

해안도시에서 내수침수 분석

김지호*, 이규원*, 김태원**, 송수호**, 이재혁**, 하상민***

*동부엔지니어링㈜, **㈜지티이, ***㈜아이오티솔루션

e-mail: civilplus@dbeng.co.kr, gwlee@dbeng.co.kr, hydrokim@naver.com,
songsh0227@naver.com, cleee2004@naver.com, sm-ha@iot-s.co.kr

Inundation Analysis in Seashore City

Ji-Ho Kim*, Gyu-Won Lee*, Tae-Won Kim**, Soo-Ho Song**, Jae-Hyeok Lee**,
Sang-Min Ha***

*Dongbu Engineering Co., **GTE, Co., ***IoT Solution Co.

요약

기후변화 및 국지성호우 증가로 인해 해안지역의 침수 위험이 증가되고 있는 상황이다. 해안도시 지역에 대하여 침수피해를 정량적으로 분석하기 위해 도시유출모형인 XP-SWMM 및 Flow-3D 모형을 적용하여 침수면적, 침수심, 침수에 의한 유속 등을 상세 분석하여 침수방어벽에 대하여 검토하였다. 대상 지역의 유역, 우수관거 및 지형데이터 등을 이용하여 주간선과 지선을 모두 고려하여 우수관망을 구축하였으며, 빈도별 침수피해를 분석하였다. 30년, 50년(방재성능목표), 100년 빈도에 대하여 침수면적, 최대침수심, 평균침수심, 침수 흐름에 의한 유속을 분석한 결과, 해안도시 특성 상 조위 영향 및 우수관거 용량 부족으로 인해 침수가 발생하였다. 침수로 인해 발생된 침수심 및 유속값을 3차원 수치모형의 경계조건으로 적용하여 흐름해석을 수행하였으며, 흐름해석에서 도출된 유속 및 압력값은 침수방어벽 기술 개발의 설계 인자로 제공되었다.

요성에 대하여 검토하였다.

1. 서론

기후변화로 인해 국지성 집중호우로 인해 내륙에 있는 도시유역에서의 피해가 크게 증가하고 있다. 내륙에 도시유역과 달리 해안에 위치는 도시유역의 경우 태풍해일 등의 영향으로 조위가 상승하였을 경우 내수침수 및 하천범람이 동시에 발생할 수 있어 침수피해는 규모는 크게 증가될 수 있다. 특히 2020년 10호 태풍 하이선이 북상하면서 부산은 강풍과 비로 인해 침수피해가 크게 발생하였다.

본 연구에서는 해안 도시유역에 대한 침수현상을 분석하기 위해 도시유출모형인 XP-SWMM(eXPert-Stormwater & Wastewater Management Model) 및 3차원 흐름현상 재현 가능한 Flow-3D 모형을 적용하여 침수현상을 분석하였다. 또한 침수분석 대상 지역에 대하여 상가 등을 보호하기 위해 설치된 침수방어벽에 대하여 수리학적 상세검토를 수행하기 위해서 대상지역 및 건물들을 3차원으로 재현하여 침수방어벽 주변 상세 흐름해석을 수행하였다. 해안 도시유역에서 침수현상을 모의하기 위해서 XP-SWMM의 한계성 및 검토 지역 내에서 중요 시설물이 존재하는 경우 3차원 수치모형 검토의 필

2. 연구방법

2.1 유역의 개황

해안도시 유역의 내수침수 분석을 위해 부산 동천과 해안에 인접한 지역으로 기존에 침수 피해가 발생했던 지역들이 포함되도록 대상지구를 선정하였다. 대상지구 내 범천 1동 골드테마거리, 자성대 아파트 지역은 침수 피해가 발생되었던 지역으로 골드테마거리 내 상가들 출입구에는 침수방어벽이 설치되어 있다(그림 1 참조). 그러나 기존에 설치된 침수방어벽의 경우 자체 무게로 인해 침수발생 시 신속한 설치에 어려움이 발생되고 있으며, 보관에도 애로사항이 있는 것으로 파악되었다.

2.2 XP-SWMM

해안도시에서 상습침수가 발생하는 지역에 대하여 침수원인 분석 및 정확한 예측이 가능한 방법이 필요하며, 부정류 해석을 통한 관로 내 압력류 및 배수위 영향 등 분석이 가능하고 월류된 유량에 대하여 침수피해 면적을 예측할 수 있도록 2차원 흐름해석을 수행할 수 있어야 한다. 이에, 본 연구에서는 침수 위험도 분석 시 해안

도시지역 내 우수관망 해석이 가능하여 맨홀범람, 배수 위 영향, 압력류 계산이 가능하며, 또한 월류된 유량에 대하여 2차원 흐름 해석이 가능한 XP-SWMM을 이용하였다. 맨홀에서 범람된 월류량에 대하여 지표면 흐름 해석이 가능한 TufLOW 2차원 흐름해석 모형을 연계하여 침수피해면적, 침수심, 유속 등을 상세 분석하였다.

2.3 Flow-3D

Flow-3D는 Flow Science, Inc.(USA)에서 개발한 3차원 범용 전산유체역학 프로그램으로 자유수면 해석이 우수하며, 기본적으로 비정상 유동 상태이며, 연속방정식, 3차원 운동량 보존 방정식 및 에너지 방정식을 사용하여 해석하고 있다. 또한 유체의 난류 해석에 대해서는 혼합길이, $k-\epsilon$, RNG(Renormalized Group) $k-\epsilon$, LES (Large Eddy Simulation) 모형 등을 적용할 수 있으며, 자유수면 해석을 위하여 VOF(Volume of Fluid) 방정식이 사용되고 있다. 직육면체 형상의 격자계를 사용 시 일반 형상 기술을 보다 정확히 하기 위해 FAVOR (Fractional Area Volume Obstacle Representation) 기법을 각 방정식에 적용하고 있다(Flow Science, 2019).

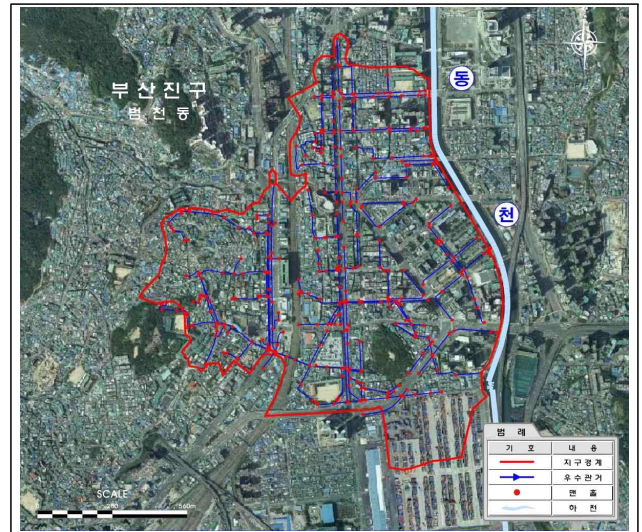


[그림 1] 침수방어벽

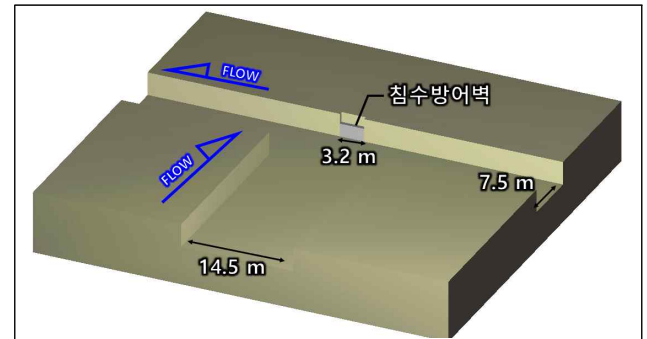
3. 결과 및 고찰

3.1 모형의 구축

대상지역에 대하여 하수도정비종합계획을 기초로 수립된 주간선과 지선을 모두 포함하여 우수관거를 구성하였으며, 우수로 인해 침수해석을 수행하기 위해 지형 데이터를 이용하여 모형을 구성하였다(그림 2 참조). 또한 침수 발생 시 침수방어벽 주변에서 발생될 수 있는 유속 및 압력분포를 상세 검토하기 위해 골드테마거리 및 침수방어벽이 설치된 상가에 대하여 3차원 모형 구성을 하였다(그림 3 참조).



[그림 2] 모형 구성



[그림 3] 골드테마거리 침수방어벽 설치도

내수침수 분석을 위해 30년 빈도(96.8 mm), 50년 빈도(방재성능목표 빈도, 105.4 mm), 100년 빈도(117.0 mm)에 대하여 60분 강우자료를 적용한 후 내수침수 분석을 수행하였다. 특히 이 대상지구는 2020년 태풍 하이선이 북상하였을 때, 시간당 90 mm 강우가 발생하였다. 내수침수 분석 시 우수관에서 월류된 유량에 의해 2차원 흐름해석을 수행하였으며, 유속검토 결과 최대유속 값 및 형성된 수위 값을 3차원 수치모형의 경계조건에 적용하여 침수방어벽에 미치는 유속 및 압력분포를 검토하였다.

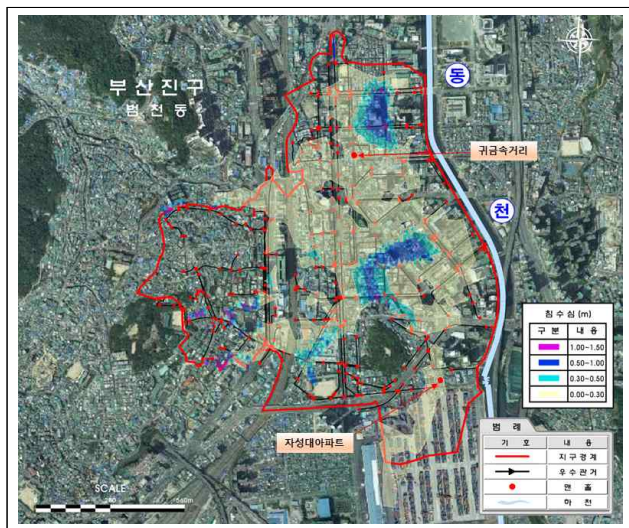
3.2 내수침수 및 흐름장 분석

대상지구에 대하여 빈도별 60분 강우자료를 적용한 내수침수를 분석한 결과는 표 1과 같다. 골드테마거리 침수심을 분석한 결과, 30년 빈도에서 0.196 m, 50년 빈도에서 0.227 m, 100년 빈도에서는 0.262 m가 발생되었다. 하이선 태풍이 북상 시 동천 주변의 경우 7월 9일에서 7월 10일 집중호우 시 시간당 최대 강우량이 48 mm, 누적강우량은 169 mm가 발행하였다. 자성대 아파트의 경우 하이선이 북상하였을 때, 동천이 범람하여 1층 전체

가 침수되었으며, 약 1 m 정도의 침수가 발생되었다고 기술되었다. 그러나 금회 내수침수에서는 자성대 아파트의 경우 침수는 발생하였지만 침수심 결과는 0.10 m 이하로 발생하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 이유는 동천의 범람현상은 재현할 수 없으며 해일로 인해 발생한 최대 조위 값 우수관 유출부에 외수위 조건으로 적용한 후 내수침수 분석을 수행해야하기 때문에 실제 보고된 침수심과는 차이가 발생할 수 있다. 따라서 해안지역의 위치한 지역의 경우 침수분석을 수행 시 내수침수와 더불어 하천 범람현상으로 인해 발생할 수 있는 외수침수를 병행해서 침수분석을 수행할 필요가 있는 것으로 판단된다.

[표 1] 빈도별 침수분석 결과

빈 도	30년	50년	100년
침수면적(ha)	8.20	11.00	12.48
최대 침수심(m)	1.37	1.51	1.55
평균 침수심(m)	0.50	0.52	0.54
총 지체유량(m ²)	71,225	83,096	99,223

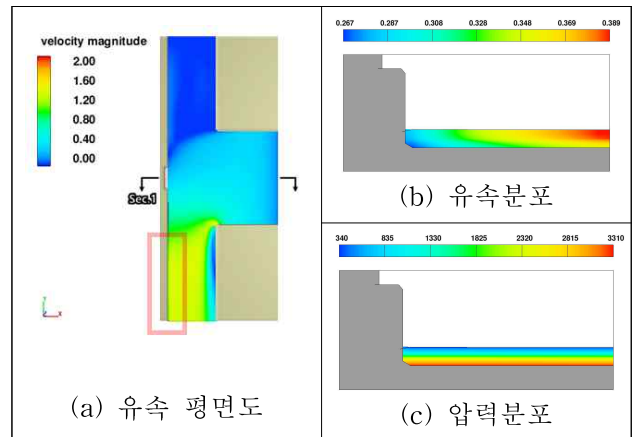


[그림 4] 50년 빈도 강우량 적용 침수모의 결과

골드테마거리 상가에 설치되어 있는 침수방어벽에 대한 수리학적 안정성을 상세검토하기 위해서 SWMM 내 Tuflow 모형에서 침수 발생 시 분석된 최대 유속값을 경계조건으로 3차원 수치모의를 수행하였다.

골드테마거리 내 침수해석을 수행하여 분석된 최대유속은 0.504 m/s(30년 빈도), 0.514 m/s(50년 빈도), 0.528 m/s(100년 빈도)이다. 적용된 최대유속값은 0.528 m/s 적용한 후 침수방어벽에 접근하는 유속은 약 0.3 m/s, 압력은 3,300 Pa 이하로 분석되었다. 침수방어벽이 그림

5(a)에서 박스 실선 내에 설치되어 있을 경우 침수방어벽에 접근하는 유속은 최대 1.56 m/s가 발생되었으며, 압력은 2.043 Pa 이하이다.



[그림 5] 침수방어벽 주변 유속 및 압력분포

내수침수 발생 시 중요한 구조물에 대하여 수리학적 안정성을 평가하기 위해서는 SWMM 내 2차원 흐름모의 결과에서 도출된 유속값을 이용하여 3차원 상세 흐름해석을 수행하여 유속 및 압력분포를 검토하는 것이 구조물 안정성 측면에서 타당할 것으로 판단된다. 이와 같은 이유는 내수침수의 경우 유역의 경계범위 때문에 유역 내 건물들에 대한 특성을 상세히 재현할 수 없다. 즉 건물로 인해 흐름방향이 변경될 수 있는 현상을 재현할 수 없기 때문에 이를 고려할 수 있는 3차원 수치모의가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 해안도시 유역의 내수침수 분석을 위해 부산 동천과 해안에 인접한 지역으로 기존에 침수 피해가 발생했던 지역들을 대상지구로 설정한 후 XP-SWMM 및 Flow-3D 모형을 적용하여 침수면적, 침수심, 침수에 의한 유속 등을 상세 분석하여 침수방어 시설에 대하여 검토하였다.

침수해석 분석 결과는 다음과 같다.

- XP-SWMM을 이용하여 내수침수 분석을 수행한 결과, 골드테마거리 침수심을 분석한 결과, 30년 빈도에서 0.196 m, 50년 빈도에서 0.227 m, 100년 빈도에서는 0.262 m가 발생되었다. 자성대 아파트의 경우 침수는 발생하였지만 침수심 결과는 0.10 m 이하로 발생하는 것으로 분석되었다.
- 자성대 아파트의 경우 침수심 검토 결과가 상이한

이유는 동천의 범람현상은 재현할 수 없으며 해일로 인해 발생된 최대 조위 값 우수관 유출부에 외수위 조건으로 적용한 후 내수침수 분석을 수행해야하기 때문에 실제 보고된 침수심과는 차이가 발생할 수 있다.

- 골드테마거리의 건물 및 지형을 3차원으로 구성한 후 SWMM 내 TufLOW 모형에서 침수 발생 시 분석된 최대 유속값 0.528 m/s를 경계조건으로 적용하여 3차원 수치모의를 수행한 결과, 침수방어벽에 분포할 수 있는 유속은 0.3 m/s ~1.56 m/s이다.
- 해안지역의 침수해석을 정확히 예측하기 위해서는 내수침수와 더불어 하천 범람현상으로 인해 발생될 수 있는 외수침수를 병행해서 침수분석을 수행해야 하며, 유역 내 중요 구조물이 존재하는 경우 도시유출모형에서는 유역의 경계범위 때문에 건물들을 재현할 수 없기에 3차원 수치모형을 이용하여 3차원 지형 및 건물을 정확히 재현한 후 흐름현상을 재현하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20RITD-C156943-01)

참고문헌

- [1] Flow Science. 2019, Flow-3D User's Manual. Los Alamos, NM, USA.
- [2] 부산광역시(2015). 부산광역시 하수도정비기본계획(변경).
- [3] EAP.(2010). Storm Water Management Model User's Manual(Version 5.0)