h 는 수심 이다.

수심적분된 2차원 난류흐름에 대한 운동량 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial h \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{Cor} u$$

여기서 η 는 수위, g 는 중력가속도, ρ 는 물의 밀도, u 와 v 는 각각 x, y 방향의 수심적분 유속, h 는 국부수심, f_{Cor} 은 Coriolis 상수 이다.

세굴과 퇴적에 의한 하상변동을 예측하는 소류사 연속방정식은 다음과 같다.

$$(1 - p') \frac{\partial z_{bk}}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{c}_{bk})}{\partial t} + \frac{\partial q_{bkx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{bky}}{\partial y} = -E_{bk} + D_{bk}$$

여기서 p' 은 소류사 공극율, \bar{c}_{bk} 은 소류사 평균농도, q_{bkx} 와 q_{bky} 는 x, y 방향의 소류사 수송률 이다.

$$q_b = 0.053 (\rho_s / \rho - 1)^{0.5} g^{0.5} d_{50}^{1.5} D_*^{-0.3} T^{2.1}$$

여기서 q_b 는 소류사량, D_* 은 입경변수, T 는 수송변수이다.

* 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail: sjlee83@yonsei.ac.kr

** 정희원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · 공학박사 E-mail: schoi@yonsei.ac.kr

3. 모형의 적용

3.1 대상구간 및 경계조건

본 연구의 모의 대상구간은 충청남도 남면 일대의 세종지구에 위치한 금강의 세종보이며, 세종보를 기준으로 상·하류 2 km, 총 4 km를 모의 구간으로 선정하였다. 그림 1은 모의구간에 대한 격자망 및 하상고를 나타낸 것이다. 총 9550개의 절점으로 구성되어 있으며, 세종보 주변의 변동을 자세히 보기 위해 격자를 조밀하게 구성하였다.

세종보의 제원은 총 길이 348 m, 높이 4 m이며, 가동보와 고정보 구간은 각각 223 m, 125 m로서 가동보 형식은 수문이 높은 개방형 전도식이며, 국내에 있는 다른 보들과는 달리 작은 규모의 수중보이다. 그림 2와 같이 홍수 시에 가동보의 수문을 개방하였다고 가정하여 격자망을 구성 하였다. 상류 경계조건은 200년 빈도의 계획홍수량 12,795 cms, 하류 경계조건은 200년 빈도의 계획홍수위 23.43 EL.m이며, D50는 0.34 mm, 공극률은 0.4를 적용 하였다 (국토해양부, 2009). 조도계수는 저수로와 홍수터를 구분하였으며, 저수로는 0.027 (국토해양부, 2009)이고, 좌·우안 홍수터는 0.029, 보 상부는 0.017로 Chow (1959)가 제시한 수로의 표면조건에 따른 manning 계수 n 의 평균치를 적용하였다.

3.2 수치모의 결과

2차원 수심적분모형인 CCHE2D를 이용하여 대상구간 4 km에 대해 고정상 및 이동상 모의를 수행하고, 보 건설에 따른 구간내의 흐름 및 하상변동 양상이 어떻게 변하는지 분석해 보았다.

3.2.1 고정상 모의 (Fixed-bed Condition)

대상구간에 2차원 수치모형을 이용하여 하상변동이 발생하지 않는 고정상 모의를 수행하였다. 모의시간은 총 3시간이며, 그림 3은 고정상 모의 결과를 나타내고 있다. 수위분포를 살펴보면 만곡부 내측에서의 수위가 외측에 비해서 낮은 편수위 현상이 발생하며, 약 0.15 m의 차이를 보인다. 유속분포를 보면 저수로를 따라 상대적으로 유속이 빠르고, 보의 경사면 및 수문 수로를 통해 빠른 유속을 보이는 것으로 나타났다. 고정보와 가동보 주변에서는 급격한 유속의 변화를 보이며, 약 2.4 - 3.0 m/s 정도의 빠른 유속분포를 보인다.

3.2.2 이동상 모의 (Movable bed Condition)

흐름 모의결과를 초기조건으로 하는 시간에 따른 이동상 모의를 수행 하였다. 이동상 모의에서는 상류 물받이와 바닥 보호공을 고려하여 보 상부의 하상변동은 없으며, 상하류단 경계를 통해서 유입되거나 유출되는 유사량은 거의 없는 것으로 가정하였다. 모의시간은 총 240시간 이며, 그림 4는 전체 모의구간과 보 상하류 구간에 대한 시간에 따른 하상변동량을 나타내고 있다. 하상 변화량은 초기지형에 대한 하상의 세굴 및 퇴적된 높이를 나타낸다. 그림을 살펴보면, 보의 영향으로 인해 하상교란이 뚜렷하게 나타나고, 전체 모의구간의 상류부로부터 세굴 및 퇴적 양상이 반복되는 경향이 나타나며, 보에 가까울수록 퇴적이 집중적으로 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 보 주변에서의 활발한 세굴 및 퇴적 작용으로 인하여 하상에 미치는 영향이 보의 하류부를 따라 그 범위가 확대됨을 알 수 있다. 보의 직하류 이후의 구간에서는 보의 수문 수로를 통해 빨라진 유속에 때문에 우안에서 세굴현상이 우세하게 발생하고, 저수로 및 좌안에는 퇴적이 우세하게 발생하는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수심적분 2차원 모형에 기초한 CCHE2D 모형을 이용하여 보 건설에 따른 홍수 시 보 상하류에서 발생하는 유동 및 하상변동을 예측하였다. 고정상 모의를 통해 보 상하류 유동을 모의한 결과, 보 주변에서 매우 빠른 유속이 발생할 것으로 전망된다. 이동상 모의 결과, 보 하류부 홍수터 일부 구간은 퇴적이 발생하고 저수로 구간은 세굴현상이 발생할 것으로 예측된다. 또한, 보 상하류 부근에서의 빠른유속으로 인해 보의 상류부에는 퇴적, 하류부에는 심각한 세굴 현상을 초래할 것으로 추정된다. 따라서, 보 건설에 따른 흐름의 양상과 세굴 및 퇴적 양상을 면밀히 분석하여, 안정성을 고려한 시설물의 설치가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업 (08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 국토해양부 (2009). 금강수계하천기본계획(변경)
2. 김태범, 최성욱, 민경덕 (2006). 하상변동 수치모의를 위한 유한요소법 알고리즘 개발. 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 558-593.
3. Chow, V. T. (1959). Open-Channel Hydraulics, Mc-Graw Hill, New York, USA.
4. Engelund, F. and Hansen, E. (1972). A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams, Teknisk Forlag, Copenhagen, 62 pp.
5. Jia, Y. and Wang, S.S.Y. (2001). "CCHE2D: Two-dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed." NCCHE Technical Report, NCCHE-TR-2001-01, Aug 2001.

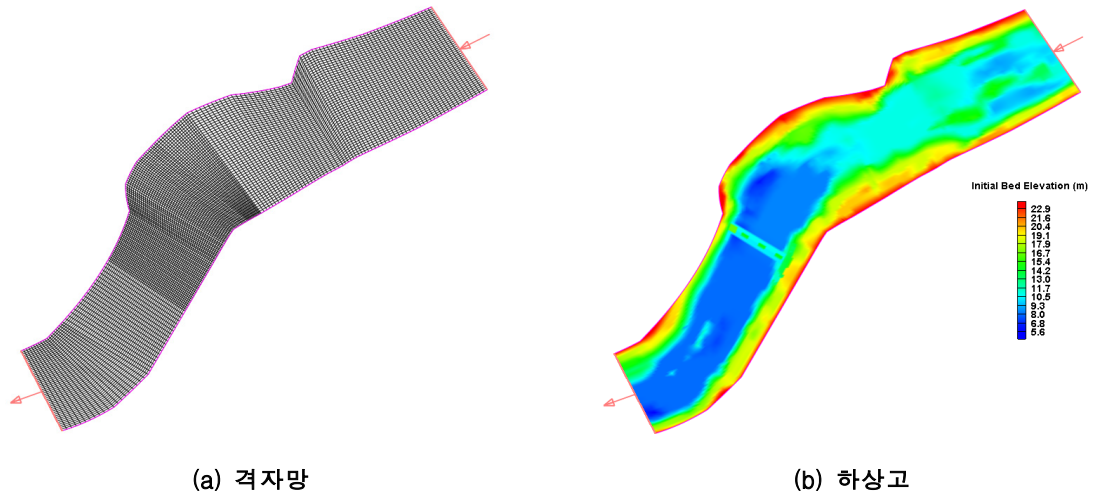


그림 1. 대상구간 격자망 및 하상고

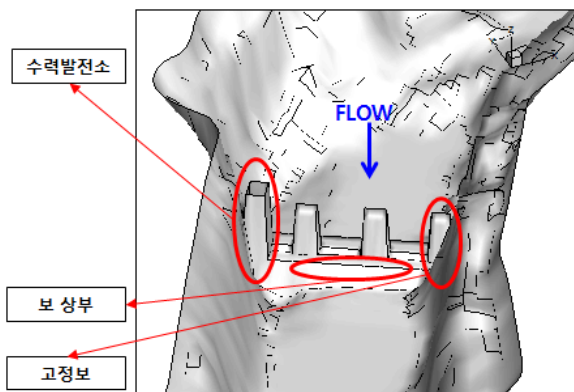


그림 2. 홍수 시 수문을 개방한 보의 형상

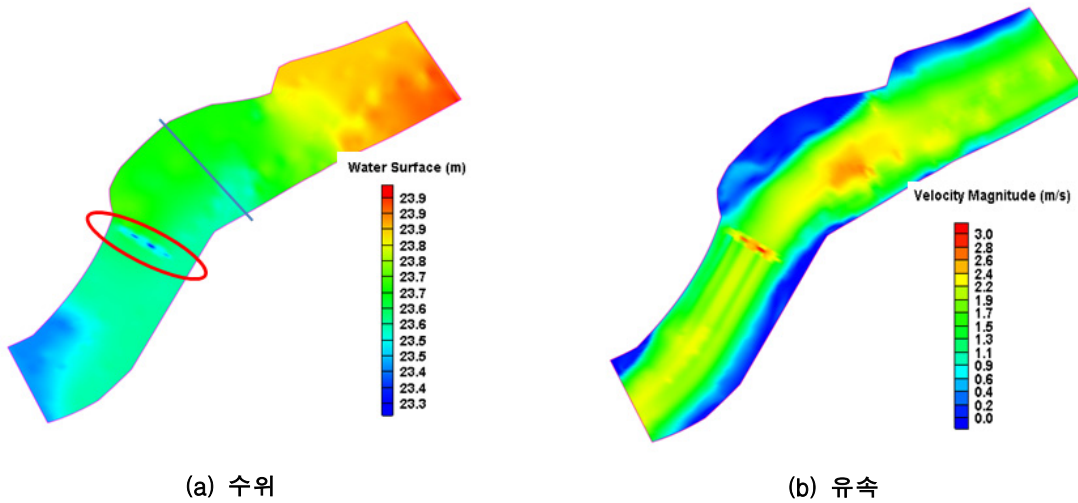


그림 3. 고정상 모의 결과

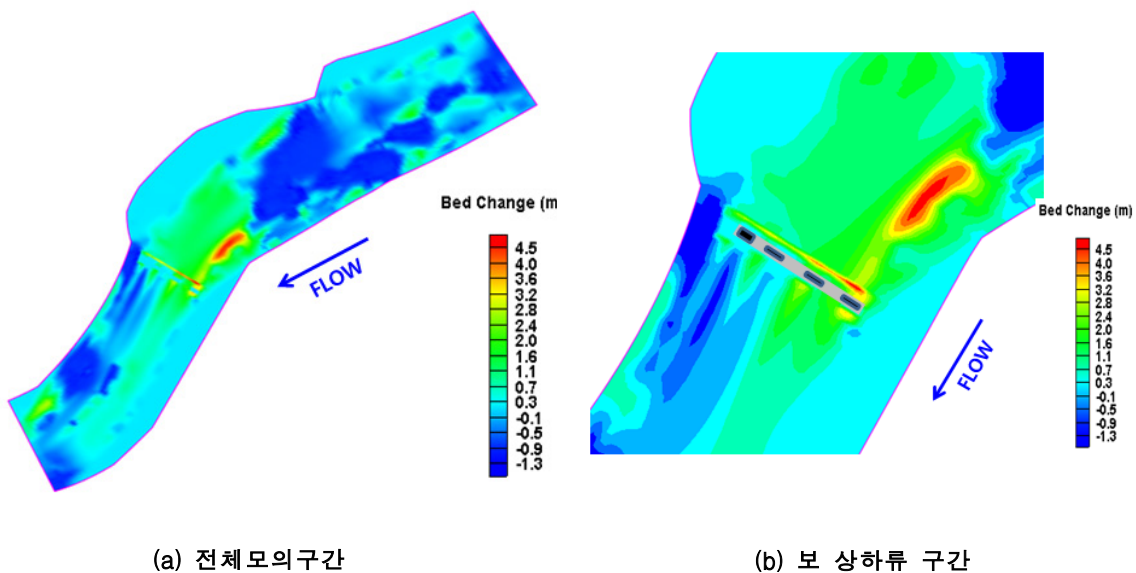


그림 4. 이동상 모의 결과