해안가 복합재난 지역맞춤형 재해예방기법 적용

Application of Regional-Condition Disaster-Prevention Techniques for Composite Coastal Disasters

어규* · 임준혁** · 강태욱*** · 남수용**** · 오국열*****

EO, Gyu*, Im, Jun Hyeok**, Kang, TaeUk***, Nam, SuYong****, and Oh, Kuk Ryul*****

Abstract

Because of climate change, composite disasters have been occurring rather than single disasters. The risk of composite disasters due to sea-level rise has increased because most cities in Korea are developed in estuaries, which are connected to the coasts and rivers. The purpose of this study is to identify the regional-condition factors that cause coastal composite disasters and to apply on-site prevention. Five regionally tailored elements and disaster-prevention techniques were finally derived through surveys and were applied to the pilot area using past damage history and flooding simulation. We proposed multi-defense measures for rivers, urban areas (cities), and the pilot area. We believe that customized disaster-prevention techniques will be applicable to the region in the future.

Key words : Coastal Area, Composite Disaster, Disaster Prevention Techniques, Regional Conditions

요 지

기후변화에 따라 단일 재해 보단 동시다발적인 복합재난이 발생하는 추세이다. 우리나라는 대부분 해안 및 하천에 연결되는 하구에 도시가 발달되어 있어 해수면 상승에 따른 복합재난 위험성이 크게 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 해안가 복합재난에 대한 지역맞춤형 요소를 도출하고 현장에 시범적용 하는데 목적이 있다. 5개의 지역맞춤형 요소와 재해예방기법을 전문가 설문문을 통해 최종적으로 도출하였고, 과거 피해이력과 침수 시뮬레이션을 통하여 시범지역에 적용하였다. 시범지역에 하천대책, 내수(도시)대책, 다중방어대책을 제시하였으며, 향후 지역특성을 고려한 재해예방기법을 적재적소에 적용 가능할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 해안가, 복합재난, 재해예방기법, 지역맞춤형

1. 서 론

1.1 연구 개요 및 필요성

최근 기후변화는 전세계적으로 이슈가 되고 있으며 기온

상승에 따라 극지방의 빙하가 줄어들고 줄어든 빙하만큼 해수면이 상승하고 있다. 특히, 해안지역의 재해양상을 살펴 보면 높아진 해수면, 증가한 강우강도, 도시화에 따른 불투수 면적의 증가 등 여러 가지 요인에 따라 재난이 복합적으로

*정회원, (주)어스 과장(E-mail: good3437@naver.com)

Member, Manager, Urban Safety

**정회원, (주)어스 대리(E-mail: jhlim0112@naver.com)

Assistant Manager, Urban Safety

***정회원, 부경대학교 연구교수(E-mail: Ktw62@hanmail.net)

Member, Research Professor, Pukyong National University

****정회원, (주)지오리서치시스템 부사장(E-mail: synam@Geosr.com)

Member, Executive Vice President, Geosystem Research Corporation

*****교신저자, 정회원, (주)어스 이사(Tel: +82-31-689-3169, Fax: +82-31-689-3170, E-mail: kroh5910@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Managing Director, Urban Safety

발생하고 재해빈도도 함께 증가하고 있다.

복합재난(Compound Disaster)은 단일 재난으로 인해 다양한 형태의 재난들이 연속 또는 동시다발적으로 발생하는 재난(Kawata, 2011)으로 정의할 수 있다. 우리나라는 인구 대비 좁은 국토면적과 더불어 산지 비율이 높아 하천과 해안이 연결되는 하구 근처에 30%이상의 도시가 분포되어 있다(Eo et al., 2019). 그만큼 많은 지역이 해안가 복합재난 발생에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

해안가 복합재난의 대표적인 사례로는 2003년 ‘매미’, 2010년 ‘텐무’, 2012년 ‘볼라벤’, 2012년 ‘산바’, 2016년 ‘차바’ 등으로 볼 수 있으며, 특히 부산 마린시티는 과거 2016년 발생한 태풍 ‘차바’로 해안가 일대 만조위와 폭풍해일이 겹쳐 4~5 m의 월파와 폭우로 인해 해안에 인접한 아파트, 상가 등이 직접 피해를 입었으며 동시에 배후지역 저지대는 해수범람으로 인하여 침수피해가 발생하였다. 또한 부산신항 지역에는 기습폭우가 내려 약 344가구의 주택 및 상가 침수피해가 발생하였다. 이처럼 해안가 복합재난에 위험성이 증가함에 따라 해안가 복합재난에 관련된 연구가 진행 중이다.

Seo (2004)은 태풍 매미로 인한 해일로 발생한 부산 연안지역 해안가의 대규모 피해 사례를 조사하고 재해특성을 분석하여 구조적, 비구조적 대책 마련의 필요성을 제시하였고, Lee and Park (2019)에서는 기후변화를 고려한 연안지역 재해예방기법에 대한 적용방안을 제시하였다. 이와 더불어 Kim et al. (2018)은 해안가 복합재난 위험지역을 정의하고 동해, 남해, 서해 특성에 맞는 재해 영향인자 및 원인을 제시하였다. 또한, Eo et al. (2019)은 해안가 복합재난 위험지구에 대한 재해예방기법 특성요소를 개발하고, 특성요소별 재해예방기법을 평가하였다. 위 언급했던 대부분 연구는 실제 적용 방안 과거 사례로부터 재해예방기법에 대한 특성 위주의 연구가 진행되었고, 다양한 지역에 천편일률적인 재해예방기법이 아닌 지역별 특성이 충분히 고려된 재해예방기법 적용이 필요하다.

1.2 연구 목적 및 방법

본 연구는 해안가 복합재난 발생시 지역에 맞는 재해예방기법을 적용하는데 목적이 있으며, 연구방법으로는 Fig. 1과 같이 선행연구 조사·분석을 통해 지역맞춤형 요소(자연인자, 재해영향인자, 재해원인인자, 지형인자, 사회인자) 및 재해예방기법을 도출하였다. 도출된 재해예방기법별 특성 요소를 해안가, 하천, 도시(내수)로 구분하였고, 전문가 설문조사를 통해 최종적으로 지역맞춤형 재해예방기법을 도출하였다. 부산 마린시티에 시범적용을 위해 과거 피해이력과 강우와 월파를 고려한 침수모의를 통해 맞춤형 재해예방기법 특성요소를 평가하였고 해안가대책, 하천대책, 다중방어대책으로 구분하여 재해예방기법을 적용하였다.

Fig. 1. The Flow Chart of Study

2. 해안가 복합재난 지역맞춤형 요소 도출

2.1 지역맞춤형 요소 도출

재해예방기법별 지역맞춤형 요소를 도출하기 위해 사전 적정의 조사, 선행연구 조사를 수행 하였으며, 사전적 정의 조사를 위해 인터넷 포털 위키백과, 네이버 지식백과 등 백과사전 조사를 통해 검토하였다. 또한 지역 및 지형특성을 고려한 국내 선행연구 조사를 통해 지역특성 관련요소를 조사·분석하였다.

먼저, 사전적 정의 검토결과 위키백과는 산악, 평원, 하천, 해양, 풍화, 식생, 인공지형의 키워드로 조사하였으며, 본 연구에 적용하기 위한 지역적 특성으로는 하천과 해양을 도출하였다. 네이버 지식백과에서는 자연적조건, 사회적조건, 주민의식 조건의 키워드로 조사하였으며, 자연적특성으로 지형, 사회적특성으로 집락형태를 도출하였다. 마지막으로 학습백과에서는 하천(상류, 하류), 해양(만, 갯)의 키워드로 조사하였으며, 지형특성(구릉지, 저지대, 만, 갯)에 대한 특성요소를 도출하였다.

선행연구조사를 통한 지역맞춤형 요소도출 하였다. Lee and Park (2019)은 지역특성을 고려한 범좌위험지역에 대한 특성을 인구학적측면, 사회경제적측면, 물리적 측면으로 제시하였고, 인구학적 측면에서 시가화 인구밀도, 인구순이동률 등을 제시하고 있으며, 사회·경제적 측면에서 범죄 취약 계층, 공시지가 및 월세 비율 등 경제수준, 물리적 측면에서 감시, 토지이용(단독·다세대 비율), 상업지역비율, 건축노후도로 지역특성을 구분하여 제시하였다. Park et al. (2016)은 토지피복유형과 지형특성의 폭염일수에 미치는 지형적 특성을 시가지지역, 농업지역, 산림지역, 수역, 초지 및 나지

등 토지피복유형과 평지, 경사지(산악지역) 등 지형특성을 제시하였다. AURI (2016)는 인구, 경제, 환경 측면에서 지역(도시)의 노후 및 쇠퇴의 정도를 제시하였고, NDMI (2013)는 인구 규모에 따라 구분하는 도시형, 행정구역상 읍·면인 구역을 농촌형, 해안인접 유무로 구분하는 연안형, 산지·구릉지·평지 중 산지비율이 50% 이상인 경우 산지형으로 구분하였다. MOLIT (2011)는 표고 40 m 미만은 평지, 40~60 m 구릉지, 60 m 초과는 산지로 구분하였고, KEI (2010)는 표고 50 m 미만은 평지, 50~200 m 미만 구릉지, 200 m 이상 산지, 경사도에 따라 평탄지와 경사지로 구분하였다. 위와 같이 선행연구를 분석해보면 대부분 지역특성은 인구, 시가화, 경제수준, 시가화지역으로 구분하였고, 자연특성은 해안과 산지로 구분되는 것으로 분석되었다. 선행연구 조사를 통해 적용가능한 지역맞춤형 요소의 지역특성 요소는 인구, 시가화, 경제수준 등이 공통적으로 도출되었고, 자연적 특성요소는 해안, 산지 등이 도출되었다. 마지막으로 지형적 특성요소는 표고, 경사 등이 도출되었다. 한편, 재해영향인자와 재해원인인자의 경우 선행연구로 진행되었던 해안가 복합재난 위험지구에 대한 재해예방기법 특성요소 개발 및 평가 (Kim et al., 2018)에서 도출된 내용을 적용하였다.

앞서 사전적 정의검토, 선행연구 조사를 통해 본 연구에 적용하기 위한 지역맞춤형 요소도출 결과 지역맞춤형 요소는 자연인자, 지형인자, 사회인자, 재해영향인자, 재해원인인자 5개의 분류체계로 정의하였으며, 각 분류체계에 따른 지역맞춤형 요소를 Table 1과 같이 해안가, 하천, 내수(도시) 3개의 자연인자, 만, 갯, 구릉지, 저지대 4개의 지형인자, 시가화지역, 비시가화지역 2개의 사회인자, 조위영향, 집중호우 등 6개의 재해영향인자, 해안침식, 월파 등 11개의

재해원인인자를 도출하였다.

2.2 지역맞춤형 요소에 대한 전문가 설문조사 결과

지역맞춤형 요소별 재해예방기법을 도출하기 위해 국내 부처별 해안가 저감대책 사업과 행정안전부의 자연재해저감종합계획((구)풍수해저감종합계획)의 재해예방기법을 조사 하였으며, 조사된 기법들을 지역별 적용가능한 요소를 도출하기 위해 전문가 설문을 진행하였다.

현행 부처별 해안가 복합재난 위험지역 주요사업은 부처별로 각각 진행되고 있다(Eo et al., 2019). 해안가의 주요사업은 해양수산부 연안재해취약성평가, 하천은 국토부의 하천기본계획, 유역종합치수계획, 내수(도시)는 환경부의 하수도정비기본계획, 하수도 중점관리지역, 행정안전부의 자연재해위험개선지구 등이 대표적이다.

해양수산부의 연안재해취약성평가는 구조물적 대책보단 연안재해취약지도 작성 등의 비구조물적 대책이 있으며, 환경부는 주로 하수관거 확장, 도시 배수펌프장, 하수관 신설 등 구조적 대책이다. 또한, 국토교통부의 하천기본계획의 재해예방기법으로는 하천 축제, 배수문, 하천 배수펌프장, 하구 수문, 교량 정비 등의 구조물적 대책과 유역종합치수계획의 강변저류지, 분수로 설치, 하천 배수펌프장 등 구조물적 기법, 풍수해보험, 비상대처계획(EAP) 등의 비구조물적 대책과 행정안전부의 자연재해위험개선지구사업은 저류시설, 침투시설 등 구조물적 저감대책이 있다.

자연재해저감종합계획은 지자체별 계획을 수립하고 있으며, 지자체별 자연재해저감종합계획 보고서를 67개 수집하여 해안가, 하천 도시(내수) 재해에 대한 저감대책을 분석하였다. 자연재해저감종합계획의 저감대책은 보고서마다

Table 1. Regional Conditions Element Derivation

Category	Regional Conditions Factors			Remarks
Natural Factor (3)	• Coast • River • Urban			
Disaster Impact Factor (6)	• Tide Influence • Heavy Rainfall	• Typhoon • Wind Wave	• Surge • Tsunami	Preceding Research
Cause of Disaster Factor (11)	• Beach Erosion • Overtopping Wave • Coastal Inundation • Levee Break	• Inundation in the Lowlands • Shortage of Bank Leave • Levee Loss • Shortage of Discharge Area in River	• Flood Inundation • Shortage of Pumping Stations • Shortage of Discharge Area in Pipeline	
Terrain Factor (4)	Coast	• Bay • Headland		
	Urban	• Hillside • Lowlands		
Social Factor (2)	• Built-up Areas • Non Built-up Areas			

표현이 상이하어 단어의 표준화와 용어통일을 실시하였다.

자연재해저감종합계획의 저감대책은 구조물적 저감대책 33개, 비구조물적 저감대책 6개로 분석되었으며, 구조물적 저감대책은 해안가 15개, 하천 10개, 내수(도시) 6개로 분석되었다. 해안가 저감대책은 도류제, 돌제, 방사제, 방수벽(파라펫), 방재완충지역, 방조제, 방파제, 사구복원, 석축, 양빈, 이안제, 차수관, 해안 축제, 해안방재림, 해안호안이 있으며, 하천 저감대책은 교량 정비, 배수펌프장, 보축, 강변저류지, 방수벽(파라펫), 하도 준설, 하천정비 공사, 하폭 확대, 하천 호안, 홍수방어벽이 있고, 내수(도시) 저감대책은 고지배수로, 하수관거 확장, 배수문, 도시 배수펌프장, 건물차수관, 우수저류시설, 우수저류조, 하수관신설(배수관거, 배수암거, 배수통관)이 있다. 또한 비구조물적 저감대책은 비상대처계획(EAP), 연안침식 모니터링 시스템, 용지매입, 재난예경보체계 구축, 재해정보지도, 주민이주가 있다.

위와 같이 조사된 기법 중 대규모의 재난피해가 예상되는 해안가 복합재난 위험지역에 적용 가능한 기법을 도출하기 위해 침투시설, LID 기법과 같이 저감효과가 적을 것으로 예상되는 기법들은 제외하였다.

그 결과 앞서 조사된 기법들은 구조물적, 비구조물적 대책 기법으로 1차 분류하였으며, 구조물적 대책기법의 경우 해안, 하천, 도시(내수)에 적용되는 기법별로 Table 2와 같이 2차적으로 분류하였다.

위와 같이 분류된 재해예방기법별 적용이 가능한 지역맞춤형 요소를 선정하기 위해 21명을 대상으로 전문가 설문조사를 진행하였으며, 해안 전문가 9명, 하천 및 내수(도시) 전문가 12명으로 구성하였다. 직업군 별로는 연구소 5명,

산업체 16명이며, 종사년수별로는 10년 이하 11명, 10년~20년 5명, 20년 이상 5명으로 구분된다. 본 전문가 설문조사 대상의 표본수가 적고, 직업군별로 볼 때 산업체가 차지하는 비중이 많아 설문결과에 신뢰성을 감소 시킬수 있는 문제점은 있으나 종사년수별로 가중치를 높게 두어 평가하여 신뢰성 높이고자 노력하였다.

설문 방법은 행에 재해예방기법을 두고, 열에 지역맞춤형 요소를 나열하여, 재해예방기법마다 해당되는 지역맞춤형 요소를 선택하는 방식으로 진행하였다. 21명 각각의 설문 응답 결과를 총괄하고, 소수의 의견(30%)이 반영된 항목을 제외하여 Fig. 2와 같이 재해예방기법별 지역맞춤형 요소를 도출하였다.

3. 현장 맞춤형 재해예방 기법 선정

현장 맞춤형 재해예방 기법 적용을 위한 시범지역으로 부산광역시 마린시티를 선정하였다. 해안가 복합재난 위험지역은 해안과 하천이 만나는 도시지역 중심으로 하천, 내수, 해안가 재난이 복합적으로 발생하는 곳을 말 한다(Kim et al., 2018). Fig. 3과 같이 부산 마린시티는 해안가 매립지로서 저지대에 해당되며 하천, 해안가, 도심지에 위치하고 있어 해안가 복합재난 위험지역에 해당된다.

본 연구에서는 과거 월과 및 내수 침수로 인하여 배후지 저지대에 침수가 발생한 지역으로 해안가 복합재난 발생시 피해가 상당히 높을 것으로 예상되는 지역을 선정하였고 맞춤형 재해예방 기법적용을 위하여 과거 피해유형 분석과 미래 기후변화를 고려한 침수모의를 수행하였다.

Table 2. Combined Disaster Hazard along the Coast Considering Estuary Characteristics

Category		Disaster Preventive Techniques		
Structural Measures (36)	Coast (18)	• Disaster Prevention Forest • Soft Protection(Sea) • Soft Protection(Land) • Detached Breakwater • Groin • Training Dike	• Sand Groin • Sea Dike • Breakwater • Submerged Breakwater • Banking Embankment • Artificial Nourishment	• Sand Dune • Disaster Prevention Mound • Parapet • Recurved Wall • Water-stop • Shoreline
	River (12)	• Rasing Embankment • Super Levee • Dual Levee • Banking Embankment	• Bridge Maintenance • River Dredging • Pumping Stations • Floodgate	• Side-Weir Detention Basin • Water-stop • Parapet • Shoreline
	Urban (6)	• Sewer • Sewer Expansion	• Pumping Stations • Floodgate	• Rainwater Storage • Water-stop
Non-Structural Measures (15)		• Urban Redevelopment • Flood and Storm Insurance • Hazard Map • Evacuation Map • Coastal Hazard Map	• Shelter Designation and Management • Disaster Warning System • Monitoring Coastal Changes • Education and Training • Emergency Action Plan	• Setback • Land Use Regulation • Land Purchase • Transfer of Public Institutions • Migration

No.			Disaster Preventive Techniques	Regional Conditions																										
				Natural Factor(A)			Disaster Impact Factor(B)						Cause of Disaster Factor(C)											Terrain Factor(D)				Social Factor(E)		
				A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	Coast		Urban		E-1	E-2	
			Coast	River	Urban	Tide Influence	Heavy Rainfall	Typhoon	Wind Wave	Surge	Tsunami	Beach Erosion	Overtopping Wave	Coastal Inundation	Levee Break	Shortage of Bank Loan	Levee Loss	Shortage of Discharge Area in River	Flood Inundation	Shortage of Pumping Stations	Shortage of Discharge Area in Pipeline	Inundation in the Lowlands	Bay	Headland	Hillside	Lowlands	Built-up Areas	Non Built-up Areas		
1	Structural Measures	Disaster Prevention Forest	●						●		●			●										●				●	●	
2		Soft Protection(Sea)	●												●										●					●
3		Soft Protection(Land)	●				●								●										●					●
4		Detached Breakwater	●										●		●										●					●
5		Groin	●										●												●					●
6		Training Dike	●										●												●					●
7		Sand Groin	●										●												●					●
8		Sea Dike	●				●								●										●					●
9		Breakwater	●												●										●					●
10		Submerged Breakwater	●												●										●					●
11		Banking Embankment	●				●								●										●					●
12		Artificial Nourishment	●												●										●					●
13		Sand Dune	●												●										●					●
14		Disaster Prevention Mound	●												●										●					●
15		Parapet	●				●								●										●					●
16		Recovered Wall	●				●								●										●					●
17		Water-stop	●												●										●					●
18		Shoreline	●												●										●					●
19	River	Raising Embankment		●			●		●							●				●									●	
20		Super Levee		●			●		●							●		●		●									●	
21		Dual Levee		●			●		●							●		●		●									●	
22		Banking Embankment		●			●		●							●		●		●									●	
23		Bridge Maintenance		●			●		●							●		●		●									●	
24		River Dredging		●			●		●							●		●		●									●	
25		Pumping Stations		●			●		●							●		●		●									●	
26		Floodgate		●			●		●							●		●		●									●	
27		Side-Wier Detention Basin		●			●		●							●		●		●									●	
28		Water-stop		●			●		●							●		●		●									●	
29	Parapet		●			●		●							●		●		●									●		
30	Shoreline		●			●		●							●		●		●									●		
31	Urban	Sewer			●		●		●												●	●					●	●		
32		Sewer Expansion			●		●		●												●	●				●	●			
33		Pumping Stations			●		●		●												●	●				●	●			
34		Floodgate			●		●		●												●	●				●	●			
35		Rainwater Storage			●		●		●												●	●				●	●			
36		Water-stop			●		●		●												●	●				●	●			
37		Urban Redevelopment	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●					●		●					●	●		
38	Flood and Storm Insurance	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
39	Hazard Map	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
40	Evacuation Map	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
41	Coastal Hazard Map	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
42	Shelter Designation and Management	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
43	Disaster Warning System	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
44	Monitoring Coastal Changes	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
45	Education and Training	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
46	Emergency Action Plan	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
47	Setback	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
48	Land Use Regulation	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
49	Land Purchase	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
50	Transfer of Public Institutions	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			
51	Migration	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●		●			●		●					●	●			

3.1 과거 피해유형 분석

3.2 강우 및 월파를 고려한 침수 모의

갈이 태풍 차바 내습 시 2016년 10월 5일 오전 8시 부터 오후 12시까지 총 5시간 데이터를 사용하였다. 모의조건에 따른 총 강우량은 59 mm/hr, 최대 강우강도 40.6 mm/hr, 최대 월파량 97.35 m³/s (6초 평균)으로 나타났으며, 강우와 월파를 동시에 고려하여 모의하였다. 강우지속시간은 1시간단위로 설정하였고, 폭풍/해일의 지속시간은 5시간을 고려하였다. 월파모의는 태풍시나리오를 Flow-3D 모형에 적용하여 해안에서 Test-bed 지역인 마린시티로 넘어오는 월파량을 산정하였으며, 최종적으로 월파량과 강우가 입력 값으로 적용되어 마린시티에 침수모의를 수행하였다.

Fig. 4. Typhoon “Chaba” Examples of damage

Fig. 5. Flood Simulation Considering Rainfall and Wolpa

3.2.1 기후변화를 고려한 강우시나리오 구성

기후변화 강우 시나리오는 현재, 미래(2050년), 미래(2100년)으로 구성하였으며, 구성 방법은 기준 시점별로 조합하여 구성하였다. 조위 및 월파량의 빈도 경우 30년, 50년, 100년으로 설정하였고, 강우 빈도의 경우 조위 및 월파량의 빈도에 30년, 50년, 100년으로 구성하였다. 기준 시점별로 조합해보면 Table 3과 같다.

3.2.2 침수모의 결과

침수 모의결과, 폭풍 해일 내습 시 해안가 마린시티 주변 수위는 약 0.5 m로 가장 높은 수위로 나타났으며(Fig. 6), 골목길 및 이면도로 등은 강우빈도가 높을수록 침수가 확대되는 것으로 나타났다(Fig. 7). 특히, 미래 2050년(Fig. 8), 미래 2100년 100년 빈도 폭풍 해일(Fig. 9)시 마린시티 뿐만 아닌 해안가 주변은 약 0.5~0.4 m로 침수피해가 심각 할

것으로 모의되었다.

마린시티의 과거 피해유형과 침수 시물레이션 결과를 토대로 현장 맞춤형 재해예방기법별 특성요소를 평가하였고, 자연인자, 재해영향인자, 재해원인인자, 지형인자, 사회인자에 모두 충족되는 재해예방기법을 해안가 및 내수(도시) 대책으로 구분하여 분석하였다.

부산 마린시티에 해당하는 지역맞춤형 요소 조건 다음 Table 4와 같이 자연인자 해안가, 재해영향인자 풍랑/파랑, 재해원인인자 월파, 지형인자 곳, 사회인자 시가화 지역에 해당하는 곳으로 해안가 대책의 경우 해상 방재완충지역, 이안제, 방파제, 잠제, 반파공, 해안차수관 총 6개 재해예방기법이 선별되었고, 내수(도시) 대책의 경우, 하수관거 신설, 하수관거 확장, 도시 배수펌프장, 배수문, 우수저류조, 건물차수관 등 총 6개의 재해예방기법이 선별되었다.

Table 3. Rainfall Scenario Configuration

Division	Construction Method	Tide Level and Overtopping Wave frequency	rainfall frequency	Count
Present Future (2050year) Future (2100year)	combination	30 year	30 year	27
			50 year	
			100 year	
		50 year	30 year	
			50 year	
			100 year	
		100 year	30 year	
			50 year	
			100 year	

Fig. 6. 30 Years, 100 Years Frequency Storm Tsunami Invasion

Fig. 7. Present 100 Years_100 Years Frequency Storm Tsunami Invasion

Fig. 8. Future 2050_100 Years Frequency Storm Tsunami Invasion

Fig. 9. Future 2100_100 Years Frequency Storm Tsunami Invasion

Table 4. Results of Disaster Prevention Techniques in Marin City

Category	Disaster Preventive Techniques
Coastal Meas	Detached Breakwater, Breakwater, Submerged Breakwater, Recurved Wall, Water-stop (sea), Soft Protection (Sea)
Urban (city) Meas	Sewer, Sewer Expansion, Pumping Stations, Flood Gate, Rainwater Storage, Water-stop

4. 현장 맞춤형 재해예방기법 적용

마린시티에 Table 4에서 도출된 해안가 기법을 시범 적용한 결과는 Fig. 10과 같이 적용될 수 있다. 이안제와 잠제는 해상구역에 설치 가능하고, 방파제, 반파공, 해안차수판의 경우 해상과 육상의 경계면에 설치 가능하다.

내수(도시) 재해에 대한 대책은 Fig. 11과 같이 적용될 수 있고, 배수문의 경우 하천이나 해안가 쪽으로의 내수배제를 위한 시설로 설치가 가능하며, 배수펌프장은 제내지가 저지대지역일 경우 펌핑을 통해 인근 하천으로 빗물을 배제하여 침수를 예방할 수 있다. 건물차수판은 개별 건물시설에 설치를 통해 건물내부로의 호우의 유입을 막는 역할이 가능하다. 우수저류조의 경우 도심지 내부 놀이터, 운동장 등을 활용하여 일시적인 저류를 통해 내수침수 예방이 가능하다. 하수관거 확장은 장기적 차원에서 도시 내 홍수소통 능력을 향상시켜 침수예방에 기여할 수 있다. Figs. 10과 11처럼 실제 방파제, 배수펌프장, 차수판 등 이미 설치되어진 재해예방기법들이 있으나, 현재 도출된 지역맞춤형 재해예방기법에서도 적용 가능 할 것이라고 평가되어 되었다.

해안가 복합재난 위험지역에는 앞에서 설명된 Fig. 10과

같은 해안가 예방기법과 Fig. 11과 같은 내수(도시)침수 예방기법이 복합적으로 Fig. 12와 같이 다중의 형태로 적용되어야 할 것이다. 정량적인 평가를 통해 저감효과에 대한 부분의 검토는 좀 더 세밀하게 분석이 필요하나, 정성적인 평가를 수행하였을 때 단일 재해예방기법을 과도하게 설치하는 부분보다는 여러 기법들을 적재적소에 다중체계로 적용한다면 예방기법의 규모를 줄임으로 시간적, 경제적 부분에 대한 이익이 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

최근 기후변화로 인하여 재해가 빈번히 발생되고 있다. 특히 해안가 지역은 해수면 상승과 더불어 도시화로 인해 단일 재해가 아닌 복합적인 재해가 발생한다. 이에 각 부처별 재해예방기법을 시행하고 있으나 각각 시행하기 때문에 복합재난 지역에 과도하게 많은 예산이 들어가고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 지역특성에 맞는 재해예방기법을 적재적소에 적용하고자 지역맞춤형 특성요소를 1차적으로

Fig. 10. Application of Coastal Area Disaster Prevention Techniques

Fig. 11. Application of Urban (city) Area Disaster Prevention Techniques

Fig. 12. Application of Compound Disaster Multilayer Defense Disaster Prevention Techniques

도출하였고, 전문가 설문조사를 통해 최종적인 지역맞춤형 재해예방기법을 도출하였다. 도출된 지역맞춤형 재해예방기법을 시범지역에 적용하기 위해 과거 피해이력과 침수 시뮬레이션을 통해 재해예방기법을 적용하였다.

시범지역인 부산 마린시티에 지역맞춤형 특성요소를 선별한 결과, 자연인자는 해안가, 재해영향인자는 풍랑/파랑, 재해원인은 월파, 지형인자는 곳, 사회인자는 시가화지역에

해당하는 곳에 해당하는 재해예방기법을 확인 할 수 있었다. 적용 가능한 재해예방기법의 해안가대책으로는 이안제, 방파제, 잠제, 반파공, 해안차수관, 해상 방재완충지역 등 6가지 재해예방기법 적용 가능하고, 내수(도시)대책으로는 하수관 신설, 하수관계 확장, 도시 배수펌프장, 배수문, 우수저류조, 건물차수관 등 6가지 재해예방기법이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 단일 재해예방기법을 과도하게 설치하는 것 보다는

여러 기법들을 적재적소에 설치 가능한 다중방어대책을 제시하여 적용하였다.

본 연구는 정량적인 평가를 통해 세밀한 검토가 필요하나, 정성적 평가를 수행하였을 때, 신속하게 의사결정자에게 판단할 수 있는 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단되며, 추후 동일한 규모의 재피해 방지와 재해 이전보다 상향된 안전성 확보를 하는데 기대될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 ‘극한재난대응기반기술개발’ 사업의 연구비지원으로 수행한 ‘맞춤형 재해예방 체계 구축’[2018-MOIS31-008-01020000-2018]과제의 성과입니다.

References

- Architecture & Urban Research Institute (AURI). (2016). *Strategies and planning for revitalization of shrinking communities = "Shrinking smart"*.
- Eo, G., Im, J.H., Kwon, T.Y., Oh, K.R., and Sim, O.B. (2019). Development and evaluation of characteristic elements in disaster prevention techniques for a coastal composite disaster area. *Journal of Climate Change Research*, Vol. 10, No. 3, pp. 243-253.
- Kawata, Y. (2011). Downfall of Tokyo due to devastating compound disaster. *Journal of Disaster Research*, Vol. 6, No. 2, pp. 176-184.
- Kim, B.R., Lee, S.H., Oh, K.R., and Sim, O.B. (2018). Analysis of disaster-influenced factors and causes in compound disaster districts in coastal areas. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 7, pp. 621-629.
- Korea Environment Institute (KEI). (2010). Proposals for assessment of the degree of topographic change in consideration of regional characteristics.
- Lee, J.Y., and Park, J.H. (2019). Analysis of the derivation of crime risk area considering local characteristics. *SH Urban Research & Insight*, Vol. 9, No. 1, pp. 49-65.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2011). *A study on the road design topographic classification criteria considering the topographic characteristics*.
- National Disaster Management Research Institute (NDMI). (2013). *Natural hazard prevention research*.
- Naver. Retrieved from <https://terms.naver.com/>
- Park, K.H., Song, B.G., and Park, J.E. (2016). Analysis on the effects of land cover types and topographic features on heat wave days. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 19, No. 4, pp. 76-91.
- Seo, KW. (2004). Disaster characteristics analysis at Busan coastal areas by Typhoon Maemi in 2003. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 25-32.
- Wikipedia. Retrieved from <https://ko.wikipedia.org/wiki>
- Yoon, H.S., Park, J.H., and Jeon, Y.H. (2017). A study on wave overtopping of the seawall at Haeundae Marine City during the passing of Typhoon Chaba. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, Vol. 20, No. 3, pp. 152-159.

Received	October 8, 2019
Revised	October 8, 2019
Accepted	October 17, 2019