

# 홍수범람도 작성을 위한 2차원 수치모형

이 중 태\*, 한 건 연\*\*, 윤 세 의\*\*\*, 박 재 흥\*\*\*\*

## 1. 서 론

하천 제방 및 해안방조제등의 붕괴 및 월류로 인한 재해는 제내지에서의 많은 인명손실과 극심한 재산피해를 줄 뿐 아니라 사회적으로 큰 문제를 야기하기도 한다. 따라서, 제방의 붕괴로 인한 범람구역의 정확한 추정이 필요하며, 이를 통해서 홍수범람 구역에 대한 적절한 홍수 예정보 및 피난대책의 수립이 가능하게 된다. 그간 국내에서의 범람 홍수의 예측은 그 해석상의 어려움으로 인하여 주로 과거 범람상황 및 지형도 통한 경험적 추정등에 의존해 오고 있는 실정으로서 정교한 수리학적인 기초이론에 근거하지 못하였으므로 범람 홍수파의 전파양상, 도달시간, 범람수심의 분포 양상을 정확하게 예측하기에는 미흡한 점이 많았다.

본 연구의 목적은 하천제방의 월류 및 붕괴에 따른 제내지에서의 범람 홍수파 해석을 실시하기 위하여, 먼저 하천의 홍수위 예측 및 제방의 붕괴양상을 분석하고, 범람 홍수파가 제내지로 범람해 나가는 수리학적 현상을 해석하는 2차원 수치모형을 개발함으로써 침수 예상구역도의 작성 및 홍수 예정보 체제의 확립에 기여함에 있다. 본 연구의 모형은 1990년 한강 하류부의 일산제 유역에 적용하여 범람홍수의 전파특성, 범람홍수위등을 계산하고 당시에 조사된 실측자료 및 홍수흔적등과 비교검토 하였다. 본 연구결과는 제내지에서의 홍수 범람 예상도의 작성 및 각종 홍수 예정보의 수립에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 2차원 범람홍수파의 해석

하천제방의 월류 및 파괴로부터 야기되는 범람 홍수파는 제내지에서의 홍수 피해정도를 증대시키고 있다. 제방 파괴에 따른 홍수파가 제내지로 전달되는 경우에 홍수터의 저류,

---

\* 경기대학교 공과대학 교수, 토목공학과  
\*\* 경북대학교 공과대학 부교수, 토목공학과  
\*\*\* 경기대학교 공과대학 교수, 토목공학과  
\*\*\*\* 경북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

홍수의 감쇠, 건물주위에서의 흐름, 가로에서의 흐름등에 따라 그 물리적인 양상을 수식으로 표시하기에 큰 어려움이 있다. 본 연구에서는 제방의 율류 및 붕괴에 따른 홍수파를 2차원 천수방정식을 기본식으로 하여 이를 확산형 방정식으로 근사화시킨 홍수확산 모형을 수치해석 기법으로 개발하고 이를 가상 및 실제유역에 적용하여 그 활용성을 입증하고자 한다. 2차원 천수방정식은 x,y 방향 단위폭당 유량  $q_x, q_y$  에 의하여 기술하면 (1)-(3) 식과 같은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

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

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{H} \right) + gH \left( S_{fy} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

여기서,  $S_{fx}, S_{fy}$ 는 x,y 방향에 대한 마찰경사, H는 수심, h는 수위, g는 중력가속도,  $q_x, q_y$ 는 x,y 에 대한 단위 폭당 유량을 나타내고 있다. (2),(3)식은 x,y 방향에 대하여 일반화하면 (4)식과 같이 정리할 수 있다.

$$S_{fi} = - \left[ \frac{\partial h}{\partial y} + M_i \right] \quad (i = x, y) \quad (4)$$

여기서,

$$M_x = \frac{1}{gH} \left[ \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{H} \right) \right] \quad (5)$$

$$M_y = \frac{1}{gH} \left[ \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{H} \right) \right] \quad (6)$$

이제, Manning의 식에 의해 근사화된 마찰경사를 가정하면 x와 y 방향에 흐름에 대한 식을 얻게 되고, 이를 일반화 시키면 (7)식과 같이 기술된다.

$$a_i = - F_i \left[ \frac{\partial h_i}{\partial i} + M_i \right] \quad (i = x, y) \quad (7)$$

여기서,

$$F = \frac{\phi}{n} H^{5/3} \left[ \frac{\partial h}{\partial s} + M_s \right]^{-1/2} \quad (8)$$

기호 s 는 x 방향에 대해  $\theta = \tan^{-1}(q_x/q_y)$ 를 이루는 흐름방향을 나타내고, 2차원 확산형 모형의 일반식인 (9)식을 얻게된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} F_x \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} F_y \frac{\partial h}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial t} \quad (9)$$

### 3. 범람 홍수모형 DFLOW-2의 개발

확산형 방정식을 해석하기 위하여 본 연구에서는 양해석법의 중앙차분법을 변형한 격자망 계산방법을 사용하였다. 적용대상 지역을 직사각형 격자로 분할 구분하였고, 각 격자에 대한 표고, 조도계수, 위치등을 분포시켰다. 흐름해석은 유량을 계산하기 위하여 흐름의 수심치를 해석하여 격자 구간내에서 추적될 수 있다. 임의 격자의 중심점을 C 라고 하고 상하좌우의 경계면을 각각 direction 1,2,3,4 라 하면 이웃한 구간에 대한 유량은 (10)식과 같이 기술된다.

$$q_{dir_i} = - (F_x)_{dir_i} \left[ \frac{h_i - h_c}{\Delta x} \right] \quad (10)$$

여기서, 중앙구간과 우측의 i 번 구간에 대한 식에서  $F_x$ 는 (11)식과 같이 기술된다.

$$(F_x)_{dir_i} = \frac{\Phi}{n} H^{5/3} \left[ \frac{h_i - h_c}{\Delta x \cos \theta} \right]^{-1/2} \quad (11)$$

계산수행은  $H_c$  와  $H_i$  ( $i = 1,2,3,4$ )가 수렴 범위내에 들어가지 수행되는데 실용적으로  $|H_c - H_i| < 10^{-4}$  m 가 적용될 수 있다. 주어진 격자와 시간대에 대하여 각 격자의 경계 각면에서의 유량이 계산되고 합산되었다. 그 결과로 나온 유량변화는 구간내에 대하여 균등하게 분포되어 수심이 계산되었다. 거리 및 시간간격을 CFL 안정조건에 따라 변화되는데 실제유역에 대한 세부적인 해석을 위해서는 30-150m의 거리간격과 CFL조건에 따른 1-30 sec의 시간간격이 사용될 수 있다. 본 연구에서는 2차원 해석결과의 효율적인 圖示를 위하여 turbo-Pascal에 의한 후처리 모형을 개발하였다. 후처리 모형을 통하여 범람수심 분포 및 유속벡터의 도시를 효율적으로 도시할 수 있어 일목요연한 홍수범람도의 작성이 실시될 수 있을 것으로 사료되었다.

### 4. 범람홍수 모형의 검증

DFLOW-2 모형의 정확도를 검증하기 위하여 1차원 동역학적 모형에 의하여 해석한 결과와 비교 검토하였다. 1차원적인 검증을 위해서 침투유량이 각각 3500 m<sup>3</sup>/sec와 15000 m<sup>3</sup>/sec인 삼각형의 수문곡선이 적용되었다. 확산형 모형과 동역학적 모형에 대해서 다른

초기조건이 사용되었다. 동역학적 모형은 모의 실험을 시작하기 위해 기저유량이 필요하며 초기수심도 '0'이 아닌 등류 수심을 갖게된다. 그림 1은 각 경우에 대한 각 경우에 대한 수위수문곡선을 주요 지점에 대해서 비교한 것이다. 거리 15 km 구간의 하류부에서 최고수위에 있어서의 오차는 다양한 수로경사와 유량조건에 대하여 2% 이하로 나타났다. 1차원의 경우에 대한 적용결과는 질량 보존에 있어서 오차는 '0'으로 나타났고 동역학적 모형과의 비교는 하류부에서의 수심과 유량변동등에 있어 매우 잘 일치되고 있었다.

DFLOW-2 모형을 2차원의 가상 제내지 구간에 적용하였다. 120개의 cell로 구성된 2차원 제내지 구간을 고려하였다. 초기수심은 '0'으로서 마른하도인 수평 홍수터 구간에 대하여 cell의 크기를 250×250m로 하고 n= 0.03인 상태하에서 침투유량은 15000 m<sup>3</sup>/sec인 사다리꼴의 수문곡선이 적용되었다. 유입수문곡선과 제내지 조건에 대하여 본 연구 모형은 안정한 해를 얻을 수 있었고, 질량 보존에 의한 오차는  $2 \times 10^{-2}$  % 이하로 나타났는데 이는 흐름을 유지 할 수 있는 최소수심 허용한계의 조건과 계산 시간간격에 따라 계산오차는 감소하고 있었다. 2차원적으로 계산된 결과치는 본 연구에서 개발한 후처리모형을 이용하여 지형상황도, 수심분포, 유속분포등을 color로서 일목요연하게 도시할 수 있도록 구성하였다.

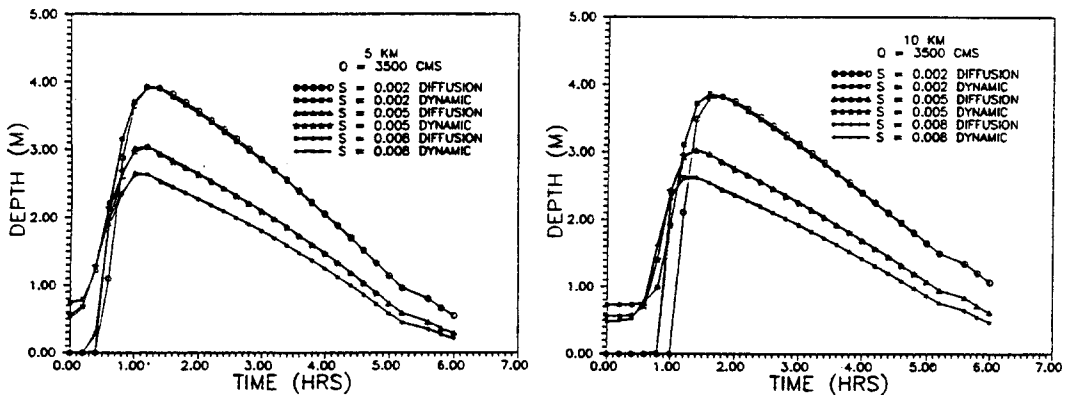


그림 1. 범람홍수 모형의 검정

## 5. 실제 유역에서의 범람홍수파 해석

본 연구에서 개발한 DFLOW-2 모형을 1990년 9월 일산제 제방 붕괴의 경우에 적용하고 실측치와의 비교점토를 통하여 그 적용성을 입증하였다. 일산제의 범람지역에 대한 지형측량과 관련기관 방문 및 현지 주민들과의 면담실시를 통하여 침수위 조사를 실시하였다. 일산제 붕괴기간 동안의 한강본류에서의 홍수해석을 위하여 팔당댐~인도교~전류

~월곶리 구간에 대한 홍수해석을 실시하였다. 이를 위해서 1990년 9월 9일 1시부터 9월 13일 24시의 120시간 동안에 대한 상류단 팔당댐의 방류량, 인도교 및 전류지점에 대한 수위, 하류단 월곶리의 수위 및 주요 지류 유입량 자료를 수집하였다.

본 연구에서 개발한 확산형 홍수범람 모형인 DFLOW-2를 이용하여 일산제 제방과괴로 인한 제내지에서의 2차원 홍수파 해석을 실시하였다. 홍수 범람 유입량은 한강 본류부 수위와 본류부와 인접한 제내지 수위에 의하여 범람 홍수량이 결정될 수 있는데, 하도~제내지의 연결부 모형을 이용하여 제내지로의 범람 홍수량 곡선을 유도하였다. 그림 2, 3은 12일 05 및 09시에서의 범람해석 결과에 대한 유속벡터를 본 연구에서 개발한 후처리 모형에 의해서 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 각 시간대의 속도벡터의 분포가 시간경과와 더불어 뚜렷하게 계산되고 있음을 확인할 수 있었고, 해당지형의 높고 낮음과 장애물등의 자연조건을 합리적으로 계산하고 있었다.

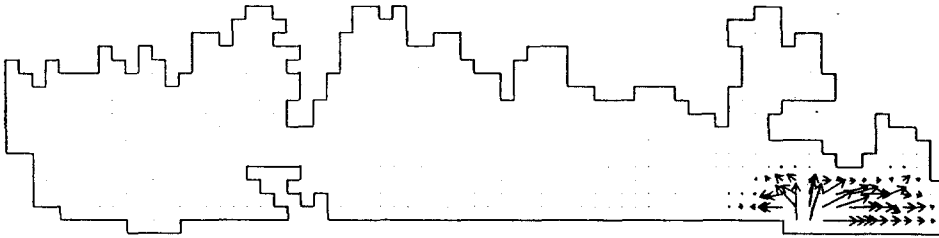


그림 2. 홍수범람에 따른 유속분포도(1)

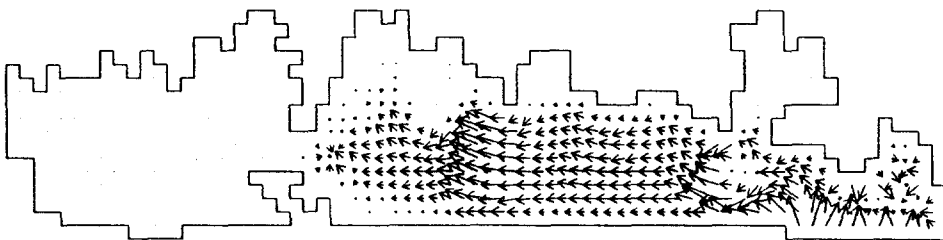


그림 3. 홍수범람에 따른 유속분포도(2)

주요시간에 대한 2차원 범람수심의 분포를 본 연구의 후처리 모형에 의해서 color로서 도시하였는데 범람수심의 분포도도 시간경과와 더불어 마른하도 상에 전파되는 2차원 홍수범람의 범위가 색깔별로 뚜렷하게 계산되고 있어 전반적인 범람범위를 가시화

(visualization) 하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 사료되었다. 본 연구에서 현장조사를 통해서 수집된 수계 지점에서의 범람수심과 홍수파의 도달시간을 관측치와 계산치에 대해서 도시한 결과는 당시의 실측치와 비교해서 범람수심 및 홍수파의 도달시간과 홍수 범람의 범위등에 있어 잘 일치하고 있어 본 연구모형의 적용성을 입증할 수 있었다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 제방의 율류 및 붕괴에 따른 홍수파가 제내지로 전파되는 경우에는 2차원 천수방정식을 기본식으로 하여 이를 확산형 방정식으로 근사화시킨 범람 홍수해석 모형 DFLOW-2를 개발하였다. 2차원 해석결과에 효율적인 圖示를 위하여 turbo-Pascal에 의한 후처리 모형(post-processor)을 개발하였다. 후처리 모형을 통하여 범람수심 분포 및 유속벡터의 도시를 효율적으로 도시할 수 있어 일목요연한 홍수범람도의 작성이 실시될 수 있을 것으로 사료되었다

DFLOW-2의 검정을 위해서 1차원 댐 파괴의 경우에 적용하였고, 기존의 동역학적 모형과의 비교검토를 통하여 본 모형의 적용성을 분석하였다. 2차원의 홍수터 및 제내지 유역에 적용하여 흐름 특성을 분석하고 본 모형의 적용성을 입증하였다. 일산제 제방붕괴의 경우에 대해서 제내지에서의 2차원 범람양상을 유속분포와 범람수심을 주요 시간대별로 계산하여 도시하였다. 해석결과는 현장조사에 의한 홍수흔적 자료 및 당시의 실측치와 비교해서 범람범위, 범람수위 및 홍수파의 도달시간등에 있어 일치하고 있어 본 연구 모형의 적용성을 입증하였다 .

본 연구결과는 제내지에서의 홍수 범람 예상도의 작성 및 각종 홍수 예경보의 수립에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 참고문헌

- (1) 이종태, 한건연외, "제내지에서의 범람홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발", 한국 과학재단 연구보고서, 1995.4. pp.1-124
- (2) Xanthopoulos, Th., and Koutitas, Ch., "Numerical Simulation of a Two Dimensional Flood Wave Propagation Due to Dam Failure", J. of Hydraulic Research, IAHR, 1976, pp.321-331.