

한강 하류부 흐름해석을 위한 UNET 모형의 적용

○ 김동구*, 김 원**, 김상호**

1. 서 론

한강은 우리나라의 중심을 통과하는 제1의 하천으로서 경제적, 문화적, 지리적인 의미가 크다고 할 수 있다. 하지만 매년 반복되는 홍수로 인한 피해는 경제적인 측면뿐만 아니라 모든 면에서 심각한 후유증을 남겨주고 있다. 홍수 피해에 대처하기 위해 구조적, 비구조적인 면에서 다양한 방법이 개발 적용되고 있는데, 현재 시행되고 있는 홍수예경보는 비구조적인 측면에 대한 한 방법이라 할 수 있다.

한강 하류부는 팔당댐 하류부에서 한강 하구부에 이르는 구간을 말하며 서울도심을 가로지르며 흐르고 있어 홍수피해에 대한 철저한 대비책이 필요한 곳이다. 또한 이 구간은 교량과 구조물들이 많고 하구부의 조위 영향으로 인해 매우 복잡한 흐름 양상을 띠고 있다. 특히 서해안 조위는 평상시뿐만 아니라 홍수시에도 한강과 임진강에 큰 영향을 미치므로 홍수 예측시 반드시 고려해야 할 사항이다.

홍수로 인한 피해를 최소화시키기 위해선 하천의 특성과 그 하천에 대한 흐름에 대해 정확한 조사 및 분석이 필요하다. 흐름을 해석하는 방법으로 기존의 저류함수법 등은 수문학적 방법이 가지는 한계성 때문에 한강하류부의 하도에 대한 특성과 서해안 조위에 대한 영향을 전혀 반영하지 못하였다. 이에 대한 대안으로 적용되기 시작한 모형이 수리학적 모형이라 할 수 있겠다. 현재 수리학적 모형에는 DWOPER, FLDWAV와 같은 여러 가지 상용 및 비상용 프로그램 등이 많이 개발되어 있고 실제 홍수예경보와 같은 대비책에 활용되고 있는 모형도 다수가 있다. 이에 본 연구에서는 우리나라 하천에 적용된 사례가 많지 않은 UNET 모형을 이용하여 한강 하류부의 흐름 및 조위영향에 대한 분석을 통하여 모형의 적용성을 검토해 보았다.

2. UNET 모형의 특성

UNET 모형은 개수로의 복잡한 하도망에 대한 흐름모의를 수행하기 위한 일차원 부정류 모형이다. 이러한 하도망 체계에 대한 일차원 비정상 흐름방정식을 풀기 위해 사절 음해 유한차분법이

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

라는 수치기법을 적용하고 있으며, 지배방정식을 선형화하여 해석하기 때문에 발산의 가능성이 적어 안정성이 뛰어난 장점이 있다.

UNET 모형은 적용하고자 하는 하천 횡단면 및 하도의 제한이 없으며, 수위와 유량 수문곡선, 수문과 비통제 여수로, 교량, 암거 그리고 제방 시스템과 같은 여러 가지 내·외부 경계조건을 적용할 수 있는 계산능력을 가지고 있으며, 모든 자료의 입력과 출력 그리고 계산과정은 영국단위로 수행하도록 되어 있다. 또한, UNET 모형은 홍수터와 같은 저류영역에 대한 모의능력으로 인해 준-이차원 모형으로 간주되기도 한다. UNET 모형은 Dr. Robert L. Barkau에 의해 개발되었으며 현재는 Hydrologic Engineering Center에서 관리와 배포를 맡고 있다.

2.1 기본방정식

연속 방정식은 식 (1)과 같이 1차원 시스템의 질량을 보존한다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_i = 0 \quad (1)$$

여기서, x 는 수로에 따른 거리, t 는 시간, Q 는 유량, A 는 단면적, S 는 저류, q_i 는 단위 길이당 측방 유입량을 의미하며 이 식을 수로와 홍수터로 나누어 유한차분의 형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} \Delta x_c + \frac{\Delta A_f}{\Delta t} \Delta x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} \Delta x_f - \bar{Q}_i = 0 \quad (2)$$

여기서, 아랫첨자 c 와 f 는 수로와 홍수터를 나타내며 \bar{Q}_i 은 평균 측방 유입량을 의미하고 있다.

운동량 방정식은 운동량의 변화가 시스템에 작용하는 외력과 같다는 것을 의미한다. 단일 수로에 대한 운동량 방정식은 식 (3)과 같이 기술된다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (3)$$

여기서, g 는 중력가속도, S_f 는 마찰경사 그리고 V 는 유속을 의미하며, 운동량 방정식을 수로와 홍수터에 대해 유한차분 형태로 정리하면 식 (4)과 같다.

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t} + \Delta(\beta VQ) + g\bar{A}\Delta z + g\bar{A}\bar{S}_f \Delta x_e = 0 \quad (4)$$

여기서, Δx_e 는 等價 흐름경로, S_f 는 전 단면에 대한 마찰경사, $A = \overline{A}_c + \overline{A}_f$ 를 의미한다. 마지막으로 구조물에 의한 흐름의 수축과 방해로 인한 영향을 나타내는 마찰경사 식(5)과 흐름 합류점에서 측방향 운동량 유입에 관한 식 (6)을 추가하면 최종적으로 모형에서 적용될 수 있는 식 (7)을 얻을 수 있다.

$$S_h = \frac{dh_l}{dx} \quad (5)$$

$$M_l = \xi \frac{Q_l V_l}{\Delta x} \quad (6)$$

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(BVQ)}{\Delta x_e} + g \overline{A} \left(-\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \overline{S}_f + \overline{S}_h \right) = \xi \frac{Q_l V_l}{\Delta x_e} \quad (7)$$

여기서, Q_l 는 측방 유입량, V_l 는 측방 유입량의 평균 유속, ξ 는 본류로 유입되는 운동량 계수를 의미한다.

2.2 경계 조건

상류단 경계조건은 다른 구간이나 저류영역에 연결되어 있지 않은 모든 구간의 상류단에서 필요로 한다. 상류단 경계조건은 시간에 대한 유량의 수문곡선으로 적용된다. 하류단 경계 조건은 상류단과 마찬가지로 다른 구간이나 저류 영역에 연결되어 있지 않은 모든 구간의 하류단에서 필요로 하는데 하류경계 조건으로 사용되는 형태는 수위수문곡선, 유량수문곡선, 단일관계의 수위-유량곡선, 운동량 방정식과 Manning 식의 간단한 형태를 사용하여 UNET 모형에서 계산되는 loop 형 수위-유량곡선을 적용할 수 있다.

3. 모형의 적용

3.1 대상 하천

본 연구의 대상 구간인 한강 하류부는 팔당댐 직하류를 출발하여 서해안 월곶지점에 이르는 구간이다. 이 구간은 상류로부터 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천, 임진강의 5개 주요 지류로 이루어져 있으며 그 외 다수의 소규모 지류로 연결되어 있다. 본 모형 수행시에는 전체 시스템의 정확도에 미치는 영향과 자료 획득 가능성 등을 이유로 5개 주요 지류만을 포함시켰다. 그림 1은 대상구간에 대한 모식도를 나타내고 있는데 모식도에서의 번호는 모형 입력자료 구성시 나누어지는 구간 번호를 의미한다.

3.2 입력자료의 구성

모형 수행시 기본이 되는 하도 단면에 대한 자료는 2000년도에 실시된 하천측량성과자료를 수집하여 모형에 적용하였다. UNET 모형은 기존의 HEC 단면을 그대로 활용할 수 있기 때문에 하도 자료 구성상의 불편함은 전혀 없었다. 그러나 휴전선으로 인한 임진강 일부 지역과 한강 하류부 일부에 대한 측량 자료가 정확하지 않아 전체 시스템에 대한 정확성에 커다란 변수로 작용할 수 있을 것으로 보인다.

전체적으로 UNET 모형의 입력자료는 크게 두가지로 구성된다. 하나는 하도 단면, 조도계수 등의 자료가 포함된 CS 파일과 모형 수행시간, 수행에 관련된 변수, 경계조건이 포함된 BC 파일로 구성된다.

경계조건은 하구부를 제외한 팔당댐 직하류부와 지류의 상류단에서는 유량수문곡선을 사용하였고 하구부는 수위수문곡선으로 자료를 구성하였다. 팔당댐 직하류부의 유량 수문곡선은 팔당댐 방류량으로부터 직접 얻었고 각 지류의 유량 수문곡선은 유출률과 포화우량(저류함수법)에 의한 방법과 단위도법을 이용하여 지류 유출 모형을 구축하여 구하였다. 하구부(월곶 지점)의 경계조건은 한국해양연구소에서 2000년 7월부터 5분단위로 실측한 조위자료를 이용하였다.

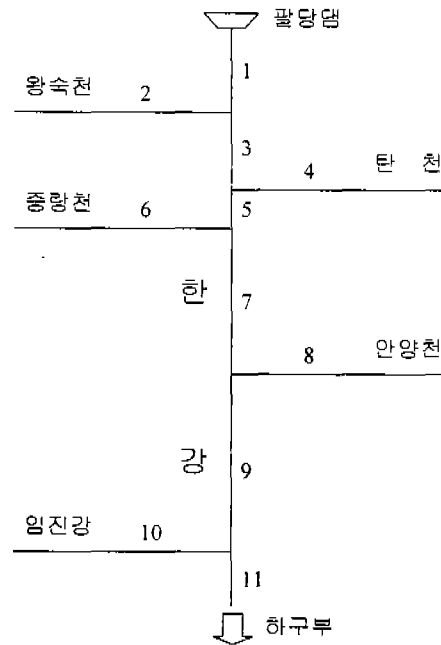


그림 1. 대상유역에 대한 모식도

3.3 적용결과 및 비교

본 연구에서는 2000년 7월과 8월에 발생한 홍수기 사상 1개와 비홍수기 사상 1개에 적용하였다. 기존의 하구부(월곶 지점) 경계조건은 인천 조위를 월곶 조위로 환산한 예측조위를 사용하였기 때문에 자료의 정확도가 많이 떨어졌었다. 그러나 본 연구 대상이 되는 사상에 대한 하구부 경계조건은 5분 단위로 실측한 자료이기 때문에 상당히 정확한 경계조건 자료라고 할 수 있다.

모형 수행 결과는 기 측정된 건교부 자료와 수중보 부분의 서울시 자료, 2000년부터 실측을 시작한 한국해양연구소의 실측 자료를 이용하여 정확성을 평가하고 미국의 NWS에서 개발된 FLDWAV 모형과도 결과치를 비교해 보았다.

3.3.1 홍수기 사상

이 홍수 사상은 7월 21부터 25일까지 5일 동안 발생한 사상으로서 첨두홍수량은 5,185m³/s이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 하구부에서 올라온 조위를 첫 번째로 관측할 수 있는 전류 지점을 보면 실측치와 진폭이 약간 차이가 날 뿐 양상은 정확히 일치함을 볼 수 있다. 전류 지점에서 상류 쪽인 신곡수중보와 한강대교 지점도 상류쪽으로 정확한 크기의 조위가 반영되지 못함으로 인해 실측치와 약간의 차이를 보이고 있다. 하지만 한강대교 지점을 보면 상류에서 전파되어 오는 홍수 파와 하류에서의 조위가 만나 홍수시 조위의 영향을 잘 반영하고 있음을 볼 수 있다.

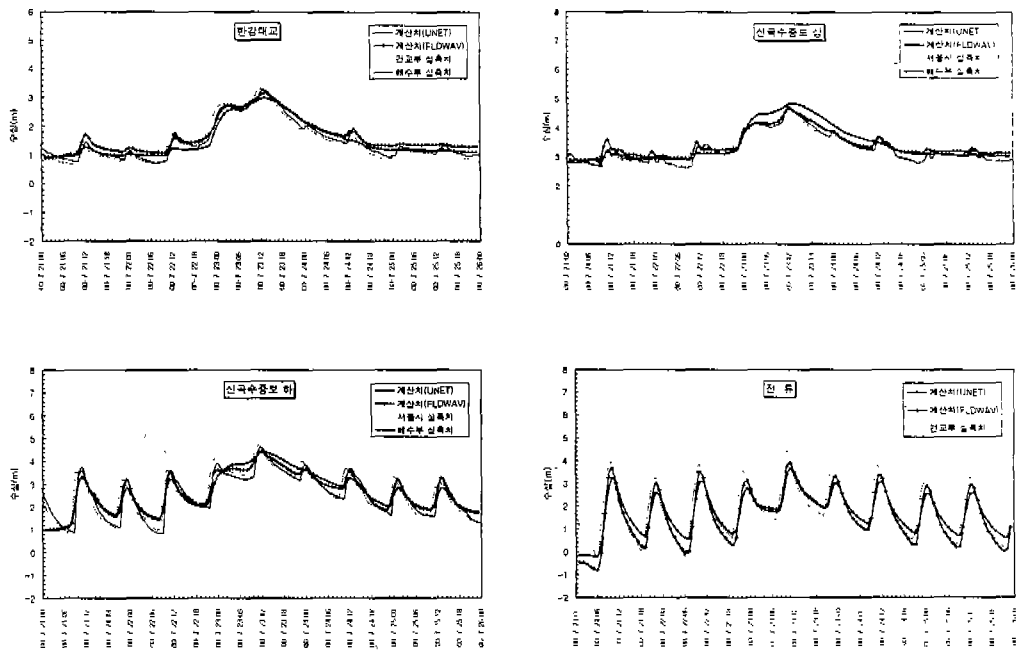


그림 2. 모형계산 비교 결과(홍수기)

3.3.2 비홍수기 사상

이 사상은 비홍수기 사상으로서 8월 21일부터 24일까지 4일 동안 발생한 사상으로서 첨두유량은 1,887m³/s이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 비홍수기에는 하구부에서 올라온 조위가 신곡 수중보 전후로 상당히 감소되는 것을 모형 계산을 통해 예측할 수 있다. 또한 한강 대교 지점과 신곡수중보 상류 지점에서 실측치와 수위차가 발생하는 것은 조도계수의 영향인 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 서해안 조위의 영향을 받는 한강 하류부의 흐름 특성을 정확히 파악하기 위해 UNET 모형을 이용하여 2000년의 홍수기, 비홍수기 사상에 대해 적용해 보았다. 현재 한강 홍수에 경보 시스템에서 사용중인 DWOPER 모형과 알고리즘이 거의 비슷한 FLDWAV 모형과 비교해 본 결과, 하구부에서 발생하는 조위에 대한 영향을 정확도 높게 반영하지는 못하고 있다. 하지만

선형화된 지배방정식을 사용하므로 타 모형에 비해 안정성이 뛰어난 것으로 보인다. 한강의 흐름을 완벽하게 반영하기 위해선 모형 수행시 조도계수의 유량에 따른 반영 등의 문제점만 극복이 된다면 안정성 측면이나 모형 수행시 입력자료 구성 등에 있어 다른 모형들에 비해 상당한 잇점이 있을 것으로 사료된다.

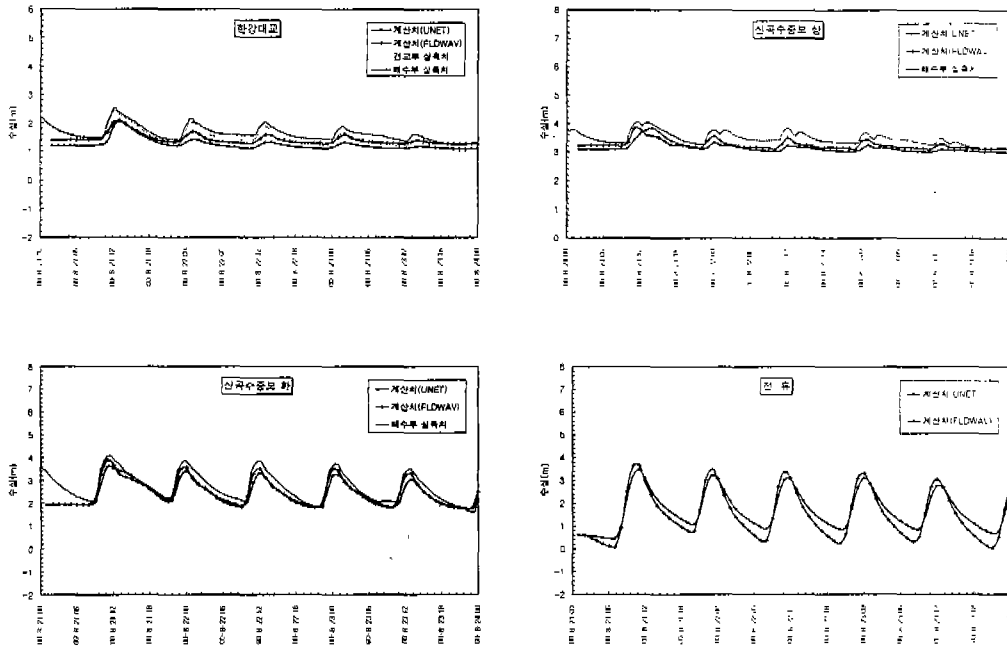


그림 3. 모형계산 비교 결과(비홍수기)

5. 참고 문헌

- 건설교통부 한강홍수통제소 (1997). 수리학적 모형을 이용한 한강 상류부 하도의 홍수에측모형 개발.
- 건설교통부 한강홍수통제소 (2000). 한강홍수에경보.
- 건설교통부 한강홍수통제소 (2000). 한강(하류) 및 임진강 유역 유량측정 보고서.
- Fread, D.L. (1998). *The NWS FLDWAV Model: Theoretical Description/User Documentation*, Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service, Silver Spring, Md.
- HEC (1997). *UNET User's Manual*.
- HEC (1991). *HEC-2 User's Manual*.