일차원 하천 흐름모형 SNS의 개발

Development of One Dimensional Open Channel Flow Model : SNS

김 원*, 김종우**

Won Kim, Jong Woo Kim

요 지

본 연구에서는 새로운 일차원 하천 흐름모형인 SNS(Super- aNd Sub critical flow model)를 개발하였다. 이 모형은 연속방정식과 운동량방정식을 상류이송기법을 이용하여 해석하고, 생성항을 처리할 수 있는 특별한 기법을 사용하고 있다. SNS 모형은 보나 여수로 등에서 발생하는 불연속 흐름을 모두 해석할 수 있고, 우리나라와 같이 하상의 변화가 매우 심한 하천에서도 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서 개발한 SNS 모형은 우리나라 하천에서와 같이 하상의 변화가 매우 심하고, 보와 같은 구조물이 많이 설치되어 있는 하천에서 추가적인 작업없이 바로 적용할 수 있다. 또한 댐 여수로와 같이 매우 빠른 흐름, 도수가 발생하는 흐름에서도 추가적인 내부경계조건없이 다양한 조건의 흐름을 해석할 수 있는 장점이 있다. 부정류 상태의 다양한 흐름을 모의할 수 있고, 상하류 경계조건을 고정하여 부등류를 모의할 수도 있다.

본 연구에서 개발한 SNS 모형은 우리나라의 특별한 상황에 대한 고려가 미흡하였던 기존의 모형에 비해 여러 가지 장점을 지니고 있기 때문에 국내 하천의 다양한 흐름조건에 널리 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : SNS 모형, 하천 흐름 해석, 일차원 모형, 불연속 흐름, 여수로

1. 서론

우리나라에서 하천정비기본계획 등을 위해 일반적으로 사용되고 있는 하천흐름 해석 모형은 HEC-RAS이다. HEC-RAS는 기존의 부등류 해석모형인 HEC-2 모형을 개선하여 부정류까지 해석할 수 있는 모형으로, 부등류 해석을 위해 에너지방정식을 이용하며 표준축차 계산법에 의해 수위를 계산한다. 부정류에 대해서는 연속방정식과 운동량방정식을 4점 음해법에 의해 해석하는 이 모형은 점변류를 대상으로 하기 때문에 하천구조물 주위 등에서 발생하는 급변류를 해석할 수 없으며, 비교적 완만한 경사의 하천에 적용해야 한다. 특히, 보나 댐의 여수로 등에서 발생하는 불연속 흐름을 해석할 수 없다. 또한 하상의 변화가 심한 경우에는 부정류 해석에 매우 큰 불안정성이 발생하는 문제도 있다.

이와 같은 한계로 인해 우리나라와 같이 하상의 변화가 매우 심하며, 취수를 위한 하천 횡단구조물에 의해 급변류가 발생하고, 평상시 유량이 매우 작은 하천에서는 HEC-RAS 모형의 적용에 많은 한계가 있는 것이 사실이다. 김원과 한건연(2000)은 상류이송기법을 이용하여 불연속흐름을 해석할 수 있는 기법을 개발한 바 있으며, 이를 바탕으로 생성항의 효율적인 처리기법을 개발하여 자연하천의 흐름을 해석할 수 있는 기법도 개발한 바 있다(김원 등, 2005).

본 연구에서는 상류이송기법과 생성항 처리기법을 이용하여 우리나라 하천 특성에 적합한 일차원 하천흐름 모형인 SNS(Super- aNd Sub- critical flow) 모형을 개발하였다.

* 정회원・한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원・E-mail : wonkim@kict.re.kr
** 정회원・한국건설기술연구원 수자원연구부 박사후연구원・E-mail : jw-kim@kict.re.kr

2. SNS 모형의 기본 이론

1차원 하천흐름의 지배방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \boldsymbol{U}}{\partial t}+\frac{\partial \boldsymbol{F}}{\partial x}+\boldsymbol{S}=\boldsymbol{0} \tag{1}$$

여기서

$$\boldsymbol{U}=\begin{pmatrix} A \\ Q \end{pmatrix};\ \boldsymbol{F}=\begin{pmatrix} Q \\ \frac{Q^2}{A}+gI_1 \end{pmatrix};\ \boldsymbol{S}=\begin{pmatrix} -q \\ -gI_2-gA(S_o-S_f) \end{pmatrix} \tag{2}$$

식 (1)과 (2)에서 A = 단면적, Q = 유량, g = 중력가속도이며, I_1은 단면에 작용하는 정수압력을 나타내는 것으로 다음 식으로 표현된다.

$$I_1=\int_0^{h(x,t)}\{h(x,t)-\eta\}\,\beta(x,\eta)\,d\eta \tag{3}$$

여기서 h는 수심이며, β는 수심 η에서의 수면폭으로 다음과 같이 나타난다.

$$\beta(x,\eta)=\frac{\partial A(x,\,t)}{\partial \eta} \tag{4}$$

식 (2)에서 q는 지류 횡유입량을 나타내며, I_2는 하도 단면의 축소 또는 확대로 인해 발생하는 힘을 나타내는 것으로 다음 식으로 정의된다.

$$I_2=\int_0^{h(x,t)}\{h(x,t)-\eta\}\ \frac{\partial \beta(x,\eta)}{\partial x}d\eta \tag{5}$$

또한 S_o는 하상바닥경사이며 S_f는 마찰경사로서 Mannning 식에 의해서 정의될 수 있다.

본 연구에서는 상류이송기법과 생성항 처리기법을 이용하여 다음과 같이 차분방정식을 구성하였다.

$$\left[\boldsymbol{I}+\Delta t\alpha\left(\frac{\partial \boldsymbol{J}^{+n}}{\partial x}+\frac{\partial \boldsymbol{J}^{-n}}{\partial x}+\boldsymbol{G}^n\right)\right]\Delta \boldsymbol{U}^{n+1}=-\Delta t\left\{\left(\hat{\boldsymbol{j}}^{+}+\hat{\boldsymbol{j}}^{-}\right)\frac{\partial \boldsymbol{F}}{\partial x}+\left(\hat{\boldsymbol{j}}^{+}+\hat{\boldsymbol{j}}^{-}\right)\boldsymbol{S}\right\}^n \tag{6}$$

3. SNS 모형의 구성 및 기능

3.1 SNS 모형의 구성

SNS 모형은 크게 다음과 같이 구성된다.

○ 단면자료 입력부 : HEC-2나 HEC-RAS 형태의 입력, 또는 임의형태로 단면자료 입력
○ 단면자료 처리부 : 단면의 수정, 보완, 추가, 삭제, 내삽 등 단면 처리
○ 모형자료 입력부 : 모형의 입력변수, 조도계수, 초기조건, 경계조건, 측정수위 등의 입력
○ 모형 실행부 : 모형의 실행
○ 결과 표출부 : 테이블 형태의 결과, 종단도, 수문곡선, 수위-유량관계, 단면 수위 등의 표출

그림 1 메인 화면

그림 2 조도계수 입력 화면

그림 3 경계조건 입력 화면

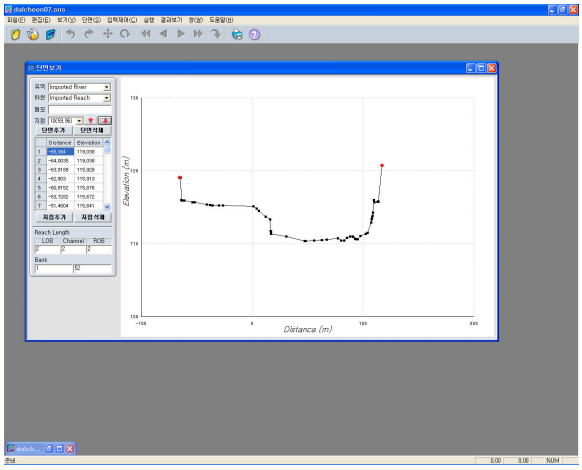

그림 4 단면자료 처리 화면

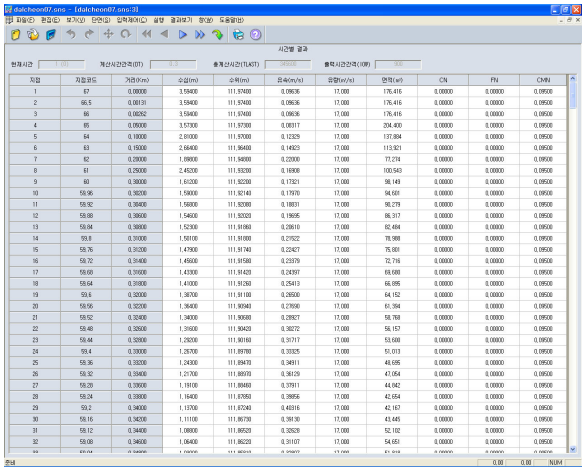

그림 5 결과 테이블

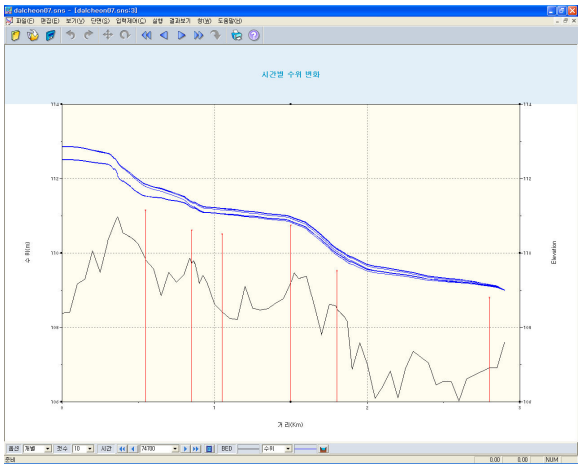

그림 6 수위종단도 결과 화면

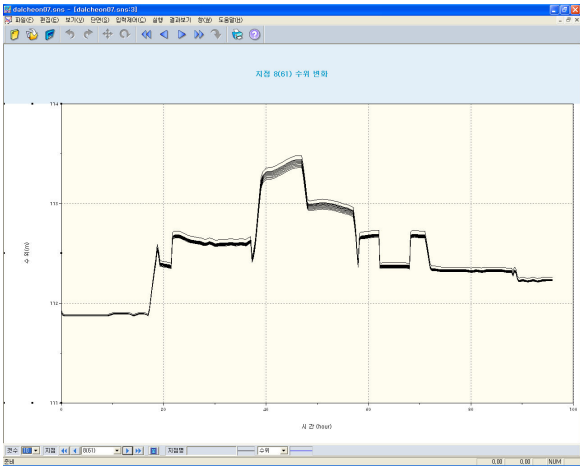

그림 7 수문곡선 결과 화면

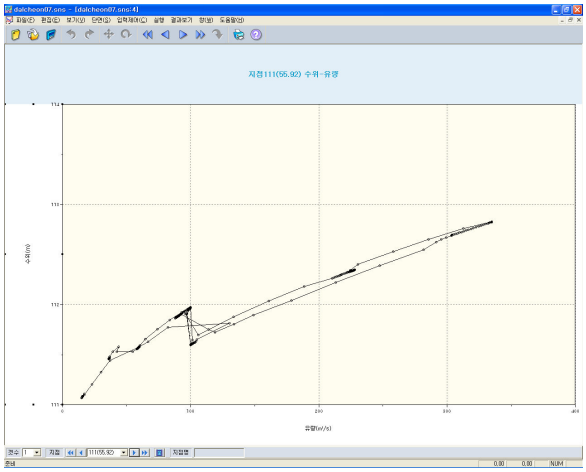

그림 8 수위-유량관계 결과 화면

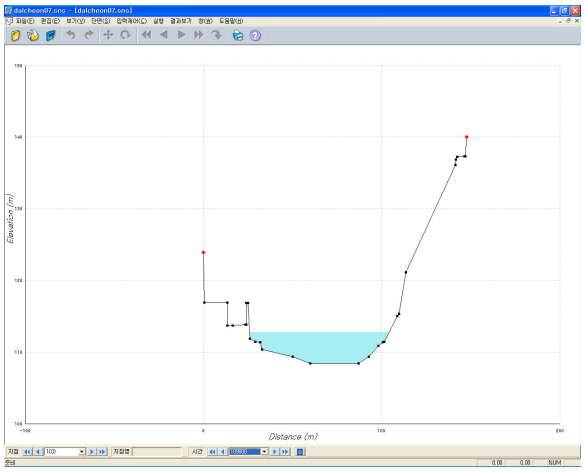

그림 9 단면 수위 결과 화면

3.2 SNS 모형의 기능

본 연구에서 개발된 SNS 모형의 주요 기능은 다음과 같다.

① 정상류(steady flow) 및 비정상류(unsteady flow) 모의

SNS 모형은 정상류 뿐만아니라 비정상류의 모의가 가능하다. 상하류단에 경계조건을 부여할 수 있으며 이를 바탕으로 비정상류의 모의도 가능하다.

② 댐붕괴파 모의

SNS 모형은 댐붕괴로 인해 발생하는 급변류의 모의가 가능하다.

③ 연속 및 불연속 흐름 모의

SNS 모형은 연속 및 불연속 흐름에 대한 모의를 특별한 내부 또는 외부의 추가적인 조건 입력없이 자동적으로 계산할 수 있다. 따라서 대상구간내의 임의지점에서 임의시간에 발생하는 불연속 흐름을 아무런 조건없이 자동적으로 계산할 수 있다.

④ 보를 월류하는 불연속 흐름 모의

SNS 모형은 추가적인 내부 경계조건없이 하천에 설치된 보를 넘으면서 발생하는 불연속 흐름에 대한 모의가 가능하다. 보 지점에 대한 단면형상의 입력만으로도 보 지점에서 발생하는 불연속 흐름의 계산이 가능하다.

⑤ 댐 여수로 흐름 모의

SNS 모형은 내부의 특별한 경계조건없이 댐 여수로에서 발생하는 매우 빠르고, 도수가 발생하는 흐름의 자동적인 모의가 가능하다. 뿐만아니라 댐 저수지 상류 하천에서 저수지, 여수로, 도수, 하류 하천으로 이어지는 전체 흐름을 지형조건만을 이용하여 동시에 계산할 수 있다.

⑥ 자연하천에서 발생하는 흐름 모의

SNS 모형은 매우 불규칙한 단면을 가진 자연하천의 흐름을 최심하상고나 단면의 보정없이 있는 그대로의 단면을 이용하여 흐름을 계산할 수 있다.

⑦ HEC 단면 자료의 이용

SNS 모형은 가장 중요한 입력자료인 단면자료를 내부에서 입력하거나 기존의 HEC-2 또는 HEC-RAS 파일을 그대로 사용할 수 있다.

⑧ 조도계수 입력

SNS 모형은 구간별, 수심별로 자유스럽게 조도계수를 설정할 수 있다.

⑨ 기타

SNS 모형은 단면의 복사, 내삽, 추가, 삭제, 수정 등이 자유로우며, 전체적인 단면의 3차원 보기가 가능하다. 또한 다양한 형태로 결과의 표출이 가능하며, 애니메이션 기능을 보유하고 있어 연속적인 변화를 나타낼 수 있는 기능이 있다.

4. 결론

본 연구에서는 일차원 하천흐름모형을 새로이 개발하였다. 본 연구에서 개발한 SNS 모형은 기존에 널리 사용되는 모형과는 달리 다양한 하천조건을 있는 그대로 쉽게 반영할 수 있으며, 하천에서 발생하는 다양한 흐름의 모의가 가능한 특징을 지니고 있다. 특히 SNS 모형은 우리나라 하천 지형 특성을 정확하게 반영할 수 있는 특징이 있기 때문에 하천정비기본계획의 수립, 댐 여수로 설계, 보 등 하천구조물 설계 뿐만아니라 홍수예보 등을 위해서도 널리 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 과학기술부가 출연하고 한국과학재단에서 위탁시행한 2005년도 특정연구개발사업중 “웹기반 홍수정보시스템 Prototype 개발사업”(과제번호 : M1-0402-02-0002-04-002-02-000-00)에 의한 것으로 관계 당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김원, 한건연 (2000). “고정확도 수치기법을 이용한 하천 천이류 해석 Ⅰ : 모형개발.” 한국수자원학회 논문집, 제34권, 제1호, pp. 45-55.
2. 김원, 한건연, 우효섭, 최규현 (2005). “상류이송기법에서의 새로운 생성항 처리 기법.” 한국수자원학회 논문집, 제38권, 제2호, pp. 155-66.