J Korean Soc Disaster Secur 15(3): 41-46, 2022
https://doi.org/10.21729/ksds.2022.15.3.41

Print ISSN: 2466-1147 Online ISSN: 2508-285X
www.dssms.org

KSDS

Original Article

도심지 침수해석을 위한 건축물 밀집 지역 영향 분석

김성욱[1] · 전계원[2]* · 이승희[3] · 피완섭[4]

[1]강원대학교 방재전문대학원 박사과정, [2]강원대학교 방재전문대학원 교수, [3]동부엔지니어링 수자원환경부 상무, [4]㈜유신 수자원부 전무

Analysis of the Impact of Building Congested Area for Urban Flood Analysis

Sung-Uk Kim[1], Kye-Won Jun[2]*, Seung-Hee Lee[3], and Wan-Seop Pi[4]

[1]Ph.D. Course, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

[2]Professor, Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National Unoversity

[3]Managing Director, Ministry of Water Resources and Environment, Dongbu Engineering

[4]Senior Managing Director & CFO, Ministry of Water Resources, Yooshin Engineering Corporation

요 약

최근 기후변화 및 도시화로 도심지에서 발생하는 홍수피해의 규모가 증가하고 있어 다양한 침수해석 기법이 필요한 실정이다. 2010년부터 연속적인 침수피해가 발생하고 있는 사당천 유역은 XP-SWMM을 활용하여 배수 개선 기본계획을 수립하고 침수방지 대책을 제시한바 있다. 하지만 침수해석 과정에서 도시의 건축물을 고려한 분석이 이루어지지 않아 침수피해 정도가 과대 산출되는 경향이 나타나는 문제가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 XP-SWMM을 활용하여 건축물을 고려하지 않았을 경우와 비활성 영역으로 지정하였을 경우를 비교·분석하였다. 연구 결과 건축물을 고려하지 않았을 경우 침수피해 면적은 271,000 m^2, 평균 침수심 0.15 m였으며 건축물을 비활성 영역으로 고려할 경우 172,900 m^2, 평균 침수심 0.32 m로 약 36% 정도 과소 추정되고, 건축물 주변의 유속은 1.62 m/s에서 1.83 m/s로 약 1.12배 증가한 것으로 분석되었다.

핵심용어: 도시침수, 침수해석, XP-SWMM

ABSTRACT

Recently, the scale of flood damage occurring in urban areas is increasing due to climate change and urbanization, so various flooding analysis techniques are needed. In the Sadangcheon Stream basin, which has been continuously flooded since 2010, a basic plan for improving drainage was established using XP-SWMM and measures to prevent flooding were proposed. However, in the process of inundation analysis, the analysis considering the city's buildings was not conducted, resulting in a problem that the degree of flooding damage tends to be overestimated. Therefore, in this study, XP-SWMM was used to compare and analyze cases where buildings were not considered and designated as inactive areas. As a result of the study, it was analyzed if the building was not considered, the flood damaged area was 271,100 m^2 and the depth of submersion was 0.15 m, and if the building was considered inactive area, the flood damaged area was 172,900 m^2 and the depth of submersion was 0.32 m that it is under-estimated about 36% and an flow velocity around the building increased from 1.62 m/s to 1.83 m/s about 1.12 times.

Keywords: Urban inundation, Inundation analysis, XP-SWMM

***Corresponding author:** Kye-Won Jun, kwjun@kangwon.ac.kr

Received: 22 August 2022, **Revised:** 22 August 2022, **Accepted:** 14 September 2022

© Korean Society of Disaster & Security. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 기후변화로 인해 홍수의 강도 및 여름철 국지성 집중호우의 발생 빈도가 증가하는 추세이며, 이에 따라 하천 범람 및 시설 붕괴, 도시침수 등의 다양한 재해로 이어지고 있다. 이러한 재해 피해는 과거에 비해 매우 불안정하고 예측할 수 없는 실정으로 강우 환경 변화에 더 취약한 상황이다. 대표적으로 서울특별시 사당역 일대는 우면산과 관악산에서의 급한 유역 경사로 인하여 사당역 유역으로 집중되는 지형적 원인과 반포천과 한강의 높은 홍수위, 주변 주거지의 하수관거 용량 부족, 복개된 사당천의 통수단면 부족 등이 복합적으로 작용하여 침수피해가 발생한 바 있다(National Institute of Meteorological Sciences, 2018).

이에 대한 대책으로 서울특별시에서는 2013년 XP-SWMM모형을 1차원 및 2차원 침수해석을 통하여 저류조 신설, 대심도 터널 및 관로 증설 등의 다양한 방안을 제시한 바 있으나, 2차원 침수해석에서 건축물의 영향을 고려하지 않아 건축물 주변으로 확산되는 유수의 흐름, 침수심, 유속 등을 모의하지 못한 문제가 있었다(Lee and Yeon, 2008).

따라서 본 연구에서는 XP-SWMM에서 건축물의 영향을 고려하는 높은 조도계수, 비활성영역 등의 방법을 적용하고, 각각의 방법으로 건축물의 영향을 고려한 침수해석 연구를 수행하였다. 각 방법을 이용한 2차원 침수해석 분석 결과에서는 상당한 차이를 확인할 수 있었으며, 비교연구를 통해 향후 도심지 침수해석에서 건축물의 영향을 고려하는 합리적 방법을 제시하였다.

2. 연구방법

2.1 도시유출 해석 모형

SWMM 모형의 경우는 도심지 유역 내에서의 유출 현상과 오염물질에 대하여 지표면 및 지표하 흐름, 배수관망 시스템 내에서의 유출량의 추적 및 저류량의 산정 및 오염물질 처리와 비용을 산정할 수 있는 복합적인 모형이다. 유역의 침수해석을 위해 도심지 유역의 침수해석이 가능한 XP-SWMM 2차원 해석 프로그램인 TUFLOW(Two-dimensional Unsteady FLOW)를 바탕으로 이용하고 있다. TUFLOW는 The University of Queensland 및 WBM Oceanics Australia에서 개발하였으며(Cho, 2021), 본 연구에서의 침수해석은 XP-SWMM모형을 이용하였다.

2.2 연구대상지역

본 연구대상지인 사당천은 한강의 제1지류인 반포천의 지류로 관악구 남현동 관악산에서 흐르기 시작하여 북동쪽으로 유하하며, 동작대로를 따라 북쪽에 위치한 반포천으로 합류하는 하천이다. 유역에는 총 8개 배수분구로 구성되어 있으며, 본 연구의 대상지인 배수분구는 지속적인 침수 피해가 발생한 사당역 일대 및 이수역 인근에 위치한 배수분구이다(Lee, 2021).

우수관망 자료는 Fig. 1, Table 1과 같이 서울시에서 구축한 우수관망 데이터베이스 자료를 활용하였으며, CAD에서 데이터 편집과정을 거쳐 XP-SWMM모형에 적합한 우수관망 자료로 구축하였다. 구축된 자료의 Link의 수는 509개, Node의 수는 총 497개이다. 2차원 침수범람 모의를 위하여 대상 지역의 1:5,000 수치지도를 활용해 수치표고자료(Digital Elevation Model, DEM)를 구축하였으며, XP-SWMM모형의 수치지형모형(Digital Terrain Model, DTM)으로 활용하였다.

Table 1. Status of Input Data for Model Construction

River Valley	Basin Area (km^2)	River Extension (km)	Number of Drainage Basins	Sewage Length Extension (km)	Number of Nodes	Number of Links
The Sadangcheon Basin	14.00	4.87	8	225.1	497	509

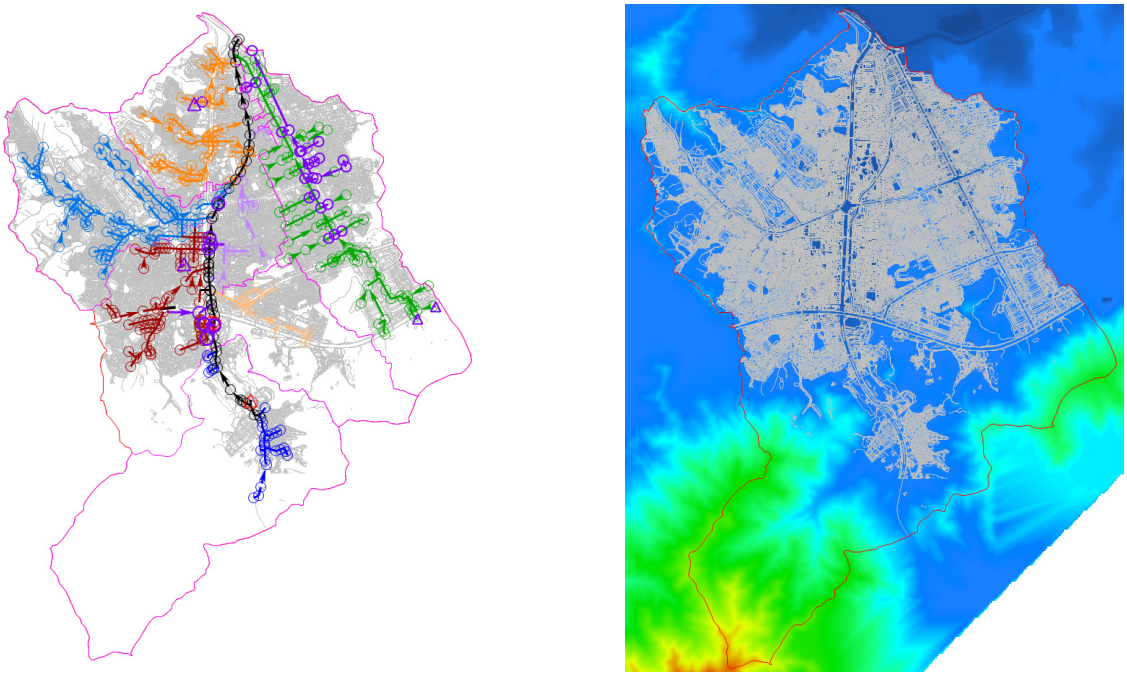


Fig. 1. Drainage Network and DTM

본 연구에서 적용한 확률강우량은 기존 서울특별시의 침수분석 결과와 비교 ·검토를 위해 서울특별시 분석에 사용한 30년 강우 빈도의 60분 지속시간 확률강우량을 적용하였다. 30년 빈도의 60분 지속시간 확률강우량과 서울특별시 방재성능목표 강우량을 비교한 결과 60분 방재성능목표 강우량은 95 mm와 일치하였다. 계획빈도는 우수관로 설계빈도인 10~30년의 빈도에 적합하며, 최근 도심지에서의 국지성 호우에 대한 대응을 위해 30년을 적용하는 것이 적합하다고 판단된다(Ministry of Environment, 2019).

지표면 유출해석 방법은 시간-면적에 의한 단위도법을 이용하였으며, 유역의 침투량 산정에는 Horton방법을 적용하였다. 유역의 불투수층 비율은 환경부에서 제공하는 불투수면적도와 토지피복지도를 이용하였으며, 소유역별 불투수면적비 산출에 기초자료로 활용하였다.

소유역의 투수 지역 및 불투수 지역에 대한 지표면 유출에서의 흐름 저항을 반영하기 위하여 지표면 흐름의 Manning 조도계수를 적용하였다. 본 연구에서는 참고 값 중에서 비교적 국내 실정에 맞게 제시된 수자원 설계 실무의 조도계수 값을 기본값으로 설정하였으며, 불투수 지역은 콘크리트 포장 지역의 조도계수 0.014, 투수 지역은 도심지 내·외로 구분하여 각각 조도계수 0.03, 0.08을 적용하였다.

우수관의 재질에 따라 우수관로의 조도계수 n값은 다르게 나타나며, 관 재질에 따른 조도계수는 Table 2와 같이 Manning 식의 조도계수 범위를 적용하였다. 본 연구에서는 거친 표면의 콘크리트관의 조도계도 값 0.017을 적용하였다.

Table 2. Manning's Roughness Coefficient

	Cross Section	Roughness Coefficient (n)
	Concrete (a Smooth Surface)	0.012 ~ 0.014
	Concrete (a Rough Surface)	0.015 ~ 0.017
a Sewer Pipe	a Concrete Tube	0.011 ~ 0.015
	Asphalt Lining	0.011 ~ 0.015
	a Plastic Tube (a smooth surface)	0.011 ~ 0.015

2.3 도심지 침수해석에 건축물 적용 방법

침수해석에서 XP-SWMM모형의 2차원 2D 격자의 크기는 침수 모델링의 정확도에 영향을 주며, 특히 도심지와 같은 건축물의 영향을 많이 받는 유역의 경우 범람 후 범람속도에 큰 영향을 미치게 된다. 격자가 실제 건축물의 크기나 도로의 크기보다 크게 설정하게 되면 흐름의 속도를 정확히 산정할 수 없으므로 건축물과 도로의 크기를 고려한 2D 격자의 설정이 모델링시 중요하다. 본 연구에서는 격자 크기를 10 m × 10 m로 적용하여 결과를 비교·분석하였다.

침수해석에서 건축물의 영향을 고려하지 않은 경우와 고려하는 경우의 두 가지 방법에 대한 차이를 분석하고 건축물을 고려하는 방법별 침수해석 결과의 차이에 대하여 비교·분석하였다.

첫 번째 방법으로 침수해석시 XP-SWMM모형을 이용하여 건축물을 고려한 면적을 비활성 영역으로 지정하는 방법을 활용하였다. 이 경우 건축물 영역은 수직의 유리벽과 같이 인식되어 우수관을 월류한 유량은 건축물 안으로 유입될 수 없게 된다. 하지만 이러한 방법은 모든 경우에서 적합한 모의라고 할 수는 없으며, 홍수 범람을 차단하는 수직 벽이라는 가정은 일정 수심을 초과하는 침수 피해가 발생할 경우에는 유효하지 않기 때문이다. 즉 월류 수심이 건축물의 출입문이나 창문의 턱보다 더 깊은 경우에는 홍수가 건축물 안으로 유입될 수 있으며, 이러한 경우에 건축물 전체를 비활성 영역으로 설정하는 것은 건축물 주변의 침수심이 과다하게 산정될 수 있기 때문이다.

두 번째 방법은 건축물 영역을 매우 높은 Manning의 조도 값으로 지정하는 방법이다. 건축물 영역에 높은 조도 값을 설정하게 되면 건축물 내부로 들어가는 유량이 제한되고, 국지적으로 속도 수두를 낮춰 건축물 주변의 수심은 증가하게 된다. 그러나 모의에 적합한 Manning의 조도 값을 추정하는 것은 쉽지 않다는 문제가 있다.

세 번째 방법은 수심에 따라 서로 다른 Manning의 조도계수를 설정하는 방법이다. 이 방법은 건축물 출입구의 턱 높이까지는 높은 조도 값을 적용하고, 수심이 높아질수록 조도 값을 낮춰주는 방법으로써 건축물에 대한 영향을 고려할 수 있다. 모형에서 2D 토지이용 레이어의 깊이에 따른 n값 곡선을 지정하며, 창문의 높이가 2.3 m보다 큰 경우에는 낮은 조도 값 0.01~0.05를 입력하고, 문턱 높이가 0.3 m 이하인 경우는 높은 조도 값 1.0~5.0으로 지정하여, 그 사이의 깊이는 선형 보간되도록 설정하는 방안이다.

건축물을 고려한 침수해석 시에는 각각의 방안을 검토하여 해당 유역에 가장 적합한 침수해석기법을 선정해야 한다. 본 연구에서는 이수역과 사당역 사이에 위치한 방배경찰서 인근 구역을 대상 지역으로 선정하였으며, XP-SWMM모형을 이용하여 위에서 설명한 건축물을 고려하는 세 가지 방법을 적용하여 건축물 주변의 흐름을 비교·분석하였다.

3. 건축물을 고려한 침수해석 결과 분석

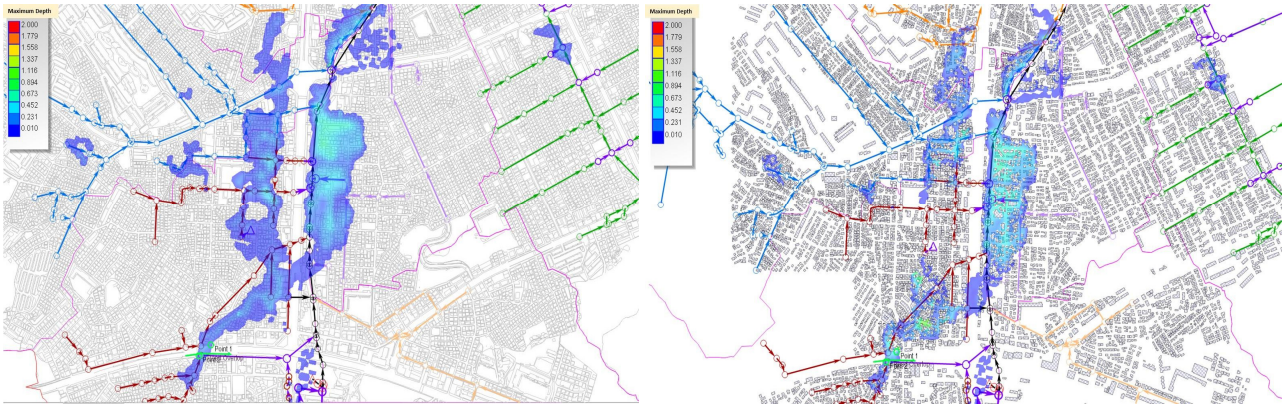
3.1 건축물을 고려한 침수해석 분석

본 연구에서는 사당역과 이수역 사이 방배경찰서 인근 지점을 대상으로 건축물 주변의 흐름을 비교·분석하였다. 건축물을 고려하지 않은 경우와 건축물을 비활성 영역으로 고려한 경우, 수심별 조도값을 적용한 경우, 일정 값의 조도계수를 적용한 경우 등으로 구분하여 침수심, 침수면적 및 유속 분포 등을 비교하였다. 다음 Fig. 2~4는 범람면적, 침수심 및 흐름특성, 유속 분포를 나타낸 것이다.

첫 번째로 건축물을 고려하지 않은 경우는 맨홀을 월류한 월류수가 건축물과 지면을 통해 저지대로 확산되는 것을 확인할 수 있다. 이 경우 건축물의 영향이 무시되어 건축물이 차지하는 공간도 유수의 흐름이 차단되거나 느려짐 없이 저지대로 확산되는 것을 확인할 수 있었다. 침수해석 결과 평균 침수심 0.15 m, 침수면적 271,000 m^2, 건축물 주변 최대유속 1.62 m/s로 분석되었으며, 건축물을 고려하지 않았기 때문에 건축물이 위치한 공간까지 유수의 흐름 현상이 발생하는 것으로 분석되었다.

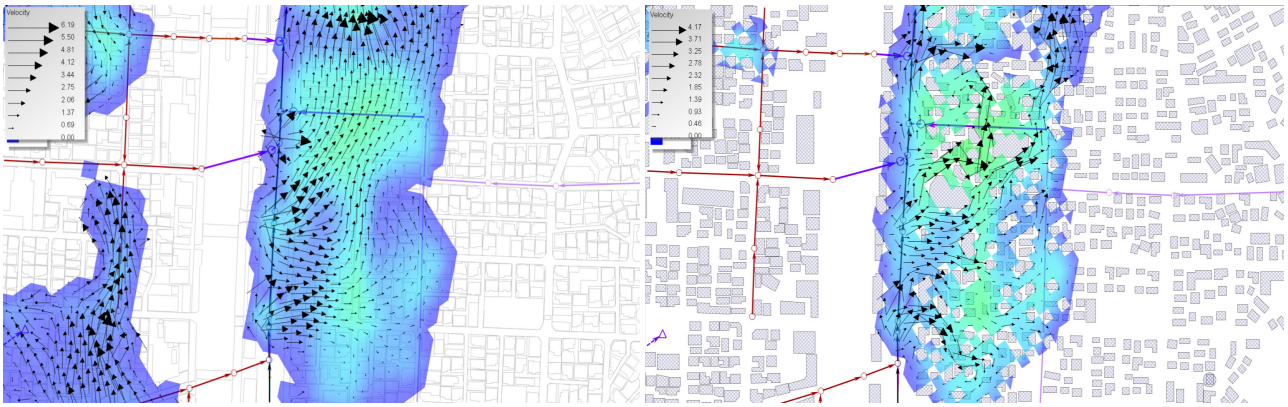
두 번째 방법으로 건축물 영역을 비활성 영역으로 적용하여 모의하는 경우이다. 건축물 영역으로는 침수가 발생하지 않고

건축물 인근에서만 흐름이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 흐름이 차단되는 만큼 건축물 주변의 유속은 빨라지고, 건축물 주변의 침수심도 깊어지는 것을 확인하였다. 침수해석 결과 평균 침수심 0.32 m, 침수면적 172,900 m^2, 건축물 주변 최대유속 1.83 m/s로 분석되었으며, 건축물 내부로는 유속 및 흐름이 발생하지 않는 것으로 확인되었다.



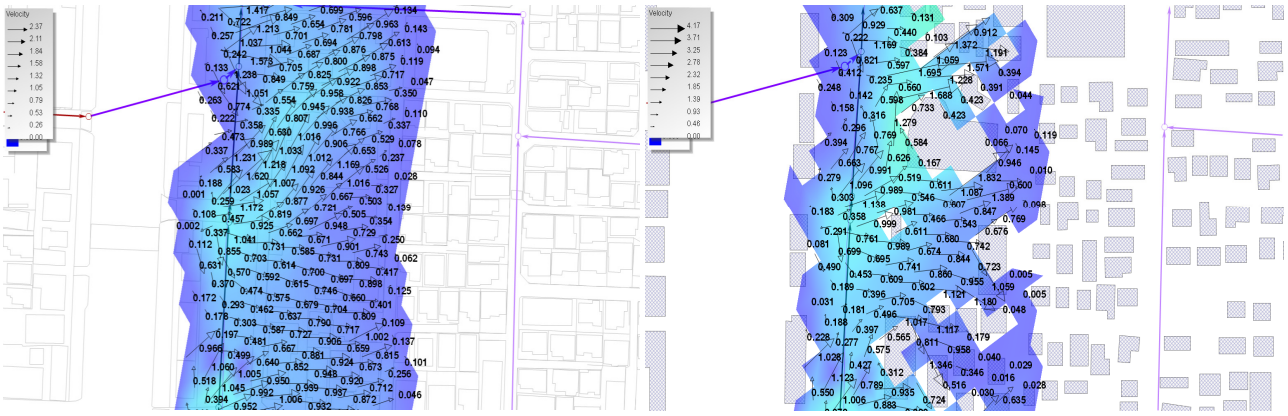
Building not Considered (A=271, 200 m^2) Designate Building as Inactive Area (A=172,900 m^2)

Fig. 2. Flood Area



Building not Considered Designate Building as Inactive Area

Fig. 3. Inundation Depth Evaluation and Flow Characteristics



Building not Considered Designate Building as Inactive Area

Fig. 4. Velocity Distribution

4. 결 론

건축물을 고려하는 방법별 침수면적, 평균침수심, 최대 유속, 건축물 내부 유속을 비교한 결과는 다음과 같다. 침수면적은 건축물을 고려하지 않은 경우에서 271,000 m^2으로 넓은 침수면적이 나타났으며, 최대유속은 비활성 영역으로 설정한 경우에 1.83 m/s로 가장 빠른 유속이 나타났다. 평균침수심 역시 비활성 영역으로 설정한 경우에 0.32 m로 가장 깊게 나타났으며, 건축물 영역에서 흐름이 발생하지 않으면서 건축물 인근으로 상대적으로 빠른 유속과 깊은 수심이 발생한 결과이다.

건축물을 비활성 영역으로 설정하여 모의하는 경우의 범람면적은 172,900 m^2으로 다른 방안에서의 평균 범람면적 271,000 m^2 대비 64%에 해당하며, 건축물 주변의 유속은 1.83 m/s로 타 방법 평균 유속 1.62 m/s 대비 1.12배 빠른 것으로 분석되었다. 평균 침수심은 건축물을 고려하지 않은 경우의 평균 침수심 0.15 m 대비 1.78배 깊은 0.32 m로 분석되었다.

그 원인은 실제로 침수 피해가 발생할 수 있는 면적이 건축물에 의해 완전히 차단되는 것으로 분석되어 범람면적이 크게 감소하였다. 또한 같은 체적의 유량이 범람되므로 유속 및 평균 침수심은 상대적으로 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

향후 도심지의 침수해석에서 있어서 건축물의 영향은 반드시 고려해야 하며, 큰 조도계수를 지정하는 방법과 수심별 조도를 적용하여 건축물의 영향을 반영하는 것이 가장 효율적이고, 정확한 산정을 위한 방법으로 확인된다.

Acknowledgments

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(No. C20017370001).

References

Cho, S. K. (2021). A Study on the Analysis of Flooded Area in Pyeongchang-gun, Gangwon-do Using XP-SWMM. Master Dissertation. Kangwon National University.

Lee, J. H. and Yeon, K. S. (2008). Flood Inundation Analysis using XP-SWMM Model in Urban Area. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation. 8(5): 155-161.

Lee, S. H. (2021). A Study on Urban Flood Analysis Using XP-SWMM Considering Buildings. Master Dissertation. Kangwon National University.

Ministry of Environment (2019). Sewer Design Standards. Sejong: Ministry of Environment.

National Institute of Meteorological Sciences (2018). 100 Years of Climate Change on the Korean Peninsula. Jeju: National Institute of Meteorological Sciences.

Korean References Translated from the English

국립기상과학원 (2018). 한반도 100년의 기후변화. 제주: 국립기상과학원.

이승희 (2021). 건물이 고려된 XP-SWMM을 이용한 도시침수해석에 관한 연구. 국내석사학위논문. 강원대학교.

이종형, 연기석 (2008). XP-SWMM 모형을 적용한 도시지역의 침수해석. 한국방재학회논문집. 8(5): 155-161.

조상기 (2021). XP-SWMM을 이용한 강원도 평창군 상습침수지역 해석에 관한 연구. 국내석사학위논문. 강원대학교.

환경부 (2019). 하수도 설계기준. 세종: 환경부.