

SWMM을 연계한 DEM기반의 도시침수해석 모형

DEM Based Urban Inundation Analysis Model Linked with SWMM

이창희* / 한건연** / 최규현***

Lee, Chang Hee / Han, Kun Yeun / Choi, Kyu Hyun

Abstract

Recently the natural damage associated with flood disaster has been dramatically increased. Especially, inundation in the urban area causes serious damage to people and assets because of the concentration of infrastructure and population growth. The purpose of this study is to develop a new urban inundation model combining a storm sewer system model and a 2D overland-flow model for the estimation inundation depth in urban area caused by the surcharge of storm sewers. The movement of water in the studied urban watershed is characterized by two components, namely, the storm sewer flow component and the surcharge-induced inundation component. The model was applied to Goonja and Jangan catchments. Inundated depths were presented to demonstrate model simulation results. The simulation results can help the authority decide preventing flood damages by redesigning and enlarging the capacities of storm sewer systems in the inundation-prone areas. The model can also be applied to make the potential inundation area map and establish flood-mitigation measures as a part of the decision support system for flood control authority.

keywords : Urban Inundation, Storm Sewer System Model, 2D overland-flow model, Inundated Depth

요지

최근에 홍수재해와 관련된 자연재해가 급격히 증가하고 있다. 특히, 사회기반시설의 집중 및 인구증가로 도시지역에서의 침수는 인명과 재산에 큰 피해를 야기한다. 본 연구의 목적은 배수시스템에서의 과부하로 인한 도시지역에서의 침수심을 계산하기 위해서 우수배수시스템모형과 2차원 지표류모형을 연계한 새로운 모형을 개발하는 것이다. 대상유역에서의 침수유량의 거동은 두 가지 요소로 고려되는데 하나는 배수시스템에서의 흐름이고 다른 하나는 월류유량으로 발생한 범람 흐름으로 고려되어 졌다. 개발모형은 군자와 장안유역에 적용되었고, 계산된 침수심들은 모의 결과로 제시되었다. 모의 결과는 홍수관계기관이 침수 발생이 예상되는 지점에서 홍수피해 방지를 위해 배수시스템의 용량에 대한 재설계 혹은 확장 등과 같은 대책을 수립하는데 도움을 줄 수 있다. 또한, 본 모형은 홍수관계기관에서의 정책결정에 활용될 수 있도록 침수위험지도를 만들고 홍수경감대책을 수립하는데 이용될 수 있다.

핵심용어 : 도시침수, 배수시스템 해석모형, 2차원 지표류 해석모형, 침수심

* 정희원, 서울시정개발연구원 디지털도시부 부연구위원 · 공학박사
Associate Research Fellow, Dept. of Digital City, Seoul Development Institute, Seoul 137-071, Korea
(e-mail: changhee@sdi.re.kr)

** 정희원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사
Pfor., Dept. of Civil Engrg., kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea
(e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

*** 정희원, 건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 토목연구사 · 공학박사
Researcher, River Information Center, Han River Flood Control Office, MOCT, Seoul, 137-649, Korea.
(e-mail: khchoi@moct.go.kr)

1. 서론

도시지역에서는 강우규모가 배수시스템의 용량을 초과하거나, 하천수위 상승으로 관로 내에 역류가 발생함으로써 우수 배제를 제대로 수행하지 못할 경우 침수가 발생하여 공공 기반 시설 및 개인재산에 많은 피해를 일으키게 된다. 더우기 도로의 침수는 운송 시스템의 기능을 부분적 혹은 전체적으로 마비시켜 도시의 산업과 기능을 마비시키는 간접적인 피해를 주게 된다. 홍수시 예상되는 직간접적인 재산피해 및 사회에 미치는 영향은 지표면의 침수심, 침수범위, 침수 지속 기간과 관련된다.

도시지역의 침수현상은 비도시 지역과는 달리 지표류 흐름 과정에 있어 토지이용도와 배수시스템과 같은 인위적인 요소에 의해 크게 영향을 받게 된다. 도시지역에서 호우로 인한 유출량을 계산하기 위한 방법으로 합리식이 소규모 도시배수구역에서 널리 이용되어 왔다. 하지만, 강우량 및 침투량의 시간적 분포를 고려할 수 없고, 대상구역의 지형특성을 하나의 계수로만 지정하며, 침투유량 계산만을 수행하는 단점이 있다.

RRL(Road Research Laboratory)모형(Watkins, 1962)과 그 기본해석 개념을 같이 하면서도 RRL모형에서 무시되었던 불투수지역 및 투수지역을 고려하는 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형(Michael and John, 1974)은 배수시스템과 연계한 도시지역의 강우유출해석을 수행하도록 개발되었으나 미국 Illinois 주의 특성에 맞게 개발되어 계산에 이용되는 경험공식 및 매개변수가 국내상황에 맞지 않게 설정되어 있고, 관로 흐름 계산시 등류 흐름으로 가정한 흐름 해석의 한계로 인해 배수 영향 및 하천수위 상승에 따른 배수시스템의 영향 등을 고려 할 수 없다.

미국 환경보전국에서 개발된 우수관리모형인 SWMM(Storm Water Management Model) 모형(Huber and Dickinson, 1988)은 도시 유출량을 계산하고 외수위에 의한 내수배제 불량 및 배수시스템 과부하로 인한 월류유량의 계산 등을 지원하는 등 도시배수관로시스템에서 유량 흐름을 잘 모의할 수 있다. 그러나, SWMM 모형은 과부하된 맨홀에서의 월류하는 홍수유량곡선만을 제공할 수 있으며, 월류유량으로 인한 지표 침수상황을 모의 할 수 없다. 그밖의 MOUSE, PCSWMM, XPSWMM과 같은 GUI(Graphic User Interface) 기반의 상용 소프트웨어들도 개념적인 범람 유량만을 제공하며, 현재까지 어떤 모형도 지표면 범람 지역과 수심, 그리고 침수기간에 대한 상세한 정보를 제공하지를 못한다(Hsu et al., 2000). 결국 도시배수체

계모형과 도시침수모형에 대해 상호연계를 수행할 수 있는 새로운 도시범람 모형이 도시지역에서 홍수로 인한 침수해석을 모의하는데 필요하다.

본 연구의 목적은 최근 수년간 도시지역에서 발생한 홍수피해 원인이 배수시설의 부족과 외수위 상승에 의한 내수배제의 불량과 관계있음을 감안하여 배수 시스템에서의 흐름 및 배수 시스템의 과부하로 인한 특성을 분석하고, 지표면으로 월류된 유량으로 인한 시간별 침수위, 침수범위 등을 계산하여 피해 규모를 산정할 수 있는 수치모형을 개발함에 있다. 이를 위해서 도시지역 배수 시스템에 대해서는 SWMM모형을 이용하여 도시구역의 유출량 및 월류량을 예측하고, 지표면으로 월류된 유량에 대한 2차원 확산형 방정식에 기초한 DEM기반 침수해석모형을 개발하여 두 모형을 연계함으로써 시간별 침수위 및 침수범위 등을 계산하고자 한다.

본 모형을 개발하는 데에 있어 다음과 같이 가정하였다. 모형의 연계를 위해서는 SWMM모형에서 계산된 지표면으로 월류한 유량은 다시 배수시스템으로 유입되지 않고 지표면으로만 전파되는 것으로 가정하였다. 또한, 각 소유역의 유출량은 주요 간선에 위치한 맨홀로 유입되는 것으로 가정하였고, 관거내에서는 토사로 인한 통수능의 감소가 없는 것으로 가정하였다.

본 연계 모형을 중랑천 유역의 군자-어린이대공원 배수구역와 장안배수구역에 대해서 적용하였다. 끝으로, 연계모형의 개발시 월류유량의 배수시스템으로의 재유입이 없는 것으로 가정한 경우 발생하는 문제점을 짚어 보고, 보다 정확한 수치모형 개발을 위한 방향을 제시하고자 한다.

2. SWMM모형에 의한 수문·수리해석

SWMM모형은 배수시스템의 용량을 초과하거나, 유수지 수위상승과 같이 최종 유출지점에서의 외수위 영향으로 관로 내에 역류가 발생함으로써 우수 배제를 제대로 수행하지 못할 경우 발생하는 월류량을 계산할 수 있다. 본 연구에서는 SWMM모형의 RUNOFF블록을 이용하여 각 소유역의 강우-유출을 해석하고, EXTRAN블록을 이용하여 배수시스템에서의 흐름 및 월류되는 유량을 산정하였으며, 그 기본이론은 다음과 같다.

2.1 강우-유출에 대한 수문해석

SWMM RUNOFF 블록(Huber and Dickinson, 1988; James et al., 1999a)에서 소유역은 지표류는 Fig. 1과 같이 비선형 저수지로서 근사화 될 수 있다.

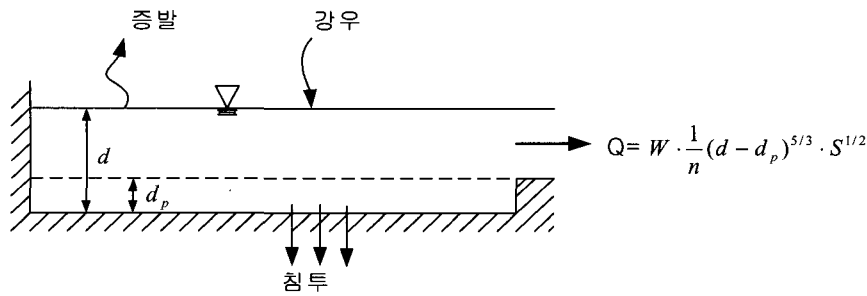


Fig. 1. Non-linear Reservoir Model of Subcatchment(Huber and Dickinson, 1988)

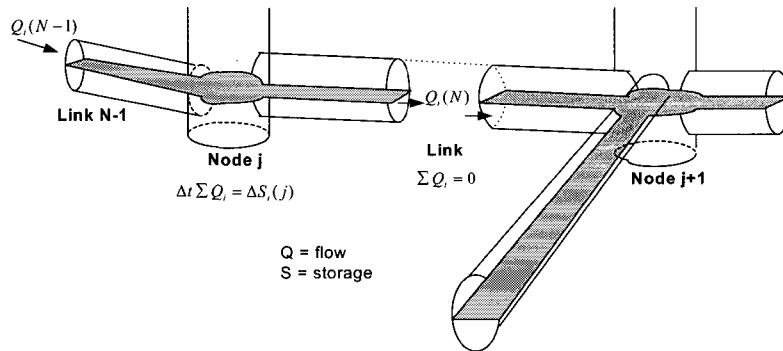


Fig. 2. Conceptual representation of the EXTRAN model(Roesner et al., 1988)

소유역에서의 연속방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dV_o}{dt} = A_{surf} \frac{dd}{dt} = A_{surf} \cdot i^* - Q \quad (1)$$

여기서, V_o 는 소유역에서의 유량의 체적(m^3)= $A_{surf} \times d$, d 는 지표 유량에 대한 수심(m), t 는 시간(sec), A_{surf} 는 지표 면적(m^2), i^* 는 초과 강우량(m/sec), Q 는 유출량(m^3/sec)이다.

유출량 Q 는 Manning 공식을 사용한다.

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

여기서, W 는 소유역 폭(m), n 는 Manning 조도 계수, d_p 는 지면 저류 깊이(m), S 는 소유역경사(m/m)이다.

각 시간 간격에서의 유출량은 Manning 식을 이용하여 계산되며, EXTRAN블록에서 배수시스템에서의 절점(node)와 연결관로(link)에서의 입력자료(유량자료)로 사용된다.

2.2 배수관로에서의 수리해석

EXTRAN 블록(Roesner et al., 1988; James et al.,

1999b)은 개수로와 관망에 대해 유량 추적을 수리학적 으로 수행하는 모형이다. 유량수문곡선자료는 특정 절 점에서 상위 블록인 RUNOFF 블록으로부터 전달받게 되거나, 사용자가 직접 입력하게 된다. 모형은 주요 배수 시스템을 통해 동역학적 홍수 추적을 수행하며 우수 관거 네트워크의 영향과 배수영향, 개수로 흐름, 압력류 혹은 과부하 흐름, 및 위어, 오리피스, 펌프와 같은 수공구조물에 대한 해석 등을 수행할 수 있다. EXTRAN 블록은 물리적인 특성과 점변부정류(Saint-Venant식)의 수학적 해법을 나타내기 위해 Fig. 2와 같이 관로 시스템을 연결관로(Link)와 절점(Node)으로 구성한다. 연결관로와 절점은 전체 관망을 나타내는 특성을 잘 나타내며, 연결관로와 절점으로의 구성은 수공구조물을 나타내는데 있어 매우 유용하다.

연결관로에서 우수관로의 흐름문제를 해석하기 위한 기본미분방정식은 점변 부정류식인 천수방정식으로부터 운동량방정식과 연속방정식을 연계한 다음 식을 이용한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

여기서, A 는 단면적, Q 는 관로 유량, V 는 관로 유속, x 는 관로/수로 방향의 거리, t 는 시간, g 는 중력가속도,

H 는 관로 수위 $z+h$, z 는 관로 최심고, h 는 관로 수심, S_f 는 마찰(에너지) 경사이다.

절점에서는 연속방정식을 사용하며, 다음식이 이용된다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_t}{A_s} \quad (4)$$

여기서, A_s 는 절점에서의 수표면적이다.

2.3 월류유량의 계산

배수시스템과 도시침수모형을 통합하기 위해서는 우선 다음과 같은 개념정리가 요구된다. 배수체계에서의 과부하는 절점과 연결된 모든 관로의 유량이 가득 차거나, 수위가 절점에서의 연결된 관로 중 가장 높은 곳의 정부(Crown Elevation)와 지표고 사이에 있는 상태를 말한다. 그리고, 범람은 동수경사선이 지표면을 넘어서고 절점에서 유량이 지표면으로 넘어감으로써 손실이 생길 경우를 의미한다(Schmitt et al., 2004).

과부하가 일어나는 동안 Eq.(4)를 이용한 수두 계산은 맨홀 면적과 절점의 수표면적의 차이가 너무 크기 때문에 사용될 수 없다. 대신에 Eq.(5)와 같은 각 절점에서의 연속방정식을 사용할 수 있다.

$$\sum Q(t) = 0 \quad (5)$$

여기서 $\sum Q$ 는 각 절점에서의 유입량과 유출량의 합을 뜻한다.

3. DEM기반 침수해석 모형과의 연계

3.1 DEM기반 침수해석모형

침수해석 지점의 적정범위를 지형도 등을 이용해서 설정하고, 격자망을 구성하여 연속방정식과 운동량 방정식에 의해 흐름을 해석할 수 있다. 천수방정식을 x , y 방향 성분으로 기술하면 연속방정식과 운동방정식은 Eqs.(6)~(8)과 같다.

$$\frac{\partial d}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = e \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g(S_{ox} - S_{fx} - \frac{\partial d}{\partial x}) \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g(S_{oy} - S_{fy} - \frac{\partial d}{\partial y}) \quad (8)$$

여기서, d 는 지표면 수심, q_x, q_y 는 x, y 방향에 대한 단위폭당 유량, u, v 는 x, y 방향의 평균 속도, S_{ox}, S_{oy} 는 x, y 방향의 바닥경사, S_{fx}, S_{fy} 는 x, y 방향의 마찰경사, t 는 시간, g 는 중력에 의한 가속, e 는 단위면적당 생성항 혹은 소멸항 이다.

Fennema et al.(1994)은 비관성 흐름이 국부적인 흐름 상태를 모의하기에 적합하다는 것을 발견했으며, Akan and Yen(1981), Hromadka and Lai(1985)는 비관성과 방정식이 많은 흐름 과정들을 정확하게 나타낼 수 있다는 것을 입증했다. Yen et al.(1989) 과 Wasantha Lal (1998)은 이차원 비관성과 방정식에 대해서 다양한 수치기법에 대한 수행을 비교하였다. 본 연구에서는 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 이를 확산형 방정식으로 근사화시킨 수치해석 기법을 적용하였다.

3.2 모형의 연계

SWMM모형과 DEM기반 침수해석모형을 연계한 도시침수해석모형을 개발하였다. SWMM모형을 이용하여 월류유량을 산정하였고, 지표면으로 월류한 유량은 다시 배수시스템으로 유입되지 않고 지표면으로만 전파되는 것으로 가정하여 DEM기반 침수모형에 의해 침수과정을 모의하였다. 적용대상지역을 정사각형 격자로 분할 구분하고, 각 격자에 대한 표고, 조도계수, 위치 등을 분포시켜 유량을 계산하기 위한 수심을 해석하여 격자 시스템 내에서 추적하도록 구성되었다. Fig. 3은 SWMM에서의 월류유량을 이용하여 DEM기반 침수해석모형을 이용하여 침수해석을 수행하는 본 모형의 흐름도이다.

4. 연계모형의 적용

본 모형의 적용을 위한 대상 배수구역으로 침수가 빈번히 발생한 중랑천 유역 중 과거 침수 기록이 있는 지역으로서 현재 도시홍수재해관리연구사업단에서 도시 유출에 대한 지속적인 자료 수집을 위한 시범유역으로 운영되고 있는 군자-어린이대공원 배수구역과 저지대가 넓게 분포하며 우수지의 배수영향 및 관로 통수능력의 부족으로 1998년 및 2001년에 홍수가 발생했던 장안배수구

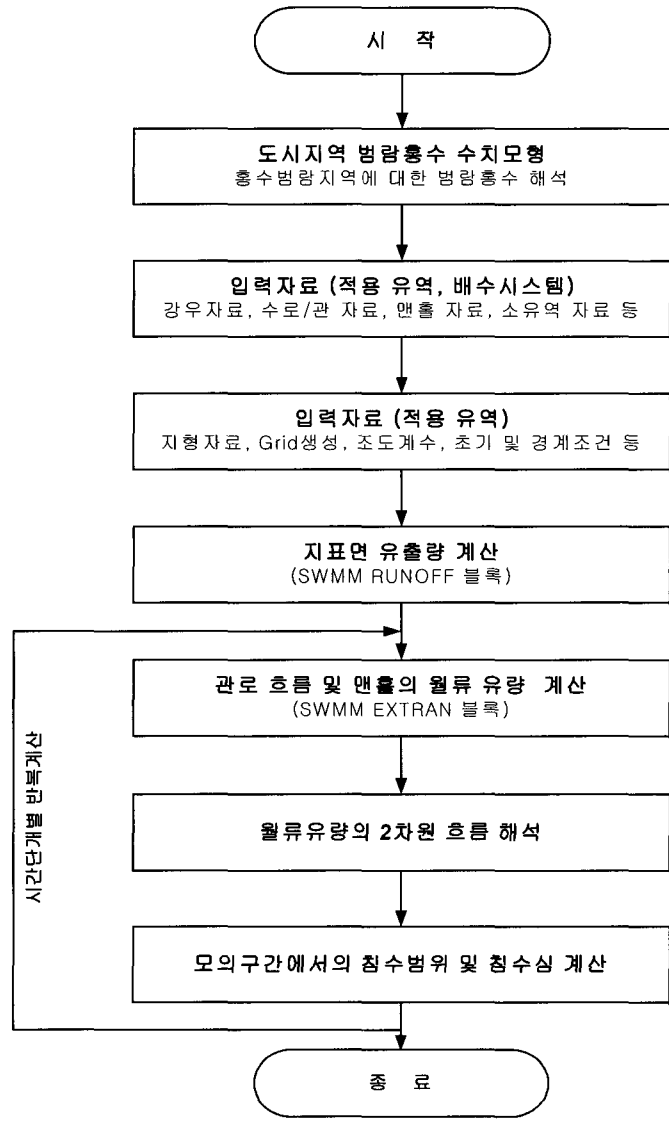


Fig. 3. Flow chart of the urban Inundation analysis model

역에 대해 2001년 강우사상에 대해서 적용하였다.

4.1 대상 배수구역의 현황 및 특성

군자-어린이대공원 배수구역은 군자 배수구역과 어린이대공원 배수구역으로 구성되어 있다. 군자 배수구역은 면적은 약 96.4ha 이며, 중랑천 좌안의 하류에 위치하고 있다. 대부분의 유역이 주택지와 상업지, 아파트 단지로 구성되어 있으며 유역의 20% 정도는 산지이다. 어린이대공원 배수구역은 면적은 약 94.1ha이며, 중랑천 좌안의 군자 배수유역과 인접해 있으며, 유역의 상류지점은 공원지역이고, 유역의 중류 지점은 세종대학교가 위치하고 있으며, 중하류 지점 대부분이 주거지역 및 상업지역으로 구성되어 있다. 장안배수유역은 중랑천 하구 우안에 위치하고, 하류부에는 유수지를 겸비한 빗물펌프장이 위치하며, 성동구 용답동, 동대문구 장안

1,2,3,4동과 휘경 2동 등 중랑천 우안변을 배수구역으로 하고 있다. 배수구역 면적은 약 284.0ha이고, 이중 저지대 지역이 전 배수구역 면적의 약 17%인 약 48ha이며, 배수구역의 80%이상이 주거 및 상업지역으로 개발되어 있는 지역이다.

Fig. 4와 같이 2001년 7월 14일~15일 동안의 폭우로 서울시에는 많은 침수가 발생하였다. 이때 군자-어린이대공원 배수구역은 배수시스템의 용량을 초과한 집중호우 및 주위 지점보다 낮고, 관로의 구배가 낮은 지형상 특징으로 인하여 배수시스템의 과부하가 발생되어 시내 주요도로가 침수되었다. 또한, 장안 배수구역은 중·상류지역이 상대적으로 저지대이고 또한 유수지까지 관로의 연장이 긴데 비하여 관로의 구배가 완만하여 유수지의 배수영향 및 관로의 통수능력 부족으로 침수가 많이 발생하였다(서울특별시, 2002).

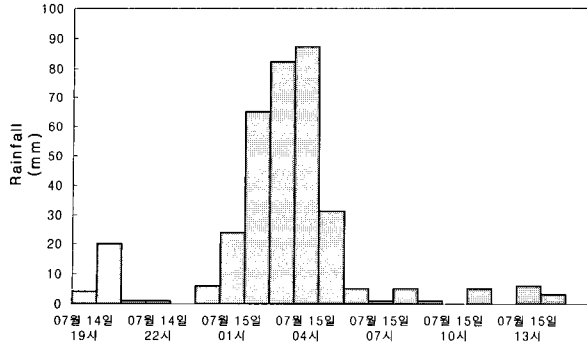


Fig. 4. Rainfall hyetograph(2001.7.14~2001.7.15)

4.2 자료의 구축

4.2.1 군자-어린이대공원 배수구역

Fig. 5(a)는 각 격자의 지반고를 산정하기 위해

1:1,000 수치지도를 이용하여 추출된 DEM이다. 모의는 주요간선 부분만을 이용하였고, Fig. 5(b)는 배수계통도이다. 범람양상을 모의하기 위한 격자의 크기는 30m×30m로서 Fig. 5(c)와 같이 전체 2,223개의 격자가 도시 배수구역의 형상을 대표하게 된다. Fig. 5(c)에서 유역 왼쪽부분의 노란색으로 표시된 지점은 침수유량이 지표면으로 전파되면서 하천으로 직접 유입되는 경계부분이며 이때 한계류 조건을 이용하였다.

4.2.2 장안 배수구역

Fig. 6(a)는 1:1,000 수치지도를 이용하여 추출된 대상구역의 DEM이다. 도시 배수 구역의 범람 양상을 모의하기 위한 격자의 크기는 20m×20m로서 전체 8,891개의 격자가 도시배수구역의 형상을 대표하게 된다. 모형 적용을 위한 구역의 배수 계통도는 Fig. 6(b)와 같이 주요간선 부분만을 이용하였다.

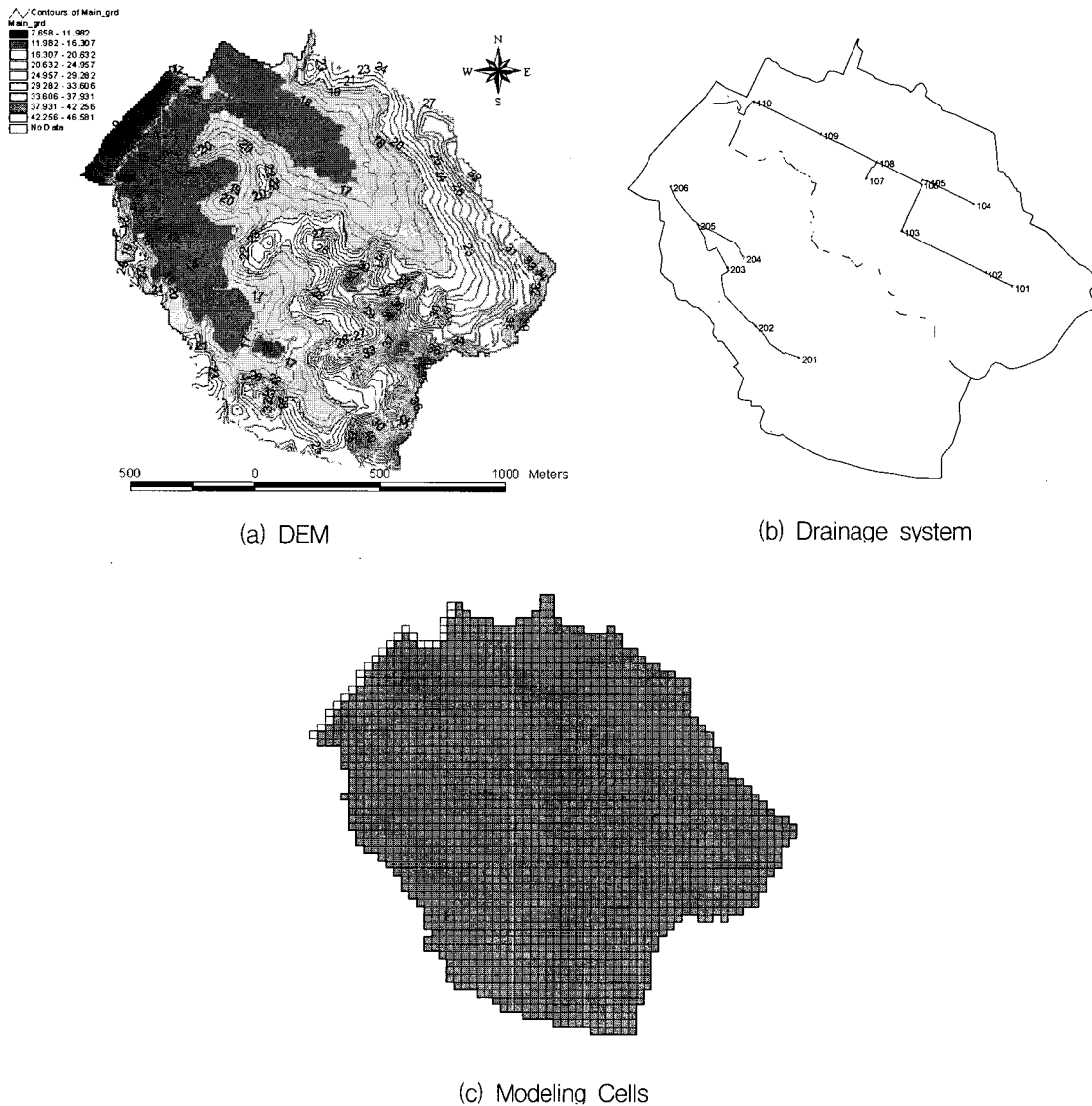


Fig. 5. DEM, drainage system and modeling cells of Goonja Catchment

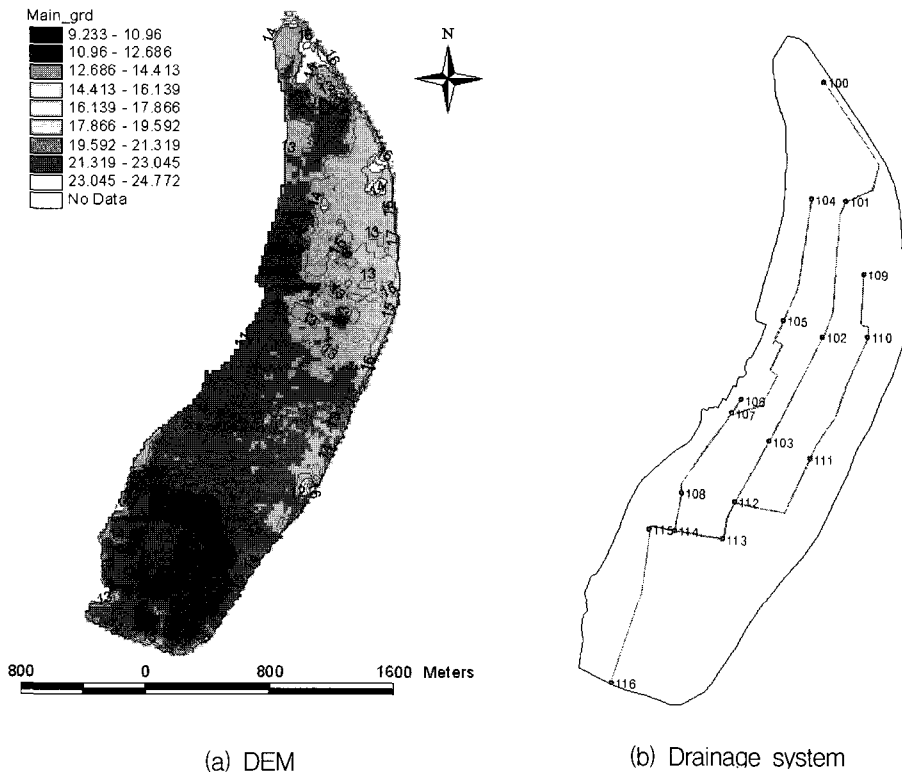


Fig. 6. DEM and drainage system of Jangan Catchment

4.3 모의결과

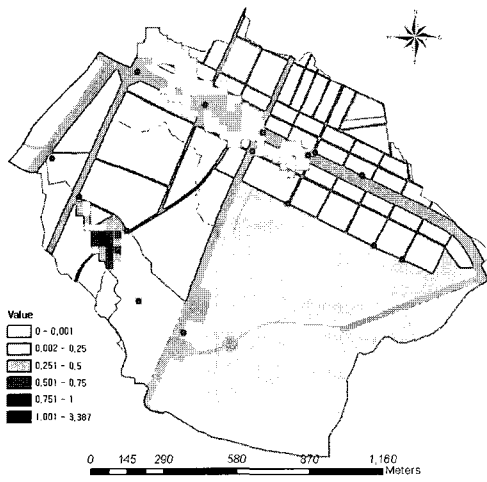
군자-어린이대공원 배수구역과 장안 배수구역에 대한 본 연계모형을 이용하여 배수시스템의 월류 지점으로부터의 시간별 전과과정을 모의할 수 있었다. 배수시스템과 연계한 DEM기반 침수해석모형의 계산결과는 Fig. 7과 Fig. 8과 같이 주요시간대 별로 도시하였다. 군자-어린이대공원 배수구역에서의 침수는 Fig. 7과 같이 강우시작 8시간이 경과하면서부터 발생하기 시작하였다. 주변 지점보다 낮고, 관로의 구배가 낮은 지형상 특징으로 군자 배수구역은 왼쪽 상단 부분과 중앙부분에서 침수가 발생하였고, 어린이대공원 배수구역은 세종대학교 후문지점에서 월류가 발생하였다. 모의 초기에는 지상으로 월류한 유량이 지표면을 통해 전파되어 가는 과정이 잘 모의하나, 시간이 경과한 후 배수시스템에서의 월류량 발생이 끝났음에도 불구하고 계속 침수된 채 남아 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 8은 각각 장안 배수구역에 대한 침수해석결과를 주요시간대 별로 도시한 결과이다. 침수는 군자-어린이대공원 배수구역과 마찬가지로 강우 강도가 커진 8시간이 경과하면서부터 시작하였다. 월류지점에서 침수유량이 전파되어 가는 과정을 모의할 수 있었다. 그러나, 배수용량을 초과하여 월류한 유량이 지표면을 통해서만 흘러가는 경우 모의 초기에는 지상으로 월류유량의 전

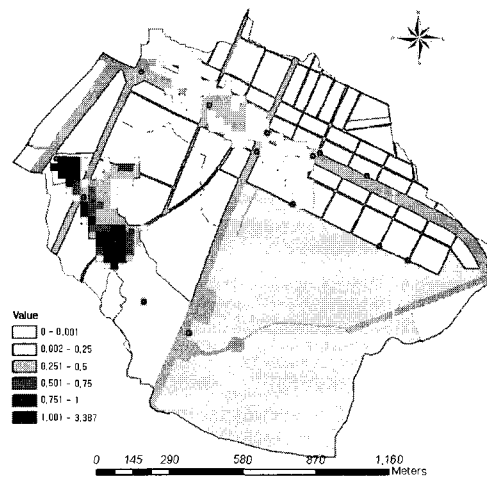
과과정을 잘 모의하나, 역시 군자-어린이대공원 배수구역과 마찬가지로 시간이 경과한 후 배수시스템에서의 월류량 발생이 끝났음에도 불구하고 계속 침수된 채 남아 있는 것으로 나타났다.

계산된 최대 침수범위는 군자-어린이대공원 배수구역에 대해서는 Fig. 9와 같이 주요침수지역과 비교하였으며, 장안 배수구역에 대해서는 Fig. 10과 같이 침수흔적도와 비교하였다. 모의결과 침수지역이 일부구간은 일치하나, 그렇지 않은 경우도 발생하였는데, 그 이유는 군자-어린이대공원 배수구역의 경우 2001년 침수상황이 아닌 과거 기록에 의하여 작성된 주요침수지역의 면적이 넓게 표시되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 두 배수구역에 대한 공통된 사항으로 SWMM모형의 수행에 있어 배수시스템의 구성 시 주요 간선으로만 구성한 결과 해당 간선의 직경은 홍수량을 소통시킬 수 있는 능력이 충분하나, 지선은 그렇지 못하여 지선부근에서 월류가 발생할 수 있다.

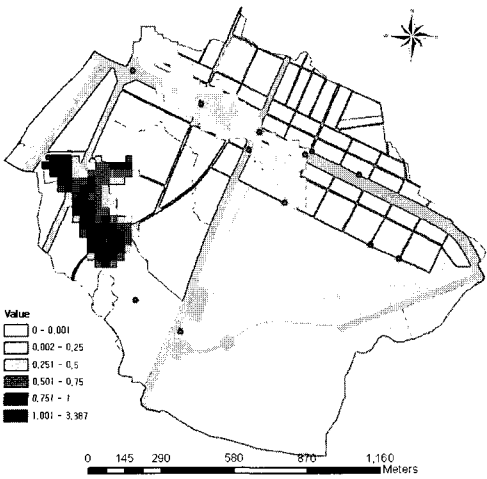
하지만, SWMM 모의시 배수시스템의 구성이 지역의 홍수특성을 잘 반영하도록 구성될 경우 본 모형을 이용하여 침수지점의 예측이 가능하며, 과거주요지역 및 홍수흔적도에서 나타내지 못하는 시간별 침수상황은 도시지역에서 홍수대비책을 수립하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



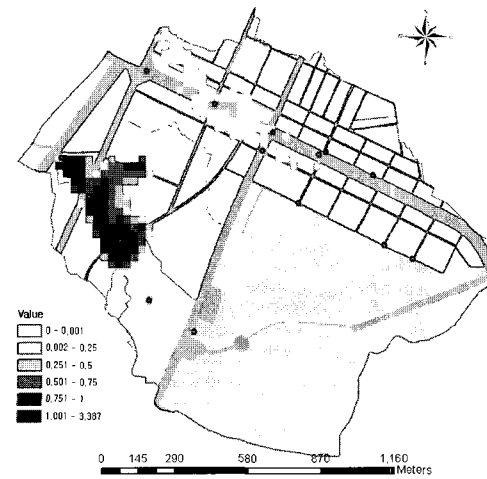
(a) 9 hours



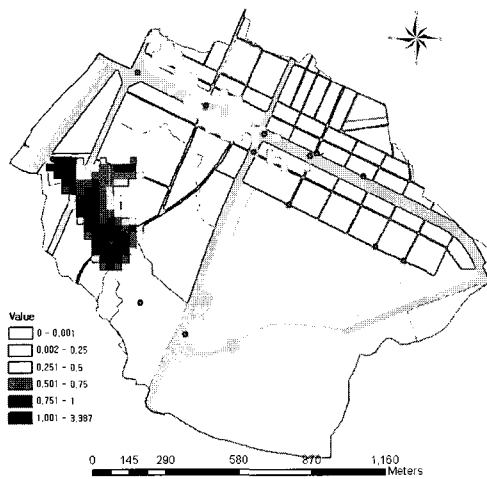
(b) 10 hours



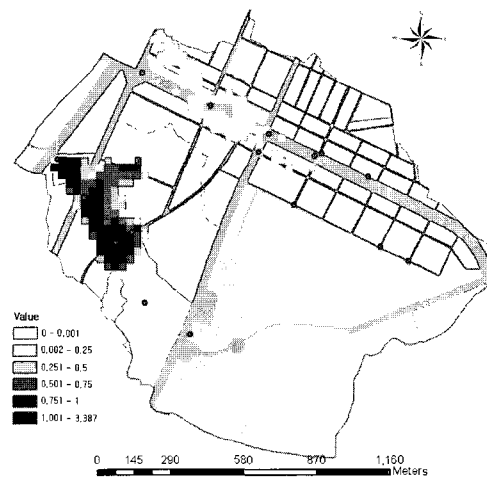
(c) 11 hours



(d) 12 hours

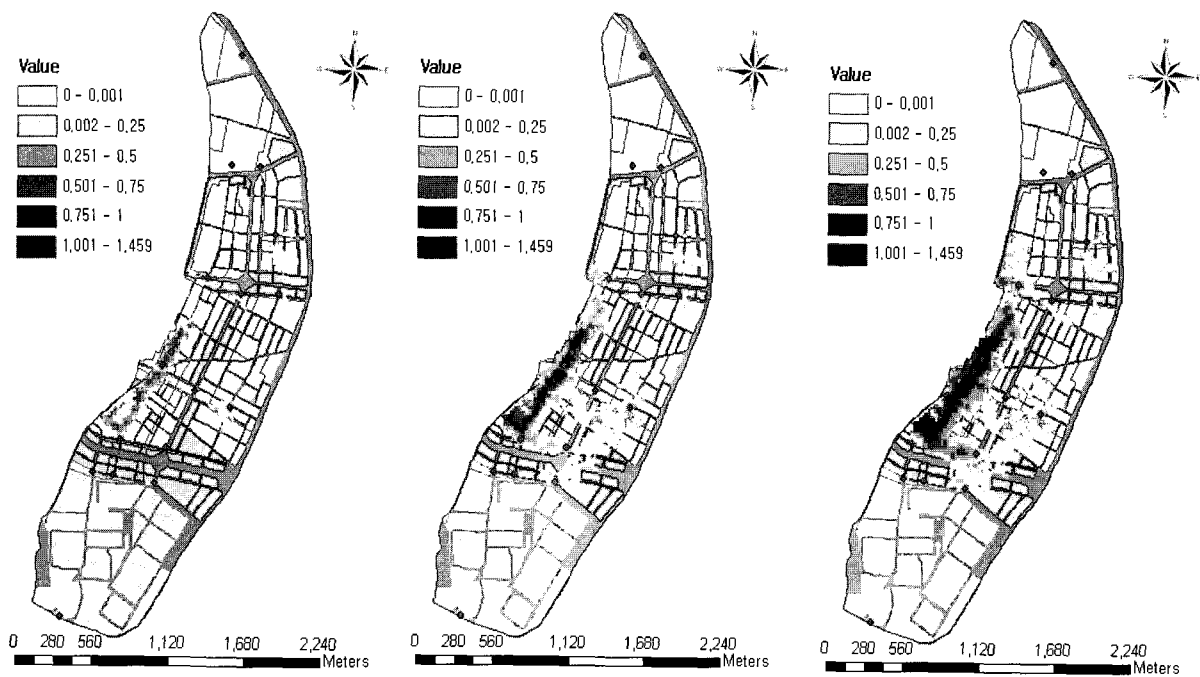


(e) 13 hours

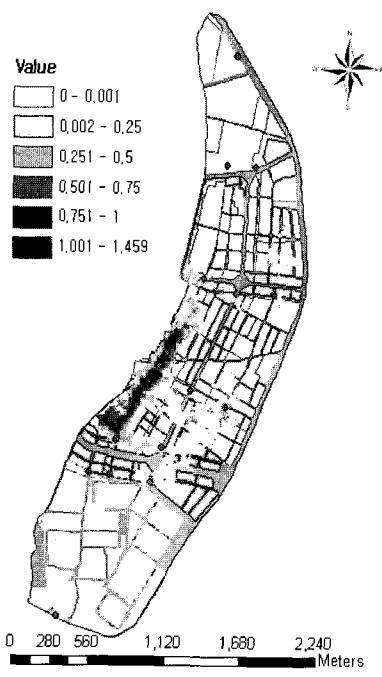


(f) 14 hours

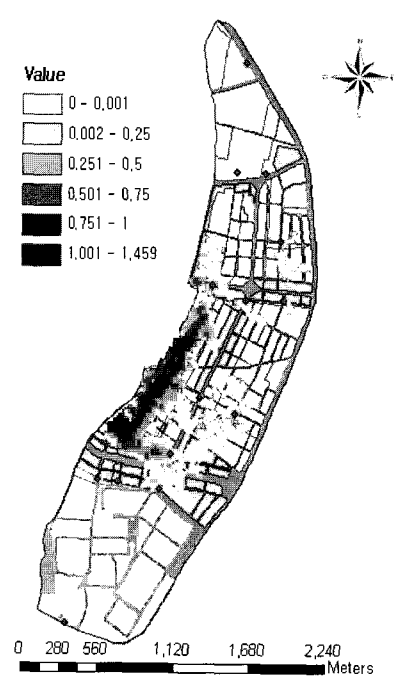
Fig. 7. Simulated inundation depth (Goonja Catchment)



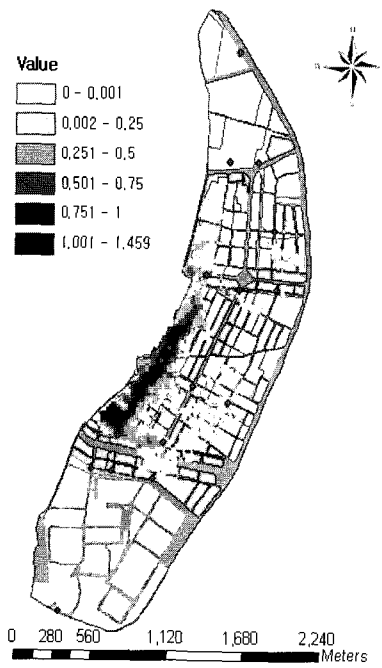
(a) 9 hours



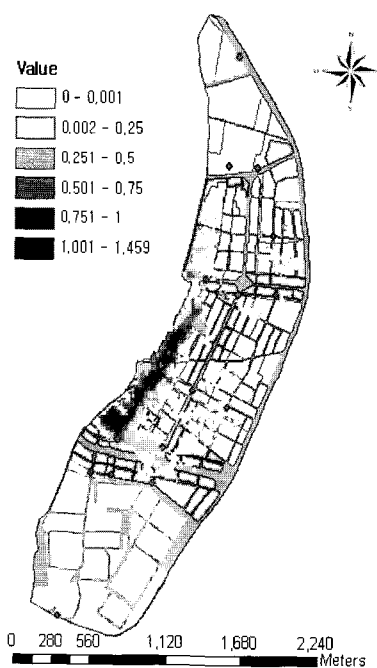
(b) 10 hours



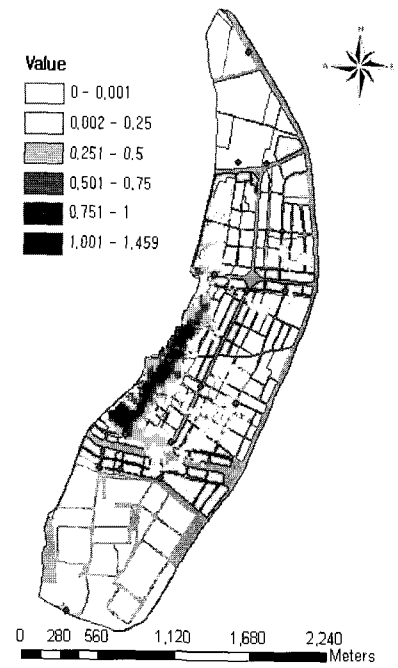
(c) 11 hours



(d) 12 hours

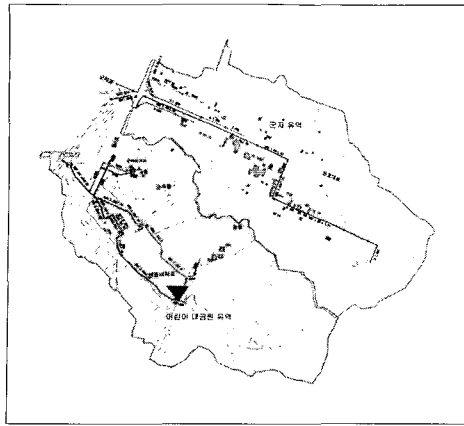


(e) 13 hours

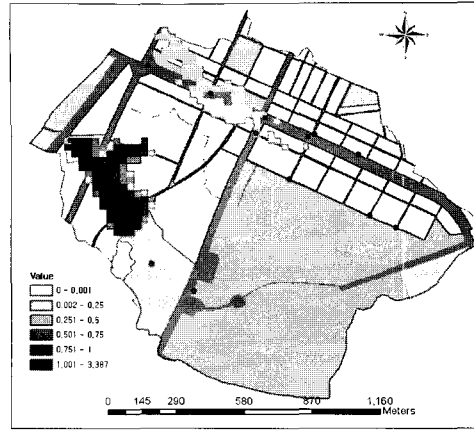


(f) 14 hours

Fig. 8. Simulated inundation depth (Jangan Catchment)

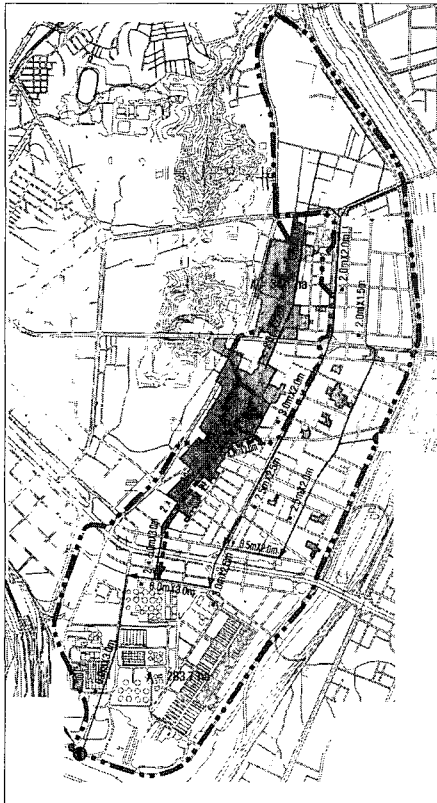


(a) Surveyed inundation zones

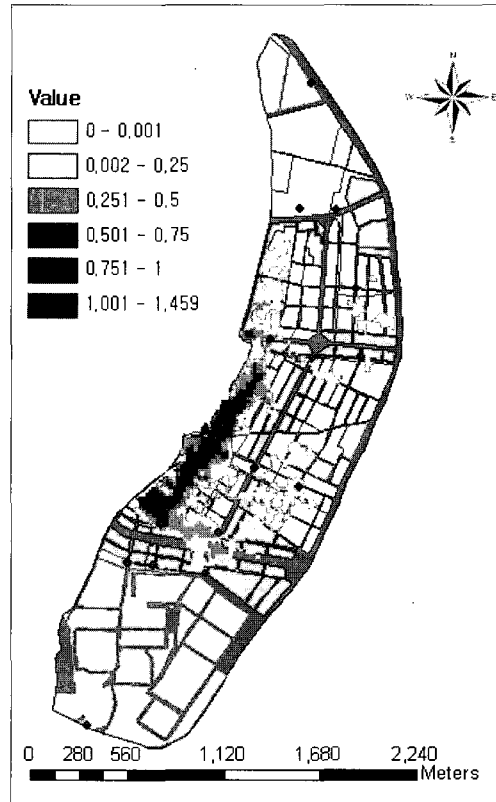


(b) Simulated Max. inundation zones

Fig. 9. Comparison between Simulated and Surveyed Inundation Zones(Goonja Catchment)



(a) Surveyed inundation zones



(b) Simulated Max. inundation zones

Fig. 10. Comparison between Simulated and Surveyed Inundation Zones(Jangan Catchment)

4.4 모의결과 검토

본 연구를 통해 SWMM에서 구현할 수 없었던 침수 지점에서의 침수범위와 침수심을 시간의 경과에 따라 제공할 수 있는 연계모형을 개발하였다. 연계모형은 SWMM에서 각 계산시간간격별로 모의된 월류유량을 이용하여 침수해석을 수행하였다. 본 모형은 모의 초기

에 월류된 유량이 지표면으로 전파되어 가는 과정을 잘 모의한다. 앞서 언급되었듯이 지표면으로 월류한 유량은 다시 배수시스템으로 유입되지 않고 지표면으로만 전파되는 것으로 가정하였다. 이로 인해 침수된 지역의 수위가 주변 지형보다 낮은 경우 배수시스템에서의 월류된 유량은 하류부로 전달되지 않고 저수지와 같이 물이 고여있는 상태로 남게 되었다. 실제로는 고인 유량

은 시간이 경과한 후 과부하가 발생하지 않는 배수시스템의 맨홀, 혹은 유입구로 유입되어 배수된다. 즉, 연계모형은 상당한 시간이 지난 뒤 고인 유량이 배수관로로 다시 유입되어 외부로 빠져나가는 상황을 모의할 수 없는 단점을 지닌다. 그러므로, 과부하로 인한 월류로 인한 침수해석을 수행하는 것과 동시에 지표 침수유량 중 과부하가 발생하지 않는 유입구 지점을 통과할 때 일부 유량이 다시 배수시스템으로 유입되도록 한 모형개발이 필요한 것을 알 수 있다. 또한, 재유입된 유량에 대해서는 배수시스템을 통해 전송되도록 모형이 개발되어야 한다.

배수시스템과 침수해석모형과의 연계모형은 월류지점으로부터의 침수진행과정을 잘 모의할 수 있으나, 지형상의 영향으로 인하여 지표침수유량의 배수과정을 모의하지 못하는 단점이 있으므로 이를 해결하기 위해서는 향후 배수시스템과 침수해석모형을 통합한 새로운 통합모형을 개발하여야 하겠다.

5. 결 론

본 연구에서는 SWMM모형과 DEM기반 침수해석모형과의 연계모형을 개발 및 적용함으로써 배수시스템의 용량을 초과한 강우가 발생하거나 혹은 외수위 상승으로 인한 배수불량시 발생하는 월류유량에 대해서 시간별 침수심 및 침수범위를 계산하였다. 특히, 본 연구에서는 배수시스템에서의 월류유량의 산정방법을 확립하였고, 개발된 DEM 기반 침수해석모형을 활용하여 월류유량의 전과과정을 모의할 수 있는 기법을 확립하였다.

본 연구는 침수가 빈번히 발생한 중랑천 유역 중 군사-어린이대공원 배수구역과 장안 배수구역을 대상으로 수행하였으며, 2001년 7월 14일과 15일 기간동안의 강우사상에 대하여 적용하였다. 본 연구결과로 연계모형으로는 월류유량으로 인한 침수지점의 수위가 주변 지형보다 낮은 경우 침수유량은 저수지와 같이 한 곳에 고여 있게 되며, 시간이 경과하여도 계속 침수된 상태로 남게 되는 것을 확인할 수 있었다.

연계모형은 상당한 시간이 지난 뒤 고인 유량이 배수관로로 다시 유입되어 외부로 빠져나가는 상황을 모의할 수 없었다. 이를 통해 실제 침수상황에 대한 적용에 있어 배수시스템 해석모형과 침수해석모형을 연계한 모형의 한계를 확인할 수 있었다. 이를 해결하기 위해서는, 과부하로 인한 월류로 인한 침수해석을 수행하는 것과 동시에 지표 침수유량 중 과부하가 발생하지 않는 유입구 지점을 통과할 때 일부 유량이 다시 배수시스템

으로 유입되는 되도록 구성하고 재유입된 유량은 배수시스템을 통해 배수되도록 구성한 통합모형의 개발이 필요하다.

하지만, 본 모형은 침수지점의 예측이 가능하며, 과거주요지역 및 홍수흔적도에서 나타내지 못하는 시간별 침수범위 및 침수심에 대한 계산을 통해 도시지역에서 홍수대비책을 수립하는 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

- 서울특별시 (2002). 2001 수해백서, pp. 1:3-1:10.
- Akan, A.O. and Yen, B.C. (1981). "Diffusion-wave flood routing in channel networks." *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 107, No. 6, pp. 719-732.
- Fennema, R.J., Neidrauer, C.J., Johnson, R.A., MacVictor, T.K. and Perkins, W.A. (1994). "A computer model to simulate natural everglades hydrology." *The Ecosystem and its Restoration* (eds. Davis, S.M., Ogden, J.C.), St. Lucie Press, pp. 249-289.
- Hromadka II, T.V. and Lai, C. (1985). "Solving the two-dimensional diffusion flow model." *Proc. Spec. Conf.*, sponsored by the Hydro. Div. of ASCE, Lake Buena Vista, Fla.
- Hsu, M.H., Chen, S.H. and Chang, T.J. (2000). "Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system." *Journal of Hydrology*, Vol. 234, pp. 21-37.
- 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. (1999a). *Water systems models Hydrology*, Computational Hydraulics Int., Ontario, Canada.
- James, W., Robert, W. and James, C. (1999b). *Water systems models Hydraulics*, Computational Hydraulics Int., Ontario, Canada.

- Michael, L.T. and John, B.S. (1974). *The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS*, Bulletin 58.
- Roesner, L.A., Aldrich, J.A. and Dickinson, R.E. (1988). *Storm Water Management Model User's Manual Version 4 : Extran Addendum*, U.S. EPA.
- Schmitt, T. G., Thomas, M., and Ettrich, N. (2004). "Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems", *Journal of Hydrology*, Vol. 299. pp. 300-311.
- Watkins, L.H. (1962). "The design of urban sewer systems." *Road Research Technical Paper*, No. 55, Department of Scientific and Industrial Research, London.
- Wasantha Lal, A.M. (1998). "Performance comparison of overland flow algorithms." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 4, pp. 342-349.
- Yen, C.L., Hsu, M.H. and Lai, J.S. (1989). "Two-dimensional unsteady flow simulation in flood plain - a comparison between ADE and SES methods." *Proceedings of the Computer Applications in Civil and Hydraulic Engineering*, Taipei, pp. 1-18.

(논문번호:06-23/접수:2006.02.01/심사완료:2006.04.06)