



기본 | 18-15

재난 피해 저감을 위한 방재도로 구축 방안 연구

Developing the Disaster Response Routes of Korea

육동형 외

기본 18-15

재난 피해 저감을 위한 방재도로 구축 방안 연구

Developing the Disaster Response Routes of Korea

육동형 외

■ 연구진

육동형 국토연구원 책임연구원
김종학 국토연구원 인프라정책연구센터장
임영태 국토연구원 연구위원
이상은 국토연구원 책임연구원

■ 외부연구진

최재순 서경대학교 교수
남지현 경기연구원 연구위원

■ 연구심의위원

정일호 국토연구원 선임연구위원
김종원 국토연구원 선임연구위원
이백진 국토연구원 국토인프라연구본부장
김준기 국토연구원 연구위원
고용석 국토연구원 연구위원

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS



본 연구보고서의 주요 내용

- 1 재난 발생 시 피난과 구호 물자의 이동을 위한 도로 인프라의 중요성에도 불구하고 방재도로가 없는 우리나라의 실정을 고려하여 방재도로의 선정을 주제로 연구를 수행
- 2 방재도로의 선정 절차를 개발하고 방재도로의 운영 및 유지·관리, 이의 도입을 위한 다양한 법·제도적 개선 사항을 제시
 - 재해 유형별 (수재해, 지진재해)로 가장 중요한 대피활동을 결정하고 해당 대피활동에 적합한 방재도로 구축 선정 절차를 제시
 - 방재도로의 유지·관리를 위해 방재도로의 중요도별로 차별적인 유지·관리 체계 수립 방안을 제시
 - 방재도로의 구축 및 유지·관리의 추진력을 얻기 위한 법·제도 개선 방안을 제시

본 연구보고서의 정책제안

- 1 기초지자체 및 하위 행정단위에서 재난의 취약성을 고려한 방재도로 선정을 의무화하는 제도의 도입이 필요 함
- 2 방재도로가 제대로 역할을 할 수 있도록 내재해성을 보강하는 등의 유지·관리 정책 수립이 필요 함
- 3 도로의 재난 대비 대응력 (치수 시설, 내진 설계 등)에 대한 정보 관리체계의 수립이 요구 됨
- 4 재난 발생 시 활용할 수 있는 방재도로에 대한 내용이 포함된 위기대응 메뉴얼을 구축하고 이를 시민들에게 배포하는 교육·홍보 활동이 필요함



1. 연구의 개요

□ 연구의 배경 및 필요성

- 지진 및 기상이변은 전 세계적인 이슈로 우리나라도 더 이상 기후변화와 지진발생에 있어 안전하지 않은 상황
 - 2016년에만 태풍 차바 (2016년 10월) 및 경주 및 포항지역의 지진 (2016년 9월, 2017년 11월) 으로 많은 재산 및 인명피해가 발생하였음
- 재난은 예상치 못할뿐더러 그 규모가 거대함에 반해 도로 인프라의 경우, 그 영향에 매우 취약
 - 선형의 형태를 띠는 도로 시설은 도로구간의 부분적 피해에도 해당 도로 구간 전체가 마비되므로 재난과 같은 외부 충격에 취약한 구조
 - 또한, 해당 지역에서 생산되는 생산품 및 인력의 이동이 불가능해져 경제적 피해 야기
- 재난에 대한 취약성에도 불구하고 재난 발생 시 도로 인프라의 역할은 더욱 중요해지고 명확해짐
 - 재난이 발생하면 도로는 긴급 구호·복구 관련 물자 및 인력 동원을 위한 이동 경로의 제공과 동시에 해당 지역 주민의 피난경로 역할도 제공
- 그러나, 재난 대비 및 피해 최소화 측면에서 효과적인 대처를 위한 방재도로가 아직 체계적으로 구축되지 못한 상황
- 재난 상황에 대한 과학적 접근을 토대로 재난에 의한 취약성을 판단하고 현재 도로 인프라의 여건을 종합적으로 고려하는 방재도로 선정 연구가 필요함

□ 연구의 목적

- 재난 피해의 최소화 및 원활한 복구를 위한 방재도로의 구축 방안을 제시하는 것이 본 연구의 목적임
- 이를 위해 방재도로에 대한 역할을 정립할 필요가 있으며 정립된 역할에 따른 방재도로의 선정 및 운영 방안 수립, 그리고 이의 원활한 도입을 위한 법적·제도적 정비 방안 마련이 본 연구의 주요 내용임
- 위 목적을 달성하기 위한 세부 목적을 정리하면 다음과 같음
 - 방재도로의 과학적 선정 방법 제시 및 이를 통한 사례연구
 - 방재도로의 구축 및 운영·관리를 위한 방향 제시
 - 방재도로 구축을 위한 법적·제도적 정비 방향 제시

2. 우리나라 재난 발생 현황 및 특성

□ 수재해

- 우리나라는 기후학적으로는 여름철에 일년 강우량의 2/3가 집중되어 발생하는 우기가 있으며 위치적으로는 연간 2,3회의 태풍이 통과하는 경로상에 위치해 있어 강우와 관련된 재해가 많이 발생함
 - 태풍과 호우로 인해 발생하는 풍수해가 전체 자연재해 피해의 큰 비중을 차지함 (이상은 외, 2016, p.4 재인용)
- 지구 온난화로 인한 이상기후 발생은 집중호우와 그 강도의 변동성을 더욱 심화시키고 있는 상황
 - 과거 1976 ~ 1980년간의 일 최대 강수량을 기록한 상위 15개 지역을 2011 ~ 2015년의 지역과 비교하면 일 최대 강수량의 평균이 340.5mm, 에서 100mm 이상 (449.5mm) 증가하였음

표 1 | 1976 ~ 1980년간 일 최대 강수량 지역과 2011 ~ 2015년간 일 최대 강수량 지역의 비교

(단위: mm)

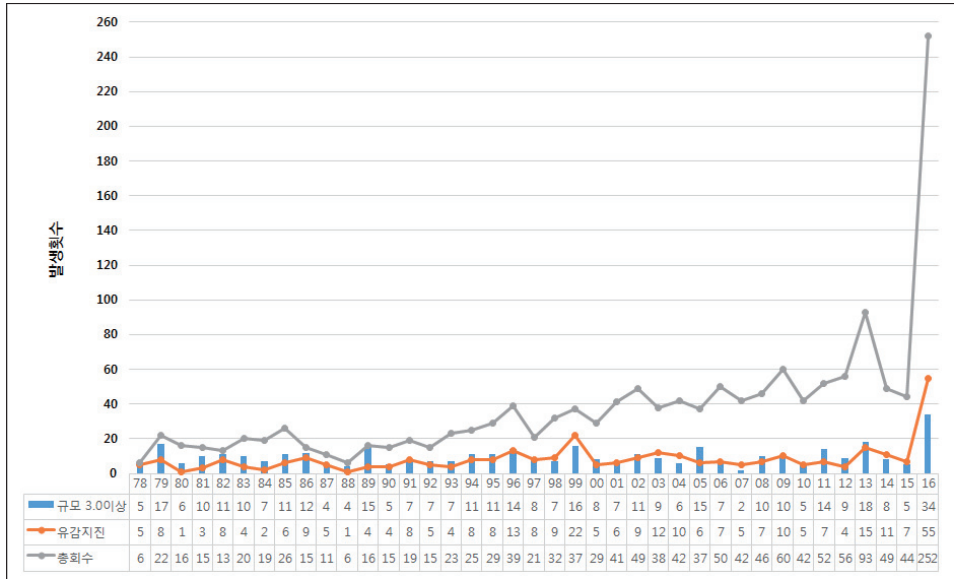
구분	1976 ~ 1980년		2011 ~ 2015년	
순위	지역	강수량 (mm)	지역	강수량 (mm)
1	통 영	340.5	동두천	449.5
2	남 해	324.5	정읍	420
3	보 은	302.6	광양시	357.5
4	완 도	282.5	파주	322.5
5	밀 양	271.4	진주	318
6	여 수	267.6	여수	308.9
7	거 제	263.6	군산	308.5
8	군 산	261.1	고흥	306.5
9	서귀포	260.6	서울	301.5
10	장 흥	258.1	제주	299
11	보 령	255.8	영광군	297
12	진 주	252	순천	284.5
13	원 주	248.6	고창군	279
14	산 청	238	수원	276.5
15	전 주	232.1	산청	273.5

자료 : 기상청, 국가기상 종합정보 시스템 (2018)

□ 지진재해

- 우리나라는 더 이상 지진으로부터의 안전지대가 아니며, 실제로 우리나라의 지진 발생횟수는 점차 증가하고 있는 추세임
 - 1978~ 1998년간의 평균 발생회수는 19.2회였으나, 그 횟수가 증가하여 1999년~2016년간의 평균 발생회수는 58.9회로 관측됨

그림 1 | 관측 시기별 지진발생 횟수 (규모 2.0 이상)



자료 : 2016 재해연보

□ 시사점

- 우리나라의 재난특성에 적합한 방재도로를 구축할 필요가 있음
 - 수재해가 재난의 대부분을 차지하고 있고 아열대성 기후로의 변화가 예상되므로 이에 대비한 방재도로 구성이 필요
 - 더불어, 최근 경주 및 포항지역의 연이은 지진은 우리나라도 더 이상 지진으로부터 안전지대가 아님을 의미하므로 이에 대비한 방재대책이 필요한 상황

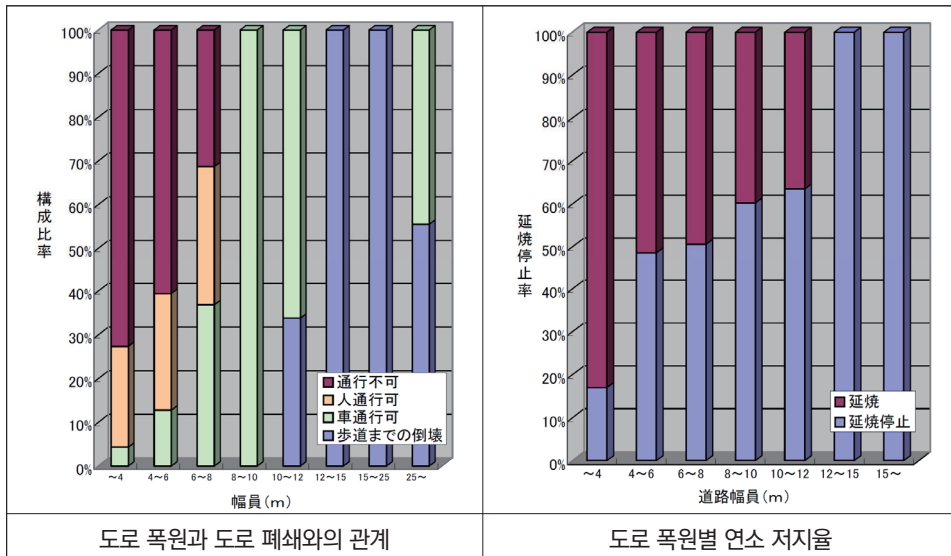
3. 국외 방재도로 구축 및 활용사례

□ 일본

- (재해 단계별 긴급수송루트의 선정) 재해의 단계에 따른 필요 응급활동을 지원하기 위해 단계별 긴급수송루트를 선정함

- 재해발생 직후에는 구출·구조, 의료구호활동 등 부상자의 구조를 실시하는데 있어서 기준이 되는 72시간이라는 시간축을 고려하여 인명구조와 관련된 긴급수송루트를 확보
- 시간이 경과됨에 따라 응급대책활동은 부상자 등의 인명구조에서 이재민 생활지원으로 변경되므로 이재민 지원 긴급수송루트를 확보
- (도로 계획 시 방재기능을 고려) 일본은 도시내 도시계획도로의 기능에 방재기능을 부여하여 모든 정비대상 도로에 기능별 평가를 수행
- 실제로, 이러한 피난·구조 기능은 일정 수준 이상의 도로 폭원이 확보되었을 때 기능을 발휘한 것으로 증명됨
 - 폭원이 4m 미만인 경우, 70% 이상의 통행이 통행 불가
 - 폭원이 8m 이상인 경우, 100% 차량의 통행이 가능하였음
 - 폭원이 4m 미만인 경우, 80% 이상 연소
 - 폭원이 12m 이상인 경우, 100% 연소 저지

그림 2 | 도로의 폭원에 따른 방재기능 수행 정도 (한신 아와이 대지진 시)



자료 : 일본 국토교통성, 지진에 강한 도시조성·지구조성의 절차

□ 시사점

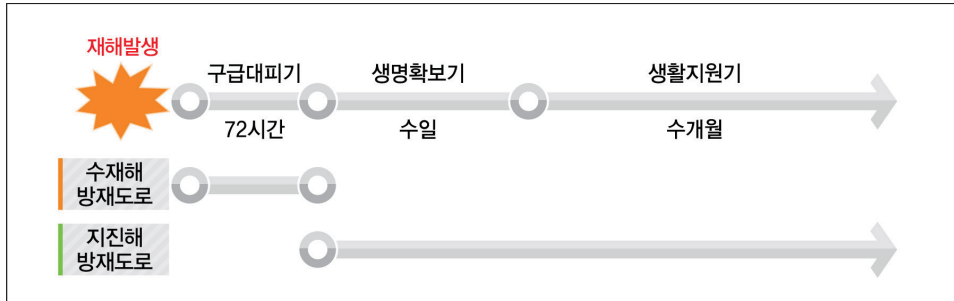
- 일본의 사례와 같이, 단순한 방재도로 선정 보다는 재난현장에 대한 종합적인 이해를 바탕으로 방재도로를 선정할 필요
 - 일본의 경우, 방재도로의 선정은 일단 이재민을 수용하는 방재거점을 우선적으로 마련하고 방재거점간의 연결을 통한 방재도로를 구성하고 있으며, 더 나아가 방재경로까지도 사전에 준비하고 있음
- 재난 대응 시 방재도로를 통해 응급의료·응급복구·지휘소·상황실 등에 필요한 시설·물자·장비·도구 등의 신속한 이동은 재난 대응의 실효성을 증진시키는 매우 중요한 요소
 - 방재자원의 신속한 이동을 위해 사전에 도로를 지정하고 이에 대한 통행제한을 실시할 경우, 방재자원의 지연된 도착으로 인한 피해는 최소화 할 수 있음
 - 사전에 지정된 방재도로를 훈련 상황에도 이용한다면 매우 혼잡하고 신속한 결정이 필요한 실제 재난 상황 발생 시 이동에 대한 적응력을 높여 재난 상황에 침착하게 대응할 수 있게 하는 기반이 됨

4. 방재도로 선정 방법의 개발

□ 방재도로 선정의 기본 방향

- (재난 취약성에 근거한 방재도로 선정) 방재도로는 재해 노출에 따른 위험성을 바탕으로 선정되어야 함
 - 재해에 대한 과학적인 분석을 바탕으로 도로 네트워크로의 위험성이 판단되어야 이어지는 방재도로 선정 결과의 실효성이 확보될 수 있음
- (재해 유형별 방재도로의 선정) 재해 종류별로 재해에 취약하거나 반대로 전략적으로 활용될 수 있는 도로 구간이나 시설이 상이하므로 이러한 특성을 적절히 반영한 방재도로 선정이 필요함
 - 고지대에 건설된 도로나, 교량과 같은 도로 시설물은 홍수의 범람으로 인한 피해에도 도로의 이동성을 유지할 수 있어 침수피해에 전략적으로 이용 가능하나, 지진과 같은 진동에는 상당히 취약

그림 3 | 수재해, 지진재해 방재도로가 목적하는 주요 대피 활동



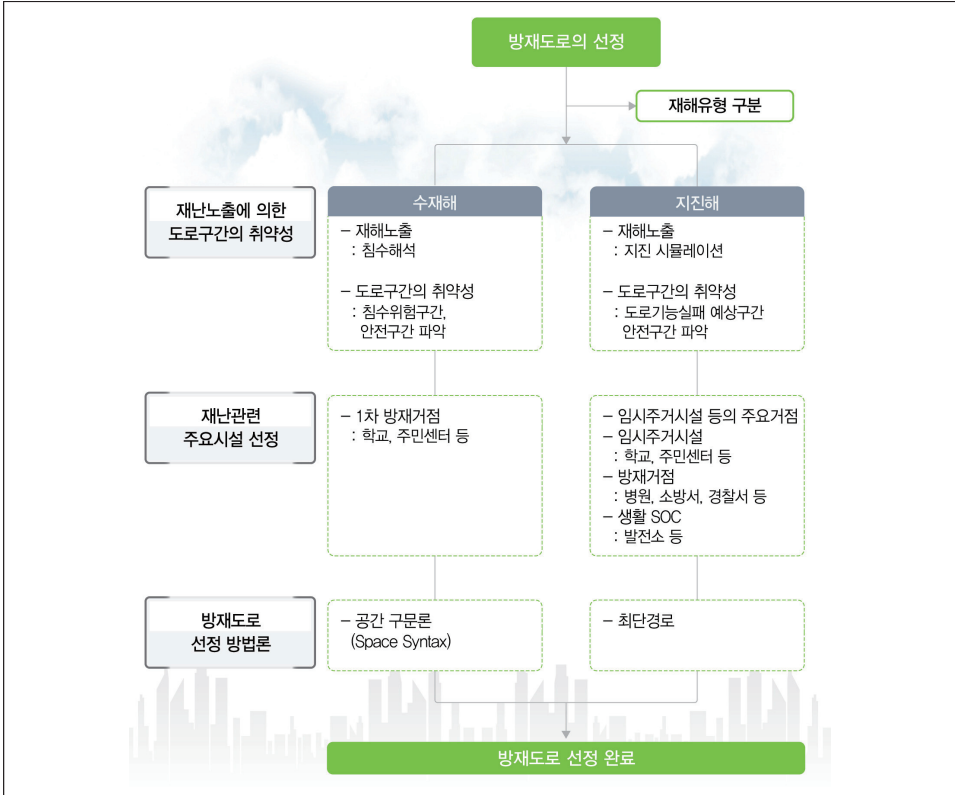
자료 : 저자 작성

- (대피활동에 적합한 방재도로의 선정) 재난 직후 대피활동은 크게 3 단계로 구분되며, 방재도로는 각 단계의 대피활동에 적합하도록 선정되어야 함
 - 수재해와 지진재해로 구분된 재해 유형에 따라 피해 최소화 측면에서 가장 중요한 대피활동을 결정하고 해당 대피활동에 적합한 방재도로 구축이 필요

□ 방재도로 선정 절차

- (수재해 관련 방재도로) 피해가 예상되는 지역의 주민들을 인근 대피소로 안전하고 신속히 유도하여 수재해로 인한 인명 및 재산 피해의 최소화를 위한 도로
 - 집중호우로 인한 침수해석 모형을 이용하여 수재해가 예상되는 지역을 파악
 - 주민들의 우선 대피 장소인 임시주거시설 (학교, 주민센터, 시청)을 선정
 - 피해지역에서 임시주거시설로의 신속한 이동을 유도하기 위한 방재도로 선정
- (지진재해 관련 방재도로) 방재자원의 신속한 전달로 기대되는 재난 피해의 최소화과 함께, 재난 상황 및 복구과정에서도 국민의 기본적인 일상생활을 가능케 하는 도로
 - 지진 시뮬레이션을 통해 도로의 기능 실패 예상 구간 파악
 - 주민들의 우선 대피 장소인 임시주거시설 (학교, 주민센터, 시청) 선정
 - 구조 활동을 위한 방재거점 (병원, 소방서, 경찰서) 선정
 - 주요 시설의 연결

그림 4 | 재난 유형별 방재도로의 선정 절차



자료 : 저자 작성

5. 방재도로의 유지·관리 방안

□ 방재도로의 유지·보수 및 관리

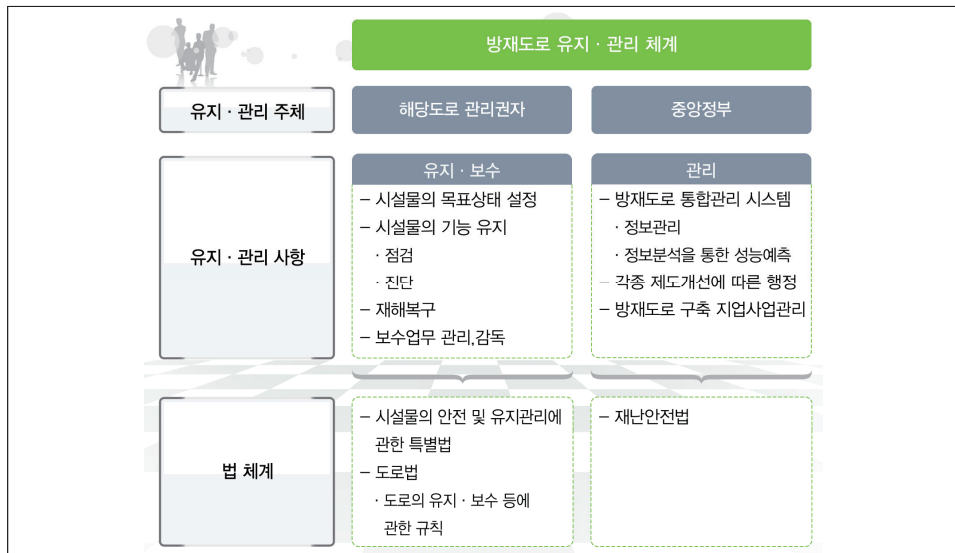
- (유지·보수) 방재도로의 중요도별로 시설물의 목표상태를 차별화하여 선택과 집중의 유지·보수 계획 수립
- 재난안전법에서 정의하는 특정관리대상시설로 지정하여 필요시 긴급안전점검을 받을 수 있는 대상이 되어야 하며, 정기적으로 중요 방재도로의 시설등급조정을 통한 유지·보수 기준을 강화해야 할 필요가 있음

- (관리) 방재도로의 효율적 관리를 위한 방재도로 통합관리 시스템 운영을 제시
 - 시설물 기반의 유지·관리를 목적으로 하는 관리 시스템이 아닌 목적 기반의 방재도로 관리 시스템을 운영

□ 방재도로의 유지·관리를 위한 법·제도 정비

- 기존 도로가 방재도로로 지정됨으로 인해 유지·관리 수준이 강화되는 변화를 뒷받침 할 수 있도록 법·제도를 정비해야 할 것임
 - 긴급안전점검대상시설로 지정되면 재난이 발생할 우려가 있는 등 대통령령으로 정하는 긴급한 사유가 있을 경우, 긴급안전점검을 실시하게 되므로 방재도로 관리에 적절
 - 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법에서의 관리하는 1종, 2종, 3종 시설물에 중요도가 높은 방재도로를 2종 시설로 편입하여 정기적인 안전 및 진단을 받을 수 있도록 제도 개선

그림 5 | 방재도로의 유지·관리 체계



자료 : 저자 작성

6. 결론 및 정책제언

- 본 연구는 재난 발생 시 피난과 구호 물자의 이동을 위한 도로 인프라의 중요성에도 불구하고 방재도로가 없는 우리나라의 실정을 고려하여 방재도로의 선정을 주제로 연구를 수행함
 - 이를 위해, 방재도로의 역할 정립, 방재도로를 과학적 방법에 근거하여 선정하는 방법론의 개발 그리고 이를 실제 재난 상황이 발생하였을 시 효율적으로 운영하는 방안, 마지막으로 방재도로의 선정을 위한 법적·제도적 정비 방안 마련을 제시하였음
- 방재도로의 선정 방법 및 운영·유지·관리 방안에 대한 연구 결과를 토대로, 방재도로 도입의 필요성, 유지·관리의 제도화, 홍보 등에 대한 정책 제안을 도출함
 - 기초지자체 및 하위 행정단위에서 재난의 취약성을 고려한 방재도로 선정을 의무화하는 제도의 도입이 필요가 있음
 - 재난특성에 적합한 방재도로가 선정되면, 선정된 방재도로가 제대로 역할을 할 수 있도록 내재해성을 보강하고 그에 따른 유지·관리 정책 수립이 필요 함
 - 도로의 재난 대비 대응력 (치수 시설, 내진 설계 등)에 대한 정보 관리가 필요 함
 - 기 구축된 도로의 방재도로화를 위한 재해유형별 내재해성 기준 마련과 유지·관리 방안 등에 대한 지침 마련의 연구가 필요 함
 - 재난 발생 시 활용할 수 있는 방재도로에 대한 내용이 포함된 위기대응 매뉴얼을 구축, 시민들에게 배포할 필요가 있음

차례

CONTENTS

주요 내용 및 정책제안	iii
요 약	v

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 범위 및 방법	5
3. 연구의 흐름	8
4. 선행연구 검토 및 차별성	10

제2장 방재관련 주요 개념 정립 및 방재도로의 중요성

1. 주요 개념 정립	15
2. 우리나라 재난 발생의 현황 및 특성	22
3. 방재도로의 중요성	31

제3장 국내외 방재도로 구축 및 활용사례

1. 해외 방재도로 구축 사례	37
2. 국내 유사 방재도로	49
3. 시사점	55

제4장 방재도로 선정 방법의 개발 및 적용

1. 방재도로 선정 관련 주요 개념 및 기존 연구	59
2. 방재도로 선정의 기본방향	72
3. 방재도로 선정 방법 및 절차	75
4. 사례분석	86

제5장 방재도로의 운영 및 유지·관리 방향

1. 방재도로의 운영 방향	107
2. 방재도로의 유지·관리 방향	112

제6장 방재도로 도입을 위한 제도 개선 방향

1. 방재도로의 지정	117
2. 방재도로의 운영 및 유지·관리를 위한 법·제도 개선	122

차례

CONTENTS

제7장 결론 및 정책제언

1. 연구결과 및 정책제언	129
2. 연구의 한계 및 향후 연구 방향	136
 참고문헌	139
SUMMARY	144
부 록	145

표차례

LIST OF TABLES

〈표 1-1〉 선행연구 요약 및 차별성	12
〈표 2-1〉 2011 ~ 2015년간 일 강수량 및 시간당 강수량 지역 (최고 15개 지역) ·	22
〈표 2-2〉 지난 10년간 원인별 자연재해 피해액 현황	25
〈표 2-3〉 지난 10년간 시도별 자연재해 피해액 현황	26
〈표 2-4〉 2011 ~ 2016년간 특별재난지역 선포 현황	27
〈표 2-5〉 1976 ~ 1980년간 일 최대 강수량 지역과 2011 ~ 2015년간 일 최대 강수량 지역의 비교	28
〈표 2-6〉 복합재난 사례	30
〈표 2-7〉 사고완화 행위별 사고 심각도 (감소율)	32
〈표 2-9〉 국내 주요 재난 사례 중 교통혼잡으로 피해가 확산된 사례	33
〈표 3-1〉 일본의 도시계획 도로에 대한 기능 설정	42
〈표 3-2〉 전국 지진해일 긴급대피소 분포 현황	50
〈표 3-3〉 현장조사 개요	51
〈표 4-1〉 AASHTO (2002) 제안 취약성 판단 요소	62
〈표 4-2〉 AASHTO (2002) 제안 취약성 판단의 세부 요소	63
〈표 4-3〉 도로시설물에 직접적인 손상을 미치는 재난과 비교적 손상이 적은 재난의 구분	73
〈표 4-4〉 지진구역 및 지진구역 계수	80
〈표 4-5〉 위험도 계수	80
〈표 4-6〉 시설물의 내진 등급별 내진 성능 수준	83
〈표 4-7〉 도로 종류별 내진 등급	83
〈표 4-9〉 침수 해석 결과에 따른 침수 단계별 설명	88
〈표 4-10〉 포항시 지진으로 인한 공공시설 복구 비용 추정	96
〈표 4-11〉 액상화 분석 결과에 따른 액상화 단계별 설명	98
〈표 5-1〉 방재도로 운영 방식 비교	108
〈표 5-2〉 안전 점검 및 정밀안전진단의 주기	113

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 1-1〉 연구의 공간적 범위	5
〈그림 1-2〉 본 연구의 고려대상 재해	6
〈그림 1-3〉 연구 흐름도	9
〈그림 2-1〉 2011 ~ 2017년간 규모 4.0 이상의 진앙지 분포	23
〈그림 2-2〉 지난 10년간 원인별 자연재해 피해액 현황	24
〈그림 2-3〉 지난 10년간 시도별 자연재해 피해액 현황	25
〈그림 2-4〉 관측 시기별 지진발생 횟수 (규모 2.0 이상)	29
〈그림 2-5〉 화재성장 곡선	31
〈그림 2-6〉 구조물에 갇힌 시간에 따른 생존율	31
〈그림 3-1〉 일본 동경도의 긴급수송루트	39
〈그림 3-2〉 도로의 폭원에 따른 방재기능 수행 정도 (한신 아와이 대지진 시)	43
〈그림 3-3〉 방재생활도로 정비사업 개념도 및 정비 전·후	44
〈그림 3-4〉 개정 재해대책기본법 최초 적용 사례(국도 192호, 2014년 12월) 및 차량이동 이미지	45
〈그림 3-5〉 사전통행규제구간 재해발생률 변화	46
〈그림 3-6〉 플로리다 주 Tampa Bay시의 허리케인 대비 피난 경로	47
〈그림 3-7〉 캐나다 밴쿠버 광역권의 Disaster Response Route	48
〈그림 3-8〉 모포지구 및 호미곶지구의 문제점	51
〈그림 3-9〉 구룡포 지구, 모포지구의 대피로 표지판의 문제점	52
〈그림 3-10〉 구룡포지구, 양구지구 대피로의 가파른 경사로	52
〈그림 3-11〉 재난관리의 4단계	53
〈그림 4-1〉 NRI 기반 방재도로 선정의 예	64
〈그림 4-2〉 경로단위 방재도로 선정을 위한 분석 대상 네트워크	65
〈그림 4-3〉 경로단위 방재도로 선정의 예	66
〈그림 4-4〉 공간 구분론을 사용하여 주변 피난처와의 연결도를 산정한 예	67
〈그림 4-5〉 최단시간 경로와 유사한 경로의 예	69

〈그림 4-6〉 중복성 지수 산정에 이용된 사례분석 도로망	69
〈그림 4-7〉 재난 취약성에 근거한 방재도로 선정 기본 구조	72
〈그림 4-8〉 재난 후 주요 대피 활동	74
〈그림 4-9〉 재난 유형별 방재도로 선정 절차	76
〈그림 4-11〉 도시침수 해석 개념도	77
〈그림 4-12〉 침수 위험 구간의 예	78
〈그림 4-13〉 액상화 가능성 지수 산정 절차	81
〈그림 4-14〉 지진에 의한 도로피해	82
〈그림 4-15〉 Closest Facilities Analysis 의 적용 예	85
〈그림 4-16〉 수재해 사례 분석 대상지 (제주시 일대)	86
〈그림 4-17〉 사례지역 침수해석 결과	88
〈그림 4-18〉 존별 임시주거시설로 활용 가능한 시설	89
〈그림 4-19〉 존1 통합도 분석결과	90
〈그림 4-20〉 존2 통합도 분석결과	91
〈그림 4-21〉 존3 통합도 분석결과	91
〈그림 4-22〉 존1 방재도로 선정결과	92
〈그림 4-23〉 존2 방재도로 선정결과	93
〈그림 4-24〉 존3 방재도로 선정결과	94
〈그림 4-25〉 지진재해 사례 분석 대상지	95
〈그림 4-26〉 포항시 지진피해 사례	97
〈그림 4-27〉 사례지역 지진 해석 결과	98
〈그림 4-28〉 지진재해로부터 활용 가능한 구간 파악 결과	99
〈그림 4-29〉 임시주거시설의 선정 과정	100
〈그림 4-30〉 임시주거시설의 선정 결과	101
〈그림 4-31〉 방재거점 및 생활 SOC 분포	102
〈그림 4-32〉 방재도로 선정 결과	104

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 5-1〉 수재해 발생 시 방재도로 운영 절차	109
〈그림 5-2〉 지진재해 발생 시 방재도로 운영 절차	110
〈그림 5-3〉 방재도로 유지·관리 체계	112
〈그림 6-1〉 특정재해 (폭우와 해수면 상승) 만을 고려한 재해취약성분석	119
〈그림 6-2〉 재현주기 1,000년 국가지진위험지도	121
〈그림 7-1〉 재난대응 매뉴얼 및 안내 표지 사례	135



1

CHAPTER

서론

- 1. 연구의 배경 및 목적 | 3
- 2. 연구의 범위 및 방법 | 5
- 3. 연구의 흐름 | 8
- 4. 선행연구 검토 및 차별성 | 10

서론

본 장에서는 연구의 배경이 되는 방재도로 구축의 필요성, 그리고 연구목적을 기술한다. 연구의 목적을 달성기 위한 내용적 범위 및 연구 방법을 제시하고 기존연구 검토를 바탕으로 본 연구가 기존연구와 어떠한 차별성을 가지는가에 대해서도 알아본다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경 및 필요성

지진 및 기상이변은 전 세계적인 이슈로 우리나라도 더 이상 기후변화와 지진발생에 있어 안전하지 않은 상황이다. 2016년에는 태풍 차바 (2016년 10월)의 발생으로 6명이 사망하고 3명이 부상을 당하는 인명피해와 총 2,150억원에 달하는 재산피해를 야기하였다. 경주 및 포항지역의 지진 (2016년 9월, 2017년 11월) 은 재산 및 인명피해를 넘어, 우리나라도 지진에 있어 안전지대가 아니라는 인식을 불러일으킬 만한 전례없는 강한 지진이었다.

재난은 예상치 못할뿐더러 그 규모가 거대함에 반해 도로 인프라는 그 영향에 매우 취약한 특성이 있다. 선형의 형태를 띠는 도로 시설은 도로구간 전체가 피해를 받지 않는 부분적 피해라도 해당 도로 구간 전체가 마비되므로 재난과 같은 외부 충격에 취약하다. 또한, 도로 인프라의 피해는 지역 주민의 이동을 제한하여 그 피해의 파급효과가 다른 인프라 보다 더욱 심각하다. 도로망 일부분의 기능 실패는 피해 지역의 고립을 야기하여 피해자들의 구조를 어렵게 할 뿐만 아니라 해당 지역에서 생산되는 생산물

및 인력의 이동 어렵게 하여 경제적 피해 또한 발생시킨다.

반면, 재난에 대한 취약성에도 불구하고 재난 발생 시 도로 인프라의 역할은 더욱 중요해지고 명확해진다. 재난이 발생하면 도로는 긴급 구호·복구 관련 물자 및 인력의 동원을 위한 이동경로의 제공과 동시에 해당 지역 주민의 피난경로의 역할도 수행한다. 재난 상황이 종결된 후에도 기존의 통행을 처리하고 복구를 위한 지원도로로서의 역할은 계속적으로 유지해야 한다.

이렇게 방재도로는 국가 재난 시 재난지역의 응급 복구 및 재난지역 및 주변지역의 피해 최소화를 위한 인적·물적 자원의 이동을 보장하는 역할을 기대할 수 있다. 하지만, 재난 발생 시 그 역할이 더욱 중요해지는 도로 인프라의 특성에도 불구하고 우리나라는 재난 대비 및 피해 최소화 측면에서 효과적인 대처를 위한 방재도로가 아직 체계적으로 구축되지 못한 실정이다. 우리나라는 재난 대비 방재도로에 관한 연구가 아직 초보단계 이며 실제적인 방재도로는 아직 존재하지 않는다. 재난 상황에 대한 과학적 접근을 토대로 재난에 의한 취약성을 판단하고 현재 도로 인프라의 여건을 종합적으로 고려하는 방재도로 선정이 시급하다고 할 수 있다.

2) 연구의 목적

재난상황 및 도로 여건을 고려하여 재난으로부터 야기될 수 있는 피해의 최소화 및 원활한 복구를 위한 방재도로의 구축 방안을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

이를 위해 방재도로에 대한 역할을 정립할 필요가 있으며 정립된 역할에 따른 방재도로의 선정 및 운영 방안 수립, 그리고 이의 원활한 도입을 위한 법·제도적 정비 방안 마련이 본 연구의 주요 내용이다. 위 목적을 달성하기 위한 세부 목적을 정리하면 다음과 같다.

- 방재도로의 과학적 선정 방법 제시 및 이를 통한 사례연구
- 방재도로의 구축 및 운영·관리를 위한 방향 제시
- 방재도로 구축을 위한 법·제도적 정비 방향 제시

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위 및 정의

(1) 시간적 범위

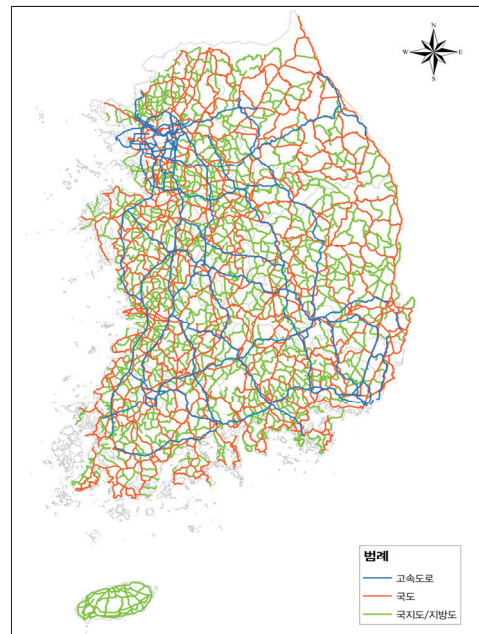
연구의 시간적 범위는 2017년을 기준으로 하며, 구득 가능한 최신의 자료를 바탕으로 분석을 수행한다. 방재도로의 대상이 될 도로망 자료의 경우, 국가 교통DB에서 제공하는 2015년 기준의 교통수요 분석용 네트워크를 활용하며, 재난 자료의 경우, 2017년 이전의 모든 구득 가능한 자료를 수집하여 기초 통계 분석 및 재난의 공간적 분포를 파악하는 기초자료로 활용한다.

(2) 공간적 범위

본 연구의 목적이 도로 인프라를 대상으로 방재도로를 선정하는 것이므로 이를 위한 공간적 범위는 기본적으로 도로망이 연결된 남한 전체의 국토공간으로 선정한다. 그러나 시간적, 물리적 한계로 인해 방재도로의 선정을 위한 사례 분석은 그 보다 작은 공간단위인 시도위 규모의 수준에서 이루어진다.

연구의 공간적 범위를 설정하는 도로망 (고속도로, 국도, 국지도, 지방도)의 공간적 분포는 다음과 같다.

그림 1-1 | 연구의 공간적 범위



방재도로의 선정은 재해의 영향을 고려하므로 고려 대상 재해를 연구의 범위 설정 단계에서 설정하기로 하였다. 본 연구에서 고려하는 재해는 우리나라에서 가장 큰 재산피해를 일으키는 수해관련 재해 (예 : 태풍, 집중호우, 홍수 등)와 도로의 직접적인 파괴를 일으키는 지진으로 선정하였다. 이를 재해를 정의하고 있는 자연재해 대책법 및 재난 및 안전관리 기본법 (이하 재난안전법) 에서 규정하는 재해의 원인에 따라 구분하면 태풍, 홍수, 호우, 지진으로 한정 할 수 있다.

그림 1-2 | 본 연구 의 고려대상 재해



자료 : 저자 작성

2) 연구 방법

(1) 기존연구 고찰

방재도로 관련 기존 연구 고찰을 통해 선행 연구와의 차별성을 검토하고 방재도로 선정의 기본적 절차에 대한 방법론을 파악하는데 활용한다.

(2) 관련 정책 검토

방재도로 관련 정책은 주로 재난 관리에 관한 정책을 검토한다. 이에 관련된 정책은 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침, 국내 재난관리 체계와 같은 재난 관련 정책 등이 있다.

(3) 협동 및 융·복합 연구 수행 계획

재난이 미치는 도로교통 측면의 공간적 파급효과 분석은 국토연구원내 관련 연구조직 (도시방재·수자원 연구센터)과의 협업을 통해 수행된다. 도시방재·수자원 연구센터에서는 분석 시점까지 발생한 재난 (특히, 수재해)에 대한 공간 정보를 구축하고 있고 이를 바탕으로 향후 수해가 미치는 영향을 과학적 분석 모형을 통해 예측한다. 침수 해석은 장래 기후변화 시나리오를 고려하여 해당 지역의 대표 확률 강우량을 추정하고 이를 바탕으로 한 강우조건에서 침수 해석 수리모형을 적용하여 침수위 발생지역을 도출 하게 된다. 지진 재해로 인한 영향 분석은 외부 연구진의 형태로 수재해와 유사한 방식의 지진 파급 효과 모형을 구축한다.

(4) 내·외부 (부처, 전문가, 시민단체 및 민간) 의견수렴

국토교통부, 행정안전부 재난관리실 재난경감과 등 관계부처 전문가 심층 면담을 진행하였으며, 포항, 경주지역 재난 관련 공무원과 면담 등을 통해 의견을 수렴하였다.

3. 연구의 흐름

1) 연구의 흐름

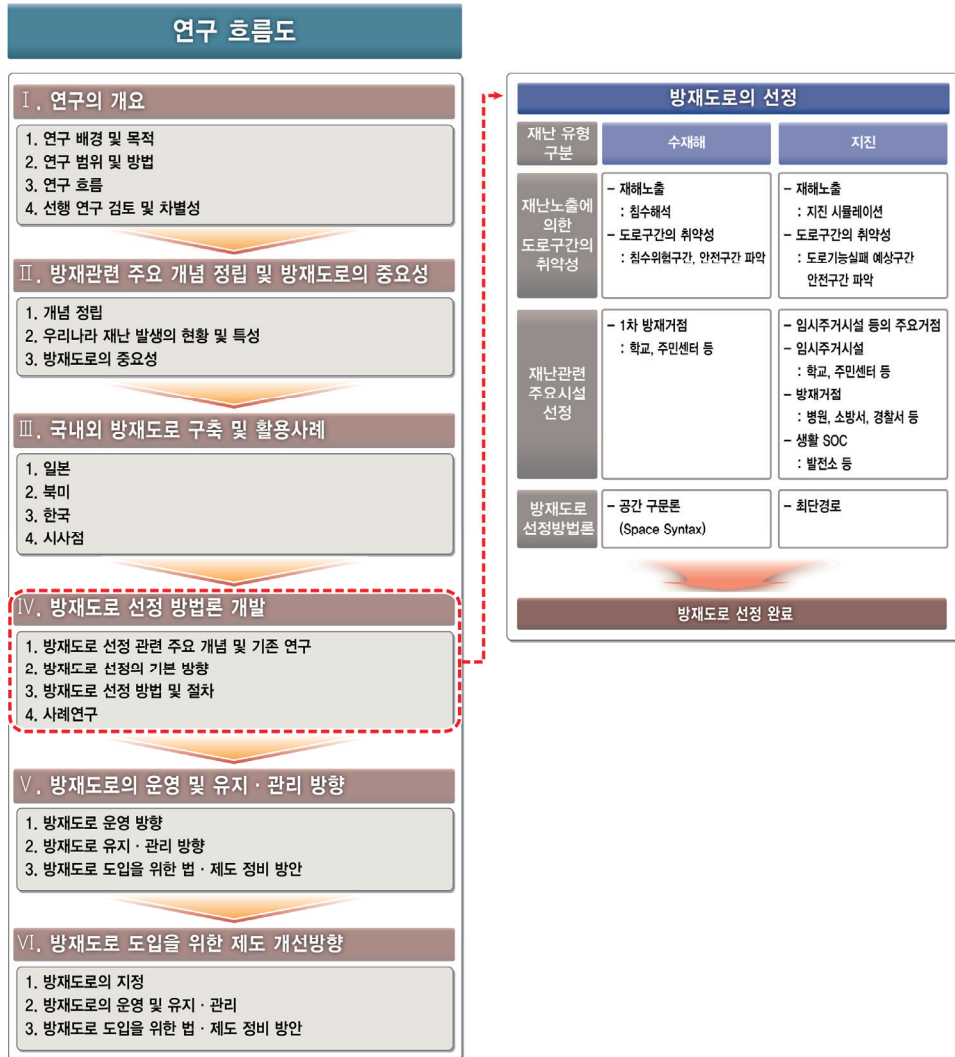
본 연구의 주요 내용은 방재도로의 역할 정립, 정의된 방재도로를 과학적 방법에 근거하여 선정하는 방법론 그리고 이를 실제 재난 상황이 발생하였을 시 효율적으로 운영하는 방안, 마지막으로 방재도로의 선정을 위한 법적·제도적 정비 방안을 마련하는 것이다. 위 주요 연구내용의 순차적 흐름 및 방재도로 선정에 대한 상세 내용을 담은 연구의 틀을 제시하면 다음과 같다.

연구의 도입부에서는 연구의 배경과 목적을 언급하고, 과업의 시간적, 공간적 범위 그리고 과업에서 다루는 대상 재해를 설정한다. 특히, 재난과 방재관련 용어에 대한 기존 연구에서의 개념을 고찰한 후 본 연구의 범위설정과 부합하는 선에서 관련 용어들의 개념을 재정립한다. 이 후 이어지는 연구의 전반부는 우리나라의 자연재해 발생 현황 및 재난 발생 시 대응체계 그리고 외국의 사례를 검토한다.

연구의 본론에서는 방재도로의 선정 기준 및 방법을 개발하고 사례지역을 선택한 후 이에 따른 방재도로의 선정을 직접 수행한다.

연구의 후반부는 방재도로의 운영 방식을 제시하고 방재도로의 도입, 유지·관리 방안에 대한 방향을 제시한다. 방재도로의 역할을 유지하기 위한 중요 방재도로의 안전·점검 기준의 상향 필요성, 방재도로 도입을 위한 법·제도적 절차의 개선 방향을 제시하며, 마지막으로 본 과업의 정책적 활용방안 및 연구의 한계, 장래 연구 방향에 대한 기술을 끝으로 연구를 마무리한다.

그림 1-3 | 연구 흐름도



자료 : 저자 작성

4. 선행연구 검토 및 차별성

1) 선행연구 검토

방재도로 관련 주요 선행연구는 주로 재해의 영향 범위에서 거주하는 시민들의 대피 방안을 다루는 예방적 차원의 연구와 재난 발생 시 방재자원의 신속한 전달을 위한 긴급 수송로 개념의 방재도로 선정이 주를 이루고 있다. 이상건 외 (2005)는 재난에 의해 국가 교통망에 유교 상황이 발생하였을 시 국가 차원의 인적·경제적 손실을 최소화하는 재난 대응 소개 전략 모형을 제시하였다. 정연식 외 (2015)는 방재도로를 재난 발생 직후 대응과 복구에 집중하기 위해 72시간 내에 방재자원의 신속한 이동을 위한 도로로 정의하고 이러한 도로를 선정하기 위해 신속성, 연결성, 다중성의 기준을 제시하였다. 이 후, 이 준 외 (2016)는 위 방재도로의 개념과 거의 유사한 긴급 수송로의 지정 및 활용방안에 관한 연구를 수행하였다.

그러나 기존 연구는 재난 발생에 대한 현실적 고려가 미흡하다. 정연식 외 (2011)의 경우, 재난 유형별 (산사태, 강우, 폭설) 교통 취약성 맵을 구축하고 이를 활용한 교통 예보 시스템 구축 방안을 제시하였으나, 도로 취약성 맵은 재난으로 야기된 도로의 단순 단절 상황을 가정하고 이에 대한 교통 방재 체계를 수립한 것으로 방재도로의 실효성이 충분치 못한 면이 존재한다. 이 후 정연식 외 (2015)는 기존 연구에서 좀 더 발전하여 방재도로 선정을 위한 다양한 기준을 제시하고(신속성, 연결성, 다중성) 이를 바탕으로 방재도로를 선정하는 방안을 제시하였다. 그러나 사례지역 (강원도지역)을 바탕으로 폭설을 가정하여 분석을 수행하였으나, 폭설의 수준 등에 대한 현실적 고려가 미흡한 한계가 있다.

2) 본 연구의 차별성

본 연구에서는 방재도로 선정시 재난에 대한 과학적 분석 및 예측을 바탕으로 재난 피해 예상 지역의 도로 여건을 종합적으로 고려하여 방재도로를 선정한다는 데서 기존 연구와 차별성을 갖는다. 재난 발생에 대한 예측은 쉽지 않으나 본 연구에서는 재난 발생 위험에 대한 과학적 근거를 통해 재난 발생의 위험을 반영한다. 여기에, 재난이 야기할 수 있는 피해정도는 도로 여건 (위치, 주변 건물)에 따라 다를 수 있으므로 이러한 사회·경제적 여건을 반영한 방재도로 구축 방안을 수립한다. 이러한 접근은 명수정 외(2009, 2010)에 의해서도 시도되었으나 (기후 변화에 대한 예측을 바탕으로 종합적인 사회기반시설의 취약성을 분석)공간적 분석단위가 다소 광범위한 관계로 결과의 체감도가 높지 않은 문제가 존재한다.

또한, 본 연구에서는 재난의 유형별로 서로 다른 방재도로를 선정한다. 재난의 유형에 따라 도로의 피해 양상이 다르므로, 이를 적절히 고려한 방재도로의 선정을 위함이다. 수해의 경우, 한 도시지역을 모두 침수케하는 대규모 수해가 아닌 이상, 방재도로 선정 시 교량 구간을 적절하게 사용할 필요가 있다. 그러나 지진재해를 대비하여 교량을 방재도로로 선정하는 것은 상식적으로 무리가 있다.

마지막으로, 대규모 재난이 발생하여 그 피해가 장기화 될 경우, 방재도로는 재난 상황 및 그 이후에도 지역 주민의 일상적인 생활을 뒷받침하는 역할을 해야 한다. 이러한 측면에서 본 연구의 방재도로는 방재자원의 신속한 이동을 위한 경로선정 (routing) (이 준 외, 2016) 에만 국한되지 않고 재난 상황에서도 주민들의 이동을 확보하는데 가장 중요한 도로를 방재도로로 선정 한다. 어떠한 방재자원이 얼마만큼 필요할지 모르는 재난 상황에서 특정 방재자원의 이동경로를 사전에 선정하는 것보다 해당 재난상황에 가장 필요한 활동을 뒷받침할 수 있는 주요 도로의 선정을 통해 동시다발적 재난 상황에서도 유연한 대처가 가능할 것이라 판단되기 때문이다.

표 1-1 | 선행연구 요약 및 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	- 과제명 : 비상재해에 대응하는 도로망 연계성 제고방안 - 연구자(연도) : 조남건, 김준기 (2008) - 연구목적 : 고속도로의 비상재해 발생 시 대응방안 현황 및 문제점을 살펴보고 도로이용자의 불편을 최소화, 피해감소를 위한도로연계성 향상방안 모색	- 관련기관 방문 및 현장 답사 - 설문조사 (고속도로대피로도 입에 대한 반응) - 도로망 연계성 효과분석 (중앙분리대 개구부, 비상대피로 설치효과 분석)	- 비상재해 발생현황 - 비상재해 대응방안의 현황 및 문제점 - 해외의 대피방안 고찰 - 비상재해 시 도로의 연계성 제고방안 - 재해발생시 대피로 확보방안
	2	- 과제명: 교통취약성 개선을 위한 국가교통예보시스템 구축방안 - 연구자: 정연식 외(2011) - 연구목적: 교통부문 취약성 여파를 개선하기 위한 교통예보 정보 구축 방안 제시	- 문헌조사 - 관련기관 전문가 자문회의 및 세미나 - 유관기관과 연구협력 - 교통 취약성 맵 구축 - 이용자 설문조사	- 교통 취약성 개념정립 - 교통 취약성 지표 구축 (혼잡, 강설, 폭우 고려 시) - 교통 취약성 맵 시범구축 - 교통 예보시스템 구축
	3	- 과제명: 국가도로교통방재체계 구축방안 - 연구자: 정연식 외(2012) - 연구목적: 재난 발생 상황별 국가 차원의 교통대응 방안을 체계적으로 정립하기 위한 국가도로교통방재체계 구축 기반을 제안	- 문헌조사 - 관련기관 전문가 자문회의 및 방재체계 설문조사 - 국가교통방재계획 수요처와의 연구협력	- 교통재난 유형 분류 및 정의 - 국내외 교통재난 발생 현황 및 추이 분석 - 국내외 교통방재체계 조사 및 분석 - 국가도로교통방재체계 구축방안
	4	- 과제명: 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구, II - 연구자: 명수정 외(2009,2010) - 연구목적: 미래 예측되는 기후변화에 대비해 우리나라의 주요 사회기반시설의 취약성을 진단 및 이를 통한 정책 추진 방향 제시	- 기후변화 시나리오를 바탕으로 한 공간분석과 문헌조사 - 전문가 대상 설문조사	- 기후변화와 사회기반시설 - 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가 - 사회기반시설 강화를 통한 기후변화 적응
본연구		- 과제명: 재난 피해 저감을 위한 방재도로 구축 방안 연구 - 연구목적: 재난상황 및 도로 여건을 고려하여 재난으로부터 야기될 수 있는 피해의 최소화 및 원활한 복구를 위한 방재도로의 구축 방안을 제시	- 국내외 문헌 및 정책 사례조사 - 관련기관 전문가 자문회의 및 심층면담 - 설문조사 (필요시) - 교통 네트워크 및 GIS 분석	- 재난 및 방재관련 정의 및 개념 검토 - 한국의 재난 발생 현황 및 특성 분석 - 기존 재난관련 도로 정책 및 연구 현황 - 재난 특성, 사회경제, 도로 여건을 고려한 방재도로 구축 방안 수립



CHAPTER 2

방재관련 주요 개념 정립 및 방재도로의 중요성

- 1. 주요 개념 정립 | 15
- 2. 우리나라 재난 발생의 현황 및 특성 | 22
- 3. 방재도로의 중요성 | 31

방재관련 주요 개념 정립 및 방재도로의 중요성

본 장에서는 우리나라의 재난 피해 현황과 재난 발생 특성에 대해 알아본다. 전 세계적인 기후변화의 여파가 우리나라에도 영향을 미쳐 집중호우가 자주 발생하고 있는 상황, 그리고 역사 이래 가장 큰 지진이 발생한 사실을 토대로 수해와 지진해로 구분하여 재난 피해 현황을 살펴본다. 이에 앞서, 일반인들에게는 생소한 방재관련 주요 개념을 정립하고 아직 방재도로가 없는 우리나라의 현실을 빚대어 방재도로의 중요성을 강조한다.

1. 주요 개념 정립

1) 재해, 재난

(1) 사전적 접근

사전적 의미에서 본 재해와 재난은 모두 예상치 못한 상황에서 발생한 대규모 자연 현상이나 인위적 사고에 의해 받은 피해를 말하고 있다. 재해가 다소 자연현상에 의한 피해를 나타내는 반면, 재난의 경우는 더욱 포괄적으로 피해의 원인을 규정하는 것으로 보인다.

재해 : 재앙으로 말미암아 받는 피해. 지진, 태풍, 홍수, 가뭄, 해일, 화재, 전염병 따위에 의하여 받게 되는 피해를 이른다.

재난 : 뜻밖에 일어난 재앙과 고난

자료 : 국립국어원 표준국어대사전 (2018)

(2) 법률적 접근

법률에서 정의하는 재해와 재난은 예상치 못한 자연현상이나 사고의 발생이 국민의 생명, 신체와 재산상에 입히는 피해를 말하고 있다. 재난 및 재해를 효율적으로 통합 관리하기 위해 제정된 재난 및 안전 관리기본법에서는 재난에 대한 가장 상세한 정의를 내리고 있으며, 그 외 재난 관련법은 재난안전법의 정의를 인용하고 있다. 재난안전법에서는 재난을 자연재난과 사회재난으로 구분하고 비교적 자세히 그 원인과 규모를 규명하여 재난을 정의하고 있으며, 자연재해 대책법은 해당 법이 규정하는 재해의 특성상 자연재해로 인한 재해를 정의하고 있다. 이들 법률상에서 재난과 재해는 뚜렷한 구분이 없는 것으로 보이나 재해 보다는 재난이라는 용어가 더욱 많이 사용되고 있는 것으로 검토된다. 자연재해 대책법에서는 재해를 재난의 결과인 재해로 인하여 발생하는 피해로 보고 있으나, 재난안전법에서는 재난과 재해를 거의 동일한 개념으로 보고 있다.

자연재해 대책법

제2조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. "재해"란 「재난 및 안전관리 기본법」(이하 "기본법"이라 한다) 제3조제1호에 따른 재난으로 인하여 발생하는 피해를 말한다.
 2. "자연재해"란 제1호에 따른 재해 중 기본법 제3조제1호가목에 따른 자연현상으로 인하여 발생하는 재해를 말한다.
- 이하 생략 -

재난안전법

제3조(정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

1. "재난"이란 국민의 생명·신체·재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 다음 각 목의 것을 말한다.
 - 가. 자연재난: 태풍, 홍수, 호우(豪雨), 강풍, 풍랑, 해일(海溢), 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사(黃砂), 조류(藻類) 대발생, 조수(潮水), 화산활동, 소행성·유성체 등 자연우주물체의 추락·충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해
 - 나. 사회재난: 화재·붕괴·폭발·교통사고(항공사고 및 해상사고를 포함한다)·화생방사고·환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가기반체계(이하 "국가기반체계"라 한다)의 마비, 「감염병의 예방 및 관리에 관한 법률」에 따른 감염병 또는 「가축전염병예방법」에 따른 가축전염병의 확산 등으로 인한 피해
- 이하 생략 -

(3) 기타

조남건, 김준기 (2008, p6) 는 도로상에서 예상치 못하게 발생하는 재난, 예를 들면, 지진, 대설, 홍수등의 자연재해 뿐만 아니라 낙석이나 대형 교통사고로 인한 구간 두절 까지 포함하여 비상재해라는 용어를 사용하였다.

2) 교통 재난

재난안전법은 사회재난의 한 종류로 교통사고 (항공사고 및 해상사고를 포함) 등으로 인하여 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 교통 등 국가기반체계(이하 "국가 기반체계"라 한다)의 마비 등으로 인한 피해를 포함하고 있다.

이와 유사하게 모창환 (2014)은 교통재난에 대해 도로, 철도, 항공, 해운 분야에서 발생하는 국가 또는 지방자치단체 차원의 대처가 필요한 일정 규모 이상의 인명 또는 재산 피해와 국가 교통기반체계에 마비를 일으키는 사고로 정의하고 있다. 정연식 외 (2012)의 경우, 교통 체계 구성요소에 대한 피해를 더욱 부각시켜 “자연적 혹은 인적 원인에 의해 발생한 재난으로 인해 교통망의 한 지점 (node), 구간 (link), 혹은 교통망 일부 (area)에 문제가 발생하여 교통의 기본 기능인 접근성 및 이동성 등에 부정적인 영향을 주는 사건”이라고 정의를 내렸다.

3) 방재도로

방재도로는 사전적 의미 없이 사용되는 용어로 방재에 대한 사전적 의미를 통해 기본적인 방재도로의 개념을 유추하고 방재도로에 대한 기존 연구의 조작적 정의를 검토한다. 방재의 사전적 의미는 폭풍, 홍수, 지진, 화재와 같이 발생한 재난을 막는 일로 정의되어 있다.

방재 : 폭풍, 홍수, 지진, 화재 따위의 재해를 막는 일

자료 : 국립국어원 표준국어대사전 (2018)

사전적 의미의 방재가 발생한 재난의 피해를 막는 일로 정의되어 있다면 신성일 (2007, p. 11)은 방재를 예상치 못한 재난이 더 이상 확산되지 않고 재난으로 인한 피해를 최소화하는 활동과 노력까지 포함하고 있다.

“방재는 재난방지의 줄임말로 재난 피해의 대상이 되는 기업, 지자체, 국가 등의 조직이 부딪칠 수 있는 각종 위기상황을 모니터링 활동을 통해 완화하고, 재난으로의 발전을 예방하거나 발생한 재난에 대해 적절하게 대응하여 피해를 최소화하고, 조직과 국가의 필수적인 기능을 일정 수준 이상 유지할 수 있도록 하는 모든 제반활동과 노력을 말한다.”

따라서 방재는 예방, 대비, 대응, 복구의 4단계로 분류되고 각 단계들이 서로 유기적으로 밀접하게 연관되어 있는 바, 각 단계에 대한 방재차원의 접근은 효과적인 재난 관리로 이어질 수 있다고 주장한다.

이러한 방재의 개념 하에서 신성일 (2007, p. 11)은 방재경로를 정의하였으나 긴급 상황 시 긴급차량의 소통과 공간 확보 중심으로 정의되어 있다. 그에 의하면 방재경로는 사전에 철저한 분석과 계획을 통해 긴급 상황 시 소방차 통과 등과 같은 긴급차량이 무리 없이 이용 가능하도록 지정·관리 주체가 지속적인 감시와 관리를 수행하도록 지정해 놓은 긴급소방도로로 정의하고 있다.

이 후 정연식 외 (2012, p37)에 의해 방재도로 관련 연구가 이어져 방재의 개념을 정립하는 단계부터 연구를 수행하였다. 방재를 신성일 (2007)과 같이 재난을 예방하고 재난이 발생한 경우에는 그 영향을 최소화하려는 노력으로 정의하였다. 정연식 외 (2012)는 이후 방재도로 선정기준 연구에서 (2015, p. 61) 방재도로를 재난이 발생한 이후 대응과 복구에 집중하기 위해 방재자원의 신속한 이동을 위한 도로로 정의하였다. 정연식 외 (2012)에 의한 방재도로는 재난 발생시 72시간 내 방재자원 (인력, 자재, 장비등)을 재난 현장에 신속하게 지원하기 위해 일시적으로 국가가 관리·운영할 수 있도록 지정한 도로이며, 방재자원의 신속한 이동을 위해 일반차량의 통행을 금지하고 있다. 이준 외 (2016)는 위 방재도로의 개념과 거의 유사하게 ‘긴급 수송로’를 정의하여 긴급 수송로를 선정하는 기준을 제시하였다. 그는 긴급 수송로를 대규모 재

난 발생 시 초기 황금시간 확보 및 방재자원을 재난 현장에 효율적이고 신속하게 지원하기 위해 사전에 지정·관리·운영하는 도로로 정의하였다.

지금까지 방재도로에 대한 정의를 고찰한 결과, 방재도로의 개념이 재난을 막는 것보다는 재난 발생 시 방재자원의 신속한 투입을 통해 피해를 최소화하는 방재자원의 신속한 전달 경로선정에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 재난의 발생이 예측 불가하여 이를 미연에 방지하기 위한 방재도로의 역할을 추구하기 보다는 재난을 인정하고 재난 발생 시 그 피해 규모를 최소화하는 방향으로 방재도로 구축 방향이 설정되고 있다(정연식, 2015, p2). 또한, 방재자원의 신속한 투입을 통해 재난의 피해가 최소화 될 수 있다는 기본 전제 하에 원활한 방재자원의 이동을 위한 경로선정 위주의 연구가 수행되었음을 알 수 있다.

4) 본 연구에서의 개념 정립

(1) 재난, 재해

재난 및 재해가 매우 유사한 개념으로 사용되고 있으나 재난이 재해의 결과인 측면이 존재하고 재난이 사전적 의미에서 좀 더 포괄적으로 사용되므로 본 연구에서는 재해 및 재난을 ‘재난’이라는 하나의 용어로 통일하여 사용한다. 그러나 자연재해의 경우, 자연재난이라는 용어보다는 사회적으로 자연재해라는 자연스럽게 통용되어 ‘자연재해’로 표기하였다.

(2) 교통 재난

교통재난을 사회재난의 일부로 정의한 기존의 정의체계를 수용하나 재난의 원인을 교통분야에 국한하기 보다는 교통분야에 영향을 미치는 모든 재난으로 확장하여 사용하기로 한다.

(3) 방재도로

본 연구에서도 기존 방재도로와 유사하게 방재도로를 통해 재난을 미연에 방지하는 역할보다는 재난 발생 시 재난 피해를 최소화 하는 방향의 방재도로를 지향한다. 그러나 본 연구에서 고려하는 재난 유형 (수해, 지진)은 그 피해 양상이 매우 상이하여 재난 피해의 최소화를 위한 방재도로 선정 방향에도 차이가 존재하므로 방재도로의 정의에서도 이를 유형별로 접근한다.

수재해의 경우, 폭우와 같은 집중호우는 갑작스런 홍수를 동반하여 주로 도심내 저지대의 침수 및 산사태를 야기하며, 그러한 재난은 지하차도, 복개도로의 침수로 인한 통행 불능, 가옥, 승용차등의 침수로 인한 재산 및 인명 피해 등을 일으킬 수 있다. 이러한 경우, 폭우로 인해 피해가 예상되는 지역으로부터 신속히 주민이나 승용차와 같은 중요한 재산을 침수로부터 안전한 장소로 이동시키기 위한 방재도로를 설정할 필요가 있다. 반면, 지진의 경우, 도로 인프라에 미치는 물리적 영향이 상당하여 장기적인 손상을 일으키는 물리적 파괴력이 큰 재난이다.

따라서 지진 피해를 최소화하기 위한 방재도로는 피해지역으로부터 주민의 피난과 피해지역의 원활한 복구, 복구과정에서의 일상적인 통행의 유지까지도 고려해야 하는 보다 장기적인 관점에서 조명되어야 한다.

① 수재해 대비 방재도로

본 연구에서는 수재해대비 방재도로를 집중호우의 피해가 예상되는 지역의 주민들을 인근 대피소로 안전하고 신속히 유도하여 수재해로 인한 직접적인 인명 피해의 최소화를 위한 도로라고 정의하였다. 수재해대비 방재도로는 수재해가 다른 재해보다는 재해 영향지역에 대한 예측이 어느 정도 가능하다는 점, 그리고 도로 인프라 측면에서는 재해의 영향이 상대적으로 오래 지속되지 않는 특성을 반영하여 수재해 예상지역 주민들의 긴급 구조에 중점을 둔 개념이다.

② 지진재해 대비 방재도로

본 연구에서의 지진대비 방재도로는 방재자원의 신속한 전달로 기대되는 재난 피해의 최소화와 함께, 재난 상황 및 복구과정에서도 국민의 기본적인 일상생활을 가능케 하는 도로망을 방재도로로 정의한다. 이는 지진 피해가 수재해보다는 공간적 범위가 넓고 도로 인프라의 물리적 손상이 장기간에 걸쳐 발생한다는 점, 따라서 피해의 복구 또한 오랜 시일이 걸린다는 점에서 해당 기간 동안의 기본적인 일상생활을 위한 도로망의 유지 측면을 강조한 개념이다. 이러한 장기적 관점의 개념은 포항 지진이 발생한지 1년이 지난 후인 지금도 이재민들이 아직 집으로 돌아가지 못하고 있는 피해 현실 (세계일보, 2018) 을 반영한 것이다.

2. 우리나라 재난 발생의 현황 및 특성

1) 자연재해 발생 현황

(1) 수재해 관련 재난 발생 현황

지구온난화로 인한 전 세계적 이상기후 여파는 우리나라에도 영향을 미쳐 예전과 다른 양상의 호우 패턴이 관찰되고 있다. 국지적 집중호우 및 태풍의 영향으로 지난 2016년에만 일 강수량 및 시간당 강수량의 최고 기록을 갱신한 지역이 다수 발생하였다는 점이 이를 반증한다. 최근 2011 ~ 2015년간 최고 일 강수량 및 최고 시간당 강수량의 지역별 순위 및 강수정도를 나타낸 결과는 다음 표와 같다.

표 2-1 | 2011 ~ 2015년간 일 강수량 및 시간당 강수량 지역 (최고 15개 지역)

(단위: mm)

순위	지역	일 강수량	지역	시간당 강수량
1	동두천	449.5	광양시	106.5
2	정읍	420	부산	96
3	광양시	357.5	남해	95
4	파주	322.5	양평	85
5	진주	318	임실	85
6	여수	308.9	북창원	84.5
7	군산	308.5	동두천	84
8	고흥	306.5	창원	83.5
9	서울	301.5	순천	82.5
10	제주	299	제주	77.2
11	영광군	297	양산시	77
12	순천	284.5	진도	76
13	고창군	279	서귀포	75
14	수원	276.5	고창군	74.4
15	산청	273.5	철원	74

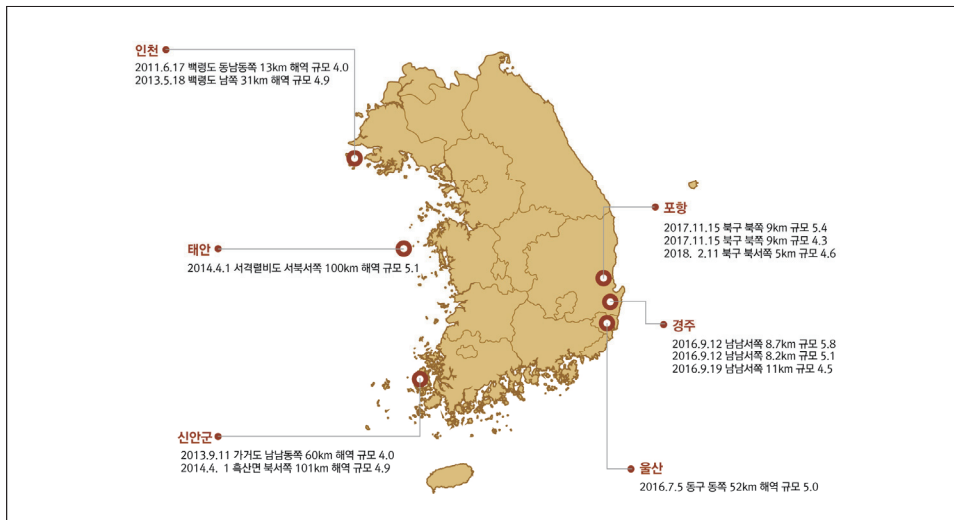
자료 : 기상청 국내 기후자료 (2018)

동 기간 중 가장 높은 일 강수량을 기록한 지역은 동두천으로 하루 동안 약 450mm의 비가 내렸으며, 10위 이내의 지역이 대부분 300mm이상을 기록하였다. 시간당 강수량의 경우, 광양시가 106.5mm를 기록하였으며, 그 뒤로 부산, 남해 임실 지역이 높은 순위에 위치하고 있다. 높은 강수량을 보이는 지역은 주로 중서부, 남해, 전라도 지역에 위치하고 있음을 알 수 있다.

(2) 지진 관련 재난 발생 현황

지진의 경우, 2016년 경주지역 및 2017년 포항시 인근에서 발생한 지진으로 상당한 재산 및 인명피해를 야기하였으며, 지진에 대해 상대적으로 무관심하였던 한국 사회에 지진에 대한 두려움 및 공포감을 심어주기에 충분한 자연현상이었다. 2016년 9월 12일에 발생한 경주지역의 지진은 규모 5.8로 지진 발생을 기록한 이래 가장 큰 지진이었다. 실제로 우리나라는 경주 지역의 지진과 같이 규모는 크지 않으나 많은 지진이 발생하고 있으며, 근래 규모 4.0 이상의 지진에 대한 진앙지 분포를 살펴보면 다음과 같다.

그림 2-1 | 2011 ~ 2017년간 규모 4.0 이상의 진앙지 분포



자료 : 저자 작성

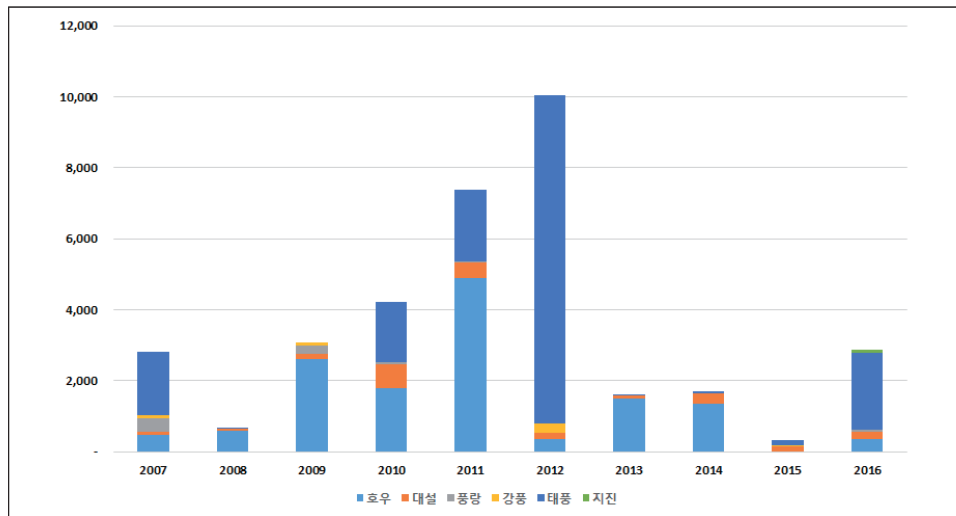
2) 자연재해 피해 현황

(1) 원인별 자연재해 피해 현황

지난 10년간 자연재해로 인한 피해는 대부분 비로 인한 피해, 즉, 호우 및 태풍에 의한 것으로 나타났다. 태풍 볼라벤과 덴빈이 재난 피해를 일으킨 2012년에는 약 1조 원 이상의 재산 피해를 발생시켰으며, 가장 적은 해인 2015년에는 약 300억원의 피해액이 집계되었다. 평균적으로는 태풍에 의한 피해가 가장 크며, 그 다음으로 호우에 의한 피해가 뒤를 잇는다.

평균에 의한 수치를 제시하는 것이 의미가 없을 정도로 피해 규모의 변화폭이 매우 심한 것을 알 수 있으나, 우리나라 자연재해 피해의 대부분은 비와 관련된 피해인 것으로 결론지을 수 있다.

그림 2-2 | 지난 10년간 원인별 자연재해 피해액 현황



자료 : 2016 재해연보 p.29 재구성

표 2-2 | 지난 10년간 원인별 자연재해 피해액 현황

(단위: 억원)

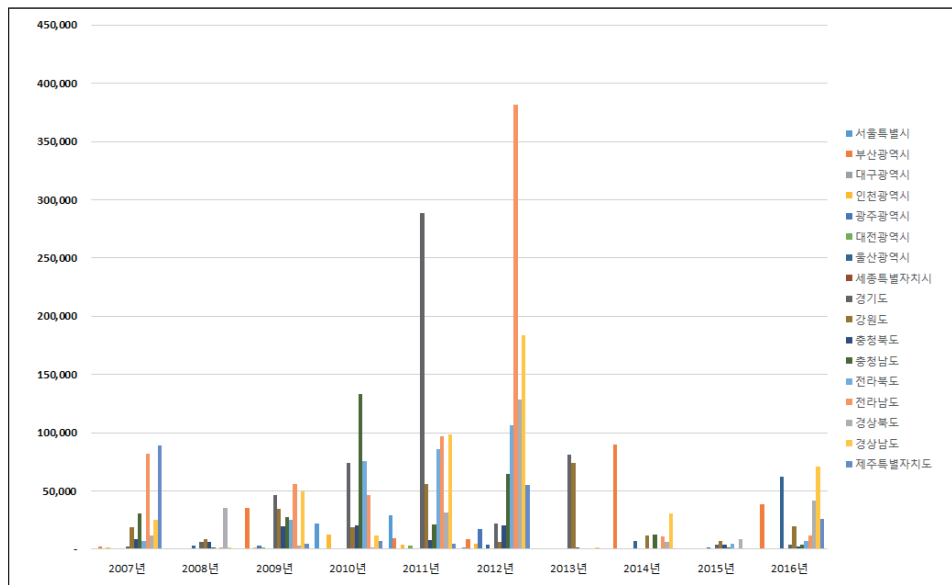
구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	평균
호우	485	596	2,623	1,792	4,900	354	1,482	1,340	12	359	1,394
대설	83	37	131	657	446	188	106	306	128	187	227
풍랑	369	-	248	70	3	-	0	-	3	83	78
강풍	77	11	72	2	-	246	9	1	38	-	46
태풍	1,793	9	-	1,710	2,028	9,258	16	50	132	2,145	1,714
지진	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	11
계	2,806	654	3,074	4,230	7,376	10,047	1,614	1,696	313	2,884	3,469

자료 : 2016 재해연보 p.29 재구성

(2) 자연재해 피해의 공간적 분포

지난 10년간 (2007년 ~ 2016년) 시도별 피해액 현황은 다음과 같다.

그림 2-3 | 지난 10년간 시도별 자연재해 피해액 현황



자료 : 2016 재해연보 p.22 재구성

동 기간 중 2012년의 피해규모가 가장 컸으며, 이 중 전라남도의 피해 정도가 가장 높아, 2016년 환산가격으로 약 3,800억원의 피해를 입었다. 2011년에는 7월 중 내린 두 차례의 집중호우 때문에 경기도가 가장 큰 피해를 입었으며 이때 발생한 재산 피해액은 약 2,880억원으로 집계되었다.

표 2-3 | 지난 10년간 시도별 자연재해 피해액 현황

(단위: 억원)

지역	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
서울특별시	-	0	0	220	291	11	8	0	-	2
부산광역시	20	8	353	3	93	82	0	896	0	384
대구광역시	1	-	-	-	1	0	-	-	-	6
인천광역시	17	4	16	124	40	48	3	2	4	2
광주광역시	7	-	29	3	1	170	0	0	-	1
대전광역시	4	-	11	1	32	4	0	-	-	4
울산광역시	4	32	10	-	10	41	1	66	12	619
세종특별자치시	-	-	-	-	-	10	0	-	-	-
경기도	21	64	464	743	2,885	218	813	2	34	36
강원도	189	85	346	191	557	65	741	115	67	197
충청북도	87	65	198	200	77	207	17	0	37	24
충청남도	305	15	271	1,332	210	648	4	128	18	36
전라북도	69	2	254	752	859	1,062	3	8	49	67
전라남도	819	10	556	463	972	3,815	4	105	5	120
경상북도	120	356	28	16	317	1,282	3	62	84	418
경상남도	254	12	494	114	981	1,837	13	307	1	711
제주특별자치도	890	1	45	67	50	547	3	3	0	256

자료 : 2016 재해연보 p.22 재구성

3) 우리나라 재난 발생 특성

(1) 위치적, 기후학적 요소에 의한 수재해의 발생

우리나라는 기후학적으로는 여름철에 일년 강우량의 2/3가 집중되어 발생하는 우기가 있으며 위치적으로는 일년에 2, 3회의 태풍이 통과하는 경로상에 위치해 있어 강우와 관련된 재해가 많이 발생하고 있다. 이로 인해, 태풍과 호우로 인해 발생하는 풍수해가 전체 자연재해 피해의 큰 비중을 차지한다 (이상은 외, 2016, p.4 재인용). 실제로 최근 5년간 자연재해로 인한 특별재난지역의 선포 현황을 살펴보면 거의 대부분이 호우에 의한 피해인 것을 알 수 있다.

표 2-4 | 2011 ~ 2016년간 특별재난지역 선포 현황

연도	기간	재해명	선포지역
2012	8.25~30	제14·15호 태풍 덴빈, 볼라벤	전남 장흥, 강진, 해남, 영광, 신안, 고흥, 영암, 완도, 진도, 순천, 나주, 곡성, 보성, 무안, 장성, 목포, 여수, 구례, 화순, 함평 충북 괴산, 충남 부여 전북 김제 광주 남구, 전북 정읍, 남원, 완주, 고창, 부안 제주
2012	9.16~17	제16호 태풍 산바	경북 포항, 경주, 김천, 고령, 성주 경남 통영, 밀양, 거제, 남해, 산청, 함양, 거창, 합천, 전남 여수, 고흥
2013	7.11~15, 7.18	7.11~15, 7.18 호우	경기 가평, 강원 춘천·홍천·평창·인제
2013	7.22~23	7.22~23 호우	경기 이천·여주
2014	8.25	8.25 호우	부산 북구, 금정구, 기장군, 경남 창원, 고성
2016	9.12	9.12 지진	경북 경주
2016	10.3~6	제18호 태풍 차바	울산 북구, 울주군 부산 사하, 경북 경주, 경남 양산, 거제, 통영, 제주도

자료 : 2016 재해연보 p.131

(2) 집중호우 발생 강도의 증가

더불어, 지구 온난화로 인한 이상기후 발생은 집중호우와 그 강도의 변동성을 더욱 심화시키고 있는 상황이다. 과거 1976 ~ 1980년간의 일 최대 강수량을 기록한 상위 15개 지역을 2011 ~ 2015년의 지역과 비교하면 일 최대 강수량의 평균이 340.5mm, 에서 100mm 이상 (449.5mm) 증가하였으며, 이는 우리나라의 집중호우의 강도가 매우 심해졌음을 의미한다.

표 2-5 | 1976 ~ 1980년간 일 최대 강수량 지역과 2011 ~ 2015년간 일 최대 강수량 지역의 비교

(단위: mm)

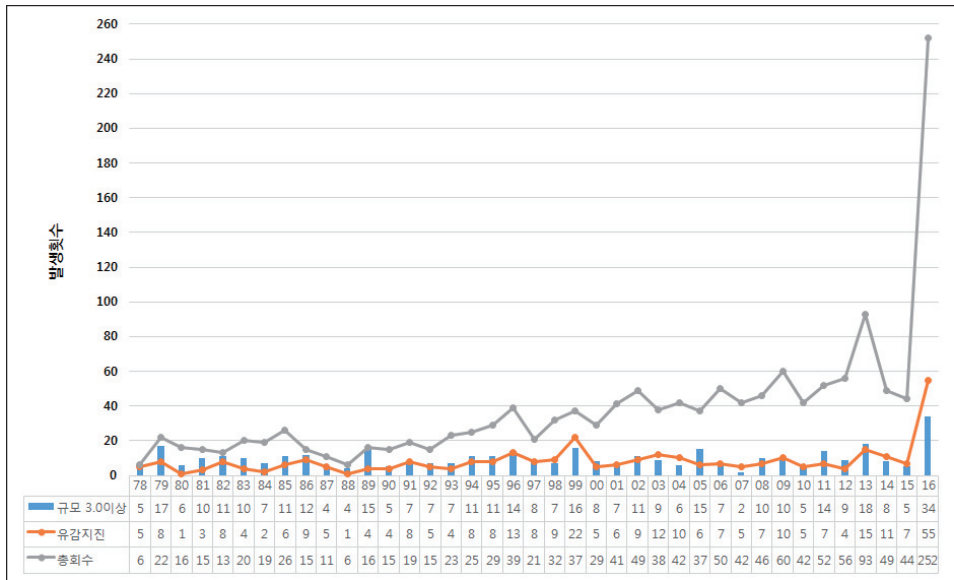
구분	1976 ~ 1980년		2011 ~ 2015년	
순위	지역	강수량 (mm)	지역	강수량 (mm)
1	통 영	340.5	동두천	449.5
2	남 해	324.5	정읍	420
3	보 은	302.6	광양시	357.5
4	완 도	282.5	파주	322.5
5	밀 양	271.4	진주	318
6	여 수	267.6	여수	308.9
7	거 제	263.6	군산	308.5
8	군 산	261.1	고흥	306.5
9	서귀포	260.6	서울	301.5
10	장 흥	258.1	제주	299
11	보 령	255.8	영광군	297
12	진 주	252	순천	284.5
13	원 주	248.6	고창군	279
14	산 청	238	수원	276.5
15	전 주	232.1	산청	273.5

자료 : 기상청, 국가기상 종합정보 시스템 (2018)

(3) 지진 발생 확률의 증가

우리나라는 더 이상 지진으로부터의 안전지대가 아니며, 실제로 우리나라의 지진 발생횟수는 점차 증가하고 있는 추세이다. 1978~ 1998년간 규모 2.0 이상 지진의 평균 발생횟수는 19.2회였으나, 그 횟수가 증가하여 1999년~2016년간에는 58.9회로 관측되었다.

그림 2-4 | 관측 시기별 지진발생 횟수 (규모 2.0 이상)



자료 : 2016 재해연보

(4) 재난의 복합화

예상치 못한 재난은 그 파급력이 상당할 경우, 시스템 전체의 면역력을 상실케 하여 다른 재난에 더욱 취약하게 하고 이로 인한 복합적 재난의 발생 확률이 높아진다.

도시화된 지역일수록 하나의 재난이 도래한 뒤 그 영향으로 다른 재난으로 발전하여 피해를 확산시키는 복합재난에 취약한 특성이 있다. 우리나라는 국토의 70% 이상이 산지로 구성된 지형적 특성으로 인해 집중호우가 발생하면 하류에 위치한 도시지역으로의 유출량이 급속히 증가되어 피해가 발생하는 복합재난의 형태를 나타낸다 (이상은 외, 2016, p. 4). 실제로, 2011년 여름에 일어난 서울 일대의 침수로 인해 광화문 일대는 물론 고층건물이 많이 건설되어 있는 강남일대가 물바다가 되었으며 우면산에서 산사태가 발생하여 인근 마을에 상당한 재산 및 인명 피해를 발생시켰다. 또한, 산사태는 주변의 가축 사육시설을 매몰시키고 제2의 재난, 즉, 침출수에 의한 수질 오염을 발생시켰다.

2000년 이래 대형 수재해와 관련된 복합재난 사례를 정리하면 다음과 같다.

표 2-6 | 복합재난 사례

구분	복합유형	상세 내용
2003. 9.12 ~ 9.13	태풍 + 호우	태풍 매미와 집중호우
1998. 9. 30	수침 + 화재	포항 S 금속 화재
2011. 7. 27	호우 + 산사태 + 교통마비	중부권 집중호우 및 산사태

자료 : 정연식 외 (2015) p.13의 내용의 재구성

우리나라의 도시화율은 매우 높은 편이어서 복합재난의 발생 확률이 높으며 도시화율은 점차 증가할 것으로 예상되어 복합재난에 노출된 인명 및 재산 피해의 대상 또한 증가할 것으로 판단된다.

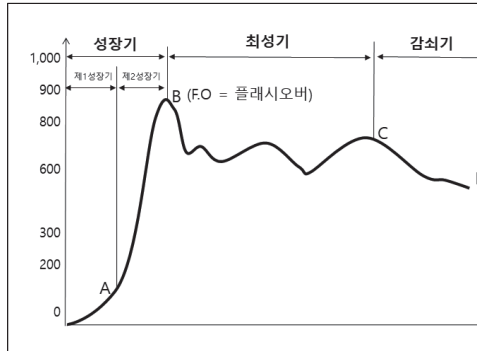
3. 방재도로의 중요성

1) 재난상황에서 시간관리의 중요성

재난대응의 성패는 적절한 시기에 방재역량의 투입에 의존한다. 특히, 재난 발생 직후 초동대처가 적절히 이루어질 경우, 대규모 피해를 예방하여 그 피해 규모를 감소시킬 수 있다.

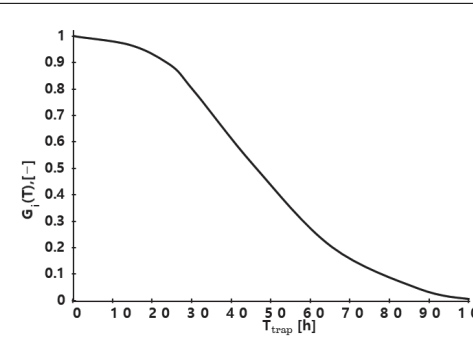
화재의 경우, 화재성장 곡선에 의하면 플래시 오버 (flash over)¹⁾가 발생하기 전 적절한 진압을 실시함으로써 화재의 성장을 막아 피해 최소화를 기대할 수 있음을 알 수 있다. 지진에 의한 경우도 마찬가지로 지진에 의해 사람이 붕괴 구조물에 갇힐 경우, 갇혀 있는 시간에 따른 생존율은 지속적으로 감소하므로 빠른 시간 안에 구호활동의 전개가 매우 중요함을 알 수 있다.

그림 2-5 | 화재성장 곡선



자료 : 김병욱 (2015)

그림 2-6 | 구조물에 갇힌 시간에 따른 생존율



자료 : Fiedrich et al. (2000)

1) 갑자기 불꽃이 폭발적으로 확산하여 창문이나 방문으로부터 연기가 불꽃이 뿜어 나오는 상태

2) 방재도로의 역할

방재도로는 구호활동을 위한 방재자원 및 인력의 신속한 이동 공간을 확보하며, 재난 발생 시 재난 현장으로 방재자원의 신속한 이동을 유도하는 역할을 담당한다.

또한, 재난 지역 주민의 피난 경로를 제공함으로써 재난 발생의 직접적 피해자인 해당 지역 주민은 본격적인 구호 활동이 전개되기 전에 안전하고 신속하게 해당지역을 빠져 나올 수 있다.

3) 방재도로의 기대효과

방재도로의 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 방재자원의 재난 현장 투입속도를 향상시킬 수 있다. 이 준 외 (2016)는 긴급 수송로의 기대효과를 우선통행권을 부여받는 소방차의 경우와 동일시 할 경우, 약 12%이상의 통행속도 향상을 얻을 수 있을 것으로 예상하였다. 그의 분석에 의하면, 지역별로는 광주가 (27.18%) 가장 높은 통행속도 향상을 기대할 수 있을 것으로 추정되었으며, 그 다음으로 인천 (25.50%), 서울 (20.50%) 순이었다. 둘째, 초기대응시간 확보 및 구호활동 지원으로 재난피해 저감에 기여한다. 재난발생 시 초기 황금시간내의 구호 활동은 재난 피해의 확산을 결정하는 중요한 요소로 방재도로의 확보로 초기대응이 적절히 이루어진다면 재난 피해의 조기 수습 및 확산 방지로 인한 피해 저감은 상당할 것으로 기대된다. 정지범 (2009)에 따르면 방재자원의 적시 투입은 재난의 심각도를 58%까지 감소시킬 수 있을 것으로 예측하였다.

표 2-7 | 사고완화 행위별 사고 심각도 (감소율)

상황	사고결과와 심각도 감소 추정
방재장비의 적시 투입	58% 감소
방재장비의 적시 투입 + 방재작업 훈련	70% 감소
방재장비의 적시 투입 + 매뉴얼 구비	68% 감소
방재장비의 적시 투입 + 충분한 자원 + 훈련	94% 감소

자료 : 정지범 (2009)

셋째, 재난 현장 대응 역량을 제고할 수 있다. 방재도로의 현황이 잘 인지된 재난 컨트롤 타워는 재난 상황을 유연하게 대처 할 수 있는 상황 대처 능력을 기대할 수 있다. 넷째, 재난의 장기화 시 2차 피해를 최소화 하고 재난 복구 시 사회·경제적 비용을 최소화 하는데 기여할 수 있다. 재난이 장기화 될 경우, 구호물자나 인력 등의 이동을 위한 도로의 확보는 2차 피해를 감소시킬 수 있는 중요한 요인이며, 더불어 재난 복구에 복구장비의 이동에 유용하게 이용될 수 있다.

4) 방재도로 미확보로 인한 재난 피해 사례

반면, 재난 발생 시 응급조치와 긴급구조 조치가 적기에 이루어지지 않아 피해 확산 요인으로 작용한 사례가 다수 존재한다. 2016년 구미 불산 유출 사고 당시, 화학 사고 발생으로 특수 소방대의 접근이 필요했으나, 주변의 피난민과 구조차량이 섞여 극심한 혼잡을 야기하여 장비도착 지체로 인한 피해 확산이 그 예이다. 이외에도 2011년 7월에 우면산 산사태, 태풍 매미 (2005년 9월), 호남지역 폭설 (2005년 12월), 강릉산불 (2017년 5월) 이 발생했을 때 적절한 접근로의 미확보로 인해 피해가 확산된 것으로 조사되었다.

표 2-9 | 국내 주요 재난 사례 중 교통혼잡으로 피해가 확산된 사례

재난사례	주요 피해확산 요인
강릉산불 2017.05.5.	고속도로 통행금지로 소방차 이동에 지장을 초래
구미불산 유출 2016.6.28.	화학사고 발생으로 특수소방대의 접근이 필요했으나, 교통혼잡으로 장비도착이 지체 사고 발생 후 4시간만에 도착하여 초기 대응 실패
우면산 산사태 2011.7.27.	진입로 확보 어려움으로 고립지역 발생 (형촌마을 60세대) 남부순환로 등 접근로의 극심한 정체 발생
태풍 매미 2005.9.12.	일부 교량단절로 인한 고립지역 발생으로 구호활동 지연 대안경로 구축에 시간지체
호남지역폭설 2005.12.4.	고속도로상 인명 고립 고립지역 발생으로 접근 불가

자료 : 국민안전처 (2016) p.5를 바탕으로 재구성



CHAPTER 3

국내외 방재도로 구축 및 활용사례

- 1. 국외 방재도로 구축 사례 | 37
- 2. 국내 유사 방재도로 | 49
- 3. 시사점 | 55

국내외 방재도로 구축 및 활용사례

본 장에서는 방재도로의 국내외 구축사례를 알아본다. 특히, 방재도로가 비교적 잘 구축되어 있는 일본의 사례를 집중적으로 살펴본다. 특히, 일본의 방재도로 구축사례를 벤치마킹 하여 본 연구에서 궁극적으로 목적하는 바인, 방재도로 구축을 위한 시사점을 도출하는 것이 본 장의 목적이다. 우리나라의 경우, 방재도로가 아직 구축 되지 않았으므로 이와 유사한 역할을 하는 소방도로, 지진해일 대피로에 대해 살펴보고 이의 문제점을 파악한다.

1. 국외 방재도로 구축 사례

1) 일본

(1) 동경도 긴급수송루트

일본은 수도직하지진 등 대규모 지진 및 이에 따른 인적·물적 피해를 예상하고 이를 바탕으로 긴급수송루트를 확보하고 있다. 일본의 지진조사연구추진본부가 발표한 해구형 지진의 장기평가(평가기준일 2016. 1. 1)에 따르면 향후 30년 이내 M7 정도의 대지진이 발생할 가능성을 70%정도로 예측하고 있다. 2013년 12월 중앙방재회의가 공표한 피해 예상 자료에 따르면 수도직하지진으로 최대 사망자 수 약 2만 3천명, 약 61만동의 건물피해(붕괴 및 소실)를 예측하고 있다. 이에 대비하여 도의 각 부서 외 시정촌, 경찰, 소방, 자위대, 중앙정부, 동경도 외의 응원부대 등 다양한 주체가 연대, 협력하여 재해발생 직후 구출구조, 의료구호활동, 물자지원, 연료 등의 수송 등 응급

대책활동의 전개가 필요하다. 일본은 이러한 재해응급대책을 적절하고 원활하게 실시할 수 있도록 사전에 긴급수송루트 예정노선 등을 확보하고 있다.

이러한 긴급수송루트는 확보해야 할 루트에 대한 기본개념이나 재해발생 시 기본적인 대처 등에 대해 사전에 정해두고 재해발생 후의 체제 중심으로 각 주체가 공통된 인식하에 신속하고 원활한 재해대응활동을 가능하게 하는 것을 목적으로 한다.

다음은 위와 같은 목적하에 긴급수송루트가 어떻게 선정되는지에 대한 간략한 절차를 동경도의 예를 들어 기술한다.

① 1단계 (인명구조와 관련된 긴급수송루트)

재해발생 직후에는 구출구조, 의료구호활동 등 부상자의 구조를 실시하는데 있어서 기준이 되는 72시간이라는 시간 축을 고려하여 인명구조와 관련된 긴급수송루트를 확보, 이를 위해 재해거점병원, 도내구출구조기관의 거점, 도외에서의 응원부대 활동거점을 연결하는 루트를 인명구조와 관련된 긴급수송루트로 정하며, 대상 구간은 다음과 같다.

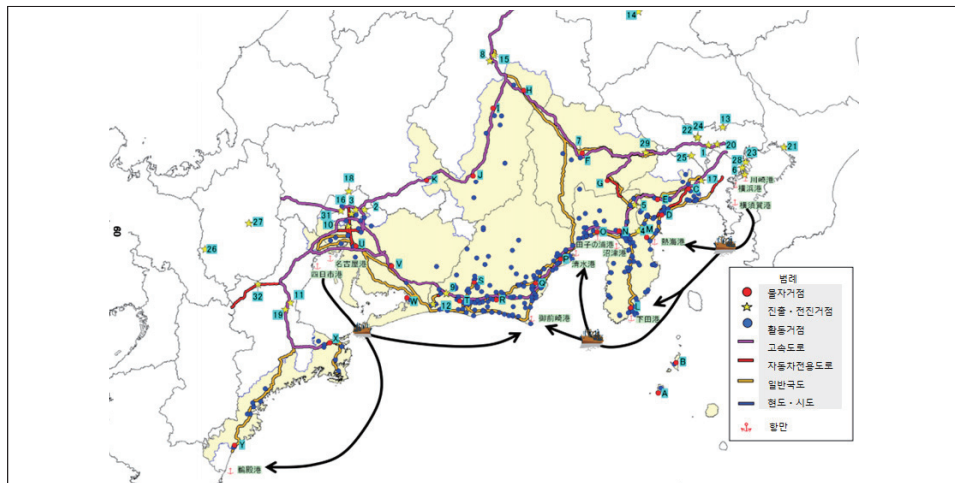
- (a) 구출구조, 의료구호활동은 물론 모든 응급대책활동의 축이 되어 각 지역으로 연결되는 간선도로
 - 제1차 교통규제에 근거하여 지정하는 긴급자동차 전용로의 일부
 - 위 구간 외에 구출구조, 의료구호활동의 거점에 연결되는 도로
- (b) 구출구조, 의료구호활동에 필요한 거점과 (a)를 연결하는 도로
 - (a)의 노선과 의료구호활동에 필요한 재해거점병원, SCU (Staging Care Unit)를 연결하는 도로
 - (a)의 노선과 응원부대의 활동전개에 필요한 대규모 구출구조 활동거점을 연결하는 도로(last one mile)
- (c) 하천, 항만을 활용한 수상루트
 - 재해거점병원 등에 근접한 긴급용 하천부도로, 하천, 항만에 있어서의 방재선 착장 및 이를 연결하는 항로 등

② 2단계 (이재민 지원과 관련된 긴급수송루트)

시간이 경과됨에 따라 응급대책활동은 부상자 등의 인명구조에서 이재민 생활지원으로 변경되므로 이재민 지원 긴급수송루트의 확보에 중점도는 체계로 전환한다. 이를 위해 광역수송기지나 도 비축창고, 지역 내 수송거점 등 이재민의 생활을 지원하기 위한 거점을 연결하는 루트를 이재민지원과 관련된 긴급수송루트로 선정하고 있다. 이를 위한 긴급수송루트의 대상 구간은 다음과 같다.

- (a) 모든 응급대책활동의 축이 되고 각 지역으로 연결되는 간선도로
 - 1단계에서 선정한 인명구조 등의 활동을 위해 확보한 루트
 - 물자수송의 거점과 연결되는 도로
- (b) 이재민지원활동에 필요한 거점과 (a)를 연결하는 루트
 - (a) 노선과 지원물자의 수용처가 되는 광역수송기지를 연결하는 경로
 - (a) 노선과 피난소로 이송하기 위해 업무분담, 일시적 보관기능을 가진 지역 내 수송거점을 연결하는 경로(last one mile)

그림 3-1 | 일본 동경도의 긴급수송루트



자료 : 정연식 외 (2012) p.58에서 재인용

- (c) 하천, 항만을 활용한 수상루트

- 물자수송거점에 근접한 긴급용 하천부도로, 하천, 항만의 방재선착장
- 지원물자의 수용, 적하 등의 작업을 실시하는 광역수송기지(해상)

③ 3단계 (기타 긴급수송루트)

그 밖의 긴급수송루트에 대해서도 도내피해지역의 조기복구와 신속한 대응을 위한 모든 긴급수송루트를 확보할 수 있게 하고 있다.

(2) 방재도로 구성을 위한 제도 및 정책

① 긴급수송도로 확보를 위한 제도

일본은 지자체별 방재계획 수립을 법률로써 규정하고 있다. 긴급수송도로 확보에 대해 사전에 방재계획에 반영하여 지정, 관리, 운영하고 있으며, 긴급수송도로는 재해대책기본법 제50조 및 대규모지진대책특별조치법 제21조에 따라 각 도도부현 및 시정촌에서 사전에 방재계획에 반영하여 지정, 관리, 운영하고 있다. 또한, 대규모지진대책특별조치법 시행령 제2조에 의하면 긴급수송을 확보하기 위해 필요한 도로, 항만시설, 어항시설 등을 지진방재상 긴급히 정해야 하는 시설로 규정하고 있다.

일본의 재해대책 기본법 일부 발췌

제50조 (재해응급대책 및 실시책임) 재해응급대책은 다음에 해당하는 사항에 대해 재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 재해발생을 방어하거나 응급구조를 실시하는 등 재해의 확대를 방지하기 위해 수행하도록 한다.

一 경보의 발령 및 전달, 피난권고 또는 지시와 관련된 사항

二 소방, 수방, 그 밖의 응급조치와 관련된 사항

- 종략 -

八 긴급수송 확보에 관한 사항

九 전 각 호에 해당하는 것 외에 재해 발생의 방어 도는 확대방지를 위한 조치와 관련된 사항

-이하 생략 -

일본의 대규모지진대책특별조치법 일부 발췌

제21조 (지진방재응급대책 및 그 실시책임) 지진방재응급대책은 다음 사항에 대해서 실시하도록 한다.

- 一 지진예측정보의 전달 및 피난권고, 지시에 관한 사항
- 二 소방, 수방, 그 밖의 응급조치에 관한 사항
- 三 응급구호에 필요하다고 인정되는 자의 구호,

기타 보호에 관한 사항

- 四 시설 및 설비의 정비 및 점검에 관한 사항

- 五 범죄의 예방, 교통규제, 기타 당해 대규모 지진에 의한 피해를 입게될 우려가 있는 지역에서의 사회 질서 유지에 관한 사항

- 六 긴급수송 확보에 관한 사항

- 七 지진재해가 발생한 경우의 식량, 의약품, 기타 물자의 확보, 청소, 방역, 보건위생에 관한 조치, 응급조치를 실시하기 위해 필요한 체제의 정비에 관한 사항

- 八 전 각호에 해당하는 것 외에 지진재해 발생의 방지 도는 경감을 위한 조치에 관련된 사항

- 이하 생략 -

제2조 (지진방재상 긴급히 정비해야 할 시설 등) 법제6조

제1항 제2호의 정령에서 정하는 시설 등은 다음과 같다.

- 一 다음의 시설로 당해시설에 관한 주무장관이 정하는 기준에 적합한 것.

イ 피난지

ロ 피난로

ハ 소방용시설

- 二 긴급수송을 확보하기 위해 필요한 도로, 항만시설(항만법(1950년 법률 제 280호)제2조 제5항 제3호의 계류시설 및 동항 제4호의 임항교통시설에 한함.) 또는 여항시설(여항어장정비법(1950년 법률 제137호) 제3조 제1호 一の 외곽시설 및 동호ロ의 계류시설에 한함)

② 도로의 기능에 방재기능 부여

일본은 도시내 도시계획도로의 기능에 방재기능을 부여하여 모든 정비대상 도로에 기능별 평가를 수행하고 있다. 재해 발생 시, 피난도로, 구조 활동을 위한 통로의 역할을 할 수 있는가를 평가하며, 화재 등 재해의 확대 방지 및 지연하는 공간 기능의 역할을 기대할 수 있는가를 평가한다. 주요 검토사항으로는 재해가 발생하는 위험도, 도로 이용자에 대한 영향도, 비용대비 효과 등을 검토하는데 평가항목은 크게 필요성, 유효성, 효율성 세 가지로 나뉘지게 된다.

표 3- 1 | 일본의 도시계획 도로에 대한 기능 설정

구분		내용	
교통기능	통행기능	- 사람과 화물이 이동을 위한 통행공간 제공	
	연도 이용기능	- 연도의 토지이용을 위한 출입, 자동차 주차차 및 화물적하 등 연도서비스 기능	
공간기능	도시환경 기능		- 경관, 일조, 보충 등 도시환경 보전기능
	도시방재기능	피난·구조 기능	- 재해 발생 시, 피난도로, 구조 활동을 위한 통로
		재해방지기능	- 화재 등 재해의 확대 방지 및 지연하는 공간 기능
	수요 기능	대중교통수단의 도입공간기능	- 지하철, 도시모노레일, 신교통 시스템, 노면전차, 버스 등 대중교통수단 도입을 위한 공간
		공급처리·통신정보시설 공간기능	- 상하수도, 가스, 전기, 전화, CATV, 폐기물 처리관로 등 도시 공급처리 및 통신정보시설을 위한 공간
		도로 부속물을 위한 공간	- 전화박스, 전주, 교통신호, 안내판, 도로시설물 등 설치 공간
시가지 형성기능	도시구조·토지이용의 유도 및 형성		- 도시의 골격으로서 주축을 형성하고, 도시의 발전 방향과 토지이용 방향을 규정
	기로구역 형성기능		- 일정규모의 택지를 구획하는 가로 형성
	생활공간		- 시민이 집합, 여가, 대화하는 일상생활의 커뮤니티 공간

자료 : 実務者のための新都市計画マニュアル II, 2003

첫 번째로, 필요성의 경우는 도로의 방재기능이 충분하지 않거나 지장이 있는가를 평가하게 되는데 구체적 평가항목으로는 재해 시 긴급물자의 원활한 운송 등을 고려하는 구조활동 항목, 응급의료시설로 신속하게 이동가능한가 혹은 교통시설이나 공익시설이 편리한가 등을 검토하는 주민생활 항목, 주변 시정촌이 서로 연계되어있는가 혹은 재해 시 공업단지 등 지역산업 거점으로서의 운송에 문제가 없는가 등을 평가하는 지역경제, 사회활동 항목 등 크게 세 가지로 분류하여 평가하고 있다.

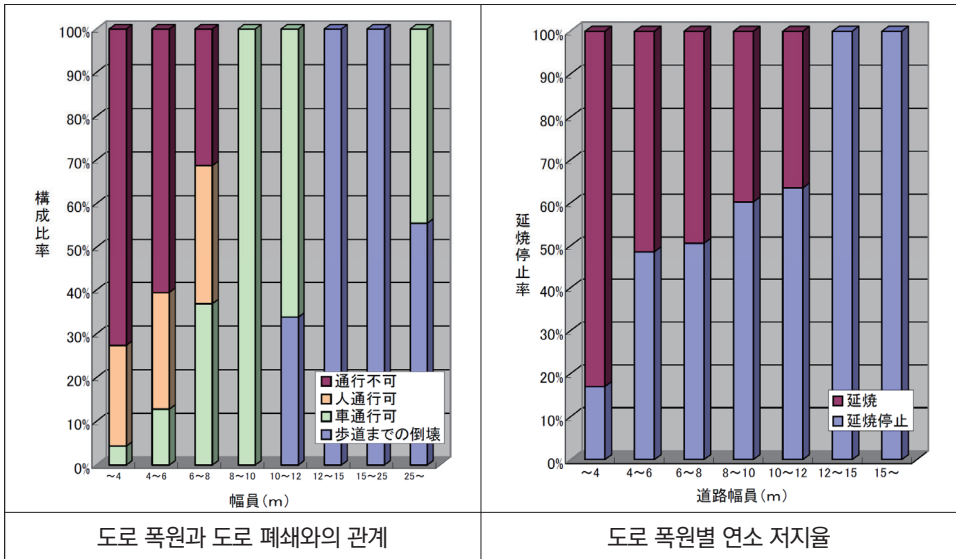
두 번째, 유효성의 경우는 각 사업 실시에 의해 개선의 적정성을 수치로 표현하여 그 유효성을 평가하는 것으로 도로네트워크의 방재기능 향상에 대하여 매뉴얼을 작성

해서 평가하고 있다. 주요 평가항목으로는 재해 시 광역거점간의 기대소요시간 등을 기반으로 각 거점간 방재기능 순서를 평가하여 광역거점간 접속성을 평가한다.

마지막으로 효율성의 경우는 복수안 혹은 과거의 실적 등의 비용을 비교해서 평가하는 것으로 도로구조가 다른 도로사업과 대안적 비교검토를 통해 복수안에 대한 비용검토를 실시하거나, 과거의 실적사업등과 비교해서 그 적정성을 확인하는 방법 등으로 평가한다.

실제로, 필요성 항목에 의한 운송확보 기능에 대한 도로 폭원의 설정은 일본의 한신 대지진 당시 얻어진 도로폭원과 통행기능 간의 관계를 바탕으로 하고 있다. 도로 폭원이 4m 미만인 경우, 70% 이상의 통행이 통행 불가하였으며, 폭원이 8m 이상인 경우, 100% 차량의 통행이 가능한 것으로 나타나 일정 수준 (10m) 이상의 도로 폭원이 확보되었을 때 기능을 발휘한 것으로 나타났다. 또한, 화재 발생 시 도로 폭원이 4m 미만인 경우, 80% 이상 연소하며, 폭원이 12m 이상인 경우에는 100%의 확률로 연소를 저지한 것으로 기록되어 화재 등 재해의 확대 방지에도 기여하는 것으로 나타났다.

그림 3-2 | 도로의 폭원에 따른 방재기능 수행 정도 (한신 아와이 대지진 시)

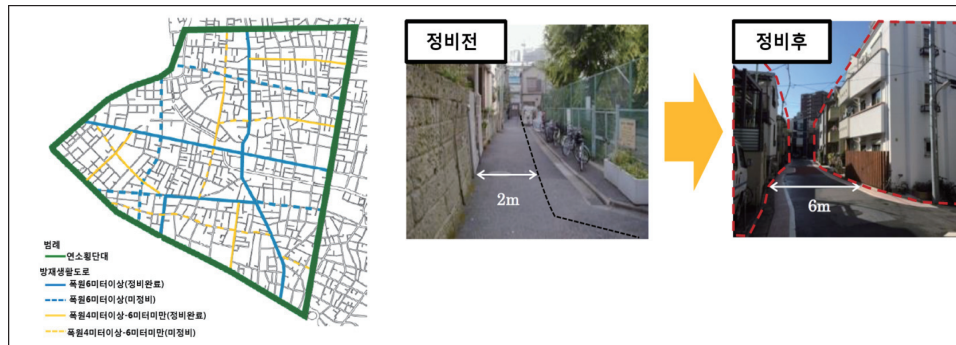


자료 : 일본 국토교통성, 지진에 강한 도시조성·지구조성의 절차

③ 방재생활도로 정비 사업

도시계획도로 정비에 긴급차량의 통행 및 원활한 화재, 구조활동을 실시하기 위한 폭원 6m 이상의 도로 혹은 원활한 피난에 필요한 폭원 4m 이상 6m 미만 도로(방재생활도로)의 확폭정비사업을 추진하여 방재상 중요한 도로 네트워크를 원활히 구축할 수 있도록 하고 있다.

그림 3-3 | 방재생활도로 정비사업 개념도 및 정비 전·후



자료 : 일본 국토교통성, 지진에 강한 도시조성·지구조성의 절차

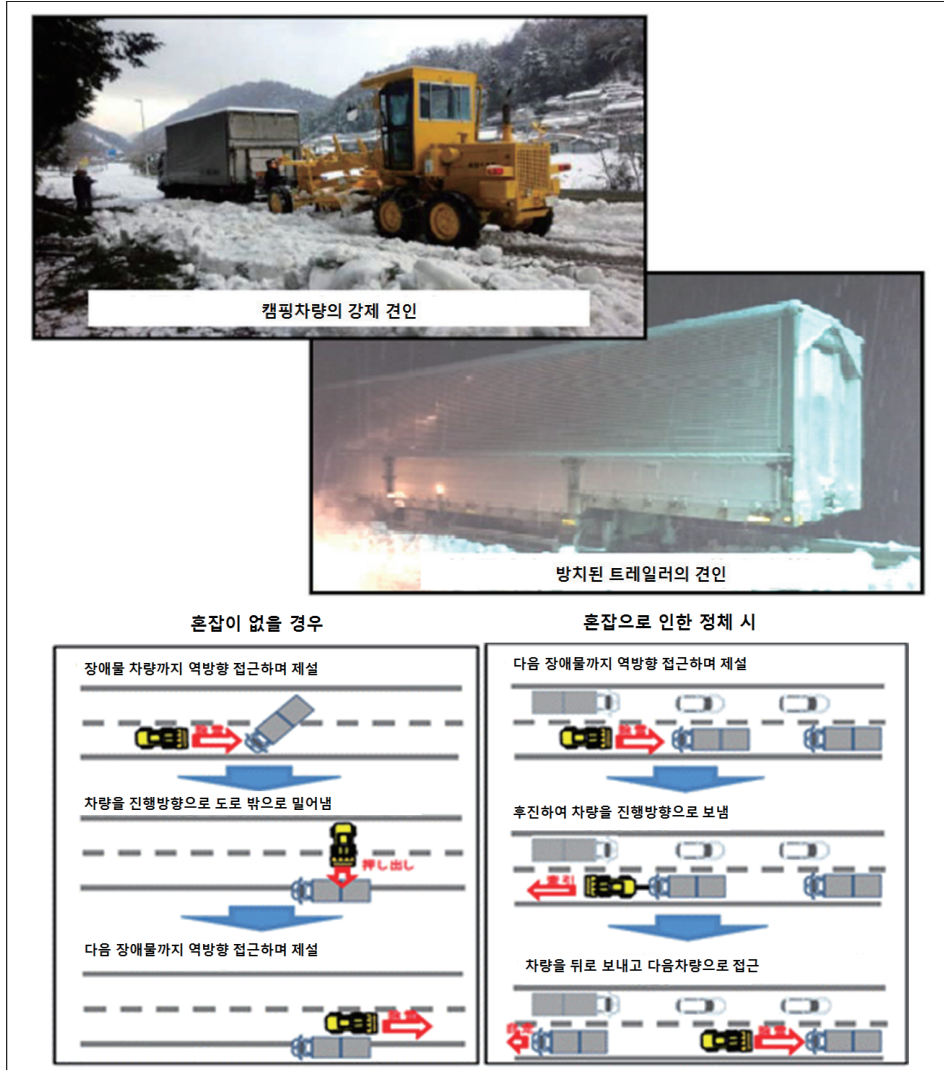
④ 지진 외 기타 재해 관련 도로 정책

대설 시 통행금지가 예상되는 구간이나 우선적으로 제설을 실시하는 구간을 사전에 홈페이지 등에 홍보하며, 우선적 제설구간에서는 통행금지체제 및 제설체제 강화, 도로관리자간 연대에 의한 효율적 제설을 실시하고 있다.

재해대책기본법의 개정으로 도로상 고립차량 및 방치차량을 강제적으로 이동 시킬 수 있게 되었다. 개정 재해대책법에서는 도로상 고립 차량 등이 발생한 경우 차량 강제 이동의 권한을 부여한다.

폭우의 경우, 폭우에 대비하여 법면·사면의 위험개소에 대해 구조물 설치 등을 위한 대책 수립과 동시에 이상강우에 대해서 사전통행규제를 통해 통행금지를 실시하고 이용자 안전을 확보하고 있다.

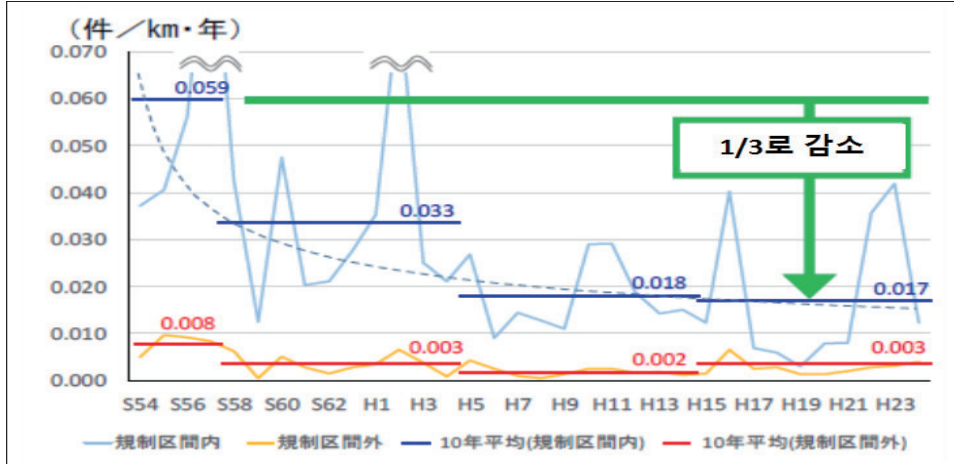
그림 3-4 | 개정 재해대책기본법 최초 적용 사례(국도 192호, 2014년 12월) 및 차량이동 이미지



자료 : 일본 도로공사 (2018)

여기서, 사전통행규제구간이란 재해우려가 있는 개소에 대해 과거의 기록 등을 근거로 각각 규제의 기준 등을 정해 재해가 발생하기 전에 통행금지 등의 규제를 실시하는 도로 구간을 말한다.

그림 3-5 | 사전통행규제구간 재해발생률 변화



자료 : 일본 도로공사 (2018)

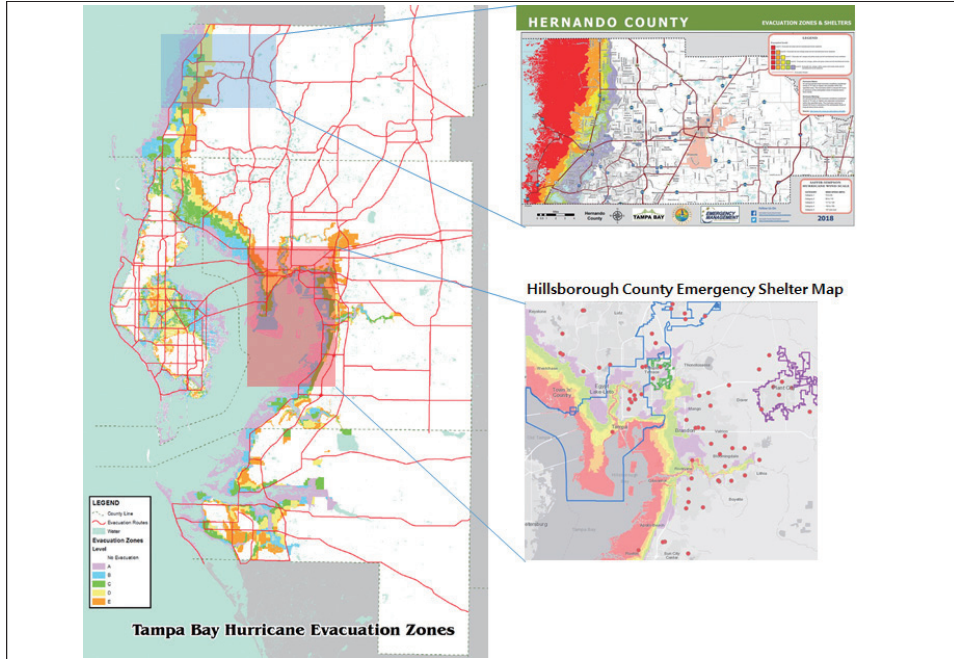
2) 북미

본 단락에서는 북미에 위치한 미국과 캐나다의 방재도로 선정 예를 알아본다. 미국의 경우, 허리케인으로 부터의 직접적인 영향을 피하기 위한 탈출경로를, 캐나다의 경우, 일종의 통행제한 도로를 설정하고 있다.

(1) 미국

허리케인의 피해를 자주 입는 플로리다의 Tampa Bay에서는 허리케인이 접근함에 따라, 색으로 구분된 evacuation zone의 주민들을 내륙방향으로 이동시키는 계획을 수립하고 있다. 이 계획에는 각 county별로 허리케인에 위험한 정도에 따른 zone 으로 구분되어 있으며, 해당 zone 에서 내륙 방향으로 이동하는 경로도 포함하고 있다. County Emergency Management office에서는 주민들에게 주민이 위치한 zone과 이동 경로 그리고 피난처의 위치를 자세히 안내하고 있다.

그림 3-6 | 플로리다 주 Tampa Bay시의 허리케인 대비 피난 경로



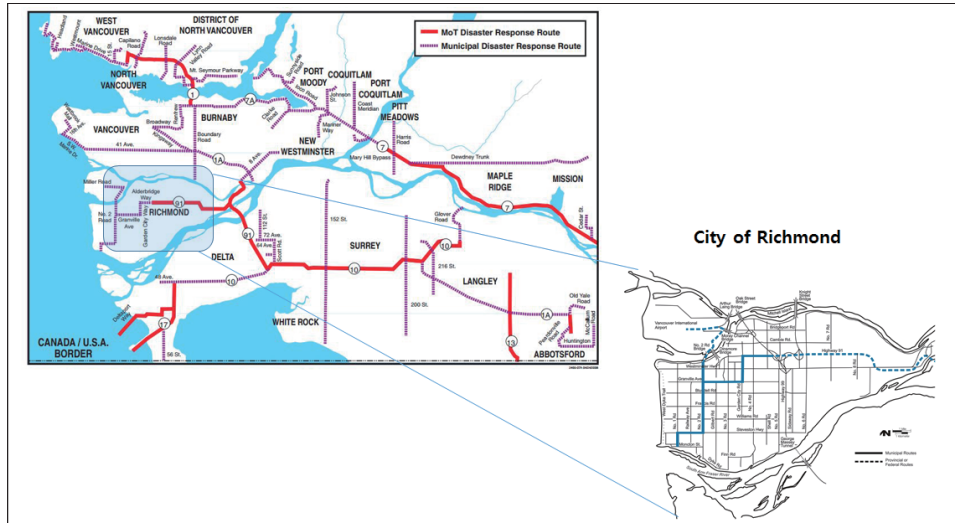
자료 : Tampa Bay Regional Planning Council (2018)

(2) 캐나다

캐나다의 브리티시 컬럼비아의 밴쿠버 광역권에서는 Disaster Response Route을 사전에 선정하여 운영하고 있다. Disaster Response Route은 재난이 발생하여 관계 당국에서 재난 물자, 인력의 신속한 이동을 위해 운영하는 경로로 Disaster Response Route의 운영이 시작되면 일반인들은 신속히 해당 경로를 빠져나가 다른 도로를 이용해야 한다. 밴쿠버 광역권의 Disaster Response Route는 광역권에서 지정하는 도로(실선)와 각 시 (municipality) 별로 지정하는 도로(점선)로 구성되어 있다.

Disaster Response Route는 주로 고속도로 혹은 간선도로 위주로 선정되고 있는 것을 알 수 있다.

그림 3-7 | 캐나다 밴쿠버 광역권의 Disaster Response Route



자료 : British Columbia official site (2018)

2. 국내 유사 방재도로

1) 유사 방재도로 현황

우리나라는 아직 방재도로가 아직 수립되어 있지 않기 때문에 본 단락에서는 방재도로와 개념적으로 가장 유사한 소방도로, 지진해일 대피로에 대해 검토하였다.

(1) 소방도로

소방도로는 이의 설치를 규정하는 주택건설 등에 관한 규정, 건축법 시행령에서 ‘소방 자동차의 접근이 가능한 통로’를 칭하는 용어로 소방차의 현장 접근을 용이하게 하기 위한 도로이다.

주택건설 기준들에 관한 규정

제10조 (공동주택의 배치)

- 중략 -

③ 주택단지는 화재 등 재난발생 시 소방활동에 지장이 없도록 다음 각 호의 요건을 갖추어 배치하여야 한다.
〈개정 2016.6.8.〉

1. 공동주택의 각 세대로 소방자동차의 접근이 가능하도록 통로를 설치할 것
 2. 주택단지 출입구의 문주(門柱) 또는 차단기는 소방자동차의 통행이 가능하도록 설치할 것
- 이하 생략 -

건축법 시행령

제41조(대지 안의 피난 및 소화에 필요한 통로 설치)

- 중략 -

② 제1항에도 불구하고 다중이용 건축물, 준다중이용 건축물 또는 층수가 11층 이상인 건축물이 건축되는 대지에는 그 안의 모든 다중이용 건축물, 준다중이용 건축물 또는 층수가 11층 이상인 건축물에 「소방기본법」 제21조에 따른 소방자동차(이하 "소방자동차"라 한다)의 접근이 가능한 통로를 설치하여야 한다. 다만, 모든 다중이용 건축물, 준다중이용 건축물 또는 층수가 11층 이상인 건축물이 소방자동차의 접근이 가능한 도로 또는 공지에 직접 접하여 건축되는 경우로서 소방자동차가 도로 또는 공지에서 직접 소방활동이 가능한 경우에는 그러하지 아니하다.

이러한 소방도로는 소방차가 접근이 가능하도록 통로를 설치해야 하는 수준으로 규정되어 있을 뿐, 그에 대한 설치규격 (폭, 그 외 도로의 구성 요소)에 대한 정확한 규정이 없어 법적 강제성이 미흡한 실정이다 (정연식 외, 2015).

(2) 지진해일 대피로

2018년 기준 행정안전부에서 지정한 지진해일 긴급대피소는 629개소이며, 지진해일 발생이 가능하며 유동인구가 많은 지점에서 긴급대피소로 이동하기 위한 지진해일 대피로를 지정 및 운영 중에 있다.

표 3-2 | 전국 지진해일 긴급대피소 분포 현황

시·도	시·군·구 분류 (긴급대피소 개수)	긴급대피소
강원도	강릉시(28), 동해시(28), 속초시(29), 삼척시(43), 고성군(37), 양양군(21)	186개소
경상북도	포항시(94), 경주시(24), 영덕군(81), 울릉군(13), 울진군(142)	354개소
부산광역시	기장군(18), 수영구(6), 사하구(3), 해운대구(2), 강서구(4), 서구(5), 남구(1)	39개소
울산광역시	남구(6), 동구(15), 북구(15), 울주군(14)	50개소
합계	-	629개소

자료 : 이 준 외. (2016) p.5를 바탕으로 재구성

현재 지정되어 있는 지진해일 대피로는 지진해일 범람에 대한 과학적 근거에 바탕을 두고 있지 않고, 피난로가 해안선을 따라 설계되는 등의 다양한 문제점이 있다 (홍성진 외, 2012). 본 연구에서는 경상북도 일대의 지진해일 대피로에 대한 현장 조사를 수행하여 현재 지진 해일 대피로의 문제점을 파악하였다.

표 3-3 | 현장조사 개요

일시		현장 조사 지역
2018년 10월 15일(월)	13:00~13:50	양포지구(양포항, 방파제)
	14:00~14:40	신창지구(해수욕장)
	14:50~15:30	모포지구(방파제)
	15:50~16:30	구룡포지구(해수욕장)
	16:55~17:45	호미곶지구(해맞이광장)

자료 : 저자 작성

현장 조사에서 나타난 지진해일 대피로의 문제점은 다음과 같다. 첫째, 해안선을 따라 대피로가 선정되어 대피로를 따라 대피 시 주민의 안전이 우려된다. 대피로 선정 시 해안선과 수직방향의 내륙으로 경로를 지정해야 안전하게 대피할 수 있으나 해안선과 수평방향으로 대피로가 선정되어 있는 사례가 있었다. 아래 그림의 모포지구, 호미곶지구등이 기존의 도로를 이용하여 대피로를 선정한 관계로 해안선을 따라 대피로가 선정된 사례이다.

그림 3-8 | 모포지구 및 호미곶지구의 문제점



자료 : 저자 작성

그림 3-9 | 구룡포지구, 모포지구의 대피로 표지판의 문제점



자료 : 저자 작성

둘째, 표지판이 대피로와 이격되어 있어 혼란을 유발한다. 구룡포지구의 경우, 표지판과 대피로 간에 이격 및 표지판의 방향지시가 불명확해 대피로를 따라 이동시 혼란을 유발할 우려가 있으며, 표지판이 설치되지 않은 사례도 있었다.

셋째, 가파른 경사가 있어 눈이 내린 겨울철 취약계층의 대피가 어렵다. 구룡포지구의 경우 해운사(긴급대피장소)로 이동하기 위해서는 오르막을 이용해야 대피할 수 있으나 가파른 경사로 인해 눈이 내린 겨울철에는 어린이와 노약자 등 취약계층의 대피가 어려울 것으로 판단된다. 양포지구의 경우에도 유사한 사례가 발견되었다.

그림 3-10 | 구룡포지구, 양구지구 대피로의 가파른 경사로



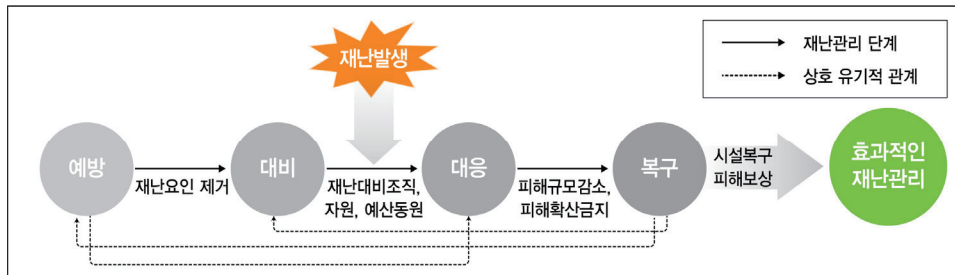
자료 : 저자 작성

2) 재난 시 도로 활용

(1) 재난관리 4단계에서의 도로 활용

재난관리는 예방, 대비, 대응, 복구의 4단계로 나뉘어진다.

그림 3-11 | 재난관리의 4단계



자료 : 신성일 (2007) p.11 재구성

예방 단계는 재난의 요인을 사전에 파악하고 이를 제거하여 재난의 발생을 사전에 차단하거나 재난 발생 시 확산될 피해를 최소화하기 위한 사전 조치 단계이다. 그 다음 대비 단계는 재난발생시 대응을 위한 역량을 구축, 유지, 향상시키기 위해 필요한 조직·인력·장비·예산 등을 조직화 및 준비하는 단계이다. 대응 단계는 재난 발생 시 피해 규모 감소 및 확산을 막기 위한 종합적이고 체계적인 관리를 하는 단계를 의미하며, 마지막 복구 단계는 재난으로 인한 피해를 다시 정상상태로 돌리는 과정을 의미한다.

① 예방 및 대비 단계

예방 및 대비단계는 재난상황 발생 전이므로 재난 상황대비 도로의 관리 및 도로의 기능 유지 계획 수립에 관해 다루고 있다. 재난안전법에 의하면 재난관리책임기관의 장은 재난 상황에서 해당 기관의 핵심기능을 유지하는데 필요한 계획을 수립·시행해야 한다. 재난관리책임 기관 중 하나인 한국도로공사의 경우, 해당 기관의 핵심기능은 고

속도로의 신설 및 유지·관리 이므로 재난상황에서도 고속도로의 기능을 유지하기 위한 대책이 강구되어야 함을 의미한다. 이러한 법률 규정은 재난상황에서 고속도로의 기능이 유지될 수 있음을 의미하며 방재도로로서의 역할 또한 기대 할 수 있어 이를 방재도로 선정에 이용할 수 있다.

더불어, 재난 예방차원에서 국가기반시설을 지정하고 이를 보호·관리하고 있다. 이는 재난 상황에도 국가기반시설의 기능이 유지되어야 함을 의도하고 있으며 이러한 국가기반시설 중 도로와 같은 물리적 연결성이 밀반침 되어야 기능을 수행할 수 있는 경우, 이에 대한 대비책이 뒤따라야 할 필요성이 있음을 말해주고 있다. 예를 들면, 석유, 가스 비축 시설의 경우, 재난 상황에서 해당 비축 자원의 이동을 위한 시설기지로의 접근성이 보장되어야 제 기능을 발휘할 수 있을 것이다.

② 대응 단계

재난 발생 시 대응단계에서는 응급조치와 긴급구조를 위해 교통정리와 통행제한 같은 도로 교통관련 통제를 실시하고 있다. 재난 발생 시 응급조치로써 재난 지역의 기초지자체장과 지역통제단장 (소방서장)이 응급조치를 위한 물자수송 및 진화구조 등의 목적으로 도로 상 차량의 통행을 금지하거나 제한할 필요가 있는 경우 경찰관서의 장에게 요청하도록 되어 있다. 그러나 이러한 통행제한은 재난의 수습을 위한 물자수송 및 진화·구조 등의 목적으로 수행되는 것이며 재난 지역의 주민들을 안전하게 이동시키고자 하는 목적의 통행제한은 아니다.

③ 복구 단계

재난 복구단계에서는 복구의 효율성을 증진시키기 위한 재난복구계획의 수립 등을 규정하고 있으나 피해 복구에 대한 세세한 내용을 규정하지는 않으며 복구계획의 수립 및 이행에 관한 체계적 관리만을 강조하고 있다. 재난 복구단계에서 재난 복구의 효율성을 확보하기 위한 재난 지역 내 도로의 우선적 복구와 같은 규정은 없는 상황이다.

3. 시사점

1) 외국의 방재도로 사례의 시사점

일본의 사례와 같이, 재난현장에 대한 종합적인 이해를 바탕으로 방재도로를 선정할 필요가 있다. 일본의 경우, 상황의 긴급한 단계를 반영하여 방재도로를 구성하고 있다. 피해 지역의 주민들을 긴급하게 구조하여 임시 수용시설에 이동시키는 도로를 최우선으로 선정한 후 그 이후 재난 대처에 필요한 단계에 따른 방재도로를 선정하고 있다.

2) 우리나라 재난상황에 적합한 방재도로 구성이 필요

우리나라의 재난특성에 적합한 방재도로를 구축할 필요가 있다. 우리나라는 아직 방재도로가 없으며, 이와 유사한 기능의 도로는 방재도로의 역할을 기대하기 어려운 실정이다. 소방도로의 경우, 법적 강제성이 없어 방재도로의 역할을 기대하기 어려우며, 지진해일 대피로는 지진해일이 예상되는 해안 지방의 지자체에서 구축하고 있으나, 대피로의 선정이 해일에 대한 과학적 예측이나 효율적 동선을 고려하지 못한 채 지정되어 많은 문제점을 안고 있는 실정이다.

방재도로의 구성 시, 우리나라의 재난 특성을 고려한 방재도로 구축이 필요할 것으로 판단된다. 수재해가 재난의 대부분을 차지하고 있고 아열대성 기후로의 변화가 예상되므로 이에 대비한 방재도로의 구성이 필요하며, 더불어, 최근 경주 및 포항지역의 연이은 지진은 우리나라도 더 이상 지진에 안전지대가 아님을 의미하므로 이에 대비한 방재도로 또한 필요한 상황이다.

3) 사전 선정된 방재도로의 필요

재난 대응 시 응급의료·응급복구·지휘소·상황실 등에 필요한 시설·물자·장비·도구 등의 신속한 이동은 재난 대응의 실효성을 증진시키는 매우 중요한 요소이다. 해당 방재자원의 신속한 이동을 위해 사전에 도로를 지정하고 이에 대한 통행제한을 실시할 경우, 방재자원의 지연된 도착으로 인한 피해는 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 사전에 지정된 방재도로를 훈련 상황에도 이용한다면 매우 혼잡하고 신속한 결정이 필요한 실제 재난 상황 발생 시 이동에 대한 적응력을 높여 재난 상황에 침착하게 대응할 수 있게 하는 기반이 될 것이다. 또한, 방재도로를 사전에 지정함으로써 지역통제단장이 인지하지 못하거나 통제하지 못하는 도로 구간에 대한 소통의 원활함을 확보할 수 있는 장점이 있다.



CHAPTER 4

방재도로 선정 방법의 개발 및 적용

- 1. 방재도로 선정 관련 주요 개념 및 기존 연구 | 59
- 2. 방재도로 선정의 기본방향 | 72
- 3. 방재도로 선정 방법 및 절차 | 75
- 4. 사례분석 | 86

방재도로 선정 방법의 개발 및 적용

본 장에서는 본격적으로 방재도로의 선정 방법론에 대해 알아본다. 이에 앞서, 이론적 측면의 방재도로 선정 방법에 대한 기존문헌 고찰을 수행한다. 이를 토대로 방재도로 선정을 위한 기본적인 방향을 설정하고, 수해와 지진해로 구분된 재해 유형별 방재도로 선정 절차를 제시한다. 개발된 방재도로 선정 방법론은 사례분석을 통해 실증된다.

1. 방재도로 선정 관련 주요 개념 및 기존 연구

1) 방재도로 선정 관련 주요 개념

방재도로는 재해로 인한 취약성 (vulnerability) 분석을 바탕으로 취약한 구간을 배제하는 방식으로 선정한다. 여기서, 도로 구간의 취약성이란 도로 서비스에 심각한 영향을 미칠 수 있는 재해와 같은 사건에 대한 민감도를 의미한다(Berdica, 2002).

이를 반대로 접근하면 취약하지 않은 곳을 주로 선정하여 방재도로를 구성할 수 있음을 의미한다. 재해로부터 안전하여 재해 취약성이 낮은 구간은 통행시간의 신뢰도가 높아 신뢰도 (reliability)를 기반으로 방재도로를 선정하는 사례도 있다. 이처럼 방재도로 선정에는 도로의 취약성, 신뢰성, 중요성 등과 같은 다양한 개념들이 복합적으로 이용된다.

본 단락에서는 방재도로 선정에 관련된 주요 개념을 파악하고 이에 따른 방재도로 선정 사례를 검토한다.

(1) 취약성 (Vulnerability)

취약성의 직접적 의미는 재해로 인해 도로 구간이 단절 되었을 경우, 도로의 기능 실패가 전체 교통 시스템에 미치는 영향을 의미한다. 취약성을 계량화할 때 가장 많이 사용되는 지표로는 Network Robustness Index (NRI)가 있다. NRI는 취약성의 개념을 가장 직접적으로 계량화한 지표로 도로 구간의 단절 상황을 가정하여 전체 도로 교통 시스템의 민감도를 통행비용 측면에서 계량화한 것이다.

노드(N)와 링크(A)의 집합으로 구성된 네트워크 ($ohm = (N, A)$)에서, 특정 도로의 단절을 가정한 NRI는 다음과 같은 식을 통해 산정된다.

$$NRI_i = c_i - c$$

여기서,

NRI_a : Network Robustness Index

$c = \sum_{a \in L} t_a f_a$: 모든 도로 구간이 정상적인 역할을 할 때, 전체 시스템의 통행비용

$c_i = \sum_{a \neq i \in L} t_a f_a$: 구간 i 가 단절되었을 경우, 전체 시스템의 통행비용

(2) 신뢰성 (Reliability)

취약성에 확률적 요소를 추가적으로 고려한 개념으로 기·종점간에 통행자가 성공적으로 통행할 수 있는 확률을 의미한다. 재해와 같은 사건이 발생하여 특정 도로 구간이 기존의 역할을 기대 할 수 없을 때 기존의 도로 교통 서비스를 지속적으로 제공할 수 있는 가를 확률로 표현한 개념이다.

신뢰성은 연결 정도의 신뢰성 (connectivity reliability), 통행시간 신뢰성 (travel time reliability), 교통처리능력의 신뢰성 (capacity reliability) 등 총 3가지로 구분된다. 연결 정도의 신뢰성 (connectivity reliability)은 도로 네트워크의 특정 장소

(node)가 도로 네트워크와 연결을 유지하고 있는가를 확률을 통해 나타낸 지표이다. 통행시간 신뢰성 (travel time reliability)은 기·종점간의 통행시간의 신뢰성을 의미하는 것으로써 재해와 같은 사건으로 인해 증가된 통행시간 대비 평상시 통행시간으로 표현된다. 마지막으로 교통처리능력의 신뢰성 (capacity reliability)이란, 재해로 인해 도로의 교통량 처리 능력이 변화할 경우, 도로 네트워크의 교통량 처리 능력이 사전에 정해진 최소 기준치를 넘을 수 있는가를 확률로 나타냄 개념이다.

(3) 중복성 (Redundancy)

중복성이란, 도로 네트워크의 일정 부분이 재해로 인해 정상적인 서비스를 제공할 수 없어도 다양한 대체 경로가 있을 경우, 도로 네트워크의 단절로 인한 피해를 대체경로를 통해 극복할 수 있는 정도를 나타내는 지표이다. Murray-Tuite (2006)는 공통된 목적을 위해 기능적으로 유사한 구성요소를 갖추는 것을 중복성이라 하였으며, 이를 통해 도로 네트워크의 구성요소 중 하나의 기능이 실패 하더라도 시스템의 기능을 유지 할 수 있음을 주장하였다. 중복성은 도로 시스템 전체의 재해 대비 능력을 계량화할 수 있는 지표로 이용될 수 있는 특징이 있다. 재해 대비를 위해 기존 인프라의 강건성을 향상시키는 방법 외에도 대체 경로를 증가시켜 중복성을 늘리는 접근을 통해서도 해당 지역의 재해 대비력의 변화를 표현할 수 있기 때문이다.

2) 방재도로 선정 연구 사례

재해로 인해 도로 구간이 취약해지는 특성, 반대로 재해 시에도 피해에 직접적인 영향을 받지 않거나 피해 정도가 약한 도로구간을 파악하여 방재도로를 선정한 다양한 사례 분석을 검토한 결과, 이러한 사례 분석은 크게 위 개념들에 대한 정량적 평가를 실시하고 이를 바탕으로 중요 구간을 선정하는 방식으로 요약된다.

또한, 방재도로의 선정은 도로 구간을 기본단위로 혹은 기·종점을 효율적으로 연결하는 경로단위로 선정하는 방식으로 구분할 수 있다. 이러한 구간이나 경로단위의 분

석 외에도 중복성의 경우, 도로 네트워크 시스템 전체의 방재 정도를 측정한다. 이어질 사례 분석에서는 구간단위, 경로단위 그리고 네트워크 전체 단위의 분석을 구분하여 소개한다.

(1) 구간단위 방재도로 선정

구간단위의 방재도로 선정은 방재도로의 선정이 도로 구간별로 이루어짐을 의미한다. 이때, 도로 구간에 대한 계량적 평가는 설문문을 통한 가중치, 혹은 앞서 소개된 지표의 계량화를 통해 가능하다. 본 단락에서는 설문문을 통한 가중치 산정 및 NRI 분석을 통한 계량적 평가 후 구간단위 방재도로 선정의 예를 모두 기술한다.

가중치 부여를 통해 방재도로를 선정하는 것은 재해 노출 시 특정 도로 구간에 미칠 위험성(취약성)을 다양한 측면에서 평가하고 이를 바탕으로 가장 높은 점수를 얻은 구간을 방재도로로 선정하는 것을 의미한다. AASHTO (2002)에서는 테러리스트 공격에 대비하여 고속도로의 주요 자산을 보호하기 위한 취약성 분석을 설문문을 통한 가중치 산정 방식으로 접근하여 방재도로를 선정하였다. 주요 고속도로 자산의 잠재적 취약성을 분석하기 위해 취약성 판단 요소를 대중으로의 노출, 접근성, 특별한 위험 요소의 3가지로 세분화하고, 각 취약성 판단 요소를 두 개의 하위 요소로 더욱 세분하여 표 [4-2]와 같이 "매우 중요 함"(5)에서 "덜 중요 함"(1)까지의 범위로 평가하고 있다.

표 4-1 | AASHTO (2002) 제안 취약성 판단 요소

구분	내용
대중으로의 노출	고속도로 자산의 대중으로에게로의 노출정도
접근성	고속도로로 접근을 용이하게 할 수 있는 정도
특별한 위험 요소	화학 물질과 같은 위험 물질의 존재로 인해 특정 위험이 더 확장될 수 있는 가능성

자료 : AASHTO (2002)

표 4-2 | AASHTO (2002) 제안 취약성 판단의 세부 요소

취약성 요소	첫 번째 하위요소	두 번째 하위요소
대중으로의 노출	인식 수준	참여율/이용자
접근성	접근 근접성	보안 수준
특별한 위험 요소	대상에 대한 영향	위험물질의 양

자료 : AASHTO (2002)

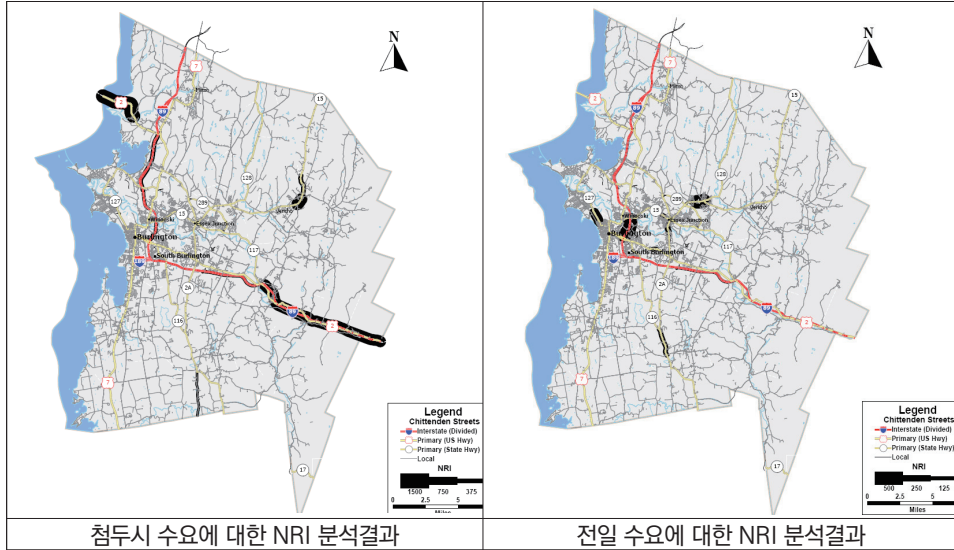
주요 자산에 배정된 점수는 실제 또는 잠재적 위협에 관한 존재 유무와 그 파급효과에 대한 분석결과를 반영하여 평가한다. 취약성 판단요소의 각 하위요소에 대한 실제적 점수 반영 및 설명에 대해서는 부록 1을 참고하기 바란다.

다음으로, NRI 기반 구간단위 방재도로이다. 이는 특정 구간이 재해로 인해 기능이 손실 되었을 경우, 전체 네트워크 이용자의 비용변화를 분석하여 이를 바탕으로 중요한 구간을 선정하는 방법이다. NRI를 통해 분석 대상 도로 네트워크내의 도로를 평가하고 이 중 가장 민감도가 높은 도로를 방재도로로 선정한다.

Sullivan et al. (2010)은 미국 Vermont주의 Chittenden county를 대상으로 NRI 분석을 수행하였으며, Chittenden county내 도로 구간을 대상으로 첨두와 전일 교통수요를 구분하고, 이에 따른 특정 도로 구간의 용량이 50%로 떨어질 경우의 NRI를 분석하였다. NRI 분석결과, 첨두시와 전일 교통수요를 이용한 분석결과 간에 상당한 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

첨두시 분석에서는 재해에 의한 특정 구간의 서비스 수준 저감이 도심 외곽에서 도심으로 들어오는 방향의 도로에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, 반면, 전일 통행량에 대한 분석에서는 연결성이 부족한 구간 (대안 경로가 적은 구간)이 NRI가 높은 것으로 나타났다. 이렇게 첨두와 전일 수요 간에 차이가 발생하는 것은 전일 수요 기반 분석은 혼잡 수준이 첨두시의 분석보다는 전체적으로 낮게 추정되어 특정 도로 구간의 피해에도 그대로 해당 경로를 이용하기 때문인 것으로 파악되었다.

그림 4-1 | NRI 기반 방재도로 선정의 예



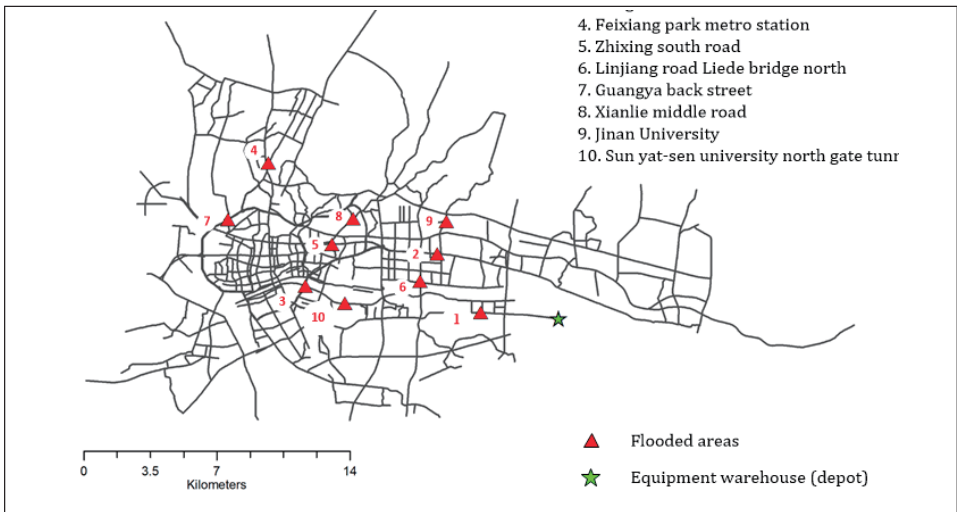
자료 : Sullivan et al. (2010)

(2) 경로단위 방재도로 선정

경로단위의 방재도로 선정은 재해 상황 시 도로 네트워크의 기능 실패 혹은 서비스 수준의 감소를 예측하여 일반적으로 통행시간 측면에서 가장 유리한 경로를 방재도로로 선정하는 방법이다. 재해 상황을 확률적 측면에서 접근하면, 도로 구간의 통행시간도 확률 분포로 가정할 수 있으며, 이 경우, 통행시간의 신뢰성을 바탕으로 한 통행경로를 산정하게 된다. 기·종점 간의 경로는 통행시간, 통행시간의 신뢰성(reliability)을 기반으로 최소 통행시간이 요구되는 경로를 선정한다. 이 경우, 최소 통행시간 경로는 최단시간 경로 알고리즘을 통해 선정된다. 이외에도 공간구조에 대한 해석을 바탕으로 피난도로 성격의 방재도로를 선정 할 경우에는 공간 구문론 (space syntax)에 의한 경로 산정 방법이 이용되기도 한다.

통행시간 및 통행시간의 신뢰성에 기반한 방재도로 선정 연구를 소개하면 다음과 같다. Li et al. (2018) 은 통행시간을 최소화 하는 경로 (S1)와 확률 기반 통행시간 예산 (Travel Time Budget)을 최소화 하는 경로 (S2)를 선정하는 두 가지 방법론에 기반한 방재도로 선정 결과의 차이를 비교하였다. 중국 광저우의 중심지구를 사례 분석 대상으로 하여, 10개의 주요 장소에 홍수 피해를 가정하고 하나의 창고시설에서 방재자원이 출발하여 10개 지역에 확률을 고려한 최소한의 통행시간으로 도달할 수 있도록 하는 경로를 산정하였다.

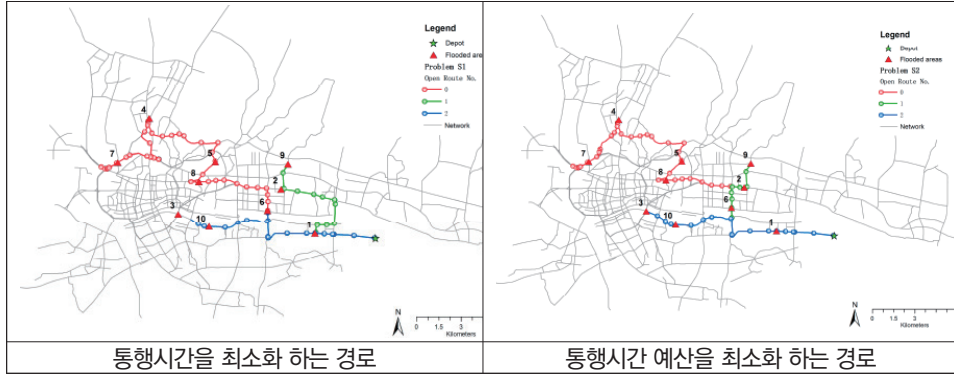
그림 4-2 | 경로단위 방재도로 선정을 위한 분석 대상 네트워크 (Li et al., 2018)



자료 : Li et al., (2018)

분석결과, 그림 [4-3]와 같이 도로 구간의 통행시간에 대한 가정에 따라 선정된 방재도로가 차이를 보이고 있다. 위 연구에서는 재난 상황이 불확실성이 높은 이벤트 이므로, 이를 반영하는 모형 또한 불확실성을 반영해야 더 향상된 결과를 얻을 수 있음을 주장하고 있다. 그 이유는 불확실성을 고려하지 않으면 통행시간의 정시성이 떨어지기 때문이라고 설명하고 있다.

그림 4-3 | 경로단위 방재도로 선정의 예



자료 : Li et al. (2018)

또한, 공간 구문론 (Space syntax)에 기반한 방재도로 선정 연구도 선행되었다. 공간 구문론은 건축물을 이루는 공간을 각각의 독립된 단위요소로 인식하고 그들간의 연결관계를 파악하는 건축공간의 분석 방법으로 개발되었다. 건축물내의 공간을 특정 지역의 세분화된 공간으로 치환할 경우, 지역의 공간 분석으로 활발히 사용되기도 한다. 공간 구문론은 크게 통합도, 연결도라는 분석 요소로 이루어져 있으며, 이러한 분석 요소를 바탕으로 공간의 복잡도를 해석하여 해당 공간의 접근성이나, 연결성을 파악할 수 있다. 공간에 대한 접근성이나 연결성은 재해 지역에서 피난처로 신속한 이동이 필요할 때 고려해야 할 요소로서 방재도로 선정에 유용한 도구로 활용될 수 있다. 공간 구문론의 접근성과 통합도에 관한 자세한 설명은 다음과 같으며, 접근성을 판단하는 통합도(Integration) 분석을 통해 어떤 경로를 통해 피난 시 접근성이 양호한가를 판단하는 것이다.

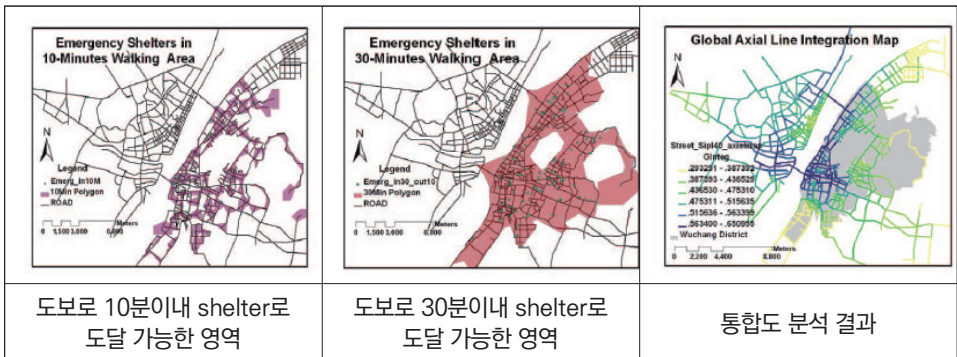
$$TD_i = \sum_{s=1}^m s \times k_s, \quad RA = \frac{2(MD-1)}{k-2}, \quad \text{integration} = \frac{1}{RRA} = \frac{RA(D)}{RA}$$

여기서, TD_i =공간 i부터 다른 모든 공간으로 가기위한 깊이의 합, s: 기준공간 i에서부터 거치게 되는 단계의 수, m: 기준공간 i에서 가장 깊은 공간까지 거치게 되는 단계의 수, RA : 상대적 비대칭성, MD: 전체 공간의 평균깊이, k: 분석대상 공간의 총 개수, RRA: RA값을 보정치인 DK로 나눈 값

연결도는 각 공간과 직접적으로 연결되어 있는 다른 공간의 수를 계산한 수치로 각 공간에 직접적으로 연결된 공간의 개수를 의미하며, 연결도(Connectivity) 분석을 통해 대상지, 피난처와 주변공간과의 연결정도를 파악하여 적절 경로 및 문제점을 파악할 수 있다.

Dou et al. (2011)은 피난처로의 접근성 분석을 위해 공간 구문론을 적용하였다. 중국 우한시의 우창 지구를 사례 분석 대상으로 설정하여 사례 지역내 공간에서 피난처로의 접근성을 분석하였다. OD matrix analysis 툴을 적용하여 도보를 통해 피난처에서 10분, 30분 이내로 도달할 수 있는 공간을 파악하였으며, 이 때, 도보 속도를 4km/hr로 가정할 경우, 400m에서 2km까지 도로 거리가 산정되었다.

그림 4-4 | 공간 구문론을 사용하여 주변 피난처와의 연결도를 산정한 예



자료 : Dou and Zhan (2011)

제한된 시간내에 피난처로 도달할 수 있는 가능 영역을 산정한 후 이를 바탕으로 공간 구문론의 통합도를 분석한 결과 피난처에서 멀어질수록 통합도가 감소하는 것으로 나타났다¹⁾.

1) 파란색이 짙을수록 통합도가 강하고, 노란색 일수록 통합도가 떨어짐을 의미

(3) 중복성 기반 연구

중복성 기반 방재도로 선정연구는 기·종점 간의 경로를 파악한다는 측면에서는 경로 산정을 통한 방재도로 선정과 유사하나, 최적 경로를 선정하는 것이 아니라, 재해로 인해 특정 구간이 파괴 시 다른 대안 경로가 얼마나 있는가를 산정한다는 측면에서 위 두 연구 접근 방법과는 다르다.

Xiangdong et al. (2015)은 도로 네트워크의 중복성을 다음과 같이 두 가지 측면에서 접근하였다. 첫 번째는 기·종점간 대안경로의 다양성을 나타내는 지표와 두 번째는 도로 네트워크 시스템 전체적인 측면에서 도로 네트워크의 예비 용량 (residual, spare, reserve capacity)이 얼마인가를 나타내는 지표이다. 이러한 접근은 도로 네트워크의 회복성 (resiliency)에 영향을 미치는 주요 두 요소, 즉, 도로 네트워크가 얼마만큼 큰 규모의 외부 충격을 감당할 수 있는가와 얼마나 빠른 시일내에 다시 원상태로 돌아갈 수 있는가를 나타내는 회복의 속도를 측정하는데 매우 적합한 지표이다. 기·종점간 대안경로의 다양성은 최소시간 경로와 유사한 경로의 개수를 찾는 것으로 대안경로의 통행시간은 최소시간 경로와 수용 가능한 선 (not too long)에서 유사해야 한다.

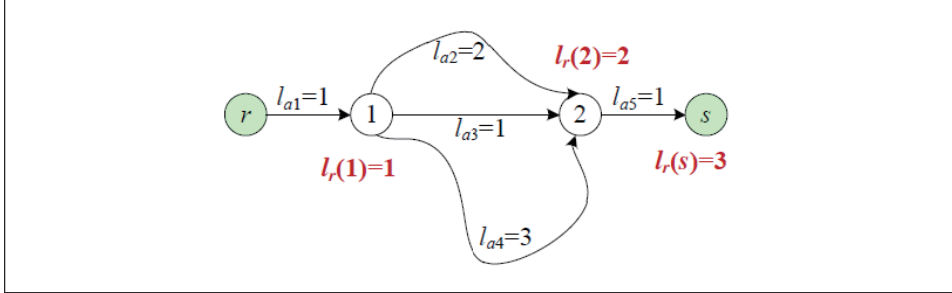
이를 수학식으로 표현하면 다음과 같다.

$$l_k = \sum_{a \in \Gamma_k} l_a \leq (1 + \tau_r^{\max})(l_r(s) - l_r(r)) = (1 + \tau_r^{\max})\min l_p$$

여기서, l_k 혹은 l_p 는 경로 k 혹은 p 의 통행시간, $l_r(r)$ 그리고 $l_r(s)$ 는 기점 r 에서 종점 s 까지의 최소경로 시간

$(1 + \tau_r^{\max})$ 를 1.6으로 설정 하였을 시, 3의 소요시간을 가지는 아랫부분 링크 (l_{a4})는 최소시간 경로와 유사한 경로로 보기 어려움 $\therefore (1+1.6)(l_r(2) - l_r(1)) = 2.6$

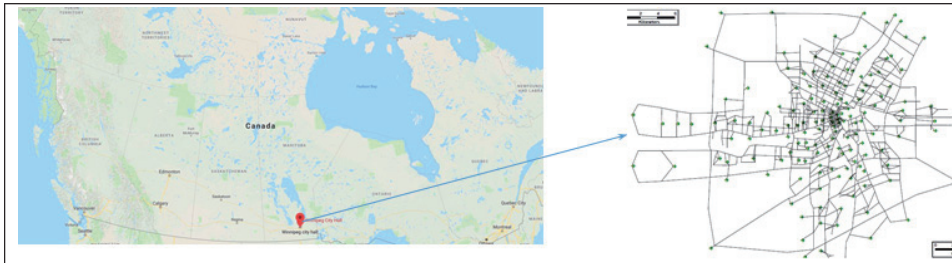
그림 4-5 | 최단시간 경로와 유사한 경로의 예



자료 : Xiangdong et al. (2015)

도로 네트워크 시스템 전체의 예비 용량은 Wong and Yang (1997)에 의해 제안된 것으로 신호 교차로가 포함된 도로 네트워크에서 사전에 설정된 서비스 수준을 넘지 않는 최대 증가 수요를 산정함으로써 얻어진다. 현재의 수요를 나타내는 q 에 곱하는 μ 의 최대값을 산정하며, μ 가 1보다 클 경우, ($\mu > 1$) 해당 도로 네트워크 시스템은 예비 용량을 가지고 있는 것으로 판단한다. 위 연구에서는 캐나다의 Winnipeg 시를 사례분석 네트워크로 사용하여 대안 경로의 다양성과 예비 용량 분석을 수행하였다.

그림 4-6 | 중복성 지수 산정에 이용된 사례분석 도로망



자료 : Xiangdong et al. (2015)

$(1 + \tau_r^{\max})$ 을 1.4로 하고, 대안 경로의 다양성을 분석한 결과, 각 기·종점 쌍별로 11,63개의 대안 경로가 분석되었고 62%의 기·종점 쌍이 5개의 대안 경로를, 78%의 기·종점 쌍이 10개의 대안 경로를 가지고 있는 것으로 나타났다. 네트워크 예비 용량

의 경우, 기준 서비스 수준을 $V/C = 1.0$ 으로 하였으며, 분석지역의 모든 링크의 $V/C=1.0$ 이 되는 도로구간의 개수를 0 이 되는 μ 를 산정한 결과, 0.37로 Winnipeg 시의 도로 네트워크는 이미 혼잡 상태인 것으로 분석되었다.

3) 시사점

지금까지 방재도로 선정 시 주로 이용되는 개념 및 이를 활용한 방재도로 선정 사례를 살펴보았다. 본 단락에서는 앞서 언급된 주요 개념에 따른 시사점을 정리한다.

취약성의 경우, 그 개념이 쉬워 설문을 통해서도 정량적인 평가를 가능하게 한다는 장점이 있는 것을 알 수 있었다. 학술적 측면에서도 가장 처음으로 고려된 개념 중 하나이며, 직접적인 적용을 위한 매뉴얼이 있을 정도로 일반적으로 사용되고 있다. 이해가 쉽고 그 개념이 재난에 의한 도로 인프라의 영향을 파악하는 것과 직접적으로 연결되어 있어 방재도로 선정 방법론 개발 시 재난의 영향, 그로인한 취약 구간 선정이라는 기본적인 논리 전개에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

신뢰성에 바탕을 둔 방재도로의 선정은 방재도로의 직접적인 선정 시 필요한 경로 선택 방법론에 대한 대안을 제시하고 있다. 기존 연구에서와 같이, 일반적으로 신뢰성에 바탕을 둔 방재도로의 선정은 특정 도로 구간 보다는 특정 기·종점 간 통행시간 혹은 연결성 측면에서 신뢰성이 높은 경로를 선택하게 하는 방법론을 제시하고 있다. 여기서 경로의 선택을 위한 방법론으로 최단 경로 알고리즘, 신뢰성에 바탕을 둔 통행시간 예산 (Travel time budget) 의 최소화를 위한 알고리즘, 그리고 공간 구문론까지 적용되고 있음을 살펴보았다. 이러한 알고리즘은 방재도로 선정 시 직접적으로 활용될 수 있는 경로 선택 기법이며 알고리즘 별로 각각의 특성 및 지향하는 바가 상이하므로 이에 대한 충분한 이해를 바탕으로 적절한 경로 선택 기법이 필요함을 시사하고 있다.

마지막으로 중복성의 개념은 방재도로를 접근하는 방향이 위 두 개념과는 차이가 있음을 알 수 있다. 위 두 개념이 재난 시 특정 도로구간 혹은 경로의 중요성을 파악하는 개념이라면, 중복성은 특정 구간 혹은 경로가 아닌 도로 네트워크 전체의 회복 잠재성

을 정량적으로 표현하는 개념이다. 특정 도로 구간이 재난으로 인해 기능이 상실 되어 도 대체 도로의 존재로 인해 쉽게 대안 경로를 생성할 수 있는 도로 시스템의 조밀함 정도를 표현하므로 시스템 전체에 대한 평가에 사용될 수 있다는 측면에서 위 두 개념과는 차별적인 특성이 있다.

앞서 살펴본 다양한 방법론 중 본 연구에서 적용한 방법론은 방재도로 선정 방법 개발에서 자세히 다루기로 한다.

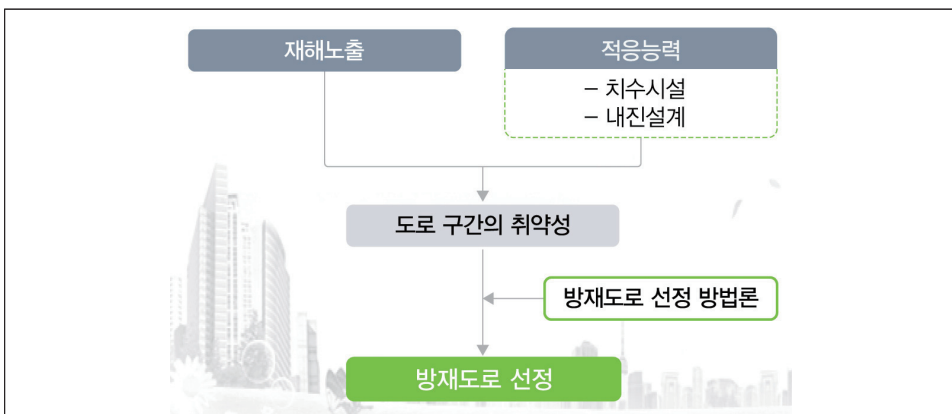
2. 방재도로 선정의 기본방향

1) 재난 취약성에 근거한 방재도로 선정

방재도로는 재해 노출에 따른 위험성을 바탕으로 선정되어야 한다. 재해에 대한 과학적인 분석을 바탕으로 도로 네트워크의 위험성이 판단되어야 이어지는 방재도로 선정 결과의 실효성이 확보될 수 있기 때문이다. 재해에 대한 과학적인 분석을 바탕으로 한 예측을 통해 도로 네트워크의 위험성이 파악되어야 그러한 구간을 피하는 방재도로 설정이 가능하고, 이를 통해 안전한 대피나 구조 작업을 뒷받침 할 수 있는 방재도로의 역할을 기대 할 수 있다.

수재해의 경우, 침수 예상 지역을 침수해석을 통해 파악하고 이를 바탕으로 방재도로로 사용할 수 있는 구간과 그렇지 못한 구간을 구분해야 만 수재해 시 침수 예상 지역의 주민을 주변 피난처로 긴급히 유도하는 역할을 할 수 있을 것이다. 지진의 경우, 지진 발생 시, 도로에 피해를 미칠 수 있는 영향요소 (도로 주변 노후 건축물 등)와 이에 대비하여 취해진 대비책 (내진 설계 등)을 동시에 고려할 때, 지진 상황에서의 역할을 할 수 있는 방재도로의 선정이 이루어 질 수 있을 것이다.

그림 4-7 | 재난 취약성에 근거한 방재도로 선정 기본 구조



자료 : 저자 작성

2) 재해 유형별 방재도로의 선정

재해 종류별로 재해에 취약하거나 반대로 전략적으로 활용될 수 있는 도로 구간이나 시설이 상이하므로 이러한 특성을 적절히 반영한 방재도로의 선정이 필요하다. 이 준 외 (2016)에 의하면 도로시설물에 직접적인 손상을 주는 재난과 비교적 손상이 적은 재난을 구분하였으며, 이 중 직접적인 손상을 주는 재난은 주로 수재해 관련 재난 (호수, 홍수, 태풍, 풍랑, 해일)과 지진으로 구분하고 있다.

표 4-3 | 도로시설물에 직접적인 손상을 미치는 재난과 비교적 손상이 적은 재난의 구분

구분	내용		
재난유형	- 호우, 홍수, 태풍, 풍랑, 지진, 해일	- 대설, 인프라 마비, 대형 교통사고	- 화재, 붕괴, 교통사고, 환경오염 사고, 가뭄, 황사, 이상조류
영향정도	직접영향	간접영향	영향 없음
피해유형	도로두절, 마비, 소통장애 등	소통장애, 정체	-
기능회복속도	피해심도별 차등	단기적, 일시적	-

자료 : 이 준 외 (2016)

도로에 직접적인 손상을 야기하는 수재해로 인한 침수와 지진과 같은 진동으로 건축물을 파괴하는 재난은 서로 다른 재해 취약성의 특성을 가지는 도로구간으로 파악될 수 있다. 고지대에 건설된 도로나, 교량과 같은 도로 시설물은 홍수의 범람으로 인한 피해에도 도로의 이동성을 유지할 수 있어 침수피해에 전략적으로 이용 가능한 반면, 지진과 같은 진동에는 교량 및 터널과 같은 구조물은 상당히 취약하여 방재도로로 선정하기에는 무리가 있다.

이렇게 재난 유형별로 도로 구간이 전략적으로 다르게 이용될 수 있는 특성을 고려하여 본 연구에서는 도로 구간에 직접적인 영향을 미치는 재난을 크게 수재해와 지진으로 구분하여 방재도로를 선정하였다.

3) 대피활동에 적합한 방재도로의 선정

재난 직후 대피활동은 크게 3 단계로 구분되며, 방재도로는 각 단계의 대피활동에 적합하도록 선정되어야 한다. 일본 문부 과학성에 따르면, 대피활동을 구급대피기, 생명 확보기, 생활 확보기로 단계적으로 구분하고 있다. 구급대피기는 재해발생직후부터 대피 직후의 기간으로 재해발생직후 지역 주민이 긴급대피소로 대피하는 첫 번째 대피 활동이다. 생명 확보기는 대피 직후부터 수일간의 기간으로 지역 주민들이 대피한 후 구호 물자가 도착하거나 구조될 때까지의 단계이며, 생활 지원기는 대피의 장기화가 예상되어 생명 확보기 이후의 일정 기간을 의미하는 것으로 재해시 파손되었던 인프라를 복구하는 시기이다.

그림 4-8 | 재난 후 주요 대피 활동



자료 :

- a. 중부매일, 2017. 지진대피 탈출하는 학생들. 11월 01일 기사
- b. 안전신문, 2017. 강원산불 이재민에 구호의 손길. 5월 23일 기사
- c. 북부신문, 2018. 서울 적십자, 백사마을 대피 지원 활동. 8월 30일 기사

수재해와 지진재해로 구분된 재해 유형에 따라 피해 최소화 측면에서 가장 중요한 대피활동을 결정하고 해당 대피활동에 적합한 방재도로 구축이 필요하다는 측면에서 본 연구에서 정의한 수재해 및 지진재해의 정의에 의하면 수재해 시에는 구급대피기의 대피활동을 위한 방재도로, 지진재해 시에는 생명확보기, 생활지원기를 위한 방재도로로 볼 수 있다.

3. 방재도로 선정 방법 및 절차

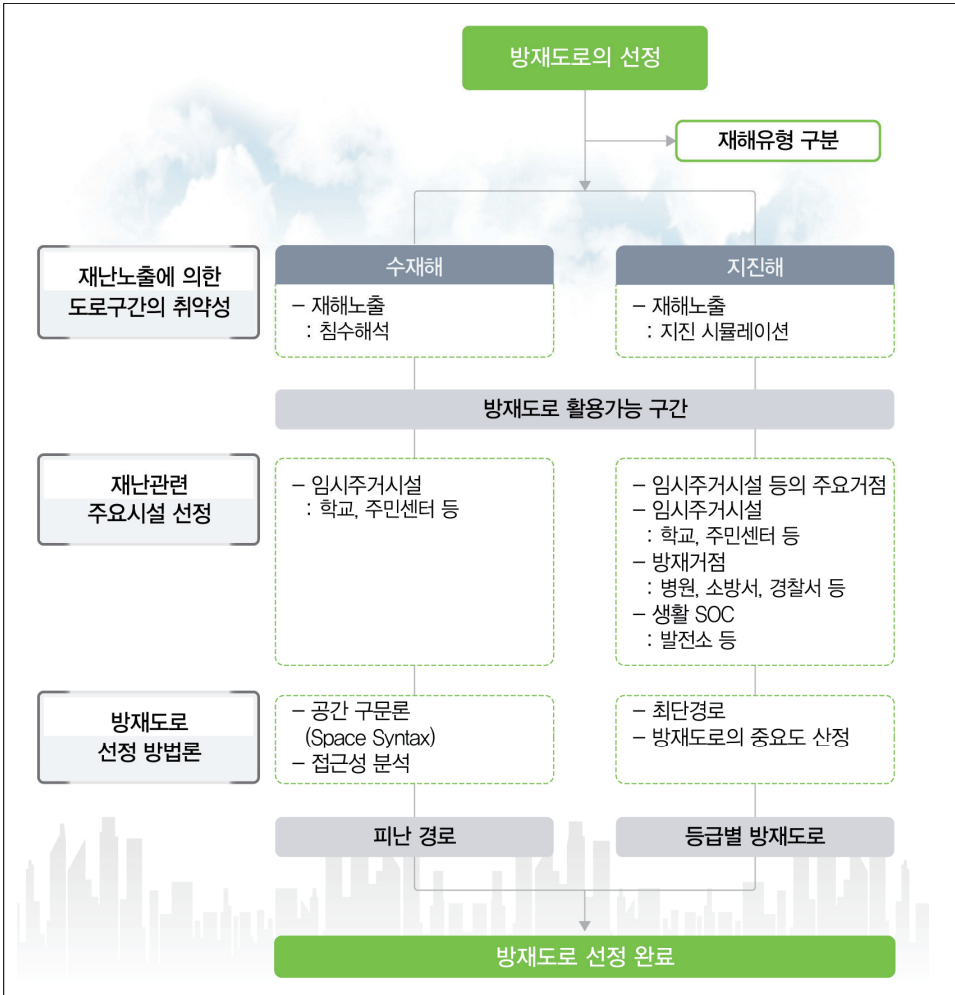
본 단락에서는 방재도로 선정의 기본 방향에 따라 재해를 수재해와 지진재해로 구분하고 수재해와 지진재해에 대한 과학적 예측을 바탕으로 해당 재해의 방재도로의 정의에 부합하는 방재도로를 선정한다.

수재해 관련 방재도로는 피해가 예상되는 지역의 주민들을 인근 대피소로 안전하고 신속히 유도하여 수재해로 인한 인명 및 재산 피해의 최소화를 위한 도로이며, 이를 구현하기 위해 다음과 같은 선정 절차를 제시한다. 먼저, 집중호우로 인한 침수해석 모형을 이용하여 수재해가 예상되는 지역을 파악한다. 그 다음으로, 주민들의 우선 대피 장소인 임시주거시설 (학교, 주민센터, 시청)을 선정한다. 이 때, 임시주거시설은 수재해 영향에서 멀리 떨어진 곳에 위치한 시설을 주로 선정한다. 마지막으로 피해지역에서 임시주거시설로의 신속한 이동을 유도하기 위한 방재도로를 선정한다.

지진재해 관련 방재도로는 방재자원의 신속한 전달로 기대되는 재난 피해의 최소화과 함께, 재난 상황 및 복구과정에서도 국민의 기본적인 일상생활을 가능케 하는 도로이다. 이를 위한 방재도로의 선정 절차는 다음과 같다. 먼저, 지진 시뮬레이션을 통해 도로의 기능 실패 예상 구간 파악한다. 이 때, 설계 지진에도 그 기능을 유지할 수 있는 도로 구간을 파악하여 지진 재난시에도 방재도로로서의 역할을 할 수 있는 구간을 파악한다. 그 다음으로 주민들의 우선 대피 장소인 임시주거시설 (학교, 주민센터, 시청)을 선정하고, 구조 활동을 위한 방재거점 (병원, 소방서, 경찰서)을 선정한다. 다음으로 주요 생활 SOC를 선정 (국가기반시설 : 석유 저장소, 발전소, 쓰레기 매립장 등)한 후 이들 주요 시설을 연결함으로써 방재도로를 완성한다. 이 때, 주요 거점간의 연결에 자주 이용되는 방재도로 구간에 대해 이용된 만큼의 중요도를 부여함으로써 방재도로간 중요도를 산정하여 향후 효율적인 유지·관리에 활용될 수 있도록 한다.

수재해와 지진재해로 구분된 방재도로의 선정방법을 도식화 하면 다음과 같다.

그림 4-9 | 재난 유형별 방재도로 선정 절차



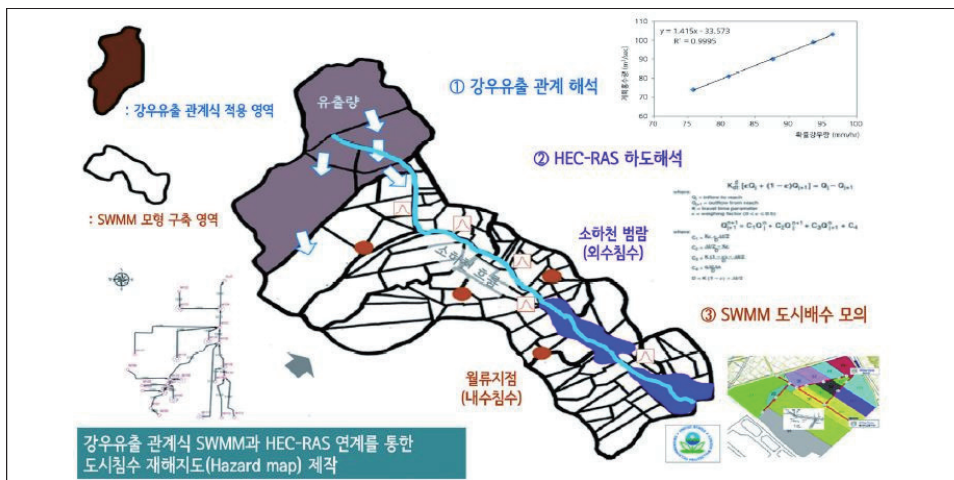
자료 : 저자 작성

1) 수재해 관련 방재도로 선정 방법 및 절차

(1) 재난 위험에 대한 노출

수재해 위험에 대한 노출을 반영하기 위해 본 연구에서는 도시 침수 예방대책 지원 시스템의 침수 해석 자료 (이상은 외, 2017)를 이용하였다. 침수 해석은 장래 기후변화 시나리오를 고려하여 해당 지역의 대표 확률 강우량을 추정하고 이를 바탕으로 한 강우조건에서 HEC-RAS (하천범람) 및 SWMM (내수침수) 침수 해석 수리모형을 적용하여 침수위 발생지역을 도출 하게 된다.

그림 4-11 | 도시침수 해석 개념도



자료 :이상은 외. (2016)

침수 위험 도로 구간은 침수 해석 자료 (이상은 외, 2017)의 결과를 공간 정보화 하여 침수 영역에 포함되는 도로를 식별함으로써 가능하다. 여기서, 도로망 자료는 행정안전부의 국가공간정보포털의 오픈마켓에서 제공하는 2018 새주소 도로구간 공간정보를 이용하였다.

그림 4-12 | 침수 위험 구간의 예



자료 : 저자 작성

(2) 임시주거시설의 선정

침수 해석 자료에 의한 침수 위험 지역이 선정되면 이재민을 수용할 수 있는 공간을 가진 학교, 주민센터, 시청 등과 같이 지역 인근으로 피난 할 수 있는 임시주거시설을 선택한다. 임시주거시설의 선정은 이재민(罹災民)의 구호와 의연금품(義捐金品)의 모집절차 및 사용방법 등에 관하여 필요한 사항을 규정한 재해구호법을 바탕으로 하고 있다.

재해구호법

제3조의 3 (임시주거시설의 종류)

법 제4조의2제1항제6호에서 "대통령령으로 정하는 시설"이란 다음 각 호의 시설을 말한다.

1. 「초·중등교육법」 제2조에 따른 학교(국립학교와 공립학교에 한정한다)의 시설
2. 마을회관
3. 경로당
4. 제1호부터 제3호까지에서 규정한 시설 외에 지방자치단체가 설치·운영하는 시설로서 구호기관이 법 제3조에 따른 구호대상자의 구호에 필요하다고 인정하는 시설

(3) 임시주거시설로의 신속한 이동을 위한 방재도로 선정

방재도로 선정을 위한 여러 방법론 중 본 연구에서는 공간 구문론을 이용한 방재도로 선정 방법을 제시한다. 경로 단위의 방재도로 선정 방식인 공간 구문론의 특징은 임시주거시설로 신속한 이동을 유도하는 방재도로 선정에 적합한 것으로 판단된다. 주변 공간에서 특정 공간으로의 접근성을 파악하는 통합성은 재해 위험지역의 피해 주민들이 특정 공간 (피난처, 임시주거시설) 으로 이동할 수 있는 측면의 효율성을 나타내므로 피난도로 성격의 방재도로 선정의 의도에 적합하기 때문이다. 특히, 공간 구문론의 통합성 분석은 한 도로 구간으로부터 다른 도로 구간으로의 접근성을 계량적으로 산정하여 경로의 접근성까지도 계량적으로 파악할 수 있게 하는 장점이 있다.

또한, 공간 구문론은 분석 지역내 사람들의 활동에 대해서는 고려하지 않는 특성이 있는데, 방재도로 선정 시에는 이러한 특성이 더욱 유리하게 작용할 수 있다. 왜냐하면, 수재해가 예상될 경우, 일상적인 활동을 최대한 자제한 상황이므로 평상시의 지역내 활동과는 그 패턴이 다르며 또한 활동이 자제된 상황이므로 그러한 활동을 반영하지 않은 경우와 매우 유사하기 때문이다.

2) 지진재해 관련 방재도로 선정 방법 및 절차

(1) 지진 재난 위험에 대한 노출

본 연구에서는 지진 발생의 영향을 액상화 평가를 통해 분석하고 위험도를 산출하였으며, 해당 지역에 적합한 설계지진에 따른 액상화 평가 기법에 의한 위험도 산정 절차는 다음과 같다.

① 설계지진의 세기 결정

본 연구에서 설계지진의 세기는 유효수평지반가속도로 나타낼 수 있도록 하였다. 유효수평지반가속도(S)란 지진하중을 산정하기 위하여 국가지진위험지도나 행정구역을

기준으로 제시된 암반지반의 수평지반운동수준을 의미한다. 지진의 재현주기에 따른 유효수평지반가속도(S)는 지진구역계수(Z)에 각 재현주기의 위험도계수(I)를 곱하여 결정한다.

본 연구에서의 지진의 재현주기는 「지진·화산재해대책법」 제12조 국가 지진위험지도에 의한 50년, 100년, 200년, 500년, 1000년, 2400년, 4800년 중 500년, 1000년 두 가지 재현주기를 적용하였다.

$$S = Z \times I$$

여기서, 지역에 따른 지진구역계수(Z) 및 위험도 계수(I)는 다음과 같다.

표 4-4 | 지진구역 및 지진구역 계수

지진 구역	행정구역		지역구역 계수(Z)
Ⅰ	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부*	
Ⅱ	도	강원 북부**, 제주	0.07g

* 강원 남부 : 영원, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백
 ** 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 고성, 양양, 춘천, 속초
 자료 : 건설교통부 (1997)

표 4- 5 | 위험도 계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	4,800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1	1.4	2.0	2.6

자료 : 건설교통부 (1997)

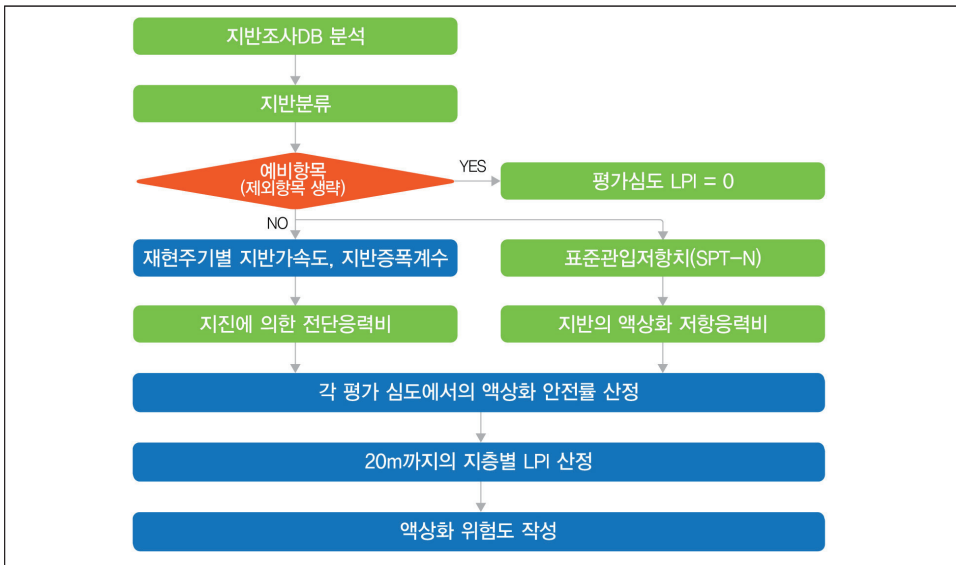
② 액상화 평가 기법에 의한 지진 재해 위험도 산출

본 연구에서는 지진으로 인한 지진 재해 위험도는 액상화 평가 알고리즘 (최재순, 박인준, 2013)을 통해 산정하였다. 액상화 평가 기법 (Liquefaction Potential Index :

LPI) 이란 재현주기에 해당하는 지반가속도와 대상지역의 지반분류를 통한 지반증폭 계수를 적용하여 지진 재해 위험의 공간적 분포를 계량적으로 파악하는 분석 기법이며, 적용 절차는 다음과 같다.

사례분석지역의 지진구역계수, 위험도 계수와 지반계수로 산정된 설계지반가속도를 바탕으로 지진의 응력을 나타내는 전단응력비를 산정한다. (수정 Seed&Idriss법, Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, 1971). 그 다음으로 사례분석지역의 지반 자료(표준관입시험(SPT: 지반현장 시험시 향타 횟수를 통하여 지반의 강도 상태 등을 파악하는 시험법)를 통한 N치 기반 (0 ~ 50)으로 지진규모 6.5에 해당하는 지반의 액상화 저항을 나타내는 전단저항비 산정한다. 여기서, 지반시추정보는 국토지반정보 포털시스템을 통하여 표준관입시험(SPT)을 통한 N치, 단위중량, 심도, 지하수의 깊이, 전단파속도 등을 수집하여 활용한다. 마지막으로 지진의 전단응력비와 해당 지역의 전단 저항비를 바탕으로 안전율을 구한 후 지층별 안전율의 합을 통하여 LPI를 산정한다.

그림 4-13 | 액상화 가능성 지수 산정 절차



자료 : 저자 작성

(2) 지진으로 인한 기능 실패 예상 구간 및 기능 유지 구간 파악

도로의 종류에 따른 내진 등급을 바탕으로 지진 재해에도 도로의 기능을 유지하는 구간 혹은 기능 실패 구간을 파악하여 방재도로를 선정한다. 지진으로 인한 도로의 기능 상실 및 저하 여부는 도로의 내진 등급 및 지진의 세기에 따라 결정된다. 도로는 내진 I 등급 및 II 등급으로 설계되며 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시 또는 일반 국도 등이 내진 I등급의 도로로 설계되고 있다. 여기서, 내진 I 등급은 긴급구조와 구호, 국방 및 치안유지에 필요하거나 지역의 생활과 경제활동에 미치는 영향이 큰 시설물이며, 내진 II 등급은 내진특등급과 내진 I 등급에 속하지 않는 시설물을 의미한다.

그림 4-14 | 지진에 의한 도로피해



자료 :

Duffy B. and Quigley M. (2016) What happened in the New Zealand earthquake? And is the supermoon to blame? 8월 30일 기사

EAST ASIA, (2014) Widespread damage in Thailand Earthquake. 05월 6일기사

내진 I 등급의 도로는 50년 및 100년 재현주기의 지진에는 기능수행을 할 수 있도록 설계되어 있으며, 최고 1000년 재현주기의 지진에도 붕괴방지 수준의 내진 성능을 유지할 수 있다.

표 4-6 | 시설물의 내진 등급별 내진 성능 수준

설계지진 재현주기	내진성능수준			
	기능수행	즉시복구	장기복구/인명보호	붕괴방지
50년	내진 II 등급	-	-	-
100년	내진 I 등급	내진 II 등급	-	-
200년	내진 특등급	내진 I 등급	내진 II 등급	-
500년	-	내진 특등급	내진 I 등급	내진 II 등급
1000년	-	-	내진 특등급	내진 I 등급
2400년	-	-	-	내진 특등급
4800년	-	-	-	내진 특등급

자료 : 건설교통부 (1997)

여기서, 기능 수행, 붕괴 방지와 같은 내진 성능 수준에 따른 도로의 성능 수준에 대한 설명은 다음과 같다. 기능수행수준이란 설계지진 시 시설물에 발생한 손상이 경미하여 보수 없이 도로의 기능(차량통행)을 수행할 수 있는 성능수준을 의미한다. 즉 시복구수준은 설계지진 시 시설물에 발생한 손상이 크지 않아 원래의 기능을 단기간 내에 회복할 수 있는 성능수준이며, 장기복구수준은 설계지진 시 시설물에 큰 손상이 발생할 수 있으나, 임시보수로 긴급차량 통행 가능하여야 하며, 장기간의 복구를 통하여 기능회복이 가능한 성능수준을 의미한다. 붕괴방지수준은 설계지진 시 시설물에 매우 큰 손상이 발생할 수는 있지만 그 수준과 범위는 시설물이 붕괴되거나 또는 시설물의 손상으로 인한 대규모 피해를 방지할 수 있는 성능수준을 의미한다.

표 4- 7 | 도로 종류별 내진 등급

내진등급	대상	설계지진규모	붕괴방지 수준
내진 I 등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시 또는 일반 국도상의 도로	5.1~6.2	1000년
내진 II 등급	내진 I 등급에 속하지 않는 교량		500년

자료 : 건설교통부 (1997)

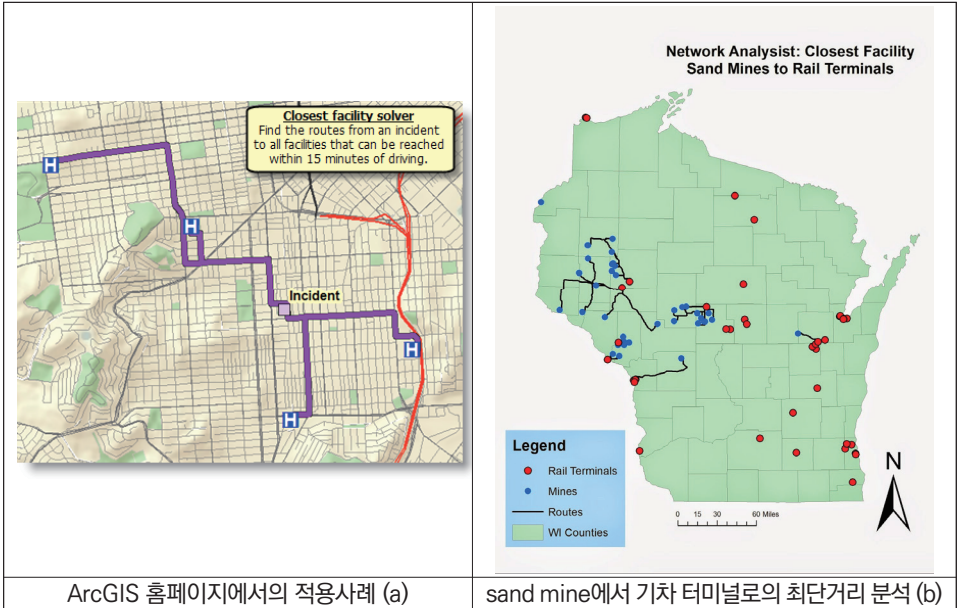
(3) 임시주거시설, 방재거점 및 주요 생활 SOC의 선정

지진으로 인한 위험지역이 선정되면 해당 지역 인근으로 피난 할 수 있는 임시주거시설을 선정해야 한다. 이 경우, 수재해와 마찬가지로 이재민을 수용할 수 있는 공간을 가진 학교, 주민센터, 시청을 대상으로 선정한다. 방재거점은 임시주거시설에서 임시적으로 피난한 이재민들을 위한 구호활동과 음식, 의료 지원을 위한 관련 기관들을 선정하였으며, 이러한 방재거점은 병원, 소방서, 경찰서 등이 해당된다. 마지막으로 지진 피해의 장기화를 고려하여 해당 지역 내에 위치한 주요 생활 SOC 시설 (국가기반시설, 쓰레기 매립장 등)을 선정하여 지진 상황 및 복구과정에서도 지역내 주민의 일상생활을 뒷받침 할 수 있게 한다.

(4) 임시주거시설, 방재거점, 생활 SOC 간 연결

방재거점의 주 목적지는 임시주거시설이므로 이들 간의 연결을 통해 방재도로를 구성한다. 추가적으로 주요 생활 SOC 시설에서 임시주거시설로의 연결성을 제고하기 위한 방재도로를 구성할 수 있다. 이 경우, 해당 주요 SOC 시설에서 가장 근접한 내진 상위 등급 도로로의 연결을 통해 해결한다. 방재거점과 임시주거시설을 연결하는 방법은 최단소요시간 경로 탐색 알고리즘을 적용한다. 최단소요시간을 기준으로 방재도로를 선정한 것은 지진의 경우, 피해를 입은 주민들의 부상 정도 및 그 규모가 다른 재해보다 심각할 수 있을 것으로 판단되어 신속한 조치가 필요하다고 판단되었기 때문이다. 이를 위해 ArcGis의 네트워크 분석 기능인 Closest Facilities Analysis 분석 툴을 사용하였다. 해당 툴은 incident와 facility간의 최단 경로를 바탕으로 가장 가까운 facility를 검색 가능하게 한다. 예를 들면, 교통 사고가 발생하여 가장 가까운 병원을 찾고자 할 때, 교통사고는 incident로 인식되고, facility는 병원으로 할 경우, 일정시간, 10분, 15분내의 병원으로의 최단소요시간 경로를 산출할 수 있다. 이 분석 툴은 방재 거점에서 커버 할 수 있는 임시주거시설을 파악하는데 유용하며, 또한 해당 방재거점으로의 경로를 산정하므로 방재도로 선정에 유용하다.

그림 4-15 | Closest Facilities Analysis 의 적용 예



자료 :

- a. ArcGIS (2018)
- b. Tanner Borgen (2018)

지진재해를 대비한 방재도로 선정의 최종 결과물은 중요도별 방재도로 구간이다. 임시주거시설과 방재거점 연결 시 자주 이용되는 구간은 중요구간으로 분류하여 차후 방재도로 관리에도 비용·효과적인 측면을 고려하기 위함이다.

4. 사례분석

1) 수재해

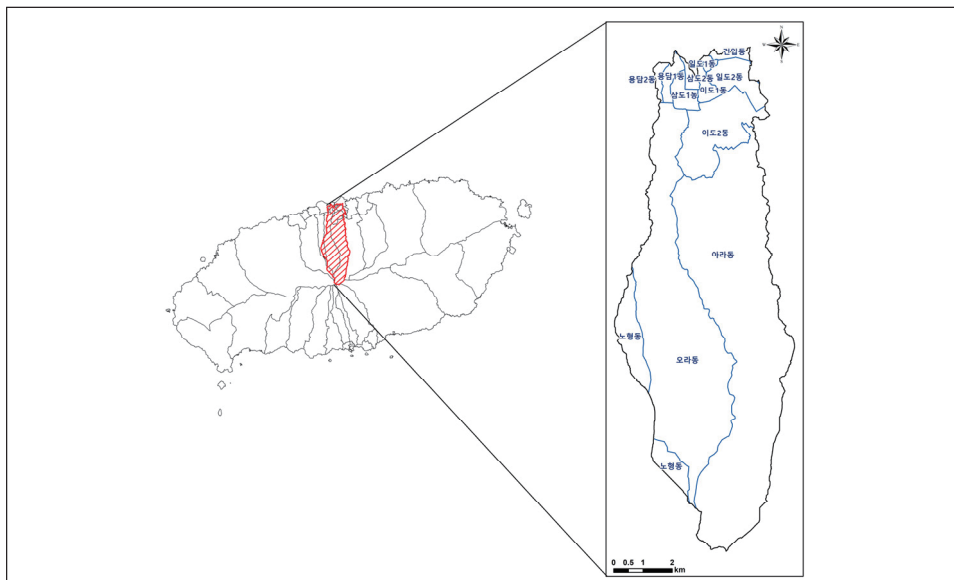
(1) 사례분석 대상지

본 연구에서는 사례분석 대상지로 제주특별자치도 제주시내 일부를 선정하였다.

① 사례 지역 선정 배경

제주시는 2007년 ~ 2016년간 여름철에 지속적인 침수 피해를 입고 있어 향후 침수 피해 대비 다양한 대책이 요구되는 지역이다. 이도동, 용담동, 오라동, 일도동 일대 외수위 상승으로 인한 범람과 이로 인한 내수배제 불량으로 저지대 주택 및 상가, 주변 도로가 침수된 바 있다 (이상은 외, 2018).

그림 4-16 | 수재해 사례 분석 대상지 (제주시 일대)



자료 : 이상은 외 (2017)

이도동은 우수관거 통수단면 부족 등으로 인해 주변 저지대 주택 및 상가의 상습적인 침수가 발생하였으며, 용담동은 우수관거 통수단면적 부족, 하천범람 등으로 도로, 주차장, 주변 상가 등의 침수 지역이 발생하였다. 오라동은 토천 제방여유고 부족으로 주거지, 도로 침수가 일어났고, 외도동의 경우, 주변 하천 범람으로 인근 저지대 주택 침수가 발생하였다. 제주시는 도시침수 피해로 인해 재해 예방형 도시계획 수립의 시급성이 높은 곳으로 향후 재해취약성 분석이 진행·예정 되어 있으며 자체적으로 도시기본계획을 통해 방재 및 안전계획을 수립 중에 있다. 이상은 외 (2017)는 「도시 침수 지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II)」에서 최근 10년 이내 기록적인 도시침수 피해발생 여부, 침수피해 발생횟수, 공공시설 및 건축 피해의 크기 등을 고려하여 제주시를 분석대상지로 선정 한 바 있다. 제주특별자치도는 2025 제주특별자치도 도시기본계획에서 방재 및 안전계획을 수립하여 재난 안전도시 구현에 많은 관심을 기울이고 있으며, 도시방재 시스템 강화, 자연 재해에 대한 해안지역 방어 등의 대처방안 마련을 위해 힘쓰고 있다. 제주시 일대 침수관련 피해 이력은 부록 2를 참고하기 바란다.

(2) 방재도로의 선정

① 재난 위험에 대한 노출 및 침수위험으로부터 활용 가능한 구간 파악

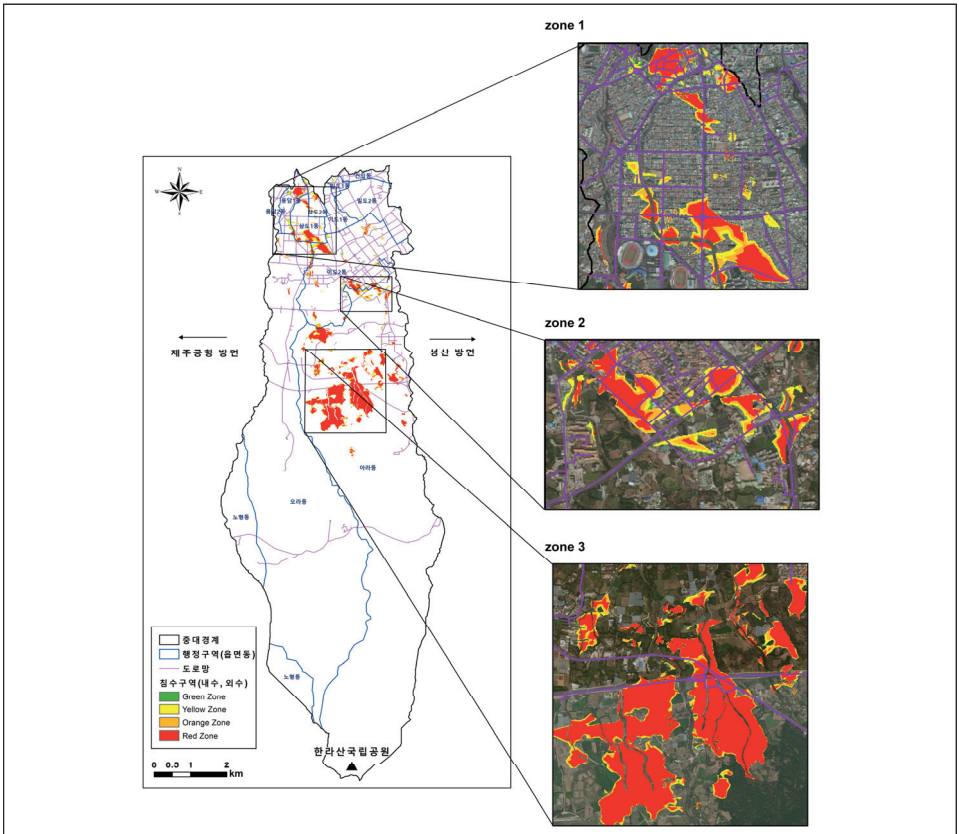
해당 영향권에 대한 침수해석을 위해 내수의 경우, 재현기간 30년, 외수의 경우, 재현기간 100년 기준의 수재해 특성을 가정한다. 영향의 크기는 다음 표와 같이, 침수위 50cm 이하(성인의 무릎 수준 이내로 크지 않은 영향 가능), 침수위 50~100cm(상당한 영향 가능), 침수위 100cm 초과(성인의 허리 또는 아동의 신장수준을 넘어 매우 심각한 영향 가능)로 구분한다. 이러한 가정을 바탕으로 침수위험도를 분석한 결과, 분석대상 지역의 침수 위험 구역은 대부분 100cm를 넘는 침수 구역으로 호우 시 매우 심각한 재난을 발생시킬 것으로 예상되었다.

표 4- 9 | 침수 해석 결과에 따른 침수 단계별 설명

영향권 침수 단계	도시침수의 발생 특성	침수위 설명
Red zone	호우 시 매우 심각한 영향이 발생할 수 있는 곳	- 100cm 초과하는 침수위 (성인의 허리 또는 아동의 신장수준)
Orange zone	호우 시 상당한 영향이 발생할 수 있는 곳	- 50~100cm 사이의 침수위 (Red zone과 Yellow zone 의 사이)
Yellow zone	호우 시 주의할 만한 영향이 발생할 수 있는 곳	- 10~50cm 사이의 침수위 (성인의 무릎 수준이내)
Green zone	호우 시 침수될 수 있으나 영향이 크게 우려되지 않는 곳	- 10cm 이하의 침수위

자료 : 이상은 외 (2017)

그림 4-17 | 사례지역 침수해석 결과



자료 : 이상은 외 (2017)

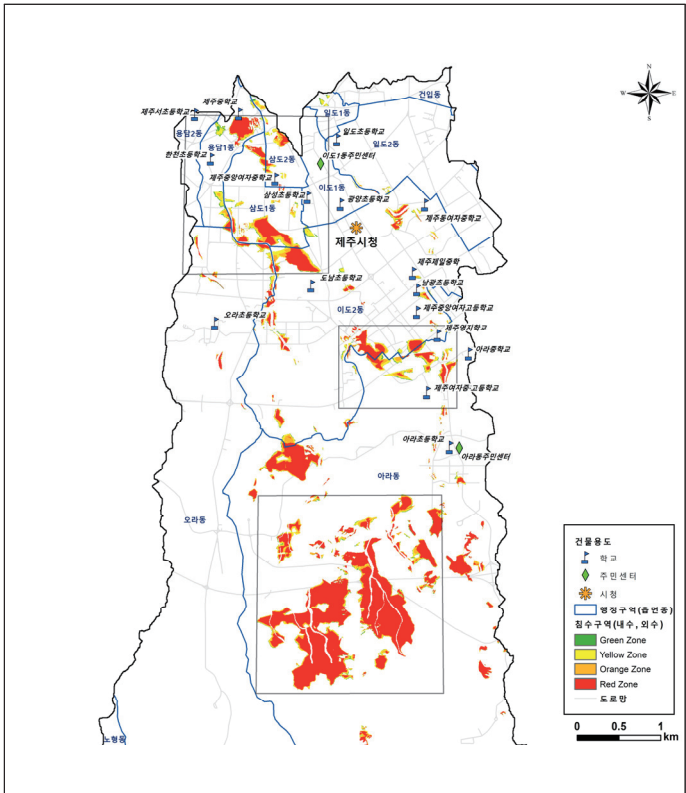
호우 시 매우 심각한 영향이 발생할 수 있는 Red 존이 대상지역 전체에 걸쳐 발생하는 것으로 분석되었다. 대부분의 Red 존이 종류의 논·밭지역이나 하류의 도시지역에 분포하는 것을 알 수 있다.

② 임시주거시설의 선택

침수 예상 지역 인근에서 임시주거시설로 활용 가능한 학교, 주민센터, 시청의 분포는 다음과 같다. 존1 북측에는 제주 중학교, 제주 서초등학교, 한천초등학교 등이 남측

으로는 제주 중앙여자 중학교, 삼성 초등학교 등이 임시주거시설로 활용 가능한 것으로 나타났다. 존2 인근에는 동쪽으로 제주 영지학교, 제주 여자 중고등학교, 아라 중학교, 제주 중앙여자 고등학교가 해당 존의 이재민을 수용하기에 적절한 방재거점으로 판단된다. 존3의 경우, 대부분 산악지대이고 거주 인구가 거의 없는 지역으로 이 지역에 대한 방재거점은 해당 존의 동

그림 4-18 | 존별 임시주거시설로 활용 가능한 시설

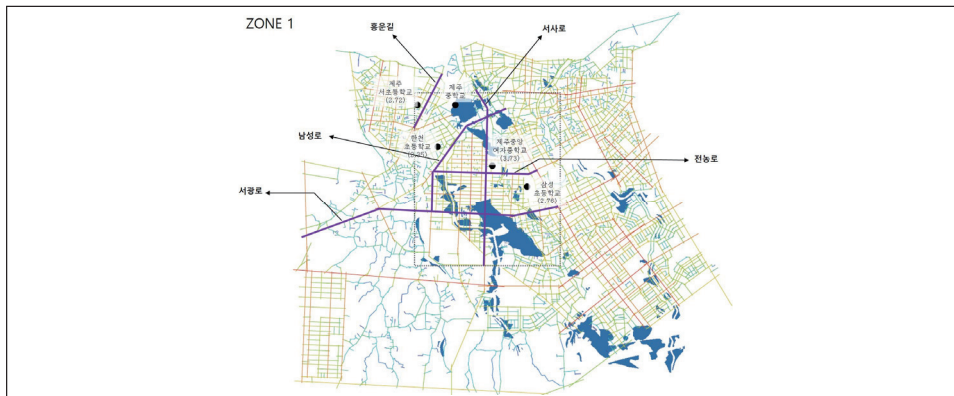


자료 : 저자 작성

북부에 위치한 아라 초등학교와 아라동 주민센터가 적합할 것으로 판단되었다.

구분된 존에 대해 각 존내 임시주거시설의 접근성을 공간 구문론의 통합도 분석을 활용하여 분석함으로써 임시주거시설의 위치적 적절성을 판단하였다. 존1의 공간분석 결과, 존 내 임시주거시설은 대부분 접근성이 양호한 것으로 나타났다. 제주서초등학교 (2.72), 한천 초등학교 (2.35), 제주중앙여자중학교 (3.73), 삼성초등학교 (2.76) 등 모두 분석 범위 전체의 국부 통합도인 1.69보다 높은 것으로 나타나 임시주거시설의 위치는 지역 내 이동을 고려하였을 때 적절하다고 판단된다.

그림 4-19 | 존1 통합도 분석결과



자료 : 저자 작성

존2의 경우, 몇몇 임시주거시설은 다소 접근성이 떨어지는 장소에 위치한 것으로 분석되었다. 제주영지고등학교 (2.86), 아라중학교 (1.67), 제주중앙여자중학교 (3.73)로 분석되 아라중학교를 제외하고는 분석 범위 전체의 국부 통합도인 1.38보다 높게 나타났다. 존2의 경우 연북로가 직선형태로 접근성이 좋고, 산지·농지 지역과 도심지역을 연결하는 중간역할을 하고 있어 피난 시 우선적으로 연북로로 이동하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 그러나 연북로와 중앙로가 만나는 지역의 경우, 침수 위험지역이므로 이러한 현황을 우선적으로 파악하여 이동해야 할 것이다.

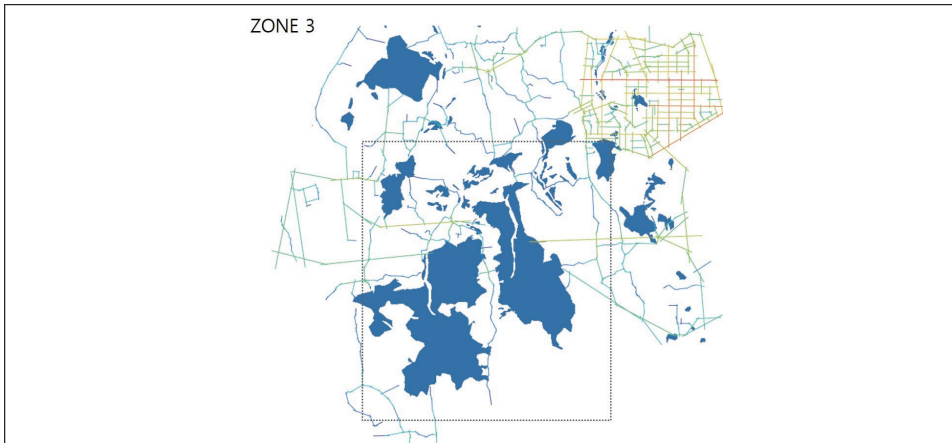
그림 4-20 | 존2 통합도 분석결과



자료 : 저자 작성

존3의 공간분석 결과, 대부분 산지 지방으로 도로간 연결도가 가장 낮았다. 분석 범위 전체의 국부통합도가 1.16으로, 분석 대상 존 중 가장 낮게 나타나며, 아라동 주민센터가 위치한 아라 1동(국부 통합도 1.84)이 가장 높게 계산되었다. 존3 내에서는 아라동 주민센터가 공공기관 중 가장 접근성이 좋은 것으로 분석되었다.

그림 4-21 | 존3 통합도 분석결과

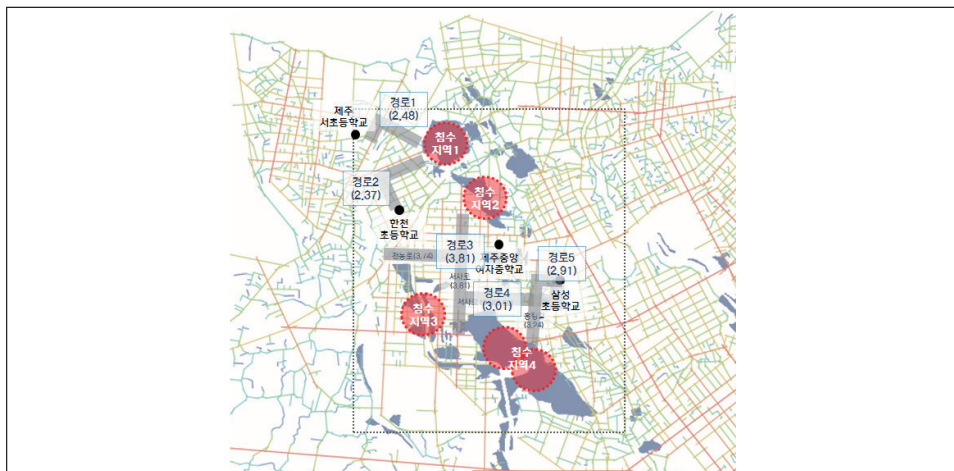


자료 : 저자 작성

③ 방재도로의 선정

존1의 침수지역을 4 지역으로 구분하여 (1, 2, 3, 4) 분석한 결과, 침수지역 1 주변을 제외하고는 지역 내 가장 중심도로인 서사로를 활용하여 대피할 경우, 여러 피난처로 대피가 가능한 것으로 나타났다. 침수지역 1의 경우, 경로1과 경로2를 통해 각 피난처로 이동이 가능하나 경로 2를 통해 한천 초등학교로 이동하는 것(2.37)보다 경로 1을 통해 제주서초등학교로 이동하는 것(2.48)이 접근성도 좋고, 크고 작은 침수위험지역에서도 멀어질 수 있는 장점이 있는 것으로 분석되었다. 나머지, 침수지역 2, 3, 4의 경우, 경로3과 같이 우선적으로 접근성이 가장 좋은 서사로(3.81)로 우선 대피 후 한천초등학교와 제주중앙여자중학교로 이어지는 방재도로 선정이 필요할 것으로 판단된다. 침수지역 4의 경우, 범위가 넓어 상단부와 중심부로 나뉘서 파악할 수 있는데, 상단부의 경우 서사로로 이동하여 경로3(3.81)과 경로4(3.01)를 통해 제주중앙여자중학교와 삼성초등학교로 이동이 가능하나 제주중앙여자중학교로 이동하는 것이 접근성 측면에서는 보다 효율적이라고 판단되었다. 침수지역 4의 중심부의 경우 경로5를 통해 삼성초등학교로 이동하는 것이 접근성 및 거리면에서 효율적인 것으로 판단되었다.

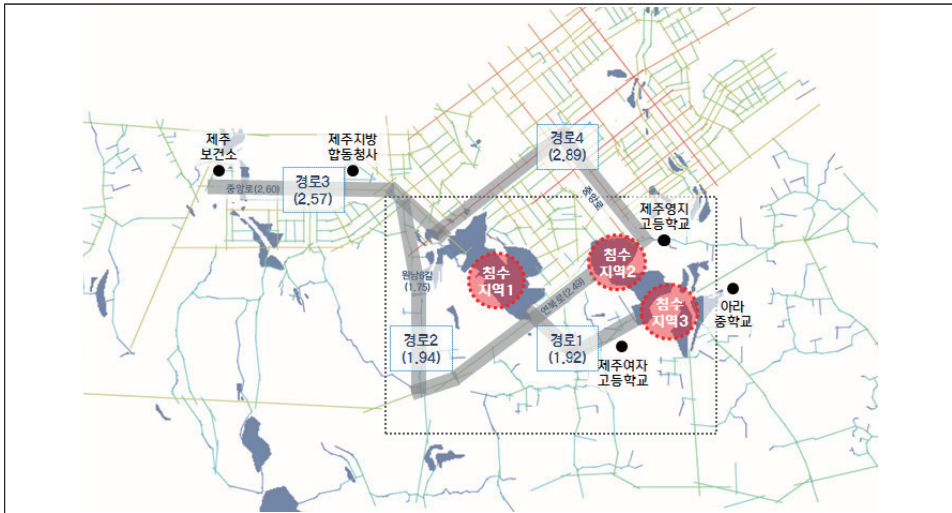
그림 4-22 | 존1 방재도로 선정결과



자료 : 저자 작성

존2의 경우, 침수지역을 세 지역으로 세분화하여 분석 결과를 제시한다. 존2의 제주여자고등학교는 경로1(1.92)을 통해 침수지역1, 2, 3에서 모두 접근이 수월하여 피난처로서의 활용성이 높은 것으로 분석되었다. 제주영지고등학교의 경우, 침수구역2의 피난객이 주 대상이나, 경로4(2.89)를 통해 침수구역1의 북쪽 지역의 피난객도 수용 가능하며, 침수지역1의 북쪽 피난객의 경우 경로2(1.94)를 통해 제주여자고등학교로 대피하거나, 경로4(2.89)를 통해 제주영지고등학교로 피난이 가능하나, 북서쪽 지역의 제주지방합동청사나 제주보건소가 피난처가 될 경우 경로3(2.57)을 통해 거리상 가까우면서도 접근성이 높은 경로로 대피가 가능할 것으로 판단된다. 아라중학교의 경우 도로의 단절로 인해 침수구역3의 피난객만 수용이 가능한 상황이다.

그림 4-23 | 존2 방재도로 선정결과

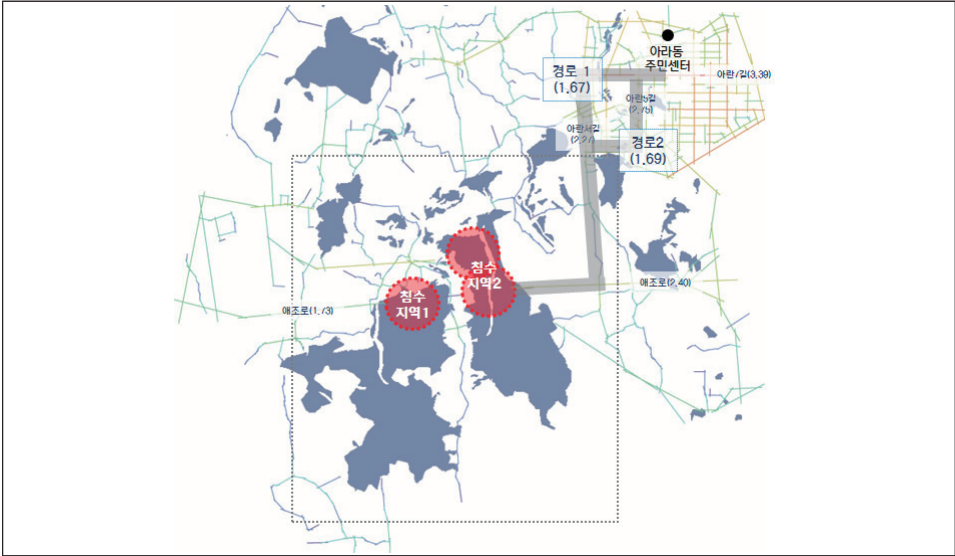


자료 : 저자 작성

존3의 침수지역 (1, 2)을 분석한 결과, 침수위험지역이 광범위하게 분포하고 있으며, 동서 지역이 침수위험지역으로 인해 단절되어 있어 피난경로를 선정하기가 어려운 것으로 나타났다. 아라동 주민센터를 임시 피난처로 선정하였으나, 대상구역 내 가장

중심도로인 애조로가 침수로 인해 단절될 위험이 있어 아라동 주민센터만으로는 충분하지 않다. 침수지역2의 경우만 아라동 주민센터로 대피할 수 있으며, 침수지역1 주변인 서쪽 지역과 북쪽 지역의 경우 대부분 산길로 이루어져 있는데다 적정 피난처도 존재하지 않아 큰 인명피해로 발전할 가능성이 있으므로 인근 피난처를 반드시 마련해야 할 것으로 판단된다. 아라동 주민센터로 갈 수 있는 경로 2가지 중 경로2가 접근성이 다소 높은 것으로 나타나며, 이는 분리되는 도로 중 아란5길(2.75)이 아란서길보다(2.27) 약 17%가량 접근성이 높은 직선형태로 이루어져 있어 아란7길(3.39)까지의 접근성이 증가한 것으로 판단된다.

그림 4-24 | 존3 방재도로 선정결과



자료 : 저자 작성

2) 지진재해

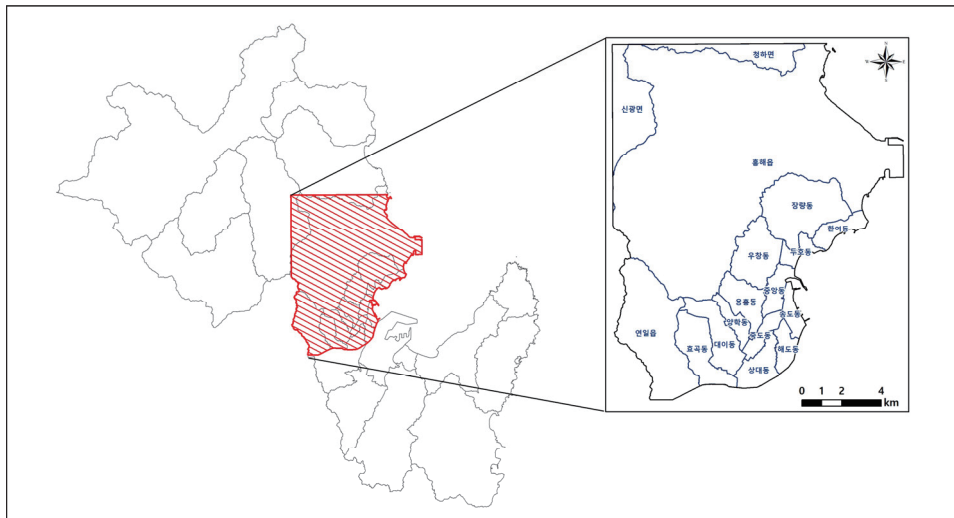
(1) 사례분석 대상지

본 연구에서는 사례분석 대상지로 경상북도 포항시를 선정하였다. 지진 재해에 대한 시뮬레이션은 포항시 전역을 대상으로 수행하고 방재도로 선정을 위한 사례분석 대상지는 시뮬레이션의 결과, 지진의 피해가 심각할 것으로 예상되는 형산강 위쪽의 복구 일대를 선정하였다.

① 사례 지역 선정 배경

포항시는 지난 2017년 11월 15일 리히터 규모 5.4의 강진이 발생한 곳이며, 이는 2016년 9월 경주지진 (5.8)에 이어 규모로는 역대 2번째로 크다.

그림 4-25 | 지진재해 사례 분석 대상지



자료 : 저자 작성

이로 인해 2017년 12월 기준 (중앙재난안전대책본부) 40명의 부상자, 321개소의 공공시설, 27,53건의 사유시설이 피해를 입은 것으로 집계되었다. 이는 약 546억원의 재산피해 및 1,131억원의 복구비용 (공공시설에 한함)으로 이어졌는데, 이는 경주 지진의 110억원에 비해 5배가 많은 금액이다.

경주 지진이 포항 지진 위력에 4배가 더 컸음에도 포항지역의 피해 규모가 큰 것은 포항시의 경우, 인구 밀집 지역이었으며, 진원의 깊이가 약 9km로 경주 (약 15km)에 비해 얕았기 때문인 것으로 파악되고 있다.

표 4-10 | 포항시 지진으로 인한 공공시설 복구 비용 추정

시설구분	건수	복구액 (백만원)
소계	321	113,101
도로교량	1	252
상하수도	2	22,529
항만	16	5,385
수리시설	5	387
소규모	20	12,203
학교	97	38,379
공공건물	127	14,289
기타공공	53	19,677

자료 : 김진흥, 도영웅 (2018)

주: 기타공공 - 체육시설, 산사태, 철도시설, 문화재 등

최근 들어, 경주 및 포항 지역에서 잇따라 발생한 지진은 향후 인근 지역의 지진 발생 확률이 높음을 의미하며, 현재에도 여진이 계속되고 있어 방재대책이 신속히 강구되어야 할 지역이다. 한국 지질자원 연구원 (경북도민일보, 2018)에서는 해당 지역에 규모 6.0이상의 대형 지진이 언제든 발생할 수 있음을 시사하고 있다.

그림 4-26 | 포항시 지진피해 사례



자료 :

- a. 중앙일보, 2017. [금주 뉴시스 포토①] 지진영향 받아 파손된 기동, 11월 18일 기사
- b. 쿠키 뉴스, 2017 포항 지진 피해 속속…인명·시설 피해 잇따라, 11월 15일 기사

(2) 방재도로의 선정

① 재난 위험에 대한 노출

해당 지역에 대한 지진해석을 위해 다음과 같은 지진 특성을 가정하였다. 액상화 분석 시 재현주기 500년에 해당하는 지반가속도 0.11g와 재현주기 1,000년에 해당하는 지반가속도 0.154g를 적용하여 분석을 수행하였으며, 분석 결과에 따른 LPI 단계 설정 및 해석은 다음과 같다.

- LPI 0 : 지진으로 인한 액상화 피해가 우려되지 않음
- LPI 0이상 5미만 : 지진 시 액상화가 발생 할 수 있으나 피해는 우려되지 않음
- LPI 5이상 15미만 : 지진 시 액상화로 인한 피해가 가능하여 주의할 만한 곳
- LPI 15초과 : 지진 시 액상화 발생가능성 높고, 피해가 심각 할 수 있는 곳

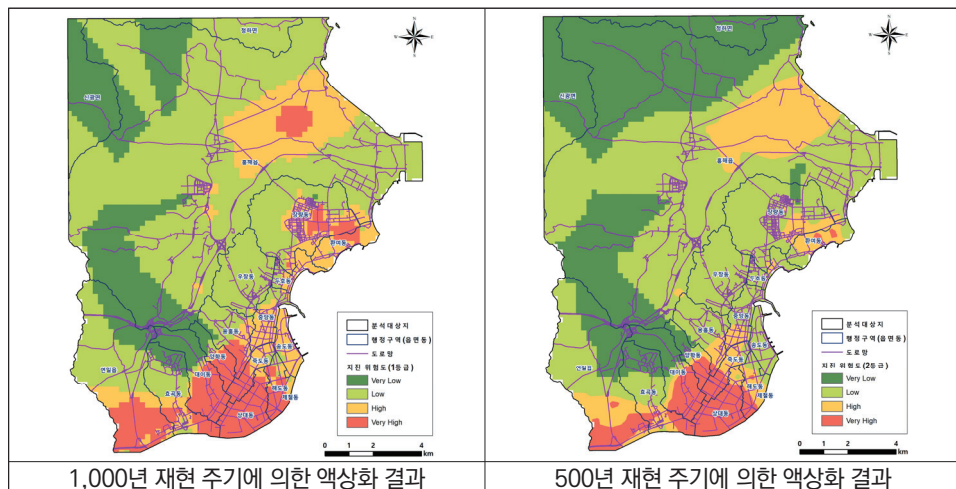
표 4- 11 | 액상화 분석 결과에 따른 액상화 단계별 설명

영향권 침수 단계	LPI 범위에 따른 해석	LPI 범위
Red zone	지진 시 액상화로 인한 피해가 매우 심각할 수 있는 단계	- 15 < LPI
Orange zone	지진 시 액상화로 인한 피해가 발생할 수 있어 주의할 만한 곳	- 5 < LPI ≤ 15
Yellow zone	지진 시 액상화토가 발생 할 수 있으나 영향이 크게 우려되지 않는 곳	- 0 < LPI ≤ 5
Green zone	지진 시 액상화로 인한 피해가 우려되지 않는 곳	- 0

자료 : Seed & Idriss (1971)

액상화 분석 결과, 분석대상 지역의 액상화 위험 구역은 대부분 LPI지수 15를 넘는 액상화 위험구역으로 지진 시 액상화로 인해 매우 심각한 재난이 발생 될 것으로 예상 되었다. 상대동 대부분 지역, 효곡동, 대이동, 양학동, 죽도동 남부 지역이 액상화로 인한 피해가 클 것으로 예상되었으며, 재현주기 1,000년 지진의 경우, 액상화 발생 위험 지역이 더욱 확장되는 것을 알 수 있다. 포항지진의 진원으로 알려진 송도동과 흥해읍 지역도 포함하고 있다. 이어지는 분석은 지진 피해의 영향이 큰 재현주기 1,000년 지진을 바탕으로 한다.

그림 4-27 | 사례지역 지진 해석 결과

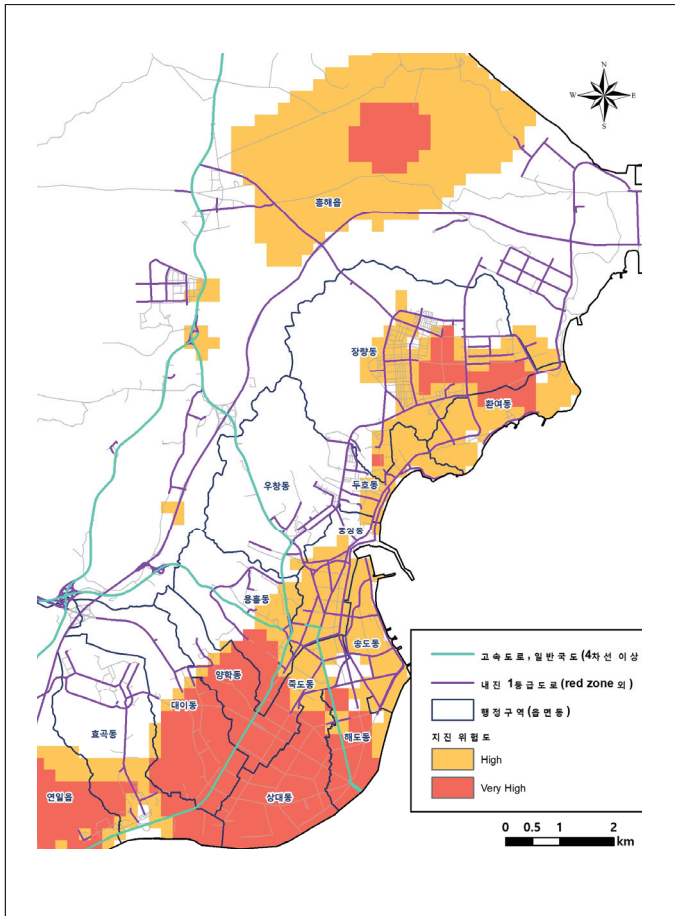


자료 : 저자 작성

② 지진재해로부터 활용 가능한 구간 파악

액상화 분석을 통한 위험지역이 4단계로 구분되므로 해당 위험수준에도 기능수준을 유지할 수 있는 도로 구간을 파악하여 방재도로로 활용할 필요가 있다. 1,000년 재현 주기의 지진에도 I 등급 도로는 붕괴방지 수준의 영향을 예상할 수 있으나, 본 연구에 의하면 그 영향의 세기가 구분되어 있어, red 존이외의 지역은 붕괴방지 수준 이상의

그림 4-28 | 지진재해로부터 활용 가능한 구간 파악 결과



자료 : 저자 작성

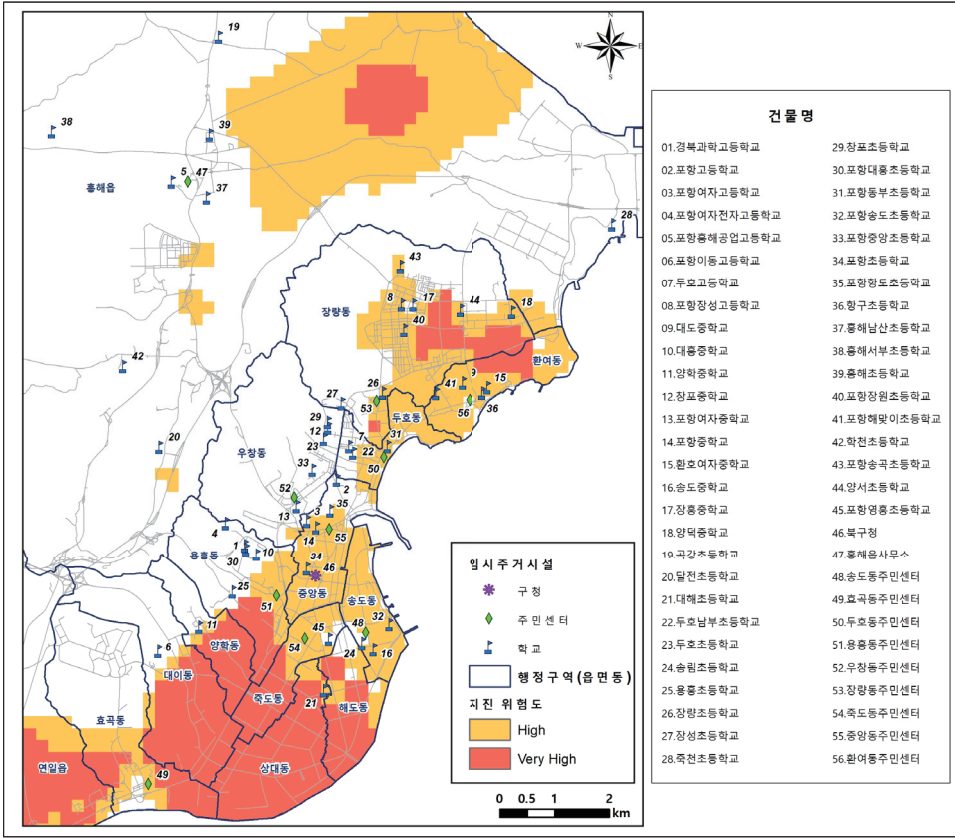
기능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 다음과 같은 활용 가능 구간을 선정한다. red 존지역내 I 등급 도로 (고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시 또는 일반 국도상의 도로) 중 고속도로만을, red 존이외의 지역에 분포한 I 등급 도로는 모두 방재도로로 활용 가능한 구간으로 선정하였다. red 존지역내 최고 등급의 도로를 방재도로로 활용하고자 함은 액상화 위험지역에 아무런 도로망

이 없을 경우, 해당 지역으로의 구호물자 전달 그리고 복구 과정에 이용될 도로 인프라가 없음을 염두해 둔 조치로 볼 수 있다.

③ 임시주거시설의 선정

액상화 분석에 따른 위험지역 (Red zone)을 제외하고 임시주거시설을 선정한 결과, 45개소의 학교와, 11개소의 관공서가 선정되었다. 재현주기 1,000년 지진을 가정하였을 때, 위험지역내의 임시주거시설은 최대한 배제하여 선정하였으며, 선정된 임시주거시설의 위치는 다음과 같다.

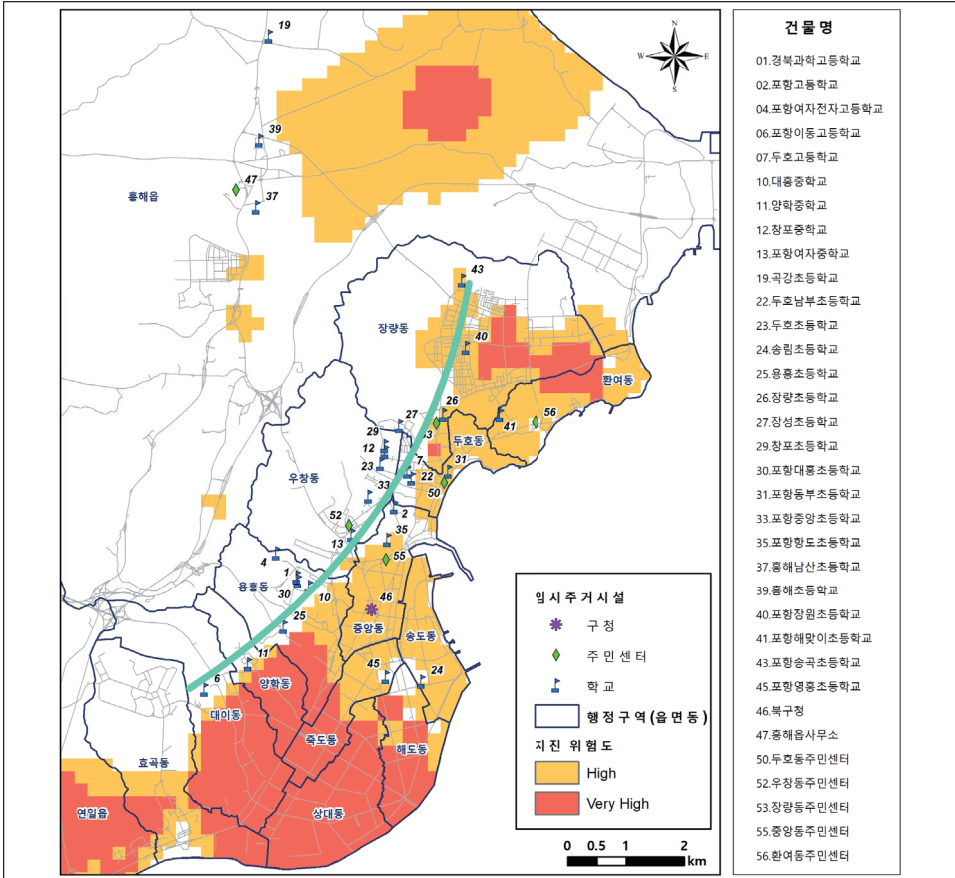
그림 4-29 | 임시주거시설의 선정 과정



자료 : 저자 작성

45개소의 학교와, 11개의 관공서 중 향후 여진, 복구의 장기화 등을 고려할 때 주의가 필요한 지역 또한 최대한 배재하는 방향으로 선정한 결과, 27개소의 학교, 7개의 관공서가 선택되었다. 임시주거시설로 선정된 학교 및 관공서는 주로 용흥동, 우창동, 장량동의 남북을 사선방향으로 가로지르는 일종의 벨트라인을 따라 형성되고 있는 것으로 나타났다.

그림 4-30 | 임시주거시설의 선정 결과

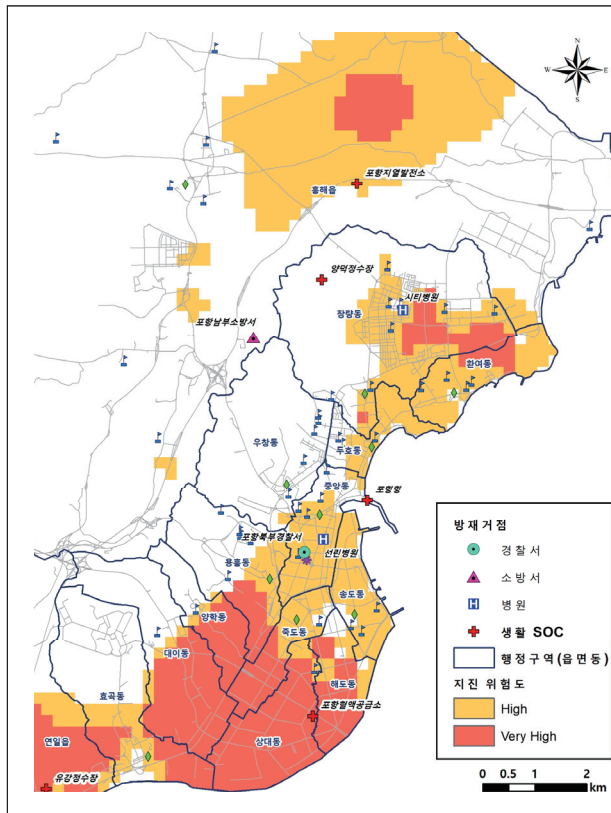


자료 : 저자 작성

④ 방재거점 및 주요 생활 SOC 선정

임시주거시설로의 구호물자를 지원하게 될 경찰서, 병원, 소방서의 위치 및 정수장, 발전소와 같은 생활 SOC 시설의 위치를 파악한 결과는 다음과 같다. 방재거점은 중앙동에 위치한 경북 포항 북부 경찰서, 좋은 선린병원이 선정되었다. 선린병원의 경우, 주변에 선린재활 요양병원도 있어 충분한 공간을 제공할 것으로 판단된다. 이 때, 대규모 병원시설인 경북 포항의료원의 경우, 위험지역에 속해 방재거점으로 선정하지 못하였다.

그림 4-31 | 방재거점 및 생활 SOC 분포



자료 : 저자 작성

포항 북부 경찰서, 좋은 선린병원은 주의 수준의 위험 지역에 속하나, 지진 재해 발생 시 포항 북부 지역을 짧은 시간내에 도달할 수 있는 지리적 장점이 있어 방재거점으로 선정하였으며, 장량동과 환여동 등의 사례분석 북측 지역을 위한 방재거점은 시티병원과 포항 남부소방서를 선정하였다.

사례 분석 지역의 생활 SOC는 국가기반시설로 인정되는 시설 종류 중 포항지역에 속한 시설로, 포항 지열발전소, 양덕 정수장, 포항항, 유강 정수장, 포항 혈액 공급소가 해당된다. 이 중, 유강 정수장, 포항 혈액 공급소 이외의 시설은 비교적 지진 피해가 적을 것으로 예상되는 곳에 위치해 있어 특별한 방재도로의 선정은 필요해 보이지 않는다. 유강 정수장, 포항 혈액 공급소의 경우, 이를 이용하는 이용자의 이동성 제공을 위해 도로를 연결하기 보다는 다른 방식 (헬리콥터를 이용한 항공 접근 등)의 이동성 부여 방안을 고려하는 것이 비용 효과 측면에서 합리적으로 판단되어 방재도로 선정을 위한 주요 생활 SOC의 연결대상에서 제외 하였다.

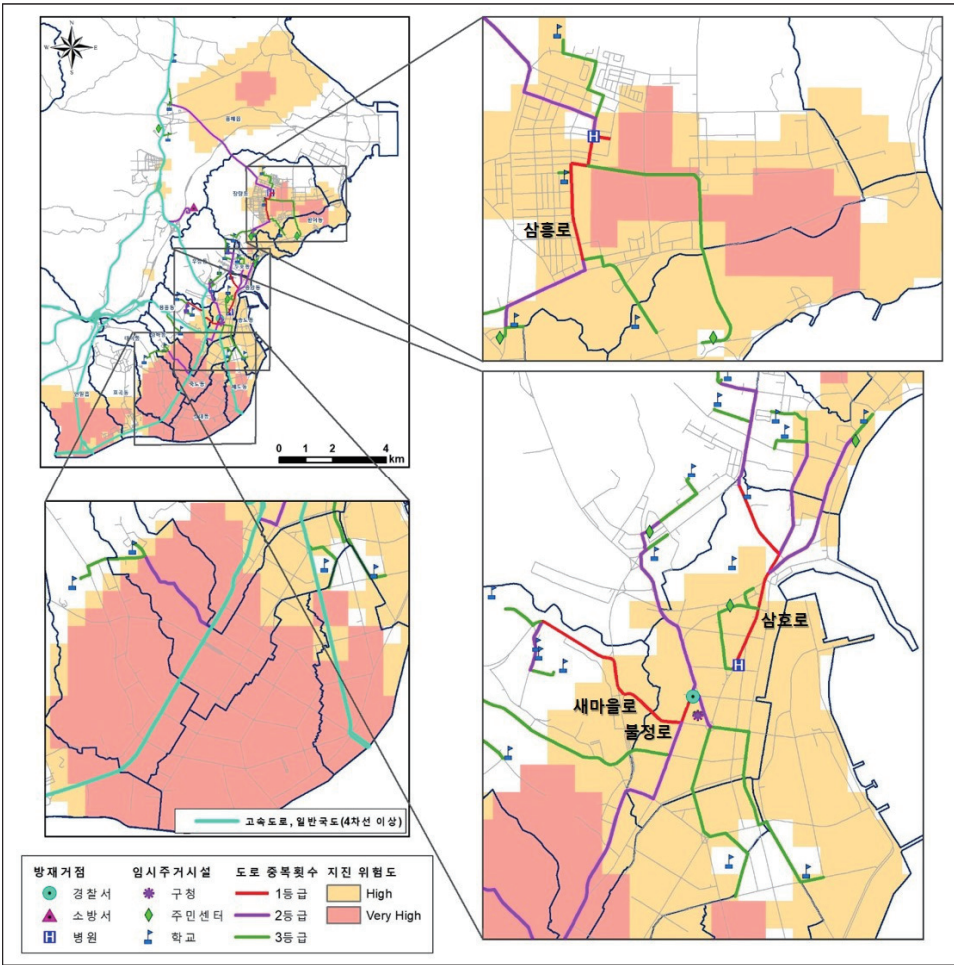
⑤ 방재도로의 선정

임시주거시설과 방재거점을 연결하는 최단소요시간 경로 분석을 통해 방재도로를 선정하였으며 이들을 연결하는 다양한 경로들에 의해 자주 이용되는 구간을 바탕으로 방재도로의 등급을 결정하였다. 이용되는 회수를 기준으로 방재도로를 1, 2, 3 등급으로 구분하였다.

중요도에 따른 방재도로를 구분한 결과, 방재거점을 기준으로 중요한 방재도로가 선정됨을 알 수 있었다. 방재거점으로 선정된 경북 포항 북부 경찰서, 좋은 선린병원, 시티병원을 중심으로 중요 방재도로가 선정되고, 이러한 방재도로는 그림 [4-30]의 벨트라인 방향으로 형성되고 있었다. 북쪽 지역의 시티병원은 남쪽 지역에 위치한 임시주거시설 방향으로 통행이 형성되어 삼호로 등이 중요 방재도로로 선정되고 선린 병원의 경우, 이와 반대로 벨트라인 방향의 임시주거시설이 상대적으로 북쪽에 위치해 있어 삼호로 및 그 연결로가 중요 방재도로로 선정되었다. 포항 북부 경찰서의 경우, 불정로를 따라 새마을로로 연결되는 도로가 임시주거시설로의 주된 통행경로인 것으로 분석되었다.

red 존 지역의 경우, 내진 1등급 중 붕괴방지수준을 기대할 수 있는 고속도로만이 방재도로로 선정 되었다. 그럼에도 상대동 일대 지역은 1등급 도로가 없어, 재난 시, 이동성을 제고할 만한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

그림 4-32 | 방재도로 선정 결과



자료 : 저자 작성



CHAPTER 5

방재도로의 운영 및 유지·관리 방향

- 1. 방재도로의 운영 방향 | 107
- 2. 방재도로의 유지·관리 방향 | 112

방재도로의 운영 및 유지·관리 방향

본 장에서는 앞서 선정된 방재도로를 운영하는 방안에 대해 알아본다. 재난안전법의 재난 대응 메뉴얼을 토대로 사전에 선정된 방재도로를 효율적으로 이용하기 위한 효율적인 운영방안을 제시한다. 더불어, 선정된 방재도로가 평시에 방재도로의 역할을 유지할 수 있도록 유지·관리 하는 방안 및 이를 위한 유지·관리 체계의 수립, 유지·보수·관리를 위한 아이디어를 제시한다.

1. 방재도로의 운영 방향

1) 방재도로 운영방식

(1) 사전선정, 사전 + 현장 선정, 현장 선정을 통한 방재도로 운영

이 준 외 (2016)는 방재도로의 선정 및 운영에 대해 시간적 측면에서 다음과 같은 3가지 방식 (사전 선정, 사전 + 현장 선정, 현장 선정)을 제시하였다. 사전 선정은 과거 재해 및 피해 자료를 바탕으로 방재도로를 선정하고 이를 관리하는 방식으로 재난 발생 후 복구의 우선순위를 쉽게 파악 가능하므로 신속한 복구작업을 유도하는 장점이 있다. 그러나 재난 예측이 빗나갈 경우, 상당한 비효율을 초래하는 단점이 존재한다. 사전 + 현장 선정은 사전 선정과 같이 과거 자료를 바탕으로 분석을 통해 방재도로를 사전에 선정 후, 재난 발생 시 현장 지휘관의 판단 하에 사전에 선정된 방재도로와 그 이외의 도로를 대상으로 현장 상황에 필요한 방재도로를 선정하는 방식이다. 이는 현

장 지휘관의 판단을 바탕으로 하므로 상황 변화에 긴밀하게 대응 할 수 있으며, 재난의 규모가 커도 사전에 방재도로를 선정한 범위만큼의 대응 범위를 넓힐 수 있는 장점이 있다. 그러나 이 경우에도 재난 예측이 빗나갈 경우, 상당한 비효율을 초래하는 단점이 있으며, 사전 지정된 도로가 많을수록 혼란을 초래할 가능성을 내포하고 있다. 현장 선정은 현재의 방재체계와 거의 동일한 방식으로 사전에 선정된 방재도로 없이 전적으로 현장 지휘관의 판단에 맡기는 방식으로 사전에 선정하는 방재도로가 없으므로 관리 비용 등이 소요되지 않는 장점이 있다. 반면, 현장 지휘관의 상황 판단을 바탕으로 방재도로가 선정되므로 잘못된 판단은 재난 대응 역량을 오히려 저감 시킬 우려가 있으며, 현장 지휘관의 가시적인 지휘 체계 범위에서만 이루어지므로 대규모 재난 발생 시에는 대응력이 떨어질 수 있는 단점이 있다.

표 5-1 | 방재도로 운영 방식 비교

구분	사전 선정	사전 + 현장 선정	현장 선정
선정방식	- 과거 재해 및 피해 자료를 바탕으로 작성	- 사전 선정된 방재도로 중 현장상황을 감안하여 선정	- 재난 현장의 정보와 현장상황을 판단하고 선정 (사전에 계획된 방재도로는 없음)
선정근거	- 과학적 분석 방식 적용 가능	- 과학적 분석 방식 적용 가능	- 현장 지휘관의 판단
장점	- 재난 발생 후 복구 우선순위에 속해 신속한 복구 작업 유도	- 상황 변화에 긴밀하게 대응 가능 - 대규모 재난 발생에도 적절한 대응 가능	- 예측에 의한 재난 피해보다 현장상황에 의한 판단이므로 상황 변화에 긴밀하게 대응 가능
단점	- 재난 예측에 따른 방재도로 선정이 빗나갈 경우, 상당한 비효율 초래	- 재난 예측에 따른 방재도로 선정이 빗나갈 경우, 상당한 비효율 초래 - 사전 지정된 도로가 많을수록 혼란 초래 가능	- 현장 지휘관의 판단에 의지하므로 경황이 없는 상황에서 잘못된 지정은 재난 대응 역량을 저감시킬 우려 - 현장 지휘관의 지휘 체계 범위에서만 이루어지므로 대규모 재난 발생에는 적합하지 않음

자료 : 이 준 외 (2016) 재구성

2) 재해유형별 방재도로 운영 방향

(1) 수재해 발생 시 방재도로 운영

수재해 발생 시 방재도로 운영의 기본 방향은 침수 예상 지역의 주민을 신속히 인근 임시주거시설로 유도하는 목적으로 운영한다.

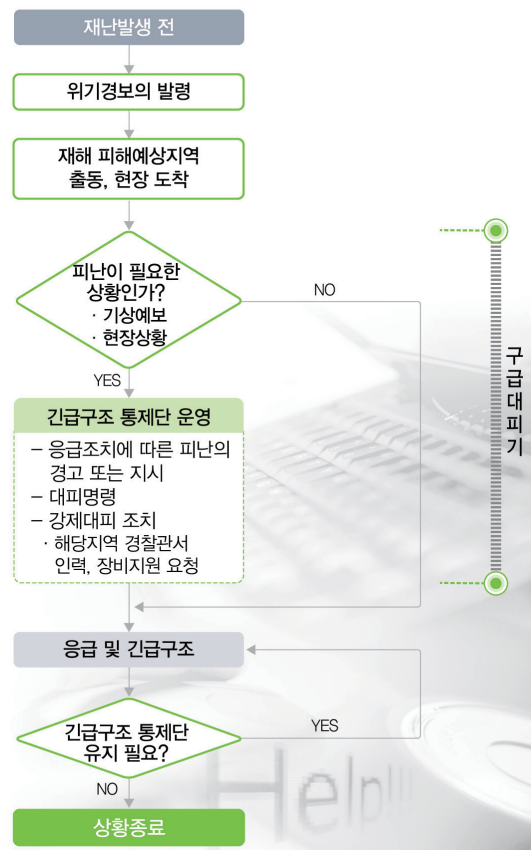
수재해 대비 방재도로의 운영은 사전 + 현장 선정 방식이 적합할 것으로 판단된다. 현재 수재해의 징후 (비가 많이 오고, 예보를 통한 지속 여부)를 통해 강우에 대한 향후 판단이 어느 정도 가능하고, 수재해로 인해 침수가 예상되는 저지대 지역은 과거 재해 및 피해 이력으로 쉽게 판단 가능하기 때문이다.

이러한 과거 재해 및 피해 이력과 과학적 분석을 통해 임시주거시설로 접근 경로를 선정한 방재도로는 침수 지역을 최대한 배제하여 선정 되었으며, 여기에 현장의 상황을 함께 고려 할 경우, 가장 안전한 피난 경로 선정이 이루어 질 것으로 판단된다.

이를 위한 운영 절차는 다음과 같다. 위기경보의 발령 등으로

수재해가 임박하거나 침수 등의 재난 피해가 예상되면 지역통제단장은 재난 피해가 예

그림 5-1 | 수재해 발생 시 방재도로 운영 절차



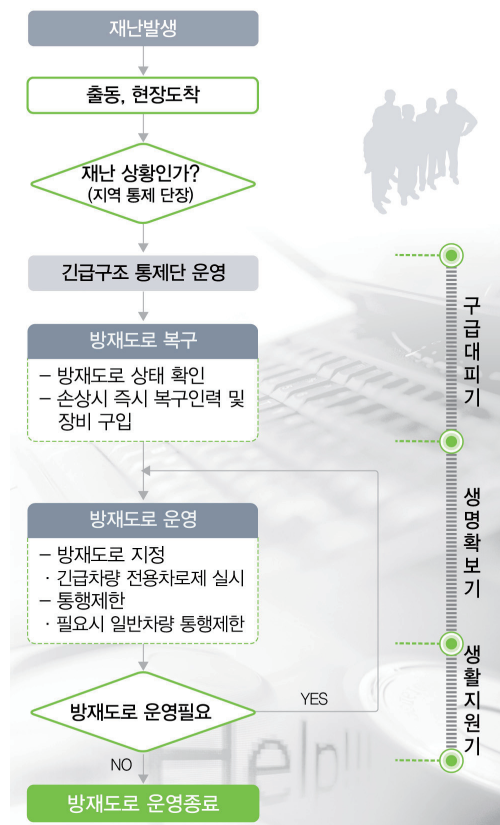
상되는 지역으로 출동하여 피난이 필요한 상황인가에 대해 판단한다. 현장 상황과 기상 예보를 통해 피난이 필요하다고 판단되면 긴급구조통제단을 즉시 운영하고 수재해 피해지역의 주민들을 주변 방재 거점으로 이동 하도록 대피를 명령한다. 이 때, 지역통제단장은 해당 지역의 수재해 대비 방재도로와 현장의 침수 상황을 고려하여 임시주거 시설로의 방재도로를 선정하고 이를 경유하여 침수 피해 예상 지역의 주민을 신속하게 이동하도록 명령한다. 재난안전법 제 42조에 따라, 위험지역 안의 주민이나 그 안에 있는 사람들이 그 명령을 이행하지 않는 경우에는 강제로 대피시키거나 퇴거시킬 수 있다. 이 때, 필요하다고 인정하면 관할 경찰관서의 장에게 필요한 인력 및 장비의 지원을 요청할 수 있으며, 피난 후 후속 조치로 응급 조치 및 긴급 구조를 실시하고, 재해 상황이 종료 될 때 까지 긴급구조통제단을 계속 운영한다.

(2) 지진재해 발생 시 방재도로 운영

지진재해 발생 시 방재도로 운영의 기본 방향은 지진으로 인해 방재도로가 손실되었을 경우, 신속한 복구를 우선으로 실시하며 방재도로를 통해 구호물자 및 인력의 이동을 원활히 할 수 있도록 통행을 유도한다.

지진재해 대비 방재도로의 운영 또한 사전 + 현장 선정 방식이 적합할 것으로 판단된다. 지

그림 5-2 | 지진재해 발생 시 방재도로 운영 절차



진은 그 세기 및 발생시기에 대한 불확실성이 매우 높으므로 사전에 내진 등급이 높은 도로를 선정하였다 할지라도 도로의 피해 상황을 판단 후 방재도로를 선정하는 것이 합리적일 것으로 판단되기 때문이다. 지진재해의 피해 지역이 규모면에서 상당히 넓고, 본 연구에서 목적하는 지진재해의 방재도로는 생명확보기와 생활지원기를 뒷받침하는 도로의 성격도 포함하므로 현장 선택 방식은 적합하지 않을 것으로 사료된다.

이를 위한 운영 절차는 다음과 같다. 먼저, 방재도로의 상태를 확인하고 손상된 도로를 즉시 복구한다. 지진재해 발생 직후 현장 지휘자는 사전에 선정된 방재도로구간에 대한 상태 파악 후 이를 즉시 복구 할 수 있도록 조치하도록 한다. 복구가 불가능할 정도의 피해를 입은 경우, 이를 대체할 만한 우회 도로 선정 및 우회도로로의 진입을 위한 연결로를 설치한다. 재난 발생 후, 생명 확보기에 이르면 구호 물자의 효율적 이동을 위한 방재도로 구간을 선정하고 (사전 + 현장 선택 방식) 선정된 방재도로로 해당 목적의 통행을 유도한다. 재난 피해 이재민을 구출하는 구급대피기가 아닌 생명 확보기에는 일반 차량의 통행도 발생되므로 전용차로제를 실시함으로써 제한된 도로 용량의 효율적 이용을 도모한다.

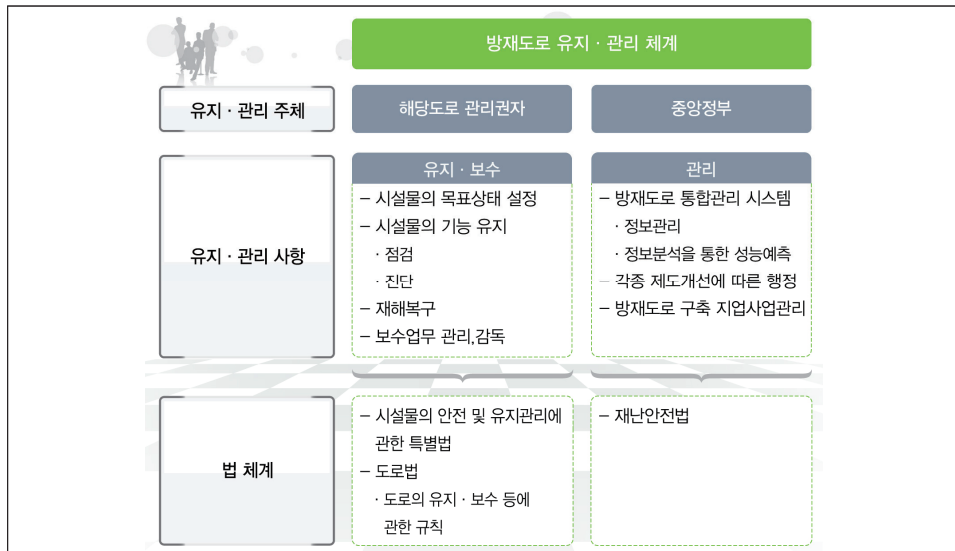
2. 방재도로의 유지·관리 방향

1) 방재도로 유지·관리 체계 수립

체계적이고 제도에 근거한 방재도로의 관리를 위해 방재도로 유지·관리 체계를 수립하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 방재도로의 물리적인 유지·보수와 그러한 행위를 적절하게 뒷받침하는 관리 체계로 구분하고 이러한 체계를 제도화 할 수 있는 법·제도와 적절한 유지·관리 주체를 제시한다.

먼저, 유지·보수의 주체는 현재 해당 도로 관리권자가, 방재도로 통합관리 시스템은 중앙정부의 역할로 구분하였다. 방재도로는 신설이 아닌 기존 도로를 방재도로로 지정하여 이를 해당 방재도로의 중요도에 적합하도록 유지·보수하는 것이므로 기존의 도로 관리권자가 유지·보수의 역할을 유지하는 것이 합리적이다. 반면, 방재도로에 관한 정보 및 방재도로 정보에 대한 기술적 관리는 중앙정부가 통합적으로 관리할 필요가 있다.

그림 5-3 | 방재도로 유지·관리 체계



자료 : 저자 작성

방재도로의 유지·관리를 위한 법체계는 기존 도로가 방재도로로 지정됨으로 인해 유지·관리 수준이 강화되는 변화를 뒷받침 할 수 있도록 개선되어야 할 필요가 있다. 이를 위해, 새로운 법의 도입 보다는 기존 관련법 (도로법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 및 재난안전법) 을 최대한 활용하는 방향의 법률 조항 개정이 필요할 것으로 판단된다. 방재도로의 유지·보수 및 관리 전략에 대한 상세한 내용은 다음과 같다.

(1) 방재도로의 유지·보수

방재도로는 필요할 경우 (예: 태풍이나 호우가 예상될 경우) 수시로 집중 점검을 받을 수 있고 정기적으로도 유지·보수의 대상이 되어 언제 닥칠지 모르는 재난 상황에 본래의 기능을 유지할 수 있도록 관리하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 방재도로를 수시 및 정기적으로 안전 진단을 받을 수 있는 대상으로 설정하는 방안을 제시한다.

먼저, 수시적 점검을 위해서는 재난안전법에서 정의하는 특정관리대상시설로 지정하여 필요시 긴급안전점검을 받을 수 있는 대상이 될 수 있도록 한다. 중요도가 높은 방재도로의 상태를 수시로 확인 가능하게 하는 효과를 보일 것으로 판단되기 때문이다.

정기적 관점의 안전 점검을 위해서는 중요 방재도로의 시설등급 조정을 제안한다. 시설등급을 조정하여 그에 따른 안전 점검 및 진단 기준의 상향 조정을 유도할 수 있을 것으로 판단되기 때문이다.

표 5-2 | 안전 점검 및 정밀안전진단의 주기

구분	안전점검			정밀안전진단	
	정기점검	정밀점검	긴급점검		
대상	1·2종 시설물			1종 시설물	2종 시설물
최소 주기	6월에 1회	- 2년 1회 - 단, 건축물 1회/3년, 항만 1회/4년	- 관리주체나 관계행정 기관의 장이 필요하다고 판단한 경우	- 안전점검 결과 필요시, 10년 경 과후 5년 1회 이상	- 안전점검 결과 필요시

자료 : 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법

현재 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법에 의해 관리되는 도로 시설은 연장 100미터 이상의 교량, 고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도의 도로 터널, 1,000미터 이상의 도로 터널이다. 1등급의 중요도를 가지는 방재도로 구간의 경우, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법에 의해 제2종 시설로 조정될 필요가 있다. 이는 사회기반시설 등 재난이 발생할 위험이 높거나 재난을 예방하기 위하여 계속적으로 관리할 필요가 있는 시설물을 2종 시설물로 선정한 취지에도 부합한다.

(2) 방재도로의 관리

① 방재도로 통합관리 시스템

현재 도로 시설물의 이력관리는 시설물별 혹은 관리 주체별로 분리되어 운영되고 있다. 시설물별로는 도로포장, 도로비탈면, 교량, 터널, 도로표지를 위한 관리시스템 등과 같이 시설물에 따른 관리시스템이 운영 중에 있으며, 관리 주체별로는 국토교통부의 도로관리통합시스템, 한국시설안전공단의 시설물정보관리종합시스템, 한국도로공사의 Hi-유지관리 시스템이 있다. 시설물별 혹은 관리 주체별 도로 관리 시스템은 시스템이 목적하는 해당 시설물 혹은 관리 주체가 관할하는 도로만 관리하게 되어있어 해당 시설의 효율적인 유지·관리 목적에만 적합한 자료와 이력관리를 수행하고 있는 상황이다. 시설물 기반의 유지·관리를 목적으로 하는 관리 시스템이 아닌 목적 기반의 방재도로 관리 시스템을 운영 하여 재해 발생 대비 효율적인 이력 관리 시스템이 구축될 경우, 주기별로 방재도로로써의 기능에 대한 평가가 가능하여 향후 방재도로 선정에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

② 방재도로 구축 지원 사업

방재도로 구축에 대한 중앙정부의 보조금 지원 사업을 수립하여 기존 도로가 중요 방재도로로 선정되어 유지·보수 기준이 강화됨에 따라 유지·관리 비용이 증가한 경우, 중앙정부로부터 보조금을 요청하여 지자체의 비용 부담을 완화할 필요가 있다.



CHAPTER 6

방재도로 도입을 위한 제도 개선 방향

1. 방재도로의 지정 | 117

2. 방재도로의 운영 및 유지·관리를 위한 법·제도 개선
| 122

방재도로 도입을 위한 제도 개선 방향

본 장에서는 방재도로의 도입을 위한 구체적인 제도 개선 방안을 살펴본다. 앞서 제시한 방재도로의 운영, 유지·관리, 보수를 위해 제시된 다양한 아이디어에 대한 법체계 측면에서의 구체적인 제도 개선방안을 알아본다. 더불어, 방재도로 도입을 위한 실질적인 요건을 특정 하는 방재도로 도입 대상 지자체 선정 요건도 제시한다.

1. 방재도로의 지정

방재도로의 지정을 위한 법률 개선의 가장 첫 번째 고려사항은 방재도로의 정의를 통한 개념 도입 및 어느 지역을 대상으로 할 것인가에 대한 기준 설정 등이다.

- 재난상황에서 방재도로와 관련된 통행 관련 조치를 규정하는 법률에는 재난안전법, 도로법, 도로교통법 등이 있음
 - 재난안전법, 도로법, 도로교통법 모두 재난으로 인한 긴급 상황 발생시, 지역 통제단장, 도로의 관리권자 혹은 경찰에게 통행 제한의 권한을 부여하고 있음
- 본 연구에서는 재난안전법을 기준으로 법·제도 개선방향을 다루기로 함
 - 재난 안전법은 재난 대비 안전관리 체계 확립, 재난관리의 각 단계의 필요한 법 규정을 다루고 있어 재난 피해 저감을 목표로 하는 방재도로의 도입 취지와 가장 근접

1) 방재도로 개념의 도입

(1) 방재도로의 정의

방재도로를 재난관리책임기관·긴급구조기관 및 긴급구조지원기관이 재난 현장의 질서와 구호물자 및 인력의 신속한 이동을 위해 구축·운영하는 도로로 정의한다. 이를 도입하는 방법은 재난안전법의 개정을 통한 방식, 그리고 도로법 제8조를 통한 도입 방식 고려 가능하다.

도로법 8조는 대도시권 교통혼잡도로 개선사업에 대한 법률로서 방재도로와 같이 특정 목적의 도로사업을 도입하기 위해 제정되었으며, 도로법 제8조2항 방재도로 개선 계획 및 사업계획 수립을 의무화 하는 방식의 법률적 방재도로 개선사업계획 도입을 명시하고 있다.

재난안전법 개정(안)

제3조 (정의) 이 법에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

－ 중략 －

12. “방재도로”란 재난관리책임기관·긴급구조기관 및 긴급구조지원기관이 재난 현장의 질서와 구호물자 및 인력의 신속한 이동을 위해 구축·운영하는 도로를 말한다.

도로법 개정(안)

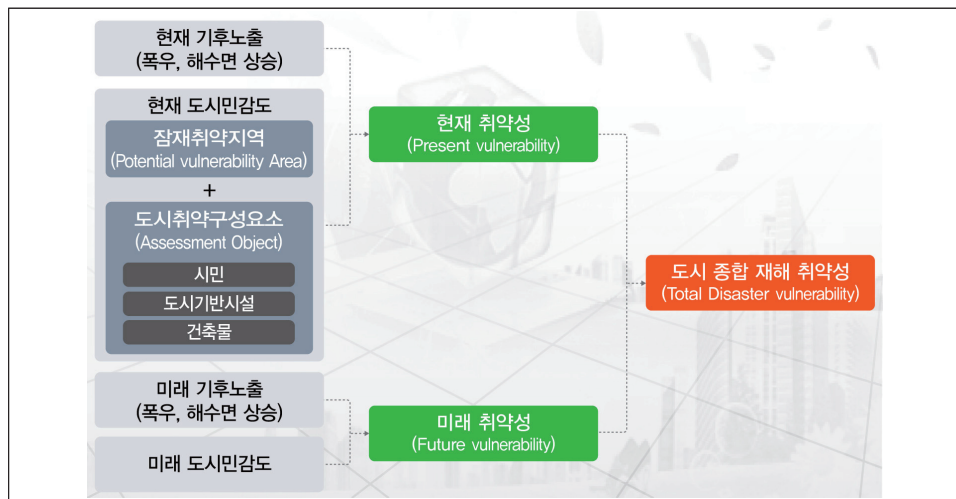
기존	개정(안)
제8조 (대도시권 교통혼잡도로 개선) ① 국토교통부장관은 시·도지사 또는 시장·군수·구청장이 도로관리청인 도로 중 대도시권의 주요 간선도로로서 교통 혼잡의 해소, 물류의 원활한 흐름을 위하여 개선사업의 시행이 필요한 구간의 도로(이하 "대도시권 교통혼잡도로"라 한다)에 대하여 5년마다 권역별로 대도시권 교통혼잡도로 개선사업계획(이하 이 조에서 "사업계획"이라 한다)을 수립하여야 한다.	제8조의1 (대도시권 교통혼잡도로 개선) 좌동 제8조의2 (방재도로 개선) ① 국토교통부장관은 시·도지사 또는 시장·군수·구청장이 도로관리청인 도로 중 재난 시 주요 대피로, 물자수송 도로로서 개선사업의 시행이 필요한 구간의 도로에 대하여 5년마다 권역별로 방재도로 개선사업계획(이하 이 조에서 "사업계획"이라 한다)을 수립하여야 한다.

2) 방재도로 도입 대상 지자체 선정 요건

(1) 수재해

방재도로의 지정을 위한 대상 지자체의 선정은 수재해의 경우, 재해취약성분석 결과의 활용을 제시한다. 재해취약성분석은 재해예방형 도시계획 수립 시에 체계적인 판단 근거를 제공하기 위해 실시하는 기초조사로서 기후노출에 대해 폭우, 폭염, 폭설, 가뭄, 강풍, 해수면 상승의 측면에서 분석 지표를 산정한다. 재해취약성분석에 포함되는 다양한 기후노출 변수 중 폭우와 해수면 상승 지표만을 대상으로 현재 기후노출과 도시민감도, 미래 기후노출과 도시민감도를 통해 방재도로 도입 대상 지자체 결정을 위한 충분한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단되기 때문이다.

그림 6-1 | 특정재해(폭우와 해수면 상승) 만을 고려한 재해취약성분석



자료 : 국토연구원, (2013) p.10 재구성

(2) 지진재해

지진재해의 경우, 국가지진위험지도를 활용을 제시한다. 국가지진위험지도는 내진설계기준 설정 대상시설의 내진설계기준 제정 및 개정 시 근간이 되는 자료로써 지역별 지진의 위험도를 제시하여 지진재해 방재도로 지역선정에 객관적인 근거 자료의 역할이 가능하다. 국가지진위험지도에서 위험점수가 특정 점수 이상일 경우 방재도로 지정 대상 지자체로 선정한다.

재난안전법 개정(안)

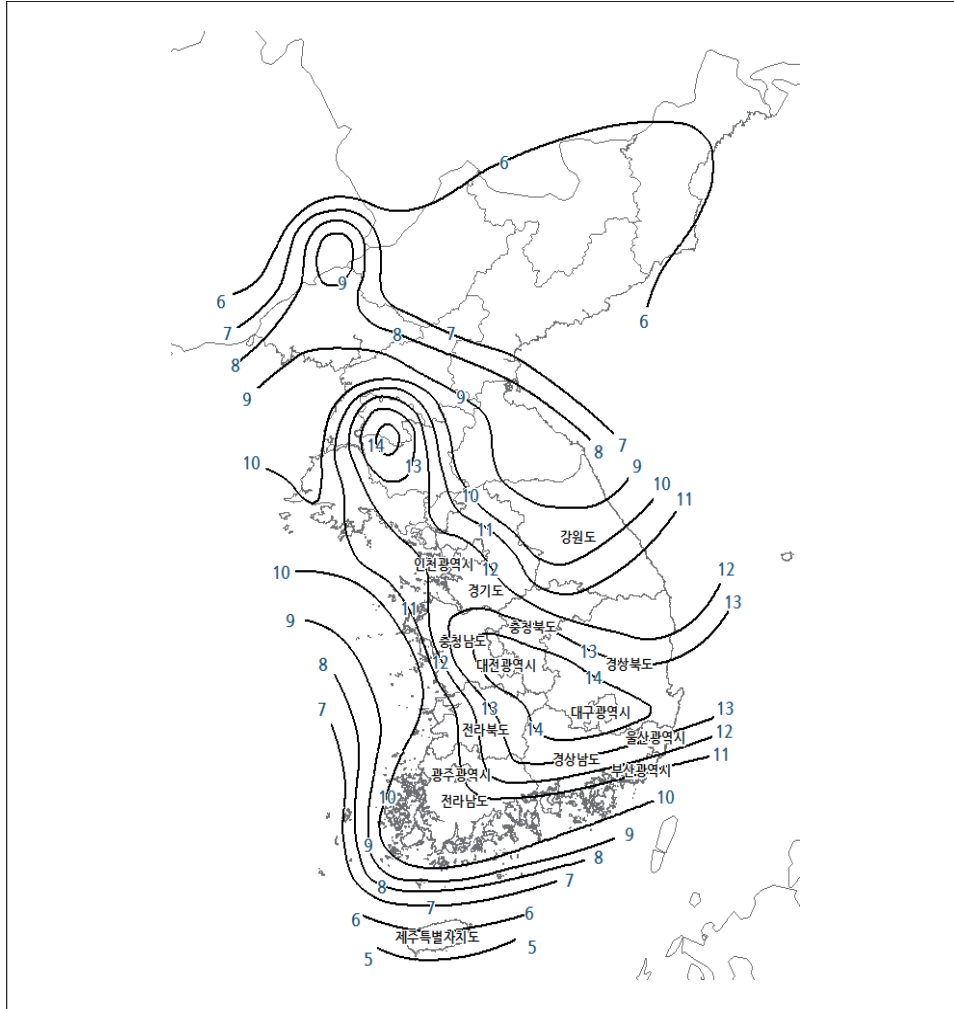
신설 (방재도로의 지정)

- ① 행정안전부장관은 체계적인 재난관리를 위하여 방재도로를 지정·운영하여야 하며, 재난관리책임기관·긴급구조기관 및 긴급구조지원기관(이하 이 조에서 "재난관련기관"이라 한다)은 재난관리에 방재도로를 사용하여야 한다.
 1. 방재도로의 지정이 필요한 지자체의 선정은 재해취약성분석의 결과 및 국가지진위험도를 참조하여 결정한다.
- ② 재난관련기관은 평상시 또는 재난발생 시를 대비하여 방재도로를 활용한 재난대응 절차를 마련하여야 한다.

3) 방재도로 지정을 위한 법률 개선 (안)

위의 지정 요건을 바탕으로 재난안전법의 재난 대비 단계에 방재도로 지정 관련 규정을 도입할 필요가 있다. 재난 대비 단계는 재난 관리 자원의 비축, 관리, 재난 현장의 긴급통신수단 마련과 같은 재난 대비 관련 시설의 지정, 구축, 관리를 규정하고 있어 방재도로 지정에 관한 법률을 도입하기에 적합한 것으로 판단된다.

그림 6-2 | 재현주기 1,000년 국가지진위험지도



자료 : 소방방재청 공고 제2013-179호 국가지진위험지도

2. 방재도로의 운영 및 유지·관리를 위한 법·제도 개선

1) 방재도로의 운영을 위한 제도 개선 방향

(1) 방재도로 운영관련 제도 개선의 기본 방향

방재도로의 운영은 수재해, 지진재해 모두 사전 + 현장 지정 방식을 통해 현장에서 최종적으로 방재도로를 지정하는 것이 가장 적절한 것으로 판단되었으나 재해 유형에 따라 운영의 시기 및 방법이 상이하어 이를 반영한 제도 개선이 필요하다.

수재해는 재해의 피해가 예견되어 대피 명령 발령 시 방재도로의 운영이 가능하도록 제도 개선이 필요하며, 지진재해는 재해 발생 후 방재도로의 운영을 위해 가장 먼저 방재도로 구간의 긴급 복구가 선행 되어야 하며, 이 후 지역통제단장의 방재도로 지정, 운영 단계로 전개한다. 이를 위해 아래와 같은 세부 사항별 제도 개선 방향을 제시한다.

① 사전 + 현장 지정 방식의 운영 방식 설정

통행제한을 규정하는 제43조에 통행제한만이 아닌 본 연구에서 제시한 사전 + 현장 운영 방식의 방재도로 지정을 추가한다.

재난안전법 개정 (안)	
기존	개정(안)
제43조 (통행제한 등) - 종략 - ② 제1항에 따른 요청을 받은 경찰관서의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.	제43조 (통행제한, 방재도로의 지정 및 운영 등) - 종략 - ② 수재해가 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 시장·군수·구청장과 지역통제단장은 지역 주변에 사전 지정된 방재도로와 현재 피해 상황을 고려하여 해당 지역 주민이 가장 안정하고 신속하게 대피장소로 대피할 수 있는 방재도로를 지정한다. ③ 지진재해 시 시장·군수·구청장과 지역통제단장은 지역 주변에 사전 지정된 방재도로와 현재 피해 상황을 고려하여 방재도로를 지정하고 해당 물자의 이동만을 위한 전용차로제를 운영 할 수 있다. ④ 제1항에 따른 요청을 받은 경찰관서의 장은 특별한 사유가 없으면 요청에 따라야 한다.

② 방재도로의 긴급 복구

지진재해 시에는 손실된 방재도로의 응급 복구가 필요하므로 제37조 (응급조치)의 실행 항목에 포함한다. 재난 발생 시, 지역통제단장 등은 동원명령, 대피명령, 위험구역의 설정, 강제대피조치, 통행제한 등을 응급조치로 수행할 수 있다. 여기에, 방재도로의 응급복구 사항을 포함 시킬 것을 제시 한다. 방재도로의 응급복구는 최소한의 기능 유지수준으로 하고 복구만이 아닌 우회도로를 선정하는 것으로 대체 가능성을 추가적으로 규정하여 대안을 제시한다.

재난안전법 제6장 재난의 대응 제1절 응급조치 등

신설 (방재도로의 긴급 복구)

- ① 시장·군수·구청장과 지역통제단장(대통령령으로 정하는 권한을 행사하는 경우에만 해당한다)은 재난으로 인해 해당 지역에 사전 선정된 방재도로가 손실되었을 경우, 최소한의 기능유지를 위한 복구 조치를 취해야 한다.
1. 최소한의 기능유지를 위한 복구 조치는 대상 구간을 우회하는 도로를 방재도로로 지정함으로써 대체 가능하다.

③ 대피명령 시 방재도로로의 유도

재난이 예상되는 경우 발령하는 대피명령에 대해 주민을 대피 시킬 경우, 제43조에 규정된 방재도로로의 유도를 규정하도록 한다.

재난안전법 개정 (안)	
기존	개정(안)
제40조 (대피명령) ① 시장·군수·구청장과 지역통제단장(대통령령으로 정하는 권한을 행사하는 경우에만 해당한다. 이하 이 조에서 같다)은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체에 대한 위해를 방지하기 위하여 필요하면 해당 지역 주민이나 그 지역 안에 있는 사람에게 대피하거나 선박·자동차 등을 대피시킬 것을 명할 수 있다. 이 경우 미리 대피장소를 지정할 수 있다. - 이하 생략 -	제40조 (대피명령) ① 시장·군수·구청장과 지역통제단장(대통령령으로 정하는 권한을 행사하는 경우에만 해당한다. 이하 이 조에서 같다)은 재난이 발생하거나 발생할 우려가 있는 경우에 사람의 생명 또는 신체에 대한 위해를 방지하기 위하여 필요하면 해당 지역 주민이나 그 지역 안에 있는 사람에게 대피하거나 선박·자동차 등을 대피시킬 것을 명할 수 있다. 이 경우 관할 경찰관서의 장에게 필요한 인력을 요청하여 주민들을 제43조 ②항에 따른 방재도로로 유도하여 지정된 대피장소로 신속하고 안전하게 도달할 수 있도록 한다. - 이하 생략 -

2) 방재도로의 유지·관리를 위한 제도 개선 방향

(1) 방재도로의 유지·관리 제도 개선의 기본 방향

방재도로의 유지·관리를 위한 기본적인 방향은 방재도로의 중요도별로 차별적인 유지·관리 체계의 적용을 수립하는 것이며, 이외 방재도로의 관리 및 방재도로 구축의 추진력을 얻기 위한 정보화 사업 및 지원제도 등이 있다. 유지·관리와 관련된 안전점검 및 진단, 체계적 관리를 위한 방재도로 통합관리시스템의 구축, 그리고 방재도로 구축 사업의 지원을 들 수 있다. 이를 위해 아래와 같은 세부 사항별 제도 개선 방향을 제시한다.

① 안전점검 및 진단

재난안전법의 특정관리대상시설로 지정하여 필요시 긴급안전점검을 가능하게 한다. 중요도가 높은 방재도로를 재난안전법의 특정관리대상시설로 지정하여 재난 예방을 위한 긴급안전점검 대상 시설이 되도록 한다. 현재 도로 관련 특정관리대상시설은 터널·교량·지하도 및 육교가 포함된다.

긴급안전점검대상시설로 지정되면 재난이 발생할 우려가 있는 등 대통령령으로 정하는 긴급한 사유가 있을 경우, 긴급안전점검을 실시하게 되므로 시기적, 내용적으로 적절한 방재도로 관리가 이루어질 것으로 판단된다.

재난안전법 시행령 개정 (안)	
기존	개정(안)
별표 2의2 (특정관리대상시설 및 지역의 지정대상) -중략- 2. 「도로법 시행령」 제2조제2호에 따른 터널·교량·지하도 및 육교 - 이하 생략 -	별표 2의2 (특정관리대상시설 및 지역의 지정대상) -중략- 2. 「도로법 시행령」 제2조제2호에 따른 터널·교량·지하도 및 육교 (신설) 재난안전법에 의해 지정된 방재도로 중 '상' 등급의 도로구간 - 이하 생략 -

더불어, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법의 관리 대상 시설로 지정하여 정기적인 안전 및 진단을 받을 수 있도록 제도를 개선한다. 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법에서의 관리하는 1종, 2종, 3종 시설물에 중요도가 높은 방재도로를 2종 시설로 편입하도록 한다.

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 개정 (안)	
기존	개정(안)
제7조 (시설물의 종류) 시설물의 종류는 다음 각 호와 같다. 1. 제1종시설물: 공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 안전 및 유지관리에 고도의 기술이 필요한 대규모 시설물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설물 등 대통령령으로 정하는 시설물 가. 고속철도 교량, 연장 500미터 이상의 도로 및 철도 교량 나. 고속철도 및 도시철도 터널, 연장 1000미터 이상의 도로 및 철도 터널 - 중략 - 2. 제2종시설물: 제1종시설물 외에 사회기반시설 등 재난이 발생할 위험이 높거나 재난을 예방하기 위하여 계속적으로 관리할 필요가 있는 시설물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설물 등 대통령령으로 정하는 시설물 가. 연장 100미터 이상의 도로 및 철도 교량 나. 고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도 도로터널 및 특별시 또는 광역시에 있는 철도터널 - 이하 생략 -	제7조 (시설물의 종류) 시설물의 종류는 다음 각 호와 같다. 1. 제1종시설물: 공중의 이용편의와 안전을 도모하기 위하여 특별히 관리할 필요가 있거나 구조상 안전 및 유지관리에 고도의 기술이 필요한 대규모 시설물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설물 등 대통령령으로 정하는 시설물 가. 고속철도 교량, 연장 500미터 이상의 도로 및 철도 교량 나. 고속철도 및 도시철도 터널, 연장 1000미터 이상의 도로 및 철도 터널 - 중략 - 2. 제2종시설물: 제1종시설물 외에 사회기반시설 등 재난이 발생할 위험이 높거나 재난을 예방하기 위하여 계속적으로 관리할 필요가 있는 시설물로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 시설물 등 대통령령으로 정하는 시설물 가. 연장 100미터 이상의 도로 및 철도 교량 나. 고속국도, 일반국도, 특별시도 및 광역시도 도로터널 및 특별시 또는 광역시에 있는 철도터널 신설. 재난안전법에 의해 지정된 방재도로 중 '상' 등급의 방재도로 구간 - 이하 생략 -

② 방재도로 통합관리 시스템

방재도로 통합관리 시스템의 구축을 규정하고 이를 제공하는 플랫폼에 대해 새로운 개발이나 기존의 플랫폼을 이용하는 대안을 제시하였으며, 두 가지 구축 방식의 장·단점은 다음과 같다.

기존 도로 관리 시스템에 통합하는 방식은 개발 비용이 저렴하다는 장점이 있으나,

기존의 자료 체계에서 방재도로의 유지·관리 목적이 특화되지 못하여 방재도로 통합관리 시스템의 활용성이 저하될 우려가 있다. 예를 들어 도로관리통합시스템과 같은 중앙정부에서 운영하는 관리 시스템에 통합 운영하는 방법이 있다.

반면, 새로운 방재도로 통합관리 시스템을 개발하는 방식은 개발 비용과 시간이 소요되는 단점이 있으나, 방재도로 관리 목적에 부합한 유지·관리 시스템 개발로 활용성이 증대 될 것으로 기대된다.

재난안전법 제6장 재난의 대응 제1절 응급조치 등

신설 (방재도로 관련 정보 체계 구축)

① 행정안전부장관은 방재도로의 지정현황, 보수, 유지·관리 등과 관련하여 다음 각 호의 업무에 관한 정보시스템을 개발하거나 기존 정보시스템을 지정하여 일반에게 보급할 수 있다.

1. 방재도로의 지정현황
2. 방재도로의 보수, 유지·관리에 관한 이력 사항
3. 그 밖에 방재도로의 지정, 보수, 유지·관리에 대한 사항으로서 행정안전부장관이 필요하다고 인정하는 업무

③ 방재도로 구축 지원 사업

방재도로 구축을 원활히 추진하기 위한 중앙정부 보조금 지원 사업의 정착을 위해서는 지원규모에 대한 기준 및 지원 사업의 관리·운영 방안이 수립되어야 한다.

지원 사업이 공정하게 이루어지기 위해 지원기준의 설정 필요하다. 방재도로의 유지·관리에 필요한 방재도로의 사업비를 기준으로 지원기준이 마련되어야 할 것이다. 사업비에 대한 객관적이고 전문성 있는 검증을 위해 도로 사업에 경험이 있는 전문기관이 체계적인 기준과 절차를 통해 검증할 수 있도록 전문기관을 선정할 수 있도록 한다. 중복 지원 등의 불공정한 지원을 방지하기 위한 지원 사업의 사후 관리가 필요하며, 지원 사업에 대한 효율적인 관리를 위해 앞서 제안된 방재도로 통합관리 시스템을 통해 방재도로 지원사업의 이력 관리가 필요할 것이다.



CHAPTER 7

결론 및 정책제언

- 1. 연구결과 및 정책제언 | 129
- 2. 연구의 한계 및 향후 연구 방향 | 136

결론 및 정책제언

본 장에서는 연구의 주요내용과 주요 결과를 요약·정리하고 연구의 한계와 연구결과의 제한적인 부분들에 대해 언급한다. 또한 향후 연구를 위한 과제 제시를 통해 기후변화에 대응한 방재도로 구축이 더욱 과학적으로 선정되고 효율적으로 추진될 수 있는 방향을 제시한다.

1. 연구결과 및 정책제언

1) 연구의 주요 결과

지진 및 기상이변은 전 세계적인 이슈로 우리나라도 더 이상 기후변화와 지진발생에 있어 안전하지 않은 상황이다. 본 연구는 재난 발생 시 피난과 구호 물자의 이동을 위한 도로 인프라의 중요성에도 불구하고 방재도로가 없는 우리나라의 실정을 고려하여 방재도로의 선정을 주제로 연구를 수행하였다. 이를 위해, 방재도로의 역할 정립, 과학적 방법에 근거하여 선정하는 방법론의 개발 그리고 실제 재난 상황이 발생하였을 시 방재도로를 효율적으로 운영하는 방안, 마지막으로 방재도로의 선정을 위한 법적·제도적 정비 방안을 제시하였다.

특히, 본 연구는 방재도로가 없는 우리나라에서 방재도로의 필요성을 제기한 연구로 방재도로가 구축되지 않음으로 인해 야기될 수 있는 다양한 문제점을 검토 하여 방재도로의 필요성을 중점적으로 제기하였다. 시간관리가 중요한 재난상황 에서 방재도로는 구호활동을 위한 방재자원의 신속한 이동 공간을 확보하는데 상당한 기여를 하는 것으

로 알려져 있으며, 방재도로를 통해 방재자원의 현장 투입속도 향상, 초기 대응시간 확보 및 구호활동 지원으로 재난 피해 저감 및 재난의 장기화를 방지하는 역할 등의 다양한 효과를 기대할 수 있다.

특히, 본 연구에서는 재난 발생 시 즉각적으로 이용할 수 있는 사전에 선정된 방재도로의 필요성을 중점적으로 제기하였다. 방재자원의 신속한 이동을 위해 사전에 도로를 지정하고 이를 효율적으로 사용할 경우, 방재자원의 지연된 도착으로 인한 피해는 최소화 할 수 있다. 사전에 지정된 방재도로가 있다면 매우 혼잡하고 신속한 결정이 필요한 실제 재난 상황 발생 시 이동에 대한 적응력을 높여 재난 상황에 침착하게 대응할 수 있게 하는 기반이 되기 때문이다.

(1) 연구의 주요 결과

본 연구의 주요 결과는 방재도로의 과학적 선정 절차를 개발하고 이의 도입을 위한 다양한 법·제도적 개선 사항을 제시하였다는 것이다. 본문에서 제시된 방재도로의 선정 절차 및 방재도로의 도입을 위한 법·제도적 개선 사항을 요약하면 다음과 같다.

① 방재도로의 역할 정립에 따른 과학적 선정 기준 및 절차 개발

방재도로의 선정 기준을 개발하기 위해 외국의 사례를 참고하고 수재해로 인한 피해가 많고 지진재해가 자주 늘어나는 특성을 고려하여 수재해와 지진재해를 위한 방재도로로 연구의 범위를 설정하였으며, 그에 따른 역할을 정립하였다.

수재해대비 방재도로는 집중호우의 피해가 예상되는 지역의 주민들을 인근 대피소로 안전하고 신속히 유도하여 수재해로 인한 직접적인 인명 피해의 최소화를 위한 도로이며, 지진재해대비 방재도로는 방재자원의 신속한 전달로 기대되는 재난 피해의 최소화 와 함께, 재난 상황 및 복구과정에서도 국민의 기본적인 일상생활을 가능케 하는 도로로 정의하였다.

이러한 방재도로의 역할 정립에 따라 다음과 같은 방재도로의 선정 방향을 수립할 수 있었다.

첫째, 방재도로는 재해 노출에 따른 위험성을 바탕으로 재해 유형을 고려하여 선정되어야 한다. 일반적으로 재해 노출에 따른 도로의 위험성이 전제되어야 방재도로 구성 시 피해 구간을 제외한 선택으로 이어질 수 있고 재해 유형별로 재해에 취약하거나 반대로 전략적으로 활용될 수 있는 도로 구간이나 시설이 상이하므로 이러한 특성을 적절히 반영해야 하기 때문이다.

둘째, 피해 최소화 측면에서 가장 중요한 대피활동을 결정하고 해당 대피활동에 적합한 방재도로 구축이 필요하다. 재해 시 가장 중요한 대피활동을 결정하여 해당 재해로 인한 피해 최소화를 위한 방재도로 선정이 이루어 져야하기 때문이다.

방재도로 선정의 기본 방향을 바탕으로 한 방재도로 선정 절차를 다음과 같이 제시하였다.

수재해 대비 방재도로 선정 절차는 먼저, 집중호우로 인한 침수해석 모형을 이용하여 침수 예상 지역을 파악한다. 그 후 주민들의 우선 대피 장소인 임시주거시설 (학교, 주민센터, 시청)을 선정하고 피해지역에서 임시주거시설로의 신속한 이동을 유도하기 위한 방재도로를 선정한다.

지진재해 대비 방재도로 선정의 경우, 지진 시뮬레이션을 통한 도로의 기능 실패 예상 구간 파악으로 시작된다. 이 때, 설계 지진에도 그 기능을 유지할 수 있는 도로 구간을 파악하여 지진 재난시에도 방재도로로서의 역할을 할 수 있는 구간을 선정한다. 그 다음으로 주민들의 우선 대피 장소인 임시주거시설 (학교, 주민센터, 시청), 구조 활동을 위한 방재거점 (병원, 소방서, 경찰서), 주요 생활 SOC를 (국가기반시설 : 석유 저장소, 발전소, 쓰레기 매립장 등) 연결함으로써 방재도로를 완성한다. 이 때, 주요 거점간의 연결에 자주 이용되는 방재도로 구간에 대해 이용된 만큼의 중요도를 부여하였다.

② 재해 유형별 방재도로의 운영 방식

선정된 방재도로의 운영은 수재해, 지진재해 모두 사전에 선정된 방재도로에 현장의 상황을 고려하여 최종적인 지정을 하는 사전 + 현장 지정 방식이 가장 합리적인 것으로 판단되었다. 현장에서, 사전에 선정된 방재도로를 재해 유형이 목적하는 대피활동에 따라 방재도로를 선정하고 운영의 시기 및 방법을 차별화하는 방안을 제시하였다.

수재해는 재해의 피해가 예견되어 대피 명령을 발령 할 때 방재도로의 운영이 가능하도록 하였으며, 지진재해는 재해 발생 후 방재도로의 운영을 위해 가장 먼저 방재도로 구간의 긴급 복구, 이 후 지역통제단장의 방재도로 지정, 운영 단계로 전개가 필요한 것으로 설정하였다.

③ 방재도로 도입을 위한 제반 사항의 개선

연구의 후반부는 선정된 방재도로의 도입 및 유지·관리를 위한 법·제도적 개선 사항을 살펴보았다. 첫째, 법률적으로 방재도로의 개념이 먼저 도입될 필요가 있어 이를 위해 재난안전법, 도로법을 통한 개념 도입 방안을 제시하였다. 둘째, 방재도로의 유지·관리에 대한 기본적인 방향을 설계하였다. 방재도로의 유지·관리를 위해 방재도로의 중요도별로 차별적인 유지·관리 체계의 수립을 제시하였으며, 이외 방재도로의 관리 및 방재도로 구축의 추진력을 얻기 위한 정보화 사업 및 지원제도 등에 대한 정책 도입의 필요성을 제기하였다. 예를 들어 유지·관리와 관련된 안전점검 및 진단, 체계적 관리를 위한 방재도로 통합관리시스템의 구축, 방재도로 구축사업의 지원 등이 있다.

2) 정책 제언

(1) 지역사회의 재난대응에 있어 방재도로 선정과 관리의 의무화

기초지자체 및 하위 행정단위에서 재난의 취약성을 고려한 방재도로 선정을 의무화하는 제도의 도입이 필요하다. 수재해나 지진재해 발생 시 피해범위를 고려할 때 기초지자체 및 하위 행정단위에서 즉각적인 대응을 해나가는 것이 필요한 만큼, 지역사회의 재해대응체계 구축에 있어 방재도로를 선정하는 것을 의무화 할 것을 제안한다.

수재해나 지진재해의 경우도 재해발생 지역을 중심으로 유사시 대비 지역단위 방재도로를 선정하여 재해가 발생할 경우 즉각적인 이동 및 대피경로로 활용하도록 하여야 한다. 이를 위해 지역단위에서 수재해나 지진재해와 같은 주요 재난유형에 대한 재난취약성을 분석할 필요가 있으며, 지역의 재난 취약성 자료를 바탕으로 방재도로를 선정해야 한다.

(2) 방재도로의 유지·관리 정책 필요

재난특성에 적합한 방재도로가 선정되면, 선정된 방재도로가 제대로 역할을 할 수 있도록 내재해성을 보강하고 그에 따른 유지·관리 정책을 수립해야 한다. 다른 기반시설과 마찬가지로 도로는 내구연한이 있으며, 지속적인 유지·관리가 필요한 만큼 주기적인 점검을 통해 방재도로로서의 안전성을 확보하고 보완해가는 것을 제도화하는 것이 필요하다.

이를 위해 방재도로의 안전성 점검과 보강에 대한 가이드라인을 개발하여 지역별로 배포할 필요가 있으며, 선정된 방재도로는 지속적으로 유지·보수 및 보강해나가야 하며 취약성평가를 통해 주기적으로 갱신하여야 한다. 방재도로의 유지·보수와 관리는 위에서 언급한 안전성 점검과 보강에 대한 가이드라인을 활용, 지역단위에서 지역적 특성을 고려한 상세 매뉴얼을 개발하여 배포할 필요가 있다. 가령, 해안지역인 경우 바다의 영향을 고려한 유지·보수 방안이 되어야 할 것이다.

(3) 도로의 재난 대비 대응력에 대한 기초 조사 필요

도로의 재난 대비 대응력 (치수 시설, 내진 설계 등)에 대한 정보 관리가 필요하다. 특히, 노후 도로 시설은 안전 관리의 사각지대로서 취약한 도로 파악을 위한 중요한 정보이나 각종 도로 정보 관리 시스템은 1990년대 후반에 도입되어 그 이전 시설물에 대한 자료 관리가 제대로 되어 있지 않은 상태이다. 내진 설계 등이 법제화 되지 않았던 시기에 건설된 노후 도로 시설은 재난에 매우 취약하므로 이에 대한 조사 및 관리가 필요하다. 현재 도로의 재난 대비 대응력에 관한 자료의 체계화는 재난 시뮬레이션의 예측력을 향상시키고 궁극적으로 도로 취약성 분석의 질적 제고에 이바지 할 것으로 기대된다.

(4) 향후 도로사업에 대한 타당성 평가 시 방재요소 반영 필요

기 구축된 도로의 방재도로화를 위한 재해유형별 내재해성 기준 마련과 유지·관리 방안 등에 대한 지침 마련의 연구가 필요하다. 본 연구에서는 향후 건설될 도로에 관해서는 도로타당성 평가에 방재요소 반영이 필요하다는 것을 제안한다. 즉, 재난으로부터 안전한 사회를 조성하기 위해 도로 인프라 측면에서는 향후 도로 사업에 대한 타당성 평가 시 방재요소 반영이 필요하다.

(5) 위기대응 매뉴얼의 개발과 방재도로에 대한 시민 홍보 및 교육

재난 발생 시 활용할 수 있는 방재도로에 대한 내용이 포함된 위기대응 매뉴얼을 구축하여 시민들에게 배포할 필요가 있다. 환경부는 지진 대응 위기 매뉴얼(환경부, 2015)을 구축한 바 있으며, 지반과괴로 인한 직접적인 영향 및 피해와 2차적인 연계피해에 대해 비상급수체계 확보 등 환경측면에서의 위기대응을 제시하고 있다. 그러나 실제 시민들이 재난이 발생한 해당지역을 탈출하거나 이동할 때 우선적으로 활용할 수 있는 방재도로에 대한 정보제공과 홍보는 미흡하다. 방재도로의 선정과 이에 대한 홍보는 재난으로 인한 인명피해를 줄이는데 있어 특히 중요하므로 재난 발생 시 시민들이

활용하고 따를 수 있는 재난 유형별 위기대응 매뉴얼을 개발하고 이를 배포할 필요가 있다.

더불어, 방재도로 선정 이후 실제 재난이 발생할 경우 시민들이 이를 활용하여 대피할 수 있는 방재도로에 대한 홍보와 교육이 필요하다. 기초지자체는 지역단위 수준에서 재난대응 매뉴얼을 활용한 재난대응 교육을 확대할 필요가 있으며, 대시민 재난 대응교육은 방재시설에 대한 이동 경로뿐 아니라 방재도로에 대한 안내가 반드시 포함되도록 해야 한다. 다음 그림은 일본 오사카시의 재난에 대비한 안내 책자와 해안 쓰나미 방재시설에 대한 안내표지의 예이다.

그림 7-1 | 재난대응 매뉴얼 및 안내 표지 사례



자료 :

- a. 오사카 (2018a)
- b. 오사카 (2018b)

2. 연구의 한계 및 향후 연구 방향

1) 연구의 한계

(1) 재해의 예측

본 연구에서는 과학적 접근 방식을 바탕으로한 재난 시뮬레이션을 통해 재난 시에도 활용 가능한 도로구간을 대상으로 방재도로를 선정하는 방식을 취하였다. 재난 상황을 예측하는 재난 시뮬레이션 결과는 다양한 가정 및 실측 자료의 부족 등에 기인하여 불 가피하게 발생 하는 예측력의 한계가 있다.

(2) 임시주거시설의 수용력에 대한 고려

수재해 및 지진재해 발생 시, 이에 영향을 받는 지역의 주민들을 대피시키는 임시주 거시설의 위치를 선정하였으나, 해당 시설들의 수용력까지는 고려하지 못한 한계가 존 재한다. 기존 연구에 의하면, 이상건 외(2005)의 경우, 시설의 수용력과 해당 시설로 의 수요를 고려하는 가변 수요 (variable demand)를 고려한 통행배정 모형 (user equilibrium with variable demand)을 통해 해당 이슈를 반영하였으나, 이는 계획 모 형에서의 접근이므로 재난 상황에서 신속한 탈출을 중점적으로 고려한 본 연구의 방향 과는 부합하지 않았기에 본 연구에서는 다른 접근 방식을 이용하였다.

2) 향후 연구 방향

(1) 이동 가능성 및 접근성을 고려하여 피난처 및 방재도로 선정

본 연구에서는 재해 피해 상황에서도 활용 가능한 구간을 바탕으로 방재도로를 선정 하였으나, 이 외에도, 소방활동 가능여부(소방물품 및 시설 확보) 등의 실제적인 고려 사항이 존재한다. 본 연구에서는 이런 모든 요소가 반영되지 않고 재해발생으로 인한 도로 단절 예상 구역만 반영한 한계가 있다. 그러나 긴급한 상황에 피난로로 활용되더라도 도로폭이나 소방물품 등의 요소들이 확보되지 않은 도로로 이동 시 또 다른 위험 상황을 발생시킬 가능성도 있으므로 향후 이러한 요소를 고려하여 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

REFERENCE



【국내문헌】

- 건설교통부. 1997. 내진설계기준연구 (II).
- 국립국어원 표준국어대사전, <https://stdict.korean.go.kr/main/main.do>, 2018년 4월 12일 접근
- 국민안전처. 2015. 소방차 황금시간 제도개선 설명자료.
- 국토연구원. 2013. 도시 기후변화 재해 취약성 분석 매뉴얼 재구성.
- 김진홍, 도영웅. 2018. 포항지진의 경제적 영향 추계 및 정책적 시사점. 포항 : 한국은행 포항지점.
- 명수정, 김지영, 신상희, 안병욱. 2010. 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구 II, 서울 : 한국환경정책·평가 연구원.
- 명수정, 이동규, 신상희, 조광우, 이희선. 2009. 기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구 I, 서울 : 한국환경정책·평가 연구원.
- 모창환. (2014). “교통재난방지와 대응체계 구축방안.” 「International Seminar on System Construction for Effective Response and Prevention of Transport Disasters 자료집」, 한국교통연구원, 고양시.
- 서울시정개발연구원, 서울시 교통방제체계 구축방안 연구.
- 소방방재청. 공고 제2013-179호 국가지진위험지도.
- 이 준, 장한별, 이해선, 엄기중. 2016. 재난도로 지정 및 활용방안 연구. 세종 : 국민안전처.
- 이상건, 김호정, 오성호, 정선영. 2005. 국가기간교통망의 유고 대응전략 연구 - 도로 재난관리시스템을 중심으로 -. 경기 : 국토연구원.

-
- 이상은 외. 2017. 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(II), 국토연구원.
- 이상은 외. 2018. 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(III), 국토연구원 발간예정.
- 이상은, 김창현, 박태선, 김미은, 김슬예, 이태삼, 김진현, 2016, 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현 (I). 경기 : 국토연구원.
- 정연식, 송태진, 채찬들, 김 현, 이지선, 조종석. 2011. 교통취약성 개선을 위한 국가교통예보시스템 구축방안. 경기 : 한국교통연구원.
- 정연식, 원민수, 설재훈, 임재훈. 2012. 국가도로교통방재체계 구축방안. 경기 : 한국교통연구원.
- 정연식, 이준, 이해선, 안혜린, 박태욱. 2015. 재난 유형별 및 도로 위계별 방재도로 선정 기준 연구. 세종 : 한국교통연구원.
- 정지범. 2009. 국가 종합위기관리, 한국행정연구원.
- 조남건, 김준기 2008. 비상재해에 대응하는 도로망 연계성 제고방안. 경기 : 국토연구원.
- 최재순, 박인준. 2013. 지진시 국내 광역지역 액상화 재해도 작성. 한국방재학회 13(3). pp. 29~38

【 국외문헌 】

- AASHTO. 2002. A Guide to Highway Vulnerability Assessment for Critical Asset Identification and Protection.
- Berdica, K., 2002. An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done. Transport Policy 9(2), 117-127.
- Dou and Zhan, 2011. Accessibility analysis of urban emergency shelters: comparing gravity model and space syntax. International Conference on Remote Sensing, Environment & Transportation Engineering. p. 5681-5684

-
- H. Bolton Seed and Izzat M. Idriss. 1971. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division Vol. 97, Issue 9: 1249-1273
- Li et al. 2018. Reliable Rescue Routing Optimization for Urban Emergency Logistics under Travel Time Uncertainty.
- S.C.Wong and Hai Yang. 1997. Reserve capacity of a signal-controlled road network. Transportation Research Part B: Methodological Vol 31, Issue 5: 397-402
- Sullivan et al. 2010. Application of the Network Robustness Index to Identifying Critical Road-Network Links in Chittenden County, Vermont.
- Xiangdong et al. 2015. Modeling Transportation Network Redundancy, Transportation Research Procedia 9 (2015) 283 - 302.
- 実務者のための新都市計画マニュアル II, 2003.

【 보도자료 】

- 경북도민일보. 2018. 포항지진·여진 단층 달라... “6.0이상 강진 대비해야”, <http://www.hidomin.com/news/articleView.html?idxno=361549>, 2018년 6월 26일 접근
- 북부신문, 2018. 서울 적십자, 백사마을 대피 지원 활동. <https://m.post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=16610970&memberNo=32926658>, 2018년 06월 11일 접근
- 세계일보. 2018. 좁고 불편한 텐트생활에.. 이재민들 "이게 사는 건지" 한숨, <https://news.v.daum.net/v/20181111185728260?f=m>, 2018년 11월 11일 접근
- 안전신문. 2017. 강원산불 이재민에 구호의 손길. <http://m.safetynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=107949>, 2018년 06월 11일 접근

중부매일. 2017. 지진대피 탈출하는 학생들. <http://www.jbnews.com/news/articleView.html?idxno=816356>, 2018년 06월 11일 접근

중앙일보. 2017. [금주 뉴시스 포토①] 지진영향 받아 파손된 기둥, <https://news.joins.com/article/22126771>, 2018년 06월 18일 접근

쿠키 뉴스, 2017 포항 지진 피해 속속...인명·시설 피해 잇따라, <http://www.kukinews.com/news/article.html?no=501272>, 2018년 06월 18일 접근

Duffy B. and Quigley M. 2016. What happened in the New Zealand earthquake? And is the supermoon to blame? <https://www.citymetric.com/horizons/what-happened-new-zealand-earthquake-and-supermoon-blame-2578>, 2018년 07월 05일 접근

【 법령·훈령·공고 】

건축법 시행령. 2018. 대통령령 제29332호(12월 04일 일부개정). 제41조

도로법. 2018. 법률 제15455호(03월 13일 일부개정). 제8조

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법. 2017. 법률 제14545호(1월 17일 개정). 제7조

소방방재청. 공고 제2013-179호 국가지진위험지도

자연재해대책법. 2017. 법률 제14912호(10월 24일 일부개정). 제2조

주택건설 기준들에 관한 규정. 2018. 대통령령 제28628호(02월 09일 개정). 제10조

재난 및 안전관리 기본법(약칭:재난안전법). 2018. 법률 제 15764호(9월 18일 일부개정). 제3조

재해구호법. 2017. 법률 제15022호(10월 31일 개정). 제3호의 3

【 웹사이트 】

- 기상청. 2018. 기상청 국가기상종합정보(국내기후자료), https://www.weather.go.kr/weather/climate/average_south.jsp, 2018년 5월 12일 접근
- 기상청. 2018. 기상청 국가기상종합정보, <https://web.kma.go.kr/weather/main.jsp?topArea=12C30000&midArea=12B10200&btmArea=12B10101>, 2018년 5월 12일 접근
- 오사카 공식홈페이지. http://www.city.osaka.lg.jp/contents/wdu020/enjoy/ko/content_a.html
- 오사카. 2018a. http://www.city.osaka.lg.jp/contents/wdu020/enjoy/ko/content_a.html
- 오사카. 2018b. <https://m.blog.naver.com/gigonoto/221299004852>, 2018년 11월 01일 접근
- 일본 국토교통성, 2018, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N10.html>.
- 일본 국토교통성. 지진에 강한 도시조성·지구조성의 절차
- 일본 도로공사. <http://www.c-nexco.co.jp>, 2018년 7월 10일 접근
- ArcGIS. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/ready-to-use/find-closest-facilities.htm>, 2018년 08월 23일 접근
- British Columbia official site. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/safety/emergency-preparedness-response-recovery/emergency-management-bc>, 2018년 7월 2일 접근
- EASTASIA. <https://www.voanews.com/a/quake-damage-in-chiang-rai-thailand/1908724.html>
- Tampa Bay Regional Planning Council. <http://www.tbrpc.org/tampa-bay-hurricane-and-disaster-planning-guide/>, 2018년 7월 2일 접근
- Tanner Borgen. <https://borgentm.wordpress.com/gis-portfolio/>, 2018년 08월 23일 접근

SUMMARY



Developing the Disaster Response Routes of Korea

Donghyung Yook, Jonghak Kim, Youngtae Lim, Sangeun Lee, Choi Jaesun, Nam Jihyun

Key words: Disasters, Disaster-response route, Vulnerability

Earthquakes and weather changes are global issues and Korea is no longer safe from climate change and earthquakes. When disasters occur the road infrastructure become important because it works as the carriageway for moving people and emergency resources and rescue teams. It would be expected that the damage be minimized when the disaster response routes is designated in advance because it is known to make a significant contribution to secure a quick moving space of emergency resources for relief activities. However, Korea has not established the disaster response routes yet.

This policy report developed the methodology to select the disaster response routes based on disaster forecast and suggested effective management schemes for the select disaster response routes. The disaster response routes are differently designed for flooding and earthquake considering disaster statistics of Korea. In addition, the study presents required amendment of the legislation procedure for adoption of the disaster response routes.

부 록

APPENDIX



부록 1 AASHTO 세부 취약성 판단 요소의 정의 및 설정 점수

취약요소와 기본값		정의	
대중으로의 노출	대중의 인식 수준 (A)	1	지역사회에서 인식 불가
		2	지역사회에서 인식 가능
		3	주 전체에서 인식 가능
		4	국가에서 인식 가능
		5	전세계에서 인식 가능
	참여율/이용자 (B)	1	10미만
		2	10 ~ 100 (FEMA*에 따른 중대사고 수치)
		3	100~1000
		4	1000~3000
		5	3000이상 (FEMA에 따른 재난적인 사고 수치)
접근성	접근 근접성 (C)	1	50피트 이내에 주차, 차량 통행 없음
		2	50피트 이내에 주차, 허가받지 않은 차량 통행 없음
		3	50피트 이내에 주차는 없으나 차량 통행 있음
		4	50피트 이내에 허가받지 않은 주차는 없으나 차량 통행 있음
		5	50피트 이내에 주차, 차량 통행 있음
	보안 수준 (D)	1	보안시설과 인력이 있어 위협에 대해 자체 대응 가능
		2	보안시설과 인력이 있으나 위협에 대해 자체 대응 힘들
		3	보안인력은 있으나 보안시설이 없음
		4	보안시설이 있으나 보안인력이 없음
		5	보안시설과 인력 모두 없음
특별한 위험 요소	대상에 대한 영향 (E)	1	영향 없음
		2	환경에 대한 급성 또는 만성적인 유독성의 영향
		3	환경에 대한 급성 및 만성적인 영향
		4	인간에 대한 급성 또는 만성적인 영향
		5	환경 및 인간에 대한 급성 및 만성적인 영향
	위험물질의 양 (F)	1	없음
		2	소량의 단일 위험물질
		3	소량의 여러 위험물질
		4	대량의 단일 위험물질
		5	대량의 여러 위험물질

부록 2 문헌조사를 통한 제주시 일대 침수관련 피해 이력

행정구역 구분		일시	내용
시군구	읍면동		
제주시	연동	'17.10.02	- 최고 337mm, 마리나 호텔 앞 도로 하수구 역류로 침수
		'12.09.17	- 태풍 산바의 영향, 하천 범람으로 주택 내부 침수
		'12.08.28	- 연동 일대 지하주점 침수 피해
		'11.08.07	- 태풍 무이파의 영향으로 다세대 주택 침수 피해
		07.09.13	- 한림천 제방여유고 부족으로 주거지 및 농경지 침수 피해 - 하류부 주거지 및 한전사택 침수 피해
	삼도동	'16.10.05	- 최고 500mm이상 집중호우, 삼도동 무근성 일대 침수
		'12.08.28	- 태풍 불라벤, 집중호우로 주택 침수
		07.09.13	- 일 최대 강우량 421mm의 집중호우 발생 - 주차장, 상가로 이용 중인 복개하천 침수
	건입동	'11.08.09	- 태풍 무이파의 영향으로 주택 침수
		'10.06.30	- 자아대비의 영향으로 건입동 2부두 앞 도로 침수
	이도동	'16.10.05	- 이도2동주민센터 맞은편 타워주차장 공사장 빗물에 침수되고 안전 가림판 등이 쓰러짐
		'12.04.21	- 집중호우로 이도2동 노래연습장 건물 침수
		07.09.13	- 일 최대 강우량 296mm의 집중호우 발생 - 동문재래시장, 복개하천구간 침수 - 우수관거 통수단면적 부족으로 저지대 주거지 침수
	용담동	'16.10.05	- 태풍 차바로 한천 범람하여 도로 침수, 차량 70대 침수
		'12.08.28	- 태풍 불라벤의 영향으로 용담1동 주택 4채 파손
		07.09.13	- 일 최대 강우량 421mm의 집중호우 발생 - 우수관거 통수단면적 부족으로 주차장, 상가, 도로 침수
	오라동	'14.08.03	- 폭우와 강풍으로 오라동 캠핑장 출입구 침수로 야영객 고립
		'12.09.17	- 집중호우로 유치원 건물, 주택, 상가 등 침수
		07.09.13	- 토천 제방여유고 부족으로 주거지 및 농경지 침수 피해 - 배수로 미정비로 농경지 침수, 국도대체우회도로 침수
	아라동	'12.09.17	- 시간당 50mm 폭우, 주택 및 상가 침수
	일도동	'12.09.16	- 최고 500mm, 일도1동 주택 침수
	도남동	'15.08.17	- 도남도 주택에서 빗물에 의한 지하차고자 침수
		'07.09.13	- 태풍 나리로 복개천 범람해 차량 침수
	외도동	'16.10.05	- 월대천 범람으로 저지대 가정집과 펜션 등 10여채 침수로 주민과 관광객 고립
		'07.12.17	- 월대천 옆 조립식 건물이 급류에 휩싸이고, 일부 주택 침수
	노형동	'12.09.18	- 태풍 산바로 주택 및 상가 침수
		'07.09.16	- 태풍 나리, 노형동 도로 침수
		06.06.30	- 노형동 신시가지 아파트 도로 침수
	화북동	'07.09.13	- 일 최대 강우량 421mm의 집중호우 발생 - 집중호우로 인한 호안유실

자료 :이상은 외 (2018) 도시 침수지역 및 영향권 분석을 통한 재난안전 정책지원 시스템 구현(III), 국토연구원

기본 18-15

재난 피해 저감을 위한 방재도로 구축 방안 연구

연구진 육동형, 김종학, 임영태, 이상은, 최재순, 남지현

발행인 강현수

발행처 국토연구원

출판등록 제2017-9호

인쇄 2018년 11월 27일

발행 2018년 11월 30일

주소 세종특별자치시 국책연구원로 5

전화 044-960-0114

팩스 044-211-4760

가격 7,000원

I S B N 979-11-5898-386-4

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2018, 국토연구원

이 연구보고서를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재해주십시오.

육동형, 김종학, 임영태, 이상은, 최재순, 남지현. 2018. 재난 피해 저감을 위한 방재도로 구축 방안 연구. 세종: 국토연구원.

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.

재난 피해 저감을 위한 방재도로 구축 방안 연구

Developing the Disaster Response Routes of Korea



제1장 서론

제2장 방재관련 주요 개념 정립 및 방재도로의 중요성

제3장 국내외 방재도로 구축 및 활용사례

제4장 방재도로 선정 방법의 개발 및 적용

제5장 방재도로의 운영 및 유지·관리 방향

제6장 방재도로 도입을 위한 제도 개선 방향

제7장 결론 및 정책제언



KRIHS 국토연구원

(30147) 세종특별자치시 국책연구원로 5 (반곡동)

TEL (044) 960-0114 FAX (044) 211-4760

