

도시지역에서의 침수구역도 작성을 위한 수리학적 해석

○한건연* · 박재홍** · 최규현***

1. 서론

지구 온난화와 극한홍수의 빈번한 발생으로 인한 도시하천에서의 홍수는 막대한 파괴력을 가지며 많은 인명과 재산피해를 입히고 있다. 특히, 하천 제방의 붕괴 및 월류로 인한 재해는 제내지에서의 많은 인명손실과 극심한 재산피해를 줄 뿐 아니라 사회적인 문제를 야기하기도 한다. 홍수피해로부터 많은 인명과 각종 산업시설을 보호하고 있는 하천제방은 그 설계와 관리에 만전을 기하고 있음에도 불구하고 극한 홍수조건 등으로 인해서 계획빈도 이상의 홍수량이 유입되는 경우가 빈번하다. 하천제방의 붕괴로 인한 홍수재해시 제내지의 보호대책과 관련하여 수리·수문학적 개념을 도입한 침수지역의 예측, 주민의 단계적 대피, 주요 시설의 보호 및 이동 등을 포함한 재해경감대책의 수립이 긴요한 시점이다.

따라서, 본 연구에서는 하천제방의 붕괴에 따른 제내지에서의 홍수파 해석을 실시하기 위해서 발생 가능한 다양한 범람 시나리오를 구성하고, 이를 분석함으로써 제내지의 지형조건 및 건물배치의 영향을 고려한 침수해석을 실시하여 제내지와 제외지간의 범람특성을 규명하고자 한다. 본 연구를 통해서 다양한 하천 범람 유형에 대해서 정확한 범람 홍수파의 해석이 수행될 수 있겠으며, 하천제방 계획시 홍수피해와 투자액을 감안한 경제적인 하천 제방단면 결정을 위한 기본자료로 활용될 수 있겠다. 이를 위해서 하천 범람에 따른 범람 홍수파 전달특성 해석, 침수범위 및 침수위의 추정, 예상 피해규모를 예측할 수 있는 수치해석 모형을 다양한 조건의 제내지 특성을 가지는 가상하도에 적용함으로써 정확한 범람 홍수파의 해석은 물론 제내지의 침수분포양상에 대한 해석을 수행하였다.

2. 범람홍수파 해석모형

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

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

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

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 용력, L = 지류에 의한 운동량의 변화를 나타내고 있다.

* 경북대학교 토목공학과 교수

** 세명대학교 토목공학과 교수

*** 경북대학교 토목공학과 박사과정

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 2차원 방정식을 기본식으로 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.

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

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{Q_x}{A_x} \left(\frac{\partial Q_x}{\partial x} \right) + \frac{Q_y}{A_y} \left(\frac{\partial Q_x}{\partial y} \right) + g A_x \left(S_{fx} + \frac{\partial H}{\partial x} - S_{ox} \right) = \frac{u_i}{b} \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{Q_x}{A_x} \left(\frac{\partial Q_y}{\partial x} \right) + \frac{Q_y}{A_y} \left(\frac{\partial Q_y}{\partial y} \right) + g A_y \left(S_{fy} + \frac{\partial H}{\partial y} - S_{oy} \right) = \frac{v_i}{b} \quad (5)$$

제방의 월류 및 붕괴에 따른 범람홍수파의 2차원 해석을 위해 이용된 모형은 식 (3)~(5)와 같은 연속방정식과 운동량방정식을 기본으로 하고 있다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(HV_x)}{\partial x} + \frac{\partial(HV_y)}{\partial y} = i \quad (3)$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (4)$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t} \quad (5)$$

여기서, H 는 흐름방향의 수심, V_x, V_y 는 x, y 방향의 수심평균 유속, i 는 대상유역에 내리는 초과 강우량을 나타내고 있으며, 식 (4), (5)의 마찰경사는 수로바닥 경사와 압력경사, 대류 및 국지가속항으로 구성되어 있다.

3. 대상하도 및 제내지에 대한 입력자료 구성

월류 및 제방붕괴로 인한 제내지에서의 침수현상을 해석하기 위해서 다음과 같은 가상하도 및 제내지를 설정하였다. 하도구간은 총 50km 구간으로서 계산 거리간격은 0.5km로 설정하였다. 붕괴되는 제방은 하도의 중간지점에 위치시켰으며, 이 지점에서 제방월류 및 제방붕괴가 발생하는 것으로 보았다.

하도 단면은 저면폭이 100m, 측면경사가 1:2인 제형 단면으로 고려하였다. 상류단 경계조건으로 그림 1에서 볼 수 있듯이 침투유량이 1500m³/sec인 유량수문곡선을 사용하였고, 하류단 경계조건으로 에너지경사에 의한 수위-유량 관계를 이용하였다. 또한 제내지에 대해서는 그림 2와 같이 435개의 격자로 구성된 2차원 제내지 구간을 고려하였다. 제내지 구간에 대한 격자의 크기를 250m×250m로 하고 조도계수는 기본적으로 0.04가 적용되었다. 그림 2에서 보면 알 수 있듯이 제방이 위치한 곳은 격자 No. 15가 되며, 이 No. 15 격자를 통해서 제방 붕괴류가 제내지로 유입되게 된다.

붕괴부에서의 유입수문곡선과 제내지의 침수저류량에 영향을 미치는 인자로써 본 모의에서 고려된 사항은 제내지의 조도계수와 가옥 점유율이다. 본 모의실험에서는 붕괴부의 깊이는 제방의 마루부에서부터 하상에 이르기까지 결피부가 형성되는 것으로 보았으며, 제내지의 수위는 하천수위에 비해 낮아 완전월류가 발생하는 것으로 고려하였다.

본 모의실험에서는 장애물을 가진 2차원의 제내지구간에 대해서도 적용하였다. 이를 위해서 339개의 요소로 구성된 제내지 구간과 225개의 요소로 구성된 제내지 구간을 고려하였고 각각의 경우에 있어서 제내지의 중앙부에 가옥 등의 장애물을 위치시켰다. 여기서 339개의 요소로 구성된 제내지는 제내지에 대한 장애물의 점유율이 20%이고, 225개의 요소로 구성된 제내지는 제내지에 대한 장애물의 점유율이 40%가 된다.

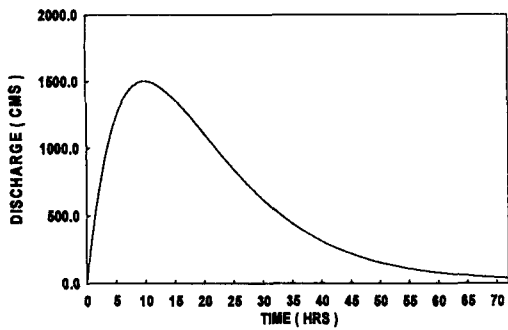


그림 1. 상류단 유량수문곡선

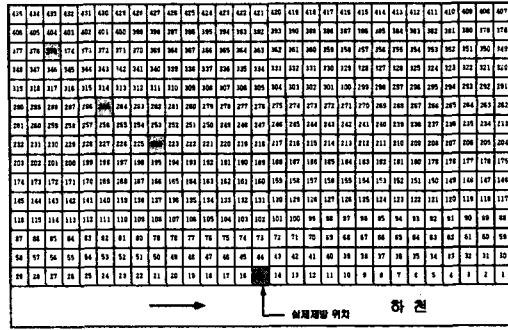


그림 2. 제내지의 격자망 구성도

4. 모형의 적용 및 비교고찰

붕괴부에서의 유입수문곡선과 제내지의 침수저류량에 영향을 미치는 인자들로서는 붕괴부의 폭, 붕괴시간, 제내지의 조도계수, 제내지의 가옥 점유율, 및 제내지 수위와 하천 수위 및 그 상대적인 높이에 따른 잠수효과 등을 들 수 있다. 본 모의실험에서는, 붕괴부의 깊이는 제방 마루부에서부터 하상에 이르기까지 발생 하는 것으로 고려하였으며, 제내지의 수위는 충분히 낮은 경우로 보아 완전월류의 경우로 계산하였다.

그림 3은 붕괴부의 폭 변화에 따른 붕괴부에서의 유출수문곡선과 범람저류량을 표시하고 있다. 붕괴부의 폭은 각각 50m, 100m, 200m으로 하였으며, 각각의 경우에 대한 침투유출량은 22m³/sec, 44m³/sec, 86m³/sec로 계산되었으며 결과치의 변화폭은 비교적 크게 나타났다. 그림 4는 붕괴시간 변화에 따른 유출수문곡선과 침수량의 변화를 나타내고 있다. 침투유량은 30m³/sec, 87m³/sec, 167m³/sec로 각각 계산되었다. 제내지의 가옥점유율 변화 및 조도계수 변화에 따른 유출수문곡선과 침수량의 변화가 침투유량과 범람량에 미치는 영향은 매우 작은 것으로 본 모의실험에서 나타났다.

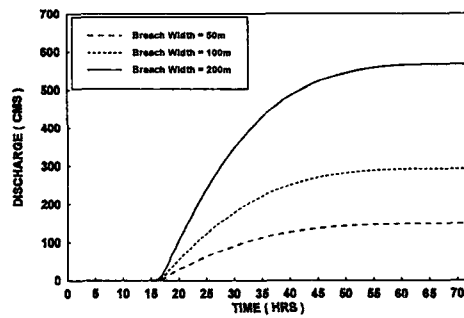
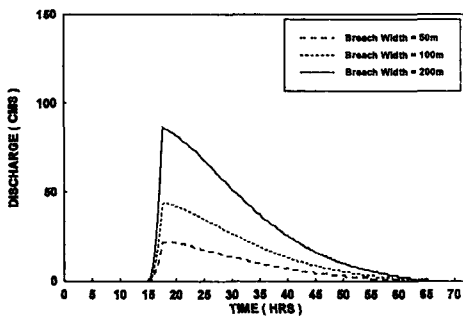


그림 3. 제방 붕괴폭 변화에 따른 유출수문곡선 및 제내지의 범람홍수량

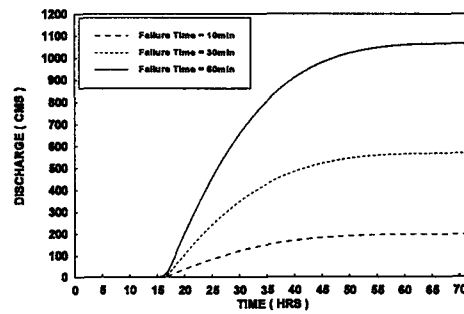
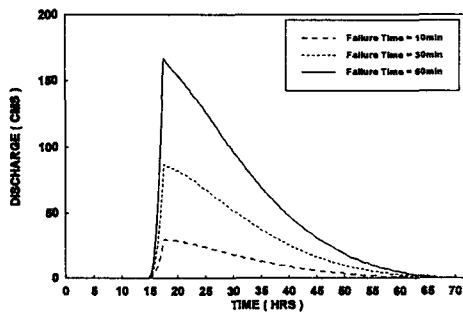


그림 4. 제방 붕괴시간 변화에 따른 유출수문곡선 및 제내지의 범람홍수량

그림 5는 모형에 대한 결과로서 제방의 붕괴폭 및 붕괴시간 변화에 의한 제내지에서의 유속분포도를 나타내고 있다.

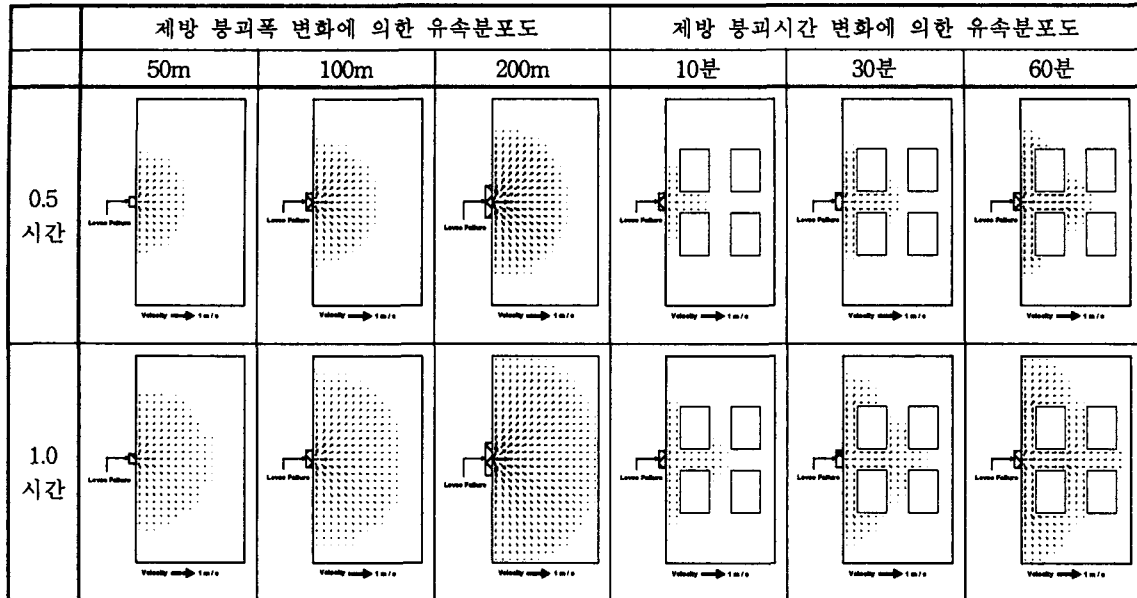


그림 5. 제방의 붕괴폭 및 붕괴시간 변화에 의한 제내지에서의 유속분포도

4. 결론

본 연구에서는 제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수파가 제내지로 전파되는 경우의 물리적인 특성을 고려하여 2차원 천수방정식을 기본식으로 하는 범람 홍수해석 모형을 이용한 제내지의 범람분포양상을 모의하였다. 모형의 적용결과 붕괴부의 폭과 붕괴시간이 침투유량에 미치는 영향은 비교적 크게 나타났으므로, 제방붕괴에 따른 유출수문곡선 및 제내지에서의 침수량의 변화를 정확히 예측하기 위해서는 정확한 붕괴부의 폭과 붕괴시간의 결정이 매우 중요한 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 이홍래, 한건연, 김상호, 최현상 (1998). "하천홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발: I. GIS와의 연계해석", *한국수자원학회논문집*, 제31권, 제4호, pp. 415-427.
2. 이홍래, 한건연, 김상호 (1998). "하천홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발: II. 불확실도 해석", *한국수자원학회논문집*, 제31권, 제4호, pp. 429-437.
3. 한국수자원공사 (2001). "하천 수리·수문 분석시스템 개발"
4. 有賀世治. (1977). "有提河川の破堤에 의한 氾濫區域 推定에 關한 實證의 研究.", (第1報) (第2報), *東海大學紀要*, No.1, No.2.
5. Lee, Jong-Tae, Han, Kun-Yeun, Choi, Kyu-Hyun (2002). "Levee Breach and Flood Inundation in Urban Area-Case Studies", *The 2nd Workshop on The Development of Integrated Disaster Reduction Systems on Compound Urban Floodings October 18, 2002*, Otaru, Hokkaido, Japan.
6. 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.