

범용 DEM 데이터를 이용한 2차원 홍수범람 모형의 개발

Development of a Grid Based Two-Dimensional Numerical Method for Flood Inundation Modeling Using Globally-Available DEM Data

이승수*, 이기하**, 정관수***
Seung Soo Lee, Gi Ha Lee, Kwan Sue Jung

Abstract

In recent, flood inundation damages by hydraulic structure failures have increased drastically and thus a variety of countermeasures were needed to minimize such damages. A real-time flood inundation prediction technique is essential to protect and mitigate flood inundation damages. In the context of real time flood inundation modeling, this study aims to develop a grid based two-dimensional numerical method for flood inundation modeling using globally-available DEM data: SRTM with $90m \times 90m$ spatial resolution. The newly-developed model guarantees computational efficiency in terms of geometric data processing by direct application of DEM for flood inundation modeling and also have good compatibility with various types of raster data when compared to a commercial model such as FLUMEN. The model, which employed the leap-frog algorithm to solve shallow water and continuity equations, can simulate inundating flow from channel to lowland and also returning flow from lowland to channel by comparing water levels between channel and lowland in real time. We applied the model to simulate the BaekSan levee break in the Nam river during a flood period from August 10 to 13, 2002. The simulation results had good agreements with the field-surveyed data in terms of inundated area and also showed physically-acceptable velocity vector maps with respect to inundating and returning flows.

Key words : BaekSan levee, Flood inundation, SRTM DEM, Levee break

1. 서론

홍수범람 위험지역에 대하여 침수면적이나 침수심도 등을 기술적으로 예측할 수 있다면 홍수가 발생했을 경우 사전준비와 예방활동, 재해 취약지구의 보강 등의 적절한 사전 대책에 의해 홍수범람피해를 저감시킬 수 있다. 따라서 홍수범람으로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 시나리오에 따른 대처방안 뿐만 아니라 예기치 못한 돌발 상황에 대처할 수 있는 실시간 홍수범람 예측 기술이 필요하다. 만약 집중호우, 태풍 및 국지성 돌발호우 발생 시 실시간 홍수범람 예측 시스템이 구축되어 있다면 실시간 상황에 맞는 피해저감 대책을 즉각적으로 수립하여 범람 홍수로 인한 인명 및 재산피해를 최소화 시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 실시간 홍수범람해석을 위한 필요조건인 지형데이터의 전처리 과정의 간략화 및 모의수행시간을 단축할 수 있는 범용 DEM 데이터인 SRTM 데이터를 이용한 모형을 개발하였으며, 그 결과를 FLUMEN 해석결과와 비교하여 그 적용성을 비교분석하였다.

* 정회원 · 한국원자력연구소 제염해체기술개발부 · E-mail : ltuos@hanmail.net

** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 건설방재연구소 post-doc 연구원 · E-mail : leegiha@gmail.com

*** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

2. 모형의 개발

본 연구에서는 하천제방의 월류 및 붕괴에 따른 침수구역을 해석하기 위해서 HEC-RAS를 이용하여 제외지에서의 홍수위 분석 후 월류 및 붕괴로 인한 제내지로의 범람홍수량을 산정하였다. 범람홍수량의 산정은 하천의 수위와 제내지의 수위를 실시간으로 비교하여 월류 및 붕괴로 구분하여 유입유량을 산정하여 홍수과의 거동을 해석할 수 있도록 하였으며, 이를 이용하여 모의시간별 범람도를 작성하였다. 하도와 제내지의 연결부 모형은 Homma식을 이용하였으며, 제내지로 유입된 범람수의 해석은 Navier-Stokes 방정식의 2차원 수심적분방정식과 연속방정식을 지배방정식으로 이용하여 Leap-frog기법을 사용하여 해석하였다.

2.1 제내지 유입유량 산정

하천의 제방붕괴로 인한 제내지로의 범람유량을 산정하기 위한 연구는 국내외적으로 많은 연구가 이루어져왔으나 제방붕괴시 복잡한 붕괴양상을 수학적으로 표현하는데에 한계가 있으므로 통상 붕괴지점을 위어로 가정하여 범람유량을 산정한다. 본 연구에서는 Sato 등(1989)이 Yoshida 강에서의 범람 수치모의에서 제내지로의 유입량을 산정하기 위해 제안한 Homma식을 조건식으로 사용하였다.

$$\bullet Q = \mu L h_1 \sqrt{2g h_1}, \quad h_2/h_1 \leq 2/3 \quad (1)$$

$$\bullet Q = \mu' L h_1 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}, \quad h_2/h_1 > 2/3 \quad (2)$$

여기서, Q 는 제내지 유입유량(m^3/s)이며, L 은 제방 붕괴 폭, h_1 과 h_2 는 각각 붕괴된 제방으로부터 하도와 제내지 수위까지의 높이(m), μ 와 μ' 은 유량계수로써 각각 0.35와 0.91이며, g 는 중력가속도(m/s^2)을 나타낸다.

2.2 제내지 홍수해석 기법

본 연구에서는 Navier-Stokes 방정식의 2차원 수심적분방정식을 이용하여 제내지에서의 범람수의 전파양상을 해석하였으며, 이용된 운동량 방정식과 연속방정식은 각각 다음과 같다.

○ 운동량방정식

- x 방향 운동량 방정식 :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = g_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 u \quad (3)$$

- y 방향 운동량 방정식 :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = g_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 v \quad (4)$$

- z 방향 운동량 방정식 :

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = g_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 w \quad (5)$$

○ 연속방정식:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

여기서, g_x, g_y, g_z : x, y, z 방향의 단위질량당 가속도

u : x 방향 속도, v : y 방향 속도
 w : z 방향 속도, p : 압력
 μ : 물의 점성, ρ : 물의 밀도

2.3 SRTM DEM 데이터

SRTM 데이터는 미국(30m×30m)을 제외한 전세계 지형에 대해 90m×90m의 해상도로 작성되어 있다. SRTM은 기획득된 DEM으로 부터 가상의 수로망(channel network)를 추출해야 하는 단점을 가지고 있으나 인공위성을 이용하여 작성된 데이터 이므로 전세계 어느 곳이든 지형자료를 획득할 수 있고, 범람모형의 지형자료로 이용시 별다른 가공을 거치지 않고 직접 이용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서 개발된 모형은 HEC-RAS를 이용하여 하천지형자료를 구축하였으며, 잠재범람구역내 표고값은 SRTM DEM으로부터 획득하였다.

3. 개발모형의 적용

개발된 모형을 2002년 8월 6일부터 시작된 집중호우로 인해 8월 10일 16시경 붕괴된 낙동강유역 남강에 위치한 백산제 붕괴사황에 대해 적용하였다. 제방의 붕괴 길이는 약 15m 정도이며 붕괴 후 제방높이는 EL.10.3m로 조사되었다 (건설교통부, 2007). 백산제 붕괴시작 시각인 8월 10일 16시부터 제내지 침수 모의를 수행하였으며, 제방붕괴 폭 및 높이는 국가하천 배수통문 안전관리 시스템 개발 및 운영연구(건설교통부, 2007)에서 조사된 15m 및 EL.10.3m로 선정하고 제방 붕괴시간을 1시간으로 하여 제내지 범람양상을 분석하였다. 본 제방붕괴로 인해 농경지 3.2km²이 침수되었고 99세대의 가옥이 침수되는 등 많은 재산피해가 발생하였다.

3.1 범람구역의 지형데이터의 획득

개발된 모형의 적용을 위해 대상유역의 범용 표고 데이터인 SRTM을 획득한 후 백산제 붕괴지점을 기준으로 하여 ArcGIS 상에서 잠재 범람유역을 디지털화한 후 SRTM의 표고데이터와 중첩하여 모의구간의 지형데이터를 추출하였다. 전술한 바와 같이 SRTM의 격자크기는 90m로써 기존의 수치지도의 가공없이 직접 데이터의 활용이 가능하다는 장점이 있다. 또한 각 격자에 대한 조도계수 값은 한국토양정보시스템 (<http://asis.rda.go.kr/index.asp>)의 토지이용도와 SRTM의 시각적 비교를 통해 산정하였다.

3.2 홍수위 해석

본 사례에 개발된 모형을 적용하기 위해 그림 1에서와 같이 정암수위국 ~ 낙동강합류부 까지 27.5km구간에 대해서 57개의 단면과 적포교수위국 ~ 진동수위국 27.1km구간에 61개 단면으로 나누어 1차원 수리해석 모형인 HEC-RAS를 이용하여 홍수위 분석을 실시하였으며 홍수위 해석결과는 그림 2와 같다.

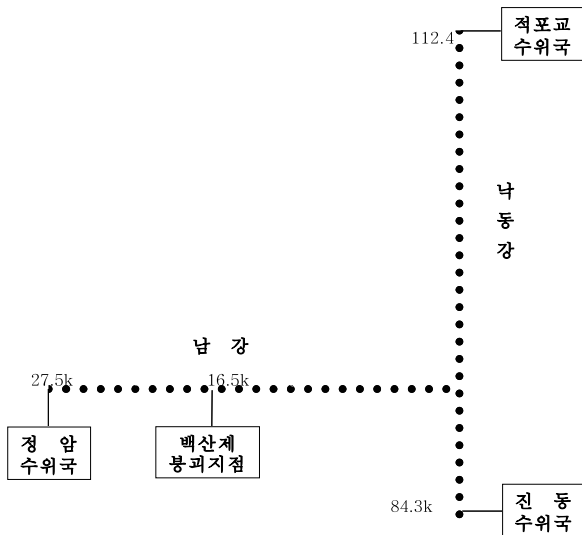


그림 1. 대상구간 하도망

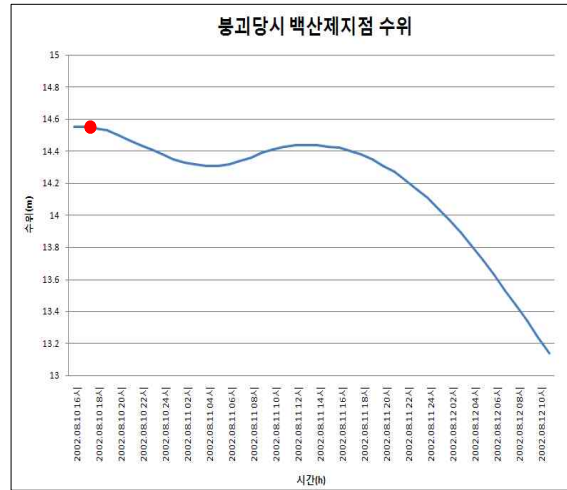


그림 2. 홍수위 해석결과(● : 붕괴시점)

3.3 홍수범람 해석결과

본 연구의 모의 결과로써 시간별 하도-제내지의 수위는 그림 3과 같이 변화하였다. 제내지의 수위 변화를 살펴보면 최초 제방이 붕괴된 8월 10일 16시부터 제내지의 수위가 상승하기 시작하여 붕괴 완료시간 8월 10일 17시 (1hr) 동안 제내지 유입량이 급격히 증가한 후 붕괴발생 약 21시간 후인 8월 11일 13시에 최대 수위인 EL.14.45m에 도달하였다. 이후 하천 수위가 제내지수위보다 낮아져 제내지의 범람유량은 붕괴 지점을 통해 하천으로 역유입 현상이 발생하였다. 하도-제내지 수위변화에 따른 붕괴 발생 후 제방 붕괴지점에서의 범람홍수에 대한 유량수문곡선은 그림 4에 도시하였으며, 그림에서 상단부 유량은 하도서 제내지로의 유입유량을 나타내며 하단부 유량은 제내지에서 다시 하도방향으로 역류하는 양을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 하도에서 제내지로의 유입은 상당히 급격하게 이루어 졌음에 반해 범람 종료 후 제내지에서 하도로의 유입은 점진적으로 진행되고 있음을 알 수 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 제내지 유입된 범람유량의 첨두치는 제방 붕괴 후 3시간 45분만에 $265.76m^3/s$ 가 발생하였다가 22시간 후에 제내지에서 하도방향으로 역류되기 시작하였다. 개발된 모형을 이용한 침수심도와 FLUMEN을 이용한 해석결과 및 실측 침수흔적도는 그림 5~7에 도시하였으며, 모의결과 개발된 모형의 경우 최대 침수면적은 약 $3.82km^2$, FLUMEN은 $3.93km^2$ 로 분석되었으며, 실제 조사된 침수흔적도 $3.2km^2$ (경남발전연구원, 2005)와 비교했을 경우 약 $0.6km^2$ 와 $0.7km^2$ 의 차이가 발생하였다. 그러나 약 74개의 격자에 해당하는 과다 모의면적의 침수심도는 매우 낮으므로 본 모형의 범람모의 결과는 타당하다고 평가된다.

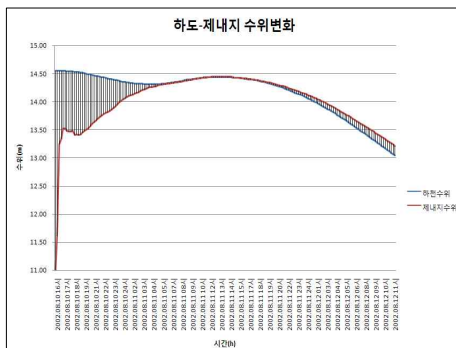


그림 3. 하도-제내지 수위변화

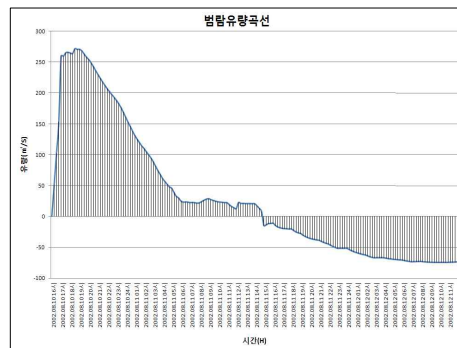


그림 4. 붕괴지점 범람유량 곡선

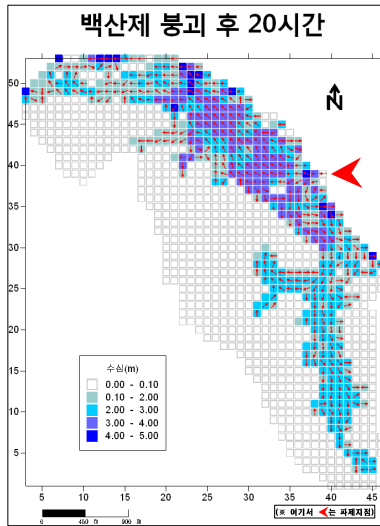


그림 5. 개발된 모형을 이용한 범람모의 결과

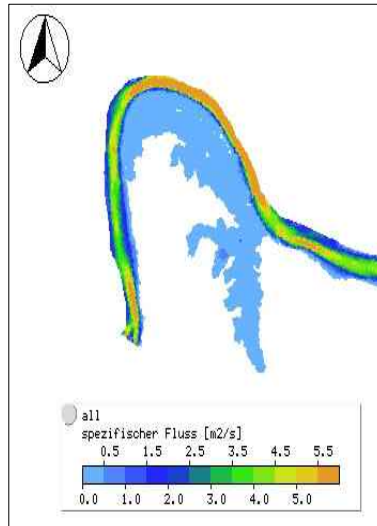


그림 6. FLUMEN을 이용한 범람모의 결과

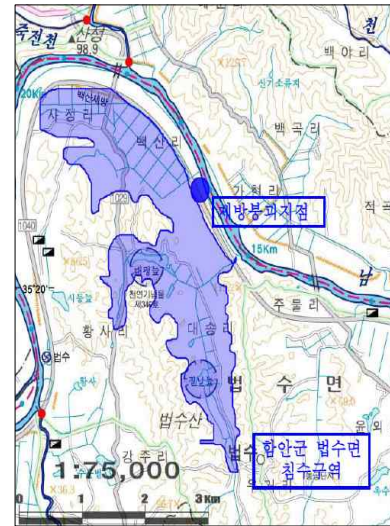


그림 7. 실측 침수흔적도(경남발전연구원, 2005)

4. 결론

개발된 모형은 범용 DEM 데이터를 이용하여 실시간 홍수범람해석을 위한 필요조건인 지형데이터의 전처리 과정의 간략화 및 모의수행시간을 단축하였다. 또한 모의 결과 역시 실무에서 많이 사용되고 있는 상용프로그램과 비교하여 만족할만한 정확도를 보여주었다. 따라서 본 연구에서 개발된 모형은 실시간 홍수범람해석에 이용될 수 있을 뿐만 아니라 향후 수리모형과의 결합을 통해 보다 종합적인 수리해석에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-09-NH-05] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부 낙동강홍수통제소(2002), 낙동강 홍수예경보(낙동강, 형산강, 태화강)
2. 건설교통부(1993), 낙동강 하천정비기본계획(보완Ⅲ)
3. 건설교통부(1992), 낙동강 하천정비기본계획(보완Ⅱ)
4. 건설교통부(2007), 국가하천 배수통문 안전관리시스템 개발 및 운영연구
5. 경남발전연구원(2005), 경남 재난 교육·홍보 활성화 방안
6. 김익홍(2004), 2002년 낙동강 유역 제방 붕괴에 따른 홍수범람 해석, 석사학위논문, 경북대학교
7. 한국토양정보시스템(<http://asis.rda.go.kr/index.asp>)
8. Sato, S, Imamura, F. and Shuto, N (1989). "Numerical Simulation of Flooding and Damage to Houses by the Yohsida River due to Typhoon No. 8610." Journal of Natural Disaster Science, Japan Society for Natural Disaster Science. V. 11, No. 2, pp. 1-19