

FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람모의

Numerical Simulations of Flood Inundations with FLUMEN

배 용 훈* / 고 덕 구** / 조 용 식***

Bae, Yong-Hoon / Koh, Deuk-Koo / Cho, Yong-Sik

Abstract

In this study, flood inundations have been simulated by using the numerical model FLUMEN solving the shallow-water equations with a finite volume method. Before applying to a real problem, the numerical model is first applied to simplified problems. Obtained numerical results are verified by comparing with available analytical solutions and laboratory measurements. Reasonable agreements are observed. The model is then applied to a simulation of flood events with real geometries. The results of this study will provide basic information to make a flood inundation map.

keywords : finite volume method, FLUMEN, inundation, shallow-water equations

요 지

본 연구에서는 천수방정식을 지배방정식으로 하고, 유한체적법에 기반을 둔 FLUMEN 수치모형을 이용하여 홍수범람모의를 수행하였다. 실제 지형에서의 홍수범람모의 적용에 앞서 단순화된 문제들에 모형을 적용시켜 적용 타당성을 검증하였다. 수치계산 결과는 다른 기법을 통한 결과 및 수리모형실험 관측결과와 양호하게 일치하였다. 적용 타당성의 검증 후, 실제 지형에서의 홍수범람을 모의하였다. 본 모형을 사용한 실제 지형에서의 홍수범람모의 결과는 향후 홍수범람지도 제작에 기초적인 자료를 제공할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 유한체적법, FLUMEN, 홍수범람모의, 천수방정식

1. 서 론

우리나라는 최근 10년 간 매년 홍수로 인하여 연평균 106명의 인명피해와 6,811억원의 재산피해를 겪고 있다(김양수, 2002). 따라서, 반복되는 홍수를 대비하고 피해를 줄이기 위해 하천제방, 댐 및 저류지 계획 등 각종 홍수방어대책을 지속적으로 수립하여 홍수에 대비해오고 있다. 그러나, 최근 대두되고 있는 환경문제

와 생태계 보존과 같은 이유들로 인해 하천내의 대규모 수공구조물 건설은 점차 어려움에 직면해 가고 있으며, 구조물의 설계 빈도를 초과하는 홍수가 발생할 경우, 그대로 심각한 피해를 입게 되어 이러한 홍수가 발생할 때마다 복구공사 등이 반복되고 있는 실정이다. 매년 반복되는 피해와 복구공사로 인해 막대한 비용이 소모되고 있는 현실에서 구조물만을 이용한 홍수 피해 저감 대책은 점차 한계를 보이고 있는 상황이다.

* 대림산업(주) 기술연구소 토목설계지원팀
Civil Engineering Team, Technology Research Institute, Daelim Industrial Co., Ltd.
(e-mail: brave79@daelim.co.kr)

** 한국수자원공사 수자원연구원 물정보화연구소 수석연구원
Head Researcher, Center for Hydro-informatics Research, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation. (e-mail: dkkoh@kowaco.or.kr)

*** 교신저자, 한양대학교 공과대학 토목공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University.
(e-mail: ysc59@hanyang.ac.kr)

따라서, 이러한 구조적 홍수피해 저감 대책의 한계를 극복하기 위한 비구조적인 대책의 일환으로서 수치해석을 통한 홍수범람지역 산정 및 홍수범람지도 제작이 미국과 일본 등지에서 이미 수행되고 있거나 완료한 상태이다.

홍수범람 모의와 관련된 국외 연구로서 Hromadka와 DeVries (1985)는 Orange County 저수지의 가상적인 붕괴에 따른 범람 홍수파를 적분형 유한차분모형을 이용하여 해석하였고, Syme와 Paudyal (1994)은 Bangladesh의 홍수관리모형을 위해서 Mike-II와 Arc/Info를 연계하여 해석하였으며, Estrela와 Quintas (1994)는 Spain의 Jucar강 홍수터에서의 홍수관리를 위해 GRASS 모형과 연계해석을 실시하였다.

국내 연구로는 한건연과 박재홍(1995)이 일산제의 제방붕괴에 관한 수치모의를 실시하였고, 한건연 등(1997)은 댐 및 하천제방에 대한 위험도 평가모형을 개발하여 이를 실제 유역에 적용하여 해석하였으며, 이홍래 등(1998)은 개선된 DWOPER 모형을 이용하여 남한강의 제방월류 및 붕괴에 대해서 적용하였다.

본 연구에서는 홍수범람지역 산정에 필요한 기초적인 자료를 제공하기 위해 적절한 수치모형을 이용하여 실제지형에서의 홍수범람모의를 수행하고자 한다. 본 연구에 사용되는 수치모형은 스위스의 Beffa에 의해 개발된 FLUMEN (FLUvial Modeling ENgine)으로서 스위스, 독일, 오스트리아 등에서 홍수범람해석에 사용된 바 있는 모형이다.

본 연구에서는 FLUMEN 수치모형을 통한 실제 지형에서의 홍수범람모의에 앞서, 그 적용의 타당성을 먼저 판단하기 위해 홍수범람시 중요하게 고려되어야 하는 불연속 흐름과 이동경계조건에 관한 이상적인 문제에 적용하여 모형의 정확성을 검증한 후, 실제지형에서의 홍수범람모의를 수행하였다.

2. 지배방정식과 수치모형

FLUMEN 모형은 수심 적분된 비선형 천수방정식에 불규칙 삼각망을 이용한 유한체적법(finite volume method)이 적용된 수치모형으로 하천의 합류점이나 만곡부분과 같이 수리학적으로 복잡한 해석에 적합한 상용 모형으로 알려져 있다.

FLUMEN 모형의 지배방정식은 수심 적분된 비선형 천수방정식으로서 보존형으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial G}{\partial y} + S = 0 \quad (1)$$

식 (1)에서 보존형 변수 벡터 U 는 수심 h 와 비유량 q 와 r 의 향으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U = \begin{pmatrix} h \\ q \\ r \end{pmatrix} \quad (2)$$

한편, x 축 및 y 축 방향의 flux 벡터 E , G 와 생성항 벡터 S 는 각 다음과 같다.

$$E = \begin{pmatrix} q \\ \frac{q^2}{h} + \frac{g}{2}h^2 \\ \frac{qr}{h} \end{pmatrix}, \quad G = \begin{pmatrix} r \\ \frac{qr}{h} \\ \frac{r^2}{h} + \frac{g}{2}h^2 \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 0 \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{pmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 q 와 r 은 각각 x 축 및 y 축 방향의 비유량, g 는 중력가속도, ρ 는 유체의 밀도, z_b 는 하상고도 및 τ_b 는 하상전단력이다. 비선형 천수방정식들은 연직방향 가속도가 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정된 Navier-Stokes 방정식으로부터 유도되었다.

하상전단력을 평균흐름속도로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{u\sqrt{u^2+v^2}}{c_f}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{v\sqrt{u^2+v^2}}{c_f} \quad (4)$$

식 (4)에서 $u=q/h$, $v=r/h$ 이다.

마찰계수 c_f 는 Manning-Strickler의 경험적인 마찰 공식에 의해서 다음과 같이 정의된다.

$$c_f = \frac{h^{1/6}}{n\sqrt{g}} = \frac{k_{st}h^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad (5)$$

식 (5)에서 n 은 Manning의 조도계수이고, k_{st} 는 k-Strickler 계수이다.

FLUMEN 모형은 전체 계산영역에서 불규칙 삼각망을 적용한다. 지배방정식 (1)을 임의의 i 번째 삼각망에 대하여 식 (6)과 같이 적분하면 유한체적법을 이용할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \int_{A_i} \frac{dU}{dt} d\Omega \\ & = - \int_{A_i} (E_x + G_y) d\Omega + \int_{A_i} S(U) d\Omega \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 A_k 는 삼각형의 면적이다.

FLUMEN 모형에서는 홍수범람과 같은 충격파를 모의하기에 적합한 Roe (1981)의 FDS (flux difference scheme)가 사용되어 수치해의 진동을 크게 완화시킨다. FDS는 원래 Euler 방정식의 적용에서부터 발전되었으며, 쌍곡선형 천수방정식에도 적용이 가능하며(Glaister, 1988), 특히 충격파나 점성흐름의 계산에 있어서 기존의 방법들에 비해 보다 뛰어난 모의를 수행한다(van Leer 등, 1987).

3. 수치모형의 검증

FLUMEN 모형을 이용한 실제 지형에서의 홍수범람 모의에 앞서 본 모형이 적합한 모형인가를 확인하고자, 원형섬에서의 고립파에 초오름 해석, 하폭과 하상의 변화에 의한 급변류 해석 등과 같은 문제에 적용하여 그 정확성을 검증하였다.

3.1 하상경사의 급변화로 인해 발생하는 급변류 해석

Garcia-Navarro 등(1992)과 Meselhe 등(1997)이 적용한 바 있는 하상경사의 급변화로 인해 발생하는 급변류를 모의하기 위해 하폭 8.0m, 하도길이 1000m인 직사각형 단면의 수로에서 하상경사를 변화시킨다. 하도 구간별 경사변화는 표 1과 같고, 전 구간의 조도계수는 0.015로 설정하였다. 상류경계조건은 $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$, 하류경계조건은 $h=2.5 \text{ m}$ 로 부여하였다.

그림 1은 수치계산 결과를 표준축차계산법에 의한 해석해와 비교한 것이다. 그림 1에서 완경사 구간에서의 상류흐름이 급경사 구간에서 사류흐름으로 변화하여 다시 하류부의 하상이 완경사가 되면서 도수가 발생하여 상류흐름이 되는 것을 알 수 있다. 도수가 발생한 후 수치계산 결과가 근사해보다 다소 큰 경향을 보이고 있는데, 이는 FLUMEN 모형이 실제하천에서의 배수효과

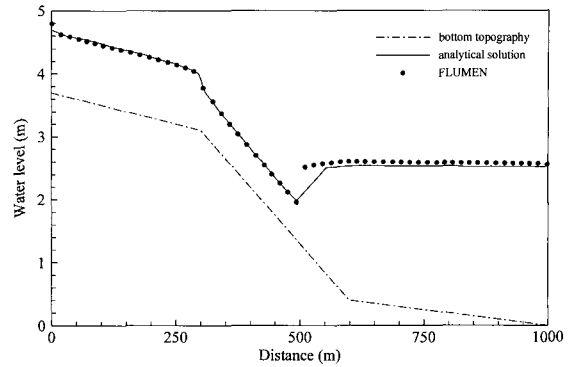


그림 1. 하상경사의 급변화로 인한 급변류의 수심 변화

를 고려하여 방사경계조건이 완벽하게 적용되지 못하기 때문이다.

3.2 복합적인 하도변화에 의해 발생하는 급변류 해석

하상경사의 변화, 하폭의 변화가 복합적으로 존재하는 하도에서의 급변류 해석을 수행하였다. 하도길이는 10,000 m이고, 구간별 하상경사의 변화는 표 2와 같으며, 하폭의 변화는 다음 식과 같다.

$$B = 10 - 5 \sin^2 \left(\frac{\pi x}{10000} \right) \quad (7)$$

그림 2와 그림 3은 하상경사 및 하폭의 변화를 각각 도시한 것이다. 상류경계조건은 $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$, 하류경계조건은 $h=0.78 \text{ m}$ 과 초기조건은 $h=1.5 \text{ m}$, $Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$ 이다.

그림 4와 그림 5는 각각 수치계산된 수심과 Froude 수를 MESH 기법(Meselhe 등, 1997)에 의한 모의결과와 비교한 것으로, 두 결과가 거의 일치하고 있다. 그림 4와 그림 5를 통해, 본 연구의 수치모형이 하도의 중앙부분을 전후해서 하상경사와 하폭의 급격한 변화에 의해

표 1. 하도 구간별 경사변화

하도 구간	하상 경사
0~300 m	0.002
300~600 m	0.009
600~1,000 m	0.001

표 2. 하도 구간별 경사변화

하도 구간	하상 경사
0~4,500 m	0.01
4,500~5,500 m	0.02
5,500~10,000 m	0.01

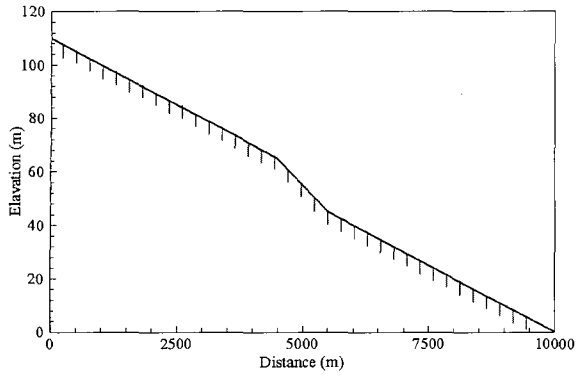


그림 2. 계산영역 하상의 경사변화 모식도

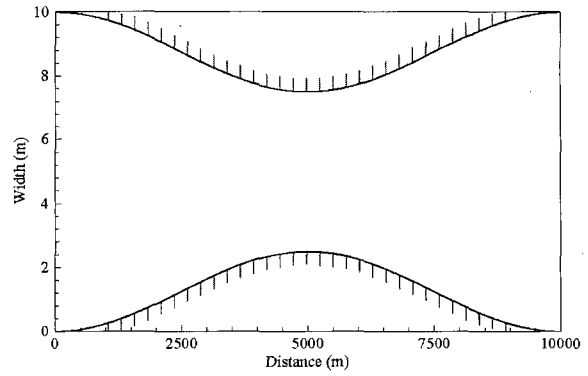


그림 3. 계산영역 하폭의 변화 모식도

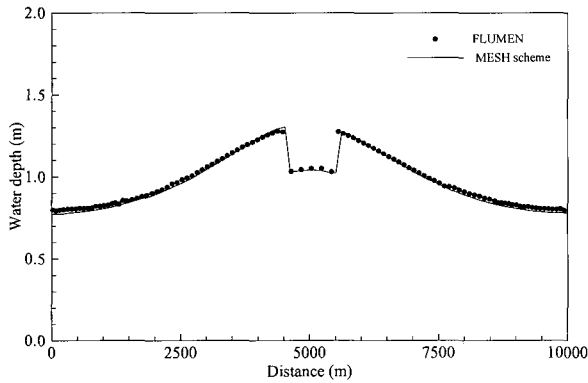


그림 4. 복합하도에서 발생하는 급변류의 수심 변화

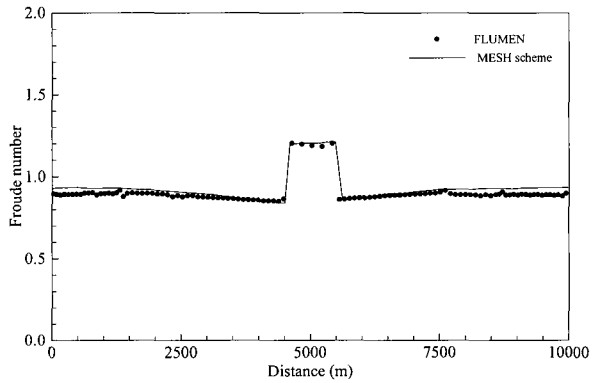


그림 5. 복합하도에서 발생하는 급변류의 Froude 수

사류흐름이 발생하여 수심과 유속의 변화가 급격하게 변화하는 것을 비교적 정확하게 모의하고 있음을 알 수 있다.

3.3 원형섬에서의 고립파에 처오름 해석

원형섬에서의 고립파의 처오름높이를 계산하여 수리 모형실험 관측결과와 비교하였다. 수리모형실험은 미국 육군 공병단 산하의 해안공학연구소(CERC, Coastal Engineering Research Center)에서 수행되었다(Liu 등, 1995). 수리모형실험에서는 그림 6과 같이 가로 폭이 30 m, 세로 길이가 26 m인 직사각형 수조의 중앙에 높이 0.625 m, 해저지름 7.2 m, 비탈면 경사각 14.04°의 원형섬이 위치한다.

수리실험에서 입사파는 파봉선(wave crest length)이 27.432 m인 고립파였으며, 비선형성의 크기를 나타내는, 즉 수심에 대한 입사파의 파고에 대한 비율은 0.1이다. 또한, 원형섬을 중심으로 $\pi/4$ 간격으로 파고계를 설치하여 최대 처오름높이를 계측하였다.

수치모형의 격자는 하나의 면적이 0.1m²인 삼각망으로 구성하였고, 계산간격은 0.05초로 하였다. 또한, 반사파의 영향을 최소화하기 위하여 수조의 크기를 가로

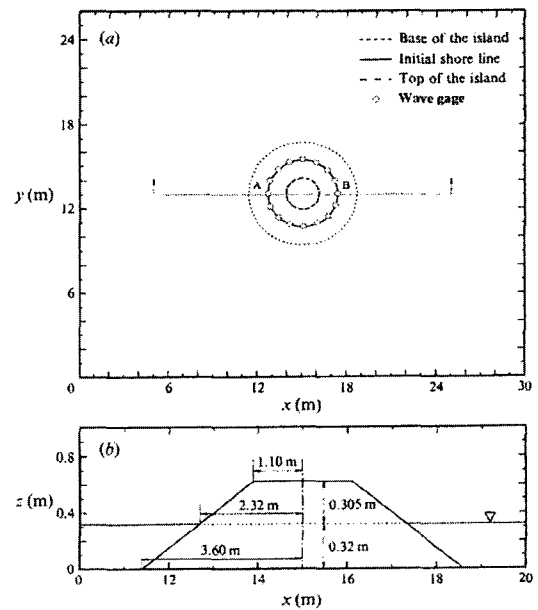


그림 6. 수리실험 모형장치
(a) 평면도 (b) 원형섬의 단면도

길이 50 m, 측벽 길이 150 m로 변환하여 모의를 수행하였다.

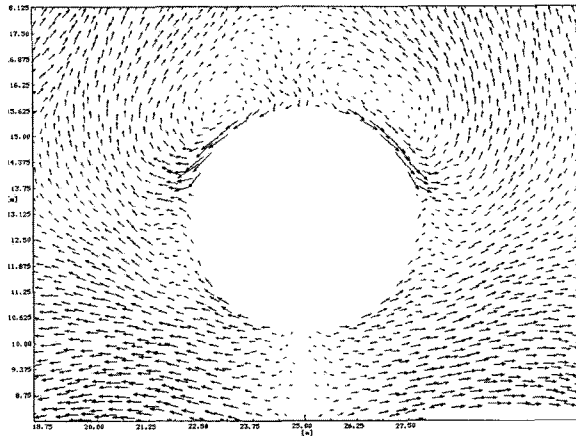


그림 7. 원형섬 주변의 유속벡터도

그림 7은 원형섬 주변에서의 속도 벡터를 도시한 것으로서 본 연구의 FLUMEN 수치모형이 원형섬으로 파랑이 입사한 후, 섬 주변에서 갇힌 파랑이 발생하여 섬 주변을 따라 진행하다가 분리되었던 파랑이 섬의 배후지역에서 뒤치오름을 일으킨 후, 후면에서부터 입사해오는 갇힌 파랑과 만나 반사하여 섬 주변을 빠져 나가는 흐름 양상을 상당히 양호하게 재현하고 있다. 또한, 속도 벡터의 크기를 비교하여 보았을 때, 섬 배후지역에서 분리된 파랑의 충돌로 인한 처오름이 전면에서의 처오름보다 더 높은 처오름을 형성한다는 것을 알 수 있다.

본 수치모형에서 계산한 최대 처오름높이를 수리모형실험에서 관측한 자료와 비교하여 그림 8에 도시하였다. 그림에서 수평축은 섬의 앞면 중앙으로부터 반시계 방향으로 $\pi/4$ 간격마다 측정된 각도로써 $x=0$ 은 섬의 전면 중앙부를, $x=\pi$ 는 섬의 후면 중앙부를 의미한다. 또한, R 은 섬에서의 실제 처오름높이이며 A 는 입사파의 파고로 0.032 m이다.

그림 8에서 FLUMEN 수치모형의 처오름높이가 수리모형실험의 관측치보다 전반적으로 다소 크게 나타났으나 큰 차이 없이 비슷한 양상을 보여주고 있다.

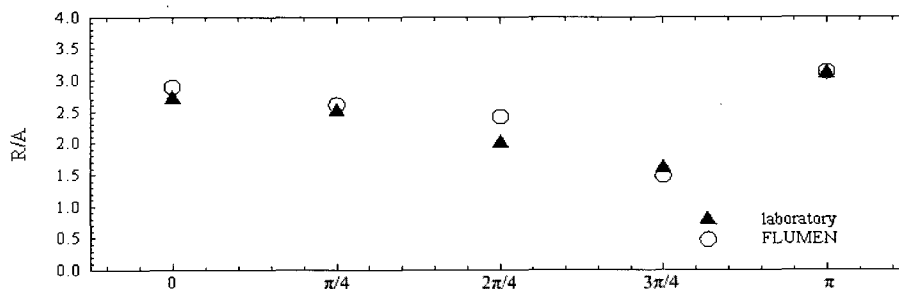


그림 8. 원형섬 주변에서의 최대 처오름높이 비교

수치모형에서 발생한 오차의 가장 큰 원인은 입력조건으로서의 입사파인 단일 고립파의 유량을 정확하게 산출하지 못한 데에 있다. 또한, FLUMEN 수치모형이 삼각형 격자의 변의 중점에서 계산을 수행하여 그 값을 도시하기 때문에 유체와 원형섬의 경계에서 보다 정확한 결과가 도시되지 못한 점도 비교 결과의 오차에 영향을 주었다.

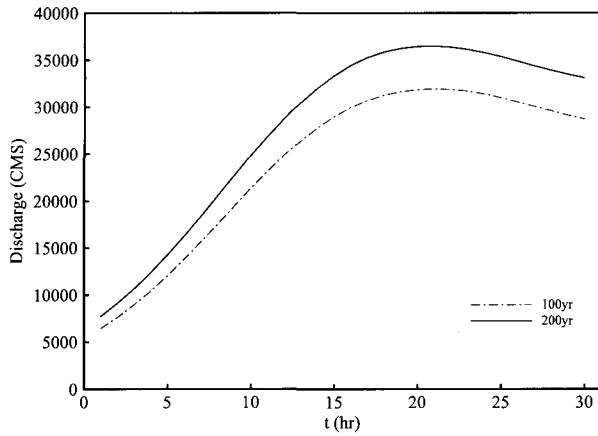
본 장에서는 FLUMEN 모형을 홍수범람시 중요하게 고려되는 불연속 흐름과 이동경계조건에 관한 문제들에 적용하여 실제 홍수범람모의 적용의 적합성을 검토하였다. 원형섬에서의 고립파에 처오름 해석, 하폭과 하상의 변화에 의한 급변류 해석 등과 같은 문제의 적용을 통해 모형을 검증하였으며, 수치계산 결과들은 해석해나 다른 기법에 의해 계산된 결과값과 양호하게 일치하였다. 따라서, 본 모형은 홍수범람 모의에 적합한 모형이라고 사료된다.

4. 수치모형을 이용한 홍수범람 모의

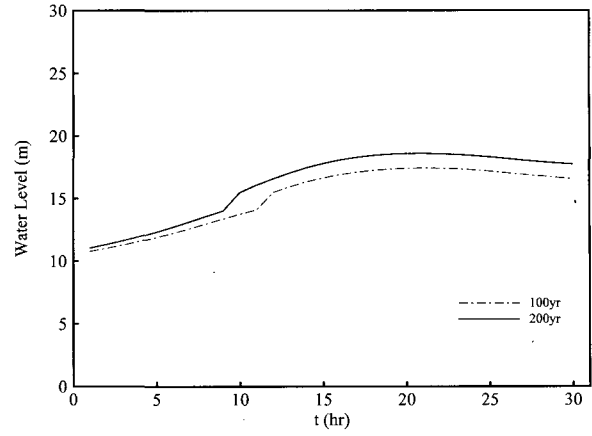
본 장에서는 FLUMEN 모형을 이용하여 실제지형에서의 홍수범람을 모의하였다. 유역면적 23,751.50 km², 유로연장 365.20 km인 구리시 유역을 대상지역으로 선정하였으며, 100년, 200년 빈도의 홍수에 대해서 범람모의를 실시하였다. 지형자료는 NGIS 수치지도 지형자료를 사용하였다. 그림 9는 대상지역의 불규칙 삼각격자이며, 총 32,650개의 요소로 구성되었다.

4.1 경계조건

하천의 상류경계조건으로는 100년, 200년 빈도의 홍수량 수문곡선을 사용하였다(건설교통부, 2002). FLUMEN 모형에서 상류단에서 유량으로 경계조건이 주어질 경우 하류경계조건으로는 수위-유량곡선 또는 수위수문곡선이 주어져야 하므로 본 연구에서는 그림 10과 같은 수위수문곡선을 사용하여 범람모의를 수행하였으며, 지류인 왕숙천의 경계조건은 3.9 m³/s로 일정하게 부여하였다(건설교통부, 2002).



(a) 100년 및 200년 빈도 상류경계조건 (한강)



(b) 100년 및 200년 빈도 하류경계조건

그림 10. 홍수 빈도별 경계조건

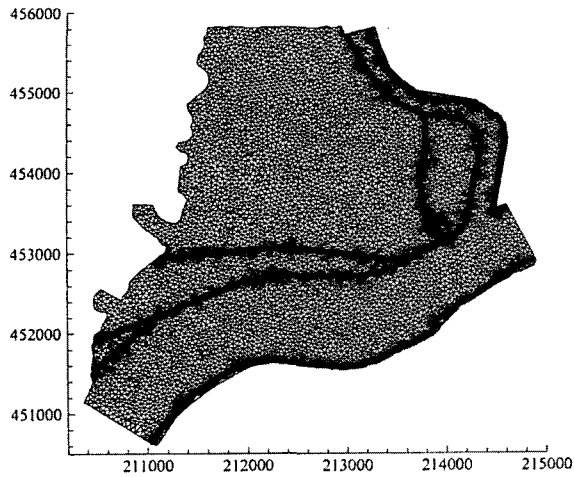


그림 9. 구리지역 삼각망 구성

그림 10의 수문곡선을 살펴보면, 모든 수문곡선이 침두점을 지나 일정시간 이상 모의가 진행되었음을 알 수 있다. 본 논문에서는 홍수 시, 발생 가능한 최대 침수심을 모의하기 위해 가장 극한의 상태인 침두홍수량이 유입하여 하류부로 방류될 때까지 모의하였다. 그러므로 침두시간 이후 약 12시간 동안 모의한 것은 원하는 현상을 모의하기에는 충분한 시간일 것이다.

하류단 경계조건을 부여하는 방법에는 수위를 지정하는 방법, 한계수위를 지정하는 방법 그리고 등류상태조건을 부여하는 방법이 있으나, 2차원 상용모형에서 수위를 지정하는 방법 이외의 것들을 이용하는 것에는 어려움이 따른다. 또한, 실제 자연현상에서는 제방의 붕괴로 인한 영향으로 하류경계조건이 변화하겠지만, 현재까지 알려진 연구로는 이러한 현상을 정확하게 반영할 수 없는 단계이다.

4.2 홍수 시나리오 작성

홍수 시나리오는 홍수피해의 발생형태에 따라 발생 가능한 범람의 유형을 작성한 시나리오이다. 이를 기초로 하여 범람해석을 실시하며 대상지역의 최대 침수심을 산정한다. 홍수 시나리오는 크게 홍수사상의 빈도규모, 홍수방어구조물의 붕괴조건 등의 2가지 시나리오로 구성된다.

빈도규모 시나리오는 대상지역에 적용되는 홍수사상의 빈도로서 표현할 수 있으며, 홍수사상의 규모를 나타내기 위한 목적으로 작성한다. 홍수방어시설의 붕괴 시나리오는 홍수방어시설의 붕괴를 가정하여 극한 상황에서의 범람위험도를 평가하기 위한 목적으로 작성한다. 강우의 빈도는 한강의 계획빈도가 200년이고, 왕숙천 하구의 계획빈도가 100년이므로 100년, 200년 빈도에 대해 홍수 범람시나리오를 작성한다.

가상 파제지점은 가능한 모든 사상과 경우를 고려하여 최대의 피해가 발생할 수 있는 곳을 선정하여야 하며, 확률의 개념으로 나타나는 안전도만을 바탕으로 낮은 안전도의 제방에만 파제지점을 결정하는 것은 무의미하다고 할 수 있다. 따라서 가상 파제지점은 최대의 피해발생이 예상되는 표 3에 열거된 4곳을 선정하였다(건설교통부와 수자원공사, 2004). 그림 11은 선정된 파제지점을 실제지도에 나타낸 것이다.

표 3에서 파제길이는 하천수리·수문 분석시스템(건설교통부, 2001년)에서 제시한 결과를 바탕으로 합류점의 경우 식 (8)과 합류점 이외의 경우 식 (9)와 같이 각각 결정하였다.

$$B_b = 4.5(\log B)^{3.8} + 50 \quad (8)$$

$$B_b = 1.9(\log B)^{4.8} + 20 \quad (9)$$

표 3. 가상 파제구간

파제구간	하천명	하폭(m)	파제길이(m)
1	한 강	1,014	345
2	한 강	932	332
3	왕숙천	154	138
4	왕숙천	133	129

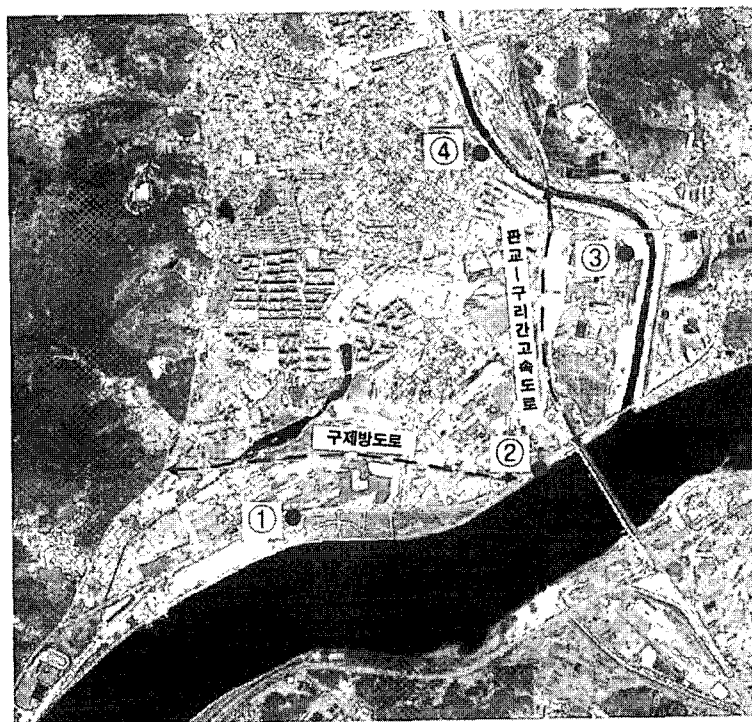


그림 11. 가상 파제지점의 위치

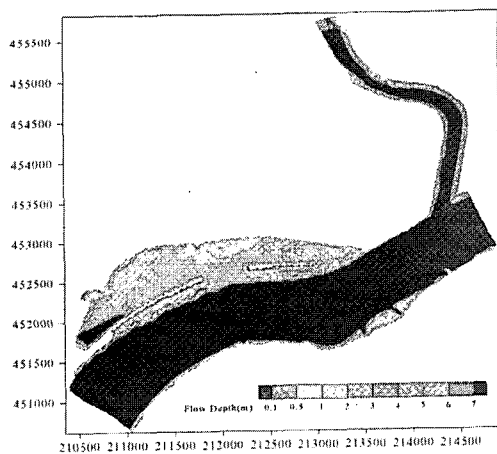
여기서, B_b 는 파제길이이고 B 는 하폭이다.

4.3 홍수범람모의 결과

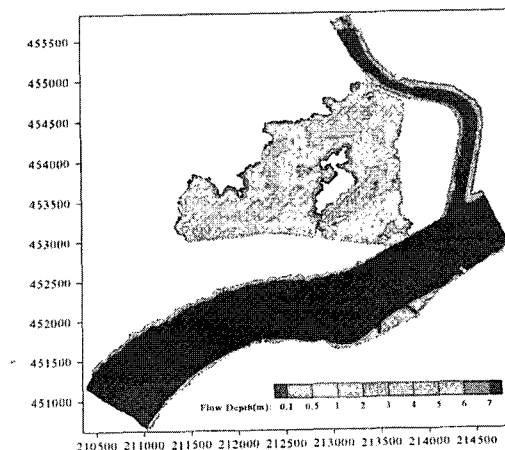
FLUMEN 모형을 이용한 구리유역 홍수범람모의 침

수심 결과를 홍수빈도별로 그림 12와 그림 13에 각각 도시하였다. 홍수범람모의시간은 파제 붕괴 후 30시간으로 부여하였다.

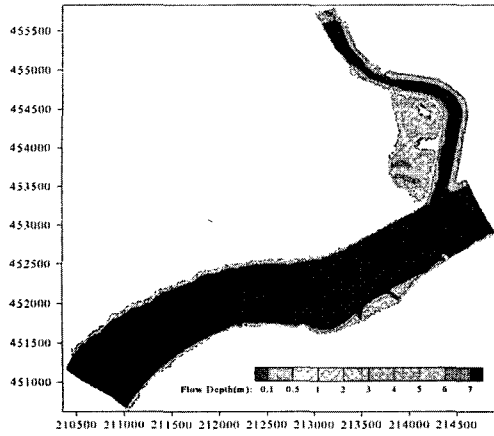
범람모의를 실시한 결과 200년 빈도의 경우, 왕숙천



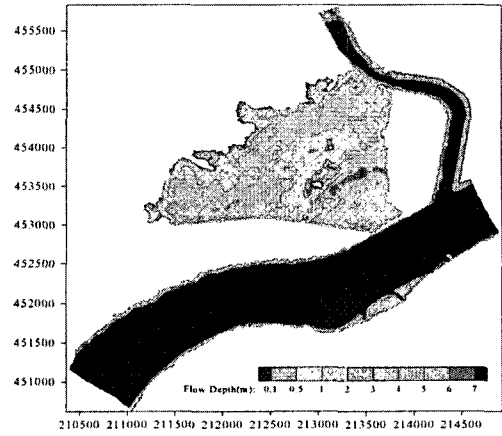
(a) 파제 1



(b) 파제 2

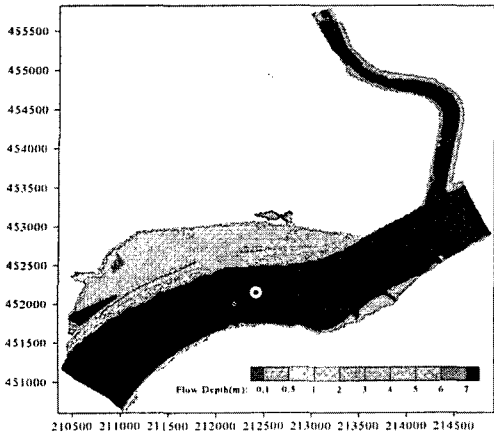


(c) 파제 3

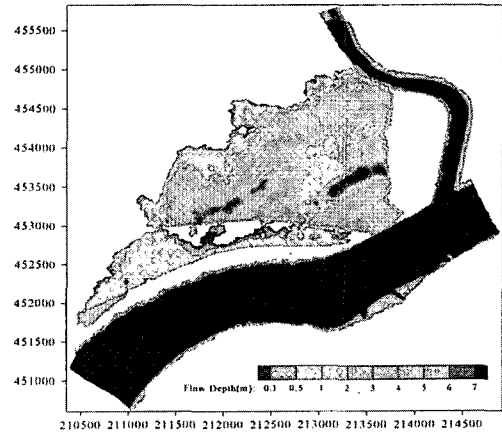


(d) 파제 4

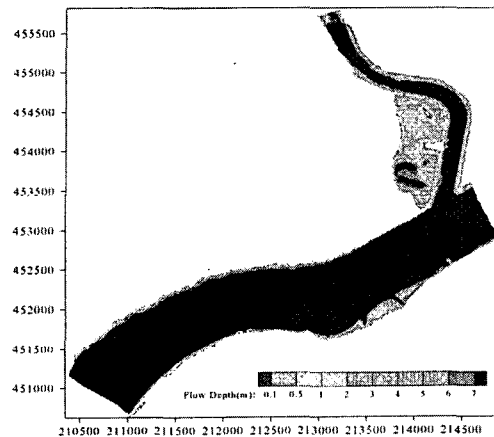
그림 12. 100년 빈도 홍수범람모의 결과



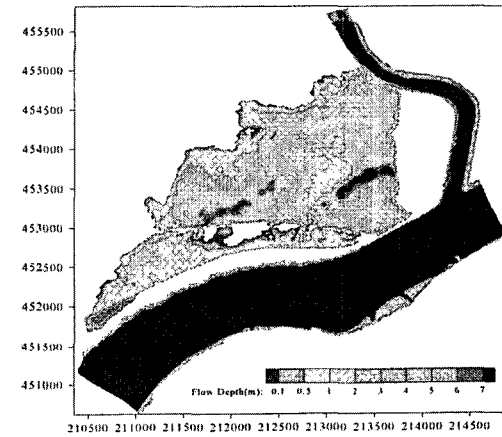
(a) 파제 1



(b) 파제 2



(c) 파제 3



(d) 파제 4

그림 13. 200년 빈도 홍수범람모의 결과

유입경계 부근 제방에서의 월류로 인해 구리 시내까지 침수를 일으킨다. 이는 왕숙천이 100년 빈도 홍수에 대해 설계되었기 때문이라고 판단된다. 또한, 다른 범람

시나리오의 경우에도 왕숙천 유입경계 부근 제방에서의 월류가 다른 범람요인들과 복합적으로 작용하여 구리 시내 뿐만 아니라 구제방도로까지 월류하여 가장 큰 침수

를 일으킨다.

그림 12와 그림 13에서 가장 큰 홍수범람면적이 모의된 파제 4의 범람모의 결과를 비교하여 보면, 100년 빈도의 홍수에 의한 범람면적은 약 3.422 km²이고, 200년 빈도의 홍수에 의한 범람면적은 약 4.756 km²으로 200년 빈도의 홍수범람시 100년 빈도의 홍수범람보다 범람면적이 약 39% 정도 증가하는 것으로 모의되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 수심 적분된 비선형 천수방정식에 불규칙 삼각망을 이용한 유한체적법이 적용된 FLUMEN 수치모형을 이용하여 홍수범람모의를 수행하였다. 모의에 앞서 모형의 적용가능성을 검증하기 위해 불연속 흐름 조건인 하폭과 하상의 변화에 의한 급변류 해석, 이동경계조건을 포함하는 원형섬에서의 고립파에 치오름 해석과 같은 문제에 적용하였다. 수치계산된 결과는 해석해 및 다른 기법에 의해 계산된 결과 및 수리모형실험 관측결과와 양호하게 일치하였다. 따라서, 본 연구에 사용된 FLUMEN 수치모형이 홍수범람모의에 적합한 모형이라고 판단되어 실제 지형에서의 홍수범람모의를 수행하였다.

홍수범람모의는 구리시 유역을 대상지역으로 선정하였으며, 100년, 200년 빈도의 홍수시나리오에 대해 범람모의를 실시하였다. 지형자료는 NGIS 수치지도 지형자료를 이용하여 삼각망을 구축하였으며, 최대의 피해발생이 예상되는 4곳의 가상 파제지점을 선정하여 모의하였다. 홍수범람모의 결과, 한강 본류에서의 월류보다는 지류인 왕숙천 유입부에서의 월류가 가장 큰 피해를 초래하였다.

본 연구에서의 결과는 아직 기초적인 수준이지만, 지형의 정밀한 측량을 통한 세밀한 격자체계구성과 정확한 하천자료수집 그리고 내외수 연계모의기법의 개발 등을 통해 연구를 발전시킨다면, 앞으로 우리나라에서 수행되는 홍수지도제작에 자료를 제공할 수 있을 것이라 사료된다. 그리고, 이를 이용하여 홍수에경보는 물론 홍수방재계획의 수립, 토지이용의 규제 등과 같은 다양한 분야에 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술평가원(KISTEP)으로부터 지원을 받았기에 이에 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

건설교통부 (2002). **한강 하천정비 기본계획**.

건설교통부, 한국수자원공사 (2001). **하천수리·수문 분석시스템**.

건설교통부, 한국수자원공사 (2004). **홍수지도제작 보고서(한강 유역권 시범제작)**.

김양수 (2002). "2002년 홍수 피해원인과 대책." **한국수자원학회지**, Vol. 35, No. 6, pp. 11-19.

이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998). "하천 홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발(I) : GIS와의 연계해석." **한국수자원학회논문집**, 제31권, 제4호, pp. 415-427.

한건연, 박재홍 (1995). "도시하천에서의 홍수범람도 작성을 위한 2차원 모형의 개발." **한국수자원학회지**, 제28권, 제6호, pp. 119-131.

한건연, 이종석, 김상호 (1997). "댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: II. 적용 예." **한국수자원학회논문집**, 제30권, 제6호, pp. 675-686.

Estrela, T., and Quintas, L. (1994). "Use of a GIS in the modeling of flows on floodplains." *Proc. of Second International Conference on River Flood Hydraulics*, March 22-25, 1994, York, England, pp. 177-183.

Garcia-Navarro, P., Alcrudo, F., and Saviron, J.M. (1992). "1-D open channel flow simulation using TVD-McCormack scheme." *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No. 10, pp. 1359-1372.

Glaister, P. (1988). "An approximate linearised Riemann solver for the Euler equations of gas dynamics." *Journal of Computational Physics*, Vol. 74, pp. 382-408.

Hromadka II, T.V., and DeVries, J.J. (1985). "A two-dimensional dam-break model of the Orange County Reservoir." *International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulic Infrastructures and Water Quality Control*, Univ. of Kentucky, pp. 185-193.

Liu, P.L.-F., Cho, Y-S., Briggs, M.J., Kanoglu, U., and Synolakis, C.E. (1995). "Run-up of solitary wave in a circular island." *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 302, pp. 259-285.

Meselhe, E.A., Sotopoulos, F., and Holly, F.M., Jr. (1997). "Numerical simulation of transcritical flow in open channel." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 9, pp. 774-783.

Roe, P.L. (1981). "Approximate Riemann solvers, parameter vectors and difference schemes." *Journal of Computational Physics*, Vol. 43, pp. 357-372.

Syme, W.J., and Paudyal, G.N. (1994). "Bangladesh flood management model." *Proc. of Second International Conference on River Flood Hydraulics*, March 22-25, 1994, York, England, pp. 167-176.

van Leer, B., Thomas, J.L., and Roe, P.L. (1987). "A comparison of numerical flux formulas for the Euler and Navier-Stokes equations." *AIAA 8th Computational Fluid Dynamics Conference*, Honolulu, Hawaii. Paper AIAA-87-1104-CP.

(논문번호:04-107/접수:2004.12.01/심사완료:2005.04.25)