

토사재해 저감 도시설계 사례검토 및 국내 적용방안 연구

Urban Design Case Review for Mitigation of Sediment Disaster and its Application in Korea

이윤상¹ · 김효진² · 진규남³

Yoon-Sang Lee¹, Hyo-Jin Kim² and Kyu-Nam Jin³

(Received June 20, 2017 / Revised July 29 / Accepted July 29)

ABSTRACT

Recently, as a part of measures against large-scale natural disasters in Korea, disaster prevention matters are strengthened in urban planning. With the introduction of the disaster vulnerability analysis system, plans for disaster prevention are being reinforced in urban planning. However, there are many problems to be solved at the stage of operation and practical application of the law. When disasters occur, we are focusing on response and recovery plans. Therefore, it is not enough to construct a comprehensive disaster prevention system to prevent disasters in advance. The established disaster prevention plan is difficult to plan management centered on disaster prevention due to factors such as economic efficiency, convenience, and comfort. This study is a basic study for supporting disaster prevention mitigation plan. For this purpose, the analysis of the actual situation of disaster prevention plan at home and abroad and improvement plan were derived. Based on these improvement plans, we have developed a method to apply the element technology of urban design to the test bed to reduce sediment disaster. The test bed was investigated and examined in the disaster hazard area of Busan and Seongnam city. And the defense technology is applied to the selected site, and the basis of the disaster prevention plan and design is proposed. If the proven techniques are reflected from the urban planning stage, it will be possible to contribute to the mitigation of sediment disaster caused by the city.

Key words : Urban Planning, Sediment Disaster, Disaster Prevention, Defense Technology

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 우리나라에서는 대규모 자연재해에 대한 대책의 일환으로 도시계획 수립 시 방재관련 사항을 강화하고 있다. 이러한 추세에 따른 재해취약성분석제도의 도입으로 도시계획에서 방재관련 계획이 보강되고 있으나, 법률의 운용 및 실제 적용단계에서 해결해야 할 문제점들이 산적해 있다.

도시기본계획 내의 방재계획 수립지침은 충분히, 가급적 등의 용어를 사용하고 있으며, 구체적인 사항은 명시되어 있지 않다. 도시의 고도화에 따라 건물과 시설물의 대형화·고밀화·노후화, 불투수지역의 확대, 저지대 홍수터 개발, 지하공간의 확대 등 재해취약성은 증가하고 있으나, 토지자원의 희소성으로 안전에

대한 근본적인 고려는 미흡한 실정이다. 시설물 중심의 구조적 대책에 의존하는 경향이 있어 토지이용, 건축물 등에서의 재해 예방의 개념은 취약하다. 여름·가을철 태풍 및 호우에 의한 풍수해에 치중한 방재대책 수립으로 다양한 기후변화 재해를 고려하지 못하고 있다. 또한, 재난 발생 시 대응 및 복구계획에 치중하여 사전에 재해를 예방하기 종합적인 방재시스템 구축이 미비하다. 기 수립된 방재계획 운용상의 문제점으로는 경제성, 편리성, 쾌적성 등의 요인으로 인하여 방재중심의 계획 운용이 어려운 실정이다.

본 연구에서는 방재계획의 수립지원을 위한 기초연구의 일환으로 국내에 적용 가능한 토사재해 방어기술의 적용방안을 제시하고자 한다.

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(주저자: yunsang@lh.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(교신저자: hyojin@lh.or.kr)

3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국내·외의 재해에 안전한 도시계획 및 개발정책 사례조사, 해외 재해위험도 분석방법 및 활용방안 사례조사, 국내·외 토사재해 예방관련 법·제도 조사 및 조사, 도시기본계획 내 방재계획 수립실태 조사 및 개선방안을 검토하였다.

이러한 개선방안을 토대로, 토사재해 저감을 위한 도시설계의 요소기술들을 테스트베드에 적용하는 방안을 수립하였다. 이를 위하여 부산시 및 성남시의 재해위험지구를 중심으로 적정지를 조사·검토하였다. 그리고 선정된 대상지에 방어기술을 실제 적용하여 방재 계획 및 설계의 토대를 제시하고자 하였다.

2. 법·제도 및 사례에 관한 고찰

2.1 국내 토사재해 예방 관련 법·제도

도시화에 따른 여건변화로 산사태 피해의 영향은 도심지역으로 확대되고 있으며, 이로 인한 재산피해와 더불어 대규모의 인명피해가 우려되고 있다. 이에 따라 각종 법률을 토대로 이에 대한 예방 및 복구대책을 시행하고 있다.

토사재해 예방을 위하여 대상규모에 따라 지역, 지구, 구역순으로 지정관리 중이다. 지역차원에서는 산림보호법, 급경사지법, 산지관리법에 의하여 관리하고 있다. 지구단위에서는 자연재해대책법, 풍수해저감 기본계획에 따라 관리하고 있다. 구역에서는 산림보호법으로 관리하고 있으며, 기타 사망사업법 등으로도 관리가 되고 있다.

2.1.1 산림보호법

「산림보호법」에서는 산사태로 인한 토사재해 예방 및 대응을 위하여 산사태취약지역을 지정하여 관리하고 있다. 산사태취약지역은 산사태취약지역과 토석류취약지역으로 구분하여 관리한다. 산사태취약지역은 대상지를 기준으로 위험사면 높이의 5배 범위 이내의 주요 보호시설, 주택지가 위치한 경우를 말한다. 토석류취약지역은 계류 최하지점에서 1km 이내에 인가 등 보호대상 시설물이 위치한 경우에 해당한다. (단, 소하천 법에 따른 소하천이 있는 경우 도달거리까지의 위험지역을 말함)

재해예방을 위하여 사방댐, 산사태예방사업(옹벽, 배수로, 석축 설치 등) 등으로 안전조치를 시행하고 있다. 또한 주기적인 안전점검 및 수시점검을 실시하여 비상연락체계를 유지하고, 재해위험 발생 시 예·경보 조치를 시행한다.

2.1.2 급경사지 재해예방에 관한 법률

「급경사지 재해예방에 관한 법률」에서는 자연 비탈면, 인공 비탈면 또는 이와 접한 산지의 토사재해 예방 및 대응을 위하여 붕괴위험지역을 지정하여 관리하고 있다. 붕괴위험지역의 지정

및 관리는 관리기관에서 급경사지에 대한 안전점검을 실시하여 지정 필요가 있을시 재해위험도평가와 주민의견 수렴절차를 거쳐서 지정고시 요청을 통하여 지정하고 관리한다.

2.1.3 자연재해대책법

「자연재해대책법」에서는 토사재해의 방지를 위하여 지구단위에서 시장·군수·구청장이 산사태위험지역 등을 자연재해위험개선지구로 지정·고시하여 관리한다. 지정고시는 자연재해위험지구 유형별, 등급별 지정기준의 검토를 실시하고, 위험지구를 지정고시하여 정비, 사업계획 수립 등의 예방활동을 수행한다.

2.1.4 풍수해저감종합계획

「풍수해저감종합계획」에서는 토사재해로 인한 인명피해 또는 시설물의 잠재적 피해발생 우려지를 풍수해위험지구 후보지로 선정하고 있으며, 이는 사면재해 위험후보지와 토사재해 위험후보지로 나눌 수 있다.

사면재해 위험후보지는 사면재해로 인명, 재산피해가 우려되는 지구, 붕괴위험지구, 급경사지 재해예방에 관한 법률 제2조 규정에 의한 급경사지 중 인명시설피해가 우려되는 절개면 및 옹벽·석축 등 인공사면, 동법 중 사면붕괴시 취락지·단독주택 등의 매몰·붕괴로 인명피해가 우려되는 자연사면, 산사태위험등급 구분도 1-2등급으로 판정된 지구, 자연재해대책법에 의거한 산사태 위험지구, 향후 대규모 급경사지 조성으로 사면재해 위험요인이 발생할 우려가 있는 개발예정지구, GIS를 이용한 사면재해 발생가능성 검토에서 발생가능성이 높다고 검토된 지구 및 기타 사면재해 위험지구 등이 해당된다.

토사재해 위험후보지는 산사태 위험등급 1-2등급 다수 분포지, 과거 산불발생지역, 채석장·고랭지 채소밭·벌목지·나지 등이 다수 분포하여 하류부 토사유실의 피해가 예상되는 주거지역, 하천·저류지·농경지·양식장 등 위험지구 계곡부 산지하천 주변의 토석류 유출이 우려되는 지구, 퇴적하상이 주로 나타나는 하천수계 유역, 준설계획이 수립되지 않거나 주기적인 유지관리가 소홀한 사방댐 하류지역, 도시우수관망의 끝단(산지 개구부 등)에 토사저류를 위한 시설이 없는 지역 및 향후 도심 및 택지개발·단지조성·도로건설·골프장건설 등 토사유출이 예상되는 지역을 말한다.

2.2 국외 토사재해 예방 관련 법·제도

2.2.1 일본

일본은 「사방법」, 「산사태법」, 「급경사지법」을 보완하기 위한 통합적 법으로 「토사재해 경계구역 등에서의 토사재해 방지대책 추진에 관한 법률」을 제정하였다. 「토사재해 경계구역

등에서의 토사재해 방지대책 추진에 관한 법률」은 토사재해로부터 인명과 재산을 보호하기 위하여 방지공사 등의 물리적 대책과 함께 위험지역을 공개하고 위험지역 내에서 경계피난을 위한 제재정비, 신규주택 입지역제, 기존주택 이전축진 등의 제도적 대책을 시행하고 있다. 주요 내용으로 토사재해 방지 대책에 필요한 기초조사, 토사재해 경계구역 등 지정, 경계피난체제 정비, 특정 개발행위 제한, 건축물 구조 규제, 건축물 이전 등의 권고 등이 있다.

2.2.2 홍콩

홍콩은 좁은 지역특성으로 산지와 인접한 주택지가 많아 토사재해 예방을 위한 대규모 재해예방 시설을 설치하고 있다. 산사태 재해방지를 위하여 토지이용계획 단계에서부터 지반공학적인 측면을 고려하고 건축법에 의거한 신규 건축의 통제가 이루어지고 있으며, 기존 사면의 안정성 향상과 위험성 저감을 위해 사면의 개선 및 유지관리를 수행하고 있다.

2.3 국내·외 법·제도 검토

관련 법·제도를 검토한 결과 기초조사, 점검 등의 예방을 위한 사전활동이 대부분 전문가의 참여 없이 담당자에 의해 수행되고 있어 위험성 평가가 어려운 측면이 있었다. 사면재해에 대한 예측의 한계로 인하여 재해발생 저감을 위한 관리기준의 제정 및 운영을 통한 주민대피 체제구축이 어려움이 있다. 일본의 경우 사방 3법의 통합법령인 「토사재해 경계구역 등에서의 토사재해 방지대책 추진에 관한 법률」 제정으로 일원화된 법체계를 수립하였으나 국내의 경우 각 부처별로 업무가 분산되어 있어 급경사지의 체계적인 점검·정비·관리를 위한 통합정보체계와 예방에 관한 기술개발·보급 등 토사재해 예방에 관한 통합관리체계가 미흡하였다.

2.4 국외 재해 위험도 분석방법 및 활용방안

유럽의 경우 산사태 발생 빈도가 적은 덴마크, 네델란드 독일 등 일부 국가에서는 공식적인 위험평가가 이루어지지 않고 있다. 프랑스, 스위스, 이탈리아 등의 국가에서는 산사태 위험평가법(Risk Assessment Methodologies,(RAM))을 적용중이다. 개발사업 단계에서 공식적인 평가기법을 가지고 있는 나라는 스페인, 체코, 슬로바키아, 헝가리 등의 국가로 이는 지역이나 지방정부 단위에서 평가를 실시하고 있다.

프랑스에서는 1995년부터 자연재해의 리스크 방재계획(Risk prevention plans (PPR: Plan de Prevention des Risques))을 통해 리스크 평가를 실시하고 있으며, 1:10,000 또는 1:5,000 축척의 지도에 위험 정도를 레드-블루-화이트 3단계로 구분하여 표현하고 있다. 양적 접근방법에 의한 분석을 실시하며, 지형도, 지질

도, 토양도, 산사태 발생 이력, 토지이용 등을 이용하여 과거 이력조사 및 현장조사와 원격탐사 및 GIS를 활용하여 위험을 평가하고 있다.

일본은 수해에 비해 지진피해가 심각하므로 동경도의 지진위험도 분석사례를 조사하였다. 동경도의 지진에 관한 지역위험도 측정 조사는 Fig. 1에 도시한 바와 같이 동경도 지진재해 대책 조례12조에 근거하여 5년마다 측정하는 조사이다.

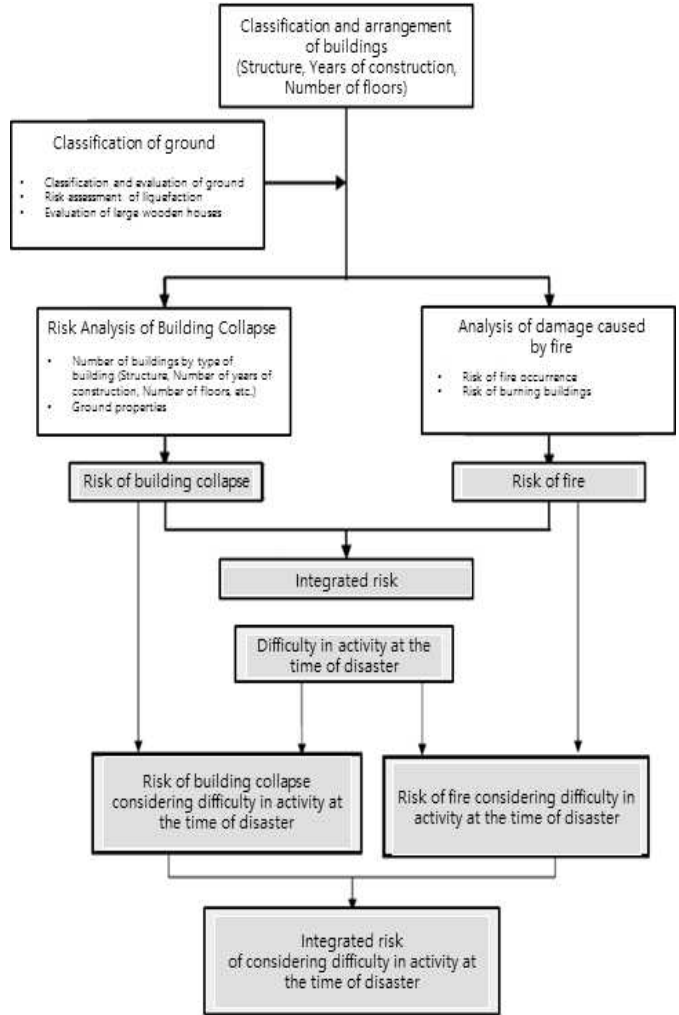


Fig. 1. Earthquake hazard risk measurement system of Tokyo metropolitan area

재해위험도의 분석 방법 및 등급화를 위하여 시가화 구역의 행정구역 최소단위를 대상으로 건물붕괴 동수 및 화재에 의한 피해 동수를 측정하여 분석하도록 하고, 분석 결과는 지역의 위험도를 Fig. 2에 표시한 바와 같이 5단계로 상대 평가하여 위험도가 큰 지역부터 순서대로 나열하여 등급을 구분하고 있다. 건물 붕괴 위험도는 지진동에 의한 건물의 붕괴 피해의 위험성을 측정하는 것으로 그 지역의 지진에 의한 건물 붕괴 동수를 측정하여 분석하고 있다.

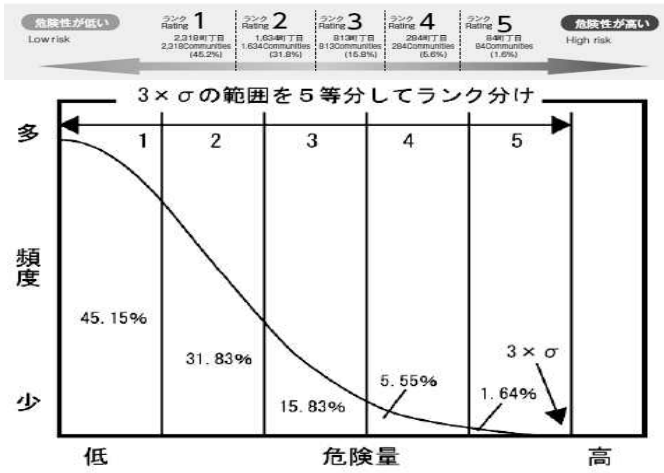


Fig. 2. 5-step classification scheme of risk

2.5.2 일본

일본의 도시방재는 국토방재체계 속에서 이루어지고 있다. 먼저 국토방재체계를 보면 재해대책기본법에 의해 설치되는 중앙방재회의를 최상위의 방재행정기구로 하고 있으며, 중앙방재회의의 하위조직으로 도도부현에 설치되는 도도부현방재회의, 시정촌에 설치되는 시정촌방재회의가 구성되어 있다. 다음으로 도시방재는 위와 같은 국토방재체계 중의 하나인 시정촌방재회의를 중심으로 이루어지고 있는데, 시정촌방재회의는 재해대책기본법 제16조에 의해 시정촌레벨의 지역방재계획을 수립하고 재해대책의 연락조정이나 소속지역의 방재예방, 방재응급대책 및 재해복구, 관계방재기관과의 연락조정, 주민 등의 방재대책지도 등의 다양한 방재업무를 수행토록 하고 있다.

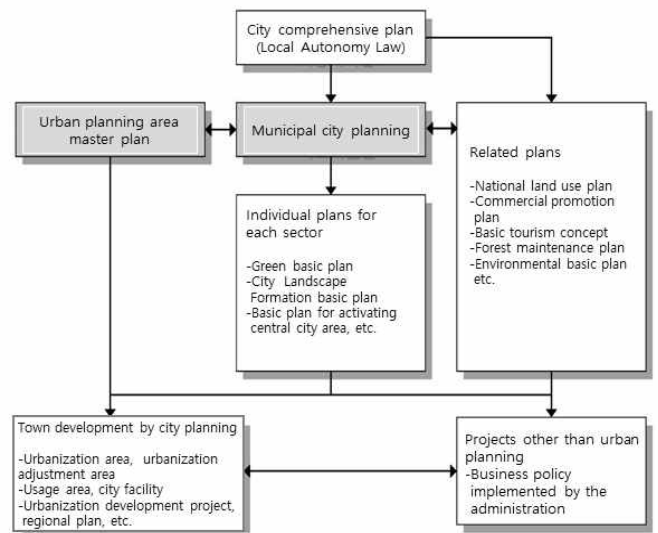


Fig. 4. Japan's urban planning system

방재를 주목적으로 하는 법·제도에는 방재도시만들기 법·제도는 지진이나 화재 등의 재해를 대상으로 하는 법·제도와 해안이나 하천, 산림 등 풍수재해를 대상으로 하는 법·제도가 있다. 지진이나 화재 등의 재해를 대상으로 하는 법·제도의 경우, 한신·아와이 대지진 이후 방재에 대한 도시계획적 대처의 효과가 입증됨에 따라 밀집시가지에서의 방재기구정비에 관한 법률과 건축물의 내진개수축진에 관한 법률 등을 제정하여 도시 내 건축물의 방재성 향상을 도모하고 있다(문채, 2005). 이밖에 이법의 종류로는 석유コンビ나트 등 재해방지법, 택지조성등규제법, 급경사지붕괴에 의한 재해방지에 관한 법률, 해안법, 하천법, 수방법 등이 있다.

2.5.3 프랑스

프랑스의 방재형 토지이용 규제에 의한 도시계획 제도의 근간이 되는 것은 1982년에 제정된 PER(Plan d'exposition aux risques naturels)계획제도이다. 이 제도의 본래의 목적은 자연재

2.5 국외 토사재해 저감 도시설계 사례

2.5.1 영국

영국은 2000년대 이후 국토·도시계획의 유연성, 단순성, 신속성, 대응성을 강화하기 위해 Fig. 3에 보인 바와 같이 계획체계를 개편하였으며, 국토 전반에 걸친 “계획정책지침(PPS: Planning Policy Statements)”, 광역권 차원의 “광역공간전략(RSS: Regional Spatial Strategies)”, 지방정부별 “지방개발프레임워크(LDF: Local Development Frameworks)”의 구조로 되어 있다.

계획정책지침(PPS25)의 핵심적인 정책수단은 계획 및 개발과정에서의 홍수방어를 위한 최상위 계획정책지침은 계획정책지침(PPS 25번) “개발과 홍수위험”(Development and Flood Risk, 2006)에 명시되어 있다. 개발과 홍수위험(PPS25)은 공간계획수립과정에서 홍수위험을 고려함으로써 보다 안전하고 지속가능한 개발을 도모하고 있다.

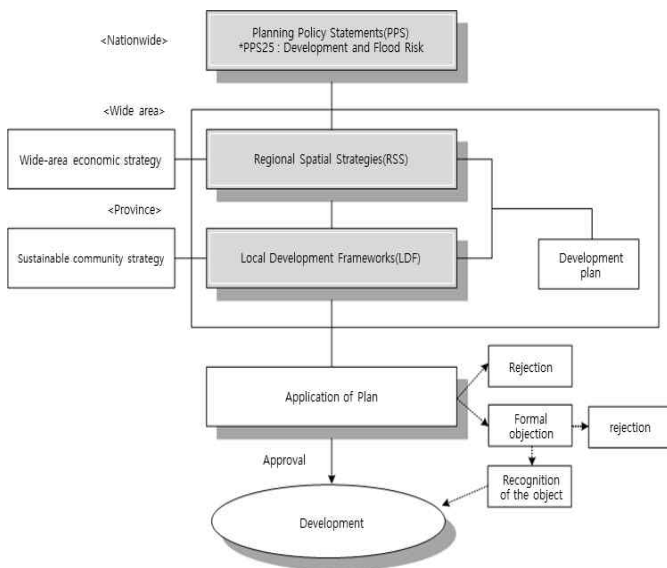


Fig. 3. The UK's national land and urban planning system

해에 의한 피해를 보상하기 위한 근거를 정한 제도이었으나, 입법과정에서 토지이용규제가 추가되면서 제도화 되었다. 그 이후 1990년에 님(Nimes)에서 큰 수해가 발생하였고, 이를 계기로 제도개정의 필요성이 제기되면서 1995년 새로운 계획제도 PPR(Plan de prevention des risques naturels previsibles)이 제정되었다. 2003년부터는 국토정비성에 의해 수정책에 관한 국가적 논의를 위한 조직이 생겨 범람원의 보호와 회복, 홍수 해저드와 잠재적 홍수 피해의 저감, 도시지역의 매니지먼트, 홍수보험의 보험료 세분화 등의 논의를 진행하였다. 더불어 유럽연합(EU)에서도 반복되는 자연재해의 발생에 대응하기 위한 논의가 진행되면서 현재의 계획제도가 발전하게 되었다.

PPR은 크게 보고서, 도면, 규칙의 세 가지로 구성되어 있다. 보고서는 지리적 구역과 고려할 자연재해의 성질과 예측되어지는 피해의 규모 및 특징 등을 기술하고 있으며, 도면은 대상이 되는 구역에 대해 조닝(Zoning)을 설정한 것이다. 마지막으로 규칙은 해당구역에 토지이용에 관하여 규제사항과 건축에 대한 조건 등을 정해 놓은 것으로 해당 재해에 대하여 예방대책, 방어 대책 등의 조치를 자세히 기술하고 있다.

3. 도시기본계획 내 방재계획 현황

도시기본계획은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 법정 계획으로서 계획내용이 물적 측면뿐만 아니라 인구·산업·사회개발·재정 등 사회경제적 측면을 포괄하는 종합계획으로 상위계획인 국토종합계획·광역도시계획의 내용을 수용하여 도시가 지향하여야 할 바람직한 미래상을 제시하고 장기적인 발전 방향을 제시하는 종합계획이다 (2012, 서울특별시 도시계획국).

도시기본계획은 시·군 행정의 바탕이 되는 주요 지표와 토지의 개발·보전, 기반시설의 확충 및 효율적인 도시관리 전략을 제시하여 하위계획인 도시관리계획 등 관련 계획의 기본이 되는 전략계획이다. 방재계획은 도시기본계획과 밀접한 관계에 있으며, 도시기본계획의 계획과정에서 방재계획을 고려한 재해·재난 저감형 계획의 수립이 요구된다. 도시계획에서 방재계획은 자연조건, 인문·사회적 조건 등 해당 도시의 고유한 상황에 기초하여 방재상의 제 과제를 해결하는 것을 기본으로 하며, 일상에서의 안전·안심·쾌적성 등을 배려하여 종합적으로 질 높은 시가지 실현하는 것을 목표로 하고 있다(2004, 김현주).

최근 기후변화로 인한 도시의 자연재해 증가추세에 따라 도시 방재계획의 필요성이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근에 작성된 도시기본계획 상의 방재계획 수립실태를 조사·검토하였다.

3.1 2030 서울플랜(2030서울도시기본계획)

서울플랜이란 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 근거한 도시기본계획을 대도시 서울의 특성에 맞게 재구성한 서울시

도시기본계획의 별칭이다. 서울시 모든 분야의 최상위 법정계획으로써 부문별 계획과 정책을 공간구조와 토지이용을 통하여 통합하고 조정하는 역할을 수행하며, 하위계획인 도시관리계획 수립의 지침이 되는 계획이다. 2030 서울플랜의 방재계획 분야는 “다 함께 지켜주는 안전한 도시 만들기”를 목표로 다음의 세부 전략을 수립하였다.

- 위험정보의 획득 및 활용체계 고도화
 - 안전 및 재난관리에서 가장 중요한 것은 현재의 위험을 정확하게 파악하는 것이므로 위험인지 기반 구축 및 활용을 강화하여 도시공간 안전평가 기반을 마련하고자 함
- 조기대응 신속성 확보 및 역량 증진
 - 비상출동 차선 관리방식 개발 및 적용, 위험감지 시스템 신뢰성 확보, 구난 역량 강화 프로그램 육성 및 지원 계획을 필요성을 강조함
- 도시 생활 안전 거버넌스 확대
 - 민간 역량을 활용한 시민교육 강화, 민간조직 역할 활성화, 범죄 예방을 위한 도시 환경설계 기법(CPTED) 활용, 안전 서울 홍보 확대, 고령화·저출산 사회 구조에 따른 맞춤형 정보제공 및 케어, 생활안전 취약계층 및 지역 안전 프로그램 운영 등 공공차원에서 시민 생활 안전 강화를 계획함
- 기상 재난의 예방 및 환경치수 역량 향상
 - 지구온난화에 따른 기상이변으로 인한 풍수해 대응역량 확대, 도시 내 무분별한 개발로 인한 사면재해의 예방확대, 도시화로 인한 물순환 환경 파괴에 따른 문제해결을 위한 도시물순환 회복을 위한 빗물관리 계획 도입, 시민참여를 통한 지역단위의 분산형 빗물관리 추진을 계획함

3.2 2030 인천도시기본계획

인천광역시의 자연재해로 인한 인명피해 및 침수면적 등은 감소 추세이나 기후변화에 따른 대규모 재해 등이 불규칙적으로 발생하는 추세이다. 대규모 재해는 발생빈도는 높지 않으나 한번 발생하면 인적·물적 피해가 크며, 최근의 극한강우와 국지성 돌발강우에 따른 피해에 대한 예방대책이 필요하다는 필요성이 대두됨에 따라 도시기본계획 내에 방재 및 안전 분야 계획을 수립하였다.

「2030 인천도시기본계획」의 방재 및 안전분야의 정책방향은 “누구나 안심하고 생활할 수 있는 국제안전도시 조성”이며, 다음과 같은 세부 실천계획을 수립하였다.

- 기후변화에 대비하는 안전예방대책 수립
- 지속적인 생활안전교육과 방재안전에 대한 인식 고취
- 안전한 도시를 위한 재난·재해 유형별·단계별 재해관리 방안 마련
- 범죄로부터 안전한 도시를 위한 물리적 환경 조성

- 사람중심의 인천형 국제안전도시 조성을 위한 종합적인 시스템 구축

세부 실천계획 중 도심지 토사재해와 관련된 기후변화에 대비하는 안전예방대책은 다음과 같다.

- 인천 전체를 대상으로 홍수, 해수면상승 등의 재해를 종합 평가한 “기후변화 재해취약성 분석을 통한 취약지역 검토”를 통해 재해취약도가 높은 지역을 분석함
- 재해취약지역의 영향저감을 위해 토지이용-기반시설-단지조성-건축물을 연계한 다중재해방어 체계와 도시의 모든 구성요소가 위험을 분담하는 종합방재시스템 구축으로 “재해예방형 도시계획을 통해 시민이 안전한 도시 방재계획 수립”을 통해 재해예방대책 가이드라인을 제시함
- 인천의 특성을 고려한 폭우, 해수면상승, 폭염·한파 적응형 등 3가지 테마의 “기후변화 적응형 안심마을 조성을 통한 기후변화 안전망 구축”계획을 수립함
- 재해·재난피해를 최소화하기 위한 “재해예방사업 시행을 통한 기후변화 적응”사업 수행계획을 수립함

3.3 2030 대전도시기본계획

「2030년 대전도시기본계획」은 「제4차 국토종합계획 수정계획(2011~2020)」 및 「2020년 대전권 광역도시계획(변경)」에 따라 대전시의 위상 및 역할이 변화됨에 따라 「2020년 대전도시기본계획」을 전반적으로 재검토하여 주변지역의 여건변화와 정부의 저탄소 녹색성장 정책에 부응하기 위한 전략적·정책적 성격의 계획이다.

「2030년 대전도시기본계획」상 방재·안전에 관한 계획은 다음과 같다.

- 안전한 도시 구축을 위한 사전예방시스템 구축
 - 사전예방 측면에서 접근하여 재해문제 해결을 도모함
- 기후변화에 대응한 도시계획 및 개발체계 구축
 - 도시관리계획, 지구단위계획 등의 도시계획 수립단계에서 기후변화에 대한 재해취약성 분석을 시행하고, 분석 결과에 대한 DB를 구축하여 개발사업 시행 시 활용함으로써 재해의 사전예방을 도모함
- 인위재해, 사회적 재해를 포괄하는 방재계획
 - 다양한 재해를 포함한 방재계획의 필요성에 따라 도시공간 구조, 토지이용계획, 기반시설 설치계획 등의 계획 수립 시 자연재해 뿐만 아니라 사회적 재해를 고려한 계획을 수립하고 있음
- 체계적인 방재 기법 적용
 - 풍수해 저감종합계획, 내진설계를 위한 표준작전절차(SOP), 범죄예방설계(CPTED) 기법을 적용하고 있음

3.3 2030 부산도시기본계획

도시기본계획 상 방재분야의 기본방향은 다음과 같다.

- 재난 유형별·단계별 재해관리 체계 확립
- U-도시방재시스템 구축으로 통합적인 관리체계의 확립
- 광역적이고 통합적인 도시방재 종합행정체계 구축
- 도시방재관련 긴급 구조체계의 확립 및 재해대책의 강화
- 도시계획을 통한 방재계획의 실효성 제고

유형별 재해관리 체계중에서 도심지 토사재해와 연관성이 높은 분야는 풍수해, 산사태 분야이다.

- 풍수해 유형의 토사재해 관련 관리계획에서는 각종 도시개발사업에 따른 불투수층 증가로 인한 우수 유출량 증대, 침투 유출량증대 등 수해 위험성에 대비하기 위하여 하천주변, 급경사지의 완충녹지 조성 및 저류시설, 침투시설 등 우수 유출 저감시설 확충을 계획함
- 산사태 유형의 토사재해 관련 관리계획에서는 1) 지역 강우 특성을 고려한 배수로 시설기준 및 지침개발과 재해대책기간 중의 지속적인 배수로 예찰 활동의 강화, 2) 옹벽 등 토사방지시설의 정기점검 등을 통해 노후시설의 집중관리, 3) 배산임수형 지형을 고려하여 집중호우와 같이 순간 강우강도의 증가에 대한 활동력을 분석하여 부산광역시 자체의 배수시설 설계 및 시공감리를 할 수 있는 시방을 마련, 4) 산비탈 주거지역에 산사태 피해를 최소화하기 위해 대규모 주거지 개발을 지양하고 부지조성 시 엄격한 토질조사 실시로 지반침하에 대한 방안을 마련, 5) 산복도로 등 붕괴위험이 항상 도사리고 있는 산사태 위험지역의 주택붕괴사고를 저감하기 위한 노후화주택 개량화 또는 주거환경개선 시 붕괴에 대비한 재해방지 대책 추진, 6) 산사태 방지 및 도시경관 보호를 위해서는 산사태 위험이 높은 경사도 25°이상의 지역은 가급적 개발행위가 발생하지 않도록 행정력을 강구하며 부득이한 개발시에는 적극적인 방재대책을 마련하는 등의 계획을 수립하고 있음

3.4 도시기본계획 검토

도시기본계획을 검토한 결과 비교적 최근 수립된 도시기본계획에서는 기상이변을 반영한 풍수해 관련 방재 및 안전 분야의 계획을 수립하고 있음을 알 수 있었다. 지역적 특성에 따라 토사재해 저감 관련 계획이 수립된 지역도 있으나 계획이 전무한 지역도 있었다.

4. 토사재해 저감 도시설계 적용대상지 도출

4.1 자연재해 위험지구

태풍·홍수 등 자연현상으로 인한 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명·신체 및 재산과 주요 기간시설을 보호하기

위하여 제정된 『자연재해대책법』에서는 재해발생 우려가 있는 지역에 대해 시장·군수·구청장이 자연재해위험지구로 지정 고시하여 관리하고 있다.

『자연재해대책법』에서는 자연재해위험지구로 지정·고시된 지역 내에서 재해예방을 위하여 필요한 경우에는 건축·형질변경 등의 행위를 해당 지방자치단체의 조례로 정하여 제한할 수 있으며 재산권 피해를 최소화하기 위해 건축·형질변경 등의 행위를 제한하는 자연재해위험지구는 우선적으로 정비하도록 규정하고 있다.

자연재해 위험지구는 재해위험 원인에 따라 침수위험지구, 유실위험지구, 고립위험지구, 취약방재시설지구, 붕괴위험지구, 해일위험지구로 구분하여 지정한다.

국내에서는 도심지 토사재해 지정기준이 별도로 수립되어 있지 않으나 도심지에 적용 가능한 유형별 토사재해 판정 지정기준을 Table 1에 정리하였으며, 등급분류 기준은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

watershed)	Rate of distribution of boulder stone in mountain torrent (Not less than 0.5m3)	Three points of mountain torrent (bottom, middle, top) Width 5m ratio of boulder stone
	Upper grade slope of mountain torrent	Mountain torrent at the point where there is a steep slope change from the bottom of the stream
	Total mountain torrent length	Length from bottom to top of mountain torrent
	Mean slope of mountain torrent	Average slope of the entire mountain torrent

Table 2. Classification criteria

Classification	Designation Criteria
A grade	<ul style="list-style-type: none"> • Areas with high risk of human injury in the event of a disaster
B grade	<ul style="list-style-type: none"> • Areas where damages of buildings (houses, stores, public buildings) occur or are feared to occur in the event of a disaster
C grade	<ul style="list-style-type: none"> • Areas where damage to infrastructure (industrial parks, railways, roads) is feared to occur during a disaster occurrence • Water ingress and concern for agricultural land

Table 1. Landslide assessment items by type (Landslide, Debris flow)

Landslide type	Evaluation items	Evaluation standard
Landslide (Location, topography, Geology, Anomalies, Causes of collapse)	Protective object	Presence of major protection facilities (hospitals, schools, nursing homes, public offices, etc.) and number of houses
	Slope length	Distance from landslide target to shortest edge
	Petrogenesis of parent rock	Survey classification of Petrogenesis (sedimentary rocks, metamorphic rocks, igneous rocks)
	Sloping position	Apply a vertical line to the contour line and divide the distance between the highest altitude and the lowest altitude by 10
	Forest physiognomy	Major forest physiognomy and diameter classes that are growing around the perimeter
	Slope of slope	Classification of slope : rise slope, slope, descent slope, composite slope, composite slope
	Soil depth	If there is a surrounding collapsed ground, the depth of the collapsed ground to the exposed part of the rock, if there is no collapsed Soil depth
	Slope	Gradient measurements at the site
Debris flow (Slope, Deposit Sediment deposit, Sediment basin area, Degradation of the	Protective object	Major protection facilities(hospitals, schools, nursing homes, public offices, etc.) and the number of residences (separate houses divided into apartments and apartments)
	Investigation of the cause of desolation	Area ratios of landslide hazard grade 1 and 2 based on the landslide risk map in the watershed

4.2 부산 및 성남시의 재해현황 검토

부산광역시시는 지형상 고지대가 조밀하게 개발되어 있고, 경사지에 옹벽, 석축 등으로 조성된 계단식 택지 위에 주택이 건축되어 강우에 취약하다. 또한 태풍의 길목에 위치하여 해안지역은 태풍으로 많은 시설피해를 입고 있으며, 해양성 기후의 영향으로 8월에 강수량이 집중되는 특성을 지니고 있다.

부산광역시 재해위험지구는 총 16개소로 침수위험지구 11개소, 취약방재시설 3개소, 해일위험지구 2개소이다. 구·군별 재해위험지구는 강서구 7개소, 수영구, 기장군에 2개소 등으로 강서구에 침수위험지구 4개소, 취약방재시설 1개소, 해일위험지구 2개소로 재해위험지구의 43.8%를 차지한다(부산광역시 통계연보, 2015).

성남시는 대부분 도시화가 진행되어 사면재해에 대한 위험은 높지 않다. 불안정으로 판정된 면적이 약 0.352km² 로 전체 면적의 약 0.25%를 차지하고 있다. 토사재해의 경우 토사침식량을 기준으로 유사전달율(20%)을 고려하여 검토한 결과 토사유출로 인한 위험성은 낮다(2020 성남도시기본계획, 2015).

4.3 설계적용 적정지 검토

토사재해 위험성이 낮은 성남시에 비해 기후, 지형상 토사재해 위험성이 높다고 판단되는 지역을 대상으로 적정지를 검토하였다. 도심지가 가지는 특성을 지니면서 토사재해 저감 설계의 평가가 가능한 지역위주로 현재 지정고시 된 산사태 및 토석류 위험지역 중심으로 산사태 및 토석류 위험지역 중 저감대책 미수립지역에 우선순위를 부여하였다. 산사태 위험지역은 산사태로 인하여 인명 및 재산피해 우려지역을 말한다. (위험사면 높이의 5배 범위 이내에 인가 등 보호시설이 위치)

토석류 위험지역은 토석류로 인하여 인명 및 재산피해 우려지역을 말한다. (계류 최하지점에서 1km 이내에 인가 등 보호대상이 위치)

성남시는 대부분 도시화가 진행되어 사면재해에 대한 위험은 높지 않으므로 실용화지구 대상지로 적정하지 않다고 판단하였다.

기후, 지형상 토사재해 위험성이 높다고 판단되는 부산광역시 는 도심지가 가지는 특성을 지니면서 토사재해 저감 설계의 평가가 가능한 지역이 다수 존재하므로 설계 적용지구로 타당하다고 판단하여 선정하였다.

5. 토사재해 저감 도시설계 방안 적용

5.1 테스트베드 현황

토사재해 저감 관련 계획 및 사례 검토를 바탕으로 수립한 설계방안을 적용하기 위해 적용가능 현장을 선정하고 현장조사를 실시하였다. 대상지는 부산광역시 만덕동 일원으로 현장 개요는 Fig. 5와 같다.

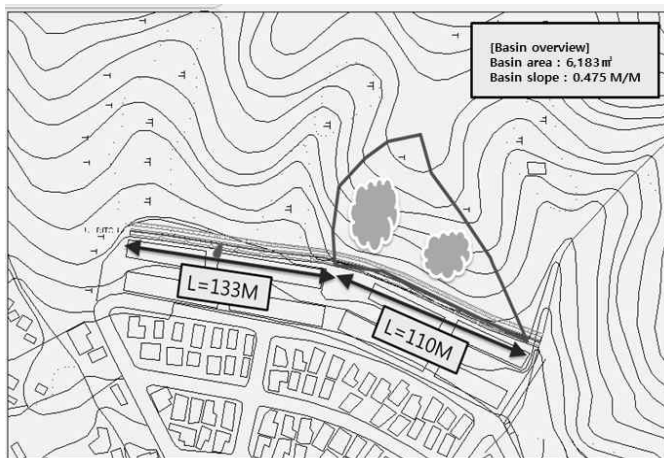


Fig. 5. Overview of application site

5.2 토사저감 설계 적용방안 제시

기존의 현황 및 사례검토를 통한 개선안을 토대로 현장상황에 맞는 기술을 적용하여 최적의 토사재해 방어시설을 구축할 수 있도록 계획을 Fig. 6과 같이 수립하였다.

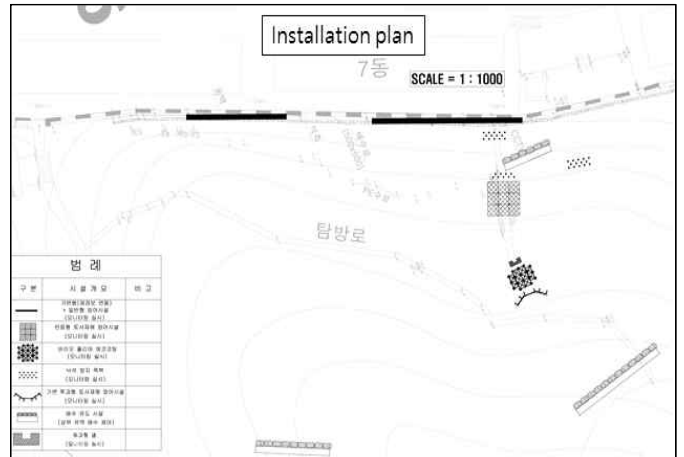


Fig. 6. Installation plan of application technology

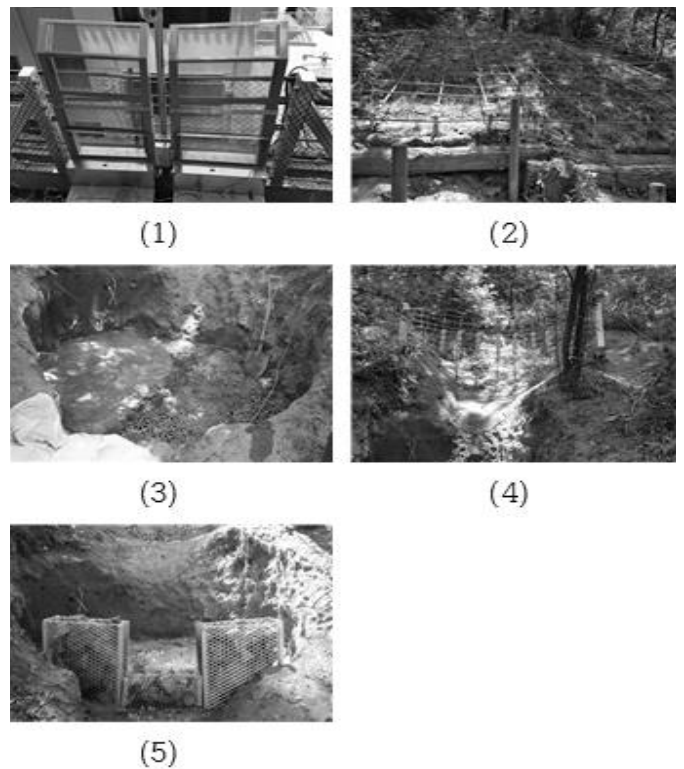


Fig. 7. Defense facilities application status

수립된 계획에 따라 Fig. 7과 같이 기존 낙석방지 울타리가 노후되어 낙석피해가 우려되는 지점에는 (1)가변형 방어시설, 토사발생 우려지역에는 (2)반응형 낙석방지망 및 (3)친환경 에코코팅, 암석 낙하 예상지역에는 (4)에코넷, (5)투과형 사방댐 등을 실제 적용하였다.

가변형 방어시설은 기존 낙석방지책을 현장에 맞게 보완한 것으로서 센서를 탑재하여 시설 및 지반의 유동을 파악하고, 예경보와 연동하여 위험발생 시 상승하는 자립식으로 초기 대응이 가능하도록 하였다. 낙석방지망은 낙석 및 경사면 붕괴 예상 지역에 설치하여 낙석 및 사면유실 예방하는 시설물이다.

본 연구에서는 기존 낙성방지망을 보완한 시설이며 유동부와 고정부로 구성하여 낙석을 효과적으로 방어할 수 있도록 하였다. 또한 센서를 부착하여 지반의 유동을 데이터화하여 토사의 유실 및 경사면 붕괴를 예방할 수 있도록 하였다. 자연흙에 바이오폴리머를 혼합하여 강화한 바이오폴리머 에코코팅은 친환경적인 재료를 이용하여 식생의 성장에도 큰 효과를 보이며, 집중호우에도 견고히 지반을 고정할 수 있다. 에코코팅 적용 토양의 압축강도 거동 비교결과 자연 흙, 10% 시멘트 함유 흙과 비교하여 바이오폴리머 0.5% 함유 흙의 강도가 높았다. 또한 실내 실험결과 자연 흙과 비교하여 바이오폴리머 함유 흙이 강우 시 토양 유실량이 현저하게 적음을 확인할 수 있었다.

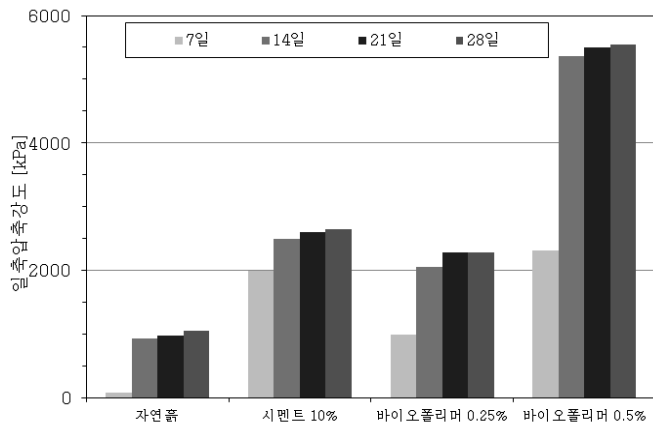


Fig. 8. Compression strength test results of eco-coating materials

에코넷은 토석류를 방어하기 위한 시설물이다. 본 현장에 적용한 에코넷은 가변 투과형으로 와이어 로프를 이용하여 토석류의 이동방향에 맞춰 그물망 형식으로 수로에 설치하여 크기 및 중량이 큰 바위, 돌 등의 위험요소에 효과적인 방어가 가능하도록 하였다.

투과형 사방댐은 기존 개비온 댐을 보완한 형태로 우수는 투과시키고 토석류만 제어하는 시설로써 배수를 원활하게 하며, 동시에 토사재해에 의한 피해를 방어할 수 있다. 투과형 사방댐은 가변 투과형 에코넷하부에 배치하여 비교적 크기가 작은 토석류를 차단하는 기능을 수행하도록 하고, 댐 내부에 방수, 투과시트를 설치하여 우수의 조절 기능을 추가하였다.

적용된 토사재해 방어기술은 지속적인 모니터링을 수행하여 위험요소를 점검하고, 토사재해 방어효과를 검증할 예정이다.

6. 결론

본 연구에서는 토사재해에 안전한 도시계획 수립을 지원하는 방안을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 국내·외 관련 법, 현황 및 설계사례를 검토하였다. 이를 토대로 토사재해 저감 기술을

실제 적용하기 위한 테스트베드를 선정하고, 관련 기술들을 적용함으로써 토사재해 저감을 위한 기술을 도시설계에 실제 적용할 수 있는 방안을 제시하였다.

향후 연구에서는 테스트베드에 적용된 기술들의 검증계획 및 모니터링 계획을 수립하고, 지속적인 모니터링을 통해 수집되는 정보를 분석하여 적용된 토사재해 저감기술을 검증하고자 한다. 효과가 검증된 기술들을 도시계획 단계에서부터 반영하여 적용한다면 도심지에서 발생하는 토사재해 저감에 기여할 수 있을 것이라고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 첨단도시개발사업 ‘도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발’ 연구의 일부를 발췌하여 수정·보완한 것입니다.

참고문헌

1. 국토연구원(2003), 도시기본계획 결정권한의 지방이양에 따른 제도보완방향.
2. 김현주(2004), 우리나라 도시계획에서 방재계획 부문의 현황과 개선방향.
3. 소방방재청 국립방재연구소(2004), 도시기본계획의 방재 및 안전부문에 관한 연구.
4. 문채(2005), 일본사례에 기인한 우리나라 방재도시계획의 운영방안에 관한 연구.
5. 기상청(2012), 한반도 기후변화 전망보고서.
6. 한국법제연구원(2013), 기후변화와 재해에 대응하는 안전 도시 구축을 위한 법제도.
7. 대전광역시(2013), 2030년 대전도시기본계획.
8. 서울특별시(2014), 서울플랜(2030서울도시기본계획).
9. 세종특별자치시(2014), 2030년 세종도시기본계획.
10. 신상영(2014), 자연재해 저감을 위한 도시계획의 개선방향.
11. 국민안전처(2015), 급경사지 재해위험도 평가기준.
12. 산림청(2015), 산사태 발생 우려지역 조사 및 취약지역 지정 관리 지침.
13. 인천광역시(2015), 2030년 인천도시기본계획.
14. 부산광역시(2015), 2030년 부산도시기본계획.
15. 국민안전처(2016), 급경사지 재해예방에 관한 법률.
16. 국민안전처(2016), 자연재해대책법.
17. 산림청(2016), 산림보호법.
18. 성남시(2015), 2020년 성남도시기본계획.
19. 국립연구개발법인 방재과학기술연구 홈페이지 <http://http://www.bosai.go.jp/>

20. 요코스카시 홈페이지
<http://www.city.yokosuka.kanagawa.jp/index.html>
21. 名古屋市(2001) 名古屋市都市計画マスタープラン (まちづくりの基本方針).
22. 国土交通省(2006) 都市計画運用指針 第5版.
23. 国土交通政策研究所(2008) 英・仏における防災土地利用
と関連社会システム.
24. 国土交通省のホームページ <http://www.mlit.go.jp/>
25. e-Govヘルプ <http://www.e-gov.go.jp/index.html>
26. J.P. Malet and O. Maquaire(2006), Risk Assessment
Methods of Landslides
27. Department for Communities and Local.