



Application of multi-dimensional flood damage analysis in urban area

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

^aDepartment of Environmental Engineering, Inje University

^bDepartment of Environmental Engineering (Nakdong River Environmental Research Center), Inje University

^cDepartment of Civil and Environmental Engineering, Dankook University

^dDepartment of Environment Water Resource, Dongbu Engineering

Paper number: 17-036

Received: 14 April 2017; Revised: 10 May 2017; Accepted: 10 May 2017

Abstract

In case of inundation in a city where populations and properties are highly concentrated, unlike rural areas it is necessary to apply the method of calculating the damage amount considering the sewage overflow and the corresponding building damage. In this study, Dorim 1 drainage sector has been analyzed with Multi-Dimensional Flood Damage Assessment (MD-FDA) for flood forecast. It is analyzed with past flood history through the SWMM model and calculated the amount of damage with district base data and the result of flow analysis. The result of the SWMM model to predict a range of flood, it was shown that the wide area after 4 hours (at 16:30) by sewer overflow. The building damage was estimated using MD-FDA. As a result, the maximum flood area has shown as 205,955 m² (0~0.5 m: 205,190m², over 0.5 m: 865 m²) and estimated building damage of Dorim 1 drainage sector is approximately 15.5 billion KRW (Korean won) and other contents is 7 billion KRW (Korean won). Also from 0 to 0.5 m depth estimated damage is approximately 22.4 billion KRW (Korean won) and over 0.5 m is 100 million KRW (Korean won). Based on the results of this study, it would be necessary to estimate the amount of sub-divided flood damage in urban areas according to various damage patterns such as flood depth and flood time.

Keywords: SWMM, Flood damage, Building damage, Multy-Dimensional Flood Damage Analysis

도시지역 침수피해액 산정을 위한 다차원법 적용

탁용훈^a · 김영도^{b*} · 강부식^c · 박문현^d

^a인제대학교 환경공학과, ^b인제대학교 환경공학과(낙동강유역환경연구센터), ^c단국대학교 토목환경공학과, ^d동부엔지니어링 수자원환경부

요 지

인구와 자산이 밀집된 도시에서 침수가 발생할 경우 농촌과 달리 관거월류에 의한 건축물 피해가 지배적이기 때문에 이를 고려한 피해액산정기법의 적용이 필요하다. 본 연구는 도림천 유역의 도림1 배수분구를 대상으로 침수예측을 다차원 홍수피해산정방법을 통한 침수피해액 분석을 실시하였다. 과거 침수가 발생한 강우사상을 활용하여 XP-SWMM 모형을 통한 도시유출해석 및 침수해석을 실시하였고, 침수구역의 행정구역별 기초자료와 유출해석 결과를 활용하여 건물 피해액을 산정하였다. 침수범위를 예측하기 위한 XP-SWMM모형 구동 결과, 관거 월류에 의한 침수 발생 4시간 후인 16시 30분에 침수면적이 가장 넓게 나타났고, 계산된 침수심 별 침수면적을 다차원법과 연계하여 건물 피해액을 산정하였다. 연구 결과, 최대 침수면적은 305,955 m²으로 나타났으며, 0~0.5 m의 경우 305,190 m², 0.5 m 이상은 765 m²으로 나타났으며, 침수해석 결과를 활용한 도림1 배수분구의 건물피해액은 약 155억 원, 건물 내용물 피해액은 약 70억 원으로 산정되었고, 0~0.5 m 이하의 건물 및 건물 내용물 피해액은 약 224억 원, 0.5 m 이상 약 1억 원으로 산정되었다. 본 연구결과를 토대로 할 때, 도시지역의 침수피해액 산정을 위해 침수심 및 침수시간과 같은 다양한 피해양상에 따라 세분화된 피해액 산정기법이 필요할 것으로 판단된다.

핵심용어: XP-SWMM, 침수피해, 건물 피해액, 다차원법

*Corresponding Author. Tel: +82-55-320-3252
E-mail: ydkim@inje.ac.kr (Y. D. Kim)

1. 서론

홍수 피해를 줄이기 위해 내수배제시설이 설치되어 있지만, 시설의 계획용량과 배제효율을 초과한 강우가 발생할 경우 침수현상은 반복적으로 발생되므로, 발생할 수 있는 침수 피해를 미리 예측하고 설치되어 있는 내수배제시설의 능력을 사전에 검토하는 것이 필요하다.

도시지역의 유출은 주로 관망을 통해 이뤄지며, 관망은 도로 아래로 형성이 되어 있어 침수현상이 발생하게 되면 교통체증 및 인명피해가 발생하기 때문에 도심지에서는 정확한 지형자료를 사용한 유출해석이 필요하다. 도시의 지표면은 건물 및 도로망이 매우 복잡하게 설계되어 있고, 불투수면이 넓어 우수의 흐름과 침수량상이 복잡하게 나타난다. 도시지역의 유출은 우수관망을 통한 유출이 지배적이며, 호우에 의한 지표수 집중과, 우수관망 용량부족으로 인한 월류로 침수가 발생하게 된다.

도시지역의 침수해석은 관거 통수능에 의한 월류수 모의와 지표 흐름을 고려한 2차원 흐름모의가 함께 고려되어야 하며, 우수, 하수를 관리할 수 있는 모델을 사용하여야 한다. 우수관거 해석 소프트웨어인 SWMM (Storm Water Management Model)을 지표면 흐름 엔진인 TUFLOW를 연계하여 XP-SWMM 2D 모형이 개발되었으며, XP-SWMM모형을 이용하여 지표면에 흐름과 관거의 월류수 등을 경사와 지형의 특성을 고려하여 2차원으로 해석해 평가를 할 수 있게 되었다. Phillips et al. (2005)은 XP-SWMM 모형과 TUFLOW를 이용한 모델링으로 1D, 1D/2D, 2D 수치모형을 실시하여 도시지역 2차원 침수해석으로 XP-SWMM의 적용성을 평가하였고, 우리나라에서도 도시지역의 침수피해가 빈번히 발생함에 따라 도시지역 침수해석연구가 지속적으로 진행되고 있으며, Lee et al. (2006)은 SWMM모형과 1:1000 DEM을 침수해석 모형과의 연계모형을 적용함으로써 배수시스템의 용량을 초과 강우를 이용하여 월류유량에 대해서 시간별 침수심 및 침수범위를 계산하였다. Lee and Yeon (2008)은 도시침수 해석시 건물의 영향을 XP-SWMM으로 분석하였고, Son et al. (2015)은 도시의 도로를 고려한 침수해석을 위해 도시의 도로와 건물을 구분하여 다른 격자를 사용하여 침수현상을 연구하였으며, Tak et al. (2016)은 LiDAR 측량을 이용한 1×1 m와 1:5000 수치지도 기반으로 한 10×10 m DEM을 활용해 지형자료의 상세도에 따른 도시지역 침수모의 성능을 평가하였다.

도시침수에 따른 피해액을 산정하기 위해서는 침수에 대한 정확한 데이터가 구축이 되어 있어야 하고 정밀한 예측이 선행되어야 한다. 피해액 산정을 위한 방법으로는 간편법과 개선법,

다차원 홍수피해 산정방법(MD-FDA, Multi-Dimensional Flood Damage Analysis)이 있으며, 간편법과 개선법은 피해액 산정에 있어 간편하고 시간이 오래 걸리지 않는다는 장점에 비해 정확도가 떨어진다는 것이 문제점이었다. 이런 문제점을 극복하기 위해서 2004년에 다차원 홍수피해 산정방법이 개발되었다. 다차원법은 간편법과 개선법에 비해 많은 시간과 인력, 전문성이 필요하지만 침수에 따른 피해액을 더 정확하게 산정할 수 있고, 침수해석과 자산 조사에 의한 잠재피해 산정이 가능하며 GIS를 활용하여 피해의 공간적 분포를 고려하여 홍수빈도별, 침수심별, 행정구역별 피해액산정이 가능하다(MOLIT, 2004). Yeo et al. (2003)은 홍수량 산정지점별 면적확률강우량을 산정하여 빈도별 예상침수면적에 대한 피해액을 산정하였고, Lee et al. (2006)은 도시지역의 내수배제를 고려하여 산업지역의 유형고정자산과 공공시설물의 피해율을 중심으로 연구하였으며, Yi et al. (2006)은 GIS를 이용하여 수리해석 모형과 DEM 자료를 활용하여 침수심을 계산하였고, 침수피해액을 산정하였다. 본 연구에서는 도시지역의 정확한 침수피해액 산정을 위해 XP-SWMM 모형기반의 도시유출해석 및 침수해석을 시행하여 침수심별 침수면적을 산정하고, 침수지역내 피해액 산정을 위해 세부 건물형태 및 내용물을 고려하는 다차원 홍수피해산정방법의 도시지역내 적용성을 검토하였다.

2. 도시지역 유출해석 및 경제성 분석기법

2.1 도시지역 유출 및 침수해석 모형(XP-SWMM (Storm Water Management Model))

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). 유출량 산정은 비선형저수, 운동파 방법, Laurenson 비선형 방법, 시간-면적 방법 등 홍수량 자료 산정방법을 활용하고, 침투량 산정 방식은 Horton식, Green Ampt식, Curve Number (CN)등을 사용하여 산정할 수 있다. TUFLOW (Two dimensional Unsteady FLOW) 모형은 호주 WBM Pty사에서 개발한 2차원 침수해석용 홍수 및 해일 전파 모형으로 1D 및 2D 자유표면 유동 방정식을 사용하여 1D/2D를 연계한 침수현상을 예측할 수 있다.

XP-SWMM은 SWMM 모형과 TUFLOW 모형을 결합한 상용모형으로 SWMM의 1차원 관망해석과 TUFLOW의 2

차원 지표수 흐름을 해석할 수 있도록 개발된 모형이다. 자체 적으로 DTM (Digital Terrain Model)을 입력하여 동적인 지표 흐름을 모의 할 수 있으며, 투수 및 불투수지역을 고려한 지표면에서의 유출해석과 우수관거 및 하도구간에서 1차원 흐름해석을 통해 도시유출을 모의하고, 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.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(H_u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

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

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

여기서, ζ 는 수면고도 [m], u 는 X방향의 깊이에서 평균 유속 [m/s], v 는 Y방향 깊이에서 평균 유속 [m/s], H 는 수심 [m], t 는 시간 [sec], x 는 X방향의 거리 [m], y 는 Y방향의 거리 [m], c_f 는 코리올리 힘 계수, n 은 조도계수, μ 는 모멘텀 수평 확산 계수, P 는 대기압 [Pa], ρ 는 물의 밀도 [kg/m^3], F_x 와 F_y 는 X와 Y방향에서 외부 작용력의 합 [N]이다.

2.2 다차원 홍수피해 산정방법(MD-FDA, Multi-Dimensional Flood Damage Assessment)

국토교통부는 치수경제성 분석기준 수립을 위해 기존 간편법의 개선안을 도출하였으며, 이후 개선법의 문제점을 개선하여 다차원 홍수피해 산정기법(MD-FDA, Multi-Dimensional Flood Damage Assessment)을 제시하였다(MOLIT, 2004). 다차원 홍수피해 산정기법은 직접편익을 산정하기 위하여 피해지역을 구분하여 편익을 산정하며, 주거지역, 농업지역, 산업지역, 공공시설물 피해 경감으로 구분한다. 공공시설물을 제외한 각각의 편익은 통계자료를 이용하여 자산을 산정하고 침수심과 침수편입율에 따라 토지이용별 침수구역을 산정하고, 건물, 산업시설, 농작물별 침수심에 따른 피해율을 곱하여

피해액을 산정한다. 자산을 직접 산출하여 피해액을 산정하기 때문에 다른 피해항목들에 농업피해와의 상관 계수를 곱하여 편익이 과소하게 산정될 수 있는 간편법과, 회귀식을 활용하여 침수면적만을 고려한 개선법에 비해 훨씬 정확한 결과를 도출할 수 있으며, 침수심별 피해를 반영한 결과를 나타낼 수 있다(Lee et al. 2006). 다차원 홍수피해 산정방법의 가장 중요한 요소는 분류별 자산 조사로, 얼마나 정확하게 이루어졌느냐에 따라 결과가 달라질 수 있다. 본 연구에서는 도시지역의 침수피해액 산정을 위해 행정구역의 통계자료를 활용하여 자산자료를 세분, 조사하였으며, 주거가치에 의한 침수피해액을 산정하였다. Table 1은 다차원 홍수피해 산정기법의 자산 조사 항목이다.

주거지역 조사항목에는 건물 및 건물내용물 조사항목이 포함되는데, 이때 건물의 경우 해당 지역의 세대수 및 건축물수와 주거 형태별 건축물 단가를 조사하게 되며, 건물 내용물의 경우 주거용 가정용품의 가치를 계산하게 된다. 이때 건물 내용물의 자산 가치는 건축 형태별 세대수와 건축물의 면적, 건축 형태별 내용물의 평균 가치를 연계하여 계산할 수 있다. 건물에 대한 피해액은 피해지역의 추정 침수심에 따른 건축물에 대한 침수편입율과 건물 내용물의 침수피해율을 곱하여 산출하며, 건물 내용물 피해액은 주거의 형태와 무관하게 자

Table 1. Research item of MD-FDA (Multi-Dimensional Flood Damage Assessment) (MOLIT, 2004)

Local characteristics	Target assets
Living area	Building: Residential building Building contents: Residential household goods
Rural area	Agricultural land: Farmland, Fields and paddies Crops: Representative crop
Industrial area	Tangible · inventories assets of business place: Production facilities or inventories assets

Table 2. Building damage rate by flood depth (MOLIT, 2004)

Structure type	0.0~0.5 m	0.5~1.0 m	1.0~2.0 m	2.0~3.0 m	3.0 m~
Detached	15.00%	32.00%	64.00%	95.00%	100.00%
Apartment	4.50%	6.20%	9.40%	12.50%	13.00%
Row-house	6.00%	9.40%	15.80%	22.00%	23.00%

Table 3. Building contents damage rate by flood depth (MOLIT, 2004)

	0.0~0.5 m	0.5~1.0 m	1.0~2.0 m	2.0~3.0 m	3.0 m~
Damage rate	14.50%	32.60%	50.80%	92.80%	100.00%

산의 피해율은 모두 같다는 가정하에 별도의 건물 피해율 표에 의해 산정한다(MOLIT, 2004). Tables 2 and 3은 침수심별 건물피해율과 건물 내용물 피해율을 나타낸 표이다.

3. 모형의 적용

3.1 대상지역 현황

본 연구의 대상지역은 도림천 유역으로, 2010년과 2011년에 많은 양의 강우로 인해 도시침수피해가 발생한 지역이다. 도림천은 한강의 제1지류인 안양천의 지류로서 신림동 관악산에서 발원하여 도심을 관류하며 북서측으로 흐르고, 대방천과 봉천천이 합류하여 안양천에 합류하는 지방하천이다. 도림천의 총 유로연장은 14.2 km, 평균 폭 2.95 km, 유역 면적은 41.93 km²이며 총 17개의 배수분구로 이루어져 있다(Fig. 1). 도림천의 배수지역은 행정구역상 구로구, 동작구, 관악구와 영등포구 4개의 구가 인접해 있으며, 하류지역은 저지대에서 침수가 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구는 도림천 배수분구 중 하류지역에 해당하는 도림1배수분구를 선정하여 침수 피해를 분석하였다. 도림1배수분구의 유역면적은 2.71 km²이며 영등포구와 동작구 일부분지역이 포함되어 있다. 대체적으로 평탄한 지대로 이루어져 있으며, 아파트와 학교, 주택지 등이 밀집되어 있다. Fig. 2는 과거 2010년과 2011년 침수 흔적도를 나타낸 것이며, 주로 도로와 건물이 밀집한 중앙부에 넓은 침수가 발생하였다. 침수방어를 위한 내수배제 시설은 대림3동 유수지 등 3곳에 저류지와 펌프가 위치하고 있다.



Fig. 1. Study area

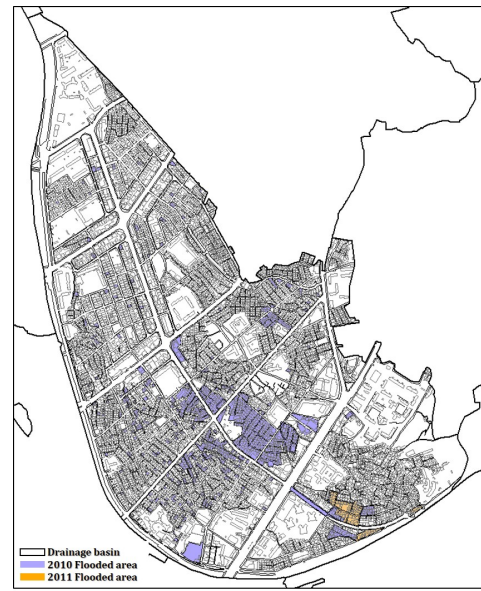


Fig. 2. Recent flooded area (2010, 2011, Seoul metropolitan government)

3.2 모형의 구성

3.2.1 도시유출 모형의 구성

도시지역 유출 모형을 구성하기 위해 서울시 GIS 관망데이터를 이용하여 SWMM 모형을 구성하였다. 도림1 배수분구에 매설되어 있는 우수관망은 Fig. 3과 같으며, BOX형 관거 10,627 m, 지선관거(Ø150~Ø600 미만)는 37,260 m, 간선관거(Ø600~Ø1500미만)는 53,840 m가 매설되어 있다. 관거의 형상, 매설 깊이, 맨홀의 위치 등 기초자료를 입력하여 Fig. 4와 같이 SWMM 모형을 구성하였으며, Manning 조도

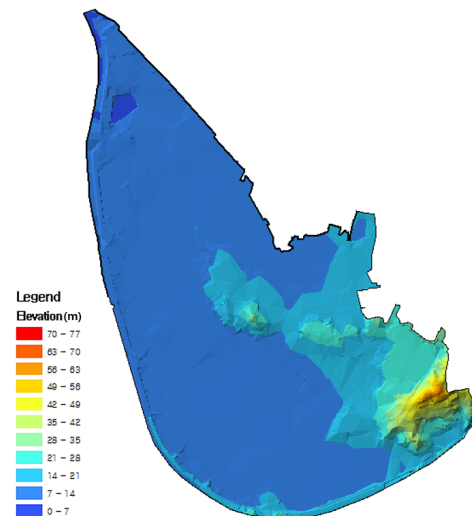




Fig. 3. Storm sewer of study area

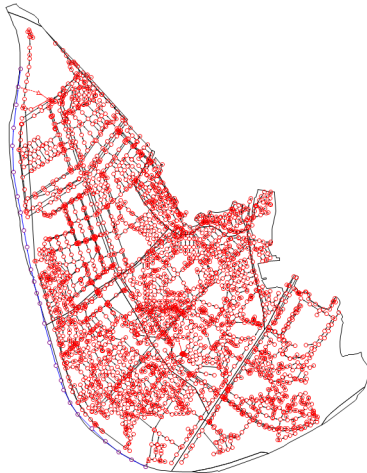


Fig. 4. Sewage network of SWMM in Dorim1 drainage district

계수를 입력하였다. Chow et al. (1988)의 연구에 따르면 콘크리트 홈관의 경우 0.012 이지만, 관거의 정비상태를 고려하여 0.014 로 입력하였다(Table 4). 유출량 결정을 위한 홍수량 산정방법은 시간-면적법을 선택 하였고, 도림천의 하천기본계획상의 홍수위를 고려하여 외수위 경계조건을 설정하였다 (Table 5).

3.2.2 호우사상의 선정

연구대상 지역인 도림1배수분구지역에는 2010년과 2011년 호우사상에 의해 침수피해가 발생한 지역으로, 본 연구에서는 2010년 9월 21일 08시부터 2010년 9월 21일 22시까지의 강우를 활용하여 침수모의를 실시하였다. Fig. 5는 서울기상대 AWS의 10분단위 강우주상도이며, 이때 총 강우량은 259 mm, 시간최대 강우량은 72.5 mm이다.

Table 4. Open channel and pipe manning coefficient of roughness (Chow et al., 1988)

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

Table 5. Flood level of dorim-stream by frequency (Return period)

River	Station (No.)	Flood level (EL.m)		
		30 yr	50 yr	200 yr
Dorim-stream	17	12.35	12.86	14.71

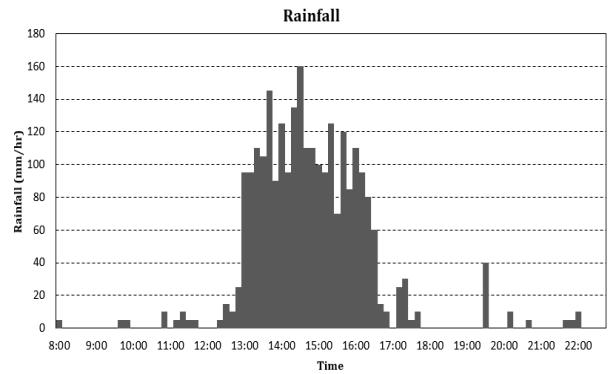


Fig. 5. Time series of rainfall for the case study

3.3 침수모의 결과

3.3.1 도시지역 유출 및 침수모의 결과

구축된 SWMM 모형을 활용하여 2010년 9월 21일 호우를 대상으로 도림1배수분구의 유출모의를 실시하였다. Fig. 6은 유출모의 결과를 시간별로 나타낸 것이다. 침수모의 결과 Fig. 2의 침수흔적도와 침수지역을 비교해 본 결과 약 70.6% 일치

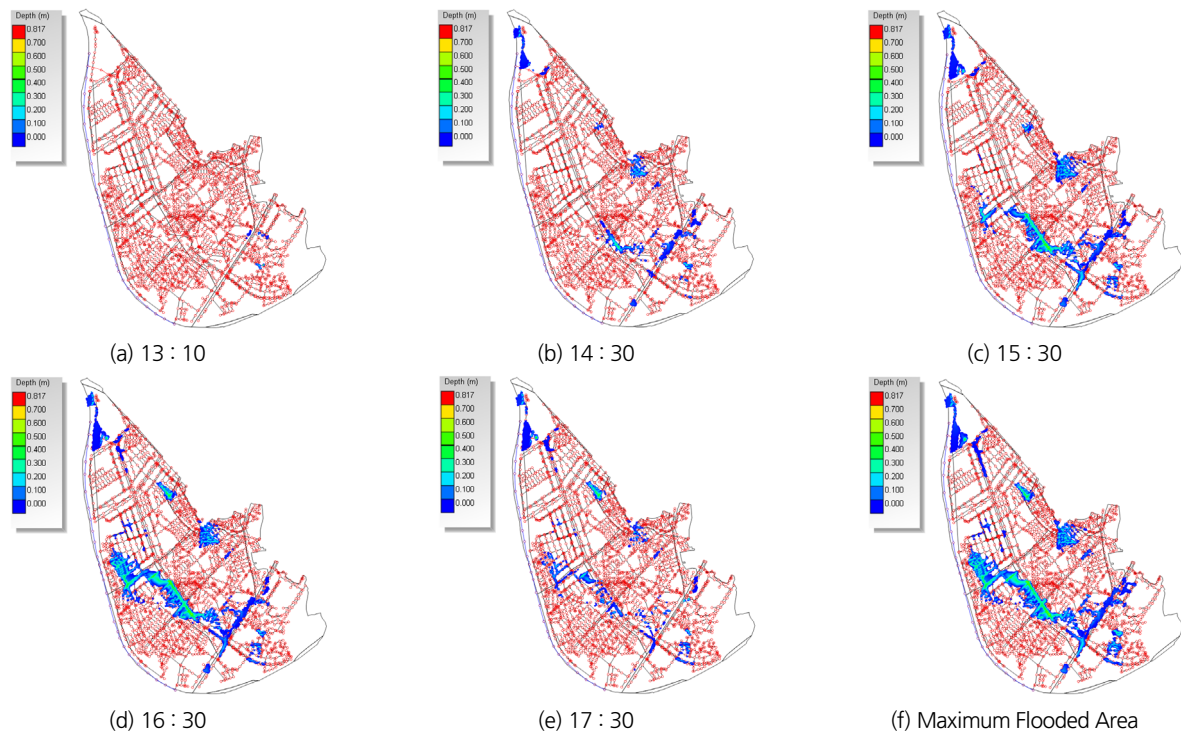


Fig. 6. Result of flood simulation

Table 6. Flooded area according to flooded depth

Flood depth	Maximum flooded area
Total	305,955 m ²
0~0.1 m	207,175 m ²
0.1 m~0.2 m	56,183 m ²
0.2 m~0.3 m	26,176 m ²
0.3 m~0.4 m	12,230 m ²
0.4 m~0.5 m	3,426 m ²
0.5 m~	765 m ²

울을 보였다. 시간별 모의 결과 13시10분에 초기침수가 신대방1동에서 발생하였으며, 16시30분 대림2동과 대림3동 일부 지역을 포함한 간선관거 주변, 일부 지선관거 말단부를 포함한 넓은 지역이 침수되는 것으로 나타났고 17시30분 이후 강우가 줄어들면서 침수면적이 줄어드는 것으로 나타났다. 유출모의결과로 판단해 보았을 때, 배수분구 중앙에 위치한 간선관거에서 주로 관거의 월류에 의한 침수가 발생하였고, 매설되어 있는 우수관으로 재유입이 이루어지지 않아 침수현상이 해소되지 않고 일부 지역에 머무르는 현상이 나타난 것으로 판단된다. 특히 간선관거가 길게 이어진 중앙부에는 14시30분부터 침수가 발생하여 최대 침수면적이 나타난 16시30분까지 계속 침수심과 침수면적이 늘어나는 것으로 나타났고,

강우가 종료되고 관의 잔류유량이 빠져나갈 때까지 침수양상이 나타나는 것으로 나타나 낮은 침수심에도 건물과 건물의 내용물에 의한 피해가 나타날 것으로 판단된다.

침수심별 최대 침수면적은 Table 6과 같으며, 전체 침수면적은 305,955 m², 0~0.1 m 이하 207,175 m², 0.1~0.2 m 이하 56,183 m², 0.2~0.3 m 이하 26,176 m², 0.3~0.4 m 이하 12,230 m², 0.4~0.5 m 이하 3,426 m², 0.5 m 이상 765 m²로 나타났다. 주로 지선이 좌우에서 합류하고, 길게 직선으로 매설되어 있는 간선관거 주변에서 침수가 나타났으며, 일부 지선관거에서도 월류가 발생하여 침수가 나타났다. 주로 주거지역으로 이루어져 있고, 평탄한 지형으로 구성되어 있어 깊은 침수심은 나타나지 않았지만, 간선관거 주변에는 30 cm 이상의 침수심이 나타나 통행과 건물의 피해가 있을 것으로 판단된다.

4. 경제성 분석

4.1 침수피해액 산정(다차원 홍수피해 산정기법)

도림1배수분구는 행정구역상 영등포구와 동작구에 포함되며, 대림1, 2, 3동, 신대방1동, 신길 5, 6동 일부가 포함된다. 다차원 홍수피해 산정기법을 통한 건물 피해액 산정에는 해당 피해지역의 면적, 건축형태별 건물 수, 주거면적 등 행정구역

의 건축물에 대한 일반적인 통계자료가 필요하며, 건축 형태별 건물 자산가치가 필요하다. Table 7은 각 행정구역의 기초 자료를 나타낸 것이며, GIS를 이용하여 도립1배수분구의 행정구역별 면적을 산정하였고, 서울특별시 통계 데이터를 활용하여 가구수와 주거면적을 조사하였다. 건축 형태별 건축 단가와 건축 형태별 평균 면적을 곱하여 건축 형태별 자산가치를 구할 수 있으며, Table 8은 건축 형태별 건축 단가를 나타낸 표이고, Table 9는 전국 건축 형태별 평균면적을 나타낸 것이다. 조사한 행정구역별 기초자료와 건축단가, 평균면적을

이용하여, Table 10과 같이 각 행정구역 범위에 해당되는 건축 형태별 건물자산 가치를 계산하였다.

4.2 건물 및 건물내용물 피해액 산정

건물에 대한 홍수피해액은 피해지역의 건물자산액에 추정 침수심에 따른 침수편입율과 침수피해율을 곱하여 산출하며, 건물 내용물 피해액은 침수심별 건물 내용물 피해율을 활용하여 산정 하고 주거의 형태와 무관하며 자산의 피해율은 모두 같다는 가정 하에 별도의 건물 피해율표에 의해 산정한

Table 7. Local residential data

Index	Unit	Daerim 1	Daerim 2	Daerim 3	Sin-daebang 1	Singil 5	Singil 6
Area	ha	53.0	54.0	90.0	54.0	9.0	5.0
Household	-	2773	3217	6234	1249	617	605
Living area	ha	47.0	45.0	77.0	50.0	7.0	4.0

Table 8. Building unit price (Unit: 1,000 KRW)

Type	Detached	Apartment	Row-house	Multiplex-house	Non-residential
Reinforce concrete	722,822	566,001	566,001	722,822	537,593
Iron frame	-	-	-	-	483,143
Kite stone	683,124	489,288	489,288	683,124	450,002
Wood wall	512,604	-	-	512,604	431,919
Crushed mortar	378,972	-	-	378,972	190,691
Soil wall	378,972	-	-	378,972	190,691
Block	508,428	-	-	508,428	409,187
Simple mortar	378,972	-	-	378,972	190,691

Table 9. Average building area (MOLIT, 2004)

Structure Type	Area
	m ²
Detached	132
Apartment	73
Row-house	73
Multiplex-house	63
Non-residential	106

Table 10. Value of building type (Unit: Million KRW)

Structure type	Daerim 1	Daerim 2	Daerim 3	Sin-daebang 1	Singil 5	Singil 6
Detached	169,834	204,849	165,785	73,846	42,060	22,471
Apartment	48,353	40,347	215,171	169,682	6,949	20,370
Row-house	12,123	11,191	25,810	2,569	2,997	1,528
Multiplex-house	17,623	37,861	28,256	17,818	5,912	1,640
Non-residential	3,964	3,791	7,299	1,466	675	350
Total	251,897	298,039	442,321	265,381	58,593	46,359

Table 11. Building damage and contents damage of flood simulation

Basins	Flooded depth (m)	Building damage (Million KRW)				
		Detached	Apartment	Row-house	Contents	Total
Daerim 1	0~0.5	11,594.11	2,566.97	1,249.22	6,943.29	22,353.59
	0.5~1.0	62.40	8.92	3.15	39.38	113.85
	Total	11,656.51	2,575.89	1,252.37	6,943.29	22,428.06

다(MOLIT, 2004; Tables 2 and 3).

건물 침수피해액을 산정하기 위해 침수심별 침수면적 모의 결과를 활용하여 침수심에 따른 침수피해율을 산정하였다. 침수모의 결과를 활용하여 침수심에 따른 침수편입율을 계산하였으며, 건축형태별 자산가치를 활용하여 지형자료별 건물피해액을 산정하였고, 건물 내용물 피해율을 활용하여 건물 내용물 피해액을 산정하였다. 도림1 배수분구의 건물 피해액산정 결과 도림1 배수분구의 건물 피해액은 약 155억 원으로 나타났고, 침수심별 건물 내용물 피해액은 약 70억 원으로 산정되었다.

본 연구의 침수피해액 산정결과 총 건물 및 건물 내용물 피해액은 약 225억 원으로 나타났으며, 0~0.5 m 이하 약 224억 원, 0.5 m 이상 약 1억 원으로 산정되었다. 침수모의 결과 1 m 이상의 고위험군 지역이 나타나지 않았지만 침수시간이 두 시간 이상으로 나타난 간선관거 주변의 침수지역에서 건물 및 건물 내용물의 피해액이 크게 나타날 것으로 보이며, 세분화된 피해액 산정방법이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

도시지역의 침수피해는 주거지와 상업지역이 밀집되어 있는 지역적 특성상 단시간의 호우에도 막대한 피해를 발생시키게 된다. 따라서, 건축의 형태와 침수심별 침수면적에 따른 세분화된 피해액 산정방법이 활용되어야 한다. 본 연구는 과거 침수피해가 발생한 상습침수구역을 대상으로 침수모의를 실시하였고, 침수모의 결과에 따른 다차원 홍수피해 산정방법을 활용한 피해액 산정을 통해 침수피해액 산정 방법의 활용도를 모색하였다.

- 1) 본 연구는 2010년과 2011년 침수피해가 발생한 도림천 유역의 도림1 배수분구를 대상으로 도시유출모형인 SWMM 모형을 활용한 유출해석을 수행하였으며, 관망해석 결과를 바탕으로 침수해석을 수행하였다. 침수해석 결과 해당 지역의 침수현상은 1 m 이상의 침수심이 나타나는 고위험

군은 나타나지 않았지만, 주요 간선 주변에서 2시간 이상 침수가 나타나는 침수 장기화 지역이 나타났다.

- 2) 침수심 및 침수면적 예측 결과를 활용하여 다차원 홍수피해 산정방법을 통한 건물 피해에 대한 침수 피해액을 산정하였으며, 건물 피해액 155억 원, 건물 내용물 피해액 70억 원의 피해액이 발생할 것으로 예상되었다. 침수피해액 계산은 해당 지역의 건물 종류별 자산 가치와 침수심에 따른 피해율, 침수편입율을 연계하여 계산되며, 침수모의 결과에 대응되는 침수심별 피해액 산정결과가 도출되었다. 하지만, 피해구간의 침수심이 깊지 않고 강우 지속시간에 따라 침수시간이 장기화됨에 따라 피해 양상이 다르게 나타날 수 있어 침수 피해액 산정 결과는 홍수에 의한 방재대책을 위한 시설계획 및 사전, 사후 대책을 수립하는데 신중히 활용 하여야 할 것으로 판단된다.

도시지역에서 집중호우에 의한 침수피해는 점점 늘어나는 추세이며, 인명 및 건물 피해에 대해 사전 예방 및 대피로 결정 등 대책수립을 위한 정확한 침수예측과 예상 피해액 산정이 필요하다. 특히, 인구가 집중된 도시지역은 건축물과 자산가치에 따라 피해액이 다르게 나타나며, 침수 현상과 자산을 잘 고려한 피해액 산정방법이 필요하다. 복잡하게 설계된 도시에서 건축물 및 자산가치에 대한 피해 예측은 침수로 나타나는 피해양상을 잘 고려한 피해액 산정이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill.

- 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.
- Lee, C. H., Han, K. Y., and 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 (in Korea).
- Lee, J. H., and 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 (in Korea).
- Lee, K. H., Choi, S. A., Kim, H. S., and Shim, M. P. (2006). "Application of multi-dimensional flood damage analysis for urban flood damage." *Journal of Korean Society of Civil Engineers B*, KSCE, Vol. 26, No. 4B, pp. 363-369 (in Korea).
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) (2004). *A study on the economic analysis in flood control project* (in Korea).
- Phillips, B. C., Yu, S., Thompson, G. R., and Silva, N. de. (2005). "1D and 2D modelling of urban drainage systems using XPSWMM and TUFLOW." *10th International Conference on Urban Drainage*, Copenhagen, Denmark, August 2005, pp. 21-26.
- Seoul Metropolitan Government Flooded area map, Available at: <http://safecity.seoul.go.kr> (Accessed: September, 22, 2015)
- Son, A. L., Kim, B., and Han, K. Y. (2015). "A study on prediction of inundation area considering road network in urban area." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 35, No. 2, pp. 307-318 (in Korea).
- Tak, Y. H., Kim, Y. D., Kang, B., and Park, M. H. (2016). "Sewer overflow simulation evaluation of urban runoff model according to detailed terrain scale." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 49, No. 6, pp. 519-528 (in Korea).
- Yeo, K. D. (2003). *A study on estimation method of expected flood damage considering local characteristics*. Master's Degree dissertation, Inha University, Korea.
- Yi, C. S., Choi, S. A., Shim, M. P., and Kim, H. S. (2006). "GIS based distributed flood damage assessment." *Journal of Korean Society of Civil Engineers B*, KSCE, Vol. 26, No. 3B, pp. 301-310 (in Korea).