

Development of a New Concept of Public Facility Recovery for Large-Scale Disasters

Gyu Eo[#], Chan Hee Lee, Ou Bae Sim⁺

US(Urban Safety), Inc, 1908, 123, Beolmal-ro, Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do, Korea

Abstract

The purpose of this study is to develop a new concept technique of public facility restoration in order to prevent damage from large-scale complex disasters. In Korea, restoration techniques for public facilities have focused on restoration of structural functions centered on damaged facilities and damaged points. We set up the direction of the development based on a new concept of public facility restoration. We conducted an intensive review of large-scale damage cases in Korea and restoration cases from other countries and derived techniques of public facility restoration. We also standardized, typified and multi-layered 16 city-level and 18 region-level new concept techniques of public facilities restoration in terms of land use and facility type. Finally, we demonstrated how the techniques can be applied.

Key words: large-scale disasters, disaster response, new concept technique of public facilities restoration, land-use strategy

1. 서론

1. 배경 및 목적

전 세계적으로 자연재해 발생빈도와 대규모 재해가 증가 추세이다. 지난 35년간 자연재해 발생건수는 지속적으로 증가하여 1980년 130건에서 2015년의 346건으로 270% 증가하였다. 또한 1995년 일본 고베 지진, 2005년 미국 뉴올리언스 허리케인 카트리나, 2011년 동일본 대지진 등 대규모 재해 역시 증가하고 있다 (EM-DAT, 2015).

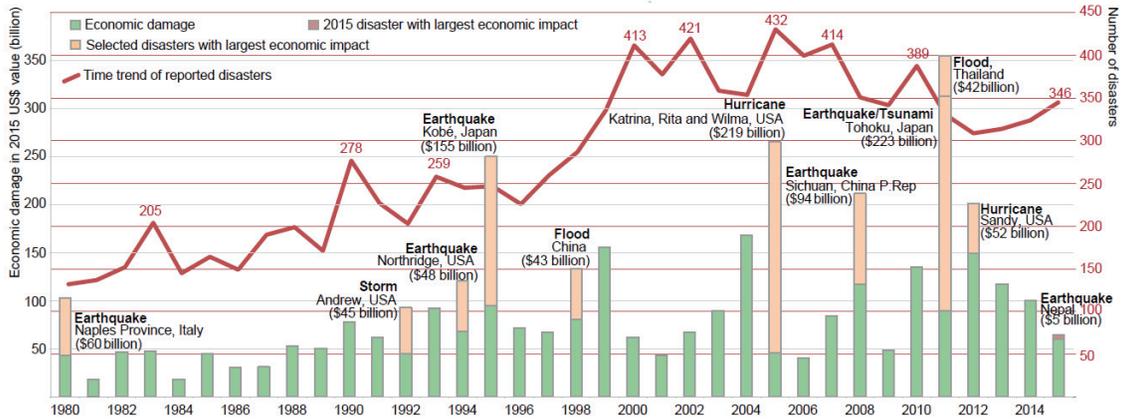
최근 20년간(1995년~2015년) 전 세계에서 가장 많

이 발생한 자연재해 유형은 홍수(43%), 태풍(28%), 지진(8%), 극한기온(6%), 산사태(5%), 가뭄(5%), 산불(4%), 화산(2%) 순으로 풍수해와 지진이 가장 많은 비중을 차지하였다(World Economic Forum, 2016). 사망자수가 가장 많이 발생한 재해유형은 태풍(40%), 홍수(26%), 극한기온(27%), 홍수(26%), 기타(7%) 순으로 나타났다(Relief Web, 2015).

우리나라의 경우 공공시설에 대한 복구기법은 피해 시설물, 피해지점 중심의 구조적 기능복원에 초점을 두고 있다. 현행 공공시설 복구계획은 시설물 관리 주체별로 원상복구, 개량복구를 실시하며, 피해가 복합적으

[#] The 1st author: Gyu Eo, Tel. +82-31-689-3169, e-mail. good3437@naver.com

⁺ Corresponding author: Ou Bae Sim, Tel. +82-31-689-3167, Fax. +82-31-689-3170, e-mail. obsim@naver.com



※ Source: EM-DAT(<http://www.emdat.be/publications>).

Figure 1. Annual reported economic damages and time trend from disasters: (1980-2015)

로 발생한 일정지역에 대해 지구단위지역을 확정하고 시설물간 연계를 고려하여 종합적으로 복구할 수 있도록 계획하는 지구단위종합복구계획(「자연재해대책법」 제46조의3)을 수립하도록 하고 있다. 하지만, 이 역시 피해시설물의 복원중심이고 토지이용전략, 시설복구전략 등은 미흡한 실정이다. 대규모 재해시 도시전체차원과 지역차원에서 근원적 피해저감 및 방지를 위한 종합적인 복구기법 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 대규모 복합재해로 인한 피해발생시 근원적 피해원인 해소와 재피해 방지를 위해 공공시설에 대한 신개념 복구기법을 개발하고자 한다.

2. 연구의 범위

본 연구에서는 대규모 복합재해 공공시설 복구기법 대상재해를 풍수해, 지진, 해일로 구분하였다. 우리나라에서 발생가능한 대규모 복합재해는 태풍(또는 홍수)과 산사태 또는 폭풍해일, 지진 발생 시 태풍(홍수) 또는 태풍(홍수) 발생 시 지진발생, 지진해일 발생 시 태풍 또는 홍수 발생 등이 있다. 따라서 우리나라의 발생가능한 대규모 복합재해 원인은 풍수해(태풍, 홍수, 산사태), 지진, 해일(지진해일, 폭풍해일)이 된다. 본 연구의 대규모 복합재해 대비 공공시설 복구기법 대상은 <Figure 2>와 같다.

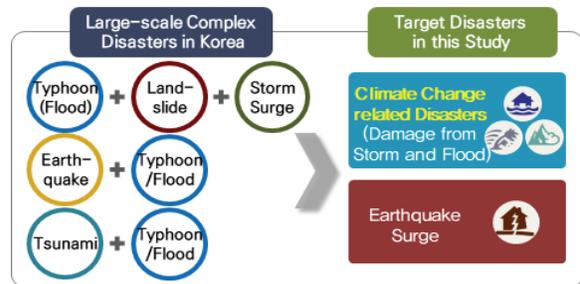


Figure 2. Target disasters in this study

공공시설의 범위는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제2조에 의한 기반시설로서, 교통시설(도로, 철도, 항만, 공항, 주차장 등), 공간시설(광장, 공원, 녹지 등), 공공·문화체육시설(학교, 운동장, 공공청사), 방재시설(하천, 우수지, 방화설비 등) 등을 의미한다.

시설별 복구공법은 현행 시설별 설계기준 및 공법을 준용토록 하며, 본 연구에서의 공공시설 복구기법의 범위는 시설별 공법 개발보다는 도시차원, 지역차원에서 종합적으로 고려해야할 복구기법 개발에 중점을 두고 있다. 본 연구의 대규모 재해 복구기법은 대규모 재앙적 재해를 기회로 활용하여 그동안 도시가 가지고 있었던 근본적인 재해위험을 해소하는 데 중점을 두고 있다. 또한, 동일한 재해가 발생하더라도 재피해가 발생되지 않고 재해발생 이전 보다 더욱 안전한 도시가 되기 위해 근원적 피해원인을 해소하는 데 초점을 두고 있어서, 시설별 설계기준 또는 각종 재해예방기준(지구단위홍수방어기준 등)을 적용하는 것보다 상위단계에서 적용하는

기법이다. 대규모 재앙적 재해 발생 이후 근원적 피해원인 해소와 재피해 방지를 위한 토지이용전략, 설계기준 이외에 재해지역에서 고려해야할 시설별 전략을 마련하는 것이다. 따라서 본 연구의 복구기법은 기존의 시설별 설계기준, 각종 재해예방기준(지구단위홍수방어기준 등) 등과 차별화하고자 노력하였으며, 이를 위해 신개념 복구기법 개발방향을 정립하여 연구를 추진하였다.

II. 신개념 공공시설 복구기법 도출방법 및 과정

신개념 공공시설 복구기법을 도출하는 과정은 크게 사례별 복구기법 도출, 신개념 복구기법 개발방향과 부합하는 공공시설 복구기법 표준화, 유형화 및 계층화 등의 4단계로 구분된다.

신개념 복구기법의 경우 각 단계별로 복구기법을 도출하거나 표준화, 유형화, 계층화 시에는 조사된 사례에 기초하여 연구자가 전문가 등을 활용하여 적용방안과 신개념 복구기법 개발방향을 염두에 두고 논리적 추론과 토론을 통하는 브레인스토밍을 수행하였다.

먼저, 사례별 복구기법 도출은 국내 대규모 재해사례를 조사하여 토지이용 및 시설대책측면에서 피해원인을 분석하고 이를 개선하기 위한 복구기법을 도출하였

다. 또한 일본, 미국 등 해외의 대규모 복구 사례로부터 각 사례별 복구기법을 토지이용 및 시설기법측면에서 도출하였다.

국내 대규모 피해사례의 원인분석, 해외 선진국의 대규모 재해 복구기법 등을 종합하여 신개념 복구기법 개발방향을 새롭게 설정하였다.

신개념 공공시설 복구기법 표준화의 경우 사례별 복구기법은 특정사례중심으로 적용되므로 이를 여러 재해 등으로 확장 적용하고 범용적으로 사용하며, 신개념 복구기법 개발방향과 부합하도록 사례별 각 복구기법을 일반적 기법으로 표준화하고 재해유형별로 적용성을 구분하였다. 표준화된 신개념 공공·사유시설 복구기법을 효율적으로 적용하기 위해서는 공간규모를 고려한 복구기법 마련이 필요하다. 이를 위해 공간규모를 도시차원, 지역차원, 단지(주택단지, 산업단지 등)차원, 개별 건축물차원으로 구분하여 표준화 복구기법을 공간규모별로 유형화하였다.

마지막으로, 공간규모별로 유형화한 복구기법은 동일내용이지만 공간별로 다르게 적용해야하므로 이를 고려하여 공간규모에 맞게 적용하기 위해 동일기법을 규모별로 계층화하여 신개념 공공시설 복구기법을 최종 도출하였다. 신개념 공공시설 복구기법 도출 과정은 〈Figure 3〉와 같다.

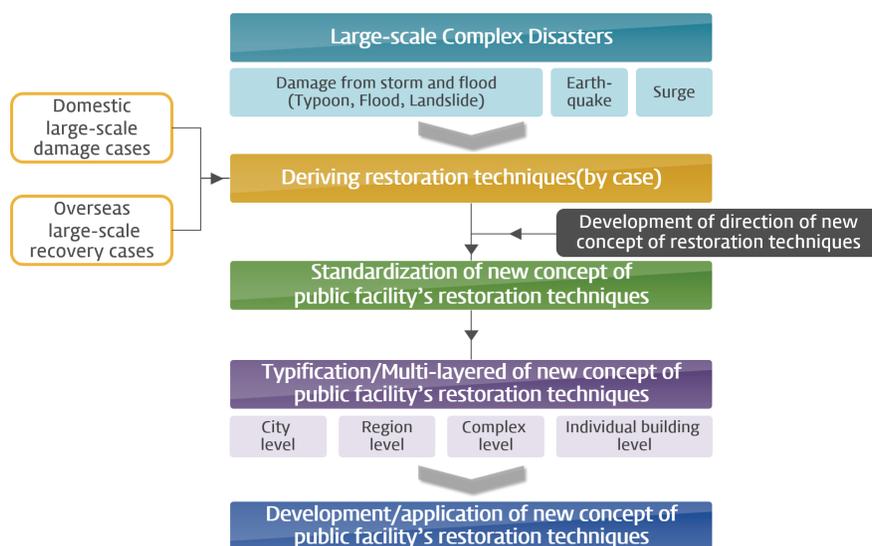


Figure 3. The process of deriving the new concept of public facility's restoration techniques

Ⅲ. 국내·외 대규모 재해사례 조사를 통한 공공시설 복구기법 도출

1. 국내 대규모 피해사례의 원인 개선을 위한 공공시설 복구기법 도출

국내 대규모 피해사례의 원인을 분석하고, 이를 개선하기 위한 공공시설 복구기법을 도출하였다. 최근 우리나라에서는 대규모 피해가 빈번했던 해외와 달리 별다른 피해가 없어, 2002년 발생한 태풍 루사와 2003년 태풍 매미, 2006년 7월 강원도 평창군, 인제군에서 발생한 집중호우 사례를 조사하였다. 2002년 8월 30일부터 9월 1일까지 강릉시에 대규모 피해를 입힌 제15호 태풍 루사는 5조 1,500억여 원의 재산피해를 발생시켰고, 246명의 사망·실종자가 집계되었다(NTC, 2016). 2003년 9월 6일 오후 3시 우리나라를 내습한 제14호 태풍 매미는 4조 7천억여 원의 재산피해를 발생시켰고, 135명의 사망·실종자를 발생시켰다(NTC, 2016). 2006년 7월 15일부터 16일까지 설악산 한계령을 중심으로 발생한 집중호우(누가강우량 평창군 540.0mm, 인제군 465.5mm)로 인한 강원도의 인명피해는 전체 42명(사망 29명, 실종 13명)으로 나타났다(Kim, *et. al.*, 2006).

태풍 루사의 피해원인 분석결과, 토지이용측면 보다 시설대책측면에 초점을 두어 분석되었으며, 시설대책 측면에서는 저수지의 설계 부적절, 하천의 통수단면 부족 등 피해원인으로 분석되었다. 피해가 발생한 강릉의 저수지 설계홍수량이 재현기간 100~240년 빈도로 설계되어 있어 극한강우(PMP; Probable Maximum Precipitation) 수준에 근접하는 강우량이 발생하여 홍수량을 감당하기 어려웠다. 여수로가 측구형식으로 되어 있어 과도한 홍수량에 부적합하는 등 저수지의 설계가 부적절하여, 장현, 동막저수지의 붕괴, 칠성저수지의 여수로 유실 등으로 직하류에 위치한 주거지, 농경지 등의 유실 및 침수피해 발생하였다. 또한, 농경지 확장이나 도로의 개설로 하폭의 축소를 초래하는 경우가 많고 이에 따른 하천 통수단면적 감소로 하천범람, 제방유실, 만곡부 세굴 등과 같은 하천시설물 유실 피해

가 발생하였다. 또한, 하천구조물의 설계규모가 부족하였다. 교량의 교각에 의한 하천통수단면 부족으로 제방의 범람, 지류와 합류하는 지점의 제방붕괴 등이 발생하였다. 교량에 유목을 비롯한 유송잡물이 걸리면서 직상류 지역에서 하천범람이 발생하는 등 하천구조물과 하폭 협소로 인하여 홍수피해 가중되었다.

태풍 매미의 경우, 토지이용 측면에서는 홍수터 소멸에 따른 하천의 범람으로 피해가 가중되었으며, 시설대책측면에서는 방파제 유실로 물이 범람하여 재해피해가 가중된 것으로 분석되었다.

방파제 유실로 방파제의 기초가 이탈하고 제체가 파손, 붕괴되는 피해가 발생하였다. 개간된 농경지에 경지정리사업 등을 통한 저류 및 홍수터의 역할을 하던 곳이 급배수를 일으켜 범람을 유발하는 등 홍수터 소멸에 따른 하천 범람이 발생하였다. 또한 높아진 하상은 낙동강을 홍수에 더욱 취약하게 하고 홍수피해 유발하는 등 하천구조물 건설에 따른 하상 상승이 주요 피해 원인으로 분석되었다.

마지막으로 평창, 인제 지역의 인명피해를 원인별로 분류하면, 산사태에 의한 주택 매몰 17명(42.5%), 하천 및 계곡 급류 16명(40%), 하천범람에 의한 피해가 7명(17.5%)이다(Kim, *et. al.*, 2006). 피해원인은 토사유출로 인한 산지주변 도로의 소통장애 유발 및 도로 파괴로 토지이용 측면에 대해 피해가 가중되었고, 시설대책 측면에서는 하천 및 소하천의 범람, 하천변 제방의 파손으로 피해가 가중된 것으로 분석되었다. 도로와 인접한 곳에서 산사태로 인하여 토사가 유출되어 고속도로 및 지방도의 소통장애를 유발하였다. 도로를 횡단하는 소규모 계곡이나 수로지역에서 토사 및 유목 등의 유출로 인해 도로횡단 배수구가 막혀 도로 유실되었다. 산사태에 의한 토사, 토석류가 하천으로 유출되어 하천의 통수단면이 감소하여 하천범람 피해가 발생하였다. 또한, 고랭지 채소경작으로 인한 토사유출로 소하천이 범람하였다. 산림지역이 고랭지 경작지로 이용되어 유출물이 증가하여 집중호우 시 유출이 증가하고, 배수시설 및 토사유출방지시설이 미흡하여 소하천의 통수단면적

Table 1. Analysis of the causes of damage to public facilities in large-scale domestic damage cases

Division	Cause of Damage
Land-use aspect	<ul style="list-style-type: none"> • Overflow of the river due to the disappearance of the floodplain • Causes of traffic disturbance and destruction of the roads around the mountains due to soil runoff • Collapse of riverside road of water impact area on outer side river-bend
Facility techniques aspect	<ul style="list-style-type: none"> • Inadequate detention reservoir design • Shortage of cross sectional area of river • Shortage of river structure design-scale • Washing away breakwater • Small river flooding due to soil runoff by highland vegetable cultivation • Inundation due to sediment and debris flow by landslide • Collapse of riverside levee of water impact area on outer side river-bend • Shortage of cross sectional area of bridge

을 감소시켰다. 하천이 사행되는 만곡부 외측에는 원심력에 의한 유속이 빨라 소류력이 강해지고 수위가 상승하여 제방, 도로 등이 파손된다. 교량에 교각설치로 인한 통수단면적 부족, 생목, 간벌목 등 유목의 집적으로 인한 피해가 발생하였다.

국내 대규모 피해사례에 대한 공공시설의 주요 피해 원인을 종합해보면 <Table 1>과 같다. 토지이용 측면에서는 홍수터 소멸에 따른 하천의 범람, 토사유출로 인한 산지주변 도로의 소통장애 유발 및 도로파괴, 하천 만곡부 외측 수충부 하천변 도로의 붕괴 등이 주요 피해 원인으로 분석되었다. 시설대책 측면의 주요 피해원인은 저수지의 설계 부적절, 하천의 통수단면 부족, 하천 구조물의 설계규모 부족, 방파제 유실, 고령지 채소 경작으로 인한 토사유출로 소하천 범람, 산사태로 인한 토사 및 토석류로 인한 하천 범람, 하천 만곡부 외측 수충부의 하천변 제방 파손 등으로 나타났다.

2. 해외사례별 공공시설 복구기법 도출

동일본 대지진으로부터의 부흥 기본방침(東日本大震災復興対策本部, 2011)을 살펴보면, 동일본 대지진으로 인하여 해일의 높이 20m의 대규모 재난이 발생했으며, 이에 일본에서는 삼층방어(다중방어)체계를 강조하였다. 토지이용 측면의 복구기법은 해안제방 용적상승, 방재녹지, 도로, 토지이용 재편 등 복수의 기법을 조합하여 삼층방어(다중방어) 체계를 구축하는 기법을 제시하였다. 시설기법 측면의 복구기법은 방재녹지(숲) 활용, 해안·하천제방 복구정비, 방재거점시설

의 정비·기능향상, 2선 복층의 기능을 갖는 도로, 철도 등 삼층방어(다중방어)를 기본방향으로 하는 기법을 제시하였다. 또한, 동일본 대지진 이후의 일본재생의 경우 저지대에서 고지대로 이전하는 것을 강조하였으며, 특히 근처에 고지대가 없고 피난빌딩이 없는 경우 높은 지대의 인공언덕을 20m 이상으로 조성하는 기법을 강조하였다. 토지이용 측면에서는 재해지역 내 관공서, 병원, 커뮤니티 시설 등은 고지대로 이전하여 조성하여 인적피해를 최소화 하는 복구기법을 제시하였다.

시설측면에서는 재해에 안전하게 방어하기 위해 완경사 사다리꼴의 높은 도로(20m 이상)를 해안선과 병행하여 건설하거나, 해일이나 파도에 파괴되지 않고 전도되지 않는 방조제를 조성하기 위한 복구기법을 제시하였다.

동일본 대지진에 대한 대응(国土交通省, 2015) 사례에서는 다양한 사업을 통해 재해위험지역 내 이주를 촉진시키는 등 대책(방재 집단이주 촉진사업, 부흥거점정비사업, 방재녹지사업 등)을 강조하였다. 토지이용 측면의 복구기법은 방재 집단이주 촉진사업을 추진하여 재해지역 내 주민의 거주에 적당하지 않은 구역에 있는 주거지를 안전한 곳으로 집단 이주하는 기법을 제시하였고, 고령화나 인구감소 등 경제사회의 구조변화를 응시하여 방재 부흥거점을 설치하는 기법을 제시하였다. 시설기법 측면의 복구기법은 해안지역 내 방재 숲을 조성하여 재해 시 해일감쇠, 침수 피해범위 축소, 피난시간 확보 등 방재기능을 확보하고자 기법을 제시하였다.

마야기현의 부흥을 향한 대책(宮城県, 2017) 사례의

경우 토지이용 측면의 복구기법은 공공시설을 고지대로 이전하고, 해안지역에 건축제한구역으로 설정하여 개발을 제한하여, 피해규모를 최소화하기 위한 기법을 제시하였다. 또한 해안으로부터 방조제, 방재녹지·방재림, 농지, 도로, 상업시설, 공업시설, 철도, 주거지역 순으로 다중방어체계를 구축하는 기법을 제시하였다. 시설기법 측면에서는 해안지역에 주로 공장, 철탑 등 공장시설로 주로 구축하여 인적피해를 최소화 하고, 해안지역 내 방재녹지를 조성하여 재해에 강한 조성 기법을 제시하였다.

미국 플로리다 사전복구계획인 PDRP(Florida Department of Community Affairs, 2010) 사례에서는 대규모 재앙적 재해를 기회로 활용해서 고위험 지역의 공공시설의 적극적인 이주를 강조하였다. 토지이용 측면은 고위험 지대의 식수, 하수, 우수시설 파손시 안전지대로 이전하고, 재난물자, 피난로 확보 등 기존의 교통망을 조정 및 개선하는 기법을 제시하였다. 시설기법 측면은 도로, 교량, 철도, 공항, 항만 등 대중교통의 복구는 지방자치단체의 회복에 필수적인 부분이라 우선 복구를 하고자 하였으며, 특히, 전력시설을 우선 복구해야 된다고 제시하였다.

허리케인 카트리나(USACE, 2011) 사례에서는 재해 취약지역에 제방, 홍수벽, 홍수문 등 방재시설의 강화에 초점을 두어 강조하였다. 뉴올리언스시는 대부분 공공시설기법에 적용되었고, 이외 토지이용 측면의 복구기법은 상습 침수구역 내 주민들을 다른 안전한 지역으로 이주시키는 기법을 제시하였다. 시설기법 측면의 복구기법으로는 취약지역에 제방, 홍수벽, 홍수문 등 방재시설을 강화하여 재해 시 저류지의 수문을 설치하여 수위를 조절하는 기법을 제시하였다.

3. 시사점

현행 우리나라의 공공시설 복구기법은 피해시설물, 피해지점 위주의 구조적 복구이며, 토지이용전략등 비구조적 대책이 전무한 실정이다. 국내 대규모 피해사례에 대하여 원인을 분석한 결과, 1차적인 원인은 설계기

준을 초과하는 엄청난 강우이지만 피해가 크게 발생한 원인으로는 해안변, 하천변, 산지주변 등 재해취약요소 주변지역에 기반시설, 건축물 등을 조성한 것이었다.

일본, 미국 등 선진국은 대규모 재해 발생 시 주요 복구기법으로 재해위험을 근원적으로 제거하기 위한 토지이용전략을 적극 활용하며, 시설대책을 강화하고, 피난을 전제로 하는 재해에 강한 마을만들기를 추구하여 인명피해도 최소화하고 있다.

이처럼 대규모 재앙적 재해를 기회로 활용하여 기존 도시의 재해위험을 근원적으로 저감 또는 방지하기 위한 토지이용전략을 적극 활용해야한다. 재해지역 내 도로, 철도, 상하수도시설, 주거지역 등을 재해에 안전한 지역으로 이전하고, 해안 등 재해취약요소 주변의 다중방어체계(해안-방조제-녹지 또는 숲-도로 또는 철도-농경지 또는 우수지/저류지-업무지구-상업지구-주거지구)를 구축한다.

재해지역 내 주거지역을 농지로 전환하여 고지대는 공공시설, 주거시설, 상업시설, 커뮤니티시설, 저지대는 업무시설, 농지, 녹지, 숲 등을 조성한다.

대규모 재해에 대응하기 위해 시설물 기능을 상향·강화해야한다. 예를 들어 재해지역 내 해안, 하천의 제방기능 강화, 배수체계 강화, 다목적 저류지 조성, 액상화 대책 추진, 해일 대비 해안제방도로 조성, 전도되지 않는 방조제 설치 등이 있다.

대규모 재해에 대응하기 위해 시설물 대책으로 모든 위험을 저감할 수 없으므로 기본적으로 피난을 전제로 한 마을만들기를 추진해야 한다. 광역피난소 등 피난장소, 피난로를 확보한다. 평지의 공공주택은 피난기능을 부여하고, 피난건물 등이 없는 경우에는 피난언덕(인공 언덕) 조성한다. 해안 저지대 침수구역은 내진·내화·내파건축, 4층 이상의 철근콘크리트 건축을 적용한다.

IV. 신개념 공공시설 복구기법 개발

1. 신개념 공공시설 복구기법 개발방향

현행 공공시설 복구기법의 한계점, 국내 대규모 피해

사례 원인분석, 해외 선진국의 대규모 재해 복구기법 등을 종합적으로 고려하여 신개념 공공시설 복구기법 개발방향을 다음과 같이 설정하였다.

첫째, 대규모 재앙적 재해를 기회로 활용하는 토지이용전략 복구기법의 개발이다. 대규모 재앙적 재해로 피해를 입은 지역의 공공시설의 근원적 피해방지를 위해, 재해취약요소(해안, 하천, 산지) 주변지역, 재해지역에 대한 공공·사유시설의 이전, 이격, 회피 등의 토지이용 기법을 개발하도록 한다.

둘째, 인명피해 최소화를 위한 도시/지역차원의 다중방어체계 구축이다. 도시차원, 지역차원, 단지차원 등 공간규모별로 재해취약요소(해안, 하천, 산지)에 대해 다중방어체계를 구축하며, 사람이 거주·활동하는 주거 및 상업공간을 가장 안전한 곳에 배치하여 인명피해를 최소화하도록 한다.

셋째, 지역특성 및 재해위험 맞춤형 복구기법 개발이다. 지역의 입지, 지형 및 재해위험을 고려하여 공공시설, 사유시설 배치, 구조 기법을 개발하도록 한다.

마지막으로, 대규모 재해 대비 대피기반조성을 위한 복구기법 개발이다. 재해 시 주민대피 및 물자·장비이송 등을 위한 안전한 대피로를 확보하고 대피소, 대피거점을 확보하는 기법을 개발하도록 한다.

2. 공공시설 복구기법 표준화

국내·외 대규모 피해사례의 피해원인 분석 결과를 토대로, 확장성, 범용성을 확보하기 위해 전문가 등 브레인스토밍을 통하여 사례별 공공시설 복구기법을 표준화하였으며, 예를 들면 다음과 같다.

토사유출로 인한 산지주변 도로의 소통장애 유발 및 도로파괴의 경우, 산지에서 해안, 하천, 산지 등 재해취약요소를 확대하였으며, 도로의 소통장애 유발 및 도로파괴를 최소화하기 위하여 공원, 녹지 등 완충기능을 확대하여 표준화하였다.

심층방어(다중방어)에 의한 해일방재 만들기의 경우, 해일에만 국한하지 않고 해안, 하천, 산지 등 재해취약요소주변을 확장하여 다중방어체계를 표준화하였

다. 해안지역 방재숲 조성의 경우, 해안, 하천, 산지 등 재해취약요소주변뿐만 아니라 완충기능의 공원 또는 녹지 등 범용성기능을 확장하여 표준화하였다. 취약지역에 제방, 홍수벽, 홍수문 등 방재시설 강화 경우, 취약지역이 아닌 재해지역 내 슈퍼제방, 내진제방, 제방승고 등 해안 및 하천 주변 제방의 기능을 확대하여 표준화하였다. 상습 침수구역 내 주민들을 다른 지역으로 이주의 경우, 상습 침수구역이 아닌 재해 구역으로 범위를 확대하여 재해지역 내 주거지역을 안전한 곳으로 이전하는 기법으로 표준화하였다.

3. 공공시설 복구기법 계층화

앞서 국내·외 대규모 피해사례에서 표준화한 공공시설 복구기법 중 중복된 기법을 제외시켰으며, 이를 도시차원과 지역차원, 교통시설, 공간시설, 방재시설에 대한 기법으로 유형화하였다. 도시차원과 지역차원의 경우 공간규모를 고려한 기법으로 계층화 하였다.

공공시설 복구기법은 총 23개로 토지이용에 대해 11개, 시설에 대해서는 12개의 기법을 도출하였다. 재해 유형별로 살펴본 결과 해일, 풍수해, 지진 순으로 나타났다. 해일의 경우 23개 중 23개(100%)로 나타났으며, 풍수해의 경우 23개 중 22개(96%)로 분석되었고, 지진의 경우 23개 중 11개(48%)로 공공시설 복구기법에 적용이 가능한 것으로 분석되었다. 특히, 공통적으로 적용할 수 있는 기법으로는 23개 중 11개(48%)이며, 대표적인 기법으로는 대피소(광역, 지역)지정, 재해지역 내 중추기능(공공기능, 상업기능 등) 이전, 재해지역 내 주거단지, 상하수도시설 이전, 재해취약요소(해안, 하천, 산지)주변 방재녹지축(또는 숲) 조성 등이 있다.

도시차원과 지역차원으로 계층화한 복구기법의 예를 들면 다음과 같다. 다중방어체계 구축의 경우, 도시차원에서는 재해취약요소(해안, 하천, 산지)주변 광역 다중방어체계 구축인 기법이, 지역차원에서는 재해취약요소(해안, 하천, 산지) 주변 지선 다중방어체계 구축으로 광역에서 지역으로 공간규모를 고려하여 계층화 하였다. 또한, 대피소 지정의 경우, 공간규모를 고려하

여 도시차원에서는 광역 대피소 지정(거점공원, 종합운동장, 대학 등 활용), 지역차원에서는 지역대피소 지정(공원, 학교, 청사 등 공공건물 활용)으로 계층화 하였다. 재해에 강한 방재 도로망 구축의 경우, 도시차원에서는 재해에 강한 방재 간선도로망 구축, 지역차원에서는 재해에 강한 지선도로망 구축으로 간선에서 지선으로 계층화 하였다.

4. 신개념 공공시설 복구기법 도출 결과

국내·외 사례별 복구기법을 도출한 결과를 토대로, 확장성 및 범용성을 확보하기 위하여 브레인스토밍을 통하여 사례별 공공시설 복구기법을 표준화 하였고, 도시차원과 지역차원으로 유형화 및 계층화하여 최종적

으로 총 34개(도시차원 16개, 지역차원 18개)의 신개념 공공시설 복구기법을 도출하였다.

도시차원의 신개념 공공시설 복구기법은 <Table 2>와 같다. 도시차원의 경우 16개의 복구기법 중 토지이용은 7개(44%), 교통시설 3개(19%), 공간시설 1개(6%), 방재시설 3개(19%), 기타 2개(12%)로 공공시설 복구기법을 도출하였다. 이를 재해유형별로 분석한 결과, 해일 16개(100%), 풍수해 15개(94%), 지진 10개(63%)로 분석되었다. 공통적으로 적용할 수 있는 기법은 16개 중 10개(63%)로 분석되었으며, 광역 대피소 지정(거점공원, 종합운동장, 대학 등 활용), 재해지역 내 도시 증추기능(공공기능, 상업기능 등) 이전, 지자체 청사기능 및 전력시설 우선복구 등이 있다. 토지이용 복

Table 2. A new concept of public facility restoration techniques at city level

Division	Public facility restoration techniques	Type of disaster			
		Damage from storm and flood	Earthquake	Surge	
Land-use	Construction of multi-layered metropolitan disaster prevention system around vulnerable elements (coast, river, mountain area)	●		●	
	Transfer of city central function (public function, commercial function and etc.) in disaster area	●	●	●	
	Concentration arrangement of renewal base public facilities	●		●	
	Transfer of large-scale water and sewage facilities in disaster area	●	●	●	
	Transfer of main traffic facilities(roads and railways) in the disaster area	●	●	●	
	Transfer of local residential complex in disaster area	●		●	
	Designated as a metropolitan-area shelter(utilizing base parks, sports complexes, universities and etc.)	●	●	●	
Facility techniques	Traffic facilities	Duplication of arterial highway(roads, railway and etc.)	●	●	●
		Build disaster prevention arterial highway network strong against disaster	●	●	●
		Construction of coastal dike roads against Surge			●
	Space facilities	Construction of large-scale multi-purpose detention reservoir(Rainwater retention and using ordinary day) in disaster area	●		●
		Disaster prevention facilities	Strengthen coastal and river dike function in disaster area (super-dike, earthquake-proof dike, elevation of dike and etc.)	●	●
	Maintenance and construction of disaster prevention base park facility		●	●	●
	Installation of unsealed tide embankment				●
	etc.	Restore local government office function first	●	●	●
		Restore power facility first	●	●	●

구기법 중 재해취약요소(해안, 하천, 산지) 주변 광역 다중방어체계 구축, 부흥거점 공공시설 집중배치, 재해 지역 내 지역단위 주거단지 이전은 재해유형 중 지진에는 적용하기가 어려운 것으로 나타났고, 시설기법 중 해일 대비 해안제방도로 건설, 전도되지 않는 방조제 설치는 해일에만 적용이 가능한 것으로 나타났다.

지역차원의 신개념 공공시설 복구기법은 <Table 3>와 같다. 지역차원 복구기법 18개 중 토지이용은 10개(56%), 교통시설 1개(6%), 공간시설 3개(17%), 방재시설 3개(17%), 기타 1개(6%)로 공공시설 복구기법을 도

출하였다. 재해유형별로 분석한 결과, 풍수해 18개(100%), 해일 18개(100%), 지진 5개(28%)로 분석되었다. 공통적으로 적용할 수 있는 기법은 18개 중 5개(28%)로 분석되었으며, 지역 대피소 지정(공원, 학교, 청사 등 공공건물 활용), 재해지역 내 소규모 상하수도 시설 이전, 재해에 강한 방재 지선도로망 구축 등이 있다. 토지이용 복구기법 중 재해취약요소(해안, 하천, 산지) 주변 지역 다중방어체계 구축, 재해지역의 주거지역에서 농경지로의 전환, 고지대에 관공서, 병원, 커뮤니티시설 조성, 재해지역 내 주거단지 이전, 저지대의

Table 3. A new concept of public facility restoration techniques at region level

Division	Public facility restoration techniques	Type of disaster			
		Damage from storm and flood	Earthquake	Surge	
Land-use	Construction of multi-layered region disaster prevention system around vulnerable elements (coast, river, mountain area)	●		●	
	Transfer of region central function (public function, commercial function and etc.) in disaster area	●	●	●	
	Transition from residential to agricultural land in disaster area	●		●	
	Construction of public institutions, hospitals and community facilities in the highlands	●		●	
	Transfer of residential complex in disaster area	●		●	
	Transfer to highlands of public facilities in lowlands	●		●	
	Construction of Restricted Zoning in lowlands	●		●	
	Transfer of small-scale water and sewage facilities in disaster area	●	●	●	
	Composition of farmland, low-land forest in lowlands	●		●	
	Designated as a region-area shelter(utilizing base parks, sports complexes, universities and etc.)	●	●	●	
Facility techniques	Traffic facilities		●	●	
	Space facilities	If there is no evacuation building on the flat-land, of evacuation hill(artificial hill) composition	●		●
		Park/green zone construction with buffering function around vulnerable elements (coast, river, mountain area)	●		●
		Construction of medium/small-scale multi-purpose detention reservoir(Rainwater retention and using ordinary day) in disaster area	●		●
	Disaster prevention facilities	Strengthen local river dike function in disaster area (super-dike, earthquake-proof dike, elevation of dike and etc.)	●	●	●
		Maintenance and construction of disaster prevention park facility	●	●	●
		Strengthen sewer pipes function in renewal base area (extension of sewer etc.)	●	●	●
etc.	Building of Public buildings with functions of earthquake resistant, fireproof, anti-implosion and evacuation	●	●	●	

공공시설 고지대로 이전, 저지대 건축제한구역 설정과 시설기법 중 평지에 피난빌딩이 없는 경우, 피난언덕(인공언덕) 조성, 재해취약요소(해안, 하천, 산지)주변 완충기능의 공원/녹지 조성, 재해지역 내 중·소규모 다목적 저류지(우수저류 및 평시활용) 조성은 재해유형 중 지진에 적용하기 어려운 것으로 나타났다.

V. 신개념 공공시설 복구기법 적용방안

신개념 공공시설 복구기법의 적용은 도시차원과 지역차원으로 구분하여 접근한다. 적용과정은 GIS를 통해 이루어지며, 1차적으로 지자체 전체를 대상으로 하는 도시차원의 복구기법을 제시한다. 2차적으로는 도시보다 국지적인 범위(1개동 규모)로써, 지역차원의 복구기법을 제시하며, 지역차원 안에서 단지와 개별건축물 수준까지 적용이 가능하다.

1. 도시차원의 복구기법 단계별 적용방안

도시차원의 신개념 공공·사유시설 복구기법 적용 절차는 재해지역 파악, 재해지역 내 주요시설 분석, 재해취약요소 분석, 지형분석, 주요 기반시설 분석, 신개념 복구기법 적용 순으로 진행된다.

재해지역 파악을 위해 지자체(시·군, 읍·면·동) 행정구역 내에 풍수해, 지진, 해일 등 재해로 인한 피해지역을 파악하여 피해범위, 침수심 등 표시한다.

재해지역 내 주요시설 분석은 재해피해를 입은 지역 내에 위치한 주요시설의 유무를 분석하여, 신개념 복구기법 적용 시 이전할 시설을 검토할 때 활용하는 것이다. 주요시설로는 도시중심기능지역(공공, 행정, 상업 등), 공공청사(시청, 군청 등), 대규모 상하수도 시설(배수지, 정수장, 하수처리장 등), 간선교통시설(간선도로, 철도 등), 전력시설(송전탑, 변전소 등), 주거단지(주택유형별) 등이 있다. 간선도로는 주간선도로로 사용되는 6차선 이상 도로이고, 주택유형은 단독, 아파트, 다세대주택 등으로 구분된다.

재해취약요소 분석은 도시 전체에 대한 내 해안, 국가

하천, 산지의 등 입지적으로 재해에 취약한 요소를 도출한다. 재해취약요소는 신개념 복구기법 적용 시 다중방어체계를 구축하거나, 녹지, 공원 등 완충공간을 확보하게 된다. 재해지역 파악의 예는 <Figure 4>와 같다.

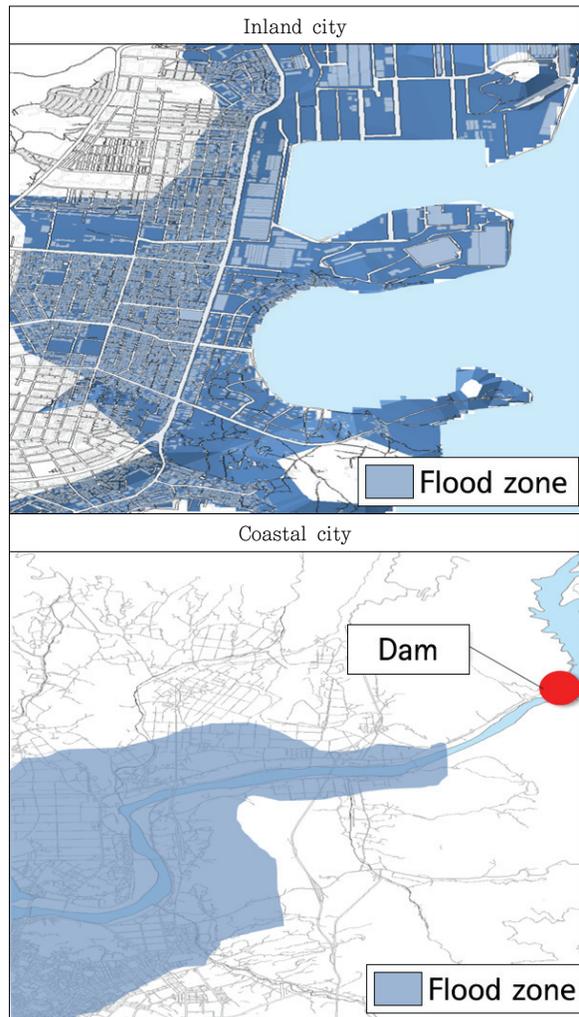


Figure 4. Example of identifying damage range in the city

지형 분석의 경우 평지 및 경사지형, 고지대 및 저지대 등을 파악하기 위해서 경사, 표고 등 도시 전체에 대해 피해를 가중시킬 수 있는 요소를 분석한다. 지형 분석을 통해 신개념 복구기법을 적용 시 공공시설, 주거시설 등은 고지대에 배치하는 것을 검토하고, 평지 또는 저지대는 일시적 대피를 위한 대피거점 등을 검토한다. 지형분석의 예는 <Figure 5>와 같다.

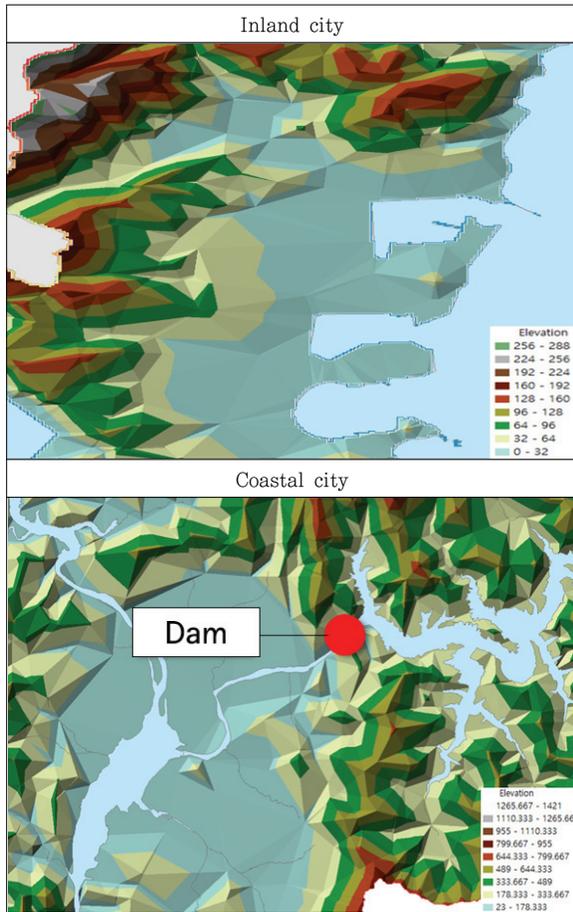


Figure 5. Example of terrain analysis in the city

주요 기반시설 분석의 예는 <Figure 6>와 같다. 도시 전체에 대해 공원, 종합운동장, 대학, 간선도로 등의 위치, 입지 등을 분석한다. 공원은 주제공원, 국가공원을 의미하며, 공원, 종합운동장, 대학은 광역대피소를 활용하는 것을 검토하고, 간선도로는 방재간선도로망 구축을 검토하며, 공원 중에서 입지, 규모 등을 고려하여 방재거점공원을 지정한다.

마지막으로 도시차원의 신개념 복구기법 적용을 위해서는 해안, 하천, 산지 등 재해취약요소 주변에 광역적인 다중방어체계를 구축하고, 재해지역 내 도시 중추기능(공공, 상업 등), 대규모 상하수도 시설, 간선교통시설, 주거단지 등 이전시설을 검토한다. 공원, 종합운동장, 대학 등 광역적으로 대피가 가능한 광역대피소 지정을 검토한다. 침수, 지진, 해일 등에 안전하도록 내진설계, 승고 등을 적용한 방재간선도로망을 구축하여,

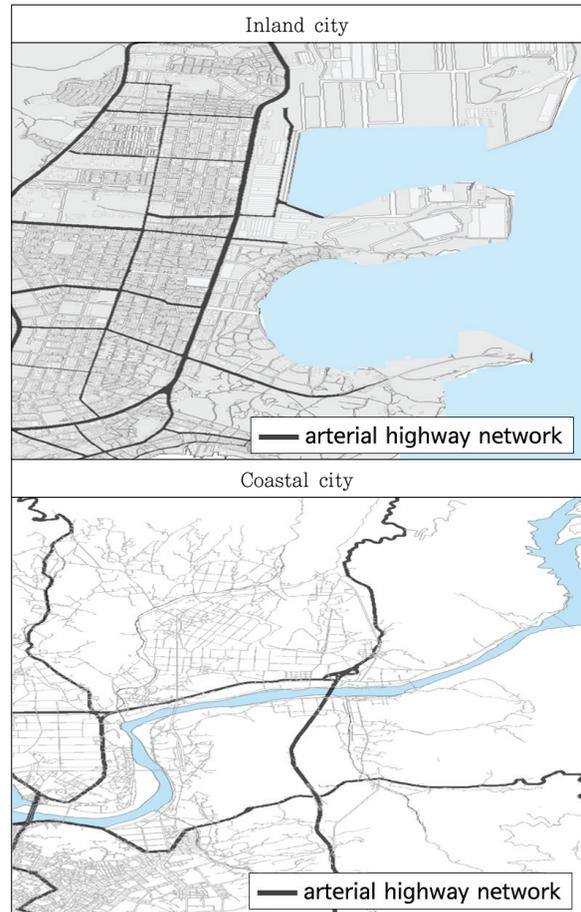


Figure 6. Example of arterial highway network analysis in the city

재해 시에도 인구의 타시군 이동, 물자이동 등이 가능하도록 한다. 재해지역 밖에 위치한 방재거점공원(국가공원, 주제공원을 활용) 조성하고, 교통시설, 공간시설, 방재시설 등 시설차원의 복구기법을 적용한다.

도시차원의 다중방어체계 구축의 예는 <Figure 7>와 같다.

내륙도시의 경우 하천변 침수구역 내에 슈퍼제방, 하천방재림을 조성하고, 도로를 승고한다. 하천방재림 곳곳에 방재공원을 조성하고 피난로를 통해 거점 방재공원과 연결한다. 해안도시의 경우 해안변 침수구역 내 해일 대비 방조제, 해양방재림 조성을 통해 1차 방어체계를 고축하고, 도로를 승고한다. 하천방재림 곳곳에 방재공원을 조성하고 피난로를 통해 거점 방재공원과 연결한다.

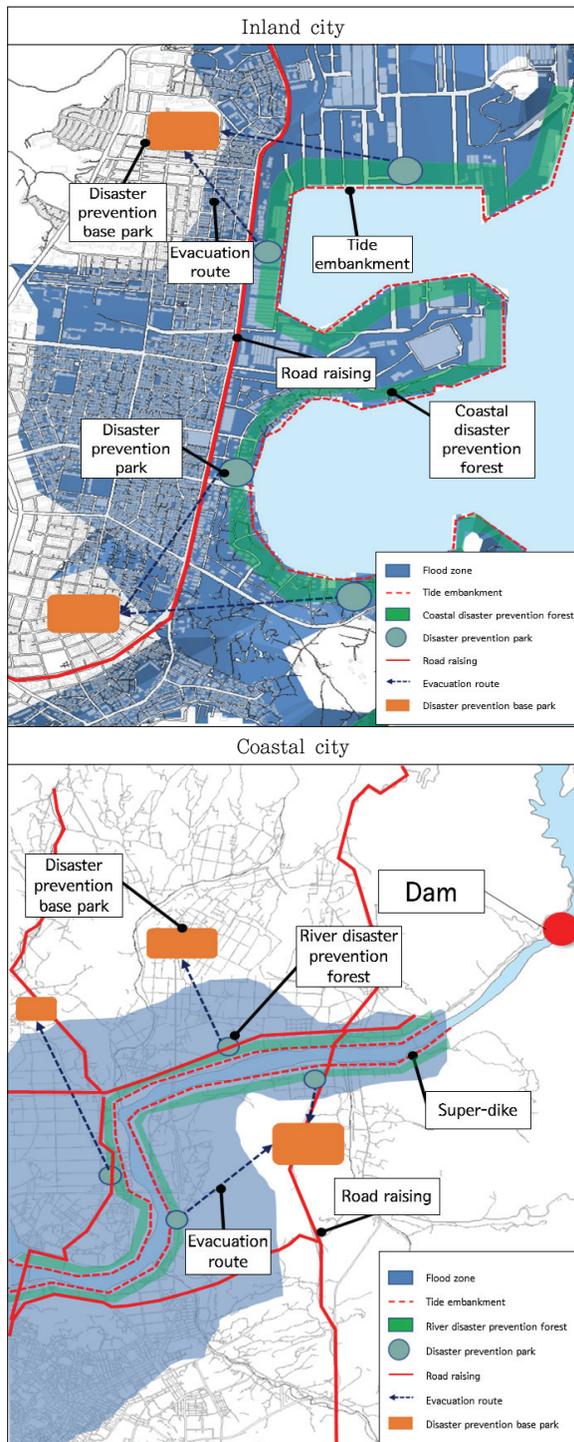


Figure 7. Example for construction of multi-layered disaster prevention system in the city

2. 지역차원의 복구기법 적용절차 및 단계별 적용방안

지역차원의 신개념 공공·사유시설 복구기법 적용절차는 재해지역 파악, 재해지역 내 주요시설 분석, 재

해취약요소 분석, 지형분석, 주요 기반시설 분석, 신개념 복구기법 적용 순으로 진행된다.

재해지역 파악을 위해 읍·면·동 행정구역 내에 풍수해, 지진, 해일 등 재해로 인한 피해지역을 파악하여 피해범위, 침수심 등을 표시한다.

재해지역 내 주요시설 분석은 재해피해를 입은 지역 내에 위치한 주요시설의 유무를 분석하여, 신개념 복구기법 적용 시 이전할 시설을 검토할 때 활용한다.

주요시설로는 도시중심기능지역(공공, 행정, 상업 등), 공공시설(관공서, 학교, 병원, 도서관 등), 소규모 상하수도 시설(펌프장 등), 지선교통시설(지선도로 등), 주거단지(주택유형별) 등이 있다. 지선도로는 보조간선도로로 사용되는 4차선 이상 도로이고, 주택유형은 단독, 아파트, 다세대주택 등으로 구분된다.

재해취약요소 분석은 지역 전체에 대한 내 해안, 국가하천, 산지의 등 입지적으로 재해에 취약한 요소를 도출한다. 재해취약요소는 신개념 복구기법 적용 시 다중방어체계를 구축하거나, 녹지, 공원 등 완충공간을 확보하게 된다.

지형 분석은 평지 및 경사지형, 고지대 및 저지대 등을 파악하기 위해서 경사, 표고 등 지역 전체에 대해 피해를 가중시킬 수 있는 요소를 분석한다. 이를 통해 신개념 복구기법을 적용 시 공공시설, 주거시설 등은 고지대에 배치하는 것을 검토하고, 평지 또는 저지대는 일시적 대피를 위한 대피거점 등을 검토한다.

주요 기반시설 분석은 지역 전체에 대해 공원, 학교, 청사 등의 위치, 입지 등을 분석한다. 공원은 소공원을 의미하며, 공원, 학교, 청사는 지역대피소로 활용하는 것을 검토하고, 지선도로는 방재지선도로망 구축을 검토하며, 공원 중에서 입지, 규모 등을 고려하여 방재공원을 지정한다.

마지막으로 지역차원의 신개념 복구기법을 적용한다. 해안, 하천, 산지 등 재해취약요소 주변에 지역적인 다중방어체계를 구축한다. 재해지역 내 도시 중추기능(공공, 상업 등), 소규모 상하수도 시설, 지선교통시설, 주거단지 등 이전시설 검토한다. 공원, 학교, 청사 등

일시적으로 대피가 가능한 지역대피소 지정을 위해 지역대피소 지정을 검토한다. 침수, 지진, 해일 등에 안전하도록 내진설계, 승고 등을 적용한 방재지선도로망을 구축하여, 재해 시에도 광역대피소나 방재간선도로로 이동하기 위한 대피로로 활용한다. 재해지역 밖에 위치한 방재공원(소공원) 조성한다. 교통시설, 공간시설, 방재시설 등 시설차원의 복구기법을 적용하며, 단지, 개별건축물 수준의 기법을 적용한다. 지역차원의 다중방어체계 구축의 예는 <Figure 8>과 같다. 지역차원의 경우 해안 또는 하천, 제방 또는 방지벽, 방재녹지·공원, 도로, 녹지·유수지, 업무단지, 상업지구, 주거지구 순으로 다중방어체계를 구축한다. 단지차원의 경우 해안 또는 하천, 제방 또는 방지벽, 녹지·공원, 관리동, 업무동, 주거동 순으로 다중방어체계를 구축한다.

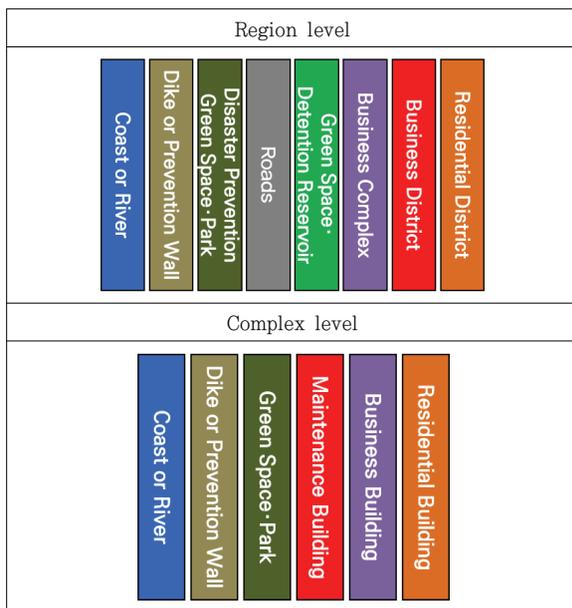


Figure 8. Example of multi-layered disaster prevention system at region/complex level

VI. 결론

본 연구는 국내에 대규모 복합재해로 인한 피해 발생 시 근원적 피해원인 해소와 재피해 방지를 위해 풍수해, 지진, 해일에 대한 신개념 공공시설 복구기법을 개발하였다. 신개념 공공시설 복구기법의 개발방향은 크게 4

가지이다. 첫째, 대규모 재앙적 재해를 기회로 활용하는 토지이용전략 복구기법의 개발, 둘째, 인명피해 최소화를 위한 도시/지역차원의 다중방어체계 구축, 셋째, 지역특성 및 재해위험 맞춤형 복구기법 개발. 마지막으로, 대규모 재해 대비 대피기반조성을 위한 복구기법 개발이다. 이를 위해 국내 대규모 피해사례와 일본, 미국과 같은 해외 대규모 복구사례를 집중적으로 분석하여 공공시설 복구기법을 도출하고, 확장성과 범용성을 확보하기 위해 복구기법을 표준화하였다. 최종적으로 도시차원과 지역차원으로 유형화 및 계층화하여 도시차원 16개, 지역차원 18개 총 34개의 신개념 공공시설 복구기법이 도출되었다. 이는 각각 토지이용, 교통시설, 공간시설, 방재시설, 기타로 구분된다. 신개념 공공시설 복구기법은 도시차원과 지역차원으로 구분하여 적용이 가능하며, 지역차원 안에서 단지와 개별건축물 수준까지 적용이 가능하다.

본 연구에서 수립한 신개념의 공공시설 복구기법 도출과정을 바탕으로 국내에서 아직 정립되어 있지 않은 사유시설에 대한 복구기법 도출도 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2014-02].

References

- EM-DAT. 2016. *The OFDA/CRED-International Disaster Database* www.emdat.be Université Catholique de Louvain Brussels-Belgium. <http://www.emdat.be/publications>
- Florida Department of Community Affairs. 2010. *Post-Disaster Redevelopment Planning-A Guide for Florida Communities*.
- Kim, Ji Tae, et. al. 2006. Heavy Rainfall Investigation of Inje County. *Water for Future*. 39(8): 61-68.
- National Typhoon Center. 2016. <http://typ.kma.go.kr/TYPHOON>.

Relief Web. 2015. *Weather Disasters Report*.

USACE. 2011. *Greater New Orleans Hurricane and Storm
Damage Risk Reduction System(HSDRRS)*.

World Economic Forum. 2016. [https://www.weforum.org/agenda/
2016/01/which-natural-disasters-hit-most-frequently/](https://www.weforum.org/agenda/2016/01/which-natural-disasters-hit-most-frequently/)

国土交通省都市局市街地整備課. 2015. 東日本大震災への

対応.

宮城県. 2017. 宮城県の復興に向けた対策について.

東日本大震災復興対策本部. 2011. 東日本大震災からの復興
の基本方針.

Received: Nov. 6, 2017 / Revised: Dec. 26, 2017 / Accepted: Dec. 26, 2017

대규모 재해대응 신개념 공공시설 복구기법 개발

국문초록 본 연구는 대규모 복합재해로 인한 피해 발생 시 근원적 피해원인 해소와 재피해 방지를 위해 공공 시설에 대한 신개념 복구기법을 개발하는 것을 목적으로 한다. 우리나라의 경우 공공시설에 대한 복구기법은 피해시설물, 피해지점 중심의 구조적 기능복원에 초점을 두고 있다. 이러한 한계와 국내 대규모 피해사례 원인분석, 선진국의 대규모 재해 복구기법 등을 종합적으로 고려하여 신개념 공공 시설 복구기법 개발방향을 설정하였다. 이를 위해 국내 대규모 피해사례와 해외 대규모 복구사례를 집중적으로 분석하여 공공시설 복구기법을 도출하고, 확장성과 범용성을 확보하기 위해 복구기법을 표준화하였다. 이를 도시차원과 지역차원으로 유형화하고, 공간규모를 고려한 기법으로 계층화하여 토지이용과 시설(교통, 공간, 방재 등) 측면의 복구기법을 34개(도시차원 16개, 지역차원 18개) 도출 하였다. 최종적으로 복구기법의 적용방안(절차, 방법 등)을 제시하였다.

주제어 : 대규모 복합피해, 재해대응, 신개념 공공시설 복구기법, 토지이용 전략

Profiles **Gyu Eo** : He is a master graduate in the Department of Civil Engineering, Inha University. He is the Manager of the US(Urban Safety), Inc. His research focuses on Urban Disaster Prevention/Safety and Disaster Risk/Vulnerability Assessment (good3437@naver.com).

Chan Hee Lee : He is a master graduate in the Department of Urban Engineering, Seokyeong University. He is the Deputy General Manager of the US(Urban Safety), Inc. His research focuses on Urban Disaster Prevention/Safety and Disaster Risk/Vulnerability Assessment(best86lch@naver.com).

Ou Bae Sim : He is Ph.D. graduate in the Department of Civil Engineering, Hongik University. He is the CEO of the US(Urban Safety), Inc. His research focuses on Urban Disaster Prevention/Safety, Disaster Risk/Vulnerability Assessment and Climate Change(obsim@naver.com).