연안 지역 초고층 및 지하연계 복합건축물의 침수 피해 저감을 위한 기술적 검토(Ⅰ): 분석 방법 제안

A Technical Review for Reducing Inundation Damage to High-Rise and Underground-Linked Complex Buildings in Coastal Areas (1): Proposal for Analytical Method

강태욱* · 이상호** · 선동균***

Kang, Taeuk*, Lee, Sangho**, and Sun, Dongkyun***

Abstract

The development of coastal areas is accelerating in Korea, even though flood damage constantly occurs. A special law was recently enacted to manage disasters in relation to high-rise and underground-linked complex buildings, and a system of prior consultation for disaster impact reviews was implemented. However, there is no specific technical scope within the system for inundation analysis. The purpose of this study is to suggest technical considerations to reduce inundation damage to high-rise buildings and underground-linked complex buildings constructed in coastal areas. We reviewed various criteria, guidelines, and prior studies and investigated inundation damage cases in coastal areas. We found that flood damage in coastal areas can be caused by rainfall amounts above the design frequency, poor interior drainage during rising tidal water levels, and the inflow of seawater (wave overtopping) during storm surges or tsunamis. We also analyzed the frequency of rainfall occurrence due to recent climate changes and reviewed the cases of damage caused by tidal water levels and wave overtopping. Finally, we proposed a method of inundation analysis for coastal areas during natural disasters. This method may contribute to a reduction in flooding damage arising alongside the development of coastal areas.

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

요 지

우리나라의 연안 지역에 대한 개발은 가속화되는 반면, 침수 피해는 지속적으로 발생되고 있다. 한편, 최근에는 초고층 건축물 및 지하연계 복합건축물에 대한 재난 관리를 위해 특별법이 제정되었고, 이에 따라 재난영향성검토에 관한 사전협의 제도가 시행되고 있다. 하지만 해당 제도 중 침수 분석에 관한 구체적인 기술적 범위가 부재한 실정이다. 이에 본 연구는 연안 지역에 건설되는 초고층 건축물 및 지하연계 복합건축물의 침수 피해 저감을 위한 기술적 검토 사항을 제안하는 것에 목적이 있다. 본 연구에서는 각종 기준 및 지침과 선행 연구를 검토하였고, 연안 지역의 피해 사례를 조사하였다. 그 결과, 연안 지역의 침수 피해는 설계빈도 이상의 강우, 조위 상승에 따른 내수배제 불량, 해일에 의한 해수 유입(월파)에 의해 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 금회 연구에서는 최근의 기후 변화에 따른 강우 발생의 빈도를 분석하였고, 조위와 해일에 의한 피해 사례를 검토하여 연안 지역에서 재난에 대비하기 위한 침수 분석 방법을 제시하였다. 본 연구의 결과는 연안 지역의 개발에 따른 침수 피해의 저감에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

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

***부경대학교 공과대학 토목공학과 석사과정(E-mail: sundong1026@naver.com)

Master's Course, Department of Civil Engineering, Pukyong National University

1. 서론

지구 온난화에 따른 기후 변화는 평균 해수위를 상승시키고, 태풍 및 강우의 강도를 증가시키는 등 재해의 위험 요소를 높이고 있다. 이러한 상황에 간척과 매립을 통한 연안 지역의 개발이 가속화됨에 따라 침수 발생 위험뿐만 아니라 그로 인한 인명과 재산상의 피해가 증가할 가능성이 더욱 높아지고 있다(Kim et al., 2016). 실제로 2009년 7월 7일과 16일에 부산시 일대에서 발생한 집중호우는 600곳 이상의 침수 피해를 유발하였고(Kang et al., 2012), 2003년 태풍 매미의 내습 시, 부산 연안에서 발생한 피해액은 단 12시간 내 무려 900억 원에 달한다(Song and Lee, 2015).

한편, 최근의 초고층 건축물은 도시의 랜드마크(land mark)로서 상징적 기능뿐만 아니라 관광, 지역 경기 부양, 고용 창출 등과 같은 경제적인 효과는 물론, 토지의 효율적 이용 등의 긍정적인 효과를 도출한다. 반면에 단일 건축물의 상주 인원 증가에 따른 교통량 증가와 주거 환경의 악화, 수직적인 피난 체계 구축에 따른 재난 발생 시 피난 체계의 혼란과 안전에 대한 문제가 해결되어야 하는 과제로 남아 있다(Choi, 2011). 관련하여 기존의 초고층 및 지하연계 복합 건축물의 안전 관리는 개별 법령으로 소관 기관에서 관리함에 따라 개별법의 사각지대가 존재하였고, 통합적 재난 관리 시스템의 부재에 따른 대규모 재난으로 확산될 우려가 있었다(NEMA, 2009). 이에 따라 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 사전재난영향성 검토협의)를 받도록 지정하였다.

본 연구는 연안 지역의 재해 위험성을 고려하여 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의 시 침수 분석에 대한 기술적 검토 사항을 제언하는데 목적이 있다. 연안 지역의 재해 위험성에 관한 연구로서, Oh et al. (2014)은 연안 도시의 특성에 따른 기후 변화 취약성을 고려하여 기후 노출, 민감도, 적응 능력과 관련된 평가지표를 개발하여 국내 연안 도시 10곳의 기후 변화 취약성을 평가하였다. Jin (2014)은 홍수에 대한 적응 대책의 탄력성(resilience) 평가 기준을 제시하였고, 기후 변화로 인한 해수면 상승과 강우에 인한 홍수 발생 위험에 대하여 연안 도시(뉴욕, 로테르담, 서울)의 탄력성을 비교하였다. Kim et al. (2016)은 연안 도시의 방재를 위한 재해정보지도 콘텐츠를 제시하였는데, 해당 콘텐츠에는 복합재해콘텐츠, 대피·시설콘텐츠, 학습콘텐츠로 구분된다. 특히, 복합재해콘텐츠에는 연안 피해와 하천 범람 및 도시 침수가 함께 복합된 재해를 고려하였다. 또한, Choi et al. (2018)은 경상남도 사천시 선구동 일대를 중심으로 초과 강우 및 해수면 상승 시나리오를 조합하여 침수 분석을 수행하였는데, 해수면의 상승을 고려

하는 경우에 침수 면적이 크게 증가하는 결과를 도출하였다.

상기의 연구들은 비록 방법론은 다르지만, 연안 지역의 입지적 특성을 고려하여 침수를 포함한 재해의 위험 정도를 제시한 사례들로서 의미가 있다. 하지만 해당 연구들은 연안 지역의 피해 특성 분석에 목적을 두고 있어 침수 분석 방법에 대한 고찰은 상대적으로 결여되어 있다. 특히, 연안 지역에 초고층 및 지하연계 복합건축물이 계획될 경우, 사전재난영향성검토협의를 위해 침수 분석과 침수에 대한 대책을 수립해야 하는데, 분석의 범위와 기술적 수준에 관한 지침이 부재한 실정이다. 이에 본 연구에서는 연안 지역의 위험성을 피해 사례 중심으로 검토하고, 현재의 분석 기술 수준을 고려하여 사전재난영향성검토협의 시 수행되어야 할 침수 분석의 방법론을 제시하였다.

2. 사전재난영향성검토협의 제도와 연안 지역

2.1 초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법

초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법은 제1장 제1조에서 초고층 및 지하연계 복합건축물과 그 주변 지역의 재난 관리를 위하여 재난의 예방·대비·대응 및 지원 등에 필요한 사항을 정하여 재난 관리 체계를 확립함으로써 국민의 생명, 신체, 재산을 보호하고 공공의 안전에 이바지함을 목적으로 제정되었음을 기술하고 있다.

이에 따라 초고층 및 지하연계 복합건축물의 건축 허가·승인·인가·협의 등을 하고자 하는 경우, 사전재난영향성 검토협의를 받도록 명시하고 있다(Moon, 2017). 또한, 건축물 또는 시설물이 용도 변경이나 수용 인원 증가로 인하여 초고층 건축물 등이 되는 경우에도 사전재난영향성검토협의의 절차를 거쳐야 한다.

초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법에 따른 사전재난영향성검토협의의 내용은 종합방재설 설치 및 종합재난관리 체계 구축, 내진설계 및 계층설비 설치 계획, 테러 대비 시설 설치 및 관리 계획, 지하 공간의 침수 방지 계획 등 재난에 대비하기 위한 다수의 평가요소를 포함한다(MPSS, 2014). 본 연구는 이 가운데 지하 공간의 침수 방지 계획 수립을 위한 침수 분석 시 고려되어야 할 기술적인 검토 방법을 대상으로 하고 있다.

2.2 연안 지역의 위험성

Kim (2018)은 Table 1과 같이 연안 지역에서 풍수해로 인한 피해의 유형을 해일·월파로 인한 내측 침수 피해, 파랑·월파에 의한 해안시설물 피해, 해안 침식 피해 등으로 구분하고 있다.

실제로 자연재해대책법 제16조(자연재해저감 종합계획의 수립)에 근거하여 2005년부터 시행되고 있는 풍수해저감 종합계획 제도에서는 해안재해를 풍수해 유형의 항목으로

구분하여 위험지구로 선정하고 대책을 수립하도록 하고 있다. 또한, 행정안전부에서는 자연재해대책법 제12조(자연재해위험개선지구의 지정 등), 제13조(자연재해위험개선지구 정비계획의 수립), 제14조(자연재해위험개선지구 정비사업계획의 수립) 등에 따라 자연재해위험개선지구를 지정하여 관리하고 있다. 해당 법령에 따른 침수 위험지구는 하천의 외수범람과 내수배제 불량으로 인한 침수가 발생하여 인명 및 건축물·농경지 등의 피해를 유발하였거나 침수 피해가 예상되는 지역이다. 해일 위험지구는 지진 해일, 폭풍 해일, 조위 상승 너울성 파도 등으로 해수가 월류되어 인명 피해 및 주택, 공공시설물 피해가 발생한 지역으로 정의된다.

상기의 내용을 종합하여 연안 지역의 사전재난영향성검토협의 제도 상 침수 문제와 관련되어 있는 사항은 내수배제 불량에 따른 내수 침수, 만조 시 조위 상승에 따른 해수의 월류, 해일에 의해 발생 가능한 월파가 해당된다.

Table 1. Type of Natural Hazard Damage in Coastal Areas (Kim, 2018)

Item	Risk factor
Facilities damage	<ul style="list-style-type: none"> • Breaking of coastal facilities by wave - Breakwater, revetment, lighters wharf etc. • Local scouring at the toe of the structures by wave • Road collapse by wave overtopping
Inundation damage	<ul style="list-style-type: none"> • Inundation damage by wave overtopping • Inundation of coastal lowlands by storm surge
Erosion damage	<ul style="list-style-type: none"> • Backshore erosion due to high swell waves • Shoreline changes caused by construction of coastal erosion control structure • Sediment transport due to the construction of artificial structures

2.3 현행 기술적 검토 수준

MPSS (2014)에서는 사전재난영향성검토협의 제도의 원활한 운영을 위하여 초고층 건축물 등의 재난 영향에 관한 다양한 요소를 사전에 검토하여 탄력적으로 적용할 수 있도록 검토 협의의 가이드라인 및 항목별 세부 검토 내용 등을 제시하고 있다.

지하 공간 침수 방지 계획과 관련하여 MPSS (2014)에서는 지상 및 지하 공간의 침수심을 결정하고, 결정된 침수심을 고려하여 차수판 또는 차수문을 계획하도록 기술하고 있다. 또한, 지하 공간의 침수 방지를 위해 지하 출입구(계단 출입구, 차량 진입로, 선칸 등)의 방지턱 높이를 결정하도록 제시하고 있다. 이외에도 침수 발생 시 피난 시설, 누전 및 정전 방지 기준, 배수용량 설정 및 집수정 설계, 비상 조명 및 안내 표시 등에 관한 사항을 제시하고 있다. 하지만 지상 및 지하 공간의 예상 침수심을 결정하는 방법에 대해서는

명확히 기술하지 않고 있다.

현행 도시 우수 관거의 설계빈도에 관한 기준으로서 환경부에서는 우수 관거의 확률 연수를 10~30년으로 적용하되, 지역의 특성 또는 필요에 따라 조정할 수 있음을 기술하고 있다(ME, 2011). 유사하게 행정안전부에서는 30년 재현기간에 상당하는 확률강우량과 기후 변화로 예측되는 미래의 강우 증가율을 고려하여 지역별 방재성능목표를 제시하였다(MOIS, 2017).

한편, ME (2011)에서는 우수배제 계획 구역이 상습 침수 지역인 경우에 수리 및 용량 검토 시, 내수 침수인지 외수 침수인지를 검토하여 항구적인 대책을 수립해야 함을 기술하고 있다. 그리고 외수에 의한 침수인 경우, 그 방류 수역의 계획 외수위를 기점 수위로 추정된 배수위(동수경사)를 고려하여 침수 해소를 위한 관거 계획을 수립하도록 하고 있다. 이때 계획 외수위의 경우, 하천인 경우 하천의 계획홍수위를 적용하고 해역인 경우 삭망만조위(朔望滿潮位)를 고려하도록 제시하고 있다. 또한, 우수 관거의 홍수량을 합리식에 의한 것을 원칙으로 하되, 필요에 따라 다양한 방법들을 사용할 수 있는 것으로 기술하고 있다.

사전재난영향성검토는 발생 가능한 재난에 대비한 측면의 계획이다. 따라서 환경부의 하수도 설계 기준과 행정안전부의 방재성능목표 등 기존의 방재 시설물 계획에 관한 기준을 사전재난영향성검토에 적용하는 것은 적절하지 않다. 즉, 초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법의 취지에 맞는 분석 방법이 요구된다.

3. 연안 지역의 침수 분석을 위한 기술적 검토 사항

3.1 확률강우량의 설계빈도

강우-유출 현상은 도시 유역의 침수 문제를 발생시키는 가장 근원적인 자연 현상이다. 현재의 하수도 설계 기준이나 행정안전부의 방재성능목표에 따른 도시 우수 관거는 30년 빈도로 계획되고 있다. 하지만 기후 변화에 따라 강우량은 과거 50년 동안 증가 추세에 있으므로 이를 고려할 필요가 있다. 예로서 Fig. 1은 기상청에서 제공하는 인천과 울산 기상관측소의 연도별 일 최대 강수량을 분석한 경년 변화를 나타낸 그림으로 강우량의 증가 추세를 확인할 수 있다.

한편, 사전재난영향성검토협의 대상인 초고층 및 지하연계 복합건축물을 계획하는 경우에는 재난 수준의 강우에 대한 분석이 요구된다. 이에 본 연구에서는 발생 가능한 재난 수준의 강우를 검토하기 위해 연안 지역에 위치한 대도시인 부산, 인천, 울산, 창원에 대하여 1990년 이후에 실제 발생한 시간 최대 강우량을 MLTM (2011)에서 제시한 확률강우량과 Fig 2와 같이 비교하였다. 그 결과 4개의 도시 모두에서 100년 빈도에 육박하거나 상회하는 강우가 발생한 것으로 분석되었다. 특히, 2016년의 태풍 차바 시 울산에 내린 시간

(a) Incheon

(b) Ulsan

Fig. 1. Interannual Variation of Daily Maximum Rainfall Amount

(a) Incheon

(b) Ulsan

(c) Changwon

(d) Busan

Fig. 2. Probable Rainfall Amount and Observed Maximum Rainfall Amount for 1-hour Duration

최대 강우량은 106.0 mm로서 이는 300년 빈도 이상의 강우량에 해당한다. 따라서 사전재난영향성검토협의에는 비록 우수 관거의 설계빈도가 30년일지라도 100년 빈도 이상의 확률강우량이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 조위의 영향

연안 지역은 바다와 인접한 지역으로 바다의 영향을 크게 받는다. 실제로 2003년 태풍 매미가 내습 시, 마산만 연안 조위가 예측치보다 2 m 이상 상승하면서 상당한 면적의 지역이 침수되었고, 인명 손실과 재산 피해도 크게 발생했다 (Yook et al., 2012).

한편, 우리나라의 남해안과 서해안 지역 일부는 강우의 영향 없이도 조위의 상승으로 인한 침수가 발생하는 지역이 존재한다. 특히 1년 중 해수면의 수위가 가장 높아지는 백중사리 시기 또는 지구와 달 사이의 거리가 짧아지는 슈퍼문(super moon) 발생 시기에 이러한 현상이 많은 곳에서 나타난다. Fig. 3은 경상남도 창원과 통영, 인천광역시 소래포구 어시장, 충청남도 서천군의 장항항에서 발생한 조위의 상승으로 인한 침수 사례를 나타낸다.

연안 지역에 내리는 강우의 유출수는 지하에 매설된 우수 관거를 따라 대부분 바다로 방류된다. 따라서 조위는 육상의

강우-유출수 배제를 억제할 수 있으므로 이에 대한 고려가 반드시 필요하다. 즉, 조위 상승에 따른 침수가 유발될 수 있는 지역에 초고층 및 지하연계 복합건축물이 건설되는 경우, 반드시 조위의 영향을 고려한 분석이 수반되어야 한다. 이는 ME (2011)에서 제시한 바와 같이 외수에 의한 침수 가능 지역의 경우 삭망만조위를 고려하여 우수 관거를 계획하는 것과 유사하다.

3.3 해일의 영향

2016년 태풍 차바 시 부산시 해운대구의 마린시티는 폭풍 해일에 의한 월파가 발생함에 따라 해수가 육상으로 대량 유입되어 대규모 침수를 유발하였다. 또한, 부산시 수영구 민락동 수변공원도 태풍 발생 시 폭풍 해일에 의한 월파가 자주 발생하는 지역이다. Figs. 4의 (a)와 (b)는 각각 태풍 차바 시 마린시티와 민락동 수변공원에 발생한 월파의 모습을 나타낸다. 특히, 민락동 수변공원에는 태풍 내습 시 폭풍 해일에 의해 큰 바위들이 밀려오기도 하였다. Fig. 4의 (c)는 2003년 태풍 매미 시 파도에 의해 밀려온 이후 부산시 수영구에서 관리하고 있는 바위와 2018년 태풍 콩레이 내습 시 밀려온 바위들을 나타낸 그림이다. 즉, 연안 지역은 폭풍 해일에 의한 침수 위험이 내재되어 있다.

(a) Masanhappo-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do (2013.03.14.)¹⁾

(b) Jeongnyang-dong, Tongyeong-si, Gyeongsangnam-do (2014.08.11.)²⁾

(c) Janghang-eup, Seocheon-gun, Chungcheongnam-do (2014.08.11.)³⁾

(d) Soraepogu, Namdong-gu, Incheon (2016.11.15.)⁴⁾

Photo source:

¹⁾ <http://www.knnews.co.kr/news/articleView.php?idxno=1064698>

²⁾ <https://news.join.com/article/15506821>

³⁾ <http://www.newssc.co.kr/news/articleView.html?idxno=33275>

⁴⁾ <https://news.join.com/article/20872015>

Fig. 3. Instances of Inundation by Rising Tidal Water Level

(a) Marine City⁵⁾

(b) Millak Subyeon Park⁶⁾

(c) Rocks washed away by storm surge at Millak Subyeon Park^{7),8)}

Photo source:

⁵⁾ <http://www.wsobi.com/news/articleView.html?idxno=40615>

⁶⁾ <http://m.news.zum.com/articles/38138834>

⁷⁾ <https://jsksoft3.tistory.com/133>

⁸⁾ <https://tv.zum.com/play/817955>

Fig. 4. The Risk of Coastal Areas by Storm Surge

한편, 2016년 9월 12일에 경주에서 진도 5.8의 지진이 발생하였고, 2017년 11월 15일에는 포항에서 진도 5.4의 지진이 발생함(Baek et al., 2018)에 따라 우리나라에서도 지진에 대한 경각심이 대두되고 있다. 해저에서 발생하는 지진, 해저 화산 폭발 등의 급격한 지각 변동은 지진 해일을 유발한다. Sohn et al. (2018)에 의하면, 우리나라에서도 Fig. 5와 같이 1983년과 1993년에 일본 서안에서 지진이 발생하였고, 이로 인해 일부 지역의 피해 기록이 존재하는 것으로 기술하였다. 또한, 해당 연구에 의하면, 우리나라에서는 강원 지역이 가장 큰 해일 위험 지역이고, 진도 규모 7.0 이상일 때 지진 해일 주의보(파고: 0.5~1.0 m)가 발생되는 것으로 제시하였다.

상기의 내용을 고려할 때, 연안 지역에 위치한 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협회의는 해일에 대한 영향 검토가 필요하다. 이러한 해일에 의한 영향은 2가지로 구분된다. 첫 번째는 해일에 의해 형성된 높은 파도가 직접적으로 육지로 넘어 들어오는 월파(wave overtopping)이다. 즉, 이러한 월파의 가능성을 평가하고, 월파가 발생하는 경우에는 월파량에 의한 침수 가능 범위가 분석되어야 한다. 두 번째는 해일에 의한 영향으로 조위를 상승시키는 해일고에 대한 고려이다. 이는 전 절에서 기술한 조위를 고려한 해석의 필요성과 동일한 의미이고, 약최고고 조위 또는 삭망만조위 등의 조위에 해일고가 추가적으로 고려되어야 한다.

Fig. 5. Location of Two Recent Tsunamis in East Sea (Sohn et al., 2018)

3.4 분석 방법에 대한 기술적 제언

연안 지역의 침수 모의를 위해서는 유역에서 발생하는 강우-유출 현상을 모의하고, 배수 체계(우수 관거, 수로, 하천 등)에 대한 해석이 가능해야 한다. 특히, 외수위인 조위를 경계조건으로 설정하여 배수 체계 내의 배수 효과(back water)를 고려할 수 있어야 한다. 또한, 배수 체계에서 월류 또는 범람한 강우-유출수가 지표면을 따라 흘러가는 현상을 해석할 수 있어야 하고, 해일에 의한 월파량을 반영할 수 있어야 한다.

Stormwater management model (SWMM)은 도시 지역의 강우-유출 모의와 우수 관거 등의 배수 체계를 모의할 수 있고, 하도 추적에 동역학과(dynamic wave) 방법을 이용할 경우, 경계조건에 따른 배수 효과를 모의할 수 있다. 특히, 호주 XP-software사의 XP-SWMM과 캐나다 CHI사의 PC-SWMM 등은 GIS 기반의 지형자료를 활용하여 2차원 침수 분석을 수행할 수 있는 모형이므로 이용될 수 있다. 실제로 도시 침수해석에 관한 많은 연구와 실무에서 XP-SWMM 등이 활용되고 있다.

Fig. 6은 본 연구에서 분석한 내용을 정리하여 제안하는 연안 지역의 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의 시 필요한 침수 분석에 관한 절차를 나타낸다. 본 연구에서 제안하는 재난에 대비한 연안 지역의 침수 분석에서는 크게 두 가지의 경우가 고려대상인데, 이는 각각 폭풍 해일과 지진 해일이다. 하지만 폭풍 해일은 대기의 수문 순환과 관련되어 있고, 지진 해일은 지각 변동과 관련되어 있어 발생 메카니즘이 서로 상이하므로 동시에 발생할 가능성은 매우 낮다. 이에 본 연구에서는 폭풍 해일과 지진 해일이 발생하는 경우를 독립적으로 분석하고, 이 가운데 더 큰 피해를 유발할 수 있는 조건에 대하여 침수 방지 대책을 수립하는 것으로 제안하였다.

우선, 폭풍 해일을 고려하는 조건에서는 3.1절에서 제시한 바와 같이 100년 빈도 이상의 확률강우량에 대한 분석을 수행한다. 이는 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의에는 발생 가능한 재난에 대한 대응 대책이 수립되어야 하므로 이를 반영한 것이다. 한편, 연안 지역의 강우-유출수는 우수 관망 등의 배수 체계를 통해 바다로 방류되는데, 만조 시에는 우수배제가 원활하지 않아 내수 침수를 유발한다. 따라서 조위를 고려해야 하는데, 이때 설계 조위는 주변 조위 관측소 지점의 약최고고조위

(approximate highest high water level; Approx. HHW) 또는 하수도 설계 기준(ME, 2011)에서 제시되고 있는 삭망만조위 (high water level; HWL) 등이 활용될 수 있다. 또한, 폭풍 해일에 의한 월파량은 연안 지역의 해수에 의한 직접적인 침수를 유발한다. 따라서 폭풍 해일에 의한 월파량이 반영되어야 하고, 월파량 분석 시 산정되는 폭풍 해일에 의한 해일고는 기 기술한 조위에 추가적으로 고려되어야 한다. 두 번째 지진 해일을 고려하는 조건에서는 강우량을 고려하지 않는 것 이외에는 폭풍 해일을 고려한 조건과 모두 동일하다. 즉, 지진 해일에 의해 발생 가능한 월파량을 반영하고, 지진 해일에 의한 해일고는 조위에 추가적으로 고려되어야 한다.

최종적으로 연안 지역의 침수 방지 대책은 폭풍 해일과 지진 해일이 발생하는 조건에 대한 각각의 분석 결과(침수 범위, 침수심 등)를 비교하여 대상 지역에 상대적으로 큰 피해를 유발할 수 있는 조건을 대상으로 한다. 사전재난영향성검토협의에서는 지하 공간의 침수 방지를 위한 대책이 요구되므로, 침수 분석 결과를 활용하여 지하 출입구의 차수 판 계획, 지하 공간의 침수 해소를 위한 펌프 시설 등에 대한 계획이 수립되어야 한다.

4. 결 론

본 연구는 연안 지역의 재해 위험성을 고려하여 초고층 및 지하연계 복합건축물에 대한 사전재난영향성검토협의 시 필요한 침수 분석에 대한 기술적 검토 사항을 제안하는 것에 목적이 있다. 사전재난영향성검토는 발생 가능한 재난에 대비한 계획을 수립하는 제도로서 기존 방재시설물의 계획 및 재해영향평가 등과는 차별된다. 따라서 연안 지역에 대한 사전재난영향성검토에서는 연안 지역의 재난 위험성을 충분히 고려한 분석 방법이 요구된다.

Fig. 6. Schematic Diagram for Inundation Analysis of High-rise and Underground-linked Complex Buildings in Coastal Areas

본 연구에서는 사전재난영향성검토협의 지침, 하수도 시설 기준, 풍수해저감종합계획의 세부수립기준 등 다양한 기술 지침과 선행 연구를 조사하였다. 그리고 연안 지역의 피해 사례 조사를 통해 사전재난영향성검토협의 시 고려되어야 할 기술적 검토 내용을 분석하였다. 우선, 연안 지역의 최근 강우 동향을 고려할 때, 100년 빈도 이상의 강우를 대상으로 분석하는 것이 적합하다. 두 번째, 만조 등의 해수면 상승에 의한 배수 영향을 고려하기 위해 조위를 반드시 고려해야 한다. 세 번째, 폭풍 해일 또는 지진 해일에 의해 발생 가능한 월파랑을 분석해야 한다. 또한, 해일에 의해 발생하는 해일고는 조위에 추가적으로 고려되어야 한다. 그리고 이러한 모든 침수 피해 요소를 고려하여 계산할 수 있는 적절한 모형을 선정해야 한다.

본 연구에서는 문헌 조사 및 피해 사례를 중심으로 연안 지역에 대한 사전재난영향성검토협의 시 침수 분석과 관련된 기술적 검토 사항을 기술하였다. 후속 연구에서는 본 연구에서 제안한 기술적 검토 사항에 대한 구체적인 분석 방법을 제시하고, 실제 사례에 적용하여 검증하고자 한다.

감사의 글

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

References

- Baek, W.H., Choi, J.S., and Ahn, J.K. (2018). Liquefaction hazard map based on in Pohang under based on earthquake scenarios. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 22, No. 3, pp. 219-224.
- Choi, B.B. (2011). Understanding special law on disaster management of high-rise and underground complex buildings. *Journal of Disaster Prevention*, Korea Disaster Prevention Association, Vol. 48, pp. 95-116.
- 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.
- Jin, J.E. (2014). *Resilience assessment for flood adaptation strategies: Case study of New York, Rotterdam*, Seoul. Master's thesis, Seoul National University.
- Kang, T., Lee, S., Kang, S., and Park, J. (2012). A study for an automatic calibration of urban runoff model by the SCE-UA. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 1, pp. 15-27.
- Kim, J.O., Kim J.Y., and Lee W.H. (2016). Analysis on complex disaster information contents for building disaster map of coastal cities. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 19, No. 3, pp. 43-60.
- Kim, P.J. (2018). *Improvement measures on the risk area designation of coastal disaster in consideration of natural hazards*. Ph.D. dissertation, Chonnam National University.
- Ministry of Environment (ME). (2011). *Standard for sewerage facilities*. Korea Water and Wastewater Works Association.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2011). *Improvement and complementary research for probability rainfall*.
- Ministry of Public Safety and Security (MPSS). (2014). *Guideline for preliminary disaster impact inspection and consultation system*.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Criteria for establishment and operation of disaster prevention performance target by region: Considering future climate change impacts*.
- Moon, H.J. (2017). *A study on residential density of high-rise and underground complex buildings: Focus on office buildings*. Master's thesis, Seoul National University of Science and Technology.
- National Emergency Management Agency (NEMA). (2009). *Countermeasures to improve disaster management for high-rise and underground-linked complex buildings*. Government Publications Registration No. 11-1660000-000335-01.
- Oh, S.B., Kang, Y.H., and Lee, H.S. (2014). A study on evaluation of coastal cities vulnerability by climate change in Korea. *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 16, No. 4, pp. 87-98.
- Sohn, D.H., Park, S.C., Lee, J.W., Moon, K.S., Kim H.S., and Lee, D.K. (2018). Classification of tsunami hazard area along the eastern coast of South Korea based on improved tsunami scenario database. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 3, pp. 303-310.
- Song, G.U., and Lee, C.H. (2015). *Climate change adaptation measures in Busan coastal areas*. Policy Research 2015-08-616, Busan Development Institute.
- Yook, K.H., Jung, J.H., Shin, C.O., Ahn, Y.S., and Lee,

A.R. (2012). *Evaluation and improvement of coastal areas' climate change response capabilities: With focus on climate change adaptation capability of coastal municipalities*. Research No. 2012-11, Korea Maritime Institute.

<i>Received</i>	■	September 10, 2019
<i>Revised</i>	■	September 10, 2019
<i>Accepted</i>	■	September 23, 2019