

# RAM6를 이용한 보 상하류의 흐름 및 하상변동 예측

## RAM6 Modeling of Flow and Bed Elevation Change in a Reach including a Weir

이성진\*, 김태범\*\*, 최성욱\*\*\*

Sungjin Lee, Tae Beom Kim, Sung-Uk Choi

### 요 지

하천에 설치된 보의 상류는 유사의 퇴적이 발생하며 하류 하도는 보에 의한 유사 차단 효과로 하상하강이 기대된다. 보 상류 퇴적이 진행되면 저수량이 감소하며 심할 경우 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 기초하여 유동 및 하상변동을 모의하는 RAM6 모형을 이용하여 금강 세종보에 적용하였다. RAM6는 흐름특성 변화에 따라 하상이 평형상태로 변화되는 과정을 시간에 따라 모의하고, 하상변화에 따른 흐름특성의 변화를 연계하여 모의하는 2차원 유한요소 모형이다. 세종보를 기준으로 상·하류 2 km, 총 4 km 구간에 대해 수치모의를 실시하였다. 세종보 상하류의 2차원 모의를 위하여 보 주위의 지형정보와 흐름정보를 입력하였다. 보의 제원은 높이 4 m이며, 가동보 223 m, 고정보 125 m로 총연장은 348 m 이다. 보 주위의 흐름과 퇴적 및 침식에 대해 모의하고 이 결과에 대하여 고찰하였다.

**핵심용어:** 흐름해석, 하상변동, 보 설치, 유한요소법, 세종보, RAM6

### 1. 서론

과거의 보는 하천의 수위유지와 용수 확보, 치수 및 조류의 역류를 방지하기 위한 하천시설물로서 많이 활용되었다. 최근에는 하천이 여가공간으로 많이 활용되면서 친수공간을 확보하기 위하여 설치되고, 규모가 큰 경우에는 소수력 발전을 위한 용도로도 사용되는 등 여러 가지 목적과 활용을 위한 다기능 보가 설치되고 있다. 일반적으로 하천에 설치된 보의 상류는 유사의 퇴적이 발생하며 하류 하도는 보에 의한 유사 차단 효과로 하상하강이 기대된다. 보 상류 퇴적이 진행되면 저수량이 감소하며 심할 경우 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 RAM6 모형을 이용하여 보 주위의 흐름과 퇴적 및 침식에 대해 모의하고 이 결과에 대하여 고찰하였다.

\* 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : [sjlee83@yonsei.ac.kr](mailto:sjlee83@yonsei.ac.kr)

\*\* 동국대학교 건설환경공학과 연구교수 · E-mail : [jsktb@dongguk.edu](mailto:jsktb@dongguk.edu)

\*\*\* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수 · E-mail : [schoi@yonsei.ac.kr](mailto:schoi@yonsei.ac.kr)

## 2. 모형의 기본이론

RAMS는 흐름해석 모형인 RAM2, 수질해석 모형인 RAM4, 하상변동해석 모형인 RAM6로 구성되며, RAM6는 SU/PG 기법을 이용한 2차원 유한요소 수치해석 프로그램이다. RAMS의 일부분인 RAM6는 흐름특성 변화에 따라 하상이 평형상태로 변환되는 과정을 시간에 따라 모의하고, 하상변화에 따른 흐름특성 변화를 연계하여 모의한다. RAM6의 특징으로는 Exner 방정식에 유한요소 알고리즘을 개발 및 적용하였으며, 관성조절 방정식 도입으로 흐름의 관성특성을 반영하고, 만곡 하천에서 이차류와 관성의 영향 및 하천경사에 의한 중력의 영향을 반영하였다.

RAM6의 비보존 형태의 흐름 지배방정식을 하나의 행렬식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{gh}{2} + \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left( 2\nu_t \frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$\dots - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \nu_t \left( \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial x} \right) \right\} + gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{gn^2}{h^{7/3}} p \sqrt{p^2 + q^2} = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{gh^2}{2} + \frac{q^2}{h} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \nu_t \left( \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial x} \right) \right\} \quad (3)$$

$$\dots - \frac{\partial}{\partial y} \left( 2\nu_t \frac{\partial q}{\partial y} \right) + gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{gn^2}{h^{7/3}} q \sqrt{p^2 + q^2} = 0$$

여기서  $p$ 와  $q$ 는 각각  $x, y$  방향 단위 폭 당 유량이고  $g$ 는 중력가속도,  $h$ 는 수심,  $z_b$ 는 하상고,  $\nu_t$ 는 난류점성계수,  $n$ 은 Manning의 조도계수이다.

하상변동 계산을 위해서 RAM6 모형에서는 Exner 방정식을 이용한다.

$$-p' \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial q_{tx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{ty}}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

여기서  $p'$ 은 공극율,  $z_b$ 는 하상고,  $q_{tx}$ 와  $q_{ty}$ 는 단위 폭 당 유사량의  $x, y$  성분이다.

RAM6는 기본적으로 Engelund와 Hansen (1972)의 공식, Yang (1973)의 공식, Yang (1979)의 공식 그리고 Shen과 Hung (1972)의 유사이송 공식 중, 사용자가 적절한 유사이송 공식을 선택할 수 있다. 본 연구에서는 식 (4)와 같은 Engelund와 Hansen (1972) 방법을 선택하였다.

$$q_t = 0.05 \gamma_s \left\{ \frac{d_{50}}{g \gamma_s / (\gamma - 1)} \right\}^{1/2} \left\{ \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) d_{50}} \right\}^{3/2} \quad (5)$$

여기서  $\gamma_s$ 는 토사의 단위중량,  $\gamma$ 는 물의 단위중량,  $d_{50}$ 은 토사의 중앙입경,  $q_t$ 는 총유수량 그리고  $\tau_0$ 는 바닥단응력이다.

## 3. 모형의 적용

### 3.1 경계조건 및 입력자료

본 연구에서 모의하는 구간은 그림 1과 같이 충청남도 남면 일대의 세종지구에 위치한 금강의 세종보이며, 세종보를 기준으로 상·하류 2 km, 총 4 km를 모의 구간으로 선정하여 RAM6에 적용하였다. 세종보는 국내에 있는 다른 보들과는 달리 작은 규모의 수중보이다. 제원은 총 길이 348

m, 높이 4 m이며, 가동보와 고정보 구간은 각각 223 m, 125 m로서 가동보 형식은 수문이 높은 개량형 전도식이다. 가동보의 작동 원리는 평상시에 물을 자연적으로 수문높이 만큼 넘쳐 흐르게 하여 관리수위를 유지하고, 우기시에는 overflow에 의한 관리수위를 유지하며, 홍수시에는 수문을 열어 물을 잘 통하게 한다. 세종보 주변에 대한 격자망 및 하상고는 그림 2와 같으며, 5276개의 절점과 5767개의 요소로 구성되어 있다. 보 주변의 변동을 자세히 보기 위해 격자를 조밀하게 구성하였으며, 홍수 시에 가동보의 수문을 개방하였다고 가정하여 격자망을 구성하였다. 상류 경계 조건은 200년 빈도 계획홍수량 12,795 cms, 하류 경계조건은 200년 빈도 계획홍수위 23.43 EL.m이며, D50는 0.34 mm를 적용하였다 (국토해양부, 2009). 조도계수는 저수로와 홍수터를 구분하였으며, 저수로는 0.027(국토해양부, 2009)이고, 좌·우안 홍수터는 0.029, 보 상부는 0.015로 Chow (1959)가 제시한 수로의 표면조건에 따른 manning 계수 의 평균치를 적용하였다.

### 3.2 수치모의 결과

2차원 수치모형인 RAM6를 이용하여 대상구간 4 km에 대해 고정상 및 이동상 모의를 수행하고, 보 상하류의 흐름과 하상변동 예측을 하였다.

#### 3.2.1 고정상 모의 (Fixed-bed Condition)

세종보 모의구간에 대해 2차원 수치모형을 이용하여 고정상 모의를 수행하였다. 그림 3은 하상변동이 발생하지 않는 고정상 모의 결과를 나타내고 있다. 수위분포를 살펴보면 만곡부 내측에서의 수위가 외측에 비해서 낮은 편수위 현상이 발생하며, 약 0.5 m의 차이를 보인다. 유속은 이와 반대로 외측에서의 유속이 내측에 비해 작은 결과를 보였다. 또한, 저수로를 따라 상대적으로 유속이 빠르며, 고정보와 가동보 주변에서는 4.5 - 5.2 m/s 정도의 빠른 유속분포를 보였다.

#### 3.2.2 이동상 모의 (Movable bed Condition)

고정상 모의를 통해 수립된 흐름특성을 초기조건으로 하는 시간에 따른 이동상 모의를 수행하였다. 이동상 모의에서는 상류 물받이와 바다 보호공을 고려하여 보 상부의 하상변동은 없으며, 상하류단 경계를 통해서 유입되거나 유출되는 유사량은 없는 것으로 가정하였다. 모의 영역 하상의 활동층(Active layer) 두께는 1.0 m로 설정하였다. 하상변동량은 초기지형에 대한 하상의 침식 및 퇴적된 높이를 나타낸 것이다. 그림 4는 전체 모의구간에 대한 시간에 따른 하상변동량을 나타내고 있다. 보의 영향으로 하상교란이 뚜렷하게 나타나고, 만곡부 내측에는 퇴적이 발생하며, 외측에는 침식 현상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한, 수로의 폭이 줄어드는 구간에서는 유속이 빨라져 침식현상이 발생하고 있다.

그림 5는 보 상하류 구간의 하상변동량을 나타낸 것이다. 보 직상류 부근에서는 침식이 우세하게 발생하고, 침식된 퇴사가 보 하류에 퇴적되는 현상이 발생하고 있다. 또한, 보를 통과한 흐름이 보의 종단지점에서 국부적으로 수위가 낮아졌다가 다시 수위가 높아지는 현상이 발생하여 유속이 상대적으로 감소하기 때문에 보의 직하류 이후 구간에서는 퇴적현상이 우세하게 발생함을 알 수 있다.

## 4. 결론

본 연구에서는 수십적분 2차원 모형에 기초하여 유동 및 하상변동을 모의하는 RAM6 모형을

이용하여 보 상하류의 흐름 및 하상변동을 예측하였다. 수치모의 결과, 보의 영향으로 인해 보 상하류 부근에서 침식 및 퇴적 현상이 매우 활발하게 발생하여 하상교란이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다. 따라서, 보 설치에 따른 하상변화와 세굴에 대한 영향을 면밀히 분석하여, 보의 안정성을 고려한 하류 물받이뿐만 아니라, 상류 물받이와 바닥보호공의 설치가 요구된다.

### 감 사 의 글

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

### 참 고 문 헌

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.

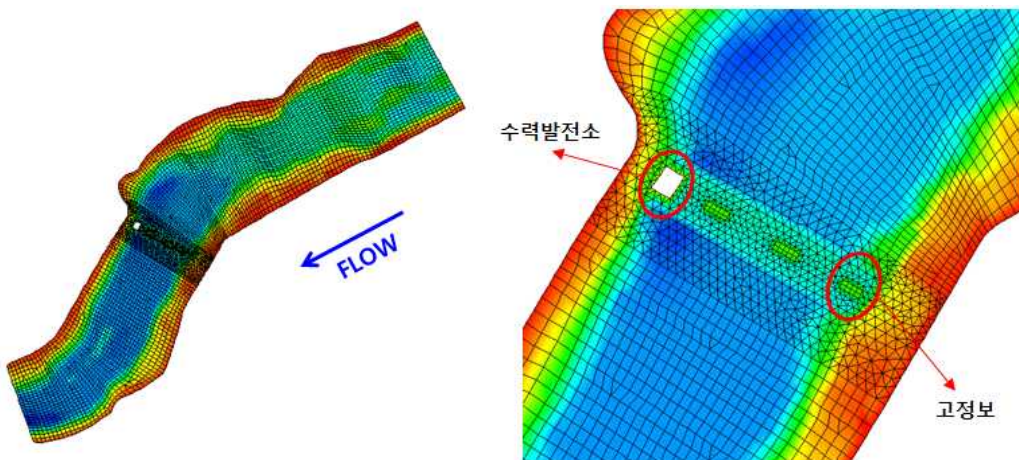
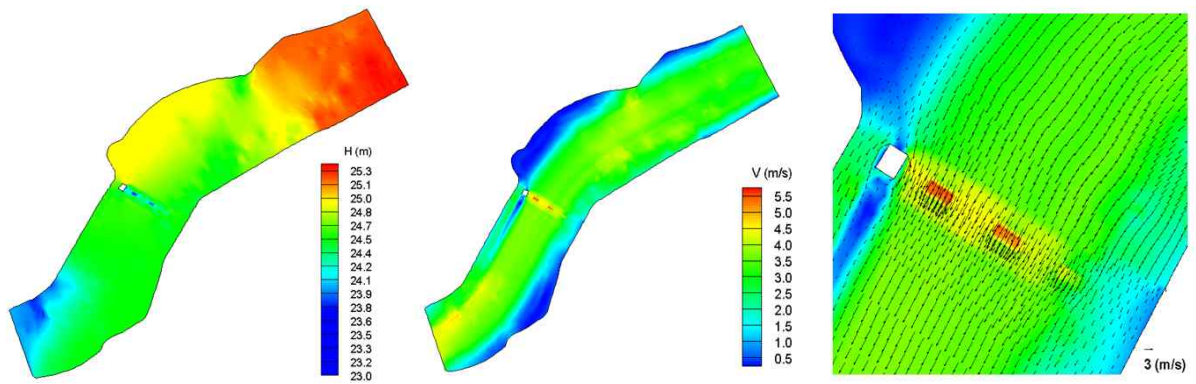


그림 1. 모의구간 격자망 및 하상고      그림 2. 세종보 주변의 격자망 및 하상고

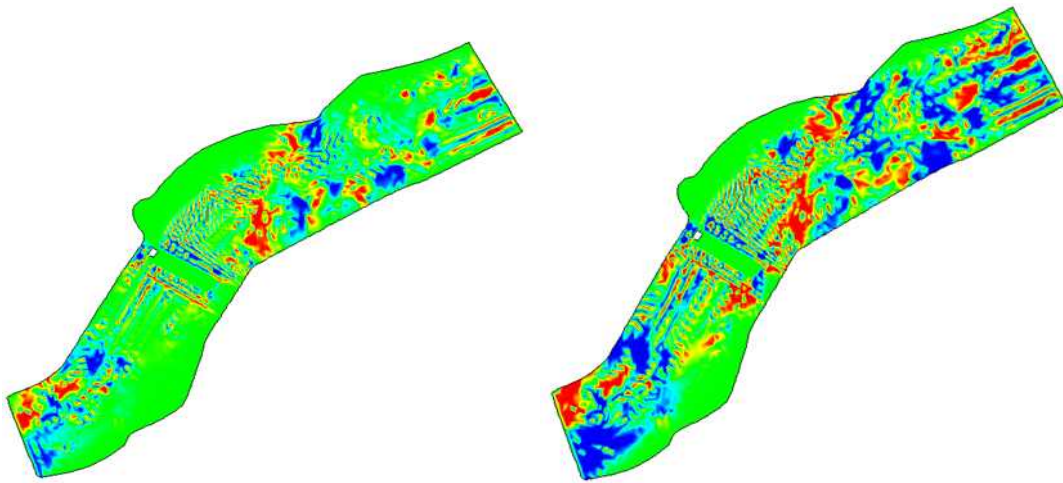


수위분포

평균유속분포

평균유속 벡터도

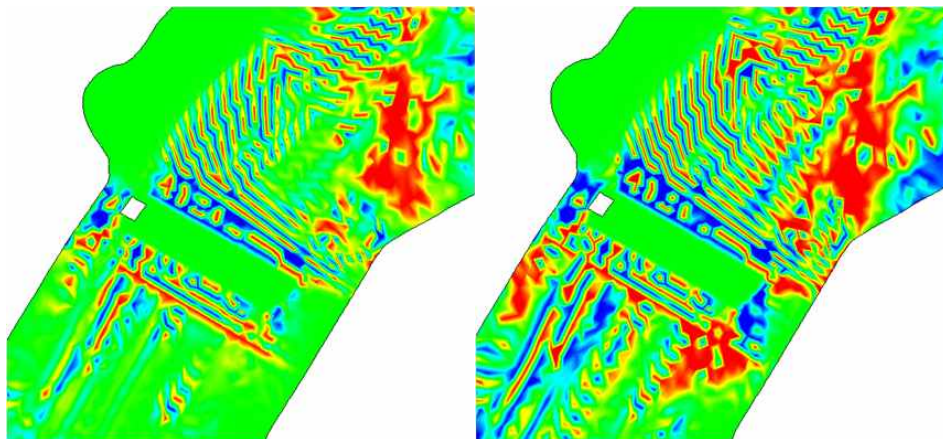
그림3. 고정상 모의 결과



30분 경과

3시간 경과

그림4. 이동상 모의 결과 (전체모의구간)



30분 경과

3시간 경과

그림5. 이동상 모의 결과 (세종보 상하류 구간)