

수위경계조건을 사용한 감조하천의 비정상 이차원 흐름모델링

Two-dimensional Unsteady Flow Modeling for a Tidal River Using Water Stage Boundary Conditions

이 남 주

경성대학교

Nam-Joo Lee

Kyungsoong University

요약

감조하천에 대한 이차원 모델링 연구의 대부분은 상류 경계조건은 유량을 사용하고 있으며, 상류경계에서 역류가 발생하는 감조하천의 경우 상류로 갈수록 오차가 커지는 단점을 가지고 있다. 이런 오차를 줄이기 위해서는 상하류 모두 수위 경계조건을 사용하는 것이 바람직하다. 이 연구는 평상시에 역류가 발생하는 한강하구부터 전류수위표까지의 구간에 대해 수위 경계조건을 사용하여 이차원 흐름모델링을 수행하고, 수위-수위 경계조건 적용성으로 검토하기 위해 수행하였다. 대규모 홍수에 대한 흐름 모형의 보정을 위해 2002년 8월 7일 6시부터 8월 10일 22시까지 88시간 동안 행주대교 관측소의 수위 기록을 사용하여 수치모형에 대한 보정을 수행하였다. 행주대교 관측소의 수위 예측 결과는 Manning 계수가 커질수록 수위가 높아짐을 알 수 있었다. 비홍수기 흐름에 대한 수치모형의 보정을 위해, 2007년 7월 10일부터 7월 19일까지 약 201시간 동안 한강대교와 전류관측소의 수위 관측자료를 사용하였다. 행주대교 관측소에서 수위 관측치와 예측치의 RMS 오차가 최소가 되도록 Manning 계수와 Belanger 법칙의 유량계수를 각각 0.050과 0.86으로 결정하였다.

■ Keyword: KU-RLMS 모형, 감조하천, 수위경계조건

I. 서론

한강은 황해로 흘러나가는 우리나라 하천 중에서 그 규모가 가장 크고 하구둑이 없기 때문에 그 특징이 더욱 두드러진다. 김승용[1]과 김창원[2]은 한강대교에서 전류수위표까지의 한강 하류부에 RMA2 모형을 사용하여 홍수류와 조석에 의한 흐름을 해석한 바 있다. 송창근 등[3]은 신흥수중보에서 월곶면 유도까지의 영역에 대해 RAM2 모형의 사용하여 흐름을 예측하였다. 대부분의 감조하천에 대한 이차원 모델링 연구는 하류 경계조건으로 조위를 사용하고, 상류 경계조건은 유량을 사용하고 있다. 상류경계에서 역류가 발생하는 감조하천의 경우는 상류로 갈수록 오차가 커지는 단점을 가지고 있다. 이 연구는 평상시에 역류가 발생하는 한강하구부터 전류수위표까지의 구간에 대해 수위 경계조건을 사용하여 이차원 흐름모델링을 수행하고, 수위-수위 경계조건 적용성으로 검토하기 위해 수행하였다.

II. KU-RLMS 모형의 기본이론

KU-RLMS 모형[4]의 흐름 계산에는 다음과 같은 수심적분된 천수방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hU) + \frac{\partial}{\partial y}(hV) = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU) + \frac{\partial}{\partial x}(hU^2) + \frac{\partial}{\partial y}(hUV) \quad (1b)$$

$$= FhV - gh \frac{\partial}{\partial x}(h + z_b) + \frac{1}{\rho}(\tau_{w1} - \tau_{b1}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x}(hT_{11}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y}(hT_{12})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hV) + \frac{\partial}{\partial x}(hUV) + \frac{\partial}{\partial y}(hV^2) \quad (1c)$$

$$= -FhU - gh \frac{\partial}{\partial y}(h + z_b) + \frac{1}{\rho}(\tau_{w2} - \tau_{b2}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x}(hT_{12}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y}(hT_{22})$$

여기서, x , y 는 수평면상의 공간좌표, t 는 시간, F 는 Coriolis 상수, g 는 중력가속도, h 는 수심, z_b 는 하상고, ρ 는 물의 밀도이며, U 와 V 는 방향의 수심평균 유속 성분, τ_{b1} 과 τ_{b2} 는 각각 방향의 바닥 전단응력, τ_{w1} 과 τ_{w2} 는 각각 방향의 바람에 의한 응력, T_{11} , T_{12} , T_{22} 는 유효응력이다. 유체의 난류유동에 기인한 난류 확산항은 Ponce and Yabusaki 방법[5]을 사용하여 유효전단응력을 간접적으로 고려한다.

III. 수치모형의 적용

수치격자는 31×251 개의 엇갈린 격자(staggered grid)로 구성하였다. 직교곡선격자를 사용하는 계산격자 망에서 공간격자 간격은 $\Delta\xi$ 와 $\Delta\eta$ 는 둘 다 200 m이고,

정상류 흐름을 계산하기 위한 시간간격 Δt 는 0.5 s이다.

대규모 홍수에 대한 흐름 모형의 보정을 위해 2002년 8월 7일 6시부터 8월 10일 22시까지 88시간 동안 행주대교 관측소의 수위 기록을 사용하여 수치모형에 대한 보정을 수행하였다. 보정 조건 별 흐름 예측 결과를 그림 1에 도시하였다. 그림에서 행주대교 관측소의 수위 예측 결과는 Manning 계수가 커질수록 수위가 높아짐을 알 수 있다. 침투유량 발생 시점에서 행주대교 관측소의 실측 수위 변화는 미세한 세 개의 파봉으로 나타나나 수치모형에서는 이런 현상이 재현되지 않는다.

평상시(비홍수기) 흐름에 대한 수치모형의 보정을 위해, 2007년 7월 10일부터 7월 19일까지 약 201시간 동안 한강대교와 전류관측소의 수위 관측자료를 사용하였다. 평시 흐름의 경우 조위에 따라 신곡수중보에서 역류가 발생할 수 있는데, 이때 흐름의 해석을 위해 광정위어 월류 흐름에 대한 고려가 필요하다. 이 연구에서는 Belanger 법칙을 내부경계로 사용할 수 있도록 모형을 보완하여 평시 흐름을 해석하였다. 행주대교 관측소에서 수위 관측치와 예측치의 RMS 오차가 최소가 되도록 Manning 계수와 Belanger 법칙의 유량계수를 각각 0.050과 0.86으로 결정하였으며, 그 결과를 도시하면 그림 2와 같다. 그림에서 행주대교 관측소의 관측 수위는 해발 2,580 ~ 3,989 m 범위에 있었으며, 수치모형에 의한 수위 계산치는 해발 2,603 ~ 3,736 m 범위에 있었다.

IV. 결론 및 향후 연구

이 연구는 평상시에 역류가 발생하는 한강하구부터 전류수위표까지의 구간에 대해 수위 경계조건을 사용하여 이차원 흐름모델링을 수행하고, 수위-수위 경계조건의 적용성으로 검토하기 위해 수행하였다.

대규모 홍수에 대한 흐름 모형의 보정을 위해 2002년 8월 7일 6시부터 8월 10일 22시까지 88시간 동안 행주대교 관측소의 수위 기록을 사용하여 수치모형에 대한 보정을 수행하였다. 행주대교 관측소의 수위 예측 결과는 Manning 계수에 지배됨을 확인할 수 있으며, Manning 계수가 커질수록 수위가 높아짐을 알 수 있었다. 비홍수기 흐름에 대한 수치모형의 보정을 위해, 2007년 7월 10일부터 7월 19일까지 약 201시간 동안 한강대교와 전류관측소의 수위 관측자료를 사용하였다. 행주대교 관측소에서 수위 관측치와 예측치의 RMS 오차가 최소가 되도록 Manning 계수와 Belanger 법칙의 유량계수를 각각 0.050과 0.86으로 결정하였다.

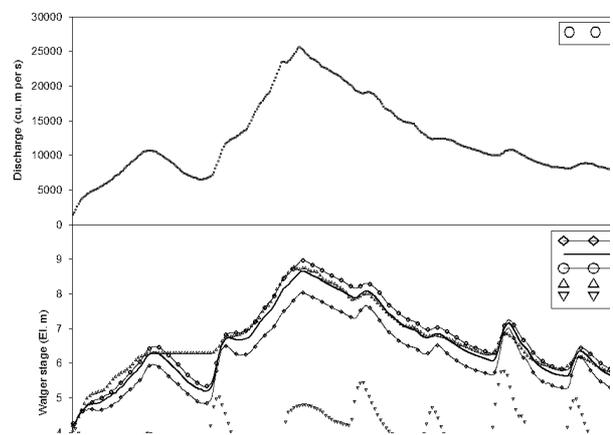
■ 감사의 글 ■

이 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에

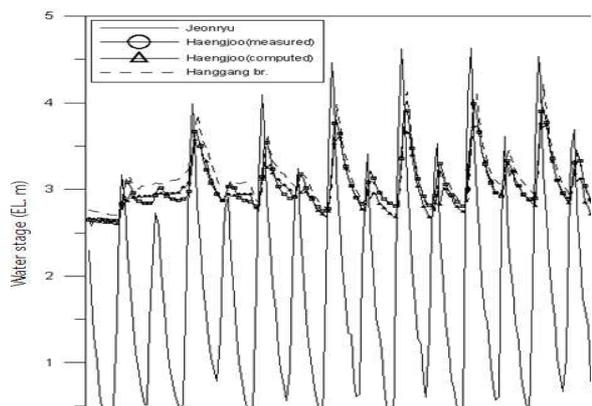
의해 수행되었습니다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 김승용, 조위영향에 따른 신곡수중보 상하류의 유동특성 분석, 경기대학교 석사학위논문, 2002.
- [2] 김창완, "하천과 저수지의 세굴과 퇴적 예측," 제14회 수공학워크샵, 한국수자원학회, 2005.
- [3] 송창근, 서일원, 이명은, "한강 하류부에서의 조석에 의한 역류 및 확산," 2007년도 한국수자원학회 정기학술대회 논문집, pp. 418-422, 2007
- [4] 이남주, 이길성, "좌표변환에 의한 이차원 유사이동모형(I) - 모형의 개발," 대한토목학회논문집, 제18권, 제II-5호, pp. 407-412, 1998.
- [5] Ponce, V. M. and Yabusaki, S. B, "odeling circulation in depth-averaged flow," J. of the Hydraulics Div. ASCE, Vol. 107, No. HY11, 1981.



▶▶ 그림 1. 대규모 홍수에 대한 흐름모형 보정



▶▶ 그림 2. 평시 흐름에 대한 모형 보정