

제내지에서의 범람홍수파 해석을 위한 수치모형의 개발 Floodwave Modeling in Inundated Area Resulting from Levee-Break

이 중 태* · 한 건 연** · 윤 세 의*** · 박 재 홍****
Lee, Jong Tae · Han, Kun Yeun · Yoon, Sei Eui · Park, Jae Hong

Abstract

A diffusion hydrodynamic model named "DFLOW-2" for the floodwave analysis from levee-break in protected lowland has been developed. The model has been applied to Ilsan levee-break, which occurred on September 12-13, 1990 in the downstream of the Han River. An unsteady flow analysis has been made in the reach from Indokyo to Junryu. Overflow through broken levee has been treated as internal boundary condition in the channel. A post-processor has been also developed to demonstrate the simulation results. The velocity distributions and inundated depths have been presented. The computed results have good agreements with observed data in terms of inundation depth, flood arrival time and flooded areas.

요 지

하천제방의 붕괴 및 월류에 따른 제내지에서의 범람 홍수파 해석을 위해서 DFLOW-2 모형을 개발하였다. 본 DFLOW-2 모형은 1990년 9월 한강 하류부의 일산제 제방붕괴의 경우에 대해서 적용하였다. 인도교에서 전류구간에 대한 1차원 부정류 해석을 실시하였고, 제방붕괴에 따른 월류량을 1차원 해석에서 내부 경계조건으로 처리하였다. 제방붕괴 후의 제내지에서의 2차원 범람 해석을 실시하였고, 이를 후처리모형을 이용하여 주요시간대별 홍수범람 수위와 유속분포도등을 작성하였다. 계산된 결과는 당시의 현지조사 결과 및 홍수흔적치등과 비교하여 범람수위, 홍수도달시간 및 범람범위등에서 비교적 잘 일치하고 있었다.

-
- * 경기대학교 공과대학 토목공학과 교수
 - ** 경북대학교 공과대학 토목공학과 부교수
 - *** 경기대학교 공과대학 토목공학과 교수
 - **** 경북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 서 론

도시하천에 있어서는 제방 인접한 곳에 주거, 산업시설등이 밀집하고 있는 지역에서 불의의 제방 붕괴로 인한 홍수류의 범람은 막대한 인명 및 재산 피해를 발생시키는 큰 재해가 될 수 있다. 최근에 국내에서 제방붕괴로 인한 홍수피해의 예는 1980년 7월 보청천 유역에서 소류지 및 하천제방이 붕괴 유실되어 큰 피해가 있었고, 1984년 9월 한강 유역에 내린 집중호우로 인한 서울 망원동 지역에서의 수문파괴로 인한 침수피해로 사회문제를 야기한 바 있으며, 1987년 7월 금강유역의 부여, 논산, 강경지역에서는 제방월류 및 붕괴로 인한 대범람의 피해를 입은 바 있다. 1990년 9월에는 일산제 제방붕괴로 인한 일산지역의 대침수 피해, 1991년 8월에는 태풍 Gladys에 의한 부산 수영강 상류부의 제방월류에 따른 저지대 침수로 인한 큰 피해가 있었으며, 1992년 9월 방조제 붕괴로 인한 목포시의 침수피해등은 이 분야에 대한 종합적인 연구의 필요성을 크게 증가시킨 바 있었다.

제방붕괴 및 월류에 따른 범람 홍수파 해석에 있어 Xanthopoulos와 Koutitas(1977)는 2차원 범람홍수파 해석을 위하여 Eulerian 좌표상에서 陰解 有限差分模型을 이용하여 그 해를 구하였고, Strelkoff 등(1977)은 Baldwin Hill 댐의 파괴가 Los Angeles지역에 미치는 영향을 Manning의 식과 질량보존식에 의하여 해석함으로써 범람홍수도를 작성하였다.

有賀世治(1977)는 일본에서 발생한 제방붕괴 사례의 조사를 실시하고 수리모형 실험을 통한 범람홍수의 거동을 규명하고자 하였으며, 西原 巧(1981; 1982)는 일본에서 발생한 실제의 제방붕괴 자료를 기초로 하고 이를 수치모형에 의하여 해석하였다. Iwasa와 Inoue(1982)는 1차원, 2차원 陽解 有限差分模型에 의한 하천제방의 붕괴와 월류에 따른 범람 홍수파 해석을 실시하였다. Evans와 Lany(1983)는 영국의 Whitham강에서의 범람 홍수파 해석을 위하여 1차원 陰解 有限差分模型을 이용하여 해석하였다. Hromadka 등(1984)은 2차원 확산형 모형에 의한 댐 파괴류 해석을 실시하

였고, Hromadka와 DeVries(1985)는 Orange County 저수지의 가상적인 붕괴에 따른 범람 홍수파를 적분형 유한차분모형을 이용하여 해석하였다.

국내에서 이 분야에 대한 연구는 주로 댐 파괴를 중심으로 하여 수행되어 왔는데 한건연 등(1985), 한건연(1987), 이종태 등(1986), 이종태와 한건연(1992)이 fill 댐의 파괴양상 및 그로 인한 하류부에서의 홍수파 해석을 실시하였고, 한건연(1990)은 급격한 댐파괴에 따른 홍수파의 전달특성을 연구하였다. 이종태와 한건연(1989; 1990)은 하천제방의 파괴 양상을 월류, 붕괴, 배수문의 파손등으로 구분하여 해석하였고 이를 '84년도 망원동 배수문 파괴의 경우에 적용하고 제내지에서의 침수해석을 실시한 바 있다. 그러나 제방파괴에 따른 범람홍수파 해석을 제내지에서의 다양한 자연조건을 고려하여 1차원 및 2차원 해석을 통하여 정교한 계산을 수행하고 제내지의 범람예측도를 시간별로 작성할 수 있는 해석기법의 개발은 아직까지 전무한 실정이다.

본 연구의 목적은 하천제방의 월류 및 붕괴에 따른 제내지에서의 범람 홍수파 해석을 실시하기 위하여 범람 홍수파가 제내지로 범람해 나가는 수리학적 현상을 해석하는 모형을 개발함으로써 침수예상구역도의 작성 및 홍수 예경보 체계의 확립에 기여함에 있다. 이를 위해서 하도 구간에서는 1차원 동역학적 방정식을 유한차분기법에 의해서 해석하였고, 제내지 구간에서는 2차원 확산형 방정식에 기초한 해석을 실시하였다. 또한 하천과 제내지의 연결부 해석을 위해서 제방파괴류의 잠수효과를 고려한 연결부 모형 (interface model)을 개발하였고, 계산결과의 효율적인 도시를 위해서 후처리 모형도 개발하였다. 본 연구의 모형은 1990년 9월 한강 하류부의 일산제 유역에 적용하여 범람홍수의 전파특성, 범람홍수위등을 계산하고 당시에 조사된 실측자료 및 홍수흔적등과 비교검토 하였다.

2. 범람 홍수모형 DFLOW-2

2.1 하도에서의 홍수파 해석모형

하도구간에서의 홍수해석을 위해서 사용된 동역

학적 방정식은 식 (1), (2)의 연속방정식과 운동 방정식으로 구성된다.

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

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

여기서 x 는 하천의 흐름방향거리, t 는 시간, Q 는 유량, h 는 수위, q_L 은 측방유출입량, L 은 측방 유출입량에 의한 운동량의 영향으로서 $L = q_L \nu \cos\theta$ 로 표시되며 ν 는 유출입량의 유속, θ 는 유출 입량의 접선방향과 이루는 각이다. 또한, S_f , S_c 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다. 이 경우 제방월류 및 파괴에 대한 영향은 연속 방정식과 운동방정식에 있어 각각 q_L , L 로 고려되고 있다.

식 (1), (2)의 해석을 위해서 Preissmann 기법에 의하여 차분화하면 비선형 방정식이 유도되고, 그 해를 구하기 위하여 Newton-Raphson 방법을 적용하였다. 이 방법은 2차항 이상의 모든 고차항을 무시한 비선형 Taylor 급수전개 이론으로 부터 식 (3)과 같이 유도된다.

$$J(x^k)\Delta x = -f(x^k) \quad (3)$$

여기서 x^k 는 벡터량, J 는 수위 및 유량벡터인 x^k 에 대한 편미분치로 구성되는 계수메트릭스로서 Jacobian, $f(x^k)$ 는 x^k 값에 대한 비선형방정식이고 Δx 는 식 (4)와 같이 표시된다.

$$\Delta x = x^{k+1} - x^k \quad (4)$$

여기서 k 는 반복 계산횟수, x^k 는 초기추정치, x^{k+1} 은 개선된 추정치이다 연속방정식과 운동방정식의 수위 및 유량에 대한 Jacobian식은 관련문헌에 기술되어 있다(이종태 등, 1995).

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 구할 수 있다(이종태와 한건연, 1989).

2.2 제내지에서의 범람홍수 모형

제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수파를 2차원 천수방정식을 기본식으로 하여 이를 확산형 방정식으로 변형시킨 홍수확산 모형을 해석하였다. 범람홍수 해석을 위한 2차원 확산형 방정식은 x, y 방향의 단위폭당 유량 q_x, q_y 에 의하여 기술하면 식 (5)~(7)과 같은 연속방정식과 운동량방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

$$S_{fx} + \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$S_{fy} + \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

여기서 S_{fx}, S_{fy} 는 x, y 방향에 대한 마찰경사, h 는 수위, g 는 중력가속도, q_x, q_y 는 x, y 에 대한 단위 폭당 유량을 나타내고 있다. 식 (6), (7)은 x, y 방향에 대하여 일반화하면 식 (8)과 같이 정리할 수 있다.

$$S_{fi} = -\frac{\partial h}{\partial i} \quad (i=x, y) \quad (8)$$

이제 Manning의 식에 의한 마찰경사식을 이용하면 x 와 y 방향에 흐름에 대한 방정식을 얻게 되고, 이를 일반화시키면 식 (9)와 같이 기술된다.

$$q_i = -F_i \left[\frac{\partial h_i}{\partial i} \right] \quad (i=x, y) \quad (9)$$

여기서

$$F_i = \frac{1}{n} H^{5/3} \left[\frac{\partial h}{\partial s} \right]^{-1/2} \quad (10)$$

기호 s 는 x 방향에 대해 $\theta = [\tan^{-1}(q_x/q_y)]$ 인 각을 이루는 흐름방향을 나타내고, 2차원 확산형 모형의 일반식인 식 (11)을 얻게된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} F_i \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} F_i \frac{\partial h}{\partial y} = \frac{\partial h}{\partial t} \quad (11)$$

확산형 방정식을 해석하기 위하여 본 연구에서는 陽解法의 中央差分形을 변형한 격자망 계산방법을 사용하였다 (Hromadka 등, 1981; 1985).

흐름해석은 유량을 계산하기 위하여 흐름의 수심 값을 해석하여 격자 구간내에서 추적될 수 있다. 임의 격자의 중심점을 C 로 하고 상하좌우의 경계면을 각 i 방향이라 하면 이웃한 구간에 대한 유량은 식 (12)와 같이 기술된다.

$$q_{dir_i} = -(F_x)_{dir_i} \left[\frac{h_i - h_c}{\Delta x} \right] \quad (12)$$

여기서 중앙구간과 우측의 i 번 구간에 대해서 F_x 는 식 (13)과 같이 기술된다.

$$(F_x)_{dir_i} = \frac{1}{n} H^{5/3} \left[\frac{h_i - h_c}{\Delta x \cos \theta} \right]^{-1/2} \quad (13)$$

주어진 격자와 시간대에 대하여 각 격자의 경계 각 면에서의 유량이 계산되고 합산되었고 그 결과로 얻게 되는 유량변화는 구간내에 대하여 균등하게 분포되어 새로운 수심이 계산되었다. 계산방법에 대한 사항은 관련 문헌(한건연 등, 1995)에 상세히 기술되어 있다.

2.3 하도-제내지의 연결부 모형

하천에 대한 홍수해석은 Preissmann 기법에 의한 홍수류 해석을 실시할 수 있도록 구성하였고 제내지에서는 본 연구의 2차원 확산형 범람홍수 모

형을 개발하여 해석할 수 있도록 구성하였으므로, 이들을 연결할 수 있는 연결부 모형을 개발하였다. 연결부 모형에서는 잠수효과의 고려를 위한 관련방정식을 도입하여 제내지에서의 수위상승에 따른 하천으로부터의 월류량을 정확하게 계산할 수 있도록 구성하였다. 하천으로부터 제내지로 유입하는 범람 수문곡선을 유도하기 위해서는 하천의 수위, 제방 파괴 양상, 제내지의 지형조건 등이 필요하다. 범람수의 흐름은 제방 내, 외측의 수위로부터 완전 및 불완전 월류로 구분하여 불완전 월류일 경우에는 잠수영향을 고려하였다. 범람양상은 크게 월류 (overtopping)와 붕괴(breaking)등의 경우로 구분하여 각각을 수식화하였다 (Lee와 Han, 1989; 이종태 등, 1995).

하천제방의 일정구간이 파괴되어 파괴부를 형성하는 경우에 있어서는 그림 1에서와 같이 제방 파괴 폭 b , 파괴지속시간 T_f , 파괴부의 최종표고 h_{Lb} 등의 자료가 필요하다. 하천과 제내지간의 상대적인 수위변화에 따라서는 제방마루를 넘어 제내지로 월류하던 흐름이 그 방향을 바꾸어 다시 제내지로 부터 하천으로 복귀하는 경우도 있을 수 있으므로, 그 흐름방향을 방향계수 α 로 표시하였으며, 제방내 측과 외측의 수위중 큰 값은 \hat{h} , 작은 값은 \tilde{h} 로 나타내어 일반화하였다. 제방 파괴로부터의 범람 홍수량은 파괴부의 형상을 사다리꼴로 근사화하면 식 (14), (15)와 같이 기술된다.

(i) $\hat{h} > h_b$ 인 경우

$$q_f = \frac{\alpha \beta}{\Delta x_i} [C_1 b_i (\hat{h} - h_b)^{1.5} + C_2 (\hat{h} - h_b)^{2.5}] \quad (14)$$

(ii) $\hat{h} < h_b$, $\tilde{h} < h_b$ 및 $\hat{h} = \tilde{h}$ 인 경우

$$q_f = 0 \quad (15)$$

여기서

$$h_b \begin{cases} = h_{Lb} - (h_{Lb} - h_{Lb}) \frac{t}{T_f} & (t \leq T_f) \\ = h_{Lb} & (t > T_f) \end{cases} \quad (16)$$

$$b_i \begin{cases} = b(\frac{t}{T_f}) & (t \leq T_f) \\ = b & (t > T_f) \end{cases} \quad (17)$$

$$\alpha = \frac{h_r - h_p}{\hat{h} - h} \quad (18)$$

여기서 $h_r > h_p$ 인 경우, $\hat{h} = h_r, \tilde{h} = h_p, \alpha = -1$
 $h_p > h_r$ 인 경우, $\hat{h} = h_p, \tilde{h} = h_r, \alpha = 1$
 $h_r = (h_i^{j+1} + h_{i+1}^{j+1})/2$

$$\beta \begin{cases} = 1.0 & (\gamma_2 \leq 0.67) \\ = 1.0 - 27.8(\gamma_2 - 0.67)^3 & (\gamma_2 > 0.67) \end{cases} \quad (19)$$

$$\gamma_2 = \frac{h_p - h_b}{h_r - h_b} \quad (20)$$

식 (3)의 Jacobian 식에는 각각 $\partial q_{L,i}/\partial h_i$ 및 $\partial q_{L,i}/\partial h_{i+1}$ 등이 포함되어 있는데 이 항들은 제방붕괴에 따른 침수의 경우 식 (21)과 같이 표현된다. $\partial q_{L,i}/\partial h_i$ 의 경우는 식 (21)에서 i 대신 $i+1$ 을 대입하고 유사한 형태로 표시하면 된다.

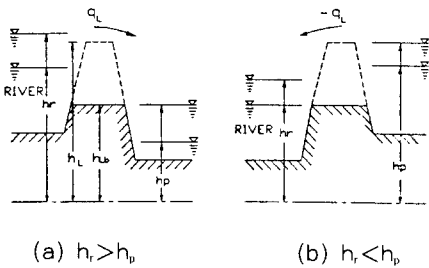


그림 1. 제방붕괴에 의한 범람 홍수량의 계산

$$\frac{\partial q_{L,i}}{\partial h_i} = q_{L,i} \left[\frac{1.5 \partial \hat{h} / \partial h_i}{(\hat{h} - h_b)} - \frac{83.4 + (\gamma_2 - 0.67)^2}{\beta_i} \frac{\partial \gamma_2}{\partial h_i} \right] \quad (21)$$

여기서

$$\frac{\partial \hat{h}}{\partial h_i} = \frac{1}{2} \quad (h_r > h_p) \quad (22a)$$

$$\frac{\partial \hat{h}}{\partial h_i} = 0 \quad (h_r < h_p) \quad (22b)$$

$$\frac{\partial \gamma_2}{\partial h_i} = \frac{-0.5 \gamma_2}{(\hat{h} - h_b)} \quad (h_r > h_p, \gamma_2 > 0.67) \quad (23a)$$

$$\frac{\partial \gamma_2}{\partial h_i} = \frac{0.5}{(\hat{h} - h_b)} \quad (h_r < h_p, \gamma_2 > 0.67) \quad (23b)$$

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. 그림 2는 DFLOW-2 모형의 계산 알고리즘을 나타낸 것이다.

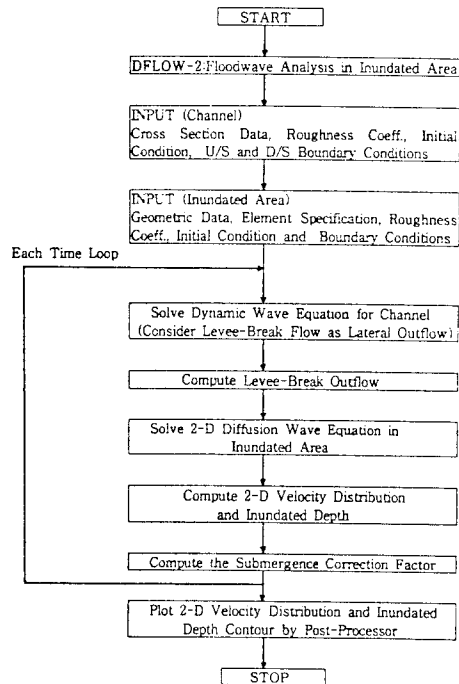


그림 2. DFLOW-2의 계산흐름도

3. 일산제 붕괴에 따른 범람홍수파 해석

3.1 일산제 붕괴 및 현지조사

일산제 붕괴에 따른 홍수파 해석을 위하여 일산제 붕괴상황, 붕괴후의 피해상황, 홍수흔적의 조사, 지형측량 및 당시의 한강홍수위의 변동상황등의 조사가 수행되었다. 일산제는 경기도 고양군 지도읍 신평리에서 송포면 구산리에 이르는 연장 16km의 한강 하류부의 우안쪽으로서 1933년에서 1935년도에 걸쳐 한강의 하상토사를 인력으로 운반하여 호안시설 없이 축제되었다. 제방고는 11.6m, 천단폭은 5.5~7.5m로 구성되어 있으며, 지층은 빨 섞인 세립 모래질 토사가 유수의 운반퇴적작용에 의하여 형성된 지층이었고 성토질은 제방법면 하상에 있던 빨섞인 세립 모래질 토사로 구성되어 있었다. 일산제 호안공사는 총연장 16km 중 12.2km에 대하여 1972년부터 1990년까지 연차적으로 호안 사석공사가 시행되었다. 1984년 9월 1일 홍수시 제내지측 논에서 파이핑 현상이 발견된 취약구간 9.5km에 대해서는 1984년 12월에서 1985년 12월의 기간에 호안블럭 및 슈트 파일공법으로 일부구간이 보강된 바 있다. 일산제 유실위치는 행주대교로부터 하류부로 1.2km에 위치하고 있으며 피해발생의 경위는 다음과 같다.

당시의 강우는 9월 9일 부터 9월 11일 19시까지 약 40여 시간 동안 488mm의 강우로 인하여 1990년 9월 11일 18시 인도교의 수위표 수위는 1925년 을축년 홍수이래 최고인 11.

27m를 기록하였다. 12일 01시 30분경 최초로 제방안쪽 논에서 5cm 정도의 구멍에서 물이 분출되는 것이 최초로 발견되었고 02시 40분경 물구멍은 1 m로 확대되었다. 3시 30분경에는 30m구간이 유실되었고 14시경에는 200m 이상에 달하는 구간이 유실되었다.

고양군 지도읍 관계자의 면담결과에 의하면 각 지역의 유입시간은 지도읍 소재촌 마을에 12일 05시 35분, 능곡역앞 12일 06시 15분, 대정역이 12일 16시경이 었다. 12일 23시경에 이르러서 침수가 거의 중지되었으며 침수된 물은 13일 09시경부터 서서히 퇴수되기 시작하였다. 주요 피해상황은 주택 5 개읍 2869 가구, 농경지 7 개읍이 침수되었고, 이재민은 2099 가구 7347명에 이르렀으며, 피해액은 484억 6200만원으로 추산되었다.

본 연구의 2차원 확산형모형의 적용성을 검토하기 위하여 대상지역에 대한 지형측량 및 현지에서의 홍수흔적조사를 실시하였다. 항공사진 측량자료와 현지측량조사 결과 그림 3과 같이 격점 크기 250 m×250m인 765개의 격자에 대해 좌표, 표고, 조도계수등의 자료가 정리되었다.

홍수흔적의 조사는 제방붕괴 이후인 1990년 11월에 수십개 지점에 대한 홍수흔적을 표시해 두었다. 홍수흔적은 현지에서의 레벨측량을 통한 홍수위로 도출하였으며, 관계기관 및 현지 주민들과의 면담을 통해서 자료를 보완하였다. 기사화된 제방붕괴 상황과 범람상황을 주요 일간지의 자료를 발췌하여 활용하였다 (이종태 등, 1995).

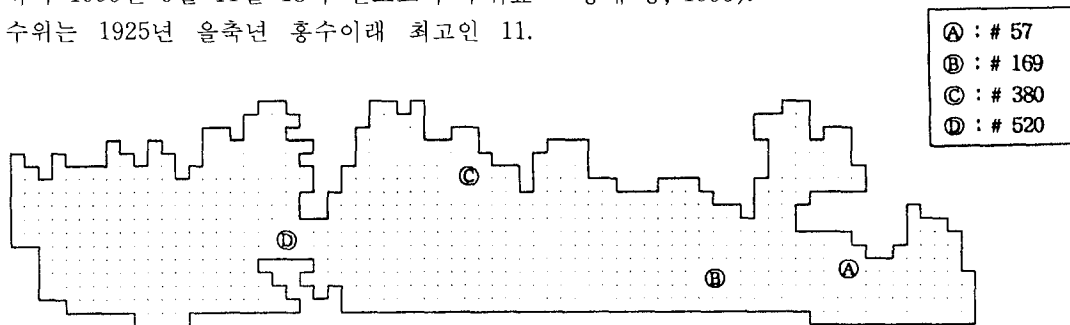


그림 3. 범람지역에 대한 격자망의 구성

3.2 한강 본류부에 대한 홍수해석

일산제 제방파괴에 대한 정확한 범람 월류량을 산정하기 위해서 1990년 9월 9일 1시부터 9월 13일 24시 까지의 기간 동안 인도교~전류 구간에 대해서 일산제 제방붕괴 구간을 내부 경계조건으로 구성하여 홍수해석을 실시하였다.

그림 4는 홍수해석을 위한 인도교~전류 구간의 34km구간을 나타낸 것으로서 40개의 격점으로 구성하였는데 9~10구간에는 안양천이 유입되고 있으며 20~21구간에 일산제 붕괴구간으로 구성하였다. 상류단 경계조건은 그림 5의 인도교에서의 수위 수문곡선으로 하였고, 하류단 경계조건은 그림 6의 전류에서의 수위 수문곡선으로 하였다 (한강홍수예경보, 1990). 하도단면의 자료는 1987~1990년 동안에 조사된 측량성자료로부터 도출하였다 (한강하류연안개발계획보고서, 1989). 이 구간의 평균하도경사는 1/12000이었고, 사용된 조도계수의 평균적인 범위는 0.023~0.028 였다 (한강수계 유출 프로그램 개선방안, 1991; 이종태등, 1993). 제방붕괴 시간과 붕괴폭은 현지조사 및 보도자

료를 기초로 하여 3시간 동안에 200 m 구간이 점진적으로 붕괴된 것으로 고려하였고, 제방붕괴 지점과 인접한 제내지의 수위를 고려하여 잠수계수를 계산하였고 이를 기초로 정확한 제방월류량을 산정하였다.

그림 7은 인도교~전류 구간에 대한 9월 12일 05시, 10시, 15시, 20시, 24시의 주요 시간대별 홍수량의 종단형상을 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 일산제 제방붕괴로 인한 한강 본류부에서의 홍수량의 급격한 변화를 확인할 수 있었다.

일산제 제방파괴의 시간이 12일 03시 30분에서 시작하여 24시경에는 더 이상의 월류량이 없었던 것을 그 당시의 실측자료들을 참고로 하면, 본 연구의 해석결과는 당시의 한강 본류부에서의 홍수량 변동 양상을 합리적으로 재현하고 있었다.

그림 7은 본 연구 모형에 의해서 계산된 일산제 제방파괴 지점에 대한 홍수위와 파괴지점과 인접한 제내지에서의 범람수심을 도시한 것이다. 이 경우에 본류부에서의 홍수위와 제내지에서의 범람수심은 그림과 같이 잠수계수가 1.0일 경우에는 완전월류가 발생되다가 제내지 수위가 상승됨에 따라 잠수계수가 크게 나타나

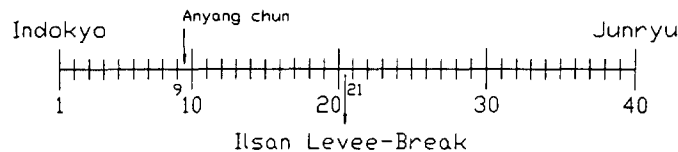


그림 4. 인도교~전류에 대한 홍수해석 구간도

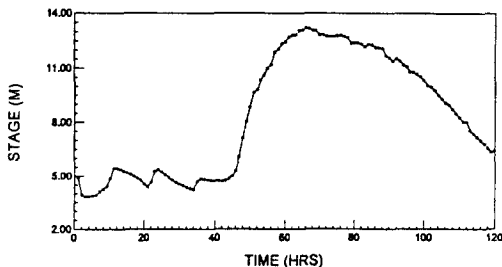


그림 5. 인도교지점의 수위 수문곡선

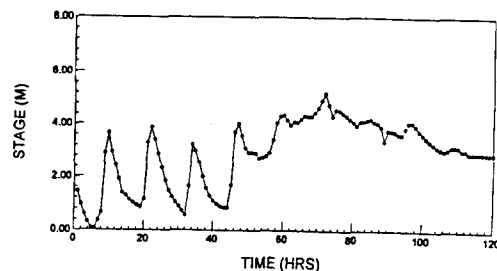


그림 6. 전류지점의 수위 수문곡선

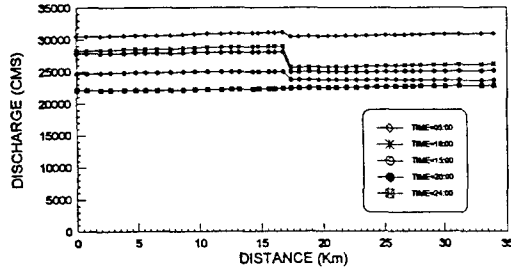


그림 7. 인도교-전류에 대한 홍수해석 결과

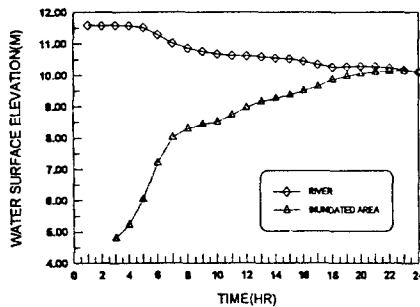


그림 8. 일산제 붕괴지점의 제내외지 수위변동

13시 부터는 0.9 정도의 값으로 나타나다가 19시에는 0.5로 나타났고, 24시에는 0.1 이하로 떨어져 더 이상의 월류가 발생되지 않았다.

3.3 일산제에서의 범람 홍수파 해석

본 연구에서 개발한 확산형 홍수범람 모형 DFLOW-2를 이용하여 일산제 제방과괴로 인한 제내지에서의 2차원 홍수파 해석을 실시하였다. 하도~제내지의 연결부 모형을 이용하여 그림 9와 같은 제내지로의 범람 홍수량 곡선을 유도하였다. 홍수 범람 유입량은 한강 본류부 수위와 본류부와 인접한 제내지 수위에 의하여 범람 홍수량이 결정될 수 있는바, 12일 03시 30분에 범람이 시작되어 8시에 3551m³/sec의 유량으로 급격히 증가하다가 본류부의 수위강하와 제내지의 수위상승에 따라 범람량이 점진적으로 감소되어 24시경에는 범람이 중단된 양상을 띠고 있었다.

초기조건은 마른하도상에서 계산이 시작되었으며, 확산형 홍수파의 전파양상을 고려하였으므로

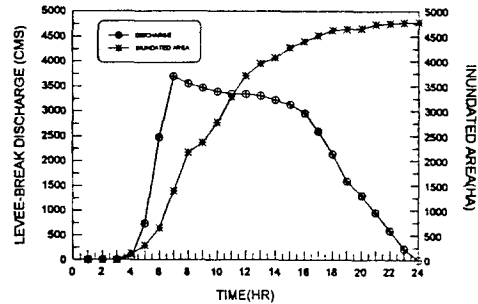


그림 9. 제내지로 유입된 범람 유량곡선과 침수면적의 변화

이동경계등의 특별한 처리를 필요로 하지는 않았다. 사용된 조도계수는 충분한 선행강우가 있었으므로 토지이용조건과 건물등의 장애물 조건을 고려하여 0.025-0.040의 범위가 적용되었다.

그림 9는 일산제 제방과괴로 인한 제내지에서의 시간에 따른 범람면적을 도시한 것이다. 그림과 같은 범람 양상은 당시의 보도자료 및 현지조사 결과로 수집된 실측상황과도 범람범위 및 범람양상등에 있어 잘 일치되고 있었다.

그림 10~12는 12일 05시, 09시 및 14시에서의 범람해석 결과에 대한 유속벡터를 본 연구에서 개발한 후처리 모형에 의해서 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 각 시간대의 속도벡터의 분포양상이 시간경과와 더불어 뚜렷하게 계산되고 있음을 확인할 수 있었다. 시간 경과에 따른 유속분포도 해당지형의 높고 낮음의 큰 불규칙성과 장애물 등의 자연적인 지형조건에 따른 복합적인 흐름양상을 합리적으로 재현하고 있었다.

그림 13~14는 각각 12일 06시 및 14시에 대한 2차원 범람수심의 분포를 본 연구의 후처리 모형에 의해서 color로서 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 범람수심의 분포도도 시간경과와 더불어 마른하도 상에 전파되는 2차원 홍수범람의 범위가 색깔별로 뚜렷하게 계산되고 있어 전반적인 범람범위를 可視化하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 사료되었다.

그림 15~18은 본 연구에서 현장조사를 통해서 수집된 수개 지점에서의 범람수심과 홍수파의 도달 시간을 관측치와 계산치에 대해서 도시한 것이다. 그림에서의 주요지점의 위치는 그림 3에 나타난 바와 같은데, #57, 169, 380, 520은 각각 새마을 철로 건널목 부근, 평리 농어민 사무소 앞, 주엽 5

리 상주마을, 대화 7리 동촌마을 부근을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 해석결과는 당시 주요지점에서의 실측치와 비교해서 범람수심 및 홍수파의 도달시간과 홍수범람의 범위등에 있어 잘 일치하고 있어 본 연구모형의 적용성을 입증할 수 있었다.

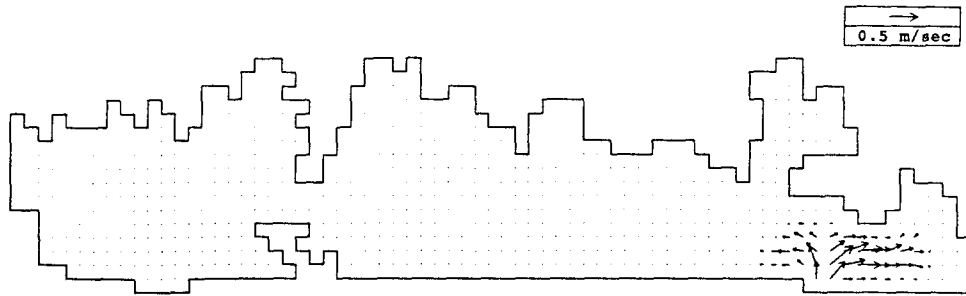


그림 10. 홍수범람에 따른 유속분포도 (12일 05시)

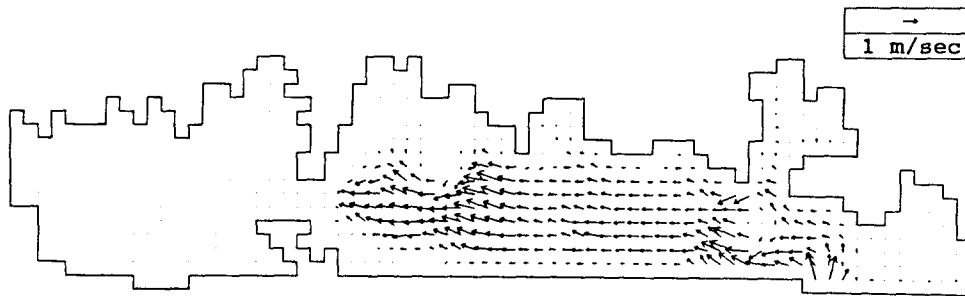


그림 11. 홍수범람에 따른 유속분포도 (12일 09시)

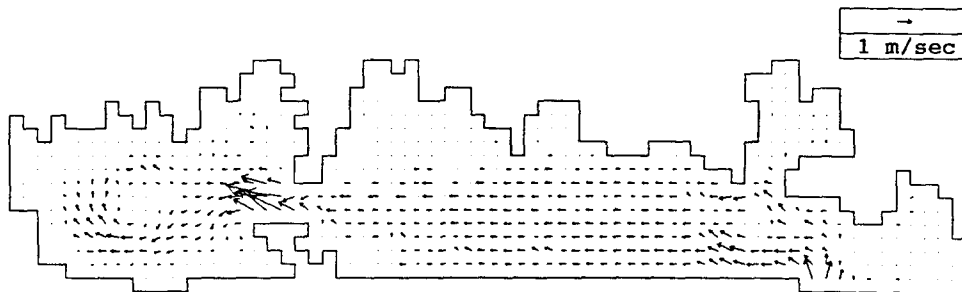


그림 12. 홍수범람에 따른 유속분포도 (12일 14시)

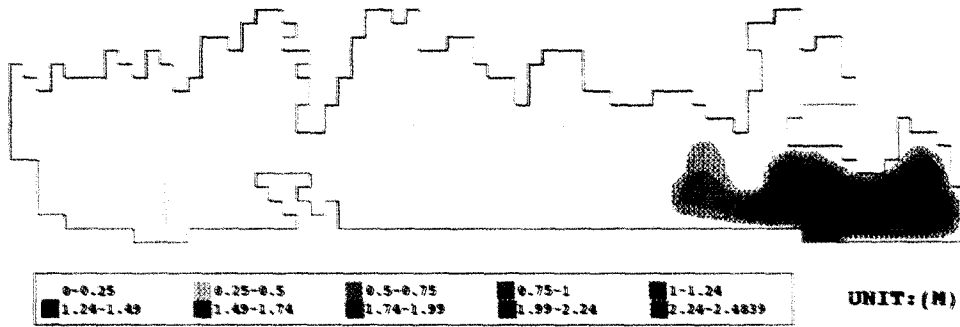


그림 13. 홍수범람에 따른 범람수심도(12일 06시)

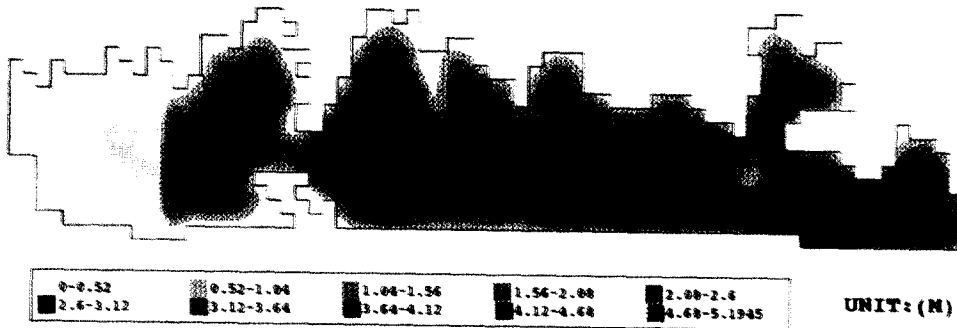


그림 14. 홍수범람에 따른 범람수심도(12일 14시)

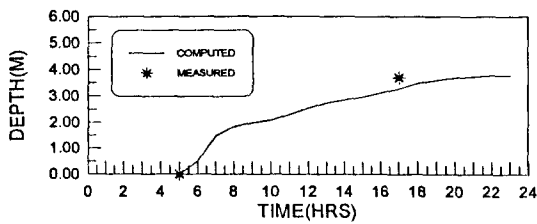


그림 15. 주요지점에서의 범람수심의 변동양상
(element #57)

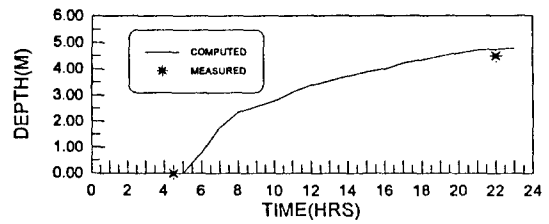


그림 16. 주요지점에서의 범람수심의 변동양상
(element #169)

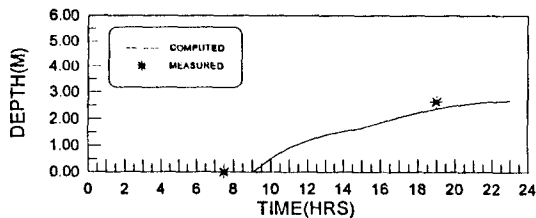


그림 17. 주요지점에서의 범람수심의 변동양상
(element #380)

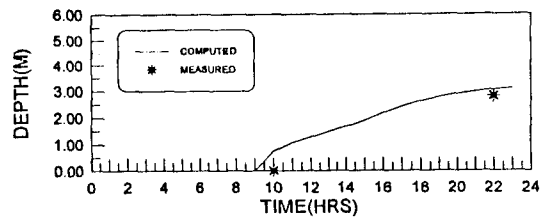


그림 18. 주요지점에서의 범람수심의 변동양상
(element #520)

4. 결 론

(1) 본 연구에서는 제방의 월류 및 붕괴에 따른 홍수과가 제내지로 전파되는 경우에 적용할 수 있는 범람 홍수해석 모형 DFLOW-2를 개발하였다. 본 연구 모형은 하천에 대한 홍수해석은 기존의 Preissmann 기법에 의해서 제방 월류량을 고려한 홍수류 해석을 실시할 수 있도록 구성하였고, 제내지에서의 2차원 범람해석은 확산형 방정식을 해석할 수 있도록 구성하였다.

(2) 하도-제내지의 연결부 모형에서는 잠수효과 해석을 위한 관련방정식을 도입하여 제내지에서의 수위상승에 따른 하천으로부터의 범람량을 정확하게 산정할 수 있도록 구성하였다.

(3) 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) DFLOW-2 모형을 1990년 9월 일산제 붕괴의 경우에 대해서 적용하였다. 일산제 붕괴기간 동안의 한강분류에서의 홍수해석을 위하여 인도교~전류 구간에 대한 홍수 해석을 실시하였고, 일산제 파괴에 따른 제내지 내로의 유입되는 범람 홍수량을 잠수효과를 고려하여 유도하였다. 제내지에서의 2차원 범람양상을 유속분포와 범람수심을 주요 시간대별로 계산하여 도시하였다. 해석결과는 현장 조사에 의한 홍수흔적 자료 및 당시의 실측치와 비교해서 범람범위, 범람수위 및 홍수과의 도달시간 등에 있어 일치하고 있어 본 연구모형의 적용성을 입증하였다.

(5) 본 연구에서 개발된 DFLOW-2 모형은 하도 및 제내지에서의 최고수위와 침투유량등을 비교적 단시간에 효율적으로 계산함으로써 홍수 예경보와 홍수범람도 작성등의 각종 치수 및 방재계획 수립에 실제적으로 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단 연구비지원 (과제번호 : KOSEF 931-1200-024-2)에 의한 결과로서 지원당국에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 이종태, 한건연, 서병하 (1993). “한강의 홍수규모에 따른 인도교 수위의 조석영향 검토.” 한국수문학회지, 제26권 제2호, pp. 67-77.
- 이종태, 한건연, 이정식 (1986). “Earth Dam의 가상 파괴로 인한 홍수과의 예측모형.” 대한토목학회 논문집, 제6권, 제4호, pp. 69-78.
- 이종태, 한건연 (1989). “하천제방의 붕괴로 인한 제내지의 침수 예측모형.” 한국수문학회지, 제22권, 제2호, pp. 223-231.
- 이종태, 한건연 (1990). “84년 망원동 배수문 파손에 따른 제내지의 침수해석.” 1990년도 대한토목학회 학술발표논문집, pp. 185-188
- 이종태, 한건연 (1992). “댐 붕괴 홍수과 해석을 위한 무차원 홍수추적곡선의 유도.” 대한토목학회 논문집, 제12권 제2호, pp. 87-99.
- 이종태, 한건연, 윤세의, 박재홍 (1995). “제내지에서의 범람 홍수과 해석을 위한 수치모형의 개발.” KOSEF 931-1200-024-2, 한국과학재단 연구보고서.
- 조선일보, 한국일보, 동아일보, 중앙일보, 서울신문, 경기일보 (1990). 1990년 9월 11일~ 14일 자료.
- 한강수계 유출프로그램 개선방안 (1991). 한강홍수통제소, 건설부.
- 한강하류 연안개발계획보고서 (1989). 서울국토관리청, 건설부.
- 한강홍수예경보 (1990). 한강홍수통제소, 건설부.
- 한건연, 이종태, 이원환 (1985). “Earth Dam 파괴로 인한 유출수문곡선의 유도.” 대한토목학회 논문집, 제5권, 제2호, pp. 41-50.
- 한건연 (1987). “하천에서의 홍수과 해석을 위한 수치모형의 개발.” 한국수문학회지, 제 20권, 제4호, pp. 285-294.
- 한건연 (1990). “댐의 파괴형태와 하도부 양상에 따른

- 홍수와 전달특성 해석에 관한 연구.” 한국수문학회지, 제23권, 제4호, pp. 467-476.
- 한건연, 박재홍 (1995). “도시하천에서의 홍수범람도 작성을 위한 2차원 모형의 개발.” 한국수자원학회지, 제28권, 제6호 (출간예정).
- 홍수량측정보고서 (1990). 한강홍수통제소, 건설부.
- 有賀世治 (1977). “有堤河川の破堤による氾濫區域の推定に關する實證的 研究 (I),(II).” 東海大學紀要, pp. 133-175.
- 西原 巧(1981-1982). “氾濫解析とその現地流域への適用 (I),(II),(III).” 水利科學, pp. 1-94.
- Evans, E.P., and Lany, P.H. (1983). “Mathematical model of overbank spilling and urban flooding.” Paper No. G5, *Int. Conf. on Hydraulic Aspects of Floods & Flood Control*, London, England.
- Hromadka II, T.V., Guymon, G.L., and Pardoan, G.C. (1981). “Nodal domain integration model of unsaturated two dimensional soil water flow.” *Water Resources Research*, Vol. 17, No. 5, pp. 1425-1430.
- Hromadka II, T.V., Berenbrok, C.E., Freckleton, J.R., and Guymon, G.L. (1984). “A two-dimensional diffusion dam-break model.” *Advances in Water Resources*, Vol. 8, pp. 7-14.
- Hromadka II, T.V., and DeVries, J.J. (1985). “A two-dimensional dam-break model of the Orange County Reservoir.” *International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulic Infrastructures and Water Quality Control*, Univ. of Kentucky, pp. 185-193.
- 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.
- Lee, J.T., and Han, K.Y. (1989). “A dynamic levee breach model and its applications to hypothetical and actual flood.” *Proc. of 23rd Congress of International Association for Hydraulic Research*, pp. 441-448.
- 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.
- Xanthopoulos, T., and Koutitas, C. (1977). “Numerical simulation of a two-dimensional flood wave propagation due to dam failure.” *J. of Hydraulic Research*, IAHR, Vol. 4, No. 4, pp. 321-331.

〈접수: 1995년 5월 30일〉