

# 도시침수해석을 위한 2차원 모형의 개발

한건연\* · 최규현\*\* · 이창희\*\*

## 1. 서 론

본 연구에서는 최근 수년간 도시지역에서 발생한 홍수피해 원인이 배수시설의 부족과 관계 있음을 감안하여 배수 시스템에서의 흐름 및 배수 시스템의 과부하로 인한 특성을 분석하고 배수 시스템과 지표류 흐름에 대한 두가지 모형을 완전히 통합시킨 도시지역 침수해석모형을 통해서 배수 시설에서의 유출량 예측과 지표면에서의 월류유량의 전파특성을 정확히 예측할 수 있도록 구성하였다. 유출량은 비선형 저류 방정식으로 구하며, 절점과 연결된 관로의 나열로써 구성된 관로 시스템에서는 동역학적 홍수 추적을 수행하여 관로 및 맨홀에서의 유량 및 수위를 산정하였으며, 총유입유량이 설계유출용량보다 클 경우 월류유량을 구하여 지표면 범람을 모의하는 2차원 방정식으로 도입되었다. 배수 시스템에서의 과부하로 인한 월류량이 지표면에 전파되는 경우에는 관성력의 항이 압력, 마찰력, 중력의 항과 비교하여 그 중요도가 작게 나타나게 되는 물리적인 특성을 고려하여 2차원 천수방정식을 기본식으로 하여 수치해석 기법으로 개발하고 이를 실제유역에 적용하였다. 2차원 천수 방정식을 해석하기 위해서는 양해법의 중앙차분법을 변형한 격자망 계산방법을 사용하였고, 적용대상지역을 직사각형 격자로 분할 구분하고, 각 격자에 대한 표고, 조도계수, 위치 등을 분포시켰다. 또한 2차원 수치해석 모형을 이용하여 배수시설의 과부하로 발생된 월류로 인한 홍수파의 전달 특성을 산정하여, 지표류의 침수시간, 침수위, 침수범위 등을 계산하였고 그 결과를 비교 검토하였다.

## 2. 도시수문해석

지표면 유출량에 대한 소유역에서의 연속방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A \cdot i^* - Q \quad (1)$$

---

\* 경북대학교 토목공학과 교수

\*\* 경북대학교 토목공학과 박사과정

유출량은 Manning 공식을 사용하여 나타내어진다.

$$Q = W \cdot \frac{1}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (2)$$

여기서,  $V$  는 소유역에서의 물의 체적 =  $A \times d$ ,  $d$ 는 수심,  $t$ 는 시간,  $A$ 는 수표면 면적,  $i^*$ 는 초과 강우량,  $Q$ 는 유출량,  $W$ 는 소유역 폭,  $n$ 는 Manning 조도 계수,  $d_p$ 는 지면 저류 깊이,  $S$ 는 소유역경사이다.

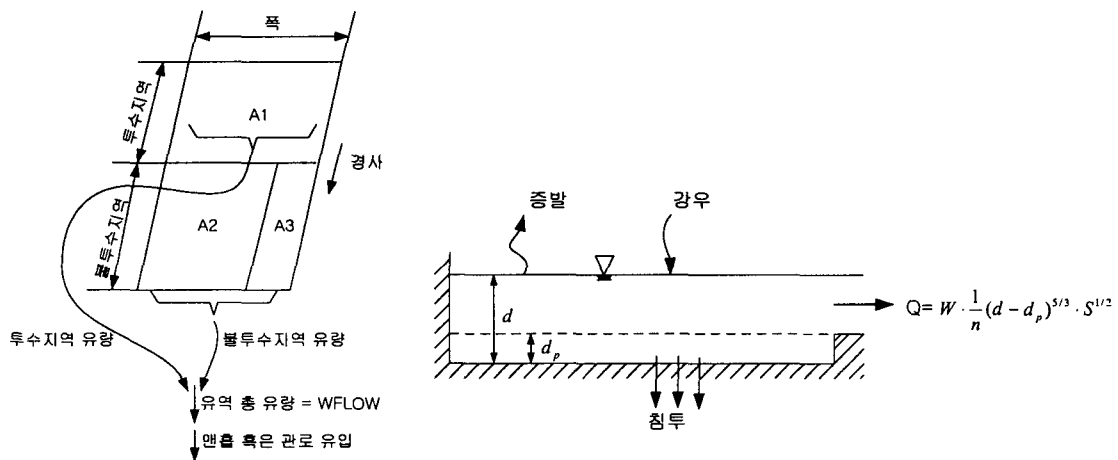


그림 1. 소유역에 대한 비선형 저수지 모형 개념도

관로 흐름에 대한 기본 미분 방정식은 단면적과 유량을 종속변수로 가지는 연속방정식과 운동 방정식은 식 (3), (4)와 같다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (4)$$

여기서,  $A$ 는 단면적,  $Q$ 는 관로 유량,  $x$ 는 관로/수로 방향의 거리,  $t$ 는 시간,  $g$ 는 중력가속도,  $H$ 는 동수경사( $z + h$ ),  $z$ 는 취심 표고,  $h$ 는 수심,  $S_f$ 는 에너지 경사이다

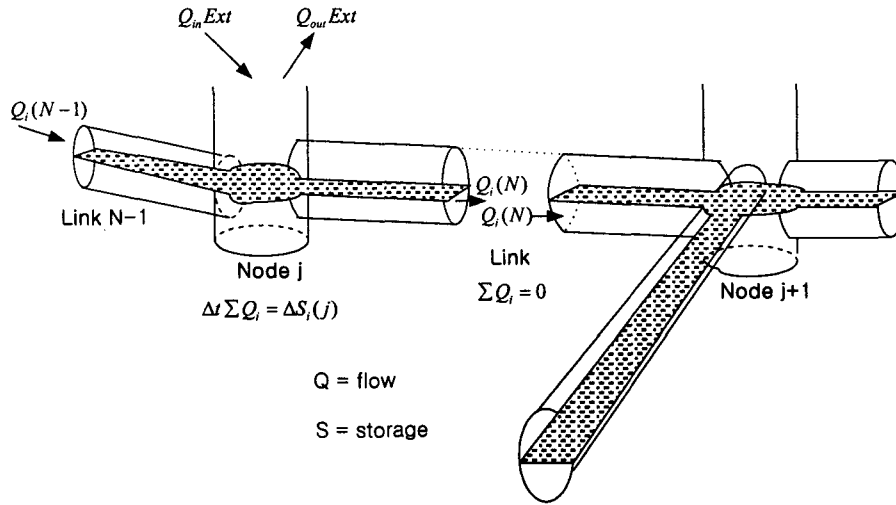


그림 2. 하수관거 흐름에 대한 개념도

### 3. 범람 홍수 해석

천수방정식을  $x, y$ 방향 단위폭당 유량  $q_x, q_y$ 에 의하여 기술하면 식 (5)~(7)과 같은 연속방정식과 운동방정식으로 구성되며. 범람 홍수를 해석하기 위하여 양해법의 중앙차분법을 변형한 격자망 계산방법을 사용하였으며 적용대상지역을 직사각형 격자로 분할구분하고, 각 격자에 대한 표고, 조도계수, 위치 등을 분포시켰다.

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

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{H} \right) + gH \left( S_{fx} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{H} \right) + gH \left( S_{fy} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0 \quad (7)$$

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

### 4. 모형의 적용

본 연구에서는 대상 유역의 초과 강우량과 유출에 의한 지표면 유출수문곡선을 계산하였고, 유출수문곡선의 배수 시스템에서의 흐름을 모의하였으며, 총 유입량이 설계유출용량보다 클 때 범람

된 유량은 지표면 범람을 모의하는 이차원 모형으로 도입하였다. 본 연구 모형을 안양천 배수분구에 위치한 "A" 배수 유역에 대해서 적용하였다. 상류유역은 단독, 연립주택 등으로 구성되어 있다. 하류유역은 아파트지역으로 배수구역의 대부분이 주거지역으로 구성되어 있다. 이 때 적용 강우의 크기 및 분포형은 서울지역의 10년 빈도, 120분 강우 지속시간인 Huff의 제2분포형 강우에 대하여 유출해석을 실시하였다. 모형이 적용되는 유역에 대한 지형 자료는 맨홀의 고도값을 기초로 하여 지표면 고도값은 Arc/Info 및 ArcView를 사용하여 Kriging과정으로 추출하였으며, 범람 양상을 모의하기 위한 격자를 생성하였다. 모형에서 이용된 격자크기는 180m로서 전체 396개의 격자가 도시 배수 유역의 형상을 대표하게 된다. 그림 4는 본 모형의 모의 결과로서 배수 시스템과 지표류간의 연결부 모형을 이용하여 홍수범람에 의한 침수상황을 나타내며, 그림 5는 침수지역의 유속분포도를 나타낸다.

본 모형을 이용하여 강우사상을 50% 증분시켜 적용해 보았다. 증가된 강우사상에 대한 침수현황은 그림 6과 같으며, 총 범람 지역은 10년 빈도 강우사상에 대해서 나타낸 그림 4와 비교해 봤을 때 보다 많은 지역에서 일어남을 알 수 있고, 범람 면적은 표 1과 같이 요약된다.

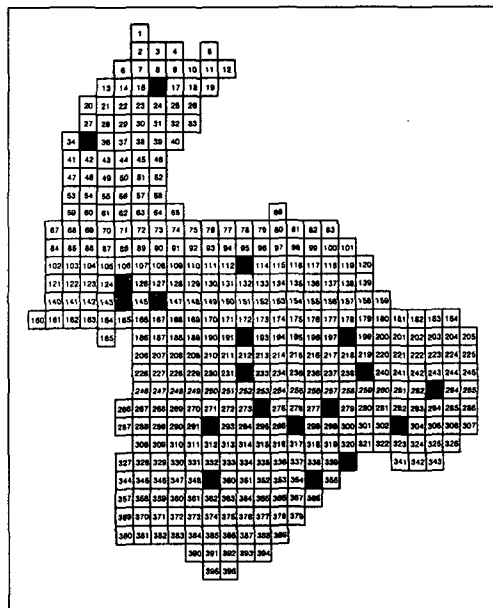
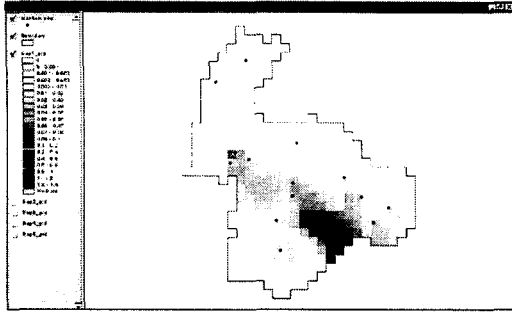
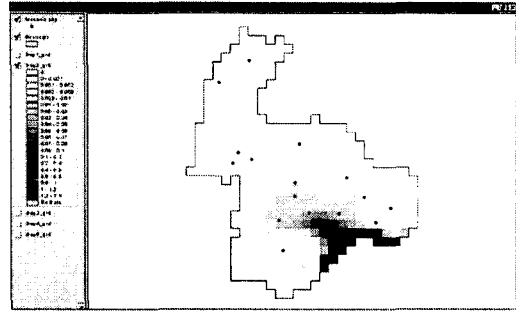


그림 3. 적용 유역에 대한 격자망

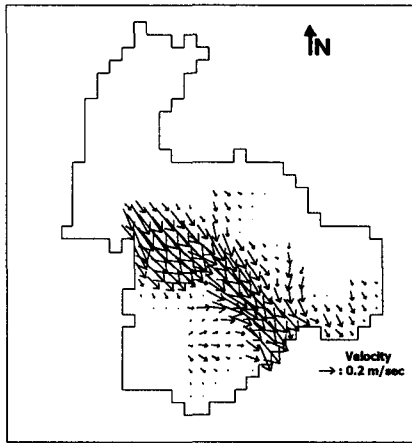


(a) 1시간

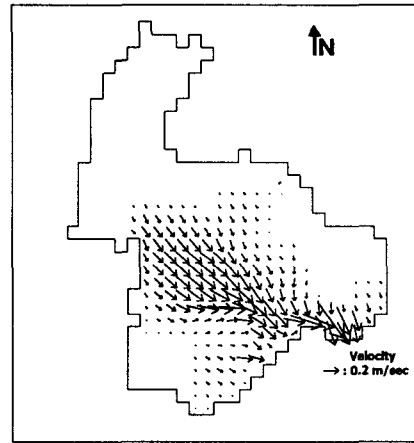


(b) 2시간

그림 4. 홍수범람에 의한 침수상황



(a) 1시간

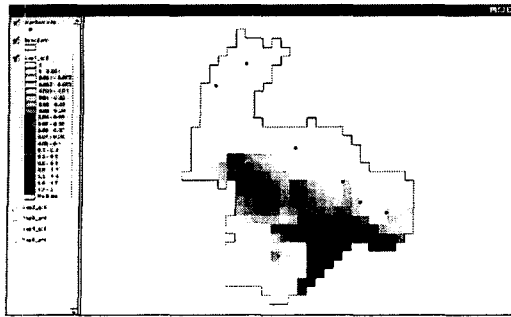


(b) 2시간

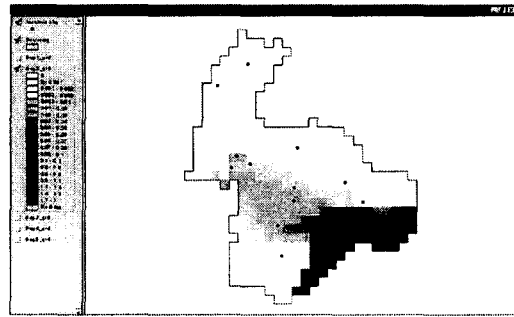
그림 5. 침수지역의 유속분포도

표 1. 강우 사상별 침수 면적 현황

구 분	10년 빈도 강우 사상			50% 증분된 강우 사상		
	0~0.3 m	0.3~0.6 m	0.6~1.1 m	0~0.3 m	0.3~0.6 m	0.6~1.1 m
침수면적 (ha)	1시간	10.05	.	11.88	0.37	0.25
	2시간	15.07	.	18.25	1.10	0.49
	3시간	18.25	.	20.21	1.47	0.49
	4시간	19.60	.	21.44	0.98	0.74
	5시간	20.46	.	21.31	1.10	0.74



(a) 1시간



(b) 2시간

그림 6. 증가된 강우사상에 대한 침수상황

## 5. 결론

본 연구에서는 도시 유출 배수 시설에서 용량 부족으로 인해 발생하는 월류 유량을 2차원 범람 홍수 해석에 의해 해석한 도시침수해석을 위한 2차원 모형을 개발하였다. 월류기간동안 지표면에 유입되는 범람 홍수량을 분석하여 지표면 2차원 범람양상에 대한 유속분포와 범람수심을 주요 시간대별로 계산하여 도시함으로써 침수지역 예측 및 홍수위험지점 판단에 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 개발된 범람홍수 모형은 배수 시스템 및 지표류에서의 최고수위와 침투유량 등을 비교적 단시간에 효율적으로 계산함으로써 홍수피해와 투자액을 감안한 경제적인 배수시설의 결정을 위한 기본자료로 활용될 수 있으며, 국가 중요 시설물의 입지 선정, 주민의 보호 및 이동 등을 포함한 홍수피해의 판단자료로 이용될 수 있을 것이다.

## 6. 참고문헌

- 이종태, 강태호, 김정환 (1996). "도시유역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM모형." 제4회수공학 워크샵, 한국수자원학회, pp. 97-141.
- 한건연 (1990). "댐의 파괴형태와 하도부 양상에 따른 홍수파 전달특성 해석에 관한 연구." 한국수문학회 논문집, 제23권, 제4호, pp. 467-476.
- Huber W.C. and Dickinson, R.E. (1988). *Storm Water Management Model. User's Manual Ver. IV*, U.S. EPA.
- James, W., Robert, W. and James, C. (1999). *Water systems models Hydrology, Computational Hydraulics Int.*, Ontario, Canada.
- James, W., Robert, W. and James, C. (1999). *Water systems models Hydraulics, Computational Hydraulics Int.*, Ontario, Canada.