



Sewer overflow simulation evaluation of urban runoff model according to detailed terrain scale

Tak, Yong Hun^a · Kim, Young Do^{b*} · Kang, Boosik^c · Park, Mun Hyun^d

^aDept. of Environmental Engineering, Inje University, Gimhae, Gyeongnam, Korea

^bDept. of Environmental Engineering(Nakdong River Environmental Research Center), Inje University, Gimhae, Gyeongnam, Korea

^cDept. of Civil and Environmental Engineering, Dankook University, Yongin, Gyeongg, Korea

^dDept. of Environment Water Resource, Dongbu Engineering, Seoul, Korea

Paper number: 16-025

Received: 10 Marh 2016; Revised: 23 March 2016 / 25 March 2016; Accepted: 25 March 2016

Abstract

Frequently torrential rain is occurred by climate change and urbanization. Urban is formed with road, residential and underground area. Without detailed topographic flooded analysis consideration can take a result which are wrong flooded depth and flooded area. Especially, flood analysis error of population and assets in dense downtown is causing a big problem for establishments and disaster response of flood measures. It can lead to casualties and property damage. Urban flood analysis is divided into sewer flow analysis and surface inundation analysis. Accuracy is very important point of these analysis. In this study, to confirm the effects of the elevation data precision in the process of flooded analysis were studied using 10m DEM, LiDAR data and 1:1,000 digital map. Study area is Dorim-stream basin in the Darim drainage basin, Sinrim 3 drainage basin, Sinrim 4 drainage basin. Flooding simulation through 2010's heavy rain by using XP-SWMM. Result, from 10m DEM, shows wrong flood depth which is more than 1m. In particular, some of the overflow manhole is not seen occurrence. Accordingly, detailed surface data is very important factor and it should be very careful when using the 10m DEM.

Keywords: DEM, LiDAR, Flooded analysis, XP-SWMM

상세지형스케일에 따른 도시유출모형의 관거월류 모의성능평가

탁용훈^a · 김영도^{b*} · 강부식^c · 박문현^d

^a인제대학교 대학원 환경공학과, ^b인제대학교 환경공학과, ^c단국대학교 토목환경공학과, ^d동부엔지니어링 수자원환경부

요 지

최근 도시화 및 기후변화로 인한 집중호우가 빈번히 발생하고 있으며, 이로 인해 도시지역의 침수발생 위험도가 커지고 있다. 도시지역은 도로, 주택, 지하시설 등 다양한 지형지물로 구성되어 있으며, 상세한 지형을 고려하지 못한 침수해석은 침수예상범위와 침수심을 제대로 표현하지 못한 결과를 도출할 수 있다. 특히, 인구와 자산이 밀집한 도심지에 대한 침수해석의 오류는 침수대책의 수립 및 재난대응에 큰 문제를 야기하여 인명과 재산피해로 이어질 수 있다. 도시지역 침수해석은 크게 관망흐름에 대한 해석과 지표면 범람해석 과정으로 구분되며, 각각의 해석과정상 정확도가 침수해석의 정확도에 영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 도시지역 침수해석 과정 중 지표면 표고자료의 정확도가 침수해석에 미치는 영향에 대한 평가를 위해 10m급 DEM, LiDAR 자료, 1:1,000 수치지도를 바탕으로 표고자료별 정량적인 침수예측결과를 검토하였다. 검토대상지역은 도림천 유역내 대림, 신림3, 신림4 배수분구로, 2010년 호우에 따른 침수모의를 XP-SWMM 모형으로 수행하였다. 모의결과, 10m DEM의 경우 표고자료의 오차로 인해 1m 이상 침수심이 발생하는 고위험지역에 대한 표현이 적절히 이뤄지지 못했으며, 특히 일부 월류가 발생하는 맨홀에 대해서는 지표면 침수가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 도시지역의 범람해석시 지형자료의 정확도는 중요한 요소가 되며, 10m DEM을 이용하는 경우는 신중을 기하여야 함을 알 수 있었다.

핵심용어: DEM, LiDAR, 침수해석, XP-SWMM

*Corresponding Author. Tel: +82-55-320-3252

E-mail: ydkim@inje.ac.kr (Y. D. Kim)

1. 서론

최근 도시화 및 기후변화로 인해 집중호우가 빈번히 발생하고 홍수위험도가 커지고 있다. 집중호우에 의한 피해는 인구가 밀집한 도시지역에서 더 크게 발생하며, 사유재산뿐만 아니라 사회기반시설에 대한 피해도 급격히 증가하고 있다. 도시화가 진행됨에 따라 대도시는 건물 및 상업시설이 증가하고, 도로 네트워크가 복잡해졌으며, 이러한 변화는 불투수층의 비율을 증가시키고, 건물 및 지하공간의 발달로 인하여 유역지표면의 기하학적 형상이 매우 복잡하게 변화하고 있다. 도시지역에 있어서 유출현상의 해석능력의 고도화는 위험지역을 예측하고 대피, 상황대처계획을 수립함에 있어 매우 중요하게 고려되어야 한다.

우리나라에서도 집중호우에 의한 홍수피해가 많이 발생하고 있으며, 주요 도시지역에서 호우에 의한 침수피해 사례가 많이 보고되고 있다. 도시지역은 유출의 지연과 침투의 기능을 가진 산림과 초지 등이 주택, 도로 등으로 바뀌게 되며 불투수 면이 증가하여 침투유출량이 증가하고 도달시간이 짧아지게 되어 단시간의 호우에도 홍수피해가 발생할 위험성이 증가하였다. 하지만 도시지역은 일반적으로 지표수의 저류 및 침투를 위한 배제시설이 매우 부족하고, 관거에 대한 우수 배제의 의존도가 높다. 이러한 이유로 관거의 형상과 밀집에 따라 관거의 설계빈도보다 낮은 빈도의 강우에 의해서도 국부적인 침수가 발생하고, 불투수층이 높은 비율을 차지하는 도시지역은 월류된 우수의 지표흐름에 의해 침수지역이 늘어나게 된다. 또한 외수위의 상승에 의해 배제시설의 배수가 불가능한 경우 강제배수시설을 설치하거나 우수관거 및 우수시설이 홍수량을 분담하여야 한다.

유출해석에서는 유역의 경사와 지표면의 형상, 건물을 잘 고려할 수 있는 지형을 고려하여야 한다. 특히 인구가 밀집되어 있고 건물 및 도로망이 매우 복잡한 도시지역에서는 지형을 정교하게 고려한 유출해석이 필요하다. 도시지역에서 호우 발생시 우수는 도로를 따라 이동하며, 침수 발생시에도 도로의 경사면을 따라 이동한다. 이러한 상세한 지형을 고려하지 못한 유출해석은 침수예상지역을 다소 과소, 과대하게 나타낼 수 있고, 침수심을 제대로 반영하지 못한 결과가 도출될 수 있다. 도로와 건물이 밀집한 도시지역에서 이런 문제가 발생할 경우 예상치 못한 지역에서 침수현상이 발생하여 피해를 줄 수 있으며, 이는 곧 인명과 재산피해로 이어진다. 따라서 건물이 밀집하고 도로가 복잡한 도시지역에서는 더 상세하고 정확한 지형자료를 활용한 유출해석이 필요하다. 하지만 상세지형의 사용은 계산부하와 비용을 급격히 증가시키며 계산

의 정확도제고에 따른 편익의 증가율은 감소하게 된다.

도시지역의 침수해석은 도시지역의 특성상 지형의 형상이 다소 복잡하고, 토지이용 및 우수배제시스템과 같은 인위적인 요인에 의해 다르게 적용 된다. 도시지역의 유출량은 거주지, 상가 및 건물 등을 연결하고, 지역 간의 연결을 위한 도로와 불투수지역에 의해 도달시간 및 침투량이 빨라지고 증가하게 된다. 또한, 홍수 발생시 인명 및 재산, 각종 시설들에 직접적인 피해를 미치게 된다. 이러한 침수현상을 예측하기 위해 다양한 모형들이 개발되었고, 유출특성을 적절히 고려한 정확한 침수해석이 필요하다. 도시 배수시스템을 이용한 유출량 계산에는 ILLUDAS(Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형과 U.S.EPA에서 개발된 SWMM(Storm Water Management Model) 모형이 많이 사용되어 왔으며, 그중 SWMM 모형은 지속적인 업그레이드를 통해 많은 곳에서 현실업무에 사용되고 있다. 도시유역의 침수해석은 관거 통수능에 의한 월류수 모의와 도로의 형태 및 경사 등 지형특성에 따른 지표면 흐름을 고려한 2차원 해석이 함께 고려되어야 하며, Phillips et al.(2005)은 XP-SWMM 모형과 TUFLOW를 이용한 모델링으로 1D, 1D/2D, 2D 결과를 비교하고 도시지역 2차원 침수해석을 하였고, 우리나라에서도 유출특성을 고려한 침수해석을 위한 연구가 선행되어 왔으며, Choi(1992)은 ILLUDAS 모형을 사용하여 우수지 설계를 연구하였고, Seo(2004)는 도시유역의 유출특성분석을 위해 ILLUDAS 모형과 SWMM 모형을 활용하여 도시유출특성을 분석하였다. Lee et al.(2006)은 Dual-Drainage 방식의 하수관거모의 모델을 개발하여 지표수의 배제를 모의하였고, Baek(2006)은 침수해석에 사용되는 해석기법에 대해 SWMM모형과 DEM(Digital Elevation Model)기반 2차원 침수해석에서 배수시스템의 월류유량과 침수유량의 재유입을 고려하고, 계산 격자 크기의 변경에 따른 침수면적을 비교·분석 하였다. Lee and Yeon(2008)은 XP-SWMM 모형을 이용하여 도시침수 해석시 건물의 영향을 분석하였으며, Ha et al.(2010)은 LiDAR 자료로부터 다양한 해상도의 표고모형을 생산하여 지형자료의 해상도가 침수해석에 미치는 영향을 분석하였다. Son et al.(2015)은 도시지역의 도로를 고려한 침수지역 예측을 위해 도로와 지형에 각각 다른 격자를 활용하여 침수현상을 연구하였다. 본 연구는 도시지역에서 지표면 표고자료의 정확도가 침수해석에 미치는 영향을 상세 검토하였으며, 이를 위한 도시유출모형으로 XP-SWMM모형을 적용하였다.

2. 도시홍수 모델링

2.1 SWMM 및 TUFLOW

SWMM(Storm Water Management Model) 모형은 U.S.EPA에서 개발된 모형으로 도시 또는 인위적인 배수계통을 가진 유역에서 발생하는 지표면 또는 지표하 흐름, 배수관망에 대한 유출량 추적, 유출 및 하도추적이 가능한 도시유출 모형이다(Huber and Dickinson, 1988). 비선형 저수, 운동파 방법, Laurenson 비선형 방법, 시간-면적 방법 등 홍수량 자료 산정방법을 활용하여 유출량을 산정하고, Horton 식, Green Ampt 식, Curve Number(CN)을 사용하여 침투량을 산정할 수 있다. TUFLOW(Two dimensional Unsteady FLOW) 모형은 호주 WBM Pty사에서 개발한 2차원 침수해석용 엔진으로 홍수 및 해일 전파 모형으로 1D 및 2D 자유표면 유동 방정식을 사용하여 1D/2D를 연결하여 침수현상을 예측할 수 있다. 복잡한 흐름패턴의 홍수 및 관 흐름, 해안 모의에도 적용 가능하다.

XP-SWMM은 SWMM 모형과 TUFLOW 모형을 결합한 상용모형으로 SWMM의 1차원 관망해석과 TUFLOW의 2차원 지표수 흐름을 해석할 수 있도록 개발되었고, 자체적으로 DTM(Digital Terrain Model)을 입력하여 동적인 지표흐름을 모의할 수 있다. 투수 및 불투수지역을 고려한 지표면에서의 유출해석과 우수관저 및 하도구간에서 1차원 흐름해석을 통해 도시유출을 모의하며, 맨홀에서 월류가 발생할 시 DTM을 기반으로 지표면 침수해석이 가능하다. 또한 지표면 침수해석 과정에서 지표 유량 중 일부가 월류가 발생하지 않는 유입구로 재유입이 가능한 Dual-Drainage 방식의 해석이 가능하여 침수에 의한 지표수의 재유입을 고려함으로써 재유입된 유량을 산정하고, 배수시스템 내의 흐름에 반영된다. 본 모형의 지표면 침수해석에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(H_u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_v)}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial t} + gu \left(\frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{n^2}{2g\partial y} \right) \sqrt{u^2 + v^2} \\ - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= F_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - c_f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial t} + gv \left(\frac{n^2}{H^{4/3}} + \frac{n^2}{2g\partial y} \right) \sqrt{u^2 + v^2} \\ - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} &= F_y \end{aligned}$$

여기서, ζ 는 수면고도, u 는 X방향의 깊이에서 평균 유속, v 는 Y방향 깊이에서 평균 유속, H 는 수심, t 는 시간, λ 는 X방향

의 거리, y 는 Y방향의 거리, c_f 는 코리올리 힘 계수, n 은 조도계수, f_1 은 형상손실계수, μ 는 모멘텀 수평 확산 계수, P 는 대기압, ρ 는 물의 밀도, F_x 와 F_y 는 X와 Y방향에서 외부 작용력의 합이다.

3. 침수해석을 위한 지형자료

침수해석에 활용할 수 있는 지형자료는 건물, 도로 등 지물과 표고값을 모두 포함하는 수치지도와, 표고값만을 갖고 있는 수치표고모형(DEM)으로 크게 구분된다. 일반적으로 침수해석에서는 표고값이 침수심과 침수범위를 결정하는 데 지배적이며, 침수해석의 정확도는 동일 모형에 대해 표고값의 밀도와 정확도에 좌우된다고 할 수 있다. 현재 도시지역 침수해석에 활용되고 있는 지형자료는 1:5,000 수치지도, 1:1,000 수치지도와 Lidar 측량을 통한 1m DEM 등이 있다. 본 연구는 국토지리정보원에서 제공하는 LiDAR 자료, 1:1,000 수치지도와 1:5,000 수치지도를 기반으로 한 10 m DEM을 활용하였으며, 일반적으로 1:5,000 및 1:1,000 수치지도는 그 자체로써 침수해석을 위한 지형자료로 적용되지 않고, DEM으로 변환되어 적용된다. 각각의 지형자료별 표고모형(DEM)은 제작 방법에 따라 밀도와 정확도가 달라지며, 이에 대한 상세한 내용은 다음과 같다.

3.1 1:5,000 수치지도

본 연구는 1:5,000 수치지도의 도시침수해석 적용성 검토를 위해, 국토지리정보원에서 1:5,000 수치지도를 기반으로 제작한 10 m DEM을 활용하였다. 1:5,000 수치지도는 우리나라 국가기본도로, 국토지리정보원은 5년의 갱신주기를 갖고 전국에 대해 제작하였다. 본 지도는 항공측량성과를 바탕으로 제작되며, 국토지리정보원은 이를 이용하여 10m급 DEM을 제작 배포하였다. 이에 따라, 다양한 연구에서 본 10m급 DEM이 침수해석을 위한 지형자료로 활용되고 있으나, 이에 대한 적정성 검증은 부족한 상태이다. 본 10m급 DEM은 그 기초자료가 되는 1:5,000 수치지도의 표고 정확도 수준을 넘을 수 없으며, 국립지리원의 측량작업규정에 따른 1:5,000 수치지도와 10m급 DEM의 오차수준은 Table 1과 같으며, 수치지도를 이용한 수치표고자료 생산절차는 Fig. 1과 같다.

Table 1. 1:5,000 Digital map and 10m DEM Errors(NGII,2012)

Scale	1/5,000	5m/10m DEM
Standard Deviation(m)	0.72	1.0/2.0
Maximum Value(m)	1.44	1.5/3.0

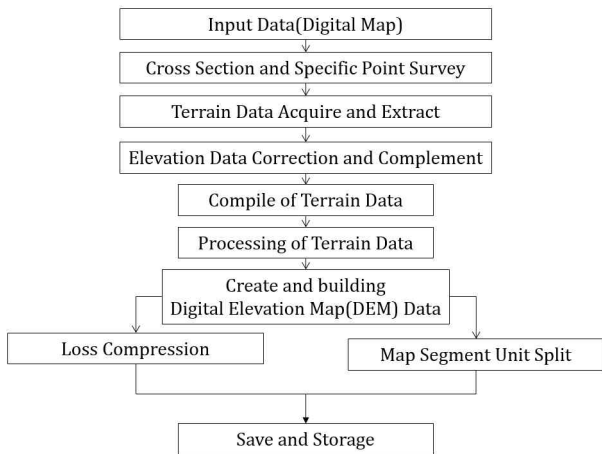


Fig. 1. Digital Elevation Data Production Process using Digital map (TTA. 2009)

3.2 1:1,000 수치지도

1:1,000 수치지도는 전국단위가 아닌 도시지역을 위주로 제작되고 있다. 따라서, 1:5,000수치지도와 같이 전국단위의 수치표고자료 구축에 활용되고 있지는 않으나, 국토지리정보원은 도시지역에 대해서는 1:5,000으로 제작된 DEM을 1:1,000 수치지도를 통해 보완하고 있다. 1:1,000 수치지도는 1:5,000 수치지도보다 정밀하고 정확한 표고정보를 갖고 있어, 통상 5m급 DEM의 생성에 활용되며, Table 2는 수치지도 별 오차현황을 정리한 것이다.

Table 2. Digital map Errors(NGII. 2012)

Scale	Standard Deviation(m)	Maximum Value(m)
1/500~1/600	0.14	0.28
1/1,000~1/1,200	0.20	0.40
1/2,500~1/3,000	0.36	0.72
1/5,000	0.72	1.44
1/10,000	0.90	1.80
1/25,000	1.00	2.00

1:1,000 수치지도는 5m급 DEM의 작성이 가능하나, 1:5,000 수치지도와의 비교를 위해 본 연구에서는 1:1,000 수치지도를 이용하여 10m DEM을 생성하여 적용하였다. Table 3은 수치지도별 표고자료 격자간격의 기준을 정리한 것이며, 수치표고자료의 규격에 따른 m²당 취득 점밀도를 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Digital map based on Elevation Data Grid scale(NGII, 1999)

Scale	1/1,000	1/5,000	1/25,000	1/50,000
Grid scale	5m×5m	10m×10m	50m×50m	100m×100m

Table 4. Point density values on Digital Elevation Data Scale(NGII, 2002)

Digital Elevation Data Scale	1m	2m	5m	10m	30m
Point Density(Points/m ²)	5.0	2.0	0.5	0.2	0.04

3.3 LiDAR측량을 통한 1m급 DEM

LiDAR 측량은 표고자료를 취득하기 위한 한 가지 방법으로, 빛, 레이저를 이용한 센서를 활용, 거리를 관측하여 고밀도·고정도의 표고데이터를 취득하고 산출한다. 원시 자료의 자료처리과정을 통하여 최종 생성되는 산출물은 x, y, z의 점들로 이뤄진 좌표계의 형태로 구성되며, 나무, 건물 등 구조물을 제거하여 지면데이터를 취득한다.(NGII, 2006) 현재 국토지리정보원에서 제공하는 LiDAR DEM자료의 해상도는 1m×1m의 해상도이며, 정확도는 25 cm이다. LiDAR를 이용한 DEM 구축은 LiDAR 측량에 의하여 취득한 원시자료를 좌표변환을 통한 점 데이터로 변환하게 된다(Kwon, 2006). 점 데이터로 변환한 후 표고 데이터를 추출하여 최종적으로 활용 가능한 DEM을 생성하게 되며, LiDAR측량을 통한 수치표고자료 생산절차는 Fig. 2와 같다.

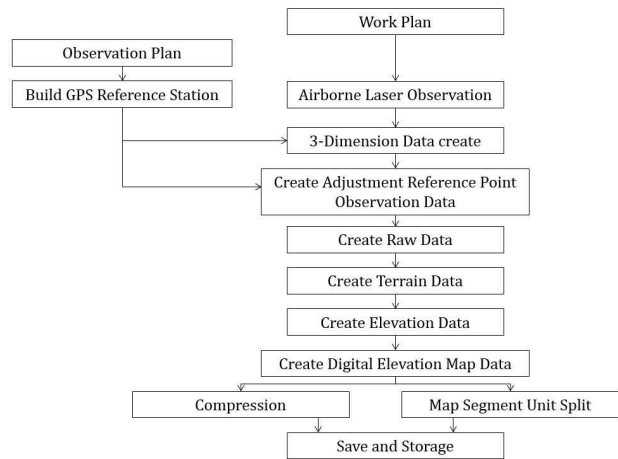


Fig. 2. Digital Elevation Data Production Process using LiDAR Survey (TTA. 2009)

4. 지형자료가 침수해석결과에 미치는 영향

4.1 대상지역

본 연구의 대상지역은 도림천 유역으로, 최근 2010년과 2011년에 침수피해가 발생한 지역이다. 도림천은 한강 제1지류인 안양천의 제1지류로서 대방천과 봉천천이 지류로 유입되며, 총 유역면적 41.93 km², 유로연장 14.20 km. 유역평균

폭 2.95 km 이며 총 17개의 배수분구로 이루어져 있다. 발원지는 관악산이며, 행정구역상 영등포구, 구로구, 동작구, 관악구의 도심지 내를 관류하여 안양천으로 유입된다. 지류인 대방천과 봉천천은 대부분 복개되어 도로로 이용되고 있다. 본 연구는 도림천 유역의 전체 17개의 배수분구 중 대림, 신림 3, 4 배수분구에 해당하는 지역을 대상으로 하였으며, 도림천 본류의 중류에 해당하는 지역이다(Fig. 3). 유역면적은 대림 배수분구 1.25 km², 신림 3 배수분구 1.36 km², 신림 4 배수분구 2.55 km² 으로 총 5.16km² 이며, 신림 3 배수분구는 남쪽에 삼성산이 위치하고 있고 신림 3 배수분구에서의 최고 고도는 194.8 m 이다. 신림 3 배수분구의 경우 좌, 우가 산지로 이뤄진 골의 형태를 이루어 신림 4 배수분구로 이어지며, 지표수가 고도가 낮은 신림 4 배수분구로 흘러 지표수의 집중이 예상된다. 신림 4 배수분구와 대림 배수분구는 도림천 좌안을 배수구역으로 하고 있으며, 신림 빗물펌프장과 대림 4 빗물펌프장이 위치하고 있다. Fig. 4는 2010년과 2011년 홍수시 침수흔적도를 나타낸 것이며, 주로 대림 배수분구와 신림 4 배수분구의 하류지역인 북쪽지역에서 넓은 면적의 침수가 발생하였다. 기상청 AWS에 의하면 2010년 9월 20일 24시부터 9월 21일 24시까지 하루 동안에 총 259.5 mm의 강우가 발생하였고 시간최대 71 mm의 강우가 발생하였다. 이는 80년 빈도의 강우에 해당되며, 총 3,327 세대가 침수피해를 입었다. 신림 4 배수분구와 대림 배수분구의 침수현상은 복합적인 형태를 띠고 있으며, 하천 외수위영향, 관거 배수 불량 및 저지대 노면수 집중, 펌프장 내수배제불량 등의 원인으로 하류지역 저지대에서 침수가 발생하는 것으로 나타났다.

4.2 모형의 구성

4.2.1 도시유출해석 모형의 구성

도시지역 유출해석을 위해서는 각각의 우수관거로 유입되는 배수구역을 분할하고, 우수관거로 구성된 배수체계를 구성하여야 한다. 본 연구의 검토대상 지역내에는 BOX관거 13,644 m, 지선관거(∅150~∅600미만) 59,463 m, 간선관거(∅600~∅1,500) 46,479 m가 매설되어 있다. 관거형상, 매설깊이, 맨홀 등 상세한 관망정보는 서울시 GIS 관망데이터를 이용하였으며, 이에 따른 대상지역의 배수관망현황은 Fig. 5와 같고, 간선관거 및 지선관거의 Manning 조도계수는 Chow et al(1988)의 연구에 의하면 콘크리트 홉관의 경우 0.012 이지지만(Table 5), 관거의 정비상태를 고려하여 0.014 로 입력하였다. 이를 바탕으로 구성한 SWMM모형은 Fig. 6과 같으며, 유출량 결정을 위한 홍수량 산정 방법에는 시간-면적

법을 선택하였고, 외수의 영향을 고려하기 위해 출구부인 도림천의 하천정비기본계획상의 홍수위를 조사하여(Table 6) 50년 빈도 홍수위를 입력하였다.

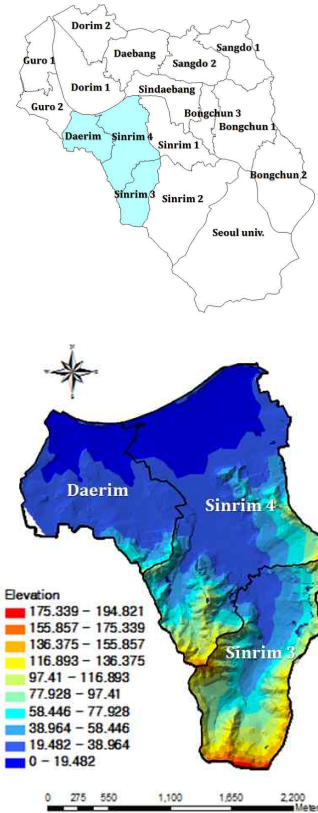


Fig. 3. Study area

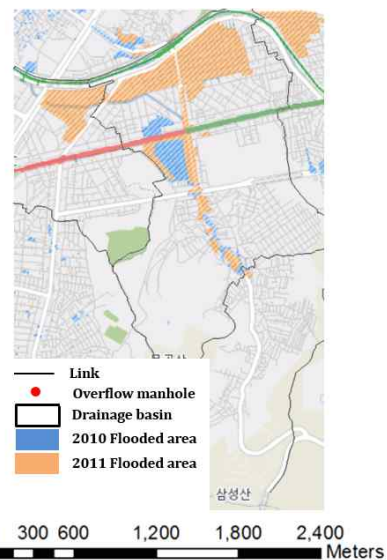


Fig. 4. Recent Flooded area (2010, 2011, Seoul Metropolitan Government)

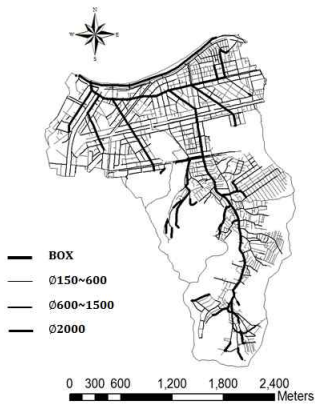


Fig. 5. Storm Sewer of Study area

Table 5. Open channel and pipe Manning coefficient of roughness

Material	Typical Manning roughness coefficient
Concrete	0.012
Gravel bottom with sides	
- concrete	0.020
- mortared stone	0.023
- riprap	0.033
Natural stream channels	
Clean, straight stream	0.030
Clean, winding stream	0.040
Winding with weeds and pools	0.050
With heavy brush and timber	0.100
Flood Plains	
Pasture	0.035
Field crops	0.040
Light brush and weeds	0.050
Dense brush	0.070
Dense trees	0.100

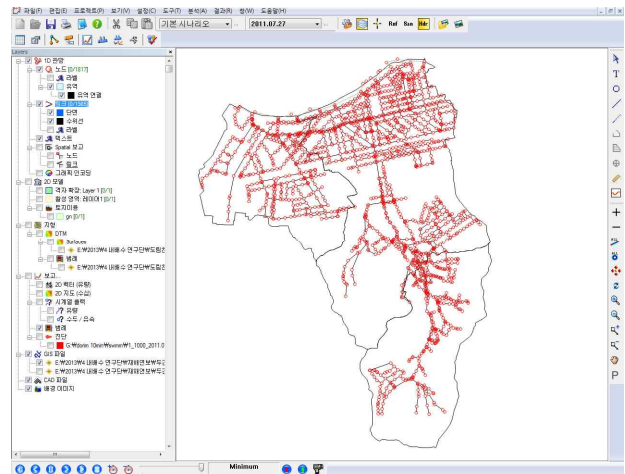


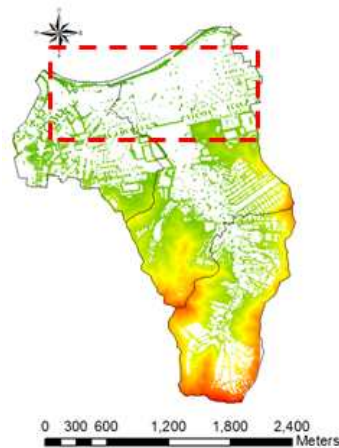
Fig. 6. SWMM Model of Study area

Table 6. Dorim-stream Elevation by Frequency

River	Station (No.)	Flood level(EL.m)		
		30yr	50yr	200yr
Dorim-stream	40	14.43	14.76	17.96

4.2.2 도시침수해석을 위한 수치표고자료

지형자료별 침수양상을 모의하기 위해 본 연구에서는 1:5,000 수치지도로부터 작성된 10m급 DEM, 1:1,000 수치지도로부터 작성된 10m급 DEM과 LiDAR측량에 따른 1m급 DEM 등 총 3가지 수치표고자료를 대상지역에 대해 구축하였으며, 상습침수지역인 하류부에 대한 각각의 DEM별 현황은 Fig. 7과 같다.



(a) LiDAR 1m x 1m DEM



(b) 10m x 10m DEM



(c) 10m x 10m DEM (1:1,000 Digital map)

Fig. 7. Terrain Analysis on DEM Detail

4.2.3 호우사상의 선정

연구대상지역인 도림천 지역은 최근 2010, 2011년 호우사상으로 인해 침수피해가 발생한 바가 있다. 본 연구에서는 지형자료가 침수피해 모의에 미치는 영향을 확인하기 위하여 2011년 7월 27일 00시부터 7월 27일 24시까지의 24시간 호우사상을 활용하여 침수피해 모의를 실시하였다. Fig. 8은 기상청 AWS의 10분 단위 강우주상도이며, 이때 총 강우량은 266.5 mm이며, 시간최대 강우량은 56 mm이다.

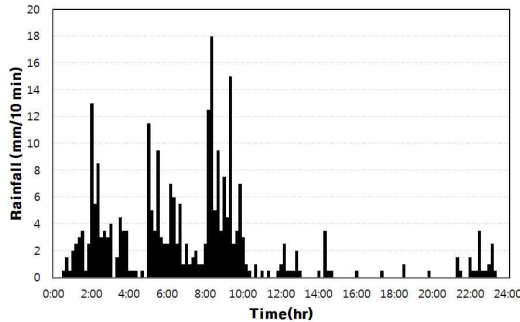


Fig. 8. Rainfall of Study(2011. 7. 27.)

4.3 도시지역 유출해석 및 침수모의

4.3.1 도시지역 유출해석결과

SWMM 모형을 활용하여 2010년 9월 21일 호우를 대상으로 대림, 신림 3, 4 배수분구의 유출해석을 수행하였으며, 검토 결과 297개의 맨홀에서 월류가 발생하였다. 발생된 총 월류량은 1,898,480 m³으로 나타났으며, 각각의 맨홀별로 최대 202,964 m³에서 최소 0 m³의 월류량이 나타났다. Table 7은 배수분구별 월류량을 정리한 것으로, 대림 배수분구에서 가장 많은 월류가 발생되는 것으로 나타났으며, Fig. 9는 월류

맨홀의 위치를 나타낸 것이다.

Table 7. Overflow node of Basin area

	Darim Basin	Sinrim 4 Basin	Sinrim 3 Basin
Total node	417	1,075	336
Overflow manhole	116	166	19
Basin area (m ²)	1,250,545	2,549,209	1,356,509

Fig. 9의 월류 맨홀 결과를 보면, 하류지역인 북쪽에 위치한 맨홀에서 월류가 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 도림천의 배수영향과, 완만한 지형에 매설된 복잡한 관망의 저수용량 부족이 그 원인인 것으로 판단된다. 월류가 발생한 맨홀은 Fig. 4의 침수흔적도의 침수지역과 대체로 일치하고 있으며, 내수배제시설과 관망의 용량이 확보되지 않으면 월류된 우수가 완만한 지표면에서 장기간 체류 할 것으로 판단된다.

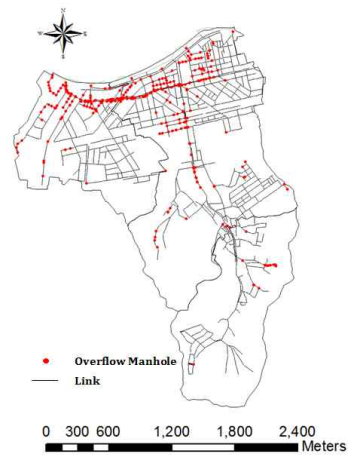


Fig. 9. Overflow Manhole

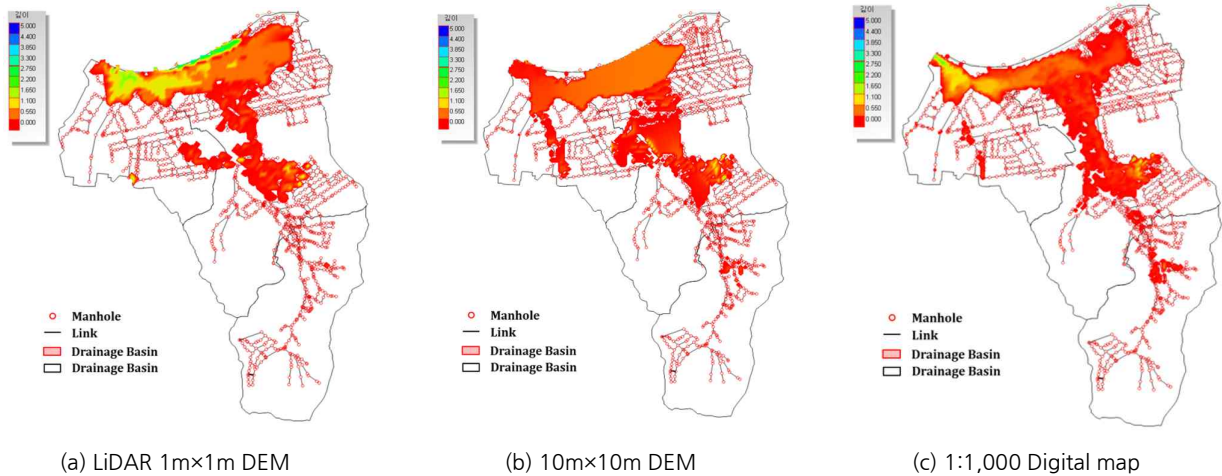


Fig. 10. Simulation Result of Surface data Detail

4.3.2 지형자료별 침수해석결과

SWMM의 유출해석결과에 대해 TUFLOW 모형을 이용하여 3종류의 수치표고자료별로 침수해석을 시행하였다. 유출해석에서 침수모의로 이어지는 과정은 XP-SWMM모형을 통해 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 10 및 Table. 8 ~ Table. 11과 같다.

Table 8. Flooded area according to Surface data

Flooded depth	(a) LiDAR 1m×1m DEM	(b) 10m×10m DEM	(c) 1:1,000 Digital map
Total	905,205 m ²	804,743 m ²	886,849 m ²
~0.5m	470,074 m ²	791,251 m ²	714,813 m ²
0.5m~1m	286,369 m ²	12,476 m ²	123,656 m ²
1m~2m	83,634 m ²	944 m ²	41,972 m ²
2m~3m	43,586 m ²	72 m ²	6,378 m ²
3m~	21,542 m ²	0 m ²	30 m ²

Table 9. Flooded area of Basin using LiDAR 1m×1m DEM

Flooded depth	Darim Basin	Sinrim 3 Basin	Sinrim 4 Basin
Total	222,188 m ²	12,272 m ²	670,745 m ²
~0.5m	77,219 m ²	12,272 m ²	380,583 m ²
0.5m~1m	52,269 m ²	0 m ²	234,100 m ²
1m~2m	73,536 m ²	0 m ²	10,098 m ²
2m~3m	16,141 m ²	0 m ²	27,445 m ²
3m~	3,023 m ²	0 m ²	18,519 m ²

Table 10. Flooded area of Basin using 10m×10m DEM

Flooded depth	Darim Basin	Sinrim 3 Basin	Sinrim 4 Basin
Total	264,817 m ²	15,275 m ²	524,651 m ²
~0.5m	264,114 m ²	15,219 m ²	511,918 m ²
0.5m~1m	703 m ²	56 m ²	11,717 m ²
1m~2m	0 m ²	0 m ²	944 m ²
2m~3m	0 m ²	0 m ²	72 m ²
3m~	0 m ²	0 m ²	0 m ²

Table 11. Flooded area of Basin using 1:1,000 Digital map

Flooded depth	Darim Basin	Sinrim 3 Basin	Sinrim 4 Basin
Total	191,547 m ²	29,985 m ²	665,317 m ²
~0.5m	82,702 m ²	29,434 m ²	602,677 m ²
0.5m~1m	63,390 m ²	551 m ²	59,715 m ²
1m~2m	39,182 m ²	0 m ²	2,790 m ²
2m~3m	6,273 m ²	0 m ²	105 m ²
3m~	0 m ²	0 m ²	30 m ²

Table 8에 따른 지형자료별 침수면적은 LiDAR 1m×1m DEM를 활용하였을 경우 905,205 m², 10m×10m DEM을 활용한 경우 804,743 m², 1:1,000 수치지형도를 활용한 경우 886,849 m²으로, 3개 지형자료간 총 침수면적의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나, 대규모 재산피해와 인명피해를 유발할 수 있는 침수심 1m 이상의 지역에 대해, 10m×10m

DEM을 이용하는 경우는 거의 나타나지 않았으며, 특히 대림 배수분구에서는 고위험 지역이 전혀 표현되지 못하였다. 이러한 측면에서 볼 때, 10m×10m DEM의 경우 표고 자료의 정확도와 밀도 측면에서 도시지역 저지대를 표현하는 데 한계가 있는 것으로 판단된다. 이와는 달리, LiDAR DEM을 활용한 경우 공간좌표의 해상도가 높아 건물과 도로가 밀집된 도심지역의 지형을 적절히 반영하여 침수지역을 세밀하게 나타내었고, 지표수가 흘러 하류로 모여드는 구간을 적절히 반영한 것으로 판단된다.

또한, 신림4 배수분구의 경우, 10 m DEM을 이용한 침수해석결과가 LiDAR 및 1:1,000 수치지도의 결과와 큰 차이를 보이고 있다. 본 지역의 북동쪽에는 다수의 월류 맨홀이 존재하고 있으며, 1:1,000 수치지도를 기반으로 제작한 10 m DEM을 활용한 침수해석 결과와 LiDAR DEM 결과는 비슷한 형상으로 침수지역을 잘 나타내었으나, 10 m DEM을 이용하는 경우에는 나타나지 않았으며, Fig. 11은 이를 나타낸 것이다. 즉, SWMM모형의 관망해석 결과상 월류가 발생하는 맨홀로 나타난 지역에서, TUFLOW모형을 통한 범람흐름 해석시는 침수가 없는 지역으로 나타난 것이다.

1:1,000 수치지도는 오차범위가 최대 ±0.40 m로 지형을 전반적으로 잘 묘사하여 1 m LiDAR 결과와 비슷하게 나타난 것으로 판단되고, Fig. 11의 월류 맨홀 중 10 m DEM을 이용한 경우, 범람이 이뤄지지 않은 맨홀에 대해 상세 지형정보를 검토한 결과는 Fig. 12와 같으며, 해당지역은 LiDAR 지형에는 표고값이 14 m로 나타났으나, 10m DEM에서는 17 m로 상당히 높은 표고값을 갖고 있어, 침수해석이 이뤄지지 못하였다.

즉, SWMM을 통한 관망의 유출해석에서 지표면 표고는 하수관망 GIS상 구축된 맨홀의 상단고가 입력되며, 이를 바탕으로 월류 여부가 판단된다. 그러나, TUFLOW 해석에서 맨홀 부근의 지표면 표고는 수치표고자료(DEM) 정보를 바탕으로 하게 되므로, 실제 맨홀에서 월류가 발생하더라도, 수치표고자료가 맨홀 상단고 정보보다 높으면 월류에 따른 침수모의가 이뤄지지 않게 된다. 본 연구대상 지역에서 발생하는 침수심은 0.5~1 m 구간에서 가장 넓게 나타나나, 1:5,000 수치지도를 기반으로 생성된 10m급 DEM은 표고값의 정확도가 ±2 m로 낮아 일부지역에서는 적절한 침수모의가 이뤄지지 못하였다. 이와 같이 지형자료가 정확하지 못한 경우에는 침수위험지역이 과소 평가될 수 있으며, 특히 서울의 도시지역에 많이 분포하는 반지하구조의 건물이 있는 지역에서 지형자료의 부정확성으로 침수위험이 없는 것으로 검토되는 경우, 반지하층으로 집중되는 맨홀의 월류수를 평가하지 못해 침수위험이 없는 것으로 검토될 소지가 있게 된다.



Fig. 11. Flooded area of Surface data Detail

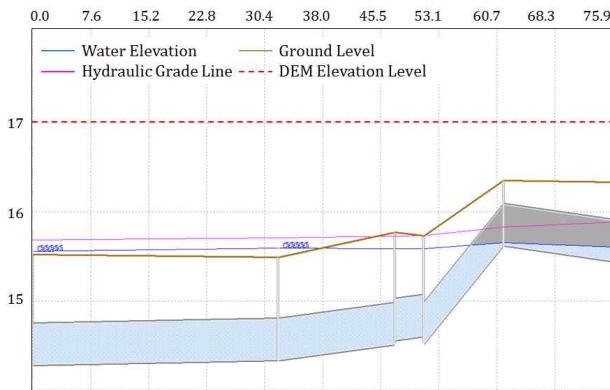


Fig. 12. Difference Ground Elevation and 10m DEM

5. 결론

기후변화에 따른 집중호우로 인해 도시지역에서 침수피해가 빈번히 발생하고 있으며, 이에 따라 침수위험지역을 사전에 예측하고, 침수예방대책을 수립하는 것이 중요해 지고 있다. 도시지역은 주거지와 상업지역이 밀집되어 있어, 단시간의 집중호우로도 막대한 피해를 발생시키게 되며, 지하상가, 지하철 역사, 반지하 가옥과 같은 경우는 지표수가 집중되어 인명피해의 우려도 예상된다. 따라서, 도시지역에서 침수위험지역을 정확하게 예측하는 것이 필요하며, 침수위험지역 예측에 있어서는 해석모형과 함께 지형자료의 수준이 중요한 요소가 된다. 현재까지 국내에서는 주로 해석모형에 치중한 연구가 수행되어 왔으며, 지형자료 자체가 침수해석에 미치는 영향에 대해서는 충분한 연구가 진행되지 못하였다. 이에 본 연구에서는 그동안 많은 연구에서 사용해 온 1:5,000 수치

지도기반 10급 DEM의 적용성을 검토하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 2010년과 2011년 침수피해가 발생한 도림천 유역의 대림, 신림 3, 4 배수분구를 대상으로 도시유출해석을 위한 모형을 구축하였다. 그리고, 유출해석결과를 바탕으로 1:5,000 수치지도기반 10급 DEM, 1:1,000 수치지도기반 10급 DEM과 Lidar기반 1m급 DEM별로 침수해석을 수행하였다.

(2) 1:5,000 수치지도기반 10급 DEM 기반 침수해석결과는 보다 정밀하고 정확한 표고정보를 갖는 DEM들 기반 침수해석 결과와 총 침수면적의 차이는 크지 않았으나, 침수심 1 m 이상의 지역에 대해, 10m×10m DEM을 이용하는 경우는 침수심이 거의 나타나지 않았으며, 특히 대림배수분구에서는 고위험 지역이 전혀 표현되지 못하였다. 이러한 측면에서 볼 때, 10m×10m DEM의 경우 표고 자료의 정확도와 밀도 측면에서 도시지역 저지대를 표현하는 데 한계가 있는 것으로 판단된다.

(3) 신림 4 배수분구에서 10급 DEM을 이용하는 경우에는 월류가 발생하는 맨홀에 대해 DEM상 표고값 오차로 인해 침수가 없는 것으로 나타났다. 즉, SWMM모형의 관망해석 결과 상 월류가 발생하는 맨홀로 나타난 지역에서, TUFLOW모형을 통한 범람흐름 해석시는 침수가 없는 지역으로 나타난 것으로, 범람해석시 지형자료의 중요성을 확인할 수 있었다.

(4) 침수위험지역이 과소 평가되는 경우, 도시홍수를 방어

하기 위한 시설계획을 수립하고, 대피활동 등 방재활동을 사전에 준비하는데 있어서 오류를 범할 수 있으므로, 침수해석을 수행하는 경우 지형자료의 선택에 신중을 기하여야 한다.

인구와 건물, 상업시설 등이 밀집되고 불투수층이 많은 도시지역에서 집중호우에 의한 침수피해는 더욱 증가될 것으로 예상되고 있다. 이러한 도시지역에서 침수지역을 예측하기 위해서는 더욱 정확한 침수예측이 필요하다. 특히, 지역의 특성에 맞는 침수해석을 위해 정밀한 지형자료와 적절한 크기의 DEM을 활용한 침수해석이 중요하다. 적절한 해상도를 적용한 침수해석으로 지형을 잘 반영한 침수모의는 침수위험지역과 대피로 파악 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구개발사업의 연구비지원 [13AWMP-B066744-01]에 의해 수행되었습니다.

References

- Back, J.K. (2006) "Application and estimation of numerical modeling for urban flood inundation analysis" Master's Thesis, Kyongbuk University (in Korea)
- Choi, J.H. (1993) "Analysis of urban runoff models for the design of detention ponds" Master's Thesis, Kyonggi University (in Korea)
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988) *Applied hydrology*. McGraw-Hill
- Ha, C.Y., Han, K.Y., Cho, W.H. (2010) "2-D inundation analysis according to post-spacing density of DEMs from LiDAR using GIS" *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, KOGSIS*, Vol. 13, No. 1, pp. 74 ~ 88.
- Huber, W.C., and Dickinson, R.E. (1988) "Stormwater management model, version 4: user's manual Ver. 2.1" U. S. Army Corps of Engineers.
- Kwon, O.J., Kim, K.H. (2006) "A study on the generation of DEM for flood inundation simulation using NGIS digital topographic maps" *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science, KOGSIS*, Vol. 14, No. 1, pp. 49 ~ 55.
- Lee, C.H., Han, K.Y., Noh, J.W. (2006) "Development of urban inundation analysis model using dual-drainage concept" *Journal of Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 26, No. 4B, pp. 379 ~ 387.
- Lee, J.H., Yeon, K. S. (2008) "Flood inundation analysis using XP-SWMM model in urban area." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation, KOSHAM*, Vol. 8, No. 5, pp. 155 ~ 161.
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2002). "Dorim-stream basin river master plan report, Technical Report" (in Korean).
- NGII(National Geographic Information Institute) (1998) "A Strategic Plan for National Elevation Data Generation (I)" (in Korea)
- NGII(National Geographic Information Institute) (1999) "A Strategic Plan for National Elevation Data Generation (II)" (in Korea)
- NGII(National Geographic Information Institute) (2002) "Working Rule Agreement for Digital Elevation Data" (in Korea)
- NGII(National Geographic Information Institute) (2006) "Multi-dimensional Spatial Information Construction Project" (in Korea)
- NGII(National Geographic Information Institute) (2012) "Working rule agreement for airborne photogrammetry" (in Korea)
- Phillips, B.C., Yu, S., Thompson, G.R., and Silva, N.de. (2005). "1D and 2D modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW." *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark, August 2005, pp. 21 ~ 26.
- Seo, K.W. (1991) "Runoff characteristics analysis of urban runoff experiment catchment due to application of urban runoff models" *Journal of Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 24, No. 6B, pp. 521 ~ 528.
- Seoul Metropolitan Government Flooded area map, Available at : <http://safecity.seoul.go.kr>(Accessed: September, 22, 2015)
- Son, A.L., Kim, B.H., Han, K. Y. (2015) "A study on prediction of inundation area considering road network in urban area" *Journal of the Korean Society of Civil Engineers, KSCE*, Vol. 35, No. 2, pp. 307 ~ 318.
- TTA(Telecommunications Technology Association) (2009) "Production Procedure for Digital Elevation Model" (in Korea)