

Flumen을 이용한 한강제방 취약지역에서의 범람모의 Numerical Study at Vulnerable Levee of Han River Using Flumen

이진우*, 박성우**, 조용식***

Jin Woo Lee, Park Sung Woo, Yong-Sik Cho

요 지

본 연구에서는 한강제방 취약구간인 성산대교와 잠실철교 부근 지역에 대한 홍수범람을 수치 모의 하였다. 제방 취약지역은 한강 하천정비기본계획(2002)과 대학과 연계한 하천관리에 관한 연구용역(2단계 4차년)에 제시된 홍수위와 기존 제방의 높이를 비교하여 산정하였다. 범람모의를 위해 HEC-RAS 부정류 해석을 통해 경계조건을 산정하고, 상용 수치모형인 FLUMEN을 이용하여 한강제방의 취약지역에 대한 범람을 모의하고 적용성을 검토하였다.

핵심용어 : 홍수범람, 제방고, 여유고, FLUMEN

1. 서 론

통계에 따르면 우리나라는 최근 10년 간 매년 홍수로 인하여 연평균 106명의 인명피해와 6,811 억원의 재산피해를 겪고 있다(배용훈 등, 2005). 따라서 홍수에 대한 피해를 줄이기 위해 하천제방, 댐 및 저류지 계획 등 각종 홍수방어대책을 수립하여 홍수에 대비해오고 있다. 그러나 구조적 홍수피해 저감 대책만으로는 해마다 발생하는 막대한 복구비용과 노력에 대한 한계를 보이고 있는 상황이다. 미국과 일본 등지에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 비구조적인 대책으로 수치해석을 통한 범람위험지역 산정 및 범람지도 제작이 수행 되어 왔다.

본 연구에서는 이러한 홍수범람지도 제작에 사용되는 수치모형을 이용하여 한강제방 취약지역에 대하여 적용하고자 한다. 사용된 수치모형은 스위스의 Beffa에 의해 개발된 FLUMEN(FLUvial Modeling ENgine)으로서 스위스, 독일, 오스트리아 등에서 홍수범람해석에 사용된 바 있는 모형이다. FLUMEN 모형은 상류 및 사류와 도수와 같은 불연속 흐름의 수치해석에 있어서 안정적으로 해를 제공하고 Dry 형태의 모의시작이 가능하며, 홍수범람시에 중요하게 고려되는 wet/dry 이 동경계 모의가 가능하다고 알려져 있다(Beffa, 2003).

2. 지배방정식과 수치모형

FLUMEN 모형에서는 홍수범람을 모의하기에 적합한 FDS(flux difference scheme)가 사용되어 수치해의 진동을 크게 완화시키며(Roe, 1981) 이는 Euler 방정식의 적용에서부터 발전되었고,

* 정회원 · 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정 · E-mail : moonguy@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : psw525@hanyang.ac.kr

*** 정회원 · 한양대학교 건설환경공학과 교수(교신저자) · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

쌍곡선형 천수방정식에도 적용이 가능하다(Glaister, 1988). 특히, 점성흐름이나 충격파 계산에 있어서 보다 뛰어난 수치모의를 수행한다(Van Leer 등, 1987).

2.1 지배방정식

FLUMEN 모형은 수심 적분된 2차원 천수방정식을 기본으로 하고 있으며 도수(hydraulic jumps)와 같은 흐름이 불연속적으로 변화하는 표현에 유효한 보존형 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

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

여기서, 보존형 변수 벡터 \mathbf{U} 는 수심 h 와 비유량 q 와 r 의 향으로 다음과 같다.

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

x -와 y -축의 flux 벡터 \mathbf{E} , \mathbf{G} 와 생성항 벡터 \mathbf{S} 는 각 다음과 같다.

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

식 (3)에서 g 는 중력가속도, ρ 는 유체의 밀도, z_b 는 하상고도, τ_b 는 하상전단력을 나타낸다.

FLUMEN 모형의 격자는 불규칙 삼각망을 적용한다. 식 (1)을 임의의 i 번째 삼각망에 대하여 식 (4)과 같이 적분하면 유한체적법을 이용할 수 있고, A_i 는 삼각형의 면적이다.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{A_i} \frac{dU}{dt} d\Omega = - \int_{A_i} (E_x + G_y) d\Omega + \int_{A_i} S(U) d\Omega \quad (4)$$

2.2 마찰계수

하상 전단 응력을 수심평균 흐름속도로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{c_f}, \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{c_f} \quad (5)$$

식 (5)에서 $u = q/h$, $v = r/h$ 이다.

마찰계수 c_f 는 Manning-Strickler의 경험적인 마찰공식에 의해서 계산된다.

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

여기서, n 은 Manning의 조도계수이고, k_{st} 는 k-Strickler 계수이다.

3. 수치모의 및 결과

3.1 제방취약지역의 산정

한강 하천정비 기본계획(건설교통부, 2002)과 대학과 연계한 하천관리에 관한 연구용역(2단계 4차)에서 설계홍수량에 따른 HEC-RAS의 부등류 해석을 통해 빈도별 홍수위를 모의한 결과값을 바탕으로 하천설계 기준(2005)에서 제시한 제방 안전도 평가 기준을 통해 한강철교 부근의 좌안과 안양천 합류부근의 좌안을 C등급인 제방취약지점으로 산정하였다.

두 취약지역을 모두 포함한, 반포대교에서 가양대교까지 구간을 수치모의 하였고, 지형과 격자는 그림 1과 같다.

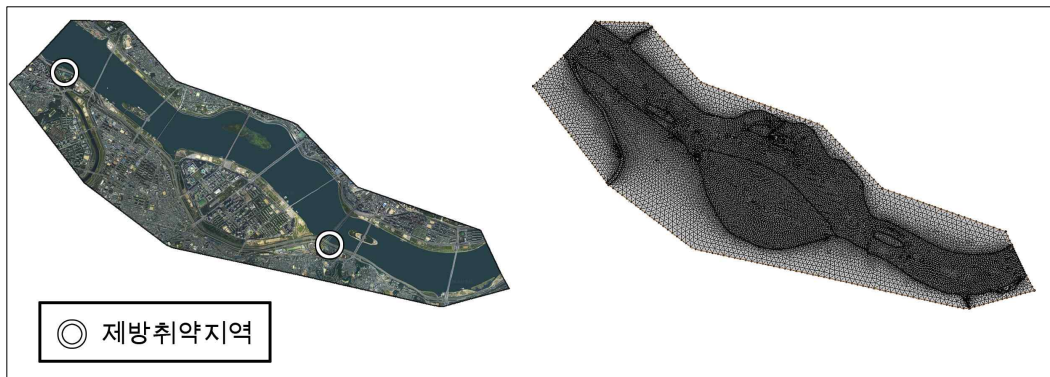


그림 1. 수치모의지역의 지형과 격자

3.2 수치모의 조건 및 결과

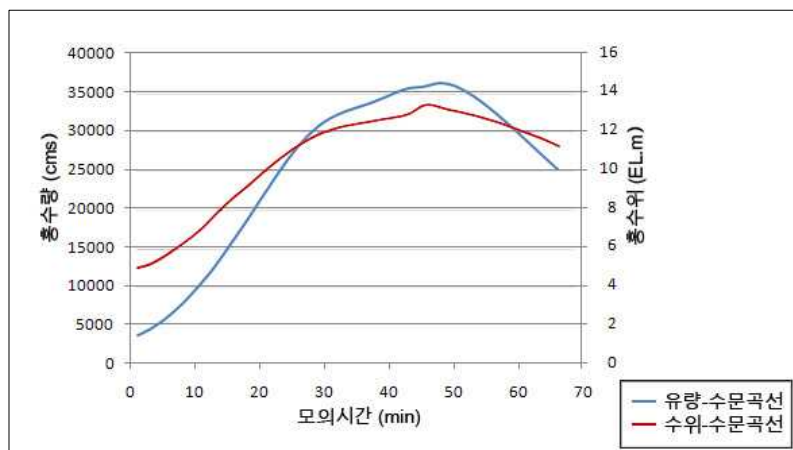


그림 2. 상하류 경계조건

지형자료는 NGIS 1000:1과 5000:1지도를 기반으로 중횡단면도를 이용하여 구축하였고 하천의 상하류 경계조건은 유량계수별 조도계수의 조정을 통하여 HEC-RAS 부정류 해석을 통해 산정하였으며, FLUMEN에 입력된 조도계수는 한강 하천정비 기본계획(2002)을 참고하였다.

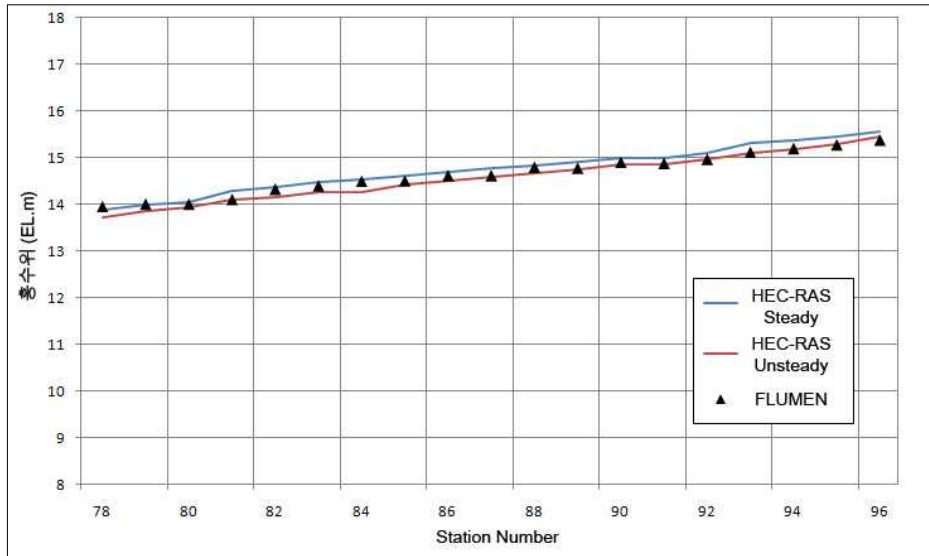


그림 3. 홍수위 산정결과 비교

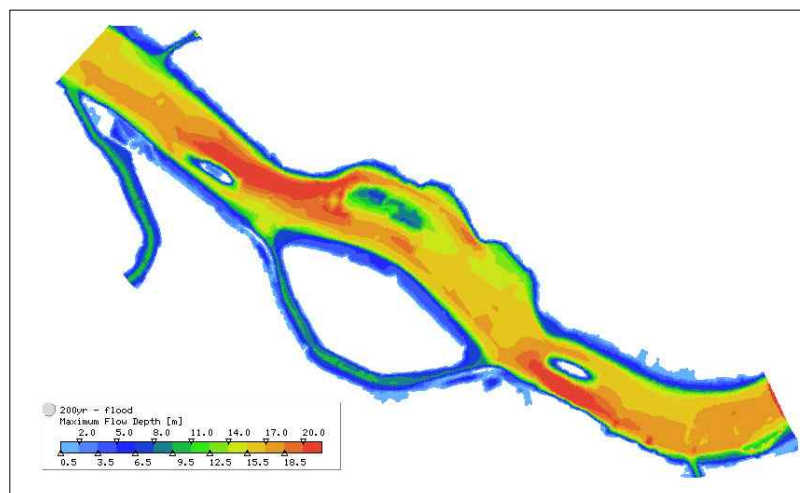


그림 4. 홍수범람 해석결과

수치모의결과 HEC-RAS 부등류 및 부정류 해석과 비교적 동일한 홍수위를 얻을 수 있었다. 취약지역으로 산정되었던 성산대교와 잠실철교 좌안부근에서 월류로 인한 범람이 발생되어 일부 주거지역이 범람되었다. 또한 취약지역이 아닌 반포천 인근 합류부에도 월류가 발생되었는데, 이는 FLUMEN 모형을 이용한 수치해석 경우 유입부에는 경계 길이에 대해 평균된 유량을 강제적으로 부여하는 곳이므로 상대적으로 유속이 빠르고 수심이 깊게 형성되어 지형변화에 민감하게 되기 때문으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 HEC-RAS를 이용한 부등류 해석을 통해 한강제방 취약지역으로 선정된 성산대교와 잠실철교 부근 지역에 대한 홍수범람모의를 실시하였다. 경계조건은 유량규모별 조도계수를 조정하여 HEC-RAS 부정류 해석을 통해 산정하였고, 상용 수치모형인 FLUMEN을 이용하여 수치모의 하였다. 제방 취약지역에서 월류로 인한 범람이 발생하였으며, 일부 주거지역이 침수되었다. 수치모의 결과로 미루어 볼 때 2차원 수치모형인 FLUMEN을 이용하여 한강지역의 홍수범람모의를 실시할 경우 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 서울특별시 “대학과 연계한 하천관리에 대한 연구 용역”의 연구비 지원에 의한 결과의 일부이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2002). 한강 하천정비 기본계획.
2. 건설교통부, 한국수자원공사(2001). 하천수리·수문분석시스템.
3. 건설교통부, 한국수자원공사(2002). 홍수지도제작 보고서(한강유역시범제작).
4. 배용훈, 고덕구, 조용식.(2005). “FLUMEN 모형을 이용한 홍수범람모의.” **한국수자원학회논문집**, vol.38 no.5 통권 제154호, pp.355-364.
5. 서울특별시(2006). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구보고서(2단계 1차).
6. 서울특별시(2007). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구보고서(2단계 2차).
7. 서울특별시(2008). 대학과 연계한 하천관리에 대한 연구보고서(2단계 3차).
8. 서울특별시(2009). 대학과 연계한 하천관리에 관한 연구보고서(2단계 4차).
9. Beffa, C.(2003). FLUMEN User Manual version 1.2.
10. Glaister, P.(1988). “An approximate Linearised Riemann Solverfor the Euler Equations of Gas Dynamics”, J. Comput. Phys., Vol. 74, pp. 382-408.
11. Roe, P.L.(1981). “Approximate Riemann solvers, parameter vectors and difference schemes”, J. Comput. Phys., Vol. 43, 357-372.
12. 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.