



기후변화를 고려한 연안지역 재해예방기법 적용방안 연구

이성현* · 김보람** · 임준혁*** · 오국열**** · 심우배*****†

*㈜어스 부장, **㈜어스 과장, ***㈜어스 사원, ****㈜어스 이사, *****㈜어스 대표이사

A Study on the Application of Coastal Disaster Prevention Considering Climate Change

Lee, Sung Hyun*, Kim, Bo Ram**, Im, Jun Hyeok***, Oh, Kuk Ryul**** and Sim, Ou Bae*****†

*General Manager, Urban Safety, Anyang, Korea
**Manager, Urban Safety, Anyang, Korea
***Employee, Urban Safety, Anyang, Korea
****Director, Urban Safety, Anyang, Korea
*****CEO, Urban Safety, Anyang, Korea

ABSTRACT

Korea is surrounded by the West Sea, the South Sea, and the East Sea. There are various points at which large and small rivers flow into the sea, and areas where these rivers meet the coast are vulnerable to disasters. Thus, it is necessary to study disaster prevention techniques based on coastal characteristics and the pattern of disasters. In this study, we analyzed the risk factors of disaster districts analyzed in comprehensive plans for the reduction of damage to coastal cities from storms and floods. As a result of standardization, four factors (tide level, intensive rainfall & typhoon, wave, and tsunami) were identified. Intensive rainfall & typhoon occurred along the West Sea, the South Sea, and the East Sea coast. Factors that should be considered to influence disasters are tide level for the West Sea, tsunami and tide level for the South Sea, and wave in the East Sea. In addition, disaster prevention techniques to address these factors are presented, focusing on domestic and overseas cases.

Key words: Coastal Area, Compound Disaster District, Disaster Influenced Factor, Disaster Preventive Technique

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 전 세계적으로 기후변화의 영향으로 재해의 빈도와 규모가 커지고 있으며, 특히 우리나라는 문순기후에서 아열대 기후로 변화해 가고 있고, 짧은 시간동안 급격한 도시화, 산업화 등 사회적 구조변화로 인해 재해피해가 심각해 지고 있다.

우리나라의 해안은 서해, 남해, 동해 3면으로 이루어져 있고, 3면의 바다 특성 또한 확연하게 차이가 난다. 우선 서해안의 경우 해안선의 드나들이 복잡하고 수심이 얕으며, 조위 차이로 인해 갯벌이 많이 형성되어 있다. 남해안의 경우 서해

와 마찬가지로 해안선의 드나들이 복잡하나 수심이 서해보다는 깊은 형태이다. 마지막으로 동해의 경우 해안선이 단조롭고 수심이 깊은 편이다. 특히 우리나라는 4대강 권역에 국가 하천을 포함해 크고 작은 하천이 바다로 유입되는 기수역이 다양하게 존재한다. 이러한 기수역은 다양한 해양생물들이 살고 있는 생물자원의 요충지이기도 하지만, 반대로 재해적 측면에서 볼 때 상당히 취약한 지역이기도 하다.

국내외에서 오래전부터 해역의 특성에 따라 여러 가지 형태로 발생하는 연안재해 (Coastal disaster)에 대한 문제를 해결하기 위한 노력이 다양하게 이루어졌다 (Kim KH, 2011).

우리나라 해안에서 발생하는 재해 피해 및 대응에 대한 연구는 주로 태풍, 파랑 등으로 해안 지역에 피해가 발생한 경

† **Corresponding author:** obsim@naver.com (Tel : ██████████ (14056) 123, Beolmal-ro, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea)
Received November 6, 2018 / Revised November 16, 2018 / Accepted November 26, 2018

우에 대한 개별 사례 위주로 수행되어 왔다. Jeon YG and Lee SY (2011)은 강원도 주문진 사례분석을 통해 연안토지 이용 현황을 연구하였으며, 연안 지역의 토지이용상황을 방재정책 및 환경관리 정책에 연계시키는 방안을 제시하였다. Seo KW (2004)은 태풍 매미로 인한 해일로 발생한 부산 연안지역 해안가의 대규모 피해 사례를 조사하고 재해특성을 분석하여 구조적, 비구조적 대책 마련의 필요성을 제시하였다.

전국 연안재해 피해 및 대응에 관한 선행연구로 Shim JS, et al. (2011)는 연안지역의 침수범람 원인인 태풍과 지진, 이상파고 등에 의한 해일로 피해가 발생했거나 피해 발생 가능성이 높은 항만을 제시하고 다양한 방재시설물 도입을 통한 방재대책 수립의 필요성을 강조하였다. Yook KY, et al. (2012)은 국가차원에서 제시하였던 연안지역의 대응정책의 타당성을 이행가능성의 측면, 경제적·재정적 측면, 사회적 수용성 측면 등에서 다각도로 검토하고 기후변화 연안적응전략을 제시하였다.

선행 연구의 대부분은 연안재해 피해 사례 중심이고, 대응방안은 기존의 국가차원에서 제시한 정책을 기반으로 연구가 수행되어, 과거 피해양상을 기반으로 전국 연안 특성을 고려하여 선진 재해예방 기법 사례를 제시한 연구는 미흡하다.

우리나라 해안지역의 경우 내륙지역보다 상대적으로 큰 규모의 재해가 다수 발생하고, 피해범위나 정도가 내륙지역보다 크게 나타나고 있다. 또한, 국토의 3면이 바다로 이루어져 있고, 각각의 해안별 지역적 특성이 다르기 때문에 과거의 피해양상을 기반으로한 재해예방기법 마련이 필요하다.

1.2 연구목적 및 방법

본 연구는 우리나라 해안가 지역의 재해발생 영향원인 분석을 위해 서해, 남해, 동해지역별로 시군 단위로 수립하는 풍수해저감종합계획에서 고려된 위험인자를 분석하였다. 해안가에 위치한 지자체의 풍수해저감종합계획에서 분석된 해안, 내수, 하천재해 위험지구를 통해 복합재난 위험지역을 선정하였으며, 위험지구의 위험요인을 분석하여 표준화를 통해 재해영향인자를 도출하였다.

그리고 국내의 해안가 개발지역에 실제 적용된 재해영향원인별 재해예방기법을 분석하여 연안별 (서해, 남해, 동해) 재해예방기법을 제시하고자 한다.

2. 국내 해안가 복합재난 위험지역 재해영향인자 분석

2.1 풍수해저감종합계획 위험지구 분석

본 연구에서는 국내 해안가 복합재난 위험지구의 재해영향인자 분석을 위하여 우리나라 방재분야 최상위 계획인 풍수해저감종합계획 보고서를 조사하여 분석하였다. 연안과 인접한 71개 지자체 (제주도, 울릉도 제외) 중 58개 지자체의 풍수해저감종합계획 보고서를 분석하였으며, 9개 풍수해 유형 중 해안가 복합재난을 야기시킬 수 있는 해안재해, 하천재해, 내수재해 위험지구에 대한 공간데이터를 구축하였다 (Fig. 1). 연안의 특성을 고려하여 구분하기 위하여 「연안관리법」의 통합관리구역을 활용하였으며(MLTM, 2011), 인천·경기연안, 충남연안, 전북연안은 서해, 전남연안, 경남연안, 부산연안은 남해, 강원·경북연안은 동해로 표기하였다.

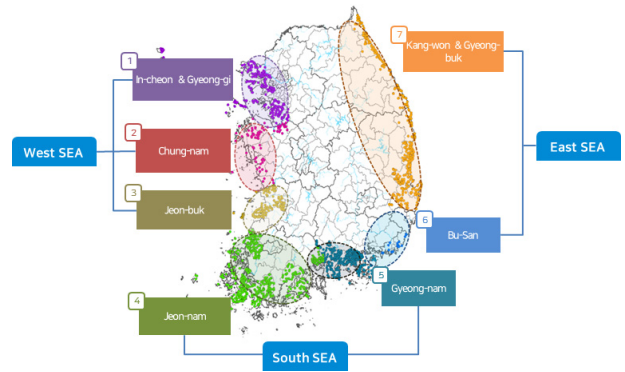


Fig. 1. Established for disaster district spatial data base.

공간데이터는 조사된 연안지자체 풍수해저감종합계획의 위험지구를 포함하고 있는 위치 (주소)와 위험요인에 대하여 구축하였으며, 해안재해 위험지구 413개, 하천재해 위험지구 1,180개, 내수재해 위험지구 436개로 총 2,209개 재해 위험지구에 대한 공간정보를 구축하였다.

재해 위험지구 중 해안가 복합재난으로 판단되는 지역을 정하고, 해당되는 재해 위험지구의 데이터를 활용하여 재해영향인자 분석을 실시하기 위해, 해안가 복합재난 위험지역을 선정하였다.

해안가 복합재난 위험지역은 해안과 하천이 만나는 지역을 중심으로 하천재해와 내수재해 위험지구는 조위 영향을 받는 구간내에 위치하고, 해안재해 위험지구는 좌·우 연안특성이 동일한 곳으로 선정하였다. 조위의 영향을 받는 구간내

에 위치하더라도 접경지역에 호수, 저수지 등이 있거나 하구둑, 방조제 등의 구조물로 인해 조위 영향을 받지 않는 경우는 제외하였다. 해안가 복합재난 선정기준과 제외기준을 토대로 구축한 공간정보를 활용하여 해안가 복합재난 위험지역을 선정하였다. 선정된 복합재난 위험지역은 Fig. 2와 같은 형태로 구축하였으며, 부산지역에 선정결과를 대표적으로 제시하였다.

선정된 해안가 복합재난 위험지역은 총 245개 중, 남해가 171개로 가장 많고, 동해는 46개, 서해는 28개이다. 해안가 복합재난 위험지역 내의 위험지구는 총 406개로 해안재해 위험지구 121개, 하천재해 위험지구 166개, 내수재해 위험지구

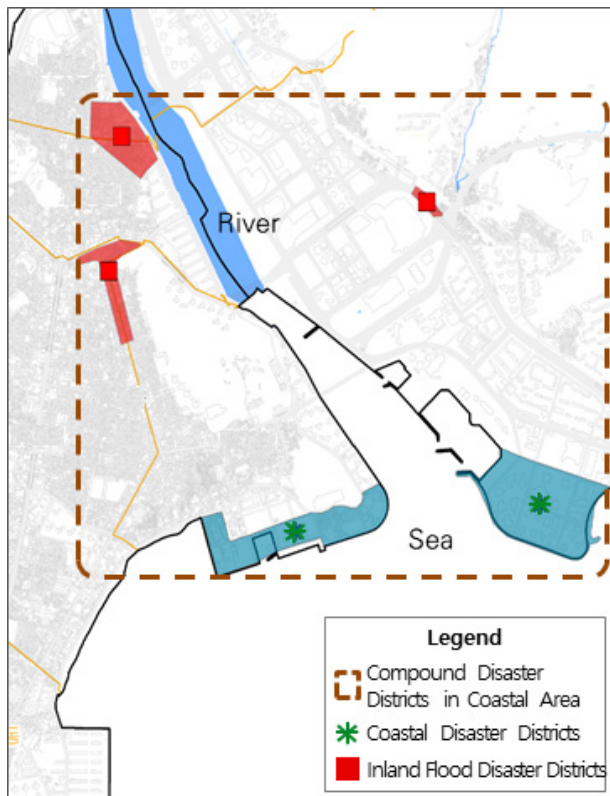


Fig. 2. Result of compound disaster district(Bu-San).

119개로 나타난다. 서해와 남해는 하천재해 위험지구가 가장 많고 해안재해 위험지구, 내수재해 위험지구 순으로 많은 것으로 분석된다. 동해는 하천재해 위험지구와 내수재해 위험지구가 높게 나타난다. 해안가 복합재난 위험지역 선정 결과는 Table 1.과 같다.

2.2 해안가 복합재난 위험지구 재해영향인자 분석

선정된 복합재난 위험지역 내에 위험지구의 위험요인 데이터를 분석하여 재해영향인자를 도출하고자 한다. 풍수해저감종합계획은 자자체 별로 수립되어, 작성시 사용한 용어가 상이하기 때문에 재해영향인자에 대한 표준화가 필요하다. 표준화를 위하여 자연현상으로 발생하는 재해에 대하여 키워드를 추출하고 유사한 의미를 갖는 용어들을 그룹핑하여, 재해영향인자를 도출하였다. 예를들어, 외조위, 조위, 외수위, 수위 등으로 작성된 부분을 조위 (만조위)로 표준화 하였다.

본 연구에서는 재해영향인자를 조위 (만조위), 집중호우·태풍, 풍랑/파랑 (너울), 해일 (태풍/폭풍해일)로 표준화하였다. 서해, 남해, 동해의 재해영향인자 분석 결과를 Fig. 3.에 제시하였다. 재해영향인자는 남해가 118개로 가장 많고, 동해와 서해는 각각 11개, 9개로 나타났다. 남해의 경우 모든 재해영향인자를 포함하고 있으며, 해일, 집중호우·태풍, 조

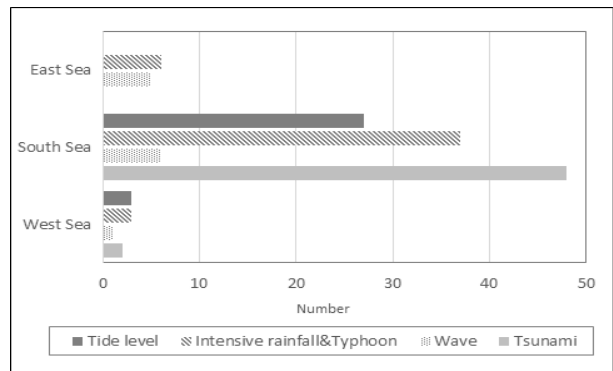


Fig. 3. Result of influenced factors in compound disaster districts in coastal areas.

Table 1. Result of selecting compound disaster districts in coastal areas

Zone	Compound disaster districts in coastal	Disaster districts			
		Coast	River	Inland flood	Total
West Sea	28	12	24	11	47
South Sea	171	84	101	67	252
East Sea	46	25	41	41	107
Total	245	121	166	119	406

위, 풍랑/파랑 순으로 높게 분석된다. 서해도 모든 재해영향 인자를 포함하고 있으나, 남해에 비해 재해영향인자가 적게 나타나고, 풍랑/파랑은 1개로 영향이 미비한 것으로 판단된다. 동해는 남해에 비해 재해영향인자가 적게 나타나고, 집중호우·태풍과 풍랑/파랑 2가지 재해영향인자만 도출되었다.

해안가 복합재난의 재해영향인자 중 집중호우·태풍은 서해, 남해, 동해 모두 높은 비율을 차지하고 있으며, 이는 우리나라의 재해 특성상 태풍을 동반한 집중호우가 빈번하게 발생하기 때문으로 판단된다. 해안별로 집중호우·태풍과 함께 고려해야 하는 재해영향인자는 서해는 조위, 남해는 해일과 조위, 동해는 풍랑/파랑으로 분석된다.

3. 국내외 사례조사를 통한 재해영향인자별 재해예방기법 분석

풍수해저감종합계획 보고서 분석을 통하여 국내 해안가 복합재난 위험지역의 재해영향인자를 집중호우·태풍, 해일(태풍/폭풍해일), 조위(만조위), 풍랑/파랑(너울) 총 4분류로 도출하였으며, 국내외의 주요사례를 중심으로 재해영향인자에 적합한 재해예방기법을 분석하여 제시하였다. 국내는 부산시 사례를 조사하였으며, 국외는 해안가에 인접한 일본, 네덜란드, 독일 등 선진 외국사례를 제시하였다.

3.1 집중호우·태풍에 대한 재해예방기법

집중호우와 태풍에 대한 재해예방기법으로 하천정비(통수단면 확보, 호안정비 등), 제방승고 및 정비, 배수시설정비(펌프장 용량확대, 배수로 정비 등) 등 전통적인 구조적 재해예방기법이 있으며, 본 연구에서는 해안가에 적용가능한 재해예방기법으로 복합적 재해예방이 가능한 일본의 다목적유수지와 지하조절지에 대하여 조사하였다.

일본 요코하마 쓰루미가와는 지역적 특색과 급격한 도시화로 인한 하천 직강화로 홍수도달시간이 단축되면서 집중호우로 인한 침수피해가 빈번하게 발생하였다. 이에 대한 홍수저류능력을 확보하기 위하여 Fig. 4와 같이 쓰루미가와강 옆으로 다목적유수지를 건설하였으며, 다목적유수지 내에 월류제, 위요제, 배수문, 주위제, 닛산스타디움 등이 포함되어 있다. 특히 닛산스타디움은 Fig. 5와 같이 필로티 구조로 건설하여 비상시 1층에 빗물을 일시 저류할 수 있도록 건설하였다(KRIHS, 2009).

또한 집중호우와 태풍 등의 영향으로 상습적 침수피해가 일어나는 도쿄 칸다가와는 홍수로 인한 도시안전을 보호하기

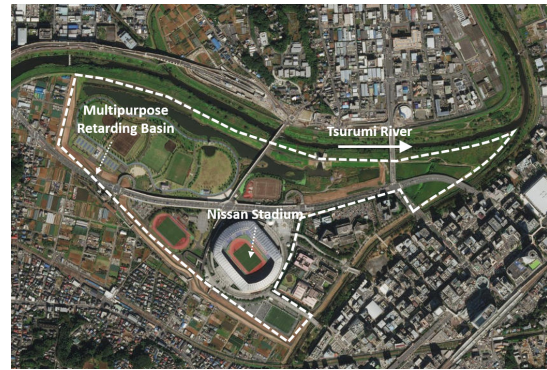


Fig. 4. Multipurpose retarding basin

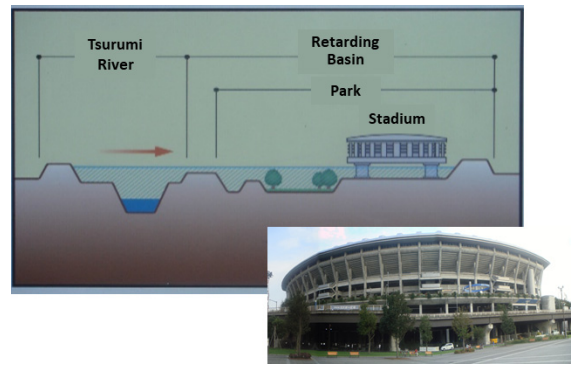


Fig. 5. Nissan stadium pilot.

위하여 지하조절지를 설치하였다. 평상시에는 Fig. 6(a)와 같이 우수부 스크린으로 하천수의 유입을 막고, 홍수시에는 Fig. 6(b)와 같이 우수부 스크린을 오픈하여 홍수량을 지하조절지로 유입시켜 홍수량을 조절한다 (KRIHS, 2009).

3.2 해일(태풍/폭풍해일)에 대한 재해예방기법

해일(태풍/폭풍해일)에 대한 재해예방기법으로 국내에 적용된 기법은 방호벽, 방파제(테트라포트), 해안방재림과, 방재언덕 등이 있다. 이중 해안방재림 적용사례에 대하여 조사하였다.

부산 강서구와 사하구 인근은 2003년 태풍 매미 내습당시 해안가와 인접한 지역에 태풍해일로 인하여 침수피해가 발생하였다. 부산시는 피해 발생지역에 해일, 쓰나미, 풍랑 등의 재해대응을 위하여 2012년부터 3년에 걸쳐 해안방재림 조성사업을 추진하였다. 녹산국가산업단지 일원은 인공 해안림과 산책로, 자전거도로를 조성하고, 신호·화전산업단지 일원은 인공해안림을 조성하였으며, 명지오션시티 일원은 배후 도로와 해안방재구조물 사이에 인공 해안림을 조성하였다. 녹산



(a) Ordinary day



(b) Flood

Fig. 6. Kandakawa flood control storage.



Fig. 7. Forestation site for disaster prevention construct.

국가산업단지는 Fig. 7과 같이 해안을 따라 약 30~50m 폭으로 방재림을 조성하였고, 산책로, 자전거 도로는 일부 구간은 투수성 포장이 되어 있으며, 내수배제가 가능하도록 배수구가 설치되어 있다.

3.3 조위 (만조위)에 대한 재해예방기법

조위 (만조위) 상승으로 인한 홍수재해를 방지하기 위한 재해예방기법으로는 수문, 방조제 (베리어) 등이 있으며, 재해예방기법 적용 사례로 일본, 네덜란드에 적용된 기법을 조

사하였다.

일본의 동경항만에서는 조위상승에 의한 홍수피해를 방지하기 위하여 수문을 건설하고, 수문 내에 배수펌프장을 설치하여 수위상승으로 인한 내수침수를 방지하였다. Fig. 8. (Bureau of Port and Harbor, Tokyo Metropolitan Government Home page)은 도쿄의 하버 수문의 개념도이다.

네덜란드는 Fig. 9. (Research Project Fallsemester, 2016)와 같이 거대한 규모의 가동식 방조제 (베리어)를 설치하여 상류에 위치한 항만을 보호하고, 선박의 입출항을 위하여 가동식으로 건설되었다. 그러나, 방조제 (베리어)를 더 높고, 크게 만드는 것은 기후변화에 대한 장기적인 대응전략이 될 수 없음에 주목하고 있다.

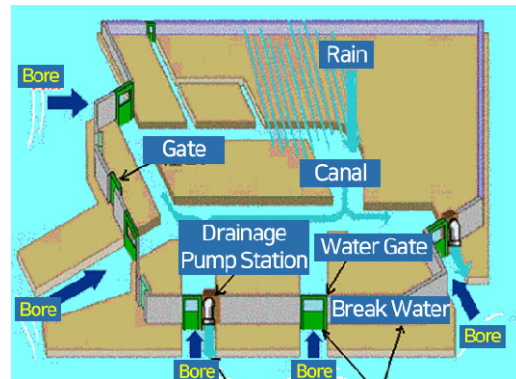


Fig. 8. Tokyo harbor water gate.



Fig. 9. Maeslant barrier.

3.4 풍랑/파랑(너울)에 대한 재해예방기법

풍랑/파랑 (너울)에 대한 재해예방기법으로는 돌제, 이안제, 잠제, 해안제방 승고 등이 있으며, 일본과 독일의 연안방어를 위한 재해예방기법을 조사하였다.



Fig. 10. Toyama-Kurobe disaster preventive measures.



(a) Dune



(b) Superdike



(c) Detached breakwater



(d) Breast wall

Fig. 11. Germany the north coastal disaster preventive measures.

일본 토야마 구로베 지역은 진즈강과 해안가가 만나는 복합재난 위험지역으로 지진해일 및 풍랑/파랑 (너울)의 피해가 빈번하다. 이를 예방하기 위하여 Fig. 10.과 같이 해안을 따라 돌제, 이안제, 해안제방승고 사업을 추진하여 피해를 방어하였다.

또한 독일 북부연안 메클레부르크-포어포메른 주의 연안 방어대책으로는 연안보호를 위하여 사구 (Fig. 11.(a)), 수제 (Fig. 11.(b)), 이안제 (Fig. 11.(c)), 옹벽 (Fig. 11.(d))을 설치하여 연안방어 시스템을 구축하였다.

4. 국내 해안가 복합재난 위험지역에 적용 가능한 재해예방기법

재해예방기법 사례조사를 통하여 우리나라 해안가 복합재난 재해영향인자에 대하여 적용가능한 재해예방기법을 분석하였다. 연안 전지역에는 집중호우·태풍에 대한 재해예방기법 적용이 가능할 것으로 판단되며, 서해안은 조위 (만조위)를 예방할 수 있는 수문, 방조제 등의 재해예방기법, 남해안은 해일 (태풍/폭풍해일)을 예방할 수 있는 해안방재림, 방재

Table 2. Analysis of disaster prevention measures applicable to influenced factors of disaster

Zone	Influenced Factors of Disaster	Disaster Preventive Measures
All	Intensive rainfall-Typhoon	River maintenance, Levee Raising, Drainage facility, Multipurpose Retarding Basin, Flood Control Storage
West Sea	Tide level	Water Gate, Barrier
South Sea	Tsunami	Forestation Site for Disaster Prevention, Hill for Disaster Prevention
East Sea	Wave	Jetty, Detached Breakwater, Submerged Breakwater, Coastol Levee Raising, Dune, Breast wall



Fig. 12. Multilayer defense concept.

언덕 등의 재해예방기법, 동해안은 풍랑/파랑 (너울)을 예방할 수 있는 돌제, 이안제, 잠제 등의 재해예방기법을 적용가능하다. (Table 2.)

복합재난 (Compound disaster)은 단일 재난으로 인해 다양한 형태의 재난들이 연속 또는 동시다발적으로 발생하는 재난으로 (Kawata, 2011), 우리나라는 삼면이 바다로 되어있어 연안지역에 재해피해 발생시 복합재난으로 발전할 가능성이 높을 것으로 판단된다. 따라서 해안가 복합재난을 예방하기 위해서는 단일 재해영향인자에 대한 재해예방기법 적용뿐 아니라, 여러 가지 재해예방기법을 적용하여 해안가 복합재난 발생시 재해를 순차적으로 저감하여 다중으로 방어하는 체계 마련이 필요하다.

연안지역의 다중방어체계는 구조적기법과 비구조적 기법이 복합적으로 적용되는 예방기법으로, 구조적 기법으로는 제방 방재기능 강화기법, 녹지/방재림 조성기법, 제방도로 방재기능 강화기법, 방재능력을 갖춘 공원 조성기법 등이 있으며, 비구조적 기법으로는 도시의 중추기능 이전기법, 도시 기반시설 이전기법 등이 있다. Fig. 12(Eo G, 2017).는 다중방어 체계의 개념도이며, 연안지역에 태풍, 집중호우, 파랑, 지진해일 등에 대비하여 방조제, 해안제방, 녹지/방재림, 도로, 공원, 업무공간, 상업공간, 주거공간 순으로 구조적/비 구조적기법이 복합적으로 적용이 가능하다.

5. 결론

본 연구는 우리나라 해안가 지역에 재해발생 영향인자를 분석하고, 기존에 해안가 지역에 적용된 재해예방기법 적용 사례 분석을 통해 재해영향인자별 재해예방기법을 제시하였다.

국내 해안과 하천이 만나는 지역을 중심으로 해안가 복합재난 위험지역을 선정한 결과 245개 지역이 선정되었으며, 선정된 복합재해 위험지구의 재해영향인자를 조위, 집중호우·태풍, 풍랑·파랑, 해일 4개인자로 표준화하여 서해, 남해, 동해로 구분하였다.

기존에 해안가에 적용되었던 국내·외 재해예방기법을 4개의 표준화된 재해영향인자로 분류하여 국내 서해, 남해, 동해에 적용가능한 재해예방기법을 도출하였다.

한편, 최근의 재해양상을 고려할 때 대부분의 해안가 재해가 집중호우 시 조위상승으로 인한 홍수피해, 태풍내습 시 풍랑·파랑으로 인한 피해 등 복합적으로 나타나고 있다. 따라서, 본 연구에서는 해안으로부터 내륙쪽으로 제방승고, 해안 방재림 조성, 거주지역 이전 등 여러 가지 재해예방기법을 종합적으로 적용하는 다중방어 체계개념이 도입된 재해예방기법을 제시하였으며, 향후, 해안가 복합재난을 고려한 재해예방기법으로 활용될 것으로 판단된다.

사 사

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

REFERENCES

- Eo G, et al. 2017. Development of a New Concept of Public Facility Recovery for Large-Scale Disasters. 13(12): 17-31
- Jeon YG and Lee SY. 2011. A Study on the Management of Korean Coastal Land Use against the Natural Disaster-as a case study of Jumunjin-eup. Gangneung City in Korea. Journal of the Korean Cadastre Information Association. 13(2): 181-196
- Kawata Y. 2011. Downfall of Tokyo due to devastating nonpound disaster. Journal of Disaster Research. 6(2) : 176-184
- Kim KH. 2011. Beach Erosion as a Coastal Disaster. Korean society of civil engineers magazine. 59(11): 40-45
- KRIHS (Korea Research Institute for Human Settlements). 2009. Resilient Urban Areas Against Climate Change: A Synergistic Approach to Urban Hazard Mitigation
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2011. 2nd coastal integrated management plan (2011~2021)
- Research project Fallsemester. 2016. Maeslant barrier Alternative solution for the upgrading of the Maeslant barrier
- Seo KW. 2004. Disaster Characteristics Analysis at Busan Coastal Areas by Typhoon Maemi in 2003. The Korean Society of Ocean Engineers. 18(2): 25-32
- Shim JS, Chun IS, Yoon JJ. 2011. The Impacts and Measures of Storm Surge on Coastal Disaster. Journal of the Korea society of civil engineers. 59(11): 21-27
- Yook KY, et al. 2012. Evaluation and Improvement of Coastal Areas' Climate Change Response Capabilities : with focus on climate change adaptation capability of coastal municipalities. Report. Korea Maritime Institute Bureau of Port and Harbor, Tokyo Metropolitan Government Home page (<http://www.kouwan.metro.tokyo.jp>)