Journal of Wetlands Research, Vol. 15, No. 4, pp. 585-593 (2013)

설계 강우량의 재현빈도 변화에 따른 도시유역의 침수특성 분석

박인혁 · 하성룡+

충북대학교 도시공학과

An Analysis on Inundation Characteristics of Urban Watershed according to Variation in Return Period of Design Rainfall

InHyeok Park · SungRyong Ha+

Department of Urban Engineering, Chungbuk National University, Cheongju city, Korea

요 약

본 연구는 강우 시 지표수의 관거 내 재유입을 고려할 수 있는 이중배수체계 모형을 활용하여 청주시의 설계 강우량에 따른 도시 유역의 침수를 모의하고 설계 강우량의 재현기간 변화에 따라 달라지는 침수특성을 분석하고자 한다. 이를 위해 청주시의 LiDAR 데이터로부터 1m × 1m 해상도의 지표고도모델을 구축하여 입력 자료로 활용하였으며, 재현기간별 설계 강우량을 수문 입력 자료로 활용하였다. 분석 결과, 재현기간이 증가함에 따라 홍수량은 선형적인 증가를 보이지만, 침수면적은 재현기간 30년 이후 증가율이 완화되는 것으로 나타났으며, 평균 침수심의 경우 재현기간 30년 설계 강우량과 재현기간 200년 빈도 설계 강우량을 사용한 경우에 큰 폭의 증가가 발생했다. 한편 대상지역 내 주요 지점에 대한 통수부족량 산출 결과, 재현기간 10년의 설계 강우량을 활용한 경우에는 모두 통수 부족이 발생하지 않았으나 그 이상의 설계 강우량부터 통수부족이 발생하였다. 대상 지역 전체에 대한 통수 부족량 산출 결과, 재현기간 10년 이상의 설계 강우량부터 통수 부족량이 큰 폭으로 증가하나 설계 강우량의 재현기간이 50년을 넘어가면 통수 부족량의 증가율이 둔화되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 도시침수, 이중배수체계, 통수능력, DSM(Digital Surface Model)

Abstract

This study aims to investigate inundation characteristics such as inundated area, inundation depth according to variation in return period of design rainfall and to draw a comparison between the inundation characteristics by adapting design storm using dual-drainage model. Lidar data is used to construct terrain data with 1m × 1m resolution in Cheongju. The designed storm by return periods(10year, 30year, 50year and 200year) are acquired from Intensity Duration Frequency curve, which are distributed in 5 minutes interval using Huff's method. As a results, the inundation volume is linearly increased, but inundated area is gradually increased in accordance with swell of return period for design storm. On the other hands, as a result of calculating discharge capacity for each points, deficit of discharge capacity is not observed using designed storm of 10 year return period at every points. If the return period is increased up more than 10 years, both the deficit of discharge capacity for each PT and entire study area are enlarged drastically.

Keywords *: Urban* Inundation, Dual Drainage, Sewer Drainage Capacity, DSM(Digital Surface Model)

1. 서 론

최근 도시는 기후변화에 의한 피해규모가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 국내의 경우 2002년 002년 8월 30일~9월 1일까지 태풍 '루사' 에 의해 강릉지방에는 200년 빈도를 상회하는 강도를 가진 강우량(일 최대 강우량 870mm)이 발생하여 246명이 사망하였고, 약 5조 1,800억원의 재산피해를 입었다. 2007년 9월 16일 태풍 '나리'로 인해 제주 성판악 일대는 일최대 556mm의 강우가 발생하여 13명이 사망하고, 약 1,500억원의 피해를 일으켰다. 또한 2010년 9월 21일~9월 22일까지 서울특별시에 평균 259mm의 강우가 발생하여 9,000가구 이상이 침수되었다. 전술한 바와 같이 도시에서 발생할 수 있는 대표적인 기후변화에 의한 피해는 침수 및 하수역류 등을 들 수 있다. 이러한 침수 등의 피해 원인은 첫째, 도시화에 따른 불투수면적의 증가로 인한 유역의 유달시간 및 침투량 감소로 인한 유출량 증가를 들 수 있으며, 둘째 하수관거의 통수능을 초과한 하수의 월류

+ Corresponding author : simplet@chungbuk.ac.kr

등을 들 수 있다.

국내의 경우 하수도시설기준에서 우수관거의 설계빈도를 10~20년으로 상향 조정했지만, 최근 강우특성과 같이 100년 빈도를 상회하는 강우가 발생될 경우에는 관거의 용량부족으로 인한 침수피해는 지속적으로 발생할 것이다. 따라서 도시지역의 침수피해에 효과적으로 대응하기 위한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다. 국내 연구로 Shin et al.(2007)은 도시유역의 홍수유출해석을 위하여 Hec-Ras와 XP-SWMM을 이용하여 도심지의 홍수량을 산정하였고, Lee et al.(2006)은 Dual-Drainage 개념에 의하여 도시침수해석모형을 개발하였으며, Shon et al.(2010)은 SWMM 모형을 이용하여 도시지역의 침수 취약성을 통수능력과 연계하여 평가하였다. 국외 역시 도시지역의 침수에 연구는 꾸준하게 증가하고 있으며 모형 개발 및 매개변수 설정 방법 개선 등의 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있다. Pathirana et al.(2011)은 SWMM과 2차원 침수모형의 비교를 통해 침수피해 등을 평가하였고, Shubert & Sanders(2012)는 도시 침수 해석 시 건물 처리에 관한 연구를 수행하였다. 그러나 도시유역의 침수는 특정 지점의 동적인 하수량의 변화보다는 하수배수체계에서의 흐름양상과 지형적인 요인이 결합된 복합적인 문제이기 때문에, 주요 간선 관거만을 모의한다거나 지표수의 재유입이 고려되지 않는다면 정량적인 통수능력의 검토가 어려울 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서 강우 시 월류수 혹은 지표수의 관거 내 재유입을 고려할 수 있는 이중배수체계모형을 활용하여 대상유역의 전 관거를 대상으로 설계 강우량에 따른 도시 유역의 침수를 모의하고 설계 강우량의 재현기간 변화에 따라 달라지는 침수특성을 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 유역의 개황

본 연구의 대상지역은 충청북도 청주시의 상습침수지역으로 청주시를 가로지르는 무심천의 우안에 위치하고 있다. 북동쪽으로는 우암산(EL.343m)이 자리하고 있으며 남서쪽으로 무심천이 흐르고 있다. 산악지형을 제외한 대상지역의 표고는 최저 EL.38.15m에서 최고 EL.42.5m이며 평균 EL.40.46m로 무심천의 계획홍수위인 EL.39.69m보다 낮은 지역이 많은 특징을 갖고 있다. Fig. 1은 대상지역을 나타낸 것으로 대상지역은 단독주택지 위주의 전형적인 주거지를 나타내며 대상지의 중심부에 상업시설이 일부 집중되어 있다. 대상지역의 불투수율은 약 96%이며 유역면적은 11.84km^{2}이다. Fig. 2는 대상지역 내 매설된 관거의 설계년도를 나타내는 것으로 총 관거연장 16.4km 중 5년 빈도 이하의 관거가 15.1km로 전체의 약 92%에 해당하였으며 10년 빈도의 관거는 1.3km로 나타났다. 하수관거의 유하방향이 남동에서 북서쪽으로 유하되고 있는 형태로 10년 빈도의 하수관거는 주로 차집관거를 따라 매설되어 있는 특징을 나타낸다.

Fig. 1. Study area

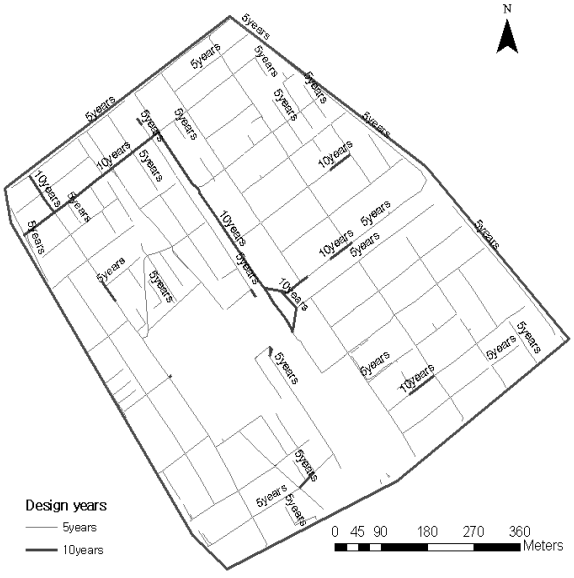


Fig. 2. Design year map of conduits in the study area

2.2 도시표면정보를 고려한 지형자료의 구축

도시지역은 다양한 구조물에 표면이 점유되어 있어 침수 시 침수체적을 감소시켜 침수심과 침수면적의 상승을 유발한다. 이와 같은 도시유역의 침수특성을 분석하기 위해서는 정밀한 해상도의 자료가 필요하다. 일반적으로 지형자료는 크게 표면의 고도자료를 활용하여

표고모델을 제작하는 경우(Digital Elevation Model; DEM)와 노면 위에 건설된 구조물 등의 높이를 함께 고려하는 경우(Digital Surface Model: DSM)로 구분할 수 있다. 특히 최근 측량기술의 발달로 인해 LiDAR측량이 가능해 짐에 따라 1m × 1m 해상도 이하의 DSM을 생산할 수 있게 되었다. 이러한 LiDAR자료를 활용하여 도시유역의 침수해석을 수행할 경우 모의결과의 재현력과 정확성이 높다고 알려져 있다(Lichti et al, 2008).

본 연구에서는 침수모의를 위한 지형자료 구축 시, LiDAR 측량자료에 의한 1m × 1m 해상도 자료를 활용하였으며, 각 구조물의 표고를 직접 활용하여 지표수가 침입할 수 없는 영역을 설정하는 방식을 활용하여 지형자료를 구축하였다. Fig. 3은 입력 자료로 활용한 DSM을 나타내며 a-b의 단면에서와 같이 도시표면의 구조물의 표고를 고려하여 건물에 의한 침수특성을 변화를 반영하고자 하였다.

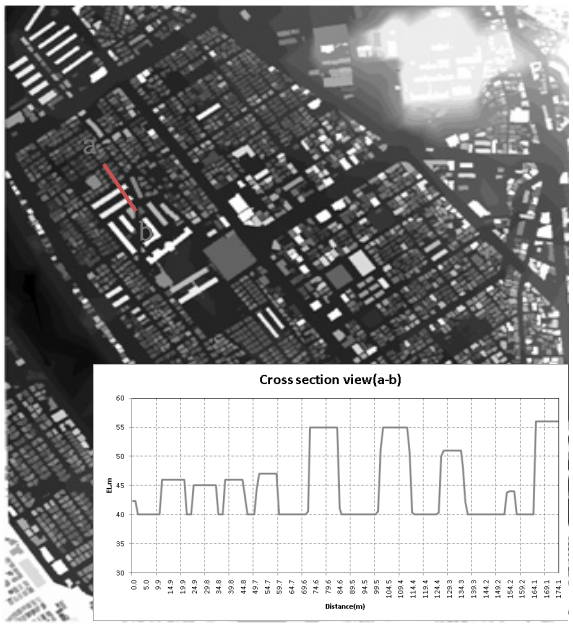


Fig. 3. Example of terrain data & cross-sectional view of a-b

2.3 이중배수체계 모형의 개요

이중배수체계(Dual-Drainage)는 Djordjevic(1999)이 제안한 개념으로 과거 도시침수에서 활용되던 모형의 단점인 지표 월류량 등이 없어지거나 맨홀에 저류된다는 가정을 보완하기 위해 탄생하였다. 이중배수체계모형은 지표면 유출수의 관거 내 재유입을 설명하기 위해 지표면 유출과 관거 유출을 각각 관련 방정식과 매개변수 등을 통해 해석하고 각각의 결과를 연동하여 모의한다. 궁극적으로는 표면유출 모델과 관거유출 모델을 맨홀의 좌표 및 표고, 지표면 수치표고모델의 좌표 및 표고와 결합한다. 이중배수체계모형은 통상적으로 우수받이, 맨홀, 관거 등으로 구성되는 마이너 시스템(minor system), 도로, 통행로와 같은 지표 유출수의 이동경로를 의미하는 메이저시스템(major system), 강우 시 마이너시스템의 통수능을 초과하여 메이저시스템의 표면으로 월류되는 지표월류수(exceedance flow)로 구성된다.

대표적인 이중배수체계 모형으로 Hydrosoft사에서 개발한 XP-SWMM 2D 모형을 들 수 있다. XP-SWMM 2D는 미국 EPA의 SWMM (Storm Water Management Model)모형과 호주 WBN사에서 개발한 2차원 침수해석용 Full Dynamic 엔진인 TUFLOW (Two dimensional Unsteady FLOW)를 결합한 모형이다. 본 모형은 1차원 배수관망 해석은 물론 2차원 지표수 흐름을 해석할 수 있도록 개발되었으며 표고자료 입력 시 자체적인 DTM (Digital Terrain Model)을 생성하여 지표수의 동적인 흐름을 모의할 수 있다. 또한 저류지 최적 설계를 위한 별도의 모듈을 제공하고 있으며 재해도 작성을 위한 다양한 위험도 평가기법을 제공한다. 본 모형의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial (Hu)}{\partial x}+\frac{\partial (Hv)}{\partial y}=0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}-c_f v+g\frac{\partial \zeta}{\partial x}+gu\left(\frac{n^2}{H^{4/3}}+\frac{f_1}{2g\partial x}\right)\sqrt{u^2+v^2}-\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}=F_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+c_f u+g\frac{\partial \zeta}{\partial y}+gv\left(\frac{n^2}{H^{4/3}}+\frac{f_1}{2g\partial y}\right)\sqrt{u^2+v^2}-\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}=F_y$$

여기서, ζ는 수면고도, u는 X방향의 깊이에서 평균 유속, v는 Y방향 깊이에서 평균 유속, H는 수심, t는 시간, x는 X방향의 거리, y는 Y방향의 거리, c_f는 코리올리 힘 계수, n은 조도계수, f_1은 형상손실계수, μ는 모멘텀 수평 확산 계수, p는 대기압, ρ는 물의 밀도, F_x와 F_y는 X와 Y방향에서 외부 작용력의 합

XP-SWMM 2D는 지표수의 하수관거로의 재유입이 가능하도록 모형을 설정할 수도 있으며, 특히 침수에 의한 지표수도 재유입 대상에 포함된다. 그러나 국내에는 지표수의 측구를 통한 재유입에 대한 연구가 진행되지 않아 측구 혹은 맨홀의 유입계수 등을 국내 상황에 맞게

설정할 수 없는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 XP-SWMM 2D모형을 활용하여 지표수의 하수관거 내 재유입을 고려하되, 재유입 계수 등과 같은 매개변수는 모형에서 제공하는 기본 값을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모형의 구축

침수특성 분석을 위해 대상유역의 하수관거 정보를 취합하여 모형을 구축하였다. 침수특성의 정확한 분석을 위해 해당 유역의 모든 관거를 모의대상으로 설정하였다. 따라서 기존 소유역 기반의 모형과 달리 맨홀의 집수면적을 수리계산서를 통해 구득하여 모형의 입력 자료로 활용하였다. 대상유역의 하수관거 연장은 총 31.5km이며 평균 관경은 750mm로 분석되었다. 일부 차집 관거를 제외하면 대부분이 원형 관거인 것으로 조사되었다.

모형의 보정을 위한 강우사상은 2012년 10월 22일에 관측된 강우사상(강우량 : 37.5mm, 강우강도 : 3.4mm/hr)을 선택하였고 침수특성 분석을 위한 강우사상은 2012년 8월 15일에 관측된 강우사상(총강우량: 165mm, 강우강도 : 16.5mm/hr)을 선택하였다. 이는 실제 침수가 발생했던 시점에 하수관거 내 유량조사가 수행되지 않아 모형의 보정과 침수특성 분석을 위한 강우사상을 별도 선정하였으며 보정을 수행했던 10월 22일 강우 시에는 대상 유역 내에 침수가 발생하지 않았다. 모형 구축 시 활용한 조도계수는 선행연구를 통해 검증된 값을 사용(콘크리트 관 : 0.014(Maidment, 1993))하였으며, 대상지역의 전체 맨홀을 대상으로 모형을 구축하였기 때문에 맨홀별 집수면적은 수리계산서의 제공값을 사용하였다. 또한 지표수의 맨홀로의 재유입은 모형에서 제공하는 PRE-2009 방법을 활용하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$Q = A \times (d - h)/t$$

여기서, A는 맨홀의 집수면적, d는 2차원 수심, h는 맨홀의 표고, t는 모의시간간격

Table. 1. Summary of model parameters

Variables	Values
Num. of nodes	588
Area of nodes(ha)	0.01~22.81(AVG: 0.94)
Manning's n	0.014
Impervious ratio	0.84~0.95
Num. of conduits	615
Diameter(m)	0.05~3.0(AVG: 1.08)

Table 1은 대상지역의 모형구축결과의 주요 변수를, Fig. 4는 대상지역의 관거현황 및 모형구축결과를 나타낸 것으로 대상지의 588개의 맨홀과 615개의 관에 대해 모형을 구축하였다.

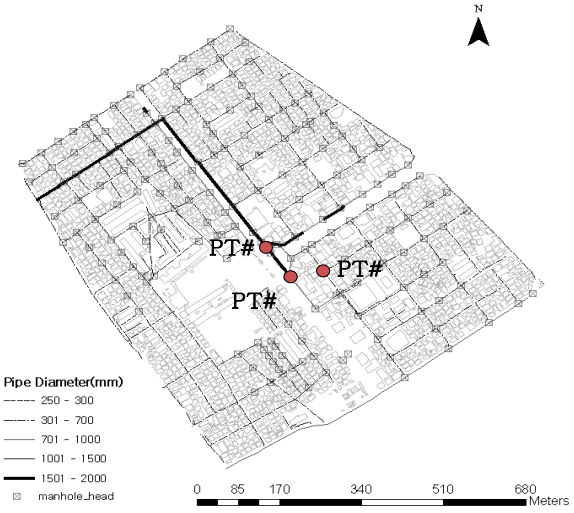


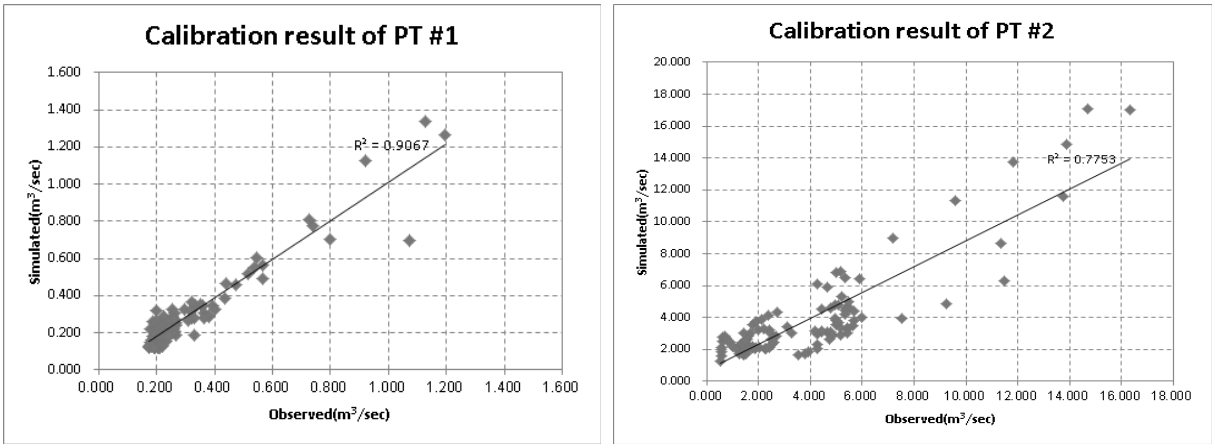
Fig. 4. Sewer diameters & model establishment result

3.2 모형의 보정

이중배수체계모형의 특성상 하수관거의 하수량이 지표면 침수에 미치는 영향을 고려할 수 있는 점을 감안하여 본 연구에서는 하수관거의 흐름을 실측 유량자료를 활용하여 보정하였다. 통상적으로 침수 발생 시 침수깊이에 대한 조사는 이루어지지 않고 침수흔적조사 등을 통해서 침수영역만을 확인하는 것이 일반적인 형태이므로 침수영역 혹은 침수깊이를 이용하여 지표면의 매개변수를 보정하는 것은 어려움이 있다. 따라서 하수관에서의 흐름을 가급적 정밀하게 모의하게 지표면의 매개변수를 문헌 등에서 제시한 값을 이용하여 침수를 모의하였다.

Fig. 4에서의 3지점(PT#1, PT#2, PT#3)은 연구 대상지역 내에서 비교적 침수심이 깊은 지역으로 3개의 지점 중 PT #1과 PT #2 지점의 하수관거에 유량계를 설치하여 2012년 10월 22일 강우 시 하수량을 관측하고 이를 활용하여 모형의 보정을 수행하였다.

모형의 보정 결과 두 지점 모두 R2가 0.7 이상으로 재현력이 양호한 것으로 나타났으며(Fig. 5) 특히 PT #1의 경우 전체적인 유출 패턴이 실측값과 유사한 것으로 나타났다. 반면 PT #2의 유출 패턴은 다소 실측값과 상이하나 평균 유량의 경우 PT #1보다 정확도가 높은 것으로 나타났다. Table 2는 모형의 보정결과를 나타낸다.



(a) PT #1 (b) PT #2

Fig. 5. Calibration results for each PT

Table 2. The summary of calibration results

Points		Min (m^3/sec)	Max (m^3/sec)	AVG (m^3/sec)	R2
PT #1	Obs.	0.174	1.196	0.293	0.91
	Sim.	0.123	1.341	0.276	
PT #2	Obs.	0.547	16.340	3.727	0.76
	Sim.	1.234	17.110	3.729	

3.3 지속시간별 설계 강우량의 산출

연구 대상지역 하수관거 통수능력의 검토를 위해 설계 강우사상을 산출하였다. 설계 강우사상은 청주지역의 IDF(Intensity Duration Frequency) 곡선을 통해 재현기간 10년, 30년, 50년, 200년 빈도의 1시간 지속강우를 대상으로 선정하였다. Fig. 6은 청주지역의 IDF 곡선을 나타내며 Table 3은 지속시간에 따른 설계 강우량을 나타낸다. 청주지역의 1시간 지속 설계강우량은 재현기간별로 60.71mm(10년 빈도), 72.49mm(30년빈도), 78.05mm(50년 빈도), 93.39mm(200년 빈도)로 나타났으며, 본 연구에서는 재현기간 10년~200년까지의 설계 강우량을 수문 입력 자료로 활용하였다. 여기서 100년빈도 설계 강우량은 50년빈도 설계 강우량과 차이가 크지 않아 200년 빈도의 극한 강우를 선택하였다.

설계 강우량의 시간분포는 Huff의 시간차분법을 활용하여 Huff 2분위로 시간 차분하였다. Fig. 7은 Huff 2분위에 의한 재현기간별 1시간 지속 설계 강우량의 우량주상도를 나타낸다.

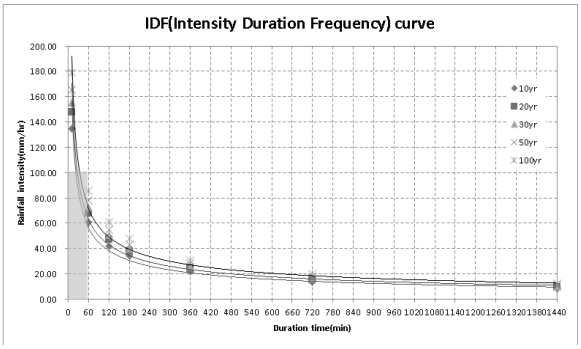


Fig. 6. IDF curve of Cheongju

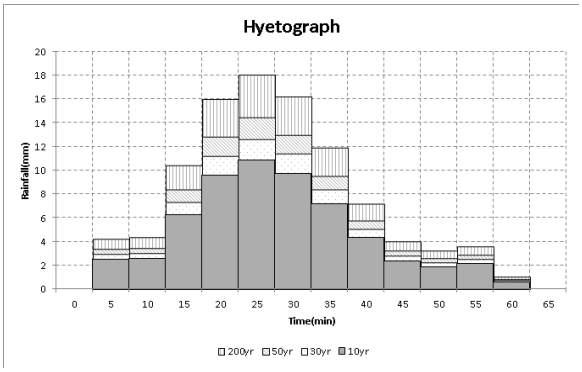


Fig. 7. Hyetograph of design storm

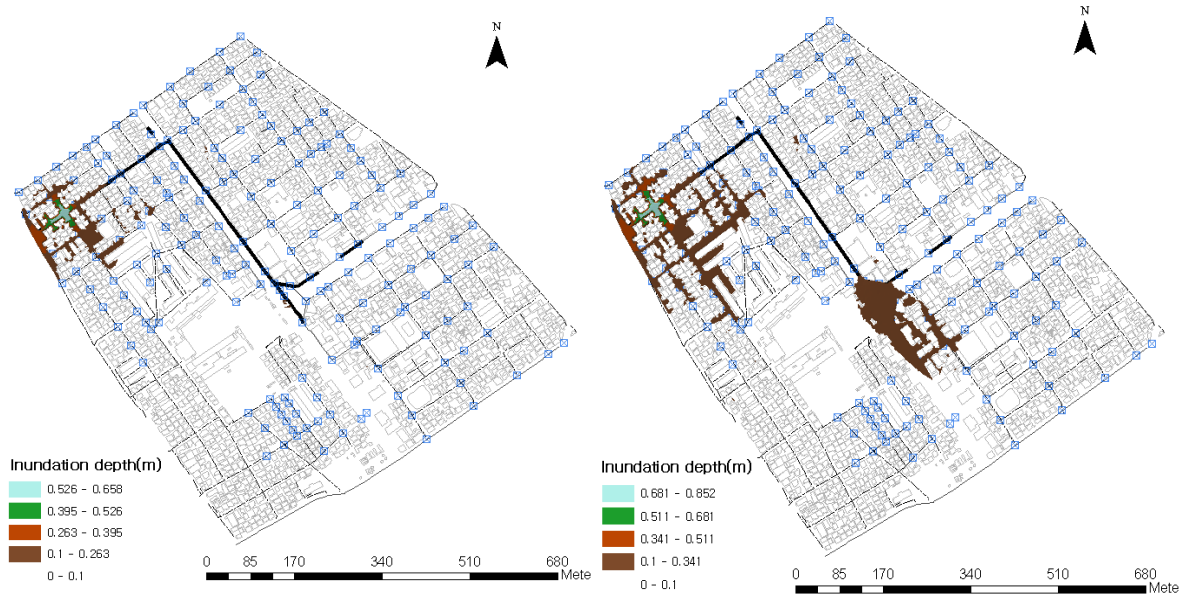
Table 3. Designed rainfall for each return period by duration time(min)

Return Period	Duration time(min)						
	10	60	120	180	360	720	1440
10yr	22.42	60.71	83.35	102.87	132.23	164.95	196.56
30yr	25.91	72.49	101.58	120.96	156.42	198.21	243.18
50yr	27.57	78.05	110.16	129.99	168.26	214.28	265.49
100yr	29.86	85.67	121.90	142.92	185.00	236.75	296.43
200yr	32.2	93.39	133.76	156.72	202.54	260.01	328.17

3.4 설계 강우량별 침수특성 비교

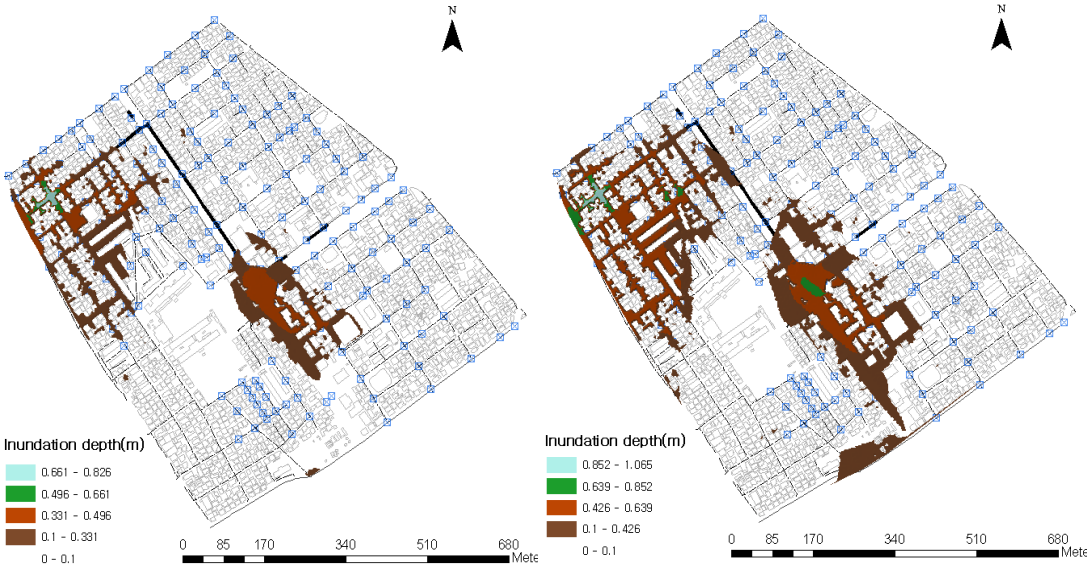
입력 수문자료에 따른 침수해석 결과는 Fig. 8과 같다. Fig. 8은 침수면적이 최대일 때의 침수심의 분포를 나타낸다. 연구대상지역의 침수 발생은 북서쪽에 위치한 유역의 말단부에서 침수가 주로 발생하는 것으로 나타났다. 특히 30년 빈도 이상의 설계 강우가 발생하였을 경우, 유역의 말단부 외에 지표수가 합류되는 삼거리에서 추가적으로 침수가 발생하는 것으로 나타났다. 강우량의 설계빈도가 증가함에 따라 침수깊이 10cm 이상의 지역은 10년 빈도 1.10 ha, 30년 빈도 3.63ha, 80년 빈도 5.71ha, 200년 빈도 10.13ha로 설계 강우량의 규모가 커짐에 따라 침수면적은 급격히 상승하는 것으로 나타났다.

Table 4는 재현기간별 침수특성을 요약한 결과로 재현기간이 증가함에 따라 침수량(m^3)과 침수면적(ha)은 설계 강우량의 빈도가 증가함에 따라 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 만일 각 시설별 한계 차집용량을 넘어서는 지표면 유출수가 유입되면 해당 시설과 연결되어 있는 하수관의 통수능에 여유가 있더라도 침수가 발생하기 때문에 일정 규모 이상의 강우가 발생하게 되면 침수용량 및 면적이 급격히 증가되는 것으로 판단된다. 침수심의 경우, 재현기간 30년에서 50년 빈도의 설계 강우량에 의한 증가폭이 약간 둔화되었을 뿐 전반적으로 강우량의 설계빈도가 증가하면 침수깊이도 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다.



(a) 10yr (b) 30yr

Fig. 8. Inundation depth maps at inundation peak(maximum inundated area)



(c) 50yr (d) 200yr

Fig. 8. Inundation depth maps at inundation peak(maximum inundated area) (continued)

Table 4. Summary of inundation characteristics at inundation peak(maximum inundation area)

Characteristics	Return period			
	10year	30year	50year	200year
Volume(m^3)	3,499.27	9,269.28	15,550.68	33,282.76
Area(ha)	4.54	6.72	8.60	12.91
Depth(m)	0.08	0.14	0.18	0.26

3.6 하수관거의 부족 용량 산출

전술한 바와 같이 도시지역의 침수는 해당 지역의 하수관거 통수능력의 부족에도 기인하지만 지표면 유출수 배제시설의 차집 용량을 초과하는 지표면 유출수가 유입되는 경우에도 발생하게 된다. Fig. 9는 대상지역의 50년 빈도 설계 강우량이 발생한 경우 맨홀별로 하수관거에서 월류되는 양을 나타낸다. 주요 침수지역에 대부분의 월류 맨홀이 분포하고 있는 것을 알 수 있으며 또한 침수가 발생하지 않은 지역에서도 월류가 발생하여 침수지역으로 지표면 유출수가 유입되고 있음을 알 수 있다. 침수지역 외에서 유입되는 지표면 유출수는 전체 지표면 유출수의 약 25%에 해당하는 양으로 침수지역 외의 지표면 유출수가 침수를 가중시키고 있는 것으로 판단된다.

대상지역내에서 지표면 유출수가 합류되는 3개 지점 직하류의 통수 부족량을 산출한 결과는 Table 5와 같다. PT #1의 경우 본 연구에서 검토한 모든 설계 강우에 대해 통수능력이 부족하지 않은 것으로 나타났으며 해당 지점의 침수발생은 상류에서 유입되는 강우 유출수와 상류 맨홀에서 월류된 하수에 의한 것으로 판단된다. 한편, PT #2의 경우 재현기간 10년 설계 강우량 하에서는 통수능력이 부족하지 않았으나 재현기간 50년에서 급격히 증가하여 재현기간 200년 설계 강우량에서는 통수부족량이 최대이지만 증가폭이 완화되는 것으로 나타났다. 이는 해당 지점의 상류부터 통수능력이 부족이 발생하여 본 지점으로 유입되는 하수량이 감소하여 일시적으로 통수능력이 확보되었기 때문으로 판단된다. PT #3의 경우 PT #2와 같이 재현기간 10년 설계 강우량에서는 통수 부족이 발생하지 않았으나 재현기간 50년 설계 강우 이후부터는 통수부족량이 큰 폭으로 증가하였다. 이는 상류에서 유입되는 지표 유출수 및 하수관거 월류수가 재현기간 50년 설계 강우량 이하에서는 해당지점까지 완전히 도달하지 못하나 재현기간 200년 설계 강우량부터는 해당 지점으로 유입되는 지표수가 많아졌기 때문으로 판단된다.

한편 대상지역 전체 통수 부족량을 산출한 결과는 Table 6과 같다. 재현기간 10년 설계 강우량에 대해서는 약 3600톤의 통수부족이 발생하였으나 재현기간 50년 설계 강우량부터는 통수부족량이 큰 폭으로 증가하여 재현기간 50년 약 18,000톤, 200년 약 28,000톤이 부족한 것으로 나타났다.

Table 5. Deficit of discharge capacity for each PT

PT	Deficit of discharge capacity(m^3/hr)		
	10year	50year	200year
PT #1	0	0	0
PT #2	0	0.031	0.014
PT #3	0	0.015	0.306

Table 6. Deficit of discharge capacity for study area

Return period	Deficit of discharge capacity	
	volume(m^3)	flow rate(m^3/hr)
10year	3,699.8	924.96
50year	18,886.9	4,721.74
200year	28,853.88	7,213.47

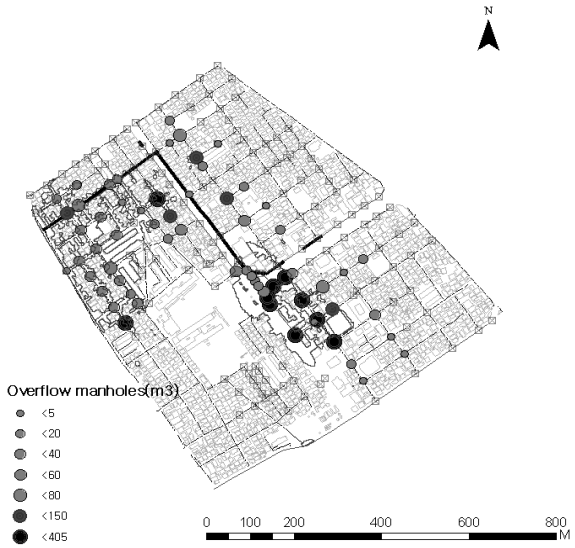


Fig. 9. The distribution map of overflowed manholes in 100yr of design storm

4. 결 론

본 연구에서는 이중배수체계모형을 활용하여 청주시 상습 침수구역을 대상으로 설계 강우량에 따른 침수특성을 분석하고 이로부터 하수관거 통수능력을 검토하였다. 이를 위해 대상지역의 LiDAR 데이터로부터 1m × 1m 해상도의 DSM을 구축하여 지형 입력자료로 활용하였으며, IDF 곡선에 의한 설계 강우량을 Huff의 시간차분법 활용하여 시간 강우량으로 환산하고 이를 수문 입력 자료로 활용하였다.

분석 결과, 설계 강우량의 설계빈도가 증가함에 따라 침수량 및 침수면적은 선형적인 증가를 보였으며, 평균 침수심의 경우 설계빈도 30년에서 50년까지의 구간간 증가폭이 완화됐을 뿐 전반적으로 강우량의 설계빈도가 증가함에 따라 침수심도 큰 폭으로 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 대상지역 내 주요 지점에 대한 통수부족량 산출 결과 재현기간 10년 빈도 설계 강우량을 활용한 경우에는 모두 통수 부족이 발생하지 않았으나 그 이상의 설계 강우량부터 통수부족이 발생하였다. 대상 지역 전체에서 발생하는 하수관거의 통수 부족량 산출 결과 재현기간 10년 설계 강우량 이하에서는 통수 부족량의 증감이 크지 않았으나 재현기간 10년 이상 설계 강우량부터 통수 부족량이 큰 폭으로 증가하다가 재현기간 50년 설계 강우량 이후 증가율이 둔화되는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과를 활용하여 침수저감 계획 수립 시 하수관거의 통수능력 외에 지표면 유출수 배제시설의 능력도 중요한 인자임을 고려하여 보다 효과적인 침수저감계획을 수립할 수 있을 것을 기대된다.

향후 연구에서는 도시 표면의 수두와 관로 경사에 의한 맨홀의 월류 가능성을 검토하고 이를 통해 상습 침수구역에 기인하는 맨홀을 선별 후 이로부터 침수 위험도를 분석하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 충북대학교 2011년 학술연구지원 사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Reference

Djordjevic, S, Prodanovic, D and Makximovic, C (1999). An approach to simulation of dual drainage, *Water*

Science and Technology, 39(5), pp. 95-103.

Lee, CH, Han, KY and Noh, JW (2006). Development of urban inundation analysis model using dual- drainage concept, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 26(4B), pp. 379-387. [Korean Literature]

Lichti, D, Pfeifer, N and Maas, HG (2008). Terrestrial laser scanning, ISPRS, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 1(63), pp. 1-3.

Maidment, David R (1993). *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York.

Pathirana, A, Tsegaye, S, Gersonius, B and Vairavamoorthy, K (2011). A simple 2D inundation model for incorporation flood damage in urban drainage planning, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, pp. 2747-2761.

Shin, SC, Yim, TK, Moon, YJ and Yoon, YS (2007). Analysis of flood discharge in urban area, *Proceedings of the 2007 conference of the Korea Water Resources Association*, Korea Water Resources Association, pp. 356-360. [Korean Literature]

Shon, TS, Kang, DH, Jang, JK and Shin, HS (2010). A study of assessment for internal inundation vulnerability in urban area using SWMM, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 10(4), pp. 105-117. [Korean Literature]

Shubert, JE and Sanders BF (2012). Building treatments for urban flood inundation models and implications for predictive skill and modeling efficiency, *Advances in Water Resources*, 41, pp. 49-64.

○ 논문접수일 : 2013년 05월 02일
○ 심사의뢰일 : 2013년 05월 03일
○ 심사완료일 : 2013년 11월 13일