

낙동강 제방붕괴로 인한 범람 홍수의 수치모의

Flood Inundation Analysis Resulting from Levee Failure in Nakdong River

한건연¹ · 최규현² · 백창현³ · 최현상⁴

1. 서론

본 연구에서는 최근 수년간 발생한 홍수피해 원인의 대부분이 하천제방의 붕괴와 관계하고 있음을 감안하여 제방의 월류 및 붕괴특성을 분석하고 이에 따라 발생한 홍수파로 인한 제내지에서의 침수위, 침수시간, 침수범위 등을 예측하고 피해예상 규모를 산정하는 수치모형을 개발함에 그 목적이 있다. 이를 위해서 하도구간에서는 1차원 부정류틀 이용하여 하천 홍수위를 예측하고, 제내지에서는 제방 붕괴로 인한 범람 홍수류의 시간별 수문곡선을 유입수문곡선으로 하는 2차원 확산형 방정식에 기초한 수치해석 모형을 개발하여 제내지에서의 침수위, 침수시간, 침수범위 등을 예측할 수 있게 하였다. 앞서 언급한 하천과 제내지에 대한 각각의 두 모형을 완전히 통합시킨 범람홍수모형을 통해서 하천에서의 홍수위 예측은 물론 제내지에서의 범람 홍수파의 전파특성을 정확히 예측할 수 있게 하였다. 제방파괴에 따른 범람홍수량을 정확하게 산정하기 위하여 제내지와 제외지의 수위차에 따라 홍수범람량에 있어 큰 차이가 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 제방파괴의 지속시간과 최종 파괴폭을 고려하여 흩으로 구성된 하천제방의 점진적인 파괴양상을 고려할 수 있도록 구성하였다. 하천수위의 예측은 동역학적 방정식을 음해법에 의하여 해석하였고, 제내지의 수위는 2차원 방정식을 양해법에 의하여 해석하여 제방부에서의 정확한 붕괴 유출수문곡선을 산정하였다. 본 연구는 우선 하천에서의 홍수파 해석과 제방의 붕괴양상을 고려하여 제내지 및 제외지의 수위를 산정하고, 붕괴에 따른 범람 수문곡선을 유도하였다.

2. 범람홍수파 해석기법

하천 홍수해석 모형은 단일수로에서 댐 파괴류 해석을 위해 동역학적 흐름 방정식을 가중 4점 음해 유한차분 근사해법을 실시하여 그 해를 구한다. 홍수파 해석을 위한 Saint-Venant 식은 식 (1)~(2)와 같은 질량 보존의 식과 운동량 보존의 식으로 구성된다.

1 경북대학교 토목공학과 교수
2,3,4 경북대학교 토목공학과 박사과정

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

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

여기서, Q = 유량, A = 흐름단면적, A_0 = 저류단면적, q = 측방유입량, x = 거리, t = 시간, h = 수위, S_f = 마찰경사, S_e = 단면 확대·축소에 의한 손실경사, B = 하폭, n = 조도계수, W_f = 바람에 의한 응력, L = 지류에 의한 운동량의 변화를 나타내고 있다.

본 모형의 적용을 위해 제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수파가 제내지로 전파되는 경우에는 관성력의 항이 압력, 마찰력, 중력의 항과 비교하여 그 중요도가 작게 나타나게 되는 물리적인 특성을 고려하여 2차원방정식을 기본식으로 하여 수치해석 모형을 개발하고 이를 가상 및 실제유역에 적용하여 그 활용성을 입증하였다. 2차원 천수방정식을 x , y 방향 단위폭당 유량 q_x , q_y 에 의하여 기술하면 식 (3)~(5)와 같은 연속방정식과 운동방정식으로 구성된다.

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

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q_x^2}{H}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q_x q_y}{H}\right) + gH\left(S_{fx} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q_y^2}{H}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q_x q_y}{H}\right) + gH\left(S_{fy} + \frac{\partial h}{\partial y}\right) = 0 \quad (5)$$

여기서, S_{fx}, S_{fy} = x , y 방향에 대한 마찰경사, H = 수심, h = 수위, g = 중력가속도, q_x, q_y = x , y 에 대한 단위폭당 유량이다.

3. 모형의 적용

본 연구모형을 2000년 9월 12일 00시~18일 23시 기간동안 낙동강 유역의 홍수로 인한 제방 붕괴상황에 대해 적용하였다. 계산구간은 현풍~적포교의 33.55km 구간으로서 전체 단면의 개수는 67개이며 평균적인 계산거리간격은 $\Delta x = 0.5\text{km}$ 이고 계산시간간격은 0.5hr이며 제방 붕괴시의 계산시간간격은 0.25hr으로 설정하였다. 1차원 동역학적 홍수추적 모형과 2차원 범람해석 모형을 접목시킨 연결부모형을 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 수치모의는 2차원 범람해석모형으로 범람양상을 모의하였다.

모형에 적용된 실제제방은 2000년 9월 15일 07:40분 경에 붕괴를 시작하였다. 붕괴폭은 110m

로 최초에는 60m, 수위 강하시 50m로 붕괴는 지속되었다. 붕괴지점의 제방고는 22.80m이며 계획 홍수위는 20.26m, 사고당시 하천의 수위는 17.10m, 제내지 수위는 9.80m로서 제내지와 제외지의 수위차는 7.3m였다. 제방붕괴로 인한 여러 피해중 농경지 침수는 150ha에 이르렀다.

그림 1은 본 모형을 통한 제내지의 범람양상을 모의하기 위한 격자망 구성도를 나타내고 있는데, 모형에서 이용된 격자의 크기는 50m로서 전체 200개의 격자가 제내지의 형상을 대표하게 된다. 그림 1에서 알 수 있듯이 실제제방이 위치한 곳은 격자 No. 197이 되며, No. 197 격자를 통해서 제방 붕괴류가 제내지로 유입되게 된다. 이렇게 유입되는 붕괴류는 제내지의 2차원 수치모의를 위한 상류경계조건으로 이용된다.

그림 2-3은 각각 상류단 및 하류단으로 이용된 현풍 지점의 유량 수문곡선과 적포교 지점의 수위 수문곡선을 나타내고 있다.

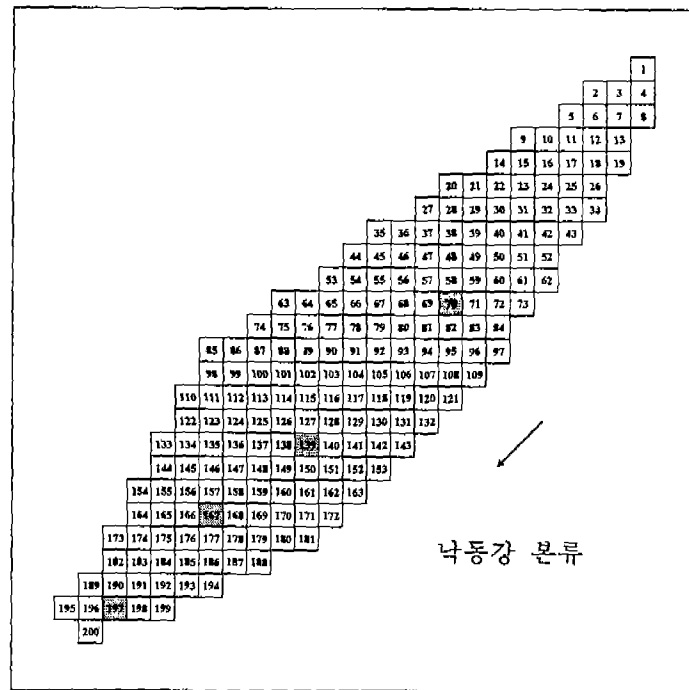


그림 1. 제내지의 격자망 구성도

그림 4는 모형 적용구간의 시점인 현풍지점에서 종점인 적포교지점까지의 하천구간에 대한 1차원 동역학적 홍수추적 결과를 나타내고 있으며, 그림 5는 제방붕괴지점의 하천수위변동양상을 나타내고 있다. 그림 6은 실제제방 인근 제내지에 대한 본 모형의 적용 결과로서 시간별 제내지에서의 유속분포도와 홍수범람도를 나타내고 있다.

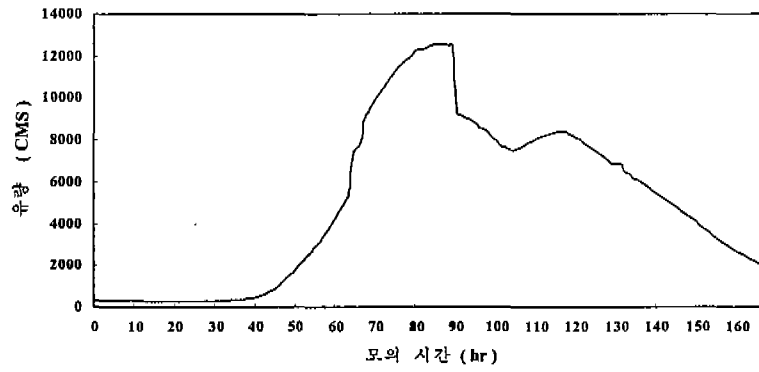


그림 2. 현풍 수위표지점의 유량 수문곡선

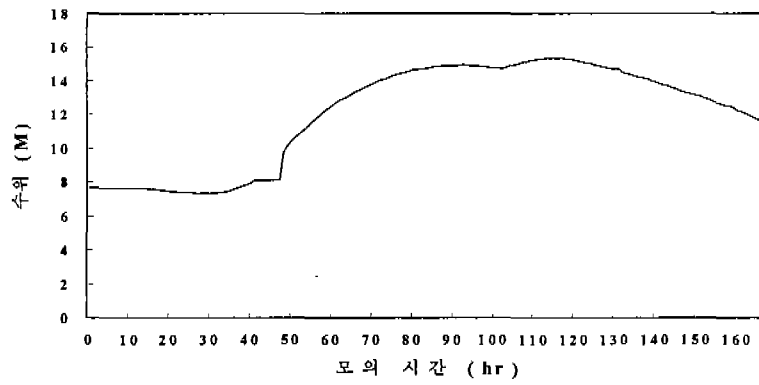


그림 3. 적포교 수위표지점의 수위 수문곡선

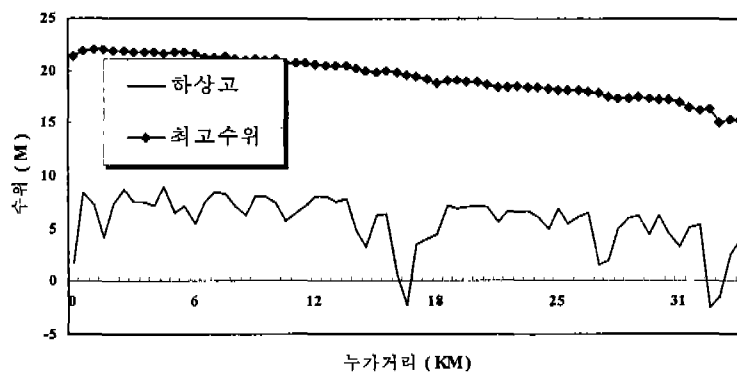


그림 4. 현풍~적포교 구간에 대한 홍수해석결과

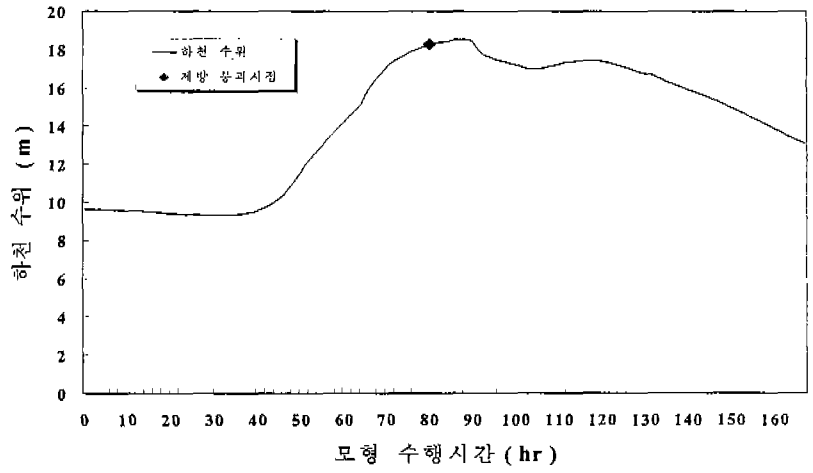
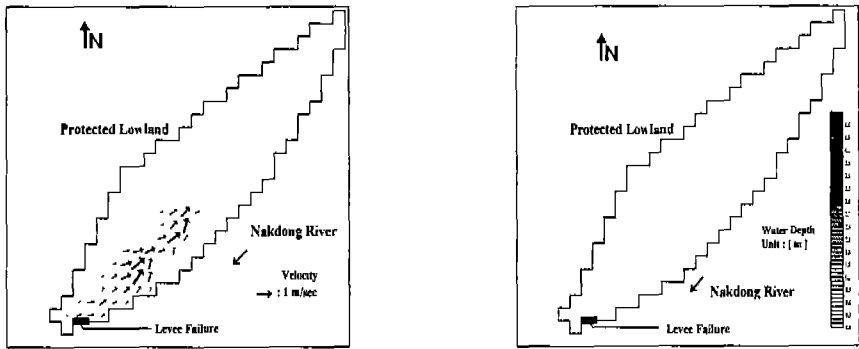
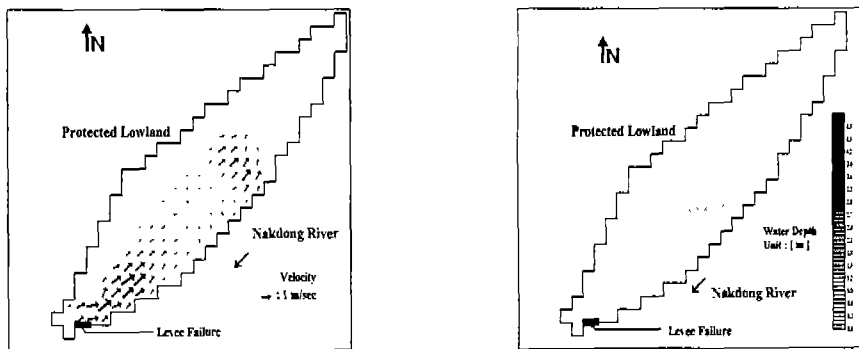


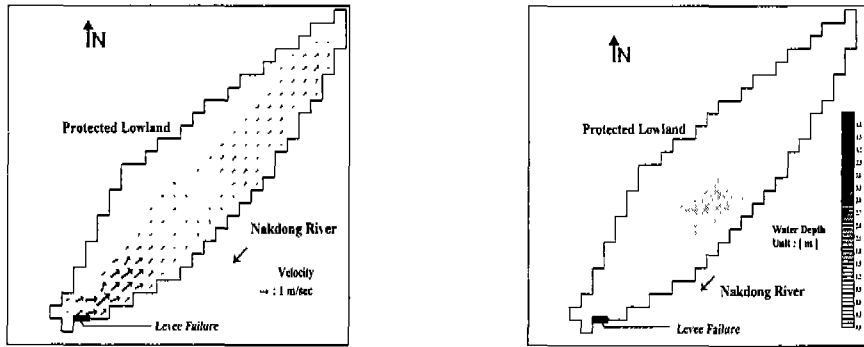
그림 5. 제방붕괴지점 하천수위 변동양상



(a) 제방 붕괴 시작시간으로부터 0.50시간



(a) 제방 붕괴 시작시간으로부터 1.25시간



(c) 제방 붕괴 시작시간으로부터 1.50시간

그림 6. 제내지에서의 유속분포도 및 범람수심도

4. 결론

본 연구에서 하천에 대한 홍수해석은 Preissmann 기법에 의한 홍수류 해석을 실시할 수 있도록 구성하였고, 제내지에서의 2차원 범람해석은 확산형 모형을 적용하여 해석할 수 있도록 구성하였으므로 이들을 연결할 수 있는 수치해석 모형을 개발하였다. 연구모형에서는 제방붕괴류에 대한 잠수효과의 해석을 위한 관련방정식을 도입하여 제내지에서의 수위상승에 따른 하천으로부터의 월류량을 정확하게 계산할 수 있도록 구성하여 이를 실제 제방붕괴의 경우에 대해서 적용하였으며, 제내지에서의 2차원 범람양상을 유속분포와 범람수심을 주요 시간대별로 계산하여 도시하였다. 모형은 하도 및 제내지에서의 최고수위와 침투유량 등을 비교적 단시간에 효율적으로 계산함으로써 홍수 예경보와 홍수 범람도 작성 등의 각종 치수 및 방재계획 수립에 실제적으로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

- 건설교통부 낙동강홍수통제소 (1999). 낙동강수계 유량측정조사 보고서.
- 건설교통부 낙동강홍수통제소 (1999). 낙동강 홍수예경보(낙동강·형산강·태화강).
- 건설교통부 낙동강홍수통제소 (1998). 낙동강수계 차세대 홍수예경보 시스템 개발.
- 건설교통부 (1992). 낙동강 하천정비기본계획 (보완 II).
- 건설교통부 (1993). 낙동강 하천정비기본계획 (보완 III).
- Han, Kun-Yeun, Lee, Jong-Tae, and Park, Jae-Hong (1998). "Flood Inundation Analysis Resulting from Levee-Break." *J. of Hydraulic Research*, Vol. 36, No. 5, pp. 747-759.