

# 홍수지도 제작을 위한 홍수범람정보의 3차원 가시화

## Three-Dimensional Visualization of Flood Inundation for Local Inundation Map

이진우\* · 김형준\*\* · 조용식\*\*\*

Lee, Jin Woo · Kim, Hyung-Jun · Cho, Yong-Sik

### Abstract

This study simulated the flood inundations of the Nakdong River catchment running through Yangsan, a small city located in the south eastern area of Korea by using the depth averaged two-dimensional hydrodynamic numerical model. The numerical model employs the staggered grid system including moving boundary and a finite different method to solve the Saint-Venant equations. A second order upwind scheme is used to discretize the nonlinear convection terms of the momentum equations, whereas linear terms are discretized by a first order leap-frog scheme(Cho and Yoon, 1998). The numerical model was applied to a real topography to simulate the flood inundation of the Yangsan basin. The numerical results for urban district are visualized in three dimension. These results can be essentially utilized to construct the three dimensional inundation map after building the GIS-based database in local public organizations in order to protect the life and property safely.

**Key words** : Saint-Venant equation, inundation, moving boundary, staggered grid

### 1. 서론

최근 수년간 발생한 홍수피해의 상당부분이 하천 인접지역 토지이용의 고도와에 따른 인구와 산업, 주거 및 사회기반시설 등이 밀집된 도시지역에서 발생하고 있다. 매년 반복되는 홍수피해를 감소시키고 인명 및 재산피해를 줄이기 위하여 하천재방 및 댐의 정비, 저류시설의 확충과 같은 구조적인 대책이 수립되고 있으나 홍수 시 발생 가능한 제방붕괴에 의한 내수범람, 우수관거의 통수능력 상실에 의한 제내지의 침수등과 같은 사고에 대한 대책이 미비한 상태이다. 수공구조물의 건설에 의해 생태계에 미치는 악영향을 최소화하기 위한 대책의 수립이 필요한 상황이다.

대표적인 홍수피해 저감대책으로 홍수 시 발생 가능한 상황을 사전에 고려하여 홍수범람지도를 제작하고 각 관련기관 및 민간인에게 홍수 시 발생할 수 있는 피해에 대한 정보를 제공하는 것이 하나의 방안이 될 수 있다. 이러한 홍수범람지도는 평상시에 치수사업 계획 시 좀 더 정확한 타당성 분석을 하는데 필요한 입력자료로 활용되며, 치수사업의 범위를 결정하는 중요한 역할을 한다. 또한, 홍수 시에는 범람 예상구역도의 작성 및 홍수 예경보 체계를 확립함으로써 피해 예상지역의 수해민의 신속한 대피를 유도하고, 적절하고 신속한 수방대책을 수립하는데 반드시 필요하다.

2차원으로 제공되는 홍수지도는 단순한 범람영역만을 표시하기 때문에 정확한 피해정보를 제공하기 어렵다. 또한 최근 3차원적인 가시화에 대한 수요가 크게 증가함에 따라 홍수지도 또한 3차원으로 가시화하여 제공함으로써 보다 정확한 피해정보의 제공이 이루어 질 수 있을 것이다.

본 연구에서는 3차원 홍수지도제작에 앞서 빈도별 수치해석 결과를 이용하여 양산천 유역에서의 홍수범

\* 한양대학교 대학원 토목공학과 석·박사과정 · E-mail : moonguy@hanyang.ac.kr

\*\* 정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 박사수료 ·

\*\*\* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · 교신저자 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

람정보를 3차원으로 가시화하였다. 제내지 지역에서의 피해정보를 보다 정확하게 제공하고 피해지역의 범람 현황 및 통계현황을 제공함으로써 사용자 하여금 홍수범람에 의한 피해를 체계적으로 관리할 수 있도록 하였다.

## 2. 지배방정식 및 수치모형

### 2.1 지배방정식

본 연구에서는 홍수과의 파장이 길고 연직방향의 가속도성분이 상대적으로 매우 작을 경우, 3차원 Navier-Stokes 방정식을 수심방향으로 적분하여 얻어지는 2차원 Saint-Venant 방정식을 이용하여 2차원 수치모형을 개발하였다. 2차원 Saint-Venant 방정식은 연속방정식과 운동량방정식으로 표현된다. 운동량방정식은 시간과 공간에 따른 운동량의 변화를 나타내는 국부가속도와 이송가속도항, 중력항, 하상경사항 및 마찰경사항 등으로 구성된다.

운동량방정식의 오른쪽에 포함된 마찰경사는 Manning 공식을 이용하여 식 (1)~(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{fx} = \frac{gn^2}{h^{4/3}}u\sqrt{u^2+v^2} \quad (1)$$

$$S_{fy} = \frac{gn^2}{h^{4/3}}v\sqrt{u^2+v^2} \quad (2)$$

비보존형 방정식은 차분화하면 보존법칙을 만족할 수 없을 수 있으므로 계산과정에서 발생하는 오차가 누적되므로 상당한 계산오차를 가져올 수 있다. 그러므로 수치모형에서는 다음과 같은 보존형 방정식을 사용한다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{P^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{PQ}{h}\right) + gh\frac{\partial h}{\partial x} = gh(S_{ox} - S_{fx}) \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{PQ}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{Q^2}{h}\right) + gh\frac{\partial h}{\partial y} = gh(S_{oy} - S_{fy}) \quad (5)$$

식 (3)~(5)은 보존형방정식으로서 질량 및 운동량 보존법칙을 잘 만족시키는 것으로 알려져 있다. 식 (4)과 (5)에서  $P$ 와  $Q$ 는 각각  $x$ 축 방향 및  $y$ 축 방향의 단위폭당 유량으로 수심과 유속을 사용하여  $P = uh$ 와  $Q = vh$ 로 나타낼 수 있다.

### 2.2 수치모형

본 연구에서는 2차원 Saint-Venant 방정식을 해석하기 위하여 양해법의 일종인 leap-frog기법과 운동량 방정식에 포함된 비선형항의 정확도를 향상시키기 위하여 1차 정확도를 갖는 풍상차분기법(upwind scheme)을 사용하였다(인태훈 등, 2003). Leap-frog기법에서는 경계조건의 설정 및 계산상의 편의를 위하여 변수  $h, P, Q$ 의 계산점을 겹치지 않도록 배치한 엇갈림 격자(staggered mesh in time and space)를 사용하였다.

Leap-frog기법을 이용한 연속방정식의 차분식은 다음과 같다.

$$\frac{h_C^{n+1/2} - h_C^{n-1/2}}{\Delta t} + \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta x} + \frac{Q_{i,j+1/2}^n - Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta y} = 0 \quad (9)$$

본 연구에서는 운동량방정식의 비선형 이송항에 2차 정확도의 풍상차분기법을 사용하였다. Shyy(1985)의

연구결과에 의하면 2차 정확도의 풍상기법은 식 (10)과 같다.

$$\left| \frac{\partial(u\phi)}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{3u_{i,j}\phi_{i,j} - 4u_{i-1,j}\phi_{i-1,j} + u_{i-2,j}\phi_{i-2,j}}{\Delta x} + T_c \quad (u \geq 0) \quad (10)$$

$$= \frac{-3u_{i,j}\phi_{i,j} + 4u_{i+1,j}\phi_{i+1,j} - u_{i+1,j}\phi_{i+1,j}}{\Delta x} + T_c \quad (u < 0)$$

2차 정확도의 풍상차분기법은  $O((\Delta x)^2)$ 의 절삭오차를 갖는다. 따라서, 절삭오차를 비교해보면 2차 정확도의 풍상차분기법이 지배방정식에 포함된 비선형의 거동을 보다 정확하게 모의할 수 있음을 알 수 있다. 운동량방정식에 포함된 비선형 이송항을 2차 정확도의 풍상차분기법을 사용하여 계산하였다.

### 3. 수치모의 및 결과

본 연구에서는 낙동강의 지류로서 경상남도 양산시를 통과하여 흐르는 양산천의 국가하천 구간을 선정하여 수치모의를 실시하였다.

#### 3.1 경계조건

본 연구에서는 본 모형에서 적용한 경계조건은 양산천 분류와 각 지천을 중심으로 빈도별로 적용하였다. 양산천의 상류 경계조건과 각 지류의 경계조건은 홍수량과 수위-수문곡선을 이용하여 시간에 따른 유량의 변화로 입력하였고, 하류 경계조건은 낙동강 분류에 대한 부정류 해석을 실시하여 산정한 양산천 하류에 해당되는 낙동강의 기본계획 측정지점의 홍수위 수문곡선을 이용하여 시간에 따른 수위 변화의 값을 입력하였다. 모형에 적용된 수문곡선들은 100년, 200년과 500년의 수문 빈도를 갖으며, 각각의 빈도를 이용하여 수치모의를 실시하였다.

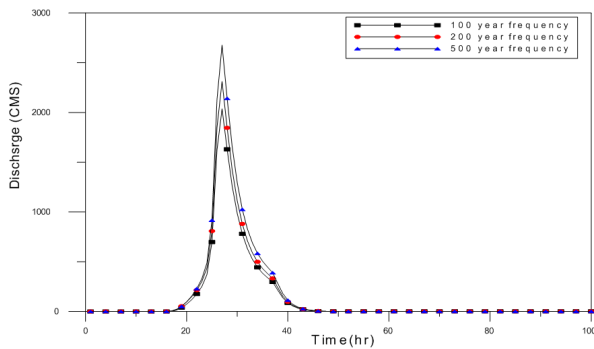


그림 1. 양산천 본류의 상류 경계조건

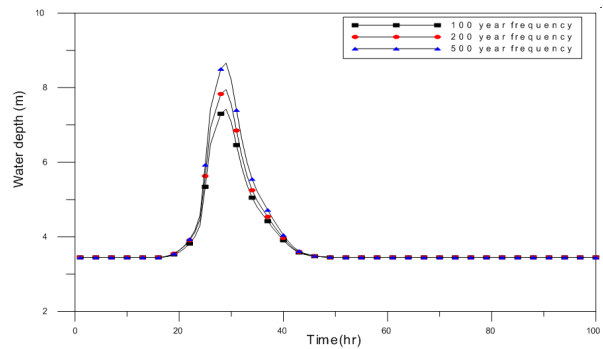


그림 2. 양산천 본류의 하류 경계조건

#### 3.2 GIS를 이용한 3차원 가시화

본 연구의 결과는 그림 3~4에서와 같이 양산시 3차원 도시침수관리시스템에서 제공된다. 3차원 도시침수관리시스템은 도시침수 관련 업무를 효과적으로 지원하기 위하여 침수에 관련된 분석 및 통계정보를 효과적으로 제공하여 새로운 분석결과를 제시하는 기능, 침수에 대한 시뮬레이션을 통하여 피해예상지역을 선정하여 침수피해 예방을 지원하는 기능, 침수피해 분석 결과를 체계적으로 관리할 수 있는 기능을 제공한다.

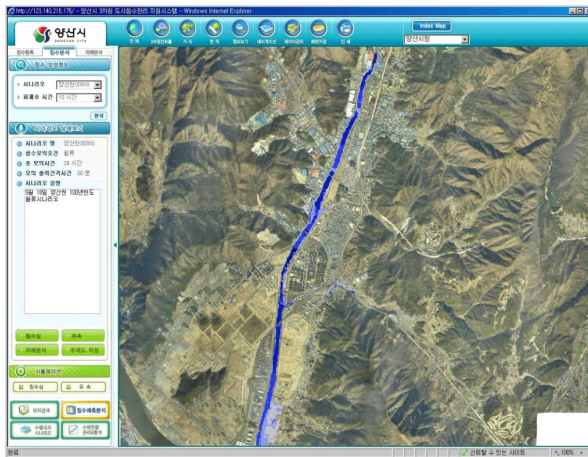


그림 3. 3차원으로 제공되는 양산천 흐름도

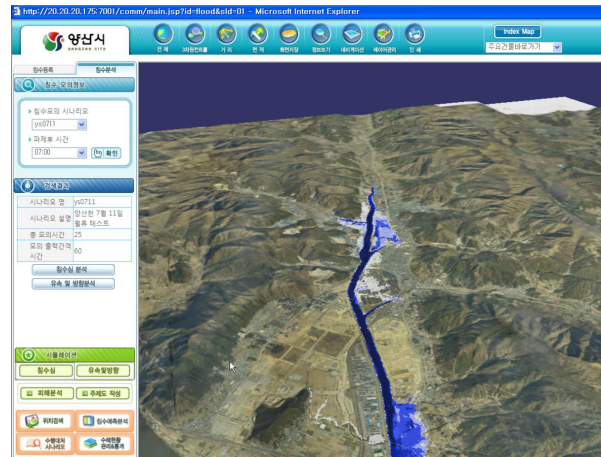


그림 4. 파제에 의한 침수범람도

#### 4. 결 론

홍수범람정보를 3차원으로 가시화함으로써 침수에 관련된 분석, 침수에 의한 피해정보와 통계정보를 효과적으로 제공할 수 있으며 단순히 2차원 도면상에 표시하여 제공하는 수치모델결과보다 가시화된 결과를 상황별로 활용가능한 3차원 홍수지도로 작성 및 제시한다면 최근 급증하고 있는 기상이변에 의한 홍수범람과 침수 대한 보다 효과적이고 체계적인 관리가 이루어 질 것이다. 또한, 대상 행정기관의 업무능률향상과 대민 서비스의 질을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(지진해일 방재대책 수립) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 신영호 (2002). “홍수지도 시범제작 방안.” 한국수자원학회지, 제35권, 제4호, pp. 38-49.
2. 원성연, 윤용남 (1993). “도시유역의 홍수량 산정을 위한 도시유출모형 연구.” 대한토목학회논문집, 제13권, 제5호, pp. 135-146.
3. 이주현, 최종진, 이희철, 이은태 (2003). “고해상도 수치고도모형을 활용한 홍수범람도의 작성.”
4. Cho, Y.-S. and Yoon, S.-B. (1998). “A modified leap-frog scheme for linear shallow-water equations.” *Coastal Engineering Journal*, Vol. 40, No. 2, pp. 191-205.
5. Shyy, W. (1985). “A study of finite difference approximation to steady-state, convection dominated flow problems.” *Journal of Computational Physics*, Vol. 57, pp. 408-415.