미래철도기술개발사업

기획연구

철도인프라 내진기술 선진화 체계 구축 기획보고서

2012. 02. 02.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 한국철도시설공단
홍익대학교

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

기획연구

철도인프라 내진기술 선진화 체계 구축 기획보고서

2012

국토해양부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축 기획연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 2. 2

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 방춘석
연구원 : 김진호
연구원 : 이진욱
연구원 : 이희업
연구원 : 조봉관
연구원 : 박주남
연구원 : 조성철
위탁연구기관명 : 한국철도시설공단
위탁연구책임자 : 최원일
위탁연구기관명 : 홍익대학교
위탁연구책임자 : 최은수

목 차

< 목 차 >

요 약 문

1장. 기획 배경 및 필요성 ····· 1
1절. 기획 배경 ····· 1
2절. 기획 필요성 ····· 17

2장. 국내외 동향 및 환경 분석 ····· 26
1절. 국내외 정책 동향 ····· 26
2절. 국내외 기술 및 산업동향 ····· 45
3절. 연구개발 인프라 분석 ····· 151
4절. 종합분석 ····· 156

3장. 기술수요 조사 ····· 164
1절. 기술수요조사 및 결과 ····· 164
2절. 기술수요조사 결과 분석 ····· 166

4장. 기술개발 방향 설정 ····· 183
1절. SWOT 분석 및 시사점 ····· 183
2절. Issue Tree 작성 ····· 185

5장. 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 187
1절. 비전 및 목표 ····· 187
2절. 후보과제 선정 ····· 189
3절. 연구개발과제 구성 ····· 198
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략 ····· 205
5절. 중복성 및 연계방안 ····· 224
6절. 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵 ····· 228
7절. 성과의 활용방안 ····· 230
8절. 연구수행체계 제안 ····· 231

6장. 사전타당성 검토 ····· 234
1절. 정책적 타당성 ····· 234
2절. 기술적 타당성 ····· 236
3절. 경제적 타당성 ····· 238
4절. 정부지원 타당성 ····· 240
5절. 종합평가 및 결론 ····· 243

7장. 인력투입계획 및 소요예산 산정 ····· 245
1절. 연구일정에 따른 인력 투입계획 ····· 245
2절. 소요예산 산정 ····· 248

8장. 과제 제안요구서 ····· 253
1절. 과제 제안요구서(RFP) ····· 253
2절. 평가기준 설정 ····· 267

참고문헌 ····· 270

부록 1. 전문가 자문의견 ····· 277

부록 2. 국내·외 주요 지진사례 및 피해 분석 ····· 312

부록 3. 국내·외 구조물 내진보강공법 분석 ····· 333

< 표 목 차 >

표 1.1 2000년 2011년 동안 전 세계 지진발생 현황 ····· 1
표 1.2 최근의 강진 추세 ····· 2
표 1.3 국내 주요 지진발생 현황 ····· 2
표 1.4 한반도 지진위험도 발생여건 비교 ····· 4
표 1.5 국내 지진 피해사례 ····· 5
표 1.6 해외 지진 피해사례 ····· 6
표 1.7 신간센 파손개소 및 복구현황 ····· 14
표 1.8 철도시설 내진 설계 현황 ····· 16
표 1.9 교량의 내진실태현황 ····· 16
표 1.10 국내 철도인프라 내진설계기준 변화 ····· 18
표 2.1 연차별 투자규모('11~'15년) ····· 35
표 2.2 사업별 투자규모1) ····· 35
표 2.3 철도안전종합계획의 연차별 예산2) ····· 36
표 2.4 2011년 정책방향(5대 전략) ····· 38
표 2.5 도시철도 내진 설계 현황 ····· 42
표 2.6 도시철도 시설물의 내진성능평가 및 내진보강방안 ····· 43
표 2.7 Caltrans 내진설계법 ····· 47
표 2.8 내진설계에서 고려해야할 지진동의 종류 ····· 56
표 2.9 내진성능 분류 ····· 56
표 2.10 내진성능기준 ····· 58
표 2.11 JSCE Code 지진해석방법 ····· 63
표 2.12 Soil Categories, NEHRP Provisions for New Buildings (BSSC, 1997) 64
표 2.13 AASHTO Seismic Performance Categories ····· 65
표 2.14 AASHTO Requirements for a Regular Bridges ····· 66
표 2.15 ATC-32 Recommended Minimum Allowed Analysis ····· 67
표 2.16 Parameters of the elastic response spectrum ····· 68
표 2.17 Maximum value of the behaviour factor q ····· 70
표 2.18 Flexible or Deep Soil Sites ····· 71

표 2.19 Seismic Coefficients Cμfor Rock or very Stiff Soil Sites ····· 73
표 2.20 Seismic Coefficients Cμfor Rock or very Stiff Soil Sites ····· 73
표 2.21 Seismic Coefficients Cμfor Rock or very Stiff Soil Sites ····· 73
표 2.22 Design Spectrum Scaling Factor, Sm1 ····· 74
표 2.23 구조/부재 작용의 분류 ····· 76
표 2.24 연성구조물의 주요 특징 ····· 76
표 2.25 각 설계기준별 심부구속철근량 산정 비교 ····· 77
표 2.26 각 설계기준별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(나선철근) ····· 78
표 2.27 각 설계기준별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(띠철근) ····· 79
표 2.28 주요 국가별 내진설계기준의 지진동 레벨분류 및 요구내진성능 요약 ···· 83
표 2.29 주요 국가별 설계스펙트럼 정의 및 해석방법 ····· 86
표 2.30 주요 국가별 설계 지진력 및 고유주기 산정해석 ····· 88
표 2.31 주요 국가별 구조/부재 분류별 연성도 ····· 89
표 2.32 주요 국가별 심부구속철근량 산정 비교 ····· 90
표 2.33 주요 국가별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(나선철근) ····· 91
표 2.34 주요 국가별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(띠철근) ····· 91
표 2.35 주요 국가별 전단설계(콘크리트부담 전단력) 개념 비교 ····· 92
표 2.36 내진설계법의 개념적인 종류 ····· 93
표 2.37 내진해석방법 및 일반적인 적용범위 ····· 93
표 2.38 교량의 대표적인 내진보수 및 내진보강 기법에 따른 구조적인 효과 ···· 94
표 2.39 국내 주요 내진설계기준의 비교 ····· 105
표 2.40 철도시설물 분류 ····· 108
표 2.41 고속철도 시설물 분류 ····· 108
표 2.42 도시철도 시설물 분류 ····· 109
표 2.43 건축물의 내진등급 ····· 110
표 2.44 송전·배전·변전설비 시설물 분류 ····· 111
표 2.45 시설물별 내진등급 ····· 111
표 2.46 송변전설비 ····· 112
표 2.47 전철설비 ····· 112
표 2.48 전력설비3) ····· 112

표 2.49 철도 통신설비 분류4) ····· 114
표 2.50 신호제어설비 현황5) ····· 116
표 2.51 내진설계 적용 대산 통신설비 분류 ····· 117
표 2.52 내진성능수준 ····· 120
표 2.53 철도 터널 관련 국내 내진설계기준 요약 ····· 131
표 2.54 우리나라 지진하중의 변화 ····· 134
표 2.55 위험도 계수 (내진설계기준연구II, 1997) ····· 136
표 2.56 일반철도 내진설계 현황 ····· 138
표 2.57 도시철도 내진보강계획 ····· 139
표 2.58 내진보수 및 보강기법 구조적 효과 ····· 142
표 2.59 내진보수 및 내진보강 기법에 따른 구조적인 효과 ····· 144
표 3.1 기술조사의 개요 ····· 164
표 3.2 기술수요조사 결과 ····· 166

< 그 림 목 차 >

그림 1.1 한반도 지진발생 현황 ····· 3
그림 1.2 연도별 지진발생 추이 및 현황 (1978~2010) ····· 3
그림 1.3 강진에 의한 철도 인프라의 피해 사례 ····· 9
그림 1.4 승강장 (신나가타역) 및 궤도(뉴질랜드)의 좌굴 피해 ····· 9
그림 1.5 다이카이 지하역의 붕괴 ····· 10
그림 1.6 지진으로 인한 신간선 탈선 ····· 11
그림 1.7 지진 후 화재피해 ····· 11
그림 1.8 궤도좌굴 및 전차선 붕괴사례 ····· 12
그림 1.9 역사의 천장 붕괴(센다이역, 2011년) ····· 12
그림 1.10 지진으로 인한 인적 피해(아이티 지진) ····· 13
그림 1.11 센다이 시내를 관통하는 신간선의 교량 복구 ····· 14
그림 2.1 승강장 기둥보강 ····· 29
그림 2.2 폴리머벽 내진보강 공법 개요 ····· 29
그림 2.3 일본의 내진성능보강의 분류 ····· 30
그림 2.4 일본의 유레다스 시스템 분포현황 ····· 33
그림 2.5 지진가속도계측기 통합관리시스템 구성 계획 ····· 40
그림 2.6 파이핑시스템 테스트 분석연구 ····· 50
그림 2.7 미국 UBC 코드 ····· 52
그림 2.8 표준 가속도 응답스펙트럼 ····· 62
그림 2.9 가속도 응답스펙트럼 ····· 62
그림 2.10 Type II 가속도 응답스펙트럼 ····· 63
그림 2.11 스펙트럴 가속도 및 변위 곡선(ATC-32, ATC 1996) ····· 65
그림 2.12 Elastic Response Spectrum ····· 68
그림 2.13 Acceleration Response Spectra, New Zealand standards(1992) ····· 72
그림 2.14 설계전단력의 결정 ····· 80
그림 2.15 단일교각의 과강도모멘트로부터 설계전단력의 계산,
Priestley and Park (1984) ····· 82
그림 2.16 콘크리트 구속에 의한 철근콘크리트 기둥 휨강도의 이론적인 강화 ···· 82

그림 2.17 국내 철도인프라 관련 기준 ····· 102
그림 2.18 일반철도 전차선로 전경 ····· 113
그림 2.19 터널내 전차선로 전경 ····· 113
그림 2.20 힘기반 설계 ····· 123
그림 2.21 힘 역량과 요구되는 변형의 관계 ····· 124
그림 2.22 변형기반 설계 ····· 124
그림 2.23 내진성능 향상절차 ····· 145
그림 2.24 고속철도 지진감시시스템의 하드웨어 구성도 ····· 147
그림 2.25 원전부지 지진 관측망 구성도 ····· 148
그림 2.26 인천국제공항 지진 관측 경보 시스템 ····· 149
그림 2.27 시범지역 도시가스 지진관측 대응 정보 시스템 ····· 149
그림 2.28 댐(무주 양수 발전소) 지진모니터링 시스템 구축 사례 ····· 150
그림 2.29 화력발전소 지진모니터링 시스템 구축 사례 ····· 150
그림 2.30 국내 내진 R&D 인력분포 ····· 152
그림 3.1 기술수요조사 응답자 분석 ····· 164
그림 3.2 기술수요조사 프로세스 ····· 165
그림 5.1 1세부과제의 추진체계 ····· 232
그림 5.2 2세부과제의 추진체계 ····· 233

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2011.08.03~
2012.02.02</td><td>단 계 구 분</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">미래철도기술개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축 기획연구</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">방 춘 석</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 10명
내부 : 10명
외부 : 1명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 100,000천원
기업 : 천원
계 : 100,000천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 10명
내부 : 10명
외부 : 1명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 100,000천원
기업 : 천원
계 : 100,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도기술연구원
신교통인프라연구실</td><td>참여기업명</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td>416</td></tr>
<tr><td colspan="6">○ 철도 인프라의 내진기술 향상 및 내진안전성 확보를 위하여 국내외 정책, 기술, 환경을 분석하여 도출된 다음의 기술 분야를 중심으로 연구개발과제의 구성 및 추진체계를 수립
- 현행 내진설계 제도 제정/개정
- 철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 평가체계 및 기술 개발
- 지진 후 철도 인프라 손상수준 평가 및 급속복구 관련 제도 수립
- 기존 구조물 내진보강 효율화를 위한 성능향상 지침 개발
- 철도설비(전력/통신/신호시스템 등) 내진성능 향상 기술 개발
- 지진 후 철도 인프라의 급속복구를 위한 의사결정 체계 및 급속 진단기술 개발
- 지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발
- 지진 조기대응 기술
○ 기술분야의 세부적 분석을 통하여 철도 인프라 제반분야의 첨단 기술을 융합한 철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축을 위한 전략 수립 및 추진과제를 아래와 같이 기획
- 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화
- 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발
- 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발
- 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">철도 인프라, 내진기준, 내진보강, 지진손상평가,
지진피해복구, 지진조기대응시스템</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Railroad Infrastructures, Seismic Design Code, Seismic Rehabilitation, Earthquake Damage Evaluation, Earthquake Loss Recovery, Seismic railway early action system</td></tr>
</table>

요 약 문

요 약 문

Ⅰ. 제 목

철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축 기획연구

Ⅱ. 배경 및 필요성

기획과제의 배경

○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며, 규모 또는 시기 등도 예측 불가적 상황으로 전개되고 있음

○ 지진피해 시뮬레이션에 의하면 서울 중구에서 규모 6.5의 지진이 발생할 경우 사망 7394명, 부상 9만9243명, 건물전체파손 2만6520채, 반파손 3만7132채의 피해가 발생할 수 있는 것으로 분석되는 등, 향후 대규모 지진발생에 대비하여 인프라에 대한 내진설계기준의 검토 및 내진성능향상 등의 상세 대책이 요구됨

○ 국내 대부분의 내진설계기준은 일본, 미국 등의 설계기준을 도입함으로 인하여 국내환경에 적합하지 않거나, 불합리한 경우 등이 발생하고 있으며 이에 국내에 적합한 기준 연구의 필요성이 증가하고 있음

○ 일본, 미국 등의 경우 설계기준 관련 연구를 지속하고 있으며, 이에 따라 향상된 해석법, 설계법 등을 고려한 내진설계기준이 안전성, 신뢰성 확보차원에서 개정되고 있음

○ 지진 발생 후 건축·토목구조물 등에 대한 피해사례는 다양한 형태로 발생하고 있음. 또한 인명, 재산 등의 손실은 구조물 붕괴 등에 의한 1차적 피해뿐 아니라 전기, 가스 등에 의한 화재, 통신 두절 등 2차적 피해로 인하여 크게 나타나는 경우가 많으며 약탈, 전염병 등의 3차적 사회피해도 발생하고 있음


구조물 붕괴(1차적 피해)


화재(2차적 피해)


약탈(3차적 피해)

[지진 피해 사례(1,2,3차)]

○ 일본 동북부 지진에 경우 전력망, 각종 철도설비 등의 부수적 인프라 시스템 손상이 더 큰 2차적 피해를 불러옴에 따라 내진설계기준이 미비된 인프라에 대한 기준 정립이 필요함

○ 1990년대 후반 이후 건설된 철도 인프라는 대부분 내진설계가 반영되었으나, 이전 철도시설의 내진설계 미적용으로 인하여 안전에 대하여 우려가 증가하고 있음

○ JR East에 따르면 2011년 도호쿠 지진 후에 궤도 변형은 2,590 개소, 전차선 손상은 1,150개소에 이르는 것으로 보고됨

○ 도시철도 교량의 경우 전체 70개 시설물중 내진적용 14개소이며, 내진양호 7개소로서 30.0%가 내진성능을 확보하고 있으며, 터널은 총620개소중 내진적용 7개소, 내진양호 486개소로 79.52%가 내진성능 확보

- 2008년 12월 현재, 도시철도의 경우 총 1,397개소중 77.6%인 1,084개소가 내진적용이 되어 있으며 나머지 313개소는 내진보강이 필요한 시설물로 조사됨.

[도시철도 시설의 내진 현황]

구분	총계	내진적용	내진 미적용				내진율
			계	내진양호	내진보강	내진보강 필요시설물	
교량	87	14	73	7	0	66	24.1%
터널	585	0	585	476	0	109	81.4%
건축물	725	20	705	567	0	138	81.0%
계	1,397	34	1,363	1,050	0	313	77.6%

○ 철도, 도시철도, 학교 등 주요 공공시설의 내진보강이 진행 중임

- 철도 인프라(구조 및 설비)에 적합한 내진보강방법 개발이 필요함

- '08년 현재 13.2%(2,417동)의 내진화 설계학교 비중을 '14년까지 5%향상 ('08년 13.2% → '14년 18.2%)시키는 계획으로 2010년부터 2014년까지 2650여억원으로 509개교 916동의 학교 내진보강사업 추진 중

○ JR East에 따르면 2011년 도호쿠 지진 후에 도호쿠 신간센은 지진 후 49일만에 약 8500명의 엔지니어의 철야작업으로 정상 운행을 시작하였으나, 심한 손상을 입은 약 325km의 기존선은 복구에 최소 1년은 소요될 것으로 전망하고 있음

○ 일본 등 지진피해가 심한 국가의 사례 분석결과에 따르면, 지진피해 복구 기간의 증가는 국내 총생산의 감소, 기업경쟁력 저하, 생활수준의 하락을 동반함. 따라서 지진 후 국가 기간교통망인 철도교통의 빠른 정상화로 경제적 피해를 최소화하여야 함

○ 지진 발생 시 철도 인프라의 안전성 제고 및 빠른 정상화를 위한 신속하고 정확한 손상 진단 및 복구 기술이 필요하지만 현재의 점검 및 복구 기술로는 한계가 있음. 또한, 유사시 진단 및 복구를 위한 체계적이고 종합적인 표준지침이 필수적이지만 현재 미비한 상황

○ 지진 발생 후 피해설비의 복구 기간의 증가는 중대한 경제적인 손실, 국가 및 철도기관 경쟁력 저하, 교통혼란 등의 더 큰 2차 피해를 초래

○ 실제 국내에서 진행 중인 대부분의 내진 관련 연구중심이 내진설계나 면진설계와 같은 지진 피해 이전의 구조물 설계에 초점을 맞추고 있음. 지난 일본지진의 경우 대형지진 발생 후 지속적인 여진이 발생하는 특성을 보임. 즉, 지속적인 여진 발생에 따른 1차 손상된 주요 구조물의 안전성 확보기술의 개발이 필요함. 또한 실제 지진에 의한 구조물 손상 시 초기 보강대책 여부에 따라 향후 구조물의 복구에 사용되는 기간과 비용이 매우 다르다는 점을 고려할 때 지진피해 초기단계에서 급속 복구 할 수 있는 신속 내진보수 및 보강기술 개발은 매우 중요함

○ 2011년도 일본 대지진 시에 동북지방에서 시속 270km 이상으로 운행 중이던 신간센이 탈선 없이 비상정지할 수 있었던 것은 조기경보시스템인 UrEDAS 시스템의 효과임. 경보시스템의 도입은 유사시에 막대한 인명피해를 최소화

○ 일본, 대만 등의 지진대응 선진국에서는 지진 시 철도운행 경보시스템을 운영 중이고 큰 성과를 보이고 있음. 국내의 경우 철도 인프라와 지진경보 시스템의 연계 운영이 안 되는 상태임

○ 지진으로 인한 철도 탈선, 붕괴와 같은 사고가 단시간에 발생함에 따라 국가 철도망에 큰 피해를 주는 위험요인에 대한 예방, 초기대응 등에 대한 중요성이 높아지고 있음. 특히 초등대응의 시간 단축성 및 효율성 여부에 따라 사회적 비용은 큰 차이가 발생함

○ 지진발생 시 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책과 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함

○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리 필요

연구 필요성

○ 국내에도 지진발생 및 규모증가 가능성이 높아짐에 따라 철도인프라 전반에 걸친 내진설계기준의 재정립, 내진성능향상 대책 등 연구가 필요함

○ 기존 내진설계기준은 해외기준의 벤치마킹으로 인하여 국내 철도인프라의 환경 및 특성을 반영한 독자적 내진설계기준의 수립이 요구

○ 철도구조물의 내진설계 시, 해석법 및 과보강 또는 보강부족에 대한 논란이 가중되고 있음

○ 지진발생 시 철도운행의 안전성을 확보하기 위한 운행하중 고려, 궤도시스템, 철도설비(전력, 신호 등) 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않음

○ 고속철도, 일반철도, 도시철도 등의 내진설계기준이 각기 상이하여 실무자에게 혼란이 가중

○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진 시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리가 필요

○ 국내 철도 인프라에 대해서는 내진설계가 도입 되었으나(일반철도 1999년, 고속철도 1991년) 그 이전에 설계된 내진설계 미반영 인프라의 내진보강을 위한 일관적, 객관적 성능평가에 대한 종합적 표준 지침이 없는 미흡한 실정임

○ 철도운행의 전력 공급에 중요한 설비의 철도인프라(전력설비)가 내진 대책이 고려 되지 않은 경우 지진에 의한 시설물의 파손 및 파괴로 전력공급 기능이 정지되어 철도인프라의 작동불가로 인한 인명피해와 재산의 손실 발생이 예상

○ 대부분의 구조재에 대한 내진설계기준은 제정되어 있으나, 2차 피해를 유발시키는 철도설비에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않은 상태이므로 이에 대한 개발이 필요함.

○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 막대한 비용이 소모됨

- 비용 대비 보강효율이 높은 내진보강시스템의 필요

○ 지진 시 철도설비와 철도구조물과의 상호작용에 따른 거동특성을 평가가 요구되며. 전차선 및 신호·통신장비 트레이, 분기기장치에 대한 내진성능 보강방안 수립이 필요

○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 소요되는 막대한 비용을 최소화하고 효율을 높이기 위해서는 시스템 분야별 최신 기술을 고려하여 보강 우선순위를 정하고 최적 내진보강방법을 선택하여야 함

○ 지역별 지진 위험도에 따른 개별 요구 수준 및 평가수준 구축이 필요하며, 철도인프라 중요도 구분을 통한 내진성능평가 및 보강 우선순위 결정이 필요

○ 철도운행의 전력 공급에 중요한 설비의 철도인프라(전력설비)가 내진 대책이 고려 되지 않은 경우 지진에 의한 시설물의 파손 및 파괴로 전력공급 기능이 정지되어 철도인프라의 작동불가로 인한 인명피해와 재산의 손실 발생이 가능하므로 이에 대한 대책이 필요

○ 전철주, 전철주와 교량연결부 등 시설물 접속 부분에 대한 내진보강 방안이 필요함. 예를 들자면 내진설비 또는 면진받침대 등의 접속부에 대한 처리 방법 필요

○ 1995년 Kobe지진은 약 15조엔의 복구비용이 소요됨. 2011년 일본 동북부 지진의 복구비용은 World Bank에 의하면 19조엔, 일본정부는 16조엔~25조엔이 소요될 것으로 예상하고 있을 만큼 강진 후 사회간접시설물의 복구비용은 막대함

○ 한국에서 발생 가능한 지진 후 철도시설물 평가 및 보강에 대한 선행연구는 수행된 바 없으므로 관련 기초연구가 필요함

○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 필요로 하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강이 요구됨

○ 철도 시스템의 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적

○ 최근 전 세계적으로 대규모 지진의 발생 빈도가 증가함과 동시에 그 재산적 인명적 피해 규모 또한 기하급수적으로 늘어남. 특히 철도 인프라 같은 기능적 특수성을 가진 주요 구조물들은 지진피해의 복구방안을 마련하여 신속하게 지진피해를 수습하고 열차운행을 정상화하여야 함. 즉, 지진에 따른 교각, 구조물, 역사 및 궤도 등의 피해에 대해 안전점검 및 보수보강을 실시할 수 있는 시스템을 마련하여 가능한 빠른 시간 내에 열차운행이 안전하게 이루어질 수 있는 급속 복구 기술 개발을 위한 연구가 필요함.

○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진계측시스템의 도입 및 신속대응을 위한 시스템 통합 작업이 필요함

○ 경부고속철도에 2006년 21개소 및 2010년 14개소에 「고속철도 지진감시 시스템」이 설치되어 있으나, 이는 지진조기경보 시스템이라기 보다는 지진시 시설물의 설계거동한계 이상 거동 유무를 파악하여 시설물의 건전성 평가에 활용하기 위한 모니터링 시스템 임

○ 현재 고속철도의 시스템은 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않음으로

인하여 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족

- ○ 일본, 대만, 미국 등 지진대응 선진국에서는 지진 시 철도운행 경보시스템을 운영 중이고 큰 성과를 보이고 있으나, 국내에서는 철도 인프라와 지진경보시스템의 연계 운영이 안 됨.
- ○ 지진감지 후 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 고유기능에 및 특성에 따라 응급 운행 대책 수립이 필요함
- ○ 지진발생시 분야별 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책이 필요함. 또한, 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함
- ○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진피해 사전 예측기술 개발이 필요하고, 각 철도 인프라 주변 지반 특성 파악 및 지진파의 전달특성에 대한 데이터베이스화 필요
- ○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리 필요

연구 필요성

- ○ 국내에도 지진발생 및 규모증가 가능성이 높아짐에 따라 철도인프라 전반에 걸친 내진설계기준의 재정립, 내진성능향상 대책 등 연구가 필요함
- ○ 기존 내진설계기준은 해외기준의 벤치마킹으로 인하여 국내 철도인프라의 환경 및 특성을 반영한 독자적 내진설계기준의 수립이 요구
- ○ 철도구조물의 내진설계 시, 해석법 및 과보강 또는 보강부족에 대한 논란이 가중되고 있음
- ○ 지진발생 시 철도운행의 안전성을 확보하기 위한 운행하중 고려, 궤도시스템, 철도설비(전력, 신호 등) 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않음
- ○ 고속철도, 일반철도, 도시철도 등의 내진설계기준이 각기 상이하여 실무자에게 혼란이 가중
- ○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진 시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리가 필요

○ 국내 철도 인프라에 대해서는 내진설계가 도입 되었으나(일반철도 1999년, 고속철도 1991년) 그 이전에 설계된 내진설계 미반영 인프라의 내진보강을 위한 일관적, 객관적 성능평가에 대한 종합적 표준 지침이 없는 미흡한 실정임

○ 철도운행의 전력 공급에 중요한 설비의 철도인프라(전력설비)가 내진 대책이 고려 되지 않은 경우 지진에 의한 시설물의 파손 및 파괴로 전력공급 기능이 정지되어 철도인프라의 작동불가로 인한 인명피해와 재산의 손실 발생이 예상

○ 대부분의 구조재에 대한 내진설계기준은 제정되어 있으나, 2차 피해를 유발시키는 철도설비에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않은 상태이므로 이에 대한 개발이 필요함.

○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 막대한 비용이 소모됨

- 비용 대비 보강효율이 높은 내진보강시스템의 필요

○ 지진 시 철도설비와 철도구조물과의 상호작용에 따른 거동특성을 평가가 요구되며. 전차선 및 신호·통신장비 트레이, 분기기장치에 대한 내진성능 보강방안 수립이 필요

○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 소요되는 막대한 비용을 최소화하고 효율을 높이기 위해서는 시스템 분야별 최신 기술을 고려하여 보강 우선순위를 정하고 최적 내진보강방법을 선택하여야 함

○ 지역별 지진 위험도에 따른 개별 요구 수준 및 평가수준 구축이 필요하며, 철도인프라 중요도 구분을 통한 내진성능평가 및 보강 우선순위 결정이 필요

○ 철도운행의 전력 공급에 중요한 설비의 철도인프라(전력설비)가 내진 대책이 고려 되지 않은 경우 지진에 의한 시설물의 파손 및 파괴로 전력공급 기능이 정지되어 철도인프라의 작동불가로 인한 인명피해와 재산의 손실 발생이 가능하므로 이에 대한 대책이 필요

○ 전철주, 전철주와 교량연결부 등 시설물 접속 부분에 대한 내진보강 방안이 필요함. 예를 들자면 내진설비 또는 면진받침대 등의 접속부에 대한 처리 방법 필요

○ 1995년 Kobe지진은 약 15조엔의 복구비용이 소요됨. 2011년 일본 동북부 지진의 복구비용은 World Bank에 의하면 19조엔, 일본정부는 16조엔~25조엔 이 소요될 것으로 예상하고 있을 만큼 강진 후 사회간접시설물의 복구비용은 막대함

○ 한국에서 발생 가능한 지진 후 철도시설물 평가 및 보강에 대한 선행연구는 수행된 바 없으므로 관련 기초연구가 필요함

○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 필요로 하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강이 요구됨

○ 철도 시스템의 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적

○ 최근 전 세계적으로 대규모 지진의 발생 빈도가 증가함과 동시에 그 재산적 인명적 피해 규모 또한 기하급수적으로 늘어남. 특히 철도 인프라 같은 기능적 특수성을 가진 주요 구조물들은 지진피해의 복구방안을 마련하여 신속하게 지진피해를 수습하고 열차운행을 정상화하여야 함. 즉, 지진에 따른 교각, 구조물, 역사 및 궤도 등의 피해에 대해 안전점검 및 보수보강을 실시할 수 있는 시스템을 마련하여 가능한 빠른 시간 내에 열차운행이 안전하게 이루어 질 수 있는 급속 복구 기술 개발을 위한 연구가 필요함.

○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진계측시스템의 도입 및 신속대응을 위한 시스템 통합 작업이 필요함

○ 경부고속철도에 2006년 21개소 및 2010년 14개소에 「고속철도 지진감시 시스템」이 설치되어 있으나, 이는 지진조기경보 시스템이라기 보다는 지진시 시설물의 설계거동한계 이상 거동 유무를 파악하여 시설물의 건전성 평가에 활용하기 위한 모니터링 시스템임

○ 현재 고속철도의 시스템은 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않음으로 인하여 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족

○ 일본, 대만, 미국 등 지진대응 선진국에서는 지진 시 철도운행 경보시스템을 운영 중이고 큰 성과를 보이고 있으나, 국내에서는 철도 인프라와 지진경보 시스템의 연계 운영이 안 됨.

○ 지진감지 후 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 고유기능에 및 특성에 따라 응급 운행 대책 수립이 필요함

○ 지진발생시 분야별 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책이 필요함. 또한, 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함

○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진피해 사전 예측기술 개발이 필요하고, 각 철도 인프라 주변 지반 특성 파악 및 지진파의 전달특성에 대한 데이터베이스화 필요

○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리 필요

Ⅲ. 국내외 동향 및 환경 분석

국내·외 정책·기술 현황

○ 정부의 내진기준 제·개정

- 병원, 위락시설, 삭도 및 궤도시설 등의 내진설계 기준의 제정을 추진하여 삭도 및 궤도시설 등의 내진기준이 제정됨

- 교육과학기술부의 기본계획에 따라 전국 시도교육청에서 학교시설 내진보강 사업을 진행하고 있음

- 1995년 12월 6일 기존의 「풍수해대책법」을 지진 관련 조항이 포함된 「자연재해대책법」으로 개정하여 건축물 및 도로를 포함한 16개 시설 및 기타 대통령령이 정하는 시설에 대한 내진설계기준 설정을 통한 내진설계를 의무화함

- 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정·공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정 시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계기준이 강화된 공공시설물(이하 "기존시설물"이라 한다)의 내진 향상을 위하여 5년마다 기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함

- 국내 철도 인프라에 대해서는 내진설계가 도입 되었으나(일반철도 1999년, 고속철도 1991년, 도시철도 2005년) 그 이전에 설계된 내진설계 미반영 인프라의 내진보강을 위한 종합적 표준 지침이 없는 실정임

○ 현행 철도 인프라 내진설계기준

- 내진설계기준연구에서 제시된 내진설계 개념은 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 교량의 중요도 등에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분하고 있으나 이를 구현하기 위한 세부적인 설계지침에 대한 연구가 미비함

- 선진국을 중심으로 사회기반시설물의 성능기반설계가 이미 도입되었거나 도입을 위한 체계 및 사회적 공감대가 이미 구성되어 있으며 홍콩 뉴질랜드 등 일부 후발주자들 사이에서도 성능기반설계 기반의 시방서가 도입되고 있는 실정임

○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계가 이루어짐

○ 전력선, 통신선 등의 내진 성능 평가 방안 수립을 위한 부분적 연구는 진행되었으나 현장에서 활용할 수 있는 설계 및 보강기준이 없는 실정임

○ 국내 통신설비에 대한 내진성능평가 기준 및 내진 설계 기준

- "건축설비 내진설계기준 사례조사 연구(2001)/설비 엔지니어링 협의회"에서 국내외

관련기준의 조사 수행됨

- 건축구조설계기준(KBC2000)에서는 건축, 기계 및 전기 비구조요소 및 공작물의 내진설계로 세분하여 설비에 관한 내진설계기준을 제시하고 있으나 구체적인 설계방법, 시공지침이 없으며 강제적인 구속력이 없어 설비에 대한 내진설계를 미실시하는 경우가 다수 발생함

○ 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정·공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계기준이 강화된 공공시설물(이하 "기존시설물"이라 한다)의 내진 향상을 위하여 5년마다 기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함

○ 전력/통신/신호시스템의 내진보강 기술은 미비되어 있으며, 이에 주요 시설물 내의 파이프라인에 관한 내진설계 및 보강기준 개발이 진행되고 있음

○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 건축물 내의 전기설비 내진설계 및 시공 관련하여 각 설비별 내진 시공방법, 내진 제품 사양 및 설명을 제시

○ 일본의 전기설비공사 감리지침에서는 건물 내 전기설비 설계요령 및 내진 관련 시공 요점 제시하였으며, 건축전기설비 내진설계·시공 매뉴얼에서는 전기설비 설계 계수 및 시공 방법 등 구체적으로 제시

○ 일반철도 내진보강

- 2008년에 수행된 내진성능평가 용역 결과에 따라 교량 및 터널 중 388개소의 인프라를 내진보강 대상으로 선정하여 연차별 내진보강계획을 수립한 후 보강 중에 있으며 총 소요 예산이 약 1000억원으로 예상됨

○ 일반철도시설의 내진보강 중·장기계획에 따르면 2010년부터 5년간 약 1,400억원의 내진보강을 실시할 것으로 계획됨

○ 고속철도 내진보강

- 고속 1단계의 경우 1991년 내진기준이 적용되었으나 이는 현재 적용 중인 고속 2단계의 내진기준보다는 지진하중이 낮게 책정되어 있었음. 이에 따라 고속 1단계 인프라에 대한 내진성능 적정성 검토가 이루어지고 있으며 그 결과에 따라서 보강 여부 결정 예정임.

○ 도시철도 내진보강

- 기존 도시철도 시설물 중 내진설계가 미반영된(서울 1-4호선, 부산 1-3호선) 시설물에 대해 내진보강계획이 수립됨

○ 도시철도의 내진보강 중·장기계획

- 서울시의 경우 내진보강이 필요한 시설 295개소 대해서 '10년에 내진성능평가를 수행

한 후, ´12년 ~´14년까지 20%인 59개소에 대해서 내진보강 수행

- 부산시의 경우 내진보강 필요시설 14개소에 대해서 1단계에 내진보강 완료하며, 약 62억의 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 향후 내진보강 계획

- 서울시에서 1단계 보강 사업 추진 후 잔여 시설물 총 236개소(교량 32개소, 터널 116개소, 터널 33개소)에 대하여 2단계 사업으로 내진보강을 완료하며, 2015년부터 매해 약 300억 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계 반영

○ 최근 수행된 미국 캘리포니아 교통국과 Nevada 대학 연구팀은 지진 후에 구조물의 손상정도와 지진거동을 정의하는 변수와의 상관관계에 따라 보수 수준을 결정하고, FRP 재료를 이용하여 빠른 시간 내에 보수 보강하는 방안을 개발함

○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 철골 빌딩의 지진 후 평가법과 보강방법에 대한 연구를 수행하여 연결부를 중심으로 상세한 기초조사 및 해석적 평가절차를 통한 대응 매뉴얼을 작성하고 보강법을 제시하였음

○ 미국 토목학회(ASCE)에서는 라이프라인의 지진후 조사에 대한 가이드라인을 제시하였으며, 미국의 지질조사국과 캘리포니아 지질조사국은 철도교통망의 ShakeOut Scenario 연구를 중심으로 조사하고 분석하였음

○ 일본의 JR East에서는 신간센의 지진 후 예측평가를 위해 표준궤도의 정량적인 위험도 분석을 실시하였음

○ 최근 철도 인프라의 손상평가를 위해 새롭게 등장하는 다양한 비파괴 검사기법을 활용한 각 부재별 손상평가 기법이 연구 중이며 대표적으로 음파 및 초음파를 이용하는 방법, 전자기파를 이용하는 방법, 레일 표면의 크랙 검출과 크기 결정이 가능하며 빠른 검사가 가능한 와전류법 등의 기술이 연구됨

○ 또한 온라인 기반의 철도 인프라 실시간 손상평가를 위하여 광섬유를 이용한 방법, 압전센서기반의 유도 초음파 및 임피던스 신호를 이용하는 방법 등이 제안되고 개발 중이며, 검사기술의 사용성을 높일 수 있는 토모그라픽 이미지 처리 기술, 센서네트워크 기술의 적용 등이 함께 연구 중임

○ 선진국가에서 개발된 철도 선로 검측 시스템의 측정 방식은 레이저, 화상, 광에 기반을 둔 기술을 채택하고 있으며, 검측 대상은 차선높이, 편위, 마모 및 이선율 등이며 시스템 자동화 및 통합화가 이미 완료 되었거나 진행 중에 있음

○ 그중 2008년 궤도시스템의 유지보수 및 보수 분야의 세계 시장규모는 약 38조 5,790억원, 2007년 의 국내 철도 유지보수 비용은 약 7,000억원이며 2014년까지의 성장률은 약

4 % 로 추정됨

○ 우리나라의 경우 경부고속철도 전 구간 총 37개소에 지진감지시스템이 설비되어 있음. 지진계가 설치되어 있으며, 고속철도 전체 연장 고려 시 평균 설치간격은 약 11km로 지진에 가장 취약한 교량에 설치되어 있으며, 지진발생 시 지진계에서 검측된 진동가속도 값(gal)으로 운행속도와 운행중지를 결정하고 있다. 광명~부산 고속철도 전 구간에 지진감시시스템을 구축하여 운영하고 있으나, 실시간 관제 기능은 부족한 실정임.

○ 지진으로 인한 운행중인 열차의 위험을 신속하게 파악하고 대처하기 위해서는 현재의 국내의 고속철도 운행구간에 설치된 지진감지시스템을 보완하여 지진 발생에 대비할 필요가 있음. (도시철도, 일반/간선철도 포함 필요)

- 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않고 있어, 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족함.

○ 지진재해대책법 제6조 및 같은 법 시행령 제5조에 따른 지진가속도계측기 설치 대상 시설 개소수(소방방재청 고시, 2010.9.7)

- 소방방재청 예산 분석자료를 참고할 경우, 1개소 설치에 평균 1.2억원(지방자치단체 청사 기준) 가량 소요

- 주요 시설물에 설치되는 지진가속도계 및 시스템 소요 예산 : 약 1천억원

- 2020년까지 국토해양부의 국가철도망 구축계획에 따라, 향후 고속철도, 일반철도 및 광역철도의 건설이 급증할 것으로 예상

- 모든 철도에 지진계측시스템 및 지진초기대응시스템이 구축될 것으로 예상

- 지진가속도계측기 및 통합관리시스템, 조기대응시스템 가격

  · 시스템 설치 : 10억원/10개소

  · 설치 간격 : 고속철도-10km/개소, 일반철도-20km/개소, 도시철도-1개소/역사

- 철도 분야 시장규모 : 약 1,500억원 규모(철도 시설에 한정), 년간 유지보수 비용 : 10% 계상

  · 고속철도 : 약 100개소

  · 일반철도 : 약 250개소

  · 도시철도 : 약 1,000개소

- 전체 시장규모 : 향후 10년간 약 2천억원 ~ 3천억원 가량의 시장이 형성될 것으로 전망되고, 연간 유지보수 비율 10%를 적용할 경우 연간 250억 - 300억 시장이 형성될 것으로 전망

기술수요 조사 결과

○ 기술수요조사 수행결과 요약은 다음 표와 같음

<기술수요조사 개요>

구 분	내용
조사기간	2011. 09. 26 ~ 2011. 10. 07
조사대상	출연연구기관, 공사 연구소, 대학, 민간기업체 소속의 방재, 내진, 철도, 토목, 건축, 설비분야 전문가 72명
응답자수	72명 중 31명(43.1%)
조사항목	이메일을 통한 설문조사
조사방법	제안기술의 개요(중점추진분야분류, 연구수행기관, 기술개발단계), 연구개발목표 및 내용, 연구개발필요성, 제안기술관련 국내외 시장/기술/정책 동향

<기술수요조사 결과>

중점추진분야	제안기술명	응답자(명)
철도 구조물 내진 설계 및 보강 기준 선진화	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계 개선방안	8
	기관별 내진설계기준 통일안 정립	6
	목표성능 및 역량 비교 변수에 대한 수치적인 정량화	6
	철도 인프라 내진성능 점검 및 내진성능평가지침 정립	4
	목표성능에부합되는한계상태검증을위한실험적연구	5
	철도 인프라 분야별 구조해석기술 및 절차 개발	5
	현장 실무형 철도 시스템 비선형 구조해석 프로그램 개발	5
	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발 방안	5
	보강효과를 직접 반영할 수 있는 해석모델의 개발	5
	보강된 구조물의 내진성능 신뢰도 평가 기술 개발	2
	기존 내진보강기술의 기술개발 및 신소재 및 신공법 연구	3
	기존 인프라에 대한 내진보강 설계기준 및 매뉴얼 작성	4
지진 후 철도 구조물 손상 평가 및 복구 방안	철도 구조물 지진피해 사례조사 및 손상 양상 분석	9
	지진 후 철도 구조물별 손상평가 기법 및 시스템 개발	13
	철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석	8
	지진 후 철도구조물 손상정도 파악 및 복구 제	6

중점추진분야	제안기술명	응답자(명)
	도 연구	
	구조물 손상수준 정밀 급속진단 시스템 개발	3
	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발	8
	안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성	15
	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개를 위한 지배변수 도출 및 정립	4
	손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발	10
	응급복구를 위한 철도시설물 정보 라이브러리 구축 및 복구매뉴얼 작성	5
	재해 시 시설물 응급복구를 위한 시공자재 개발	7
철도 전력/통신/신호 시스템 내진성능 평가 및 보강 기술 개발 방안	철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발	12
	철도설비 분야별 내진설계 기준 및 시공 지침	10
	철도설비에 대한 동적거동 특성 실험 및 분야별 목표성능수준 정립	6
	철도 설비 내진성능 향상 기술 개발	11
지진 경보 및 비상 대응 체계 구축	지진규모 사전예측기술 개발	8
	지진감지 시 열차 긴급정지 및 응급 운행 대책 수립	5
	지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발	3
	지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발	5
	지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축	4
	지진 통합 감지 시스템 구축 및 경보 기술개발	4
	KTX 지진경보 시스템 보완 및 확대 적용 방안 마련	2
	BIM 기술을 이용한 위기 대응 전자 매뉴얼 개발	4

Ⅳ. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1. 연구목표

1세부 : 철도인프라 내진기술 선진화 체계 및 기술 개발

○ 철도 인프라시스템의 지진 대비 내진설계기준 및 내진성능 향상을 통하여 인적·재산 피해 최소화 및 안전성을 확보하고, 지진 후 열차운행의 속개를 위한 신속한 복구와 종합적 응급대응체계 구축을 위한 기술 개발

- 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계기준 신규 또는 개선안 수립
- 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 신규 또는 개선안 수립
- 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립
- 철도 궤도 및 설비의 내진성능 보강시스템 개발
- 지진 후 열차운행의 신속재개를 위한 인프라 급속복구를 위한 손상 진단 및 급속복구기술 개발

2세부 : 철도인프라 지진 조기대응시스템 구축 기술 개발

○ 지진 발생 시 초기에 규모, 진원지, 피해위치 등을 예측하여 신속하고 효율적인 안전 확보를 위한 철도전용 조기대응시스템 개발

- 철도인프라 전용 지진조기경보시스템 성능목표 제시
- 지진규모 사전예측기술 개발
- 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립
- 지진 초기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증

2. 주요 연구내용

1세부 : 철도인프라 내진기술 선진화 체계 및 기술 개발

▶ 연구 1 : 철도인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

□ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화

- 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 및 개선안 정립
  - · 통합 철도인프라 내진성능수준 및 목표성능 수립
  - · 교량, 터널, 역사, 노반, 궤도에 대한 철도 인프라 특성 고려에 따른 기존 기준 개선안 도출
  - · 교량, 터널, 역사, 노반, 궤도별 국내 지반특성 및 계측데이터 기반의 지진재해도, 지반계수, 시설물 중요도 등급, 지역계수, 액상화평가기준 등의 세부 적용안 도출
  - · 국내 지반 특성에 적합한 설계응답 증폭계수 재산정 및 설계응답스펙트럼 개선안 도출
  - · 열차속도를 고려한 주행하중 및 인프라 특성을 고려한 하중조합 및 하중계수 검토, 개선안 도출
  - · 궤도·노반·교량의 동적특성 및 상호작용 분석
  - · 철도인프라 피해 및 붕괴시나리오 정립
- 철도 구조물 분야별 내진해석법 검토 및 개선
  - · 철도교량의 연성도 내진설계법 검토 및 세부사항 도출
  - · 개착식터널의 응답변위법 개선 및 응답진도법 등 도입을 위한 세부사항 도출
  - · 굴착식터널의 내진설계 도입을 위한 세부사항 도출
- 철도 구조물 분야별 성능기반설계 도입을 위한 방안 수립
  - · 목표성능 및 설계하중 설정
  - · 요구 및 능력성능의 비교변수 정립
  - · 철도인프라 특성을 반영한 성능 및 요구산출 기법 제시
  - · 성능기준 외 세부관련 기준사항 도출
- 철도 구조물 분야별 상세설계지침 개발
  - · 철도 교량/터널/역사/노반/궤도 분야의 기준에 적합한 상세설계지침 정립
  - · 기준해설서 및 설계예제집 작성
- 궤도, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정
  - · 구조물과의 인터페이스 및 동적특성 정립
  - · 구조물과의 동적 및 비선형거동의 시뮬레이션 및 실험을 통한 검증
  - · 철도설비의 내진해석법 개발
  - · 궤도 및 철도설비 내진설계기준의 세부사항 도출
  - · 기준해설서 및 설계예제집 작성
- 철도 인프라 통합 내진설계기준 제정
  - · 철도 인프라 통합 내진설계기준 체계 수립

□ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 선진화

- 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립
  · 현장조사 대상, 절차 및 결과분석 대책 정립
  · 사용목표수명 고려에 따른 반영사항 도출
  · 국내/외 구조물 분야별 내진성능 평가기준 검토 및 개선사항 도출
  · 구조물에 따른 내진해석법 정립
  · 예비평가 및 상세평가의 평가기준 및 절차 수립
- 철도설비 내진성능 보강지침 제시
  · 철도설비의 내진성능평가 요소 도출
  · 구조물과 설비의 인터페이스 및 동적특성을 고려한 평가해석법 정립
  · 평가기준 및 절차 수립
  · 지침해설서 및 예제집 작성
- 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정
  · 철도인프라 통합 내진성능평가 기준 체계 수립

□ 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립

- 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발
  · 구조물별 특성을 반영한 기능 및 붕괴단계의 손상피해 시나리오 개발
  · 지진 후 급속 손상진단을 위한 패턴인식 및 분석 알고리즘 개발
  · 안전성 및 사용성 평가기반의 손상평가 지수 및 기법 정립
  · 손상평가 및 복구기준 개발
- 응급위험도 판정기준 정립
  · 구조물별 응급위험도 시나리오 개발
  · 응급위험도 판정기준 및 급속복구 지침 개발

▶ 연구 2 : 철도인프라 내진성능 향상기술 개발

□ 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발

- 궤도구성품을 포함한 궤도 및 전력, 통신, 신호, 분기기 등 철도설비의 내진성능보강기법 정립
  · 궤도-구조물, 설비-구조물 간 상호작용이 고려된 동적거동 실험
  · 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 모델링기법 정립 및 해석시뮬레이션 수행

· 궤도 및 철도설비 내진보강시스템의 성능수준 제시

· 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 보강기술 개발 및 성능검증

· 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 시공 및 유지관리 매뉴얼 작성

□ 철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화

- 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립

· 기존 철도 구조물 내진성능 죄적 보강기술 도출

· 보강시스템 해석모델 개발 및 보강수준 제시

· 보강된 철도 구조물 내진성능 해석 기법 정립

· 보강시스템 시공 및 유지관리 지침 작성

· 철도구조물 내진성능 향상지침 작성

▶ 연구 3 : 지진 발생 후 철도인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

□ 철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발

- 철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발

· 철도 인프라 급속손상 진단 기법 정립

· 철도 인프라 급속손상 진단 검측시스템 개발

· 철도 인프라 급속손상 진단 검측시스템 시제품 제작 및 성능검증

· 철도 인프라 급속손상 진단 검측시스템 사용매뉴얼 작성

- 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼 작성

□ 철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발

- 지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성

· 철도인프라 응급복구 시나리오 개발

· 철도인프라 응급복구 및 비상체계 수립

· 응급복구 매뉴얼 작성

- 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발

· 철도인프라 특성을 반영한 급속복구 개소 도출

· 급속복구 체계 수립

· 급속복구 보강 및 시공기법 개발

· 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축

· 급속복구 시공지침 작성

- Mock-up 테스트를 통한 성능 검증

2세부 : 철도인프라 지진 조기대응시스템 구축 기술 개발

□ 철도인프라 전용 지진조기경보시스템 성능목표 제시

□ 계측데이터 기반 철도인프라 지진피해 예측기술 개발

- 철도인프라 전용 지진 조기대응시스템 성능목표 도출
  - · 국내/외 지진 조기대응시스템 분석 및 개선사항 도출
  - · 지진 조기대응시스템의 철도인프라 적용 검토
  - · 지진 조기대응시스템의 목표사항 도출
- 국내에 적합한 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발
  - · 계측데이터/P파 기반 지진규모 산정 기법 검토 및 최적안 도출
  - · 국내 지반특성을 고려한 지진파 전파 감소 검토 및 분석
  - · 개발된 알고리듬에 대한 P파 추출 모듈
  - · 실시간 P파 초기미동 검출모듈
  - · 진앙, 규모를 추정하는 한국형 상관관계식 도출 및 모듈
  - · 최대진폭 계산모듈
  - · PGA, PGV, PGD 검출 및 계산모듈
  - · 국내/외 지진 대응시스템 알고리즘 검토 및 최적안 개발
- 지진 조기대응시스템 솔버 개발
  - · 지진 조기 규모, 진원 및 손상범위, 위치 산정 솔버개발
  - · 솔버의 신뢰도 검증 및 기법 개발

□ 철도인프라 지진조기대응시스템 구축기술 개발

- 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계
  - · 하드웨어 시스템 구성 및 설계
  - · 연선관측망 구축 및 운영기법 개발
  - · 오보방지용 안전장치 개발
  - · 하드웨어 및 솔버와의 적합성, 구동성 검증
- 철도인프라 지진조기대응시스템 구축 기반기술 개발
  - · 철도운영시스템과 연계구축 방안 수립
  - · 철도인프라 지진조기경보시스템 구축 및 운영을 위한 네트워크 설계
  - · u-IT 기반 지진 감지, 경보, 대피 정보 전달 체계 구성안 수립

· 철도운영시스템과 연계방안 설계

- 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련

· 지진 규모, 위치 등에 따른 운행지침 작성

· 철도인프라 조기대응에 따른 비상체계 수립안 작성

□ 지진 조기대응 시스템 성능검증

- 시험부설 및 성능검증

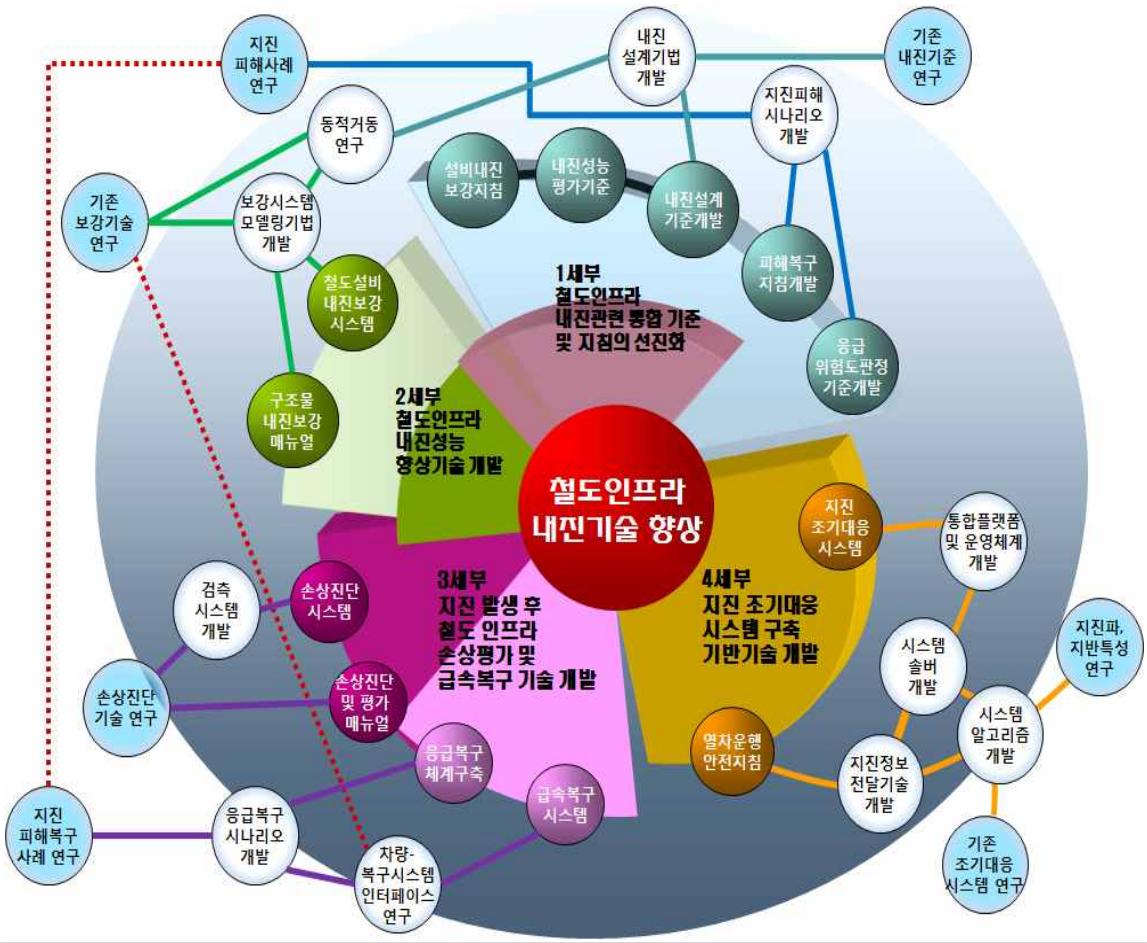
· 시험부설 및 성능검증, 성능 모니터링

· 운용 매뉴얼 작성

3. 추진체계

세부과제 간의 연계성

□ 1세부 3개의 연구간 유기적 연계 필요



세부과제별 추진체계

□ 국가 연구개발 공동 운영 체계 준수

□ 대형 연구개발의 효율적 추진을 위한 체계구성

□ 산·학·연 및 관과의 유기적 연계성 구축

□ 기관의 특성이 반영된 업무 할당





Ⅴ. 사전타당성 검토

정책적 타당성

○ 현행 지진재해대책법에 의거 주요 시설에 대한 내진설계기준을 정하도록 함에 따라 내진설계기준이 미비된 궤도운송법에 따른 궤도(구 삭도시설)에 대한 내진설계기준이 제정되었으나, 아직 설비분야에 대한 내진설계기준은 미흡한 실정임.

- 제2차 국가철도망 구축계획 등 철도분야 투자규모가 증가함에 따라 철도 인프라설비분야의 내진 안전성 확보를 위한 기준제정이 시급함.

○ 국제적 강진의 발생 증가와 국내 지진발생의 증가추세로 주요 시설물의 내진설계기준은 기준 수립 이후 지속적으로 강화되고 있는 실정임.

○ 철도 인프라의 내진설계기준이 강화된 지 10년 이상 경과하였으며, 이에 철도 인프라와 관련한 주요 설계기준의 재검토가 필요함.

○ 미국, 일본 등 내진선진국의 내진설계기준이 성능중심 설계로 확산되어가는 추세임. 내진선진국과의 기술격차를 줄이기 위하여 국내 철도 인프라 특성에 맞는 내진기준의 재정립을 위한 연구수행이 필요함.

○ 철도 설비분야의 내진보강에 대한 국내 연구는 초기단계이며, 기술개발에 막대한 예산이 소요되므로 이와 관련된 연구는 국가에서 주도하는 것이 타당함.

- 지진재해대책법과 재난 및 안전 관리 기본법에 따라 5년마다 기존시설물의 내진보강계획을 수립하여야 하고 있으며, 이 중 내진보강대책에 필요한 기술의 연구개발에 대한 사항을 기본계획에 포함하도록 하고 있음.

○ 현행법령에서 지진재해의 예방 및 복구 등에 대하여 일부 또는 전체를 국고로 부담하도록 되어 있으므로 예방 및 복구를 위한 기술 개발을 통하여 국고 부담을 최소화할 필요가 있음.

○ 현행 지진통보시스템(EBS)은 지진발생에 대한 신속한 대응보다는 사후 처리에 가까운 형태로 운영되고 있음. 일본의 사례로 비추어볼 때 현행 시스템은 지진시 열차운행에 대한 안전성 확보가 어려우며 조기경보시스템 구축을 통한 열차운행의 안전성 확보를 위한 정책마련이 필요함.

- 국가 위기대응시스템과 향후 연계가 될 수 있도록, 시스템 구축 초기 단계부터 통합시스템을 고려한 설계가 필요함

○ 최근 사회적으로 복지, 환경 및 안전이 주요 요구사항임을 고려할 때 공공재적 성격이 강한 철도 인프라에 대한 지진관련 안전성 확보는 필수임.

기술적 타당성

○ 철도 인프라 내진기술과 관련한 기초기술 및 연구성과는 선진국에 비하여 열세이나, 연구 인프라는 선진국 수준에 근접한 것으로 판단됨.

○ 국내 지진 발생 추이와 주요시설물의 내진설계기준 변화 및 인접국가의 지진사례를 분석한 결과 철도인프라에 대한 현행 내진설계기준 상향에 대한 검토가 필요한 것으로 판단됨.

○ 기존 내진설계기준연구II(1997)에서 주요 시설물에 대하여 기능수행수준과 붕괴방지수준의 2가지 목표성능이 제시되어 있으며, 도시철도내진설계기준에서 이 2가지 성능수준에 모두 만족하도록 규정하고 있는 등, 내진선진국에서 시행중인 성능기반 설계의 도입에 어려움이 없을 것으로 판단됨.

○ 다만, 내진설계를 실행하는 실무자의 기술수준은 성능기반 설계를 수행하기 위한 설계 및 해석법을 사용함에 있어 연구자 및 선진국 수준과 격차를 보임에 따라 기존 설계기법과 병행하여 사용하여야 함.

○ 전반적인 국내 기술력을 종합해 보았을 때 내진보강 기술력은 선진국 수준에 근접한 것으로 판단됨.

- 최근 학교시설 내진보강사업 등으로 선진 내진보강 기술의 국내 유입 및 국내 내진보강 기술개발이 활발히 이루어지고 있음.

○ 기존 철도 인프라 내진보강기술의 검증/평가를 실시할 연구기관의 기술력은 선진국 수준에 근접한 것으로 판단됨.

○ 지진 조기경보시스템 개발 기술은 조기경보 시스템의 구축성능목표를 사전에 명확히 설정하여야 할 필요가 있음.

경제적 타당성

○ 철도 인프라의 운행중 내진 보강에 대한 국내외 시공사례가 부족하여 해당 기술 개발 시 해외 시장 선점의 가능성이 높음.

○ 철도 인프라 내진보강에 연간 약 30~100억 규모의 투자가 이루어질 것으로 전망됨에 따라 내진보강관련 산업의 고용유발 효과를 기대할 수 있음.

○ 철도 인프라 내진보강기술 개발이 민간기업의 주도로 이루어질 경우 역량측면에서 볼 때, 수십억원 규모의 개발비는 시장을 주도하는 보수보강업체의 재무구조 취약으로 인해 사업 추진의 현실성이 낮아 보임.

○ 구조물 내진보강 전문기업 중 자체기술 보유 기업은 극소수이나 다수의 보수보강 업체가 해외기술을 통한 신규진입이 예정되어 있음. 그러나 철도 인프라 특성에 적합한 내진보강기술은 전무하여 기술개발을 통한 시장진입의 성공 가능성은 매우 높음.

○ 철도 인프라 중 교량, 터널 등 구조물의 내진보강비용이 약 3천억원이 소요될 계획이며, 설비분야의 내진보강비용은 아직 파악되지 못한 실정임.

- 철도 인프라 내진보강기술 개발로 보강비용의 10% 감축시 최소 300억 이상의 비용절감 효과를 달성할 수 있음.

○ 지진 후 철도 인프라 손상과 이로 인한 열차운행 중단 시 우회가 불가능한 철도교통의 특성상 철도의 운송부담은 주변 도로에 전가됨. 당산철교 교체시 3년간 셔틀버스 운행 비용과 도로혼잡 및 지역상권의 피해로 수천억원의 사회적 간접비용이 발생하였음.

○ 도로의 경우 우회로 및 임시가교 설치를 통한 우회가 가능하나 철도의 경우 우회가 불가능하여 지진피해시 응급복구가 불가능할 경우 철거 및 재시공 기간동안 이용이 불가능하여 막대한 사회적 비용손실이 발생하게됨.

○ 설계기준에서 제시하고 있는 내진 1등급 0.154g 규모의 지진발생시 300km 가량의 시설물 붕괴 시 약 30조의 복구비용(기존 당산철교 재시공비용인 540억원/km에 대하여 연간 5%의 물가상승률을 고려한 경우)이 예상되며, 이로 인한 물류운송의 축소, 비용 증가, 물가상승 등에 따른 사회적 비용은 수백~수천조에 이를 것으로 예상됨.

○ 내진설계기준의 강화 또는 기존 시설물의 내진성능보강을 통하여 예상되는 피해시설의 10% 이상의 붕괴를 방지할 경우 약 3조의 복구비용과 수백조의 사회적비용의 감소를 기대할 수 있음.

○ 철도 인프라 응급복구 시스템의 개발을 통하여 복구기간 1일 단축시 복구 1개소당 약 5억원의 사회적 비용감소를 기대할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 철도 운행중 지진으로 인한 차량 전복시 1편성당 100명 이상의 사망, 500명 이상의 부상이 예상되며 이로 인한 철도차량 비용 및 수십억원의 피해보상비용과, 철도시설의 대국민 신뢰도 저하가 발생할 것임.

○ 지진 조기대응 시스템의 구축을 통한 열차운행 안전성확보는 열차전복사고 예방 및 철도의 대국민 신뢰도 상승을 통하여, 피해비용 절감 및 운행수입의 증대를 기대할 수 있음.

정부지원 타당성

○ 내진관련 기준의 제·개정은 법령에 의거 시행되는 기술기준이므로 국가주도로 진행되어야 하는 사업

○ 철도시설물은 다중이용 시설물로써 공공성이 강하며, 이를 위한 내진선진국과의 기술격차를 줄이기 위한 연구는 장기적 차원에서 연구개발이 진행되어야 하므로 정부차원에의 연구개발 주도 전략이 필요한 과제임.

○ 철도 설비분야의 내진보강에 대한 국내 연구는 초기단계이며, 기술개발에 막대한 예산

이 소요되므로 이와 관련된 연구는 국가에서 주도하는 것이 타당함.

○ 지진 후 철도인프라의 평가/보강 및 대응 매뉴얼 확보를 통한 국민의 심리적 불안을 해소하고 사후 인명피해를 최소화하는 등 사회적 파급효과를 고려하여 국가의 지원이 필요함

○ 철도 시스템의 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 연구개발 사업을 통한 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적이며 기획연구를 통하여 기술동향 분석, 세부 전략 수립 및 필요 연구분야 도출이 필요함수보강을 확대 적용하는 등 강화된 건축법 시행령을 입법예고

○ 지진재해에 대한 공공시설물의 안전성 확보를 위하여 조기 및 신속한 대책 수립은 국가차원의 지원이 요구됨

○ 모든 철도 시설물은 상시 시민들이 이용하는 다중이용시설이므로 인명피해에 대한 저감대책이 최우선시 되어야 하고, 이와 관련된 연구는 국가 지원이 필요함

○ 지속적이고 혁신적으로 발전하는 u-IT 기술 기반의 초기대응시스템 구축 및 상황전파시스템 구축을 위한 국가 정책 반영이 필요함

○ 정부 미지원시 1일 천만이상 이용하는 광역철도, 도시철도의 내진안전성 미확보에 따른 대국민 신뢰도 저하 및 지진 시 대규모 인명피해의 위험성 노출

Ⅵ. RFP

○ 철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축

세부과제명	철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축
1. 연구개발 목표	
	○ 철도 인프라시스템의 지진 대비 내진설계기준 및 내진성능 향상을 통하여 인적·재산피해 최소화 및 안전성을 확보하고, 지진 후 열차운행의 속개를 위한 신속한 복구와 종합적 응급대응체계 구축을 위한 기술 개발 - 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 신규 또는 개선안 수립 - 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 신규 또는 개선안 수립 - 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립 - 철도 궤도 및 설비의 내진성능 보강시스템 개발 - 지진 후 열차운행의 신속재개를 위한 인프라 급속복구를 위한 손상 진단 및 급속복구기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 대형 강진(2004년 인도네시아 지진 규모 9.2, 2008년 중국 쓰촨성 지진 규모 8.0, 2011년 일본 동북부 지진 규모 9.0 등)의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며 이에 따라 철도 시스템의 내진 안전성 확보 및 기준 적합성 여부가 중요한 문제로 대두됨 ○ 국내 철도인프라의 대부분 내진설계가 도입 되었으나 지진발생 시 철도운행의 안전성을 확보하기 위한 운행하중 고려, 궤도시스템, 철도설비(전력, 신호 등)에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않으며, 내진설계 도입 이전에 설계된 인프라의 내진성능의 평가·보강을 위한 종합적 표준이 미흡함 ○ 철도 인프라는 도로 등 타 교통수단 시스템과 차별화된 고유의 시스템 기능을 고려한 내진설계기준 수립이 요구됨 ○ 기존 철도인프라 분야별 내진설계기준은 국내 환경 및 특성을 충분히 반영하지 못하고 있으며, 설계 또는 내진성능평가 시 해석법과 보강정도에 대한 논란이 있음 ○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하

	여, 지진 시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리가 필요함 ○ 지진 발생 후 철도 시스템의 조기 정상화를 위해서는 철도 인프라의 손상을 감지, 진단, 평가하고 그에 따른 복구를 위한 구체적 지침이 필요하며 그와 관련된 기술개발이 요구됨 ○ 내진설계가 미반영된 기존 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 막대한 비용이 소모되므로 철도 인프라 특성에 적합한 경제적·효율적 내진보강 기술개발이 필요함 ○ 철도 인프라는 운행 및 사용의 중단이 없는 상태에서 내진성능이 보강되도록 시공시간이 짧고, 접근성이 좋지 않아 특화된 보강시스템의 개발이 필요함 ○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 위한 표준지침 수립이 필요하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강기술 개발이 필수적임 ○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 필요로 하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강이 요구됨 ○ 지진 발생 시에 철도 고유의 시스템 기능을 고려한 궤도/교량/터널/노반/역사/설비 등의 손상평가 평가 및 복구 시스템이 필요
□ 기술동향	○ 내진설계기준 제·개정 현황 - 1995년 12월 6일 기존의 「풍수해대책법」을 지진 관련 조항이 포함된 「자연재해대책법」으로 개정하여 건축물 및 도로를 포함한 16개 시설 및 기타 대통령령이 정하는 시설에 대한 내진설계기준 설정을 통한 내진설계를 의무화함 - 02년 :『주요시설물 내진설계기준의 재정비』 - 04년 :『기존 터널의 내진성능 평가 및 향상요령』, 『기존 교량의 내진성능 평가 및 향상요령』, 『철도설계기준(철도교편)』 - 05년 :『고속철도설계기준(노반편)』 『도시철도 내진설계 기준』, - 06년 이후 :『주요 시설물의 지진대비 필수기능 유지방안』 - 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정·공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계기준이 강화된 공공시설물(이하 “기존시설물”이라 한다)의 내진 향상을 위

하여 5년마다 기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함

- 삭도 및 궤도시설을 포함한 철도구조물 대부분의 내진기준이 제정됨

- 이러한 내진설계는 신설된 시설물에는 적용되나, 내진설계의 도입 이전에 건설된 시설물의 대부분은 지진의 영향을 고려하지 않은 채 설계·시공되어 있으며 사용년수가 오래 경과하여 노후화가 많이 진행되어 있음

○ 현행 철도 인프라 내진설계기준

- 내진설계기준연구에서 제시된 내진설계 개념은 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 교량의 중요도 등에 따라 요구되는 내진성능을 철도시스템별로 기능수행수준 또는 붕괴방지수준으로 구분하고 있으며 이를 구현하기 위한 세부적인 설계지침에 대한 연구가 미비함

- 선진국을 중심으로 사회기반시설물의 성능기반설계가 이미 도입되었거나 도입을 위한 체계 및 사회적 공감대가 이미 구성되어 있으며 홍콩 뉴질랜드 등 일부 후발주자들 사이에서도 성능기반설계 기반의 시방서가 도입되고 있는 실정임

○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계기준을 정하고 있음

○ 전력선, 통신선 등의 내진 성능 평가 방안 수립을 위한 부분적 연구는 진행되었으나 현장에서 활용할 수 있는 설계 및 보강기준이 없는 실정임

○ 전력/통신/신호시스템의 내진보강 기술은 미비되어 있으며, 이에 주요 시설물 내의 파이프라인에 관한 내진설계 및 보강기준 개발 미비

○ 국내 통신설비에 대한 내진성능평가 기준 및 내진 설계 기준

- “건축설비 내진설계기준 사례조사 연구(2001)/설비 엔지니어링 협의회”에서 국내외 관련기준의 조사 수행됨

- 건축구조설계기준(KBC2000)에서는 건축, 기계 및 전기 비구조요소 및 공작물의 내진설계로 세분하여 설비에 관한 내진설계기준을 제시하고 있으나 구체적인 설계방법, 시공지침이 없으며 강제적인 구속력이 없어 설비에 대한 내진설계를 미실시하는 경우가 다수 발생함

○ 일반철도 내진보강

- 2008년에 수행된 내진성능평가 용역 결과에 따라 교량 및 터널 중 388개소의 인프라를 내진보강 대상으로 선정하여 연차별 내진보강계획을 수립한 후 보강 중에 있으며 총 소요 예산이 약 1000억

원 이상으로 예상됨

○ 일반철도시설의 내진보강 중·장기계획에 따르면 2010년부터 5년간 약 1,400억원의 내진보강을 실시할 것으로 계획됨

○ 고속철도 내진보강

- 고속 1단계의 경우 1991년 내진기준이 적용되었으나 이는 현재 적용 중인 고속 2단계의 내진기준보다는 지진하중이 낮게 책정되어 있었음. 이에 따라 고속 1단계 인프라에 대한 내진성능 적정성 검토가 이루어지고 있으며 그 결과에 따라서 보강 여부 결정 예정임.

○ 도시철도 내진보강

- 기존 도시철도 시설물 중 내진설계가 미반영된(서울 1-4호선, 부산 1-3호선) 시설물에 대해 내진보강계획이 수립됨

○ 도시철도의 내진보강 중·장기계획

- 서울시의 경우 내진보강이 필요한 시설 295개소 대해서 '10년에 내진성능평가를 수행한 후, '12년 ~'14년까지 20%인 59개소에 대해서 내진보강 수행

- 부산시의 경우 내진보강 필요시설 14개소에 대해서 1단계에 내진보강 완료하며, 약 62억의 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 향후 내진보강 계획

- 서울시에서 1단계 보강 사업 추진 후 잔여 시설물 총 236개소(교량 32개소, 터널 116개소, 터널 33개소)에 대하여 2단계 사업으로 내진보강을 완료하며, 2015년부터 매해 약 300억 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계 반영

○ 최근 수행된 미국 캘리포니아 교통국과 Nevada 대학 연구팀은 지진 후에 구조물의 손상정도와 지진거동을 정의하는 변수와의 상관관계에 따라 보수 수준을 결정하고, FRP재료를 이용하여 빠른 시간 내에 보수 보강하는 방안을 개발함

○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 철골 빌딩의 지진 후 평가법과 보강방법에 대한 연구를 수행하여 연결부를 중심으로 상세한 기초조사 및 해석적 평가절차를 통한 대응 매뉴얼을 작성하고 보강법을 제시

○ 미국 토목학회(ASCE)에서는 라이프라인의 지진후 조사에 대한 가이드라인을 제시하였으며, 미국의 지질조사국과 캘리포니아 지질조사국은 철도교통망의 ShakeOut Scenario 연구를 중심으로 조사하고 분석하였음

○ 일본의 JR East에서는 신간센의 지진 후 예측평가를 위해 표준궤도의 정량적인 위험도 분석을 실시하였음

○ 최근 철도 인프라의 손상평가를 위해 새롭게 등장하는 다양한 비파괴 검사기법을 활용한 각 부재별 손상평가 기법이 연구 중이며 대표적으로 음파 및 초음파를 이용하는 방법, 전자기파를 이용하는 방법, 레일 표면의 크랙 검출과 크기 결정이 가능하며 빠른 검사가 가능한 와전류법 등의 연구 진행

○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 건축물 내의 전기설비 내진설계 및 시공 관련하여 각 설비별 내진 시공방법, 내진 제품 사양 및 설명을 제시하였음

○ 일본의 전기설비공사 감리지침에서는 건물 내 전기설비 설계요령 및 내진 관련 시공 요점 제시하였으며, 건축전기설비 내진설계·시공 매뉴얼에서는 전기설비 설계 계수 및 시공 방법 등 구체적으로 제시하였음선철도 포함 필요).

3. 연구개발 내용	

□ 연구내용1 : 철도인프라 내진설계 통합 기준 및 지침의 선진화

○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화

- 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 및 개선안 정립
- 철도 인프라 분야별 내진해석법 및 성능기반설계 제시
- 철도 인프라 분야별 상세설계지침 개발
- 궤도·노반, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정
- 철도 인프라 통합 내진설계기준 개정

○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능·평가 기준 선진화

- 국내외 철도인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립
- 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정
- 철도설비 내진성능 보강지침 제시

○ 철도 인프라 복구를 위한 기준개발 및 체계수립

- 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발
- 응급위험도 판정기준 정립

□ 연구내용2 : 철도인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발
- 궤도 및 철도설비의 내진성능보강기법 정립
- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발
- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 성능검증

○ 철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화
- 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립
- 철도 구조물 특성을 고려한 보강시스템 개발 및 검증

□ 연구내용3 : 지진 발생 후 철도인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발
- 철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발
- 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼 작성

○ 철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발
- 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발
- 지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성
- 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축
- Mock-up 테스트를 통한 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 철도인프라 분야간 인터페이스 조정 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축
- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축
- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하

여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시

- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축

- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 철도 인프라 분야별 내진보강시스템의 인터페이스 조정
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성

- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

□ 추진체계



5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

□ 연구내용1 : 철도인프라 내진관련 통합 기준 및 지침 선진화

○ 철도 교량/궤도/터널/역사/노반 및 기타 구조물, 철도설비의

내진설계기준 및 지침 고시
- 구조물에 따른 해석법
- 성능기반설계 도입
- 철도설비, 궤도 내진설계기준 신규 제정
- 철도인프라 통합 내진설계기준
- 상세설계지침 및 예제해설집

○ 철도 교량/궤도/터널/역사/노반 및 기타 구조물, 철도설비의 내진성능 평가·보강 기준 및 지침 고시
- 내진성능평가 기준
- 내진성능보강 지침

○ 철도인프라 복구를 위한 기준 및 지침
- 구조물별 손상수준 및 복구지침
- 응급위험도 판정기준

□ 연구내용2 : 철도인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템
- 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템 시제품
- 시공지침

○ 철도구조물 내진성능 향상 기술 지침
- 구조물 별 최적 내진보강시스템 선정 및 시공 지침

□ 연구내용3 : 지진발생 후 철도인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 철도인프라 급속 손상진단 검측시스템
- 급속 손상진단 시스템 시제품
- 진단 및 평가 매뉴얼

○ 구조물별 응급복구 보강시스템
- 급속복구 kit 모듈
- 보강시스템 시제품
- 보강시스템 시공지침 및 대응매뉴얼

6. 연구기간 및 지원예산	
□ 전 체	○ 총 연구기간 : 2013년~2016년(4년) ○ 연구비 예산 : 107.5억원(정부출연금 : 91억원 이내)

(단위 : 억원)

	2013	2014	2015	2016	계
정부	17	39	30	5	91
기업	3	8	5.5		16.5
기타	-	-	-	-	-

○ 철도인프라 지진 조기대응시스템 구축기술 개발

세부과제명	철도인프라 지진 조기대응시스템 구축기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 지진규모 사전예측기술 개발 ○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립 ○ 지진 초기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내·외 지진발생 증가로 인한 철도안전 위협 - 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 대형 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있고 규모 또는 시기 등의 예측 불가적 상황이 전개되고 있음. 또한 국내 기상청의 2010년 '국내외 지진발생 특성 분석'을 보면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 내륙 24회, 해역 18회로 총 42회의 지진이 발생 - 현재 전 세계적으로 대규모의 지진이 빈번히 발생하고 있음. 2000년 이후부터 현재까지 전세계적으로 연 평균 25,000회 이상의 지진이 발생하였으며 그 중 진도 4.0 이상의 규모가 무려 50%에 육박하는 것으로 나타남 ○ 지진발생 시 초기의 적정대응 중요성 증가 - 일본은 1989년부터 신간센 고속철도에 조기경보 시스템을 도입함. 2011년도 일본 동북지방의 대지진 발생 시에 시속 270km 이상으로 운행 중이던 신간센이 탈선 없이 비상정지할 수 있었던

것은 조기경보시스템인 UrEDAS(Urgent Earthquake Detection and Alarm System) 시스템의 효과임. 경보시스템의 도입은 유사시에 막대한 인명피해를 최소화 할 수 있음

- 2009년 8월 11일 새벽 5시 7분경에 일본 도쿄 인근 해역에서 발생한 지진(도쿄 남서쪽130km 해역, 규모 6.6)은 지진파가 관측된 후 3.8초만에 조기경보를 발령하여 조속한 피난 등 적절한 초기 대응이 가능

○ 해외의 지진조기대응시스템 및 지진 손실산정 연구 활발

- 일본, 미국, 대만 등 지진으로 큰 피해를 경험한 국가들을 중심으로 지진조기경보 체계를 구축
- 일본은 1989년 UrEDAS 시스템을 최초로 도입한 이후 여러 차례 성능개선을 하였고, 철도 운영시스템 마다 서로 다른 알고리듬을 적용하여 운영하고 있는 등 지속적인 시스템의 업그레이드를 진행하고 있음
- 일본의 철도는 지진하중을 고려한 동적 상호작용 해석을 바탕으로 지진 중 주행차량의 안전성 확보를 위해 지진조기검지시스템이 구축되어 있으며 지진에 의한 탈선 안전성 향상을 위해 관련 연구개발이 활발히 이루어지고 있고 열차 운영 기준과의 연계가 구축되어 있음. 또한, 지진재해 예측, 피해산정, 복구 지원을 위해 HERAS(Hazards Estimation and Restoration Aid System)을 개발중임
- 미국 캘리포니아 교통국(CALTRANS)에서는 지진 후에 교량의 안정성과 사용성을 평가하고 손상을 복구하는 실용적인 방법을 제시하기 위한 연구를 Nevada 대학과 함께 연구 중임

○ 국내의 지진조기대응시스템 미구축 및 연구 미흡

- 경부고속철도에 2006년 21개소 및 2010년 14개소에 「고속철도 지진감시 시스템」이 설치되어 있으나, 이는 지진조기경보 시스템이라기 보다는 지진시 시설물의 설계거동한계 이상 거동 유무를 파악하여 시설물의 건전성 평가에 활용하기 위한 모니터링 시스템
- 현재 고속철도의 시스템은 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않음으로 인하여 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족함
- 외국의 철도 운영 시스템과 국내의 철도 운영시스템이 다르고, 지진 조기경보시스템의 경우 적용되는 알고리듬과 지진의 특성, 지진파의 전달특성 등에 매우 큰 영향을 받기 때문에 국내 지진

특성, 국내 지반 및 지형특성에 적합한 지진 조기대응 알고리듬 개발이 필요함. 따라서 일본, 미국, 대만 등의 지진조기경보 기술을 우리 실정에 맞게 구축하고, 지진 관측·분석·통보에 대한 문제점들을 개선·보완하여 한반도의 지진특성, 지반 및 지질특성을 고려한 철도인프라 지진조기대응 시스템 구축이 필요

- 철도인프라의 경우 운영중인 철도, 철도의 종류(고속철도, 일반철도, 도시철도, 광역철도 등), 철도 역사, 전력 및 신호 계통 설비 등 다양한 인프라가 여러 기관에 의해 운영되고 있음. 따라서 관련기관 및 시설물별로 따로 구축하지 않고, 단일 시스템으로 통합된 철도인프라 전용 지진 조기대응 시스템의 개발 및 운영이 필요함

○ 지진발생시 분야별 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책이 필요함. 또한, 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함

○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진피해 사전 예측기술 개발이 필요하고, 각 철도 인프라 주변 지반 특성 파악 및 지진파의 전달특성에 대한 데이터베이스화 필요

□ 기술동향

○ 우리나라의 경우 경부고속철도 전 구간 총 37개소에 지진감지시스템이 설비되어 있음. 지진계가 설치되어 있으며, 고속철도 전체 연장 고려 시 평균 설치간격은 약 11km로 지진에 가장 취약한 교량에 설치되어 있으며, 지진발생 시 지진계에서 검측된 진동가속도 값(gal)으로 운행속도와 운행중지를 결정하고 있다. 광명~부산 고속철도 전 구간에 지진감시시스템을 구축하여 운영하고 있으나, 실시간 관제 기능은 부족한 실정임.

○ 지진으로 인한 운행중인 열차의 위험을 신속하게 파악하고 대처하기 위해서는 현재의 국내의 고속철도 운행구간에 설치된 지진감지시스템을 보완하여 지진 발생에 대비할 필요가 있음. (도시철도, 일반/간선철도 포함 필요)

- 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않고 있어, 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족함.

○ 지진재해대책법 제6조 및 같은 법 시행령 제5조에 따른 지진가속도계측기 설치 대상 시설 개소수(소방방재청 고시, 2010.9.7)

	시설물 명	개소수
1	중앙행정기관 및 지방자치단체의 청사	252
2	국립대학교	58
3	높이 200미터 또는 50층 이상 공공건축물	
4	공항시설	12
5	내진 특등급의 댐 및 저수지	33
6	현수교 및 사장교	14
7	가스시설의 정압기지 및 저장시설	93
8	고속철도 선로주변, 고속철도 역사	41
9	원자력 이용시설	7
10	345kV 이상 급의 변전소	15
11	발전용 수력 설비 및 화력설비	36
12	석유저장시설	9
13	소방방재청장이 고시하는 댐 및 저수지	51
	합계	621

- 소방방재청 예산 분석자료를 참고할 경우, 1개소 설치에 평균 1.2억원(지방자치단체 청사 기준) 가량 소요
- 주요 시설물에 설치되는 지진가속도계 및 시스템 소요 예산 : 약 1천억원
- 2020년까지 국토해양부의 국가철도망 구축계획에 따라, 향후 고속철도, 일반철도 및 광역철도의 건설이 급증할 것으로 예상
- 모든 철도에 지진계측시스템 및 지진초기대응시스템이 구축될 것으로 예상
- 지진가속도계측기 및 통합관리시스템, 조기대응시스템 가격
  · 시스템 설치 : 10억원/10개소
  · 설치 간격 : 고속철도-10km/개소, 일반철도-20km/개소, 도시철도-1개소/역사
- 철도 분야 시장규모 : 약 1,500억원 규모(철도 시설에 한정), 년간 유지보수 비용 : 10% 계상
  · 고속철도 : 약 100개소
  · 일반철도 : 약 250개소
  · 도시철도 : 약 1,000개소
- 전체 시장규모 : 향후 10년간 약 2천억원 ~ 3천억원 가량의 시장이 형성될 것으로 전망되고, 연간 유지보수 비율 10%를 적용할 경우 연간 250억 - 300억 시장이 형성될 것으로 전망

3. 연구개발 내용	

○ 철도인프라 전용 지진 조기대응 시스템 성능목표 제시

- 철도인프라 지진조기대응시스템 적용 검토

- 철도인프라 지진조기대응시스템 성능 제시

○ 계측데이터 기반 철도인프라 지진피해 분석기술 개발
- 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발
- 국내 지반특성을 고려한 지진파 전파 감쇠 연구
- 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계
- 운영기관 시스템과 연계방안 및 구축 기술 개발

○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립
- 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련
- 철도인프라 전용 지진조기대응 통보시스템 설계

○ 지진 조기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증
  - 연선관측망 구축 및 운영
  - 오보방지용 안전장치
- 중규모 지진에 대한 조기경보 알고리즘 시험
- 해외 지진파를 활용한 경보시스템 시스템 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 지진경보시스템 기초기술 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축
- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 기존 기상청, 한국지질자원연구원, 소방방재청 등에서 이용된 시스템 통합기술 활용

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축
- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축

- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성

- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

□ 추진체계



5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

○ 지진규모 초기예측 기술 및 프로그램

- 규모, 진원, 위치 산정 알고리즘
- 프로그램 개발

○ 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼

- 조기대응시스템 하드웨어
- 통합플랫폼 설계도
- 철도인프라 네트워크 시스템 시제품

○ 열차운행지침 및 응급체계시스템

- 지진 규모에 따른 열차운행 지침
- 지진규모에 따른 피난대응 매뉴얼

○ 철도인프라 지진조기대응시스템 성능시험

6. 연구기간 및 지원예산

□ 전 체

○ 총 연구기간 : 2013년~2016년(4년)

○ 연구비 예산 : 90억원(정부출연금 : 70억원 이내)

(단위 : 억원)

	2013	2014	2015	2016	계
정부	13	13	27	17	70
기업	4	4	7	5	20
기타	-	-	-	-	-

1장. 기획 배경 및 필요성

1장. 기획 배경 및 필요성

1절. 기획 배경

1. 국내·외 지진발생 추이

○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 대형 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며, 규모 또는 시기 등의 예측 불가적 상황이 전개되고 있음

○ 일본 지진학회는 최근 특별 심포지엄에서 규모(M) 9.0의 거대 지진의 예상 및 충분하지 못한 대책에 대하여 지진 발생의 메커니즘, 내진대책, 기준의 재정립 등에 대한 연구와 정부의 지진 대책 등을 재정립함

○ 현재 전 세계적으로 대규모의 지진이 빈번히 발생하고 있음. 2000년 이후부터 현재까지 전세계적으로 연 평균 25,000회 이상의 지진이 발생하였으며 그 중 진도 4.0 이상의 규모가 무려 50%에 육박하는 것으로 나타남

표 1.1 2000년~2011년 동안 전 세계 지진발생 현황

연도 / 진도	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년
8.0~9.9	1	1	0	1	2	1
7.0~7.9	14	15	13	14	14	10
6.0~6.9	146	121	127	140	141	140
5.0~5.9	1,344	1,224	,201	1,203	1,515	1,693
4.0~4.9	8,008	7,991	8,541	8,462	10,888	13,917
0~3.9	12,443	11,482	17,572	21,599	18,634	14,717
합계	22,256	23,534	27,454	31,419	31,194	30,478
사망자(명)	231	21,357	1,685	33,819	228,802	88,003

연도 / 진도	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년
8.0~9.9	2	4	0	1	1	1
7.0~7.9	9	14	12	16	21	8
6.0~6.9	142	178	168	144	151	120
5.0~5.9	1,712	2,074	1,768	1,896	1,940	1,220
4.0~4.9	12,838	12,078	12,291	6,805	10,421	5,848
0~3.9	14,865	15,337	17,538	5,963	9,007	1,790
합계	29,568	29,685	31,777	14,825	21,541	8,987
사망자(명)	6,605	712	88,011	1,790	226,729	28,571

(자료 : USGS, 2011년 5월 현재)

표 1.2 최근의 강진 추세

지진명	발생연도	규모	사망자
인도네시아 지진	2004	9.2	23만 명
중국 쓰촨성 지진	2008	8.0	6만 8천 명
아이티 대지진	2010	7.0	22만 명
일본 동북부 지진	2011	9.0	1만 5천 명

○ 국내 기상청의 2010년 '국내외 지진발생 특성 분석'을 보면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 내륙 24회, 해역 18회로 총 42회의 지진이 발생하였음

표 1.3 국내 주요 지진발생 현황

지진명	발생일	규모	특 성
속리산	'78.9.16	5.2	감지범위 200km, 일부 낡은가옥피해
홍 성	'78.10.7	5.0	감지범위 200km, 부상2, 가옥파괴 118동
의 주	'80.1.8	5.3	감지범위 300km
울진	'01.11.24	4.1	경상북도 울진 동남동쪽 약 50km 해역
홍도	'03.3.23	4.9	전라남도 홍동 북서쪽 약 50km 해역
백령도	'03.3.30	5.0	인천 백령도 서남쪽 약 80km 해역
울 진	'04.5.29	5.2	경북 울진 동쪽 약 80km 해역
강릉	'07.1.20	4.8	강원 강릉시 서쪽 23km 지점

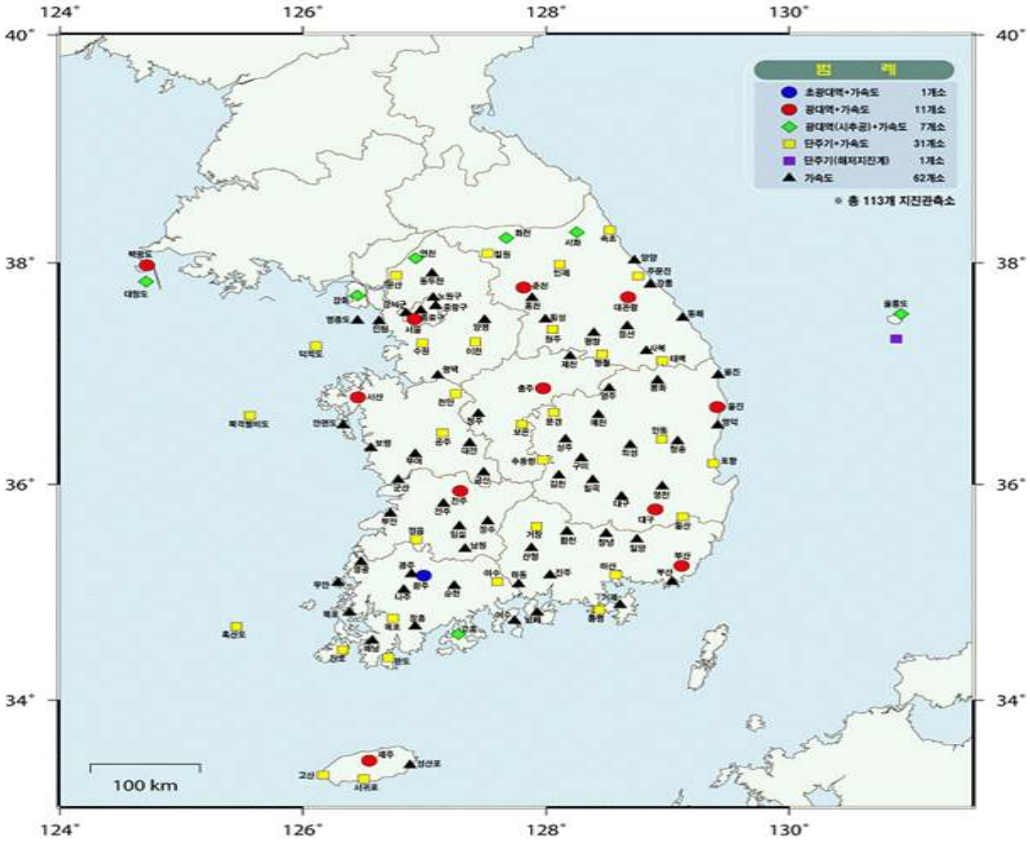
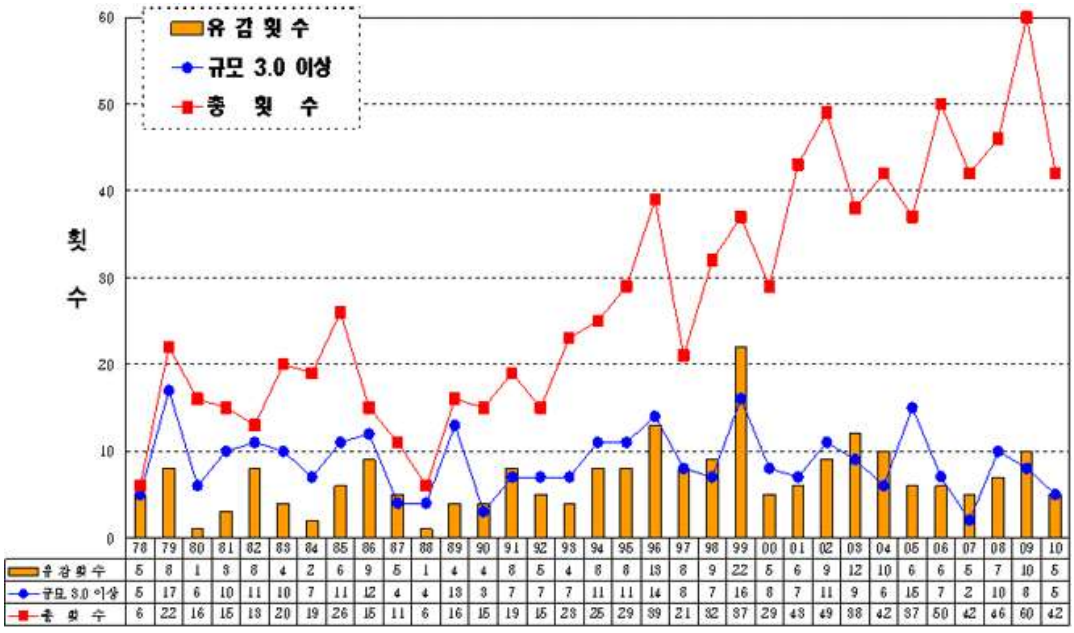


그림 1.1 한반도 지진발생 현황

(출처 : 기상청)



	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
유 감 횟 수	5	8	1	3	8	4	2	6	9	5	1	4	4	8	5	4	8	8	13	8	9	22	5	6	9	12	10	6	6	5	7	10	5
규모 3.0 이상	5	17	6	10	11	10	7	11	12	4	4	13	3	7	7	7	11	11	14	8	7	16	8	7	11	9	6	15	7	2	10	8	5
총 횟 수	6	22	16	15	13	20	19	26	15	11	6	16	15	19	15	23	25	29	39	21	32	37	29	43	49	38	42	37	50	42	46	60	42

그림 1.2 연도별 지진발생 추이 및 현황 (1978~2010)

표 1.4 한반도 지진위험도 발생여건 비교

규모 (M)	한국	일본	전세계
6.0 - 6.9	0.0	10	152
5.0 - 5.9	0.2	100	1,319
4.0 - 4.9	1.3	400	13,000
3.0 - 3.9	9.0	1,200	130,000

(출처 : 기상청)

○ 최근 30년간 규모 5.0 이상의 지진도 상당수 발생하였고 국내·외 지진발생 현황을 고려 시 향후 국내에서 대규모의 지진 발생가능성도 배제할 수 없는 상황이며, 특히 국내에서 중·소규모의 지진이 매년 40회 이상의 지진이 발생됨에 따라 한반도가 더 이상 지진의 안전지대라 볼 수 없음

2. 지진의 피해 및 분류

○ 지진에 대한 관측이 시작된 이후 기록된 국내 주요 지진피해(자료 : 기상청)에 대하여 표 1.5에 나타낸바와 같이 정리하였으며 세부내용은 부록 1과 같음

표 1.5 국내 지진 피해사례

지진명	발생일	진앙위치	규모	피 해 규 모
오대산 지진	2007. 1.20	강원 평창군 도암면-진부면 경계지역	4.8	건물이 심하게 흔들림 일부 가구 및 유리창 파손
울진 해역 지진	2004. 5.29	경북 울진 동쪽 약 80km 해역	5.2	건물이 심하게 흔들림 모든 사람이 진동을 느끼고 대피한 곳이 있음
백령도 해역 지진	2003. 3.30	인천 백령도 서남서쪽 약 80km 해역	5.0	건물 및 창문이 심하게 흔들림
홍도 해역 지진	2003. 3.23	전남 홍도 북서쪽 약 50km 해역	4.9	건물 및 창문이 심하게 흔들림
경주 해역 지진	1997. 6.26	경남 경주 남동쪽 약 9km 지역	4.2	건물 및 창문이 심하게 흔들림
영월 지진	1996. 12.13	강원 영월 동쪽 약 20km 지역	4.5	진앙이 내륙이고 진원의 깊이가 낮아 지진의 감지번위가 넓음 건물이 심하게 흔들림 2층 건물, 지하보일러실 내벽 등 10여 곳에 균열 발생
홍도 해역 지진	1994. 7.26	전남 홍도 서북서쪽 100km 해역	4.9	건물 및 창문이 심하게 흔들림 신축한지 3년된 4층 건물 외벽이 갈라짐
울진 해역 지진	1982. 3. 1	경북 울진 북동쪽 약 45km 해역	4.7	건물 및 창문이 심하게 흔들림 기왓장이 떨어짐

포항 해역 지진	1981. 4.15	경북 포항 동쪽 약 65km 해역	4.8	건물 및 창문이 심하게 흔들림 선반의 물건이 떨어짐
의주 지진	1980. 1. 8	평북 서부 의주-삭주-귀성 지역	5.3	서울 : 일부 민감한 사람이 진동을 느낌
홍성 지진	1978. 10. 7	충남 홍성읍	5.0	부상자 : 2명 기타 : 건물파손 118동, 건물균열 1000여 개소, 성곽붕괴 90m, 일시정전·전화불통
속리산 지진	1978. 9.16	충북 속리산 부근 지역	5.2	건물 및 창문이 심하게 흔들림

○ 국외 주요 지진피해 사례는 표1.6과 같으며 피해에 대한 세부내용은 부록 1과 같음

표 1.6 해외 지진 피해사례

지진명	발생일	진앙위치	규모	피해규모
중국 쓰촨성 지진	2008. 5.12	원 촨	8.0	-사망자: 89,000명 이상 -실종자: 32,000명 이상 -부상자: 370,000명 이상 -기타: 536만 채 붕괴, 2천백만 채 파손
일본 주에쓰 오키 지진	2007. 7.16	니가타현 주에쓰, 나가노현 북부	6.8	-사망자: 11명 -부상자: 2,000명 이상 -기타: 870여 채 주택파손, 35,000여 세대 가스공급 중단, 원자력 발전소 7기 모두 가동 정지, 3호기 옥외 변압기 화재 발생, 극히 미량의 방사능 물질 방출
일본 노토 지진	2007. 3.25	노토반도 앞바다	6.9	-사망자: 1명 -부상자: 700명 -기타: 350여채 가옥파손, 9,300여 세대 단수 및 수백가구 정전, 원자력 발전소 가동 정지, 노토 공항 폐쇄, 이시카와현과 토야마현 철도노선 운행 일시 중단

지진명	발생일	진앙위치	규모	피해규모
인도네시아 수마트라 지진	2007. 3. 6	파당 북쪽 50km	6.3	-사망자: 70명 -부상자: 200명 -기타: 수백 채 건물 붕괴
대만 지진	2006.12.26	헝춘 인근 해안	7.1	-사망자: 2명 -부상자: 47명 -기타: 6개 해저 광케이블 손상
인도네시아 자바 지진	2006. 5.29	족자카르타 남서쪽23 km	6.3	-사망자: 2,700명 -부상자: 8,100명 -기타: 9,000여 채 건물 파손 및 붕괴, 족자카르타 공항폐쇄, 교통·통신 두절.
일본 후쿠오카 지진	2005. 3.20	후쿠오카 북서쪽 45km 해역	7.0	-사망자: 1명 -부상자: 675명 -기타: 20여채 가옥붕괴 및 2,000여 채 파손, 신칸센 운행 일시중단
인도네시아 수마트라 지진해일	2004.12.26	인도네시아 수마트라 섬 부근	9.1	-사망자: 15만명 -부상자: 2,000명 이상 -기타: 물과 음식 부족 및 질병 발생
일본 니가타 지진	2004.10.23	주에쓰 인근 지하 20km	6.8	-사망자: 35만명 -부상자: 2,200여명 -기타: 300여 채 가옥 붕괴 및 6,400여 채 파손, 12만 세대 단수 및 9만5000 세대 정전, 자동차전용도로 파손 및 이격, 신칸센 열차 탈선.
대만 치치 지진	1999. 9.21	대만 중부	7.7	-사망자: 2,400여명 -부상자: 1만여명 -실종자: 40여명 -기타: 건물 9,900여 채 파손, 교량·댐 등 파손
일본 고베 대지진	1995. 1.16	효고현 남부의 고베시 지역	7.2	-사망자: 6,300여명 -부상자: 26,804명 -기타: 이재민 약 20만명, 피해규모 14조 1000억엔 추정, 사회기간시설 파괴, 산업활동 마비

지진명	발생일	진앙위치	규모	피해규모
미국 노스릿지 지진	1994. 1.17	LA서북부 20mile 부근	6.8	-사망자: 58명 -부상자: 1,500여명 -기타: 약 80,000~125,000채의 건물 붕괴
미국 로마 피에르타 지진	1989.10.17	캘리포니아주 산타크루즈 산	7.1	-사망자: 66명 -부상자: 3,700여명 -기타: 14,000여명 이재민 발생, 116,882채의 건물손상, 상·하수도관, 송전선, 가스관 등에 큰 손상 발생
멕시코 지진	1985. 9.19	멕시코 서쪽 태평양안	8.1	-사망자: 5,000명 -부상자: 1만명 -기타: 6,000여 채 가옥파손, 이재민 25,000명 이상, 철근콘크리트 빌딩 붕괴
미국 엘 센트로 지진	1940. 5.18	샌디에고 동쪽 145km	6.9	-사망자 8명 -부상자: 60명 -기타: 철도 및 교량의 손상

○ 표 1.6에 나타난 주요 국외지진에서, 2005년 일본 후쿠오카 지진은 일본에서도 그동안 지진이 크게 발생하지 않던 지역이면서 한반도에 근접한 후쿠오카에 큰 지진이 발생함으로써 우리나라 국민들에게 지진 발생의 위험성을 알릴 수 있는 계기가 됨

○ 1994년 미국 노스리지 지진과 1995년 일본 효고현 남부 고베지진은 기존의 내진설계 기준을 크게 변화시키는 계기가 되었으며, 1940년 엘센트로 지진, 멕시코 지진, 1989년 로마 피에르타 지진의 지진동 기록은 서로 다른 특성으로 지진해석 및 내진 설계에서 주요 지진기록으로 고려됨

○ 지진 발생 후 건축·토목구조물 등에 대한 피해사례는 다양한 형태로 발생하고 있음. 또한 인명, 재산 등의 손실은 구조물 붕괴 등에 의한 1차적 피해뿐 아니라 전기, 가스 등에 의한 화재, 통신 두절 등 2차적 피해로 인하여 크게 나타나는 경우가 많으며 약탈, 전염병 등의 3차적 사회피해도 발생하고 있음

○ 지진이 발생한 후 교량, 역사, 선로, 터널 등 **구조물의 1차적 피해**는 대규모의 인적·재산 피해로 나타남



교량 구조물의 붕괴



선로의 과대 변형



열차의 탈선



터널 갱구부 탈락 및 붕괴

그림 1.3 강진에 의한 철도 인프라의 피해 사례





그림 1.4 승강장 (신나가타역) 및 궤도(뉴질랜드)의 좌굴 피해

○ 1995년 1월 일본 Kobe에서 발생한 지진에 대한 철도 인프라 피해 현황

- 활단층에 의한 직하형 지진으로 인해 사전 예측이 불가능하였고 빠른 시간에 강진이 발생하여 대형 인명피해 및 이재민이 발생, 도로·철도·항만 등 도시기반 시설과 전기·수도·가스·전화 등 도시 생명선 전 분야에 걸친 피해로 도시기능이 마비되어 피해가 더욱 커짐
- 사망(6,310명), 행방불명(2명), 부상자(43,188명), 이재민(290,000명)
- 전파(100,301채), 반파(108,786채), 일부파손(230,318채), 화재건수(294건)
- 철도(신간선 고가 붕괴 9개소, 사설철도, 다수의 지하철 역사 파손 및 교각 440개 파손)
- 철골 구조물들은 피해가 적음
- 내진 설계기준을 넘는 진동에 의해 파손됨
- 용접 등 시공불량 구간도 속히 드러남
- 매립지의 액상화 현상에 의한 피해가 심함
- 지하철 개착 공법 구간에 피해가 급증됨



그림 1.5 다이카이 지하역의 붕괴

○ 2004년 니카타현에 규모 6.8의 지진의 경우, 200km/h의 속도로 주행하던 신간선 열차의 10량 편성 중 6, 7호차를 제외한 8량이 탈선하는 대형사고가 발생할 수 있었으나, 조기지진검지 경보시스템(UREDAS)이 작동하여 열차를 정지함



그림 1.6 지진으로 인한 신간선 탈선

○ 지진의 발생은 구조물의 피해와 같은 1차적 피해 외에도 2차적 피해양상을 보이며 이와 같은 2차적 피해는 1차적 피해보다 더 큰 인적·재산피해를 보이고 있음

- 1995년 7.3의 한신 · 아와지 대지진으로 6,400명이상의 인명피해 뿐 아니라 주 구조물 피해 외에도 전기, 가스, 수도 등 라이프라인(lifeline) 및 고속도로, 철도, 항만 등 도시기간시설에 치명적인 타격을 입혔으며, 피해총액은 약10조 엔 발생. 전기는 지진 발생 후 6일만에 응급송전이 완료, 수도와 도시가스는 3개월 만에 복구됨



(a) 고베지진의 화재 (b) 센다이 지진의 화재

그림 1.7 지진 후 화재피해

○ 일본 동북부 지진에 경우 전력망, 각종 설비 등의 부수적 인프라 시스템 손상이 더 큰 2차적 피해를 불러옴



(a) 전차선 및 궤도 피해(고베지진)



(b) 전차선 및 궤도 피해(고베지진)



(c) 전차선 및 궤도 피해(고베지진)



(d) 신간선의 전차선 피해
(도호쿠 신간선)

그림 1.8 궤도좌굴 및 전차선 붕괴사례



(a)



(b)

그림 1.9 역사의 천장 붕괴(센다이역, 2011년)

○ 1994년 미국 규모 6.8 Northridge 지진의 경우, 수직방향의 지반운동의 특성으로 인한 스프링클러 설비 등의 피해로 화재의 발화 및 연소를 막지 못하여 더 큰 피해가 발생함

○ 지진발생으로 인한 3차적 피해는 사회불안, 무질서, 약탈 등의 국가기능의 마비양상으로 나타나기도 함.

- 1929년 일본 규모 7.9 간토대지진의 경우 사회적 혼란과 유언비어 등에 의하여 최소 2,500명 이상의 재일한국인이 살해당함
- 2010년 아이티의 경우 지진 후 식수와 식료품 부족으로 인한 약탈, 방화 및 전염병으로 인한 사회적 혼란 증대 및 인적 피해가 발생함
- 2010년 쓰촨 지진으로 약 230만 명이 '외상 후 스트레스 장애(PTSD)'을 겪음
- 일본 대지진 후 도호쿠 지방의 심부전 환자는 3배 이상, 이혼율은 40%이상 증가하는 등 신체적, 정신적 피해가 발생함



(a) 약탈 (b) 전염병

그림 1.10 지진으로 인한 인적 피해(아이티 지진)

3. 지진피해 복구

○ 일본 센다이 지진의 경우, 대지진으로 크게 파괴됐던 철도가 점차 복구돼도 기차역과 피해 지역을 잇는 도로가 파손되어 이재민이 실제로 물자를 원활하게 지원 받기까지는 상당한 시일이 걸림

○ JR East에 보고서에 따르면 2011년 도호쿠 지진 후에 궤도 변형은 2,590 개소, 전차선 손상은 1,150개소에 이르는 것으로 보고되고 있음. 동호쿠 신간센은 약 1200개소에서 손상이 보고되었으며, 파손개소의 상세사항과 2011년 8월 현재 복구 현황은 표 1.7과 같음

표 1.7 신간센 파손개소 및 복구현황

Major damage	Locations	Rate of progress*
Broken, slanted or cracked cable poles	Approx. 540	Approx. 70%
Cut cables	Approx. 470	Approx. 70%
Damaged bridge pillars	Approx. 100	100%
Dislodged/damaged tracks	Approx. 20	100%
Malfunctioned substation facilities	Approx. 10	Approx. 85%
Fallen, slanted or scraped soundproof wall	Approx. 10	100%
Damaged or fallen ceiling material	5 stations	Approx. 80%
Misaligned bridge girder	2	100%
Damaged bridge girder support	Approx. 30	100%
Damaged tracks within tunnels	2	100%
Total	Approx.1200	Approx. 75%

*No elevated rails, bridges, station buildings or tunnels collapsed.



그림 1.11 센다이 시내를 관통하는 신간선의 교량 복구

○ 1995년 고베지진으로부터 완전복구까지 2년이 걸린 고베항의 경우, 복구 기간 한국 부산항으로 이전된 물동량을 회복하지 못함

○ 일본 대지진 후 전력부족으로 인한 블랙아웃이 발생시 3일당 GDP 0.3%의 하락이 예상되었음

○ JR East에 따르면 2011년 도호쿠 지진 후에 도호쿠 신간센은 지진 후 49일만에 약 8500명의 엔지니어의 철야작업으로 정상 운행을 시작하였으나, 심한 손상을 입은 약 325km의 기존선은 복구에 최소 1년은 소요될 것으로 전망하고 있음

○ 2011년도 일본 대지진 시에 동북지방에서 시속 270km 이상으로 운행 중이던 신간센이 탈선 없이 비상정지할 수 있었던 것은 조기경보시스템인 UrEDAS 시스템의 효과임. 경보시스템의 도입은 유사시에 막대한 인명피해를 최소화 할 수 있음

○ 일본, 대만 등의 지진대응 선진국에서는 지진 시 철도운행 경보시스템을 운영 중이고 큰 성과를 보이고 있음. 국내의 경우 철도 인프라와 지진경보 시스템의 연계 운영이 안 되는 상태임

4. 국내 지진관련 현황

○ 특히 최근 국립방재연구소가 수행한 지진피해 시뮬레이션 결과, 서울 중구에서 규모 6.5의 지진이 발생할 경우 사망 7394명, 부상 9만9243명, 건물전체파손 2만6520채, 반파손 3만7132채의 피해가 발생할 수 있는 것으로 분석됨

○ 2010년 국내 주요 사회간접자본시설의 내진확보 비율은 평균 약 64.7%이나 소방방재청에 따르면 내진설계 대상 시설물의 80%가 내진성능이 미확보된 것으로 나타남

○ 전국 초·중·고등학교 65,079동 내진설계 대상인 18,329동 중 86.8%에 해당하는 15,912동의 내진성능 확보가 필요함

○ ‘08년 현재 13.2%(2,417동)의 내진화 설계학교 비중을 ’14년까지 5%향상 (‘08년 13.2% → ’14년 18.2%)시키는 계획으로 2010년부터 2014년까지 2650여억원으로 509개교 916동의 내진보강사업 추진 중임

○ 철도시설 내진실태 현황
- 내진설계 대상 3,437개 철도시설 중 695개 시설(20%)에 내진설계를 적용하였고, 세부적으로 교량의 경우 2,601개 내진설계 대상시설물 중 내진설계 적용이 425개(16%), 내진상태 양호 시설물이 1,906개(73%), 내진 보강 필요 시설물은 270개(11%)임
- 터널의 경우 570개 내진설계 대상시설물 중 내진설계 적용 시설물은 98개(17%), 내진상태 양호 시설물이 440개(77%), 내진 보강 필요 시설물은 32개(6%)임

- 건축물의 경우 266개 내진설계 대상시설물 중 내진설계 적용 시설물은 172개(65%), 내진상태 양호 시설물이 87개(33%), 내진 보강 필요 시설물은 7개(2%)임

표 1.8 철도시설 내진 설계 현황

세부시설물	총 시설물(개소)	내진적용	내진 미적용			
			내진양호	내진보강 완료	내진보강 필요	소계
교 량	2,601	425	1,849	57	270	2,176
터 널	570	98	411	29	32	472
건축물	266	172	77	10	7	94
계	3,437	695	2,337	96	309	2,742

(자료 출처 : 국토해양부)

○ 국내 도시철도 내진설계 및 보강 현황

- 2008년 12월 현재, 도시철도의 경우 총 1,397개소중 77.6%인 1,084개소가 내진적용이 되어 있으며 나머지 313개소는 내진보강이 필요한 시설물로 조사됨. 다음 표는 내진실태 현황조사를 나타낸 것임

표 1.9 교량의 내진실태현황

구분	총계	내진적용	내진 미적용				내진율
			계	내진양호	내진보강	내진보강 필요시설물	
교량	87	14	73	7	0	66	24.1%
터널	585	0	585	476	0	109	81.4%
건축물	725	20	705	567	0	138	81.0%
계	1,397	34	1,363	1,050	0	313	77.6%

2절. 기획 필요성

1. 철도인프라 내진기술 선진화 연구의 필요성

○ 1.1절에서 살펴본 바와 같이 국내에도 지진발생 가능성이 높아짐에 따라 철도인프라 전반에 걸친 내진설계기준의 재정립, 내진성능향상 대책 등 연구가 필요함

○ 기존 내진설계기준은 해외기준의 벤치마킹으로 인하여 국내 철도인프라의 환경 및 특성을 반영한 독자적 내진설계기준의 수립이 요구되며, 이를 위하여 내진기술 확보를 위한 전략 수립이 필요함

○ 철도구조물의 내진설계 시, 해석법 및 과보강 또는 미흡보강에 대한 논란이 가중되고 있음

○ 도로 등 타 교통수단 시스템과 차별화된 철도 고유의 시스템 기능을 고려한 내진설계기준 재정립을 통하여 실질적인 지진피해 저감 효과를 기대할 수 있음

○ 지진발생 시 철도운행의 안전성을 확보하기 위한 운행하중 고려, 궤도시스템, 철도설비(철도전력, 신호 등) 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않은 상태임. 따라서 내진설계 및 내진성능이 필요한 실내 및 실외 철도설비를 정의하고, 대상 철도설비에 대하여 내진성능목표를 수립해야 함. 이를 위하여, 철도설비 내진성능 점검 및 평가제도 구축방안이 필요함

○ 고속철도, 일반철도, 도시철도 등의 내진설계기준이 각기 상이하여 실무자에게 혼란이 가중되고 있으며, 이에 설계개념 통합 및 시스템 특성을 고려한 내진설계기준의 정립이 필요함

○ 지진이 많이 발생하는 일본, 미국에서는 철도 인프라뿐 아니라 모든 시설물에 내진설계를 적용하고 있으며, 또한 시공 및 적용사례 등 내진설계, 내진보강, 지진 후 복구기술 등 기술적인 측면에서도 선진화되어 있음. 이에 국내에서도 시급히 선진국 수준 내진의 선진화가 필요함

○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진 시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리가 필요함

○ 국내 철도 인프라에 대해서는 내진설계가 도입 되었으나(일반철도 1999년, 고속철도 1991년) 그 이전에 설계된 내진설계 미반영 인프라의 내진보강을 위한 일관적, 객관적 성능평가에 대한 종합적 표준 지침이 없는 미흡한 실정임

표 1.10 국내 철도인프라 내진설계기준 변화

구 분	기준마련 시기	지진구역	지진가속도	리히터 규모	비 고
고속철도	'91년도	I	0.14g	약 5.9	(고속철도 콘크리트 구조물 설계표준시방서)
		II	0.07g	약 5.5	
	'00년 기준 강화	I	0.154g	약 6	(고속철도설계기준 제정)
		II	0.09g	약 5.8	
일반철도	'99년도	I	0.154g	약 6	(철도설계기준)
		II	0.09g	약 5.8	

* 건축물은 '88년도에 리히터규모 5.5~6.5로 마련됨
* 지진 II구역 : 강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도
  지진 I구역 : 그 외 지역

○ 중요 시설물 내의 비구조요소의 건설비용은 전체 구조물 시공비용의 약 80%에 해당하는 것으로 나타나고 있음. 중요 시설물, 즉 원자력 발전소, 병원, 하이테크 공장 등은 특히 그 안전성을 고려하여 지진, 충격, 폭발 하중과 같은 극한하중조건에도 운영 되어야 함. 지진 피해 사례를 살펴보면, 1994년 Northridge Earthquake 지진의 경우 85%의 복구비용이 비구조요소에 투입된 사례가 있으며, 특히 일부 병원시설물의 경우 파이프라인의 누수에 의해 환자치료 등과 같은 병원의 일차적인 운영에 상당한 피해를 당한 사례가 있음. 2010년에 발생한 칠레 대지진의 경우 지진 발생 지역의 75%에 해당하는 병원 시설물이 비구조 요소에 의해 파괴 되었으며, 또한 운영이 중단되는 사태가 발생함. 따라서 비구조 요소의 내진성능 평가 및 확보

방안에 대한 중요성이 증가하고 있으며, 1차 피해 후 보수·보강기술에 대한 기술이나 대책이 필요함. 자연재해 발생에 따른 전력 및 통신설비의 손상과 화재 시 피해 저감을 위하여 가장 중요한 수계 파이프라인 등의 라이프라인의 내진성능 평가 및 화재 안전도 개선, 효율적 보수 및 보강대책 마련과 관련된 설계 가이드라인 제시가 필요함

○ 지진 시 철도설비와 철도구조물과의 상호작용에 따른 거동특성을 평가해야 함. 전차선 및 신호·통신장비 트레이, 분기기장치에 대한 내진성능 검토기준 및 보강방안 정립이 필요함

○ 철도설비에 일반적으로 사용되는 Stack 및 Rack 장치는 면진받침대를 이용하거나 내진랙 및 이중마루 형태의 고정장치를 사용하는 등의 내진대책이 필요함. 따라서 stack 및 rakc 등에 대한 내진설계 기술 기준 또는 내진성능평가 기술 기준의 개발이 필요함

○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 소요되는 막대한 비용을 최소화하고 효율을 높이기 위해서는 시스템 분야별 최신 기술을 고려하여 보강 우선순위를 정하고 최적 내진보강방법을 선택할 수 있는 내진보강 표준 지침 수립이 필요함

○ 지역별 지진 위험도에 따른 개별 요구 수준 및 평가수준 구축이 필요하며, 철도인프라 중요도 구분을 통한 내진성능평가 및 보강 우선순위 결정이 필요함

○ 철도운행의 전력 공급에 중요한 설비의 철도인프라(전력설비)가 내진 대책이 고려되지 않은 경우 지진에 의한 시설물의 파손 및 파괴로 전력공급 기능이 정지되어 철도인프라의 작동불가로 인한 인명피해와 재산의 손실 발생이 가능하므로 이에 대한 대책이 필요함

○ 지진 피해는 태풍, 폭우 등 자연재해와 달리 사전 예고 없이 발생하므로 철도인프라의 피해가 크게 발생 할 수 있으며 특히 전력설비의 부수적 인프라 시스템 손상으로 인한 2차 피해를 불려 올 수 있음

○ 전철주, 전철주와 교량연결부 등 시설물 접속 부분에 대한 내진보강 방안이 필요함. 예를 들자면 내진설비 또는 면진받침대 등의 접속부에 대한 처리 방법 필요. 내진보강을 위한 시설물 접속 방안으로 내진 또는 면진 등 철도설비의 시공방법에 대한 가이드라인이 필요함

○ 지진 시 철도시설 통신 인프라를 담당하고 있는 주요시설의 경우 사전에 내진성능 평가를 통하여 내진보강을 실시해야 함. 따라서 통신안테나용 지지물의 내진성능 보강기술이 필요함

○ 기존 전철주, 전신주등의 내진 성능이 부족한 경우 보강할 수 있는 방안 및 보강 후 성능평가기준 재정이 필요함

○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 사회의 조속한 안정을 위하여 급속보강이 요구됨

○ 지진 발생 시 철도 인프라에 대한 손상진단, 평가, 복구 등 신속한 후속활동을 위한 체계화된 지침 수립으로 재난 후 철도 운영의 빠른 정상화 및 안전성이 제고되어야 함

○ 지진 발생 후 철도 시스템의 조기 정상화를 위해서는 철도 인프라의 손상을 감지, 진단, 평가하고 그에 따른 복구를 위한 구체적 지침이 필요하며 그와 관련된 기술 개발이 요구됨

○ 철도인프라의 지진 대책이 강구 되지 않는 경우 약진, 중진에 의한 철도인프라의 파손이 발생할 경우에 복구되는 시간이 많이 소요되기 때문에 2차적인 피해가 커지는 경우가 발생 할 수 있음

○ 철도 시스템의 내진성능향상 및 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 연구개발 사업을 통한 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적이며 기획연구를 통하여 기술동향 분석, 세부 전략 수립 및 필요 연구분야 도출이 필요함

○ 지진 발생 시 적합한 비파괴 기술을 이용하여 신속하고 정확하게 철도 인프라의 안전성을 보장해줄 수 있는 신뢰할 수 있는 손상평가 지침이 필요함

○ 지진재난 상황관리 및 위기대응에 관련하여 소방방재청에서 '지진 및 지진해일 상황관리매뉴얼' 구축과 지진 및 지진해일 관측 및 예·경보시스템 및 교육·훈련 강화 등 신속대응 분야를 주관하고 있으나, 철도분야에 대한 세부지침 수립은 미흡함

○ 철도인프라 지진조기경보 시스템 구축 필요

- 기상청에서 추진중인 지진조기경보 시스템과 연동을 할 수 있는지 연구가 필요함. 기상청 지진조기경보 시스템과 철도 시설 또는 주변에 구축된 지진계측시스템을 연동하여 국내 철도 지진 조기(초기대응)경보 시스템 구축이 필요함

○ 지진감지시스템에서 계측된 지진동 크기를 실시간으로 진도 및 규모(가능 할 경우)로 환산하고, 수초 이내에 운행 중인 열차(고속, 일반, 도시철도)에 통보 할 수 있는 지진 강도 및 진도 별 열차운행지침 마련이 필요함

- 지진 검지 시 열차 긴급정지 시스템 개발
- 관련기관별, 시설물별로의 지진감지 시스템보다는 하나의 통합감지 시스템 구축 필요
- 지진 계측 설비 시스템으로부터 데이터 수신 후 진도별 대응 시스템 정립
- 현재 KTX등에 적용되고 있는 지진경보 시스템 국철 및 지하철 등으로 보완, 확대 적용하는 방안 필요

○ 현재 고속철도의 경우 지진감지시스템이 운영되고 있으나, 일반철도 및 도시철도의 경우 지진감지시스템이 도입되어 있지 않음. 고속철도의 경우 지진감지로 이용하고는 있으나 조기경보나 초기대응시스템으로는 부족한 상태임. 따라서 지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축을 통하여 지진 감지 및 경보 기술 개발이 필요하고, 이를 기존의 고속철도 지진감지시스템의 성능을 향상하고, 일반철도와 도시철도에 확대 적용할 필요가 있음

○ 조기경보시스템의 기초인 지진계는 일본보다 낙후되어 있지만, 국내의 일부 pilot 구간을 선정하여 경보시스템을 시도하는 것이 필요하며, 이를 위하여 지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발 및 지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발이 필요함

○ 필요한 세부 기술로, 유무선 통합 정보전달을 위한 AP 설계 및 게이트웨이 기술, 무선 AP 시스템 하드웨어 및 소프트웨어 요구사항이 필요하고, 통합플랫폼 구축을 위한 전송방식 기준, 규약 및 가이드라인 필요, 설치 AP 종류, 최적 개소수, 설치 위치 선정 및 선정 근거 필요, 공공무선 AP 운영을 위한 최적 소프트웨어 요구사항 제시, 무선접근망에 대한 정보의 보안성 및 인프라 통합보안과의 연계방안 제시 및 관련 소프트웨어 개발 필요, 소요예산 및 효용성 VE 분석(가치분석)이 필요함

○ 인터넷 및 유비쿼터스 기술과 연계한 철도 운전자 및 대승객 알림기능 및 대피유도 기술이 강화되어야함

○ 철도시스템 별 인프라 주변 지반 특성 파악 및 지진파의 전달특성에 대한 데이터베이스화가 필요함

○ 또한, 역사지진에 의한 지역별 지진발생 크기와 지반특성을 바탕으로 지진 시 증폭현상 등을 평가하여 해당 지역에 발생할 수 있는 지진규모에 대하여 사전 예측이 필요함

○ 지진감지 후 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 고유기능에 및 특성에 따라 응급 운행 대책 수립이 필요함

○ 지진발생시 분야별 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책이 필요함. 또한, 지진 시 철도 이용 승객 및 이용 대기 중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함

○ 일정 규모 이상의 지진이 감지되었을 경우 수배관 시스템의 비상정지, 냉난방 설비의 불필요한 가동 중단 등 시스템 손실 최소화 방안 개발이 필요함

○ 지진 시 철도변 위험사면에 대하여 붕괴위험 경보 체계를 계측데이터 기반 지진피해 분석에 기초하여 추진이 필요함

○ 전차선 및 신호기, 분기기의 지진으로 인해 파손 시 대비책 및 매뉴얼 작성이 필요함

2. 지진설문조사

○ 1장 1절에 따르면 국내·외 지진발생 추이에 따라 한반도의 지진발생 및 피해에 대한 우려가 증가하고 있으나, 현재 국내에는 지진에 대비가 충분하지 못한 상황인 것으로 나타남

○ 국가지정 전문연구정보센터인 토목연구정보센터에서 토목전문가를 대상으로 지진에 대한 설문조사를 2011년 4월 1일에서 6월28일까지 실시하였으며, 총 466명의 설문결과는 다음과 같음

설문1	귀하의 성별은? 남 (446명/96%) 여 (20명/4%)
설문2	귀하의 연령은? 10대 (1명/0%) 20대 (49명/11%) 30대 (146명/31%) 40대 (165명/35%) 50대 (86명/18%) 60대 (17명/4%) 70대 이상 (2명/0%)
설문3	우리나라는 지진의 안전지대라고 생각하십니까? 예 (132명/28%) 아니오 (334명/72%)
설문4	지진발생에 대비한 행동요령을 알고 있습니까? 구체적으로 알고 있다 (52명/11%) 어느 정도 알고 있다 (268명/58%) 잘 알지 못한다 (136명/29%) 전혀 모른다 (10명/2%)

설문5	지진발생 시 행동요령 등에 대해 교육이나 훈련을 받은 적이 있습니까? 없다 (357명/77%) 1~2회 (89명/19%) 3~5회 (10명/2%) 6회 이상 (10명/2%)
설문6	지진시의 행동요령 등에 대해 교육을 실시한다면 참여할 의향이 있습니까? 적극적으로 참여하겠다 (79명/17%) 참여하겠다 (225명/48%) 보통이다 (129명/28%) 참여하지 않을 것이다 (24명/5%) 전혀 참여 할 의사가 없다 (9명/2%)
설문7	우리나라에서도 외국사례와 같은 지진사태가 발생할 것이라고 생각하십니까? 아주 그렇다 (32명/7%) 그렇다 (188명/40%) 보통이다 (126명/27%) 그렇지 않다 (107명/23%) 전혀 그렇지 않다 (13명/3%)
설문8	우리나라 구조물에 대한 내진설계기준이 적절하다고 생각하십니까? 예 (117명/25%) 아니오 (349명/75%)
설문9	적절하지 않다면 어느 분야를 강화해야 한다고 생각하십니까? 교량 (40명/9%) 댐 (24명/5%) 지하철 (33명/7%) 철도 (4명/1%) 건축물 (212명/45%) 원전 (103명/22%)

○ 토목연구정보센터에서 토목전문가를 대상으로 지진에 대한 설문결과의 분석결과는 다음과 같음

- 국내에서 지진발생에 대하여 전문가 응답 중 72%가 우려되는 상황으로 답하였고 외국과 같은 대규모의 지진도 발생할 것이라고 답한 응답은 70%를 넘는 것으로 나타남
- 따라서 한반도의 지진현황은 심각하며 안전지대가 아닌 것으로 조사되었고, 선진국 수준의 지진대비가 필요함
- 현행 내진설계기준은 적절하지 않거나 충분하지 않다는 응답이 75%이상으로 내진설계기준에 대한 보완이 필요한 것으로 나타남
- 주요 시설물 중 건축물과 원전시설에 대한 설계기준의 보완 필요성이 높은 것으로 나타났으나, 이는 인명피해에 대한 파급효과와 전문가의 종사자 분야에 기인한 것으로 사료됨
- 철도시설에 대한 내진설계기준 보완에 대한 필요성은 상대적으로 적게 나타났으나, 철도인프라 전문가의 수가 타 분야에 비교하여 상대적으로 적음에 기인한 것으로 판단됨
- 지진발생 시 비상대응 체계 수립이 미흡한 것으로 나타났으며, 이에 행동, 피난 요령 등에 대한 비상대응체계 보완 필요

2장. 국내·외 동향 및 환경 분석

2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책 동향

1. 국외 정책동향

가. 철도 인프라 내진설계 기준 기술

(1) 철도 시장 동향

○ 세계 각국의 새로운 교통SOC 투자 패러다임 대두
(국가기간교통망계획(2001-2020))
- (철도·해운·녹색교통 중심 투자 확대) 주요 선진국은 기후변화 협약에 대응하고 저탄소 녹색성장을 추진하기 위해 철도·해운·녹색교통 중심으로 투자 확대
  ▸ CO2 배출량이 가장 많은 도로 수요를 억제하고 대중교통수단 활성화 및 교통수단간 통합연계성을 강화
  ▸ 산업간 유기적 연계, 시너지 효과 창출을 통한 경쟁력 강화를 위해 고속교통망 연결에 집중 투자중
  · 일본은 운영중인 신간선 2,387km 이외에 1,173km 추가 건설
  · 중국은 1.7만km 고속철도망 건설, 향후 3년간 360조원 투자 계획
  · 미국은 11개 고속철도망 사업(240km/h 이상) 확정(13,760km) 발표
  · 유럽은 현재 5,764km('09)인 고속철도망을 장래 21,180km('20)까지 확충 계획

○ 세계 철도시장은 '09년 213조원에서 '13년 267조원으로 연평균 6%의 높은 성장 예상
- (브라질) '16년 올림픽이전 개통 목표, 리오-상파울로간 고속철도 국제입찰
- (중국) '14년까지 주요 도시간 철도망을 4×4 형태로 연결(17,300km건설)
- (미국) 캘리포니아, 플로리다 등 11개 고속철도 노선 신설 검토중

(2) 내진 정책 동향

최근 아이티, 칠레, 중국 등 전 세계적으로 대규모 지진으로 인한 인명 및 재산피해 발생이 증가하는 추세이며, 역사지진 기록 및 전문가에 의하면 우리나라도 더 이상 지진안전지대가 아니라는 견해가 지배적이다. 사회·정책적으로 기존시설물 내진보강으로 안전한 국민생활환경 및 안정적 국가기반체계 마련의 필요성이 대두되는 상황으로 향후 10여년간 지속적으로 시설물에 대한 내진보강 및 내진설계적용 시장의 규모가 증가할 것으로 예상된다.

(가) 일본

○ 일본의 내진설계기준 동향

- 1968년 5월에 발생한 Tokachi지진이후 일본에서는 철근콘크리트 구조물의 내진설계기준을 강화함
- 고베지진 이후 다음과 같은 대책을 수립하여 시행함

· 내진설계의 개념측면에서 강성설계를 연성설계로 전환
· 미국의 성능기준설계(Performanc-based Design) 도입 추진
· 구조물 내진보강 증진 결의서(1995년)에 의한 내진성능평가
· 지진재해관리시스템(예측 및 사후관리시스템) 개선
· 건축기준법 및 도시계획법 개정(2004년)

○ 일본의 설비 관련 내진기준

- 설비에 관한 내진설계 규정은 건축기준법 시행령에 저수조, 배관설비, 엘리베이터 등에 관한 내진규정을 명시함
- 설비에 관한 내진설계 규정은 관련 설비법과 기준 등에서 내진설계 요건의 기본사항만을 제시하고 상세한 내진설계 기술기준은 주로 “건축설비 내진설계·시공 지침”(2005)을 준용하도록 규정함

(나) 미국

○ 미국의 지진 대책 및 관리는 재난구제법을 기본법으로 연방재난관리청(FEMA: Federal Emergency Management Agency)에서 재해와 재난에 대해서 관리하고 있음.

○ 미국 AASHTO 내진설계기준

- 지진동의 실제 강도와 설계에서 하중산정을 중요시 하며, 이 설계법의 단점은 서로 다른 예상 내진성능에 대한 서로 다른 위험 레벨의 사용에 반하는 하나의 지진동을 사용하는 것임

○ Caltrans (California Department of Transportation) 내진설계기준

- Caltrans의 내진설계법은 일반적으로 AASHTO 내진설계와 유사함. 중요한 차이점은 기능성 평가 레벨과 안전성 평가 레벨의 두 레벨의 설계법을 명시함

○ 미국의 설비 관련 내진기준

- 설비는 IBC '1621.3 Mechanical and electrical component design', '1621.3.14 Elevator design requirements' 등 다수의 기준에서 규정
- 미국의 경우 설비의 내진설계를 위한 지진하중에 대한 적용기준인 IBC1614는 화재기준과 건축기준을 동시에 적용토록 함

(다) 유럽 및 기타국가

○ EC8 코드의 교량 내진설계기준

- Eurocode의 설계법은 197O년대부터 유럽에서 만들어진 규준들 중에서 특히 CEB의 Model Code(CEB,1978)에 기원을 두고 있음. CEB Model Code는 신뢰도 기반과 성능 지향으로 정의한 첫 번째 code임. 특히, 신뢰도를 바탕으로 결정된 여러 성능 레벨을 만족시키기 위한 구조 설계 개념은 최근 급속히 전 세계적으로 전파되고 있음

○ New Zealand 내진설계기준

- 뉴질랜드에서 교량의 설계는 Transit New Zealand에 의해 규정된 Bridge Manual(1994)을 적용함. Bridge Manual의 내진설계법의 원리는 New Zealand National Society for Earthquake Engineering Discussion Group의 권장사항(1980)을 참고로 함

나. 철도 인프라 내진성능 향상, 복구 및 조기대응

○ 일본은 고베지진 이후 “기존건축물개수 내진설계 촉진법”을 제정하여, 소규모 주택을 포함한 기존 구조물의 내진성능을 확보하도록 제도화하였음.

○ 일본의 철도시설의 내진성능 보강은 기존에 이미 정립된 방법을 사용하고 있었으나, 고베지진 이후 철도시설물의 효과적이며 성능이 뛰어난 보강을 위하여 새로운 공법들을 지속적으로 연구 개발하고 있음

○ 일본 철도시설의 최신 보강공법은 다음 그림과 같음

- 터널 중앙부 기둥 보강공법

· 터널 중앙부 기둥의 강성을 증가시키는 공법(강재 덧붙임 등)



그림 2.1 승강장 기둥보강

- Polymer base isolation layer 보강공법

· 지반변위로 인한 개착식 터널의 붕괴를 방지하기 위하여 터널외부에 polymer재료로 구성된 차단벽을 설치하는 공법



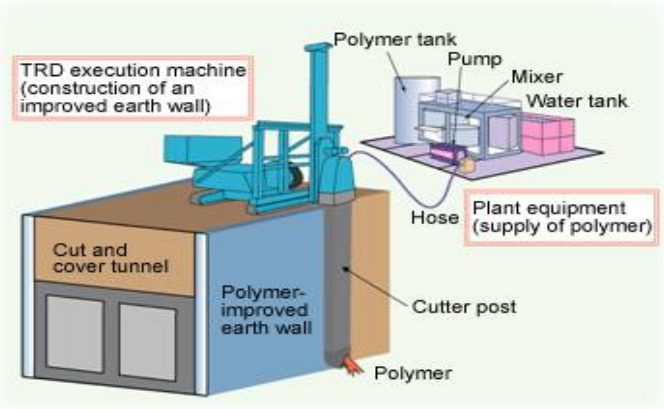


그림 2.2 폴리머벽 내진보강 공법 개요

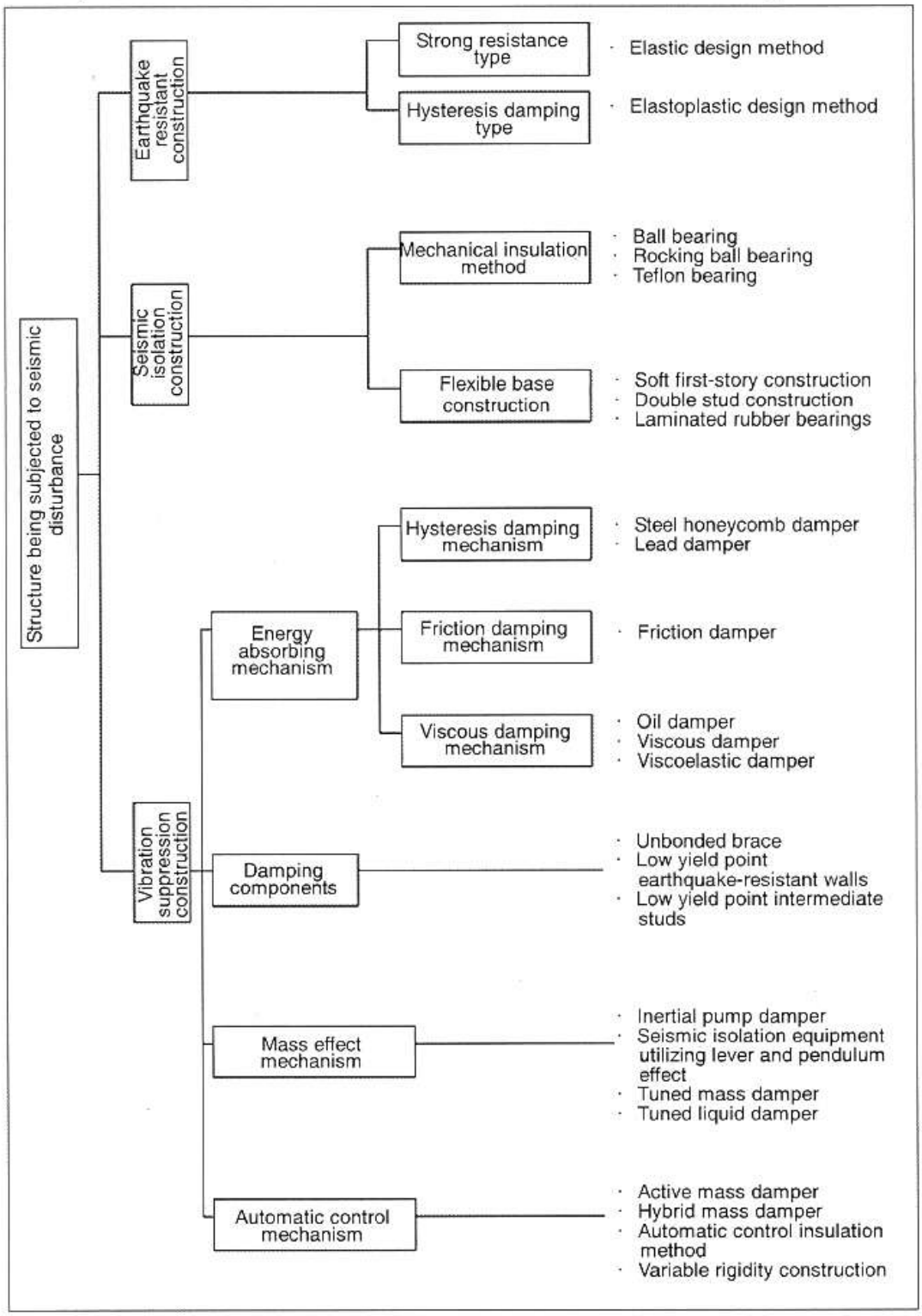


그림 2.3 일본의 내진성능보강의 분류

○ 동경지하철의 내진성능 보강 현황

보강공사	보강공법	보강대상장소(실시수)	진척율
터널 중앙기둥 보강공사	-강판 보강공법 -기둥추가 공법 -탄소섬유 보강공법	1,204(1,204개)	100%
고가교 교각 보강공사	-강판 보강공법 -아라미드섬유 보강공법 -일면 보강공법	3,263(2,626개)	80%
고가교 낙교 방지대책	-스틸 브래킷 공법	949열(809열)	85%
갱구의 액상화 대책공사	-지반개량(약액주입)	3개소(3개소)	100%
옹벽보강공사	-앵커 보강공법	1개소(1개소)	100%

○ 고가교 낙교방지 공법



○ 철도 전기설비 분야 내진성능 보강

설비	내용	진도율
변전소	-애자형 차단기의 개량 -벽설치형 기기를 바닥거치형의 전환	97% 100%
비상전원용 발전기전원의 정비	-모두 지하역에 설치	100%
기타	-기기의 전도방지 보강	100%

○ 지진 후 철도 인프라 손상평가 정책 동향

- 선진국의 경우 인프라 손상평가를 위한 비파괴 검사 기술이 국가의 최첨단 기술의 하나로 분류되어 새로운 기술들이 중점 개발
- 자국에서 개발한 기술을 중심으로 국제표준을 통일시키기 위한 시험센터를 국가차원에서 육성
- 시설물의 비파괴검사 표준기반이 구축된 전문기관을 운영하고 있음
  (미국: ASNT, 캐나다: NRCan, 일본: JSNDI, 영국: BINDT 등)

○ 일본 지진 대응 복구방안

- 일본의 제3기 과학기술기본계획(2006~2010) 및 이의 “분야별 추진계획”(VII 사회기반분야)에 기초하여 “국토교통성 기술기본계획”을 수립함, “내진 및 재해대응/복구/부흥계획의 고도화 등 피해경감기술“이 분야별 추진계획에 명시되어 예기치 못한 대규모 지진에 대한 대응 및 복구방안에 대한 관심이 고조되고 있음

○ 일본의 지진 조기경보 시스템 구축

- 1965년 4월 20일 발생한 오오이가와 하구 지진 (M6.1)은 도카이도 신간선에 큰 피해를 주었음
- 오오이가 하구 지진이 직접적인 계기가 되어 약 20km마다 도카이도 신간선의 노선 변전소에 경보 지진계를 설치하여 지진을 감지하면 자동으로 열차에 궤전을 중지하고 비상 제동을 거는 시스템이 구축됨
- 이후 도호쿠 신간선 개통을 위해 새로운 지진경보시스템의 연구개발이 1970 년대 후반부터 시작되었으나, 초기에는 "해안선 탐지 시스템"이 도입됨, 1984년에 도입

된 방법은 대지진 발생지역에서 가까운 태평양 연안에서 지진을 감지하여 내륙을 달리는 신간선에 경보를 울리는 것으로, 지진 S파를 이용하여 먼거리의 철도시스템에 경보를 전달하는 방법

- 도호쿠 신간선을 위해 연구를 시작한 새로운 경보시스템의 개발은 새로운 개념을 도입하여 1983 년 "유레다스"를 구축하였고, 그 후 개선을 거듭하여 1992년부터는 지진시 도카이도 신간선의 안정성을 향상시키는 것으로서 가동
- 도카이도 신간선의 유레다스 경보 및 정보는 1997년부터 재래선에도 이용되고 있음
- 유레다스는 당초 신간선에 대한 적용을 목적으로 연구개발이 이루어졌지만 현재는 일반 철도에적용할 수 있는 시스템으로 발전
- 1995년 효고현 남부 지진 이후 1996년 11월에는 산요 신간선에 유레다스 시스템 적용되어, P파 경보 발령 감지 후 3초에서 1초 정도로 신속화된 시스템으로 발전 (1998년)
- 도호쿠 신간선 등 해안선 탐지시스템과 노선경보지진계 업그레이드 시스템으로서, 새로운 P파 경보 기능의 가능성을 가진 "콤팩트 유레다스"가 채택되어 1997년에 설치 및 업그레이드를 거쳐 1998 년 11월부터 새로운 P파 경보 기능이 추가되어 실행중
- 현재 일본의 유레다스는 해안선뿐만 아니라 도호쿠 신간선, 조에츠 신간선, 나가노 신간선의 선로와 일본 동측 해안선에도 설치하여 지진을 보다 빨리 감지하여 경보를 발령하는 체제가 완성
- 유레다스와 콤팩트 유레다스는 본래의 일반 경보 기능을 활용하여 철도 이외의 분야에도 적용 범위를 확대중

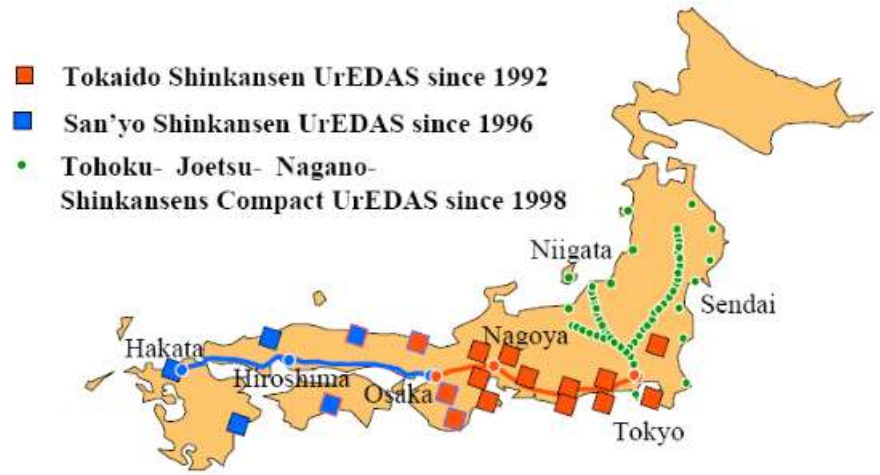


그림 2.4 일본의 유레다스 시스템 분포현황

2. 국내 정책동향

가. 국내 철도인프라 정책동향

(1) 철도 교통시설 투자 증가

○ 저탄소 녹색성장의 핵심교통수단 및 철도경쟁력 강화에 따른 교통 수송분담률 증가에 따라 철도분야의 시설확대가 증가하고 있음

○ 정부의 교통 SOC 투자계획
- 도로 신규철도 투자를 현재 29%에서 50%(~2020년)까지 확대
- 투자 억제, 운영효율화에 주력
- 사업타당성 평가 시, 녹색가치 반영
- 철도연장 3,378km ➛ 5,497km 확대
- '10년 정부예산안 : 도로 7.6조원, 철도 5.2조원

○ 제3차 중기교통시설 투자계획(2010)
- 『국가기간교통망계획 제2차 수정계획(2001~2020)』을 바탕으로 도로, 철도, 공항, 항만 등 국가기간교통시설에 대한 종합적 투자계획 및 교통정책을 수립하는 5년 단위의 교통계획
- 철도의 고속화를 통한 속도경쟁력 강화
  ‣ 경부고속철도, 호남고속철도, 수도권 고속철도는 고속 주간선망(Hub)으로서 적기 완공, 철도네트워크차원에서 광역경제권간 연계를 위한 신규고속철도망을 단계적으로 확충
  ‣ 일반철도는 고속화를 통해 지역교통 및 권역내 연계 수송(Spoke)을 담당
- 녹색성장, 기후변화에 대비하고 지속적인 철도망 구축을 위해 철도투자 확대
- 철도분야 연차별 투자규모
  ‣ 연차별 투자규모는 '15년까지 철도의 증가세가 두드러지게 나타남

표 2.1 연차별 투자규모('11~'15년)

구 분	계(억원)	2011	2012	2013	2014	2015
도 로	493,136	94,902	92,990	100,367	102,520	102,357
철 도	494,007	72,979	94,268	103,009	117,898	105,853

○ 제2차 국가철도망 구축계획('11~'20)

- 철도시설 확충에 총 88조원이 소요될 전망이며 계획 기간 동안 부문별로는 고속철도 16조원, 일반철도 46조원, 광역철도 26조원이 소요될 전망임. '20년까지 지속적인 국가철도망 구축이 이루질것이며, 20'년 이후에도 철도망 구축에 지속적인 투자가 이루어 질것으로 전망됨

표 2.2 사업별 투자규모[1)]

구분	총사업비(억원)	'10년까지	'11~'20	'11~'15	'16~'20	'21 이후
고속철도	237,701	73,196	164,505	150,882	13,623	-
일반철도	792,672	142,755	457,463	176,318	281,145	192,454
광역철도	328,459	61,768	259,261	102,773	156,488	7,430
합 계	1,358,832	277,719	881,229	429,973	451,256	199,884

○ 제2차 철도안전종합계획(2010)

- 전국 고속(화) 철도망 구축과 철도 수혜지역 확대의 정부정책으로 경부고속철도 2단계와 호남고속철도 건설 및 수도권 주민에 대한 고속철도 서비스 확대를 위한 신선(강남-평택)건설을 추진하고 있으며, 간선철도망을 지속적으로 확대하고 기존 운행선로의 속도향상을 위해 틸팅열차, 고속전동차(EMU) 등 투입을 추진중임

‣ 간선철도노선증가 : 3,500km('09) → 4,800km('20)

‣ 기존 운행선로의 속도향상

→ 경춘선('11년, 180km/h), 전라선('11년, 200km/h), 중앙선('13년, 180km/h)

- 저탄소 녹색성장의 핵심 교통수단으로서 역할 확대

‣ 기후변화, 유가상승에 대응하기 위하여 저탄소·녹색교통 수단인 철도 수송분담률

주[1)] 제2차 국가철도망 구축계획('11~'20) (국토해양부)

증대를 통한 국가경쟁력 향상

‣ 철도의 에너지 소비량·CO2 배출량 : 승용차 대비 에너지 소비량 12%, CO2 배출량 17%

‣ 철도 수송분담률 1% 증가 → 8,800억원 편익(에너지절감 6,000억원/년, 교통 혼잡비용 2,800억원/년)

‣ 핵심 물류거점인 주요 항만·산업단지를 간선 철도망과 연결하는 인입철도 건설을 통한 화물수송 확대

‣ 화물분야 철도의 수송분담률 확대 목표 : 7.5%('09) → 20%('20)

‣ 전환교통(Modal-shift) 협약제('10년, 27억원) 실시 및 이단적재 컨테어너열차 운행

- 철도교통 경쟁력 강화에 따른 교통 수송분담률 증가

‣ 환승할인 등의 대중교통이용확대 정책시행 및 저탄소 녹색성장정책 실행에 따른 철도 여객의 증가

* 철도이용객수 증가 : 29.5억명('04)→ 38.7억명('09)→ 48.2억명('15)

‣ 교통편의시설, 환승시설, 복지시설, 역세권 개발사업과 일체화되도록 관련법 개장

‣ 도심간 출퇴근 수요의 흡수를 위해 광역급행열차 확대 및 선로·신호를 개량하여 열차 지연문제 개선

‣ 경량전철 운행, 도시철도 노선 다양화 및 열차운행 속도 증가를 위한 지속적인 투자로 철도 이용객의 접근성 개선

‣ 교통분야 SOC 투자예산중 철도비중 확대 : 29%('09) → 50%('20)

표 2.3 철도안전종합계획의 연차별 예산[2)]

구분	'11	'12	'13	'14	'15	총계	비율
1. 안전관리 효율화·제도개선	32,728	18,885	6,441	5,848	4,947	68,848	1.2%
2. 철도종사자 역량강화	20,981	24,493	20,423	12,351	12,870	91,128	1.5%
3. 철도시설의 안전성향상	698,220	727,284	702,199	664,177	1,088,580	3,880,461	65.3%
4. 철도차량의 안전성향상	68,697	114,437	498,735	530,289	397,409	1,609,566	27.1%
5. 홍보, 안전기술 연구개발	9,121	54,552	106,682	107,379	11,360	289,093	4.9%
합계(백만원)	829,747	939,651	1,334,480	1,320,044	1,515,166	5,939,096	100%

○ 철도인프라 투자는 중기적으로 성장률 증가할 것으로 전망되나, 특히 향후 10년간 녹색성장, 기후변화에 대비하는 수단으로 철도인프라는 지속적으로 성장할 것으로 예상됨. 또한 철도인프라의 노후화 및 취약시설 보강에 대한 투자도 지속적으로 이루어질 것으로 전망됨

(2) 철도중심의 R&D 투자 증대

○ 소방방재청에서는 지진재해로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 기존 공공시설물 내진보강 정책의 기본방향을 제시하는 최상위 계획으로『기존시설물 내진보강 기본계획(11년~15년)』을 발표하였으며, 2011~2015년 계획기간 중 총 약 3조 251억원을 투자할 계획임(연 평균 약 6,050억원). 2016년 이후에는 5년 단위로 4단계에 걸쳐 약 24조원을 투자할 계획임

○ 교육과학기술부

- 우리나라에 큰 영향을 미칠 4대 미래 환경변화를 선정, 2040년까지의 미래에 요구되는 4대 기술예측 및 제시

▸ 기후성 재난(홍수, 태풍, 지진, 지진해일)이 증가하는 추세에 있으며, 각종 재해를 예측하고 충분히 예방하기 위한 기술이 필요

▸ 다양한 교통수단의 출현에 따라 공항, 도로, 철도 등 수송 수단 간 연계와 수송 수단 내 연결성 강화에 관란 요구도 높아질 것으로 예상

○ 미래철도기술개발사업

- 철도종합안전기술개발 사업을 통하여 선진국 수준의 범국가적 철도종합안전시스템 구축
- 대형 철도사고 예방 및 사고·사망률 저감
- 국토해양부 연구개발사업의 일환으로 다양한 시설물에 대한 모니터링 시스템 개발과 통합운영관리 시스템 구축을 목표로 “국가주요기반시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발” 연구가 수행 중

주2) 제2차 철도안전종합계획(국토해양부)

○ 철도인프라의 대규모 증가가 예상됨에 따라 철도시설 안전에 대한 연구개발사업도 증가일로에 있으나, 지진에 대한 R&D 분야의 투자는 미흡한 실정임

나. 국내 철도인프라 내진관련 정책동향

(1) 내진관련 정책 동향

○ 소방방재청 주관 2011년 범국민 안전대책 수립을 위하여 5대전략 정책방향을 수립하였으며, 다음 표와 같음

○

표 2.4 2011년 정책방향(5대 전략)

5대 전략	내용
민방위시스템 전면 개선·보강	- 범국민 민방위 실전 대응역량 제고 - 단계별 민방위 비상대비태세 강화
현장중심 예방관리체계 구축	- 물놀이 사고 절반 줄이기 실천 - 과학적·체계적 예방안전관리 강화 - 신종 특수재난 관리체계 구축
소방정책 선진화로 화재피해 원천적 저감	- 선진형 화재안전기반 구축 - 현장대응역량 강화로 선제적 재난 대응 - 맞춤형 첨단 과학소방 기반 강화 - 구조·구급서비스 선진화로 소생률 제고 - 특수구조역량 제고와 국제협력 증진 - 소방공문원 처우개선으로 사기진작
기후변화 재해 근원적 대비	- 기후변화 대응역량 강화 - 재해예방을 위한 방재기반 확충 - 현장 밀착형 재난상황관리 강화 - 지진재해 대응 인프라 확충 - 재난 복구·구호시스템 선진화
성과 지향적 재난관리역량 강화	- 성과중심의 재난관리 전문요원 육성 - 국민과의 소통 강화 - 「스마트 재난관리」기반 구축

○ 지진재해대책법(2008)의 개정

- 지진재해대책법 제14조에는 지진이 발생할 경우 재해를 입을 우려가 있는 시설에 대하여 내진설계기준을 정하고 그 이행에 필요한 조치를 위하여야 한다고 규정이 되어 있고, 전기설비 관련 된 부분은 『전기사업법』에 따른 발전용 수력설비 및 화력설비, 송전설비, 배전설비, 변전설비에 대해 내진설계 기준 및 이를 이행할 수 있는 조치를 취하도록 규정함. 또한 기존에는 누락되어 있던 내진설계 시설 대상으로서 전기통신기본법에 의한 통신설비가 추가 개정됨

○ 지진재난 상황관리 및 위기대응에 관련하여 소방방재청에서 '지진 및 지진해일 상황관리매뉴얼' 구축과 지진 및 지진해일 관측 및 예·경보시스템 및 교육·훈련 강화 등 신속대응 분야를 주관하고 있음

- 지진재해 대응 인프라 확충

‣ 공공시설물「내진보강 기본계획」에 따른 시설물별 내진보강 추진

* 내진보강 목표 : 현재(37%)→'15년(43%), '20년(54%), '30년(80%)

‣ 시설물별 내진성능기준 및 중요도에 따른 내진등급 제정·고시(10월)

‣ 지진발생 대비 선제적 대응체계 구축

* 지진해일대응시스템 조기 구축 및 침수예상도 탑재

○ 스마트 재난관리(Smart Safe Korea) 추진

- 소방방재청은 최신 정보통신기술(ICT)과 재난안전 서비스 융합을 통해 '안전한국 실현'을 위한「스마트 재난관리(Smart Safe Korea) 추진계획」을 수립하고, 오는 2015년까지 추진함. 이를 위해 △맞춤형 재난정보 서비스 강화, △재난현장 대응·인명구조 강화, △재난관리 스마트 오피스 체계 구축 등 3대 아젠다와 9대 중점과제, 27개 세부과제를 제시하고, 올해 22억원을 시작으로 5년간 약 215억원을 투입할 계획임
- 긴급 재난상황 전파에 SNS 이용을 활성화하고, GPS·카메라·증강현실 등 모바일 기기 특성을 활용하여 취약지역을 감시하며 사진·동영상으로 제보하는 체계와 함께, 민방위·지진 경보, 산사태·침수 ·화재 정보 등 모바일 서비스 체계를 구축할 계획임

○ 국내 소방방재청 동향

- 가속도 계측자료 통합시스템 구축, 한국유지관리(주), 한국지진공학회, 소방방재청, 2009
- 지진재해대응시스템 구축, 소방방재청, 2007~ 현재
- 비축기지 지진가속도계측기 및 Local Monitoring Server System, 한국석유공사, 2011
- 창녕군청사 지진가속도계측기 통합관리시스템 구축, 경상남도 창녕군, 2011.10

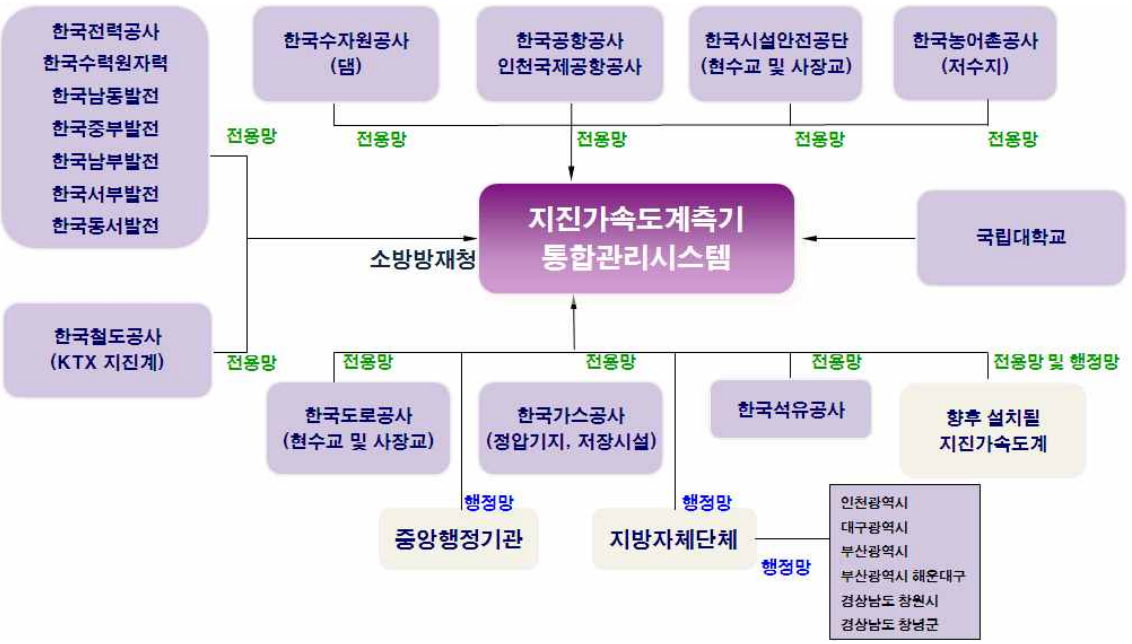


그림 2.5 지진가속도계측기 통합관리시스템 구성 계획

○ 기상청의 지진대비 정책 동향

- 지진연구망 구축 및 네트워크 운영 기술 개발 (Developmemt of seismic station construction and network operating technologies), 한국지질자원연구원, 기상청. 2006
- 국가 지진조기경보시스템 구축 설계 및 실시간 지진자료 공유기반 연구(Desiging of the National Earthquake Early Waring System and Expanding fo Realtime Data Sharing), 한국지질자원연구원, 기상청. 2009
- 기상청의 지진에 대비한 대국민 경보시스템 구축 연구를 진행 중이나, 철도시스템의 필요한 조기대응시스템에 대한 연구는 제외됨

(2) 철도인프라 내진관련 정책 동향

○ 철도인프라 관련 주요 내진설계 기준의 시간적 현황은 다음과 같음.

- 국내철도의 지진대책 현황

· 02년 :『주요시설물 내진설계기준의 재정비』, 건설교통부(한국건설기술연구원)

· 04년 :『기존 터널의 내진성능 평가 및 향상요령』, 건설교통부(한국시설안전기술공단) 『기존 교량의 내진성능 평가 및 향상요령』, 건설교통부(한국시설안전기술공단) 『철도설계기준(철도교편)』

· 05년 :『고속철도설계기준(노반편)』 『도시철도 내진설계 기준』, 건설교통부고시 제2005-181호

· 06년 이후 :『주요 시설물의 지진대비 필수기능 유지방안』, 소방방재청(한국방재학회) 『내진성능평가(예비, 상세) 실시』, 7개 지자체 도시철도 공사, 한국철도시설공단 『내진성능보강 방안 수립 및 실시 계획』, 7개 지자체 도시철도 공사, 한국철도시설공단 『철도건설기준 (재)개정안』, 국토해양부

○ 정부의 내진기준 제·개정

- 병원, 위락시설, 삭도 및 궤도시설 등의 내진설계 기준의 제정을 추진하여 삭도 및 궤도시설 등의 내진기준이 제정됨
- 전기, 통신, 가스, 상하수도 등의 라이프라인 시설과 항공, 철도, 원자력 등 중요시설에 대한 신속 대응 및 복구를 위한 비상계획 미흡함
- 교육과학기술부의 기본계획에 따라 전국 시도교육청에서 학교시설 내진보강 사업을 진행하고 있음
- 1995년 12월 6일 기존의 「풍수해대책법」을 지진 관련 조항이 포함된 「자연재해대책법」으로 개정하여 건축물 및 도로를 포함한 16개 시설 및 기타 대통령령이 정하는 시설에 대한 내진설계기준 설정을 통한 내진설계를 의무화함
- 이러한 내진설계는 신설된 시설물에는 적용되나, 내진설계의 도입 이전에 건설된 시설물의 대부분은 지진의 영향을 고려하지 않은 채 설계·시공되어 있으며 사용년수가 오래 경과하여 노후화가 많이 진행되어 있음
- 이에 따라, 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정·공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계

기준이 강화된 공공시설물(이하 “기존시설물”이라 한다)의 내진 향상을 위하여 5년마다 기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함

○ 도시철도 내진실태 현황

- 교량의 경우 전체 70개 시설물중 내진적용 14개교이며, 내진양호 7개교로서 30.0%가 내진성능을 확보하고 있으며, 터널은 총620개소중 내진적용 7개소, 내진양호 486개소로 79.52%가 내진성능 확보

표 2.5 도시철도 내진 설계 현황

관련기관	세부 시설물	내진설계현황						비고
		계	내진 적용	내진 미적용				
				내진 양호	내진보 강완료	내진보 강필요	소계	
계	교량	70	14	7	-	49	56	
	터널	620	7	486	-	127	613	
	건축물	731	26	572	-	133	705	
	계	1,421	47	1,065	-	309	1,374	
서울특별시	교 량	44	3	1	-	40	41	
	터 널	409	-	287	-	122	409	
	건축물	510	3	374	-	133	507	
부산광역시	교 량	18	9	-	-	9	9	
	터 널	81	-	76	-	5	81	
	건축물	94	9	85	-	-	85	
인천광역시	교 량	1	-	1	-	-	1	
	터 널	32	7	25	-	-	25	
	건축물	29	8	21	-	-	21	
대구광역시	교 량	2	2	-	-	-	-	
	터 널	63	-	63	-	-	63	
	건축물	56	6	50	-	-	50	
광주광역시	교 량	5	-	5	-	-	5	
	터 널	12	-	12	-	-	12	
	건축물	20	-	20	-	-	20	
대전광역시	교 량	-	-	-	-	-	-	
	터 널	23	-	23	-	-	23	
	건축물	22	-	22	-	-	22	

○ 국내 설비에 대한 내진성능평가 기준 및 내진 설계 기준

- “건축설비 내진설계기준 사례조사 연구(2001)/설비 엔지니어링 협의회”

· 국내관련기준 조사 및 정리

· 해외 관련 기준 자료수집 및 정리

· 해외 관련설계 및 시공지침 자료수집 및 정리

· 당면과제 및 향후 연구의 방향 제시

○ 철도구조물의 세부분류에 해당하는 교량, 건축, 터널 등의 부재에 대한 내진성능향상 연구는 학교, 연구기관에서 부분적으로 수행되었으나, 열차와의 인터페이스를 고려한 인프라시스템 측면의 내진보강 연구는 미흡함

○ 국토해양부 미래도시철도 사업의 일환으로 수행되고 있는 “도시철도 표준화 2단계 사업”에서 개착식터널과 역사에 대한 내진보강시스템 연구가 수행되고 있음

○ 도시철도 시설물의 내진성능평가 및 내진보강은 다음의 시설물 구분에 의거하여 수행됨

표 2.6 도시철도 시설물의 내진성능평가 및 내진보강방안

시설물명		내진성능 예비평가	내진성능 상세평가	내진보강
교량	상부 구조	교량 예비평가 (3.3.1절)	교량 상세평가 (3.3.2절)	교량 내진보강 (4.3절)
	교대 기초	기초구조물 예비평가 (3.9.1절)	기초구조물 상세평가 (3.9.2절)	기초구조물 내진보강 (4.9절)
	액상화	액상화 예비평가 (3.8.1절)	액상화 상세평가 (3.8.2절)	액상화 내진보강 (4.8절)
터 널		지중구조물 예비평가 (3.4.1절)	지중구조물 상세평가 (3.4.2절)	지중구조물 내진보강 (4.4절)
건축물		건축물 예비평가 (3.2.1절)	건축물 상세평가 (3.2.2절)	건축물 내진보강 (4.2절)

○ 한국철도시설공단, 서울메트로 등 철도 건설 및 운영기관에서 내진설계가 수행되지 않은 기존의 철도구조물에 대하여 내진성능평가를 수행하거나 수행중에 있으며, 향후 내진성능평가에 따른 경제적· 효율적 보강시스템의 적용에 대한 요구가 증대할 것으로 예측됨

○ 지진 후 철도 인프라 손상평가 정책 동향

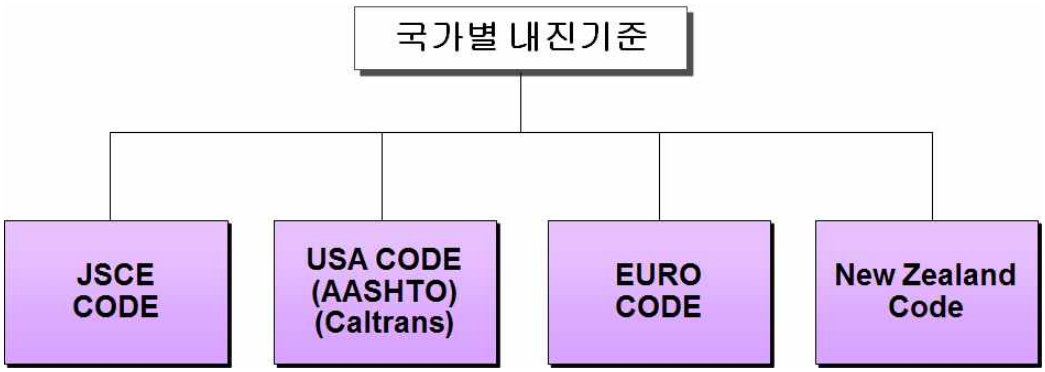
- 한국시설안전기술공단(KISTEC)이 창설되는 등 사회 기간 시설물의 유지관리에 관심을 가짐
- 국토해양부에서는 Structural Health Monitoring (SHM) 기술발전을 위해 다양한 지원 정책을 시행중
- 시설물의 안전점검과 적정한 유지관리를 통하여 재해와 재난을 예방하기 위한 “시설물 안전관리에 관한 특별법”을 제정 및 시행

2절. 국내외 기술 및 산업동향

1. 국외 기술동향

가. 철도인프라 내진설계기준 기술 및 동향

○ 본 절에서는 미국, 일본, 유럽 등의 철도인프라 관련 내진설계기준의 기술 및 동향을 검토하였음



○ 일본의 내진설계

- 구조물이 보유해야 할 내진성능은, 구조물의 용도, 구조물의 손상이 사람의 목숨과 기능에 주는 영향, 2차재해 방지, 복구에 필요한 시간과 비용 등을 감안해서 정해야 함. 일반적으로 다음과 같은 세 가지 내진성능을 고려하고 있으며 내진성능은 구조물을 구성하는 부재의 손상과 기초안정으로 구분하고 각각에 대해 손상수준(Damage Level)과 안정수준(Stability Level)을 설정하는 것을 기본으로 함(철도구조물 등 설계표준·동해설-내진설계)

- 내진성능 수준 정의

· 내진성능 I : 지진이 발생한 후 보수하지 않아도 그 기능을 유지할 수 있으며(내하력 등에 대한 보수를 실시하지 않고 사용가능) 과대한 변위(열차의 주행안전성에 악영향을 미치는 변위)가 발생하지 않음(철도구조물 등 설계표준·동해설-내진설계) 지진 시에 기능을 유지하며, 지진 후에도 기능이 온전하여 보수하지 않고 사용이 가능한 성능임. 지진 시에 부재에 발생하는 힘이 부재의 항복하중에 이르지 않고, 주변지반의 안정이 확보되어 있으면, 이 내진성능을 만족하고 있다고 봄(터널표준시방서-개착공법·동해설)

· 내진성능Ⅱ: 지진이 발생한 후 보수가 필요하나 그 기능이 조기에 회복(보수에 어려움이 예상되는 구조물의 잔류변형과 부재의 손상이 허용한도 내)될 수 있는 성능(철도구조물 등 설계표준·동해설-내진설계) 지진 후에 구조물의 사용에 필요한 내력이 유지되며 그 기능이 단시간에 회복되는 상태로 하는 성능힘. 일반적으로는, 지진 시에 각 부재는 전단파괴하지 않으며 지진에 의한 변위가 종국변위에 도달하지 않고 주변지반의 안정이 확보되어 있으면 내진성능Ⅱ를 만족하고 있다고 봄. 단, 보수와 보강에 어려움이 따르는 부재에 대해서는 상기보다도 엄격한 제한치를 설정해 응답값이 허용한도 내가 되는 것을 확인함(터널표준시방서-개착공법·동해설)

· 내진성능Ⅲ: 지진에 의해 구조물 전체계가 붕괴되지 않음(철도구조물 등 설계표준·동해설-내진설계) 지진 후에 구조물이 복원이 불가능하게 되었다고 하더라도, 구조물 전체가 붕괴하지 않는 상태로 하는 성능임(터널표준시방서-개착공법·동해설)

- 지진지반운동수준

· 구조물의 설계내용기간 내에 여러 번 발생하는 크기의 지진동 (L1 지진동)

· 구조물의 설계내용기간 내에 발생할 확률이 극히 작은 강한 지진동 (L2 지진동)

- 내진의 기본설계 개념

· L1 지진동에 대해 내진성능Ⅰ을 만족함

· L2 지진동에 대해 내진성능Ⅱ 또는 내진성능Ⅲ을 만족함

○ 미국의 내진설계 (AASHTO, Caltrans)

- Caltrans의 내진설계법은 일반적으로 AASHTO 내진설계와 유사함. 중요한 차이점은 기능성 평가 레벨과 안전성 평가 레벨의 두 레벨의 설계법을 명시한 점임. 사용성 기준과 손상 기준으로 표현되는 성능의 다른 레벨은 대상 교량이 중요한 교량인지 아니면 일반 교량인지에 따라 이러한 위험한 단계의 각각에 대해 허용됨. 긴급시설의 접근로와 같은 중요한 교량의 경우, 추가적인 생명 안전에 기여하도록 요구되는 것, 지역적 긴급 계획에 의해 공식적으로 중요하게 정의되는 것, 혹은 중요한 경제적 충격을 주는 기능을 재건하는데 걸리는 시간에 관련된 것임. 일반 교량에 대하여 Caltrans는 낮은 레벨에서의 성능은 자동적으로 만족한다고 가정하고 안전성 평가 레벨에 기초한 설계만을 수행하도록 함. 캘리포니아와 같은 강진지역에서는 중간정도의 재현 주기를 갖는 지진동도 비교적 큰 지진동을 나타내기 때문에 위의 가정이 정당한지 아닌지에 관하여서는 분명하지 않음

표 2.7 Caltrans 내진설계법

지진동의 크기	기준	일반교량	중요교량
기능성 평가 레벨	사용성	즉시	즉시
	손상	수리가능	최소화
안전성 평가 레벨	사용성	제한적	즉시
	손상	상당한 보수	수리가능

○ 유럽의 교량 내진설계기준

- Eurocode의 설계법은 1970년대부터 유럽에서 만들어진 규준들 중에서 특히 CEB의 Model Code(CEB,1978)에 기원을 두고 있음. CEB Model Code는 신뢰도 기반과 성능 지향으로 정의한 첫 번째 code임. 특히, 신뢰도를 바탕으로 결정된 여러 성능 레벨을 만족시키기 위한 구조 설계 개념은 최근 급속히 전세계적으로 전파되고 있음
- Eurocode EC8 Part2: Bridge(EC8/2)는 극한과 사용한계상태로 불리는 단 두 가지 설계 레벨을 고려하고 있으며, EC8/2의 이런 선택에는 두 가지 이유가 있음. 하나의 이유는 교량은 건물과는 달리 비구조요소가 거의 없는 구조물이므로 비구조요소의 성능과 관련한 한계상태가 모두 존재할 이유가 없음. 또한 사용한계상태(SLS)는, 지진 후 구조물에 국부적으로 항복이 발생할 수 있지만 구조물의 성능에는 이상이 없으며 수리비용도 거의 필요가 없는 상태로 정의할 수 있음. EC8/2에서 정의하는 극한한계상태(ULS)는 교량의 실제 붕괴상태를 의미하지 않고 잘 정의된 에너지 소산영역에서 기술적으로 경제적으로 보수하기 쉬운 정도의 손상상태를 의미하며, 가벼운 교통 하중을 허용할 수 있는 상태를 의미하고 있음. 따라서 SLS와 ULS의 중간 정도의 손상상태를 정의하는 것은 무의미하다고 볼 수 있음. 마지막으로 500년의 재현주기의 지진에 대하여 ULS로 유지되는 교량은 또한 재현 가능한 보다 큰 지진에 대하여도 붕괴에 대하여 안전하다고 믿어짐

○ 일본의 설비 관련 내진기준

- 설비에 관한 내진설계 규정은 건축기준법 시행령에 저수조, 배관설비, 엘리베이터 등에 관한 내진규정 명시
- 설비에 관한 내진설계 규정은 관련 설비법과 기준 등에서 내진설계 요건의 기본사

항만을 제시하고 상세한 내진설계 기술기준은 주로 “건축설비 내진설계·시공 지침”(2005)을 준용하도록 규정함

- 1978년 미야기현 지진, 1995년 한신이와지 지진의 피해로부터 설비의 내진 안정성을 지속적으로 지침을 개선하고 있음
- 1997 지침 개정이후 현재의 지침은 단위계의 수정, 지진하중은 국부진도법에 의해 계산하도록 하고 구조물 용도와 내진성능의 목표정도에 대한 선택의 폭을 증가시켜 전체적으로 균형있게 내진설계 시공을 할 수 있도록 함
- 일본은 전기설비 설치·관리에 있어서 충분한 내진설계 및 시공을 고려하고 있음. 전기 공급이 끊기면 거의 모든 기능이 정지해버리기 때문에 건물 측에서는 안정적으로 기기에 전원공급을 행할 만한 내진대책을 세우기 위해 1981년 시행된 신내진설계법의 골자에 근거해, ‘중지진시에는 건축설비의 손상은 없는것, 대지지시에는 건축설비가 건축물에서 탈락하거나 전도하거나, 혹은 이동 없이 설비의 기능확보 혹은 긴급히 기능회복이 가능한 것이다.’라는 수준을 목표로 설계를 하고 있음. 건축물 내에 전기설비의 내진설계의 기본사항은 “건축전기설비 내진설계, 시공지침(2006)”에 제시하고 있음. 대상으로는 철골조(S조), 철골 철근조(SRC조), 철근조(RC조)로 높이 60m 이하의 건물에 시설되는 전기설비, 즉 자가발전설비, 수변전설비, 조명설비, 축전기 설비, 약전설비에 대해 규정하고 있음. 내진설계에 따른 전기설비 시공을 설계 부분에 맞게 시공이 되는 지에 대해 설비별 시공의 중요 부분을 제시한 지침으로 “전기설비공사 감리지침(2007)”을 제시하고 있음. 건물 내에 시설되는 전기설비의 설비 중요도 및 설치 층 등을 고려하여 설계요령 및 내진시공 방법 등에 대해 구체적으로 제시하고 있음.
- 송변전소 등에서의 전기설비 내진설계 및 시공에 관련하여 ‘변전소등에서의 전기설비의 내진설계지침(JEAG 5003:1999)'에 제시되어 있고, 배전반에 대한 진동 시험 및 내진설계 관련하여 “배전반류의 내진설계 지침(JSIA-T1018:2001)이 제시 및 시행되고 있음

○ 미국의 설비 관련 내진기준

- 설비는 IBC '1621.3 Mechanical and electrical component design‘, '1621.3.14 Elevator design requirements‘ 등 다수의 기준에서 규정
- 미국의 경우 설비의 내진설계를 위한 지진하중에 대한 적용기준인 IBC1614는 화재기준과 건축기준을 동시에 적용토록 함
- 국가화재방호협회(NFPA) 기준에 의하면, 배관과 물탱크, 펌프 등 부속장치들에 대

하여 지진을 고려한 설계를 요구하고 있음

- 배관의 내진설계는 스프링클러 설치기준에서 지진에 대한 배관보호를 의무화 하고 있으며, 연결송수관 및 호스설비 설치기준, 원심소화 펌프의 설치기준, 주배관 및 부속장치의 설계기준 등도 스프링클러 설치기준을 만족하도록 요구하고 있음
- 스프링클러 기준에서는 종방향, 횡방향 브레이스, 브레이스의 최대 세장비, 수직도관에서 가요성 커플링을 고려하고 있으며, 브레이스의 위치와 형태, 앵글, 로드, 플렛, 배관의 최대 길이를 규정
- 설비의 내진해석 및 설계와 관련하여 적용기준을 살펴보면, 지진력은 SEAOC(1996), UBC(1997), NEHRP(1997) 및 IBC(2000)의 식에 따라 계산함
- 설비기기에 대한 설계 가이드라인으로 UBC(1997)는 배관설비에 대한 지진하중 계산식을 규정하여 배관을 간편 설계할 수 있도록 규정하고 있음
- 미국의 지진 대책 및 관리는 재난구제법을 기본법으로 연방재난관리청(FEMA: Federal Emergency Management Agency)에서 재해와 재난에 대해서 관리하고 있음. IBC에서는 건물을 4가지 등급으로 지진 및 성능을 3가지로 구분하였고, 건물 내진설계 계산식 및 각종 Factor를 제시하고 있음. 건축물 내의 전기설비 내진설계 및 시공 관련해서는 FEMA 413(Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment)에서 바닥 고정형 설비, 벽 고정형 설비, 천장에 시설되는 설비 등으로 구분하여 각 설비별 내진 시공 방법을 그림으로 제시하고, 내진 대책 제품 사양에 대해 그림과 함께 설명하고 있음.
- IEC60364-series(Electrical installations of buildings)에서는 지진 약, 중, 강으로 구분은 되어 있지만, 시공 및 내용 부분에서는 아직 정립되어 있지 않고, 다만 전기설비의 선정 및 시공(60364-5-51(2001))에서 AH1(진동 정도 약), AH2(진동 정도 중), AH3(진동 정도 강)으로 구분하여 전기설비가 외부의 영향에 안전하게 운전 될 수 있도록 해야 한다고 규정하고 있음

○ 미국의 수계 파이핑 시스템

- 미국의 경우 수계 파이핑 시스템의 내진 규정은 UBC-97과 NFPA-13 및 SMACNA 등에서 다양하게 규정되어 있음. 특히 1994년 Northridge Earthquake 이후 NSF와 FEMA의 주관으로 비구조 요소의 내진 규정 마련과 성능 평가가 더욱 광범위하게 이루어지고 있는데 특히 파이핑시스템의 경우 NEES 프로젝트, 즉 대형병원 등에 대한 주요시설물 내 비구조 요소의 내진 성능 평가로서 미국내진공학연구센터(MCEER)의 주도하에 2000년부터 지금까지 활발하게 진행되고 있음.

다음 그림은 FEMA의 지원 하에 진행되고 있는 실제 구조물에 부착된 파이핑시스템의 다양한 테스트와 분석연구의 일부임

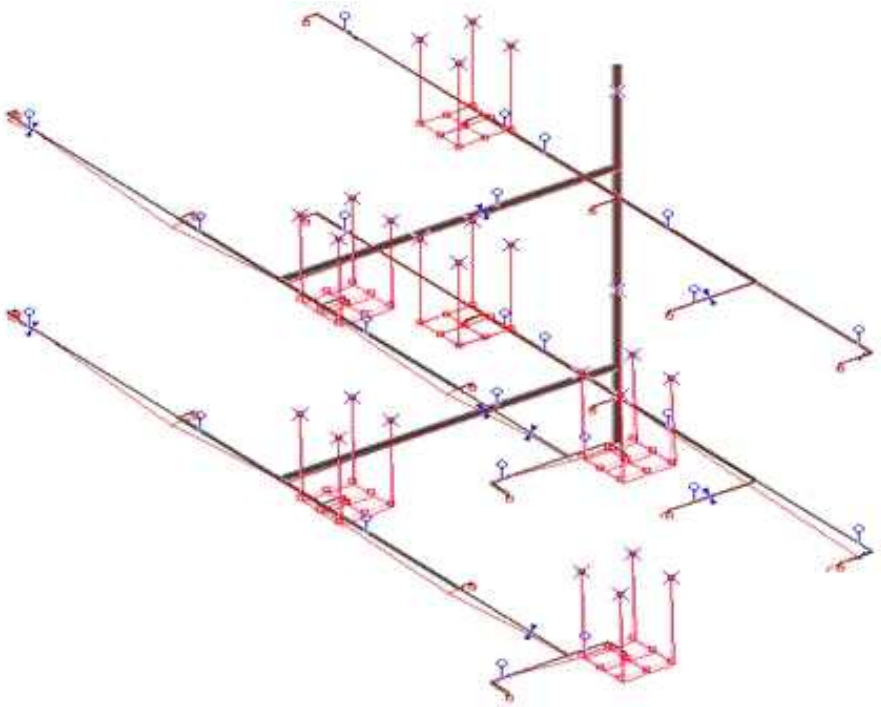


그림 2.6 파이핑시스템 테스트 분석연구

○ 미국의 건축설비 내진설계 현황

- 2000년 이전 미국에서는 ICBO(International Conference of Building Administrators)의 UBC(Uniform Building Code), BOCA의 NBC(National Building Code), 그리고 SBCCI의 SBC(Standard Building Code) 등 3 가지의 규정이 적용되어 왔음. 미국 서부지역에서는 UBC가 널리 사용되어 왔으며, 다른 지역에서는 NBC와 SBC를 주로 활용해 왔음. 이들의 건축규정에서 각각 건축구조물과 비구조 부재 및 설비의 내진규정이 언급되었으나, 2000년도에 ICC(International Code Council)가 이 3가지 규정을 통합하여 미국의 국가건축규정인 IBC(International Building Code)를 출간하였음. 2000년도에 발간된 IBC에서는 1989년 Loma Prieta 지진과 1994년 Northridge 지진을 통해서 얻어진 경험과 자료를 반영함
- IBC에서는 기계와 전기시스템, 부품이나 구성요소를 위한 부착장치와 설비의 지지장치에 대한 구체적인 내진설계지침과 내진을 위한 특수한 검사 및 구조적인 검사방법에 대하여 제시함

- 내진설계 지침은 보일러, 압력용기 등의 일반기계, 배관시스템, HVAC 시스템, 전기시스템, 조명기구, 엘리베이터의 설계요구사항 등에 이르기까지 설계하중을 비롯한 구체적인 설계지침이 명시됨
- 내진을 위한 특수한 검사에서 건축기계 및 전기설비관련 사항은 지진 설계 범주로 내정된 각각의 구조그룹별로 기술되어 있음. 즉, 비상용 전력시스템이나 예비용 전기설비의 앵커페결 동안에 주기적인 특별한 검사, 다른 전기설비의 앵커 체결동안에 주기적인 특별한 검사 그리고, 인화성, 연소성, 혹은 맹독성 물질과 관련 기계유닛을 위한 배관시스템을 설치하는 동안에 주기적인 검사, 유독한 물질을 포함한 공조 덕트의 설치작업 중 정기적인 특별한 검사에 대한 사항들이 언급되어 있음
- 내진을 위이한 구조적인 검사는 내정된 지진시스템의 설계에 책임이 있는 등록된 설계전문가에 의해 검토되며 건축 공무원에게 허가를 받기 위하여, 내정된 지진시스템을 분석해야 함
- 요구사항을 이행했다는 증거로서 진동대에 의한 실제시험, 3차원 충격 검사, 역학적 특징과 지진력을 이용한 분석적인 방법, 경험 데이터의 사용, 혹은 동등한 안전성을 위한 엄격한 분석을 따라야 함. 감리인은 내정된 내진시스템을 검사하고 앵커리지와 라벨이 요구사항 이행 증명서에 부합하는지 아닌지 결정해야 함

○ 일본의 건축설비 내진설계 현황
- 일본에서는 1981년 6월 1일부터 시행되고 있는 현행 건축기준법 시행령(신 내진설계법)의 경우 “옥상에서 돌출한 수조 등(건축기준법 시행령, 이하 ”령“이라 한다) 제 39조의 2”, “배관설비 (령 제129조 2의 2 제1항 제8호)” 등의 건축설비에 관한 내진규정이 제정되어 있음. 이들 내진규정에 맞추어 1982년에 건축설비내진설계 시공지침이 발간되고, 1984년에 그 일부가 개정되어 사용되고 있음
- 1995년에 발생한 효고현 남부지진은 한신, 아와지 대지진 재해를 일으켜 건축설비에도 많은 피해를 초래함
- 이들 한신, 아와지 대지진 재해에서의 피해상황을 고려하고, 시설자에 의한 내진성의 목표정도에 대한 선택폭을 넓혀 건축용도와의 관련을 고려하면서 동시에 설비 전체적으로 균형있게 내진섞레 시공을 행할 수 있는 필요성이 제기되어 기존 지침을 개정하여 활용하고 있음
- 개정된 지침에서는 기존 지침을 사용해 온 경험에 입각하여 실무적인 차원에서 설계용 지진압력을 간략화시키고, 국부진도법에 의해 입력을 산출하며 기존 지침에서도 채용되어 사용되고 있는 허용응력도법에 의해 내력을 검증하는 방법을 이용

하여 구체적으로 각 기기 등에 대한 설계 계산, 판정계산을 행할 수 있도록 함

- 배관 등에 대해서는 내진지지부재 선정이 배관중량에 따라 쉽게 행해질 수 있도록 고려됨

○ 미국의 통신설비 내진설계 현황

- Telcordia GR-63-CORE에서는 내진성능을 위한 진동대 실험 시 응답스펙트럼 및 시간이력을 합성하여 실험하도록 규정함. Telcordia GR-63-CORE는 표준규격으로 채택되어 ANSI TI.329로도 적용하고 있으며, 지진의 예상 규모에 따라 지역을 아래 그림과 같이 0부터 4까지 5단계로 구분하여 요구응답스펙트럼(Required Response Spectrum,RRS)을 적용함. 즉 미국의 경우 서부 캘리포니아 주 일대를 Zone 4로 가장 강한 지역으로 구분하여 가장 위험한 지진 구역으로 정의함. 이는 UBC(Uniform Building Code)에서 구분하는 것과 같으며, 이를 이용하면 미국 이외의 다른 지역에 대한 지역 구분도 가능하므로 이 규격을 전 세계 각 지역에 적용할 수 있음. Telcordia GR-63-CORE에서는 지진위험 구역에 따라 다음 그림과 같이 Zone 1&2, Zone3, Zone4에 각각 다른 응답스펙트럼을 요구함

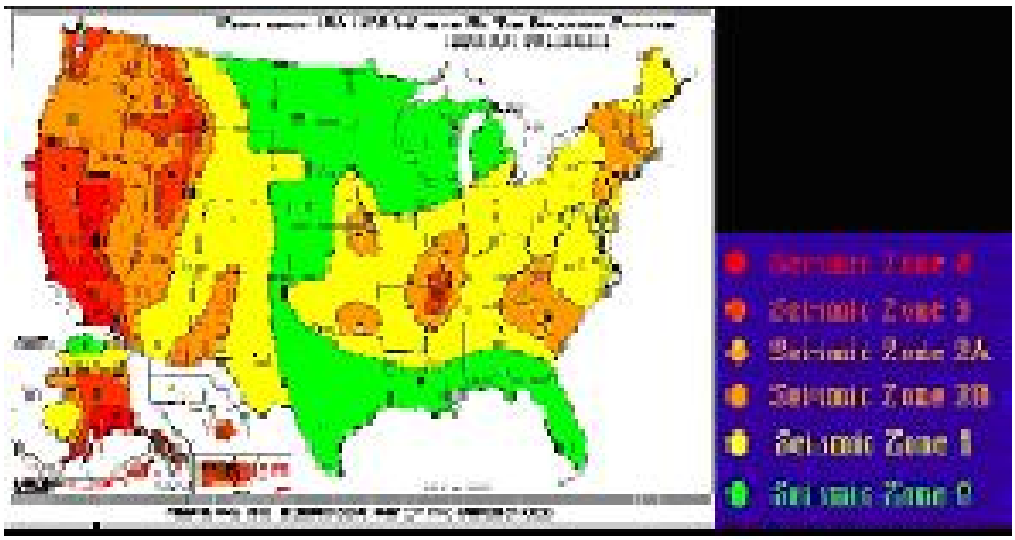


그림 2.7 미국 UBC 코드

○ 일본의 통신설비 내진설계 현황

- 일본의 NTT 도코모에서는 통신시설의 여러 설비에 대하여 진동대 실험을 실시하여 성능이 입증된 제품을 사용하도록 되어 있음

○ 국외의 지진격리 관련 기술

- 국외의 지진격리 설계기술은 내진설계기술과 함께 발달되어 있으며, 국내와 마찬가지로 지진격리받침 또는 장치를 이용해서 설계를 수행하고 있음
- 지진격리받침 또는 장치의 개발기술 및 원천기술은 국내에 비해서 우수하여 다양한 형태의 지진격리받침 및 장치가 개발되고 있으며, 특히 1994년 Northrige 지진 이후에 지진격리시스템에 요구되고 있는 복원력을 갖춘 지진격리장치에 대한 개발이 꾸준히 수행되어 상당한 성과를 도출하고 있는 것으로 파악되며, 이 분야에서 국내의 기술수준에 비해 월등하다고 판단됨

나. 성능중심설계(Performanced-Based Design, PBD)

○ 구조물의 성능중심설계

- 현재 선진국을 중심으로 사회기반시설물의 성능기반설계가 이미 도입되었거나 도입을 위한 체계 및 사회적 공감대가 이미 구성되어 있으며 홍콩 뉴질랜드 등 일부 후발주자들 사이에서도 성능기반설계 기반의 시방서가 도입되고 있는 실정임
- 유럽에서는 설계기준(Eurocode)에 성능중심설계의 개념을 다각적으로 포함하고 있고, 미국은 FEMA(Fedral Emergency Management Agency), ATC(Applied Technology Council) 등에서 내진 성능중심설계를 위한 보고서를 발간하였으며, 홍콩에서는 'Code Practice for the Structural Use of Steel 2005' 등의 기준을 발간하여 성능중심설계에 신속히 대응하고 있음

○ 유럽의 성능중심설계

- Eurocode에서는 구조물에 대한 다양한 성능의 한계상태를 규정하고 있으며, 부분계수를 이용한 합리적 설계개념을 도입하고 있음
- 특히, 일부 성능에 대해서는 건설 프로젝트마다 요구조건을 다르게 설정할 것을 권장하고 있으며, 적절한 해석방법에 의해 구조해석을 실시하여 구조물의 성능을 보다 정확하게 구해낼 수 있도록 하고 있음
- JCSS(Joint Committee on Structural Safety)에서는 'Probabilistic Model Code'를 개발 중에 있는데, 여기에서는 확률적인 하중 모형과 저항 모형을 제시하고 있으며 이를 이용하여 보다 합리적이고 정확한 구조물의 성능을 평가할 수 있도록 하고 있음

○ 미국의 성능중심설계

- 미국의 경우에는 하중저항계수설계법(LRFD)을 적용하여 경제적인 설계를 유도하고 있으나, 강구조물 설계 전체에 성능중심설계에 대한 개념이 도입된 기준을 발간하지는 않았음. 다만, 미국에서는 성능기반설계 중 내진분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음
- 1995년에 'Vision 2000:Performance Based Seismic Engineering of Buildings'를 발간하였고, 후속 조치로써 FEMA 273, ATC-40 보고서를 발간, 실무자들은 구조물의 내진거동을 평가하기 위해 비선형 정적해석을 실용적으로 적용할 수 있게 되었음
- FEMA는 FEMA 283 및 FEMA 349 보고서에서 연방 기관이 성능에 기초한 내진공학 기준을 개발할 수 있도록 시행 계획을 작성하였음. 2001년 ATC는 FEMA의 지원을 바탕으로 차세대 성능기반설계 개발을 위한 계획을 설정하여 ATC-58 프로젝트에 착수하였고 이 프로젝트는 기존의 여러 프로젝트의 결과를 통합하여 FEMA 283 및 FEMA 349의 시행 계획을 개선함
- FEMA의 지원을 받는 ATC-55 프로젝트는 내진설계 및 구조물의 평가와 보강을 위한 성능기반공학에 사용되는 비탄성 해석의 적용성을 개선하기 위한 것으로써 이 프로젝트의 결과로부터 FEMA 440 보고서가 발간됨

○ 일본의 성능중심설계

- 일본의 경우, 성능기반설계로의 전환을 위한 준비가 수년전부터 진행되어왔음. 1995년에 건설성(현 국토교통성) 건축연구소를 중심으로 발족된 종합기술개발프로젝트인「신건축구조체계의 개발」에서는 성능수준의 설정과 성능평가의 틀을 마련하였고, 이를 바탕으로 건축기준법의 성능규정화에 활용하였음
- 2003년에는 '성능개념에 기초한 구조물설계 코드 작성을 위한 원칙 지침의 용어'를 통해 성능기반 설계기준을 작성하기 위한 용어를 정리한 바 있고, 2007년에는 '강.합성구조표준시방서'를 발간하여 성능기준설계 및 부분계수의 개념을 사용할 수 있도록 하였음
- 2008년 일본토목학회는 '성능설계에 있어서의 토목구조물에 대한 작용지침'을 통해 각종 하중·작용에 대한 성능설계 지침을 제시함

다. 철도교량의 국가별 내진설계기준 분석

○ 기본개념 및 설계원칙

- JSCE Code 기본개념

· JSCE Code는 일본토목학회(JSCE)가 제정한 콘크리트구조물의 설계 및 시공 표준 시방서의 내진설계편을 말한다. JSCE 표준 시방서는 모든 종류의 콘크리트 구조물에 적용이 가능하도록 되어 있기 때문에 더 자세한 설계 코드를 위한 모델코드의 성격을 가지고 있다. 따라서 JSCE 코드의 규정은 때로 일반화된 특성을 갖으며, 보다 전문화된 설계 코드로는 일본도로협회의 도로교 시방서(1997)와 철도종합기술연구소의 철도구조물등설계표준(1999) 등을 들 수 있다.

· JSCE 표준시)방서의 이전 버전에서는 내진설계의 규정이 설계편 중의 한 장으로 구성되어 있었지만, Hyogoken-Nanbu-지진 이후 JSCE 표준 시방서 내에서의 독립적인 편을 구성하게 됨으로써 내진설계의 중요성이 부각되었다. 물론 현재의 JSCE코드도 이전 버전에 기반을 두고 있다. 이전 버전에서는 하나의 확실한 설계지진이 소위 '수정된 지진계수 방법'으로 고려되기는 하였지만, 지진후의 손상 정도에 의한 비탄성 정도의 평가와 특정 구조물에 커다란 비탄성 변위를 허용할 것인가에 관한 설계자의 판단 등 진보된 설계개념이 포함되어 있었다. 현재의 버전은 또한 Hyogoken-Nanbu-지진의 피해의 경험을 반영하여 JSCE가 제안한 "토목구조물의 내진성능에 관한 두 번째 제안"에 기반을 두고 있다. 이 제안은 내진성능설계에 필요한 지진과 지진동, 내진성능설계법, 내진성능 진단과 그 보강 및 내진 안전 계획 일반의 4 개장으로 구성되어 있는데, JSCE code는 제 1장과 2장에 이들의 개념을 고려하였다.

- JSCE Code 설계원칙

· JSCE Code에 기술되어 있는 내진 성능 설계의 주요 개념은 내진성능설계는 지진 중에도 안전을 보장할 뿐만 아니라 인간 생명에 영향을 미치는 치명적인 손상과 생명에 영향을 주는 구조물의 기능 저하를 피할 목적을 가지고 수행되어야 한다는 것이다. 설계지진동의 결정에 있어서 설계지진동은 지진의 규모, 진앙과 대상 지역과의 거리, 지리적 특성, 구조물 주변의 지질학적 기초 특성 등을 고려하여 결정하여야 한다. 내진성능설계를 위한 설계 원칙은 다음과 같이 요약할 수 있다. 내진설계에서 고려해야 할 지진동은 두 종류이고 아래 표와 같고, 구조물의 내진성능은 다음 표와 같이 세 종류로 정의된다.

표 2.8 내진설계에서 고려해야할 지진동의 종류

지진동	정의
레벨 1 지진동	구조물의 수명동안 몇 번에 걸쳐 일어날 수 있는 지진동
레벨 2 지진동	구조물의 수명동안 한번 경험할 강력한 지진동

표 2.9 내진성능 분류

내진성능	정의
내진성능1	지진 후 보수나 수리를 할 필요 없고 구조물의 기능을 유지하고 있음
내진성능2	지진 후 짧은 시간에 기능을 복구할 수 있으며 구조물의 보강은 필요 없음
내진성능3	지진으로 인하여 구조물 전체가 붕괴되지는 않음

· 레벨 1의 지진동은 일반적으로 콘크리트 구조물에 가해지는 지진계수 0.2의 지진력에 관련된 것이다. 이 기본적 지진계수는 Kanto지진에 의한 구조물의 손상으로부터의 경험을 토대로 결정되었다. 레벨 2의 지진동은 거대한 규모의 판 지진이 더해진 소위 내륙지진에 의한 것이다.

· 모든 구조물은 레벨 1의 지진동에 대하여 내진성능 1을 만족시켜야 하며 레벨 2의 지진동에 대하여 내진성능 2 또는 내진성능 3을 기본적으로 만족하여야 하는데, 레벨 2의 지진동에 대하여 어떠한 내진성능을 만족시켜야 할 지는 사람의 생명, 보호, 구원 그리고 구조 활동, 두 번째 재해로부터의 예방, 생명집단, 경제활동, 복구의 비용 및 어려움 등과 같은 요소에 미치는 손상된 구조물의 영향에 따라 결정하여야 한다. 내진성능 1은 지진 후 매우 작은 구조물의 잔류변형을 보장한다. 이 성능은 축방향 철근이 항복하지 않고 콘크리트가 압축 손상을 입지 않았을 때 만족한다고 판단한다. 내진성능 2는 지진 후 강도저하가 발생하지 않고 잔류 변형이 허용값 안에 있을 때를 말한다. 이 성능은 전단파괴가 발생하지 않고 모든 부재의 소성비가 연성비 이하일 때 만족한다고 판단한다. 같은 레벨 2의 지진동에서도 넓은 영

역에 영향을 미치는지, 아니면 비교적 좁은 지역에 제한되는지에 의해 요구내진성능에서 차이가 있으므로, 필요한 경우, 레벨 2의 지진동을 두 개의 형태로 나누는 것이 바람직하다고 볼 수 있으며, 도로교 시방서(1997) 및 철도구조물등설계표준(1999)에서 이를 채택하고 있다.

- AASHTO 기본개념 및 설계원칙

ASSHTO는 도로교 표준 설계기준 16판(1995)과 LRFD 설계기준 1판(1994)의 두 종류의 설계기준을 제정하였으며 시행자는 두 설계기준에서 하나를 선택하도록 하고 있다. 일반적 설계법은 교량의 예상수명동안 일어날 가능성이 낮은(5O년에 1O%의 발생 가능성을 가진) 지진동의 레벨로 교량의 모델을 해석하는 것이다. 설계력은 선형탄성이론에 의한 힘을 응답수정계수(R)로 나눈 값과 소성해석에 의해 구해진 값 중 작은 값으로 정의한다. 비록 요구되지는 않았지만 손상은 접근하기 쉬운 위치에 설계하는 것을 일반적인 목표로 하고, 설계는 비탄성 응답과 기둥손상의 제한을 목표로 한다. 다른 대부분의 구성요소들은 탄성 거동을 하도록 설계되는 반면에, 기둥의 구조상세는 휨 연성 응답을 확보하도록 규정되어 있다.

이 설계법에서 중요한 것은 지진동의 실제 강도와 설계력이다. 이 설계법의 단점은 서로 다른 예상 내진성능에 대한 서로 다른 위험 레벨의 사용에 반하는 하나의 지진동을 사용하는 것이다. 예를 들면, 구조물의 응답은 잦은 빈도를 갖는 약하거나 중규모 정도의 지진에 대하여 심각하지 않은 손상을 갖는 기본적인 선형탄성거동을 가정하고 있지만, 이 경우 사용성 설계에 관한 규정이 없다. 더 중요한 단점은 빈도는 작지만 강한 지진에 대하여 부분적이던 전체적이던 붕괴가 없을 것이라는 암시적인 가정을 갖는 것이다. 미국의 대부분의 지역에서, 설계에 사용된 수준의 지진보다 더 높은 강도의 지진이 올 것으로 예상되고 있으며, 붕괴의 예방에 대한 이슈가 적절히 마련되어야 한다.

- Caltrans 기본개념 및 설계원칙

Caltrans는 고유의 내진설계기준을 만들어 왔으며 미국에서 교량의 내진설계기준의 발전에 있어서 리더의 역할을 하고 있다. Caltrans 설계기준의 발전에 있어서 중요한 사건은 1971년의 San Fernando 지진이었다. 그 후, Caltrans는 요즘은 일반적이 된 설계법의 기초들을 개발하였다. 또한, 1989년의 Loma Prieta 지진이후, Caltrans는 캘리포니아 교량들의 내진설계를 위한 규정들을 개발하는 ATC-32 프로젝트를 수행하였다(ATC, 1996). Caltrans 규정은 내부적으로 발간된 출판물

(Memos to Designers, Bridge Design Aids, 그리고 Bridge Design Detail)에 의해 기술된 Bridge Design Specifications Manual(Caltrans, 1993)에 수록되어 있다. 또한 1989년의 지진이래로 Caltrans의 교량 설계기준은 프로젝트 단위로 수정되어 왔기 때문에 현재의 Caltrans의 설계법을 명확히 설명하기는 어려우나 일반적 설계법 및 경향은 다음과 같다.

Caltrans의 내진설계법은 일반적으로 AASHTO 내진설계와 유사하다. 중요한 차이점은 기능성 평가 레벨과 안전성 평가 레벨의 두 레벨의 설계법을 명시한 점이다. 사용성 기준과 손상 기준으로 표현되는 성능의 다른 레벨은 대상 교량이 중요한 교량인지 아니면 일반 교량인지에 따라 이러한 위험한 단계의 각각에 대해 허용된다. 긴급시설의 접근로와 같은 중요한 교량의 경우, 추가적인 생명 안전에 기여하도록 요구되는 것, 지역적 긴급 계획에 의해 공식적으로 중요하게 정의되는 것, 혹은 중요한 경제적 충격을 주는 기능을 재건하는데 걸리는 시간에 관련된 것이다. 일반 교량에 대하여 Caltrans는 낮은 레벨에서의 성능은 자동적으로 만족한다고 가정하고 안전성 평가 레벨에 기초한 설계만을 수행하도록 한다. 캘리포니아와 같은 강진지역에서는 중간정도의 재현 주기를 갖는 지진동도 비교적 큰 지진동을 나타내기 때문에 위의 가정이 정당한지 아닌지에 관하여서는 분명하지 않다.

표 2.10 내진성능기준

지진동의 크기	기준	일반교량	중요교량
기능성 평가 레벨	사용성	즉시	즉시
	손상	수리가능	최소화
안전성 평가 레벨	사용성	제한적	즉시
	손상	상당한 보수	수리가능

· Caltrans 설계 편람은 비탄성응답의 예상 위치를 명시적으로 정의하는 것에 기초를 두고 있다. 소성힌지의 설계 강도는 선형탄성해석으로부터의 결과를 응답수정계수 Z로 나눈 값과 동일하다. 대부분의 다른 거동에 대한 설계력은 강도설계법에 따라 구한다. Z의 값은 구조 동역학, 요소들의 연성 능력, 손상지역에의 접근성, 부정정 차수, 그리고 교량의 중요도에 의하여 결정된다. 최근 들어 Caltrans는 설계의 변수로서 변위의 중요성을 강조하기 시작했다. 비록 중요 교량에만 요구하고 있지만 비

선형 정적 해석의 결과가 예상되는 요구 변위 기준에 적합여부를 검토하도록 하고 있으며, 이를 점진적으로 모든 교량의 설계에 적용되고 있다.

- Eurocode EC8 기본개념

· Eurocode의 설계법은 197O년대부터 유럽에서 만들어진 규준들 중에서 특히 CEB의 Model Code(CEB,1978)에 기원을 두고 있다. CEB Model Code는 신뢰도 기반과 성능 지향으로 정의한 첫 번째 code이다. 특히, 신뢰도를 바탕으로 결정된 여러 성능 레벨을 만족시키기 위한 구조 설계 개념은 최근 급속히 전세계적으로 전파되고 있다.

· Eurocode EC8 Part2: Bridge(EC8/2)는 극한과 사용한계상태로 불리는 단 두 가지 설계 레벨을 고려하고 있으며, EC8/2의 이런 선택에는 두 가지 이유가 있다. 하나의 이유는 교량은 건물과는 달리 비구조요소가 거의 없는 구조물이므로 비구조요소의 성능과 관련한 한계상태가 모두 존재할 이유가 없다. 또한 사용한계상태(SLS)는, 지진 후 구조물에 국부적으로 항복이 발생할 수 있지만 구조물의 성능에는 이상이 없으며 수리비용도 거의 필요가 없는 상태로 정의할 수 있다. EC8/2에서 정의하는 극한한계상태(ULS)는 교량의 실제 붕괴상태를 의미하지 않고 잘 정의된 에너지 소산영역에서 기술적으로 경제적으로 보수하기 쉬운 정도의 손상상태를 의미하며, 가벼운 교통 하중을 허용할 수 있는 상태를 의미하고 있다. 따라서 SLS와 ULS의 중간 정도의 손상상태를 정의하는 것은 무의미하다고 볼 수 있다. 마지막으로 500년의 재현주기의 지진에 대하여 ULS로 유지되는 교량은 또한 재현 가능한 보다 큰 지진에 대하여도 붕괴에 대하여 안전하다고 믿어진다.

- Eurocode EC8 설계원칙

교량의 설계에 관한 EC8 Part2 의 목표는 설계 지진 후 적절한 신뢰도로서 교통이 계속 유지되어야 하는 것이다. 교량은 중요도에 따라 세 가지 카테고리로 분류할 수 있는데 교량의 중요도가 감소함에 따라 예상되는 지진의 강도가 점진적으로 감소한다. 평균적인 중요도의 교량에 대하여 5O년에 10%의 확률로 일어나는 지진동을 설계지진으로 고려하도록 하고 있다.

다음 단계는 SLS와 ULS의 정의이다. 전술한 바와 같이 ULS는 에너지 소산에 기여하도록 예상한 일부분에 손상이 발생하지만 구조적인 강도의 감소가 없고 쉽게 보수가 되며 비상시의 교통을 통과시킬 수 있는 상태로서 교량의 실제 붕괴와는 비교적 거리가 먼 상태를 말한다. 또한 교각의 소성힌지 구역에서는 에너지 소산이 발생하지

만 교량의 상부구조는 탄성 상태를 유지해야 한다. 설계자는 ULS를 만족하기 위하여 연성도를 사용하는 방법과 사용하지 않는 방법 중에서 선택할 수가 있다. 골조와 같은 교각으로 지지된 교량처럼 자연적으로 연성도를 갖는 구조는 당연히 연성도를 사용하는 방법을 택하겠지만, 구성 재료가 연성임에도 불구하고 구조물의 형식 상 기본적으로 수평 성분을 갖지 않는 전체 하중-변위도가 얻어지는 구조물의 경우에는 위의 선택 사항이 필요하게 된다. 선택된 방법에 따라 서로 다른 설계 과정 즉, 전체 연성거동의 보장과 강도설계법의 적용이 진행된다. 연성 교량이던 아니던 ULS를 따르기 위해 필요한 예상되는 다른 단계들은 여러 부분의 절대 변위 및 상대 변위의 제어에 관련되어 있고 즉, 구조물의 탈락방지 및 구조적 요소간의 충격 예방이 필요하다.

- New Zealand Code 기본개념

뉴질랜드에서 교량의 설계는 Transit New Zealand에 의해 규정된 Bridge Manual(1994)을 적용한다. Bridge Manual의 내진설계법의 원리는 New Zealand National Society for Earthquake Engineering Discussion Group의 권장사항(1980)으로부터 발전되어왔다. 교량에 대한 지진 설계 하중은 건물에 대하여 Standards New Zealand에 의하여 제안된 기준 하중(1992)을 교량에 적용할 수 있도록 수정한 것이다. 콘크리트 설계는 Standards New Zealand의 콘크리트 설계기준(1995)에 따른다. 교량의 내진 설계에 있어서 중요한 정보는 New Zealand National Society for Earthquake Engineering Discussion Group의 보고서와 Auckland에서 열린 Road Research Unit of the National Roads Board의 Bridge Design and Research Seminar의 논문(1984), Christchurch에서 열린 Transit New Zealand의 Bridge Design and Research Seminar의 논문(1990)에서 찾을 수 있다.

뉴질랜드의 교량 하부구조는 연성설계법이나 지진격리와 기계적 에너지소산 장치에 의한 설계법 또는 두 방법을 조합하여 설계한다. 연성설계법에서 극한상태에서의 내진설계거동은 지역에 적합한 응답스펙트럼, 교량하부구조의 구조물 변위 연성도 계수 및 교량의 중요도로부터 얻어진다. 강력한 지진에 대해, 하부구조에서 원하는 형태의 에너지소산 메카니즘을 보장하기 위하여 내하력설계를 사용한다. 요구 연성도를 얻을 수 있도록 그리고 의도한대로 교량이 거동하도록 부재와 절점의 상세설계를 수행한다. 지진격리와 기계적 에너지 소산장치에 의한 설계법 또는 이들과 연성설계법을 병행한 설계법은 연성설계법을 대체할 수 있다.

- New Zealand Code 설계원칙

뉴질랜드 교통국의 교량안내서(1994)에 따르면 교량은 재현주기 450년의 극한상태의 설계지진에 대하여 비록 어느 정도의 손상을 입고 보수를 필요로 하겠지만 지진 후의 긴급 교통을 통과시킬 수 있어야 한다. 교량 구조형식의 경우, 최근 뉴질랜드에서 건설된 대부분의 교량 상부구조는 일반적으로 현장 타설의 철근콘크리트 슬래브 등과 합성거동을 하는 프리케스트 프리스트레스콘크리트 표준 유닛을 사용하고 있으며, 프리캐스트 세그멘트 공법 또한 사용하고 있다. 현장타설 콘크리트 교량 상부구조는 특히 구조물의 기하학적인 형상이 복잡한 곳에 사용된다. 또한, 트러스가 주를 이루는 콘크리트바닥판과 합성구조로 된 스틸박스거더 등의 강구조가 장경간교에 사용된다. 상부구조의 경간은 항상 내부지지점에서 연속, 슬래브 연속 또는 연결볼트 등에 의해 연결되어 있다.

교량의 하부구조는 철근콘크리트로 주로 구성되어 있다. 일반적인 교량의 하부구조는 확대기초, 항타 또는 현장타설콘크리트 말뚝기초로 지지되는 하나 혹은 그 이상의 기둥이나 벽식 교각구조로 구성된다. 교각의 상부는 상부구조를 지지하기 위하여 코핑을 설치하는데 박스거더 안의 격벽을 코핑으로 사용하기도 한다. 최근에 뉴질랜드의 도로교 하부 구조는 지표 아래는 하나 또는 여러 개의 강관 채움 현장타설 철근콘크리트 말뚝으로 지표 상부는 철근콘크리트 기둥과 코핑으로 구성된 말뚝가구구조가 자주 사용되고 있다.

○ 지진하중 및 해석

- JSCE Code 지진하중

JSCE 규정에서는 Level I과 II의 두 단계 지반운동을 정의하고 있다. Level I 지반운동은 건설지점의 지진활성도와 지반조건을 고려하여 설정하고, Level II 지반운동에서는 보다 정밀하게 진앙지의 특성, 지진파 전달특성 등을 함께 고려하도록 규정하고 있다. 내진설계에 사용하는 지반운동의 성분에 있어서는 수평 지반운동의 두 직각성분을 고려하도록 규정하며, 일반적인 경우 수직 지반운동 성분의 추가적 고려는 선택 사항이다. 그러나 내진성능 2와 3의 교량 설계에서는 수직 지반운동을 반드시 고려하여야 하는 경우가 있으며 이런 경우 수평 지반운동의 1/2-2/3의 크기를 사용한다. 여기서 수평성분의 2/3 값은 Hyogoken-Nanbu 지진의 경우에서 얻은 결과이다. 일본도로협회의 The Specifications for Highway Bridge(1997)에서는 Level I의 한 종류, Level II의 두 종류의 설계지반운동을 규정하고 있다. 다음 그림은 3종류의 지반(Type I-III) 별로 구성된 Level I의 지반운동을 나타내는 설계응답스펙트럼이

다. 다음 그림은 Level II의 두 종류의 설계응답스펙트럼을 나타낸다. 다음 그림의 응답스펙트럼은 1995년의 Hyogoken - Nanbu 지진의 결과를 근간으로 작성된 것으로 기존에 사용되던 아래 그림의 응답스펙트럼보다 큰 값을 사용한다.

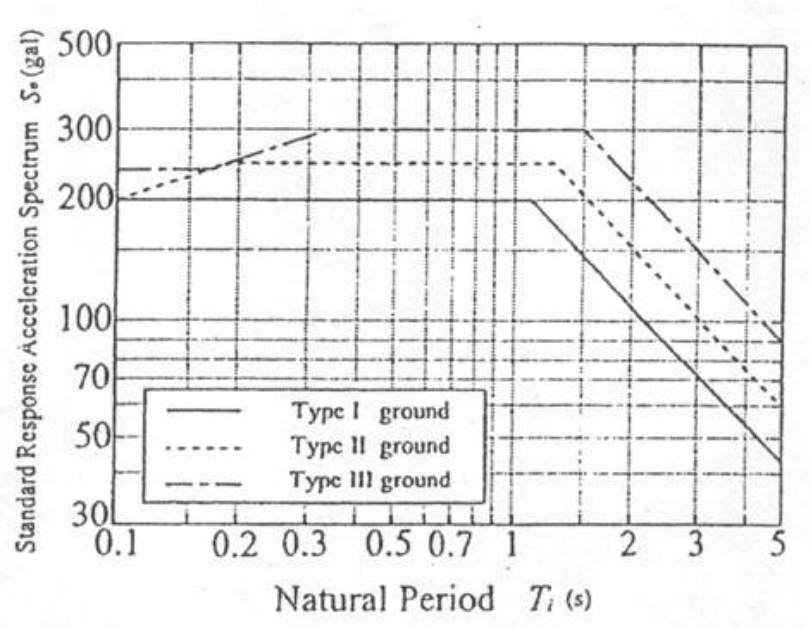


그림 2.8 표준 가속도 응답스펙트럼

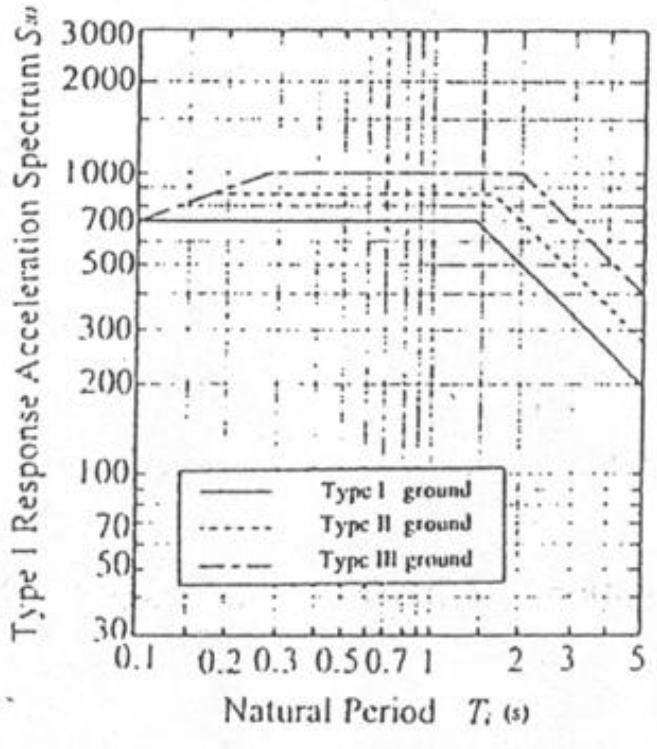


그림 2.9 가속도 응답스펙트럼

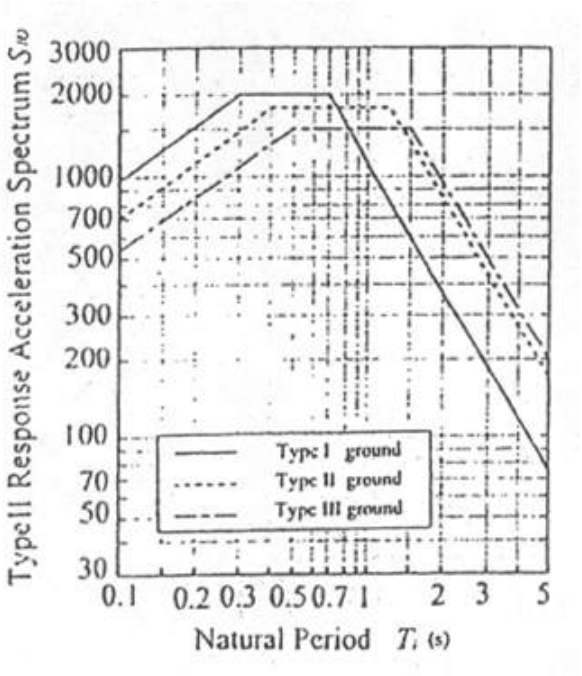


그림 2.10 Type II 가속도 응답스펙트럼

- JSCE Code 해석방법

지진해석 방법은 구조물의 내진성능 등급에 따라 다르게 규정된다. 내진성능 1등급과 내진성능 2등급에 대한 해석방법을 요약하면 다음 표와 같다.

표 2.11 JSCE Code 지진해석방법

내진성능	해석방법
내진성능 1등급	- 설계에 사용되는 지진운동은 가속도 응답스펙트럼을 사용한다. - 집중질량모형을 사용한 다자유도계 또는 단자유도계 시스템으로 해석한다. - 재료는 선형탄성으로 가정할 수 있다. - 균열에 따른 부재의 강성도 저하를 고려한다. - 철근과 콘크리트의 응력이 설계강도보다 작으면 내진성능이 만족된다고 판단한다.
내진성능 2 및 3등급	- 설계 지진 지운동에 따라 적절한 해석모형을 선택하여야 한다. - 지반운동의 시간이력곡선을 설계지진으로 사용하는 경우, 비선형 재료모형을 사용한다. - 응답스펙트럼 방식의 설계지진운동을 사용하여 지진해석을 수행하는 경우, 집중질량모형의 선형탄성재료모형을 사용한다. 이 경우, 항복강도가 고려되어야하며, 변위 및 단면의 지진력 계산결과에도 적절한 수정이 요구된다. - 내진성능 2등급의 경우, 응답변위 또는 잔류변위가 허용 범위에 있는지를 확인한다. - 내진성능 3등급의 경우, 구조물이 붕괴하지 않는 지를 확인한다.

- AASHTO, Caltrans 지진하중

AASHTO 시방서에서 설계 응답스펙트럼은 다음 식으로 구성된다.

$$1.2 \left(\frac{AS}{T^{2/3}} \right) \qquad (1.1)$$

여기서, A:50년에 초과확률 10%의 위험도를 기반으로 작성되어 미국 각 지역에 대한 등고선 지도로 주어지는 가속도계수 값, S:지반계수, T:진동주기(sec)이다.

지반계수는 토질조건 별로 다음과 같은 값을 가진다.

(I) 1.0: Rock, Stiff Soil

(II) 1.2: Stiff Clay, Deep Cohesionless Soil

(III) 1.5: Soft to Medium-stiff Clays, Sands

(IV) 2.0: Soft Clays, Silts

식 (1.1)의 C_s의 상한값은 토질조건 I과 II에서는 2.5A, 토질조건이 III과 IV이고 A>0.3g의 경우에는 2.0A이다.

Caltrans의 경우는 다중 위험도 개념에 기초한 내진성능 단계를 정의하고 있으며 가속도계수, 지반계수 및 응답스펙트럼을 직접 결합하여 지진하중 산정에 사용한다. Caltrans가 지원한 연구결과 ATC-32에 따라 표 에 나타낸 NEHRP의 토질조건 분류와 다음 그림과 같은 상세한 설계스펙트럼의 사용이 권장된다.

표 2.12 Soil Categories, NEHRP Provisions for New Buildings (BSSC, 1997)

Soil Profile Type	Description	Shear Wave Velocity(fps)	N-Value (bps)	Undrained Strength(psf)
A	Hard rock	>5000	-	-
B	Rock	2500-5000	-	-
C	Very dense soil and soft rock	1200-2500	>50	>2000
D	Stiff soil	600-1200	15-50	1000-2000
E	Any profile with more than 10 ft of soft clay defined as doil with PI>20, w>40%	<600	<15	<600
F	Other soft soil	-	-	-

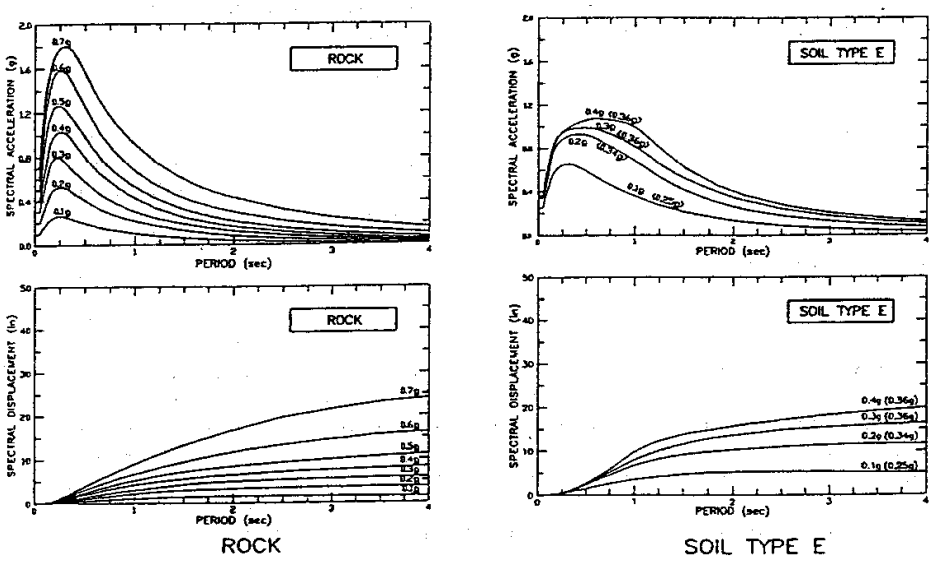


그림 2.11 스펙트럴 가속도 및 변위 곡선(ATC-32, ATC 1996)

- AASHTO, Caltrans 해석방법

AASHTO는 가속도계수와 교량의 중요도에 따라 SPC(Seismic Performance Categories)를 다음 표와 같이 구분한다.

표 2.13 AASHTO Seismic Performance Categories

Acceleration Coefficient. A	Importance Classification	
	Essential	Other
A ≤ 0.09	A	A
0.09 < A ≤ 0.19	B	B
0.19 < A ≤ 0.29	C	C
0.29 < A	D	C

위의 표의 SPC A 교량과 상부와 하부구조물 사이의 연결부가 특수하게 설계되는 경우가 아닌 대부분의 단경간 교량에 대해서는 지진해석을 수행하지 않는다. 이와 같이 비교적 단순한 형태를 제외한 교량에 대해서는 지진해석을 수행하며 교량의 정형성(Regularity)에 따라 해석 방법을 달리한다. 교량의 정형성 조건은 다음 표와 같다.

표 2.14 AASHTO Requirements for a Regular Bridges

Condition	Number of Spans				
	2	3	4	5	6+
Maximum subtended angle (curved bridge)	90°	90°	90°	90°	90°
Maximum span length ratio from span to span	3	2	2	1.5	1.5
Maximum bent/pier stiffness ratio from span to span	-	4	4	3	2

AASHTO에서는 다음과 같은 4가지 지진해석 방법을 제시하고 있다.

· Uniform Load Method: 형태가 정형적이고 교량의 두 직각 방향으로 응답이 단일 모드인 경우 사용

· Single-Mode Spectral Analysis: 역시 형태가 정형적일 때 사용

· Multi-Modal Response Spectrum Analysis: 형태가 비정형적일 경우 사용하며 CQC법으로 모드를 조합

· Time-History Analysis: 형태가 비정형적일 경우 사용하며 설계 스펙트럼과 부합하는 최소 5개의 지반운동에 대한 해석을 수행

Caltrans 역시 ATC-32에 따라 다음 표와 같이 교량의 중요도와 정형성을 기준으로 지진해석 방법을 Equivalent Static Analysis(A), Elastic Dynamic Analysis(B), Inelastic Static Analysis or Inelastic Dynamic Analysis(C)의 세 가지로 제시하고 있다. AASHTO의 방법과 비교하면, Equivalent Static Analysis는 Uniform Load Method와 같고, Elastic Dynamic Analysis는 단일모드 스펙트럼 해석법 또는 선형 시간이력해석법에 해당한다. 일반적으로 Caltrans의 실무에서는 다음 표에 따라 Equivalent Static Analysis 만을 요구하는 경우에도 Elastic Dynamic Analysis를 수행한다.

표 2.15 ATC-32 Recommended Minimum Allowed Analysis

Bridge Category	Configuration Type	Functional Evaluation	Safety Evaluation
Ordinary	Type I	None Require	A
	Type II	None Require	B
Important	Type I	A	A
	Type II	B	B and C

여기서, Type I = simple bridge configuration

Type II = complex bridge configuration

A = Equivalent Static Analysis

B = Elastic Dynamic Analysis

C = Inelastic Static Analysis or Inelastic Dynamic Analysis

교량의 지진해석 모형을 구성함에 있어 Caltrans의 과거 관행은 균열단면이 아닌 전체단면 특성을 사용하였으나 ATC-32의 권장에 따라 균열단면의 특성을 고려한 좀 더 정밀한 해석을 수행하는 방법으로 바뀌었다. 현재 Caltrans의 해석에서는 설계력의 계산에는 전체단면 특성을, 설계변위 계산에는 균열단면 특성을 사용하고, 기타의 경우에는 균열단면을 가정한 강성도를 항상 사용한다.

AASHTO 및 Caltrans 규정 모두 수평 지진력의 조합에 대하여 기술하고 있으며, 현재는 한 쪽 방향 100%와 직각 방향 30% 계산 결과를 더하도록 되어 있다. ATC-32는 이러한 직각 방향 지진력의 영향을 30%에서 40%로 증가시킬 것을 권고하고 있으며 아울러 지반운동의 수직성분 지진력의 영향도 그 값의 40%를 수평 지진력과 조합하도록 권고하고 있다. 한편, 현재의 Caltrans 설계에서는 기둥 및 교각의 설계에서 정적 P-delta 효과만을 고려하도록 요구한다.

- Eurocode EC8 지진하중

Eurocode 8에서 지진하중은 다음과 같은 탄성 응답스펙트럼과 이를 기반으로 구성되는 설계 스펙트럼으로 정의된다. 먼저 일반적으로 예상되는 지진에 의한 지반운동의 특성을 간략화한 탄성 응답스펙트럼은 다음 그림과 같이 4개의 주기 구간으로 이루어진 유사가속도 곡선으로 규정된다.

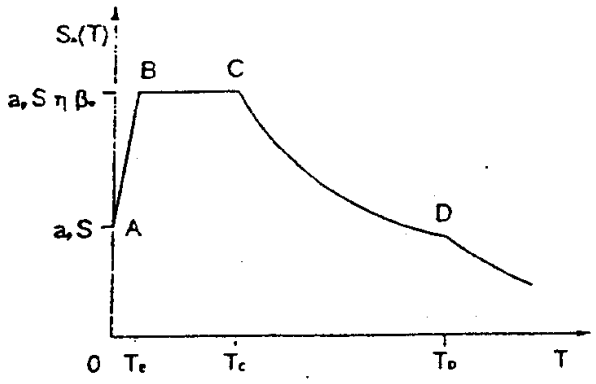


그림 2.12 Elastic Response Spectrum

$$T \le T_C : S(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_o$$

$$T_C \le T \le T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_o \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]^k$$

$$T_D \le T : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_o \cdot \left[\frac{T_C}{T_D} \right]^{k_1} \left[\frac{T_D}{T} \right]^{k_2} \qquad (1.2)$$

여기서,

Se(T) : pseudo spectral acceleration

ag : design value of effective PGA(Peak Ground Acceleration)

β0 : spectral amplification factor for a damping ratio 5%

S : factor depending from the soil class

k1, k2 : exponents of the descending branches of the spectrum

$\eta = (7/2+\xi)^{1/2} \ge 0.7$: correction factor for damping values different from 5%

식 (1.2)에서 PGA는 지역 등의 요소에 따라 결정되며 기타 계수 값들은 토질 등급에 따라 다음 표와 같은 값을 가진다. 토질 등급은 강성도가 낮은 순서대로 A(rock), B, C(loose cohesionless soil deposit)로 나뉜다.

표 2.16 Parameters of the elastic response spectrum

soil classes	S	β0	k1	k2	TB (s)	TC (s)	TD (s)
A	1.0	2.5	1.0	2.0	0.10	0.40	3.0
B	1.0	2.5	1.0	2.0	0.15	0.60	3.0
C	0.9	2.5	1.0	2.0	0.20	0.80	3.0

다음 그림의 탄성 응답스펙트럼은 설계스펙트럼의 기초가 되지만 그 자체로도 응답스펙트럼을 직접 이용하지 않는 해석법에서의 지진파 특성을 규정하는 역할을 한다. 설계응답스펙트럼은 탄성 응답스펙트럼에 다음 3가지의 수정을 거쳐 얻어진다.

· TB 이상의 주기에서는 구조물의 연성도와 관련된 거동계수(Behavior Factor) q로 유사가속도 값을 나눈다.
· TB부터 T=0까지 구간에서는 q가 T=0에서 1이 되도록 선형으로 감소하는 값을 가진다.
· 속도 및 변위 지배 구간의 곡선을 정의하는 지수는 k1=2/3, k2=5/3로 한다.

또한, 다음과 같은 경우에는 교량 각 부분의 위치에 따른 지반운동의 변화를 의무적으로 고려하여야 한다.

· 전체 길이가 600m가 넘는 교량
· 교량이 위치한 장소의 토질 상태가 크게 변화하는 경우
· 깊은 계곡과 같이 교량이 위치한 지형이 매우 특이한 경우

- Eurocode EC8 해석방법

표준적인 지진해석 방법은 다음 표의 거동계수 q를 적용한 설계 응답스펙트럼을 사용한 선형의 등가정적 또는 동적해석법이다. 지반운동의 수직성분은 사용하지 않는 것이 일반적이지만, 교각에 상부 구조로부터 유발되는 지속적이고 강한 휨 응력이 발생하는 경우, 프리스트레스 콘크리트 상부 구조의 경우, 연결부 설계의 경우는 예외이며 거동계수는 1이다.

선형 동적해석을 수행할 때 면진장치가 설치되거나 특수한 교량의 경우를 제외하고는 다중모드해석법을 사용할 수 있다. 해석결과의 조합방법으로는 SRSS 또는 CQC법 중 합당한 방법을 사용한다. 각 방향 해석이 완료된 후 다음과 같은 제곱합평방근식을 사용하여 설계지진효과를 조합한다.

$$E^2 + E_y^2 + E_z^2 \qquad (1.3)$$

지진력의 조합에는 식 (1.3) 외에도 종 또는 횡방향 지진력 100%에 직각 방향 지진력 30%를 합산하는 방법을 사용할 수도 있다.

교량의 형상이 단순하고 대칭인 경우 단일모드해석법에 해당하는 선형 등가정적해석

법을 사용할 수 있다. 직선교의 종방향 해석에서는 항상, 횡방향 해석에서는 길이 대 폭의 비율이 4를 초과하지 않는 경우는 상부 구조를 강체로 단순화한 모형을 사용할 수 있다. 비선형 동적해석에는 탄성 응답스펙트럼에 부합하는 시간이력곡선의 지반운동을 사용한다. 비선형 동적해석은 선형 동적해석을 보완하는 수단으로 수행하며 어떠한 경우도 비선형 동적해석 결과를 근거로 선형 동적해석 결과를 완화시켜서는 안 된다.

표 2.17 Maximum value of the behaviour factor q

Ductile Elements	Seismic behaviour factor q	
	Limited Ductile	Ductile
Reinforced Concrete piers		
Vertical piers in bending (as* ≥ 3.5)	1.5	3.5
Squat piers (as = 1.0)	1.0	1.0
Inclined struts bending	1.2	2.0
Steel Piers		
Vertical piers in bending	1.5	3.5
Inclined struts bending	1.2	2.0
Piers with normal bracing	1.5	2.5
Piers with eccentric bracing	–	3.5
Abutments	1.0	1.0
Arches	1.2	2.0
* as = H/L is the aspect ratio of the piers: For 1.0 < as < 3.5 the q-factors may be obtained by linear interpolation		

- New Zealand Code 지진하중

Bridge Manual of Transit New Zealand에서는 지진하중 정의를 위한 지반 분류를 다음과 같이 3 가지로 한다.

· Rock/Very Stiff Soil Site

· Intermediate Soil Site

· Flexible/Deep Soil Site

지진하중은 다음 그림과 같이 지반 종류 별로 작성된 지진위험 가속도 응답스펙트럼(seismic hazard acceleration response spectrum) 상의 지진계수 로 정의된다. 변위 연성도계수 가 1인 경우가 탄성 응답스펙트럼이 되며 최대 6까지의 연성도계수 μ를 사용하여 비탄성 응답스펙트럼을 구성할 수 있다. 주기 T > 0.7 구간에서는 다음 식과 같다.

$$= \begin{matrix} C_\mu \\ \mu \end{matrix} \begin{matrix} when\ \mu = 1 \end{matrix} \qquad (1.4)$$

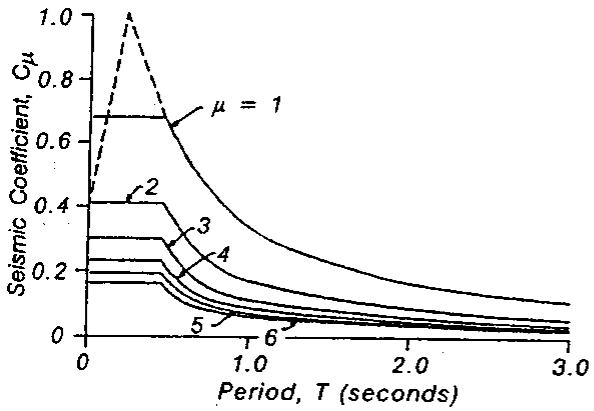
Rock/Very Stiff/Intermediate Soil Site 경우에는 0.45 < T < 0.7, Flexible/Deep Soil Site 경우에는 0.6 < T < 0.7 구간에서 비탄성 지진계수는 다음과 같다.

$$C_\mu = \frac{C_\mu \quad when\ \mu = 1}{\begin{matrix}(\mu - 1)T \\ 0.7\end{matrix} + 1} \qquad (1.5)$$

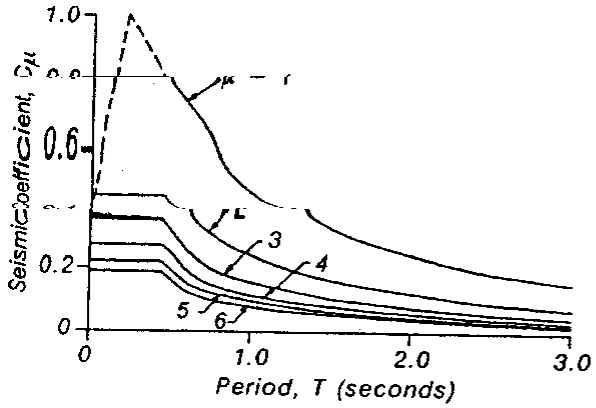
다음 그림에서 알 수 있듯이 나머지 짧은 주기에서 지진계수는 상수 값을 가진다. 다음 표에 주기에 따른 지진계수 값이 연성도계수 μ에 따라 정리되어 있다.

표 2.18 Flexible or Deep Soil Sites

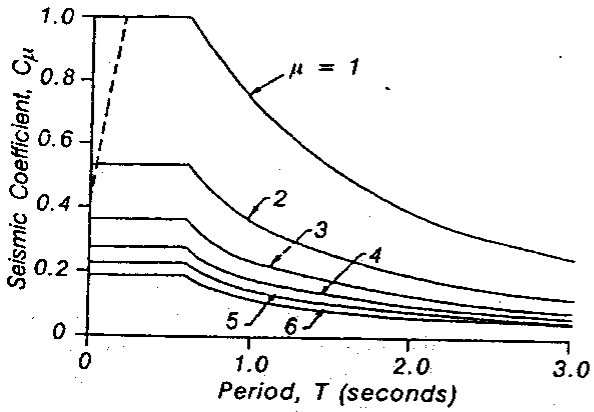
Soil Type and Description		Depth of Soil
Cohesive Soil	Representative indrained shear strengths (kPa)	
Soft	12.5-25	20
Firm	25-50	25
Stiff	50-100	40
Very Stiff	100-200	60
Cohesionless Soil	Representative SPT(N) values	
Loose	4-10	40
Midium Loose	10-30	45
Dense	30-50	55
Very Dense	>50	60
Gravels	>30	100



(a) Rock or very stiff soil sites



(b) Intermediate soil sites



(c) Flexible or deep soil sites

그림 2.13 Acceleration Response Spectra, New Zealand standards(1992)

표 2.19 Seismic Coefficients Cμfor Rock or very Stiff Soil Sites

μ	Period, T secs								
	0	0.45	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	0.68	0.68	0.55	0.42	0.33	0.23	0.17	0.13	0.11
2	0.41	0.41	0.30	0.21	0.17	0.12	0.085	0.065	0.055
3	0.30	0.30	0.20	0.14	0.11	0.076	0.056	0.043	0.036
4	0.23	0.23	0.15	0.11	0.083	0.058	0.043	0.033	0.028
5	0.19	0.19	0.13	0.084	0.066	0.046	0.034	0.026	0.022
6	0.16	0.16	0.10	0.071	0.056	0.039	0.029	0.022	0.019

표 2.20 Seismic Coefficients Cμfor Rock or very Stiff Soil Sites

μ	Period, T secs								
	0	0.45	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	0.80	0.80	0.71	0.60	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17
2	0.49	0.49	0.38	0.30	0.25	0.17	0.13	0.10	0.085
3	0.35	0.35	0.26	0.20	0.17	0.11	0.083	0.066	0.056
4	0.27	0.27	0.20	0.15	0.13	0.083	0.063	0.050	0.043
5	0.22	0.22	0.16	0.12	0.10	0.066	0.050	0.040	0.034
6	0.19	0.19	0.13	0.10	0.085	0.056	0.043	0.034	0.029

표 2.21 Seismic Coefficients Cμfor Rock or very Stiff Soil Sites

μ	Period, T secs								
	0	0.45	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	1.00	1.00	1.00	0.88	0.75	0.52	0.38	0.30	0.25
2	0.54	0.54	0.54	0.44	0.38	0.26	0.19	0.15	0.13
3	0.37	0.37	0.37	0.29	0.25	0.17	0.13	0.099	0.083
4	0.28	0.28	0.28	0.22	0.19	0.13	0.095	0.075	0.063
5	0.23	0.23	0.23	0.18	0.15	0.10	0.076	0.060	0.050
6	0.19	0.19	0.19	0.15	0.13	0.088	0.065	0.051	0.043

- Eurocode EC8 해석방법

New Zealand 시방서에서는 Equivalent Static Force Analysis, Modal Analysis 그리고 Inelastic Time History Analysis의 세 가지 지진해석 방법을 사용한다.

· Equivalent Static Force Analysis : 교량의 진동을 단자유도 운동으로 단순화하여 표현할 수 있는 경우, 설계 수평 밑면전단력 V의 최소값은 다음과 같이 계산된다.

$$C\,ZRS_pW_d \qquad (1.6)$$

여기서, Z는 지역계수 (0.6-1.2), R은 교량 중요도를 고려한 위험도계수 (1.0-1.3), Sp는 구조성능계수 (0.67: flexible/deep soil-0.9: rock/very stiff soil) 그리고 Wd는 사하중 무게이다.

지진력은 종 또는 횡방향 지진력 100%에 직각 방향 지진력 30%를 조합한 값을 사용한다. 지반운동의 수직성분 영향을 고려하며, 이 때 지진가속도의 수직 성분 값은 수직방향 진동 주기에서의 탄성 응답 값의 67%이다. 이러한 수직 지진가속도에서 교량의 상부구조는 탄성 영역에 있어야 한다.

· Modal Analysis : 탄성 응답스펙트럼을 사용하여 계산된 부재력에 Z, R, Sp 계수와 설계스펙트럼 조정계수 Sm을 곱하여 지진력을 계산한다. Sm은 다음과 같은 Sm1과 Sm2 중 큰 값으로 결정된다. Sm1 은 다음 표에서 주기와 연성도계수로 결정되는 값이며, Sm2 는 V/Vbase(1), 여기서 Vbase(1)은 combined modal base shear임. 각 방향 지진력의 조합은 위의 등가정적해석에서와 같다.

표 2.22 Design Spectrum Scaling Factor, Sm1

T (sec)	Displacement Ductility Factor, μ					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
≤0.45	1.0	0.61	0.44	0.34	0.28	0.24
0.50	1.0	0.58	0.41	0.32	0.26	0.22
0.60	1.0	0.54	0.37	0.28	0.23	0.19
≤0.70	1.0	0.50	0.33	0.25	0.20	0.17

· Inelastic Time History Analysis : 비탄성 시간이력해석에는 세 개 이상의 실제와 유사한 지반운동을 사용하여야 한다. 이러한 입력 지반운동의 스펙트럼 특성은 최

소한 구조물의 세 번째 주기까지의 범위에서 설계 응답스펙트럼의 90% 이상이어야 한다. 또한 구조물 기본주기의 5 배와 15sec 중 긴 시간동안 강한 지반운동이 지속되어야 한다.

○ 연성도 고려사항

- 연성도 정의

설계규정의 연성도는 각국에서 수행된 철근콘크리트 구조물의 반복하중 실험과 비탄성해석에 의한 하중-변위 관계 또는 모멘트-곡률 관계를 이용하여 정의한다. JSCE Code와 New Zealand Code는 변위연성도( )를 채택하고 있는 반면에, Caltrans는 곡률연성도(ψ)를 채택하고 있다. 반면에 Eurocode EC8은 변위연성도와 곡률연성도를 모두 채택하고 있다. 하지만 연성도와 관련된 규정에서 극한변위의 정의에는 다소 차이가 있다. JSCE에서는 극한변위를 하중-변위 포락곡선에서 항복하중에 해당하는 부재의 최대변위로 규정하고 있다. Eurocode EC8에서는 극한변위를 철근콘크리트 연성부재에서 설계저항력의 20% 이상 감소가 발생하지 않으면서 완전한 5회의 반복하중을 받을 수 있는 최대변위로 규정하고 있다. New Zealand Code 에서는 극한변위를 연성구조에서 수평저항력의 80%를 유지할 수 있는 최대변위로 규정하고 있다. Caltrans에서는 극한변위에 대한 명확한 규정이 없다.

- 구조적 작용과 연성도

JSCE를 제외한 USA, Eurocode EC8 그리고 New Zealand Code에서 구조물은 수평지진력을 받는 구조적 작용에 따라 분류하고 있다. 구조적 작용의 개념은 구조적 성능을 예측하여 설계 공학자가 명확히 선택하도록 하고 있다. JSCE는 구조적 거동에 대한 언급이 없고 파괴모드에 따른 부재의 거동을 구분하였다. Caltrans와 EC8에서 구조적 작용은, 지진작용에 따른 구조물의 선형응답에 대한 약수로 사용되는 하중감소계수 또는 거동계수와 관련이 있다. 구조적 작용이나 부재거동에 대한 구분은 다음 표에 요약한 거동계수와 연성도와 같은 지수에 따른다. New Zealand Code는 설계연성도의 최대값과 구조적 작용에 해당하는 구조형태의 관계를 제안하고 있다. 한편, 각 Code별 연성구조의 주요 특성은 다음 표에 요약하여 정리하였다.

표 2.23 구조/부재 작용의 분류

Codes	구조/부재 분류	Indexes	Applicable ductility factors
JSCE	- Member of flexural failure - Member of shear failure	· $_{\mu}/V_{yd} < 1.0$ γ_i · $V_{\mu}/V_{yd} > 1.0$	$\mu < 10$ $\mu = 1$
Caltrans	- Full-ductility structure - Limited-ductility structure	$1 \leqq Z \leqq 4$ $1 \leqq Z \leqq 3$	$(\psi \geqq 13)$
Eurocode EC8	- Ductile - Limited ductile/Essentially elastic	$1.5 < q \leqq 3.5$ $q \leqq 1.5$	$(\psi \geqq 13)$ $(\psi \geqq 7)$
New Zealand	- Ductile Structure - Partially ductile(Types I and II) - Structure of limited ductility demand - Structure of limited ductility capacity - Elastic structure - Structure incorporating mechanical energy dissipating devices - Structure locked in to the ground		$\mu = 3 \sim 6$ $\mu = 3,3 \sim 6$ $\mu < 6$ $\mu < 6$ $\mu = 1$ $\mu = 1$

표 2.24 연성구조물의 주요 특징

Codes	소성메카니즘과 의도된 비탄성 작용	의도적인 항복영역
Caltrans	설계의 일부로써 명확히 정의되어 있고, 휨 소성힌지는 기둥과 교각벽에 발생하도록 제한	설계지진하중이 작용한 후, 점검이 용이하게 접근할 수 있는 영역
Eurocode EC8	휨 소성힌지 형성을 통해 구조물 내에서 발생하도록 의도	점검과 보수가 용이하게 이루어질 수 있는 영역
New Zealand	최소 6 이상의 연성도를 지지할 수 있도록 의도	구조물내에서 선정된 국부영역(연성도에 영향을 받음)

연성도에 중요한 심부구속철근량 산정에 있어서 각 설계기준별 고려되는 변수들은 차이가 있다. AASHTO16th Ed. Division 의 나선철근으로 보강된 교각의 경우, 소성힌지외 구간에서는 콘크리트의 압축강도와 심부구속철근의 항복강도만이 심부구속철근량 산정에 있어서 고려되는 반면에, 소성힌지구간내에서는 축력비 또한 고려되었다. 띠철근(cross-ties)으로 보강된 교각의 경우, 소성힌지구간내,외에서 고려되는 변수들이 동일하였고 그 변수들은 콘크리트 압축강도, 철근의 항복강도, 축력비 그리고 종방향 주철근비였다. AASHTO LRFD 에서는 위에서 언급된 변수들 이외에 심부구속철근의 수직간격 및 심부콘크리트 길이가 추가되었다. 한편 뉴질랜드 New Zealand Code의 경우는 위에서 언급된 변수들 이외에도 곡률연성도, 85%의 콘크리트 압축강도에 대한 심부구속철근의 항복강도 및 강도감소계수가 포함되었다. 각 내진설계기준별 심부구속철근량 산정과 관련된 비교사항은 다음 표에 나타나 있고, 사용된 변수들을 정리하여 나선철근과 띠철근에 대해 각각 다음 표에 정리하였다.

표 2.25 각 설계기준별 심부구속철근량 산정 비교

Code	나선철근 구속	띠철근 구속
JSCE	- 기둥의 설계연성도는 전형적인 일본 교량 교각의 실험결과에 의존	- 기둥의 설계연성도는 전형적인 일본 교량 교각의 실험결과에 의존
AASHTO	- 소성힌지외 구간 $\rho s = 0.45\times(Ag/Ac-1)\times(fc'/fy)$ - 소성힌지 구간 ·지름 914.4mm 혹은 작은경우 $\rho s = 0.45\times(Ag/Ac-1)\times(fc'/fy)\times(0.5+1.25\times Pe/(fc'\times Ag))$ · 지름 914.4mm 보다 큰 경우 $\rho s = 0.12\times(fc'/fy)\times(0.5+1.25\times Pe/(fc'\times Ag))$	- 소성힌지외 구간 $\rho s = 0.5\times\rho s$ (소성힌지) - 소성힌지 구간 $\rho s = 0.16\times(fce'/fye)\times(0.5+1.25\times Pe/(fce'\times Ag))+0.13\times(\rho l-0.01)$
AASHTO LRFD	- 소성힌지외 구간 $Ash = 0.3\times st\times hc\times(fc'/fy)\times(Ag/Ac-1)$ - 소성힌지 구간 $Ash = 0.12\times st\times hc\times(fc'/fy)\times(0.5+1.25\times Pe/((fc'\times Ag))$	- 소성힌지외 구간 $Ash = 0.3\times st\times hc\times(fc'/fy)(Ag/Ac-1)$ - 소성힌지 구간 $Ash = 0.12\times st\times hc\times(fc'/fy)\times(0.5+1.25\times Pe/((fc'\times Ag))+0.13\times st\times hc\times(\rho l-0.01)$

Caltrans	AASHTO와 동일	AASHTO와 동일
Eurocode EC 8	- 축력비가 0.08보다 작은 경우에는 요구되지 않음 - 요구되는 곡률연성도와 축력비에 따른 부피비 함수	- 축력비가 0.08보다 작거나 콘크리트 최대 압축변형률이 0.0035보다 작을 때 얻어지는 곡률연성도가 15인 플랜지 혹은 상자형 단면에는 요구되지 않음 - 요구되는 곡률연성도와 축력비에 따른 부피비 함수
New Zealand	ρs = (((ϕu/ϕy)-33×pt×m+22)×s×h''/79)×(Ag/Ac)×(fc'/fyt)× (N/ϕ×fc'×Ag)-0.0084	Ash = (((ϕu/ϕy)-33×pt×m + 22)×s×h''/111)×(Ag/Ac)×(fc'/fyt)×(N/ϕ×fc'×Ag)-0.006×sh×h''

표 2.26 각 설계기준별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(나선철근)

변수	AASHTO, Caltrans		AASHTO LRFD		New Zealand	Eurocode EC 8
	소성 힌지외	소성 힌지내	소성 힌지외	소성 힌지내	-	축력비 ≧ 0.08
콘크리트 압축강도	●	●Ö	●Ö	●	●	●
심부구속철근 항복강도	●	●	●Ö	●Ö	●	●
축력비		●Ö		●	●	●
종방향 철근비					●	
심부구속철근의 수직간격			●	●	●	
심부콘크리트 길이			●	●	●	
곡률연성도					●	●
재료의 강도비	●	●	●Ö	●Ö	●Ö	●
심부구속 콘크리트 단면적에 대한 전체단면적 비	●	●	●		●	●
강도감소계수					●	

표 2.27 각 설계기준별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(띠철근)

변수	AASHTO, Caltrans		AASHTO LRFD		New Zealand	Eurocode EC 8
	소성 힌지외	소성 힌지내	소성 힌지외	소성 힌지내	-	축력비 ≥ 0.08
콘크리트 압축강도	●	●	●	●	●	●
심부구속철근 항복강도	●	●	●Ö	●Ö	●	●
축력비	●	●		●	●Ö	●
종방향 철근비	●	●		●	●	
심부구속철근의 수직간격			●	●	●Ö	
심부콘크리트 길이			●	●Ö	●	
곡률연성도					●	●Ö
재료의 강도비	●	●	●Ö	●Ö	●	●
심부구속 콘크리트 단면적에 대한 전체단면적 비	Ö	Ö	●		●	●
강도감소계수					●	

○ 전단설계

- JSCE Code

· 길이가 짧은 교각이나 벽식교각에 있어서, 전단파괴를 피할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 이런 경우 부재들은, 부재의 설계전단강도가 설계전단력보다 크도록 설계되어야 한다.

- AASHTO 전단설계

· 미국 도로교설계규준(AASHTO)에서, 기둥에 대한 전단설계는 역량설계(capacity design)법을 따르도록 규정하고 있다. 특히, 설계전단력은, 공칭강도의 1.3배로 정의되는 소성모멘트, 를 갖는 가정된 소성의 형성에 기초를 두어 계산된다. 캘리포니아 교통국(Caltrans) 규정도 AASHTO 규정과 흡사하나, 단 평형점 위의 축력

을 받는 기둥부재의 경우, 소성모멘트는 보다 상세한 해석에 기초를 두고 있다. 축력은 소성발생의 형성과정에 따라 계산되도록 규정하고 있고, 소성모멘트 능력과 축력과의 상호작용 때문에 약간의 반복계산이 필요할 수도 있다.

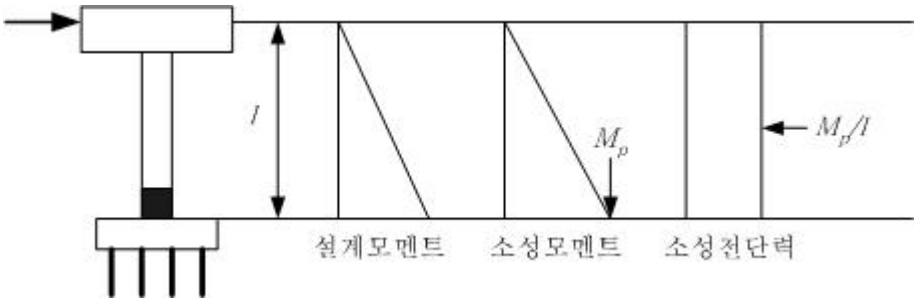


그림 2.14 설계전단력의 결정

- Caltrans 전단설계

Caltrans 전단설계는 AASHTO 규정과 동일하고, 다만 소성힌지 구간 조건식에서 18inches 대신에 24inches로 증가시켜서 규정하고 있다. 또한 ATC-32 에서는 이 길이가 위험단면에서 기둥의 최대단면크기의 1.5배보다 작지 않도록 규정하고 있다. 위의 식 (1.18)-(1.22)는 현재 Caltrans 규정에서 명시되어 있는 반면에 ATC-32에서는 기둥의 전단설계를 위한 대체식들을 추천하고 있고, 다른 여러 개의 식들이 교량에만 국한된 설계기준의 일부로서 Caltrans에서 사용되고 있다. 이 식들 중의 일부는 설계강도를 계산된 연성요구도의 함수로서 변화시킨다.

또한, 역량설계(capacity design) 방법 자체의 결점도 고려되어야 한다. 즉, 횡하중 분포와 소성형성을 독특하게 정의하는 것이 항상 가능한 것만은 아니라는 것이다. 다음 그림에 나타나 있는 것처럼, 단주가구에서는 횡하중 작용 하에서 질량중심에 변곡점이 발생하는 것으로 실무에서는 가정한다. 하지만 완전한 캔틸레버의 경우 조차도 상판구조와 교각이 일체식으로 된 교량에 있어서의 회전관성은 기둥의 윗부분에 모멘트를 유발할 수 있다. 전단요구도를 명확히 정의할 수 없는 다른 경우로서, 상판구조와 교각이 일체식으로 된 교량이 교축직각방향의 하중을 받는 경우와 기둥의 높이가 일정하지 않거나 곡률이 있는 교량을 들 수 있다. 이 두 가지 경우 모두에서 변위적합성은 상부와 하부구조 사이의 연결부에 고정모멘트를 유발한다. 연결부위에서의 모멘트의 크기는 횡방향 변위량에 좌우된다. 이와 같은 경우에 역량설계(capacity design)는 연결부위에서 소성힌지의 진전에 따라 교량 기둥이 설계되어야 한다고 제안하고 있지만, 일반적으로는 시행되지 않고 있다. 이런 문제점들에도 불구하고, 역

량설계(capacity design)법은 기둥의 전단설계에 대부분의 경우 매우 바람직할 뿐만 아니라 매우 효과적이다.

Caltrans 규정은 가구 보(bent caps)와, 기둥과 가구 보(bent caps) 연결부의 설계에 역량설계(capacity design)원칙 적용여부에 관해서 명확하게 명시하고 있지 않다. 그러나 가구 보와 기둥과 가구 보 연결부에 대해 기둥의 소성힌지 형성을 유발하는 힘들에 대한 검토가 일반 실무에서는 보편화되어 있다. 한편 AASHTO 와 ATC-32 규정에서는 지진하중에 저항하기 위한 이들 요소의 설계에 역량설계(capacity design)가 가장 적절한 방법이라고 명시하고 있다.

- Eurocode EC8 전단설계

최근 개정된 다른 나라의 설계규준들에서 전단강도를 구하는 식들과 비교해볼 때, 유럽연합 설계규준 EC8/2 에서의 전단강도 수식은 보수적이기는 하지만 매우 간편식으로 이루어져 있다. 단면에 요구되는 전단강도와 연성도 사이의 상호관계는 점멸식으로 다루어진다. 즉, 연성요구도가 예측되어질 때마다, 연속적으로 감소하는 함수로서가 아닌 낮은 단계의 전단강도가 사용된다. 한편, 단면 내에서 축력은 콘크리트가 부담하는 전단강도를 포함시키는지 혹은 포함시키지 않는지의 여부를 결정하는 변수로서의 역할만 수행한다 (< 0.1 인 경우에 콘크리트가 부담하는 전단강도는 없다). 그리고 축력의 크기는 전단강도에 영향을 끼치지 않는다는 것을 명백히 하고 있다. 다른 모든 설계규준에서 부족한 것과 마찬가지로, 전단강도를 구하는 식은 원형단면이건 사각형 단면이건 간에 중공단면과 중실단면 사이의 차이점을 두고 있지 않고 있으며, 이런 부족한 점들에 대한 실험적인 연구결과들은 그 정확성에 있어서 적절하지 않은 상태이다.

- New Zealand 전단설계

과거의 지진하중들에 의한 기둥의 전단파괴는 교량구조물에 많은 심각한 파괴를 일으켰다. 전 단파괴는 부재강도의 급격한 저하를 유발하고, 매우 한정된 에너지 소산 능력을 제공하기 때문에 위험하다. 뉴질랜드에서 기둥의 설계전단력은 역량설계(capacity design)법을 사용하여 전단파괴를 방지할 목적으로 결정된다. 사용된 설계전단력은 부재의 소성힌지 구간에서 휨에 대한 과강도와 관련되어 발생 가능한 최대 하중이다 (단일교각에 대한 그림 참조).

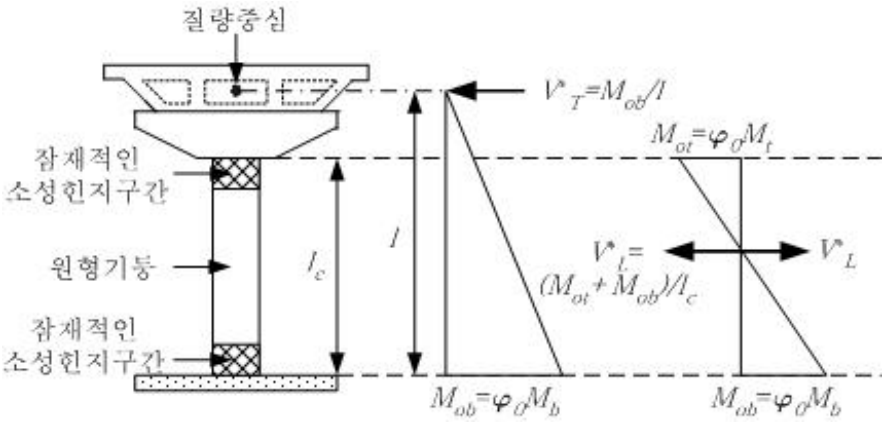


그림 2.15 단일교각의 과강도모멘트로부터 설계전단력의 계산, Priestley and Park (1984)

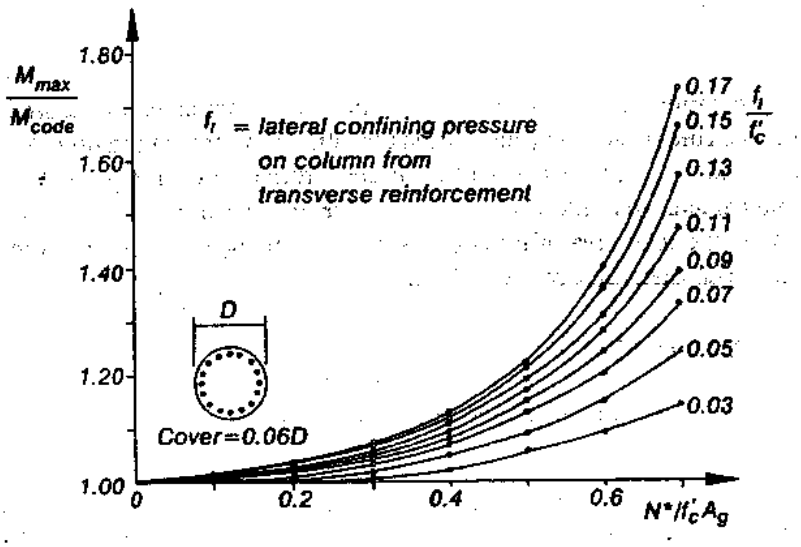


그림 2.16 콘크리트 구속에 의한 철근콘크리트 기둥 휨강도의 이론적인 강화

○ 국가별 내진기준을 요약 국내와 비교하여 표로 정리하였다.

표 2.28 주요 국가별 내진설계기준의 지진동 레벨분류 및 요구내진성능 요약

<table>
<tr><th>Code</th><th>지진동</th><th>한계
상태</th><th colspan="2">요구내진성능</th><th>특징</th></tr>
<tr><td rowspan="2">현행국내
도로교
(철도교
동일)</td><td>Level 1
1000년
재현주기</td><td>내진등
급 I</td><td colspan="2" rowspan="2">- 지진 시 교량 부재들의 피해는 허용하나 전체적인 붕괴는 방지한다.
- 지진 시 가능한 한 교량의 기본 기능은 발휘할 수 있게 한다.</td><td rowspan="2">완전연성
구조물
개념</td></tr>
<tr><td>Level 2
500년
재현주기</td><td>내진등
급 II</td></tr>
<tr><td rowspan="3">국내
도시철도</td><td>100년
재현주기</td><td rowspan="3">내진등
급 I</td><td colspan="2">- 기능수행수준</td><td rowspan="3">-</td></tr>
<tr><td>500년
재현주기</td><td colspan="2">- 표준설계응답스펙트럼</td></tr>
<tr><td>1000년
재현주기</td><td colspan="2">- 붕괴방지수준</td></tr>
<tr><td rowspan="3">JSCE</td><td>Level 1</td><td>내진성
능 1</td><td colspan="2">지진발생 후 구조물은 기능을 완전히 수행해야 하며 보수 없이 사용 가능해야 한다.</td><td rowspan="3">연성구조
물</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Level 2</td><td>내진성
능 2</td><td colspan="2">지진발생 후 구조물의 기능은 몇 일안에 정비가 되어야 하며 약간의 보수가 요구된다.</td></tr>
<tr><td>내진성
능 3</td><td colspan="2">지진발생 후 그 손상이 비록 광범위하더라도 구조물이 붕괴되지는 않아야 한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Caltrans</td><td rowspan="2">Functional
evaluation
(Level 1)</td><td rowspan="2">사용성
레벨</td><td>보통
교량</td><td>즉시: 지진발생 후 즉시 정상 소통이 가능하여야 한다.</td><td rowspan="2">완전연성
구조물</td></tr>
<tr><td>중요</td><td>즉시: 지진발생 후 즉시 정상 소통</td></tr>
</table>

			교량	이 가능하여야 한다.	
		손상 레벨	보통 교량	보수 가능한 손상: 매우 작은 기능 저하와 보수가 가능한 정도의 손상을 허용한다.	
			중요 교량	최소한의 피해: 기본적으로 탄성 거동을 유지하여야 한다.	
	Safety evaluation (Level 2)	사용성 레벨	보통 교량	제한: 지진 발생 후 몇 일 안에 제한적인 교통소통이 가능하고 몇 달 안에 완전한 기능을 회복 하여야 한다.	
			중요 교량	즉시: 지진발생 후 즉시 정상 소통이 가능하여야 한다.	
		손상 레벨	보통 교량	상당한 손상: 붕괴할 위험은 작으나 보수를 위해 교량의 폐쇄가 필요	
			중요 교량	수리 가능한 손상: 매우 작은 기능 저하와 보수가 가능한 정도의 손상을 허용한다.	
Euro code EC 8	Level 1	사용한계상태 (손상의 최소)	설계지진 중 구조 요소는 에너지 소산을 할 수 있어야 하며, 지진발생 후 교통의 제한이나 보수의 필요가 없는 극히 작은 손상만을 허용한다.		부분연성 혹은 한정연성 구조물
	Level 2	극한한계상태 (붕괴 방지)	설계지진 발생 후 어떤 부분은 상당한 손상을 입었더라도 구조물의 내하력은 유지되어야 한다.		
New Zealand (Bridge	Level 1	사용한계상태	구조물의 손상이 적어야 하고 교통에 지장이 없어야 한다.		연성구조물

Manual)	Level 2	극한한계상태	비록 손상이 있더라도 긴급교통을 소통할 수 있어야 하며, 일시적인 보수가 요구될 수 도 있다. 차량하중과 지진하중에 대하여 설계 내력의 원상복구가 가능해야 한다.	
	Level 3		구조물의 손상이 상당히 크더라도 붕괴되어서는 안되며, 응급 보수 후에 긴급교통을 소통할 수 있어야 한다. 비록 낮은 등급의 교량일지라도 영구적인 보수가 가능하여야 한다.	

표 2.29 주요 국가별 설계스펙트럼 정의 및 해석방법

<table>
<tr><th>Code</th><th>설계스펙트럼</th><th colspan="2">해석방법</th></tr>
<tr><td>현행 국내
도로교
(철도교 동일)</td><td>지반조건별에 따른 탄성응답
스펙트럼</td><td colspan="2">- 단일모드스펙트럼 해석법
- 다중모드스펙트럼 해석법
- 등가정적하중법(지진격리교량)</td></tr>
<tr><td>국내 도시철도</td><td>지반조건별에 따른 표준탄성응답스펙트럼</td><td colspan="2">- 응답변위법
- 시간이력해석법</td></tr>
<tr><td rowspan="2">JSCE</td><td rowspan="2">• 표준 가속도 응답스펙트럼
- Level I: 지진활성도와 지반조건 고려
- Level II: 진앙지의 특성 및 지진파 전달특성 고려

• 수평 지반운동의 두 직각 성분을 고려하도록 규정하며, 일반적인 경우 수직 지반운동 성분의 추가적 고려는 선택 사항

• 내진성능 2와 3의 교량 설계에서는 수직 지반운동을 반드시 고려하며 수평 지반운동의 1/2-2/3의 크기를 사용</td><td>내진성능
1등급</td><td>- 집중질량모형을 사용한 다자유도계 또는 단자유도계 시스템으로 해석
- 재료는 선형탄성으로 가정
- 균열에 따른 부재의 강성도 저하를 고려
- 철근과 콘크리트의 응력이 설계강도보다 작으면 내진성능이 만족</td></tr>
<tr><td>내진성능
2등급
및
3등급</td><td>- 지반운동의 시간이력곡선을 설계지진으로 사용하는 경우, 비선형 재료모형 사용
- 응답스펙트럼 지진해석을 수행하는 경우, 집중질량모형의 선형탄성재료모형 사용
- 내진성능 2등급의 경우, 응답변위 또는 잔류변위가</td></tr>
</table>

			허용 범위에 있는지를 확인 - 내진성능 3등급의 경우, 구조물이 붕괴여부 확인
USA Code	AASHTO	50년에 초과확률 10%의 위험도를 기준으로 지반조건별에 따른 탄성응답스펙트럼	- Uniform Load Method - Single-Mode Spectral Analysis - Multi-Modal Response Spectrum Analysis - Time-History Analysis
	Caltrans	다중 위험도 개념에 기초한 내진성능 단계를 정의하고 있으며 가속도계수, 지반계수 및 응답스펙트럼을 결합한 탄성응답스펙트럼	- Equivalent Static Analysis - Elastic Dynamic Analysis - Inelastic Static Analysis or Inelastic Dynamic Analysis
Eurocode EC8		지반등급에 따른 탄성응답스펙트럼과 이를 기반으로 구성되는 설계응답스펙트럼	- 설계응답스펙트럼을 사용한 선형의 등가정적해석 - 선형 동적해석 - 비선형 동적해석
New Zealand		지반분류와 변위연성도에 따른 비선형 응답스펙트럼	- Equivalent Static Force Analysis: - Modal Analysis - Inelastic Time History Analysis

표 2.30 주요 국가별 설계 지진력 및 고유주기 산정해석

Code	지반분류	설계지진력 산정	고유주기 산정해석
현행국내 도로교 (철도교 동일)	- 4가지로 분류 ·지반종류 I~IV	- 지진구역계수에 따른 가속도 계수와 지반계수로 산정	- 유효강성으로 고유주기 결정
JSCE	- 지반분류, 응답스펙트럼 및 설계지진작용에 대한 정의된 규준은 없음 - 건설현장의 지형학, 지질학 및 지반특성을 고려 - 일본도로협회의 Specifications for Highway Bridges에서 Level I과 Level II의 지반운동에 대해 설계응답스펙트럼을 제안하고 있음		
Caltrans	- 6가지로 분류 ·표준지반(A-E) ·지역특성평가를 요구하는 지반(F)	- 지반분류와 지진강도에 따른 탄성응답스펙트럼으로 산정 ·A: peak rock acceleration ·R: rock spectra ·S: site modification factor - 탄성응답스펙트럼의 최대값은 1.8g(rock 지반가속도 0.7에 해당) - 등가정적설계횡력은 ARS의 가속도를 강도저감계수 Z로 나누어서 산정 ·Z: 연성도와 구조물의 고유주기로 결정(1-4의 값)	- 균열의 고려하여 고유주기 계산 - 실무적으로 단면의 항복강성으로 고유주기 결정 - 설계지진작용은 최소 수평 2 방향에 대한 입력으로 결정 - 지진작용 = Ex+0.4Ey+0.4Ez
Eurocode EC8	- 3가지로 분류 (A-C) ·rock(A) ·loose cohesionless soil deposits (C)	- 설계지반가속도(ag)와 다양한 계수에 의한 탄성응답스펙트럼으로 산정 ·ag는 명시되어 있지 않음 ·재현주기 475년에 해당하는 값을 각 나라별로 정의 - 등가정적설계횡력은 설계지반가속도와 거동계수(q)에 의해 결정된 감소된 설계스펙트럼(Sd)으로 산정	- 단면의 항복강성을 이용하여 고유주기 계산 - 지진작용은 각 방향별 가속도의 SRSS 혹은 Caltrans와 비슷한 방법으로 결정 - 지진작용 = $E_x \quad E_y^2+E_z^2$
New Zealand	- 3가지로 분류 ·rock or very stiff soil ·flexible or deep soil	-지반분류와 변위연성도(1-6)에 따른 비선형 응답스펙트럼(내진계수, Cμ) - 등가정적밑면전단력은 다음과 같은 계수를 이용하여 계산 ·zone factor(Z) ·risk factor(R) ·structural performance factor(Sp) - 탄성응답스펙트럼은 없음, 따라서 최대탄성응답은 지반분류와 관계없이 대략 1.0g ·비교목적을 위해 등가밑면전단력으로부터 역계산	- 단면의 항복강성을 이용하여 고유주기계산 - 지진작용은 1 방향 100%와 직교방향 30%를 고려하여 결정 - 지진작용 = Ex+0.3Ey

표 2.31 주요 국가별 구조/부재 분류별 연성도

Codes	고려하는 연성도	구조/부재 분류	계수	연성도계수
현행국내 도로교 (철도교 동일)	연성도 규정 없음	-	-	-
2010년 개정 도로교설계기준, 2010년 개정 통합철도교설계기준 및 신도로교설계기준에는 교각의 설계에 연성도 내진설계법을 부록으로 반영하고 있음. 이 연성도 내진설계법에서는 교각에 대한 소요곡률연성도와 소요변위연성도를 산정하는 방법을 제시하고 있음				
JSCE	변위연성도( )	- Member of flexural failure - Member of shear failure	$\gamma \cdot \ _{\mu} / V_{yd} < 1.0$ $\gamma_i \cdot V_{\mu} / V_{yd} > 1.0$	$\mu < 10$ $\mu = 1$
Caltrans	곡률연성도(ψ)	- Full-ductility structure - Limited-ductility structure	$1 \leqq Z \leqq 4$ $1 \leqq Z \leqq 3$	($\psi \geq 13$)
Eurocode EC8	변위연성도(μ) 곡률연성도(ψ)	- Ductile - Limited ductile/Essentially elastic	$1.5 < q \leqq 3.5$ $q \leqq 1.5$	($\psi \geq 13$) ($\psi \geq 7$)
New Zealand	변위연성도(μ)	- Ductile Structure - Partially ductile (Types I and II) - Structure of limited ductility demand - Structure of limited ductility capacity - Elastic structure - Structure incorporating mechanical energy dissipating devices - Structure locked in to the ground		$\mu = 3 \sim 6$ $\mu = 3,3 \sim 6$ $\mu < 6$ $\mu < 6$ $\mu = 1$ $\mu = 1$ $\mu = 1$

표 2.32 주요 국가별 심부구속철근량 산정 비교

Code	나선철근 구속	띠철근 구속
현행국내 도로교	- 다음 중 큰 값 ·ρs = 0.45×(Ag/Ac-1)×(fck/fy) ·ρs = 0.12×(fck/fy)	- 다음 중 큰 값 ·Ash = 0.3×a×hc×(fck/fy)(Ag/Ac-1) ·Ash = 0.12×a×hc×(fck/fy)
JSCE	- 기둥의 설계연성도는 전형적인 일본 교량 교각의 실험결과에 의존	- 기둥의 설계연성도는 전형적인 일본 교량 교각의 실험결과에 의존
AASHTO	- 소성힌지외 구간 ρs = 0.45×(Ag/Ac-1)×(fc'/fy) - 소성힌지 구간 ·지름 914.4mm 혹은 작은경우 ρs = 0.45×(Ag/Ac-1)×(fc'/fy)× (0.5+1.25×Pe/(fc'×Ag)) · 지름 914.4mm 보다 큰 경우 ρs = 0.12×(fc'/fy)× (0.5+1.25×Pe/(fc'×Ag))	- 소성힌지외 구간 ρs = 0.5×ρs (소성힌지) - 소성힌지 구간 ρs = 0.16×(fce'/fye)× (0.5+1.25×Pe/(fce'×Ag)) +0.13×(ρl-0.01)
AASHTO LRFD	- 소성힌지외 구간 Ash = 0.3×st×hc×(fc'/fy)×(Ag/Ac-1) - 소성힌지 구간 Ash = 0.12×st×hc×(fc'/fy)× (0.5+1.25×Pe/((fc'×Ag))	- 소성힌지외 구간 Ash = 0.3×st×hc×(fc'/fy)(Ag/Ac-1) - 소성힌지 구간 Ash = 0.12×st×hc×(fc'/fy)× (0.5+1.25×Pe/((fc'×Ag))+ 0.13×st×hc×(ρl-0.01)
Caltrans	AASHTO와 동일	AASHTO와 동일
Eurocode EC 8	- 축력비가 0.08보다 작은 경우에는 요구되지 않음 - 요구되는 곡률연성도와 축력비에 따른 부피비 함수	- 축력비가 0.08보다 작거나 콘크리트 최대 압축변형률이 0.0035보다 작을 때 얻어지는 곡률연성도가 15인 플랜지 혹은 상자형 단면에는 요구되지 않음 - 요구되는 곡률연성도와 축력비에 따른 부피비 함수
New Zealand	ρs = (((ϕu/ϕy)-33×pt×m+22)× s×h''/79)×(Ag/Ac)× (fc'/fyt)×(N/ϕ×fc'×Ag)-0.0084	Ash = (((ϕu/ϕy)-33×pt×m + 22)× s×h''/111)×(Ag/Ac)×(fc'/fyt)× (N/ϕ×fc'×Ag)-0.006×sh×h''

표 2.33 주요 국가별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(나선철근)

변수	현행 국내 도로교	AASHTO, Caltrans		AASHTO LRFD		New Zealand	Eurocode EC 8
		소성 힌지 외	소성 힌지 내	소성 힌지 외	소성 힌지 내	-	축력비 ≧ 0.08
콘크리트 압축강도	●	●	●Ö	●Ö	●	●	●
심부구속철근 항복강도	●	●	●	●Ö	●Ö	●	●
축력비			●Ö		●	●	●
종방향 철근비						●	
심부구속철근의 수직간격				●	●	●	
심부콘크리트 길이				●	●	●	
곡률연성도						●	●
재료의 강도비		●	●	●Ö	●Ö	●Ö	●
심부구속 콘크리트 단면적에 대한 전체단면적 비	●	●	●	●		●	●
강도감소계수						●	

표 2.34 주요 국가별 심부구속 철근량 산정에 사용된 변수비교(띠철근)

변수	현행 국내 도로교	AASHTO, Caltrans		AASHTO LRFD		New Zealand	Eurocode EC 8
		소성 힌지 외	소성 힌지 내	소성 힌지 외	소성 힌지 내	-	축력비 ≧ 0.08
콘크리트 압축강도	●	●	●Ö	●Ö	●	●	●
심부구속철근 항복강도	●	●	●	●Ö	●Ö	●	●
축력비		●	●Ö		●	●	●
종방향 철근비		●	●		●	●	
심부구속철근의 수직간격	●			●	●	●	
심부콘크리트 길이	●			●	●	●	
곡률연성도						●	●
재료의 강도비		●	●	●Ö	●Ö	●Ö	●
심부구속 콘크리트 단면적에 대한 전체단면적 비	●			●		●	●
강도감소계수						●	

표 2.35 주요 국가별 전단설계(콘크리트부담 전단력) 개념 비교

Code	허용파괴모드	역량설계*	전단강도 수식
현형국내 도로교 (철도교 동일)	-전단파괴 비허용	-	- $\left(\frac{1}{6}\left(1+\frac{N_u}{14A_g}\right)\right) f_{ck} b_w d$ 또는 - $V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_{ck}} b_w d$
JSCE	- 휨 파괴 ·$\gamma_l V_\mu / V_{yd} < 1$ -전단파괴 ·$\gamma_l V_\mu / V_{yd} \geqq 1$	휨파괴를 수반하는 전단력은 단면내 보강철근의 전체면적과 실제항복 강도를 사용	- $V_{cd} = 0.2 f_{cd}^{\frac{1}{3}} (1000/d)^{\frac{1}{4}} (100 p_w)^{\frac{1}{3}} 7$ $(1 + M_0/M_d) b_w d/\gamma_b$ 여기서, M_0 는 축소된 모멘트, γ_b 는 부재계수
Caltrans	- 전단파괴 비허용 - 소성변형 없는 파괴 허용	사용	- 단부 부분 이외의 부분 · $V_c = 2(1 + P_e/2000A_g) \quad f_c^{'}(0.8A_g)$ (psi) -단부 부분 $V_c = 2(0.5 + P_e/2000A_g)\sqrt{f_c^{'}}(0.8A_g)$ (psi)
Eurocode EC8	- 전단파괴 비허용 - 소성변형 없는 파괴 허용	사용	- 소성힌지 외 · $V_c = [\tau_{\ d}\kappa(1.2 + 40\rho_l) + 0.15\sigma_{cp}] b_w d$ - 소성힌지 내 · $V_c = 0,$ $\eta_k = N_{Ed}/(A_{cc} f_{ck}) \leqq 0.1$ · $V_c = 2.5\tau_{Rd} b_{wc} d_c, \quad \eta_k > 0.1$
New Zealand	- 전단파괴 비허용 - 소성변형 없는 파괴 허용	사용	- 소성힌지 외 · $V_c = (1 + 3N^*/A_g f_c^{'})(0.07 + 10 p_w)\sqrt{f_c^{'}} b_w d$ - 소성힌지 내 · $V_c = 4\sqrt{N^*/A_g f_c^{'}} - 0.1\,(0.07 + 10 p_w)\sqrt{f_c^{'}}$

* 역량설계(Capacity Design): 설계 휨강도가 신뢰할만한 가장 낮은 강도일 때, 부재의 실제 극한 휨강도는 항성 설계강도 보다 커야 한다는 설계이다. 결과적으로 부재의 전단파괴를 방지하고 연성적인 휨 파괴를 확보하기 위해서 설계강도(모멘트 과강도)보다 큰 휨강도를 설계전단력 계산에 사용해야 한다.

표 2.36 내진설계법의 개념적인 종류

내진설계법		관련 기준
사양설계법	힘기반 설계	- 현행국내도로교, 철도교 - JSCE - USA(AASHTO, Caltrans) - Eurocode EC8 - New Zealand
	변형기반 설계	- JSCE - Caltrans - Eurocode EC8 - New Zealand - 국내의 경우, 2010년 개정 도로교설계기준, 2010년 개정 통합철도교설계기준 및 신도로교설계기준에서는 연성도 내진설계법을 부록으로 채택할 예정임
	역량설계	- Caltrans - Eurocode EC8 - New Zealand
성능기반설계		- JSCE 에서는 다단계의 입력지반운동의 세기 및 내진성능을 규정하여 간접적인 성능목표를 분류 - Eurocode EC8 에서는 다양한 부분계수 및 한계상태 도입으로 간접적인 성능목표를 분류 - New Zealand Code 에서는 다양한 지진동 분류 및 한계상태 분류를 통해 간접적으로 성능목표를 분류

표 2.37 내진해석방법 및 일반적인 적용범위

해석방법			교량 분류		
			보통 교량		중요 교량
			표준형상	비 표준형상	
비선형 정적해석	등가정적해석		B	A	A
	비선형 정적 pushover 해석		C	C	C
동적해석	응답스펙트럼해석	탄성응답스펙트럼	B	B	B
		비탄성응답스펙트럼	B	B	B
	진동수영역해석	-	B	B	B
	시간이력해석 (직접적분법)	선형	B	B	B
		비선형	B	C	C

A: 불가
B: 허용
C: 허용+추천

표 2.38 교량의 대표적인 내진보수 및 내진보강 기법에 따른 구조적인 효과

내진보수 및 내진보강 기법	구조적인 효과		
	강도(strength)	강성(stiffness)	연성(ductility)
Resin injection	No	Yes	No
In-situ RC jacketing	Yes	Yes	Yes
Steel jacketing	Yes	Yes	Yes
Plate bending	Yes	Yes	No
Bracing	Yes	Yes	-
External prestressing	Yes	Yes	No
New Members	Yes	Yes	Yes
New Layers(FRP계열, SMA, 스테인레스스틸 등)	Yes	Yes	Yes

라. 철도터널의 국가별 내진설계기준 분석

○ 철도터널의 국외 내진설계기준은 Eurocode 7, Eurocode 8 and ISO 23469:2005을 검토하였음

○ Eurocode

- 2010년부터 유럽 대부분의 나라에서는 Eurocode 7 (지반공학 관련 코드) 및 Eurocode 8 (내진설계 관련 코드)를 따라 설계 및 시공을 수행함.
- Eurocode 7은 크게 두 부분으로 구성됨.

· Part 1 (EN 1997-1:2004, or EC7-1) 지반 구조물의 설계를 위한 기준

· Part 2 (EN 1997-2:2007, or EC7-2) EC7-1의 선행단계로 지반조사 및 실내 실험을 근간으로 하는 설계 가이드라인.

- 붕괴방지수준에 대한 정의를 분명하게 규정하고 있으며, 기능수행수준에 대한 정의는 일반적인 서술에 그치고 있음.
- Eurocode 8(EC8-1)은 국내 지진재해도와 대상 구조물의 중요도에 따른 응답 스펙트럼을 통해 인공지진파를 생성하는 방법으로 통상적인 국내 내진 설계 절차와

동일함. Eurocode 8은 6개의 세부항목으로 구성되어 있고, EN 1998-1: (EC8-1) General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings 및 EN 1998-5: (EC8-5) Foundations, Retaining Structures, and Geotechnical aspects 의 두 개 항목이 지반구조물에 대한 설계 규준을 제시하고 있음.

○ ISO (일본, 미국)

- ISO 코드는 지진발생 이후 기능성과 손상최소화에 주안점을 두고 있음. EC8-1과는 달리 ISO 23469는 성능중심의 설계 가이드라인을 제시함. 댐 및 성토지반과 같은 성능수행이 최대 관건인 프로젝트에 적합한 설계 기준임.
- ISO코드는 설계 절차를 동적 지반운동의 규정과 동적 지반 운동의 명시에 관한 내용의 두 단계로 구분됨. 첫 번째 단계에서, 다양한 설계 대상에 대한 설계 절차와 설계 고려사항을 종합적으로 검토함. 두 번째 단계에서는 4가지의 설계기법 중 한 가지를 선택하여 실제 설계 지진 운동에 대한 내진해석을 수행함.

○ 내진설계 기술 주요 사항 (미국)

- 내진설계는 개착식 터널에 초점을 맞추고 있으나, 굴착식 터널의 갱구부 및 풍화암 이하의 연암 지반에 시공되는 터널에 대하여 내진설계가 이루어 지고 있음.
- 내진설계는 지진학 및 지반 구조물 상호작용 등 최신의 기술을 능동적으로 고려하여 수행하고 있음. 이점은 정형화된 보수적인 국내 내진설계 기법과는 구별됨.

○ 터널의 내진설계 기술 기본 고려사항

- 해당 프로젝트의 지진 위험도 평가를 수행하여 설계 지반 운동을 결정함.
- 기준 지반 운동은 암반의 동적 감쇠거동 조건을 고려하여 수립함. 대상 지반의 구조와 그에 따른 스펙트럼에 적합한 지반 운동을 생성함.
- 수립된 대상 지반의 구조와 그에 따른 시간이력 지반 운동은 파의 산란 효과를 고려하여 수정할 수 있음.
- 토사 특성, 절리 특성 및 지형 특성과 같은 다양한 지질학적 특성을 반영하여 내진해석을 수행함.
- 터널의 내진설계시 다음과 같은 내용을 특별히 고려하도록 함.

· 결정론적 지진 위험도 해석 및 추계론적 지진 위험도 해석을 동시에 수행함.
· 지진의 크기에 따른 비선형 지반 거동에 따른 영향 고려
· 지반의 단층 및 절리(joint), 불안정지반, 간극수압 등에 의한 영향 고려

· 터널의 횡방향 거동 (racking and ovaling), 종방향 거동 (axial and curvature deformation)에 대한 해석
· 성능비 (demand/capacity)를 정의하여 성능비에 따른 콘크리트 변형률을 획득하여 콘크리트 단면 결정 기준으로 이용함. 성능비(D/C)가 1.5이상인 경우 콘크리트의 변형률 한계는 다음을 만족하도록 함.
· 내진성 검토는 기능수행수준지진에 대하여 수행함. 기능수행 수준의 정의: 지진 발생이후 복구가 가능한 손상을 기능수행 수준. 이는 긴급차의 즉각적인 통행이 가능하고, 정상적인 교통에 방해가 되지 않는 수준임. 콘크리트 라이닝의 균열, 지보재의 항복, 콘크리트의 스폴링이 발생될 수 있는 수준.

마. 철도건축물의 국가별 내진설계기준 분석

○ 미국

- 미국의 경우에는 하중저항계수설계법(Load and Resistance Factor Design, LRFD)을 적용하여 경제적인 설계를 유도하고 있으나, 강구조물 설계 전체에 성능중심설계에 대한 개념이 도입된 기준을 발간하지는 않았다. 다만, 미국에서는 성능기반설계 중 내진분야에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 1970년대까지의 미국의 내진설계는 주로 등가 횡하중 개념에 근거하여 개발되어 왔으며, 이것은 자중의 일부를 수직골조에 작용하는 정적 횡하중으로 작용시켜 설계하는 방법이다. 1971년 San Fernando 지진을 포함한 20세기 후반의 지진으로부터 구조물은 강도뿐만 아니라 재난에 이르는 파괴 없이 큰 변형을 일으키는 능력을 가질 필요가 있다는 것이 인식되었다. 1978년 미국 응용기술협회(ATC)에서는 그 동안의 연구결과들을 반영하여 ATC3-06, “Tentative Provision for the Development of Seismic Regulation for Buildings”을 발간하였다.
- 새로운 개념의 내진설계 규준을 개발하기 위해서는 먼저 그 개념을 명확하게 정립할 필요가 있으며, 이러한 개념을 구조물의 설계에 바로 적용하기에 앞서 과도기적인 단계로써 지침서의 발간이 요구되었다. 이에 따라 SEAOC(Structural Engineers Association of California)에서는 1992년에 Vision2000위원회를 결성하여 성능에 기초한 공학(Performance-Based Engineering, PBE)의 개발에 착수하여 1995년에 ‘Vision 2000:Performance Based Seismic Engineering of Buildings’를 발간하게 되었다. 후속조치로써 FEMA 273 및 FEMA 274 보고서가

발간되었으며, 이외에도 ATC는 ATC-40 보고서 'Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings'가 발간되었다. FEMA-273과 ATC-40의 발간으로 실무자들은 구조물의내진거동을 평가하기 위해 비선형 정적해석을 실용적으로 적용할 수 있게 되었다. FEMA는 연방 기관이 성능에 기초한 내진공학 기준을 개발할 수 있도록 시행 계획을 작성하였는데 이를 FEMA 283 보고서, 'Performance-Based Seismic Design of Buildings - an Action Plan for Future Studies'및 FEMA 349 보고서 'Action Plan for Performance-based Seismic Design'으로 발간하였다.

- 2001년 ATC는 FEMA의 지원을 바탕으로 차세대 성능기반설계 개발을 위한 계획을 설정하여 ATC-58 프로젝트, 'Development of Next-Generation Performance-Based Seismic Design Guidelines for New and Existing Buildings'에 착수하였다. 이 프로젝트는 기존의 여러 프로젝트의 결과를 통합하여 FEMA 283 및 FEMA 349의 시행계획을 개선하였다. FEMA 283 및 FEMA 349는 성능기반설계의 기술적인 부분을 개선하고 소유주, 상업 입주자, 감시자, 대여자, 보험업자 등의 다양한 투자자 그룹의 요구를 반영할 다년간의 개발 계획을 필요로 하였다. FEMA의 지원을 받는 ATC-55 프로젝트 'Evaluation and Improvement of Inelastic Seismic Analysis Procedures'는 내진설계 및 구조물의 평가와 보강을 위한 성능기반공학에 사용되는 비탄성 해석의 적용성을 개선하기 위한 것이다. 이 프로젝트의 결과로부터 FEMA 440 보고서, 'Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures' 가 발간되었다. 2004년 ATC는 다시 FEMA의 지원을 받아 ATC-62프로젝트 'Advanced Seismic Analysis Methods - Resolution of Issues'에 착수하였다.

○ 일본

- 일본 건축분야의 동향은 다음과 같다. 일미포괄경제협의에 대한 미국 측의 규제완화요구로, 건축기준법의 성능규정화를 향한 시도를 시작하였다. 1995년에 건설성(현 국토교통성) 건축연구소를 중심으로 개발된 종합기술개발프로젝트인 '신건축구조체계의 개발' 에서는 다음과 같은 성과를 제시하였다.

· 성능을 기반으로 한 건축구조설계체계
· 건축구조에 요구되는 성능의 고려방법
· 성능 수준의 설정과 성능평가의 체계 구성
· 성능을 기반으로 한 체계를 위한 새로운 사회적 기구

○ 유럽

- 유럽의 대표적 기준은 'ISO2394'를 기준으로 부분안전계수를 도입한 한계상태설계법이 주류이다. 1970년 유럽연합에서 통상에 대한 기술적 장애의 제거와 기술사용의 부합화 그리고 건축과 토목구조물 설계에 대한 공통 기술규칙의 확립을 위해 설계에 관한 통일된 기술규준의 책정움직임이 일어났고, 이것이 현재의 유로코드 책정의 시발점이 되었다. 1982~1989년에 걸쳐 유럽위원회에서는 유로코드 초안 개정작업이 실시되었으나 유로코드 발간사업의 가속화를 위해 새로운 기본적 요구사항을 설정하고 유럽표준화위원회(CEN)를 설립하였다. 1990년부터 CEN이 유로코드 발간사업을 총괄하고 있으며, 각국의 표준화기관은 ENV기준의 검토와 수정을 실시하고 있다. 현재 설계의 기본에 관한 EN1990(Eurocode 0), 하중에관한 EN1991(Eurocode 1), 콘크리트구조에 관한 EN1992(Eurocode 2), 강구조에 관한 EN1993(Eurocode 3), 합성구조에 관한 EN1994(Eurocode 4) 목구조에 관한 EN1995(Eurocode 5), 조적식 구조에 관한 EN1996(Eurocode 6), 지반설계에 관한 EN1997(Eurocode 7), 내진설계에 관한 EN1998(Eurocode 8), 그리고 알루미늄 구조에 관한 EN1999(Eurocode 9)가 발간되었으며 이러한 EN발간 후, 각국의 국내기준은 공존기간 3년을 거쳐 폐지하게 된다.

'Eurocode'에서는 강구조물 및 강합성구조물에 대한 다양한 성능의 한계상태를 규정하고 있으며, 부분계수를 이용한 합리적 설계개념을 도입하고 있다. 또한, 사용성 등의 일부 성능에 대해서는 건설 프로젝트마다 요구조건을 다르게 설정할 것을 권장하고 있으며, 적절한 해석방법에 의해 구조해석을 실시하여 구조물의 성능을 보다 정확하게 구해낼 수 있도록 하고 있다. 또한, JCSS(Joint Committee on Structural Safety)에서는 'Probabilistic Model Code'를 개발 중에 있다. 여기에서는 확률적인 하중 모형과 저항 모형을 제시하고 있으며 이를 이용하여 보다 합리적이고 정확한 구조물의 성능을 평가할 수 있도록 하고 있다.

바. 지진 발생 후 철도 인프라 복구 기술

○ 미국 재난방재청 (FEMA) 에서는 구조물의 종류별로 신축구조물의 내진설계 및 기존 구조물의 내진보강에 대한 구체적인 지침을 제공하고 있으며 전기/통신/기계설비 등의 비구조 설비등의 내진성능 확보를 위한 지침도 함께 제공하고 있음. 또한

지진 손상을 입은 구조물에 대한 복구 가이드라인을 제시함. 또한 FEMA에서는 지진 재해 예측, 피해 산정, 복구 지원이 가능한 HAZUS(HazardUS)라는 지진 손실산정 시스템을 개발 구축하여 사용하고 있음

○ 철도 선로 검측 시스템을 선도적으로 연구개발하고 상품화한 국가로는 이탈리아, 독일, 프랑스를 들수 있으며 측정 방식은 레이저, 화상, 광에 기반을 둔 기술을 채택하고 있음

○ 검측 대상은 차선높이 , 편위, 마모 및 이선율 등이며 시스템 자동화 및 통합화가 이미 완료 되었거나 진행 중에 있음

○ 독일의 경우 전차선로 상태모니터링 및 진단을 위해 차량측에 있는 팬터 그래프에서 동적특성을 측정하여 이 데이터를 무선으로 전파로 전송하는 방식과 광센서를 이용하는 방식이 개발되어 실무적으로 투입 됨

○ 일본의 경우 전차선 모니터링 시스템을 텔레메트릭스 기술을 이용하는 상품을 개발하였고 특수 구간 및 중요한 구간에 설치하여 활용 중임

○ 유럽은 선로변에 고정 설치된 센서를 통하여 전차선을 검측, 감시하고, 열차지붕에 있는 센서를 통하여 팬터그래프의 정보를 수집하여, 두 수집된 정보를 관련센터로 실시간으로 전송하여 모니터링 하는 EUROPACAS 프로젝트를 추진 중임

○ 전차선로 차상 검측 시스템의 경우 철도의 고속화에 따라 고속용과 기존선용으로 나뉘어 검측시스템이 개발되어 상품화되어 있는 상황임

○ 일본의 재해정보시스템(Disaster Information System ; DIS)은 대규모 지진 발생으로 큰 피해가 발생했을 때, 피해에 대한 각종 정보가 부재한 상태에서 대응조치를 가능한 한 신속하고 효율적으로 수행할 수 있도록 지진피해예측 및 대응방안에 대한 정보를 제공하는 시스템임. 1995년 한신 대지진에서는 피해상황의 조기파악과 정확한 초동대응, 관계기관에서의 정보의 공유화와 강화의 중요성이 재인식되었음. 그 경험을 토대로 국토청에서는 피해상황의 조기파악과 관계기관에서의 정보의 공유화에 의한 응급복구시의 신속하고 정확한 의사결정을 지원하는 것을 목적으로 DIS의 개발을 수행하였으며, 현재 내각부에서 관리 운영하고 있음

○ 일본의 재해정보시스템은 지진피해 조기평가시스템(Early Estimation System : EES)과 응급대응시스템(Emergency Measures System : EMS)을 구분하여 독립된 서버로 이루어져 있음. 먼저 EES 서버를 세 개의 계통으로 구분하여 구성하고 있는데, 이 중 둘은 내각부 본청에 구성하고, 다른 하나는 다치가와(立川)에 설치하고 있음. 이 부분은 기상청의 진도정보를 수신하고, 이에 따라 EES를 통한 피해를 추계하며, 그 결과를 게시하는 것으로 구성됨. 다치가와의 서버는 두 서버를 보충해 주는 서버로 지역을 달리하여 유사시에 운용할 수 있도록 하고 있음. 또한, EES 클라이언트가 독립적으로 구성되어 추계 결과를 도상에 제시할 수 있도록 하였음. 지진피해 조기평가시스템(EES)은 지진 발생 직후의 정보가 한정된 상황 하에서 피해 위치 및 규모의 개요를 단시간에 추계한 것이고, 정부의 초동 체제에 있어서 신속하면서 적절한 판단을 할 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고 있음. 일본에서 EES는 1996년 운용을 시작하였음

○ 지진응급대책지원시스템(EMS)은 재해 시에 관계 기관에 있어서 정보의 공유화의 구조를 구축하고 정부의 응급 대책 활동을 지원하는 것을 목적으로 하고 있임. 응급대책지원시스템은 도로, 공항, 항만 등의 긴급수송 관련시설과 소방서, 학교, 물자비축장소 등 방재관련 정보를 지리정보시스템(GIS)상에 평상시부터 데이터베이스로서 정비해 두고, 재해 시 관계성청과 자치단체로부터 수집한 피해정보를 분석 정리하여 응급대책에 활용할 수 있도록 하고 있음. 중앙방재회의의 관계 성청에 대해서는 1998년으로부터 단말기 설치를 시작하고 중앙방재무선을 이용한 DIS의 네트워크 구축을 진행하고 있음. 구조, 의료, 긴급 수송 등의 어플리케이션의 개발도 진행하고 있음. 응급대책지원시스템은 방재정보관리시스템, 피해정보시스템, 긴급수송대책지원시스템, EES 연동시스템, 병원수송응급대책지원시스템, 라이프라인 피해입력 시스템, 웹 출력 시스템 등으로 구성되어 있음

○ 미국 캘리포니아 교통국(CALTRANS)에서는 지진 후에 교량의 안정성과 사용성을 평가하고 손상을 복구하는 실용적인 방법을 제시하기 위한 연구를 Nevada 대학과 함께 연구 중임. 교량 구조물에 진동대 실험을 통해 실제 손상을 가한 후에 다양한 응급복구 방법을 적용하여 타당성 분석을 진행 중임

사. 지진 조기대응시스템 기술

○ 일본의 철도는 기상청 등 정부기관의 전국 규모의 지진관측네트워크가 정비되어 긴급지진속보를 전송하는 계획이 추진되어 왔으며, 일본철도총연(RTRI)에서는 이러한 지진속보를 활용하는 범용적이고 경제적인 열차제어시스템의 개발을 추진하고 있음. 지진하중을 고려한 동적 상호작용 해석을 바탕으로 지진 중 주행차량의 안전성 확보를 위해 지진조기검지시스템이 구축되어 있으며 지진에 의한 탈선 안전성 향상을 위해 관련 연구개발이 활발히 이루어지고 있고 열차 운영 기준과의 연계가 구축되어 있음. 또한, 지진재해 예측, 피해산정, 복구 지원을 위해 HERAS(Hazards Estimation and Restoration Aid System)을 개발하여 사용하고 있음

○ 일본의 조기경보시스템 구축 및 활용

- 세계 최초로 초기 지진의 미세한 움직임을 포착하여 알려주는 “긴급지진탐지경보시스템”(Urgent Earthquake Detection and Alam System)을 개발하여 운영
- 고성능 지진계로 지진 정보를 분석한 뒤 지진의 여파가 도달하는데 걸리는 시간과 진도를 미리 알려주는 방식
- 철도회사와 건설업체, 연구소 등 41개 기업과 기관이 참여되어 있고, 속보를 받아보는 기업이나 기관 등은 속보 후 전철을 멈추거나 공장 기계의 작동을 중단하는 등 대비조치, 오다큐 전철 등 일부 민간전철은 속보를 받는 체제를 갖춤. 속보 전달시 열차 운전석의 벨에 자동경보가 울리며 경보 직후 기관사는 열차를 긴급정지

2. 국내 기술 동향

가. 내진기준 기술 및 산업 동향

(1) 철도인프라 내진설계기준 분석

○ 철도인프라 내진설계기준과 관련된 주요 국내기준은 다음 그림과 같으며, 각각의 기준의 세부내용을 분석하고자 하였음

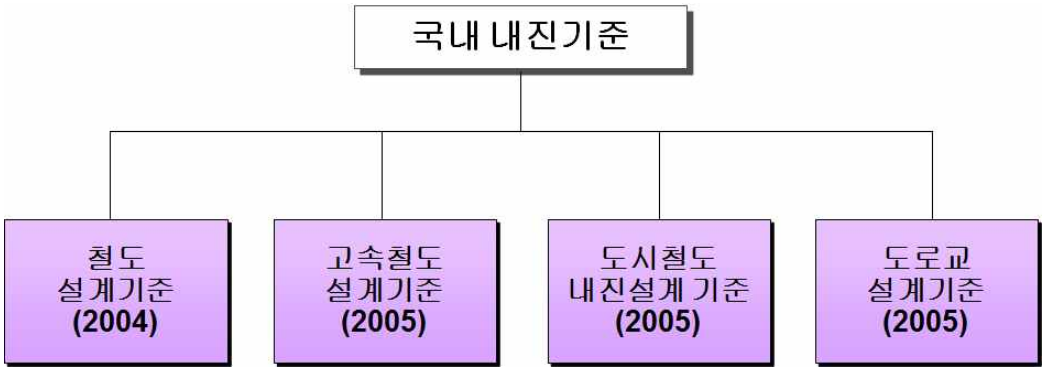


그림 2.17 국내 철도인프라 관련 기준

○ 철도설계기준 (2004)

- 건설교통부의 연구과제 '내진설계기준연구(Ⅱ)'(1997.12.)에서 제시된 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과 중 현재 수준에서 인정할 수 있는 일부 규정만을 채택하여 현재의 설계기준체계에 반영하여 제정됨. 따라서 본 설계기준은 기능수행수준은 반영하지 않고 붕괴방지수준에 기초를 두고 있으며 다음의 기본개념 하에 작성됨

· 인명피해를 최소화함
· 지진 시 교량부재들의 부분적인 피해는 허용하나 전체적인 붕괴는 방지함 (전체적인 붕괴 방지 -> 급격한 붕괴 방지)
· 지진 시 가능한 교량의 기본적인 기능은 발휘할 수 있게 함
· 교량의 정상수명 기간 내에 설계지진력이 발생할 가능성은 매우 적음
· 설계기준은 남한 전역에 적용될 수 있음
· 본 설계기준을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정함

- 내진설계기준연구에서 제시된 내진설계 개념은 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 교량의 중요도 등에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분하여 만족시키도록 규정한 보다 발전적인 설계개념이지만, 이를 구현하기 위한 세부적인 설계지침에 대한 연구가 아직 미비함
- 내진등급 별 설계지반운동수준: 내진등급은 교량의 위치, 연장, 상·하부구조, 지간, 선로용량, 우회선로의 활용성 등을 종합적으로 고려하여 분류하고 각 내진등급별 붕괴방지수준에 적합한 지진지반운동수준은 다음과 같음

· 내진Ⅱ등급 : 일반적인 교량으로 평균재현주기 500년(50년 내 발생확률 10%)

· 내진Ⅰ등급 : 특별히 관리할 필요가 있는 교량으로 평균재현주기 1000년(100년 내 발생확률 10%)

○ 고속철도설계기준(노반편, 2005)

- 다중내진성능수준: 고속철도설계기준(노반편)의 내진설계의 기본방침은 도로교설계기준(2005) 및 철도설계기준(철도교편, 2004)과 동일함
- 내진성능수준 및 설계거동한계

· 기능수행수준(100년 주기의 설계수준) : 설계지진 발생 시 감속된 상태로 운행하는 기차의 주행안전성을 보장함.

▸ 열차의 안전성을 보장하는 것으로 고속철도 구조물의 변형, 응력, 진동 및 궤도틀림 등이 열차의 안전성을 위협해서는 안 되며, 탄성영역의 거동이 지배적이어야 함. 기초지반의 영구적인 침하나 액상화가 발생하여서는 안 됨.

· 붕괴방지수준(설계지진력의 설계수준) : 설계지진 발생 후의 피해 정도를 최소화하고 구조물을 구성하는 부재들의 부분적인 피해는 허용하나 구조물의 전체적인 붕괴는 방지함.

▸ 설계지진 발생 후에 구조물의 전체적인 붕괴는 방지하는 것으로 보수 및 보강이 가능한 정도의 피해만을 허용하며 구조물의 연속성을 확보하기 위한 중요부재가 극한강도를 초과하면 안 됨.

▸ 구조물은 탄성한계를 초과하여 비탄성 상태의 변형이 허용되므로 이에 따른 구조물의 연성과 여용성(Redundancy)이 확보되어야 하며, 필요시 구조물의 붕괴방지를 위하여 추가적인 안전장치가 설치되어야 함

▸ 기초지반에는 구조물 전체의 안전성을 위협하는 어떠한 손상도 발생하여서는 안 됨

▸ 구조물의 중요성과 교체비용을 감안하여 특정한 철도구조물에 대해서는 붕괴방지

수준에서 붕괴가 되지 않는 한도 내에서 보수가 불가능한 정도의 피해도 허용될 수 있고, 이 경우에는 해당 부위의 교체 시공에 대한 대비가 필요함.

- 내진등급별 설계지반운동수준: 내진등급은 교량의 중요도에 따라서 분류하고 설계지반운동의 수준은 다음과 같이 분류함

· 내진Ⅱ등급 : 내진특등급과 내진Ⅰ등급에 속하지 않는 교량으로 평균재현주기 500년(50년 내 발생확률 10%)

· 내진Ⅰ등급 : 중요 교량 : 평균재현주기 1000년(100년 내 발생확률 10%)

○ 도시철도 내진설계 기준 (2005)

- 다중내진성능수준: 내진설계란 지진 시나 지진이 발생된 후에도 구조물이 안전성을 유지하고 그 기능을 발휘할 수 있도록 설계 시에 지진하중을 추가로 고려하여 설계를 수행하는 것을 의미함. 도시철도 구조물 내진설계는 성능에 기초한 내진설계개념을 도입하였으며, 성능수준은 '기능수행수준'과 '붕괴방지수준'으로 구분하고, 각 성능수준에서의 설계 기본 원칙을 다음과 같이 설정함

· 기능수행수준 : 중간 이하의 규모를 가진 지진에 대해서는 구조부재들이 탄성영역내에서 저항하여 심각한 손상을 입지 않아야 함

· 붕괴방지수준 : 비교적 큰 규모의 지진에 의한 지반진동에 의해서도 구조물의 전부 또는 일부가 붕괴되어서는 안 되며, 가능하면 지진에 의한 피해의 예측이 가능하고 피해조사와 보수를 위해 현장접근이 가능하도록 설계를 하여야 함

- 성능수준별 지진지반운동수준: 도시철도 내진설계 기준에서 내진설계의 대상으로 선정하고 있는 도시철도 구조물은 '내진 1등급'의 내진 성능을 갖도록 하며, 등급별 내진성능 목표에서 고려하는 설계지진강도는 기능수행수준에서는 평균재현주기 100년(10년 내 발생확률 10%), 붕괴방지수준에서는 평균재현주기 1000년(100년 내 발생확률 10%)에 해당되는 지진지반운동으로 함

- 적용범위: 도시철도 구조물중 지하와 지상의 경계부 혹은 지상에 건설되는 경우는 『철도설계기준(철도교편)』의 내진설계 관련규정을 적용함

○ 도로교 설계기준 (2010)

- 지진 하중에 대한 교각의 목표 연성을 '완전연성'에서 '한정연성 및 완전연성'으로 개정하여 일률적으로 적용하던 응답수정계수 대신 교각의 소요연성도를 직접 구하는 방법을 제시하고 있음

표 2.39 국내 주요 내진설계기준의 비교

기준	대상	지진동수준 (재현주기)			요구성능	해석법 및 특징
		등급	기능 수행	붕괴 방지		
건축구조기준 (2009)	건축법에 의한 건축물 및 공작물	특	×	2400년	- 붕괴방지수: 설계지진 작용시 구조물이나 시설물에 상당한 변형이나 손상이 발생할 수는 있지만 그 수준과 범위는 구조물이나 시설물이 붕괴되거나 또는 구조물이나 시설물의 손상으로 인하여 대규모 피해가 초래되는 것을 방지	- 해석법의 제한 ·설계범주 A,B-등가정적해석법, C-등가정적해석법 또는 동적해석법(고층건축물에 한함), D-등가정적해석법(저층건물에 한함) 또는 동적해석법 - 동적해석법의 종류 ·응답스펙트럽해석법 ·선형시간이력해석법 ·비선형시간이력해석법 - 지진하중의 흐름을 급격히 변화시키는 주요부재에 특별지진하중을 적용
		Ⅰ	×	1000년		
		Ⅱ	×	500년		
도로교설계기준 (2010)	도로교	Ⅰ	×	1000년	- 붕괴방지수준: 지진시 교량 부재들의 피해는 허용하나 전체적인 붕괴는 방지	- 해석법 ·단일모드 응답스펙트럼해석법 ·다중모드 응답스펙트럼해석법(정밀해석 요구시) - 구조물의 연성을 완전연성으로 봄
		Ⅱ	×	500년	- 붕괴방지수준:지진시 가능한 한 교량의 기본 기능은 발휘	
철도설계기준-노반편 (2011)	철도교	도로교와 동일			- 도로교와 동일	-도로교와 동일
도시철도	개착식	Ⅰ	100년	1000년	- 기능수행수준: 구조	- 해석법

내진설계기준 (2009)	본선BOX 및 정거장 본체 구조물				부재들이 탄성영역 내에서 저항하여 심각한 손상을 입지 않아야 함 - 붕괴방지수준: 구조물의 전부 또는 일부가 붕괴되어서는 안되며, 피해조사와 보수를 위해 현장접근이 가능하여야 함	·응답변위법 ·시간이력해석법(상세검토 필요시, 지반-구조물 상호작용 고려하는 경우 등) - 2차원 횡단면 해석을 원칙으로 함 - 기능수행수준의 경우 탄성한도 내에서 거동하도록 규정
		II	50년	500년		
궤도시설의 건설에 관한 설비기준 (2010)	궤도운송법에 의한 삭도시설	II	×	500년	- 붕괴방지수준	- 해석법 ·등가정적해석법 ·Mononobe-Okabe방법(항복벽체에 한함) - 액상화평가와 동적해석을 적용하지 않음
공항시설 내진설계기준 (2004)	비행장 건축물 교량 지중구조물 기타시설물	특	200년	2400년	- 기능수행수준: 항공기 이착륙 및 긴급차량의 통행이 가능해야 함 - 붕괴방지수준: 활주로, 유도로, 계류장의 전체 또는 일부가 붕괴되지 않고 단기간에 보수가 가능해야 함	-건축물의 경우 건축구조기준의 하중을 적용
		I	100년	1000년		
		II	50년	500년		
댐 설계기준 (2005)	콘크리트 중력식댐, 필댐, 아치댐	특	200년	2400년	- 기능수행수준: 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용하나 저수기능은 유지되어야 함 - 붕괴방지수준: 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않아야 함	- 해석법 ·등가정적해석법 (진도법) ·동적해석법
		I	100년	1000년		

(2) 철도인프라 분류에 따른 내진설계기준

○ 시설물별 내진설계기준

- 시설물의 본격적인 내진설계는 자연재해대책법(1997년)에 따라 시설물이 지진에 대해 안전하게 설계되도록 법제화 되면서 부터임. 몇몇 주요시설물은 그 이전부터 독자적인 설계기준에 따라 내진설계가 되어 왔으나 내진설계가 수행되지 않았던 시설물은 “내진성능기준(1997년)”에 부하되는 새로운 내진설계기준을 마련하기도 하고 다른 시설물의 설계기준을 따라 내진설계를 수행하고 있음. 자연재해대책법이 지진재해대책법(2008년)으로 확대·개정되면서 내진설계 의무화 시설로 새롭게 지정된 시설물들은 아직까지 구체화된 내진설계기준을 마련하지 못하고 있음

○ 지진재해대책법(2008)

- 내진설계기준의 설정

· 건축물, 공항시설 등 31개 주요시설물에 대하여 내진설계를 하도록 함으로써 지진 발생시 시설물 피해를 최소화 하고 시설물의 기능을 유지하기 위함이며, 그중 철도인프라 내진설계와 관련된 사항을 선택함

· 「건축법」에 따른 건축물

· 「도시철도법」에 따른 도시철도

· 「전기사업법」에 따른 발전용 수력설비 및 화력설비, 송전설비, 배전설비, 변전설비

· 「철도산업발전기본법」에 따른 철도시설

· 「철도건설법」에 따른 고속철도

· 「전기토신기본법」에 따른 전기통신설비

○ 철도 인프라 분류 및 내진기준

- 철도산업발전기본법 제3조 제2호에 의해 다음과 같이 구분됨

표 2.40 철도시설물 분류

구분	건축물의 용도 및 규모
철도시설	선로(선로에 부대되는 시설포함)
	역 시설 및 철도운영을 위한 건축물, 건축설비
	선로보수기지, 차량정비기지, 차량유치시설
	전철전력설비, 정보통신설비, 신호 및 열차제어설비
	철도노선 간 또는 다른 교통수단과의 연계운영에 필요한 시설
	개발·시험 및 연구를 위한 시설
	경영연수 및 철도 전문인력의 양성을 위한 교육훈련시설
	건설·유지보수 및 운영을 위한 교육훈련시설(대통령령이 정하는 시설)

- 철도교는 철도설계기준(대한토목학회, 2004)의 철도교편에 따름. 지간 150m 이하의 철도교량에 적용하며 가동교량(movable bridge), 아치교량, 지간이 150m를 넘는 교량에는 적용하지 않음. 도로교설계기준과 동일하게 내진 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 분류하며 각각 재현주기 1000년, 500년 지진에 대해 붕괴방지수준을 만족하도록 규정함. 도로교설계기준과 동일한 설계응답스펙트럼을 사용함
- 고속철도시설물 내진설계기준(한국고속철도건설공단, 2000)에 따름. 교량, 터널, 방토구조물(성토, 옹벽, 암거 및 배수구), 건축물(고가역사, 지상역사, 공공업무시설, 일반 건축물 등) 및 전기시설물에 적용함. 고속철도교량은 철도설계기준의 철도교와 동일하며, 건축물은 관련설계기준을 따름

표 2.41 고속철도 시설물 분류

구분	건축물의 용도 및 규모
고속철도 시설물	철도의 선로(선로에 따리는 시설포함)
	역 시설 및 철도운영을 위한 건축물·건축설비
	선로 보수기지, 차량 정비기지 및 차량 유치시설
	철도의 전철전력설비, 정보통신설비, 신호 및 열차제어설비
	철도노선 간 또는 다른 교통수단과의 연계운영에 필요한 시설

- 도시철도 내진설계기준(건설교통부, 2005)을 따름. 지하에 건설되는 개착식 본선 박스구조물, 정거장 본체 구조물과 같은 지하에 건설되는 주요 구조물을 대상으로 함. 기본적으로 “내진성능기준(1997)”을 따름. 도시철도 구조물은 모두 내진 Ⅰ등급으로 분류하며 재현주기 100년, 1000년에 대해 각각 기능수행수준, 붕괴방지수준을 만족하도록 규정함. 설계지반운동, 설계응답스펙트럼은 내진성능기준과 동함. 도시철도 내진설계기준은 2009년 국토해양부에서 개정함

표 2.42 도시철도 시설물 분류

구분	건축물의 용도 및 규모
도시철도에 의한 분류	선로, 역사 및 역무시설(물류시설·환승시설 및 편의시설 등을 포함)
	선로보수기지, 차량정비기지, 차량유치시설 및 창고시설
	전철전력설비, 정보통신설비, 신호 및 열차제어설비
	개발·시험 및 연구를 위한 시설
	경영연수 및 철도전문인력의 양성을 위한 교육훈련시설
	건설·유지보수 및 운영을 위한 교육훈련시설(대통령령이 정하는 시설)
내진에 의한 분류	교량
	역사 - 지상역사, 고가역사 및 지하역사 구조물
	터널

○ 건축물 분류 및 내진기준

- 건축물의 등급은 건축물의 중요도에 따라 내진 특등급, 내진I등급, 내진II등급으로 분류함

표 2.43 건축물의 내진등급

구분	건축물의 용도 및 규모
내진특등급	• 연면적이 1천 제곱미터 이상인 위험물 저장 및 처리시설, 종합병원, 병원, 방송국, 전신전화국, 발전소, 소방서, 공공업무 시설 및 노약자 시설 • 15층 이상 아파트
내진I등급	• 연면적이 5천 제곱미터 이상인 관람집회시설, 운동시설, 운수시설, 전시시설 및 판매시설 • 5층 이상인 숙박시설, 오피스텔, 기숙사 및 아파트
내진II등급	• 내진등급 구분 특등급 및 I등급에 해당하지 않은 건축물

- 건축물에서 비구조요소인 전기설비에 관한 내진설계 부분으로는 건축법(2008.6.5) 제5장의 건축물의 구조에 대해 제 48조에서 건축물은 고정하중, 적재하중, 적설하중, 풍압, 지진, 그 밖의 진동 및 충격 등에 대하여 안전한 구조를 가져야 한다고 규정하고 있고, 건축물 및 공작물의 구조체에 대한 설계, 실험 및 검사, 설계하중, 재료강도, 제작 및 설치, 품질관리 등의 기술적 사항을 규정함으로써 건축물 및 공작물의 안전성, 사용성 및 내구성을 확보하기위하여 건축구조설계기준(2005.4.6)을 제시함. 건축구조설계기준의 제 3장 설계하중에서 0306 지진하중 부분에서 0306.9항의 건축, 기계 및 전기 비구조요소 부분에 대한 내진설계 부분을 제시함. 내진설계가 되어 있는 건축물 내에 영구히 설치되는 건축, 기계 및 전기설비 등의 비구조요소는 0306.9의 규정에 따라 결정된 등가정적 하중과 변위에 견디도록 내진설계를 하도록 규정함. [건축구조설계기준(2005) 및 건축법(2008)]

○ 철도설비의 분류 및 내진기준

- 국내 전력시설물의 분류형식 및 체계는 크게 전력생산을 위한 발전원별 발전시설과 전압별 전력공급과 관련된 전기설비인 송전설비, 변전설비 및 배전설비로 분류함

표 2.44 송전·배전·변전설비 시설물 분류

구분		세부 항목
송전설비	선로	공선로, 지중선로, 수중선로
	지지물	철탑, 철주, 철관주, 콘크리트주, 목주
변전설비	옥내변전소	변압기, 차단기, 단로기, 절연애지 및 GIS
	옥외변전소	철구형과 GIS(가스절연개폐장치)
배전설비	선로	가공, 지중 및 수중선로
	지지물	콘크리트주, 강과주, 목주, 강과철주, 철주 및 철탑
	변압기	공 및 지중변압기

표 2.45 시설물별 내진등급

구분	세부 항목
송·변전, 배전설비	송·변전설비 내진설계기준을 적용하여 구조물의 중요도에 따라 내진 특등급, 내진I등급으로 구분

- 전철전력설비 현황

표 2.46 송변전설비

구 분		단위	계	일반철도	고속철도	비 고
변전소(SS)	직 류	개소	5	5	-	
	교 류	〃	38	33	5	
급 전 구 분 소(SP)		〃	42	36	6	
보조급전구분소(SSP)		〃	106	106	-	
병 렬 급 전 소(PP)		〃	13	-	13	
급 전 제 어 소(CC)		〃	4	1	3	
송전선로 (연장)	가 공	㎞	759.5	608	151.5	
	지 중	〃	389.5	359.7	29.8	
	계	〃	1,149	967.7	181.3	

표 2.47 전철설비

구 분	단위	계	일반철도권	고속철도	비 고
전철 영업 거리	㎞	1,889.8	1,649.5	240.3	전철화율 55.9%
전차선 가선거리	㎞	5,825.4	5,180.9	644.5	

표 2.48 전력설비[3)]

구 분		단위	계	고속선	수도권	산업선	경부선	호남선	기타선	관리단
배전선로	가선거리 (영업거리 기준)	㎞	3,876.1	444.6	512.7	742.7	894.2	505.4	776.5	-
	가선연장		11,628.3	1,333.8	1,538.1	2,228.1	2,682.6	1,516.2	2,329.5	-
수전변전실		개소	106	5	26	7	21	10	34	3
비상발전기 (100㎾ 이상)		대	19	5	4	-	5	-	-	5

- 전차선로설비

· 차량의 판타그래프와 접촉하여 전기를 공급하는 전차선 등의 전선로

· 전차선과 판타그래프의 동적 특성이 전기차의 속도를 좌우하는 중요한 요소

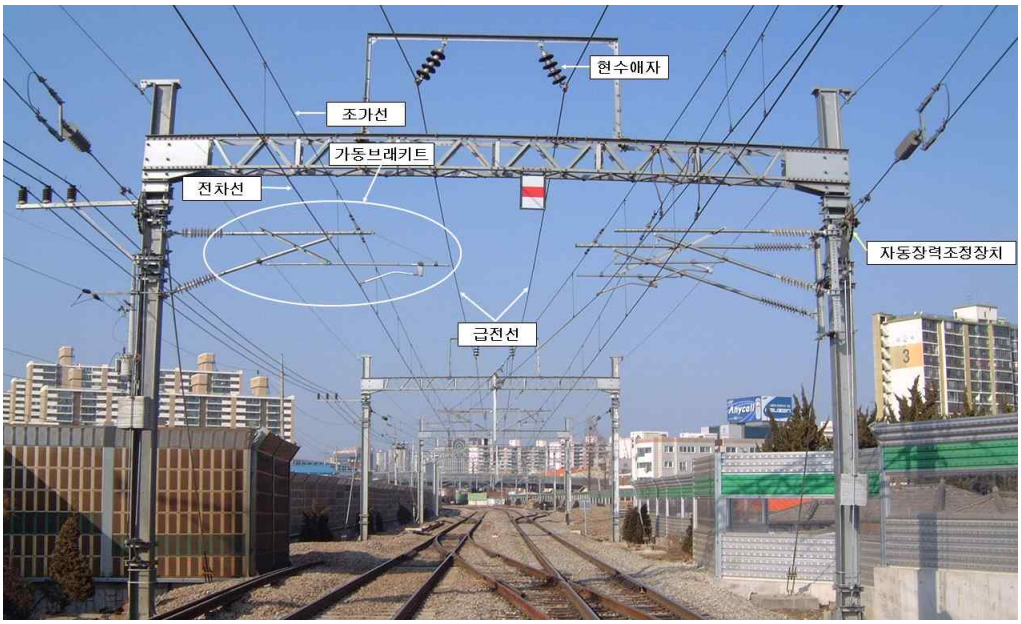


그림 2.18 일반철도 전차선로 전경

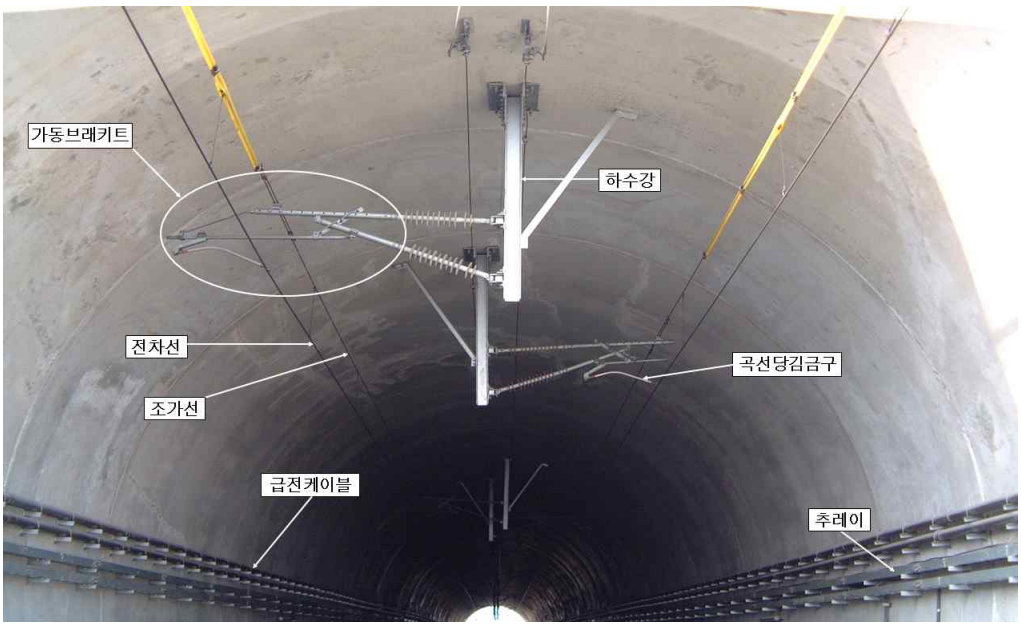


그림 2.19 터널내 전차선로 전경

주3) 한국철도공사 전기기술단(2009.12.31 기준)

- 전기통신기본법 및 전기통신설비의 기술기준

· 설비 시설 종류를 정의하며 전기통신기본법과 전기통신설비의 기술기준에 관한 규칙 및 정보통신부 관계 고시(전파연구소고시 제2006-69호 및 70호)등으로부터 종합적으로 분석하고 이를 다시 사업자 시설 영역으로부터의 실제적 장비 부류들과 연관시켜 정리함

표 2.49 철도 통신설비 분류[4)]

구 분		계		일반선	고속선
銅 케 이 블		㎞	3,384	3,145	239
光 케 이 블		㎞	2,819	2,580	239
교환설비		대	62	59	3
열차방호장치		대	1,301	1,209	92
자동화재탐지설비	수신기	대	786	736	50
	발신기	대	5,869	5,816	53
	감지기	대	52,527	52,314	213
전송설비	PCM단국	대	1,054	890	164
	광 단 국	대	1,179	1,056	123
관제전화	운용장치	대	104	91	13
	자 장 치	대	1,393	1,231	162
관제원격방송장치	주 장 치	대	1	1	-
	운용장치	대	1	1	-
	자 장 치	대	387	387	-
열차무선설비	역 용((VHF/TRS)	대	858/57	858/19	-/38
	휴대용(VHF/TRS)	대	12,504/487	12,366/287	138/200
	기관차용(VHF/TRS)	대	1,179/253	1,172/218	7/35
안내설비	여객자동	역	61	59	2
	열차행선	역	179	178	1
영상감시설비	광역전철	역	175	175	
	일반선/고속선	역	173	171	2
	고속선	개소	46		46

주4) 한국철도공사 전기기술단(2009.12.31 기준)

		종합감시시스템				
역무 자동화 설비	MS	중앙전산기	대	2	2	-
		센터설비	대	50	50	-
		역단위전산기	대	176	176	-
		자동발권기	대	6	6	-
		자동발매기	대	983	983	-
		자동개집표기	대	2,871	2,871	-
		지폐교환기	대	63	63	-
		보증금환급기	대	261	261	-
	RF	집계기	대	176	176	-
		단말기	대	3,190	3,190	-
		정산기	대	574	574	-
		유·무인충전기	대	563	563	-
		비상게이트통화장치	대	167	167	-

표 2.50 신호제어설비 현황[5)]

장 치 별	내 용	총시설량			비 고
		연 장 (㎞)	역 수 (역)	설치율 (%)	
열 차 집 중 제 어 장 치 (C.T.C)	고속신선 (시흥~대 구)	238.6	19	59.4	총영업거리 (3,381.2㎞)
	수 도 권 (경인선외 7개선)	267.4	79		
	경 부 선 (수원~부 산)	400.2	59		
	호 남 선 (서대전~목 포)	252.5	34		
	중 앙 선 (청량리~영 천)	339.3	69		
	태 백 선 (제천~백 산)	103.5	19		
	영 동 선 (영주~강 릉)	193.6	32		
	충 북 선 (조치원~봉양)	115.0	16		
	장 항 선 (천안~신창)	19.4	4		
	묵호·삼척·부전·범일·가야·광주·함백선	80.4	9		
	계	2,009.9	340		
열차자동제어 장치(A.T.C)	고속신선 과천·분당·일산선	299.9	46	8.9	
자동폐색장치 (A.B.S)	경부선외 21개선	2,606.9	392	77.1	
열차자동정지 장치(A.T.S)	경부선외 53개선	3,381.2	521	100	
연 동 장 치	전 자 식	-	306	58.7	주평, 장생포
	전 기 식		190	36.5	
	기 기 집 중		23	4.4	
	기 계 식		2	0.4	
	계		521	100	
건 널 목 보 안 장 치	1종 (안전표지,경보기,차단기)	-	1,184	90.2	신설:3 철거:△87 종별변경:24 (1,2→3종)
	2종 (안전표지,경보기)		18	1.4	
	3종 (안전표지)		111	8.4	
	계		1,313	100	

주5) 한국철도공사 전기기술단(2009.12.31 기준)

표 2.51 내진설계 적용 대산 통신설비 분류

대분류	중분류	세부 항목
통신국사	-	(건물 자체)
통신 기계실	직접 통신 중계 및 전송장치류	교환기, 단국장치, 전송장치, 정합장치, 변환장치, 분배장치 등
	정보화 기기류	중앙처리장치, 서버, 데이터 저장장치, 수요자 인터페이스 망접속장치 등
	케이블 시설류	배선반(MDF), 배선/배관 시설, 케이블 트랙 및 이들의 고정장치류
	전원 및 전력시설물	자체 발전기, 정류기, 전원공급 장치류, 전원분배시설, 변압기, 배터리, 예비전원 관련 시설, UPS, 설치 부대 트레이류, 전원 케이블 인터페이스 고정장치류
	기타 부대 시설	엑세스플로어, 냉바기(에어컨 등), 항온항습기, 온도조절제어장치 및 시설류
옥외설비	공중선주	철탑시설류(나대지 또는 산정상 기지국 시설 및 옥상철탑, 철주), 전주류(강관주, 콘크리트주, 광중계기를 포함한 전주), 간이폴, 원폴 등
	컨테이너 시설	컨테이너 박스 자체와 그 내부 장비시설류
	함체시설류	국사내 시설 장비류를 대지 기반에 직접 시설하는 유형의 독립적 장비 시설류
	선로 구조물류	통신구, 관로, 맨홀/핸드홀 등
	기타	안테나 독립 시설(위성 안테나, 방송 안테나), 특정 전주 시설 등

- 철도의 전철화 및 기술 개발과 더불어 전력/통신/신호 등의 설비가 철도 운영에 미치는 영향이 증대하고 있으나, 우리나라 송-변전 설비의 내진율은 56.3%에 그치고 있으며 건축물의 내진설계와 통합된 개념으로 내진설계가 이루어지고 있기 때문에 철도 시스템에 특화된 전력설비의 내진설계기준이 따로 마련되어 있지 않은 상태이며 또한 통신/신호 설비의 내진설계기준도 부재함

- 전기/통신/신호 설비는 Access floor 위에 설치되어 있으며, floor는 지주봉으로 지지되어 있으나, 지주봉의 내진성능이 충분하지 않아 지진 시에 전도될 위험성이 큼. 또한, 건물의 바닥에 놓여 있는 경우 대부분이 앵커로 고정되어 있지 않고 놓여 있기 때문에 지진 시에 활동 또는 전도에 의해서 기능을 상실할 위험이 있으며, 이러한 전기/통신/신호 설비의 고장은 철도의 운행에 지장을 주어 피해를 발생시킬 수 있음
- 전기/통신/신호 장비의 내진설계 기술은 전파연구소에서 작성한 “전기통신설비의 내진시험에 대한 절차와 층응답스펙트럼을 제시하고 있으며, 발변전 규정의 내진시설편에 발변전소 등의 전기시설물에 관한 내진설계기준을 제시하고 있음. 그러나 이러한 기준은 체계적이지 못하고 포괄적이지 못하여 모든 전기/통신/신호에 적용할 수 없으며, 특히 철도와 관련된 전기/통신/신호 설비의 내진설계를 위해서는 새로운 설계기법의 개발이 필요함
- 1988년 제정된 “건교부의 건축물의 구조 기준 등에 관한 규칙” 제 14조 9항 ‘ 비구조 부재 및 건축설비의 내진설계’에 관한 규정이 있으나, 간단한 조치사항만 언급함으로써 구체적, 실질적 내진기준으로 미흡함
- 건축구조설계기준(KBC2009)에서 구조물에 영구히 설치되는 건축, 기계 및 전기설비 등의 비구조요소는 규정에 따라 결정된 등가정적 하중과 변위에 견디도록 설계하고 있으나, 구체적인 각 설비별 특성을 고려한 세부적 설계기준, 설계지침은 명시하고 있지 않음
- 건축, 기계 및 전기 비구조요소에 기준은 제시하고 있으나 구체적인 설계방법, 시공지침이 마련되어 있지 않고 있어 실제 활용에 큰 문제점이 있음
- 건축법상에도 강제적인 구속력이 없어 설비에 대한 내진설계를 미실시하는 경우가 다수 발생함
- 미국과 일본은 전기/통신/신호 설비에 대한 내진설계가 신설구조물에 상당 수준 반영되어 있는데 반해 국내의 경우 구조물에는 내진설계가 반영되었으나, 설비에는 내진설계가 반영되어 있지 않은 경우가 대부분이어서 지진 시에 구조물은 안전하지만 설비는 피해를 입을 가능성이 상대적으로 높음

- 지진격리설계 및 기술 :

· 전기/통신/신호 설비가 건물의 고층에 위치하고 있거나 진도에 민감하여 발생 가속도에 한계를 주어야 할 경우에 지진격리 시스템을 통해서 설비를 지진으로부터 보호할 수 있음

· 국내의 전기/통신/신호 설비에 대한 지진격리 설계는 아직 기준이 없으며, 업체에서 특별한 개발한 설계기법도 존재하지 않는 것으로 파악되고 있음
· 지진격리 설계에 대한 기준은 없지만, 설비에 대한 지진격리장치는 2-3개가 개발되어 상용화 되어 있음. 그러나 설계기준이 없는 상태에서 개발된 것으로 지진으로부터 설비를 완전하게 보호할 수 있는지에 대한 검증이 충분하지 않으며, 진동대 실험을 통해서 성능을 검증했다고 하나 성능검증을 위한 진동대 실험 규정이 제대로 정립된 상태가 아니기 때문에 신뢰에 문제가 있다고 판단됨

- 소방시설의 내진설계 :
· 소방 설비 배관 내진 설계 의무사항 법제회. 2011. 6. 29
· 2012년부터는 건축물에 내진 소방설비 필수로 하여야 함. (건축법 시행령 32조 2항)

(3) 철도 인프라 내진성능향상 기준

○ 지진재해대책법(2008)
- 기존 시설물에 대한 내진보강기본계획 수립 및 내진보강사업 추진
· 내진설계기준 제정 이전에 설치된 시설물 중 내진보강이 필요한 시설물에 대한 보강사업 추진근거가 없었으나, 지진재해대책법에서 내진설계기준 제정 이전에 설치된 시설물에 대해 내진성능 향상을 위해 5년마다 내진보강기본계획을 수립하고, 내진보강이 필요한 시설물에 대해 내진보강을 추진하도록 함

○ 시설물의 내진성능기준
- 시설물의 내진설계기준이 본격적으로 확립되기 시작한 것은 1995년 일본의 고베지진 이후부터임. 한국과 근접한 일본에서 지진이 발생하여 6,000명 이상이 사망하고 10조엔에 이르는 재산피해가 발생하여 우리에게 큰 경각심을 일으킴. 이를 계기로 자연재해대책법을 제정(1997년)하여 대통령령이 정하는 시설에 대하여 관계법령 등에 내진설계기준을 정하고 그 이행에 필요한 조치를 취하도록 법제화 하였음. 물론 주요시설물에 대해서는 자연재해대책법에 의한 내진설계가 법제화되기 이전에 내진설계가 수행됨. 안정성 확보가 절대적인 원자력관련 시설의 경우에는 1972년 건설당시부터 충분한 내진성능을 확보할 수 있도록 내진설계가 수행되어

왔고, 건축물의 경우에는 1988년, 고속철도는 1991년, 도로교는 1992년, 댐은 1993년에 내진설계기준이 마련됨. 하지만 이들 내진설계기준 간에는 요구성능, 지진하중 등에서 일관성이 결여되어 있어 모든 시설물에 공통적으로 적용될 수 있는 통합된 내진설계기준이 필요한 시점임

- 시설물의 내진등급 :

· 시설물의 중요도에 따라 내진 Ⅰ등급, Ⅱ등급, 내진특등급으로 분류하며 구체적인 분류기준은 해당하는 내진설계성능기준에서 규정함

- 내진성능수준 :

· 시설물은 “기능수행수준”과 “붕괴방지수준”의 두가지 내진성능수준을 만족하도록 설계함. 성능수준은 『기능수행수준』과 『붕괴방지수준』으로 구분하고, 각 성능수준에서의 설계 기본 원칙을 다음과 같이 설정함

▸ 기능수행수준 : 중간 이하의 규모를 가진 지진에 대해서는 구조부재들이 탄성영역 내에서 저항하여 심각한 손상을 입지 않아야 함

▸ 붕괴방지수준 : 비교적 큰 규모의 지진에 의한 지반진동에 의해서도 구조물의 전부 또는 일부가 붕괴되어서는 안되며, 가능하면 지진에 의한 피해의 예측이 가능하고 피해조사와 보수를 위해 현장접근이 가능하도록 설계를 하여야 함

- 지진세기가 작지만 빈번하게 발생하는 작은 지진에 대해서는 “기능수행수준”을 만족하도록 설계되며, 지진세기 크지만 드물게 발생하는 큰 지진에 대해서는 “붕괴방지수준”을 만족하도록 설계됨. 시설물은 내진등급에 따라 설계지진을 달리하여 적용함

표 2.52 내진성능수준

	성능수준 / 재현주기	기능수행	붕괴방지
설계지진	50년(5년내 초과확률 10%)	Ⅱ 등급	
	100년(10년내 초과확률 10%)	Ⅰ 등급	
	200년(20년내 초과확률 10%)	특 등급	
	500년(50년내 초과확률 10%)		Ⅱ 등급
	1000년(100년내 초과확률 10%)		Ⅰ 등급
	2400년(250년내 초과확률 10%)		특 등급

■ 설계지반운동 수준

- 우리나라를 지진도의 세기에 따라 지진구역Ⅰ, 지진구역Ⅱ의 2개의 구역으로 구분하고 각 구역의 재현주기 500년 지진의 지반운동가속도의 크기(지진구역계수)를 0.11g, 0.07g로 규정함. 재현주기가 다른 설계지진의 지반운동 세기는 위험도계수를 곱하여 적용함

○ 내진성능평가 방법의 정립연구

- 국내의 교량 내진설계기준의 경우, 지진에 대한 직접적인 피해사례의 부족 및 그에 따른 연구의 미비로 인하여 전반적으로 중·약진 지역인 우리나라에 미국의 캘리포니아와 같은 강진지역의 설계규정을 도입하였기 때문에 국내 현실에 적합한 교량의 내진설계기준 및 내진보강방안이 필요함

‣ 중·약진 지진지역 내진설계법에 적합한 소요연성도 정의 및 소요연성도에 따라 심부구속철근을 배근하고 연성도에 따른 전단강도를 검증하는 연성도 내진설계법에 대한 실험적, 해석적 연구

‣ 연성파괴 메커니즘을 유도하는 방안으로, 교각의 휨 초과강도를 고려한 소성힌지력에 대해, 교각의 전단설계, 기초설계, 교량받침 설계를 위한 실험적, 해석적 연구

‣ 기존 교량구조물의 효과적인 내진보강을 위해서, 기존 교량구조물이 보유하고 있는 지진하중에 대한 하중지지 및 재하능력 그리고 변형성능에 대한 정확한 내진평가방법 연구 및 교량 구조물의 내진 보강효과를 직접적으로 반영하여 물리적인 거동을 예측할 수 있는 해석적인 모델의 연구

‣ 보강전의 강도, 강성 및 연성도를 유지한 상태에서 보강으로 인한 특성값들의 증가분에 대한 효과를 고려할 수 있는 시간의존성 해석요소 개발연구 및 보강에 사용될 보강재료의 응력-변형률 구성방정식 해석모델들에 대한 개발연구

‣ 보강 전 및 후의 교량구조물의 보강 시나리오 즉, 강도증진 시나리오, 강성증진 시나리오 및 연성도증진 시나리오 그리고 파괴모드의 정확한 규명을 통해 보강 시나리오에 부합되는 가장 효율적이고 최적의 보강기법 및 공법의 선택을 가능하게 하는 실험연구와 그에 따른 해석모델 및 평가절차의 확립 연구

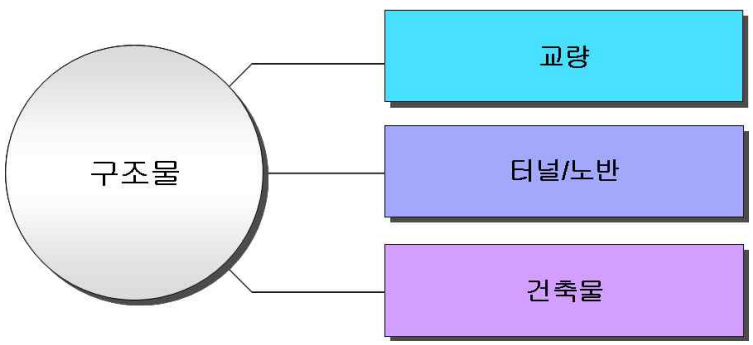
○ 성능중심설계의 국내 현황

■ 구조물의 성능중심설계(Performance-Based Design, PBD)

- 건축분야에 있어서 성능개념을 도입하려는 시도는 오래전부터 있었고, 1990년대부터 KS를 ISO와 같은 국제적인 기준에 부합시키려는 노력이 시작되었으나 본격적인 성능설계는 이루어지지 않았음. 다만 최근에 성능기반 설계기법의 개발에 관한 많은 연구가 진행되고 있음
- 국내의 경우 성능중심 설계에 대한 인식이 아직 높지는 않고, 관련 기준의 부재로 인해 널리 사용되고 있지는 않지만 그 필요성에 대한 인식은 점차 증대되고 있는 상황이라고 할 수 있음
- 현재 국내에서 수행되고 있는 설계 중 성능중심설계로 구분할 수 있는 설계는 주로 성능중심 내진설계에 집중되어 있으며 매우 제한적으로 이루어지고 있음

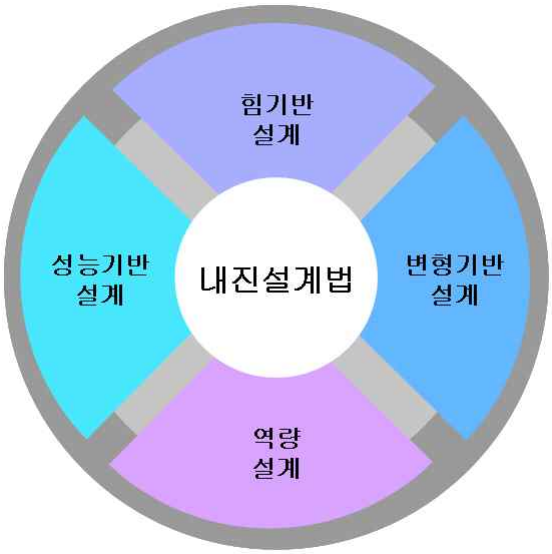
나. 국내 철도구조물 분류에 의한 내진기준 기술

○ 철도구조물 분류



(1) 철도교량

○ 철도교량 내진설계법의 개념적인 방법 비교



- 힘기반 설계(force-based design) : 힘기반 설계에서는 먼저 부재단계에서 역량(capacity)과 소요(demand)에 대한 비를 산정하고, 계수하중에서 요구되는 힘이 모든 부재의 힘 역량보다 작으면 설계가 만족된 것으로 판단함. 즉, 힘기반 설계에서는 산정된 힘 역량(force capacity)이 설계 힘 역량(force capacity for design)보다 항상 커야 함. 설계 힘 역량은 계수하중에서 요구되는 힘보다 커야 하고, 계수하중에서 요구되는 힘은 사용하중에서 요구되는 힘보다 커야 함. 힘기반 설계에서 소요(demand)역량을 계산하기 위해 일반적으로 선형해석을 수행함

그림 2.20 힘기반 설계

하지만 지진하중의 불확실성으로 인해(즉, 설계지진하중보다 훨씬 큰 지진하중이 올 가능성이 있음) 탄성구조물에 요구되는 지진력은 간혹 힘 역량을 크게 초과할 수 있는 반면에, 비탄성 구조물에 요구되는 변형은 그리 크지 않을 수 도 있음. 따라서, 지진하중에 의해 유발되는 구조물의 손상을 판단하는 변수로 변형(변위, 변형률 등)이 힘 보다 나은 정보를 제공할 수도 있다.

그림 2.21 힘 역량과 요구되는 변형의 관계

- 변형기반 설계(deformation-based design) : 변형기반 설계는 변형역량이 소요되는 변형보다 큰 경우에 설계가 만족된 것으로 판단하는 설계법으로 모든 부재 및 구조물 단계에서 검토할 수 있음. 변형기반 설계는 구조물이 일반적으로 항복할 수 있기 때문에 비선형 해석을 주로 사용해야 하고 따라서 항복이후 연성능력이 적거나 없는 취성부재의 경우에는 적용이 제한적임. 변형기반 설계의 절차는 우선적으로 모든 구조부재의 변형역량을 산정한 후(취성부재의 경우에는 강도역량을 산정), 비선형 구조해석을 수행하여 소요변형과 소요강도를 산정함. 이 후, 변형역량과 강도역량이 각각 소요변형과 소요강도보다 크면 설계는 만족된 것으로 판단

그림 2.22 변형기반 설계

변형기반 설계는 개념적으로 단순할 수 있지만 실무에서 직접 적용하기에 어려움이 있으며, 주된 이유로 구조물에 발생할 수 있는 손상의 정도가 변형을 기반으로 하는 것은 설계를 너무 단순화시킴. 실제로 지진하중에 의한 손상의 정도는 여러 다양한 변수들 즉, 구조부재의 파괴모드, 그에 따른 손상의 집중 및 분포, 지진하중의 크기, 지속시간 및 반복주기의 수, 최대지반가속도 등에 영향을 받으므로, 변형기반 설계에서는 비선형 해석을 수행하는 만큼, 위에서 기술된 다양한 변수들의 영향이 효과적으로 반영될 수 있는 해석모델링 및 기법이 필요하고, 숙련된 기술자의 견고한 공학적인 판단이 수행되어야 함

- 성능기반 설계(performance-based design) : 기존의 힘기반 설계 및 변형기반 설계에 근거를 둔 각 나라별 내진설계기준들은 지진하중을 경험하는 교량구조물의 성능수준에 대해 명확하게 명시하고 있지 않음. 각 나라별 내진설계기준들은 단지 설계기준에 명시되어 있는 사항들을 만족하는 설계는 강한 지진하중 하에서 구조물이 붕괴되지 않을 것이라는 함축적인 내용만을 포함하고 있음에 따라 성능기반 설계는 각 구조물의 성능목적 및 목표에 부합되게 기 정의된 성능수준을 만족시키는 합리적인 설계법이라고 할 수 있음. 성능기반 설계에 대한 여러 가지 의견이 있을 수 있지만, 성능기반 설계의 가장 적절한 정의는, 구조물의 설계, 특히 내진설계에 대한 기준들이 기 정립된 일련의 다양한 목표성능(혹은 중복 목표성능)값들을 합리적으로 만족시키는 방법 및 절차를 제공하는 것이라고 할 수 있음. 성능기반설계에서는, 설계단계에서 가장 명백하게 고려해야 할 사항으로서 손상 수준을 설계자 의도대로 제어할 수 있어야 하며, 이와 같은 손상 수준에 대한 계획된 제어는 여러 가지 비선형 해석방법을 도입함으로써 얻어질 수 있음.
  성능기반설계의 일반적인 절차는 다양한 설계방법들과 결부시켜 사용되어 질 수 있음. 그 중 하나는 현재까지 많이 사용되고 있는 힘기반 설계(force-based design)와 결부시키는 방법으로, 기 정립된 목표성능에 부합되는 목표성능을 구한 후, 목표성능에 따른 강도설계해석을 실시하여 변위와 손상도를 한계 목표성능과 비교하는 설계방법이 있을 수 있음. 또 다른 방법으로는, 구조물의 중요도 및 사용성에 따른 특정하중에 대한 목표 변위를 먼저 설정한 후, 성능기반설계와 관련된 응답해석을 실시하는 설계방법이 있을 수 있음. 이와 같은 설계방법 및 절차의 선택은 설계자의 공학적인 판단에 상당부분 의존하며, 지진하중에 대한 손상 평가시 변위는 중요한 성능변수가 될 수 있고, 따라서 목표성능에 관한 변위응답을 변수

로 선택하여 한계상태를 정의할 수 있음. 하지만 일례로, 단 주기 구조물의 경우에 대해, 항복전의 한계상태 응답을 검토할 때 힘이나 응력과 관련된 기준들이 변위와 관련된 기준들보다 더 적절하기 때문에, 단일 설계변수 선택은 구조물의 목표성능 검토에 적합하지 않을 수 도 있음. 따라서 구조물의 목표성능 검토를 위한 응답변수의 선택은 설계자의 공학적인 판단을 필요로 하며, 이와 같은 이유들로 인하여, 아주 최근에는 성능기반설계, 목표성능 평가 및 현장시공까지를 총 망라한 성능기반 지진공학(performance_based earthquake engineering)의 개념도 대두되고 있음.

○ 철도교량 내진해석 방법

- 내진해석개요

내진해석의 목적은 지진하중에 대한 실험적인 방법의 한계성 및 제약으로 인하여 지진하중을 받는 구조물의 거동에 관한 기본적인 응답특성 혹은 상세 응답특성을 얻고자 수행함. 이와 같은 내진해석에 의해서 얻어진 응답특성들은 설계단계에서 구조물의 제원, 철근콘크리트구조물의 경우 철근량 및 설계목적과 성능기준을 만족하는 상세 등의 선택적인 결정에 유용한 정보를 제공한다. 하지만 해석단계에서 필연적인 여러 가지 가정들에 의해서 해석으로부터 얻어진 응답특성의 형태는 대략적이고 간략한 결과에서부터 비교적 정확한 결과에 이르기까지 해석방법의 선택에 따라 다양하게 얻어질 수 있다. 해석의 기본적인 단계는 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 첫째는 모델링이고, 둘째는 해석 및 계산 그리고 마지막으로 얻어진 결과의 분석으로 나눌 수 있다. 모델링 단계에서는, 실제 구조물과 구조물에 작용하는 지진하중의 형태는 축약되고 단순화되어 수학적인 이상화를 구현하는 단계이다. 이와 같은 모델링 단계는 해석하는 사람의 입장에서 볼 때, 가장 어려운 일이다. 왜냐하면, 모델링 단계는 해석하고자 하는 실제 구조물의 거동에 대한 지식 및 본질적인 공학적 판단과 함께 사용되어질 해석방법을 선택하는 과정이기 때문이다. 해석 및 계산단계는 구성된 모델링을 통해서 구조물의 응답을 결정하는 단계이고, 마지막 분석단계에서는 모델링 단계에서와 마찬가지로 본질적이고 공학적인 판단이 중요시된다.

특히, 내진해석의 경우에는 지진하중 자체의 시간에 따른 연속적인 변화성으로 인해 해석결과에 있어서 불확실성이 존재하고, 이와 같은 불확실성은 구조물이 충분한 강도를 가질 수 있도록 보수적인 탄성설계를 유도한다. 하지만 지진하중과 같은 극한 동적하중의 경우에 있어서 보수적인 탄성설계는 비경제적일 뿐만 아니라 바람직한 설계가 아니다. 즉, 극한 동적하중을 받는 구조물의 바람직한 설계는 취성파괴를 피

하고 연성적인 거동을 확보할 수 있는 설계이다. 이와 같은 연성거동은 설계기준에서 제시하고 있는 항목들을 만족함과 동시에, 거동예측을 위해 진보된 해석절차를 필요로 한다.

- 지진하중의 정적 해석방법

· 등가정적해석(Equivalent static analysis) : 등가정적해석은 동적해석에 의한 거동의 검토수행이 복잡한 구조물의 변위요구도를 산정하기 위해 실시될 수 있다. 등가정적해석은 대칭적인 경간 및 강성이 균등하게 분포되어 있는 구조물에 적합한 해석 방법이고, 경간중앙에 신축이음부 혹은 3경간 이상인 교량에 대해서는 적합하지 않은 해석 방법이다. 지진하중은 각각의 구조부재에 작용하는 등가의 정적 수평하중으로 가정한다. 작용 지진하중은 5% 감쇠비에 해당하는 가속도 응답 스펙트럼으로 얻어진 최대가속도에 중량을 곱해 산정한 후, 교량 상부구조의 수직 질량중심에 작용시키고 질량분포에 비례적으로 수평으로 분포시켜 등가정적해석을 수행한다.

· 비선형 정적해석(Pushover) : Pushover 해석은 구조물에 작용하는 하중을 기 정의된 하중형태에 따라 증가시켜가면서 수행하는 비선형 정적 해석방법이다. 작용하중이 증가함에 따라 교량 구조물의 취약부위와 파괴모드가 일반적으로 결정된다. 비선형 정적 pushover 해석의 목적은 교량구조물 특히 교각의 하중-변위 관계를 산정하고, 이 결과로부터 전반적인 강도 및 교각의 항복변위, 극한변위 및 변위연성도를 계산하는 것이다. 비선형 정적 pushover 해석은 또한 교량구조물의 실제적이고 물리적인 거동을 검토하기 위해서 수행하기 때문에, 부재의 해석모델 구성에서 재료의 물성값을 사용하여 해석을 수행하는 것이 일반적이다. 따라서 비선형 정적 pushover 해석은 작용 횡 하중 혹은 변위요구도의 증가에 따른 한계상태, 소성힌지 형성 및 구조물내 하중의 재분배와 관련된 사항들을 검토할 수 있는 해석방법이다. 비선형 정적 pushover 해석의 결과인 교량구조물의 하중-변위 곡선은 재료강도의 감소 혹은 P-Δ 효과에 따른 전 구조물의 강도저감 거동을 검토할 수 있는 장점이 있다.

- 지진하중의 동적 해석방법

· 진동수영역해석법 : 진동수영역해석법(frequency domain analysis method)은 주파수영역해석법이라고도 하며, 시간영역에서의 운동방정식을 진동수영역으로 변환

한 후 해를 구한다. 일반적으로 푸리에변환(Fourier transformation)을 사용하여 운동방정식을 진동수영역으로 변환하면 시간영역에서 해를 구하는 것보다 효율적으로 해를 구할 수 있다. 또한, 고속 푸리에변환(fast Fourier transformation) 알고리즘을 이용하여 이산 푸리에변환(discrete Fourier transformation)을 적용하면 푸리에변환에 사용되는 적분을 쉽고 빠르게 처리할 수 있다. 진동수영역해석법은 구조시스템의 진동수 의존성을 반영하기 쉽고 해석시간이 시간영역해석법에 비해 상대적으로 적게 소요되는 장점이 있는 반면에, 구조시스템의 시간의존성을 직접적으로 반영하기 어렵고 중첩의 원리를 기본으로 하고 있기 때문에 구조시스템의 비선형성을 고려하기 어려운 단점이 있다. 진동수영역해석법은 시간영역에서의 운동방정식의 해를 구하기 위해, 첫째 푸리에변환을 사용하여 운동방정식을 진동수영역으로 변환한 후, 둘째 진동수영역에서 운동방정식의 해를 구하고, 마지막으로 진동수영역에서 구한 해를 푸리에 역변환을 사용하여 다시 시간영역으로 변환한다.

· 시간영역해석법 : 시간영역해석법은 크게 모드중첩법과 수치해석을 이용하는 직접적분법으로 나누어진다. 모드중첩법은 각 개별적 모드에 대한 독립적인 응답을 구한 후 조합하는 선형중첩을 이용하는 해석법인 반면에, 선형중첩이 불가능한 경우, 예를 들어 비탄성해석이나 비 비례감쇠와 같은 경우에는 직접적분법을 사용한다. 직접적분법은 일반적으로 비선형 해석에 주로 사용된다. 시간영역해석법의 경우에는 실제 지진 발생때 각 기록장소(station)에서 기록된 실제지진파 및 각 나라의 설계기준에 부합되는 인공지진파를 생성하여 시간이력해석을 수행하기 때문에 한 개 이상의 지진파를 이용한 시간이력해석이 권고된다.

· 모드중첩법에 의한 시간이력해석 : 모드중첩법은 n 개의 자유도를 갖는 2계 연립미분방정식을 자유진동모드행렬을 사용하여 물리좌표계(physical coordinate system)에서 일반좌표계(general 혹은 natural coordinate system)로 좌표변환을 수행한 후, 각 모드에 대한 독립적인 운동방정식을 유도하여 해를 구한 후 조합하는 해석법이다. 물론 구조시스템에 따라 차이가 있지만 일반적인 경우, 제한된 수의 진동모드만을 사용하여도 비교적 정확한 해를 구할 수 있는 효율적인 해석법이다. 따라서 모드중첩법을 이용하여 구조물의 동적시간이력해석을 수행할 경우에는 계산의 효율성을 증대시키기 위하여, 구조 시스템의 자유도 수보다 작은 수의 저차 진동모드만을 사용한다. 이 경우, 해석에 포함시켜야 할 모드의 개수를 정하는 적

절한 기준이 필요하며 유효모드질량의 개념을 이용하여 유효모드질량의 합이 전제 구조 시스템 질량의 90% 이상이 되도록 모드의 개수를 정한다. 모드중첩법은 제한된 자유진동모드만을 사용하여 대형 구조물의 동적거동을 비교적 정확하게 나타낼 수 있을 때 효과적인 반면에, 충격하중과 같은 특수한 하중을 받는 복잡한 구조물의 동적거동을 나타내기 위해 많은 수의 자유진동모드가 필요한 경우에는 효과적이지 않다.

· 직접적분법 : 지진하중을 받고 있는 구조 시스템이 동적해석중에 질량, 감쇠비 및 강성의 변화를 겪는 경우에는 모드중첩법의 사용을 피해야 하고, 연립운동방정식의 해는 직접적분법에 의해서 구해야 한다. 동적유한요소해석절차에 사용되는 직접시간적분법은 어떤 시간증분에서 평형관계가 부여되는지에 따라서 크게 두 가지로 분류된다. 직접적분법의 해는 항상 현 단계시간+시간간격에서 평가되는데, 현 단계시간에서 평형관계를 부여하여 해가 얻어지는 방법을 명시적 방법(explicit method)이라 하고, 현 단계시간 + 시간간격에서 평형관계를 부여하여 해가 얻어지는 방법을 묵시적 방법(implicit method)이라고 한다. 일반적으로 묵시적 방법은 명시적 방법에 비해 상대적으로 수치적분의 시간간격을 크게 할 수 있지만 계산량이 많게 되고, 명시적 방법은 묵시적 방법에 비해 상대적으로 계산량은 적으나 수치적 안정성을 확보하기 위해 시간간격을 작게 하여야 한다. 명시적 방법은 충격하중을 받는 구조물의 응답을 해석하기에는 좋은 반면에, 구조물의 관심 있는 중요한 고유주기에 대해 구한 임계시간간격보다 작아야 하는 조건을 동반하므로 조건부 안정(conditionally stable)이라고 한다. 한편 묵시적 방법은 수치적분에 사용되는 시간간격의 크기와는 무관하게 안정하므로 무조건 안정(unconditionally stable)이라고 한다.

대부분의 단일 구조시스템의 경우에는 명시적 방법 혹은 묵시적 방법이 사용되는 반면에, 지반-구조시스템 및 유체-구조시스템의 상호관계를 포함하는 경우에는 명시적 방법과 묵시적 방법을 혼합하여 사용하면 최적의 정확성과 효율성을 얻을 수 있다고 알려져 있다. 즉, 이와 같은 상호관계 문제에 있어서, 구조 시스템은 묵시적 방법으로, 지반 및 유체는 명시적 방법으로 다루어진다. 대표적인 명시적 방법으로는 중앙차분법(central difference) 등이 있다.

· 응답스펙트럼해석법 : 응답스펙트럽해석법은 구조 시스템의 동적거동의 최대응답을 구하기 위하여 사용되는데, 지진하중에 대한 내진설계에는 지진하중의 의해서 구조

시스템에 발생하는 되는 최대변위 및 최대부재력이 필요하기 때문에 구조 시스템의 내진설계에서 많이 사용되는 동적해석법이다.

· 탄성응답스펙트럼 : 응답스펙트럼해석법을 이용하면 단자유도 구조물에 대하여 복잡한 시간이력해석을 수행하지 않고 최대응답을 구할 수 있다. 응답스펙트럼이란, 고유진동수와 감쇠비에 따른 단자유도계에 특정한 지반가속도를 작용시켜 얻은 최대응답, 즉, 최대변위와, 이 최대변위(spectral displacement)를 조화운동으로 가정하여 얻는 유사최대속도(pseudo spectral velocity) 및 유사최대가속도(pseudo spectral acceleration)를 나타낸 것으로, 모드해석(modal analysis) 절차를 이용하여 구조 시스템에 작용될 동적 힘을 평가하는데 주로 사용된다.

· 비탄성응답스펙트럼 : 구조 시스템이 비탄성 영역으로 거동하게 되면 구조 시스템은 탄성응답스펙트럼에 근거한 응답과는 다른 거동을 하게 되고, 이 경우에는 비탄성응답스펙트럼을 이용하여 구조 시스템의 응답을 결정한다. 비탄성응답스펙트럼을 구하는 과정은 탄성응답스펙트럼과는 다르다. 즉, 여러 단계의 감쇠비에 대응되는 곡선으로 나타나는 탄성응답스펙트럼과는 달리, 비탄성응답스펙트럼은 하나의 감쇠비에 대해, 여러 단계의 연성도에 대응되는 응답스펙트럼을 구한다. 선택된 감쇠비와 주기를 갖는 구조 시스템의 항복강도를 변화시켜 가면서 비탄성 동적해석을 반복적으로 수행하여 최대연성도가 목표연성도와 일치할 때의 최대변위를 구한다. 이와 같은 과정을 다양한 주기에 대해 반복수행하면 특정 연성도에 대한 응답스펙트럼을 얻을 수 있다. 따라서 선택된 일정한 감쇠비에 대해 작성된 비탄성응답스펙트럼을 이용하면, 특정한 연성도를 가지는 구조 시스템의 동적응답을 구할 수 있다.

(2) 철도 터널

○ 내진설계기준

- 터널은 국가 및 사회기반시설로서, 사고발생시 가공할 만한 인적, 물적 피해가 예상되는 철도시설 중 핵심이 되는 시설물로서, 그 손상 또는 붕괴시 대형 철도사고를 유발할 수 있음.
- 국내 턴키 과업의 일환으로 내진설계가 전반적으로 도입되고 있는 실정임
- 철도터널의 내진설계와 관련된 국내 설계기준은 다음 표와 같음

표 2.53 철도 터널 관련 국내 내진설계기준 요약

대상시설	내진 설계 기준	발행기관	관련법규	발행년도
도로교	도로교 설계기준	한국도로교통 협회	도로법	2005
철도교	철도교 설계기준	건교부	철도산업발전 기본법	2004
고속철도	고속철도 내진설계기준	한국고속철도 건설공단	고속철도법	2000
철도	철도 설계기준	한국철도시설공단	철도건설법	2004
도시철도	도시철도 내진설계기준	건교부	도시철도법	2009

(자연재해 대책법, 2008)

- 주요 내진설계 기준 (건설교통부 제정 철도 설계기준 노반편에서 / 제5편 터널 / 제12장 내진설계, 2004, 한국철도시설공단)

· 개착하지 아니하고 굴착하여 시공하는 터널은 내진설계를 하지 않는 것으로 하고 있으나, 해외사례에서 보는 바와 같이 굴착식 터널에서도 구조물 피해사례가 있음

· 철도터널의 안정성을 위하여 다음과 같은 경우는 내진설계를 시행 함

  · 토피가 작고 지반이 연약한 갱구부

  · 갱구부 비탈면의 불안정에 따른 편토압 발생구간

  · 지진으로 인해 지지 지반의 지내력이 감소될 수 있는 구간

  · 활성단층 등 지각운동이 예상되는 구간

- 주요 내진설계 방법

· 철도터널의 내진설계 대상 지반특성을 파악하기 위한 조사항목은 지층의 구성 및 각 지층별 공학적 특성파악, 지하수위 측정 등을 포함하여야 하며 필요시 지반의 동적특성 시험을 실시하여야 함

· 내진해석의 지반운동은 터널의 길이방향과 횡방향의 지반운동 영향을 모두 고려함.

· 지반운동의 공간적 변화특성을 고려함.

· 지형 및 지반조건의 변화가 지반운동에 미치는 영향을 고려함.

· 터널의 내진설계방법은 응답변위법, 동적해석법(비선형 해석)을 적용함.

- 내진설계 기술 주요 고려사항

· 내진하중 산정은 붕괴방지수준(1000년 재현주기)지진만을 대상으로 하여 기능수행 여부를 판단하고, 검토 결과에 따라 필요하면 기능수행수준지진(100년 재현주기)과 붕괴방지수준지진을 구분해서 고려함

· 내진설계는 일반하중에 대하여 기 설계된 시설물에 대한 내진 안전성 분석을 수행함.

· 적용 기준은 현재 건교부에서 제시된 상위개념 내진설계기준의 요건에 따르는 것을 원칙으로 함 (최신기술 및 기준을 추가 적용할 수 있음).

· 대상 시설물을 "개착터널", "NATM터널"의 2가지 공종으로 크게 구분함.

· 단면 형태 및 지반의 특성에 부합되는 별도의 내진 설계 및 안전성 평가 절차를 공종별로 작성하고 그에 따라 설계함.

· 지반과 구조물의 상대강도를 고려하는 최적의 지진해석법 사용

· 지진의 크기에 따른 비선형 지반 물성치에 따른 영향 고려

· 지진파의 전파에 따른 지진파의 증폭현상 고려

· 지반의 단층 및 절리(joint), 불안정지반, 간극수압 등에 의한 영향 고려

· 긴 터널의 경우 종방향 거동에 따른 축방향과 축직각방향의 영향 고려

· 접합부(신축 이음부 및 단면변화부)의 내진성 확보

· 액상화 가능성 및 액상화에 따른 영향 검토

- 내진 해석법

· 지진해석법으로 등가정적해석법, 응답변위법, 동적해석법이 적용되고 있으며, 내진해석 및 설계시에는 터널 혹은 구조물과 주변 지반과의 상대질량 및 강성 등을 고

려하여 최적의 방법을 선택하도록 함.

· 철도 구조물의 중요도에 따른 내진등급 및 내진 성능 수준을 설정 및 적용하여 설계 지진 및 설계응답스펙트럼 등을 결정함. 특히, 건설 지점, 지반특성, 구조물의 고유주기 등을 종합적으로 고려하여 입력 지진파를 결정하여야 함.

· 내진해석시 고려되어야 할 하중: 사하중, 활화중, 토압, 수압, 양압력, 구조물 중량에 기인하는 관성력, 지진시 토압, 지진시 터널구조물에 발생하는 전단력, 지진에 의해 발생되는 과잉간극수압 등

· 붕괴방지수준에서는 비선형 거동특성을 고려하여 동해석을 수행하도록 명시하고 있음.

- 철도터널 내진설계 현안

· 비선형 지반 (흙, 암반) 동적 거동 특성 분석 기술 개발이 요구됨

· 변형률 의존적 비선형 지반 (흙, 암반) 동적 거동 특성 획득 시스템 개발이 요구됨

· 변형률 의존적 지반 동적 거동 특성을 고려할 수 있는 동해석 모듈 개발이 요구됨

· 비선형 동해석 시스템 개발이 요구됨

(3) 궤도

○ 궤도시스템의 내진설계기준은 현재 국내에서 관련기준은 전무한 상황이며, 따라서 시급히 관련기준의 개발이 요구됨

○ 지진 시 궤도시스템은 교량, 노반, 터널 등 구조물과의 상호 동적거동 파악이 우선이며 따라서 궤도시스템의 내진설계기준은

○ 궤도와 구조물 인터페이스 관련 주요 현안

- 궤도시스템의 피해는 주로 하부구조물의 파손에 의해 발생되는 궤도의 좌굴이므로 하부구조물 및 노반의 설계에 다음사항에 대하여 면밀한 해석이 요구됨.

- 열차 직하의 노반 손상에 의한 궤도의 변형

- 하부구조물의 파괴에 의한 궤도변형

- 구조물과 노반의 불연속 개소에 발생하는 궤도틀림 및 꺾임

- 교량과 성토부에서 발생하는 고저틀림

- 구조물 및 노반의 특별한 개소에서 발생하는 궤도의 좌굴

(4) 건축물 (역사, 차량기지 등)

○ 건축물 내진설계기준의 변화

- 국내 내진설계기준은 1985년 멕시코 대지진을 계기로 1986년 내진설계법이 마련되었고, 1988년 내진기준이 제정되어, 6층 이상 연면적 10,000m² 이상에 대해서 내진설계를 하도록 건축법에 규정 되어 있다. 2009년에는 내진설계 대상건축물 범위를 모든 건축물로 확대 적용하도록 개정되었다.

표 2.54 우리나라 지진하중의 변화

기준	설계수준	지역계수	지반 계수(S)
AIK 1988	허용응력설계	2그룹 (0.12g, 0.08g)	3그룹
EESK 7(상위개념) 내진설계기준연구II	강도설계	2그룹 (0.11g,0.07g) 지진재해지도 사용조항 포함	6그룹
AIK 2000	허용응력설계	2그룹 (0.11g,0.07g)	4그룹
KBC 2005	강도설계	2그룹 (0.11g,0.07g)	5그룹
KBC 2009	강도설계	2그룹 (0.22g,0.14g) 상세재해지도	5그룹

- 위의 표로부터 우리나라는 두개의 지진구역으로 나누어 지반하중을 산정하고 있음을 알 수 있다. 두 개의 지진구역은 1988년 작성된 내진기준연구I의 지도에 근거한 것으로, 시·군의 행정구역의 경계를 사용하여 지진구역을 구분하고 있다. 1997년 건설교통부(현 국토해양부)에서 제정한 국내 내진설계기준의 상위개념인 내진설계기준연구II에서는 설계지반운동 수준을 결정하기 위하여 지진재해지도를 이용하는 방법과 행정구역을 이용한 방법 등 두 가지 방법을 병행하여 규정하고 있다. 확률론적 지진재해지도는 설계된 기간 동안에 어떤 부지에서 지진에 의한 지반운동의 최대 가속도가 어떤 정해진 확률에 의해 초과할 값을 뜻하며, 설계기간 5년, 10년, 20년, 50년, 100년, 250년과 초과확률 10%에 해당하는 한반도 전체의 지진재해지도를 작성하였다. 이들 설계기간과 초과확률을 재현주기로 환산하면 각각 48, 95, 190, 475, 950, 2373년이 되며, 일반적으로 이들 재현주기의 숫자를 단

순화하여 각각 50년, 100년, 200년, 500년, 1000년, 2400년으로 하여 근사적으로 사용하고 있다. 1997년도에 내진설계기준연구의 500년 재현주기 상세재해지도에 근거하여 1988년도에 최초로 사용되었던 지역계수가 0.12g(지진구역 I), 0.08g(지진구역 II)에서 각각 0.11g(지진구역 I), 0.07g(지진구역 II)로 수정되어 AIK2000에서 이를 반영하였다.

- 미국에서는 성능기반설계에 개념을 둔 IBC2000이 제정되었으며, 2002년부터 IBC2000을 근간으로 한 내진설계기준 개선 연구의 결과가 2005년 Korea Building Code(KBC)에 반영되었다. KBC2005의 주요 개정내용은 다음과 같다.

· 기존 500년 재현주기 설계지진을 2400년 재현주기 최대 지진의 2/3로 규정함으로써 지진하중이 크 게 증하였다.

· 지반의 종류를 새로이 정의하고 중·약진 지역의 연약지반의 증폭효과를 대폭 증가시켰다.

· 내진설계범주를 건물 중요도와 지진응답 가속도의 함수로 결정하여 그에 따른 해석과 설계에 차별을 두었다.

· 건물의 비정형성에 따라, 특히 필로티 구조물과 같이 하중경로에 급작스러운 변화가 있으면, 초과강도계수(2.5-3.0)만큼 지진하중을 증폭하여 위험부재를 설계하도록 하였다.

- 내진설계대상 지진의 규모

· KBC 2009 이전 기준에서는 500년 재현주기를 사용하여 왔으나 KBC 2009 에서는 2400년 재현주기의 2/3 규모를 사용한다.

· 다음 표는 내진설계기준연구 II 에서 제시한 재현주기별 위험도 계수를 보여준다. 중·약진 지역인 우리나라의 경우 강진지역과 다르게 500년 재현주기와 2400년 재현주기의 지진의 크기가 약 2배 정도로 그 차이가 매우 커서, 2400년 재현주기의 2/3수준으로 할 때 지진하중이 약 2*2/3=1.3배로 증가한다. KBC2005에서는 기존의 500년 재현주기 지진을 대상으로 결정되었던 지역계수 0.11g 및 0.07g를 그대로 두고, 지역계수에 상수 M(=1.33)을 곱하여 산정하는 방식을 사용하여 지반유효가속도를 산정하였으며, KBC2009에서는 2400년 재현주기 수준인 0.22g와 0.14g의 지역계수를 직접 사용한 후, 이의 2/3수준의 지반가속도에 대하여 설계를 수행하는 방식을 택하였다.

표 2.55 위험도 계수 (내진설계기준연구II, 1997)

재현주기(년)	50	100	200	500	1000	2400
위험도계수 I	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

- 면진 및 제진 설계기준

· 국내 토목 구조분야에는 면진설계에 대한 기준이 미국의 AASHTO 1999년 판 “Guide Specifications for Seismic Isolation Design”에 기초하여 2005년에 건설교통부 제정 도로교 설계기준으로 “우리나라 도로교의 면진설계”가 만들어 졌다. 그러나 건축구조분야에는 2002년에 대한건축학회, 대한주택공사, 동일고무 공동으로 미국의 UBC-97을 근간으로 “건축구조물의 면진설계 지침(안) 및 해설” 을 발간하고 2004년 9월에는 (사)한국면진제진협회가 창립되는 등 면진 및 제진 설계에 대한 관심이 많아지고 있지만, 국내에는 이들에 대한 기준이 아직 없기 때문에 일부 건물에 면진·제진 설계기술을 활용할 경우 설계, 시공 도입단계 및 건축허가 과정에서 문제가 발생되고 있다.

- 건축물 내진설계기준의 현안

· 건축물의 내진성능을 한 단계 높이기 위해서는 다음과 같은 향후 연구가 요구됨.

▸국내 지진위험도와 성능수준을 고려한 내진설계에 대한 성능목표의 선정

▸시간이력해석법에 대한 프로세스의 확정

▸현재 내진설계기술은 강도설계법을 기본으로 하고 있으므로, 선형시간이력해석 및 비선형시간이력해석의 경우에도 검토단계에서 층간변위각 정도만을 고려하며, 부재 및 구성요소들에 대한 성능검증은 수행하지 않고 있다. 비선형 시간이력해석은 건축물의 내진설계에 있어 가장 정확한 방법이지만, 근본적으로 이 해석법은 선택된 지반운동의 특성에 매우 민감하며, 지진하중의 지속시간과 진동수 등과 같은 특성을 고려한 지반운동을 선택할 때에 많은 불확실성을 내포하고 있다. 이에 따라 국내의 지반의 특성을 반영 할 수 있는 스펙트럼의 개발과 인공지진파의 합성방법에 대한 구체적인 방법의 제시가 필요함

· 국내와 같은 중·약진대에서 시스템초과강도에 의지해 내진성능확보를 확보하고자 하는 경우에도 힘의 재분배를 통한 매카니즘 강도의 발현을 위해서는 최소한의 접합부 회전소성능력이 확보되어야한다. 기존 건축물의 경우 보-기둥 접합부에 의해 구현 가능한 소성변형능력을 훨씬 상회하는 설계계수가 적용되었던 것으로 판단되

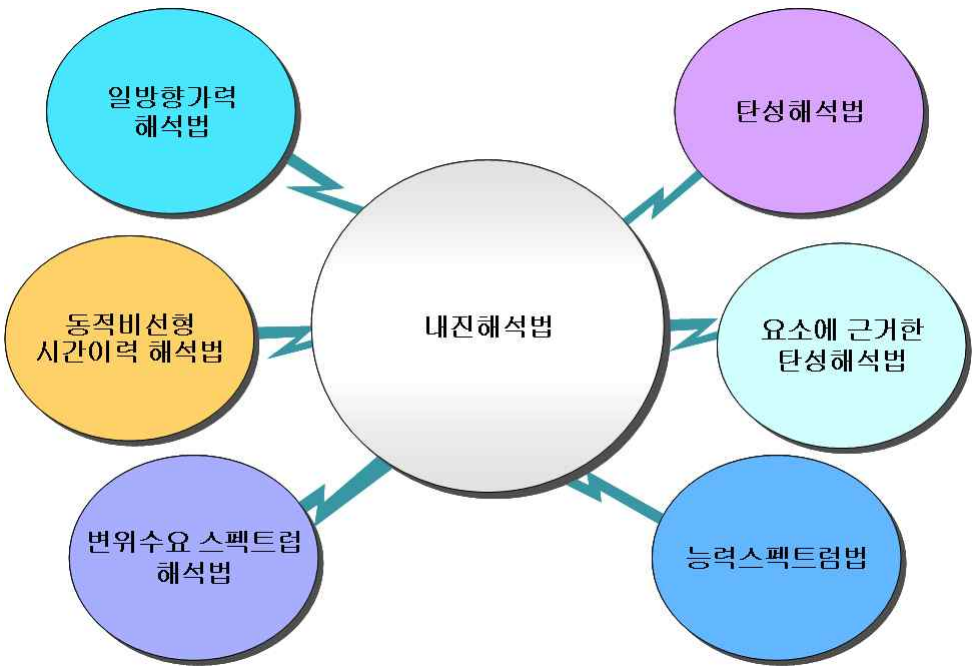
는 경우, 추후 기존 건물의 증축 또는 내진보강을 위한 기준 마련이 필요함.

· 중·약진대로 분류되는 국내의 현실을 감안하여 건축물의 내진성능확보의 핵심내용만이 포함되도록 내진규정을 단순하고 투명하게 하는 연구가 실행될 필요가 있으며, 국내 구조설계 시 주로 적용되는 재료의 복합화(예를 들면, SRC, CFT 등과 같은), 부재의 복합화, 또는 구조시스템의 복합화에 대한 반영이 내진설계기준 제정 시 필요함.

· 국내의 건축구조분야에서는 2000년대 초 이후 면진 및 제진설계에 대한 관심이 증가하고 있지만 기준이 아직 없는 관계로 면진 및 제진설계 허가과정에서 문제가 발생되고 있다. 따라서 면진 및 제진설계기준이 내진설계기준과 함께 법제화되기 위하여 우리 주변국들은 이러한 기준을 어떻게 적용시켰는지에 대한 데이터베이스를 구축할 필요가 있음.

- 건축물 내진해석법 분석

· 건축물의 주요 내진해석은 그림과 같으며, 교량시설물의 내진해석은 대등 소이함에 따라 상호 공유가 가능함. 따라서 세부사항은 교량편을 참조 함



다. 국내 철도구조물 분류에 의한 내진성능 향상 기술

(1) 철도인프라 내진성능향상 동향

○ 기존 철도 인프라의 내진보강

- 내진설계 도입 이전에 설계, 시공된 기존 인프라에 대해서는 내진성능 평가를 통한 적정성 검토가 이루어져야 하며 필요 시 내진보강을 실시하고 있으나 내진보강의 수위 결정 및 적용 기법 설정 등에 대한 종합적인 표준 지침이 없는 실정임. 또한 우선순위에 따라서 내진보강을 실시하고 있으나 우회로가 없는 철도의 특성상 내진보강 우선순위 선정의 실효성에 대해 재검토 필요성이 제기되는 추세임. 따라서 막대한 비용이 예상되는 기존 시설물 내진보강을 대비하여 비용을 최소화하고 효율을 높일 수 있는 내진보강 표준 지침서의 수립이 필요함

○ 일반/간선 철도 내진보강

- 2008년에 수행된 내진성능평가 용역 결과에 따라 교량 및 터널 중 388개소의 인프라를 내진보강 대상으로 선정하여 연차별 내진보강계획을 수립한 후 보강 중에 있으며 총 소요 예산이 약 1000억원으로 예상됨

표 2.56 일반철도 내진설계 현황

구분	대상	내진반영	미반영(보강대상 선정)
교량 및 터널	3,171	523	2,648(388)

- 일반철도시설의 내진보강 중·장기계획

(단위 : 백만원)

구 분			′10년도	′11년도	′12년도	′13년도	′14년도	계
철도시설	교량	예산	4,600	10,267	26,010	29,182	29,395	99,454
		건수	5	19	62	68	116	270
	터널	예상	-	2,600	1,419	2,219	2,086	8,324
		건수	-	7	5	1,190	12	1,214
	건축물	예산	207	720	1,450	1	29,395	31,773
		건수	1	3	2	-	116	122
계		예산	4,807	13,587	28,879	31,402	60,876	139,551
		건수	6	29	69	1,258	244	1,606

- 고속철도 내진보강

· 고속 1단계의 경우 1991년 내진기준이 적용되었으나 이는 현재 적용 중인 고속 2단계의 내진기준보다는 지진하중이 낮게 책정되어 있었음. 이에 따라 고속 1단계 인프라에 대한 내진성능 적정성 검토가 이루어지고 있으며 그 결과에 따라서 보강 여부 결정 예정임.

- 도시철도 내진보강

· 기존 도시철도 시설물 중 내진설계가 미반영된(서울 1-4호선, 부산 1-3호선) 시설물에 대해 내진보강계획

표 2.57 도시철도 내진보강계획

구분	내진대상	보강필요	보강계획	
			2011	2012~
교량	66개	31	4	27
터널	492.4km	102	-	102
건축물	514개	115	-	115

- 도시철도의 내진보강 중·장기계획

· 서울시에서 1단계 보강 사업 추진 후 잔여 시설물 총 236개소(교량 32개소, 터널 116개소, 터널 33개소)에 대하여 2단계 사업으로 내진보강을 완료하며, 연차별로 세부 내진보강 수행 계획은 다음과 같음[6)]

(단위 : 개소, 백만원)

구 분			내진보강 2단계 사업('15년 ~'19년)					계
			'15년도	'16년도	'17년도	'18년도	'19년도	
계		예산	30,200	29,200	28,700	28,550	28,550	145,200
		개소	49	48	47	46	46	236
서울	교량	예산	3,500	3,500	3,000	3,000	3,000	16,000
		개소	7	7	6	6	6	32
	터널	예산	24,000	23,000	23,000	23,000	23,000	116,000
		개소	24	23	23	23	23	116
	건축물	예산	2,700	2,700	2,700	2,550	2,550	13,200
		개소	18	18	18	17	17	88

주6) 서울시의 경우 내진보강 필요 시설에 대한 상세평가 수행

· 부산시의 경우 내진보강 필요시설 14개소에 대해서 1단계에 내진보강 완료하며, 연차별 내진보강 계획은 다음과 같음

(단위 : 백만원)

구분			′10년도	′11년도	′12년도	′13년도	′14년도	계
부산	교량	예산	1,800	2,000	-	-	-	3,800
		건수	5	4	-	-	-	9
	터널	예산	-	2,000	4,200	-	-	6,200
		건수	-	2	3	-	-	5

(2) 철도인프라 내진성능향상 기술 분석

○ 내진보수 및 내진보강

- 내진보강은 원래 설계지진하중보다 더 큰 지진하중에 대해서 하중재하능력(load carrying capacity)이나 안정성(stability) 등을 증진시킬 목적으로 수행하며 손상되지 않은 구조물에도 적용할 수 있다. 1990년대 중반 이후에 발생했던 비교적 큰 지진들은 철근콘크리트 구조물 특히 교량 등에 많은 손상을 끼쳤고, 손상된 구조물의 휨 강도, 전단강도 및 변위연성능력을 확보하기 위해서 내진보수 및 내진보강의 필요성을 강조해 주었다. 최근 내진설계기준들에서 도입된 역량설계(capacity design) 개념은 구조물의 특정부재(예로써 철근콘크리트교량의 경우 주로 교각)에 대한 파괴모드를 가정하여 전반적인 파괴보다는 국부적인 손상을 유도하여 지진발생 후에도 내진보수 및 내진보강을 통한 구조물의 기능수행을 용이하게 할 수 있도록 하는데 그 주안점을 두어 왔다. 따라서, 구조물 전체에 대해 원하는 형태의 파괴형상은 특정 구조부재의 강도, 강성 및 연성능력에 크게 좌우되기 때문에 그런 특정부재들에 대한 내진보수 및 내진보강에 상당한 주의가 요구된다.

- 1990년대 중반 이후에 발생했던 비교적 큰 지진들은 철근콘크리트 구조물 특히 교량 등에 많은 손상을 끼쳤고, 손상된 구조물의 휨 강도, 전단강도 및 변위연성능력을 확보하기 위해서 내진보수 및 내진보강의 필요성을 강조해 주었음. 최근 내

진설계기준들에서 도입된 역량설계(capacity design) 개념은 구조물의 특정부재(예로써 철근콘크리트교량의 경우 주로 교각)에 대한 파괴모드를 가정하여 전반적인 파괴보다는 국부적인 손상을 유도하여 지진발생 후에도 내진보수 및 내진보강을 통한 구조물의 기능수행을 용이하게 할 수 있도록 하는데 그 주안점을 두어 왔음. 따라서 구조물 전체에 대해 원하는 형태의 파괴형상은 특정 구조부재의 강도, 강성 및 연성능력에 크게 좌우되기 때문에 그런 특정부재들에 대한 내진보수 및 내진보강에 상당한 주의가 요구됨. 철근콘크리트 부재나 구조물의 내진보수 및 내진보강의 필요성에 대한 근본적인 원인은 다음과 같음

- 부적절한 시공재료 (예를 들면 콘크리트의 빈배합) 에 따른 내구성 문제
- 설계나 혹은 시공상의 오류
- 설계단계에서 예측하지 못했던 하중환경의 변화
- 구조물의 사용성의 변화에 따른 하중의 변화
- 노후화된 구조물에 대한 잔존수명의 연장

따라서 성공적인 내진보수 및 내진보강을 수행하기 위해서는 구조물의 실제상태, 예측되는 하중상태 및 적절한 방법 등이 수반이 되어야 함

- 구조적인 효과

- 여러 가지 내진보수 및 내진보강 기법들은 기존 교량 구조물의 연성(ductility), 강성(stiffness) 그리고 강도(strength) 에 영향을 미침
- 내진보강의 주된 목표가 어떤 구조적인 효과의 증진에 설정되었는지, 또한 교량 구조물의 지리적인 특성, 설계하중 등에 따라서 적용될 내진보수 및 내진보강의 기법이 결정되어야 함

표 2.58 내진보수 및 보강기법 구조적 효과

내진보수 및 내진보강 기법	구조적인 효과		
	강도(strength)	강성(stiffness)	연성(ductility)
Resin injection	No	Yes	No
In-situ RC jacketing	Yes	Yes	Yes
Steel jacketing	Yes	Yes	Yes
Plate bending	Yes	Yes	No
Bracing	Yes	Yes	-
External prestressing	Yes	Yes	No
New Members	Yes	Yes	Yes
New Layers(FRP계열, SMA, 스테인레스스팅 등)	Yes	Yes	Yes

○ 내진성능향상 기법

- 내진보수 및 내진보강의 수행에 있어서 적절한 허용안전율을 얻기 위해서, 우선적으로 다음과 같은 내용들에 대한 결정이 선행되어야 한다.

· 내진보수 및 내진보강 구조물의 하중 재하 능력에 대한 정확한 검토
· 미래에 예측되어지는 지진하중에 대한 정확한 이해
· 고급화된 정적 및 동적 해석기법
· 시공상의 오류 제거
· 내진보수 및 내진보강 방법의 신중한 선택

- 내진보강 기법 : 내진보강은 일반적으로 전체적인 재설계(redesign) 와 관련되어서 수행하여야 한다. 많은 경우에 있어서 구조물의 내진보강에 강도가 증가되는 반면에 연성(ductility)이 저하되는 경우가 발생하므로 내진보강의 정도는 요구되는 안전도에 준해서 수행되어야 한다. 내진보강기법은 크게 3가지로 분류할 수 있음

· 강도증진 기법(Strength-only Intervention) : 구조물의 강성의 증가 없이 강도만의 증진이 요구될 때 사용할 수 있음. 사실 구조물의 강성의 분포는 내진설계단계에서 이미 고려되었기 때문에 구조물의 특정부재에 대한 강성의 증가는 구조물의 규칙성(regularity) 을 파괴시킬 수도 있음. 따라서 강성의 변화 없이 강도만의 증

진이 요구될 때 사용될 수 있음

· 강성증진 기법(Stiffness-only Intervention) : 균열 및 지속하중 등에 의해서 손상된 철근콘크리트 부재는 강성의 저하가 발생함. 하지만 휨 부재의 경우에 있어서는 균열 등에 의해서 발생한 강성의 저하에 비례하는 강도의 저하가 반드시 발생하지는 않음. 이와 같은 경우에는 강도의 증진이 특별히 필요로 되지 않기 때문에, 강도의 변화 없이 강성의 증진만이 요구될 때 사용될 수 있음

· 연성증진 기법(Ductility-only Intervention) : 구조물의 부재가 강도나 강성의 특별한 저하가 없는 경우에, 부재의 연성이나 구조물의 전체적인 내진거동을 향상시키려 할 경우에 주로 사용함. 구조물이 기능성을 유지하기 위해서는 강도나 강성이 커야 하는 반면에 구조물의 파괴를 방지하기 위해서는 연성이 고려되어야 하기 때문임. 특히 최근 국내외 내진설계기준에 소성 및 연성설계의 개념이 많이 적용되고 있는 상황에서, 예전의 내진설계기준에 의해서 설계된 기 구조물에 대한 연성증진이 요구될 때 사용될 수 있음

- 내진보강기법에 대한 상세 공법들을 나열하면 다음과 같다.

· Strengthening of the reinforcement: 부식되거나 부적절하게 배치된 철근들의 교체를 통한 보강

· Strengthening with reinforcing bars and jacketing: 부셔져 나간 콘크리트 부분에 충분한 양의 철근 배치를 통한 보강

· Externally bonded structural plates: epoxy resin을 사용하여 steel plates나 carbon fibre reinforced plastic (CFRP) 을 콘크리트의 외부에 부착시켜 보강

· Strengthening with longitudinal post-tensioning: 부착시키거나 부착시키지 않은 강재 (tendon) 를 사용하여 보강

· Steel bracing: 강도보강 뿐만 아니라 강성의 보강도 동시에 요구될 때

· Steel jacketing: 얇은 steel plate 나 steel encasement 를 사용하여 강도증진

- 내진보수 및 내진보강 기법의 구조적 효과

· 언급된 여러 가지 내진보수 및 내진보강 기법들은 기존 교량 구조물의 연성(ductility), 강성(stiffness) 그리고 강도(strength) 에 영향을 미친다. 위에서 언급된 내진보수 및 내진보강 기법들 중 대표기법들에 대한 구조적인 효과를 도표화하면 다음 표와 같다.

다음 표에서 나타난 것처럼 내진보수 및 내진보강의 주된 목표가 어떤 구조적인 효

과의 증진에 설정되었는지, 또한 교량 구조물의 지리적인 특성, 설계하중 등에 따라서 적용될 내진보수 및 내진보강의 기법이 결정되어야 한다. 따라서 위의 도표에서 언급된 대표적인 세 가지 즉, 강도, 강성 및 연성의 구조적인 효과에 대해서 내진보수 및 내진보강이 이루어 질 수 있으며 이에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.

표 2.59 내진보수 및 내진보강 기법에 따른 구조적인 효과

내진보수 및 내진보강 기법	구조적인 효과		
	강도(strength)	강성(stiffness)	연성(ductility)
Resin injection	No	Yes	No
In-situ RC jacketing	Yes	Yes	Yes
Steel jacketing	Yes	Yes	Yes
Plate bending	Yes	Yes	No
Bracing	Yes	Yes	-
External prestressing	Yes	Yes	No
New Members	Yes	Yes	Yes
New Layers(FRP계열, SMA, 스테인레스스팅 등)	Yes	Yes	Yes

○ 내진성능 향상절차

- 기존 시설물에 대한 내진보강의 목적은 지진발생시 인명피해, 시설물의 붕괴, 노선상 중요한 시설물의 기능상실 등의 중대한 피해를 최소화하는데 있음. 특히 철도시설물은 도로교와 달리 우회로가 없어 시설물에 지진으로 인한 피해 발생 시 사회적, 경제적으로 막대한 손실을 유발시키므로 사전에 기존시설물에 대하여 합리적인 방법으로 내진성능을 평가하고 내진보강방안을 수립하는 것이 필요함

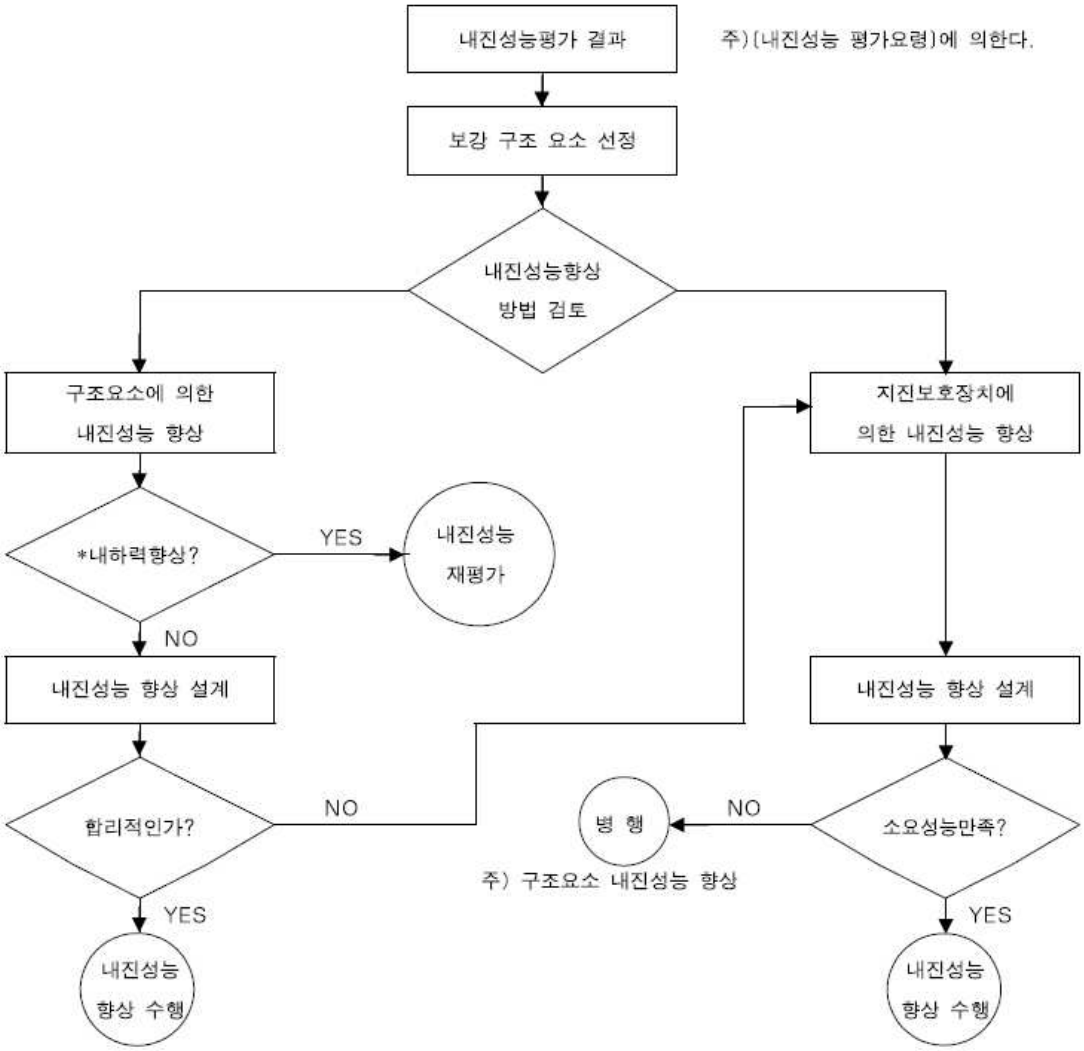


그림 2.23 내진성능 향상절차

* 내진성능 향상작업에 의하여 내하력 향상이 있는 경우에는 지진하중을 다시 산정하여 구조요소별 내진성능을 다시 평가하여야 함

라. 지진 발생 후 철도인프라 급속복구 기술

○ 지진 후 복구

- 지진재해대책법에 따르면 지진으로 피해가 발생한 경우 시설물의 사용가능 여부 등에 대한 위험도를 평가하도록 되어 있음. 철도 시스템의 경우 지진 발생 후 승객 수송 및 물류의 빠른 정상화를 위해서는 특히 손상 인프라의 조속한 진단 및 복구가 필요할 것으로 예상되나 이에 대한 관련 기술의 정비가 아직 부족한 상태이며 복구활동을 위한 표준 지침 또는 매뉴얼이 없는 상태임
- 또한 신속한 위험도 평가를 하기 위하여 관할 구역에 거주하는 관련 분야 전문가들로 구성된 피해시설물 위험도 평가단을 운영하도록 되어있으나 이를 전국적으로 연결된 철도 인프라에 적용하기엔 다소 개선이 필요함
- 철도청 자체 훈령의 철도재해업무처리규정에 중수설해, 지진 및 화재 등 각종 재해로부터 철도시설과 재산을 보호, 열차안전 운행 도모, 재해예방 및 신속한 복구작업 수행에 필요한 사항을 규정하고 있음
- 현재의 철도 인프라의 손상평가를 위한 비파괴 기술

‣ 장파장 궤도 틀림의 변화를 확인하기 위해 궤도검측차로 차체진동가속도를 측정하는 방법

‣ 국소적으로 뜬 침목이나 연선의 소음, 진동에 영향을 주는 레일 요철의 파악을 위한 축상진동가속도를 측정하는 방법

‣ 좌우레일의 고저차이를 계측하기 위한 관성 중앙종거 궤도검측장치

‣ 차체진동가속도와 전망화상을 기록하여 이상발생지점과 원인의 특정에 이용하는 방법 및 화상 촬영단독으로 세밀한 선로의 부분을 검사하는 방법

‣ 레일백색층의 검사를 위하여 초전도 자기센서를 이용한 방법.

‣ 레일의 국부손상 탐지를 위한 광섬유 센서 및 압전 센서 등의 스마트 센서를 활용하는 비파괴 검사 방법

‣ 또한 레일의 신속한 손상평가를 위하여 레이저 펄스와 비접촉 센싱기술을 활용하는 비파괴 검사 방법 등이 제안되고 있음

마. 지진 조기 대응시스템 기술

○ 조기경보시스템

- 경부고속철도 37개소 지진감시시스템이 설치되어 있으나 지진의 특성상 초기대응이 가장 중요하나 일본 등 선진국 대비 대응시간이 길어짐으로 인하여 신속한 대처 및 효율성에 의문
- 국립방재연구소에서는 지진으로 인한 대규모 재해 발생시에 신속한 초동대응을 위한 지진재해정보시스템 도입방안에 관한 연구로, DIS, HAZUS 및 Haz-Taiwan, TELES 등 외국의 관련 시스템을 검토·분석하였음

○ 고속철도 지진감시 시스템

- 기상청과 고속철도 광명 관제실에 시스템 구축
  - ‣ 서울~대구 구간에 평균 12km, 대구~부산구간에 평균 8km 간격으로 총 37개소 교량에 지진계측설비 설치
- 프랑스TGV의 기준에 따라 서행 및 정지경보 발령

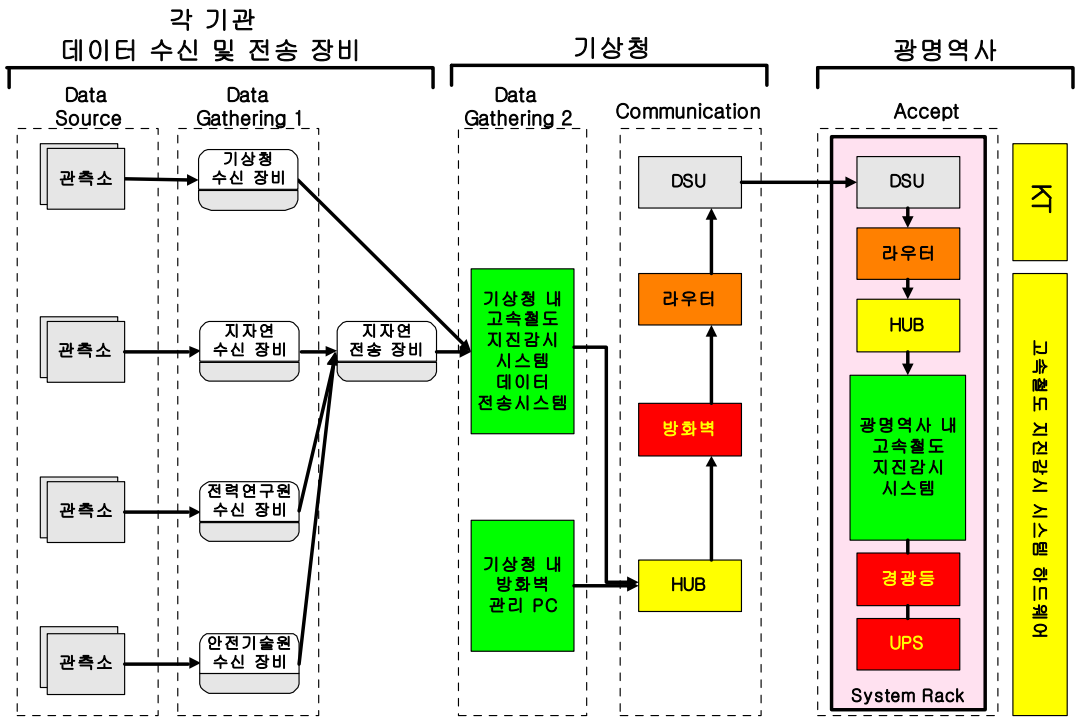


그림 2.24 고속철도 지진감시시스템의 하드웨어 구성도

○ 원자력발전소 지진 관측 대응 시스템

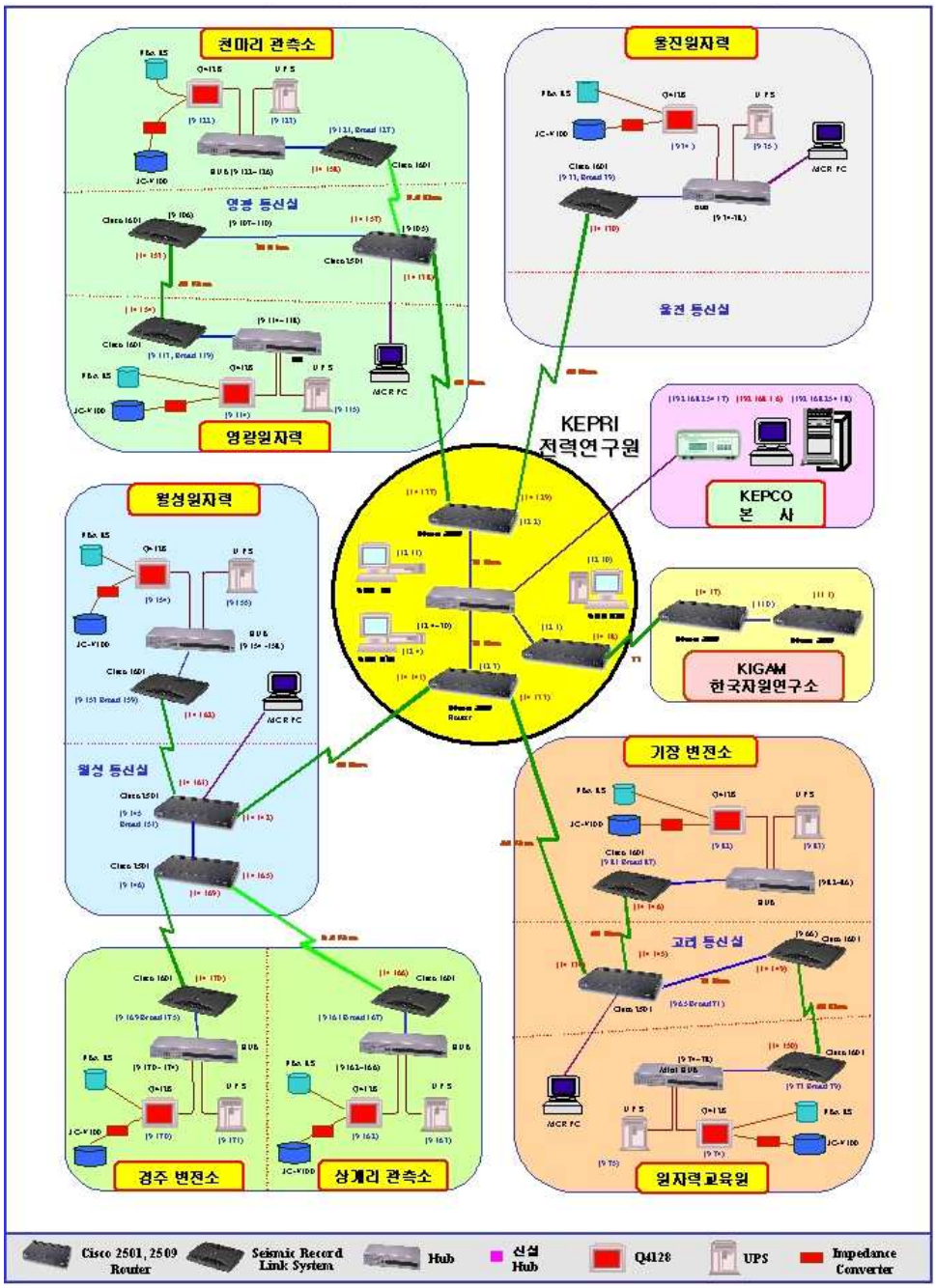


그림 2.25 원전부지 지진 관측망 구성도

○ 인천국제공항 지진 관측 대응 시스템

- 공항 청사 및 활주로 주변 지반에 대한 가속도 지진 관측 시스템 개발 운영
- 지반의 경우 토사 및 암반에 대한 시추공 지진 관측을 통해 체계적 지진응답 관측
- 공항 시설 특성을 고려한 차별적 지진 대응 수준 설정 및 시스템 적용을 통한 운영

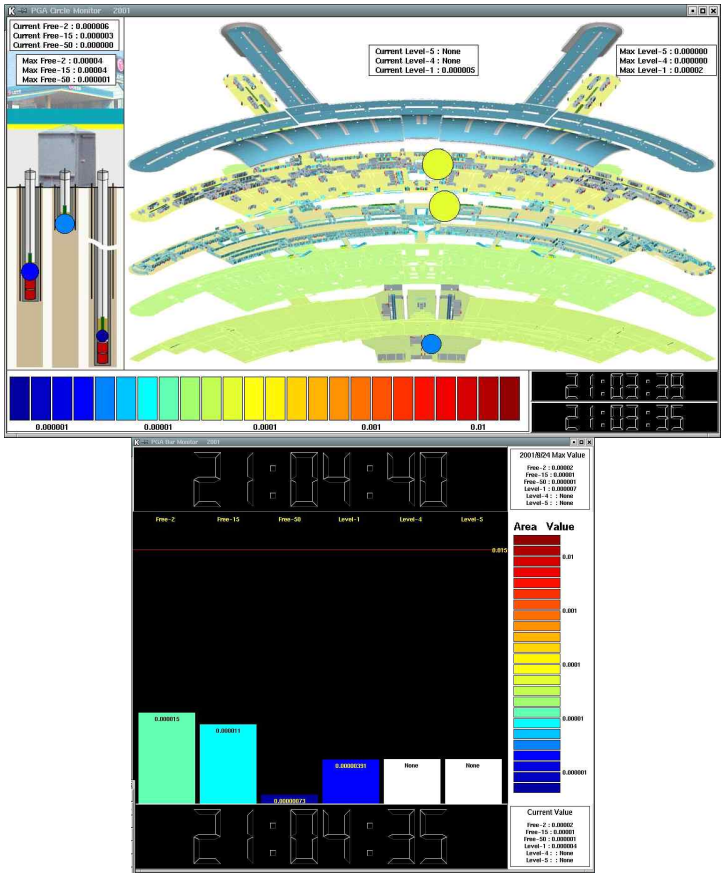


그림 2.26 인천국제공항 지진 관측 경보 시스템

○ 도시가스 지진 대응 시스템

- 대전, 울산 및 마산 창원 지역의 도시가스 시설에 대한 가속도 지진 모니터링 시스템 구축
- 지역별 GIS 의사 결정 시스템 개발 적용을 통한 종합적 지진대응 시스템 적용

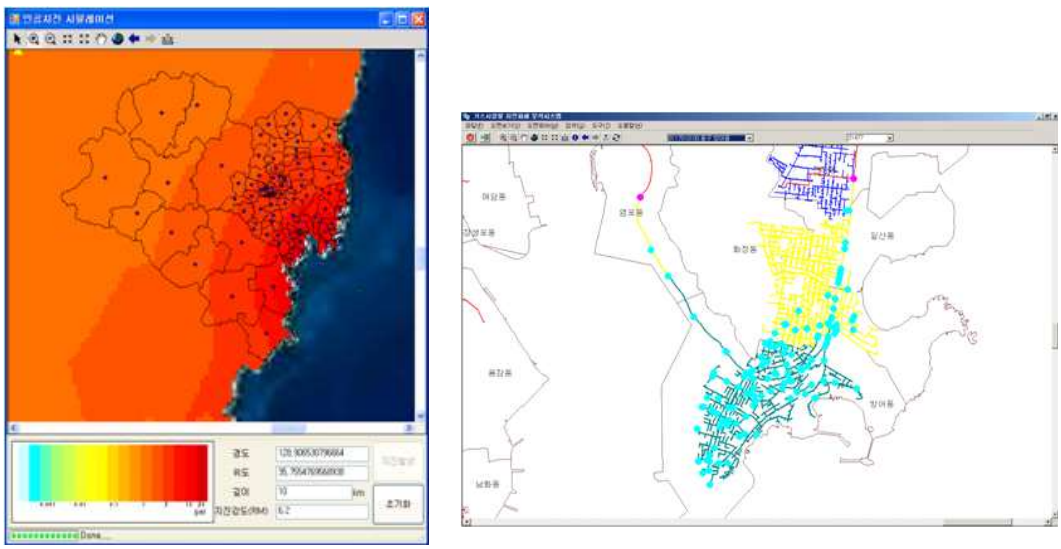


그림 2.27 시범지역 도시가스 지진관측 대응 정보 시스템

○ 댐 지진 모니터링 시스템

- 주요 댐 시설의 지진 모니터링 및 가속도 관측 시스템 구축
- 기존 노후 모니터링 하드웨어의 보완 진행 중

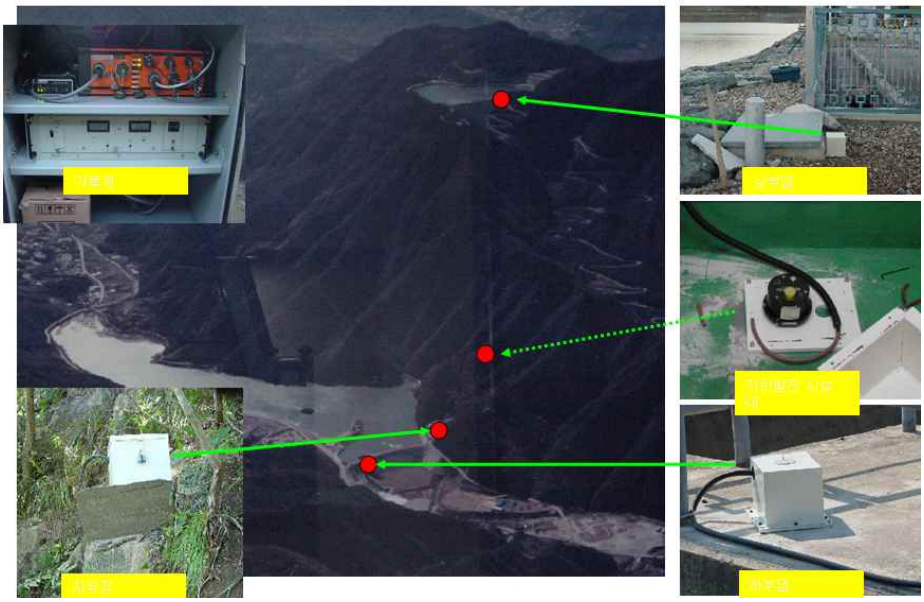


그림 2.28 댐(무주 양수 발전소) 지진모니터링 시스템 구축 사례

○ 주요 화력 발전소 지진 모니터링 시스템

- 지진 모니터링 및 주요시설물에 대한 가속도 지진 관측 시스템 구축 운영

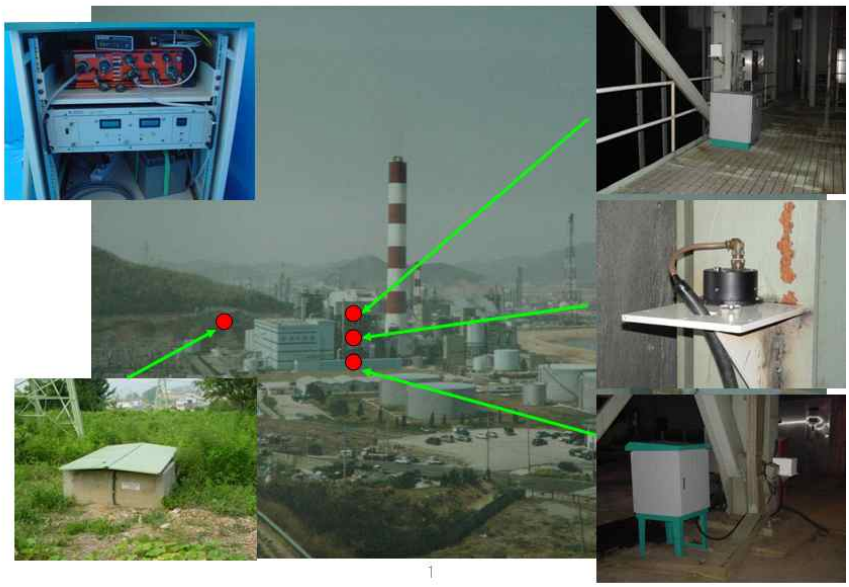


그림 2.29 화력발전소 지진모니터링 시스템 구축 사례

3절. 연구개발 인프라 분석

1. 연구개발 인프라 현황

가. 관련 대학 및 연구소 인프라 현황

○ 국내 대학·연구소 인프라

기관명	연구기관 기술 수준	분야
KAIST 스마트 사회기반 시설 연구센터	• 대형 사회기반 시설물 안전성 확보를 위한 상시 모니터링 시스템 구축 • 대형 사회기반시설물 계획 설계 시공 유지관리 스마트 구조기술 개발 • 지진감지시스템, 진동제어, 스마트 보수 보강 요소 기술 개발	구조 모니터링

○ 국외 대학·연구소 인프라

기관명	연구기관 기술 수준	분야
미국 과학재단 NEES	• 미국 National Earthquake Hazards Reduction Program • 인프라의 내진성능 향상을 위한 연구 시스템 • 일본과 공동으로 3D 실물지진실험을 위한 대형 진동대를 구축함	내진성능 평가
PEER	• 건물과 인프라의 성능 기반 지진 설계 기술 개발 • 지진관련 엔지니어링 도구 및 기준 개발	내진기준 S/W개발
일본방재 과학기술 연구소 NIED	• 전국규모 지진망 운영 및 관리 • 지진 메커니즘 규명 연구 및 지진 속보 실용화 • 대형 진동대를 통한 실대형 지진실험시설 구축 • 초고층, 목조, RC 등 다양한 구조물의 내진 실험	

나. 관련 기업 인프라 현황

○ 국내 기업 인프라

기관명	업체별 능력	분야
유니슨엔지니어링	• 진동방지장치	내진설계
테크스타코리아	• 교량용 충격분산장치, 탄성받침, 내진신축이음장치	내진설계

다. 관련 연구인력 인프라 현황

- 국내 건설교통 R&D 인력 중 본 기획과제와 관련된 내진 분야의 연구 인력은 전체 건설교통 R&D 분야별 평균 연구 인력과 비교하면 다소 취약한 편임(건설교통부, 2006) [7)]

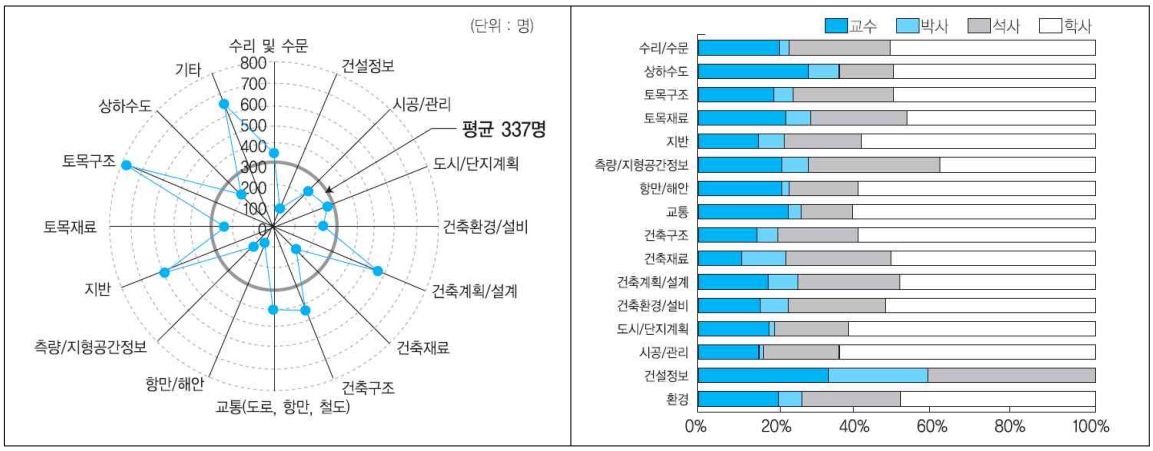


그림 2.30 국내 내진 R&D 인력분포

○ 전문가 그룹은 다음과 같은 역할을 수행할 계획

- 기획연구 목표 및 내용, 추진전략에 대한 수립결과 지원
- 요구사항 분석, 선행 또는 수행예정 관련과제와의 중복성 및 차별성 검토결과 검증
- 기존 연구개발 결과 및 활용성 검토결과 검증
- 선행연구, 기술동향, 정책동향에 따른 방향성 지원

주7) 건설교통 R&D 혁신로드맵, 건설교통부, 2006

- 연구개발 과제에 대한 정책적/기술적/경제적 타당성 검토 지원

항목	전문가	소속기관	기술개발현황
내진설계 기준 & 내진성능 평가 & 구조해석	이도형	배재대학교	• 도로교 설계기준 내진설계편 개정 연구 수행 • 콘크리트 구조 설계기준 개정 연구 수행 • 철도교 설계기준(하부구조, 내진) 개정 연구 수행
지진 피해복구	장지호	GS건설	• 지진 후 지반 손상평가 전문가 (일본 시미즈 건설 8년 근무)
	최훈	삼성건설	• 교량전체 시스템 대상 진동대 실험 전문가
구조 건전성	박승희	성균관대학교	• 건설 IT 기술 기반 구조물 건전성 평가 기법 개발 • 스마트 센서를 이용하는 NDT 기법 개발

라. 관련 연구시설 인프라 현황

(1) 국내 연구시설 인프라

기관명	연구기자재 연구시설명	규 격	수량	활용용도	비 고
한국철도기술 연구원	6자유도 진동대	6-DOF 4.1m X 4.1m Shake table 300kN 동적엑츄에이터 최대가속도±0.8~1.7g	1	지진파 모사장비 진동실험	
한국과학기술원	지오센트리퓨지 실험센터	24kN 2축 진동대 최대가속도 130g	1	지반거동, 지반-구조물 상호작용	KOCED
부산대학교	다지점 가진 대용량 지진모사 실험센터	300kN 최대가속도 1.2g	1	다지점 지진 모사장비 진동실험	KOCED
		600kN 최대가속도 1.0g	1		
		300kN 최대가속도 1.0g	1		
명지대학교	하이브리드 구조실험센	3층규모 반력벽 5,000kN Dynamic UTM	1	실대형 구조물 유사동적실험	KOCED

	터				
대우건설기술 연구소	원심모형시험기	120g-ton	1	지반거동, 지반-구조물 상호작용	
	진동대	1.42g 150kg 1mX1m Shake table	1	지진파 모사장비 진동실험	
현대건설기술 연구소	진동대	1D- 5m X 3m 30ton 2D- 2m X 2m 5ton Shake table	1	지진파 모사장비 진동실험	
한국기계연구원	진동대	6-DOF 4m X 4m 30 ton Shake table 1.6g ~ 2.4g	1	지진파 모사장비 진동실험	

(2) 국외 연구시설 인프라

기관명	연구기자재 연구시설명	규 격	수량	활용용도	비 고
EERI	6자유도 진동대	300kN 동적엑츄에이터	1	지진파 모사장비 진동실험	
University of California, Davis	원심모형실험기	75g Biaxial ShakingTable	1	지반거동, 지반-구조물 상호작용	NEES
Rensselaer Polytechnic Institute	원심모형실험기	150g-Ton, 2D Shaker, 4-DOF Robot	1	지반거동, 지반-구조물 상호작용	NEES
University of Buffalo, SUNY	진동대	6-DOF 50Ton Shake Tables	2	실시간 다지점 지진모사, 유사동적 진동실험	NEES
University of California at San Diego	진동대	20MN Shake Table, 6.8MN-actuators	1	대형구조물 진동실험	NEES
University of Nevada at Reno	진동대	450 kN biaxial shake tables	3	교량 지진모사실험, 진동실험	NEES
Oregon State	Multi	2.1m-Max Stroke	1	지진해일 모사실험	NEES

기관명	연구기자재 연구시설명	규 격	수량	활용용도	비 고
University	directional wave basin for remote tsunami	Tsunami Wave Basin			
		4m-Max Stroke Large Wave Flume	1		
University of Texas, Austin	Mobile field equipment	Buggy-mounted Vibrator, P-wave Vibrator, Shear-wave Vibrator	1	Field Testing, Monitoring	NEES
University of California, LA	Earthquake Engineering Mobile Lab.	Omni&Uni-directional eccentric mass shaker , 15 kips amplitude Linear Shaker	1	Field Testing, Monitoring	NEES
University of California, Santa Barbara	Permanently Instrumented Field Sites	one-story soil-foundation structure-interaction structure, Wildlife Liquefaction Array	1	soil-foundation structure-interaction Field Testing	NEES
University of Minnesota	Multi-Axial Subassemblage Testing System	6-DOF 5,900 kN vertical force , 3,900kN horizontal force	1	Test the strength of structural components up to two stories high at full scale or higher at partial scale.	NEES
University of Illinois, Urbana-Champaign	Multi-axial Full-scale Substructure Testing and Simulation	6-DOF Loading and Boundary Condition Boxes	1	지반-구조물 상호작용 실험	NEES
Lehigh University	실시간 다방향 대형구조물 내진성능 실험실	15.2m to 6.1m tall L-shaped reaction wall 30.5m to 12.2m strong test floor	1	multi axis loadingto large-scale two-and three-dimensional test structures and test frames	NEES
University of California, Berkeley	Reconfigurable reaction wall-based	378~1,930kN 13m one-rock wall 601~3,870kN 13m	1	pseudo-dynamic testing of a wall-and-frame	NEES

기관명	연구기자재 연구시설명	규 격	수량	활용용도	비 고
	earthquake simulator	two-blocks wall		specimen	
Cornell University	라이프라인 대변형 지반-구조물 상호작용 실험실	± 0.91m large stroke actuators	2	Soil Structure Interaction Under Permanent Ground Deformation	NEES
Hong Kong University of Science and Technology	원심모형실험기	400g-Ton, 2D Laminar Container, 4-DOF Robot	1	지반거동, 지반-구조물 상호작용	
토목연구소, 일본	진동대	8m X 8m 100ton(max 300ton) Shake table	1	대규모 지진동 재현	
방재과학기술연구소, 일본	진동대	14.5m X 15m 500ton Shake table	1	장주기 구조물의 거동특성연구	
E-defense, 일본	진동대	20m X 15m 1,200ton Shake table	1	3차원 진동파괴실험	
카지마건설, 일본	진동대	6-DOF 5m X 5m 30ton Shake table 2g-vertical acceleration	1	3차원 지진 모사실험	
University of Bristol, UK	진동대	3m X 3m 15ton Shake table, 4g horizontal &vertical acceleration	1	3차원 강진 모사실험	EERC
University of British Columbia	진동대	3m X 3m Shake table	1	지진파 모사장비 진동실험	
NCREE, Taipei	진동대	6-DOF 50ton 5m X 5m Shake table	1	지진파 모사장비 진동실험	
EERC, Sharif University of Technology, Iran	진동대	4m X 4m 30ton Shake table, Power pack	1	지진파 모사장비 대변위 진동실험	

2. 인프라 현황분석

○ 인프라별 국내 현황 분석

구 분	국내수준	비고
인력	현재 본 사업과 관련해서는 국내 관련 연구소 및 일부 대학의 전문 분야에만 핵심인력이 존재하며, 기업 등에는 현재 숙련된 인력이 부족한 실정임.	
기자재	연구에 연계할 수 있는 Test-Bed 성격의 실험 인프라는 부족한 실정임	
산학공동 연구기반	관련 인력이 부족한 학계와 산업계의 needs 그리고 연구계의 인프라 등이 결합된 새로운 형태의 연구 추진체계가 요구됨	
기술이전 및 거래	현재는 기술이전과 기술거래가 빈약하며 본 사업의 형태의 공공성을 강하게 띠고 있는 형태이므로, 세부 요소기술들이 개발된 이후에 기술이전이나 거래가 연계될 수 있으며 관련 기술 분야의 전망은 매우 밝음	
국제기술 협력기반	향후 국제 기술 협력기반에서 우리의 역할이 우월적인 입장에서 진행될 가능성이 있음	
업계 기술 투자	공공사업 성격이 강하지만 건설 업체나 본 사업과 관련된 산업 인프라를 확대하는 측면에서는 향후 기술 투자가 민간 차원에서도 활발히 이루어 질 것으로 기대되며 초기 사업 추진을 공공 측면에서 지원하게 되면 민간이 적극 투자를 하게 될 것으로 판단됨	

○ 선진국 대비 국내연구 인프라 수준분석

인프라 항목	선진국 대비 인프라 수준				
	부족	다소부족	동등	우월	보다우월
전문인력		○			
기자재			○		
산학연 공동연구기반			○		
기술이전 및 거래		○			
국제기술협력기반		○			
업계현황		○			

4절. 종합분석

1. 국내외 정책 및 시장분석

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

○ 국내 철도 교통시설 증가에 따라 신규 철도 인프라의 내진성능의 조기확보가 필요하며, 최근 연구성과를 반영한 개선된 설계기준 제정을 통하여 내진 안전성의 신뢰도 확보가 필요

- 현재 29%인 철도분야 SOC 투자를 2020년까지 50%로 확대 (2010년 철도분야 예산 5.2조원)
- 철도연장 3,378km 5,497km 확대
- 제2차 국가철도망 구축계획에 따라 2020년까지 88조원이 투입되어 지속적인 국가철도망 구축

○ 국내 내진설계기준의 제·개정 현황은 다음과 같음. 설계기준의 제·개정을 통한 주요 시설의 내진규모가 소폭 상향되었음.

- 1978년 홍성지진 이후 댐(1979), 터널(1985)에 대한 내진설계 의무화
- 1985년 멕시코지진을 계기로 건축물(1988), 고속철도(1991), 교량(1992)의 내진설계 의무화
- 1995년 일본 고베지진을 계기로1996년「풍수해대책법」을 자연재해대책법」으로 개정, 주요 시설의 내진설계기준 설정 의무화
- 1998년「내진설계기준 준칙」에서 내진규모를 4.5~5에서 5~7로 상향 10종의 주요시설의 내진설계기준 제정
- 2005년「도시철도 내진설계기준」제정, 약한지진에 대한 구조물 기능유지를 의무화
- 2005년「건축구조설계기준」개정, 지진재해위험도를 2400년 주기로 상향
- 2008년 지진재해대책법 제정, 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정, 기존시설물의 내진향상을 위하여 5년마다 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강 추진
- 2011년「도로교 설계기준」개정, 콘크리트 교각의 연성도설계를 도입하여 중약진 지역 특성 반영

○ 국내 내진설계 기술 동향

- IT기술 발달로 설계 및 해석의 정밀도 상승
- 최근 교량 설계기준에서는 기존의 응답수정계수 대신 교각의 소요연성도를 직접 구하는 방법을 제시
- 정밀해석이 필요한 구조물 증가에 따라 비선형해석 및 지반-구조물 상호작용을 고려한 해석법 사용 및 해석법 개선 증가

○ 국내 비구조 인프라 내진설계기준 동향

- 건축구조기준(2009)에서 건축, 기계 및 전기설비 등의 비구조요소는 규정에 따라 결정된 등가정적 하중과 변위에 견디도록 명시하였으나, 구체적인 각 설비별 특성을 고려한 세부적 설계기준, 설계지침은 미흡
- 2012년부터 소방 설비 배관의 내진설계 의무화

○ 미국 비구조 인프라 내진 기준

- IBC '1621.3 Mechanical and electrical component design', '1621.3.14 Elevator design requirements' 등 다수의 기준에서 규정

○ 일본 비구조재 내진 기준

- 대지지시 건축설비가 건축물에서 탈락/전도하거나, 이동 없이 설비의 기능 확보 또는 긴급히 기능회복이 가능한 것을 목표 수준으로로 설계

○ 현행 철도 인프라 내진설계 기준 제·개정 필요

- 내진이론의 향상, 각종 구조물 해석법 개선, 환경 변화 등을 반영한 지속적인 개선의 노력이 요구됨
- 실무적용성을 고려한 구조물별 해석법, 각종 계수의 개선, 국내 지반 특성 고려
- 기능수행과 붕괴방지의 다중 성능개념은 도입하였으나 세부적인 설계 지침에 대한 기술적 반영 미비

○ 철도 비구조 인프라에 대한 내진설계기준 부재

- 철도 전력, 통신, 신호 시스템 내진설계기준 필요
- 지진시 철도설비와 철도 구조물의 상호 작용 고려 필요

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 국내 궤도 및 설비 내진평가 및 향상 기술 동향

- 철도 설비 내진성능 평가기준 부재 및 내진향상을 위한 연구 및 기술개발 미흡
- 궤도 내진성능 평가기준 부재 및 내진향상을 위한 연구 및 기술개발 미흡

○ 국내 철도분야 내진설계 기준 제·개정에 따른 인프라의 내진 평가 및 보강 필요

- 기준제정: 도시철도 내진설계기준 (2005년), 궤도시설의 건설에 관한 설비기준 (2010)
- 기준개정: 고속철도 설계기준 (2000년 0.14g에서 0.154g로 상향, 2011년 일반철도와 통합

○ 기존 철도 인프라 내진 보강 현황은 다음과 같음. 현재 철도 시스템 특성이 반영된 내진보강 지침의 부재 및 보강성능 확인을 위한 평가기술 미흡으로 보강 효율성에 대한 재고가 필요함

- 2008년 일반철도 내진성능평가 결과 교량 및 터널 388개 선정 보강 중, 약 1000억원 소요
- 내진설계 미반영된 도시철도 시설물 중 2014년까지 서울시 59개소, 부산시 14개소 보강 중, 서울시(2015~2019) 236개소 보강 계획
- 철도 시스템 특성을 고려한 내진보강 공법 부족

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 일본 국토교통성 기술기본계획 수립

- 내진 및 재해 대응, 복구, 부흥 계획의 고도화 등 피해경감기술이 분야별 추진계획에 명시되어 예기치 못한 대규모 지진에 대한 대응 및 복구방안에 대한 관심 고조

○ 일본 재해정보시스템(DIS)

- 피해상황 조기파악과 관련기관 정보 공유화에 의한 응급복구시의 의사결정 지원, 내각부 운영
- 조기평가시스템(EES), 응급대응시스템(EMS) 운영

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

○ 소방방재청 지진재해대응시스템 구축(2007~현재)
- 창녕군청사 지진가속도계측기 통합관리시스템 구축(2011.10)

○ KTX 지진감시 시스템
- 기상청과 광명역에 시스템 구축, 서울~대구 구간 12km, 대구~부산구간 8km 간격으로 총 37개소 교량에 지진계측설비 설치, 서행 및 정지경보 발령

○ 일본 지진 조기대응시스템 구축 현황
- 지진하중을 고려한 동적 상호작용 해석을 바탕으로 지진 중 주행차량의 안전성 확보를 위해 지진조기검지시스템 구축으로 탈선 안전성 향상을 위한 연구와 열차 운영 기준과의 연계 구축
- 지진 규모가 4 이상으로 예상될 때 지진규모와 도착 시간에 대한 정보 발송

○ 고속, 일반 도시철도 인프라 특성에 적합한 지진초기 피해 사전 예측기술 개발 및 응급 운행 대책 수립 필요

2. 기술개발 동향 및 인프라 분석

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

○ 국외 내진설계기준 동향은 성능기반 설계 기술로 전환되는 것이 세계적 추세로 나타남
- 1968년 Tokachi지진 이후 일본에서 철근콘크리트 구조물의 내진설계기준을 강화
- 1995년 고베지진 이후 일본의 내진설계 개념은 강성설계에서 연성설계로 전환 및 미국의 성능설계기준의 도입을 추진
- 1978년 신뢰도 기반과 성능지향으로 정의한 CEB Model Code가 유럽에서 제정됨
- 최근 CEB Model Code를 기반으로 한 Eurocode 8의 설계법이 전세계적으로 전파되고 있음

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 미국의 설비 내진평가 기술 동향

- IBC(International Building Code)의 내진설계 지침을 만족하도록 진동대에 의한 실제시험, 3차원 충격 검사, 역학적 특징과 지진력을 이용한 분석적인 방법 등 안전성을 위한 엄격한 분석시행

○ 일본 궤도 내진평가 기술 동향

- JR 동일본은 표준궤도의 정량적 위험도 분석을 실시
- 지진 중 주행차량의 안전성 확보를 위하여 동적 상호작용을 검토

○ 궤도 및 설비 내진성능 평가기준 및 내진보강을 위한 시스템 개발 필요

- 궤도 및 설비관련 성능평가 체계 및 검증된 보강시스템 부재
- 전차선, 전력, 신호 등 설비의 철도 시스템 운행 안전성을 고려한 인터페이스 반영
- 철도 구조물과 비구조재의 인터페이스 고려

○ 철도 시스템 특성을 고려한 내진성능 향상 요령 정립 필요

- 철도 구조물 특성을 고려한 내진성능 평가기준 및 내진성능 향상기술 적용 방안 연구 필요

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 현재의 철도 인프라의 손상평가를 위한 비파괴 기술은 다음과 같음.

- 장파장 궤도 틀림의 변화를 확인하기 위해 궤도검측차로 차체진동가속도를 측정하는 방법
- 국소적으로 뜬 침목이나 연선의 소음, 진동에 영향을 주는 레일 요철의 파악을 위한 축상진동가속도를 측정하는 방법
- 좌우레일의 고저차이를 계측하기 위한 관성 중앙종거 궤도검측장치
- 차체진동가속도와 전망화상을 기록하여 이상발생지점과 원인의 특정에 이용하는

방법 및 화상 촬영단독으로 세밀한 선로의 부분을 검사하는 방법
- 레일백색층의 검사를 위하여 초전도 자기센서를 이용한 방법.
- 레일의 국부손상 탐지를 위한 광섬유 센서 및 압전 센서 등의 스마트 센서를 활용하는 비파괴 검사 방법
- 또한 레일의 신속한 손상평가를 위하여 레이저 펄스와 비접촉 센싱기술을 활용하는 비파괴 검사 방법 등이 제안되고 있음

○ 미국 CALTRANS 지진 후 교량 안정성 평가 및 복구 방안 연구
- Nevada 대학, 교량 구조물 진동대 실험을 통해 실제 손상을 가한 후 응급복구 방법을 적용하여 타당성 분석 진행 중

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

○ 일본 TERAS 활용 - HERAS개발 중
- RTRI, 지진피해 예측, 피해 산정, 복구 지원

○ 일본 긴급지진탐지경보시스템(UREDAS)
- 초기 지진의 미세한 움직임을 포착하여 분석한 뒤 지진의 여파가 도달하는데 걸리는 시간과 진도를 미리 알려주는 방식, 속보 후 대비조치 체제 구축
- 철도 운영시스템 마다 서로 다른 알고리즘을 적용하여 운영하는 등 지속적인 시스템 업그레이드를 진행중임(Compact UREDAS)

○ 일본 UREDAS 시스템과 같은 조기대응시스템 필요
- 현재 국내 조기경보 시스템은 경보전달속도가 느려 피해 예방이 어려워 국내 환경에 적합한 지진 조기대응시스템 구축 필요
- 지역별 지진발생 크기와 지반특성 연구를 바탕으로 지진 시 증폭현상을 평가하여 지진규모 사전 예측 필요
- 현재 운영중인 고속철도 지진감지시스템 연계 및 확대 적용이 필요

3장. 기술수요 조사

3장. 기술수요 조사

1절. 기술수요조사 및 결과

○ 기술수요조사 수행결과 요약은 다음 표와 같음

표 3.1 기술조사의 개요

구 분	내용
조사기간	2011. 09. 26 ~ 2011. 10. 07
조사대상	출연연구기관, 공사 연구소, 대학, 민간기업체 소속의 방재, 내진, 철도, 토목, 건축, 설비분야 전문가 72명
응답자수	72명 중 31명(43.1%)
조사항목	이메일을 통한 설문조사
조사방법	제안기술의 개요(중점추진분야분류, 연구수행기관, 기술개발단계), 연구개발목표 및 내용, 연구개발필요성, 제안기술관련 국내외 시장/기술/정책 동향

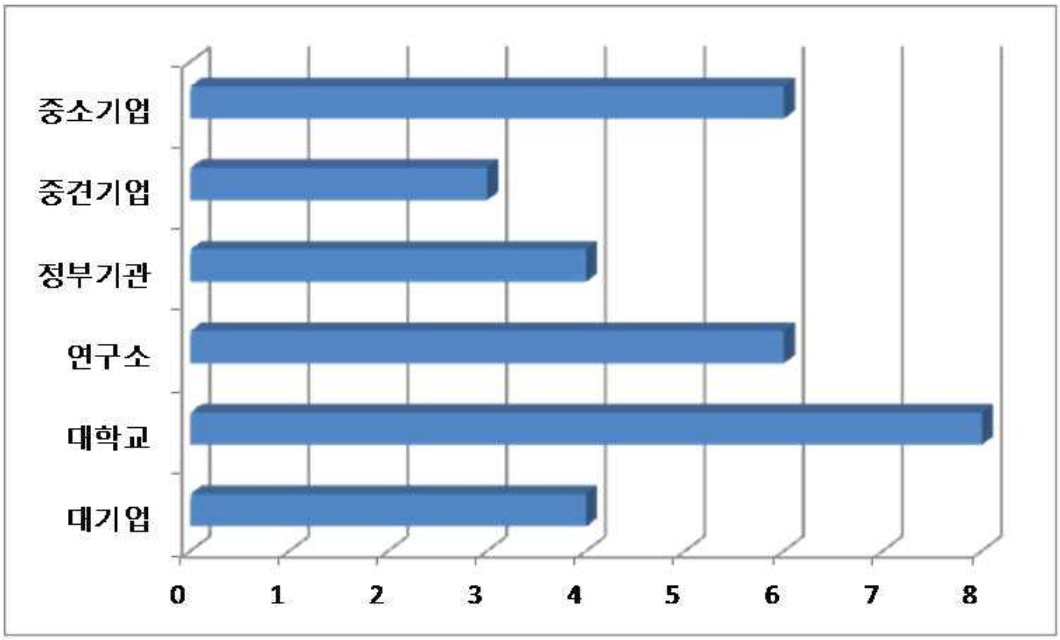


그림 3.1 기술수요조사 응답자 분석

○ 목적

- 기술수요조사의 목적은 내진에 관련된 기술분야에서 필요성이 높을 것으로 예상되는 기술을 세부과제 또는 요소기술 수준에서 도출하는 것임
- 기술수요조사는 기술개발 우선순위를 파악하고 기술개발 과제간 효율적인 자원배분 방안을 마련하기 위한 기획연구의 사전조사에 해당함

○ 절차

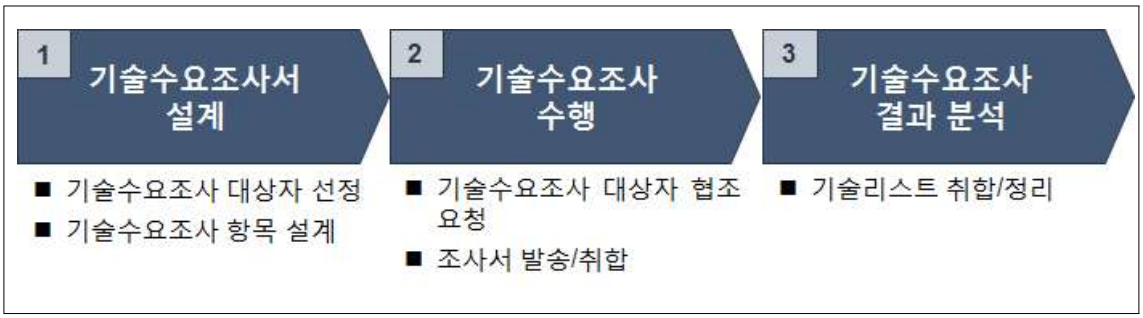


그림 3.2 기술수요조사 프로세스

○ 결과의 활용

- 기술수요조사 결과는 향후 진행될 중점추진분야 선정 및 후보과제 선정에 활용되며, 중점추진분야별 유망기술 발굴의 pool로 활용함

2절. 기술수요조사 결과 분석

○ 기술수요조사 결과 분류

- 회신된 기술수요조사서를 취합하여 중점추진 분야별, 기술분류체계별로 수요조사 결과를 분류함

‣ 전체 기술수요조사 결과를 연구진들에 의한 검토를 통해 중복되거나 통합, 분리가 가능한 기술을 정리함

- 최종적인 기술수요조사 결과 리스트는 다음 표와 같음

표 3.2 기술수요조사 결과

중점추진분야	기술분류체계	No.	제안기술명
철도구조물 내진설계 및 보강기준 선진화	현행 철도 내진설계 제도 개선방안	1	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계 개선방안
		2	기존 내진설계기준 재검토 및 과거 건설된 인프라에 대한 보강 관련 설계기준 마련 필요
		3	기존 철도 시설물 분야별 내진성능 평가 방법의 표준화
		4	철도 기반시설 구조 종별 내진 현행 설계 제도 분석
		5	기관별 내진설계기준 통일안 정립(기관별 하중계수 및 하중조합 상이)
		6	철도 기반시설 통합적 적용을 위한 지진 하중 및 설계 방법 연구
		7	개정된 철도설계기준(2011) 내진설계에 준하는 내진설계 표준화 방안 필요
		8	철도 구조물의 등급별 내진설계 기준 수립
		9	철도 인프라 분야별 내진성능수준 결정, 목표성능 정의, 설계 지진하중 결정, 재료별-부재별-부구조별-전체구조별 역량(capacity) 검토 항목 및 설계 방법 정립, 목표성능 대비 역량의 검증 방법 정립
		10	우리나라의 지진하중 보다 큰 강진의 설계기준 설정과 기준에 관한 연구
		11	보강과 관련하여 국내의 내진성능 점검 및 평가 관련 제도 개발
		12	콘크리트궤도의 내진성능향상 연구

중점 추진 분야	기술 분류 체계	No.	제안기술명
		13	목표성능 및 역량 비교 변수들에 대한 수치적인 정량화
		14	고속철도 역사 구조물의 열차 풍하중의 영향 검토
		15	재현주기에 대한 전반적 재검토 필요
		16	인프라 내진성능 점검 및 평가제도 구축방안
		17	목표성능에부합되는한계상태검증을위한실험적연구
		18	철도 인프라별 한계상태시험을 통한 내진설계 한계치기준 마련 및 지진강도·횟수 증가에 대한 데이터 분석
		19	실험에 의한 실제거동 고려한 지하구조물 수정응답변위법 필요
		20	철도 인프라 분야별 해석절차 및 S/W개발
		21	철도 기반시설에 적합한 내진 해석법 및 설계법 연구
		22	지하박스의 경우 실제 거동과 유사한 결과를 얻을 수 있는 새로운 내진해석 기법개발 필요
		23	철도 인프라 분야별 선형/비선형 구조해석기술 기법 및 절차 개발
		24	현장 실무형 비선형 구조해석 프로그램 개발
	기존 구조물 내진 보강 효율화를 위한 기술 개발 방안	25	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발 방안
		26	철도 구조물 분야별 취약도 분석
		27	기존 구조물의 내진 등급 선정 기준 정립
		28	내진 보강 우선순위 선정 기준 정립
		29	보강효과를 직접 반영할 수 있는 해석모델의 개발
		30	철도구조물 내진보강 효과를 판단할 수 있는 해석프로그램과 절차 개발
		31	지반 및 경계면을 고려한 내진해석 기법 및 프로그램 개발
		32	지반-구조물 상호작용을 고려한 저심도 터널 내진해석기술 및 해석 프로그램 개발
		33	철도 노선 차단 최소화를 위한 내진보강 시공성 향상 방안
		34	주요 내진 보강 방안에 대한 설계 사례 (편람 형식으로) 작성
		35	기존 지하 구조물의 단면을 증대시키지 않고 적용이 가능한 FRP 계열 보강방법 연구 필요
		36	구조물별, 내진 등급별 최적의 내진 보강 방안 제시

중점추진분야	기술분류체계	No.	제안기술명
		37	한강철교 등 중요교량의 교각기초의 노후화 대비 내진성능 향상 방안
		38	신뢰성에 기반한 내진 보강효과의 정량적 지표 필요
		39	섬유보강재는 전단에 저항을 못하므로 휨과 전단에 동시에 저항할 수 있는 강+섬유 복합 보강재 개발 필요
		40	기존 내진보강기술의 기술개발 및 신소재 및 신공법에 대한 연구개발 필요
		41	국내기술의 적극적 활용방안으로 재료의 성질에 의한 보강 방법과 기준 정립필요
		42	철도 기반시설 구조 종별 기존 내진 보강법 분석 및 경제성 검토
		43	기반시설 종별 적정 보강법 연구 및 매뉴얼 작성
		44	철도 인프라 분야별 내진성능수준 및 목표성능에 적합한 내진성능 평가 방법 및 체계 개발
		45	지하구조에 적용이 가능한 내화성을 지닌 섬유계열보강재 개발
		46	유지관리를 고려한 내진보강효율화 방안연구
		47	기존구조물의성능한계점과보강재의특성을고려한해석기술,구조물의단계별거동에따른보강기준정립
		48	센트리퓨지를 이용한 터널 구조물의 내진 거동 분석 프로세스 개발
		49	지진 후 철도 터널 지보재 및 노반 건전도 평가 시스템 개발
지진후철도구조물상가복방안	지진후철도구조물손상준복관련제수	50	철도 구조물 지진피해 사례조사 및 손상 양상 분석
		51	지진 후 철도 구조물별 손상평가를 위한 NDT 기법 및 시스템 개발
		52	철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석
		53	지진 강도별, 발생횟수별 철도구조물 손상정도를 파악 후 복구관련 제도 마련
		54	일본의 지진 시 철도구조물 복구사례 및 한국 적용 연구
		55	현재 시행중인 코레일의 지진재해 발생 시 복구제도 연구
		56	지진 후 철도구조물 손상수준을 결정할 수 있는 단계별 손상결

중점 추진 분야	기술 분류 체계	No.	제안기술명
			정기준 필요
	립	57	손상수준에 따른 부재별 적용가능 복구방안 제시 필요
		58	지진과 관련된 재해 발생 시 손상 유형별 보수/보강 매뉴얼 작성
		59	지진 규모와 철도기반 시설의 손상 상관관계 및 복구방법 분석
		60	철도기반시설의지진복구시스템의선진제도분석
		61	정밀 급속진단을 위한 지진손상진단 시스템 개발
		62	손상수준 판단을 위한 신경망 임베디드 기법 및 구조물 개발
		63	지진손상정도를 객관적으로 파악할 수 있는 검토기준 마련 필요
		64	신속한 현장판단을 위한 매뉴얼(체크리스트) 개발연구
		65	교량, 지상건축물, 지하건축물 지하철, 철도 시설물 등 각 시설물별로 지진 거동에 따른 특성을 제시할 수 있도록 연구
	지진후철도구조물의실용적보수를위한의사결정체계도(decision tree)작성	66	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발
		67	안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성
		68	철도운행 정상화 우선순위 결정을 통한 지진복구 기준체계 수립, 장비, 자재 준비 및 메뉴얼 작성
		69	방재청과 일사불란한 협조 및 체계 구성
		70	한국정부의 재난재해 대책조사 및 철도지진재해 대책방안 수립
		71	지진 발생 시부터 구조물 보수과정까지의 실행 메뉴얼 작성 필요
		72	가상 시나리오별 보강 및 철거를 신속히 결정할 수 있는 기준마련 및 매뉴얼 필요
		73	지진 피해 형태별 복구 시뮬레이션 시스템 개발
		74	신속한 복구를 위해 국내 관련기관들의 유기적이고 체계적인 실행 메뉴얼 작성 필요
		75	손상수준에 대한 기준에 따른 복구방법의 매뉴얼 작성
		76	손상정도 및 부재 별 보강방안 가이드 라인 설정 필요(기둥부:연

중점 추진 분야	기술 분류 체계	No.	제안기술명
			성능력확보 등)
		77	철도기반시설의지진복구체계매뉴얼작성
		78	지진 후 복구를 위한 의사결정 매뉴얼 작성
		79	경제성 분석을 통한 적용 보수 및 복구 공법 선정 시스템 구축
		80	지진 후 열차 승객의 안전대피 체계 구축
		81	사상자에 대한 긴급 수송 체계 구축
		82	지진 재해 시 응급 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발
		83	비선형 거동에서의 보강 범위 및 보강이 필요한 상태에 대한 명문화된 평가요령
	지진후철도구조물별급속복구보수기술개발	84	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위한 지배변수 도출 및 정립
		85	손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발
		86	철도구조물 손상정도별 복구매뉴얼 작성
		87	지진피해에 따른 철도시설 임시운행방안을 구조물 종류(터널, 교량, 노반, 역사)에 따라 마련
		88	급속복구가 가능한 판넬등의 자재개발과 체결을 위한 이음자재 및 방법에 대한 연구
		89	급속 복구를 위한 복구 및 시공 모듈화 기술개발
		90	교량이나 터널에 대한 급속복구가 가능한 급속보강기술 개발 필요
		91	응급복구를 위한 철도시설물 정보 라이브러리 구축
		92	받침 및 교각 등의 구조물별로 급속한 복구를 위해 받침에서는 세트제품, 교각에 대해서는 섬유보강등의 급속시공방안 개발 필요
		93	하부구조물 급속복구를 위한 시공자재 개발
		94	지진피해추정용 철도교 부재 제작 및 설계기술
		95	복구를 위한 철도기반시설 주변 대책 시스템 구축
		96	비상복구 자재 확보 체계수립
		97	비상시 대비 각 업체 복구자재 보유물량 파악 체계구축
		98	부재별로 적용이 가능한 급속 시공킷(재사용이 가능한 재질 및 규격) 개발 필요

중점 추진 분야	기술 분류 체계	No.	제안기술명
철도 전력/통신/신호 시스템 내진성능 평가 및 보강 기술 개발 방안	철도 설비(전력/통신/신호 시스템)내진 성능 평가 체계 및 기술 개발	99	철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발
		100	철도설비 분야별 목표성능수준 정립
		101	철도설비 분야별 내진설계 및 시공 지침
		102	철도설비에 대한 내진실험 및 성능규정 정립
		103	송변전소, 전철주 기초 내진성능 향상
		104	통신신호설비 이상시 무선설비 대책방안마련
		105	송변전 철도분야 특성을 감안한 내진설계기준 마련 필요
		106	전력분야 조명철탑 기초 내진설계 추진 필요(풍압하중과 지진하중 비교검토)
		107	통신분야 무선통신철탑 기초 내진설계의 추진 필요(풍압하중과 지진하중 비교검토)
		108	전철주, 전철주와 교량연결부등 내진설계 기준정립필요
		109	철도부품 진동시험 규정 (KSR 9144) 개정검토 및 기준확대
		110	전력 및 통신설비 파손 시 운행중단 및 충돌사고 유발이 가능하므로 내진설계 기준 및 성능평가 기준마련
		111	전차선 및 신호·통신장비 트레이, 분기기장치에 대한 내진성능 평가체계 및 기술개발 필요
		112	전차선 및 신호기, 분기기에 대한 내진성능 평가체계 확립
		113	내진설계 시 시스템 분야에 대한 내진하중 적용 방안
		114	전철주 손상 방지 대책
		115	전선의 단선 방지 대책
		116	진도별 상황 구축 후 실험 대상의 손상도 체크 가능 실험장의 개발 및 수준 정립
		117	진도별 대응 수준의 정립
		118	부품, 시스템별 최소 내진 요구 수준의 정립
		119	통신안테나용 지지물의 내진성능 평가기준 정립
		120	기존 전철주, 전신주등의 내진 성능평가 기준재정 필요
		121	철도설비 구조물에 대한 지진 거동 특성 파악 및 해외사례 검토
		122	지진 시 차량운행 제어 기준 확립
	철도 설비(전력	123	철도설비 내진성능 점검 및 평가제도 구축방안
		124	철도 설비 내진성능 보강시스템 개발

중점추진분야	기술분류체계	No.	제안기술명
	/통신/신호시스템) 내진성능보강기술개발방안	125	전철주,전철주와교량연결부등내진성능검토기준및보강방안정립필요
		126	Stack 및 Rack 내진설계 기술 기준 개발
		127	전차선 및 신호·통신장비 트레이, 분기기장치에 대한 내진성능 검토기준 및 보강방안 정립 필요
		128	내진 보강을 위한 시설물 접속 방안
		129	평시 내진 성능 검진설비의 개발 및 요구수준 정립
		130	지역별 지진 위험도에 따른 개별 요구 수준 및 평가수준 구축
		131	지진 발생 검지 후 수배관 자동 폐쇄를 통한 시스템 손실 최소화 방안 개발
		132	지진 시 화재 유발 가능 시스템에 개별적 초기 소화 시스템 정립
		133	지진 계측 설비 시스템으로부터 데이터 수신 후 진도별 대응 시스템 정립
		134	지진 시 냉난방 설비 등 불필요한 가동으로 인한 손상이 예상되는 시스템의 자동 정지 시스템 구축
		135	통신안테나용 지지물의 내진성능 보강기술 개발
		136	기존 전철주, 전신주등의 내진 성능이 부족한 경우 보강할 수 있는 방안 및 보강후 성능평가기준 재정
지진경보및비상대응체계구축	지진초기대응기술	137	지진규모 사전예측기술 개발
		138	지진감지 후 응급 운행 대책 수립
		139	지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발
		140	지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발
		141	지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축
		142	지진 감지 및 경보 기술개발
		143	지진 강도 및 진도 별 열차운행지침 마련
		144	현재 KTX등에 적용되고 있는 지진경보 시스템 국철 및 지하철등으로 보완, 확대 적용하는 방안 필요
		145	인터넷및유비쿼터스기술과연계한철도운전자및대승객알림기능및대피유도기술강화
		146	차량 및 주요 터널 및 교량부에 지진 경보시스템 구축 필요
		147	BIM 기술을 이용한 위기 대응 전자 매뉴얼 개발

중점 추진 분야	기술 분류 체계	No.	제안기술명
		148	관련기관별, 시설물별로의 지진감지 시스템보다는 하나의 통합감지 시스템 구축 필요
		149	전차선 및 신호기, 분기기의 지진으로 인해 파손 시 대비책 및 매뉴얼 작성
		150	계측데이터 기반 지진피해 분석 기술
		151	지진 검지 시 열차 긴급정지 시스템 개발
		152	지진 시 철도변 위험사면 붕괴위험 경보 체계 수립
		153	지진이 발생하였을 경우 일반인이 쉽게 접근할 수 있는 대 국민적인 매뉴얼 개발 및 홍보
		154	국내 철도 지진 예·경보 시스템 구축

○ 기술수요조사 결과 분석

- 기술수요조사 항목별 응답자 비율은 다음 표와 같음

중점추진분야	제안기술명	응답자(명)
철도 구조물 내진설계 및 보강기준 선진화	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계 개선방안	8
	기관별 내진설계기준 통일안 정립	6
	목표성능 및 역량 비교 변수에 대한 수치적인 정량화	6
	철도 인프라 내진성능 점검 및 내진성능평가지침 정립	4
	목표성능에부합되는한계상태검증을위한실험적연구	5
	철도 인프라 분야별 구조해석기술 및 절차 개발	5
	현장 실무형 철도 시스템 비선형 구조해석 프로그램 개발	5
	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발 방안	5
	보강효과를 직접 반영할 수 있는 해석모델의 개발	5
	보강된 구조물의 내진성능 신뢰도 평가 기술 개발	2
	기존 내진보강기술의 기술개발 및 신소재 및 신공법 연구	3
	기존 인프라에 대한 내진보강 설계기준 및 매뉴얼 작성	4
지진 후 철도 구조물 손상평가 및 복구 방안	철도 구조물 지진피해 사례조사 및 손상 양상 분석	9
	지진 후 철도 구조물별 손상평가 기법 및 시스템 개발	13
	철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석	8
	지진 후 철도구조물 손상정도 파악 및 복구 제도 연구	6
	구조물 손상수준 정밀 급속진단 시스템 개발	3
	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발	8
	안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성	15
	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개를 위한 지배변수 도출 및 정립	4

중점추진분야	제안기술명	응답자(명)
	손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발	10
	응급복구를 위한 철도시설물 정보 라이브러리 구축 및 복구매뉴얼 작성	5
	재해 시 시설물 응급복구를 위한 시공자재 개발	7
철도 전력/통신/신호 시스템 내진성능 평가 및 보강 기술 개발 방안	철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발	12
	철도설비 분야별 내진설계 기준 및 시공 지침	10
	철도설비에 대한 동적거동 특성 실험 및 분야별 목표성능수준 정립	6
	철도 설비 내진성능 향상 기술 개발	11
지진 경보 및 비상 대응체계 구축	지진규모 사전예측기술 개발	8
	지진감지 시 열차 긴급정지 및 응급 운행 대책 수립	5
	지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발	3
	지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발	5
	지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축	4
	지진 통합 감지 시스템 구축 및 경보 기술개발	4
	KTX 지진경보 시스템 보완 및 확대 적용 방안 마련	2
	BIM 기술을 이용한 위기 대응 전자 매뉴얼 개발	4

- 기술수요조사 항목별 응답자의 분포는 다음 표와 같음

1) 철도 구조물 내진설계 및 보강기준 선진화

철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계 개선방안



기관별 내진설계기준 통일안 정립



목표성능 및 역량 비교 변수에 대한 수치적인 정량화



철도 인프라 내진성능 점검 및 내진성능평가지침 정립



목표성능에 부합되는 한계상태 검증을 위한 실험적 연구

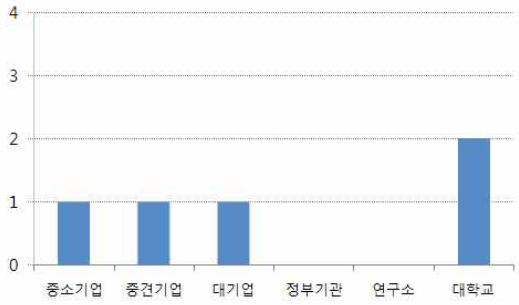


철도 인프라 분야별 구조해석기술 및 절차 개발



현장 실무형 철도 시스템 비선형 구조해석 프로그램 개발

내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발 방안

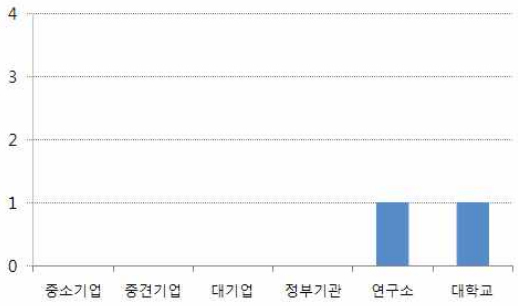




보강효과를 직접 반영할 수 있는 해석모델의 개발

보강된 구조물의 내진성능 신뢰도 평가 기술 개발





기존 내진보강기술의 기술개발 및 신소재 및 신공법 연구

기존 인프라에 대한 내진보강 설계 기준 및 매뉴얼 작성





2) 지진 후 철도 구조물 손상평가 및 복구 방안

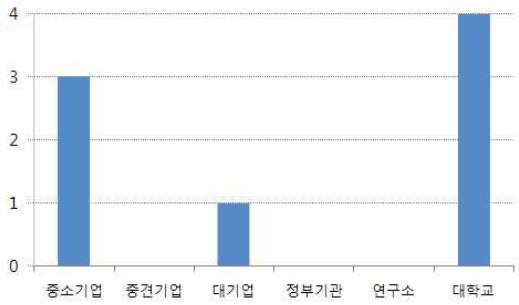
철도 구조물 지진피해 사례조사 및 손상 양상 분석



지진 후 철도 구조물별 손상평가 기법 및 시스템 개발



철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석



지진 후 철도구조물 손상정도 파악 및 복구 제도 연구



구조물 손상수준 정밀 급속진단 시스템 개발



지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발



안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성



지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개를 위한 지배변수 도출 및 정립



손상형태별 지진 손상 구조물 급속 복구 기술개발



응급복구를 위한 철도시설물 정보 라이브러리 구축 및 복구매뉴얼 작성



재해 시 시설물 응급복구를 위한 시공자재 개발



3) 철도 전력/통신/신호 시스템 내진성능 평가 및 보강기술 개발 방안

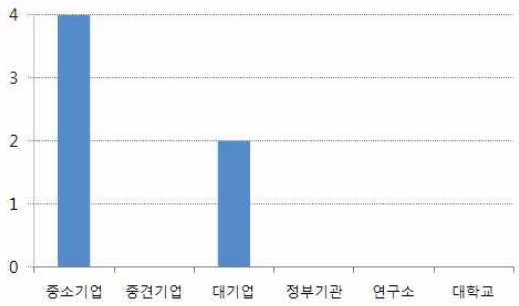
철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발



철도설비 분야별 내진설계기준 및 시공지침



철도설비에 대한 동적거동 특성 실험 및 분야별 목표성능수준 정립



철도 설비 내진성능 향상 기술 개발

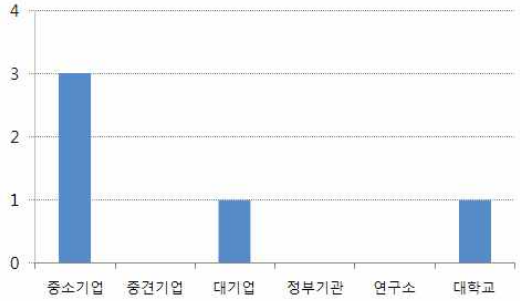


4) 지진 경보 및 비상대응체계 구축

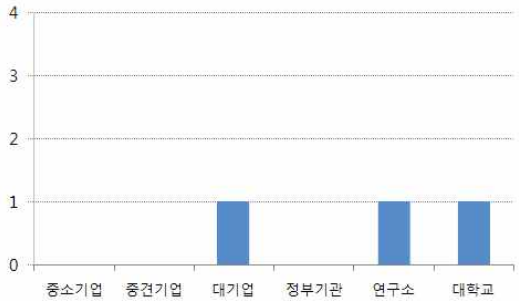
지진규모 사전예측기술 개발



지진감지 시 열차 긴급정지 및 응급 운행 대책 수립



지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발



지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발



지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축



지진 통합 감지 시스템 구축 및 경보 기술개발



KTX 지진경보 시스템 보완 및 확대 적용 방안 마련



BIM 기술을 이용한 위기 대응 전자 매뉴얼 개발



4장. 기술개발 방향설정

4장. 기술개발 방향 설정

1절. SWOT 분석 및 시사점

○ 개요

- SWOT분석은 1차적으로 각 중점분야별로 연구진 브레인스토밍을 통해 작성하였으며, 2차적으로 기획 연구진 및 외부 전문가위원회의 검토를 통해 확정하였음

‣ 중점분야별로 작성된 내부환경요인 및 외부환경요인, 그리고 포지션별 전략을 취합하여 총괄 SWOT분석을 작성하였음

○ 강점(Strength) 및 약점(Weakness) 분석

- 타 국가 및 조직과 비교하여 상대적으로 우수하거나 부족한 부분을 제시하였음

‣ 강점 및 약점은 "2장. 동향 및 환경분석"에서 기술/특허/논문/인프라 분석결과를 내/외부 요인으로 구분하고 내부요인을 강점과 약점으로 다시 구분하여 키워드를 작성하는 방법으로 구성하였음

○ 기회(Opportunity) 및 위협(Threat) 요인 분석

- 대외 환경변화로 인하여 새롭게 발생하는 기회요인 및 불안요인 등을 제시하였음

‣ 기회 및 위협요인은 "2장. 동향 및 환경분석"에서 정책/시장/기술동향 분석결과를 내/외부 요인으로 구분하고 외부요인을 기회와 위협요인으로 구분하여 정리하였음

- 기회 및 위협 요인은 다음 표의 외부 환경 분석에 제시하였음

○ 포지션별 전략 수립

- 제시된 내부 강점(S) 및 약점(W), 외부 기회(O) 및 위협(T) 요인을 분석하고, SO/WO/ST/WT의 포지션별 전략을 수립하였음

- 각 포지션별 세부전략은 다음 표의 포지션별 전략에 제시하였음

	【 강 점(S) 】	【 약 점(W) 】
내부 환경 분석	• 위험도 평가기술 보유 • 산학연 전문인력풀 보유 • 다양한 시스템 설계/시공 경험 다수 • 2020년까지 신규철도 투자 확대 • 철도분야 R&D 투자 증대 • 약 1000억원 규모의 일반철도 내진보강이 진행중 • 도시철도 시설물의 내진보강 계획이 진행중	• 구조물 해석의 전문인력 및 기술 부족 • 지진감지 시설의 부족 • 지진 초기대응을 위한 인프라 부족 • 전기/통신/신호 설비에 대한 내진기술 부족 • 전기/통신/신호 설비의 성능 검증 기술 미비 • 자체개발한 철도 인프라 안전 진단기술의 부족

	【 기 회(O) 】	【 위 험(T) 】
외부 환경 분석	• 철도시스템의 해석·설계의 연계를 구현한 시뮬레이션 툴에 대한 요구는 증가하고 있으나 아직까지 이를 충족할 만한 관련 프로그램 없음 • 국외 대형지진발생으로 인한 사회적 안전 요구 증대 • 초기 대응을 위한 정보 통신 인프라 풍부	• 선진국에서는 이미 내진보강 등 건설경험을 보유 • 내진 관련 국내 대기업의 관련 분야 R&D 투자 미흡 • 프로그램의 세계시장 경쟁이 점차 가열되고 있음

SO 전략	• 세계적 수준의 위험도 평가기술과 산학연 전문인력을 활용한 철도시스템 해석·설계 툴 개발 • 국내 환경에 적합한 기존시설물 내진보강기술 개발을 통하여 사회적 안전 확보	WO 전략	• 선진국 수준의 지진감지 시설 및 지진감지 기술 개발 • 전기/통신/신호 설비의 내진 해석기술 개발
ST 전략	• 기존시설물 내진보강을 통하여 한국형 철도내진보강기술 확보 • 철도시스템의 특성을 반영한 해석·설계 툴을 통한 세계시장 공략	WT 전략	• 기술개발 및 인프라 구축을 통하여 지진감지 및 초기대응과 관련한 규정, 지침 등의 제정

2절. Issue Tree 작성

○ Issue tree의 구성

- Issue Tree는 다음의 형태로 구성함
  - ▸ 동향조사 및 환경 분석의 시사점을 한단어로 요약하여 Keyword을 도출함
  - ▸ 서로 관련성이 있는 Keyword를 주요 이슈로 통합함
  - ▸ 각각의 이슈를 해결하기 위한 R&D Needs를 도출하여 정리함
  - ▸ 도출된 R&D Needs는 기술명을 의미하는 것이 아니라 이슈를 해결하기 위해 기술개발을 통하여 해결되어야 하는 부문을 의미하는 것임
- 각 중점분야별로 Issue Tree를 작성하여 R&D Needs를 도출하고, 총괄 취합하여 정리하였음


Issue Tree
R&D Needs
한반도 환경에 적합한 합리적인 철도시설물 내진기준 정립 요구
철도 인프라 분야별 내진설계 선진화 필요
기관별 내진설계기준 통일안 정립 필요
철도시스템의 특성을 반영한 해석.설계 기술필요
철도 인프라 분야별 해석절차 개발
현장 실무형 철도 시스템 비선형 해석 기술 개발
철도시설물 내진 안전 신뢰도 제고
기존 철도 인프라에 대한 내진성능 평가체계 통일
기존 철도 인프라에 대한 내진보강 설계기준 작성
운행 차단 최소화 내진보강 기술 개발
철도 시스템에 적합한 효율적 내진보강 기술 요구
유지관리를 고려한 내진보강 기술 개발
보강된 구조물의 내진성능 신뢰도 평가 기술 개발
자연재해로 손상된 구조물의 안전성 평가 기술 요구
재해로 손상된 구조물의 손상평가 기술 개발
손상 구조물의 보수/보강 지침 작성
자연재해로 손상된 구조물의 신속한 복구 기술 요구
응급복구를 위한 철도 시설물 라이브러리 구축
재해 시 교량 및 터널의 응급복구 기술 개발
재해 시 시설물 응급복구를 위한 시공자재 개발
지진 시 주행안전성 확보를 위한 안전한 설비 기술 요구
철도 설비 내진설계 및 시공 지침 작성
철도 설비 동적거동 특성 실험 및 성능 기준 작성
기존 철도 설비 내진성능 평가 기준 작성
기존 철도 설비의 내진성능 향상 기술 개발
기존 철도설비의 지진 안전성 확보 요구
지진규모 사전예측기술 개발
지진 감지 및 경보 기술개발
지진감지 시 열차 긴급정지 및 응급 운행 기준 작성
지진감지 및 초기경보 시스템 구축 기술 요구
지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발
지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발
BIM 기술을 이용한 위기 대응 전자 매뉴얼 개발

5장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

5장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표



○ 단계별 목표

세부목표	1단계	2단계	3단계
철도 인프라분야별 내진설계기준 선진화	국내외 분야별 내진 기준 검토 및 분석	철도 인프라 분야별 개선안 정립	철도 인프라 통합 내진설계기준 제정
철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 선진화	기존 내진성능 평가 기준 개선사항 도출	내진성능 보강지침 제시	통합 성능평가 기준 제정
철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립	손상수준 및 종류별 복구지침 개발	응급위험도 판정기준 정립	철도 인프라 지진 손상 평가 및 복구기준 작성
궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발	궤도 및 설비의 내진 성능 보강기법 정립	궤도 및 설비의 내진 성능 보강시스템 설계	궤도 및 설비의 보강 기법 성능검증
철도 구조물 내진성능 향상 기술 선진화	기존 철도 구조물 내진 성능 보강기술 정립	철도 구조물 특성을 고려한 보강 절차 수립	기존 철도 구조물 내진 성능 향상 지침 수립
철도 인프라 급속 손상 진단 기술 개발	급속손상진단을 위한 검측시스템 기술 정립	급속 손상진단을 위한 검측 시스템 개발	손상진단 및 평가 매뉴얼 작성
철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발	급속복구 시스템 기술기준 정립	철도 인프라 급속 복구 시스템 설계	응급복구를 위한 급속 보강기법 성능검증
계측데이터 기반 철도 인프라 지진피해 분석 기술 개발	지진조기대응시스템 성능목표 도출	지진조기대응시스템 알고리즘 개발	철도 인프라 지진조기대응 시스템 알고리즘 성능검증
철도인프라 지진조기 대응시스템 설계기술 개발	철도인프라 지진조기 대응시스템 핵심기술 설계	철도인프라 지진조기 대응시스템 통합플랫폼 설계	철도인프라 지진조기 대응시스템 성능검증

2절. 후보과제 선정

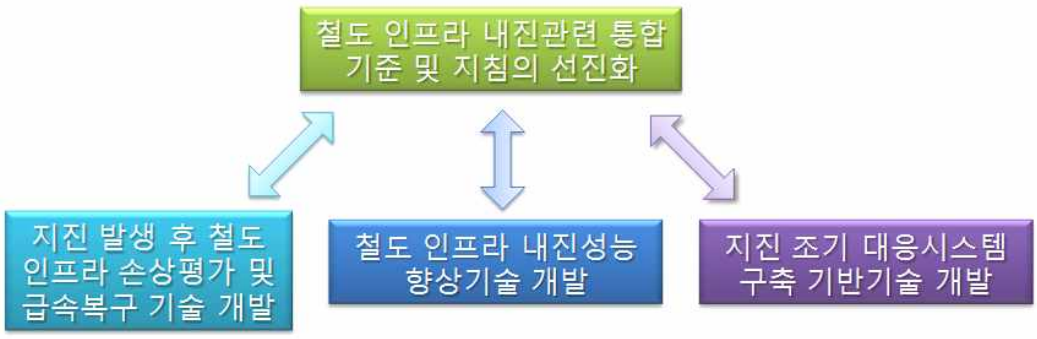
1. 중점추진분야 설정

○ 중점추진분야 선정 기준

- 중점추진분야는 총괄목표 달성 및 이슈트리를 통해 도출된 R&D Needs를 해결하기 위해 중점적으로 개발되어야 하는 기술분야를 정의하는 것임

‣ 중점추진분야, 세부목표, 총괄목표의 도식화를 통하여 총괄목표의 분배와 중점추진분야 설정의 타당성을 제시하였음





2. 후보과제 선정

○ 후보과제 Pool구성 방법

- 환경 분석 및 동향조사 결과, 기술수요조사, 기획연구진의 Brainstorming등의 방법을 통하여 도출된 보고서 및 결과물에서 기술리스트를 도출하고 이를 과제수준으로 정리하여 후보과제 pool을 구성하였음
- 환경 분석 및 동향조사, 기술수요조사, 기획연구진 브레인스토밍, 전체 연구진 및 전문가위원회 워크숍 등을 통해 후보과제 Pool구성을 하였음

○ 후보과제 Pool구성을 위한 과제 수준 검토

- 동향조사 결과, 기술수요조사, 기획연구진의 Brainstorming 등의 방법을 통해 취합된 기술리스트를 기술분류 체계상에 맵핑하여 과제의 기술분류 체계상에 도시화하고 후보과제수준으로의 적합성 검토를 통하여 후보과제 Pool을 확정하였음

‣ 주관연구책임자 및 핵심기획위원(중점추진분야별 간사)간의 합의를 통하여 후보과제 수준으로 조정하여 후보과제 Pool을 확정하였음

‣ 후보과제 Pool은 R&D Needs와의 연계성을 고려하였음

대분류	중분류	소분류	R&D Needs
철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화	현행 내진설계 제도 개선방안	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계기준 통일안 정립	기관별 내진설계기준 통일안 정립
		열차 속도 및 운행하중을 고려한 내진기준 연구	철도 인프라 분야별 내진설계 선진화 필요
		철도 인프라 분야별 내진설계기준 대응 성능평가지침 연구	기존 철도 인프라에 대한 내진성능 평가체계 통일
		철도 인프라 분야별 해석절차 및 S/W 개발	철도 인프라 분야별 해석절차 개발
			현장 실무형 철도 시스템 비선형 해석 기술 개발
	철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 평가체계 및 기술개발	철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발	철도 설비 내진설계 및 시공 지침 작성
		철도설비에 대한 내진실험 및 성능보강 규정 정립	철도 설비 동적거동 특성 실험 및 성능 기준 작성
	지진 후 철도 인프라 손상수준 및 복구 관련 제도 수립	지진 후 철도 구조물별 손상평가를 위한 NDT 기법 및 시스템 개발	재해로 손상된 구조물의 손상평가 기술 개발
		철도 구조물 목표 성능수준	손상 구조물의 보수/보강

		및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석	지침 작성
철도 인프라 내진성능 향상기술 개발	기존 구조물 내진보강 효율화를 위한 기술 개발 방안	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발	운행 차단 최소화 내진보강 기술 개발
			유지관리를 고려한 내진보강 기술 개발
		철도 인프라 분야별 내진보강 보강성능평가 연구	보강된 구조물의 내진성능 신뢰도 평가 기술 개발
	철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 보강기술 개발 방안	철도 설비 내진성능 보강시스템 개발	기존 철도 설비의 내진성능 향상 기술 개발
지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발	지진 후 철도 인프라의 실용적 보수를 위한 의사결정 체계도(decision tree) 작성	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발	응급복구를 위한 철도 시설물 라이브러리 구축
		안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성	손상 구조물의 보수/보강 지침 작성
	지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위한 지배변수 도출 및 정립	재해 시 교량 및 터널의 응급복구 기술 개발
		손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발	재해 시 교량 및 터널의 응급복구 기술 개발
지진 조시 대응시스템 구축 기반기술 개발	지진 초기 대응 기술	지진감지 기술 개발 및 철도 인프라 지진위험도 D/B 구축	지진규모 사전예측기술 개발
		지진감지 후 응급 운행 대책 수립	지진감지 시 열차 긴급정지 및 응급 운행 기준 작성
		지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축	지진 감지 및 경보 기술 개발

○ 후보과제 Pool 리스트

- 최종확정된 후보과제 Pool 리스트를 중점추진분야별로 분류하여 다음 표에서 제시함

▸ 후보과제 Pool 리스트에 포함된 기술은 기술분류체계에서 소분류 수준임

중점분야	과제명	기술의 개념
철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계기준 통일안 정립	철도 인프라 분야별 통일된 내진설계기준
	열차 속도 및 운행하중을 고려한 내진기준 연구	열차 속도 및 운행하중을 고려한 내진설계기준
	철도 인프라 분야별 내진설계기준 대응 성능평가지침 연구	철도 인프라 분야별 내진성능평가지침
	철도 인프라 분야별 해석절차 및 S/W 개발	철도구조물 종류별 비선형 구조해석기법 개발 및 철도시스템 일괄 적용 S/W 개발 기술
	철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발	비구조 인프라 설비에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 기술
	철도설비에 대한 내진실험 및 성능보강 규정 정립	비구조 인프라 설비의 내진성능평가를 위한 실험기법 및 성능분석 기술
	지진 후 철도 구조물별 손상평가를 위한 NDT 기법 및 시스템 개발	NDT기법을 이용한 손상구조물 평가 기술
	철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석	손상된 구조물의 잔존 성능 및 보강 후 기대성능 평가 기술
	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발	손상 구조물 평가결과 분석 및 복구 우선순위 선정 기술
	안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성	손상 구조물의 평가 및 복구 지침
철도 인프라 내진성능 향상기술 개발	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발	철도 노선 차단 최소화 및 경제성을 가지는 철도 내진보강시스템 제작 및 시공 기술

	철도 인프라 분야별 내진보강 보강성능평가 연구	철도 인프라 분야별 내진보강 성능평가
	철도 설비 내진성능 보강시스템 개발	철도설비 특성을 고려한 내진성능 보강 기술
지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위한 지배변수 도출 및 정립	철도 시스템 운행재개를 위한 손상 구조물 평가 및 복구 기술
	손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발	손상 구조물의 급속복구 기술
지진 조시 대응시스템 구축 기반기술 개발	지진감지 기술 개발 및 철도 인프라 지진위험도 D/B구축	지진감지 기술 개발 및 철도 인프라 지진위험도 데이터베이스
	지진감지 후 응급 운행 대책 수립	지진 발생 후 5초 이내 지진 조기경보 발생 및 운행중 열차의 비상정지 기술
	지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축	지진 경보시스템의 테스트베드 구축을 통한 기술 검증

3. 기술내용

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

(1) 현행 내진설계제도 개선방안

○ 교량, 터널, 역사 등의 기존 내진설계기준에 대하여 철도인프라 고유 특성 반영에 따른 기준의 개선사항 도출

○ 철도, 도시철도, 궤도시설 등 기관별 내진설계기준에 대하여 실무진의 혼란을 최소화할 수 있도록 공통적으로 적용되는 상위내진 개념에 통일안 정립

○ 궤도, 선하역사 등과 같이 철도 인프라만의 고유한 시설에 대한 평가방법 개발과 열차주행 등 철도 고유특성과 관련하여 기존 성능평가지침을 활용하여 철도 인프라 분야에 대한 통합된 성능평가지침을 개발

○ 철도 인프라 분야별 내진성능수준 결정, 목표성능 정의, 설계 지진하중 결정, 재료별-부재별-부구조별-전체구조별 역량(capacity) 검토 항목 및 설계 방법 정립, 목표성능 대비 역량의 검증 방법 정립

○ 기존 인프라에 대한 보강에 대한 보강성능을 평가할 수 있는 지침이 부재함에 따라 내진 보강된 인프라의 성능을 평가할 수 있는 지침 정립
- 내진보강 기법에 대한 해석 모델 개발
- 내진 보강된 인프라의 성능평가 지침

○ 철도 인프라별 목표 성능에 부합되는 한계상태검증을 위하여 철도 인프라간 상호작용을 고려한 동적거동을 실험을 통하여 분석

○ 철도 인프라의 대형화, 복합화에 따라 분야별 비선형 구조해석기술이 비약적으로 증가하였으며, 이에 대한 현장 실무에 적합한 철도 시스템 비선형 구조해석 기법 및 절차를 수립함

(2) 철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 평가체계 및 기술개발

○ 궤도 및 철도설비에 대한 내진성능을 평가할 수 있는 제도구축을 위하여 궤도 및 철도설비에 대한 내진성능의 도출, 평가체계 구축 및 내진성능평가지침을 개발

○ 궤도 및 철도설비별 동적 특성에 대한 실험을 통하여 세부항목별 보강 우선순위를 도출 기술 및 내진성능 보강에 따른 평가기술 개발

(3) 지진 후 철도 인프라 손상수준 및 복구 관련 제도 수립

○ 철도 인프라 특성별 지진재해 시나리오 개발

○ 지진으로 손상된 철도 인프라에 대하여 복구우선순위 및 복구목표를 선정할 수 있는 급속 손상진단 기술
- 손상된 구조물의 잔존 성능 및 보강 후 기대성능 평가 기술
- 손상 구조물 평가결과 분석 및 복구 우선순위 선정 기술

○ 철도 인프라의 2차적 피해를 분석하여 지진으로 인한 2차적 추가피해를 예방할 수 있는 응급위험도 판정 기술

○ 안전성 및 사용성 평가기반을 바탕으로 한 지진으로 손상된 철도 인프라의 응급복구 지침 개발

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

(1) 철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 보강기술 개발

○ 내진설계가 미반영된 전력, 통신, 신호, 분기 등 설비와 궤도 구성품에 대하여 상호작용을 고려한 동적 성능 분석

○ 철도 노선 차단 최소화, 경제성 및 유지관리가 고려된 내진보강시스템 제작 및 시공 기술의 개발

○ 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 설계 및 평가를 위한 해석모델 및 해석기술

(2) 기존 구조물 내진보강 효율화를 위한 기술 개발

○ 내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위하여 기존 보강기술의 철도 인프라에 대한 적용성 및 단계별 성능을 검토하여 내진성능의 향상이 효율적으로 이루어지도록 기존 인프라에 대한 내진보강 설계지침 및 매뉴얼 작성

○ 보강효과를 직접 반영할 수 있는 해석모델 개발 및 절차의 확립을 통한 보강된 구조물의 내진성능 신뢰도 평가 기술 개발

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

(1) 철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발

○ 지진 후 손상된 철도 인프라별 급속 손상평가 기법 및 시스템 기술

○ 철도 인프라의 복구 목표성능 및 손상상태에 따른 복구 우선순위 평가 기술

○ 지진 후 철도 인프라별 운행재개를 위한 지배변수 도출 및 정립

(2) 지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발

○ 철도 인프라 손상 상태별 급속복구 시나리오 및 시공자재 개발

○ 철도차량 및 타 인프라와의 인터페이스를 고려한 급속복구 시스템 개발

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

○ 지진감지 기술 개발 및 철도 인프라 지진위험도 데이터베이스 구축
- 계측데이터 기반 지진규모 산정 기술

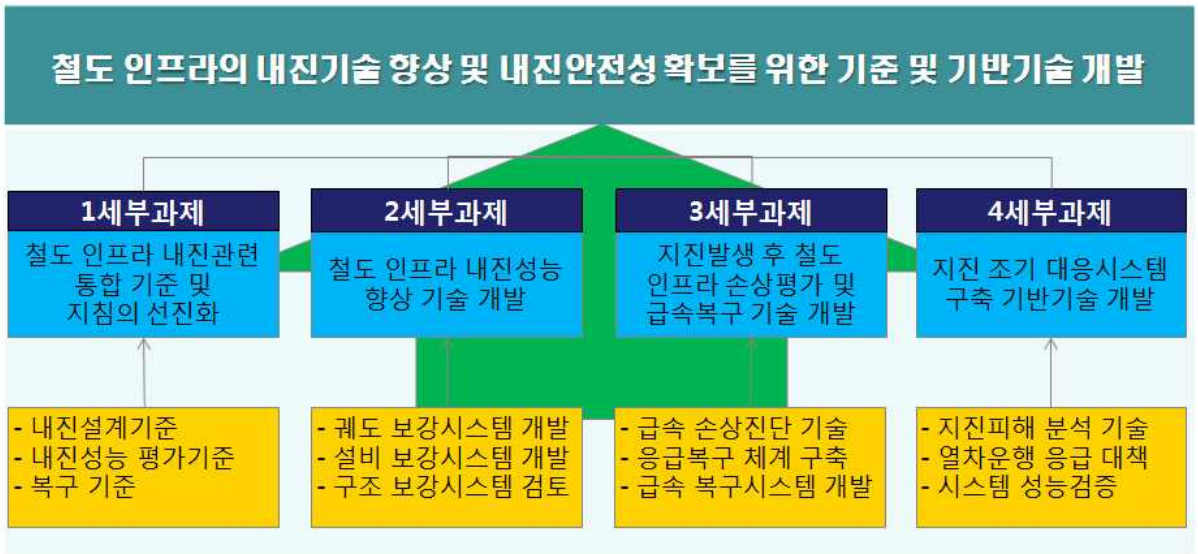
○ 지진 발생 후 운행중 열차에 대하여 지진 조기대응 시스템을 통한 신속한 비상정지 기술
- 지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술
- 지진 발생에 따른 응급운행 지침

○ KTX 지진경보 시스템 보완 및 확대 적용 방안 마련

○ 지진 경보시스템의 테스트베드 구축을 통한 기술 검증

3절. 연구개발과제 구성

1. 과제 구성



2. 세부과제별 연구목표

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

연 구 목 표	세 부 연 구 목 표
철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화	- 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 및 개선안 정립 - 철도 인프라 분야별 내진해석법 및 성능기반설계 제시 - 철도 인프라 분야별 상세설계지침 개발 - 궤도, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정 - 철도 인프라 통합 내진설계기준 개정
철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 선진화	- 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립 - 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정 - 철도설비 내진성능 보강지침 제시

연 구 목 표	세 부 연 구 목 표
철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립	- 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발 - 응급위험도 판정기준 정립

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

연 구 목 표	세 부 연 구 목 표
궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발	- 궤도 및 철도설비의 내진성능보강기법 정립 - 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발 - 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 성능검증
철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화	- 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립 - 철도 구조물 내진성능 향상지침 작성

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

연 구 목 표	세 부 연 구 목 표
철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발	- 철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발 - 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼 작성
철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발	- 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발 - 지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성 - 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축 - Mock-up 테스트를 통한 성능 검증

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

연 구 목 표	세 부 연 구 목 표
계측데이터 기반 철도인프라 지진피해 예측기술 개발	- 철도인프라 전용 지진 조기대응시스템 성능목표 도출 - 국내에 적합한 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발 - 지진조기대응시스템 솔버 개발
철도인프라 지진조기대응시스템 구축기술 개발	- 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계 - 철도인프라 지진조기대응시스템 구축 기반기술 개발 - 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련
지진 조기대응 시스템 성능검증	- 시험부설 및 성능검증

3. 세부과제의 정의 및 구성

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

○ 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화는 기준의 통합과 개선, 궤도, 철도설비의 기준개발, 내진성능 평가기준 및 복구기준 등 제도의 개선을 통한 내진기술의 선진화 체계를 구축하기 위한 기술임

(1) 현행 내진설계제도 개선방안

○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사), 기관별 내진설계기준에 공통적으로 적용되는 상위개념에 대하여 철도 인프라의 고유특성이 반영되는 통일안을 정립하는 기술임.

○ 열차주행과 같이 도로 등 타 교통수단 시스템과 구분되는 철도 인프라 고유의 시스템 기능을 고려하여 열차 속도 및 운행하중을 고려한 실질적인 지진피해 저감 효과를 기대할 수 있는 내진설계기준의 개선방향을 정립하는 기술임.
- 궤도 및 철도설비의 내진설계 기준은 기존 기준의 미비에 따른 신규 기준을 수립하며, 구조시스템과 관련한 내진설계기준은 기존 설계기준의 문제점과 개선점을 도출하여 개정안을 정립함.

○ 궤도, 선하역사 등과 같이 철도 인프라만의 고유한 시설과 열차주행 등 철도 고유특성과 관련하여 기존 성능평가지침을 활용하여 철도 인프라 분야별 성능평가지침을 개선하는 것임.

○ 철도 인프라 분야별 동적특성을 반영한 비선형 해석절차를 정립하고 내진보강전후 철도 인프라의 동적 거동 특성 실험을 통하여 철도 시스템 특성을 반영할 수 있는 비선형 해석기술을 개발하여 실무적용을 위한 상세 내진설계지침을 개발하는 것임.

(2) 철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 평가체계 및 기술개발

○ 지진후 2차 피해의 위험 대비와 철도운행 안전성 확립을 위하여 철도설비 분야별 내진성능 평가체계를 확립하고, 평가기술을 개발함.

○ 철도설비에 대한 내진설계 기준 및 시공지침을 확립하기 위하여 설비에 대한 실험을 통하여 동적거동 특성을 파악하고, 설비의 내진성능 목표를 정립하는 기술임.

(3) 지진 후 철도 인프라 손상수준 및 복구 관련 제도 수립

○ 지진 후 철도 인프라의 신속한 복구 및 운행재개를 위하여 구조물별 손상진단기술을 체계적으로 적용할 수 있도록 하는 지침을 개발함.

○ 운행재개를 위한 철도 인프라의 목표 성능수준을 연구하고 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석하여 급속복구 지침을 개발함.

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 철도 인프라 내진성능 향상을 위하여 내진보강이 전무한 철도설비 및 궤도시스템에 대하여 집중적인 내진보강시스템을 개발·검증하며, 또한 기존 철도 구조물의 내진성능을 향상시키는 장치/시스템 및 기술의 개발임.

(1) 철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 보강기술 개발

○ 내진설계가 미반영된 기존 인프라 내진보강에 막대한 비용이 예상됨에 따라 전력, 통신, 신호, 분기 등 설비와 궤도 구성품에 대한 성능을 분석하고, 목표성능을 확보할 수 있는 내진성능 보강시스템을 개발하는 기술임.

○ 철도 인프라 내진성능 향상 기술은 궤도, 노반 및 설비에 대한 철도 특성의 반영과 운행중단이 없는 특화된 시스템 기술로 보강성능의 검증을 위한 제반 실험 및 모사시험에 대한 기술을 포함함.

(2) 기존 구조물 내진보강 효율화를 위한 기술 개발

○ 교량, 터널, 역사 등 기존 인프라의 내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위하여 기개발 및 개발중인 내진보강기술의 장단점을 분석하고, 인프라 특성에 따른 적용성을 평가하여 효율적인 내진보강을 진행할 수 있는 내진성능 향상절차의 개발임.

○ 철도 구조물의 내진성능 향상절차 수립을 위하여 기존 구조물과 보강시스템의 동적 특성을 정립하여 보강시스템의 해석모델 및 해석절차를 정립함.

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술은 지진 발생 후 철도 인프라의 피해를 진단·평가하는 기술과 철도 시스템 운행재개를 위한 손상된 인프라의 급속복구 기술임.

(1) 철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발

○ 지진 발생 후 지진으로 손상된 인프라의 피해정도를 측정하기 위하여 다양한 검사기술을 정립하고 기존기술의 보완요소 도출 및 새로운 측정기술을 개발함.

○ 지진으로 손상된 인프라의 복구 우선순위 선정을 위하여 손상 구조물의 진단 및 복구 관련 기준체계를 수립함.

○ 진단 및 복구 체계를 수립하기 위하여 기존 인프라의 피해사례분석을 통하여 철도 인프라의 지진피해 시나리오를 정립하고 안전성과 사용성 평가를 기반으로 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼을 개발함.

(2) 지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발

○ 지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위하여 철도 인프라 분야별 성능 지배변수를 도출하고 급속복구에 필요한 손상도와 목표성능간의 관계를 정립함.

○ 지진 후 발생할 수 있는 2차적 피해의 최소화와 열차 운행을 위하여 급속보수 기술이 필요하며, 이를 위하여 철도 인프라의 지진피해 시나리오를 기반으로 손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술을 개발함.

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

○ 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술은 지진발생 후 지진파의 도달시간과 그 크기, 피해위치를 예측하여 철도 인프라에 미치게 될 지진피해를 조기에 최대한 저감하고자 하는 대응 시스템의 개발 기술임.

(1) 지진 조기대응 기술

○ 지진규모를 사전에 예측할 수 있는 지진감지 기술 개발 및 철도 인프라 지진위험도 D/B를 구축하고, 미국, 일본, 유럽, 대만 등의 지진 조기대응 시스템 알고리즘을 분석, 개선하여 국내 지반환경에 최적화된 지진분석 알고리즘을 개발함.

○ 지진 시 열차 운행의 안전을 확보하기 위하여 철도 인프라와 기존 지진경보시스템의 연계 운영을 통한 철도운행 조기대응시스템을 개발함.

○ 지진 시 열차운행에 대한 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 고유기능 및 특성을 분석하고, 지진조기대응시스템을 이용한 지진감지 후 열차운행 안전성 확보를 위한 운행 지침을 개발함.

4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 세부과제별 주요 연구내용

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

(1) 주요 연구내용

연 구 목 표	주 요 연 구 내 용
철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화	- 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 및 개선안 정립 · 통합 철도인프라 내진성능수준 및 목표성능 수립 · 교량, 터널, 역사, 노반, 궤도에 대한 철도 인프라 특성 고려에 따른 기존 기준 개선안 도출 · 교량, 터널, 역사, 노반, 궤도별 국내 지반특성 및 계측데이터 기반의 지진재해도, 지반계수, 시설물 중요도 등급, 지역계수, 액상화평가기준 등의 세부 적용안 도출 · 국내 지반 특성에 적합한 설계응답 증폭계수 재산정 및 설계응답스펙트럼 개선안 도출 · 열차속도를 고려한 주행하중 및 인프라 특성을 고려한 하중조합 및 하중계수 검토, 개선안 도출 · 궤도·노반·교량의 동적특성 및 상호작용 분석 · 철도인프라 피해 및 붕괴시나리오 정립 - 철도 구조물 분야별 내진해석법 검토 및 개선 · 철도교량의 연성도 내진설계법 검토 및 세부사항 도출 · 개착식터널의 응답변위법 개선 및 응답진도법 등 도입을 위한 세부사항 도출 · 굴착식터널의 내진설계 도입을 위한 세부사항 도출 - 철도 구조물 분야별 성능기반설계 도입을 위한 방안 수립 · 목표성능 및 설계하중 설정 · 요구 및 능력성능의 비교변수 정립 · 철도인프라 특성을 반영한 성능 및 요구산출 기법 제시 · 성능기준 외 세부관련 기준사항 도출 - 철도 구조물 분야별 상세설계지침 개발 · 철도 교량/터널/역사/노반/궤도 분야의 기준에 적합한 상세설계지침 정립

연 구 목 표	주 요 연 구 내 용
	· 기준해설서 및 설계예제집 작성 - 궤도, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정 · 구조물과의 인터페이스 및 동적특성 정립 · 구조물과의 동적 및 비선형거동의 시뮬레이션 및 실험을 통한 검증 · 철도설비의 내진해석법 개발 · 궤도 및 철도설비 내진설계기준의 세부사항 도출 · 기준해설서 및 설계예제집 작성 - 철도 인프라 통합 내진설계기준 제정 · 철도 인프라 통합 내진설계기준 체계 수립
철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 선진화	- 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립 · 현장조사 대상, 절차 및 결과분석 대책 정립 · 사용목표수명 고려에 따른 반영사항 도출 · 국내/외 구조물 분야별 내진성능 평가기준 검토 및 개선사항 도출 · 구조물에 따른 내진해석법 정립 · 예비평가 및 상세평가의 평가기준 및 절차 수립 - 철도설비 내진성능 보강지침 제시 · 철도설비의 내진성능평가 요소 도출 · 구조물과 설비의 인터페이스 및 동적특성을 고려한 평가해석법 정립 · 평가기준 및 절차 수립 · 지침해설서 및 예제집 작성 - 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정 · 철도인프라 통합 내진성능평가 기준 체계 수립
철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립	- 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발 · 구조물별 특성을 반영한 기능 및 붕괴단계의 손상피해 시나리오 개발 · 지진 후 급속 손상진단을 위한 패턴인식 및 분석 알고리즘 개발 · 안전성 및 사용성 평가기반의 손상평가 지수 및 기법 정립 · 손상평가 및 복구기준 개발 - 응급위험도 판정기준 정립 · 구조물별 응급위험도 시나리오 개발 · 응급위험도 판정기준 및 급속복구 지침 개발

연 구 목 표	주 요 연 구 내 용

(2) 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 철도인프라 분야간 인터페이스 조정 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축

- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축

- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축

- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 철도 인프라 분야별 내진보강시스템의 인터페이스 조정
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 학연 협력체계 구성

- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁 연구용역 수행

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

(1) 주요 연구내용

연 구 목 표	주 요 연 구 내 용
궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발	- 궤도구성품을 포함한 궤도 및 전력, 통신, 신호, 분기기 등 철도설비의 내진성능보강기법 정립 · 궤도-구조물, 설비-구조물 간 상호작용이 고려된 동적거동 실험 · 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 모델링기법 정립 및

	해석시뮬레이션 수행 · 궤도 및 철도설비 내진보강시스템의 성능수준 제시 · 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 보강기술 개발 및 성능검증 · 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 시공 및 유지관리 매뉴얼 작성
철도 구조물 내진성능 향상 기술 선진화	- 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립 · 기존 철도 구조물 내진성능 최적 보강기술 도출 · 보강시스템 해석모델 개발 및 보강수준 제시 · 보강된 철도 구조물 내진성능 해석 기법 정립 · 보강시스템 시공 및 유지관리 지침 작성 · 철도구조물 내진성능 향상지침 작성

(2) 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 철도인프라 분야간 인터페이스 조정 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축

- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축

- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축

- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 철도 인프라 분야별 내진보강시스템의 인터페이스 조정
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성

- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁 연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

(1) 주요 연구내용

연 구 목 표	주 요 연 구 내 용
철도 인프라 급속 손상 진단 기술 개발	- 철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발 · 철도 인프라 급속손상 진단 기법 정립 · 철도 인프라 급속손상 진단 검측시스템 개발 · 철도 인프라 급속손상 진단 검측시스템 시제품 제작 및 성능검증 · 철도 인프라 급속손상 진단 검측시스템 사용매뉴얼 작성 - 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼 작성
철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발	- 지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성 · 철도인프라 응급복구 시나리오 개발 · 철도인프라 응급복구 및 비상체계 수립 · 응급복구 매뉴얼 작성 - 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발 · 철도인프라 특성을 반영한 급속복구 개소 도출 · 급속복구 체계 수립 · 급속복구 보강 및 시공기법 개발 · 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축 · 급속복구 시공지침 작성 - Mock-up 테스트를 통한 성능 검증

(2) 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 철도인프라 분야간 인터페이스 조정 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축

- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축

- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축

- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 철도 인프라 분야별 급속복구 시스템의 인터페이스 조정
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성

- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁 연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

(1) 주요 연구내용

연 구 목 표	주 요 연 구 내 용
계측데이터 기반 철도 인프라 지진피해 예측 기술 개발	- 철도인프라 전용 지진 조기대응시스템 성능목표 도출 ・국내/외 지진 조기대응시스템 분석 및 개선사항 도출 ・지진 조기대응시스템의 철도인프라 적용 검토 ・지진 조기대응시스템의 목표사항 도출 - 국내에 적합한 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발 ・계측데이터/P파 기반 지진규모 산정 기법 검토 및 최적안 도출 ・국내 지반특성을 고려한 지진파 전파 감소 검토 및 분석 ・개발된 알고리즘에 대한 P파 추출 모듈 ・실시간 P파 초기미동 검출모듈 ・진앙, 규모를 추정하는 한국형 상관관계식 도출 및 모듈 ・최대진폭 계산모듈

	・PGA, PGV, PGD 검출 및 계산모듈 ・국내/외 지진 대응시스템 알고리즘 검토 및 최적안 개발 - 지진 조기대응시스템 솔버 개발 ・지진 조기 규모, 진원 및 손상범위, 위치 산정 솔버개발 ・솔버의 신뢰도 검증 및 기법 개발
철도인프라 지진조기대응시스템 구축기술 개발	- 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계 ・하드웨어 시스템 구성 및 설계 ・연선관측망 구축 및 운영기법 개발 ・오보방지용 안전장치 개발 ・하드웨어 및 솔버와의 적합성, 구동성 검증 - 철도인프라 지진조기대응시스템 구축 기반기술 개발 ・철도운영시스템과 연계구축 방안 수립 ・철도인프라 지진 조기대응 시스템 구축 및 운영을 위한 네트워크 설계 ・u-IT 기반 지진 감지, 경보, 대피 정보 전달 체계 구성안 수립 ・철도운영시스템과 연계방안 설계 - 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련 ・지진 규모, 위치 등에 따른 운행지침 작성 ・철도인프라 조기대응에 따른 비상체계 수립안 작성
지진 조기대응 시스템 성능검증	- 시험부설 및 성능검증 ・시험부설 및 성능검증, 성능 모니터링 ・운용 매뉴얼 작성

(2) 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 지진경보시스템 기초기술 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축

- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 기존 기상청, 한국지질자원연구원, 소방방재청 등에서 이용도니 시스템 통합기술 활용

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축

- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축

- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성

- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁 연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

2. 세부과제의 연차별 주요내용

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

구 분	연 구 내 용
1차년도	- 국내·외 철도 인프라 관련 기초자료 검토 및 분석을 통한 내진특성 도출 ·교량, 터널, 역사 등 국내외 구조 인프라 내진기준, 평가기법 및 최근 연구내용 검토 및 분석 ·노반, 궤도에 대한 국내외 내진기준, 평가기법 및 최근 연구내용 검토 및 분석 ·전력, 통신, 신호, 분기기 등 국내외 비구조 인프라 내진기준, 평가기법 및 최근 연구내용 검토 및 분석 ·기존 철도인프라 지진피해 사례 조사 및 분석 ·국내 지반특성 및 지진재해도 검토 및 분석을 통한 통합 철도인프라 내진성능수준 및 목표성능 수립 ·기존 교량, 터널, 역사 등 구조물의 내진기준 개정을 위한 철도특성 반영요소 및 개선안 도출 ·시설물별 중요성 및 사회적 영향도 검토를 통한 중요도 등급 검토 및 분석 ·열차속도를 고려한 주행하중 및 인프라 특성을 고려한 하중조합 및 하중계수 검토 및 분석 ·궤도·노반·교량의 동적특성 및 상호작용 시뮬레이션 ·국내 지반 특성에 적합한 설계응답 증폭계수 재산정 ·기존 철도인프라 피해사례 기반 붕괴시나리오 정립 - 철도 구조물 분야별 내진 해석법 검토 및 개선(1) ·철도교량의 연성도 내진설계법 검토 및 세부사항 도출 ·개착식터널의 응답변위법 검토 및 개선사항 도출 ·개착식터널의 응답진도법 등 설계기법 검토 ·굴착식터널의 내진설계 도입을 위한 세부사항 도출 - 철도 구조물 분야별 성능기반설계 도입을 위한 방안 수립(1) ·목표성능 및 설계하중 설정 ·요구 및 능력성능의 비교변수 정립 - 궤도, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정을 위한 세부 기준항

구 분	연 구 내 용
	목 도출 · 구조물과의 인터페이스 및 동적특성 정립 · 철도설비의 내진해석을 위한 알고리즘 개발 · 분야별 해석 및 실험대상 선정 · 전력설비-구조물 동적 및 비선형거동의 시뮬레이션 및 실험 · 신호설비-구조물 동적 및 비선형거동의 시뮬레이션 및 실험 · 궤도-구조물 동적 및 비선형거동의 시뮬레이션 · 궤도 및 철도설비 내진설계기준의 세부사항 도출 - 기존 철도 인프라 내진성능 평가기준 개선사항 도출 · 기존 철도 인프라 대상 내진성능 평가결과 검토 및 분석 · 현장조사 대상, 절차 및 결과분석 대책 정립 · 사용목표수명 고려에 따른 반영사항 도출 · 철도 특성 반영을 위한 필수 평가항목 도출 · 철도 인프라 내진성능 평가기준 개선사항 도출 - 철도설비 내진성능 평가기준 및 보강지침의 세부항목 도출 · 궤도, 설비, 구조물간 인터페이스 및 동적특성에 대한 고려요소 도출 · 전력, 통신, 신호 등 철도설비별 내진성능 지배변수 도출 · 전력, 통신, 신호 등 철도설비별 내진성능평가 필수 항목 도출 - 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발(1) · 구조물별 특성을 반영한 기능 및 붕괴단계의 손상피해 시나리오 개발 · 철도인프라 패턴인식 기술 개발 · 구조물 손상 지배변수 도출 - 응급위험도 판정기준 정립(1) · 구조물별 응급위험도 시나리오 개발
2차년도	- 국내·외 철도 인프라 분야별 내진기준 개선안 정립 · 철도 인프라 시설물별 중요도 개선안 도출 · 국내 지반특성에 적합한 계측데이터 기반의 지진재해도, 지반계수, 지역계수, 액상화평가기준의 개선안 정립 · 국내 지반 특성에 적합한 설계응답스펙트럼 개선안 도출 · 열차속도를 고려한 주행하중 및 인프라 특성을 고려한 하중조합 및 하중계수 개선안 도출 · 교량, 터널, 역사 등 구조물의 기존 내진기준 활용방안 도출

구 분	연 구 내 용
	·구조물, 노반, 궤도, 설비 등 철도인프라의 통합기준제정을 위한 상위 개념 도출 - 철도 구조물 분야별 내진 해석법 검토 및 개선(2) ·철도교량의 연성도 내진설계법 개선 ·개착식터널의 응답변위법 개선 ·응답진도법 등 설계기법 도입을 위한 세부사항 도출 ·굴착식터널의 내진설계기법 도출 - 철도 구조물 분야별 병행 성능기반설계 도입을 위한 방안 수립(2) ·철도인프라 특성을 반영한 성능 및 요구산출 기법 제시 ·성능기준 외 세부관련 기준사항 도출 - 철도 구조물 분야별 상세설계 지침 개발 ·철도 교량/터널/역사/노반/궤도 분야의 기준에 적합한 상세설계지침 초안 작성 - 궤도, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정(2) ·궤도-구조물 동적 및 비선형거동의 실험 ·철도설비의 내진해석 알고리즘 검증 ·궤도 및 철도설비 내진설계기준 초안 작성 - 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립(2) ·기존 내진해석법 검토 ·구조물 분야별 내진해석법 정립 ·구조물잔존수명 대비 피해수준 검토 ·기존 철도 인프라 내진성능 지배 변수 도출 ·기존 철도 인프라 특성별 지진 위험도 분석 ·기존 철도 인프라 구조적 위험도 분석 ·기존 철도 인프라 사회경제적 영향도 분석 ·기존 철도 인프라 내진 우선순위 결정 기법 개발 - 철도설비 내진성능 보강지침 세부항목 평가 ·철도설비 내진성능 평가요소별 가중치 연구 ·구조물과 설비의 인터페이스 및 동적특성을 고려한 평가해석법 정립 ·철도설비의 보강전후 동적거동 시뮬레이션 비교 검토 및 분석

구 분	연 구 내 용
	- 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가 기준 제정 ・내진성능 예비평가 기준 초안 작성 ・평가지수 항목별 민감도 분석 ・민감도 및 가중치에 따른 기존 철도 인프라 내진보강 우선순위 결정 기법 개발 - 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발(2) ・인식된 패턴분석 알고리즘 개발 ・손상평가 도구의 전처리 시스템 개발 ・안전성 및 사용성 평가기반의 손상평가 지수 및 기법 정립 ・구조물 손상 지배변수별 영향도 분석 - 응급위험도 판정기준 정립(2) ・응급위험도 시나리오별 상세 시뮬레이션 ・구조물별 응급위험 규모 산정 ・철도 인프라 2차 피해 임계 손상수준 정의
3차년도	- 철도 구조물 분야별 내진해석법 검토 및 개선(3) ・철도교량의 연성도 내진설계법 개선안 검증 ・개착식터널의 응답변위법 개선안 검증 ・응답진도법 등 설계기법 검증 ・굴착식터널의 내진설계기법 검증 ・철도 구조물 내진해석법 실무적용을 위한 편람 제작 - 철도 구조물 분야별 병행 성능기반설계 도입을 위한 방안 수립(3) ・성능기반설계 지침안 작성 ・성능기반설계 해설 및 예제 작성 - 철도 인프라 통합 내진설계기준 제정(1) ・철도 인프라 통합 내진설계기준 최종안 작성 ・기준 해설서 및 예제집 초안 작성 - 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립(2) ・구조물잔존수명별 보강 및 복구비용 비교분석 - 철도설비 내진성능 보강지침 제시(1) ・철도설비 내진성능평가를 위한 간편 해석법 검토

구 분	연 구 내 용
	- 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정(2) · 내진성능 예비평가 기준 수정안 작성 · 내진성능 상세평가 초안 작성 · 철도 인프라 통합 내진성능 평가기준 해설서 초안 작성 - 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발(3) · 패턴인식 및 분석 알고리즘 개선 · 손상평가 도구의 후처리 시스템 개발 · 손상평가 및 복구기준 초안 작성 · 손상평가 지수 민감도 분석 - 응급위험도 판정기준 정립(3) · 응급위험도 판정기준 초안 작성 · 급속복구 지침 초안 작성
4차년도	- 철도 인프라 통합 내진설계기준 제정(2) · 철도 인프라 통합 내진설계기준 고시 · 기준 해설서 및 예제집 작성 - 철도설비 내진성능 보강지침 제시(2) · 철도설비 내진성능 보강지침안 작성 · 지침해설서 및 예제집 작성 - 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정(3) · 철도 인프라 통합 내진성능 평가기준 최종안 작성 · 철도 인프라 통합 내진성능 평가기준 고시 · 철도 인프라 통합 내진성능 평가기준 해설서 작성 - 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발(4) · 철도 인프라 지진 손상평가 및 복구 기준 최종안 작성 · 기준 해설서 작성 - 응급위험도 판정기준 정립(4) · 응급위험도 판정기준 최종안 작성 · 급속복구 지침 최종안 작성 · 응급위험도 판정기준 해설서 작성 · 급속복구 지침 해설서 작성

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

구 분	연 구 내 용
1차년도	- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강기법 정립 ・국내외 설비 인프라 보강기술 검토 및 분석 ・콘크리트 궤도 및 노반의 취약점 도출 ・궤도-구조간 인터페이스 검토 ・지반-구조간 인터페이스 검토 ・지반-설비간 인터페이스 검토 ・구조-설비간 인터페이스 검토 ・전력, 통신, 신호, 분기기 등 설비 분야별 성능보강 대상 항목 세분화 - 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 기본설계 ・궤도 및 철도설비 내진보강시스템의 성능수준 제시 ・궤도/설비 내진보강시스템 구성품 설계 ・내진보강시스템 구성품 성능 시뮬레이션 - 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 검토 및 분석 ・국내외 구조물 내진성능 보강기술 검토 및 분석 ・교량, 터널, 역사 등 구조물 종류 및 내진성능 보강기술별 특성 및 적용성 분류 ・교량, 터널, 역사 등 기존 철도 구조물에 대한 내진성능 보강기술별 최적화 요소 도출 ・보강시스템 해석모델 개발
2차년도	- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 상세설계 ・설비 분야별 내진보강시스템 구성품 재료 성능실험 ・설비 분야별 내진보강시스템 구성품 동특성 실험 ・내진보강시스템 상세 설계도면 작성 및 시공기법 검토 ・궤도 및 철도설비 내진보강시스템 시제품 제작 - 궤도 및 철도설비의 지반-구조물-설비간 상호작용이 고려된 동적거동 실험 및 모사시험 ・궤도-구조물, 설비-구조물 간 상호작용이 고려된 동적거동 실험 ・궤도 및 철도설비의 내진보강시스템의 모델링기법 정립 및 해석시뮬레이션 수행 - 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립 ・보강시스템 해석모델 정립 및 보강수준 제시

구 분	연 구 내 용
	· 내진성능 시뮬레이션 기법 정립 · 보강시스템 시공 및 유지관리 기법 정립 · 기존 철도 구조물 내진성능 죄적 보강기술 도출
3차년도	- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강기법 성능검증 · 내진보강시스템 시제품 제작 · 유사동적/진동대 실험을 통한 내진보강시스템 성능검증 · 내진보강시스템 현장시공성 검토 · 내진보강시스템 실험 및 시공성 검토 결과 피드백 · 내진보강시스템 최종사양 확정 및 최종 설계자료 작성 · 내진보강시스템의 시공 및 유지관리 매뉴얼 작성 - 기존 철도 구조물 특성을 고려한 내진성능 향상지침 수립 · 보강시스템 유형별 보강 및 해석 매뉴얼 작성 · 보강시스템 시공 및 유지관리 기법 정립 · 철도 구조물 내진성능 향상지침 작성

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

구 분	연 구 내 용
1차년도	- 철도 인프라 급속손상진단을 위한 검측시스템 기술 정립 · 국내외 지진피해 복구 사례 검토 및 분석 · 국외 지진피해 구조물의 진단 및 판정기법 검토 및 분석 · NDT 평가 기법 정립 · 손상구조물 진단체계 및 목표성능 수립 · 급속손상 진단을 위한 피해현장정보 조사 및 분석 알고리즘 개발 · 급속손상 진단 검측시스템 설계 - 손상된 철도 인프라 복구성능 목표 수립 · 철도 인프라 분야별 손상수준별 손상등급 도출 · 여진 및 추가피해 수준 도출 · 운행재개를 위한 성능 목표 도출 · 손상수준별 복구 기간 도출

구 분	연 구 내 용
	- 철도 인프라 급속복구 시스템 기술기준 정립 · 철도인프라 응급복구 시나리오 개발 · 철도인프라 특성을 반영한 급속복구 개소 도출 · 열차운행을 고려한 복구시스템과 철도차량의 인터페이스 연구 - 철도 인프라 급속복구 시스템 기본설계 · 보수 및 보강재료 검토 및 분석 · 기존 철도인프라 보수 및 보강공법 검토 및 분석 · 인프라 분야별 급속복구 시스템 구성품 제작 · 인프라 분야별 급속복구 시스템 구성품 성능 모사시험
2차년도	- 철도 인프라 급속 손상진단을 위한 검측 시스템 개발 · 검측시스템 시제품 개발 · 손상된 구조시험체를 이용한 검측시스템 성능검증 · 검측시스템 사용매뉴얼 작성 - 지진 후 철도 인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응매뉴얼 작성 · 철도인프라 응급복구 및 비상체계 수립 · 기반시설 주변 대책(안) 수립 · 응급복구 매뉴얼(안) 작성 - 철도 인프라별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발 · 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축 · 급속복구 시스템 Kit 성능시험 · 급속복구 시스템 시제품 제작 · 급속복구 시스템 시공기법 개발
3차년도	- 철도 인프라 손상진단 및 평가매뉴얼 작성 · 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼(안) 작성 - 철도 인프라별 응급복구를 위한 급속 보강기법 성능검증 및 엔지니어링 구축 · 손상된 구조시험체를 이용한 Mock-up 테스트로 응급복구성능 검증 · 급속복구 시공지침 및 유지관리 매뉴얼 작성

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

구 분	연 구 내 용
1차년도	- 철도인프라 전용 지진 조기대응시스템 성능목표 도출 · 국내/외 지진 조기대응시스템 분석 및 개선사항 도출 · 철도인프라 지진조기대응시스템 구축 기본계획 수립 · 조기대응 시스템 설계 방안 도출 · 지진 계측 및 관측망 활용에 관한 연구 · 지진 조기대응시스템의 철도인프라 적용 대상 검토 · 지진 조기대응시스템의 목표사항 도출 - 국내에 적합한 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발 · 국내외 지진조기대응시스템 알고리즘 조사 및 분석 · 국내/외 지진 대응시스템 알고리즘 최적안 개발 · 계측데이터/P파 기반 지진규모 산정 기법 검토 및 최적안 도출 · 국내 지반특성을 고려한 지진파 전파 감소 검토 및 분석 · 철도인프라에 적합한 지진 조기대응 알고리즘 개발 · 선정된 알고리듬에 대한 P파 추출 모듈 · 실시간 P파 초기미동 검출모듈 개발 · 진앙, 규모를 추정하는 한국형 상관관계식 도출 및 모듈 개발 · 최대진폭 계산모듈 개발 · PGA, PGV, PGD 검출 및 계산모듈 개발 - 철도인프라 지진조기대응시스템 핵심기술 설계 · 조기대응 시스템 구성을 위한 H/W, S/W 요구 수준 산출 · 조기대응 시스템 지진통보 시스템 설계 · 통합관리시스템 H/W, S/W 사양 결정 - 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 운영 플랫폼 개발 · 국내외 지진통보 관련 통신 프로토콜 조사 및 분석 · 철도인프라 지진 조기대응 시스템 구축 및 운영을 위한 네트워크 설계 및 보안대책 수립 · u-IT 기반 지진 감지, 경보, 대피 정보 전달 체계 구성안 수립 · 철도운영시스템(고속철도, 일반철도, 도시철도, 광역철도 등)과 연계방안 설계 · 통합관리시스템 운영 SW 개발 사양 결정

구 분	연 구 내 용
2차년도	- 철도 인프라 Shake map 작성 및 지진관측망 설계 ・국내외 shake map 작성 사례 조사 ・지진가속도계측기 설치 위치 결정 - 철도인프라 지진조기분석 알고리즘 구동용 시스템 구축 ・지진가속도계 및 기록계의 표준 규격 결정 ・지진가속도계 및 기록계의 설치 위치 결정 ・시스템 구성을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 구축 ・지진조기대응 알고리즘을 적용한 시스템 구축 ・시범용 지진조기대응 시스템 구축 및 운영 ・지진조기대응시스템 성능개선 및 최적화를 위한 요구사항 - 지진 조기대응시스템 솔버 개발 ・지진 조기 규모, 진원 및 손상범위, 위치 산정 솔버개발 - 철도인프라 지진조기대응 전용 통보시스템 설계 ・최신 u-IT 기술 기반 지진조기대응 경보 전달체계 설계 ・지진조기대응 통보시간 단축 기술 설계 ・철도인프라 지진조기경보 통보시스템 구축 및 운영을 위한 네트워크 설계 ・오보방지용 안전장치 개발 방안 수립 ・경보발령 알고리즘 개발 ・u-IT 기반 지진 감지, 경보, 대피 정보 전달 체계 구성을 위한 가이드라인 개발 ・통보시스템과 철도 운영시스템(고속철도, 일반철도, 도시철도, 광역철도 등) 연계 방안 설계 ・지진조기대응 시스템과의 연동 관련 장애요소 도출 및 개선 방안 설계 - 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련(1) ・철도 차량 운행과 연관한 대상지진 규모 및 세기(지표면 기준) 결정 ・관측 및 계측소 간격, 자료 전송 지연시간을 고려한 경보 도달 시각 결정
3차년도	- 국내에 적합한 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 성능검증 ・중규모 지진을 이용한 알고리즘 성능 시험 - 지진 조기대응시스템 솔버 성능검증

구 분	연 구 내 용
	・솔버의 신뢰도 검증 및 기법 개발 - 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 운영체계 구축기술 개발 ・가속도 계측데이터 실시간 모니터링 시스템 개발 ・가속도 계측데이터 관리시스템 개발 ・데이터베이스 구축 및 브리핑 지원 모듈 개발 - 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 성능검증 ・하드웨어 및 솔버와의 적합성, 구동성 검증 ・중규모 지진에 대한 조기경보 알고리듬 시험 및 신뢰성 검증 ・시범운영 지역에 대한 집중 점검 및 시스템 안정화 ・과거 지진자료 활용 및 실제 지진발생 시 조기경보 발표 시험 점검 - 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련(2) ・규모, 위치 등에 따른 운행지침 작성 ・조기대응에 따른 비상체계 수립안 작성 - 지진 조기대응 시스템 테스트베드 구축
4차년도	- 지진 조기대응 시스템 성능검증 및 활용 ・해외 지진파를 활용한 조기대응 시스템 성능 시험 ・철도인프라 지진조기대응시스템 시험 운영 ・철도인프라 지진조기대응시스템 운영 문제점 개선 및 보강 ・조기대응 시스템 운영 및 유지관리 매뉴얼(안) 수립

5절. 중복성 및 연계방안

1. 중복성 검토

○ 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화		기존 연구과제			검토결과	
연구목표	주요내용	과제명	주요내용	연구기관(연구기간)	차별성	연계방안
철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화	국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 및 개선안 정립 철도 구조물 분야별 내진해석법 검토 및 개선 철도 구조물 분야별 병행 성능기반 설계 도입을 위한 방안 수립 철도 구조물 분야별 상세설계지침 개발 궤도, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정 철도 인프라 통합 내진설계기준 제정	도로교 설계기준 개정	소요연성도에 따라 심부구속철근을 배근하고 연성도에 따라 전단강도를 검증하는 연성도 내진설계법	한국건설기술연구원 등(2008.6~2010.6)	열차 주행안전성 확보를 위한 이동열차하중과 지진하중이 동시에 작용할 경우의 설계기준 연구	구조물과 관련한 기준은 최대한 활용하되, 철도시스템 특성을 고려한 지진하중 및 국내지반 특성에 맞는 설계수준의 재설정
		도시철도 시설물 표준화	도시철도 구조물에 대하여 일괄적인 내진기준 적용연구	한국철도기술연구원 (2007.7~2012.6)	도시철도 시설이외에 광역철도, 고속철도 등 제반 철도시설 및 기존에 미비된 설비분야의 내진기준 연구	기존 기준을 최대한 활용
철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 선진화	국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립 철도설비 내진성능 보강지침 제시 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정		(없음)		철도 설비 분야의 내진성능평가에 대한 기존 연구 중복성 없음	
		내진성능평가 및 향상요령 보완, 개정	교량, 터널, 건축물의 내진성능평가 및 향상요령	한국시설안전공단(2009.1~2010.12)	철도 시스템 및 시설물의 특성(선하역사, 열차주행안전성, 차량과 인터페이스 등)을 평가지침의 반영	기존 평가요령을 최대한 활용
철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립	손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발 응급위험도 판정기준 정립		(없음)		기존 기술에 대한 중복성 없음	

○ 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발		기존 연구과제			검토결과	
연구목표	주요내용	과제명	주요내용	연구기관(연구기간)	차별성	연계방안
궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발	궤도 및 철도설비의 내진성능보강기법 정립		(없음)		궤도, 전력, 신호 등의 내진보강시스템과 관련하여 기존 기술에 대한 중복성 없음	
철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화	기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립		(없음)		기존 보강기술의 체계화를 통하여 내진보강 기법의 체계화 및 성능검증을 위한 토대 마련	

○ 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

지진 발생 후 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발		기존 연구과제			검토결과	
연구목표	주요내용	과제명	주요내용	연구기관(연구기간)	차별성	연계방안
철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발	철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼 작성		(없음)		기존 기술에 대한 중복성 없음	
철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발	지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발	도로교 급속교체 및 응급복구용 교량가설 기술개발 연구기획	응급복구용 가설교량 기술 개발	국토해양부 (2006)	개발 기술은 도로 시스템과 달리 우회경로가 없는 철도 시스템의 특성을 반영 교량을 포함하여 제반 구조물 및 각종 설비에 대한 복구 기술 연구	

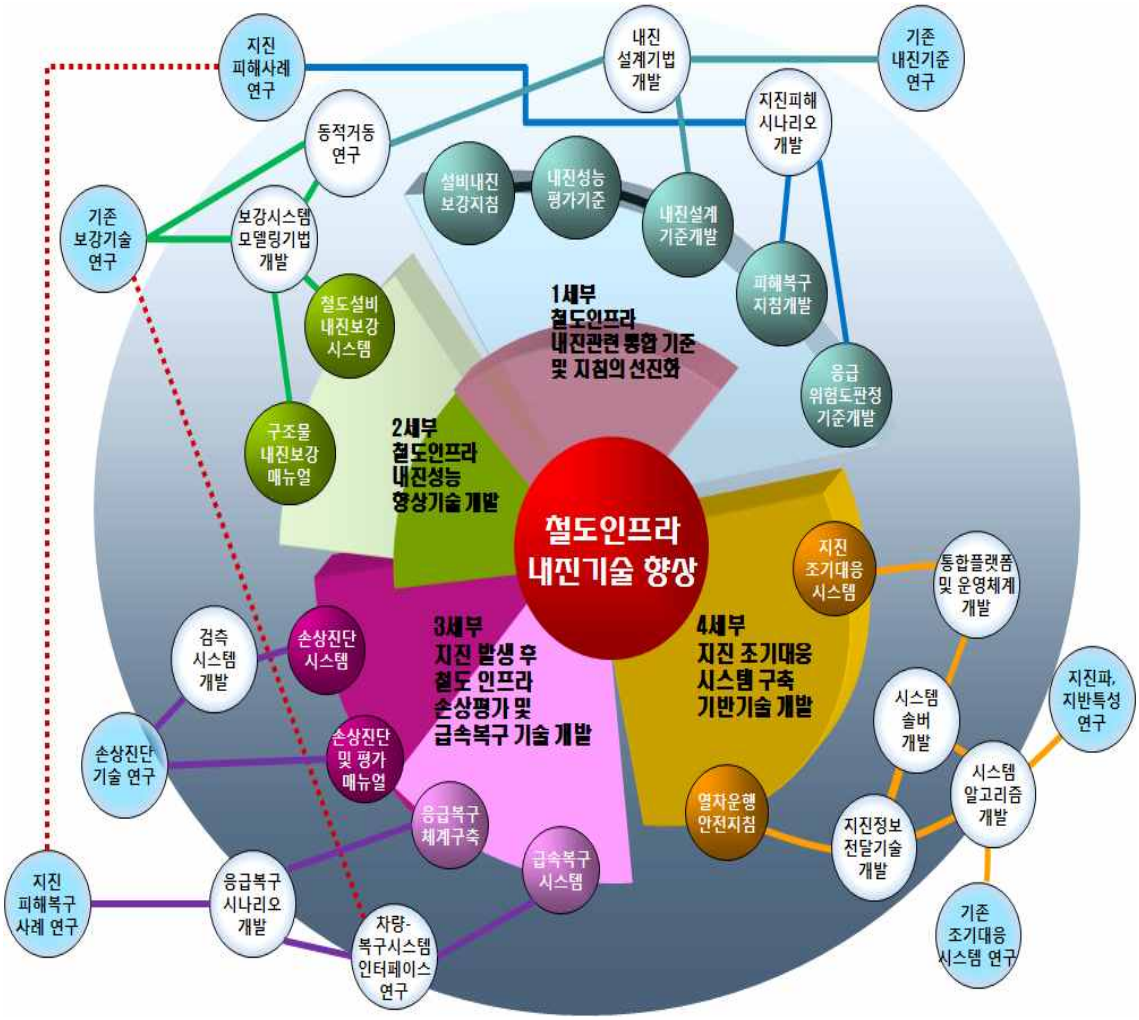
○ 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

지진 조기대응시스템 구축 기반기술 개발		기존 연구과제(최상위 과제명)			검토결과	
연구목표	주요내용	과제명	주요내용	연구기관(연구기간)	차별성	연계방안
계측데이터 기반 철도인프라 지진 피해 분석 기술 개발	철도인프라 전용 지진 조기대응시스템 성능목표 도출 국내에 적합한 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발	지진연구망 구축 및 네트워크 운영 기술 개발	지진연구망 및 네트워크 체계 구축 연구	KIGAM, KMA	기존 연구는 철도 주변 보다는 지진 관측을 위해 설치 운영에 대한 연구로써 철도 시설물 운영차원이 아닌 국가 지진 통보 및 진앙지 관측기능 위주의 연구임 고속철도 이외의 일반 국철, 도시철도 등의 운영 및 운행 특성이 다르고, 지진동 세기에 따른 대응수준이 다름 철도시설물에 대한 지진조기 기대응 통합운영시스템 구축을 통한 기상청 경보와 차별화	기존 연구에서 제시된 알고리즘 분석 활용 기존 국가지진연구망 최대 활용
철도인프라 지진조기대응시스템 설계기술 개발	철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계 철도인프라 지진조기대응시스템 구축 기반기술 개발					

2.세부과제 간 연계관계

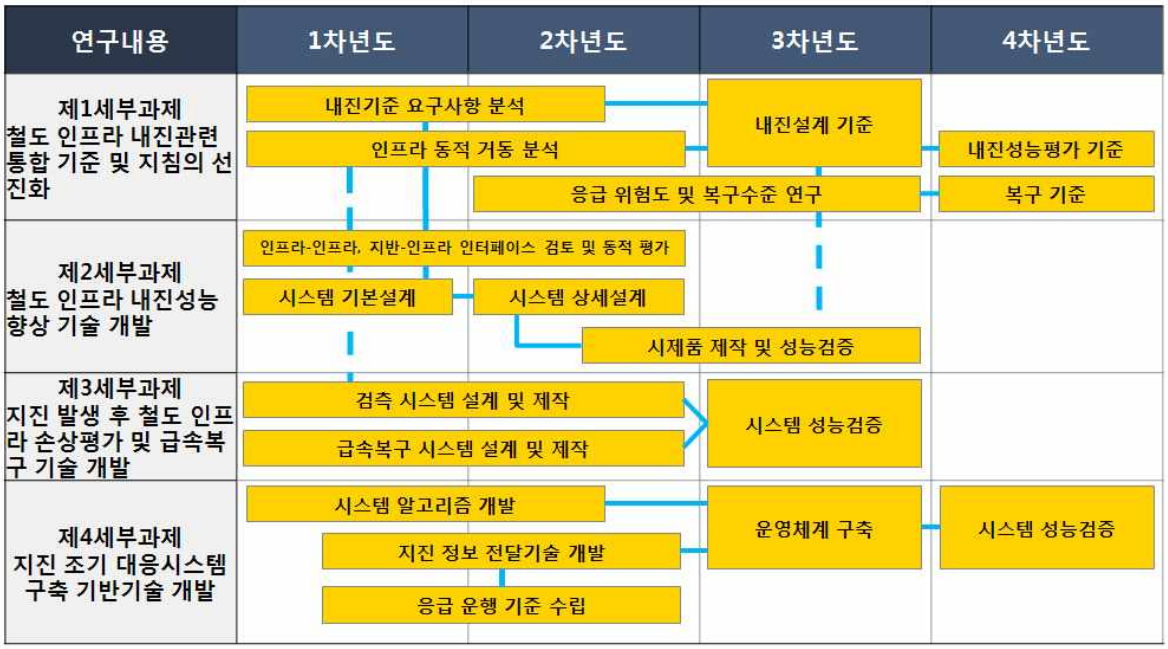
○ 1, 2, 3세부간 유기적 연계 필요

- 철도 인프라 내진성능 향상기술 개발을 위하여 철도 인프라의 내진설계 및 평가기준 필요
- 손상진단 기술 및 응급복구 시나리오 개발을 위하여 지진 피해사례 연구 및 철도 인프라의 동적거동 특성 연구 필요



6절. 과제별 · 연차별 기술로드맵 및 성과로드맵

1. 총괄 기술로드맵



2. 과제별 기술로드맵

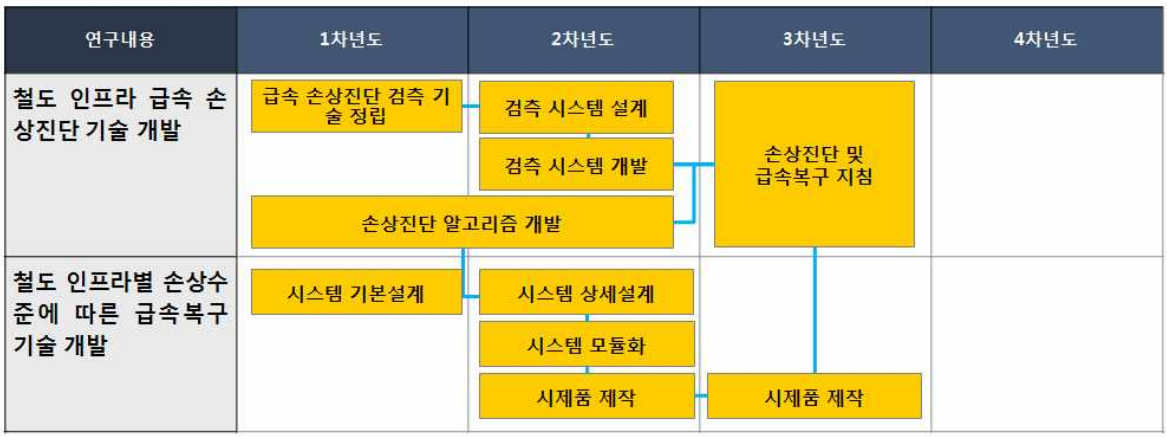
가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화



나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발



다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발



라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발



7절. 성과의 활용방안

○ 교량, 터널, 역사 등 구조물의 설계해석법 활용 및 철도 유관기관에 설계 기술 이전

○ 성능기반 설계 지침 및 해설서의 보급

○ 철도 설비의 내진성능 평가를 위한 실험절차 및 기술 확보

○ 철도 설비 내진성능 평가기준을 활용한 타 설비의 내진성능 평가기준 개발

○ 기존 철도 설비에 대한 내진 안전성 확보로 대국민 신뢰도 개선

○ 응급위험도 판정을 위한 핵심기술 확보 및 기준의 보급

○ 철도 설비 내진성능 향상기술을 건축 설비 분야에 확대 적용

○ 철도 설비 내진성능 향상기술 실용화 및 해외시장 개척

○ 철도 유관기관에 철도 설비 내진성능 향상기술의 시공 및 유지관리 매뉴얼 보급

○ 철도 유관기관에 철도 구조물의 내진성능 향상지침 보급

○ 손상 구조물의 급속 진단 시스템 핵심기술 확보 및 실용화

○ 급속복구 기술을 일반 건축·토목 구조물로 확대 적용

○ 호남고속선, 도시철도, 일반철도에 지진 조기대응 시스템 구축 적용

○ 지진 조기대응 기술을 일반 토목·건축시설물로 확대 적용

○ 정부 및 운영기관에 지진 대응매뉴얼의 보급

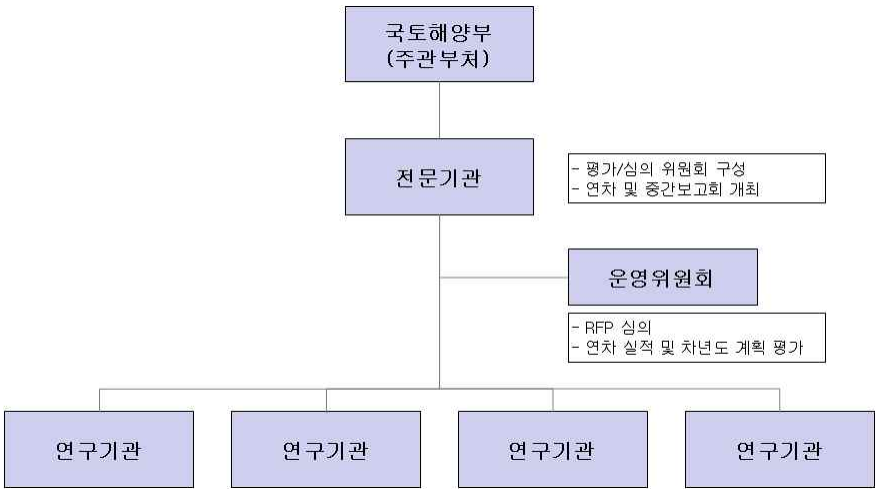
8절. 연구수행체계 제안

1. 기본 추진체계

기본 추진 체계 구성

□ 국가 연구개발 공동 운영 체계 준수

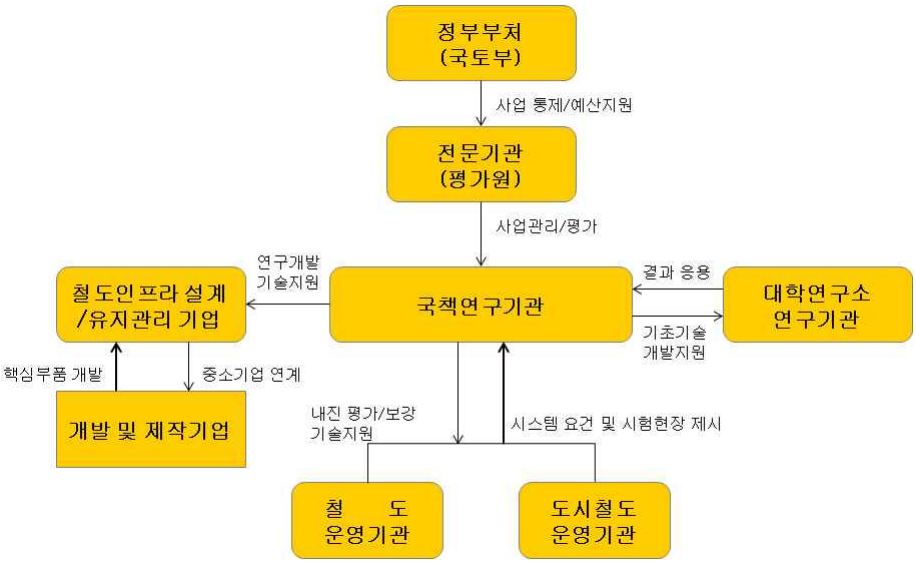
□ 대형 연구개발의 효율적 추진을 위한 체계구성



관련기관과의 연계성

□ 산·학·연 및 관과의 유기적 연계성 구축

□ 기관의 특성이 반영된 업무 할당



2. 세부과제 추진체계

○ 산·학·연 공동연구체계 구성을 통한 철도 인프라 분야별 전문가의 참여를 통하여 철도 인프라의 내진관련 제도개선, 내진성능 향상, 급속복구 및 조기대응시스템 구축기술 개발을 목표로 전반적인 내용에 대한 검토가 이루어질 수 있도록 컨소시엄을 구성

○ 전문가 네트워크를 통하여 연구수행 내용의 적절성 및 방향성 주기적 검토 및 참여기관간 유기적 의사소통채널 확보



그림 5.1 1세부과제의 추진체계

○ 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발과 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술의 성공적인 실용화 및 상용화를 위하여 관련분야의 설계·제작 기술을 보유한 기업의 참여를 적극적으로 유도

○ 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발의 성공적 연구를 위하여 관련분야의 국책 연구기관 참여를 적극적으로 유도

○ 핵심기술 개발, 지침작성 현장 검증을 통하여 제품의 성능검증을 수행하며 개발된 시스템이 적용되기 위하여 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 연계를 통하여 시스템이 반영



그림 5.2 2세부과제의 추진체계

6장. 사전 타당성 검토

6장. 사전타당성 검토

1절. 정책적 타당성

○ 현행 지진재해대책법에 의거 주요 시설에 대한 내진설계기준을 정하도록 함에 따라 내진설계기준이 미비된 궤도운송법에 따른 궤도(구 삭도시설)에 대한 내진설계기준이 제정되었으나, 아직 설비분야에 대한 내진설계기준은 미흡한 실정임.

- 제2차 국가철도망 구축계획 등 철도분야 투자규모가 증가함에 따라 철도 인프라설비분야의 내진 안전성 확보를 위한 기준제정이 시급함.
- 지난 10년간 철도분야 R&D 예산이 연평균 약 30% 증가추세를 보임에 따라 철도 인프라설비분야의 내진관련 기준제정을 위한 정부주도 연구개발을 위한 제원확보의 어려움이 없을 것으로 예상됨.

○ 국제적 강진의 발생 증가와 국내 지진발생의 증가추세로 주요 시설물의 내진설계기준은 기준 수립 이후 지속적으로 강화되고 있는 실정임.

- 철도 인프라의 지진가속도는 2000년 0.14g에서 0.154g로 강화
- 건축구조설계기준은 2005년 재현주기 2000년의 2/3수준의 지진으로 내진기준을 강화

○ 철도 인프라의 내진설계기준이 강화된 지 10년 이상 경과하였으며, 이에 철도 인프라와 관련한 주요 설계기준의 재검토가 필요함.

○ 미국, 일본 등 내진선진국의 내진설계기준이 성능중심 설계로 확산되어가는 추세임. 내진선진국과의 기술격차를 줄이기 위하여 국내 철도 인프라 특성에 맞는 내진기준의 재정립을 위한 연구수행이 필요함.

- 성능중심 설계에 대한 국내의 학술적 연구는 다양하게 이루어지고 있으나, 철도 인프라의 경우 열차주행과 같은 특수성으로 인하여 소규모 연구에 한계가 있음.
- 내진기준은 법령에 따라 제·개정되므로 이를 위한 연구는 이해관계가 있는 민간 주도보다 정부 주도의 연구로 진행되어야 함.
- 철도 인프라는 전국적으로 구축되어 있는 만큼 정부주도로 개발된 내진보강 기술 사용에 대하여 지역기업의 참여를 유도함으로써 지역산업발전에 기여할 수 있음.

○ 철도 설비분야의 내진보강에 대한 국내 연구는 초기단계이며, 기술개발에 막대한 예산이 소요되므로 이와 관련된 연구는 국가에서 주도하는 것이 타당함.

- 지진재해대책법과 재난 및 안전 관리 기본법에 따라 5년마다 기존시설물의 내진보강계획을 수립하여야 하고 있으며, 이 중 내진보강대책에 필요한 기술의 연구개발에 대한 사항을 기본계획에 포함하도록 하고 있음.
- 내진보강 대상시설물은 법령 제정 이전 또는 기준 강화 이전의 인프라로 제한되어 있으므로 단기적으로 국내 산업발전에 미치는 파급 효과가 크지만 중장기적으로는 국내시장의 축소와 해외시장개척이 필요하므로 민간주도의 연구를 기대하기 어려움.

○ 현행법령에서 지진재해의 예방 및 복구 등에 대하여 일부 또는 전체를 국고로 부담하도록 되어 있으므로 예방 및 복구를 위한 기술 개발을 통하여 국고 부담을 최소화할 필요가 있음.

- 지진 후의 구조물 손상 평가 및 복구 시스템 구축에 대한 연구는 세계적으로 시작되는 연구 분야이므로 정부 지원의 연구형태가 적합함
- 지진재해에 대한 공공시설물의 안전성 확보를 위하여 조기 및 신속한 대책 수립은 국가차원의 지원이 요구됨

○ 현행 지진통보시스템(EBS)은 지진발생에 대한 신속한 대응보다는 사후 처리에 가까운 형태로 운영되고 있음. 일본의 사례로 비추어볼 때 현행 시스템은 지진시 열차운행에 대한 안전성 확보가 어려우며 조기대응시스템 구축을 통한 열차운행의 안전성 확보를 위한 정책마련이 필요함.

- 국가 위기대응시스템과 향후 연계가 될 수 있도록, 시스템 구축 초기 단계부터 통합시스템을 고려한 설계가 필요함
- 지속적이고 혁신적으로 발전하는 u-IT 기술 기반의 초기대응시스템 구축 및 상황전파시스템 구축을 위한 국가 정책 반영이 필요함

○ 최근 사회적으로 복지, 환경 및 안전이 주요 요구사항임을 고려할 때 공공재적 성격이 강한 철도 인프라에 대한 지진관련 안전성 확보는 필수임.

- 지진 후 철도인프라의 평가/보강 및 대응 매뉴얼 확보를 통한 국민의 심리적 불안을 해소하고 사후 인명피해를 최소화하는 등 사회적 파급효과를 고려하여 국가의 지원이 필요함

2절. 기술적 타당성

○ 철도 인프라 내진기술과 관련한 기초기술 및 연구성과는 선진국에 비하여 열세이나, 연구 인프라는 선진국 수준에 근접한 것으로 판단됨.

○ 국내 지진 발생 추이와 주요시설물의 내진설계기준 변화 및 인접국가의 지진사례를 분석한 결과 철도인프라에 대한 현행 내진설계기준 상향에 대한 검토가 필요한 것으로 판단됨.

○ 기존 내진설계기준연구II(1997)에서 주요 시설물에 대하여 기능수행수준과 붕괴방지수준의 2가지 목표성능이 제시되어 있으며, 도시철도내진설계기준에서 이 2가지 성능수준에 모두 만족하도록 규정하고 있는 등, 내진선진국에서 시행중인 성능기반 설계의 도입에 어려움이 없을 것으로 판단됨.

○ 다만, 내진설계를 실행하는 실무자의 기술수준은 성능기반 설계를 수행하기 위한 설계 및 해석법을 사용함에 있어 연구자 및 선진국 수준과 격차를 보임에 따라 기존 설계기법과 병행하여 사용하여야 함.

○ 전반적인 국내 기술력을 종합해 보았을 때 내진보강 기술력은 선진국 수준에 근접한 것으로 판단됨.

- 성수대교, 삼풍백화점 붕괴이후 지속적인 진단 및 보수보강 산업의 발달로 비파괴검사, 시공기술은 선진국과 동등한 것으로 판단됨.
- 최근 학교시설 내진보강사업 등으로 선진 내진보강 기술의 국내 유입 및 국내 내진보강 기술개발이 활발히 이루어지고 있음.
- 철도 인프라의 운행중 내진 보강을 위한 기술적 난제는 국내 시공기술 수준으로 해결 가능한 상세 지침 및 유지관리를 위한 기술적 뒷받침이 필요한 것으로 판단됨.

○ 기존 철도 인프라 내진보강기술의 검증/평가를 실시할 연구기관의 기술력은 선진국 수준에 근접한 것으로 판단됨.

○ 지진 조기대응 시스템 개발 기술은 조기대응 시스템의 구축성능목표를 사전에 명확히 설정하여야 할 필요가 있음.

- 강진 발생이 빈번한 내진 선진국과 달리 국내 지진 발생은 중약진규모가 대다수이므로 조기대응을 위한 시스템은 중약진규모 이상을 대상으로 작동 운영되도록 개발되어야 함.

3절. 경제적 타당성

○ 철도 인프라의 운행중 내진 보강에 대한 국내외 시공사례가 부족하여 해당 기술 개발시 해외 시장 선점의 가능성이 높음.

○ 철도 인프라 내진보강에 연간 약 30~100억 규모의 투자가 이루어질 것으로 전망됨에 따라 내진보강관련 산업의 고용유발 효과를 기대할 수 있음.

○ 철도 인프라 내진보강기술 개발이 민간기업의 주도로 이루어질 경우 역량측면에서 볼 때, 수십억원 규모의 개발비는 시장을 주도하는 보수보강업체의 재무구조 취약으로 인해 사업 추진의 현실성이 낮아 보임.

○ 구조물 내진보강 전문기업 중 자체기술 보유 기업은 극소수이나 다수의 보수보강업체가 해외기술을 통한 신규진입이 예정되어 있음. 그러나 철도 인프라 특성에 적합한 내진보강기술은 전무하여 기술개발을 통한 시장진입의 성공 가능성은 매우 높음.

○ 철도 인프라 중 교량, 터널 등 구조물의 내진보강비용이 약 3천억원이 소요될 계획이며, 설비분야의 내진보강비용은 아직 파악되지 못한 실정임.
- 철도 인프라 내진보강기술 개발로 보강비용의 10% 감축시 최소 300억 이상의 비용절감 효과를 달성할 수 있음.

○ 지진 후 철도 인프라 손상과 이로 인한 열차운행 중단 시 우회가 불가능한 철도교통의 특성상 철도의 운송부담은 주변 도로에 전가됨. 당산철교 교체시 3년간 셔틀버스 운행비용과 도로혼잡 및 지역상권의 피해로 수천억원의 사회적 간접비용이 발생하였음.

○ 도로의 경우 우회로 및 임시가교 설치를 통한 우회가 가능하나 철도의 경우 우회가 불가능하여 지진피해시 응급복구가 불가능할 경우 철거 및 재시공 기간동안 이용이 불가능하여 막대한 사회적 비용손실이 발생하게됨.

○ 설계기준에서 제시하고 있는 내진 1등급 0.154g 규모의 지진발생시 300km 가량의 시설물 붕괴 시 약 30조의 복구비용(기존 당산철교 재시공비용인 540억원/km에 대하여 연간 5%의 물가상승률을 고려한 경우)이 예상되며, 이로 인한 물류운송의 축소, 비용 증가, 물가상승 등에 따른 사회적 비용은 수백~수천조에 이를 것으로 예상됨.

○ 내진설계기준의 강화 또는 기존 시설물의 내진성능보강을 통하여 예상되는 피해시설의 10% 이상의 붕괴를 방지할 경우 약 3조의 복구비용과 수백조의 사회적비용의 감소를 기대할 수 있음.

○ 철도 인프라 응급복구 시스템의 개발을 통하여 복구기간 1일 단축시 복구 1개소당 약 5억원의 사회적 비용감소를 기대할 수 있을 것으로 예상됨.

○ 철도 운행중 지진으로 인한 차량 전복시 1편성당 100명 이상의 사망, 500명 이상의 부상이 예상되며 이로 인한 철도차량 비용 및 수십억원의 피해보상비용과, 철도시설의 대국민 신뢰도 저하가 발생할 것임.

○ 지진 조기대응 시스템의 구축을 통한 열차운행 안전성확보는 열차전복사고 예방 및 철도의 대국민 신뢰도 상승을 통하여, 피해비용 절감 및 운행수입의 증대를 기대할 수 있음.

4절. 정부지원 타당성

○ 현행 지진재해대책법에 의거 주요 시설에 대한 내진설계기준을 정하도록 함에 따라 내진설계기준이 미비된 궤도운송법에 따른 궤도(구 삭도시설)에 대한 내진설계기준이 제정되었으나, 아직 설비분야에 대한 내진설계기준은 미흡한 실정임.

- 제2차 국가철도망 구축계획 등 철도분야 투자규모가 증가함에 따라 철도 인프라설비분야의 내진 안전성 확보를 위한 기준제정이 시급함.

○ 내진관련 기준의 제·개정은 법령에 의거 시행되는 기술기준이므로 국가주도로 진행되어야 하는 사업

○ 철도 인프라의 내진설계기준이 강화된 지 10년 이상 경과하였으며, 이에 철도 인프라와 관련한 주요 설계기준의 재검토가 필요함.

○ 철도시설물은 다중이용 시설물로써 공공성이 강하며, 이를 위한 내진선진국과의 기술격차를 줄이기 위한 연구는 장기적 차원에서 연구개발이 진행되어야 하므로 정부차원에의 연구개발 주도 전략이 필요한 과제임.

○ 철도 설비분야의 내진보강에 대한 국내 연구는 초기단계이며, 기술개발에 막대한 예산이 소요되므로 이와 관련된 연구는 국가에서 주도하는 것이 타당함.

- 지진재해대책법과 재난 및 안전 관리 기본법에 따라 5년마다 기존시설물의 내진보강계획을 수립하여야 하고 있으며, 이 중 내진보강대책에 필요한 기술의 연구개발에 대한 사항을 기본계획에 포함하도록 하고 있음.
- 내진보강 대상시설물은 법령 제정 이전 또는 기준 강화 이전의 인프라로 제한되어 있으므로 단기적으로 국내 산업발전에 미치는 파급 효과가 크지만 중장기적으로는 국내시장의 축소와 해외시장개척이 필요하므로 민간주도의 연구를 기대하기 어려움.

○ 지진 후의 구조물 손상 평가 및 복구 시스템 구축에 대한 연구는 세계적으로 시작되는 연구 분야이므로 정부 지원의 연구형태가 적합함

○ 지진 후 철도인프라의 평가/보강 및 대응 매뉴얼 확보를 통한 국민의 심리적 불안을 해소하고 사후 인명피해를 최소화하는 등 사회적 파급효과를 고려하여 국가의 지원이 필요함

○ 철도 시스템의 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 연구개발 사업을 통한 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적이며 기획연구를 통하여 기술동향 분석, 세부 전략 수립 및 필요 연구분야 도출이 필요함수보강을 확대 적용하는 등 강화된 건축법 시행령을 입법예고

○ 현행법령에서 지진재해의 예방 및 복구 등에 대하여 일부 또는 전체를 국고로 부담하도록 되어 있으므로 예방 및 복구를 위한 기술 개발을 통하여 국고 부담을 최소화할 필요가 있음.
- 지진 후의 구조물 손상 평가 및 복구 시스템 구축에 대한 연구는 세계적으로 시작되는 연구 분야이므로 정부 지원의 연구형태가 적합함
- 지진재해에 대한 공공시설물의 안전성 확보를 위하여 조기 및 신속한 대책 수립은 국가차원의 지원이 요구됨

○ 지진 후 철도인프라의 평가/보강 및 대응 매뉴얼 확보를 통한 국민의 심리적 불안을 해소하고 사후 인명피해를 최소화하는 등 사회적 파급효과를 고려하여 국가의 지원이 필요함

○ 지진재해에 대한 공공시설물의 안전성 확보를 위하여 조기 및 신속한 대책 수립은 국가차원의 지원이 요구됨

○ 모든 철도 시설물은 상시 시민들이 이용하는 다중이용시설이므로 인명피해에 대한 저감대책이 최우선시 되어야 하고, 이와 관련된 연구는 국가 지원이 필요함

○ 국가 위기대응시스템과 향후 연계가 될 수 있도록, 시스템 구축 초기 단계부터 통합시스템을 고려한 설계가 필요함

○ 지속적이고 혁신적으로 발전하는 u-IT 기술 기반의 초기대응시스템 구축 및 상황전파시스템 구축을 위한 국가 정책 반영이 필요함

○ 정부 미지원시 1일 천만이상 이용하는 광역철도, 도시철도의 내진안전성 미확보에 따른 대국민 신뢰도 저하 및 지진 시 대규모 인명피해의 위험성 노출

○ 정부 미지원시 철도 운영기관 자체 연구인력 부족 및 내진안전성 확보를 위한 기술 개발에 필요한 예산 확보가 어려움

○ 정부 미지원시 철도 설비 인프라 내진성능 향상기술 부재에 따라 내진성능이 부족한 기존 설비 교체에 천문학적 비용 소요가 예상됨

○ 정부 미지원시 지진 발생 후, 복구를 위한 국가의 신속 대응 체계 미흡으로 인적·물적 피해의 증폭

○ 정부 미지원시 설계 기준의 미흡으로 국가 시설에 대한 안전성 신뢰도 저하

○ 정부 미지원시 지진 발생 후 복구시간 및 비용 과다 등으로 사회 안정화가 어려울 것으로 예상됨

5절. 종합평가 및 결론

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

○ 국내 지진 발생 추이와 주요시설물의 내진설계기준 변화 및 인접국가의 지진사례를 분석한 결과 철도인프라에 대한 현행 내진설계기준 상향에 대한 검토가 필요하며, 열차주행과 같은 인프라 특수성으로 인하여 소규모 연구보다 정부 주도의 연구로 진행되어야 함.

○ 주요 시설에 대한 내진설계기준이 제정되었으나 지진 발생시 2차적 피해를 유발하는 설비분야의 내진설계기준이 미흡하여 철도 인프라의 내진 안전성 확보를 위하여 전력, 통신, 신호 등 설비 분야의 내진설계 및 내진성능 평가기준의 제정이 시급함.

○ 내진설계를 실행하는 실무자의 기술수준이 비선형 해석법을 사용함에 있어 연구자의 수준과 격차를 보임에 따라 실무 적용을 위한 철도 인프라 해석기술 매뉴얼의 개발 및 보급이 필요함.

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 설비 인프라의 복구비용이 전체 복구 비용의 80% 이상 소요되고 시설의 운영에 막대한 영향을 미치므로, 기존 철도 설비의 내진성능 보강 기술 개발은 시급히 수행되어야 함

○ 내진향상을 위한 시공 및 해석절차의 매뉴얼화를 통하여 철도구조물의 내진해석법에 따른 과보강 또는 보강부족에 대한 논란을 감소시킬 수 있음.

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 우회가 거의 불가능한 철도교통의 특성상 지진 후 철도 인프라 손상은 철도의 운송부담을 주변 도로에 전가시키고 이로 인하여 도로혼잡과 대체교통수단 운영 및 주변지역의 경제적 손실 등 수백~수천억원의 사회적 간접비용이 발생하게 됨.

○ 지진 후 철도인프라의 손상평가 및 급속복구를 위한 체계구축을 통하여 국민의 심리적 불안을 해소하고 지진 복구시 소요되는 사회적 비용을 최소화하도록 개발되어야 함.

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

○ 현행 지진통보시스템(EBS)을 이용하여 지진발생 시 철도 운행의 안전성을 확보하고자 할 경우, 신속한 대응 통한 사고 예방은 불가능함. 일본의 UrEDAS 시스템과 같이 지진시 열차운행에 대한 안전성 확보가 가능한 조기대응 시스템 구축이 필요함.

○ 지진 조기대응 시스템은 국가 위기대응시스템과 향후 연계가 될 수 있도록, 시스템 구축 초기 단계부터 통합시스템을 고려하여 개발하여야 함

○ 지진 조기대응 시스템을 통한 열차 운행 지침 수립을 위하여 열차 주행특성과 지진 규모에 따른 상호관계에 대한 연구가 실시되어야 함.

7장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

7장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력 투입계획

1. 전체사업 인력투입계획

- 연구단 전체 소요인력을 구성기술 단위로 연차별 집계하여 다음 표에 나타내었음
- 소요인력의 단위 1명은 12M/M에 해당되며, 1M/M는 연구원 1명이 1개월간 100% 참여함을 뜻함

(단위 : 명)

세부과제	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
1세부과제	15	20	15	10	60
2세부과제	8	23	19		50
3세부과제	6	20	19		45
4세부과제	15	15	21	15	66

2. 세부과제별 인력 투입

(1) 총 투입 연구인력

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원	15	16	16	9	56	
연구원	26	36	36	18	116	
연구보조원	33	57	56	25	171	
보조원	13	19	18	7	57	
합계	87	128	126	59	400	

(2) 1세부과제 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원	4	4	4	4	16	
연구원	8	8	8	8	32	
연구보조원	14	18	14	10	56	
보조원	4	6	4	2	16	
합계	30	36	30	24	120	

(3) 2세부과제 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원	3	4	4		11	
연구원	3	10	10		23	
연구보조원	3	15	12		30	
보조원	3	5	3		11	
합계	12	34	29		75	

(4) 3세부과제 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원	3	3	3		9	
연구원	5	8	8		21	
연구보조원	4	12	10		26	
보조원	2	4	4		10	
합계	14	27	25		66	

(4) 4세부과제 투입연구인력

분류	총 개발인력(명)					비고
	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	계	
책임연구원	5	5	5	5	20	
연구원	10	10	10	10	40	
연구보조원	12	12	20	15	59	
보조원	4	4	7	5	20	
합계	31	31	42	35	139	

2절. 소요예산 산정

1. 예산 산정방법

○ 본 연구의 연구비 분포는 “2. 전체사업 소요예산”과 같음

○ 2, 3세부과제는 3차년도에 종료예정임.

○ 2차년도는 대규모 실험이 예정되어 있어 예산비중이 높음.

○ 3차년도는 현장부설 및 시험이 예정되어 있어 예산비중이 높음.

2. 전체사업 소요예산

(단위 : 백만원)

과제명	1차년		2차년		3차년		4차년		합계	
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
계	3,000	700	5,200	1,200	5,700	1,250	2,200	500	16,100	3,650
1세부과제	1,000		1,500		1,000		500		4,000	
2세부과제	400	200	1,200	400	1,000	300			2,600	900
3세부과제	300	100	1,200	400	1,000	250			2,500	750
4세부과제	1,300	400	1,300	400	2,700	700	1,700	500	7,000	2,000

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분				소계	비율
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
인건비		1,827.2	2,724.4	2,893.6	1,032.0	8,477.2	42.9
직접비	연구장비/재료비	885.4	2,184.2	2,467.5	1,058.2	6,595.3	33.4
	연구활동비	377.1	501.0	526.0	216.1	1,620.2	8.2
	연구수당	274.1	408.6	434.0	154.8	1,271.5	6.4
소계		1,536.7	3,093.9	3,427.6	1,429.1	9,487.3	48.0
간접비		336.1	581.7	628.8	238.9	1,785.5	9.0
합계		3,700	6,400	6,950	2,700	19,750	

3. 세부과제별 소요예산

가. 철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
정부출연금 (억원)	10	15	10	5	40
민간부담금 (억원)					
계	10	15	10	5	40

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분				소계	비율
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
인건비		520.0	557.2	520.0	258.0	1,855.2	46.4
직접비	연구장비/ 재료비	199.3	605.9	201.9	88.2	1,095.3	27.4
	연구활동비	111.8	116.9	109.2	69.7	407.6	10.2
	연구수당	78.0	83.6	78.0	38.7	278.3	7.0
소계		389.1	806.4	389.1	196.6	1,781.2	44.5
간접비		90.9	136.4	90.9	45.4	363.6	9.1
합계		1,000	1,500	1,000	500	4,000	

나. 철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
정부출연금 (억원)	4	12	10		26
민간부담금 (억원)	2	4	3		9
계	6	16	13		35

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분				소계	비율
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
인건비		326.8	739.6	619.2		1,685.6	48.2
직접비	연구장비/ 재료비	96.1	470.9	352.1		919.1	26.3
	연구활동 비	73.5	133.1	117.6		324.3	9.3
	연구수당	49.0	110.9	92.9		252.8	7.2
소계		218.7	715.0	562.6		1,496.3	42.8
간접비		54.5	145.4	118.2		318.1	9.1
합계		600	1,600	1,300		3,500	

다. 지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
정부출연금 (억원)	3	12	10		25
민간부담금 (억원)	1	4	2.5		7.5
계	4	16	12.5		33.5

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분				소계	비율
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
인건비		206.4	653.6	670.8		1,530.8	47.1
직접비	연구장비/ 재료비	81.0	598.4	231.0		910.4	28.0
	연구활동비	45.4	104.6	134.2		284.1	8.7
	연구수당	31.0	98.0	100.6		229.6	7.1
소계		157.4	801.0	465.8		1,424.2	43.8
간접비		36.2	145.4	113.4		295.0	9.1
합계		400	1,600	1,250		3,250	

라. 지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발

구 분	1차년	2차년	3차년	4차년	합계
정부출연금 (억원)	13	13	27	17	70
민간부담금 (억원)	4	4	7	5	20
계	17	17	34	22	90

(단위 : 백만원)

예산 항목	세부 항목	구분				소계	비율
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도		
인건비		774.0	774.0	1,083.6	774.0	3,405.6	37.8
직접비	연구장비/ 재료비	509.0	509.0	1,682.5	970.0	3,670.5	40.8
	연구활동비	146.4	146.4	165.0	146.4	604.3	6.7
	연구수당	116.1	116.1	162.5	116.1	510.8	5.7
소계		771.5	771.5	2,010.1	1,232.5	4,785.7	53.2
간접비		154.5	154.5	306.3	193.5	808.7	9.0
합계		1,700	1,700	3,400	2,200	9,000	

8장. 과제 제안요구서

8장. 과제 제안요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP)

가. 철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축

세부과제명	철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축
1. 연구개발 목표	
	○ 철도 인프라시스템의 지진 대비 내진설계기준 및 내진성능 향상을 통하여 인적·재산피해 최소화 및 안전성을 확보하고, 지진 후 열차운행의 속개를 위한 신속한 복구와 종합적 응급대응체계 구축을 위한 기술 개발 - 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 신규 또는 개선안 수립 - 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 신규 또는 개선안 수립 - 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립 - 철도 궤도 및 설비의 내진성능 보강시스템 개발 - 지진 후 열차운행의 신속재개를 위한 인프라 급속복구를 위한 손상 진단 및 급속복구기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 대형 강진(2004년 인도네시아 지진 규모 9.2, 2008년 중국 쓰촨성 지진 규모 8.0, 2011년 일본 동북부 지진 규모 9.0 등)의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며 이에 따라 철도 시스템의 내진 안전성 확보 및 기준 적합성 여부가 중요한 문제로 대두됨 ○ 국내 철도인프라의 대부분 내진설계가 도입 되었으나 지진발생 시 철도운행의 안전성을 확보하기 위한 운행하중 고려, 궤도시스템, 철도설비(전력, 신호 등)에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않으며, 내진설계 도입 이전에 설계된 인프라의 내진성능의 평가·보강을 위한 종합적 표준이 미흡함 ○ 철도 인프라는 도로 등 타 교통수단 시스템과 차별화된 고유의 시스템 기능을 고려한 내진설계기준 수립이 요구됨 ○ 기존 철도인프라 분야별 내진설계기준은 국내 환경 및 특성을

	충분히 반영하지 못하고 있으며, 설계 또는 내진성능평가 시 해석법과 보강정도에 대한 논란이 있음 ○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진 시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리가 필요함 ○ 지진 발생 후 철도 시스템의 조기 정상화를 위해서는 철도 인프라의 손상을 감지, 진단, 평가하고 그에 따른 복구를 위한 구체적 지침이 필요하며 그와 관련된 기술개발이 요구됨 ○ 내진설계가 미반영된 기존 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 막대한 비용이 소모되므로 철도 인프라 특성에 적합한 경제적·효율적 내진보강 기술개발이 필요함 ○ 철도 인프라는 운행 및 사용의 중단이 없는 상태에서 내진성능이 보강되도록 시공시간이 짧고, 접근성이 좋지 않아 특화된 보강시스템의 개발이 필요함 ○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 위한 표준지침 수립이 필요하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강기술 개발이 필수적임 ○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 필요로 하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강이 요구됨 ○ 지진 발생 시에 철도 고유의 시스템 기능을 고려한 궤도/교량/터널/노반/역사/설비 등의 손상평가 평가 및 복구 시스템이 필요
□ 기술동향	○ 내진설계기준 제·개정 현황 - 1995년 12월 6일 기존의 「풍수해대책법」을 지진 관련 조항이 포함된 「자연재해대책법」으로 개정하여 건축물 및 도로를 포함한 16개 시설 및 기타 대통령령이 정하는 시설에 대한 내진설계기준 설정을 통한 내진설계를 의무화함 - 02년 :『주요시설물 내진설계기준의 재정비』 - 04년 :『기존 터널의 내진성능 평가 및 향상요령』, 『기존 교량의 내진성능 평가 및 향상요령』, 『철도설계기준(철도교편)』 - 05년 :『고속철도설계기준(노반편)』 『도시철도 내진설계 기준』, - 06년 이후 :『주요 시설물의 지진대비 필수기능 유지방안』 - 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정·공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여

내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계기준이 강화된 공공시설물(이하 “기존시설물”이라 한다)의 내진 향상을 위하여 5년마다 기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함

- 삭도 및 궤도시설을 포함한 철도구조물 대부분의 내진기준이 제정됨
- 이러한 내진설계는 신설된 시설물에는 적용되나, 내진설계의 도입 이전에 건설된 시설물의 대부분은 지진의 영향을 고려하지 않은 채 설계·시공되어 있으며 사용년수가 오래 경과하여 노후화가 많이 진행되어 있음

○ 현행 철도 인프라 내진설계기준

- 내진설계기준연구에서 제시된 내진설계 개념은 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 교량의 중요도 등에 따라 요구되는 내진성능을 철도시스템별로 기능수행수준 또는 붕괴방지수준으로 구분하고 있으며 이를 구현하기 위한 세부적인 설계지침에 대한 연구가 미비함
- 선진국을 중심으로 사회기반시설물의 성능기반설계가 이미 도입되었거나 도입을 위한 체계 및 사회적 공감대가 이미 구성되어 있으며 홍콩 뉴질랜드 등 일부 후발주자들 사이에서도 성능기반설계 기반의 시방서가 도입되고 있는 실정임

○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계기준을 정하고 있음

○ 전력선, 통신선 등의 내진 성능 평가 방안 수립을 위한 부분적 연구는 진행되었으나 현장에서 활용할 수 있는 설계 및 보강기준이 없는 실정임

○ 전력/통신/신호시스템의 내진보강 기술은 미비되어 있으며, 이에 주요 시설물 내의 파이프라인에 관한 내진설계 및 보강기준 개발 미비

○ 국내 통신설비에 대한 내진성능평가 기준 및 내진 설계 기준

- “건축설비 내진설계기준 사례조사 연구(2001)/설비 엔지니어링 협의회”에서 국내외 관련기준의 조사 수행됨
- 건축구조설계기준(KBC2000)에서는 건축, 기계 및 전기 비구조요소 및 공작물의 내진설계로 세분하여 설비에 관한 내진설계기준을 제시하고 있으나 구체적인 설계방법, 시공지침이 없으며 강제적인 구속력이 없어 설비에 대한 내진설계를 미실시하는 경우가 다수 발생함

○ 일반철도 내진보강

- 2008년에 수행된 내진성능평가 용역 결과에 따라 교량 및 터널 중 388개소의 인프라를 내진보강 대상으로 선정하여 연차별 내진보강계획을 수립한 후 보강 중에 있으며 총 소요 예산이

약 1000억원 이상으로 예상됨

○ 일반철도시설의 내진보강 중·장기계획에 따르면 2010년부터 5년간 약 1,400억원의 내진보강을 실시할 것으로 계획됨

○ 고속철도 내진보강

- 고속 1단계의 경우 1991년 내진기준이 적용되었으나 이는 현재 적용 중인 고속 2단계의 내진기준보다는 지진하중이 낮게 책정되어 있었음. 이에 따라 고속 1단계 인프라에 대한 내진성능 적정성 검토가 이루어지고 있으며 그 결과에 따라서 보강 여부 결정 예정임.

○ 도시철도 내진보강

- 기존 도시철도 시설물 중 내진설계가 미반영된(서울 1-4호선, 부산 1-3호선) 시설물에 대해 내진보강계획이 수립됨

○ 도시철도의 내진보강 중·장기계획

- 서울시의 경우 내진보강이 필요한 시설 295개소 대해서 '10년에 내진성능평가를 수행한 후, ´12년 ~´14년까지 20%인 59개소에 대해서 내진보강 수행
- 부산시의 경우 내진보강 필요시설 14개소에 대해서 1단계에 내진보강 완료하며, 약 62억의 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 향후 내진보강 계획

- 서울시에서 1단계 보강 사업 추진 후 잔여 시설물 총 236개소(교량 32개소, 터널 116개소, 터널 33개소)에 대하여 2단계 사업으로 내진보강을 완료하며, 2015년부터 매해 약 300억 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계 반영

○ 최근 수행된 미국 캘리포니아 교통국과 Nevada 대학 연구팀은 지진 후에 구조물의 손상정도와 지진거동을 정의하는 변수와의 상관관계에 따라 보수 수준을 결정하고, FRP재료를 이용하여 빠른 시간 내에 보수 보강하는 방안을 개발함

○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 철골 빌딩의 지진 후 평가법과 보강방법에 대한 연구를 수행하여 연결부를 중심으로 상세한 기초조사 및 해석적 평가절차를 통한 대응 매뉴얼을 작성하고 보강법을 제시

○ 미국 토목학회(ASCE)에서는 라이프라인의 지진후 조사에 대한 가이드라인을 제시하였으며, 미국의 지질조사국과 캘리포니아 지질조사국은 철도교통망의 ShakeOut Scenario 연구를 중심으로 조사하고 분석하였음

○ 일본의 JR East에서는 신간센의 지진 후 예측평가를 위해 표준궤도의 정량적인 위험도 분석을 실시하였음

○ 최근 철도 인프라의 손상평가를 위해 새롭게 등장하는 다양한 비파괴 검사기법을 활용한 각 부재별 손상평가 기법이 연구중이며 대표적으로 음파 및 초음파를 이용하는 방법, 전자기파

를 이용하는 방법, 레일 표면의 크랙 검출과 크기 결정이 가능하며 빠른 검사가 가능한 와전류법 등의 연구 진행

○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 건축물 내의 전기설비 내진설계 및 시공 관련하여 각 설비별 내진 시공방법, 내진 제품 사양 및 설명을 제시하였음

○ 일본의 전기설비공사 감리지침에서는 건물 내 전기설비 설계요령 및 내진 관련 시공 요점 제시하였으며, 건축전기설비 내진설계·시공 매뉴얼에서는 전기설비 설계 계수 및 시공 방법 등 구체적으로 제시하였음선철도 포함 필요).

3. 연구개발 내용	

□ 연구내용1 : 철도인프라 내진설계 통합 기준 및 지침의 선진화

○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화

- 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 및 개선안 정립
- 철도 인프라 분야별 내진해석법 및 성능기반설계 제시
- 철도 인프라 분야별 상세설계지침 개발
- 궤도·노반, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정
- 철도 인프라 통합 내진설계기준 개정

○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능·평가 기준 선진화

- 국내외 철도인프라 분야별 내진성능 평가기준 개선사항 정립
- 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정
- 철도설비 내진성능 보강지침 제시

○ 철도 인프라 복구를 위한 기준개발 및 체계수립

- 손상수준 및 인프라 종류별 복구지침 개발
- 응급위험도 판정기준 정립

□ 연구내용2 : 철도인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발

- 궤도 및 철도설비의 내진성능보강기법 정립
- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 개발
- 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템 성능검증

○ 철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화

- 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 정립
- 철도 구조물 특성을 고려한 보강시스템 개발 및 검증

□ 연구내용3 : 지진 발생 후 철도인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 철도 인프라 급속 손상진단 기술 개발
- 철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발
- 철도 인프라 손상진단 및 평가 매뉴얼 작성

○ 철도 인프라별 손상수준에 따른 급속복구 기술 개발
- 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발
- 지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성
- 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축
- Mock-up 테스트를 통한 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 철도인프라 분야간 인터페이스 조정 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여 개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축
- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축
- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축
- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 철도 인프라 분야별 내진보강시스템의 인터페이스 조정
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성
- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁 연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

□ 추진체계



5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

□ 연구내용1 : 철도인프라 내진관련 통합 기준 및 지침 선진화

○ 철도 교량/궤도/터널/역사/노반 및 기타 구조물, 철도설비의 내진설계기준 및 지침 고시
- 구조물에 따른 해석법
- 성능기반설계 도입
- 철도설비, 궤도 내진설계기준 신규 제정
- 철도인프라 통합 내진설계기준
- 상세설계지침 및 예제해설집

○ 철도 교량/궤도/터널/역사/노반 및 기타 구조물, 철도설비의 내진성능 평가·보강 기준 및 지침 고시
- 내진성능평가 기준
- 내진성능보강 지침

○ 철도인프라 복구를 위한 기준 및 지침
- 구조물별 손상수준 및 복구지침
- 응급위험도 판정기준

□ 연구내용2 : 철도인프라 내진성능 향상 기술 개발

○ 궤도 및 철도설비의 내진성능 보강시스템
- 궤도 및 철도설비의 내진보강시스템 시제품
- 시공지침

○ 철도구조물 내진성능 향상 기술 지침
- 구조물 별 최적 내진보강시스템 선정 및 시공 지침

□ 연구내용3 : 지진발생 후 철도인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발

○ 철도인프라 급속 손상진단 검측시스템
- 급속 손상진단 시스템 시제품
- 진단 및 평가 매뉴얼

○ 구조물별 응급복구 보강시스템
- 급속복구 kit 모듈
- 보강시스템 시제품
- 보강시스템 시공지침 및 대응매뉴얼

6. 연구기간 및 지원예산

□ 전 체

○ 총 연구기간 : 2013년~2016년(4년)

○ 연구비 예산 : 107.5억원(정부출연금 : 91억원 이내)

(단위 : 억원)

	2013	2014	2015	2016	계
정부	17	39	30	5	91
기업	3	8	5.5		16.5
기타	-	-	-	-	-

나. 철도인프라 지진 조기대응시스템 구축기술 개발

세부과제명	철도인프라 지진 조기대응시스템 구축기술 개발
1. 연구개발 목표	
	○ 지진규모 사전예측기술 개발 ○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립 ○ 지진 초기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내·외 지진발생 증가로 인한 철도안전 위협 - 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 대형 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있고 규모 또는 시기 등의 예측 불가적 상황이 전개되고 있음. 또한 국내 기상청의 2010년 '국내외 지진발생 특성 분석'을 보면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 내륙 24회, 해역 18회로 총 42회의 지진이 발생 - 현재 전 세계적으로 대규모의 지진이 빈번히 발생하고 있음. 2000년 이후부터 현재까지 전세계적으로 연 평균 25,000회 이상의 지진이 발생하였으며 그 중 진도 4.0 이상의 규모가 무려 50%에 육박하는 것으로 나타남 ○ 지진발생 시 초기의 적정대응 중요성 증가 - 일본은 1989년부터 신간센 고속철도에 조기경보 시스템을 도입함. 2011년도 일본 동북지방의 대지진 발생 시에 시속 270km 이상으로 운행 중이던 신간센이 탈선 없이 비상정지할 수 있었던 것은 조기경보시스템인 UrEDAS(Urgent Earthquake Detection and Alarm System) 시스템의 효과임. 경보시스템의 도입은 유사시에 막대한 인명피해를 최소화 할 수 있음 - 2009년 8월 11일 새벽 5시 7분경에 일본 도쿄 인근 해역에서 발생한 지진(도쿄 남서쪽130km 해역, 규모 6.6)은 지진파가 관측된 후 3.8초만에 조기경보를 발령하여 조속한 피난 등 적절한 초기 대응이 가능 ○ 해외의 지진조기대응시스템 및 지진 손실산정 연구 활발 - 일본, 미국, 대만 등 지진으로 큰 피해를 경험한 국가들을 중심으로 지진조기경보 체계를 구축 - 일본은 1989년 UrEDAS 시스템을 최초로 도입한 이후 여러 차례 성능개선을 하였고, 철도 운영시스템 마다 서로 다른 알고리듬을 적용하여 운영하고 있는 등 지속적인 시스템의 업그레이드를 진행하고 있음 - 일본의 철도는 지진하중을 고려한 동적 상호작용 해석을 바탕으로 지진 중 주행차량의 안전성 확보를 위해 지진조기검지시

스템이 구축되어 있으며 지진에 의한 탈선 안전성 향상을 위해 관련 연구개발이 활발히 이루어지고 있고 열차 운영 기준과의 연계가 구축되어 있음. 또한, 지진재해 예측, 피해산정, 복구 지원을 위해 HERAS(Hazards Estimation and Restoration Aid System)을 개발 중임

- 미국 캘리포니아 교통국(CALTRANS)에서는 지진 후에 교량의 안정성과 사용성을 평가하고 손상을 복구하는 실용적인 방법을 제시하기 위한 연구를 Nevada 대학과 함께 연구 중임

○ 국내의 지진조기대응시스템 미구축 및 연구 미흡

- 경부고속철도에 2006년 21개소 및 2010년 14개소에 「고속철도 지진감시 시스템」이 설치되어 있으나, 이는 지진조기경보 시스템이라기보다는 지진시 시설물의 설계거동한계 이상 거동 유무를 파악하여 시설물의 건전성 평가에 활용하기 위한 모니터링 시스템

- 현재 고속철도의 시스템은 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않음으로 인하여 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족함

- 외국의 철도 운영 시스템과 국내의 철도 운영시스템이 다르고, 지진조기경보시스템의 경우 적용되는 알고리듬과 지진의 특성, 지진파의 전달특성 등에 매우 큰 영향을 받기 때문에 국내 지진특성, 국내 지반 및 지형특성에 적합한 지진 조기대응 알고리듬 개발이 필요함. 따라서 일본, 미국, 대만 등의 지진조기경보 기술을 우리 실정에 맞게 구축하고, 지진 관측·분석·통보에 대한 문제점들을 개선·보완하여 한반도의 지진특성, 지반 및 지질특성을 고려한 철도인프라 지진조기대응 시스템 구축이 필요

- 철도인프라의 경우 운영중인 철도, 철도의 종류(고속철도, 일반철도, 도시철도, 광역철도 등), 철도 역사, 전력 및 신호 계통 설비 등 다양한 인프라가 여러 기관에 의해 운영되고 있음. 따라서 관련기관 및 시설물별로 따로 구축하지 않고, 단일 시스템으로 통합된 철도인프라 전용 지진 조기대응 시스템의 개발 및 운영이 필요함

○ 지진발생시 분야별 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책이 필요함. 또한, 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생 상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함

○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진피해 사전 예측기술 개발이 필요하고, 각 철도 인

프라 주변 지반 특성 파악 및 지진파의 전달특성에 대한 데이터베이스화 필요

□ 기술동향

○ 우리나라의 경우 경부고속철도 전 구간 총 37개소에 지진감지시스템이 설비되어 있음. 지진계가 설치되어 있으며, 고속철도 전체 연장 고려 시 평균 설치간격은 약 11km로 지진에 가장 취약한 교량에 설치되어 있으며, 지진발생 시 지진계에서 검측된 진동가속도 값(gal)으로 운행속도와 운행중지를 결정하고 있다. 광명~부산 고속철도 전 구간에 지진감시시스템을 구축하여 운영하고 있으나, 실시간 관제 기능은 부족한 실정임.

○ 지진으로 인한 운행중인 열차의 위험을 신속하게 파악하고 대처하기 위해서는 현재의 국내의 고속철도 운행구간에 설치된 지진감지시스템을 보완하여 지진 발생에 대비할 필요가 있음. (도시철도, 일반/간선철도 포함 필요)

- 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않고 있어, 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족함.

○ 지진재해대책법 제6조 및 같은 법 시행령 제5조에 따른 지진가속도계측기 설치 대상 시설 개소수(소방방재청 고시, 2010.9.7)

	시설물 명	개소수
1	중앙행정기관 및 지방자치단체의 청사	252
2	국립대학교	58
3	높이 200미터 또는 50층 이상 공공건축물	
4	공항시설	12
5	내진 특등급의 댐 및 저수지	33
6	현수교 및 사장교	14
7	가스시설의 정압기지 및 저장시설	93
8	고속철도 선로주변, 고속철도 역사	41
9	원자력 이용시설	7
10	345kV 이상 급의 변전소	15
11	발전용 수력 설비 및 화력설비	36
12	석유저장시설	9
13	소방방재청장이 고시하는 댐 및 저수지	51
	합계	621

- 소방방재청 예산 분석자료를 참고할 경우, 1개소 설치에 평균 1.2억원(지방자치단체 청사 기준) 가량 소요
- 주요 시설물에 설치되는 지진가속도계 및 시스템 소요 예산 : 약 1천억원
- 2020년까지 국토해양부의 국가철도망 구축계획에 따라, 향후 고속철도, 일반철도 및 광역철도의 건설이 급증할 것으로 예상

- 모든 철도에 지진계측시스템 및 지진초기대응시스템이 구축될 것으로 예상
- 지진가속도계측기 및 통합관리시스템, 조기대응시스템 가격
· 시스템 설치 : 10억원/10개소
· 설치 간격 : 고속철도-10km/개소, 일반철도-20km/개소, 도시철도-1개소/역사
- 철도 분야 시장규모 : 약 1,500억원 규모(철도 시설에 한정), 년간 유지보수 비용 : 10% 계상
· 고속철도 : 약 100개소
· 일반철도 : 약 250개소
· 도시철도 : 약 1,000개소
- 전체 시장규모 : 향후 10년간 약 2천억원 ~ 3천억원 가량의 시장이 형성될 것으로 전망되고, 연간 유지보수 비율 10%를 적용할 경우 연간 250억 - 300억 시장이 형성될 것으로 전망

3. 연구개발 내용

○ 철도인프라 전용 지진 조기대응 시스템 성능목표 제시
- 철도인프라 지진조기대응시스템 적용 검토
- 철도인프라 지진조기대응시스템 성능 제시

○ 계측데이터 기반 철도인프라 지진피해 분석기술 개발
- 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발
- 국내 지반특성을 고려한 지진파 전파 감쇠 연구
- 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계
- 운영기관 시스템과 연계방안 및 구축 기술 개발

○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립
- 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련
- 철도인프라 전용 지진조기대응 통보시스템 설계

○ 지진 조기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증
  - 연선관측망 구축 및 운영
  - 오보방지용 안전장치
- 중규모 지진에 대한 조기경보 알고리즘 시험
- 해외 지진파를 활용한 경보시스템 시스템 성능 검증

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 주관연구기관은 사업 총괄 및 지진경보시스템 기초기술 연구를 수행하고 철도건설 및 철도운영기관과의 협의를 통하여

개발 우선 순위 및 국산화가 필요한 분야를 선정하여 단계적으로 추진함.

○ 주관기관의 유기적 협조체제 구축
- 협동기관의 연구수행 내용의 주기적 점검 및 협의
- 연구수행 시 현안사항에 대하여 협의를 통한 주관기관의 결정 반영

○ 기존 기상청, 한국지질자원연구원, 소방방재청 등에서 이용된 시스템 통합기술 활용

○ 철도 건설 및 운영기관과의 유기적 협조체제 구축
- 철도 건설 및 운영기관의 전문가로 구성된 기술협의체를 구성하여 인프라 분야별 기준 검토 및 현장 기술에 대한 자문 실시
- 개발 장치의 현장부설을 위하여 주관, 운영, 협동기관의 협력체계 구축
- 운영기관의 현장 애로사항 및 의견을 개발제품에 반영

○ 철도 인프라 내진분야 전문가 그룹 구축
- 국내외 학계를 중심으로 자문위원회를 구성하여 기존 시스템의 문제점 도출 및 작성된 기준에 대한 기술검토를 실시
- 상시 전문가 자문체계 구축

○ 산학연 협력체계 구성
- 기초기술은 국내 전문연구기관이나 학계의 전문가를 통한 위탁 연구용역 수행
- 설계, 제작 등과 관련된 연구는 철도관련업체와 협력체계 구축

□ 추진체계



5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

○ 지진규모 초기예측 기술 및 프로그램
- 규모, 진원, 위치 산정 알고리즘
- 프로그램 개발

○ 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼
- 조기대응시스템 하드웨어
- 통합플랫폼 설계도
- 철도인프라 네트워크 시스템 시제품

○ 열차운행지침 및 응급체계시스템
- 지진 규모에 따른 열차운행 지침
- 지진규모에 따른 피난대응 매뉴얼

○ 철도인프라 지진조기대응시스템 성능시험

6. 연구기간 및 지원예산

□ 전 체

○ 총 연구기간 : 2013년~2016년(4년)

○ 연구비 예산 : 90억원(정부출연금 : 70억원 이내)

(단위 : 억원)

	2013	2014	2015	2016	계
정부	13	13	27	17	70
기업	4	4	7	5	20
기타	-	-	-	-	-

2절. 평가기준 설정

1. 최종 성과물 및 성과지표

가. 철도 인프라 내진기술 선진화 체계 구축

성과항목	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
논문	학술지 게재 논문건수 (국내/국외)	국내외 학술지 게재 논문건수	건	23	최근 건설교통 R&D의 학술지 게재 논문건수는 2.1건/10억
	SCI급 학술지 게재 논문건수	SCI급 학술지 게재 논문건수	건	6	최근 건설교통 R&D의 SCI 게재 논문건수는 0.5건/10억
지식재산권	특허출원건수 (국내/국외)	총 특허출원 건수	건	12	최근 건설교통 R&D의 특허 출원건수는 1.1건/10억
	특허등록건수 (국내/국외)	총 특허등록 건수	건	6	최근 건설교통 R&D의 특허 등록건수는 0.5건/10억
인증	신기술 인증건수	신기술 인증획득 건수	건	2	철도 설비 내진보강시스템 및 급속복구시스템
현장적용 효과	현장적용 건수	기술개발 결과물의 현장 적용 건수	건	2	내진성능 향상기술의 현장적용
표준	표준/기준의 규정/지침/편람/시방서화	표준/기준의 규정/지침/편람/시방서 건수	건	5	기준 2건 지침 5건
지침/매뉴얼	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	지침/매뉴얼의 개발건수	건	2	실용화기술에 대한 매뉴얼

나. 철도인프라 지진 조기대응시스템 구축기술 개발

성과항목	성과지표	측정방법	단위	목표치	목표치 설정근거
논문	학술지 게재 논문건수 (국내/국외)	국내외 학술지 게재 논문건수	건	19	최근 건설교통 R&D의 학술지 게재 논문건수는 2.1건/10억
	SCI급 학술지 게재 논문건수	SCI급 학술지 게재 논문건수	건	5	최근 건설교통 R&D의 SCI 게재 논문건수는 0.5건/10억
지식재산권	특허출원건수 (국내/국외)	총 특허출원 건수	건	10	최근 건설교통 R&D의 특허 출원건수는 1.1건/10억
	특허등록건수 (국내/국외)	총 특허등록 건수	건	5	최근 건설교통 R&D의 특허 등록건수는 0.5건/10억
인증	신기술 인증건수	신기술 인증획득 건수	건	1	지진조기대응시스템
테스트베드 구축 및 활용	테스트베드 설계, 구축 및 개선건수	테스트베드 구축 여부	건	1	지진조기대응시스템 테스트베드 구축
현장적용 효과	현장적용 건수	기술개발 결과물의 현장 적용 건수	건	1	지진조기대응시스템 현장적용
표준	표준/기준의 규정/지침/편람/시방서화	표준/기준의 규정/지침/편람/시방서 건수	건	1	열차운행지침
지침/매뉴얼	지침/매뉴얼의 개발 및 보급	지침/매뉴얼의 개발건수	건	1	조기대응시스템 운용매뉴얼

2. 성과목표 및 지표 설정 근거

○ 학술적 성과

성과지표	학술적 성과
지표해설	- 국내 및 국외 학술지에 게재된 논문 건수
측정방법	- 국내외 학술지 논문게재 건수와 함께, 과제당 논문 건수, 연구비당 논문 건수, 연구원 1인당 논문 건수를 제시 ① 국내외 학술지 게재 논문건수 ② 국내외 학술지 게재 논문건수/사업의 총 과제 수 ③ 총 논문건수 / 총 연구비(단위: 1억원) ④ 국내외 학술지 게재 논문건수 / 참여연구원 수

○ 특허출원건수(특허등록건수)

성과지표	특허출원건수(특허등록건수, 국내/국외)
지표해설	- 해당 사업의 평가대상기간 동안 출원된 특허건수 · 국내 특허출원 건수 : 대한민국에서 지적재산권을 행사하기 위해 대한민국 특허청에 출원된 특허 · 국제 특허출원 건수 : 미국, 일본, 유럽 등 국외에서 지적재산권을 행사하기 위해 각 국가의 특허청에 출원한 특허
측정방법	- 해당 사업을 통해 산출된 특허출원 건수와 함께 과제당 특허출원 건수, 연구비당 특허출원 건수, 연구원 1인당 특허출원 건수를 제시 ① 총 특허출원 건수 ② 총 특허출원 건수/사업의 총 과제 수 ③ 총 특허출원 건수 / 총 연구비(단위: 1억원) ④ 총 특허출원 건수 / 참여연구원 수

○ 신기술 신청 건수

성과지표	신기술 신청건수(국내)
지표해설	- 해당 사업의 평가대상기간 동안 신청된 신기술 건수
측정방법	- 해당 사업을 통해 산출된 신기술 건수와 함께 연구비당 신기술 신청 건수를 제시 ① 총 신기술 신청 건수 ② 총 신기술 신청 건수 / 총 연구비(단위: 1억원)

○ 지침 제작

성과지표	지침 제작
지표해설	- 연구 과제 고유의 성과지표
측정방법	- 과제에서 연구 및 개발기술로부터 도출된 법령, 기술기준, 시방서 등의 건수

참고문헌

참고문헌

1. 건설교통부 (1996), 도로교표준시방서

2. 건설교통부 (1997), “내진설계기준연구(II) - 내진설계성능기준과 경제성 평가”, 한국지진 공학회.

3. 건설교통부 (1998), 내진설계기준연구II

4. 건설교통부 (1999), 콘크리트구조설계기준

5. 건설교통부 (1999), 터널설계기준

6. 건설교통부 (2005), 건축구조설계기준

7. 건설교통부 (2005), 도시철도 내진설계 기준

8. 건설교통부 (2007), 지하철 내진설계 반영현황 및 보강계획, 건설교통부

9. 교육과학기술부 고시 제2008-7호. (2008). “원자로시설의 위치에 관한 기술기준”.

10. 교육과학기술부고시 제2008-14호. (2008). “전력산업기술기준의 원자로시설 기술기준 적용에 관한 지침”.

11. 국립방제연구소 (1998), 공무원 교육교제 - 지진에 대비한 내진설계, 행정자치부

12. 기상청, http://www.kma.go.kr

13. 김성일 (2007), 철도시스템 내진/진동 기술 동향 및 전망, 2007년 한국지진공학회 워크샵, 한국전력연구원.

14. 김재관, “IT와 인공지능을 접목한 ‘똑똑한’ 지진대응시스템,” 과학기술, 특집-지진의 과학적 접근, 2005년 6월호, 84-87.

15. 김재관, 류혁 (2001), “쌍계사 오층석탑 실물 크기 모델의 동적 거동 시험”, 한국지진공학회 논문집, 제5권, 제4호.

16. 김종민, 김진호, 임남형, 강영종 (2007), 도시철도 구조물의 내진설계 및 평가 현황조사, 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 218-221.

17. 대한건축학회, 건축구조설계기준, KBC 2005/KBC 2008(안)

18. 대한전기협회. (2005). “전력산업 기술기준(KEPIC)”

19. 미국 연방긴급사태관리청, FEMA, www.fema.gov

20. 미국 지질조사국, http://www.usgs.gov

21. 분산공유형건설연구인프라구축사업, KOCED, www.koced.net

22. 삼성방재연구소, http://rm.samsungfire.com

23. 서정문 외 (1997a), "전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 - (1)암반지반 조건“, 한국 지진공학회 논문집, 제1권, 제4호.

24. 서정문 외 (1997b), "전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 - (2)연약지반 조건“, 한국 지진공학회 논문집, 제1권, 제4호.

25. 선창국, 정충기, 김동수 (2005), "국내 내륙의 설계 지반 운동 결정을 위한 지반 증폭계수 및 지반분류 체계 제안", 한국지반공학회 논문집, 제21권, 제6호, pp. 101-115.

26. 소방방재청 지진방재종합개선기획단, ‘지진방재종합대책,’ 2005년 12월.

27. 연합뉴스, http://www.yonhapnews.co.kr

28. 원자로시설등의 기술기준에 관한 규칙. (2008). 교육과학기술부령 1호.

29. 유엔 인도주의 업무조정국, http://www.reliefweb.int

30. 윤종구, 김동수, 방은석 (2006), “국내 지반특성에 적합한 지반분류 방법 및

설계응답스펙트럼 개선에 대한 연구 (Ⅰ) - 국내 내진설계기준의 문제점 분석", 한국지진공학회논문집, 한국지진공학회, 제10권, 제2호, pp. 39-50.

31. 이준석, 최일윤 (2004), 신간선 탈선관련 한국철도지진대책, 철도기술연구원 한국철도기술, 11월 12월 호.

32. 일본강구조협회, 토목강구조물 성능설계 가이드라인 (Guidelines for performance-based design for civil engineering steel structures). 2001.

33. 조양희 (2007), 토목시설물 내진설계 기준 현황 및 개선방향, 2007년 한국지진공학회 워크샵, 한국전력연구원.

34. 한국도로교통협회, 도로교설계기준 2005.

35. 한국동력자원연구소 (1983), "한반도의 지진위험도, KAERI/RR-380/82.

36. 한국원자력안전기술원 (1999). "경수로형 원자력발전소 안전심사지침서", KINS/GE-N001.

37. 한국지진공학회 (1999), 지중구조물의 내진설계

38. 한국철도시설공단 (2004), 건설교통부 제정 철도설계기준(노반편)

39. AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 4th Edition. American Assocaition of State Highway and Transportation Officials. 2007.

40. American Society of Civil Engineers (ASCE), Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. FEMA 356. Washington DC; 2000.

41. ANS. (2005). "Categorization of Nuclear Facility Structures, Systems, and Components for Seismic Design." ANSI/ANS-2.26-2004, American National Standards Institute, Inc.

42. Antonio S and Pinho R, Development and verification of a

displacement-based adaptive pushover procedure. Journal of Earthquake Engineering 2004;8(5):643-661.

43. ASCE. (2005). "Seismic Design Criteria for Structures, Systems, and Components in Nuclear Facilities," ASCE/SEI 43-05, American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute.

44. ATC-32, Improved sesimic design criteria for California bridges: provisional recommendations. Applied Technology Council, 1996.

45. ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of existing concrete buildings. Redwood City(CA) : Applied Technology Council, 1996.

46. Chopra AK and Goel RK., A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2002;31:561-582.

47. Chopra AK, Goel RK and Chintanapakdee C, Evaluation of a modified MPA procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands. Earthquake Spectra 2004;20(3):757-778.

48. Contact interface in seismic analysis of circular tunnels, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 24, Issue 4, 482-490.

49. Dong-Soo Kim, Choong-Ki Chung, Chang-Guk Sun, Eun-Seok Bang (2002), "Site Assessment and Evaluation of Spatial Earthquake Ground Motion of Kyeongju", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 22, No. 5, pp. 371-387.

50. Dong-Soo Kim, Jong-Ku Yun (2006), "Development of New Site Classification System for the Region of Shallow Bedrock in Korea", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 331-358.

51. Fardis, M.N. et al. (2005). Designers' Guide to EN 1998-1 and EN

1998-5. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. General rules, seismic actions, design rules for buildings, foundations and retaining structures. Eurocode Expert, ICE and Thomas Telford, UK.

52. FEMA (1997). HAZUS, Earthquake Loss Estimation Methodology, prepared by National Institute of Building Science, 1997.

53. FEMA 273, NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, 1997.

54. FEMA 274, NEHRP commentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, 1997.

55. FEMA 356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, 2000.

56. Freeman SA, Development and use of capacity spectrum method. Proceedings of the 6th US National Conference on Earthquake Engineering: EERI: Oakland CA, 1998:CD-ROM.

57. Gupta B and Kunnath SK, Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures. Earthquake Spectra 2000;16(2):367-391.

58. H.H.M. Hwang, Huijie Lin, Jun-Rong, Huo (1997), "Site coefficients for design of buildings in eastern United States," Soil Dvnamics and Earthquake Engineering, Vol.16, pp. 29-40.

59. Hubert K. Law, and Ignatius P. Lam. (2003). Evaluation of Seismic Performance for Tunnel Retrofit Project, J. Geotech. and Geoenvir. Engrg. Vol. 129, Issue 7, 575-589.

60. Mohammad C. Pakbaz and Akbar Yareevand. (2005). 2-D analysis of

circular tunnel against earthquake loading, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 20, Issue 5, 411-417.

61. Razzaq and Sajjan Jain (2008), "2008 New York City DOT Seismic Design Guidelines for Bridges Considering Local Site Conditions", Sixth National Seismic Conference on Bridges and Highways.

62. Ruben Gajer, Ricardo Dobry, Walter Silva, Thomas thomann, Kamal Kishore, Jay Patel, Abdur

63. SEAOC. Vision 2000, Performance based seismic engineering of buildings, Vols. I and II: Conceptual framework. Sacramento(CA): Structural Engineers Association of California, 1995.

64. Simpson, B and Driscoll, R. (1998). Eurocode 7: A Commentary, IHS BRE Press, Watford,UK.

65. USNRC. (1973). "Design Response Spectra for Nuclear Power Plants," Regulatory Guide 1.60.

66. USNRC. (1997a). "Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion," Regulatory Guide 1.165.

67. USNRC. (1997b). "Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Post-Earthquake Actions," Regulatory Guide 1.166.

68. USNRC. (2007a). "A Performance-Based Approach to Define the Site-Specific Earthquake Ground Motion," Regulatory Guide 1.208.

69. USNRC. (2007b). "Damping Values for Seismic Analysis for Nuclear Power Plants," Regulatory Guide 1.61.

70. Wang, J. and Thusyanthan, I.(2008). A Detailed Evaluation of Eurocode and ISO Methodology on Earthquake-Resistant Geotechnical Designs, The 14th World Conferenceon Earthquake Engineering October12-17, 2008, Beijing, China

71. Wang, J. and Thusyanthan, I.(2008). Evaluating Foundation Design Concepts of Eurocode7 & 8, Proceedings of the 2nd BGA International Conference–ICOF2008, IHSBRE Press, UK.

72. Youssef M.A. Hashash, Jeffrey J. Hook, Birger Schmidt, John I-Chiang Yao(2001).Seismicdesignandanalysisofundergroundstructures,TunnellingandUndergroundSpaceTechnology,Vol.16,247-293.

73. Zhi Yong Yang, Hong Wei Huang, Jun Yue. (2010). Research on Impact of Grouting Material on Seismic Performance of Tunnel in Soft Soil, Advanced Materials Research, 160-162, 1056-1061.

부록 1

부록 1. 전문가 자문의견

1) 내진기술 선진화 기획연구 추진방안 검토

○ 일시 : 2011. 9. 2(금) 10:00~15:00

○ 목적 : 내진기술 선진화 기획연구 목표 및 내용의 적정성 및 중복성 검토

○ 자문의견

- 연구항목 도출

대분류	중분류	도출항목
철도 인프라 내진설계 및 보강기준 선진화	현행 내진설계 제도 개선방안	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 개선방안
		철도 인프라 분야별 해석절차 및 S/W개발
	기존 구조물 내진보강 효율화를 위한 기술개발 방안	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술개발 방안
지진 후 철도 인프라 손상평가 및 복구 방안	지진 후 철도 인프라 손상수준 및 복구 관련 제도 수립	철도 구조물 지진피해 사례조사 및 손상 양상 분석
		지진 후 철도 구조물별 손상평가를 위한 NDT 기법 및 시스템 개발
		철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석
	지진 후 철도 인프라의 실용적 보수를 위한 의사결정 체계도(decision tree) 작성	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발
		안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성
	지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위한 지배변수 도출 및 정립

대분류	중분류	도출항목
		손상형태별 지진 손상 구조물 급속 복구 기술개발
철도 전력/통신/신호 시스템 내진성능 평가 및 보강기술 개발 방안	철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 평가체계 및 기술개발	철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발
		철도설비에 대한 내진실험 및 성능 규정 정립
	철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 보강기술 개발 방안	철도설비 내진성능 점검 및 평가제도 구축방안
		철도 설비 내진성능 보강시스템 개발
지진 경보 및 비상대응체계 구축	지진 초기 대응기술	지진규모 사전예측기술 개발
		지진감지 후 응급 운행 대책 수립
		지진 초기대응 시스템 제스트베드 구축

- 도출된 연구항목에 대한 현황 및 문제점

(1) 철도 인프라 내진설계 및 보강기준 선진화

현황 및 문제점	항목 번호	도출항목
- 현재 철도 인프라 내진설계는 재현주기 1000년에 해당하는 지진하중에 대해 붕괴방지를 목표로 실시 **- 현행 붕괴방지 수준은 철도 뿐 아니라 도로, 댐 등 여타 인프라에도 같은 지진하중을 획일적으로 적용하고 있으며 시스템 고유의 가치를 반영하지 않고 있음** **- 재현주기 100년 정도의 약진에 대한 철도의 기능 수행을 보장할 수 있는 설계하중에 대한 기초연구가 부족함** **- 열차 주행중 지진발생시 열차의 주행안전성을 확보할 수 있도록 이동열차하중과 지진하중이 동시에 작용할 경우를 고려한 설계기준의 연구가 미흡함** **- RFP 내용의 "철도의 운영특성을 고려한 인프라 목표 내진성능수준 정의"에서 목표 내진성능수준을 정량화하고 규정화 하기에는 국내 실정에 부합되는 연구결과가 부족한 실정임.** **- 국내의 경우, 현재까지 사양적 설계의 성능목표 확인을 위한 실험결과가 대부분이고, 다양한 한계상태를 목표로 하는 실험결과가 미흡한 상태임.**	**현행 철도 내진설계 제도 개선방안**	
	1-가-1	철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 개선방안
		- 목표성능 및 역량 비교 변수들에 대한 수치적인 정량화 . 탈선방지 및 주행안전성 평가를 위한 기준 정립 - 인프라 내진성능 점검 및 평가제도 구축방안 . 철도 인프라 특성을 고려한 내진 성능평가 지침 연구 - 목표성능에 부합되는 한계상태 검증을 위한 실험적 연구
- 성능평가를 위한 비선형 구조해석기술 기법, 절차 및 허용범위의 확립이 미비함 **- 도시철도 개착식 구조물 설계에 있어 일반적으로 사용되는 해석법인 응답변위법의 경우 해석방법의 특성상 지반변위를 실제보다 과소 또**	1-가-2	철도 인프라 분야별 해석절차 및 S/W 개발
		- 기존 설계기준/지침에 대한 검토 및 보완사항 도출 - 철도구조물 종류별로 신뢰성 있는 비선형 구조

현황 및 문제점	항목 번호	도출항목
는 과대하게 계산하는 경우가 있음 **- 비선형 구조해석기법은 해석기법은 구조물의 거동을 비교적 정확하게 예측할 수 있는 해석법이나 사용자의 해석법에 대한 이해수준과 숙련도에 따라 해석결과의 신뢰성의 차이가 크고, 해석에 소요되는 시간이 커 현장실무 적용이 어려움** **- 국내 철도 특성을 반영한 철도전문 통합 구조해석 프로그램이 전무하며, 이에 따라 구조물 종류에 따라 다른 해석 프로그램이 사용됨**		해석기법 개발 - 비선형 구조해석의 올바른 적용을 위한 상세 지침 작성 - 비선형 구조해석 기법 및 프로그램에 대한 개발 및 허용범위에 대한 기준 정립 연구 - 철도분야 구조물 전체에 대한 내진해석을 실시할 수 있는 신뢰성 있는 일괄 프로그램 개발
	기존 구조물 내진보강 효율화를 위한 기술개발 방안	
	1-나-1	내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술개발 방안
- 기존 철도 구조물의 효과적인 내진보강을 위해서는, 기존 구조물이 보유하고 있는 지진하중에 대한 하중지지 및 재하능력 그리고 변형성능에 대한 정확한 내진성능 평가방법이 필요하고, 기존 구조물의 내진보강효과를 직접적으로 반영하여 물리적인 거동을 예측할 수 있는 해석적인 모델이 필요함. **- 보강에 사용될 다양한 신소재 보강 재료의 응력-변형률 구성방정식 해석모델들에 대한 개발연구가 미흡함.** **- 보강의 목적에 부합되는 보강 시나리오에 대한 개념적인 연구가 미흡한 상태임.**		- 철도 구조물 분야별 취약도 분석 - 보강효과를 직접 반영할 수 있는 해석모델의 개발 . 다양한 신소재 보강 재료의 응력-변형률 구성방정식 개발 - 내진성능 보강방법 선정 및 절차, 경제성분석 등 관련 지침 정립 - 테스트베드 구축 및 검증 . 보강 목적에 부합되는 결과 도출을 위한 실험 및 해석적 연구 - 철도 노선 차단 최소화를 위한 내진보강 시공성 향상 방안

(2) 지진 후 철도 인프라 손상평가 및 복구 방안

현황 및 문제점	항목 번호	도출항목
	지진 후 철도 구조물별 손상수준 및 복구 관련 제도 수립	
- 테크노마트 진동문제에서 시사하듯 구조적 손상이 의심되는 구조물의 사용성에 대한 사회적 파장은 막대함	2-가-1	철도 구조물 지진피해 사례 조사 및 손상 양상 분석
	2-가-2	지진 후 철도 구조물별 손상평가를 위한 NDT 기법 및 시스템 개발
- 철도 인프라 부재 요소별 내진기술 및 평가 방법은 구축되고 있으나, 실제 지진 사후의 평가방법 및 대책은 미흡함.	2-가-3	철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석
	지진 후 철도인프라의 실용적 보수를 위한 의사결정 체계도(decision tree) 작성	
	2-나-1	지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발
	2-나-2	안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 매뉴얼 작성
	지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발	
	2-다-1	지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위한 지배변수 도출 및 정립
	2-다-2	손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발

(3) 철도 전력/통신/신호시스템 내진성능 평가 및 보강기술 개발 방안

현황 및 문제점	항목 번호	도출항목
	철도설비(전력/통신/신호시스템) 내진성능 평가체계 및 기술개발	
- 대부분의 구조재에 대한 내진설계기준은 제정되어 있음 **- 그러나 철도 시설 중 비구조 인프라 설비에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법이 없는 상태** **- 비구조 인프라 설비의 경우 대부분 물품 형태로 공급되는 것으로 독리적인 기능 유지가 필요**	3-가-1	철도설비 내진성능 평가체계 및 기술 개발
		- 철도설비 분야별 목표성능수준 정립 . 철도설비와 철도구조물과의 상호작용 연계 . 철도설비와 철도구조물의 상호작용을 고려한 해석기술 개발 - 철도설비 분야별 내진설계 및 시공 지침 . 내진설계 예제집 작성 - 목표성능에 부합되는 한계상태 검증을 위한 실험적 연구
- 비구조 인프라 설비에 대한 내진설계기준 또는 납품 되는 장비에 대한 내진성능 확보를 위한 대책 필요 **- 물품의 경우 납품시 내진성능을 인증받았다는 시험성적서 등의 대비책 필요**	3-가-2	철도설비에 대한 내진실험 및 성능규정 정립
		- 철도 설비에 대한 내진실험 및 KRS 규격안 제시
	전력/통신/신호시스템 내진성능 보강기술 개발 방안	
- 내진성능을 인증해주기 위한 내진성능 인증을 위한 진동대실험에 대한 가이드라인 제시 필요	3-나-1	- 철도설비 내진성능 점검 및 평가제도 구축방안 . 철도설비 특성을 고려한 내진 성능평가 지침 연구 - 철도 설비 내진성능 보강시스템 개발

(4) 지진 경보 및 비상대응체계 구축

현황 및 문제점	항목 번호	도출항목
		지진 초기 대응기술
- 지진 경보 시스템의 인프라 구조 연계는 고려된 바 없음. 일본 등의 지진 다발 선진국에서는 지진 시 철도운행 경보시스템을 운영 중임 **- 효율적 지진경보를 위해서는 다수 지진계의 확보가 필요함 (일본의 경우 방재연구소 200개, 기상청 1000개, 민간 1만개 이상 보유)** **- 국내 지진조기경보 시스템의 수준은 현재 지진발생후 2분 후에 통보되어 사실상 지진 경보시스템으로서의 의미가 없는 상태**	4-가-1	지진규모 사전 예측기술 개발
- 지진시 운행중인 열차의 비상정지 시켜 인명의 피해를 최소화 할 필요가 있음 **- 지진시 P파를 정확하게 검측하여 main shock 도달 이전에 경보를 하기 위하여는 5초 이내의 지진조기경보 시스템 필요** **- 현재 국내에 설치된 지진관측망은 조기경보체계를 운영하기에 매우 미흡한 상태**	4-가-2	지진감지 후 응급 운행 대책 수립
		- 철도 설비 제어기술 개발 - 지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발 - 지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발
	4-가-3	지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축

2) 철도 내진기술 선진화 기획연구 도출된 후보과제 검토

○ 일시 : 2011. 10. 27(목) 10:00~15:00

○ 목적 : 철도 내진기술 선진화 기획연구 도출된 후보과제 검토 및 우선순위 검토

○ 자문의견 : 우선순위 검토를 통한 후보과제

대분류	중분류	도출과제
철도 인프라 내진설계 및 보강기준 선진화	현행 내진설계 기준 개선방안 및 대응 성능평가 방안 정립	**철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계 개선 방안** - 기존 기관별 내진설계기준 통일안 정립 연구
		철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사) 내진설계기준 대응 성능평가 방안 - 인프라 분야별 내진설계기준 대응 목표성능 정립 및 역량 비교 변수에 대한 수치적인 정량화 연구 - 목표성능에 부합되는 한계상태 검증을 위한 실험/해석 연구 - 인프라 분야별 내진설계기준 대응 성능평가 해석절차 정립 연구 - 인프라 분야별 내진성능점검 및 내진성능평가지침 정립 연구 - 콘크리트궤도 및 노반의 내진성능향상 연구
	철도 인프라 내진보강 효율화를 위한 기술 개발 방안	**내진보강 비용 저감 및 효율성 향상을 위한 기술 개발 방안** - 철도 인프라 분야별 주요 응답변수에 대한 취약도 분석 - 비내진설계된 인프라 분야별 내진보강기술 개발 연구 - 내진설계된 인프라 분야별 내진보강기술 개발 연구 - 보강목적에 부합되는 효율적인 보강기법 개발 연구 - 철도 인프라 분야별 내진보강 지침 및 매뉴얼 개발 연구 - 내진성능보강 인증 의사결정 지원 시스템(SW) 개발 - 내진성능보강 인증 매뉴얼 개발 - 내진보강 우선 순위 결정을 위한 DB 구축
		내진보강 효율화를 위한 성능평가 방안 - 비내진설계된 인프라 분야별 성능평가를 위한 지진하중 정립 연구 - 내진보강효과를 물리적으로 반영할 수 있는 해석기술 및 해석프로그램 개발 - 내진보강된 인프라 분야별 성능평가 해석절차 정립 연구 - 내진보강된 인프라 분야별 내진성능 신뢰성 평가 기술개발

대분류	중분류	도출과제
		연구
지진 후 철도 인프라 손상평가 및 복구 방안	지진 후 철도 인프라 손상수준 평가 및 실용적 보수를 위한 의사결정 체계도 작성	**지진 후 철도 구조물별 손상평가를 위한 NDT 기법 및 시스템 개발** - 철도 구조물 지진피해 사례조사 및 손상 양상 분석 - 지진 후 철도 구조물별 손상평가 기법 및 시스템 개발 · 광섬유 및 압전센서 등의 스마트 센서를 활용한 온라인 비파괴 검사기술 · 레이저 펄스와 비접촉 센싱기술을 활용하는 첨단 비파괴 검사 기술
		철도 구조물 목표 성능수준 및 손상상태와 구조물 응답과의 상관관계 분석 - 지진 후 철도구조물 손상정도 파악 및 복구 제도 연구 - 비선형 거동에서의 보강 범위 및 보강이 필요한 상태에 대한 평가요령 - 구조물 손상수준 정밀 급속진단 시스템 개발
		지진 재해 시 복구 우선순위 선정을 포함한 지진 복구 관련 기준체계 수립 및 기술개발 - 경제성 분석을 통한 적용 보수 및 복구 공법 선정 시스템 구축
		안전성과 사용성 평가 기반 시나리오별 상세 진단 및 복구 관련 매뉴얼 작성 - 손상수준에 대한 기준에 따른 복구방법의 매뉴얼 작성 - 지진 후 복구를 위한 의사결정 매뉴얼 작성
	지진 후 철도 구조물별 급속복구 보수기술 개발	**지진 후 철도 구조물별 신속한 운행재개(교통차단 최소화)를 위한 지배변수 도출 및 정립** - 지진피해에 따른 철도시설 임시운행방안을 구조물 종류(터널, 교량, 노반, 역사)에 따라 마련
		손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 기술개발 - 지진손상 구조물의 표면처리 및 jacketing 공법 개발 - 재해 시 시설물 응급복구를 위한 시공자재 개발 · 비상복구 자재 확보 체계수립 · 급속 시공킷(재사용 가능) 개발
철도 전력/통신/신호 시스템 내진성능 평가 및	철도설비(전력/통신/신호 시스템) 내진성능 평가체계	**철도설비 분야별 내진성능 평가체계 및 기술개발** - 철도설비 분야별 목표성능수준 정립 - 철도설비 분야별 내진설계 및 시공 지침

대분류	중분류	도출과제
보강기술 개발 방안	및 기술개발	
	철도설비 (전력/통신/신호 시스템) 내진성능 보강기술 개발 방안	**철도설비에 대한 내진실험 및 성능규정 정립** - 철도설비에 대한 동적거동 특성 실험 및 분야별 목표성능수준 정립 - 전철주, 전철주와 교량연결부 등의 내진성능 검토기준 및 보강방안 정립필요 - 전차선 및 신호.통신장비 트레이, 분기기장치에 대한 내진성능 검토기준 및 보강방안 정립 필요 - 평시 내진 성능 검진설비의 개발 및 요구수준 정립 - 지역별 지진 위험도에 따른 개별 요구 수준 및 평가수준 구축
		철도 설비 내진성능 보강시스템 개발 - 내진 보강을 위한 시설물 접속 방안 - 철도 설비 내진성능 향상 기술 개발 · 설비 내진성능 보강시스템 개발
지진 경보 및 비상 대응체계 구축	지진 초기 대응기술	**지진규모 사전예측기술 개발** - 지진 감지 및 경보 기술개발 - 계측데이터 기반 지진피해 분석 기술
		지진감지 후 응급 운행 대책 수립 - 지진감지 시 열차 긴급정지 및 응급 운행 대책 수립 · 지진 강도 및 진도 별 열차운행지침 마련 - 지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발 - 지진 감지와 광대역 통신 게이트웨이 연계 기술 개발 - KTX 지진경보 시스템 보완 및 확대 적용 방안 마련 - BIM 기술을 이용한 위기 대응 전자 매뉴얼 개발
		지진 초기대응 시스템 테스트베드 구축 - 지진 통합 감지 시스템 구축 및 경보 기술개발 - 국내 철도 지진 예·경보 시스템 구축

3) 철도 내진기술 선진화 기획연구 후보과제카드 검토

○ 일시 : 2011. 12. 23(금) 10:00~15:00

○ 목적 : 철도 내진기술 선진화 기획연구 후보과제 과제카드 및 세부내용 검토

○ 자문의견 : 후보과제 과제카드 검토

1. 과제명	철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화
2. 연구목적 및 배경	○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며, 규모 또는 시기 등도 예측 불가적 상황으로 전개되고 있음 ○ 2010년 국내 기상청의 발표에 의하면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 총 42회의 지진이 발생하였으며, 최근 30년간 규모 5.0 이상의 지진도 상당수 발생하여 대규모 지진의 가능성을 배제할 수 없음 - 지진발생 가능성 증가에 따른 철도내진대책 및 기준 재정립이 필요함 - 인프라 분야별로 적용하는 설계기준의 요구성능이 상이하여 일관된 철도시스템의 상위 내진개념 정의가 필요함 ○ 국립방재연구소가 수행한 지진피해 시뮬레이션 결과, 서울 중구에서 규모 6.5의 지진이 발생할 경우 사망 7394명, 부상 9만9243명, 건물전체파손 2만6520채, 반파손 3만7132채의 피해가 발생할 수 있는 것으로 분석되는 등, 향후 대규모 지진발생에 대비한 인프라에 대한 안전기준 등의 상세 대책이 요구됨 ○ 지진피해 복구 기간의 증가는 국내 총생산의 감소, 기업경쟁력 저하, 생활수준의 하락을 동반함. 지진 후 국가 기간교통망인 철도교통의 빠른 정상화로 경제적 피해를 최소화하여야 함 ○ 일본 동북부 지진에 경우 전력망, 각종 설비 등의 부수적 인프라 시스템 손상이 더 큰 2차적 피해를 불러옴

	  전차선 및 궤도 피해 역사의 천장 붕괴 **[철도 인프라 피해 사례]** ○ 내진설계 대상 시설물 중 내진보강이 필요한 시설물은 철도시설 약 11%, 도시철도 시설 약 22%가 해당됨 - 기존 시설의 내진보강설계를 위한 기술 기준에 많은 혼선이 있으므로 국내 실정에 맞는 내진진단법/보강기준 필요
3 연구개발목표	○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화 ○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 선진화 ○ 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 정부의 내진기준 제・개정 - 병원, 위락시설, 삭도 및 궤도시설 등의 내진설계 기준의 제정을 추진하여 삭도 및 궤도시설 등의 내진기준이 제정됨 - 교육과학기술부의 기본계획에 따라 전국 시도교육청에서 학교시설 내진보강 사업을 진행하고 있음 - 1995년 12월 6일 기존의 「풍수해대책법」을 지진 관련 조항이 포함된 「자연재해대책법」으로 개정하여 건축물 및 도로를 포함한 16개 시설 및 기타 대통령령이 정하는 시설에 대한 내진설계기준 설정을 통한 내진설계를 의무화함 - 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정・공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계기준이 강화된 공공시설물(이하 “기존시설물”이라 한다)의 내진 향상을 위하여 5년마다

	기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함 - 국내 철도 인프라에 대해서는 내진설계가 도입 되었으나(일반철도 1999년, 고속철도 1991년, 도시철도 2005년) 그 이전에 설계된 내진설계 미반영 인프라의 내진보강을 위한 종합적 표준 지침이 없는 실정임 ○ 현행 철도 인프라 내진설계기준 - 내진설계기준연구에서 제시된 내진설계 개념은 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 교량의 중요도 등에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분하고 있으나 이를 구현하기 위한 세부적인 설계지침에 대한 연구가 미비함 - 선진국을 중심으로 사회기반시설물의 성능기반설계가 이미 도입되었거나 도입을 위한 체계 및 사회적 공감대가 이미 구성되어 있으며 홍콩 뉴질랜드 등 일부 후발주자들 사이에서도 성능기반설계 기반의 시방서가 도입되고 있는 실정임 ○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손상을 허용하는 방향으로 설계가 이루어짐 ○ 전력선, 통신선 등의 내진 성능 평가 방안 수립을 위한 부분적 연구는 진행되었으나 현장에서 활용할 수 있는 설계 및 보강기준이 없는 실정임 ○ 국내 통신설비에 대한 내진성능평가 기준 및 내진 설계 기준 - “건축설비 내진설계기준 사례조사 연구(2001)/설비 엔지니어링 협의회”에서 국내외 관련기준의 조사 및 정리가 수행됨 - “통신시설물 내진성능 평가기술 연구(2006)/KT 인프라연구소, 한국지진공학회, 한국유지관리(주)”가 수행되어 국내외 주요 지진 및 통신시설물 지진 피해 사례 및 통신시설물 내진설계 하위개념이 제시됨 - 전파연구소공고 제2009-3호는「전기통신설비의 내진 시험방법」을 제정 공고 - 건축구조설계기준(KBC2000)에서는 건축, 기계 및 전기 비구조요소 및 공작물의 내진설계로 세분하여 설비에 관한 내진설계기준을 제시하고 있으나 구체적인 설계방법, 시공지침이 없으며 강제적인 구속력이 없어 설비에 대한 내진설계를 미실시하는 경우가 다수 발생함
5. 기존기술 활용방안	○ 최근 개정된 도로교설계기준과 기존 시설물에 대한 내진성능 평가요령 연구(한국시설안전공단 수행) 및 개정예정인 철도교설계기준 등 다수의 기준, 지침 연구결과와 내진관련 국가 및 민간연구과제의 연구결과를 활용하는 방안 추진

6. 기술개발 필요성	○ 철도 인프라는 도로 등 타 교통수단 시스템과 차별화된 고유의 시스템 기능 고려 내진설계기준 수립을 통하여 실질적인 지진피해 저감 효과를 기대할 수 있음 ○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 막대한 비용이 소모됨 - 비용을 최소화하고 효율을 높이기 위하여 보강 우선순위를 정할 수 있는 지침 수립이 필요함 ○ 철도인프라 중요도 구분을 통한 내진성능평가 및 보강 우선순위 결정이 필요함 ○ 대부분의 구조재에 대한 내진설계기준은 제정되어 있으나, 2차 피해를 유발시키는 철도설비에 대한 내진설계기준 및 내진성능평가 방법은 제시되어 있지 않은 상태이므로 이에 대한 개발이 필요함. ○ 철도설비의 내진성능을 확보하기 위하여 다음과 같은 기술적 검토가 수행되어야 함 - 내진설계 및 내진성능이 필요한 실내 및 실외 철도설비 정의 - 지진 시 철도설비와 철도구조물과의 상호작용에 따른 거동특성
7. 주요연구 개발내용	○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계기준 선진화 - 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 도출 - 철도 인프라 분야별 동적 거동 특성 실험 및 모사시험 - 철도 인프라 분야별 내진해석법 및 상세설계지침 개발 - 궤도·노반, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 개정 - 철도 인프라 통합 내진설계기준 개정 ○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능평가기준 선진화 - 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 검토 및 개선사항 도출 - 내진보강 시스템별 모델링 기법 정립 - 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정 - 철도설비 분야별 보강지침 제시 - 내진보강된 기존 철도 인프라의 동적 거동 특성 실험 및 모사시험 ○ 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립 - 인프라 분야별 손상수준 및 평가기법 개발 - 2차 피해 예방을 위한 응급위험도 판정기준 개발 - 철도 인프라 분야별 복구 기준 개발

<table>
<tr><td>8. 정부지원의 타당성</td><td colspan="7">○ 내진관련 기준의 제·개정은 법령에 의거 시행되는 기술기준이므로 국가주도로 진행되어야 하는 사업
○ 철도시설물은 다중이용 시설물로써 공공성이 강하며, 이를 위한 내진 선진국과의 기술격차를 줄이기 위한 연구는 장기적 차원에서 연구개발이 진행되어야 하므로 정부차원에의 연구개발 주도 전략이 필요한 과제임.</td></tr>
<tr><td>9. 기술확보 전략</td><td colspan="7">○ 기존 타 분야 인프라 내진 및 평가기준 관련 연구인력 활용과 실험적 방법을 통한 기술의 신뢰도 확보
○ 철도시설 출연기관, 대학 등 관련 전문연구자가 공동 참여하는 다분야 융합 학연 콘소시엄의 형태로 국내 자체 개발 실시.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="5">○ 철도인프라 통합 내진설계기준
○ 철도 인프라 내진설계 상세지침
○ 철도인프라 통합 내진성능 평가기준
○ 철도 인프라 복구를 위한 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="5">○ 철도시설의 내진설계 및 내진성능 평가의 기준으로 활용
○ 철도시설 공단 및 도시철도 운영기관에서 진행중인 기존 시설물 내진성능 평가 및 내진성능 보강 사업 참여</td></tr>
<tr><td rowspan="6">11. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>1,000</td><td>1,500</td><td>1,000</td><td>500</td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>1,000</td><td>1,500</td><td>1,000</td><td>500</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">3,000</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">30 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">3,000</td></tr>
<tr><td>12. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="7">○ 철도 시스템 특성이 반영된 인프라 내진설계 및 내진성능 평가 기술의 확보
- 기술개발을 통해 선진국에 근접한 철도 인프라 내진설계 기술 확보
○ 철도 인프라 내진설계 및 해석기술 확보를 통한 해외 시장 개척
○ 철도 인프라 성능평가 기술을 이용하여 기존 인프라의 보강우선순위 설정을 통한 인프라 내진보강 비용 감소
○ 철도 설비 분야의 내진설계 기술의 확보로 취약한 국내 관련 산업분야의 발전 및 해외시장 개척
○ 철도 인프라의 자연재해에 대한 선진화 기법을 정립함으로써 사전예방 및 사후피해 최소화로 국민안전 증대</td></tr>
</table>

1. 과제명	철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발
2. 연구목적 및 배경	○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며, 규모 또는 시기 등도 예측 불가적 상황으로 전개되고 있음 ○ 2010년 국내 기상청의 발표에 의하면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 총 42회의 지진이 발생하였으며, 최근 30년간 규모 5.0 이상의 지진도 상당수 발생하여 대규모 지진의 가능성을 배제할 수 없음 - 지진발생 가능성 증가에 따른 철도내진대책 및 기준 재정립이 필요함 - 인프라 분야별로 적용하는 설계기준의 요구성능이 상이하여 일관된 철도시스템의 상위 내진개념 정의가 필요함 ○ 우리나라는 중·약진 지역에 속해 있어 미국, 일본 등 강진지역 국가와 비교해 철도 시설물에 대한 내진기술의 격차가 존재하는 것이 사실임 - 철도시설물의 내진기술 확보를 위한 전략 수립 - 철도 시스템 고유의 특성을 고려한 지진재해 대비 철도 시설물의 성능유지 및 피해저감을 위한 필수 고려사항을 정립 ○ 지진 발생 후 건축·토목구조물 등에 대한 피해사례는 다양한 형태로 발생하고 있음. 또한 인명, 재산 등의 손실은 구조물 붕괴 등에 의한 1차적 피해뿐 아니라 전기, 가스 등에 의한 화재, 통신 두절 등 2차적 피해로 인하여 크게 나타나는 경우가 많으며 약탈, 전염병 등의 3차적 사회피해도 발생하고 있음  구조물 붕괴(1차적 피해) 화재(2차적 피해) 약탈(3차적 피해) [지진 피해 사례(1,2,3차)] ○ JR East에 따르면 2011년 도호쿠 지진 후에 궤도 변형은 2,590 개소, 전차선 손상은 1,150개소에 이르는 것으로 보고되고 있음. ○ 도시철도 교량의 경우 전체 70개 시설물중 내진적용 14개소이며, 내진양호 7개소로서 30.0%가 내진성능을 확보하고 있으며, 터널은 총620개소중 내진적용 7개소, 내진양호 486개소로 79.52%가 내진성능 확보 - 2008년 12월 현재, 도시철도의 경우 총 1,397개소중 77.6%인 1,084개소가 내진적용이 되어 있으며 나머지 313개소는 내진보강이 필요한 시설물로 조사됨.

[도시철도 시설의 내진 현황]

구분	총계	내진적용	내진 미적용				내진율
			계	내진양호	내진보강	내진보강 필요시설물	
교량	87	14	73	7	0	66	24.1%
터널	585	0	585	476	0	109	81.4%
건축물	725	20	705	567	0	138	81.0%
계	1,397	34	1,363	1,050	0	313	77.6%

○ 철도시설 중 내진설계 대상 시설물 중 내진보강이 필요한 시설물은 교량 약11%, 터널 약 6%, 건축물 2%가 해당됨

○ 철도, 도시철도, 학교 등 주요 공공시설의 내진보강이 진행 중임

- 철도 인프라(구조 및 설비)에 적합한 내진보강방법 개발이 필요함
- '08년 현재 13.2%(2,417동)의 내진화 설계학교 비중을 '14년까지 5%향상 ('08년 13.2% → '14년 18.2%)시키는 계획으로 2010년부터 2014년까지 2650여억원으로 509개교 916동의 학교 내진보강사업 추진 중

3 연구개발목표

○ 철도 궤도 및 설비의 내진성능 보강시스템 개발

○ 철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화

4. 기술개발 및 산업/시장 동향

○ 정부의 내진기준 제·개정

- 병원, 위락시설, 삭도 및 궤도시설 등의 내진설계 기준의 제정을 추진하여 삭도 및 궤도시설 등의 내진기준이 제정됨
- 전기, 통신, 가스, 상하수도 등의 라이프라인 시설과 항공, 철도, 원자력 등 중요 시설에 대한 신속 대응 및 복구를 위한 비상계획 수립 필요
- 이러한 내진설계는 신설된 시설물에는 적용되나, 내진설계의 도입 이전에 건설된 시설물의 대부분은 지진의 영향을 고려하지 않은 채 설계·시공되어 있으며 사용년수가 오래 경과하여 노후화가 많이 진행되어 있음
- 이에 따라, 2008년 3월 28일에 지진재해대책법을 제정·공포하고, 이 법의 제14조에는 31개 법정시설을 내진설계대상으로 설정하여 내진설계를 시행할 것을 규정함과 동시에, 제15조에는 동법 제14조에 따른 31개 내진설계 대상 시설물 중 관련 법령이 제정되기 전에 설치된 공공시설물이나 관계 법령의 제정 이후 내진설계기준이 강화된 공공시설물(이하 "기존시설물"이라 한다)의 내진 향상을 위하여 5년마다 기존시설물 내진보강기본계획을 수립하여 내진보강을 추진하도록 명문화함

○ 전력/통신/신호시스템의 내진보강 기술은 미비되어 있으며, 이에 주요 시설물 내의 파이프라인에 관한 내진설계 및 보강기준 개발이 진행되고 있음

○ 일반철도 내진보강

- 2008년에 수행된 내진성능평가 용역 결과에 따라 교량 및 터널 중

388개소의 인프라를 내진보강 대상으로 선정하여 연차별 내진보강계획을 수립한 후 보강 중에 있으며 총 소요 예산이 약 1000억원으로 예상됨

○ 일반철도시설의 내진보강 중·장기계획에 따르면 2010년부터 5년간 약 1,400억원의 내진보강을 실시할 것으로 계획됨

○ 고속철도 내진보강

- 고속 1단계의 경우 1991년 내진기준이 적용되었으나 이는 현재 적용중인 고속 2단계의 내진기준보다는 지진하중이 낮게 책정되어 있었음. 이에 따라 고속 1단계 인프라에 대한 내진성능 적정성 검토가 이루어지고 있으며 그 결과에 따라서 보강 여부 결정 예정임.

○ 도시철도 내진보강

- 기존 도시철도 시설물 중 내진설계가 미반영된(서울 1-4호선, 부산 1-3호선) 시설물에 대해 내진보강계획이 수립됨

○ 도시철도의 내진보강 중·장기계획

- 서울시의 경우 내진보강이 필요한 시설 295개소 대해서 '10년에 내진성능평가를 수행한 후, '12년 ~'14년까지 20%인 59개소에 대해서 내진보강 수행
- 부산시의 경우 내진보강 필요시설 14개소에 대해서 1단계에 내진보강 완료하며, 약 62억의 예산이 소요될 것으로 예상됨

○ 향후 내진보강 계획

- 서울시에서 1단계 보강 사업 추진 후 잔여 시설물 총 236개소(교량 32개소, 터널 116개소, 터널 33개소)에 대하여 2단계 사업으로 내진보강을 완료하며, 2015년부터 매해 약 300억 예산이 소요될 것으로 예상됨

시장규모 (억원)	연도	적용 연도	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
	국내	2015년	300	300	300	250	300	350	400	400	500
	세계										
예상시장 점유율 (%)	연도	적용 연도	(+1)	(+2)	(+3)	(+4)	(+5)	(+6)	(+7)	(+8)	(+9)
	국내	2015년	10	10	15	15	15	15	15	15	15
	세계										

5. 기존기술 활용방안

○ 기존 시설물에 대하여 진행중인 내진성능 평가 및 보강관련 사업과제·개정중인 다수의 기준, 지침 연구결과를 포함한 내진관련 국가 및 민간연구과제의 연구결과를 활용하는 방안 추진

6. 기술개발 필요성

○ 철도 인프라는 교통분담율이 매해 증가하는 추세이며, 향후 녹색성장을 위한 필수 공공교통 시설로써 내진안전성 확보가 필요함

○ 내진설계 미반영 인프라의 내진성능 확보를 위한 내진보강에 막대한 비용이 소모됨

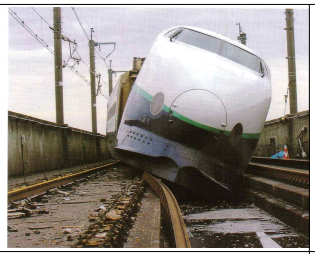
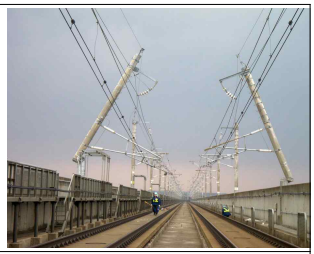
- 비용 대비 보강효율이 높은 내진보강시스템의 필요

○ 철도 인프라는 운행 및 사용의 중단이 없는 상태에서 내진성능이 보강

<table>
<tr><td></td><td colspan="7">되어야 함
- 시공시간이 짧고, 접근성이 좋지 않아 특화된 보강시스템의 개발이 필요함</td></tr>
<tr><td>7. 주요연구 개발내용</td><td colspan="7">○ 철도 궤도 및 설비의 내진성능 보강시스템 개발
- 궤도 및 철도설비의 구조물과 인터페이스 기술 검토
- 철도 인프라 시설의 지반-구조물-설비 간 상호작용이 고려된 동적 거동 실험 및 모사시험
- 기존 콘크리트궤도 및 노반의 내진성능 평가
- 궤도 및 철도설비의 내진성능 향상 기술 개발
- 내진성능보강시스템 성능검증

○ 철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화
- 기존 인프라 내진성능 보강기술 검토
- 철도 구조물 특성을 고려한 내진성능 보강시스템 개발 및 검증</td></tr>
<tr><td>8. 정부지원의 타당성</td><td colspan="7">○ 철도시설물은 다중이용 시설물로써 공공성이 강하며, 이를 위한 내진선진국과의 기술격차를 줄이기 위한 연구는 장기적 차원에서 연구개발이 진행되어야 하므로 정부차원에의 연구개발 주도 전략이 필요한 과제임.
○ 철도 설비분야의 내진보강에 대한 국내 연구는 초기단계이며, 기술개발에 막대한 예산이 소요되므로 이와 관련된 연구는 국가에서 주도하는 것이 타당함</td></tr>
<tr><td>9. 기술확보 전략</td><td colspan="7">○ 기존 타 분야 인프라 내진보강 관련 연구인력 활용과 실험적 방법을 통한 기술의 신뢰도 확보
○ 철도시설 설계기관, 출연기관, 대학, 보수 및 보강 전문기업 등 관련 전문연구자가 공동 참여하는 다분야 융합 산학연 콘소시엄의 형태로 국내 자체 개발 실시.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="5">○ 철도인프라 내진성능 보강시스템
- 철도 구조물 및 노반의 내진성능 보강시스템
- 철도 설비 내진성능 보강시스템</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="5">○ 기존 철도시설 시설물 내진성능 평가 및 내진성능 보강 사업 참여
○ 학교 등 공공시설의 내진보강 사업에 참여</td></tr>
<tr><td rowspan="7">11. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>400</td><td>1,200</td><td>1,000</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td>200</td><td>400</td><td>300</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>600</td><td>1,600</td><td>1,300</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">2,600</td><td rowspan="2">총 연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">900</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">3,500</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">25 명</td></tr>
<tr><td>12. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="7">○ 철도 시스템 특성이 반영된 인프라 내진성능 보강기술의 확보</td></tr>
</table>

	- 기술개발을 통해 선진국에 근접한 철도 인프라 내진보강 기술 확보 ○ 철도 인프라 내진성능보강 기술 확보를 통한 해외 시장 개척 ○ 개발된 철도 인프라 내진성능보강 기술을 이용하여 기존 인프라의 내진보강 비용 감소 ○ 철도 인프라의 내진성능 확보를 통한 국민안전 증대

1. 과제명	지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발
2. 연구목적 및 배경	○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며, 규모 또는 시기 등도 예측 불가한 상황으로 전개되고 있음 ○ 2010년 국내 기상청의 발표에 의하면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 총 42회의 지진이 발생하였으며, 최근 30년간 규모 5.0 이상의 지진도 상당수 발생하여 대규모 지진의 가능성을 배제할 수 없음 ○ 국립방재연구소가 수행한 지진피해 시뮬레이션 결과, 서울 중구에서 규모 6.5의 지진이 발생할 경우 사망 7394명, 부상 9만9243명, 건물전체파손 2만6520채, 반파손 3만7132채의 피해가 발생할 수 있는 것으로 예측됨 ○ 1994년 미국의 노스리지 지진, 1995년 일본의 고베지진, 1999년 터키의 이즈미 지진과 대만의 치치 지진을 살펴보면, 대규모 지진으로 주요 도시에 전력을 공급하는 많은 전력설비에 큰 피해를 일으켰으며, 이러한 지진으로 인하여 직접적인 전력설비의 피해액은 가각의 지진에 대하여 수 억 달러에 이르는 것으로 보고됨 ○ 일본 등 지진피해가 심한 국가의 사례 분석결과에 따르면, 지진피해 복구 기간의 증가는 국내 총생산의 감소, 기업경쟁력 저하, 생활수준의 하락을 동반함. 따라서 지진 후 국가 기간교통망인 철도교통의 빠른 정상화로 경제적 피해를 최소화하여야 함    교량 및 궤도 파손 / 궤도파손에 의한 열차 탈선 / 전차선 손상 [철도 인프라 피해 사례] ○ 지진 발생 시 철도 인프라의 안전성 제고 및 빠른 정상화를 위한 신속하고 정확한 손상 진단 및 복구 기술이 필요하지만 현재의 점검 및 복구 기술로는 한계가 있음. 또한, 유사시 진단 및 복구를 위한 체계적이고 종합적인 표준지침이 필수적이지만 현재 미비한 상황 ○ 지진 발생 후 피해설비의 복구 기간의 증가는 중대한 경제적인 손실, 국가 및 철도기관 경쟁력 저하, 교통혼란 등의 더 큰 2차 피해

	를 초래 ○ 지진 발생 시에 철도 고유의 시스템 기능을 고려한 궤도/교량/터널/노반/역사/설비 등의 손상평가 평가 및 복구 시스템이 필요함 ○ 실제 국내에서 진행 중인 대부분의 내진 관련 연구중심이 내진설계나 면진설계와 같은 지진 피해 이전의 구조물 설계에 초점을 맞추고 있음. 지난 일본지진의 경우 대형지진 발생 후 지속적인 여진이 발생하는 특성을 보임. 즉, 지속적인 여진 발생에 따른 1차 손상된 주요 구조물의 안전성 확보기술의 개발이 필요함. 또한 실제 지진에 의한 구조물 손상 시 초기 보강대책 여부에 따라 향후 구조물의 복구에 사용되는 기간과 비용이 매우 다르다는 점을 고려할 때 지진피해 초기단계에서 급속 복구 할 수 있는 신속 내진보수 및 보강기술 개발은 매우 중요함
	○ 지진 후 철도 인프라의 신속한 복구 및 운영을 위한 손상평가 및 급속복구 시스템 개발 ○ 철도인프라에 최적화된 비파괴 검사 기술 개발 및 이를 활용한 평가 지침 수립을 통하여 지진 발생 시 신속하고 정확한 철도 인프라의 점검 ○ 철도 인프라의 손상 판정 시 신속하며 체계화된 복구 지침에 따른 운영 정상화 ○ 기존 연구는 FRP 내력 패널의 재료적 특성에 대한 평가 및 정적하중에 대한 성능 평가에 대한 것이 대부분임. 동적하중에 대한 성능평가와 기둥 보강용 FRP 보강재를 탈착형으로 설계하여 지진으로 인한 1차 피해 후 건물의 안전성을 증대하기 위해 보다 신속한 보수·보강성능을 확보하고자함. 이를 통해 1차 손상 후 지속되는 여진에 의한 안전성 확보는 물론 향후 재해 복구 시 복구비용 및 복구시간을 감소할 수 있음.
3 연구개발 목표	○ 철도 인프라 분야별 지진피해 급속복구 체계 개발 ○ 지진 후 철도 인프라 급속복구를 위한 손상진단 및 복구기술 개발 - 인프라 손상 검측시스템 개발 - 지진손상 후 48시간 이내 / 개소 - 지진 후 철도 인프라 손상수준 평가기법 및 실용적 보수를 위한 의사결정 체계도 개발 ○ 손상형태별 지진 손상 구조물 급속 복구 시스템 및 시공기술 개발
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	※기술개발 동향 ○ 지진 다발 선진국에서는 지진강도에 따라 구조물에 보수 가능한 손

	상을 허용하는 방향으로 설계 반영 ○ 최근 수행된 미국 캘리포니아 교통국과 Nevada 대학 연구팀은 지진 후에 구조물의 손상정도와 지진거동을 정의하는 변수와의 상관관계에 따라 보수 수준을 결정하고, FRP재료를 이용하여 빠른 시간 내에 보수 보강하는 방안을 개발함 ○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 철골 빌딩의 지진 후 평가법과 보강방법에 대한 연구를 수행하여 연결부를 중심으로 상세한 기초조사 및 해석적 평가절차를 통한 대응 매뉴얼을 작성하고 보강법을 제시하였음 ○ 미국 토목학회(ASCE)에서는 라이프라인의 지진후 조사에 대한 가이드라인을 제시하였으며, 미국의 지질조사국과 캘리포니아 지질조사국은 철도교통망의 ShakeOut Scenario 연구를 중심으로 조사하고 분석하였음 ○ 일본의 JR East에서는 신간센의 지진 후 예측평가를 위해 표준궤도의 정량적인 위험도 분석을 실시하였음 ○ 최근 철도 인프라의 손상평가를 위해 새롭게 등장하는 다양한 비파괴 검사기법을 활용한 각 부재별 손상평가 기법이 연구 중이며 대표적으로 음파 및 초음파를 이용하는 방법, 전자기파를 이용하는 방법, 레일 표면의 크랙 검출과 크기 결정이 가능하며 빠른 검사가 가능한 와전류법 등의 기술이 연구됨 ○ 또한 온라인 기반의 철도 인프라 실시간 손상평가를 위하여 광섬유를 이용한 방법, 압전센서기반의 유도 초음파 및 임피던스 신호를 이용하는 방법 등이 제안되고 개발 중이며, 검사기술의 사용성을 높일 수 있는 토모그라픽 이미지 처리 기술, 센서네트워크 기술의 적용 등이 함께 연구 중임 ○ 선진국가에서 개발된 철도 선로 검측 시스템의 측정 방식은 레이저, 화상, 광에 기반을 둔 기술을 채택하고 있으며, 검측 대상은 차선높이, 편위, 마모 및 이선율 등이며 시스템 자동화 및 통합화가 이미 완료 되었거나 진행 중에 있음 ○ 미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency)에서는 건축물 내의 전기설비 내진설계 및 시공 관련하여 각 설비별 내진 시공방법, 내진 제품 사양 및 설명을 제시하였음 ○ 일본의 전기설비공사 감리지침에서는 건물 내 전기설비 설계요령 및 내진 관련 시공 요점 제시하였으며, 건축전기설비 내진설계・시공 매뉴얼에서는 전기설비 설계 계수 및 시공 방법 등 구체적으로 제시하였음 ※산업/시장 동향

<table>
<tr><td></td><td>
○ 2008년의 세계 철도시장 규모는 약 240조원에 이르는 것으로 추정되었고 그중 철도인프라분야가 차지하는 비율은 30% 임
○ 중국내 대규모 철도확장, 낙후된 인프라 및 차량개량의 필요성으로 인한 CIS국가들의 철도산업 활성화, 경기부양책의 일환으로 추진하려는 미국의 대규모 고속철도사업과 같은 저탄소 녹색교통수단의 확충을 위한 대규모 철도사업의 계획 및 추진 등을 살펴볼 때, 2014년까지 세계적으로 철도시장이 급성장할 것으로 기대되며 그중 인프라부분은 5.5%의 높은 성장률을 보일 것으로 예측
○ 그중 2008년 궤도시스템의 유지보수 및 보수 분야의 세계 시장규모는 약 38조 5,790억원, 2007년 의 국내 철도 유지보수 비용은 약 7,000억원이며 2014년까지의 성장률은 약 4 % 로 추정됨
<table>
<tr><td rowspan="4">시장규모
(억원)</td><td>연도</td><td>적용연도</td><td>2017</td><td>2018</td><td>2019</td><td>2020</td><td>2021</td><td>2022</td><td>2023</td><td>2024</td><td>2025</td></tr>
<tr><td>국내</td><td>2016년</td><td>10,361</td><td>10,776</td><td>11,207</td><td>11655</td><td>12121</td><td>12606</td><td>13110</td><td>13635</td><td>14180</td></tr>
<tr><td>세계</td><td>2016년</td><td>571,063</td><td>593,906</td><td>617,662</td><td>642,368</td><td>668,063</td><td>694,786</td><td>722,577</td><td>751,480</td><td>781,539</td></tr>
<tr><td rowspan="3">예상시장
점유율
(%)</td><td>연도</td><td>적용연도</td><td>(+1)</td><td>(+2)</td><td>(+3)</td><td>(+4)</td><td>(+5)</td><td>(+6)</td><td>(+7)</td><td>(+8)</td><td>(+9)</td></tr>
<tr><td>국내</td><td>년</td><td>5</td><td>20</td><td>50</td><td>70</td><td>80</td><td>85</td><td>85</td><td>85</td><td>90</td></tr>
<tr><td>세계</td><td>년</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>10</td><td>15</td><td>20</td><td>25</td><td>25</td><td>25</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>5. 기존기술
활용방안</td><td>
○ 현재 재해에 대한 급속복구 기술의 연구 및 기술은 개발되고 있지 않으므로 기초연구가 조속히 시행되어야 함
○ 기존 초장대 교량, 플랜트 구조물등 타 인프라구조물의 점검을 위해 개발된 다양한 기술의 철도구조물에의 적용성을 비교 및 평가 하여 가장 적합한 점검 방식들을 선정 후 벤치마킹 및 최적화
○ 해외 선진 철도 점검 및 복구 기술의 벤치 마킹 및 국내 실정에 맞게 최적화 및 업그레이드
○ 철도 인프라 점검 및 복구을 위한 기존 각각의 점검기술, 기계기술, 복구솔루션 등을 융복합 및 통합
○ 홍수 및 태풍 등의 타 자연재해 대응 철도 인프라 점검 및 복구 표준지침을 참조
</td></tr>
<tr><td>6. 기술개발
필요성</td><td>
○ 1995년 Kobe지진은 약 15조엔의 복구비용이 소요됨. 2011년 일본 동북부 지진의 복구비용은 World Bank에 의하면 19조엔, 일본정부는 16조엔~25조엔 이 소요될 것으로 예상하고 있을 만큼 강진 후 사회간접시설물의 복구비용은 막대함
○ 한국에서 발생 가능한 지진 후 철도시설물 평가 및 보강에 대한 선행연구는 수행된 바 없으므로 관련 기초연구가 필요함
○ 지진으로 인한 피해는 구조물붕괴로 인한 1차적 인적, 물적 피해 및 인프라 파괴로 인한 교통두절과 같은 2차적 피해 등의 다양한 형태
</td></tr>
</table>

	로 발생하게 됨 ○ 철도는 주요 공공인프라로서 지진 후 발생할 수 있는 1차적 피해를 예방하기 위해 신속한 점검을 필요로 하며 2차적 피해를 최소화 하고 사회의 조속한 안정을 위하여 급속한 보수 및 보강이 요구됨 ○ 철도 시스템의 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적 ○ 최근 전 세계적으로 대규모 지진의 발생 빈도가 증가함과 동시에 그 재산적 인명적 피해 규모 또한 기하급수적으로 늘어남. 특히 철도 인프라 같은 기능적 특수성을 가진 주요 구조물들은 지진피해의 복구방안을 마련하여 신속하게 지진피해를 수습하고 열차운행을 정상화하여야 함. 즉, 지진에 따른 교각, 구조물, 역사 및 궤도 등의 피해에 대해 안전점검 및 보수보강을 실시할 수 있는 시스템을 마련하여 가능한 빠른 시간 내에 열차운행이 안전하게 이루어 질 수 있는 급속 복구 기술 개발을 위한 연구가 필요함. ○ 지진 발생 시에 철도 고유의 시스템 기능을 고려한 궤도/교량/터널/노반/역사/설비 등의 손상평가 평가 및 복구 시스템이 필요함
7. 주요연구 개발내용	○ 철도인프라 급속복구를 위한 손상진단 및 복구기술 개발 - 철도인프라 손상진단을 위한 검측시스템 개발 - 철도인프라 손상정도별 복구매뉴얼 작성 - 지진 후 복구를 위한 의사결정 및 대응 매뉴얼 작성 ○ 철도인프라 별 손상수준에 따른 구조물 급속복구 기술개발 - 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발 - 복구를 위한 철도기반시설 주변 대책 시스템 및 자재확보 체계 수립 ○ 비파괴 검사 기반의 철도 인프라 손상평가 기법 및 시스템 개발 ○ 지진 후 복구를 위한 의사결정 지침 개발 ○ 손상수준 및 인프라 종류별 복구 지침 개발 ○ 철도 인프라 임시운행 및 운행재개 기준 개발 ○ 철도기반시설 복구를 위한 주변 대책 시스템 구축 ○ 손상형태별 지진 손상 구조물 급속복구 시공기술 개발 - 손상된 철도인프라 급속복구 시공 지침 개발 - 현장조립형 급속 복구 시공 시스템 개발 - 테스트베드 구축 및 성능검증
8. 정부지원의 타당성	○ 지진 후의 구조물 손상 평가 및 복구 시스템 구축에 대한 연구는 세계적으로 시작되는 연구 분야이므로 정부 지원의 연구형태가 적

	합함 ○ 지진 후 철도인프라의 평가/보강 및 대응 매뉴얼 확보를 통한 국민의 심리적 불안을 해소하고 사후 인명피해를 최소화하는 등 사회적 파급효과를 고려하여 국가의 지원이 필요함 ○ 철도 시스템의 지진 후 체계적인 인프라 진단/복구를 위해서는 국가 연구개발 사업을 통한 국가 차원의 종합적 표준지침 수립 및 관련기술 개발이 필수적이며 기획연구를 통하여 기술동향 분석, 세부전략 수립 및 필요 연구분야 도출이 필요함수보강을 확대 적용하는 등 강화된 건축법 시행령을 입법예고	
9. 기술확보 전략	○ 지진 다발 건설 선진국의 사례연구를 중심으로 관련 연구자와의 상호연구 cluster 형성 ○ 연구개발 추진 시 철도인프라 방재와 관련된 정부부처, 철도 운영기관, 출연기관, 국내외 대학 등 관련 전문 연구자가 공동 참여하는 융합형 산학연 컨소시엄의 형태로 국내 자체 개발을 실시함 ○ 철도관련기술에 전문성을 가지는 철도기술연구소 및 스마트 센서를 이용한 구조건전성평가에 다수의 연구를 수행한 경험이 있는 성균관대, 구조물 점검 솔루션 개발 및 현장 적용 및 사업화 경험을 보유한 한국유지관리등의 산·학·연의 협업을 통해 시너지 효과 창출 ○ Los Alamos National Laboratory등의 부분 기술 선도 기관들과 다양한 정보를 획득 및 공유 ○ 철도 인프라 구조, 비파괴검사, 복구솔루션, 지진 및 재난 등 각 요소분야의 국·내외 전문가에게 자문 및 피드백	
10 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물	○ 지침: 지진 후 철도인프라 별 진단 및 복구 매뉴얼 ○ 철도 인프라 손상평가 기법 및 시스템과 현장조립형 급속 복구 시공 시스템 등 2건 이상의 핵심기술 개발 ○ 손상수준 및 인프라 종류별 복구, 철도 인프라 임시운행 및 운행재개 기준, 손상 구조물 급속 복구 시공 등의 지침 제시

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td>○ 지진 후 철도 인프라의 신속하고 신뢰성 높은 평가 및 보강에 의한 철도교통의 재개로 대국민 민원 해소와 사회문제를 최소화함
○ 지진 후 철도 인프라에 대한 체계적 평가 및 급속 보수보강으로 관련 엔지니어링 기술을 선진국 수준으로 전환시킴
○ 본 연구를 통해 도출되는 철도 인프라 진단/복구 기술 및 지침은 현재 국내의 일반 철도 및 고속철도 시설물을 운영 중인 코레일 및 각 지자체의 지하철, 경전철 등의 도시철도에 일차적으로 폭넓게 적용 될 것이며 구조적 유사성을 가지는 다양한 선로 인프라에 활용 가능함
○ 또한 국내에서 수주한 중동 및 아시아 각국의 철도에도 적용되어 기술의 검증 후 해외 각국의 철도 구조물에 적용될 수 있을 것으로 기대됨
○ 본 연구에서 지진하중에 대한 복합재료 내력패널의 개발을 통하여 기존의 재료에 비하여 손상된 구조물의 내진보수 및 보강성능 개선효과를 크게 증가시키고 지진에 의한 피해 발생 후 신속한 보수 및 보강을 위한 조립식 시공이 가능해져 지진 손상 후 발생하는 지진피해를 최소화 할 수 있을 것이라 기대됨</td></tr>
<tr><td rowspan="6">11. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>300</td><td>1,200</td><td>1,000</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td>100</td><td>400</td><td>250</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>400</td><td>1,600</td><td>1,250</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">2,500</td><td rowspan="2">총 연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">750</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">3,300</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">22 명</td></tr>
<tr><td>12. 기대효과 및 파급효과</td><td colspan="6">○ 기술적 효과
- 지진 후 매뉴얼에 근거한 신속하고 신뢰성 높은 대응으로 기존 지진 후 철도인프라에 대한 부족한 대책을 기술 중심의 능동적 대응 개념으로 전환하여 건설기술 경쟁력을 강화함
- 급속 보강기술 개발을 통해 국내뿐만 아니라 해외 기술수출 기대

○ 경제적 효과
- 지진 후 손상된 인프라의 조속한 복구는 사회적 비용까지 고려한다</td></tr>
</table>

	면 막대한 경제적 손실을 최소화할 수 있음 - 급속 보강공법 개발로 시공기간을 단축하여 교통통제에 의한 지체 비용을 대폭 감소시킬 수 있어 경제적 효과가 우수함 ○ 사회적 파급효과 - 지진 후 철도인프라 별 상세 대책으로 철도교통시스템 전체의 신뢰성 확보 및 민원 감소 - 지진 후 철도인프라의 평가/보강 및 대응 매뉴얼 확보에 대한 대국민 홍보를 실시하여 심리적 불안을 해소하고 인명피해를 최소화 ○ 신뢰할 수 있는 안전점검 및 복구 기술 도입으로 지진 후 철도 이용자들의 불안감 해소 및 철도 인프라의 신뢰성 향상 ○ 신속성과 신뢰성이 보장되는 철도 점검 및 복구 기술 개발로 기존의 수입에 의존하던 고가 장비들을 대체하여 국가의 외화낭비를 방지 ○ 체계적 지침에 따라 새롭게 개발된 점검 및 복구 작업을 수행함으로써 기존에 비해 소요시간을 확연히 감소시킬 수 있으므로 조속한 정상운영을 통한 사회적 불편 해소와 획기적인 경제적 절감 효과가 예상됨 ○ 본 기술 및 지침의 도입으로 세계시장 선도 및 철도인프라 수출사업과 맞물려 철도 사업 수출 가속화 ○ 지진피해 후 손상을 입은 구조물에 신속하고 간편한 보수·보강 대책 개발 ○ 부분적인 보수 및 보강이 가능하므로 내진성능개선에 따른 효율성 증가 ○ 실제 제작이 용이하고 실용화에 따른 부가가치 이윤 창출이 가능 ○ 효율적인 제작, 설치가 가능하며 최종적으로 최소 설치비용으로 최대의 내진성능효과 획득 ○ 지진으로 손상된 구조물에 대한 복구가 신속하므로 별도의 임시구조물의 설치를 최소화 ○ 보수·보강의 신속함으로 인하여 공기단축으로 인한 피해 최소화 및 비용절감이 가능

1. 과제명	지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발
2. 연구목적 및 배경	○ 지진발생 시 물적·인적 대규모 피해에 대한 우려가 증가함에 따라 지진 규모에 대한 조기 예측 및 신속하고 효율적 대응을 위한 시스템 구축 기반기술 개발을 하고자 함 ○ 최근 한반도 주변을 포함한 여러 지역에서 강진의 발생 빈도가 높아지는 추세에 있으며, 규모 또는 시기 등도 예측 불가적 상황으로 전개되고 있음 ○ 2010년 국내 기상청의 발표에 의하면 규모 2.0 이상 국내 지진발생이 총 42회의 지진이 발생하였으며, 최근 30년간 규모 5.0 이상의 지진도 상당수 발생하여 대규모 지진의 가능성을 배제할 수 없음 ○ 2011년 3월에 발생한 일본 동북지방에서 발생한 대지진으로 인한 피해는 철도를 포함한 국가 교통망에 심각한 피해 발생 ○ 지진으로 인한 철도 탈선, 붕괴와 같은 사고가 단시간에 발생함에 따라 국가 철도망에 큰 피해를 주는 위험요인에 대한 예방, 초기대응 등에 대한 중요성이 높아지고 있음. 특히 초등대응의 시간 단축성 및 효율성 여부에 따라 사회적 비용은 큰 차이가 발생함 ○ 지진발생 시 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책과 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함 ○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리 필요
3. 연구개발목표	○ 지진규모 사전예측기술 개발 ○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립 ○ 지진 초기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증
4. 기술개발 및 산업/시장 동향	○ 우리나라의 경우 경부고속철도 전 구간 총 37개소에 지진감지시스템이 설비되어 있 음. 지진계가 설치되어 있으며, 고속철도 전체 연장 고려 시 평균 설치간격은 약 11km로 지진에 가장 취약한 교량에 설치되어 있으며, 지진발생 시 지진계에서 검 측된 진동가속도 값(gal)으로 운행속도와 운행중지를 결정하고 있다. 광명~부산 고 속철도 전 구간에 지진감시시스템을 구축하여 운영하고 있으나, 실시간 관제 기능 은 부족한 실정임. ○지진으로 인한 운행중인 열차의 위험을 신속하게 파악하고 대처하기 위해서는 현재의 국내의 고속철도 운행구간에 설치된 지진감지시스템을 보완하여 지진 발생에 대비할 필요가 있음. (도시철도, 일반/간

선철도 포함 필요)

- 지진발생시 현장 기록계에서 실시간으로 교통관제센터에 지진정보를 전송하나, 열차의 즉각적인 제어는 이루어 지지 않고 있어, 긴급한 상황에 즉시 대처가 부족하며, 지진 발생 후 60~90초내의 시간이 가장 중요한 시간이므로 인력을 통한 열차통제에는 시간이 부족함.

○ 지진재해대책법 제6조 및 같은 법 시행령 제5조에 따른 지진가속도계측기 설치 대상 시설 개소수(소방방재청 고시, 2010.9.7)

	시설물 명	개소수
1	중앙행정기관 및 지방자치단체의 청사	252
2	국립대학교	58
3	높이 200미터 또는 50층 이상 공공건축물	
4	공항시설	12
5	내진 특등급의 댐 및 저수지	33
6	현수교 및 사장교	14
7	가스시설의 정압기지 및 저장시설	93
8	고속철도 선로주변, 고속철도 역사	41
9	원자력 이용시설	7
10	345kV 이상 급의 변전소	15
11	발전용 수력 설비 및 화력설비	36
12	석유저장시설	9
13	소방방재청장이 고시하는 댐 및 저수지	51
	합계	621

- 소방방재청 예산 분석자료를 참고할 경우, 1개소 설치에 평균 1.2억원(지방자치단체 청사 기준) 가량 소요
- 주요 시설물에 설치되는 지진가속도계 및 시스템 소요 예산 : 약 1천억원
- 2020년까지 국토해양부의 국가철도망 구축계획에 따라, 향후 고속철도, 일반철도 및 광역철도의 건설이 급증할 것으로 예상
- 모든 철도에 지진계측시스템 및 지진초기대응시스템이 구축될 것으로 예상
- 지진가속도계측기 및 통합관리시스템, 조기대응시스템 가격
  - 시스템 설치 : 10억원/10개소
  - 설치 간격 : 고속철도-10km/개소, 일반철도-20km/개소, 도시철도-1개소/역사
- 철도 분야 시장규모 : 약 1,500억원 규모(철도 시설에 한정), 년간 유지보수 비용 : 10% 계상
  - 고속철도 : 약 100개소
  - 일반철도 : 약 250개소
  - 도시철도 : 약 1,000개소
- 전체 시장규모 : 향후 10년간 약 2천억원 ~ 3천억원 가량의 시장

<table>
<tr><td></td><td>이 형성될 것으로 전망되고, 연간 유지보수 비율 10%를 적용할 경우 연간 250억 - 300억 시장이 형성될 것으로 전망
<table>
<tr><td rowspan="3">시장규모 (억원)</td><td>연도</td><td>2016</td><td>2017</td><td>2018</td><td>2019</td><td>2020</td><td>2021</td><td>2022</td><td>2023</td><td>2024</td><td>2025</td></tr>
<tr><td>국내</td><td>200</td><td>220</td><td>240</td><td>250</td><td>270</td><td>300</td><td>300</td><td>300</td><td>300</td><td>300</td></tr>
<tr><td>세계</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">예상시장 점유율 (%)</td><td>연도</td><td>2016년</td><td>(+1)</td><td>(+2)</td><td>(+3)</td><td>(+4)</td><td>(+5)</td><td>(+6)</td><td>(+7)</td><td>(+8)</td><td>(+9)</td></tr>
<tr><td>국내</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td><td>50%</td></tr>
<tr><td>세계</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>5. 기존기술 활용방안</td><td>○ 기존 고속철도(KTX) 경부선에 35개소의 지진계가 설치되어 운영중이므로, 기존에 설치된 가속도계의 데이터를 수신 가능
○ 기상청, 한국지질자원연구원 및 소방방재청 등에서 지진가속도계측기를 설치하고 운영중에 있으므로, 계측기 설치 및 시스템 통합 기술 등의 기초적인 기술은 활용 가능함</td></tr>
<tr><td>6. 기술개발 필요성</td><td>○ 일본, 대만, 미국 등 지진대응 선진국에서는 지진 시 철도운행 경보 시스템을 운영 중이고 큰 성과를 보이고 있으나, 국내에서는 철도 인프라와 지진경보 시스템의 연계 운영이 안되고 있음.
○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진계측시스템의 도입 및 신속대응을 위한 시스템 통합 작업이 필요함
○ 지진감지 후 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 고유기능에 및 특성에 따라 응급 운행 대책 수립이 필요함
○ 지진발생시 분야별 철도 인프라의 피해 수준을 신속하게 파악하고, 지진피해 수준에 따른 응급 운행 대책이 필요함. 또한, 지진시 철도 이용 승객 및 이용 대기중인 사람에게 지진발생상황에 대한 정보를 신속하게 전달할 수 있는 정보전달 기술 개발이 필요함
○ 고속철도, 일반철도 및 도시철도 등 각 철도의 인프라 특성에 적합한 지진피해 사전 예측기술 개발이 필요하고, 각 철도 인프라 주변 지반 특성 파악 및 지진파의 전달특성에 대한 데이터베이스화 필요
○ 국내 지반특성을 고려하여 지역별 지진위험도 분석결과를 바탕으로 철도의 각 시설물에 대한 내진성능평가를 종합적으로 분석하여, 지진시 큰 피해가 일어날 수 있는 주요 시설에 대한 체계적인 관리 필요</td></tr>
<tr><td>7. 주요연구 개발내용</td><td>○ 지진규모 사전예측기술 개발
- 지진 감지 및 규모예측 기술개발
- 계측데이터 기반 지진피해 분석 기술
○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립
- 지진 강도 및 진도 별 열차운행지침 마련
- 지진 경보 공유 및 전달을 위한 SNS 응용기술 개발</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td colspan="6">○ 지진 초기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증</td></tr>
<tr><td>8. 정부지원의 타당성</td><td colspan="6">○ 지진재해에 대한 공공시설물의 안전성 확보를 위하여 조기 및 신속한 대책 수립은 국가차원의 지원이 요구됨
○ 모든 철도 시설물은 상시 시민들이 이용하는 다중이용시설이므로 인명피해에 대한 저감대책이 최우선시 되어야 하고, 이와 관련된 연구는 국가 지원이 필요함
○ 국가 위기대응시스템과 향후 연계가 될 수 있도록, 시스템 구축 초기 단계부터 통합시스템을 고려한 설계가 필요함
○ 지속적이고 혁신적으로 발전하는 u-IT 기술 기반의 초기대응시스템 구축 및 상황전파시스템 구축을 위한 국가 정책 반영이 필요함</td></tr>
<tr><td>9. 기술확보 전략</td><td colspan="6">○ 기존 기상청, 한국지질자원연구원, 소방방재청 등에서 이용된 시스템 통합 기술 활용
○ 기존 기술의 경우 지진발생후 대응까지 걸리는 시간이 수십 초 이상의 시간이 소요되어, 많은 개선이 필요하고, 본 연구팀에서의 자체기술개발로 수 초 이내의 지진초기통보 시각을 개선해야 하므로, 대부분의 기술은 자체 개발이 필요함</td></tr>
<tr><td rowspan="2">10 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="4">○ 지진규모 사전예측기술 및 계측데이터 연계 평가기술
○ 지진감지 후 응급 운행대책 수립(지침, 매뉴얼)
○ 지진 조기대응 시스템 mock-up 시스템 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="4">○ 철도 인프라별 경제적· 효율적 지진 초기대응시스템 구축
○ 철도 운영기관의 지진발생시 응급대응 시스템 구축 및 시민들의 긴급 대피에 활용
○ 지진계 설치를 위한 최적 위치 결정 및 예산 절감에 활용</td></tr>
<tr><td rowspan="6">11. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>400</td><td>400</td><td>1,200</td><td>300</td><td></td></tr>
<tr><td>민간 (추정)</td><td>100</td><td>100</td><td>300</td><td>100</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>500</td><td>500</td><td>1,500</td><td>400</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">2,300</td><td colspan="2">총 연구기간</td><td>4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2">600</td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">2,900</td><td colspan="2">연도별 평균</td><td>30 명</td></tr>
</table>

				소요 인력	
12. 기대효과 및 파급효과	○ 지진 발생후 통보시각 단축 - 기존 120초(약 2분) 가량의 통보 소요 시각을 10초 이내(최종 목표 5초 이내)로 대폭 단축하여 지진재해에 대하여 초기에 대응할 수 있음 ○ 지진재해에 능동적으로 대응 - 지진발생시 큰 혼란에 빠질 수 있으나, 지진계 및 초기대응, 시민대피 및 정보 전달 등으로 인해 혼란 방지 및 신속 대피에 활용하여 국민의 소중한 생명을 보호할 수 있음 ○ 예산 절감 효과 - 지진재해대책법에 따라 설치해야 하는 위치를 최적화하여 예산을 절감 - 고속철도에서 일반철도 및 광역,도시철도로 확대적용시 설치 위치 최적 설계로 인한 예산 절감				

4) 철도 내진기술 선진화 기획연구 RFP 검토

○ 일시 : 2012. 1. 30(월) 10:00~15:00

○ 목적 : 철도 내진기술 선진화 기획연구 RFP 및 기획 타당성 검토

○ 자문의견

- RFP 세부 연구 내용

철도 인프라 내진관련 통합 기준 및 지침의 선진화	○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진설계 기준 선진화 - 국내·외 철도 인프라 분야별 내진특성 및 개선안 도출 ·국내 지반특성에 적합한 설계응답 증폭계수 재산정 및 설계응답스펙트럼 개선 - 철도 인프라 분야별 동적 수치해석 및 특성분석 - 철도 인프라 분야별 내진해석법 및 상세설계지침 개발 - 궤도·노반, 철도설비(전력, 신호 등) 내진설계기준 제정 - 철도 인프라 통합 내진설계기준 제정 - 해설서 및 설계 예제집 작성 ○ 철도 인프라 분야별(교량/궤도/터널/노반/역사/설비 등) 내진성능 평가기준 선진화 - 국내외 철도 인프라 분야별 내진성능 평가기준 검토 및 개선사항 도출 ·내진보강 시스템별 모델링 기법 정립 ·내진보강된 기존 철도 인프라의 동적 수치해석 및 특성분석 - 철도 시스템 특성을 반영한 통합 성능평가기준 제정 - 철도설비 내진성능 보강지침 제시 ○ 철도 인프라 복구를 위한 기준 개발 및 체계 수립 - 손상수준 및 인프라 종류별 복구 지침 개발 ·2차 피해 예방을 위한 응급위험도 판정(안) 도출 ·철도 인프라 임시운행 및 운행 재개(안) 도출

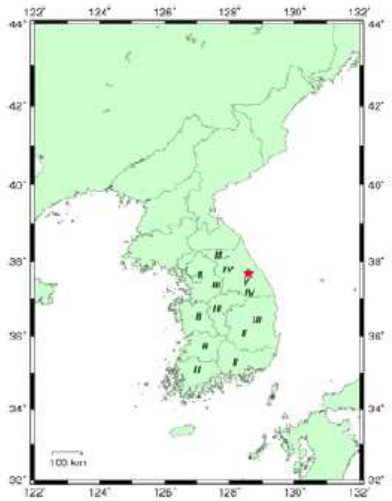
철도 인프라 내진성능 향상 기술 개발	○ 철도 궤도 및 설비의 내진성능 향상 기술 개발 - 철도 궤도 및 설비의 구조물과 인터페이스 기술 검토 - 지반-철도구조물-설비 간 상호작용이 고려된 동적거동 실험 및 해석 시뮬레이션 수행 - 기존 콘크리트 궤도 및 노반의 내진성능 평가 기술 검토 - 철도 궤도 및 설비의 내진성능 평가 기술 개발 - 철도 궤도 및 설비의 내진성능보강시스템 성능검증 ○ 철도 구조물 내진성능향상 기술 선진화 - 기존 철도 구조물 내진성능 보강기술 검토 - 철도 구조물 특성을 고려한 내진성능 보강시스템 개발 및 성능 검증
지진 발생 후 철도 인프라 손상평가 및 급속복구 기술 개발	○ 철도인프라 급속 손상진단 기술 개발 - 철도인프라 급속 손상진단을 위한 검측시스템 개발 - 지진 후 급속 손상진단을 위한 패턴인식 및 분석 알고리즘 개발 - 철도인프라 손상평가 매뉴얼 작성 ○ 철도인프라 별 손상수준에 따른 급속복구 기술개발 - 지진 후 철도인프라 응급복구를 위한 의사결정 시스템 및 대응 매뉴얼 작성 - 철도인프라 별 응급복구를 위한 급속 보강기법 개발 - 철도인프라 별 급속 복구 Kit 모듈화 체계 구축 - Mock-up 테스트를 통한 성능 검증
지진 조기 대응시스템 구축 기반기술 개발	○ 계측데이터 기반 철도인프라 지진피해 분석기술 개발 - 철도인프라 지진조기대응시스템 알고리즘 개발 - 철도인프라 지진조기대응시스템 통합 플랫폼 설계 - 철도인프라 지진조기대응시스템 구축 기반기술 개발 ○ 지진감지 후 열차운행 응급 대책 수립 - 지진 규모에 따른 열차운행안전지침 마련 - 철도인프라 전용 지진조기대응 통보시스템 설계 ○ 지진 조기대응 시스템 시험 부설 및 성능검증 - 중규모 지진에 대한 조기경보 알고리즘 시험 - 해외 지진파를 활용한 경보시스템 시스템 성능 검증

부록 2

부록 2. 국내·외 주요 지진사례 및 피해 분석

○ 국내 지진 피해사례 분석

- 오대산 지진피해

발생일	2007년 1월 20일	
발생지역	강원 평창군 도암면-진부면 경계지역	
지진규모	4.8	
피해내용	■강릉, 평창 : 거의 모든사람이 느낌. 건물이 심하게 흔들리고, 액자가 떨어짐. 장식장 물건 파손, 일부 가구 및 유리창 파손, 식탁의 그릇이 떨어짐. ■속초 : 창문이 많이 흔들림. ■춘천 : 2초정도의 진동을 느낌, 건물이 흔들림. ■원주,태백,삼척 : 건물 자체가 흔들리고 모니터가 흔들림. ■영월 : 영월 기상대에서 5초 정도 진동을 감지, 건물이 흔들림.	

- 울진 해역 지진재해

발생일	2004년 5월 29일	
발생지역	경북 울진 동쪽 약 80km 해역	
지진규모	5.2	
피해내용	■울진 : 건물이 심하게 흔들림, 거의 모든 사람이 진동을 느끼고 대피한 곳이 있음. ■삼척,태백,포항 : 건물이 흔들림 (5층아파트, 낮은주택), 사람이 진동을 느껴 울렁거림. ■안동 : 건물과 바닥이 심하게 흔들림 ■대구, 의성: 건물과 창문, 집기가 흔들림, 액자가 떨어짐, 서있는 사람이 진동을 느낌.	

- 백령도 해역 지진 재해

발생일	2003년 3월 30일	
발생지역	인천광역시 백령도 서남서쪽 약 80km 해역.	
지진규모	5.0	
피해내용	■백령도 : 창문이 심하게 흔들림. ■영종도 : 건물이 흔들림. 인천 영종도 공항의 책상 및 컴퓨터 모니터가 흔들림. ■서울, 대전 : 창문과 침대가 흔들림. ■광주, 전주 : 창문과 집이 약간 흔들림.	

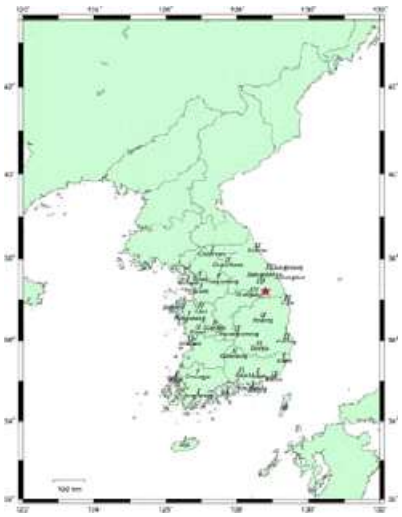
- 홍도 해역 지진재해

발생일	2003년 3월 23일	
발생지역	전남 홍도 북서쪽 약 50km 해역	
지진규모	4.9	
피해내용	■흑산도 : 창문과 바닥이 흔들리는 정도의 진동을 느낌. ■목포 : 시내 일원에서 창문과 건물이 흔들리고 방바닥이 쿵쿵거림. ■광주 : 광주 및 화순 지역에서 땅이 흔들리고 창문이 심하게 흔들림 ■여수 : 여수기상대 사무실내의 장비가 약간 흔들림. ■서울·인천 : 창문이 흔들리고 건물안의 물건이 약간 흔들리는 진동을 느낌	

- 경주 해역 지진재해

발생일	1994년 6월 26일	
발생지역	경남 경주 남동쪽 약 9km 지역	
지진규모	4.2	
피해내용	■경주 : 호텔 건물이 흔들려 투숙객 대피 ■밀양: 집 전체가 흔들림. 잠을 자다 방바닥이 흔들림을 느낌. ■구미: 건물이 흔들림. ■대전: 창문, 방바닥, 집이 흔들림. 잠자다 깸. ■청주: 침대가 흔들림을 느낌. ■추풍령: 잠자다 깸.	

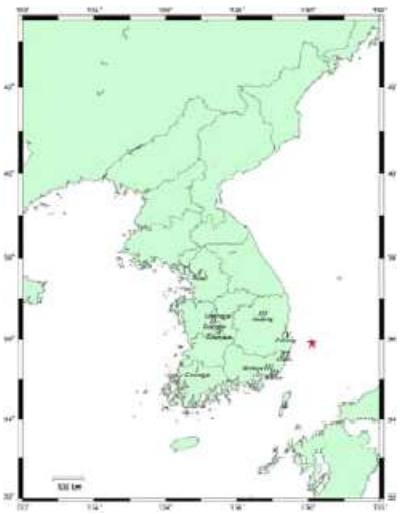
- 영월 지진재해

발생일	1996년 12월 31일	
발생지역	강원 영월 동쪽 약 20km 지역	
지진규모	4.5	
피해내용	■진앙이 내륙이고 진원의 깊이가 낮아 제주를 포함한 한반도 전역에서 진동을 느꼈음. ■영월 : 창문과 장롱이 심하게 흔들리고 선반에 놓인 그릇이 떨어짐. ■정선 : 2층건물, 지하보일러실 내벽 등 10여 곳에 균열이 생기고 건물 외벽 타일 일부가 떨어져 나가는 피해와 예미리 일부 가옥에서는 담장이 무너지는 피해가 있었음. ■춘천, 강릉, 홍천, 인제, 울진, 울산: 건물이 크게 흔들림.	

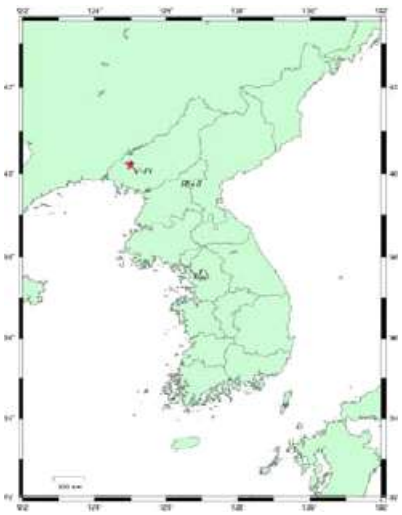
- 울진 해역 지진재해

발생일	1982년 3월 1일	
발생지역	경북 울진 북동쪽 약 45km 해역	
지진규모	4.7	
피해내용	■울진, 삼천: 유리창이 소리를 내며 떨리고 집이 파도에 요동치듯 흔들렸음. 그릇의 물이 출렁임. 기왓장이 떨어짐 ■대구, 포항: 잠에서 깰 정도의 진동을 느꼈음. ■서울: 일부 고층아파트에서 흔들려서 잠자리에서 깬 사람이 있었음.	

- 포항 해역 지진재해

발생일	1981년 4월 15일	
발생지역	경북 포항 동쪽 약 65km 해역	
지진규모	4.8	
피해내용	■포항 : 건물이 마치 기우는 듯하고 형광등이 흔들려 사람이 놀라 집 밖으로 대피하였으며, 아파트 및 백화점 선반의 물건이 떨어짐. 포항 북쪽 약 20km 지역에서 블록벽에 금이 갔다는 보고도 있었음. ■부산 : 대형건물이 심하게 흔들려 건물 속의 사람이 일시 대피하는 소동이 있었음. ■김해 : 건물이 흔들려 기상청 직원이 현기증을 느꼈음. ■서울 : 여의도, 마포의 고층건물에서 일부 느꼈음.	

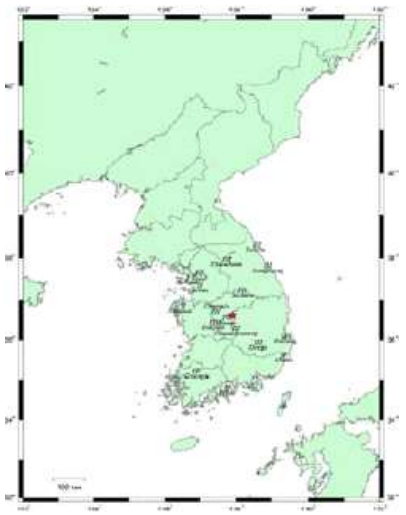
- 의주 지진재해

발생일	1980년 1월 8일	
발생지역	평북 서부 의주-삭주-귀성지역.	
지진규모	5.3	
피해내용	■서울 : 일부 민감한 사람이 진동을 느꼈음.	

- 홍성 지진재해

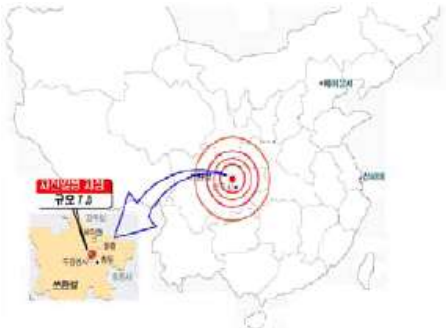
발생일	1978년 10월 7일	
발생지역	충남 홍성읍	
지진규모	5.0	
피해내용	■부상자 : 2명 ■기타 : 건물파손 118동, 건물균열 1000여 개소, 성곽붕괴 90m, 일시 정전 및 전화불통, 지면에 폭 1cm, 길이 5-10cm정도의 균열, 총 피해액은 199,955천원 이며 복구 소요액은 약 4억원.	

- 속리산 지진재해

발생일	1978년 9월 16일	
발생지역	충북 속리산 부근.	
지진규모	5.2	
피해내용	■서울: 일부 아파트와 대부분의 창문이 흔들려 잠에서 깬 사람이 많았음. ■대구: 문짝과 집기가 흔들림. 잠에서 깬 사람이 많았음(우르릉 꽝하는 굉음). ■대전: 집이 흔들리고 잠자던 주민이 깸. ■제천: 그릇의 물이 출렁거림. ■여수: 유리창이 흔들림.	

○ 국외 지진 피해사례 분석

- 중국 쓰촨성 지진재해

발생일	2008년 5월 12일.	
발생지역	쓰촨성의 성도 청두에서 북서쪽으로 92km 떨어진 원촨지역.	
지진규모	7.8로 발표되었으나 중국지진국이 8.0으로 올림.	
피해내용	■사망자: 89,000명 이상 ■실종자: 32,000여명 ■부상자: 37만명 이상 ■기타: 5백36만 채 붕괴, 2천백만채 파손 등.	
현장사진	   	

- 일본 니가타 지진재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>2007년 7월 16일.</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>일본 니가타현 주에쓰 지방과
나가노현 북부지방</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>6.8</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자: 11명.
■부상자: 2,000명 이상.
■기타: 870여 채의 주택 파손, 3만5000여 세대의 가스공급 중단, 원자력 발전소7기 모두 지진 직후 가동 정지, 3호기의 옥외 변압기에서 화재 발생, 극히 미량의 방사능 물질 방출.</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2"> 






</td></tr>
</table>

- 일본 노토 지진재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>2007년 3월 25일.</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>일본 호쿠리쿠 이시카와현
노토반도 앞바다.</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>6.9</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자: 1명.
■부상자: 700여명.
■기타: 350여 채의 가옥 파손, 9,300여 세대 단수 및 수백가구 정전, 원자력 발전소 가동정지, 노토공항 균열로 공항폐쇄, 이시카와현과 토야마현의 모든 철도노선 운행 일시 중단.</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2"> 



 </td></tr>
</table>

- 인도네시아 수마트라 지진재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>2007년 3월 6일.</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>인도네시아 수마트라 파당 북쪽 50km 지역.</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>6.3</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자: 70명.
■부상자: 200여명.
■기타: 수백 채의 건물 붕괴.</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2"> 

 </td></tr>
</table>

- 대만 지진재해

발생일	2006년 12월 26일	
발생지역	대만 남단 헝춘 인근 해안.	
지진규모	7.1	
피해내용	■사망자: 2명. ■부상자: 47명. ■기타: 6개의 해저 광케이블 크게 손상	

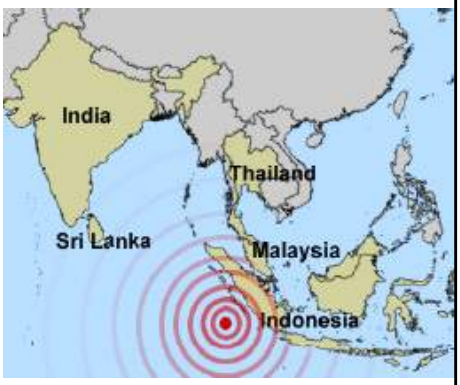
- 인도네시아 자바 지진 재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>2006년 5월 29일</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>족자카르타 남서쪽 25km 지역</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>6.3</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자: 2,700여명.
■부상자: 8,100여명.
■기타: 9,000여 채의 건물파손 및 붕괴, 족자카르타 공항 폐쇄, 교통·통신 두절</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2">   </td></tr>
</table>

- 일본 후쿠오카 지진재해

발생일	2005년 3월 20일.	
발생지역	후쿠오카 북서쪽 45km 해역.	
지진규모	7.0	
피해내용	■사망자: 1명. ■부상자: 675명. ■기타: 20여 채의 가옥 붕괴 및 2,000여 채 파손, 신칸센 운행 일시 중단.	
현장사진		

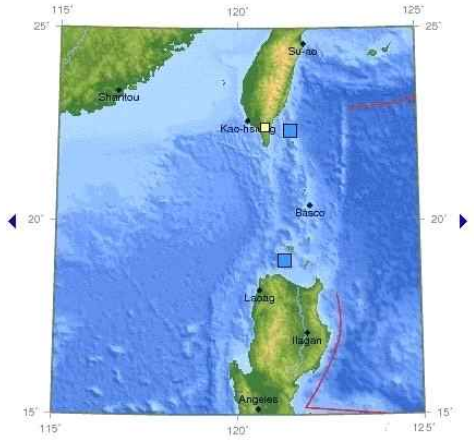
- 인도네시아 수마트라 지진재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>2004년 12월 26일.</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>수마트라섬 부근 인도양.</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>9.1</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자: 15만명.
■부상자: 2,000명 이상.
■기타: 물과 음식 부족 및 질병 발생.</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2">     </td></tr>
</table>

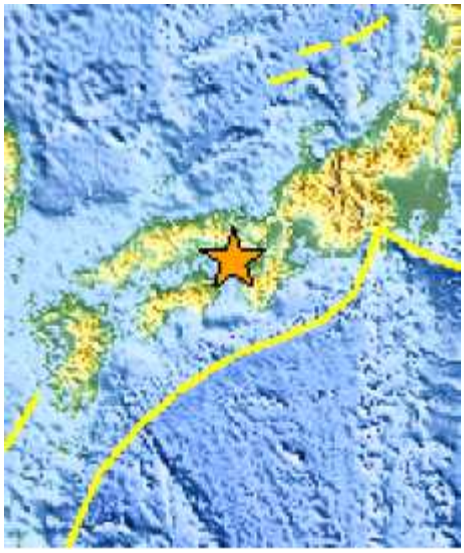
- 일본 니가타 지진재해

발생일	2004년 10월 23일.	
발생지역	니가타현 오지야시 인근 주에쓰 지방 지하 20km 지점.	
지진규모	6.8	
피해내용	■사망자: 35여명. ■부상자: 2,200명 이상. ■기타: 300여 채의 가옥 붕괴 및 6,400여 채 파손, 12만 세대 단수 및 9만5000세대 정전, 자동차전용도로 파손 및 이격, 신칸센 열차 탈선.	
현장사진	   	

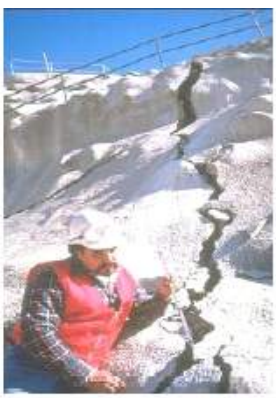
- 대만 치치 지진재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>1999년 9월 21일.</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>대만 중부</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>7.7</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자 : 2,400명
■부상자 : 1만명
■실종자 : 40여명
■기타 : 건물 9,900여 채 파손, 교량·댐 등 파손.</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2">     </td></tr>
</table>

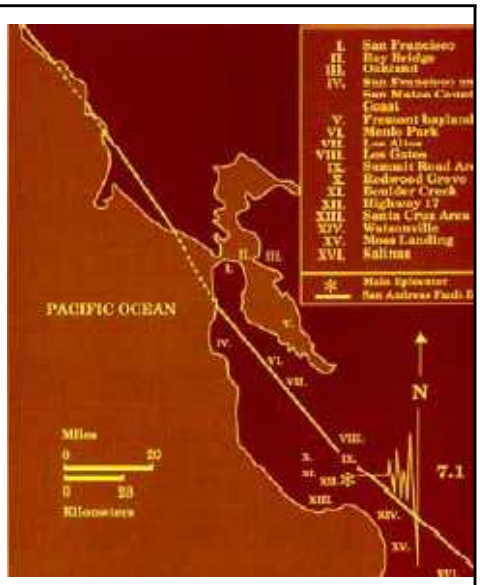
- 일본 고베 지진 재해

발생일	1995년 1월 16일.	
발생지역	간사이 지방 효고현 남부의 고베시.	
지진규모	7.2	
피해내용	■사망자: 6,300여명. ■부상자: 2만명. ■기타: 이재민 약 20만명, 피해규모 14조 1000억엔 추정, 사회기간시설 파괴, 산업활동 마비.	
현장사진	   	

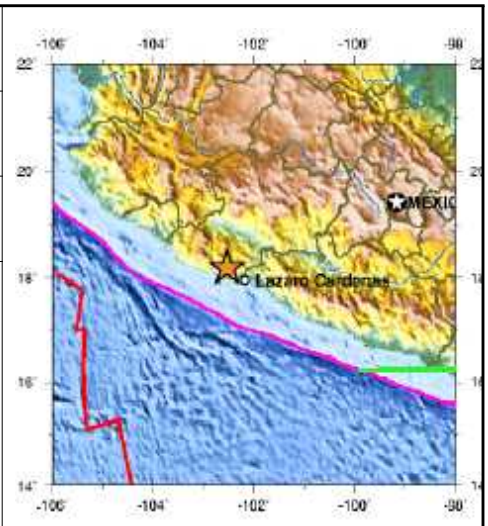
- 미국 노스릿지 지진재해

<table>
<tr><td>발생일</td><td>1994년 1월 17일.</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>발생지역</td><td>LA 서북부 20마일 부근.</td></tr>
<tr><td>지진규모</td><td>6.8</td></tr>
<tr><td>피해내용</td><td>■사망자 : 58명
■부상자 : 1,500여명
■기타 : 약 80,000～125,000채 건물 붕괴.</td></tr>
<tr><td>현장사진</td><td colspan="2">     </td></tr>
</table>

- 미국 로마 피에르타 지진재해

발생일	1989년 10월 17일.	
발생지역	캘리포니아주 산타크루즈 산.	
지진규모	7.1	
피해내용	■사망자: 66명. ■부상자: 3,700명. ■기타: 14,000여명 이재민 발생, 11만 6,882채의 건물 손상, 상·하수도관, 송전선, 가스관 등에 큰 손상 발생.	
현장사진	   	

- 멕시코 지진재해

발생일	1985년 9월 19일.	
발생지역	멕시코 서쪽 태평양안.	
지진규모	8.1	
피해내용	■사망자: 5,000명. ■부상자: 1만명. ■기타: 6,000여 채 가옥파손, 이재민 25,000명이상, 철근콘크리트 빌딩 붕괴.	
현장사진	   	

- 미국 엘 센트로 지진재해

발생일	1940년 5월 18일.	
발생지역	샌디에고 동쪽 145km.	
지진규모	6.9	
피해내용	■사망자: 8명. ■부상자: 60명. ■기타: 철도 및 교량의 손상.	
현장사진	   	

부록 3

부록 3. 국내·외 구조물 내진보강공법 분석

■ 기존 교량 내진성능 향상방법

- 교량받침에는 지진시 큰 수평력이 작용하는데, 현재 기존의 일반철도교량에 설치된 받침장치의 대부분은 수평력에 대한 정항성이 없으므로 이에 대한 보강이 필요함

표 1. 교량받침 내진보강방안

구분	받침교체	전단키설치
공법개요	거더와 교각상면에 브라켓을 설치하여 지진시 상·하부 브라켓간의 접촉에 의해 저항하는 방안	기존 받침을 내진성능이 보강된 받침으로 교체하는 방안
시공성	기존 부재와의 간섭에 대한 검토 필요	받침형하고에 대한 검토 필요
경제성	받침만 보강시 상대적으로 우수	기존 받침의 전수교체로 다소 고가
보강효과	받침 보강효과 우수	받침 및 교각기둥 보강효과 양호

- 기존 교각은 『기존교량의 내진성능 평가요령(국토해양부, 2011)』에 따라 내진성능 평가를 먼저 시행한 후 평가결과를 바탕으로 필요한 경우 교각의 휨 연성 향상, 전단강도 및 휨강도 향상, 축방향철근 겹침이음 보강 등 내진성능을 향상시켜야 함

표 2. 교각의 내진보강방안

분류	내하력 향상 공법	보강공법의 개요
부재단면증가	콘크리트 피복공법	교각 주위에 띠철근을 배근하고 콘크리트를 보완 타설하여, 단면을 증가시켜 보강하는 공법으로 비교적 큰 단면의 교각을 보강하는데 적용되며 철근 대신에 PS 강봉을 이용하는 경우도 있다.
	모르타르 부착공법	기존교각에 띠철근이나 나선철근을 배근하고 모르타를 뿜어 붙여 일체화하는 공법으로 일반적으로 콘크리트 피복공법 보다 부재단면 증가를 감소시킬 수 있다.
	프리캐스트 패널 조립공법	내부에 띠철근을 배근한 프리캐스트 패널을 기둥 주위에 배치시켜 접합키로 폐합시켜 기둥과 패널의 공극에 그라우트를 주입하여 칠체화 시키는 공법이다.
보강재피복	강판 보강공법	기존 교각에 강판을 씌워 강판과 교각사이에 무수축 모르타르나 에폭시를 충전하여 콘크리트에 구속효과를 증대시킴으로써 전단 및 연성도를 보강하는 공법이다.
	섬유부착공법	탄소섬유, 아라미드섬유 또는 유리섬유 등의 신소재를 콘크리트면에 고강도의 접착재로 부착하거나 FRP 패널 설치후 수지주입 및 함침된 섬유를 래핑기를 이용하여 설치함으로써 기둥의 연성을 확보하는 공법
보강재삽입	철근 삽입 공법	기존 교각에 천공 후 철근을 삽입하고 모르타르 등을 충전하여 구체 단면내에 소요철근량을 증가시켜 전단강도 및 연성도를 보강하는 공법이다.
	PS 강봉 삽입공법	상기 공법에서 철근 대신에 PS 강봉을 삽입하는 공법으로 필요에 따라 프리스트레스를 도입한다.
부재증설	벽 증설공법	라멘교 등의 교각 사이에 벽을 증설하여 휨 및 전단강도를 대폭적으로 증가시키는 공법이다.
	브레이스	라멘교 등의 교각 사이에 브레이스를 증설하여 기존 교

	증설공법	각부재에 작용하는 지진 시 수평력을 줄이는 공법이다.
병용공법	콘크리트 피복공법과 강판 피복공법의 병행공법	대단면의 교각에 있어서 휨 보강은 주로 철근콘크리트 피복에 의하며, 전단 및 연성도는 강판 피복에 의해 보강한다.
	철근 삽입공법과 콘크리트 피복공법 병행공법	대단면의 교각에 있어서 콘크리트의 구속효과를 향상시키기위해 철근콘크리트 증설공법에 철근 삽입공법을 병용하는 공법이다.
	PS 강봉 삽입공법과 강판 피복공법 병행공법	대단면의 교각에 있어서 강판 피복공법에 의한 콘크리트의 구속 효과를 높이기 위해 PS 강봉을 삽입하여 강판을 연결하는 공법이다.

① 강판 보강공법

- 강판 보강공법은 RC교각에 채택되고 있는 보편적인 보강기법으로서 기존의 교각에 강판을 씌우고 강판과 교각 사이에 무수축 모르타르(Shrinkage compensting mortar) 또는 에폭시(epoxy)를 충전하여 콘크리트에 구속효과를 증대시킴으로써 소요변위연성도를 확보하는 공법임
- 소요변위연성도에 의하여 필요한 콘크리트의 소요압축변형률이 결정되며 교각의 단면형상에 따라 보강 효과가 다르게 나타나므로 이들을 고려하여 소요변위연성도를 충분히 확보하도록 보강 강판의 두께를 결정하여야 함

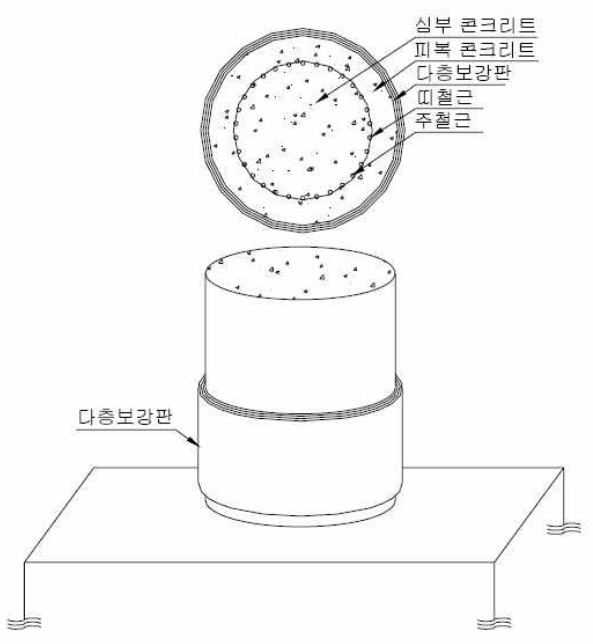


그림 1. 보강개념도

• 시공순서

- 강판을 기둥의 둘레에 감을 수 있도록 제작한다.
- 강판을 기둥에 감은 상태에서 잭을 이용하여 외부압력을 가한다.
- 외부압력을 가한 상태에서 강판의 겹친 부분의 용접을 수행한다.
- 다층구조로 보강하는 경우 다시 강판을 부착하여 용접하는 과정을 반복한다.
- 가장 외부의 강판을 용접한 후에는 용접부를 밴드스트립으로 보강한다.
- 용접부를 부드럽게 처리하고 방식재를 도포한다.

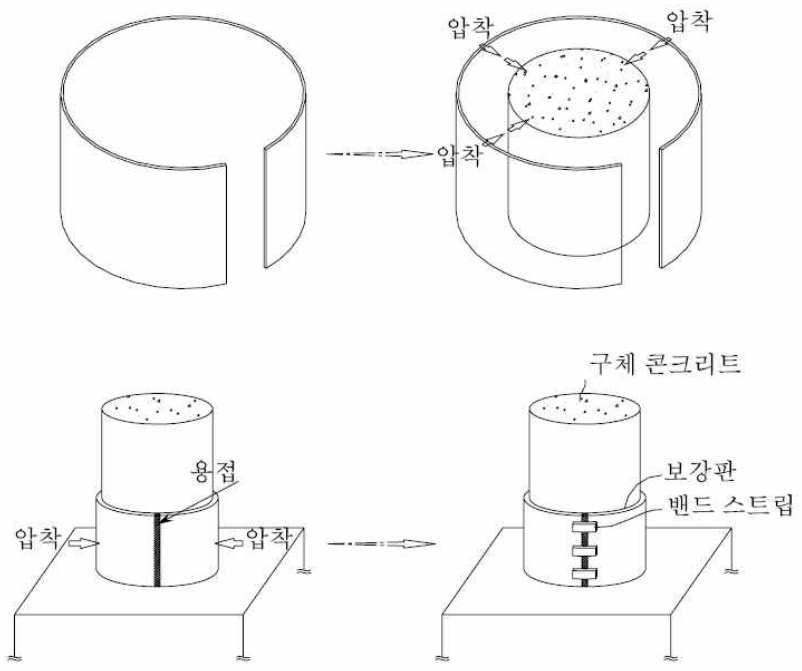


그림 2. 시공순서도

② 섬유부착공법

• FRP 보강공법

- 기존의 FRP 쉬트 접착공법에서는 내진보강에 적합한 소요두께를 확보하기 위해 겹겹이 접착하여 소요 단면두께를 확보하는 방식이므로 부착계면에서 공동이나 공극이 발생할 우려가 있으며, 부착면의 접착이 균일하게 되지 않을 가능성이 매우 높음. 또, 이러한 전 과정이 수작업으로 현장에서 이루어지기 때문에 품질에 대한 신뢰성이 떨어지는 등의 문제가 발생할 수 있음. 특히, 쉬트의 길이방향으로는 섬유의 연속성이 확보되나 직각방향으로는 연속성이 확보되지 못해 추가적인 보강이 필요함. 이에 반해 기존의 섬유쉬트 보강공법을 개선한 공법으로 SRST(Seismic Retrofitting & Strengthening Technique)공법은 합침된 연속섬유에 의해 교각에 래핑됨으로써 섬유직각방향의 불연속성을 극복함. 또한 설계에 있어서 실물크기의 모형실험을 통한 전용 최적화 프로그램을 완성하여 복합재료가 타 재료에 비해 많은 장점을 가지고 있음에도 쉽게 적용되지 못했던 설계의 어려움을 해소함. 제작 및 시공과 관련하여서는 자동화 시공장비를 개발하였으며 보강단면의 위치별로 보강두께를 변화시켜 시공할 수 있고, 일정한 장력을 가지고 래핑 할 수 있어 보강섬유의 품질변동 우려를 방지함. 직조섬유의 수작업 래핑 시공법의 경우, 합침된 섬유를 래핑하는 것이 아니므로 접착제가 합침된 섬유를 조작하는데에 따른 시공성 저하가 없으며 공장에서 제작된 고품질의 기설 FRP 패널을 사용하고 현장에서는 수지주입이라는 비교적 단순공정만으로 이루어지므로, 타 공법에 비하여 시공성 및 경제성이 우수함



그림 3. 보강순서도

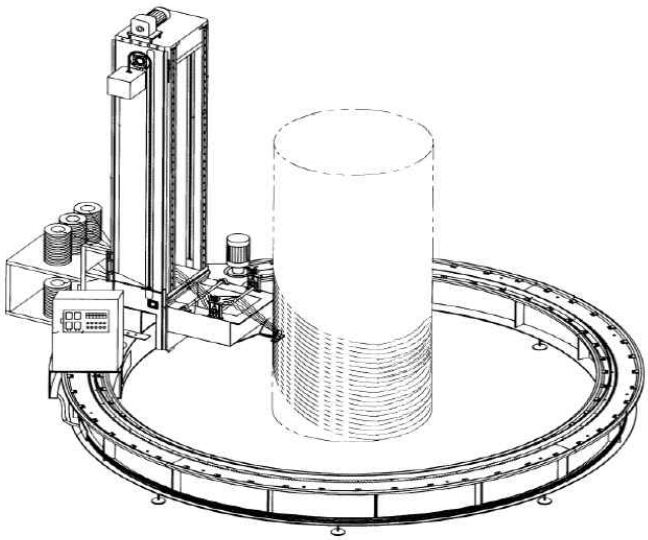


그림 4. 자동래핑공법 시공개념도

• GFRP래핑보강

- SPR(Self-propelled pressure wrapping device & Wrapping Method)내진보강공법은 고강도 구조용 유리섬유 로빙 크로스를 보강대상 교각 보강구간에 강력하게 래핑하여 교각을 구속함으로서 교각의 연성을 확보하고 지진발생시 교각의 조기붕괴를 방지하고자 하는 공법임. 따라서 교각래핑 내진보강의 핵심부분은 보강대상 교각을 감싸는 구속력이라고 할 수 있음. 아무리 뛰어나 고성능 보강재도 보강재의 래핑이 느슨하게 시공될 경우 지진 발생 시 그 효과는 기대하기 어렵기 때문임. SPR내진보강공법은 강력한 모터로 구동되어 교각 둘레를 자유롭게 수평 회전하는 자주식 자동 래핑장치와 일정한 긴장력을 갖춘 모터로 구동되어 수직자동운행되는 재료공급 긴장장치로 구성된 교각 자동압박래핑 장치를 이용하여 유리섬유 로빙 크로스를 팽팽한 장력과 연속성을 유지한 상태에서 교각보강구간에 자동압박래핑 구속함으로써 교각의 안정된 내진성능을 확보 할 수 있는 교각자동압박래핑 내진보강공법임



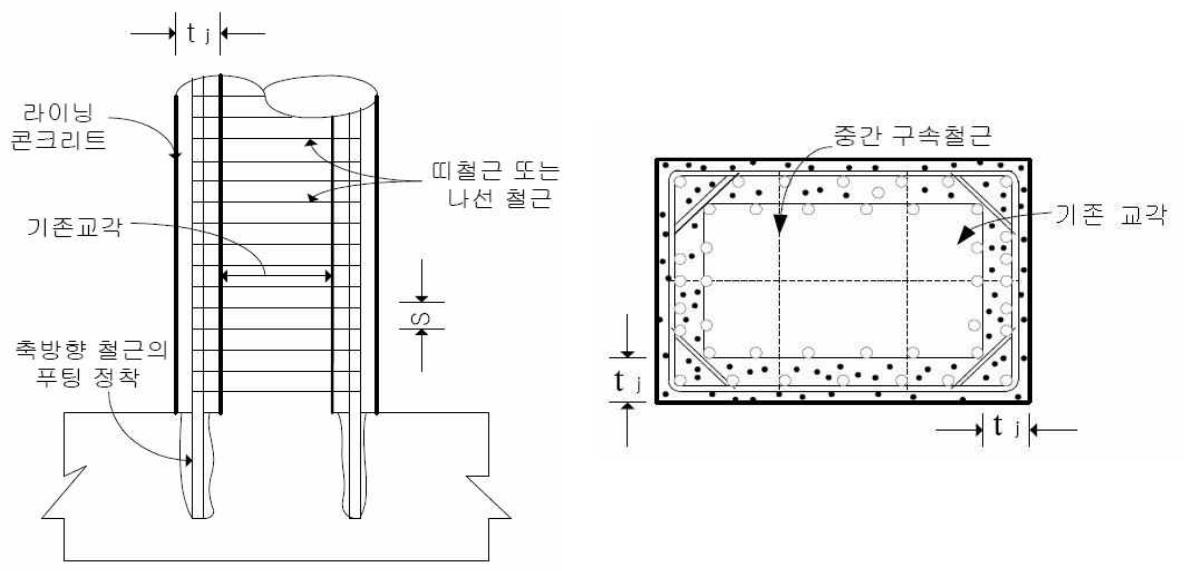
그림 5. SPR 자동래핑 장치



그림 6. SPR 보강공법 시공순서도

③ 콘크리트 피복공법

- 휨강도, 휨변형능력, 전단강도를 보강하기 위하여 고각의 주위에 띠철근을 배근하고 콘크리트를 덧씌우는 공법임. 교가의 휨 강도를 향상시키기 위해서는 철근강도가 충분히 발휘될 수 있도록 정착장을 충분히 두고 축방향 철근을 기초부에 정착시켜야 함. 단, 이 경우에는 기초를 보강하고 휨 및 전단 내하력을 향상시켜 소성힌지가 확실하게 교각에 발생하도록 하여야 함. 원형단면의 경우에는 띠철근이나 나선철근을 작은 간격으로 배근하면 구속효과를 높일 수 있음



(a) 원형 단면의 경우(정면도)　　(b) 직사각형 단면의 경우(단면도)

그림 7. 콘크리트 증설 보강공법에 의한 교각 구속

④ 모르타르 부착공법

- 기존 교각에 띠철근이나 나선철근을 배근하고 모르타르를 뿜어 붙여 일체화하는 공법임. 일반적으로 콘크리트 피복공법보다 부재단면의 증가를 줄일 수 있어 라멘교 등에 적용하기 용이함. PS 강선을 이용하는 경우도 있음

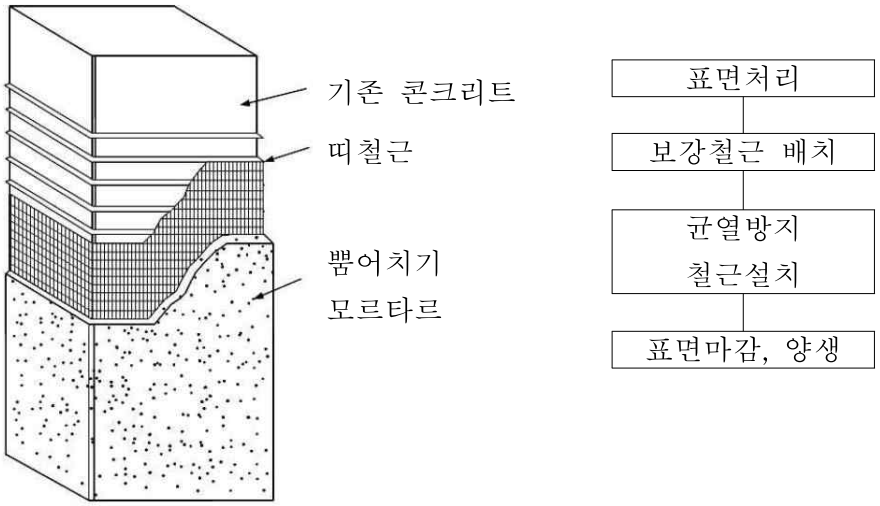


그림 8. 모르타르 부착공법

■ 기존터널 내진성능 향상방법

- 개착식 터널 구조물의 상·하부, 중간 슬래브 및 벽체 등에 대한 내진성능 향상은 지하구조물의 특성상 지반굴착을 시행하지 않은 상태에서 구조물 내부에서 보강작업이 이루어져야 하는 제한조건을 가지고 있음.

표 3. 주요 부재별 내진성능 향상공법

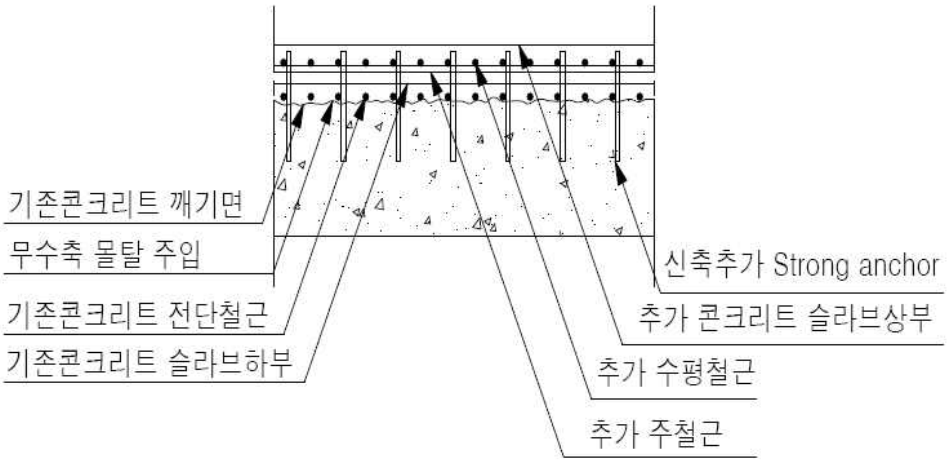
주요부재		보강공법
슬래브	상부	• 슬래브 하부 두께증가 보강공법 • 강판접착공법(주입법, 압착법) • 부재증설 보강공법 • 브레이싱 증설에 의한 보강공법
	하부	• 슬래브 상부 두께증가 보강공법 • 강판접착공법(주입법, 입착법) • 부재증설 보강공법
	중간	• 강판접착공법(주입법, 입착법) • 개구부 보강공법(강재기둥 또는 테두리보 추가설치 • 두께증가 보강공법
벽체 또는 기둥		• 벽체(기둥) 두께증가 보강공법 • H-형강 증설공법 • 벽체부 강판 압착공법 • 기둥의 띠판 보강공법
주변 지반보강		• 지반보강을 통한 지진격리공법

표 4. 내진성능 향상공법 개요

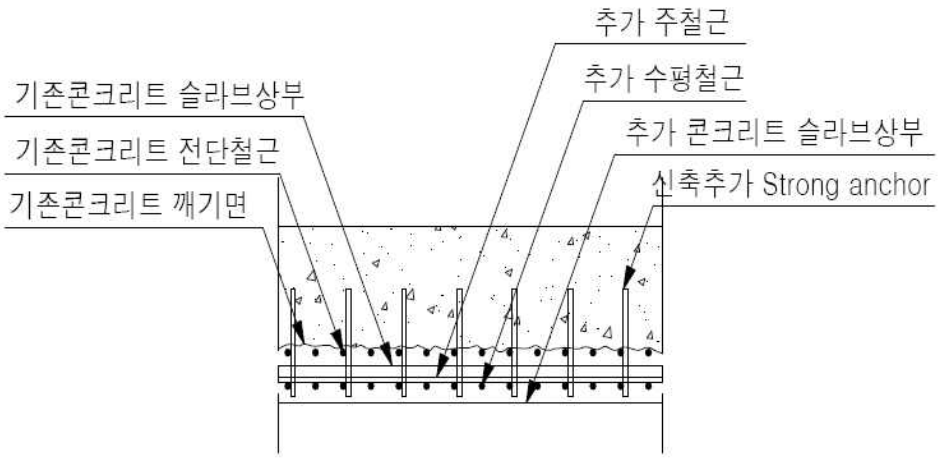
No.	공법명		공법개요
1	슬래브 상·하부 두께증가 보강공법		상부 또는 하부 슬래브의 휨모멘트 및 전단 내하력 등이 부족하여 이에 대한 보강이 필요하고, 구조물의 특성상 부득이 부재하부에서 보강조치가 가능한 경우에 적용하는 공법이다.
2	강판접착공법 (주입법, 입착법)		콘크리트 슬라브(상·하부 및 벽체슬라브)의 인장면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트 슬라브와 일체화시켜서 지진하중에 대한 부재저항력을 증진시키는 공법이다.
3	부재증설 보강공법		기존구조물에 기둥 및 벽체를 추가로 설치하므로서 강성 증대에 의한 구조물의 내진성능을 향상시키는 공법이다.
4	브레이싱 증설에 의한 보강공법		수평부재와 수직부재가 연결되는 우각부에 지진력에 의한 전단력 및 휨모멘트가 크게 발생하므로, 이들 부분에 H-형강 브레이싱을 설치하므로서 부재 내하력을 증진 시키는 공법이다.
5	개구부 보강 공법	강재기둥 추가설치	기존 내부슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 구조물 특성상 깨기시의 소음,진동을 최소화 하는 경우에 적용하는 공법이다.
		테두리보 추가설치	기존 내부슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위한 개구부 보강이 필요하며, 개구부 하부에 보강 기둥을 설치하지 못하는 경우에 적용하는 공법이다.
6	벽체(기둥) 두께 증가 보강공법		기존구조물의 두께를 증가시킴에 따라 내하하력을 증진시키는 공법이다.
7	H-형강 증설 공법		벽체 연결부 내부계단 등에 의한 슬라브개구부 위치의 측벽부등에 내하력 부족시 H-형강을 추가로 설치하여 부재의 구조적 성능을 향상시키는 공법이다.
8	벽체부 강판 압착 공법		구조물내 토압을 받는 측벽부 중간 슬래브 개구부 설치에 따른 구조적 안정성 확보를 위하여 흑벽슬래브 상하면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트와 일체화시켜 내하력을 증진시키는 공법이다.
9	기둥의 띠판 보강공법		지진에 의해 발생되는 전단력에 대하여 기존기둥에 급격한 전단파괴가 발생하지 않도록 기둥의 인성(Toughness)을 증진 시키는 공법이다.
10	지진격리공법		구조물 주변지반에 시공된 벽체를 지진격리장치로 활용하여 지진력을 감소시키는 공법이다.

① 슬래브 상·하부 두께증가 보강공법

- 구조물의 상부 및 하부슬래브의 휨모멘트 및 전단내하력 등이 부족하여 이에 대한 보강이 필요하고, 구조물의 특성상 부득이 부재하부 또는 상부에서 보강조치가 가능한 경우에 적용하는 공법임. 부재하부에 추가적으로 철근을 배근하고 콘크리트를 타설하는 경우에는 추가 타설된 콘크리트의 수축 등으로 신·구 콘크리트의 접합이 불확실 해지기 쉬우므로 이에 대한 확실한 대책이 필요한 공법임



(a) 슬래브 상부 보강

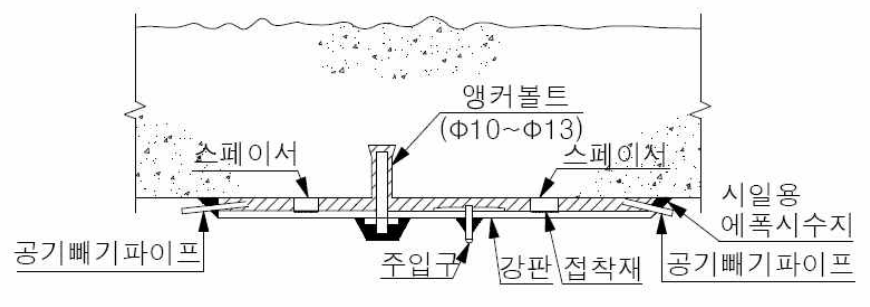


(b) 슬래브 하부 보강

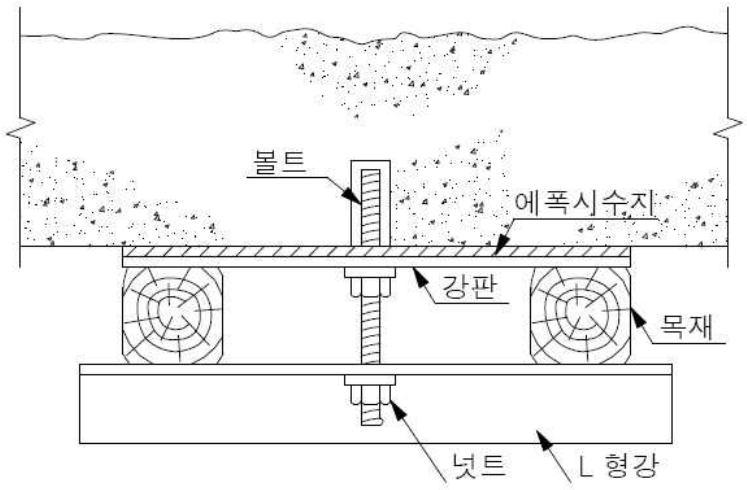
그림 9. 슬래브 상·하부 두께증가 공법

② 강판접착공법(주입법, 압착법)

- 콘크리트 슬래브(상·하부 및 벽체슬래브)의 인장면에 강판을 접착하고 기존 콘크리트 슬래브와 일체화시켜서 지진하중에 대한 부재저항력을 증진시킴. 접착하는 강판으로는 두께 4.5~6mm 정도가 일반적으로 사용됨. 강판의 접착길이는 소요 휨모멘트발생 구간보다 저항휨모멘트가 커지는 범위까지 충분히 길게 연장함. 강판접착공법은 주하중 단면방향뿐만 아니라 배력철근 방향에 대하여도 부재저항력을 증진시키는 효과를 가져옴



(a) 강판접착공법(주입법)



(b) 강판접착공법(압착법)

그림 10. 강판접착공법

③ H-형강 증설 공법

- 벽체 연결부 내부계단 등에 의한 슬래브 개구부 위치의 측벽부 등에 내하력

부족시 H-형강을 추가로 설치하여 부재의 구조적 성능을 향상시키는 공법임. 개구부로 인한 벽체의 종방향에 대하여 지진력에 의해 증가된 휨모멘트와 전단력에 저항하기 위한 목적으로 설치함

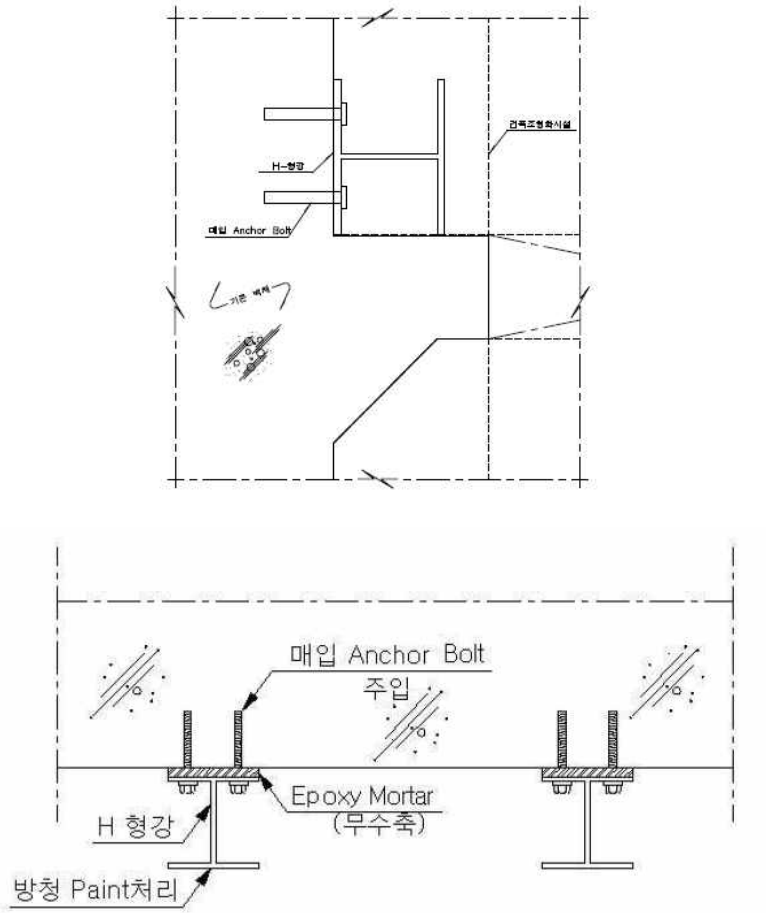


그림 11. H-형강 증설공법

④ 지진격리공법(개착식 구조물의 주변지반 내진보강)

- 개착식 터널 주변지반에 파일벽체를 시공하여 내진안정성을 확보하는 공법임. '폴리머 진동차단 공법(Polymer Seismic Isolation Method)'은 주변 지반으로부터 구조물로 전달된 지진 거동을 감소시키기 위하여 지하구조물 양측면에 폴리머 벽체를 시공함. 이 공법은 그 자체로 지진시 지반변형을 막거나 통제하기 위한 것이 아니고, 주변 지반으로부터 전달된 지진력을 차단하기 위한 목적임

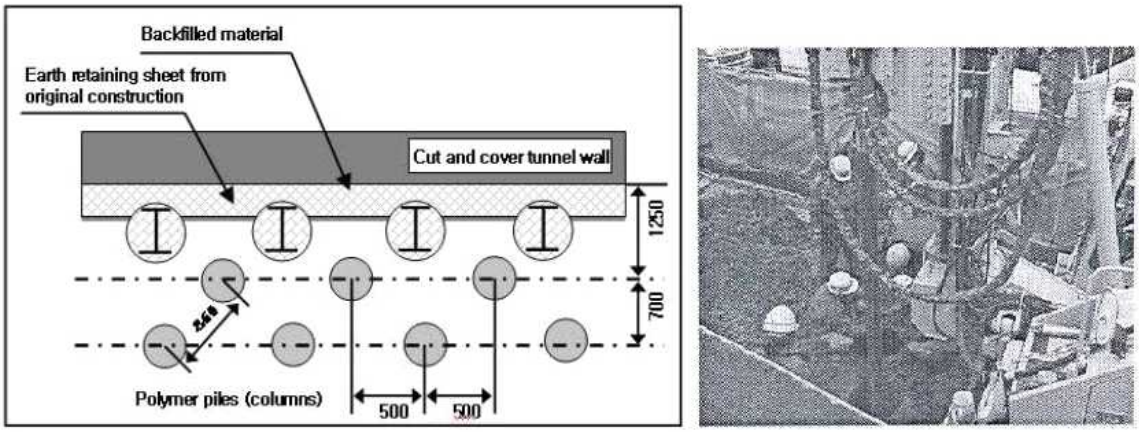


그림 12. 폴리머 내진격리공법(일본 나까가와역)

⑤ 굴착식 터널의 내진성능 향상공법

- 도로 및 철도 터널 등은 지진피해로 인하여 안전운행에 지장을 초래할 수 있으므로, 지진시 터널 라이닝의 국부적인 발가 및 탈락, 균열 발생 및 기존 균열의 심화, 노면융기 등의 지진피해를 방지하기 위한 내진대책공법을 필요로 함. 내진대책공법으로는 터널배부의 록볼트, 숏크리트, 배면주입, 내면보강 등을 들 수 있으며 이들 공법은 지진에 대비한 공법이면서도 복구공법으로도 적용될 수 있음

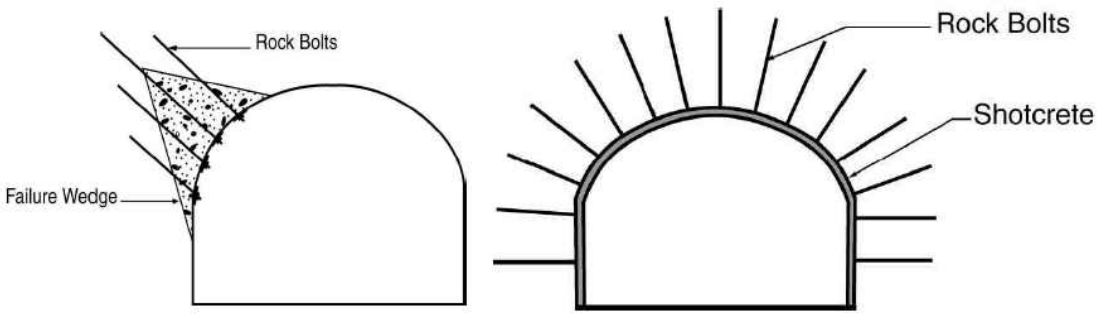


그림 13. 록볼트 및 숏크리트 설치

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 미래철도기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 미래철도기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.