

## 제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 "일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 개발 기획" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016년 7월

주관연구기관명 : 충남대학교 산학협력단  
주관연구책임자 : 임 남 형  
연 구 원 : 배 현 응  
" : 박 범 호

공동연구기관명 : 한국철도기술연구원  
공동연구책임자 : 강 윤 석  
연 구 원 : 배 영 훈  
" : 문 지 호  
" : 이 승 정

공동연구기관명 : 한국철도시설공단  
공동연구책임자 : 박 병 주  
연 구 원 : 최 유 복  
" : 박 상 구



## 보고서 요약서

과제고유번호	15RDPP-C102410-01	해당 단계 연구기간	2015.08.28 ~2016.06.27	단계구분	최종보고서
연구사업명	국토교통연구기획사업				
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 개발 기획			
연구책임자	임남형	총연구기간 참여 연구원 수	총: 10명 내부: 명 외부: 명	총연구비	정부: 50,000 천원 민간: 천원 계 : 50,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	충남대학교 산학협력단, 한국철도기술연구원, 한국철도시설공단			참여기업명:	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요약				보고서 면수	214
<p>최근 국내외적으로 열차 탈선/충돌에 의한 큰 사고가 종종 발생하였음. 인명피해로 이어지는 열차사고는 대부분 탈선 또는 충돌에 의한 사고이며, 이러한 사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 크므로 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대비책이 필요함.</p> <p>이를 위해서는 탈선방호와 관련한 안전 확보에 대한 효과 입증 분석방법 및 효율성 및 타당성 판단근거가 기술적으로 필수적이거나 이에 대한 기술은 국내에서 전무하며 전 세계적으로도 매우 미미한 수준임. 열차의 탈선/충돌 사고에 대하여 국가 안전정책을 고려한 국가 인프라 재난대응 기술 확보를 위해서는 본 연구를 통한 탈선방호시설 성능 기준/평가 기술, 방호등급에 따른 시설물의 설계개념 확립 및 개발에 대한 연구가 반드시 필요함.</p> <p>본 기획연구의 최종목표는 열차의 탈선 후 거동과 시설물과의 충돌하중을 예측/평가하여 탈선된 열차의 방호시설물에 대한 성능 기준과 성능 평가 기술을 개발하고, 이에 대한 효과적인 방호시스템을 개발하기 위한 연구를 기획하는 것임. 최종적으로 탈선열차를 효과적으로 방호하여 자연재해(지진, 강풍, 태풍 등)에 의한 탈선 그리고 인적·사회적 재난(교통수송 기반시설 파괴에 의한 차량탈선 등)에 의한 피해를 최소화를 도모함.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한글	재난안전, 일탈방지방호, 열차탈선, 콘크리트 궤도, 열차충돌			
	영어	Disaster safety, Derailment containment provision, Train derailment, Concrete track, Train collision			



# 요 약 문

## I. 연구과제명

일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 개발 기획

## II. 연구기획의 목적 및 필요성

- 최근 국내외적으로 열차 탈선/충돌에 의한 큰 사고가 종종 발생하였음. 인명피해로 이어지는 열차사고는 대부분 탈선 또는 충돌에 의한 사고이며, 이러한 사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 크므로 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대비책이 필요함. 이에 따라, 열차의 탈선 발생 이후 탈선열차를 의도된 영역내로 구속시킬 수 있는 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 개발을 기획하고자 함.
- 현재 200 km/h 이상의 고속철도 교량상에 일률적으로 설치되고 있는 방호벽(탈선방호시설)은 2004년 국내 고속철도 도입 시 유럽 관행에 따라 도입하였으나, 방호벽의 제원과 시공위치 그리고 설계하중에 대한 산정 근거 및 탈선된 열차의 거동 특성에 대한 공학적 분석 등 실효성과 공학적 타당성에 대한 객관적인 자료 확보가 필요한 실정임.
- 또한 모든 사고원인에 따른 재난사고에 대비해 안전시설을 확충한다는 것은 현실적으로 매우 어려운 사안으로, 사고결과에 따른 인명·사회·경제적인 파급효과, 안전 확보에 필요한 비용과 노력의 양, 국가 예산, 중요도 등을 고려한 효율·타당성을 전문가의 기술적 판단 및 국가차원의 정책적 판단이 필요한 사안임.
- 이를 위해서는 탈선방호와 관련한 안전 확보에 대한 효과 입증 분석방법 및 효율성 및 타당성 판단근거가 기술적으로 필수적이거나 이에 대한 기술은 국내에서 전무하며 전 세계적으로도 매우 미미한 수준임. 열차의 탈선/충돌 사고에 대하여 국가 안전정책을 고려한 국가 인프라 재난대응 기술 확보를 위해서는 본 연구를 통한 탈선방호시설 성능 기준/평가 기술, 방호등급에 따른 시설물의 설계개념 확립 및 개발에 대한 연구가 반드시 필요함.

### Ⅲ. 연구기획의 내용 및 범위

- 본 기획연구의 궁극적인 최종목표를 달성하기 위해서는 통계적으로 탈선/충돌 사고 발생확률이 높은 일반철도의 교량/고성토/곡선/접속부 등 위험개소로의 적용이 급선무이며, 이를 위해서는 사고 위험도 기반의 방호성능 등급/규격화가 가장 중요한 사항으로 중장기적인 연구기간 및 예산이 소요될 것으로 예상됨.
- 그러나 국내 현행법상 고속철도 교량에 국한되고 있는 탈선방호시설에 대한 최적 성능 확보 및 효율화가 현실적으로 당면해 있는 해결기술과제이며, 체계적이고 합리적인 연구개발사업 추진방향 설정 및 연구개발을 도모하기 위해 연구개발의 난이도를 고려한 시급성(Urgency) 및 중요도(Importance)를 평가하여 연구개발 우선순위를 도출함.
- 이에 따라 본연구는 총 5차년도로 구성하였으며, ‘열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술 개발’ 및 ‘교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발’의 총 2가지 테마의 세부과제로 구성됨. 본 연구를 통해 최종적으로 방호성능 등급 및 성능 기준/평가 기술이 개발되며(Academic research), Product로는 방호 성능이 추가·개선된 기존 교량상 콘크리트 궤도와 방호성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도가 개발됨.

### Ⅳ. 연구개발성과의 활용계획 및 기대효과

- 탈선방호시설에 대한 실대형 탈선/충돌 실험은 전 세계적으로 수행된 바 없는 기술로 자체적 철도시스템 안전방재 기술 확보 및 국제 경쟁력 확보에 기여할 수 있으며, 실대형 실험을 통해 검증된 탈선열차와 시설물과의 충돌 시뮬레이션 기법 및 검증 기술은 탈선열차의 방호 메커니즘 및 거동 규명은 철도기준의 선진화 모범 사례로 적극 활용할 수 있음.
- 탈선열차와 시설물과의 충돌 시뮬레이션 기법을 통해 다양한 시설조건(교량, 토공, 접속부 등)에 대한 탈선 안전성 평가에 활용될 수 있으며, 이를 통해 제시되는 열차의 탈선/충돌 사고 위험도 등급별 방호성능 규격화에 따른 최적 탈선방호시설 및 일탈방지방호 성능을 겸하는 신형식 궤도/시설물을 국내기술로 개발이 가능함.
- 급성장하면서 지속적인 투자가 이루어지고 있는 세계 철도시장에서 경쟁력을 발휘할 수 있을 것으로 판단됨.

# 목 차

<b>제1장 기술의 정의 및 필요성</b> .....	<b>1</b>
1절 기술의 정의 및 분류체계 .....	1
1. 기획연구의 배경 .....	1
2. 기술의 정의 및 분류체계 .....	2
가. 기술의 정의 .....	2
나. 기술분류체계 .....	3
다. 탈선 메커니즘 현상 및 탈선열차의 방호 개념 정의 .....	4
2절 기술개발의 필요성 .....	7
3절 기획연구 내용 및 추진전략 .....	14
1. 기획연구 추진체계 .....	14
2. 기획연구 수행내용 .....	16
3. 기획연구 추진전략 .....	18
가. 과제도출 방안 .....	18
나. 시장, 기술, 특허, 정책 등 동향분석 방안 .....	19
다. 우선순위 결정 및 로드맵 작성 방안 .....	20
라. 기획연구 성과목표 및 성과지표 .....	21
<b>제2장 국내외 동향 및 환경분석</b> .....	<b>23</b>
1절 국내외 정책동향 및 적용현황 .....	23
1. 국내 정책동향 및 관련 기준 .....	23
가. 정책동향 .....	23
나. 관련 기준 .....	23
2. 국내 적용 현황 .....	25
3. 국외 관련 기준 및 적용 현황 .....	33
가. 영국(UK) .....	33
나. 독일(Germany) .....	36
다. 중국(China) .....	38

라. 미국(USA) .....	42
마. 일본(Japan) .....	44
바. 프랑스(France, SNCF) .....	46
사. 벨기에(Belgium, SNCB) .....	49
아. 덴마크(Denmark, Great Belt Railway Link & Øresund Link)) .....	49
자. 이탈리아(Italy, High Speed Railway) .....	50
차. 스페인(Spain, High Speed Railway) .....	51
카. 네덜란드(Netherlands, HSL-Zuid Project) .....	52
4. 국내외 탈선방호시설 관련 현황 요약 .....	53
<b>2절 연구개발 동향 분석 .....</b>	<b>61</b>
1. 3P(Patent, Paper, Product) 분석 방법 .....	61
가. 분석 범위 .....	61
나. 기술 분류 .....	62
2. 기술(특허, 논문) 동향 .....	63
가. 특허 기술 동향 .....	63
나. 논문 기술 동향 .....	78
다. 기술 동향 분석 결론 .....	85
라. 세부기술 분석 .....	87
3. 시장현황 및 전망 .....	104
가. 글로벌 철도시장 현황 .....	104
나. 글로벌 철도 인프라 시장현황 .....	106
다. 궤도시스템 유지보수 시장 .....	109
<b>3절 국내 연구개발 인프라 분석 .....</b>	<b>111</b>
1. 국내 관련분야 연구기관 및 인력 .....	111
2. 국내 관련분야 연구시설 및 장비 .....	112
<b>제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략 .....</b>	<b>113</b>
<b>1절 비전 및 목표 .....</b>	<b>113</b>
<b>2절 기술개발에 따른 미래상 .....</b>	<b>114</b>
1. As-Is To-Be 분석 .....	114
가. 국내 현재 시스템(As-Is) .....	114

나. 향후 미래 시스템(To-Be) .....	118
다. 현재-미래 Gap 분석 .....	121
라. As-Is To-Be 분석 .....	123
2. 기대효과 및 미래상 .....	125
<b>3절 연구개발 과제 구성 .....</b>	<b>126</b>
1. 연구개발 후보과제 우선순위 도출 .....	126
가. 연구개발 후보과제 .....	126
나. 후보과제 우선순위 .....	127
2. 연구개발 후보과제 연구 추진방향 .....	129
3. 연구개발 과제구성 .....	130
<b>4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략 .....</b>	<b>131</b>
1. 성능 기준 및 평가 기술 기획 .....	131
가. 탈선방호시설물 성능 평가 기법(실물충돌시험의 필요성) .....	131
나. 방호시설물 설치비용 분석을 통한 경제성 검토 방안 .....	138
2. 기술요건 및 설계/시공/유지보수 기술 기획 .....	145
가. 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도의 요구 성능 .....	145
나. 일탈방호시설물 인터페이스 검토 .....	148
다. 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 방안 .....	150
라. 탈선열차 충돌 시 교량상 PCL 캄플레이트 성능확보 검토 .....	153
마. 기존 및 신형식 콘크리트 궤도의 성능 평가 실험 .....	154
바. 일탈방호 성능을 갖는 궤도/시설물의 접속부 적용기술 기획 .....	155
3. 제도개선 및 실험 현장 구축방안 기획 .....	156
가. 실험 성능실험 현장조사 및 향후 실험현장 구축방안 기획 .....	156
나. 실용화를 위한 제도개선 방안 기획 .....	161
<b>5절 연구추진체계 .....</b>	<b>162</b>
<b>6절 기술/성과 로드맵 .....</b>	<b>163</b>
1. 단계별 기술 로드맵 .....	163
2. 단계별 성과맵 .....	165

**제4장 자원투입 계획 ..... 169**

**1절 연구시설 및 장비 투입계획 ..... 169**

- 1. 연구시설 현황 ..... 169
  - 가. 개발기술 성능 시험 ..... 169
  - 나. 실험용 탈선/충돌 실험 ..... 169
- 2. 장비 투입계획 ..... 169

**2절 인력투입계획 ..... 171**

- 1. 1세부 과제: 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발 ..... 171
- 2. 2세부 과제: 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발 ..... 173
- 3. 세부과제 주요 연차별·공정별 인력투입계획 ..... 175

**3절 소요예산 투입계획 ..... 176**

- 1. 총괄 연차별 소요예산 ..... 176
- 2. 1세부 과제 ..... 177
  - 가. 연차별 소요예산 ..... 177
  - 나. 주요 연구시설 및 연구장비·재료비 ..... 178
  - 다. 세부 연구활동별 소요예산 ..... 179
- 2. 2세부 과제 ..... 182
  - 가. 연차별 소요예산 ..... 182
  - 나. 주요 연구시설 및 연구장비·재료비 ..... 183
  - 다. 세부 연구활동별 소요예산 ..... 184

**제5장 과제공모 방안 ..... 187**

**1절 과제제안 요구서(RFP) ..... 187**

**2절 평가방법 및 기준 ..... 195**

- 1. 질적성과에 대한 성과점검기준표 ..... 195
  - 가. 총괄 성과목표 및 성과지표 ..... 195
  - 나. 연차별 성과목표 및 성과지표 ..... 196
- 2. 양적성과에 대한 성과점검기준표 ..... 200
  - 가. 총괄 성과목표 및 성과지표 ..... 200
  - 나. 연차별 성과목표 및 성과지표 ..... 202

<b>부록. 사전타당성 검토 .....</b>	<b>207</b>
1. 철도시장 동향 .....	208
2. 사업성 .....	210
3. 경제적 가치 .....	210
4. 종합결론 .....	212
 <b>참고문헌 .....</b>	 <b>213</b>



# 표 목 차

표 1.1	탈선열차의 일탈방호를 위한 DCP 타입	6
표 1.2	국외 열차 탈선/충돌사고 사례 및 피해규모	8
표 1.3	국내 최근 탈선/충돌사고 사례 및 피해규모	11
표 1.4	연구수행기관별 주요 기획연구 내용	16
표 1.5	주요 연구활동 및 세부 연구내용	17
표 1.6	기획연구 성과점검기준표	21
표 2.1	국내 방호벽 설치현황(설계속도 200 km/h 초과, 2014.07 기준)	28
표 2.2	국내 방호벽 설치 위치 및 높이	30
표 2.3	Barrier에 작용하는 열차 충돌하중(CHSTP)	42
표 2.4	국내외 탈선방호시설 관련 현황	53
표 2.5	특허(Patent) 분석 기준	61
표 2.6	논문(Paper) 분석 기준	61
표 2.7	기술 분류	62
표 2.8	주요 특허 현황(피인용도 순)	75
표 2.9	핵심 논문 현황(피인용순)	82
표 2.10	최근 논문 현황 (3년 내 발표논문)	84
표 2.11	글로벌 철도시장 현황(단위: 억유로)	104
표 2.12	국내 관련분야 연구기관의 보유 연구시설 및 장비 현황	112
표 3.1	국내 방호벽 기하조건(직선구간)	115
표 3.2	주요 연구목표 및 연구내용	130
표 3.3	열차 탈선-충돌 관점에 따른 수치해석 모델 고려조건	137
표 3.4	탈선/충돌 사고 등급화에 따른 방호성능등급 예시	137
표 3.5	케도시스템별 초기투자비 비교(직선기준 F.L-R.L=500 mm)	138
표 3.6	국내 현 방호벽 건설비(호남고속철도 기준)	138
표 3.7	탈선사고에 의한 물적피해	141
표 3.8	탈선 후 피해 확대사고에 의한 물적피해	141
표 3.9	탈선/충돌사고에 의한 인적피해	142
표 3.10	탈선 후 피해 확대사고에 의한 인적피해	143
표 3.11	탈선 후 피해 확대사고 발생빈도	143
표 3.12	사고 발생 시 피해(Consequence)	144
표 3.13	탈선 후 피해 확대사고에 대한 위험도(Risk)	144
표 3.14	일탈방호시설의 내하성능 등급	145
표 3.15	일탈방호시설의 유지관리성능 등급	146
표 3.16	건축한계 및 차량한계 레일부 상세	148

표 3.17 Precast Concrete Plinth 설치 방안 비교 분석 .....	151
표 3.18 케미칼 앵커 충돌하중 검토 조건 .....	152
표 3.19 단계별 성과맵(질적성과) .....	165
표 3.20 질적성과에 따른 양적성과(1) .....	165
표 3.21 질적성과에 따른 양적성과(2) .....	166
표 3.22 단계별 성과맵(양적성과)_총괄 .....	166
표 3.23 단계별 성과맵(양적성과)_1세부 .....	167
표 3.24 단계별 성과맵(양적성과)_2세부 .....	167
표 4.1 1세부 과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획 .....	172
표 4.2 2세부 과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획 .....	174
표 4.3 세부과제 주요 연차별·공정별 인력투입계획(Man-month 투입량) .....	175

## 그림 목차

그림 1.1 일반철도 가드레일 .....	1
그림 1.2 고속철도 방호벽(교량의 안전시설) .....	2
그림 1.3 타고오름(Wheel-Climbing)에 의한 탈선현상 .....	4
그림 1.4 열차차체방호 개념 .....	5
그림 1.5 열차차체방호를 위한 Barrier 설계 .....	5
그림 1.6 최근 대표적 탈선/충돌사고 피해 사례 .....	7
그림 1.7 열차사고종류에 따른 사고건수 .....	12
그림 1.8 기획연구 추진체계 .....	14
그림 1.9 기획연구팀 구성 .....	15
그림 1.10 연구개발 흐름도 .....	18
그림 1.11 3P분석 Process .....	19
그림 1.12 사업타당성 분석 Flow chart .....	20
그림 1.13 우선순위 결정 및 로드맵 작성 방안 .....	20
그림 2.1 일반철도 가드레일 .....	23
그림 2.2 경부고속철도 1단계(Ballast Track) .....	26
그림 2.3 경부고속철도 2단계, 호남고속철도(Concrete Slab Track) .....	27
그림 2.4 국내 방호벽 설계방법 .....	29
그림 2.5 국내 방호벽 높이 설정 개념(호남고속철도) .....	30
그림 2.6 국내 방호벽 제원(Unit: mm) .....	31
그림 2.7 탈선열차의 일탈방지방호 개념(UK-RSSB) .....	33
그림 2.8 탈선열차의 일탈방지방호 개념(UK-NR) .....	34
그림 2.9 교량 상부 단면(UK-CTRL Project) .....	35
그림 2.10 탈선열차의 일탈방지 개념(Germany) .....	36
그림 2.11 콘크리트 궤도에서 완충 목적의 자갈(Germany) .....	36
그림 2.12 Zigeunergraben, Oberbruch, Frauenwald, Bauerbach Bridge -PSC 박스거더교 표준단면(Germany) .....	37
그림 2.13 Nantenbach, Kragenhöfer Bridge-이중합성 연속 트러스교(Germany) .....	37
그림 2.14 Mulde River Bridge-PSC Slab교(Germany) .....	37
그림 2.15 가드레일(Guard rail) .....	38
그림 2.16 자갈궤도 교량 단면(China) .....	39
그림 2.17 콘크리트 궤도 교량 단면-작업통로 확보시(China) .....	39
그림 2.18 콘크리트 궤도 교량 단면-작업통로 미확보시(China) .....	39
그림 2.19 방호벽 높이(China) .....	40
그림 2.20 홍콩의 일탈방지벽1(China) .....	40
그림 2.21 홍콩의 일탈방지벽2(China) .....	41

그림 2.22 CHSTP의 PSC 박스거더교 표준단면(USA) .....	42
그림 2.23 CHSTP의 방호벽(Fresno River Bridge, USA) .....	43
그림 2.24 Dai-San Mabuchi-gawa Bridge-연속상로아치교(Japan) .....	44
그림 2.25 The 2nd Chikuma River Bridge-사장교(Japan) .....	44
그림 2.26 Kurobegawa Bridge-파형강관 복부판 PC교(Japan) .....	44
그림 2.27 Hokuri kudo Kado Bridge-충진강관 복합거더교(Japan) .....	45
그림 2.28 Nishi-Gojodori Kado, Tantogawa, Otsugawa, Kita-Mikawa Bridge -하로 U형 거더교(Japan) .....	45
그림 2.29 Sendaikawa bridge, Natori River Bridge-PC 사판교(Japan) .....	45
그림 2.30 Kokaigawa Bridge-소수주형 합성거더교(Japan) .....	45
그림 2.31 Peage A7 Bridge-하로 강아치교(France) .....	46
그림 2.32 Arc River Bridge-상로 트러스 아치교(France) .....	46
그림 2.33 St.Andre Bridge-하로 판형교(France) .....	47
그림 2.34 Grenette Bridge-PSC 박스거더교(France) .....	47
그림 2.35 St.Genies, Drôme, Cavaillon Bridge-소수주거더교(France) .....	47
그림 2.36 Ventabren Bridge-PSC 박스거더교(France) .....	48
그림 2.37 Vernegues Bridge-원형 박스거더교(France) .....	48
그림 2.38 Garde-Adhemar Bridge-하로 연속 강아치교(France) .....	48
그림 2.39 Bonpas, Mornas, Mondragon Bridge-하로 강아치교(France) .....	49
그림 2.40 Jose, Herve, Battice, Ruyff Bridge-2중 박스거더교(Belgium) .....	49
그림 2.41 고속철도 교량 상부 주요 단면(Italy) .....	50
그림 2.42 고속철도 교량 상부 주요 단면(Spain) .....	51
그림 2.43 Ebro River Bridge-하로 PSC 박스형 거더교(Spain) .....	51
그림 2.44 Concrete Plinth(Netherlands) .....	52
그림 2.45 출원년도 및 국가별 출원추이 .....	63
그림 2.46 기술분류별 출원추이 .....	64
그림 2.47 주요 출원인 동향 .....	65
그림 2.48 연도별 주요 출원인 동향 .....	66
그림 2.49 주요출원인별 역점기술 .....	67
그림 2.50 국가별 기술분포(방사형) .....	68
그림 2.51 기술별/국가별 기술분포(버블형) .....	69
그림 2.52 세부기술별/국가별 기술분포(A기술) .....	69
그림 2.53 세부기술별/국가별 기술분포(B기술) .....	70
그림 2.54 세부기술별/국가별 기술분포(C기술) .....	70
그림 2.55 국가별 특허 점유현황 .....	71
그림 2.56 출원특허 대비 우선권특허 현황 .....	71
그림 2.57 국가별 출원건수 및 시장확보지수 .....	72
그림 2.58 국가별 인용도지수 .....	73

그림 2.59	국가별 영향력지수 및 기술력지수 .....	73
그림 2.60	특허登高선 맵 .....	74
그림 2.61	TDA cross-correlation matrix .....	76
그림 2.62	연도별 논문 발표 추이 .....	78
그림 2.63	국가별 논문 발표 추이 .....	79
그림 2.64	주요기관별 논문 발표 현황 .....	80
그림 2.65	주요저자별 논문 발표 현황 .....	81
그림 2.66	기술분류에 따른 주요저자별 논문 발표 현황 .....	81
그림 2.67	철도차량의 탈선 테스트 장비 특허(AC기술) .....	87
그림 2.68	레일체결장치 관련 특허(BC기술) .....	88
그림 2.69	레일고정지그 관련 특허(BC기술) .....	88
그림 2.70	충돌사고 방지관련 특허(BC기술) .....	89
그림 2.71	열차 탈선 후 일탈방지시설 관련 특허(CA기술) .....	90
그림 2.72	국내 일탈방지시설 관련 특허(CA기술) .....	91
그림 2.73	독일 일탈방지시설 관련 특허(CA기술) .....	91
그림 2.74	일본 탈선방호벽 관련 특허(CC기술) .....	92
그림 2.75	국내 탈선방호벽 관련 특허(CC기술) .....	92
그림 2.76	신형식 콘크리트 궤도 관련 특허(EA기술) .....	93
그림 2.77	탈선사고에 대한 위험도 평가 관련 논문(DA기술) .....	95
그림 2.78	탈선 메커니즘 및 탈선사고 원인분석 관련 논문(DA, AA기술) .....	96
그림 2.79	화물열차의 탈선 위험도 평가 관련 논문(DA기술) .....	97
그림 2.80	탈선열차의 타교통시스템 침범 방호 설계 관련 논문(CC기술) .....	98
그림 2.81	탈선열차의 침범 방호 설계 관련 논문(CC기술) .....	99
그림 2.82	탈선열차의 방호벽 설계 관련 논문(CC기술) .....	99
그림 2.83	탈선 메커니즘 및 시뮬레이션 관련 논문(AA기술) .....	100
그림 2.84	탈선 메커니즘 및 탈선 안전성 분석 관련 논문(AA, AB기술) .....	101
그림 2.85	탈선 후 거동 해석 관련 논문(AC기술) .....	101
그림 2.86	탈선 안전성 평가/분석을 위한 해석 관련 논문(AB기술) .....	102
그림 2.87	탈선 후 거동 해석 관련 논문(AC기술) .....	102
그림 2.88	2013-2018 글로벌 철도시장 동향 .....	104
그림 2.89	Market volume and market growth by product segment .....	105
그림 2.90	2010-2020 글로벌 인프라 투자(지출) 현황 .....	106
그림 2.91	Rail Market: Forecast Overview of Key Rail Parameters, Global, 2013 and 2020 .....	106
그림 2.92	2010-2020 글로벌 인프라 투자(지출) 현황 .....	107
그림 2.93	2011-2020 고속철도 인프라 투자현황 .....	108
그림 2.94	2012-2020년 글로벌 고속철도망 인프라스트럭처 현황 .....	108
그림 2.95	The World Market for Railway Infrastructure Maintenance (2011) .....	109

그림 2.96	케도시스템(Track system) 분야 기업별 시장 점유율(%)	109
그림 3.1	연구개발 최종목표	113
그림 3.2	국내 방호벽 기하조건	115
그림 3.3	탈선-충돌 시뮬레이션(KTX 300 km/h 주행)	117
그림 3.4	탈선방호시설의 적용 확대 필요성	118
그림 3.5	주행레일의 일탈방호 역할 개념도(기하조건)	119
그림 3.6	케간 내 일탈방호시설 개념도(기하조건)	119
그림 3.7	주행레일의 일탈방호 역할 개념도(설계하중)	120
그림 3.8	벽체의 충돌 내구성 상향 설계 개념도(설계하중)	120
그림 3.9	케간 내 일탈방호시설 개념도(설계하중)	121
그림 3.10	도로 차량방호 안전시설의 실물 성능평가지험	122
그림 3.11	As-Is To-Be 분석	123
그림 3.12	연구개발 주요 Agenda	124
그림 3.13	안전이 최우선시 되는 철도 미래	125
그림 3.14	연구개발 후보과제	126
그림 3.15	연구개발 후보과제 우선순위 평가	127
그림 3.16	본 연구 개념도	129
그림 3.17	탈선 후 거동 영향	131
그림 3.18	열차간 충돌실험 및 시뮬레이션 검증 예	132
그림 3.19	열차 탈선-충돌 수치 시뮬레이션 예	132
그림 3.20	Push system	133
그림 3.21	Reverse towing system	133
그림 3.22	충돌하중의 선형성	134
그림 3.23	트럭종류별 충돌속도에 따른 충돌하중	134
그림 3.24	도로 차량방호 안전시설 성능평가지험 절차	136
그림 3.25	Intrusion Barrier Structure(AASHTO)	137
그림 3.26	탈선방호 성능확보 비용 검토	139
그림 3.27	탈선/충돌 사고에 대한 위험도(Risk)	139
그림 3.28	위험도 감소 대책 수립 개념	140
그림 3.29	건축한계와 TCL 상면과의 여유 공간(System 300-1)	149
그림 3.30	건축한계와 TCL 상면과의 여유 공간(SFC)	149
그림 3.31	케미컬 앵커 시공 방법	150
그림 3.32	Water Jet를 이용한 콘크리트 파쇄	151
그림 3.33	Hollow Box 구조를 이용한 충격 흡수 가드레일(미국)	151
그림 3.34	케미컬 앵커를 이용한 Precast Concrete Plinth 시공(안)	152
그림 3.35	탈선방호시설물 성능평가 실내/현장 실험(예)	154
그림 3.36	일탈방호시설물 교대 접속부 적용기술(예)	155

그림 3.37 고속철도 영동기지 충돌시험장 .....	157
그림 3.38 국내 철도 유희부지 현황 .....	158
그림 3.39 경전선 폐선/폐역 예정 구간 .....	159
그림 3.40 태백선 폐선/폐역 구간 .....	159
그림 3.41 전라선 폐선/폐역 구간 .....	160
그림 3.42 철도종합시험선로 부지 .....	160
그림 3.43 본 연구의 연구추진체계 .....	162
그림 3.44 단계별 기술 로드맵 .....	164
그림 4.1 1세부 과제 주요 Activity에 대한 공정 .....	171
그림 4.2 2세부 과제 주요 Activity에 대한 공정 .....	173

# 제1장 기술의 정의 및 필요성

## 1절 기술의 정의 및 분류체계

### 1. 기획연구의 배경

- 국내 철도시스템의 운행속도 향상 및 이용객 수의 지속적 증가에 따라 국민의 철도안전 기대수준 및 안전방재 기술의 중요성이 부각되고 있다. 철도에서 발생하는 대형사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 큰 재난사고로 볼 수 있다. 극심한 인명피해로 이어지는 철도사고는 대부분 열차의 탈선 또는 충돌에 의한 사고로, 이에 대한 사고원인을 원천적으로 예방/제거하는 것이 이상적인 대비이나 인적·자연적 재해 등 예기치 못한 사고에 대비하여 그 피해를 경감/최소화하기 위한 물리적 수단을 강구할 필요성이 있으며 이를 탈선열차에 대한 ‘방호’ 개념으로 볼 수 있다.
- 국내 탈선열차의 방호와 관련된 기준은 가장 상위에 「철도안전법」이 있다. 철도안전법 “제25조 철도시설의 기술기준”에 따르면, ‘탈선방지시설’로서 급곡선부(곡선반경 300 m 미만)와 탈선위험개소에 가드레일 등을 설치하도록 하고 있으며, ‘선로안전시설’로서 차축온도검지장치, 지장물검지장치 등을 운행속도 180 km/h 이상에 설치하도록 하고 있다. 또한, ‘교량의 안전시설’로서 18 m 이상의 교량에 한하여 탈선열차에 대한 피해 최소화 대책으로 가드레일 또는 방호벽 등을 설치하도록 하고 있다.
- 실질적으로 일반철도에서는 선로유지관리지침에 따라 급곡선부에 탈선방지가드레일을 설치하고 18 m 이상 교량에 교상가드레일을 설치하고 있으며, 고속철도에서는 철도설계지침 및 편람(KR C-02060)에 따라 교량 상판에 부설해야하는 시설물로서 방호벽을 설치하고 있다. 이 방호벽은 ‘탈선방호시설’로서 탈선 시 열차의 수평 이탈을 제어 할 수 있도록 교축직각방향 수평하중 150 kN으로 설계하도록 되어있으나 위치(이격거리) 및 높이에 대한 규정은 없다.



(a) 탈선방지시설



(b) 교량의 안전시설

그림 1.1 일반철도 가드레일



(a) 경부고속철도 1단계



(b) 호남고속철도

그림 1.2 고속철도 방호벽(교량의 안전시설)

- 현재 200 km/h 이상의 고속철도 교량상에 일률적으로 설치되고 있는 방호벽(탈선 방호시설)은 2004년 국내 고속철도 도입 시 유럽 관행에 따라 도입하였으나, 방호벽의 제원과 시공위치 그리고 설계하중에 대한 산정 근거 및 탈선된 열차의 거동 특성에 대한 공학적 분석 등 실효성과 공학적 타당성에 대한 객관적인 자료 확보가 필요한 실정이다.

## 2. 기술의 정의 및 분류체계

### 가. 기술의 정의

- 본 연구기획의 기술은 크게 철도시스템 안전방재와 관련한 것으로써 탈선된 열차를 대상으로 하는 ‘피해 최소화 안전시설물’과 관련된다.
  - 여기서 ‘안전’이라 함은 사고가 발생되지 않고 있는 상태를 말하는 것이 아닌 위험요인이 존재하더라도 잠재위험의 예측을 통한 대책이 수립된 상태의 공학적 안전(Engineering safety)을 말한다.
  - 여기서 ‘피해 최소화’라 함은 모든 사고상황에 대해 대비할 수 없는 대규모 재해가 발생하였을 때 그 피해정도를 완화/경감(Damage minimization)시켜 원상태로 최대한 빠르게 복원할 수 있도록 강구하는 것을 말한다.
- 안전시설물 중 열차의 탈선과 관련된 것은 크게 ‘탈선방지시설’과 ‘탈선방호시설’로 구분할 수 있다.
  - 여기서 ‘방지(防止)’라 함은 열차의 탈선(Derailment) 현상자체가 일어나지 못하게 막는 것으로 예방(豫防, Prevention)의 의미를 말한다.
  - 여기서 ‘방호(防護)’라 함은 열차의 탈선 발생 이후에 어떤 구조물 또는 시설 등

을 탈선된 열차의 물리적 충돌 또는 침범으로부터 막아 보호(保護, Protection)하는 것을 말한다.

- 본 연구기획의 기술은 안전시설물 중 ‘탈선방호시설(Protection)’과 관련되며, 탈선 방지(Prevention)의 개념과의 혼동을 피하기 위해 그 시점에 따른 용어의 의미를 명확히 정의할 필요가 있다. 열차의 탈선 시점에 따라 차륜의 ‘이탈’과 ‘일탈’로 구분할 수 있다.
  - 여기서 ‘이탈(離脫)’이라 함은 어떤 범위/대열에서 떨어져 나오는 것(Leave)을 의미하는 것으로 주행레일로부터 차륜이 탈선(脫線, Derailment)되는 시점을 말한다. 통상적으로 탈선으로 칭한다.
  - 여기서 ‘일탈(逸脫)’이라 함은 정해진 영역에서 벗어나는 것(Deviation)을 의미하는 것으로 차륜이 주행레일에서 이탈된 후 선로(궤도) 영역 외로 과도하게 이탈되는 시점을 말한다. 넓은 의미에서 일탈은 탈선으로 그 의미를 같이할 수 있으나 본 기술의 범위를 명확히 하기 위해 탈선이 발생하는 시점과 탈선 후의 열차 거동 시점을 구분한다.
- ‘탈선방호시설’은 사고의 규모(Scale) 또는 위험도(Risk)에 따라 그 성능/기능이 달라질 수 있다.
  - 탈선방호시설: 탈선에 대한 모든 성능의 방호시설물을 총칭.
  - 일탈방호시설: 의도된 영역 외로 일탈(과도한 이탈)을 방호하는 성능의 시설물. ‘Derailment Containment Provisions(DCP)’

#### 나. 기술분류체계

- 본 연구기획의 기술 분류는 「국가과학기술표준분류체계」에 의해, “건설/교통 - 철도교통기술” 분야의 ‘철도시스템 안전방재’ 및 ‘궤도토목기술’에 해당되며,
- 「국가중점과학기술 코드」에 의해, “걱정 없는 안전사회 구축 - 사회적 재난대응 체계 확보” 분야의 ‘기반시설 기능유지 및 복구·복원 기술’에 해당된다.
  - ※ 국가 인프라(국가기반시설)의 재난재해 안전성평가 진단·관리 및 대규모 재난이 발생한 경우 최소 기능을 유지하도록 관리함으로써 피해를 최소화하며, 대규모 복합재난 발생으로 인한 피해를 신속히 복구하여 추가적인 피해를 방지할 수 있는 기술>

다. 탈선 메커니즘 현상 및 탈선열차의 방호 개념 정의

- 철도차량의 탈선은 크게 차량결합, 운중감소 등에 의한 차륜의 레일 타고오름 (Wheel-Climbing) 탈선, 그리고 궤도틀림, 체결구 이상 등 궤도결함에 의해 차륜이 떨어지는 탈선 등이 있다. 저속의 경우 대부분 편성열차의 중간 또는 후미에서 탈선이 발생되며, 고속의 경우 동력차에서 탈선될 확률이 높다.

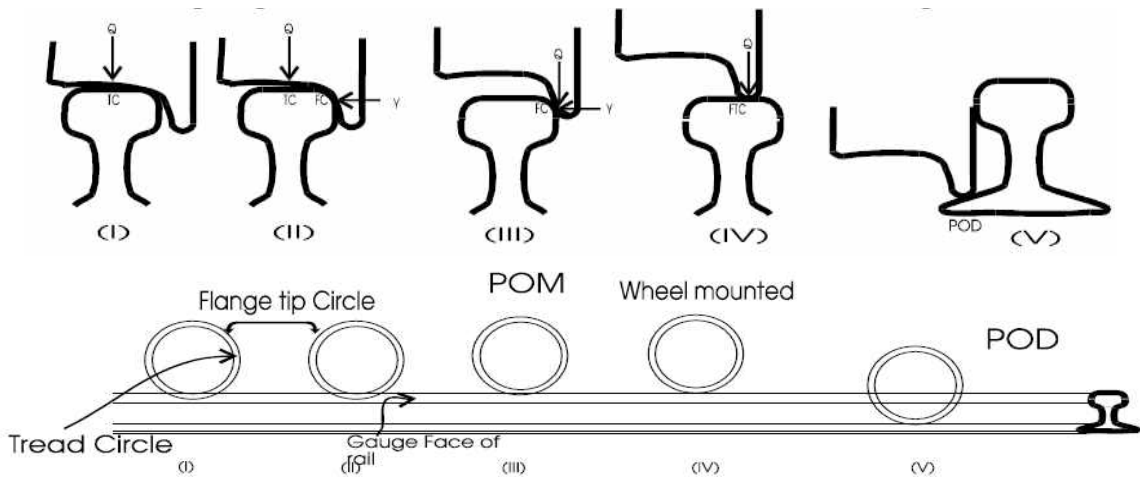


그림 1.3 타고오름(Wheel-Climbing)에 의한 탈선현상

- 고속에서 탈선된 객차는 궤도를 이탈하여 교량 외측으로 진행되나, 후속 객차의 구속으로 인해 진행방향에 변화가 발생된다. 이러한 거동을 고려하여 자갈, 레일 또는 방호벽과의 충돌/마찰에 의해 의도된 영역 내에 열차를 위치시키는 방법을 탈선열차의 이탈방호라 할 수 있다.
- 탈선 발생 후 탈선열차의 방호는 크게 두 가지 개념으로 구분된다. 첫 번째는 ‘열차차체방호’ 개념이며, 두 번째는 ‘이탈방호’의 개념이다. 열차 차체의 방호는 말 그대로 탈선열차 차체의 탈선 운동을 억제하여 정지시키는데 목적이 있는 방안이고, 이탈방호는 탈선된 열차를 의도된 구역(궤도영역) 내로 구속시키는데 목적이 있는 방안이다. 두 개념은 다른 구조물 또는 다른 열차와의 충돌 방지, 교량 또는 고성토구간 노반 아래로의 추락 방지, 전도 방지 등의 최종 목적 관점(피해 확대 방지)에서는 동일하나, 그 방안에 대한 개념의 차이로 인한 설계방법에는 큰 차이가 있다.

(1) 열차차체방호 (Protection Barrier/Intrusion Protection)

- 탈선된 열차의 인접 구조물 충돌 또는 타 교통시스템으로의 침범 등을 막기 위해 레도 외부에 Barrier가 설치되며, 탈선열차의 운동을 억제하여 정지시키기 위해 열차 차체(Train body level)에서 방호하게 된다(그림 1.4).

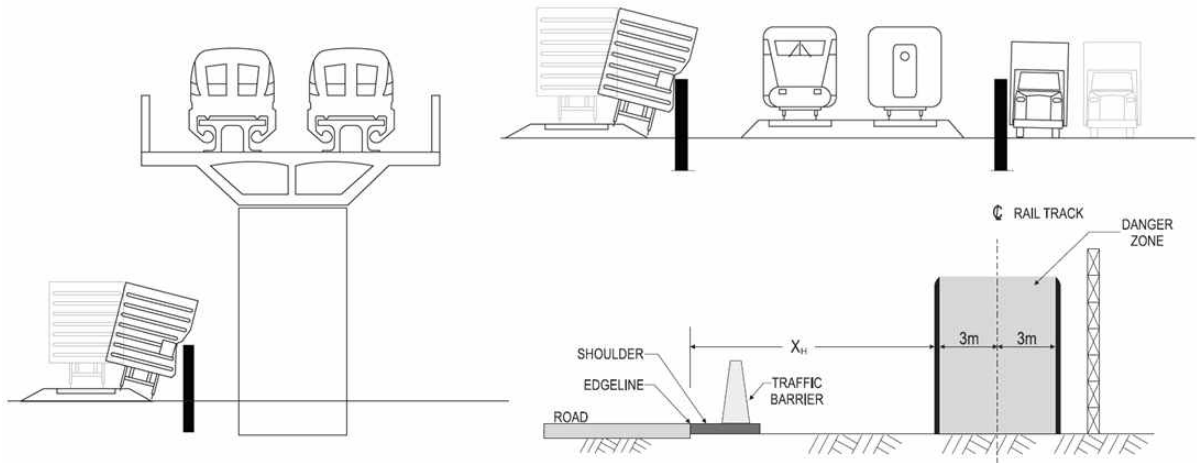


그림 1.4 열차차체방호 개념

- 탈선된 열차 차체를 방호하기 위해서는 Barrier를 강성설계가 아닌 연성설계를 통해 차량과 벽 충돌 시, 충격을 흡수할 수 있는 역할로 설계하여야 된다. 미국의 AASHTO 교량 설계시방서(AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2007)에서는 이러한 Barrier를 설계하기 위해 항복선 이론(Yield line analysis) 및 파괴 모드 해석(Failure mode analysis)에 의한 강도검토를 통해 연성설계를 하도록 제시하고 있다(그림 1.5).

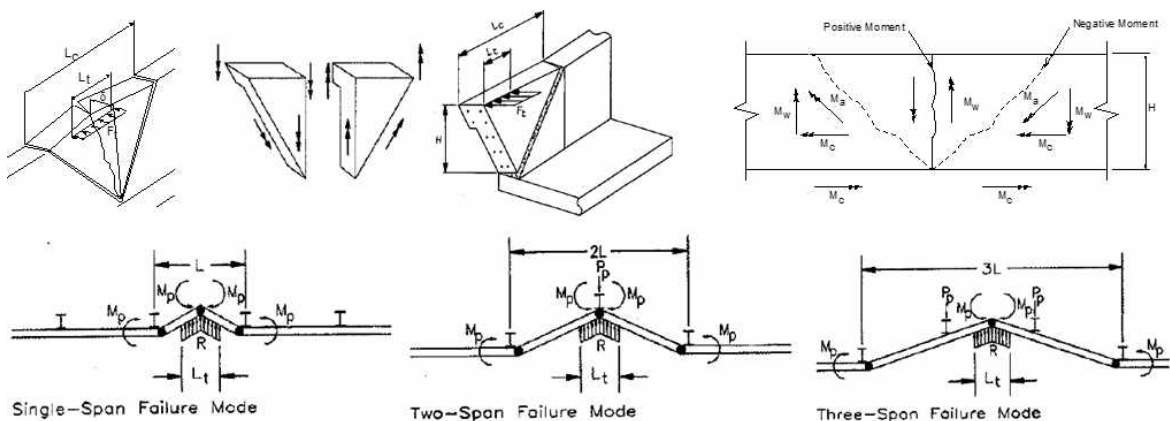


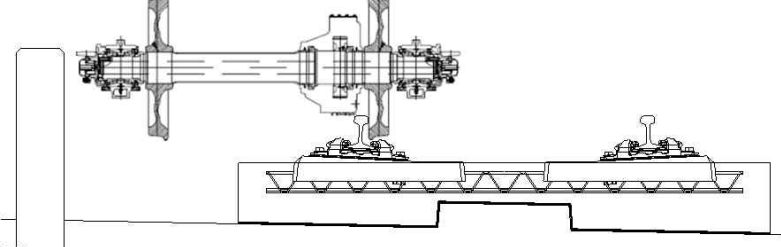


그림 1.5 열차차체방호를 위한 Barrier 설계

(2) 일탈방호(Containment Wall/Retaining Curb)

- 탈선에 의한 2차적 피해 확대의 가능성을 최소화시키기 위해 매우 견고한 벽 또는 다른 형태의 Wall(또는 Curb)이 설치되며, 탈선열차를 의도된 구역(궤도영역) 내로 위치시키도록 하기위해 차륜(Wheel level) 또는 차축(Bogie level)에서 벽체가 파괴되지 않도록 강성설계가 되어야 된다. 즉, 인접 구조물 또는 열차와의 충돌/침범 방지 등의 목적에 있어서는 Barrier와 동일하나 설계방법에서는 큰 차이가 있다.
- 유럽에서는 이러한 탈선열차의 일탈방호시설 또는 대책을 ‘DCP’(Derailment Containment Provisions)라 지칭하고 DCP의 일반적인 타입을 표 1.1과 같이 크게 3가지로 분류하고 있다.

표 1.1 탈선열차의 일탈방호를 위한 DCP 타입

<p>◦ <b>DCP Type 1</b></p> <p>- Installed <u>Between Running Rails</u> ▶ Retaining <u>Wheel Level</u></p> 
<p>◦ <b>DCP Type 2</b></p> <p>- Installed <u>Outside of Running Rails</u> ▶ Retaining <u>Wheel Level</u></p> 
<p>◦ <b>DCP Type 3</b></p> <p>- Installed <u>Outside of Running Rails</u> ▶ Retaining <u>Bogie Level</u></p> 






## 2절 기술개발의 필요성









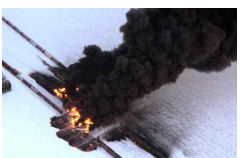


- 2014년 제16차 국가과학기술자문회의에서 청와대는 “재난안전 분야의 연구·개발을 확대하고 연구성과를 재난대응에 적극 활용하는 등 과학기술에 기반을 둔 재난안전을 구체화해 나가야한다”는 정책기조를 발표하였다.
- “제52차 중앙안전관리위원회”(‘14.10)에서 안전과 관련된 **수** 영역을 조사하는 안전대진단을 시행키로 확정함에 따라 **국토교통 안전진단 추진단**이 결성되고 2015년 4월 30일까지 **철도시설 국가안전대진단**이 실행되었다. 국토교통부에서는 안전진단결과를 토대로 **안전투자를 확대**하고 **법·제도 선진화 과제**를 발굴하여 **안전산업 발전 인프라** 구축을 추진할 계획에 있다.
- 최근 국내외적으로 열차 탈선/충돌에 의한 큰 사고가 종종 발생하였다. 인명피해로 이어지는 열차사고는 대부분 탈선 또는 충돌에 의한 사고이며, 이러한 사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 크므로 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대책이 필요하다.
- 탈선열차를 효과적으로 방호하여 자연재해(지진, 강풍, 태풍 등)에 의한 탈선 그리고 인적·사회적 재난(교통수송 기반시설 파괴에 의한 차량탈선 등)에 의한 피해 최소화를 도모하는 것이 중요하다고 할 수 있다.



그림 1.6 최근 대표적 탈선/충돌사고 피해 사례

표 1.2 국외 열차 탈선/충돌사고 사례 및 피해규모

연번	탈선/충돌 사고사례	피해상황 및 규모
1	독일 고속열차 ICE 탈선-충돌 사고 (1998.06)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 차륜 손상에 의한 열차 탈선 이후 과선교(도로교) 교각 충돌</li> <li>▶ 101명 사망, 100명 부상</li> </ul> 
2	일본 후쿠치야마 선 전철 탈선-충돌 사고 (2005.04)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 속도 초과로 인한 열차 탈선 이후 선로변 아파트 충돌</li> <li>▶ 107명 사망, 562명 부상</li> </ul> 
3	인도 우타르프라데시주 여객열차 탈선사고 (2011.07)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 기관사가 비상브레이크 작동(원인 미파악)</li> <li>▶ 60여명 사망, 100여명 부상</li> </ul> 
4	중국 윈저우 고속열차 CRH 충돌-탈선 사고 (2011.07)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 자연재해(낙뢰)로 인한 열차간 충돌 이후 교량하부 추락</li> <li>▶ 40명 사망, 204명 부상</li> </ul> 
5	인도 우타르프라데시주 여객열차 탈선사고 (2012.05)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 원인 미파악</li> <li>▶ 최소 5명 사망, 수십여명 부상</li> </ul> 

연번	탈선/충돌 사고사례	피해상황 및 규모
6	미국 미주리주 화물열차 탈선-충돌 사고 (2013.05)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 열차 탈선 이후 과선교(도로) 교각 충돌</li> <li>▶ 7명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
7	스페인 고속열차 탈선-충돌 사고 (2013.07)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 속도 초과로 인한 열차 탈선 후 구조물과 충돌</li> <li>▶ 79명 사망, 140명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
8	스위스 여객열차 충돌 사고 (2013.07)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 분기기 장애로 인한 열차 정면충돌</li> <li>▶ 1명 사망, 25명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
9	미국 뉴욕 여객열차 탈선 사고 (2013.12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 속도 초과로 인한 열차 탈선</li> <li>▶ 115명 사망, 61명 부상 / 약 9백만 달러 피해</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
10	미국 노스다코타주 수송열차 탈선-충돌 사고 (2013.12)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 열차 탈선 이후 열차간 충돌 후 폭발</li> <li>▶ 인근 주민 2,300여명 대피, 인명피해 없음.</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
11	인도 여객열차 탈선 사고 (2014.05)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 동력차와 4량의 객차가 탈선한 이후 2량의 객차 전도</li> <li>▶ 18명 사망, 60여명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div>













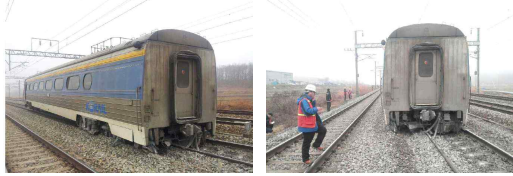

연번	탈선/충돌 사고사례	피해상황 및 규모
12	인도 우타르프라데시주 여객열차 탈선 사고 (2015.03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 역 진입시 정지신호 무시로 인한 열차 탈선</li> <li>▶ 38여명 사망, 150여명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
13	인도 전철 탈선 사고 (2015.06)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 승강장 진입시 열차 탈선</li> <li>▶ 2명 사망, 7명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
14	인도 마디아프라데시주 여객열차 탈선 사고 (2015.08)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 폭우로 인한 지반이 악화된 상태에서 두 열차가 교량에 접근하며 탈선</li> <li>▶ 32명 사망, 70여명 부상</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>
15	프랑스 고속열차 TGV 탈선 사고 (2015.11)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 시험운행 중 곡선부(R=945 m) 속도 초과로 인한 탈선, 차량 및 시설의 결함이 없어 기관실 인적과실로 추정</li> <li>▶ 11명 사망, 16명 부상, 26명 경상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
16	파키스탄 발루치스탄주 여객열차 탈선 사고 (2015.11)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 제동장치 고장으로 추정(조사 중)</li> <li>▶ 최소 13명 사망, 100여명 부상</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

표 1.3 국내 최근 탈선/충돌사고 사례 및 피해규모

연번	탈선/충돌 사고사례	피해상황 및 규모
1	경부선 광명역 고속열차(KTX-산천) 탈선 사고 (2011.02)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 선로전환기 장애로 인한 열차 탈선</li> <li>▶ 인명피해 없음 / 차량 6량, 침목, 선로전환기 등 파손</li> </ul> 
2	호남선 익산-황등 화물열차 탈선 사고 (2013.02)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 차축절손에 의한 열차 탈선</li> <li>▶ 인명피해 없음 / 대차, 침목 1,662개 등 파손</li> </ul> 
3	경부선 대구역 여객열차(무궁화-KTX) 충돌사고 (2013.08)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 운전자 신호위반에 의한 무궁화호-KTX 충돌</li> <li>▶ 21명 부상 / 차량, 시설물 파손(약 154억원)</li> </ul> 
4	경부선 직산-두정역 여객열차(새마을) 탈선 사고 (2014.02)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 축상 과열 탈락에 의한 열차 탈선</li> <li>▶ 2명 부상 / 차량, 선로 파손(약 3억원)</li> </ul> 
5	중앙선 업동-의성 화물열차 탈선 사고 (2014.05)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 레일 좌굴에 의한 열차 탈선</li> <li>▶ 인명피해 없음 / 차량, 선로 파손(약 3,500만원)</li> </ul> 

연번	탈선/충돌 사고사례	피해상황 및 규모
6	태백선 문곡-태백 여객열차(관광-무궁화) 충돌-탈선 사고 (2014.07)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 운전자 신호확인 소홀에 의한 관광열차(O-train)-무궁화호 충돌 후 탈선</li> <li>▶ 1명 사망, 100명 부상/차량 6량, 선로전환기 파손(약 42억원)</li> </ul> 
7	충북선 도안-증평 화물열차 탈선 사고 (2015.06)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 차량 결함에 의한 탈선으로 추정(조사 중)</li> <li>▶ 인명피해 없음</li> </ul> 
8	경부선 신탄진-매포 화물열차 탈선 사고 (2016.03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 차량 파손에 의한 탈선</li> <li>▶ 인명피해 없음 / 화차 3량, 선로 100 m, 전철주 5개 파손, 약 21시간 운행지연</li> </ul> 

○ 철도안전정보 종합관리시스템에 의하면 2011년 이후 열차 충돌/탈선/화재사고가 매년 증가 추세에 있으며, 특히 열차 탈선사고가 2011년 2건에서 2014년 6건으로 3배 증가하였다고 보고되었다(교통안전공단, 2015).

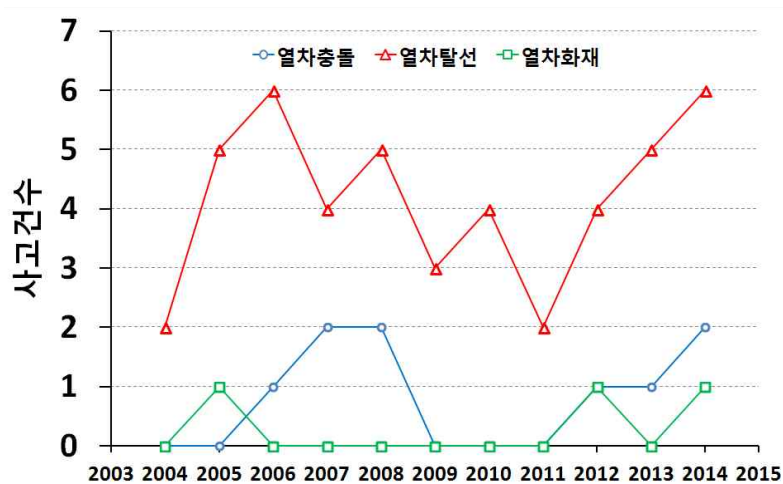


그림 1.7 열차사고종류에 따른 사고건수

- 또한, 열차 충돌사고는 인적요인(신호위반>과속운전>신호고장)이 75%, 탈선사고는 기술적 요인(차량결함>선로/구조물 결함>차량 및 선로간 상호작용 불량)이 71%를 차지하는 것으로 분석되었다.
- 이러한 모든 사고원인에 따른 재난사고에 대비해 안전시설을 확충한다는 것은 현실적으로 매우 어려운 사안으로, 사고결과에 따른 인명·사회·경제적인 파급효과, 안전 확보에 필요한 비용과 노력의 양, 국가 예산, 중요도 등을 고려한 효율·타당성을 전문가의 기술적 판단 및 국가차원의 정책적 판단이 필요한 사안이다.
- 이를 위해서는 탈선방호와 관련한 안전 확보에 대한 효과 입증 분석방법 및 효율성 및 타당성 판단근거가 기술적으로 필수적이나 이에 대한 기술은 국내에서 전무하며 전 세계적으로도 매우 미미한 수준이다.
- 열차의 탈선/충돌 사고에 대하여 국가 안전정책을 고려한 국가 인프라 재난대응 기술 확보를 위해서는 본 연구를 통한 탈선방호시설 성능평가 기법 및 검증 기법, 최적 시설물 설계개념 확립 및 개발에 대한 연구가 반드시 필요하다.

### 3절 기획연구 내용 및 추진전략

#### 1. 기획연구 추진체계

- 본 기획연구를 통해 도출되는 본 연구의 핵심목표 및 연구개발 구성 설정을 위해, 이와 직접적으로 관련된 유관기관의 분야별 전문가(궤도, 노반, 차량충돌)들로 구성된 자문위원회를 구성하여 기획연구결과에 대한 의견수렴 및 교환을 수행하였다. 이러한 과정을 통해 실제현장 및 관련기관의 의견을 최대한 반영하여 기획 연구결과의 실효성을 확보하고자 하였다.



그림 1.8 기획연구 추진체계

- 본 연구기획에 참여하는 연구진은 철도 및 구조물 등의 구조해석 및 분석에 대한 연구 분야에서 핵심적이고 큰 연구 성과를 도출하고 있으며, 구조물의 설계, 검증, 시공기술을 토대로 선진화를 주도하고 있다.
  - 학계(충남대학교)에 속해있는 연구진은 철도 궤도구조 및 구조물 설계에 대한 구조해석 분야에 특화된 전문 인력 총 3명(교수 1명, 박사과정 2명)으로 구성되어 있다.
  - 출연연 및 유관기관(한국철도기술연구원, 한국철도시설공단)의 연구진은 구조물의 설계, 검증, 시공, 개발 등에 대한 기술력을 보유하고 철도건설 및 궤도용품 등의 개발에 대한 경험이 풍부한 전문 인력 총 6명(책임급 1명, 선임급 5명)으로 구성되어 있다.

- 또한 본 연구진은 수년간 국가 R&D사업에 참여하여 그 연구목표 및 성과를 성공적으로 완수하고 있다. 특히 시설물의 설계기준, 안전기준, 교량의 설계기준 등의 정립을 위한 연구 및 궤도용품 등의 개발 연구를 수행해오고 있는 노하우를 가지고 있으며, 차량과 구조물 간 충돌거동에 대한 연구수행 경험을 최대한 활용하여 본 연구기획의 최종목표의 성공적 완수를 도모할 수 있다.
- 궤도분야, 노반분야, 차량충돌분야 등의 다양한 전문가를 외부 전문가로 자문위원회를 구성하여, 한국철도기술연구원 및 한국철도시설공단의 연구개발 경험 및 기술, 매년 철도 궤도관련 연구실적을 도출하고 있는 충남대학교의 학문적 이론과 연구경험을 연계하여 본 연구기획을 성공적으로 수행하고자 하였다.

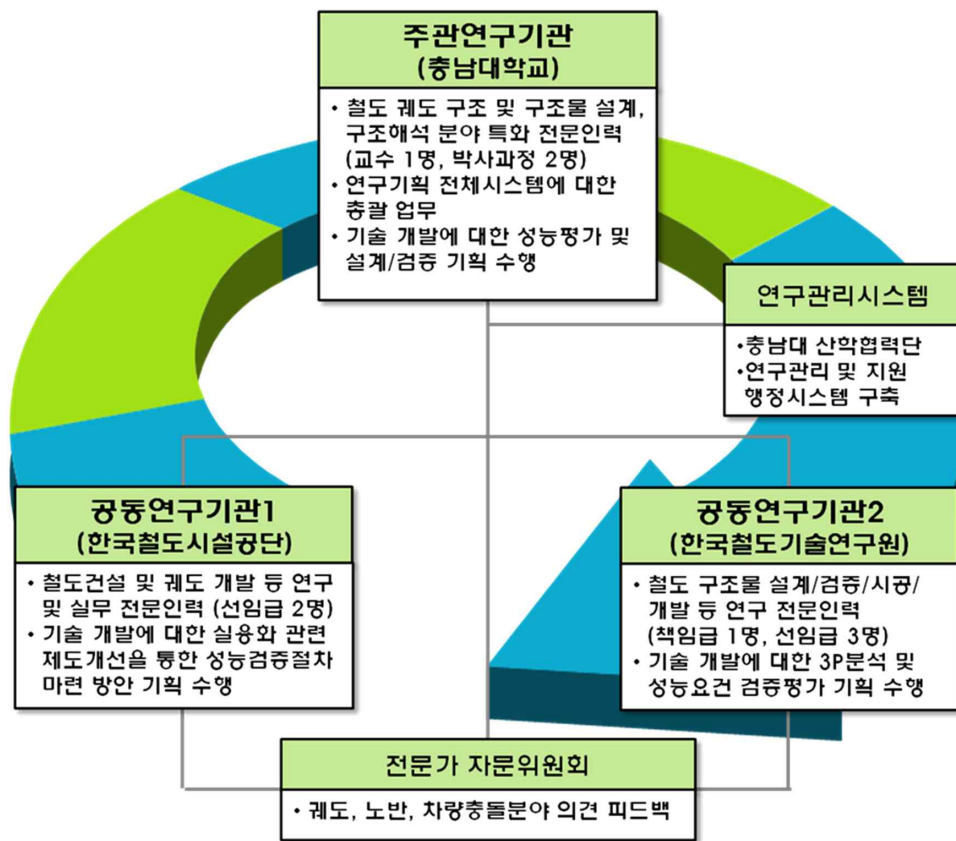


그림 1.9 기획연구팀 구성

## 2. 기획연구 수행내용

표 1.4 연구수행기관별 주요 기획연구 내용

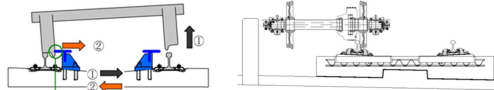


연구목표	주요연구내용	연구수행기관
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 탈선방호시설물 성능평가 기법 기획</li> <li>■ 일탈방지방호 성능을 갖는 시설물의 설계/검증 기술 기획</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 탈선 메커니즘 현상 및 탈선열차의 일탈방지방호(Derailment Containment Provisions, DCP) 개념 정의</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실제 운행선로에 설치된 탈선방호시설물 국내/외 설치현황 및 피해저감 사례·효과 조사</li> <li>- 국내 방호벽의 제원과 시공위치, 설계하중에 대한 분석 및 기존 가드레일과의 차별성 검토</li> <li>- 선로조건(급곡선, 분기 등) 및 열차종류에 따른 탈선사고 유형 조사·분석 및 방호시설 설치(기존/신설) 타당성 검토</li> <li>- 소요구간 설정에 대한 기준 및 평가방법 기획</li> </ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탈선방호시설물 효과 및 제원, 승객 안전성 검토를 위한 시뮬레이션 등 평가기법 연구 기획</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탈선방호시설물에 대한 실대형 성능평가 기법 및 속도대별 결과의 신뢰성 검증, 전문성 확보 방안 기획</li> <li>- 국내 주요 일반 및 고속철도 노선별 일탈방지방호 시설물 설치 비용분석을 통한 경제성 검토 방안 기획</li> <li>- 기존선 콘크리트 궤도의 일탈방지방호 시설물 설치에 따른 차량/시설한계 및 교량구조물의 구조 안전성 검토 기획</li> </ul>	<p>주관-충남대학교</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 일탈방지방호 성능을 갖는 시설물의 기술요건 및 검증/시공 기술 기획</li> <li>■ 일탈방지방호 성능을 갖는 시설물의 성능평가 절차 기획</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 탈선된 열차를 선로(궤도) 영역내로 구속시킬 수 있는 콘크리트 궤도구조의 기술요건 도출</li> <li>- 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방지방호 성능 확보 방안 제시 및 기존 설치된 방호벽의 보완 방안 검토</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일탈방지방호 성능을 갖는 토노반/교량상 신형식 콘크리트 궤도 기술 개발 기획</li> <li>- 일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 성능검증 시험방안 및 목표 제시</li> </ul>	<p>공동2-철도기술연구원</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 실용화를 위한 제도개선 및 실대형 성능실험 현장 구축방안 기획</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술에 대한 실용화 관련 제도개선(기술기준, 설계/시방서/지침 개정 등) 방안 기획</li> <li>- 국내 건설사업 일정을 고려한 단계별 설치방안 도출</li> <li>- 일탈방지방호 시설물과 전기, 신호 등 타 설비간 인터페이스 검토 사항 기획</li> <li>- 실대형 성능실험 현장조사 및 향후 실험현장 구축방안 기획</li> <li>- 개발 기술의 해외진출 방안 기획</li> </ul>	<p>공동1-철도시설공단</p>

표 1.5 주요 연구활동 및 세부 연구내용

주요 연구활동	세부 연구내용
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기술개발 동향 및 수요조사 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기술의 정의, 분류체계 및 필요성</li> <li>- 국내외 동향 및 환경분석</li> <li>- 철도 탈선방호 관련 국내외 특허 및 선행연구 현황 조사, 유사중복성 검토결과 제시</li> <li>- 기술수요 및 기술예측 조사 실시</li> <li>- 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발 추진방향 정립 (SWOT 분석)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 기술개발 전략 수립 및 연구개발 후보과제 우선순위 도출</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비전 및 기술발전 시나리오 제시</li> <li>- 비전 달성을 위한 세부목표 및 중점분야 설정</li> <li>- 중점 추진분야별 연구개발 후보과제 설정</li> <li>- 기술적 진보성, 경제적 타월성을 보장할 수 있는 후보과제 군 도출</li> <li>- 후보과제별 기술개발 목표 및 최종성과물 설정, 후보과제간 연계 및 중복 검토 등 종합검토</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 연구개발 후보과제별 과제카드 작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과제추진 체계 설정</li> <li>- 연구개발목표, 기술개발 및 산업/시장 동향, 기존기술 활용방안, 기술개발 필요성, 주요연구내용, 정부지원 타당성, 기술확보전략, 과제규모, 최종성과물 및 활용방안 등</li> <li>- 후보과제별 연구유형, 성과물유형, 시장경쟁력 확보방안, 실용화방안, 목표 TRL 단계, 제도개선사항 등 제시</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 연구목표/범위 설정 및 추진방안 수립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 목표 및 연구범위 설정</li> <li>- 세부과제(핵심 요소기술) 도출 및 연구내용 설정</li> <li>- 세부과제 연차별·단계별 성과목표와 성과지표 설정 및 성과맵 제시</li> <li>- 기존 기술·인프라 등의 활용 및 연계 방안 수립</li> <li>- 컨소시엄 형태 등 최적의 연구추진체계 수립</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 성과분석 및 검증방안 제시</li> <li>- 제도·정책 활용, 현장적용, 시작품 제작 및 시범사업 등 구체적인 실용화 방안 제시</li> <li>- 성과물 실용화 예상 수요처 및 실용화 요건 제시</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 인력투입 계획 및 소요예산 산정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 과제구성에 따른 연구일정 및 인력투입계획 수립</li> <li>- 과제별 소요예산 산정</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 사전타당성 검토</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- (정책적 타당성 검토) 국가 전략적 중요성, 상위계획과의 부합성, 연구개발 추진상의 위험요인과 대응방안 등에 대한 검토</li> <li>- (기술적 타당성 검토) 기존 연구개발과의 중복성, 기술개발 계획의 우수성, 기술 수준 및 개발 성공 가능성 등에 대한 검토</li> <li>- (경제적 타당성 검토) 경제성 분석, 경제·사회적 파급효과, 과학 기술적 파급효과 등에 대한 검토</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가 기준 설정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구목표와 내용, 추진전략 등을 바탕으로 본 과제를 공모하기 위한 RFP 작성</li> <li>- 연차별 평가를 위한 성과목표·지표·마일스톤의 설정, 평가방법 및 기준 설정</li> </ul>

### 3. 기획연구 추진전략

#### 가. 과제도출 방안

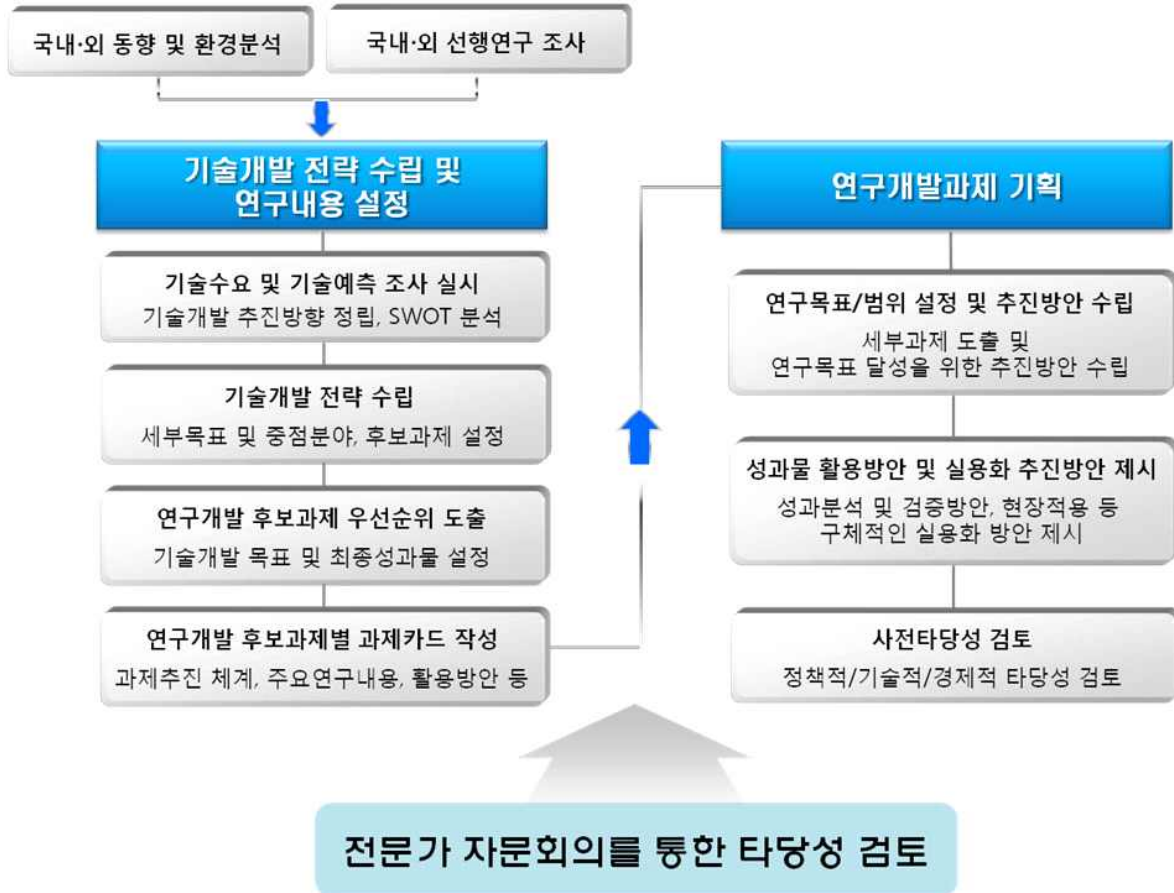


그림 1.10 연구개발 흐름도

나. 시장, 기술, 특허, 정책 등 동향분석 방안

○ 연구기획 공동기관(한국철도기술연구원)의 기술정보분석팀을 활용한 3P (Patent, Paper, Product) 분석 수행.

- 사업화 기술개발 내실화, 개발방향 설정 및 중복 개발방지 등을 위한 선행기술 동향 분석
- 우수기술 확보 기회 포착 및 향후 추진방향 기술 전략 수립

	Patent (특허)	Paper (논문)	Product (시장)
정량 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연도별, 국가별, 기술 분류별, 출원인별 특허 분석 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 연도별, 국가별, 저자별, 저널별, 기술분류별 분석 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Global 시장 규모</li> <li>- 시장 성장규모 전망</li> <li>- 산업 성장규모 등</li> </ul>
정성 분석	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 등고선(Text-mining) 분석</li> <li>- 인용도(Citation) 분석</li> <li>- 주요 특허 분석</li> <li>- 기술 흐름(Flow) 분석</li> <li>- 최근 주요특허(Hot Patent) 분석 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인용도(Citation) 분석</li> <li>- 주요 논문 분석</li> <li>- 최근 주요논문(Hot Paper) 분석 등</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 산업 환경 및 시장 환경 분석</li> <li>- 고객 및 니즈 분석</li> <li>- 연구개발방향 설정 등</li> </ul>

**특허/논문/시장 분석의 상호 연계를 통한 선행기술 조사 및 분석**

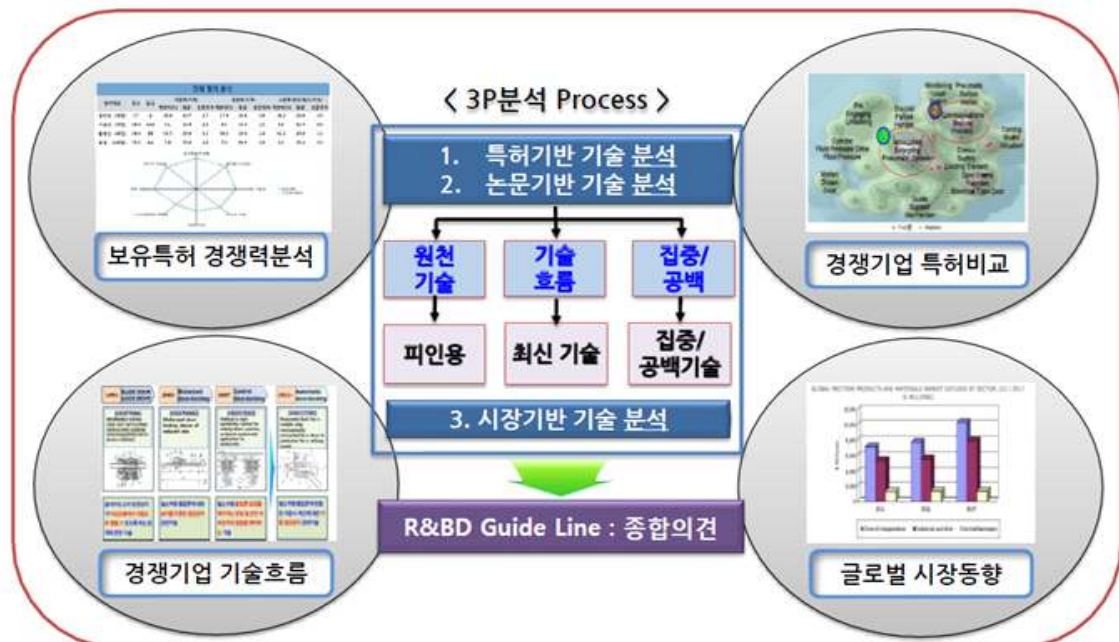


그림 1.11 3P분석 Process

○ 타당성, 시장성, 수익/경제성 분석(시장가치평가)을 위한 외부전문가 활용.



그림 1.12 사업타당성 분석 Flow chart

다. 우선순위 결정 및 로드맵 작성 방안

○ 시장 환경의 변화에 따른 주도 기술/제품 등의 발전방향 분석을 통해 실질적인 지원방안을 선정하여 기술개발 전략의 실행성 강화.

- 1단계(주요기술 구성): 국내외 시장분석, 전략방향, 주요기술 설정 등
- 2단계(개발기술 도출): 개발기술의 목표설정, 동향파악 등
- 3단계(로드맵 구성): 핵심기술 제시, 전략 제시, 소요예산 제시 등
- 4단계(전문가 자문): 기술동향/산업분석 결과 전문가 자문위원회 Feedback

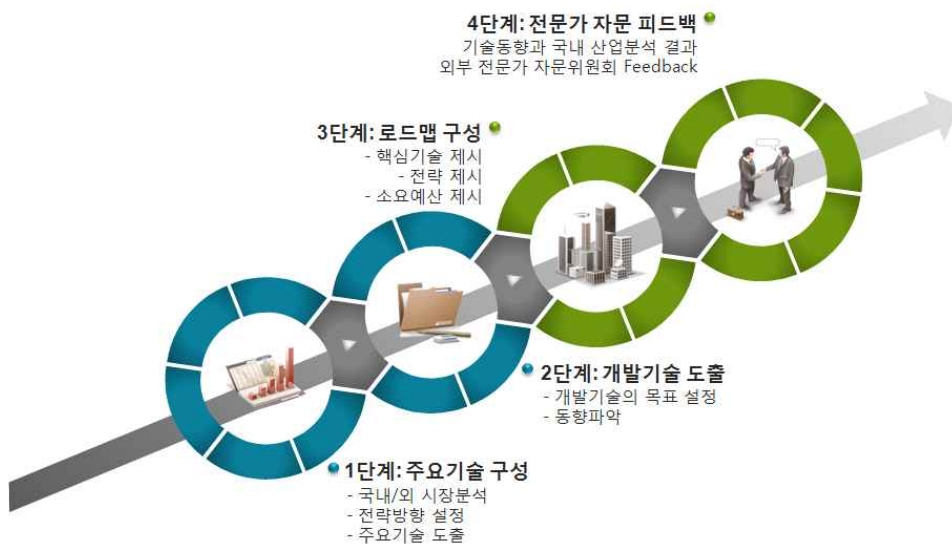


그림 1.13 우선순위 결정 및 로드맵 작성 방안

라. 기획연구 성과목표 및 성과지표

표 1.6 기획연구 성과점검기준표

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만원)	
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치			
주관	A	일탈방지방호 성능을 갖는 시설물의 성능평가 기법 및 설계/검증 기술 기획	A-1	일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술에 대한 성능평가 기법, 설계/검증 기술 기획	①	성능평가 기법, 설계/검증 기술 기획의 타당성	100	전문가 자문을 통한 결과의 타당성 확인	보고서	5	충남대	27
주관	B	과제공모를 위한 RFP 및 평가기준 설정	B-1	RFP 작성, 성과목표 및 지표, 평가방법 및 기준 설정	①	RFP, 성과목표·지표, 평가방법·기준 설정의 타당성	100	전문가 자문을 통한 결과의 타당성 확인	보고서	5		
공동	C	일탈방지방호 성능을 갖는 시설물의 실용화를 위한 제도개선 및 실험 성능시험 현장 구축방안 기획	C-1	일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술에 대한 실용화를 위한 제도개선, 실험 성능시험 현장 구축방안 기획	①	제도개선, 실험 성능시험 현장 구축방안 기획의 타당성	100	전문가 자문을 통한 기획 결과의 타당성 확인	보고서	3	철도시 설공단	3
공동	D	일탈방지방호 성능을 갖는 시설물의 기술요건 및 성능평가 절차 기획	D-1	일탈방지방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술에 대한 기술요건, 검증/시공 기술, 성능평가 절차 기획	①	기술요건, 검증/시공 기술, 성능평가 절차 기획의 타당성	100	전문가 자문을 통한 기획 결과의 타당성 확인	보고서	7	철도기술연구원	20
계										20		50

- 본 기획연구의 성과목표 및 성과지표의 측정/검증을 위해 관련 유관기관의 분야별 전문가(궤도, 노반, 차량충돌)들로 구성된 외부 전문가 자문위원회를 구성하여 총 2회의 자문회의를 시행하였다.
- 총 4가지 핵심성과(A: 성능평가 기법, 설계/검증 기술 기획의 타당성, B: RFP, 성과목표, 평가방법 설정의 타당성, C: 제도개선 및 실험 성능시험 현장 구축방안 기획의 타당성, D: 기술요건, 검증/시공 기술, 성능평가 절차 기획의 타당성) 및 기획연구 수행내용 및 결과에 대한 의견수렴 및 교환을 수행하였다. 이러한 과정을 통해 외부 전문가 의견을 최대한 반영하여 기획 연구결과의 타당성 및 실효성을 확보하였다.



## 제2장 국내외 동향 및 환경분석

### 1절 국내외 정책동향 및 적용현황

#### 1. 국내 정책동향 및 관련 기준

##### 가. 정책동향

- 2014년 제16차 국가과학기술자문회의에서 청와대는 “재난안전 분야의 연구·개발을 확대하고 연구성과를 재난대응에 적극 활용하는 등 과학기술에 기반을 둔 재난안전을 구체화해 나가야한다”는 정책기조를 발표하였다.
- “제52차 중앙안전관리위원회”(‘14.10)에서 안전과 관련된 쏠 영역을 조사하는 안전대진단을 시행키로 확정함에 따라 국토교통 안전진단 추진단이 결성되고 2015년 4월 30일까지 철도시설 국가안전대진단이 실행되었다. 국토교통부에서는 안전진단 결과를 토대로 안전투자를 확대하고 법·제도 선진화 과제를 발굴하여 안전산업 발전 인프라 구축을 추진할 계획에 있다.

##### 나. 관련 기준

- 국내 탈선열차의 방호와 관련된 기준은 가장 상위에 「철도안전법」이 있다. 철도안전법 “제25조 철도시설의 기술기준”에 따르면, ‘탈선방지시설’로서 급곡선부(곡선반경 300 m 미만)와 탈선위험개소에 가드레일 등을 설치하도록 하고 있으며, ‘선로안전시설’로서 차축온도검지장치, 지장물검지장치 등을 운행속도 180 km/h 이상에 설치하도록 하고 있다. 또한, ‘교량의 안전시설’로서 18 m 이상의 교량에 한하여 탈선열차에 대한 피해 최소화 대책으로 가드레일 또는 방호벽 등을 설치하도록 하고 있다.



(a) 탈선방지시설



(b) 교량의 안전시설

그림 2.1 일반철도 가드레일

## 철도안전법

제25조 “철도시설의 기술기준”

제2절 선로시설

제1관 선로

제12조(탈선방지시설)

- ① 본선 선로의 곡선반경이 300미터 미만 또는 탈선위험이 있는 장소에는 가드레일 등을 설치하여야 한다.

제14조(선로의 안전시설)

고속철도 전용선 구간에 다음 각 호의 안전설비를 설치하여야 한다. 단, 일반철도 180 km/h 이상에서도 설치 가능.

1. 차축온도검지장치
2. 지장물검지장치
3. 끌림검지장치
4. 지진감시설비 ... 등

제3관 교량

제26조(교량의 안전시설)

- ① 철도시설관리자는 18미터 이상의 교량에서 열차가 탈선할 경우 피해를 최소화하기 위하여 가드레일 또는 방호벽 등의 안전시설을 설치하여야 한다.

※세부: 선로유지관리지침

- ② 자동차나 선박 등의 통행이 잦은 도로 또는 하천 위에 가설한 교량에는 자동차나 선박에 의한 충격을 방지할 수 있는 보호대 등을 설치하여야 한다.

제27조(도로교량의 방호시설)

- ① 철도를 횡단 또는 인접한 도로교량의 난간 부분에는 방호울타리 등을 설치하여야 한다. → 자동차의 침범(Intrusion) 방호

○ 실질적으로 일반철도에서는 선로유지관리지침에 따라 급곡선부에 탈선방지가드레일을 설치하고 18 m 이상 교량에 교상가드레일을 설치하고 있으며, 고속철도에서는 철도설계기준인 「철도설계지침 및 편람」 ‘본선부대 및 안전시설(KR C-02060)’에 따라 교량 상판에 부설해야하는 시설물로서 방호벽을 설치하고 있다. 이 방호벽은 ‘탈선방호시설’로서 탈선 시 열차의 수평 이탈을 제어 할 수 있도록 교축직 각방향 수평하중 150 kN으로 설계하도록 되어있으나 위치(이격거리) 및 높이에 대한 규정은 없다. 본과제의 제도개선 사항에서는 철도설계지침 및 편람의 세부적 개념, 설계에 대한 개정이 필요할 것으로 판단된다.

○ 「철도건설규칙」에서는 ‘제17조 선로 설계 시 유의사항’에 교량, 터널 등의 선로구조물에는 안전설비 및 재난대비설비를 설치하여야 하고, 열차 안전에 지장을 줄 우려가 있는 장소에는 방호설비를 설치하여야 한다고 포괄적으로 명시되어있다.

## 철도설계지침 및 편람(KR C-02060, 2013)

### 3. 교량관련 부대시설

#### 3.1 부속설비

##### 3.1.1 상판에 부설해야 하는 시설물

###### (11) 탈선방호벽

- ① 고속철도에서 주행 중인 열차가 교량 위에서 탈선하는 것을 방지하는 시설물을 설치해야 한다.
- ② 탈선방호벽은 열차의 주행속도에 따른 탈선하중 및 직선구간, 곡선구간 시설물 높이, 폭 등의 설치조건을 고려하여 설계해야 한다.

[해설1. 안전시설]

### 2. 열차운전 안전시설

#### 2.1 탈선방호시설

##### 2.1.2 설계기준

교축직각방향 탈선 이동을 막아주는 장치적인 역할로써 케이블 홈통(Ditch)등에 설치하게 되어 있는 탈선 방호벽 등의 교량 상부면 돌출구조에는 150 kN의 교축직각방향 수평하중을 적용하여 탈선 시 열차의 수평 이탈을 제어할 수 있도록 하여야 한다.

## 2. 국내 적용 현황

- 국내 고속철도가 도입되면서 자갈궤도인 경부고속철도 1단계(1992~2004) 교량구간에 방호벽이 약 83.078 km 처음 설치되었으며, 이후 콘크리트 궤도인 경부고속철도 2단계(2002~2010) 교량구간 약 22.138 km, 호남고속철도(2006~2017) 교량구간 약 72.681 km 설치되었다. 그리고 현재 설계 또는 시공 중인 200 km/h 이상 구간 교량에도 설계/설치 중에 있다. 현재 계획 및 시공되고 있는 설계속도 200 km/h 초과의 고속철도 중 방호벽 설치현황은 표 2.1과 같다.
- 국내 방호벽에 대한 단위공사비는 약 2.48억원/km으로(단면250×975 mm, 단선 기준), 기존 건설된 경부고속철도 1·2단계 및 호남고속철도(오송~광주송정)의 총 공사비는 약 441억 원으로 추정되며, 현재 계획 중 또는 시공 중인 방호벽 설치대상 교량(117.788 km, 2014년 7월 기준)의 총 공사비는 약 292억 원 이상으로 추정된다.

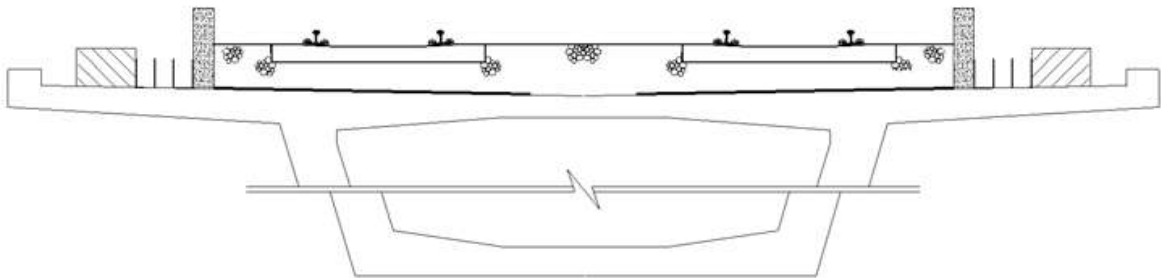


그림 2.2 경부고속철도 1단계(Ballast Track)

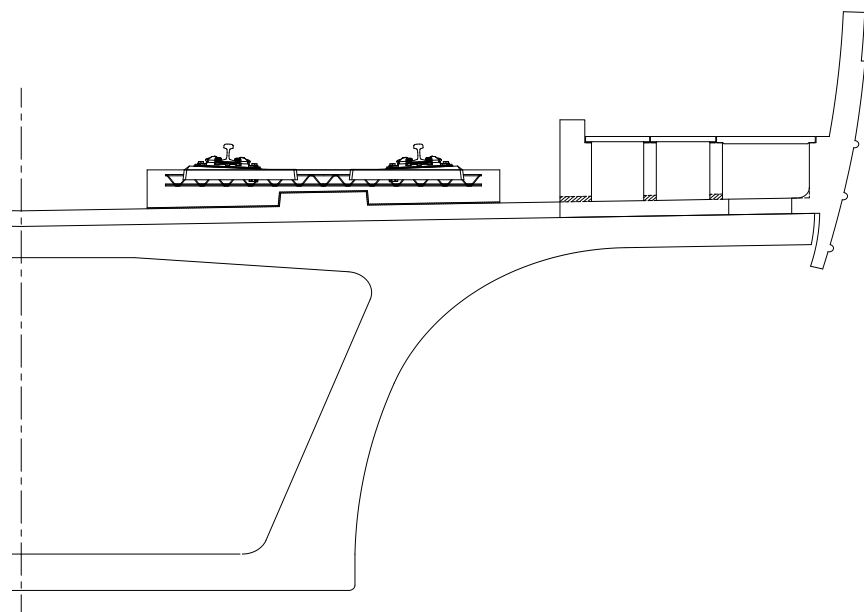
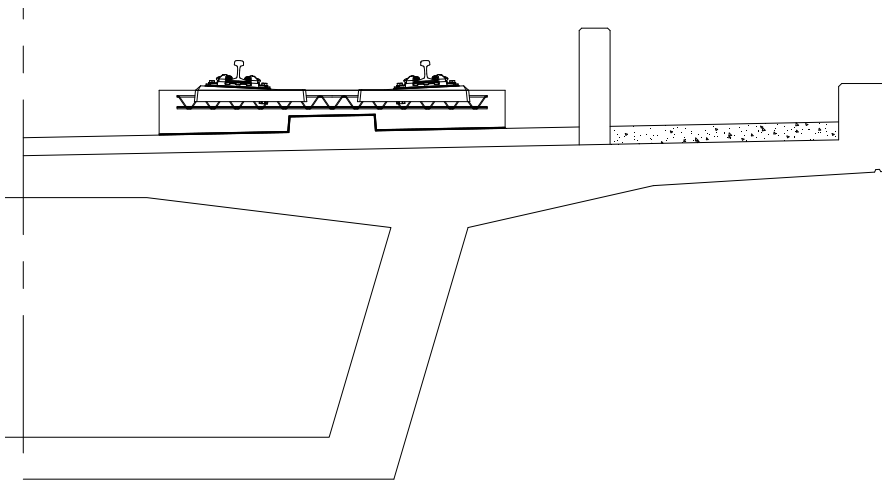


그림 2.3 경부고속철도 2단계, 호남고속철도(Concrete Slab Track)

표 2.1 국내 방호벽 설치현황(설계속도 200 km/h 초과, 2014.07 기준)

연번	사업명	설계속도	설치현황	비고
기존 설치				
1	경부 1단계(서울~동대구)	350 km/h	83.078 km	시공완료
2	경부 2단계(동대구~부산)	"	22.138 km	시공완료
3	호남(호송~광주송정)	"	72.681 km	시공완료
현재 계획 및 시공 중				
1	보성~임성리 철도건설	200 km/h	0 km	보완실시설계(일부구간 시공 일시중지중)
2	부전~마산 복선전철	"	0 km	시공중('19년 개통예정)
3	대구선 복선전철	"	0 km	시공중('17년 개통예정)
4	이천~문경 철도건설	"	0 km	설계
	- 이천~충주	"	0 km	실시설계('16년개통예정)
	- 충주~문경	"	0 km	기본설계('21년개통예정)
5	동두천~연천 복선전철	"	0 km	실시설계 준공(공사발주 예정, '16년 개통예정)
6	익산~대야 복선전철	230 km/h	11.706 km	시공중('17년 12월개통예정)
7	포승~평택 철도건설	"	0 km	일부구간 시공중
	- 포승~숙성	"	0 km	설계중지
	- 숙성~평택	"	0 km	시공중
8	공항철도연계시설확충	"	0 km	시공완료('14년6월 개통)
9	원주~제천 복선전철화	250 km/h	6.054 km	시공중('18년 개통예정)
10	원주~강릉 철도건설	"	15.218 km	시공중('18년 개통예정)
11	서해선 복선전철	"	54.302 km	실시설계 준공(T/K구간 4, 5공구는 시공중)
12	영천~신경주 복선전철화	"	3.220 km	실시설계
13	장항선 개량 2단계	"	10.479 km	실시설계
14	도담~영천 복선전철	"	16.809 km	실시설계('18년개통예정)
<b>총계(현재 계획 및 시공 중)</b>			<b>117.788 km</b>	<b>183 개소</b>

- 국내 방호벽의 설계방법은 KR C-02060의 탈선하중(교축 직각방향 수평하중) 150 kN을 적용하여 단면설계(Cantilever beam)를 하고 있다(그림 2.4). 방호벽에 작용하는 150 kN의 하중의 근거는 Prud'homme 공식(식 1)에 의한 레일에 작용하는 열차 횡하중에 동적할증계수(식 2)를 고려하여 산정되는 크기로 탈선(충돌)하중으로 보기 어렵다(식 3).

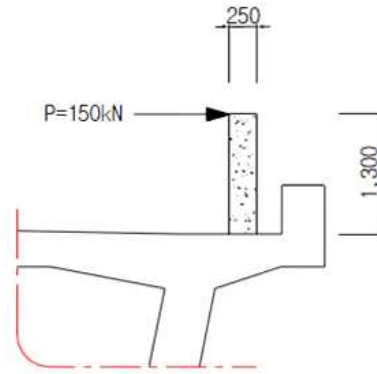


그림 2.4 국내 방호벽 설계방법

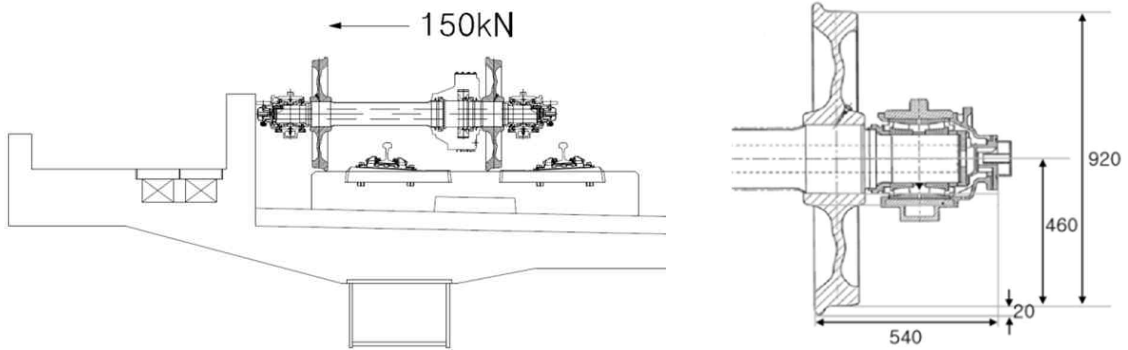
$$H_{lim} = 10 + \frac{P}{3} = 10 + \frac{170}{3} = 66.67 \text{ kN} \quad (1)$$

$$DAF = 1 + t\phi \left( 1.0 + 0.5 \frac{V-60}{190} \right) = 1.47 \sim 2.40 \quad (2)$$

$$F = H_{lim} \times DAF = 98 \sim 160 \text{ kN} \quad (3)$$

※ 여기서,  $H_{lim}$ : 열차의 횡방향 하중,  $P$ : 축중(KTX=170 kN)

- 국내 방호벽의 설치 위치 및 높이는 두 가지 경우에 의해 설정되었다. 첫 번째로 경부고속철도 1·2단계의 경우, 그림 2.5와 같이 차륜이 레일에서 떨어진 후 차축이 벽에 접촉할 수 있는 높이로 설치하는 것(도입당시 SNCF 자문)을 기본 개념으로 하였으며 설치 위치에 대해서는 근거가 없다. 그리고 두 번째로 호남고속철도의 경우, 높이 개념은 경부고속철도와 동일하고 차륜이 TCL(Track Concrete Layer)상에서 떨어지지 않는 이격거리로 설치하도록 적용되었다.



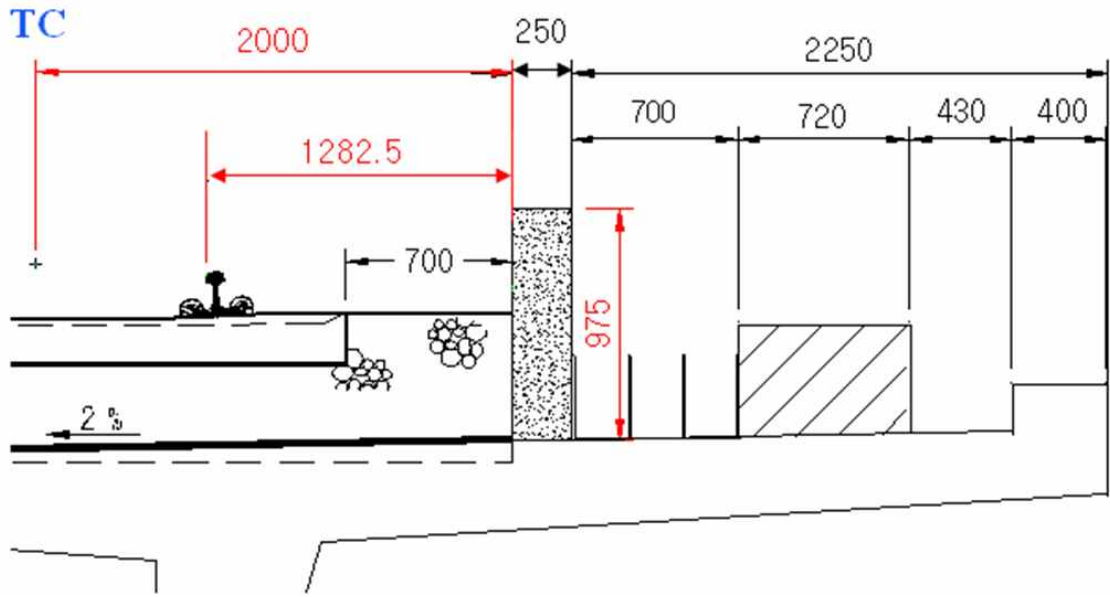
	<b>PCL</b>	<b>TCL</b>	<b>차축중심</b>		<b>실적용 높이</b> from Bridge Deck
<b>직선구간:</b>	150	+ 308	+ 480	= 938 →	<b>940 mm (+ 2 mm)</b>
<b>곡선구간:</b>	150	+ 496	+ 480	= 1,126 →	<b>1,130 mm (+ 4 mm)</b>

그림 2.5 국내 방호벽 높이 설정 개념(호남고속철도)

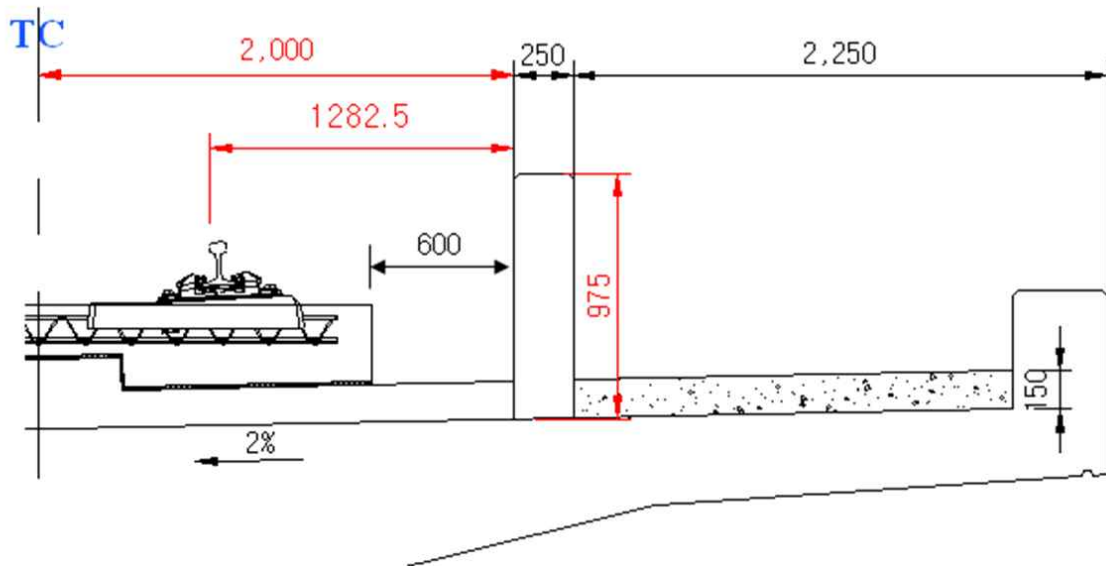
- 그림 2.6에 경부고속철도 1·2단계 및 호남고속철도의 방호벽 위치, 높이 상세 도면을 나타내었다. 방호벽의 폭은 모두 250 mm로 동일하며, 경부고속철도 1·2단계는 궤도중심으로부터 이격거리가 2,000 mm이고 동일한 높이의 단면을 적용하였다. 호남고속철도의 경우 궤도중심으로부터 이격거리가 축소되어 1,880 mm이고 높이도 경부고속철도보다 축소되었다. 이에 대한 수치는 표 2.2에 나타내었다.

표 2.2 국내 방호벽 설치 위치 및 높이

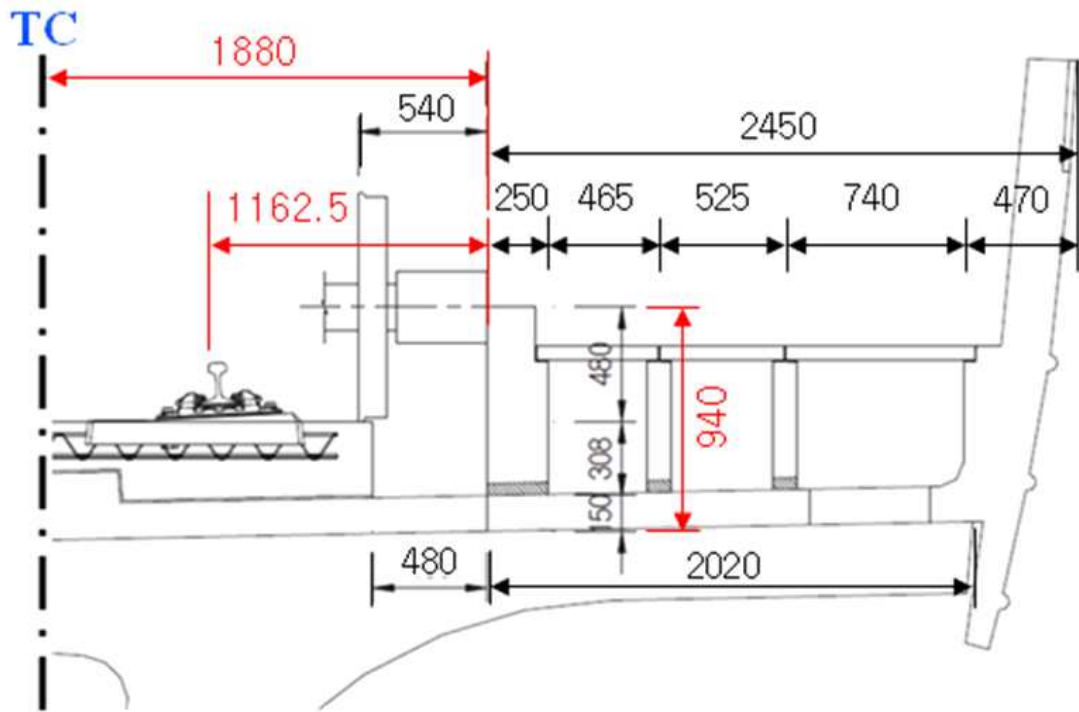
	높이 (mm)		이격거리 (mm)	
	above Bridge Deck	above Sleeper/TCL	above Rail Surface	from Track Center
경부 1단계	975	439	267	2,000
경부 2단계	975	519	271	2,000
호남	940	482	234	1,880



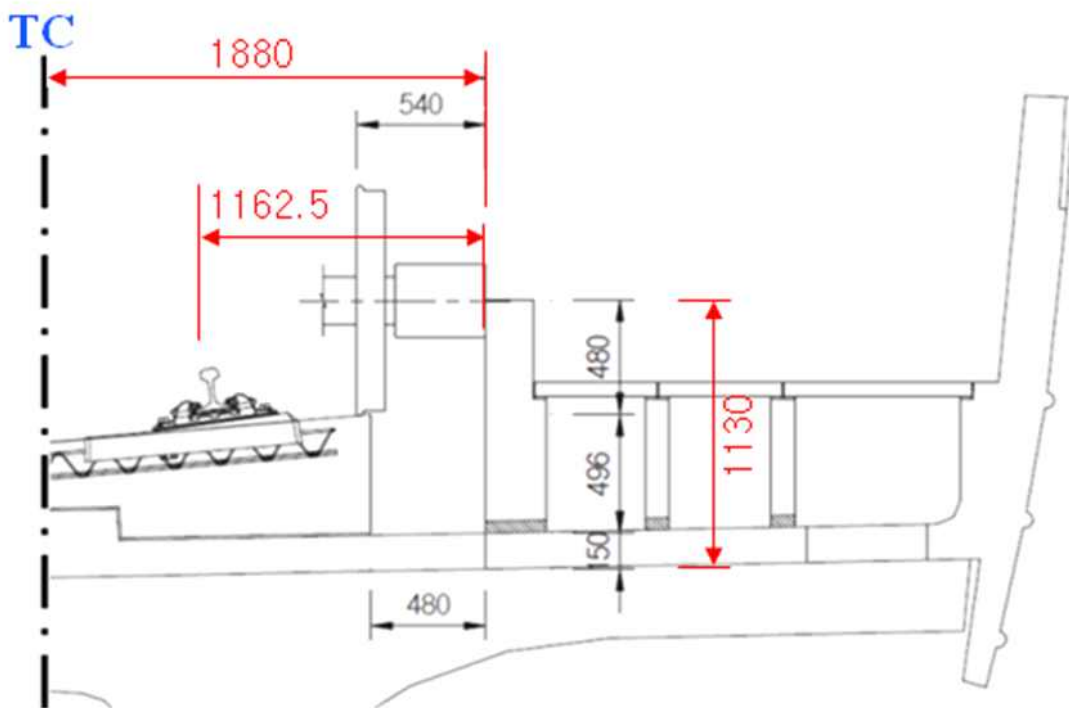
(a) 경부고속철도 1단계(직선)



(b) 경부고속철도 2단계(직선)



(c) 호남고속철도(직선)



(d) 호남고속철도(곡선)

그림 2.6 국내 방호벽 제원(Unit: mm)

### 3. 국외 관련 기준 및 적용 현황

#### 가. 영국(UK)

##### (1) RSSB(Rail Safety and Standards Board)

- 2000년 영국의 RSSB 교량 설계지침(Recommendations for the Design of Bridges, GC/RC5110)에서는 탈선열차의 일탈방호 개념을 외측(탈선방향) 차륜이 벽체(Robust Kerbs)에 충돌하기 전, 내측 차륜이 외측 레일에 의해 가이드 되는 것으로 확립하고, 벽 높이는 레일상 350 mm 이상, 벽 이격거리는 레일의 Running Edge로부터 1,500 mm 이상을 확보하도록 제시하였다(그림 2.7).
- 벽체를 설계하기 위한 공칭 수평하중(Nominal Horizontal Point Load)은, 주행레일에 의해 1차적으로 일탈 방지 이후 2차적으로 벽에 의해 의도된 영역 내에 위치하도록 하는 것이므로 열차의 사행동에 의한 횡하중 100 kN(Nosing force, EN 1991-2)을 적용하고 있다.

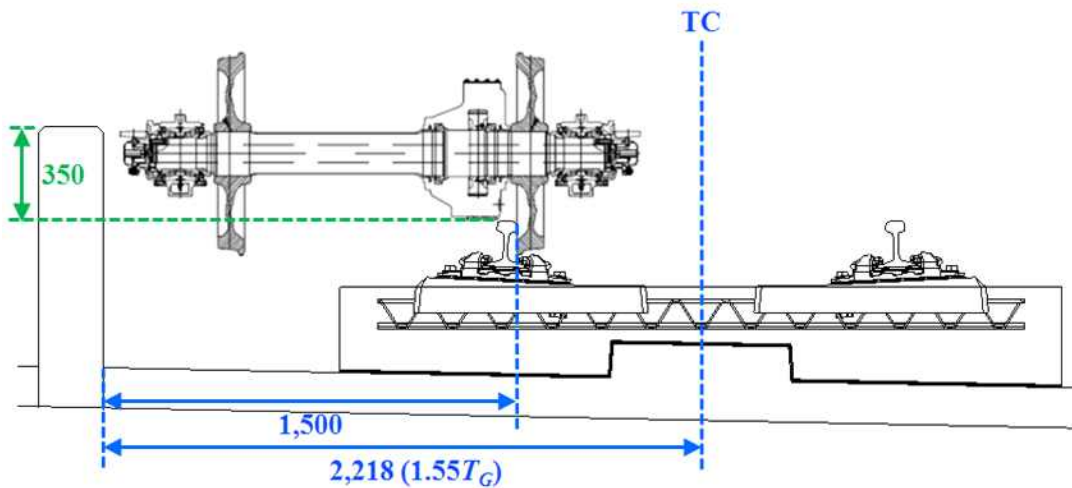


그림 2.7 탈선열차의 일탈방호 개념(UK-RSSB)

##### (2) NR (Network Rail)

- 2011년 영국의 NR 교량 설계지침(Design of Bridges, NR/L3CIV/ 020)에서는 RSSB와 동일한 개념(Robust Kerbs)으로 탈선열차 일탈방호를 하되, 벽 이격거리를 레일의 Running Edge로부터 1,600 mm 이상을 확보하도록 제시하였다(그림 2.8).

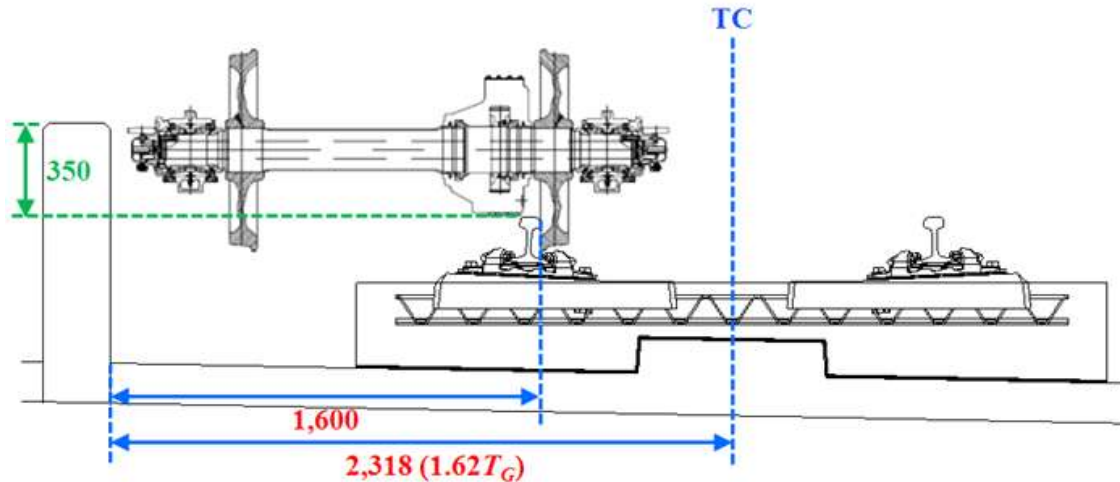


그림 2.8 탈선열차의 일탈방호 개념(UK-NR)

- 벽체를 설계하기 위한 설계 수평하중(Design Horizontal Point Load)은, 식 (4)와 같이 유로코드 EN 1991-2에서 제시하고 있는 Nosing force 100 kN의 공칭 수평하중에 Partial factor를 고려한 설계 수평하중을 154 kN으로 보고 있으며 이는 국내 방호벽 설계하중(150 kN)과 유사한 크기수준이다. 즉, 국내 방호벽 설계하중(150 kN)은 탈선열차의 직접 충돌하중으로 보기 어렵다고 볼 수 있다.

$$P = \gamma_{f3} \times \gamma_{fL} \times 100 = 154 \text{ kN} \quad (4)$$

### (3) CTRL Project(Channel Tunnel Rail Link)

- 2002년 영국의 CTRL 프로젝트에서는 탈선된 열차를 100% 방호할 수 있는 DCP는 없다고 판단하고 탈선 후를 관리하는 것보다 탈선의 원인을 방지하는 것에 초점을 맞추어야한다고 주장하고 있다.
- 고속선에서 DCP type 1과 2는 효과가 없다고 판단하고, 대부분의 교량에서 자갈 경계벽을 겸하여 DCP Type 3을 설치하도록 하고 있다. 벽의 높이는 레일상 100 mm, 수평하중 200 kN으로 설계하고, 탈선피해가 심각한 지역의 경우에는 벽 높이가 레일상 200 mm, 수평하중은 300 kN으로 설계하도록 하고 있다. RSSB와 NR에서 제시한 설계하중보다는 큰 하중이며 높이는 더 낮게 하고 있다.

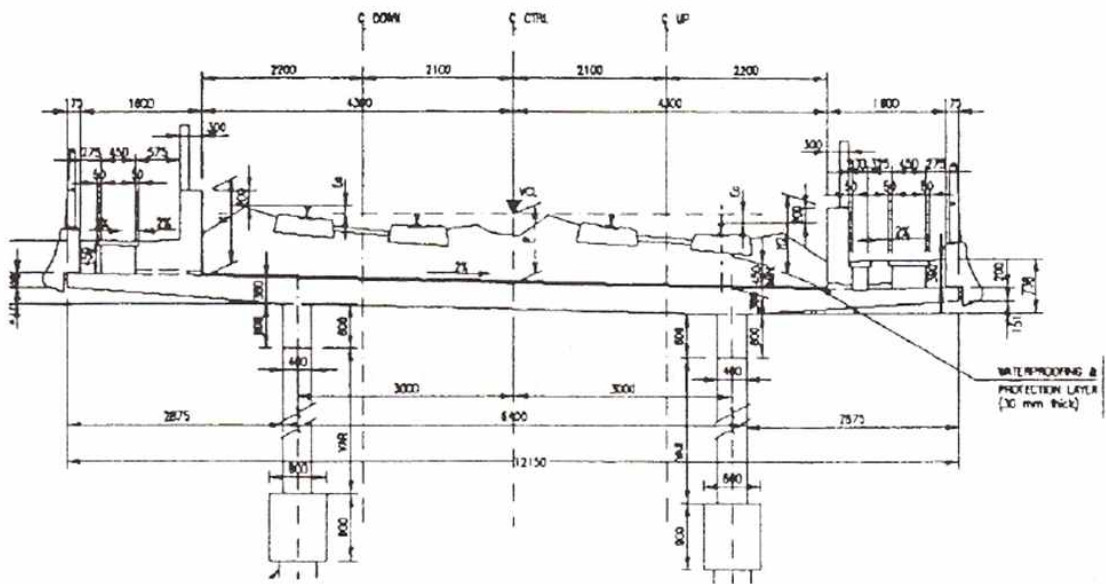


그림 2.9 교량 상부 단면(UK-CTRL Project)

(4) Heathrow Express Tunnels

- Heathrow 공항철도 터널에서는 Central concrete up-stand란 명칭으로 DCP Type 3를 적용한 사례가 있다. 벽의 높이는 레일상면 수준이며 폭은 탈선된 차량의 허용변위를 215 mm로 제한되도록 하고 있다.

(5) General matters

- 위에서 조사한 바와 같이 영국 내에서도 DCP에 대한 일반적인 관행이 없으며 탈선방호시설과 관련한 단일 기준이 없다. 다만, 앞으로의 프로젝트에서는 합리적인 근거가 있는 2011년 Network Rail의 교량 설계지침(NR/L3CIV/020)이 참고가 될 것으로 여겨진다.

나. 독일(Germany)

(1) High Speed Railway

- 독일 고속철도 교량에는 탈선된 열차의 차륜이 레일을 벗어나 자갈에 의해 저항 하되 최종적으로 내측 차륜이 외측레일에 의해 구속되어 탈선 피해를 최소화하는 개념이다. 이를 위해 콘크리트 궤도에도 TCL과 벽 사이에 자갈을 채우며(완충), 자갈경계벽의 이격거리는 궤도중심으로부터 2.2 m 이상이다. 영국과의 차이는 벽의 높이를 레일 상면보다 높지 않게 한다는 것이다.

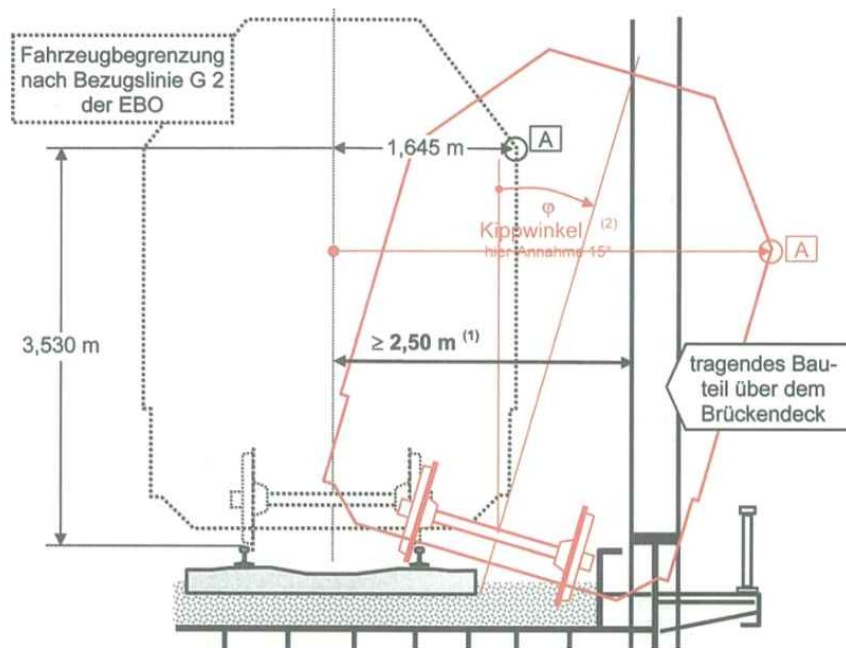


그림 2.10 탈선열차의 일탈방호 개념(Germany)

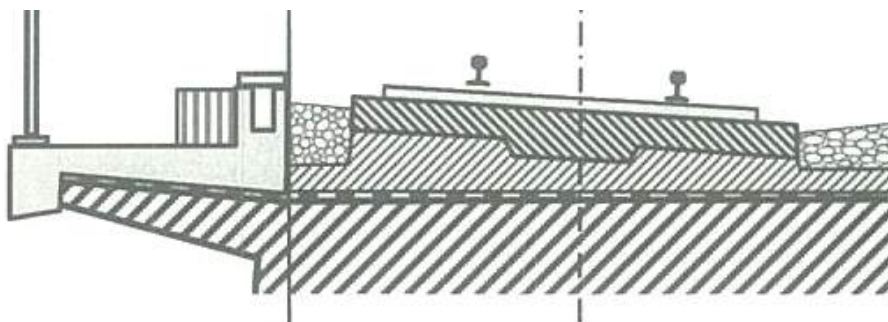


그림 2.11 콘크리트 궤도에서 완충 목적의 자갈(Germany)

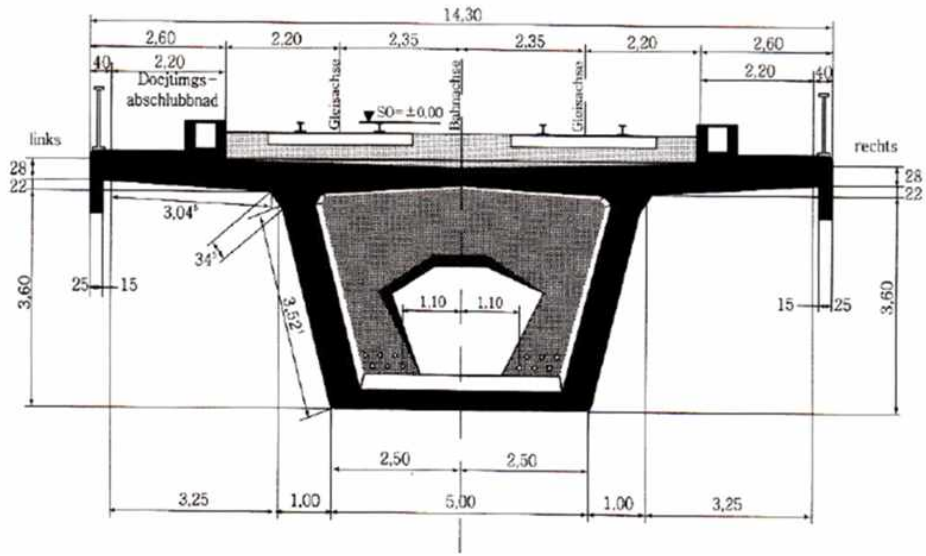


그림 2.12 Zigeunergraben, Oberbruch, Frauenwald, Bauerbach Bridge-PSC 박스거더교 표준단면(Germany)

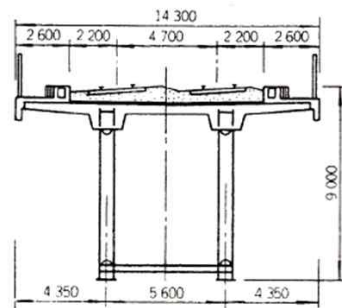
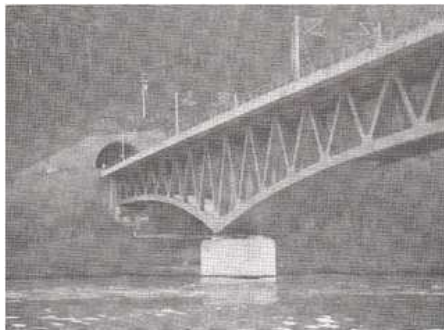


그림 2.13 Nantenbach, Kragenhöfer Bridge-이중합성 연속 트러스교(Germany)

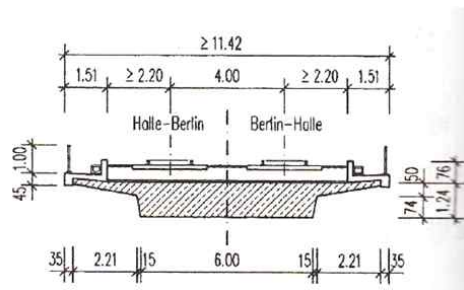
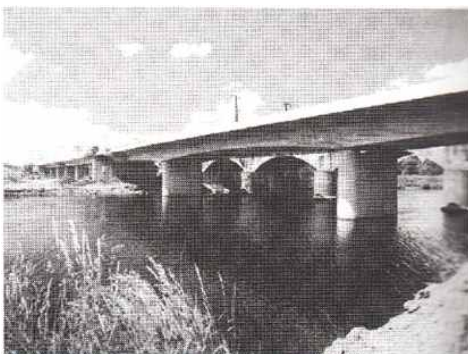


그림 2.14 Mulde River Bridge-PSC Slab교(Germany)

- 그림 2.13은 공동관로가 자갈경계벽의 역할을 겸하는 경우이며, 그림 2.14는 공동관로와 자갈사이에 별도의 자갈경계벽을 설치한 것으로 국내 경부고속철도 1단계 형식과 동일하다.

(2) DB(Deutsche Bahn)

- 독일 DB에서는 일반 및 화물객차가 혼합된 선로에서만 DCP Type 1인 가드레일 (Guard rail)을 적용하고 있다.



그림 2.15 가드레일(Guard rail)

다. 중국(China)

(1) High Speed Railway

- 중국 고속철도 교량에서는 탈선열차의 일탈방호 목적으로 국내와 유사한 방호벽이라는 명칭으로 적용하고 있으며, 상판 작업통로를 확보할 경우와 확보하지 않을 경우에 선로중심으로부터 방호벽까지의 거리에 약간 차이가 있다.
- 상판 작업통로 확보시, 자갈궤도의 경우 선로중심에서 방호벽까지의 거리는 2.2 m이며, 콘크리트 궤도의 경우 선로중심에서 방호벽까지의 거리를 통일적으로 2.2 m로 규정하고 있다.
- 상판 작업통로 미확보시, 자갈궤도의 경우 선로중심에서 방호벽까지의 거리는 2.2 m이며, 콘크리트 궤도의 경우 선로중심에서 방호벽까지의 유효거리를 1.9 m로 규정하고 있다.

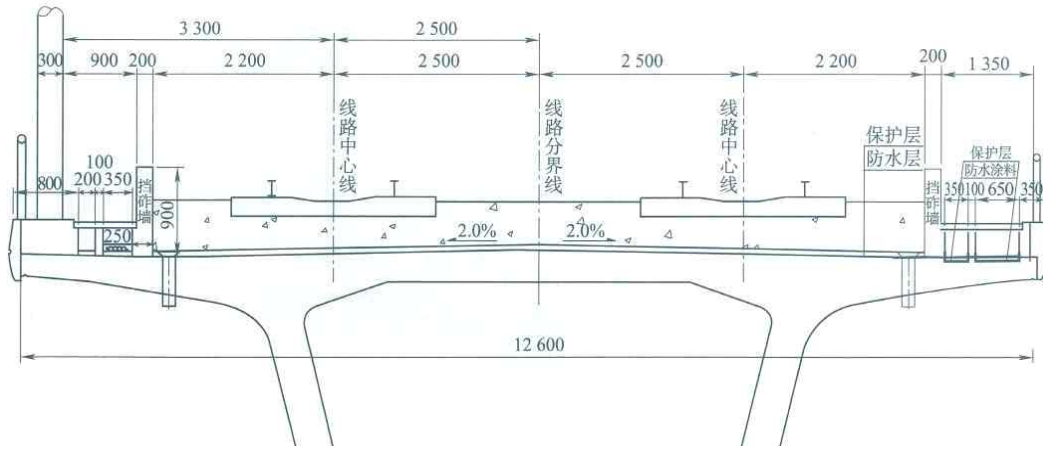


그림 2.16 자갈케도 교량 단면(China)

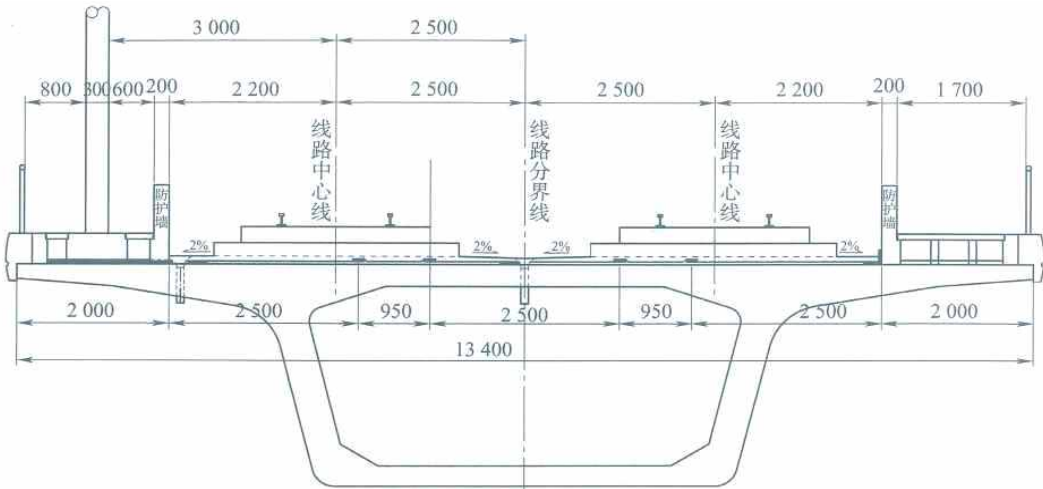


그림 2.17 콘크리트 케도 교량 단면-작업통로 확보시(China)

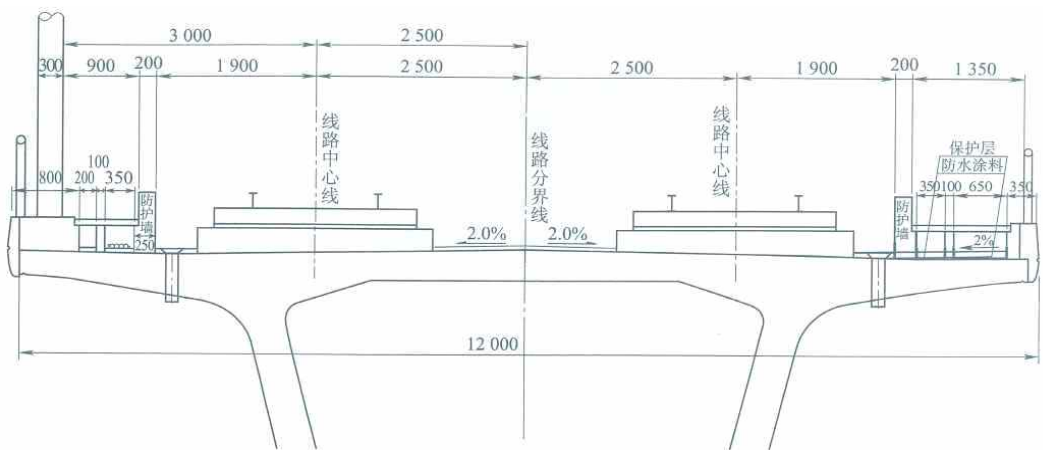


그림 2.18 콘크리트 케도 교량 단면-작업통로 미확보시(China)

- 방호벽의 높이는 직선구간의 경우 교량바닥판으로부터 700 mm, 곡선구간의 경우 내측 700 mm, 외측 880 mm로 하고, 궤도조건에 따라 높이를 조정하는 것으로 하고 있다. 방호벽의 폭은 국내와 동일하나, 교량바닥판으로부터 방호벽까지의 높이가 경부고속철도 975 mm, 호남고속철도 940 mm으로(직선구간), 차축박스중심 높이를 기준으로 하는 국내와 비교하여 다소 낮은 높이로 적용되고 있다.

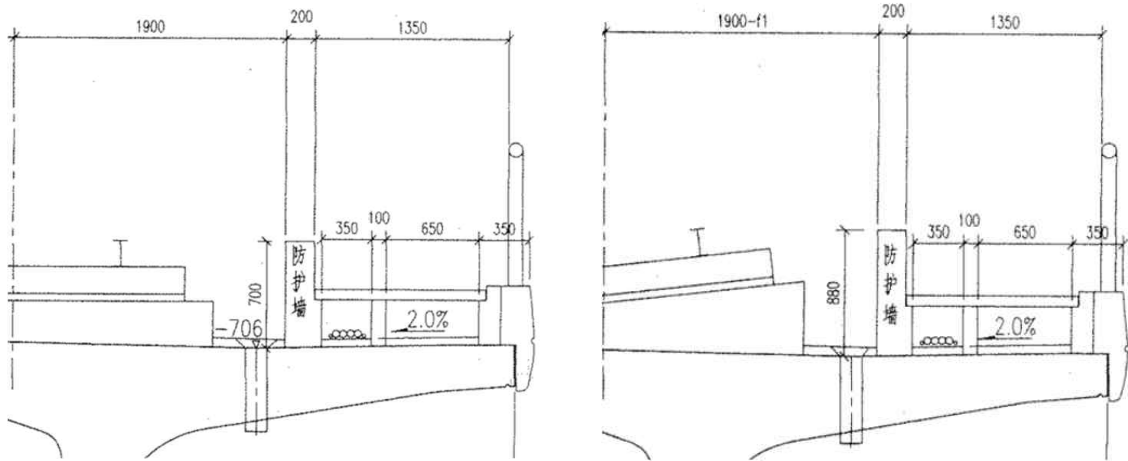


그림 2.19 방호벽 높이(China)

(2) Hong Kong(West Kowloon with Tuen Mun)

- 중국 홍콩의 West Kowloon with Tuen Mun에서는 일탈방호 개념의 선로 내에 유지시키는 목적으로 ‘Derailment Upstand Wall’을 설치한 사례가 있다. 이 벽은 궤도 TCL층 측면에 인접하여 설치되며, 폭 400 mm로 국내 방호벽의 폭 250 mm 보다 크고, 높이는 교량바닥판으로부터 770~980 mm로 국내보다 낮거나 유사한 것으로 판단된다(DCP Type 2 또는 3).



그림 2.20 홍콩의 일탈방호시설1(China)



그림 2.21 홍콩의 일탈방호시설2(China)

라. 미국(USA)

(1) CHSTP(California High Speed Train Project)

- 미국 CHSTP의 Design Criteria(2013)에서는 탈선열차를 방호하기 위한 방안으로 열차차체방호와 일탈방호 개념 두 가지의 경우를 모두 제시하고 있다.
- 표 2.3은 열차차체방호를 위한 Barrier(Intrusion Protection) 개념의 벽체 설계하중을 나타낸 것으로, Euro code에서 제시하는 구조물에 대한 열차 충돌하중(EN 1991-1-7)과 거의 유사하다. 선로중심간격이 31 m이상인 경우에는 방호벽이 불필요하다고 제한을 두고 있고, 교량에서는 타 교통시스템과의 높이 차로 Intrusion Protection을 설치하지 않으며 난간과 검지시스템만 설치하도록 규정하고 있다.

표 2.3 Barrier에 작용하는 열차 충돌하중(CHSTP)

Barrier 높이	궤도방향 하중( $f_x$ )	궤도직각방향 하중( $f_y$ )
노면에서 3 m 이상	4,000 kN	1,780 kN

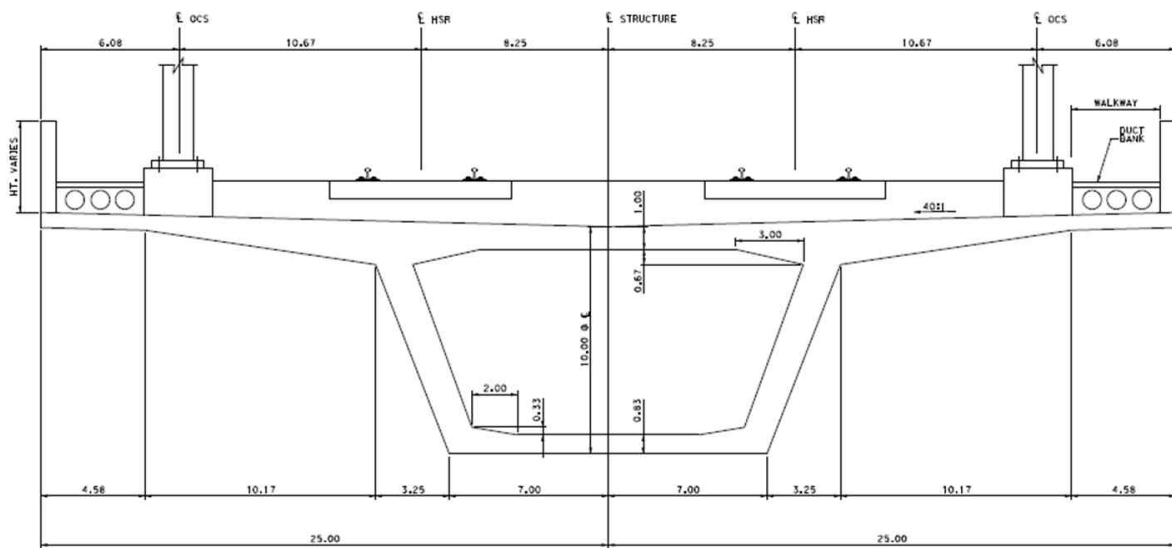


그림 2.22 CHSTP의 PSC 박스거더교 표준단면(USA)

- 일탈방호(DCP) 개념의 Containment/Protection Wall의 경우에는 벽 높이를 레일 상면에서 204 mm 이상으로 하고, 횡방향 수평하중 156 kN을 벽 상단에 재하하여 종방향(벽 길이방향)으로 1 ft(305 mm)로 분포시키도록 하고 있다. 또한 수평하중에는 Load factor 1.4를 적용하도록 하여 국내의 경우와 높이는 유사(경부1: 267 mm, 경부2: 271 mm, 호남, 234 mm)하나 설계하중에 다소 차이가 있다.

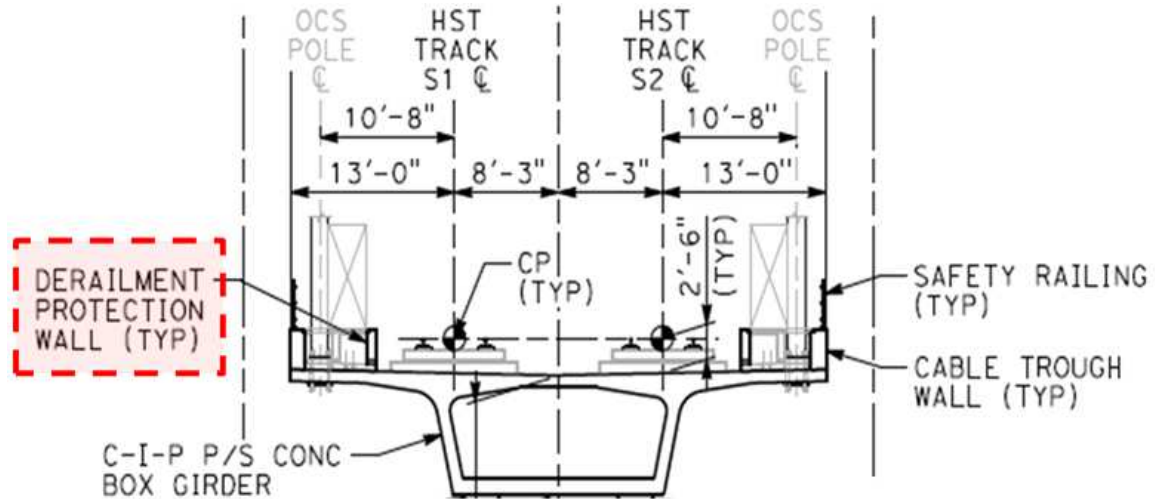


그림 2.23 CHSTP의 방호벽(Fresno River Bridge, USA)

## (2) AMTRACK

- 미국 AMTRACK에서는 일탈방호 목적의 DCP를 적용하지 않고 있으며, 좋은 상태의 궤도 및 열차 유지보수를 통한 탈선방지에 초점을 맞추고 있다. 또한 DCP는 오히려 유지보수 작업에 방해가 되며 잠재적으로 더 높은 위험을 유발할 수 있다고 판단하고 있다.

마. 일본(Japan)

(1) Central Japan Railway Company & Shinkansen Japan

○ 일본은 교량구간에 한하여 탈선방지시설인 가드레일 방식과 같은 DCP Type 1을 적용하고 있으며, 특정 위험도가 높은 지역에만 탈선방호시설인 DCP Type 3을 적용하도록 하고 있다. 그림 2.24~30에서와 같이 일반적으로 공동관로, 난간 외 벽 형태의 탈선방호시설물은 찾아볼 수 없다.

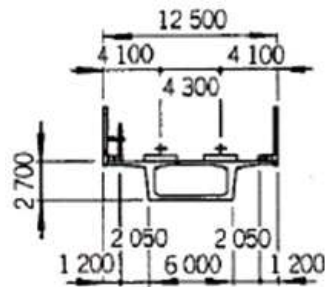


그림 2.24 Dai-San Mabuchi-gawa Bridge-연속상로아치교(Japan)

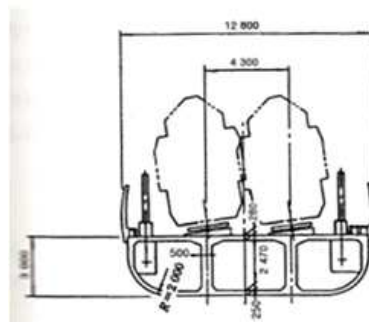


그림 2.25 The 2nd Chikuma River Bridge-사장교(Japan)

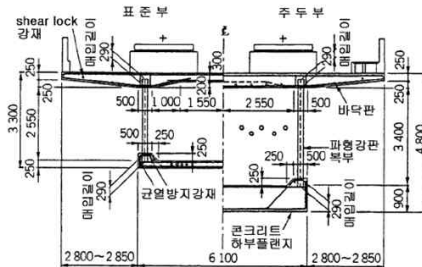
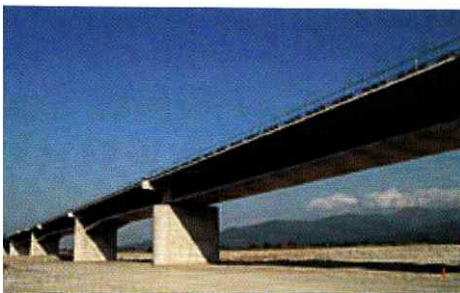


그림 2.26 Kurobegawa Bridge-과형강관 복부관 PC교(Japan)

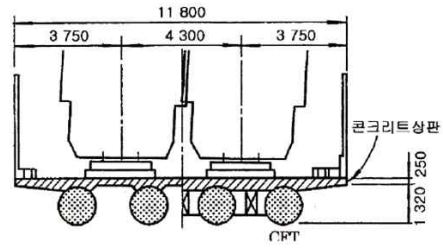
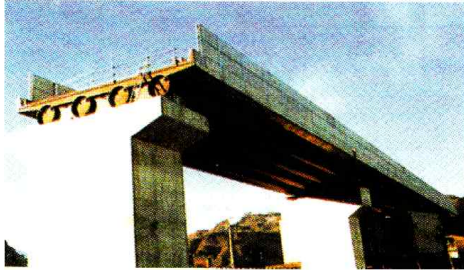


그림 2.27 Hokuri kudo Kado Bridge-충진강관 복합거더교(Japan)

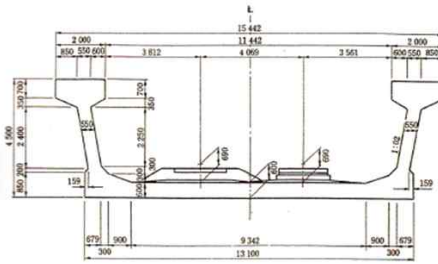


그림 2.28 Nishi-Gojodori Kado, Tantogawa, Otsugawa, Kita-Mikawa Bridge-하로 U형 거더교(Japan)

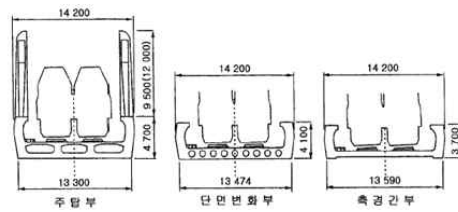
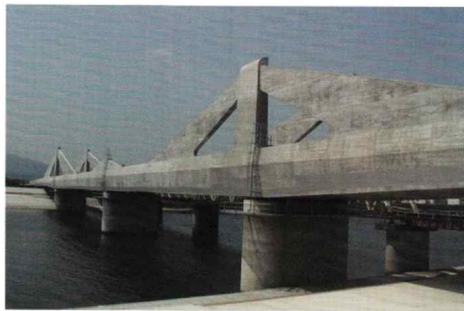


그림 2.29 Sendaikawa bridge, Natori River Bridge-PC 사판교(Japan)

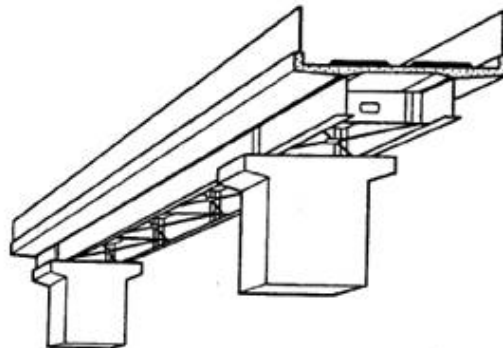


그림 2.30 Kokaigawa Bridge-소수주형 합성거더교(Japan)

바. 프랑스(France, SNCF)

- 프랑스는 탈선방지의 목적으로 아래와 같은 조건의 교량구간에 가드레일과 같은 DCP Type 1을 적용하고 있다.
  - 50 m이상의 교량 또는 열차속도 130 km/h이상
  - 하부에 주택가가 있는 등의 위험도가 높은 지역
  - 주 본선에 침범할 수 있는 지역
  
- 그러나, 교량의 폭이 충분하여 선로중심간격이 4.5 m 이상인 경우는 DCP를 적용하지 않고 있다. 국내의 경우 고속철도 교량의 선로중심간격이 4.8~5.0 m이므로 프랑스 기준을 따르면 DCP를 적용하지 않아도 되는 조건이다. 프랑스에서는 주행 레일에 의해서도 탈선된 열차의 일탈을 제한할 수 있는 것으로 보고 있으며, 이를 위해 교량 및 고성토 구간에서 충분한 폭을 확보하는 것을 지향하고 있다.
  
- 그림 2.31~39에서와 같이 일반적으로 공동관로, 난간 외 벽 형태의 탈선방호시설물은 찾아볼 수 없다. 그림 2.38와 39에서는 벽 형태의 구조물이 있으나 이는 DCP 개념이 아닌 유지보수 작업자의 통행로를 위한 구조물이다.

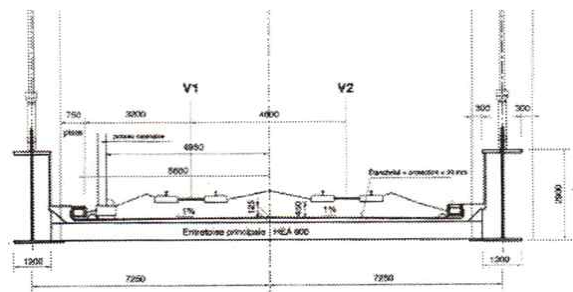


그림 2.31 Peage A7 Bridge-하로 강아치교(France)

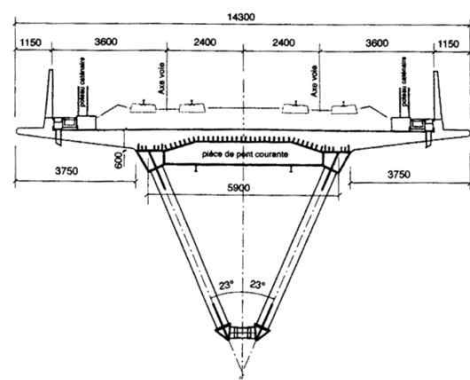


그림 2.32 Arc River Bridge-상로 트러스 아치교(France)

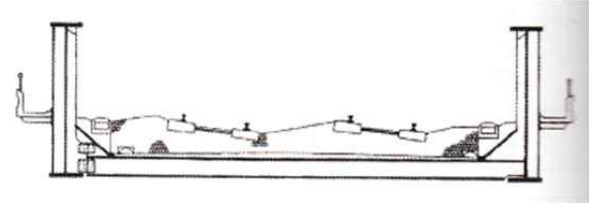


그림 2.33 St.Andre Bridge-하로 판형교(France)

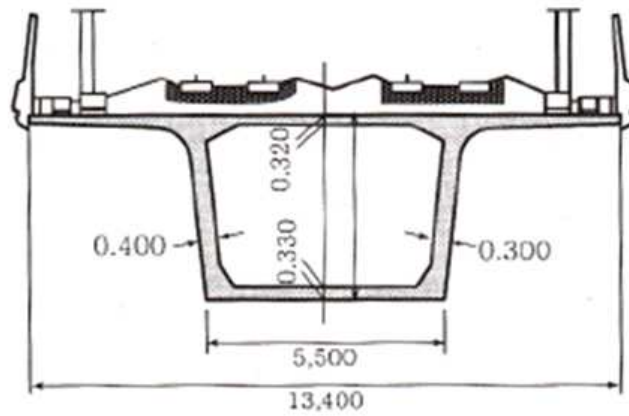


그림 2.34 Grenette Bridge-PSC 박스거더교(France)

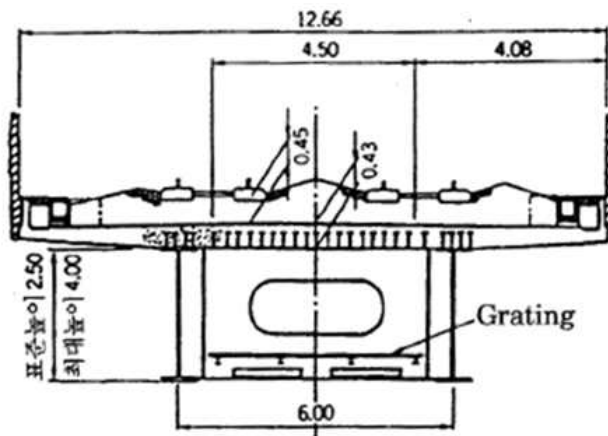


그림 2.35 St.Genies, Drôme, Cavillon Bridge-소수주거더교(France)

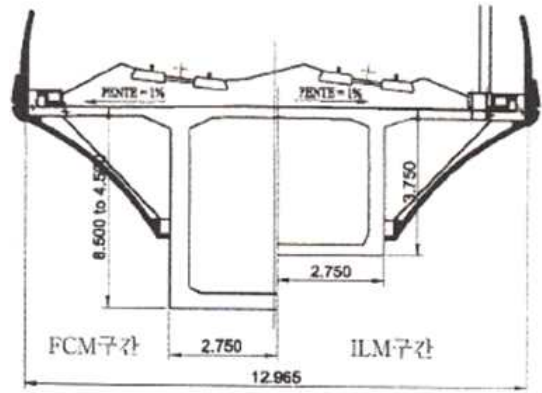
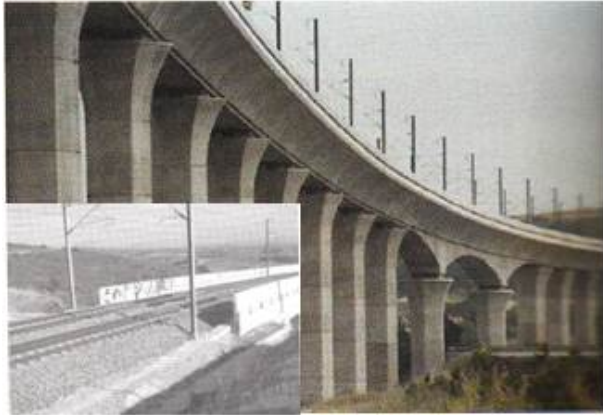


그림 2.36 Ventabren Bridge-PSC 박스거더교(France)

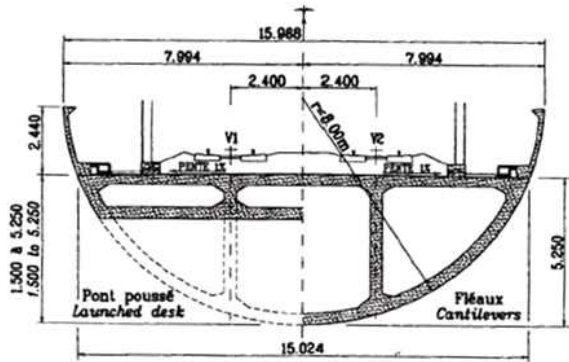
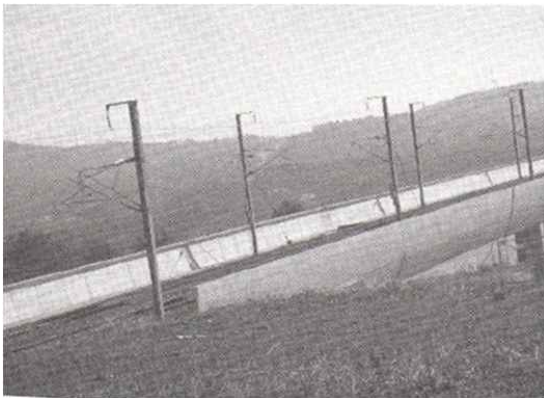


그림 2.37 Vernegues Bridge-원형 박스거더교(France)

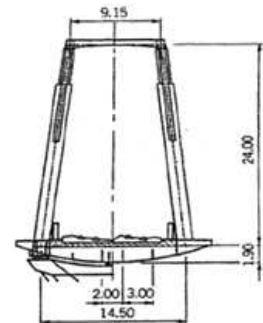


그림 2.38 Gard-Adhemar Bridge-하로 연속 강아치교(France)

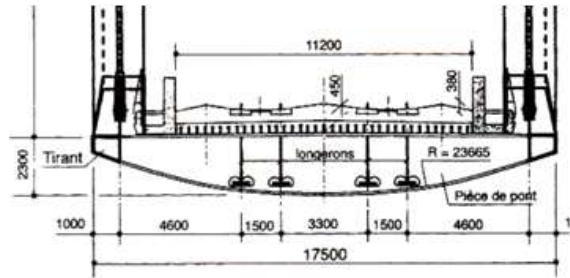


그림 2.39 Bonpas, Mornas, Mondragon Bridge-하로 강아치교(France)

사. 벨기에(Belgium, SNCB)

- 벨기에는 프랑스와 유사한 규정을 적용하고 있는 국가로, 탈선방지의 목적으로 교량 및 높은 토노반 구간에서만 DCP Type 1을 적용하며 침하의 가능성이 있는 특정지역에서만 DCP Type 3을 적용하도록 하고 있다. 기본적으로 탈선을 사전 방지하는 시스템 구축에 힘을 쏟고 있다.

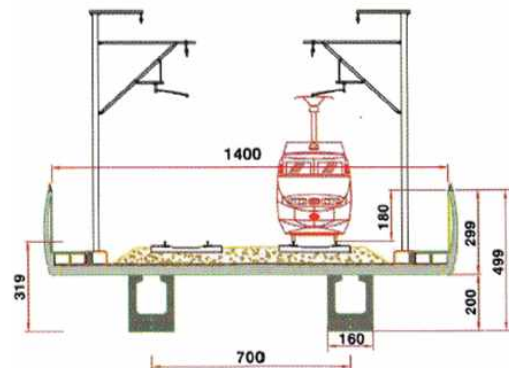


그림 2.40 Jose, Herve, Battice, Ruyff Bridge-2중 박스거더교(Belgium)

아. 덴마크(Denmark, Great Belt Railway Link & Øresund Link))

- 덴마크 Great Belt Railway Link의 교량 구간에서는 탈선방지의 목적으로 DCP Type 1인 가드레일을 적용하고 있으며, 터널에서는 궤도 양쪽의 작업로가 DCP Type 3로 적용된다. 이때 콘크리트 벽체는 100 kN/m의 수평하중으로 설계하고 있다.
- 또한, 덴마크와 스웨덴을 연결하는 Øresund Link에서는 Side Walls 또는 Guiding Devices의 명칭으로 콘크리트와 Steel 형태의 DCP Type 3를 적용하고 있다. 터널과 교량 접속부 부근에는 콘크리트 벽을 적용하고, 교량 구간에는 중량저감을 위해 Steel 벽을 적용한다.

자. 이탈리아(Italy, High Speed Railway)

○ 이탈리아는 DCP에 대한 일반적인 관행이 없으며, 기존선에서의 탈선에 대한 기술적, 경험적 사항을 고려하여 고속선 궤도의 선로중심간격 확대를 지향하고 있다. 그림 2.41에서와 같이 일반적으로 공동관로, 자갈막이, 난간 외 벽 형태의 탈선방호시설물은 찾아볼 수 없다.

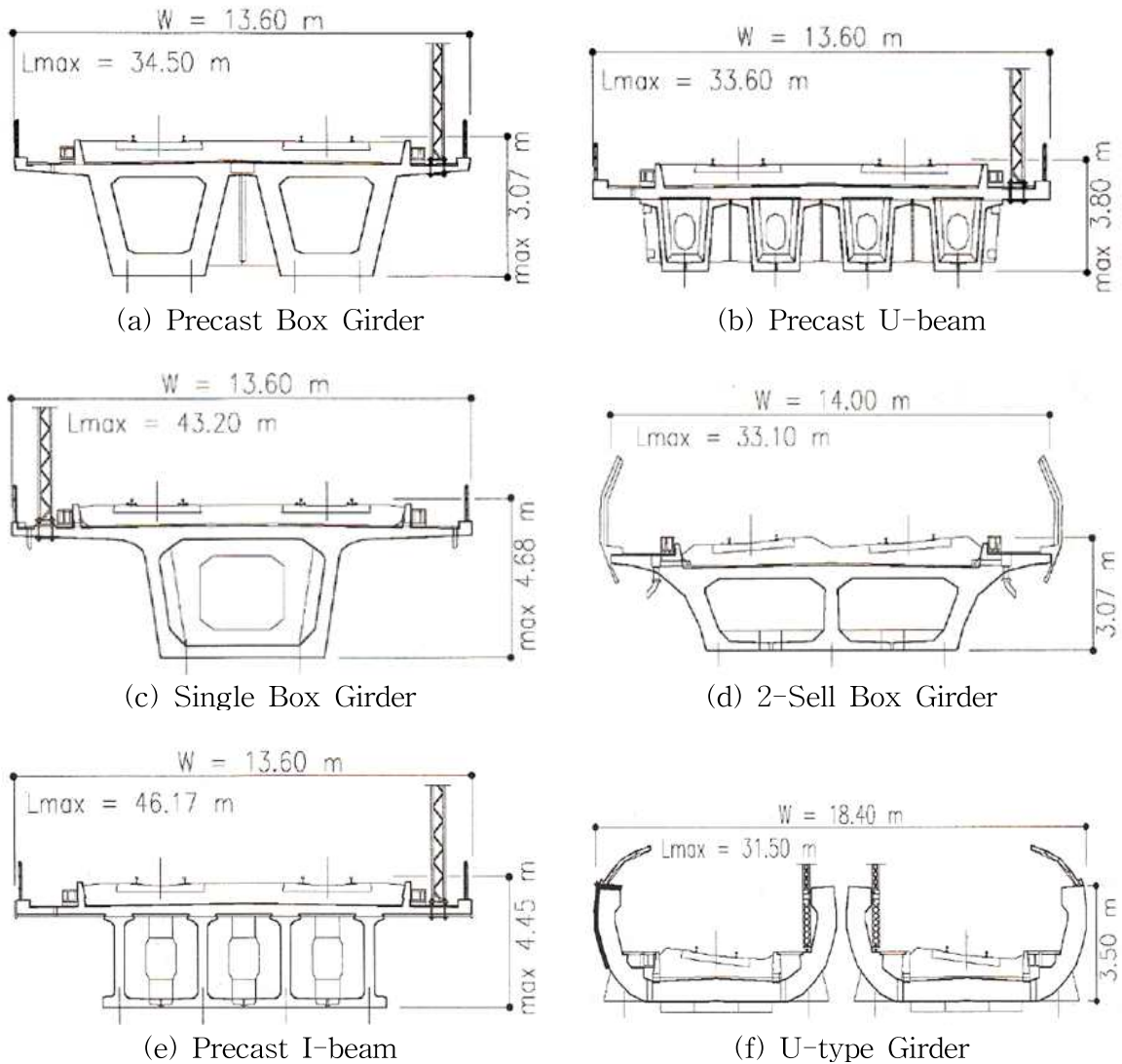


그림 2.41 고속철도 교량 상부 주요 단면(Italy)

차. 스페인(Spain, High Speed Railway)

○ 스페인 고속철도 교량 역시 그림 2.42, 43에서와 같이 일반적으로 공동관로, 자갈막이, 난간 외 벽 형태의 탈선방호시설물은 찾아볼 수 없다.

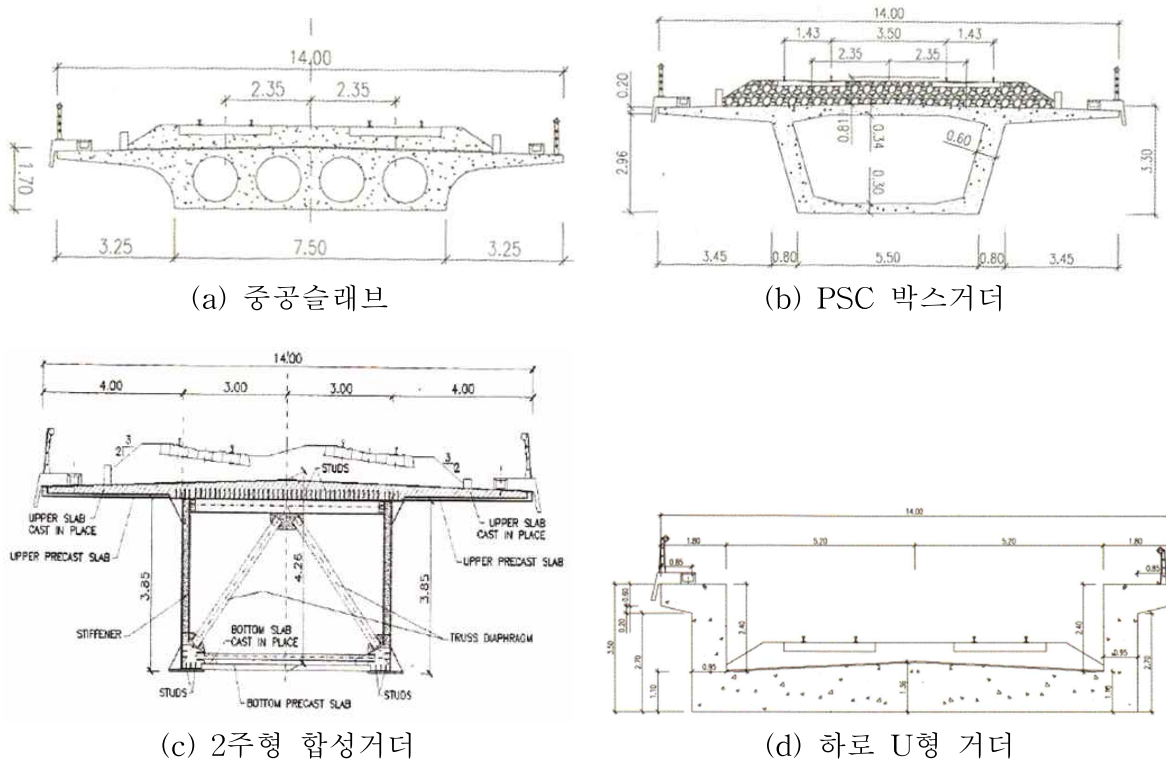


그림 2.42 고속철도 교량 상부 주요 단면(Spain)



그림 2.43 Ebro River Bridge-하로 PSC 박스형 거더교(Spain)

카. 네덜란드(Netherlands, HSL-Zuid Project)

- 네덜란드와 벨기에를 잇는 고속철도라인 HSL-Zuid 프로젝트(2004)에서는 탈선열차의 일탈방호 목적으로 궤간 내 구조물방식인 DCP Type 1의 Concrete Plinth를 적용한 사례가 있다. 궤도는 콘크리트 궤도 Rheda track과 접목하여 설계한 것으로 판단되며, Plinth의 높이는 170 mm, 폭은 500 mm로 하여 길이방향의 변단면으로 적용하였다.

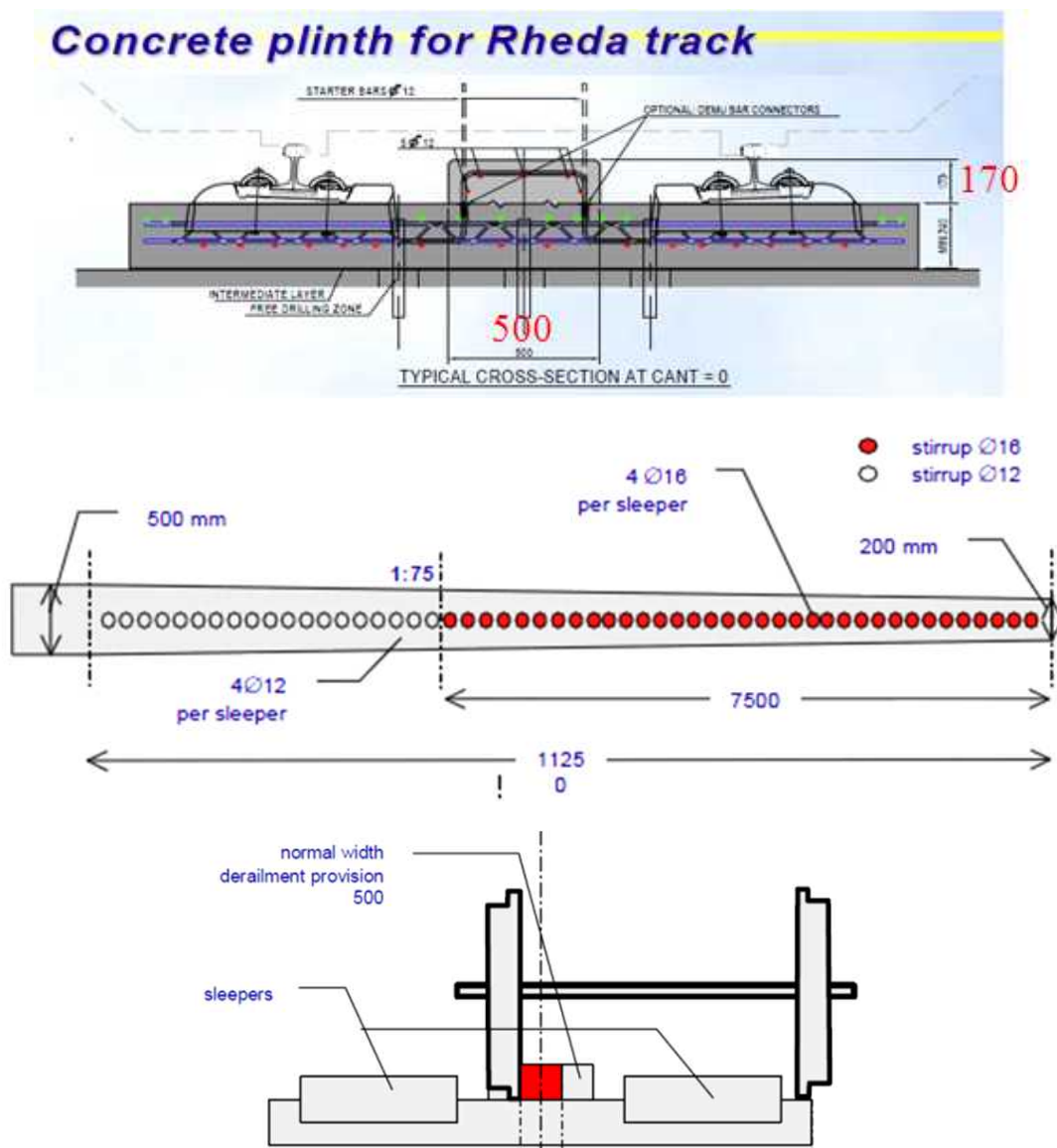



그림 2.44 Concrete Plinth(Netherlands)

#### 4. 국내의 탈선방호시설 관련 현황 요약

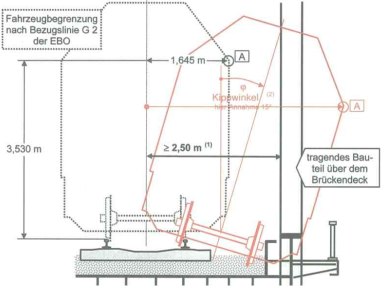

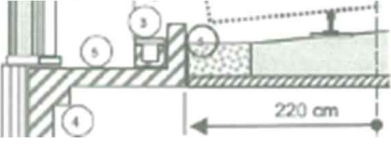
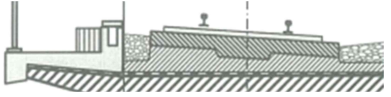
표 2.4 국내의 탈선방호시설 관련 현황

Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
Korea	KR	Type 1	·일반선에서만 Guard Rail 적용 ·곡선반경 300 m 미만 또는 탈선위험이 있는 장소, 교량길이 18 m 이상 적용	·Guard Rail에 대한 세부 규정은 선로유지관리지침에 명시 ·DCP Type 3의 높이와 위치(이격거리)에 대한 규정은 없음.	
		Type 3	·고속철도(200 km/h 이상) 교량에만 적용 ·열차의 수평 이탈을 제어할 수 있도록 150 kN의 수평하중으로 설계 ·높이: 차축중심과 접촉하도록 설계		
UK	UK (General matters)	None		·일반적 관행 및 단일 기준 없음. ·‘GC/RC5110-Recommendations for the design of bridges’가 가장 관련됨.	·확인된바 없음
	CTRL (2002)	Type 1	·일반선에서만 적용	·100% 탈선을 방호하는 DCP는 없다고 인식. ·탈선 후를 관리하는 것보다 탈선 원인을 방지하는 것에 초점. ·여객선만 취급한다면 타당성이 없으며, 혼합된 선로와 같은 위험도가 높은 지역에 요구됨. ·DCP의 효율성을 입증할 수 있	·확인된바 없음
		Type 3	·Concrete Kerb 및 주행레일이 차량의 횡방향 이탈을 저항할 수 있는 위치로 설계		

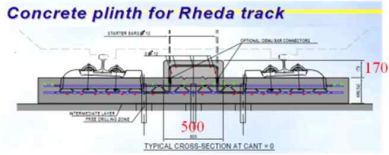
Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
			<ul style="list-style-type: none"> <li>·교량: 자갈 경계벽을 겸하여, 레일상 높이 100 mm, 수평하중 200 kN으로 설계</li> <li>·탈선 피해가 심각한 지역: 레일상 높이 200 mm, 수평하중 300 kN으로 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·는 근거가 없기 때문에, 일반적인 탈선 가정 및 추정된 범위 내에서 위험도 분석이 수행됨.</li> <li>·고속선에서 DCP Type 1과 2는 효과가 없다고 판단.</li> <li>·DCP에 대한 이론적 접근은 기술적으로 실현가능하고 궤도 노반 설계와 호환되도록 해야 함.</li> </ul>	
	UK Heathrow Express Tunnels	Type 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>·궤간 내 중앙에 Concrete up-stand 설치</li> <li>·높이: Rail level, 차륜 허용변위: 215 mm</li> </ul>		·확인된바 없음
	RSSB (2000)	Unclassified	<ul style="list-style-type: none"> <li>·탈선 방향 차륜이 벽에 충돌하기 전, 반대방향 차륜이 주행레일에 의해 가이드 되도록 설계</li> <li>·벽 이격거리: Rail running edge로부터 1,500 mm 이상</li> <li>·벽 높이: 레일상 350 mm 이상</li> <li>·공칭 수평하중: 100 kN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·선로 변 구조물과 열차의 충돌은 상당한 damage 유발.</li> <li>·유리한 일탈방호 효과를 가질 수 있는 조건 제안.</li> <li>·GC/RC5110-Recommendations for the design of bridges</li> <li>·공칭 수평하중 100 kN은 EN 1991-2에서 제시된 열차의 사행동에 의한 횡하중(Nosing force)임.</li> </ul>	·확인된바 없음

Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
	NR (2011)	Unclassified	<ul style="list-style-type: none"> <li>·RSSB와 동일한 개념</li> <li>·벽 이격거리: Rail running edge로부터 1,600 mm 이상</li> <li>·벽 높이: 레일상 350 mm 이상</li> <li>·설계 수평하중: 154 kN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·NR/L3CIV/020-Design of bridges</li> <li>·설계 수평하중 154 kN은 공칭 수평하중(100 kN)에 Partial factor를 고려하여 산정.</li> </ul>	·확인된바 없음
China	High Speed Railway	Type 2 or 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>·선로중심과 벽의 간격: 2.2 m(자갈궤도), 1.9 m(콘크리트 궤도)</li> <li>·벽 높이: 교량상 900 mm(자갈궤도), 교량상 700 mm(콘크리트 궤도)</li> </ul>	·방호벽 높이는 궤도 시공 후 궤도조건에 따라 재조정할 수 있음.	
	Hong Kong, West Kowloon with TuenMun (2002)	Type 2 or 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Upstand wall의 위치는 콘크리트 궤도 측면에 인접하여 설치</li> <li>·벽 높이: 교량상 770~900 mm, 폭: 400 mm</li> </ul>		

Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
USA	US AMTRACK	None		·양호한 궤도상태와 유지보수 관리를 통한 탈선 방지에 초점.	·유지보수에 방해 ·더 높은 위험 유발 가능성 있음.
	CHSTP (2013)	Type 2 or 3	·Containment / Protection wall 높이: 레일상 204 mm 이상 ·수평하중: 궤도 길이방향으로 218 kN/ft(1 ft=305 mm)	·California High-Speed Train Project의 Design Criteria 확립. ·공칭 수평하중 156 kN에 Load factor 1.4 고려(218 kN).	
		Barrier	·Intrusion Protection 목적으로 설계 ·Barrier 높이: 노면에서 3 m 이상 ·궤도방향 하중: 4,000 kN ·수평방향 하중: 1,780 kN	·예외: 선로중심간격 31 m 이상인 경우 불필요. ·교량에서는 타 교통시스템과 높이 차가 있으므로 설치하지 않음. ·충돌하중 크기; EN 1991-1-7	
Germany	DB	Type 1	·특정조건 하의 일반 및 화물열차가 혼합된 선로에서만 Guard Rail 적용	·Guard rail을 포함하여 탈선 대비를 위한 일반적인 관행이 있음. ·탈선 대비는 고속선에만 국한하지 않음.	·확인된바 없음

Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
	High Speed Railway	Unclassified	<ul style="list-style-type: none"> <li>·고속철도 교량</li> <li>·탈선 방향 차륜이 벽에 충돌하기 전, 반대방향 차륜이 주행레일에 의해 가이드 되도록 설계(UK RSSB 개념과 유사)</li> <li>·선로중심과 벽의 간격: 2.2 m 이상</li> <li>·벽 높이: 레일 면 이하</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>·콘크리트 궤도에도 벽과 궤도 사이에 자갈 충전 (탈선 시 이탈된 차륜의 완충)</li> </ul>   	
Japan	Central Japan Railway Company & Shinkansen Japan	Type 1	·교량에서 Guard Rail 적용	·표준 확립 (Transportation Ministry of Japan 승인)	·확인된바 없음
		Type 3	·특정 위험도가 높은 지역에만 적용		

Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
Taiwan	High-speed Rail Corporation	Type 3	·전문가 판단에 의해 적용		·비용
France	SNCF	Type 1	·모든 노선에 대해 위험도가 높은 지역에만 적용하는 것에 초점을 맞춤 ·교량: 길이 50 m 이상 또는 열차 속도 130 km/h 이상 ·교량 하부에 주택가가 있거나 주변선에 침범할 수 있는 위험도가 높은 지역	·예외: 선로중심간격 4.5 m 이상, 급곡선부(2000 m 이하)로 변화되는 완화곡선 구간에서는 적용하지 않음. ·고속선에서 적용되며, 벨기에의 기준과 유사함. ·충분한 폭을 확보하여 주행레일이 충분히 탈선열차의 일탈을 방호할 수 있도록 함.	·유지보수작업 방해
Belgium	SNCB	Type 1	·교량 & 높은 토노반에서 적용	·프랑스 규정과 유사함.	·확인된바 없음
		Type 3	·침하의 가능성 있는 특정지역만 적용		
Denmark	Great Belt Railway Link	Type 1	·교량에서 Guard Rail 적용	·위험도 수용 기준(Risk acceptance criteria)을 확립. ·추가적인 방지대책이 요구되지 않고 이 기준을 충족함.	·확인된바 없음
		Type 3	·터널에서 궤도 양쪽 작업로가 탈선 일탈방호벽의 역할을 할 수 있도록 함 ·길이방향에 따라 100 kN/m의 수평하중으로 설계		

Country	Organization /Project	Type of DCP	Conditions	Comments	Identified Adverse Effects
Sweden / Denmark	Øresund Link	Type 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Side Wall / Guiding Device</li> <li>·교량: Steelwall 적용(중량저감)</li> <li>·터널 &amp; 교량 접속부: Concrete wall 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·시스템은 고유의 특성이 있으므로 건설시점에서 이용할 수 있는 정보가 없었음.</li> <li>·이에 기술적 위험도 분석을 시도하였음.</li> </ul>	·확인된바 없음
Italy		None	·선로중심간격 확대(고속선)	<ul style="list-style-type: none"> <li>·일반적 관행 및 단일 기준 없음.</li> <li>·기존선에서의 탈선에 대한 경험 및 기술적 사항을 고려하여 결정</li> </ul>	·저속 운행선에서 확인된바 없음.
Netherlands	HSL-Zuid	Type 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>·궤간 내 중앙에 Concrete Plinth 설치</li> <li>·높이: 170 mm, 폭:500 mm</li> </ul>		·확인된바 없음

○ 탈선방호시설물과 관련하여 미국, 중국, 일본, 영국, 독일 등 12개국의 현황에 대해 조사·분석을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 일반적으로 고속선에서 DCP의 효과를 입증할 수 있는 분석방법은 없음.
  - 탈선열차를 100% 방호하는 DCP는 없음.
  - DCP에 대한 단일 규정 및 적용되는 표준이 없음.
  - DCP 적용 시 효율성 및 타당성을 판단할 수 있는 근거 없음.
- DCP의 역효과는 비용, 유지관리 문제, 특정조건에서의 탈선피해 확대 등이 있음.
- 탈선 원인 방지/예방을 위한 관리에 노력을 기울이며, 선로중심 간격 확대 및 충분한 폭 확보를 지향함.

○ 국내외 현황과 설계기준 분석을 통해 도출된 국내의 기존 방호시설의 문제점은 다음과 같다.

- 국내에서 현재 적용되고 있는 탈선하중 150 kN은 탈선(충돌)하중이 아닌 열차의 사행동에 의한 횡방향 하중(Nosing Force)임.
- 현재 국내 설계기준에 탈선방호벽이라고 명명된 벽은 DCP Type 3에 해당됨.
- 현재 국내 방호벽 형식(DCP Type 3)의 경우, 설계기준에 궤도중심으로부터의 이격거리와 레일면상 높이에 대한 규정이 필요함. 또는 새로운 형식의 DCP 적용시 기하조건 및 설계기준에 대한 명확한 규정화 필요.

## 2절 연구개발 동향 분석

### 1. 3P(Patent, Paper, Product) 분석 방법

- 본 기획과제 공동기관(한국철도기술연구원)의 기술정보분석팀을 활용하여 연구개발 동향을 분석하기 위한 3P 분석을 수행하였다.

#### 가. 분석 범위

- 특허의 분석 범위는 미국, 유럽, 일본, 한국, 중국의 1990년부터 현재까지 출원 및 등록특허 약 16년을 대상으로 하였다.
- 논문의 분석 범위 또한 1990년부터 현재까지 약 16년간 전 세계에 출판된 논문을 대상으로 하였다.
- 시장 분석은 가장 최근까지의 시장동향 보고 자료를 활용하였다.

표 2.5 특허(Patent) 분석 기준

구분	분석 기준				
검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2015.10.08 (약 16년)				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

표 2.6 논문(Paper) 분석 기준

구분	분석 기준
검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
검색국가	World
분석구간	1990.01.01.~2015.10.08
검색범위	Title, Abstract

나. 기술 분류

- 전 세계의 광범위한 자료에서 본 연구에서 개발하고자 하는 기술의 관련성/연관성을 구분하고, 세부적으로 정량·정성적 분석을 위해 대상기술을 대분류·중분류·소분류로 구분한다.

표 2.7 기술 분류

대분류	중분류		소분류	
탈선열차의 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 (Engineering development of the concrete track with the containment capacity of derailed train)	A	열차 탈선 (Train derailment)	AA	탈선 메커니즘 (Derailment mechanism)
			AB	탈선 안전성 분석/평가 (Analysis/Evaluation of derailment safety)
			AC	탈선 후 거동 (Behavior after train derailment)
	B	열차 충돌 (Train collision)	BA	열차간 충돌 (Train to train crash)
			BB	구조물과 충돌 (Collision with structure)
			BC	탈선 후 충돌 (Collision after train derailment)
	C	열차 방호 (Train protection, Derailment containment)	CA	일탈방지시설 (Containment wall, Derailment containment provision, DCP)
			CB	탈선방지시설 (Derailment prevention facility)
			CC	탈선방호벽 (Protection barrier)
	D	열차 사고 (Train accident)	DA	탈선/충돌사고 (Derailment/Collision accident of train)
	E	콘크리트 궤도 개발 (Development of concrete track)	EA	신형식 콘크리트 궤도 (New concrete track)

## 2. 기술(특허, 논문) 동향

### 가. 특허 기술 동향

#### (1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

- 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 237건의 관련 유효특허가 출원되었다. 2000년도 이후 관련특허의 출원이 급증하였고 최근까지 출원이 유지되고 있는 것으로 보아 이 기술분야에 대한 연구개발이 지속되고 있는 것으로 판단된다.

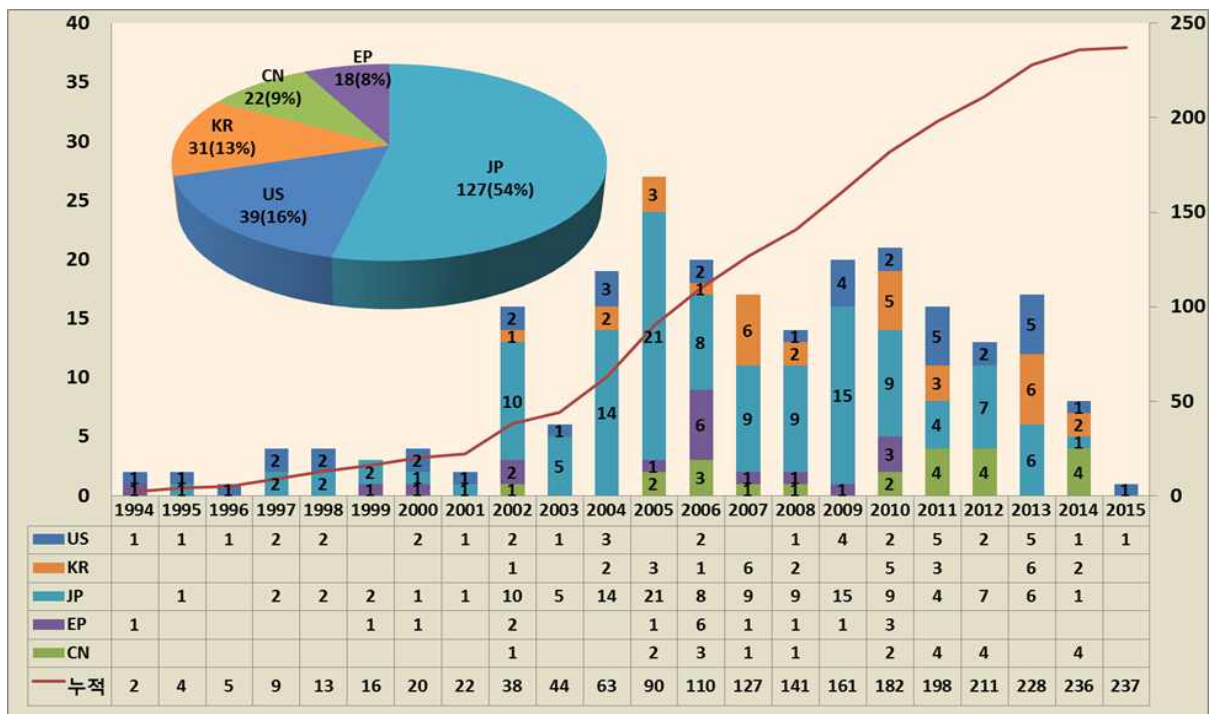


그림 2.45 출원년도 및 국가별 출원추이

- 국가별 점유율 분포를 살펴보면, 일본이 34%(127건)로 최다이며, 미국(39건), 한국(31건), 중국(22건), 유럽(18건) 순으로 나타났다.
- 2000년도 초반 이후 일본의 특허출원활동의 증가는 전체적 동향 변화를 주도할 정도로 이 기술분야를 선도하고 있는 것으로 보여진다.
- 한국과 중국은 2002년 이후 이 기술분야에 대한 특허를 출원하기 시작하였다. 2010년 전후를 기점으로 출원활동의 소폭적인 증가세가 나타나고 있어 시장 점유를 위한 관심이 확대되고 있는 것으로 판단할 수 있다.

(2) 세부기술별 특허출원 동향

- 세부기술(중분류)별 특허출원 동향을 보면, 열차 방호(C기술)이 119건(50%)으로 상대적으로 많은 특허가 출원되었다. 특히 C기술은 2000년대 초반 이후 약 10건 내외의 특허가 꾸준히 출원되었다.

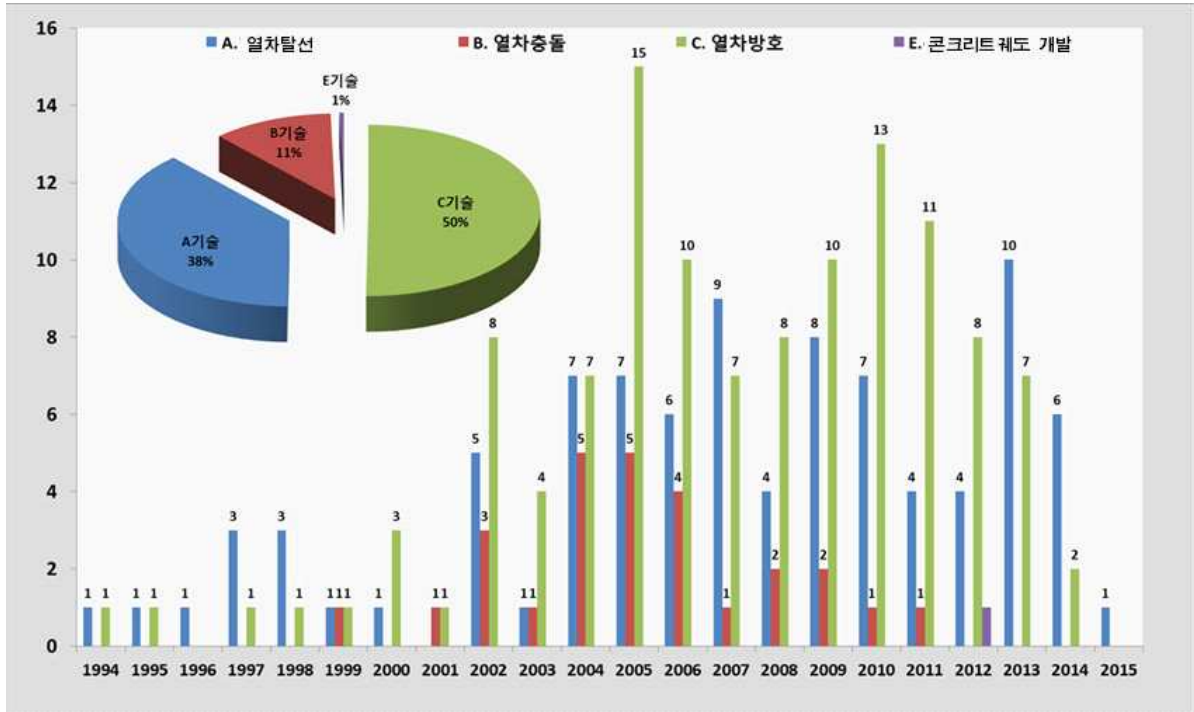


그림 2.46 기술분류별 출원추이

- 열차 탈선(A기술) 또한 2000년대 초반 이후 출원 증가세가 두드러지게 나타나기 시작하여 2010년 이후까지 지속되고 있어 최근 기술개발 및 연구가 활발한 것으로 판단된다(38%).
- 열차 충돌(B기술)은 2000년대 중반 출원활동이 집중되어 있으나 2010년 이후의 출원이 거의 나타나지 않고 있다는 점은 눈여겨 볼 필요가 있다.
- 열차탈선/충돌사고(D기술)와 신형식 콘크리트 궤도 개발(E기술)에 대한 특허활동은 매우 낮은 편이다.

(3) 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 출원인(Top 10 Assignee)을 살펴보면, 일본의 ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO가 31건으로 최다 출원인이고, CENTRAL JAPAN RAILWAY COMPANY와 RAILWAY TECHNICAL RES INST와 TOKAI RYOKAKU TETSUDO KK, AKEBONO BRAKE IND, NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK, HITACHI LTD 등의 일본 철도 관련 기업이 다수 포함되어 있으며, 독일의 MAX BOGL BAUNTEMEHMUNG, BOMBARDIER TRANSPORTATION가 주요 출원인으로 나타났다.
- 한국철도기술연구원(KRRI)이 주요 출원인에 포함된다.
- 일본의 CENTRAL JAPAN RAILWAY COMPANY와 HITACHI LTD, 독일의 MAX BOGL BAUNTEMEHMUNG와 BOMBARDIER TRANSPORTATION은 해외출원에 비중을 두고 있는 반면, 최다 출원인인 일본의 ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO를 포함하여 RAILWAY TECHNICAL RES INST, AKEBONO BRAKE IND, NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO와 한국의 철도기술연구원은 자국 위주로 출원한 것으로 나타났다.

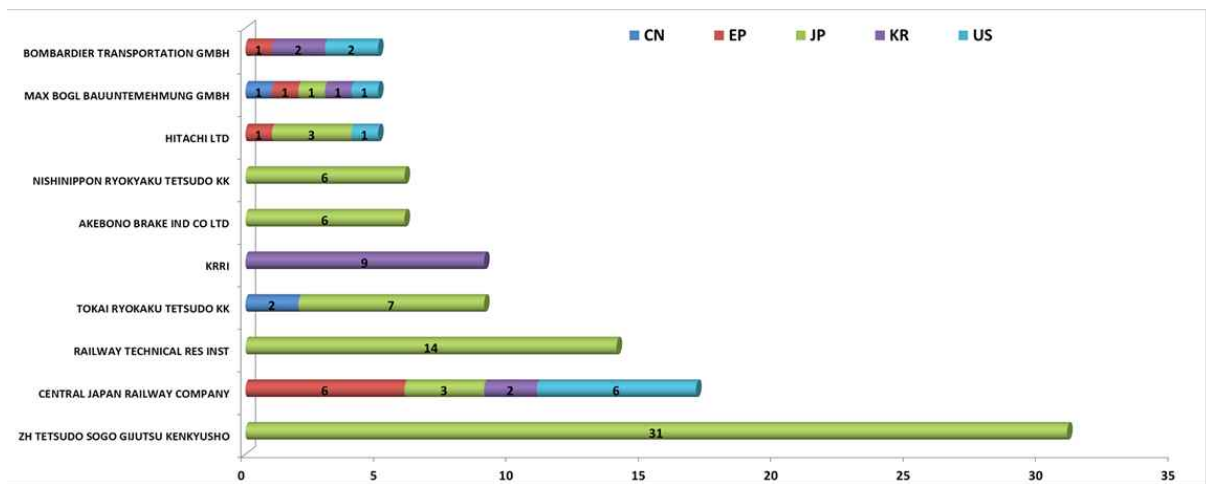


그림 2.47 주요 출원인 동향

- 최다 출원인인 일본의 ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO의 출원은 2000년대 초반부터 2010년 이전까지 비교적 꾸준한 특허출원을 보였으나 2010년 이후의 출원활동은 낮아진 것으로 나타났다.
- 차순위 최다 출원인인 일본의 CENTRAL JAPAN RAILWAY COMPANY와 한국철도기술연구원은 2000년대 중반 이후 최근까지 매년 2~3건 내외의 특허를 꾸준히 출원하고 있다.

- AKEBONO BRAKE IND는 2010년 전후로 특허출원이 나타나고 있어 시장 진입 단계의 출원인일 가능성이 있다.

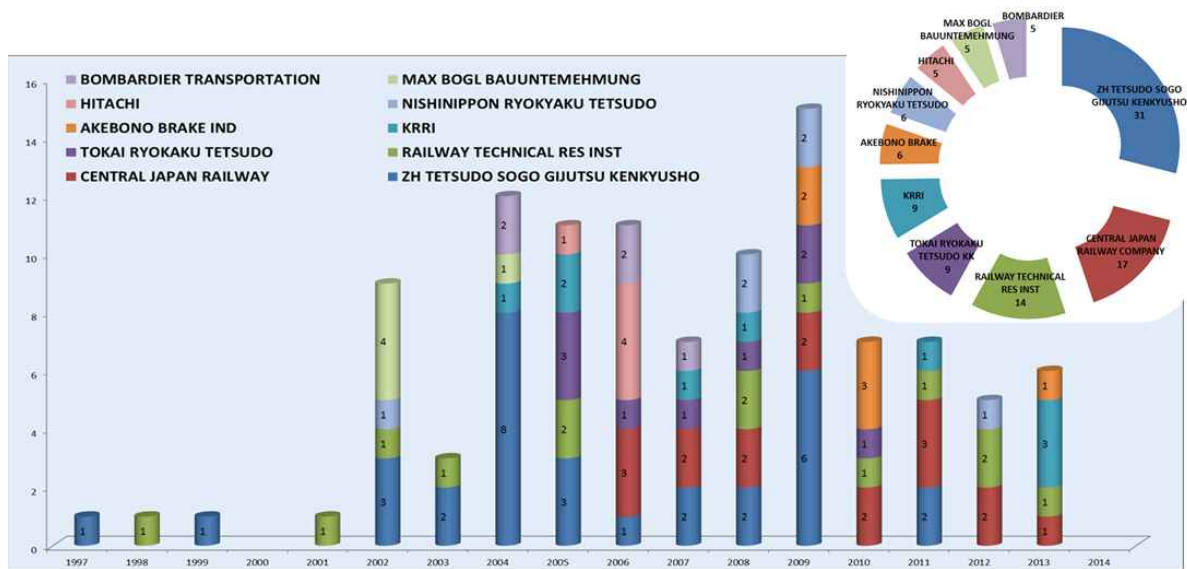


그림 2.48 연도별 주요 출원인 동향

- 일본의 ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHO는 열차 탈선(A기술), 열차 충돌(B기술), 열차 방호(C기술)에 고르게 특허출원하고 있으며, 특히 C기술 중, 탈선방지시설(CB기술)에 대한 출원이 가장 많다.
- CENTRAL JAPAN RAILWAY COMPANY와 TOKAI RYOKAKU TETSUDO KK는 탈선방지시설(CB기술) 위주의 연구 활동이 이루어지는 것으로 판단된다.
- 일본의 RAILWAY TECHNICAL RES INST은 열차 탈선(A기술), 열차 충돌(B기술), 열차 방호(C기술)에 고르게 특허출원하고 있고, 특히 탈선 메커니즘(AA기술) 분야의 연구가 활발한 것으로 나타났다.
- 한국철도기술연구원은 열차 탈선(A기술), 열차 충돌(B기술), 열차 방호(C기술)에 고르게 특허출원하고 있고, 특히 탈선 안전성 분석/평가(AB기술)분야의 연구가 활발한 것으로 나타났다.
- AKEBONO BRAKE IND는 탈선 안전성 분석/평가(AB기술) 위주의 특허출원을 실시하였고 탈선방지시설(CB기술)에도 특허출원 하였다.

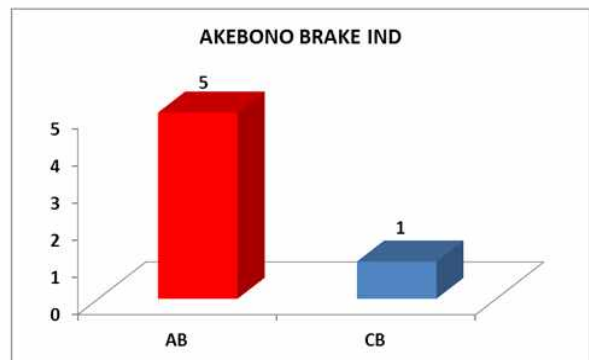
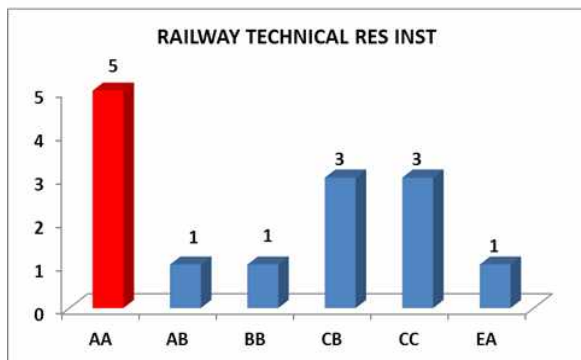
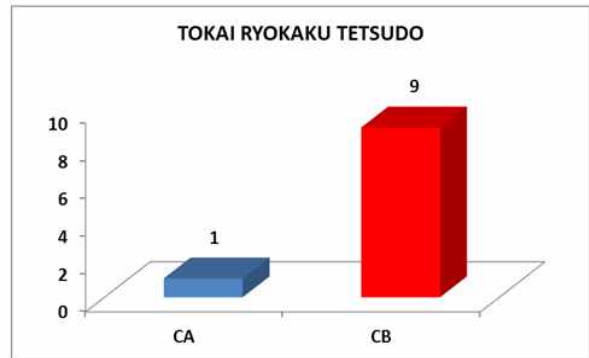
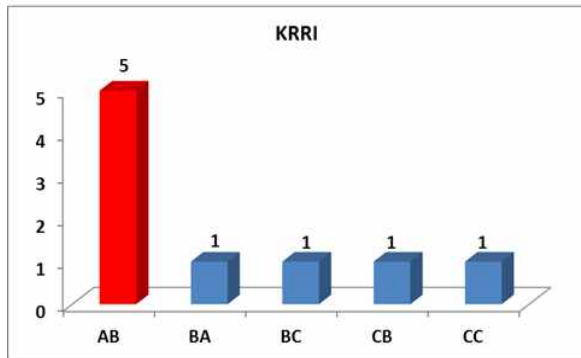
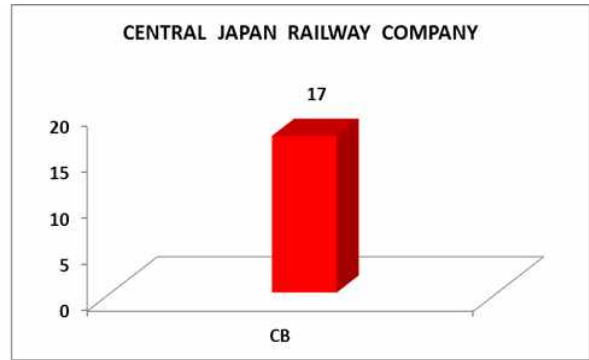
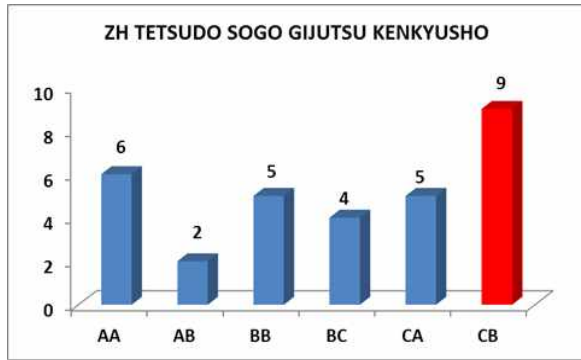


그림 2.49 주요출원인별 역점기술

(4) 국가별 기술분포

- 출원국가별 특허분포를 살펴본 결과 중국에서는 열차 탈선(A기술) 분야와 열차 방호(C기술) 분야에 10건 이상의 특허가 분포하고 있으나, 열차 충돌(B기술), 열차 사고(D기술), 콘크리트 궤도 개발 (E기술) 분야는 공백기술로 나타났다.
- 유럽에서는 열차 탈선(A기술) 분야와 열차 충돌(B기술)에 특허출원하였으나 출원 건수가 많지 않고, 열차 방호(C기술) 분야 위주의 연구가 진행되는 것으로 파악된다.
- 일본에서는 열차 방호(C기술)이 매우 활발한 것으로 나타났고, 열차 탈선(A기술) 분야와 열차 충돌(B기술)에서도 일정량 수준 이상의 연구가 진행되는 것으로 보여진다. 한편, 콘크리트 궤도 개발 (E기술) 분야에 대한 연구가 있으나 열차 사고(D기술)과 함께 사실상 공백기술로 볼 수 있다.
- 한국에서는 열차 탈선(A기술) 분야와 열차 방호(C기술)과 관련한 특허출원이 주를 이루고 있다.
- 대체로 타국에서 열차 방호(C기술)의 연구가 가장 활발한 것으로 나타났으나, 미국에서는 열차 탈선(A기술) 분야가 상대적으로 높게 나타났다.

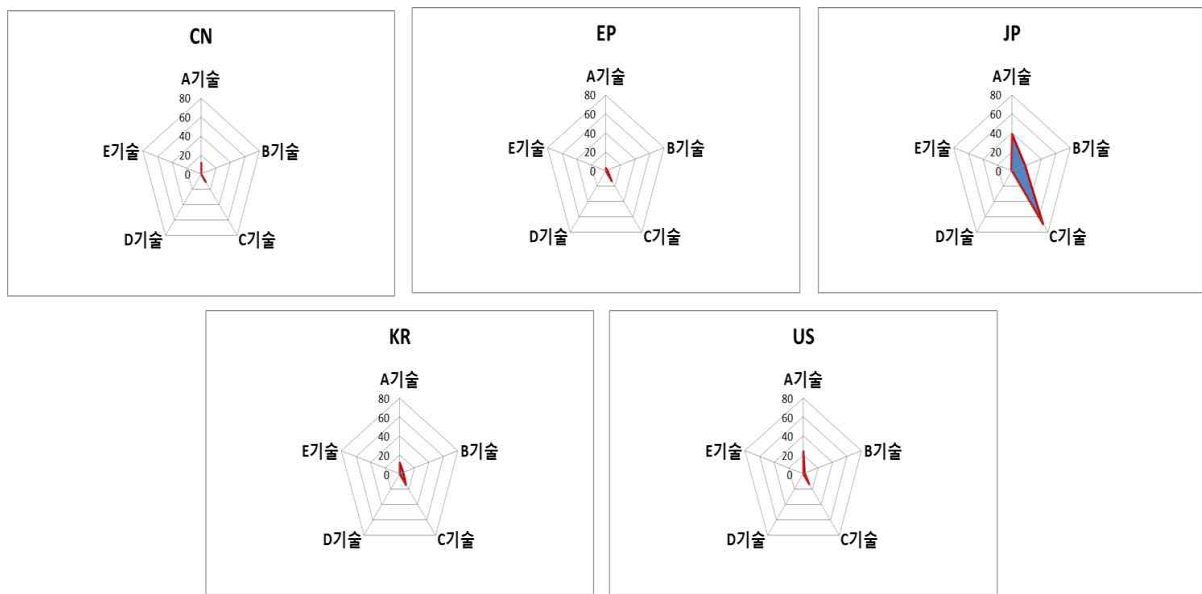


그림 2.50 국가별 기술분포(방사형)

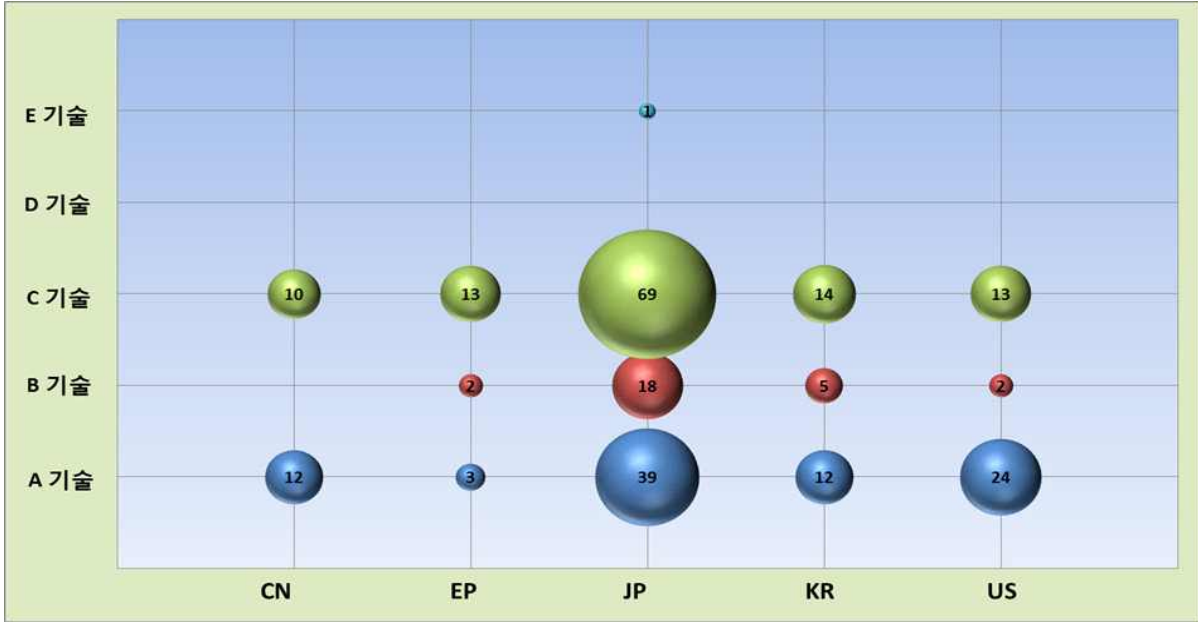


그림 2.51 기술별/국가별 기술분포(버블형)

○ 열차 탈선(A기술)에 대한 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 탈선 메커니즘(AA기술)과, 탈선 안전성 분석/평가(AB기술)에 집중되어 있다. 탈선 후 거동(AC기술)에 대한 출원은 일본에서 출원 이력이 있으나 매우 낮은 편이다.

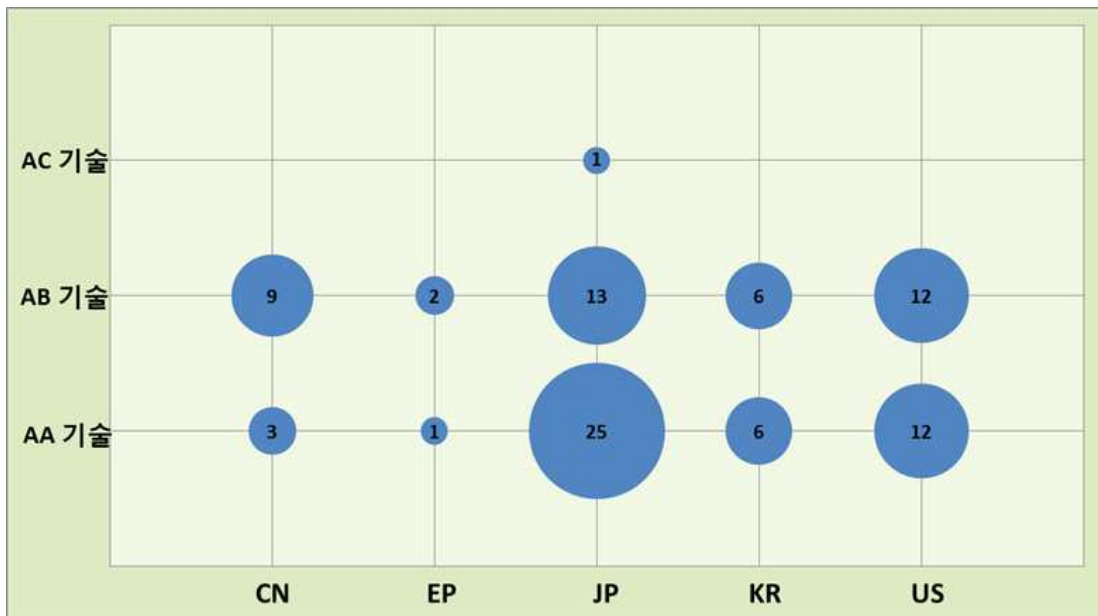


그림 2.52 세부기술별/국가별 기술분포(A기술)

- 열차 충돌(B기술)에 대한 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과, 일본은 구조물과 충돌(BB기술), 탈선 후 충돌(BC기술)을 리드하는 것으로 나타났으나 열차간 충돌(BA기술)은 공백기술이다.
- 중국에서 열차 충돌(B기술)에 대한 출원은 나타나지 않았다.

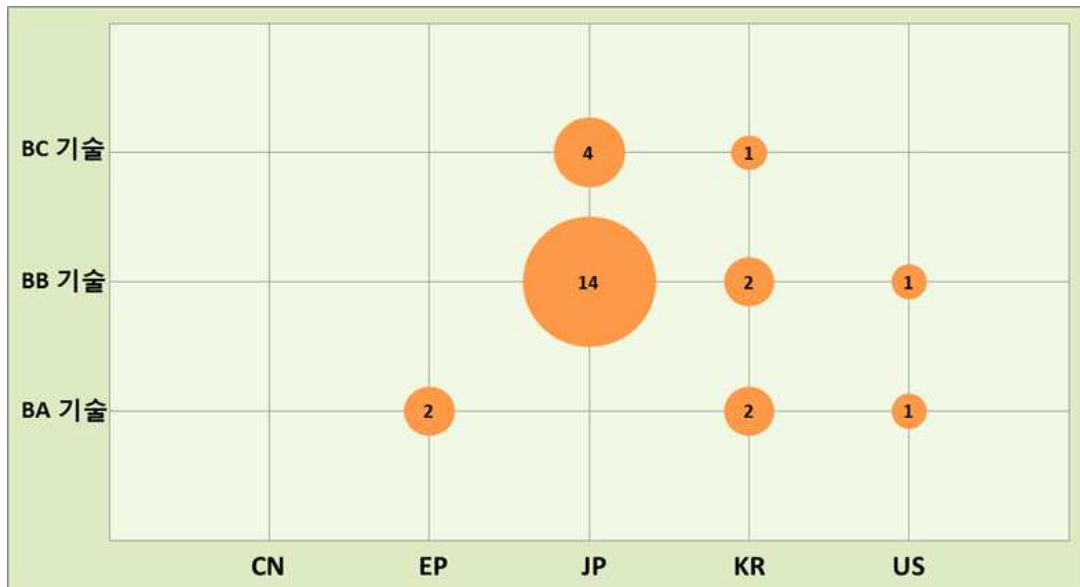


그림 2.53 세부기술별/국가별 기술분포(B기술)

- 열차 방호(C기술)에 대한 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 5개국에서 탈선방지시설(CB기술)에 집중된 출원활동을 보이고 있다. 탈선방호벽(CC기술)은 일본과 한국을 제외한 타 국가에서 출원이 나타나지 않았다.

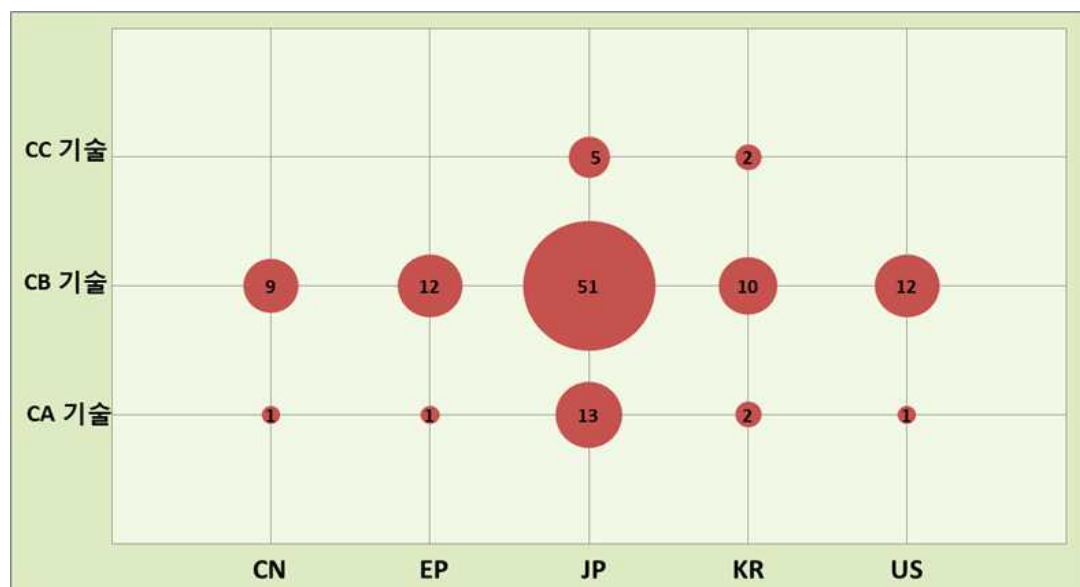


그림 2.54 세부기술별/국가별 기술분포(C기술)

(5) 국가별 특허현황

- 국가별 출원특허에 대해 우선권 국가가 자국인지 여부에 따라, 기술시장의 개방성과 해외의존도를 파악할 수 있다.
- 일본과 한국은 자국에 편중된 특허활동을 보이고 있어, 기술폐쇄성 및 자국의존도가 높음을 확인할 수 있다.
- 유럽은 외국기관의 특허출원이 높게 나타나고 있어 기술 개방성이 높은 것으로 판단된다.

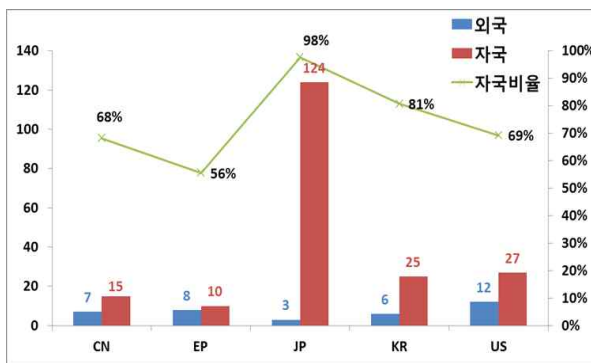


그림 2.55 국가별 특허 점유현황

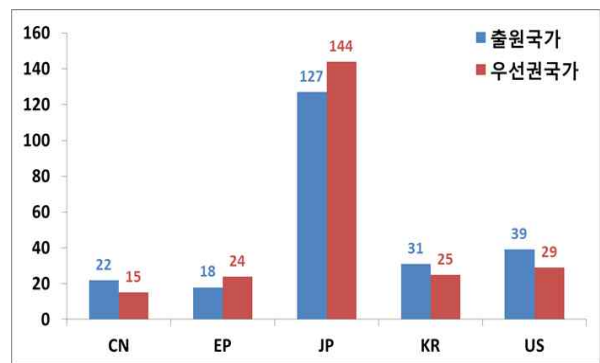


그림 2.56 출원특허 대비 우선권특허 현황

- 국가별 출원특허 건수와 우선권보유건수를 비교하여, 기술의 해외진출 수준을 파악할 수 있다.
- 유럽, 일본은 우선권 보유건수가 더 높게 나타나고 있어, 자국시장보다 해외시장 진출노력을 더 하는 것으로 추정된다. 반면, 한국, 중국, 미국에서는 자국에 출원된 특허건수가 우선권 보유건수를 상회하고 있어, 해외 진출에 대한 노력이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

(6) 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

(가) 시장확보지수 (Patent Family Size)

○ 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, Family Patent 수가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용한다.

※ 국가별 시장확보지수(PFS) = (∑해당국가 특허별 패밀리) / 해당국가 특허건수

○ 유럽의 시장확보지수(PFS)가 10.42로 가장 높고, 다음으로는 미국이 높게 나타났다. 이는 유럽 기관들이 해외진출을 위한 패밀리 특허를 많이 출원하였기 때문으로 판단된다. 일본은 특허건수에 비해 시장 확보력이 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

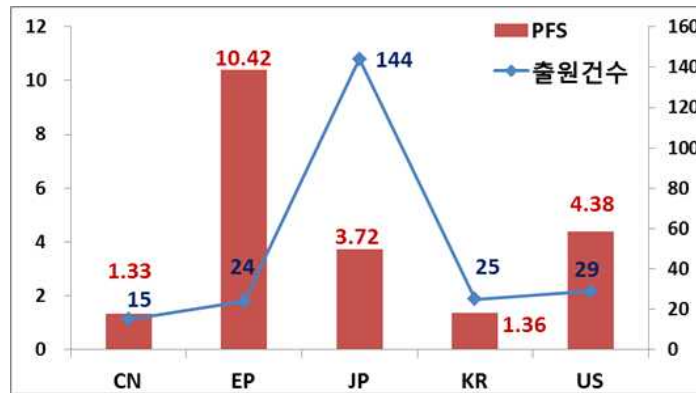


그림 2.57 국가별 출원건수 및 시장확보지수

(나) 인용도지수 (Cites Per Patent)

○ 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, 인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표로 사용한다.

※ 국가별 인용도 지수(CPP) = (∑해당국가 특허별 피인용수) / 해당국가 특허건수

○ 미국의 인용도지수(CPP)가 2.15로 높게 나타나 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 것으로 판단할 수 있다. 이에 반해, 한국, 중국, 일본, 유럽은 특허건수 뿐만 아니라 인용도 지수(CPP)도 매우 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있다.

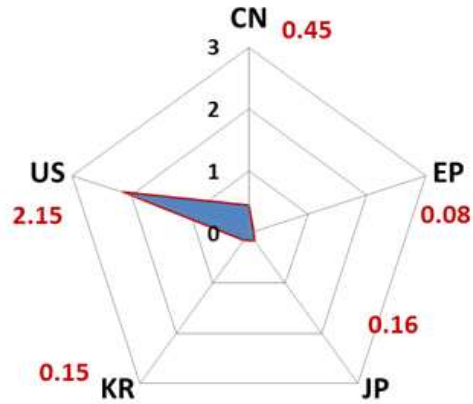


그림 2.58 국가별 인용도지수

(다) 영향력지수(Patent Impact Index) 및 기술력지수(Technology Strength)

○ 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준을 측정하는 지수이며, 기술력 지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)을 함께 나타낸다.

※ 국가별 영향력 지수(PII) = 해당국가 특허 인용도지수 / 모든국가 특허 인용도지수

※ 국가별 기술력 지수(TS) = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

○ 미국의 영향력지수(PII)가 5.32로 나타나 질적 수준에서 우수하고, 양적 수준(특허 건수)을 고려한 기술력지수(TS)에서도 154.17로 우수하다. 유럽과 한국은 영향력 지수와 기술력지수 모두 낮게 나타나, 원천특허/핵심특허 비중이 상대적으로 낮은 것으로 판단할 수 있다.

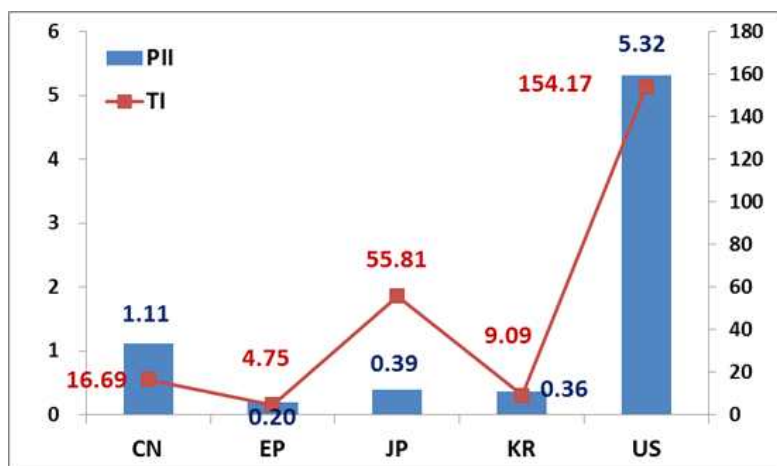


그림 2.59 국가별 영향력지수 및 기술력지수

(7) Text mining을 통한 기술분야 특허 분포도

- 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 분야 관련 검색결과 결과 최종 237건의 유효 특허기술이 분포한다.
- 이 분야의 특허기술에 대한 영역은 전반적으로, DATA, ELONGATED, ABNORMAL, HOLDER, MAIN LINE RAIL, PLATFORM 등과 관련된 기술들이 많이 포함되어 있다.
- 등고선 꼭지점이 높은 Measure/Data/Gauge, Signal/Detect/Accident, Deviation/Prevention/Material, Center shaft/Retreat/Guard portion, Prevention/Prevention apparatus/Overturn, Rigid concrete railway track/Rail vehicle wheel/Pre-cast 등의 Text에 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단 할 수 있다.
- 특히, 2010년 이후에 출원된 최신 특허들을 보면 Wayside Measurement of Railcar Wheel to Rail Geometry, Novel urban railway guard rail device and installation method of novel urban railway guard rail device과 같이 철도차량의 일탈방호에 관련된 특허가 나타나고 있어 관련 기술이 최근 추세임을 알 수 있다.

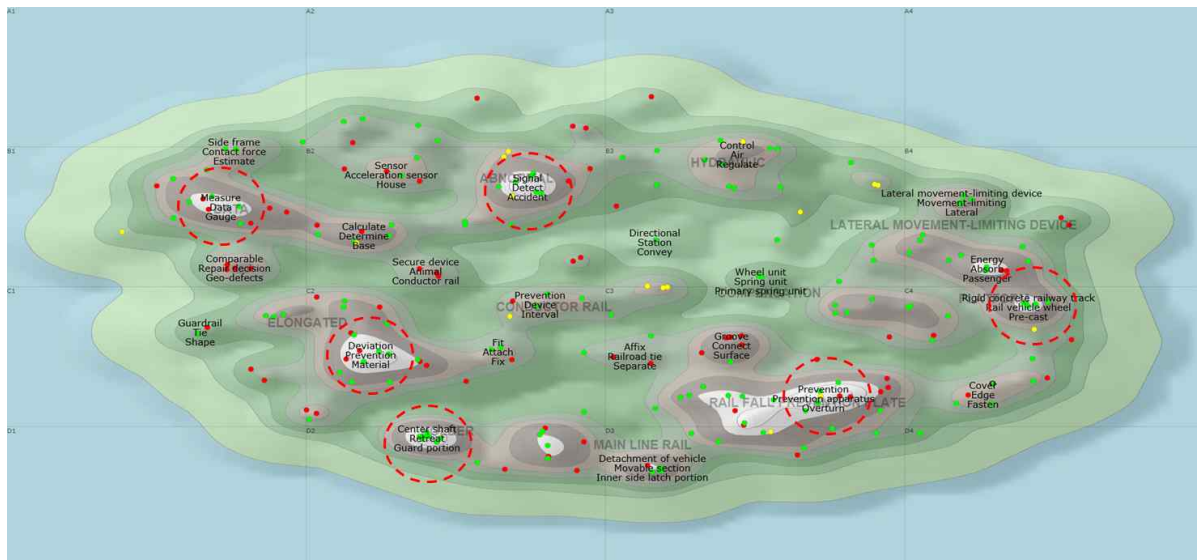


그림 2.60 특허 등고선 맵

● 2010년 이후    ● 2000-2009    ● 1990-1999

(8) 주요 특허 현황

- 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술에 관한 유효특허 중, 철도의 위험 감지 및 알람과 관련된 미국 STEPHENS ROBERT DOUGLAS의 미국공개특허 (US6216985B1)의 피인용 건수가 56건으로 가장 많다. 피인용 수가 많은 등록 특허와, 선정된 주요 특허를 핵심특허로 하여 권리분석을 할 수 있다.

표 2.8 주요 특허 현황(피인용도 순)

공개번호	발명의 명칭	출원인	피인용수 (Forward)
US6216985B1	Railway hazard acoustic sensing, locating, and alarm system	STEPHENS ROBERT DOUGLAS	56
US6681160B2	Geometric track and track/vehicle analyzers and methods for controlling railroad systems	ANDIAN TECHNOLOGIES	38
US5810485A	Auxiliary bearing system	DUBLIN JR W L	34
US5987979A	Method and apparatus for detecting railtrack failures by comparing data from a plurality of railcars	CAIRO SYSTEMS INC	33
US5590856A	Complex switch turn-out arrangements using proximity selection	QUINN P A	25
US5415896A	Railroad wheel flange lubricating method	TEXACO INC	23
US20040056182A1	Railway obstacle detection system and method	ROSEMOUNT AEROSPACE INC	16
US20050001048A1	Cross-tie	BOMBARDIER TRANSPORTATION GMBH	15
US5642944A	Auxiliary bearing system	DUBLIN JR W L	13
JP2004106637A	RAILROAD VEHICLE STRUCTURE   The body structure for vehicles	NIPPON SHARYO SEIZO KK	10
US7756613B2	Signaling system	HITACHI LTD	6
US7891577B2	Safety device for a train	CENTRAL JAPAN RAILWAY COMPANY	5
CN1799896A	Running mechanism for preventing derailment of magnetic levitation train	CHENGDU AIRCRAFT IND GROUP CO LTD	5
JP2003261024A	SUSPENSION OF ROLLING STOCK	KAYABA INDUSTRY CO LTD	5
JP2010228629A	ROLLING STOCK	RAILWAY TECHNICAL RES INST	5

(9) 특허출원 동향을 통한 집중/공백분야 등 전망

(가) 특허 출원인별 연계성 분석

○ TDA cross-correlation matrix는 특허 다출원인(TOP 15 ASSIGNEE) 간 상관관계를 Matrix 형태로 나타낸 것으로, 출원건수가 많은 출원인 특허를 중심으로 상호 연계하여 개발되는 기술영역의 핵심기업을 제시하는 분석이 가능하다.

※ Matrix 분석: x축과 y축에 특허 다출원인(TOP 20 ASSIGNEE)을 두고, 각 기술영역별 피어슨 상관관계수 기재 (-1에 가까울수록 반비례, 1에 가까울수록 정비례 관계, 0은 상호무관)

Reset	Patent Assignees (Best Available):	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	# Records	49	14	13	12	10	9	6	4	4	3	3	3	3	3	3	
	Show Values >= 0.00 and <= 1.00																
	Cross-Correlation Crossed With: Patent Assignees (Best Available):																
	# of Records																
	Pearson's r																
	# Records																
		ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYU															
		DAIWA KIDO SEIZO KK															
		TOKAI RYOKYAKU TETSUDO KK															
		HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO K															
		NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK															
		KRRI															
		CENT JAPAN RAILWAY CO															
		AKEBONO BRAKE IND CO LTD															
		YAMATO TRACKWORK SYSTEM CO LTD															
		ABE KOGYOSHOU KK															
		DUBLIN WL															
		HITACHI LTD															
		INAMIYA K															
		KAWASAKI HEAVY IND LTD															
		NIPPON KIDO KOGYO KK															
1	49	ZH TETSUDO SOGO GIJUTSU KENKYUSHI	0.000	-0.039	-0.104	0.508	0.017	-0.057	-0.122	-0.067	-0.111	0.531	-0.057	-0.057	-0.057	-0.066	-0.066
2	14	DAIWA KIDO SEIZO KK	-0.039	0.000	0.244	-0.130	0.230	-0.091	0.786	-0.004	0.346	-0.141	-0.091	-0.091	-0.091	-0.060	-0.060
3	13	TOKAI RYOKYAKU TETSUDO KK	-0.104	0.244	0.000	-0.155	0.017	-0.090	0.505	-0.130	0.595	-0.171	-0.090	-0.090	-0.090	-0.115	-0.115
4	12	HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO K	0.508	-0.130	-0.155	0.000	-0.096	-0.075	-0.173	-0.109	-0.162	0.455	-0.075	-0.075	-0.075	-0.097	-0.097
5	10	NISHINIPPON RYOKYAKU TETSUDO KK	0.017	0.230	0.017	-0.096	0.000	-0.081	-0.064	0.863	-0.017	-0.101	-0.081	-0.081	-0.081	0.300	0.300
6	9	KRRI	-0.057	-0.091	-0.090	-0.075	-0.081	0.000	-0.100	-0.063	-0.093	-0.083	-0.043	-0.043	-0.043	-0.056	-0.056
7	6	CENT JAPAN RAILWAY CO	-0.122	0.786	0.505	-0.173	-0.064	-0.100	0.000	-0.144	0.525	-0.190	-0.100	-0.100	-0.100	-0.128	-0.128
8	4	AKEBONO BRAKE IND CO LTD	-0.067	-0.004	-0.130	-0.109	0.863	-0.063	-0.144	0.000	-0.135	-0.120	-0.063	-0.063	-0.063	0.161	0.161
9	4	YAMATO TRACKWORK SYSTEM CO LTD	-0.111	0.346	0.595	-0.162	-0.017	-0.093	0.525	-0.135	0.000	-0.178	-0.093	-0.093	-0.093	-0.120	-0.120
10	3	ABE KOGYOSHOU KK	0.531	-0.141	-0.171	0.455	-0.101	-0.083	-0.190	-0.120	-0.178	0.000	-0.083	-0.083	-0.083	-0.106	-0.106
11	3	DUBLIN WL	-0.057	-0.091	-0.090	-0.075	-0.081	-0.043	-0.100	-0.063	-0.093	-0.083	0.000	-0.043	-0.043	-0.056	-0.056
12	3	HITACHI LTD	-0.057	-0.091	-0.090	-0.075	-0.081	-0.043	-0.100	-0.063	-0.093	-0.083	-0.043	0.000	-0.043	-0.056	-0.056
13	3	INAMIYA K	-0.057	-0.091	-0.090	-0.075	-0.081	-0.043	-0.100	-0.063	-0.093	-0.083	-0.043	-0.043	0.000	-0.056	-0.056
14	3	KAWASAKI HEAVY IND LTD	-0.066	-0.060	-0.115	-0.097	0.300	-0.056	-0.128	0.161	-0.120	-0.106	-0.056	-0.056	-0.056	0.036	0.036
15	3	NIPPON KIDO KOGYO KK	-0.066	-0.060	-0.115	-0.097	0.300	-0.056	-0.128	0.161	-0.120	-0.106	-0.056	-0.056	-0.056	0.036	0.036

그림 2.61 TDA cross-correlation matrix

○ TDA(Thomson Data Analyzer) cross-correlation matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, 특허출원 건수(Records)가 많은 상위 주요 출원인 중, 상관관계가 0.5 이상으로 높은 기업은 상호 연계하여 핵심적으로 해당기술을 선도하는 기업영역으로 볼 수 있다.

- 일본의 YAMAMOTO TRACKWORK SYSTEM과 CENT JAPANRAILWAY는 서로 상관관계가 0.955로 나타나 관심연구 및 기술에 대한 유사도가 높은 것으로 분석되며, 또한 일본의 DAIWA KIDO SEIZO KK와 TOKAI RYOKAKU TETUDO KK의 상관관계가 0.948이고, TOKAI RYOKAKU TETUDO KK와 CENT JAPANRAILWAY의 상관관계가 0.906로 높게 나타나 기업 간의 기술경쟁관계가 밀접하게 연계됨을 판단할 수 있다.

○ 향후 상호 연계성이 높은 분야를 고려하여, 핵심기업의 경쟁기술 관계를 파악할 필요가 있다.

(나) 특허 출원인/기술분류별 연계성 분석

- TDA Co-occurrence matrix는 모든 특허(200건)의 기술영역(DWPI MANUAL CODE)을 Matrix 형태로 분석한 것으로, 특허 출원이 많은 기술영역(집중기술)과 적은 기술영역(공백기술)의 분석이 가능하다.
- ※ Matrix 분석: x축과 y축에 기술영역(DWPI MANUAL CODE) 및 출원인을 두고, 상호 연관된 특허건수를 도출함으로써, 출원이 많은 영역과 적은 영역의 분석이 가능
  
- TDA(Thomson Data Analyzer) Co-occurrence matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, 특허가 많이 나타나는 곳(적색 박스 등)을 기술개발이 활발하게 이루어지는 집중기술 영역으로 볼 수 있으며, 빈칸으로 표시되는 곳을 공백기술 부분으로 판단할 수 있다.
  - 주요출원인 ZH TETSUDO SOGO GIGUTSU KENKYUSHO는 Railways → Railway track arrangements/construction → Track construction(Q21-A01)분야와 Railways → Rail vehicle construction; fittings; Underframes; Suspension; Transmissions → Derailment preventing equipment(Q21-D09)에 상대적으로 연구가 집중되는 것으로 볼 수 있다.
  - 주요출원인 DAIWA KIDO SEIZO KK와 TOKAI RYOKYAKU TETSUDO, HIGASHI NIPPON RYOKYAKU TETSUDO, CENT JAPAN RAILWAY는 Railways → Railway track arrangements/construction → Track construction(Q21-A01)에 대한 연구가 활발하고, 한국의 KRRI 및 일본의 AKEBONO BRAKE IND는 Electric railways and signalling → Electric railways → Measuring; testing(X23-A05)분야가 집중 연구분야로 파악된다.

## 나. 논문 기술 동향

### (1) 연도별 논문 발표 추이 및 동향

- 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 97건의 유효한 관련 논문이 발표되었다.
- 이 기술분야는 1990년대 초반부터 매년 2건 내외의 논문이 발표되는 추세였다. 2001년 이후 약 10건 내외의 논문이 발표되며 연구개발이 활발히 진행되었으나 2010년 이후 이 기술분야에 대한 논문 발표는 주춤한 상태이다.
- 유효 논문이 발표된 주요 저널은 VEHICLE SYSTEM DYNAMICS 20건, PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART F-JOURNAL OF RAIL AND RAPID TRANSIT 13건, JOURNAL OF COMPUTATIONAL AND NONLINEAR DYNAMICS 5건 순으로 나타났다.



그림 2.62 연도별 논문 발표 추이

(2) 국가별 논문 발표 추이 및 동향

- 이 기술분야의 논문을 발표한 기관의 국가별 현황은 중국 25건, 미국 11건, 대만·일본·이란 8건, 한국 7건, 영국 5건, 독일·스웨덴 4건 순으로 나타났다.
- 열차 탈선(A기술) 분야는 전체 유효논문의 (82%)로 나타나 일탈방호 성능을 갖는 궤도 기술분야 중, 연구가 가장 활발한 분야로 볼 수 있으며, 콘크리트 궤도 개발(E기술)에 대한 유효논문은 약 1%로 나타나 공백 연구분야에 가깝다.
- 한국과 최다 논문 발표기관 소속국가인 중국은 열차 탈선(A기술) 분야에 집중된 논문발표활동을 보이고 있다.

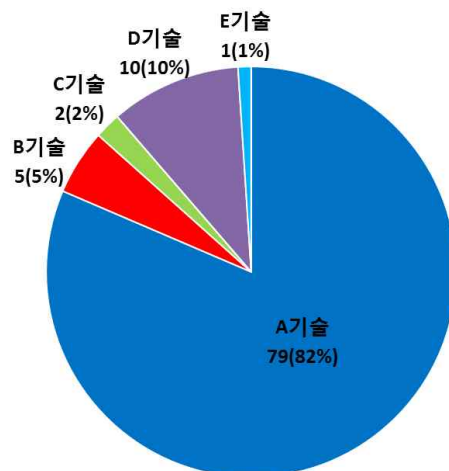
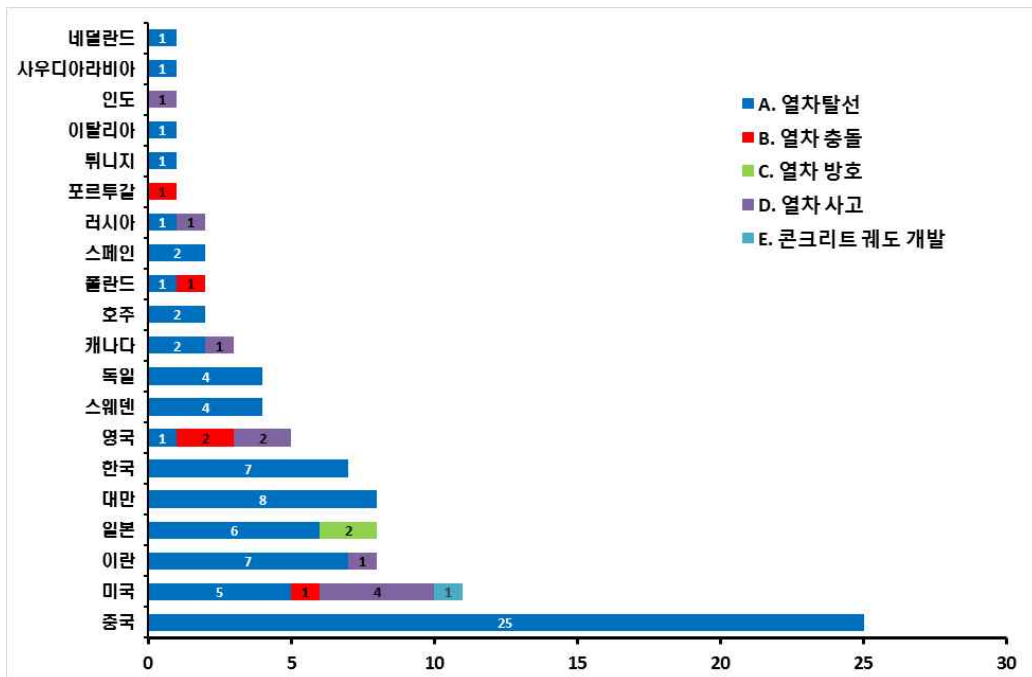


그림 2.63 국가별 논문 발표 추이

(3) 주요 기관/저자별 논문 발표 추이 및 동향

- 주요 기관별 논문발표 동향을 보면, 중국 Southwest Jiaotong Univ 14건으로 최다 발표기관으로 볼 수 있으며, 미국의 Univ Illinois, 중국의 Central South University, 대만의 Natl Cheng Kung Univ, 이란의 Iran Univ Sci & Technol, 한국의 Seoul Natl Univ Sci & Technol 등이 주요 발표기관으로 나타났다.

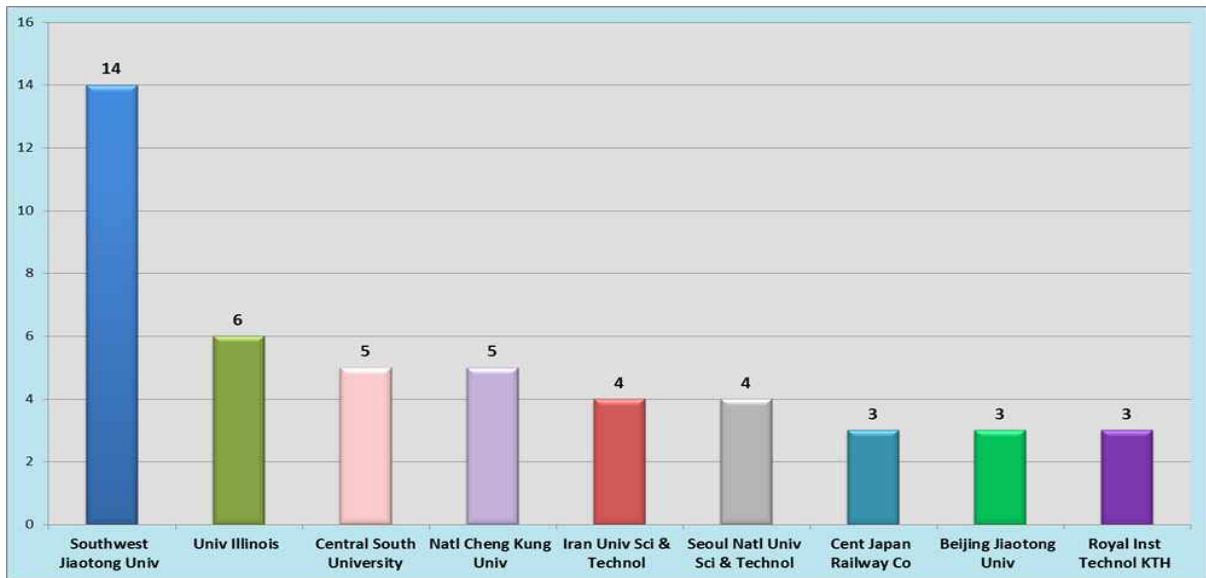


그림 2.64 주요기관별 논문 발표 현황

- 논문발표 주요 저자로 대만 Cheng Kung Univ의 Ju, SH가 5건의 논문발표를 한 것으로 나타나 최다이며, 미국 Univ Illinois의 Liu, X 4건, 스웨덴 Royal Institute of Technology의 Brabie, D 4건, 중국 Southwest Jiaotong Univ의 Xiao, XB가 4건의 관련 논문을 발표하였다.
- 한국의 주요 저자로는 Seoul Natl Univ Sci & Technol의 구정서(Koo Jeong Seo)가 3건의 관련 논문을 발표하였다.

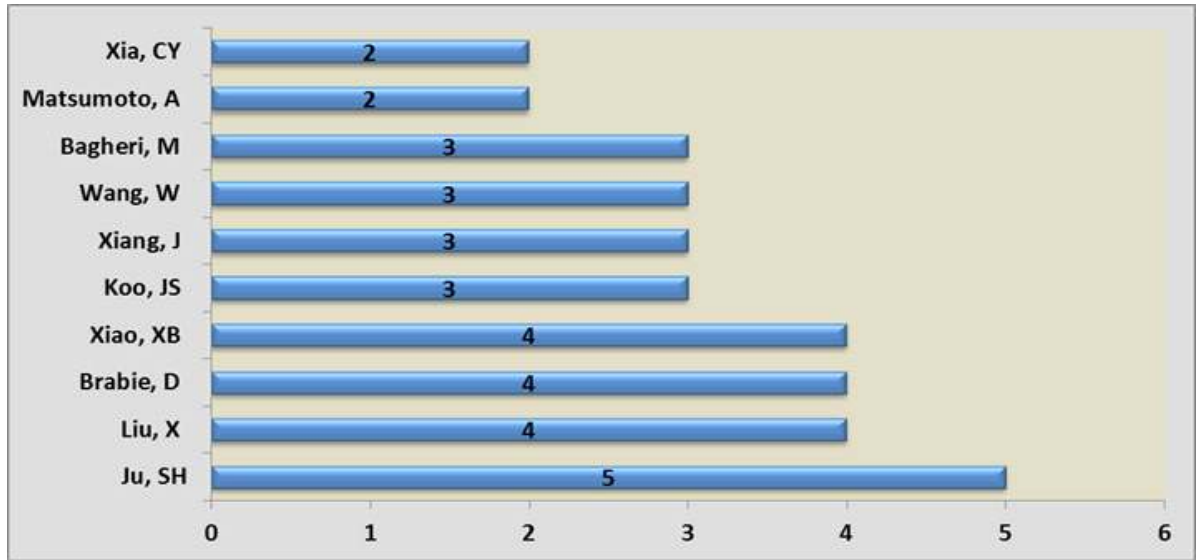


그림 2.65 주요저자별 논문 발표 현황

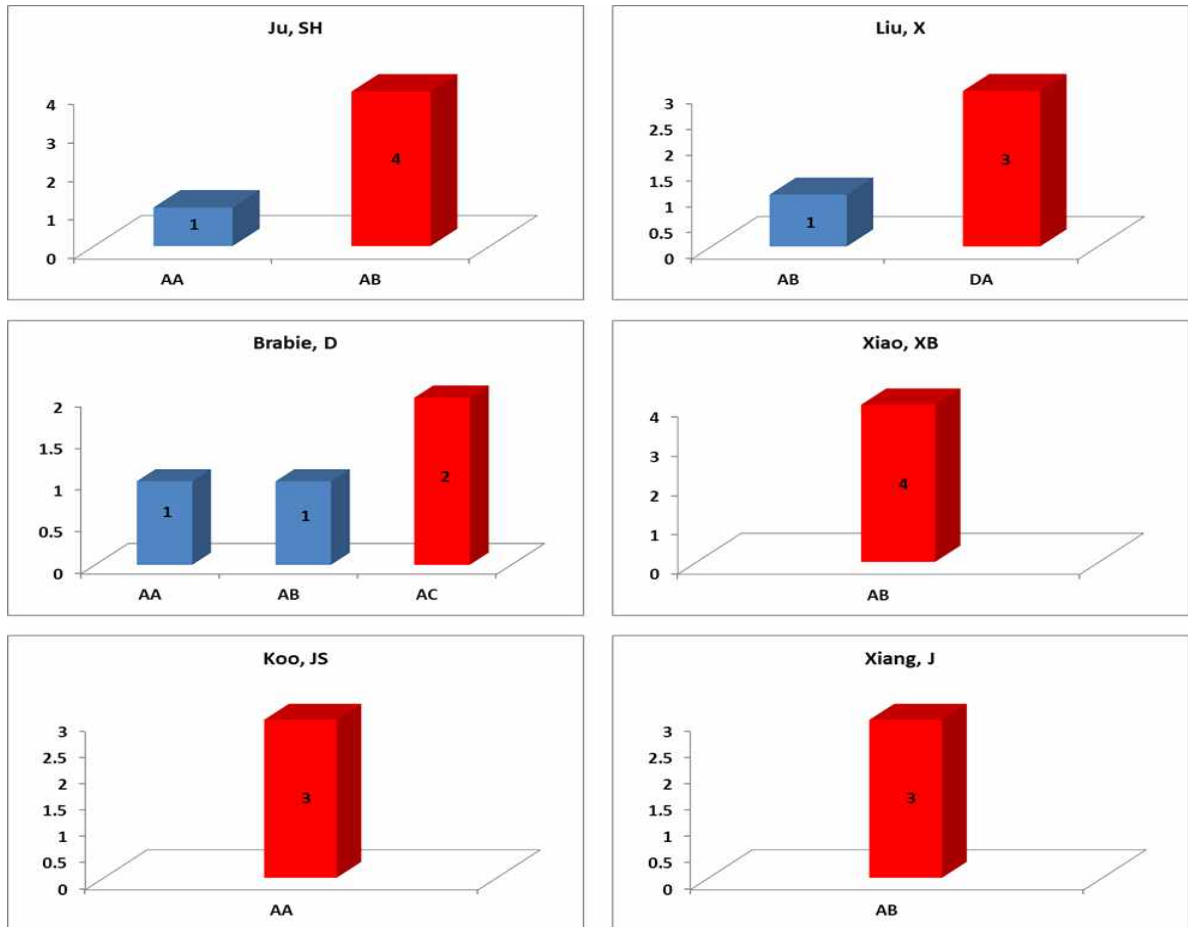


그림 2.66 기술분류에 따른 주요저자별 논문 발표 현황

- 대만 Cheng Kung Univ의 Ju, SH의 관련논문 5건 중, 4건은 탈선 안정성 분석/평가(AB기술) 분야이다.
- 미국 Univ Illinois의 Liu, X는 탈선/충돌사고(DA기술) 3건과 탈선 안정성 분석/평가(AB기술) 1건의 논문을 발표하였다.
- 스웨덴 Royal Institute of Technology의 Brabie, D는 탈선 메커니즘(AA기술)과 탈선 안정성 분석/평가(AB기술)에 관한 논문을 1건씩 발표하였고, 탈선 후 거동(AC기술)에 2건의 논문 발표한 것으로 나타났다.
- 중국 Southwest Jiaotong Univ의 Xiao는 탈선 안정성 분석/평가(AB기술)에만 4건의 논문 발표를 하였고, 한국 Seoul Natl Univ Sci & Technol의 구정서는 탈선 메커니즘(AA기술)에 3건의 논문을 발표하였다.

(4) 주요 논문현황

표 2.9 핵심 논문 현황(피인용순)

번호	논문제목	발표기관	저널명	피인용수
1	A survey of rail vehicle track simulations and flexible multibody dynamics	UnivIllinois	NONLINEARDYNAMICS	38
2	Three-dimensional analysis of train-rail-bridge interaction problems	NatITaiwan Univ	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	29
3	An intelligent driver warning system for vehicle collision avoidance	UNIVSOUTHAMPTON	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS PART A - SYSTEMS AND HUMANS	19
4	Effect of tangent track buckle on vehicle derailment	SouthwestJiaotongUniv	MULTIBODYSYSTEMDYNAMICS	13
5	Effect of curved track support failure on vehicle derailment	SouthwestJiaotongUniv	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	13
6	Validated multibody model for train crash analysis	Instituto Superior Tecnico	INTERNATIONAL JOURNAL OF CRASH WORTHINESS	12
7	Analysis of Causes of Major Train Derailment and Their Effect on Accident Rates	UnivIllinois	TRANSPORTATION RESEARCH RECORD	12
8	Freight car models and their computer-aided dynamic analysis	BryanskStateTechUniv	MULTIBODYSYSTEMDYNAMICS	11

번호	논문제목	발표기관	저널명	피인용수
9	Rail safety and rail privatisation in Britain	UnivLondonImperialCollSciTechnol&Med	ACCIDENTANALYSISANDPREVENTION	11
10	Transverse vibration of train-bridge and train-track time varying system and the theory of random energy analysis for train derailment	Central South University	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	10
11	A study on mechanical mechanism of train derailment and preventive measures for derailment	Central South University	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	10
12	Analysis of Derailments by Accident Cause Evaluating Railroad Track Upgrades to Reduce Transportation Risk	UnivIllinois	TRANSPORTATIONRESEARCHRECORD	10
13	Multibody system simulation of railway vehicles with SIMPACK	DLR	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	9
14	Railroad transportation of dangerous goods: A conditional exposure approach to minimize transport risk	Memorial University	TRANSPORTATIONRESEARCHPARTC-EMERGINGTECHNOLOGIES	9
15	Assessment of Running Safety of Railway Vehicles using Multibody Dynamics	SeoulNatlUnivTechnol	INTERNATIONALJOURNALOFPRECISIONENGINEERINGANDMANUFACTURING	9
16	Nonlinear analysis of train derailment in severe braking	SharifUnivTechnol	JOURNALOFDYNAMICALSYSTEMSMEASUREMENTANDCONTROL-TRANSACTIONSOF THEASME	9
17	Study on the wheel/rail interaction and derailment safety	SouthwestJiaotongUniv	WEAR	9
18	Derailment simulation, parametric study	tandf	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	9
19	A new measuring method of wheel-rail contact forces and related considerations	NTSEL	WEAR	8
20	A study of the derailment mechanism of a high speed train due to an earthquake	SouthwestJiaotongUniv	VEHICLESYSTEMDYNAMICS	8

- 최근 3년 내 발표 논문 또는 피인용수가 높은 최근 논문(Hot Paper)을 보면 피인용이 높은 논문과 마찬가지로 Deicing에 관한 연구내용이 주로 발표되고 있어 관련 분야 연구가 최근 주목받고 있는 분야임을 알 수 있다.

표 2.10 최근 논문 현황 (3년 내 발표논문)

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	Coupler jackknifing and derailments of locomotives on tangent track	VEHICLE SYSTEM DYNAMICS	2013	6
2	Improvement of bridge structures to increase the safety of moving trains during earthquakes	ENGINEERING STRUCTURES	2013	4
3	Study on the safety of operating high-speed railway vehicles subjected to crosswinds	JOURNAL OF ZHEJIANG UNIVERSITY-SCIENCE A	2014	3

## 다. 기술 동향 분석 결론

### (1) 특허 기술

- 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술분야의 특허 동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 237건의 관련 유효특허가 출원되었다. 2000년도 이후 관련특허의 출원이 급증하였고 최근까지 출원이 유지되고 있는 것으로 보아 이 기술분야에 대한 연구개발이 지속되고 있는 것으로 판단된다. 2000년도 초반 이후 일본의 특허출원활동의 증가는 전체적 동향 변화를 주도할 정도로 이 기술분야를 선도하고 있는 것으로 보여진다.
- 열차 탈선(A기술)에 대한 세부기술 특허분포를 살펴본 결과, 전 세계적으로 탈선 메커니즘(AA기술)과, 탈선 안전성 분석/평가(AB기술)에 집중되어 있다. A기술 중 본 연구와 가장 관련성이 높은 **탈선 후 거동(AC기술)**에 대한 특허기술은 전체 중 **1건(일본)**으로 **매우 낮아 공백기술**로 판단될 수 있다.
- 열차 충돌(B기술)에 대한 세부기술 특허분포를 살펴본 결과, 중국은 B기술에 대한 특허가 공백기술이며, 일본이 구조물과의 충돌(BB기술)과 탈선 후 충돌(BC기술)을 선도하고 있다. B기술 중 본 연구와 가장 관련성이 높은 **탈선 후 충돌(BC기술)**에 대한 특허기술은 **일본(4건)**을 제외하고 모든 국가에서 **공백기술**이다.
- 열차 방호(C기술)에 대한 세부기술 특허분포를 살펴본 결과, 전 세계적으로 일탈 방지시설(CA기술) 및 탈선방지시설(CB기술)에 대한 특허기술을 보유하고 있다. 탈선발생 자체를 미연에 방지하는 탈선방지시설(CB기술)을 일본이 선도하고 있으며, 탈선 이후의 방호기술로 볼 수 있는 일탈방지시설(CA기술)과 탈선방호벽(CC기술)은 일본을 제외하고 미미한 수준이다. 본 연구와 가장 관련성이 높은 **일탈방지시설(CA기술)**에 대한 특허기술은 **일본(13건)**을 제외한 모든 국가에서 **미미한 수준**이다.
- 탈선/충돌 사고(DA기술) 분야는 특허기술로서는 공백기술이며, 일반적인 콘크리트 궤도에 새로운 기능 또는 성능이 보완/개선된 **신형식 콘크리트 궤도(EA기술)**에 대한 특허기술은 전체 중 **1건**으로, 본 연구의 최종 목표인 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도 개발의 필요성 면에서 큰 **개발가치**가 있다.
- 피인용수가 많은 주요 **원천/핵심특허** 비중은 미국이 가장 많으며, 핵심특허의 기술분야는 탈선방지를 위한 장치적 기술인 **‘탈선 메커니즘(AA기술)’**이 대부분이고 궤도/차량 결함 검출기술인 **‘탈선 안전성 평가/분석(AB기술)’**과 차량/장애물 충돌 관련 기술(BA, BB기술)이 일부 있다. 탈선을 미연에 방지하는 탈선방지시설

(CB기술)에 대한 핵심특허는 1건 있다.

- 종합적으로, 본 연구의 개발목표와 관련성이 높은 기술분야인 ‘탈선 후 거동(AC기술)’, ‘탈선 후 충돌(BC기술)’, ‘일탈방지시설(CA기술)’, ‘신형식 콘크리트 궤도(EA)’에 대한 특허기술은 매우 미미한 수준이며, 인용도지수(CPP)가 높은 원천/핵심특허로서의 기술력은 공백기술로 판단할 수 있다. 또한, 기술분야만으로 관련성을 판단하기에는 다소 무리가 있으며 직접적인 관련성을 판단하기 위해서는 기술분야별 세부기술 분석이 필요하다.

## (2) 논문 기술

- 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 97건의 유효한 관련 논문이 발표되었다. 이 기술분야는 1990년대 초반부터 매년 2건 내외의 논문이 발표되는 추세였다. 2001년 이후 약10건 내외의 논문이 발표되며 연구개발이 활발히 진행되었으나 2010년 이후 이 기술분야에 대한 논문 발표는 주춤한 상태이다.
- 열차 탈선(A기술) 분야는 전체 유효논문의 82%(79건)로 나타나 학술적 연구가 가장 활발한 분야로 볼 수 있으며, 열차 방호(C기술)과 콘크리트 궤도 개발(E기술)에 대한 유효논문은 전체 중 각각 2건(일본), 1건(미국)으로 나타나 공백 연구 분야에 가깝다.
- 주요 저자/기관의 세부기술 분포를 살펴본 결과, 전 세계적으로 탈선 안전성 분석/평가(AB기술)과 탈선 메커니즘(AA기술)에 집중되어 있다. A기술 중 본 연구와 가장 관련성이 높은 **탈선 후 거동(AC기술)**에 대한 논문은 전체 중 **2건(스웨덴)**으로 **매우 미미하다**.
- 피인용수가 많은 **주요 논문**의 기술분야는 궤도/차량 결함 분석기술인 ‘**탈선 안전성 평가/분석(AB기술)**’과 사고에 대한 통계 및 위험도 분석기술인 ‘**탈선/충돌사고(DA기술)**’로 발표되었다. 최근 3년 내 피인용수가 높은 Hot paper(3건) 또한 모두 탈선 안전성 평가/분석(AB기술) 분야이다.
- 종합적으로, ‘탈선 후 거동(AC기술)’에 대한 논문 전체 중 2건을 제외하고, 본 연구의 개발목표와 관련성이 높은 기술분야인 ‘탈선 후 충돌(BC기술)’, ‘일탈방지시설(CA기술)’, ‘신형식 콘크리트 궤도(EA)’에 대한 논문은 공백기술로, 본 연구 분야에 대한 학술적 연구 성과로서 상당한 기대치가 높을 것으로 판단된다.

라. 세부기술 분석

- 앞서 3P분석을 위해 분류된 기술분야만으로 연구 관련성을 판단하기에는 다소 무리가 있으며 직접적인 관련성을 판단하기 위해서는 기술분야별 세부기술 분석이 필요하므로 주요 특허와 논문에 대한 세부기술 분석을 수행하고자 한다.

(1) 특허 기술

(가) 탈선 후 거동(AC기술)

- 본 연구와 관련된 전체 특허(237건) 중 ‘탈선 후 거동’과 관련된 특허기술은 1건에 불과하였다. 일본에서 출원한 “The derailment test equipment of a rail vehicle(JP05686111B2)”라는 특허로, 철도 차량의 탈선 현상을 재현하여 탈선 테스트를 위한 장비이다.

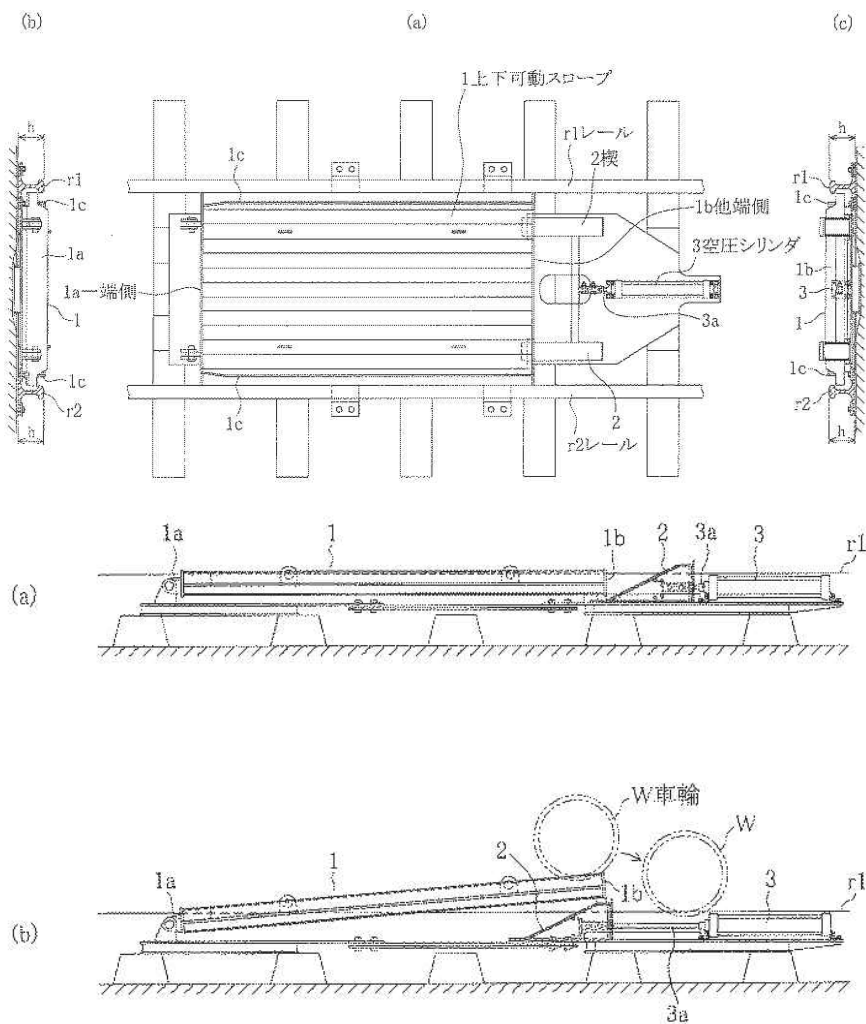


그림 2.67 철도차량의 탈선 테스트 장비 특허(AC기술)

(나) 탈선 후 충돌(BC기술)

- 전체 특허 중 ‘탈선 후 충돌’과 관련된 특허기술은 5건으로 이중 3건은 동일한 기술에 대한 패밀리특허이다. 따라서 이 기술분야에 대한 특허기술도 매우 적은 것으로 볼 수 있다.
- “Rail fastening structure(JP05216740B2, JP05075181B2, JP04417827B2)”라는 특허는 탈선된 열차의 차륜이 레일체결장치의 손상시키는 것을 방지하기 위한 기술이다. 탈선 후 구조물과의 충돌/방호기술과는 관련성이 적다.

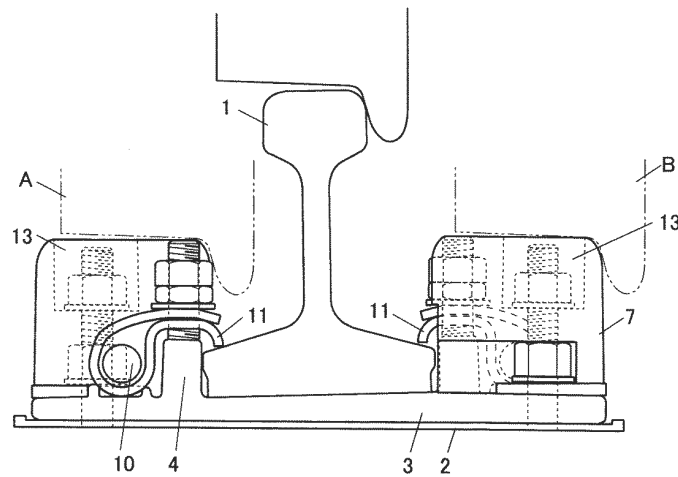


그림 2.68 레일체결장치 관련 특허(BC기술)

- “Rail fixing jig(JP04365779B2)”는 위 기술과 동일한 기관에서 출원한 특허로, 탈선된 열차의 차륜이 레일체결장치의 손상시켜 레일의 궤간(Track gauge)이 확장되는 것을 방지하기 위한 기술이다. 탈선 후 방호기술과는 관련성이 적다.

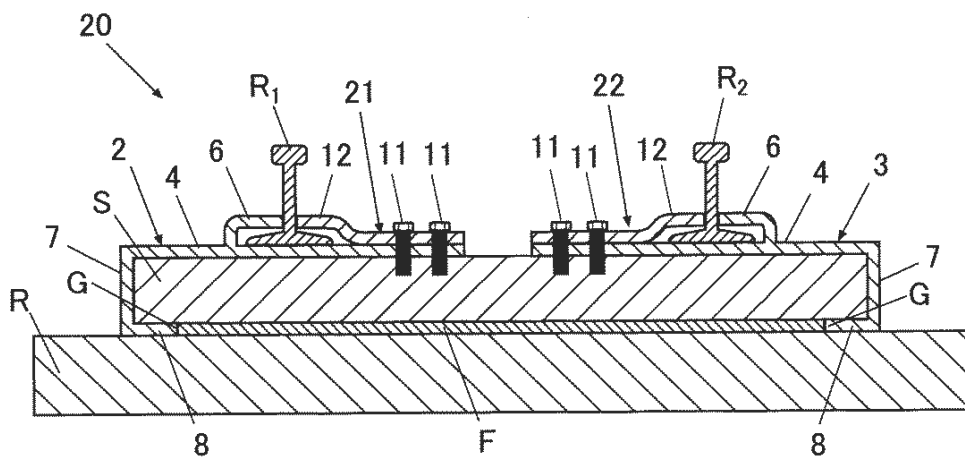


그림 2.69 레일고정지그 관련 특허(BC기술)

- “Device for Providing Collision Accident in Communication based Train Control System in the Accident of Train Derailment(KR815470B1)”는 한국철도기술연구원에서 출원한 특허로, 탈선된 열차가 탈선영역을 벗어나 인접선로 등과의 추가적 충돌을 방지하기 위한 통신기반 열차제어 장치기술이다. 열차간 충돌(BA기술)과도 관련이 있다. 탈선 후 충돌사고에 대한 감지, 제어에 대한 기술로서 탈선 후 구조물과 충돌/방호기술과는 관련성이 적다.

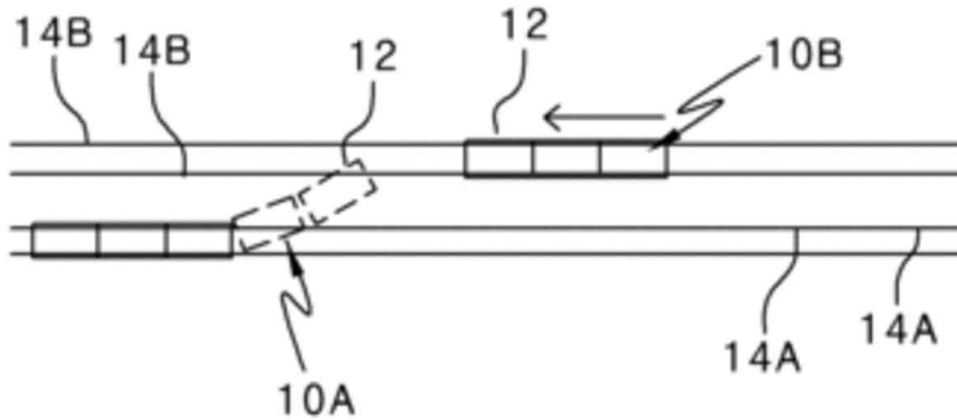


그림 2.70 충돌사고 방지방관 관련 특허(BC기술)

(다) 일탈방지시설(CA기술)

- 전체 특허 중 ‘일탈방지시설’과 관련된 특허기술은 18건으로 이중 패밀리특허를 제외하면 14건이다. 열차의 차체/대차 또는 침목 등에 기계적인 장치를 설치하거나 탈선 발생을 사전에 검측/탐지할 수 있는 시스템을 설치하여 차륜이 레일에서 이탈되는 것을 미연에 방지하는 ‘탈선방지시설(CB기술)’에 대한 특허(94건)에 비해 상대적으로 적다.
- 대부분 일본에서 이 기술에 대한 특허를 많이 보유하고 있으며, 자갈궤도 침목 중앙 또는 외측에 레일이나 구조적 장치를 설치하여 탈선 후 열차의 차륜 이탈을 제어하는 기술이 주를 이룬다. 본 연구에서 개발하고자하는 탈선방호시설물은 콘크리트 궤도를 대상으로 하고 있으나 일탈방호시설 측면에서 관련성이 높아 참고할만한 유효기술로 판단된다.
- 국내 기관에서는 1건의 “철도차량용 궤도이탈방지장치(Track Leaving Arrester for Railway Vehicle, KR2011089994A)” 특허를 출원한 사례가 있다. 기술특성은 일본의 기술과 유사하다.

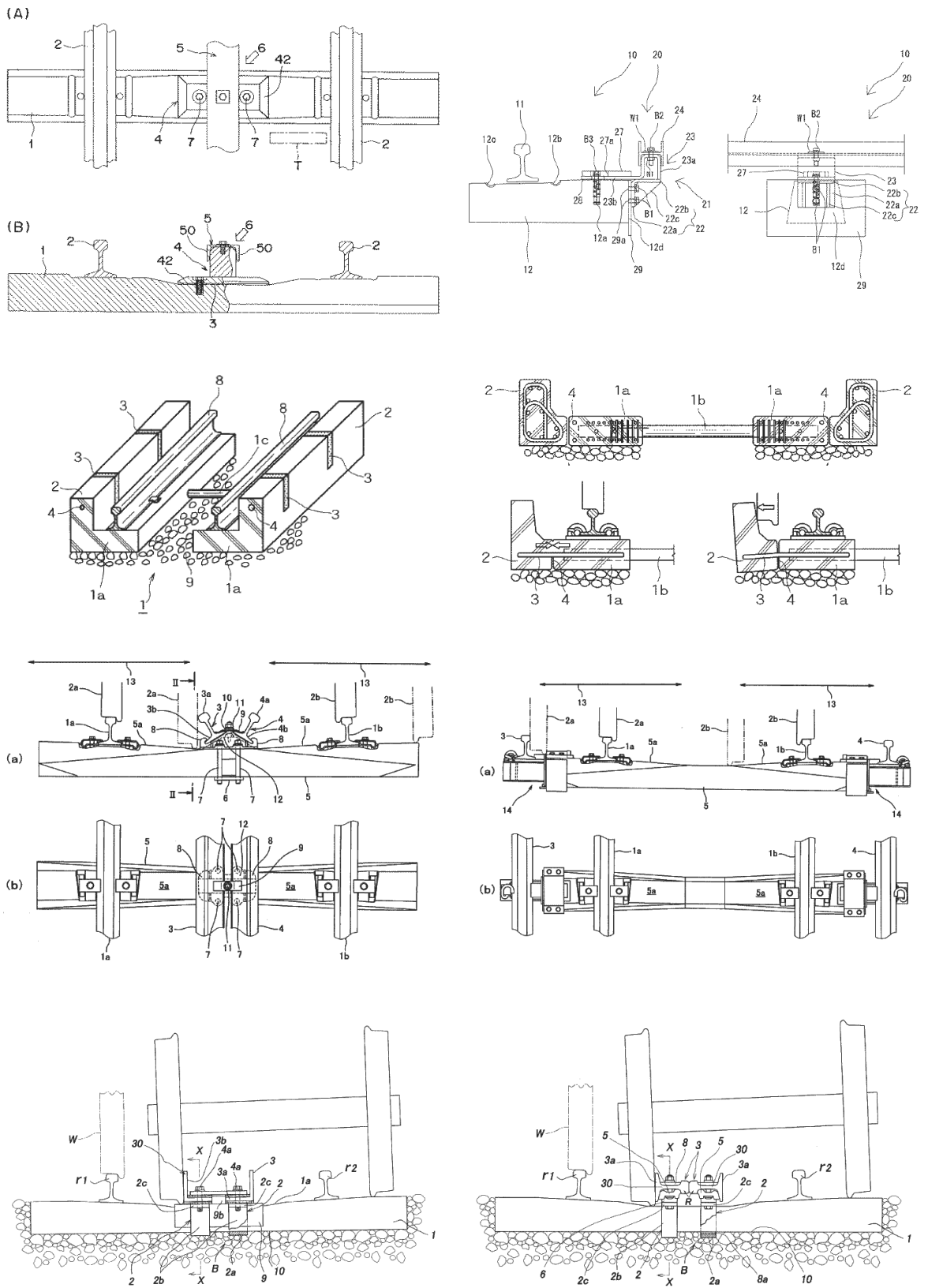


그림 2.71 열차 탈선 후 일탈방지시설 관련 특허(CA기술)

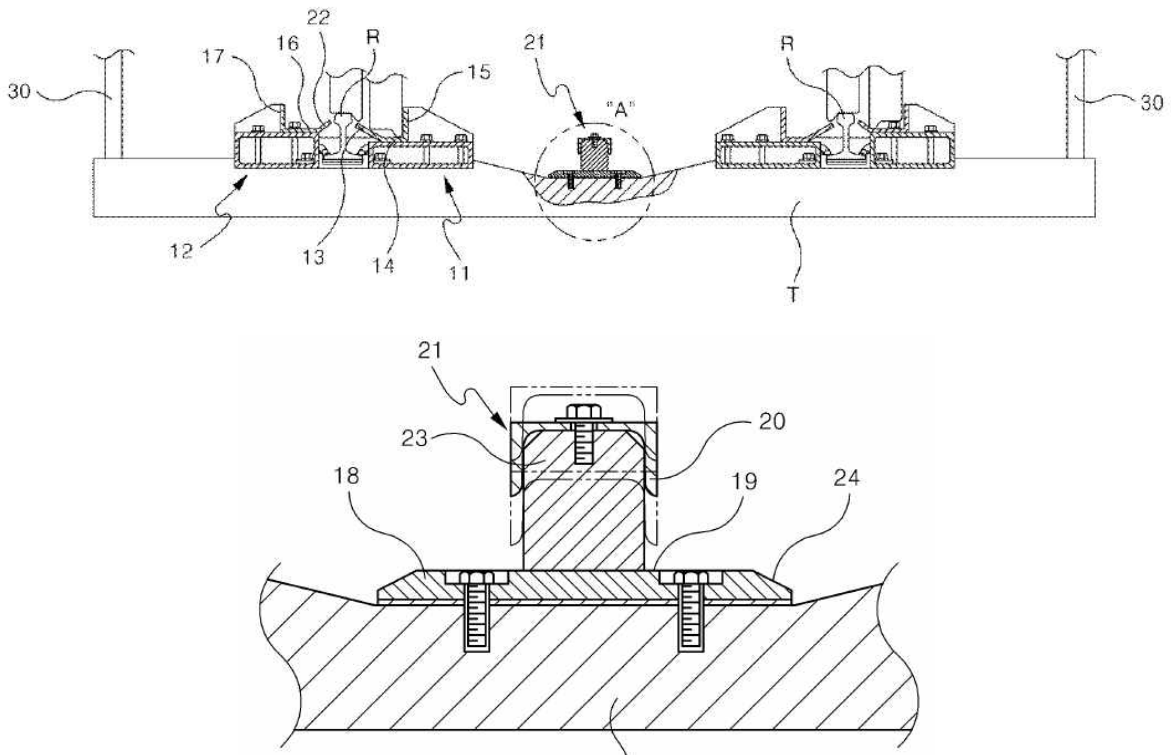


그림 2.72 국내 일탈방지시설 관련 특허(CA기술)

- 독일에서는 “Rigid concrete railway track at side of rail acting as derailment guard and guide(EP1415042B1, JP2004538396A, US7093768B2, CN1541293A, KR2004025746A)”라는 특허기술을 출원하였는데 유일하게 콘크리트 궤도를 대상으로 한 일탈방지시설 기술이다. 유럽 외에도 일본, 미국, 중국, 한국에 모두 출원하여 해외시장 진출에 노력을 보이고 있다.

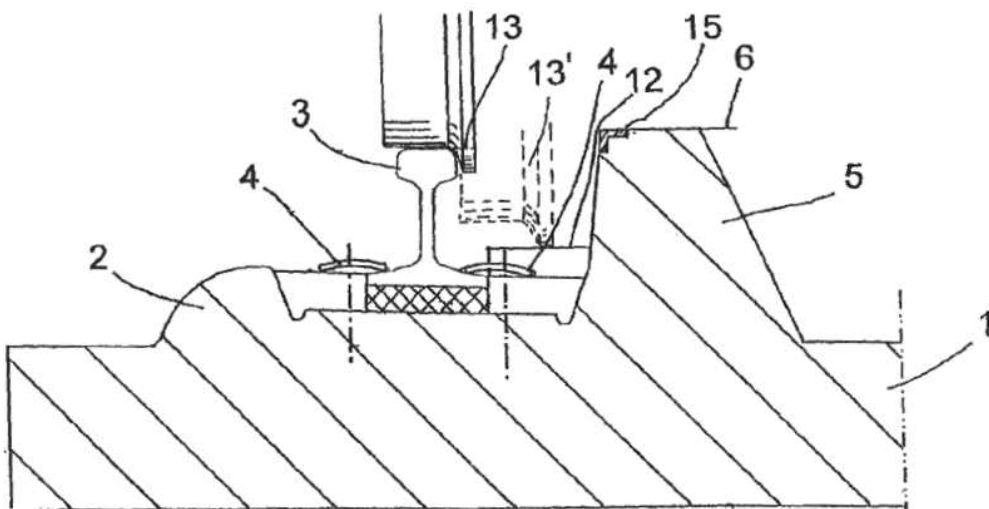


그림 2.73 독일 일탈방지시설 관련 특허(CA기술)

(라) 탈선방호벽(CC기술)

- 전체 특허 중 ‘탈선방호벽’과 관련된 특허기술은 6건으로, 4건은 일본 기관에서 출원하였고 2건은 한국에서 출원하였다. 일본의 경우 열차가 탈선하였을 때 궤도 이탈을 방지하기 위한 방호벽 형식의 기술과 탈선된 열차의 손상을 최소화하기 위한 플랫폼 구조의 충격에너지 흡수 기술이 있다. 국내의 경우 급곡선부 탈선방호벽 시설구조 기술과 이 기술을 이용한 급곡선부 열차 속도 향상 목적 열차탈선 방지 장치에 대한 기술이 있다.

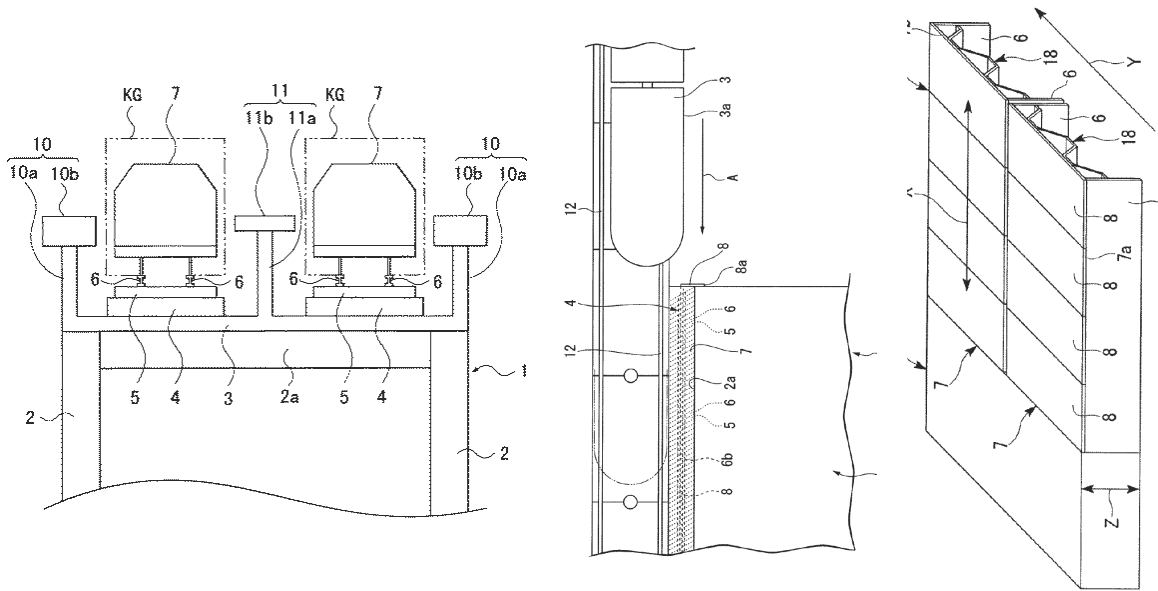


그림 2.74 일본 탈선방호벽 관련 특허(CC기술)

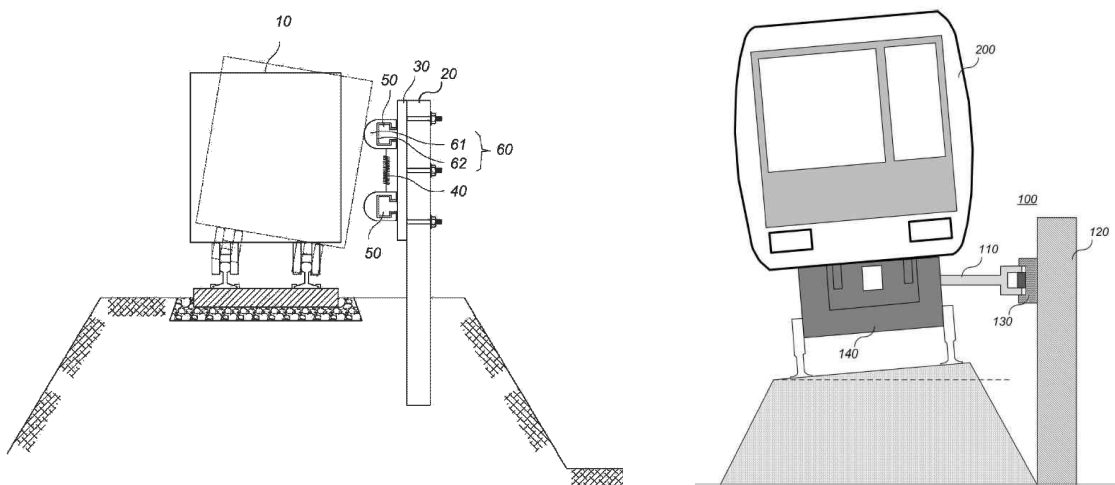


그림 2.75 국내 탈선방호벽 관련 특허(CC기술)

(마) 신형식 콘크리트 궤도(EA기술)

- 전체 특허 중 ‘신형식 콘크리트 궤도’와 관련된 특허기술은 1건에 불과하였다. 일본에서 출원한 “Track Concrete Slab(JP2014015722A)”라는 특허로, 열차 탈선시 차륜의 과도한 이탈을 방지할 수 있는 장치를 갖는 콘크리트 궤도에 대한 기술이다. 개념적인 기술 외 구체적인 성능/사양 등은 제시되고 있지 않으나, 본 연구에서 개발하고자 하는 일탈방호 성능을 겸비한 콘크리트 궤도와 관련성이 높은 기술이다.

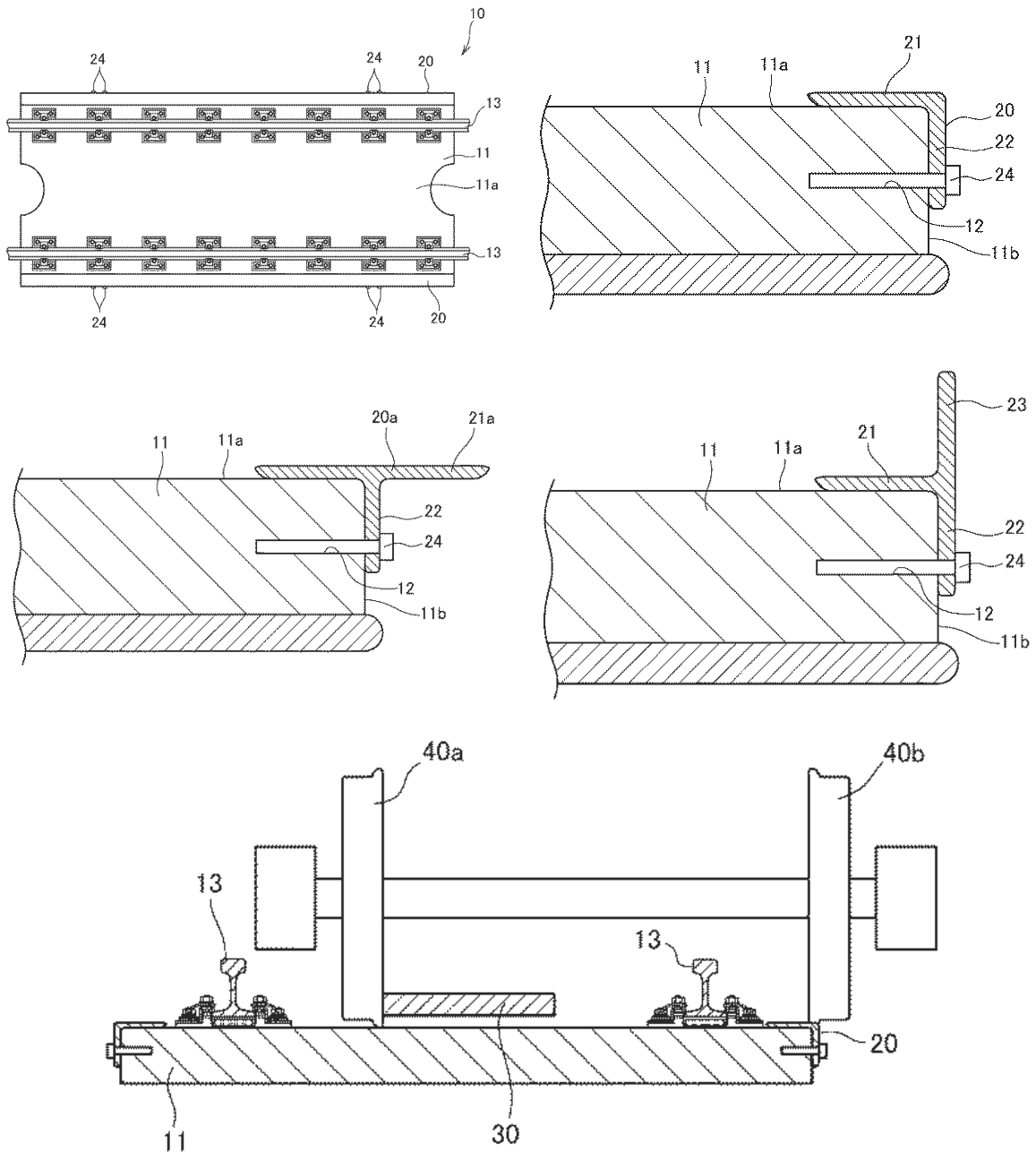


그림 2.76 신형식 콘크리트 궤도 관련 특허(EA기술)

(바) 세부 특허 분석 결론

- 각 세부기술 분야 중 본 연구와 가장 관련성이 높은 **탈선 후 거동(AC기술)**에 대한 특허기술은 철도 차량의 탈선 현상을 재현하여 탈선 테스트를 위한 장비로 본 연구에서 개발하고자 하는 성과와 직접적인 관련성이 적다.
- **탈선 후 충돌(BC기술)**에 대한 특허기술은 탈선된 열차가 탈선영역을 벗어나 인접선로 등과의 추가적 충돌을 방지하기 위한 통신기반 열차 감지, 제어 장치에 대한 기술, 탈선된 열차의 차륜의 레일체결장치와의 충돌로 인한 손상 방지, 레일의 궤간(Track gauge)이 확장 방지하기 위한 기술로써 탈선 후 구조물과 충돌/방호 기술과는 관련성이 적다.
- **일탈방지시설(CA기술)**에 대한 특허기술은 자갈궤도 침목 중앙 또는 외측에 구조적 장치를 설치하여 탈선 후 열차의 차륜 이탈을 제어하는 기술로써 본 연구에서 개발하고자하는 일탈방호 성능 콘크리트 궤도와 차이가 있으나 일탈방호 측면에서 관련성이 높아 참고할만한 유효기술로 판단된다.
- **탈선방호벽(CC기술)**에 대한 특허기술은 열차가 탈선하였을 때 궤도 이탈을 방지하기 위한 방호벽(Barrier) 형식의 기술과 탈선된 열차의 손상을 최소화하기 위한 충격에너지 흡수 기술로써 탈선열차 방호의 목적 면에서는 관련성이 높으나 방호 메커니즘/규모/설계방법적인 측면에서 관련성이 적다.
- 일반적인 콘크리트 궤도에 새로운 기능 또는 성능이 보완/개선된 **신형식 콘크리트 궤도(EA)**에 대한 특허기술은 열차 탈선시 차륜의 일탈을 방호할 수 있는 장치를 갖는 콘크리트 궤도에 대한 기술로써 개념적인 기술 외 구체적인 성능/사양 등은 제시되고 있지 않으나, 본 연구에서 개발하고자 하는 일탈방호 성능을 겸비한 콘크리트 궤도와 관련성이 높은 기술이다. 따라서, 전 세계적으로 1건의 기술이지만 본 연구를 통해 개발될 최종 성과물과의 지적재산권 등의 차별성을 고려한 개발이 필요하다.

(2) 논문 기술

- 탈선방호시설물과 관련한 국내/외 논문을 크게 3가지(탈선 사고원인 및 시나리오, 탈선방호시설 설계, 탈선 시뮬레이션 및 해석)의 카테고리로 분류하여 분석을 수행하였다.
- 탈선사고 원인 및 시나리오(Accident Cause & Scenario)와 관련된 연구논문은 기술분류 중 ‘탈선/충돌사고(DA)’ 기술과 연관성이 있으며, 탈선방호시설 설계(Derailment Protection Design)와 관련된 연구논문은 ‘탈선방호벽(CC)’ 기술, 탈선 시뮬레이션 및 해석(Simulation & Analysis)과 관련된 연구논문은 ‘탈선 메커니즘(AA)’, ‘탈선 안전성 분석/평가(AB)’, ‘탈선 후 거동(AC)’ 기술과 연관성이 있다.

(가) 탈선사고 원인 및 시나리오

- “Analysis of Derailments by Accident Cause (2011)” - Xiang Liu et al, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign
  - FRA 사고 데이터베이스와 여러 탈선 통계자료를 이용하여 열차 탈선 위험도를 예측하기 위한 몇 가지 한계 변수를 분석.
  - FRA 궤도 등급과 사고원인에 의한 탈선 위험도를 평가하는 범용적인 방법이 개발됨.

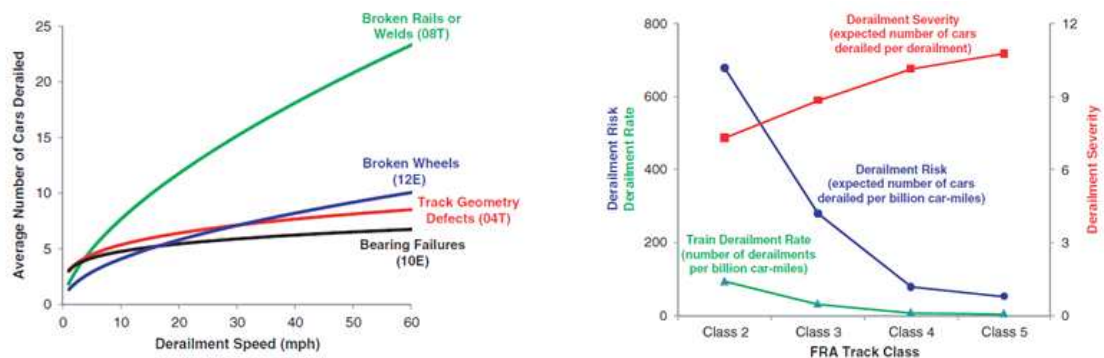


그림 2.77 탈선사고에 대한 위험도 평가 관련 논문(DA기술)

- “Analysis of Causes of Major Train Derailment and Their Effect on Accident Rates (2012)” - Xiang Liu et al, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign
  - 화물열차의 안전에 대하여 정량적인 위험도 분석과 위험관리에 대한 체계화 과정의 첫 단계로 사고원인, 빈도 등 통계적 결과를 제시.

- “Analysis of Major Derailment Causes on Heavy Haul Railways in the United States (2013)” - Xiang Liu et al, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign
  - 2011~2010년 미국의 FRA에서 조사한 데이터를 이용하여 화물 열차 탈선에 대한 빈도와 심각도(Severity) 사이의 관계, 주요 탈선 원인에 의한 인프라 구조물과 철도차량의 특성을 정량적으로 평가.
  - 로지스틱 회귀모델을 이용하여 특정 사고원인에 의한 열차탈선 확률 예측.
  - 탈선빈도와 심각도 사이의 관계, 운영 특성의 정량화를 통해 주요 탈선원인의 상대적 위험도를 평가하기 위한 정량적인 체계(Framework)를 제시.
  
- “Analysis of U.S. freight-train derailment severity using zero-truncated negative binomial regression and quantile regression (2013)” - Xiang Liu et al, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign
  - 미국 화물열차 탈선의 재해강도를 추정하기 위한 제로절단 음이항 회귀 (Zero-truncated negative binomial regression, ZTNB)와 분위회귀분석(Quantile regression, QR) 모델 개발.
  - 열차 탈선 재해강도 분포의 더 나은 결과를 제공.
  - 다양한 사고 원인과 다양한 운영조건하의 열차 탈선 재해강도를 추정하는데 사용될 수 있음.
  
- “Category of Derailment Mechanism and Prevention for High-Speed Vehicle (2011)” - Wei Wang & Guixian Li, Univ. of Electronic Science and Technology in China
  - 탈선 메커니즘을 연구하기 위해 사고 원인을 3가지 카테고리(마찰 타입 탈선, 구조물 타입 탈선, 비선형 타입 탈선; frictions-type, structure-type, nonlinear-type derailments)로 분류하여 분석.
  - 각 카테고리는 고유의 특성을 가지고 있으며 서로 다른 방법에 의해 분석되어짐.
  - 다른 타입의 사고들에 대한 탈선 메커니즘과 예방책을 연구함.
  - 비선형 타입 탈선에서 차륜축의 횡방향 한계 속도가 유도됨. 비선형 타입 탈선을 정확히 예측하는 것은 어려우나, 몇 가지 발생 가능성 예측 방법을 제안함.

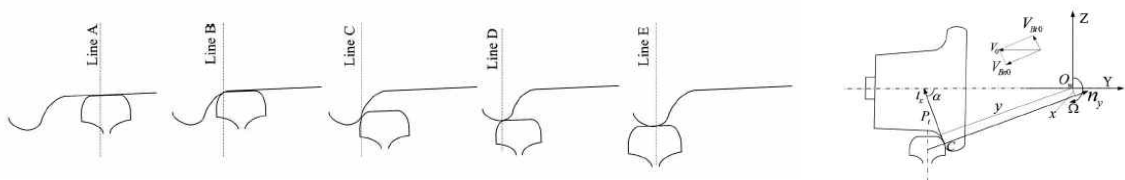


그림 2.78 탈선 메커니즘 및 탈선사고 원인분석 관련 논문(DA, AA기술)

- “Assessment of freight train derailment risk reduction measures : Derailment Risk Models (2011)” - Report for European Railway Agency
  - 화물열차의 탈선에 대한 결함, 사고 나무를 구성하고, 탈선 위험도에 대한 안전 조치를 제시.
- “철도 충돌탈선 사고 위험도 평가를 위한 사고 진전 시나리오 개발 (2006)” - 박찬우 등, 한국철도기술연구원
  - 국내 철도 충돌/탈선 사고 사례를 분석하여, 위험사건의 발생빈도를 결정하기 위한 위험요인의 분류체계의 개발과 피해 심각도를 산정하기 위한 사고 시나리오 모델 전개 수행.
  - 위험사건별 결함나무분석(FTA) 모델을 구성, 사고 시나리오를 사건나무분석(ETA) 형식으로 전개.

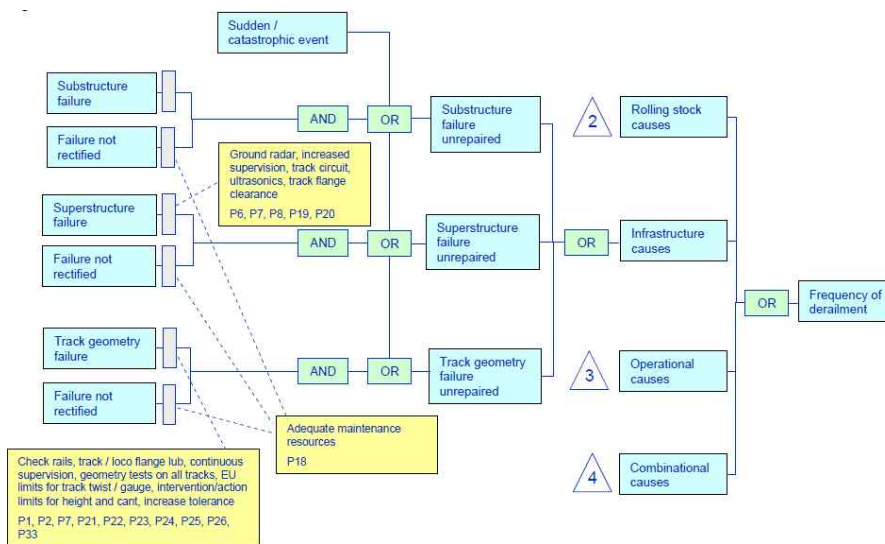
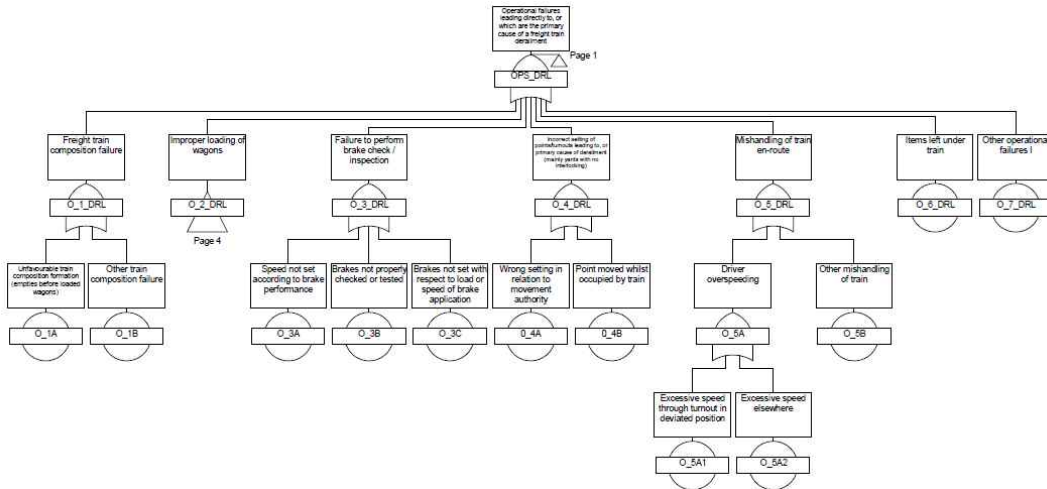


그림 2.79 화물열차의 탈선 위험도 평가 관련 논문(DA기술)

(나) 탈선방호시설 설계

- “Railway Bridges - Safety in design for train derailments (2011)” - Frank Rapattoni & Raphael Grzebieta, Univ. of New South Wales(UNSW) in Australia
  - 호주 기준 AS5100과 국제 코드에 대한 고찰, “Safe System” 접근을 이용한 설계의 과거와 현재, 미래 방향 논의.
  - 방호벽에 작용되는 하중 제시.
- “Review of Australian Standard AS5100 Bridge Design with a View to Adoption (2008)” - D. K. Kirkcaldie & J. H. Wood, NZ Transport Agency
  - 호주 교량 설계기준 AS5100에 대한 검토 보고서
- “Design and Selection Criteria for Road/Rail Interface Barriers (2009-2010)” - Australia, Queensland Main Roads
  - 위험도 평가방법을 사용하여 개발된 도로/철도 방호벽 Selection matrix를 포함하여, 도로와 철도가 근접한 경우의 도로와 교량 방호벽에 대한 요구조건을 설정.
  - 철도와 도로가 인접해있을 때 리스크 매트릭스(Risk matrix)와 합리적인 상호작용을 개발하기 위한 근거를 제시.
  - 차량종류, 무게, 도로와 레일의 상태(등급), 효율적인 높이, 성능수준, 현장 환경과 관련한 도로와 교량 방호벽에 대한 설계 방법을 제시.
  - 도로와 교량 방호벽에 대한 호주 기준(Australian Standards) AS 3845, 5100의 적용가능성을 명확히 하고, 도로와 철도 포함하는 설계 기준으로 확장했음.

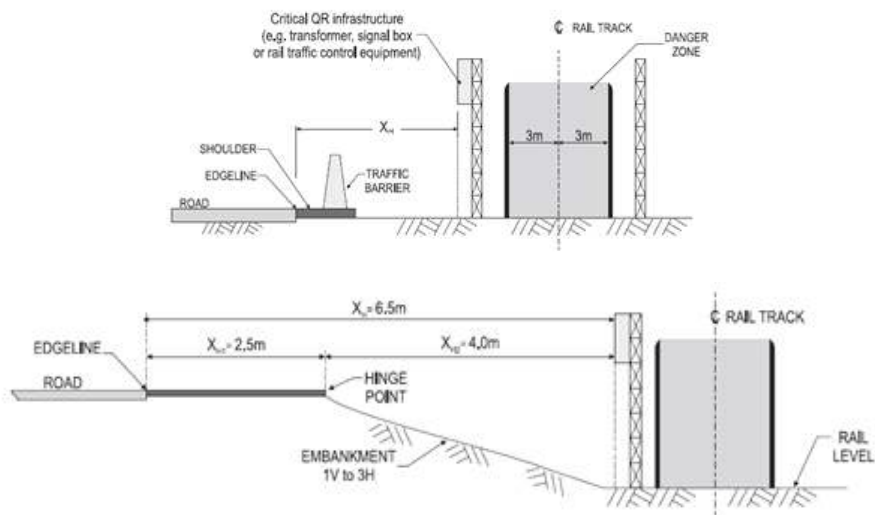


그림 2.80 탈선열차의 타교통시스템 침범 방호 설계 관련 논문(CC기술)

○ “Intrusion Protection for High-Speed Rail and Adjacent Transportation Systems (2008)” - Dominique Rulens et al, California High-Speed Train Project (CHSTP)

- 고속열차와 인근 교통시스템 사이의 이탈에 의한 보호에 대하여 현재 관련 기준을 분석하고, 인근 교통시스템으로부터 고속철도의 안전을 위한 기본 설계조건 제시.
- 4가지 시나리오를 통해 제시
  - (1) 탈선된 화물열차가 고속철도 운영공간으로 침범
  - (2) 탈선된 화물열차가 고속철도 고가교를 지지하는 교각에 충돌
  - (3) 탈선된 고속열차가 인근 화물열차, 여객열차 또는 고속도로 운영공간에 침범
  - (4) 고속도로의 자동차 또는 트럭 등이 고속철도 운영공간으로 침범

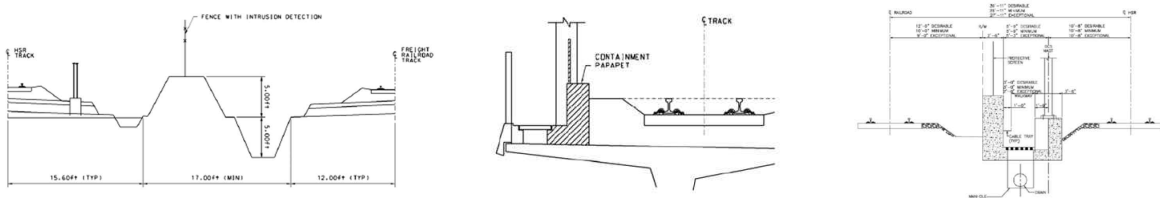


그림 2.81 탈선열차의 침범 방호 설계 관련 논문(CC기술)

○ “Safety of High Speed Guided Ground Transportation Systems - Intrusion Barrier Design Study (1994)” - Paul D. Moyer et al, FRA

- 열차 탈선방호벽의 타당성을 평가하고, 합리적인 해석에 근거한 설계기법 개발.
- 열차 종류, 방호벽 기능, 방호벽 종류, 방호벽 수, 방호벽 이격거리, 차량 속도, 해석방법
- 충돌 시나리오의 모델링 및 해석-Structural Train Barriers, Structural Highway Barriers, Earthwork Barriers, Combination Structural/ Earthwork Barriers
  - 탈선 방호벽 설계-Train Barrier Design, Highway Barrier Design
  - 탈선 방호벽 건설비용, 유지보수 비용
  - 위험 평가-Vehicle Damage 평가, Passenger Safety 평가
  - 열차종류 및 속도, 방호벽 종류 및 기능에 따른 최대/최소 Offset Distance, 충돌하중, 설계하중, 도면 등 제시

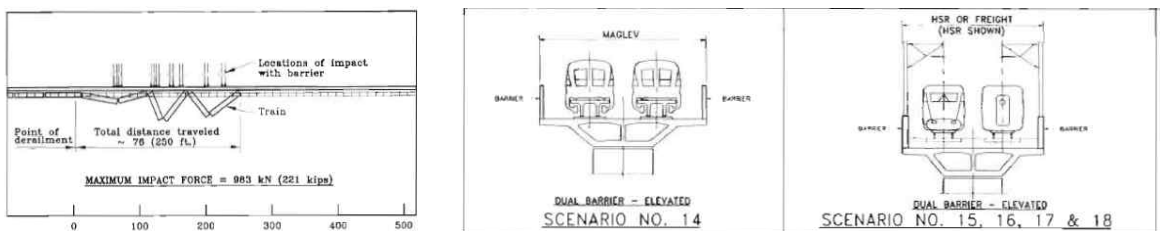


그림 2.82 탈선열차의 방호벽 설계 관련 논문(CC기술)

(다) 탈선 시뮬레이션 및 해석

- “차륜-레일 구름접촉(Rolling Contacts)을 적용한 철도차량 유한요소 모델의 충돌기인 탈선거동 해석 (2013)” - 이준호 & 구정서, 서울과학기술대학교
  - 차륜-레일 구름접촉의 가상시험 모델을 해석하기 전에 선행 연구로 단일윤축으로만 탈선해석을 수행하여 다양한 탈선 유형에 대하여 타당성을 평가(using LS-DYNA).
  - 해석 데이터의 오실레이션을 줄이는 방법과 차륜 플랜지와 레일 접촉 모델링 방법을 제시.
  - 탈선현상을 시뮬레이션 해석하고 탈선 이론으로 타당성 검증.

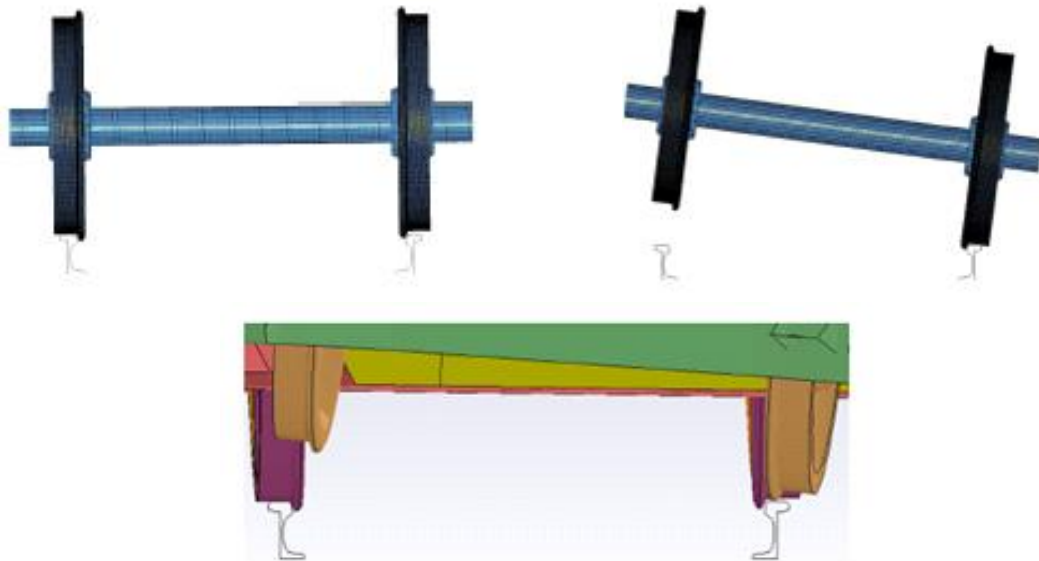


그림 2.83 탈선 메커니즘 및 시뮬레이션 관련 논문(AA기술)

- “Development of high-speed railway vehicle derailment simulation (2012)” - Wei Wang & Gui-xian Li, Univ. of Electronic Science and Technology in China
  - 정확한 포인트를 빠르게 얻기 위한 3차원 접촉추적 방법이 제시됨. 그리고 접촉 하중(creep force와 normal force를 포함)을 얻기 위한 정확한 방법으로 개선됨. 결과는 현재의 방법들과 비교하여 정해와 더욱 가까움.
  - 고속열차에 대한 동적 탈선 시뮬레이션(Dynamic model of wheel-rail contact)은 MATLAB에서 개발됐으며, 동적 탈선 메커니즘 연구와 탈선조건, 영향인자, 주요 원인 결정을 분석하는 데에 사용됨.
  - 차륜-레일 충돌 프로세스는 LS-DYNA를 이용하여 탈선에 요구되는 Critical 충돌 속도를 확인함.

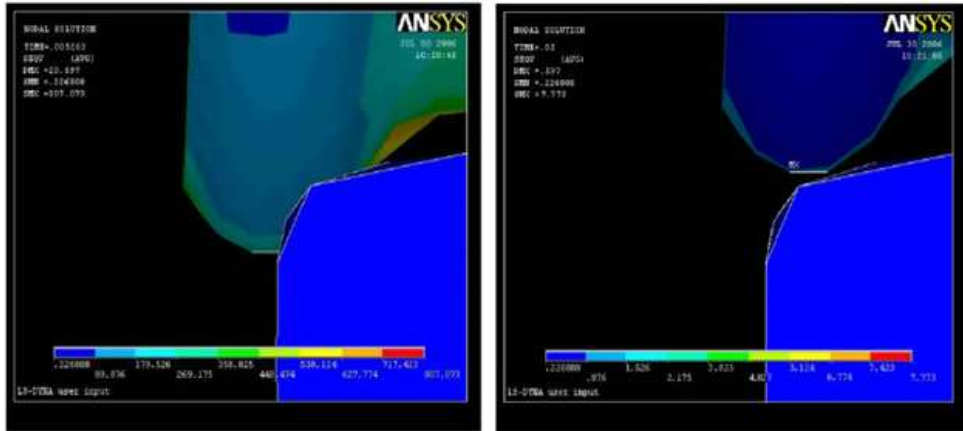


그림 2.84 탈선 메커니즘 및 탈선 안전성 분석 관련 논문(AA, AB기술)

- “Wheel-Sleeper Impact Model in Rail Vehicles Analysis (2007)” - Dan Brabie, KTH in Sweden
  - Multi-Body System(MBS) 소프트웨어를 이용하여 고속열차의 탈선 후 동적 거동을 연구하기 위한 필수 전제조건을 설정하였음.
  - 콘크리트 침목에 충돌하는 차륜의 유한요소 모델은 LS-DYNA를 사용.
  - 고속열차의 탈선 후 상황을 완화시키는 다양한 열차 설계 변수의 체계적인 해석을 수행하기 위하여, Post-derailment module을 개발.

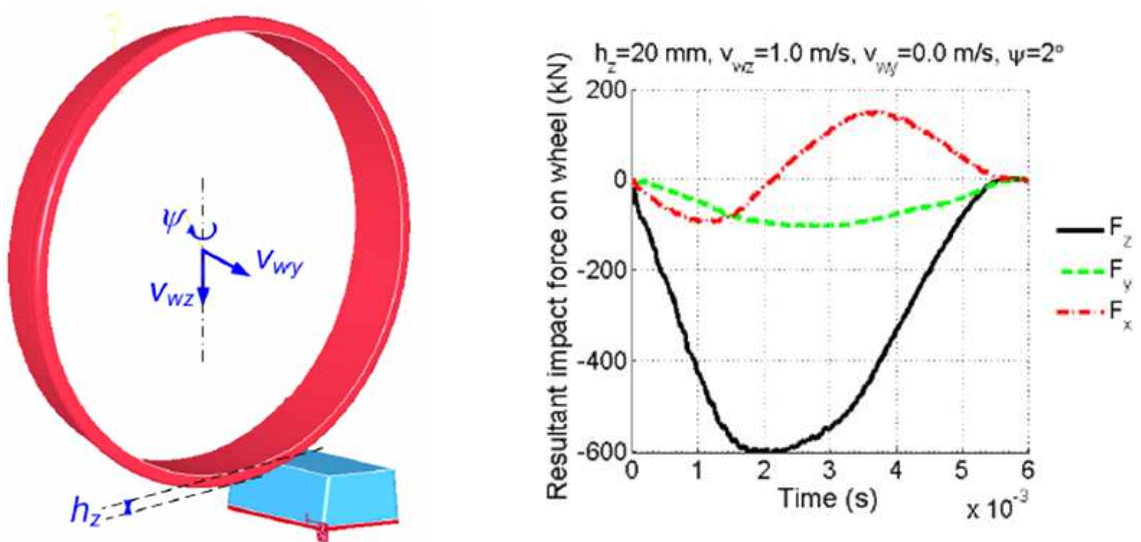


그림 2.85 탈선 후 거동 해석 관련 논문(AC기술)

- “High-speed Train Derailments - Minimizing Consequences through Innovative Design (2008)” - Dan Brabie & Evert Andersson, KTH in Sweden
  - 경험적 연구와 Multi Body System, MBS 시뮬레이션을 병합하여, 고속열차의 탈선 후 상황을 최소화하는 것에 대한 다양한 가능성이 연구됨.
  - 탈선 열차 거동의 전, 후를 예측하기 위해 개발된 포괄적인 MBS 모델이 개발됨.

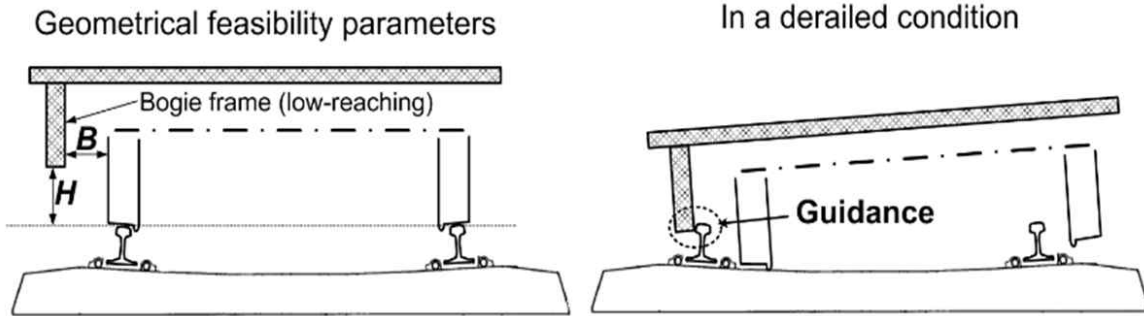


그림 2.86 탈선 안전성 평가/분석을 위한 해석 관련 논문(AB기술)

- “Post-derailment dynamic simulation of rail vehicles-methodology and applications (2008)” - Dan Brabie & Evert Andersson, KTH in Sweden
  - 콘크리트 침목에 충돌한 후 차륜축의 거동을 예측하기 위해 기존 개발된 Multi Body System Post-derailment 모듈을 차륜-체결장치 충돌 상황이 가능하도록 업그레이드시킴.
  - 열차 탈선 이후의 동적 시뮬레이션을 위한 방법 및 적용 기술 제시.
  - 제안된 모델은 탈선된 이후의 상황을 성공적으로 재현시킴(10개의 연속된 침목 위에 탈선된 차축의 수직, 횡방향 궤적). 또한 Flange climbing 탈선 상황을 모사할 수 있음.

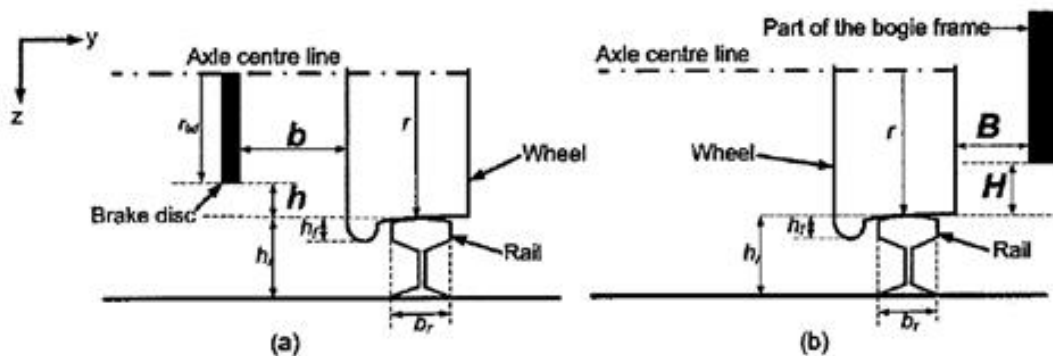


그림 2.87 탈선 후 거동 해석 관련 논문(AC기술)

(다) 세부 논문 분석 결론

- 열차 탈선 사고원인 및 시나리오와 관련한 연구는 미국, 유럽 및 국내에서도 지속적으로 수행되고 있다.
- 탈선방호벽 설계와 관련한 연구는 호주와 미국에서 주로 열차의 탈선에 의한 인근 구조물 및 타 교통시스템으로의 침범(Intrusion)에 대한 방호벽(Barrier) 설계 연구를 수행하였다.
- 열차 탈선과 관련한 시뮬레이션 및 해석과 관련한 연구는 미국, 캐나다 등에서 방호벽(Barrier) 설계를 위한 2차원 열차 충돌 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 중국 및 국내에서는 탈선 후의 열차와 구조물 간의 충돌 관점이 아닌 탈선 발생에 대한 메커니즘 연구에 관한 동적 탈선 시뮬레이션을 수행하였다. 스웨덴에서는 탈선된 열차의 차륜이 콘크리트 침목에 충돌한 후 차륜축의 거동을 예측하기 위한 해석을 수행한바 있다.
- 따라서, 국내에서는 철도분야 탈선사고 또는 탈선 메커니즘 연구 외에 탈선 방호에 대한 연구가 진행된 바 없으며, 본 연구를 통해 개발되는 최종 성과물과의 학술적 연구 분야 관련성이 적다.

### 3. 시장현황 및 전망

#### 가. 글로벌 철도시장 현황

- '09~'11년 기준 글로벌 철도시장 규모는 연평균 1,458억 유로(약 192조 원) 수준이었으나, '15~'17년에는 1,699억 유로(약 224조 원)로 추정된다. 특히 글로벌 철도 인프라 시장규모는 '15~'17년까지 343억 유로(약 45조 원)에 달할 것으로 전망된다.

표 2.11 글로벌 철도시장 현황(단위: 억유로)

구분	계	철도차량	서비스	인프라	신호제어	시스템
'09~'11	1,458	477	551	302	120	6
'15~'17	1,699	547	657	343	143	8

※ 자료출처 : UNIFE(Union des Industries Ferroviaires Européennes, 유럽철도차량연맹)

※ 국토교통부(2013). 새로운 철도연구개발 비전과 강소기업 육성전략(2013.6.12.)에서 재인용

- 아시아지역 철도시장 규모를 살펴보면, 2010년부터 2014년까지 평균시장규모(MV) 460억 유로(약 63조 원)로 시장규모가 가장 크며 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상된다. (※ 출처: THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)

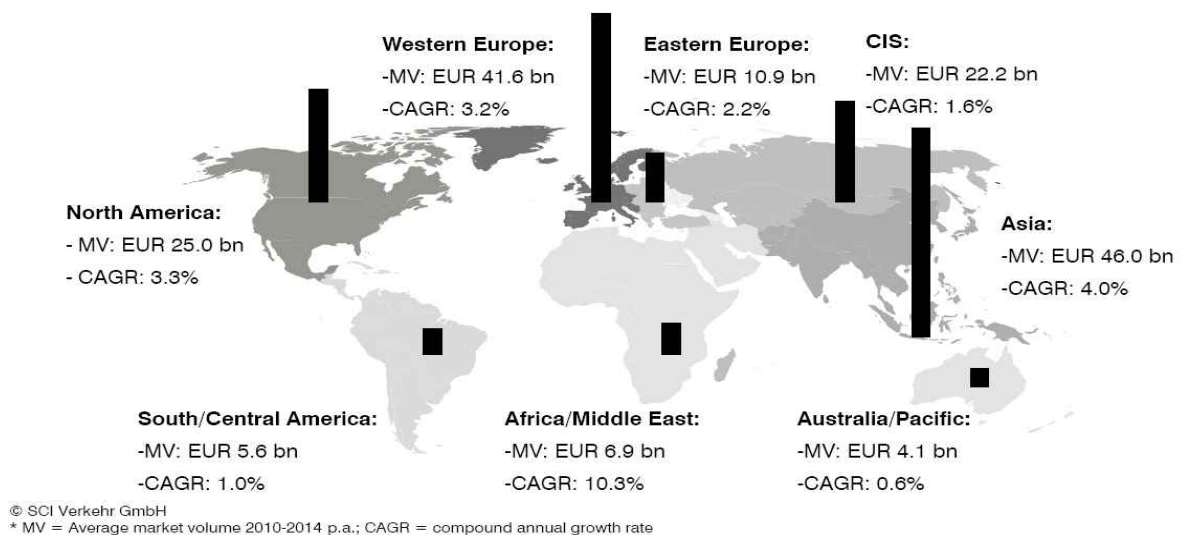
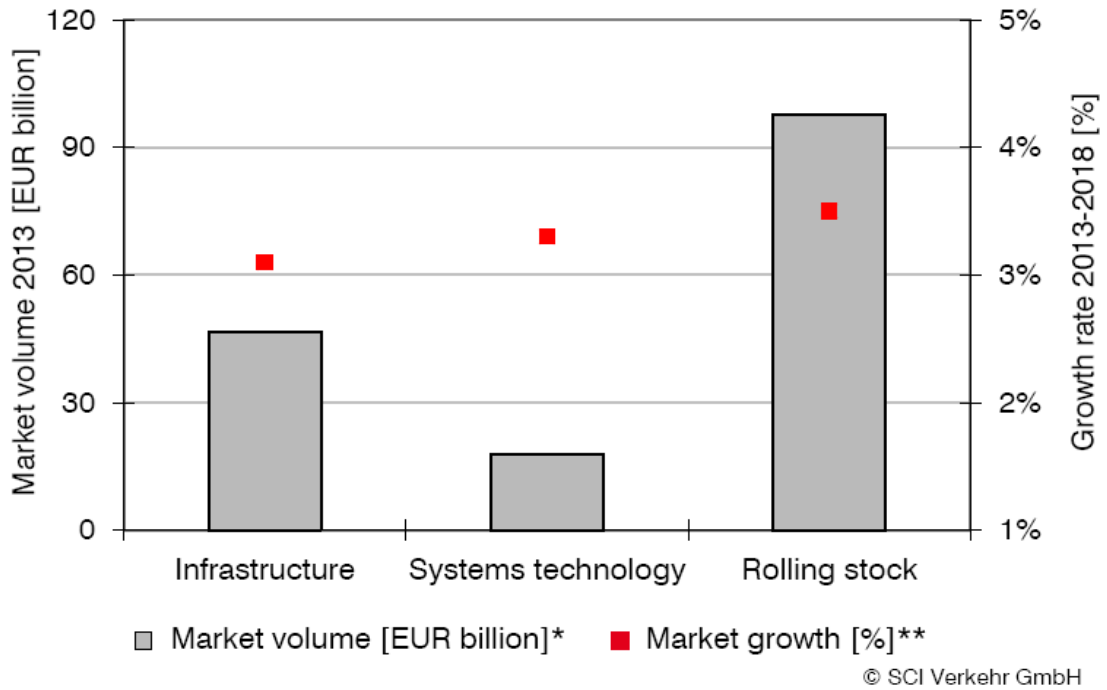


그림 2.88 2013-2018 글로벌 철도시장 동향

- '13~'18년 기준 글로벌 철도시장 시장점유율 중 철도차량이 60%를 차지한다. 2018년까지 철도 인프라 시장을 포함한 3개 기술군에서 매년 3.4% 소폭 증가할 것으로 예상된다. 향후 도시화, 기후 및 환경적 타겟, 자원요구의 증가 등으로 장기적으로 철도개발 전망은 긍정적이다. (※ 출처: THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)



Source: SCI Verkehr GmbH, \*Arithmetic mean 2012-2014, \*\*CAGR 2013-2018

그림 2.89 Market volume and market growth by product segment  
 [2013, EUR billion/2013-2018, %]

나. 글로벌 철도 인프라 시장현황

- 2010년~2020년까지 계획된 전세계 교통인프라 투자규모는 41조 달러에 이를 것으로 보이며, 이 중 교통인프라(도로+철도)가 19%(7.8조 달러)를 차지할 것으로 예측된다. 교통인프라 투자에 대한 지역별 현황을 살펴보면, 중남미시장과 중동시장에서 상대적으로 많은 투자가 예측된다. (※ 출처: Strategic Insight on Global Rail Market, 2012.5, Frost & Sullivan)

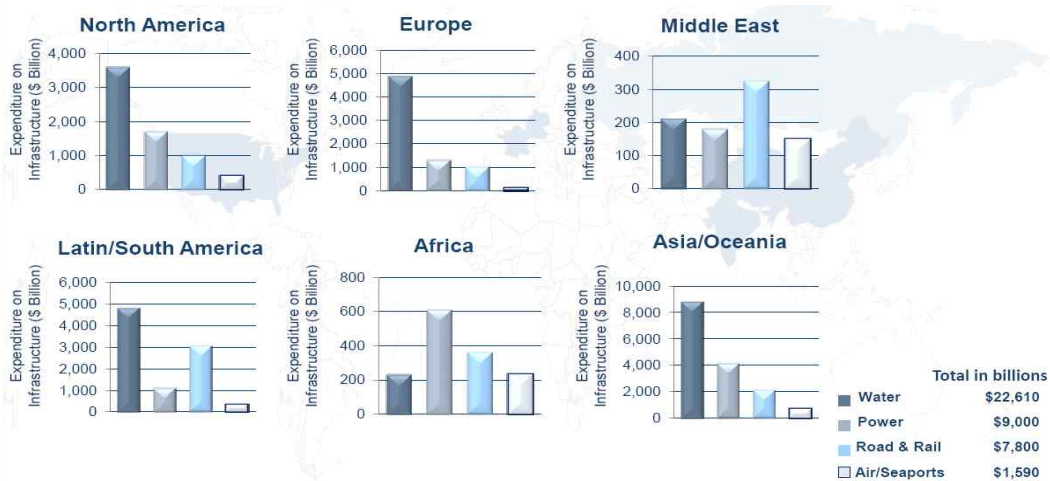


그림 2.90 2010-2020 글로벌 인프라 투자(지출) 현황

- 글로벌 철도인프라(철도연장, 전철화 선로)시장 중 궤도 연장선은 2013년부터 2020년까지 연평균복합성장률(CAGR) 1.1% 증가하는 등 철도차량(기관차, 여객열차, 동차, 화차) 시장을 포함하여 2020년까지 계속해서 증가할 것으로 예측된다. (※ 출처: Executive Analysis of the Global Rail Industry 2014, 2014.7, Frost & Sullivan)

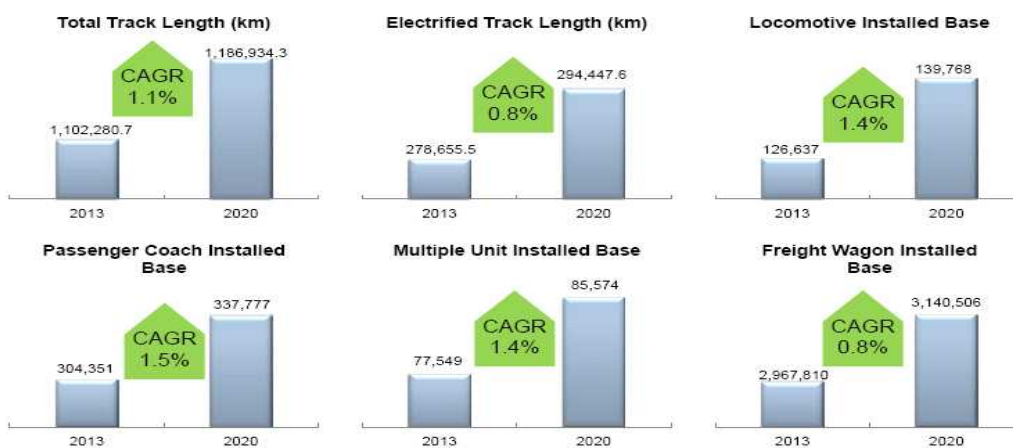


그림 2.91 Rail Market: Forecast Overview of Key Rail Parameters, Global, 2013 and 2020

- 2010년~2020년까지 계획된 철도 선로의 추가 구축계획을 살펴보면, 전 세계적으로는 0.2% 증가하는 데 그칠 것으로 예측된다. 유럽은 기존의 선로활용을 극대화하는 데 주력할 것으로 예측되지만, 상대적으로 아시아 지역에서 선로 확대가 많이 나타날 것으로 예측된다. (※ 출처: Strategic Insight on Global Rail Market, 2012.5, Frost & Sullivan)

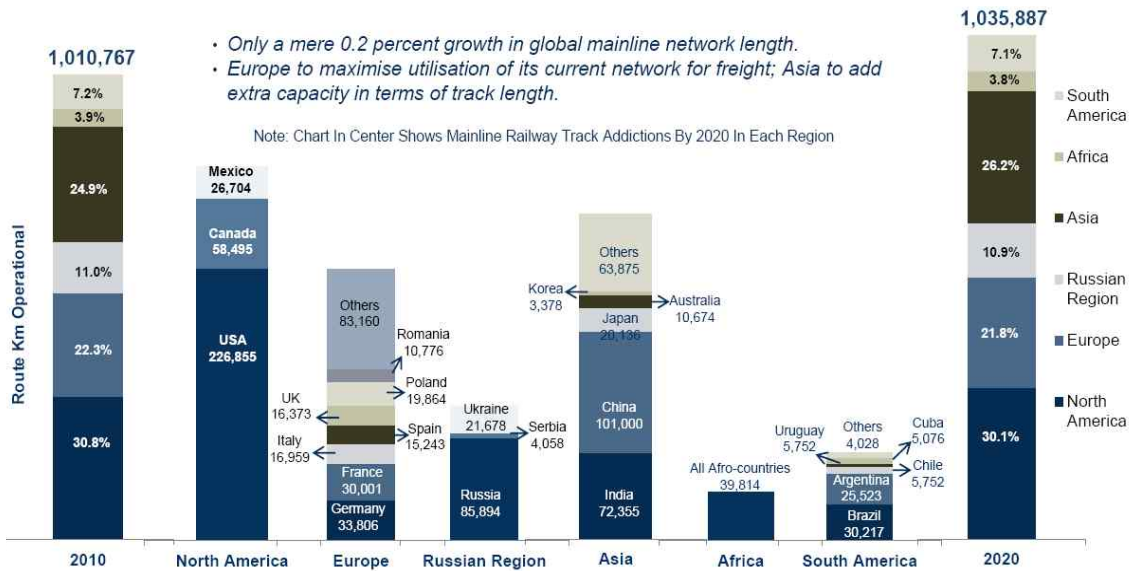


그림 2.92 2010-2020 글로벌 인프라 투자(지출) 현황

- 2011년~2020년까지 계획된 고속철도 인프라 투자에 대한 누적 시장규모를 살펴보면, 2011년 700억달러에서, 2020년 9,100억달러까지 크게 성장할 것으로 예측된다. 고속철도시장은 철도산업에서 가장 큰 잠재력을 갖고 있는 사업분야이며, 중동과 북미가 가장 큰 신규 시장이 될 것으로 예측된다. (※ 출처: Strategic Insight on Global Rail Market, 2012.5, Frost & Sullivan)
- 2012년부터 2022년까지 세계 고속철도시설 연장선에 대한 연평균 성장률은 4.5%에 달할 것으로 전망된다. 또한 2025년까지 아시아와 유럽간 고속철도 연결 서비스 1단계 상업화가 기대되어 고속도로에서 철도로의 대규모 교통수단 전환이 예상된다.
  - 유럽의 경우 2025년까지 스페인에서부터 프랑스 및 터키에 이르는 거대 고속철도망이 구축될 것으로 기대되고, 아시아 태평양의 경우 인도는 중국 고속철도 다음으로 가장 큰 고속철도망 잠재성을 갖고 있지만 운영 및 펀딩 프로젝트 관련 사유로 고속철도망 채택율은 여전히 불확실하다. (※ 출처: Rail Outlook Study 2013-2022, 2011.5, Frost & Sullivan)

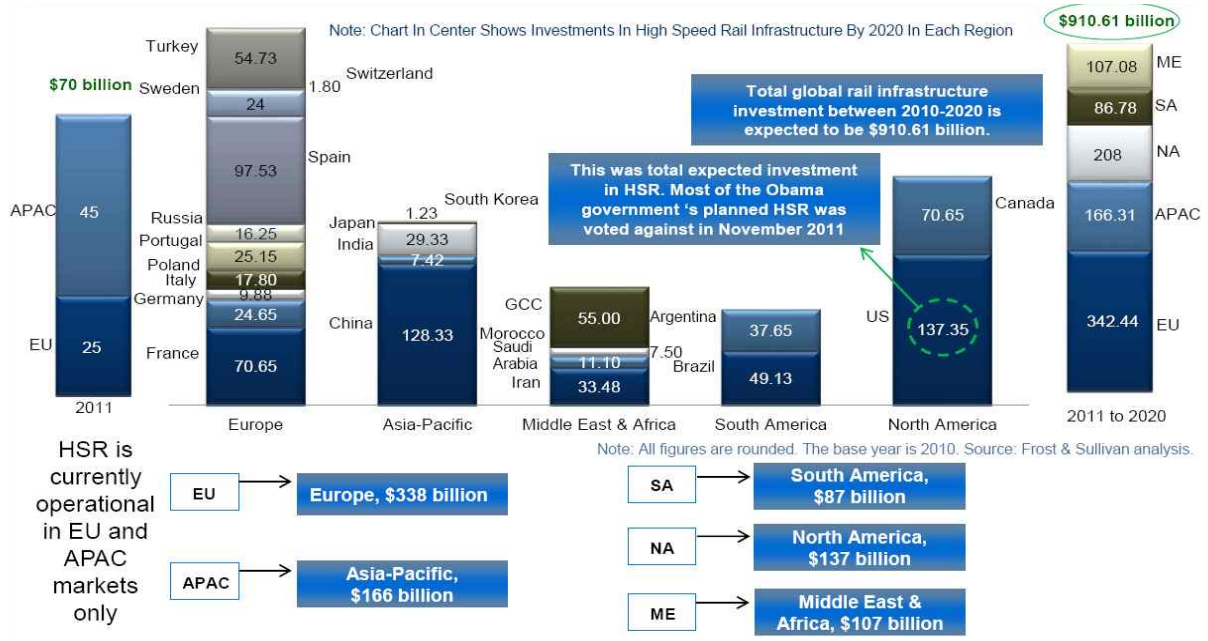


그림 2.93 2011-2020 고속철도 인프라 투자현황

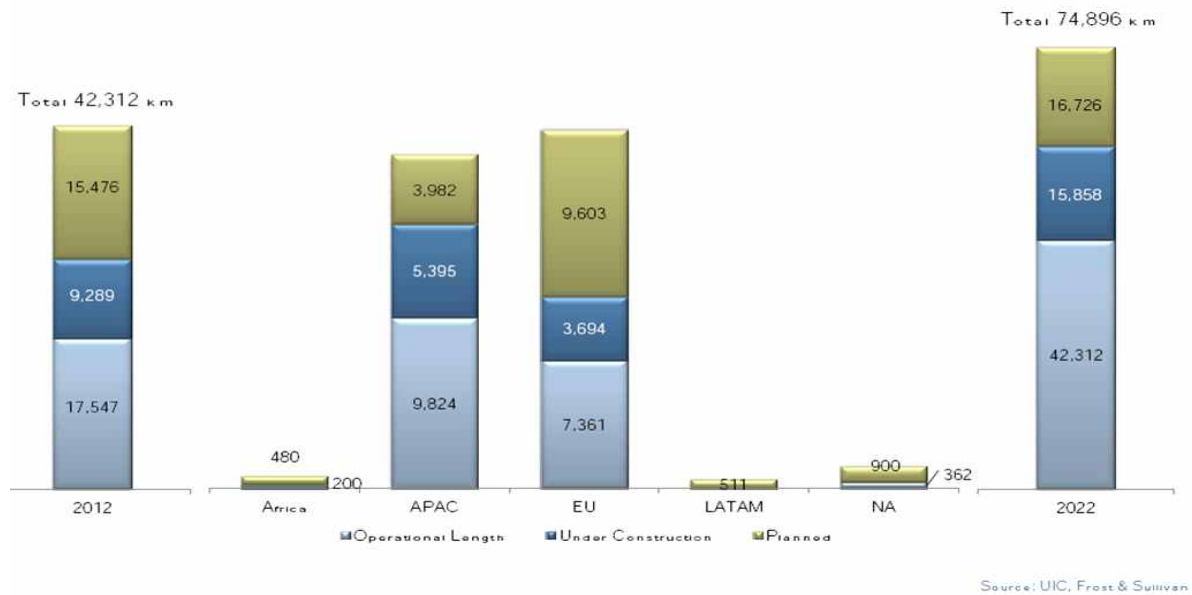


그림 2.94 2012-2020년 글로벌 고속철도망 인프라스트럭처 현황

다. 궤도시스템 유지보수 시장

○ 궤도시스템 유지보수 등 철도 인프라스트럭처에 대한 세계시장 규모는 2011년 기준으로 227억 유로 수준이며, 2016년까지 연평균 3.9%씩 성장할 것으로 예측된다. 특히 아시아 궤도시스템 시장 성장률(6.7%)보다 높게 성장하고 있어, 궤도시스템 전체 시장에서의 중요성이 확대되고 있다. (※ 출처: Worldwide market for railway technology, 2012, SCI Verkehr GmbH)

Region	Track system (Renewal and Maintenance)			
	Current Market Volume (EUR million)	Current Market Volume (십억원)	시장점유율 (시장 분포)	연평균 성장률 (2011~2016)
<b>Western Europe</b>	5,720	8,251	<b>25.1%</b>	3.6%
Eastern Europe	1,390	2,005	6.1%	3.2%
North America	5,380	7,761	23.6%	1.8%
South/Central America	820	1,183	3.6%	4.2%
<b>Asia</b>	4,980	7,184	21.9%	<b>6.7%</b>
Africa/Middle east	1,010	1,457	4.4%	4.8%
CIS	2,920	4,212	12.8%	3.0%
Australia/Pacific	540	779	2.4%	3.6%
<b>Total</b>	<b>22,760</b>	<b>32,831</b>	<b>100%</b>	<b>3.9%</b>

\* 적용환율 : 1 EURO = 1,442.50원

그림 2.95 The World Market for Railway Infrastructure Maintenance (2011)

Worldwide Market Shares of Track System Suppliers 2007-2011 [EUR million]

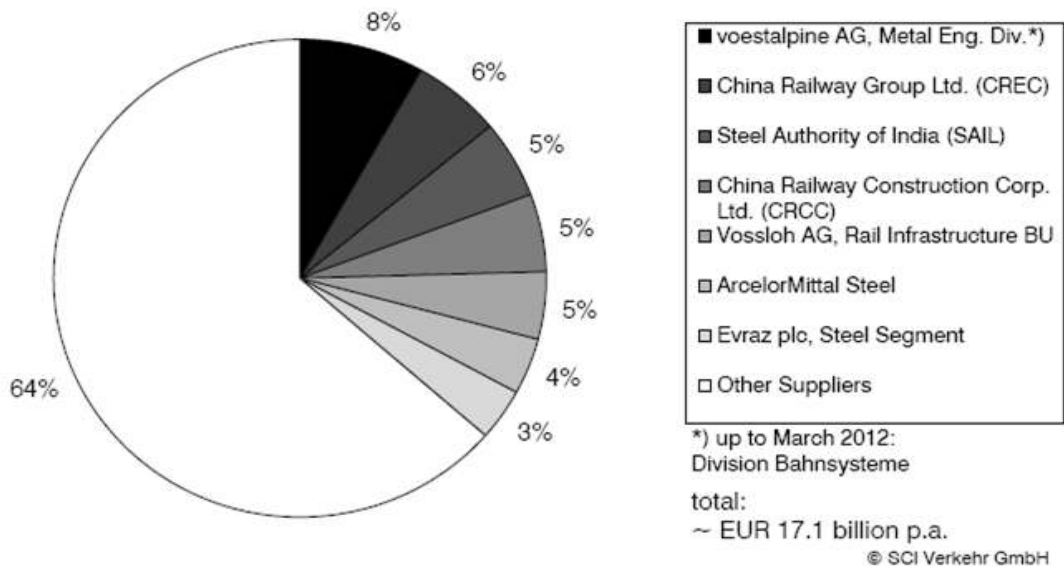


그림 2.96 궤도시스템(Track system) 분야 기업별 시장 점유율(%)

- 궤도시스템 유지보수 및 교체시장에 대한 세계 기업들의 점유율을 살펴보면, Voestalpine AG(8%), China railway Group(6%), Steel Authority of India(5%), China Railway Construction(5%) 순으로 시장점유율을 차지하고 있으나 대부분의 주요 기업들의 시장점유율이 크지 않고 기타 중소형 기업들이 전체 시장점유율의 64%를 차지할 정도로 많은 기업들이 경쟁이 난립하고 있는 실정이다. (※ 출처: Worldwide market for railway technology, 2012, SCI Verkehr GmbH)
  
- 종합적으로, 연구 성과로 도출될 것으로 예상되는 열차의 실험/충돌실험 및 시뮬레이션을 통한 성능평가/검증, 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도 기술은 전 세계적으로 증가 추세인 고속철도 인프라 개발에 따른 세계 궤도 시장에서 경쟁력을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3절 국내 연구개발 인프라 분석

#### 1. 국내 관련분야 연구기관 및 인력

- 앞서 언급되었듯이 열차의 탈선 발생 메커니즘, 차량간 충돌에 대한 연구 외에 본 연구와 관련된 탈선열차와 구조물간의 충돌, 방호에 대한 연구 분야는 국내에서 전무하며 이에 대한 효과 입증 분석방법 및 효율성 및 타당성을 판단할 수 있는 기술이 세계적으로도 매우 미미한 수준이다.
- 2013년 국내에서 유일하게 열차의 탈선방호시설에 대한 중요성을 인식하고 국내 현 탈선방호시설인 방호벽에 대한 개념정립을 위해 ‘탈선방호시스템 최적화 설계 및 설치기준 정립 연구(‘13.05.~ ‘14.12.)’를 한국철도시설공단에서 지원하고 충남대학교에서 수행한 바 있다.
- 탈선방호시스템에 대한 연구를 유일하게 수행한 노하우를 가지고 있는 충남대학교에서는 2006년부터 현재까지 부설연구소인 철도연구소를 중심으로 철도분야 국가 R&D사업에 참여하고 있으며, 그 연구성과를 성공적으로 완수하고 있다. 특히 ‘열차와 구조물간 탈선-충돌 해석모델 및 기법 개발’, ‘위험도 분석 기반 장대레일 궤도의 안정성 평가시스템 개발’, ‘궤도-교량 종방향 상호작용 해석기술 개발’, ‘장대레일 종방향 레일축력 측정장치 개발’ 등 철도안전에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다. 충남대학교 철도연구소는 토목, 기계, 전기, ICT, 소재, 영상, 경영/물류, 인간안전 분야 교수진 10명을 바탕으로 운영위원회를 구성하고 있으며, 석·박사 연구인력 약 7명으로 구성되어있다.
- 또한, 본 연구의 최종 개발품인 방호성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 개발과 관련한 노하우 기관/인력으로는 한국철도기술연구원이 있다. 한국철도기술연구원에서는 궤도구조 설계, 검증, 시공, 개발 등에 대한 기술력을 보유하고 콘크리트 궤도 및 궤도용품 등의 연구개발에 대해 상당한 노하우를 가지고 있으며 1996년 설립 이후 현재까지도 국내 철도분야 연구를 선도하고 있다(각 분야 연구직 261명). 또한, 한국철도기술연구원의 철도안전인증연구소는 국제공인 시험기관(KOLAS)으로서 본 연구의 개발기술인 콘크리트 궤도에 대한 역학적 성능 시험 및 인터페이스 검증 시험 등을 수행할 수 있는 설비가 구축되어 있다.

## 2. 국내 관련분야 연구시설 및 장비

- 국내 관련분야 연구기관의 보유 연구시설 및 장비는 다음 표와 같으며, 보유하고 있지 않은 소요 장비는 연구장비 구축 전에 NTIS 국가연구시설·장비관리서비스를 활용한 동일·유사장비 중복성 검토를 수행하여야 한다.

표 2.12 국내 관련분야 연구기관의 보유 연구시설 및 장비 현황

연구시설 및 장비명	규격	수량	활용용도	보유기관
TDS-602	30CH	1	Strain 측정	충남대학교
유압제어실험장치	50T	1	구조물 강도시험 (변위, 변형, 강도측정)	충남대학교
로드셀	10Ton	2	하중 측정	충남대학교
피로시험기	EHF-E2D	1	피로 시험	충남대학교
광섬유 데이터로거	IS-7000	1	측정 데이터 기록	충남대학교
DRA-30A	30CH	1	측정 데이터 기록	충남대학교
DEWE-801	30CH	1	측정 데이터 기록	충남대학교
변위계	CDP-25	6	변위 측정	충남대학교
가속도계	ARH-50A (5.10G)	3	가속도 측정	충남대학교
레일 체결장치 다축 피로시험기	set	1	피로 시험	한국철도기술연구원
궤도/노반/구조 종합 성능시험기	set	1	성능 시험	한국철도기술연구원
고속 레일/차륜 접촉시험기	set	1	레일차륜 접촉 시험	한국철도기술연구원
대형 진동 삼축 압축 시험기	set	1	진동 시험	한국철도기술연구원
다자유도 가진 진동대	set	1	가진 시험	한국철도기술연구원
철도 구조 성능 평가 시험기	set	1	구조 시험	한국철도기술연구원
레일 피로 시험기	set	1	레일 피로 시험	한국철도기술연구원
궤도 검측기(Track Master)	set	1	궤도 틀림 측정	한국철도기술연구원
진동 측정 장치	set	1	진동 시험	한국철도기술연구원
자주식 윤하중 시험기	set	1	레일 윤하중 측정	한국철도기술연구원
토조 시험 장치	set	1	토조 시험	한국철도기술연구원
동적 데이터 측정 장치	set	1	응력 가속도 측정 시험	한국철도기술연구원
철도 교량용 가진기 시스템 제작	set	1	가진 시험	한국철도기술연구원
동적 시험 분석기(Dynamic Signal Analyzer)	set	1	응력, 가속도 측정	한국철도기술연구원
윤중 검측기	set	1	윤중 측정	한국철도기술연구원

## 제3장 연구개발과제 구성 및 추진전략

### 1절 비전 및 목표

- 본 기획연구의 최종목표는 열차의 탈선 후 거동과 시설물과의 충돌하중을 예측/평가하여 탈선된 열차의 방호시설물에 대한 성능 기준과 성능 평가 기술을 개발하고, 이에 대한 효과적인 방호시스템을 개발하기 위한 연구를 기획하는 것이다.
- 탈선열차의 방호에 대한 효과 입증 분석 기술 및 성능 평가 기술은 전 세계적으로 공백기술로써, 본 연구기획에 의한 국내 기술자립 및 세계 기술선도를 통하여, 궁극적으로 탈선열차를 효과적으로 방호하여 자연재해에 의한 탈선 그리고 인적·사회적 재난에 의한 피해를 최소화할 이룩하고자 한다.

### 탈선열차 방호시설물의 성능 기준 / 평가 기술 및 시스템 개발을 통한 피해 최소화



그림 3.1 연구개발 최종목표

## 2절 기술개발에 따른 미래상

### 1. As-Is To-Be 분석

- 국가 안전정책을 고려한 국가 인프라 재난대응 기술 확보를 위해서, 국내 현재 시스템(As-Is) 및 향후 미래시스템(To-Be) 분석을 통해 현재와 미래의 기술적 Gap을 도출하고 이를 바탕으로 기술개발 주요 Agenda를 도출하였다.

#### 가. 국내 현재 시스템(As-Is)

##### (1) 탈선방호시설(방호벽) 도입

- 국내에 고속철도가 도입되기 이전에는 열차의 탈선과 관련한 안전시설물로서 탈선방지시설인 가드레일이 급곡선부와 일부 교량에 설치되어왔으며(그림 1.1), 2004년 고속철도가 도입된 이후 고속철도 교량에 한하여 탈선방호시설인 방호벽을 설치해오고 있다(그림 1.2). 철도설계지침 및 편람(KR C-02060)에 따라 방호벽은 고속철도 교량구간에서 열차가 탈선될 경우(지진, 좌굴, 충돌 또는 궤도, 차량의 결함 등), 차량의 전주 충돌 또는 교량 하부로의 추락 사태를 방지하여 사고피해를 경감/최소화하는 목적으로 설치된다.
- 경부고속철도 1단계에서 방호벽이 설치된 교량길이는 약 83.078 km이며, 콘크리트 궤도인 경부고속철도 2단계 및 호남고속철도는 각각 약 22.138 km, 72.681 km 설치되어, 탈선방호시설 확보에 약 441억 원이 소요되었다(단면 250×940 mm, 단선 기준). 또한 현재 계획/시공 중인 고속철도 교량(200 km/h 초과)은 약 118 km(2014년 7월 기준)로 총 공사비가 약 292억 원 이상 소요될 것으로 예상된다.

##### (2) 방호벽의 기하조건

- 방호벽 설치 시 높이 및 위치에 대한 기준이 없어 관행적으로 설치되어왔다. 벽 높이는 경부고속철도 1단계 건설 시, 차륜이 벽체에 직접 접촉할 경우 전도의 위험이 있으므로 차축(Axlebox)이 벽에 접촉할 수 있는 높이로 하여 설치되었다. 벽 위치는 호남고속철도 건설 시, 탈선된 차륜이 TCL(Track Concrete Layer)에서 떨어지지 않는 위치로 설치되었다.

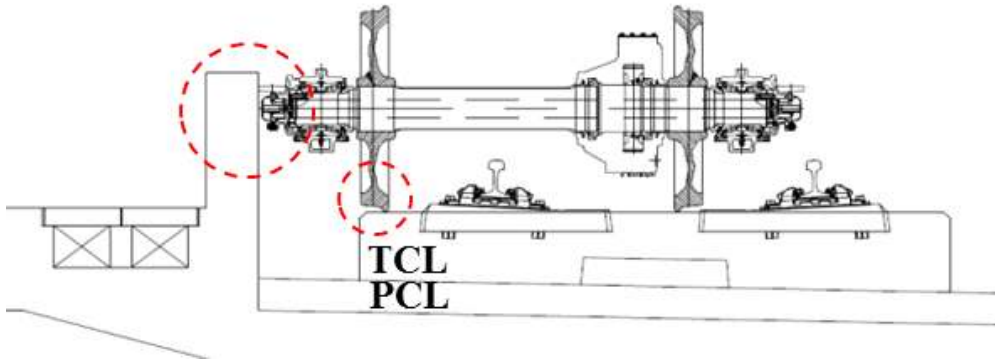


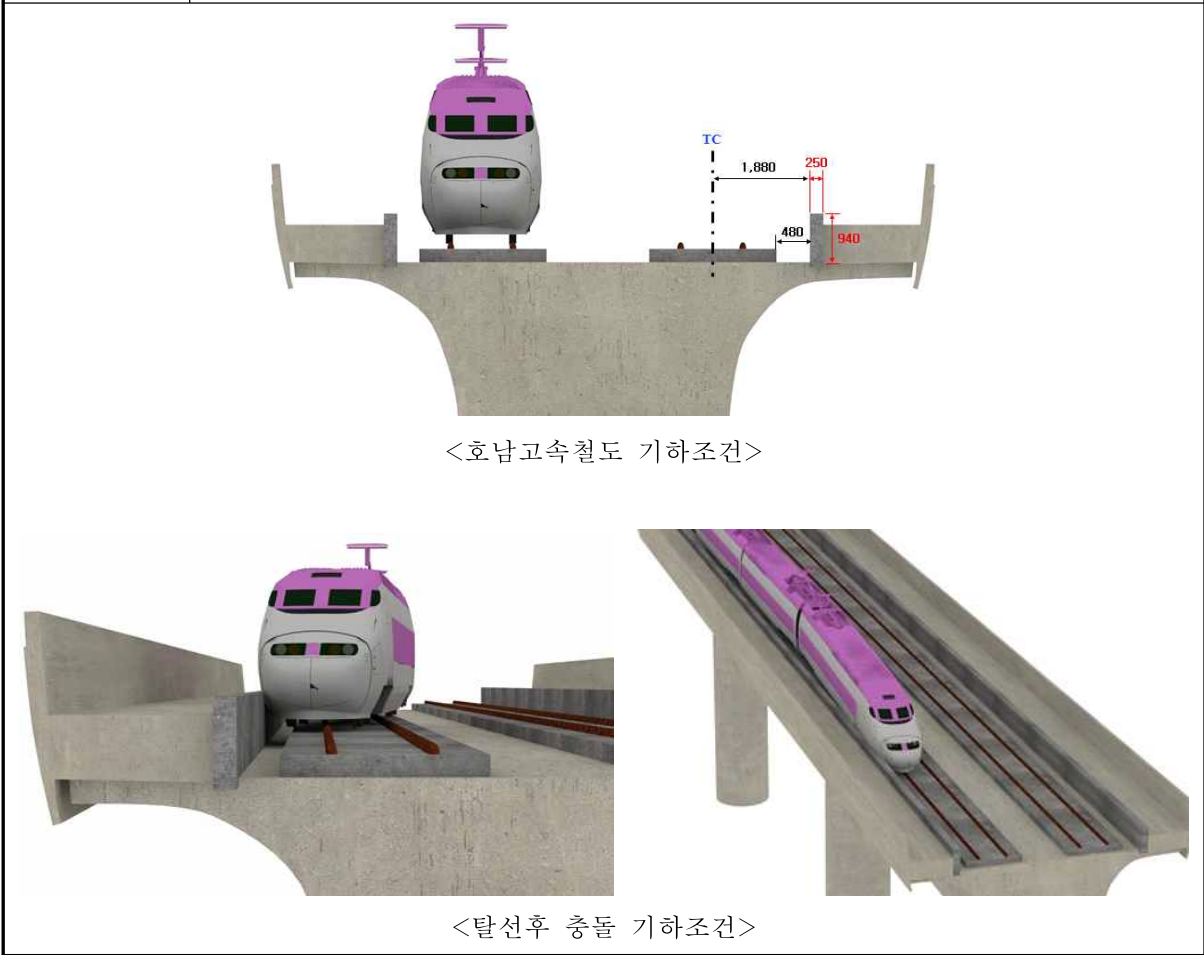
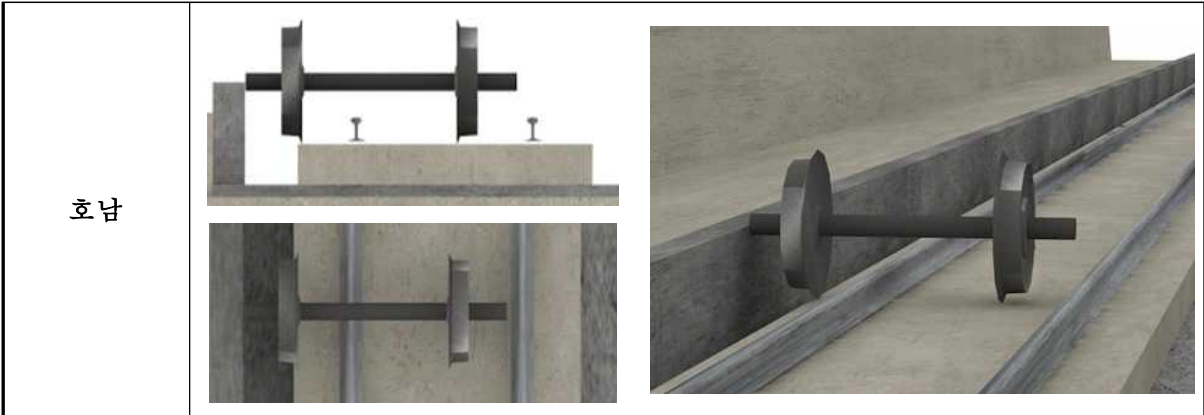
그림 3.2 국내 방호벽 기하조건

표 3.1 국내 방호벽 기하조건(직선구간)

	높이 (mm)		이격거리 (mm)
	above Bridge Deck	above Sleeper/TCL	from Track Center
경부 1단계	975	439	2,000
경부 2단계	975	519	2,000
호남	940	482	1,880

경부 1단계	
경부 2단계	



○ 이러한 국내와 같은 기하조건 하에서는 탈선된 열차의 차축이 벽체에 직접 충돌하기 때문에 충돌하중이 상당히 클 수 있다.

### (3) 방호벽의 설계하중

- 방호벽은 KR C-02060에 의해 탈선열차의 수평 이탈을 제어하도록 교축직각방향 수평하중 150 kN으로 설계하고 있다. 그러나 이 하중은 국내 기하조건 하에서 차축이 벽체에 직접 충돌할 때의 충돌하중으로 보기 어려운 열차 사행동(Snake motion)에 의한 횡하중 수준이다.
- 영국(Network Rail)에서는 유로코드 EN 1991-2에서 제시하고 있는 Nosing force 100 kN의 공칭 수평하중에 Partial factor를 고려한 설계 수평하중을 154 kN으로 보고 있으며, 국내 방호벽 설계하중은 이와 유사한 크기수준임을 알 수 있다. 즉, 국내 방호벽 설계하중(150 kN)은 탈선열차의 직접 충돌하중으로 보기 어렵다.

$$P = \gamma_{f3} \times \gamma_{fL} \times 100 = 154 \text{ kN}$$

- 그림 3.3은 국내 고속열차 KTX가 300 km/h 주행 시, 탈선 후 방호벽과 충돌하는 순간을 시뮬레이션에 의해 나타낸 것으로 차축과 벽체가 직접 충돌하여 그 설계하중을 초과함으로써 벽체의 파괴 가능성이 존재하는 것을 볼 수 있다. 이에 현 국내 기하조건 및 설계하중 하에서 탈선열차의 방호성능 효과에 대해 의구심을 가질 수 있다.

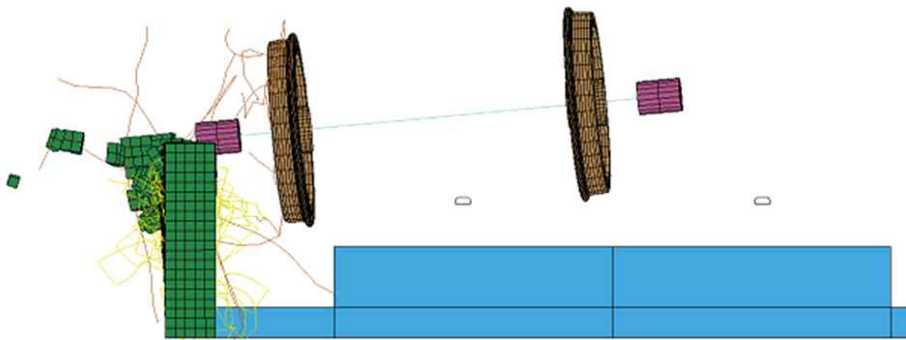


그림 3.3 탈선-충돌 시뮬레이션(KTX 300 km/h 주행)

## 나. 향후 미래 시스템(To-Be)

### (1) 탈선방호시설의 적용 확대

- 현재 국내 탈선방호시설인 방호벽은 열차 운행속도 200 km/h을 초과하는 고속철도 교량에 국한하여 설치되고 있으나, 국가 안전정책 방향 및 열차 운행속도 향상, 이용객수의 지속적 증가에 따른 국민의 철도안전에 대한 기대수준에 발맞춰 향후 열차의 탈선/충돌과 같은 재난사고에 대응하기 위한 방호시설을 확대하여야 할 필요성이 중요시해지고 있다.
- 현행 고속철도 교량뿐만 아니라 준고속 간선철도, 탈선/충돌 확률이 높은 혼용선, 사고피해 정도가 높은 고성토/곡선/접속부(천이구간) 등 위험개소에 확대 적용하여 안전산업 발전 인프라 구축을 도모하여야 할 필요성이 있다.



그림 3.4 탈선방호시설의 적용 확대 필요성

### (2) 탈선방호시설의 기하조건

#### (가) 주행레일의 일탈방호 역할 수행

- 탈선방향 외측 차륜이 벽체에 충돌하기 전, 반대방향 내측 차륜이 주행레일에 의해 가이드되도록 하는 기하조건으로(그림 3.5), 1차적으로 레일과의 충돌로 궤도영역 외부로의 일탈방호 역할을 수행함과 동시에 충격이 흡수되며 2차적으로 벽체가 일탈방호 역할을 수행하게 되어 벽체에 작용하는 충돌하중은 직접 충돌하중에 비해 상당히 감소된다. 이에 따른 방호벽 설계의 효율성을 도모할 수 있다.
- 그러나 벽체의 이격거리가 기존 보다 증가하므로(궤도중심에서 2.3 m 이상) 현재 최적화되어있는 국내 교량 단면에서 공동관로의 축소 또는 교폭의 확장이 불가피해진다.

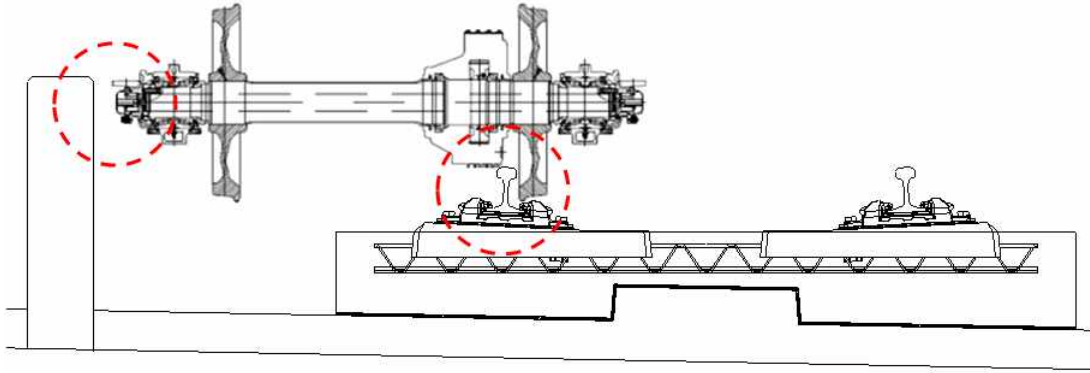


그림 3.5 주행레일의 일탈방호 역할 개념도(기하조건)

(나) 일탈방호시설을 궤도 내에 적용

- 궤간 중앙에 돌출부로 설치된 벽체(Concrete plinth)에 의해 탈선된 열차의 차륜이 가이드되도록 하는 기하조건으로(그림 3.6), 궤도 외측에 설치되는 방호벽과 비교하여 내/외측 방향 탈선에 대해 모두 일탈방호 역할이 가능하고 탈선열차의 이동 거리가 줄어들어 관성력이 감소하여 벽체에 작용하는 충돌하중이 상대적으로 작아 효율성이 높다.
- 기존 궤도 외측에 설치되는 방호벽이 불필요하며 교폭의 확장이 필요 없으므로 경제성 측면에서도 유리하나 궤도, 교량 및 전기, 신호와의 인터페이스 설계 검토가 필요하다.

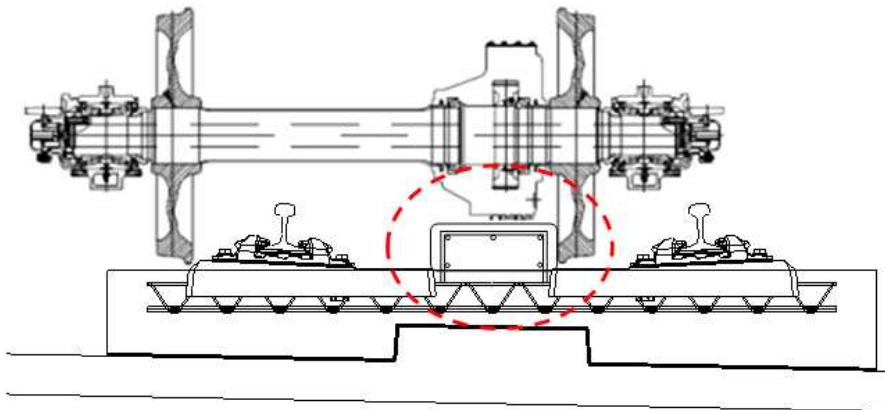


그림 3.6 궤간 내 일탈방호시설 개념도(기하조건)

(3) 탈선방호시설의 설계하중

(가) 기존 설계하중 수준(이격거리 증가)

- 주행레일이 1차적으로 일탈방호 역할을 수행하게 함으로써 벽체에 작용하는 충돌 하중을 기존 국내 현행 설계하중(150 kN) 수준으로 적용할 수 있다. 그러나 앞서 언급했듯이 이 경우는 기존 대비 벽체의 이격거리 증가에 따른 공동관로의 축소 또는 교폭/노반폭의 확장이 불가피해진다.

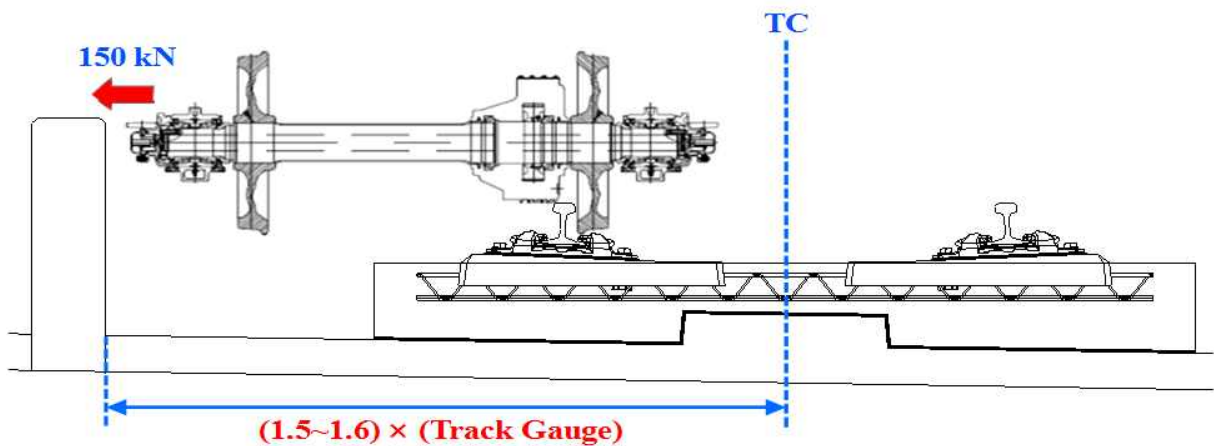


그림 3.7 주행레일의 일탈방호 역할 개념도(설계하중)

(나) 벽체 충돌 내구성 상향 설계

- 기존 방호벽의 기하조건을 유지하되 이에 따른 벽체의 충돌 저항성 상향 설계가 필요하다. 그러나 벽체의 폭 증가 및 하부 바닥판 구조 검토가 필요하다.

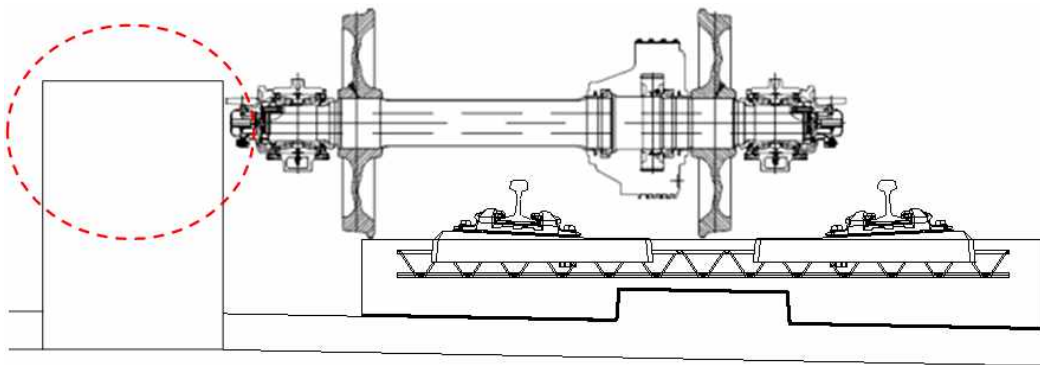


그림 3.8 벽체의 충돌 내구성 상향 설계 개념도(설계하중)

(다) 궤간 내 일탈방호시설

- 궤간 중앙에 일탈방호 역할을 할 수 있는 벽체(Concrete plinth)를 설치함으로써 탈선열차의 이동거리가 줄어 관성력이 감소하므로 벽체에 작용하는 충돌하중을 궤도 외측에 설치되는 기존 탈선방호벽에 비해 감소시킬 수 있다. 효율성 및 경제성 측면에서 유리하나 궤도 교량 및 전기, 신호와의 인터페이스 설계 검토가 필요하다.

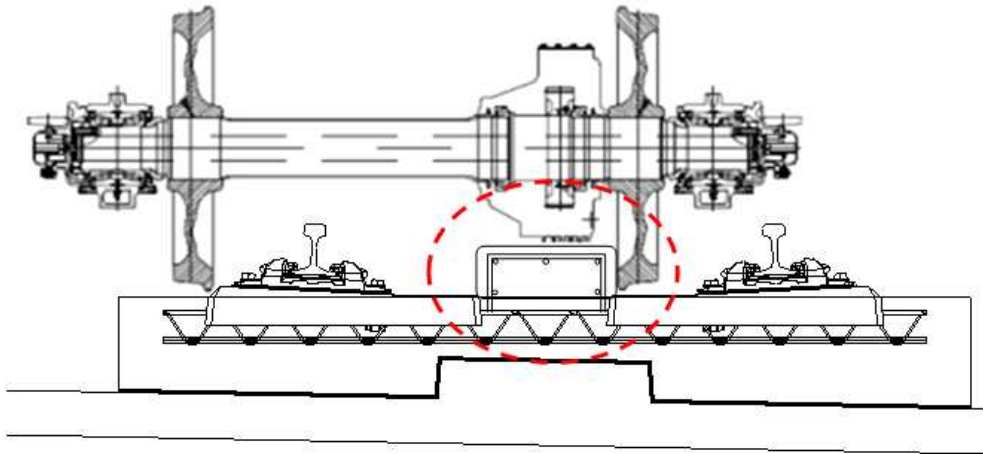


그림 3.9 궤간 내 일탈방호시설 개념도(설계하중)

다. 현재-미래 Gap 분석

(1) 국가 재난위기대응 및 안전산업 발전 인프라 구축

- 향후 열차 탈선/충돌과 같은 재난사고에 대응하기 위한 안전시설을 확대하고 안전산업 발전 인프라 구축을 위해서는, 재난안전 분야의 연구·개발 투자 확대와 철도 시스템 안전방재기술의 연구성과가 재난대응에 적극 활용될 수 있는 제도적 장치 및 사회 전반적인 안전문화 형성이 필요하다.
- 이의 실현을 위한 자연재해(지진, 강풍, 태풍 등), 인적·사회적 재난(교통수송 기반 시설 파괴에 의한 차량탈선 등)에 의한 피해 최소화 기술 개발이 필요하며, 현행 고속철도 교량뿐만 아니라 준고속 간선철도, 탈선/충돌 확률이 높은 혼용선, 사고 피해 정도가 높은 고성토/곡선/접속부 등 위험개소에 확대 적용하여 안전산업 발전 인프라 구축을 도모해야 한다.

(2) 탈선방호시설에 대한 성능 기준 및 평가 기술 개발

- 열차의 탈선, 충돌과 같은 큰 재난에 의한 피해를 최소화하기 위한 기술을 확보하기 위해서는 합리적이고 효율적인 탈선방호시설물의 설계 및 개발이 필요하며, 개발된 탈선방호시설물의 성능을 검증·평가할 수 있는 기준 및 평가 방법·체계가 필요하다. 국내 도로분야에서는 ‘도로 안전시설 설치 및 관리 지침’을 마련하고 차량방호 안전시설(방호울타리, 충격흡수시설 등)에 대해 국가인증 성능시험기관에 의해 성능평가지험(실물충돌시험)을 수행하거나, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 성능이 검증이 되도록 체계화 되어있다. 그러나 철도분야에서 방호 관련 안전시설에 대한 성능등급 규격화 및 기준/평가 기술·체계 등은 전무한 실정이다.

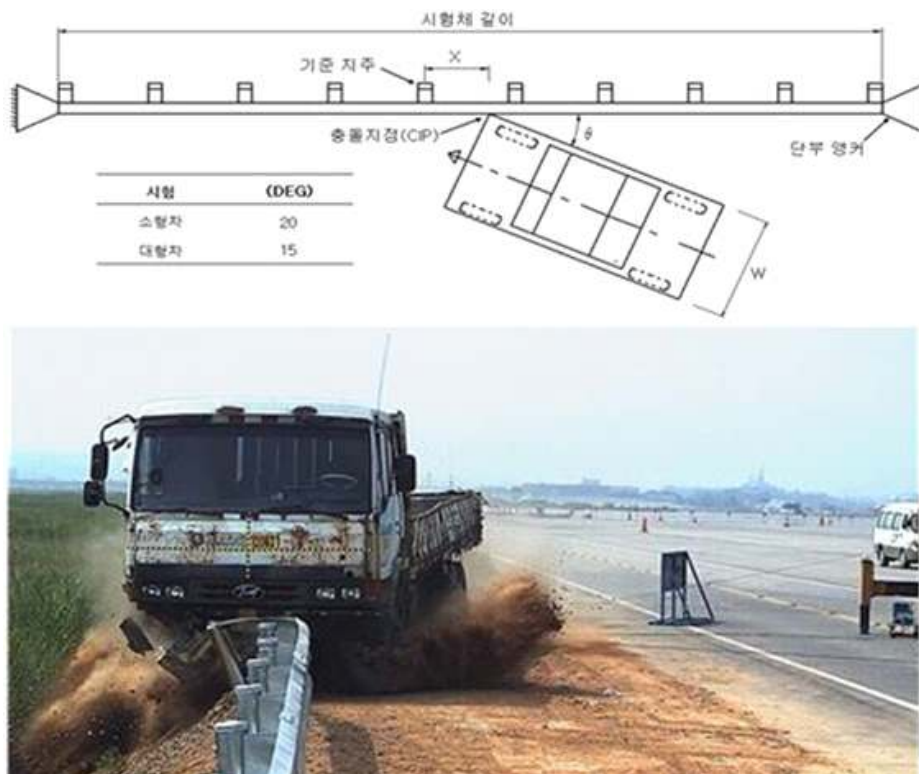


그림 3.10 도로 차량방호 안전시설의 실물 성능평가지험

(3) 탈선/충돌 사고 등급별 방호시스템 개발

- 탈선장소·원인·유형 등 사고 위험도에 따른 탈선방호시스템의 등급화를 통해 시설물의 적용 범위, 규모 등이 설정되며, 설치 구간 인근의 도로 및 교통조건, 지형조건 및 기술 수준 등을 종합적으로 고려하여 설계 조건을 정하고 이에 부합한 방호시스템이 되도록 적용해야한다. 현재 국내 기준에는 일반철도 급곡선부 또는 위험개소에 적용하고 있는 가드레일과 고속철도 교량상에 적용하고 있는 탈선방호벽이 있으나, 탈선방호벽에 대한 설계하중 및 설치위치, 규격에 대한 기준 근거가 미약하고 체계화되어 있지 않다.

라. As-Is To-Be 분석

○ 국내 현재 시스템(As-Is)과 향후 미래 시스템(To-Be) 간의 Gap 분석을 통해 연구개발 주요 Agenda를 크게 2가지로 도출하였으며, 이후 연구개발과제 구성 및 추진전략을 수립하기 위한 후보과제를 제시하여 연구개발 우선순위를 선정하고자 한다.

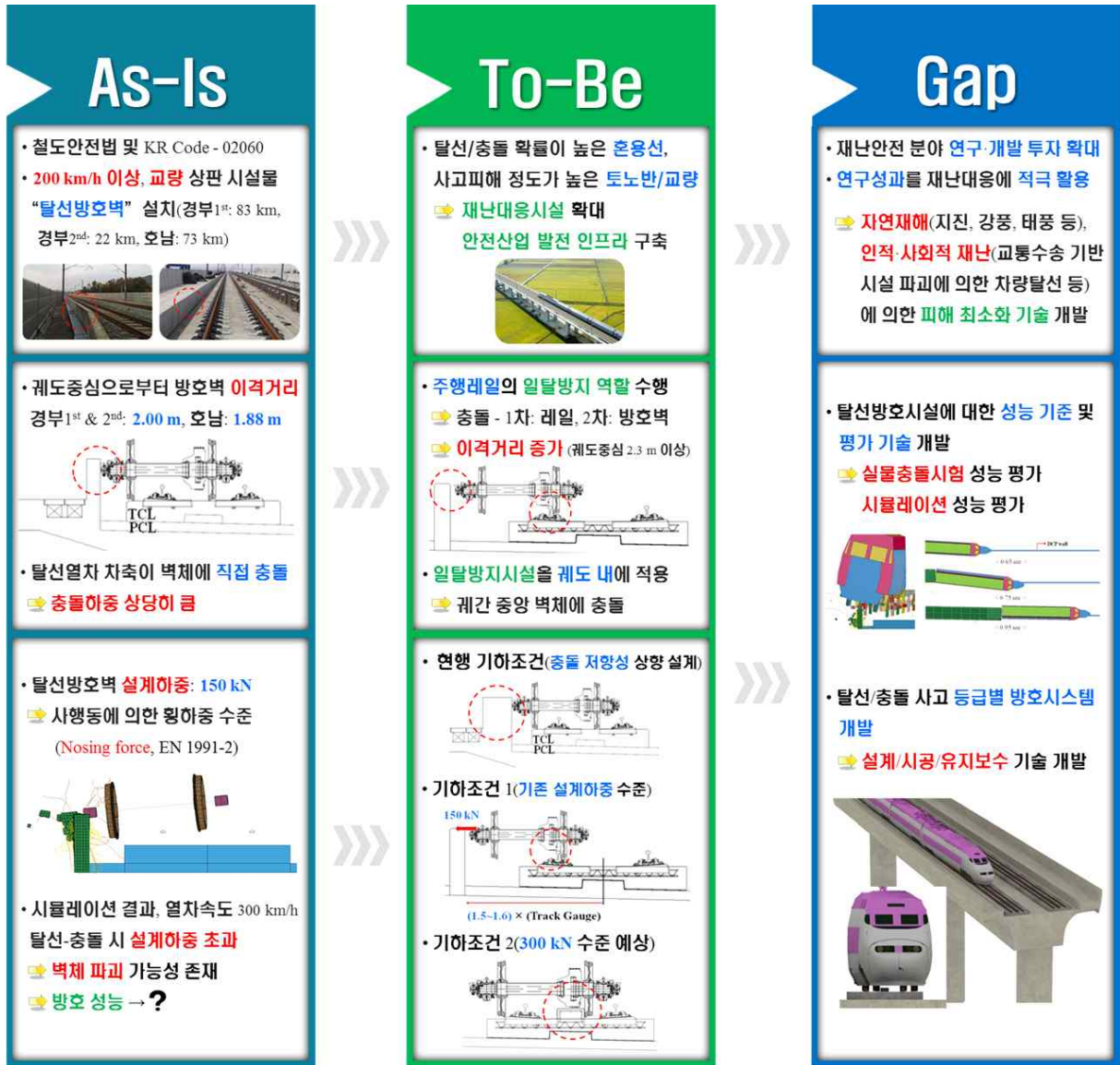
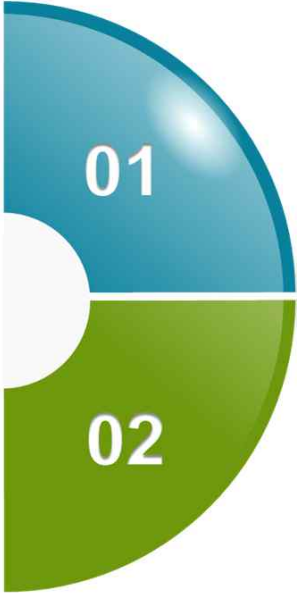


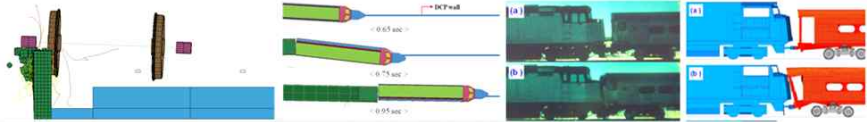
그림 3.11 As-Is To-Be 분석

# Agenda



## 탈선방호시설에 대한 성능 기준 및 평가 기술 개발

- ✓ 탈선방호시설물의 성능을 검증·평가할 수 있는 기준 및 평가 방법 체계 개발
- ✓ 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구
- ✓ 수치 시뮬레이션의 신뢰성 검증 및 방호 성능 평가 기법 연구



## 탈선/충돌 사고 등급별 방호시스템 개발

- ✓ 탈선방호등급에 따른 방호시스템의 설계/시공/유지보수 기술 개발
- ✓ 실내 및 현장시험/모니터링을 통한 구조·재료 등의 내충격 성능 검증 연구
- ✓ 방호시스템과 전기·신호·궤도·교량과의 인터페이스 검증 연구



그림 3.12 연구개발 주요 Agenda

## 2. 기대효과 및 미래상

- 철도분야의 탈선방호시설에 대한 성능등급 규격화 및 기준/평가 기술·체계화를 위한 실험형 탈선/충돌 실험은 전 세계적으로 수행된 바 없는 기술로 자체적 철도시스템 안전방재 기술 확보 및 국제 경쟁력 확보에 기여할 수 있으며, 탈선열차와 시설물과의 충돌 시뮬레이션 기법 및 평가 기술을 통한 탈선열차의 방호 메커니즘 및 거동 규명은 철도기준의 선진화 모범 사례로 적극 활용할 수 있다.
- 국제적 공백기술 확보에 따른 기술선도
  - 특히, 효과 및 성능검증 기술은 전 세계적으로 전무
    - 실험형 실험인프라 구축 및 전문연구인력 양성에 따른 기술 선도
  - 실험형 탈선/충돌 실험인프라 구축으로 시설분야와 차량분야, 그리고 인간공학분야의 융합연구체계 구축
- 탈선열차와 시설물과의 충돌 시뮬레이션 기법을 통해 다양한 시설조건(교량, 토공, 접속부 등)에 대한 탈선 안전성 평가에 활용될 수 있으며, 이를 통해 제시되는 열차의 탈선/충돌 사고 위험도 등급별 방호성능 규격화에 따른 최적 탈선방호시설 및 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 궤도/시설물을 국내기술로 개발이 가능하다.
- 급성장하면서 지속적인 투자가 이루어지고 있는 세계 철도시장에서 경쟁력을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.
  - 북미의 Class 1 선로는 2020년까지 매년 약 11조원을 투자하여 개량
  - 중국은 2020년까지 고속철도 건설에 약 253조원 투자
  - 전 세계적으로 2022년까지 약 729조원이 유럽과 아시아를 중심으로 고속철도에 투자될 것이며 고속철도 연장은 약 74,896 km

※ 'Rail Outlook Study 2013-2022', Frost & Sullivan (2013)



그림 3.13 안전이 최우선시 되는 철도 미래

### 3절 연구개발 과제 구성

#### 1. 연구개발 후보과제 우선순위 도출

##### 가. 연구개발 후보과제

○ 앞서 As-Is To-Be 및 Gap 분석을 통해 도출한 연구개발 주요 Agenda를 바탕으로 연구개발 후보과제를 다음과 같이 총 8가지 주제로 제시하였다. 제시된 연구개발 후보과제 중 합리적인 연구기간 및 연구개발비 예산, 연구개발의 시급성 및 중요도/난이도 등을 고려하여 우선순위를 도출하였다.

- 1 **탈선/충돌 실태형 실험과 시뮬레이션 기법 확립 및 성능 기준/평가 기술 개발**
- 2 **일탈방호시스템의 설계/시공/유지보수 기술 개발**
- 3 **고속철도 교량상 콘크리트 궤도(기존 및 신형식)의 일탈방호 성능 개선/확보**
- 4 **실용화를 위한 특허, 신기술 등 확보 및 제도 개선**
- 5 **탈선/충돌 사고 등급별 방호성능의 규격화**
- 6 **고속 및 일반철도의 고성토/급곡선/접속부(천이구간) 위험개소 적용성 확대**
- 7 **Intrusion Barrier 등(방호등급별 방호시스템)의 설계/시공/유지보수 기술 확보**
- 8 **Human Safety(승객, 승무원) 고려**

그림 3.14 연구개발 후보과제

나. 후보과제 우선순위

- 본 기획연구의 궁극적인 최종목표를 달성하기 위해서는 통계적으로 탈선/충돌 사고 발생확률이 높은 일반철도의 교량/고성토/곡선/접속부 등 위험개소로의 적용이 급선무이며, 이를 위해서는 사고 위험도 기반의 방호성능 등급/규격화가 가장 중요한 사항으로 중장기적인 연구기간 및 예산이 소요될 것으로 예상된다.
- 그러나 국내 현행법상 고속철도 교량에 국한되고 있는 탈선방호시설에 대한 최적 성능 확보 및 효율화가 현실적으로 당면해 있는 해결기술과제이다. 체계적이고 합리적인 연구개발사업 추진방향 설정 및 연구개발을 도모하기 위해 연구개발의 난이도를 고려한 시급성(Urgency) 및 중요도(Importance)를 평가하여 연구개발 우선순위를 도출하였다.

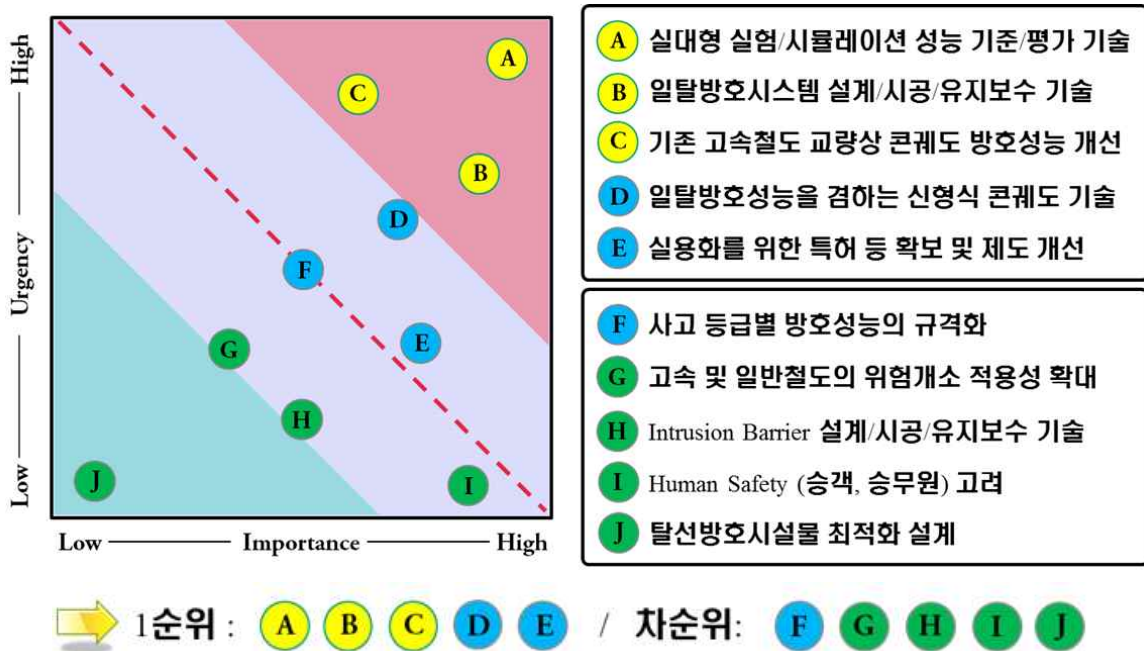


그림 3.15 연구개발 후보과제 우선순위 평가

- 본 기획연구의 최종목표를 달성하기 위해 최우선적으로 선결되어야하는 과제는 ‘실대형 실험과 시뮬레이션 기법 확립 및 성능 기준/평가 기술 개발(A)’으로 연구 결과의 객관성 확보 및 성능평가 차원에서의 중요도 또한 가장 높다(중요도 1순위/시급성 1순위).
- ‘일탈방호시스템의 설계/검증/시공/유지보수 기술 확보(B)’과제는 최종목표 달성을 위한 중요도 면에서 A과제 다음으로 높다고 볼 수 있다(중요도 2순위/시급성 3순위).

- ‘기존 고속철도 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호성능 확보(C)’과제는 최종목표 달성을 위한 중요도 면에서는 전체 과제의 중간정도 수준이나, 현 국내 실정을 고려하고 관련 유관기관 및 전문가 의견을 수렴 했을 때 시급성 면에서 상당히 중요하다고 판단하였다(중요도 5순위/시급성 2순위).
- ‘일탈방호성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도 기술(D)’과제는 최종목표 달성을 위한 중요도 면에서 C과제보다 높다고 볼 수 있으나 시급성 면에서 C과제보다 후순위로 판단하였다(중요도 4순위/시급성 4순위).
- ‘실용화를 위한 특허, 신기술 등 확보 및 제도 개선(E)’과제는 최종목표 달성 및 실용화를 위해 중요도 면에서 높다고 볼 수 있으며 연구개발 종료시점에 반드시 해결되어야 하는 과제이다(중요도 3순위/시급성 6순위).
- ‘탈선/충돌 사고 등급별 방호성능의 규격화(F)’과제는 본 기획연구의 궁극적인 최종목표 달성을 위해서 중요도 및 시급성이 가장 높다고 볼 수 있으나, 현 시점에서 국내 현행법에 따른 고속철도 교량상 탈선방호시설에 대한 해결기술과제에 우선순위를 두어 부분적으로 수행하고 향후 추진계획 연구에서 확장되어져야할 과제로 판단하였다(중요도 6순위/시급성 5순위).
- ‘고속 및 일반철도의 교량/고성토/곡선/접속부(천이구간) 등 위험개소 적용성 확대(G)’, ‘Intrusion Barrier 등(방호등급별 방호시스템) 설계/검증/시공/유지보수 기술 확보(H)’, ‘Human Safety(승객, 승무원) 고려(I), 그리고 ‘탈선방호시설물 최적화 설계(J)’ 과제는 향후 추진계획 연구로서 차순위 과제로 도출하였다.

## 2. 연구개발 후보과제 연구 추진방향

- 국내 현 실정을 반영한 연구목표의 달성을 위해 연구개발 기간(5년 목표) 및 예산을 고려하여 후보과제 우선순위에 따른 연구 추진방향을 설정하였다.

### ● 본 연구 (5년)

#### ▶ 열차 일탈방호시설물의 성능 기준/평가 기술 및 시스템 개발(이론적/실험적 접근)

- 열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술 개발
  - 실험형 실험 및 시뮬레이션 성능 평가
- 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발
  - 설계/시공/유지보수 기술

### ● 향후 추진계획 연구

#### ▶ 철도 인프라 안전 방재 및 재난대응기술 확대

- ▶ 탈선 후 충돌 거동, 일탈방호시설 등 국제적 공백기술 확보에 따른 기술선도
- ▶ 실험형 실험 인프라 구축 및 전문연구인력 양성에 따른 기술선도
- ▶ 탈선/충돌 시설분야와 차량분야, 그리고 인간공학분야의 융합연구체계 구축

### ● 본 연구 + 향후 추진계획 연구

#### ▶ 본 연구 3차년도부터 향후 추진계획 연구 병행 (총 7~8년)

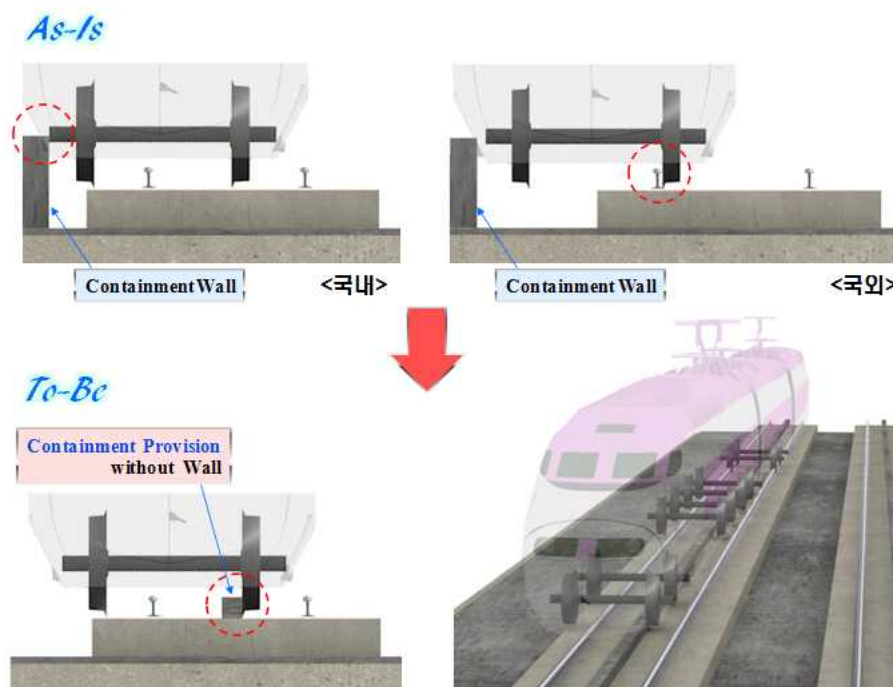


그림 3.16 본 연구 개념도

### 3. 연구개발 과제구성

○ 연구개발 후보과제 우선순위 도출에 따른 본 연구(5년)의 연구개발 과제를 다음과 같이 구성하였다.

표 3.2 주요 연구목표 및 연구내용

연구목표	연구내용
열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구</li> <li>- 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구</li> <li>- 실대형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보</li> <li>- 탈선장소·원인·유형 등의 사고 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정</li> <li>- 일탈방호시설물의 성능등급화</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구</li> <li>- 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구</li> <li>- 일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 일탈방호시설물 성능 검증/평가                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가</li> <li>- 개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기존 및 신형식)</li> </ul> </li> </ul>
개발기술의 제도개선 및 실용화	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선</li> <li>● 개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기존 및 신형식)</li> <li>● 국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립</li> </ul>
교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출</li> <li>- 일탈방호시스템 충돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시</li> <li>- 일탈방호시스템 충돌부 해석 및 설계, 시제품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발</li> <li>- 일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토</li> <li>- 일탈방호시스템 충돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증</li> <li>- 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시</li> </ul> </li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출</li> <li>- 차륜 낙하/충돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내실험</li> <li>- 일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증</li> <li>- 일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술</li> <li>- 교대 접속부 일탈방호시스템의 충돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계</li> <li>- 교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공/Yard Test를 통한 지지성능 검증</li> <li>- 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시(설계, 시공법, 시공 절차서, 도면, 구조계산서)</li> </ul> </li> </ul>

## 4절 세부과제별 주요내용 및 추진전략

### 1. 성능 기준 및 평가 기술 기획

#### 가. 탈선방호시설물 성능 평가 기법(실물충돌시험의 필요성)

##### (1) 실대형 실험 및 수치 시뮬레이션 기법을 통한 성능평가

- 철도차량의 탈선-충돌 거동은 그 실험의 규모가 매우 크고 복잡하여 모든 경우에 대한 충돌실험을 수행하기는 현실적으로 불가능하므로 검증된 수치해석 기법을 이용하여 충돌해석을 수행하고 그 결과가 실험결과와 일정한 기준을 만족하면 그 시뮬레이션 모델에 따른 다양한 조건의 결과를 신뢰할 수 있는 것으로 간주된다.
- 따라서, 모듈단위(대차/객차)의 충돌시험을 수행하고 충돌해석 결과와 비교·검증함으로써 수치 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위한 실험이 필수적으로 요구된다. 즉 열차와 구조물간 실대형 탈선/충돌실험은 방호시설물 평가에 필수적인 요소이며 높은 정확성과 신뢰성이 요구된다.

##### (가) 탈선 후 거동 분석 및 규명

- 열차의 탈선이 발생되면 일반적인 차륜과 레일 간의 상호작용(Wheel/Rail interaction)이 사라지고 다양한 접촉/충돌(기어박스-레일, 모터-레일, 차륜-체결장치, 차륜-침목 등)에 의해 차량의 거동이 제한된다. 따라서 탈선 후 또는 1차 접촉/충돌 후 열차거동의 영향을 검토하는 것은 최대 충돌하중을 산정하고 방호 효과를 평가하기 위해 매우 중요한 사항이라 할 수 있다.
- 방호시설물의 설계를 위한 최대 충돌하중 산정 및 방호 효과 검토를 위해서는 후속객차 연결(관절대차/일반대차)에 의한 거동 영향, 대차시스템과 체결장치/침목/험프(Hump)/레일/자갈 등과의 충돌 거동 영향, 설계된 방호시설물과의 충돌 후 거동 등의 분석이 필수적이다.

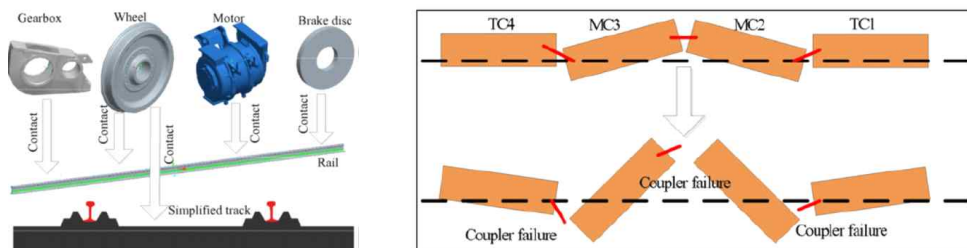


그림 3.17 탈선 후 거동 영향

(나) 충돌하중 산정

- 열차의 탈선, 충돌과 같은 큰 재난에 의한 피해를 최소화하기 위한 방호시설물의 개발을 위해서는 다양한 탈선/충돌조건에서의 합리적인 설계가 필요하다. 방호시설물 설계를 위해서는 정확한 충돌하중 산정이 1차적으로 가장 중요한 부분이며 충돌하중은 충돌속도, 충돌각도, 차량중량, 대차(열차연결) 종류, 마찰(자갈, 콘크리트), 탈선 후 거동, 충돌지점 등 다양한 조건에 의해 영향을 받는다.
- 충돌하중 산정을 위해서는 규모가 매우 크고 막대한 비용 및 기술력이 요구되는 실험이 수반되어야 하며 현실적으로 열차속도, 열차편성 등의 제한된 조건에서의 실험을 수행하여야 한다. 따라서, 제한된 실험조건에서의 실험결과와 수치 시뮬레이션을 상호보완적으로 검증은 수행하고, 이를 통해 다양한 경우에 대한 충돌하중 성능평가 기법이 필요하게 된다. 전 세계적으로 탈선열차에 대한 방호시설물 설계를 위한 실대형 실험은 수행된 바 없으며, 차체 충격설계를 위한 열차간 실대형 충돌실험이 수행된 바 있다. 열차 간 실대형 충돌실험에서 또한 현실적으로 제한된 실험조건 하에서의 실험을 바탕으로 한 시뮬레이션 검증을 통해 다양한 조건에서의 차체 충격설계를 수치 시뮬레이션을 통해 수행하게 된다.
- 다시 말해 다양한 탈선/충돌조건에서의 방호시설물 설계를 위해서는 수치 시뮬레이션의 신뢰성이 매우 중요한 사항이 되며 시뮬레이션 결과의 신뢰성 확보를 위한 실대형 탈선/충돌실험이 필수적이라 할 수 있다.

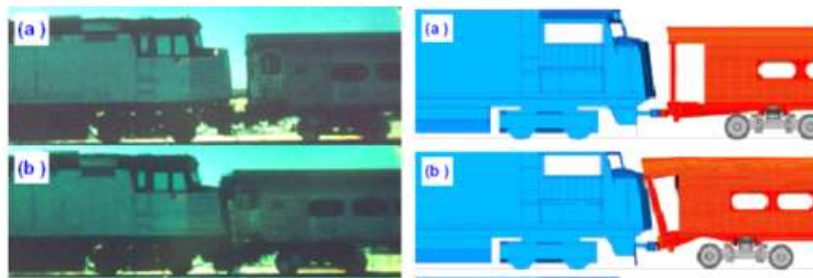


그림 3.18 열차간 충돌실험 및 시뮬레이션 검증 예

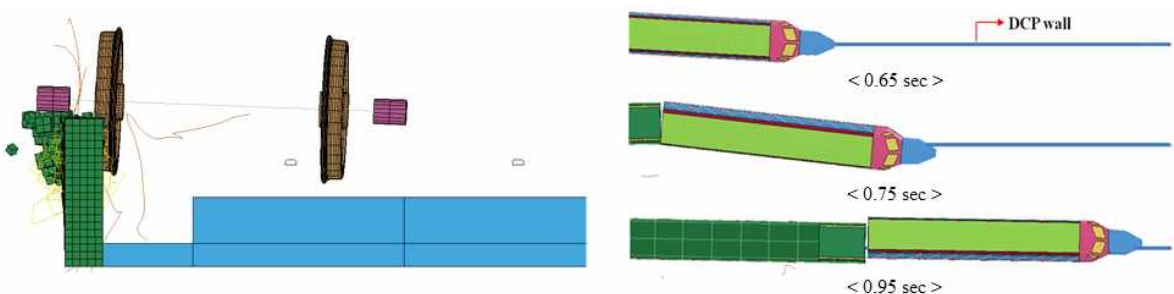


그림 3.19 열차 탈선-충돌 수치 시뮬레이션 예

○ 실험을 위한 방법으로는 실험차량에 동력을 부여하고 분리되는 시스템의 조건에 따라 크게 두 가지 방법이 고려될 수 있다. 실험차량 후면에서 동력차를 이용하여 가속 후 분리시키는 Push system 방식과 충분한 가속구간의 확보가 어려운 경우 풀리-케이블을 이용하여 동력차가 반대 방향 선로에서 가속 후 분리시키는 Reverse towing system 방식을 고려할 수 있다. 실험단계는 다음과 같이 크게 4 단계로 볼 수 있다.

- 1단계: 동력차를 이용하여 시험차량 가속
- 2단계: 동력차-실험대차/객차 분리 및 동력차 감속/정지
- 3단계: 실험차량 탈선
- 4단계: 계측 및 충돌거동 관찰/촬영

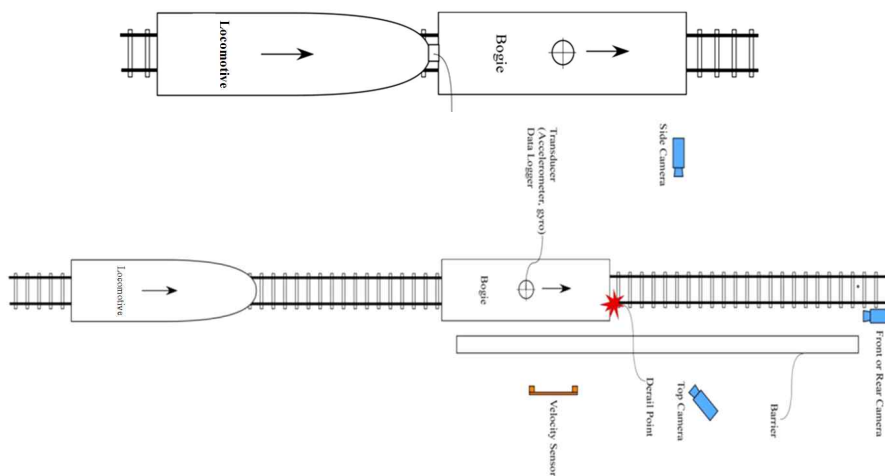


그림 3.20 Push system

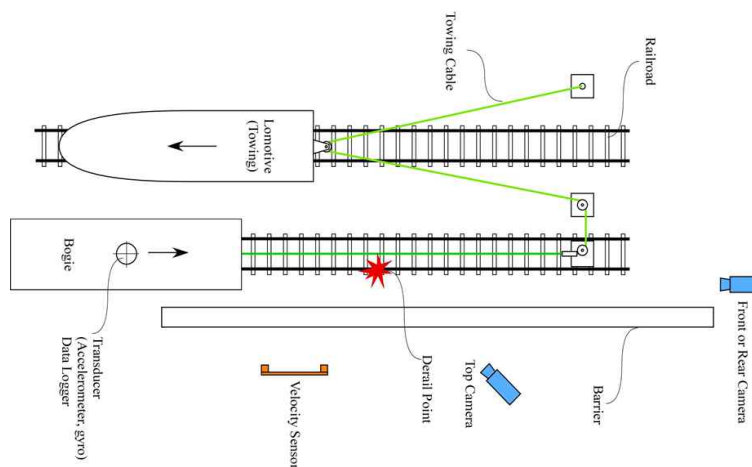


그림 3.21 Reverse towing system

- 대차/객차(모듈단위)와 구조물과의 충돌실험(최대 약 80 km/h)을 수행하고, 시뮬레이션 결과와 비교·검증을 통해 열차편성, 열차속도 등 다양한 경우에 대한 시뮬레이션 성능 평가 수행이 가능해진다.
- 미국 TTI에서는 4년간 도로 교량용 난간의 충돌하중 및 설계를 위한 실험과 연구를 진행하였다. 총 30회의 실험을 실시하였으며 공용중인 교량 난간에 대해 21건의 충돌실험과 Instrumented Wall에 대한 9건의 충돌실험을 실시하였다. 이 연구에서 주목할 만한 점은 차량의 충격도(Impact Severity)와 충돌하중과의 상관관계를 선형 회귀분석을 통해 구하면 그림 3.22와 같이 충격도가 증가할수록 충돌하중이 선형적으로 증가하는 한다는 것이다. 여기서 충격도는 차량의 종류, 충돌속도 및 충돌각도의 변수가 내재된 물리량이다.

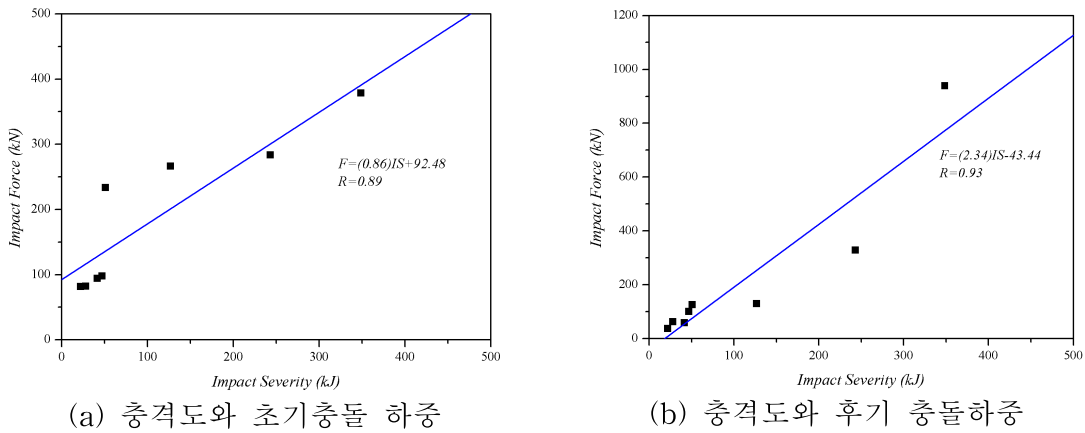


그림 3.22 충돌하중의 선형성

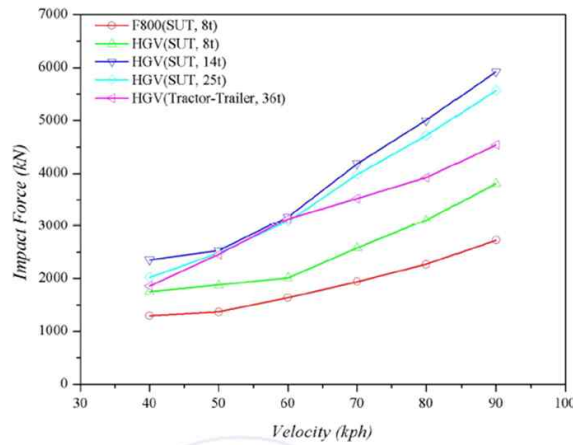


그림 3.23 트럭종류별 충돌속도에 따른 충돌하중

- 또한, 그림 3.23은 트럭종류별 충돌속도에 따른 충돌하중을 나타낸 것으로 각 차량의 충돌속도가 증가할수록 충돌하중이 선형·비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있

다. 충돌속도의 범위는 40~90 km/h로 고속 충돌에 대해서는 차체의 소성변형/감쇠에 의한 비선형성이 내포될 수 있다. 그러나 자동차와 달리 변형/감쇠가 거의 없는 열차 대차시스템(Rigid)과 구조물 간의 충돌하중은 비선형성이 없는 것으로 간주될 수 있으므로 회귀 추정이 가능하다. 따라서, 저속(최대 약 80 km/h) 충돌 실험을 통한 결과를 수치 시뮬레이션과 검증은 수행하고, 검증된 시뮬레이션을 통해 고속 충돌 시뮬레이션 평가를 수행하는 것은 타당한 것으로 볼 수 있다.

#### (다) 개발된 방호시설물의 성능 검증 및 평가

- 수치 시뮬레이션 검증을 위한 실험뿐만 아니라 개발되는 방호시설물의 방호 성능에 대한 검증 및 평가를 위한 실험이 요구된다. 하중성능(내충격성) 및 기능적 성능(견고성, 의도된 영역 구속)에 대해 검증하며, 이때 개발 기술의 성능 검증과 시공성 검증을 동시에 수행할 수 있다.

#### (라) 방호시설물의 성능 검증·평가 기준 및 방법·체계 개발

- 본과제를 통해 개발된 방호성능 제도, 방호시설물을 포괄하는 전체 방호시스템의 특허/신기술 등에 대한 지식재산권(소유권) 부분에서, 일부 특정 기업형태가 독과점 권리를 행사할 수 있는 가능성을 피하기 위해 요소적인 기술 부분을 제외한 방호시스템의 설계, 시공, 유지보수 등에 대한 기술 권리는 Open platform의 방향으로 연구 추진되어야 한다. 이에 따라 방호시설물 등급별 개발된 방호시스템(제도, 방호시설물)의 성능 검증·평가 체계 및 방법의 개발이 필요하다.
- 국내 도로분야에서는 ‘차량방호 안전시설’(방호울타리, 충격흡수시설 등)에 대해 국가에서 인증 받은 성능시험기관에 의해 성능평가지험(실물충돌시험)이 수행되도록 체계화되어있다. 성능시험 대상은 제작·수입·판매하는 자가 해당시설의 성능이 국가기준에 적합한지에 관하여 공정하고 객관적으로 평가받기 위하여 시험 의뢰하는 제품 등을 대상으로 한다.
- 도로 차량방호 안전시설의 설계는 구조계산, 컴퓨터 시뮬레이션, 간이 시험 등을 통하여 할 수 있으나, 기능 보장을 위한 성능 확인은 최종적으로 실물충돌시험을 통해 확인하는 것을 원칙으로 하고 있다. 만약 실물충돌시험 조건과 다른 현장조건에 설치할 경우에는 수치 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하여 설치할 수 있도록 규정하고 있다.

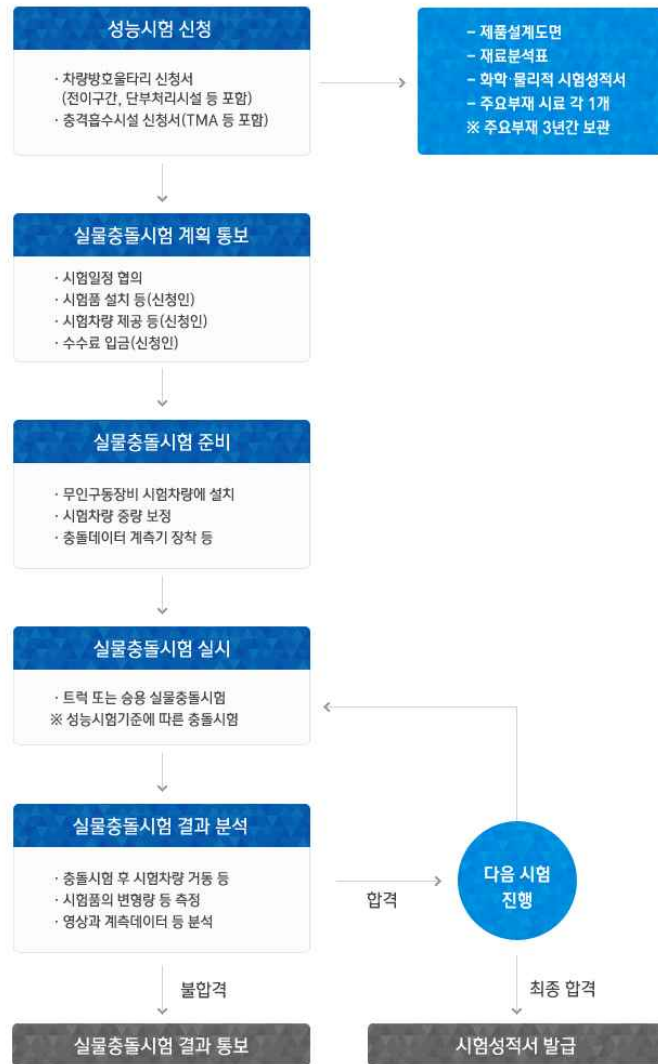


그림 3.24 도로 차량방호 안전시설 성능평가지험 절차

(마) 탈선열차에 대한 방호성능등급 규격화

- 열차의 탈선-충돌에 대한 수치 시뮬레이션 모델을 구축하기 위해서는 탈선, 충돌 관점에 대한 명확한 목적이 수립되어 필수적으로 고려되어야 하는 요소들에 대한 검토와 이에 따른 적절한 검증이 이루어져야 한다.
- 또한 이를 통해 도출되는 탈선열차의 방호 메커니즘 및 탈선-충돌 거동 규명은 탈선장소·원인·유형 등에 따른 사고 위험도 등급화 및 이에 의한 방호시설물의 적용 범위·규모 설정(방호성능 규격화)에 근거가 된다.

표 3.3 열차 탈선-충돌 관점에 따른 수치해석 모델 고려조건

구분	열차 차량	구조물
Focus	충돌 후 차량의 충격에너지 흡수구조/부품 설계	탈선 후 차량의 구조물 충돌 거동/방호시설 설계
Analysis Target	Side sill, Sole-bar, Cantrail 등의 흡수된 에너지	시설물과의 충돌 속도/각도/면적 등에 의한 충돌하중
Main factor	차체/프레임/현가장치 등의 재료적 특성	차량 질량/질량중심 위치/가속도 등 관성력 특성

표 3.4 탈선/충돌 사고 등급화에 따른 방호성능등급 예시

구분	상태(예시)	조치
A등급	속도↑ / 곡선반경↓ / 인근구조물,타교통 O (곡선부 속도초과에 의한 탈선 등)	DCP Track + Intrusion Barrier
B등급	속도↓ / 곡선반경↑ / 인근구조물,타교통 X (차량 또는 궤도 결함에 의한 탈선 등)	DCP Track
:	:	:

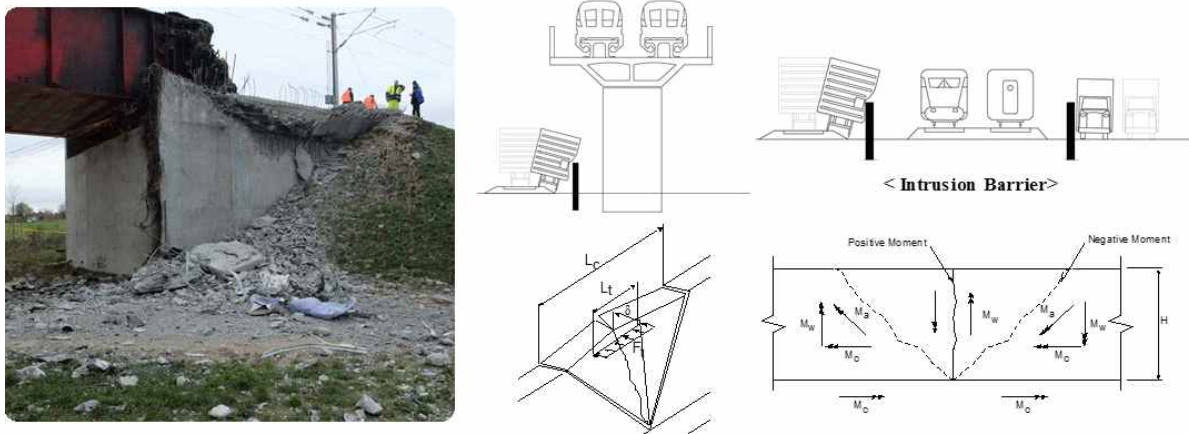


그림 3.25 Intrusion Barrier Structure(AASHTO LRFD Bridge Design Specifications)

나. 방호시설물 설치비용 분석을 통한 경제성 검토 방안

(1) 기존 콘크리트 궤도 건설비 검토

- 국내 적용되고 있는 대표적 콘크리트 궤도시스템별 초기투자비를 표 3.5와 같이 비교하여 나타내었다. 궤도시스템에 따라 8.80억원~9.04억원/km이 소요된다. 2015 상반기 기준이며, 각 구조형식별 재노경 구성비에 따른 간접비가 포함된다.

표 3.5 궤도시스템별 초기투자비 비교(직선기준 F.L-R.L=500 mm)

궤도구조	Rheda2000 (System300-1)	KCR-II (SFC)	PST-B (SFC)	PST-B (System300-1)
km@공사비(억원)	9.00	8.80	8.84	9.04
비율	99.5%	97.3%	97.7%	100%
순위	3	1	2	4

(2) 기존 방호벽 건설비 검토

- 현재 국내 고속철도 교량상에 적용되고 있는 방호벽의 건설비는 호남고속철도 1-1공구(오송2교)의 단면을 기준으로 산정하였다. 직접공사비에는 재료비, 노무비, 경비가 포함된다.

표 3.6 국내 현 방호벽 건설비(호남고속철도 기준)

- 콘크리트공(1km 당)
  - 철근콘크리트 타설: 2.62백만원
  - 합판거푸집: 35.12백만원
  - 철근가공조립: 51.16백만원
- 주요자재비(1km 당)
  - 레미콘: 12.00백만원
  - 철근: 147.63백만원
- 직접공사비(1km 당)
  - 콘크리트공+주요자재비= 2.49억원

(3) 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 개발 경제성 검토

- 기존 국내의 콘크리트 궤도 및 탈선방호시설물의 건설비는 최대 11.53억원/km으로 추정된다. 그러나 단순히 건설비 감소를 통한 경제성 검토가 아닌 인명과 일탈방호 성능 확보를 통한 안전성 측면에서 파생되는 경제적 파급효과를 고려하여 검토하는 것이 합리적이라 판단된다.

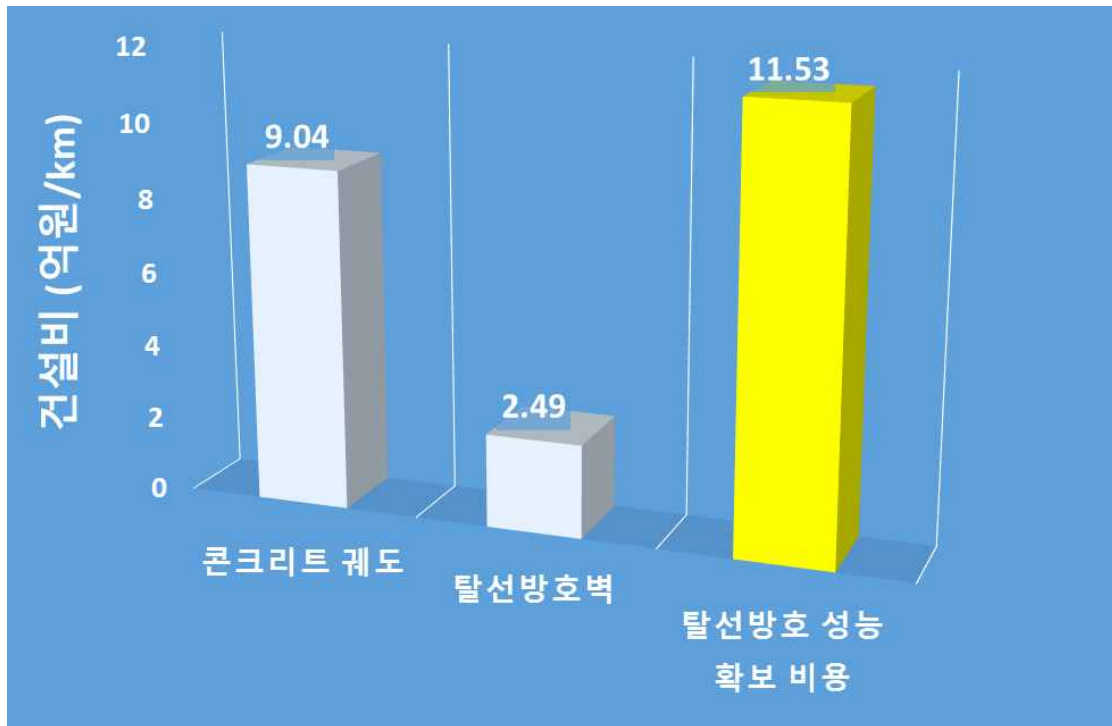


그림 3.26 탈선방호 성능확보 비용 검토

(4) 위험도 평가를 통한 경제성 검토

- 탈선/충돌 사고에 대한 위험도는 그림 3.28과 같이 사고 발생빈도와 사고 발생 시 피해 심각도(사망자, 재산피해)의 곱으로부터 산정할 수 있다.

※ **Risk = Frequency × Consequence**

\* 발생빈도: 연간 발생 횟수(건)

발생 시 피해: 인적피해(등가사망자), 물적피해 등

그림 3.27 탈선/충돌 사고에 대한 위험도(Risk)

- 일반적으로 인적피해는 등가사망자로서 나타내며 1인의 등가사망자는 10인의 중상자, 200인의 경상자로 취급함. 물적피해는 국가의 경제규모, 사고형태, 피해액수 산정방식에 따라 편차가 크다.
- 그림 3.25는 사고의 발생빈도와 사고피해를 3단계(A, B, C)로 나눈 것이다. “AA, AB, BA 위험도”는 위험도를 추가적으로 관리할 필요가 없는 대상으로 대부분의 경우 투자비용 대비 효과가 낮을 수 있으며, “CC 위험도”는 발생되어서는 안 되는 위험도(허용되지 않는 위험도)로 철도분야에서 대부분 제거되어 존재하지 않는 위험도이다.
- 사고가 자주 발생(1회/1개월)하며 중상자 피해가 나타나는 “BC 위험도”, 가끔 발생(1회/1년)하며 다수 사망자 피해가 나타나는 “CB 위험도”, 드물게 발생(1회/30년) 발생하며 다수 사망자 피해가 나타나는 “CA 위험도”는 위험도를 추가적으로 낮출 필요가 있는 대상으로 볼 수 있다.
- 본 연구의 목표인 탈선방호시설물은 탈선/충돌 사고에 대해 발생빈도를 낮추는 대책(BC→BB)이 아닌 사고 후 피해정도를 낮추는 대책(CB→BB)으로 볼 수 있다.

사고피해 발생빈도	A (무시가능) : 경상 1인	B (중간) : 중상 이상 1인	C (심각) : 다수 사망자
C (자주 발생) : 1회/1개월	AC	BC	CC
B (가끔 발생) : 1회/1년	AB	BB	CB
A (드물게 발생) : 1회/30년	AA	BA	CA

그림 3.28 위험도 감소 대책 수립 개념

- 표 3.7과 8은 국내외의 대표적인 탈선사고 및 탈선 후 피해 확대사고에 대한 물적 피해(피해액수)가 집계된 사례를 최대한 수집하여 이들의 평균값을 도출한 것이다. 또한, 표 3.12와 13은 인적피해(등가사망자수)가 집계된 사례를 최대한 수집하여 이들의 평균값을 도출한 것임. 표 3.14는 탈선 후 피해 확대사고 발생빈도를 산정하였다.

표 3.7 탈선사고에 의한 물적피해

연번	사고사례	피해액수(원)
1	경부선 심천역 탈선사고 (2005.08)	2,849,610
2	중앙선 갑현-신녕 탈선사고 (2005.12)	47,224,000
3	경부선 남영-용산 전동열차 탈선사고 (2006.08)	11,896,320
4	경부선 대전역 화물열차 탈선사고 (2006.10)	800,000,000
5	중앙선 신녕역 화물열차 탈선사고 (2007.01)	104,723,740
6	경원선 왕십리역 화물열차 탈선사고 (2007.03)	14,391,160
7	경부선 청도-남성 화물열차 탈선사고 (2008.01)	323,390,200
8	중앙선 매곡역 무궁화열차 탈선사고 (2008.03)	98,457,100
9	경의선 서울역 회송열차 탈선사고 (2009.02)	34,426,300
10	경의선 서울역 회송열차 탈선사고 (2009.03)	57,568,600
11	진해선 진해-통해 새마을열차 탈선사고 (2010.03)	11,786,510
12	호남선 익산역 화물열차 탈선사고 (2010.09)	6,074,600
13	경부선 직산-두정역 여객열차 탈선 사고 (2014.02)	300,000,000
14	중앙선 업동-의성 화물열차 탈선 사고 (2014.05)	35,000,000
15	미국 화물열차 탈선사고 (2002.01)	3,016,761,000
16	미국 화물열차 탈선사고 (2004.06)	6,917,877,110
17	미국 화물열차 탈선사고 (2005.01)	8,373,150,000
	평균	<b>1,185,622,132</b>

표 3.8 탈선 후 피해 확대사고에 의한 물적피해

연번	사고사례	피해액수(원)
1	미국 뉴욕 여객열차 탈선 사고 (2013.12)	<b>10,921,500,000</b>

표 3.9 탈선/충돌사고에 의한 인적피해

연번	사고사례	사망자	중상자	경상자	등가사망자
1	미국 화물열차 탈선사고 (2002.01)	0	12	322	2.81
2	미국 화물열차 탈선사고 (2004.06)	3	30	0	6
3	미국 화물열차 탈선사고 (2005.01)	0	554	75	55.775
4	경부선 광명역 고속열차 탈선사고 (2011.02)	0	0	0	0
5	경부선 대구역 여객열차 충돌사고 (2013.08)	0	21	0	2.1
6	경부선 직산-두정역 여객열차 탈선 사고 (2014.02)	0	2	0	0.2
7	태백선 문곡-태백 여객열차 충돌-탈선 사고 (2014.07)	1	100	0	11
8	인도 우타르프라데시주 여객열차 탈선사고 (2011.07)	60	100	0	70
9	스위스 여객열차 충돌 사고 (2013.07)	1	25	0	3.5
10	인도 여객열차 탈선 사고 (2014.05)	18	60	0	24
11	인도 우타르프라데시주 여객열차 탈선 사고 (2015.03)	38	150	0	53
12	파키스탄 발루치스탄주 여객열차 탈선 사고 (2015.11)	13	100	0	23
평균					20.9

표 3.10 탈선 후 피해 확대사고에 의한 인적피해

연번	사고사례	사망자	중상자	경상자	등가사망자
1	독일 고속열차 ICE 탈선-충돌 사고 (1998.06)	101	100	0	111
2	일본 후쿠치야마 선 전철 탈선-충돌 사고 (2005.04)	107	562	0	163.2
3	중국 윈저우 고속열차 CRH 충돌-탈선 사고 (2011.07)	40	204	0	60.4
4	미국 미주리주 화물열차 탈선-충돌 사고 (2013.05)	0	7	0	0.7
5	스페인 고속열차 탈선-충돌 사고 (2013.07)	79	140	0	93
6	미국 뉴욕 여객열차 탈선 사고 (2013.12)	115	61	0	121.1
7	미국 필라델피아 여객열차 탈선 사고 (2015.05)	7	210	0	28
평균					<b>82.5</b>

표 3.11 탈선 후 피해 확대사고 발생빈도

연번	사고사례
1	독일 고속열차 ICE 탈선-충돌 사고 (1998.06)
2	일본 후쿠치야마 선 전철 탈선-충돌 사고 (2005.04)
3	중국 윈저우 고속열차 CRH 충돌-탈선 사고 (2011.07)
4	미국 미주리주 화물열차 탈선-충돌 사고 (2013.05)
5	스페인 고속열차 탈선-충돌 사고 (2013.07)
6	미국 뉴욕 여객열차 탈선 사고 (2013.12)
7	미국 필라델피아 여객열차 탈선 사고 (2015.05)
8	프랑스 고속열차 TGV 탈선 사고 (2015.11)
총 8건/18년('98~'15)	
<b>0.44건/year</b>	

- 탈선/충돌 사고 발생 시 물적 및 인적피해 정도를 정량화하여 다음 표 3.12와 같이 나타내었다. 본 연구의 목표인 일탈방호 성능 확보에 따라, 탈선 후 피해 확대 사고(2차 피해)를 최소화하여 단순 탈선사고(1차 피해) 수준의 피해로 저감시킬시 물적으로 약 97억원, 인적으로 약 61.6명의 효과가 있다고 추정해볼 수 있다.
- 여기에 표 3.11에서 도출된 발생빈도 0.44/year로부터 위험도를 표 3.13과 같이 산정하였다. 탈선 후 피해 확대사고 발생 시 일탈방호에 의한 피해 확대가 최소화된다면 물적피해의 위험도(Risk)는 약 43 감소하고, 인적피해의 위험도는 약 27 감소함을 추산할 수 있다.

표 3.12 사고 발생 시 피해(Consequence)

구분	피해 정도		비고
물적피해	탈선 후 피해 확대사고에 의한 피해액수	109 억원	국외 1건
	탈선사고에 의한 피해액수	평균 12 억원	국내·외 17건
	일탈방호 성능 확보에 따른 피해 최소화 효과 = 97 억원		
인적피해	탈선 후 피해 확대사고에 의한 등가사망자수	평균 82.5 명	국외 7건
	탈선/충돌사고에 의한 등가사망자수	평균 20.9 명	국내·외 12건
	일탈방호 성능 확보에 따른 피해 최소화 효과 = 61.6 명		

표 3.13 탈선 후 피해 확대사고에 대한 위험도(Risk)

구분	Before Risk	After Risk	Risk 감소 효과
물적피해	$0.44 \times 109 = 47.96$	$0.44 \times 12 = 5.28$	-42.68
인적피해	$0.44 \times 82.5 = 36.30$	$0.44 \times 20.9 = 9.20$	-27.10

## 2. 기술요건 및 설계/시공/유지보수 기술 기획

### 가. 일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도의 요구 성능

#### (1) 안전성능

- 열차가 교량상에서 탈선한 이후 열차의 차륜이 일탈방호시설물과 충돌 접촉
  - 제1조건 - DCP의 높이가 차량의 일탈을 제어
  - 제2조건 - 차량한계, 건축한계를 만족

#### (2) 내구성능

- 설계공용기간 중의 내구성, 환경하중 설계검토
- 충돌시 내하성능
  - 무손상, 소손상, 중손상, 대손상, 붕괴의 등급을 정의하여 설계

표 3.14 일탈방호시설의 내하성능 등급

등급	기능유지/보수성	복구성	비고
무손상	상시기능보수, 유지 (현장외관 조사 후 열차운행가능)	보수 불필요	-
소손상	일부분 기능한정(중요 구조부재의 기능유지 보수, 보수하면서 보통차량의 통행가능)	복구가 단기간 가능 (복구기간 1주 이내, 보수만으로 복구)	용인 가능
중손상	대부분의 기능한정(중요 구조부재의 손상발 생, 하중제한이 있고 긴급차량만 운행가능)	장기간의 보수보강이 필요 (복구기간 2주 이내 보수, 재사 용을 위해 보수보강실시)	용인 가능
대손상	기능상실(차량 운행 불가능)		용인 가능
붕괴	기능완전상실(보통차량 통행 불가능)	복구 불가능하며 궤도철거 및 완전재시공	용인 불가

(3) 사용성능

- 사용성능은 이용자가 구조물을 쾌적하게 이용하기 위해 필요한 성능을 나타낸다. 사용성에 대한 요구항목은 구조물마다 다르며, 경우에 따라 설계기준에 다소 주관적인 요소가 수반되기도 한다. 철도교량의 경우 열차 등의 주행성이 성능항목이 될 수 있고 진동, 소음의 사용성능 검토가 요구된다.
- 열차주행 시 차량, DCP 주위의 유동해석, 공력해석 등은 별도기술 검토 필요

(4) 유지관리성능

- 탈선-충돌 이후 유지보수 지침개발; 구조물 파손에 따른 기존 궤도의 복구방안 설정

표 3.15 일탈방호시설의 유지관리성능 등급

등급	복구성	비고
무손상	보수 불필요	-
소손상	복구가 단기간 가능 (복구기간 1주 이내, 보수만으로 복구)	용인 가능
중손상	장기간의 보수보강이 필요 (복구기간 2주 이내 보수, 재사용을 위해 보수보강실시)	용인 가능
대손상		용인 가능
붕괴	복구 불가능하며 궤도철거 및 완전재시공	용인 불가

(5) 시공성능

- 시공성은 시공시의 안전성, 제작이나 가설의 용이, 품질관리의 용이 등 시공 시에 요구되는 성능을 나타낸다.
- 시공절차서 개발; 내구성을 고려한 철근배근, 현장시공방법, 시공소요일수 등에 대한 개발 정의 필요

(6) 사회환경적합성능

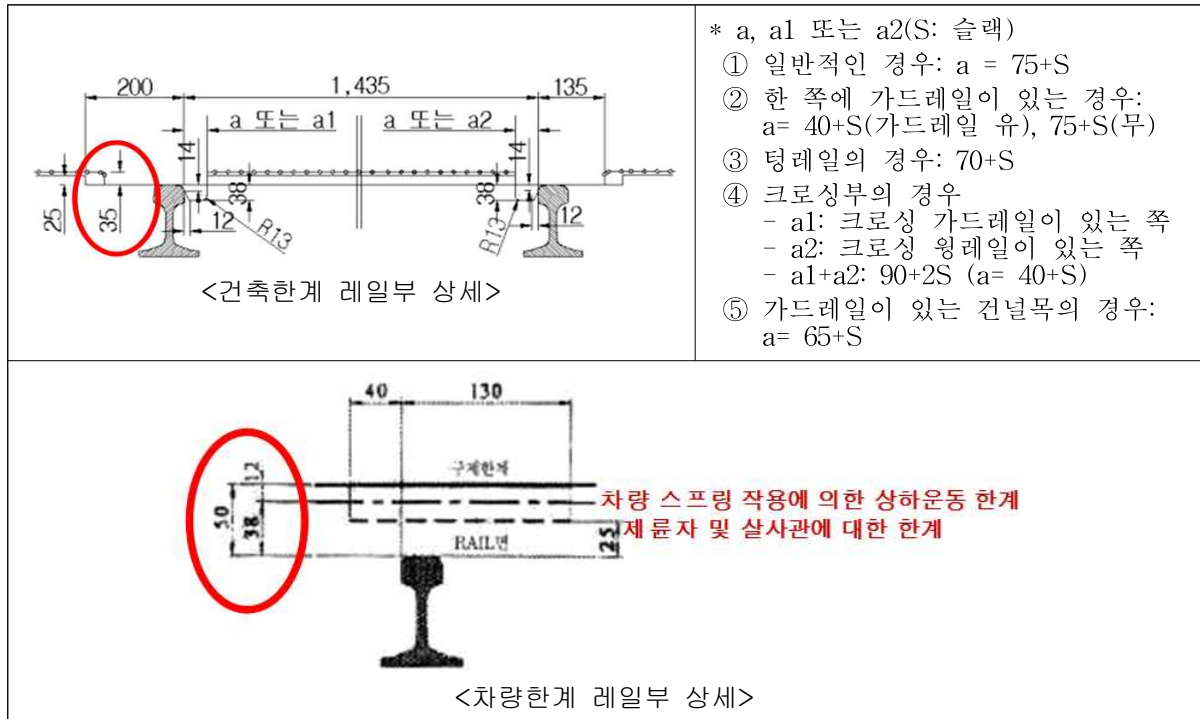
- 사회적 적합성, 경제적 합리성, 환경적합성 등과 관련한 성능으로 다분히 주관적인 측면이 강하나 사회적 구성이 다양하고 복잡해지면서 그 중요성이 높아지고 있는 성능이다. 이러한 사회 환경적합성에 대한 보다 객관적 분석은 Value Engineering 등의 기법을 통하여 실현될 수 있으며, 일본 등에서는 사회환경적합성능을 설계시방의 항목으로 설정하고자 노력하고 있다.
- 사회적 적합성은 사회적 문제에 대한 중요도를 고려하여 조사를 하기 위한 성능항목이며 경제적 적합성은 구조물의 생애주기에 걸쳐 경제적으로 가장 우수한 것을 검토하기 위한 성능항목이다. 사회 환경적합성의 평가는 여러 종류의 제약조건을 고려한 후에 경제적이고 기술적으로 가능한 범위에서 성능의 최적화를 꾀하도록 검토한다.
- 전체 설계편의를 고려한 경제성 평가 필요.

나. 일탈방호시설물 인터페이스 검토

(1) 철도의 건설기준에 관한 규정(제13조)

- 건축한계 레일부 상세(수직 및 수평방향) 및 차량한계 레일부 상세(수직방향) 검토

표 3.16 건축한계 및 차량한계 레일부 상세



(2) 차량 구조상 여유 공간(수직방향)

- 고속열차(KTX, KTX 산천): 300 mm
  - 2층 열차: 200 mm
- <수치는 레일 상면 기준이며, 안전을 고려한 값임>

(3) 건축한계와 TCL 상면과의 여유 공간

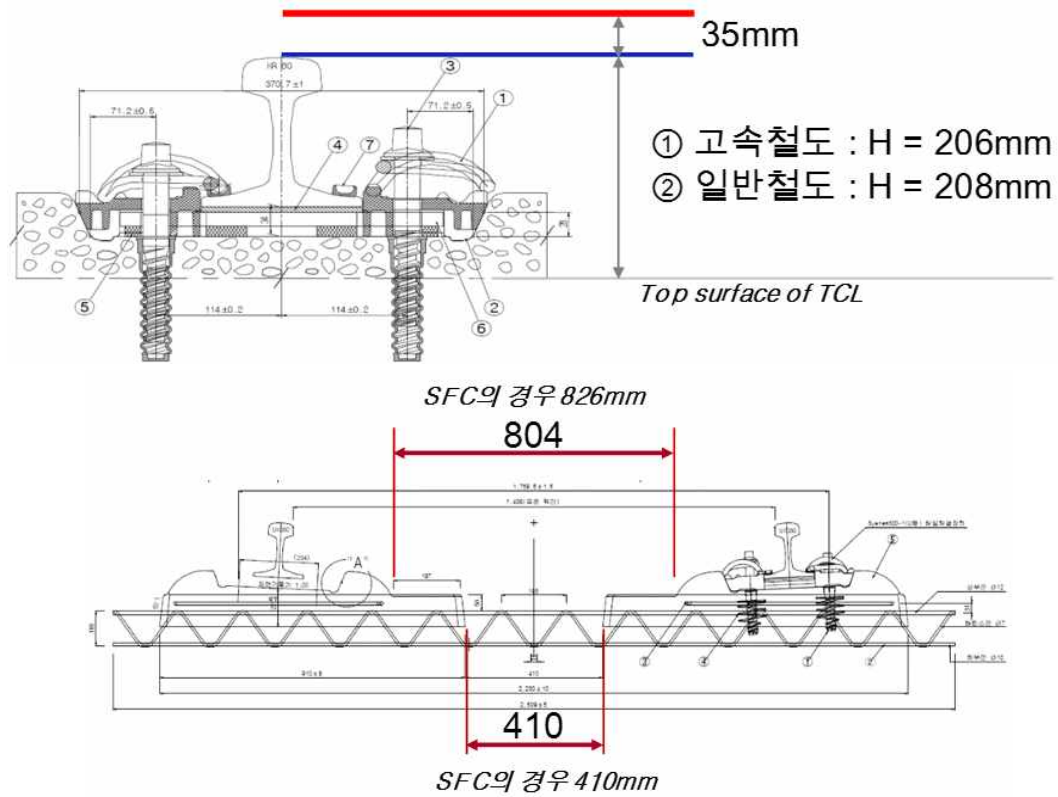


그림 3.29 건축한계와 TCL 상면과의 여유 공간(System 300-1)



그림 3.30 건축한계와 TCL 상면과의 여유 공간(SFC)

## 다. 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 방안

### (1) Precast Concrete Plinth 설치 방안

#### (가) 케미컬 앵커 이용 방안

○ 시공 순서: 1. 천공, 2. 캡슐 삽입, 3. 볼트 삽입 및 경화

○ M24(직경: 24 mm) 케미컬 앵커 특성

- 인발력: 174.3 kN, 전단력: 104.06 kN
- 패널 영향 최소화
- 시공시간: 개당 10~15분, 가격: 20,000원/개(재료원가 기준)
- 2열 500 mm 간격 1 km 비용: 80백만 원
- 2열 500 mm 간격 1 km 시간: 약 28일(앵커 설치 10분 기준)

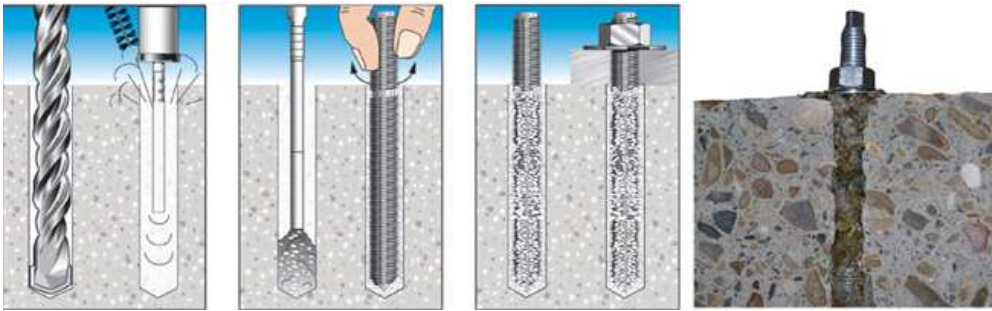


그림 3.31 케미컬 앵커 시공 방법

#### (나) Water Jet 이용 방안

○ 제트류를 이용 콘크리트 세굴 작용 발생 → 콘크리트만 선택적 파괴

○ 시공 순서: 1. 콘크리트 파쇄, 2. PC Plinth 거취/철근 연결, 3. 몰탈 타설

- 패널 내부 철근 이용, Plinth 일체화 용이
- 현재 실험을 통한 적정 제트류 특성 파악 필요
- PC Plinth 정착 철근 고려, 이음 시공성 불량 문제 검토 필요



그림 3.32 Water Jet를 이용한 콘크리트 파쇄

(다) 설치 방안 비교

표 3.17 Precast Concrete Plinth 설치 방안 비교 분석

항목	케미컬 앵커	Water Jet
저항 Mechanism	·앵커의 전단/인발 강도 지배	·내부 철근 이음 상세 지배
장점	·기존 패널 영향 최소화 시공성 ↑ ·PC 패널 효율적 이용 가능	·기존 패널과 일체화 가능성 ↑
단점	·충격하중 증가로 인한 앵커 설치 개수 증가	·기존 콘크리트 파쇄로 시공성 ↓ ·Water Jet 장비 시공성 ↓

(라) Concrete Plinth 충격 흡수 능력 향상 방안

- 기존 자동차용 가드레일에서는 다양한 방법의 충격흡수 방법들이 이용된다.
- Plinth의 충격 하중을 저감하여 콘크리트의 폭파 방지 필요

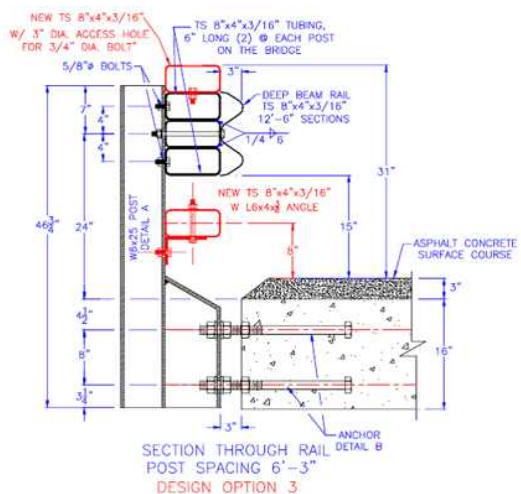


그림 3.33 Hollow Box 구조를 이용한 충격 흡수 가드레일(미국)

(2) Concrete Plinth의 Precast화를 위한 케미칼 앵커 적용 검토

- 접착식 케미칼 앵커 적용에 따른 충돌하중 검토시 탈선 후 충돌하중 100~300 kN에 따라, 1열 또는 2열 배열로 인장 및 전단 성능을 만족한다.

표 3.18 케미칼 앵커 충돌하중 검토 조건

항목	조건
Anchor type and diameter	HIT-HY 200 + Rebar 25 mm (500 MPa)
Effective embedment depth	$h_{ef,act} = 175 \text{ mm}$
Anchor plate	$l_x \times l_y \times t = 300 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$
Base material (TCL)	uncracked concrete, C30/37, $f_c = 30 \text{ MPa}$ , $h = 240 \text{ mm}$ , Temp. short/long: 40/24°C

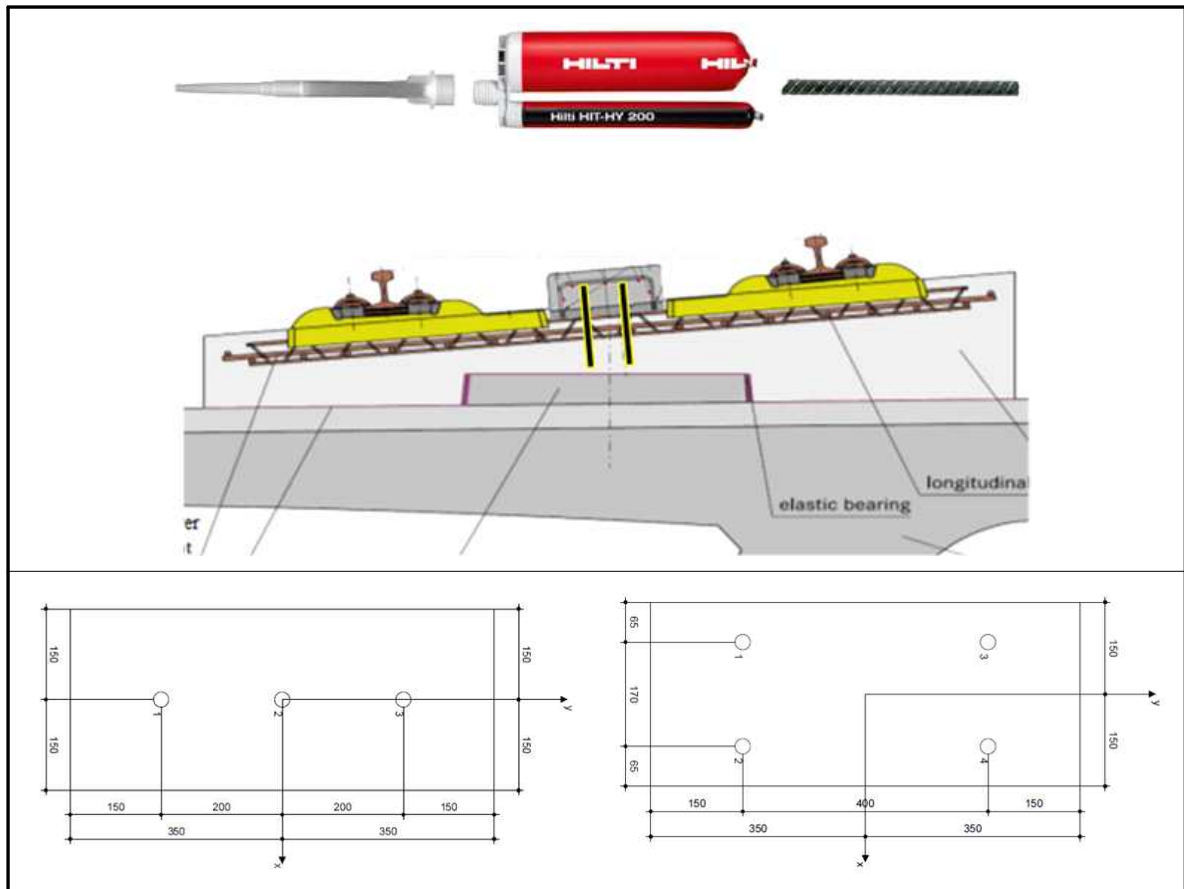


그림 3.34 케미칼 앵커를 이용한 Precast Concrete Plinth 시공(안)

라. 탈선열차 충돌 시 교량상 PCL 캠플레이트 성능확보 검토

(1) 충돌 시 캠플레이트(Cam Plate)의 지지력 확인

○ 가정 조건: 교량형식 40 m, TCL 7 m, 캠플레이트 3개 (간격 2.3 m)  
Plinth의 충돌에 의한 횡하중 1,400 kN → 7 m 등분포

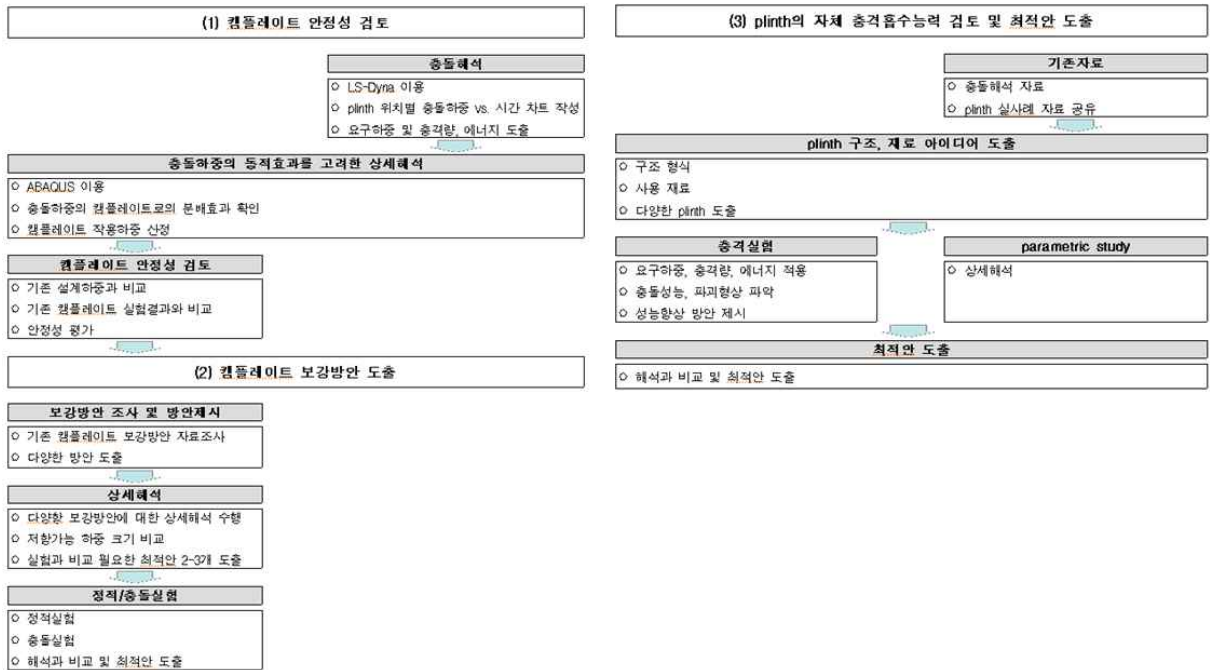
○ 횡방향 하중조합

- 직선궤도: 사행하중, 풍하중
- 곡선궤도: 사행하중, 풍하중, 레일의 온도하중, 원심력, 캔트

○ 설계 횡방향 하중

- 기존 캠플레이트: 250 kN/cam plate
- 충돌하중 고려: 1,015 kN/cam plate

(2) 캠플레이트 검토 연구내용



## 마. 기존 및 신형식 콘크리트 궤도의 성능 평가 실험

### (1) 일탈방호를 위한 Concrete Plinth

- 하중 조건(충돌, 온도, 곡선주행 등)을 고려한 성능 평가 실험
- Concrete Plinth부, Anchor dowel 등의 국소부 거동 평가 실험
- 고성능(내충격성, 강성, 강도, 인성 등), 충격흡수재 등 최적 성능 재료 기술

### (2) Concrete Plinth가 적용된 콘크리트 궤도

- 충돌하중 작용에 따른 콘크리트 궤도의 기본 구조성능 평가 실험
- Concrete Plinth 적용에 따른 인터페이스 성능 검토

### (3) Mock-Up 시험체 제작 및 실내 검증시험

### (4) 시제품 현장시공을 통한 검증(Yard Test)



그림 3.35 탈선방호시설물 성능평가 실내/현장 실험(예)

바. 일탈방호 성능을 갖는 궤도/시설물의 접속부 적용기술 기획

- 개발된 일탈방호시설물을 기존 교량상뿐만 아닌 접속부 및 고성토 토공부 등에 적용하기 위해서는 시설물에 작용되는 탈선열차의 충돌하중을 하부 노반에서 충분히 수용할 수 있는 지지구조가 설계/시공되어야 한다.
- 필수적으로 수행되어야 할 연구내용은 크게 아래와 같이 기획될 수 있다.
  - 콘크리트 궤도 및 접속부 하부 지지구조 형식 개발
  - 횡방향 지지강성 평가시스템 알고리즘 및 설계프로그램 개발
  - 교대 접속부 지지구조 설계 및 시공(안) 제시

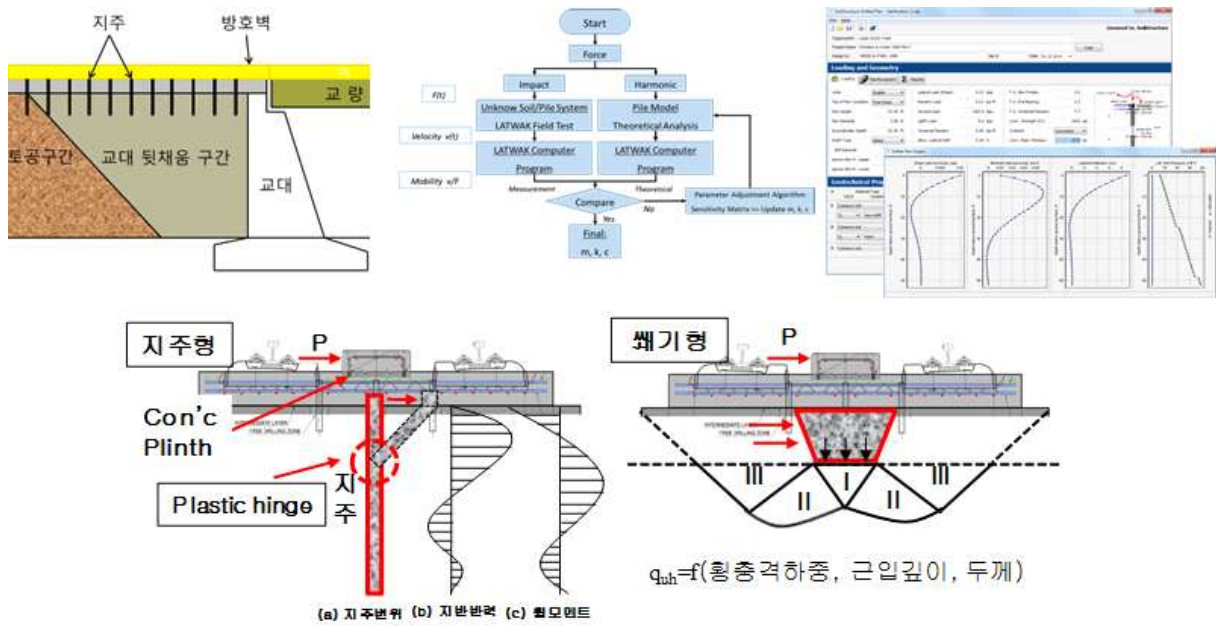


그림 3.36 일탈방호시설물 교대 접속부 적용기술(예)

### 3. 제도개선 및 실험 현장 구축방안 기획

#### 가. 실험 성능실험 현장조사 및 향후 실험현장 구축방안 기획

##### (1) 열차 탈선/충돌 실험 부지 조건

- 앞서 언급했듯이 본 연구의 성공적인 완수를 위해서는 방호시설물 성능 평가를 위한 실험용 탈선/충돌실험이 가장 중요한 부분이며 본과제 초기 단계에서 실험 부지 구축이 필요하다(부지조건에 따라 궤도 건설비 소요). 이에 요구되는 조건은 아래와 같다.
  - 동력차, 실험차량 반입/반출 가능(필요시 예산 범위 내에서 진입로 개설/보수)
  - 열차 가속구간 및 제동구간 확보(80 km/h) 최소 1 km
  - 최종 충돌지점 폭원 확보 10~20 m (선로 수직방향) → 폐역 활용
  - 방호시설물 시공 공간 및 고속카메라 거치 공간
  - 장비 진입가능 (크레인, 방호벽공사 트럭 등)
- ※ 차량 진입 및 선로 상태는 현장조사를 통한 확인 필요

##### (2) 고속철도 영동기지 충돌시험장 활용가능성 검토

- 열차 실물충돌시험 설비는 현재 유럽의 일부 국가와 미국에서 설치 및 운용되고 있다. 아시아권 최초로 2010년 한국철도기술연구원은 열차 실물충돌시험시설을 이용하여 각종 에너지흡수부재, 전두부 및 객차 단부 에너지흡수구조 등의 열차 실물충돌시험을 수행하기 위해, 고속철도 영동기지(충청북도 영동군)의 14번선 단부에 고정벽 충돌시험장을 설치하였다. 이러한 충돌시험설비는 크기가 방대하고 일정 길이 이상의 선로가 필요하기 때문에 적절한 입지를 확보하는 것이 필수적이다.
- 본 연구에서 대상으로 하는 탈선/충돌 실험의 목적은 열차 차량의 기계적 부재 설계를 위한 것이 아닌 탈선된 열차와 구조물과의 충돌에 의한 방호시설물 설계와 관련된 것이므로, 현장조사를 통해 실제 실험수행에 따른 선로, 시설 등의 파손을 고려한 부지조건을 면밀히 검토하여야 한다.
- 영동기지 충돌시험장의 경우 차량분야의 충돌시험이 지속 수행 예정중이며, 보수·운용 위한 다수의 선로, 경부고속철도 1단계 운행구간 인접 등의 애로사항이 있다. 실험부지로 활용할 경우 별도의 궤도 및 시설공사가 요구된다.



그림 3.37 고속철도 영동기지 충돌시험장

(3) 실험 부지 우선순위

- 폐역/폐선의 활용, 개발계획 등의 현황 조사를 통해 적정 실험 부지 조건 선정
- 운행선으로 사용되는 구간을 제외한 폐선 중 일부 매각 및 활용
- 미사용 구간의 인가 및 기존선 인접 여부 고려

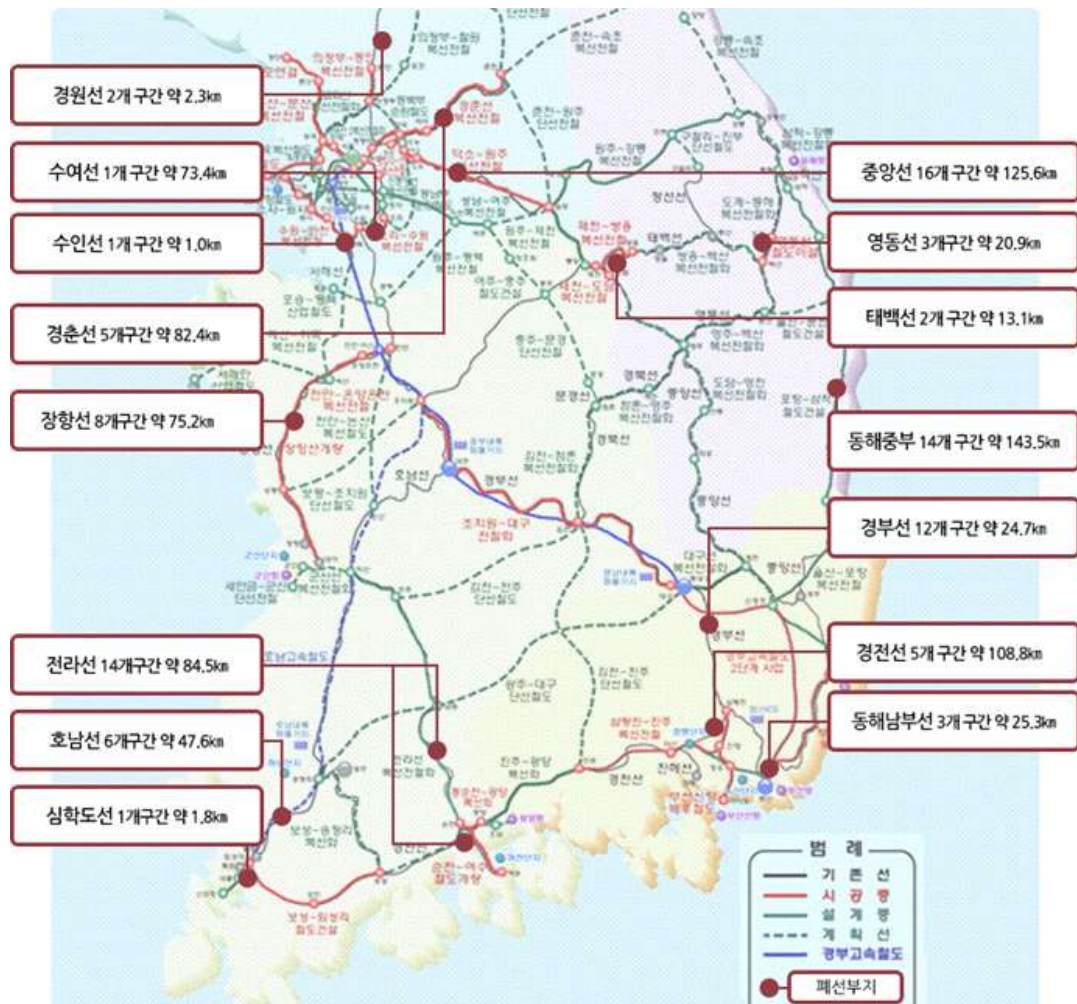


그림 3.38 국내 철도 유휴부지 현황

(가) 경전선; 골약역(폐역예정)~유수역(폐역예정) 구간 [전남 광양~경남 진주]

- 54.7 km 폐선 예정(2016년) → 궤도 건설비용 절감
- 폐역 1개소를 포함한 최소 1 km 구간 선정



그림 3.39 경전선 폐선/폐역 예정 구간

(나) 태백선; 제천역~장락역(폐역)~송학역(폐역)~입석리역 구간 [충북 제천]

- 현재 폐역 및 폐선으로 미사용 구간
- 폐역 2개소 / 폐선 궤도 철거 → 궤도 건설 필요

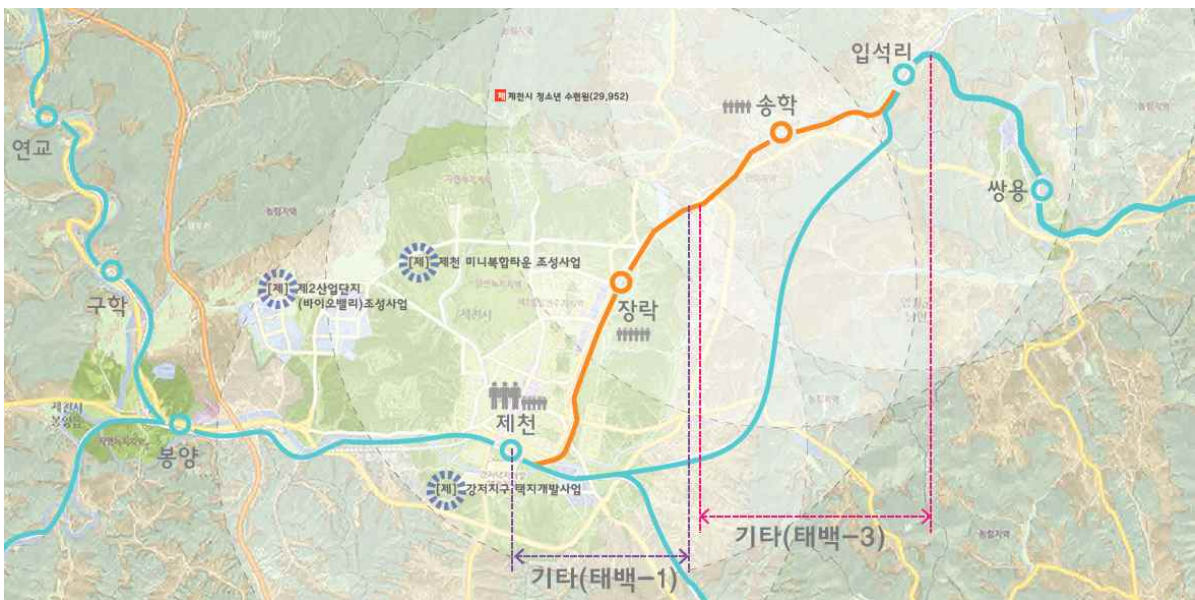


그림 3.40 태백선 폐선/폐역 구간

(다) 전라선; 덕양역~여천역(폐역)~미평역(폐역)~만성역 [전남 여수]

- 현재 폐역 및 폐선으로 미사용 구간
- 폐역 3개소 / 폐선 궤도 철거 → 궤도 건설 필요



그림 3.41 전라선 폐선/폐역 구간

(라) 철도중합시험선로 [세종]

- 철도중합시험선로 부지 활용 → 궤도 건설 필요



그림 3.42 철도중합시험선로 부지

- 철도종합시험선로의 일부공간을 실험부지로 활용할 경우 연구개발비 외 별도의 궤도 및 시설공사비가 요구된다. 실험에 대한 별도의 공사비를 최소화하기 위해서는 폐선/폐역(유휴부지)을 활용하는 대안이 가장 합리적이거나 국유재산 사용허가에 따른 사용료, 사용 후 철거/복구 등의 비용 또한 별도로 소요될 수 있다.

#### 나. 실용화를 위한 제도개선 방안 기획

- 국가정책을 고려한 개발 기술의 적용범위 확대
  - 관련 법령, 지침 등 제·개정안 구성
  - 고속철도 및 준고속 간선철도 / 고성토, 곡선부, 접속부 등 위험개소 구간 적용범위 확대 방안
  - 국가 재난위기대응을 위한 재난대응시설 확대 / 안전산업 발전 인프라 구축
- 실용화를 위한 철도시설성능검증 절차 검토

## 5절 연구추진체계

- 본 연구의 연구목표인 ‘열차의 탈선 후 거동과 시설물과의 충돌하중을 예측/평가하여 일탈방호시설물에 대한 성능 기준과 성능 평가 기술을 개발하고, 교량상 콘크리트 궤도에 대한 일탈방호시스템을 개발’을 위해서는 총 2개의 세부로 추진가능하다.
- 1세부에서는 주요 연구테마로써 Academic Research를 위해 ‘열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술’에 대한 연구개발을 수행한다. 2세부에서는 Product Development Research를 위해 ‘교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발’에 대한 연구개발을 수행한다.

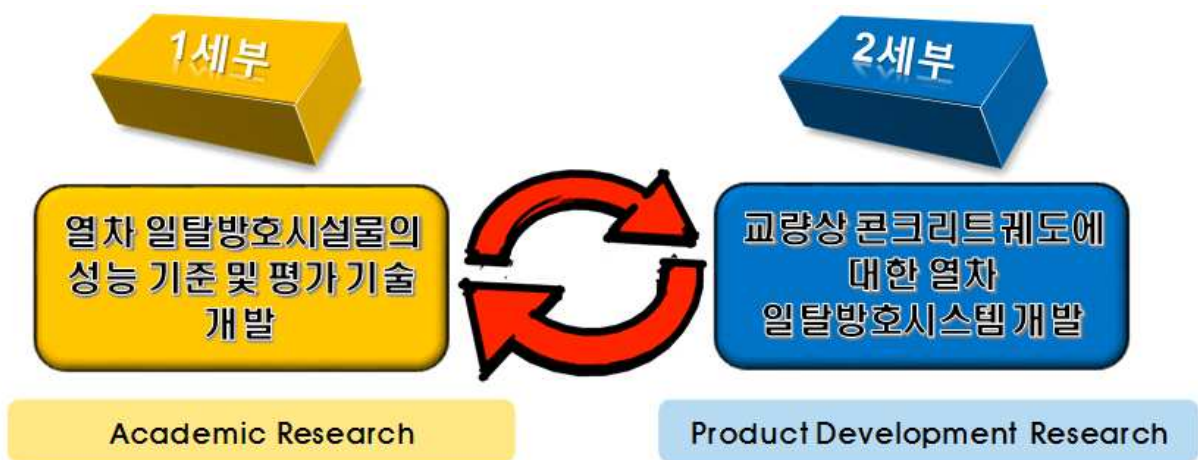


그림 3.43 본 연구의 연구추진체계

- 구체적으로, 1세부에서는 ‘총괄 및 성능 기준/성능 평가’를 담당할 주관기관을 포함하여, ‘실대형 실험 사이트 및 차량 지원/실용화 지원’, ‘열차의 탈선-충돌 실험 수행’, ‘시뮬레이션을 위한 열차/구조물 모델링’ 등을 수행할 수 있는 수행체계가 구성되어야 한다.
- 2세부에서는 ‘일탈방호시스템 설계/시공/유지보수 기술 총괄’을 담당할 협동기관을 포함하여, ‘교대 접속부 일탈방호시스템 적용기술’, ‘일탈방호시스템 최적 성능 재료 기술’, ‘구조설계/시험체 제작’ 등을 수행할 수 있는 수행체계가 구성되어야 한다.
- 또는, ‘실대형 실험 사이트 및 차량 지원/실용화 지원’에 대한 연구부분은 수행되는 체계의 규모에 따라 3세부로 분리가능하나 그 수행규모가 연구지원의 성격이 강할 경우 1세부 공동기관으로 속해지는 것이 바람직할 수 있다.

## 6절 기술/성과 로드맵

### 1. 단계별 기술 로드맵

- 본 연구는 총 5차년도로 구성하였으며 각 연차별 연구기간은 12개월로 구성하였다. 1세부는 신탈형 실험과 시뮬레이션 기법 확립 및 성능 기준/평가 기술 개발, 개발기술에 대한 제도개선 및 실용화 모색에 대한 연구를 수행한다. 2세부는 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발을 위해 설계/시공/유지보수 기술을 개발에 대한 수행한다.

1 세 부	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발</b>													
	신탈형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	95%	
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	95%	
	신탈형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보		■	■		■		■					30%	
	탈선장소·원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정										■	■	■	45%
	일탈방호시설물의 성능등급화											■	■	20%
	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발</b>													
	신탈형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	95%	
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	95%	
	일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안										■	■	20%	
	<b>일탈방호시설물 성능 검증/평가</b>													
	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가		■	■									20%	
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기준)				■	■	■						30%	
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(신형식)							■	■	■	■		40%	
	<b>개발기술의 제도개선 및 실용화</b>													
	일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	50%	
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기준)				■	■	■						20%	
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(신형식)									■	■	■	25%	
	국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립										■	■	30%	

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	소요기간 (%)	
2 세 부	기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발							
	급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	■	■				30%	
	일탈방호시스템 총돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시	■	■				40%	
	일탈방호시스템 총돌부 해석 및 설계, 시제품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발		■	■	■		50%	
	일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토	■	■		■		50%	
	일탈방호시스템 총돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증			■	■		30%	
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시		■	■			30%	
	일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발							
	신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출		■	■			30%	
	차륜 낙하/총돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내시험			■	■	■	30%	
	일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증					■	■	35%
	일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술					■	■	40%
	교대 접속부 일탈방호시스템의 총돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계	■	■	■				30%
	교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공/Yard Test를 통한 지지성능 검증			■	■	■	■	45%
시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시(설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)					■	■	30%	

그림 3.44 단계별 기술 로드맵

## 2. 단계별 성과맵

- 주요 기술개발 내용에 따른 질적성과를 제시하였으며, 각 질적성과에 따라 달성되는 양적성과를 제시하였다. 또한, 기술 로드맵을 바탕으로 단계별 질적성과의 달성도와 양적성과의 달성건수를 작성하였다.

표 3.19 단계별 성과맵(질적성과)

질적성과 (달성도)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 및 성능 평가 기법 연구	20%	40%	60%	80%	100%
수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 및 성능 평가 기법 연구	20%	40%	60%	80%	100%
개발된 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 검증 및 평가		50%	100%		
개발된 신형식 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 검증 및 평가			23%	77%	100%
방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계 실험			15%	69%	100%
기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 확보 및 설계/시공 기술	31%	69%	100%		
일탈방호시스템(기존)의 시제품 현장시공을 통한 검증			100%		
일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 궤도구조 설계/시공 기술			47%	88%	100%
일탈방호시스템(신형식)의 시제품 현장시공을 통한 검증				80%	100%
개발된 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도개선	20%	40%	60%	80%	100%
개발된 일탈방호시스템의 실용화를 위한 수요예측 및 시장 타당성 분석		8%	38%	69%	100%
<b>총 진도율</b>	<b>12%</b>	<b>30%</b>	<b>58%</b>	<b>84%</b>	<b>100%</b>

표 3.20 질적성과에 따른 양적성과(1)

질적성과	양적성과 (건수)					
	국내 학술지 게재 논문	국외 학술지 게재 논문	특허출원	특허등록	국외 특허출원	성능평가서
실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 및 성능 평가 기법 연구	1	3				
수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 및 성능 평가 기법 연구	1	3				
개발된 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 검증 및 평가		1				1
개발된 신형식 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 검증 및 평가		1				1
방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계 실험	2					
기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 확보 및 설계/시공 기술	2		2	2		
일탈방호시스템(기존)의 시제품 현장시공을 통한 검증	1					
일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 궤도구조 설계/시공 기술	2		1	1	1	
일탈방호시스템(신형식)의 시제품 현장시공을 통한 검증	1					
개발된 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도개선						
개발된 일탈방호시스템의 실용화를 위한 수요예측 및 시장 타당성 분석						
<b>총 계</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

표 3.21 질적성과에 따른 양적성과(2)

질적성과	양적성과 (건수)					
	설계도서	시공성평가서	현장시공	기준/지침 제개정	홍보 (세미나 개최)	인력배출
실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 및 성능 평가 기법 연구						1
수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 및 성능 평가 기법 연구				1		1
개발된 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 검증 및 평가						
개발된 신형식 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 검증 및 평가					1	
방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계 실험	1					1
기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 확보 및 설계/시공 기술	1					
일탈방호시스템(기준)의 시제품 현장시공을 통한 검증		1	1			
일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 궤도구조 설계/시공 기술	1					
일탈방호시스템(신형식)의 시제품 현장시공을 통한 검증		1	1		1	
개발된 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도개선				1		
개발된 일탈방호시스템의 실용화를 위한 수요예측 및 시장 타당성 분석						
<b>총 계</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>

표 3.22 단계별 성과맵(양적성과)\_총괄

양적성과 (건수)	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총 계
국내 학술지 게재 논문	1	2	2	2	3	10
국외 학술지 게재 논문	0	1	3	2	2	8
특허출원	2	0	1	0	0	3
특허등록	0	0	2	0	1	3
국외 특허 출원	0	0	0	0	1	1
성능평가서	0	0	1	0	1	2
설계도서	0	0	1	0	2	3
시공성평가서	0	0	1	0	1	2
현장시공	0	0	1	1	0	2
기준/지침 제개정	0	0	0	0	2	2
홍보(세미나 개최 등)	0	0	1	0	1	2
인력배출	0	1	0	1	1	3
<b>총 계</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>41</b>

- 1세부의 연구주제는 열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술 개발 (Academic Research)이며, 2세부는 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호 시스템 개발(Product Development Research)로, 각 세부별 정량적 성과는 다음과 같다.

표 3.23 단계별 성과맵(양적성과)\_1세부

양적성과 (건수)_1세부	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총 계
국내 학술지 게재 논문	1	1				2
국외 학술지 게재 논문		1	3	2	2	8
특허출원						0
특허등록						0
국외 특허 출원					1	1
성능평가서			1		1	2
설계도서						0
시공성평가서			1		1	2
현장시공						0
기준/지침 제개정					2	2
홍보(세미나 개최 등)			1		1	2
인력배출		1			1	2
<b>총 계</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>21</b>

표 3.24 단계별 성과맵(양적성과)\_2세부

양적성과 (건수)_2세부	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총 계
국내 학술지 게재 논문		1	2	2	3	8
국외 학술지 게재 논문						0
특허출원	2		1			3
특허등록			2		1	3
성능평가서						0
설계도서			1		2	3
시공성평가서						0
현장시공			1	1		2
기준/지침 제개정						0
홍보(세미나 개최 등)						0
인력배출				1		1
<b>총 계</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>20</b>



## 제4장 자원투입 계획

### 1절 연구시설 및 장비 투입계획

#### 1. 연구시설 현황

##### 가. 개발기술 성능 시험

- 한국철도기술연구원의 철도안전인증연구소에서는 철도시스템 안전확보를 위해 필요한 관련 법규 및 국내외 표준을 기반으로 공정한 시험 및 검사를 수행하고 있다. 국제적으로 인정된 ISO 9001, ISO/IEC 17025 기준에 적합한 국제공인 시험기관으로서 2000년부터 KOLAS 공인시험기관으로 지정되어 본 연구의 개발기술인 콘크리트 궤도에 대한 역학적 성능 시험 및 인터페이스 검증 시험 등을 수행할 수 있는 설비가 구축되어 있어 본 연구에 적합한 활용이 가능하다.

##### 나. 실험형 탈선/충돌 실험

- 각종 에너지흡수부재, 전두부 및 객차 단부 에너지흡수구조 등의 열차 실험충돌시험을 수행하기 위해, 현재 아시아권 최초로 2010년 고속철도 영동기지에 고정벽 충돌시험장을 설치하였다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하는 탈선/충돌 실험의 목적은 열차 차량의 기계적 부재 설계를 위한 것이 아닌 탈선된 열차와 구조물과의 충돌에 의한 방호시설물 설계와 관련된 것이므로, 실험부지로 활용할 경우 연구개발비 외 별도의 궤도 및 시설공사비가 요구된다. 실험에 대한 별도의 공사비를 최소화하기 위해서는 폐선/폐역(유휴부지)을 활용하는 대안이 가장 합리적이거나 국유재산 사용허가에 의한 사용료, 사용 후 철거/복구 등의 비용 또한 별도로 소요될 수 있음을 사전에 면밀히 검토할 필요가 있다.

#### 2. 장비 투입계획

- 본 연구를 수행함에 있어 실험형 성능평가 실험관련 연구장비·시설이 투입이 필수적이다. 예상 소요되는 장비로는 충돌 실험용(내구성 확보) 데이터 계측로거 및 고속카메라, 실험열차에 대한 브레이크 유압 시스템 및 제어 시스템 등이 있으며 실험형 탈선/충돌 실험을 바탕으로 한 시뮬레이션 평가 관련 시설 등이 있다.
- 소요 장비들에 대하여 NTIS 국가연구시설·장비관리서비스를 활용한 동일·유사장비 중복성 검토가 이루어져야하며, 구입/임대의 절차가 필요할 경우 소요경비에 따라 연구장비 구축 타당성 검토를 위한 국가연구시설장비 심의평가를 수행한다.

- 또한, 실험을 위한 폐대차/객차는 실험 1회당 1회 사용 후 폐기/철거되는 부분이므로 예산의 합리성을 고려하여 연 1~2회의 실험이 가능하다. 따라서 실험 전 시뮬레이션을 활용한 충분한 사전 검토 기간이 소요된다. 시뮬레이션은 탈선-충돌 거동 모사 및 콘크리트 파괴모델을 고려했을 때, 2초 현상 시뮬레이션 시 컴퓨터 1대(8cpu) 당 약 8.3일이 소요되며 1CASE 분석에는 약 14일이 소요될 것으로 예상된다. 이에 연차별 시뮬레이션 분석은 15~20 CASE, 총 연구기간(5년)에는 75~100 CASE에 불과하므로 시뮬레이션 Runtime을 최적화하기 위한 고성능 시뮬레이션용 컴퓨터시스템 구축이 요구된다.

## 2절 인력투입계획

### 1. 1세부 과제: 열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술 개발

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
<b>1. 일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발</b>					
1.1 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구					
1.2 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구					
1.3 실대형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보					
1.4 탈선장소·원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정					
1.5 일탈방호시설물의 성능등급화					
<b>2. 일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발</b>					
2.1 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구					
2.2 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구					
2.3 일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안					
<b>3. 일탈방호시설물 성능 검증/평가</b>					
3.1 기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가					
3.2 개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기준)					
3.3 개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(신형식)					
<b>4. 개발기술의 제도개선 및 실용화</b>					
4.1 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선					
4.2 개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기준)					
4.3 개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(신형식)					
4.4 국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립					

그림 4.1 1세부 과제 주요 Activity에 대한 공정

표 4.1 1세부 과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획

주요 Activity	연도	인원수	참여월	참여율	Man-month 투입량
<b>1. 일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발</b>					
1.1 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구	1차년도	12	12	20%	28.8
	2차년도	12	12	35%	50.4
	3차년도	12	12	45%	64.8
	4차년도	12	12	21%	30.2
	5차년도	12	9	10%	10.8
1.2 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구	1차년도	6	12	20%	14.4
	2차년도	6	12	35%	25.2
	3차년도	6	12	40%	28.8
	4차년도	6	12	20%	14.4
	5차년도	6	9	10%	5.4
1.3 실대형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보	1차년도	6	6	20%	7.2
	2차년도	6	6	35%	12.6
	3차년도	6	6	40%	14.4
1.4 탈선장소·원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정	3차년도	10	3	12%	3.6
	4차년도	10	12	11%	13.2
	5차년도	10	12	11%	13.2
1.5 일탈방호시설물의 성능등급화	5차년도	16	6	20%	19.2
<b>2. 일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발</b>					
2.1 실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	1차년도	12	12	20%	28.8
	2차년도	12	12	35%	50.4
	3차년도	12	12	45%	64.8
	4차년도	12	12	21%	30.2
	5차년도	12	9	10%	10.8
2.2 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	1차년도	6	12	20%	14.4
	2차년도	6	12	35%	25.2
	3차년도	6	12	40%	28.8
	4차년도	6	12	20%	14.4
	5차년도	6	9	10%	5.4
2.3 일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안	5차년도	8	12	18%	17.3
<b>3. 일탈방호시설물 성능 검증/평가</b>					
3.1 기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	1차년도	10	6	8%	4.8
	2차년도	10	6	18%	10.8
3.2 개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기존)	2차년도	10	6	20%	12.0
	3차년도	10	12	20%	24.0
3.3 개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(신형식)	4차년도	10	12	10%	12.0
	5차년도	10	9	10%	9.0
<b>4. 개발기술의 제도개선 및 실용화</b>					
4.1 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선	1차년도	6	6	5%	1.8
	2차년도	6	6	10%	3.6
	3차년도	6	6	10%	3.6
	4차년도	6	6	10%	3.6
	5차년도	6	6	10%	3.6
4.2 개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기존)	3차년도	3	12	20%	7.2
4.3 개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(신형식)	4차년도	3	3	10%	0.9
	5차년도	3	12	10%	3.6
4.4 국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립	4차년도	3	6	5%	0.9
	5차년도	3	12	5%	1.8

## 2. 2세부 과제: 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발

주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
<b>1. 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발</b>					
1.1 급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	■	■			
1.2 일탈방호시스템 충돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시	■	■			
1.3 일탈방호시스템 충돌부 해석 및 설계, 시작품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발		■	■		
1.4 일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토	■	■		■	
1.5 일탈방호시스템 충돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증			■		
1.6 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시			■		
<b>2. 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발</b>					
2.1 신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출		■	■		
2.2 차륜 낙하/충돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내시험			■	■	
2.3 일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증				■	■
2.4 일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술				■	■
2.5 교대 접속부 일탈방호시스템의 충돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계	■	■	■		
2.6 교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공 /Yard Test를 통한 지지성능 검증			■	■	■
2.7 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시 (설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)				■	■

그림 4.2 2세부 과제 주요 Activity에 대한 공정

표 4.2 2세부 과제 주요 Activity에 대한 인력투입계획

주요 Activity	연도	인원수	참여개월	참여율	Man-month 투입량
<b>1. 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발</b>					
1.1 급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	1차년도	10	12	25%	30.0
	2차년도	10	6	25%	15.0
1.2 일탈방호시스템 총돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시	1차년도	10	12	20%	24.0
	2차년도	10	12	25%	30.0
1.3 일탈방호시스템 총돌부 해석 및 설계, 시작품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발	1차년도	10	6	18%	10.8
	2차년도	10	12	30%	36.0
	3차년도	10	12	30%	36.0
1.4 일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토	1차년도	5	6	10%	3.0
	2차년도	5	9	20%	9.0
	3차년도	5	3	20%	3.0
	4차년도	5	6	20%	6.0
	5차년도	5	6	10%	3.0
1.5 일탈방호시스템 총돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증	2차년도	10	6	35%	21.0
	3차년도	10	12	35%	42.0
1.6 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시	2차년도	10	6	30%	18.0
	3차년도	10	12	30%	36.0
<b>2. 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발</b>					
2.1 신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	1차년도	10	3	10%	3.0
	2차년도	10	6	12%	7.2
	3차년도	10	9	12%	10.8
2.2 차륜 낙하/총돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내시험	3차년도	5	9	10%	4.5
	4차년도	5	9	20%	9.0
2.3 일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증	4차년도	10	12	40%	48.0
	5차년도	10	9	30%	27.0
2.4 일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술	4차년도	8	12	20%	19.2
	5차년도	8	12	20%	19.2
2.5 교대 접속부 일탈방호시스템의 총돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계	1차년도	4	6	15%	3.6
	2차년도	4	6	20%	4.8
	3차년도	4	6	20%	4.8
2.6 교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공 /Yard Test를 통한 지지성능 검증	3차년도	10	6	12%	7.2
	4차년도	10	12	20%	24.0
	5차년도	10	9	10%	9.0
2.7 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시 (설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)	4차년도	10	6	35%	21.0
	5차년도	10	12	25%	30.0

### 3. 세부과제 주요 연차별·공정별 인력투입계획

표 4.3 세부과제 주요 연차별·공정별 인력투입계획(Man-month 투입량)

구분	주요 Activity	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부	1. 일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발	50.4	88.2	111.6	57.8	48.6
	2. 일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발	43.2	75.6	93.6	44.6	33.5
	3. 일탈방호시설물 성능 검증/평가	4.8	22.8	24.0	12.0	9.0
	4. 개발기술의 제도개선 및 실용화	1.8	3.6	10.8	5.4	9.0
	소 계	<b>100.2</b>	<b>190.2</b>	<b>240.0</b>	<b>119.9</b>	<b>100.1</b>
2세부	1. 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발	67.8	129.0	117.0	6.0	3.0
	2. 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발	6.6	12.0	27.3	121.2	85.2
	소 계	<b>74.4</b>	<b>141.0</b>	<b>144.3</b>	<b>127.2</b>	<b>88.2</b>
	<b>총 계</b>	<b>174.6</b>	<b>331.2</b>	<b>384.3</b>	<b>247.1</b>	<b>188.3</b>

### 3절 소요예산 투입계획

#### 1. 총괄 연차별 소요예산

(단위: 천원)

항목	비목		연도					합계	비율 (%)
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
직접비	인건비		349,000	662,000	768,000	494,000	377,000	2,650,000	24.1
	연구장비·재료비		454,000	1,343,000	1,653,000	1,018,000	1,118,000	5,586,000	50.8
	연구활동비 및 연구과제추진비		71,000	210,000	340,000	160,000	120,000	901,000	8.2
	연구수당		70,000	132,000	154,000	99,000	75,000	530,000	4.8
	소계		944,000	2,347,000	2,915,000	1,771,000	1,690,000	9,667,000	87.9
간접비			156,000	317,000	440,000	234,000	186,000	1,333,000	12.1
연구개발비 총액	정부출연금		1,100,000	2,664,000	3,355,000	2,005,000	1,876,000	11,000,000	100.0
	기업부담금	현금							
		현물							
	합계		1,100,000	2,664,000	3,355,000	2,005,000	1,876,000	11,000,000	100.0

## 2. 1세부 과제

### 가. 연차별 소요예산

(단위: 천원)

항목	비목	연도	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계	비율 (%)
직접비	인건비		200,000	380,000	480,000	240,000	200,000	1,500,000	25.5
	연구장비· 재료비		354,000	543,000	738,000	455,000	605,000	2,695,000	45.8
	연구활동비 및 연구과제추진비		41,000	110,000	190,000	85,000	50,000	476,000	8.1
	연구수당		40,000	76,000	96,000	48,000	40,000	300,000	5.1
	소계		635,000	1,109,000	1,504,000	828,000	895,000	4,971,000	84.5
간접비			119,000	211,000	322,000	143,000	118,000	913,000	15.5
연구개발비 총액	정부출연금		754,000	1,320,000	1,826,000	971,000	1,013,000	5,884,000	100.0
	합계		754,000	1,320,000	1,826,000	971,000	1,013,000	5,884,000	100.0

나. 주요 연구시설 및 연구장비·재료비

(단위: 천원)

관련 연구내용	연차	장비/재료명	금액
실대형 실험 시스템 구축비	1차~2차년도	- 계측시스템 (차량충돌시 내충격성이 확보된 로거) - 브레이크 시스템 (동력차와 실험차량의 분리) - 고속카메라 (탈선-충돌 차량 거동 촬영용)	300,000
실험용 폐차량/대차 구입비	1차~5차년도	폐객차(45백만원/량)	390,000
동력차 임대비	1차~5차년도	동력차(8백만원/월)	96,000
동력차/실험차량 운반 및 크레인 임대비	1차~5차년도	운반 및 임대 (2백만원/대/일)	130,000
방호벽 건설비	1차~5차년도	철근콘크리트 타설 (약 25백만원/100m)	355,000
콘크리트 궤도 건설비	2차~5차년도	콘크리트 궤도 부설 (약 900백만원/km)	820,000
실대형 실험 유지관리비	2차~5차년도	폐기물처리, 파손복구비, 기타부대시설 등	250,000
실험부지 철거비	5차년도	선로 철거비 (50백만원/km), 부대처리비	250,000
시뮬레이션 워크스테이션 구입비	2차~3차년도	워크스테이션 (시뮬레이션을 위한 CPU 고성능)	30,000
시뮬레이션 소프트웨어 임대	1차~5차년도	범용 유한요소해석 프로그램 LS-DYNA	74,000
합계			2,695,000

다. 세부 연구활동별 소요예산

(1) 인건비

(단위: 천원)

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1 세 부	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발</b>	100,400	176,400	223,200	115,800	97,000	<b>712,800</b>
	실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구	57,600	100,800	129,600	60,600	21,600	370,200
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구	28,800	50,400	57,600	28,800	10,800	176,400
	실대형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보	14,000	25,200	28,800			68,000
	탈선장소 원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정			7,200	26,400	26,400	60,000
	일탈방호시설물의 성능등급화					38,200	38,200
	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발</b>	86,400	151,200	187,200	89,400	67,000	<b>581,200</b>
	실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	57,600	100,800	129,600	60,600	21,600	370,200
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	28,800	50,400	57,600	28,800	10,800	
	일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안					34,600	34,600
	<b>일탈방호시설물 성능 검증/평가</b>	9,600	45,200	48,000	24,000	18,000	<b>144,800</b>
	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	9,600	21,200				30,800
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기존)		24,000	48,000			72,000
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(신형식)				24,000	18,000	42,000
	<b>개발기술의 제도개선 및 실용화</b>	3,600	7,200	21,600	10,800	18,000	<b>61,200</b>
	일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선	3,600	7,200	7,200	7,200	7,200	32,400
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기존)			14,400			14,400
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(신형식)				1,800	7,200	9,000
	국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립				1,800	3,600	5,400
	<b>합계</b>	<b>200,000</b>	<b>380,000</b>	<b>480,000</b>	<b>240,000</b>	<b>200,000</b>	<b>1,500,000</b>

(2) 연구장비·재료비

(단위: 천원)

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1 세 부	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발</b>	177,000	232,600	318,000	154,500	261,700	<b>1,143,800</b>
	실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구	116,500	147,000	201,000	145,000	82,000	691,500
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구	1,700	7,800	9,000	4,750	25,400	48,650
	실대형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보	58,800	77,800	105,700		22,700	265,000
	탈선장소·원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정			2,300	4,750	26,300	33,350
	일탈방호시설물의 성능등급화					105,300	105,300
	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발</b>	118,200	154,800	210,000	149,750	213,100	<b>845,850</b>
	실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	116,500	147,000	201,000	145,000	82,000	691,500
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	1,700	7,800	9,000	4,750	25,400	
	일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안					105,700	105,700
	<b>일탈방호시설물 성능 검증/평가</b>	58,800	155,600	210,000	150,750	130,200	<b>705,350</b>
	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	58,800	77,800			22,700	159,300
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기존)		77,800	210,000		22,700	310,500
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(신형식)				150,750	84,800	235,550
	<b>개발기술의 제도개선 및 실용화</b>	-	-	-	-	-	-
	일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선						-
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기존)						-
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(신형식)						-
	국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립						-
	<b>합계</b>		<b>354,000</b>	<b>543,000</b>	<b>738,000</b>	<b>455,000</b>	<b>605,000</b>

(3) 총괄

(단위: 천원)

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
1 세 부	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발</b>	362,900	557,800	811,200	362,100	434,300	<b>2,528,300</b>
	실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구	202,600	297,400	398,100	236,200	122,500	1,256,800
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구	59,000	107,800	134,100	64,150	55,100	420,150
	실대형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보	101,300	152,600	202,000		22,700	478,600
	탈선장소·원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정			77,000	61,750	71,600	210,350
	일탈방호시설물의 성능등급화					162,400	162,400
	<b>일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발</b>	261,600	405,200	532,200	300,350	336,800	<b>1,836,150</b>
	실대형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	202,600	297,400	398,100	236,200	122,500	1,256,800
	수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구	59,000	107,800	134,100	64,150	55,100	
	일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안					159,200	159,200
	<b>일탈방호시설물 성능 검증/평가</b>	97,400	300,200	325,500	205,350	167,100	<b>1,095,550</b>
	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	97,400	148,700			22,700	268,800
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(기존)		151,500	325,500		22,700	499,700
	개발된 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가(신형식)				205,350	121,700	327,050
	<b>개발기술의 제도개선 및 실용화</b>	32,100	56,800	157,100	103,200	74,800	<b>424,000</b>
	일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선	32,100	56,800	74,700	37,800	26,100	227,500
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기존)			82,400			82,400
	개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(신형식)				33,000	26,200	59,200
	국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립				32,400	22,500	54,900
	<b>합계</b>	<b>754,000</b>	<b>1,320,000</b>	<b>1,826,000</b>	<b>971,000</b>	<b>1,013,000</b>	<b>5,884,000</b>

## 2. 2세부 과제

### 가. 연차별 소요예산

(단위: 천원)

항목	비목		연도					합계	비율 (%)
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도		
직접비	인건비		149,000	282,000	288,000	254,000	177,000	1,150,000	25.5
	연구장비·재료비		100,000	800,000	915,000	563,000	513,000	2,891,000	56.5
	연구활동비 및 연구과제추진비		30,000	100,000	150,000	75,000	70,000	425,000	8.3
	연구수당		30,000	56,000	58,000	51,000	35,000	230,000	4.5
	소계		309,000	1,238,000	1,411,000	943,000	795,000	4,696,000	91.8
간접비			37,000	106,000	118,000	91,000	68,000	420,000	8.2
연구개발비 총액	정부출연금		346,000	1,344,000	1,529,000	1,034,000	863,000	5,116,000	100.0
	기업부담금	현금							
		현물							
	합계		346,000	1,344,000	1,529,000	1,034,000	863,000	5,116,000	100.0

나. 주요 연구시설 및 연구장비·재료비

(단위: 천원)

관련 연구내용	연차	장비/재료명	금액
기존 콘크리트 충전부 구조 재료 실내시험	1~2차년도	- 재료설계 및 시험장비구축 - 실내시험 및 현장시험	105,000
기존 콘크리트 충전부 시험체 및 모ULD 제작	1~2차년도	- 모ULD 재료 및 제작 - 시험체 연결부 초도 시 작품 - 시공성 검증시험	240,000
기존 콘크리트 충전부 시제품 제작 모ULD 및 조립체 실내시험	1~3차년도	- 실내 시험용 모ULD제작 및 시험지그 제작 - 조립부 충전시험 - 시험센서 구입 및 측정 시스템 임대	260,000
기존 콘크리트 충전부 현장시공 및 Yard Test/현장시험	3차년도	- 충전부 제작(110백만원/ 1km) - 충전부 시공(110백만원/ 1km, 장비임대료 30백만 원) - 현장시험 2개소 동시모 니터링	360,000
기존 신축 콘크리트 설계도서	2~5차년도	- 기존 콘크리트의 설계도서 (도면, 시공절차서, 사양서 등) 작성 - 신형식 콘크리트의 설계도 서(기본도면) 작성	230,000
신형식 콘크리트 충전부 구조 재료 실내시험	3~4차년도	- 신형식 콘크리트재료 및 시 험체 제작구매 - 실내 및 현장 시험	160,000
교대 접속부 지지구조 설계, 실내시험, 현장시공 및 Yard Test	1~3차년도	- 충격거동모형 시험체제 작 및 실내시험 시스템 구축 - Mock-up 시험체 제작 및 설계도서 작성 - 시험시공 및 현장시험시 스템 구축	427,000
교대 접속부 방호시스템 설계, 실내시험, 현장시공 및 Yard Test	3~5차년도	- 충격거동모형 시험체제 작 및 실내시험 시스템 구축 - Mock-up 시험체 제작 및 설계도서 작성 - 시험시공 및 현장시험시 스템 구축	430,000
신형식 콘크리트 현장시공 및 Yard Test/현장시험	4~5차년도	- 신형식 콘크리트 시공비 및 감리비 - 현장시공성 검증시험 - 현장모니터링 및 센서구 입	380,000
유지보수 및 탐상기법 개발	4~5차년도	- 유지보수 적용성 시험 - 재료설계 및 매뉴얼개발 - 충전부, 연결부 결함개소 탐측, 탐상 장비구축	180,000
구조해석프로그램 임대	1~5차년도	범용 유한요소해석 프로그램 임대 및 서버PC	119,000
합계			2,891,000

다. 세부 연구활동별 소요예산

(1) 인건비

(단위: 천원)

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
2 세 부	기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발	135,800	258,000	234,000	12,000	6,000	645,800
	급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	60,000	30,000				90,000
	일탈방호시스템 충돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시	48,000	60,000				108,000
	일탈방호시스템 충돌부 해석 및 설계, 시제품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발	21,800	72,000	72,000			165,800
	일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토	6,000	18,000	6,000	12,000	6,000	48,000
	일탈방호시스템 충돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증		42,000	84,000			126,000
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시		36,000	72,000			108,000
	일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발	13,200	24,000	54,000	242,000	171,000	504,200
	신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	6,000	14,400	21,000			41,400
	차륜 낙하/충돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내실험			9,000	18,000		27,000
	일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증				96,000	54,000	150,000
	일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술				38,000	39,000	77,000
	교대 접속부 일탈방호시스템의 충돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계	7,200	9,600	9,600			26,400
	교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공/Yard Test를 통한 지지성능 검증			14,400	48,000	18,000	80,400
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시(설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)				42,000	60,000	102,000
	합계		149,000	282,000	288,000	254,000	177,000

(2) 연구장비·재료비

(단위: 천원)

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
2 세 부	기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발	71,300	529,200	537,500	3,000	3,000	1,144,000
	급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	15,700	5,400				21,100
	일탈방호시스템 충돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시	30,000	75,000				105,000
	일탈방호시스템 충돌부 해석 및 설계, 시제품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발	17,800	400,800	114,000			532,600
	일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토	7,800	8,000	3,500	3,000	3,000	25,300
	일탈방호시스템 충돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증			360,000			360,000
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시		40,000	60,000			100,000
	<b>일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발</b>	28,700	270,800	377,500	560,000	510,000	1,747,000
	신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	3,900	5,400	10,500			19,800
	차륜 낙하/충돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내실험			80,000	80,000		160,000
	일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증				190,000	190,000	380,000
	일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술				90,000	90,000	180,000
	교대 접속부 일탈방호시스템의 충돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계	24,800	5,400	7,000			37,200
	교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공/Yard Test를 통한 지지성능 검증		260,000	280,000	150,000	150,000	840,000
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시(설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)				50,000	80,000	130,000
	<b>합계</b>	<b>100,000</b>	<b>800,000</b>	<b>915,000</b>	<b>563,000</b>	<b>513,000</b>	<b>2,891,000</b>

(3) 총괄

(단위: 천원)

구분	주요 기술개발 내용	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합계
2 세 부	기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발	271,900	961,900	934,700	51,100	43,600	2,263,200
	급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	91,900	64,500				156,400
	일탈방호시스템 총돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시	94,200	164,200				258,400
	일탈방호시스템 총돌부 해석 및 설계, 시제품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발	55,800	501,900	226,900			784,600
	일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토	30,000	55,100	50,200	51,100	43,600	230,000
	일탈방호시스템 총돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증		71,100	484,700			555,800
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시		105,100	172,900			278,000
	<b>일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발</b>	74,100	382,100	594,300	982,900	819,400	2,852,800
	신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출	26,000	48,900	72,200			147,100
	차륜 낙하/총돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내실험			129,700	134,300		264,000
	일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증				322,300	278,600	600,900
	일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술				164,100	163,600	327,700
	교대 접속부 일탈방호시스템의 총돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계	48,100	44,100	57,300			149,500
	교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공/Yard Test를 통한 지지성능 검증		289,100	335,100	234,100	202,600	1,060,900
	시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시(설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)				128,100	174,600	302,700
	<b>합계</b>	<b>346,000</b>	<b>1,344,000</b>	<b>1,529,000</b>	<b>1,034,000</b>	<b>863,000</b>	<b>5,116,000</b>

## 제5장 과제공모 방안

### 1절 과제제안 요구서(RFP)

연구개발과제명	열차 일탈방호시설물의 성능 기준/평가 기술 및 시스템 개발
1. 연구개발 목표	<p>○ 열차의 탈선 후 거동과 시설물과의 충돌하중을 예측/평가하여 일탈방호시설물에 대한 성능 기준과 성능 평가 기술을 개발하고, 교량상 콘크리트 궤도에 대한 일탈방호시스템을 개발함.</p> <p>*일탈: 정해진 영역에서 벗어나는 것(Deviation)을 의미하는 것으로 차륜이 주행 레일에서 이탈된 후 선로(궤도) 영역 외로 과도하게 이탈되는 시점.</p>
2. 연구개발의 필요성 및 동향	<p>□ 연구개발 필요성</p> <p>○ 2014년 제16차 국가과학기술자문회의에서 청와대는 “재난안전 분야의 연구·개발을 확대하고 연구성과를 재난대응에 적극 활용하는 등 과학기술에 기반을 둔 재난안전을 구체화해 나가야 한다”는 정책기조를 발표함.</p> <p>○ “제52차 중앙안전관리위원회”(‘14.10)에서 안전과 관련된 쉐 영역을 조사하는 안전대진단을 시행기로 확정함에 따라 국토교통 안전진단 추진단이 결성되고 2015년 4월 30일까지 철도 시설 국가안전대진단이 실행되었음. 국토교통부에서는 안전진단결과를 토대로 안전투자를 확대하고 법·제도 선진화 과제를 발굴하여 안전산업 발전 인프라 구축을 추진할 계획임.</p> <p>○ 최근 국내외적으로 열차 탈선/충돌에 의한 큰 사고가 종종 발생하였음. 인명피해로 이어지는 열차사고는 대부분 탈선 또는 충돌에 의한 사고이며, 이러한 사고는 발생빈도는 낮으나 발생되면 그 피해정도가 상당히 크므로 이에 대한 피해를 최소화하기 위한 대비책이 필요함.</p> <p>○ 탈선열차를 효과적으로 방호하여 자연재해(지진, 강풍, 태풍 등)에 의한 탈선 그리고 인적·사회적 재난(교통수송 기반시설 파괴에 의한 차량탈선 등)에 의한 피해를 최소화를 도모하는 것이 중요함.</p>

- 열차의 탈선/충돌과 같은 큰 재난에 의한 피해를 최소화하기 위한 기술을 확보하기 위해서는 합리적이고 효율적인 탈선방호시설물의 설계 및 개발이 필요하며, 개발된 탈선방호시설물의 성능을 검증·평가할 수 있는 기준 및 평가 방법·체계가 필요함. 국내 도로분야에서는 ‘도로 안전시설 설치 및 관리 지침’을 마련하고 차량방호 안전시설(방호울타리, 충격흡수시설 등)에 대해 국가인증 성능시험기관에 의해 성능평가시험(실물 충돌시험)을 수행하거나, 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 성능이 검증이 되도록 체계화 되어있음. 그러나 철도분야에서 방호 관련 안전시설에 대한 성능등급 규격화 및 기준/평가 기술·체계 등은 전무한 실정임.
- 탈선장소·원인·유형 등 사고 위험도에 따른 탈선방호시스템의 등급화를 통해 시설물의 적용 범위, 규모 등이 설정되며, 설치 구간 인근의 도로 및 교통조건, 지형조건 및 기술 수준 등을 종합적으로 고려하여 설계 조건을 정하고 이에 부합한 방호시스템이 되도록 적용해야함. 현재 국내 기준에는 일반철도 급곡선부 또는 위험개소에 적용하고 있는 가드레일과 고속철도 교량상에 적용하고 있는 탈선방호벽이 있으나, 탈선방호벽에 대한 설계하중 및 설치위치, 규격에 대한 기준 근거가 없이 미흡함.

□ 기술동향 [국내동향]

- 국내 탈선방호와 관련된 기준은 가장 상위에 철도안전법이 있음. 철도안전법에 따르면, ‘탈선방지시설’로서 급곡선부와 위험개소에 가드레일을 설치하도록 하고 있으며, ‘선로안전시설’로서 차축온도검지장치, 지장물검지장치 등을 운행속도 180 km/h 이상에 설치하도록 하고 있음. 또한, ‘교량의 안전시설’로서 18 m 이상의 교량에 한하여 탈선열차에 대한 피해 최소화 대책으로 가드레일 또는 방호벽을 설치하도록 하고 있음.
- 실질적으로 일반철도의 18 m 이상 교량에서는 모두 가드레일을 설치하고 있으며, 고속철도 교량에서는 모두 방호벽을 설치하고 있음. 국내 철도설계지침 및 편람의 본선부대 및 안전시설에 의하면 교량 상판에 부설해야 하는 시설물로 ‘탈선방

호벽'을 설치하도록 하고 있으며, 이는 '탈선방호시설'로서 150 kN으로 설계하도록 되어있으나 위치(이격거리) 및 높이에 대한 규정은 없음.

- 탈선방호벽의 제원과 시공위치 그리고 설계하중에 대한 산정 근거 및 탈선된 열차의 거동 특성에 대한 공학적 분석 등 실효성과 공학적 타당성에 대한 객관적인 자료 확보 필요.
- 국내에서는 열차 탈선 사고원인 및 시나리오와 관련한 연구 또는 충돌에 의한 열차 차체에 미치는 영향에 초점이 맞추어진 시뮬레이션 및 실험이 주로 이루어졌으며, 탈선원인을 규명하기 위해 탈선이 발생하는 시점에서의 거동현상과 유형에 대한 시뮬레이션 연구가 수행되었음.
  - 국내 철도분야에서는 탈선사고 또는 탈선 메커니즘 연구 외에 탈선방호에 대한 연구가 진행된 바 없음.
  - 도로분야에서는 차량 주행속도 상승과 다양한 현장여건을 고려하기 위하여 고속도로 안전시설 설치 및 관리 등에 대한 연구가 국가 R&D 사업으로 진행되고 있음.

[국외동향]

- 유럽의 UIC, RSSB, ERA 등, 미국의 FRA와 CHSRA, 그리고 호주 Queensland Rail 등에서는 탈선열차의 충돌/침범에 대한 열차 차체방호(Protection Barrier) 또는 탈선된 열차를 의도된 구역(선로영역) 내로 제어하는 일탈방호 (Derailment Containment Provision, DCP)에 대한 연구와 대책의 수립이 진행된 바 있으나 다음과 같은 한계가 존재함.
  - 탈선열차의 방호에 대한 단일 규정 및 적용되는 표준은 없음.
  - 일반선/혼용선 및 고속선에서 탈선열차의 방호 효과를 객관적으로 입증하고 분석할 수 있는 실험적/해석적 기법의 부재.
- 국내를 포함한 이외의 국가들은 열차의 탈선 후 충돌/침범 등에 대한 연구를 수행한 경험이 없거나 관련기준이 없는 경우가 대부분이며, 일반적 사례·관행 등에 의하여 대비책을 마련하고 있음.
- 일탈방지시설 관련 특허기술로는 대부분 일본에서 보유하고 있으며, 자갈궤도 침목 중앙 또는 외측에 구조적 장치를 설치하여 탈선 후 열차의 차륜 이탈을 제어하는 기술로써 본 연구

에서 개발하고자하는 일탈방호시설물과 차이가 있으나 탈선열차의 일탈 방지/방호 측면에서 관련성이 있음.

### 3. 연구개발내용

#### □ 연구개발 [1세부] 열차 일탈방호시설물의 성능 기준 및 평가 기술 개발 내용

- 일탈방호시설물에 대한 성능 기준 개발
  - 실험형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 기준 연구
  - 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 기준 연구
  - 실험형 실험과 시뮬레이션 결과와의 검증을 통한 신뢰성 확보
  - 탈선장소·원인·유형 등의 등급화를 통한 방호시설물의 적용/효과 범위 설정(자갈궤도 및 접속부/분기부/급곡선부 등 위험개소 포함)
  - 일탈방호시설물의 성능등급화
- 일탈방호시설물에 대한 성능 평가 기술 개발
  - 실험형 탈선/충돌 실험을 통한 방호 성능 평가 기법 연구
  - 수치 시뮬레이션을 통한 방호 성능 평가 기법 연구
  - 일탈방호시설물의 성능평가 지침 제안
- 일탈방호시설물 성능 검증/평가
  - 기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가
  - 개발된 기존 교량상 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가
  - 개발된 신형식 일탈방호시스템의 성능 검증 및 평가
- 개발기술의 제도개선 및 실용화
  - 일탈방호시스템에 대한 실용화 관련 제도 개선(철도설계지침 및 편람)
  - 개발된 일탈방호시스템의 경제성/시공성 평가(기존 및 신형식)
  - 국내외 철도건설사업 계획을 고려한 단계적 적용/수출 방안 수립

#### [2세부] 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발

- 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능 개선 및 설계/시공/유지보수 기술 개발
  - 급속시공형 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출
  - 일탈방호시스템 충돌부 구조 재료 시험 및 상세사양서 제시
  - 일탈방호시스템 충돌부 해석 및 설계, 시제품 제작 및 실내시험, 제작 기술 개발
  - 일탈방호시스템과 궤도, 교량, 전기, 신호와의 인터페이스 검토
  - 일탈방호시스템 충돌부 현장시공 및 Yard Test를 통한 성능 검증
  - 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시

- 일탈방호 성능을 겸하는 신형식 콘크리트 궤도의 설계/시공/유지보수 기술 개발
  - 신형식 일탈방호시스템의 요구성능 및 기술사양 도출
  - 차륜 낙하/충돌부 구조 재료, 유지보수 재료 연구 및 동적 거동 예측 및 실내실험
  - 일탈방호시스템 현장시공 및 Yard Test/모니터링을 통한 구조 성능/방호 성능 검증
  - 일탈방호시스템 상태평가 및 급속유지보수 기술
  - 교대 접속부 일탈방호시스템의 충돌하중에 대한 지지구조-노반 해석 및 설계
  - 교대 접속부 일탈방호시스템의 실내시험 및 현장시공/Yard Test를 통한 지지성능 검증
  - 시공성을 고려한 상세설계 및 설계도서 제시(설계, 시공법, 시공절차서, 도면, 구조계산서)

#### 4. 연구개발 추진방법

- 추진방법
- 해당 분야의 미래 기술수요 및 실용화를 고려하여 향후 확장성 등을 반영한 미래지향적 설계 수행
  - 열차사고에 대한 잠재적 위험도(Risk)를 고려한 기술개발 목표 설정 및 추진방향 정립
  - 기존 시험장비 및 철도종합시험선로와의 연계, 공동 활용 및 운영관리 효율성 등을 고려하여 설계에 반영
  - 최종 개발품에 대한 ‘철도시설성능검증’에 따른 인증시험 및 각종 성능검증 절차 마련을 위한 관련 유관기관 협의체 구축
  - 개발기술의 실용화를 위한 제도개선·지적재산권 확보 등의 연구는 사업 초기부터 연구단 또는 주관기관에서 중점관리

- 추진체계
- 연구 핵심목표와 성과의 성공적 달성을 위하여 연구주제와 직접적으로 관련된 철도건설유관기관, 철도전문연구기관, 학계, 차량충돌실험관련 전문기관 등으로 구성하여 추진
  - 철도관련 시설물 및 실내·현장실험관련 설계, 구축, 운영, 관리 등 관련분야 경험이 풍부한 전문가로 참여연구진 구성
    - 철도 궤도구조 및 구조물 설계에 대한 구조해석 분야 전문가

- 구조물의 설계, 검증, 시공, 개발 등에 대한 기술력을 보유하고 철도건설 및 궤도용품 등의 개발에 대한 경험이 풍부한 전문가
- 궤도 및 노반/지반 분야, 콘크리트 재료 분야, 차량충돌 분야 전문가
- 필요에 따라 과제 제안 시 기업이 참여될 수 있음
- 관련 분야의 폭넓은 전문가 의견수렴
  - 현장 시공성, 시험시설 등을 위한 각계의 다양한 전문가 의견수렴

## 5. 최종성과물

- 성과물
- 일탈방호시설물에 대한 성능 기준 및 평가 기술
  - 일탈방호 성능을 갖는 기존 및 신형식 콘크리트 궤도 기술에 대한 성능평가서, 시공성평가서, 설계도서
  - 관련 특허, 학술논문, 시제품 및 현장적용
  - 개발품 실용화를 위한 제도 개선(철도설계지침 및 편람 개정, 일탈방호시설물 성능평가 지침 제정)
  - 실용화사업을 위한 수요예측 및 시장타당성 조사·분석 보고서

## 6. 활용방안 및 기대효과

- 활용방안
- 일탈방호시설물에 대한 실험형 성능 평가는 전 세계적으로 수행된 바 없으므로 자체적 철도시스템 안전방재 기술 확보 및 국제 경쟁력 확보에 기여할 수 있으며, 또한 신형식 궤도 기술 개발에 따른 설계/검증/시공 기술 확보를 위해 도출되는 탈선열차의 방호 메커니즘 및 탈선-충돌 거동 규명은 철도기준의 선진화 모범 사례로 적극 활용될 수 있음.
  - 탈선열차와 시설물과의 충돌 시뮬레이션 기법 및 검증 기술은 다양한 시설조건(교량, 토공, 인접교통 등)에 대한 탈선 안전성 평가에 활용될 수 있음.
- 기대효과
- 녹색교통인 열차의 안전성을 향상시켜 편안하고 안전한 교통시스템을 제공할 수 있으며, 안전성 및 경제성을 확보함과 동시에 신형식 궤도 기술 개발 및 실용화를 통한 철도교통시스템의 국제 경쟁력 확보에 기여할 수 있음.
  - 탈선 후 열차의 거동을 예측하고 시설물과의 충돌거동/하중을 평가할 수 있는 해석적 및 실험적 연구를 수행하여 그 결과물

을 근거로 탈선 방호 성능에 관한 기준을 제정하는 것은 설계 기준 선진화에 크게 기여할 것임.

- 연구 성과로 도출될 것으로 예상되는 열차의 탈선-충돌 시뮬레이션을 통한 성능평가/검증, 대차 실대형 탈선 및 충돌실험을 통한 성능평가/검증, 탈선방호를 겸하는 신형식 콘크리트 궤도 기술은 전 세계적으로 증가 추세인 고속철도 인프라 개발에 따른 2015년 약 63.6조원, 2016년 약 66.1조원의 세계 궤도시장에서 경쟁력을 발휘할 수 있을 것으로 판단됨.

## 7. 연구개발기간 및 소요예산

- 총 연구개발기간 : '16.09월 ~ '21.08월(60개월)
  - 1차년도 연구개발기간 : '16.09월 ~ '17.8월(12개월)
- 총 정부출연금 : 11,000백만원 이내
  - 1차년도 정부출연금 : 1,100백만원 이내
  - ※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음
  - ※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토교통부소관 연구개발사업 운영 규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
  - ※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소 조정 가능

## 8. 기 타

- 본 과제의 보안등급은 “일반과제”임
- 연구개발계획서는 과제제안요구서(RFP)에 제시된 연구내용을 참고하여 작성하되, 과제 목적 달성을 위해 반드시 필요하다고 판단되는 경우에는 일부 세부내용을 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시하여야 함
- 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
  - ※ [www.kaia.re.kr](http://www.kaia.re.kr) 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
  - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행중인 과제의 연구개발결과물과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함
- ※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음
- 필요시 공모된 연구과제명 외에 연구목표·내용에 대한 대표성을 가지고 타 연구과제와 차별화되면서 알기 쉬운 연구과제명으로 수정하여 제안할 수 있음
- 비전, 미션, 연구목표 및 전략체계 제시
  - 핵심성과물 및 성과유형 제시
  - 연구착수시점과 종료시점에 대하여 기술수준, 국산화율 등에 대한 대비가 가능하도록 “As-is”와 “To-be”를 구체화·가시화하여 제시
  - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시
- 연구신청자는 연구개발 성과목표(성과지표/달성목표치/가중치) 및 사업수행(일정)계획과 이에 대한 관리계획 등을 연구개발 계획서에 제시
  - 개발된 기술 및 성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적인 방안을 제시해야 함
  - ※ 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용
  - 제시한 성과지표는 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
  - 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
  - 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
  - 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음
- 연구수행기관 선정 이후 연구내용의 세부적인 사항을 정하여 협약을 체결하며 연구내용 등이 조정될 수 있음
  - 연구내용 등의 조정시 지원되는 정부출연금이 조정될 수 있음

## 2절 평가방법 및 기준

### 1. 질적성과에 대한 성과점검기준표

가. 총괄 성과목표 및 성과지표

핵심성과	단위성과	최종 성과점검기준					달성평점 (1~5)	
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치		
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	실대형 탈선/충돌 실험 기법 적정성	100%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	1.5	
		②	시뮬레이션 기법 적정성	100%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	1.5	
	A-2 일탈방호시설 물의 성능등급화 및 성능평가 지침 제안	①	방호성능등급 및 성능평가 지침	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가 지침	2	
	A-3 일탈방호시설 성능 검증/평가	①	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	1	
		②	개발된 기존 교량상 일탈방호시스템 의 성능 검증 및 평가	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	1.5	
		③	개발된 신형식 일탈방호시스템 의 성능 검증 및 평가	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	1.5	
	A-4 실용화 관련 제도개선	①	개발 기술의 실용화 추진을 위한 철도설계지침 및 편람 개정	100%	전문가 자문을 통한 적절성 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	1.5	
	A-5 수요예측 및 시장 타당성 분석	①	개발 기술의 국내외 시장 수요예측 및 시장 타당성 분석	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서	0.5	
	B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	기존 인터페이스를 고려한 방호 성능	100%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	2
			②	시제품 현장시공을 통한 검증	100%	Yard Test 결과에 따른 신뢰성 및 시공성 확인	시공성 평가서	2
B-2 신형식 콘크리트 케도의 케도구조 및 일탈방호 성능		①	콘크리트 케도의 기본적 요구성능이 확보된 방호 성능	100%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	2	
		②	시제품 현장시공을 통한 검증	100%	Yard Test 결과에 따른 신뢰성 및 시공성 확인	시공성 평가서	2	
B-3 방호시설물의 고대 접속부 지지구조 설계법		①	지지구조 설계법	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서	1	
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)						20		

나. 연차별 성과목표 및 성과지표

핵심성과	단위성과	1차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	실대형 탈선/충돌 실험 기법 적정성	20%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	5
		②	시뮬레이션 기법 적정성	20%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	5
	A-2 일탈방호시설 성능 검증/평가	①	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	50%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	3
		①	개발 기술의 실용화 추진을 위한 철도설계지침 및 편람 개정	20%	전문가 자문을 통한 적절성 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	2
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	기존 인터페이스를 고려한 방호 성능	31%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	5
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)						20	

핵심성과	단위성과	2차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	실대형 탈선/충돌 실험 기법 적정성	40%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	4
		②	시뮬레이션 기법 적정성	40%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	4
	A-2 일탈방호시설 성능 검증/평가	①	기존 방호시설물의 성능 검증 및 평가	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	2
		②	개발된 기존 교량상 일탈방호시스템 의 성능 검증 및 평가	33%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	2
	A-3 실용화 관련 제도개선	①	개발 기술의 실용화 추진을 위한 철도설계지침 및 편람 개정	40%	전문가 자문을 통한 적절성 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	2
	A-4 수요예측 및 시장 타당성 분석	①	개발 기술의 국내외 시장 수요예측 및 시장 타당성 분석	8%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서	1
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	기존 인터페이스를 고려한 방호 성능	69%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	5
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)						20	

핵심성과	단위성과	3차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)	
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치		
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	실대형 탈선/충돌 실험 기법 적정성	60%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	3	
		②	시뮬레이션 기법 적정성	60%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	3	
	A-2 일탈방호시설 성능 검증/평가	①	개발된 기존 교량상 일탈방호시스템 의 성능 검증 및 평가	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	2	
	A-3 실용화 관련 제도개선	①	개발 기술의 실용화 추진을 위한 철도설계지침 및 편람 개정	60%	전문가 자문을 통한 적절성 확인	철도설계지 침 및 편람 개정안	1.5	
A-4 수요예측 및 시장 타당성 분석	①	개발 기술의 국내외 시장 수요예측 및 시장 타당성 분석	38%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서	1.5		
B 교량상 콘크리트 궤도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 궤도의 일탈방호 성능	①	기존 인터페이스를 고려한 방호 성능	100%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	3	
		②	시제품 현장시공을 통한 검증	100%	Yard Test 결과에 따른 신뢰성 및 시공성 확인	시공성 평가서	3	
	B-2 신형식 콘크리트 궤도의 궤도구조 및 일탈방호 성능	①	콘크리트 궤도의 기본적 요구성능이 확보된 방호 성능	47%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	1.5	
	B-3 방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계법	①	지지구조 설계법	15%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서	1.5	
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)							20	

핵심성과	단위성과	4차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	실대형 탈선/충돌 실험 기법 적정성	80%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	3.5
		②	시뮬레이션 기법 적정성	80%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	3.5
	A-2 일탈방호시설 성능 검증/평가	①	개발된 신형식 일탈방호시스템 의 성능 검증 및 평가	57%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	2.5
	A-3 실용화 관련 제도개선	①	개발 기술의 실용화 추진을 위한 철도설계지침 및 편람 개정	80%	전문가 자문을 통한 적절성 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	2
	A-4 수요예측 및 시장 타당성 분석	①	개발 기술의 국내외 시장 수요예측 및 시장 타당성 분석	69%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서	1
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-2 신형식 콘크리트 케도의 구조 및 일탈방호 성능	①	콘크리트 케도의 기본적 요구성능이 확보된 방호 성능	88%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	3.5
		②	시제품 현장시공을 통한 검증	80%	Yard Test 결과에 따른 신뢰성 및 시공성 확인	시공성 평가서	2.5
	B-3 방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계법	①	지지구조 설계법	69%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서	1.5
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)						20	

핵심성과	단위성과	5차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)	
		질적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치		
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	실대형 탈선/충돌 실험 기법 적정성	100%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	3	
		②	시뮬레이션 기법 적정성	100%	전문가 자문을 통한 적정성 확인	보고서, 학술논문	3	
	A-2 일탈방호시설 물의 성능등급화 및 성능평가 지침 제안	①	방호성능등급 및 성능평가 지침	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가 지침	4	
	A-3 일탈방호시설 성능 검증/평가	①	개발된 신형식 일탈방호시스템 의 성능 검증 및 평가	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 성능평가서	2	
	A-4 실용화 관련 제도개선	①	개발 기술의 실용화 추진을 위한 철도설계지침 및 편람 개정	100%	전문가 자문을 통한 적절성 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	1.5	
	A-5 수요예측 및 시장 타당성 분석	①	개발 기술의 국내외 시장 수요예측 및 시장 타당성 분석	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서	0.5	
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-2 신형식 콘크리트 케도의 케도구조 및 일탈방호 성능	①	콘크리트 케도의 기본적 요구성능이 확보된 방호 성능	100%	Mock-Up Test 결과에 대한 적합성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서, 특허	3	
		②	시제품 현장시공을 통한 검증	100%	Yard Test 결과에 따른 신뢰성 및 시공성 확인	시공성 평가서	2	
	B-3 방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계법	①	지지구조 설계법	100%	전문가 자문을 통한 타당성 확인	보고서, 학술논문, 설계도서	1	
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)						20		

## 2. 양적 성과에 대한 성과점검기준표

가. 총괄 성과목표 및 성과지표

핵심성과	단위성과	최종 성과점검기준					달성평점 (1~5)		
		양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치			
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	국내 학술지 게재 논문	2건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	0.8		
		②	국외 학술지 게재 논문	6건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	6		
		③	인력배출	2명	인력배출 증명 확인	인력배출	0.2		
	A-2 일탈방호시설 물의 성능등급화 및 성능평가 지침 제안	①	성능평가 지침	1식	성능평가 지침 제출 확인	성능평가 지침	0.5		
	A-3 개발된 기존 교량상 일탈방호시스 템의 성능 검증 및 평가	①	국외 학술지 게재 논문	1건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	1		
		②	성능평가서	1식	성능평가서 제출 확인	성능평가서	0.3		
	A-4 개발된 신형식 일탈방호시스 템의 성능 검증 및 평가	①	국외 학술지 게재 논문	1건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	1		
		②	국외 특허출원	1건	국외 특허 출원 확인	특허출원	0.5		
		③	성능평가서	1식	성능평가서 제출 확인	성능평가서	0.3		
		④	홍보 (세미나개최)	1건	공식 세미나 개최 확인	세미나개최	0.2		
	A-5 실용화 관련 제도개선	①	제도개선	1식	철도설계지침 및 편람 개정(안) 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	0.5		
	B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	국내 학술지 게재 논문	3건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	1.2	
			②	특허출원	2건	특허 출원 확인	특허출원	0.4	
			③	특허등록	2건	특허 등록 확인	특허등록	1.6	
			④	설계도서	1식	설계도서 제출 확인	설계도서	0.5	
⑤			시공성평가서	1식	시공성평가서 제출 확인	시공성 평가서	0.2		

핵심성과	단위성과	최종 성과점검기준					달성평점 (1~5)	
		양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치		
		⑥	현장시공	1식	현장시공 확인	현장시공	0.2	
	B-2 신형식 콘크리트 케도의 구조 및 일탈방호 성능	①	국내 학술지 게재 논문	3건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	1.2	
		②	특허출원	1건	특허 출원 확인	특허출원	0.2	
		③	특허등록	1건	특허 등록 확인	특허등록	0.8	
		④	설계도서	1식	설계도서 제출 확인	설계도서	0.5	
		⑤	시공성평가서	1식	시공성평가서 제출 확인	시공성 평가서	0.2	
		⑥	현장시공	1식	현장시공 확인	현장시공	0.2	
		⑦	홍보 (세미나개최)	1건	공식 세미나 개최 확인	세미나개최	0.1	
	B-3 방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계법	①	국내 학술지 게재 논문	2건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	0.8	
		②	설계도서	1식	설계도서 제출 확인	설계도서	0.5	
		③	인력배출	1명	인력배출 증명 확인	인력배출	0.1	
<b>종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)</b>							<b>20</b>	

나. 연차별 성과목표 및 성과지표

핵심성과	단위성과	1차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)
		양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	국내 학술지 게재 논문	1건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	14
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	특허출원	1건	특허 출원 확인	특허출원	6
종합점수(100점) = $\sum(\text{성과목표별 달성평점} \times \text{가중치})$							20

핵심성과	단위성과	2차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)
		양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치	
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	국내 학술지 게재 논문	1건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	4.5
		②	국외 학술지 게재 논문	1건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	10
		③	인력배출	1명	인력배출 증명 확인	인력배출	1
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	국내 학술지 게재 논문	1건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	4.5
종합점수(100점) = $\sum(\text{성과목표별 달성평점} \times \text{가중치})$							20

핵심성과	단위성과	3차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)		
		양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치			
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1	일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	국외 학술지 게재 논문	2건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	6.3	
	A-2	개발된 기존 교량상 일탈방호시스 템의 성능 검증 및 평가	①	국외 학술지 게재 논문	1건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	3.1	
			②	성능평가서	1식	성능평가서 제출 확인	성능평가서	1.6	
			③	시공성평가서	1식	시공성평가서 제출 확인	시공성 평가서	0.9	
			④	홍보 (세미나개최)	1건	공식 세미나 개최 확인	세미나개최	0.3	
B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1	기존 교량상 콘크리트 케도의 일탈방호 성능	①	국내 학술지 게재 논문	2건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	2.5	
			②	특허등록	1건	특허 등록 확인	특허등록	2.5	
			③	설계도서	1식	설계도서 제출 확인	설계도서	1.6	
			④	현장시공	1식	현장시공 확인	현장시공	0.6	
	B-2	신형식 콘크리트 케도의 케도구조 및 일탈방호 성능	①	특허출원	1건	특허 출원 확인	특허출원	0.6	
종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)							20		

핵심성과		단위성과		4차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)	
				양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치		
A	열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1	일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	국외 학술지 게재 논문	2건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	13	
B	교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1	개발된 신형식 일탈방호시스 템의 성능 검증 및 평가	①	국내 학술지 게재 논문	1건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	2.5	
				②	현장시공	1식	현장시공 확인	현장시공	1.4	
		B-2	방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계법	①	국내 학술지 게재 논문	1건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	2.5	
				②	인력배출	1명	인력배출 증명 확인	인력배출	0.6	
<b>종합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)</b>									20	

핵심성과	단위성과	5차년도 성과점검기준					달성평점 (1~5)		
		양적 성과지표	목표치	측정방법	검증 방법	가중치			
A 열차 일탈방호시설물 의 성능 기준 및 평가 기술 개발	A-1 일탈방호시설 성능 기준 및 평가 기술	①	국외 학술지 게재 논문	1건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	2.5		
		②	인력배출	1명	인력배출 증명 확인	인력배출	0.3		
	A-2 일탈방호시설 물의 성능등급화 및 성능평가 지침 제안	①	성능평가 지침	1식	성능평가 지침 제출 확인	성능평가 지침	1.4		
	A-3 개발된 신형식 일탈방호시스 템의 성능 검증 및 평가	①	국외 학술지 게재 논문	1건	국외 학술지 게재 확인	학술논문	2.5		
		②	국외 특허출원	1건	국외 특허 출원 확인	특허출원	1.4		
		③	성능평가서	1식	성능평가서 제출 확인	성능평가서	1.4		
		④	시공성평가서	1식	시공성평가서 제출 확인	시공성 평가서	0.8		
		⑤	홍보 (세미나개최)	1건	공식 세미나 개최 확인	세미나개최	0.2		
	B 교량상 콘크리트 케도에 대한 열차 일탈방호시스템 개발	B-1 신형식 콘크리트 케도의 케도구조 및 일탈방호 성능	①	국내 학술지 게재 논문	2건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	2	
			②	특허등록	1건	특허 등록 확인	특허등록	2.3	
③			설계도서	1식	설계도서 제출 확인	설계도서	1.4		
B-2 방호시설물의 교대 접속부 지지구조 설계법		①	국내 학술지 게재 논문	1건	국내 등재지 게재 확인	학술논문	1		
		②	설계도서	1식	설계도서 제출 확인	설계도서	1.4		
C 개발 기술에 대한 실용화		C-1 실용화 관련 제도개선	①	제도개선	1식	철도설계지침 및 편람 개정(안) 확인	철도설계지 침 및 편람 개정(안)	1.4	
총합점수(100점) = ∑(성과목표별 달성평점 × 가중치)							20		



## 부록. 사전타당성 검토

- 앞서 수행한 연구개발 동향 분석결과에 따라 본 연구기술은 공백기술로서 경쟁력 및 사업화 가능성 충분하다고 판단되어졌음.
- 본 사업 타당성 분석은 ‘일탈방호 성능을 갖는 콘크리트 궤도 기술 개발’의 연구개발과제 수행을 위한 제반 연구개발과제의 필요성을 경제적 측면에서 검토하여 연구개발과제의 진행을 위한 투자 의사 및 방법을 결정하는데 기초자료를 제시하고자 함. 아래 그림은 사업 타당성 분석의 일반적인 진행 프로세스로 본 사업 타당성 분석의 범위와 대상을 표시하였음.



< 사업 타당성 분석의 일반적인 프로세스 >

- 위 그림에서 알 수 있듯이 사업타당성분석을 수행하기 위해서는 기본적으로 사업자의 수행능력부터 시장성, 기술성, 수익성 및 경제성과 자금수지 및 성장성 분석 등이 이루어져야 함. 물론 아이템이나 기술의 종류에 따라 더욱 다양한 분석이 실행될 수 있음.
- 여기에서는 기본적으로 지금 전 세계적으로 사용되어지고 있는 철로의 건설 차량의 일탈방호관련 철로 건설관련 기술로써 이미 사업자의 수행능력이나 자금수지 등은 사업자의 능력이 크기 때문에 고려의 대상이 아님. 따라서 본 연구에서는 시장성관련 시장동향과 제품의 경쟁력 그리고 수익성 및 경제성 분석에서 수익전망과 연구개발성공에 따른 투자 수익을 통해 본 연구개발과제 수행의 타당성을 검증하고자 함.

## 1. 철도시장 동향

- 국내의 경우 경부고속철도 및 호남고속철도를 제외한 현재 계획 중 또는 시공 중인 고속철도(200 km/h 이상)의 건설 후 총 연장은 761.9 km로 향후 일탈방호 시설물의 확충(고성토 구간, 접속부 등) 시 국내 수요가 상당할 것으로 예상됨.

< 국내 고속철도 건설 후 연장(설계속도 200 km/h 초과, 2014.07 기준) >

연번	사업명	설계속도	설치현황	비고
1	보성~임성리 철도건설	200 km/h	79.500 km	보완설시설계(일부구간 시공 일시중지중)
2	부전~마산 복선전철	"	32.700 km	시공중('19년 개통예정)
3	대구선 복선전철	"	27.700 km	시공중('17년 개통예정)
4	이천~문경 철도건설	"	94.800 km	설계
	- 이천~충주	"	53.900 km	실시설계('16년개통예정)
	- 충주~문경	"	40.900 km	기본설계('21년개통예정)
5	동두천~연천 복선전철	"	20.800 km	실시설계 준공(공사발주 예정, '16년 개통예정)
6	익산~대야 복선전철	230 km/h	14.300 km	시공중('17년 12월개통예정)
7	포승~평택 철도건설	"	30.300 km	일부구간 시공중
	- 포승~숙성	"	13.700 km	설계중지
	- 숙성~평택	"	16.600 km	시공중
8	공항철도연계시설확충	"	2.200 km	시공완료('14년6월 개통)
9	원주~제천 복선전철화	250 km/h	44.100 km	시공중('18년 개통예정)
10	원주~강릉 철도건설	"	120.300 km	시공중('18년 개통예정)
11	서해선 복선전철	"	89.200 km	실시설계 준공(T/K구간 4, 5공구는 시공중)
12	영천~신경주 복선전철화	"	25.500 km	실시설계
13	장항선 개량 2단계	"	32.400 km	실시설계
14	도담~영천 복선전철	"	148.100 km	실시설계('18년개통예정)
<b>총계(현재 계획 및 시공 중)</b>			<b>761.900 km</b>	

- 세계 철도시장은 각 국가별로 철도가 안전성의 큰 장점을 가지고 있기 때문에 지속적인 투자를 통해 급성장하고 있는 시장으로 분석됨. 또한 추가적으로 선진철도국 외 개발기술의 적용이 가능할 수 있는 시장을 검토하기 위하여 다음 표와 같이 조사되었음.

< 해외 철도건설 계획 현황 (2015.12 기준) >

연번	국가	사업명	연장	설계 또는 운행속도	사업년도	비고
1	알제리	지하철 1호선 엘하라시-공항 확장공사	9.1 km	80 km/h	'15~'20	
2		지하철 1호선 아이엘바르드-아인나자 구간 확장공사	3.61 km	80 km/h	'13~'16	
3	리비아	서트-트리폴리 노선	250 km		'10~	
4		트리폴리-라스 에지데르	170 km		'10~	
5	인도	Viaduct and Stations in Section R6 ELEVATED (방갈로 메트로)	7.4 km	80 km/h	설계중	
6		델리-뭘바이 기존선 고속화 타당성조사	1,400 km			
7	탄자니아	MTWARA-SONGEA-M BAMBABAY 기본설계	1,000 km	여객: 120 km/h 화물: 80 km/h	설계중	자갈도상
8	방글라데시	카르나폴리 철도/도로 교량 건설 타당성조사	2.78 km	120 km/h	수행중	자갈도상
9	인도네시아	자카르타 MRT 프로젝트 설계 (CP 102)	4.7 km	80 km/h	'13~'20	1067협계
10		자카르타 MRT 프로젝트 설계 (CP 103)	3.8 km	80 km/h	'13~'20	1067협계
11	중국	신설철도 경심여객전용선 요녕3공구	78 km	350 km/h	'14~'17	
12		신설철도 정서여객전용선 1공구	43.81 km	250 km/h	'13~'17	
13		신설철도 장곤여객전용선 운남(雲南) 제2구간	97.4 km	250 km/h	'10~'16	
14	말레이시아	말레이시아-싱가폴 고속연결 타당성조사	330 km			
15	케냐	Mombasa - Nairobi	609 km	여객: 120 km/h 화물: 80 km/h		
16	파라과이	아순시온~으빠까라이간 경전철건설	44 km			
17	바레인	GCC 철도건설 (사우디-바레인)	90 km			
18		공공교통망 건설 프로젝트	184.2 km			
19	베트남	호치민 도시철도 5호선 2구간 건설사업	14.5 km	90 km/h	'16~'20	콘도상

- 철도시장은 현재까지 존재하는 어떠한 교통수단과 비교를 해도 최고의 안전성을 가지고 있기 때문에 국내를 포함해 많은 국가들이 지속적인 투자를 진행 중에 있고, 이 때문에 세계적으로 철도시장은 당분간 큰 시장을 가지고 성장할 것으로 보임.

## 2. 사업성

- 본 연구개발과제의 사업성은 단순히 철도건설 원가의 감소를 통한 사업성 검토가 아닌 인명과 관련된 안전성 측면에서 파생되는 기회비용의 경제적 파급효과를 고려하여 사업성을 검토할 필요가 있음.
- 열차는 인류가 현재까지 만든 교통수단 중에 가장 안전한 교통수단이기 때문에 100년 이상의 교통 역사에도 현재까지 급속한 성장을 계속하고 있음. 따라서 건설 원가의 변동이 없는 상황에서 현재의 안전성을 배가 시키는 기술은 파생적으로 사업성을 배가시킬 수 있는 기술로 간주해도 무리가 없다고 판단됨.
- 철도는 안전성이 높은 교통수단임에도 한번 사고가 나면 대형사고로 이어지는 경우가 많다는 것을 사고사례를 통해 알 수 있음. 따라서 본 연구개발기술의 보급에 따른 철도의 안전성 증가로 인명의 피해를 줄일 수 있다면 무형의 가치는 천문학적이라고 할 수 있음.

## 3. 경제적 가치

- 본 연구개발과제의 경제성을 단순히 철도건설을 통한 경제적 가치만을 산정할 것이 아니라 본 기술의 확보에 따른 기술이전 비용 추산으로 경제적 가치를 판단하는 것도 의미가 있음.
- 각 국가마다 철도건설관련 많은 비용을 지불하고 있는 상황에서 해당 국가의 기간산업에 해당하는 철도건설을 해외 기업에 무조건적으로 의지할 수는 없음. 따라서 연구개발 완료에 따른 지식재산권의 해외기술이전 등을 통해 기술의 파급성을 확대하는 방안을 통해 경제성을 증대하는 것이 가능할 것으로 판단됨.
- 철도산업은 공공의 성격을 가지고 있는 기간산업으로 해외 기술이전 등의 방법으로 해당기술의 파급성이 클 것으로 보임.
  - 기존 국내 콘크리트 궤도 및 탈선방호시설물 건설비는 약 11.53 억원/km로 산출됨.
  - 현재 건설된 국내 고속철도(경부&호남) 총 연장 약 770.200 km 중에서 탈선방호벽이 건설된 연장은 177.897 km로, 전체 연장의 약 23%가 탈선방호성능 확보 구간으로 간주할 수 있음.

- 중국은 고속철도 연장을 2030년까지 약 25,631 km 계획하고 있음에 따라 이 중 국내 탈선방호성능 확보 구간(23%)을 고려했을 때, 약 5,895 km (6.8 조원)의 사업가치가 창출될 수 있는 가능성이 있다고 볼 수 있음. 또한, 전 세계 고속철도 연장은 2022년까지 약 74,896 km로 추정됨에 따라 약 17,226 km (20 조원)의 잠재적 사업가치를 추정할 수 있음.
  - 국가정책을 고려한 적용범위 확대(재난대응시설 확대/안전산업 발전 인프라 구축)에 따른 사업가치의 증가 가능성을 검토해보았을 때, 국내 설계/시공 중인 고속 및 준고속 간선철도 연장이 약 761.9 km, 총 철도연장은 약 3,960 km이며, 중국의 총 철도연장은 2020년 약 120,000 km로 경제적 가치의 증가 가능성이 상당하다고 판단됨.
  - 따라서 글로벌 철도시장에서 기술이전 및 라이선싱(Licensing) 지식재산권을 가지고 있는 개인 또는 단체가 타인에게 대가를 받고 그 재산권을 사용할 수 있도록 상업적 권리를 부여하는 계약을 통해 상당한 로열티 특정한 권리를 이용하는 자가 권리를 가진 사람에게 지불하는 대가를 기대할 수 있음. 즉 글로벌 철로건설 금액에 일정비율의 기술이전 및 라이선싱 진행하더라도 수백억 원에서 수천억 원의 성과 창출이 가능할 것으로 추정됨. 일반적으로 가치평가 진행과정에서의 화폐의 시간가치 개념은 고려치 않음.
- 또한 본 연구개발과제 기술은 기존 탈선방호벽 설치에 따른 선로의 부지확보의 문제 해결이 가능한 기술로 도심지 도시철도 등의 탈선방호벽 대응으로 유용한 기술임. 실제 일본에서는 도시철도의 탈선(2005년 JR 후쿠치야마 탈선사고사례; 탈선차량이 아파트와 충돌하여 총 107명 사망)으로 많은 인명과 재산피해가 초래된 사고사례가 있음.
- 도시 철도의 경우 최소의 공간에서 선로의 안전성 확보가 관건임.
  - 본 기술은 기존 선로 중앙에 위치하는 일탈방호시스템이기 때문에 도시철도의 도심 지상 건설구간에 최소의 공간으로 안전을 담보한 철로 확보가 가능하므로 이에 대한 활용 시 상당한 경제적 효용성을 가질 수 있음.

#### 4. 종합결론

- 지속적인 투자가 이루어지고 있는 세계 철도시장을 볼 때 본 연구개발과제를 성공적으로 완수할 경우 상당한 시장 경쟁력을 발휘할 수 있을 것으로 판단됨.
- 국내 시장의 경우 철도시장의 크기가 전 세계시장 대비 크지 않지만 본 기술의 과제 성공에 따른 파생적 경제적 가치는 상당할 것으로 판단됨.
- 국제 시장의 경우 각 국가마다 철도 안전성의 특성 상 경쟁적으로 철도산업에 투자하고 있는 상황에서 철도산업의 크기는 당분간 계속적으로 성장을 할 것으로 판단되며 이에 따라 본 기술의 가치도 크다고 할 수 있음.
- 특히 본 기술이 개발 완료되어 상용화가 추진되면 단순히 국내의 철도 건설에만 활용될 것이 아니라 해외의 기술이전 및 라이선싱 등을 통한 투자대비 상당한 수익을 동반할 수 있기 때문에 상당한 무형의 자산가치가 있을 것으로 판단됨.
- 또한 철도의 안전성을 증대하는 본 기술의 활용 관련해 관련법 개정을 통한 일탈 방호 설치 구간의 확대는 본 연구개발기술의 경제적 가치가 더욱 확대될 수 있는 계기가 될 수 있음.

## 참고문헌

- [1] "통계청 국가통계포털 KOSIS". KB투자증권, 2010.
- [2] "호남고속철도 실시설계". 2009
- [3] 교통안전공단. "안전통계 분석을 통한 철도안전 현황". 2015.
- [4] SCI/Verkehr. "The Worldwide Market for Railway Technology 2009-2014", 2009.
- [5] SCI/Verkehr. "The Worldwide Market for Railway Technology". 2012.
- [6] SCI/Verkehr. "High-Speed and Intercity Transport Global Market Trends". 2013.
- [7] H.U. Bae, A.R. Kim, D.S. Kim, W.I. Choi and N.H. Lim. "Review on the Height of Derailment Barrier on the Railway Bridge" (in Korean). Proceedings of the Autumn Conference of the Korean Society for Railway, Daegu, Korea, KSR2013A168, 2013.
- [8] H.U. Bae, B.J. Park, H.S. Back and N.H. Lim. "Consideration on the Concept of DCP by Foreign Case Study" (in Korean). Proceedings of the Autumn Conference of the Korean Society for Railway, Jeju, Korea, KSR2014A382, 2014.
- [9] Booz, Allen, Hamilton. "Report on the findings of: Current practice and effectiveness of derailment containment provisions on high speed lines - Issue 1". Zoetermeer, Netherlands, R00673, HSL-Zuid organisation, 2004.
- [10] Korea Rail Network Authority. "Railway design guidelines and handbooks - Subsidiary and Safety Facilities of Main Lined". Korea Rail Network Authority, KR C-02060, 2013.
- [11] Rail Safety and Standards Board (RSSB). "Recommendations for the Design of Bridges". GC/RC5110, 2000.
- [12] Network Rail (NR). Design of Bridges, Level 3, NR/L3CIV/020, London, 2011.
- [13] J.S. Kim, H.S. Jung and T.S. Kwon. "Establishment and Operation of a Full-scale Crash Test Facilities for a Train" (in Korean). Proceedings of the Autumn Conference of the Korean Society for Railway, Korea, pp.2416-2423,

2010.

- [14] D.K. Saraf. "A Technical Guide on Derailments". CAMTECH/M/3, Government of India Ministry of Railways, MAHARAJPUR, GWALIOR-474020, 1998.