

하천 홍수범람해석을 위한 수치모형의 개발(I): GIS와의 연계해석 Numerical Model for Flood Inundation Analysis in a River(I): GIS Application

이 홍 래* / 한 건 연** / 김 상 호*** / 최 현 상****
Lee, Hong Rae / Han, Kun Yeun / Kim, Sang Ho / Choi, Hyun Sang

Abstract

FIAS (Flood Inundation Analysis System) using Arc/Info is developed and applied to the South Han River basin. The DWOPER model is revised and expanded to handle simultaneous multiple overtopping and/or breaking, and to estimate the inundation depth and extents. The model is applied to an actual levee overtopping case, which occurred on August 23~27, 1995 in the South Han River. Stage hydrographs inside and outside of the levee are compared, then inundated discharges from overbank spilling are computed. The Graphic User Interface is developed with AML(Arc/Info Macro Language). Two- and three-dimensional inundation maps by Arc/Info are presented. The computed inundation extends agree with observations in terms of inundation depth and flooded area.

Keywords : River, Floodwave, Flood Inundation, Geographic Information System

요 지

DWOPER 모형에 제방월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람 해석 등을 처리할 수 있도록 프로그램을 대폭적으로 개선, 보강한 모형을 개발하여 Arc/Info와 연계하여 처리할 수 있는 홍수범람해석시스템 FIAS (Flood Inundation Analysis System)를 구축하여 이를 남한강의 제방의 월류 및 붕괴에 대해서 적용하였다. 본 모형을 1995년 8월 23~27일에 남한강의 제방의 월류로 인해 발생한 범람홍수에 대해 적용하였다. 홍수와 해석에 의한 하천의 하도부에서의 수위와 제내지의 수위를 비교하여 하천제방의 월류로 인한 범람유량을 산정하였다. Arc/Info의 AML을 이용한 GUI를 개발하여 2차원과 3차원 홍수범람도를 도시하였다. 본 연구모형으로부터 계산된 범람수위와 범람면적은 실제 현지 조사자료와도 잘 일치하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 하천, 홍수파, 홍수범람, 지리정보시스템

* 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원 (연세대학교 토목공학과 박사과정)
** 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수
*** 경북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

1. 서 론

최근에 들어 이상강우와 집중호우 등의 영향으로 하천에서 범람구역에 대한 정확한 추정이 필요로 하게 되었고 이는 하천에서의 각종 피난대책의 수립 등 치수계획시의 중요한 과제로 대두되고 있다. 국내에서 하천의 홍수범람 예측을 위한 종래의 연구는 주로 과거 범람상황으로부터의 유추, 지형도를 통한 추정 등이 있을 수 있으나 모두 수리학적인 기초이론에 근거하지 못하였으므로 범람 홍수과의 시간에 대한 전과양상이나 범람수심의 분포 양상을 정확하게 예측하지 못하였다. 본 연구에서는 하천의 범람에 따른 홍수과의 전과양상을 해석하기 위해서 수치해석 기법에 의한 홍수범람 모형을 개발하였고, 그 해석결과를 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 제시함으로써 합리적인 홍수관리가 이루어질 수 있도록 하였다. 본 연구에서 개발된 수치해석 모형을 1995년 8월 남한강 유역의 여주지역 홍수 범람에 적용하여 그 활용성을 제시하였다.

홍수범람 해석에 대한 외국에서의 연구를 살펴보면 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)는 일본에서 발생한 실제의 제방붕괴 자료를 기초로 하고 이를 수치모형에 의하여 해석하였다. Evans와 Lany(1983)는 영국의 Whitham 강에서의 범람 홍수과 해석을 위하여 1차원 陰解 有限差分模型을 이용하여 해석하였고 Hromadka와 DeVries(1985)는 Orange County 저수지의 가상적인 붕괴에 따른 범람 홍수과를 적분형 유한차분모형을 이용하여 해석하였다. 미국 육군공병단 HEC(1992)에서는 HEC-2와 GRASS를 연계한 홍수해석모형을 연구한 바 있고, Syme와 Paudyal(1994)은 Bangladesh의 홍수관리모형을 위해서 Mike -11과 Arc/Info를 연계하여 해석하였으며, Estrela와 Quintas(1994)는 Spain의 Jucar 강 홍수터에서의 홍수관리를 위해 GRASS 모형과 연계해석을 실시하였다.

국내에서 이 분야에 대한 연구는 주로 댐 붕괴와 연관되어 수행되어 왔는데 한건연(1987), 이종태 등(1986)이 fill 댐의 붕괴양상 및 그로 인한 하류부에서의 홍수과 해석을 실시하였다. 이종태와 한건연(1989), Lee와 Han(1989)은 하천제방의 붕괴 양상을 월류, 붕괴, 배수문의 파손 등으로 구분하여 해석하였고 이를 '84년도 망원동 배수문 파괴의 경우에 적용하고 제내지

에서의 침수해석을 실시한 바 있다. 그리고 이종태 등(1995) 및 한건연과 박재홍(1995)은 일산제의 제방붕괴에 관한 수치모의를 실시한 바 있으며, 한건연 등(1997a, b)은 댐 및 하천제방에 대한 위험도 평가모형을 개발하여 이를 실제 유역에 적용하여 해석하였다. 1980년대 후반 국내에 지리정보시스템이 도입된 이래, 수문해석모형, 환경정보 및 비점원오염 해석 등에 적용한 바가 있으나 아직까지 홍수범람에 대한 적용 및 연구는 전무한 실정이다.

본 연구의 목적은 하천제방의 월류 및 붕괴로 인한 범람에 따른 범람 홍수과의 전달 특성해석, 침수범위 및 침수위의 추정, 예상 피해규모를 예측할 수 있는 수치해석 모형을 개발하여 하천에서의 홍수범람도를 지리정보시스템과 연계하여 작성하고자 함에 있다.

이를 위해서 본 연구에서는 DWOPER 모형에 제방 월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람 해석 등을 처리할 수 있도록 프로그램을 대폭적으로 개선, 보강한 모형을 개발하였고, 이를 남한강에서 홍수 범람의 경우에 대해서 적용하였다. 홍수범람에 따른 해석결과는 지리정보시스템과 연계하여 제내지의 범람 예측도를 시간별로 작성할 수 있는 해석기법을 제시함으로써 과학적인 범람홍수의 관리가 이루어질 수 있도록 하였다.

2. 범람홍수모형

2.1 범람홍수의 수리학적 해석

제방월류 및 붕괴에 따른 범람량을 고려한 하도구간에서의 홍수해석을 위해서 사용된 동수역학적 방정식은 식 (1), (2)의 연속방정식과 운동방정식으로 구성된다.

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

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

여기서 x 는 하천의 흐름방향거리, t 는 시간, Q 는 유량, A , A_0 는 각각 흐름단면적과 저류단면적, h 는 수위, q_L 은 제방을 통한 범람량, L 은 범람량에 의한 운동량의 영향으로서 $L = -q_L V_L$ 로 표시

되며 V_L 은 범람량의 유속이다. S_f , S_e 는 각각 마찰경사와 단면변화에 따른 손실경사의 항이다. 이 경우 제방월류 및 붕괴에 대한 영향은 연속방정식과 운동방정식에 있어 각각 q_L , L 로 고려되고 있다. 이 세 식 (1), (2)의 수치해를 구하기 위해서 유한차분기법중 시간가중치 θ 를 도입하여 음해적으로 해석하는 Preissmann 기법을 적용하면 비선형 방정식이 유도되며, 이때 구성되는 비선형 대수방정식의 해를 구하기 위하여 반복 계산법의 하나인 식 (3)과 같은 Newton-Raphson 방법을 적용하여 해석한다.

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

여기서 $x = (Q_1, h_1, \dots, Q_N, h_N)$ 으로 표시되는 미지의 벡터량, k 는 계산 반복횟수, $J(x^k)$ 는 x^k 값에 대한 편미분치로 구성되는 Jacobian 매트릭스, $f(x^k)$ 는 x^k 값에 대한 비선형방정식, x^k 는 초기가정값, $x^k + 1 = x^k + \Delta x$ 로써 계산에 의하여 개선된 값을 나타낸다.

본 연구에서는 기존의 DWOPER 모형(Fread, 1985)에 대해서 하천에서의 제방월류 및 붕괴에 따른 월류량의 산정과 이에 대한 제내지에서의 범람해석 등을 처리할 수 있도록 프로그램을 대폭적으로 개선, 보강한 모형을 개발하였다.

하천의 홍수로 인한 제내지로의 범람 모의를 위해서 DWOPER 모형은 다음과 같이 수정되었다.

- (1) 주 하천에서 각 지점에 존재하는 제방의 높이를 입력자료에서 전 구간에 대해 입력되도록 추가하였다.
- (2) 입력자료에서 지정된 웨어 흐름 또는 제방의 붕괴가 발생함으로 인한 제내지로의 유입량을 저류시킬 제내지의 상황을 수위-수표면적 관계 또는 수위-저류체적 관계를 함께 입력되도록 추가하였다.
- (3) 제방의 월류 또는 붕괴를 적절하게 수행할 수 없는 기존 프로그램을 수정하여 완벽하게 수행 가능하도록 하였다.

(4) 제방의 월류 또는 붕괴로 인한 흐름이 제내지로 유입되도록 새로운 연결부 해석을 실시하였다.

(5) 주 하천의 여러 지점에서 제방의 월류 또는 붕괴가 발생함으로 인한 범람유량은 하나의 영역으로 간주되는 계산이 수행됨으로써 각 시간별로 동시 다발적인 범람을 다룰 수 있도록 구성하였다.

(6) 주어진 제내지의 초기 수위를 이용하여 제방을 월류 또는 붕괴로 인한 범람유량을 제내지의 형상이 고려된 새로운 수위를 형성하게 하였다. 여기서 제내지로 유입되는 유량은 (+), 제내지에서 하천으로 역류되는 유량을 (-)로 간주하였다. 여기서 형성된 새로운 수위에 대한 제내지의 수표면적과 체적을 계산 또는 입력자료가 주어져 있을 경우 보간법을 통해 구할 수 있도록 구성하였다.

2.2 홍수범람예측 시스템의 개발

홍수범람예측 시스템의 구축을 위해 그림 1은 개발된 모형의 구성간의 기본 관계를 보여주고 있으며 이를 위해 새로이 추가 및 수정된 부분프로그램들을 나타내고 있다. 그림 2는 범람 모의모형과 Arc/Info를 연계한 홍수범람 시스템의 구축과정을 단계별로 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 1 단계로서 대상유역에 대한 수치지도자료를 Arc/Info에서 구축하고, 2 단계로서 대상유역에 대한 홍수범람을 모의하며, 3 단계로서 계산결과와의 비교검토를 통한 모형의 검증을 실시한다. 또한 4 단계로서 계산결과를 Arc/Info상에서 도시하며, 5 단계로서 홍수범람 시스템의 유지관리를 실시하는 과정으로 구성하였다.

본 홍수범람 예측시스템(Flood Inundation Analysis System)은 Arc/Info의 AML(Arc/Info Macro Language)을 이용하여 구성하였다. AML을 통한 Menu의 구성 및 이를 통한 모의 수행은 사용자의 요구나 편의에 맞게 손쉽게 재구성될 수 있으며, 유지보수가 편리하다는 장점이 있다. 특히, Arc/Info의 출력력을 구성하는데 많은 명령어들이 사용되는 단점을 보완하여 AML을 통해 일괄처리함으로써 손쉽게 시각



그림 1. 모형의 구성도

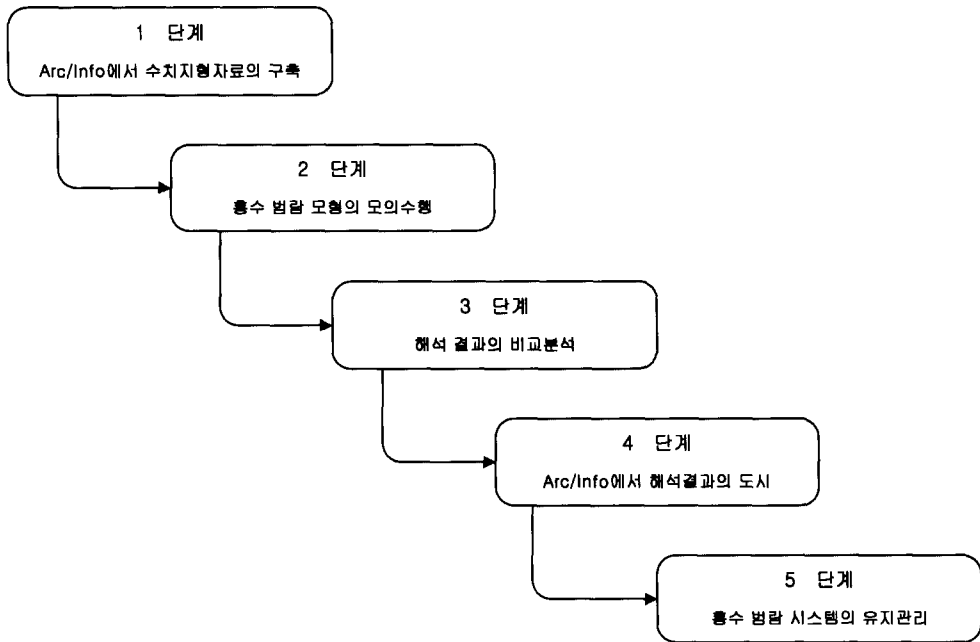


그림 2. 홍수범람시스템의 구축과정

화 할 수 있을 뿐만 아니라, 모형 입·출력의 데이터베이스화, 모의모형과 Arc/Info 시스템을 연결하는 인터페이스를 자동화하는데도 응용할 수 있다.

3. 남한강 유역에 대한 적용

3.1 '95년도 여주 홍수

여주지역은 남한강 본류에 유입하는 각 지류하천의 부실한 제방이 여유고의 부족으로 대신면, 북내면, 여주읍, 강천면으로 월류하였으며, 양서천 등은 기성제 일부가 유실되었다. 이 지역의 강우상황은 1995년 8월 홍수시 여주 수위표 지점 유역내 면적평균 강우량은 8월 19일~20일 기간 중 122.2 mm, 8월 23일~27일 기간 중 286.3 mm를 기록하였으며, 특히 8월 23일~24일 이틀동안에 214.9 mm의 강우량을 보였다. 이와 같은 양상은 1990년 9월 9일~12일까지 4일간의 중부 지방 집중호우 이후 가장 큰 피해를 초래하였다.

여주관내 피해지역은 남한강 본류의 각 지류 하천 일부 부실한 제방이 여유고 부족으로 월류하고, 하천제방이 일부 유실되었다. 또한 남한강 본류의 수위상승으로 제방월류 및 유실로 일부 저지대와 농경지가 침수하여 여주군 이재민 90세대 377인, 침수면적 1,380.7 ha 등 큰 전체 피해액 8,275백만원으로서 8월 19일~

27일 기간중 상당한 재산 피해가 발생하였다(내무부, 1996).

대신, 북내, 여주, 강천지구 등은 남한강 본류와 합류하는 지류하천인 후포천, 한천, 오금천, 소양천, 금당천, 갈매, 길은천 등은 1973년 부터 1991년까지 수해복구 및 경지정리 사업(호안공사)을 실시하였으나, 1995년 8월 홍수시 남한강 본류 배수위 영향으로 기존 제방고 및 제방단면이 부족한 일부 기성제의 월류 및 붕괴 유실로 커다란 농경지 침수피해가 발생하였다. 양서천(농서면, 홍천면) 지구는 남한강 본류 배수위 영향과 양화천 및 각 지류하천의 일부 제방이 파이핑 현상으로 붕괴되어 농경지가 침수, 매몰되었다. 남한강 본류 여주 강우관측소(T/M)의 자료는 '95년 8월 19~27일 연속 강우량 563 mm, 최대 시우량 8월 20일 02:00시 31 mm, 여주 수위관측점은 8월 25일 18:00시에 홍수위 10.6 m (EL 43.429 m)로 상승하여 위험수위 1.1 m를 초과하였다.

남한강 수위 영향으로 각 지류 하천 및 여주읍, 농서면, 홍천면, 대신면, 북내면 등이 하천 연안에 농경지 및 일반 가옥들이 침수되었으며, 8월 25일 18:30분경에는 수위가 상승하여 북내면 가정리 제방이 유실되어 주민 대치조치를 취하였다. 23:00시경에 여주대교 안전 점검 측량을 실시하였으며, 여주대교 차량통행을 통제

하였고 8월 27일 07:00시에 강우경보에서 강우주의보로 발령하였다. 8월 27일 12:00시에 강우경보를 해제하여 위험제방 시설물 및 침수지역에 대하여 여주군민과 관의 합동으로 피해 시설물에 대하여 복구작업을 전개하였다(여주군, 1996).

3.2 홍수류의 해석

여주 홍수의 홍수범람 양상을 규명하기 위해서 DWOPER 모형에 의한 홍수과 해석을 실시하였다. 대상구간은 상류단인 여주 수위표 지점, 하류단을 양평수위표 지점으로 하여 해석하였다. 그림 3은 상류단인 여주수위표 지점에서의 유량수문곡선을 도시한 것이고,

그림 4는 하류단인 양평수위표 지점에서의 수위수문곡선을 도시한 것이다. 표 1은 여주수위표 지점 수위-유량곡선식을 나타내고 있다. 그림 3, 4에서 보는 바와 같이 여주수위표 지점에서의 최고수위는 10.6 m, 이때의 침투유량은 $17,145 \text{ m}^3/\text{sec}$, 발생시간은 89 hr로 나타났고, 양평수위표 지점에서의 최고수위는 31.86 m, 발생시간은 92 hr로 각각 나타났다.

홍수과의 해석을 위하여 적용되는 유한차분해석을 위하여 대상하도에 대해 그림 5와 같은 하도격자망을 구성하였는데, 각 격점간의 평균거리 Δx 는 약 0.77 km이며 평균하도 경사는 약 $1/2400$ 이었다. 그림에서의 번호는 하천정비 기본계획상의 하도 단면번호이다.

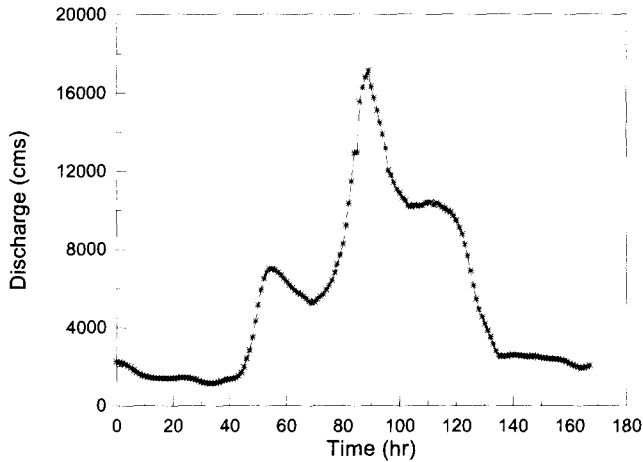


그림 3. 상류단 여주지점의 유량수문곡선

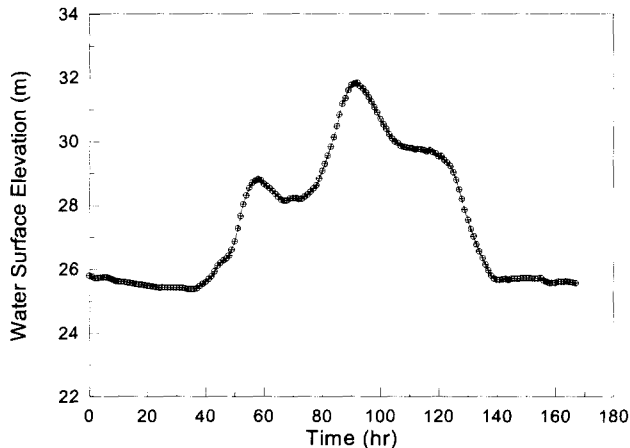


그림 4. 하류단 양평지점의 수위수문곡선

표 1. 여주 수위표 지점 수위-유량곡선식

구 분	개발년도	적용범위	수위-유량 곡선식	비 고
여 주	'95년	1.3<h<4.0	$Q = 48.38032(h - 0.257)^3$	
		4.1<h<9.5	$Q = 117.740(h + 0.58)^2$	
		h>9.6	$Q = 7.6713(h + 0.56)^{3.1969}$	

조도계수 n은 1995년 충주~팔당댐 구간에 대한 최적 조도계수 산정결과를 참고로 하여 구간 및 유량규모별 0.0250~0.0904의 값을 사용하였고, 계산시간간격 Δt는 0.1 hr가 적용되었다.

그림 6은 본 연구구간에 대해 홍수와 해석을 실시하여 제방에 대한 월류 양상을 파악하기 위하여 계산된

최고수위와 우측제방고를 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 지점번호 82, 79, 78, 75 등에서 계산된 최고수위는 우측제방고에 비해서 각각 0.937 m, 0.458 m, 2.040 m, 0.578 m 만큼 높게 나타나 그 당시 이들 지점에서 하천제방을 월류가 크게 나타났었음을 확인할 수 있었다.

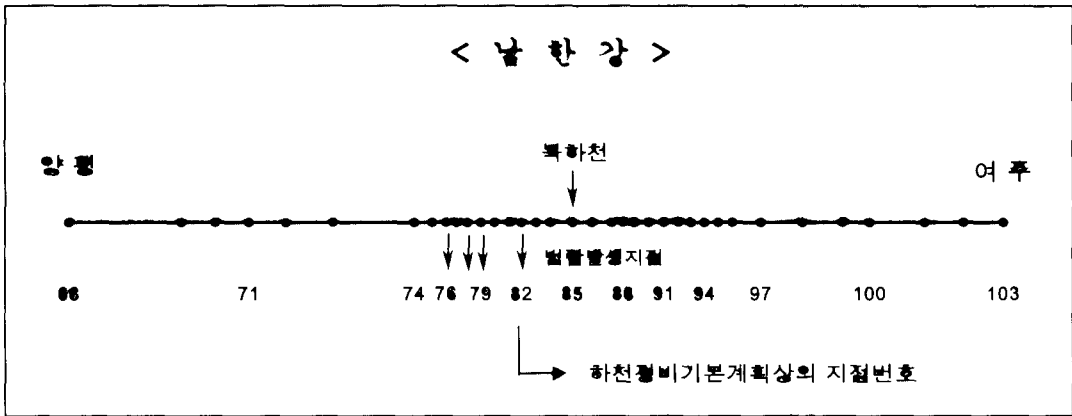


그림 5. 대살라도구간에 대한 모식도

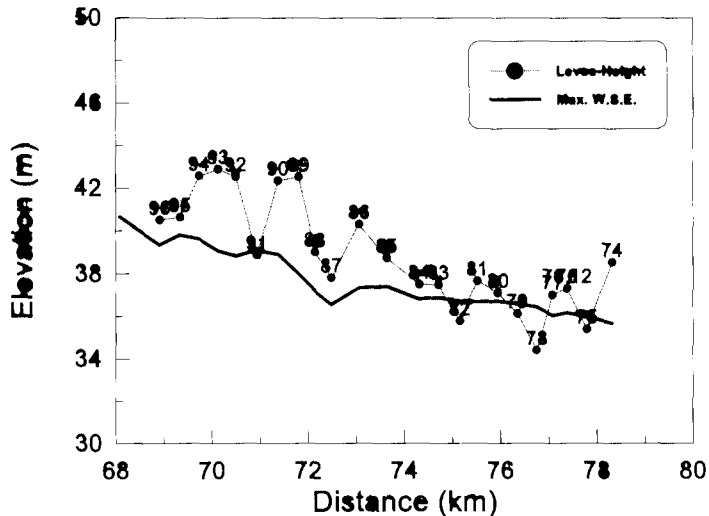


그림 6. 최고 홍수위와 제방고의 비교

3.3 제내지에서의 범람홍수 해석

그림 6에서 구한 제방의 월류지점 No. 82, 79, 78, 75 지점에 대해서 제내지에서의 범람 홍수해석을 실시하였다. 그림 7~그림 10은 No. 82, 79, 78, 75 지점에서의 제방을 통한 범람유량을 나타낸 것이다. No. 82 지점에서의 범람상황은 범람시작은 86.2 hr이었고 91.1 hr에 최대 404 m³/sec가 월류되었으며, 96.7 hr에 범람이 종료되었다. No. 79 지점에서의 범람시작은 88.9 hr이었고, 91.2 hr에 최대 80 m³/sec가 월류되었으며, 93.7 hr에 범람이 종료되었다.

한편 No. 78 지점은 그림 6에서 보는 바와 같이 제

방고가 34.4 m로 가장 낮은 지점으로서 범람시작은 83.6 hr이었고, 89.6 hr에 최대 1003 m³/sec가 하도부에서 제내지로 월류되었다. 91.8 hr에는 흐름이 역전되어 제내지에서부터 하도부로 유량이 복귀하는 양상을 나타내기 시작하여 96.4 hr에 최대 -306 m³/sec가 나타났고 167 hr에 하도부와 제내지 간의 유량교환이 종료되었다. No. 75 지점에서의 제방고는 35.4 m로서 제내지로의 범람량은 35 m³/sec로 작게 나타났으나 제내지에서 제방으로의 범람량은 91.0 hr에 최대 -524 m³/sec로 나타났고, 96.4 hr에 유량교환은 종료되었다.

그림에서 보는 바와 같이 No. 82 지점에서의 범람

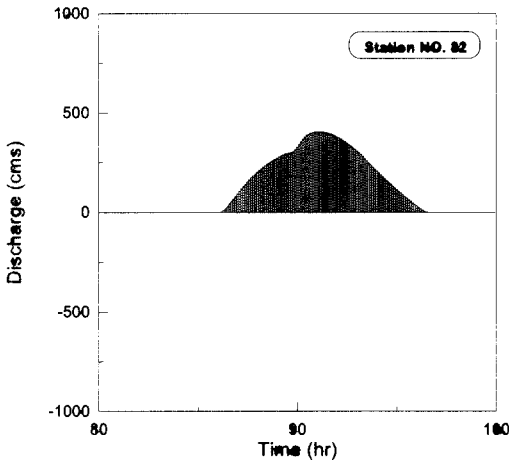


그림 7. No. 82 지점의 범람유량

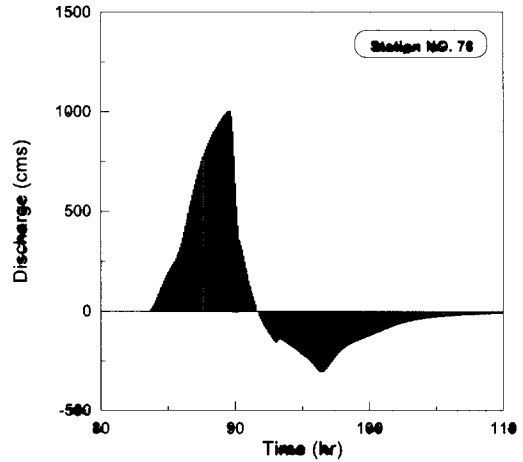


그림 9. No. 78 지점의 범람유량

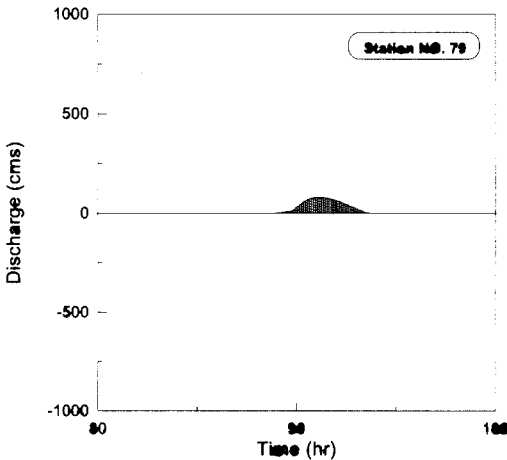


그림 8. No. 79 지점의 범람유량

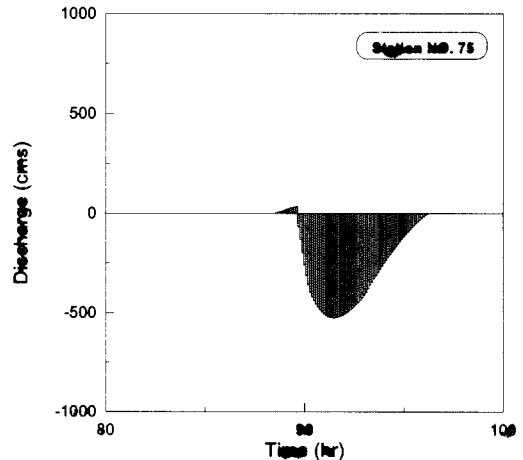


그림 10. No. 75 지점의 범람유량

시작 시간은 86.2 hr이나, 제방의 높이가 가장 낮은 No. 78 지점에서는 83.7 hr로 가장 먼저 범람이 발생하는 것을 알 수 있으며, 역류의 발생은 No. 78 지점에서는 91.8 hr에서, No. 75 지점에서는 89.6 hr에서 각각 역류가 발생함으로써 하천의 수위가 가장 낮은 하류지점에서 가장 먼저 하도부로의 역류가 발생함을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 모형은 동시 다발적으로 발생하는 범람현상과 하도-제내지 간의 월류량의 교환도 합리적으로 계산하고 있음을 확인할 수 있었다.

표 2는 하도부의 수위가 증가함에 따라 각 월류지점에서 발생하는 제내지로의 월류량과 제내지의 수위가 하도부의 수위보다 높아짐으로 인한 역류량을 나타내고

표 2. 하도-제내지간의 유량교환

	월류량 (m ³)	역류량 (m ³)	저류량 (m ³)
No. 82	8,429,598		
No. 79	702,320		
No. 78	13,792,241	7,233,516	
No. 75	80,251	7,312,680	
합 계	23,004,410	14,546,196	8,458,214

있으며, 계산되는 저류량은 모형의 계산 종료시간에 얻게 되는 제내지의 저류량과 정확하게 일치하고 있었다. 이로써 본 연구에서 개발된 모형은 동시 다발적으로 발생하는 범람현상과 하도-제내지간의 월류량의 교환

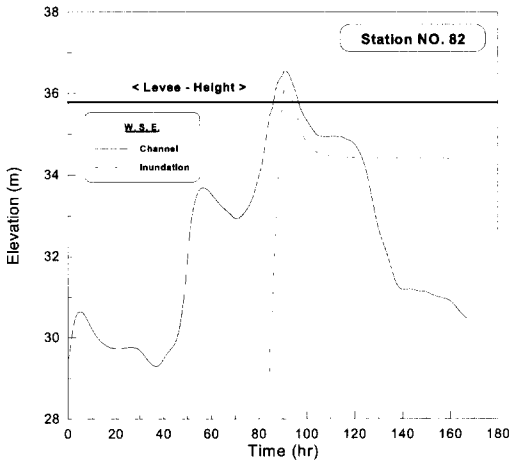


그림 11. 하도와 제내지의 수위변화(No. 82)

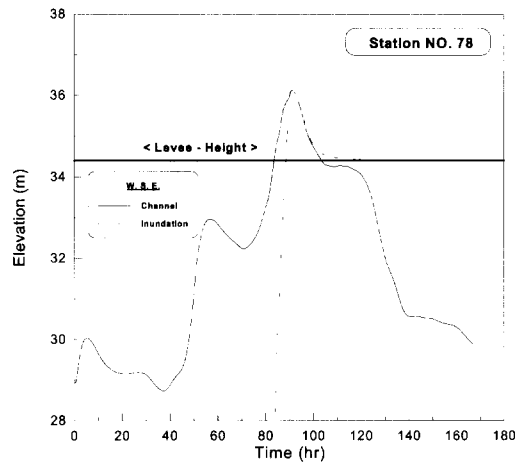


그림 13. 하도와 제내지의 수위변화(No. 78)

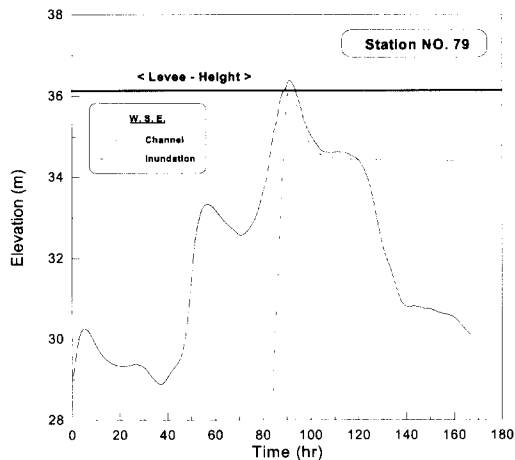


그림 12. 하도와 제내지의 수위변화(No. 79)

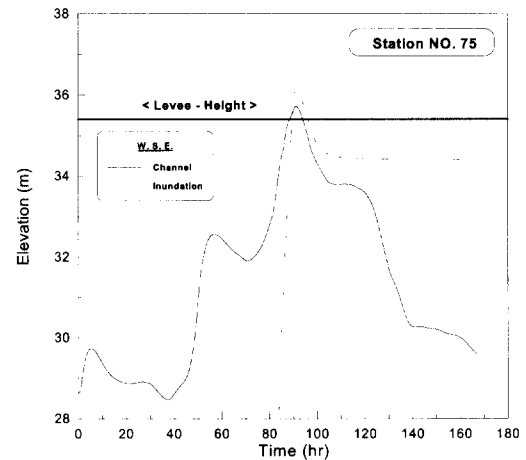


그림 14. 하도와 제내지의 수위변화(No. 75)

도 합리적으로 계산하고 있음을 확인할 수 있었다.

그림 11~그림 14는 No. 82, 79, 78, 75 지점에서 하도부와 제내지간의 수위변동 양상을 나타낸 것이다. 하도부에서의 수위는 No. 82 지점에서 90.8 hr에 최고 수위는 36.55 m로 나타났고, No. 79 지점에서는 96.1 hr에 36.38 m로 나타났다. 또한 No. 78 지점에서는 90.9 hr에 36.12 m로 나타났으며, No. 75 지점에서는 91.0 hr에 35.72 m로 각각 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 하도부 수위, 제내지 수위 및 제방고에 따른 월류현상과 수위변동에 따른 범람유량의 계산이 당시의 상황을 합리적으로 반영하고 있었다.

본 연구에서 모형의 수행 결과 범람발생은 83.7 hr에 시작되었고, 91.0 hr 일 때 최대 593.9 ha의 범람 피해지역이 발생하였으며, 이 경우 범람 최대수위는 36.11 m로 나타났다. 이로써 하도부 수위, 제내지 수위 및 제방고에 따른 월류현상과 수위변동에 따른 범람유량의 계산이 당시의 상황을 합리적으로 반영하고

있었음을 알 수 있었다.

4. 지리정보시스템의 적용

하천에서 홍수범람이 예상되는 경우에는 범람 홍수 파의 전달 특성해석, 침수범위 및 침수위의 추정, 예상 피해규모를 예측할 수 있는 수치해석 모형을 이용하여 홍수범람도를 작성하여야한다. 홍수범람도 작성을 위한 수치해석모형은 범람홍수의 전과특성, 범람홍수위 등을 가지적으로 계산함으로써 제내지에서의 범람 홍수구역 예상도의 작성, 홍수보험의 실시 및 각종 홍수예경보에 대한 기초자료가 되도록 구성하여야 한다.

홍수범람에 따른 해석결과는 지리정보시스템과 연계 하여 제시함으로써 과학적인 홍수관리가 이루어질 수 있도록 하였다. 이를 위해서 범람해석모형의 적용결과를 Arc/Info를 이용한 지리정보시스템상에서 나타낼 수 있는 범람홍수해석시스템을 구축하여 홍수범람지도 를 작성하여 제시하였다.

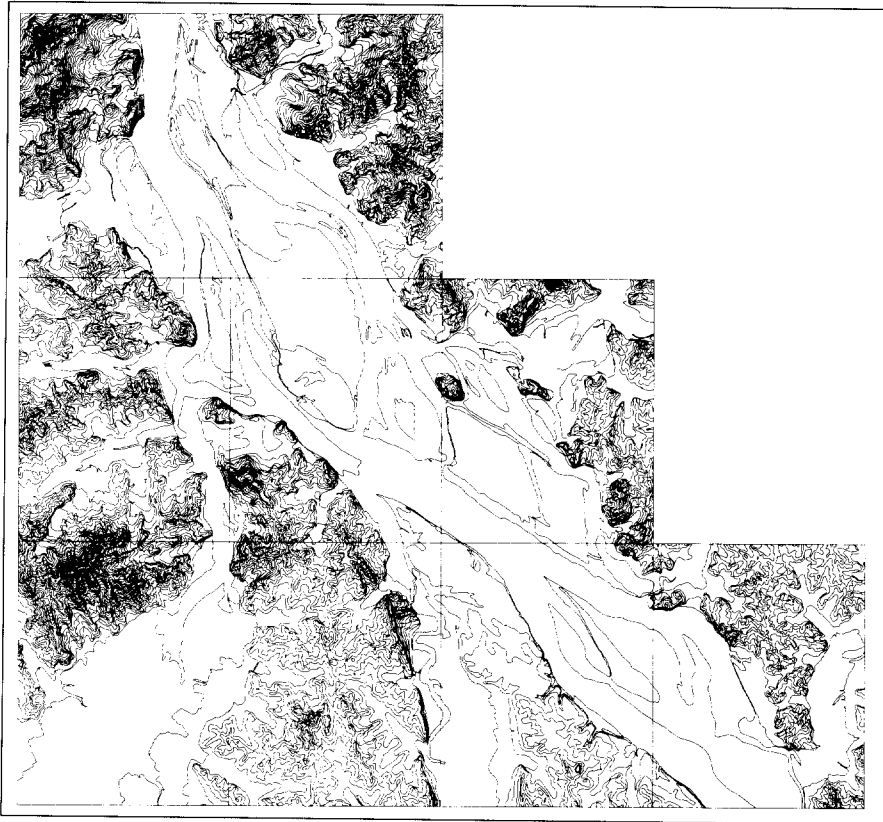


그림 15. 대상지역의 지형도

4.1 기본 자료

본 남한강 여주군 지역에서의 홍수범람 해석을 실시하기 위해서 대상지역의 제내지 지역에 대한 현지 세부측량, 기존의 1/5,000 지형도 및 남한강 하천정비기본계획상의 하천 종횡단도를 이용하여 3차원 지형자료를 구성하였다.

대상구간은 그림 15에서 보는 바와 같이 홍수범람의 피해가 크게 나타난 바 있는 상류부 대신면 당산리로부터 하류부인 대신면 당산리 이포대교까지의 7.2 km 구간을 설정하였다. 남한강 본류부에서의 수치지도를 구축하기 위해서 국립지리원 발행 1/5,000 지형도상에서의 현지지점을 세부측량과 확인을 실시하였고, 지형도상에서의 유황조건에 따른 하도 및 홍수터의 경계를 설정하였다.

본 대상지역에 대한 수치지도는 아직까지 작성된 바 없다. 서로 다른 축척을 가진 현지 세부측량, 기존의 1/5,000 지형도 및 하천 종횡단도 등의 3가지 유형의 도면을 한 개의 도면으로 구현하기 위해서 지형자료와 수치자료를 연계하여 본 연구에서 적용하고자 하는 홍수범람모형의 주요 입력자료를 도출하였다.

본 연구에서는 수치지도작성작업규칙에서 정하고 있는 규정에 따라 기본도의 벡터화를 실시하였고, 제내지 3차원 지형자료를 구축하였다. 구성된 3차원 지형형상은 자연하도의 형상에 따라 사용자의 편의대로 구성하였고, 실제 좌표를 이용하여 구성하므로 좀 더 정확한 모의가 가능하다는 장점이 있다. 본 연구의 제내지의 기하학적 양상의 구성에 사용한 기초자료는 현지 세부

측량도, 기존의 1/5,000 지형도 및 하천정비기본계획상 종횡단도 등의 지형도를 사용하였다. 그림 16은 제내지의 기하학적 형상의 구성에 대한 순서도이다.

4.2 Arc/Info와의 연계

수치기본도를 기본도면으로 고려하고 필요한 구간에 대한 TIN 자료를 구성하였으며, 구성된 TIN의 각 노드에 대한 x, y 좌표값을 텍스트파일로 변환하여 본 연구모형에 적용가능한 형식으로 구축하였다. 지점별 x, y 좌표와 이에 해당하는 표고 자료를 포함한 수치모형 입력자료를 결정하고, 남한강 본류의 지형에 대한 지형도 자동독취과정을 이용하고, Micro-Station (Bentley System, 1995)에 의해서 구간의 격자와 절점을 선정하였다. 홍수범람 피해지역을 중심으로 상류부와 하류부에 대한 지형자료를 조합하였고, 상이한 축척자료를 동일한 축척으로 조합하였으며 대상구간을 포함한 해석하도 구간에 대한 수치지도를 합성하였다.

그림 17~그림 18은 Arc/Info 상에서 계산 모의결과를 도시한 것이다. 그림 17은 3차원 Grid(Lattice)로 표현한 저수시의 대상유역도를 나타내고 있으며, 그림 18은 범람홍수로 인한 제내지에서의 범람수심 36.11 m에 대한 2차원 홍수범람도로써 전체적인 범람범위는 피해이후 여주군에서 조사된 남한강수계 침수방지대책 기본조사의 범람범위와 잘 일치하고 있었다. 또한 본 연구수행과정을 통해서 실시된 현지주민들과의 광범위한 면담자료를 통해서 얻은 자료와도 잘 일치되는 결과를 얻을 수 있었다.

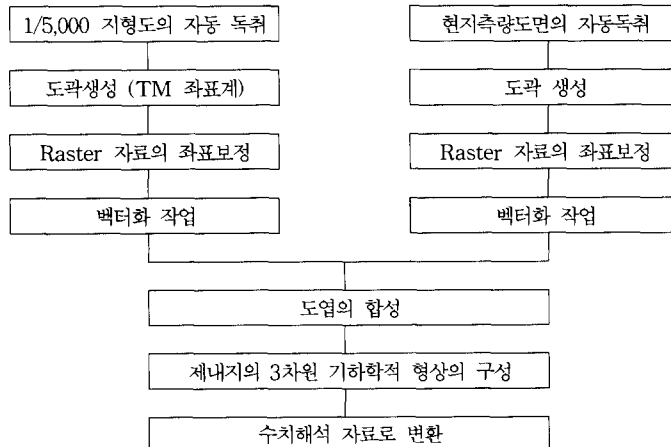


그림 16. 제내지 지형형상 구성에 대한 순서도

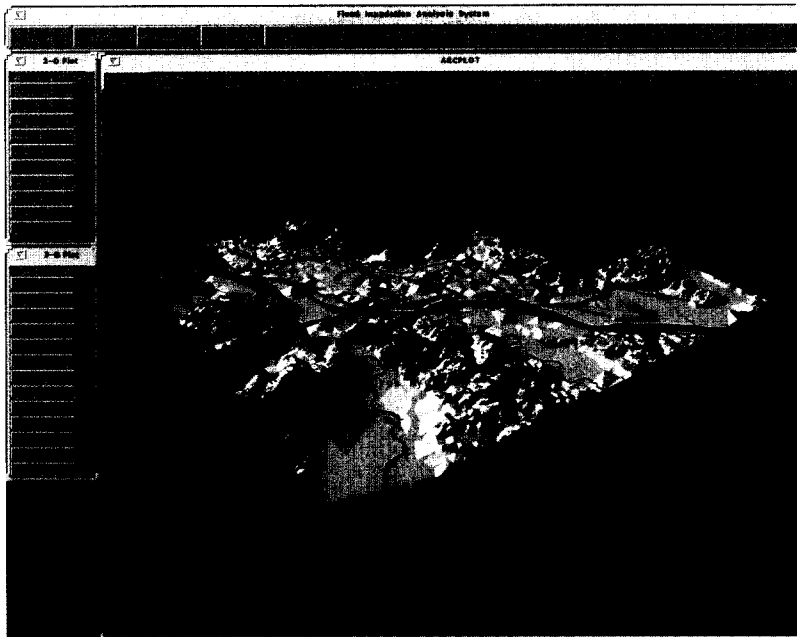


그림 17. 3차원 Grid(Lattice)로 표현한 저수시의 대상유역도

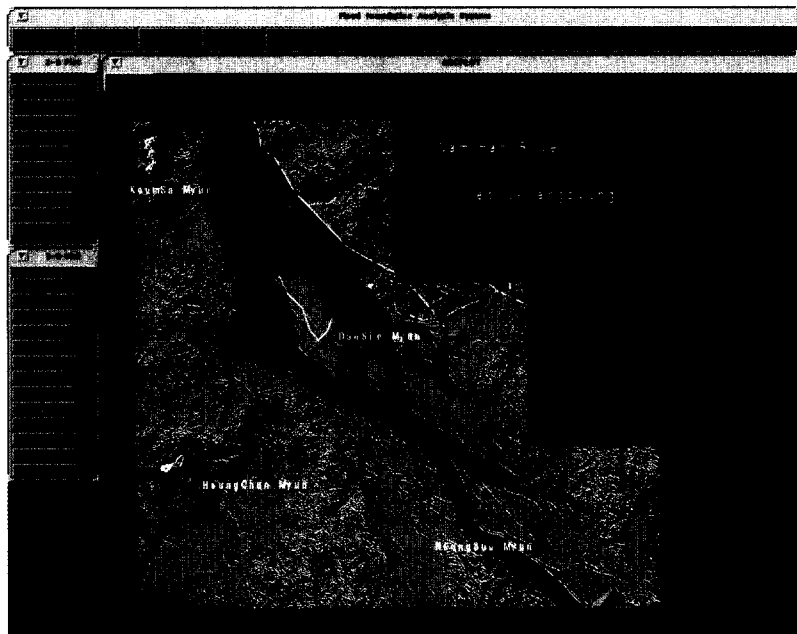


그림 18. '95년 홍수시 대상유역의 2차원 홍수범람도

5. 결 론

본 연구에서는 하천제방의 월류 및 붕괴로 인한 하

천범람에 따른 해석을 위해서 침수범위 및 침수위의 추정, 예상피해규모를 예측할 수 있는 수치해석 모형을 개발하였고, 이를 지리정보시스템과 연계하여 홍수범람

도를 작성하였다.

이를 위해서 본 연구에서는 DWOPER 모형에 제방 월류 및 붕괴에 따른 홍수해석, 제내지에서의 범람 해석 등을 처리할 수 있도록 프로그램을 대폭적으로 개선, 보강한 모형을 개발하였으며, 이를 '95년 8월 남한강의 여주지역의 홍수범람 양상을 규명하기 위해 적용하였다. 홍수와 해석에 의한 평균 홍수위와 제방고와의 비교 결과 No. 82, 79, 78, 75 지점 등에서 월류가 크게 발생하였다. 이로 인한 제내지에서의 범람 수위는 36.11 m로 나타났으며, 최대 593.9 ha의 범람 피해지역이 발생하였다. 이러한 범람범위는 홍수범람피해 이후 여주군에서 조사된 남한강수계 침수방지대책 기본조사의 범람범위와 잘 일치되고 있었으며, 현지 주민들과의 면담자료를 통해서 얻은 자료와도 잘 일치되는 결과를 얻을 수 있었다.

홍수범람에 따른 해석결과를 Arc/Info와 연계하여 처리할 수 있는 홍수범람시스템(Flood Inundation Analysis System)을 구축함으로써 제내지의 범람 예측도를 시간별로 작성할 수 있는 해석기법을 제시하였다. 본 연구모형은 과학적인 범람홍수의 관리와 함께 국내 하천유역의 홍수범람구역 예측분야에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- 내무부. (1996). '95 수해흔적 및 피해원인 조사 보고서.
- 여주군. (1996). 남한강 수계 침수방지대책 기본조사 보고서.
- 이종태, 한건연, 이정식 (1986). "Earth Dam의 가상 파괴로 인한 홍수과의 예측 모형." 대한토목학회 논문집, 제6권, 제4호, pp. 69-78.
- 이종태, 한건연, 윤세의, 박재홍 (1995). "제내지에서의 범람 홍수와 해석을 위한 수치모형의 개발." 한국수자원학회지, 제28권, 제5호, pp. 163-174.
- 이종태, 한건연 (1989). "하천제방의 붕괴로 인한 제내지의 침수예측 모형." 한국수문학회지, 제22권, 제2호, pp. 223-231.
- 한건연 (1987). "하천에서의 홍수와 해석을 위한 수치모형의 개발." 한국수문학회지, 제20권, 제4호, pp. 285-294.
- 한건연, 박재홍 (1995). "도시하천에서의 홍수범람도 작성을 위한 2차원 모형의 개발." 한국수자원학회지, 제28권, 제6호, pp. 119-131.
- 한건연, 이종석, 김상호. (1997a). "댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: I. 이론 및 모형." 한국수자원학회논문집, 제30권, 제6호, pp. 675-686.
- 한건연, 이종석, 김상호. (1997b). "댐 및 하천제방에 대한 위험도 해석기법의 개발: II. 적용 예." 한국수자원학회논문집, 제30권, 제6호, pp. 687-694.
- 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.
- Bentley Systems (1995). *Micro-Station*, 95 Version.
- Estrela, T., and Quintas, L. (1994). "Use of a GIS in the modeling of flows on floodplains." *Proc. of Second International Conference on River Flood Hydraulics*, March 22-25, 1994, York, England, pp. 177-183.
- Evans, E.P., and Lany, P.H. (1983). "Mathematical model of overbank spilling and urban flooding." *International Conference on Hydraulic Aspects of Floods and Flood Control*, London, England, Paper No. G5.
- Fread, D.L. (1985). "National Weather Service Operational Dynamic Wave Model." Hydrologic Research Laboratory, NWS.
- 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.
- Hydrologic Engineering Center. (1992). *Floodplain analysis tools, User's documentation*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA.
- Lee, J.T., and Han, K.Y. (1989). "A dynamic levee breach model and its applications to hypothetical and actual flood." *Proc. of the*

*XXIII Congress of International Association
for Hydraulic Research, Ottawa, Canada,
Aug. 21-25, 1989, pp. B.441-B.448.*

Syme, W.J., and Paudyal, G.N. (1994).
"Bangladesh flood management model." *Proc.*

*of Second International Conference on River
Flood Hydraulics, March 22-25, 1994, York,
England, pp. 167-176.*

(논문번호:98-013/접수:98.03.05/심사완료:98.07.08)