기본 | 19-08

대형재해에 대비한 도시복합재난 관리방안 연구 : 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로

A Research on Natech Disaster Management Coped with Calamity
: Focusing on Disaster Management Mapping and Application

한우석, 이병재, 조만석, 정연희, 김태훈, 라정일

KRIHS 국토연구원

기본 19-08

대형재해에 대비한 도시복합재난 관리방안 연구 : 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로

A Research on Natech Disaster Management Coped with Calamity
: Focusing on disaster management mapping and application

한우석, 이병재, 조만석, 정연희, 김태훈, 라정일

KRIHS 국토연구원

■ 연구진

한우석 국토연구원 국가방재연구센터장(연구책임)
이병재 국토연구원 책임연구원
조만석 국토연구원 책임연구원
정연희 국토연구원 인턴

■ 외부연구진

김태훈 한국건설기술연구원 수석연구원
라정일 전국재해구호협회 재난안전연구소 부소장

■ 연구심의위원

이상준 국토연구원 부원장
문정호 국토연구원 부원장
김선희 국토연구원 국토환경·자원연구본부장
김창현 국토연구원 선임연구위원
이상은 국토연구원 책임연구원
육동형 국토연구원 책임연구원

■ 외부연구심의위원

김남균 국토교통부 도시활력지원과장
김태현 한국환경정책·평가연구원 연구위원
이　준 한국교통연구원 부연구위원

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS

본 연구보고서의 주요 내용

1. 기후변화에 따른 자연재해와 도시구조 변화에 따른 복잡화 등으로 자연재해는 복합재난으로 악화될 가능성이 매우 높음
2. 복합재난에 대응하기 위해서는 복합재난 관리지도를 개발하고, 이를 도시방재 정책과 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립이 필요
3. 복합재난 대응 단계는 크게 재해발생 전인 예방단계, 재해가 발생한 직후인 대응단계, 재해발생 후 단기복구와 장기복구 단계로 구분
4. 복합재난 대응단계별 주요 취약 및 지원시설의 중요도를 도출하여 복합재난 관리지도 구축방법을 개발
5. 재해취약성 분석결과와 복합재난 관리지도를 연계·활용하여 취약지역을 도출하고, 복합재난 대응단계별 특징과 연계하여 재해 예방형 도시계획 대책 제시

본 연구보고서의 정책제안

1. 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침에서 복합재난을 고려한 재해 예방형 도시계획 수립이 포함되도록 개정
2. 복합재난 관리지도 구축 및 활용 관련 가이드라인 구축
3. 실효성 있는 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책을 발굴
4. 도시방재 제도 운영의 주요 문제점(재해 예방형 도시계획 수립 미흡, 재해취약성 분석방법 개선, 교육 등) 개선 필요
5. 도시방재 제도 운영의 실효성을 제고하기 위해 도시방재플랫폼을 개발하고 지역 전문가와의 네트워크 강화 필요

요 약
SUMMARY

1. 연구의 개요

□ 연구의 배경 및 목적

- 기후변화의 영향과 도시구조 변화에 따른 복잡화 등으로 자연재해가 복합재난으로 악화될 가능성이 높아지고 있음
  - 복합재난은 자연재해로부터 시작되어 동시다발적·연쇄적 사회재난으로 재난범위가 확산되는 재난으로, 대규모의 사회적 피해를 유발시키며 장기간에 복구가 필요한 재난임
- 기후변화, 도시화에 따른 자연재해 저감을 위해 도시 기후변화 재해취약성 분석(이후 재해취약성 분석) 및 재해 예방형 도시계획 제도가 수립·운영되고 있지만, 복합재난 관리 및 지역 맞춤형 대책제시에는 한계가 있음
- 본 연구의 목적은 복합재난의 대응단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 특징을 고려하여 복합재난 관리지도를 구축하는 방법을 개발하고, 이를 도시방재 정책과 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립방향을 제시

□ 연구방법

- 재해취약성 분석방법에 기초하고 복합재난 발생 단계별 특징을 고려하여 도시민감도 지표(취약시설, 지원시설 등)에 가중치(집계구별 시설밀집도, 재해별·시설별 피해가능성, 시설별 피해 심각성)를 적용한 복합재난 관리지도 구축방법 개발
- 재해 예방형 도시계획 대책의 인벤토리에서 복합재난 관리단계별 특징을 고려한 토지이용, 기반시설, 건축물 대책 및 위계별 대책 제시

2. 국내·외 주요 도시방재 정책 현황

□ 자연재해에 의한 시설물 영향

- 우리나라의 경우 자연재해 중 홍수가 국가기반시설에 가장 많은 영향을 미쳐 복합재난으로 악화될 가능성이 높은 것으로 분석

표 1 | 각 시설이 크게 영향을 받을 수 있는 재해 유형에 대한 설문조사 결과

기반시설 구분		6대 기후변화 재해					
대분류	세분류	폭우	가뭄	폭염	폭설	강풍	해수면상승
필수 서비스 공급시설	상하수도시설	◈	◇	△	-	-	◇
	열가스공급시설	◇	-	▲	▲	△	△
	전기공급시설	◇	-	▲	▲	◇	△
	방송통신시설	◈	-	-	▲	◈	-
경제활동 기반시설	산업단지	◈	▲	▲	◇	△	△
	물류단지	◈	-	-	◈	▲	△
	도시내업무상업	◈	-	▲	◇	▲	-
교통 기반시설	일반도로	◈	-	△	◈	△	-
	고속도로	◈	-	△	◈	▲	-
	철도	◇	-	▲	◈	▲	-
	터미널/역사	◈	-	-	◈	◇	▲
구호 및 대응시설	소방서	◈	△	▲	◇	△	-
	병원	◇	△	◇	◇	△	-
	경찰서	◈	-	△	◇	△	-
	관공서	◈	-	△	◇	△	-
	대피수용시설	◈	-	▲	◇	△	△

주: ◈: 응답빈도 가장 높음, ◇: 응답빈도 2등급, ▲: 응답빈도 3등급, △: 응답빈도 4등급, -: 응답빈도 가장 낮음
자료: 저자작성

□ 우리나라의 주요 도시방재 정책

- 재해 취약성분석 및 재해 예방형 도시계획 제도가 운영되고 있지만, 복합재난 고려 및 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립 부분에서는 미흡
- 2017년 포항지진을 계기로 2018년「도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법」개정에 따라 특별재생지역 제도가 신설

□ 해외의 복합재난 대응을 위한 방재정책

• 일본은 활동곤란도를 고려한 종합위험도 지도, 미국은 HAZUS- MH 3.0 모델, 사전복구계획 등을 개발하여 지역경제 활성화를 위한 장기복구 측면까지 고려

3. 복합재난 대응 단계별 주요 특징 및 시설요소 도출

□ 국내·외 주요 복합재난 발생사례

• 우면산 산사태(2011), 태풍 차바(2016), 충청권 집중호우(2017) 등을 조사하여 복합재난 대응단계별 특징을 도출

• 허리케인 카트리나(2005), 허리케인 샌디(2012), 허리케인 하비(2017) 등을 조사하여 해외의 복합재난 대응단계별 특징 도출

□ 복합재난 대응 단계별 주요 특징

• 국내·외 복합재난 발생 사례조사를 바탕으로 복합재난 대응단계를 크게 재해발생 전인 예방단계, 재해가 발생한 직후인 대응단계, 재해발생 후 단기복구와 장기복구 단계 등 4단계로 구분하고 각 단계별 주요 특징을 도출

  – 예방단계에서는 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화될 수 있는 시설물이 밀집되어 있는 지역이 취약

  – 대응단계에서는 신속한 인명구조와 더불어 피해확산 저감이 중요한 업무이며, 대응단계는 피해규모, 범위에 따라 다소 차이가 있지만 재해발생 후 1일 내외임

  – 단기복구단계에서는 피해를 받은 주민들의 기본적인 의식주를 지원하는 것이 주요 업무이며, 우리나라의 경우 대략 1주일 내외임

  – 장기복구단계에서는 주민들이 정상적인 경제생활 및 사회생활을 할 수 있도록 회복부분에 초점을 두고 관리하는 것이 필요

□ 복합재난 대응 단계별 주요 취약 및 지원시설 중요도 도출

• 시설물 도출 및 구분은 관련 법·제도와 기존 연구, 데이터 확보 가능성 등을

바탕으로 기반시설을 4개 항목, 16개 세부시설로 분류

– 법상으로는 국토계획법 상 기반시설을 중심으로 도출하여 분류하였지만, 구체성이 부족한 부분은 재난안전법과 민간투자법에 기초하여 보완

• 복합재난 대응단계별 주요 특징을 고려하여 취약 및 지원시설을 도출할 수 있도록 전문가 및 담당자 대상 설문조사를 수행

표 2 | 각 단계별 세부 시설의 중요도 설문조사 결과 비교표

기반시설 구분		복합재난 관리단계			
대분류	세분류	예방	대응	단기	장기
필수 서비스 공급시설	상하수도시설	12.8	6.7	19.0	6.7
	열가스공급시설	9.1	5.7	8.6	4.5
	전기공급시설	16.3	13.2	17.0	7.8
	방송통신시설	5.3	6.9	6.1	4.4
경제활동 기반시설	산업단지	4.2	2.2	2.1	9.5
	물류단지	2.5	2.1	3.3	9.0
	도시내업무상업	3.2	3.1	5.0	13.5
교통 기반시설	일반도로	5.1	7.5	7.6	8.8
	고속도로	5.9	5.6	4.2	7.7
	철도	5.4	4.2	3.4	7.7
	터미널/역사	7.5	4.4	3.2	6.9
구호 및 대응시설	소방서	5.2	10.6	2.8	1.6
	병원	7.1	11.4	5.5	3.9
	경찰서	2.9	4.1	2.6	2.6
	관공서	4.1	5.6	4.1	3.4
	대피수용시설	3.5	6.7	5.6	1.8

자료: 저자작성

4. 복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용

□ 복합재난 관리지도 구축방법 개발

• 복합재난 대응 단계별 관리지도 구축은 재해취약성 분석방법을 준용하지만, (기후)노

출은 제외하고 가중치를 적용한 도시민감도 지표를 활용하여 단계별 관리지도를 구축

- 복합재난 대응단계별 관리지도는 집계구별·시설물별 지표값 도출, 지표값 표준화, 가중치 적용, 등급화를 통한 복합재난 대응단계별 관리지도 구축 순서로 개발
  - 집계구별·시설물별 지표값 도출은 공간분석 단위인 집계구 단위로 16개의 세부지표값을 산정하는 단계임
  - 단위가 다른 지표값을 표준화하고, 각 복합재난 대응 단계별 및 시설별 중요도 등을 고려하여 가중치를 적용
  - 복합재난 관리지도 구축은 가중치를 적용한 관리지도를 전체 집계구를 대상으로 자연적 분위법(Jenks 최적화방법)을 통해 4단계의 등급을 부여

□ 사례지역의 복합재난 관리지도 구축 및 분석

- 사례지역은 재해취약성 분석결과 검증 여부, 데이터 활용 가능성 등을 고려하여 수원시로 선정
- 복합재난 대응단계별 관리지도 구축을 위해 시설물별로 전처리 과정을 통해 집계구(2,374개소) 단위로 지표값을 도출
- 복합재난 대응단계별 관리지도는 집계구 단위로 지표값을 산정한 후, 표준화, 가중치 적용, 등급화 단계를 통해 구축

5. 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립

□ 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 요소 도출

- 재해 예방형 도시계획 요소는 선행연구에서 제시한 재해 예방형 도시계획 요소를 종합하여 도출하였으며, 도시계획 위계별로 재분류
  - 재해취약성 분석 지침에서는 재해취약성분석결과의 활용을 도시·군기본 및 관리계획, 재해저감대책 수립 등에 활용하도록 범위를 제시
- 도시 복합재난 관리를 위한 재해 예방형 도시계획 대책은 토지이용, 기반시설, 건축물 대책의 주요 역할을 종합적으로 고려하여 선정

표 3 | 복합재난 대응단계별 특징과 연계한 재해 예방형 도시계획 대책 제시 틀

관리지도	주요 특징 및 관리시설	재해 예방형 도시계획 대책		
		토지이용	기반시설	건축물
예방단계	취약요인 제거	취약특성을 고려한 공간배치	취약지역에 기반시설 입지 지양 및 취약요소 관리	취약건축물 보호기능 강화
대응단계	피해확산 저지	피해확산 방지를 위한 완충공간 등 구성	고연결성 기반시설에 대한 피해확산 방지대책 적용	피해 건축물 및 피해지역 인근 취약건축물 긴급관리 사전계획
단기복구 단계	필수기능 회복	필수기능 확보 용이성을 고려한 공간(대피구역 등) 설정	필수공급시설 보호 및 기능 복구	피해 건축물 안전진단 및 기능 복구 사전계획
장기복구 단계	적응능력 제고	복합재난 충격흡수능력 강화를 위한 공간구조 전환 대책 추진	기반시설 복합재난 적응능력 강화대책	건축물 안전수준 향상대책

자료: 저자작성

- 지역 맞춤형 대책 제시를 위해 현장조사 체크리스트를 개발
  - 현장조사 체크리스트에는 재해발생양상, 재해취약지역 및 주변지역 특성, 재해취약대상 등이 포함
  - 현장조사 수행시에는 과거 피해이력 등을 우선적으로 조사하고 이를 바탕으로 현장조사를 수행
  - 현장조사시에는 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설 등을 중점적으로 검토하여 관련 재해 예방형 도시계획 대책과 연계하는 방향 검토

□ 사례지역 적용방법

- 사례지역에 재해 예방형 도시계획 적용순서는 크게 재해취약지역 도출, 현장조사, 재해 예방형 도시계획 대책 제시 등으로 구성
  - 재해취약지역 도출은 재해취약성 분석결과 1, 2 등급인 지역 중 복합재난 대응단계별 관리지도 등급이 높은 지역을 우선적으로 도출
  - 현장조사는 우선 현장조사 체크리스트를 작성하고, 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설 등을 중심으로 도시계획 요소 적용 대상을 검토

– 재해 예방형 도시계획 대책 제시는 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 요소, 현장조사 결과 등을 종합하여 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능 시설 등을 중심으로 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책을 제시

6. 복합재난을 고려한 도시방재 정책 개선 방향

□ 복합재난을 고려한 재해 예방형 도시계획 실효성 제고

- 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침의 '4-1-4 도시복원력을 감안한 재해예방형 도시계획 수립'을 '복합재난을 고려한 재해예방형 도시계획 수립'으로 개정
- 별도로 복합재난 관리지도 구축 및 활용 가이드라인을 구축하여 활용성을 강화하고 실효성 있는 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책을 발굴

□ 도시방재제도 개선방향

- 도시방재 제도 운영의 주요 문제점(재해 예방형 도시계획 수립 미흡, 재해취약성 분석방법 개선, 교육 등) 개선 필요
- 도시방재 제도 운영의 실효성을 제고하기 위해 도시방재플랫폼을 개발하고 지역 전문가와의 네트워크 강화 필요

7. 결론 및 향후 과제

- 본 연구는 우리나라의 도시방재 제도가 복합재난을 고려하지 못하고 있으며, 재해 예방형 도시계획 수립에 한계가 있는 점을 착안하여 수행
- 재해취약성 분석방법은 공간분석 단위, 분석지표 등의 개선, 재해 예방형 도시계획은 복합재난 관리지도 구축 및 활용 고도화, 재해 예방형 도시계획 발굴 및 컨설팅, 관련 법·제도 개선의 추가 연구가 필요

차 례
CONTENTS

주요 내용 및 정책제안 ····· iii
요 약 ····· v

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적 ····· 3
2. 연구의 범위 및 방법 ····· 7
3. 연구의 틀 및 주요 개념 ····· 9
4. 선행연구 검토 및 본 연구와의 차별성 ····· 16
5. 연구의 정책적·학술적 기대효과 ····· 20

제2장 국내·외 주요 도시방재 정책 현황

1. 자연재해에 의한 시설물 영향 ····· 25
2. 우리나라의 주요 도시방재 정책 ····· 33
3. 해외의 복합재난 대응을 위한 방재정책 ····· 41
4. 주요 시사점 ····· 47

제3장 복합재난 대응 단계별 주요 특징 및 시설요소 도출

1. 국내·외 주요 복합재난 발생사례 ····· 51
2. 복합재난 대응 단계별 주요 특징 ····· 59
3. 복합재난 대응 단계별 주요 취약 및 지원시설 중요도 도출 ····· 60

제4장 복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용

1. 복합재난 관리지도 구축방법 개발 ····· 71
2. 사례지역의 복합재난 관리지도 구축 및 분석 ····· 78

제5장 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립

1. 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 요소 도출 ····· 97
2. 사례지역 적용 방법 ····· 112

제6장 복합재난을 고려한 도시방재 정책 개선방향

1. 복합재난을 고려한 재해 예방형 도시계획 실효성 제고 ····· 137
2. 도시방재 제도 개선방향 ····· 140

제7장 결론 및 향후 과제

1. 결론 ····· 149
2. 향후 과제 ····· 150

참고문헌 ····· 153
SUMMARY ····· 157
부 록 ····· 159

표차례
LIST OF TABLES

〈표 1-1〉 선행연구에서 제시한 복합재난 정의 ····· 12
〈표 1-2〉 주요 선행연구 및 본 연구의 차별성 ····· 18
〈표 2-1〉 재해발생시 국토 기능 유지·회복을 위한 주요 국가기반시설 설문조사 결과 ·· 26
〈표 2-2〉 주요 재해사례별 주요 국가기반시설 피해 현황 ····· 27
〈표 2-3〉 본 연구의 복합재난 정의에 대한 전문가·담당자 의견(설문조사 기준) ····· 29
〈표 2-4〉 본 연구의 기반시설 분류 ····· 31
〈표 2-5〉 각 시설이 크게 영향을 받을 수 있는 재해 유형에 대한 설문조사 결과 ···· 32
〈표 2-6〉 재해취약성분석 수행 및 검증 지자체 현황(2019.10.) ····· 36
〈표 2-7〉 플로리다 PDRP의 주제별 달성수준 ····· 46
〈표 3-1〉 우리나라의 폭우에 의한 복합재난 사례 및 주요 특징 ····· 52
〈표 3-2〉 2011년 중부지방 집중호우에 의한 주요 피해현황 및 대응 ····· 54
〈표 3-3〉 해외의 폭우에 의한 복합재난 사례 및 주요 특징 ····· 55
〈표 3-4〉 허리케인 카트리나에 의한 주요 피해현황 및 대응 ····· 57
〈표 3-5〉 각 단계별 시설 분류에 따른 중요도 설문조사 결과 비교표 ····· 67
〈표 3-6〉 각 단계별 세부시설의 중요도 설문조사 결과 비교표 ····· 68
〈표 4-1〉 세부시설별 지표값 산정방식 ····· 73
〈표 4-2〉 재해별·시설별 피해가능성 ····· 75
〈표 4-3〉 재해대응 단계별·시설별 가중치 ····· 76
〈표 4-4〉 수원시 행정구역 현황 ····· 79
〈표 4-5〉 수원시 재난 피해 현황 ····· 80
〈표 4-6〉 수원시 세부시설별 지표값 구축방법 및 데이터 소스 ····· 86
〈표 4-7〉 복합재난 예방단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적 ····· 88
〈표 4-8〉 복합재난 대응단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적 ····· 90
〈표 4-9〉 복합재난 단기복구단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적 ····· 92
〈표 4-10〉 복합재난 장기복구단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적 ····· 94
〈표 5-1〉 복합재난 대응단계별 특징과 연계한 재해 예방형 도시계획 대책 제시 틀 ··· 104

〈표 5-2〉 복합재난 대응단계별 특징과 연계한 재해 예방형 도시계획 대책 ····· 105
〈표 5-3〉 재해피해지역 현장조사 체크리스트 ····· 111
〈표 5-4〉 폭우 종합 재해취약성 분석결과 ····· 113
〈표 5-5〉 정자동 현장조사 체크리스트 ····· 117
〈표 5-6〉 사례지역 적용 가능한 재해 예방형 도시계획 대책(정자동) ····· 120
〈표 5-7〉 피해 및 취약지역과 저류기능 부여가능 시설 중심의 재해 예방형 도시계획 적용 방안(정자동) ····· 121
〈표 5-8〉 고색동 현장조사 체크리스트 ····· 126
〈표 5-9〉 사례지역 적용가능한 재해 예방형 도시계획 대책(고색동) ····· 129
〈표 5-10〉 피해 및 취약지역과 저류기능 부여가능 시설 중심의 재해 예방형 도시계획 적용방안(고색동) ···· 132
〈표 6-1〉 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침 개정(안) ····· 138
〈표 6-2〉 제도 운영상 문제점 및 개선방향 ····· 140
〈표 6-3〉 도시방재 정책 운영현황 및 문제점과 도시방재플랫폼 주요 기능 개방방향 ··· 142

그림차례
LIST OF FIGURES

〈그림 1-1〉 대형재해가 복합재난으로 악화되는 과정 예시 ····· 4
〈그림 1-2〉 설문조사 응답자 구성 ····· 8
〈그림 1-3〉 연구개념도 ····· 9
〈그림 1-4〉 연구흐름도 ····· 10
〈그림 2-1〉 복합재난으로 악화될 가능성이 가장 높은 재해 유형 ····· 28
〈그림 2-2〉 재해취약성분석의 구조 ····· 34
〈그림 2-3〉 재해예방형 도시계획 개념 ····· 35
〈그림 2-4〉 도시계획적 대책 적용을 위한 도시계획별 영역 ····· 36
〈그림 2-5〉 재해취약성분석의 절차 ····· 38
〈그림 2-6〉 흥해시장 주변 지진피해 현황 ····· 40
〈그림 2-7〉 지역위험도 측정 조사 체계 ····· 42
〈그림 2-8〉 활동 곤란도를 적용한 위험도 예시 ····· 43
〈그림 2-9〉 HAZUS-MH의 정보제공 사례 예시 ····· 44
〈그림 2-10〉 사전복구계획과 타 계획과의 상호 연관성 ····· 45
〈그림 3-1〉 2011년 중부지역 집중호우 발생 시 피해확산 과정 예시 ····· 53
〈그림 3-2〉 복합재난 피해확산 과정(2005년 8월 미국 허리케인 카트리나 사례) ····· 56
〈그림 3-3〉 AHP 위계도 ····· 61
〈그림 3-4〉 복합재난 발생단계별 주요 특징과 취약 및 지원시설 도출 관련 고려사항 ··· 62
〈그림 3-5〉 '발생 전/예방'단계 AHP 설문조사 결과 ····· 62
〈그림 3-6〉 '대응'단계 AHP 설문조사 결과 ····· 63
〈그림 3-7〉 '단기복구'단계 AHP 설문조사 결과 ····· 65
〈그림 3-8〉 '장기복구'단계 AHP 설문조사 결과 ····· 66
〈그림 4-1〉 복합재난 대응단계별 관리지도 구축방법 ····· 72
〈그림 4-2〉 분석지표 표준화 공식 ····· 74
〈그림 4-3〉 가중치 산정방법 ····· 75
〈그림 4-4〉 지하공간통합지도 구축사업 진행 현황 ····· 78

〈그림 4-5〉 수원시 행정구역도 및 수계현황도 ····· 79
〈그림 4-6〉 집계구별 상·하수도시설 선형길이 총합 ····· 81
〈그림 4-7〉 집계구별 열가스공급시설 선형길이 총합 ····· 82
〈그림 4-8〉 집계구별 전기공급시설 선형길이 총합 ····· 82
〈그림 4-9〉 집계구별 방송통신시설 선형길이 총합 ····· 83
〈그림 4-10〉 집계구별 상·하수도시설 지표값 ····· 83
〈그림 4-11〉 집계구별 열·가스공급시설 지표값 ····· 84
〈그림 4-12〉 집계구별 전기공급시설 지표값 ····· 84
〈그림 4-13〉 집계구별 방송통신시설 지표값 ····· 85
〈그림 4-14〉 복합재난 예방단계 관리지도 ····· 88
〈그림 4-15〉 복합재난 대응단계 관리지도 ····· 90
〈그림 4-16〉 복합재난 단기복구단계 관리지도 ····· 92
〈그림 4-17〉 복합재난 장기복구단계 관리지도 ····· 94
〈그림 5-1〉 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 도출과정 ····· 99
〈그림 5-2〉 통합적 재해대책수립을 위한 접근방법 ····· 102
〈그림 5-3〉 사례지역 적용방법 ····· 112
〈그림 5-4〉 수원시 폭우 재해취약성 분석 결과 ····· 114
〈그림 5-5〉 정자동 사례지역 종합 재해취약성분석 및 복합재난 대응단계별 관리지도 ··· 116
〈그림 5-6〉 정자동 사례지역 예상 우수 유출 경로 ····· 118
〈그림 5-7〉 정자동 사례지역 현장조사 사진 ····· 119
〈그림 5-8〉 정자동 사례지역의 재해 예방형 도시계획 적용 지역 ····· 123
〈그림 5-9〉 고색동 사례지역 종합 재해취약성분석 및 단계별 복구지도 ····· 125
〈그림 5-10〉 고색동 사례지역 예상 우수 유출 경로 ····· 127
〈그림 5-11〉 고색동 사례지역 현장조사 사진 ····· 128
〈그림 5-12〉 고색동 사례지역의 재해 예방형 도시계획 적용 지역 ····· 131
〈그림 6-1〉 도시방재플랫폼의 기능(안) ····· 142
〈그림 6-2〉 방재계획 수립 단계별 주요 업무 및 기관별 역할 ····· 145

CHAPTER 1

서론

1. 연구의 배경 및 목적 | 3
2. 연구의 범위 및 방법 | 7
3. 연구의 틀 및 주요 개념 | 9
4. 선행연구 검토 및 본 연구와의 차별성 | 16
5. 연구의 정책적·학술적 기대효과 | 20

CHAPTER 1

서론

본 장에서는 복합재난 대응단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 특징을 고려하여 복합재난 관리지도를 구축하는 방법을 개발하고, 이를 도시방재 정책과 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립방향을 제시하는 본 연구의 목적을 명시하였다. 또한, 재해 예방형 도시계획, 복합재난 등 관련 선행연구 등을 조사하고 연구의 방향과 학술적 및 정책적 기대효과도 명시하였다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경 및 필요성

최근 기후변화의 영향으로 전 세계적으로 대형 자연재해는 빈번히 발생하고 있다. 우리나라의 경우 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미, 2011년 중부지방 집중호우에 의한 우면산 산사태, 2017년 청주 집중호우에 의한 피해 등이 대표적인 기후변화 영향에 의한 대형 자연재해이다. 다른 나라의 경우도 보면 2005년 허리케인 카트리나, 2012년 허리케인 샌디, 2017년 허리케인 하비 등 허리케인에 의한 홍수 피해가 빈번히 발생하고 있다. 향후 자연재해는 기후변화의 영향으로 대형화 및 빈번화가 예상된다.

기후변화에 따른 자연재해와 도시구조 변화에 따른 복잡화 등으로 자연재해는 복합재난으로 악화될 가능성이 매우 높다. 최근 전 세계의 도시들은 초연결사회로 변화하고 있어 구조가 매우 복잡해지고 있다. 이러한 복잡화는 한 지점 또는 지역의 자연재해 피해가 한 지역의 피해에 머물지 않고 다양한 분야에 연계·통합되어 복합재난으로 악화될 가능성을 높이고 있다.

그림 1-1 | 대형재해가 복합재난으로 악화되는 과정 예시

자료: 한국정보통신기술협회 2017 p.3

이처럼 기후변화, 도시화 등으로 위험발생 가능성이 높아진 복합재난에 효과적으로 대응하기 위해서는 복합재난의 대응단계별 특징으로 고려한 맞춤형 대책마련이 필요하다. 복합재난은 자연재해가 도시 기반시설에 영향을 미쳐 피해가 자연재해 피해지역에 한정되지 않고 광범위한 도시지역에 피해를 미치며 피해복구가 장기화되는 경향이 있다. 도시방재 차원에서 이러한 복합재난에 의한 피해를 저감하기 위해서는 대응단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구 등) 주요 특징과 각 단계별 취약 또는 피해저감을 지원하기 위한 시설물에 대한 대책마련이 필요하다.

지난 2011년 중부지역 폭우로 인한 우면산 산사태를 계기로 우리나라에서는 도시기후변화 재해취약성 분석(이후 재해취약성 분석) 및 재해 예방형 도시계획 제도가 수립·운영되고 있지만, 복합재난 고려 및 지역 맞춤형 대책제시에는 한계가 있다. 재해취약성 분석제도는 2015년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」개정으로 도시계획 수립 및 변경시 기초조사로 수행토록 의무화되어 전국 시·군 161개 지자체를 대상으로 수행되고 있다. 재해취약성 분석은 집계구 단위로 상대적인 취약성을 4개의 등급으로 구분하여 분석하고 있으며, 1, 2 등급인 취약지약을 중심으로 재해 예방형 도시계획 수립

을 권장하고 있다. 하지만, 재해취약성 분석은 상대적 취약성을 분석하기 때문에 1, 2 등급인 취약지역은 지자체 전체 면적의 약 50%[1]이기 때문에 우선적으로 재해 예방형 도시계획을 수립할 지역을 도출하는데 어려움이 있다. 대형 자연재해가 도시지역에 발생하면 복합재난으로 악화될 가능성이 매우 높지만, 재해 예방형 도시계획에서는 복합재난을 고려하지 못하고 있으며, 지역 맞춤형 대책을 제시하지 못해 제도의 실효성은 미흡한 실정이다. 재해 예방형 도시계획은 기초조사로 수행한 재해취약성 분석결과를 바탕으로 지자체에서 자체적으로 수립하도록 운영되고 있지만, 재해취약성 등급이 크게 4단계로만 구분되어 있고 재해 예방형 도시계획 대책제시도 인벤토리 형태로만 제시하고 있어 지역 맞춤형 대책 제시에는 한계가 있다. 재해 취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 수립방법을 제시하고 있는 국토교통부의 '도시 기후변화 재해취약성 분석 및 활용에 관한 지침'에서는 장기적인 복구가 요구되는 복합재난 피해저감 등을 위해 재해 예방형 도시계획 수립시 복원력 제고를 고려하도록 권장하고 있지만, 관련 방법을 명확하게 제시하고 있지는 않다. 또한, 재해취약성 분석은 법적으로 지자체에서 의무적으로 수행해야 하지만, 재해취약성 분석을 수행하는 원목적인 재해 예방형 도시계획 수립은 의무사항이 아니기 때문에 제도의 실효성 부분은 미흡한 실정이다. 하지만, 최근 제2차 국가기후변화 적응대책 세부시행계획, 제3차 녹색성장 5개년 계획, 제3차 및 제4차 국가안전관리기본계획 등 주요 법정계획에서 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획의 중요성이 부각되고 있어, 도시방재 정책의 개선 및 원활한 운영은 매우 필요한 시점이다. 특히, 제3차 녹색성장 5개년 계획에서는 재해 예방형 도시계획 수립률을 핵심성과로 제시하고 있다.

1) 일반적으로 1, 2 등급 지역은 인구가 밀집되어 집계구가 작기 때문에 50% 미만임

2) 연구의 목적

본 연구의 목적은 복합재난 대응단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 특징을 고려하여 복합재난 관리지도를 구축하는 방법을 개발하고, 이를 도시방재 정책과 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립방향을 제시하는 것이다. 여기서 복합재난 대응단계별 관리지도는 각 재해 대응단계별로 활용하는 것이 아니라 사전에 재해 대응단계별 특징(단계별 취약 및 지원시설의 중요도 등)을 고려하여 관리지도를 구축하고, 도시방재정책과 연계하여 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책을 제시하는데 활용한다.

일반적으로 많은 사람들이 복합재난 하면 2011년에 발생한 동일본 대지진과 원자력 발전소 피해를 떠오를 것이다. 하지만, 본 연구의 목적은 우리나라에서 운영되고 있는 도시방재 정책의 개선에 초점을 두고 있으며, 이는 2011년 동일본 대지진과의 접근 및 대처방법이 다르다. 이러한 차이점을 언급하기 위해 본 연구 제목의 키워드를 도시복합재난으로 강조했으며, 본문 내용에서는 도시복합재난을 복합재난으로 명하고 도시방재 대책제시에 초점을 두고 연구를 수행했다.

복합재난의 대응단계별 주요 특징은 기 발생한 복합재난 사례를 중심으로 주요 특징을 도출하고, 각 단계별 취약 및 지원시설물 중요도는 전문가 설문조사 등을 통해 산정했다. 복합재난 대응단계별 관리지도 구축방법 개발은 재해취약성 분석방법에 기초하여 구축방법을 개발하지만, 복합재난의 대응 단계별 특징을 고려하여 취약 및 지원시설의 중요도를 적용하여 개발했다. 복합재난 관리지도 활용은 우선 재해취약성 분석 1, 2등급 지역 중 우선적으로 재해 예방형 도시계획 수립이 필요한 지역(복합재난으로 재해가 악화될 수 있는 지역)을 도출하고, 그 지역에 맞는 재해 예방형 도시계획 수립에 활용한다. 하지만, 재해취약성 분석결과 및 복합재난 관리지도만으로는 맞춤형 대책을 제시하는데 한계가 있기 때문에, 현장조사 결과 등과 연계하여 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립방법을 제안했다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구에서는 복합재난을 유발시킬 수 있는 다양한 기후변화 재해 중에서 폭우재해를 중심으로 연구를 수행했다. 재해 취약성 분석은 6개 기후변화 재해(폭우, 가뭄, 폭염, 폭설, 강풍, 해수면상승)를 대상으로 하고 있지만, 우리나라에서 가장 크게 피해를 미치는 재해는 폭우이며, 도시계획적 방재대책도 폭우에 초점을 맞춘 대책이 많기 때문에 폭우를 중심으로 연구를 수행했다. 공간적 범위는 사례지역을 중심으로 복합재난 관리지도를 구축하고 적용했다. 복합재난 관리지도를 구축하기 위해서는 재해취약성 분석 및 관련 분석지표를 구축하는 것이 필요하며, 관련 분석지표를 구축하는 시간적 한계 등을 고려하여 기존에 재해취약성을 수행한 지자체 중에서 타 자료의 가용성 등을 종합적으로 검토하여 사례지역을 선정했다.

본 연구의 내용적 범위는 국내·외 주요 도시방재 정책 현황, 복합재난 대응단계별 주요 특징 및 시설요소 도출, 복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용, 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립, 복합재난을 고려한 도시방재정책 개선방향 등을 포함하고 있다.

2) 연구의 방법

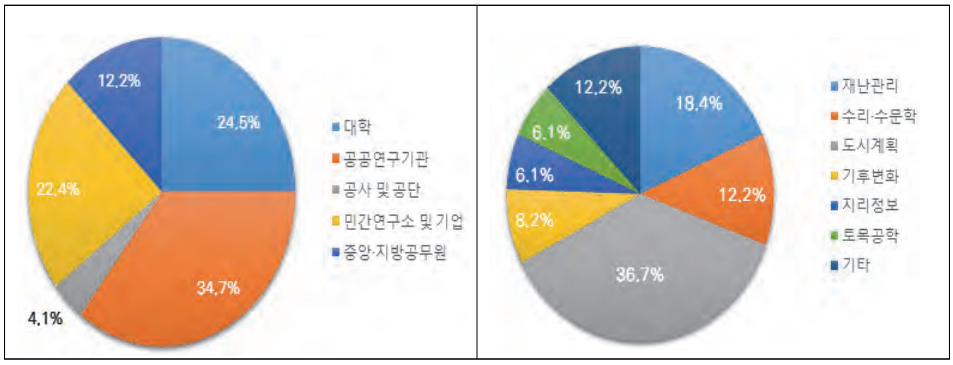
본 연구는 크게 문헌, 인터넷 조사, 현장조사 및 공무원 면담, 설문조사, 복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 분석, 복합재난 관리지도와 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책 마련, 자문/연구협의회/세미나 등을 통한 다양한 의견수렴 등으로 연구를 수행했다.

복합재난의 개념적 정의, 재해별 복합재난 악화 가능성 및 기반시설 영향, 복합재난 대응단계별 취약 및 지원시설 도출 등을 위해 전문가 및 담당자를 대상으로 설문조사[2)]

2) 자세한 설문조사지 내용은 '부록 1'를 참고

를 수행했다. 설문조사 기간은 3주간(2019. 4. 18. - 2019. 5. 9.) 설문지 파일을 응답자에게 E-mail로 전달한 후 회신을 요청하는 형태로 진행되었다. 설문 응답자 구성은 재난관리 및 정책 연구자·담당자를 중심으로 다양한 소속과 전공 배경을 가진 응답자로 구성되었으며, 응답자의 재난·방재분야 전담 연구·업무경력은 평균 7.7년으로 나타났다.

그림 1-2 | 설문조사 응답자 구성



자료: 저자작성

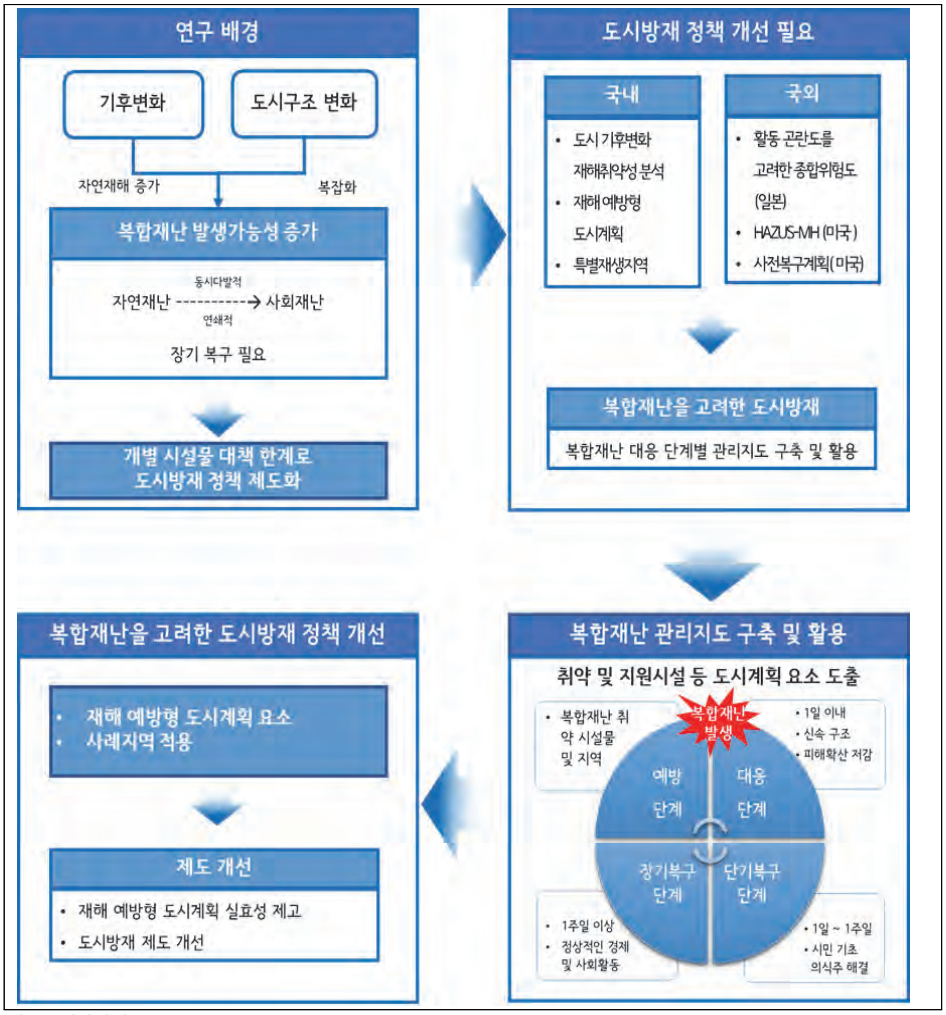
본 연구에서는 재해취약성 분석방법에 기초하고 복합재난 발생 단계별 특징을 고려하여 도시민감도 지표(취약시설, 지원시설 등)에 가중치(집계구별 시설밀집도, 재해별·시설별 피해가능성, 시설별 피해 심각성)를 적용한 복합재난 관리지도를 구축하는 방법을 개발했다. 또한, 복합재난 관리지도와 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책 제시는 선행연구에서 제시한 재해 예방형 도시계획 대책의 인벤토리에서 복합재난 관리단계별 특징을 고려한 토지이용, 기반시설, 건축물 대책 및 위계별 대책을 제시했다.

3. 연구의 틀 및 주요 개념

1) 연구의 틀

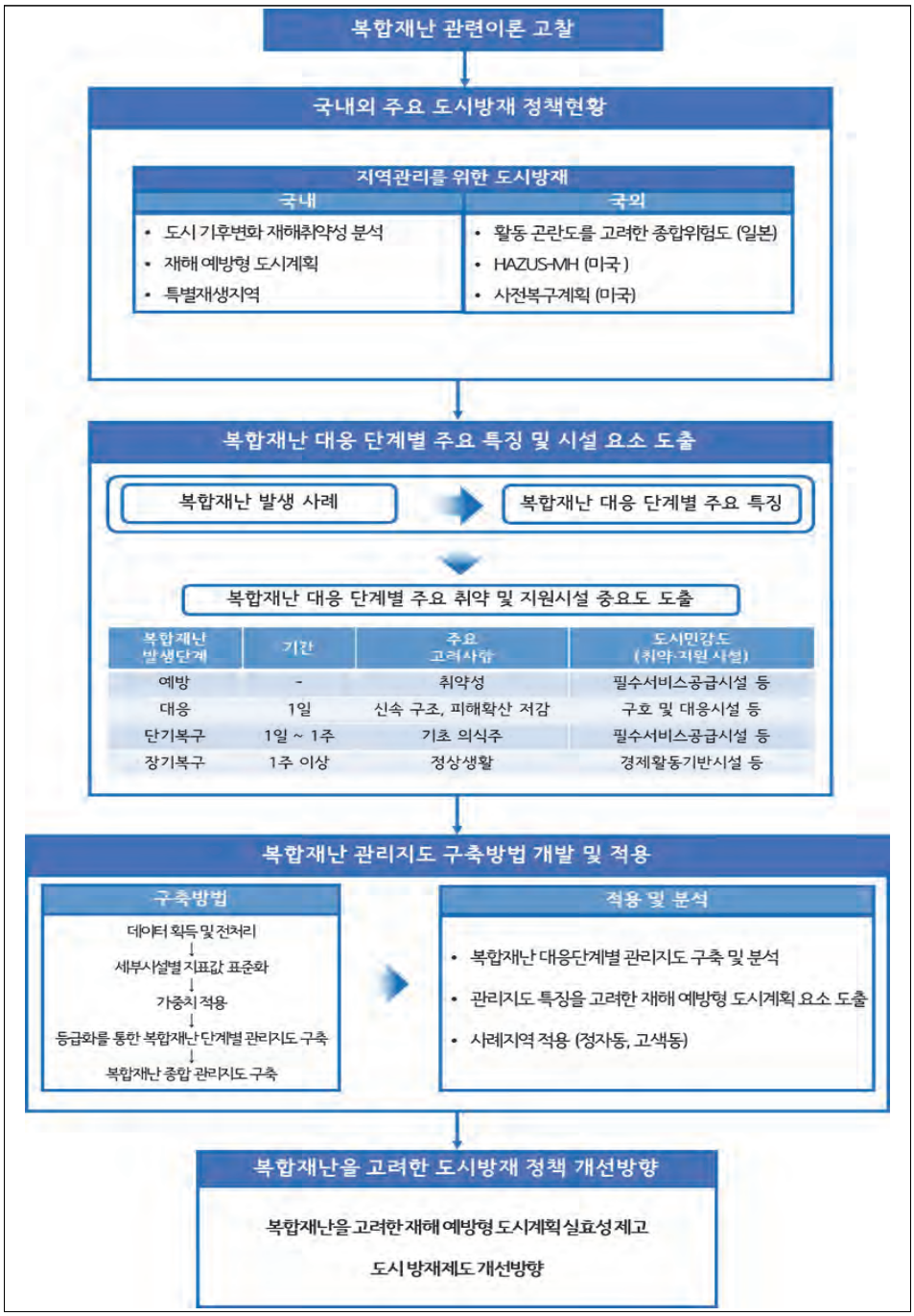
(1) 연구 개념도

그림 1-3 | 연구개념도



자료: 저자작성

그림 1-4 | 연구흐름도



자료: 저자작성

2) 복합재난 개념

최근 재난유형 변화의 가장 큰 특징은 자연재해나 인적재난, 사회재난이 개별적으로 나타나기 보다는 복합적이고 대규모적인 양상으로 발전하고 있다는 점이다. 즉, 현대사회는 긴밀한 관계성의 증가로 인하여 자연재난이 발생하여 사회간접시설에 피해를 유발한 경우 국가 전체적인 경제 활동 및 성장에 심각한 차질을 발생시킬 수 있기 때문이다. 사회기반구조의 첨단화와 네트워크화는 평상시에는 경제적 효율성을 창출하지만 재난이 닥칠 경우에는 피해를 심화 그리고 복합화 할 수 있는 하나의 요인이 될 수 있다. 이런 경우 피해발생 시 공간적으로나 경제적 가치 면에서 막대한 복구비용을 수반하게 된다(이재은 외, 2014).

이에 본 연구에서는 복합재난을 "자연재해로부터 시작되어 동시다발적·연쇄적 사회재난으로 재난피해범위가 확산되는 재난으로, 대규모의 사회적 피해를 유발시키며 장기간에 복구가 필요한 재난"으로 연구범위를 설정하였다. 선행연구에서 다양하게 복합재난을 정의하고는 있지만, 학술적으로 명확하게 합의된 복합재난의 정의는 없는 상황이며, 법적으로도 아직 복합재난을 정의하고 있지는 않다. 한국방재학회에서는 지난 5월 23일 방재의 날 기념 세미나[3]의 특별주제로 복합재난을 선정하여 복합재난 관련 연구를 수행하고 있는 연구자를 중심으로 발표 및 토론을 진행하였다. 세미나에서는 복합재난의 개념을 자연재해 등에서 기인하여 동시다발적·연쇄적 사회재난으로 재난피해 범위가 확산되는 재난과 피해가 장기화되어 복구의 중요성을 강조한 개념으로 복합재난의 개념을 재정립하고, 행정안전부에 복합재난 개념을 제시하기로 합의하였다.

3) 한국방재학회에서는 방재의 날(5.25) 기념으로 최근 이슈화되고 있는 복합재난 관련 세미나를 5월 23일 서울 건설회관에서 개최. 국토부, 행정안전부에서 복합재난 관련 대형 R&D를 수행하고 있는 연구책임자(백용, 이용태, 정창삼) 등을 중심으로 연구수행 내용을 발표하고, 정상만, 윤동근, 오윤경, 한우석 등이 토론자로 참석

표 1-1 | 선행연구에서 제시한 복합재난 정의

연구자(년도)	복합재난 정의
한국건설기술연구원 (2016)	• 자연재난과 사회재난이 연쇄적 혹은 동시다발적으로 발생하는 재난 • 인명 피해, 기반시설 마비 등 피해가 극심하여 범부처의 통합적 대응이 필요한 재난 • 동시성, 연속성, 확산성, 복합화, 대형화의 특징이 있음. • 대표적 예 : 일본 센다이 지진 및 해일발생으로 인한 후쿠시마 원전 붕괴
박미리·이영근 (2016)	• 일본의 방재계획에서는 "동시 또는 순차적으로 두 개 이상의 재해가 발생하고 그 영향이 복합화 함으로써 피해가 심각해지면서 재해 응급 대응이 어려운 사건"을 복합재해로 정의 • 국의 일반적 재난 대응을 위한 NRF(National Response Framework)의 Catastrophe Incident Annex에서 복합재난은 "일상적인 범위를 벗어나 대규모 사상자, 손실, 또는 사람·기반시설·환경·경제·국가적 사기, 정부 기능에 영향을 끼치는 붕괴를 야기하는 재난"으로 정의
윤동근 (2017)	• 복합재난의 개념은 재난의 유형, 피해영향, 대응에 따라서 다양하게 정의됨 • 미국에서는 복합재해를 의미하는 용어로 'compound disaster', 'complex disaster', 그리고 'multi-hazard' 등을 사용
Marzocchi et al. (2012)	• 재난들이 동시다발적, 순차적으로 발생하고 상호간의 영향에 의해 다른 2차 재난의 발생과 강도를 증가시키는 재난으로 정의 • 국내 연구에서는 복합재난과 관련하여 '초대형 중대재난', '대형복합재난', '미래형재난'등 관점에 따라 각기 다른 용어를 사용
정지범 외 (2015)	• 복합재난이 나타내는 특징으로 사회 각 영역 및 시스템의 호의존성(interdependency)으로 인한 재난의 연쇄적(cascading) 확산에 의미를 둠
하각천 (2012)	• 다양한 재난 유형의 동시적(simultaneity) 발생, 하나의 재난으로 인하여 다른 재난이 발생하는 연속적(continuity)으로 발생하는 것
안철현 외 (2011)	• 하나의 재난원인으로 인한 피해영향이 복합적으로 발생하는 현상
이재은 외 (2014)	• 자연재난과 인적재난이 제2의 재난을 발생하는 상황으로 복합재난을 정의
오윤경 (2013)	• 복합재난의 개념을 자연재난 (Natural Disaster) 및 다양한 자연적 위해요소로 인해 발생하는 화학 및 산업사고와 같은 기술재난 (Technological Disaster)으로 발생하거나 악화되는 재난유형인 'natech' 재난 (Natural Disaster Triggered Technological Disaster)으로 제시
남기훈 (2013)	• 재난의 발생과 전개과정 및 영향에 따라 복합재난은 연쇄적 또는 동시다발적으로 발생하는 상호작용 (상호의존성)을 가지는 재난유형으로 볼 수 있음 • 이에 복합재난은 다음의 세 가지 유형으로 구분하여 볼 수 있음 1) 동시다발적 유형(병렬구조)으로 하나의 재난요인에 의해 2차 재난들이 동시에 여러 재난이 발생되는 유형 2) 연속적인 유형(순차구조)으로 하나의 재난요인에 의해 2차 재난이 유발되고, 2차 재난에 의해 3차 재난이 유발되는 등 재난이 시계열적 속성을 가지고 연속적으로 발생되는 유형 3) 복합적 유형(순차-병렬구조)으로 하나의 재난요인에 의해 앞의 두 가지 유형인 동시다발적 유형과 연속적 유형이 결합되어 발생하는 유형

연구자(년도)	복합재난 정의
Di Mauro et al. (2006) & 오윤경 (2018)	• 재난관리의 복합위험적 접근 (multi-risk approach)에 대해 “복수의 위해요소(multiple hazardous sources)와 복수의 취약요소(multiple vulnerable elements)들이 시공간이 일치하는 상황에 서 결합된 위험(risk)” • 복수의 위해요소는 다음의 3가지 유형으로 구분하여 볼 수 있음 1) 서로 다른 위해요소들이 같은 지역적 범위 내에 퍼져 있는 것 2) 하나의 위해요소로 인한 사건이 다른 사건을 발생시키는 도미노 또는 연쇄효과 3) 두 개 이상의 위해 사건들이 인과관계 없이 동시다발적으로 발생하는 것

자료: 한국건설기술연구원 2016, 박미리 외 2016, 윤동근 2017, Marzocchi et al 2012, 정지범 외 2015, 하각천 2012, 인철현 외 2011, 이재은 외 2014, 오윤경 2013, 2018, 남기훈 2013, Di Mauro et al. 2006, 저자 재작성

본 연구에서 정의한 복합재난의 개념적 정의의 타당성을 검토하기 위해 전문가를 대상으로 설문조사를 수행하였으며, 전체 응답자의 약 80%가 본 연구에서 정의한 복합재난의 개념에 동의하였다. 본 연구에서 제시한 복합재난의 정의를 일부 동의하지 않은 설문조사 인원의 20%는 복합재난이 자연재해뿐만 아니라 사회재난에서 기인할 수 있다는 점을 지적하였다. 하지만, 일반적으로 복합재난을 Natech(Natural Disaster Triggered Technological Disaster)으로 정의하고 있어, 복합재난을 자연재해에 기인한 재해에 한정해도 무리가 없는 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 재해취약성 분석결과를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립의 제고를 목표로 하고 있기 때문에, 재해취약성 분석의 대상재해인 6대 자연재해를 복합재난의 시작점으로 연구범위를 설정하였다.

복합재난 관리를 위해서는 복합재난의 차별화된 특징인 “복수의 위해요소(multiple hazardous sources)와 복수의 취약요소(multiple vulnerable elements)들이 시공간이 일치하는 상황에서 결합된 위험(risk)”(Di Mauro 외, 2006)이라는 점을 인식하는 것이 필요하다. 복수의 위해요소에 대해 ① 서로 다른 위해요소들이 같은 지역적 범위 내에 퍼져 있는 것, ② 하나의 위해요소로 인한 사건이 다른 사건을 발생시키는 도미노 또는 연쇄효과, ③ 두 개 이상의 위해 사건들이 인과관계 없이 동시다발적으로 발생하는 것(Di Mauro 외, 2006)으로 설명하고 있다. ‘복수의 취약요소’는 다양한 피해대상물이 노출되어 있는 것(Di Mauro 외, 2006)으로 제시된다. 복합재난은 위해요소(재난발생의 원인)의 복합성뿐만 아니라 취약요

소(피해대상물)의 복합성을 포함하며, 피해의 주 대상인 우리나라 도시환경이 90%이상의 도시화율을 보임에 따라 복합재난을 새로운 형태의 재난으로 인식하고 차별화된 접근이 필요하다(오윤경, 2018).

이러한 상황에서 복합재난 관리를 위한 기본적 관점을 기존의 단일 위험적 접근(single-risk approach)에서 복합 위험적 접근(multi-risk approach)으로 전환이 필요하다. 재난관리에 대한 단일 위험적 접근이 위해요소 중심으로 이루어졌던 것에 반해, 복합 위험적 접근은 복수의 위해요소에 대한 지역기반의 취약성 평가 수행이 중요하다. 복합재난 관리는 원인이 되는 재난유형에 초점을 맞추는 것이 아니라, 피해의 대상이 되는 지역에 관심을 갖고 취약성을 파악하여 관리전략을 수립해야 한다.

선행연구 등을 바탕으로 복합재난 관리를 위한 주요 쟁점을 살펴보면, 기존의 재난관리체계가 위해요인 중심으로 구성, 책임소재의 불명확성, 복구의 장기화 등의 문제가 있다. 기존의 재난관리체계는 위해요인 중심으로 구축되어 있어 복합재난을 관리하는데 한계가 있다. 위해요인 중심의 재난관리는 재난을 야기하는 원인에 따라 자연재난, 인위재난, 사회적 재난 등으로 분류하는 「재난 및 안전관리 기본법」이 취하고 있는 접근법이며 미국의 「스태포드 법(Stafford Act)」 역시 여기에 속한다. 재난의 원인을 나열하고 각각의 재난 특성에 따라 대응하는 업무 분장을 명확하게 할 수 있다는 점에서 현대 관료제적 정부 구조에 가장 적합한 재난 정의 방식이다.

하지만, 복합재난의 경우 책임소재의 불명확성 문제가 나타난다. 대형복합재난의 가장 큰 특징인 '복합화'는 이러한 위해요인이 동시적, 연쇄적으로 발생한다는 데에 있으며, 책임관계가 모호해지고 불확실성이 가중되기 때문에 위해요인에 의해 구분된 정의에 따른 업무체계 작동이 어렵다. 이러한 대형복합재난에 대응하기 위해서는 위해요인별 접근보다는 피해규모와 사회적 취약성을 고려하여 포괄적("all-hazard")으로 접근이 필요하다. 복합재난의 주요 특징 중 하나는 복구의 장기화이다. 복합재난은 동시다발적·연쇄적인 발생에 따른 피해 규모의 대형화와 불확실성에 의해 피해 복구 및 대응의 장기화 경향을 보인다. 복구 시 책임의 불분명함으로 인해 사회적 갈등이 유발되며, 책임의 소재를 밝히는 과정이 지연될수록 갈등심화 및 복구지연 우려가 있다(오윤

경, 2018). 특히, 복합재난은 복구가 장기화되는 특징이 있기 때문에 본 연구에서는 일반적인 재해대응 단계인 예방, 대비, 대응, 복구에서 도시계획적 대책에 한계가 있는 대비를 제외하고, 복구를 단기와 장기로 나누어서 재해 대응단계를 예방, 대응, 단기복구, 장기복구로 구분하였다.

복합재난의 차별화된 특성과 주요 쟁점이슈들을 해결하기 위한 해외 복합재난 관리체계 변화를 살펴보면, 포괄적이고 총체적인 재난관리 체계 구축을 강조하고 협업체계를 강화하는 경향을 보이고 있다.

먼저 미국의 경우를 보면, 미국의 재난관리의 기본이 되는 지침인 NRF (National Response Framework)에서 대형 복합재난의 심각성을 고려하여 국가적 대응체계의 필요성과 포괄적이고 총체적인 재난관리 체계구축의 필요성을 강조하고 있다. NRF는 미국 연방정부가 모든 유형의 재난과 비상상황에 대응하는 방법에 대한 안내서, 다시 말해 연방차원의 재난관리 매뉴얼이다(FEMA, 2008a). NRF 내용 중 대형재난 부분은 '재앙적 사고 부속서(Catastrophic Incident Annex)'와 '대규모 대피 사고 부속서(Mass Evacuation Incident Annex)'에 포함되어 있다(FEMA, 2008b, FEMA 2008c). '재앙적 사고 부속서'에서는 복합재난을 "대규모 사상자와 피해를 동반하여 사람·기반시설·환경·경제 등 정부 기능에 막대한 영향을 끼치는 자연재해와 인위재해"라고 규정하여 대형 재난을 규정하고 있다. '대규모 대피 사고 부속서(Mass Evacuation Incident Annex)'에서는 연방차원의 대응이 필요한 대규모 사고로서 연방, 주, 지역의 지원을 통합하기 위하여 대국민 대피방법, 정부기관의 역할과 책무 등의 총괄적인 안내가이드라인을 제시하고 있다. 즉, NRF에서는 모든 재난이 대형복합재난으로 전개될 수 있으며, 지역 간·부처 간·국가 간 협력체계에 대해서 강조하고 있다. 또한, 대형 복합재난은 국가적인 위기상황을 초래할 가능성을 내포하기 때문에 국가적 대응체계가 필요하며, 위험에 대해 미리 예측하고 평가하는 포괄적이고 총체적인 재난관리 체계의 구축 필요성을 강조하고 있다.

일본의 경우도 「재난대책기본법」에서 협업을 통한 복합재난 대응의 필요성을 강조하고 있다. 「재난대책기본법」에서는 방재책임, 방재조직, 방재계획, 재해복구 등을 규정

하고 있으며, 다양한 재해의 종류에 따라 재해대응단계별 대처방안을 체계적으로 제시하고 있다. 또한, 방재기본계획[4]에서는 긴급대응이 필요한 대규모 복합재난을 대상으로 대응방법을 체계적으로 제시하고 있다. 방재기본계획에서는 지진, 풍수해 등 주요 재해를 대상으로 1장에서는 예방, 2장에서는 응급대책, 3장에서는 복구 및 부흥을 중심으로 관련 계획을 수립하고 있다. 특히, 2장인 응급대책에서는 복합재해방지활동(複合災害の防止活動)에 대하여 다루고 있으며 부처 간 협업을 강조하고 있다.

결국, 복합재난 관리는 위해요소별 관리보다는 일정규모 이상(시·군·구 단위)의 지역을 대상으로 포괄적 관리가 필요하며, 도시의 기능회복과 더불어 회복 이상의 도시기능 재설계에도 초점을 둘 필요가 있다. 복합재난은 자연재해와 사회재난이 연쇄 혹은 동시다발적으로 발생하는 재난으로 피해가 극심하여 범부처의 통합적 대응이 필요하다(행정안전부, 2018). 따라서, 복합재난 관리는 원인이 되는 재난유형에 초점을 맞추는 것이 아니라, 피해의 대상이 되는 지역에 관심을 갖고 취약성을 파악하는 것에 초점을 맞추고 접근할 필요가 있다(Di Mauro 외, 2006). 복합재난으로 인한 대규모 피해는 ① 최소 시・ 군・구 단위 규모의 광범위한 지역에서 발생한 피해로, 주된 원인은 태풍, 해일, 홍수 등과 같은 자연재해이며, ② 주요 기반시설이 파괴되어 도시기능 회복을 위한 도시 재설계 차원의 종합복구가 필요한 피해를 의미한다(Kim, 2014; Kang, 2015). 복합재난 관련하여 피해 복구는 기존의 대규모 재난과 달리 그 피해의 복구가 복구 자체에 머무르는 것이 아니라 파괴된 도시 기능을 회복하고 회복 이상의 도시기능 재설계에 방점이 있다(엄영호 외, 2017).

4. 선행연구 검토 및 본 연구와의 차별성

본 연구주제인 복합재난 대응 도시방재 관련 연구는 크게 복합재난 연구와 재해 예방형 도시계획 연구로 구분할 수 있다. 먼저 복합재난 관련 선행연구는 <표 1-2>의

4) 방재기본계획은 일본의 재난대응체계의 바탕이 되는 재난관리 분야의 최상위 계획으로 재해대책기본법에 의거하여 중앙방재회의에서 구축되는 계획임

1~6번 연구들이 있지만, 아직 복합재난의 정의가 마련되지 않았기 때문에 복합재난의 개념, 특징, 관리방향을 이론적으로 제시하는 연구가 대부분을 차지하고 있다. 최근에는 대규모 R&D과제를 통해 일부 시설물 등을 중심으로 정밀하게 복합재난 확산과정 등을 연구하거나, 자연재해와 사회재난의 결합 시나리오 등을 활용하여 지역의 피해액 등을 추정하는 연구가 있지만 초창기 단계의 연구 수준이다. 또한, 복합재난 대응을 위한 도시계획적 대책 차원에서 공간적 취약성 및 복합재난 대응 단계별 특징을 고려한 대책을 제시하는 연구는 거의 없는 실정이다.

재해 예방형 도시계획 관련 연구는 2011년 우면산 산사태를 전후로 기후변화를 고려한 도시방재 대책이 중요시되면서 수행된 연구(7~11번)가 주를 이루고 있다. 재해취약성 분석제도 수립 이전인 2011년 이전에는 재해취약성 분석과 재해 예방형 도시계획 제도의 필요성 관련 도시방재 대책 등을 인벤토리 형태로 제공하는 연구(7, 8번)가 주를 이루고 있다. 재해 취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 제도가 운영된 이후에는 수문 모델링을 활용한 분석 및 시스템 개발 연구가 수행되었지만, 시스템 분석의 한계 등으로 현실에서 활용되는데는 한계가 있는 실정이다. 현재 지자체에서 2014년부터 재해취약성 분석과 재해 예방형 도시계획 제도가 운영되고는 있지만, 재해 취약성 분석결과 취약등급(I, II 등급)이 많아 우선적으로 대책수립 지역을 도출하는데 한계가 있으며, 재해 예방형 도시계획 대책도 인벤토리 형태로 제공되기 때문에 실효성 있는 대책마련에는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 재해에 취약한 지역을 중심으로 복합재난까지 고려한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립 방향을 제시하여 기존 연구와의 차별성을 명확히 한다. 본 연구에서는 이를 위해 우선 복합재난 대응 단계별 특징을 고려한 관리지도를 구축 및 적용하는 방법을 제시하고, 재해취약성 분석결과와 복합재난 관리지도를 병행·활용하여 재해취약지역 중 특히 복합재난 관리가 필요한 지역을 중심으로 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립방향을 제시한다. 또한, 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 제도의 실효성 제고 방안 등을 정책적으로 제시하고자 한다.

표 1-2 | 주요 선행연구 및 본 연구의 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
복합재난 관련 주요 선행연구	1	• 과제명: 초대형 중대재난 시나리오의 발굴 및 사전 대응체계의 마련 • 연구자: 허준영(2012) • 연구목적: 미래재난 환경 변화와 미래재난 분석	• 문헌 및 인터넷조사 • 사례분석 및 현황분석 • 전문가 워크숍 • 전문가 설문조사 • 업무협의회 운영	• 미래재난의 변화양상과 특성에 대한 델파이 분석 • 미래 초대형 중대재난의 개념 도출 및 예측 • 유형별 주요 미래재난 전개 시나리오의 발굴 • 미래재난에 대비한 한국형 재난관리 대응모델 구축
	2	• 과제명: Natech 재난관리방안 연구 • 연구자: 오윤경(2013) • 연구목적: Natech재난의 개념 및 특징을 소개하고, 사례 및 우리나라의 관련 현황을 파악하여 Natech 재난관리의 주요과제를 도출	• 문헌 및 인터넷조사 • 사례분석 및 현황분석 • 전문가 워크숍 • 전문가 서면 심층인터뷰 • 업무협의회 운영	• Natech재난의 이론적 배경 및 선행연구 분석 • Natech재난의 사례분석 • 국내 자연·기술 복합재난의 정책 및 현황 분석 • 자연·기술 복합재난관리의 주요쟁점 및 개선방안 도출을 위한 전문가 조사
	3	• 과제명: 복합적 미래예측방법론 분석을 통한 미래재난예측기법 개발 • 연구자: 김대곤 외(2013) • 연구목적: 미래연구 절차를 일반화하고 방법론들의 적용을 통해 미래사회위험에 대한 이슈 발굴과 그로부터 재난으로 확장된 미래재난 시나리오의 개발 과정을 연구	• 문헌 및 인터넷조사 • 사례분석 및 현황분석 • 전문가 워크숍 • 전문가 설문조사 • 업무협의회 운영	• 미래재난 예측 방법론 선행연구 • 미래재난예측 기법 개발 • 미래재난예측 시나리오 도출 • 글로벌 리스크에 대한 국내 이슈 도출
	4	• 과제명: 복합재난 모델링 & 시뮬레이션 기반체계 • 연구자: 미래창조과학부(2013) • 연구목적: 복합재난의 개념 모델 정립 및 복합재난 발견/탐지를 위한 개별 재난모델과의 통합연동 모델링 개발	• 문헌 및 인터넷조사 • 사례분석 및 현황분석 • 전문가 설문조사 • 업무협의회 운영	• 복합재난의 연쇄 작용 관련 기반체계 개발 • 복합재난 요소/요인 간 교차분석 기법 연구 • 복합재난의 연쇄작용 인프라 모델 개발
	5	• 과제명: 개방형 플랫폼 기반 초고층·복합시설 재난·재해 대응 통합 CPS 구축 • 연구자: 백용(2019) • 연구목적: 지진, 화재, 침수 등의 자연재해를 대상으로 초고층, 복합시설물의 피해를 저감하기 위한 목적으로 통합 CPS (Cyber-Physical System)을 구축	• 최적 계측 매트릭스 구축 • 데이터 연동 및 시뮬레이션 • 지반-구조물 연계 안전성/위험도 평가기법/관리기준 • 재난대응 피난시스템 구축 • 재난재해 대응 통합 CPS 적용 등	• 재난재해 정보수집 시스템 개발 • 복합재난 분석 및 거동예측기법 개발 • 조기대응 및 신속 복구기술 개발 • 재난재해 대응 초고층·복합 시설물 통합정보 플랫폼 개발

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
재해예방형 도시계획 관련 주요 선행연구	6	• 과제명: 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(Ⅰ),(Ⅱ) • 연구자: 심우배 외(2009), (2010) • 연구목적: 기후변화를 고려한 도시 재해위험요소를 분석하여 기후변화 및 재해에 안전한 통합재해대응 도시 구축방향 및 제도개선방안 제시	• 문헌 및 인터넷조사 • 현장 및 관련 공무원 면담조사 • 전문가 설문조사 • GIS기법 활용 • 전문가 자문 • 업무협의회 운영	• 기후변화가 도시에 미치는 영향 고찰 • 기후변화 대응 재해관리 현황 분석 • 외국의 기후변화 대응 재해관리 사례 분석 • 기후변화에 안전한 통합재해대응 도시 구축방향 및 정책과제 제시
	7	• 과제명: 기후변화 적응도시 조성방안 연구 • 연구자: 심우배 외(2011~2013) • 연구목적: 취약성 평가방법 개발 및 재해 예방형 도시계획 제도 도입	• 문헌 및 인터넷조사 • 현장 및 관련 공무원 면담조사 • 전문가 설문조사 • GIS기법 활용 • 전문가 자문 • 업무협의회 운영	• 도시 기후변화 취약성 평가방법 정립 및 취약성 평가 • 도시 기후변화 적응요소 확보 및 적응능력 제고 • 기후변화 적응도시 모델 개발 및 실현
	8	• 과제명: 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발 • 연구자: 심우배 외(2011~2015) • 연구목적: 초대형 폭우재해에 대한 도시의 위험 분산 및 근본적인 재해위험해소와 관련 시스템 및 도시설계 기술 개발	• 수문모델 분석 • 시스템 개발 • 전문가 설문조사 • GIS 기법	• 초대형 폭우재해에 대한 도시의 위험 분산 및 근본적인 재해위험 해소 • 기후변화 적응 안전도시 시스템 구축 • 도시 기후변화 폭우재해 예측 시스템 개발 • 기후변화 폭우재해적응 도시설계 기술개발
	9	• 과제명: 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현 • 연구자: 이상은 외(2016~2018) • 연구목적: 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 도시방재 대책 제시	• 수문모델 분석 • 시스템 개발 • 전문가 설문조사 • GIS 기법	• 도시침수 위험도 프로파일 개발 • 도시침수 기초자료 구축 • 중점관리 대상지역 기술지원
	10	• 과제명: 도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측, 평가 및 통합 관리기술 개발 • 연구자: 정상만 외(2013~2017) • 연구목적: 도심지 토사재해 관련 취약성 평가, 대책 및 방어기술 개발	• 수문모델 분석 • 토사모델 분석 • 시스템 개발 • 전문가 설문조사 • GIS 기법	• 도심지 토사재해 취약성 평가 및 기술개발 • 도시구조 맞춤형 토사재해 대책 및 방어기술 • 도심지 토사재해 예측 3D 시뮬레이션 기술개발 및 통합관리시스템 구축 • 도심지 토사재해 예방 및 복구를 위한 통합관리기술 개발

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
본 연구	• 복합재난의 대응단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 특징을 고려하여 복합재난 관리지도를 구축하는 방법을 개발하고, 이를 도시방재 정책과 연계한 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립방향을 제시	• 문헌 및 인터넷 조사 • 현장조사 및 공무원 면담 • 전문가 브레인스토밍 및 설문조사 • GIS분석 등 공간분석 • 전문가 자문 • 연구협의회운영	• 국내·외 주요 도시방재 정책 현황 • 복합재난 대응단계별 주요 특징 및 시설요소 도출 • 복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용 • 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 대책 • 복합재난을 고려한 도시방재정책 개선방향

자료: 허준영 2012, 오윤경 2013, 김대곤외 2013, 미래창조과학부 2013, 백용 2019, 심우배 외 2009, 심우배 외 2011-2013, 심우배 외 2011-2015, 이상은 외 2016-2018, 정상만 외 2013-2017을 참고하여 저자 재구성

5. 연구의 정책적·학술적 기대효과

1) 정책적 기대효과

가장 우선적인 정책적 기대효과는 자연재해의 1차 피해에만 초점을 맞추고 있는 우리나라의 도시방재 정책을 복합재난까지 고려하도록 도시방재 정책을 개선하는 것이다. 현재 우리나라에서는 기후변화, 도시화를 고려하여 도시계획적 대책을 활용하는 도시방재 제도인 재해 취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획이 운영되고 있으며, 6개 기후변화 재해(폭우, 가뭄, 폭염, 폭설, 강풍, 해수면상승)를 대상으로 1차 피해에 초점을 맞춰 취약성을 분석하고 있다. 본 연구에서 개발하는 복합재난 대응단계별 관리지도를 활용하면, 1차 피해뿐만 아니라 사회적 재난으로까지 확대될 수 있는 복합재난을 고려한 취약지역을 도출하고, 재해 예방형 도시계획 대책을 수립할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

또한, 본 연구를 통해 인벤토리 형태로 제공되고 있는 현재의 재해 예방형 도시계획 대책을 지역 맞춤형으로 제시함으로써 도시방재 역량을 제고할 것으로 기대된다. 2015년부터 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」이 개정되어, 도시계획 수립 및 변경시 재해 취약성 분석이 의무화되었으며, 분석결과에 따라 지자체에서 자체적으로 재해 예방형

도시계획을 수립하고 있다. 하지만, 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 주요 대책들이 인벤토리 형태로만 제공되어 있고, 맞춤형 대책 마련에는 한계가 있어 도시방재 정책의 실효성 제고에는 어려움이 있는 실정이다. 본 연구를 통해 개발하는 복합재난 관리지도를 활용하여 지역의 특성을 고려하고 맞춤형 대책을 제시함으로써 도시방재 역량을 제고할 것으로 기대되고 있다.

또한, 도시방재 정책의 주요 문제점 도출 및 개선방향을 제시함으로써 관련 정책의 실효성을 제고할 것으로 기대된다. 원활한 도시방재 정책의 운영을 위해서는 재해취약성 분석 및 재해예방형 도시계획을 수립하는 지자체와 전문가, 검증 업무 등을 담당하고 있는 국토연구원의 연계가 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 도시방재 정책을 운영하면서 도출된 문제점을 정리하고, 각 기관의 역할 등을 명시하며, 도시방재 정책의 개선을 위한 다양한 정책을 제시하고 있어, 도시방재 정책의 실효성 제고가 기대된다.

2) 학술적 기대효과

본 연구의 학술적 기대효과는 복합재난 관리를 단순 시설물 관리 및 위해요소 관리에서 도시계획적 대책을 활용하는 지역관리로 재난관리 방향을 제시하고, 지역관리를 위한 관리지도 구축 및 활용 방법론을 제공함으로써 재난관리 역량을 확대하고 다양한 유관 분야에서 활용 가능성을 높인데 있다. 본 연구에서는 복합재난 대응단계별 특징을 고려하여 관리지도를 작성하는 방법을 제공함으로써 원활한 도시계획을 활용한 지역관리를 수행할 수 있는 방법론을 제시하고 있으며, 이는 다양한 유관분야에 활용되어 학술적으로 크게 기여할 것으로 생각된다.

또한, 복합재난 관리지도, 재해취약성 분석 결과 등을 상호 연계·활용하고, 각 분석 결과를 재해 예방형 도시계획 수립에 활용하는 방향을 제시함으로써 관련 분야에 다양하게 영향을 줄 것으로 기대된다. 본 연구에서는 복합재난 관리지도뿐만 아니라 재해취약성 분석결과 등 지역관리를 위한 다양한 지도를 상호 연계·활용하는 방법을 제시한다. 또한, 관련 결과를 종합하여 재해 예방형 도시계획에 활용함으로써 효과적인 지역관리 방향을 제시한다.

CHAPTER 2

국내·외 주요 도시방재 정책 현황

1. 자연재해에 의한 시설물 영향 | 25
2. 우리나라의 주요 도시방재 정책 | 33
3. 해외의 복합재난 대응을 위한 방재정책 | 41
4. 주요 시사점 | 47

CHAPTER 2

국내·외 주요 도시 방재 정책현황

본 장에서는 과거 우리나라에서 발생한 주요 재해사례별 국가기반시설 피해현황을 조사하고, 전문가 설문조사를 통해 각 시설이 크게 영향을 받을 수 있는 재해 유형에 대해서 분석한다. 또한, 우리나라의 기후변화 도시 재해취약성 분석과 재해 예방형 도시계획 제도, 특별재생지역 등 주요 도시방재 정책의 주요 내용 및 운영현황을 조사하고, 미국, 일본 등 주요 선진국의 복합재난 관련 방재정책도 조사한다.

1. 자연재해에 의한 시설물 영향

과거 우리나라의 자연재해 피해현황 및 관련 선행연구의 전문가 설문조사 내용 등을 검토해 보면, 우리나라에서는 여러가지 자연재해 중 특히 홍수가 국가기반시설에 가장 많은 영향을 미쳐 복합재난으로 악화될 가능성이 높은 것으로 나타났다. 피해현황부터 살펴보면 과거 유사 연구에서 조사하였듯, 아래 <표 2-2>와 같이 홍수에 의해 국가기반시설 피해가 발생한 경우가 가장 많았으며, 일부 폭설과 강풍에 의해서도 피해가 발생한 것을 확인할 수 있다. 또한, 과거 유사 연구의 전문가 설문조사 결과에서는 국토의 기능유지를 위해 도로, 철도뿐만 아니라 산업단지 등 기반시설 복구의 중요성이 강조된 것을 확인할 수 있다.

표 2-1 | 재해발생시 국토 기능 유지ㆍ회복을 위한 주요 국가기반시설 설문조사 결과

구분	국가기반시설	세부시설	기후변화 재해					
			홍수	가뭄	폭염	폭설	강풍	해수면 상승
국가기간교통시설	도로	고속국도	○	X	X	○	X	X
		일반국도	○	X	X	○	X	X
		국도대체우회도로	X	X	X	X	X	X
		국가지원지방도	△	X	X	X	X	X
	철도	고속철도	○	X	X	△	X	X
		광역철도	△	X	X	△	X	X
		일반철도	△	X	X	△	X	X
	항공	공항	△	X	X	○	△	X
	항만	무역항	X	X	X	X	X	○
	물류	복합물류터미널	△	X	X	X	X	X
		국가기간복합환승센터	△	X	X	X	X	X
댐	댐	특정용도댐	X	△	X	X	X	X
		다목적댐	△	△	X	X	X	X
산업단지	산업단지	국가산업단지	○	X	X	X	X	X

주: ○ - 14인 이상(70%), △ - 10~13인(50~70%), X - 0~12(50%미만)7
자료: 심우배 외 2012

표 2-2 | 주요 재해사례별 주요 국가기반시설 피해 현황

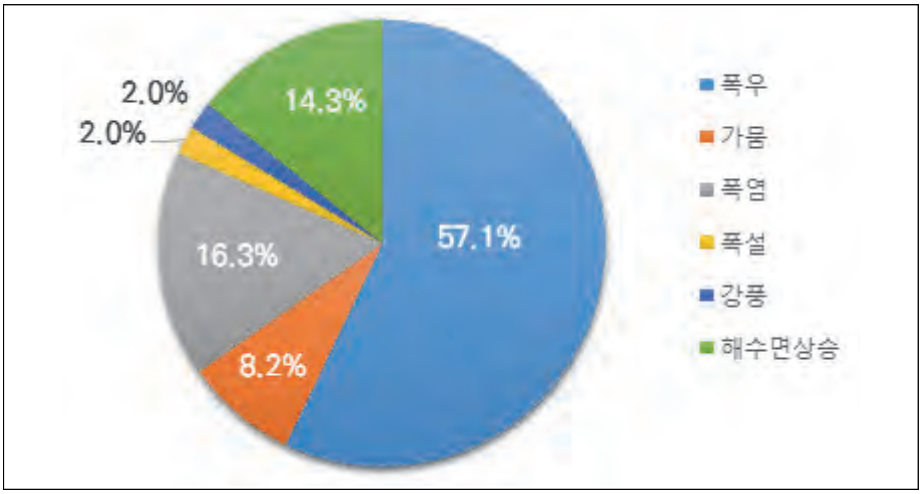
재해사례	인명피해				주요 국가기반시설 피해													건축물 피해				
					도로				철도				공항	항만			댐	산업단지					
	사망	실종	부상	이재민	붕괴	파손	침수	두절	붕괴	파손	침수	두절	결항	파손	침수	결항	파손	침수	붕괴	파손	침수	유실	고립
태풍 매미 (2003.09)	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X	X	X	○	○	X	X	○	○	X	○	X	X
태풍 루사 (2002.08)	○	○	X	○	○	○	○	X	○	○	X	X	X	X	○	X	○	○	○	X	○	X	X
중부지방 집중호우 (2011.07)	○	○	X	○	○	○	○	X	○	X	○	X	X	X	X	X	X	X	○	X	○	○	X
서울 집중호우 (2010.09)	X	X	X	X	○	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	○	X	X
평창 · 인제 집중호우 (2006.07)	○	○	X	○	○	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	○	X	X
파주 집중호우 ('96, '98, '99)	○	X	X	○	○	○	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	○	X	X
강원도 폭설 (2011.02)	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	○
중부지방 폭설 (2010.01)	X	X	○	X	X	X	X	○	X	X	X	○	○	X	X	○	X	X	○	X	X	X	X
충남 당진 폭설 (2009.01)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	X
중부지방 폭설 (2004.03)	X	X	X	○	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X	X
서울 강풍 (2010.09)	X	X	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X
대전 강풍 (2006.04)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	○	X	X	X
태백 가뭄 (2009)	X	X	X	○	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

주: ○ – 피해 있음, X – 피해 없음

자료: 심우배 외 2012

본 연구에서는 그간 변화된 우리나라의 기후환경과 재해 발생 양상을 반영하고, 본 연구의 주요 내용이 되는 재해별 기반시설 영향 등을 분석하기 위해 전문가 설문조사를 수행하였다. 자체 전문가 설문조사 수행 결과, 우리나라에 영향을 많이 미치는 자연재해[1] 중 복합재난으로 악화될 가능성이 높은 재해는 폭우(57.1%)라는 응답이 가장 많았다. 또한 각 재해유형에 대해 복합재난으로 악화될 가능성을 5점 리커트 척도법으로 조사한 결과 폭우의 평균 점수가 4.14점으로 가장 높아 전문가·담당자들은 가능성과 심각성 측면에서도 폭우의 복합재난 악화정도가 가장 큰 것으로 평가한 것을 확인할 수 있다. 나머지 재해 중에서는 폭염(16.3%), 해수면상승(14.3%)의 응답비율이 상대적으로 높았다.

그림 2-1 | 복합재난으로 악화될 가능성이 가장 높은 재해 유형



자료: 저자 작성

1) 우리나라에 가장 크게 영향을 미치는 자연재해는 재해취약성분석에서 대상으로 하는 6가지 자연재해(폭우, 가뭄, 폭염, 폭설, 강풍, 해수면상승)임

표 2-3 | 본 연구의 복합재난 정의에 대한 전문가·담당자 의견(설문조사 기준)

단위: 점, %

재해유형	폭우	가뭄	폭염	폭설	강풍	해수면상승
리커트척도 점수	4.14	3.06	2.98	3.22	3.14	3.47
'높음+매우높음' 응답비중	81.6%	36.7%	40.8%	42.9%	42.9%	55.1%

주: 리커트척도 점수 평균 계산 시에는 '매우낮음'=1점, '낮음'=2점, '보통'=3점, '높음'=4점, '매우높음'=5점으로 놓고 가중평균으로 계산하였음
자료: 저자 작성

본 연구에서는 재해별 기반시설의 영향 등을 위한 전문가 설문조사를 수행하기 위해 먼저 시설물 유형을 4가지로 구분하고 16개 세부시설 목록을 도출하였다. 시설물 도출 및 구분은 관련 법·제도와 기존 연구, 데이터 확보 가능성 등을 바탕으로 분류하였다. 먼저 가장 중심이 되는 참고 법률은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률(국토계획법)」으로, 국토계획법 제2조제6항에 제시된 기반시설의 분류를 뼈대로 하였다. 국토계획법상 분류에 구체성이 부족한 부분은 「재난 및 안전관리 기본법(재난안전법)」과 「사회기반시설에 대한 민간투자법(민간투자법)」에 기초하여 보완하였다.

구체적으로 적용한 기반시설 도출 및 분류 기준을 설명하고자 한다. 먼저, 「국토계획법」 제2조제6호에 따라 정의된 기반시설들은 다음과 같이 본 연구의 시설 분류에 적용하였다. 도로, 철도, 항만·공항·주차장 등 교통시설은 그대로 반영하되, 도로의 경우 「도로법」 상 고속국도를 의미하는 고속도로와 일반국도 이하 특별·광역시도, 지방도, 시·군·구도를 의미하는 일반도로로 구분하였다. 이는 고속국도는 중앙정부(국토교통부)의 관할이나 일반국도부터는 해당 지자체가 도로관리청이 되는 경우[2]가 있으므로 관할권의 범주가 다른 문제가 있으며, 복합재난 발생 시 두 유형의 도로에 따라 영향이 달라질 수 있기 때문이다. 예컨대, 고속도로의 피해는 재해발생 지자체뿐만 아니라 피해받은 고속도로와 연계된 타 지자체까지 영향을 미치며, 중앙정부 차원에서 관리를 하지만, 일반국도 이하 일반도로의 경우 해당 지자체에서 자체적으로 대응 및 복

2) 「도로법」 제23조에 따라, 일반국도의 관리청은 기본적으로 국토교통부이기는 하나, 동(洞)지역의 일반국도는 해당 지자체가 관리청이 됨

구가 이루어지는 등 피해와 대응 및 복구 특성에 다소 차이가 있다.

「국토계획법」 상 유통업무설비는 '물류단지'로 반영하였고, 이는 「민간투자법」 제2조제1호에 정의된 물류터미널 및 물류단지를 포괄하기 위하여 정의된 것이다. 「국토계획법」 상 수도설비는 「재난안전법 시행령[3)]」 상 식용수 시설을 포괄하기 위해 '상·하수도시설'로 반영하였다. 「국토계획법」 상 '전기·가스공급설비', '방송·통신시설'은 그대로 반영하되, 데이터가 분리되어 있는 것을 감안하여 '전기공급시설'과 '열·가스공급 시설'로 구분하여 반영하였다. 이는 「재난안전법 시행령」 상 에너지 분야 및 정보통신 분야를 포괄한 것이다. 「국토계획법」 상 학교·체육시설과 광장·공원·녹지 등 공간시설은 복합재난 시 해당 시설의 역할을 고려하여 '대피·수용시설'로 반영하였다. 「국토계획법」 상 공공청사는 '관공서 등 컨트롤타워'와, '소방서', '경찰서'로 구분하여 반영하였는데 이는 「재난안전법 시행령」에서도 정부중요시설로 분류되어 있는 것이며, 복합재난 발생 시 역할이 서로 다르기 때문에 구분을 위하여 본 연구에서 세분화 한 것이다.

「국토계획법」 상 보건위생시설은 「재난안전법 시행령」의 보건의료 시설 분류를 고려하여 '병원·보건소'를 따로 분류하여 반영하였다. 그러나 「국토계획법」 상 보건위생시설은 장사시설을 포함하고 있는데, 장사시설 전체는 데이터 확보 어려움으로 반영하기 어렵고, 「재난안전법 시행령」 상 금융시설을 반영할 필요성도 있기 때문에 이를 '도시내 업무·상업 시설'로 묶어 반영하였다. 이외에 「국토계획법」 상 방재시설과 환경기초시설, 「재난안전법 시행령」 상 원자력 시설, 문화재 시설, 공동구 등이 있으나, 이들 시설의 경우 데이터 확보가 어렵거나 일반성이 없는, 특정 지역만 해당되는 시설이기 때문에 본 연구의 분석 범위를 벗어나 분류에서 제외하였다.

마지막으로 경제활동과 관련한 부분에서 누락된 기반시설인 산업단지에 대해서는 「민간투자법」 제2조제1호에 정의된 산업집적기반시설을 '산업단지'로 하여 반영하였다. 이러한 본 연구의 분류는 대체로 「국토계획법」 상 기반시설을 중심으로 하되 구체성이 부족한 부분은 「재난안전법」과 「민간투자법」의 정의로 보완한 것이며, 데이터 연

3) '별표 2'에 분야별 국가기반시설의 지정기준을 마련하고 있음

계성과 설문 편의성 등을 감안하여 일부 시설에 대해 통합 또는 분리하거나 의미를 직관화한 것이다. 이상 분류된 16개 기반시설을 재난과 연계된 특성에 따라 다음과 같이 '필수서비스공급시설', '경제활동기반시설', '교통기반시설', '구호 및 대응 시설'의 4가지로 분류하였다.

표 2-4 | 본 연구의 기반시설 분류

구분	내용	세부 시설
필수서비스공급시설	도시 거주자의 생존 및 최소생활 수준 유지를 위해 필요한 공급시설	상·하수도시설
		열·가스공급 시설
		전기공급 시설
		방송·통신 시설
경제활동기반시설	지역경제 생산활동의 중심지로서의 역할을 가지는 시설	산업단지
		물류단지
		도시 내 업무·상업시설
교통기반시설	일반 교통 관련 선형기반시설 및 거점	일반도로
		고속도로
		철도
		터미널/역사/항만/공항 등
구호 및 대응 시설	재난 및 복구 과정에서 중심역할을 하는 거점 시설	소방서
		병원/보건소 등 의료시설
		경찰서 등 치안유지 시설
		관공서 등 컨트롤타워
		대피시설 및 수용시설

자료: 저자 작성

위 분류를 바탕으로 재해별 기반시설 영향에 관하여 전문가 설문조사를 수행한 결과는 <표 2-5>와 같다. 응답자 49명을 대상으로 3개까지 중복응답을 허용한 전문가 설문조사 결과를 바탕으로, rank method를 활용하여 각 응답의 빈도를 5등급으로 나타내었다. 이 결과는 추후 본 연구에서 시설별 중요도를 나타낼 때 가중치 요소로 활용된다.

표 2-5 | 각 시설이 크게 영향을 받을 수 있는 재해 유형에 대한 설문조사 결과

기반시설 구분		6대 기후변화 재해					
대분류	세분류	폭우	가뭄	폭염	폭설	강풍	해수면 상승
필수 서비스 공급시설	상하수도시설	◈	◇	△	–	–	◇
	열가스공급시설	◇	–	▲	▲	△	△
	전기공급시설	◇	–	▲	▲	◇	△
	방송통신시설	◈	–	–	▲	◈	–
경제활동 기반시설	산업단지	◈	▲	▲	◇	△	△
	물류단지	◈	–	–	◈	▲	△
	도시내업무상업	◈	–	▲	◇	▲	–
교통 기반시설	일반도로	◈	–	△	◈	△	–
	고속도로	◈	–	△	◈	▲	–
	철도	◇	–	▲	◈	▲	–
	터미널/역사	◈	–	–	◈	◇	▲
구호 및 대응시설	소방서	◈	△	▲	◇	△	–
	병원	◇	△	◇	◇	△	–
	경찰서	◈	–	△	◇	△	–
	관공서	◈	–	△	◇	△	–
	대피수용시설	◈	–	▲	◇	△	△

주: ◈: 응답빈도 가장 높음, ◇: 응답빈도 2등급, ▲: 응답빈도 3등급, △: 응답빈도 4등급, –: 응답빈도 가장 낮음
자료: 저자작성

결과를 보면, 폭우는 대부분의 기반시설에 영향을 미치며, 폭설도 시설물에 미치는 영향이 높은 것으로 나타났다. 폭우의 경우 상·하수도시설, 물류단지, 대피·수용 시설에 영향이 큰 것으로 나타났으며, 폭설의 경우 도로, 철도, 물류단지 등 교통과 관련된 시설에 영향이 큰 것으로 나타났다. 강풍의 경우 방송·통신시설과 전기공급시설에 영향이 큰 것으로 나타난 반면, 나머지 가뭄, 폭염, 해수면상승의 경우 대체로 시설에 대한 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

시설별 결과 중 특징적인 시사점을 주는 결과는 다음과 같다. 주로 교통시설의 경우 폭우, 폭설에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 구호·대응시설의 경우 폭우, 폭설, 폭염에 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 경제활동 관련 시설 중 산업단지, 도시내

업무·상업 시설은 폭우에 가장 취약했으나 나머지 재해에 대해서도 고르게 영향을 받을 수 있는 것으로 나타났다.

이상 과거 연구 사례, 본 연구 설문조사 결과 등을 종합하여 본 연구에서는 6대 자연재해 중 폭우를 대상으로 복합재난 관리지도 활용방향을 제시하고자 한다.

2. 우리나라의 주요 도시방재 정책

1) 기후변화 도시 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획

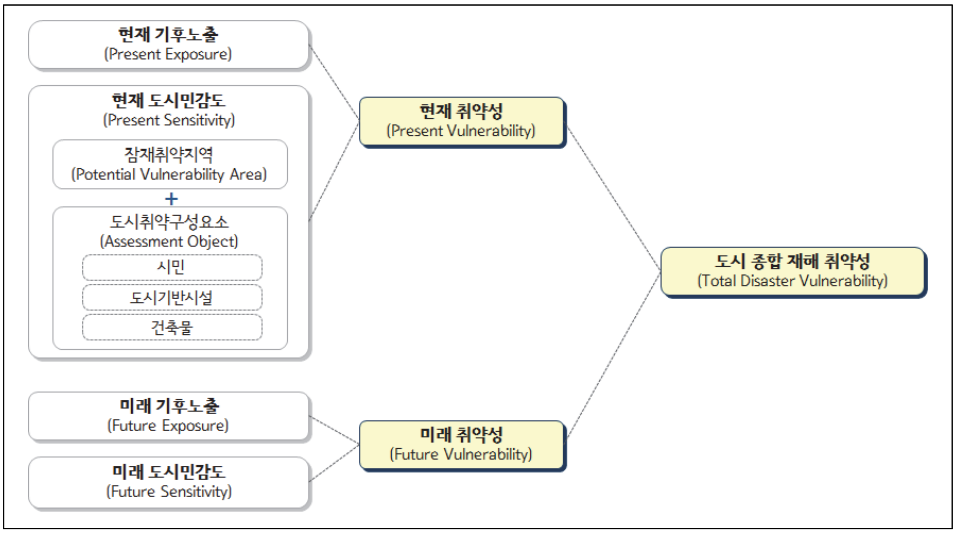
(1) 제도의 개요

우리나라에서 수행되고 있는 대표적인 도시방재 제도인 기후변화 도시 재해취약성 분석(이후 재해취약성 분석) 및 재해 예방형 도시계획 제도는 2011년 우면산 산사태를 계기로 제도화되었으며, 2015년에는 법률개정으로 지자체에서 도시계획 수립 시 기초조사로 분석하도록 의무화되었다. 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획이 제도화되는 과정을 보면, 2011년 12월에 도시계획수립지침 개정으로 재해취약성 분석 제도가 도입되었으며, 2013년 10월에는 재해취약성 분석 수행 매뉴얼이 구축되었다. 2015년 1월에는「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」개정으로 도시계획 수립 및 변경시 재해취약성 분석이 의무화되었고, 제도의 실효성 제고를 위해 2016년에 '도시 기후변화 재해취약성 분석 및 활용에 관한 지침'이 제정되었다. 재해취약성 분석은 지자체에서 수행하고 있으며, 2017년부터는 분석결과의 신뢰성 제고를 위해 국토연구원의 국가방재연구센터에서 재해취약성 분석결과 검증 업무를 수행하고 있다.

재해취약성 분석은 현재와 미래의 취약성을 종합하여 재해에 취약한 지역을 도출하는 방법으로, 취약한 지역을 대상으로는 재해 예방형 도시계획을 수립하도록 권장하고 있다. 재해취약성 분석에서 대상으로 수행하는 재해는 폭우, 가뭄, 폭염, 폭설, 강풍, 해수면 상승 등 6개 재해이며, 집계구 단위로 상대적인 취약성을 분석한다. 재해취약

성 분석 구조를 보면 크게 현재와 미래의 취약성을 기후노출과 도시민감도 지표를 활용하여 분석한다.

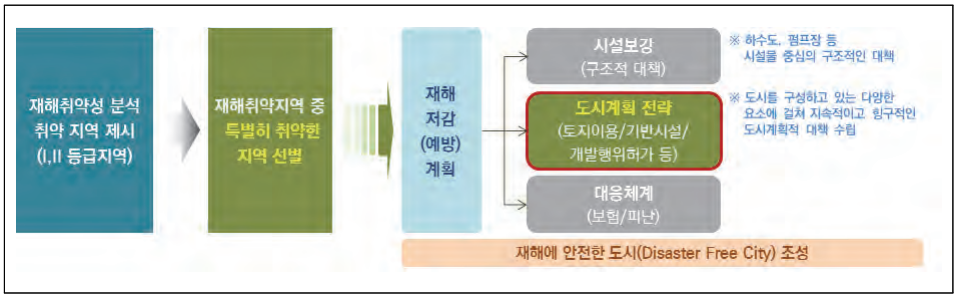
그림 2-2 | 재해취약성분석의 구조



자료: 국토교통부 2018, P9

재해 예방형 도시계획은 재해취약성 분석 결과인 재해에 특별히 취약한 지역을 대상으로 구조적 대책과 더불어 도시계획적 대책을 마련하여 재해피해를 최소화하는 도시방재 계획이다. 재해취약성 분석결과 I, II 등급으로 구분된 지역 중에서 특별히 취약한 지역을 선발하여 시설보강, 도시계획 전략, 대응체계 등 재해예방계획을 수립한다. 다시 말해, 재해 예방형 도시계획은 기후변화 재해에 안전한 도시공간 조성을 위해 도시 내 재해위험의 시·공간적 변화에 따른 재해취약지역 및 주변지역에 대한 도시계획적 대책 등을 종합적으로 고려하여 수립하는 적응전략계획이다.

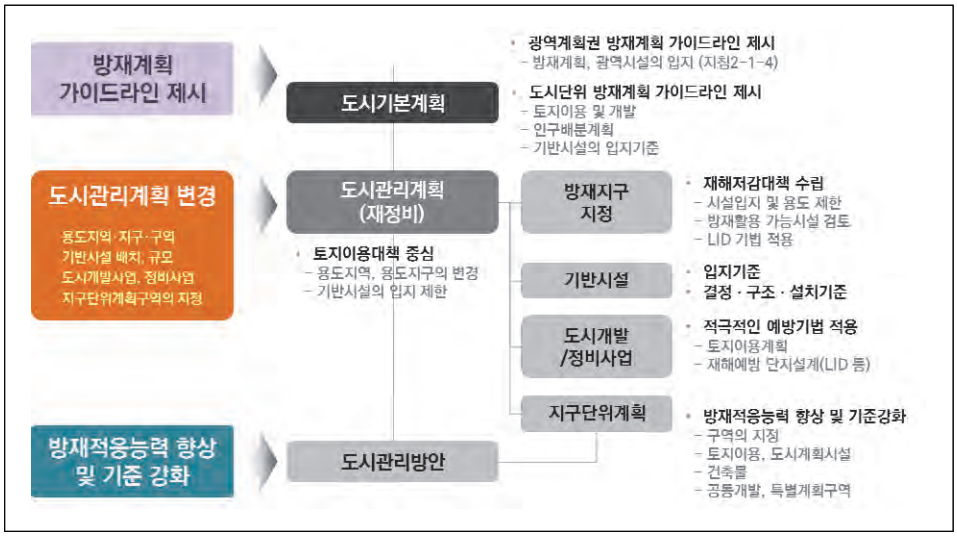
그림 2-3 | 재해예방형 도시계획 개념



자료: 국토연구원 2018, P5

재해 예방형 도시계획에서 재해취약지역에 대해 적용할 수 있는 도시계획적 기법은 토지이용, 기반시설, 건축물 등 크게 3가지로 구성되어 있으며, 도시·군기본 및 관리계획, 지구단위계획, 개별개발사업 등에 활용이 가능하다. 먼저, 토지이용대책은 재해특성 및 위험을 고려한 공간배치와 재해취약지역에 대한 용도배치 및 완충공간을 조성하는 대책이다. 기반시설 대책은 기존 또는 신규 도로, 공원, 녹지, 광장 등의 기반시설을 설치할 때 입지 및 방재성능(침투, 저류 등)을 검토하여 재해영향을 저감시키는 대책이다. 건축물 대책은 건축대지, 건축구조, 건축설비 등을 활용하여 건축물의 방재기능을 강화하는 대책이다. '도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침'에서는 각 계획 및 사업에서 재해 예방형 도시계획 수립을 적용하는 방향을 제시하고 있다. 현재 재해취약성 분석 및 검증은 법률적으로 의무화되어 있지만, 재해 예방형 도시계획 수립은 의무가 아니어서 지자체에서 자체적으로 수행하고 있다. 하지만, 제시하는 대책이 인벤토리 형태로만 제공되고 있어, 지역 맞춤형 대책 제시에는 한계가 있으며, 복합재난을 고려하지 못하는 실정이다.

그림 2-4 | 도시계획적 대책 적용을 위한 도시계획별 영역



자료: 국토연구원 2018, P7

(2) 제도의 운영 현황

현재(2019. 11)까지 재해취약성 분석을 수행한 지자체는 전체 대상 지자체(161개 지자체) 중 158개로 약 98%이며, 재해취약성 분석결과 검증을 수행한 지자체는 30개 지자체로 현재 재해취약성 분석제도가 확고히 자리잡고 있다. 재해취약성 분석을 수행해야 하는 조건을 보면 재해취약성 분석을 수행한지 5년이 경과한 지자체의 경우도 도시·군기본계획 수립·변경하거나 도시·군관리계획을 입안하는 경우 기초조사로 재해취약성 분석 재수행이 의무화되어 있다.

표 2-6 | 재해취약성분석 수행 및 검증 지자체 현황 (2019.10.)

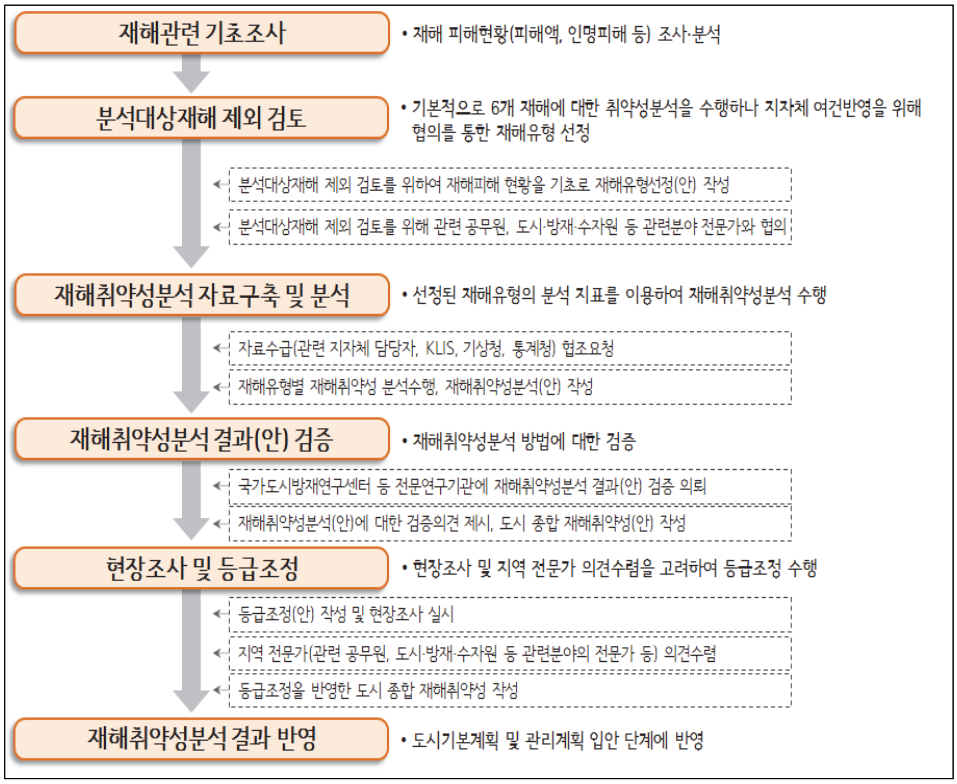
년도	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년
분석수행	1	34	67	34	14	8
검증수행	-	-	-	6	16	8

자료: 저자 작성

현재, 재해취약성 분석은 지자체에서 수행한 후 국토연구원에서 그 결과를 검증하고 있으며, 지자체에서 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용하도록 되어 있다. '재해취약성 분석 및 활용에 관한 지침'에서 제시하는 재해취약성 분석 결과의 활용 범위는 아래와 같다.

- 도시·군기본계획을 수립·변경하는 경우 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 기초자료로 활용
- 재해취약성 분석결과는 다음의 도시·군관리계획을 입안하는 경우 재해 예방을 위한 계획 수립의 기초자료로 활용
  - 용도지역·용도지구의 지정 또는 변경에 관한 계획
  - 도시·군계획시설의 설치·정비 또는 개량에 관한 계획
  - 도시개발사업 또는 정비사업에 관한 계획
  - 지구단위계획구역의 지정 또는 변경에 관한 계획 및 지구단위계획
- 대규모 재해발생지역 등에 재해저감대책 수립을 위한 기초자료
- 도시의 지속가능성을 강화하기 위해 재해 예방·대비·대응·복구가 포함된 도시 복원력 개념을 감안하여 수립

그림 2-5 | 재해취약성분석의 절차



자료: 국토교통부 2018, P5

재해 취약성 분석의 경우 의무적으로 수행되고 있지만, 재해 예방형 도시계획은 지자체에서 자체적으로 수행하고 있으며, 별도의 지원체계도 없어 제도의 실효성은 미흡하다. 본 연구의 사례지역인 수원시의 경우 2017년 재해취약성 분석을 수행하고 검증하여, 2018년에 '2030 수원도시기본계획(변경)'을 입안하였다. 하지만, 재해취약성 분석결과와 연계한 재해 예방형 도시계획 내용은 미흡하고, 일반적인 도시방재 관련 내용만 포함되어 있다. 또한, 도시·군관리계획을 입안하는 경우에도 거의 재해취약성 분석결과는 활용되지 못하고 있다. 재해취약성 분석 지침에는 재해 대응단계별 특징을 고려하여 도시의 복원력을 강화하도록 유도하고 있지만, 재해 예방, 대비, 대응, 복구

등 재해대응 단계를 고려한 복원력 개념을 감안한 대책마련도 포함되고 있지는 않은 실정이다.

실효성 있는 재해 예방형 도시계획 수립이 미흡한 주된 이유는 재해 예방형 도시계획 수행은 권장이며 컨설팅 등의 지원체계 미흡, 우선적으로 적용 가능한 지역 도출 미흡, 재해취약성 분석결과 등과 연계한 맞춤형 대책제시 등의 한계에 있다. 재해취약성 분석결과 1, 2등급의 취약지역을 중심으로 재해 예방형 도시계획 수립하도록 권장하고 재해취약성분석, 재해예방형 도시계획 수립 컨설팅(국토교통부, 2016), 방재지구 가이드라인(국토교통부, 2014) 등에서 재해 예방형 도시계획 대책을 제시하고는 있지만, 인벤토리 형태로 제공하고 있기 때문에 맞춤형 대책 제시에는 한계가 있다.

하지만, 최근 도시방재의 중요성이 부각되어 관련 법정계획 등에서 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 내용이 포함되고 있어, 실효성 있는 재해 예방형 도시계획 수립마련은 시급한 실정이다. 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 관련 내용을 포함하는 법정계획에는 제2차 국가기후변화적응대책 세부시행계획, 제3차 녹색성장 5개년 계획(2019~2023), 제3차 국가안전관리기본계획(2015~2019), 제4차 국가안전관리기본계획(2020~2024) 등이 있다. 특히, 제3차 녹색성장 5개년 계획에서는 재해취약성분석에 근거한 재해예방형 도시계획수립율을 핵심 목표지표로 제시하고 있어, 도시방재 정책의 실효성 있는 운영의 중요성은 더욱 높아지고 있다.

2) 특별재생지역

특별재생지역 제도는 2017년 포항지진을 계기로 2018년 「도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법」(이후 특별법) 개정으로 신설된 제도이다. 특별법 제2조 제1항 제8호의 2에 따르면, “특별재생지역”이란 「재난 및 안전관리 기본법」에 따른 특별재난지역으로 선포된 지역 중 피해지역의 주택 및 기반시설 등 정비, 재난예방 및 대응, 피해지역 주민의 심리적 안정 및 지역공동체 활성화를 위하여 국가와 지방자치단체가 도시재생을 긴급하고 효과적으로 실시하여야 할 필요가 있는 지역으로 정의하고 있다. 특별법 제 35조 제1항에 따르면 특별재생지역 지정요건은 「재난 및 안전관리 기본법」에 따

른 특별재난지역으로 선포된 지역 중 국토교통부장관이 정하여 고시하는 금액[4] 이상의 대규모 재난 피해가 발생한 지역으로 다음 각 호의 사항을 모두 충족하는 지역을 전략계획수립권자의 요청에 따라 특별재생지역으로 지정 가능하다고 명시하고 있다.

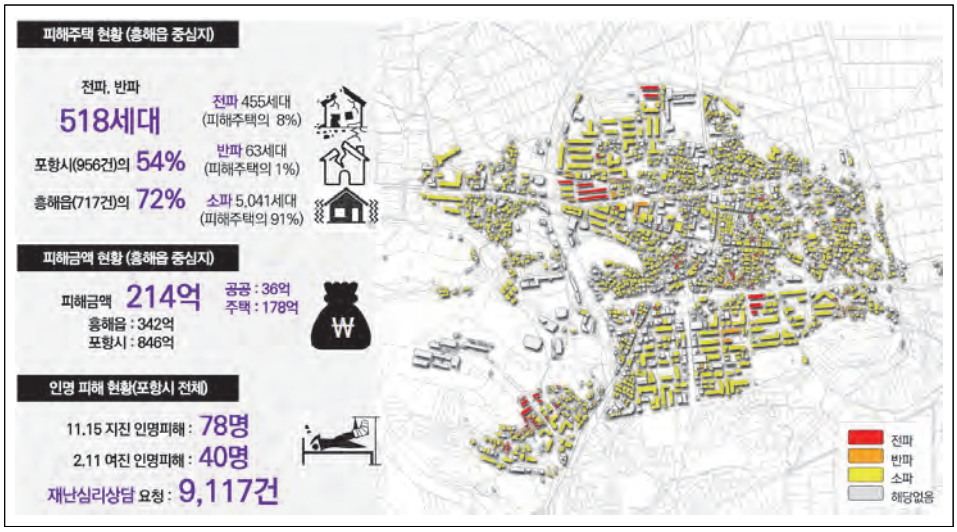
① 주택의 전부 또는 일부가 파손되어 주거안정을 위한 주택 정비 및 공급이 필요한 지역

② 재난이 발생하여 기반시설의 전부 또는 일부가 파손되고 추가 재난피해의 방지 및 대응을 위하여 기반시설 정비가 필요한 지역

③ 피해지역 주민의 심리적 안정 및 지역공동체 활성화가 필요한 지역

2017년 포항지진 당시 피해가 극심했던 흥해시장을 중심으로 특별재생지역이 지정되었으며, 현재 특별재생지역 활성화 계획을 수립 중에 있다.

그림 2-6 | 흥해시장 주변 지진피해 현황



자료: 포항시 2018

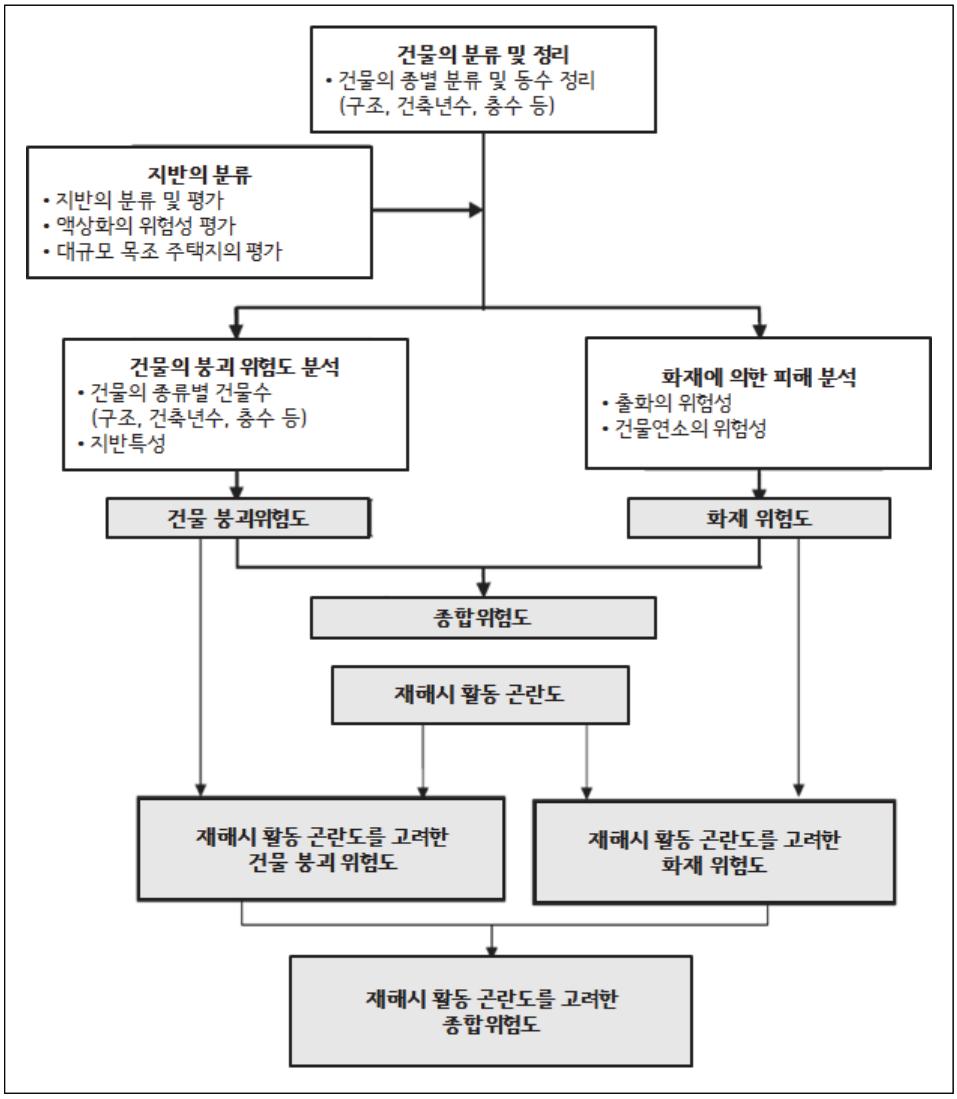
4) 단일면적 기준 100만 m^2 범위내에서 전체 피해금액 합계가 100억원 이상이며, 기반시설 피해액은 20억원 이상, 주택 피해액은 60억원 이상

3. 해외의 복합재난 대응을 위한 방재정책

1) 일본의 활동곤란도를 고려한 재해위험도 판정

일본에서는 단순 재해발생 가능성만 표시하는 재해위험지도에 더해서 추가적인 상황 판단용 정보를 수록한 지도를 제공하고 있다. 동경도의 지진에 관한 지역위험도 측정 조사는 동경도 지진재해 대책 조례 12조에 근거하여 5년마다 측정하는 조사이며, 동일본 대지진 이후 재해 위험도 판정이 보완되었다. 지역위험도 측정은 건물 붕괴위험도와 화재위험도를 종합한 종합위험도 위주의 위험도 판정에서 활동곤란도를 활용한 '재해시 활동 곤란도를 고려한 종합 위험도'로 분석이 보완되었다. 이는 재해발생시 활동의 곤란도를 평가하기 위해 지역 도로망의 조밀도와 도로폭이 넓은 도로의 정비정도 등 도로 기반의 정비 상황을 평가하는 것을 의미한다.

그림 2-7 | 지역위험도 측정 조사 체계

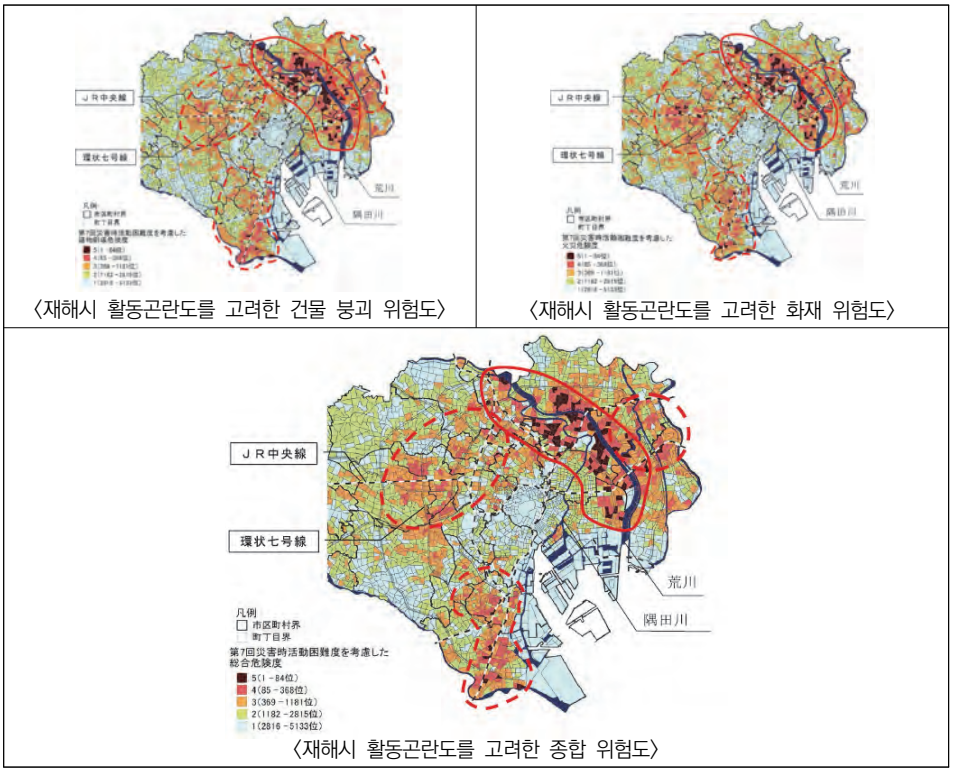


자료: 도쿄도 도시정비국 2013

활동 곤란도를 고려한 종합위험도는 기존의 방법에 재해 발생시 활동 곤란도를 고려한 지표를 추가하여 분석하며, 종합위험도는 크게 5 등급으로 분류하여 공간적으로 제시한다. 종합위험도는 재해 시 활동 곤란도를 고려한 건물붕괴 위험도와 화재위험도는 각각의 위험량에 지역 도로망의 조밀도, 도로폭, 정비정도 등을 정량화한 재해시 활동 곤란도를 적용하여 산정한다.

재해시 활동 곤란도를 고려한 건물 붕괴 위험도
= 건물 붕괴 위험량(건물동수/ha) × 재해시 활동 곤란도
재해시 활동 곤란도를 고려한 화재 위험도
= 화재 위험량(건물동수/ha) × 재해시 활동 곤란도

그림 2-8 | 활동 곤란도를 적용한 위험도 예시



〈재해시 활동곤란도를 고려한 건물 붕괴 위험도〉

〈재해시 활동곤란도를 고려한 화재 위험도〉

〈재해시 활동곤란도를 고려한 종합 위험도〉

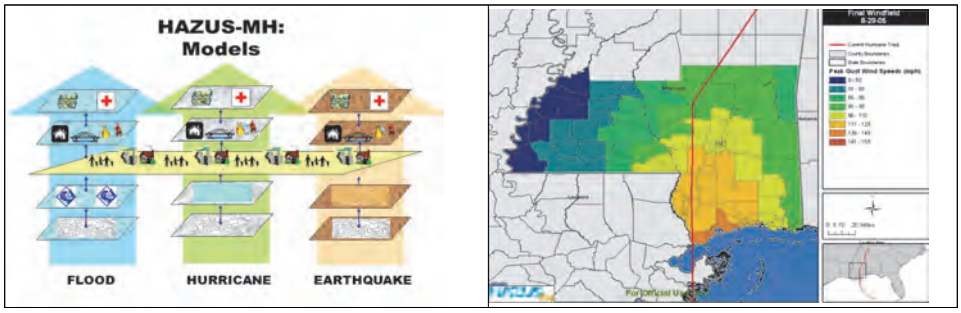
자료: 도쿄도 도시정비국 2013

2) 미국의 재해피해예측 모델 HAZUS

미국 연방재난관리청(FEMA)에서는 GIS 기반으로 재해의 피해를 평가 및 예측하기 위해 HAZUS 모델을 개발하여 활용하고 있다. FEMA에서는 지진 재해에 따른 경제적 손실을 평가 및 예측하기 위해 HAZUS 모델을 1997년 개발했으며, 현재에는 3가지 재해(홍수, 허리케인, 지진)에 대한 모델링이 가능한 HAZUS-MH 3.0을 개발하였다. HAZUS-MH는 재해에 취약한 지역을 찾아내고 피해지역에 영향을 미치는 재해의 수위나 강도에 관한 특성을 파악하여 경제적 손실 및 건물·시설 등의 구조적 손상과 같은 잠재적 피해를 예측한다. HAZUS-MH는 직접적인 피해 예측뿐만 아니라 산업, 필요 대피소, 인명, 긴급대응, 교통, 주요시설물, 상수도, 전력, 교통 등에 대한 간접적인 영향도 예측하고 있다.

HAZUS-MH의 피해예측 결과를 바탕으로 지자체는 예방뿐만 아니라 재해진행에 따른 피해발생 가능성을 예측함으로써 피해저감 계획 및 대응전략 수립 등의 의사결정에 활용하고 있다. 그러나, HAZUS의 정보는 주민 대피나 피해지역 확산 방지와 같은 개별적이고 단기적인 대책마련에 치중되어 있으며, 도시 및 지역관리 차원의 종합적인 대비전략 수립은 아직 미흡한 실정이다.

그림 2-9 | HAZUS-MH의 정보제공 사례 예시

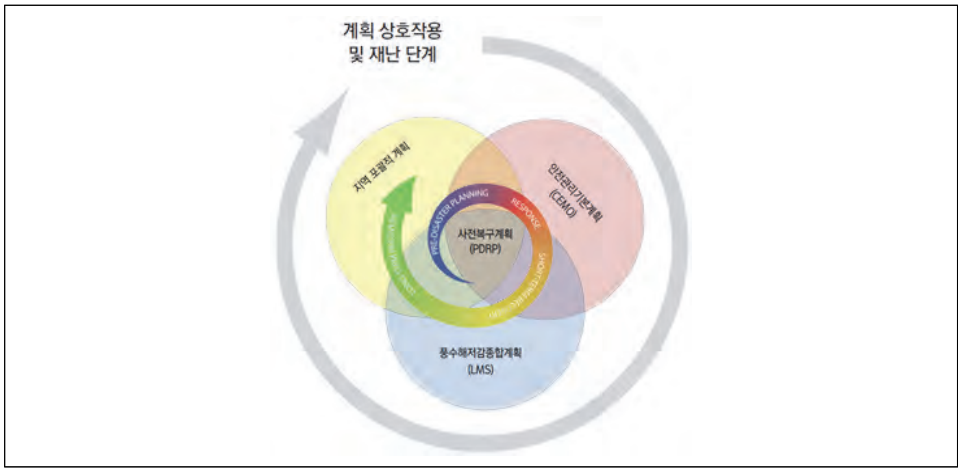


자료: "FEMA HAZUS-MH Data and Software," NC STATE: University Libraries, accessed Oct. 11. 2019. https://www.lib.ncsu.edu/gis/hazusmh

3) 미국의 사전복구계획(PDRP)

미국에서는 기후변화 등의 영향으로 재해가 대형화되고 복합재난으로 피해가 악화되는 것을 저감하기 위해 지역관리 차원의 사전복구계획(PDRP, Pre-Disaster Recovery Plan) 제도를 운영하고 있다. 미국 FEMA에서는 주정부와 지방정부를 위한 사전복구계획 가이드라인을 2016년과 2017년에 구축하여 배포하였다. 태풍 등 풍수해가 빈번히 발생하는 플로리다 주에서는 재해발생 후에 지역의 복원력(Resilience)을 강화할 목적으로 사후재개발계획(PDRP, Post-Disaster Redevelopment Plan)을 제도화하였다. 미국 FEMA에서는 이를 벤치마킹하여 사전복구계획(PDRP)을 제도화하였다. 사전복구계획은 지역 포괄적계획(우리나라의 도시계획과 유사한 지역계획), 안전관리기본계획, 풍수해저감종합계획 등의 교집합적인 성격을 가지고 있는 종합적인 재난관리계획이다. 사전복구계획은 방재뿐만 아니라 6개 주제(토지이용, 주택, 경제적 복구, 기반시설 및 공공시설, 의료 및 복지, 환경)를 대상으로 최소, 권장, 상급수준의 내용을 포함하도록 권장하고 있다.

그림 2-10 | 사전복구계획과 타 계획과의 상호연관성



자료: Florida Department of Community Affairs et al 2010 ,p.11을 바탕으로 저자 재구성

표 2-7 | 플로리다 PDRP의 주제별 달성수준

주제	달성수준	계획의 내용
토지이용	최소 달성 수준	• 단계별 재건축 및 간소화된 인허가 • 불법 건축물 및 대규모 피해 건축물 관련 기준의 재정립
	권장 달성 수준	• 장기적 재난 후 피해 관리 • 자발적 완화 프로그램을 통한 재난 취약성 완화
	상급 달성 수준	• 복구의 초점을 맞추기 위한 지역별 우선순위 설정 • 사적 보존 및 복원 • 토지이용 및 개발 규정을 통한 재난 취약성 완화
주택	최소 달성 수준	• 임시 주택 부지선정 기준, 제공 및 폐쇄 • 주택을 신속하게 재건축할 수 있는 역량
	권장 달성 수준	• 주민들을 영구 주택으로 재이전
	상급 달성 수준	• 저렴한 주택 재건축 • 주택소유주가 재건축 중에 완화 조치를 적용하도록 장려
경제적 복구	최소 달성 수준	• 대기업의 활동 재개 및 인력 유지 • 중소기업 지원
	권장 달성 수준	• 인력 유지 • 관광산업 활성화
	상급 달성 수준	• 물리적 및 경제적 복구 프로젝트 • 지속가능한 경제적 활력 복구 기회
기반시설 및 공공시설	최소 달성 수준	• 임시 복구 대상 기반시설 • 잔해 처리 • 기반시설 및 공공시설 수리 자금 지원
	권장 달성 수준	• 완화 및 사적 관련 고려사항
	상급 달성 수준	• 취약한 기반시설과 공공시설 이전 • 지역 기반시설 관련 고려사항 • 우선 복구지역 내 기반시설 역량 강화
의료 및 복지	최소 달성 수준	• 의료시설 복구 • 사회경제적 취약층 대상 복지 제공 • 지방자치단체 전반에서의 공공안전서비스 수준 회복 • 비정부단체 및 자원봉사자를 위한 협력과 지원 • 장기적 복구를 통한 장애인층 지원 • 대중교통 복원 및 개선
	권장 달성 수준	• 학교 및 고등교육기관 재가동 • 정신 및 행동 건강 지원 • 의료인력 유지 및 채용
	상급 달성 수준	• 의료 관련 오염 및 환경적 정의 • 삶의 질 요소
환경	최소 달성 수준	• 해안 및 사구 복원 • 환경오염 • 임시 현장에 대한 환경 및 역사적 검토
	권장 달성 수준	• 자연 토지 및 서식지 복원 • 친환경 재건축 • 공원 및 도심 삼림 복원

자료: FLORIDA DEPARTMENT OF COMMUNITY AFFAIRS et al. 2010.를 바탕으로 재구성

4. 주요 시사점

본 절에서는 재해별 복합재난 발생가능성, 국내·외 복합재난 대응 사례 등을 검토하였다. 기존 재해 발생사례 및 전문가 설문조사를 보면 우리나라의 경우 폭우에 의해 복합재난으로 악화될 가능성이 가장 높은 것으로 조사되었다. 우리나라에서 발생한 주요 재해사례별 국가기반시설의 피해 현황을 보면, 폭우에 의한 피해가 대부분을 차지하였다. 또한, 전문가 설문조사 결과 등을 보면 폭우는 대부분의 기반시설에 크게 영향을 미치며, 특히 상·하수도시설, 물류단지, 대피수용 시설에 영향이 큰 것으로 나타났다.

우리나라에서는 기후변화에 대응한 도시계획 대책을 마련하기 위해 재해취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 제도를 운영하고 있지만, 특히, 재해 예방형 도시계획의 실효성은 미흡한 것으로 조사되었다. 재해취약성 분석제도는 2015년부터 도시계획 수립시 분석이 의무화되었으며, 현재 161개 대상 지자체 중 158개 지자체에서 수행, 30개 지자체에서는 결과 검증이 완료된 상태이다. 최근 복합재난의 위험성은 가중되고 있지만, 재해취약성 분석에서는 복합재난을 고려하지 못하고 있으며, 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 취약지역의 경우 재해취약성 분석결과 1, 2등급 지역이기 때문에 우선적으로 대책마련이 필요한 지역 도출이 필요하다. 본 연구의 사례지역인 수원시의 경우 전체 면적의 약 30%가 재해취약성 분석 1, 2등급 지역으로 분석되었다. 재해 예방형 도시계획의 경우 인벤토리 형태로 자료를 제공하고 있어 실효성 있는 대책마련에는 한계가 있다.

아직 초창기 단계이지만, 해외의 경우 재해 대응단계를 고려한 위험도 지도 등을 개발하고 있으며, 지역경제 활성화를 위한 장기복구 측면까지 고려하고 있다. 일본의 경우 동일본 대지진 이후 건물 및 화재위험도뿐만 아니라 활동곤란도를 고려한 종합위험도 지도를 구축하고 대응 및 복구 등에도 활용하고 있다. 미국의 경우 HAZUS-MH 3.0 모델을 개발하여 홍수, 허리케인, 지진 대상 간접적인 영향까지 고려하여 대응전략을 수립하고 있다. 또한, 미국에서는 사전복구계획을 제도화하여 재해피해에 대한 단순 원상복구가 아닌 지역경제까지 고려하고 있으며, 도시계획 등과 연계·운영되어 복합재난에 대응한 지역의 방재능력을 강화하고 있다.

CHAPTER 3

복합재난 대응 단계별 주요 특징 및 시설요소 도출

1. 국내·외 주요 복합재난 발생 사례 | 51
2. 복합재난 대응 단계별 주요 특징 | 59
3. 복합재난 대응 단계별 주요 취약 및 지원시설 중요도 도출 | 60

CHAPTER 3

복합재난 대응 단계별 주요 특징 및 시설요소 도출

본 장에서는 우리나라(2011년 우면산 산사태, 2016년 태풍 차바, 2017년 충청권 집중호우)와 미국(2005년 허리케인 카트리나, 2012년 허리케인 샌디, 2017년 허리케인 하비)에서 발생한 주요 복합재난 발생 사례를 조사하여, 이를 바탕으로 복합재난 대응 단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 주요 특징을 도출하였다. 또한, 전문가 설문조사를 바탕으로 각 대응단계별 취약 및 지원시설의 중요도를 산정하여 관리지도 구축시 가중치로 활용하였다.

1. 국내·외 주요 복합재난 발생 사례

1) 우리나라의 주요 복합재난 발생사례

본 연구에서는 2011년 우면산 산사태, 2016년 태풍 차바, 2017년 충청권 집중호우 등 우리나라에서 발생한 폭우 피해 중 기반시설에 영향을 미쳐 복합재난으로 악화된 사례를 위주로 정리하였다.

홍수로 인한 우리나라의 복합재난은 주로 여름철 집중호우와 태풍에 의해 발생하며, 상·하수도 관로, 도로, 철도 뿐만 아니라 최근에는 기지국, 산업단지, 전력거래소 등 중요 시설물에 영향을 미치며 복구가 장기화되는 경향을 보이는 것으로 나타났다.

2011년 중부지역 집중호우의 경우 산사태 등에 의한 건축물 매몰 등으로 복구가 장기화되었으며, 2017년 충청권에서 발생한 집중호우의 경우도 한국전력거래소 복구까지 약 1년 정도가 소요되었다. 2016년에는 태풍 차바에 의해 울산지역의 현대자동차 제 2공장이 침수되어 생산이 중단되는 등 막대한 2차 피해가 발생하였다.

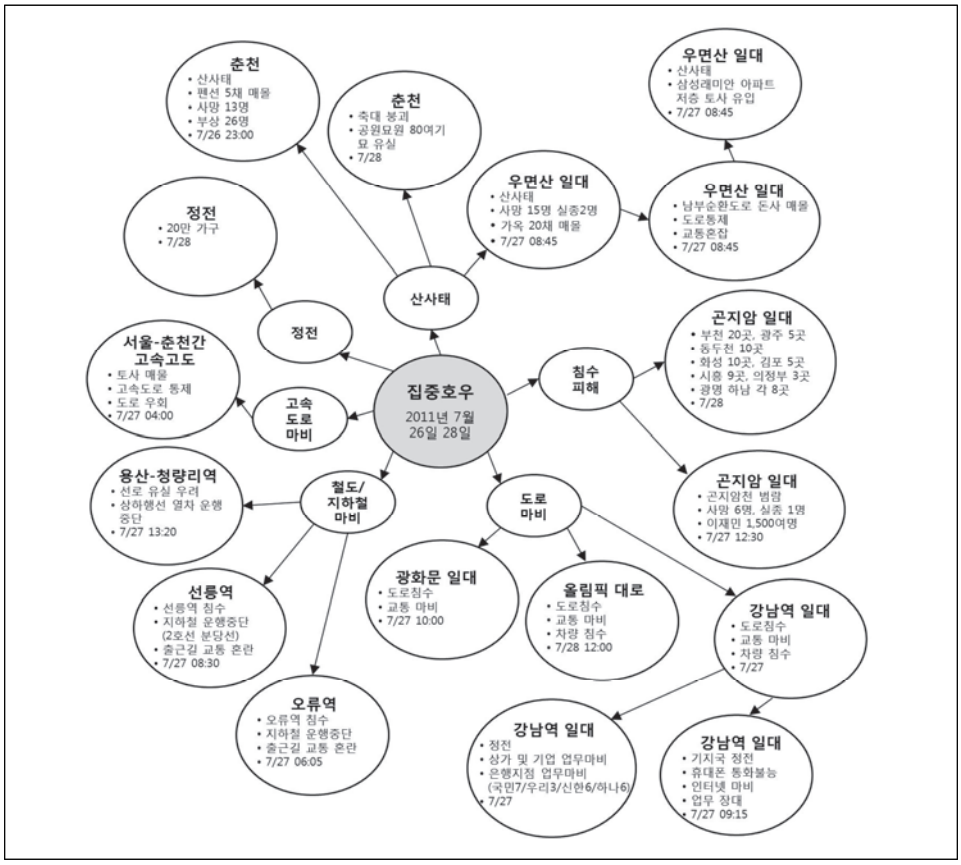
우리나라에서 발생한 폭우에 의한 복합재난 사례를 보면, 폭우는 다양한 기반시설에 영향을 미쳐 침수피해뿐만 아니라 도로, 지하철 마비, 정전 등 다양한 피해를 발생시킬 수 있다. 2011년 우면산 산사태의 원인이던 중부지방 집중호우의 경우 도로, 철도, 기지국 등 다양한 기반시설에 영향을 미쳐 크고 작은 사회재난을 야기하였다.

표 3-1 | 우리나라의 폭우에 의한 복합재난 사례 및 주요 특징

사례	구분	주요 내용
2011년 중부지역 집중호우 (우면산 산사태 중심)	발생원인	• 장기간 지속된 선행강우(6.22~7.27까지 36일 중 9일을 제외한 27일 선행강우 발생) • 우면산 산사태가 발생한 27일에는 241.5mm의 집중호우 발생
	피해	• 인명피해 : 사망 15명, 부상 39명 • 재산피해 : 168억원
	주요 피해 기반시설 및 영향	• 상하수도 관로, 도로, 철로, 기지국, 전기선로 등 • 단수, 교통마비, 정전, 상가 및 기업 업무 마비, 휴대폰 및 인터넷 마비, EBS 정규방송 중단 등
	대응 및 특이사항	• 교통통제, 구조, 장기 복구사업(기반시설 및 주택 등)
태풍 차바 (2016)	발생원인	• 태풍에 의한 집중호우 및 강풍
	피해	• 인명피해 : 사망 7명, 실종 3명 • 재산피해 : 2,150억원
	주요 피해 기반시설 및 영향	• 상하수도 관로, 도로, 철도, 전기선로, 산업단지(현대자동차 제2공장), 항만 등 • 단수, 교통마비, 정전, 산업시설 가동중단, 공항 및 항만 마비 등
	대응 및 특이사항	• 교통통제, 구조, 장기 복구사업(기반시설 및 주택 등) • SOC 시설물 침수 및 파괴, 현대자동차 공장 침수 등으로 막대한 2차 피해 확산
충청권 집중호우 (2017)	발생원인	• 집중호우(7월 17일 오전 0시부터 오후 4시까지 최고 290.2mm의 폭우발생)
	피해	• 인명피해 : 사망 2명, 부상 22명 • 재산피해 : 315억원
	주요 피해 기반시설 및 영향	• 상하수도 관로, 도로, 전기선로, 학교, 한국전력거래소 등 • 단수, 교통마비, 정전, 전력거래소 기능 이전 등
	대응 및 특이사항	• 한국전력거래소 중부지사에 산사태가 발생하여 전력계통을 감시·운영하는 전산시스템(EMS, Energy Management System) 등의 기능이 완전 정지되었으며, 복구까지 1년 소요

자료: 한국지반공학회. 2011. 우면산 산사태 원인조사 및 복구대책수립, 재해연보 등에 기반하여 저자 작성

그림 3-1 | 2011년 중부지역 집중호우 발생 시 피해확산 과정 예시



자료: 박미리·이영근 2016

2011년 중부지역 집중호우의 시간대별 피해 및 대응내용을 보면 크게 예방(발생전), 발생 직후의 대응, 단기복구, 장기복구 등으로 구분할 수 있다. 재해 발생 전에는 장마비 예보 등 정보를 제공하며 발생 직후의 대응 단계에서는 교통통제, 대피, 구조 등 주로 주민 구조와 피해확산 저감 등이 주를 이루고 있었다. 또한, 재해 발생 이후 약 1주일 동안의 단기복구 시에는 주로 이재민 지원, 도로, 이동통신망, 정전지역 복구 등 주민들의 기본적인 의식주 지원에 초점을 두었으며, 1주일 이상의 장기복구 시에는 전면적인 복구공사와 더불어 재발방지 등을 위한 다양한 공법을 활용한 복구 사업이 진행되었다.

표 3-2 | 2011년 중부지방 집중호우에 의한 주요 피해현황 및 대응

날짜	개요 및 피해 현황	단계	주요 대응 내용
2011년 7월 25일	- 저녁 소나기 시작	예방 (발생전)	- 기상청 중부지방을 비롯하여 29일까지 장마비 예보
7월 26일	- 23:00시에 춘천 산사태로 펜션 5채 매몰, 사망 13명, 부상 26명 발생	대응	- 호우경보 발령 - 펜션 인근 상가주민 90여명 긴급 대피 - 119 소방대 구조 실시
7월 27일	- 04:00 강원 영서 등 중부지역에 250mm 넘는 호우 발생, 토사 서울-춘천고속도로 침범		- 차량통행 전면 통제 및 우회도로 안내 - 도로공사 토사제거 작업실시
	- 06:05 오류역 침수로 지하철 운행 중단		- 도시철도공사 침수 지역 배수작업 등 복수 실시 - 대체교통수단 안내
	- 08:45분경 우면산 산사태로 저수지 범람, 가옥 20채 매몰, 마을주민 고립 및 사망자 발생		- 남부순환도로 일부 통제 - 경찰 및 소방당국 구조 실시 - 인근지역 통행차단 및 주민 대피 - 토사제거 실시
	- 08:30 선릉역 침수로 지하철 운행중단		- 침수지역 배수작업 등 복구 실시
	- 09:15 강남역 일대 침수로 일부 이동통신 및 인터넷 마비		- 경찰 일부구간 교통통제
	- 10:00 광화문 일대 및 청계천 범람으로 도로침수 및 교통마비		- 경찰 일부구간 교통통제
	- 12:30 곤지암천 범람으로 가옥 수백채 침수, 사망 6명, 실종 1명, 이재민 1,500여명 발생		- 광주경찰서 및 인근 소방서 실종자 구조작업 및 이재민 긴급 대피 실시 - 곤지암천 및 경인천 준설 계획 수립
	- 13:20 용산-청량리역 선로 유실우려로 상하행선 열차운행 중단		- 선로 정밀점검 수행
7월 28일 ~ 8월 2일	- 10:15 동두천 상봉암 등에서 산사태 발생으로 암자 매몰, 4명 사망	단기 복구 (1일~ 1주일)	- 도로 등 응급복구 수행 - 이동통신사 복구 실시 - 정전지역 복구 실시
8월 17일		장기 복구 (1주일 이상)	- 집중호우로 인한 산사태 피해지 복구계획수립
9월 29일			- 실시설계용역 계약체결
2011년 12월 22일 ~ 2012년 5월 31일			- 우면산 산사태 복구공사 수행 - 1,2,3,4공구로 나누어 진행(1,2,3공구 공사비 194억 원) - 흙이나 돌, 나무 등을 걸러낼 수 있는 시설인 사방댐, 불안전한 산 절개지에 철근을 박아 넣고 그 철근을 따라 흙속으로 시멘트를 채워 넣어 경사면을 고정하는 소일네일(Soil Nail), 토석을 가둘 수 있는 환경 친화적인 전석댐 등을 설치

2) 해외 주요 복합재난 발생 사례

허리케인 등으로 대규모 피해가 빈번히 발생하는 미국의 경우 피해액 규모, 기반시설 피해 및 영향, 대응 등에서 우리나라와 차이가 있으며, 장기적인 측면에서 지역경제에도 막대한 피해가 발생하였다. 미국에서 발생한 주요 허리케인의 피해액은 약 70 ~ 220조 원 규모로 우리나라에 비해 상당히 높으며, 원자력 발전소, 항만, 공항 등 거의 모든 SOC에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 복구가 장기화되면서 지역 일자리 소멸 등으로 지역 인구가 감소하는 등 지역경제에 장기적으로 막대한 피해가 발생하였다.

표 3-3 | 해외의 폭우에 의한 복합재난 사례 및 주요 특징

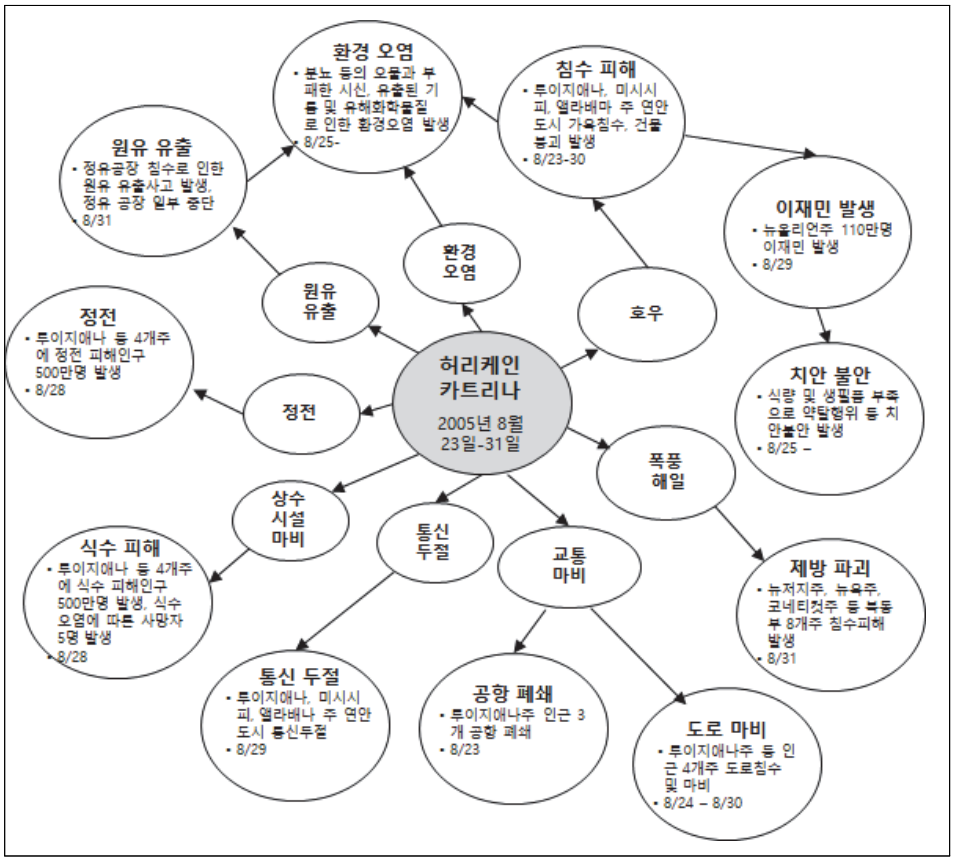
사례	구분	주요 내용
허리케인 카트리나 (2005)	발생원인	• 허리케인에 의한 집중호우 및 강풍 등
	피해	• 인명피해 : 2,576명 • 재산피해 : 1,180억 달러 (약130조원)
	주요 피해 기반시설 및 영향	• 거의 대부분 SOC • 복구가 장기화되면서 인구감소 및 지역경제 침체
	대응 및 특이사항	• 최대 규모의 구조 및 수색작전, 장기복구, 인구감소로 지역경제 침체
허리케인 샌디 (2012)	발생원인	• 허리케인에 의한 집중호우 및 강풍 등
	피해	• 인적피해 : 사망 253명, 실종 15명 • 재산피해 : 655억 달러 (약 70조원)
	주요 피해 기반시설 및 영향	• 상하수도 관로, 전기, 도로, 철도, 공항, 항만, 원자력 발전소 등 거의 대부분 SOC
	대응 및 특이사항	• 방재분야에 리질리언스 개념 강조, 재해발생 후 지역경제 부흥(아틸란틱 시티 등) 등 고려
허리케인 하비 (2017)	발생원인	• 허리케인에 의한 집중호우 및 강풍 등
	피해	• 인적피해 : 사망 90명, 이재민 21만 명 • 재산피해 : 1,980억 달러 (약 220조원)
	주요 피해 기반시설 및 영향	• 상하수도 관로, 전기, 도로, 철도, 공항, 항만, 원자력 발전소 등 거의 대부분 SOC
	대응 및 특이사항	• 화학공장 폭발 등에 따른 2차 피해

자료: 채여라 외 2016, 소방방재청 2005, 위키피디아 등을 바탕으로 관련 내용 정리

2005년 미국 남부지역을 강타한 허리케인 카트리나는 상·하수도뿐만 아니라 도로, 철도, 공항 등 거의 모든 기반시설에 막대한 영향을 미쳐 대규모 피해를 야기했으며, 특히 피해가 크게 발생한 뉴올리언즈에서는 복구가 장기화되면서 지역 슬럼화도 야기

되었다. 기반시설 영향으로 교통시설이 마비되고, 정전, 화재 등의 사회재난까지 발생하여 도시기능이 마비되는 막대한 피해가 발생하였다. 또한, 제방이 파괴되어 가장 큰 피해가 발생한 뉴올리언즈에서는 인구가 49만 명에서 재해발생 후 1년에는 23만 명으로 감소하였으며, 재해발생 후 10년이 지난 2015년에도 인구가 39만 명에 미치지 못해 많은 지역에서 도시 슬럼화 현상이 발생하고 세수도 줄어 지역경제에 막대한 영향을 미쳤다.

그림 3-2 | 복합재난 피해확산 과정(2005년 8월 미국 허리케인 카트리나 사례)



자료: 채여라 외 2016을 바탕으로 재작성

2005년 발생한 카트리나의 경우 우리나라 재해에 비해 규모 등에서 많은 차이가 있지만, 예방(발생 전), 발생 직후의 대응, 단기복구, 장기복구 등의 특징은 유사한 것으로 나타났다. 재해발생 전에는 허리케인 경보 발령, 구호품을 준비하였으며, 발생 직후의 대응 단계에서는 강제대피령 발동, 최대 규모의 수색 및 구조작전 수행 등 주민구조를 통한 피해확산을 저감시키도록 노력하였다. 재해발생 이후 약 1주일 동안의 단기복구 시에는 주로 이재민 관리, 구호물품 전달, 시신 수습, 배수 작업 등을 통해 주민들의 기초 의식주 지원에 초점을 맞췄으며, 장기복구에서는 통신, 전력 등 다양한 인프라 복구와 더불어 주택건설, 카지노 복구, 에탄올 정제 설비 복구 등 지역의 주력 경제 재건에도 초점을 두었다.

표 3-4 | 허리케인 카트리나에 의한 주요 피해현황 및 대응

날짜	카트리나 개요 및 피해 현황	단계	주요 대응 내용
8월 23일		예방 (발생 전)	- 국립허리케인센터, 열대성저기압 12호 형성 발표 - FEMA 지역청 대응 준비
8월 24일	- 열대성저기압 12호가 열대성 폭풍 '카트리나'로 세력 강화		- 플로리다 남동해안 지역에 허리케인 경보 발동 - 플로리다 지역 비상대책반의 구호품 준비 작업
8월 25일	- 시속 128km의 I등급 세력으로 플로리다 해변에 상륙	대응	- 열대성 폭풍 카트리나가 205시즌 네 번째 허리케인으로 격상
8월 26일	- 국립허리케인센터, 카트리나가 뉴올리언즈 동부를 강타할 것을 예상		- 루이애나주 주지사, 허리케인 카트리나에 대한 비상사태 선포
8월 27일	- 슈퍼돔 대비 준비		- 뉴올리언즈 시장, 비상사태 선포 및 저지대 거주자 대피 촉구 - 부시 대통령, 루이지애나 주에 대해 연방 비상사태를 선포하고 군 병력 배치 - Contra-Plan, Operation Brother's Keeper 실행
8월 28일	- 카트리나 시속 23km 5등급으로 강화		- 뉴올리언즈 시에 강제대피령 발동: 슈퍼돔을 포함하여 10군데 대피처 마련
8월 29일	- 카트리나 2차 상륙 - 루이지애나, 미시시피, 앨라배마 주의		- 통신두절로 인해 대응 매뉴얼 내 지시, 보고 체계 마비

날짜	카트리나 개요 및 피해 현황	단계	주요 대응 내용
	연안도시에서 10여명의 사상자 발생, 도로유실, 가옥침수, 건물붕괴, 정전, 통신두절 등의 피해 발생		- 구호물품 전달 실패
8월 30일	- 뉴올리언즈의 폰차트레인 호로 연결되는 17번가의 운하 등 세 군데 제방이 붕괴 - 슈퍼돔 폐쇄 및 피난		- 뉴올리언즈 잔류자 10만 명이 슈퍼돔과 뉴올리언즈 컨벤션센터 등으로 대피 - 부시 대통령, 루이지애나, 미시시피, 앨라배마 주 일부를 재해지역으로 선포 - 미국적십자, 사상 최대 규모의 구조작전 착수 - 버스연대 24,000명 피난 수송
8월 31일	- 제방붕괴에 인해 대규모 사상자 발생 - 일부 지역 약탈 및 폭력사태 발생 - 원유 유출사고 발생 - 카트리나 캐나다 국경에서 소멸		- 뉴올리언즈 시장, 부시 대통령에게 연방군의 파견 요청 - 미 국방부, 4척의 군함을 동원하여 최대 규모의 수색 및 구조작전 지원
9월 1일			- 부시 행정부, 전략 비축유 방출 결정 발표, 미 정유 공장 10%가 가동중단
9월 6일 ~ 9월 13일		단기 복구	- 뉴올리언스에 잔류하고 있는 1만 명 이내의 주민에게 2차 강제 대피령 발효 - 물막이 공사를 통한 제방복구 시작 - 침수지역 배수작업 수행 - 시신 수습작업 수행 - 구호물품 전달 - 5개주에 분산된 약 40만 명 이재민 관리
9월 13일 ~		장기 복구	- 침수피해를 당한 주민들을 위한 무상주택 건설 - 제방 복구 및 보강공사 수행 - 루이지애나주 전력복구 프로젝트, 통신복구 프로젝트, 미시시피 주택건설 및 카지노 복구, Gulfport항 복구 프로젝트, 에탄올 정제 설비 복구 및 신설 프로젝트, Network Integrated 프로젝트 등 대형 피해복구 프로젝트 진행 - 뉴올리언즈 습지와 지역사회 보존을 위한 50년 마스터 플랜(홍수방지용 둑, 매년 보강공사, 인공수로 확대 등 50년간 500억 달러 투자) - 홍수방지를 위해 멕시코만에 있는 광활한 습지의 보전방안 추진

2. 복합재난 대응단계별 주요 특징

본 연구에서는 복합재난 대응 단계는 크게 재해발생 전인 예방단계, 재해가 발생한 직후인 대응단계, 재해발생 후 단기복구와 장기복구 단계 등 4단계로 구분한다. 각 재해대응 단계별 주요 특징은 실제 복합재난이 발생한 사례조사를 바탕으로 도출하였다.

예방단계에서는 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화될 수 있는 시설물이 밀집되어 있는 지역이 취약하며, 지역관리 차원에서 시설물이 밀집된 취약지역을 관리할 필요가 있다. 국내·외 복합재난 발생사례를 보면 발생 직전에 폭우 및 태풍경보 발령 등을 통해 정보를 제공하고, 재해발생 후에는 상하수도, 전기, 통신망 등 다양한 인프라가 영향을 받아 복합재난으로 악화되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 지역관리 차원에서는 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화될 수 있는 취약시설이 밀집되어 있는 지역을 도출하고, 이러한 지역을 관리하는 것이 예방단계에서 가장 중요한 일이라고 판단된다.

대응단계에서는 신속한 인명구조와 더불어 피해확산 저감이 중요한 업무이며, 대응단계는 피해규모, 범위에 따라 다소 차이가 있지만 재해발생 후 1일 내외의 기간에서 재해에 대한 판단 및 신속한 대응이 이루어져야 한다. 국내·외 복합재난 발생 사례를 보면 기간에는 차이가 있지만 공통적으로 재해발생 직후에는 인명구조와 피해확산이 최우선 업무로 볼 수 있다. 지역관리차원에서는 인명구조를 위한 지원시설과 피해확산이 우려되는 시설물 관리 등이 중요한 업무이다.

단기복구단계에서는 피해를 받은 주민들의 기본적인 의식주를 지원하는 것이 주요 업무이며, 국내·외 사례 등을 보면 단기복구 시에는 이재민 관리, 구호물품 전달, 기반시설물 응급복구 등 주민들의 기본적인 의식주를 지원하는 것에 초점을 맞추고 있다. 국내 사례와 해외의 사례는 규모면에서 차이가 있어 단기복구 기간이 차이가 있지만, 우리나라의 경우 단기복구는 재해발생 후 1주일 이내에 수행된다. 지역관리 측면에서의 단기복구 단계에서 중요한 요소는 주민들의 기본적인 의식주를 지원할 수 있는 시설물이 밀집된 지역을 관리하는 것이 중요하다.

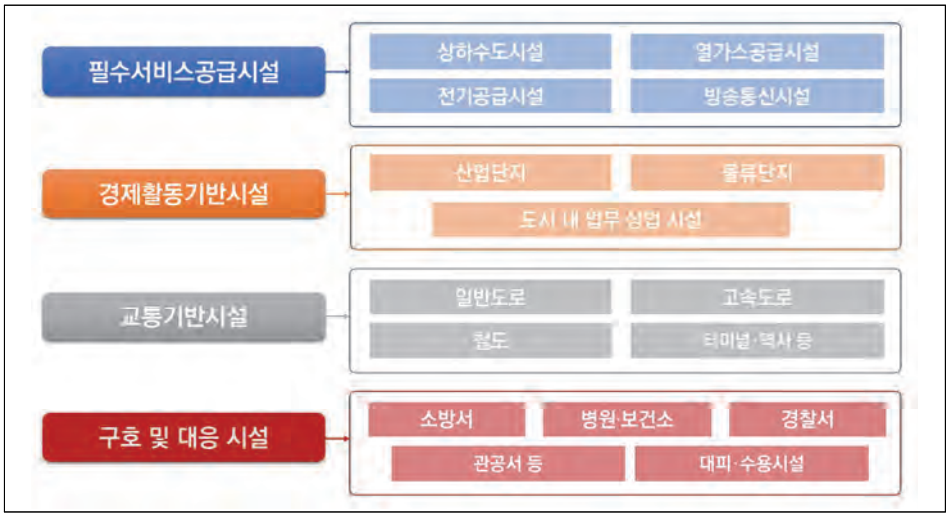
장기복구단계에서는 주민들이 정상적인 경제생활 및 사회생활을 할 수 있도록 회복

부분에 초점을 두고 관리하는 것을 필요로 한다. 우리나라의 경우 정상적인 경제생활 및 사회생활을 할 수 있도록 지역회복에 초점을 둔 사례는 많지 않지만, 2016 태풍 차바 시 현대자동차 공장 피해, 2017년 전력거래소 중부지사 피해 등을 통해 필요성이 높아지고 있다. 특별재생지역 등의 제도 신설로 장기복구 시에는 주민들의 경제 및 사회생활 지원 등에 초점을 두는 것으로 변화하고 있다. 실제로 대규모 피해가 발생한 미국의 경우 뉴올리언즈 인구감소에 따른 지역경제 악화, 미국 북동부 지역도시의 슬럼화 등으로 장기복구의 필요성이 강조되고 있으며, 최근에는 사전복구계획 제도를 통해 지역경제까지 고려하는 제도가 신설되었다.

3. 복합재난 대응단계별 주요 취약 및 지원시설 중요도 도출

복합재난 대응단계별 주요 특징을 고려하여 취약 및 지원시설을 도출할 수 있도록 전문가 및 담당자 대상 설문조사를 수행한 결과를 분석하고자 한다. 본 연구에서는 복합재난 단계별 취약 및 지원시설의 중요도를 계층화분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP)으로 분석하였으며, 총 49명 응답자 중에서 일치성 비율(Consistency Ratio) 0.2를 초과한 7명의 응답을 제외한 42명의 응답을 분석결과에 활용하였다. 본 연구에서 AHP 분석을 위해 활용한 위계는 앞서 분류한 4개 유형, 16개 시설분류를 적용하였다.

그림 3-3 | AHP 위계도



자료: 저자작성

위와 같은 AHP 위계도를 바탕으로, AHP 설문 시에는 응답자들이 본 연구의 복합재난의 대응단계 4단계(예방–대응–단기복구–장기복구)에 따라 시설별 중요도를 다르게 평가하도록 안내하였다. 각 응답자가 복합재난 대응단계별로 고려해야 할 주요 특징과 취약·지원 시설 판단기준은 다음과 같이 제시하였다.

그림 3-4 | 복합재난 대응단계별 주요 특징과 취약 및 지원시설 도출 관련 고려사항

자료: 저자작성

복합재난 대응의 첫 번째 단계인 '발생 전/예방' 단계에서는 복합재난으로 악화될 가능성이 높은 취약시설의 중요도를 응답하도록 하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

그림 3-5 | '발생 전/예방' 단계 AHP 설문조사 결과

자료: 저자작성

전반적으로 예방단계에서는 전기, 상하수도, 열·가스 등 필수공급시설과 터미널, 병원 등 다중이용 시설의 취약성이 높은 것으로 분석되었다.

전문가들은 복합재난 발생 전 단계에서 취약성이 강하여 가장 관리가 필요한 시설로 '필수서비스공급시설'을 들었으며, 특히 전기공급시설을 가장 중요한 것으로 꼽았고 상하수도시설, 열·가스공급 시설도 중요도가 높은 것으로 응답하였다. 경제활동기반시설은 취약시설로서의 중요도는 낮게 평가되었으며, 다만 산업단지가 타 경제활동기반시설보다 우선순위가 높은 것으로 나타났다. 교통기반시설에서는 터미널·역사·항만·공항 등 다중이용시설의 취약성이 타 교통시설에 비해 상대적으로 중요도가 높은 것으로 평가되었다. 구호 및 대응시설에서는 병원·보건소 등 의료시설의 중요도가 상대적으로 높게 나타났으며, 소방서 및 관공서가 그 뒤를 이었다.

복합재난 대응의 두 번째 단계인 '대응' 단계에서는 신속한 인명구조 및 피해확산방지 등에 초점을 두고 관리해야 하는 취약시설 또는 지원시설의 중요도를 평가하도록 하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

그림 3-6 | '대응' 단계 AHP 설문조사 결과

자료: 저자작성

예방단계와는 달리 전문가들은 재난 발생 후 1일 내의 대응 단계에서는 구호 및 대응 시설을 가장 중요한 시설로 판단하였으며, 특히 병원·보건소 등 의료시설과 소방서의 중요도가 높은 것으로 판단하였다. 필수서비스공급시설의 중요도도 여전히 높게 나타났으며, 특히 전기공급시설이 상대적으로 가장 중요한 시설로 도출되어 대응단계에서 가장 먼저 관리·복구되어야 하는 시설로 평가되었다. 교통기반시설에서는 예방단계와 달리 터미널·역사·항만·공항의 중요도는 낮게 평가되었으며, 대신 일반도로의 중요도가 높게 나타나 지역 내 도로망의 회복이 가장 시급한 것으로 평가되었다. 경제활동기반시설은 예방단계와 마찬가지로 대응단계에서도 중요도가 상대적으로 낮게 평가되었으나, 대응단계에서는 산업단지보다 도시 내 업무·상업 시설의 중요도가 높은 것으로 나타나 필수 물품 거래 및 최소 경제활동의 유지가 중요한 것으로 나타났다.

종합하면, 대응단계서는 전기공급시설을 제외하면 전반적으로 병원, 소방서, 대피·수용시설 등 재난 대응 시설의 중요도가 높게 나타났으며, 상하수도, 도로, 방송·통신 등 기반시설의 중요도도 높게 나타났다.

복합재난 발생의 세 번째 단계인 '단기복구' 단계에서는 시민들의 기본적인 의식주 해결에 초점을 두고 관리해야 하는 시설의 중요도를 평가하도록 하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

단기복구단계에서는 다시 필수서비스공급시설 관리·지원이 가장 필요한 것으로 나타났으며, 이전단계와는 달리 상하수도시설의 중요도가 상대적으로 가장 높게 나타났고, 전기공급시설의 중요도도 여전히 높게 나타났다. 구호 및 대응시설은 단기복구단계에서도 상대적으로 중요한 것으로 나타났는데, 특히 대피·수용시설과 병원·보건소 등 의료시설의 중요도가 높게 나타나 이재민의 주거 및 의료 서비스가 단기복구에서 가장 중요한 것으로 나타났다. 교통기반시설에서는 여전히 일반도로의 중요도가 높게 나타났으며 경제활동기반시설에서도 도시 내 업무·상업 시설의 중요도가 높은 것으로 나타났다.

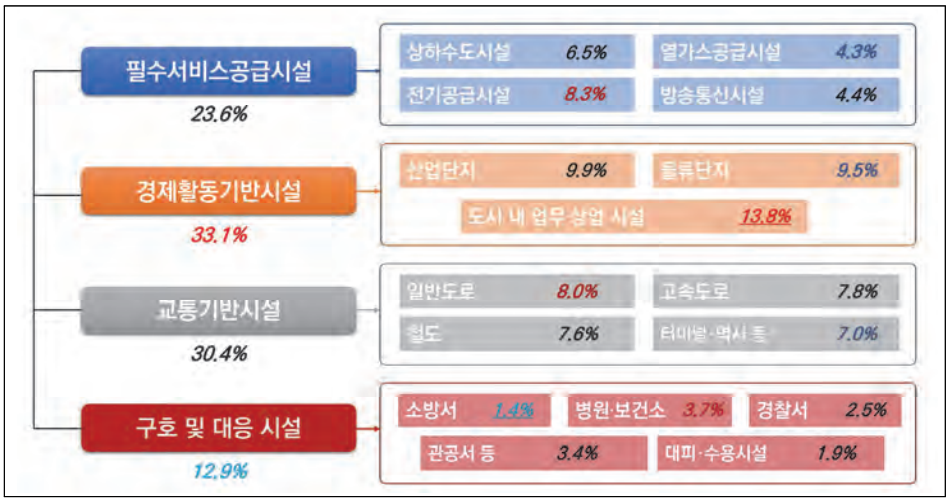
종합하면 단기복구단계에서는 상하수도, 전기, 열가스 등 필수공급시설 및 도로의 중요도가 전반적으로 높게 나타났으며, 특기할 점으로는 대피·수용시설의 중요도가 상대적으로 높게 나타나 단기복구단계의 특수성을 시사하였다.

그림 3-7 | '단기복구' 단계 AHP 설문조사 결과

자료: 저자작성

복합재난 발생의 마지막 단계인 '장기복구' 단계에서는 시민들의 정상적인 경제생활, 사회생활 회복에 초점을 두고 관리해야 하는 시설의 중요도를 평가하도록 하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

그림 3-8 | '장기복구' 단계 AHP 설문조사 결과



자료: 저자작성

장기복구단계에서는 다른 단계와는 달리 경제활동기반시설의 중요도가 가장 높게 나타났으며, 특히 도시 내 업무·상업시설의 중요도가 가장 높은 것으로 나타났다. 필수서비스공급시설은 장기복구단계에서는 다른 단계보다 상대적으로 중요도가 낮게 나타났지만, 전기공급시설은 상대적으로 여전히 중요도가 높은 것으로 나타났다. 교통기반시설은 장기복구단계에서 대체로 고르게 중요도가 높은 편으로 나타났으며 구호 및 대응 시설의 중요도는 낮은 것으로 조사되었다.

전반적으로, 장기복구단계에서는 경제활동기반시설의 중요도가 높게 나타나 다른 단계와는 차별성이 나타났으며 전기와 도로 등 기초 기반시설은 꾸준히 상대적 중요도가 높게 나타난 점이 특기할 만하다.

이상 복합재난 발생의 4단계별 AHP 설문조사 결과를 종합·비교하면 <표3-5>와 같다.

표 3-5 | 각 단계별 시설 분류에 따른 중요도 설문조사 결과 비교표

시설 분류	발생 전/예방	대응	단기복구	장기복구
필수서비스공급시설	46.1%	32.4%	49.4%	23.6%
경제활동기반시설	9.5%	6.9%	10.7%	33.1%
교통기반시설	23.2%	20.9%	18.7%	30.4%
구호 및 대응시설	21.1%	39.8%	21.3%	12.9%

자료: 저자작성

단계별로 시설 유형 간 비교 결과를 보면, '발생 전/예방' 단계에서는 필수서비스공급시설을 중심으로 취약시설 관리가 필요한 것으로 나타나, 자연재해가 복합재난으로 확산되지 않도록 하기 위해서는 필수서비스공급시설의 관리가 가장 중요한 것으로 파악되었다. '대응' 단계에서는 구호 및 대응시설의 중요도가 가장 높게 나타나 재난 발생 후 1일까지 복합재난으로의 확대 방지 및 피해 저감을 위해서는 구호 및 대응시설이 가장 중요한 것으로 나타났다. '단기복구' 단계에서는 다시 필수서비스공급시설이 가장 중요도가 높은 것으로 판단되어 복합재난 발생 이후 복구단계에서도 필수서비스공급시설에 우선적인 지원이 필요한 것으로 분석되었다. 마지막으로, '장기복구' 단계에서는 경제활동기반시설이 가장 중요도가 높은 것으로 판단되어 복합재난의 경우 장기복구까지 고려해야 할 필요성이 있고, 그에 따라 일반적인 공공시설의 관리뿐만 아니라 경제활동에 관련된 민간시설 및 지역관리가 필요한 것으로 나타났다.

설문조사 결과인 각 단계별 세부 시설의 중요도를 비교한 표는 <표 3-6>에서 제시하고 있다.

표 3-6 | 각 단계별 세부 시설의 중요도 설문조사 결과 비교표

기반시설 구분		복합재난 관리단계			
대분류	세분류	예방	대응	단기	장기
필수 서비스 공급시설	상하수도시설	12.8	6.7	19.0	6.7
	열가스공급시설	9.1	5.7	8.6	4.5
	전기공급시설	16.3	13.2	17.0	7.8
	방송통신시설	5.3	6.9	6.1	4.4
경제활동 기반시설	산업단지	4.2	2.2	2.1	9.5
	물류단지	2.5	2.1	3.3	9.0
	도시내업무상업	3.2	3.1	5.0	13.5
교통 기반시설	일반도로	5.1	7.5	7.6	8.8
	고속도로	5.9	5.6	4.2	7.7
	철도	5.4	4.2	3.4	7.7
	터미널/역사	7.5	4.4	3.2	6.9
구호 및 대응시설	소방서	5.2	10.6	2.8	1.6
	병원	7.1	11.4	5.5	3.9
	경찰서	2.9	4.1	2.6	2.6
	관공서	4.1	5.6	4.1	3.4
	대피수용시설	3.5	6.7	5.6	1.8

자료: 저자작성

CHAPTER 4

복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용

1. 복합재난 관리지도 구축방법 개발 | 71
2. 사례지역의 복합재난 관리지도 구축 및 분석 | 78

CHAPTER 4

복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용

본 장에서는 재해취약성 분석방법에 기초하여 복합재난 관리지도 구축방법을 개발했다. 복합재난 대응단계별 취약 및 지원시설의 중요도는 전문가 설문조사 결과를 바탕으로 가중치로 활용했다. 복합재난 발생 및 대응에 영향을 많이 미치는 선형기반시설인 필수 서비스 공급시설 관련 데이터 획득 가능성 등을 고려하여 사례지역을 수원시로 선정했으며, 수원시를 대상으로 복합재난 대응단계별 관리지도를 구축했다.

1. 복합재난 관리지도 구축방법 개발

1) 복합재난 관리지도 구축방향

복합재난 대응 단계별 관리지도 구축은 재해취약성 분석방법을 준용하지만, (기후)노출은 제외하고 가중치를 적용한 도시민감도 지표를 활용하여 대응단계별 관리지도를 구축한다. 복합재난 대응단계별 (기후)노출은 예측 가능성 등의 문제로 공간적으로 표출하는데 한계가 있으며, 재해취약성 분석지표와의 중복성 등의 문제가 있다. 다시 말해, 예방단계 관리지도는 종합 재해취약성 분석결과를 (기후)노출로 해석할 수 있지만, 일부 지표의 경우 중복되는 경우가 있고, 타 지표간의 가중치 적용 등의 한계가 있다. 대응 및 단기복구 관리지도의 경우 집계구 단위로 자연재해뿐만 아니라 사회재난의 공간적 범위를 도출하는데는 많은 불확실성이 존재한다. 장기복구의 경우 주민들의 정상적인 경제 및 사회활동에 초점을 두고 있기 때문에 별도의 노출은 없는 것으로 판단된다.

복합재난 대응단계별 관리지도는 집계구별·시설물별 지표값 도출, 지표값 표준화, 가중치 적용, 등급화를 통한 복합재난 대응단계별 관리지도 구축 순서로 개발했다. 집계구별·시설물별 지표값 도출은 공간분석 단위인 집계구 단위로 16개의 세부지표값을 산정하는 단계이다. 단위가 다른 지표값을 표준화하고, 각 복합재난 대응 단계별 및 시설별 중요도 등을 고려하여 가중치를 적용했다. 마지막으로, 복합재난 관리지도 구축은 가중치를 적용한 관리지도를 전체 집계구를 대상으로 자연적 분위법(Jenks 최적화방법)을 통해 4단계의 등급을 부여했다.

그림 4-1 | 복합재난 대응단계별 관리지도 구축방법

자료: 저자작성

2) 시설별·집계구별 지표값 도출 및 표준화

복합재난 관리지도의 구축을 위한 지표는 시설별·집계구별로 지표값을 구축했다. 필수서비스 공급시설의 경우 복합재난을 야기시키는 연결성을 대표하는 지표로 집계구별 '시설물 길이/집계구 면적'으로 지표값을 도출했고, 산업단지, 물류단지, 일반도로, 고속도로, 철도 등은 '시설물 면적/집계구 면적'으로 지표값을 도출했다. 도시 내 업무 및 상업시설은 '건물수/집계구 면적'으로 지표값을 도출했고, 시설물 개수가 많지 않은 터미널/역사/항만/공항 등과 구호 및 대응시설의 경우 집계구내 관련 시설물의 존재 여부로 지표값을 산정했다.

표 4-1 | 세부시설별 지표값 산정방식

구분	세부 시설	지표값
필수서비스공급시설	상·하수도시설	시설물 길이/ 집계구 면적
	열·가스공급 시설	시설물 길이/ 집계구 면적
	전기공급 시설	시설물 길이/ 집계구 면적
	방송·통신 시설	시설물 길이/ 집계구 면적
경제활동기반시설	산업단지	시설물 면적/ 집계구 면적
	물류단지	시설물 면적/ 집계구 면적
	도시 내 업무·상업시설	건물수/ 집계구 면적
교통기반시설	일반도로	시설물 면적/ 집계구 면적
	고속도로	시설물 면적/ 집계구 면적
	철도	시설물 면적/ 집계구 면적
	터미널/역사/항만/공항 등	여부
구호 및 대응 시설	소방서	여부
	병원/보건소 등 의료시설	여부
	경찰서 등 치안유지 시설	여부
	관공서 등 컨트롤타워	여부
	대피시설 및 수용시설	여부

자료: 저자작성

단위가 다른 세부시설물별 지표값은 Z-score, 표준화 지수 등을 활용하여 표준화를 수행했다.

그림 4-2 | 분석지표 표준화 공식

Z-score	표준화지수
$z_i = \frac{X_i - X_{mean}}{X_{Std}}$ z_i: 구역별 i의 Z-score X_i: 구역별 i의 분석지표 X 측정치 X_{mean}: 전체 구역별 분석지표 X 평균 X_{Std}: 전체 구역별 분석지표 X 표준편차	$Z-score_{Normal} = a \bullet z-score + b$ $a = \frac{1}{(Z-score_{\max}) - (Z-score_{\min})}$ $b = \frac{-Z-score_{\min}}{(Z-score_{\max}) - (Z-score_{\min})}$ $Z-score_{Normal}$: 구역별 i의 표준화지수 $Z-score_{\max}$: 전체 구역의 Z-score 중 최대값 $Z-score_{\min}$: 전체 구역의 Z-score 중 최소값

※ Z-score : 정규분포에 의한 Z-score법을 이용하여 계산한 값으로, 표준편차를 단위로 보았을 때 측정치가 평균에서 얼마만큼 일탈하였는지 알 수 있음
※ 표준화지수 : 음수부터 양수의 범위를 가지는 Z-score를 다시 0과 1사이의 수치로 변환한 값

자료: 국토교통부 2018 P10

3) 가중치 산정

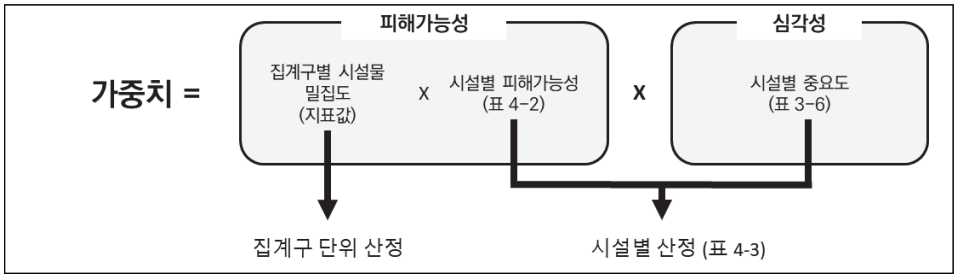
관리지도 구축시 활용되는 가중치는 재해발생시 취약시설 또는 재해발생후 지원시설의 재해영향 정도를 나타내는 것이며, 이는 위험도 평가방법을 활용하여 산정이 가능하다. 일반적으로 위험도 평가는 재해에 따른 피해 가능성(Probability) * 재해발생시 심각성(Severity)으로 평가(Ni, H., 2010 등)된다.

본 연구에서 피해 가능성은 집계구별 시설물 밀집도와 시설별 피해가능성이며, 심각성은 시설별 중요도로 판단이 가능하다. 다시 말해, 집계구별 시설물 밀집도는 세부시설별 지표값이며, 시설별 피해가능성은 시설이 크게 영향을 받을 수 있는 재해 유형으로 설문조사 결과를 통해 도출<표 2-5>했다. 또한, 시설별 중요도는 설문조사를 통해 도출<표 3-6>했다.

가중치 적용은 시설별로 '시설별 피해가능성'과 '시설별 중요도'를 곱해 시설별 가중치를 산정하고, 추후 집계구별 지표값을 곱해 관리지도를 구축했다. 시설별 피해가

능성은 Rank Method로 5등급으로 나타낸 <표 2-5>에 등급별 20%의 차등을 두어 가중치를 산정<표 4-2>했다. 마지막으로, 시설별 피해가능성과 중요도를 곱한 시설별 가중치는 <표 4-3>에서 제시했다.

그림 4-3 | 가중치 산정방법



자료 : 저자작성

표 4-2 | 재해별·시설별 피해가능성

시설	폭우	가뭄	폭염	폭설	강풍	해수면상승
상하수도시설	1	0.8	0.4	0.2	0.2	0.8
열가스공급시설	0.8	0.2	0.8	0.6	0.4	0.6
전기공급시설	0.8	0.2	0.6	0.8	0.8	0.4
방송통신시설	1	0.2	0.4	0.6	1	0.4
산업단지	1	0.6	0.6	0.8	0.6	0.4
물류단지	1	0.2	0.4	1	0.6	0.4
도시내업무상업	1	0.2	0.8	0.8	0.6	0.2
일반도로	1	0.2	0.4	1	0.6	0.4
고속도로	1	0.2	0.4	1	0.8	0.2
철도	0.8	0.2	0.6	1	0.6	0.2
터미널/역사	1	0.2	0.2	1	0.8	0.6
소방서	1	0.6	0.6	0.8	0.6	0.2
병원	0.8	0.4	0.8	0.8	0.4	0.2
경찰서	1	0.4	0.6	0.8	0.6	0.4
관공서	1	0.4	0.6	1	0.6	0.2
대피수용시설	1	0.2	0.6	0.8	0.4	0.4

자료: 저자 작성

표 4-3 | 재해대응 단계별·시설별 가중치

기반시설 구분		복합재난 관리단계			
대분류	세분류	예방	대응	단기	장기
필수 서비스 공급시설	상하수도시설	12.8	6.7	19	6.7
	열가스공급시설	7.28	4.56	6.88	3.6
	전기공급시설	13.04	10.56	13.6	6.24
	방송통신시설	5.3	6.9	6.1	4.4
경제활동 기반시설	산업단지	4.2	2.2	2.1	9.5
	물류단지	2.5	2.1	3.3	9
	도시내업무상업	3.2	3.1	5	13.5
교통 기반시설	일반도로	5.1	7.5	7.6	8.8
	고속도로	5.9	5.6	4.2	7.7
	철도	4.32	3.36	2.72	6.16
	터미널/역사	7.5	4.4	3.2	6.9
구호 및 대응시설	소방서	5.2	10.6	2.8	1.6
	병원	5.68	9.12	4.4	3.12
	경찰서	2.9	4.1	2.6	2.6
	관공서	4.1	5.6	4.1	3.4
	대피수용시설	3.5	6.7	5.6	1.8

자료: 저자 작성

가중치를 적용한 후에 전체 집계구를 대상 자연적 분위법(Jenks 최적화 방법)을 통해 집계구별 등급값을 4단계로 부여하여 최종적으로 복합재난 단계별 관리지도를 구축한다.

<Jenks 최적화 방법>

① 전체 자료집단의 평균값($\overline{X}$)을 산출하고, 각 관측치의 평균으로부터 분산정도를 계산

$$SDAM = \Sigma (X_i - \overline{X})^2$$

② 등급구간 설정 후, 각 등급구간의 평균($\overline{Z_c}$)을 산출하고, 각 등급구간에 속한 관측치들이 구간 평균으로부터의 분산정도를 산출한 후 전체 분산의 합을 계산

$$SDCM = \Sigma\Sigma (X_i - \overline{Z_c})^2$$

③ GVF의 값 산출

$$GVF = \frac{SDAM - SDCM}{SDAM}$$

④ 등급구간을 변화시켜 SDCM을 구하여 GVF값이 1에 근접하는 최대값이 될 때의 구간이 최적화된 등급구간임

※ 자연적 구분법(Jenks 최적화 방법) : GVF(Goodness of Variance Fit)은 등급 평균으로부터 편차의 제곱의 합이 최소가 되는 지점을 찾아 그룹화하는 방법으로, 그룹 내에서는 동질성을, 각 그룹 간에는 이질성을 최대화하는 것임

자료: 국토교통부 2018 P11

2. 사례지역의 복합재난 관리지도 구축 및 분석

1) 사례지역 선정 및 현황

사례지역은 재해취약성 분석결과 검증 수행 지자체, 지하공간통합지도 구축사업 수행 지자체 등을 종합적으로 고려하여 수원시로 선정했다. 재해취약성 분석결과를 검증한 지자체는 총 30개 지자체이며, 지하공간통합지도 구축까지 수행한 지자체는 수원시와 인천광역시가 유일하다. 하지만, 「지하안전관리에 관한 특별법」지원하에 지하공간통합지도 구축사업이 이루어진 지자체는 수원시가 유일하기 때문에 수원시를 사례지역으로 선정했다. 수원시의 지하시설물 DB 구축은 지하시설물 6종(상수도, 하수도, 통신, 난방, 전력, 가스), 지하구조물 6종(지하철, 공동구, 지하상가, 지하도로, 지하보도, 지하주차장), 지반 3종(시추, 지질, 관정) 등 총 15종 지하정보를 3차원기반으로 통합 구축했다.

그림 4-4 | 지하공간통합지도 구축사업 진행 현황

자료: 저자작성

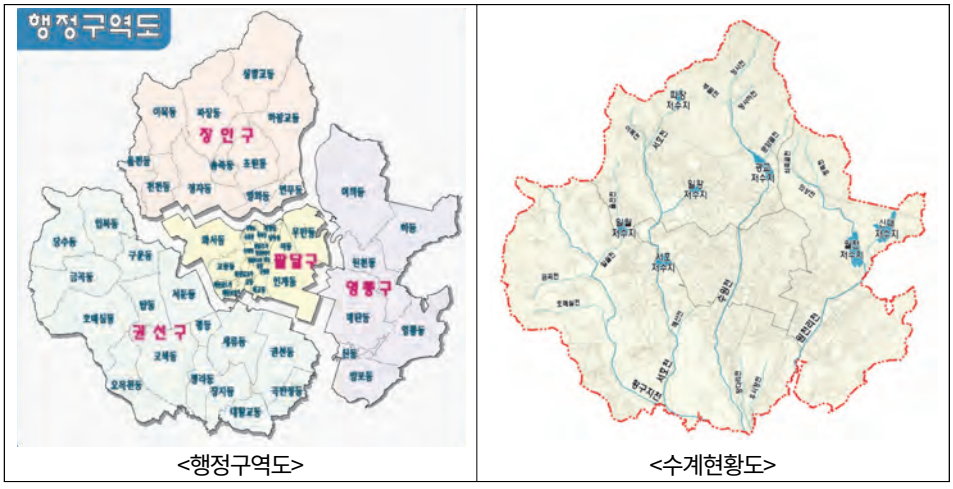
사례지역인 수원시의 행정구역 총면적은 121.05km^{2}이며, 행정동 41개동, 법정동 56개동으로 구성되어 있으며 인구는 총 1,174,228명(2014년 기준)이다. 수원시는 폭우(태풍, 호우)로 인해 가장 큰 피해가 발생하고 있으며, 특히 2010년 발생한 태풍 곤파스에 의해 가장 많은 피해가 발생했다.

표 4-4 | 수원시 행정구역 현황

행정구역명	면적(㎢)	구성비(%)	행정구역명	면적(㎢)	구성비(%)
장안구	33.34	27.54	권선구	47.17	38.97
팔달구	12.86	10.62	영통구	27.68	22.87

자료: 수원시 2015

그림 4-5 | 수원시 행정구역도 및 수계현황도



<행정구역도> <수계현황도>

자료: 수원시 2017

표 4-5 | 수원시 재난 피해 현황

(단위: 인명피해(명), 재산피해(천원))

구 분	계	인명피해								재산피해		
		태 풍				호 우				피해액 합계	태풍	호우
		소계	사망	실종	이재민	소계	사망	실종	이재민			
10년계	1,354	95	-	-	95	1,259	-	-	1,259	5,837,444	1,864,289	3,973,155
2015년	24	-	-	-	-	24	-	-	24	9,000	-	9,000
2014년	41	-	-	-	-	41	-	-	41	12,000	-	12,000
2013년	29	-	-	-	-	29	-	-	29	6,600	-	6,600
2012년	1,162	-	-	-	-	1,162	-	-	1,162	1,586,704	8,131	1,578,573
2011년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	767,719	-	767,719
2010년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,115,904	1,856,158	259,746
2009년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,223,222	-	1,223,222
2008년	95	95	-	-	95	-	-	-	-	-	-	-
2007년	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006년	3	-	-	-	-	3	-	-	3	128,295	-	128,295

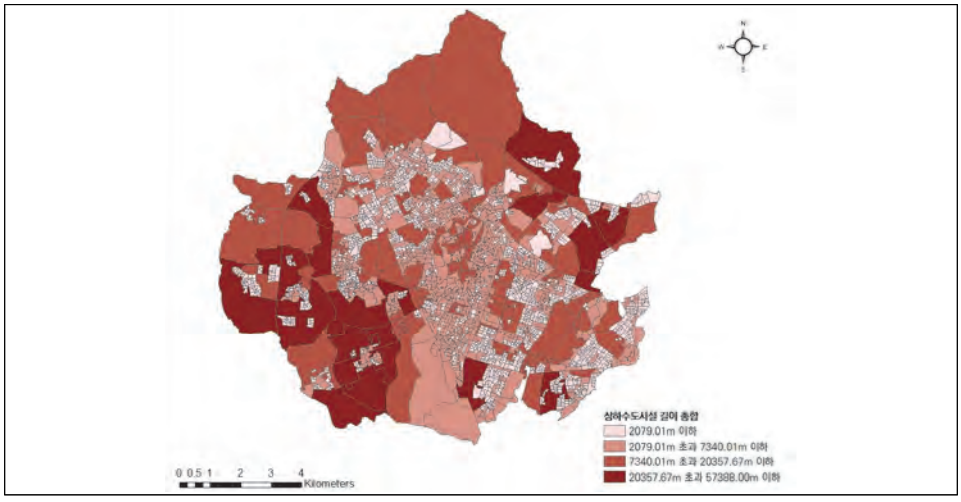
자료: 수원시 2017

2) 사례지역의 필수서비스 공급시설 현황

복합재난의 경우 한 지역의 피해가 다른 지역으로 확산되어 피해가 확대되어 발생하기 때문에 선형기반시설인 필수서비스 공급시설의 관리는 매우 중요한 요소이다. 이러한 점으로 고려하여 본 연구에서는 수원시에서 제공받은 필수서비스 공급시설의 현황을 별도의 절로 구분하여 분석했다. 수원시의 필수서비스 공급시설은 14개의 선형기반시설물로 구성되어 있으며, 집계구별(2,374개)로 선형기반시설의 길이를 산정하여 지표값을 도출했다. 수원시에서 공급받은 지하시설물 데이터 중 상·하수도시설의 경우 상수폐관로, 상수관로, 급수관로, 광역상수관, 하수연결관, 차수거관리, 하수관거, 측구 등의 선형기반시설로 구성되어 있다. 열가스공급시설은 LPG 배관, 천연가스 배관으로, 전기공급시설은 배전전력구, 전력지중관로로, 방송·통신시설은 통신구, 통신선로로 구성되어 있다.

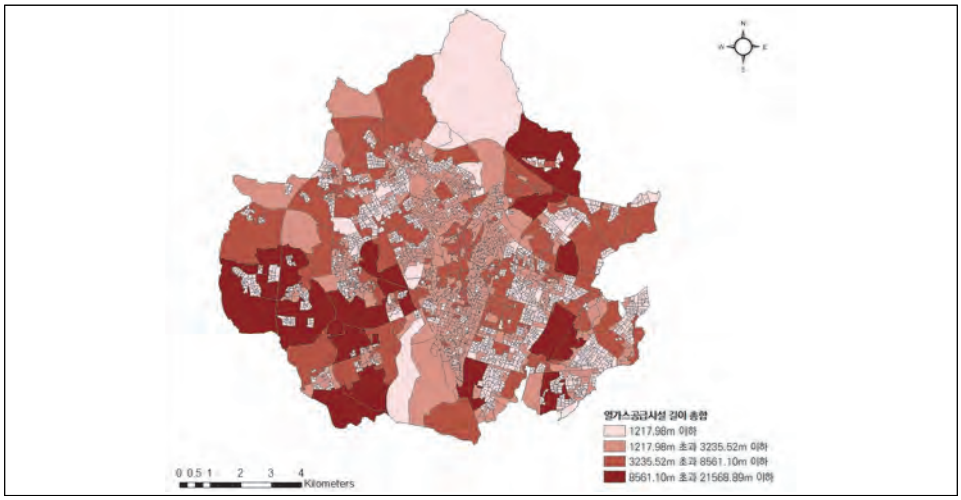
집계구별 선형시설물의 선형길이는 집계구가 넓은 외곽지역이 길게 나타났지만, 지표값의 경우 상대적으로 집계구 면적이 작은 수원시 중심부를 중심으로 높게 나타났다. 선형기반시설은 집계구가 상대적으로 넓은 수원의 외곽인 장안구, 권선구에 많이 매설된 것으로 도출되었다. 하지만, 지표값인 '시설물의 길이/집계구 면적'의 경우 수원시 중앙부분인 팔달구에서 지표값이 높은 것으로 도출되었다.

그림 4-6 | 집계구별 상·하수도시설 선형길이 총합



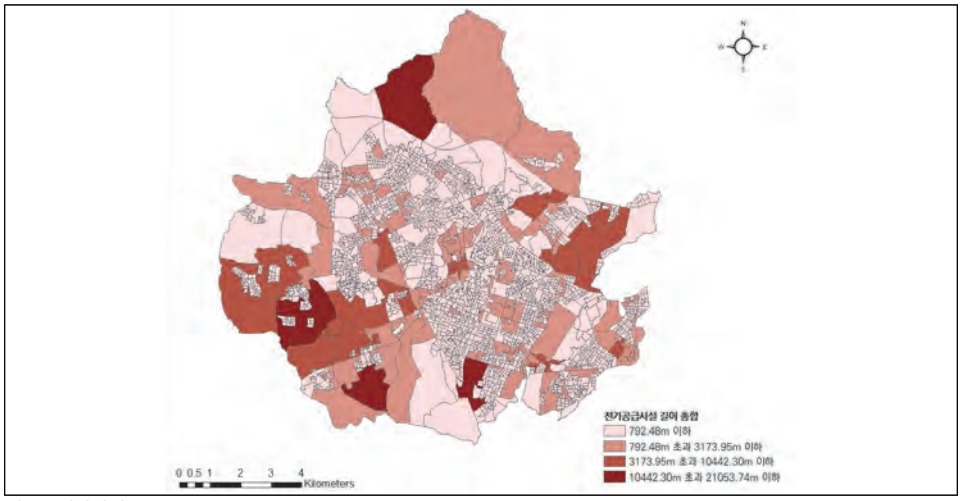
자료: 저자 작성

그림 4-7 | 집계구별 열가스공급시설 선형길이 총합



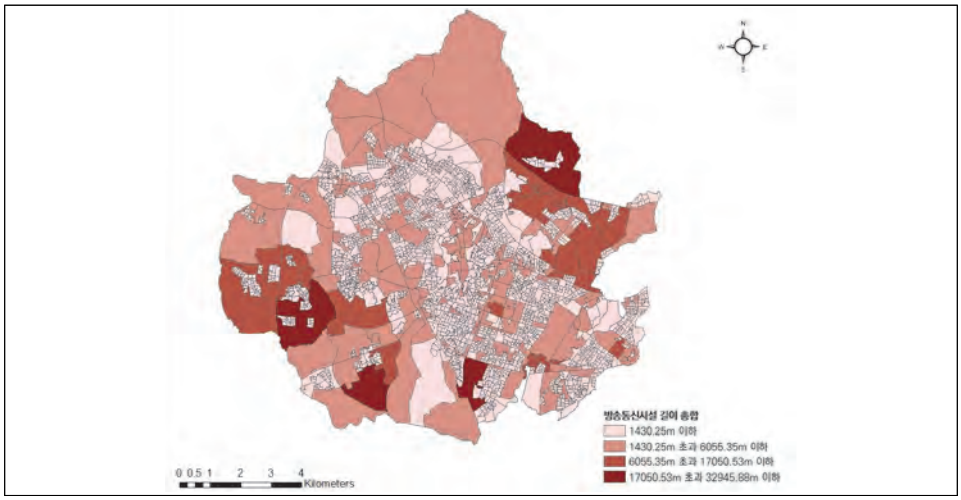
자료: 저자 작성

그림 4-8 | 집계구별 전기공급시설 선형길이 총합



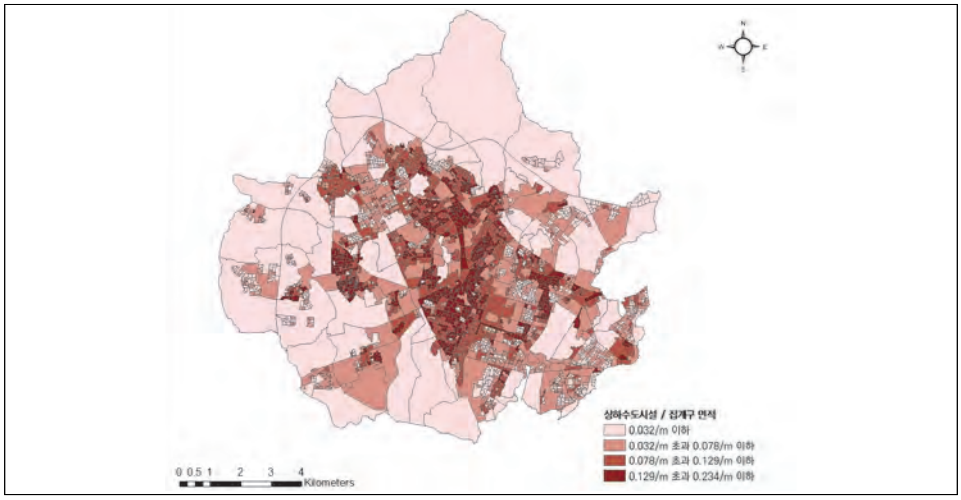
자료: 저자작성

그림 4-9 | 집계구별 방송통신시설 선형길이 총합



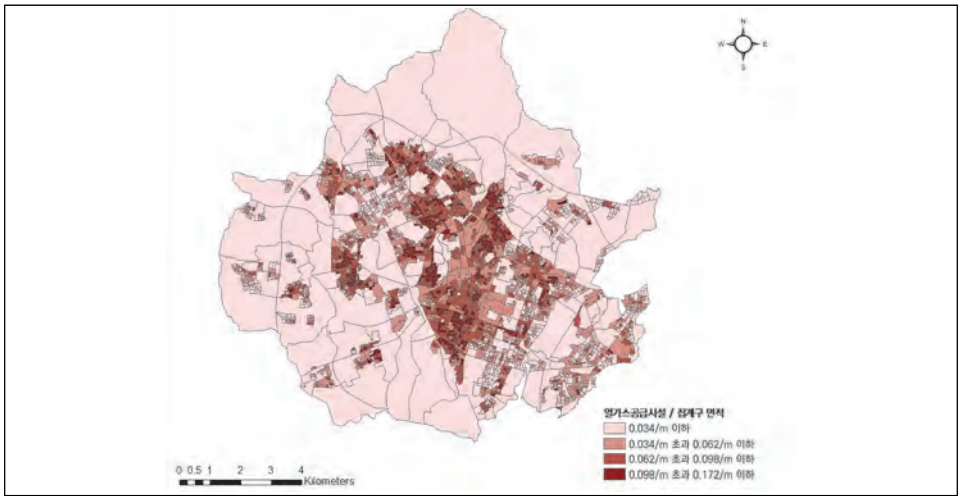
자료: 저자작성

그림 4-10 | 집계구별 상·하수도시설 지표값



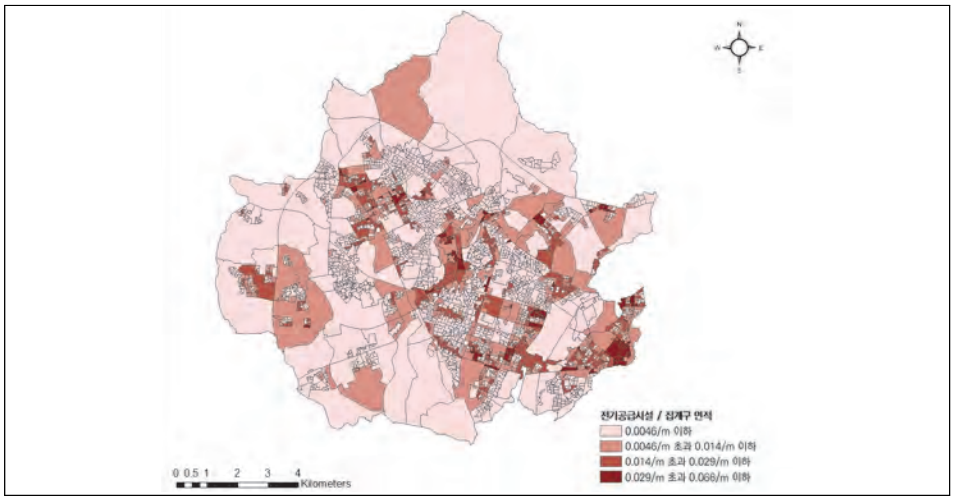
자료: 저자작성

그림 4-11 | 집계구별 열·가스공급시설 지표값



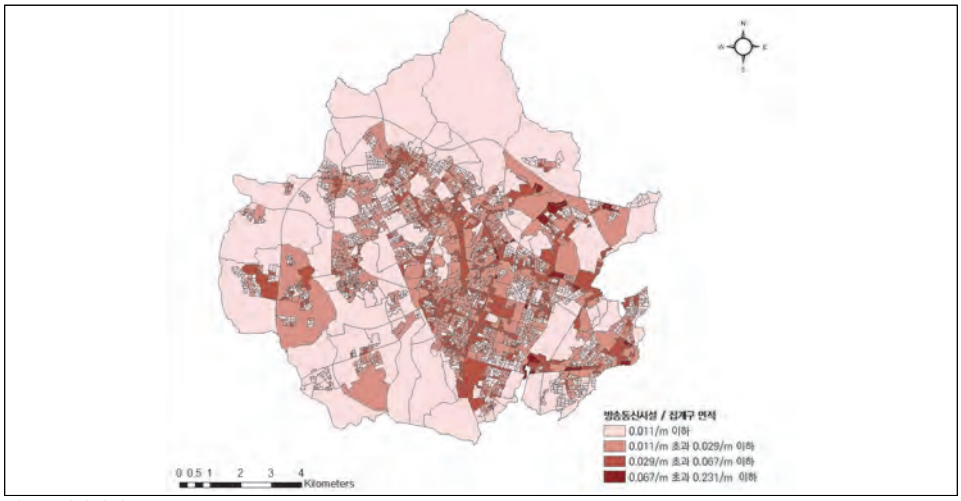
자료: 저자작성

그림 4-12 | 집계구별 전기공급시설 지표값



자료: 저자작성

그림 4-13 | 집계구별 방송통신시설 지표값



자료: 저자작성

3) 복합재난 대응단계별 관리지도 구축

복합재난 대응단계별 관리지도 구축을 위해 시설물별로 전처리 과정을 통해 집계구(2,374개소) 단위로 지표 값을 도출하였다. 지표값 도출을 위한 데이터는 수원시의 재해취약성 분석지표 자료뿐만 아니라, 국토교통부, 행정안전부, 한국국토정보공사 등에서 제공하는 공간자료를 활용하였다. 자료는 전처리 과정(건축물 세부용도 코드 추출, 지오코딩, 면적계산 등)을 수행한 후 집계구 단위로 지표 값을 산정하였으며 각 세부지표 데이터 소스 및 구축방법 등은 <표 4-6>에서 제시하고 있다.

복합재난 대응단계별 관리지도는 집계구 단위로 지표 값을 산정한 후, 표준화, 가중치 적용, 등급화 단계를 통해 구축하였다. 먼저, 집계구별로 각 시설별 지표 값을 산정한 후 표준화를 시킨 후, 집계구별 표준화한 지표 값에 복합재난 대응단계별·시설별 가중치<표 4-3>를 곱하여 복합재난 관리지도를 구축하였다. 그 다음, Jenks natural breaks 분류법을 집계구 단위로 적용하여 최종 복합재난 대응단계별 관리지도 구축하였다.

표 4-6 | 수원시 세부시설별 지표값 구축방법 및 데이터 소스

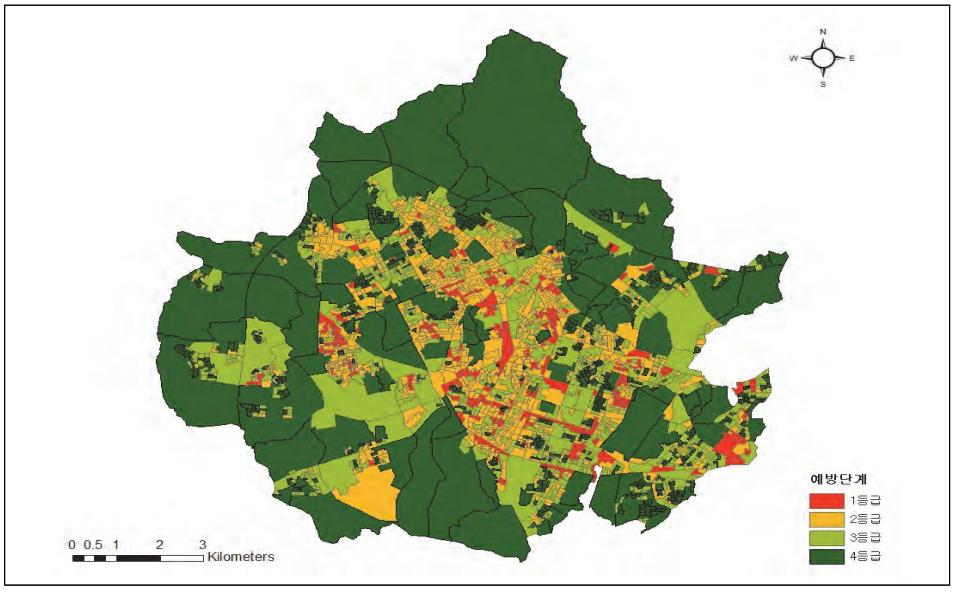
구분	세부 시설	지표값 산정방식	데이터 소스
필수서비스 공급시설	상·하수도시설	시설물 길이/ 집계구 면적	수원시 제공한 선형시설물 데이터(상수폐관로, 상수관로, 급수관로, 광역상수관 하수연결관, 차수거관리, 하수관거, 측구)
	열·가스공급 시설	시설물 길이/ 집계구 면적	수원시 제공한 선형시설물 데이터(LPG 배관, 천연가스 배관)
	전기공급 시설	시설물 길이/ 집계구 면적	수원시 제공한 선형시설물 데이터(배전전력구, 전력지중관로)
	방송·통신 시설	시설물 길이/ 집계구 면적	수원시 제공한 선형시설물 데이터(통신구, 통신선로)
경제활동 기반시설	산업단지	시설물 면적/ 집계구 면적	국토부에서 제공하는 공간자료를 활용하여 면적 산정
	물류단지	시설물 면적/ 집계구 면적	수원시내 물류단지 없음
	업무·상업시설	건물수/ 집계구 면적	행정안전부에서 제공하는 건축물 데이터를 활용하여 건물수 산정 • 건축물 세부용도코드 : 일반업무시설(14200) 중 금융업소(14201), 사무소(14204), 판매시설(07000) 중 백화점(07102), 대형판매점(07103), 대형점(07104), 쇼핑센터(07105)
교통기반시설	일반도로	시설물 면적/ 집계구 면적	국토부에서 제공하는 기능별 도로 공간자료를 활용하여 일반도로 추출 및 면적
	고속도로	시설물 면적/ 집계구 면적	국토부에서 제공하는 기능별 도로 공간자료를 활용하여 고속도로 추출 및 면적 • 다음지도를 활용하여 공간자료 오류로 인한 누락 최소화
	철도	시설물 면적/ 집계구 면적	국토교통부에서 제공하는 철도 공간자료를 활용하여 면적 산정
	터미널/역사/항만/ 공항 등	여부	다음지도를 활용하여 위치 지오코딩
구호 및 대응 시설	소방서	여부	다음지도를 활용하여 위치 지오코딩
	병원/보건소 등 의료시설	여부	LX에서 제공하는 공간자료 활용 • 병원은 대형병원만 고려
	경찰서 등 치안유지 시설	여부	다음지도를 활용하여 위치 지오코딩
	관공서 등 컨트롤타워	여부	다음지도를 활용하여 위치 지오코딩
	대피시설 및 수용시설	여부	LX에서 제공하는 공간자료 활용 • 대피시설은 민방위 대피시설만 고려

자료: 저자 작성

복합재난 예방단계 관리지도는 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화될 수 있는 취약시설이 집중되어 있는 지역으로, 특히 필수 서비스 공급시설이 밀집되어 있는 경우 관리 등급이 높게 산출되어 나타났다. 복합재난 예방단계 관리지도에서 등급이 높은 지역은 필수서비스공급시설뿐만 아니라 교통기반시설, 구호 및 대응시설이 밀집된 지역으로 나타났다.

수원시의 총 2,374개 집계구 중 복합재난 예방단계 관리지도의 등급이 1등급인 집계구는 205개소(8.64%), 2등급 집계구는 697개소(29.36%), 3등급 집계구는 748개소(31.51%), 4등급 집계구는 724개소(30.50%)로 분석되었다. 복합재난 예방단계 관리지도의 1, 2등급이 밀집된 지역은 팔달구, 영동구 서쪽, 장안구 남쪽 등으로 주로 수원시의 중심, 남동쪽에 밀집하였으며 1, 2등급 집계구는 상대적으로 집계구 면적이 작은 인구 밀집지역에 포함되었다.

그림 4-14 | 복합재난 예방단계 관리지도



자료: 저자작성

표 4-7 | 복합재난 예방단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적

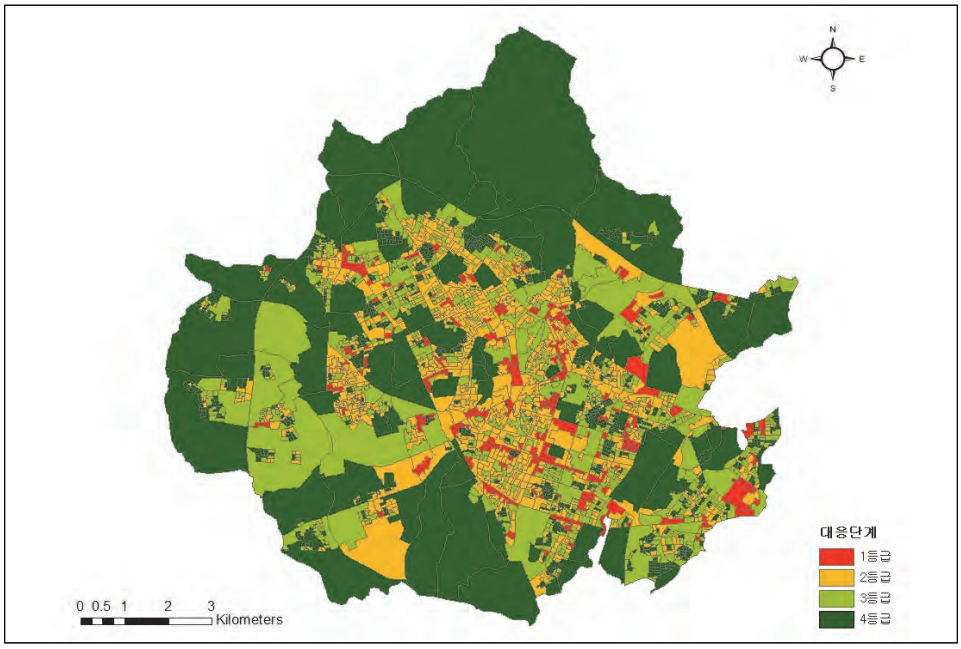
등급	관리등급	집계구 수		집계구 면적	
		개수(개)	비율(%)	면적(km^2)	비율(%)
1등급	매우 높음	205	8.64	15.591	12.90
2등급	높음	697	29.36	20.600	17.05
3등급	보통	748	31.51	45.486	37.65
4등급	낮음	724	30.50	39.143	32.40
계	-	2374	100	120.819	100

자료: 저자작성

복합재난 대응단계 관리지도는 자연재해 발생 후 1일 이내 신속한 인명구조 및 피해확산 방지 등에 초점을 두고 관리해야 하는 중요한 취약시설 또는 지원시설이 집중되어 있는 지역으로, 특히 복합재난으로 피해확산 방지 및 피해 저감을 위한 구호 및 대응시설이 밀집되어 있을 경우 관리등급이 높게 도출되었다. 대응단계 관리등급이 1등급인 집계구에는 구호 및 대응시설이 최소 1개 이상 포함되어 있는 지역으로 대응단계에서 중요한 역할을 하는 지역을 나타낸다.

수원시의 총 2,374개 집계구 중 복합재난 대응단계 관리등급이 1등급인 집계구는 192개소(8.09%), 2등급 집계구는 807개소(33.99%), 3등급 집계구는 714개소(30.08%), 4등급 집계구는 661개소(27.84%)로 분석되었다. 집계구 면적으로는 1·2등급 지역이 전체 면적의 약 34%를 차지하고 있다. 예방단계 관리지도와 비교했을 때 1등급 집계구수는 다소 감소하였지만, 2등급 집계구수는 크게 감소하였으며, 1,2등급 집계구의 면적도 증가하였다. 대응단계에서 2등급으로 계산된 집계구 수가 다른 단계의 2등급수보다 가장 많은 것으로 나타났다.

그림 4-15 | 복합재난 대응단계 관리지도



자료: 저자작성

표 4-8 | 복합재난 대응단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적

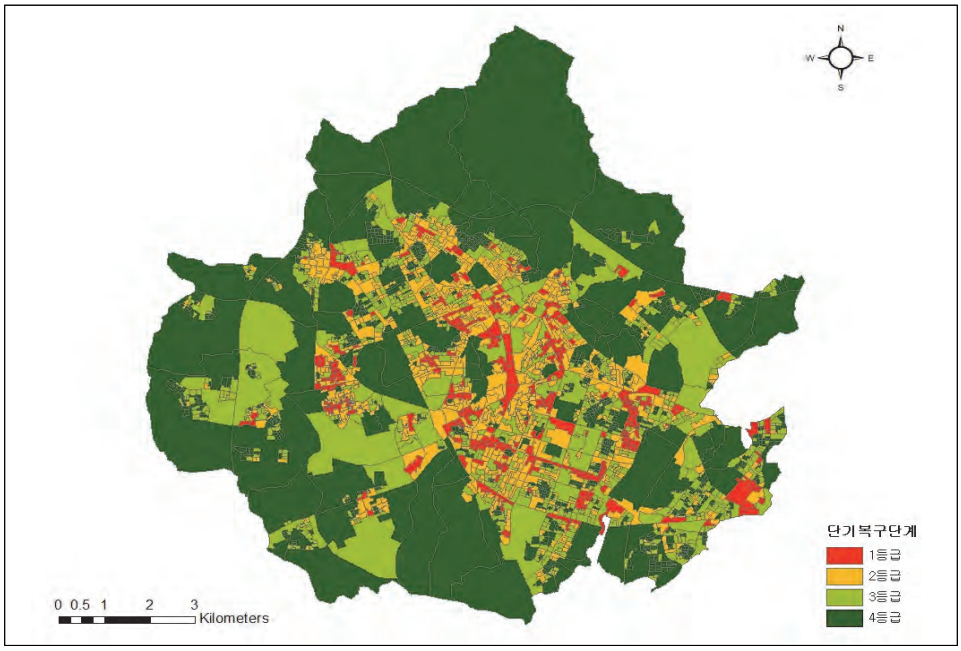
등급	관리등급	집계구 수		집계구 면적	
		개수(개)	비율(%)	면적(km^2)	비율(%)
1등급	매우 높음	192	8.09	14.834	12.28
2등급	높음	807	33.99	25.990	21.51
3등급	보통	714	30.08	43.501	36.01
4등급	낮음	661	27.84	36.494	30.21
계	-	2374	100	120.819	100

자료: 저자작성

복합재난 단기복구단계 관리지도는 시민들의 기본적인 의식주 해결에 초점을 두고 관리해야 하는 중요한 지원시설이 집중되어 있는 지역으로, 특히 필수서비스공급시설이 집중되어 있는 지역에 우선적인 관리가 필요하여 높은 등급으로 도출되었다. 단기복구단계에서는 교통기반시설의 중요성이 대응단계에 비해 떨어지고 경제활동기반시설의 중요성이 더 크기 때문에 수원시에서 관리등급이 높은 지역은 비교적 외곽지역보다 도심지역에 더 많이 분포하고 있다. 도심지역중에서도 관공서와 경찰서, 소방서 등이 있는 지역에 관리등급이 1등급인 집계구가 다수 분포하고 있다.

수원시의 총 2,374개 집계구 중 복합재난 예방단계 관리등급이 1등급인 집계구는 244개소(10.28%), 2등급 집계구는 679개소(28.60%), 3등급 집계구는 748개소(31.51%), 4등급 집계구는 703개소(29.61%)로 분석되었다. 단기복구 단계에서는 대응단계에 비해 관리등급 1등급의 집계구 개소가 증가하고 2등급의 집계구 개소가 감소하였으며 단기복구의 1등급 집계구의 수가 가장 많은 것으로 나타났다.

그림 4-16 | 복합재난 단기복구단계 관리지도



자료: 저자작성

표 4-9 | 복합재난 단기복구단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적

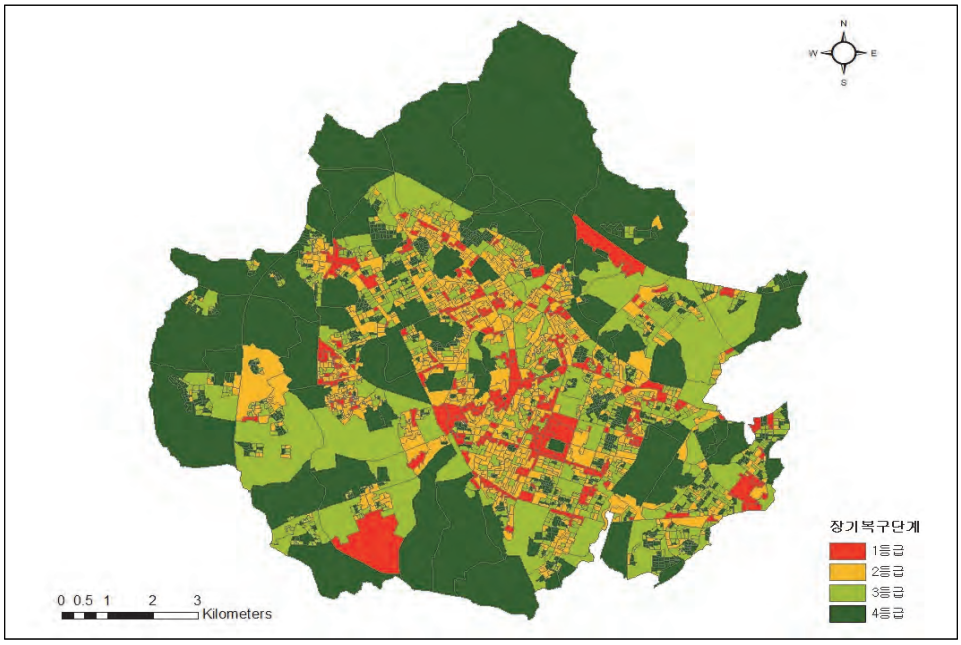
등급	관리등급	집계구 수		집계구 면적	
		개수(개)	비율(%)	면적(km^2)	비율(%)
1등급	매우 높음	244	10.28	16.211	13.42
2등급	높음	679	28.60	21.399	17.71
3등급	보통	748	31.51	44.473	36.81
4등급	낮음	703	29.61	38.737	32.06
계	-	2374	100	120.819	100

자료: 저자작성

복합재난 장기복구단계 관리지도는 시민들의 정상적인 사회·경제생활 회복에 초점을 두고 관리해야 하는 중요한 지원시설이 집중되어 있는 지역으로 특히, 경제활동기반시설이 밀집해 있는 지역에서 높은 등급이 도출되었다. 장기복구단계에서는 경제활동기반시설이 밀집해 있고 인구밀도가 높은 도심지역(작은 집계구)에서 관리등급이 높게 도출되었다.

수원시의 총 2,374개 집계구 중 복합재난 예방단계 관리등급이 1등급인 집계구는 218개소(9.18%), 2등급 집계구는 780개소(32.86%), 3등급 집계구는 754개소(31.76%), 4등급 집계구는 622개소(26.20%)로 분석되었다. 장기복구 단계에서 관리등급 1,2등급의 집계구 면적은 약 35%로 관리단계 중 가장 면적이 넓게 나타났다.

그림 4-17 | 복합재난 장기복구단계 관리지도



자료: 저자작성

표 4-10 | 복합재난 장기복구단계 관리지도 등급별 집계구 수 및 면적

등급	관리등급	집계구 수		집계구 면적	
		개수(개)	비율(%)	면적(km^2)	비율(%)
1등급	매우 높음	218	9.18	12.494	10.34
2등급	높음	780	32.86	29.549	24.46
3등급	보통	754	31.76	43.700	36.17
4등급	낮음	622	26.20	35.075	29.03
계	-	2374	100	120.819	100

자료: 저자작성

CHAPTER 5

복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립

1. 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 요소 도출 | 97

2. 사례지역 적용 방법 | 112

CHAPTER 5

복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립

본 장에서는 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획을 수립하는 방법에 대해서 제시한다. 이를 위해 기 도출된 재해 예방형 도시계획 요소를 대응단계별/대책별/위계별 특징을 고려하여 재분류한다. 하지만, 재해취약성 분석결과와 관리지도만으로는 현장에 재해 예방형 도시계획을 수립하는데 한계가 있기 때문에 이를 보완하기 위한 현장조사 방법을 제시하였다. 이를 바탕으로 수원시의 특정 사례지역을 대상으로 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획을 수립을 제안하였다.

1. 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 요소 도출

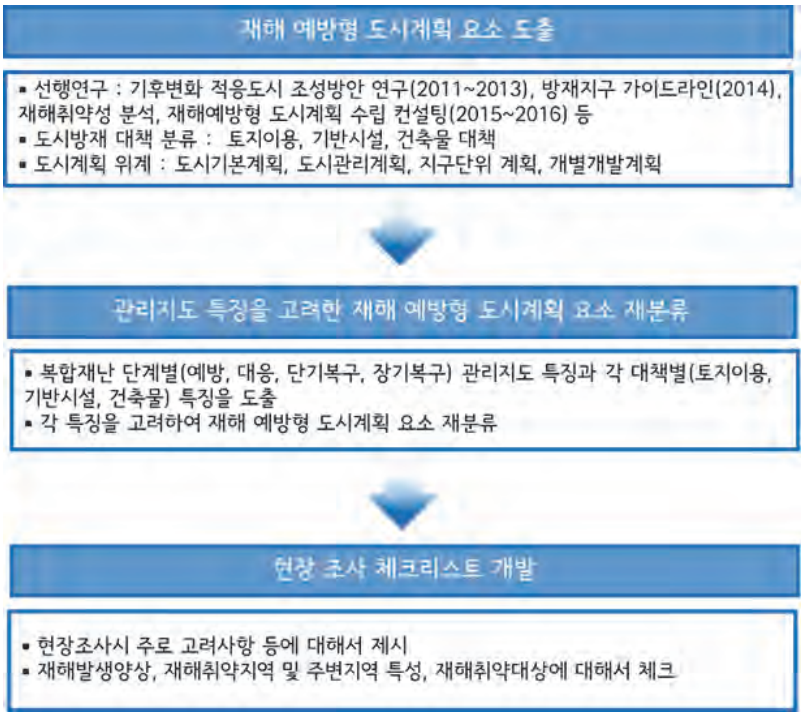
재해 예방형 도시계획의 기본 개념은 기후변화 재해에 안전한 도시공간 조성을 위해 도시 내 재해위험의 시·공간적 변화에 따른 재해취약지역 및 주변지역에 대한 도시계획적 대책(토지이용배치, 기반시설 입지와 설치, 대지조성 및 건축물 등)을 종합적으로 고려하여 수립하는 적응전략계획이다. 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 통합적 전략은 구조적 대책과 비구조적 대책 모두에 해당하며, 기존의 위험 수준 및 특징과 잠재적으로 미래의 위험 변화를 인식하는 것이 중요하다. 도시 복합재난 피해를 최소화하기 위해 의도된 도시계획적 대책은 보통 비구조적인 또는 유연한 대책을 의미하며, 기존의 구조적 대책과 상호 보완적이며 통합적인 접근방법을 지속적으로 적용하기를 요구한다.

재해취약성 분석 등 도시방재 정책이 제도화되는 과정에서 다양한 선행연구가 진행되었으며, 선행연구에서는 다양한 재해 예방형 도시계획 요소들이 제안되었다. 하지

만, 대체로 특정 취약특성을 고려하지 않은 인벤토리 형태로 제공되고 있기 때문에 실효성 있는 재해 예방형 도시계획 수립에는 한계가 있었다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 기 제안되었던 재해 예방형 도시계획 요소를 복합재난 대응단계별, 대책별, 위계별로 재분류했다. 또한, 실효성 있는 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 현장조사용 체크리스트도 개발하였다.

우선 복합재난 대응단계별 관리지도 특징을 고려한 재해예방형 도시계획 요소 도출 단계에서는 선행연구 등에서 기 제시된 도시방재 대책을 분류하고, 현장조사를 위한 체크리스트 작성방법에 대해서 제시하였다. 자세히 보면, 재해예방형 도시계획 요소도출에서는 선행연구에서 인벤토리 형태로 제시한 대책(토지이용, 기반시설, 건축물 대책)을 도시계획 위계별(도시기본, 도시관리, 지구단위, 개별 개발계획)로 분류하였다. 또한 관리지도 특징을 고려한 재해예방형 도시계획 요소 재분류에서는 각 단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 특징을 고려하여 재해예방형 도시계획 요소를 재분류하였다. 최종적으로 현장조사 체크리스트 개발단계에서는 현장조사시 필요한 고려사항을 도출하였다.

그림 5-1 | 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 도출과정



자료 : 저자작성

1) 재해 예방형 도시계획 요소 도출

재해 예방형 도시계획 요소는 선행연구에서 제시한 재해 예방형 도시계획 요소를 종합하여 도출하였다 <표 5-2>. 재해취약성 분석 제도가 도입되면서 다양한 재해 예방형 도시계획 요소 대책 관련 연구가 수행되었는데, 기후변화 적응도시 조성방안 연구(2011~2013), 방재지구 가이드라인(2014), 재해취약성분석, 재해예방형 도시계획 수립 컨설팅(2015~2016) 등이 대표적인 연구이다. 선행연구에서 제시한 재해 예방형 도시계획 요소는 크게 토지이용부문, 기반시설부문, 건축물 부문 등으로 구성되어 있다. 토지이용부문은 공간구조 및 용도배치, 회피 및 이격, 입지 및 시설제한 등의 세부항목으로 구성되고, 기반시설부문은 세부시설별(도로, 학교, 운동장, 공공청사, 주차

장, 공원, 광장, 유원지, 공공공지 등)로 구성되었으며, 건축물부문은 건축대지, 건물 용도배치, 건축구조, 건축설비 등의 세부항목으로 구성되어 있다.

도시계획 위계별 재해예방형 도시계획 요소 관련하여, 재해취약성 분석 지침에서는 재해취약성분석결과의 활용을 도시·군기본 및 관리계획, 재해저감대책 수립 등에 활용하도록 범위를 제시하고 있다. 또한, 재해취약성 분석 교육자료에서는 도시·군기본계획, 도시·군관리계획, 지구단위계획, 개별 개발사업 등의 위계별로 도시계획요소 적용 방향을 제시하고 있다. 도시·군기본계획에 대해서는 재해예방형 도시계획 요소를 부문별 계획 수립시 반영하도록 제시하고 있으며, 주로 토지이용(시가화용지, 시가화예정용지, 보전용지)에 대한 지정 기준 마련, 계획시설의 입지 및 설치기준 제시 등의 재해예방형 도시계획 요소 활용을 제시하였다. 도시·군관리계획에 대해서는 용도지역·지구·구역, 기반시설계획, 도시개발사업, 경관계획, 안전계획, 환경성 검토 등의 세부계획 등에서 활용 가능한 재해예방형 도시계획 요소를 제시하였다. 지구단위계획 관련해서는 구역의 지정, 토지이용, 도시·군계획시설, 건축물(용도, 배치, 형태 등), 공동개발, 특별계획구역 등의 계획을 수립할 때 각각에 맞는 토지이용, 건축물 및 시설에 대한 종합적이고 다양한 재해예방형 도시계획 요소를 제시하였다. 개별 개발사업시에는 건축물의 입지 및 방재기준, 절성토 등 형질변경, 토석채취, 물건적치 등의 개발사업시 맞는 재해예방형 도시계획 요소를 제시하였다.

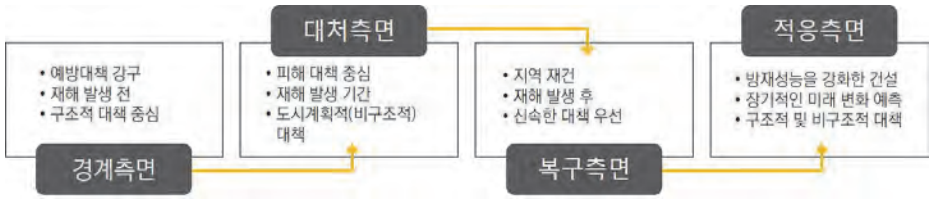
2) 관리지도 특징을 고려한 재해예방형 도시계획 요소 재분류

도시 복합재난 관리를 위한 재해예방형 도시계획 대책은 토지이용, 기반시설, 건축물 대책의 주요 역할을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다. 토지이용 대책은 복합재난으로 인한 대형 충격을 효과적으로 분산 및 흡수하는 것을 주 목적으로 하며, 공간구조/용도배치/입지 등의 대책을 포함한다. 기반시설 대책은 복합재난으로 인한 2, 3차 피해 확산 혹은 복합재난 피해가 대형화 되는 것을 방지하는게 주 목적이며, 주요 기반시설과 주변지역 상황을 고려한 공통 대책 및 기반시설별 방재기능 강화 대책을 포함한다. 건축물 대책은 건축물이 복합재난으로 인한 주요 피해 대상임을 감안하여 복합재난 충격시 피해가 발생하는 것을 최대한 억제하는 것을 주 목적으로 하며, 건축구조/용도/설비 관련한 사전대비책을 포함한다.

토지이용, 기반시설, 건축물 대책을 활용하여 도시 복합재난을 효과적으로 관리하기 위해서는 통합적 재해대책수립 과정이 중요하다. 특히 도시 복합재난 관리를 위한 대책수립에 있어 통합적 운영을 위해 재난발생 전·중·후를 고려한 접근방법이 필요하다.

<그림 5-2>의 세계은행 자료에 따르면, 우선 경계측면(본 연구에서의 예방)에서 재난이 발생하기 전 사전 예방대책 중심의 접근방법이 필요하고, 대처측면(본 연구에서의 대응)에는 재난발생 기간 내 피해확산 방지대책을 강구하고, 공공시설 등 주요 인프라시설 보호방안 마련 중심의 접근방법이 필요하다. 복구측면(본 연구에서의 단기복구)에는 재난이 발생한 이후 피해지역에 대한 복구전략 수립, 도시조직 및 구조의 신속한 정상화 중심의 접근방법이 중요하다. 마지막으로 적응측면(본 연구에서의 장기복구)에는 재난피해지역을 중심으로 구조적 및 비구조적 대책을 도시계획적 측면에서 점검하고, 장기적인 적응전략 수립을 위한 접근방법이 필요하다. 결국 도시의 재해취약성 저감 및 재해회복력 증가를 위한 능력은 4가지 측면(예방, 대응, 단기복구, 장기복구)을 모두 고려토록 해야 하며, 유기적 연결고리를 통한 통합적 접근방법이 요구된다. 이에 재해예방형 도시계획은 미래를 고려한 시·공간적 적응전략계획으로, 단순복구측면 뿐만 아니라 경계와 대처, 그리고 적응측면까지도 장기복구 시 중점적으로 접근이 가능하다.

그림 5-2 | 통합적 재해대책수립을 위한 접근방법



출처: The World Bank. 2012.

복합재난 예방 단계에서는 복합재난 관리지도에서 도출된 필수서비스 공급시설 등 재해발생시 복합재난으로 악화될 수 있는 시설물이 밀집된 지역을 대상으로 사전에 취약요인을 원천적으로 제거하기 위한 재해예방형 도시계획 대책을 마련한다. 토지이용 대책은 복합재난 관련한 공간적 취약요인을 사전에 원천적으로 제거하기 위해 유출경로, 피해발생 양상 등의 취약특성을 고려한 공간배치를 추진한다. 주요 대책으로는 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치, 폭우취약성을 고려한 용도배치 등이 있다. 기반시설 대책은 복합재난 취약지역에 필수서비스 공급시설 등의 취약시설물이 입지하여 취약요인이 증가하는 것을 사전에 방지하고 이미 입지하였을 경우 취약요소 관리를 통해 취약요인을 최대한 제거한다. 주요 대책으로는 취약지역에 중요시설 결정 및 설치 지양, 중추적인 시설은 시/군 전체의 공간구조를 고려하여 재해로부터 안전한 지역에 단독형으로 설치 등이 있다. 건축물 대책은 취약건축물을 취약지역에서 최대한 이격시키고 취약건축물 내의 취약요소를 관리하여 그 보호기능을 최대한 강화토록 추진하며, 주요 대책으로는 재해취약지역의 이격, 상습침수지역 내 지하층 또는 예상침수위 이하 부분에 주거용도 제한 등이 있다.

복합재난 대응 단계에서는 복합재난 관리지도에서 인명피해 및 피해 대형화 방지를 위해 도출된 취약 및 지원시설, 구호 및 대응시설과 그 밀집지역을 대상으로 복합재난 피해의 확산을 저지하기 위한 사전계획 위주의 재해예방형 도시계획 대책을 마련한다.

토지이용 대책은 복합재난 피해의 확산을 방지하기 위하여 피해가 우려되는 시설과 그 밀집지역 주변에 완충공간 등을 조성하여 보호하며, 주요 대책으로는 하천변·연안변·급경사지 등과 이격(set back) 및 완충지대 조성 등이 있다. 기반시설 대책은 피해 발생시 빠른 피해 확산 우려가 있는 고연결성 기반시설 자체에 대하여 피해확산을 적극적으로 방지하기 위한 사전대책을 수립한다. 주요 대책으로는 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치, 고지대 학교의 경우 하류 시가지 침수 방지를 위한 교문 횡단배수로 및 지하저류조 설치 등이 있다. 건축물 대책은 복합재난 피해 우려가 있는 건축물에 대한 2차 피해 방지대책과 피해지역 인근에 위치한 취약건축물로의 피해확산을 막기 위하여 긴급관리 대상을 사전에 파악하고 관리 대책을 마련한다. 주요 대책으로는 대피를 위한 건축배치 조정(건축선 등) 등이 있다.

복합재난 단기복구 단계에서는 복합재난 발생 직후의 도시 필수기능 회복을 주요 목표로 복합재난 관리지도에서 도출된 시민들의 일상생활 관련 필수시설과 그 밀집지역을 대상으로 재해예방형 도시계획 대책을 마련한다. 토지이용 대책은 복합재난 발생 직후에 있을 도시 필수기능 회복 작업을 촉진하기 위해 사전에 필수기능 확보 용이성을 고려한 공간(대피구역 등)을 설정한다. 주요 대책으로는 재해저감대책 수립을 위해 재해취약지역을 포함하여 구역 지정 및 조정, 특별계획구역 계획시 방재 시설의 기부채납, 우수유출저감시설 검토 등이 있다. 기반시설 대책은 일반시민들의 일상생활을 시급히 지원하기 위해 필요한 필수공급시설의 우선적 보호 및 기능복구 관련 사전계획을 마련하며, 주요 대책으로는 재해 발생 시 주민의 일시적 체류를 위한 시설 설치 등이 있다. 건축물 대책은 복합재난 피해 건축물의 조기 기능 회복을 위해 피해 건축물의 안전진단 및 기능 복구를 고려한 사전계획을 마련한다. 주요 대책으로는 층별 주용도 제한 (침수위 이하 주거, 설비실) 등이 있다.

복합재난 장기복구 단계에서는 복합재난 위협요인을 수동적으로 제거하는 수준을 넘어서 복합재난 발생 후 지속적으로 적응능력을 제고하기 위해 복합재난 관리지도에서 도출된 경제활동 및 사회활동 기반시설과 그 밀집지역을 대상으로 적응능력 및 안전수준의 적극적 향상을 위한 재해예방형 도시계획 대책을 마련한다. 토지이용 대책은 복

합재난 발생을 계기로 복합재난 충격의 흡수능력을 극대화하기 위하여 공간구조를 복합재난에 안전하도록 전환하기 위한 대책을 추진한다. 주요 대책으로는 재해취약지역 보전계 용도지역 전환 또는 유지, 재해취약지역의 공동개발 지정 및 재해저감대책 수립 등이 있다. 기반시설 대책은 복합재난 관련 모든 경제활동 및 사회활동 기반시설에 대하여 복합재난 적응능력을 극대화하기 위한 적극적 방재기능 부여 대책을 마련한다. 주요 대책으로는 공공시설의 방재활용 가능성 검토, 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성재료, 잔디블록 사용, 생태연못 설치 등이 있다. 건축물 대책은 대형재난 발생 가능성을 적극적으로 검토하여 개별 건축물의 안전수준을 향상시키기 위한 대책을 도입한다. 주요 대책으로는 저지대 상습침수지역 지반고 예상침수위 이상으로 승고, 건축물 내수화(내수성 건축재료 사용), 주요 건축설비 예상침수위 이상에 설치 등이 있다.

표 5-1 | 복합재난 대응단계별 특징과 연계한 재해 예방형 도시계획 대책 제시 틀

관리지도	주요 특징 및 관리시설	재해 예방형 도시계획 대책		
		토지이용	기반시설	건축물
예방단계	취약요인 제거	취약특성을 고려한 공간배치	취약지역에 기반시설 입지 지양 및 취약요소 관리	취약건축물 보호기능 강화
대응단계	피해확산 저지	피해확산 방지를 위한 완충공간 등 구성	고연결성 기반시설에 대한 피해확산 방지대책 적용	피해 건축물 및 피해지역 인근 취약건축물 긴급관리 사전계획
단기복구 단계	필수기능 회복	필수기능 확보 용이성을 고려한 공간(대피구역 등) 설정	필수공급시설 보호 및 기능 복구	피해 건축물 안전진단 및 기능 복구 사전계획
장기복구 단계	적응능력 제고	복합재난 충격흡수능력 강화를 위한 공간구조 전환 대책 추진	기반시설 복합재난 적응능력 강화대책	건축물 안전수준 향상대책

자료: 저자작성

표 5-2 | 복합재난 대응단계별 특징과 연계한 재해 예방형 도시계획 대책

계획 영역	세부 항목	재해 예방형 도시계획 대책	도시 복합재난 관리 단계				도시계획 위계별			
			예방	대응	단기 복구	장기 복구	기본	관리	지구	개별
토지 이용	공간구조 및 용도배치	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치	○	○			○	○	○	○
		• 폭우취약성을 고려한 용도배치	○	○			○	○	○	○
		• 재해취약지역 보전계 용도지역 전환 또는 유지의 원칙(예, 녹지지역 및 비도시시지역)				○	○	○	○	○
		• (구역지정) 재해저감대책 수립을 위해 재해취약지역을 포함하여 구역 지정 및 조정	○	○	○				○	
		• (공동개발) 재해취약지역의 공동개발 지정 및 재해저감대책 수립				○			○	
		• (특별계획구역) 특별계획구역 계획시 방재 시설의 기부채납, 우수유출저감시설 검토			○	○			○	
		• 토지매수 및 주민이주(공공 토지매수, 개발권 매입, 기성시가지내 소규모 취락지구 이전 검토, 대체토지 마련 등)	○				○	○		
		• 방재지구 지정 검토	○		○		○	○	○	
	회피 및 이격	• 주민거주가 적은 지역 내 폭우취약지역 신규개발 억제, 보전	○	○			○	○		
		• 가급적 원형을 보전하고, 수체계와 연계한 오픈스페이스 계획								
		• 하천변 저지대 수퍼제방 조성	○	○			○	○		
		• 하천변·연안변·급경사지 등과 이격(set back) 및 완충지대 조성	○	○			○	○		
	입지 및 시설제한	• 도로·지하도로·철도·공항 등 교통시설은 폭우취약지역 내 설치 제한	○				○	○		
		• 학교·공공청사·종합의료시설은 폭우취약지역 내 설치 제한	○				○	○	○	
		• 유원지의 야영장 및 숙박시설·반지하주택·대피시설은 폭우취약지역 내 설치 제한	○					○	○	
		• 공원에 저류시설을 설치하는 경우 가급적 보호하고자 하는 폭우취약지역 직상류에 설치				○			○	○

계획 영역	세부 항목		재해 예방형 도시계획 대책	도시 복합재난 관리 단계				도시계획 위계별			
				예방	대응	단기 복구	장기 복구	기본	관리	지구	개별
			• 화장시설·공동묘지·납골시설·자연장지는 지형상 배수가 잘되고 붕괴나 침수의 우려가 없는 장소에 설치	○			○			○	○
			• 투수성 및 침식성이 강한 토양의 개발 최소화				○			○	○
			• 전기공급설비·가스공급설비·유류저장 및 송유설비는 침수 및 산사태 등 재해발생 가능성이 적은 지역에 설치		○		○		○		
기반 시설	공통		• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등)	○	○	○		○	○		
			• 방재시설 중복결정(복합화)				○			○	○
			• 방재시설 확충 (예, 방수설비 용량 강화, 지표면 저류, 지하저류조 설치 등)				○			○	○
			• 방재측면을 고려한 (장기)미집행시설의 단계별 집행계획 수립				○			○	○
			• 공공시설의 방재활용 가능성 검토				○			○	○
			• 내 · 배수시설 개선(하천정비, 배수체계 개선, 배수능력 제고 등)				○	○	○		
			• 시설물 유지관리 계획 수립(시설 점검 · 정비 · 보수 · 보강 실시, 유지관리계획 수립 등)				○	○	○		
			• 사면배수체계 강화(지표수 및 지하수 배수체계 개선)	○			○	○	○		
			• 수해상습지역에는 가급적 운동장 · 공원 등 공공용지 확보				○			○	○
	도로	도로	• 산사태 방지시설 직하류 도로의 저류시설 설치		○						○
			• 광역도로변(4차선이상) 생태수로 설치				○			○	○
			• 가로변 화단으로 우수유입을 위한 경계턱 제거				○				○
			• 도로부 배수처리 강화	○	○		○			○	○

계획 영역	세부 항목		재해 예방형 도시계획 대책	도시 복합재난 관리 단계				도시계획 위계별			
				예방	대응	단기 복구	장기 복구	기본	관리	지구	개별
			• 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치	○	○					○	○
		보도, 보행자 전용도로, 자전거 전용도로	• 빗물이 잘 스며드는 투수성 재료 사용				○				○
			• 나무나 화초를 심는 경우 그 식재면의 높이를 보행자전용도로의 바닥 높이와 같게 하거나 낮게 조성				○				○
			• 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치		○					○	○
	공공시설	학교	• 고지대 학교의 경우 하류 시가지 침수 방지를 위한 교문 횡단배수로 및 지하저류조 설치		○						○
			• 생태연못 설치				○				○
			• 옥외운동장 지표면 저류				○				○
			• 재해 발생 시 주민의 일시적 체류를 위한 시설 설치			○				○	○
		운동장	• 폭우취약지역 내 실외운동장의 경우 주변지역의 우수 저류		○					○	○
			• 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성 재료, 잔디블록 사용				○			○	○
			• 생태연못 설치				○			○	○
			• 재해 발생 시 주민의 일시적 체류를 위한 시설 설치			○				○	○
	공공시설	공공청사	• 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성재료, 잔디블록 사용				○			○	○
			• 생태연못 설치				○			○	○
			• 폭우취약지역 및 주변지역에 설치할 경우 저류시설 설치		○					○	○
			• 재해 발생 시 주민의 일시적 체류를 위한 시설 설치			○				○	○
			• 중추적인 시설은 시·군 전체의 공간구조를 고려하여 재해로부터 안전한 지역에 단독형으로 설치	○	○					○	○
	주차장		• 주차공간 지표면 저류				○			○	○
			• 폭우취약지역 내 주차장 지하 저류시설 설치				○			○	○
			• 주차장 표면을 포장하는 경우에는 잔디블록 등 투수성 재료 사용				○			○	○

계획 영역	세부 항목	재해 예방형 도시계획 대책	도시 복합재난 관리 단계				도시계획 위계별			
			예방	대응	단기 복구	장기 복구	기본	관리	지구	개별
		• 나무나 화초를 심는 경우에는 그 식재면의 높이를 주차장의 바닥 높이와 같거나 낮게 조성				○			○	○
		• 폭우취약지역 내 주차장 주변 생태수로 설치				○			○	○
	공원	• 공원 내 저류시설 설치				○			○	○
		• 공원 내 광장·운동시설공간 등의 지표면 저류				○			○	○
		• 생태연못 설치				○			○	○
	광장	• 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성 재료, 잔디블록 사용				○			○	○
		• 나무나 화초를 심는 경우에는 그 식재면의 높이를 광장의 바닥 높이와 같거나 낮게 조성				○			○	○
		• 폭우취약지역 내 광장 지표면 저류 및 지하저류조 설치				○			○	○
	유원지	• 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성 재료, 잔디블록 사용				○			○	○
	공공공지	• 저류 및 침투시설 설치				○			○	○
		• 바닥은 녹지 또는 투수성재료, 잔디블록 사용				○			○	○
건축물	건축대지	• 저지대 상습침수지역 지반고 예상침수위 이상으로 승고				○			○	○
		• 도로 노면수 대지유입 차단을 위한 횡단 배수시설, 차수판 설치		○		○			○	○
		• 재해취약지역의 이격(set-back)	○							○
		• 불가피한 건축행위 시 계획홍수위 또는 방재 성능목표 기준강우량에 의한 홍수위 이상 성토				○				○
		• (구릉지 개발 시) 절토 최소화, 가급적 자연 지형을 살릴 수 있도록 저층 위주로 계획	○						○	○
		• 건축물 규모 제한(위험지역 건폐율/용적률 제한)	○					○	○	○
		• 지반에 높낮이 차이가 있는 경우 계단식 건축물 배치 권장				○			○	○
	건물 용도배치	• 상습침수지역 내 지하층 또는 예상침수위 이하 부분에 주거용도 제한	○							○

계획 영역	세부 항목	재해 예방형 도시계획 대책	도시 복합재난 관리 단계				도시계획 위계별			
			예방	대응	단기 복구	장기 복구	기본	관리	지구	개별
		• 대피를 위한 건축배치 조정(건축선 등)		○					○	○
		• 재해취약용도의 지양	○						○	○
	건축구조	• 상습침수지역 내 침수위를 고려한 필로티 건축(piloti)	○			○			○	○
		• 옹벽 설치시 전면부 녹지대 설치 또는 가로수 배치 권장			○	○			○	○
		• 취약 건축물을 건축 지양 (예, 지하(반지하)주택, 주택 이외의 거처(판잣집, 비닐하우스, 움막, 임시막사 등))				○			○	○
		• 층별 주용도 제한 (침수위 이하 주거, 설비실)			○					○
		• 횡단배수시설 및 차수판 설치	○	○						○
		• 주차장 : 지하 저류시설 설치, 투수성 포장 (잔디블록 등)				○				○
		• LID 기법 활용(생태수로, 옥상녹화 등)				○				○
		• 예상침수위를 고려한 출입구 설치	○							○
		• 지붕홈통 분리				○				○
		• 건축물 내수화(내수성 건축재료 사용)			○	○				○
		• 폭우취약지역 내 건축물 지하저류조 설치				○			○	○
	건축설비	• 주요 건축설비 예상침수위 이상에 설치				○				○
		• 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치	○	○		○				○
		• 옥상 녹화				○			○	○

주1) 폭우취약지역 : 방재지구, 풍수해위험지구, 상습침수지역, 급경사지 등 폭우재해에 취약한 지역

주2) 예상침수위 : 인접하천 계획홍수위, 과거 최대 흔적 침수위, 침수모의 등의 검토를 통해 산정된 지역의 적정 방어 침수위

주3) 도시계획시설규칙 : 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙(시행 2013. 3.23)

자료: 국토교통부 2011~2013 기후변화 적응도시 조성방안 연구, 국토교통부 2015~2016 재해취약성분석, 재해예방형 도시계획 수립 컨설팅, 국토교통부, 2014. 방재지구 가이드라인. 재구성

3) 현장조사 체크리스트 개발

재해취약성 분석과 복합재난 관리지도만으로는 피해 및 취약현황을 명확하게 파악하는데 한계가 있기 때문에, 현장조사를 병행하여 맞춤형 대책 제시가 필요하다. 재해취약성 분석 및 관리지도의 분석지표는 기후노출, 민감도를 대표하는 지표이지만, 실제적인 피해현황을 분석하고 문제점을 도출하는데는 한계가 있다. 수문분석 모델링을 활용하는 경우에도 침수심 등의 정보를 도출할 수는 있지만, 실제적인 취약특성 등을 파악하는데는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 현장조사를 통해 문제점 도출 및 맞춤형 대책을 제시하는 것이 필요하다.

현장조사 시에는 재해발생양상, 재해취약지역 및 주변지역 특성, 재해취약대상 등을 종합적으로 검토하고, 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설(폭우) 등을 파악하는 것이 필요하다. 현장조사 체크리스트는 재해발생양상, 재해취약지역 및 주변지역 특성, 재해취약대상 등을 체크하는데 활용한다. 재해발생양상 구분은 재해의 유형을 의미하며, 주로 피해형태에 따라 분류하였다. 재해취약지역 및 주변지역 특성 구분은 재해가 발생한 지역의 지형적, 토지이용적, 환경적 특성에 따라 분류되어 있으며, 토지이용적 대책수립에 목적으로 두고 있다. 재해취약대상 구분은 직접적으로 재해에 노출되어 피해를 입는 대상을 의미하며, 주로 도시기반시설, 건축물, 시민에 해당한다. 현장조사 수행 시에는 과거 피해이력 등을 우선적으로 조사하고 이를 바탕으로 현장조사를 수행한다. 현장조사 시에는 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설 등을 중점적으로 검토하여 관련 재해예방형 도시계획 대책과 연계하는 방향을 검토해야 한다.

표 5-3 | 재해피해지역 현장조사 체크리스트

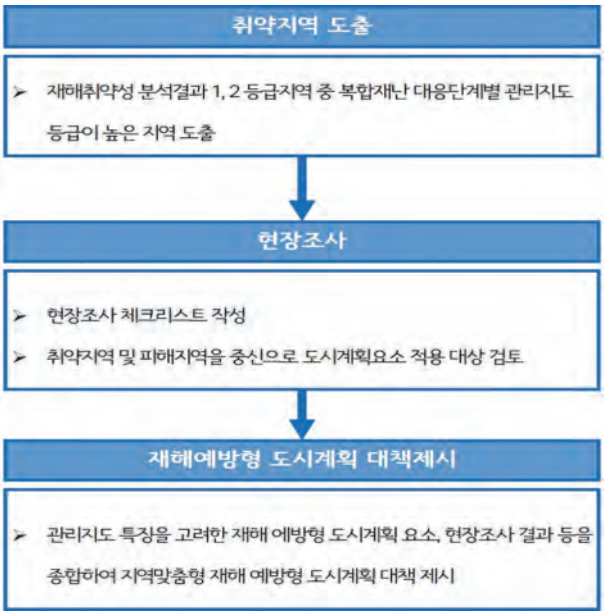
재해유형	재해발생양상		재해취약지역 및 주변지역 특성		재해취약대상	
폭우	하천범람	Y N ☐ ☐	하천변 저지대	Y N ☐ ☐	취약시민	Y N ☐ ☐
	내수침수	Y N ☐ ☐	연안변 저지대	Y N ☐ ☐	통신시설	Y N ☐ ☐
	연안침수	Y N ☐ ☐	내수 불량지역	Y N ☐ ☐	수도공급설비	Y N ☐ ☐
	사면재해	Y N ☐ ☐	하천 단면 작은 지역	Y N ☐ ☐	공동구	Y N ☐ ☐
	토사유출	Y N ☐ ☐	지형적 저지대	Y N ☐ ☐	유류저장 및 송유설비	Y N ☐ ☐
			불투수율 높은 지역	Y N ☐ ☐	수질오염 방지시설	Y N ☐ ☐
			저류기능 부여 가능시설(공원, 공공청사 등) 입지 지역	Y N ☐ ☐	하수도	Y N ☐ ☐
			급경사 지역	Y N ☐ ☐	철도	Y N ☐ ☐
			자연사면 지역	Y N ☐ ☐	도로	Y N ☐ ☐
			인공사면(절개지) 지역	Y N ☐ ☐	지하도로	Y N ☐ ☐
			토사영향권 지역	Y N ☐ ☐	농경지	Y N ☐ ☐
					단독주택(반지하주택)	Y N ☐ ☐
					저층주택	Y N ☐ ☐

자료: 저자작성

2. 사례지역 적용 방법

사례지역에 재해 예방형 도시계획 적용순서는 크게 재해취약지역 도출, 현장조사, 재해 예방형 도시계획 대책 제시 등으로 구성되어 있다. 재해취약지역 도출은 재해취약성 분석결과 1, 2 등급인 지역 중 복합재난 대응단계별 관리지도 등급이 높은 지역을 우선적으로 도출하는 단계이다. 또한, 현장조사는 우선 현장조사 체크리스트를 작성하고, 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설 등을 중심으로 도시계획 요소 적용 대상을 검토하는 단계이다. 재해 예방형 도시계획 대책 제시는 관리지도 특징을 고려한 재해 예방형 도시계획 요소, 현장조사 결과 등을 종합하여 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설 등을 중심으로 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 대책을 제시하는 단계이다.

그림 5-3 | 사례지역 적용방법



자료 : 저자작성

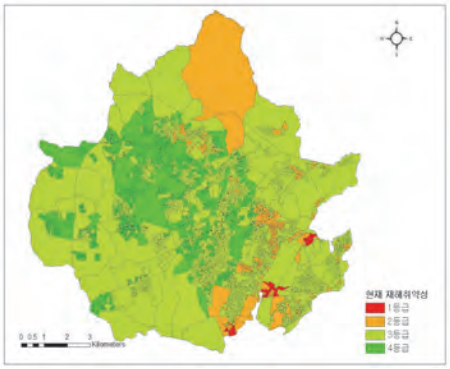
수원시의 폭우재해 종합 취약성 분석결과, 수원시의 총 2,374개 집계구 중 1등급 지역은 76개소, 2등급 지역은 576개소, 3등급 지역은 1,705개소, 4등급 지역은 17개소로 분석되었다. 행정구역별 폭우 종합재해취약성 1,2등급 지역을 살펴보면, 재해취약성 1등급 지역은 곡선동, 광교1,2동, 구운동, 서둔동, 원천동, 율천동, 입북동, 정자2,3동, 조원1동, 태장동, 파장동, 화서2동이며, 2등급 지역은 수원시 매교동, 세류3동, 지동을 제외한 전 지역에 분포하는 것으로 나타났다.

표 5-4 | 폭우 종합 재해취약성 분석결과

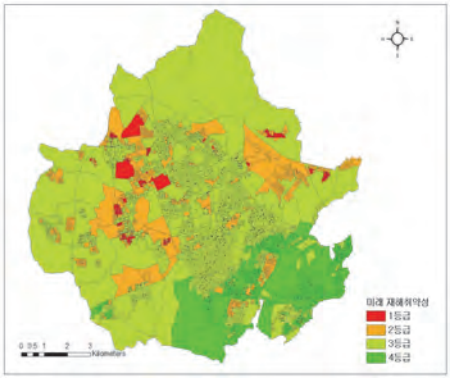
등급	재해취약정도	집계구 수		집계구 면적	
		개수(개)	비율(%)	면적(㎢)	비율(%)
1등급	매우취약	76	3.2	2.531	2.0
2등급	취약	576	24.3	33.287	27.6
3등급	보통	1,705	71.8	84.325	69.8
4등급	양호	17	0.7	0.676	0.6
계	-	2,374	100.0	120.819	100.0

자료: 저자작성

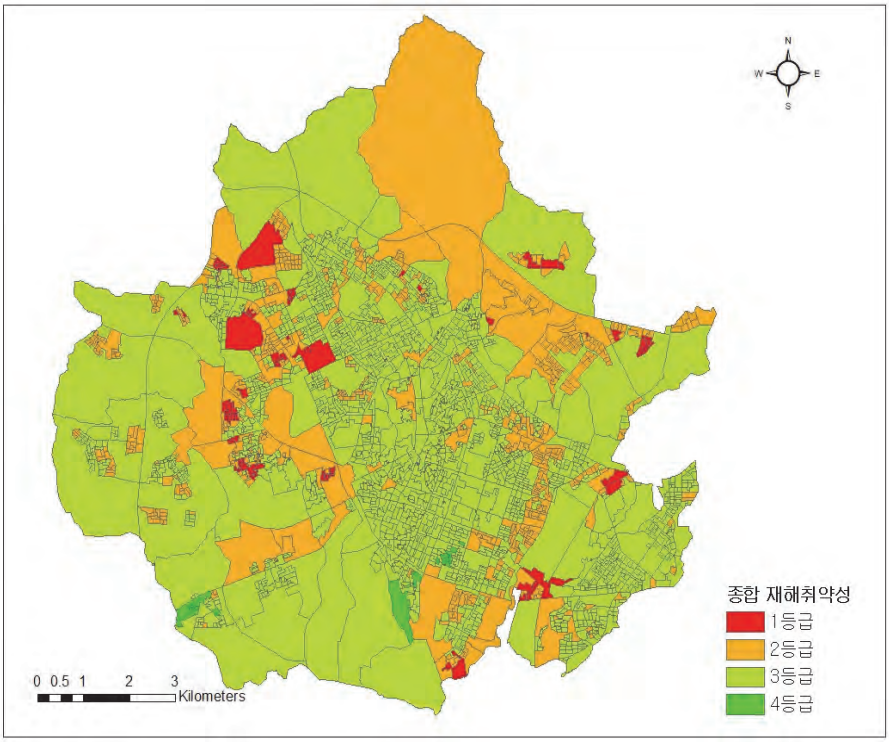
그림 5-4 | 수원시 폭우 재해취약성 분석 결과



현재 재해취약성분석



미래 재해취약성분석



종합 재해취약성분석

자료: 수원시 2017

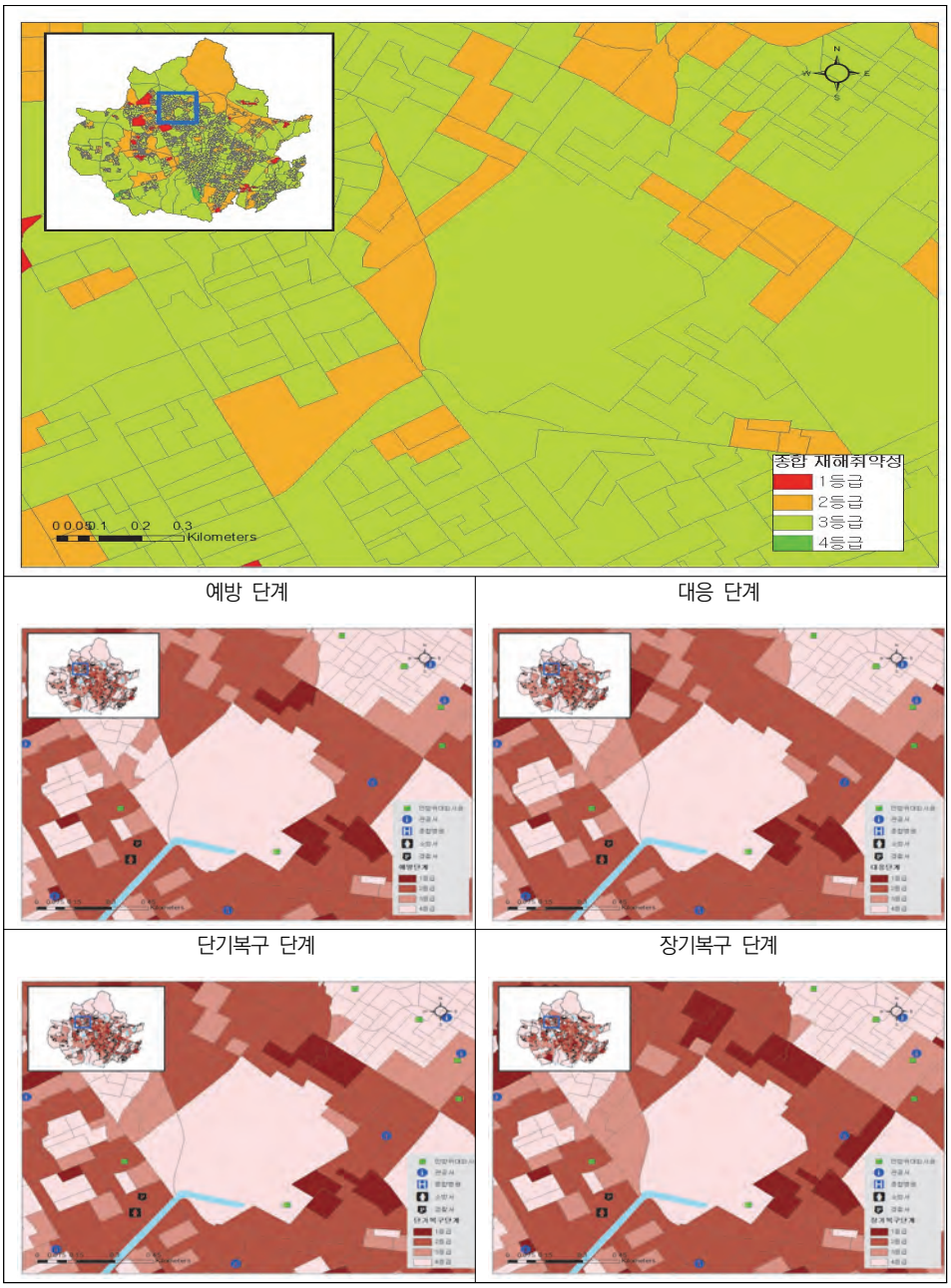
재해취약성 분석결과, 복합재난 대응단계별 관리지도, 과거 피해현황 등을 종합적으로 고려하여 정자동과 고색동 일대를 사례지역으로 선정하였다. 재해취약성 분석결과 1, 2등급인 집계구 수는 총 652개로 전체의 약 27.5%이며, 면적은 29.6%로 나타났다. 취약지역이 수원시 전체의 약 30%로 매우 넓기 때문에, 복합재난 대응단계별 관리지도, 피해현황 등을 종합적으로 검토하여 정자동과 고색동 일대를 사례지역으로 도출하였다.

1) 정자동 사례지역

(1) 정자동 재해취약지역 개요

정자초등학교 사거리 일대는 재해취약성 분석결과 취약한 지역으로 도출되었고, 과거 피해현황도 있으며, 복합재난 대응단계별 관리지도 분석결과 사거리 일대뿐만 아니라 만석공원 주변지역이 2등급으로 도출되었다. 복합재난 관리지도 분석결과 폭우피해가 발생한 정자초등학교 사거리 일대는 거의 대부분 1, 2등급 지역으로 도출되었다. 정자초등학교 주변지역은 2014년 8월 발생한 폭우(116.8mm/일)로 하수도가 역류하여 사거리 일대에 피해가 발생하였다. 또한, 정자초등학교 주변지역은 수원중부경찰서, 수원소방서, 송죽 치안센터 등 구호 및 대응시설도 밀집되어 있는 지역이며, 주변에 저류기능 부여 가능지역인 일왕저수지 및 만석공원 등이 위치하고 있다.

그림 5-5 | 정자동 사례지역 종합 재해취약성분석 및 복합재난 대응단계별 관리지도



자료: 저자작성

(2) 현장조사

현장조사 및 과거 피해현황 등을 바탕으로 현장조사 체크리스트 작성하였다. 재해발생 양상은 내수침수 발생지역이며, 재해취약지역 및 주변지역 특성은 내수 불량지역, 지형적 저지대, 불투수율 높은 지역, 저류기능 부여 가능시설(공원, 공공청사 등) 입지 지역 재해취약대상은 취약시민, 통신시설, 지하도로, 단독주택(반지하주택), 저층주택 등으로 나타났다.

표 5-5 | 정자동 현장조사 체크리스트

재해유형	재해발생양상	Y N	재해취약지역 및 주변지역 특성	Y N	재해취약대상	Y N
폭우	하천범람	□ ■	하천변 저지대	□ ■	취약시민	■ □
	내수침수	■ □	연안변 저지대	□ ■	통신시설	■ □
	연안침수	□ ■	내수 불량지역	■ □	수도공급설비	□ ■
	사면재해	□ ■	하천 단면 작은 지역	□ ■	공동구	□ ■
	토사유출	□ ■	지형적 저지대	■ □	유류저장 및 송유설비	□ ■
			불투수율 높은 지역	■ □	수질오염 방지시설	□ ■
			저류기능 부여 가능시설(공원, 공공청사 등) 입지 지역	■ □	하수도	□ ■
			급경사 지역	□ ■	철도	□ ■
			자연사면 지역	□ ■	도로	□ ■
			인공사면(절개지) 지역	□ ■	지하도로	■ □
			토사영향권 지역	□ ■	농경지	□ ■
					단독주택(반지하주택)	■ □
					저층주택	■ □

자료: 저자작성

사례지역 일대는 지형적으로 저지대 및 신시가지 지역이며, 공원주변으로 주로 피해가 발생하였고, 복합재난 관리지도 등급 역시 1, 2등급 지역으로 나타났다. 주로 피해가 발생한 지역은 정자사거리 주변 및 공원주변 노후주택이며, 아래쪽으로 소방서, 경찰서 등의 공공시설이 밀집되어 있어 재해발생시 복합재난으로 악화될 가능성은 매우 높은 것으로 나타났다. 하지만, 주변지역은 신시가지 지역으로 공원을 제외하면 불투수율이 상당히 높아, 중앙에 위치한 공원을 저류시설로 활용하는 것이 필요하다. 주요 피해 및 취약지역은 정자사거리 일대와 저층주택 일대이며, 저류기능 부여 가능 시설은 만석공원과 공공기관(소방서, 경찰서 등)으로 판단되었다.

그림 5-6 | 정자동 사례지역 예상 우수 유출 경로

자료: Google Map -수원시. accessed Oct. 11. 2019. https://www.google.com/maps/place/%EA%B2%BD%EA%B8%B0%EB%8F%84+%EC%88%98%EC%9B%90%EC%8B%9C/@37.2787794,126.95581,12z/data=!4m5!3m4!1s0x357b430a20764611:0xf1373002ee5db4c9!8m2!3d37.2635727!4d127.0286009

그림 5-7 | 정자동 사례지역 현장조사 사진

정자사거리

동신지하보도 지하시설물

정자사거리 동신지하보도

만석공원

만석공원 주변 노후주택

자료: 저자촬영

(3) 재해 예방형 도시계획 대책 제시

복합재난 관리지도 등급, 현장조사 결과 등을 바탕으로 재해 예방형 도시계획 대책을 도출하였다. 정자동 사례지역은 복합재난 대응단계별 관리지도의 등급이 높은 지역이고, 과거에 피해가 발생한 지역이었다. 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설을 중심으로 <표 5-2> 및 복합재난 대응단계별 관리지도 등급을 고려하여 사례지역에 적용 가능한 재해 예방형 도시계획 대책을 도출하였다.

표 5-6 | 사례지역 적용 가능한 재해 예방형 도시계획 대책(정자동)

	재해 예방형 도시계획 대책		
	토지이용	기반시설	건축물
예방	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치	• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등)	• 횡단배수시설 및 차수판 설치 • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치
대응	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치	• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치	• 도로 노면수 대지유입 차단을 위한 횡단 배수시설, 차수판 설치 • 횡단배수시설 및 차수판 설치 • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치
단기복구		• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 공공시설의 방재활용 가능성 검토	• 건축물 내수화(내수성 건축재료 사용)
장기복구		• 공공시설의 방재활용 가능성 검토 • 가로변 화단으로 우수유입을 위한 경계턱 제거 • 주차공간 지표면 저류 • 주차장 표면을 포장하는 경우에는 잔디블록 등 투수성 재료 사용 • 나무나 화초를 심는 경우에는 그 식재면의 높이를 주차장의 바닥 높이와 같거나 낮게 조성 • 공원 내 저류시설 설치 • 공원 내 광장·운동시설공간 등의 지표면 저류 • 생태연못 설치 • 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성 재료, 잔디블록 사용	• LID 기법 활용(생태수로, 옥상녹화 등) • 건축물 내수화(내수성 건축재료 사용) • 옥상 녹화

	재해 예방형 도시계획 대책		
	토지이용	기반시설	건축물
		• 저류 및 침투시설 설치 • 바닥은 녹지 또는 투수성재료, 잔디블록 사용	

자료: 저자작성

피해 및 취약지역과 저류기능 부여가능 시설을 중심으로 재해 예방형 도시계획 대책 적용방향을 제시하였다. 저류기능 부여가능 시설은 만석공원과 주변 공공기관 등이 있으며, 주로 우수유출을 저류하는 역할을 강화하는 방향을 제시하였다. 피해 및 취약지역은 정자사거리 일대 및 공원의 동남쪽에 위치한 저층 건축물 등이며, 이 지역에서는 저류시설 강화와 더불어 피해저감 시설설치 등이 필요하다고 판단되었다.

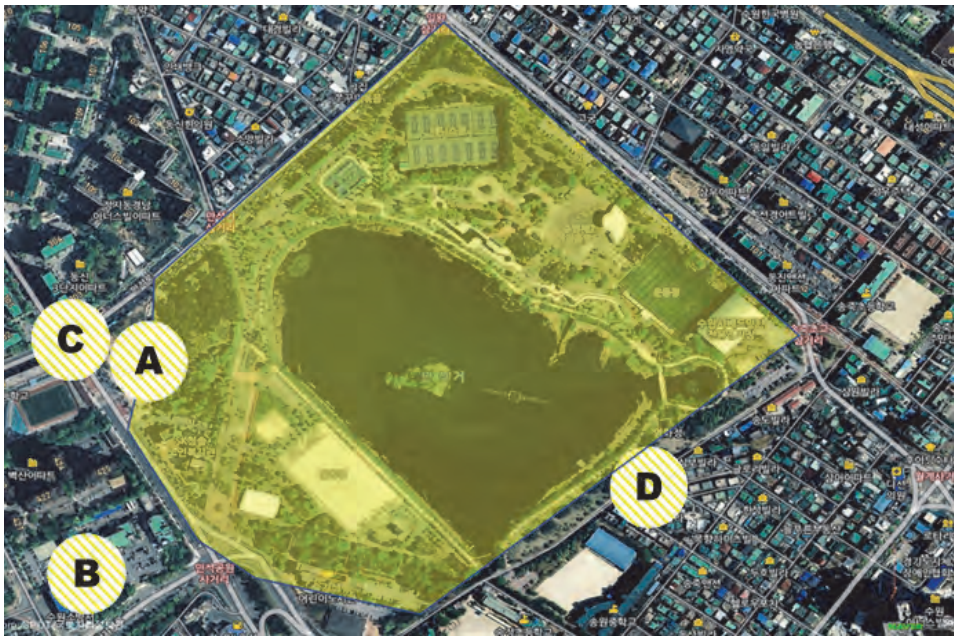
표 5-7 | 피해 및 취약지역과 저류기능 부여가능 시설 중심의 재해 예방형 도시계획 적용방향(정자동)

적용지역	주요특징	재해 예방형 도시계획 요소	적용방향
A. 만석공원	• 주변에서 가장 큰 녹지이지만, 우수유출을 효과적으로 저류하지는 못함 • 실내체육관 등 위치	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치 • 공공시설의 방재활용 가능성 검토 (실내체육관 등) • 가로변 화단으로 우수유입을 위한 경계턱 제거 • 주차공간 지표면 저류 • 주차장 표면을 포장하는 경우에는 잔디블록 등 투수성 재료 사용 • 나무나 화초를 심는 경우에는 그 식재면의 높이를 주차장의 바닥 높이와 같거나 낮게 조성 • 공원 내 저류시설 설치 • 공원 내 광장·운동시설공간 등의 지표면 저류 • 생태연못 설치	• 우수유출을 저류할 수 있는 기능확보
B. 공공시설	• 경찰서, 소방서 등은 침수발생시 피해확산 가능 • 저류시설 설치용이	• 주차공간 지표면 저류 • 주차장 표면을 포장하는 경우에는 잔디블록 등 투수성 재료 사용 • 저류 및 침투시설 설치 • 바닥은 녹지 또는 투수성재료, 잔디블록 사용 • 도로 노면수 대지유입 차단을	• 침수에 따른 피해확산을 고려하여 대책마련 • 일부 저류기능 확보

적용지역	주요특징	재해 예방형 도시계획 요소	적용방향
		위한 횡단 배수시설, 차수판 설치 • LID 기법 활용(생태수로, 옥상녹화 등) • 옥상 녹화	
C. 정자사거리	• 폭우발생시 도로를 따라 우수유출이 가중될 수 있으며, 경찰서와 소방서 등에 피해유발 가능	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치 • 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 건축물 내수화(내수성 건축재료 사용)	• 지형 상 우수유출이 집중되는 지역이며, 공공기관으로 우수유출을 유발시킬 수 있는 지역으로 저류공간 확보
D. 저층주택	• 반지하 주택이 밀집되어 있으며, 지형적 특성으로 침수발생 가능	• 횡단배수시설 및 차수판 설치 • 건축물 내수화(내수성 건축재료 사용) • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치	• 지형상 저지대로 피해우려지역이기 때문에 건축물 대책 마련 필요

자료: 저자작성

그림 5-8 | 정자동 사례지역의 재해 예방형 도시계획 적용 지역



자료: Google Map(위성) -수원시. accessed Oct. 11. 2019. https://www.google.com/maps/place/%EA%B2%BD%EA%B8%B0%EB%8F%84+%EC%88%98%EC%9B%90%EC%8B%9C/@37.2787794,126.95581,12z/data=!4m5!3m4!1s0x357b430a20764611:0xf1373002ee5db4c9!8m2!3d37.2635727!4d127.0286009

만석공원은 주변에서 가장 넓은 녹지로 저류기능 확보 쪽으로 대책적용이 필요한 것으로 판단된다. 도로변 경계턱 제거를 통한 우수유출 저류 및 공원 내에는 주차장 잔디블록, 나무나 화초, 생태연못 등을 설치하여 저류 기능을 최대화할 필요성이 있으며 실내체육관 등을 임시대피지로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

경찰, 소방서 등의 공공시설은 피해발생시 복합재난으로 악화될 가능성이 높기 때문에 시설물 보호기능을 강화하고, 일부 저류기능도 강화할 필요성이 있는 것으로 판단되었다. 도로 노면수 대지유입 차단을 위한 배수시설, 차수판 설치 등을 통해 시설물 보호 기능 및 주차장, 옥상 등은 저류 기능을 강화할 필요가 있다고 판단되었다.

지형적으로 과거 피해가 발생하고, 공공시설에 피해악화를 유발할 수 있는 정자사거

리의 경우 시설물을 활용한 저류기능 강화가 필요하다. 정자사거리에 위치한 동신지하보도를 폭우발생시 임시 저류지로 활용하는 방안을 검토하면 동신지하보도 주변에 횡단보도가 설치되어 있어 재해 발생 시 통행에는 크게 지장이 없을 것으로 판단되었다. 이 때 동신지하보도 내에 위치한 통신선로 등 선형기반시설은 침수위 등을 고려하여 설치하고, 시설물 내수화할 필요가 있다.

지형적으로 저지대에 위치한 저층주택은 반지하 층을 중심으로 피해저감 대책을 마련하여 역류방지 밸브, 건축물 내수화, 차수판 등을 설치 할 수 있다.

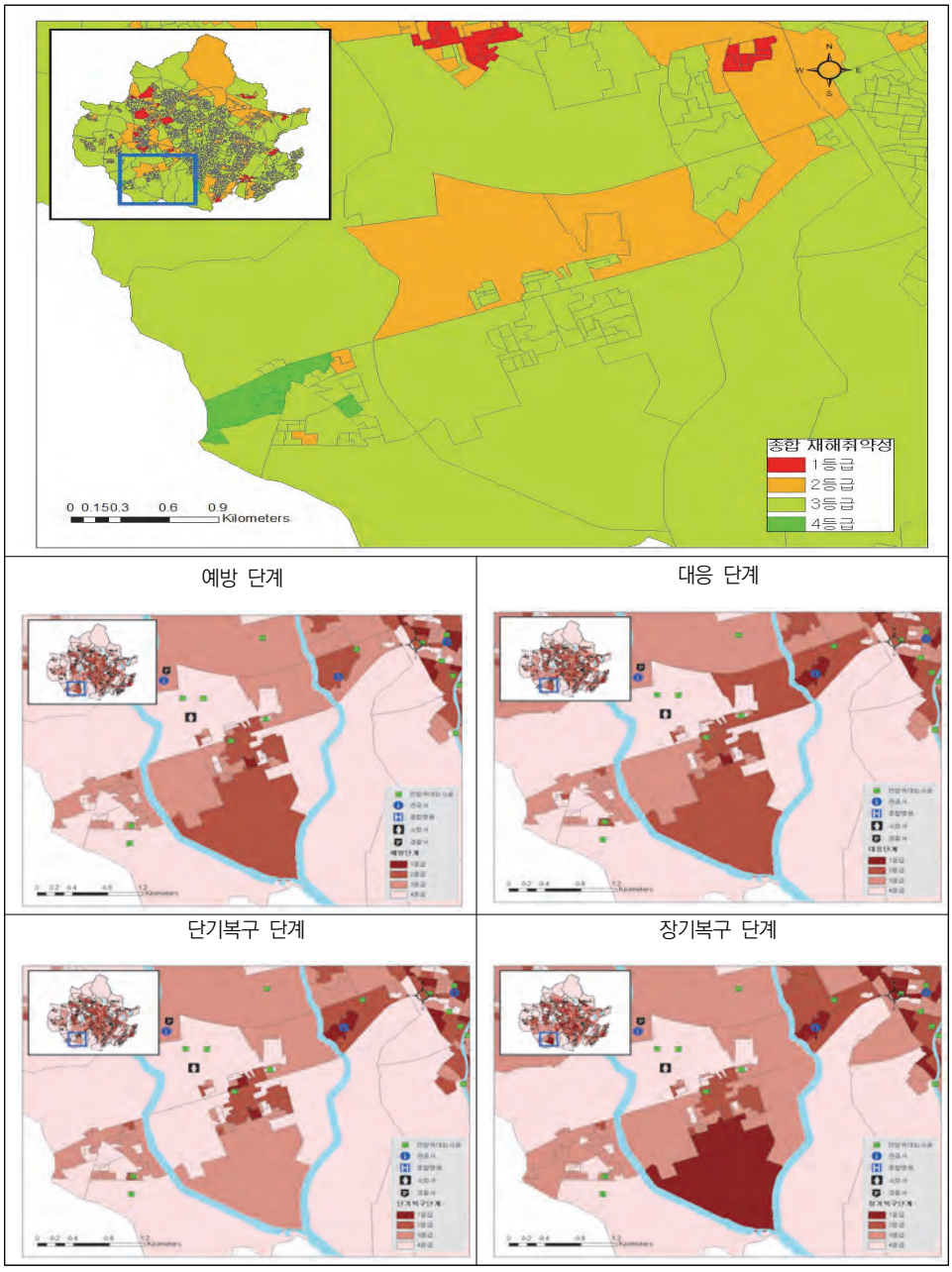
2) 고색동 사례지역

(1) 고색동 사례지역 개요

사례지역인 고색동 고현로 및 산업단지 부근은 황구지천과 서호천이 합류되는 지역으로 전형적인 폭우 취약지역이지만, 저지대 노후주택 및 산업단지 등이 위치하여 빈번히 피해가 발생하고 있다. 이 지역에서는 1991, 2000, 2012년 폭우로 인해 주택, 상가 피해가 발생하였으며, 특히 제3산업단지의 경우 2012년 폭우로 인해 피해가 가중되었다. 사례지역 주변에는 산업단지 근린 공원과 농경지, 학교 등이 위치하고 있다.

재해취약성 분석결과 피해가 발생한 주택은 2등급 지역이며, 산업단지의 경우 복합재난 대응단계별 관리지도 중 단기복구(3등급)를 제외하고는 나머지는 1,2 등급으로 분류되었다. 피해가 발생한 주택 및 산업단지는 일부 지역을 제외하고 복합재난 관리지도의 모든 단계에서 1, 2 등급으로 분류되었다. 재해취약성 분석결과 산업단지는 3등급으로 분류되었는데, 시민, 도시기반시설 지표 등의 한계로 판단된다. 산업단지의 경우 현재 기후노출은 3, 현재 민감도는 4로 현재 재해취약성 분석결과는 4등급으로 분류되었으며, 미래의 경우 기후노출은 1, 도시민감도는 4, 미래 재해취약성 분석은 3등급으로 분류되어 종합은 3등급으로 나타났다. 산업단지는 주요하천변 저지대, 풍수해저감종합계획의 하천위험지구이지만, 도시기반시설, 시민 등의 지표로 인해 종합적으로 3등급으로 분류된 것으로 판단된다.

그림 5-9 | 고색동 사례지역 종합 재해취약성분석 및 단계별 복구지도



자료: 저자작성

(2) 현장조사

현장조사 및 과거 피해현황 등을 바탕으로 현장조사 체크리스트 작성하였다. 재해발생 양상은 하천범람, 내수침수 발생지역이며 재해취약지역 및 주변지역 특성은 하천변 저지대, 내수 불량지역, 지형적 저지대, 불투수율 높은 지역, 저류기능 부여 가능시설(공원, 공공청사 등) 입지 지역이다. 재해취약대상은 취약시민, 통신시설, 수도공급시설, 공동구, 유류저장 및 송유설비, 수질오염 방지시설, 하수도, 농경지, 단독주택(반지하주택), 저층주택 등이 있다.

표 5-8 | 고색동 현장조사 체크리스트

재해유형	재해발생양상		재해취약지역 및 주변지역 특성		재해취약대상	
폭우	하천범람	Y N ■ □	하천변 저지대	Y N ■ □	취약시민	Y N ■ □
	내수침수	Y N ■ □	연안변 저지대	Y N □ ■	통신시설	Y N ■ □
	연안침수	Y N □ ■	내수 불량지역	Y N ■ □	수도공급설비	Y N ■ □
	사면재해	Y N □ ■	하천 단면 작은 지역	Y N □ ■	공동구	Y N ■ □
	토사유출	Y N □ ■	지형적 저지대	Y N ■ □	유류저장 및 송유설비	Y N ■ □
			불투수율 높은 지역	Y N ■ □	수질오염 방지시설	Y N ■ □
			저류기능 부여 가능시설(공원, 공공청사 등) 입지 지역	Y N ■ □	하수도	Y N ■ □
			급경사 지역	Y N □ ■	철도	Y N □ ■
			자연사면 지역	Y N □ ■	도로	Y N □ ■
			인공사면(절개지) 지역	Y N □ ■	지하도로	Y N □ ■
			토사영향권 지역	Y N □ ■	농경지	Y N ■ □
					단독주택(반지하주택)	Y N ■ □
					저층주택	Y N ■ □

자료: 저자작성

사례지역 일대는 황구지천과 서호천의 합류부로 전형적인 폭우 취약지역이지만, 저지대에 주택지 및 산업단지 등이 위치하고 있다. 주요 피해 및 취약지역은 저지대 주택 및 산업단지이며, 저류기능 부여 가능 시설은 산업단지 주변의 공원 및 산책로와 저지대 주택 주변의 학교 등이 있다.

그림 5-10 | 고색동 사례지역 예상 우수 유출 경로

자료: Google Map -수원시. accessed Oct. 11. 2019. https://www.google.com/maps/place/%EA%B2%BD%EA%B8%B0%EB%8F%84+%EC%88%98%EC%9B%90%EC%8B%9C/@37.2787794,126.95581,12z/data=!4m5!3m4!1s0x357b430a20764611:0xf1373002ee5db4c9!8m2!3d37.2635727!4d127.0286009

그림 5-11 | 고색동 사례지역 현장조사 사진

상습침수지역내 반지하주택

상습침수지역내 반지하주택

산업단지

산업단지 주변 산책로

산책로 주변 배수로

침수지역 주변 학교

자료: 저자촬영

(3) 재해 예방형 도시계획 대책 제시

복합재난 관리지도 등급, 현장조사 결과 등을 바탕으로 재해 예방형 도시계획 대책을 도출하였다. 피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능시설을 중심으로 <표 5-2> 및 복합재난 대응단계별 관리지도 등급을 고려하여 사례지역에 적용 가능한 재해 예방형 도시계획 대책을 도출하였다.

표 5-9 | 사례지역 적용 가능한 재해 예방형 도시계획 대책(고색동)

	재해 예방형 도시계획 대책		
	토지이용	기반시설	건축물
예방	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치 • 폭우취약성을 고려한 용도배치	• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치	• 상습침수지역 내 지하층 또는 예상침수위 이하 부분에 주거용도 제한 • 상습침수지역 내 침수위를 고려한 필로티 건축(piloti) • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치
대응	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치 • 폭우취약성을 고려한 용도배치	• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치	• 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치
단기복구		• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 재해 발생 시 주민의 일시적 체류를 위한 시설 설치	

	재해 예방형 도시계획 대책		
	토지이용	기반시설	건축물
장기복구	• 재해취약지역 보전계 용도지역 전환 또는 유지의 원칙 (예, 녹지지역 및 비도시시지역) • 공원에 저류시설을 설치하는 경우 가급적 보호하고자 하는 폭우취약지역 직상류에 설치	• 방재시설 확충 (예, 방수설비 용량 강화, 지표면 저류, 지하저류조 설치 등) • 공공시설의 방재활용 가능성 검토 • 내 · 배수시설 개선 (하천정비, 배수체계 개선, 배수능력 제고 등) • 수해상습지역에는 가급적 운동장 · 공원 등 공공용지 확보 • 광역도로변(4차선이상) 생태수로 설치 • 빗물이 잘 스며드는 투수성 재료 사용 • 나무나 화초를 심는 경우 그 식재면의 높이를 보행자전용도로의 바닥 높이와 같게 하거나 낮게 조성 • 생태연못 설치 • 옥외운동장 지표면 저류 • 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성 재료, 잔디블록 사용 • 생태연못 설치 • 공원 내 저류시설 설치 • 공원 내 광장·운동시설공간 등의 지표면 저류 • 생태연못 설치	• 상습침수지역 내 침수위를 고려한 필로티 건축(piloti) • 폭우취약지역 내 건축물 지하저류조 설치

자료: 저자작성

피해 및 취약지역과 저류기능 부여 가능 시설을 중심으로 재해 예방형 도시계획 대책 적용방향을 제시하였다. 저류기능 부여 가능 지역은 산업단지 주변의 공원, 산책로와 저지대 주택단지 주변의 학교 등이 있다. 산업단지 주변의 산책로 및 공원 등은 주변의 가장 큰 녹지대이지만, 주변보다 높게 설치되어 있어 저류기능은 미흡한 것으로 보였다. 피해 및 취약지역은 저지대 주택단지, 산업단지 등이 있으며, 이 지역은 피해를 저감하기 위한 시설설치가 필요하다고 판단되었다.

그림 5-12 | 고색동 사례지역의 재해 예방형 도시계획 적용 지역

자료: Google Map(위성) -수원시. accessed Oct. 11. 2019. https://www.google.com/maps/place/%EA%B2%BD%EA%B8%B0%EB%8F%84+%EC%88%98%EC%9B%90%EC%8B%9C/@37.2787794,126.95581,12z/data=!4m5!3m4!1s0x357b430a20764611:0xf1373002ee5db4c9!8m2!3d37.2635727!4d127.0286009

표 5-10 | 피해 및 취약지역과 저류기능 부여가능 시설 중심의 재해 예방형 도시계획 적용방향(고색동)

적용지역	주요특징	재해 예방형 도시계획 요소	적용방향
A. 공원 및 산책로	• 산업단지 주변에 위치 • 특히 산책로의 경우 산업단지와 저지대 주택단지를 횡단하여 설치되어 있음	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치 • 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치 • 방재시설 확충 (예, 방수설비 용량 강화, 지표면 저류, 지하저류조 설치 등) • 광역도로변(4차선이상) 생태수로 설치 • 빗물이 잘 스며드는 투수성 재료 사용 • 나무나 화초를 심는 경우 그 식재면의 높이를 보행자전용도로의 바닥 높이와 같게 하거나 낮게 조성 • 생태연못 설치 • 주차장 표면을 포장하는 경우, 투수성 재료, 잔디블록 사용 • 공원 내 저류시설 설치 • 공원 내 광장·운동시설공간 등의 지표면 저류	• 공원에 저류기능 강화를 위한 다양한 시설물 설치 • 상습침수지역으로 우수유출이 되지 않도록 산책로를 따라 다양한 시설 설치
B. 학교	• 저지대 주택단지 옆에 위치하고 있음 • 최대한 저류할 수 있는 시설 미흡	• 자연적인 유출경로를 고려한 공간배치 • 재해 발생 시 주민의 일시적 체류를 위한 시설 설치 • 공공시설의 방재활용 가능성 검토 • 수해상습지역에는 가급적 운동장 · 공원 등 공공용지 확보 • 빗물이 잘 스며드는 투수성 재료 사용 • 생태연못 설치 • 옥외운동장 지표면 저류 • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치	• 저류기능을 강화할 수 있는 기능 설치 • 시설물 보호 기능 강화
C. 저지대 주택	• 지형적 특성으로으로 상습적인 침수피해 발생 • 반지하 등을 활용하고 있어 침수시 피해악화 가능	• 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등)	• 취약지역 보호를 위한 시설물 설치(역류밸브, 중요시설물 설치 지양, 반지하 주거용도 제한 등) • 재건축시 필로티 건축 지향

적용지역	주요특징	재해 예방형 도시계획 요소	적용방향
		• 내 · 배수시설 개선 (하천정비, 배수체계 개선, 배수능력 제고 등) • 상습침수지역 내 지하층 또는 예상침수위 이하 부분에 주거용도 제한 • 상습침수지역 내 침수위를 고려한 필로티 건축(piloti) • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치 • 폭우취약지역 내 건축물 지하저류조 설치	
D. 산업단지	• 모든 관리지도의 등급 1~2등급으로 높게 분석되었으며, 과거 침수피해 발생 • 특히, 장기복구에서는 1등급으로 분류	• 폭우취약성을 고려한 용도배치 • 중요시설 결정·설치 지양 (입지제한) (예, 공공청사, 지하공공시설, 상수도, 전기·가스·열공급시설, 발전시설, 통신시설, 공동구, 폐기물처리시설, 수질오염방지시설 등) • 인접 시가지 침수 방지를 위한 횡단배수로 및 지하저류조 설치 • 방재시설 확충 (예, 방수설비 용량 강화, 지표면 저류, 지하저류조 설치 등) • 폭우취약지역 내 건축물 지하저류조 설치 • 상습침수지역 내 역류방지밸브 설치	• 취약지역 보호를 위한 시설물 설치 (역류밸브, 중요시설물 설치 지양 등)

자료: 저자작성

공원 및 산책로는 주변의 대표적인 녹지대로 저류기능을 강화할 필요가 있다. 산업단지의 침수피해 저감을 위해 공원에는 저류기능 강화를 위한 다양한 저류시설을 설치할 필요가 있다. 특히, 산책로는 상습침수지역인 저지대 노후주택으로 우수가 유출되는 것을 방지하기 위해, 산책로를 따라 생태수로, 횡단배수로 등을 설치하는 것이 필요하다.

학교는 저지대 주택단지의 주변에 위치하고 있어 저류기능을 강화할 필요가 있으며, 시설물 보호를 위한 대책마련도 필요한 것으로 판단되었다. 학교의 옥상, 운동장 등에 다양한 투수성 기능을 강화한 시설물 설치가 필요하고, 피해발생 저감을 위한 역류방지 밸브 설치 등도 필요하며 주변이 상습침수지역이기 때문에 재해발생시 주민의 일시적 체류를 위한 공간 확보도 필요하다.

저지대 주택의 경우 상습적으로 침수피해가 발생하기 때문에 취약지역 보호를 위한 시설물 설치와 더불어 장기적으로는(장기복구) 건축물 구조를 필로티로 변경하는 것을 권장한다. 역류밸브, 중요시설물 설치 지양, 반지하 주거용도 제한 등을 통해 예방, 대응, 단기복구 측면을 강조한 대책을 마련할 필요가 있다.

산업단지의 경우 예방, 대응은 2단계, 장기복구는 1단계로 산업단지의 보호를 위한 시설물 설치가 중요하다. 산업단지 내 중요시설물(전기, 가스, 열공급시설, 폐기물 처리시설 등)은 가급적 취약지역에 설치를 지양하며, 역류밸브 등을 설치하여 시설물을 보호해야 한다.

CHAPTER 6

복합재난을 고려한 도시방재 정책 개선방향

1. 복합재난을 고려한 재해 예방형 도시계획 실효성 제고 | 137
2. 도시방재 제도 개선방향 | 140

CHAPTER 6

복합재난을 고려한 도시방재 정책 개선방향

본 장에서는 도시방재 정책의 실효성 제고를 위해 '도시 기후변화 재해취약성 분석 및 활용에 관한 지침' 개정(안)을 제시하였으며, 별도로 복합재난 관리지도 구축 및 활용 가이드라인 구축을 제안했다. 또한, 현재 운영되고 있는 도시방재 제도의 주요 문제점을 도출하고 이를 개선하기 위해 도시방재플랫폼 개발 및 지역 전문가와의 네트워크 강화 등을 제안했다.

1. 복합재난을 고려한 재해 예방형 도시계획 실효성 제고

1) 재해취약성분석 지침 개정 및 가이드라인 구축

도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침에서는 재해취약성 분석 수행방법은 구체적으로 제시하고 있지만, 재해취약성분석 결과의 활용부분에 대한 구체성은 미흡한 실정이다. 지침에서는 종합재해취약성 등급이 1, 2등급인 경우 도시·군계획 입안시 분석지표를 면밀히 확인하여 재해 예방형 도시계획을 수립하라고 제시하고 있다. 도시복원력을 감안한 재해 예방형 도시계획 수립부분의 경우 예방/대비, 대응/복구단계로 나누어서 도시계획 시설물의 적정 입지계획을 수립한다고만 제시하고 있다. 하지만, 재해예방형 도시계획 수립의 예시는 선행연구 등에서 제시하고는 있지만, 단순히 재해별 인벤토리 형태로만 제공하고 있어, 활용부분은 미흡하다.

이러한 점을 고려하여, 재해취약성분석 지침의 '4-1-4 도시복원력을 감안한 재해예방형 도시계획 수립'을 '복합재난을 고려한 재해예방형 도시계획 수립'으로 개정하는 것이 필요하다. '복합재난을 고려한 재해예방형 도시계획 수립' 부분에서는 복합재난

정의, 복합재난 관리지도 활용 목적, 단계별 관리지도 특징, 구축방법 등을 제시한다. 하지만, 지침에 복잡한 내용을 전부 수록하는데 한계가 있기 때문에, 별도로 복합재난 관리지도 구축 및 활용 가이드라인을 구축하여 활용성을 강화하는 것이 필요하다. 가이드라인에는 배경 및 필요성, 가이드라인의 목적, 복합재난 대응 단계별 관리지도 구축 방법, 관리지도와 연계한 재해 예방형 도시계획, 적용 예시 등을 포함해야 한다.

표 6-1 | 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침 개정(안)

현 행	개정(안)
4-1-3 도시복원력을 감안한 재해예방형 도시계획 수립	4-1-3 복합재난을 고려한 재해예방형 도시계획 수립
기후변화 및 도시화로 인한 자연재로부터 도시의 지속성을 강화하기 위해 재해예방형 도시계획을 수립할 경우에는 아래와 같은 피해저감형 토지이용과 시설물 입지·설치계획을 검토한다.	기후변화 및 도시화로 인한 자연재로부터 도시의 지속성을 강화하기 위해 복합재난 대응단계별 관리지도를 구축 및 활용하여 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획을 수립하도록 검토한다.
(1) 예방 및 대비단계에서의 도시복원력 강화를 위해 지역의 재해취약 특성을 고려한 재해저감형 토지이용 계획을 수립	(1) 복합재난은 자연재해로부터 시작되어 동시다발적·연쇄적 사회재난으로 재난피해범위가 확산되는 재난으로, 대규모의 사회적 피해를 유발시키며 장기간에 복구가 필요한 재난임
가. 재해취약도가 높은 지역은 가급적 토지이용을 제한하고 재해취약도가 낮은 지역으로 개발을 유도하는 등 지역의 재해취약 특성을 고려한 재해예방형 토지이용계획을 수립	(2) 복합재난 대응단계별 관리지도의 활용 목적은
나. 불가피하게 재해취약도가 높은 지역에 개발계획을 수립할 경우에는 충분한 재해예방대책을 마련	가. 재해취약성분석결과 취약지역(I, II 등급) 중 복합재난 우려가 있어 우선적으로 재해 예방형 도시계획 수립할 필요가 있는 지역 도출
다. 지역의 지형 등 자연적 재해저감 능력을 최대한 보전	나. 지역 맞춤형 재해 예방형 도시계획 수립 지원
라. 기존 재해관련 지구·지역 등을 아우르는 광역적 방재지구 설정 및 도시계획적 측면에서 운영방안 검토	(3) 복합재난 대응단계별 관리지도는 예방단계, 대응단계, 단기복구, 장기복구 등이 있음
마. 도시계획 수립시 지역의 재해취약특성을 고려하여 피해 저감을 위한 공원, 녹지 등 도시계획 측면의 완충공간 입지계획 고려	가. 복합재난 예방단계 관리지도는 자연재해 발생시 복합재난으로 악화될 수 있는 시설물이 밀집되어 있는 지역을 도출
바. 지역의 재해취약특성 및 시간대별 인구분포도 등을 고려하여 피해저감을 위한 시설물 입지·설치계획 검토 등	나. 복합재난 대응단계 관리지도는 신속한 인명구조와 더불어 피해확산방지 등에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 취약시설 또는 지원시설이 밀집된 지역을 도출
(2) 대응 및 복구단계에서의 도시복원력 강화를 위해 신속한 피해대응 및 복구활동 지원을 위한 방재 관련 도시계획 시설물의 적정 입지계획을 수립	다. 복합재난 단기복구단계 관리지도는 시민들의 기본적인 의식주 해결에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설이 밀집되어 있는 지역을 도출

현 행	개정(안)
가. 도시계획 수립시 신속한 재해대응을 위하여 도로계획 등과 연계한 소방서, 경찰서, 관공서 등 방재 거점시설 입지계획 수립 나. 지역의 재해취약지역 및 재해 취약시민 정보 등과 교통 및 피난동선 등을 고려한 대피시설물(이재민 수용시설 및 대피소 등) 입지선정 계획 수립 다. 지역의 재해취약특성 및 도시특성을 고려하여 재해저감 대체 기반시설 입지계획 수립 및 우회도로 선정 라. 신속한 재해복구를 위해 지역의 재해취약특성, 교통계획 등과 연계한 재해 복구장비, 관리시설, 구호물품 보관시설 등의 입지계획 수립 마. 재해발생시 2차 피해 확산 방지를 위해 도로, 철도, 전기, 상하수도 등 주요 라인인프라 공공시설물의 설치계획 검토 등	라. 복합재난 장기복구단계 관리지도는 시민들의 정상적인 경제 및 사회생활 회복에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설이 밀집되어 있는 지역을 도출 (4) 복합재난 대응단계별 관리지도는 필수서비스공급시설, 경제활동기반시설, 교통기반시설, 구호 및 대응시설의 지표값과 단계별·시설별 중요도를 종합적으로 고려하여 구축 가. 필수서비스공급시설은 도시 거주자의 생존 및 최소생활 수준 유지를 위해 필요한 공급시설로 상·하수도 시설, 열·가스공급시설, 전기공급시설, 방송·통신시설 등의 선형기반시설로 구성 나. 경제활동기반시설은 지역경제 생산활동의 중심지로서의 역할을 가지는 시설로 산업단지, 물류단지, 도시내 업무 및 상업시설 등으로 구성 다. 교통기반시설은 일반교통 관련 선형기반시설 및 거점 등이며, 일반도로, 고속도로, 철도, 터미널/역사/항만/공항 등으로 구성 라. 구호 및 대응시설은 재난 및 복구과정에서 중심역할을 하는 거점시설로 소방서, 병원/보건소 등 의료시설, 경찰서 등 치안유지 시설, 관공서 등 컨트롤타워, 대피시설 및 수용시설로 구성

2) 재해 예방형 도시계획 대책 발굴 및 개선

선행연구 등에서 재해 예방형 도시계획 대책이 제시되고 있지만, 구체성이 결여되어 실효성 부분에 한계가 있다. 기존 선행연구에서는 해외사례 위주로 대책을 발굴했으며, 국내사례에 대한 발굴 및 홍보 등은 미흡했다. 또한, 재해취약성 분석의 공간적 분석범위가 집계구 단위이기 때문에 구체적인 대책을 제시하는데도 한계가 있다. 일반적으로 집계구의 면적은 0.01 ~ 수십 km^2로 공간범위가 매우 다양하기 때문에 다양한 집계구 크기를 고려한 맞춤형 대책을 발굴하는데는 한계가 있다.

실효성 있는 재해 예방형 도시계획 대책을 발굴하고 제도를 개선하기 위해서는 다양한 국내 사례를 발굴 및 홍보하고 전문적인 컨설팅 등을 수행하는 것이 필요하다. 현재 국토연구원에서는 재해취약성 분석검증 업무를 수행하고 있지만, 이를 점차적으로 재해 예방형 도시계획 대책 발굴 및 컨설팅 수행으로 변환하는 것이 필요하다.

2. 도시방재 제도 개선방향

1) 도시방재 제도 운영의 주요 문제점 및 개선방향

본 연구에서는 30개 지자체 대상 재해취약성 분석검증 경험과 전문가, 공무원, 관련 업체 종사자 면담조사 등을 통해 2015년부터 수행된 도시방재 정책의 주요 문제점 및 개선방향을 도출했다.

표 6-2 | 제도 운영상 문제점 및 개선방향

주요문제점	문제점 및 원인	개선방향
재해 예방형 도시계획 수립 부분 미흡	• 재해취약성 분석 및 검증은 법적으로 의무화이기 때문에 제도는 수행되지만, 재해 취약성 분석을 수행하는 주 목적인 재해 예방형 도시계획 수립부분은 미흡 - 주요 원인은 법적 의무화 사항이 아니며, 체계적인 수립 및 컨설팅의 한계, 분석단위 한계 등임	• 재해취약성 분석결과 검증부터 재해 예방형 도시계획 수립 컨설팅까지 수행할 수 있는 효율적인 제도운영 체계구축과 공간분석단위 개선방안 등의 연구 필요
재해취약성 분석의 지표 및 방법 등 개선필요	• 재해취약성 분석 지표 중 일부는 취득이 불가능하며, 분석지표 구축방법 등도 불명확하고 분석단위도 활용부분의 공간해상도와는 차이가 있음 - 재해취약성 분석에 활용되는 주요 분석지표 및 분석방법 등은 2014년 연구에 기초하여 구축되어 개선할 필요가 있음	• 지속적으로 관련 분석지표 및 분석방법 등을 개선하는 연구과 필요하며, 최신 자료를 바탕으로 관련 지침을 개선하는 것이 필요
지역 업체 및 전문가의 전문성 확보 미흡	• 지자체에서는 재해취약성 분석업무, 등급조정, 재해 예방형 도시계획 수립을 자체적으로 지역 업체 및 전문가에서 위탁 및 자문하지만, 전문성은 결여 - 전문성 미흡의 주요 원인은 업체 및 전문가를 대상으로 교육하고 관리하는 체계가 부족하여 발생하고, 국토연구원에서 등급조정 단계도 관리할 필요가 있음	• 국가방재연구센터에서 지역 업체 및 전문가를 교육 또는 관리하는 역할을 수행하며, 분석결과의 등급조정도 검토하는 단계 필요
지자체 공무원 및 업체 종사자 교육체계 미흡	• 연 1~2회 각 회당 약 2시간의 지자체 공무원 및 업체 교육이 있지만, 주로 제도 운영 및 재해취약성 분석방법에 초점 - 교육관련 예산이 없어, 체계적이고 심도 깊은 교육 프로그램 개발 등에는 한계	• 교육관리를 체계화하며, 교육 내용도 제도 운영 및 취약성분석보다는 재해 예방형 도시계획에 중점을 두고 다양화할 필요가 있음

주요문제점	문제점 및 원인	개선방향
재해취약성 분석결과 조회 및 Q&A 관리 등 미흡	• 현재 재해취약성 분석결과의 조회 기능이 없으며, 관련 질문 등도 체계적으로 관리가 되지 않음 – 관련 시스템 구축이 되어 있지 않아, 결과의 조회와 체계적인 Q&A 기능 미흡	• 재해 취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획 관련 플랫폼을 구축하고, 상시 운영인력뿐만 아니라 지역 전문가 등과 연계한 체계적이고 효율적인 대응체계를 구축하는 것이 필요

자료: 저자작성

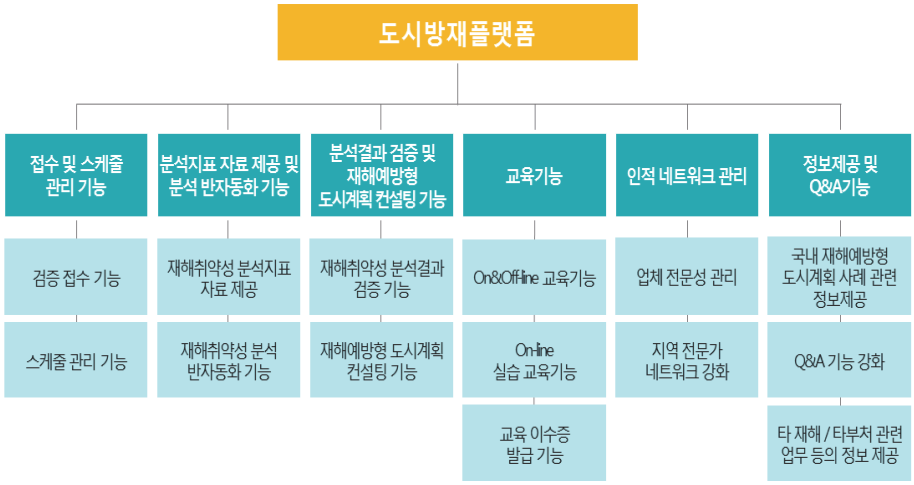
2) 도시방재플랫폼 개발 및 운영

도시방재 제도의 실효성 제고를 위해서는 도시방재플랫폼을 개발 및 운영하는 것이 필요하다. 도시방재플랫폼은 앞에서 조사한 도시방재제도의 주요 문제점을 고려하여 이를 개선하는 방향으로 수립하는 것이 필요하다. 현재 재해취약성분석 검증 업무의 경우 수동적으로 수행하기 때문에 인력 및 재정이 많이 소요된다. 도시방재의 주요 목적인 재해 예방형 도시계획의 실효성을 제고하기 위해서는 업무를 지원할 수 있는 도시방재플랫폼을 개발 및 운영하는 것이 필요하다. 또한, 제2차 국가기후변화적응대책 세부시행계획에서는 2017년부터 도시방재 정보 통합 플랫폼 개발을 수행한다고 명시하고 있어 재해 예방형 도시계획의 실효성을 제고하기 위해서는 도시방재플랫폼을 개발하고 운영하는 것이 시급하다.

도시방재플랫폼은 재해취약성 분석부터 재해 예방형 도시계획 수립까지 체계적으로 도시방재계획 수립을 지원하기 위한 도구로 다음의 기능이 필요하다.

- 접수 및 스케쥴 관리 기능
- 재해취약성 분석지표 자료 제공 및 분석 자동화 기능
- 재해취약성 분석결과 검증 및 재해예방형 도시계획 컨설팅 기능
- 교육기능
- 인적 네트워크 관리 기능
- 정보제공 및 Q&A 기능

그림 6-1 | 도시방재플랫폼의 기능(안)



자료: 저자작성

표 6-3 | 도시방재 정책 운영현황 및 문제점과 도시방재플랫폼 주요 기능 개발방향

주요 기능		현황 및 문제점	기능 구현을 통한 개선방향
접수 및 스케줄 관리 기능	검증 접수 기능	현재까지는 재해취약성 분석 검증을 수행하기 위해 지자체에서 개별적으로 연락을 취하고, 관련 자료를 개별적으로 송부 및 분석결과 자료를 우편으로 접수	플랫폼에서 신청 및 분석에 필요한 자료를 업&다운로드 가능
	스케줄 관리 기능	재해 취약성 분석을 수행해야 하는 지자체의 수는 161개로 1년에 평균 30개 이상의 지자체를 수행해야하며, 시간적으로 균등하게 접수가 되지 않아 일정조정에 어려움	체계적으로 접수, 분석, 검증, 현장조사, 등급조사, 컨설팅 등의 스케쥴을 관리하여 양질의 도시방재계획 수립을 지원
분석지표 자료 제공 및 분석 반자동화 기능	재해취약성 분석지표	업체에서 개별적으로 자료수집 및 분석을 수행하고 있어, 시간이 많이 소요되며 데이터 포맷도 표준화되어 있지 않음	전국단위에서 제공 가능한 데이터는 플랫폼에서 표준화된 포맷으로 자료를 제공
	재해취약성 분석 반자동화 기능	지침의 불명확성, 업체의 전문성 결여 등으로 재해취약성 분석결과의 신뢰성이 저하되며, 재해취약성 분석결과와 재해 예방형 도시계획의 공간분석단위가 일치하지 않아 활용도 저하	플랫폼에서 제공하는 분석지표뿐만 아니라 지자체에서 수집해야하는 데이터의 포맷 등을 플랫폼에서 단계별로 검증하고 분석결과를 반자동으로 산출하며, 필지단위로 공간분석 단위 고도화 - 기상 관측소 선정 등의 지역의 특성을 고려하여 반자동으로 선정

주요 기능		현황 및 문제점	기능 구현을 통한 개선방향
분석결과 검증 및 재해예방형 도시계획 컨설팅 기능	재해취약성 분석결과 검증기능	현재 검증을 수행한 재해취약성 분석결과를 지자체에서 자체적으로 지역전문가를 통해 등급을 조정	재해취약성 분석결과의 등급조정 등 정성적 평가부분을 검증 - 지역전문가 관리 및 등급조정의 사유 등을 명확하게 하여 분석결과의 신뢰성 강화 - 현장조사 사진 등 체계적으로 자료 수집
	재해예방형 도시계획 컨설팅기능	현재 재해 예방형 도시계획 컨설팅은 거의 이루어지지 않고 있으며, 지자체에서 자체적으로 재해취약성 분석결과를 반영한 지역 맞춤형 대책이 아니라 일반적인 재해 예방형 도시계획을 수립하고 있어 실효성 저하	업체에서 수행한 재해 예방형 도시계획 결과를 국토연구원뿐만 아니라 지역전문가가 같이 검토하여 제도의 실효성을 제고
교육기능	On&Off-line 교육기능	년 2회 Off-line 교육만 지자체 공무원, 업체 종사자 등으 대상으로 제공하고 있으며, 교육내용도 제도소개, 데이터 구축, 분석 등의 정보만을 제공 - 현재까지는 별도의 교육 예산 없이 국토연구원 자체에서 수행하여 효과적인 교육프로그램 개발에는 한계	년 2회의 Off-line 교육뿐만 아니라 다양한 On-line 교육자료 제공 및 교육 - 재해 예방형 도시계획 관련 사례는 해외의 사례뿐만 아니라 지자체에서 수행한 다양한 국내 사례를 중심으로 정보를 제공하여 재해 예방형 도시계획 수립 지원의 실효성 제고
	On-line 실습 교육기능	현재는 별도의 분석지표 처리 및 재해취약성 분석 관련 실습 교육이 없음	지자체에서 제공하는 자료 전처리, 재해 취약성 분석 등의 On-line 실습 기능을 제공하여 업체의 전문성 확보 강화
	교육 이수증 발급 기능	개별적으로 공문을 통해 교육 이수증을 발급하고 있으며, 일부 지자체에서 재해취약성 분석 관련 용역발주시 관련 정보를 참고	On & Off-line 교육 관련 이수증, On-line 실습 교육 이수증 등을 자동으로 발급하고 관련 정보를 축적하여 업체의 전문성 확보
인적네트워크 관리	업체 전문성 관리	현재는 지자체에서 개별적으로 관련 업체에 연락하여 전문성 검증 없이 도시방재계획 관련 업무를 수행	업체별 교육 이수 경력, 관련 업무 수행 경력 등의 정보를 제공
	지역 전문가 네트워크 강화	현재는 지자체에서 단편적으로 등급조정 등을 수행할 때 지역 전문가를 자문위원으로 섭외	지역 현황 업무와 연관성이 높은 지역 연구원 등을 중심으로 전문가 인적 네트워크를 구축하고, 체계적으로 재해취약성 분석결과 등급조정 및 재해 예방형 도시계획 컨설팅 등을 수행
정보제공 및 Q&A기능	국내 재해예방형 도시계획	기존 선행연구 등에서는 주로 외국사례 위주로 간략하게 정보 제공	지자체 재해 예방형 도시계획 정보 등을 종합하여 국외 사례뿐만 아니라 국내 재해 예방형 도시계획 사례,

주요 기능		현황 및 문제점	기능 구현을 통한 개선방향
	사례관련 정보제공		요소기술 등을 체계적으로 정보 제공
	Q&A 기능강화	업체 및 지자체에서 궁금한 사항이 있을 때 국토연구원에 개별적으로 전화 및 이메일 등을 통해 문의하고 있어, 관련 내용을 모니터링 및 축적하고 제도를 개선하는데는 미흡	플랫폼에서 체계적으로 Q&A를 관리하고, 일부 이슈에 대해서는 전문가뿐만 아니라 업체 종사자, 지자체 공무원이 토론할 수 있는 장을 마련
	타 재해/ 타부처 관련 업무 등의 정보 제공	국토연구원에서 수행하는 관련 타 재해연구(복합재난, 미세먼지, 산불 등) 정보 및 데이터를 제공	행정안전부 등 재해관련 유관 기관의 관련 제도 제공 및 연계활용방향 모색

자료: 저자작성

(3) 도시방재 제도 실효성 제고를 위한 기관별 역할

도시방재 제도를 운영하는 주요 기관은 크게 국토연구원, 지자체, 지역 전문가가 있으며, 도시방재 제도의 실효성을 제고하기 위해서는 각 기관별 역할을 재정립할 필요가 있다. 먼저, 국토연구원은 도시방재 플랫폼 개발 및 운영, 재해취약성 분석 검증 및 재해 예방형 도시계획 수립 컨설팅 운영, 관련 연구 수행, 교육훈련 담당, 자료 및 정보 구축·제공 등의 업무를 수행하는 것이 필요하다. 지자체의 역할은 도시방재와 재해취약성 분석을 위한 지자체 자료 수집 및 가공, 재해취약성 분석결과 등급조정, 재해 예방형 도시계획 수립 및 수정 등을 주로 맡아야 한다. 지역전문가의 역할은 재해취약성 분석 대상 재해 선정 자문, 등급조정 및 재해 예방형 도시계획 수립 관련 자문 등을 수행할 필요가 있다.

또한, 도시방재, 특히 재해 예방형 도시계획 제도가 지자체에서 확고히 자리잡고 실효성을 높이기 위해서는 지원체계뿐만 아니라 지자체 조례 등으로 강제화할 필요가 있다.

그림 6-2 | 방재계획 수립 단계별 주요 업무 및 기관별 역할

자료: 저자작성

CHAPTER 7

결론 및 향후 과제

1. 결론 | 149
2. 향후 과제 | 150

CHAPTER 7

결론 및 향후 과제

본 장에서는 도시방재 정책의 주요 한계와 본 연구의 의의, 그리고 향후 연구분야에 대해서 언급하고 있다. 본 연구에서는 재해취약성 분석제도가 수행되고 있지만, 재해 취약성 분석을 수행하고 있는 주요 목적인 재해 예방형 도시계획 수립의 실효성이 미흡하고, 복합재난을 고려하지 못하고 있는 점을 고려하여 복합재난 관리지도를 개발 및 활용하는 방법을 제시하고 있다. 또한, 도시방재 정책을 개선하기 위해 재해 취약성 분석방법과 재해 예방형 도시계획에서 수행해야하는 향후과제들도 제시하고 있다.

1. 결론

향후 기후변화, 도시화 등의 영향으로 복합재난 발생 가능성은 높아지고 있다. 2011년부터 도시계획적 대책을 활용하는 도시방재의 필요성이 부각되면서 재해 취약성 분석 및 재해 예방형 도시계획이 대표적인 도시방재 정책으로 자리잡았다. 하지만, 현재의 도시방재 대책은 복합재난을 고려하지 못하고 있으며, 실효성 있는 재해 예방형 도시계획 수립을 지원하지 못하고 있다.

이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 복합재난 관리지도를 구축하고 활용하는 방법을 제시하였다. 복합재난 관리지도는 재해취약성 분석방법을 준용하여 개발했지만, 기후노출을 제외한 도시민감도 지표를 활용하였으며, 도시민감도 지표는 크게 필수서비스공급시설, 경제활동기반시설, 교통기반시설, 구호 및 대응시설로 구분하여 각각의 복합재난 대응단계별(예방, 대응, 단기복구, 장기복구) 취약 및 지원시설의 중요도를 고려하여 구축하는 방법을 개발했다. 복합재난 관리지도를 구축한 후에는 수원시의 사

례지역을 대상으로 재해 예방형 도시계획을 수립하는 방법을 제시했다. 또한, 재해취약성 분석이 제도화 된 이후 다양한 운영상의 문제점 등을 검토하여 이를 개선할 수 있는 방법을 제시하였다.

그 동안 우리나라뿐만 아니라 다양한 나라에서는 재해를 저감하기 위해 주로 구조적 대책을 구축해왔다. 하지만, 기후변화, 도시화 등으로 재해 피해가 가중되고 있어, 우리나라의 경우 2011년부터 도시계획적 대책을 활용한 도시방재 정책이 제도화되어 운영되어 왔다. 우리나라의 경우 다른 선진국에 비해서도 상당히 선구적으로 도시방재 대책이 운영하고는 있지만, 아직은 개선할 점이 많다. 본 연구에서는 도시방재 정책을 개선하기 위해 다양한 대책을 제시하였다. 본 연구가 도시방재 제도의 개선에 크게 이바지하기를 기대한다.

2. 향후 과제

우리나라의 도시방재 제도가 복합재난을 고려하지 못하고 있으며, 재해 취약성 제도는 운영되지만 본 목적인 재해 예방형 도시계획 수립에는 한계가 있는 점을 착안하여 본 연구를 수행했다. 본 연구에서는 복합재난을 고려하기 위해 선형기반시설인 필수서비스 공급시설을 수원시에서 협조 받아 분석하였다. 하지만, 연구의 기간적 물리적 한계상 수원시만을 대상으로 복합재난 관리지도를 구축하여 지역별 다양한 특징을 도출하는데는 한계가 있었다.

또한, 재해 예방형 도시계획의 주요 요소는 기존 선행연구에서 제시된 요소만을 도출하여 지역적 특성을 고려한 대책을 제시하는데는 한계가 있었으며, 재해취약성 분석을 기초로 구축되었기 때문에 공간분석단위도 집계구 단위이어서 다양한 대책을 제시하는데 한계가 있었다. 이러한 한계점은 추후 연구 및 다양한 사례도출 등을 통해 개선해야 할 사항이다.

도시방재 제도를 개선하기 위해서는 재해취약성 분석방법과 재해 예방형 도시계획

제도의 문제점을 중심으로 향후 연구를 추진하는 것이 필요하다.

먼저, 재해취약성 분석방법 개선 관련해서는 공간분석단위 개선, 분석지표 개선, 현장조사 및 등급조정 등과 관련된 연구를 수행할 필요가 있다. 현재 재해취약성 분석의 공간분석 규모는 집계구이기 때문에, 관련 대책을 적용하는데 한계가 있어, 향후 필지 단위로 분석단위를 고도화하는 것이 필요하다. 또한, 현재 재해취약성 분석에 활용되는 지표는 2014년에 개발된 지표이기 때문에 최근 고도화된 데이터를 중심으로 분석지표를 개선할 필요가 있다. 현장조사는 검증을 수행하는 기관(국토연구원)에서, 등급조정은 지자체에서 수행하는 등 이원화되어 있기 때문에 이를 조정하는 역할도 필요하며, 현장조사 및 등급조정 방법 등을 구체화하는 연구가 필요하다.

재해 예방형 도시계획 수립과 관련해서는 복합재난 관리지도 구축 및 활용 고도화, 재해 예방형 도시계획 발굴 및 컨설팅, 관련 법·제도 개선 연구 등이 필요하다. 본 연구를 통해 복합재난 관리지도를 구축 및 활용하는 방법을 개발했지만, 수원 사례지역을 중심으로 수행하였기 때문에 지속적인 관련 대책을 발굴하고 컨설팅 등을 통해 고도화하는 것이 필요하다. 또한, 행정안전부, 환경부 등 타부처의 방재관련 대책과 연계·운영하는 법·제도 개선방안 연구가 필요하다.

참고문헌
REFERENCE

【 인용문헌 】

김대곤, 원진영. 2013. 복합적 미래예측방법론 분석을 통한 미래재난 예측기법 개발. 국립재난안전연구원.

국토교통부. 2018. 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침

국토연구원. 2018. 도시 기후변화 재해취약성분석 교육

남기훈. 2013. 베이지안 네트워크를 이용한 복합재난 위험성 평가에 관한 연구. 인재대학교 박사학위논문.

도쿄도 도시정비국. 2013. 지진에 관한 지역 위험도 측정 조사 보고서. 도쿄도 도시정비국

미래창조과학부. 2013. 복합재난 모델링 & 시뮬레이션 기반체계

박미리, 이영근. 2016. 대형복합재난 특집, 대형복합재난의 주요사례와 시사점. 방재저널 69호.

백용. 2019. 개방형 플랫폼 기반 초고층·복합시설 재난·재해 대응 통합 CPS 구축

소방방재청. 2005. 미국 허리케인 '카트리나' 피해수습 복구관련 현장조사결과서. 소방방재청.

수원시. 2015. 수원통계연보(2014년 기준)

수원시. 2017. 도시 기후변화 재해취약성분석

신진동, 윤경호, 최동식, 김현주. 2014. 국가기반시설의 상호의존도매트릭스 및 방재력을 고려한 광역정전에 대한 재난영향 분석. 한국방재학회논문집, Vol. 14, No. 4.

심우배, 왕광익, 이범현, 차정우, 김학열. 2009. 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(I). 국토연구원.

심우배, 김걸, 지승희, 김학열. 2010. 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(II). 국토연구원.

심우배, 최병남, 김선희, 김승종, 한우석, 유재환, 지승희. 2012. 기후변화에 따른 국토 취약성 분석과 적응방안 – 국토민감성 분석과 향후 정책방향 –. 국토해양부.

안철현, 이원호, 송찬후, 김승식, 장문엽, 이민하. 2011. 대규모 복합재난대비 체계적인 훈련방안 연구 – 원전사고 훈련시나리오 개발. 행정안전부.

엄영호 외. 2017. 한국의 대규모 복합피해 재난복구를 위한 방향성 연구. Crisisnomy Vol. 13 No. 8.

오윤경. 2013. Natech 재난관리방안 연구. 한국행정연구원.

오윤경. 2018. 복합재난관리의 주요 이슈. 자연재해와 도시방재 특집. Review of Architecture and Building Science

윤동근. 2017. 도시 핵심시설의 복합재난 유형 및 대비방안. 월간국토 2017년 8월호. 국토연구원.

이상은 외. 2016~2018. 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현

이재은, 이우권. 2014. 한국의 복합재난 대응과 위기관리체계 발전 방향. 한국위기관리논집. 10(9): 15-31.

정상만 외. 2013~2017. 도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측, 평가 및 통합 관리기술 개발

정지범, 오윤경, 허준영. 2015. 대형복합재난 법적기반 구축 연구. 서울 : 한국행정연구원.

정창삼. 2017. 시나리오 기반 대형 복합재난 확산 예측 기술개발. 월간국토 2017년 8월호: 37-42. 세종 : 국토연구원.

차미숙. 2016. 인프라의 노후화와 현명한 이용. 국토정책Brief, No. 548. 경기 : 국토연구원.

채여라, 조공장, 이승준, 전호철, 정예민, 이주형, 박한힘, 윤동근. 2016. 대도시 지역의 극한 홍수로 인한 복합영향 메커니즘 분석. 한국환경정책·평가연구원.

포항시. 2018. 1115 지진백서(2017 포항지진, 그간의 기록)

하각천. 2012. 복합재난의 취약성 평가에 관한 연구. 서울시립대학교 도시과학대학원

석사학위 논문.
한국건설기술연구원. 2016. 시나리오 기반의 대형복합재난 확산예측 및 대응체계 평가 기술 개발 기획. 미래창조과학부.
한국정보통신기술협회. 2017. 복합재난 대응을 위한 인벤토리 구축 요구사항. p. 3
한국지반공학회. 2011. 우면산 산사태 원인조사 및 복구대책수립, 재해연보 등에 기반하여 저자 작성
행정안전부. 2011. 대규모 복합재난대비 체계적인 훈련방안 연구.
행정안전부. 2018. 복합재난 교육자료.
허준영, 이주호, 황인영. 2012. 초대형 중대재난 시나리오의 발굴 및 사전 대응체계의 마련. 한국행정연구원.

(日)데바카리 타이치. 2016. 일본의 대규모 복합재해. 방재저널69 18(3).
(日)国土交通省. 2011. 1. 第12回都市計画制度小委員会,「都市計画制度見直しの視点と東日本大震災復興上の課題」
(日)国立社会保障·人口問題研究所. 2012. 日本の将来推計人口
(日)姥浦道生. 2011. 土地利用規制と東日本大震災. 都市計画291 60(3), pp. 62-65.
(日)愛知県建設部. 2013. 愛知県震災復興都市計画の手引き(計画編).
(日)Blanco, H. 2008. Pre-event Disaster Planning, Towards More Sustainable Communities. 総合論文誌 6, pp. 49-56.
(日)流山市防災会議. 2012. 流山市地域防災計画 複合災害対策編.
(日)大分県水害対策会議. 2017. 復旧·復興推進計画.
(日)牧 紀男, 林 春男. 2006. ハリケーン·カトリーナの災害対応と復旧·復興－米国の危機管理システムは如何に機能したのか－. J. JSNDS 25-2, pp. 221-231.
Di Mauro, C., Bouchon, S. Carpignana, A., Golia, E., and Peressin, S., 2006. Definition of multi-risk maps at regional level as management tool: experience gained by civil protection authorities of Piemonte region, in 5th conference

on Risk Assessment and Management in the Civil and Industrial Settlements, 17-19 October 2006, University of Pisa, Italy.

FEMA. (2008a), Mass Evacuation Incident Annex, Federal Emergency Management Agency.

FEMA. (2008b), Catastrophic Incident Annex, Federal Emergency Management Agency.

FEMA. (2008c), Critical Infrastructure and Key Resources Support Annex, Federa l Emergency Management Agency.

"FEMA HAZUS-MH Data and Software," NC STATE: University Libraries, acces sed Oct. 11. 2019. https://www.lib.ncsu.edu/gis/hazusmh

Florida Department of Community Affairs, Florida Division of Emergency Managem ent. 2010. Post-Disaster Redevelopment Planing

Google Map(위성) -수원시. accessed Oct. 11. 2019. https://www.google.com/ maps/place/%EA%B2%BD%EA%B8%B0%EB%8F%84+%EC%88%98% EC%9B%90%EC%8B%9C/@37.2787794,126.95581,12z/data=!4m5! 3m4!1s0x357b430a20764611:0xf1373002ee5db4c9!8m2!3d37.263572 7!4d127.0286009

Kang, Sang Jun. 2015. Direction of Secondary Damage Management due to Large-scale Disaster. Planning and Policy. 406: 26-31.

Kim, Gye Jo. 2014. New National Disaster Management System. 2014 Policy Deba te to Strengthen Disaster Safety Capacity. K-water.

Marzocchi, W., Garcia-Aristizabal, A., Gasparini, P., Mastellone, M.L., Ruocc o, A.D., 2012. Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy, Natural Hazards, 62:551-573.

Organization for Economic Cooperation and Development, 1991. Urban Infrastructu re: Finance and Management: OECD.

The World Bank. 2012. Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century

SUMMARY

A Research on Natech Disaster Management Coped with Calamity : Focusing on disaster management mapping and application

Woosuk Han, Byoung Jae Lee, Manseok Jo, Yeonhui Jeong

Key words: Natech, Natech Management Map, Disaster Vulnerability Assessment, Urban Plan Considering Disaster Prevention, Heavy Rainfall

The risk of urban disaster is increasing in recent years due to the effect of climate change. In the Republic of Korea, systems of Disaster Vulnerability Assessment and urban planning considering disaster prevention have been established and are being operated to respond to climate change-related disasters. In addition, in 2015, the National Land Planning and Utilization Act was amended to make it mandatory to conduct Disaster Vulnerability Assessment as a basic survey when Special Metropolitan City, Metropolitan City, Special Self-Governing City, Special Self-Governing Province or Si/Gun formulates or amends urban or Gun master plan or formulates an urban or Gun management plan. However, while natural disasters occurred in cities are likely to worsen into Natech events due to the characteristics of hyperconnected cities, existing urban disaster prevention measures are yet insufficient in taking Natech events into account and in establishing urban plans considering disaster prevention customized to local characteristics. As a response, this study developed a method for building a Natech management map by considering the

characteristics of each disaster response stage (prevention, response, short-term recovery, and long-term recovery) and the level of importance of vulnerable and support facilities at each stage. In addition, it suggests a direction for establishing urban plans considering disaster prevention customized to regions by linking and utilizing the Natech management map by response stage and the result of Disaster Vulnerability Assessment.

부 록
APPENDIX

▣ 부록: 전문가·담당자 설문조사지 원본

안녕하십니까.

국토연구원은 하나뿐인 소중한 국토자원의 효율적인 이용·개발·보전에 관한 정책을 종합적으로 연구함으로써 국토의 균형발전과 국민생활의 질 향상에 기여하기 위하여 설립된 국무조정실 산하 정부출연연구기관입니다. 방재정책을 연구하는 본원의 국가방재연구센터에서는 기본과제로서 "도시 복합재난에 대응한 지역관리방안 연구 - 도시계획적 대책을 중심으로(연구책임자: 한우석 센터장)"를 수행 중에 있습니다.

본 조사는 기후변화로 인해 가중되는 대형 자연재해와 그에 따라 동시다발적·연쇄적으로 발생하는 복합재난 대응전략 마련을 위한 연구의 일환으로, 복합재난에 대응하기 위해 도시계획적 대책을 활용한 지역관리 전략을 수립하는 것을 최종 목표로 합니다. 여러분의 의견이 향후 우리나라 방재정책 개선을 위한 귀중한 자료가 될 수 있음을 감안하시어 평소 생각하시던 솔직한 의견을 제시해 주시면 감사하겠습니다.

본 조사에서 수집된 모든 정보는 통계법 제33조(비밀의 보호)에 의거하여 본 연구의 수행이외의 어떠한 목적에도 절대로 사용되지 않음을 약속드리며, 바쁘시더라도 적극적인 협조와 아낌없는 고견 부탁드립니다.

본 설문을 위해 귀중한 시간을 할애해 주시는 것에 대해 깊은 감사를 드립니다.

□ 조사기관 : 국토연구원 국가방재연구센터 (세종특별자치시 국책연구원로 5, 30147)

□ 문의 : 조만석 책임연구원 (전화: 044-960-0181, e-mail: mjo@krihs.re.kr)

■ 통계법 제33조(비밀의 보호)
① 통계작성과정에서 알려진 사항으로서 개인 또는 법인이나 단체의 비밀에 속하는 사항은 보호되어야 한다.
② 통계의 작성을 위하여 수집된 개인이나 법인 또는 단체 등의 비밀에 속하는 자료는 통계작성 외의 목적으로 사용되어서는 아니 된다.

PART I. 복합재난의 개념 및 분석범위에 대한 설문

□ 이하 본 연구에서 정의하는 복합재난의 개념에 대한 설명을 참고하시어 문항에 답해주시면 감사하겠습니다.

<본 연구의 복합재난 정의>

자연재해로부터 시작되어 동시다발적·연쇄적 사회재난으로 재난피해범위가 확산되는 재난으로, 대규모의 사회적 피해를 유발시키며 장기간에 복구가 필요한 재난

I-1. 귀하께서는 위의 정의에 동의하십니까? (답:)

① 동의한다 ② 대체로 인정한다 ③ 보통이다

④ 일부내용을 인정하기 어렵다 ⑤ 동의하지 않는다

I-2. 만약 위의 문항에서 ④, ⑤로 답하신 경우 그 이유는 무엇입니까? (이하 공란에 직접기입)

□ 이하 본 연구의 분석범위를 고려하시어 문항에 답해주시면 감사하겠습니다.

<본 연구의 분석범위>

- 본 연구의 목적은 현재 운영되고 있는 도시방재정책에 복합재난 개념을 도입하고 개선을 하는 것에 있으므로, 기본적으로 '도시 기후변화에 따른 재해 취약성에 관한 분석(재해취약성분석)' 자료를 기초로 하며, 이에 재해취약성분석에서 대상으로 하고 있는 6개 기후변화 재해를 분석범위로 함
- 재해취약성분석의 분석 대상 6개 재해는 폭우, 가뭄, 폭염, 폭설, 강풍, 해수면상승임
- 재해취약성분석은 재해에 특별히 취약한 지역을 중심으로 구조적 대책과 더불어 도시계획적 대책을 마련하여 피해를 최소화하는 도시방재 계획인 재해예방형 도시계획의 기초자료로 활용됨

I-3. 다음 기후변화 재해 중 각각에 대해 복합재난으로 악화될 가능성을 평가해 주십시오.

기후변화 재해 종류	복합재난으로 확대 가능성				
	매우 낮음	←	보통	→	매우 높음
폭우	①	②	③	④	⑤
가뭄	①	②	③	④	⑤
폭염	①	②	③	④	⑤
폭설	①	②	③	④	⑤
강풍	①	②	③	④	⑤
해수면 상승	①	②	③	④	⑤

I-4. 다음 기후변화 재해 중 복합재난으로 악화될 가능성이 가장 높은 재해는 어떤 것이라고 생각하십니까? (답:)

① 폭우 ② 가뭄 ③ 폭염 ④ 폭설 ⑤ 강풍 ⑥ 해수면상승

PART Ⅱ. 재해별 기반시설 영향 평가

□ 본 연구에서는 공간자료 수집 가능성과 분석범위를 고려하여, 다음과 같은 시설을 대상으로 조사를 수행하고자 합니다.

구분	내용	세부 시설
필수서비스공급시설	도시 거주자의 생존 및 최소생활 수준 유지를 위해 필요한 공급시설	상·하수도시설
		열·가스공급 시설
		전기공급 시설
		방송·통신 시설
경제활동기반시설	지역경제 생산활동의 중심지로서의 역할을 가지는 시설	산업단지
		물류단지
		도시 내 업무·상업시설
교통기반시설	일반 교통 관련 선형기반시설 및 거점	일반도로
		고속도로
		철도
		터미널/역사/항만/공항 등
구호 및 대응 시설	재난 및 복구 과정에서 중심역할을 하는 거점 시설	소방서
		병원/보건소 등 의료시설
		경찰서 등 치안유지 시설
		관공서 등 컨트롤타워
		대피시설 및 수용시설

Ⅱ. 시설 분류 설명 등을 참고하시어, 다음 시설들이 크게 영향을 받을 수 있는 재해의 유형을 선택해 주십시오. (3개까지 중복선택 가능)

구분	세부 시설	6대 기후변화 재해					
		폭우	가뭄	폭염	폭설	강풍	해수면 상승
필수서비스공급시설	상·하수도시설	①	②	③	④	⑤	⑥
	열·가스공급 시설	①	②	③	④	⑤	⑥
	전기공급 시설	①	②	③	④	⑤	⑥
	방송·통신 시설	①	②	③	④	⑤	⑥
경제활동기반시설	산업단지	①	②	③	④	⑤	⑥
	물류단지	①	②	③	④	⑤	⑥
	도시 내 업무·상업시설	①	②	③	④	⑤	⑥
교통기반시설	일반도로	①	②	③	④	⑤	⑥
	고속도로	①	②	③	④	⑤	⑥
	철도	①	②	③	④	⑤	⑥
	터미널/역사/항만/공항 등	①	②	③	④	⑤	⑥
구호 및 대응 시설	소방서	①	②	③	④	⑤	⑥
	병원/보건소 등 의료시설	①	②	③	④	⑤	⑥
	경찰서 등 치안유지 시설	①	②	③	④	⑤	⑥
	관공서 등 컨트롤타워	①	②	③	④	⑤	⑥
	대피시설 및 수용시설	①	②	③	④	⑤	⑥

※ 해당 되는 재해에 V 표시 또는 음영표시 해주시면 됩니다.

PART Ⅲ. 복합재해 발생단계별 지원 우선순위 설문

□ 이후 PART Ⅲ의 문항에서는 다음과 같이 응답해 주십시오.

<예시> A보다 **B가 더 중요**하다고 생각할 경우 (9에 가까울수록 더욱 중요)

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
A							V			B

<예시> **A와 B가 동등하게 중요**하다고 생각할 경우

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
A					V					B

□ 본 연구에서는 복합재난 발생단계를 다음과 같이 4단계로 분류하고 각 단계별 취약 및 중요한 지원시설을 도출하고자 합니다.

<복합재난 발생단계별 주요 특징과 취약 및 지원시설 도출 관련 고려사항>

- 1단계(발생 전/예방단계): 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화될 수 있는 취약시설
- 2단계(대응단계): D+1일 이내의 기간으로 주로 신속한 인명구조 및 피해확산방지 등에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 취약시설 또는 지원시설
- 3단계(단기복구단계): D+1일 ~ D+1주일 이내의 기간으로 시민들의 기본적인 의식주 해결에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설
- 4단계(장기복구단계): D+1주일 이후 기간으로, 시민들의 정상적인 경제생활, 사회생활 회복에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설

1단계: 발생 전/예방단계 : 자연재해 발생시 복합재난으로 악화될 수 있는 취약시설

<1단계(발생 전/예방단계)의 주요 고려 시설>
자연재해 발생 시 복합재난으로 악화될 수 있는 취약시설

Ⅲ-1-1. 예방 단계에서 가장 우선적으로 재난관리가 필요한 시설은 다음 중 어떤 것입니까? (답:)

① 필수서비스공급시설 ② 경제활동기반시설
③ 교통기반시설 ④ 구호 및 대응시설

Ⅲ-1-2. 귀하께서 생각하시기에 **다음 중 어떤 분류의 시설이 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화되는데 영향이 큰 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
필수서비스공급시설										경제활동기반시설
필수서비스공급시설										교통기반시설
필수서비스공급시설										구호 및 대응시설
경제활동기반시설										교통기반시설
경제활동기반시설										구호 및 대응시설
교통기반시설										구호 및 대응시설

필수서비스공급시설: 상·하수도, 열·가스, 전기, 방송·통신 시설 등
경제활동기반시설: 산업단지, 물류단지, 업무·상업시설 등
교통기반시설: 일반도로, 고속도로, 철도, 터미널·공항 등
구호 및 대응 시설: 소방서, 병원, 경찰서, 관공서, 대피·수용시설 등

Ⅲ-1-3. 귀하께서 생각하시기에 **다음 필수서비스공급시설 중 어떤 시설이 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화되는데 영향이 큰 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
상·하수도시설										열·가스공급 시설
상·하수도시설										전기공급 시설
상·하수도시설										방송·통신 시설
열·가스공급 시설										전기공급 시설
열·가스공급 시설										방송·통신 시설
전기공급 시설										방송·통신 시설

Ⅲ-1-4. 귀하께서 생각하시기에 **다음 경제활동기반시설 중 어떤 시설이 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화되는데 영향이 큰 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
산업단지										물류단지
산업단지										도시 내 업무·상업시설
물류단지										도시 내 업무·상업시설

Ⅲ-1-5. 귀하께서 생각하시기에 **다음 교통기반시설 중 어떤 시설이 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화되는데 영향이 큰 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
일반도로										고속도로
일반도로										철도
일반도로										터미널/역사/항만/공항 등
고속도로										철도
고속도로										터미널/역사/항만/공항 등
철도										터미널/역사/항만/공항 등

Ⅲ-1-6. 귀하께서 생각하시기에 **다음 구호 및 대응시설 중 어떤 시설이 자연재해 발생 시 복합재난으로 악화되는데 영향이 큰 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
소방서										병원/보건소 등 의료시설
소방서										경찰서 등 치안유지 시설
소방서										관공서 등 컨트롤타워
소방서										대피시설 및 수용시설
병원/보건소 등 의료시설										경찰서 등 치안유지 시설
병원/보건소 등 의료시설										관공서 등 컨트롤타워
병원/보건소 등 의료시설										대피시설 및 수용시설
경찰서 등 치안유지 시설										관공서 등 컨트롤타워
경찰서 등 치안유지 시설										대피시설 및 수용시설
관공서 등 컨트롤타워										대피시설 및 수용시설

2단계: 대응단계(D+0 ~ D+1) : D+1일 이내의 기간으로 주로 신속한 인명구조 및 피해확산방지 등에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 취약시설 또는 지원시설

<2단계(대응단계)의 주요 고려 시설>
신속한 인명구조 및 피해확산방지 등에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 취약시설 또는 지원시설

Ⅲ-2-1. 대응 단계에서 가장 우선적으로 재난관리가 필요한 시설은 다음 중 어떤 것입니까? (답:)

① 필수서비스공급시설 ② 경제활동기반시설
③ 교통기반시설 ④ 구호 및 대응시설

Ⅲ-2-2. 귀하께서 생각하시기에 **다음 중 어떤 분류의 시설이 대응단계에서 신속한 인명구조 및 피해확산방지를 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
필수서비스공급시설										경제활동기반시설
필수서비스공급시설										교통기반시설
필수서비스공급시설										구호 및 대응시설
경제활동기반시설										교통기반시설
경제활동기반시설										구호 및 대응시설
교통기반시설										구호 및 대응시설

필수서비스공급시설: 상·하수도, 열·가스, 전기, 방송·통신 시설 등
경제활동기반시설: 산업단지, 물류단지, 업무·상업시설 등
교통기반시설: 일반도로, 고속도로, 철도, 터미널·공항 등
구호 및 대응 시설: 소방서, 병원, 경찰서, 관공서, 대피·수용시설 등

Ⅲ-2-3. 귀하께서 생각하시기에 **다음 필수서비스공급시설 중 어떤 시설이 대응단계에서 신속한 인명구조 및 피해확산방지를 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
상·하수도시설										열·가스공급 시설
상·하수도시설										전기공급 시설
상·하수도시설										방송·통신 시설
열·가스공급 시설										전기공급 시설
열·가스공급 시설										방송·통신 시설
전기공급 시설										방송·통신 시설

Ⅲ-2-4. 귀하께서 생각하시기에 **다음 경제활동기반시설 중 어떤 시설이 대응단계에서 신속한 인명구조 및 피해확산방지를 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
산업단지										물류단지
산업단지										도시 내 업무·상업시설
물류단지										도시 내 업무·상업시설

Ⅲ-2-5. 귀하께서 생각하시기에 **다음 교통기반시설 중 어떤 시설이 대응단계에서 신속한 인명구조 및 피해확산방지를 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
일반도로										고속도로
일반도로										철도
일반도로										터미널/역사/항만/공항 등
고속도로										철도
고속도로										터미널/역사/항만/공항 등
철도										터미널/역사/항만/공항 등

Ⅲ-2-6. 귀하께서 생각하시기에 **다음 구호 및 대응시설 중 어떤 시설이 대응단계에서 신속한 인명구조 및 피해확산방지를 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
소방서										병원/보건소 등 의료시설
소방서										경찰서 등 치안유지 시설
소방서										관공서 등 컨트롤타워
소방서										대피시설 및 수용시설
병원/보건소 등 의료시설										경찰서 등 치안유지 시설
병원/보건소 등 의료시설										관공서 등 컨트롤타워
병원/보건소 등 의료시설										대피시설 및 수용시설
경찰서 등 치안유지 시설										관공서 등 컨트롤타워
경찰서 등 치안유지 시설										대피시설 및 수용시설
관공서 등 컨트롤타워										대피시설 및 수용시설

3단계: 단기복구단계(D+1 ~ D+7) : 시민들의 기본적인 의식주 해결에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설

<3단계(단기복구단계)의 주요 고려 시설>

시민들의 기본적인 의식주 해결에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설

Ⅲ-3-1. 단기복구 단계에서 가장 우선적으로 재난관리가 필요한 시설은 다음 중 어떤 것입니까? (답:)

① 필수서비스공급시설 ② 경제활동기반시설

③ 교통기반시설 ④ 구호 및 대응시설

Ⅲ-3-2. 귀하께서 생각하시기에 **다음 중 어떤 분류의 시설이 단기복구단계에서 시민들의 기본적인 의식주 해결을 위해 필요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
필수서비스공급시설										경제활동기반시설
필수서비스공급시설										교통기반시설
필수서비스공급시설										구호 및 대응시설
경제활동기반시설										교통기반시설
경제활동기반시설										구호 및 대응시설
교통기반시설										구호 및 대응시설

필수서비스공급시설: 상·하수도, 열·가스, 전기, 방송·통신 시설 등

경제활동기반시설: 산업단지, 물류단지, 업무·상업시설 등

교통기반시설: 일반도로, 고속도로, 철도, 터미널·공항 등

구호 및 대응 시설: 소방서, 병원, 경찰서, 관공서, 대피·수용시설 등

Ⅲ-3-3. 귀하께서 생각하시기에 **다음 필수서비스공급시설 중 어떤 시설이 단기복구단계에서 시민들의 기본적인 의식주 해결지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
상·하수도시설										열·가스공급 시설
상·하수도시설										전기공급 시설
상·하수도시설										방송·통신 시설
열·가스공급 시설										전기공급 시설
열·가스공급 시설										방송·통신 시설
전기공급 시설										방송·통신 시설

Ⅲ-3-4. 귀하께서 생각하시기에 **다음 경제활동기반시설 중 어떤 시설이 단기복구단계에서 시민들의 기본적인 의식주 해결지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
산업단지										물류단지
산업단지										도시 내 업무·상업시설
물류단지										도시 내 업무·상업시설

Ⅲ-3-5. 귀하께서 생각하시기에 **다음 교통기반시설 중 어떤 시설이 단기복구단계에서 시민들의 기본적인 의식주 해결지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
일반도로										고속도로
일반도로										철도
일반도로										터미널/역사/항만/공항 등
고속도로										철도
고속도로										터미널/역사/항만/공항 등
철도										터미널/역사/항만/공항 등

Ⅲ-3-6. 귀하께서 생각하시기에 **다음 구호 및 대응시설 중 어떤 시설이 단기복구단계에서 시민들의 기본적인 의식주 해결지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
소방서										병원/보건소 등 의료시설
소방서										경찰서 등 치안유지 시설
소방서										관공서 등 컨트롤타워
소방서										대피시설 및 수용시설
병원/보건소 등 의료시설										경찰서 등 치안유지 시설
병원/보건소 등 의료시설										관공서 등 컨트롤타워
병원/보건소 등 의료시설										대피시설 및 수용시설
경찰서 등 치안유지 시설										관공서 등 컨트롤타워
경찰서 등 치안유지 시설										대피시설 및 수용시설
관공서 등 컨트롤타워										대피시설 및 수용시설

4단계: 장기복구단계(D+7 ~) : 시민들의 정상적인 경제생활, 사회생활 회복에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설

<4단계(장기복구단계)의 주요 고려 시설>

시민들의 정상적인 경제생활, 사회생활 회복에 초점을 두고 관리해야하는 중요한 지원시설

Ⅲ-4-1. 장기복구 단계에서 가장 우선적으로 재난관리가 필요한 시설은 다음 중 어떤 것입니까? (답:)

① 필수서비스공급시설 ② 경제활동기반시설

③ 교통기반시설 ④ 구호 및 대응시설

Ⅲ-4-2. 귀하께서 생각하시기에 **다음 중 어떤 분류의 시설이 장기복구단계에서 시민들의 정상적인 경제활동, 사회생활 회복 지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
필수서비스공급시설										경제활동기반시설
필수서비스공급시설										교통기반시설
필수서비스공급시설										구호 및 대응시설
경제활동기반시설										교통기반시설
경제활동기반시설										구호 및 대응시설
교통기반시설										구호 및 대응시설

필수서비스공급시설: 상·하수도, 열·가스, 전기, 방송·통신 시설 등

경제활동기반시설: 산업단지, 물류단지, 업무·상업시설 등

교통기반시설: 일반도로, 고속도로, 철도, 터미널·공항 등

구호 및 대응 시설: 소방서, 병원, 경찰서, 관공서, 대피·수용시설 등

Ⅲ-4-3. 귀하께서 생각하시기에 **다음 필수서비스공급시설 중 어떤 시설이 장기복구단계에서 시민들의 정상적인 경제활동, 사회생활 회복 지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
상·하수도시설										열·가스공급 시설
상·하수도시설										전기공급 시설
상·하수도시설										방송·통신 시설
열·가스공급 시설										전기공급 시설
열·가스공급 시설										방송·통신 시설
전기공급 시설										방송·통신 시설

Ⅲ-4-4. 귀하께서 생각하시기에 **다음 경제활동기반시설 중 어떤 시설이 장기복구단계에서 시민들의 정상적인 경제활동, 사회생활 회복 지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요 ←				동등	→ 우측이 중요				기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
산업단지										물류단지
산업단지										도시 내 업무·상업시설
물류단지										도시 내 업무·상업시설

Ⅲ-4-5. 귀하께서 생각하시기에 **다음 교통기반시설 중 어떤 시설이 장기복구단계에서 시민들의 정상적인 경제활동, 사회생활 회복 지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
일반도로										고속도로
일반도로										철도
일반도로										터미널/역사/항만/공항 등
고속도로										철도
고속도로										터미널/역사/항만/공항 등
철도										터미널/역사/항만/공항 등

Ⅲ-4-6. 귀하께서 생각하시기에 **다음 구호 및 대응 시설 중 어떤 시설이 장기복구단계에서 시민들의 정상적인 경제활동, 사회생활 회복 지원을 위해 중요한 시설**이라고 생각하십니까?

기준	좌측이 중요			←	동등	→	우측이 중요			기준
	9	7	5	3		3	5	7	9	
소방서										병원/보건소 등 의료시설
소방서										경찰서 등 치안유지 시설
소방서										관공서 등 컨트롤타워
소방서										대피시설 및 수용시설
병원/보건소 등 의료시설										경찰서 등 치안유지 시설
병원/보건소 등 의료시설										관공서 등 컨트롤타워
병원/보건소 등 의료시설										대피시설 및 수용시설
경찰서 등 치안유지 시설										관공서 등 컨트롤타워
경찰서 등 치안유지 시설										대피시설 및 수용시설
관공서 등 컨트롤타워										대피시설 및 수용시설

PART Ⅳ. 응답자 정보

Ⅳ-1. 귀하의 전공은 어떻게 되십니까? (답:)

① 재난관리
② 수리·수문학
③ 도시계획
④ 기후변화
⑤ 행정학
⑥ 기타 ( )

Ⅳ-2. 귀하의 소속은 다음 중 어떤 형태입니까? (답:)

① 대학
② 정부출연연구원, 지방연구원 등 공공연구기관
③ 공사 및 공단
④ 민간연구기관 및 민간기업
⑤ 기타 ( )

Ⅳ-3. 귀하의 **재난·방재 분야 업무경력**은 얼마나 됩니까? 귀하의 전체 직업 경력이 아닌, **재난·방재 분야를 전담하게 된 업무 경력**을 여쭙는 것입니다. (답: _____년)

Ⅳ-4. 복합재난 관리정책 방향에 대해 귀하께서 특별히 언급하고 싶은 고견이 있다면 남겨주십시오.

♣ 감사합니다 ♣

기본 19-08

대형재해에 대비한 도시복합재난 취약지역 관리방안 연구 : 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로

연 구 진 한우석, 이병재, 조만석, 정연희, 김태훈, 라정일
발 행 인 강현수
발 행 처 국토연구원
출판등록 제2017-9호
인 쇄 2019년 11월 27일
발 행 2019년 11월 30일
주 소 세종특별자치시 국책연구원로 5
전 화 044-960-0114
팩 스 044-211-4760
가 격 8,000원

I S B N 979-11-5898-489-2
홈페이지 http://www.krihs.re.kr
ⓒ 2019, 국토연구원

이 연구보고서를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재해주십시오.
한우석, 이병재, 조만석, 정연희, 김태훈, 라정일. 2019. 대형재해에 대비한 도시복합재난 취약지역 관리방안 연구 : 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로. 세종: 국토연구원.

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.
이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.

대형재해에 대비한 도시복합재난 관리방안 연구 : 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로

A Research on Natech Disaster Management coped with Calamity : Focusing on Disaster Management Mapping and Application

제1장 서론
제2장 국내·외 주요 도시방재 정책 현황
제3장 복합재난 대응 단계별 주요 특징 및 시설요소 도출
제4장 복합재난 관리지도 구축방법 개발 및 적용
제5장 복합재난 관리지도를 활용한 재해 예방형 도시계획 수립
제6장 복합재난을 고려한 도시방재 정책 개선방향
제7장 결론 및 향후 과제

KRIHS 국토연구원

(30147) 세종특별자치시 국책연구원로 5 (반곡동)
TEL (044) 960-0114 FAX (044) 211-4760

OPEN 출처표시 상업용금지 변경금지
공공누리 공공저작물 자유이용허락

값 8,000원
93300
9 791158 984892
ISBN 979-11-5898-489-2