

## 보 개방 후 하도의 지형변동 수치모의 분석 (세종보를 중심으로)

### Numerical Simulation of Geomorphic Changes in the River After Opening of Gates in Sejong Weir

장창래\*, 백태효\*\*

Chang-Lea Jang, Tae Hyo Baek

#### 요 지

본 연구에서는 2차원 수치모형(Nays2DH)을 적용하여 금강 상류에 건설된 세종보를 중심으로 보 개방 후에 홍수량 변화에 의한 하도의 지형변화 과정을 분석하였다. 수치모의를 위한 홍수량은 금남수위표에서 2018년 1월부터 2018년 12월까지 각 시간별 유량을 일반화(normalizing) 하여 하였다. 부정류 홍수량은 2018년 7월의 홍수량 3,341 m<sup>3</sup>/s을 적용하였으며, 부정류의 침두유량(3,341 m<sup>3</sup>/s)이 발생시간은 28시간이고 유출량은 108.1 m<sup>3</sup>/s으로 설정하였다. 수치모의 시간은 120시간으로 설정하여 사주의 발달, 이동, 사주의 형상 및 하도 지형변화를 분석하였다. 침두유량은 2,281 m<sup>3</sup>/s, 2차 침두유량은 3,515 m<sup>3</sup>/s, 3차 침두유량은 4,259 m<sup>3</sup>/s으로 각각 26시간, 107시간, 200시간 동안 발생하는 부정류를 적용하였다. 수치모의 구간은 세종보를 중심으로 상하류 6.5 km 구간을 설정하였으며, 보는 완전히 개방된 것으로 설정하였다. 단일 홍수가 유입될 때 보다, 3개의 홍수가 연속으로 유입될 때에는 보 상류에서 사주의 크기가 크고, 사주의 수가 증가하며, 저수로의 변화가 다양하였다. 흐름이 집중되는 구간에서 하상은 깊게 세굴 되어 하천 구조물의 안정과 주의가 필요하다. 그러나 하도의 다양성과 역동성이 크게 개선되는 특성을 보여주었다. 하상의 종방향 특성을 고려할 때, 세종보 하류에서는 하상고가 상승하는 특성을 보여 주었으나, 하상고가 불규칙한 특성을 보여주었다. 이는 단일홍수에 비해하여 하도의 역동성이 큰 것을 의미한다, 사주의 이동속도는 1차 침두유량일 때 가장 빠르게 나타났지만, 이후 2차 및 3차의 유량이 더 많았지만 사주의 이동속도가 감소하였다. 보를 완전개방 하였을 때는 흐름이 안정화 되어 이동속도 변동폭이 작아졌다.

**핵심용어 : 수치모의, 유량일반화, 부정류, 침두유량**

#### 1. 서론

최근 하천복원을 위한 기능을 상실한 보를 개방하여 흐름을 소통시키고 하천의 상하류 종방향 연결을 회복시키고 있다. 보를 개방하면서 하천에서 흐름이 변하면서 보상류에 퇴적된 유사가 하류로 이동하고, 보 상류와 하류에서 사주가 발생하며 하도 지형이 회복된다. 유량의 변화에 따라 사주(교호사주와 복렬사주)가 발달하고, 이동하며, 그 형상이 다양하게 변화하면서 하도의 역동성과 다양성이 향상된다.

하천에서 하천의 평면형상을 결정하는 중요한 요인으로는 이동성이 있는 교호사주(alternate bar) 등과 같은 자유사주(free bar)와 하천의 만곡부 내측에서의 퇴적과 외측에서의 세굴 등을 발생하며, 사주의 이동이 없는 고정사주(point bar)가 있다 (Seminar and Tubino, 1989). Whiting 등 (1993)은 Kinoshita 등 (1974)의 연구를 토대로 사인곡선으로 재현된 사행하천에서 사행의 곡률반경, 과장, 그리고 하폭 대 중심의

\* 정회원 · 한국교통대학교 토목공학전공 교수 · E-mail : [cjang@ut.ac.kr](mailto:cjang@ut.ac.kr)

\*\* 학생회원 · 한국교통대학교 토목공학전공 석사과정 · E-mail : [baektaehyo@ut.ac.kr](mailto:baektaehyo@ut.ac.kr)

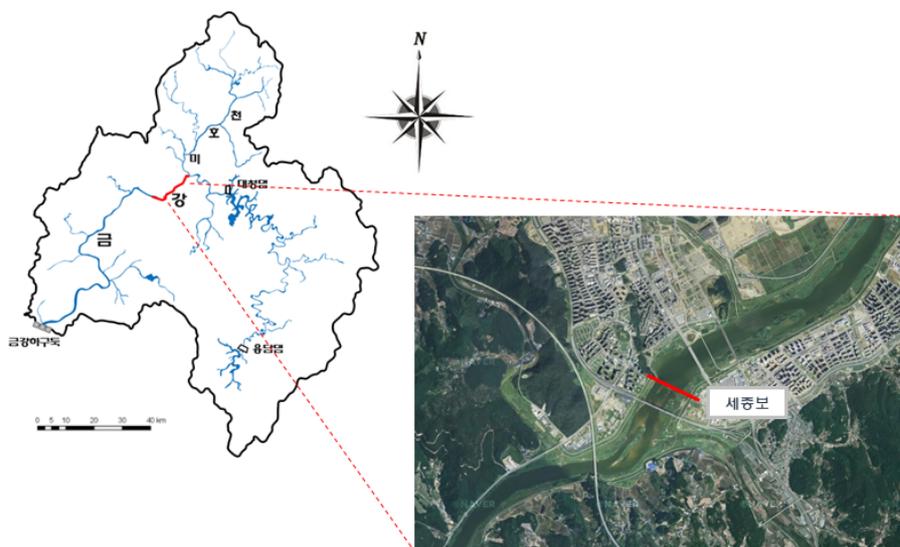


그림 1 연구대상 및 범위

비가 사행의 이동에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였으나, 사주가 이동한계에 접근할 때 사주의 이동속도가 감소되는 현상에 대한 정량적인 연구가 필요하다. Jang and Shimizu (2005)는 하천에서 식생에 의해 영향을 받는 하안의 강도에 따른 사주의 거동 특성을 수치모형을 이용하여 식생의 변성에 의해 하안이 안정화 될수록 사주의 이동속도가 빠르며, 사주의 과장이 짧아지는 것을 설명하였다.

최근에서 대하천에서 건설된 보를 개방하면서 이에 대한 예측, 정량적인 조사나 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 하천의 하상변동 분석을 위해 정교한 수치모형인 Nays2DH를 이용하여 세종보를 중심으로 하류 하천에서 사주의 발달, 이동, 형상의 변화 및 하천의 지형변화를 분석하고, 하도의 역동성을 평가하였다. 모의 구간은 금강 세종보 구간으로 유역면적은 6,942 km<sup>2</sup>이고, 세종보 상·하류 약 6.5 km 구간을 대상으로 모의하였다 (그림 1).

## 2. 수치모의를 위한 수리학적 조건

수치모의를 위하여 상류 경계조건으로 상류에서 유입되는 시간별 유량을 일반화(normalizing)하여 부정류로 설정하였다. 유량을 일반화하기 위하여 세종보 상류에 있는 금남수위표 유량을 보 개방 후 수리학적 조건을 최대한 충족시킬 수 있는 2018년도 1월부터 2018년도 12월까지 기간을 선정하여 이를 시유량(hour discharge)으로 분석하였다. 침두유량이 있는 일정 기간을 설정하여 유량을 선정하고, 각 침두유량이 같은 기간(행)에 있도록 나열하였다. 그리고 각 구간별 시 유량을 각 구간별 침두유량으로 나누게 되면, 침두유량이 발생하는 시간의 값이 “1”이 되게 된다. 값 “1”을 기준으로 같은 행에 대한 값들을 평균하게 되면 그 유역에 맞는 단위유량도를 산정하였다 (그림 3).

본 연구에서 유량은 Run-1(부분개방)와 Run-2(완전개방)는 단일 홍수량으로 하나의 침두유량으로 지속되는 것으로 선정하였으며, Run-3(부분개방)과 Run-4(완전개방)는 실제 상황을 반영하여 3연속 홍수량으로 총 3차례의 침두유량이 지속되는 것으로 설정하였다. Run-1와 Run-2의 유량은 침두유량 3,341 m<sup>3</sup>/s인 7월 2일 유량을 적용하였다. 유출량은 108.07 m<sup>3</sup>/s이고, 모의시간은 120 시간이다 (그림 4). Run3와 Run-4의 유량은 8월 28일부터 9월5일까지 발생한 3연속 홍수량의 유량으로 1차 침두유량은 2,281 m<sup>3</sup>/s, 2차 침두유량은 3,515 m<sup>3</sup>/s, 3차 침두유량은 4,259 m<sup>3</sup>/s로 유출량은 131.77 m<sup>3</sup>/s이고, 모의시간은 300 시간이다 (그림 5). 하상토 입경은 세종보 구간 0.52 mm이고, 조도계수는 0.027이다 .

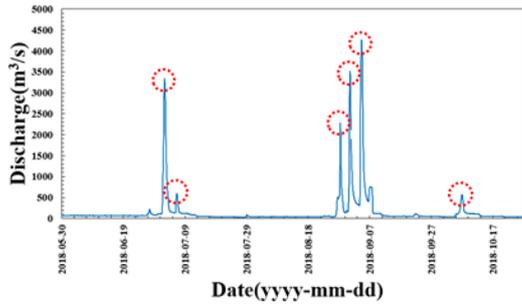


그림 2 금남수위표 유량(2018.1~2018.12)

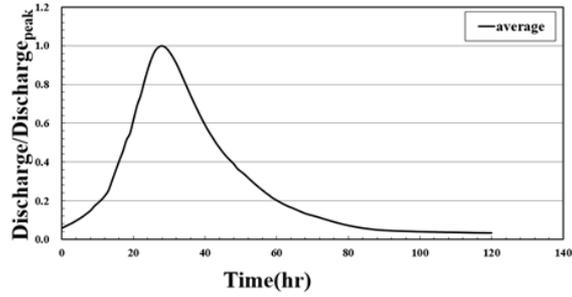


그림 3 부정류 모의를 위한 단위유량도

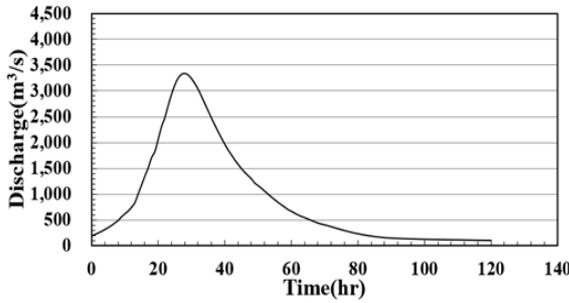


그림 4 단일 홍수 유입유량 (Run-1과 2)

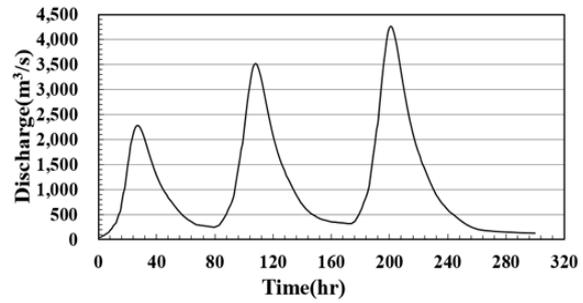
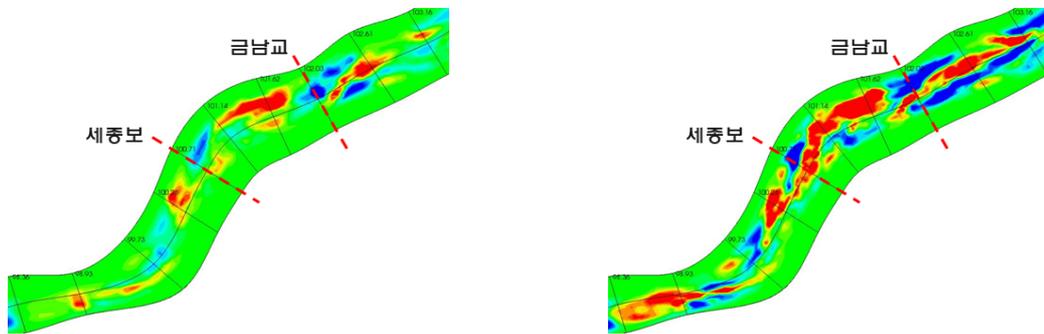


그림 5 연속 홍수 유량(Run-3과 4)

### 3. 수치모의 결과 분석 및 고찰

#### 3.1 하상 및 지형변화 특성

그림 6은 Run-2와 Run-4에 대한 사주의 발달과 하도의 지형변화 수치모의 결과를 보여주고 있다. 단일 홍수에 대하여 보가 완전히 개방된 상태인 Run-2에서, 복렬사주가 금남교 상류에서 발달하였다. 특히, 저수로와 저수로가 합류되면서 하상이 깊게 세굴되는 세굴공(scour hole)이 3곳에서 발달하였다 (그림 6(a)). 세굴공은수심의 3배 이상이 되며, 사주가 이동하거나 변하면서 그 위치와 크기도 변한다. 이는 하도관리를 하는데 중요한 요소가 된다. 만곡부가 형성된 금남교 하류 구간에서 하도의 형상을 따라 중앙사주가 발달하였다. 이는 만곡부에서 흐름을 만곡부 외측으로 집중시키면서 수충부를 형성하여 하안침식과 홍수터에서 유사를 퇴적시키는 역할을 하게 된다. 이는 하도관리에 주의가 필요하다.

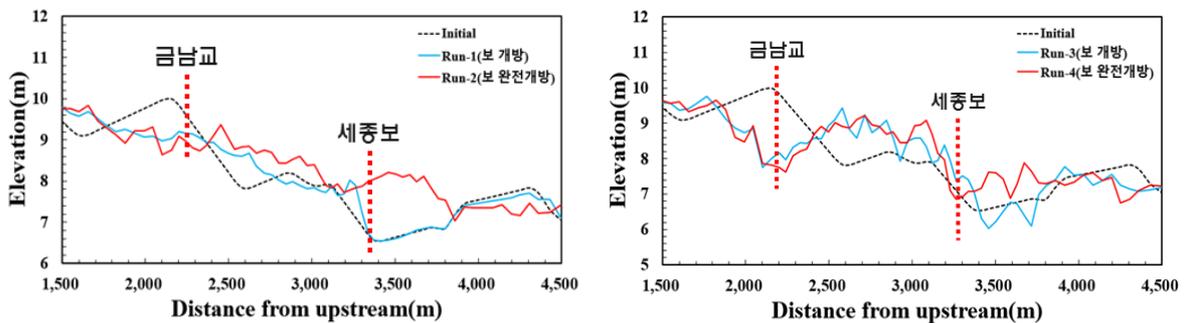


(a) Run-2

(b) Run-4

그림 6 수치모의 결과(하도의 사주 및 지형변화)

세종보 지점 좌안에서 하상은 깊게 세굴되고, 우안에서는 복렬사주가 발달하고 있다. 이것은 소수력 발전을 할 수 있는 좌안에서 하상고 저하에 의한 수리구조물의 안전을 고려해야 한다. 우안에서는 사주가 발달하고 있으며, 사주의 역동성과 다양성이 창출되는 특성이 나타난다. 3개의 홍수가 연속으로 유입될 때에는 보 상류에서 사주의 크기가 크고, 사주의 수가 증가하며, 저수로의 변화가 다양하였다. 세종보 우안에서 하상은 깊게 세굴되어 하천구조물의 안정과 주의가 필요하다. 그러나 하도의 다양성과 역동성이 크게 개선되는 특성을 보여주었다 (그림 6(b)). 그림 7은 각 수리학적 조건에 따른 하도의 종방향 변화를 보여주고 있다. Run-1과 Run-2에 대하여 금남교 지점에서 하상이 1 m 이상 저하되었다. 그러나 상류 2,500 m 지점에서는 하상고가 상승하였다. 특히 세종보 하류인 3,500 m 지점에서는 하상고가 2 m 이상 상승하였다. 이러한 원인 세종보 건설로 인하여 보 하류에서는 상류에서 유입되는 유사가 차단되고 흐름이 집중되어 하상이 저하되었으나, 보의 개방으로 상류에서 유사가 다시 유입되고 흐름이 분산되면서 하상고가 상승하는 특성을 보여주었다. 4,000 m 하류에서는 보의 개방 전과 후에 변화가 거의 없이 하상이 안정적인 특성을 보여주었다 (그림 7(a)). 홍수가 연속적으로 유입될 때, 금남교 상류에서는 Run-3에 대하여 하상고가 1.67 m 저하되었고, Run-4에 대하여 2.09 m 저하 되었다. 그러나 세종보 하류에서는 하상고가 상승하는 특성을 보여 주었으나, 하상고가 불규칙한 특성을 보여주었다 (그림 7(b)). 이는 단일홍수에 비해하여 하도의 역동성이 큰 것을 의미한다.



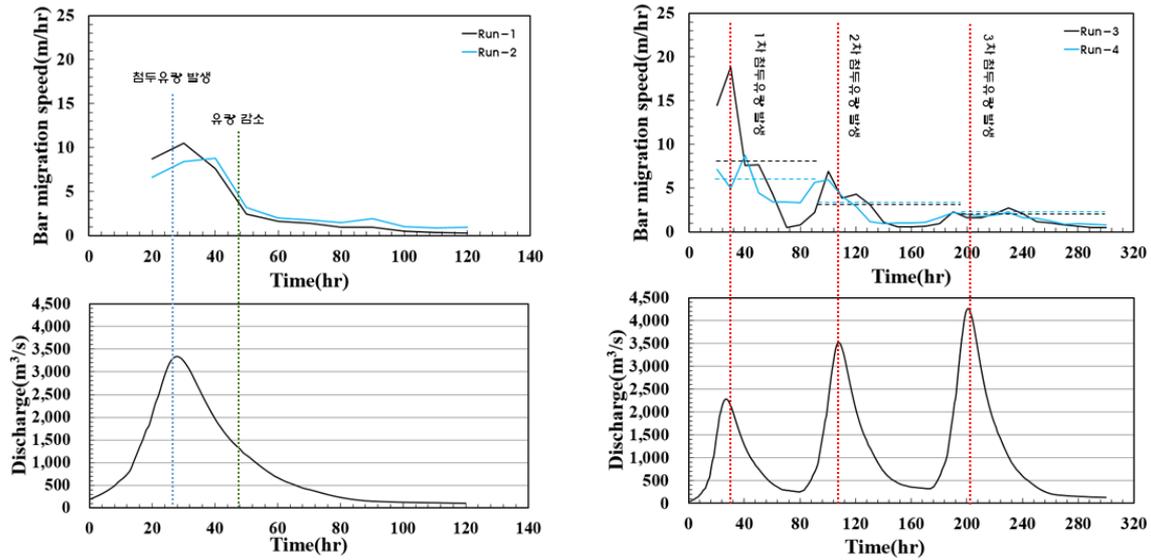
(a) Run-1 와 Run-2

(b) Run-3와 Run-4

그림 7 하도의 종단변화

### 3.2 사주의 발달 및 이동 특성

그림 8은 각 홍수에 대한 사주의 이동속도를 보여주고 있다. Run-1에 대하여 첨두유량(3,341 m<sup>3</sup>/s)이 발생할 때 사주의 이동속도가 10.5 m/hr로 최대가 되었다. 그러나 유량이 감소하면서 50 hours 이후에는 사주의 이동속도가 감소하였으며, 120 hours 이후에는 이동속도가 0.3 mm/hr가 되면서 사주의 이동이 거의 없었다. Run-2에 대하여 첨두유량(3,341 m<sup>3</sup>/s)이 발생할 때 사주의 이동속도가 8.5 m/hr이며, 40 hours 이후에는 8.8 m/hr로 최대가 되었으며, 이를 보면 보를 완전 개방하였을 때 첨두유량의 영향이 지속되는 것을 확인할 수 있다. 유출량(108.07 m<sup>3</sup>/s)일 때 사주의 이동속도는 0.9 m/hr로 Run-1보다 빠른 속도로 확인되었다 (그림 8(a)). 그림 8(b)는 Run-3와 Run-4에서 대하여 홍수가 연속적으로 발생하였을 때, 사주의 이동속도를 보여주고 있다. Run-3는 1차 첨두유량(2,281 m<sup>3</sup>/s)이 발생하였을 때 사주 이동속도가 18.87 m/hr으로 최대로 나타났고, 1차 홍수구간의 평균 이동속도는 7.72 m/hr이다. 2차 첨두유량(3,515 m<sup>3</sup>/s)이 발생하였을 때는 1차 첨두유량(2,281 m<sup>3</sup>/s)일 때 보다 유량이 컸지만 사주의 이동속도가 6.89 m/hr로 감소하였고, 2차 홍수구간의 평균 이동속도는 5.06 m/hr 이다. 3차 첨두유량(4,259 m<sup>3</sup>/s)일 때는 유량이 최대였지만 사주의 이동속도가 큰 변화가 없이 2.71 m/hr이고, 3차 홍수구간의 평균 이동속도는 1.52 m/hr이다. Run-4에서는 초기에 Run-3보다 사주의 이동속도가 작았으나, 2차와 3차 호우에는 거의 일치하는 특성을 보여주었다.



(a) Run-1과 Run-2

(b) Run-3과 Run-4

그림 8 각 홍수에 대한 사주의 이동 속도

#### 4. 결론

본 연구에서는 2차원 수리모형인 Nays2DH를 이용하여 세종보를 중심으로 모의를 실시하여, 보 개방 상태에 따른 하상변동과 사주의 이동속도를 분석하였다. 단일 홍수가 유입될 때 보다, 3개의 홍수가 연속으로 유입될 때에는 보 상류에서 사주의 크기가 크고, 사주의 수가 증가하며, 저수로의 변화가 다양하였다. 흐름이 집중되는 구간에서 하상은 깊게 세굴 되어 하천구조물의 안정과 주의가 필요하다. 그러나 하도의 다양성과 역동성이 크게 개선되는 특성을 보여주었다. 하상의 종방향 특성을 고려할 때, 세종보 하류에서는 하상고가 상승하는 특성을 보여 주었으나, 하상고가 불규칙한 특성을 보여주었다. 이는 단일홍수에 비해하여 하도의 역동성이 큰 것을 의미한다, 사주의 이동속도는 1차 첨두유량일 때 가장 빠르게 나타났지만, 이후 2차 및 3차의 유량이 더 많았지만 사주의 이동속도가 감소하였다. 보를 완전개방 하였을 때는 흐름이 안정화 되어 이동속도 변동폭이 작아졌다.

#### 감사의 글

본 연구는 2019년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2017R1D1A1B03032083)에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

1. Jang, C.-L. and Shimizu, Y. (2005), "Numerical simulations of the behavior of alternate bars with different bank strengths." Journal of Hydraulic Research, IAHR, vol 43, No. 6, 595-611.
2. Seminara, G., and Tubino, M. (1989) Alternate bars and meandering: Free, forced, and mixed interactions, in River Meandering, Water Resour. Monogr. Ser., vol 12(edited by S. Ikeda and G. Parker), 267-319, AGU.
3. Whiting, P. J, and W. Dietrich. (1993). " Experimental constraints on bar migration through bends: Implications for meander wavelength selection. Water Resour. Res., Vol. 29, No. 4, pp. 1091-1102.