연안 지역 초고층 및 지하연계 복합건축물의 침수 피해 저감을 위한 기술적 검토(Ⅱ): 적용 사례 분석

A Technical Review for Reducing Inundation Damage to High-Rise and Underground-Linked Complex Buildings in Coastal Areas (2): Case Analysis for Application

강태욱* · 이상호** · 최흥배*** · 윤성범****

Kang, Taeuk*, Lee, Sangho**, Choi, Heungbae***, and Yoon, Sung Bum****

Abstract

A system of prior consultation for disaster impact reviews is being implemented for high-rise buildings and underground-linked complexes in Korea. However, there is no specific guidance within the system on inundation analysis. The main purpose of this study is to suggest a method for inundation analysis that takes into consideration the dangers to coastal areas arising from disasters. After reviewing cases of damage to coastal areas, the proposed elements for the analysis include probable rainfall over a 100-year return period, wave overtopping rates caused by storm surges or tsunamis, and tidal water levels (approximate highest high water level and storm surge height or tsunami height). In order to test these elements in a case study, we used ANSWAN (a coupled model of ADCIRC and UnSWAN) and FLOW-3D models to calculate tidal water levels and wave overtopping rates caused by storm surges, respectively. The analysis of a tsunami was performed using a HYCERG-FDTSU model developed by Hanyang University. XP-SWMM was used for a comprehensive inundation analysis. To validate the proposed analytical method, it was applied to Marine City in Busan. The results showed that the proposed analytical method is suitable for use within the system of prior consultation for disaster impact reviews in order to prepare for possible disasters.

Key words : Coastal Areas, Inundation Analysis, Tidal Level, Wave Overtopping, Disaster Impact Review

요 지

우리나라에서는 초고층 건축물 및 지하연계 복합건축물에 대하여 재난영향성검토에 관한 사전협의 제도가 시행되고 있다. 하지만 해당 제도에는 침수 분석에 관한 구체적인 지침이 부재하다. 본 연구의 목적은 연안 지역의 재난 위험성을 고려한 침수 분석 방법을 제시하는데 목적이 있다. 이에 본 연구에서는 연안 지역의 피해 사례를 검토하여 100년 빈도 이상의 확률강우량, 폭풍 해일 또는 지진 해일에 의한 월파량, 조위(약최고고조위+폭풍 해일 또는 지진 해일에 의한 해일고)를 고려하여 분석할 것을 제안하였다. 본 연구에서는 상기의 조건들을 고려한 사례 분석을 위해 폭풍 해일에 의한 조위와 월파량 분석에 각각 ADCSWAN (coupled model of ADCIRC and UnSWAN) 모형과 FLOW-3D 모형을 이용하였다. 지진 해일에 대한 분석은 한양대학교에서 개발한 HYCERG-FDTSU 모형을 적용하였다. 그리고 종합적인 침수분석에는 XP-SWMM을 이용하였다. 금회 제안한 분석 방법의 적절성을 검토하기 위해 부산광역시 마린시티 유역에 대하여 적용하였다. 그 결과, 발생 가능한 재난에 대비하기 위한 제도인 재난영향성검토에 관한 사전협의에서는 금회 제안한 분석 방법을 적용하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 연안 지역, 침수 분석, 조위, 월파, 재난영향성검토

*정회원, 부경대학교 방재연구소 전임연구교수(E-mail: ktw62@hanmail.net)

Member, Research Professor, Disaster Prevention Research Institute, Pukyong National University

**교신저자, 정회원, 부경대학교 공과대학 토목공학과 교수(Tel: +82-51-629-6076, Fax: +82-51-629-6063, E-mail: peterlee@pknu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Pukyong National University

***㈜지오시스템리서치 선임(E-mail: hbchoi@geosr.com)

Senior Engineer, GeoSystemResearch Corporation

****정회원, 한양대학교 공학대학 건설환경공학과 교수(E-mail: sbyoon@hanyang.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, ERICA Campus

1. 서 론

우리나라는 지형 특성상 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 사회기반시설 및 도시 지역들이 내륙뿐만 아니라 연안 지역에도 위치하고 있다(Song et al., 2017). 특히, 연안 지역은 바다를 전망으로 하는 입지 조건을 가지고 있으므로 개발 선호도가 높고, 이에 따라 부산시 해운대의 마린시티와 같은 대규모 건축물의 개발이 지속되고 있다.

한편, 초고층 및 지하연계 복합건축물은 단순한 건축물이 아닌 도시와 국가 위상과 상징을 가지는 랜드마크(landmark)로서 의미를 지니기 때문에 그 자체로 국가 경쟁력의 상징으로 인식되고 있다(Choi and Ki, 2013). 이와 관련하여 우리나라에서는 2011년에 초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법을 제정하였다. 그리고 해당 법령에 따라 초고층 및 지하연계 복합건축물의 설치에 대한 허가·승인·인가·협의·계획 수립 시, 재난영향성검토에 관한 사전협의(이하 사전재난영향성검토협의)를 받도록 지정하였다.

본 연구는 연안 지역의 재해 위험성을 고려하여 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의 중 침수에 관한 대책 수립을 위한 기술적 분석 방법을 제시하는 것에 목적이 있다. 연안 지역의 침수 분석에 관한 최근의 연구들로서, Han et al. (2014)는 XP-SWMM을 이용하여 창원시 배수 구역을 대상으로 침수 모의를 수행하였는데, 연안 도시의 침수 모의에는 조위의 영향을 반드시 고려해야 함을 제시하였다. Song et al. (2017)은 부산시 해운대구 수영만 일원을 대상으로 XP-SWMM을 이용하여 방재성능 목표 강우량과 설계빈도의 해일고를 고려한 후, 월파량의 적용 유무에 따른 침수 면적을 비교하였다. 해당 연구에서는 월파량 산정에 Owen (1980)의 무차원 월파량 공식을 적용하였다. Choi, Song, et al. (2018)은 XP-SWMM을 활용하여 경상남도 사천시 선구동 일대를 중심으로 초과 강우 사상

및 해수면 상승 시나리오를 조합하여 침수범람도를 작성하였는데, 해수면의 상승을 고려하는 경우에 침수 면적이 크게 증가하는 결과를 도출하였다. 또한, Choi, Park, et al. (2018)은 XP-SWMM을 이용하여 여수시 연등천 및 여수시청 지역에 대하여 강우 시나리오와 해수위 상승 시나리오를 고려한 복합 원인에 의한 침수 모의를 수행하여 홍수예정보 기준표를 작성하였다.

상기의 연구 사례들과 같이 연안 지역에 대한 침수 분석에 관한 연구는 매우 다양하다. 하지만 대부분의 연구들은 실제 현상의 재현 또는 외력 발생 시나리오에 따른 침수예상도 작성 등에 주로 초점이 맞추어져 있다. 반면에 본 연구는 연안 지역에 대한 침수 피해 저감을 위한 사전재난영향성검토협의 제도 측면의 분석 방법 제시를 목표로 하고 있으므로 기존 연구들과 차별된다.

본 연구의 선행 연구인 Kang et al. (2019)에서는 연안 지역에 대한 사전재난영향성검토협의 내용 중 침수 분석에 필요한 요소들을 분석하여 기술적인 방법론을 제시하였다. 본 연구에서는 해당 기술적 고려사항을 구현할 수 있는 구체적인 분석 방법을 제시하였고, 실제 사례에 적용하였다. 본 연구에서 적용한 대상 지역은 부산광역시의 해운대 마린시티이고, 금회 제안한 사전재난영향성검토 협의 측면의 침수 분석 방법의 적절성을 여러 시나리오에 대한 분석을 통해 검토하였다.

2. 연구 방법

2.1 사전재난영향성검토협의를 위한 침수 분석 절차

직전 연구(Kang et al., 2019)에서 초고층 및 지하연계 복합건축물의 침수 피해 저감을 위한 사전재난영향성검토협의의 침수 분석에 관한 절차를 Fig. 1과 같이 제시하였다. 이를 요약 정리하면, 다음과 같다.

Fig. 1. Schematic Diagram for Inundation Analysis of High-rise and Underground-linked Complex Buildings in Coastal Areas (Kang et al., 2019)

침수 분석은 폭풍 해일과 지진 해일에 대하여 독립적으로 수행한다. 두 조건에 대한 침수 분석의 절차는 강우의 고려 유무를 제외하면 동일하다. 즉, 태풍에 의해 발생하는 폭풍 해일을 고려하는 경우에는 강우를 동반할 가능성이 매우 크므로 강우 조건을 고려하는 반면, 지각 변동에 의한 지진 해일은 기상 상황과 무관하므로 강우 조건을 고려하지 않는다. 이때 폭풍 해일을 고려한 침수 분석에는 사전재난영향성 검토협의 제도가 발생 가능한 재난에 대비한 계획임을 감안하여 100년 빈도 이상의 확률강우량을 반영하도록 하였다. 그리고 폭풍 해일 또는 지진 해일을 고려하는 경우 모두 해수면 상승에 따른 배수 영향(back water)을 고려하기 위해 약최고고조위(approximate highest high water level; Approx. HHW) 등의 조위를 고려하도록 하였다. 또한, 폭풍 해일 또는 지진 해일에 의해 발생될 수 있는 월파량(wave overtopping rate)을 반영하되, 이때 해일에 의해 발생하는 해일고는 조위에 추가적으로 고려되어야 한다. 마지막으로 이러한 모든 침수 피해 요소를 고려할 수 있는 모형을 통해 폭풍 해일과 지진 해일 발생 조건에 대한 침수 분석을 각각 수행하고, 상대적으로 침수 피해 규모가 큰 조건에 대하여

침수 방지 대책을 수립한다.

2.2 대상 구역

본 연구의 대상 구역은 부산광역시 해운대구 우동에 위치한 마린시티 구역이다. 해운대 마린시티는 과거 수영만 매립지였던 곳에 조성된 주거지 중심의 신도시 지역으로서 초고층 건물이 다수 위치하고 있다. 또한, 마린시티는 Fig. 2와 같이 2016년 태풍 차바 당시에 월파에 의한 해수 월류로 인해 도로 및 상가 일부가 침수를 겪었고, 2018년 태풍 콩레이의 내습 시에도 해수 월류가 발생하는 등 해수 월류에 의한 피해 발생지역으로서 의미가 있다.

2.3 분석 모형

2.1절에서 기술한 개별 침수 피해 위험 요소와 연안 지역의 종합적인 침수 분석을 수행할 수 있는 모형 선정이 요구된다. 우선, 구역의 강우-유출에 대한 현상 모의와 관거 등의 배수 체계를 모의할 수 있고, 경계조건 설정에 따라 배수 효과 모의와 2차원 침수 분석을 수행할 수 있는 모형이 필요하다. 이에 본 연구에서는 국·내외에서 도시 침수 모의에 활용도

(a) Wave overtopping¹⁾

(b) During inundation²⁾

(c) After inundation³⁾

Photo source:

¹⁾ <https://www.asiae.co.kr/article/2016100611245650373>

²⁾ <https://www.yna.co.kr/view/AKR20161005121300051>

³⁾ <http://www.busan.com/view/busan/view.php?code=20161005000244>

Fig. 2. Marine City during Typhoon Chaba

가 매우 높은 XP-software사의 XP-SWMM을 이용하였다. 특히, XP-SWMM은 절점에 외부의 발생 유량을 입력할 수 있는데, 이에 따라 해일에 의한 월파량을 고려할 수 있다.

태풍에 의해 발생하는 폭풍 해일의 영향을 예측하기 위해서는 기본적으로 태풍에 의한 기압 강하, 해상풍, 진행 속도 등에 의한 해수면 변화 양상 및 조석-해일-파랑에 대해 충분히 재현 가능해야 한다. 본 연구에서는 국내·외에서 검증 및 공인된 폭풍 해일 ADCIRC 모형과 파랑 모형인 UnSWAN 이 결합된 ADCSWAN (coupled model of ADCIRC and UnSWAN) 모형을 적용하였다. 한편, ADCIRC 모형은 월파량 산정에 단순 경험식을 적용하는 단점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 파랑 스펙트럼을 고려한 불규칙 파랑 현상을 재현할 수 있고, 유동과 파랑을 동시에 고려하여 월파량 산정에 적합한 FLOW-3D 모형을 이용하였다. 한편, 지진 해일의 경우 한양대학교에서 개발한 HYCERG-FDTSU 모형을 선정하여 적용하였다.

Fig 3은 분석에 사용된 모형과 각각의 모형에 의해 산정되

는 결과물 및 모형 간 연계를 나타낸 그림이다.

3. 연구 내용

3.1 폭풍 해일의 영향 분석

본 연구에서는 태풍 차바 시 발생된 폭풍 해일 상황을 모의하기 위해 ADCSWAN 모형을 이용하여 폭풍 해일 모형을 구축하였다. 모형 구축 시 해안선과 수심 자료는 국립해양조사원의 최신 자료를 활용하였다. Fig. 4는 ADCSWAN 모형을 이용하여 구축한 폭풍 해일 모형의 격자 및 수심도를 나타낸 그림이다.

FLOW-3D 모형을 이용하여 XP-SWMM의 입력자료인 월파량을 산정하였다. 이때 FLOW-3D 모형에 사용된 파랑과 폭풍 해일의 입력 경계는 3개의 구역으로 구분하였고, ADCSWAN 모형의 결과를 해당 영역의 경계값으로 부여하였다. FLOW-3D 모형은 ADCSWAN 모형의 결과를 토대로 월파 발생 전부터 월파가 종료되는 시점까지 모의되었다.

Fig. 3. Models Used for Inundation Analysis in Coastal Areas and Connection between the Models

Fig. 4. Mesh and Depth Map for Storm Surge Model

(a) Input (wave and storm surge) area

(b) Output (wave overtopping rate) area

Fig. 5. Simulation Boundaries of FLOW-3D Model

Fig. 6. Wave Overtopping Rate Calculated by FLOW-3D Model at Marine City during Typhoon Chaba

그리고 해운대 마린시티 방파제 주변의 30 m 간격으로 생성된 32개의 격자를 통과하는 각각의 유량을 산정하여 월파량으로 결정하였다. Fig. 5는 FLOW-3D 모형의 입력 경계 및 출력 경계 영역을 나타낸다. 그리고 Fig. 6은 FLOW-3D 모형을 이용하여 산정된 32개 격자의 시간별 월파량 합계의 시계열을 나타낸다. 즉, Fig. 6은 태풍 차바 시 월파로 인해 마린시티로 유입된 해수 시계열을 모의한 결과이다.

3.2 지진 해일의 영향 분석

우리나라에 영향을 미치는 지진 해일이 발생하는 대표적인 지진원은 Fig. 7에 나타난 것과 같이 동해 동연부(East Rim of East Sea)에 위치한 활 단층대와 류큐 열도를 따라 발달한 류큐 해구(Ryukyu Trench)이다. 사전 모의를 통해 동해 동연부의 지진에 의한 해일고가 류큐 해구 지진에 의한 해일고보다 높은 것으로 나타났고, 이에 본 연구에서는 동해 동연부의 지진에 의한 해일고 분석 결과만 제시하였다.

동해 동연부에서 발생한 과거 지진의 최대 규모는 M_w 7.9 (1983년 동해 중부 지진해일)이고, 대부분 M_w 6.5~7.5이다. 본 연구에서는 보수적인 지진 규모 설정을 위해 동해 동연부에서 발생 가능한 모멘트 규모 M_w 7.9의 지진보다

0.2 큰 M_w 8.1 규모의 지진으로 인해 지진 해일이 발생하는 조건을 고려하였다.

Fig. 7. Epicenters around the Korean Peninsula

본 연구에서 단층 제원에 따른 지진 해일의 초기 수면 분포는 Mansinha and Smylie (1971)의 해석해를 적용하여 산정하였고, 동해 동연부에서 발생하는 지진원의 단층 파라미터는 총 11가지의 경우로 설정하여 수치 모의하였다(Fig. 8 참조). 그 결과, 마린시티 주변 해역의 약최고고조위(EI. 1.3 m)를 고려한 최대 해일고는 약최고고조위보다 1.04 m 높은 것으로 분석되었다(Fig. 9 참조). 이에 따라 마린시티 주변의 지진 해일을 고려한 최대 해일고는 EI. 2.34 m이나, 마린시티의 지반고인 EI. 3 m보다 낮아 지진 해일에 의한 범람 발생의 위험은 낮은 것으로 판단되었다.

Figs. 8과 9는 각각 동해 동연부에서 발생하는 M_w 8.1의 지진 해일 시나리오 중 4가지 경우에 대하여 초기 파형과 마린시티 주변의 최대 지진 해일고(약최고고조위 기준의 높이(m))를 분석한 결과이다.

3.3 2차원 침수 모형 구축

본 연구에서는 대상 유역인 마린시티에 대한 강우-유출 모의 모형 구축을 위해 수치지형도, 부산시 우수 시설 계획평면도 등을 이용하고, 현장 조사를 통해 유역과 관거 분할을 수행하였다. 그 결과, 마린시티 유역은 25개의 소유역과 25개의 우수 관거로 구분되었고, 8개소의 방류부가 확인되었다(Fig. 10(a)).

Fig. 10(a)에 제시된 마린시티 유역의 배수체계를 Fig. 10(b)와 같이 XP-SWMM으로 구현하였다. XP-SWMM을 이용한 강우-유출 계산을 위한 강우자료는 유역의 규모를 고려하여 5분 단위로 하였다. XP-SWMM의 계산 시간 간격은

유역과 하도로 구분되는데, 금회 분석에서는 강우의 시간 간격과 우수 관거의 길이를 고려하여 유역 추적의 계산 시간 간격은 5분, 하도 추적의 계산 시간 간격은 1초로 하였다.

XP-SWMM을 이용하여 2차원 지표면 침수 해석을 위해서는 지형 자료의 생성이 요구된다. 본 연구에서는 1:5000 수치지도와 드론을 이용하여 자체 측량한 자료를 이용하여 수치 지형 표고 모형(digital terrain model; DTM)을 구축하였고, 이를 이용하여 2차원 모의 격자를 생성하였다. 격자의 크기는 3×3 m이고, 생성된 격자 개수는 82,662개이다. 2차원 침수 모의를 위한 수치 모의 시간 간격은 1초로 하였다.

한편, Fig. 10(b)에서 해안 쪽에 많은 절점(junction)이 위치하는 것을 볼 수 있는데, 해당 절점은 FLOW-3D 모형에 결정된 폭풍 해일에 의한 월파량을 입력하기 위해 설정된 것이다. 본 연구에서는 FLOW-3D 모형에 의해 결정된 월파량을 XP-SWMM의 입력자료로 구축하기 위해 32개의 절점을 생성하였다.

3.4 침수 모의 조건

본 연구에서 제시한 사전재난영향성검토협의 측면의 침수 분석 방법의 적절성을 검토하기 위해 4가지의 시나리오에 대하여 분석하였다. 시나리오별 분석 조건은 Table 1과 같다. Case-1은 기존의 우수 관거 설계에 사용되는 방법을 고려한 것으로서, 30년 빈도의 확률강우량과 외수위 조건으로 약최고고조위를 고려한 시나리오이다. Case-2는 Case-1의 조건에서 확률강우량을 100년 빈도로 상향한 시나리오이고, Case-3은 30년 빈도의 확률강우량과 약최고고조위 및 해일고와

Fig. 8. Initial Waveform of Tsunami by Scenario (unit: m)

Fig. 9. Maximum Water Level of Tsunami near Marine City by Scenario (unit: m)

(a) Subbasins and conduits

(b) Modeling of XP-SWMM

Fig. 10. Separation of Subbasins & Conduits and Modeling of XP-SWMM for Marine City

Table 1. Scenarios for Inundation Analysis

Scenario	Probably rainfall (frequency)	Downstream boundary condition	Wave overtopping	Remark
Case-1	30	Approx. HHW	×	Traditional design method for storm sewer
Case-2	100	Approx. HHW	×	
Case-3	30	Approx. HHW + storm surge height	○	
Case-4	100	Approx. HHW + storm surge height	○	Proposed method in this study

월파량을 고려한 시나리오이다. 그리고 Case-4는 본 연구에서 제안한 분석 방법으로서 100년 빈도 확률강우량과 약최고 고조위 및 해일고와 월파량을 모두 고려한 시나리오이다. 한편, 마린시티의 경우 지진 해일에 의한 월파는 발생하지 않는 것으로 분석되었으므로 지진 해일에 관한 시나리오는 고려되지 않았다.

각각의 침수 위험 요소에 대한 적용 방법은 다음과 같다. 확률강우량은 MLTM (2011)에서 제시한 값을 활용하되, 마린시티의 유역 규모를 고려하여 강우의 지속시간을 1시간으로 설정하였다. 이때, 확률강우량의 시간 분포는 Huff 3분위를 활용하였다. 하류단 경계조건에는 부산 조위관측소 기준의 약최고고조위(El. 1.3 m)가 적용되었고, 마린시티로 유입되는 해수의 월파량은 3.1절에서 분석된 태풍 차바 시의 월파량이다. 참고로 태풍 차바 시의 월파량은 약 50년 빈도의 폭풍 해일에 해당되었다. 한편, 확률강우량의 지속시간은 1시간인 반면, 태풍 차바 시 월파의 지속시간은 약 4시간으로 동일하지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 강우의 중심과 월파의 중심이 동일하도록 확률강우량을 배치하여 모의하였다.

3.5 침수 모의 결과 분석 및 고찰

Fig. 11은 시나리오별 침수 모의 결과를 나타낸다. 폭풍 해일에 의한 월파량과 해일고를 고려하지 않은 Case-1과 Case-2의 경우, 해안과 인접한 마린시티 전면부에서는 침수가 전혀 발생하지 않는 것으로 분석되었다. 다만, 적용된 확률강우량의 빈도에 따라 주로 마린시티 배면부에서 우수 관거의 통수능 부족으로 국부적인 침수가 나타났다. 반면에 폭풍 해일에 의한 월파량과 해일고를 고려한 Case-3과 Case-4의 경우, 마린시티 전면부에서 대대적인 침수가 발생하는 것으로 분석되었다. Case-3과 Case-4는 적용된 확률강우량이 각각 30년 빈도와 100년 빈도로 다르므로, Case-1과 Case-2의 차이처럼 마린시티 배면부의 침수 정도의 차이가 발생하였다.

Fig. 12는 공공데이터포털(<https://www.data.go.kr/>)에서 제공하는 마린시티 지역의 침수흔적도이다. 마린시티 지역의 침수 흔적은 주로 마린시티 전면부에 위치하는 것을 볼 수 있는데, 이는 금회 분석 시나리오 중 Case-3 및 Case-4와 유사하다. 즉, 마린시티 지역의 과거 주된 침수는 월파에

Fig. 11. Simulation Results of Inundation Analysis by Method

의해 나타난 것으로 판단할 수 있다. 다만, 금회 분석에서는 우수 관거의 설계빈도 이상에 해당하는 확률강우량을 고려함에 따라 침수흔적도에 비해 침수 범위가 보다 넓은 것으로 분석되었다.

Fig. 12. Inundation Trace Map of Marine City

금회 분석된 마린시티 지역은 월파가 침수 유발의 주된 원인이지만, 인천 소래포구, 부산 센텀시티 등은 월파 없이

조위 상승이 침수 문제를 유발하는 지역이다. 또한, 태풍 차바 시 울산의 경우처럼 300년 빈도 이상의 강우가 기록되는 지역도 존재한다. 본 연구에서 연안 지역의 모든 피해 사례를 검토할 수는 없고, 제안한 침수 분석의 요소(100년 빈도 이상의 강우, 약최고고조위, 해일에 의한 월파 및 해일 고)가 모두 동시에 발생하지 않을 수는 있다. 하지만 재난 측면의 계획인 사전재난영향성검토협의 제도의 목적을 고려할 때 연안 지역에서는 금회 제안한 침수 분석 방법이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 연안 지역의 재해 위험성을 고려하여 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의 시 고려되어야 할 분석 방법을 제시하였다. 사전재난영향성검토협의 제도는 발생 가능한 재난에 대비한 계획을 수립하는 제도로서 기존의 우수 관거 계획과는 차별되어야 한다.

관련하여 직전 연구(Kang et al., 2019)에서는 연안 지역의 사전재난영향성검토 시 100년 빈도 이상의 강우, 폭풍 해일 또는 지진 해일에 의한 월파량에 대한 검토가 필요함을 제시하였다. 또한, 조위의 경우에도 약최고고조위에 폭풍 또는 지진 해일에 의한 해일고를 추가적으로 고려하여 적용되어야 함을 기술하였다. 본 연구에서는 이를 고려하기 위해

폭풍 해일에 의한 조위와 월파랑 분석에 각각 ADCSWAN 모형과 FLOW-3D 모형을 이용하였다. 지진 해일에 대한 분석은 한양대학교에서 개발한 HYCERG-FDTSU 모형을 적용하였다. 그리고 최종적인 침수 분석 모형에는 XP-SWMM을 이용하였다.

금회 제안한 분석 방법의 적절성 검토를 위해 부산광역시 마린시티 유역에 적용하여 침수 모의 결과를 검토하였다. 그 결과 기존의 우수 관거 계획에 사용되는 방법과 월파를 고려하지 않은 조건만으로는 마린시티의 침수 문제에 적절히 대응할 수 없는 것으로 분석되었다. 반면에 금회 제안한 방법으로 해석할 경우, 과거 침수 흔적을 포함한 재난에 대비한 적절한 계획을 수립할 수 있는 것으로 판단되었다.

본 연구에서 제시한 연안 지역의 침수 모의 방법과 분석 사례는 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의 시 분석 방법의 사례로서 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문은 행정안전부 극한 재난대응 기반기술 개발사업의 일환인 “해안가 복합재난 위험지역 피해저감 기술개발 (연구과제번호: 2018-MOIS31-008)”의 지원으로 수행되었습니다.

References

Choi, D.C., and Ki, J.M. (2013). Preliminary disaster impact inspection for high-rise and underground-linked complex buildings. *Proceedings of 2013 Fall Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 39-39.

Choi, G., Song, Y., and Lee, J. (2018). Analysis of flood occurrence type according to complex characteristics of coastal cities. *Proceedings of 2018 Conference*,

Korean Society of Hazard Mitigation, p. 180.

Choi, J., Park, K., Choi, S., and Jun, H. (2018). A forecasting and alarm system for reducing damage from inland inundation in coastal urban areas: A case study of Yeosu City. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 475-484.

Han, H., Kim, Y., Kang, N., and Kim, H.S. (2014). Inundation analysis of a coastal urban area considering tide level. *Proceedings of 2014 Conference*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 1507-1508.

Kang, T., Lee, S., and Sun, D. (2019). A technical review for reducing inundation damage to high-rise and underground-linked complex buildings in coastal areas (1): Proposal for analytical method. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 5, pp. 35-43.

Mansinha, L., and Smylie, D.E. (1971). The displacement fields of inclined faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2011). *Improvement and complementary research for probability rainfall*.

Owen, M.W. (1980). *Design of seawalls allowing for wave overtopping*. Report No. Ex 924, HR Wallingford, Wallingford, UK.

Song, Y., Joo, J., Lee, J., and Park, M. (2017). A study on estimation of inundation area in coastal urban area applying wave overtopping. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 501-510.

Received	September 10, 2019
Revised	September 10, 2019
Accepted	September 23, 2019