

낙동강 제방 붕괴에 따른 범람홍수 해석

Flood Inundation Analysis from Levee Failure in Nakdong River

전 민 우* / 한 건 연** / 최 규 현***

Jeon, Min Woo / Han, Kun Yeun / Choi, Kyu Hyun

Abstract

One- and two-dimensional coupling model has been developed to analyze the flood inundation aspect of protected lowland. One-dimensional model solves the Saint-Venant equations by the Preissmann method, and two-dimensional model solves the shallow water equation by the integrated finite difference method. The coupling model approximates unsteady supercritical and subcritical flow, backwater flooding effects, and escaping and returning flow from two-dimensional flow model to channel system. The model has been applied to the levee failure in the Nakdong river during September 13 through 15, 2000. Velocity distributions and inundated depths were presented to demonstrate model simulation results.

keywords : flood analysis, levee break, 2D inundation model

요 지

본 연구에서는 제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수파가 제내지로 전파되는 경우의 물리적인 특성을 고려하여 하천에 대한 홍수류 해석은 Preissmann 기법을 적용하였으며, 제내지에서의 범람해석을 위해 2차원 모형을 적용하여 해석할 수 있도록 구성하였고, 이들 두 모형이 상호 작용할 수 있는 하도-제내지 연결부 수치해석 모형을 개발하였다. 본 모형에서는 잠수효과의 해석을 위한 관련방정식을 도입하여 제내지에서의 수위 상승에 따른 하천으로부터의 월류량을 정확하게 계산할 수 있도록 구성하였다. 본 연구모형을 2002년 9월 낙동강 유역 실제 제방붕괴의 경우에 적용하여 제내지에서의 2차원 범람양상을 유속분포와 범람수심에 대해서 주요 시간대별로 계산하여 도시하였으며 모의결과는 당시의 실측자료 및 홍수범람범위와 잘 일치되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 홍수해석, 제방붕괴, 2차원 범람홍수모형

1. 서 론

최근에 빈번하게 발생하는 하천 제방의 붕괴 및 월류로 인한 피해는 제내지에서의 많은 인명손실과 극심한 재산피해를 줄 뿐 아니라 사회적 문제를 야기하기

도 한다. 따라서, 제방의 붕괴로 인한 범람구역의 정확한 추정이 필요하며, 이를 통해서 홍수범람 구역에 대한 적절한 예측과 피난대책의 수립이 가능하게 된다. 그간 국내에서의 범람 홍수의 예측은 과거 홍수범람도 및 지형도를 통한 경험적 추정 등에 의존해 오고 있는

* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Eng., Chungbuk National Univ., Chungbuk 361-763, Korea.
(e-mail: minwoo@chungbuk.ac.kr)

** 경북대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Eng., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea.
(e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

*** 한국건설기술연구원 Post-Doc.
Post-Doc., Korea Institute of Construction Technology, Kyonggido 411-712, Korea
(e-mail: hydro2k@hitel.net)

실정으로서 홍수파의 전파양상, 도달시간, 범람수심의 분포 양상을 정확하게 예측하지 못하였다.

제방붕괴 및 월류에 따른 범람 홍수파 해석은 주로 댐 붕괴의 문제와 연관되어 왔는데 Schoklitsch (1917), Dressler (1952), Whitham (1955) 그리고 Stoker (1957) 등에 의하여 급격한 붕괴로부터 발생하는 부정류의 근사해를 단순한 하도에 대하여 유도한 바 있다. Land (1980)는 댐 붕괴 홍수파 해석을 위하여 4가지 모형을 비교·검토하였고, Ponce와 Tsivoglou (1981)는 범람 홍수파 해석을 위하여 흙댐의 점진적 파괴를 조사하였고 퇴적물의 이동과 흐름의 부정류 해석을 실시하였다. Rajar (1978)는 범람 홍수파 해석을 위하여 1차원 확산형 모형과 2차원 Lax-Wendroff 모형을 제안하였고, Sakkas와 Strelkoff (1973), Chen (1980), Chen과 Armbruster (1980) 등은 1차원 특성법에 의하여 해석하였고, Katopodes와 Strelkoff (1978)는 2차원 특성법에 의하여 해석하였다. Xantopoulos와 Koutitas (1976)는 2차원 범람홍수파 해석을 위하여 Eulerian 좌표상에서 양해법 유한차분모형을 이용하여 그 해를 구하였고, Strelkoff (1977) 등은 Baldwin Hill 댐의 파괴가 Los Angeles지역에 미치는 영향을 Manning의 식과 질량보존식에 의하여 범람홍수도를 작성하였다. 有賀世治 (1977)는 일본에서 발생한 제방붕괴 사례의 조사를 실시하고 수리모형 실험을 통한 범람 홍수의 거동을 규명하고자 하였으며 西原 巧(1981, 1982)은 일본에서 발생한 실제의 제방붕괴 자료를 기초로 하고 이를 수치모형에 의하여 해석하였다. Iwasa (1982)는 1차원, 2차원 양해법 유한차분모형에 의한 하천제방의 붕괴와 월류에 따른 범람 홍수파 해석을 실시하였고, Evans와 Lany (1983)는 영국의 Whitham 강에서의 범람 홍수파 해석을 위하여 1차원 음해법 유한차분모형을 이용하여 해석하였다. Fread (1985)는 제방범람으로 인한 홍수파를 주수로와 연결된 네트워크로 고려하여 제내지에서의 1차원 홍수파 해석을 실시하였고, Hromadka와 DeVries (1985)는 Orange County 저수지의 가상적인 붕괴에 따른 범람 홍수파를 Integrated Finite Difference 모형을 이용하여 해석하였다.

국내에서의 제방붕괴로 인한 홍수범람에 대한 연구로서는 이홍래 등(1998a; 1998b)이 제방월류 및 붕괴에 따른 하도 및 제내지에서의 범람해석을 실시할 수 있는 프로그램을 Arc/Info와 연계하여 개발하였으며, 김중해 등(2003)은 홍수위 계산에 있어서 도입되는 불확실성의 원인을 분석하고 정량화하여 확률론적 홍수위 계산을 실시함으로써 제방월류에 대한 제내지 범람 특성을 해석할 수 있는 모형을 개발하였다. 한건연 등(1997a;

1997b)은 댐 및 하천제방의 수문학적 위험도를 평가하기 위해서 Monte Carlo 기법과 AFOSM 기법에 의한 위험도 모형을 개발하였다. 또한 최규현 등(2005a; 2005b)은 댐붕괴에 따른 제내지에서의 범람홍수류의 특성을 규명하고자 하였다.

따라서, 본 연구에서는 하천 범람에 따른 범람 홍수파 전달특성해석, 침수범위 및 침수위의 추정, 예상 피해규모 등을 예측할 수 있는 하도-제내지 연결부 수치해석 모형을 개발하여 이를 실제유역에 적용함으로써 정확한 범람 홍수파의 해석은 물론 제내지의 침수분포 양상에 대한 해석을 수행하고자 한다. 본 연구를 통해서 다양한 범람유형에 대한 능률적이고 정확한 범람 홍수파의 해석이 수행될 수 있겠으며, 하천제방 계획시 홍수피해와 투자액을 감안한 경제적인 하천 제방단면 결정을 위한 기본자료로 활용될 수 있으며, 국가 중요 시설물의 입지 선정시 홍수피해에 대한 판단자료로 이용될 수 있을 것이다. 또한, 제방붕괴로 인한 홍수 재해시 제내지의 시간별 침수구역의 예측, 단계적인 대피계획, 주요시설의 보호 및 이동 등을 포함한 수방 및 홍수피해 경감대책의 수립에 크게 기여할 수 있을 것으로 그 효과가 기대된다.

2. 하천에서의 홍수위 해석

제방의 붕괴로 인한 수리현상을 규명하기 위한 기본적인 요소로서, 먼저 하천에서의 홍수파의 전파양상을 정확하게 해석하는 것은 무엇보다도 중요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 부정류의 연속방정식 및 운동량방정식을 기본으로 하고 제방붕괴에 따른 하천과 제내지 간의 유량이동을 q 로 처리하는 1차원 홍수위 해석모형을 개발하였다.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e\right) + L = 0 \quad (2)$$

여기서, Q 는 유량, A 는 흐름단면적, A_0 는 저류단면적, q 는 측방유출입량, x 는 거리, t 는 시간, h 는 수위, S_f 는 마찰경사, S_e 는 단면 확대·축소에 의한 손실경사, B 는 하폭, n 은 조도계수, L 은 지류에 의한 운동량의 변화이다.

식 (1), (2)의 비선형 쌍곡선형 편미분방정식을 Preissmann의 4점 가중 음해 유한차분법을 사용하여

차분화하여 비선형 대수방정식을 유도하였고, 2차항 이상의 모든 고차항을 무시한 비선형 Taylor 급수 전개 이론으로부터 그 해를 구하기 위해서 Newton-Raphson 방법을 적용하였다. 초기조건과 상·하류단에서의 경계조건이 도입되어 형성되는 매트릭스가 밴드형을 형성하기 때문에 우선 『0이 아닌 요소』만을 보관하여 그 크기를 줄이는 penta-diagonal형으로 변형시켜 Gauss 소거법에 의하여 그 해를 구하였다.

3. 제내지에서의 범람해석

제방월류의 발생여부를 판단하며, 만일에 발생할 수 있는 제방 입의지점의 붕괴에 따른 범람홍수량을 구하기 위해 제내·외지에 대한 잠수효과를 고려하고 제방 붕괴 유량산정식을 도출할 수 있는 범람해석모형을 개발하였다. 하천제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수류가 범람되는 경우에 홍수터의 저류, 홍수의 감쇠, 건물주위에서의 흐름, 가로에서의 흐름 등에 따라 그 물리적인 양상을 수식으로 표시하기에 큰 어려움이 있다. 홍수류가 범람되는 경우 범람예상구역의 물리적인 특성을 정확하게 반영할 수 있는 수리학적 방정식을 기본식으로 하여 해석하여야 한다. 식 (3)~(5)는 2차원 천수방정식을 x, y 방향의 단위폭당 유량 q_x, q_y 로 기술하고 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = i \quad (3)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{H} \right) + gH \left(S_{fx} + \frac{\partial H}{\partial x} - S_{\alpha} \right) = \frac{ui}{b} \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{H} \right) + gH \left(S_{fy} + \frac{\partial H}{\partial y} - S_{\alpha} \right) = \frac{vi}{b} \quad (5)$$

여기서, H 는 흐름방향의 수심, h 는 수위, S_{fx}, S_{fy} 와 $S_{\alpha x}, S_{\alpha y}$ 는 x, y 방향에 대한 마찰경사와 하상경사, i 는 강우에 의한 유입량 또는 지표면 유하수에 의한 유입량, b 는 대상격자의 폭, u, v 는 지표면 유하수의 x, y 방향 유속, g 는 중력가속도를 각각 나타내고 있다. 또한, 산지하천으로부터의 토석류의 영향을 고려하기 위해서는 지배방정식의 S_f 항의 단순한 에너지경사항이 아닌 다음 식 (6)으로 표시되어야 한다.

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} + \frac{K\eta V}{8\gamma_m h^2} + \frac{n^2 V^2}{h^{3/4}} \quad (6)$$

여기서, γ_m 은 토석류의 단위중량, K 는 저항계수, η 는 동접성계수, n 는 Manning의 조도계수이다.

2차원 천수방정식의 실제적인 적용을 위해서 본 연구에서는 식 (3)~(5)를 기본으로 한 유한차분법을 적용함으로써 침수위 및 속도벡터도 등을 구할 수 있도록 구성하였다. 이를 위해서 침수구역의 적정범위를 지형도 등을 통해서 설정하고, 격자망을 구성하였다. 적용대상지역을 직사각형 격자로 분할 구분하였고, 각 격자에 대한 표고, 조도계수, 위치 등을 분포시켰다. 흐름해석은 유량을 계산하기 위하여 흐름의 수심치를 해석하여 격자 시스템 내에서 추적될 수 있도록 구성하였으며, 식 (7)은 이러한 수심산정식을 나타내고 있고, 그림 1은 수치모형에서의 유한차분망을 나타내고 있다.

$$h^{t+\Delta t}(j, k) = h^t(j, k) - \left(\frac{q_x^t(k \rightarrow k+1) - q_x^t(k-1 \rightarrow k)}{b} \right) \Delta t - \left(\frac{q_y^t(j \rightarrow j+1) - q_y^t(j-1 \rightarrow j)}{b} \right) \Delta t \quad (7)$$

여기서, Δt 는 시간간격, $h^{t+\Delta t}(j, k)$ 는 시간 $t+\Delta t$ 에 있어서의 요소 (j, k) 에서의 수심, $q_x^t(k \rightarrow k+1) - q_x^t(k-1 \rightarrow k)$ 는 시간 t 에 있어서의 격자 (j, k) 와 $(j, k+1)$ 사이의 x 방향 단위폭당 유량, b 는 격자의 크기를 나타내고 있다.

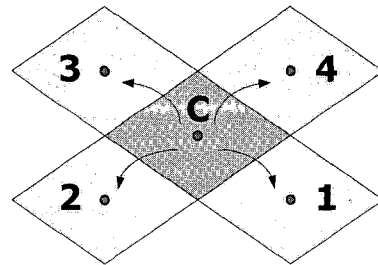


그림 1. 범람 모형에서의 격자망의 구성

4. 하도-제내지의 연결부 해석모형

하천과 제내지의 연결부 해석을 위해 연결부 모형을 도입하여 해석하였다. 본 연구에서는 하천에 대한 홍수해석에 의해 홍수류 해석을 실시하였고, 제내지에서는 범람 모형을 적용하여 해석할 수 있도록 구성하였으며,

이들을 연계할 수 있는 하도-제내지 연결부 수치모형을 개발하게 되었다. 연결부 모형에서는 잠수효과와 해석을 위한 관련방정식을 도입하여 제내지에서의 수위상승에 따른 하천으로부터의 월류량을 정확하게 계산할 수 있도록 구성하였다.

동역학적 모형에 의한 하천홍수 모의와 범람 모형에 의한 홍수터 모의에 있어서, 두 지점의 상대적인 수위에 따라서 제방 월류유량은 그 방향을 바꾸어 홍수터에서 하천으로 되돌아 갈 수도 있다. 제방월류 및 파괴에 따른 제내지로의 범람 홍수 유입량을 산정하기 위하여 범람양상을 그림 2에 나타난 바와 같이 범람 홍수량을 산정하였고 이들을 수식화 하였다.

하천으로부터 제내지로 유입하는 범람 수문곡선을 유도하기 위해서는 하천의 수위, 제방파괴양상, 제내지의 지형조건 등이 필요하다. 범람류의 흐름은 제방 내·외측의 수위로부터 완전 및 불완전 월류로 구분하여 불완전 월류일 경우에는 잠수영향을 고려하였다. 또한, 연결부의 효율적인 계산을 위하여 최적 시간간격의 설정을 위한 계산 알고리즘도 도입하여 해석하였다.

제방을 통한 유량의 영향은 식 (1) 및 (2)에서의 측방 유출입량 (q)로 다루어짐으로서 고려된다. 하천에서 흐름을 추적할 때 흐름이 제방을 월류하여 홍수터 내로 유입된 경우 하도에서의 측방유출량으로 고려되며, 이는 홍수터에서의 2차원 범람모의에 있어서 상류단 경계조건으로 처리하였다. 각 경우에 대한 월류유량은 식 (8)로 계산된다.

$$q_i^{j+1} = S_g c_i k_s (\bar{h}_i - h_c)^2 \quad (8)$$

여기서, k_s 는 잠수보정계수, c_i 은 웨어유량계수, h_c 는 제방고, \bar{h}_i 는 하천단면에서의 평균수위를 나타내고 있다. 하천과 제내지간의 상대적인 수위변화에 따라서 제방마루를 넘어 제내지로 월류하던 흐름이 그 방향을 바꾸어 다시 제내지로부터 하천으로 복귀하는 경우도 있을 수 있으므로, 그 흐름방향을 S_g 의 부호로 표시하였다.

2차원 범람 모형에서의 파괴 감쇠는 제방의 저류와 마찰경사 및 하도경사와 확산형 압력경사항의 상호작용의 결과로 나온 것이다. 범람홍수 해석을 위한 정확도는 격자의 크기에 달려있다. 세부적인 해석을 위해서는 작은 격자크기가 적절한 것으로 사료된다. 이보다 더 작은 크기는 컴퓨터 계산시간을 많이 요구하며 방대한 자료를 필요로 하고 상세한 경계조건이 필요하다. 그림 3은 본 연구에서 개발된 하도-제내지 연결부 수치모형의 계산흐름도를 나타내고 있다.

5. 낙동강 유역에 대한 적용

5.1 대상구간의 선정

2000년 9월 12일 00시~18일 23시 기간동안 낙동강 유역의 홍수로 인한 제방 붕괴상황에 따른 범람양상을 규명하게 위해서 본 연구에서 개발된 하도-제내지 연결부 모형에 의한 홍수파 해석 및 제내지의 범람 해석을

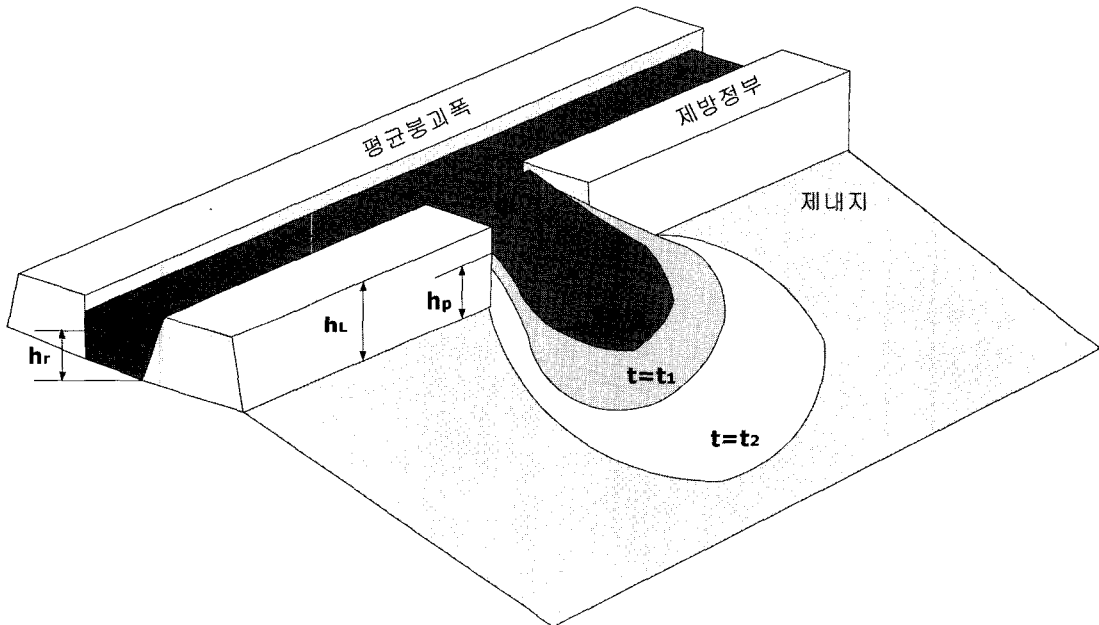


그림 2. 범람 홍수류의 전파양상

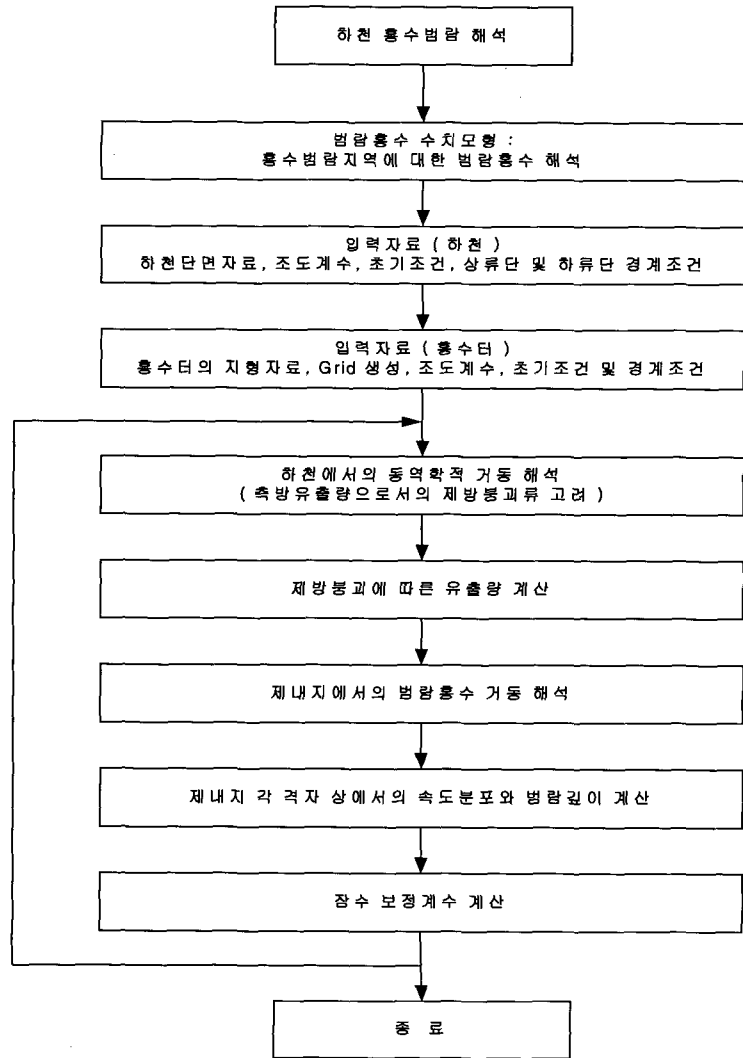


그림 3. 하도-제내지 연결부 수치모형의 계산흐름도

실시하였다. 적용구간은 그림 4, 그림 5에서 보는 바와 같이 현풍~적포교의 33.55km구간으로서 전체 단면의 개수는 67개이며 평균적인 계산거리간격은 0.5km이고 계산시간간격은 0.5시간이며 제방 붕괴시의 계산시간간격을 0.05시간으로 설정하였다.

당시 봉산제 제방은 낙동강 수위상승에 의한 하천수 위치에 의해 기존 배수구 밑으로 물이 침투하여 토사유출에 의한 파이프 현상이 제방붕괴의 주원인으로 추정되었고, 제방붕괴양상은 최초 약 60m의 붕괴폭이 발생하여 30분 동안 붕괴가 진행되어 최종 약 110m 가량 붕괴폭이 형성되어 제방이 완전붕괴된 상황에 대해서 모의되었다. 그림 6은 2000년 9월 낙동강 범람시 하천 중류부에 위치한 봉산제 지역에서의 제방이 붕괴되어 제내지가 침수되었던 상황을 보여주고 있다.

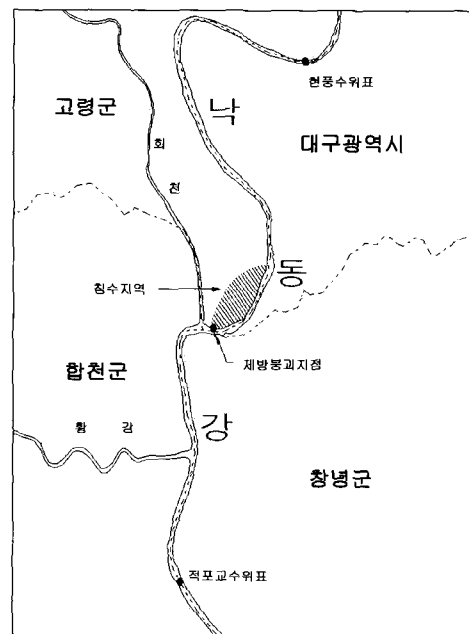


그림 4. 대상구간의 유역도

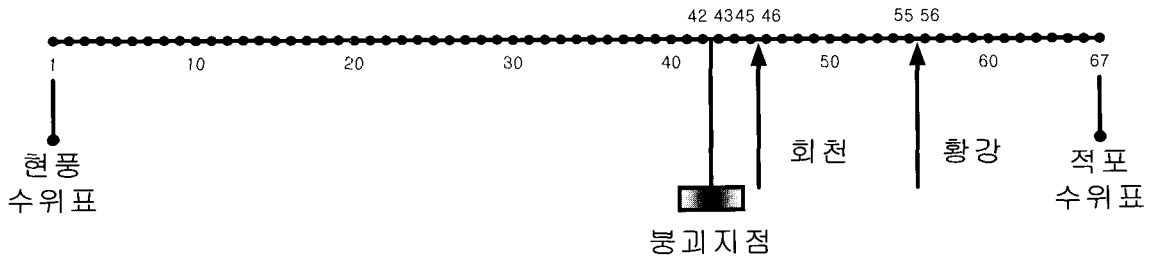


그림 5. 낙동강 실제 제방붕괴류 수치모의를 위한 하도망 구성

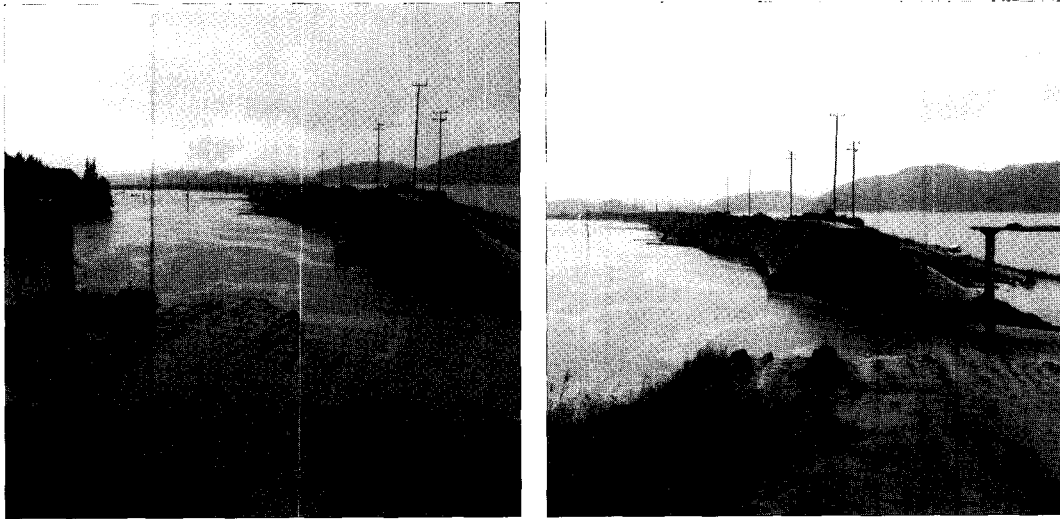


그림 6. 실제 제방붕괴 상황(2000년 9월 15일)

5.2 수치모형의 적용

1차원 동역학적 홍수추적 모형과 2차원 범람 모형을 접목시킨 하도-제내지 연결부 수치해석 모형을 이용하여, 낙동강 본류 구간의 현풍 수위표 지점을 상류단, 적포 수위표 지점을 하류단으로 하는 하도구간에 대해서는 1차원 동역학적 홍수추적을 실시하였으며, 하천수위의 증가로 인한 제방 붕괴류의 제내지에 대한 수치모의

는 2차원 범람 모형으로 범람양상을 모의하였다.

이 구간에서의 주요 지류로서는 회천과 황강이 고려되었으며, 모형에 적용된 조도계수는 하천정비기본계획에 제시된 0.020~0.033의 범위를 이용하였다. 그림 7은 각각 상류단 및 하류단으로 이용된 현풍 지점의 유량수문곡선과 적포교 지점의 수위수문곡선을 나타내고 있으며, 그림 8은 본 모형의 적용구간에서 축방 유입량으로 고려된 회천과 황강에 대한 유량 수문곡선을 나타내고 있다.

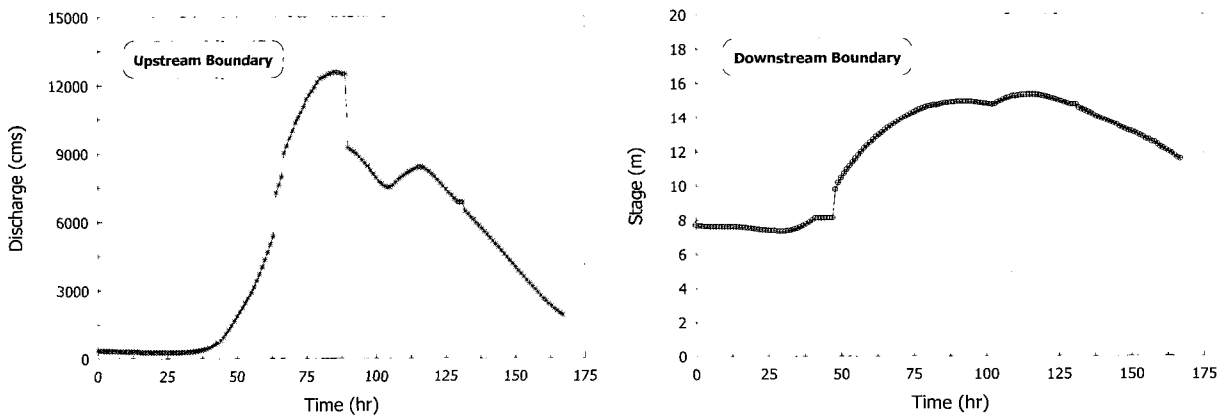


그림 7. 현풍 및 적포 수위표 지점의 수문곡선

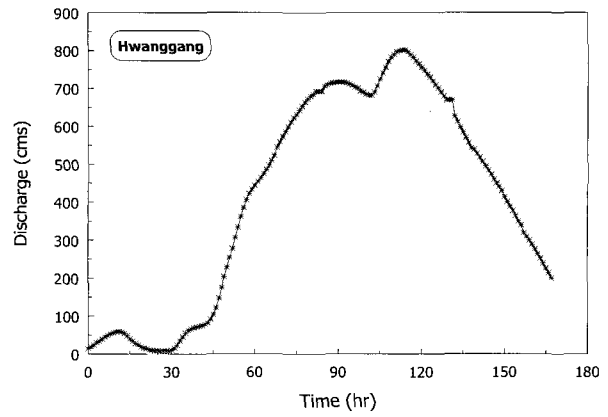
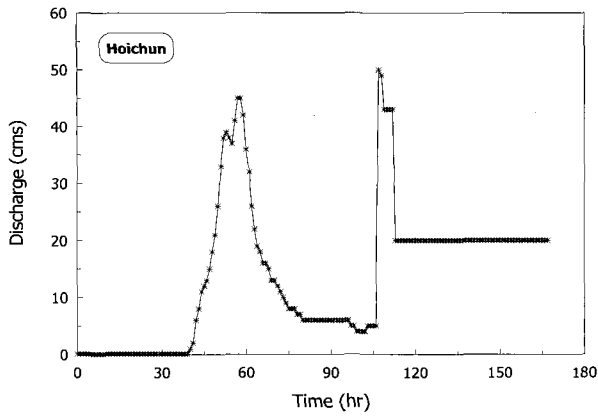


그림 8. 회천 및 황강 지류유입수문곡선

그림 9는 본 모형을 통한 제내지의 범람양상을 모의하기 위한 제내지의 격자망 구성도를 나타내고 있는데, 모형에서 이용된 격자의 크기는 50m로서 전체 200개의 격자가 제내지의 형상을 대표하게 된다. 실제제방이 위치한 곳은 격자 No. 197이 되며, No. 197 격자를 통해서 제방 붕괴류가 제내지로 유입되게 된다. 이렇게 유입되는 붕괴류는 제내지의 2차원 수치모의를 위한 상류 경계조건으로 이용된다. 그림 10은 모형 적용구간의 시점인 현풍 지점에서 종점인 적포교 지점까지의 하천구간에 대한 1차원 동역학적 홍수추적 결과로서 누가거리 별 하상고와 최대 홍수위를 나타내고 있다.

홍수 범람 유입량은 낙동강 본류부 수위와 본류부와 인접한 봉산제 제내지 수위에 의하여 범람 홍수량이 결정될 수 있으므로, 9월 15일 07시 40분에 범람이 시작되어 08시 30분에 유량이 급격히 증가하다가 본류부의 수위강하와 제내지의 수위상승에 따라 범람량이 점진적으로 감소되는 양상을 그림 11을 통해서 확인할 수 있다.

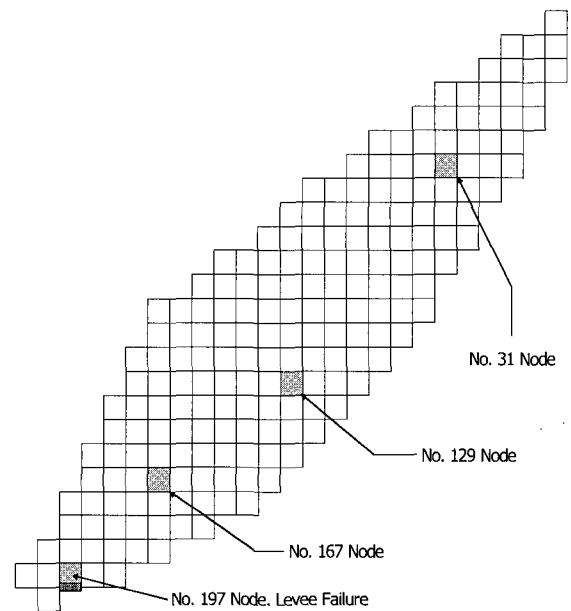


그림 9. 제내지의 격자망 구성도

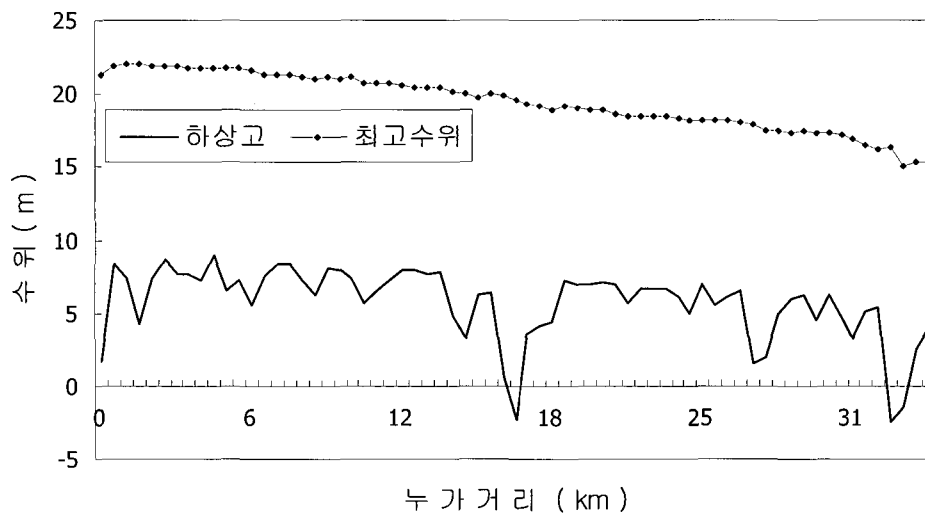


그림 10. 하도에서의 홍수위 해석결과

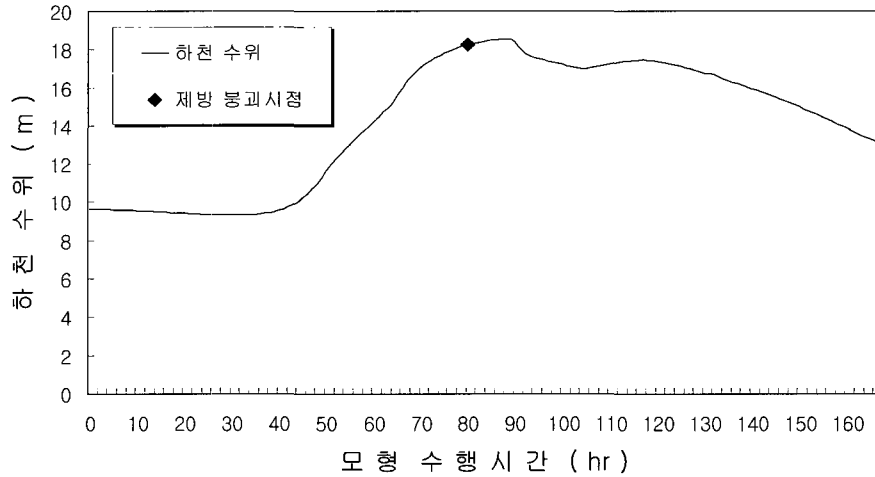


그림 11. 제방 붕괴지점 하천수위 변동양상

그림 12는 본 모형의 모의결과로서 앞 절에서 기술한 방법으로 하도-제내지의 연결부 모형을 이용하여 제내지로 유입되는 범람 유량수문곡선을 나타낸 것이며, 그림 13은 주요 시간대별 제내지에서의 유속분포도 및 범람수심도를 나타내고 있다.

5.3 모형의 비교검토

본 연구에서는 개발된 하도-제내지 연결부 모형에 의한 제방붕괴에 따른 제내지의 침수모의를 실시하여 그 결과를 실측치와 비교검토 하였다. 시간별 범람수심의 양상을 모의하기 위해 봉산제 붕괴지점인 절점번호 197과 우곡면 객기리 인근지점인 절점번호 167, 포리 인근지점인 절점번호 129, 그리고 봉산리 인근지역인 절점번호 31을 선택하였다. 모의결과는 이들 지점들에 대해서 실측치와의 비교검토가 이루어졌는데, 실측값은 현지주민들과의 면담자료나 보도자료 등에서 개략적인

값을 얻을 수 있었다. 그림 14는 이들 격자점들에서의 시간별 범람수심을 나타내고 있는데, 계산된 최대범람수심 4.5m와 최대범람범위 4.5ha는 현지주민과의 면담자료나 보도자료(영남일보)를 통해 조사된 지점별 범람수심 3.5~4.5m와 최대범람범위에 있어 비교적 양호하게 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

홍수범람해석에 있어 지형조건이 복잡한 제내지에서의 홍수와 해석시에는 홍수터에서의 각종 지형지물의 조건을 효과적으로 고려하지 못하고 계산과정에서의 수렴성 보장의 어려움과 함께 큰 오차가 발생할 수도 있게 된다. 따라서, 본 연구에서는 제방 붕괴에 따른 홍수류의 경우 일반적으로 홍수파의 선단부에 단파가 발생되지 않는 제내지의 경우에 대한 홍수전파 양상을 실용성에 관점을 두고 해석하였다. 본 연구에서 개발된 범람홍수 모형은 이상홍수 조건하에서 하천제방의 월류 및 붕괴에 따른 하도 및 제내지에서의 최고 수위와 침

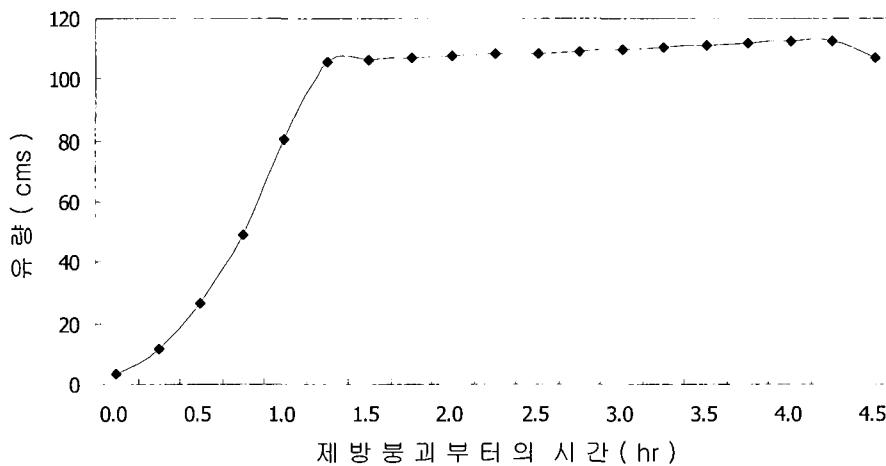
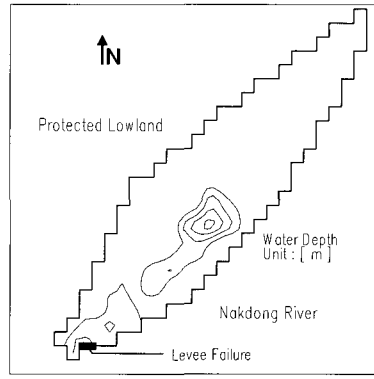
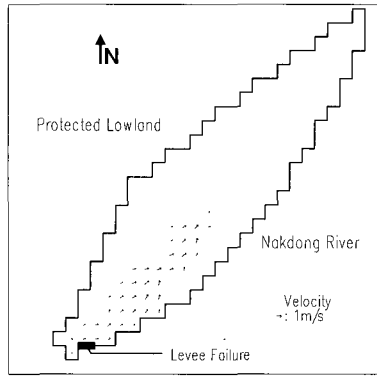
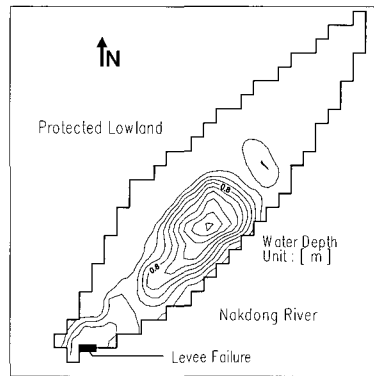
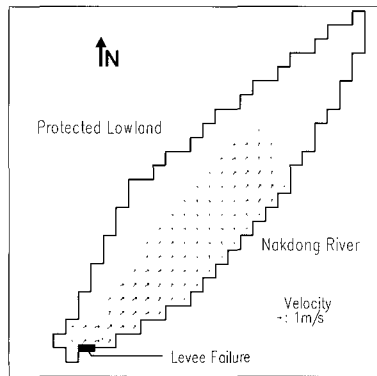


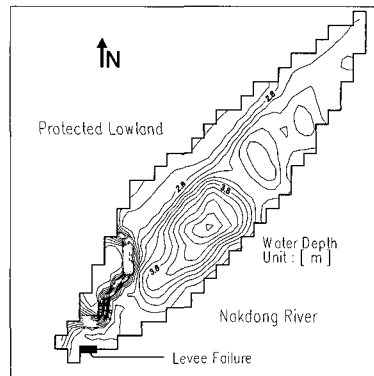
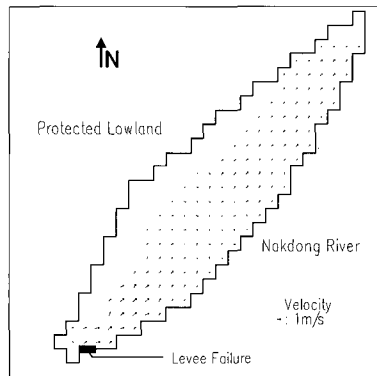
그림 12. 제내지로 유입된 범람 유량수문곡선



(a) 제방 붕괴후 20분

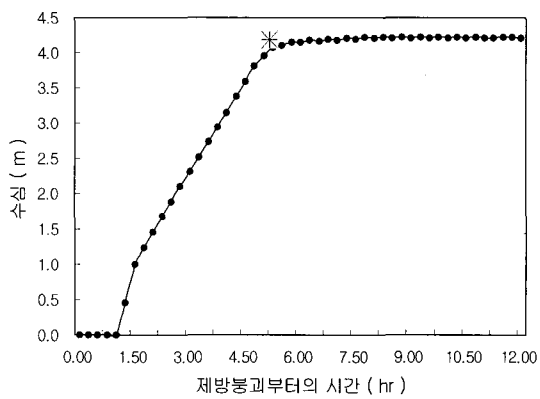


(b) 제방 붕괴후 30분

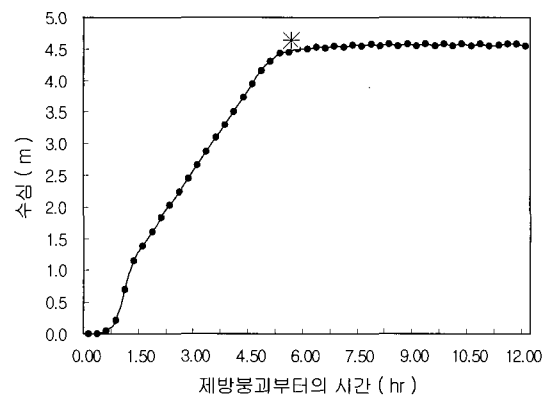


(c) 제방 붕괴후 60분

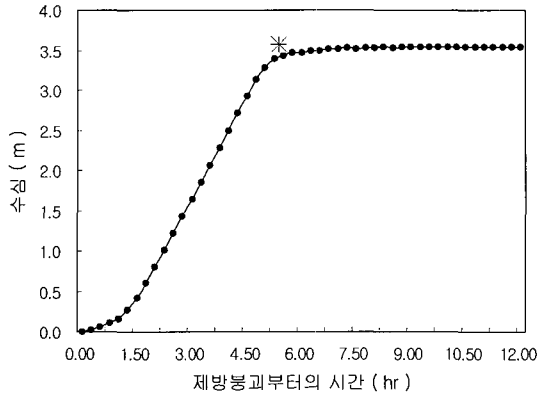
그림 13. 제내지에서의 유속분포도 및 범람수심도



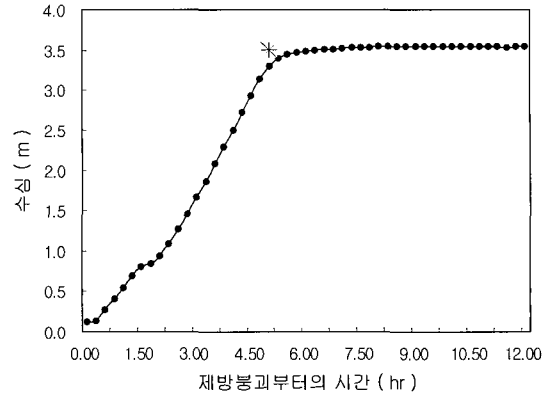
(a) 절점번호 31



(b) 절점번호 129



(c) 절점번호 167



(d) 절점번호 197

그림 14. 주요지점별 범람양상 비교 (*는 관측치 표시임)

두유량 등을 비교적 단시간 내에 효율적으로 계산함으로써 홍수 예경보와 홍수 범람도 작성 등의 각종 치수 및 방재계획 수립에 실제적으로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결론

본 연구에서는 제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수과가 제내지로 전파되는 경우의 물리적인 특성을 고려하여 2차원 천수방정식을 이용하여 범람 홍수해석 모형을 개발하였는데, 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 하천에 대한 홍수해석은 Preissmann 기법에 의한 홍수류 해석을 실시할 수 있도록 구성하였고, 제내지에서의 범람해석은 2차원 모형을 적용하여 해석할 수 있도록 구성하였으며, 이들을 연계할 수 있는 하도-제내지 연결부 수치해석 모형을 개발하였다.
- (2) 본 연구모형에서는 잠수효과 해석을 위한 관련 방정식을 도입하여 제내지에서의 수위상승에 따른 하천으로부터의 월류량을 정확하게 계산할 수 있도록 구성하였다. 제방월류 및 파괴에 따른 제내지로의 범람 홍수유입량을 산정하기 위하여 범람 양상을 크게 월류와 각종 요인으로 인한 붕괴 등으로 구분하여 이들을 차별화시킨 방정식을 제시하였다.
- (3) 본 연구모형을 2000년 9월 실제 낙동강 제방붕괴의 경우에 대해서 적용하였다. 제방붕괴 기간 동안의 낙동강 본류에서의 홍수해석을 위하여 현풍~적포교 구간에 대한 홍수해석을 실시하였고, 제방붕괴에 따른 제내지 내로의 유입되는 범람

홍수량을 잠수효과를 고려하여 유도하였다. 또한, 제내지에서의 2차원 범람양상을 유속분포와 범람수심을 주요 시간대별로 계산하여 도시하였으며, 지점별 범람수심과 최대범람범위는 당시의 실측치와 비교적 잘 일치한 결과를 얻을 수 있었다.

- (4) 본 연구에서 개발된 범람홍수 모형은 하도 및 제내지에서의 최고수위와 첨두유량 등을 비교적 단시간에 효율적으로 계산함으로써 홍수 예경보와 홍수 범람도 작성 등의 각종 치수 및 방재계획 수립에 실제적으로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- 김종해, 한건연, 서규우 (2003). “하천 홍수범람모의를 위한 불확실도 해석기법의 적용.” **한국수자원학회 논문집**, 제36권, 제4호, pp. 661-671.
- 영남일보, 한국일보 (2000). 신문기사내용
- 이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998a). “하천홍수범람 해석을 위한 수치모형의 개발: I. GIS와의 연계해석.” **한국수자원학회논문집**, 제31권, 제4호, pp. 415-427.
- 이홍래, 한건연, 김상호 (1998b). “하천홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발: II. 불확실도 해석.” **한국수자원학회논문집**, 제31권, 제4호, pp. 429-437.
- 최규현, 한건연 (2005a). “댐 붕괴 해석을 위한 2차원 홍수범람모형의 개발: I. 이론 및 모형의 검증” **대한토목학회논문집**, 제25권 제2B호, pp. 135-142.

- 최규현, 한건연 (2005b). “댐 붕괴 해석을 위한 2차원 홍수범람모형의 개발: II. 적용 예” **대한토목학회 논문집**, 제25권 제2B호, pp. 143-149.
- 한건연, 이종석, 김상호 (1997a). “댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: I. 모형 및 이론”, **한국수자원학회논문집**, 제30권, 제6호, pp. 679-690.
- 한건연, 이종석, 김상호 (1997b) “댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: II. 적용 예”, **한국수자원학회논문집**, 제30권, 제6호, pp. 681-698.
- 有賀世治. (1977). “有提河川の破堤에 의한 氾濫區域推定에 관한 實證의 研究.” (第1報) (第2報), **東海大學紀要**, No.1, No.2.
- 西原 巧. (1981, 1982). “氾濫解析과 그의 現地流域에의 適用.” (I),(II),(III), **水利科學**.
- Chen, C.L. (1980). “Laboratory Verification of a Dam-Break Flood Model.” *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 106, No. HY 4 : pp. 535-556.
- Chen, C.L., and Armbruster, J.T. (1980). “Dam-Break Wave Model : Formulation and Verification.” *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 106, No. HY 5, pp. 747-767.
- Dressler, R.F. (1952). “Hydraulic Resistance Effects upon the Dam-Break Functions.” *J. of Research, National Bureau of Standard*, Vol. 49, No. 3, pp. 217-225.
- Evans, E.P., and Lany, P.H. (1983). “Mathematical Model of Overbank Spilling and Urban Flooding.” *Int. Conf. on Hydraulic Aspects of Floods & Flood Control*, London, England.
- Fread, D.L. (1985) “Channel Routing.” in Anderson, M.G., and Burt, T.P.(eds), *Hydrological Forecasting*, John Wiley & Sons, New York, pp. 437-503.
- Han, K.Y., Lee, J.T., and Park, J.H. (1998). “Flood Inundation Analysis Resulting from Levee-Break.” *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 36, No. 5, pp. 747-760.
- Han, K.Y., Lee, J.T., and Choi, K.H. (2003). “Levee Breach and Flood Inundation in Urban Areas.” *Proc. of 30th IAHR Congress*, Greece.
- Han, K.Y., Kim, K.S., and Choi, K.H. (2004). “Inundation Analysis for Basinwide Flood Management.” *Proc. of 3rd Seminar on the Technology of Disaster Management on Urban Flood*, Seoul, Korea.
- Hromadka II, T.V., and DeVries, J.J. (1985) “A Two-Dimensional Dam-Break Model of the Orange County Reservoir.” *Int. Symposium on Urban Hydrology, Hydraulic Infrastructures and Water Quality Control*, Univ. of Kentucky.
- Iwasa, Y., and Inoue, I.K. (1982). “Mathematical Simulations of Channel and Overland Flows in View of Flood Disaster Engineering.” *J. of National Disaster Science*, Vol. 4, No. 1, Kyoto Univ., pp. 1-30.
- Katopodes, N., and Strelkoff, T. (1978). “Computing Two-Dimensional Dam-Break Flood Waves.” *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 104, No. HY 9, ASCE, pp. 1269-1288.
- Land, L.F. (1980). “Evaluation of Selected Dam-Break Flood Wave Models by Using Field Data.” *USGS, WRI 80-44*, pp. 1-54.
- Ponce, V.M., and Tsivoglou, A.J. (1981). “Modeling Gradual Dam Breaches.” *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 107, No. HY 7, pp. 829-838.
- Rajar, R. (1978). “Mathematical Simulation of Dam-Break Flow.” *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 104, No. HY 7, pp. 1011-1026.
- Sakkas, J.G., and Strelkoff, T. (1973). “Dam Break Flood in a Prismatic Dry Bed.” *J. of Hyd. Div.*, ASCE, Vol. 99, No. HY 12, pp. 2195-2216.
- Schoklitsch, A. (1917). “Uber Dambruchwellen.” *Sitznungs-breicht der Akademic der Wissenschaften*, Vienna, Vol. 126, pp. 1489-1514.
- Stoker, J.J. (1957). *Water Waves*, Inter-Science Publishers, pp. 333-341.
- Strelkoff, T., Schamber, D.R., and Katopodes, N.D.(1977). “Comparative Analysis of Routing Techniques for the Floodwave from a Ruptured Dam.” *Proc. of the Dam-Break Flood Routing Workshop*, Water Resources Council, pp. 229-291.
- Whitham, G.B. (1955). “The Effect of Hydraulic Resistance on the Dam-Break Problem.” *Proc. of Royal Society of London*, No. 1170, pp. 399-407.
- Xanthopoulos, T., and Koutitas, C. (1976). “Numerical Simulation of a Two-Dimensional Flood Wave Propagation Due to Dam Failure.” *J. of Hydraulic Research*, IAHR, pp. 321-331.

(논문번호:04-116/접수:2004.12.27/심사완료:2005.03.10)