

SOC 시설물 재난대응 및 관리시스템 개발방향

박수열¹ · 오은호¹ · 최봉혁² · 김진만*

¹(주)우노솔루션 · ²한국건설기술연구원

A Development Direction of Infrastructure Based Disaster Mitigation & Management Integrated System

Park, Suyeul¹, Oh, Eunho¹, Choi, Bonghyuck², Kim, Jinman*

¹Uno Solution Co.

²Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Abstract : Main infrastructures, such as levee, dam, bridge, road, etc., are very important due to not only the means of support for social and industrial activities in normal situation but also the means of protection of life and property during disaster occurrence. In spite of this importance of infrastructures, however, any disaster management systems that actively use these infrastructures are not developed yet. Moreover, infrastructures are not usually included in emergency action plans, thus it occurs second and third impact on communities and industries due to collapsing or damage of infrastructures. Therefore, the authors in this paper analyzed previous research, SWOT, STEEP, and patents and technical journals and conducted a technology need survey in order to understand the trend of disaster management system as well as suggest main research fields and detail research items. The results of this paper will be a foundation of developing an advanced infrastructure integrated system of maintenance and disaster mitigation and contribute our nation to have an active response system by using infrastructure.

Keywords : Infrastructure, Technology Need Survey, Patent and Technical Journal Analysis, Disaster Management System, Infrastructure Integrated System

1. 서론

제방, 댐, 교량, 도로 등 주요 SOC (Social Overhead Capital) 시설물은 일상적인 사회·산업적 활동을 지원하기 위한 수단으로서 뿐만 아니라, 재난발생 시 인적·물적 자산을 보호해 주는 필수적인 역할을 수행할 수 있다. 그러나 실제 재난이 발생하여 적절한 대응이 필요한 경우에도, 시설물 기반 재난관리시스템 미비로 인해 시설물 보호 및 활용을 배제한 대응이 이루어지곤 하며, 필요한 시설물에 대한 정보조차 파악하기 불가능한 실정이다.

따라서 시설물의 구조적, 기능적 특성을 잘 이해하고 홍수 등 외력에 대한 대응능력을 강화하여 도시가 발전·대형화

함에 따라 증가추세에 있는 자연재해 위협과 피해 발생에 대하여 적극적으로 대처할 필요가 있다. 더욱이 재난 발생 시 최전방에 위치한 댐, 제방 등은 피해 양상이 구조물 손상 또는 붕괴로 나타나고, 주위 기타 시설물 또는 인명·재산에 2차·3차적인 피해를 발생시키므로 더욱 각별한 관리 및 대응이 필요하다. 예를 들어, 주요 시설물의 구조적·기능적 위험도 관리를 기반으로 통합적 재난관리시스템을 구축하고, 이를 통해 예방·대비·대응·복구의 재난대응 단계별로 선제적인 재난관리가 가능하도록 할 수 있다.

특히, SOC (Social Overhead Capital) 시설물에 대한 통합적 유지관리 및 위험도 관리는 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 안전과 관련 재해예방에 관한 정책 결정자에게 합리적인 의사결정수단을 제공하고 궁극적으로 대상 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 안전도를 향상시키는 데 기여하게 될 것이다. 더욱이, 최근 한국에서 발생한 세월호 유람선 침몰사건에서 제기된 여러 가지 이슈들, 즉, 재난 발생 시 적절한 대응방안 제시 및 이와 관련된 즉각적인 (Golden time) 의사결정, 신속한 현장 파악 및 보고, 구조·

* Corresponding author: Korea institute of civil engineering and building technology, 283, Goyang-daero, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea
E-mail: jmkim@kict.re.kr
Received October 16, 2015; revised February 24, 2016
accepted April 22, 2016

복구를 위한 자원(Resources) 관리 및 동원, 통합적 컨트롤 기능상실 등의 문제들이 시설물 재난관리 상황에서도 발생할 수 있는 바, 이를 적절히 해결하기 위한 방안으로서 본 논문을 통해 새로운 재난대응 및 관리체계의 개발방향을 제안하고자 한다.

2. 재난관리체계 대상 재해 범위 분석

최근 자연재해를 논할 때 반드시 고려해야하는 것이 바로 기후변화인데, 이는 지구온난화에 의한 이상기후가 대기온도 상승과 함께 태풍 등의 대형 강우와 지진, 강풍, 강설 등의 자연현상을 유발하고 있으며 이로 인한 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 및 재산 피해 증가의 원인이 되기 때문이다. 실제로 130년간 지구온도가 평균 0.85℃ 상승하였으며(기상청, 2014), 우리나라는 이보다 더 높은 1.5℃의 온도 상승세를 보이는 등 전 지구적으로 이상기후 현상이 발생하고 있어(소방방재청 2009) 이로 인한 자연재해 증가는 필연적이라 할 수 있다.

따라서 재난대응을 목적으로 하는 시설물관리체계를 만들기 위해서는 기후변화를 고려한 국내 자연재해 발생 경향과 주요 재해타입 및 관련 피해분석이 반드시 필요하다. 최근 10년간 재해특성분석 결과에 따르면, 우리나라 재난피해 발생의 주요원인은 태풍 및 호우 등 수재해이며, 주요 피해 SOC (Social Overhead Capital) 시설물은 도로시설, 하천시설, 철도시설, 사방시설 등으로 나타났다. 연평균 재산 피해액은 1조 6,582억원, 인명피해는 68명에 달하며, 재산 피해액 중 공공 주요시설물 피해액이 86.5%를 차지하고 있다(소방방재청 2011). 특히, 하루 100mm 이상 집중호우 발생 횟수가 1930년대 이전에는 연평균 2.2회였으나, 1940~70년대에 5.3회, '80년대 이후 8.8회로 4배 이상 증가하였으며(한국환경정책평가연구원 2007), 연평균 홍수 피해액도 '70년대의 0.48조에서 '06년 2.6조로 5.4배나 증가하였다(한국건설기술연구원 2012).

따라서 우리나라의 경우, 여름철에 집중적으로 발생하는 태풍, 호우 등 수재해를 대상으로 재난관리체계를 마련할 필요가 있다. 특히, 수재해 피해를 최소화하기 위해서는 제방, 보, 옹벽, 배수문 등 수변구조물을 적극적으로 관리·활용할 수 있는 시스템이 필요하며, 수변시설물의 상태모니터링 및 기능적·구조적 위험관리를 바탕으로 하는 위험 관리 및 전략적 대응체계 구축이 필요하다(김진만 외 2014).

3. 국내외 재난관리시스템 구축 현황

3.1 해외 주요국 시설물 재난관리시스템 구축 현황

미국, 일본, 캐나다 등 해외 주요국은 이상기후 및 지구온난화로 인한 재난피해를 줄이기 위하여 SOC (Social

Overhead Capital) 시설물에 중점을 둔 재해 대응전략을 마련하고 재해 유형에 따른 구조물의 피해 가능성을 시나리오별로 사전에 예측하여 피해저감을 위한 기술적 대책을 마련·추진 중이다. 예를 들어, EU는 유럽 전체 재난위험도 평가 시스템인 ESPON (European Spacial Planning Observation Network) 프로젝트를, 대만은 HAZ-Taiwan 프로젝트 등을 통해 재난관리 계획 및 우선순위 수립체계를 구축하고 있다(한국건설기술연구원 2012).

특히, 미국은 연방정부 내 국가비상사태 관련 기관으로서 국토안보부(Department of Homeland Security: DHS)와 자연재난 담당기구인 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency: FEMA)을 두고 있으며, 대규모 재난 발생 시 주정부의 EOC (Emergency Operation Center)와 협력하여 전사적인 대응을 하도록 하고 있다(National Incident Management System 2008). 기술적인 대안으로써 FEMA는 재난관리를 통신시스템인 AMSC SkyCell과 Hazus-MH를 개발하여 운영 중이다. Hazus-MH는 GIS (Geographic Information Systems) 기반의 재해맵과 범 국가적 인벤토리를 근간으로 만들어진 재난관리시스템으로서 지진, 허리케인, 홍수 등 자연재해 발생 시 사전 대응 및 피해 예측이 가능하다(오은호 2010).

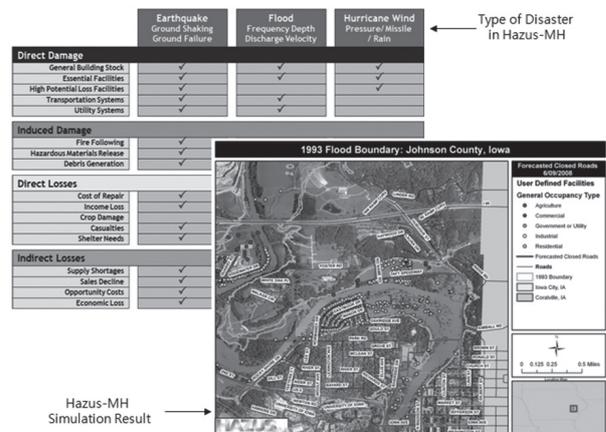


Fig. 1. Hazus-MH of FEMA (Oh 2010)

일본의 경우, 중앙정부의 방재정보시스템, 기상청의 기상자료 종합처리시스템 및 지진활동 종합감시시스템, 국토교통성의 홍수 예·경보시스템과 토사재해발생 감시시스템, 문부과학성의 방사능 정보시스템, 소방청의 긴급지원 정보시스템과 위험물정보 등 정보지원시스템, 지자체별 종합방재정보시스템 등 다양한 재난관리시스템을 운영 중이다. 특히, 대규모 재해 시 총리대신관저, 중앙성청 및 전국의 방재기관 상호의 통신 확보를 위한 정부전용 인공위성 방재무선통신망(Disaster Prevention Radio Communication Network)도 구축·운영 중이다(한국건설기술연구원 2012).

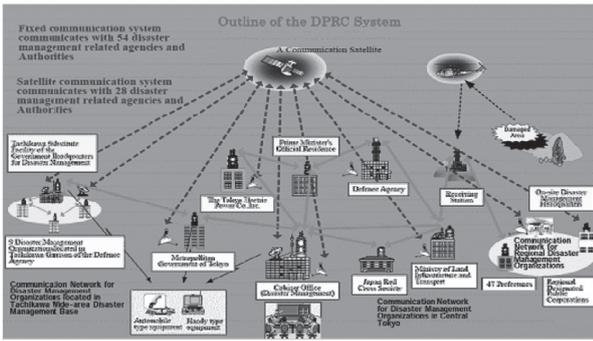


Fig. 2. Wireless Communication System of Disaster Management in Japan (KICT 2012)

또한, 일본은 1990년부터 방재를 위한 기술적 대안으로서 홍수, 내수, 해일, 토사재해, 화산, 지진 등 재해별 방재·위험도 해저드맵을 구축하여 활용하고 있으며, 시간 강우 기반의 사면붕괴 평가모델을 구축하여 지형적 특성 상 사면재해에 매우 취약한 일본에 적합하도록 시스템을 개발·운영 중이다(국토교통성 2012).

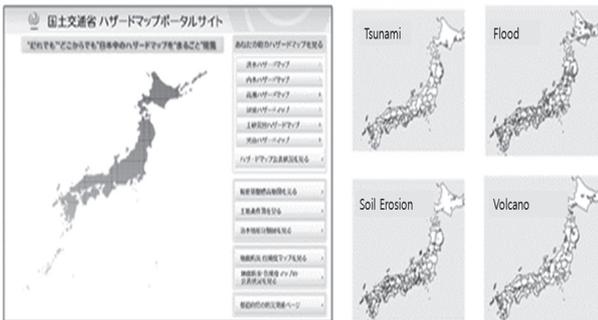


Fig. 3. Hazard Map Portal Site in Japan (MILIT of Japan 2012)

캐나다는 위성통신(음성, 화상 및 데이터), 항법시스템(GPS, 지구관측) 등을 활용하여 실시간 긴급재난관리시스템(The Real-time Emergency Management via Satellites: REMSAT)을 구축하였다. 네덜란드의 경우 델타지역의 범람 해일¹⁾ 대책으로 1953년 Delta Works Project를 구축하여 매 10분 단위 평균해수면 예측 및 수문 자동화시스템을 운영하고 있다.

3.2 국내 시설물 중심 재난관리시스템 관련 동향

국내의 시설물 관련 재난관리체계는 안전행정부, 국민안전처(구 소방방재청), 국토교통부를 중심으로 이루어져 있으나, 상호소통 및 효율적 연계가 미흡하고 시설물 단위의 기술적 재난대응 능력이 선진국에 비해 낙후되어 있다. 국민안전처

(구 소방방재청)는 최근 국내의 후진적이고 반복·상습적 재해구조의 혁신을 위해 국토교통부, 농림축산식품부 등 주요 부처와 함께 방재시설 관리시스템 선진화, 계획 예방투자 확대, 반복 재해 차단 예방복구 제도화, 과학방재체제 강화, 통합적 재난관리체계 개편, 자율·책임형 방재역량 증강 등 전략과제를 제안한 바 있다(신국가방재시스템백서 2007).

안전행정부는 각종 재난 및 사고로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위한 기본 정책으로 국가안전관리기본계획을 5년 마다 수립하고 있는데, 이를 통해 재난 및 안전관리 기반 확충, 국가기반시설 보호와 안정적 관리, 통합적·포괄적 상황관리 체계 구축, 재난 대응 및 복구의 실효성 확보, 기후변화대비 재난안전 강화 등 중점추진과제를 선정·추진하고 있다.

국토교통부도 제4차 국토종합계획 수정계획(2011~2020) 및 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획(건설교통부 고시 제 2002-318호)에서 지구 온난화 및 재해 대형화에 따른 안전한 국토 공간 조성, 국토정보 통합네트워크 구축, 시설물 관리 대책 등을 제시하고 있으며, 이상기후 대비 시설기준 강화(2005~2010), 국가 주요시설물 안전관리 네트워크 시범구축(2006~2011), 차세대홍수방어기술개발(2008~2013) 등 국가 R&D사업을 통해 시설물 중심의 재난관리시스템을 지속적으로 개선하고 있다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 공공시설물의 관리 및 재해 시 복구체계가 부처별로 분산 운영되고 있어, 재난관리를 위한 정보교환 및 사후 복구에서 다소 비효율적이다. 관리 차원에서 볼 때, 현재 공공시설물은 국토교통부, 해양수산부, 안전행정부 등 각 기관별로 분산 관리되고 있는 상태이며 재해 발생 시 각 기관별로 대응 및 복구를 수행하고 있다. 시설물의 정비는 기관별 소관시설에 국한하여 자체 계획, 또는 그때마다 필요에 의해 산발적으로 추진되어 지역단위별 상호연계나 정보교환이 체계적으로 이루어지지 않는 상황이다. 시설물 단위에서 볼 때에도 홍수, 화재 등 자연재해의 발생 건수 및 크기 등 이력정보만 포함된 수재해 지도를 구축하고 있어 기술적으로 매우 낙후되어 있으며, 공공시설물과 연계된 재난대응 통합적 유지관리시스템이 구축되어 있지 못한 상태이다. 따라서 기후변화에 강한 방재국토 조성, 선제적 방재능력 강화를 위해 재해위험지도, IT(Information Technology) 기반 첨단 통합방재시스템, 시설물 재해 예방능력 및 복구능력 강화시스템 등의 구축이 필요하다(김진만 외 2014).

4. 재난관리 시스템 구축 방향 도출

상기 필요성에 근거하여 보다 구체적인 니즈(Needs)와 추진분야를 도출하기 위하여 SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threat) 및 STEEP(Social, Technological,

1) 1953년 제일란트(Zeeland) 제방이 북해 폭풍과 범람으로 파제되며 범람해 1,835명의 인명과 가축 20여 만 마리가 희생되고 농지 16만 ha가 유실(http://www.greentoday.kr, 2012.1)

Economical, Environmental, Political) 분석을 수행하였으며, 기술수요조사를 통해 세부분야를 도출한 후 특허 및 논문 통계분석으로 세부분야 추진의 타당성을 제시하였다.

SWOT와 STEEP 분석을 위해 대학, 연구소, 민간업체 등 관련 전문가 45명으로 구성된 전문가 집단을 구성하였으며 분과별 워크숍을 통해 세부내용을 취합하였다. 이를 위해 국내 시설물 재난관리 이슈와 관련된 기술트리를 대·중·소 3 단계로 설정하고 각 항목의 적정성을 검토하였다.

4.1 SWOT 분석 결과

SWOT는 타깃 분야에 대한 내·외부 환경을 강점(S)과 약점(W), 기회(O)와 위협(T)의 시각에서 분석하고, 다양한 전략적 방향을 제시하는 분석기법이다. 시설물 재난관리에 대하여 우리나라가 가진 강점(S)은 시설물 유지관리 및 ICT (Information & Communication Technology) 인프라 기반 기술 역량이 높은 전문인력 보유, USN(Ubiquitous Sensor Network)을 이용한 공간 및 시간에 대한 실시간 모니터링 기술 확보, 시설물 안전 진단·건전도 진단·상태 평가에 대한 핵심역량 보유 등이며, 약점(W)은 재해관리 통합 거버넌스(Governance) 부재, 요소기술의 통합시스템 기술 미흡, 응급처리 및 복구기술 낙후, 시설물 구조적 취약성 평가 미흡 등이다.

강점을 살리고 약점을 보완할 때 생길 수 있는 기회(O)로는 사전 예방적 재해관리체계 구축, 국민 공감대 형성, 실시간 재해 모니터링 및 관리시스템 확보, 위험성 분석 평가 의무화로 인한 시장 확대, 노후화된 시설물 강화로 인한 사회 안전 확보 및 재해비용 저감 등이며, 약점을 개선하지 않을 때 발생할 수 있는 위협(T)적인 요소로는 위험관리가 배제된 시설물관리정책의 무용성, 민간부문 투자 저하 및 관련 산업 미성장, 방재 선진국의 기술적 우위 및 시장독점성 등을 들 수 있다.

SWOT분석을 통해 제시되는 전략은 강점에 대한 기회(S-O)와 위협(S-T), 약점에 대한 기회(W-O)와 위협(W-T)으로 구분될 수 있으며, 세부 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Strategies of SWOT Analysis

Division	Contents
S-O	<ul style="list-style-type: none"> Core technology expert committees, and cooperation systems for establishment of facility maintenance, ICT integration, Realtime monitoring, etc. Rapid development of target technology based on existing communication network and ICT technology.
S-T	<ul style="list-style-type: none"> Establishment of Korean-oriented SOC management system distinguished by target facilities, disaster types, error ranges, etc. Selection of need technologies by benchmarking of advanced countries.
W-O	<ul style="list-style-type: none"> Development of roll model and expert committees of industrial, academic, and institutional cooperation research program. Execution of policy research projects for governance integration, standards and criteria, management efficiency, application model, and strategies for abroad projects.
W-T	<ul style="list-style-type: none"> Securing stable research fund by providing a long term technology development plan.

4.2 STEEP 분석 결과

STEEP 분석은 사회적(Social)·기술적(Technical)·경제적(Economical)·환경적(Environmental)·정치적(Political) 관점에서 타깃 현상 또는 시스템의 현황을 다각도로 관찰하고 분석하는데 목적이 있다.

4.2.1 사회적인 관점

전 지구적으로 이상기후에 인한 자연재해가 빈발·대형화하는 추세이며, 국내의 경우 최근 10년간 인명과 자연재해 피해 규모가 증가하고 있다. 또한, 선진 외국의 경우 자연재해의 예방 및 복구 대책 마련을 위해 국가차원에서 자원 및 인력을 지속적으로 투자하고 있으나, 국내는 대형화되는 재해에 대응하기 위한 통합적·계획적 방재체계가 미흡한 실정이다. 이에 따라, 재해에 대한 사전대응 및 재해로 인한 피해의 저감에 대한 요구가 증대되고 있다.

4.2.2 기술적인 관점

SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 최적 유지관리 시나리오 선정 및 사회적 안정성 보장, 경제성을 위한 확률론적 상태분석·예측기술의 확보와 더불어, 네트워크 기반의 시설물 통합관리 시스템에 활용하기 위해 구조물간 연계가 필요하다. 주요 SOC(Social Overhead Capital)의 효율적 유지관리를 위해, 고비용·저효율의 유선센서 기반의 기존 모니터링 시스템을 대체할 수 있는 스마트 센서기술 적용과 더불어, ICT (Information & Communication Technology) 및 로봇활용 기술의 보다 적극적인 활용이 요구된다. 특히, 주요 시설물 헬스모니터링, 센싱, 로봇장비 등 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 유지관리를 위한 원천기술의 경우 선진국에 의존하고 있는 실정므로, 관련 기술의 국제 경쟁력 확보를 위한 원천기술 개발이 필요하다.

SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 재해에 대한 평가 및 예측은 대부분 기상정보, 수리·수문정보 등 비구조적인 분야를 중심으로 이루어지고 있어 구조적 재해평가 및 예측 기술이 미비한 실정이다. 따라서 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 방재기능 향상을 위한 저위험기준 및 재해 위험등급 산정과 연계된 위험도기반의 의사결정시스템 구축이 필요하다.

일본의 경우 지진 및 쓰나미(Tsunami)에 대응하기 위해 해저드 맵을 구축하여 활용하고 있고, 후지산 화산 대응을 위한 3D 해저드 맵을 구축하는 등 기술적 진보를 보이고 있으나, 우리나라의 경우 재해 특성을 고려한 해저드맵 구축이 미흡한 상황이다.

4.2.3 경제적인 관점

최근 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 노후화에 따른 유지관리비의 증대로 인하여 생애주기비용 측면에서 SOC

(Social Overhead Capital) 유지관리비의 비중이 높아지고 있는 실정이다. 또한, 주요 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 경우 시설물 안전관리에 관한 특별법에 따라 상태등급 및 안정성 평가를 의무적으로 시행하도록 하고 있어 안전 점검 및 보수보강 등 유관 산업시장규모가 증가하는 추세이며, 전통적으로 저부가가치산업인 건설산업의 고부가가치화를 위한 IT분야의 기술 융합이 요구된다. 미국의 경우 전체 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 안전등급이 D 등급으로 향후 5년간 2조 2천억 달러의 투자가 필요한 것으로 조사되었으며, 국내의 경우에도 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 노후화에 따른 유지관리의 필요성이 증대하고 있다.

4.2.4 환경적인 관점

최근 전 지구적 기후변화 현상으로 인하여, 재해의 발생 빈도 및 규모가 크게 증가하는 추세이다. 예를 들어, 일본의 경우 쓰나미(Tsunami)나 슈퍼 태풍(Super typhoon)의 발생 빈도나 규모가 증가하고 있으며, 이러한 자연재해는 직접적 피해뿐만 아니라 플랜트나 원자력 발전소 파괴와 같은 2차 피해, 그리고 환경파괴와 같은 3차, 4차 피해까지 이어지고 있다. 우리나라의 경우도 잦아진 집중호우로 인하여 사면붕괴나 토석류 발생 등의 직접적인 피해가 발생하고 있으며, 이러한 재해는 주거 및 업무환경의 악화로 이어지는 사례가 증가하고 있다. 이러한 상황으로 인하여, SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 관리 및 운영에 대한 관심은 고조되고 있다.

4.2.5 정책적인 관점

국외의 경우, 2005년 고베세계재해감소회의(WCDR)에서 효고행동강령(HFA)을 채택함으로써 168개 UN회원국의 재난관리체계 개선을 촉구하고 있다. 이 강령은 각국의 재난위험감소를 위해 2015년도까지 국가정책 우선순위화 및 조기경보체계 구축, 재난위험관리 및 확인·평가 등을 실시할 것을 권고하고 있다. 이를 위해 일본, 미국, 영국 등 선진국은 국가적인 재난 전담기관을 두어 각종 재해에 대한 위험도 분석 및 평가기술 개발을 지속적으로 추진하고 있다.

국내의 경우 안전행정부와 국토교통부의 재해·재난관리 범위가 상이하여 재난피해 경감 시스템이 효율적으로 구축되지 못한 실정이다. 따라서 범부처 상위정책과 국토교통부 재난관리 정책의 긴밀한 연계가 필요하며, 이에 부합하는 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 운영 및 관리계획이 수립되어야 한다. 특히, 최근 시설물 안전 및 유지관리가 중요해 짐에 따라 이를 위한 통합적인 정보관리체계 구축이 요구되며, NDMS (National Disaster Management Information System, 국가재난관리정보시스템), FMS (Facility Management System, 시설물정보관리종합시스

템), HMS (Highway Management System, 도로관리통합시스템) 등 다양한 유관시스템의 연계 또는 이를 기반으로 하는 통합된 국가방재시스템 구축 및 활용이 필요하다. 이러한 통합적 정보 활용 및 유통체계는 세월호 사건에서 제기된 신속한 현장상황 파악 및 즉각적인 의사결정의 기반이 될 것이다. 이를 위해 각 부처별로 기획·진행하고 있는 다양한 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 관리 및 재해저감 R&D 투자를 강화하고 통합적으로 연계하여 시너지효과를 상승시켜야 한다.

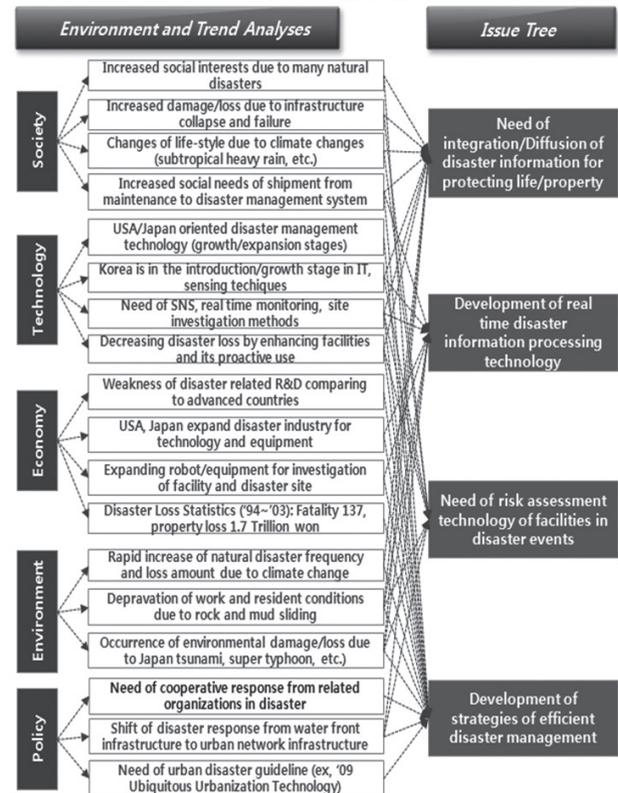


Fig. 4. STEEP Analysis of Disaster Technology

4.2.6 중점추진분야 도출

STEPP분석을 통해 도출된 시설물 중심 재난관리체계 중 중점추진 연구 분야는 다음과 같이 5개 분야이다.

- 재해감시 예·경보 및 재해예방을 위한 센싱 및 모니터링 시스템 구축
- 재해재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축
- 네트워크 기반 SOC시설물 위험등급 설정 및 안전을 확보 기술
- 국가 주요시설물 헬스 모니터링 및 붕괴방지 기술
- 기초·지반 재해위기 대응 및 체계적 복구 기술

4.3 수요조사를 통한 세부분야 도출

중점추진분야별 세부분야를 도출하기 위하여 정부출연연

구기관, 공사 연구소, 대학, 민간기업체 등 관련 전문가 40명을 대상으로 2단계 기술예측 수요조사를 수행하였다. 수요 조사를 통해 다양한 세부기술이 도출·수렴되었으며, 기술 획득방식, 정부지원 필요성, 기술적 중요도, 실현시기 등 중요도를 평가하여 우선순위를 정하였다. 응답률은 1차 조사 시 29명으로 72.5%, 2차 조사 시 1차 조사 응답자 중 26명인 89.7%를 보였다.

조사결과, 5개 중점분야 61개 세부기술이 도출되었으며, 정부지원을 통한 기술개발 필요성이 보통 이상(3.51 out of 5)인 것으로 나타났다. 기술획득방식에 대해서는 헬스모니터링 및 붕괴방지 기술 분야가 정부 주도하에 국제협력이 필요한 것으로 나타난 반면, 나머지 4개 분야는 민간과 정부가 공동으로 개발하여야 한다는 응답이 평균 49%로 매우 높게 나타났다.

Table 2. Core Technology Developments and Needs of Government Drive Fields

Core drive fields	Technology acquisition method				Needs of government intervention
	Private	Government	Private & Government	International cooperation	
1. Monitoring system and sensor technology in disaster early-warning/prevention	14%	23%	55%	8%	3.41
2. Establishing Infrastructure hazard map based disaster's records	20%	21%	49%	10%	3.75
3. SOC Network based Infrastructure risk grading and safety rate technology	24%	20%	46%	10%	3.33
4. Health Monitoring and Collapse Free for National Main Infrastructure	12%	31%	26%	31%	3.76
5. Technology of Risk Response and Systematic Recovery of Foundation and Ground	18%	28%	46%	8%	3.32
Average	18%	25%	44%	13%	3.51

기술 실현 시기는 국내(2014~2016년)보다 해외(2012~2014년)가 약 2~4년 빠른 것으로 나타났으며, 사회경제적 실현시기 역시 해외(2013~2016년)가 국내(2014~2017년)보다 약 1~2년 빠른 것으로 조사되었다.

Table 3. Realization Time (year) in terms of Technology, Society, and Economy

Division		'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	Total	
Realization of Technology	International	Numbers of projects	3	12	18	15	11	2	-	-	-	-	61
		Percentages (%)	5	20	29	25	18	3	-	-	-	-	100
	Domestic	Numbers of projects	-	1	8	15	24	12	1	-	-	-	61
		Percentages (%)	-	2	13	24	39	20	2	-	-	-	100

Realization in Society / Economy	International	Numbers of projects	1	2	13	13	11	10	6	2	1	2	61
		Domestic field	2	3	21	21	18	17	10	3	2	3	100
	Domestic	Numbers of projects	-	-	1	6	16	12	15	3	2	6	61
		Percentages (%)	-	-	2	10	26	20	24	5	3	10	100

4.4 논문·특허 분석

수요조사와 함께 논문·특허 분석을 진행하였으며, 최초 도출된 5개 분야에 대하여 특허 및 논문 동향 분석을 실시하였다.

4.4.1 특허 분석

특허분석은 2009년 12월까지 출원공개된 한국, 일본, 유럽 및 미국 등 주요국가의 공개특허와 2010년 12월까지 출원등록된 미국 등록특허를 분석 대상으로 한정하였으며, 확장키워드 및 유사키워드 등을 추가하여 특허관점에서 보다 다양하고 광범위하도록 키워드를 추출하였다. 자문위원 피드백을 거쳐 검색 식을 확정된 후 도출한 특허는 총 26,343건이다.

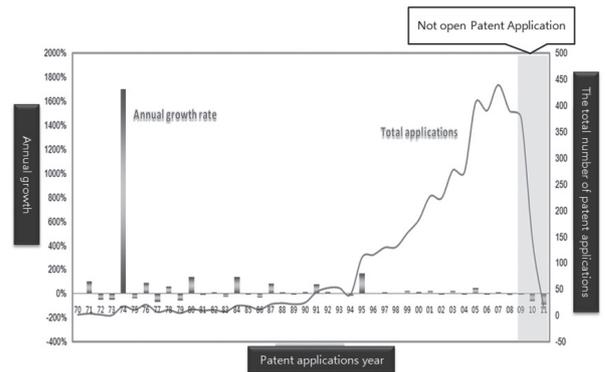


Fig. 5. Patent Trend of Disaster Technology

전체적인 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대 초중반 기술 도입이 본격화되기 시작함에 따라 서서히 특허출원이 증가하기 시작하여, 2007년에는 특허출원건수 440건으로 최다 특허건수를 나타내고 있다.

미국의 출원 연도별 특허동향을 살펴보면, 1990년대 초반부터 특허활동이 활발하게 증가하고 있으며, 특히 2000년대 후반에는 압도적으로 출원 건수가 증가하고 있다. 일본공개 특허의 경우 1990년대 초반부터 특허출원이 급증하는 추세를 보이고 있다가 2005년에 최다 특허출원건수를 나타내고 있다. 유럽의 경우 1990년대 이후로 2004년경까지는 대체로 완만한 증가세를 형성하며 증가와 감소를 반복하고 있으나, 최근 들어 특허건수가 감소하며 타 국가에 비해 특허출원건수가 미미한 편이다.

IP (Intellectual Property)로 본 각국의 질적 수준 및 시장 확보력을 보면, 미국은 기술력이 타 국가에 비해 상대적으로

높은 수준으로 나타났으나, IP시장 확보력, 특허활동 위치 및 기술 발전 속도는 평균을 나타내고 있다. 또한 다른 국가에 비해 기초과학이 우세한 것으로 나타난다. 한국은 평균적인 IP 시장 확보력을 가지고 있으나, 기술력이 낮고 기술 발전 속도가 느리게 나타나며 특허활동 위치도 Initiator(초기시장)로 나타나고 있다. 따라서 기술력과 IP 시장 확보력을 높이기 위한 다각도의 노력이 필요할 것으로 판단된다.

일본은 기술 발전 속도는 빠른 편이나, 기술력과 IP 시장 확보력은 평균을 나타내고 있으며, 특허활동 위치도 Initiator이고, 연구개발방향도 응용기술이 우세하게 나타나고 있다. 프랑스, 독일, 스위스 및 이스라엘 등은 IP 시장 확보력이 높게 나타나고 있으며, 독일 및 이스라엘은 기술력도 평균 정도를 나타내고 있다. 캐나다는 기술력은 낮게 나타나고 있지만, 특허활동 위치가 타 국가에 비해 상당히 높은 Pioneer(성숙한 시장)로 나타나는데, 이는 수많은 선행특허를 인용하여 특허활동 위치가 높게 나타나는 것으로 판단된다. 대만은 기술력, 특허활동 위치 및 기술 발전 속도가 평균을 나타내고 있지만, IP 시장 확보력이 높게 나타나며 기술 발전 속도도 빠른 편이다.

구간별 · 출원인별 출원 건수 증가율을 통해 분석된 부상기술(Raising Technology)은 모니터링, 재해 예·경보, 시설물 DB구축 및 위험도평가, 위험도지도 구축, 건전도 평가, 안전율확보, 재해조사 기법·장비, 스마트 센싱 등이다. 이중 시설물DB구축 및 위험도평가와 위험도지도 구축 기술분야는 1990년 대비 2000년대의 출원 건수가 각각 992%와 833%로 폭증하고 있는 강력한 부상기술 분야로써 향후 중점적으로 관심을 가져야할 분야이다.

4.4.2 논문 분석

논문 분석 결과, 국가 주요시설물에 대한 헬스모니터링 및 붕괴방지 기술의 논문 건수 점유율이 37%(954건)로 가장 높은 것으로 드러났고, 재해감시 예·경보 및 재해방지를 위한 센싱 및 모니터링 시스템 구축 분야(8%, 205건)를 제외하 나머지 기술 분야인 재해·재난 이력 등에 대한 시설물별 위험도 지도 구축(20%, 504건), SOC (Social Overhead Capital) 시설물 위험등급 설정 및 안전율 확보를 위한 네트워크 구축(17%, 478건), 기초·지반 재해 위기 대응 및 체계적 복구기술(16%, 411건)의 논문 건수 점유율은 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 점유율이 가장 높은 국가 주요시설물에 대한 헬스모니터링 및 붕괴방지 기술(D) 분야에서는 IT (Information Technology) 기반 스마트 센싱 기술(DA) 분야의 논문 건수가 가장 높은 점유율을 보이고 있는 것으로 나타났다.

4.5 중점분야 및 세부기술 확정

당초 도출된 5개 중점분야는 선행연구과제, 세부 연구과제의 실현 가능성, 중복성과 유사성, 과제간의 차별성 등에 대

한 검토를 통해, 3개 중점분야로 수렴되었다. 특히, 예·경보 및 모니터링 시스템, 위험도지도와 위험등급 및 안전율 평가 기술 등에 대한 중복성 및 유사성을 최소화하였다(Fig. 6).

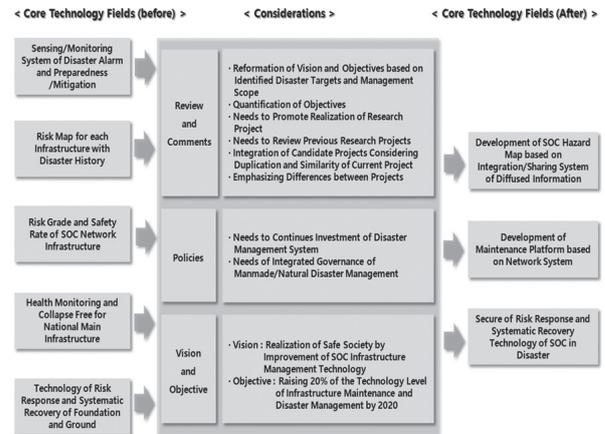


Fig. 6. Modification of Main Technology Fields

최초 도출된 61개의 세부기술은 이후 2회에 걸친 기획위원회 전문가 검토를 거치며 3개 중점추진분야 내 24개 세부기술로 조정되었다(Table 4).

5. 재난관리시스템 구축을 통한 미래상

상기 3대 중점분야의 시설물 기반 재난관리시스템 구축기술을 실현할 경우, 각 분야별로 예측되는 기술의 구체적인 모습과 이를 통해 향상될 것으로 기대되는 미래상은 다음과 같다.

1) 분산 정보 공유형 실시간 SOC 해저드맵 구축

고정밀 예·경보 시스템, 시설물 위험도 평가 시스템, 재해 시나리오별 재해관리 시스템, 재해정보 DB 등 분산정보 통합 관리를 통해 실시간 대응 가능한 재난대응 해저드맵 플랫폼이 구축될 것이며, 정부 주요부처별 재난 DB 및 대응시스템과의 유기적인 연계 및 지원이 이루어질 것이다. 또한, 골든타임(Golden Time) 내 신속하고 즉각적인 의사결정이 가능하게 될 것이다. 예를 들어, 25분 내 피해정보제공 및 대피시간 1시간 단축을 위한 SOC (Social Overhead Capital) 위험도표출 등 재난대응 의사결정에 필수적인 정보 생성 및 지원이 가능해질 것이다.

2) 네트워크 기반 유지관리 플랫폼 개발

다양한 종류의 센서, 로봇 및 구조물 상태파악 방법에 기반을 둔 유지관리 플랫폼 구축과, 무인로봇에 의한 현장 접근성 극대화, 무선센서 네트워크에 의한 실시간 정밀 구조물 상태 파악 등이 가능해질 것이다. 특히, 무선 네트워크를 활용한 모니터링 시스템 구축비용의 절감과, 스마트 진동제어, 복합 재료를 통한 구조물의 내진성능 향상 등이 기대된다.

3) SOC 재해위기 대응 및 체계적 복구기술 확보

자연재해에 대한 피해 SOC (Social Overhead Capital) 시설물에 대해 무인 이동형 조사장비, 인공위성 등을 활용하여 SOC One-Stop 재해조사 및 평가체계 구축을 통해 재해 복구에 대한 대응속도가 기존대비 60% 이상 향상될 것이다. 신속한 복구체계 구축을 위해서는 SOC (Social Overhead Capital)와 재해 정보를 실시간으로 연동하고, 재해 대비체계를 통해 입수된 자료를 바탕으로 붕괴 또는 붕괴우려가 있는 SOC (Social Overhead Capital)에 대해 실시간 복구명령을 통해 재해복구 소요기간을 50% 단축함으로써 국민들에게 편의성과 함께 안전한 생활을 제공할 것으로 기대된다.

6. 결론

SOC (Social Overhead Capital) 시설물에 대한 통합적 유지관리 및 위험도 관리체계는 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 안전과 관련 재해예방에 관한 정책 결정자에게 합리적인 의사결정수단을 제공하고 궁극적으로 대상 SOC (Social Overhead Capital) 시설물의 안전도를 향상시키는데 기여하게 될 것이다. 국내의 경우 자연재해 중 수재해가 차지하는 비중이 70% 이상이므로, 수변구조물을 활용한 시설물 안전 및 재난관리 통합시스템이 국토교통부를 중심으로 개발될 필요가 있으며, 한국수자원공사 등 실제 시설물 관리기관이 참여하여 개발 후 활용까지 연구범위에 포

함시키는 것이 바람직하다. 본 연구에서 제안된 세부기술들은 SOC (Social Overhead Capital) 시설물 통합운영 및 연계기술 확보를 통한 선진국형 시설물 안전관리 및 재해대응을 위한 기술들로서, 기존의 인적·물적 피해저감 위주의 수동적 재난관리체계에서 시설물을 적극적으로 활용하는 능동적 대응체계로 전환하는 기반을 제공할 것이다. 특히, 장기대응(Mitigation) 또는 사후복구(Recovery)에 집중되어 있는 국내 재난관리체계에서 진일보하여, 선제적인 직전 대비(Preparedness)와 재난 발생 시 대응(Response)이 가능한 시설물 중심의 재난관리시스템 구축을 통해 전 방위적 재난대응력이 강화될 것으로 판단된다. 본 연구에서 제안하는 재난관리 플랫폼은 국내에서 취약한 재난발생 직전과 발생 시 대응을 중점으로 한다는 점에서 기존 국토교통부와 안전행정부 등의 재난대응시스템들과 차이가 있으며, 더 나아가 시설물 자체를 능동적·선제적으로 보호·강화·활용함으로써 기존의 수동적인 재난대응체계를 개선할 수 있다는 점에서 실용적·학술적 기여도가 크다.

감사의 글

본 연구는 대한민국 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구S01)에 의해 수행되었음.

Table 4. Twenty-four Technologies of Disaster Management System

Core Technology Fields	Adjusted detail technology
Development of SOC Hazard Map based on Integration/ Sharing System of Diffused Information	Multiple USN Sensor Monitoring System for Forecasting Disaster Diffusion
	Integrated Monitoring/Pattern Analysis of Decision Support System of SOC in Water Disaster
	Forecasting Disaster Nondestructive Investigation and Multi-Sensor Analysis
	SOC Facility Risk Grad and Real Time Safety Rate Assessment System
	High Accuracy & Spacial Information based Disaster Scenario/Risk Management System
	Development of Real Time Disaster Information Diffuse System based on SNS
	Disaster Information Management System based on 3-D Spacial Information
	Real time Hazard Map platform system based on USN/GIS
Development of Maintenance Platform based on Network System	Ubiquitous based Integrated Management Platform of Infrastructure Network
	Structure Health Monitoring based on Sustainable type Wireless Sensor and Network System
	Structure Unmanned Condition Analysis based on Intelligent Remote Investigation
	Structure Condition Evaluation based on High Accuracy based Nondestructive Investigation
	Complex Material Design/Construction for SOC Facility to improve Disaster Prevention Capacity
	Smart Complex Material of Reinforced Structure Earthquake-proof
	Smart vibration Control for Mega Structure Safety improvement
	Probability Condition Analysis and Prediction System based on Structure Risk Management
Secure of Risk Response and Systematic Recovery Technology of SOC in Disaster	State-of-the-art Unmanned Portable Equipment of SOC Disaster Investigation
	SOC Risk Investigation Technique using Artificial Satellites
	Rescuing Robot for Collapsed Infrastructure
	State-of-the-art Material and Construction Technology for Prompt Repair
	Erosion-free Technology for Prevention of Collapsing Damage
	High Accuracy based Securing Communication Network of SOC Infrastructure Risk Response
	Integrated Operation of Risk Response and Systematic Recovery Technology of SOC in Disaster
	Improving on Emergency Responsibility and Safety Standard for SOC Infrastructure in Disaster

References

- Kim, J., and Oh, E. (2014). "Infrastructure Vulnerability Assessment-based Disaster Mitigation & Management System", *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, 62(6), pp. 52-55.
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (2007). *Design Criteria Research for Abnormal Weather-Disaster Prevention*.
- Korea Environment Institute (2007). *Environment-friendly Flood Risk Reduction Research*, p. 1.
- Korea Infrastructure Safety Corporation (2011). *Pilot Project of Safety Management Network Establishment for National Main Infrastructure*.
- Korea Institute of Construction Technology (2012). *Planning Report of Network Based SOC Management and Operation*, pp. 3-21.
- Korea Meteorological Administration and Related Ministries (2014). *Climate Change Report*, p. 25.
- Kim, J., and Cho, Y. (2010). "A Study on the Proposals for Improvement of the National Emergency Management System based on Past Disaster Cases", *Korean Journal of Construction Engineering and Management, KICEM*, 11(5), pp. 24-31.
- Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs (2013). *Research Project of Flood Defense Technology for Next Generation*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (2002). *Master Plan for Safety and Maintenance of Infrastructure, 2002-318*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transportation (2011). *The 4th Comprehensive Plan for Land Development 2011-2020*.
- Natural Emergency Management Agency (2009). *Integrated Planing Research for Wind and Flood Disaster Management based on Climate Change Analysis*, pp. 3.
- Natural Emergency Management Agency (2011). *Disaster Chronology*, pp. 41-42.
- Oh, E (2010). Impact analysis of natural disasters on critical infrastructure, associated industries, and communities, *Ph.D. Dissertation, Purdue Univ., West Lafayette, IN*.
- GreenToday. <<http://www.greentoday.kr>>
- Water and Disaster Management Bureau (2012). *Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan* <<http://www.gsi.go.jp/geowww/disapotal/index.html>>

요약 : 제방, 댐, 교량, 도로 등 주요 시설물은 일상적인 사회·산업적 활동을 지원하기 위한 수단으로서 뿐만 아니라, 재난발생 시 인적·물적 자산을 보호해 준다는 점에서 매우 중요한 의미를 가진다. 그러나 시설물의 중요성에도 불구하고 이들을 적극적으로 활용하고 있는 재난관리시스템이 아직 개발되어 있지 않으며, 정작 재난이 발생할 때는 시설물 보호 및 활용을 배제한 대응이 이루어져 2차·3차적인 피해를 발생시키고 있다. 따라서 본 논문은 재난관리와 관련된 기존 문헌조사와 SWOT/STEEP분석, 기술 수요조사와 논문·특허 경향조사를 통해, 국가적 재난관리 시스템 및 관리체계가 변화되어 가는 트렌드를 분석하였으며, 향후 효과적인 재난관리 시스템 구축을 위한 중점분야와 세부 기술 분야를 제시하였다. 본 논문에서 제안된 세부기술들은 SOC(Social Overhead Capital) 시설물 통합운영 및 연계기술 확보를 통한 선진국형 시설물 안전관리 및 재해대응을 위한 기술들로서, 기존의 인적·물적 피해저감 위주의 수동적 재난관리체계에서 시설물을 적극적으로 활용하는 능동적 대응체계로 전환하는 기반을 제공할 것이다. SOC시설물에 대한 통합적 유지관리 및 위험도 관리체계는 SOC시설물의 안전과 관련 재해예방에 관한 정책 결정자에게 합리적인 의사결정수단을 제공하고 궁극적으로 대상 SOC시설물의 안전도를 향상시키는데 기여하게 될 것이다. 특히, 장기대응(Mitigation) 또는 사후복구(Recovery)에 집중되어 있는 국내 재난관리체계에서 진일보하여, 선제적인 직전 대비(Preparedness)와 재난 발생 시 대응(Response)이 가능한 시설물 중심의 재난관리시스템 구축을 통해 전 방위적 재난대응력이 강화될 것으로 기대된다.

키워드 : 시설물, 기술수요조사, 논문·특허분석, 재난관리시스템, 시설물 통합운영
