

경전철용 미래선도형 고가구조물 개발 기획 최종보고서

2017. 9.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 지에스건설(주)
(주)우성디앤씨

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “경전철용 미래선도형 고가구조물 개발 기획”과제의 연구 보고서로 제출합니다.

2017년 9월 일

주관연구기관명: 한국철도기술연구원

주관연구책임자: 신정열 책임연구원

연구원: 이안호 수석연구원

김성일 책임연구원

김현민 선임연구원

표석훈 선임연구원

공동연구기관명: 지에스건설(주)

공동연구책임자: 김도학 수석연구원

연구원: 이재호 선임연구원

신명규 전임연구원

공동연구기관명: 우성디앤씨

공동연구책임자: 박영빈 상무

연구원: 정 훈 상무

김승현 차장

문성진 차장

김동석 차장

보고서 요약서

과제고유번호		총 연구기간	2016.9.5.~ 2017.9.4	단계구분	1/1
연구사업명	2016년 국토교통연구기획사업				
연구과제명	경전철용 미래선도형 고가구조물 개발 기획				
주관연구 책임자	신정열	총 연구기간 참 여 연구원수	총: 13명	총 연구비	정부:100백만원 민간: - 계: 100백만원
주관연구 기관명	한국철도기술연구원		소속부서명	광역도시교통연구본부	
공동연구 기관명	지에스건설		공동연구 책임자	김도학 수석	
	우성디앤씨			박영빈 부사장	
기획연구 요약				보고서 면수	240페이지

○연구목적 및 목표

- 도시 과밀화에 따른 친환경 교통수단인 철도의 수송분담률 제고를 위한 국내 경전철 신규건설 수요 대응과 해외시장 진출을 위해, 육중하고 조밀한 교각으로 도시 경관을 해치고 건설비가 높은 기존 고가방식을 대체할 수 있는 경제적이면서도 안전한 경전철용 장경간(200m) 신형식 고가구조물 개발

○연구 필요성

- 국내 광역시·도 기준 41개 노선, 27조 이상 규모의 경전철 사업이 계획 중이며, 상당 노선이 고가건설 방식 경전철로 추진 예상
- 현재 경전철 고가구조물은 경간이 짧고 육중하여 도시미관을 저해하고 있고, 조밀한 교각(경간 20~50m)으로 인한 도로교통 혼잡 야기 등으로 시민들의 지하화 요구를 유발하고 있으며, 지하화의 경우 재정 부담으로 사업 추진이 어려운 실정
- 무게가 가볍고 저속(최대 80km/hr)으로 운행되는 경량전철의 특성을 고려한 경전철용 고가구조물에 대한 합리적인 설계기준 마련 시급
- 도시경관을 고려하고 제한된 도시공간을 효율적으로 활용 가능한 장경간(200m)의 심미적인 신형식 고가구조물 개발 및 도입 필요
- 유럽(Eurocode), 캐나다(D/CIM, 설계건설기준) 등 해외 선진국에서 경전철용 고가구조물 설계기준을 운용 중이고, 구조물의 최적화를 위한 한계상태설계법 기반의 설계기준으로 표준화 추진 중으로, 이러한 추세에 맞춰 해외기준 분석 및 차종별 실차주행시험 등의 신뢰성 검증을 통한 국내 설계기준의 신규 마련 필요(무분별한 해외설계기준 도입·적용 지양)

○연구개발 내용

- 【 1단계 】 세계 선도형 경전철 고가구조물 설계기술 개발
 - 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구
 - 도시경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물 동적 안전성 검토 및 축소모형 제작

【 2단계 】 세계 선도형 경전철 고가구조물 건설기술 개발

(1세부) 도시경전철용 신형식 고가구조물 제작·시공 기술 개발

- 장경간·개방형 상부구조물 제작·시공 기술 개발
- 상부구조물 처짐 제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 제작·시공 기술 개발
- 시공 단계에서의 ICT 기반 고가구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발
- 도시 경전철용 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구
- 도시 경전철용 신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구

(2세부) 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리 기술 개발

- 도시 경전철용 신형식 고가구조물 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 통합 제진시스템 개발
- 도시 경전철용 신형식 고가구조물 동적 성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가
- 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발
- 구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발

○활용방안

- 연구기간 내 경전철용 고가구조물에 대한 세계적 추세인 한계상태 설계법 기반의 설계기준 마련 및 법제화, 신형식 고가구조물의 Test-bed 실증 연구를 추진함으로써, 개발된 신형식 고가구조물의 국내 적용 및 이를 기반으로 해외 진출 가능

○기대효과

- 도시환경과 부합하는 도시미관 개선, 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대
- 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물(Sky-guideway) 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대
- 세계 최초 200m 이상의 경간을 갖는 장경간·경량의 도시 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 국내 철도기술 수준 향상 및 미래 선도기술 선점을 통한 철도산업 경쟁력 제고 기대
- 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대

○연구개발과제 규모

- 연구기간: 총 7년(1단계: 3년, 2단계: 4년)
- 연구개발비: 377.95억원(정부 294.71억원, 민간 83.24억원)
- 1단계: 45억원(정부)
- 2단계: 332.95억원(정부 249.71억원, 민간 83.24억원)

색인어	한글	경전철, 고가구조물, 장경간, 경량, 스카이 가이드웨이
	영어	LRT, elevated-guideway, long-span, light-weight, sky-guideway

목 차

제1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의 및 분류체계	1
2절. 기술개발의 필요성	3
제2장. 국내외 동향 및 환경 분석	6
1절. 국내외 정책 동향	6
1. 국내 정책동향	6
2. 해외 정책동향	11
2절. 국내외 시장 동향	15
1. 국내 시장현황 및 전망	15
2. 해외 시장현황 및 전망	22
3절. 국내외 기술 동향	24
1. 특허 동향	24
2. 논문 동향	43
4절. 기술수준 분석	46
1. 교량의 장경간화 기술 및 기존 철도교/고가구조물 현황	46
2. 구조물 설계 기술현황	56
3. 건설 신재료 기술현황	63
4. 가설 및 시공 기술현황	75
5. 구조물 진동제어 기술현황	94
6. 구조물 상태감시 기술현황	106
7. 기술수준 분석 결과	115
5절. 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성	120
6절. 국내 연구개발 인프라 분석	121
7절. 기대효과 및 활용 가능성	127
8절. 연구성과 실용화 전략 검토	129
1. 관련 법령 검토 결과	129
2. 시범사업 대상 조사·검토 결과	130
9절. SWOT 분석	134
10절. 종합 시사점	135

제3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	137
1절. 비전 및 목표	137
1. 비전 및 목표	137
2. 세부 연구과제별 목표	139
2절. 기술개발에 따른 미래상	141
3절. 기술수요조사 및 세부기술 도출	143
4절. 연구개발과제 구성	153
5절. 세부과제별 주요내용, 추진전략 및 연계방안	156
1. 1세부과제	156
2. 2세부과제	175
6절. 연구추진체계	183
7절. 기술로드맵 및 성과로드맵	184
 제4장. 기술개발 타당성 검토	 187
1절. 정책적 타당성	187
2절. 기술적 타당성	190
3절. 경제적 타당성	194
4절. 정부지원 타당성	202
5절. 종합검토 결과	204
 제5장. 자원투입 계획	 205
1절. 연구시설 및 장비 투입계획	205
2절. 인력 투입계획	207
3절. 소요예산 투입계획	208
 제6장. 과제공모 방안	 211
1절. 과제제안 요구서(RFP)	211
2절. 공모조건	237
3절. 선정평가 방법	238

제1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의 및 분류체계

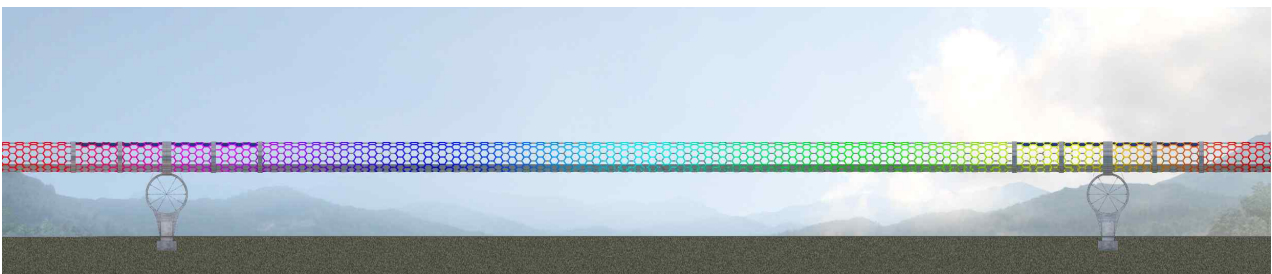
○ 기술의 정의

- 경전철용 신형식 고가구조물(Sky-guideway)이란?

향후 경전철 등 환경친화적인 도시철도의 지속적인 확충에 대비하여, **도시친화적이고
심미적(審美的)인 도시 환경 구현과 해외 시장에서의 기술 우위 확보**를 통한 **철도산업 경쟁력
제고**를 위해, **도시경관을 고려한 세계 선도형 경전철 고가구조물(Sky-guideway)***

* 세계 선도형 경전철 고가구조물(Sky-guideway): 도시경관을 고려하여 심미적이고, 도시공간의
효율적 활용을 극대화하는, 경제적이면서도 안전한 장경간(200m 이상)의 경전철용 고가구조물

- 도시 경전철용 신형식 고가구조물의 주요 핵심기술은, ①경량전철 차량 특성을 반영한 한계상태설계법 기반의 설계기준 및 도심지 200m 장경간 신형식 구조 개발 등의 신형식 고가구조물 설계기술, ②장경간 구현을 위한 고가구조물의 고성능·경량화를 위한 신소재 융합 기술, ③도시경관을 고려한 개방형 구조물 설계·제작 및 장경간 구조물의 급속 스마트 시공 기술, ④200m 장경간 구조물의 열차주행안전을 위한 진동제어 기술 및 신형식 구조물의 핵심부재 관리를 위한 셀프 상태관리 기술로 구성되어 있음.



<장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물 개념도(예시)>

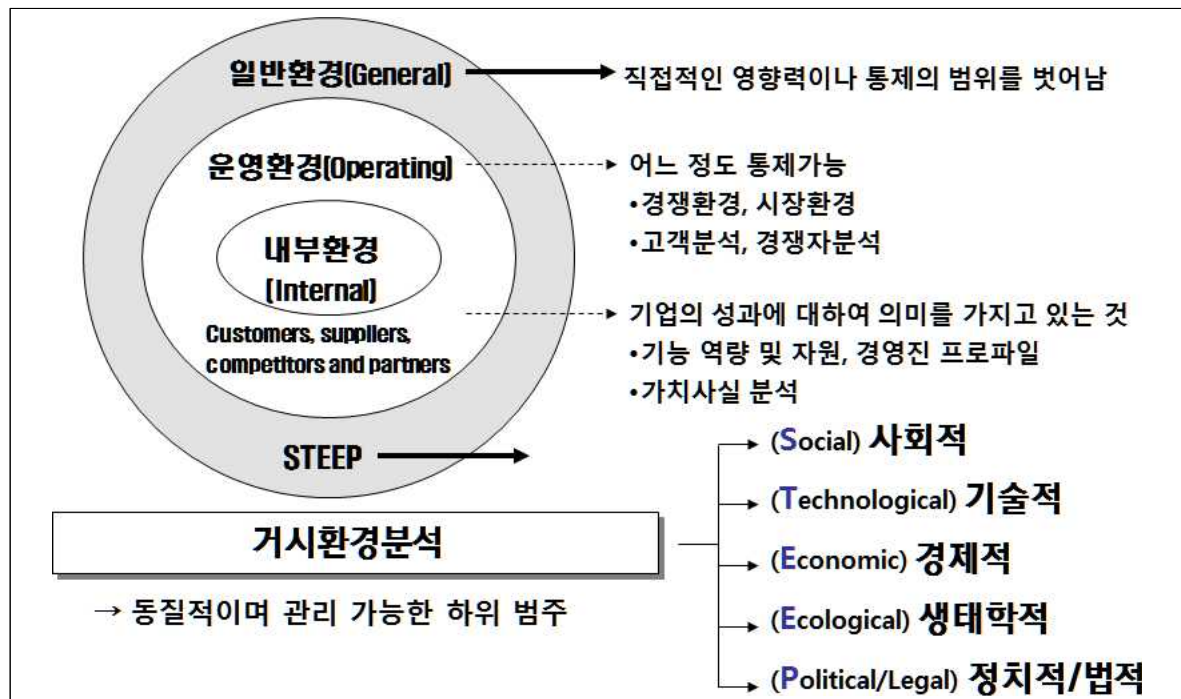
장경간 · 경량의 경전철용 고가구조물 (Sky-guideway)



<경전철용 신형식 고가구조물 기술체계>

- (신형식 고가구조물 설계기술) 무게가 가볍고 저속인 경량전철 차량의 특성을 반영한 한계 상태 설계법 기반의 경전철용 고가구조물 설계기준 연구, 고가구조물의 장경간(200m) 구현을 위한 상·하부 인터페이스 기술, 경제적이면서도 안전한 고가구조물의 신형식 구조 개발 등 설계기술
- (신형식 고가구조물 적용 하이브리드 신소재 기술) 구조물의 경량화를 위한 초고성능 콘크리트, 고분자 복합재료, 엔지니어링 플라스틱 등 신소재 융합 기술
- (신형식 고가구조물 제작·시공 기술) 도시미관을 고려한 비정형 상·하부 구조물 모듈의 3D 프린터와 신소재 등을 이용한 정밀제작 기술, 복잡한 도심지에서의 급속 시공 위한 ICT 기반의 현장 조립·가설 등의 스마트 시공 및 관리 기술
- (신형식 고가구조물 제진·관리 기술) 경간 200m 이상의 경량 구조를 갖는 신형식 고가구조물에서의 안전한 열차 주행을 위해, 열차가진 및 풍진동에 대한 구조물의 효율적인 진동 제어기술 및 신형식 구조물의 연결부·긴장부 등 핵심부재의 ICT기반 실시간 자가 상태관리 위한 센싱·의사결정 모듈의 구조부재 내장 기술

- 경전철은 선진국을 중심으로 주요 도시에 140여개 이상 운영되고 있는 대중적인 교통수단으로 기존 지하철 교통수요 분담, 중소도시의 간선, 대도시와 위성도시 간 연계 수단 등으로 활용되고 있음.
 - 고속철도 및 지하철 등 타 교통체계에 비해 건설비용이 적게 들고 대기오염이나 소음 등에 있어 강점을 가지며 유지보수 비용도 상대적으로 적게 드는 장점을 가지고 있음
- 경전철이 가지는 여러 장점은 친환경, 삶의 질 향상, 쾌적한 환경 추구라는 미래 경제사회적 변화 트렌드가 반영되어 선택되는 기술적·정책적 대안이라 할 수 있음
 - 따라서, 경전철의 필요성은 기술적 타당성 뿐 아니라 미래사회의 변화수요에 적절히 대응할 수 있는 기술개발 방향설정이 매우 중요함
- 본 보고서에서는 경전철의 기술개발 방향 설정을 위해 다양한 경제사회적 변화모습을 체계적으로 분석할 수 있는 STEEP(Social, Technological, Economic, Ecological, Political) 분석을 수행함



<STEPP 분석의 개념>

- STEEP 분석을 통해, 현재의 건설교통 및 경전철 이슈 도출과 함께 다수의 미래전망보고서에서 제시하고 있는 미래 트렌드 변화를 분석하여 도시경전철용 신형식 고가구조물의 개발 필요성 및 타당성을 확인할 수 있음.
- 사회적으로는, 미래 저출산·고령화 시대 트렌드에 따라 인구구조가 변화되고, 웰빙·감성 등 개인 삶의 질을 더 중요시하여 인간의 라이프스타일의 변화가 일어날 것이며, 전체 인구는 감소하지만 도시인구는 지속 증가하여 도심지 밀집화 현상이 확대되면서 도심지 고밀도화, 토지확보의 어려움, 도심 교통혼잡, 대기환경오염 등의 이슈가 더욱 증폭될 전망이다.
 - 현재에도 도심지 과밀화로 도로교통환경이 한계상태에 있는데다가, 향후 광역도시간 밀접한 연계로 이동수요량의 증가에 따라 **경전철 등 도시철도의 지속적인 확충이 예상되며,**

- 자동차로 인한 대기 환경오염 이슈가 더욱 가중되면서, 철도 중심의 환경친화적인 도시교통체계로의 전환과 함께,
 - 도시인구 증가에 따른 **도심지 과밀화로 제한된 도시공간을 좀 더 효율적으로 활용하기 위해 지하·지상·고가로의 입체화**가 붐을 이룰 것으로 예상됨.
- 기술적으로는, 4차산업혁명 기술을 기반으로 한 과학기술의 발달과 함께 다분야 기술간 융복합이 가속화 될 것이고, 유비쿼터스 컴퓨팅, 네트워크 기반의 빅데이터, ICT, AI 인공지능, 사물인터넷, 자율주행, 3D프린팅, 바이오, 웨어러블 로봇 등 첨단과학기술의 발전으로 건설교통분야 특히 철도분야에서도 큰 변혁을 맞이하게 될 전망이다.
- 경전철 인프라 건설 분야에서도 드론, 빅데이터 등의 첨단 기술을 이용한 구조물의 정밀 제작·시공 및 ICT기반의 실시간 상태 감시가 이루어지는 등 철도 인프라 건설부터 향후 운영·유지관리까지 4차산업혁명 기술이 큰 변화를 불러올 것으로 예상됨.
- 경제적으로는, 세계시장의 통합, 글로벌 인력 이동의 증가 등에 따라 글로벌화는 심화될 전망이고, 정보통신기술 및 교통의 발달과 함께 글로벌화 인식 확산 등에 따라 국가간 경제적 장벽이 급속히 허물어지고 자유무역협정(FTA) 체결이 증가하는 등 글로벌 경제시대가 도래하고 국가간 상호의존성이 증대되면서 본격적인 글로벌 거버넌스 시대가 도래할 전망이다.
- 도시 내에서는 경전철을 중심으로 한 도시철도가, 지역 거점 간에는 고속철도가, 국가 대륙 연결에는 초고속철도가 자리매김할 것으로 예상되며, 현재 국내 수도권 일부를 제외하고 전국 지자체에서는 향후 경전철을 중심으로 한 도시철도 시장이 형성됨.
 - **전국 광역시·도 기준 46개 노선의 경전철이 계획·추진 중**으로, 서울, 부산, 광주 등 전국 지자체별로 연계 교통망 확충을 위해 **총 연장 720.44km, 33조 3,369억 원** 규모의 경전철 사업을 추진 중
 - * 서울에서는 신림선, 동북선 등 10개 노선(89.17km), 8조 7,961억 원 규모의 경전철 사업을 추진 중
 - * 부산에서는 13개 노선(총연장 136.41km), 7조 2,008억 원 규모의 경전철 사업을 추진 중이고, 이중 11개 노선이 고가 구조 방식의 경전철로 계획되었으며, 노포-양산선(북정) 구간이 고가 구조 방식으로 착공을 앞두고 있음
 - 하지만, 국내 일반 철도교 설계기준은 마련되어 있으나 경전철 고가구조물에 대한 **구조물 설계기준 미비**로, 일반 철도교 형식의 **육중한 고가구조물**로 건설되어 이로 인한 **도시미관 저해**, 조밀한 교각 시공으로 인한 **도로교통 혼잡 가중**, **소음진동**, **사생활 침해** 등의 문제로, 시민들의 지하화 요구에 따른 **국가재정 낭비**, **운영유지비 부담 가중** 등으로 신규 경전철 사업추진이 어려운 실정임.
 - * 국가R&D로 한계상태설계법 기반의 철도교 설계기준 연구 수행 중이며, 중전철, 일반고속철도 교량에 국한됨
 - 2013.5 감사원의 경전철 건설사업 추진실태 감사에서도 경전철 구조물 설계기준 미비 및 과다 설계로 예산 낭비 초래 지적과 함께 시급히 경전철 구조물 설계기준 마련토록 제도개선을 요구한 바 있음.
- 생태계적으로는, 지구 온난화의 심화 및 이상기후 현상의 증가, 대기·토양·해양·지하수 오염 등 환경오염의 심화 등 기후변화 및 환경문제가 심화될 것으로 전망되며, 화석에너지 고갈 및 광물 자원 부족 등 에너지·자원 공급 및 수요의 불균등이 심화될 것으로 전망됨.
- 지구 온난화로 인한 지구 평균기온 및 해수면 상승, 이상 기후, 생태계 파괴 등의 급속한 변화가 야기되고 미세먼지 등의 대기환경 오염이 심화되면서, 고효율의 친환경 교통수단인 철도교통으로의 전환 인식이 더욱 확산될 것으로 예상됨.
 - 도심지에서는 친환경 녹색철도인 도시 경전철이 더욱 확충되어 타 대중교통수단과 함께 연계

운용될 것으로 예상됨.

- 정치적으로는, 국제질서 다극화 진전에 따른 국가간·민족간 분쟁, 서구·이슬람간 대결, 종교·문화 차이에 따른 세계적 갈등과 분쟁 지속으로 국가 안보·안전이 가장 중요한 이슈로 대두될 전망이다.
- 불의의 철도 사고·재난·재해에 대한 신속 대응을 통한 피해 최소화가 요구되면서, 철도 구조물의 핵심부재 및 취약부재에 대한 실시간 상태감시·관리 기능의 도입 등 보다 안전한 철도교통 서비스를 요구받게 될 것으로 예상됨.

구분	이슈
사회적(Social)	저출산·고령화 시대, 인구구조 변화, 라이프스타일 변화, 도시인구의 지속 증가, 도심지 밀집화, 도시철도의 지속적 확충, 제한된 도시공간의 입체화
기술적(Technological)	4차산업혁명 기술기반의 첨단과학기술의 발달, 기술간 융복합 가속화, 첨단철도기술의 등장
경제적(Economic)	글로벌화, 글로벌 거버넌스, 글로벌 인력 이동, 경전철 중심의 도시교통, 저비용 도시철도 요구
생태계적(Ecological)	지구 온난화, 이상기후 및 환경오염 심화, 화석에너지 고갈 및 자원 부족, 친환경 도시철도 요구
정치적(Political)	국제질서 다극화, 세계적 갈등·분쟁 지속, 국가 안보·안전, 안전한 철도교통서비스 요구

- STEEP 분석을 통한 시사점으로서, 향후 친환경 교통수단인 도시경전철 특히, 상대적으로 저렴한 고가건설방식 경전철의 지속적인 확충에 대비하여, 고가구조물로 인한 도시미관 저해, 도로 교통 혼잡 가중 등의 국민 민원 해결과 함께 국내시장 뿐만 아니라 해외시장을 선점할 수 있는 세계최초 신형식(長경간:200m·저비용·경량화) 구조물을 적시에 개발하여 국내·외 수요에 시급히 대응이 필요함.
- 이를 위해서는, 주행폭이 넓거나 중량이 무거운 일반 도로교 및 철도교 형식·기준의 획일적인 적용 대신, 무게가 **가볍고 저속(최대 80km/hr)으로 운행되는 경량전철의 특성을 고려한** 경전철용 고가구조물에 대한 설계기준 마련 및 **신형식 구조 개발**과 함께,
- 현재 철도교 형식의 육중한 구조물로 인한 고가건설방식에 대한 시민들의 부정적인 인식을 변화시킬 수 있도록, 도시경관을 고려하여 도시조형물처럼 도시친화적이고 심미적(審美的)이어서 인간과 도시와 함께 어우러질 수 있으면서, 제한된 도시공간을 효율적으로 활용 가능한 **미래 지향적인 경전철 고가구조물에 대한 설계·제작·시공·관리기술 개발 필요**
- 한편, 해외에서도 동남아를 중심으로 해외 경전철 시장이 확대 추진 중이며, **미래 도시화, 도시인구 증가 트렌드에 따른 해외 경전철 시장이 지속 확대될 것으로 예상됨에 따라, 중국의 가격경쟁력과 일본의 기술경쟁력 극복을 통해, 우리나라 경전철시스템의 해외시장 진출이 가능하도록 세계 선도형 철도기술 개발을 통한 기술 경쟁력 확보 필요**

제2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 정책 동향

1. 국내 정책 동향

- 국내에서는 제2차 국가기간교통망계획('01~'20)의 『저탄소 녹색성장형 교통체계 구축』, 제4차 국토종합계획('11~'20)의 『쾌적한 도시·주거환경 조성』, 제3차 과학기술기본계획('13~'17)의 『깨끗하고 편리한 환경 조성』 등을 통해 **환경친화적이고 쾌적한 도시환경 정책**을 추진 중에 있음.
- 제2차 국가기간교통망계획('01~'20)에서는 부문간 효율적 스톡조정을 통한 국가경쟁력 강화, 교통연계성 강화를 위한 인터모달리즘 구현, 21세기 글로벌 교통·물류 강국 실현, 저탄소 녹색성장형 교통체계 구축, 선진국 수준의 교통서비스 제공을 중점추진분야로 선정함.
 - 제3차 과학기술기본계획(2013~2017)에서는 과학기술 기반의 경제부흥과 국민 삶의 질 향상을 목표로, 경제를 지속성장 시키고 국민 삶의 질 향상에 기여할 수 있는 5대 분야 (ICT 융합 신산업, 미래성장동력, 깨끗하고 편리한 환경, 건강장수, 안전사회)에 대한 기술개발 정책을 수립함[미래철도전망 2040].

<제2차 국가기간교통망계획(2001~2020) 추진전략 및 과제>

5대 목표	추진전략	추진과제
부문 간 효율적 스톡조정을 통한 국가경쟁력 강화	국가교통체계의 종합조정 및 효율성 강화	■ 국가기간교통망계획의 종합조정기능 강화 ■ 교통수단간 수송분담구조 확립
	KTX중심 철도고속화 및 도로기능 효율화	■ 간선철도망 고속화 및 전철화 ■ 간선도로망 투자효율성 제고 ■ 국토의 균형발전을 촉진하는 교통체계 구축
	항공·해운·물류 경쟁력 강화	■ G-7 수준의 항공교통 실현 ■ 항만 및 해운 네트워크 구축 강화 ■ 비용절감형 내륙 물류체계 확립
교통연계성 강화를 위한 인터모달리즘 구현	교통수단간 연계환승체계 강화	■ 복합환승센터 본격 추진 ■ 다양한 환승체계 보급 ■ KTX역세권 교통연계거점 구축
	인터모달리즘 실현을 위한 물류거점 연계교통체계 구축	■ 물류거점 중심의 연계교통망 구축 ■ 철도중심의 물류네트워크 구축
21세기 글로벌 교통·물류 강국 실현	육·해·공 통합연계 국제교통망 구축	■ 대륙연결 및 신항로 개척 ■ 남북 교통망 구축 ■ 글로벌 항공·해운 네트워크 구축
	국제 교통·물류시장 통합대응	■ 국제공항의 허브 경쟁력 강화 ■ 글로벌 물류네트워크 구축 강화 ■ 동북아 교통시장통합의 단계적 확대
저탄소 녹색성장형 교통체계 구축	녹색성장 교통체계 전환	■ 자전거 및 보행교통 활성화 ■ 빠르고 편리한 대중교통 구현 ■ 적극적 교통수요 감축 ■ 녹색물류 추진

	미래형 교통기술 개발 및 구현	■ 미래형 첨단 녹색교통수단 개발 및 활성화 ■ 지능형교통체계(ITS) 구축 ■ 교통 연구개발(R&D)사업 확대
선진국 수준의 교통서비스 제공	교통안전, 재난대응 및 보안검색 체계 강화	■ 교통수단별 교통안전체계 구축 ■ 기간교통망 재난발생 대비 대응·복구체계 구축 ■ 보안검색 기능 강화
	교통서비스의 사회적 형평성 강화	■ 교통 기본권 확보를 위한 교통정책 수립 ■ 고령화 사회 및 교통약자에 대비한 교통대책 마련

<제3차 과학기술기본계획(2013~2017) 비전 및 중점과제>

구분	내용
비전	■ 창조적 과학기술로 여는 희망의 새시대
목표	■ 과학기술기반 경제부흥과 국민 삶의 질 향상
추진분야	■ 경제 지속성장 견인: ICT융합 신산업 창출, 미래성장동력 확충 ■ 삶의 질 향상 기여: 깨끗하고 편리한 환경 조성, 건강장수시대 구현, 걱정없는 안전사회 구축

- 과학기술기본법에 따라 매 5년마다 수행되는 과학기술예측조사의 제5차 보고서에서도 경전철과 관련된 미래기술이 포함되어 국가차원에서 지속적 투자와 개발이 필요한 것으로 분석됨
- 미래 교통체계는 도시 집중화 및 거대화 문제에 적극적으로 대응할 필요가 있으며, 친환경 산업구조로의 재편에도 영향을 받을 것으로 조사됨
 - 또한, 무인 교통체계로의 이행을 준비하고 디바이스 간 혹은 교통수단 간 지능화된 의사소통을 위한 적극적 기술개발도 필요할 것으로 조사됨

주요 이슈	메가트렌드	트렌드	니즈	경전철 관련 미래기술
· 도시 집중화·거대화 문제	· 사회복잡성 진화 · 경제시스템 재편	· 도시화 확대	· 거대 도시의 생태계 및 환경관리 시스템 · 도시교통, 물류 자동 제어 시스템 · 스마트 에코시티 구현	· 능동 제어형 주행 시설 소음 저감 기술 · 초고층 건물·지하 대 공간내 고속 수직수평 3차원 레도 시스템 · 인공지능 활용 교통 제어 기술 · 급속 시공·해체 및 재활용이 가능한 조립식 철도 건설기술
· 친환경 산업구조로 재편	· 환경리스크 심화 · 경제시스템 재편	· 그리노믹스의 활성화	· 친환경 저탄소 연료 충전인프라	· 철도차량용 대용량 고전압 무선 전력 공급기술
· 무인 이동체로 인한 물류 및 교통체계 개편	· 휴먼 임 파워먼트	· 인공지능과 자동화	· 무인 이동체 신호 체계 및 통제시스템	· 3차원 교통 네트워크 시스템 및 운영기술
· 디바이스간 지능화된 의사소통	· 초연결에 의한 혁신	· 인공지능과 자동화 · 초연결기술	· 센싱고도화	· 인공지능 활용 교통제어기술

출처: 제5차 과학기술예측조사(KISTEP, 2017. 5)의 결과 중 미래철도 관련 내용을 발췌·정리

- 제3차 국가교통기술개발계획('14~'18)의 『국가 경쟁력 강화를 위한 교통기술 확보』, 제3차 과학기술기본계획('13~'17)의 『ICT 융합 신사업 창출 및 미래성장동력 확충』, 제3차 철도산업발전기본계획('16~'20)의 『철도기술 자립 및 미래 선도형 R&D 추진』 정책을 통해 **국가 기술 경쟁력 강화를 통한 해외시장 진출 전략**을 추진 중임.
 - 제3차 국가교통기술개발계획(2014~2018)에서는 “첨단교통기술을 통한 선진교통체계 구축 및 복지사회 실현”이라는 비전과 “2018년, 선진 교통기술 강국 진입”이라는 목표 하에, 추진목표로 국가경쟁력 강화를 위한 교통기술 확보, 비용절감형 고효율 융복합 기술개발체계 구현, 안전·신속·편리한 친환경 교통체계 확립을 설정함. 철도교통기술 부문에서는 국민행복을 위한 빠르고·안전하고·경제적인 철도개발이라는 비전하에, 빠르고 지능적인 철도, 안전하고 편리한 철도, 정확하고 경제적인 철도의 3대 중점 추진분야를 설정함[미래철도전망 2040].
 - 제3차 철도산업발전기본계획('16~'20)에서는 국민행복과 경제성장을 견인하는 글로벌 수준 철도산업 육성이란 비전하여 철도 공공분야 경쟁도입 분야 거버넌스 개편, 철도 건설·운영·안전 및 철도 산업생태계 분야별 중점추진계획을 수립하였고, 이중 미래선도형 R&D의 점진적 확대 등의 추진 과제를 선정함.
 - 또한, 제3차 철도산업발전기본계획('16~'20)에서는 『대도시 광역·도시철도망 확충』 정책을 추진 중임.
 - 대도시 철도망 확충시 방상형 광역철도망과 이를 연결하는 순환형 노선 구축, 경전철(트램, 자기부상 등) 방식 도입 등을 통한 건설·운영비 절감을 꾀하는 등 향후 도시철도망이 확충될 것으로 예상됨.
 - 국토교통부의 **국토교통R&D 중장기 전략**의 창조경제 실현, 국민행복 구현이라는 추진방향 아래 철도기술연구사업 분야에서는 국민행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도 개발과 철도산업을 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성하겠다는 중장기 비전을 수립하였고, 철도 수송력 향상 기술, 철도 안전·편의 향상 기술, **철도 건설·운영비 절감 기술**, 철도 소재·부품·장치 고도화 기술을 중점추진 기술분야로 선정하여 연구개발을 추진 중에 있음.
 - 또한, 국토교통부에서는 **글로벌 시장선도, 융복합 신산업 창출 기반 조성, 안전하고 편리한 국토공간 조성, 국민 생활복지 향상** 등을 목적으로 **국토교통R&D 정책**을 추진 중이며, 본 기획과제를 통해 개발될 기술은 정확히 이와 관련되어 있는 관계로, 국토교통 7대 신산업*과도 일부 관련됨.
 - 드론기술의 스카이 가이드웨이 시공관리에의 응용기술과 실시간 구조물 상태 위험 감지 가능한 구조물 일체·내장형 센싱기술 등이 적용된 스마트시티에 적합한 구조물 개발로, 국토교통 7대 신산업의 드론, 스마트시티 분야와 관련됨.
- *국토교통 7대 신산업: 자율주행, 드론, 공간정보, 해수담수화, 스마트시티, 제로에너지빌딩
- 한편, 국가에서는 **미래 대비 새로운 먹거리 발굴과 국민 삶의 질 향상과 안전 등 사회문제 해결** 등 국가적으로 시급한 기술을 개발하고자 하는 다부처 공동 R&D정책이 추진 중임.
 - 구조물의 초경량화를 위한 신소재 융합 하이브리드 구조체 기술은 19대 미래성장동력의 융복합소재 분야와 관련되고, 환경친화적인 도시환경 구현과 교통혼잡 최소화로 환경·

교통분야 사회문제 해결 분야와 관련되는 등 미래 국가적으로 시급하고 경제·사회적 파급 효과가 큼.

<제3차 철도산업발전기본계획(2016~2020) 중점추진과제>

구분	내용
철도 공공분야 거버넌스 개편	■ 경쟁체제의 원활한 정착 유도
	■ 신규사업자 시장참여 유도를 통한 경쟁 활성화
	■ 철도시설관리 및 관제의 공공성 강화
	■ 철도공사 사업구조 개편
철도 운영	■ 속도 중심의 국가 간선철도망 운영
	■ 간선-지선 융합 네트워크 형성
	■ 광역서비스 향상
	■ 이용자 중심의 서비스 개선
	■ 철도 물류시설 확충
	■ 철도물류 서비스 질 제고를 위한 제도 정비
철도 건설	■ 중장기 운영전략에 맞는 간선망 구축
	■ 민자사업 활성화
	■ 철도의 속도경쟁력 향상
	■ 대도시 광역·도시철도망 확충
철도 안전	■ 재난 및 보완 대응 역량 강화
	■ 인적오류의 최소화
	■ 철도시설의 안전성·효율성 제고
	■ 철도차량의 생애주기 관리 강화
	■ 철도사고에 대한 책임성 강화
철도 산업생태계	■ 부품산업 경쟁력 강화
	■ 신호시스템 국산화 및 경쟁력 제고
	■ 철도차량 After Market 조성
	■ 미래 선도형 R&D 추진
	■ R&D 상용화율 제고
	■ 철도산업 해외진출 인력 양성
	■ 철도 R&D 전문인력 양성

<'14년 국토교통 R&D 중장기 전략(철도기술연구사업)>

구분	내 용		
국토교통R&D 추진방향	■ 창조경제 실현, 국민행복 구현		
철도R&D 추진방향	■ 강소기업 육성, 민생현안 해결		
철도R&D 추진전략	■ 핵심목표: 철도경쟁력 향상, 국민행복 향상, 일자리 창출, 예산절감 ■ 철도분야 강소기업 육성: Killer item 개발부터 해외진출까지 패키지 지원 ■ 수요자 중심의 R&D 전환으로 공감대 형성 ■ 철도R&D 생태계 조성: 건설·운영기관, 관·산·학·연, 대·중소기업		
철도R&D 비전	■ 국민행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도 개발 ■ 철도산업을 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성		
철도R&D 중점추진분야	<table border="0"> <tr> <td> ■ 철도 수송력 향상 기술 ■ 철도 건설·운영비 절감 기술 </td><td> ■ 철도 안전·편의 향상 기술 ■ 철도 소재·부품·장치 고도화 기술 </td></tr> </table>	■ 철도 수송력 향상 기술 ■ 철도 건설·운영비 절감 기술	■ 철도 안전·편의 향상 기술 ■ 철도 소재·부품·장치 고도화 기술
■ 철도 수송력 향상 기술 ■ 철도 건설·운영비 절감 기술	■ 철도 안전·편의 향상 기술 ■ 철도 소재·부품·장치 고도화 기술		

2. 국외 정책 동향

- 국외의 경우, EU(유럽연합), CER/UIC(유럽철도연합/국제철도연맹), 영국 등에서는 고용량 전철화 정책을 추진 중임.
 - 유럽연합(EU)에서는 ‘철도네트워크와 교통관리’라는 정책을 추진하여, 2005년부터 현재까지 신뢰성 높은 유럽 통합철도시스템 구축을 위한 관리 측면을 강조하여, 2011년 이후부터 2014년까지 철도용량 극대화, 유지보수 최적화 및 효율화·자동화, 탈선·자동경보시스템 등의 안전, 유럽철도 상호 운영성, 폐 인프라의 재활용 등의 연구정책을 수립함.
 - 유럽철도연구자문위원회(ERRAC)에서는 효율적인 도시교통, 고속여객 서비스, door-to-door 화물서비스 제공을 통한 철도의 역할 증대라는 비전을 수립하였고, 이를 위해 지능형 이동수단, 에너지 및 환경, 개인 안전, 안전과 표준화, 경쟁력 기술, 전략 및 경제성, 인프라의 7개 분야에 대한 기술개발 로드맵을 수립함.
 - 영국에서는 2035년까지 HLOS(High Level Output Specification) 철도 기술발전계획을 수립하고 단계별로 추진하고 있는데, HLOS1 (2009년~2014년) 계획을 통해 여객·화물 수송용량 증대, 안전하고 효율적이고 탄소 저감을 통해 환경 개선이 가능한 철도 구현을 추진한 바 있고, 현재 HLOS2 (2014년~2019년) 계획을 통해 미래 철도 수요 증가에 대비하여 주요 노선의 고용량 전철화, 여정시간 감소를 통한 주요 도시로의 접근성 확대, 해운과 공항과의 연결을 추진하고 있음.
- 이와 함께 유럽, 프랑스, 독일, 일본 등에서 편리하고 쾌적한 지속가능한 친환경 철도교통 정책을 추진 중임.
 - 유럽철도연합/국제철도연맹(CER/UIC)에서는 ‘지속가능한 이동성(Sustainable Mobility) 지향’이라는 철도분야 전략을 수립하였고, 이를 위해 2030년 이후 기후보호, 에너지 효율성, 배출가스 감소, 소음 감소에 대한 환경정책을 수립함.
 - 프랑스는 교통분야 연구프로그램인 PREDIT3(2007년)[21]과 PREDIT4 (2012년)[22]를 통해 지속가능한 운송, 안전 향상, 환경 보존과 함께 수송기술 개발 및 수송서비스 강화 등을 추진하고 있음.
 - 독일은 연방교육부의 ‘이동성과 수송(Mobility and Transport)’ 연구 프로그램[23]에서 지속가능성, 효율화, 안전, 고객 지향, 국제경쟁력 향상 등을 목표로 하여 지능형 교통 네트워크, 화물수송 증대 등 6가지 연구 분야를 제시하고 있고 철도분야 적용을 위해 ‘Research Initiative Rail 2010’프로그램을 제시한 바 있음.
 - 일본은 ‘Research Map 2009’에서 고속화와 수송력 증강을 위해 안전하고, 친환경적이며, 고효율 에너지형 저비용의 편리한 철도라는 철도 R&D 방향을 수립하였고, 이를 위한 4대 추진분야(안전한 철도, 친환경 철도, 고효율 에너지·저비용 철도, 편리하고 쾌적한 철도)를 정함.

<국외 철도R&D 정책동향[출처: 미래철도전망 2040]>

구분	철도 R&D 정책동향
유럽연합 (EU)	■ TEN-T(Trans-European Transport Network) 정책 -교통부문의 균형있는 발전과 회원국간의 통합을 위한 철도중심의 범유럽 교통네트워크 계획 수립 ■ 교통관리(Transport Management) 정책: 철도 네트워크와 교통 관리 (European Commission, 유럽위원회) -신뢰성 높은 유럽 통합철도시스템 구축을 위한 관리측면 강조 ① 통합 철도교통 관리(감독·제도적인 측면): 유럽철도운영(2005-2008), 유럽철도화물서비스(2005-2006), 철도환경성능(2009-2010), 유럽철도 용량 극대화(2011-2014) ② 기술적 상호운용성 개선(유지보수, 안전 측면): 통합정보시스템(2005-2008), 궤도/하부구조물의 고효율 고속 상태모니터링시스템(2004-2008), 철도 휠셋 검사시스템(2008-2011), 철도차량/궤도회로간 전자기 호환(2005-2008), 휠셋 통합 설계 및 효율 관리(2005-2007), 유지보수 최적화(2011-2014), 탈선 감소(2011-2014), 유지보수 효율화·자동화(2010-2013), 궤도 통합검사시스템(2009-2012), 철도 인프라의 스마트 유지보수(2011-2014), 선로변 작업자 자동경보시스템(2010-2012), 유럽철도 상호 운영성(2011-2014), 폐 인프라의 재활용(수명연장)(2011-2014)
유럽철도연구 자문위원회 (ERRAC)	■ 유럽의 ERRAC “Strategic Rail Research Agenda 2020 & Roadmap 2050 -비전: 효율적인 도시교통, 끊임 없고 통합된 고속여객 서비스, door-to-door 화물 서비스 제공을 통한 유럽교통시스템에서의 철도 역할 증대 -추진분야 ① 지능형 이동수단: 유럽 회원국간 및 교통수단간 호환기술제공을 위한 고객정보시스템 지원을 위해 유럽 전역의 지능적인 인프라 요구 ② 에너지 및 환경: 소음과 진동의 시스템적 접근과 설계를 개선시킴으로써, 화석연료 의존과 배출 가스 축소 등 환경보호를 통한 철도의 교통수단 경쟁력 강화를 위한 제도 마련 ③ 개인 안전: 테러와 공공 시설의 파괴와 관련하여 고객과 직원의 안전 개선 ④ 안전과 표준화(시험·인증): 개선된 안전 관리를 통한 위험을 제거하면서, 유럽의 인증 절차의 확산을 통한 제품의 빠른 승인 요구 ⑤ 경쟁력있는 실행 기술: 차량, 유지보수 절차, 발권시스템, 인프라 등 철도 운영 전반에 대한 현대적 기술의 접목을 통한 제품의 고객 선호도 개선과 수명주기비용 절감 달성 등 철도 경쟁력 제고 ⑥ 전략 및 경제성: 철도 서비스 종류 및 빈도 변화에 따른 운영·유지보수비의 변화를 더 쉽게 이해할 수 있는 새로운 회계 및 열차운영계획 모델 필요 ⑦ 인프라: 교통 용량 증대, 차량·궤도 안정성 향상을 위한 고효율 유지보수 및 공동 운영이 가능한 유지보수 프리 개념의 인프라 개발
유럽철도연합 - 국제철도연맹 (CER-UIC)	■ 철도분야 2030~2050 전략(환경정책 기반) -2030년 이후 철도분야 전략: 지속가능한 이동성(Sustainable Mobility) 지향 -목표 ① 기후보호: 이산화탄소배출량 50% 감소(~2030년), 카본-프리(carbon-free) 열차운영(~2050년) ② 에너지 효율성: 에너지 소비량 30% 감소(~2030년), 50% 감소(~2050년) ③ 배출가스 방출 감소: 질소산화물과 입자상 물질(PM10) 배출량 40% 감소(~2030년), 배출량 0 (~2050년) ④ 소음 감소: 소음수준이 사회적이고 환경적으로 수용 가능한 수준(~2050년) -추진전략: 그린 에너지(카본-프리 에너지원) 사용, 에너지 효율성 향상, 노선 전철화 확충 및 저탄소 추진기술 개발 ※ 교통분야 ‘지속가능성’ 개념: 현재 세대와 미래 세대가 동등한 기회를 가지고 환경의 질을 보존하면서도 사회경제의 발전을 이루고, 사람과 화물의 이동성과 접근성 향상을 이루는 것

구분	철도 R&D 정책동향
영국	■ HLOS(High Level Output Specification) 1 기술발전계획(CP4: 2009.4~2014.3) -목표 ① 여객·화물 수송량을 현재 대비 2배로 용량 증대 ② 더 안전하고, 더 신뢰성 있으며, 더 효율적인 철도 ③ 보다 다양하고, 번창하고, 인구증가를 지원할 수 있는 철도 ④ 탄소를 줄이고, 광범위한 환경성과를 개선할 수 있는 철도 ■ HLOS(High Level Output Specification) 2 기술발전계획(CP5: 2014.4~2019.3) -목표 영국 전체 철도 수요 증가(승객 16%, 화물 23%)를 충족하도록 ① 주요 노선의 승객·화물 노선의 고용량 전철화 ② 주요 도시간 수송용량 증가와 여정 시간의 감소 ③ 효과적인 노동시장의 확대와 노동자의 더 넓은 일터로의 접근이 가능하도록 주요 도시 지역으로의 통근 실현 ④ 항구와 공항으로의 철도 연결 개선 *CP:Control Period
프랑스	■ PREDIT3: 교통분야 연구프로그램(2007) -목표 ① 화물과 사람을 위한 지속가능한 운송 ② 교통시스템의 안전 향상 ③ 환경영향 저감 및 온실효과 감소 -철도관련 주제 ① 화물수송기술: 철도생산성 제고, 혁신적 교통기술 및 시스템의 실용화, 기반기술 (전동기, 제동장치), 철도차량, 차량-인프라 시스템 간의 정보화 기술 ② 이동성 서비스: 단거리 운송, 인터모달 서비스, 도시교통 및 도시간 교통의 정보화 기술·서비스, 멀티모달 정보화 ③ 에너지 및 환경: 깨끗하고 에너지 효율이 높은 철도차량 개발, 소음저감 및 전력 효율화 ④ 물류 및 화물운송: 경제와 물류시스템 관계 ⑤ 안전: 철도관제 및 제어시스템, 규제시스템, 노선 최적화시스템 개발 ⑥ 이동성 및 지속가능한 발전: 이동성 결정요인, 교통경제학 ■ PREDIT4: 교통분야 연구프로그램(2012) -목표 ① 수송 기술 개발 강화 ② 수송 관련 서비스 강화 ③ 공공 정책을 위한 지식과 도구 강화 -철도관련 주제 ① 에너지 및 환경: 추진 기술, 온실효과와 영향 평가 연구 ② 수송 품질 및 안전: 철도 안전, 교통관리, 인간 공학, 편의성, 접근성 연구 ③ 도시내 이동성: 새로운 교통시스템 및 서비스 연구 ④ 물류 및 화물운송: 서비스 품질, 추적, 인프라 최적화, 복합수송 효과, 항공 및 해상 운송과의 인터페이스 추진으로 비(非) 도로 화물 운송에 대한 연구 ⑤ 수송산업의 경쟁력: 운송 산업의 효율성 제고를 위한 고안 도구 및 프로세스, ICT통합 등 연구 ⑥ 수송 정책: 규제 목적, 방법 및 도구(자금 조달 및 관세) 연구
	■ 이동성과 수송(Mobility and Transport): 독일연방 교육부의 연구프로그램 -목표 ① 지속가능성 ② 효율화, 안전, 고객 지향

구분	철도 R&D 정책동향
독일	③ 교통분야 국제경쟁력 향상 -연구분야 ① 지능형교통 네트워크 ② 철도 및 수로를 통한 화물수송 증대 ③ 빠르고, 안락하며, 환경 친화적인 철도와 버스 서비스 ④ 지속가능형 교통시스템을 위한 건강, 환경, 자원 보호 ⑤ 안전과 보안 ⑥ 이동성 ■ Research Initiative Rail 2010: ‘이동성과 교통’프로그램의 철도분야 적용 프로그램 -주제: 철도전략, 철도 운영사를 위한 조직 모델, 명령 및 제어 기술, 인프라, 철도차량기술 및 플랫폼 개념설계, 서비스 지향적인 혁신, 교육 및 연수분야 혁신 ■ Hightech Strategy(HTS) 2020 -목표: 글로벌 당면과제 해결의 선두, 인간의 삶과 생활수준 향상, 민간 부문에서 새로운 가치 창출, 높은 수준의 일자리 창출 등 -5대 중점 핵심기술 개발 및 혁신 성과 확산을 위한 환경 조성 및 제도 개선 ① 기후변화/에너지: 전 지구적 기후변화 저감 및 적응 기술 ② 보건/영양공급: 고령화 사회의 보건 정책, 전염성 질환에 따른 신약 기술 ③ 이동성: 이동성 관련 새로운 IT 기술, 모바일 기기를 활용한 교통정보 제공, 교통소음 저감 등 ④ 보안: 테러 혹은 천재지변으로부터 국민건강 및 재산 보호 관련 기술 ⑤ 정보통신: 미래지향적 인터넷 기술, 글로벌 표준화, 임베디드 시스템
일본 (RTRI)	■ 철도총합기술연구소(RTRI), 철도기술개발방향(Research Map 2009) -추진방향: 고속화와 수송력 증강을 위해 안전하고, 친환경적이며, 고효율 에너지형 저비용의 편리한 철도 개발 -추진분야 ① 안전한 철도: 신뢰성 높은 철도 ② 친환경 철도: 차량 제작부터 폐기까지 전과정 환경성 평가를 통한 자원 리사이클 ③ 고효율 에너지형 저비용 철도: 모달 시프트를 위한 에너지 절감형 신시스템 ④ 편리하고 쾌적한 철도: 무가선, 소음·진동 저감, 승·하차 편리한 철도

2절. 국내외 시장 동향

1. 국내 시장현황 및 전망

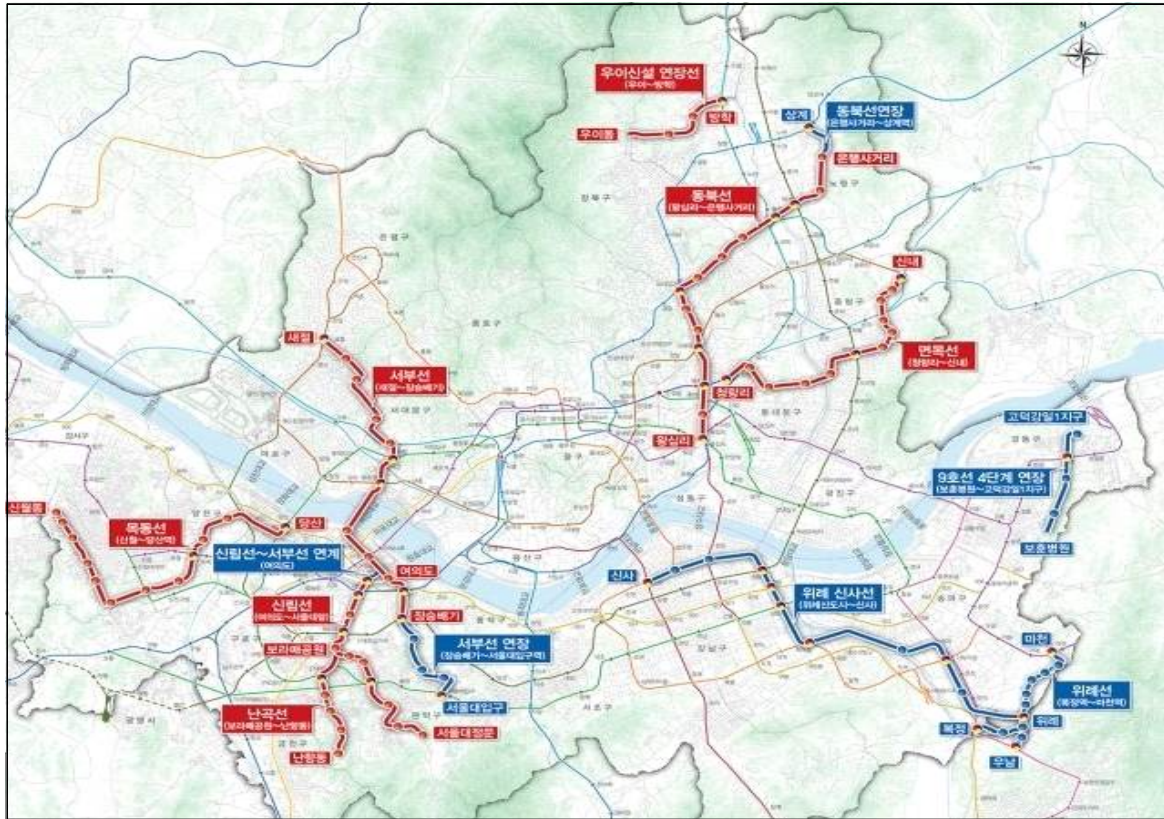
○ 수도권 일부를 제외하고 전국 지자체에서는 향후 경전철을 중심으로 한 도시철도 시장이 형성되어 있고, 현재 광역시·도에서 연계 교통망 확충을 위해 41개 노선(총 연장 621.07km) 27조 4,369억 원 규모의 도시전철 사업을 추진 및 계획 중임.

○ 도시인구 증가에 따른 과밀화로 제한된 도시공간의 입체화 활용화 극대화 요구와 광역도시간 밀접한 연계로 이동수요 증가에 따른 경전철의 지속적인 확충이 예상됨.

-서울시 10개년 도시철도망 구축계획(2015.6)에 따르면, 2025년까지 10개 노선(89.17km), 총 사업비 8조 7,961억원 규모의 도시철도 구축 계획을 수립함.

<서울특별시 도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간			사업기간	연장 (Km)	사업비 (억원)
		기점	종점	주요경유지			
계						89.17	87,961
1	신림선	여의도	서울대앞	보라매, 신림	‘16~‘20	8.06	8,329
2	동북선	왕십리역	상계역	고려대, 월계	‘16~‘20	13.34	15,754
3	면목선	청량리	신내동	면목	‘17~‘21	9.05	8,894
4	서부선	새절역	서울대입구역	신촌	‘20~‘24	16.15	16,191
5	우이신설 연장선	우이동	방학역	-	‘18~‘22	3.50	2,890
6	목동선	신월동	당산역	오목교	‘21~‘25	10.87	9,392
7	난곡선	보라매공원	난향동	신대방	‘18~‘22	4.13	3,912
8	9호선 4단계 연장	보훈병원	고덕강일1지구	한영외고	‘18~‘25	3.80	6,546
9	위례신사선	위례내부	신사역	가락시장, 학여울, 청담	‘20~‘24	14.83	14,253
10	위례선	마천역	북정·우남역	중앙역	‘18~‘21	5.44	1,800

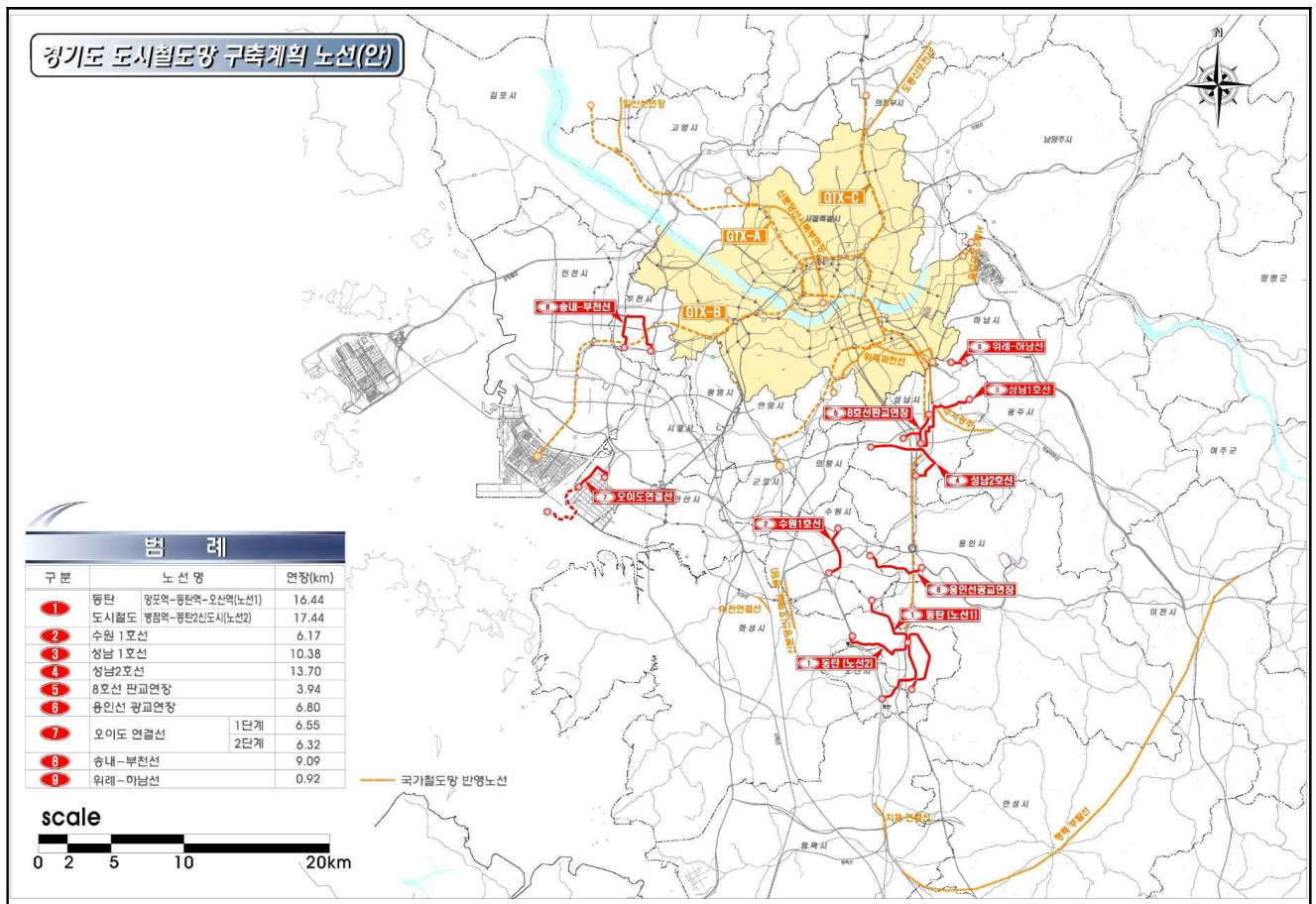


(출처: 서울특별시)

-경기도 도시철도망 구축 변경 계획(2016.12)에 따르면, 2025년까지 9개 노선(91.45km), 총사업비 3조 3,519억원 규모의 도시철도 구축 계획을 수립함.

<경기도 도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간	사업기간	연장 (Km)	사업비 (억원)
계				91.45	33,519.7
1	동탄도시철도	노선1(망포역~동탄역~오산역)		16.44	6,499.0
2		노선2(병점역~동탄역~동탄2)		17.44	4,333.8
3	수원1호선	수원역~한일타운		6.17	1,763.6
4	성남1호선	판교역~성남산업단지		10.38	2,340.8
5	성남2호선	판교차량기지~판교지구,정자역		13.70	3,468.0
6	8호선 판교연장	모란차량기지~판교역		3.94	4,479.1
7	용인선 광교연장	광교중앙역~기흥역		6.80	5,400.3
8	오이도연결선	오이도역~오이도		6.55	1,760.6
9	송내-부천선	송내역~부천역		9.09	2,516.2
10	위례-하남선	위례중앙역~위례하남		0.94	958.3



(출처: 경기도)

-부산시 도시철도망 구축계획(2017.6)에 따르면, 2025년까지 7개 노선(82.0km), 총사업비 3조 8,061억원 규모의 도시철도 구축 계획을 수립함.

<부산광역시 도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간			개통시기	연장 (Km)	사업비 (억원)
		기점	종점	차량시스템			
계						82.0	38,061
1	하단~녹산선	하단	녹산	경량전철	’24	14.4	10,477
2	강서선	대저	명지오션시티	노면전차	’25	21.3	5,241
3	정관선	월평리	좌천리	노면전차	’30이후	12.8	3,755
4	송도선	자갈치역	장림삼거리	노면전차	-	7.3	3,732
5	기장선	안평역	일광지구	경량전철	-	7.1	4,567
6	C-Bay~Park선	중앙동	부산시민공원	노면전차	’27	9.1	5,002
7	신정선	노포역	월평리	경량전철	’30이후	10.0	5,287



(출처: 부산광역시)

-인천시 도시철도망 구축계획(2016.4)에 따르면, 2031년까지 7개 노선(81.95km), 총사업비 5조 3,043억원 규모의 도시철도 구축 계획을 수립함

<인천광역시 도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간	사업기간	연장 (Km)	사업비 (억원)
계				81.95	53,043
1	서울7호선 청라국제도시 연장	서울7호선 석남~공항철도 청라국제도시	'18~'25	10.60	12,382
2	인천1호선 검단연장	인천1호선 계양~검단신도시	'16~'22	7.83	6,934
3	인천2호선 김포연결	인천2호선 완정~김포도시철도 걸포지구	'20~'27	7.24	6,469
4	대순환선 2호선 환선	인천2호선 인천대공원~인천2호선 시민공원	'22~'29	29.38	17,823
5	영종내부순환선 1단계	영종하늘도시~공항철도 제2여객터미널	'20~'27	14.80	4,438
6	송도내부순환선 1단계	인천글로벌캠퍼스~인천1호선 송도랜드마크시티	'18~'25	7.40	1,590
7	인천2호선 시흥은계연장	인천2호선 인천대공원~시흥은계지구	'24~'31	4.70	3,407



(출처: 인천광역시)

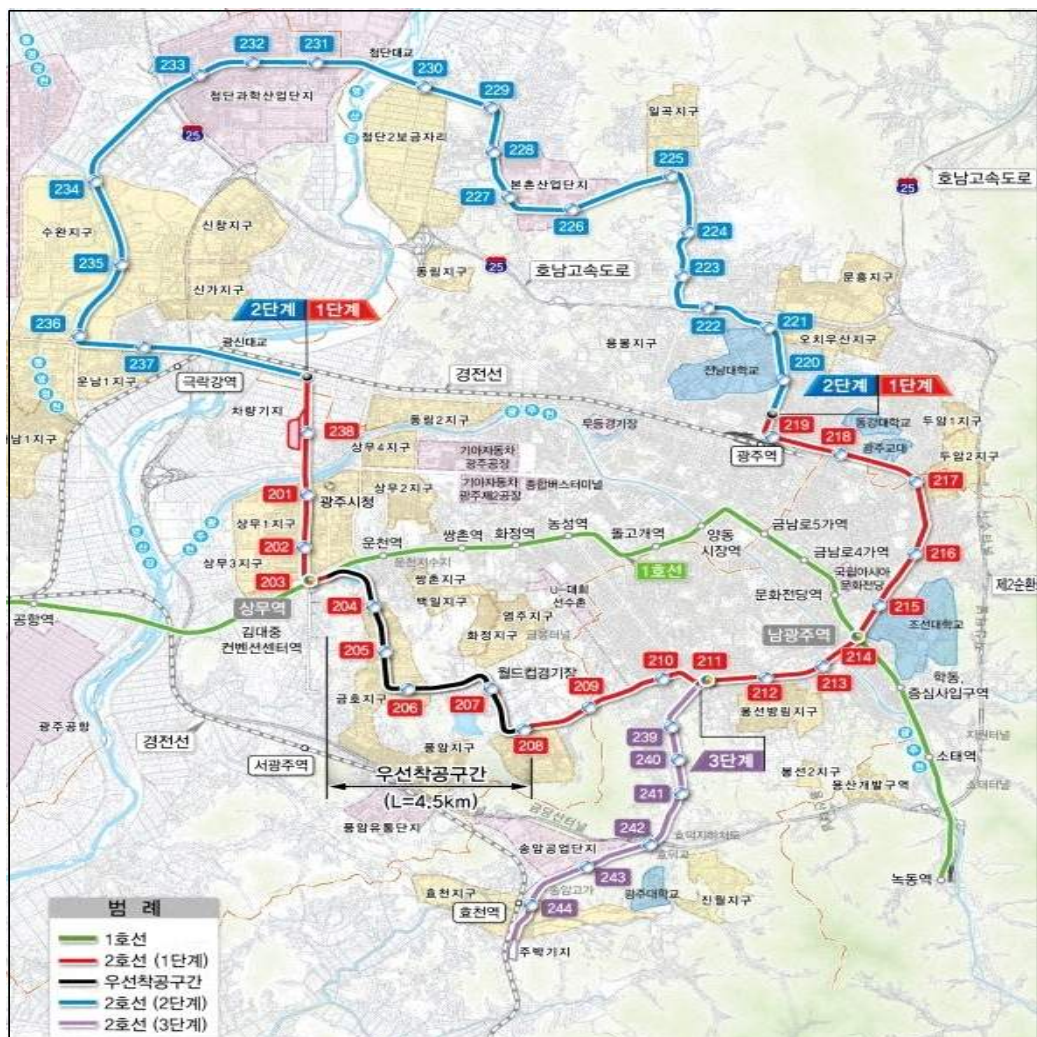
-대구시 도시철도망 구축계획(2016.3)에 따르면, 2025년까지 4개 노선(59.9km), 총사업비 3조 302억원 규모의 도시철도 구축 계획을 수립함.

<대구광역시 도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간	사업기간	연장 (Km)	사업비 (억원)
계				59.9	30,302
1	엑스코선	수성구민운동장역~동대구역~경북대 북문~북현오거리~엑스코~이시아폴리스	‘17~‘26	12.4	2,672
2	3호선 혁신도시 연장선	3호선종점(용지역)~대구스타디움~고산역~신기역~신서혁신도시	‘17~‘25	13	4,918
3	순환선	큰고개역~두류역~현충로역~황금네거리~만촌역~큰고개역	‘20~‘35	25.8	7,615
4	1호선 하양연장선	1호선(안심역)~사북역~청천리~신설역~하양역	‘16~‘21	8.7	15,097



(출처: 대구광역시)



(출처: 광주광역시)

-광주광역시 1개 노선(41.9km), 1조 9,053억 원 규모의 도시철도 사업 추진·계획 중임.

<광주광역시 도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간	사업기간	연장 (Km)	사업비 (억원)
계				41.9	19,053
1	2호선 1단계	차량기지~시청~상무역~월드컵경기장~백운광장 ~조선대~광주역	‘18~’22	17.06	8,783
2	2호선 2단계	광주역~전남대~일곡~첨단~수완~운남~차량기지	‘19~’23	20.00	8,042
3	2호선 3단계	백운광장~효천역	‘22~’24	4.84	2,228

-대전광역시 2개 노선(174.7km), 1조 2,429억 원 규모의 광역·도시철도 사업을 추진·계획 중임.

<대전 광역·도시철도 기본계획>

연번	노선명	구 간	개통시기	연장 (Km)	사업비 (억원)
계				174.7	12,429
1	대전 2호선	서대전역~정부청사역~유성~진잠~가수원역	’25	32.4km	5,481
2	충청권 광역철도 1단계	계룡~신탄진	-	35.4km	1,867
3	충청권 광역철도 2단계	논산~대전~세종~청주공항	-	106.9km	5,081

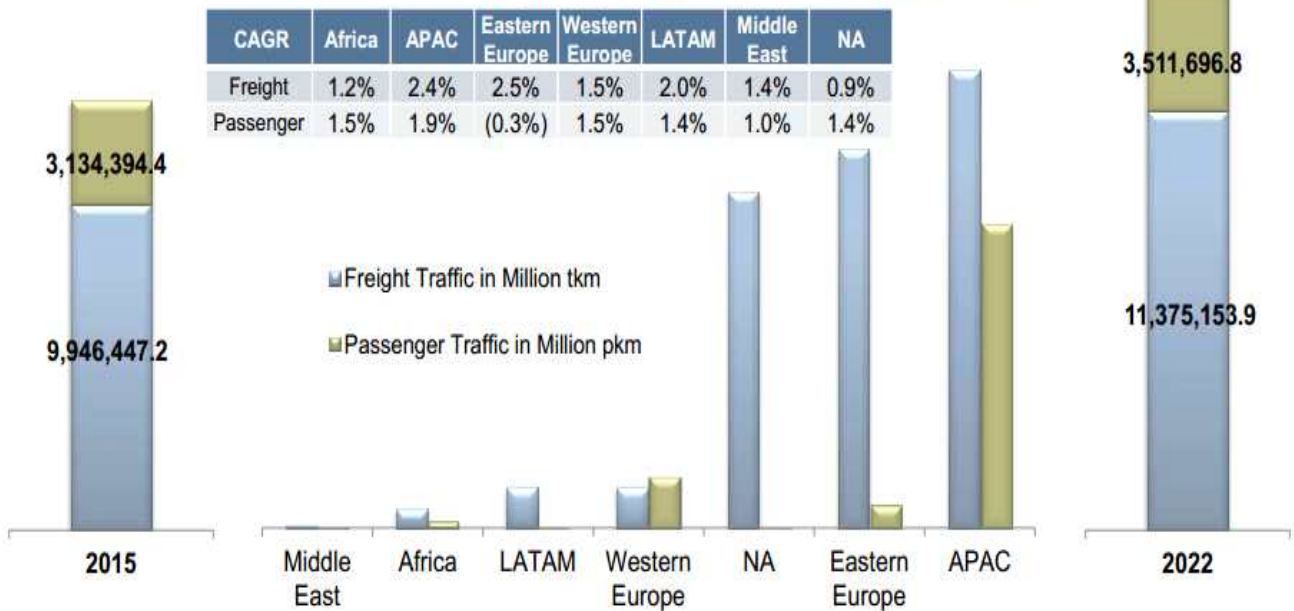


(출처: 대전광역시)

2. 국외 시장현황 및 전망

- 세계시장규모는 북아메리카에서 2015년부터 4년간 철도 인프라에 190억 달러를 투자 할 것이며, 유럽 전역에서 3,410억 5천만 유로의 철도 인프라 프로젝트가 진행되고 있음.

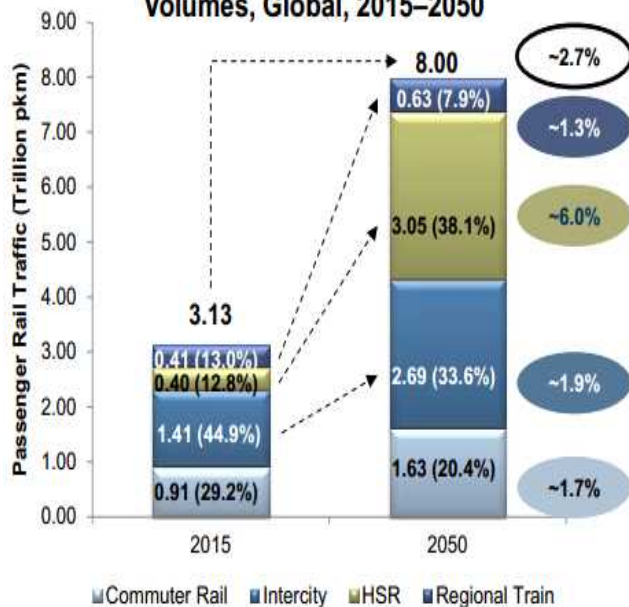
Rail Market: Total Expected Rail Traffic, Global, 2015–2022



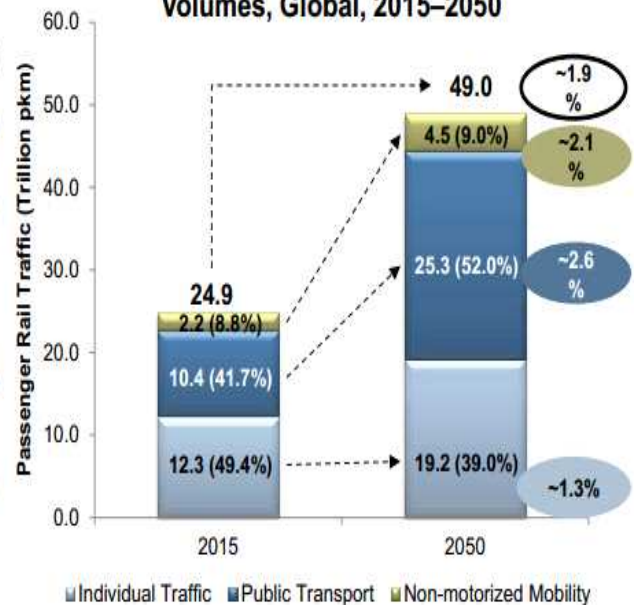
(출처: UIC;Frost & Sullivan)

- 2016년 현재 철도 산업의 효율 개선에 대한 요구로 철도 인프라의 업그레이드 시장이 형성 될 것이며, 도시철도 교통량의 연간 연평균 성장률(CAGR) 2%로 예상됨.
- 인도 정부는 인프라 개발을 위해 외국인 투자에 대한 문호를 열어 아시아에서 가장 빠르게 성장 하는 철도 시장이 될 것으로 예상됨.
- 2015년에서 2050년까지 승객이동의 수요증가가 연평균 성장률이 2.7% 예상됨.

Rail Market: Market Share of Mainline Passenger Volumes, Global, 2015–2050

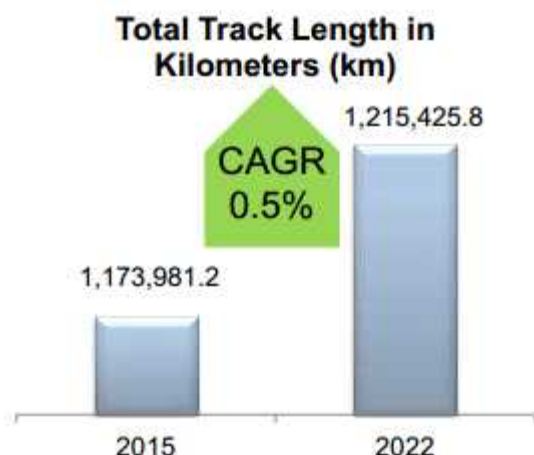


Rail Market: Market Share of Urban Traffic Volumes, Global, 2015–2050



(출처: UIC;Frost & Sullivan)

- 2015년에서 2022년까지 세계 철도 분야 트랙의 길이는 연간 연평균 성장률(CAGR) 0.5% 증가로 예상되어 41,444.6Km 증가가 예상됨.



(출처: UIC;Frost & Sullivan)

- 현재 동남아, 중동 등을 중심으로 고가 경전철 사업이 활발히 추진 및 계획 중에 있음.

<해외 경전철 사업 계획(일부)>

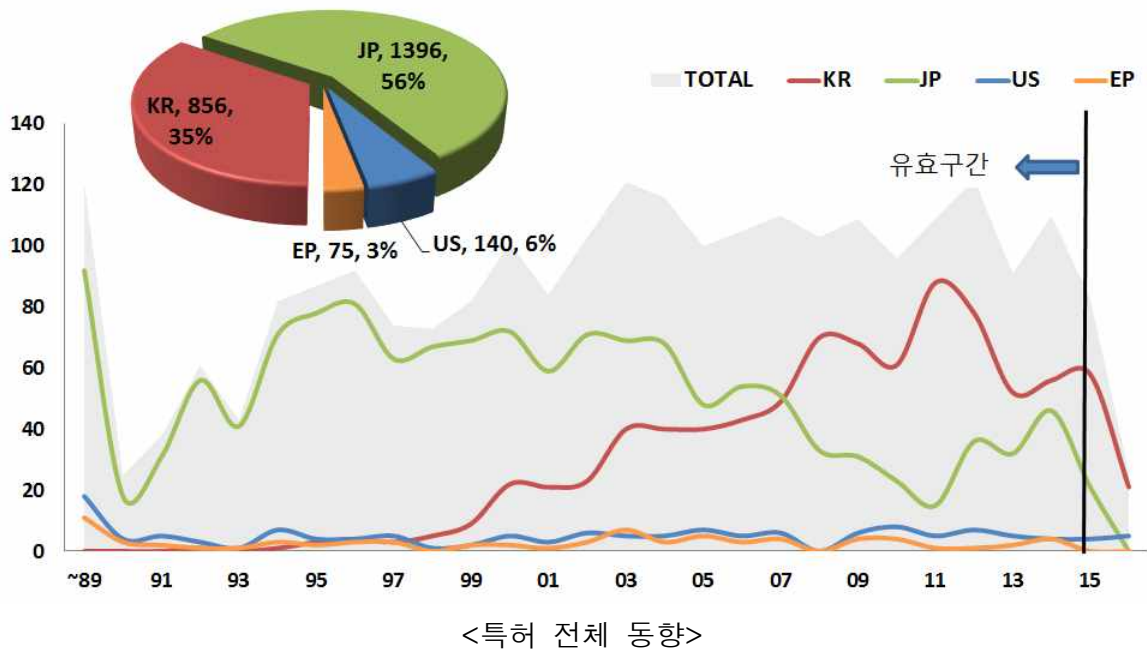
국가명	사업명	연장(km)	공사규모	비고
베트남	하노이 경전철	8.5	약 1,000억원	8개 노선 계획중
베트남	호치민 메트로 5호선	14.5	-	2구간
말레이시아	MRT 2호선	56	-	3호선 계획중
말레이시아	Ampang Line(연장)	18.1	-	
말레이시아	Kelana Jaya Line(연장)	17.4	-	
말레이시아	LRT 3	36	약 2조4천억원	
태국	Greater Kaohsiung LRT	22.1	약 6,300억원	
태국	수완나폼 공항 APM	6.6	약 1,000억원	
태국	ICON-SIAM (Gold line)	6	-	
필리핀	마닐라 LRT 2 (연장)	8.1	-	
필리핀	마닐라 LRT 4	11	약 1조2천억원	
필리핀	마닐라 LRT 6	19	약 1조6천억원	
인도네시아	LRT	42.1	약 1조8천억원	
인도네시아	SHIA APM	4	약 1,000억원	
카타르	루사일 경전철	38.5		
하와이	호놀룰루 경전철	8.4	약 1조원	전체 32km
파라과이	Encarnacion	14	약 4,000억원	

3절. 국내외 기술 동향

1. 특허 동향

○ 분석 개요

- 본 특허기술 분석은 1979년부터 지금까지 출원된 경전철용 미래선도형 고가구조물과 관련한 2,467건의 특허검색 결과를 바탕으로, 연도별 및 국가별 특허출원 동향과 전세계 및 국가별 주요 출원인 현황을 분석함.
- 주요국의 특허점유를 보면 일본이 1,396건(56%)로 가장 많은 출원을 하고 있으며, 그 다음으로는 한국이 856건(35%)의 출원을 보이고 있으며, 특이한 점은 일본은 2006년 이전에 주도하고 있으며 2007년 이후는 한국이 주도하고 있는 것으로 나타나며, 전체적으로는 매년 100건 내외의 특허가 출원되고 있음.
- 각 국가별로 살펴보면 일본은 90년대 특허 출원이 계속 증가하는 추세에 있으며 2000년 중반까지는 출원량이 유지되고 있으나 그 이후는 감소하는 추세로 나타나며, 한국은 90년대까지는 출원량이 미미하다 2000년에 들어오면서 특허출원량이 증가하기 시작하여 2010년대 초반까지 꾸준히 증가하는 추세를 보이다 2013년에 약간 주춤하고 있으나 다시 증가하는 경향을 보이고 있음.

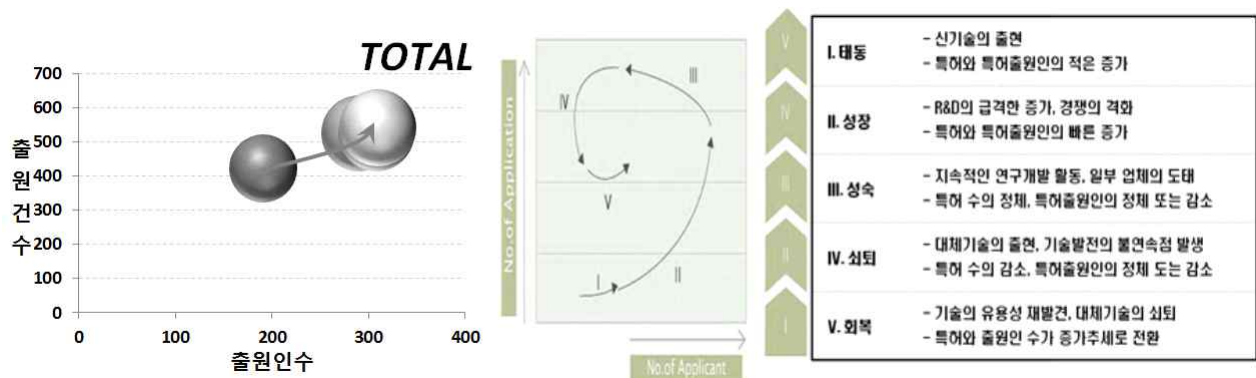


<국가별 특허 동향>

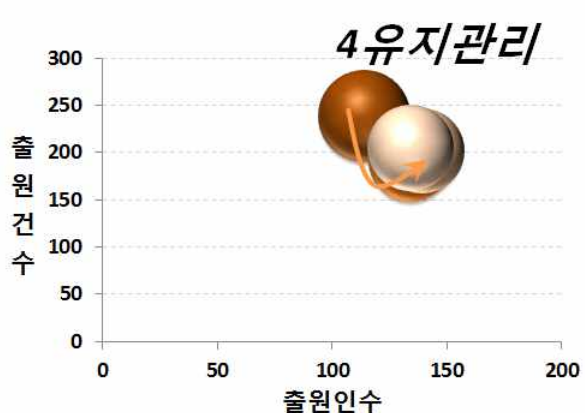
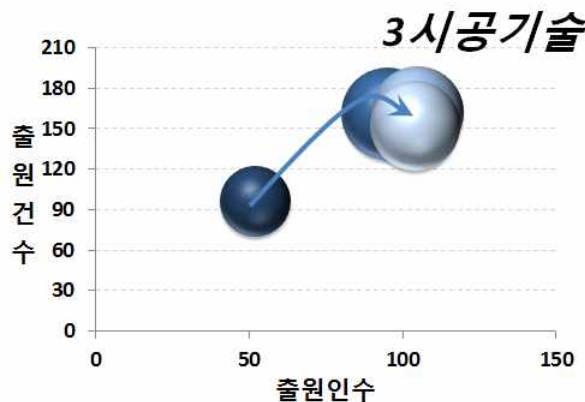
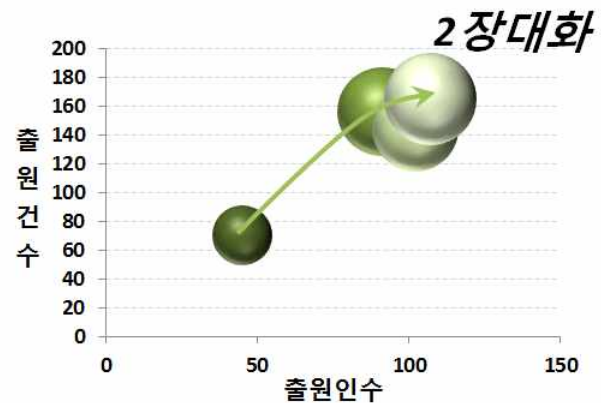
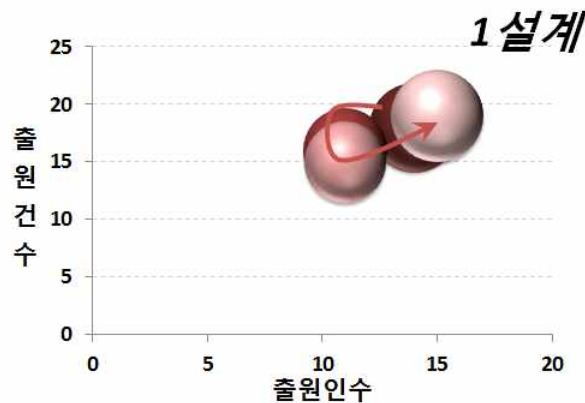
- 미국과 유럽은 상대적으로 출원량이 미미하나 매년 7건 정도의 특허를 꾸준히 출원하고 있는 것으로 나타남.

○ 기술발전위치

- 처음 신기술이 개발되면(시장에 진입하면) 다수의 개발자(출원인)가 소수의 특허를 출원하게 되나, 시장이 안정기 초반에 접어들면 기술력이 약한 개발자는 퇴출되고, 출원량은 투입된 연구개발비에 맞춰 많은 특허를 출원하게 되며 이때가 발전기에 해당됨. 그러다가, 안정기 후반이 되면 월등한 개발자들만 남게 되고, 완성한 연구개발을 함으로써 퇴출된 개발자들의 특허건수를 유지시키며 성숙기 단계를 형성하게 되는 양상을 보임.



<특허로 본 기술발전 위치>



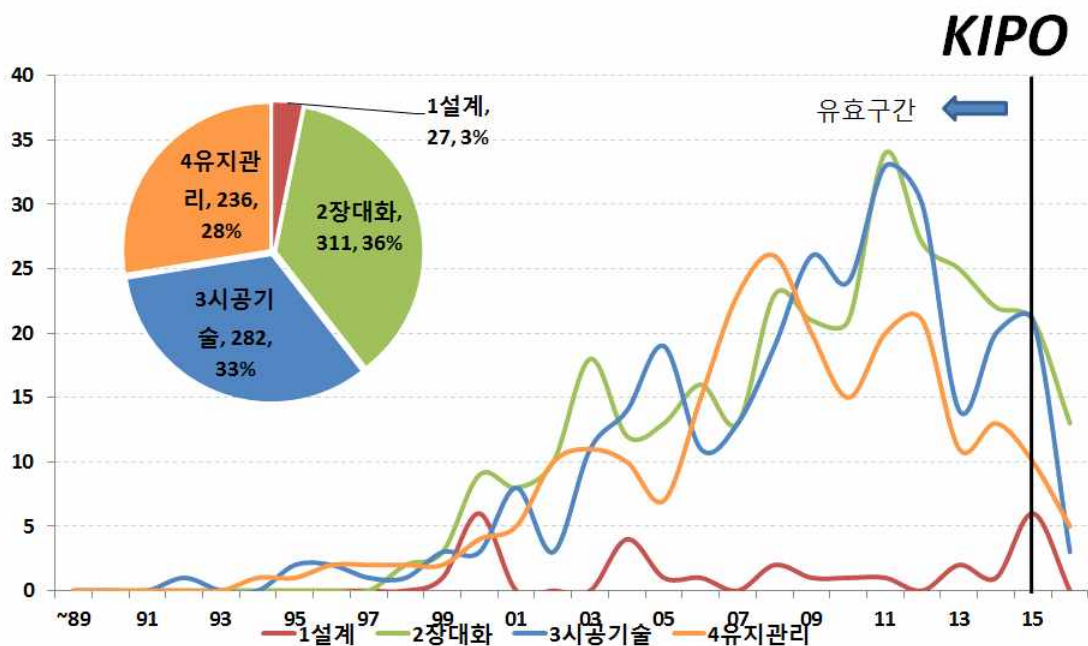
1. 분석구간 : 1996~2000(1구간), 2001~2005(2구간), 2006~2010(3구간), 2011~2015(4구간) (출원년도)
2. X축: 출원인수(특허권자수), Y축: 출원건수(특허건수)

<기술별 기술발전 위치>

- 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야 전체는 출원건수와 출원인수가 증가하고 있는 성장기 단계에 해당하는 것으로 판단되며, 각 기술 분야별 기술발전 위치도 출원건수와 출원인수가 증가하고 있는 성장기 단계로 판단됨.

○ 국가별 기술 동향

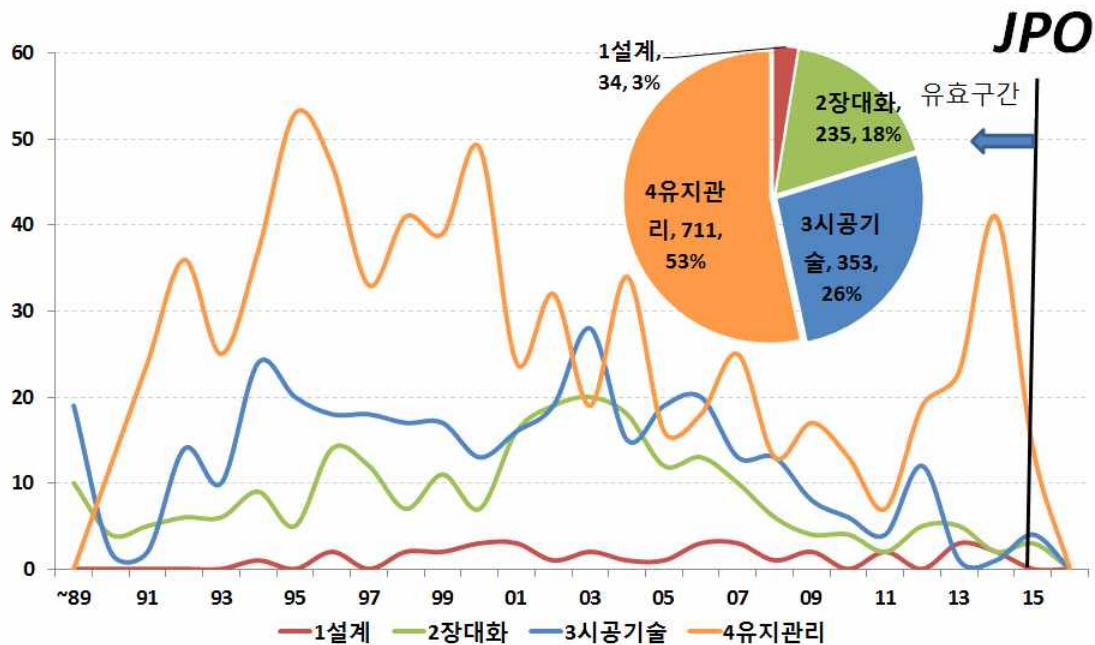
- 한국에서 기술 분야별 연도별 특허동향은 설계를 제외한 모든 분야에서 2000년부터 출원이 상승하기 시작하여 2011년까지 급격히 상승하다 2013년에 조금 감소하기는 했지만 그 이후 다시 상승하는 것으로 나타나 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야에 관심이 높아지고 있는 것으로 조사됨.
- 한국의 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야에서 장대화 및 경량화기술 분야가 가장 많은 비율을 점유하고 있으나 시공기술 분야와 유지관리기술 분야도 비슷한 출원 비중을 가지고 있는 것으로 나타나 설계기술 분야를 제외한 모든 기술 분야에 관심이 있는 것으로 나타나며 특히 최근에 들어 출원량이 급격히 증가되는 것으로 보아 경전철용 미래선도형 고가구조물에 관심이 높아지고 있는 것으로 판단됨.



<한국의 기술별 특허 동향>

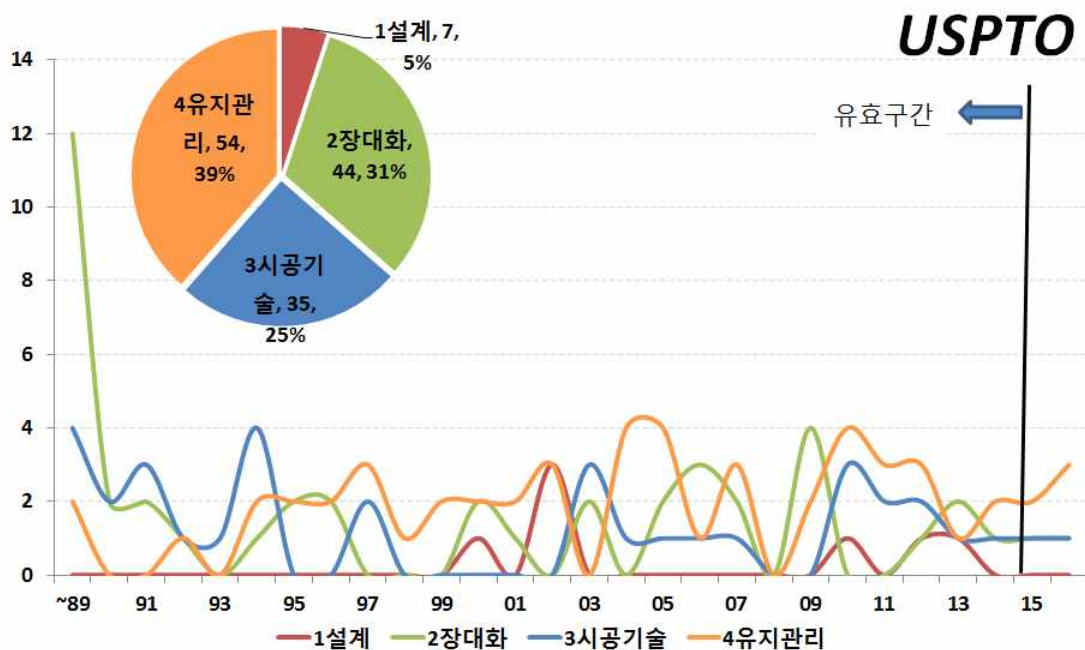
- 한국의 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야에서 장대화 및 경량화기술 분야가 가장 많은 비율을 점유하고 있으나 시공기술 분야와 유지관리기술 분야도 비슷한 출원 비중을 가지고 있는 것으로 나타나 설계기술 분야를 제외한 모든 기술 분야에 관심이 있는 것으로 나타나며 특히 최근에 들어 출원량이 급격히 증가되는 것으로 보아 경전철용 미래선도형 고가구조물에 관심이 높아지고 있는 것으로 판단됨. 일본에서 기술 분야별 연도별 특허동향은 장대화 및 경량화기술 분야와 시공기술 분야는 1990년대부터 2007년까지 꾸준한 특허 출원을 유지하고 있으며, 2004년 이후에는 감소하는 경향이 나타나고 있으며, 유지관리기술 분야는 1990년대 많은 출원을 하면서 기술개발이 활발하다 2010년대에는 주감소하는 경향을 갖고 있으나 여전히 다른 국가보다는 많은 출원을 보이고 있으며, 최근 들어 급격히 상승하고 있어 유지관리기술 분야는 다시 새로운 기술개발에 관심이 높아지고 있는 것으로 조사됨.

- 일본의 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야에서 유지관리기술 분야가 53%를 점유하고 있어 가장 활발한 기술개발이 이루어지고 있는 분야이며, 그다음으로는 시공기술 분야, 장대화 및 경량화 기술 분야 순으로 나타나고 있으며 최근 들어 장대화 및 경량화기술 분야와 시공 기술 분야는 출원이 감소하는 반면 유지관리기술 분야는 다시 증가하는 것으로 보아 일본은 경전철용 미래선도형 고가구조물 기술이 유지관리기술을 중심으로 기술개발이 이루어지고 있는 것으로 판단됨.



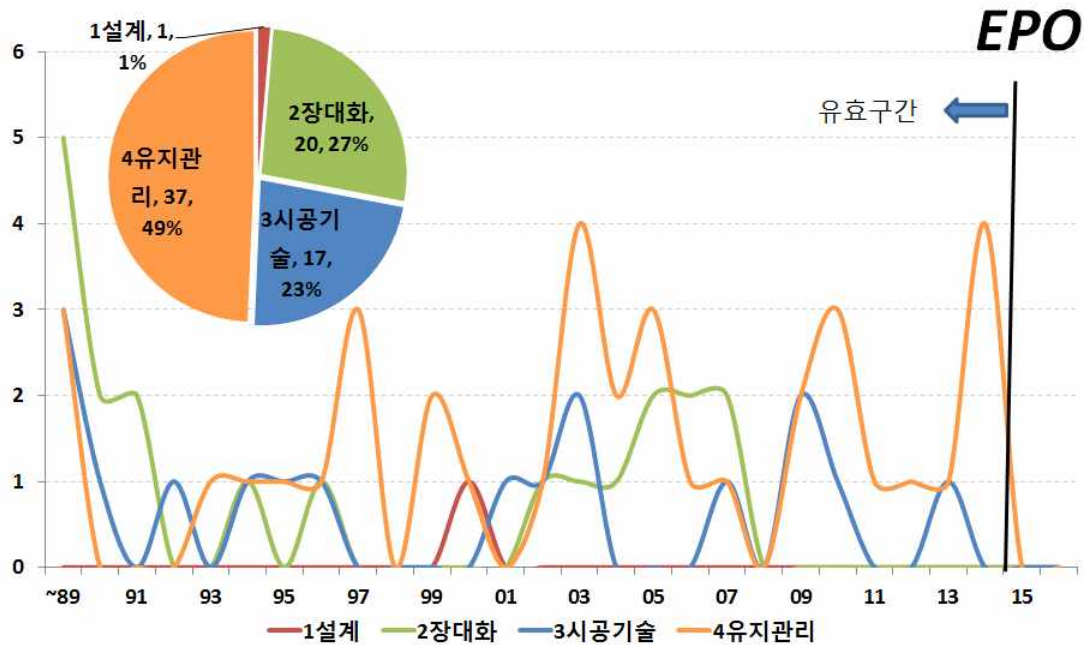
<일본의 기술별 특허 동향>

- 미국의 경전철용 미래선도형 고가구조물 기술은 특허 출원이 많지 않아 동향을 나타내고 있지 않으며, 유지관리기술 분야, 장대화 및 경량화기술 분야, 시공기술 분야, 설계기술 분야 순으로 특허가 출원되고 있음.



<미국의 기술별 특허 동향>

- 유럽의 경전철용 미래선도형 고가구조물 기술은 특허 출원이 많지 않아 동향을 나타내고 있지 않으며, 유지관리기술 분야, 시공기술 분야, 장대화 및 경량화기술 분야, 설계기술 분야 순으로 특허가 출원되고 있음.



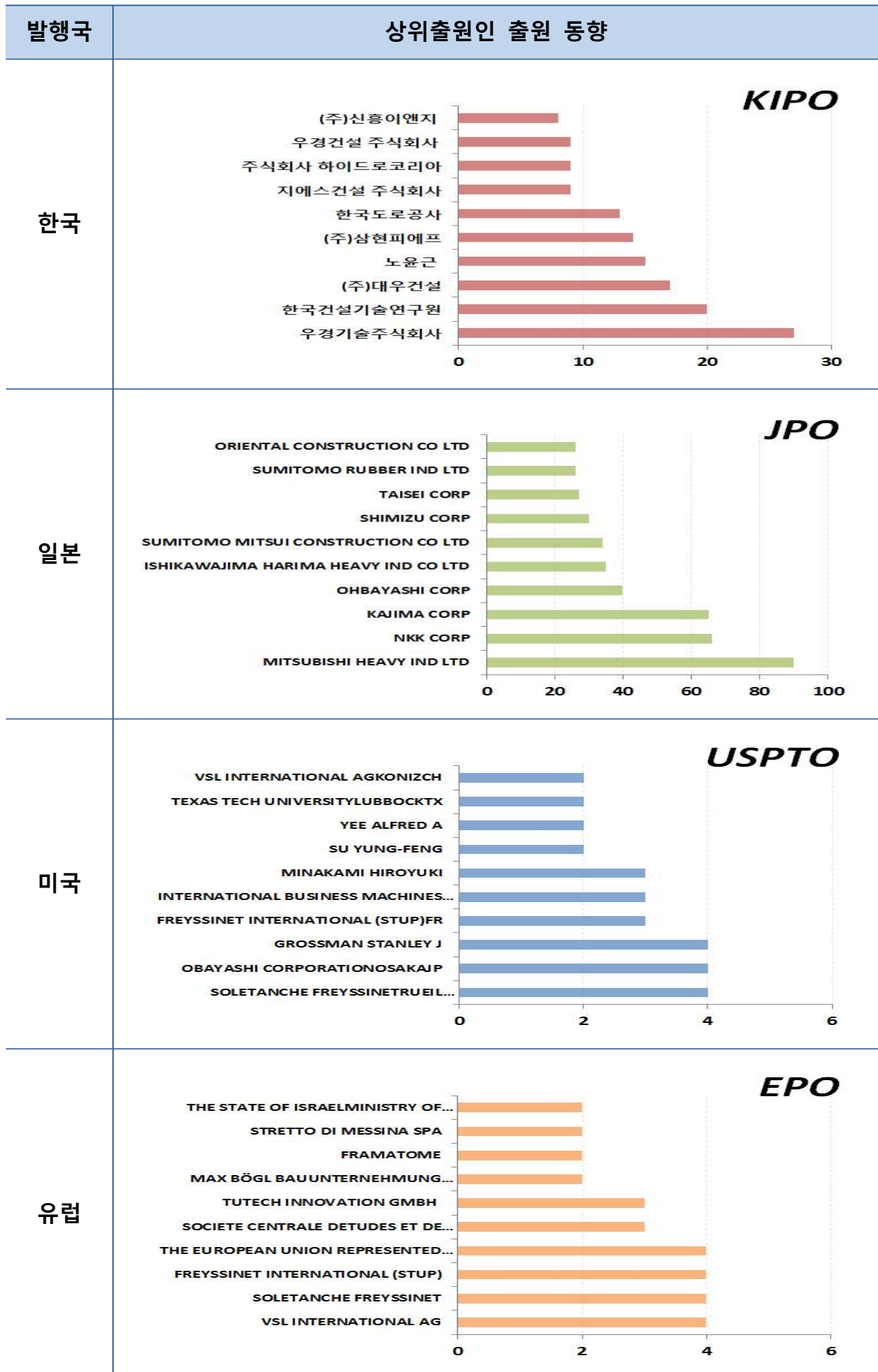
<유럽의 기술별 특허 동향>

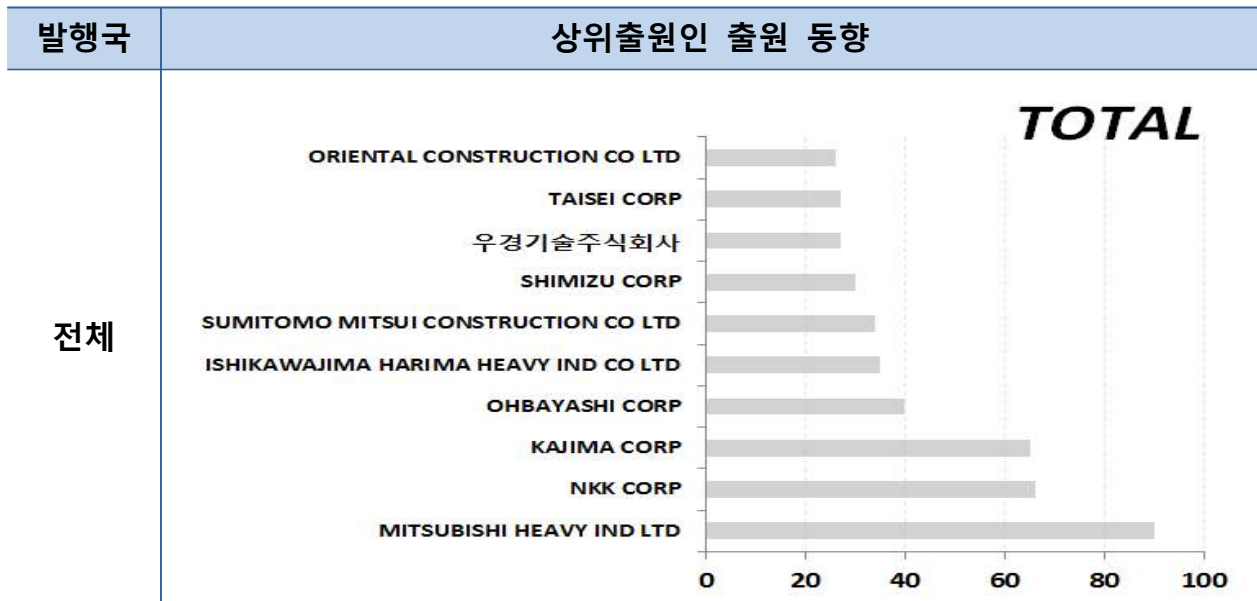
○ 출원인 동향

(1) 상위출원인 분석

- 한국에서 특허를 출원한 출원인 중에서는 우경기술주식회사와 한국건설기술연구원 및 대우건설이 많은 출원을 하고 있는 것으로 나타나 전문건설업체, 연구원 및 대기업 모두가 관심을 갖고 있는 것으로 조사되었음.
- 일본에서 특허를 출원한 출원인 중에서는 MITSUBISHI HEAVY, NKK CORP, KAJIMA CORP, OHBAYASHI CORP에서 많은 특허를 출원하고 있어 연구기관/대학이나 개인보다는 기업출원인에 의해 주도되고 있는 것으로 보임.
- 경전철용 미래선도형 고가구조물의 전체적인 동향을 살펴보면, 일본의 다출원 기업인 MITSUBISHI HEAVY, NKK CORP, KAJIMA CORP, OHBAYASHI CORP 기업이 전체에서도 가장 많은 특허를 출원하고 있으며 TOP 10에 한국 기업 우경기술주식회사를 제외하고는 모두 일본 기업이 차지하고 있는 것으로 조사됨.

<국가별 상위출원인 및 출원인 형태 동향>

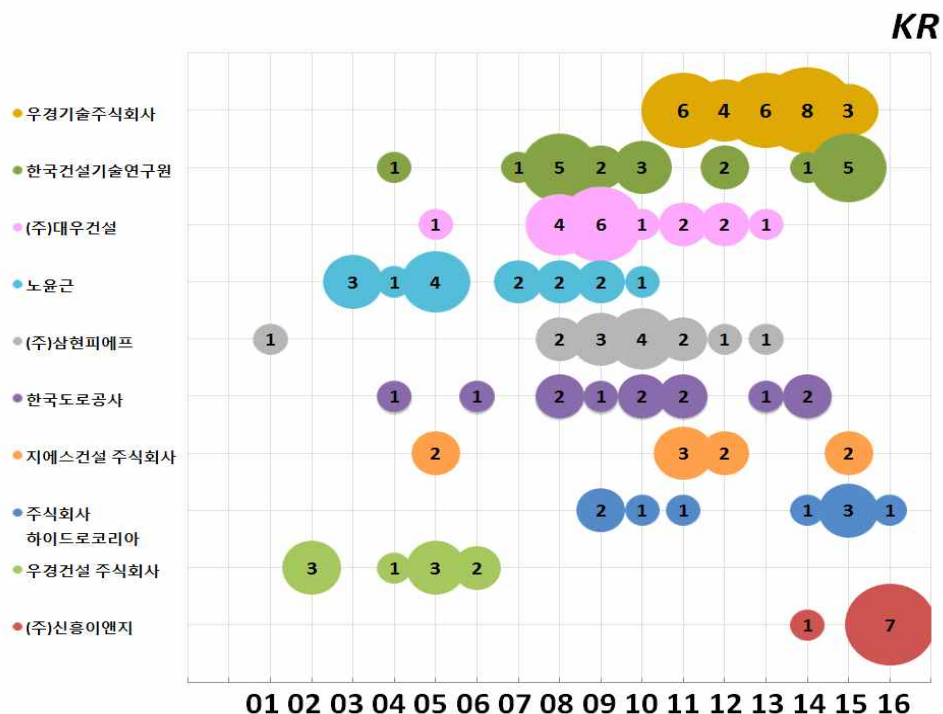




<전체 상위출원인 및 출원인 형태 동향>

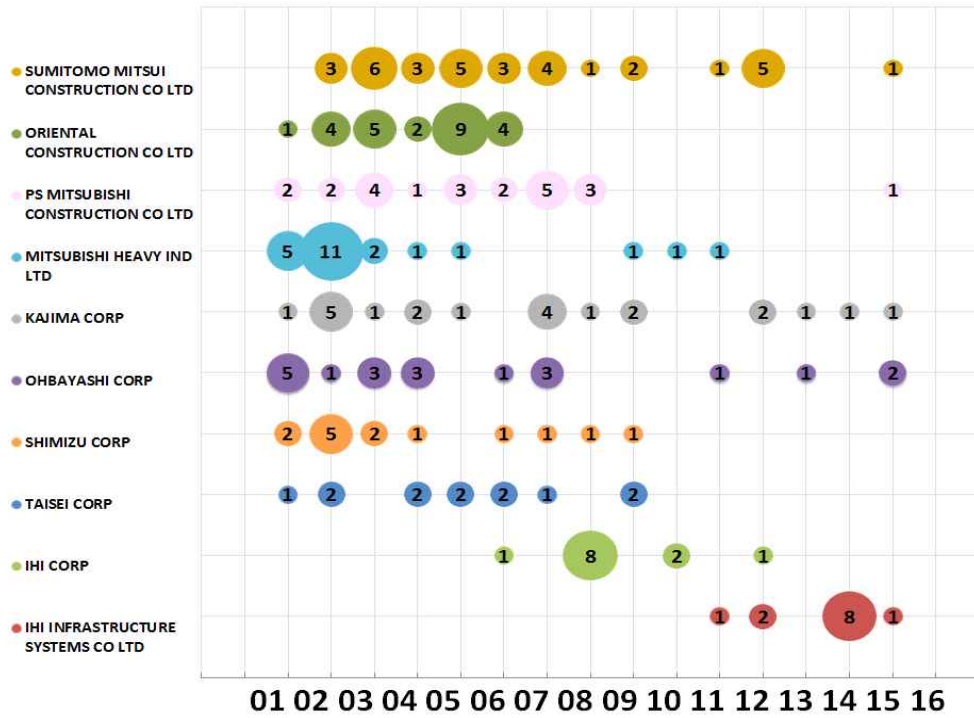
(2) 상위출원인의 출원량 변화

- 한국의 경우, 우경기술주식회사가 가장 많은 출원을 하고 있는데 최근 2010년 이후 많은 출원을 하고 있으며, 한국건설기술연구원은 2000년 중반 이후 꾸준한 출원을 하고 있으며, 한국도로공사와 지에스건설주식회사도 꾸준히 출원을 하는 것으로 나타났으며, 우경건설은 2006년까지 출원을 보이고 그 이후는 대표 노윤근으로 출원하여 2010년까지 꾸준히 출원하고 있으며, (주)신흥이엔지는 2014년 이후에 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야에 출원을 시작한 것으로 보임.



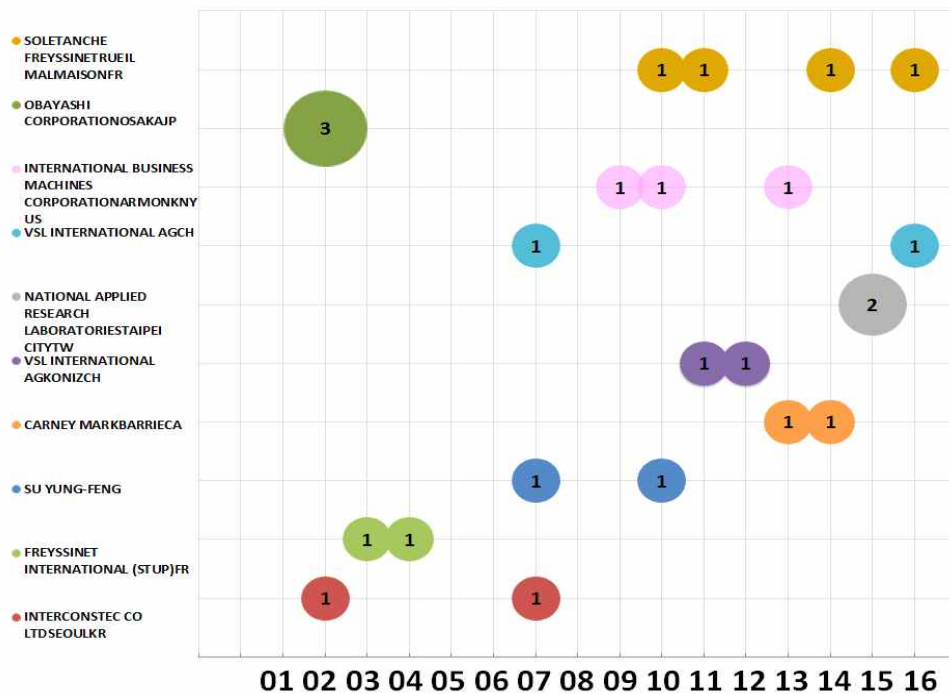
<한국 상위출원인의 출원량 변화>

JP

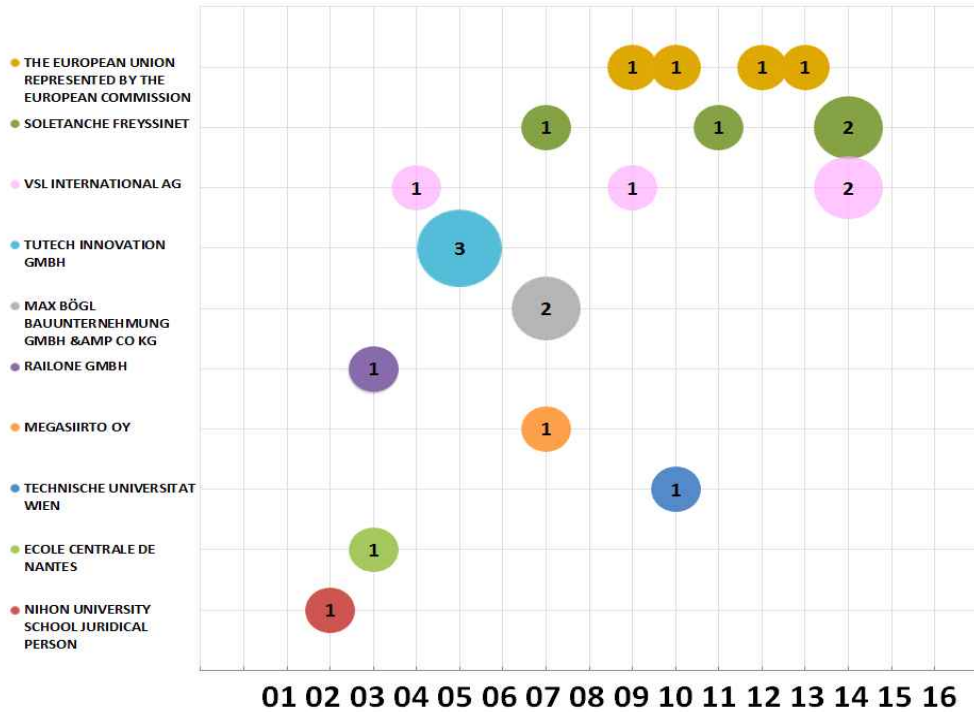


<일본 상위출원인의 출원량 변화>

US



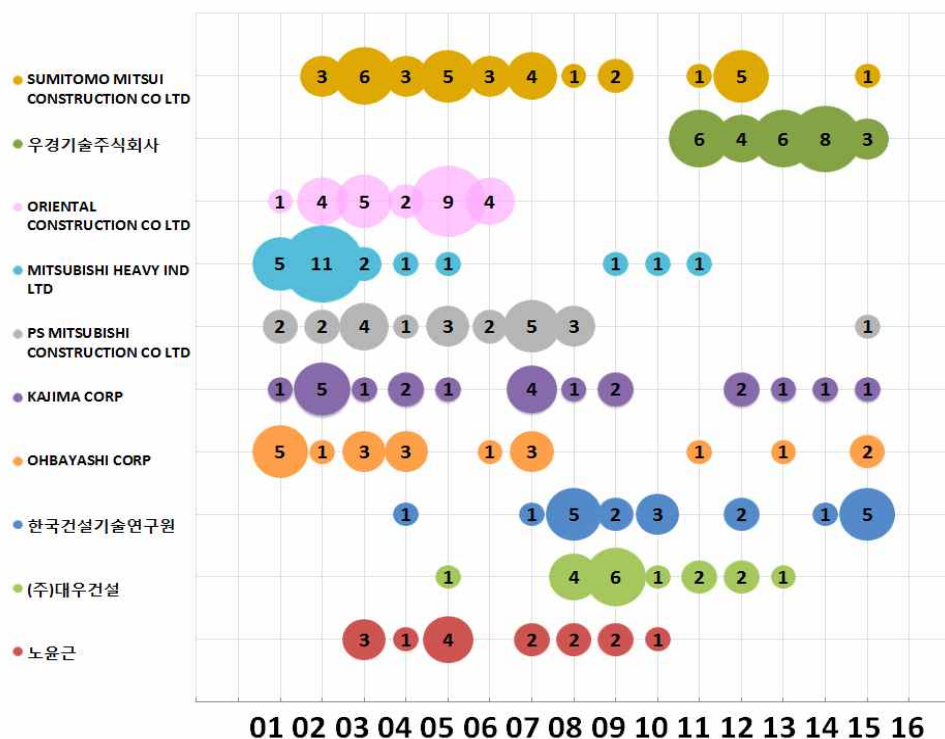
<미국 상위출원인의 출원량 변화>



<유럽 상위출원인의 출원량 변화>

- 일본의 상위출원인의 경우, 모두 기업이 차지하고 있으며, 주로 2010년 이전에 많은 출원을 하고 있으나, SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION, KAJIMA CORP, OHBAYASHI CORP은 꾸준한 출원을 보이고 있으며, IHI INFRASTRUCTURE SYSTEMS는 2011년 이후 많은 출원을 하고 있는 것으로 조사됨.
- 미국과 유럽의 경우, 전체적으로 출원건수가 많지 않고, 출원량의 변화에 있어서도 뚜렷한 경향을 보이지 않음.

TOTAL



<전체 상위출원인의 출원량 변화>

- 전체 특허에서의 최근 15년의 상위출원인 동향을 살펴보면, 한국의 연구소와 기업이 상위 TOP10에 4개이며 나머지는 일본기업으로 조사되어 경전철용 미래선도형 고가구조물 기술분야 전체 특허는 일본이 많이 출원하고 있으나 최근에는 한국이 주도적으로 출원하고 있는 것으로 나타남.

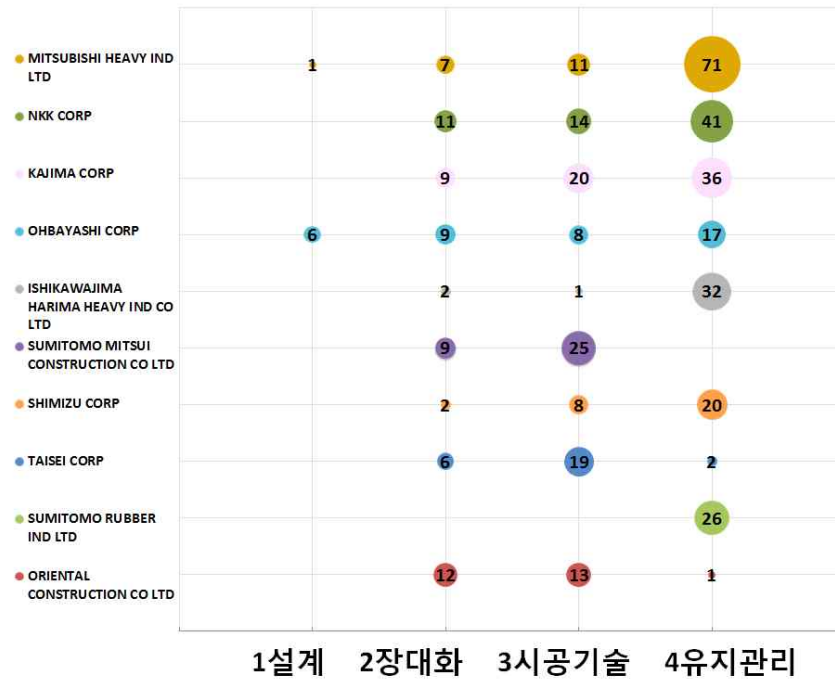
(3) 상위출원인의 기술별 출원량

- 한국의 상위 출원인은 장대화 및 경량화 기술 분야와 시공기술 분야에 출원을 많이 하고 있으며, 유지관리기술 분야와 설계기술 분야에는 출원량이 적으나 한국건설기술연구원과 한국도로공사에서는 모든 분야에 출원을 하고 있는 것으로 나타나 경전철용 미래선도형 고가구조물 분야에 관심을 갖고 있는 것으로 보이며, 대우건설과 지에스건설은 시공기술 분야와 유지관리기술 분야에 집중하고 있는 것으로 나타남.



<한국 주요출원인의 기술별 특허 동향>

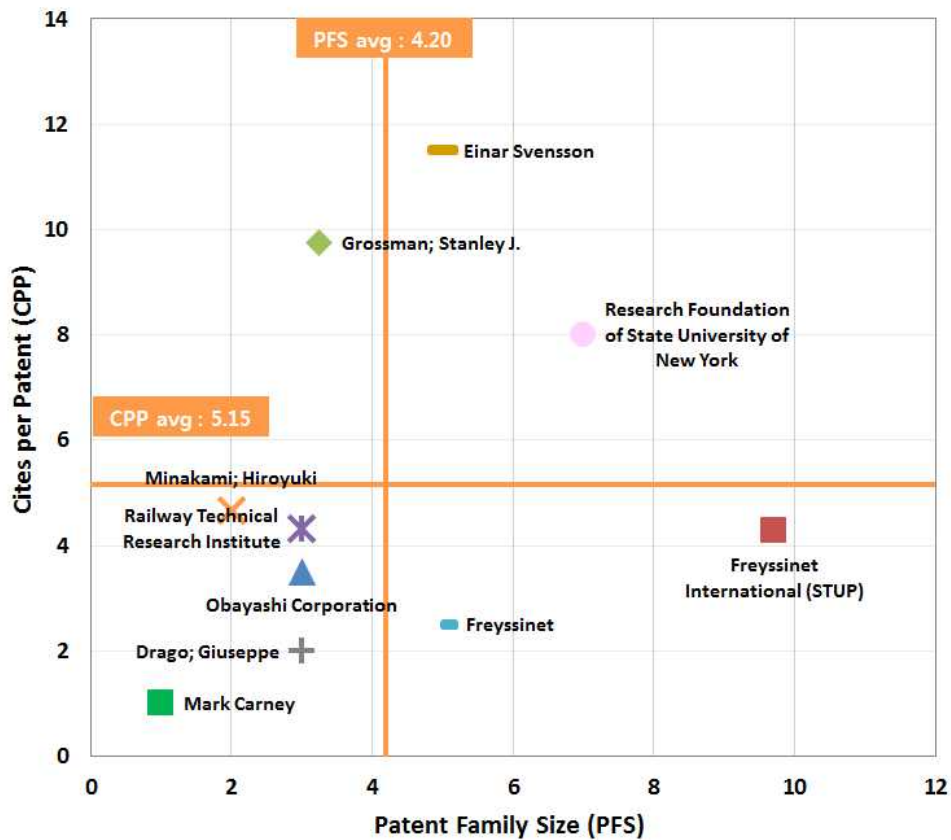
- 일본의 경우, 유지관리기술 분야에 TOP10의 출원인이 가장 많은 출원을 하고 있어 경전철용 미래선도형 고가구조물 기술에서 상대적으로 유지관리기술에 주안점을 두고 기술개발을 하고 있는 것으로 보이며, SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION와 ORIENTAL CONSTRUCTION은 장대화 및 경량화 기술 분야와 시공기술 분야에 많은 출원을 하고 있는 것으로 나타남.



<일본 주요출원인의 기술별 특허 동향>

○ 특허지수 분석

(1) 출원인별 시장력과 피인용 상관관계



<출원인별 시장력과 피인용 상관관계>

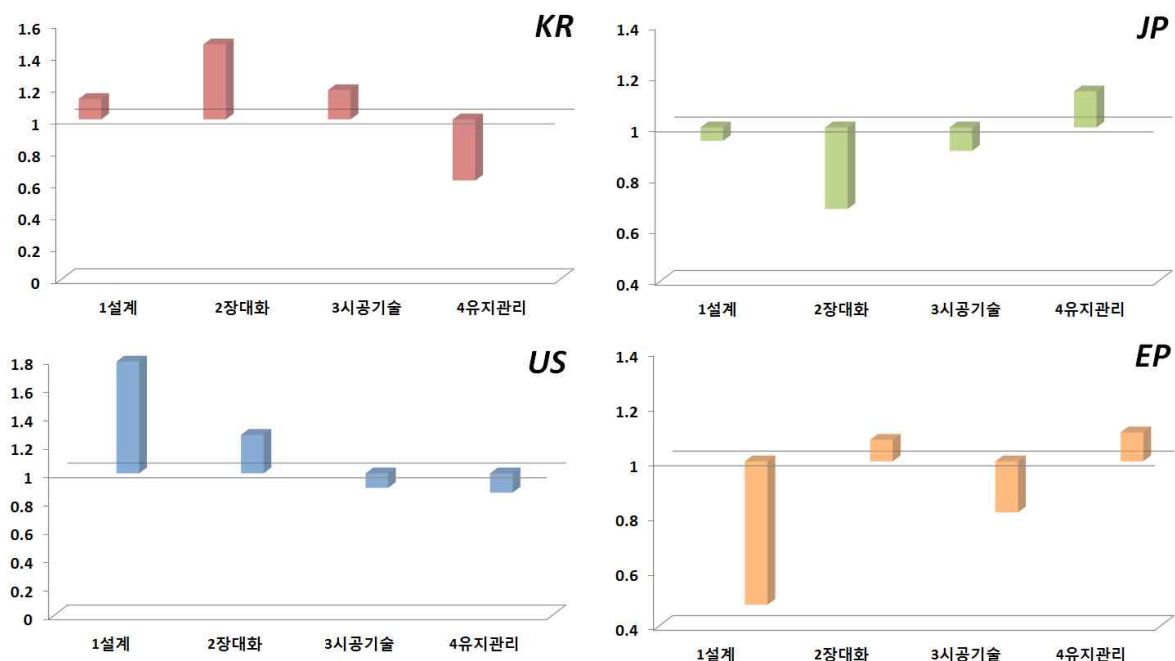
- 미국등록특허에 나타나는 특허의 인용관계(Citation)를 이용하여 특허가 기술적으로 영향을 미치는 정도(피인용도의 비율)*와 패밀리 국가수(시장확보지수)**를 통해 연구주체의 특허가 질적 수준 또는 시장확보를 위한 노력의 정도를 평가 방법임.

***피인용도 지수(CPP, Cites Per Patent)** - 특정 특허권자의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 회수의 평균값으로, 이 값이 클수록 주요특허 또는 원천특허를 많이 가지고 있다는 것을 의미하며 많이 인용되는 특허를 가진 특허권자는 경쟁에서 유리한 위치를 점할 수 있음

****시장확보지수(Patent Family Size)** - 한 발명에 대해 각 국가마다 출원된 특허를 Family patent라 지칭함. 해당 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때에만 해외에 특허를 출원하므로 Family Patent 수가 많을 때에는 특허를 통한 시장성이 크다고 판단되어 이를 시장확보력의 지표로 사용함

- 특허 피인용도 지수(CPP)의 평균은 5.15, 평균 시장확보지수는 4.20로 나타남.

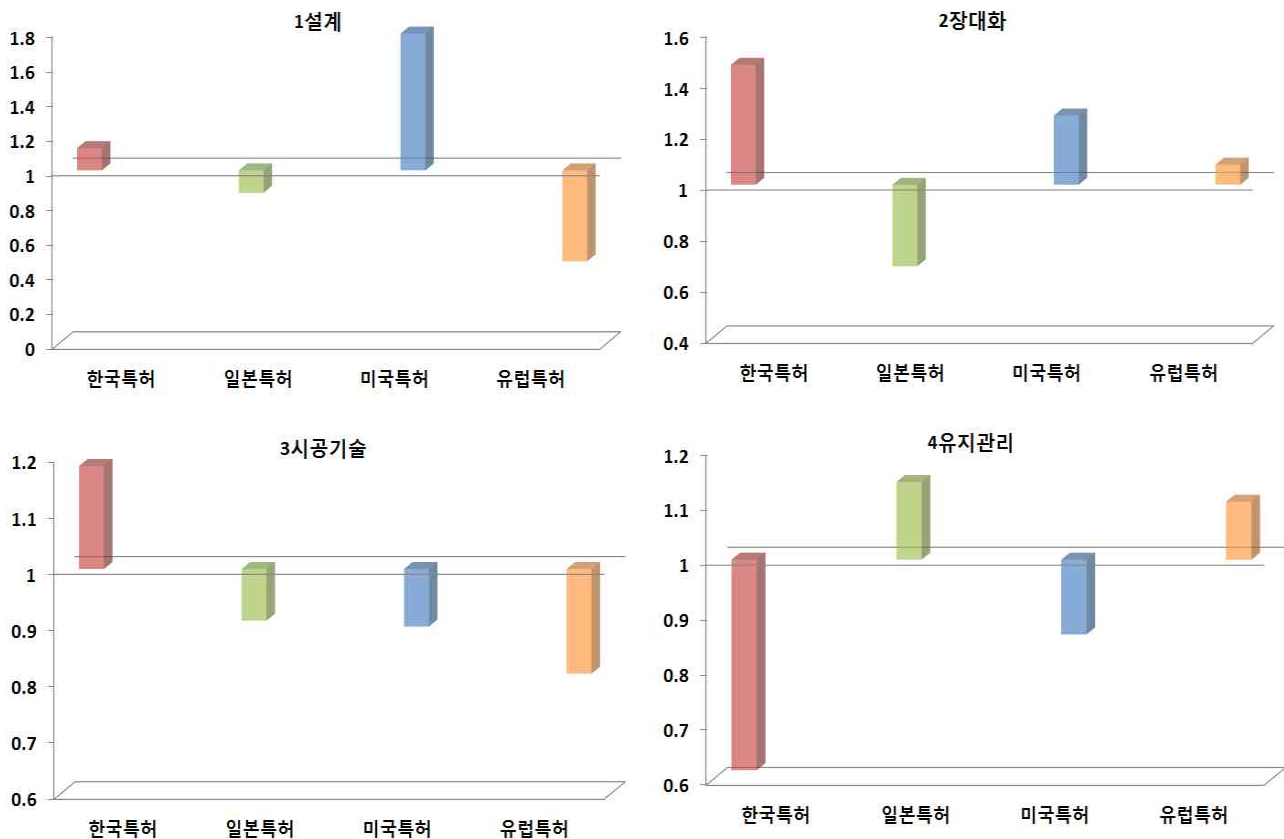
(2) 국가별 상대적 특허 활동



<국가별 특허활동지수>

- 각국의 특허활동지수(A.I.)를 통해 각국이 경전철용 미래선도형 고가구조물 기술에서 어느 기술 분야에 상대적으로 특허 활동이 활발한지 알아보는 평가방법임.
- 한국의 경우, 다른 기술 분야에 비해 장대화 및 경량화 기술 분야가 상대적으로 특허 활동이 활발하며, 유지관리기술 분야는 상대적으로 특허 활동이 적은 것으로 나타남.
- 일본의 경우, 다른 기술 분야에 비해 유지관리기술 분야에서 상대적으로 특허 활동이 활발한 것으로 나타나고 있으며, 장대화 및 경량화 기술 분야는 상대적으로 특허활동이 적은 것으로 나타남.
- 미국의 경우, 다른 기술 분야에 비해 설계기술 분야가 상대적으로 매우 활발한 특허 활동을 보이는 것으로 나타났으며, 유럽의 경우는 다른 기술 분야에 비해 유지관리기술 분야가 상대적으로 활발한 특허 활동을 하고 있는 것으로 나타남.

(3) 기술별 상대적 특허 활동



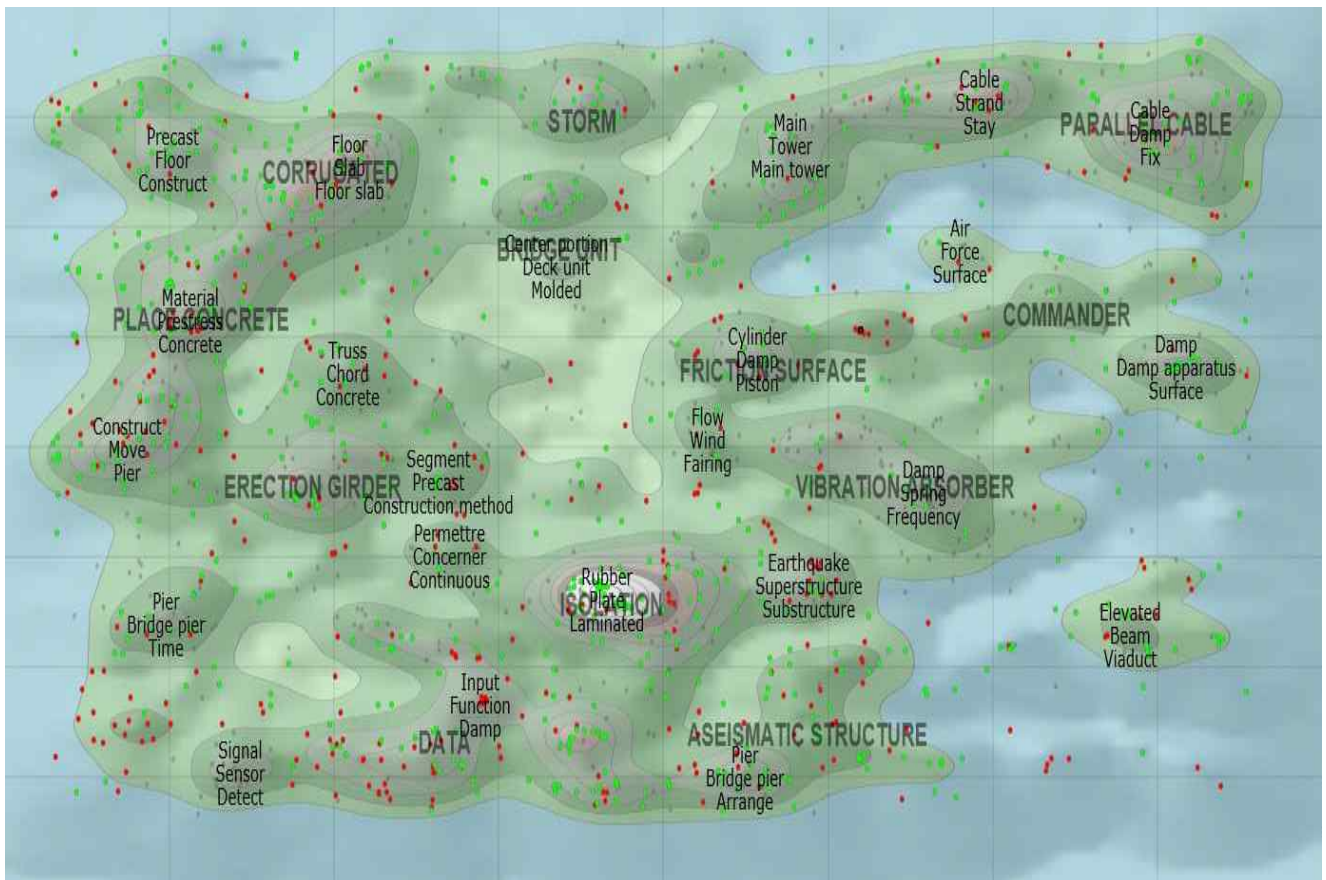
<기술별 각국의 특허활동지수>

- 각 기술별 특허활동지수(A.I)를 통해 경전철용 미래선도형 고가구조물의 세부 기술에서 어느 국가가 상대적으로 특허 활동이 활발한지 알아보는 평가방법임.
- 설계기술 분야의 경우, 다른 국가에 비해 미국에서 특허 활동이 매우 활발한 것으로 나타났으며, 유럽에서는 상대적으로 특허 활동이 적은 것으로 나타남.
- 장대화 및 경량화 기술 분야의 경우, 다른 국가에 비해 한국에서 상대적으로 특허 활동이 활발한 것으로 나타나고 있으며, 일본에서는 상대적으로 특허활동이 적은 것으로 나타남.
- 시공기술 분야의 경우, 다른 국가에 비해 한국에서 상대적으로 매우 활발한 특허 활동을 보이는 것으로 나타났으며, 유럽에서 상대적으로 특허활동이 적은 것으로 나타남.
- 유지관리기술 분야의 경우, 다른 국가에 비해 일본에서 상대적으로 매우 활발한 특허 활동을 보이는 것으로 나타났으며, 한국은 상대적으로 특허활동이 적은 것으로 나타남.

○ 특허분포도 분석

(1) 경전철용 미래선도형 고가구조물의 출원동향 분석 - 등고선맵

- 등고선맵은 영문키워드를 이용하여 분석하는 방법으로 미국 및 유럽, 영문으로 작성되는 일부 일본특허의 경우가 분석대상이 되며, 본 결과는 발명의 명칭 및 요약에 포함된 키워드를 이용하여 분석된 결과임.
- 등고선상에서 높은 위치에 있는 키워드들이 대상특허들에서 상대적으로 빈번히 사용된 키워드로 해당 키워드와 관련된 연구가 활발히 진행되었다고 볼 수 있으며, 특허들간의 상대적 거리는 관련성을 나타냄.
- 등고선 맵상의 빨간 점은 2000년대부터 출원된 특허를 나타내는 것이며, 녹색 점은 1990년대에 출원된 특허를 나타내는 것으로, 일본특허가 미국과 유럽에 비해 월등히 많아 특허분포도 분석은 일본특허의 경향을 보이고 있다고 판단되며, 유지관리기술 분야에 많은 특허가 있으며, damping(cable, piston, spring), 모니터링(sensor, data)관련 중심의 특허와 장대화 및 경량화기술 분야에는 Prestress와 Truss 중심의 특허와 시공기술 분야에서는 Erection girder 키워드 중심의 특허가 출원되고 있음.



<경전철용 미래선도형 고가구조물의 출원동향(등고선 맵)>

○ 주요 특허의 평가 및 분석

(1) 주요 특허

- 검색된 경전철용 미래선도형 고가구조물 관련한 특허 중 본 수요기관에서 제안하는 기술의 세부기술범위에 해당하는 도시경관을 고려한 초장대 경전철용 고가구조물을 위한 신형식 구조와 관련한 주요 특허군에서 연구에 참고하여야 할 관련도가 높은 핵심특허를 선별함.

<본 과제와 관련한 주요 특허 리스트>

순 번	특허번호	출원일	발명의 명칭	출원인	기술 분류
1	JP07261658 A	19940318	교량의 설계, 제작을 위한 3차원 모델의 구축 방법 및 장치	KAWASAKI HEAVY IND LTD	설계
2	JP2002327406 A	20010501	강관 구조물에 있어서의 내풍설계 방법	OHBAYASHI CORP	설계
3	JP2010209576 A	20090310	교량 설계 프로그램	NIPPON SHARYO SEIZO KAISHA LTD	설계
4	KR101688985 B1	20150213	장대교량의 사업 타당성 검토를 위한 장대교량 최적 모델링 방법 및 디바이스	주식회사 포스코건설	설계
5	KR1020080016116 A	20060817	교량의 내하력 산정 기법	한국도로공사	설계
6	EP288350 B1	19880325	Bridge consisting of a deck and its supporting means, especially a large-span cable-stayed bridge, and its construction process	SOCIETE CENTRALE D'ETUDES ET DE REALISATIONS ROUTIERES- SCETAUROUTE	장대화
7	JP04202907 A	19901129	BRIDGE UPPER STRUCTURE	SUMITOMO METAL IND LTD	장대화
8	JP09328714 A	19960610	SNOW FALL PREVENTING TYPE ELEVATED SHELTER	NIPPON LIGHT METAL CO LTD	장대화
9	JP10140525 A	19961107	교량거더	SUMITOMO CONSTR CO LTD	장대화
10	JP2000336769 A	19990527	트러스 구조체 및 트러스 구조체의 구축 방법	SUMITOMO CONSTR CO LTD	장대화
11	JP2005139834 A	20031110	관람차 부착 교량	KAWAGUCHI MAMORU	장대화
12	JP2014034822 A	20120809	기둥 모양 지지 구조체 및 교각	KAJIMA CORP	장대화

순 번	특허번호	출원일	발명의 명칭	출원인	기술 분류
13	KR10001566526B1	20130717	공중에 떠있는 경전철 고가구조물	한국철도기술연구 원	장대화
14	KR101251298 B1	20110516	폐합구조의 연결부재가 일체로 형성된 프리캐스트 세그먼트 및 이를 이용한 스트레스 리본교의 시공방법	주식회사 디에스글로벌이엔 씨	장대화
15	KR101337185 B1	20120704	보강 콘크리트에 의해 보강된 하이브리드 교량의 시공방법 및 그 구조체	(주)삼현피에프	장대화
16	KR101347677 B1	20121011	다목적 복층교량	대영스틸산업주식 회사 김정원 황승준	장대화
17	KR101381410 B1	20130104	일체거동식 입체거더 교량	(주) 동서엔지니어링 (주)정대이엔씨	장대화
18	KR101617720 B1	20151211	아치 강관의 진동흡수수단이 마련되는 아치트러스교	표옥근	장대화
19	KR101635523 B1	20151217	복합 원형 트러스교	표옥근	장대화
20	KR101635851 B1	20160119	경간 폭의 확장 시공이 용이한 교량	표옥근	장대화
21	KR1020110114170 A	20100413	회전 관람 장치와 멀티 플렉스 공간을 포함하는 통합형 교량 구조물	(주)창조하는사람 들	장대화
22	KR1020140119501 A	20130401	장대 통형관의 처짐 보상용 인상 및 압출용 보조 지지 수단 혼용 교량 설치공법	안병두 유정식	장대화
23	US3859682 A	19730502	TUBULAR TRANSPORTATION ELEMENT	KM INSINOORITOIMI STO OY KM INGENJORSBYRA AB	장대화
24	US8214957 B2	20060620	Bridge and method for manufacturing the bridge	Miettinen, Ensio, Johannes	장대화
25	US20110047722 A1	20090903	Hoop Truss Bridge	Meheen H Joe	장대화
26	US008201294B1	20100128	Triple helix horizontal spanning structure	Haewon Lee	장대화
27	JP2000104220 A	19980928	ERECTION OF COMBINED TRUSS BRIDGE	NKK CORP	시공기 술
28	JP2001182016 A	19991228	truss 구조다리의 구축 방법	SUMITOMO CONSTR CO LTD	시공기 술

순 번	특허번호	출원일	발명의 명칭	출원인	기술 분류
29	JP2007205014 A	20060201	BRIDGE CONSTRUCTION METHOD AND APPARATUS	YOKOGAWA BRIDGE CORP YOKOGAWA KOJI KK OKKUSU JACK KK	시공기 술
30	JP2008297777 A	20070530	교량의 가설 방법	SUMITOMO MITSUI CONSTRUCTION CO LTD	시공기 술
31	JP2016199956 A	20150414	교량의 구축 방법	NIPPON STEEL & SUMIKIN ENGINEERING CO LTD	시공기 술
32	KR100720618 B1	20050214	원통형 교량 제작 및 시공 방법	안병두	시공기 술
33	KR101669441 B1	20151230	강관 트러스구조물의 힌지결점부, 이를 이용하여 제작된 강관 트러스구조물 및 그 시공방법	주식회사 하이드로코리아	시공기 술
34	KR101688517 B1	20160510	주두부거더와 연속지점부 긴장재를 이용한 연속교 시공방법	주식회사 하이드로코리아	시공기 술
35	KR1020120010430 A	20100726	엇이음 연결구를 갖는 파이프 트러스 조인트 유닛구조 및 이를 이용한 파이프 트러스교의 가조립과 시공방법	최하정	시공기 술
36	KR1020120050940 A	20120329	내부힌지를 활용한 복합트러스 거더교의 시공법	원대연	시공기 술
37	KR1020130015084 A	20110802	복합 트러스 에프씨엠 교량시공장치 및 이를 이용한 복합 트러스 에프씨엠 교량시공방법	동도산업 주식회사 (유)하남종합건설	시공기 술
38	EP2868804 A1	20141027	Device for damping the vibrations of cables in a suspension system of an engineering structure	Soletanche Freyssinet	유지관 리
39	JP09053679 A	19950814	DIRECT ACTING MASS TYPE VIBRATION DAMPING DEVICE USING PENDULUM-TYPE ARM WITH SPRING	MITSUI ENG & SHIPBUILD CO LTD	유지관 리
40	JP10140520 A	19961108	WIND-RESISTANT VIBRATION DAMPING METHOD OF BRIDGE GIRDER	NKK CORP	유지관 리
41	JP2015190270 A	20140328	교량의 모니터링시스템, 모니터링 방법, 및 프로그램	NTT FACILITIES INC	유지관 리
42	JP2016089470 A	20141105	BRIDGE TRAFFICABILITY DETERMINATION SYSTEM	JIP TECHNO SCIENCE CORP	유지관 리
43	JP2016194442 A	20150331	철도교 고유 진동수의 변화량 평가방법	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	유지관 리
44	JP2017003417 A	20150610	건전도 예측 장치, 건전도 예측 방법, 프로그램, 기록 매체	RAILWAY TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE	유지관 리
45	KR101213752 B1	20120907	연직 방향 제진을 위한 AMD 시스템	(주)대우건설	유지관 리

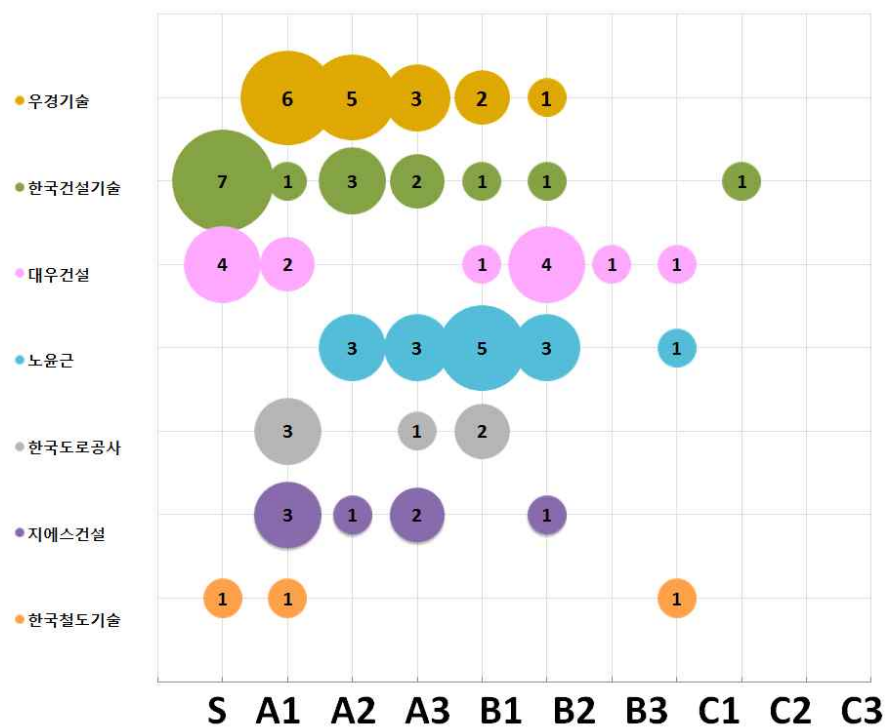
순 번	특허번호	출원일	발명의 명칭	출원인	기술 분류
46	KR101484087 B1	20121127	2방향 진자-레일형 제진장치	지에스건설주식회사 (주)티이솔루션	유지관 리
47	KR101486443 B1	20121126	모바일 현장조사-기반의 다차원 객체지향형 교량 정보처리 시스템 및 그 방법	한국건설기술연구 원	유지관 리
48	US6292967 B1	19990914	TMD-damped stay cable and method and TMD	Construction Technology Laboratories, Inc.	유지관 리

(2) 등록특허 등급분포

- 주요등록특허 특허권자별 보유특허의 질적 수준을 알아보기 위한 것으로, 한국과 미국의 특허가 등록이 되고 권리를 유지하고 있는 특허를 대상으로 K-PEG*평가를 함.

*데이터 마이닝 기법을 이용한 특허를 기계적으로 평가하는 특허정보 진흥센터 모델로 특허(실용제외)에서 등록이 유지되고 있는 특허를 등급평가

- 한국의 주요출원인 우경기술(주)과 한국건설기술연구원 및 (주)대우건설의 특허평가가 비교적 높게 나타났으며, 한국건설기술연구원은 핵심특허 비중이 높은 것으로 조사되었으며, 한국철도기술연구원과 지에스건설(주)는 핵심특허 위주의 특허를 하고 있는 것으로 조사되었음



<주요출원인 등록특허 등급분포>

- 한국의 특허에서 핵심특허라고 할 수 있는 S등급인 특허의 출원인과 기술분야를 분석한 결과, 주요출원인에서 한국건설기술연구원은 장대화 및 경량화기술 분야, 시공기술 분야, 유지관리기술 분야에 핵심특허를 모두 갖고 있었으며, 대우건설은 시공기술 분야, 유지관리기술 분야에 핵심특허를 보유하고 있으며, 한국철도기술연구원은 장대화 및 경량화기술 분야에 핵심 특허를 보유하고 있는 것으로 분석됨.

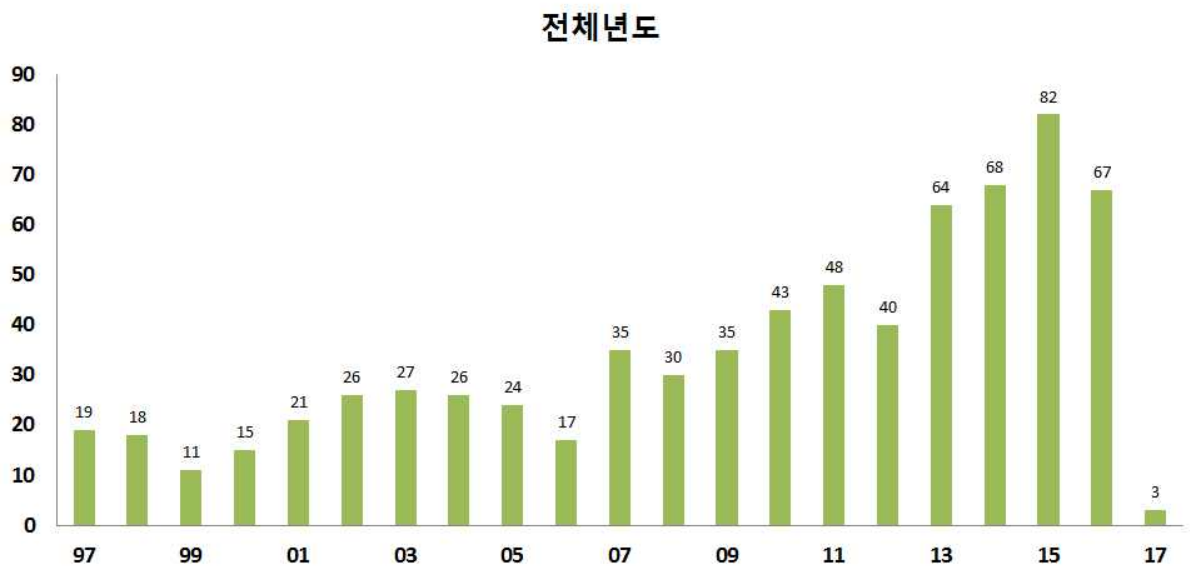


<핵심특허(S등급)를 갖는 주요출원인의 기술분포>

2. 논문 동향

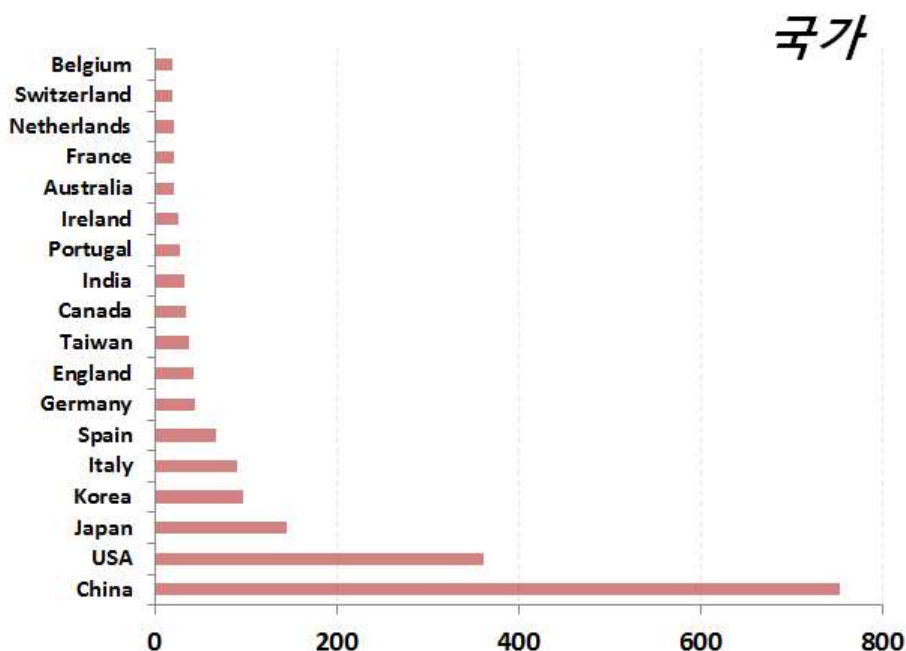
○ 기술/연도 동향

- 1997년대부터 발행된 교량의 장대화, 경량화, 슬림화, 진동제어 및 관리에 관련한 논문을 검색한 결과, 총 719건이 검색되었음.
- 교량의 지간 장대화, 경량화, 슬림화, 진동제어 및 관리에와 관련한 논문의 발행연도별 동향을 살펴보면, 2007년부터 발행된 논문의 건수가 꾸준히 증가하여 2007~2012년까지는 40건 내외의 관련논문이 발행되었고, 2013년 이후에는 관련 논문이 70건 내외로 관련 논문이 급격히 증가하고 있는 것으로 조사됨.



<논문의 연도별 연구 동향>

○ 국가 동향



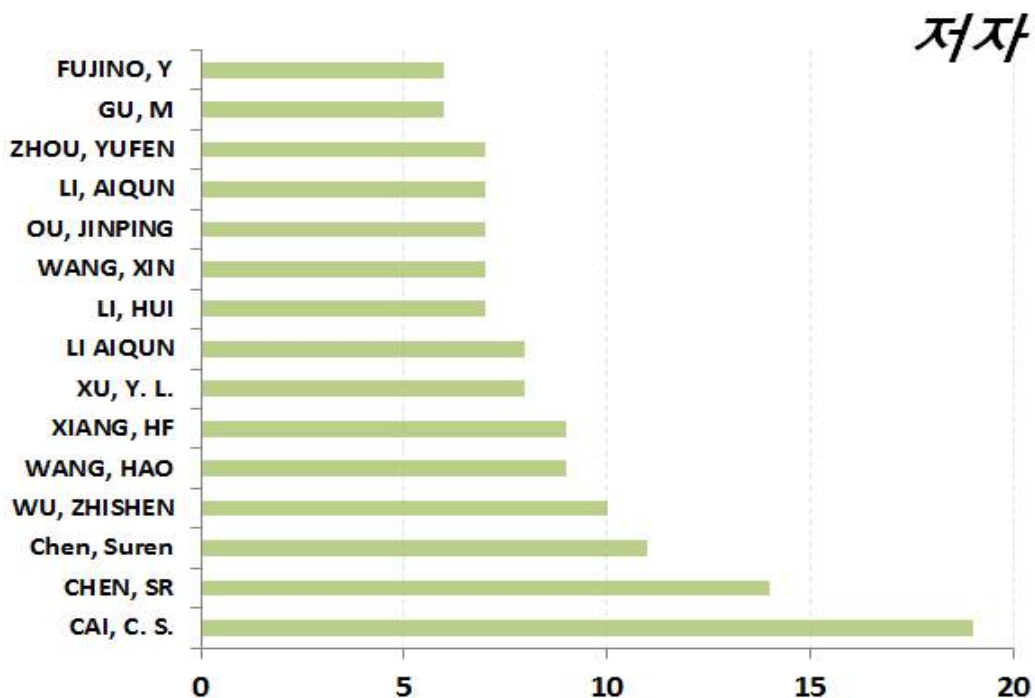
<논문의 국가별 연구 동향>

- 교량의 지간 장대화, 경량화, 슬림화, 진동제어 및 관리와 관련한 논문 저자들의 국가별 동향을 살펴보면, 중국인 저자가 가장 많으며, 그 다음으로 미국, 일본, 한국, 이탈리아 순으로 관련 논문을 많이 발표한 저자의 국가로 조사되었으나, 상위 3개국에 속한 저자의 논문 발표 수는 매우 많은 차이를 보이고 있는 것으로 나타남.

○ 연구저자/기관 분석

(1) 연구저자

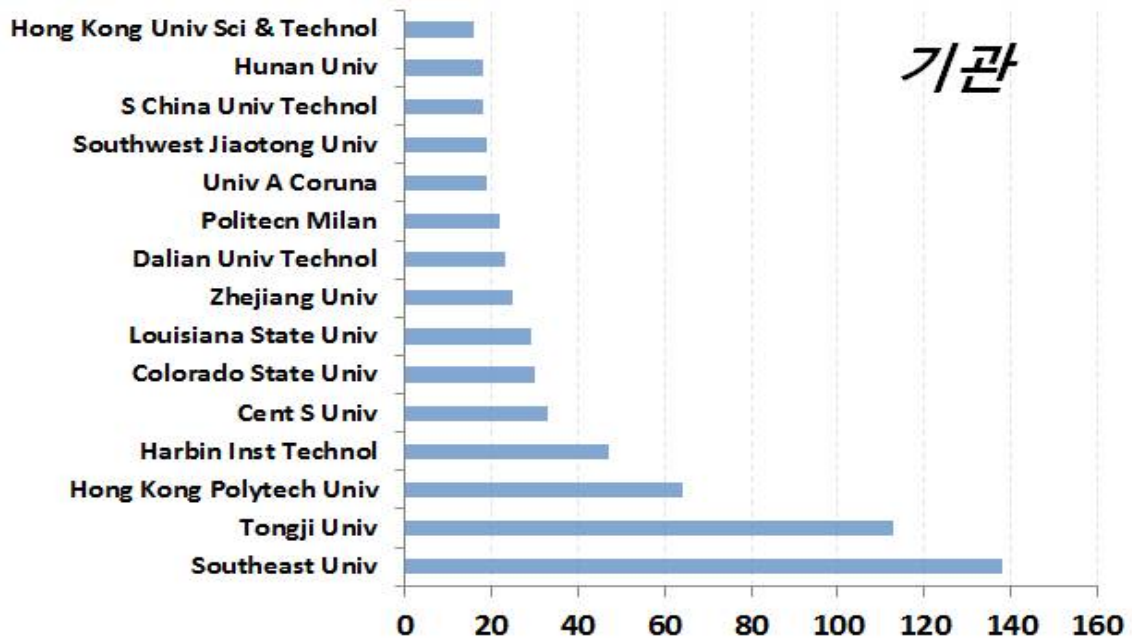
- 교량의 지간 장대화, 경량화, 슬림화, 진동제어 및 관리와 관련한 논문의 저자별 동향을 살펴보면, 상위 저자는 미국과 중국인 저자로 조사되었으며, 상위 15위에는 한국인 저자는 나타나지 않는 것으로 조사되었음.



<논문의 저자별 연구 동향>

(2) 연구기관

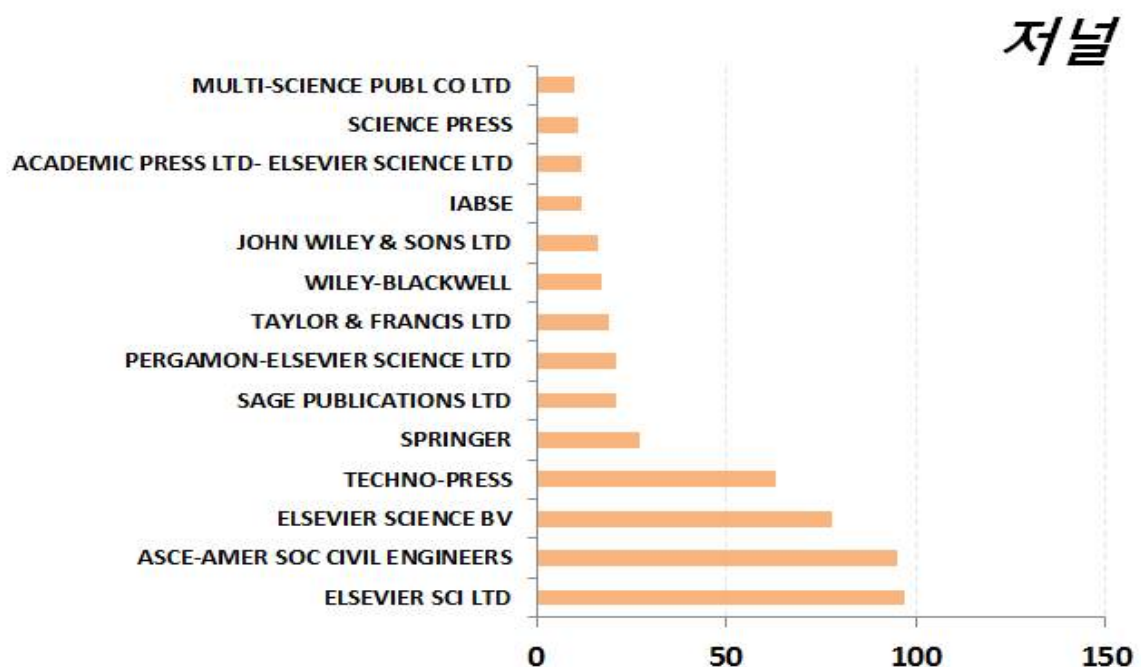
- 교량의 지간 장대화, 경량화, 슬림화, 진동제어 및 관리와 관련한 논문의 기관별 동향을 살펴보면, 많은 논문을 발표한 대학/연구기관은 Southeast Univ.(東南大學)과 Tongji Univ.(同濟大學)를 위시한 중국의 대학이 TOP 5를 차지하고 있으며, 미국대학은 Colorado State와 Louisiana State가 그 다음으로 많은 논문을 발표하고 있는 것으로 보임.



<논문의 기관별 발행 동향>

○ 발행 저널 분석

- 교량의 지간 장대화, 경량화, 슬림화, 진동제어 및 관리와 관련한 논문의 발행저널별 동향을 살펴보면, ELSEVIER SCI LTD와 ASCE-AMER SOC CIVIL ENGINEERS에서 가장 많은 논문이 발행되었으며, ELSEVIER SCIENCE BV와 TECHNO-PRESS에서도 많은 논문이 발표된 것을 알 수 있음.



<논문의 저널별 발행 동향>

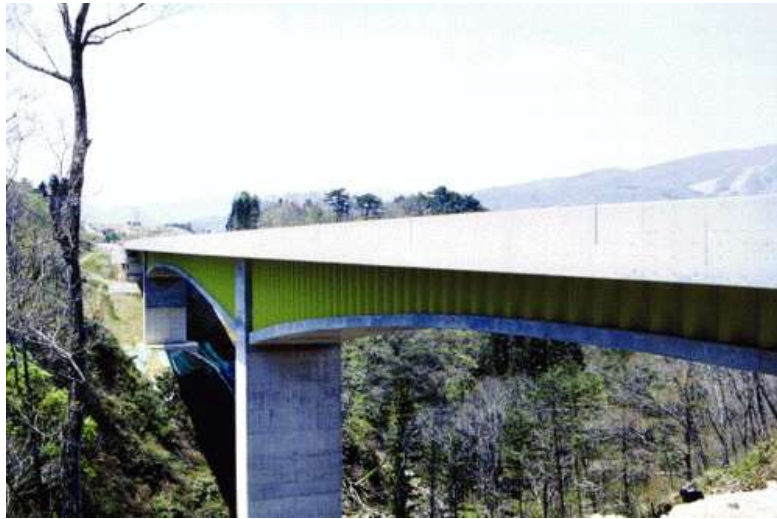
4절. 기술수준 분석

1. 교량의 장경간화 기술 및 기존 철도교/고가구조물 현황

○ 국내 도로교의 경우, 교량의 경제성 확보 및 장경간화를 위한 여러 가지 연구가 수행되어 적용되고 있는데, 대표적으로 (1) 합성형 신형식 교량의 적용 및 (2) 경량 재료를 활용한 구조체 연구를 들 수 있겠다.

○ 합성형 신형식 교량

- 일반적으로 경제적인 합성형 교량(합성 거더 형식)의 지간은 약 40m ~ 90m 사이로 알려져 있다. 이러한 범위도 기존 국내의 고가도로 (약 20m ~ 50m)보다 약 2배 정도 장지간화된 것이지만, 본 기획 연구에서는 약 200m이상의 지간 확보를 목표로 함으로 100m 이상의 합성형 교량 기술에 대하여 검토하였다.
- 100m 내외의 지간장을 확보하기 위하여는 프리스트레스 공법이 적용된 교량 형식이 유리하다. 일반적인 프리스트레스 콘크리트 박스거더교의 경우, 프리스트레스 작업 효율이 콘크리트 웹에 의하여 저하되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 파형강판(Corrugated steel web)이 적용된 신형식 합성구조가 제안 되었으며 현재 널리 활용되고 있다.
- 파형강판은 축력에 적용을 하지 않는 특성이 있으므로 전단에만 저항을 하고 축방향으로 적용되는 프리스트레싱 하중에는 저항하지 않는다. 따라서, 프리스트레싱 작업의 효율성이 증가하고 상부하중의 약 20%를 차지하는 웹의 무게를 줄일 수 있어 장지간화에 도움이 된다.
- 현재 파형강판이 적용된 프리스트레스 박스 교량은 약 100m의 지간장을 확보할 수 있으며, 케이블의 보조적인 역할을 기대할 수 있는 엑스트라도즈교에 적용된 경우는 지간장을 180m까지 확보한 사례가 있다.(Himi bridge, 일본). 아래의 그림은 파형강판이 적용된 프리스트레스 박스 거더 교량의 예를 보여준다.
- 국내에서도 파형강판을 적용한 프리스트레스 박스거더교가 도로교에 적용된 사례가 있다. 하지만 보수적으로 설계가 이루어져 최대 지간장은 60m로 제한되었다.
- 한편, 100m 이상의 지간장을 가지는 교량의 건설을 위하여는 프리스트레스 박스거더 외에 아치교 및 트러스 교량 혹은 케이블로 지지되는 교량 형식이 많이 활용된다. 이 중에 트러스 교량은 뛰어난 면내 휨강성으로 인하여 철도교에 많이 적용이 되고 있다.
- 최근에는 트러스 교량의 상하부 부재를 콘크리트로 대체한 트러스 복합 교량 혹은, 프리스트레스 콘크리트 박스 거더교의 복부판을 트러스로 대체한 트러스 복합 교량이 전 세계적으로 많이 사용되고 있다. 이러한 교량은 기존의 프리스트레스 박스 거더교와 트러스 교량의 장점을 두루 가지고 있다.



(a)



(b)

<파형강판 적용 교량 예: (a) Hondani 교량(일본), (b) Himeji 교량(일본)>

- 실 예로 2002년에 건설된 Bras de la Plaine 교량의 경우 트러스 복합 구조를 도입하여 건설되었으며, 교장 350m에 주경간장은 281m이다. 주거더 단면은 콘크리트 상·하부 슬래브와 2개의 경사진 강관 트러스로 구성되었으며 거더 높이는 4m ~ 17.6m, 전폭은 11.9m 이다.
- 이밖에 프랑스 파리와 유로터널을 연결하는 A16 고속도로의 Boulonnais 고가교 또한 복합 트러스 교량을 적용하고 있으며, 최대 지간장은 110m 로 거더의 높이는 약 5.5m ~ 8m이다. 이와 같이 복합트러스 교량의 경우, 거더의 높이를 용이하게 조절하여 지간장을 증대시킬 수 있으며, 동시에 트러스 구조로 이루어져 재료 사용을 최소화 하고 개방감을 줄 수 있는 장점이 있다. 국내에서도 남·북항대교 영도 연결도로 건설 시 복합 트러스 교량의 적용 사례가 있다.



(a)



(b)

<복합 트러스 교량 예: (a) Bras de la Plaine, 레뉴니온섬(프랑스영),
(b) Boulonnais 고가교(프랑스)>

- 이외, 케이블지지 방식의 교량을 제외한 200m 이상의 지간장을 가지는 교량에 가장 많이 쓰이는 구조 형식은 아치교이다. 아치교는 특성 상 부재에 압축력이 주요한 단면력으로 작용한다. 이러한 압축력에 대한 저항성능을 높이기 위하여 콘크리트 충전강관 (Concrete filled steel tube, CFT)을 적용하는 사례가 늘고 있다.
- CFT는 강관 내부에 콘크리트를 충전하여 완성되는 부재로 강재가 거푸집 역할을 하여 시공 기간을 단축시킬 수 있고, 내부에 충전된 콘크리트가 강재에 의하여 구속됨으로 강도 및 연성을 증가시킬 수 있는 장점이 있다.
- CFT 아치교량은 주로 중국을 중심으로 많이 적용이 되고 있다. Chen and Wang (2009)에 따르면, 2009년 기준 중국에서 약 33개의 지간장이 200m가 넘는 CFT 아치교량으로 건설 완공 혹은 건설 중에 있는 것으로 보고 한 바 있다. 중국의 Zhijinghe 교량의 경우, CFT 아치 리브를 적용하고 있으며 중앙지간은 430m 이다.



<CFT 아치교량 예: Zhijinghe 교량(중국)>

○ 경량 재료를 적용한 장경간화

- 교량의 장경간화를 위하여는 구조 효율성을 증대시키는 방법과 함께 가장 많이 쓰이는 방법으로 경량 구조재료를 활용하여 상부구조의 자중을 감소시키는 방법이 있다.
- 가장 흔하게 토목공사에 사용되는 재료는 콘크리트이다. 콘크리트는 골재와 결합재(예: 시멘트)로 이루어지며 경량 콘크리트의 경우 일반적으로 경량골재를 적용하여 콘크리트의 단위 중량을 낮추게 된다.
- 일반 골재의 단위 중량은 약 $1.7 \sim 1.8 \text{ ton/m}^3$ 이며, 국내에서는 단위중량이 1.2 ton/m^3 이하인 골재에 대하여 경량골재로 정의하고 있다. 즉, 경량 골재는 일반 골재에 비하여 약 30 %이상 가볍다고 할 수 있다.
- 경량골재는 1920년도부터 사용이 되고 있으나 주로 건축물에 적용이 되었다. 교량에도 북미를 중심으로 경량 콘크리트의 사용이 증대되고 있으며, 사용개소는 약 400여개에 달하고 있다.
- 특히 경량 콘크리트는 프리스트레스 박스 거더교에 적용하여 상부구조의 자중을 감소시키는 목적으로 주로 사용이 되고 있다. 미국의 Benicia-martinez 교량은 경량 콘크리트를 적용하여 상부구조의 자중을 약 30% 저감시켰으며 프리스트레스 박스거더교를 채택하여 지간장을 최대 200m 확보하였다. 노르웨이의 Boknasundet 교량 역시 경량콘크리트와 프리스트레스 박스를 복합 활용하여 190m의 지간장을 확보하였다.



(a)



(b)

<경량골재 사용 PSC 박스거더교 예: (a) Benicia-martinez 교량(미국),
(b) Boknasundet 교량(노르웨이)>

- 경량콘크리트 외에 최근에는 FRP (Fiber-Reinforced Polymer or Plastic) 재료를 교량에 활용하는 예가 증가하고 있다. FRP는 약 1.5에서 2 ton/m^3 의 단위 중량을 가지고 있다. FRP는 경량콘크리트와는 달리 강재를 대체하는 용도로서, 강재의 단위 중량이 7.85 ton/m^3 임을 고려하면 강재대비 단위중량이 약 1/4수준이다.
- FRP 적용 교량에 대한 연구는 아직 초기 단계로 FRP를 적용한 교량은 많지 않은 실정이다. 주로 보도교에 적용이 되고 있으며, 강재를 대체하여 FRP I 및 U 형 거더를 제작하여 상부 구조에 사용하고 있다.

- 실 예로 스페인의 Manzanares 강에 설치된 보도교 (Almunecar 보도교)의 경우 100% FRP로 제작된 거더를 활용하여 교량을 건설하였으며, 지간장은 44m 이다.
- FRP를 도로교에 적용한 예도 있는데, 스페인의 Asturias 교량은 도로교로 FRP 거더를 활용하여 제작 되었다. 지간장은 46m이며 FRP 거더의 무게는 약 4.7 ton으로 상당히 가벼운 것을 알 수 있다. Hurtao et al. (2012)에 따르면 FRP 거더 시공 시간은 약 3시간으로 기존 교량 건설대비 상당히 건설기간을 단축시킬 수 있는 것으로 나타났다.



<Almunecar FRP 보도교>



<Asturias FRP 교량>

- 이 밖에, 국내에서는 초장대 교량 연구사업을 통해 장경간 케이블 교량의 설계·시공·유지관리 및 재료 분야에 대한 핵심 기술 자립화에 성공하여 주경간이 수 km에 달하는 세계최고 수준의 초장대 도로교량 기술을 확보하고 있다.



<국내 초장대 도로 교량 기술 (상:이순신 대교, 하:터키 보스포루스 제3대교)>

[출처: 서울신문]

- 상기의 초장대 도로 교량 형식은 **도시 내 고가구조물에 적용할 수 없는 교량 형식**인 데다가, 국내 철도교로는 일본 기술을 기반으로 하여 80~300m의 장경간을 갖는 특수 목적용 교량이 건설된 바 있을 뿐 초장대 철도 교량에 대한 독자 기술을 확보하지 못한 실정임.
- 용인, 부산~김해 경전철 등 현재 운영 중인 경전철용 고가구조물의 경우, 설계 당시 국내 경전철 고가구조물 설계기준이 별도 마련되어 있지 않아, 국외 차량 제작사에서 제시한 고가구조물 설계기준과 국내 철도교 설계기준(철제차륜형의 경우: 중전철 및 일반·고속철도 철도설계기준(교량편), 고무차륜형의 경우: 도로교 설계기준)을 비교하여 보수적으로 설계·시공된 관계로 구조물이 상당히 육중하고 교각간 거리도 20m~50m로 매우 조밀하게 시공되어 있음.



<국내외 경전철 고가구조물>

[출처: 한국철도기술연구원]

- 최근 도시형 자기부상철도 고가구조물에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 이는 자기부상철도용으로 제한된 고가구조물로서 자기부상철도용 고가구조물의 특성 상 궤도일체형 거더구조물을 갖는 구조물에 대한 국내 독자 설계·시공 기술을 확보하기 위한 연구이며, 이 또한 교각이 조밀하게 시공됨.



<인천공항 자기부상열차의 궤도일체형 고가구조물>

[출처: 도시형 자기부상열차 실용화 사업단]

- 국내 대구도시철도3호선에 도입되어 운영 중인 모노레일의 경우에도 최대 경간장 30m의 궤도 일체형 모노레일 빔으로 건설되어 있으며, 국내 기업에서 궤도 빔 제작·시공 기술을 보유하고 있다. 일본, 중국의 경우에는 일반적으로 경간장 20m 모노레일 궤도 빔으로 건설되어 있으며 각각 최장 경간장은 22m, 24m에 불과한 것으로 조사되었다.



<대구도시철도3호선 모노레일 고가구조물>

[출처: 한겨레]

- 한편, 일본, 독일, 프랑스, 스페인 등 철도선진국은 경간 100~350m의 사장교, PSC교, 아치교, Extradosed교 등 다양한 특수목적용 장경간 철도교량 기술을 확보하고 있으나, 도시에 일반적으로 적용 가능한 **장경간·경량의 슬림형 경전철용 고가구조물** 기술은 세계적으로도 전무함.



<아치형 철도교 (스페인)>
[출처: Dysidag Systems International]



<Extradosed 철도교 (일본 오사카)>
[출처: Dysidag Systems International]

- 이와 함께, 최근 도시에 건설된 고가구조물은 도시와 어우러지는 구조물로의 변화를 꾀하고 있는데, 실제 네덜란드 헤이그(Hague)의 Beatrixkwartier라는 금융지구에 스타킹 망사 모양의 구조를 갖는 고가구조물로 시공된 사례가 있음. 구조물의 경간은 짧으나 시각적인 개방감과 함께 도시경관을 고려한 구조로 시공됨.



<도시와 조화미를 추구하는 현대식 경전철 고가구조물>

[출처: (상)www.htm.nl, (하)www.flexas.nl]

2. 구조물 설계 기술동향

- 영국, 프랑스, 독일 등 유럽 철도 선진국에서는 유로코드(Eurocode)라는 표준화된 철도설계기준을 마련하여 운용하고 있으며, 경전철 시스템 도입시 이에 기반을 두고 시스템 특성을 반영한 세부 설계기준을 마련·운용하고 있으며, 캐나다 봄바르디어, 일본 히다치 및 미쯔비시 등 해외 경전철 선진국의 경우에도 별도의 경전철시스템 특성을 고려한 설계기준을 마련·운용하고 있음.
- 하지만, 국내에는 일본의 철도육편, 유럽의 유로코드를 바탕으로 중량전철, 일반고속철도에 적용되는 철도설계기준을 운용하고 있을 뿐, 중량이 가벼운 경량전철이 저속으로 운영되는 특성을 반영한 경전철 구조물을 위한 설계기준은 별도 마련되지 않음.
- 또한, 2011년 국내 철도설계기준 개정 당시 경전철 고가구조물은 고려 대상이 아닌 관계로 아래 표에서처럼 상부구조물 상판 처짐제한기준 등 일부 개정내용이 경전철 고가구조물에는 불합리하게 적용된 사례가 있었고, Eurocode와 비교해 볼 때도 충격계수, 차량 횡하중, 시·제동하중 등에서 다소 불리하게 국내 설계기준이 마련되어 있는 것을 확인함.
- 또한, 국내에서는 교량을 비롯한 구조물을 일반적으로 허용응력설계법이나 강도설계법에 의해 설계해 왔으나, 기존의 설계법은 정확한 이론이나 사실에 근거하지 않고 주로 경험적인 판단에 의하여 제시된 것이며, 교량의 종류나 하중의 조합에 따라 각기 다른 정도의 안전도를 나타내는 단점을 갖고 있음.
- 최근 이러한 단점을 극복하기 위해, 세계 여러 나라에서는 교량의 안전도를 좀 더 합리적이고 객관적인 사실과 이론에 근거하여 결정하는 신뢰도 기반의 설계법 개발을 위해 노력해왔으며, 현재 미국, 유럽 등 대부분의 선진국이 국제 표준으로서 신뢰도 기반의 설계법을 채택하는 현황에 이르렀음.
- 반면, 국내에서는 1996년 도로교 시방서에 부록으로 하중저항계수설계법(LRFD, Load and Resistance Factor Design)이 도입되었고, 2004년부터 2008년 수행된 교량설계핵심기술연구에 의하여 도로교에 대한 한계상태설계법이 연구되어 그 결과로 2011년에 도로교설계기준(한계상태설계법)이 제정된 바 있으나,
- 국내 철도교 등 철도구조물의 신뢰성에 대한 연구는 부분적으로 수행되어 왔을 뿐, 본격적인 한계상태설계기준에 대한 연구가 수행되지 않다가, 최근에서야 철도교에 대한 한계상태설계법 제정 연구가 진행 중임.
- 국제 표준에 부합하는 설계기준 도입으로 국내 설계기술의 국제적 경쟁력을 강화하고, 일괄적인 철도 교량 설계가 아닌, 선구 및 설계속도 특성별 합리적인 설계가 가능하도록 기준 마련이 필요하며,
- 무게가 가볍고 저속으로 운영되는 경량전철의 특성을 반영한 합리적인 설계기준의 제정으로 비현실적이며 과다 설계되는 조항을 개선시키고, 새로운 고성능 신소재의 적용을 가능하도록 유연성을 확보하는 등 별도의 한계상태설계법 기반의 경전철용 고가구조물 설계기준 마련이 필요함.

<국내 경전철 고가구조물(상부) 제원 및 적용된 설계기준>

항 목		용인경전철		김해경전철	부산지하철 4호선(326공구)	의정부경전철
		PSC-U Girder	ST. Box Girder	ST. Box Girder	ST. Box Girder	U형 PSC 하로교
상부 제원	경간구성	1 @ 30m	40 + 45 = 85m	2 @ 50 = 100m	3 @ 40 = 120m	35+45+35=115m
	주형높이	2.3m	2.3m	2.5m	2.0m	1.71m
차량 활하중	1량 중량	420kN	420kN	665kN	190kN	231kN
	1편성	2량	2량	2량	2량-6량	2량
	재하 활하중	840kN	840kN	1340kN	380~1140kN	462kN
	1. 철제차륜 열차하중이 고무차륜 열차하중에 비해 큰 경향이 있음. 2. 구조제산에 적용한 1편성 구성이 실제 운영 구성과 차이가 있음. ☞ 차량 선정시 운송 승객수 및 고가구조물의 연장비 등을 고려, 자중이 작은 열차를 선정할 필요가 있음.					
충격 계수	산정식	$240/(L-0.6)+24$	$180/(L-9)+26$	$180/(L-9)+26$	$15/(40+L)$	$10/(25+L)$
		철도설계기준 (철도교편,04)적용 2011년도 기준은 • $4m < L \leq 39m$, $i = 125/\sqrt{L}(\%)$ • $L > 39m, i=20\%$	철도설계기준 적용	철도설계기준 적용	도로교 설계기준 적용	기준과약불가
		제한없음	제한없음	제한없음	30% 이하적용	30% 이상적용
	계산적용	32.16%	31.81%	30.39%	18.75%	30% (16.67%)
	40m경간 적용시	30.09%	31.81%	31.81%	18.75%	30% (15.38%)
	1. 철제차륜은 철도설계기준, 2004(철도교편, 공통사항 2.4 충격하중)을, 고무차륜은 도로교설계기준(2.1.4 충격)을 적용함 (Systra 설계기준은 확인불가). ☞ 경전철 고유의 상부구조형식별, 차륜특성별 별도의 충격계수 산정식 제시가 필요함.					
주형의 설계기준강도		$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$	SM 520	SM 490	SM 490	$f_{cu} = 45 \text{ MPa}$ (평균압축강도,28)
		1. 일부 고강도 재료 사용. ☞ 구조 슬립화를 위해서는 고강도 재료 사용에 대한 적극적인 검토가 필요함.				
처집 제한 규정	산정식 ($V \leq 130\text{km/h}$)	$L/800 \text{ (m)}$ ($L < 50\text{m}$)	$L/800 \text{ (m)}$ ($L < 50\text{m}$)	$L/700 \text{ (m)}$ ($L \geq 50\text{m}$)	$L/800 \text{ (m)}$ ($L < 50\text{m}$)	$L/800 \text{ (m)}$ ($L < 50\text{m}$)
		철도설계기준 적용	철도설계기준 적용	철도설계기준 적용	철도설계기준 적용	철도설계기준 적용
	대표경간 산정량	37 mm	50 mm	71 mm	50 mm	43 mm
		1. 철도설계기준, 2004(철도교편, 강교편 3.3.1 주거더의 처집)을 적용하였음. ☞ 경전철의 설계속도가 80km/h이하로, 설계속도 130km/h이하의 일반철도 설계기준에 제시된 기준을 적용하는 것은 다소 보수적이라고 판단됨. ☞ 고무차륜의 경우는 철도설계기준 보다 다소 완화된 도로교 설계기준을 적용할 필요가 있음.				

<국내 경전철 고가구조물(하부) 제원 및 적용된 설계기준>

항 목		용인경전철	김해경전철	부산지하철 4호선(326공구)	의정부경전철
교각 제원	총높이	17.8m	14.4m	15.01m	15.9m
	기둥직경	2.3m(원형)	2.4m(원형)	2.0×2.5m(구형)	2.0m(원형)
교축 방향 하중	제동하중	차량하중의 15%	차량하중의 13.3%	차량하중의 12.5%	기준없음
		126kN (2량1편성)	88.45kN (2량1편성)	95.0kN (4량1편성)	34kN (2량1편성)
		기준과악불가	기준과악불가	기준과악불가	기준과악불가
	시동하중	차량하중의 15%	차량하중의 10.2%	차량하중의 10%	기준없음
		126kN (2량1편성)	136.68kN (4량1편성)	76.0kN (4량1편성)	60kN (2량1편성)
		기준과악불가	기준과악불가	기준과악불가	기준과악불가
	1. 철도설계기준, 2004(철도교편, 공통편 2.13 시동하중 및 제동하중). ☞ 시동하중=동류하중의 25%, 제동하중=LS 하중의 15%				
	장대레일 중하중	5kN/m /궤도	5kN/m /궤도	-	-
		철도설계기준의 1/2적용	철도설계기준의 1/2적용	-	-
	1. 장대레일 중하중은 철도설계기준(철도교편, 공통편 2.6 장대레일 중하중)의 1/2을 적용. 2. 시· 제동하중은 차량별로 상이하게 적용되었으며, 적용기준이 모호함. ☞ 경전철 고유의 차량별, 시스템별 별도의 하중 산정식 제시가 필요함.				
교직 방향 하중	풍하중	열차재하시 1.5kN/m ² 비재하시 3.0kN/m ²	열차재하시 1.5kN/m ² 비재하시 3.0kN/m ²	열차재하시 1.5kN/m ² 비재하시 3.55kN/m ²	열차재하시 1.5kN/m ² 비재하시 3.0kN/m ²
		철도설계기준	철도설계기준	도로교설계기준	철도설계기준
	차량횡하중	1량하중의 10%	1량하중의 8.2%	20kN/축	115.5×γ kN/축 (직선구간:축하중의10%)
		42kN	11.07kN		11.5kN
		기준과악불가	기준과악불가	기준과악불가	기준과악불가
	1. 풍하중은 철도설계기준 및 도로교설계기준을 준용함. 2. 차량 횡하중은 차량별로 상이하게 적용되었으며, 적용기준이 모호함. ☞ 경전철 고유의 차량별, 시스템별 별도의 하중 산정식 제시가 필요함.				
설계기준강도		fck = 27 MPa fy = 400 MPa	fck = 24 MPa fy = 400 MPa	fck = 27 MPa fy = 400 MPa	fck = 27 MPa fy = 400 MPa
		☞ 구조 슬림화를 위해서는 고강도 재료 사용에 대한 적극적인 검토가 필요함.			
하중조합 (최대단면력발생조합)	1.4(D+L+SB+CF+LF +LR+T+SD+W+F)		1.4(D+L+SB+CF+LF +LR+T+SD+W+F)	1.4D+2.0L +1.4(CF+LF+F)	1.4(D+L+W+CF+SB +T+SD)
	철도설계기준		철도설계기준	철도설계기준	철도설계기준
	D:고정하중, L:활하중, SB:시· 제동하중, CF:원심하중, LF:횡하중, LR:장대레일중하중, T:온도하중, SD:지점침하, W:풍하중, F:유수압				
	1. 활하중 편재하, 횡하중, 풍하중 등 교축직각방향의 하중이 기둥설계의 주요하중으로 판단됨. 2. 장대레일 중하중은 철도설계기준의 1/2의 값이 적용되어 저감 되었으므로 지배하중이 아 닌 것으로 판단됨(기둥의 최대 단면력은 교축직각 방향에서 발생됨). 3. 내진설계시 응답수정계수(소성설계적용)가 적용되어, 지진하중조합은 최대단면력 발생 CASE가 아님. ☞ 현재 하중조합은 철도설계기준을 준용하고 있으나, 이는 콘크리트설계기준(2007)에서 변경된 하중조합과의 비교분석을 통한 새로운 기준 제시가 필요함.				

- 철도교 설계기준 중 일반적인 사항은 한계상태설계법으로 전환된 도로교설계기준, 콘크리트 설계기준, 강구조설계기준 등 기존의 설계기준과 중복되므로 철도교에도 공통적으로 활용 가능하나,
- 도로교와 가장 큰 차이가 있는 열차하중과 환경하중 등에 대해 하중 및 재료 변동성을 고려한 신뢰도 기반 설계 개념 도입을 통해 정량적인 확률론적 개념을 토대로 한 교량 등 철도구조물 설계가 필요하며, 신뢰도 기반의 하중 및 저항 계수의 합리적 적용 및 설계는 결과적으로 과설계 방지를 통한 공사비 최적화 및 생애주기 비용 절감으로 연결될 수 있음.
- 현재, 국토교통부 철도기술연구사업 “철도노반 성능 및 건설비 최적화 기반기술 개발 (2013~2018)” 연구를 통해 신뢰도기반 하중/저항계수 설계 개념에 의한 철도교 등 철도구조물의 신뢰도 기반 설계법을 제정하기 위한 연구가 진행 중임.
- 다만, 대상 구조물이 일반 및 고속철도, 중전철 철도교인 관계로, 경전철용 고가구조물에 대한 신뢰도 기반 설계법 연구가 추가적으로 필요함.
 - 철도교 설계 관련 일반사항은 ‘도로교설계기준’, ‘콘크리트설계기준’과 ‘강구조설계기준’ 등에서 사용하고 있는 한계상태설계법을 경전철 고가구조물에도 차용이 가능할 것이므로, 도로교와 차별되는 열차하중과 환경하중에 대해 현장계측을 통해 데이터베이스(D/B)화하고 이 결과를 분석하여 경전철용 고가구조물에 적합한 하중/저항계수의 산정이 필요함.
 - 이러한 연구를 바탕으로 경전철용 고가구조물의 목표 신뢰도 수준을 설정하고 현장실무에 적용할 수 있는 신뢰도 기반 한계상태설계법을 제시하여 향후 국토교통부에서 법제화 가능하도록 추진이 필요함.
- 국내 도로교의 경우에도 2012년 한계상태설계법을 도입하여 도로교 설계기준이 개정된 바 있으며 약 3년간의 계도기간을 거쳐 2015년부터 본격적으로 적용 중임.
- 미국, 유럽 등 철도 선진국에서는 이미 신뢰도 기반의 부분안전계수를 도입한 한계상태 설계법으로 전환된 상황임.
 - 미국은 교량 설계시 신뢰도 기반 설계의 필요성을 인지하고 1986년 NCHRP 프로젝트를 수행하여, 1994년 신뢰도에 기반한 AASHTO-LRFD 설계기준을 도입하여 2007년 이후 모든 교량에 적용 중임.
 - EU는 구조물의 작용하중, 콘크리트구조설계, 강구조설계, 합성구조설계에 대한 세부 Eurocode별로 한계상태설계법을 적용한 Eurocode 기준화 작업을 진행 중이며, 독일 등 유럽 각국별로 Eurocode를 자국의 설계기준으로 도입 중임.
 - 영국은 독자적인 기준(BS5400)을 사용 중이나, 한계상태설계법과 병행 사용 중이며, Eurocode의 자국 코드화 작업이 진행 중임.
 - 캐나다는 1983년 온타리오주 교량설계기준에 처음 신뢰도기반 설계법을 도입한 이래로 캐나다 설계기준(CSA)에 전면적으로 도입함.

○ 한편, 신뢰도 기반 설계법의 핵심사항인 하중특성 및 하중조합계수의 개념에 대한 국가 설계기준별 특성은 다음과 같음.

- 도로교 설계기준 (한계상태설계법, 한국도로교통협회, 2012): 2012년 국토교통부에서 한계상태설계법을 기반한 도로교 설계기준을 제정하여, 설계하중을 하중계수를 고려하여 $Q = \sum \eta_i \gamma_i q_i$ 과 같이 결정하도록 하고, 도로교 각 부재들과 연결부들은 아래의 여러 하중조합에 의한 한계상태에서 안전을 확보하도록 하고 있음. (여기에서, η_i : 하중수정계수, γ_i : 하중 또는 하중효과, q_i : 하중계수)

- 극한한계상태 하중조합 I - 일반적인 차량통행을 고려한 기본하중조합. 풍하중은 비고려
- 극한한계상태 하중조합 II - 발주자가 규정하는 특수차량이나 통행허가차량을 고려한 하중조합. 풍하중은 비고려
- 극한한계상태 하중조합 III - 풍속 90 km/hr (25 m/sec)를 초과하는 풍하중을 고려하는 하중조합.
- 극한한계상태 하중조합 IV - 활하중에 비하여 고정하중이 매우 큰 경우에 적용하는 하중조합.
- 극한한계상태 하중조합 V - 90 km/hr의 풍속과 일상적인 차량통행에 의한 하중효과를 고려한 하중조합.
- 극단상황한계상태 하중조합 I - 지진하중을 고려하는 하중조합.
- 극단상황한계상태 하중조합 II - 빙하중, 선박 또는 차량의 충돌하중 및 감소된 활하중을 포함한 수리학적 사건에 관계된 하중조합. 이때 차량충돌하중 CT의 일부분인 활하중은 제외.
- 사용한계상태 하중조합 I - 교량의 정상 운용 상태에서 발생 가능한 모든 하중의 표준값과 25 m/s의 풍하중을 조합한 하중상태이며, 교량의 설계 수명 동안 발생 확률이 매우 적은 하중조합. 이 하중조합은 철근콘크리트의 용성 검증에 사용할 수 있고, 또한 옹벽과 사면의 안정성 검증, 매설된 금속구조물, 터널라이닝판과 열가소성 파이프에서의 변형제어에도 적용.
- 사용한계상태 하중조합 II - 차량하중에 의한 강구조물의 항복과 마찰이음부의 미끄러짐에 대한 하중조합.
- 사용한계상태 하중조합 III - 교량의 정상 운용 상태에서 설계 수명 동안 종종 발생 가능한 하중조합. 이 조합은 부착된 프리스트레스 강재가 배치된 상부구조의 균열폭과 인장응력 크기를 검증하는데 사용.
- 사용한계상태 하중조합 V - 설계수명 동안 종종 발생 가능한 하중조합으로 교량 특성상 하부구조는 연직하중보다 수평하중에 노출될 때 더 위험하기 때문에 연직 활하중 대신에 수평 풍하중을 고려한 하중조합. 따라서 이 조합은 부착된 프리스트레스 강재가 배치된 하부구조의 사용성 검증에 사용해야 하고, 물론 하부구조는 사용하중조합III에서의 사용성 요구조건도 동시에 만족하도록 설계하여야 함.
- 피로한계상태 하중조합 - 3.6.2항에 규정되어 있는 피로설계트럭하중을 이용하여 반복적인 차량하중과 동적응답에 의한 피로파괴를 검토하기 위한 하중조합.

<하중조합과 하중계수(도로교 설계기준)>

하중 한계상태 하중조합	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS CF	WA BP WP	WS	WL	FR	TU	TG	GD SD	이 하중들은 한번에 한가지만 고려 γ_p			
										EQ	IC	CT	CV
극한 I	γ_p	1.80	1.00	-	-	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
극한 II	γ_p	1.40	1.00	-	-	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
극한 III	γ_p	-	1.00	1.40	-	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
극한 IV EH, EV, ES, DWDC만 고려	γ_p	-	1.00	-	-	1.00	0.50/ 1.20	-	-	-	-	-	-
극한 V	γ_p	1.40	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
극단상황 I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-
극단상황 II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00
사용 I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
사용 II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/ 1.20	-	-	-	-	-	-
사용 III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
사용 IV	1.00	-	1.00	0.70	-	1.00	1.00/ 1.20	-	1.0	-	-	-	-
피로-LL, IM & CE만 고려	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

하중의 종류	하중계수	
	최대	최소
DC : 구조부재와 비구조적 부착물	1.25 1.50(극한한계상태 조합Ⅳ에서만)	0.90
DD : 말뚝부마찰력	1.80	0.45
DW : 포장과 시설물	1.50	0.65
EH : 수평토압 ▪ 주동 ▪ 정지	1.50 1.35	0.90 0.90
EV : 연직토압 ▪ 전체안정 ▪ 옹벽 및 교대 ▪ 강성 압거 (예, 콘크리트 박스) ▪ 뼈대형 강성구조물 (예, 라멘형) ▪ 연성 압거 (예, 파형강관) ▪ 박스형 연성 강재압거	1.00 1.35 1.30 1.35 1.95 1.50	- 1.00 0.90 0.90 0.90 0.90
ES : 상재 토하중	1.50	0.75
EL : 시공중 발생하는 구속응력	1.0	1.0
PS : 프리스트레스힘 ▪ 세그멘탈콘크리트교량의 상부,하부구조 ▪ 비세그멘탈콘크리트교량 상부구조 ▪ 비세그멘탈콘크리트교량 하부구조 - I_g 를 사용하는 경우 - $I_{effective}$ 를 사용하는 경우 ▪ 강재 하부구조	1.0 1.0 1.0 0.5 1.0	
CR, SH : 크리프, 건조수축 ▪ 세그멘탈콘크리트교량의 상부,하부구조 ▪ 비세그멘탈콘크리트교량 상부구조 ▪ 비세그멘탈콘크리트교량 하부구조 - I_g 를 사용하는 경우 - $I_{effective}$ 를 사용하는 경우 ▪ 강재 하부구조	DC에 대한 γ_p 사용 1.0 0.5 1.0 1.0	

- AASHTO: 1994년 미국 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)에서 교량의 설계에 하중저항계수설계법(LRFD)을 적용한 시방서를 발간하였는데, 설계시 고려하는 하중조합으로는 다음의 11가지 한계상태가 있으며 일정한 수준의 안전도를 확보하도록 함.

- 강도한계상태조합 I: 일반적인 차량 통행을 고려한 기본 하중 조합(풍하중은 비고려)
- 강도한계상태조합 II: 발주자가 고려하는 특수 차량이나 통행 허가 차량을 고려한 하중 조합
- 강도한계상태조합 III: 풍속 90km/hr(25m/sec)를 초과하는 풍하중을 고려하는 하중 조합
- 강도한계상태조합 IV: 활하중에 비해 사하중이 매우 큰 경우에 적용하는 하중 조합
- 강도한계상태조합 V: 교량의 일상적인 사용 상태에서의 풍속에 대한 풍하중과 일상적인 차량 통행에 의한 하중 효과를 고려한 하중 조합
- 극한한계상태조합 I: 지진하중을 고려하는 조합
- 극한한계상태조합 II: 빙하중이나 선박 충돌하중 또는 차량충돌 하중을 수리학적 하중과 함께 고려하는 하중조합. 이때 활하중에 대해서는 감소된 하중계수를 적용.
- 사용성한계상태조합 I: 교량의 일상적인 사용상태에서의 하중 조건을 검토하는 하중조합으로 감소된 풍하중과 주요 하중의 공칭 값들을 동시에 고려한 하중조합
- 사용성한계상태조합 II: 차량 하중에 의한 강구조물의 항복과 미끄러짐에 취약한 연결부의 미끄러짐에 대한 하중조합
- 사용성한계상태조합 III: 균열 제어의 목적으로 프리스트레스 콘크리트 부재에서의 인장응력을 검토하기 위한 하중조합
- 피로한계상태조합: 피로설계트럭하중을 이용하여 반복적인 차량하중과 동적 응답에 의한 피로파괴를 검토하기 위한 하중조합

<하중조합과 하중계수(AASHTO)>

Local Combination	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Use One of These at a Time			
Limit State										EQ	IC	CT	CV
STRENGTH-I	γ_p	1.75	1.00	-	-	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
STRENGTH-II	γ_p	1.35	1.00	-	-	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
STRENGTH-III	γ_p	-	1.00	1.40	-	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-

STRENGTH-IV EH, EV, ES, DWDC ONLY	γ_p 1.5	-	1.00	-	-	1.00	0.50/ 1.20	-	-	-	-	-	-
STRENGTH- V	γ_p	1.35	1.00	0.40	0.40	1.00	0.50/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
EXTREME EVENT- I	γ_p	γ_{EQ}	1.00	-	-	1.00	-	-	-	1.00	-	-	-
EXTREME EVENT- II	γ_p	0.50	1.00	-	-	1.00	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00
SERVICE- I	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
SERVICE- II	1.00	1.30	1.00	-	-	1.00	1.00/ 1.20	-	-	-	-	-	-
SERVICE- III	1.00	0.80	1.00	-	-	1.00	1.00/ 1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-	-
FATIGUE-LL,IM & CE ONLY	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- Eurocode: Eurocode 2 – Part 2 (콘크리트 교량 설계기준)는 무근콘크리트, 철근콘크리트와 프리스트레스 콘크리트 교량을 설계하기 위해 필요한 기술적 원리와 요구 사항을 규정한 것으로 구조물의 안전성, 사용성 및 내구성을 확보하기 위한 목적을 두고 있음. 하중 (actions or loads; F)은 구조물에 직접 작용하는 힘 또는 힘의 집단 (직접하중)이거나, 구조물에 부과된 변형이나 가속도로써, 온도 변화, 습도의 변화, 부등 침하 또는 지진 등에 의해 유발되는 하중영향 (간접하중)을 말한다. 하중은 시간 변동성에 의해 다음과 같이 고정하중, 변동하중, 극단하중, 지진하중 으로 분류하고 있음.

- 고정하중 (permanent action; G) : 설계상황 설정 기간 동안 지속적으로 작용하는 하중으로, 시간에 따른 크기의 변화를 무시할 수 있으며, 작용 방향이 항상 일정한 하중을 의미한다. 프리스트레스 (P)는 고정하중으로 분류한다.
- 변동하중 (variable action;Q) : 시간에 따라 크기가 변화하는 하중이다. 특히, 물에 의해 유발되는 하중은 시간 변동성에 의해 고정하중과 변동하중 중의 하나로 간주할 수 있다.
- 극단하중 (accidental action or extreme load;A) : 현저하게 큰 크기로 짧은 기간동안 작용하는 하중으로써, 구조물 사용 수명 동안 발생하기 어려운 중으로 적절한 대책을 세우지 않는다면 심각한 결과를 초래할 수 있는 극단하중이 발생하는 많은 경우가 있다. 충격, 설하중, 풍하중과 지진하중은 그 크기와 성질에 관한 확률적 기준에 따라 변동하중 또는 극단하중으로 분류한다.
- 지진하중 (seismic action) : 지진에 의해 구조물 또는 부재에 유발되는 하중이다. 지진 하중과 같은 특성을 갖는 하중들은 현장 위치에 따라 변동하중과 극단하중 중의 하나로 간주할 수 있다.

<하중조합과 하중계수(Eurocode)>

CASE	하중	하중계수, γ	
		정상설계상황 임시설계상황	극단설계상황
<CASE A> 전체 구조물의 안정성 검증 (structural stability verification)	고정하중: 구조물과 부대시설의 자중, 토압 또는 수압 - 불리한 효과 - 유리한 효과 변동하중 - 불리한 효과 극단하중	1.10 0.90 1.50	1.0 1.0 1.0 1.0
<CASE B> 구조물과 부재의 강도 안전성 검증 (strength safety verification)	고정하중: 구조물과 부대시설의 자중, 토압 또는 수압 - 불리한 효과 - 유리한 효과 프리스트레스 -유리한 효과 - 불리한 효과 변동하중 - 불리한 효과 극단하중	1.35 1.00 1.20(1.00) 0.90(1.00) 1.50	1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
<CASE C> 지반 상태 검증 (ground failure verification)	고정하중: 구조물과 부대시설의 자중, 토압 또는 수압 - 불리한 효과 - 유리한 효과 변동하중 - 불리한 효과 극단하중	1.00 1.00 1.30	1.0 1.0 1.0 1.0

3. 건설 신재료 기술동향

○ 고성능 콘크리트

- 고성능 콘크리트(High performance concrete)라는 용어는 1989년 ACI 심포지움에서 캐나다의 Aitcin Group에 의해 최초로 사용되었고, 이후 세계 각국에서는 그 성능을 향상시키고자 다양한 종류의 고성능 콘크리트를 개발하였으며 현재는 현장실무에 활발히 적용되는 단계이다.
- 고성능 콘크리트는 고강도성, 고내구성, 고유동성의 3요소를 갖춘 콘크리트로 정의할 수 있으나 이러한 성능을 동시에 만족시키기는 쉽지 않으며, 구조물에 따라서 반드시 3가지 요소를 만족할 필요가 없기에 필요한 요소를 고성능화하는 것이 무엇보다 중요하다. 각국의 고성능 콘크리트의 개념은 아래의 표와 같으며, 일반적으로 28일 압축강도 기준으로 70~120MPa범위의 콘크리트 또는 유동성과 내구성 등의 특정 성분 측면에서 기존 콘크리트와 구별되고 있다.

<고성능 콘크리트의 요소별 정의>

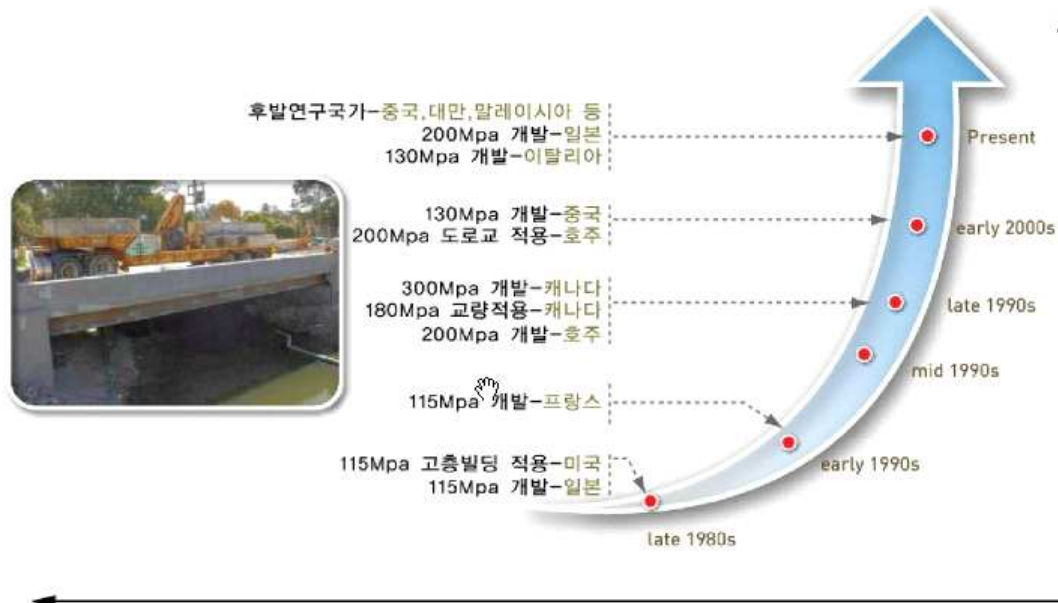
구분	미국, 유럽 등	일본	비고
강도 (MPa)	- 재령 28일$\geq$70 - 재령 1일$\geq$35 - 재령 4시간$\geq$20	- 재령 28일$\geq$10 - 재령 1일$\geq$30	강도범위
유동성	- W/B$\leq$35% - 우수한 워커빌리티 - 레올로지적 접근	- 다짐작업 불필요 - 충전성, 균질성 실현	다짐여부
내구성	- 내구성 지수$\geq$80% (동결융해 300사이클 후)	- 탄산화, 염분침투방지 - 동결융해 저항성 등 - 장기 내구성 형상	유사개념
재료	- 시멘트 재료 개선 - 실리카폼 등 사용	- 보통시멘트(1종) - 플라이애쉬, 슬래그, 실리카폼 사용	Rheology 개념

- 현재 고강도콘크리트를 가장 많이 사용하고 있는 미국에서는 1960년대에 42~5 MPa 강도의 콘크리트가 상업용으로 이용되어 왔으며, 1970년 초에는 63MPa의 콘크리트가 Chicago지역을 중심으로 생산되었다. 1980년대에는 77MPa의 콘크리트를 사용한 건축물(Chicago Merchantile Exchange)이 1982년 완공되었으며, 1987년에는 133MPa의 콘크리트가 시애틀의 Two Union Square 건물에 사용되었고, 1988년에는 80MPa의 콘크리트가 시카고의 311 South Wacker Drive Building(78층)에 사용되었다. 또한 1996년 말레이시아의 페트로나스 타워(88층, 453m)에 강도 80MPa의 고강도콘크리트가 사용되었고, 1990년대 후반에는 중국, 대만을 거쳐 초고층 구조물이 급증하고 있는 중동지역까지 고강도 콘크리트의 사용이 증가하였다.
- 국내에서는 1990년대 초에 분당 등의 5개 신도시에 30MPa의 콘크리트를 사용함으로써 콘크리트의 고강도화가 본격적으로 시작되었다. 이후 2003년에 완공된 초고층 주상복합건물인 서울도곡동의 타워팰리스 III에 80MPa의 고강도콘크리트가 구조설계에서부터 시공에 사용되었고, 40~60MPa정도의 고강도콘크리트는 현재 국내에서 일반적으로 사용하는 콘크리트가 되었다.

○ 초고성능 콘크리트(UHPC)

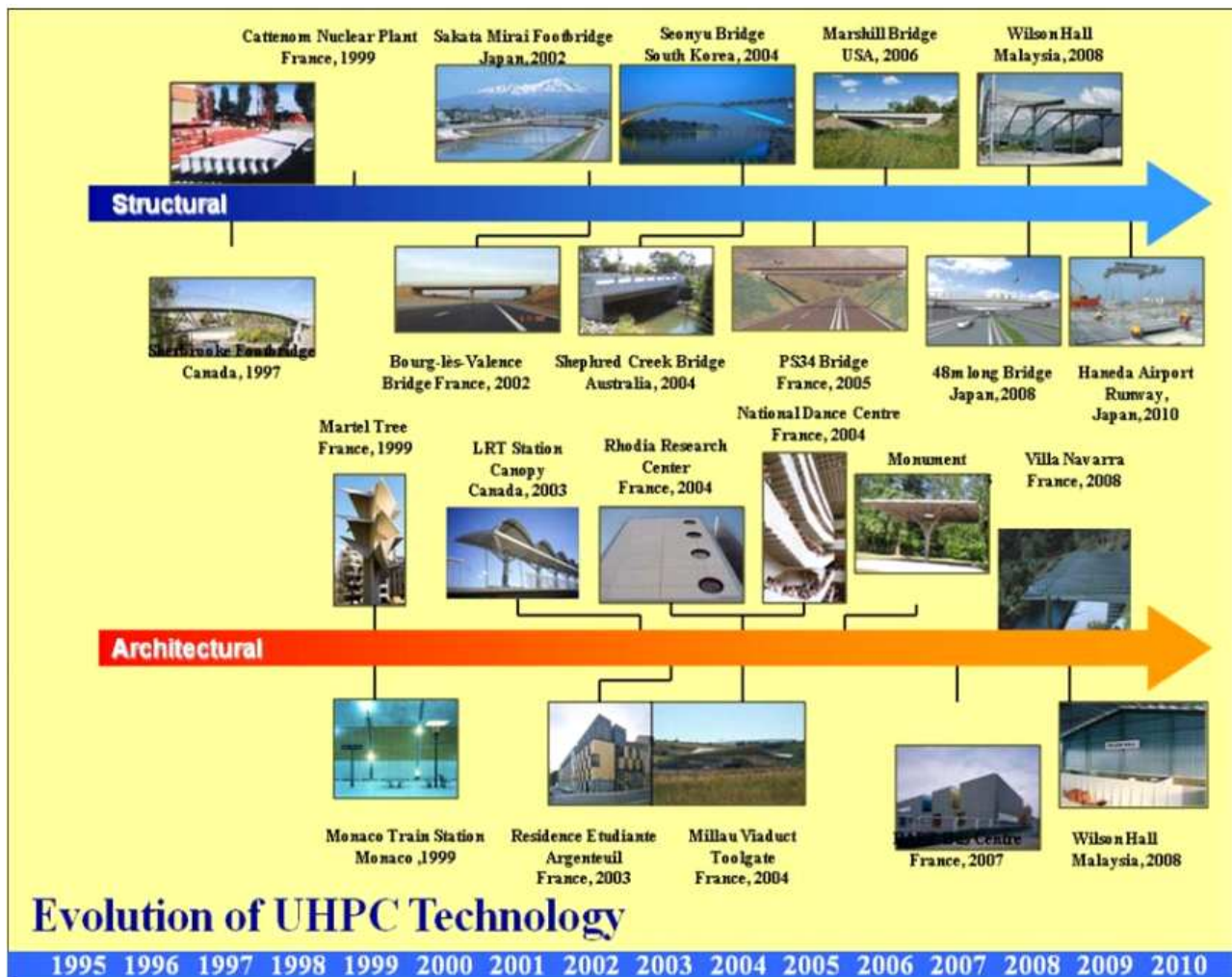
- 고성능 콘크리트보다 진일보된 초고성능 콘크리트(Ultra-High Performance Concrete)를 개발하고자 현재 전 세계적으로 다양한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 초고성능 콘크리트는 압축강도 150 MPa이상의 초고강도와 고인성을 특징으로 하는 콘크리트로서, 1980년대에 미국과 일본을 중심으로 개발되었으며, 일본은 1990년대에 New RC Project를 통하여 고강도콘크리트 관

련 연구를 본격적으로 시작하였다.



<국외 초고강도콘크리트 개발동향>

- UHPC는 현재 미국과 일본뿐만 아니라 프랑스, 독일 등에서도 차세대 건설 신재료로 인식되어 관련된 많은 연구개발이 추진되고 있으며, 현재는 소규모 보도교, 건축자재 등에서부터 도로 및 철도 교량 등 규모가 큰 토목구조물에 적용되는 단계이다.

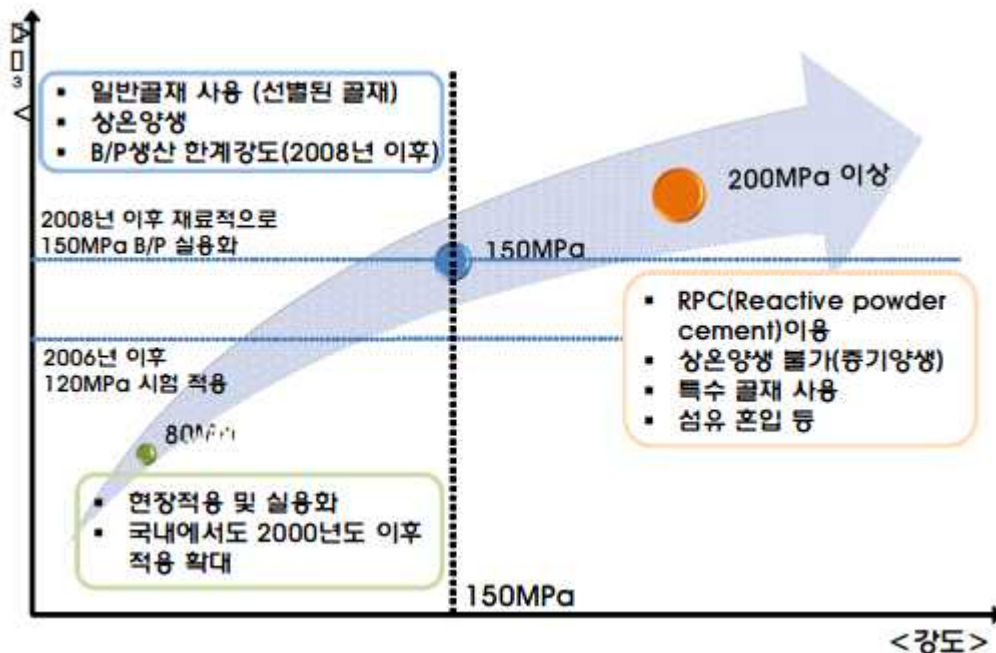


<UHPC 기술의 적용>

- 초고강도콘크리트개발에 관한 국내 현황을 살펴보면, 아래 그림에서 보는 것처럼 2000년대 초반까지는 100MPa이하의 강도에서 다양한 연구가 진행되다가 2005년 이후 대형건설사를 중심으로 100MPa이상의 초고강도콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되어 120MPa부터 250MPa까지 다양한 강도수준의 콘크리트를 개발하였다. 하지만 현재 200MPa 초고강도콘크리트는 보통 시멘트가 아닌 특수시멘트 즉, RPC(Reactive Powder Cement)를 사용하거나 일반양생이 아닌 증기양생방법을 사용하며, 세라믹 계통의 특수골재 및 섬유혼입 등 특수한 제조방법을 적용하고 있는 상황이다. 이러한 연구는 실제 구조물에 적용하기 보다는 향후의 적용가능성을 대비하여 주로 기업의 기술홍보 목적으로 실시된 실험실 차원의 기반기술 수준이다.
- 다양한 고성능 콘크리트가 개발되었음에도 불구하고 콘크리트는 매우 낮은 인장강도, 휨강도, 연성(ductility), 에너지 흡수능력을 가지는 취성적인 재료이기에, 이런 단점들을 극복하기 위해 단섬유(single fiber)를 다량으로 혼입하여 고인성을 갖는 콘크리트를 최근 개발하고 있다.



<국내 초고강도콘크리트 개발 현황>



<150MPa 초고강도 콘크리트 현장 실용화>

○ 고분자 복합재료(Polymer Composite)

- 고분자 복합재료는 수지 차체의 물성만으로 응용 범위가 한정되므로, 물성 향상을 위해 고분자 수지에 각종 유기/무기 첨가제를 혼합한 재료를 일컫는다.
- 일반적으로, 고분자 복합재료는 기재(Matrix) 역할을 하는 고분자와 강화제 역할을 하는 유기/무기 필러(Filler)로 구성되어 있으며, 일반적인 필러의 종류로는 유리 섬유(Glass Fiber), 탈크(Talc), 탄소 섬유(Carbon Fiber), 충격 보강제 등이 있다.
- 1세대 고분자 복합재료는 불포화 에스테르 수지 및 에폭시 수지에 값이 저렴한 유리 섬유를 이용한 복합재료이고, 강도는 우수하나 강성이 낮은 단점이 있다.
- 2세대 고분자 복합재료는 탄소 섬유나 아라미드 섬유를 이용한 고강도 고강성의 특성을 갖는 복합재료이며, 열경화성 수지인 에폭시 수지가 많이 이용된 관계로 경화 반응 등 성형 사이클 시간의 증가 및 내충격성의 단점이 있다.
- 3세대 고분자 복합재료는 이러한 단점을 극복하기 위해 열가소성 수지를 이용하여 생산성을 향상시킨 복합재료이다.
- 이러한 고분자 복합재료는 자동차 부품에 GF/MF 복합재료를 많이 활용하고 있고, 연료비 절감을 위해 2005년에 에어버스사에서 상용기 A380의 전체 재료 중 25% CFRP 복합재료를 사용한 바 있고, 2013년 A350 XWB는 복합재료를 53% 사용하여 제작되었다.
- 국내의 경우 1990년대 이후 섬유보강 복합재료(Fiber Reinforced Plastic: FRP) 제조기술이 급속히 발전함에 따라 토목분야에서도 FRP의 활용이 증가되었다. 강성이 우수한 탄소섬유 시트나 유리섬유패널 등을 사용하여 철근콘크리트 구조물의 균열제어, 방수 등 기초적인 보수 단계에서 벗어나 FRP Re-bar, Sheet, Grid를 사용한 구조물의 보강과 FRP Rapping기술을 사용한 교각의 내진성능 향상 및 구속효과를 고려한 압축보강, 거더 외부 긴장재로서의 FRP 활용 등 다양한 기술이 연구 개발 중에 있으며 일부 적용되어 사용되고 있다.



<FRP 보강재를 사용한 콘크리트 부재>

- 부식이 강한 FRP를 구조재로 사용하기 위한 이론적, 실험적 연구가 국내에서 활발히 진행되고 있으며, 콘크리트 내부의 철근을 FRP로 대체하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있으며, 소규모 교량에서는 FRP 바닥판이 가설되어 사용되기도 하였다.
- 미국, 캐나다, 일본, 유럽 등에서는 1970년대부터 이미 보수보강재로 FRP를 생산하여 사용하고 있다. FRP Re-bar, Grid, Sheet를 사용한 콘크리트구조물의 보강뿐만 아니라 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)판에 프리스트레스를 도입하여 구조물을 보강하는 새로운 개념의 공법도 제안되어 구조적 거동과 해석기법에 관한 연구도 현재까지 활발하게 진행되고 있다. 1990년대에 들어서면서 FRP를 사용한 교량이 시공되었고 특히, 교량의 구조 요소로서 FRP의 활용이 증대되고 있다. 현재에는 구조재로서의 FRP의 거동 특성 및 제조기술과 더불어, 시공된 FRP 구조물에 센서를 장착하여 교량의 장단기거동 및 교량의 유지관리에 필요한 자료 등을 수집하고 그 결과를 설계에 활용하고 있는 단계에 있다.



(a) Panel



(b) Re-bar



(c) Pile



(c) Tendon Bar

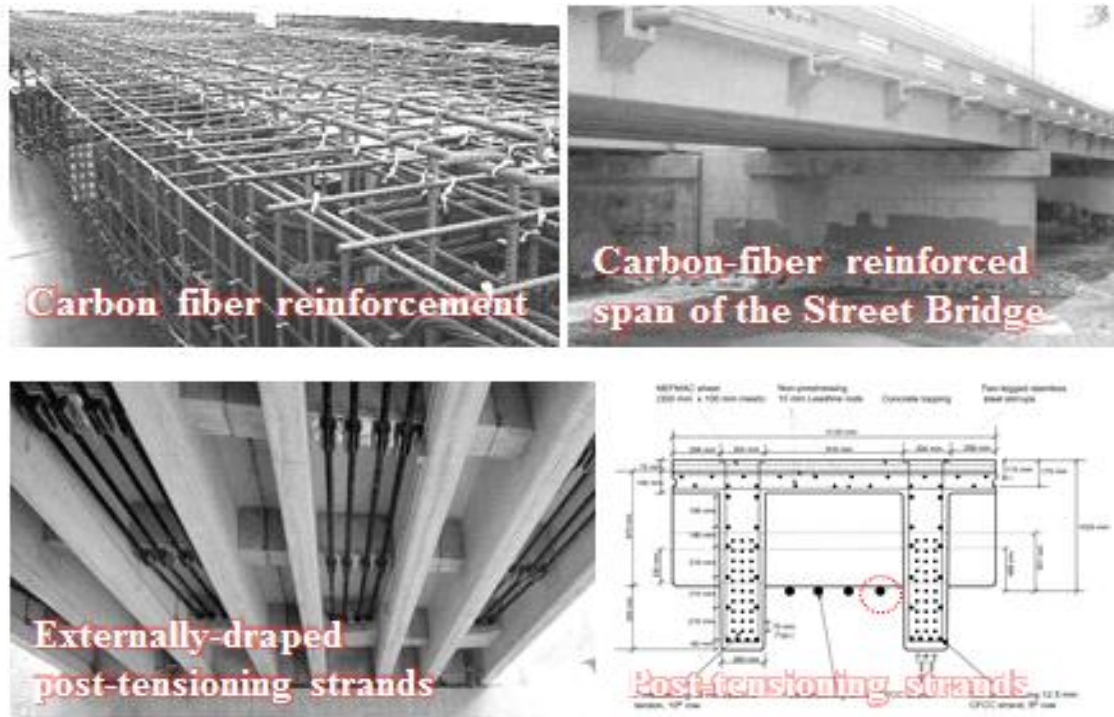


(d) Bridge

<국외의 FRP 활용>

- 한편, 탄소 섬유를 강화재로 하는 플라스틱계 복합재인 CFRP(Carbon fiber reinforcement plastic) 보강재는 교량의 고성능 구조용 재료로 활용되고 있는데, 2001년 미국의 Lawrence Tech University에서는 부식 방지 및 고성능화를 통한 교량의 장수명화를 위해 CFRP로 완전 보강된 The Bridge Street 교량을 건설하였으며, 최근에는 다음 그림과 같이 CFRP strands의 외부 긴장력 도입을 통한 장기간화를 도모하고 있다.
- 이에 따라 교량의 장기간화를 위해 CFRP strands 또는 plates에 긴장력 도입을 통한 장대 교량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 캐나다의 경우 Halifax 교량에 다음 그림과 같이 I형 거더의 내부 CFRP strands의 프리스트레싱을 통한 지간 약 25m의 CFCC Beams을 시공한 바 있다.
- 또한, 호주의 연구에 의하면 CFRP의 동적하중 및 피로하중에 대한 우수한 저항성을 기반으로 CFRP plates의 외부 프리스트레싱 개발을 통한 경전철 교량에 적용하여 건설한 바 있다.

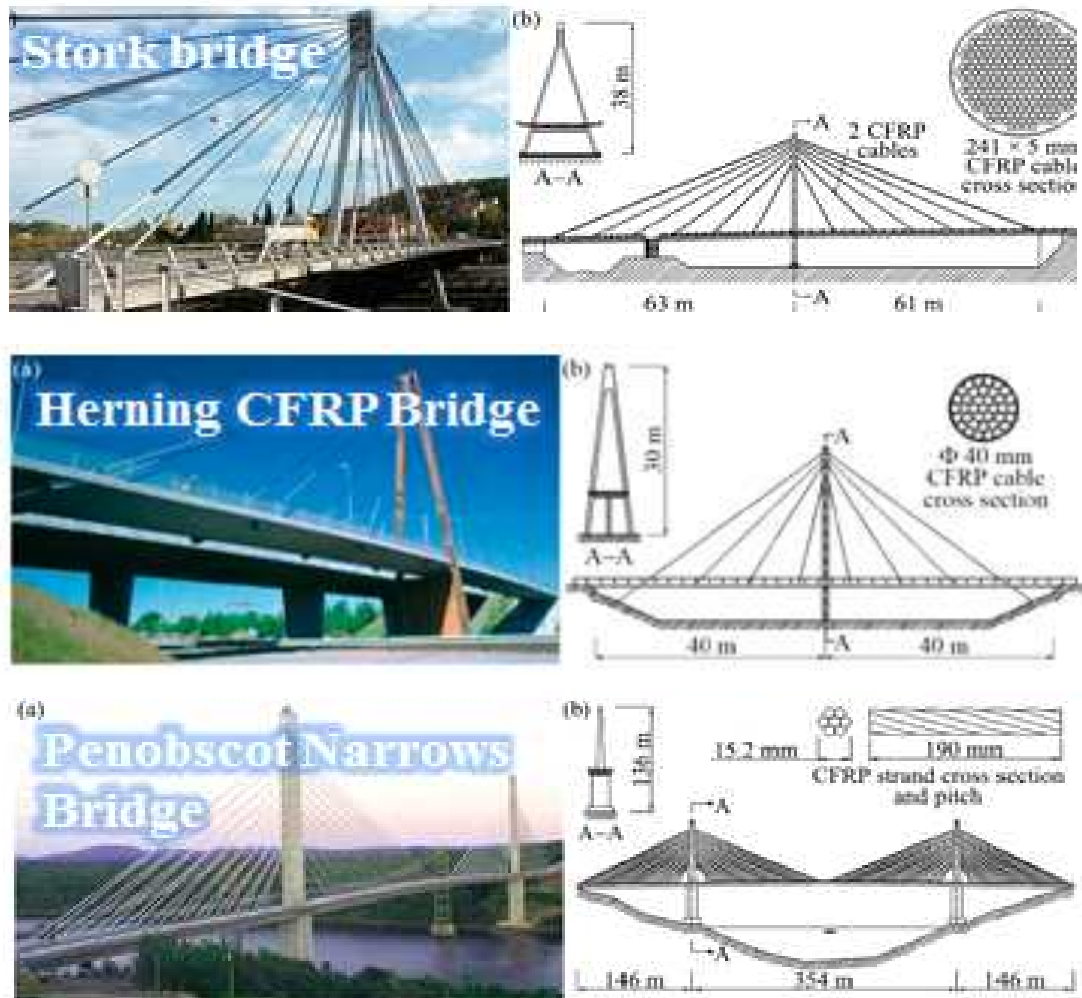
- 최근에는 교량의 초장대화에 대한 관심이 급증하고, 이에 대한 수요가 증가함에 따라 CFRP strands cable로 적용한 사장교에 대한 개발이 이루어지고 있으며, 1996년 스위스에 건설된 24가닥의 CFRP cable을 활용한 지간 35m의 사장교에서부터 미국에서 2006년 개통된 지간 354m에 이르는 Penobscot Narrows 교량이 시공된 바 있다.



<CFRP 보강재 적용사례 (미국, Michigan)>



<CFRP strand 및 plate prestressing 적용 사례 (상: 캐나다, 하: 호주)>



<CFRP cable 사장교 적용 사례>

- 그러나 아직 국내 연구에서는 FRP 보강재 종류에 따른 물리적 성질과 적용 가능한 보강량, 보강법에 대해 충분한 실험 데이터가 부족하며, FRP를 활용한 FRP 복합재(FRP Composite member)에 관한 적용 사례 및 실험적, 이론적 연구가 부족한 상태이다. 현재 FRP로 보강된 철근콘크리트 부재의 보강 성능에 관한 정적·동적 거동의 실험적 연구만 진행되고 있으며, 장기 거동에 관한 연구는 드문 실정이다. 또한 기존의 연구들은 축소된 크기의 시험체로 연구를 진행했기에 실제 현장에 사용되기엔 한계가 있다.
- GFRP의 상업적 개발은 1940년대 해군업계의 관심을 시작으로 생산이 빠르게 증가하였다. 낮은 재료비와 생산비로 경제성이 좋을 뿐만 아니라 높은 내구성과 강도에 비해 낮은 중량으로 인해 구조적 효율성이 뛰어나 현재 다양한 구조물에 응용하여 사용되고 있다. 현재 CFRP보다 경제성이 좋은 유리섬유강화 보강재(Glass-FRP, GFRP)에 연성을 보강한 복합재를 건축물 내력 보강에 적용한 사례가 증가하고 있다.



(a) Stairs and decking in Brazil



(b) Kolding Footbridge in Denmark



(c) Eyecatcher Building in Switzerland

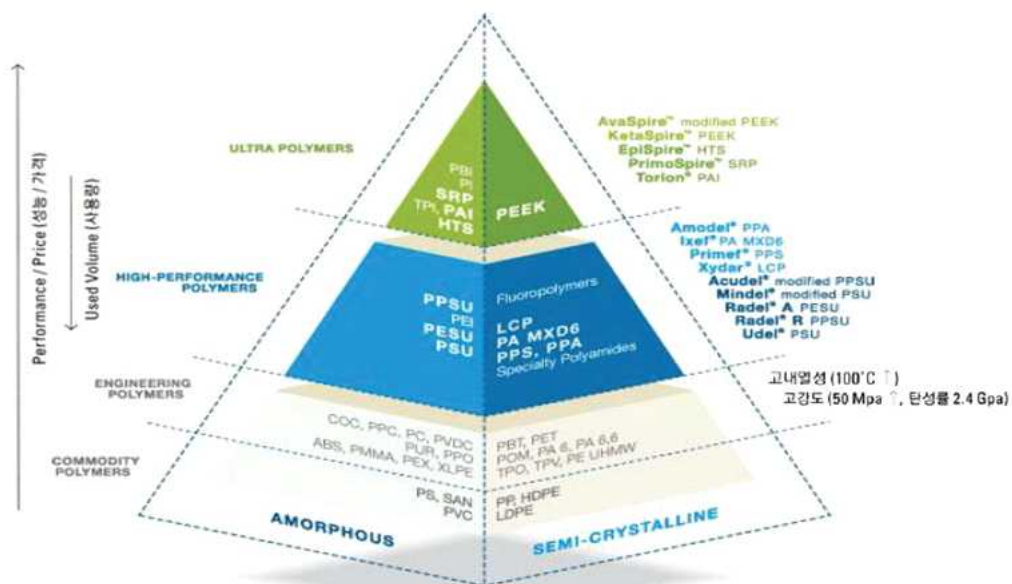


(d) ETAR Vila Moura in Portugal

<국외 GFRP 구조적 활용 사례>

○ 엔지니어링 플라스틱(Engineering Plastic: EP/ENPLA)

- 플라스틱은 일반적으로 아래 그림과 같이 범용 플라스틱, 엔지니어링 플라스틱, 고성능 엔지니어링 플라스틱, 슈퍼 엔지니어링 플라스틱으로 구분된다.

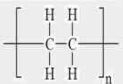
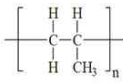
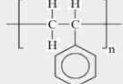
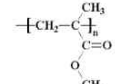
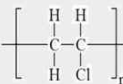


<플라스틱의 종류>

- 일반적인 범용 플라스틱은 열과 압력을 가해 성형할 수 있는 분자량 3만 이상의 고분자화합물이며, 열을 가해서 재가공이 가능한지 여부에 따라 열가소성 수지 혹은 열경화성 수지로 구분되고 통상 100℃ 내외에서 녹거나 분해된다.

- 5대 범용 플라스틱: PE(Polyethylene), PP(Polypropylene), PS(Polystyrene), PMMA(Poly methyl methacrylate), PVC(Poly vinyl chloride)

<5대 범용 플라스틱의 특징>

5대 범용 플라스틱	구조식	특징	용도
PE (Polyethylene)		- 밀도와 분자 구조에 따라 LDPE, LLDPE, HDPE로 구분 - 성형이 용이하며 강도, 내약품성, 내침투성, 전기절연 특성 우수 - 다른 수지에 비해 저렴	- 일용품 (컵, 물통, 식품용기) - 전기제품 (전선피복) - 필름, 용기 패킹
PP (Polypropylene)		- PE와 전체적으로 유사하지만 항장력, 스트레치 분쇄특성 등이 PE보다 우수함 - PE보다 가볍고 내열성이 좋음 (120℃) - 전기적 특성이 우수하며 무해함.	- 일용품 (안경집, 문구류) - 고주파절연부품, 시트, 필름 류
PS (Polystyrene)		- 플라스틱의 표준이 되는 수지로 경질이며 무색 투명함 - 비결정성 수지이며, 성형성이 좋음 - 내화학성이 좋지 않음 (벤젠, 가솔린, 솔벤트에 약함)	- 일용품 (포장용기, 사무용품) - 전기용품 (콘덴서용, 절연TAPE) - 식품용기류, 냉장고 내부 선반
PMMA (Poly (methyl methacrylate))		- 무색투명으로 광학적 특성이 매우 뛰어남 - 내후성이 다른 수지에 비해 탁월함 - 광택이 좋고 착색이 잘되며 무해함	- 광학렌즈 - 조명 기구 - 휴대폰 투명 윈도우
PVC (Poly (vinyl chloride))		170℃ 이상에서 용해하며, 190℃ 이상이 되면 염산을 방출하면서 분해하여 황색, 갈색으로 변함 - 내노화성, 내산화성, 내수성 등이 우수함 - 용제에 잘 녹으나 산, 염기에 강함	- 단열재, 방음재 - 파이프, 연질 호스 - 필름, 시트, 전선 케이블

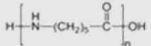
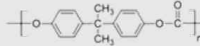
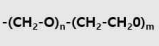
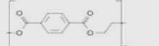
<5대 범용 플라스틱의 물성치>

분류		단위	시험방법 (ASTM)	PE	PP	PS	PMMA	PVC
기계적 성질	항복 강도	Kg/cm ²	D638	250	330	-	-	50~100
	파단 강도	Kg/cm ²	D638	-	310	350~600	490~770	420~530
	굽힘 강도	Kg/cm ²	D790	-	-	-	-	-
	휨 탄성율	Kg/cm ²	D790	11,000	17,000	-	2,600~3,200	-
	압축 강도	Kg/cm ²	D695	-	-	-	-	-
	전단 강도	Kg/cm ²	D732	-	-	-	-	-
	표면 강도	로크웰	D785	D65	R100	90~93	85~97	R108~118
	충격 강도	Kg.cm/cm	D256	20.0	3.8	0.6~1.0	2.0	1.0~3.0
내 마모성		1000회	D1044	-	40	-	-	-
물리적 성질	비중	-	-	0.96	0.91	1.02~1.08	1.19	1.16~1.35
	선팅창 계수	X10 ⁻⁵ /°C	D696	11	11	-	-	5.0~10.0
	열전도율	Kcal/M.HR.°C	-	0.21	2.82	0.6~1.0	0.3~0.5	3.0~5.0
	흡수율(24hr)	%	D570	<0.01	<0.01	-	0.3	0.04~0.75
	비열	Kcal/kg.°C	-	0.55	0.46	-	-	0.3~0.5
	연속 사용 온도	°C	-	50	65	55~100	74~99	70~90
	연소성	°C	D635	2.5~2.6	1.9~2.1	-	HB	-

- 엔지니어링 플라스틱은 500Kgf/cm² 이상의 인장강도, 20,000 Kgf/cm² 이상의 굴곡탄성을, 100℃ 이상의 내열성, 6kgf·cm/cm 이상의 충격강도를 가져 플라스틱의 최대 약점인 열적 성질과 기계적 강도를 향상시킨 플라스틱을 말하며, 용도에 따라 난연성, 내마모성, 내약품성 등의 특성을 지니고 있음.

- 엔지니어링 플라스틱의 종류: Polyamide(PA), Polycarbonate(PC), Polyacetal(POM), Polybutylene terephthalate (PBT), Polyphenylene Oxide(PPO)

<엔지니어링 플라스틱의 특징>

	Polyamide (PA)	Polycarbonate (PC)	Polyacetal (POM)	Polybutylene terephthalate (PBT)	Polyphenylene Oxide (PPO)
구조식					
제조방법 (원재료)	- PA6 (카프로락탐) - PA66 (헥사메틸렌디아민)	- 중합법(비스페놀 A) - 포스젠법 - Diphenylcarbonate	- 포름알데히드 - 메탄올	- DMT 또는 TPA 1,4-Butanediol - 모노머로 중합	PPO와 HIPS Blending
장점	190℃ 이상의 높은 열변형 온도 - 높은 강도, 난연성, 절연 특성	높은 강도, 내열성, 내환경성 우수	굴힘강도, 내피로성, 내마모성 우수	전기절연성, 난연성, 성형성, 기계적성질, 내열성, 내약품성 우수	- 높은 열변형 온도 - 내열성, 치수 안정성, 기계적 강도, 전기적 성질 등이 우수
단점	낮은 수분 흡수성	성형시 일그러짐으로 변형/깨짐	난연성, 내후성, 접착성이 떨어짐	전기 저항이나 유전율 전환이 어려움	내후성, 저온 충격성 내화학성 취약
특이사항	전체 EP 시장의 29%	- 전체 EP 시장의 43% - EP 중 유일한 투명합	- 전체 EP 시장의 12% - 금속 기계부품과 많이 대체됨.	- 전체 EP 시장의 11% - 물성 균형이 뛰어남	- 성형온도가 높음 - 성형시제품의 Crack 이 발생하는 단점
용도	- 자동차 엔진 부품 - 실린더 헤드 커버	- LED 조명기구 - 건축 자재 - 디지털 카메라 렌즈	- 전기전자기기 - 산업기기 - 의료 삽화	- 전기전자부품 - 자동차 전장 부품	자동차 바디 패널용

<엔지니어링 플라스틱의 물성치>

	분류	단위	시험방법 (ASTM)	Nylon 6	Nylon 6,6	POM	PC	PET
기계적 성질	항복 강도	Kg/cm ²	D638	760	850	620	645	-
	파단 강도	Kg/cm ²	D638	800	-	560	605	860
	굽힘 강도	Kg/cm ²	D790	1,000	1,200	910	960	1,300
	휨 탄성율	Kg/cm ²	D790	25,500	28,500	26,400	21,800	30,700
	압축 강도	Kg/cm ²	D695	820	1,060	1,100	780	990
	전단 강도	Kg/cm ²	D732	720	-	540	380~660	-
	표면 강도	로크웰	D785	R119	R120	R120	R118	R125
	충격 강도	Kg.cm/cm	D256	6.5	5.5	7.6	12.0~14.0	12.4
	내 마모성	1000회	D1044	3~4	8.0	14	13	-
물리적 성질	비중	-	-	1.12~1.14	1.13~1.15	1.41	1.20	1.27
	선팅창 계수	X10 ⁻⁵ /°C	D696	8.0	8.0	9	7.0	5.6
	열전도율	Kcal/M.HR.°C	-	0.18	0.20	0.20	0.17	0.19
	흡수율(24hr)	%	D570	1.80	1.1~1.5	0.22	0.24	0.25
	비열	Kcal/kg.°C	-	0.46	0.40	0.35	0.30	-
	연속 사용 온도	°C	-	105	105	105	115	80
	연소성	°C	D635	자기소화성	자기소화성	HB	-	HB

- 일반적인 엔지니어링 플라스틱과 구분하여, 150℃ 이상의 내열성을 갖는 경우 슈퍼 엔지니어링 플라스틱(Super Engineering Plastic)으로 구분함.

- 슈퍼 엔지니어링 플라스틱의 종류: Polyimide(PI), Polyphenylene Sulfide(PPS), Polyether Ether Ketone(PEEK), Polyether Imide(PEI), Liquid Crystal Polyester(LCP)

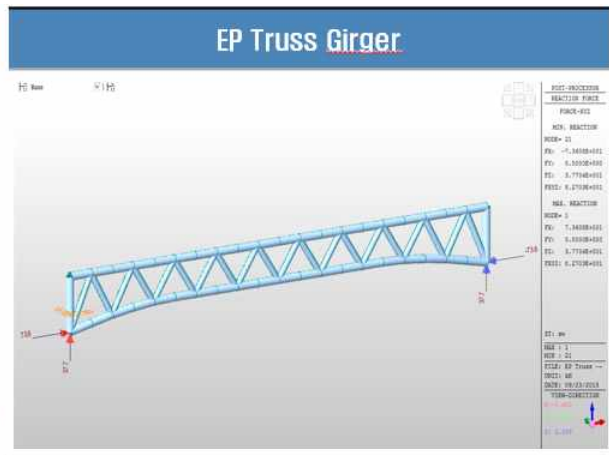
<슈퍼 엔지니어링 플라스틱의 물성치>

분류		단위	시험방법 (ASTM)	PEEK	PEI	PES	PTFE
기계적 성질	항복 강도	Kg/cm ²	D638	-	-	-	-
	파단 강도	Kg/cm ²	D638	1,000	1,260	860	140~350
	굽힘 강도	Kg/cm ²	D790	1,730	1,600	1,320	-
	휨 탄성율	Kg/cm ²	D790	41,000	31,000	26,500	4,000~5,000
	압축 강도	Kg/cm ²	D695	1,210	1,200	-	120
	전단 강도	Kg/cm ²	D732	-	-	-	10.9
	표면 강도	로크웰	D785	R120	R127	M88	R10~20
	충격 강도	Kg.cm/cm	D256	20	11	8.7	16.3
	내 마모성	1000회	D1044	-	-	20	-
물리적 성질	비중	-	-	1.32	1.27	1.37	2.1~2.2
	선팅창 계수	X10 ⁻⁵ /°C	D696	5.0	5.6	5.5	9.9
	열전도율	Kcal/M.HR.°C	-	0.25	0.19	0.16	6.0
	흡수율(24hr)	%	D570	0.14	0.25	0.43	<0.01
	비열	Kcal/kg.°C	-	0.32	-	0.26	-
	연속 사용 온도	°C	-	250	170	180	260
	연소성	°C	D635	V0	V0	V0	V0

- 이러한 고성능·고강도 플라스틱인 엔지니어링 플라스틱은 지금까지 자동차, 기계부품, 전기·전자 부품 등 주로 공업 분야에서 금속 대체 용도로 이 많이 사용되어 왔는데,
- 최근, 엔지니어링 플라스틱을 토목구조 재료로의 사용을 위한 기초 연구가 진행 된 바 있는데, 국내에서는 30m 지간을 갖는 강제 거더와 엔지니어링 플라스틱 트러스 거더 부재를 모델링하여 기본적인 구조 비교 검토를 통해, 엔지니어링 플라스틱 트러스 거더의 자중이 68% 감소되고 중앙부 최대 처짐은 1.5배 정도 증가하는 것을 확인하는 등 엔지니어링 플라스틱을 활용한 교량 구조 개발 가능성을 검토한 바 있음.
- 최근 Plastic Form을 개발하여 실제 교량 및 건축 공사에 적용한 사례가 있음(FUVI 社). Plastic Form의 경우 Steel Form에 비하여 경량(50 x 500 x 1000, 9.6kg)으로 작업자의 설치 및 해체가 용이하여 시공성 및 경제성이 우수함. 현재는 기둥, 바닥판 등 평평한 부재에만 적용되고 있으나, 3D 프린팅 기술과 결합하여 자유로운 형상으로 제작 가능한 Plastic의 특성상 그 활용도가 더욱 클 것으로 기대됨.



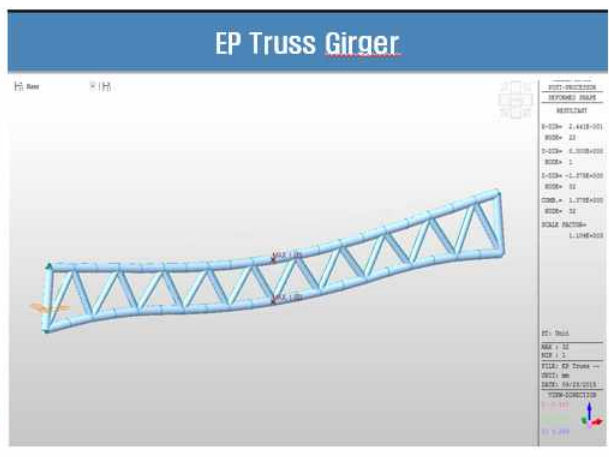
거더 자중 지점반력 : 54.871(kN)



거더 자중 지점반력 : 37.704(kN)
 (Steel Girder 대비 자중 0.68% 절감)



최대 처짐(중양부) : 0.897(mm)



최대 처짐(중양부) : 1.375(mm)
 (Steel Girder 대비 처짐 1.5배 증가)

<Steel/EP 거더간 구조 검토>

[출처: 우성디앤씨]



<Plastic Form 시공 사례 및 제작 공장>

[출처: www.fuvicoppha.com]

4. 가설 및 시공 기술동향

○ 상·하부 구조물 가설 및 시공기술 개요

- 국내 도시철도 고가구조물의 상부 구조는 일반 철도교 형식으로 설계되는 관계로, 시공 또한 철도교 시공 기술이 적용되고 있다. 국내의 철도교 시공기술은 다양한 교량 형식 및 시공법이 적용된 고속철도 및 도시철도의 건설 경험이 풍부하여 우수한 수준이다. 최근 철도교 시공기술 동향은 건설 비용의 절감, 품질 향상, 안전사고 방지 등을 위해 건설 현장 관리의 고도화 하는 방향으로 발전하고 있으며, 이에 따라 프리캐스트 콘크리트 시공법 또는 상부구조 모듈화를 통한 급속시공법의 개발 및 적용이 확대되는 추세이다.
- 철도교를 비롯한 국내 교량의 하부 구조는 현장 타설에 의한 재래식 교각 시공법으로 주로 건설되고 있다. 건설 현장에서의 시공성 향상이나 공사기간 단축을 위해서 기둥이나 코핑의 철근망을 선조립하여 현장에서 설치하는 방법이 적용되고 있지만 그 효과는 제한적이다. 국외에서는 교량 급속시공법 개발의 일환으로 프리캐스트 콘크리트 시공법 등을 활용한 교량 하부 구조 시공 기술이 개발되어 실제 건설 현장에 적용되고 있다. 이러한 급속 시공법은 노후화된 기존 교량의 교체와 과밀화된 도심지에 신규로 교량을 건설할 경우 매우 효과적으로 판단된다.
- 도시철도 고가구조물은 도심지 미관을 고려하여 건설되는 것이 요구되고 있으나, 기존의 철도 및 도시철도 교량은 경간장 40m 이내로 계획되고 시공되어 이러한 요구를 만족시키지 못하고 있다. 합리적인 공사비를 갖는 장경간 상부 구조 형식을 제안·검증하고, 이를 복잡한 도심지 공간에서 효과적으로 가설 및 시공하기 위한 기술 개발이 필요하다.
- 또한, 도심지에 건설되는 특성으로 인하여 민원발생과 공사기간을 최소화 하는 현장 작업을 최소화 할 수 있는 시공법이 요구되며, 이와 함께 공사 완료 후 도심지 미관과 어우러질 수 있는 조형미를 갖는 하부구조 시공 기술 개발이 필요함. 콘크리트 구조물의 미관 향상을 위해 해외에서는 컬러 콘크리트, 그래픽 콘크리트 등의 개발되어 적용이 확대되고 있으며, 국내외에서 3D 프린팅 기술을 이용한 비정형 형상의 콘크리트 구조물을 제작하는 기술도 시도되고 있다.

○ 상부구조의 형식 및 최적설계

- 현수교나 사장교와 같은 Cable 교량을 제외하고 상부구조의 단면 휨 강성만으로 장경간 구조를 구현할 수 있는 대표적인 교량 형식으로 Truss 구조를 들 수 있다. Truss 구조는 주형이 받는 휨 모멘트 및 전단력에 저항하기 위해 필요한 부재만으로 구성된 형상에 가까워 현재의 교량 상부 구조로서 가장 효율적인 단면 형식으로 판단된다. 하지만, 최근 위상 및 형상 최적 설계 기술과 수치해석 기술이 발달함에 따라 일반적인 기존의 Truss 구조보다 더욱 효율적이고 최적화된 형상의 도출과 이를 실제 건설 현장에서 구현할 수 있는 기술적 배경이 구축되고 있다.
- 6각형 cell의 집합으로 이루어진 벌집 구조(Honeycomb Structure)는 휨이나 압축에 강하며 2차원 평면의 모든 방향으로 등방의 내하성능을 가지고 있고 경량인 특성이 있어 비행기, 자동차, 철도 차량 구조 부재와 벽식 부재, 거푸집 등 판부재 등 많은 분야에 적용되고 있다. 벌집 구조(Honeycomb Structure)를 활용한 교량의 바닥판도 연구개발 되고 있다.



<성수대교 (상부구조: Truss)>

[출처: blog.naver.com/76skip/30139459478]

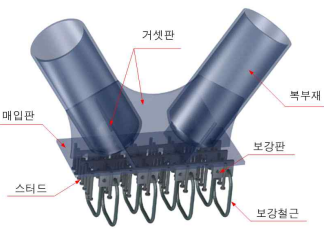
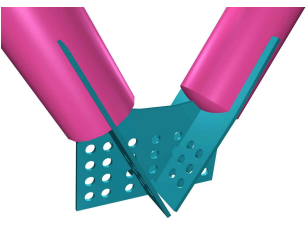
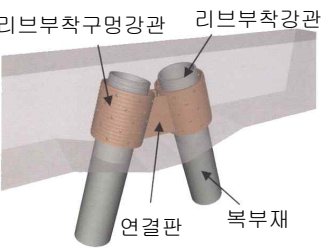
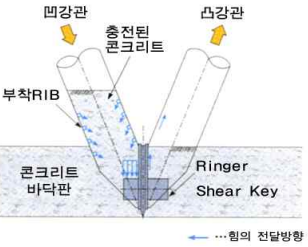


<벌집구조(Honeycomb Structure)>

[출처: articles.sae.org/8061/]

○ 상부구조의 제작(강재 부재)

- 강재 또는 강재와 콘크리트의 복합구조로 계획된 상부 구조는 강재와 강재, 강재와 콘크리트의 연결부에 하중이 집중되고 작용 하중도 복합적이기 때문에 최적 연결방법의 선정과 검증이 중요함. 연결 방식은 부재 제작의 시공성과 경제성에도 큰 영향을 미치는 관계로 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있음.
- 일반적인 Truss 구조에서 요구되는 강재와 강재의 연결은 용접 또는 볼트 결합으로 진행되며, 이는 오랜 기간 적용되어 검증이 확실하고 다양한 경험이 축적되어 있어 신규 연구가 활발하지 않음. 반면, 강재와 콘크리트가 접합되는 연결부는 이질 재료가 결합되고 연결부 응력 거동이 복잡하여 이에 대한 최근 연구사례가 풍부함.
- 강재와 콘크리트 연결부가 포함된 대표적인 교량 형식은 상부와 하부 콘크리트 플랜지와 강재 사재로 이루어진 복합 Truss 교가 있으며, 이에 대한 연구와 적용과정에서 다양한 격점부 연결 구조에 대한 검토가 이루어졌음. 콘크리트에 매입된 Stud를 보강철근으로 저항하는 Stud 매입식, Hole이 있는 강판을 콘크리트에 매입하여 저항하는 구멍강판 지벨 방식, 강판과 강관 내부의 PS 강재로 압축과 인장에 저항하는 볼트 & PS 강재 매입 방식, 강관이 매입되는 강재 연결부 박스 내부를 콘크리트로 충전하여 일체화하는 강재 박스 매입식, 강관 리브로 Truss 축력 부재를 연결하는 2중관 격점구조 방식, 강관 내부를 충전하여 콘크리트와 일체화하는 강관 충전 매입식 방식 등이 그 것이며, 이에 대한 개념도 및 특징은 표와 같음.

구분	개요도	구조형식	특징
STUD 매입식		• 격점부 플레이트 상단에 스타드와 보강철근을 추가로 배치하여 격점부에서 작용하는 모멘트와 축력에 대해 저항하는 구조	• 부재간 연결이 콘크리트 외부에서 이루어지므로 격점부 시공성 향상 • 머리 부착 스타드의 성능은 콘크리트 능력에 의해 좌우되며, 직접인장, 전단력 및 두 힘의 조합에 대해 저항하도록 설계
구멍강판 지벨		• 하현 강재 또는 거셋판의 일부를 콘크리트 속으로 매입하는 부분 매입형으로 구멍강판을 전단 연결구조로 적용하는 구조	• 복부재 모멘트 전달 최소화 • 하현슬래브에 대한 철근배근과 콘크리트 타설 등의 시공성 용이 • 종래의 STUD 매입식과 비교시 피로특성이 우수
볼트 & PS 강재 매입식		• 트러스재에 작용하는 압축력은 플레이트에 용접된 BOLT 매입판을 통해 전달되고, 인장력은 강관과 강관내부에 설치된 PS강재를 통하여 전달되는 구조	• 압축측 복부재는 BOLT Type, 인장측 복부재는 PS 강재를 적용함으로써 효율적 배치가 가능 • 복부재의 교체가 가능하므로 유지보수 용이
강재 박스 매입식		• 격점부에 강재박스를 적용하여 인장 사재와 압축부재가 천공된 강재박스 내에서 콘크리트를 타설하여 일체화 시키는 구조	• 강결식 연결구조로 강재박스 제작이 용이하고 시공성 양호 • 구멍강판으로 콘크리트 충전 향상 • 콘크리트와의 미끄럼 방지 및 일체화 양호 • 큰 2차응력 발생
2중관 격점구조		• 트러스재 축력을 정착부의 외면 리브로부터 콘크리트에 넣어서, 외주에 부착된 내외면 리브부착 강관정착제에 전달하는 구조	• 콘크리트 전단보강 및 연결 플레이트가 전단력 분담 • Launching 가설시 트러스재의 조립정밀도 관리용이 • 일반 격점부에 적용
강관 충전 매입식		• 트러스에 작용하는 압축력은 강관에 부착된 리브를 통해 강관내에 충전된 콘크리트로 전달되고, 전단키를 통해 인접 트러스에 인장력이 전달되는 구조	• 트러스부재 및 격점부는 기성제품의 강관을 이용하여 제작하므로 경제성 양호 • 현장에서 트러스부재의 각도조정이 용이하므로 시공성 양호

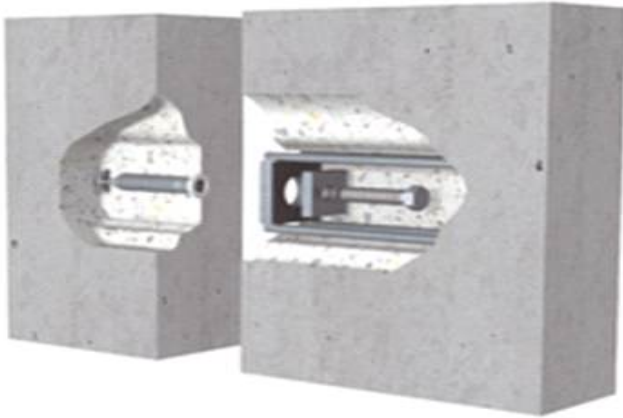
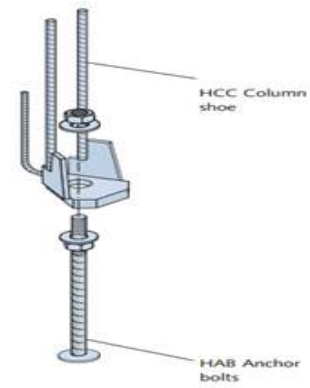
○ 상부구조의 제작(콘크리트 부재)

- 공장에서 제작된 프리캐스트 콘크리트 부재를 현장에서 신속히 연결할 수 있는 기술이 제품화 되어 실제 건설 현장에서 활발히 적용되고 있음. 프리캐스트 콘크리트 시공법은 현장에서 콘크리트를 타설하는 시공법에 비교하여 건설 현장에서의 작업을 크게 줄일 수 있어 품질을 향상시키고 상승하는 노무비 부담을 줄일 수 있어 활용도가 증가하고 있으나, 프리캐스트 부재 간 연결의 시공성과 구조성능이 그 핵심 기술임. 이와 관련한 연구 및 제품 개발은 유럽을 중심으로 많이 이루어지고 있으며, 주택 및 건축 건설 시장에서 이미 활용도가 매우 높고 인프라 및 산업 플랜트 시설로 그 활용이 확대되고 있음.
- 프리캐스트 콘크리트 기둥, 보, 벽체, 슬래브 등 각종 부재를 현장에서 신속히 연결 시공하기 위한 많은 방법이 연구개발 되었고 제품화 되어 건설 현장에 적용되고 있음. 대표적인 연결 방법으로는 볼트 결합에 의한 연결방식과 Splice Sleeve를 이용한 철근 이음에 의한 연결방식 등이 있음. 이 외에도 콘크리트 또는 강재로 코벨을 구성하여 보를 단순 지지하여 전단력에만 저항하는 연결방식도 많이 활용되고 있음.
- 볼트결합에 의한 연결 방식은 프리캐스트 콘크리트 부재에 매입되는 앵커 볼트와 이에 대응되는 프리캐스트 콘크리트 부재에 매입되는 Steel Plate 부재, 그리고 이를 결합하기 위한 연결 너트 등으로 구성됨. Splice Sleeve에 의한 프리캐스트 콘크리트 부재의 연결은 사용 경험이 풍부한 전통적인 방식이며 최근에는 내부 모르타르 충전재의 성능 향상, Sleeve 내부에 Shear key 및 확대머리 철근의 적용에 의한 Splice Sleeve의 크기 축소 등의 연구개발이 이루어지고 있음.



<Peikko社(핀란드)의 보와 기둥 연결방식>

[출처: www.peikko.com]



<Halfen社(독일)의 기둥과 벽체 연결방식>

[출처: www.halfen.com]



<Dextra社(프랑스)의 Splice Sleeve>

[출처: www.dextragroup.com]

- 연결방식에 대한 연구개발 이외에도, 프리캐스트 콘크리트 부재를 운반 및 인양하기 위한 제품 개발도 지속적으로 이루어지고 있음. 주로 인양에 사용되는 Cable을 프리캐스트 콘크리트 부재에 연결하는 방식(Lifting System)과 관련된 것이며, 보, 벽체, 기둥 등 부재의 형상에 따른 인양 방식과 부재 내에 매입되는 Anchor, Anchor에 Cable을 걸기 위한 장치 등에 대한 것임.



<Peikko社(핀란드)의 프리캐스트 몬크리트 Lifting System>

[출처: www.peikko.com]

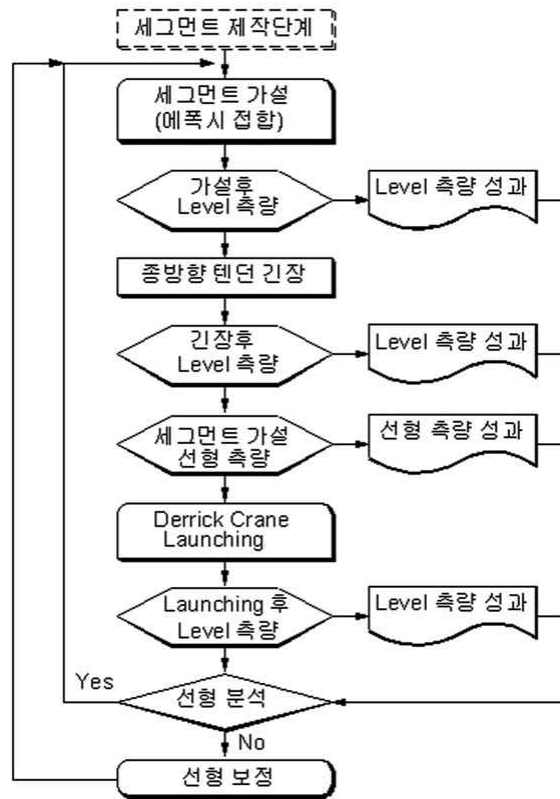
○ 상부구조 가설

- 철도교 상부 구조물 시공시, 현장 타설공법에 비해 획기적인 공기 단축이 가능한 프리캐스트 급속시공법이 개발되어 적용 중이며, 최근 박스 거더 등 상부구조물 이외의 피어(pier), 코핑(coping), 기초(footing) 등 하부구조물까지 프리캐스트화 추세에 있음.
- * 30m 단경간 PSC박스 거더 기준으로 대표적인 현장타설 공법인 FSM(Full Staging Method) 공법 적용시 약 45일의 공기가 소요되나 프리캐스트 공법인 FSLM(Full Span Launching Method) 공법 적용시 2일 이내에 시공이 가능함.
- 도심지 경전철 고가구조물 시공법으로는 한 경간의 프리캐스트 상부 구조물을 Launching 거더를 이용하여 설치하는 FSLM(Full Span Launching Method) 공법과 일정한 길이로 제작된 프리캐스트 Segment를 Launching Girder를 이용하여 설치하고 Post Tension 프리스트레싱으로 연결하여 시공하는 PSM(Precast Segmental Method) 공법, 한 경간씩 이동하는 기계식 지보공과 거푸집을 이용하는 Movable Scaffolding System(MSS) 등이 있음.
- 의정부 경전철의 U형 PSC 하로교는 PSM 공법을 적용하여 시공되었고 FSLM 공법은 경부고속철도 및 호남고속철도 PSC Box 형식 교량에 적용되었음. 이는 경간장 30m 내외의 Prestressed Concrete 교량 형식에 적용 가능한 시공법이며, 장경간 구조물인 연구 대상 교량 형식에 적합한 새로운 시공법의 개발이 필요함.

- 100m 이상 경간장을 갖는 PSC Box 형식의 교량을 시공하는 방법으로 FCM (Free Cantilever Method) 공법이 있음. FCM 공법은 특수 가설장비를 이용하여 교각 좌·우 방향으로 평형을 맞추며 세그먼트를 순차적으로 접합하여 경간을 구성하여 시공하는 방법임.

구분	FSM 가설공법 (Full Staging Method)	PSM 가설공법 (Precast Segmental Method)	FSLM 가설공법 (Full Span Launching Method)
시공 전경			
시공법	동바리와 거푸집을 활용한 가설 방식	제작장에서 Precast Segment를 제작하고 현장에서 일체화하는 가설방식	한경간 전체의 Precast Girder 일체를 제작하고 가설하는 방식
특징	• 교각이 낮고 소교량에 적합 • 별도의 제작장 불필요 • 하천부/지장물구간 곤란 • 가설공기 가장 느림 (30일/SPAN)	• 긴 연장 교량에 적합 • 별도 제작장 및 야적장 필요 • 운반, 가설장비 장비비 고가 • 가설 공기 빠름 (7일/SPAN)	• 긴 연장 교량에 적합 • 별도 제작장 및 야적장 필요 • 운반 및 가설장비 고가 • 가설 공기 가장 빠름 (1일 /Span)

- FCM 공법이 적용된 교량 중 세계 최대 경간장은 중국의 Shibampo 교량(2006년)의 330m이며, 국내 최대 경간장은 신촌교(2008년)의 170m임. 보통의 경우 도로교 100~150m 경간장에 주로 적용되나 5.0m 내외의 형고를 갖게 됨에 따라 도심지 교량 형식으로는 적합하지 않음.
- FCM 공법에 의한 PSC Box 상부구조, 사장교 및 현수교와 같은 Cable 교량은 가설 장비의 특성과 시공순서 등에 따라 구조물의 거동이 수시로 변화하며, 이에 따라 주형의 세그먼트 제작 형상 관리와 가설단계의 선형관리 기술이 시공 핵심 기술임.
- 본 연구 대상 구조물도 FCM 공법 또는 Cable 교량과 유사한 장경간 및 슬림한 형상의 구조물이며 급속시공을 위해 상부구조의 모듈을 제작하여 현장에서 결합 시공하여야 하므로 모듈형 부재의 제작 형상 관리 및 가설단계 선형 관리 기술의 개발 및 검증이 필요함. 특히 일반 도로교 및 철도교량과 달리 종단 및 횡단 경사가 급한 경전철용 고가 구조물에 있어 더욱 정밀한 시공 형상 관리 기술이 요구됨.
- 또한, 종단 및 횡단 경사가 급한 경전철용 도심지 고가 구조물의 효과적인 시공을 위해서는 Mold를 비롯한 가설 구조물 형상의 자유로운 제작이 가능하여야 하며, 자유로운 Mold의 제작은 도심지 인프라 구조물의 미관을 향상시켜 도시의 경전철 고가 구조물의 Land Mark로의 역할을 기대할 수 있음.



<가설 선형관리 Flow (FCM)>

[출처: 유신기술회보(2008)]



<호놀룰루 경전철 시공(MSS 공법 적용)>

[출처: commons.wikimedia.org]



<의정부 경전철 U형 PSC 하로교 시공(PSM 공법 적용)>



<지도사옥교 PSC Box 시공(FCM 공법 적용)>

[출처: www.vslkorea.co.kr]

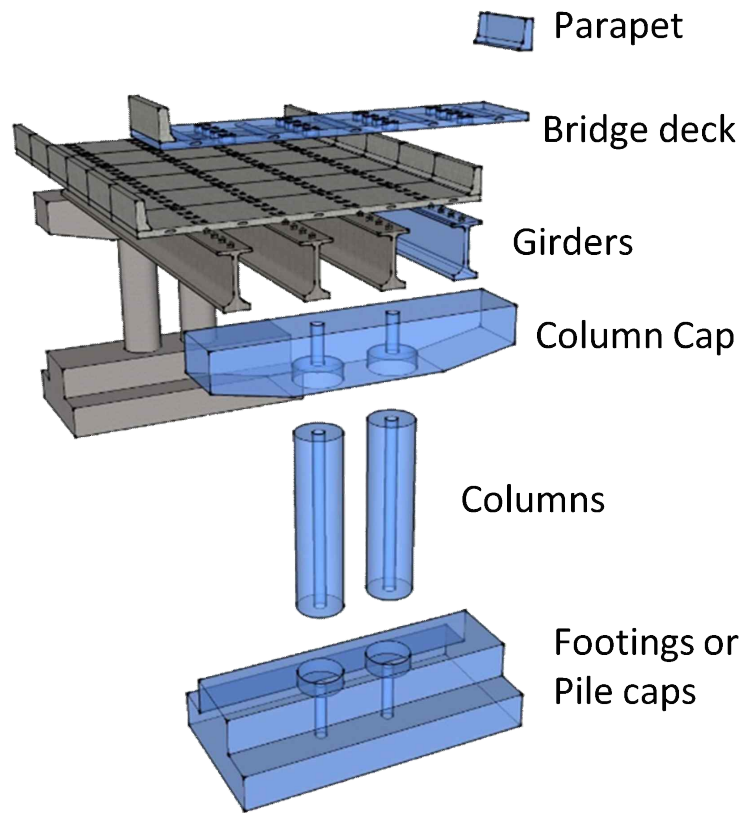
- 도심지의 제한된 공간, 제한된 공사기간에서의 교량 시공, 노후화된 교량의 급속 교체 등의 요구에 따라 최근 국내외에서 교량 급속 시공법 개발 및 실용화에 대한 시도가 활발함.
- 교량 급속시공과 관련하여 미국에서는 FHWA에서 수행한 “Prefabricated Bridge Elements & Systems (PBESs)” 프로젝트와 AASHTO에서 수행한 “Accelerated Bridge Construction (ABC)” 프로그램이 수행되었으며, 일본에서는 내진 성능 확보를 위해 강합성 구조형식인 Concrete Filled Tube(CFT) 또는 Steel Framed Reinforced Concrete Structure(SRC)를 이용한 교량 급속 시공법 개발이 활발히 시도되고 있음.
- 장경간의 도심지 고가 구조물은 용지보상 등에 따른 공사비를 절감하기 위해 도심지 도로중앙 및 하천부를 따라 설치되는 경우가 많아, 곡선부 선형과 교차로 통과 등에 적합한 급속시공법의 개발 및 검증이 요구됨.
- 상부구조의 급속시공 사례로 Self Propelled Modular Transporters(SPMTs)를 이용한 일괄 가설 방식이 있음. 건설 현장 인근에서 상부구조를 일괄 제작하고, 수평 및 수직방향으로 미세 이동이 가능한 SPMTs 장비를 사용하여 제작된 상부구조를 단기간(수 시간) 내에 가설하는 방식. 이는 “Accelerated Bridge Construction (ABC)”에서 수행한 프로젝트 중 하나로 미국에서 노후 교량 교체 등 실제 현장 적용사례도 다수 있음.



<SPMTs*를 이용한 교량 급속 시공>

[출처: www.fhwa.dot.gov]

- “Prefabricated Bridge Elements & Systems (PBESs)”는 상부 및 하부 구조를 포함한 교량의 모든 구성 부재를 프리캐스트 콘크리트 부재 등의 모듈로 제작하여 현장에서 급속으로 설치, 조립하여 교량을 시공하는 기술을 개발하고 적용하는 프로젝트 임.



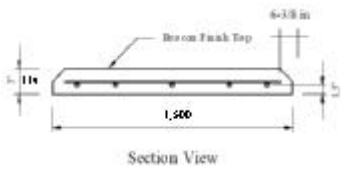
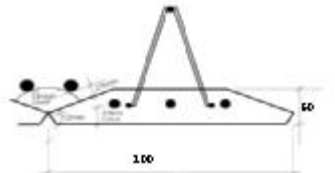
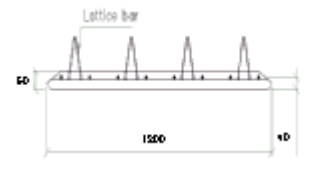
<PBESs 교량 급속 시공>

[출처: www.go-explore-trans.org]

○ 프리캐스트 교량 바닥판

- 프리캐스트 교량 바닥판은 공사기간 단축, 현장 안전관리 및 품질 향상 등을 목적으로 다수의 제품이 개발되어 적용되고 있음. 국외에서는 1970년대 이후부터 관련연구가 활발히 진행되어 노후교량의 교체, 신규 교량의 급속시공 등에 연구개발 결과가 적용되고 있고, 국내에서는 1990년도 후반부터 관련 연구개발이 진행되어 2000년 이후 실제 교량 건설에 프리캐스트 바닥판을 적극 활용하고 있음.
- 프리캐스트 바닥판을 이용한 합성형 교량은 독일에서 처음 시도되어 미국, 일본, 유럽 등 외국에서 상당히 보편화되어 있으며 국내에서도 ‘프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화(1997~2000)’, ‘인장을 받는 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 거동(이필구 등, 2000)’, ‘프리스트레스를 도입한 프리캐스트 콘크리트 교량바닥판의 편칭전단강도(정철현 등, 2002)’ 및 ‘프리캐스트 장지간 바닥판의 정적 및 피로거동(정철현 등, 2003)’에 관한 연구 등 많은 연구 결과를 바탕으로 이에 대한 기술력을 갖춘 상태임.

<국내외에서 주로 적용되고 있는 프리캐스트 콘크리트 바닥판 사례>

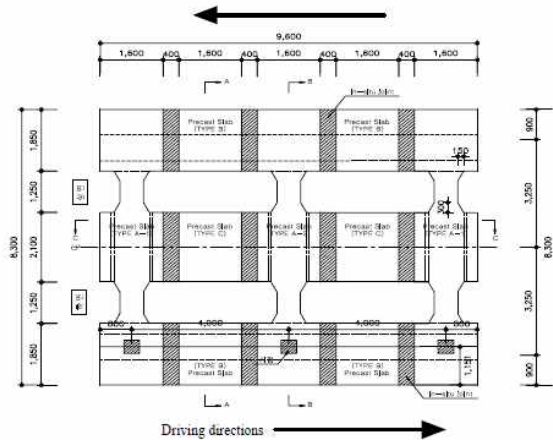
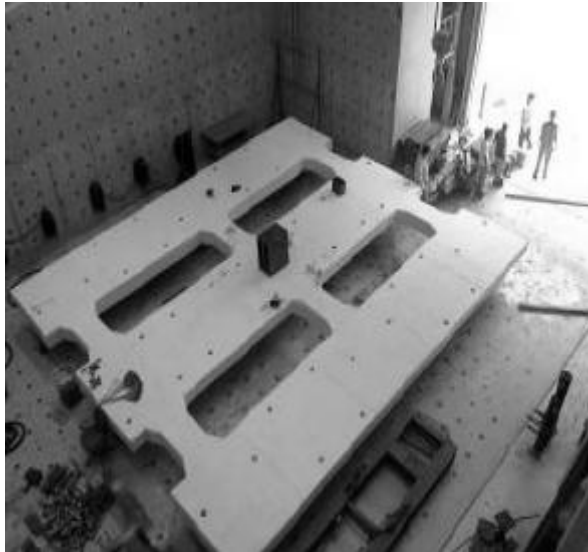
공법사례	HALF-DECK공법(미국)	OMNIA-DECK공법(영국)	LB-DECK공법(대한민국)
개념도 (단면도)			
적용두께	- 최종바닥판 두께의 55% 이하 - 두께 9cm 이상 - Lattice Bar 없음.	- 두께: 6cm - Lattice Bar 추가	- 최종 바닥판 두께의 55% 이하 - 두께: 6cm - Lattice Bar 추가
시공예	 - 교량명: I-225 Parker Road Bridge - 형식: PSC Box Girder	 - 교량명: A69 Maltwhistle viaduct - 형식: Steel Plate Girder	 - 교량명: 대성교 (중부내륙고속도로) - 형식: PSC Beam

- 한편 국내에서는 경전철의 한 종류인 바이모달트램을 연구개발하는 과정에서 해당 시스템의 전용교량에 적용할 수 있는 프리캐스트 콘크리트 바닥판을 개발하여 실물 실험까지 완료하였음. 경전철이 정해진 경로만으로 주행함에 착안하여 차량 운행 선로 이외의 부분에 대한 중공화로 기존 바닥판 대비 중량을 20% 감소하였음.
- 바닥판 자중의 감소는 바닥판 시공성, 공사비 절감 등의 효과와 더불어 상부구조의 경량화 및 장경간화에 도움이 될 수 있으며, 도심지 고가구조물 인근 지역의 일조권 차단에 의한 미관 저해 문제에도 유의미한 해결책이 될 수 있을 것으로 기대됨.



<바이모달트램 전용 교량 바닥판 개념도>

[출처: 바이모달수송시스템연구단]



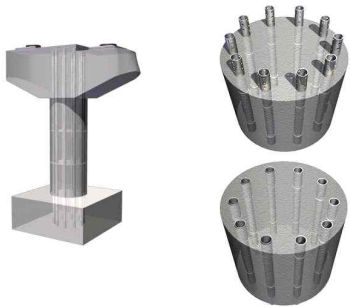
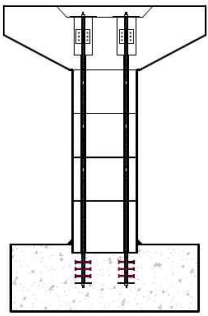
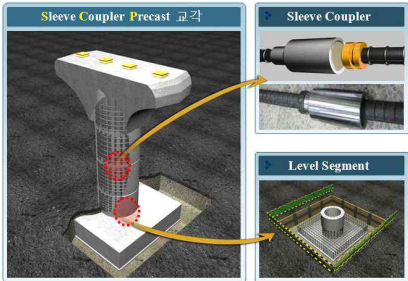
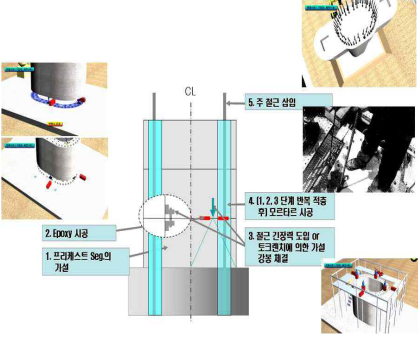
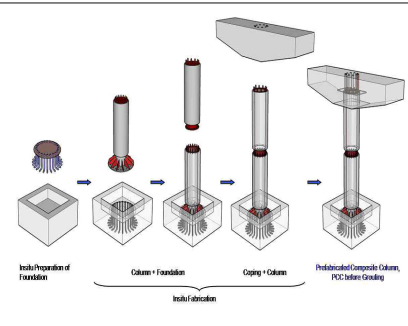
<바이모달트램 전용 교량 바닥판 재하실험>

[출처: 구조물 진단학회지 제15권 제2호(2011.3), 천주현 외]

○ 하부구조 급속시공

- 프리캐스트 콘크리트 부재를 이용한 교량 하부구조 급속시공법 개발은 국내외에서 오래전부터 활발히 이루어져 왔으며, 미국 등 해외에서는 “Prefabricated Bridge Elements & Systems (PBESs)” 프로젝트와 “Accelerated Bridge Construction (ABC)” 프로그램 등을 통해 실제 교량 건설에도 적용이 활발함.
- 조립식 하부구조를 통한 급속 시공에서는 각 구성부재 자체의 품질이 뛰어나기 때문에 설계와 시공에 큰 무리는 없으나, 세그먼트의 연결부는 설계 및 시공에서 주의를 기울여 품질관리를 해야 하는 부분이며, 따라서 세그먼트 연결부에 대한 연구 및 시공 기술 개발은 현재에도 꾸준히 이루어지고 있음.
- 세그먼트의 연결은 주로 긴장재의 긴장에 의한 프리스트레스와 요철 형태로 형성되어 있는 전단키(shear key)의 기계적인 맞물림 작용에 의하여 이루어지는데, 이러한 연결부의 비선형 거동을 예측하기 위한 해석기법과 모델 등이 제시되고 있으며, 일체화 거동 및 내진성능 등의 소요 성능을 충분히 발휘할 수 있는 요소기술을 확보하려는 연구도 진행되고 있음.
- 국내에서는 프리캐스트 콘크리트 시공법을 활용한 하부구조 급속시공 관련 연구개발이 한국건설기술연구원, 대우건설, GS건설, 포스코건설 등 많은 연구기관 및 시공업체에 의해서 진행되어 왔으며, 향후 한국도로공사 설계지침에 적용될 예정이다.
- 프리캐스트 콘크리트 시공법을 이용한 교각 시공 기술은 국내에서는 아직 실제 프로젝트에 활용된 사례는 대우건설이 연구개발 성과의 시범 적용을 위해 천안 4산단 진입로 교량 교각에 적용한 것이 유일하나, 국외에서는 미국과 일본을 중심으로 그 적용이 매우 활발하여 다양한 사례가 있음.

<국내 주요 프리캐스트 교각 시공법>

구분	개요도	특징
대우건설		- PS 강연선에 의해 프리캐스트 교각 세그먼트를 일체화하는 방법 - 강재 덕트를 삽입하여 제작한 세그먼트를 거치하고, 미리 삽입되거나 또는 후에 삽입되는 PS 강연선에 긴장력을 도입한 후, 모르타르를 충전하여 프리캐스트 교각을 일체화 - 전단력은 연속된 강재덕트가 저항하고, 휨모멘트는 PS 강연선이 저항하는 메커니즘
포스코건설		- 강관과 강봉을 이용하여 프리스트레싱 하중을 도입하고 이를 이용하여 프리캐스트 교각 세그먼트를 일체화하는 방법 - 기초부터 강관과 강봉을 연결 시공하고, 흠을 통해 강관과 강봉을 통과시켜 세그먼트를 설치하고 최종적으로 상부에서 긴장하여 교각을 시공함.
GS건설		- Splice Sleeve를 이용하여 교각 기둥 주철근을 이어 프리캐스트 교각을 시공하는 방법 - 확대머리 철근과 Splice Sleeve내의 요철을 두어 기존 Sleeve보다 크기가 작은 신형식 Sleeve를 개발하였고, 이를 이용하여 프리캐스트 교각 세그먼트를 일체화 함. - 긴장력에 의한 프리캐스트 결합 방식보다 공사비를 절감할 수 있는 장점이 있음.
삼성물산		- 교각의 단위 블록을 제작하여 조립한 후, 블록에 사전에 설치된 흠을 통해서 모르터를 충전하고 이 모르터가 굳기 전에 수직철근을 삽입하여 일체화시키는 공법 - 직철근은 기초부까지 삽입되기 때문에 기초부에서 휨 및 축력에 저항하기 위한 정착길이의 확보가 주요 기술 중 하나임
한국건설 기술연구원		- 강관의 외측을 콘크리트로 둘러싸고, 강관 내측에는 콘크리트를 충전하는 합성단면 형식으로 중공 단면에는 적용이 어렵고, 중실단면에 적용이 가능함. - 강관 기둥 하면에 플레이트를 설치하여 사전에 기초부에 설치된 너트부와 조립하여 체결한 후, 콘크리트를 타설하여 일체화 함.

[출처: 프리캐스트 조립식 교각 설계 및 시공법 개발 연구 (한국도로공사, 2012)]

- 대표적인 적용 사례로 North Carolina 주에 위치한 Linn Cove Viaduct교, Texas 주의 Lake Ray Hubbard교와 Dallas / Fort Worth 국제공항의 People Mover 교량, 휴스턴시의 Louetta Road Overpass 교, 푸에르토리코에 위치한 aldoty de Castro Avenue교 등이 있음. 일본에서는 스미토모社가 연구개발한 SPER(Sumitomo's precast form method for resisting earthquake and rapid construction) 공법을 적용하여 프리캐스트 교각을 시공한 사례가 있음.



<Linn Cove Viaduct>



<Lake Ray Hubbard, Dallas, Texas>



<Dallas / Fort Worth 국제공항의 People Mover 교>



<Baldorioty de Castro Avenue Bridge, San Juan, Puerto Rico>



<스미교 공사(교각높이 125m, SPER 공법)>

○ Mold System

- 콘크리트는 강재와 비교하여 재료비 측면에서 매우 우수하나, 복잡하고 비정형적인 형상의 구조물을 제작하기 곤란한 단점이 있음. 이는 복잡한 형상으로 Mold를 제작하고 이를 탈형하기 어렵고, Mold가 복잡한 형상일 경우 콘크리트 타설 다짐 등 품질 관리가 어려워지는 등의 어려움이 있는데 그 이유가 있음. 도심지 미관을 저해하지 않고, 더 나아가서는 Land Mark로서 역할을 하기 위한 비정형의 복잡한 형상의 콘크리트 교각 시공을 위해서는 이에 적합한 Mold System에 대한 연구가 필요함.
- Mold System의 기술 발전은 주로 일정한 단면의 콘크리트 구조물을 현장에서 시공성 좋고 빠르게 건설하기 위한 방법을 찾는 방향으로 진행되어 왔음. 수평적 또는 수직적으로 반복된 구조물을 시공 이음이 없이 균일한 형상으로 시공하기 위하여 거푸집을 연속적으로 이동시키면서 콘크리트를 타설하여 구조물을 시공하는 거푸집 공법인 슬라이딩 폼(Sliding Form), 사용할 때마다 작은 부재의 조립, 분해를 반복하지 않고 대형화, 단순화하여 한 번에 설치하고 해체하는 일

체식 강제 거푸집(Ganded Steel Form), 벽체 전용 거푸집으로서 거푸집과 벽체 마감공사를 위한 비계틀을 일체로 조립하여 한꺼번에 인양시켜 거푸집을 설치하는 공법인 클라이밍 폼(Climbing Form), 트래블러(traveler)라고 불리는 비계틀 또는 가동골조(movable frame)에 지지된 이동거푸집공법으로서, 한 구간의 콘크리트를 타설한 후 거푸집을 낮추고 다음에 콘크리트를 타설하는 구간까지 구조물을 따라 거푸집을 이동시키면서 콘크리트를 계속적으로 타설하며, 수평적으로 연속된 구조물에 적용하는 트래블링 폼(Traveling Form) 등이 그 사례임.



(a)슬라이딩 폼(Sliding Form)



(b)일체식 강제 거푸집(Ganded Steel Form)



(c)클라이밍 폼(Climbing Form)



(d)트래블링 폼(Traveling Form)

<주요 Mold System 사례>

- 한편으로는 종이, 알루미늄, 플라스틱 등의 경량의 재료를 사용한 Mold를 개발 및 적용하는 사례도 늘고 있음. 종이 Mold는 고속회전공법으로 만든 제품, 소요의 강도와 내수성을 지닌 콘크리트 거푸집. 원기둥을 성형하는 거푸집 재료로서 원형기둥은 물론 곡선형의 콘크리트 성형에 만족 할 만한 성과를 낼 수 있으며, 플라스틱 Mold는 벌집구조(Honeycomb Structure)로 주조하여 경량의 고강도 품질을 확보할 수 있음. 이와 같은 경량의 Mold도 현장에서의 주요 자재를 경량화 함으로써 작업 효유를 늘릴 수 있고, 증가하는 노무비 부담과 악화되는 노동시장 변화에 유연하게 대처할 수 있는 장점이 있어 그 활용도가 증가하는 추세임.



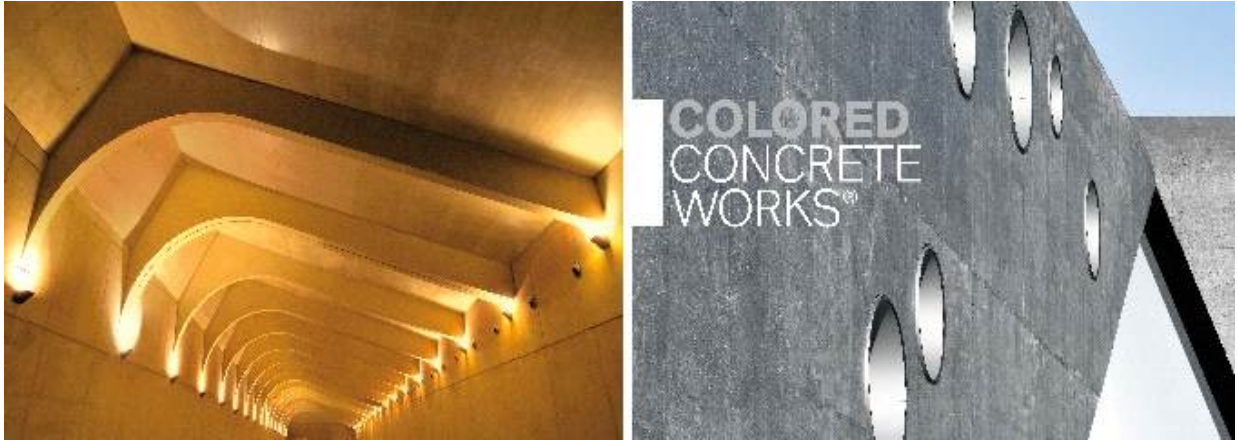
<종이 Mold>



<플라스틱 Mold와 제작장비>

○ 콘크리트 구조물 미관향상 기술

- 콘크리트 구조물의 미관 향상에 대한 요구가 높아지면서 칼라 콘크리트와 같이 기존의 무채색 콘크리트에서 벗어나 심미적인 효과를 기대할 수 있는 재료의 개발이 지속되고 있음. 칼라 콘크리트는 백색 포틀랜드 시멘트나 기타 시멘트에 안료를 첨가하여 제작하는 것으로 관련 연구가 다양하게 오랜 기간 지속되어 최근에는 건축분야에서 활발히 활용되고 있지만, 건축물의 외장재, 도로의 포장재 등 구조재가 아닌 콘크리트 2차 제품 등에 주로 적용되고 있음.
- Graphic Concrete社(핀란드)는 건축물에 적용되는 프리캐스트 콘크리트 부재 제작시 표면에 무늬를 주어 미관을 향상시킬 수 있는 기술을 개발하여 상용화 하고 있음. Graphic Concrete는 콘크리트의 양생을 늦춰주는 재료(retarder)가 부분적으로 묻어 있는 막(special membrane)을 콘크리트 타설 표면에 부착하고, 양생 후 고압으로 물을 분사하여 양생이 늦춰진 부분의 cement paste를 제거하여 잔 골재면이 드러나게 하여 콘크리트 면에 원하는 무늬를 형상화 할 수 있으며, 시멘트나 골재는 안료를 첨가하여 원하는 색을 띄게 할 수 있음.



<칼라 콘크리트 적용 사례>

[출처: m.blog.naver.com/lanxesskorea]



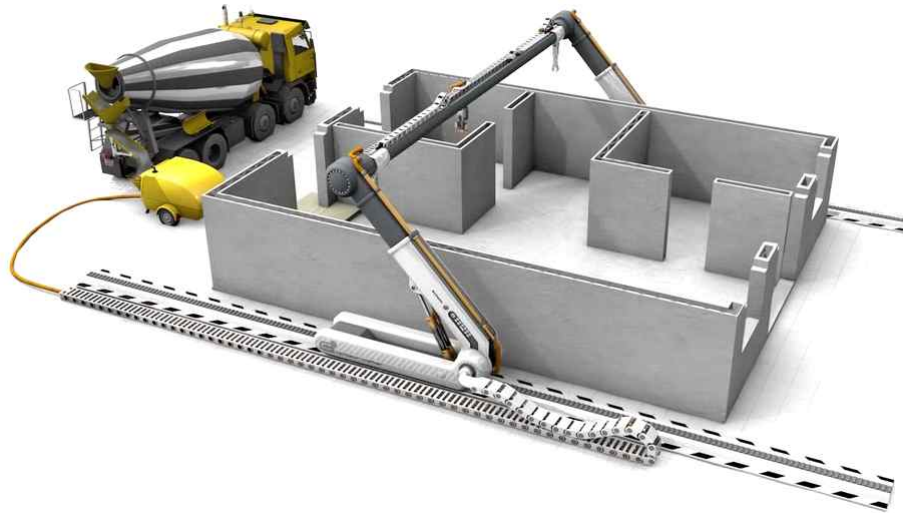
<Graphic Concrete 적용 사례>

[출처: http://www.reid.com.au/Reid_Services/Reid_products/Architectural_Solutions/graphic_concrete1.aspx]

○ 3D 프린팅 기술을 활용한 콘크리트 구조물 제작

- 3D 프린팅 기술은 제조업뿐만 아니라 건설산업에서 기존 시공법의 패러다임을 전환할 수 있는 가능성을 제시하고 있음. 특히 기존의 시공법으로 제작이 힘든 비정형 구조물에 대한 설계 및 시공에 적합하다고 판단되며, 금형 기술을 활용한 구조물 제작이 시도된 바가 있으나, 아직 토목 분야에서 대형 구조물에 적용된 사례는 없고, 소규모 교각 축소모형 제작을 위한 거푸집 패널 제작에 사용된 사례가 있음.
- 3D 프린팅을 활용한 적층시공을 직접 구조물 전체에 적용하기 위한 기술로서 Contour Crafting 기술이 제안되었고, 이와 유사한 방법으로 중국 상하이에서 6층 주거용 빌라가 3D 프린팅 기술로 시공된 사례가 있음. 그러나 건설과정에서 철골과 철근 삽입 및 일체화가 어려운 한계가 있으므로 토목 구조물에서의 활용을 위해서는 구조적 효율성 및 안전측면에서 지속적 기술 개선이 필요하다고 판단됨.
- 3D 프린팅을 활용한 직접 적층시공의 어려움으로 인하여 건축분야에서는 주로 단위모듈형 건축 부재 생산을 위한 기술개발이 진행되고 있으며, 토목분야에도 이와 유사한 형태로 기술개발이 진행될 것으로 예상됨. 이는 도심지에 건설되는 고가형 도시철도 구조물의 급속시공을 위한 모듈단위의 부재 생산 및 조립과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단됨.

-
- 종래의 주조방식이 아닌 3D 프린팅 기술을 활용하면 구조적 특성이 동일한 부재를 더욱 경량화하여 제작 가능하므로, 상부구조 장경간화를 위한 부재 경량화 및 강성확보에 활용이 가능할 것임.



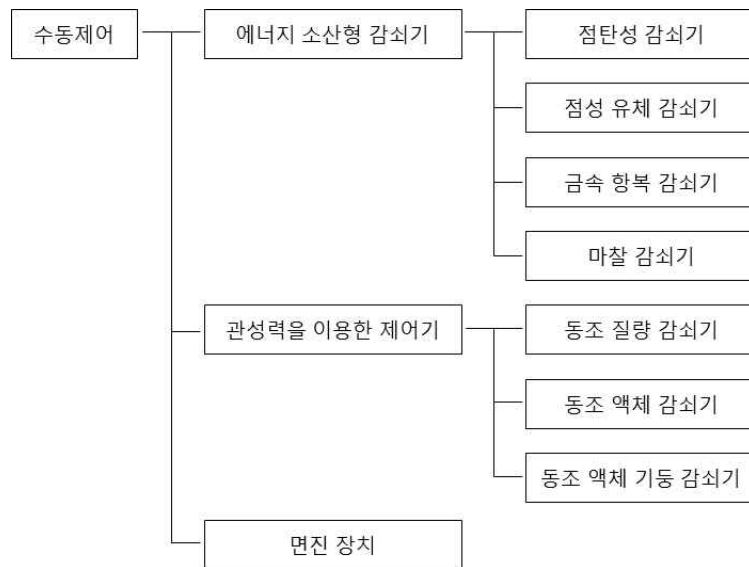
<Contour Crafting을 활용한 3D 프린팅 적층시공>

[출처 : <https://www.youtube.com/watch?v=31jkjsZPjtQ>]

5. 구조물 진동제어 기술동향

○ 수동제어

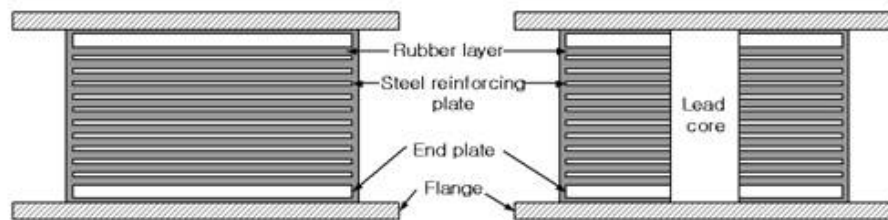
- 수동제어란, 구조물의 진동수를 조절하거나 진동 에너지를 흡수하는 장치를 건물에 설치하여 구조물의 감쇠 성능을 향상시키는 제어 방식 중 하나임
- 외부 동력을 필요로 하지 않아 설치비용 및 유지관리 비용이 경제적이라는 장점이 있으나, 구조물의 특성이 고정되므로 다양한 하중에 대한 대응이 힘들다는 단점이 있음



<수동 제어의 종류>

- 면진 장치

- 건물을 지반으로부터 분리함으로써, 구조물의 고유주기를 증가시켜 지진의 탁월주기 대역과 어긋나게 하고, 지진과 구조물과의 공진을 피하게 함으로써 지진력이 구조물에 상대적으로 약하게 전달되도록 하는 방법임.
- 적층 고무 베어링: 천연고무나 합성고무와 철판을 교대로 쌓고 고온·고압으로 접착하여 수평 유연도 제공
- 납-고무 베어링: 초기 강성에 의한 내풍 저항 성능, 에너지 소산, 변형 복원 성능



(a)적층고무 베어링

(b)납-고무 베어링

<탄성받침 면진장치의 구성>

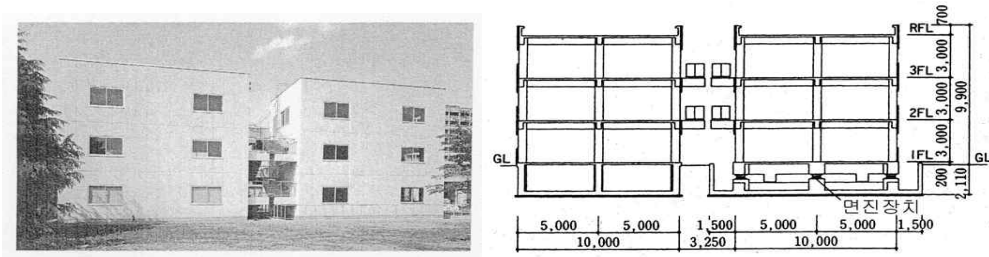


<납-고무 면진장치>

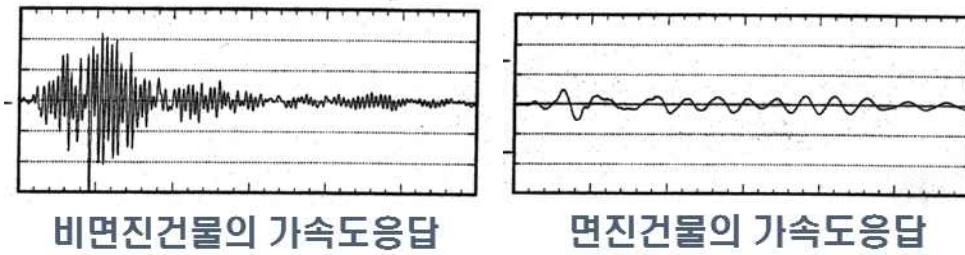


<마찰진자형 면진장치>

- 일본 동북대학교의 면진 장치 설치 전후 건물 가속도 응답을 비교한 결과, 면진 건물의 가속도 응답이 감소하는 것을 볼 수 있음.



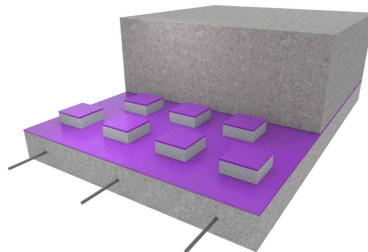
<면진 구조 설계도>



<면진 장치 설치 전후의 건물 가속도 응답 결과>

- 진동제어 일체형 구조시스템

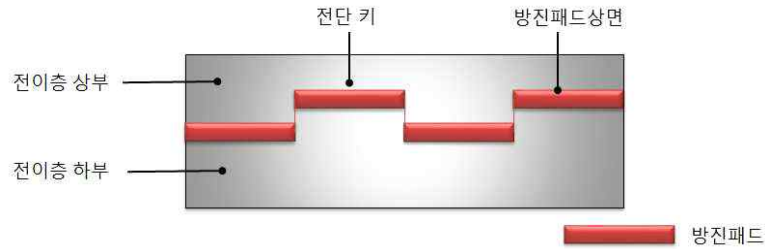
- 기본 구성: 이 시스템은 전이층 내부에 설치되어 있는 방진패드(방진패드)가 하부구조에서 상부구조로 올라가는 진동을 저감시키는 효과를 전제로 하고 있음. 그러나 전이층 내부에 설치된 방진패드는 상부와 하부구조를 물리적으로 분리시키기 때문에 외력에 의해 상부와 하부구조가 분리되어 거동하는 문제가 발생할 수 있음. 이러한 격리현상은 수직하중인 고정하중과 활하중에는 발생하지 않으나 수평하중인 풍하중, 지진하중 등에서는 큰 문제가 발생할 수 있음. 이러한 문제를 해결하기 위해 방진패드가 설치되는 곳에 상부구조 및 하부구조가 요철구조로 맞물리는 전단키 형상을 갖도록 진동제어 일체형 구조시스템이 구성되어 있음.



<진동차단 일체형 전이구조의 상부 및 하부 방진패드 설치>

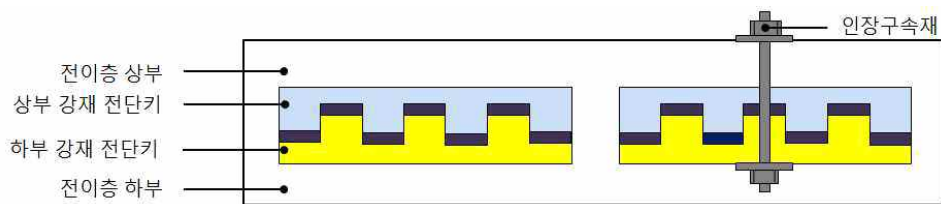
▪ 진동제어 일체형 구조시스템의 유형

- ① 콘크리트형 전단키: 단순한 유형의 전단키 형태로 하부 콘크리트를 타설할 때 일정 구간을 요철 형태로 시공하고, 콘크리트가 경화한 뒤 콘크리트 윗부분에 방진 패드를 설치한 다음 상부 콘크리트를 타설하는 방식임. 이때, 전단키는 수직변위는 허용하면서 수평변위를 구속해야 하므로 전단키의 측면은 강재 또는 테프론 코팅된 소재를 사용하여 전이층 상부와 하부를 분리시키되 요구되는 성능은 만족하도록 시공함



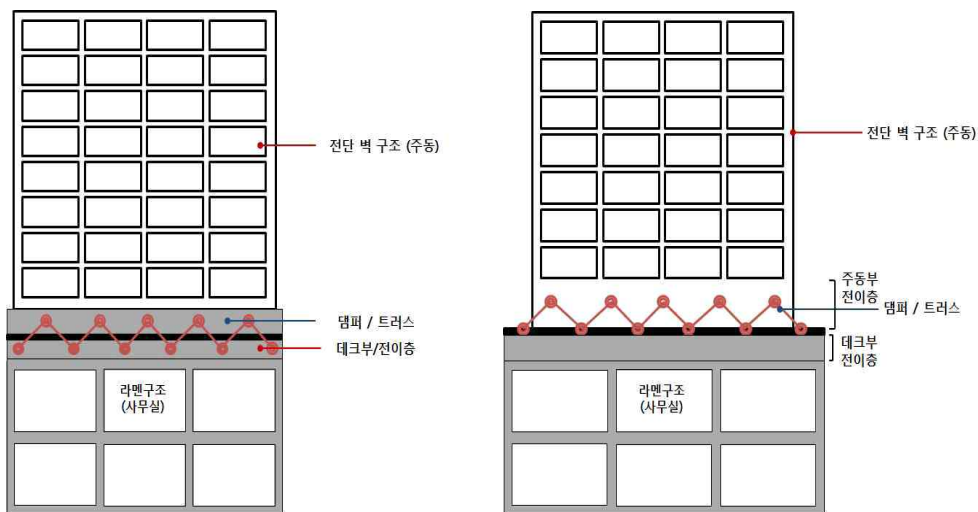
<콘크리트형 전단키>

- ② 강재 매설형 전단키: 콘크리트형 전단키는 매우 정밀한 시공이 요구되며 콘크리트 전단키의 개수가 증가할 경우에는 공사지연 등의 심각한 문제점이 생길 수 있음. 따라서 사전에 제작된 상부와 하부 형태의 강재 전단키를 전이층의 상부와 하부에 각각 매설하여 보다 시공이 편리하게 할 수 있도록 하였음. 강재 매설형 전단키는 그림 13과 같이 수직방향 이동을 구속할 수 있는 인장 구속재도 추가적으로 설치 가능함



<강재 매설형 전단키(단면도)>

- ③ 외부 댐퍼/트러스 지지형: 콘크리트형 전단키나 강재 매설형 전단키는 시공에서의 정밀도를 요구하지만, 수직변형은 허용하고 수평변위를 구속해야 하는 요구사항도 있어 시공 시 여러 가지 어려움이 따름. 따라서 아래 그림과 같이 상부 및 하부의 변위를 전이층 외부에 댐퍼나 트러스를 이용하여 지지 또는 흡수하도록 하는 방안을 내었음. 외부 트러스부재는 수직방향 미세변위는 흡수하되, 수평방향 대변위는 구속할 수 있을 정도의 작은 유격만을 갖는 구조로 시공함. 외부 댐퍼부재는 수직방향 미세변위는 흡수하되, 수평방향 대변위는 급속한 변위를 구속하는 STU (Shock Transmission Unit)형 댐퍼를 적용함. 이와 같은 트러스/댐퍼부재는 지진/풍하중에 의한 수평방향의 변위를 구속하는 기능을 포함하므로, 콘크리트/강재 전단키로 횡변위를 구속하는 경우에 설치되는 인장 구속재를 시공할 필요가 없는 장점이 있음



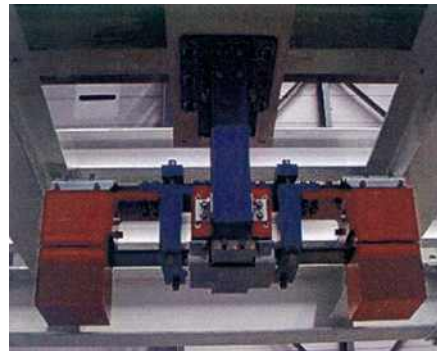
<외부 댐퍼/트러스 지지형>

- 동조 질량 감쇠기(Tuned Mass Damper: TMD)

- TMD는 구조물에 부가하여 구조물의 고유진동수(또는 외력의 진동수)와 고유진동수가 같은 스프링-질량 시스템으로 구조물의 진동을 흡수하여 진동을 감소시키는 장치로서, 일반적으로 건물 자중의 약 0.5~2%의 중량으로 설계되며, 지진보다는 바람에 의한 구조물의 진동 제어에 주로 활용됨.
- 일반 고층 빌딩, 사장교, 현수교 등의 장대 교량 및 일반 보도교 뿐만 아니라, 공항 관제탑, 경전철 차량, 케이블카, 스키점프 타워, 컨테이너선박의 lashing bridge 등에도 TMD가 적용되고 있음.
- 또한, 철도교에서 열차(차량) 하중으로 인한 진동 제어를 위하여 TMD의 적용 가능성에 대한 연구가 진행되었음. 오일러-베르누이 빔으로 철도 교량을 설계하고, TMD가 설치된 교량과 설치되지 않은 교량에 대하여 다양한 차량 모델의 영향을 조사하기 위하여 열차를 이동 하중, 이동 질량, 이동 서스펜션 질량으로 시뮬레이션하였음. 그 결과, 독일의 I.C.E., 일본의 S.K.S., 그리고 프랑스의 T.G.V.가 지나다니는 철도 교량에도 제안된 TMD를 사용하여 동조 회전 속도에서의 철도 교량의 수직 변위, 절대 가속도, 차량 가속도 등을 제어할 수 있음을 확인하였음.



<수평진동 저감 TMD>



<수직진동 저감 TMD>



<제2 진도대교(2012), [출처: TE Solution]>



<거가대교 주탑(2010), [출처: TE Solution]>





<울산대교 Stockbridge Damper (2015), [출처: TE Solution]>



<화성-동탄 보도교 (2006), [출처: TE Solution]>



<여의도 섯강 보도교 (2011), [출처: TE Solution]>



<동춘 보도교 (2011), [출처: TE Solution]>

- 동조 액체 감쇠기(Tuned Liquid Damper: TLD)

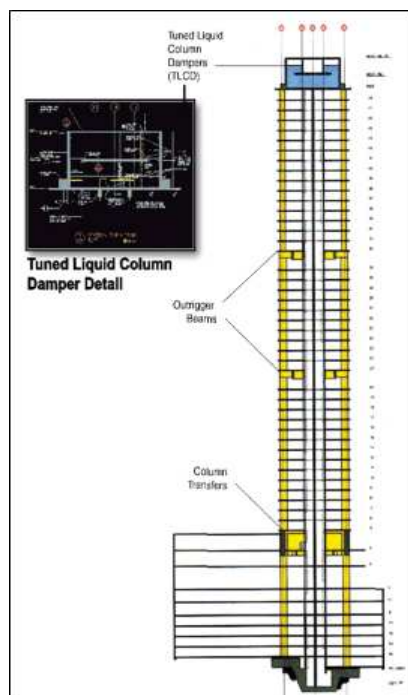
- 동조 질량 감쇠기(TMD)와 유사한 개념의 장치로 질량과 스프링을 사용하는 TMD에 비해 진동수를 동조시키는 것이 비교적 용이하며 적용성이 뛰어남.
- 일본 Gold Tower에서는 구조물에 대한 질량비 1%인 10 ton짜리 물탱크(TLD) 16개를 옥상층에 설치하고 감쇠 효율 증대를 위하여 철선망을 설치하여, 물의 깊이와 너비를 변화시키며 구조물에 동조시키는 방법을 통해 TLD 설치 전에 비하여 응답의 50%를 향상시킨 사례가 있음.
- 캐나다 One Wall Center에서는 옥상층에 약 200ton의 TLCD 2개 설치한 사례가 있으며, 이를 통해 TMD를 설치하는 것보다 200만 달러의 건축비를 절감하였음.



<POSCO E&C and RIST>



<Gold Tower, Chiba, Japan(1988)>



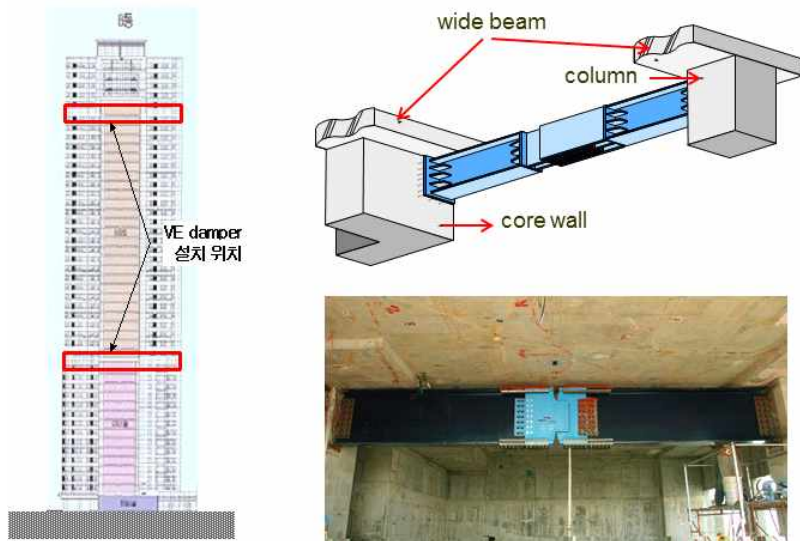
<One Wall Center, Vancouver, Canada (2001)>

– 점탄성 감쇠기

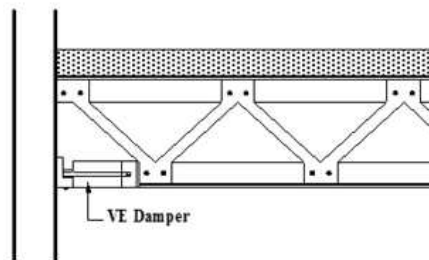
- 구조물에 점성과 강성을 추가하여 감쇠 성능을 향상시키는 감쇠기로서, 전형적인 점탄성 감쇠기의 형상은 아래 그림과 같음.
- 미국의 World Trade Center에 10,000개의 점탄성 감쇠기를 각 타워에 설치하였으며, 10층부터 110층까지 고르게 분포되어 있고, 감쇠비는 2.5%~3%임.
- The Columbia Sea First Building: 260개의 점탄성 감쇠기를 이용하여 바람에 의한 진동을 감소시켰음.



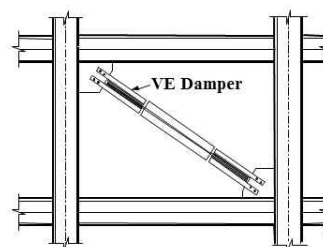
<점탄성 감쇠기 형상>



<갤러리아 팰리스에 설치된 점탄성 감쇠기>



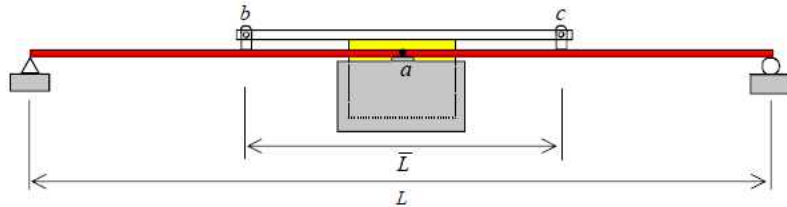
<World Trade Center, New York (1969)>



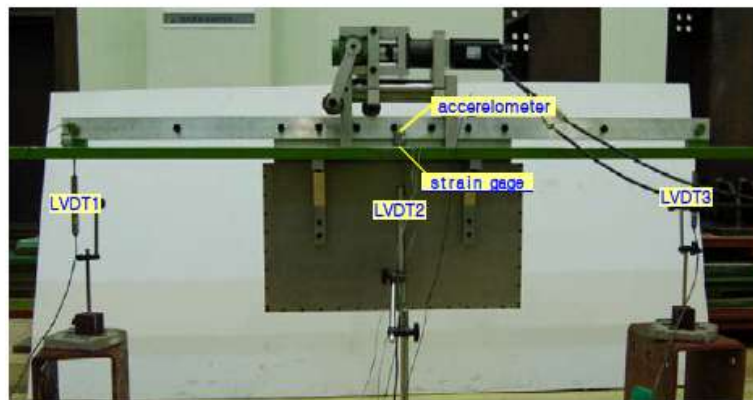
<The Columbia Sea First Building, Seattle (1982)>

- 벽식 점성 댐퍼형 교량 진동제어장치

- 수평부재와 댐퍼로 구성되어, 거더와 수평 부재간 상대수직변위로 인해 댐퍼에 발생하는 감쇠력으로 교량의 진동을 제어하는 시스템으로 단순보와 수평부재, 벽식점성댐퍼로 구성되는 실험체를 구성하고 가진기를 부착하여 가진 주파수를 변화시키면서 모형교량의 응답을 측정하여 시스템의 적응성을 검증한 바 있음. 검증 결과, 변위, 가속도 저감 효과는 크다는 것을 알 수 있으며, 응력 저감도 크게 나타나 교량의 피로 수명 향상에도 효과가 있을 것으로 예상됨.



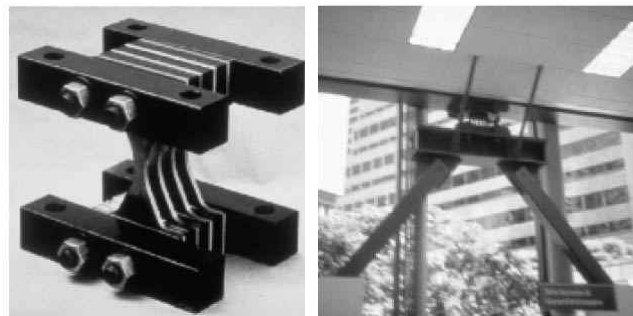
<벽식 점성 댐퍼형 교량진동제어장치 실험체 구성도>



<모형교량에 설치된 벽식점성댐퍼와 가진기>

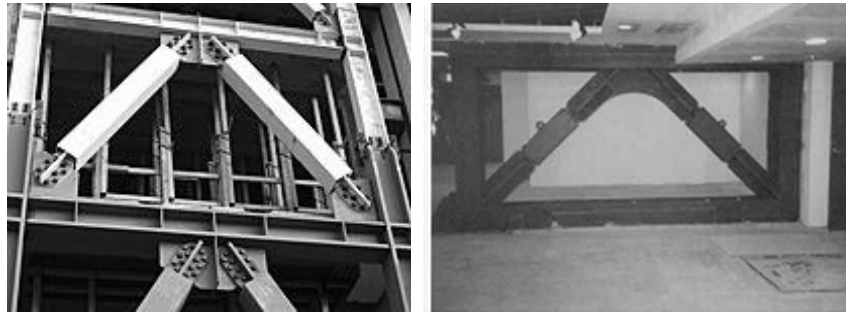
- 소성 감쇠기

- ADAS: X모양의 강판을 연속적으로 배치하여 일정 이상의 전단변위 양 단에 가력되었을 때 안정적인 항복이 가능하도록 유도한 댐퍼, 항복 변위의 3배에 해당하는 변위를 100회 이상 반복 가력하여도 강성과 내력의 감소하지 않는 안정적인 이력거동과 우수한 내구성이 실험결과를 통하여 증명하였음.



<ADAS 강재 댐퍼 및 설치 형상>

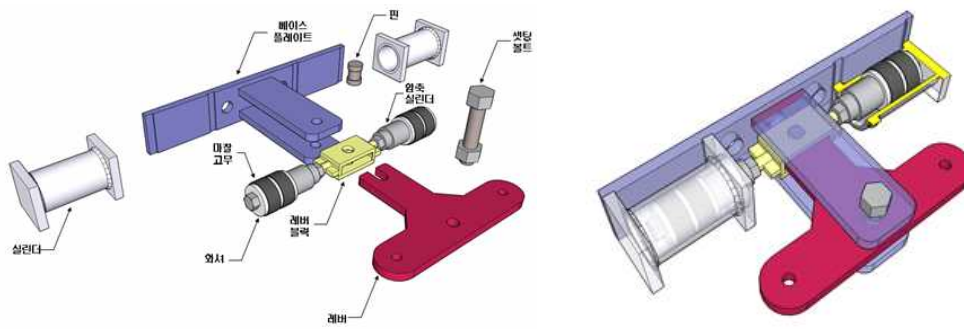
- 비좌굴 가새(Unbonded brace): 강재댐퍼의 일종, 강재 코어 요소, 외부 강재 튜브, 강재 코어 요소와 외부 강재 튜브사이를 충전 하는 콘크리트 그리고 Lubrication Material로 구성되어 있음. 강재 코어 요소는 축력을 전달하는 역할을 하는 반면, 외부 강재 튜브와 이를 감싸고 있는 콘크리트는 코어 요소의 좌굴을 방지하는 역할을 하며, 강재 코어 요소의 표면에 바르는 Lubrication Material은 전단력의 전달 없이 코어 요소가 원활하게 인장과 압축 변형을 하도록 유도함.



<비좌굴 가새 댐퍼 설치 형상>

- 마찰 감쇠기

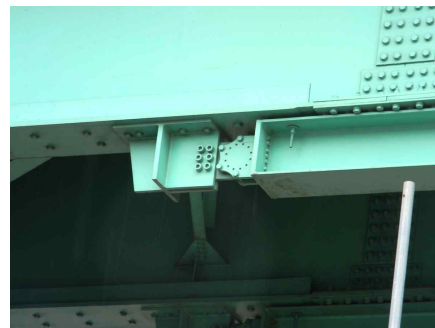
- 접촉하는 두 개의 물질에 상대변위가 발생하여 접촉부가 미끄러지는 것으로 인하여 미끄럼 방향과는 반대로 마찰력이 발생하여 건물의 진동에너지가 열에너지로써 흡수함



<새로운 회전형 마찰 감쇠기[출처: 단국대학교]>

- 힘제어장치(BECS, Bending Control System)

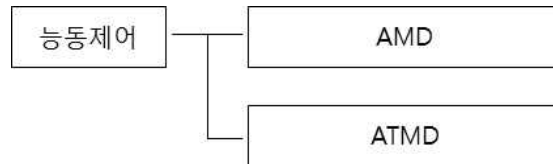
- 주형 내의 두 지점사이에서 발생하는 상대변위의 차를 이용하여 진동 에너지를 흡수하여 수직진동을 감소시키는 방법으로 거더 내부에 설치할 수 있어 공간 제약이 없으며, 온도에 의한 신축문제의 해결 및 미비한 진동에 대해서도 작동할수 있는 구조로 차량의 이동하중과 같은 강제진동에 대한 진동저감 효과가 탁월함
- 차량이 교량 위를 지나갈 때, x_{d1} 과 x_{d2} 지점에 각각 수직 변위가 발생함. 이때 단면의 중립축으로부터 d_0 만큼 떨어진 지점에서는 휨으로 인하여 수평방향 상대변위가 발생함. 이 상대변위를 이용하여 교량의 휨 에너지를 흡수함



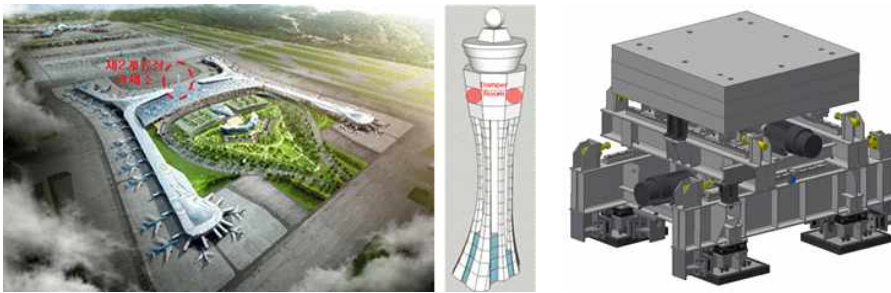
<힘제어장치 적용 예>

○ 능동제어

- 능동제어란, 수동제어와 마찬가지로 건물에 추가적인 감쇠 장치를 설치하여 구조물의 감쇠 성능을 향상시키는 것은 비슷하나, 외부 하중의 진동 및 이로 인한 구조물의 진동을 감지하여 이에 대한 제어력을 구조물에 가해 진동을 저감하는 방식으로 외부 동력을 필요로 함
- 계측기, 제어기, 하중 재하기 등으로 구성되며, 센서의 정확도와 제어 알고리즘 구성에 따라 감쇠 성능이 크게 좌우되지만, 다양한 하중에 대해 대응이 가능함



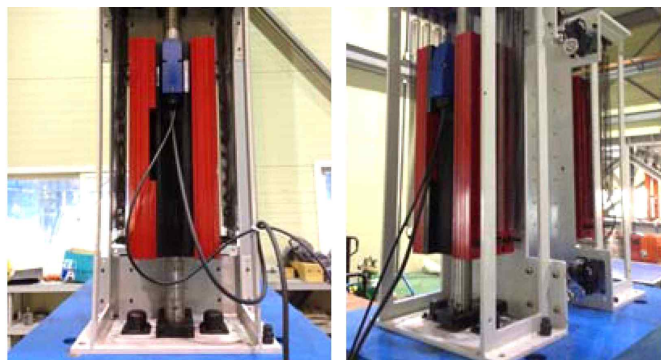
<능동제어의 종류>



<인천 국제 공항 제2 타워 (공사중), [출처: TE Solution]>

- 장경간 교량 수직진동 제어를 위한 능동형질량 댐퍼(AMD)

- 국내에서는 교량에 지배적으로 발생하는 연직 방향 진동 제어를 위해 능동형 질량댐퍼(AMD)를 연구하였고, AMD 설계에 앞서 대상 구조물의 진동 특성을 파악하기 위해 시공 과정에서 큰 연직방향 진동이 발생하는 가설계에 대해서 모드 해석을 수행하였고 이를 통해 대상 구조물의 동특성을 조사하여 설계함. 능동제어방법을 위한 제어 알고리즘으로 LQR(Linear Quadratic Regulator)제어와 칼만(Kalman) 필터를 결합한 LQG(Linear Quadratic Gaussian) 제어를 사용함
- 1991년, 일본 Tokyo만의 Rainbow Bridge에 처음으로 AMD를 적용하였으며, 높은 댐핑 성능을 나타내었음. 이후 다양한 진동 모드에 대한 감쇠 능력과 개선된 제어 알고리즘을 포함한 여러 형태의 AMD를 다른 교량에도 적용한 바 있음.



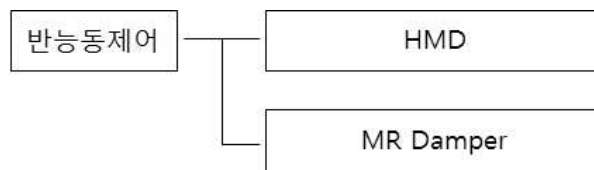
<AMD 시작품[출처: 한국과학기술원]>

<일본 장경간 현수교의 AMD 적용 예>

교량 명칭	적용 댐퍼
Rainbow Bridge, Shibaura side	AMD 2sets
Akashi Strait Bridge	AMD 2sets
Hakucho Bridge	AMD 2sets
Meikoh-Central Bridge	AMD 2sets
Kurushima Bridge	AMD 6sets

○ 반능동제어(복합제어)

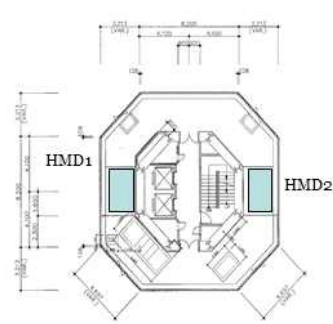
- 수동제어와 능동제어 방식의 각 장점을 혼합한 제어 방식으로, 건물에 작용하는 하중에 대해 수동제어장치와 능동제어장치가 분담하여 감쇠력을 조절하므로 효과적인 진동 감쇠 성능을 얻을 수 있음



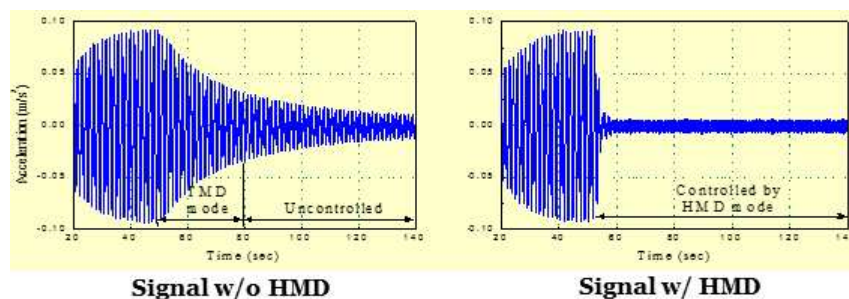
<대표적인 복합제어 및 반능동제어 방법>

- HMD (Hybrid Mass Damper)

- 수동형인 TMD와 능동형 하중재하기를 조합한 감쇠기로 제어 장치의 구성 방법에 따라 능동형 모드나 수동형 모드만 사용 가능함.
- 인천 국제공항 관제탑(높이: 100.4m, 고유진동수: 0.71Hz)의 19층(지상으로부터 80m 높이)에 2개의 HMD를 설치하여 구조물의 진동을 감소시킨 바 있음.
- 일본에서는 장경간 현수교의 진동 제어를 위해, 수동 TMD에 능동 제어를 접목시킨 HMD를 댐핑의 주요 목적인 1차 굽힘 모드의 제어를 위하여 많이 사용하였음.



<인천 국제공항 관제탑 HMD (2001), [출처: TE Solution]>



<인천 국제공항 관제탑 HMD 유무에 따른 최대가속도 값 변화>

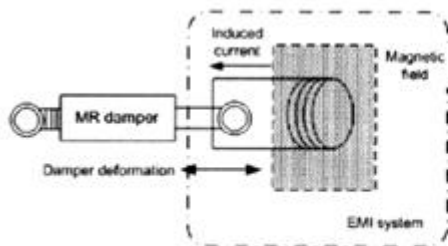
<일본 장경간 현수교의 HMD 적용 예>

교량 명칭	적용 댐퍼
Rainbow Bridge, Daiba side	HMD 1sets
Tsurumi Tsubasa Bridge	HMD 2sets
Hakucho Bridge	HMD 1sets
Nakajima Bridge	HMD 2sets
Kurushima Bridge	HMD 6sets

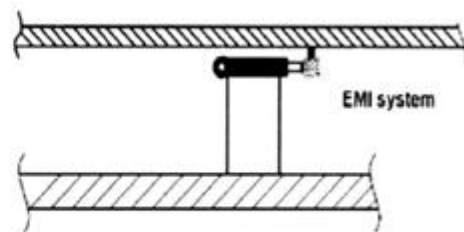
- MR 감쇠기: 기계장치와 전기제어 사이의 상호작용에 의해 제어력 발생하며, 자기 신호에 따라 MR유체의 마찰력 조절 가능하여 제어력 조절의 용이함. 또한, 적은 전류(건전지)로 안정적으로 제어력 공급하므로 지진발생 시 단전될 때도 제어 가능하여 안정성을 갖춘 감쇠기임.

- 자기유변 유체 댐퍼기반 스마트 수동제어 시스템

- 자기유변유체댐퍼에 전자기 유도부를 도입하여 구조물의 응답 변화에 따라 자기유변 유체 댐퍼에 입력되는 전류를 변화시킴으로써 댐퍼의 감쇠 특성을 조절하는 스마트 제진 시스템을 이용하여 기초격리 교량의 내진 성능을 향상시킴.
- 영구 자석과 솔레노이드 코일로 구성된 전자기 유도부를 도입함으로써 기존 반능동 제진 시스템의 제어시스템(계측기, 제어기, 전원 공급장치) 부분을 대체하였음.



(a) 제진시스템 개념도

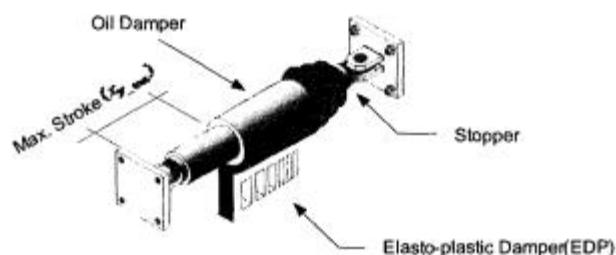


(b) 제진 시스템 설치 예

<자기유변 유체 댐퍼를 이용한 스마트 수동제어 시스템>

- 탄소성감쇠기와 오일감쇠기를 조합한 복합감쇠기

- 작용하는 하중특성에 따라 적절한 감쇠력을 발휘할 수 있는 복합감쇠기(complex damper)를 제안하였으며, 이는 두개 이상의 탄소성감쇠기(elasto-plastic damper)와 오일감쇠기(oil damper)의 조합에 의하여 구성됨.
- 탄소성감쇠기의 변위의존적인 특성과 오일감쇠기의 속도의존적인 특성을 적절히 결합함으로써 효율적인 감쇠시스템의 구성이 가능하게 하였음. 중소형의 지진이나 작은 진폭의 진동에서는 오일감쇠기가 주로 진동을 흡수하며, 발생 빈도가 낮으나 규모가 큰 지진 등에 대해서는 탄소성 감쇠기가 진동에너지를 흡수함.



<탄소성감쇠기와 오일감쇠기를 조합한 복합감쇠기의 구성도>

○ 변위 측정 기술

- 고가구조물의 상태 평가에 있어 가장 중요한 변위는 고정지점을 기준으로 계측되는 물리량인 관계로, 그 중요성에도 불구하고 현실적으로 계측하는 것이 어려운 실정임.
- 실제 구조물 변위계측에 가장 많이 활용되는 LVDT(linear variable differential transformer)의 경우 고정지점 확보를 위해 복잡한 가설구조물의 설치가 필요하므로 설치시간 및 비용이 과다하고 상시계측이 어려움.



<LVDT를 이용한 고가구조물 변위 계측>

- 최근 GPS를 이용한 변위 측정에 대한 연구도 이루어지고 있지만 샘플주파수와 변위 정밀도가 각각 10 Hz와 1~5cm에 불과하며, 특히 수직변위 계측에는 더욱 취약함.
- 레이저 변위센서, LDV, LiDAR 등 레이저를 이용해 비접촉식으로 변위를 측정하는 장비들도 개발된 바 있지만 역시 기준좌표가 될 지면에 설치해야 하므로 장기거동 모니터링에 있어서 적용성이 떨어지고, LDV, LiDAR 장비 가격이 고가인 관계로 상시 계측센서로 현장적용에 어려움이 있으며, LDV의 경우 변위 계측시 스펙클 잡음이 누적되는 관계로 열악한 환경에서는 신호 왜곡이 발생할 수 있고, 대부분의 지상 LiDAR 시스템의 경우 레이저 광선 수직방향 제어시 내장된 회전거울을 이용하나, 수평방향 제어시 장비 자체가 회전하므로 속도가 느린 단점이 있음.
- 레이더를 이용한 변위측정 시스템의 경우 0.1 mm 수준의 고정밀도로 200 Hz의 높은 샘플주파수로 변위 측정이 가능하다는 장점이 있지만 역시 지면에 설치해야 하고 장비 가격이 고가라는 한계점을 지니고 있음.
- 영상처리를 이용한 변위 계측은 가장 널리 연구되는 분야 중 하나로, 이는 목표지점에 표적판을 설치하고 영상카메라로 표적의 위치를 추적하는 변위 계측기법으로서 장거리 계측시 높은 해상도를 위해 고가의 장비가 필요하고 목표지점의 조도가 떨어지면 계측이 어려울 수 있고, 일반적으로 먼내 2차원 변위만 계측이 가능한 수준임.

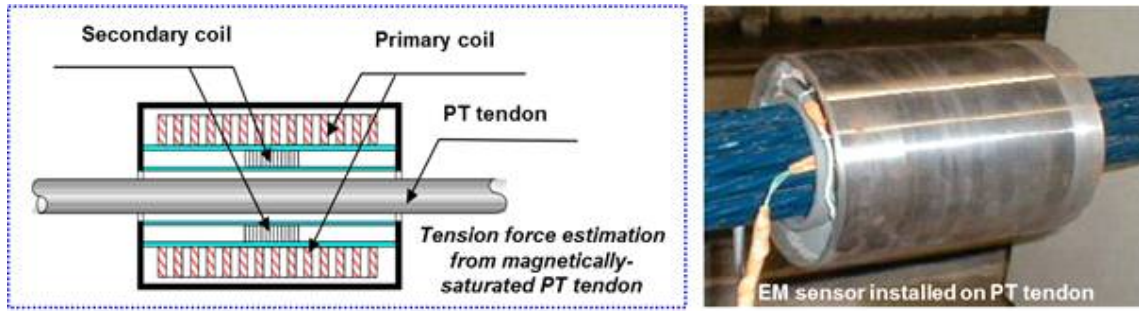


<변위 측정을 위해 교량에 설치된 표적판>

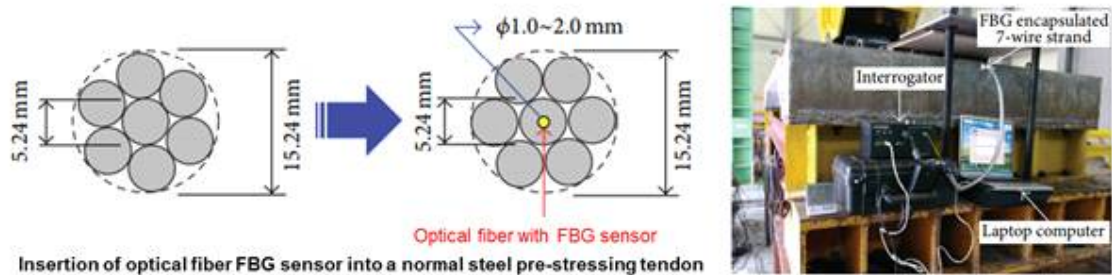
- 국내에서는 2011년에 다중영상처리기법을 활용한 교량의 처짐 및 회전변위 계측을 통한 교량의 건전성 평가 기술을 개발한 바 있음.
- 최근에는 이와 같은 각 기술의 한계점을 극복하기 위해 다양한 장비를 이용해 측정을 수행하여 확보한 이종 데이터들을 융합하여 더욱 정밀한 변위 측정 결과를 얻는 데이터 융합 기술에 대한 관심이 높아지고 있음.
- 국내에서는 2014년에 LDV와 LiDAR의 통합형 비접촉식 레이저 시스템을 개발하여 비접촉식 LiDAR에서 계측된 변위와 LDV에서 계측된 속도 신호를 융합하여 측정대상 구조물의 변위 및 계측지점의 동적좌표를 원거리에서 고밀도, 고정밀도, 고해상도로 계측할 수 있는 기술을 개발한 바 있는데, 고가의 레이저 장비를 고정된 지점에 설치해야 하므로 지속적인 구조물의 상시 거동 모니터링에는 적합하지 못한 단점이 있음.
- 2011년 그리스 Patras University에서는 GPS와 가속도계 측정 정보를 융합하여 구조물 변위를 고정밀도로 측정하는 기술을 개발한 바 있으나 복잡한 신호 후처리 과정이 요구되기에 실시간 변위 측정에는 적용이 어려움.
- 따라서 도심지에서 경전철용 고가구조물에 대해 지속적으로 상시 구조물 거동 모니터링이 가능하고 구조물의 목표 지점에 6차원 변위 계측이 가능한 저가의 계측시스템 개발이 필요함.

○ 내장 텐던 및 외장 케이블 장력 모니터링

- 내장 텐던의 장력이 낮아질 경우 모듈 연결부가 끊어지고 고가구조물이 붕괴하는 사고가 발생할 수 있기에 내장 텐던의 장력을 감시하는 것은 구조물 상태관리를 위해 필수적임.
- 가장 대표적인 기술은 텐던에 와전류 센서를 설치하여 자기장의 세기를 측정하는 것으로, 장력에 따라 텐던의 전자기적 특성이 변화하기에 이를 정량화하는 것이 가능하지만 강한 자기장을 가진하기 위해 고출력의 전력원이 필요하기에 구조물 내부에 센서를 설치하는 데 어려움이 많음.

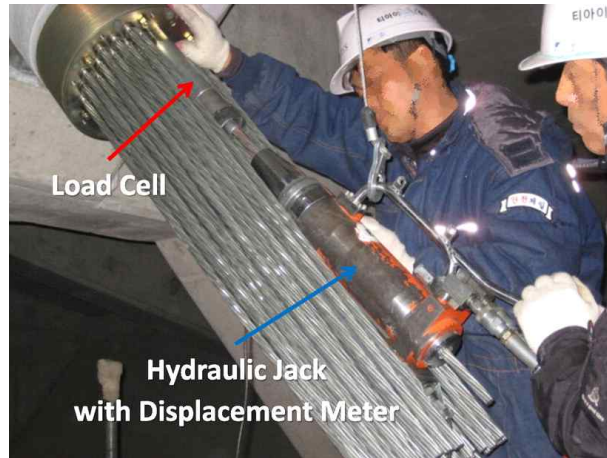


<와전류 기반의 텐던 장력 센서>



<광섬유 기반의 텐던 장력 센서>

- 전남대에서는 텐던 내부에 광섬유를 삽입하여 실시간으로 텐던의 변형을 및 장력을 측정할 수 있는 기술을 개발하였으나 텐던 내부에 광섬유 삽입을 위해서는 텐던에 구멍을 뚫고 다수의 FBG 센서가 설치된 광섬유를 삽입하는 등 고비용의 복잡한 과정을 거쳐야 하기 때문에 현장에 적용되기에는 한계가 있음.
- 미국 Drexel 대학에서는 텐던의 외부 노출부에 압전소자를 부착하여 초음파를 생성하고 측정함으로써 텐던의 장력뿐만 아니라 부식 여부까지 확인할 수 있는 기술을 개발하였으나 압전소자를 텐던에 부착하는 것이 어렵고 초음파의 전파거리가 짧기 때문에 텐던의 길이가 길 경우에는 적용이 어렵다는 단점이 있음.
- 저전력 센서의 개발을 위해 텐던에 직접 스트레인 게이지를 설치하는 방식도 제안되었으나 장력 측정의 민감도가 떨어져 텐던 파괴 수준에서야 검출이 가능하고, 와전류 센서에서 고출력의 전력원 대신 영구자석을 사용하고자 한 시도도 있었으나 센서의 크기가 커지기 때문에 실제로 텐던에 설치하는 데는 한계가 있음.
- 따라서 도심지에서 경전철용 고가구조물 내부 텐던에 대해 지속적으로 장력 측정이 가능한 저전력 시스템의 개발이 필요함.
- 경전철용 고가구조물이 장기간 목표를 달성하기 위해 사장교/현수교의 형태를 취하게 될 경우에는 그 케이블의 장력을 측정하는 것 또한 중요한 문제가 됨.
- 일반적으로 사용되는 방식들은 로드 셀과 같은 측정 장비를 케이블에 직접 설치하여 장력을 재는 것으로, 정확한 측정이 가능하다는 장점이 있지만 가격이 비싸고 쉽게 고장난다는 단점이 있기에 많은 수의 케이블에 대해 적용하기에는 한계가 있음.



<케이블에 로드 셀을 설치하는 과정>

- 최근에는 케이블의 변형률, 가속도, 전자기적 특성 등을 측정하고 이들로부터 장력을 추정하는 접근 방식이 더욱 각광받고 있음.
- 케이블에 가속도계를 설치하고 진동 정보로부터 장력을 추정하는 방식의 경우에는 다른 영향(차량 운행으로 인한 질량 변화)으로 인해 구조물의 고유진동수가 변화하는 경우 정확한 장력 값을 얻기 어려움.
- 내장 텐던의 경우처럼 와전류 센서를 이용해 전자기적 특성을 측정하는 센서도 있지만, 역시 고출력의 전력원이 요구되는 한계점을 지니고 있음.
- 최근에는 GNSS 및 비전 카메라 등을 이용하여 케이블의 진동을 측정하고 이를 통해 장력을 측정하고자 하는 시도 역시 제안된 바 있음.
- 따라서 경전철용 고가구조물 외장 케이블에 대해 효과적으로 장력 모니터링을 수행할 수 있는 시스템의 개발이 필요함.

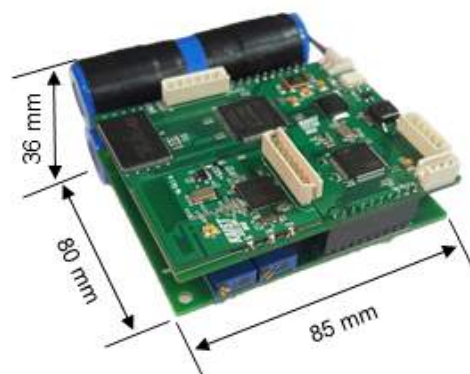
○ 연결부 모니터링

- 기존 검사에서는 초음파 탐촉자나 열화상 장비를 이용해 작업자가 해당 연결부에 접근해 검사를 수행했으나, 안전 문제가 있을 뿐 아니라 사용자가 검사 결과를 스스로 해석하여 결론을 내려야 하기 때문에 검사 신뢰성이 낮은 한계점을 갖고 있음.
- 특히 X-ray 기술의 경우에는 가장 좋은 검사 결과를 보여주는 것으로 알려주고 있으나 작업자의 방사선 노출 문제로 인해 실제 현장에 적용하기에는 한계가 있음.
- 와전류 또는 전자기 기반의 탐촉자를 사용할 경우 금속재료에만 적용이 가능하기에 복합재 또는 콘크리트 구조물에는 적용이 불가능함.



<기존 연결부 검사의 예시: 초음파 검사 (좌측) / 열화상 검사 (우측)>

- 영국 카디프대학과 한국 표준과학연구소 등에서는 손상이 진행됨에 따라 발생하는 음향방출을 검출함으로써 손상의 발생과 그 진행을 모니터링할 수 있는 기술을 개발한 바 있지만 음향방출이 언제 발생할지 예측할 수 없기 때문에 센서가 상시 작동해야 하고 외부 잡음 등으로 인해 음향방출 신호를 놓칠 경우 손상의 발생 여부를 모르고 넘어갈 수 있다는 한계가 있음.
- 가장 널리 연구되고 있는 것은 부착형 압전소자 센서 기반의 초음파 검사로서, 이는 센서 주변에 초음파를 생성하고 그 신호 변화 (신호의 도달 시간, 에너지 변화)로부터 센서 주변의 손상 여부를 확인하는 기술이지만 온도 변화, 하중 변화 등에 의한 신호 변화가 발생할 수 있기에 오보의 가능성이 높고 다는 한계점을 가지고 있음.
- 최근에는 이를 극복하기 위해 손상 존재로 인한 구조물의 비선형 거동으로부터 나타나는 비선형 초음파 성분만을 추출해냄으로써 환경 변화에 덜 민감한 손상 감지 기술들이 미국 UCSD와 조지아공대 등을 중심으로 개발되고 있음.
- KAIST에서는 이를 기반으로 해 교량의 금속부재 피로균열 검출을 위한 무선 센서 노드를 개발하여 영종대교의 모니터링에 적용한 바 있음.



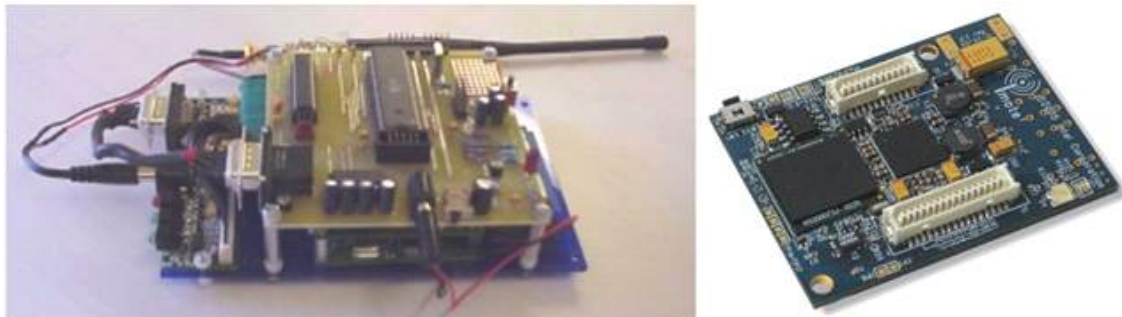
<KAIST가 개발한 피로균열 검출 무선 센서 노드>

- 미국 스탠포드 대학교에서는 압전소자의 초음파 신호 변화를 이용해 볼트 풀림을 감지하는 기술을 개발한 바 있지만 역시 외부 환경 변화에 취약한 한계를 갖고 있었고, 이에 따라 미국 로스알라모스 국립연구소와 KAIST 등에서는 압전소자의 임피던스 변화로부터 볼트 풀림을 감지함으로써 상대적으로 환경 변화에 영향을 덜 받는 검사 기술을 개발하는 데 성공함.

- 부경대학교에서는 카메라 등의 비전 시스템을 이용해 볼트가 풀린 정도를 확인하는 기법을 개발하였지만 촬영한 이미지의 상태에 영향을 많이 받기 때문에 연결부의 조도가 낮을 경우에는 볼트 풀림 감지 성능이 크게 저하될 우려가 있음.
- 최근에는 구조물에 센서를 직접 설치하는 데 따라 발생하는 설치문제, 센서의 파손 문제 등을 방지하기 위해 공기 결합 트랜스듀서 (ACT)와 같은 비접촉식 초음파 센서를 활용하는 방안이 미국 조지아공대 등을 중심으로 개발되고 있음.

○ 에너지 하베스팅 및 무선 센서

- 2000년대 이후로 미국 미시간 대학교와 일리노이 대학교를 중심으로 무선 센서의 개발이 활발히 이루어졌으며, 이들과 가속도계를 결합하여 모드해석을 수행하는 등의 연구가 이루어짐.
- 미시간 대학교의 WiMMS, 일리노이 대학교-인텔의 Imote 등이 대표적인 모델이나 전력 공급을 위해 배터리를 사용하기 때문에 주기적인 배터리 교체가 필요하고 이것이 현장 실제 적용을 위해서는 한계점으로 지적되고 있음.
- 최근 KAIST에서는 지속적으로 모니터링을 수행하는 대신 대부분의 시간은 정지 상태로 있다가 검사가 필요할 때만 작동함으로써 필요 전력을 크게 줄일 수 있는 저전력 센서 노드를 개발한 바 있음.

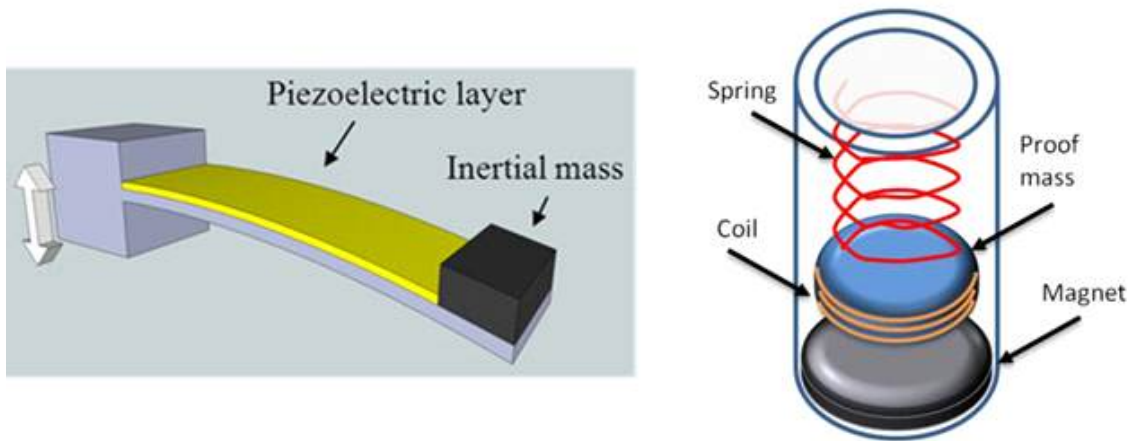


<대표적인 무선 센서 노드: WiMMS (좌측) / Imote (우측)>

- 따라서 최근에는 배터리 교체를 하지 않고도 센서에 필요한 전력을 공급하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 스마트폰 등 전자 장비들의 무선 충전과 관련하여 무선 전력 전송에 대한 연구가 널리 진행되고 있음.
- 자기유도 방식은 수 kW 수준의 전력을 90% 이상의 효율로 전송할 수 있으나 전송 거리가 수 cm 수준으로 제한되는 한계점을 지니고 있음.
- 자기공명 방식은 자기유도 방식에 비해 더 장거리까지 전력 전송이 가능하고 동시에 여러 센서로 전력 전송이 가능하단 장점이 있으나 아직까지 기술 발달 수준이 높지 못함.
- 최근에는 μ W 수준의 저전력을 수십 km 가까이까지 전송할 수 있는 전자기파 방식의 전력 전송도 각광받고 있음.
- 이러한 무선 전력 전송을 위해서는 전력원이 전력을 전송할 센서 근처까지 이동하는 등의 어려움이 있기 때문에 태양광, 바람, 진동 등 여러 에너지를 이용해 센서 스스로 필요한 전력

을 생산해 내는 에너지 하베스팅에 대한 연구도 활발히 진행되고 있음.

- 태양광 기반의 에너지 하베스터의 경우 일조량이 강한 낮 동안에만 전력을 얻을 수 있고, 내장형 센서의 경우에는 센서 노드와 에너지 하베스터가 멀리 떨어져 있기에 이들을 다시 전선으로 연결해야 하는 단점을 지니고 있음.



<진동 기반의 에너지 하베스터: 압전소자 기반 (좌) / 전자기 유도 기반 (우)>

- 특히 토목 구조물의 경우에는 구조물에서 발생하는 진동을 활용하는 방안에 대한 연구가 많은데 압전소자를 이용한 에너지 하베스터의 경우에는 1000 Hz 이상의 저주파 진동에서는 에너지 생산 효율이 떨어지기 때문에 고유진동수가 수 Hz 수준인 토목 구조물에는 적용이 힘들.
- 이에 따라 최근에는 자석을 이용하여 전자기 유도를 통해 전력을 생산하는 방안에 대한 연구가 활발하지만 자석-스프링 시스템의 고유진동수와 구조물의 진동수가 비슷하지 않으면 전력 생산 효율이 크게 떨어지는 한계를 지니고 있음.
- 따라서 경전철용 고가구조물에 대해 지속적으로 상시 구조물 거동 모니터링을 수행하기 위해 무선 센서 네트워크를 구축할 경우 저전력의 무선 센서 노드 개발 뿐만 아니라 센서 노드의 필요 전력 공급을 위한 무선 전력 전송 기술 및 에너지 하베스팅 기술의 개발이 필수적임.

○ 시공중 모니터링

- 카메라 등의 비전 시스템을 이용하여 부재를 촬영하고 이를 통해 부재의 크기를 측정하거나 손상 여부를 확인하는 것이 가장 널리 활용되어 온 방식이며, 최근에는 여러 방향에서 촬영한 이미지를 합성하여 이미지 처리를 수행하는 방식도 제안된 바 있음.
- 그러나 작업자의 판단을 상당히 많이 요구하는 편이며, 조도가 낮은 경우 이미지 처리가 어려워지며, 다수의 카메라를 현장에 설치하고 카메라 사이의 거리와 대상 부재까지의 거리 등 사전 정보를 정확히 알아야 하기 때문에 현장 적용에 한계를 갖고 있는 편임.
- 최근에는 LIDAR 등 3D 레이저 스캐닝 장비를 이용한 방식이 각광을 받고 있는데, 이는 약 50 m 거리에서 스캐닝을 수행할 때 5 mm 수준의 정밀도로 부재의 크기를 측정할 수 있으며 작동 거리가 최대 1000 m 수준까지 높아질 수 있기에 각광을 받고 있음.



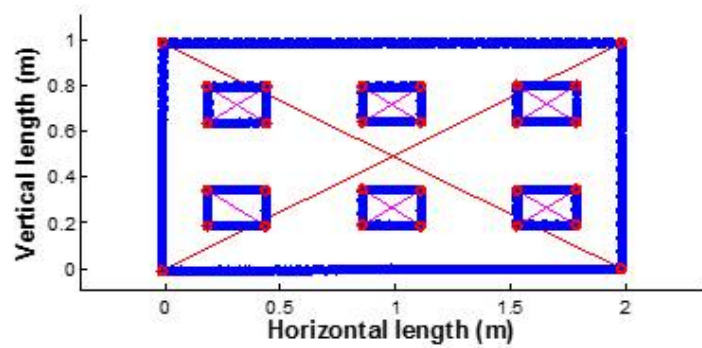
<3D 레이저 스캐닝을 통해 구축한 건물 3D 모델>

- 그러나 레이저 스캐너로 구조물 전체의 3D 모델을 생성하려면 여러 위치에서 대상을 스캔하고 이들 데이터를 병합하는 작업에 시간이 많이 소요되며, 여러 스캔 데이터의 병합으로 발생하는 오차로 인해 모델링의 정확성을 보장하기 힘든 한계가 있기에 지금까지 레이저 스캐너의 건설 시공 및 유지관리 측면의 활용에는 제한적이었음.



<레이저 스캐닝과 물체 인식 기술을 이용한 창문 및 자동 탐지 예시>

- 이러한 한계점을 극복하고자 미국 국립표준기술연구소 (NIST) 등을 중심으로 최근 컴퓨터 비전(computer vision) 및 물체 인식(object recognition) 기술 등을 레이저 스캐닝 기술과 융합하여 부재의 3D 모델을 자동으로 구축하는 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있음.
- KAIST에서는 레이저 스캐닝 데이터를 이용해 프리캐스트 콘크리트 부재의 치수 및 형상 정보를 자동으로 획득하는 기술을 개발.



<프리캐스트 콘크리트 부재의 치수 측정>

- 또한 중앙대에서는 현재까지 시공된 구조물에 대해 3D 스캐닝을 수행하고 이를 통해 시공 진척 정도와 스케줄을 연동시킨 4D BIM (Building Information System)에 대한 연구를 수행한 바 있음.
- 도심 내에서 건설이 이루어지는 만큼 교통통제 등 시민불편을 최소화하기 위해서는 경전철용 고가구조물의 고속 시공을 위해서는 모듈형 부재 시공 과정에서 이와 같은 자동화 기술을 도입하여 효과적인 시공이 이루어지게 할 필요가 있음.

7. 기술수준 분석 결과

○ 기술수준 분석 개요

- 본 절에서는 경전철 고가구조물 설계기술 분야, 신소재 융합기술 분야, 고가구조물 제작 및 시공기술 분야, 고가구조물 진동제어 및 상태관리 기술 분야의 4개 요소기술 분야에 대하여 앞서 4절 1~6에 기술한 분야별 기술현황 내용을 토대로 기술수준을 분석하였고,
 - 3차 기획자문위원회를 통해, 요소기술의 세부기술에 대한 기술수준을 해당 기술의 최고기술 보유국 대비 우리나라 기술수준을 5점 척도*로 평가함.
- * 5점 척도[매우 낮은 수준(최고 수준의 25% 이하): 1점, 낮은 수준(최고 수준의 25% 이상): 2점, 보통 수준(최고 수준의 50% 이상): 3점, 높은 수준(최고수준의 75% 이상): 4점, 동등 수준(95% 이상): 5점] 단, 전 세계적으로 기술개발이 미진한 분야로 판단되는 경우 1점을 기준으로 하여 국가간 기술수준을 상대 비교함.

○ 신형식 구조 설계기술 분야

- 국내 교량/고가교 설계기술의 경우, 일반적인 강재 혹은 콘크리트 박스 거더 교량 이외 케이블 교량, 아치형 교량 등 특수형 교량까지 세계 최고수준의 설계기술을 보유하고 있으나, 철도교의 경우 특히 초장대 고속철도 교량에 있어 열차주행안전성을 고려한 차량-궤도-교량 인터페이스 설계에 대하여 국내에서 활발한 연구 추진 중이나, 실 설계시 일부 외국 기술에 의존하고 있는 실정임.
- 한편, 경전철 고가구조물의 경우 별도의 경전철 시스템 특성을 고려한 별도 설계기준이 없어, 일반 철도교 설계기준을 준용하여 강재 혹은 콘크리트 박스 거더 형식의 구조물로 통상 설계되고 있는 수준임.
- 전세계적으로 교량의 장경간을 위해 경량재료를 활용하거나 케이블형, 아치형 등의 특수형 교량을 도입한 바 있는데, 이는 도심지내 적용 불가한 규모가 크고 육중한 형식이며,
- 도심지내 기존 단경간의 고가구조물에 심미적인 효과를 위해 별도의 심미적인 구조물을 덧입힌 시도가 있었을 뿐, 구조 자체적으로 도심지내 도시친화적이고 심미적인 장경간의 구조물로 설계된 사례가 없고 이에 대한 기술 또한 부재.
- 교량/고가교 구조물 설계기술에 대한 기술수준 분석 결과, 한국은 일반 교량/고가교 설계기술을 제외하고 EU, 일본, 미국 기술수준 대비 한 단계 낮은 수준으로 나타났는데, 일반 교량/고가교

<교량/고가교 구조물 설계기술 분야 기술수준 비교(5점 만점)>

기술 수준	한국	EU	일본	미국
철도 교량/고가교 설계기준	3.77	4.92	4.77	4.92
일반 교량/고가교 설계기술	4.77	5.00	4.92	4.85
철도 교량/고가교 설계기술	4.00	4.92	4.92	4.77
장경간(200m 이상) 도시형 고가교 설계기술	1.69	2.62	2.62	2.54
비정형 고가교 설계기술	1.69	3.00	2.54	2.62

설계기술은 거의 동등한 수준인 반면 철도 교량/고가교 설계기준 및 설계기술은 한 단계 낮은 수준이며, 장경간 도시형 고가교 및 비정형 고가교 설계기술은 전 세계적으로 낮은 수준으로 나타남.

○ 신소재 융합기술 분야

- 초고성능 콘크리트(UHPC)의 경우, 국내에서 150MPa 강도를 갖는 초고강도 콘크리트의 개발 및 B/P 실용화를 통해 세계최고 수준을 추격하고 있는데, 고강도·고인성 콘크리트 분야에서는 프랑스가 180MPa 이상의 RPC 타입의 고강도 콘크리트를 실용화하여 세계 최고 기술을 보유하고 있고, 강도측면만 보면 일본이 200MPa의 고내화성 콘크리트에 대한 최고기술을 보유하고 있음.
- 섬유보강플라스틱(FRP), 탄소섬유강화플라스틱(CFRP), 유리섬유강화플라스틱(GFRP) 등의 고분자 복합재료를 활용한 복합재가 Re-bar, Grid, Sheet, 등의 보강재와 긴장재, 케이블 형태로 토목 구조재로 많이 활용되고 있으며, 최근 들어 국내에서도 이에 대한 활발한 연구와 함께 토목·건축 구조재로서의 활용이 시도되고 있음.
- 특히, 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)의 경우, 국외에서는 엔지니어링 플라스틱과 함께 자동차 및 항공기 부품, 전자기기 등에 주로 사용하고 있으며, 철을 대체하기 위해 고성능의 CFRP 및 엔지니어링 플라스틱 개발에 주력하고 있고, 최근 국내에서도 이를 활용한 자동차 차체 및 부품 개발을 시도하고 있음.
- 다만, 전 세계적으로 아직 엔지니어링 플라스틱 자체를 토목 구조재로 활용한 사례는 없음.
- 신소재 융합기술에 대한 기술수준 분석 결과, 한국은 EU, 일본, 미국 기술수준 대비 한 단계 낮은 수준으로 나타났으며, 자동차·항공 산업이 발달된 EU, 일본, 미국에 비해 고분자 복합재료 및 엔지니어링 플라스틱을 이용한 융합기술은 한국이 다소 낮은 것으로 나타남.

<신소재 융합기술 분야 기술수준 비교(5점 만점)>

기술 수준	한국	EU	일본	미국
초고성능 콘크리트 제작 및 융합기술	3.77	4.77	4.85	4.77
고분자 복합재료 제작 및 융합기술	3.15	4.69	4.85	4.62
엔지니어링 플라스틱 제작 및 융합기술	2.85	4.15	3.77	4.08

○ 고가구조물 제작 및 시공기술 분야

- 국내 철도교 제작·시공 기술은 다양한 교량 형식 및 시공법이 개발되어 고속철도 및 도시철도에 적용한 경험이 풍부하여 국외 수준 못지 않게 우수한 수준이며, 초장대 교량의 경우 세계최고 수준의 기술을 보유하고 있음.

- 다만, 급속시공 및 품질향상을 위한 교량/고가교의 프리캐스트화 제작·시공 기술은 국외의 활발한 연구 및 실용화 제작·시공 사례 대비, 국내 수준은 상부구조의 경우 프리캐스트화를 통한 급속시공 사례가 풍부하나 하부구조의 경우에는 아직 연구수준에만 머물고 있는 수준임.
- 전 세계적으로, 비정형 구조 형식의 부재를 구조 부재로 교량/고가교 시공 사례는 전무하며, 그 기술 또한 부재
- 고가구조물 제작 및 시공기술에 대한 기술수준 분석 결과, 교량/고가교 시공기술 및 프리캐스트 상부구조 제작·시공기술은 한국이 EU, 일본, 미국 기술수준과 거의 비슷한 수준을 보이고 있는 반면, 프리캐스트 하부구조 제작·시공기술 및 가설·시공 장비기술은 EU, 일본, 미국 기술수준 대비 한 단계 낮은 수준이며, 비정형 구조 제작·시공기술 및 ICT 기반 제작·시공 관리기술은 전 세계적으로 기술수준이 낮은 것으로 나타남.
- 프리캐스트 부재 현장 가설 시공장비는 전량 국외에서 수입한 장비를 활용하고 있으며, 현장타설 방식의 폼(Form) 시공장비는 강제 거푸집 형태로 국내에서 제작 가능하나, 최근 국외에서는 종이, 알루미늄, 플라스틱 등의 경량재료를 이용한 거푸집 폼의 경량화 기술을 보유하고 있음.
- 국내의 교량구조물용 케이블 형식은 케이블과 정착구를 공장에서 제작하는 방식인 PWS(Parallel Wire Strand) 방식 및 케이블과 정착구를 각각 현장으로 운반하여 현장에서 조립 설치하는 MS(Multi Strand) 방식이 있는데,
- PWS 방식의 케이블은 과거에는 신일본 제철, Shinko Wire에서 제작되었지만, 현재는 중국의 JFC(Jiangsu Fasten Steel Cable), SPCC(Shanghai Pujiang Cable Company), OVM, JULY에서만 생산되고 있으며, 이 중 JFC와 SPCC사만 PWS 케이블을 전문으로 생산하고 지속적인 기술투자를 통해 품질향상 및 신규제품의 개발에 전념하여 현재 7mm~1,670MPa~1,860MPa까지의 강도의 소선을 사용한 PWS케이블을 국내에 공급하고 있음. 케이블 자재는 중국에서 생산하여 수입하지만, 이를 시공하기 위한 인장 시스템 및 인장 및 가설 엔지니어링은 모두 국내 기술로 가능한 수준임.
- MS 방식의 케이블의 경우, 케이블에 사용하는 PE 코팅된 스트랜드는 고려제강에서 생산하고 정착구 및 인장 시스템은 VSL, Fressynet, DSI등 유럽의 시스템 개발 업체에서 제공하며, 국내는 주로 수입한 자재 및 인장장비를 이용하여 부속자재만을 국내에서 제작하는 수준이며,

<교량/고가교 구조물 제작·시공기술 분야 기술수준 비교(5점 만점)>

기술 수준	한국	EU	일본	미국
교량/고가교 시공기술	4.69	5.00	5.00	4.85
프리캐스트 제작·시공기술 (상부구조)	4.54	4.92	4.92	4.62
프리캐스트 제작·시공기술 (하부구조)	3.38	4.69	4.77	4.54
비정형 구조 제작·시공기술	2.08	2.92	2.54	2.85
가설·시공장비 기술	3.31	4.85	4.77	4.62
ICT 기반 제작·시공 관리기술	1.85	2.54	2.38	2.77

최근 국내 초장대 교량 사업단에 의해 2,200MPa의 고강도 케이블을 연구 개발하여 테스트 수행을 마쳤으며, 실용화 단계를 위해 설계에 반영하여 실용화를 진행하고 있는 수준임.

- 한편, 국내에서는 4차산업시대 도래 대비하여, 최근 IoT, 드론 기술을 기반으로 한 철도교 건설 비용 절감, 품질 향상, 안전사고 방지 등을 위해 건설 현장 관리의 고도화를 위한 기술 연구를 시도하고 있음.
- 교량/고가교 구조물 제작 및 시공기술에 대한 기술수준 분석 결과, 교량/고가교 시공기술 및 프리캐스트 상부구조 제작·시공기술은 한국이 EU, 일본, 미국 기술수준과 거의 비슷한 수준을 보이고 있는 반면, 프리캐스트 하부구조 제작·시공기술 및 가설·시공 장비기술은 EU, 일본, 미국 기술수준 대비 한 단계 낮은 수준이며, 비정형 구조 제작·시공기술 및 ICT 기반 제작·시공 관리기술은 전 세계적으로 기술수준이 낮은 것으로 나타남.

○ 고가구조물 진동제어 및 상태관리 기술 분야

- 국내에서는 일반적인 에너지소산형 강재 댐퍼 등의 제진장치 기술과 함께, 자유진동 및 강제가진 시험을 통한 구조물의 고유진동수 및 감쇠비 추정에 의한 제진 성능검증 기술과 풍동실험에 의한 내풍 안전성능 검증 기술의 확보로 질량동조형 제진장치(TMD)에 대한 제작 및 진동제어 기술을 보유하고 있음.
- 이를 통해 교량, 건물 등 일반 토목·건축 구조물의 진동제어를 위해 에너지소산형 강재 댐퍼 등의 제진장치와 질량동조형 제진장치(TMD)를 주로 적용하고 있으나, 초고층 건물용 제진장치는 전량 해외 기술에 의존하고 있는 수준임.
- 미국, 일본, 유럽 등 여러 국가에서는 지진, 풍하중에 의한 구조물 붕괴 사고 경험을 시작으로, 여러 구조물에 다양한 종류의 에너지소산형 및 질량동조형 제진장치를 개발하여 내진/내풍 및 구조물 보강 개념으로 적용된 바 있고,
- 특히 미국과 일본의 경우 시공 중에 발생하는 풍진동 해결을 위한 제진 기술을 보유하고 있으며, 국내에서도 내풍 안전성 해석을 통한 설계 기술 및 제진 기술에 대한 활발한 연구를 통해 실 구조물에 적용한 사례가 있음.
- 능동 제진기술과 관련하여, 일본에서는 장경간 교량의 진동 제어를 위한 반능동제어장치(HMD)를 개발하여 적용한 바 있고, 1990년대 들어서는 여러 형태의 능동형질량댐퍼(AMD)를 개발하여 실 구조물에 적용하는 등 반능동 및 능동 제진분야의 최고 수준의 기술을 보유하고 있음.
- 국내에서도 반능동제어장치를 개발하여 공항관제탑 구조물에 적용한 사례가 있고, 능동제어장치를 개발하여 실 구조물에 적용을 시도하고 있음.
- 교량/고가교 구조물 진동제어기술에 대한 기술수준 분석 결과, 일본이 제진기술에 있어 세계 최고수준을 보유하고 있는데, 수동 제진기술은 한국이 EU, 미국 기술수준과 거의 비슷한 수준을 보이고 있는 반면, 반능동 제진 기술은 EU, 일본, 미국 기술수준 대비 한 단계 낮은 수준으로, 능동 제진기술은 세계최고 수준 대비 보통 수준으로 나타남.

<교량/고가교 구조물 진동제어기술 분야 기술수준 비교(5점 만점)>

기술 수준	한국	EU	일본	미국
수동 제진기술	4.54	4.46	5.00	4.46
반능동 제진기술	3.69	4.38	4.62	4.46
능동 제진기술	3.08	4.23	4.92	4.08
내진/내풍 안정성 검증 기술	3.46	4.62	4.85	4.38

- 한편, 구조물 상태관리 기술 분야에 있어, 국내에서는 교량/고가교의 상태 및 성능 검증을 위해 차량 주행실험을 통한 단순 내하력 검증 위주로 수행해 왔으나, 최근 ICT 기술의 발달로 무선 센서네트워크 기술을 활용한 구조물 상태감시 및 동적 성능검증 기술 개발이 활발히 추진 중임.
- 변위 측정 기술로서, LVDT, LDV, LiDAR 등 여러 접촉식 혹은 비접촉식 계측 기술을 국내외에서 개발하여 기술을 보유하고 있지만, 비접촉식의 경우 장비의 고정 설치에 의한 국부적인 변위를 계측하는 수준인 데다가 세계적으로 현장의 극한 환경에서의 주야간 실시간 고정밀 계측 기술은 전무하며, 최근 드론기술과 융합하여 검사 인력의 접근이 어려운 곳까지 상태감시 가능한 기술 개발이 시도되고 있음.
- 케이블 장력 상시 계측 기술로서, 세계적으로 시공 중의 일시적 케이블 장력 계측 혹은 사용 중의 육안검사 수준이며, 구조물 내장형 실시간 무선 센싱 기술은 세계적으로 전무함.
- 국내외에서 태양광, 풍력 및 진동 에너지에 대한 에너지 하베스트(집전)기술이 개발되어 일부 적용된 바 있으나, 아직 주변 영향이 크고 내구성이 떨어지는 수준이며, 진동에너지 집전기술에 있어서는 생산에너지의 배터리 저장위한 추가 기술 개발이 필요한 수준임.
- 교량/고가교 구조물 상태관리기술에 대한 기술수준 분석 결과, 구조물 변위 측정 기술은 한국이 EU, 일본, 미국 기술수준과 거의 비슷한 수준을 보이고 있는 반면, 케이블 장력 상시계측 기술, 에너지 하베스트 기술, 무선센서네트워크 기술, 드론 융합 상태감시 기술은 기술별로 추구하고자 하는 최고 기술 대비 전 세계적으로 보통 내지 보통 이하의 기술수준으로 나타남.

<구조물 상태관리기술 분야 기술수준 비교(5점 만점)>

기술 수준	한국	EU	일본	미국
구조물 변위 측정 기술	4.54	4.85	4.77	4.69
케이블 장력 상시 계측 기술	3.08	3.54	3.62	3.31
에너지 하베스트 기술	3.31	2.92	2.85	3.62
무선센서네트워크 기술	2.54	3.31	2.77	3.69
드론 융합 상태감시 기술	2.46	2.54	2.31	3.15

5절. 유사과제 분석 및 기존 기술(연구)와의 차별성

1. 기존 과제와의 차별성

기존 연구과제명	기존 연구내용	기존 연구와의 차별성
초장대교량 연구개발사업	◦현수교, 사장교 등의 초장대교량과 같이, 해상을 가로지르는 수백m ~ 수 km의 경간을 갖는 특수 도로교를 구축하기 위한 기술 개발로서, ◦장경간 케이블 교량의 설계·시공·유지관리 및 재료 분야에 대한 핵심 기술 자립화에 성공하여 주경간이 수 km에 달하는 세계최고 수준의 초장대 도로교량 기술에 대한 연구임.  <국내 초장대 도로 교량 기술> (상:이순신 대교, 하:터키 보스포루스 제3대교), [출처: 서울신문]	◦철도특성이 고려된 철도 고가교 연구로 기존 도로교 연구와는 차별되며, ◦경간을 수백 미터로 시공이 가능한 현수교, 사장교 등의 교량은 도심지내 시공이 불가능한 교량 형식으로서, ◦특히 도심지 내 적용이 가능한 구조물 형식 및 규모를 가지면서, 도시친화적이고 심미적인 경전철용 고가구조물에 대한 연구임. ◦장경간 구현을 위한 신소재를 적용한 신형식 구조물 설계·제작·건설 기술 연구와 함께, 장경간 구조물의 효과적인 첨단 진동 제어시스템 개발과 신형식 구조물의 핵심 취약부 대상 자가 감시기술 개발이 주요 연구임.
자기부상철도 연구개발사업	◦최근 도시형 자기부상철도 고가구조물에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 이는 자기부상철도용으로 제한된 고가구조물에 대한 독자 설계·시공기술을 확보하기 위한 연구임. ◦궤도 일체형 거더교에 초점을 두고 개발된 연구로서, 하부구조는 기존과 동일한 형식으로 이 또한 교각이 조밀하게 시공됨.  <인천공항 자기부상열차>	◦도심지 내 적용을 목적으로 하부구조물을 최소화하여 도로 잠식을 줄이고 도심지 급속 시공을 목적으로 하는 고가구조물 기술 개발임. ◦기존 고가구조물의 경간을 최소 100m~200m 이상으로 늘린 장경간의 경전철용 고가구조물 개발 연구임.

6절. 국내 연구개발 인프라 분석

1. 국내 기술 인프라 · 인력 현황

○ 구조물 설계기술 분야

- 한국엔지니어링협회의 “2017 엔지니어링 통계편람”에 따르면, 2016년 기준 국내 구조관련 엔지니어링 사업체는 1,862개사, 철도관련 사업체는 162개사에 이르며, 구조관련 기술인력 및 종사자 수는 5,357명, 철도관련 기술인력 및 종사자 수는 462명임.
- 한편, 교량 등과 같은 토목 인프라 설계기술 연구 인력규모로서, 시설물 설계 및 해석 분야 364명이 NTIS에 등록되어 있으며, 세부항목으로는 설계 표준화 18명, 설계 정보화 176명, 교량설계 58명 등으로 구분됨. 전공별로는 토목분야의 전문 R&D 인력은 331명으로 그 중 약 37%가량의 123명이 구조분야를 세부 전공으로 삼고 있으며, 이 중 48명이 구조해석 및 이론 분야의 전문 R&D 연구를 수행하고 있음. 전체적인 인력의 숫자가 크지 않으나, 이는 NTIS 통계에 국한된 사항으로 토목분야 R&D 인력 내 비율로 본다면 설계 및 구조해석 분야가 토목분야에서 주요한 분야이고 관련 전문가도 국내에 충분히 존재함을 유추할 수 있음.
- 국내에서는 1990년대 이후 본격적인 도로교에서 아치교, 엑스트라도즈교, 사장교, 현수교 등의 특수교량 설계를 시작으로 2000년대 들어서 해외 장대특수교량의 설계 및 건설시장에 본격적으로 참여하여 많은 설계 및 시공실적을 쌓아 왔으며 철도교에서는 2000년대 이전에는 PSC 박스거더교와 아치교의 적용에 머물렀지만 2000년대 후반에 들어서는 엑스트라도즈교 및 사장교의 적용이 이루어지기 시작했음. 철도교 설계 관련 세부기술별 국내 주요기업 현황은 아래 표에 나와 있는 정도임.
- 또한, 2000년대 이후 국내에도 육지와 섬 등을 연결하는 사업이 활발히 진행되면서 현수교, 사장교와 같은 케이블 장대 교량의 설계 및 시공 프로젝트가 다수 수행된 바 있고(이순신대교(2013년 준공), 울산대교(2015년 준공), 목포대교(2013년 준공), 거가대교(2010년 준공) 외 다수), 최근에는 국내 건설회사가 해외 장대교량 사업의 설계 및 시공 프로젝트 수주(보스포러스 대교(터키), 코즈웨이(쿠웨이트), 차카오대교(칠레) 외)도 활발히 진행하고 있는 등, 국내외 다양한 실적을 바탕으로 장경간 교량의 설계기술 및 관련 국내 전문인력이 상당 확보되어 있음.

<세부기술별 국내 주요업체 현황>

세부기술	업체명	실적, 보유기술 또는 특허
자기부상 거더교	유신	영종도 자기부상 거더교
	우성디앤씨	궤도일체형 프리텐션거더교
지하철 철도교	유신	부산지하철 3호선 2단계 326공구 건설공사(사장교)
	동일	아산고가교(콘크리트 사장교)
	한국종합	호남고속철도 제1공구 노반신설공사 대안설계(아치교)
	수성엔지니어링	부산도시철도 사상-하단선 제3공구 건설사업
경전철교	동일	인천횡단교(콘크리트 사장교)
	유신	대구도시철도 3호선 4공구건설공사(엑스트라도즈교)

○ 신소재 분야

- 초고성능 콘크리트의 경우, 국내 일반 시멘트 메이저 회사에서 생산이 가능한데, 쌍용, 현대, 한일, 성신 등 국내 7개 업체가 존재하며, 종사자 3,880명 정도로 국내에서 충분히 생산 인프라 및 인력을 갖추고 있으며, 건기연 및 철도연 등에서 UHPC 기술개발 전문인력도 확보되어 있음.
- 고분자 복합소재인 탄소섬유강화플라스틱의 경우, 국내 탄소섬유 원사 생산 기반 부재로 전량 일본, 미국, 중국으로부터 수행에 의존하였으나, 2012년부터 태광산업, 효성, 도레이 등에서 국내 탄소섬유 원사 상용 생산 인프라 기반을 확충하여 소재에서 탄소섬유에 이르는 일괄 생산체제를 갖춰 현재 국내 생산*이 가능함.
*2012년 태광산업을 시작으로 2013년 도레이 첨단소재, 효성이 탄소섬유 양산에 들어갔으며, 삼성도 독일 SGL사와 합작으로 탄소섬유 양산에 들어감.
- 엔지니어링 플라스틱의 경우, 폴리아미드(PA), 폴리카보네이트(PC), 폴리아세탈(POM), 폴리에스터수지(PBT), 폴리페닐렌옥사이드(PPO)의 5대 범용 엔지니어링 플라스틱에 대한 주요 국내 업체는 LG화학, 삼양사, 코오롱플라스틱 등 9개 업체이며, 기본 플라스틱 레진 및 컴파운딩 인프라를 갖추고 있음.
- 국내 플라스틱 제품 제조업체 수는 5,128개, 종사자 171,413명으로 꾸준히 증가 추세이며, 이 중 건축용 플라스틱 제조업체 수는 1,842개, 종사자 17,236명으로 국내에서 충분히 엔지니어링 플라스틱을 이용한 2차 제품의 생산·제작이 가능한 정도임.

<엔지니어링 플라스틱의 국내외 주요업체 현황>

	폴리아미드(PA) Polyamides	폴리카보네이트(PC) Polycarbonates	폴리아세탈(POM) Polyacetal	폴리에스터수지(PET) Polyethylene terephthalate	폴리페닐렌옥사이드(PPO) Polyphenylene Oxide
상업화 년도	1938년, 미국 DuPont	1959년, 독일 Bayer	1958년, 미국 DuPont	1970년, Celanese	1976년, 미국 GE
주요 해외 생산업체	- Celanese - DuPont - BASF - Rhodia - Invista - Ascend	- Bayer - SABIC-IP	- DuPont - BASF	- BASF - Rhodia - SABIC-IP	SABIC-IP
주요 아시아 생산업체	- Toray - Teijin - Kobun	- Teijin - Mitsubishi	Asahi	- Mitsubishi - LG - SYC	Asahi
주요 국내 생산업체	- 코오롱플라스틱 - 코오롱인더 - 코프라 - KP 컴텍 - 만도	- 삼양사 - 제일모직 - LG 화학 - 삼성 SDI	- 한국엔지니어링 플라스 틱 - 코오롱플라스틱 - LG 화학	- LG 화학 - 삼양사 - 코오롱플라스틱 - 제일모직 - 코프라	—

○ 구조물 제작 및 시공기술 분야

- 교량 등과 같은 토목 인프라 시공 분야 국내 전문 인력규모로서, 국내에 등록된 토목기술자는 약 18만명에 달하고 이 중 토목구조분야 11,000여명, 토목시공분야 96,000여명, 철도분야 2,500여명으로 나타났으며, NTIS에 등록된 관련 분야 R&D 전문인력은 건설시공재료분야 527명(건설시공관리 92명, 토목시공기술 127명, 시공자동화 24명, 건설구조재료 151명 등)으로 나타나, 국내 전문인력이 다수 확보되어 있음.
- 경전철 고가구조물의 신형식 구조를 제안·연구개발 할 경우, 이를 축소 또는 실물 모형으로 제작하고 이에 대한 구조성능을 검증 할 수 있는 구조 실험동과 같은 연구 인프라가 필요한데, 관련한 국내 연구 인프라는 한국철도기술연구원(경기도 의왕시), 한국건설기술연구원(경기도 고양시)과 같은 정부출연기관연구소와 하이브리드구조실험센터(명지대학교 용인캠퍼스 소재), 첨단건설재료실험센터(계명대학교 소재) 등과 같이 분산공유형 건설연구인프라 구축사업에 의해 조성된 연구 인프라가 있고, 이와 더불어 GS건설 기술연구소(경기도 용인시), 현대건설기술연구소(경기도 용인시), 대우건설기술연구소(경기도 수원시)와 같은 국내의 대형 건설사들도 구조 및 재료 실험동을 갖추어 있어 이 분야 충분한 연구 인프라를 갖추고 있음.
- 국내의 일반적인 강구조 설비 업체가 월 1,000톤 이하의 생산능력을 갖추고 있는데, 2,000~4,000톤 이상의 생산 능력을 갖추고 100m이상의 교량을 제작할 수 있는 회사는 21개 회사에 불과함.
- 도심지에 시공되는 경전철 고가구조물은 급속시공이 요구되며, 이를 위해서는 공장에서 콘크리트 부재를 제작하여 현장에서 결함 시공하는 프리캐스트 콘크리트 공법(이하 “PC 공법”)의 적용이 요구되는데, 국내에는 40여개의 프리캐스트 콘크리트 공장이 있는 것으로 알려져 있으며, 국내 주요 프리캐스트 콘크리트 공장 현황은 아래 표와 같음.

<교량 등급별 제작 인증 국내 기관 수>

1급	2급	3급	4급	소계
11	5	4	1	21

<교량 등급별 제작능력 기준>

등급	교 량 분 야
1급	- 모든 교량
2급	- 일반교량 - 교각과 교각사이의 최대거리가 100미터 미만인 특수교량
3급	- 교각과 교각사이의 최대거리가 50미터 이하 인도전용 육교 (특수 육교 제외)
4급	- 교각과 교각사이의 최대거리가 30미터이하 인도전용 육교 (특수 육교 제외)

< 프리캐스트 콘크리트 국내 주요업체 현황>

업체명	소재지	생산능력	주요생산제품
가야	서산	580m³/일	기둥, 보, 암거, 슬래브
강남건영	여주	900m³/일	Hollow Core Panel
동서PPC	괴산	350m³/일	기둥, 보, 슬래브
삼성물산(삼연PCE)	음성, 충주	400m³/일	기둥, 보, 슬래브
삼표(주)	청원	350m³/일	PC침목, 기둥, 보, 슬래브
삼환까무	이천, 천안	400m³/일	기둥, 보, 슬래브
(주)세안	상주	180m³/일	Half slab, 기둥, 보
아이에스동서	이천, 천안, 창녕	800m³/일	PC침목, 기둥, 보, 슬래브
우림콘크리트	하남, 충주	500m³/일	Half slab, 기둥, 보
(주)한성	아산	300m³/일	Half slab, 기둥, 보
화성산업(주)	의성	200m³/일	Half slab, 기둥, 보
현대산업개발	여주	130m³/일	Half slab, 기둥, 보

- 국내에서는 교량구조물용 케이블 방식인 PWS(Parallel Wire Strand) alc MS(Multi Strand) 방식 별로 독자적인 시공 및 엔지니어링 노하우를 가지고 있는 회사가 2~3개사 정도에 불과하며,
- 케이블 설치시 발생하는 시공단계별 장력 변화를 구조계산에 의해 예측하고 설치하는 고도의 엔지니어링 및 시공 기술을 요하기 때문에, 국내 현장에서 엔지니어링 및 케이블 시공관리 가능한 경험 있는 엔지니어급은 10명 내외이며, 케이블 시공 가능한 유경험자는 50명 내외로 추정됨.

○ 구조물 진동제어 분야

- 국내에서는 90년대 이후 진동제어에 대한 이론적 연구를 시작으로 건축구조물의 내풍성능 및 거주성능을 개선하기 위한 연구가 수행되어 90년대 말에서야 실제 구조물에 적용하는 단계에 이르렀고, 최근 초고층 건물의 등장으로 제진 관련 연구가 이루어지면서 관련 인프라가 갖추어져 가고 있는 상황으로, 내진 및 내풍에 대한 세부기술별 국내 주요기업 현황은 아래 표에 나와 있는 정도임.

<세부기술별 국내 주요업체 현황>

세부기술	업체명	보유 기술 또는 특허	최고기술보유기관	비고
풍동실험 및 풍하중 평가기술	T.E Solution	풍동실험	T.E Solution CKP 연구소 대우건설 기술연구소	
	CKP 연구소	풍하중실험, 풍동실험, CFD해석		도플러소더
	분산공유형 풍동실험실	풍동실험		
	현대건설 기술연구소	풍동실험		
	대우건설 기술연구소	풍동실험		
제진기술	T.E Solution	제진장치 제작기술	T.E Solution	

○ 구조물 상태관리 분야

- 처짐 측정을 기반으로 한 구조물 거동 평가 기술은 전통적으로 사용되어 온 기술이고, 이에 따라 다른 기술들에 비해 상대적으로 기술 인프라가 잘 갖추어져 있는 상황으로서, 대한시설물유지관리협회에 따르면 2010년 기준 전국에 5,000여개의 시설물 유지관리 업체가 등록되어 있음.
- 교량 안전관리에 대한 기술 인프라는 잘 갖추어져 있으나 이것이 지속적인 모니터링보다는 정기검사 위주로 진행되면서 관리주체의 상시 전담 인력은 굉장히 적게 유지되고 있고, 정기검사 시 일시적으로 비전문 인력 활용 또는 하청업체를 활용하여 검사를 수행하는 실정임.
- 우리나라는 교량의 신규 건설에만 치중하면서 유지보수에 소홀해 왔기에 케이블 관련 모니터링 및 점검 기술 인프라는 상당히 부족한 편으로 알려져 있음.
- 내부 텐던의 장력 측정에 대해서는 더욱 관심과 기술이 부족한 상황으로, 국내 업체에서는 현재 외부로 노출된 텐던에 대한 단순 육안 검사를 수행하는 것이 대부분이고 교량 케이블 유지관리 업체에서 일부 텐던 검사 업무까지 맡고 있음.
- PSC 교량의 텐던 모니터링 전문 인력은 상당히 부족한 것으로 알려져 있으며, 케이블 관리의 경우에도 대부분 관리주체의 교량 관리인원이 담당하거나 하청업체를 활용하여 검사를 수행하고 있는 등, 케이블 관리 관련 업무가 3D 업종으로 기피되면서 지속적인 전문 인력의 확보가 매우 어려움.

-
- 한국비파괴검사학회에 따르면, 국내 비파괴검사 관련 업체수는 61개사로 확인되나 대부분 초기 단계의 기술을 가진 영세 업체로 알려져 있으며, 교육부 커리어넷에 따르면 비파괴검사업의 현재 종사자는 6,100명 정도임.
 - 무선 센서의 경우 이전부터 오랫동안 연구되어 온 바 있으며, 이를 통해 다양한 표준 통신 기준을 포함하여 인프라가 상대적으로 잘 구축되어 있는 상황이며, 특히 국토부에서 U-City 관련 사업을 적극적으로 추진하면서 도시 내에서 유비쿼터스 통신 및 IoT에 대한 산업 인프라가 구축되어 있음.
*현재 무선 센서 관련 표준은 근거리 통신망 전송을 위한 IEEE802.15 표준 규격과 이를 기반으로 상위 계층에서 관련 산업에 적용하는 ZigBee 규격이 마련되어 있어 이를 바탕으로 센서 연구개발이 이루어지고 있음.
 - 에너지 하베스팅 관련 기술은 정부나 학회 중심의 체계적인 인프라가 구축된 상황은 아니며, 개별 연구자 또는 스타트업, 관련 기업 등에서 독자적으로 연구개발을 수행하는 경우가 많으며, 최근 한양대학교에서는 이와 같이 흩어져 있는 기술들을 모아 에너지 하베스팅 기술을 선도하고 에너지 생산 인프라 구축을 위한 에너지 하베스팅 센터를 2015년에 개소한 바 있음.
 - 무선 센서 개발은 영세 중소기업부터 대기업까지 다양한 산업구성을 갖고 있기에 인력 현황은 잘 알려져 있지 않지만 NTIS 통계에 따르면 관련 국가과제에 참여하고 있는 인력만 575명으로 확인되며, 국내에서 에너지 하베스팅 관련 연구가 이루어진 역사가 길지 않기에 관련 인력이 많지 않아 NTIS 기준으로 국가과제 참여인력 17명 정도임.
-

7절. 기대효과 및 활용 가능성

1. 기대효과

○ 기술적 측면

- 세계 최초 200m 이상의 경간을 갖는 장경간·경량의 도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 구축 기술 개발로 국내 철도기술 수준 향상 및 미래 선도기술 선점을 통한 철도산업 경쟁력 제고 기대
- 지속적으로 성장하고 있는 국내·외 경전철시장에 성공적으로 적용될 경우 국내 철도R&D의 우수성을 해외에 널리 알리고, 세계 최초 선도형 기술 개발로 국가 위상강화에 기여 가능
- 신뢰성 기반의 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준에 대한 국내 독자 기준 확보로 국내 토목설계기술 수준 향상 및 철도기술의 글로벌화 기대
- ICT·드론·신소재 등 4차산업혁명 기술을 융합한 철도건설 기술의 확보로 경전철 사업은 물론, 철도, 도로 등 각종 인프라 건설 산업으로의 확대 적용 기대
- 200m 장경간 경전철용 고가구조물에 대한 열차가진·풍진동에 대한 통합 진동제어기술 및 2mm이내 고정밀의 통합계측기술의 확보로 구조물의 제진·관리기술에 대한 국가기술경쟁력 향상 기대

○ 사회·경제적 측면

- 도시환경과 부합하는 도시미관 개선, 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대
- 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대
- 국내 경전철 사업 활성화를 통한 도시철도 서비스 확충 및 일자리 창출 등 부가 효과 기대
- 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대

2. 활용 가능성 검토

- 미래 경전철의 확충과 이로 인한 국민부담의 경감을 위해, 안전하면서도 효율적인 구조물 구축이 가능하도록 하는 한계상태 설계법 기반의 경전철 설계기준은 국토교통부에서 국가기준으로의 제정·고시를 통해 향후 국내 경전철 신규사업에 우선 적용이 될 것으로 기대됨.
- 세계 최초 200m 이상의 경간을 갖는 장경간·경량의 도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 구축 기술은 기존 도시 경전철 고가구조물의 도시미관 저해, 도로교통 혼잡 가중 등의 문제를 한번에 해결할 수 있는 기술로서 향후 국내 고가방식의 도시철도 사업에 100% 도입 추진될 것으로 기대됨.

- 현재 도심지 과밀화로 이미 도로교통환경이 한계상태에 있고, 미래 도시인구 증가에 따른 도심지 과밀화, 환경오염 이슈가 더욱 가중되면서, 철도 중심의 환경친화적인 도시교통체계로의 전환과 함께 도시공간의 입체화 요구가 급부상할 것으로 예상됨에 따라, 지하 뿐만 아니라 고가 방식의 도시철도가 지속적으로 확충될 것으로 예상됨.

- 현재 우리나라 광역시·도에서 연계 교통망 확충을 위해 41개 노선(총 연장 621.07km) 27조 4,369억 원 규모의 도시전철 사업을 추진 및 계획 중*이며, 상당 노선이 건설비가 적은 고가 건설 방식의 경전철로 향후 지속 확충될 것으로 예상됨

*광역도시간 연계 이동수요 증가로 경전철 등 도시철도의 지속 확충 예상되며, 현재 서울에서는 신림선, 동북선 등 10개 노선(89.17km), 8조 7,961억 원 규모로, 부산에서는 7개 노선(82km), 3조 8,061억 원 규모로 계획 중임.

○ 해외 어디에도 적용된 바 없는 세계 최초의 도시친화적인 경전철용 고가구조물로서, 국내 고가 경전철 도입 실적을 기반으로, 동남아 등 해외 고가 경전철 등 해외 도시철도 사업에 충분히 경쟁력을 갖고 진출할 수 있을 것으로 기대됨.

- 해외의 경우, 앞서 2장 2절에 나타난 해외 경전철 사업에서 보듯이, 해외 건설 수주 효자 지역인 동남아(베트남, 말레이시아 등)를 중심으로 17개 노선 300여 km 규모의 경전철 사업이 계획 중으로, 미래 도시화, 도시인구 증가 트렌드에 따라 전 세계적으로 경전철 시장이 지속 확충될 것으로 예상됨.

- 2016년 6월, 인도네시아 자카르타의 총 연장 116km, 사업비 4,000억원 규모의 경전철 사업 중 1단계 구간(5.8km)을 한국철도시설공단이 수주하고 인도, 인도네시아, 파라과이 전담 부서를 신설하는 등 해외 경전철 시장 진출 확대를 꾀하고 있으며, 최근 국토교통부가 해외건설 조직을 확대·개편하는 등 해외 건설시장 진출에 박차를 가하고 있음.

○ 또한, 요소기술로서 장경간(200m) 고가구조물 설계기술 및 차량가진·풍진동에 대한 제진기술은 일반·고속 철도교를 포함한 일반 교량의 장경간화 기술개발에 활용이 가능할 것이고, 신소재와 3D 프린터 등을 이용한 구조물 정밀 제작·시공 기술 역시 교량을 포함한 일반 건축물에도 적용이 가능할 것으로 기대됨.

1. 관련 법령 검토 결과

- 국내 철도교 설계기준으로는 국토교통부에서 제정한 철도설계기준(노반편, 2011년)에서 제시한 중전철 및 일반·고속철도 철도설계기준(교량편)이 전부이며, 별도의 무게가 가볍고 최대 80km/h 이하의 저속으로 운행되는 경전철에 대한 철도교 설계기준은 마련되어 있지 않음.
 - 철체차륜형 경전철 고가구조물의 경우에는 철도설계기준(노반편)에서 제시한 중전철 기준에 준하여 철도교를 설계하고 있고, 고무차륜형 경전철 고가구조물의 경우에는 충격계수와 풍하중 등의 일부 설계요소에서 도로교 설계기준을 준용하고 있음.
 - 실제, 현재 철도설계기준 제정 당시 경전철 고가구조물은 고려 대상이 아닌 관계로 앞서 2장 4절에 제시한 것처럼 상부구조물 상판 처짐제한기준 등 일부 개정내용이 경전철 고가구조물에는 불합리하게 적용된 사례가 있었고, Eurocode와 비교해 볼 때도 충격계수, 차량 횡하중, 시·제동하중 등에서 다소 불리하게 국내 설계기준이 마련되어 있음.
 - 현재, 국토교통부 철도기술연구사업 “철도노반 성능 및 건설비 최적화 기반기술 개발 (2013~2018)” 연구를 통해 신뢰도기반 하중/저항계수 설계 개념에 의한 철도교 등 철도구조물의 신뢰도 기반 설계법을 제정하기 위한 연구가 진행 중이나, 대상 구조물이 일반 및 고속철도, 중전철 철도교인 관계로, 경전철용 고가구조물에 대한 신뢰도 기반 설계법 연구가 추가적으로 필요함.
 - 이렇듯 국내 경전철 고가구조물에 대한 별도의 설계기준이 없어, 국내에 현재 건설된 도시철도 고가구조물은 일반적으로 철도설계기준에서 제시하고 있는 허용응력설계법이나 강도설계법에 의해 일반 철도교 형식으로 설계되어 육중한 구조물로 건설되고 있는 실정임.
 - 부산4호선, 의정부, 용인, 부산~김해 경전철 등 현재 운영 중인 경전철용 고가구조물은 설계 당시 국내 경전철 고가구조물 설계기준이 별도 마련되어 있지 않아, 국외 차량 제작사에서 제시한 고가구조물 설계기준과 국내 철도교 설계기준을 비교하여 보수적으로 설계·시공됨.
 - 한편, 국내 철도교 등 철도구조물의 한계상태설계법에 대한 본격적인 연구가 전혀 이루어지지 않다가, 2013년에서야 신뢰도기반 하중/저항계수 설계 개념에 의한 철도교 등 철도구조물의 신뢰도 기반 설계법 제정 연구가 진행 중에 있으며, 다만 대상 구조물이 일반 및 고속철도, 중전철 철도교인 관계로 경전철용 고가구조물에 대한 신뢰도 기반 설계기준이 추가로 마련되어야 함.
 - 허용응력설계법이나 강도설계법 등의 기존 교량 설계법은 주로 경험적인 판단에 의하여 제시된 것으로 교량의 종류나 하중의 조합에 따라 각기 다른 정도의 안전도를 나타내는 단점을 가지고 있는데, 최근 이러한 단점을 극복하기 위해 세계 각국에서 교량의 안전도를 좀 더 합리적이고 객관적인 사실과 이론에 근거하여 결정하는 신뢰도 기반의 설계법을 개발하여, 현재 미국, 유럽, 일본 등 대부분의 선진국이 국제 표준으로서 신뢰도 기반의 한계상태 설계법으로 전환된 상황임.
 - 반면, 국내에서는 1996년 도로교 시방서에 부록으로 하중저항계수설계법(LRFD, Load and Resistance Factor Design)이 도입된 것을 시작으로, 국내 도로교의 경우에 2012년 한계상태설계법을 도입하여 도로교 설계기준이 개정된 바 있으며 2015년부터 본격적으로 적용 중임.
-

- 관련 법령 검토에 의한 시사점으로, 200m 이상의 장경간의 경전철용 고가구조물 구현을 위해서는 신소재를 적용한 경량의 신형식 구조물 연구와 함께, 일괄적인 철도교량 설계가 아닌, 선구 및 설계속도 특성별 합리적인 설계가 가능하도록, 무게가 가볍고 저속으로 운영되는 경량전철의 특성을 반영한 설계기준 마련이 시급히 요구되고,
- 나아가 해외 경전철 시장에서의 진출을 위해 국제 표준과의 부합은 필수 사항으로, 열차 및 환경하중 등의 하중 및 재료 변동성을 고려, 신뢰도기반 설계 개념을 도입한 한계상태설계법 기반의 경전철용 고가구조물 설계기준을 국가기준으로 제정·고시를 통해 세계적인 추세에 발맞추어 나가야 함.

2. 시범사업 대상 조사 · 검토 결과

○ 시범사업 대상 노선 선정기준

- 국내 지자체별 도시철도망 구축 계획을 가지고 본 과제의 실용화를 위한 대상 후보 노선을 선정하는 것이 불확실성을 내포하고 있으나,
- 중장기적인 도시철도 건설계획에 있어 가장 정확한 자료이므로 경전철용 미래선도형 고가구조물 실용화 전략 수립을 위해 제2장 2절의 국내 주요지자체 도시철도망 구축 계획을 기본으로 사업 시점, 지상건설 여부 및 차량 선정안 등을 검토하여 고가구조물 시범사업 대상 후보노선 기준을 마련함.

(1) 시간적 기준

- 도시철도 건설은 국토교통부 도시철도망 구축계획 확정 및 고시를 기준으로 지자체의 수요에 의해 예비타당성 조사를 거쳐 타당성 조사, 기본계획 확정, 기본 실시설계 및 공사 입찰·착공 등의 단계를 거치고 있어 사업추진에 상당한 시간이 소요되고 있음.
- 최근에 추진 중인 부산 양산선(노포~북정) 건설사업의 경우 지자체 수요에 의한 예비타당성 조사부터 공사 착공까지 약 8년의 시간이 걸렸고, 실시설계 이전 기본계획 수립에 약 4년, 확정까지 약 6년의 시간이 소요 되었다. 본 과제의 사업 추진을 위해 최소 기본계획 수립 시점에 맞춰 후보노선을 선정해야 할 것으로 판단됨.
- 따라서, 도시철도 건설사업의 기본계획 수립 시점으로 본 과제의 실용화 사업 추진 시기를 잡을 시 현재 기획의 본 과제화 시점인 2018년을 기준으로 약 5년 후인 2023년 이후의 도시철도망 구축계획안을 대상 후보노선으로 검토함.

(2) 공간적 기준

- 공개된 국내 도시철도망 구축계획안 중 고가구조물 실용화 검토를 위한 자료의 한계와 사업 승인 후 실시설계 시 노선의 상세설계가 이루어지는 점 등을 들어 직접적인 대상후보 노선을 제시하기에는 어려운 점이 있으나,
- 본 과제의 성격과 국내 도시철도망 구축계획안을 기준으로 노선별 차량선정 제시안 중 경전철 시스템으로 제시된 노선과 지상구간으로 계획된 노선을 우선 대상 노선으로 검토함

○ 시범사업 대상 후보 노선 검토

(1) 서울특별시

- 서울특별시의 경우 도시철도망 구축계획 중 신림선, 동북선, 면목선, 서부선 및 우이신설연장선은 민자사업으로 추진 또는 협상 중에 있으며,
- 목동선, 난곡선, 9호선 4단계 연장, 위례신사선 및 위례선은 현재 추진계획 중으로, 도시철도망 구축계획의 연차별 투자계획 상 서부선 및 위례신사선은 2020년부터, 목동선은 2021년부터 계획되어 있으므로 대상 후보노선의 가능성이 있음.
- 다만, 9호선 4단계 연장선과 위례선을 제외한 나머지 노선들이 경량전철 시스템으로 차량형식을 제안하고 있으나, 노선 대부분이 지하 건설로 되어 있고 일부구간에 한하여 고가구간화 되어 있어 실용화 시범사업 대상 노선으로는 어려울 것으로 판단됨.

(2) 부산광역시

- 부산광역시 도시철도망 구축계획의 7개 노선별 차량시스템은 경량전철 또는 노면전차로 제안하고 있으며, 경량전철 제안 노선은 하단~녹산선과 기장선 및 신정선 등 3개 노선이고, 나머지 노선은 노면전차(트램)로 계획됨.
- 사업투자 우선순위 및 사업추진 시기를 비교 하였을 때 하단~녹산선의 경우 투자우선순위가 가장 높고, 당초 개통시기를 1단계 2022년, 2단계 2024년으로 계획하였으나, 현재 1단계 2026년, 2단계 2037년으로 연기되어 전구간 적용 가능할 것으로 보임.
- 기장선의 경우 예비타당성 조사에 탈락하여 사업추진시기를 예측하기 어려우며, 신정선의 경우 정관선과 동시추진 계획으로 있어 사업적용이 어려울 것으로 보임.
- 노면전차로 계획된 강서선, 정관선, 송도선 및 C-Bay~Park선의 경우 투자우선순위 및 사업추진 시기 상으로 볼 땐 강서선에 적용 가능할 것으로 보임.

<도시철도망 구축계획 노선별 차량시스템 및 투자우선순위>

연번	노선명	구 간			투자 우선순위
		기점	종점	차량시스템	
1	하단~녹산선	하단	녹산	경량전철	1
2	강서선	대저	명지오션시티	노면전차	2
3	정관선	월평리	좌천리	노면전차	5
4	송도선	자갈치역	장림삼거리	노면전차	7
5	기장선	안평역	일광지구	경량전철	4
6	C-Bay~Park선	중앙동	부산시민공원	노면전차	3
7	신정선	노포역	월평리	경량전철	6

(3) 경기도

- 경기도 도시철도망 구축 계획에는 총 9개 노선 중 8호선 판교연장을 제외한 8개 노선은 경량전철 시스템으로 계획되어 있음.
- 계획 노선의 사업추진 시기가 불확실하나, 성남 2호선과 용인선 광교연장 노선이 경량전철 시스템이고, 교량건설 구간이 계획되어 있어 시범사업 적용대상이 될 수 있으며, 이 중 투자우선순위가 가장 높은 성남 2호선에 적용 가능성 할 것으로 판단됨.

(4) 인천광역시

- 인천광역시 도시철도망 구축계획 상으로는 차량시스템 및 건설방식 등이 미확정 상태로 시범사업 대상 후보노선 적용 가능 여부를 제시할 수 없으나, 투자우선순위 및 투자시기를 기준으로 서울7호선 청라국제도시 연장, 인천2호선 김포연결 및 영종내부순환선 1단계 등이 가능성이 있을 것으로 판단됨.
- 서울 7호선 청라국제도시 연장선의 경우 투자시기를 2018년부터 계획하고 있으나 현재 사업 진척이 이루어지지 않아 해당 시기 투자계획이 불투명하고, 7호선 연장의 특성상 중전철 시스템이 도입될 가능성이 높아 보이며, 인천 2호선 김포연결의 경우 경량전철 시스템으로 제안되어 있으나, 경기도 도시철도망 구축과 맞물려 있어 사업추진에 어려움이 예상됨.

(5) 대구광역시

- 공개된 대구광역시 도시철도망 구축계획의 4개 노선 중 1호선 하양연장선은 사업이 확정되어 시설계가 진행 중이므로 시범사업 적용이 어려울 것으로 보이며,
- 엑스코선과 3호선 혁신도시 연장선은 모노레일로, 순환선은 트램이 유력한 상황으로 모두 경량전철 시스템을 제시하고 있으나, 엑스코선과 3호선 혁신도시 연장선은 도시철도망 구축계획의 투자시기 상 2017년부터 되어 있음에도 현재 사업이 불투명한 상황이고, 순환선은 투자우선순위가 낮아 시범사업 적용이 어려울 것으로 판단됨.

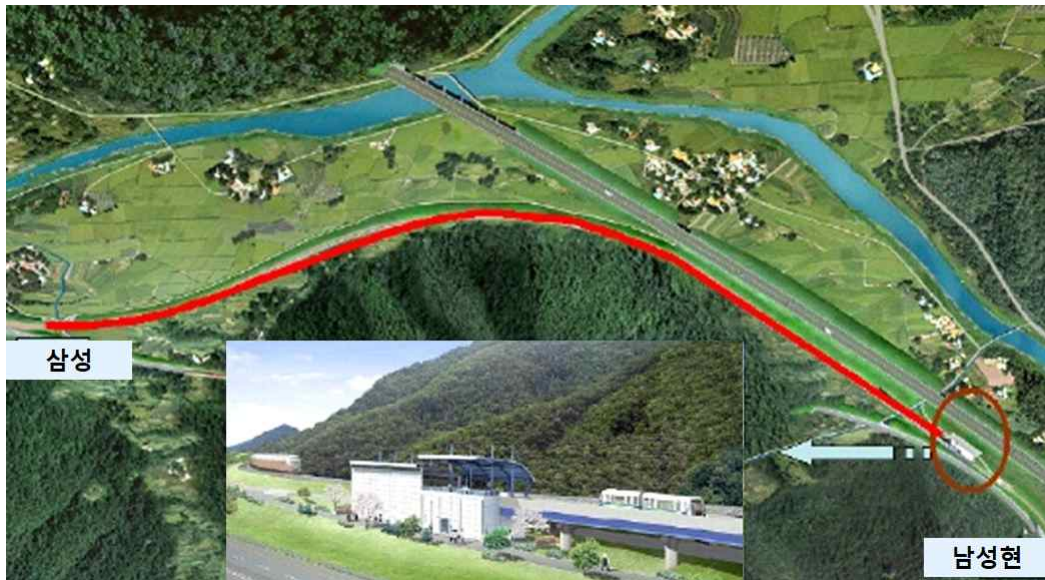
○ 시범사업 대상 후보 노선 제시

- 국내 주요 도시철도 운영 지자체인 서울, 부산, 인천, 대구 및 경기도의 도시철도망 구축계획을 기준으로 사업시점, 건설방식, 차량선정 및 투자우선순위 등을 종합 검토한 결과, 사업대상 후보노선으로 가능성이 높은 노선으로는 부산 하단~녹산선, 강서선과 경기 성남2호선 및 인천 김포연결선이다.

<시범사업 대상 후보노선>

구분	노선명	노 선 현 황		사업비 (억원)	B/C	개통시기 투자시기	비 고
		연장 (Km)	정거장 (개소)				
부산	하단~녹산선	14.4	13	10,477	0.864	2026~2037	K-AGT
	강서선	21.3	24	5,241	1.047	2026~2035	트램
경기	성남2호선	13.70	17	3,468	1.02	-	트램
인천	인천2호선 김포연결선	7.24	5	6,469	1.36	2020~2027	철제차륜 AGT

- 다만, 시범사업 대상 후보노선은 도시철도망 구축계획을 근거로 제시한 것이며, 대내·외 환경 변화에 따라 대상 후보노선이 변할 수 있음. 따라서, 위에 제시한 후보노선 이 외의 대안으로서, 현재 경북 경산시에 구축되어 있는 시험선 또한 경량전철용으로 건설되었고 지상구간이므로 본 과업의 시범사업 대상 테스트베드로 활용 가능할 것으로 판단됨.



<한국철도기술연구원 경산 K-AGT 시험선(연장 2.4km)>

- 본 과업의 시범사업 추진을 위해 지자체별 신규 도시철도 구축 진행상황을 예의주시하여 대응하고, 신규 건설 노선의 시범사업 적용 시 또는 경산 시험선 적용에 따른 실효성 등을 종합적으로 검토하여 탄력적으로 시범 사업방안 계획 수립 및 추진해야 할 것으로 판단됨.

○ 시범사업 소요예산 검토

- 일반적인 도시철도용 고가구조물 건설비가 Km 당 약 300억원이 소요되므로, 경전철용 장경간·경량의 슬림형 고가구조물 실용화 시범사업의 고가구조물 연장을 총 400M(경간 100M+200M+100M)로 하였을 때 고가구조물 공사비만 최소 120억원 이상으로 순수 R&D비용 대비 상당한 건설비용이 소요될 것으로 판단되므로,
- 정부예산을 고려하되 장경간 고가구조물 구현이라는 시범사업의 취지를 고려하여, 시범사업은 총 연장 220M(경간 60M+100M+60M)로 하고, 실차 주행을 위한 E&M 설비, 주행로 등의 기타 시설 구축비, 성능시험 연구비 등을 포함하여 96억원의 예산이 소요될 것으로 검토됨.

(단위: 백만원)

구분	소요 예산
고가구조물	7,000
주행로(분기기 포함)	532
E&M	1,500
실차주행 성능검증	500
기타 부대비	68
합계	9,600

- 이상의 정책·시장·기술 동향 및 기술현황 분석 결과를 종합적으로 분석하여 강점(Strength), 약점(Weakness), 기회(Opportunity), 위협(Threat) 요인을 분석하여 기술개발 타당성을 검토하였다.
- 신소재, ICT 기술 등의 첨단기술이 접목된 미래 지향적인 경전철 인프라 기술 확보를 위한 첫 단계로서 도시경관을 고려하여, 경제적이면서도 안전한 200m 장경간의 도시경전철 고가구조물 기술 개발이 본과제의 목표이다.
- 아래의 SWOT 분석 결과에서 보듯이, 200m 장경간의 도시경전철용 고가구조물 기술은 세계 최초 기술인 데다가 첨단 신소재의 철도 인프라 분야 접목이 이제 막 걸음마 단계로서 고위험성은 내재하지만, 이미 국가R&D사업을 통해 초장대교량, 고속철도교량 등의 교량 기술을 확보하고 있는데다가 국내 기업의 고성능 신소재 생산 기반 및 차량, 항공기 등 타분야 부품 개발에 신소재 접목 경험을 기 확보하고 있어 성공 가능성이 충분히 높은 것으로 판단된다. 게다가, 기술개발 성공 시 이 분야 기술 선점을 통한 해외 기술 경쟁력 확보로 세계 기술 우위 확보에 의한 해외시장 선점이 가능할 것으로 판단된다.

<SWOT 분석>

강점(Strength)	약점(Weakness)
■ 국내 자체 고무차륜형 경전철 시스템(K-AGT) 구축 기술 확보 ■ 국가R&D사업을 통한 초장대교량 기술 및 고속철도교량 기술 확보 ■ 국내 고성능 신소재 생산 기반 기술 확보 (고성능 콘크리트, FRP 등 고분자 복합소재, 엔지니어링 플라스틱 등) ■ 국내 기업의 차량, 항공기 등 타분야 부품 개발시 신소재 접목 경험 다량 보유	■ 첨단 신소재의 철도 인프라 분야에의 접목기술 걸음마 수준 ■ 국내 철도관련 기업의 첨단 신소재 적용에 대한 경험 부족 ■ 개발대상 기술이 세계 최초 시도 기술로 고위험성 내재
기회(Opportunity)	위협(Threat)
■ 국내·외 경전철 시장의 지속적인 확대 전망 ■ 미래 도시화 트렌드에 따른 도시교통수단 확충 전망 ■ 탄소배출저감, 지구온난화 등 기후보호 정책 강화에 따른 친환경 대중교통수단 확충 예상 ■ 개발대상 기술이 세계 최초 기술로서, 성공시 이 분야 기술 선점 기회	■ 제한적인 국내 경전철 시장 수요 ■ 국내 지자체의 신규 연구개발성과의 실 노선 적용에 대한 보수적인 자세 ■ 국외시장 진출에 대한 정부 지원 부족

- (정책동향) 선진국을 중심으로 발표되는 교통체계 관련 정책은 환경친화적이고 쾌적한 생활공간 구축에 초점이 맞춰져 있으며, 이의 실현을 위한 첨단기술의 적극적 융합을 촉진하는 방향으로 설정되어 있음
 - 우리나라 정책 역시 친환경 성장형 교통체계 구축, 선진국 수준의 교통서비스 제공을 목표로 설정하고 첨단 ICT, 복합소재 기술 등을 적극 활용한 기반시설 구축을 지향
 - 영국 및 프랑스 등 주요 선진국 역시 안전성과 효율성, 탄소 저감에 기반을 둔 친환경 교통체계 구축을 목표로 설정하고 있으며, 일본 역시 관련 정책들에서 고속화와 함께 고효율 에너지형, 저비용의 편리성을 강조하고 있음
 - 우리나라를 포함한 주요 선진국의 철도교통 관련 정책 역시 이러한 기조에 발맞추어 친환경 기반의 지속가능한 이동성을 지향하고 있음

→ 향후 예상되는 정책수요를 감안할 때 경전철의 발전방향은 친환경과 효율성 등에 기반을 둔 편의성 증대라는 가치를 실현하는 것이 핵심

- (시장동향) 도시인구의 증가 지속, 공간 활용의 한계, 이동 편의성 및 경제성 확보 요구 증대 등을 해결할 수 있는 최적의 대안으로 도심 내 도심 간 경전철 체계 관련 시장은 지속적 성장을 보이고 있는 상황
 - 서울, 부산 등을 포함한 인구밀집 지역을 중심으로 경전철 체계 도입을 위한 다양한 수요가 창출되어 국내 시장은 지속적으로 성장하고 있으며, 특히 이동 편의성 뿐 아니라 경제성, 도심 공간 활용 효율성을 극대화할 수 있는 시장으로 확대될 전망
 - 세계시장은 인도, 동남아시아, 중동 등 인프라 구축이 지속적으로 이루어져야 하는 국가를 중심으로 시장규모가 확대되고 있으며, 이러한 추세에 따라 상대적으로 경제성이 높은 경전철 관련 시장도 확대되고 있는 상황

→ 경전철 시장은 국내시장 뿐 아니라 세계시장 역시 지속적으로 성장할 것으로 전망되며, 이에 대응하기 위한 선도적 접근이 필요

- (기술동향) 경전철 관련 기술은 기존의 한계를 극복할 수 있는 새로운 시도들이 다양하게 이루어지고 첨단 ICT, 소재기술 등이 적극적으로 접목되어 성능개선이 이루어지고 있는 상황
 - 우리나라는 미래선도형 고가구조물 분야에서 장대화 및 경량화기술 등의 특허출원이 활발하며, 유지관리, 시공 관련 기술도 개발이 활발하며, 이는 경전철용 수요증가에 대응한 것으로 보임
 - 일본의 경우는 유지관리기술 관련 특허출원 비중이 높고 시공, 장대화 및 초경량화 기술개발도 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타나며, 미국 및 EU 등은 특허출원 등은 활발하지 않으나

여러 분야에서 우리나라 대비 상대적 기술적 우위를 보이는 것으로 나타남

- 선진국 대비 우리나라는 일반교량 고가교 설계 및 시공기술, 프리캐스트 제작·시공기술, 수동 제진기술, 구조물 변위 측정 기술 등 일부에 있어 경쟁력이 있으나, 대부분의 관련 기술에 있어 열위인 것으로 나타남

→ 기존 교통체계가 가진 한계를 극복하고 새로운 정책 및 시장수요를 수용할 수 있는 경전철 개발을 위해서는 세계적 수준의 성능을 갖는 기술개발에 대한 투자가 지속될 필요

- (인프라·인력) 구조물 설계 및 해석분야, 장경간 교량 설계 등 관련 기술개발에 활용 가능한 국내 전문인력은 충분할 것으로 판단되며 구조물 제작 및 시공분야 역시 다수의 전문가 확보가 가능함
- 또한, 국내 대형건설사를 중심으로 구조 및 재료 실험동들이 세계적 수준으로 갖춰져 있어 해당 분야 연구를 위한 충분한 인프라가 확보되어 있는 상황
- 신소재 분야에 있어서도 초고성능 콘크리트, 고분자 복합소재 등 관련 분야의 전문인력 및 인프라 확충이 상당히 이루어져 있음
- 다만, 구조물 진동제어 분야는 그 간 우리나라가 신규 건설에만 치중하면서 유지보수를 위한 투자가 미흡하여 관련 인프라 및 인력 확충이 갖추어져 가는 중으로 아직은 부족한 것이 현실

→ 미래수요 대응을 위해 필요한 기술개발 인프라 및 인력은 국내에 상당부분 확충되어 있는 것으로 판단되며 선도형 경전철체계의 실현은 향후 적극적 투자여지가 관건

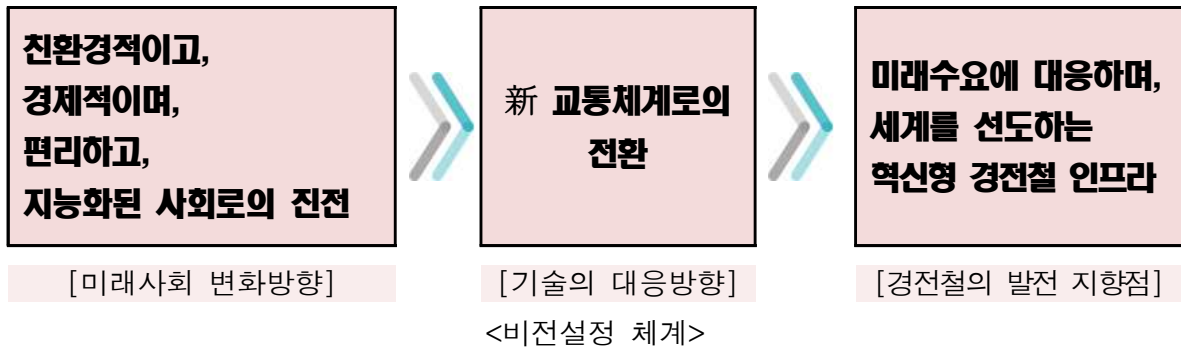
제3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표

1. 비전 및 목표

○ 연구 비전

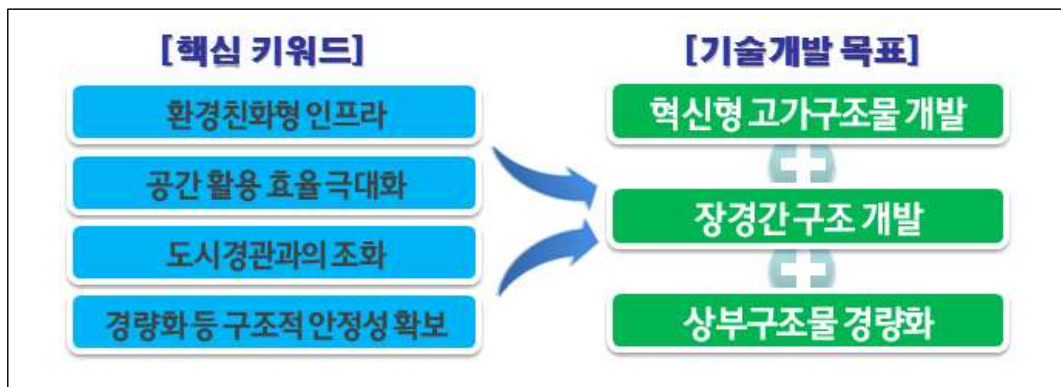
- 분석된 미래변화 방향을 담고, 이에 대응할 수 있는 기술적 대안을 체계적으로 분석하여 향후 우리나라가 지향해야할 경전철 인프라 구축방향을 설정하여 제시



- 세계 최초의 200m 이상의 장경간을 가지면서 도시 친화적이고, 인간에게 심미적으로 느껴지는 미래 지향적인 경전철용 고가구조물 구축을 위해, “세계를 선도하는 미래 지향적인 첨단 경전철 인프라 구축”이라는 비전을 수립함.

○ 연구 목적 및 목표

- 비전달성을 위한 핵심 키워드는 환경친화형 인프라, 공간 활용 효율 극대화, 조화로운 도시경관 건설, 경량화 등을 통한 구조적 안정성 등으로 설정할 수 있으며, 이를 토대로 미래 경전철의 기술개발 목표를 제시함.



- 미래 경전철 등 환경친화적인 도시철도의 지속적인 확충에 대비하여, 도시친화적이고 심미적(審美的)인 도시 환경 구현과 해외 시장의 기술 우위 확보를 통한 철도산업 경쟁력 제고를 위해, 도시경관을 고려한 세계 최초의 경전철용 신형식 고가구조물(Sky-guideway)* 개발

* 경전철용 신형식 고가구조물(Sky-guideway): 도시경관을 고려하고 도시공간의 효율적 활용을 극대화한, 안전하고 경제적이며 심미적인 장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물(경간 200m이상)

- 목표 달성을 위한 추진전략으로서, 장경간(200m 이상)의 신형식 고가구조물 설계·제작·구축 기술 개발과 함께 신형식 구조 및 첨단 신소재를 적용을 통한 구조물의 경량화* 기술 개발을 전략 목표로 설정함.

* 200m 경간을 기존 강재 박스 거더 형식의 교량의 시공하는 경우 상부구조의 강재 박스 중량이 m²당 400~500kg이며, 개발 구조물의 강재 중량은 320kg 정도로 예측되며 신소재가 적용된 부부재 중량을 고려하더라도 20% 이상의 경량화가 가능할 것으로 예상되어 이를 목표로 정함.

비전

세계를 선도하는 미래 지향적인 첨단 경전철 인프라 구축

목표

도시경관을 고려하여, 경제적이면서도 안전한

세계 선도형 경전철 고가구조물(Sky-guideway) 개발

- 장경간화 (200m 이상)
- 구조물 경량화 (20% 이상)

도시친화적·심미적인 도시환경 구현 및 해외 철도산업 경쟁력 제고

<비전 및 목표>

2. 세부 연구과제별 목표

- 아래 Big Picture에서 나타낸 바와 같이, 도시경관을 고려하여 심미적이고, 도시공간의 효율적 활용을 극대화한, 안전하면서도 경제적인 장경간의 경전철의 고가구조물의 주요 연구개발 핵심 기술은 경전철 고가구조물 설계기준, 장경간 구현 및 제진 기술, 비정형·개방형 구조물 설계·제작 기술, 스마트 구조물 시공기술, 구조물 자가 상태관리 기술 등임.



<경전철 신형식 고가구조물의 주요 핵심 기술>

- 장경간의 신형식 경전철용 고가구조물 개발을 위해, 신형식 구조 설계기술, 신소재 융합기술, 신형식 고가구조물 제작 및 시공 기술, 신형식 고가구조물의 진동 제어 및 상태 관리 기술의 4 가지 요소기술별로 세부 연구과제를 구성하였으며, 세부과제별 목표를 기술함.

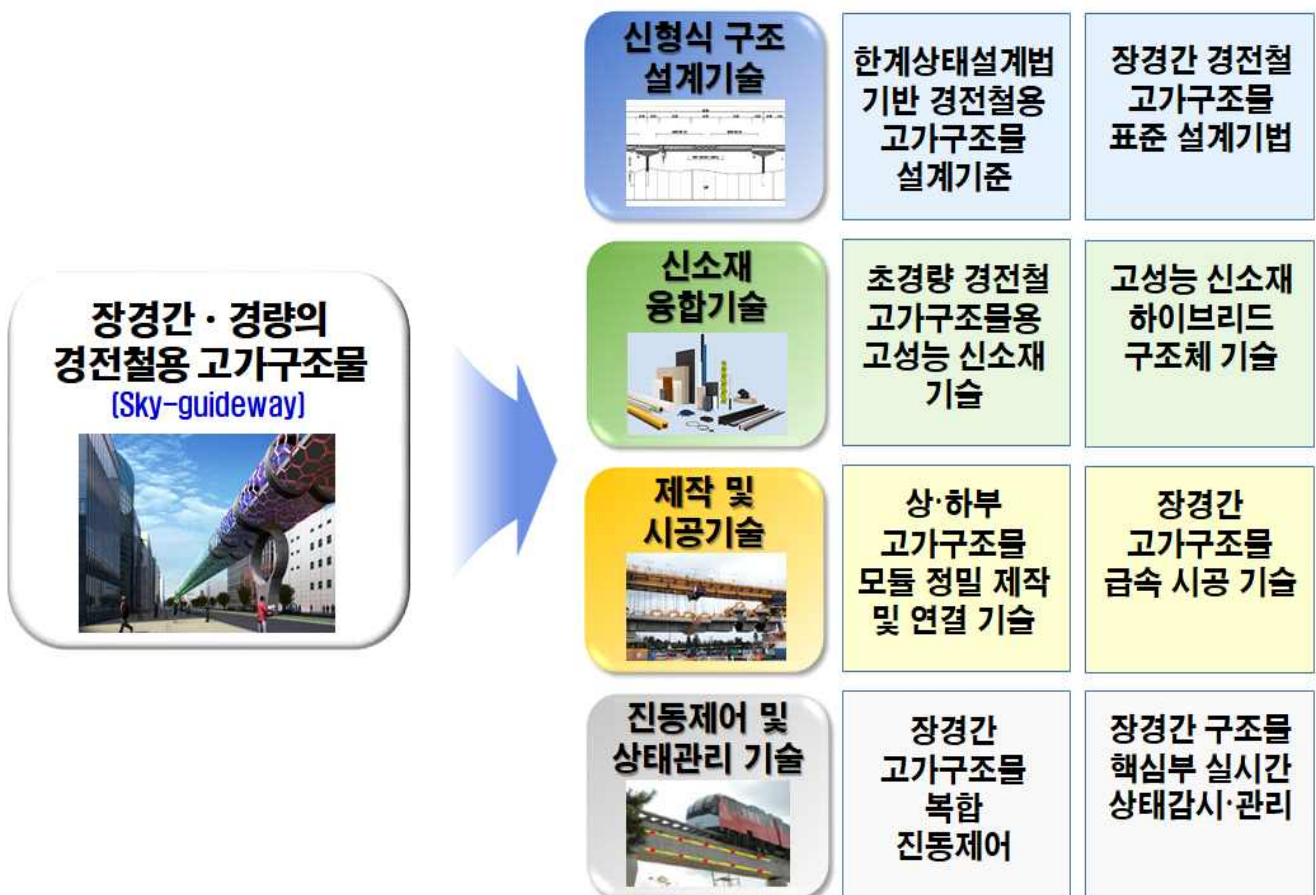
- ① 경전철용 신형식 고가구조물 설계기술 개발
 - 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준
 - 장경간·경량의 도시친화적인 신형식 고가구조 설계기술
 - 고가구조물의 장경간(200m) 구현을 위한 상·하부 인터페이스 기술
 - 경전철용 신형식 고가구조물 표준 설계기법
- ② 신소재 융합기술 연구
 - 경전철용 고가구조물의 경량화를 위한 고성능 신소재 융합 하이브리드 구조체 연구

③ 경전철용 신형식 고가구조물 제작·시공 기술 개발

- 비정형 상·하부 구조물 모듈의 고성능 신소재 등을 이용한 정밀제작 기술
- 비정형 구조물 모듈간 정밀연결 기술
- 장경간 구조의 신축 제어 기술
- ICT 기반의 장경간 고가구조물의 스마트 급속 정밀 시공 및 관리 기술

④ 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리 기술 개발

- 신형식 고가구조물의 효율적인 통합 진동제어기술
- 신형식 고가구조물의 주요 취약부 내장형 실시간 자가 상태감시 기술



<요소기술별 세부 연구분야>

○ 도시친화적이고 미래 지향적인 경전철 고가구조물 미래상



<경전철 고가구조물 미래상>

- 경간 200m 이상의 장경간을 가지며, 도시 조형물 같은 비정형 구조의 개방감 있는 경전철용 고가구조물인데다가 태양광 자가 전력을 이용한 야간 조명 구현으로, 도시친화적이고 시민에게 주야간 심미적인 경전철용 고가구조물로 도시미관을 개선시키고,
- 고가 하부구조물의 최소화 시공으로 경제적인 시공이 가능하고, 상부도로 점거 최소화에 따라 도로교통 혼잡 최소화 및 제한된 도시공간의 효율적 활용이 가능해지며,
- 상부 구조물의 물량을 줄인데다가, 도로, 하천 등 지형조건 영향을 덜 받아 선형조건이 유리하여 구조물 총 연장의 최소화 시공이 가능하여 경제성 향상이 기대되며,
- 겨울철, 강설로 인한 결빙 사고를 근원적으로 차단 가능한 상부 구조로 경전철 운행 안전에도 도움이 될 것으로 판단됨.

As Is
○ 일반 철도교 형식(경간 20~50m)의 육중한 상·하부 구조물로 인한 도시경관 훼손 ○ 도로를 따라 조밀한 교각 시공에 의한 상부 도로 잠식 및 교통 혼잡 가중 ○ 도로, 하천 등 지형조건을 고려한 시공으로 구조물 연장 증가 불가피 ○ 겨울철, 강설 및 결빙에 따른 운행정지 등 빈번한 사고 발생

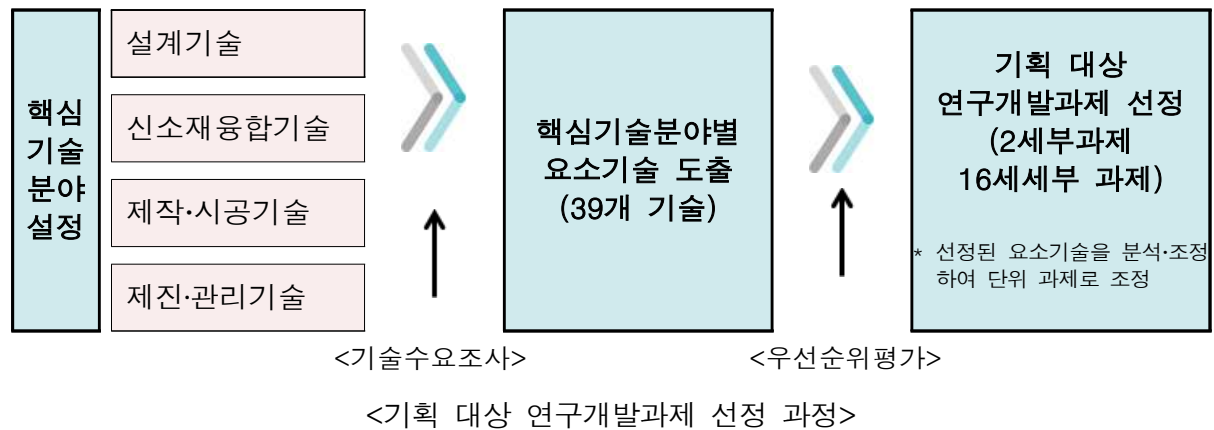
To Be
○ 장경간(200m 이상) 구조 형식의 도시환경과 어우러지는 고가구조물 구현 (심미성) ○ 하부구조물의 최소화 시공으로 도로 잠식 최소화 (공간활용 효율성) ○ 도로, 하천 등 지형 영향 최소화를 통한 구조물 최단 연장 시공 (경제성) ○ 겨울철 강설, 결빙에 따른 운행정지 등 사고 근원적 차단 (안전성)

<기술개발에 따른 미래상(To-Be)>

3절. 기술수요조사 및 세부기술 도출

○ 기획 대상 연구개발 과제 선정 절차

- 연구목표 달성을 위해 반드시 확보가 필요한 핵심기술분야를 선정하고 분야별 최적의 기술대안 모색을 위해 자문위원회, 산업계, 학계, 연구계로부터 다양한 기술을 제안 받음



- 제안된 기술에 대해서는 각 각에 대해 기술개발 필요성, 시급성, 기술의 상대적 우수성, 목표 부합성, 파급성, 성공 가능성 등에 대한 평가를 수행하여 연구목표 달성을 위한 최적의 기술대안을 선정하여 제시

○ 기술수요조사 개요

- 기획 참여 중인 주관 및 공동연구기관과 외부전문가로 구성된 기획자문위원회를 통하여 2차례의 검토회의를 걸쳐 기술수요조사를 실시하였으며, 총 39건의 기술수요과제가 도출됨.

○ 기술수요조사 결과

- 기술수요 제안 기관으로는 산업체 21개 과제, 학교 14개 과제, 연구기관 4개 과제임.
- 기술수요조사 현황을 분석한 결과, 설계기술 분야 8개 과제, 신소재융합기술 분야 6개 과제, 제작시공기술 분야 14개 과제, 제진관리기술 분야 11개 과제로 제안됨.
- 설계기술 분야에서는 설계사 및 소프트웨어 개발사, 연구원, 학교 순으로 제안하였고, 신소재융합기술 분야는 산학연 고루 기술수요 제안함.
- 제작시공기술 분야는 특성상 제작사 및 시공사 등의 산업체 위주로 제안하였고, 제진관리기술 분야는 학교 위주로 제안함.

<기관별 · 분야별 기술수요조사 결과>

구분		요소 기술				계
		설계기술	신소재융합기술	제작시공기술	제진관리기술	
제안 기관	산업체	5	2	13	1	21
	학 교	1	2	1	10	14
	연구원	2	2	-	-	4
	계	8	6	14	11	39

- 설계기술, 신소재융합기술, 제작시공기술, 제진·관리기술 각 요소기술의 세분류별로 기술수요 제안과제를 매칭하면 아래와 같음.

<설계기술 분야 기술수요조사 제안과제>

대분류	세분류	기술수요조사 과제명 [제안기관]
경전철용 고가구조물 설계기술	경전철용 고가구조물 설계기준	실차주행시험을 통한 경전철용 고가구조물 설계하중 연구[연]
		한계상태설계법 기반 경전철 고가구조물 설계기준 연구[연]
		도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 한계상태설계법 개발[산]
	경전철용 고가구조물 설계기법	도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 최적설계기법 개발[산]
		경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway)용 상부 블럭유닛 연결부 설계기법 개발[산]
		비정형 개방 튜브형 고가구조물 설계기술 개발[학]
		도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway)용 최적화기법 및 프로그램 개발[산]
		도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway)의 위험도평가 및 LCC 최적설계[산]

<신소재융합기술 분야 기술수요조사 제안과제>

대분류	세분류	기술수요조사 과제명
신소재 융합기술	초경량 고가구조물용 고성능 신소재 기술	장경간·경량·심미적 스카이 가이드웨이 구현을 위한 다목적 고성능 콘크리트 개발[산]
	고성능 신소재 하이브리드 구조체 기술	장경간·경량의 스카이 가이드웨이 상부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발[연]
		신형식 스카이 가이드웨이 하부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발[연]
		경제적이고 경량화된 Deck 신소재 개발[산]
		100m 이상 장경간 거더형 경전철 고가구조물용 경량 바닥판 구조개발[학]
		경량콘크리트 및 FRP 보강근 보강 경량슬래브 트랙 개발[학]

<제작시공기술 분야 기술수요조사 제안과제>

대분류	세분류	기술수요조사 과제명
경전철용 고가구조물 제작 및 시공 기술	상부 고가구조물 정밀 제작 및 연결 기술	ICT 기반 비정형 개방 튜브 Module 정밀 제작 · 시공 기술 개발[산]
		비정형 개방 튜브 Module간 연결부 개발 및 검증[산]
		이 가이드웨이 상부 구조물 EASY SNAP-FIT BLOCK UNIT 개발 및 제작기술 개발[산]
		Sky Guideway 상부 Honey Comb 구조의 효율적 연결단위 구성방법 및 연결방법 개발[산]
	하부 고가구조물 정밀 제작 기술	Sky Guideway 처짐제어 및 구조보강을 위한 Cable Stayed Pier System 개발[산]
		Sky Guideway 처짐 제어를 위한 Cable Stayed Pier 개발[산]
		Sky Guideway 하부 기초 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발[산]
		고성능 영구 구조부재 거푸집 패널 제작 및 조립기술 개발[산]
	장경간 고가구조물 가설 시공 기술	도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 신축 및 하중전달 시스템 기술 개발[산]
		도심지 경전철의 경관 및 미적 요소를 극대화하기 위한 FORM의 기술 개발[산]
		도심지용 장경간 교량 상부 가설을 위한 조립식 자가 승강형 다기능 작업대 기술 개발[산]
		Sky Guideway 상부 구조물 가설을 위한 효율적인 가설장비의 개발[산]
		드론 기반 도심지 실시간 공간정보를 활용한 장경간 경전철 고가구조 제작 및 시공관리 기술 개발[산]
		비전 센서 및 드론을 이용한 급속 정밀 시공 가이드 시스템[학]

<제진·관리기술 분야 기술수요조사 제안과제>

대분류	세분류	기술수요조사 과제명
경전철용 고가구조물 제진관리 기술	장경간 고가구조물 진동제어 기술	경전철 고가구조물의 내진 성능 향상 기술 개발[학]
		차량하중을 받는 경전철 고가구조물의 진동 저감 기술[학]
		경전철 고가구조물의 내풍안정성 평가 및 풍진동 제어 시스템 개발[학]
		경전철 고가구조물 진동제어 시스템의 성능검증 기술개발[산]
	경전철용 고가구조물 상태관리 기술	장경간 고가구조물 정밀 변위 계측 시스템 구축[학] (가속도, GPS, 속도, 변형률계 통합)
		열화상 카메라를 활용한 구조물 균열, 부식 및 도장 두께 검사 시스템 개발[학]
		내장형 센서를 이용한 케이블 장력 상시 계측 시스템 구축[학]
		BIM/클라우드 컴퓨팅을 활용한 계측 신호 관리 및 가시화 기술 개발[학]
		LiDAR/드론을 활용한 Precast 부재 형상관리 기술 개발[학]
		태양광, 풍력, 진동 등을 활용한 에너지 하베스팅 기술 개발[학]
		강재 및 볼트체결부 국부 피로균열/볼트풀림 상시 계측 무선 센서 개발[학]

○ 기술수요과제 우선순위 결정

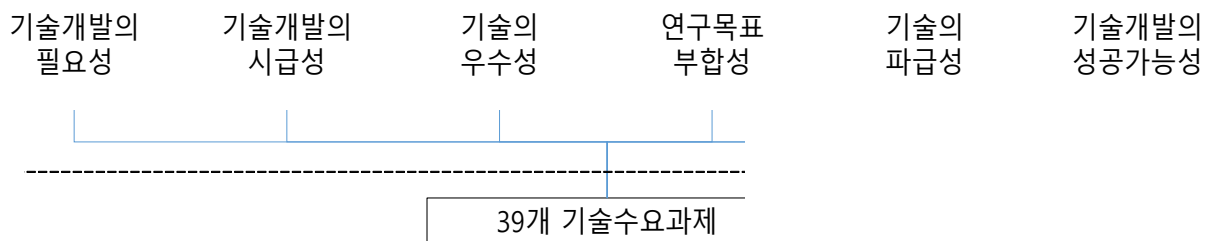
- 4차 기획자문위원회를 통해, 계층분석적 의사결정 방법(Analytic Hierarchy Process: AHP)*을 이용하여 상기 39개 기술수요과제의 우선순위를 결정함.

*계층분석적 의사결정 방법(AHP): 여러 대안에 대한 평가항목들을 계층화한 후, 평가항목 간 상대적 중요도를 측정하여 최적의 대안을 종합적으로 판단하는 의사결정 기법

- 기술수요과제의 우선순위를 결정하기 위해, 아래 그림과 같이 제1계층으로 기술개발의 필요성, 기술개발의 시급성, 기술의 우수성, 기술6가지 평가지표를 갖는 AHP 계층구조를 설계함.

경전철용 신형식 고가구조물
기술수요과제 선정

제1계층

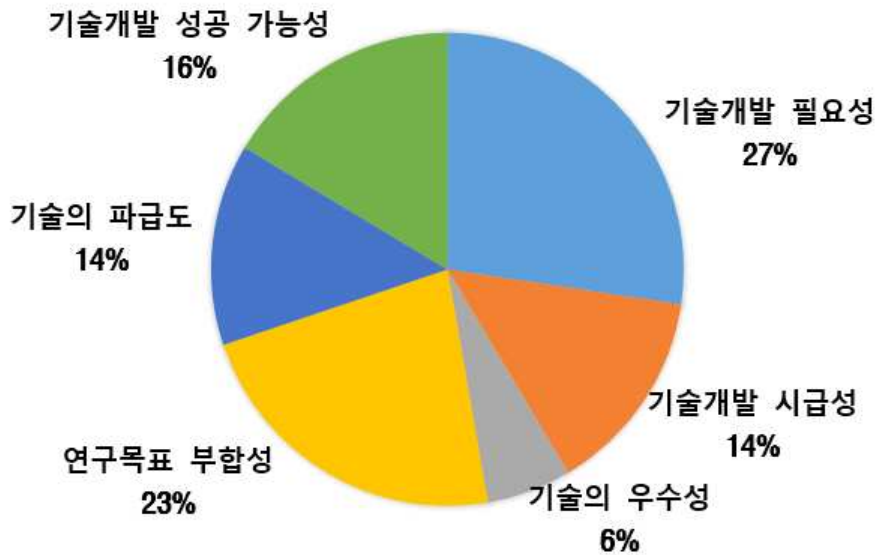


<기술수요과제 우선순위 평가 위한 AHP 계층구조>

- 6가지 평가지표에 대하여 ‘쌍대비교(pairwise comparison)’를 통해, 각 평가지표 간 상대적 중요도인 가중치를 모델을 구축하였으며, 최종 결정된 가중치는 아래 표와 같음.
- 39개 기술수요과제별로 6가지 평가지표에 따라 5점 척도 평가를 실시하였고, 5점 척도 점수에 평가기준별 가중치를 곱한 점수를 합산하여 최종 5점 만점의 평가점수를 산정하였으며, 평가점수가 높은 순으로 우선순위를 결정하였음.

<기술수요과제 평가지표>

평가지표	지표 설명	가중치
기술개발 필요성	도시경전철 신형식 고가구조물 구현을 위해 반드시 필요한 기술인가?	27.4%
기술개발 시급성	도시경전철 신형식 고가구조물 구현을 위해 시급히 개발이 필요한 기술인가?	14.1%
기술의 우수성	제안 기술이 미래지향적이고, 세계를 선도할 만한 우수한 기술인가?	5.8%
연구목표 부합성	제안 기술이 도시경전철용 신형식 고가구조물 개발 목표 달성에 부합하는 기술인가?	22.6%
기술의 파급성	제안 기술의 성공적인 개발 시 과학기술적, 사회·경제적 파급효과가 큰 기술인가?	13.8%
기술개발 성공 가능성	제안 기술이 연구역량을 감안하여 연구기간 내 성공적으로 개발 가능한 기술인가?	16.4%
합계		100%



<평가지표 가중치>

- 우선순위 평가지표의 가중치를 고려한 39개 기술수요과제의 우선순위 결과를 아래 표와 같이 우선순위가 높은 순으로 나타냄.

순위	기술수요 과제명	평가점수
1	ICT 기반 비정형 개방 튜브 모듈 정밀 제작·시공 기술 개발	4.316
2	비정형 개방 튜브 모듈간 연결부 개발 및 검증	4.210
3	도시경전철용 스카이 가이드웨이 한계상태설계기법 개발	4.204
4	100m 이상 장경간 거더형 경전철 고가구조물용 경량 바닥판 구조개발	4.191
5	스카이 가이드웨이 상부 허니콤 구조의 효율적 연결단위 구성방법 및 연결방법 개발	4.182
6	도시경전철용 스카이 가이드웨이 최적설계기법 개발	4.175
7	한계상태설계법 기반 경전철 고가구조물 설계기준 연구	4.174
8	스카이 가이드웨이 처짐제어 및 구조보강을 위한 Cable Stayed Pier System 개발	4.172

9	비정형 개방 튜브형 고가구조물 설계기술 개발	4.172
10	실차주행시험을 통한 경전철용 고가구조물 설계하중 연구	4.122
11	차량하중을 받는 경전철 고가구조물의 진동 저감 기술	4.116
12	경제적이고 경량화된 Deck 신소재 개발	4.116
13	스카이 가이드웨이 처짐 제어를 위한 Cable Stayed Pier 개발	4.100
14	장경간경량의 스카이 가이드웨이 상부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발	4.074
15	스카이 가이드웨이 상부구조물 EASY SNAP-FIT BLOCK UNIT 개발 및 제작기술 개발	4.028
16	스카이 가이드웨이 상부구조물 가설을 위한 효율적인 가설장비 개발	4.012
17	드론 기반 도심지 실시간 공간정보를 활용한 장경간 경전철 고가구조 제작 및 시공관리 기술 개발	4.002
18	비전 센서 및 드론을 이용한 급속 정밀 시공 가이드 시스템	3.998
19	경전철 고가구조물의 내풍안정성 평가 및 풍진동 제어시스템 개발	3.975
20	경전철용 스카이 가이드웨이용 상부 블럭유닛 연결부 설계기법 개발	3.955
21	신형식 스카이 가이드웨이 하부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발	3.947
22	스카이 가이드웨이 하부 기초 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발	3.918
23	LiDAR/드론을 활용한 프리캐스트 부재 형상관리 기술 개발	3.894
24	장경간 고가구조물 정밀 변위 계측시스템 구축(가속도, GPS, 속도, 변형률계 통합)	3.866
25	고성능 영구 구조부재 거푸집 패널 제작 및 조립기술 개발	3.795
26	내장형 센서를 이용한 케이블 장력 상시 계측시스템 구축	3.792
27	도심지용 장경간 교량 상부 가설을 위한 조립식 자가 승강형 다기능 작업대 기술 개발	3.785
28	도시경전철용 스카이 가이드웨이 신축 및 하중전달 시스템 기술 개발	3.784
29	경전철 고가구조물 진동제어 시스템의 성능검증 기술개발	3.770
30	장경간.경량.심미적 스카이 가이드웨이 구현을 위한 다목적 고성능 콘크리트 개발	3.712
31	도심지 경전철의 경관 및 미적 요소를 극대화하기 위한 FORM 기술개발	3.674
32	경전철 고가구조물의 내진 성능 향상 기술 개발	3.640
33	경량콘크리트 및 FRP 보강근 보강 경량 슬래브 트랙 개발	3.552
34	BIM/클라우드 컴퓨팅을 활용한 계측 신호 관리 및 가시화 기술	3.471
35	태양광, 풍력, 진동 등을 활용한 에너지 하베스팅 기술	3.433
36	도시경전철용 스카이 가이드웨이의 위험도평가 및 LCC 최적설계	3.420
37	도시경전철용 스카이 가이드웨이용 최적화기법 및 프로그램 개발	3.408
38	강재 및 볼트체결부 국부 피로균열/볼트풀림 상시 계측 무선센서 개발	3.393
39	열화상 카메라를 활용한 구조물 균열, 부식 및 도장 두께 검사시스템 개발	3.207

평균	3.891
----	-------

- 기술수요과제별 우선순위 평가지표에 따른 상세 평가결과는 다음과 같음.

분야	기술수요 과제명	평가지표						평가 점수	우선 순위
		필요성	시급성	우수성	목표 부합성	파급성	개발 가능성		
		27.4%	14.1%	5.8%	22.6%	13.8%	16.4%		
설계 기술	실차주행시험을 통한 경전철용 고가구조물 설계하중 연구	1.20	0.59	0.20	0.90	0.50	0.73	4.122	10
	한계상태설계법 기반 경전철 고가구조물 설계기준 연구	1.22	0.54	0.20	0.89	0.55	0.77	4.174	7
	도시경전철용 스카이 가이드웨이 최적설계기법 개발	1.18	0.56	0.22	0.96	0.52	0.73	4.175	6
	도시경전철용 스카이 가이드웨이 한계상태설계기법 개발	1.22	0.56	0.22	0.94	0.54	0.72	4.204	3
	경전철용 스카이 가이드웨이용 상부 블럭유닛 연결부 설계기법 개발	1.18	0.52	0.21	0.89	0.51	0.64	3.955	20
	비정형 개방 튜브형 고가구조물 설계기술 개발	1.20	0.55	0.24	0.96	0.53	0.69	4.172	9
	도시경전철용 스카이 가이드웨이용 최적화기법 및 프로그램 개발	0.93	0.43	0.19	0.85	0.44	0.57	3.408	37
	도시경전철용 스카이 가이드웨이의 위험도평가 및 LCC 최적설계	0.99	0.43	0.18	0.80	0.42	0.59	3.420	36
신소재 융합 기술	장경간.경량의 스카이 가이드웨이 상부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발	1.18	0.54	0.23	0.96	0.52	0.64	4.074	14
	신형식 스카이 가이드웨이 하부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발	1.14	0.51	0.22	0.92	0.50	0.66	3.947	21
	100m 이상 장경간 거더형 경전철 고가구조물용 경량 바닥판 구조개발	1.22	0.57	0.23	0.94	0.54	0.68	4.191	4
	장경간.경량.심미적 스카이 가이드웨이 구현을 위한 다목적 고성능 콘크리트 개발	1.01	0.50	0.21	0.83	0.49	0.67	3.712	30
	경량콘크리트 및 FRP 보강근 보강 경량 슬래브 트랙 개발	0.99	0.47	0.20	0.76	0.48	0.66	3.552	33
	경제적이고 경량화된 Deck 신소재 개발	1.16	0.54	0.23	1.01	0.51	0.67	4.116	12
제작· 시공 기술	ICT 기반 비정형 개방 튜브 모듈 정밀 제작.시공 기술 개발	1.20	0.59	0.24	1.01	0.57	0.71	4.316	1
	비정형 개방 튜브 모듈간 연결부 개발 및 검증	1.22	0.59	0.24	0.94	0.52	0.71	4.210	2

	스카이 가이드웨이 상부구조물 EASY SNAP-FIT BLOCK UNIT 개발 및 제작기술 개발	1.14	0.55	0.23	0.89	0.50	0.72	4.028	15
	스카이 가이드웨이 처짐제어 및 구조보강을 위한 Cable Stayed Pier System 개발	1.20	0.56	0.25	0.94	0.54	0.68	4.172	8
	스카이 가이드웨이 상부 허니콤 구조의 효율적 연결단위 구성방법 및 연결방법 개발	1.22	0.60	0.22	0.94	0.52	0.68	4.182	5
	스카이 가이드웨이 처짐 제어를 위한 Cable Stayed Pier 개발	1.18	0.55	0.24	0.94	0.53	0.66	4.100	13
	스카이 가이드웨이 하부 기초 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발	1.07	0.52	0.21	0.87	0.52	0.72	3.918	22
	고성능 영구 구조부재 거푸집 패널 제작 및 조립기술 개발	1.01	0.51	0.20	0.87	0.51	0.69	3.795	25
	도시경전철용 스카이 가이드웨이 신축 및 하중전달 시스템 기술 개발	1.07	0.51	0.21	0.85	0.48	0.66	3.784	28
	도심지 경전철의 경관 및 미적 요소를 극대화하기 위한 FORM 기술개발	1.01	0.44	0.19	0.85	0.47	0.71	3.674	31
	도심지용 장경간 교량 상부 가설을 위한 조립식 자가 승강형 다기능 작업대 기술 개발	1.10	0.48	0.21	0.83	0.50	0.67	3.785	27
	스카이 가이드웨이 상부구조물 가설을 위한 효율적인 가설장비 개발	1.18	0.53	0.21	0.92	0.49	0.68	4.012	16
제진· 관리 기술	경전철 고가구조물의 내진 성능 향상 기술 개발	1.05	0.48	0.21	0.78	0.48	0.64	3.640	32
	차량하중을 받는 경전철 고가구조물의 진동 저감 기술	1.22	0.56	0.24	0.90	0.52	0.67	4.116	11
	경전철 고가구조물의 내풍안정성 평가 및 풍진동 제어시스템 개발	1.14	0.55	0.23	0.87	0.53	0.66	3.975	19
	경전철 고가구조물 진동제어 시스템의 성능검증 기술개발	1.10	0.50	0.21	0.82	0.47	0.68	3.770	29
	장경간 고가구조물 정밀 변위 계측시스템 구축(가속도, GPS, 속도, 변형률계 통합)	1.14	0.52	0.23	0.80	0.50	0.68	3.866	24
	열화상 카메라를 활용한 구조물 균열, 부식 및 도장 두께 검사시스템 개발	0.86	0.40	0.20	0.66	0.42	0.66	3.207	39
	내장형 센서를 이용한 케이블 장력 상시 계측시스템 구축	1.10	0.51	0.24	0.78	0.50	0.67	3.792	26
	BIM/클라우드 컴퓨팅을 활용한 계측 신호 관리 및 가시화 기술	0.95	0.42	0.22	0.75	0.48	0.66	3.471	34
	LiDAR/드론을 활용한 프리캐스트 부재 형상관리 기술 개발	1.10	0.48	0.23	0.85	0.53	0.71	3.894	23

	태양광, 풍력, 진동 등을 활용한 에너지 하베스팅 기술	0.95	0.44	0.21	0.78	0.47	0.58	3.433	35
	강재 및 볼트체결부 국부 피로균열/볼트풀림 상시 계측 무선센서 개발	0.91	0.46	0.21	0.71	0.48	0.63	3.393	38
	비전 센서 및 드론을 이용한 급속 정밀 시공 가이드 시스템	1.14	0.53	0.25	0.85	0.54	0.68	3.998	18
	드론 기반 도심지 실시간 공간정보를 활용한 장경간 경전철 고가구조 제작 및 시공관리 기술 개발	1.18	0.52	0.23	0.87	0.53	0.67	4.002	17
	평균	1.11	0.52	0.22	0.87	0.50	0.67	3.891	

4절. 연구개발과제 구성

- 제4차 기획자문위원회를 통해, 기술수요과제에 대한 우선순위 평가 및 연구내용 등을 분석하여 기획대상과제를 아래와 같이 2개 세부과제 및 14개의 세세부과제로 선정함.
- 장경간의 경전철용 미래선도형 고가구조물 개발을 위해, 개념 설계부터 최종 제작 및 시공까지 일관성 있는 연구가 추진되도록 하고, 고가구조물의 설계·제작·시공기술 연구와 제진·관리 기술 연구 간 상호 인터페이스 연계되어 연구 추진될 수 있도록 도시 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway)의 『설계·제작·시공 기술 개발』 과제와 『제진·관리 기술 개발』 과제로 세부과제를 구성함.

<기획 대상 연구개발과제 구성>

구분		과제명
과제명		세계 선도형 경전철 고가구조물(sky-guideway) 개발
1세부과제		도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 설계·제작·시공 기술 개발
	1-1	한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구
	1-2	도시 경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발
	1-3	장경간 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계기술 개발
	1-4	상부구조물 처짐 제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계기술 개발
	1-5	고성능 신소재 융합 상부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발
	1-6	고성능 신소재 융합 하부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발
	1-7	신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발
	1-8	시공 단계에서의 ICT 기반 구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발
	1-9	신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구
	1-10	장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 실증 연구
2세부과제		도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제진·관리 기술 개발
	2-1	신형식 고가구조물 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발
	2-2	신형식 고가구조물 동적성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가
	2-3	신형식 고가구조물 제진·관리를 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발
	2-4	구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발

○ 상기 기획대상 세세부과제와 39개 기술수요조사 과제간 연관 관계는 다음 표와 같음.

구분		과제명	
연구단명		도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 개발	
세부과제		기획대상 세세부과제	39개 기술수요조사 과제(우선순위)
1세부과제		도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 설계·제작·시공 기술 개발	
	1-1	한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구	·한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구(7) ·실차주행시험을 통한 경전철용 고가구조물 설계하중 연구(10)
	1-2	도시 경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발	·도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 한계상태설계기법 개발(3) ·도시 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 최적설계기법 개발(6)
	1-3	장경간 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계기술 개발	·스카이 가이드웨이 상부 허니콤 구조의 효율적 연결단위 구성방법 및 연결방법 개발(5) ·경전철용 스카이 가이드웨이용 상부 블럭유닛 연결부 설계기법 개발(20) ·도시경전철용 스카이 가이드웨이 신축 및 하중전달 시스템 기술 개발(28)
	1-4	상부구조물 처짐제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계기술 개발	·스카이 가이드웨이 처짐제어 및 구조보강을 위한 Cable Stayed Pier System 개발(8) ·비정형 개방 튜브형 고가구조물 설계기술 개발(9)
	1-5	고성능 신소재 융합 상부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	·비정형 개방 튜브 모듈간 연결부 개발 및 검증(2) ·100m이상 장경간 거더형 경전철 고가구조물용 경량 바닥판 구조 개발(4) ·경제적이고 경량화된 Deck 신소재 개발(12) ·장경간·경량의 스카이 가이드웨이 상부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발(14) ·스카이 가이드웨이 상부구조물 EASY SNAP-FIT BLOCK UNIT 개발 및 제작기술 개발(15)
	1-6	고성능 신소재 융합 하부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	·스카이 가이드웨이 처짐 제어를 위한 Cable Stayed Pier 개발(13) ·신형식 스카이 가이드웨이 하부구조 구현을 위한 고성능 신소재 융합기술 개발(21) ·스카이 가이드웨이 하부 기초 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발(22)
	1-7	신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발	·스카이 가이드웨이 상부구조물 가설을 위한 효율적인 가설장비 개발(16) ·도심지용 장경간 교량 상부 가설을 위한 조립식 자가 승강형 다기능 작업대 기술 개발(27)
	1-8	시공 단계에서의 ICT 기반 구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발	·ICT기반 비정형 개방 튜브 모듈 정밀 제작·시공 기술 개발(1) ·드론 기반 도심지 실시간 공간정보를 활용한 장경간 경전철 고가구조 제작 및 시공관리 기술 개발(17) ·비전 센서 및 드론을 이용한 급속 정밀 시공 가이드 시스템(18) ·LiDAR/드론을 활용한 프리캐스트 부재 형상관리 기술 개발(23)
	1-9	신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구	-
	1-10	장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 실증 연구	-

2세부과제		도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제진·관리 기술 개발	
	2-1	신형식 고가구조물의 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발	·차량하중을 받는 경전철 고가구조물의 진동 저감 기술(11) ·경전철 고가구조물의 내풍안정성 평가 및 풍진동 제어시스템 개발(19)
	2-2	신형식 고가구조물 동적성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가	·경전철 고가구조물 진동제어 시스템의 성능 검증 기술개발(29)
	2-3	신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발	·장기간 고가구조물 정밀 변위 계측시스템 구축[가속도, GPS, 속도, 변형률계 통합](24) ·태양광, 풍력, 진동 등을 활용한 에너지 하베스팅 기술(35)
	2-4	구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발	·내장형 센서를 이용한 케이블 장력 상시 계측시스템 구축(26)

5절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 1세부과제: 도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 설계·제작·시공 기술 개발

○ 세세부과제(1-1): 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구

연구 필요성	☐ 현행 경전철의 적용기준이 일반철도나 도시철도 설계기준을 준용하여 과다설계가 되는 측면이 매우 크고 천편일률적인 상하부구조의 형태와 짧은 경간구성 및 비대한 단면으로 도심경관과는 거리가 먼 설계가 이루어지고 있음. ☐ 설계의 단순화를 위해 고전역학에 근거한 최대 발생단면력에 대한 부재 저항력 확보를 설계개념으로 적용하고 있어, 기하적 특성이 있는 구조물의 경우 응력흐름에 대한 예측 및 복잡한 구조의 최적·경제적 설계와는 거리가 있음. ☐ 현재 국내에서는 일본의 철도육편, 유럽의 유로코드(Eurocode)를 바탕으로 중량전철, 일반·고속철도에 적용되는 철도설계기준을 운용하고 있을 뿐, 무게가 가볍고 저속(최대 80km/hr)으로 운행되는 경량전철의 특성을 반영한 경제적인 경전철 고가구조물 구축을 위한 별도의 설계기준은 전무 ☐ 현재 경전철 고가구조물에 대한 설계법은 강도설계법 및 허용응력설계법의 일반 철도교의 결정론적 설계법에 준해 설계되는 실정이며, 세계적 추세인 한계상태 설계법의 국제 표준 부합 설계기준 도입 시급 ☐ 국내에서 한계상태설계법 기반의 철도교 설계기준 연구가 진행 중에 있으나, 적용 대상 구조물이 일반 및 고속철도, 중전철 철도교에 한하며, 한계상태 설계법의 핵심적인 사항인 하중 및 저항계수에 대한 경전철 특화된 연구개발이 전무한 상황임.				
연구 목표	☐ 경전철용 고가구조물 설계하중 연구 - 경량전철 실차 시험을 통한 국가 차원의 경전철 고가구조물 설계하중 기준 마련 - 경전철 고가구조물 설계의 국제표준 부합 및 기술향상을 위한 한계상태설계법 기반 설계기준 마련 - 스카이 가이드웨이 신소재 재료 특성이 반영된 한계상태설계법 기반 설계기준 마련 <table border="1" data-bbox="288 1088 1417 1377"> <thead> <tr> <th data-bbox="288 1088 852 1133">As is(기존기술)</th><th data-bbox="852 1088 1417 1133">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="288 1133 852 1377">○국내 별도의 경전철 고가구조물 설계기준 미비로, 전동차(중량전철), 일반·고속철도 철도교 설계기준과 차량 제작사에서 제공하는 고가구조물 설계기준 중 보수적인 설계기준 적용으로 불합리한 구조물 설계(비경제적, 비심미적)</td><td data-bbox="852 1133 1417 1377">○경전철 시스템 특성과 실하중이 고려된 국가 차원의 경전철 고가구조물 설계기준에 따른 경제적인 경전철 고가구조물 설계로, 경전철 사업의 경제성 향상 및 도시미관 개선 ○한계상태설계법 적용을 통한 경전철 고가구조물의 최적화 설계(경제적, 심미적, 국제표준 부합)</td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○국내 별도의 경전철 고가구조물 설계기준 미비로, 전동차(중량전철), 일반·고속철도 철도교 설계기준과 차량 제작사에서 제공하는 고가구조물 설계기준 중 보수적인 설계기준 적용으로 불합리한 구조물 설계(비경제적, 비심미적)	○경전철 시스템 특성과 실하중이 고려된 국가 차원의 경전철 고가구조물 설계기준 에 따른 경제적인 경전철 고가구조물 설계 로, 경전철 사업의 경제성 향상 및 도시미관 개선 ○ 한계상태설계법 적용 을 통한 경전철 고가구조물의 최적화 설계(경제적, 심미적, 국제표준 부합)
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○국내 별도의 경전철 고가구조물 설계기준 미비로, 전동차(중량전철), 일반·고속철도 철도교 설계기준과 차량 제작사에서 제공하는 고가구조물 설계기준 중 보수적인 설계기준 적용으로 불합리한 구조물 설계(비경제적, 비심미적)	○경전철 시스템 특성과 실하중이 고려된 국가 차원의 경전철 고가구조물 설계기준 에 따른 경제적인 경전철 고가구조물 설계 로, 경전철 사업의 경제성 향상 및 도시미관 개선 ○ 한계상태설계법 적용 을 통한 경전철 고가구조물의 최적화 설계(경제적, 심미적, 국제표준 부합)				
연구 내용	☐ 고무차륜 경전철 고가구조물 설계하중 연구 - 고무차륜 경전철 고가구조물 주요 설계요소 분석 - 고무차륜형 경량전철 실차 주행시험 및 실측치 DB화 - 고무차륜 경전철 고가구조물 설계요소별 정량적 분석 - 고무차륜 경전철 고가구조물 동적 시뮬레이션을 통한 실측치 비교·분석 - 고무차륜 경전철 고가구조물 설계하중 기준 마련 ☐ 철제차륜 경전철 고가구조물 설계하중 연구 - 철제차륜 경전철 고가구조물 주요 설계요소 분석 - 철제차륜형 경량전철 실차 주행시험 및 실측치 DB화 - 철제차륜 경전철 고가구조물 설계요소별 정량적 분석 - 철제차륜 경전철 고가구조물 동적 시뮬레이션을 통한 실측치 비교·분석 - 철제차륜 경전철 고가구조물 설계하중 기준 마련 ☐ 신뢰도 기반 경량전철 설계하중 모델 개발 - 경전철 하중 통계특성 분석 - 경전철 하중 및 교량 형식/재료 모델 특성 분석 - 경전철 고가구조물 설계요소별 정량적 분석 - 한계상태별, 하중조합별 목표 신뢰도 수준을 갖는 하중계수 및 저항계수 도출 - 신소재의 한계상태설계법 재료계수 도출을 위한 실험적 분석				

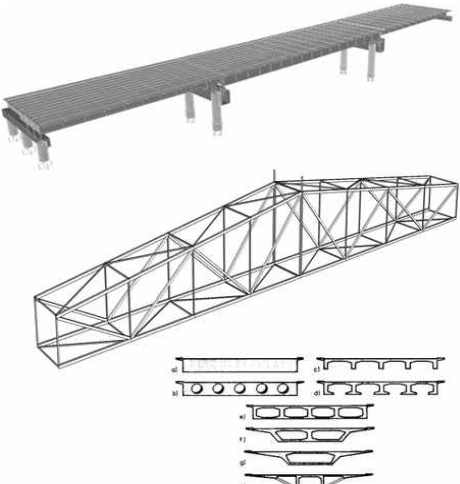
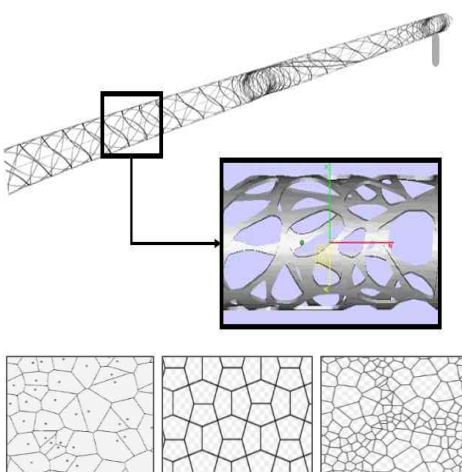
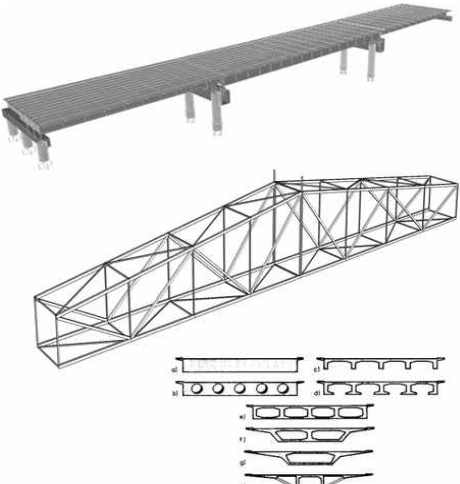
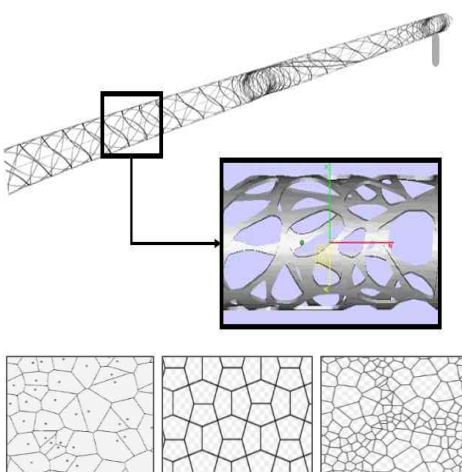
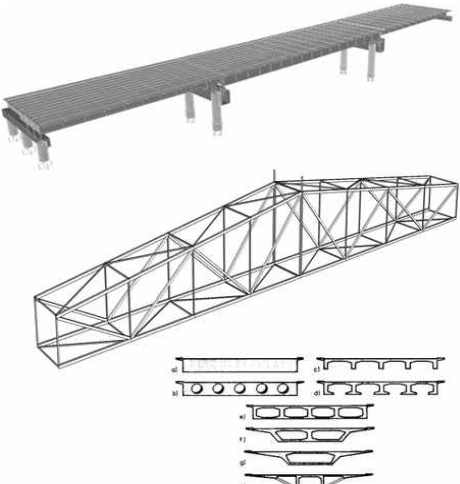
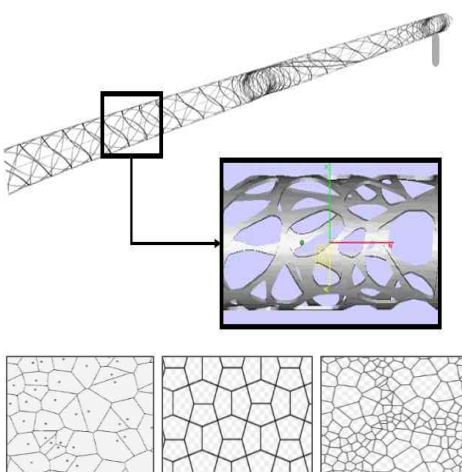
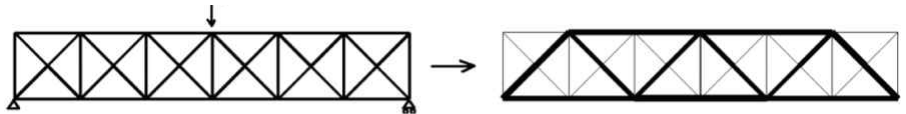
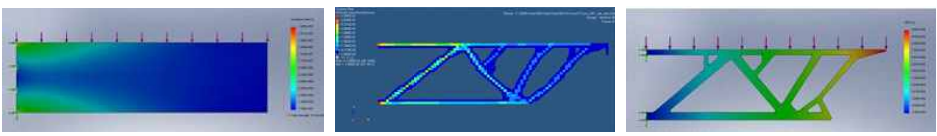
	- 고가구조물 신소재 재료특성을 고려한 하중 및 저항계수 산정 ☐ 한계상태설계법 기반의 스카이 가이드웨이 설계기준 연구 - 기존 한계상태설계법의 설계변수 및 설계사례 검토 - 교량형식별 사용한계상태 보정을 위한 이론 및 실험적 분석 - 한계상태 목표 신뢰도 수준 및 목표 신뢰도 지수 결정 - 모듈 및 연결부의 한계상태설계를 위한 사례조사 및 설계기법 검토 - 시공방법 및 시공단계별 해석기법 정립과 한계상태설계 기법 검토 - 한계상태설계법에 따른 설계흐름 및 상세설계 결과 도출 및 검토 - 경전철 고가구조물 한계상태설계법 기반 설계기준(안) 도출 - 상부구조 한계상태 설계사례 작성 - 하부구조 한계상태 설계사례 작성 - 부대시설 한계상태 설계사례 작성 - 한계상태설계법에 따른 설계성과의 안전성 및 적정성 검토 - 기본설계를 통한 기존 결정론적 설계법과의 비교 및 타당성, 효과 분석
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 독자적인 국가 차원의 경전철 고가구조물 설계기준 확보로 국내 경전철 토목 설계기술 수준 향상 - 경전철 고가교 설계의 한계상태설계법 도입에 따른 철도기술의 글로벌화 및 수준 향상 ☐ 사회·경제적 측면 - 경전철 고가구조물의 최적화되고 슬림화된 설계·시공으로 도시미관 개선 기대 - 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대 - 경전철 고가교 설계의 한계상태설계법 도입에 따른 해외 고가경전철 설계시장 진출 토대 마련 - 합리적이고 경제적인 설계로 예산 절감 및 신규사업의 추진동력 확보
성과 지표 및 목표	☐ 세계적 추세인 ‘한계상태 설계법’ 기반의 경량전철용 고가구조물 설계기준 마련 및 신규제정 지원

○ 세세부과제(1-2): 도시 경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발

연구 필요성	□ 현행 경전철의 적용기준이 일반철도나 도시철도 설계기준을 준용하여 과다설계가 되는 측면이 매우 크고 천편일률적인 상하부구조의 형태와 짧은 경간구성 및 비대칭 단면으로 도심경관과는 거리가 먼 설계가 이루어지고 있음. □ 설계의 단순화를 위해 고전역학에 근거한 최대 발생단면력에 대한 부재 저항력 확보를 설계개념으로 적용하고 있어, 기하적 특성이 있는 구조물의 경우 응력흐름에 대한 예측 및 복잡한 구조의 최적·경제적 설계와는 거리가 있음.				
연구 목표	□ 도시경관을 고려한 세계 최초의 경전철용 신형식 고가구조물(경간 200m)의 설계기법 개발 - 비정형 튜브 구조와 같은 요소체 형상화와 관련 해석 및 설계기법의 개발 <table border="1" data-bbox="288 526 1417 1117"> <thead> <tr> <th data-bbox="288 526 852 568">As is(기존기술)</th><th data-bbox="852 526 1417 568">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="288 568 852 779"> ○ 일반 철도교 형식의 육중하고 번잡한 상·하부 구조물로 인해 도시경관 훼손 ○ 짧은 경간장(20~50m)으로 인한 교각구조물의 난립과 형하공간 잠식 ○ 기존의 도시철도 설계법 적용에 의한 불합리한 구조물 설계에 따른 예산낭비 </td><td data-bbox="852 568 1417 712"> ○ 경관성을 고려한 비정형 개방형 튜브 구조의 최적화설계 ○ 장경간(200m)화를 통한 교각구조물의 난립 해소 및 형하공간 확보 </td></tr> </tbody> </table> <사진: 용인신문, 2017.2.14>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○ 일반 철도교 형식의 육중하고 번잡한 상·하부 구조물로 인해 도시경관 훼손 ○ 짧은 경간장(20~50m)으로 인한 교각구조물의 난립과 형하공간 잠식 ○ 기존의 도시철도 설계법 적용에 의한 불합리한 구조물 설계에 따른 예산낭비	○ 경관성을 고려한 비정형 개방형 튜브 구조의 최적화설계 ○ 장경간(200m)화를 통한 교각구조물의 난립 해소 및 형하공간 확보
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○ 일반 철도교 형식의 육중하고 번잡한 상·하부 구조물로 인해 도시경관 훼손 ○ 짧은 경간장(20~50m)으로 인한 교각구조물의 난립과 형하공간 잠식 ○ 기존의 도시철도 설계법 적용에 의한 불합리한 구조물 설계에 따른 예산낭비	○ 경관성을 고려한 비정형 개방형 튜브 구조의 최적화설계 ○ 장경간(200m)화를 통한 교각구조물의 난립 해소 및 형하공간 확보				
연구 내용	□ 도시 경관과 부합되는 상부 및 하부 신형식 구조 개발 - 비정형 구조와 같은 요소체 형상화와 관련 해석 및 설계기법의 개발 - 요소체 형상화에 따른 상부구조 모듈화와 연결부 설계기술 개발 - 신형식 고가구조물의 동적 안전성 검토(차량 정·동적하중, 강풍, 폭설 등 하중조건, 곡선·구배 등 선형조건) <정형/비정형 요소체 형상화> □ 장경간 개방 튜브형 상부 구조 해석기법 개발 - 신속한 설계를 위한 튜브구조→비정형단위→개별구조→연결부 순의 다중스케일 응력 해석기법 개발 - 튜브구조→비정형단위→개별구조→연결부 다층 구조의 구조안정성(좌굴) 해석기법 개발 - 셀룰러 구조 해석기법 개발 □ 장경간 신형식 고가구조물 설계 - 경간 200m 튜브형 상부구조 및 하부구조 실시설계 - 형상관리 위한 시공단계별, 완공단계별 구조계산서 및 도면 작성				

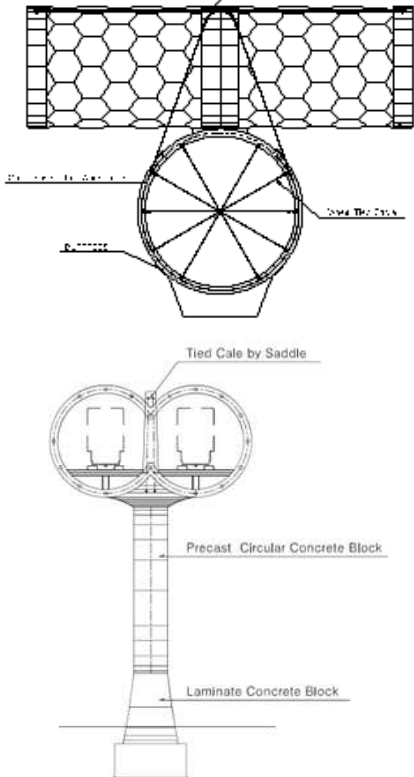
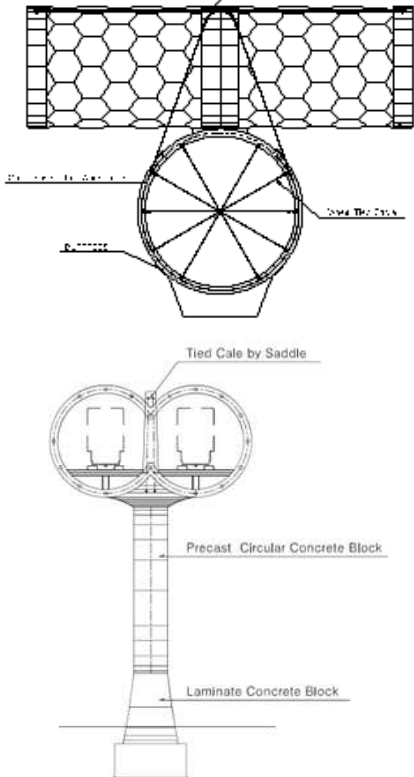
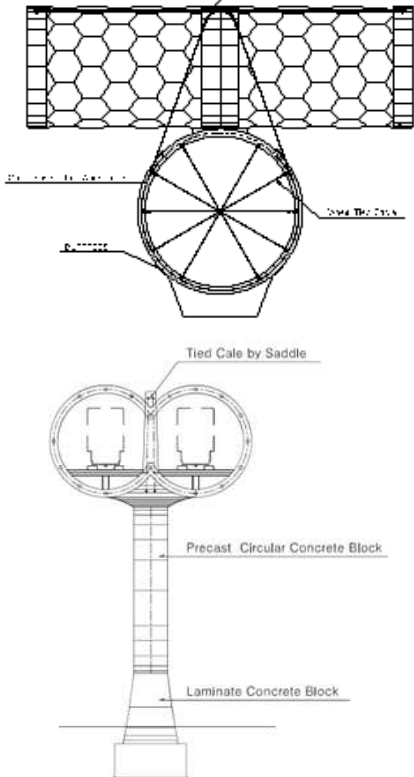
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 도시 경관과 부합되는 상부구조 개발을 위한 나노구조와 같은 요소체 형상화 와 관련 해석 및 설계기법의 개발 - 상부구조 설계기법 개발을 위한 사이즈최적화, 형상최적화, 위상최적화 등의 최적설계기법 의 개발로 국내 철도기술 수준의 첨단화 및 미래 선도기술 선점 ☐ 사회·경제적 측면 - 도시환경과 부합하는 도시미관 개선 , 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대 - 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 스카이 가이드웨이(Sky-guideway) 설계기법의 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대
성과 지표 및 목표	☐ 다양한 최적설계기법의 도입을 통한 상부구조의 단면효율성 10% 이상 개선 ☐ 상부구조물 20% 경량화(기존 강재박스형 상부구조 중량 대비) ☐ 상부구조물 경량화, 하부구조 최소화, 평면선형 개량효과 등을 통한 기존 공사비 대비 10-15% 절감

○ 세세부과제(1-3): 장경간 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계기술 개발

연구 필요성	□ 생활수준의 향상과 더불어 미관 및 경관에 대한 요구가 도시 시설물에도 확대되고 있으며, 특히 도시에 노출된 고가구조물의 경관에 대한 요구가 최근 크게 증대되고 있으며, 이를 위해서는 현행 최대 50m 수준의 경간장을 대폭 증대할 필요가 있음 □ 증대된 지간에도 불구하고 도시 미관을 위해서는 아치교, 트러스교, 박스거더교, 사장교 등과 같은 전통적인 중후형 구조형식은 기피되어야 하며, 미관 확보와 동시에 구조적인 효율성을 극대화하기 위해 전통적인 방식의 삼각형 트러스, 거더형 등에서 탈피하여 비정형 개방형 구조 채택 필요 □ 토목용 고가구조물의 주류를 구성하고 있는 빔, 트러스 등의 정형화된 구조에 특화된 현행 설계기술로는 비정형 고가구조물 설계를 수행할 수 없고, 기존 기술에서는 사각형 및 삼각형을 기본 단위로 하여 구조형상을 구현하여 비정형 구조형상을 도출하는 기법은 존재하지 않음.				
연구 목표	□ 장경간 개방 튜브형 상부구조물의 최적화 설계 기술 확보 <table border="1" data-bbox="300 600 1425 1211"> <thead> <tr> <th data-bbox="300 600 858 645">As is(기존기술)</th><th data-bbox="858 600 1425 645">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="300 645 858 1211"> ○정형화된 구조의 고가구조물 적용으로 도시 경관 불리  </td><td data-bbox="858 645 1425 1211"> ○비정형 패턴이 적용된 고가구조물로 도시 경관 향상  </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○정형화된 구조의 고가구조물 적용으로 도시 경관 불리 	○비정형 패턴이 적용된 고가구조물로 도시 경관 향상 
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○정형화된 구조의 고가구조물 적용으로 도시 경관 불리 	○비정형 패턴이 적용된 고가구조물로 도시 경관 향상 				
연구 내용	□ 상부구조 최적설계를 위한 사이즈최적화, 형상최적화, 위상최적화 등의 최적설계기법 개발 - 경전철 고가구조물에 적합한 구조물 및 부재 사이즈최적화 기법 개발 - 구조적인 효율성을 반영한 비정형 구조 형상최적화 기법 개발 - 형상밀도(재료밀도) 분석을 위한 위상최적화 기법 개발  <사이즈 최적화 예>  <형상 최적화 예>  <위상최적화 예> □ 장경간 개방 튜브형 상부 구조형상 검증 및 개선 - 튜브형 삼차원 구조에 적용되는 비정형 구조형상 도출 및 효율성 분석 - 최적화 기법을 활용한 신형식 경전철 상부 구조물 단면 및 형상 검증 및 개선 - 상부구조 최적·표준 설계 - 형상관리 위한 시공단계별, 완공단계별 구조계산서 및 도면 작성				

기대 효과	☐ 기술적 측면 - 1940년대 이래로 개발되어 온 교량구조물의 형식에서 크게 도약이 이루어질 것으로 예상하며, 국외시장에서도 기술을 선도할 것으로 예상 ☐ 사회·경제적 측면 - 미관이 확보된 시설물로 인해 도시의 경관이 확보되고, 다채롭고 조화로운 도시의 외관 창출 기대 ☐ 기존 짧은 경간장에 의한 하부통과도로 확폭문제, 하천 통수단면적 저해, 형하공간 활용문제 등 해결 - 발생가능한 민원 및 사회적, 행정적문제 등의 사전예방/관리로 사회손실비용의 대폭적 감소 유도
성과 지표 및 목표	☐ 노선의 평면선형 계획시 하천/하부도로/지장물 등의 영향을 거의 받지 않도록 200m이상의 장경간 구현 - 통과조건과 기존의 경간장한계(약40m)로 인한 급격한 곡선평면의 회피로 노선연장 10~20% 절감 ☐ 단순한 교통시설물을 넘어 도심지의 주변환경과 조화되면서도 미학적인 아트구조물로 탈바꿈 - 도시환경특성과 탁월한 디자인의 시설물로 도시의 가치 극대화 및 도심상권 활성화와 관광화 유도

○ 세세부과제(1-4): 상부구조물 처짐제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계기술 개발

연구 필요성	□ 기존의 경전철에 적용된 하부구조의 경우 단순히 상부를 지지하는 역할에 치중하여 밀실한 내부구조 형식의 채택으로 육중하고 시야를 방해하여 도심 미관을 해치고 교각의 공간 활용이 매우 어려운 구조적 한계를 지님. □ 또한, 기존의 100m 이상의 장경간 교량의 하부형식은 주탑과 같이 Massive한 구조물로서 주탑과 연결되어 있는 케이블로 상부구조를 지지하는 방식으로 건설되어 있어, 도심지에서 시공 제약을 받을 뿐 아니라 도시미관을 저해함. □ 이에, 지금까지의 교각구조 형식과는 차별화된 도심지에 적용 가능한 심미적이고 슬렌더한 교각구조의 개발과 함께, 장경간 구현을 위해 기존 교각과 달리 상부 구조물의 처짐 및 응력 개선 기능을 갖는 개방형의 심미적인 하부구조의 개발 필요.				
연구 목표	□ 스카이 가이드웨이 상부 구조물의 처짐 제어 및 하부 압축력 도입으로 심미적이고 슬림한 신형식의 하부구조 시스템의 개발 <table border="1" data-bbox="304 622 1433 1675"> <thead> <tr> <th data-bbox="304 622 868 674">As is(기존기술)</th><th data-bbox="868 622 1433 674">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="304 674 868 1675"> ○육중하고 비개방형의 하부구조 채택으로 도시경관 불리 ○기존 장경간 경전철 교량의 하부구조는 Massive한 구조물로 시공  <기존 경전철 고가구조물의 조밀한 하부 구조>  <기존 장경간 고가구조물의 육중한 주탑 구조> </td><td data-bbox="868 674 1433 1675"> ○상부 구조물의 처짐 제어 기능을 갖는 하부구조물의 도입으로 장경간 구현 가능 ○슬림하고 개방형의 하부구조 채택으로 도시경관 향상  <비정형 개방형 하부구조물 예> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○육중하고 비개방형의 하부구조 채택으로 도시경관 불리 ○기존 장경간 경전철 교량의 하부구조는 Massive한 구조물로 시공  <기존 경전철 고가구조물의 조밀한 하부 구조>  <기존 장경간 고가구조물의 육중한 주탑 구조>	○상부 구조물의 처짐 제어 기능을 갖는 하부구조물의 도입으로 장경간 구현 가능 ○슬림하고 개방형의 하부구조 채택으로 도시경관 향상  <비정형 개방형 하부구조물 예>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○육중하고 비개방형의 하부구조 채택으로 도시경관 불리 ○기존 장경간 경전철 교량의 하부구조는 Massive한 구조물로 시공  <기존 경전철 고가구조물의 조밀한 하부 구조>  <기존 장경간 고가구조물의 육중한 주탑 구조>	○상부 구조물의 처짐 제어 기능을 갖는 하부구조물의 도입으로 장경간 구현 가능 ○슬림하고 개방형의 하부구조 채택으로 도시경관 향상  <비정형 개방형 하부구조물 예>				
연구 내용	□ 장경간 상부구조 처침 제어 Cable stayed 하부구조물 개발 - 하부구조에 정착된 Cable System에 의한 상부구조 처침 제어 효율 분석 - 상부구조 처침 제어를 위해 하부구조에 정착되는 Cable System 개발 - 상부구조 처침 제어 효과 극대화를 위한 Cable Profile 최적화 - 하부구조 슬림화를 위한 최적의 새들 및 정착 시스템 개발 - 하부의 압축구조의 팽창제어하는 케이블 하중 제어 및 시공기술 개발 - 현장 시공시 장력 관리 및 긴장관리가 용이한 케이블 인장 시스템 개발 □ 장경간 상부구조 처침 제어 Cable stayed 하부구조물 검증 - 요소부재 수치해석 및 상·하부 구조 상호작용 검토 - Cable에 의해 도입된 장력에 의한 상부 및 하부구조 상호거동 분석 - 요소 재하실험을 통한 거동 검증				

	☐ 장경간 상부구조 처짐 제어 Cable stayed 하부구조물 설계 - 개발된 Cable System 설계 최적화 및 표준화 - Compression Tied Cable 배치 최적화 모델 도출 - Tied 케이블의 중앙 연결부 시스템 설계 - 슬림하고 개방된 형상의 하부구조물 내 Cable System 정착을 위한 최적 설계기법 개발 - 하부구조 최적·표준 설계 및 성능검증 - 형상관리 위한 시공단계별, 완공단계별 구조계산서 및 도면 작성
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 도심지 경전철 시공시의 획기적이고 심미적인 형식의 교각시공 및 케이블 기술로 독자적인 국내철도 기술력 향상 및 해외 기술 수출 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 도심지의 심미적인 구조로 관광명소로 예상되며, 장경간화에 따라 그간 도로를 상당 잠식해 온 교각구조로 인한 교통혼잡 및 공사중 교통통제 최소화 등에 의한 탄소 및 에너지 저감 효과 기대 - 또한 교각이 위치한 공간을 대신 카페, 휴게시설, 주차장 등의 다양한 시설로 활용할 수 있어 경제적 파급효과가 클 것으로 기대
성과 지표 및 목표	☐ 200m이상의 장경간에 따른 시공 및 공용시 상부구조의 처짐제어를 위한 독특하고 최적화된 하부구조 - 비대한 교각이나 주탑을 배제하면서도 우수한 구조효율성으로 상부처짐 제어기능 20% 이상 분담 ☐ 단순한 상부구조의 지지구조물로서의 한계를 넘어 구조시스템과 경관성을 극대화한 하부구조 시스템 - 간결하고 세련된 조형미와 탁월한 구조성능을 가진 하부구조로 경전철 상징화와 효율성 유도 ☐ Cable System 효율 7% 향상

○ 세세부과제(1-5): 고성능 신소재 융합 상부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발

연구 필요성	□ 철도 활화중과 육중한 구조물의 자중으로 인해 단경간인 현재 고가구조물의 장경간화를 위해서는 첨단 경량 건설 신소재 적용이 필수적이나, 초경량 마그네슘 합금강, 엔지니어링 플라스틱 등 고성능 신소재의 토목구조물 적용 기술 및 설계기술이 부족한 실정임. □ 또한, 도심지 고가구조물의 미관을 위해 비정형의 상부구조 형식이 요구되나, 현재 강재 및 콘크리트 부재 제작·시공 기술로는 이를 제작·시공하는데 어려움이 있음. □ 한편, 기존의 콘크리트 및 강재를 사용한 고가구조물 요소 부재는 육안 검측에 의해 제작·시공되고 있는데, 이러한 제작·시공 기술로는 복잡한 형상의 비정형 요소 부재의 제작이 어렵고, 제작과정에서 시공오차에 의한 작업 효율성 저하 문제가 우려됨. □ 이에, 고성능 신소재를 융합한 상부구조물의 경량화 기술 개발과 ICT기술을 이용한 정밀 제작 및 급속 정밀 시공 기술의 개발이 필요함.				
연구 목표	□ 장경간·경량 상부구조물 제작을 위한 건설 신소재 개발 및 적용기술 개발 - 초경량 마그네슘 합금강, 엔지니어링 플라스틱 등의 고성능 신소재의 상부구조물 적용기술 개발 □ 신형식 고가구조물 상부 모듈 정밀 제작기술 개발 - 장경간 개방 튜브형을 합리적 비용으로 정밀 제작할 수 있는 기술 개발 <table border="1" data-bbox="279 801 1407 2065"> <thead> <tr> <th data-bbox="279 801 842 846">As is(기존기술)</th><th data-bbox="842 801 1407 846">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="279 846 842 2065"> ○철도 차량 적용 가능한 수준의 초경량 마그네슘 생산 및 적용기술 확보 ○기존에는 상부 고가구조물과 같은 중량물 부재를 작업자 육안 검측에 의한 제작·설치·시공 ○육안 검측에 의한 작업은 효율을 저하시키고 오차 발생시 공사비 및 공사 기간을 증가시켜, 복잡한 형상의 비정형 구조물 제작·시공이 어려움 <마그네슘 합금강을 적용한 경량 차체 구조> ○기존의 경전철용 고가구조물은 PSC Beam, U형 PSC Girder 등 도로 및 일반 철도 교량간 형식 차이 없어 동일한 가설 시공법 적용 <기존 도심지 경전철 고가구조물 시공> ○세그먼트 제작 및 운반 후 크레인이나 기타 가설공법에 의한 볼트 및 용접에 의한 연결 </td><td data-bbox="842 846 1407 2065"> ○고성능 신소재의 고가구조물 적용을 위한 대량 생산 기술 및 구조물 설계기술 확보 <고성능 신소재를 적용한 상부구조물(예시)> ○비정형 상부 구조물의 새로운 연결방식 ○부재의 연결이 용이한 3차원 Connection Hub 등의 효율적인 연결구조 개발 ○공장에서 모듈제작 및 운반 후 현장에서 블록유닛 제작과 결합하는 방식 <3차원 Connection Hub 연결 구조 예시> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○철도 차량 적용 가능한 수준의 초경량 마그네슘 생산 및 적용기술 확보 ○기존에는 상부 고가구조물과 같은 중량물 부재를 작업자 육안 검측에 의한 제작·설치·시공 ○육안 검측에 의한 작업은 효율을 저하시키고 오차 발생시 공사비 및 공사 기간을 증가시켜, 복잡한 형상의 비정형 구조물 제작·시공이 어려움 <마그네슘 합금강을 적용한 경량 차체 구조> ○기존의 경전철용 고가구조물은 PSC Beam, U형 PSC Girder 등 도로 및 일반 철도 교량간 형식 차이 없어 동일한 가설 시공법 적용 <기존 도심지 경전철 고가구조물 시공> ○세그먼트 제작 및 운반 후 크레인이나 기타 가설공법에 의한 볼트 및 용접에 의한 연결	○고성능 신소재의 고가구조물 적용을 위한 대량 생산 기술 및 구조물 설계기술 확보 <고성능 신소재를 적용한 상부구조물(예시)> ○비정형 상부 구조물의 새로운 연결방식 ○부재의 연결이 용이한 3차원 Connection Hub 등의 효율적인 연결구조 개발 ○공장에서 모듈제작 및 운반 후 현장에서 블록유닛 제작과 결합하는 방식 <3차원 Connection Hub 연결 구조 예시>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○철도 차량 적용 가능한 수준의 초경량 마그네슘 생산 및 적용기술 확보 ○기존에는 상부 고가구조물과 같은 중량물 부재를 작업자 육안 검측에 의한 제작·설치·시공 ○육안 검측에 의한 작업은 효율을 저하시키고 오차 발생시 공사비 및 공사 기간을 증가시켜, 복잡한 형상의 비정형 구조물 제작·시공이 어려움 <마그네슘 합금강을 적용한 경량 차체 구조> ○기존의 경전철용 고가구조물은 PSC Beam, U형 PSC Girder 등 도로 및 일반 철도 교량간 형식 차이 없어 동일한 가설 시공법 적용 <기존 도심지 경전철 고가구조물 시공> ○세그먼트 제작 및 운반 후 크레인이나 기타 가설공법에 의한 볼트 및 용접에 의한 연결	○고성능 신소재의 고가구조물 적용을 위한 대량 생산 기술 및 구조물 설계기술 확보 <고성능 신소재를 적용한 상부구조물(예시)> ○비정형 상부 구조물의 새로운 연결방식 ○부재의 연결이 용이한 3차원 Connection Hub 등의 효율적인 연결구조 개발 ○공장에서 모듈제작 및 운반 후 현장에서 블록유닛 제작과 결합하는 방식 <3차원 Connection Hub 연결 구조 예시>				



<기존 세그먼트 볼트 조립>



<기존 현장 용접 접합 조립>

○ 기존 철근콘크리트 또는 강상판형 바닥판 구조

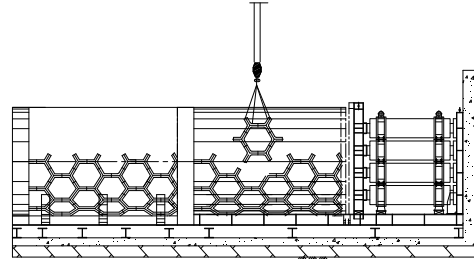
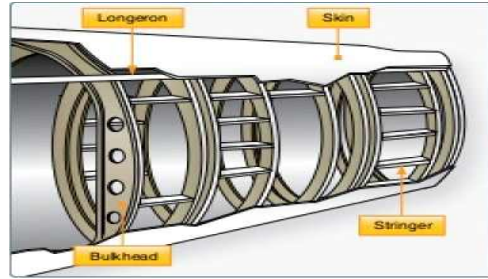


Conventional stiffened steel structure



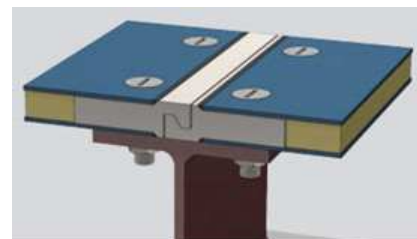
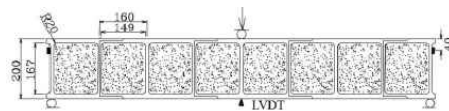
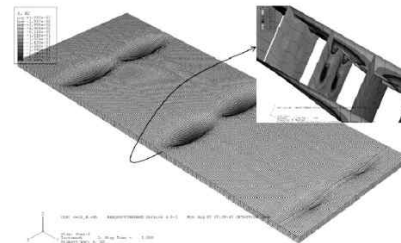
Conventional concrete-steel composite structure

<기존 고가구조물 바닥판 구조>



<블록유닛 제작 결합 예시>

○ 신소재를 적용한 경량 바닥판 구조



<경량 바닥판 구조 예시>

연구
내용

- 상부구조 경량화를 위한 첨단 신소재 개발 적용 기술 개발
 - 고성능 신소재 적용성 검토(초경량 마그네슘, 엔지니어링 플라스틱, 고성능 콘크리트, CFRP 등 고분자 복합재료)
 - 신소재의 고가구조물 상부구조 내 적용 가능 부재 검토 및 적용기술 개발
 - 구조부재 적용을 위한 고성능 신소재 개발
 - 고성능 신소재의 구조부재 적용을 위한 제작·생산기술
- 고성능 신소재 적용 하이브리드 상부 구조체 제작 기술
 - 고성능 신소재 적용 상부 구조물 정밀 제작 기술
- 고성능 신소재 적용 하이브리드 상부 구조물 시공 기술 개발
 - 고강도 케이블 활용 장경간 prestress 구조물 시공 기술
 - 고성능 신소재 적용 상부 구조물 시공 기술
 - 이종 소재간 연결 시공 기술

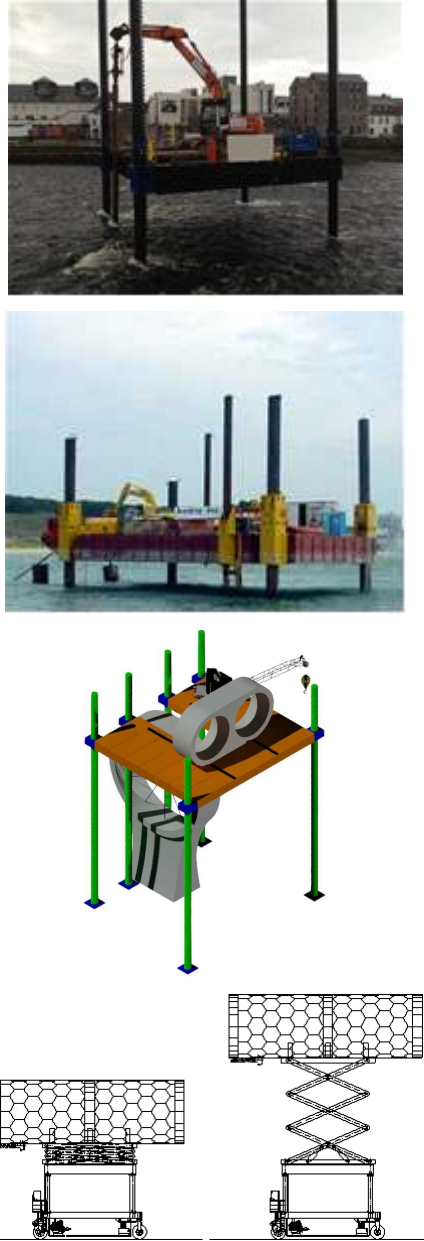
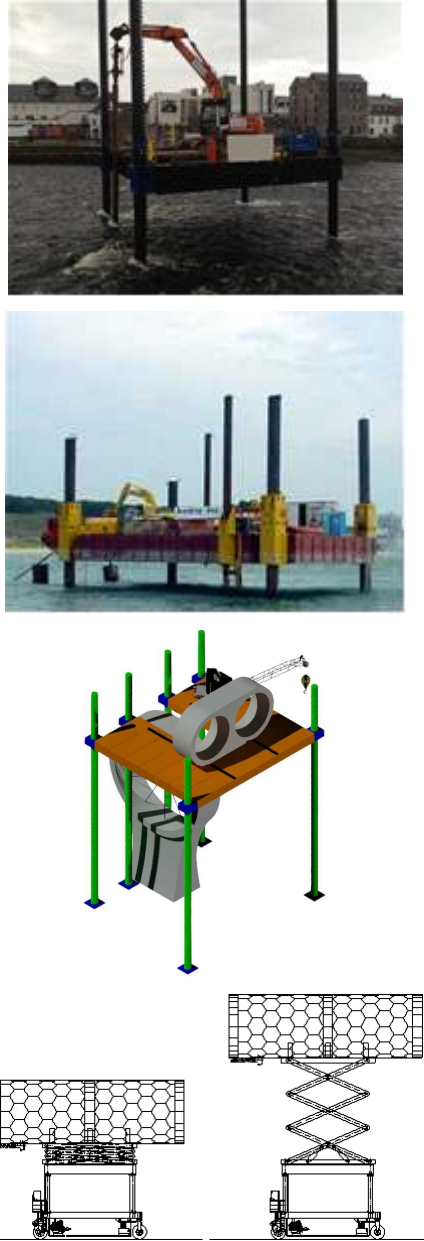
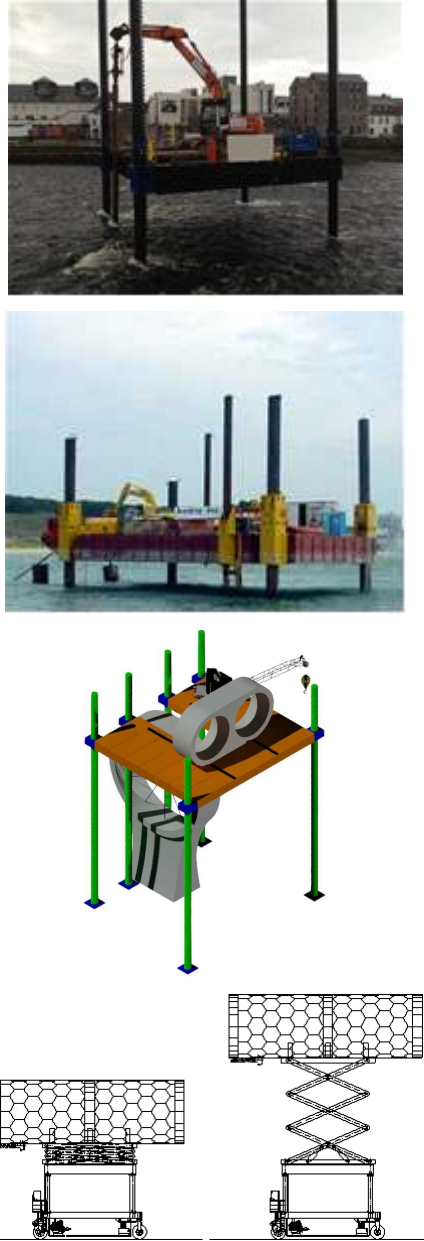
	☐ 장경간 상부구조물의 모듈간 연결·조립 기술 및 신축시스템 개발 - 상부구조 모듈간 연결부 개발 및 성능 검증 - 온도변화에 따른 상부구조물 신축시스템 개발 및 성능 검증 ☐ 고성능 신소재 적용 경량 바닥판 개발 - 고성능 신소재 적용 경량 바닥판 구조 개발 - 바닥판 구조 형상의 단순 최적화·모듈화 제작 및 현장 급속 시공 기술 개발 - 바닥판-바닥판간, 바닥판-주 구조부재간 연결부 개발 - 경량 바닥판의 구조적인 성능 검증
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 초경량 마그네슘 합금강, 엔지니어링 플라스틱 등 첨단 소재를 활용한 경량 구조물을 성공적으로 개발할 경우 고성능 건설재료/시공의 세계 최초·선도형 기술 개발로 국가 위상강화에 기여 가능 - ICT 기술을 건설 산업에 융합하여 건설 현장의 생산성을 향상시킬 수 있는 Model을 구현함으로써, 경전철 건설 사업은 물론, 철도, 도로 등 각종 인프라 건설 산업으로의 확대 적용 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 구조물의 경량화 및 장경간화 기술개발로 도시환경과 부합하는 도시미관 개선 및 도시공간 효율적 활용 기대 - ICT 기술을 융합한 도심지 고가 구조물의 시공관리 기법 도입으로 공사기간 단축 및 주민 민원 최소화 기대
성과 지표 및 목표	☐ 상부구조물 20% 경량화(기존 강재박스형 상부구조 중량 대비) ☐ 바닥판 40% 경량화(기존 철근콘크리트 바닥판 대비)

○ 세세부과제(1-6): 고성능 신소재 융합 하부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발

연구 필요성	□ 도심지 고가구조물의 미관을 위해 기존의 육중한 하부구조 대신 심미적인 비정형의 하부구조 형식이 요구되나, 비정형 하부구조물에 적용 가능한 고성능 건설 신소재 적용 기술 개발 필요 □ 도심지에 시공되는 경전철 고가구조물은 교각 시공시 도로교통 혼잡 가중되어 급속시공이 필요하며, 도심지내 가시설 설치없이 시공되는 하부기초 시공기술 개발 필요				
연구 목표	□ 비정형 하부구조물 제작을 위한 건설 신소재 개발 및 적용 기술 개발 - 저비용 초고성능 콘크리트 등의 고성능 신소재의 하부구조물 적용기술 개발 □ 하부기초 급속시공기술과 하부구조물의 정밀 제작 및 급속 시공 기술 개발 <table border="1" data-bbox="279 436 1412 2094"> <thead> <tr> <th data-bbox="279 436 837 481">As is(기존기술)</th><th data-bbox="837 436 1412 481">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="279 481 837 2094"> ○국내 저비용 초고성능 콘크리트는 재료단위에서의 성능 및 경제성 확보 ○기존 프리캐스트 교각 시공법은 세그먼트 접합을 위해 긴장력을 도입하거나 연결 커플러를 사용하는 방법으로서 접합부 시공이 불리 ○가시설을 설치하여 굴착공사 시공 시 기초폭 보다 넓은 용지점용이 필요하며, 가시설 설치 및 해체에 따른 공사비 및 공기증가 <초고강도 콘크리트 가성비 비교> <기존 프리캐스트 세그먼트 접합> <기존 현장타설 기초 시공법> </td><td data-bbox="837 481 1412 2094"> ○저비용 초고성능 콘크리트의 부재단위 적용 ○조립식 일체형 하부구조 및 가설방안으로 도심지 내 공사중 교통혼잡 및 공사점용면적 축소 ○고성능 영구 부재로 사용되는 거푸집 프리캐스트 패널 공법으로 운반/가설 중량을 축소하여 시공성 및 경제성이 확보된 공기단축 기술 ○가시설이 설치가 필요 없는 기초 시공을 위한 고성능 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발 <고성능 신소재를 적용한 하부구조물(예시)> <구조부재 거푸집 패널 접합 예시> <가시설 불필요한 급속 기초 시공 예시> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○국내 저비용 초고성능 콘크리트는 재료단위에서의 성능 및 경제성 확보 ○기존 프리캐스트 교각 시공법은 세그먼트 접합을 위해 긴장력을 도입하거나 연결 커플러를 사용하는 방법으로서 접합부 시공이 불리 ○가시설을 설치하여 굴착공사 시공 시 기초폭 보다 넓은 용지점용이 필요하며, 가시설 설치 및 해체에 따른 공사비 및 공기증가 <초고강도 콘크리트 가성비 비교> <기존 프리캐스트 세그먼트 접합> <기존 현장타설 기초 시공법>	○저비용 초고성능 콘크리트의 부재단위 적용 ○조립식 일체형 하부구조 및 가설방안으로 도심지 내 공사중 교통혼잡 및 공사점용면적 축소 ○고성능 영구 부재로 사용되는 거푸집 프리캐스트 패널 공법으로 운반/가설 중량을 축소하여 시공성 및 경제성이 확보된 공기단축 기술 ○가시설이 설치가 필요 없는 기초 시공을 위한 고성능 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발 <고성능 신소재를 적용한 하부구조물(예시)> <구조부재 거푸집 패널 접합 예시> <가시설 불필요한 급속 기초 시공 예시>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○국내 저비용 초고성능 콘크리트는 재료단위에서의 성능 및 경제성 확보 ○기존 프리캐스트 교각 시공법은 세그먼트 접합을 위해 긴장력을 도입하거나 연결 커플러를 사용하는 방법으로서 접합부 시공이 불리 ○가시설을 설치하여 굴착공사 시공 시 기초폭 보다 넓은 용지점용이 필요하며, 가시설 설치 및 해체에 따른 공사비 및 공기증가 <초고강도 콘크리트 가성비 비교> <기존 프리캐스트 세그먼트 접합> <기존 현장타설 기초 시공법>	○저비용 초고성능 콘크리트의 부재단위 적용 ○조립식 일체형 하부구조 및 가설방안으로 도심지 내 공사중 교통혼잡 및 공사점용면적 축소 ○고성능 영구 부재로 사용되는 거푸집 프리캐스트 패널 공법으로 운반/가설 중량을 축소하여 시공성 및 경제성이 확보된 공기단축 기술 ○가시설이 설치가 필요 없는 기초 시공을 위한 고성능 프리캐스트 부재 제작 및 시공기술 개발 <고성능 신소재를 적용한 하부구조물(예시)> <구조부재 거푸집 패널 접합 예시> <가시설 불필요한 급속 기초 시공 예시>				

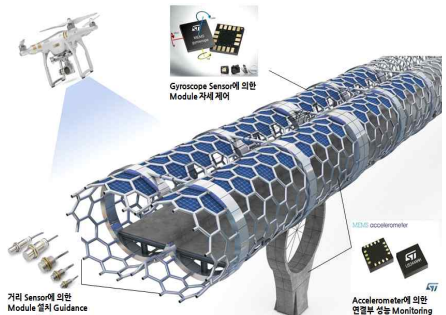
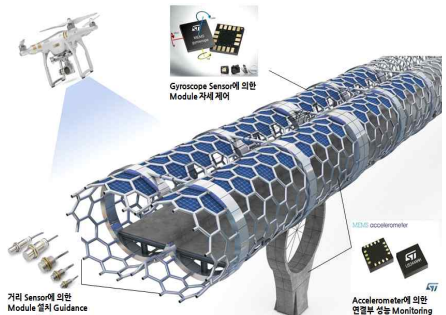
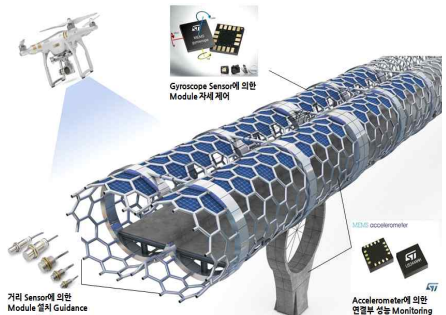
연구 내용	☐ 신형식 하부구조물 개발을 위한 첨단 신소재 개발 및 적용 기술 개발 - 저비용 UHPC 배합기술 최적화 및 대량생산 기술 - UHPC 활용 신형식 하부구조 설계 및 구조성능 검증시험 - 저비용 UHPC와 고강도 강연선 활용 하부구조물 설계 및 시공 기술 ☐ 장경간 상부구조 처짐 제어 가능한 개방형 하부구조 제작 기술 개발 - 고성능 프리캐스트 부재를 이용한 개방형 하부구조 제작기술 개발 - Tied 케이블의 중앙 연결부 시스템 제작 - 정착부가 포함된 개방형 교각 코핑 부재(Arc-Segment 부재)간 연결부 개발 ☐ 장경간 상부구조 처짐 제어 가능한 개방형 하부구조 시공 기술 개발 - Arc-Segment 부재 이음부 연결 및 가설 공법 개발 - 하부의 압축구조의 팽창제어하는 케이블 하중 제어 및 시공기술 개발 - Tied 케이블의 중앙 연결부 시스템 시공기술 개발 - 현장 시공시 장력 관리 및 긴장관리가 용이한 케이블 인장 시스템 개발 - 기초시공-기둥시공-코핑시공-상부구조설치-Cable 장력 도입 등 시공단계별 하부구조 거동 분석 - 도심지 협소 공간에서의 하부구조 급속 시공법 및 무가시설 기초 시공법 개발 - 상부구조 처짐 제어용 Cable 정착부가 구성된 개방형 교각 코핑 시공법 개발
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 저비용 초고성능 콘크리트, 엔지니어링 플라스틱 등 첨단 소재를 활용한 구조물을 성공적으로 개발할 경우 고성능 건설재료/시공의 세계 최초·선도형 기술 개발로 국가 위상강화에 기여 가능 - 급속시공 가능한 하부구조 시공기술은 공기를 단축시키며, 고소작업 최소화로 시공중 안전성 향상 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 구조물의 경량화 및 장경간화 기술개발로 도시환경과 부합하는 도시미관 개선 및 도시공간 효율적 활용 기대 - 교량 공사기간의 주요인자인 하부구조의 공기단축으로 간접비, 사회비용 등의 절감 기대
성과 지표 및 목표	☐ Cable System 효율 7% 향상

○ 세세부과제(1-7): 신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발

연구 필요성	□ 상부 고가구조물을 효과적으로 운반하고, 상부구조물간 정확한 연결 시공을 위한 가설장비는 도심지라는 특수한 상황을 고려하여 신속하고 안전하게 시공하기 위한 필수 장비임. □ 일반적으로 교량 혹은 고가구조물 가설 시 하이드로 크레인 등 대형 장비가 필요하고 육중한 지지 시설물이 필요하며, 기존 가설벤트 공법은 교통 및 주변 환경뿐만 아니라 구조물의 형태, 크기에 많은 영향을 받아 가설장비의 제작 해체 시에도 많은 시간과 비용이 소요되는 실정임. □ 도심지에 건설되는 고가구조물은 많은 교통량뿐만 아니라 지장물이 많아 가설에 있어 상당한 제약을 받고 있는 관계로, 도심지에 장경간 고가구조물 가설 시 가설기간 및 교통 혼잡을 최소화할 수 있도록 구조물 형상 및 크기, 주변 지장물의 제약을 최소화 할 수 있는 신개념의 가설장비 연구 필요.				
연구 목표	□ 정밀 시공 보조 기능을 갖는 육상용 조립식 자가 승강형 다기능 시공장비 개발 <table border="1" data-bbox="271 577 1401 2078"> <thead> <tr> <th data-bbox="271 577 833 622">As is(기존기술)</th><th data-bbox="833 577 1401 622">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="271 622 833 2078"> ○ 기존의 대형 가설 장비 및 지지 시설물을 이용한 고가구조물 가설 방식  <기존 구조물 승강 및 가설 위한 대형 장비 및 육중한 지지 시설물> </td><td data-bbox="833 622 1401 2078"> ○ 구조물 위치조정 연결 등 정밀시공 기능을 갖는 자가 승강형 시공장비를 이용한 가설 방식 ○ 상하/전후/좌우 등 미세 조정장치를 이용한 구조물간 정밀 접합 시공  <정밀 조정 기능을 갖는 자가 승강 시공장비 예시> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○ 기존의 대형 가설 장비 및 지지 시설물을 이용한 고가구조물 가설 방식  <기존 구조물 승강 및 가설 위한 대형 장비 및 육중한 지지 시설물>	○ 구조물 위치조정 연결 등 정밀시공 기능을 갖는 자가 승강형 시공장비를 이용한 가설 방식 ○ 상하/전후/좌우 등 미세 조정장치를 이용한 구조물간 정밀 접합 시공  <정밀 조정 기능을 갖는 자가 승강 시공장비 예시>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○ 기존의 대형 가설 장비 및 지지 시설물을 이용한 고가구조물 가설 방식  <기존 구조물 승강 및 가설 위한 대형 장비 및 육중한 지지 시설물>	○ 구조물 위치조정 연결 등 정밀시공 기능을 갖는 자가 승강형 시공장비를 이용한 가설 방식 ○ 상하/전후/좌우 등 미세 조정장치를 이용한 구조물간 정밀 접합 시공  <정밀 조정 기능을 갖는 자가 승강 시공장비 예시>				

연구 내용	☐ 자가 승강 시스템(Self Elevating System) 방식의 조립식 시공장비 개발 - 미세한 전/후 좌/우 각도 변환 및 좌/우 이동 장치 - 모듈간 급속/정밀 연결·조립 장치 ☐ 구조물 정밀 시공을 위한 전후, 좌우 조정 가능한 Skid System 개발
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 구조물간 정밀 연결 위한 전후, 좌우, 높이의 미세 정밀 조정 기능을 갖는 조립식 자가 승강 시공장비 및 신규 가설 공법 개발로 가설분야 기술 경쟁력 강화 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 조립식 자가 승강 시공장비를 이용한 가설 방식의 적용으로, 복잡하고 다양한 구조물 및 가설 환경에 신속하게 대응이 가능하며 대형장비 투입을 줄일 수 있어 가설 기간 최소화로 가설 시 도심지 교통 혼잡을 최소화 할 수 있으며, 가설 소요 비용 절감 기대
성과 지표 및 목표	☐ 공사비용 5% 이상 절감(기존 크레인+가설벤트 공사비용 대비)

○ 세세부과제(1-8): 시공 단계에서의 ICT기반 구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발

연구 필요성	□ 공정진행에 따라 지속적으로 갱신되는 실시간 공간정보와 연동하여 경전철용 장경간 고가구조 시공을 위한 제작법, 부재운반, 장비운용 및 가설 등 다양한 공종에 적합한 최적 시공법 도출이 어렵고, 실제 시공단계에서의 시공관리가 매우 어려움 □ 장경간화를 위한 비정형 요소의 부재 제작 및 시공을 위한 특수 시공법, 시공 장비가 도입되는 경우 도심지 공사 환경 주변의 공간정보를 고려한 사전 시공성 검토가 필수적이지만 이를 공간정보로 구축하여 실제 시공성 검토 및 최적 시공법 도출에 활용한 사례는 거의 없음 □ 이에, 복잡하고 협소한 도심지 내에서 장경간 경전철 고가구조물을 효율적으로 제작하고 시공하기 위해서는 시공현장의 기존 현황에 대한 공간정보를 실시간으로 정확히 파악하고, 이를 설계 및 시공 정보와 연계하여 최적의 제작 및 시공 계획을 바탕으로 기존 시설물과의 간섭, 도로교통 방해 및 인근 주민의 민원발생을 최소화할 수 있는 최첨단 시공법이 필요함 □ 기존 PC 부재의 정합 과정은 시야 확보의 어려움으로 인해 현장 작업자의 수신호 및 음성에 의지하여 크레인 작업자가 장비를 제어하는 방식으로 진행되는 관계로, 부재의 정확한 위치를 파악하지 못하여 시공 속도가 느리고 현장 작업자의 안전문제 또한 발생함. □ 경전철을 위한 고가구조물을 시공할 때는 거대한 프리캐스트 부재 및 모듈을 공장에서 제작 후 현장으로 운반하여 조립 부재간에 정합되는 과정을 거쳐 시공되는데, 프리캐스트 부재의 경우 제작 오차가 발생하거나 제작후 여러 요인에 따른 변형으로 실제 시공시 부재 간에 접합이 잘 이루어지지 않는 경우가 발생하고 있고, □ 조립 부재간 목표 위치에 정합되는 과정에서 시야확보 및 다양한 작업 환경으로 인해 부재의 움직임과 위치를 정확하게 파악하는 것은 물리적으로 한계가 있어, 원활한 급속 시공과 정밀 시공을 위해 작업자에게 시각적으로 전달하는 기술이 반드시 필요. □ 또한, Precast 부재의 제작되거나 변형된 형상을 검수하기 위해서는 현재 인력에 의한 육안검사에 의존하고 있으며, 고가구조물과 같은 대형 부재의 검수에는 정확한 계측이 어렵고 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 안전사고가 발생할 수 있는 위험성이 매우 높음. □ 그러므로, 경전철 고가구조물의 정밀·급속 시공을 위해서는 사전 제작된 구조물 부재 혹은 모듈이 실제로 제작되고 변형된 as-built 형상 파악이 필수이므로, 정밀하고 안전하게 구조물 부재 혹은 모듈의 형상을 관리하고 계측된 형상을 시각화 하여 나타낼 수 있는 기술이 필요함.				
연구 목표	□ 드론 기반 실시간 공간정보를 활용한 도심지 경전철 고가구조물의 최적 제작 및 시공 기술 개발 □ 비전 센서 및 드론 기술을 이용한 급속 정밀 시공관리 기술 개발 □ LiDAR와 드론 기술을 이용한 사전 제작된 구조물 부재 혹은 모듈의 as-built 형상관리 및 제작 상태 평가 및 시각화 기술 개발 - 드론에 탑재된 LiDAR를 통한 복잡한 형태의 프리캐스트 구조물 부재의 형상 계측 및 as-built 형상 획득 기술 개발 - As-built 형상 데이터의 정합을 통한 고가구조물의 3차원 상태 평가 및 제작 오차 시각화 <table border="1" data-bbox="272 1435 1401 2101"> <thead> <tr> <th data-bbox="272 1435 834 1480">As is(기존기술)</th><th data-bbox="834 1435 1401 1480">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="272 1480 834 2101"> ○ 대형 장비에 의한 구조물 시공 관리  <기존 도심지 고가구조물 시공 모습> </td><td data-bbox="834 1480 1401 2101"> ○ Laser Scanning, Smart Sensor, Virtual Construction, Drone Survey 등의 ICT 기술을 활용한 구조물의 정밀 제작 및 시공  <Smart Construction(예시)> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○ 대형 장비에 의한 구조물 시공 관리  <기존 도심지 고가구조물 시공 모습>	○ Laser Scanning, Smart Sensor, Virtual Construction, Drone Survey 등의 ICT 기술을 활용한 구조물의 정밀 제작 및 시공  <Smart Construction(예시)>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○ 대형 장비에 의한 구조물 시공 관리  <기존 도심지 고가구조물 시공 모습>	○ Laser Scanning, Smart Sensor, Virtual Construction, Drone Survey 등의 ICT 기술을 활용한 구조물의 정밀 제작 및 시공  <Smart Construction(예시)>				

- 측량 및 육안 검측에 의존한 구조물 제작 및 시공관리
- 현장 작업자 수신호에 의존한 프리캐스트 부재 및 모듈의 시공
- 지상 LiDAR를 이용하여 국부적인 구조물의 손상 상태를 검사하거나, LiDAR를 여러 위치로 이동시켜 형상 데이터를 계측하는 기존 LiDAR를 이용한 구조물의 형상 계측 기술
- 인력이 접근하기 어려운 경우에는 LiDAR를 설치할 수 없으므로 모든 구조물의 형상을 계측하기 어려움



<측량 및 육안 검측에 의존한 구조물 제작 · 시공 관리>

1. Precast 부재 인양



- 크레인을 활용하여 운반

2. Precast 부재 가설

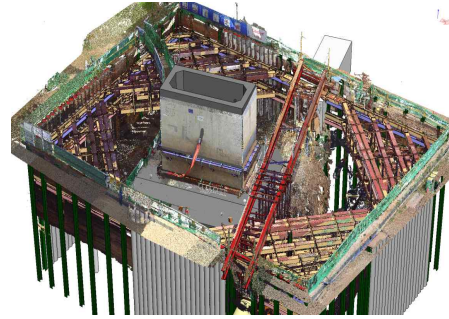


- 운반된 바닥판을 크레인으로 인양하여 부재별 위치에 가설
- 시야 확보의 어려움으로 현장 작업자의 수신호로 위치조정
- 특정 센서 및 장치 미사용

<기존 현장 작업자 수신호에 의한 시공 관리>

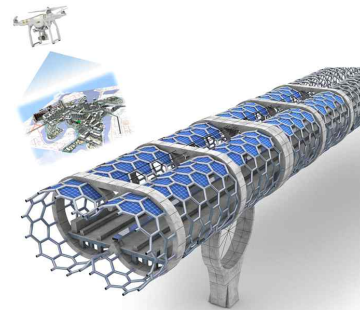


<기존 지상 LiDAR를 이용한 구조물 형상 관리>

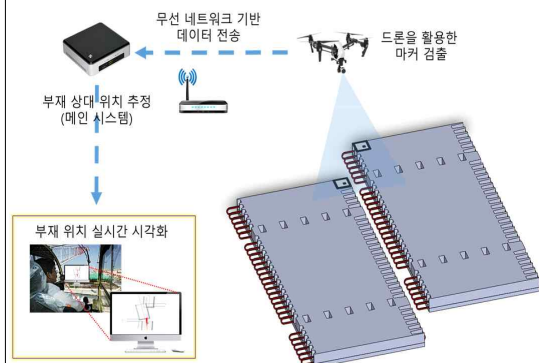


<Pre-Construction 사례>

- 도심지내 실시간 공간정보 구축을 통한 구조물 제작 및 시공관리
- 비전센서를 탑재한 드론을 이용한 프리캐스트 부재 및 모듈의 움직임과 위치 파악에 의한 급속 정밀 시공
- LiDAR를 탑재한 드론을 이용하여 거대 구조물의 신속한 형상 계측 및 인력의 접근이 어렵거나 위험이 있는 구조물의 형상 계측
- 계측한 형상 데이터를 이용한 3차원 as-built 모델 구축 및 구조물의 3차원 상태 평가



<드론 기반의 공간정보를 이용한 스마트 시공 관리>



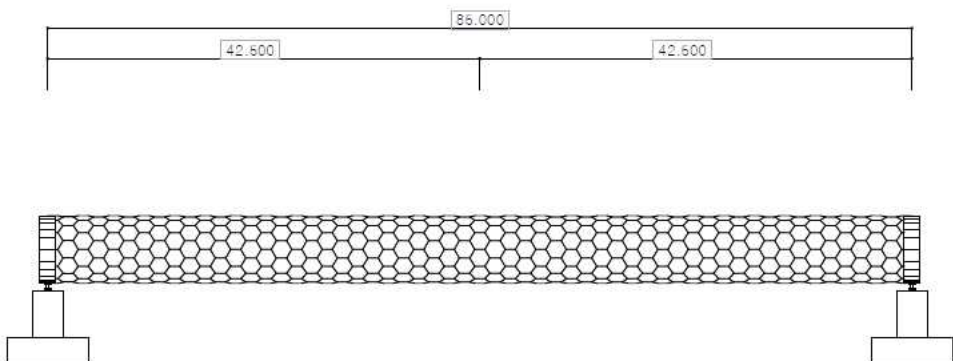
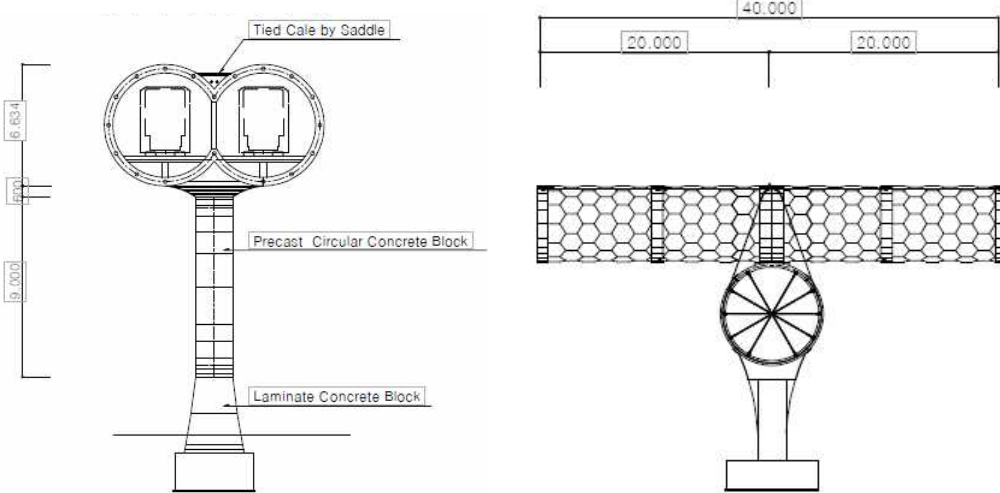
<비전센서를 이용한 구조물 정밀 시공 관리>



<LiDAR 탑재 드론을 이용한 구조물 형상 관리>

연구 내용	☐ ICT 기술을 활용한 개방 튜브형 상부구조물의 정밀 형상관리 및 시공관리 기술 개발 - Laser Scanning을 이용한 개방 튜브형 Unit 및 Module Digital 정보 취득 기술 - Smart Sensing을 이용한 개방 튜브형 Real-time Positioning 정보 취득 기술 - Smart Sensing을 이용한 연결부 외 구조적 안정성 계측 기법 - Drone Survey 기술을 이용한 Sky Guideway 선형 외 현황 정보 취득 기술 - Virtual Assembly 및 Construction 기술을 활용한 정밀도 및 오차 분석 - 설계 및 시공 정보 Real-time 비교 분석 ☐ 드론 기반 실시간 공간정보를 활용한 도심지 경전철 고가구조물의 최적 시공관리 기술 개발 - 드론을 활용한 도심지 내 3D 정밀공간정보 구축 기술 - 광역 및 공사구간별 드론 Mapping 데이터 실시간 구축 및 시공정보 연계 기술 - 드론 Mapping 공간정보 데이터, 3차원 레이저 스캐닝 설계정보 병합 및 가시화를 통한 구간별 정밀 최적 시공 기술 - 구조물 부재 모듈 제작·운반·설치 공정을 고려한 드론 기반 4D 시공정보 구축 및 스마트 시공관리 기술 ☐ 드론 / 비전 센서 기반의 프리캐스트 부재 급속 정밀 시공관리 기술 개발 - 비전센서가 부착된 드론을 활용한 프리캐스트 부재 위치 추정 시스템 개발 - GPS 신호 기반의 광역적 위치 인식 및 비전 마커를 통한 상대적 위치 정보 추정 기술 - 최적의 마커 검출을 위한 집벌 제어 및 목표물 추종 제어 기술 ☐ 드론 / LiDAR 센서 기반의 프리캐스트 부재·모듈의 as-built 형상관리 및 3차원 상태평가 기술 개발 - 복잡한 형태의 고가구조물 프리캐스트 부재 및 모듈의 DB 구축 - 정밀한 형상계측 및 형상관리 기술을 위한 적정 LiDAR 및 드론 선정 - LiDAR와 드론을 활용한 프리캐스트 부재 및 모듈의 형상관리 시나리오 구축 - 경전철 상·하부구조물의 형상 추출 알고리즘 개발 - 3차원 as-built 모델을 위한 형상데이터의 자동 정합 기술 개발 - As-design 모델과의 비교를 통한 3차원 제작 오차 판정 및 시각화 알고리즘 개발
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 전 세계적으로 각광받고 있는 드론 기술을 활용한 공간정보구축 기술을 기반으로 BIM, Pre-fabrication 등의 융복합 기술을 유기적으로 활용하여 국내 건설 산업 생산성 향상에 기여하고, 세계적인 철도기술 경쟁력 확보 - 부재 실시간 측정 기술은 추후 건설 시공 자동화 기술의 요소기술로 활용이 가능한 기술이며 정합 및 조립을 바탕으로 하는 기타 제조업의 발전에 기여 - LiDAR를 탑재한 드론을 이용하여 검사 인력의 접근이 어렵고 위험한 고가구조물의 상태를 평가함으로써, 보다 안전적이고 효율적인 구조물 상태 평가 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 도심지 내에서 경전철용 장경간 고가 구조물의 시공관련 실시간 공간정보 파악 및 시공정보 연계를 통한 최적 제작 및 시공계획 수립과 최신 신기술을 활용한 첨단 정밀 시공관리를 통한 합리적이고 경제적인 구조물 시공 기대 - 혼잡한 도심에서의 시공 시간을 단축함으로써 교통 혼잡 비용을 감소시켜 사회적 경제적 비용을 줄이고, 건설 현장의 안전성을 확보하여 인명 및 재산 피해를 감소시킴 - 기존 검사 인력에 비해 LiDAR와 드론을 활용함으로써, 거대한 고가구조물의 시공 중 혹은 완공 후의 신속한 상태평가가 가능으로 안전한 구조물 구축과 함께 이를 통한 공사기간 단축 및 검사 비용 절감 기대
성과 지표 및 목표	☐ 기존기술 대비 시공속도 10%이상 향상

○ 세세부과제(1-9): 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구

연구 필요성	☐ 개발한 도시 경전철용 장경간 신형식 고가구조물의 구조적인 안전성 검증을 위해, 축소모형이 아닌 실물규모의 구조체를 이용한 중앙 경간부 및 지점부에서의 실패형 재하 성능 검증 연구가 반드시 필요함.
연구 목표	☐ 실물 재하성능 실험용 실물 구조 시험체 제작·시공 ☐ 실물 구조체 재하성능 검증  <상부구조 시험체>  <하부구조 시험체>
연구 내용	☐ 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 - 신형식 고가 상부 및 하부 구조물 실물 구조시험체 설계 - 실물구조 시험체 제작 및 운반 - 시험동 내 실물구조 시험체 조립·구축 및 시공성 검증 ☐ 신형식 고가구조물 실물 내하성능 검증 연구 - 정적 재하 실물 실험 및 내하력 파괴 성능 검증
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 실규모의 장경간 고가구조물에 대한 조립·시공 기술 및 내하성능 검증 기술 확보로 향후 건설 시공 및 검증 기술 발전 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 실물 구조물에 대한 내하성능 검증을 통해, 향후 장경간 고가구조물 시공 및 운영시의 안전성을 확보하여 인명 및 재산 피해 예방
성과 지표 및 목표	☐ 내하 성능 안전율: 120% 이상

○ 세세부과제(1-10): 신형식 고가구조물 Test-bed 시공 및 실차주행 성능검증 연구

연구 필요성	☐ 개발한 도시 경전철용 장경간 신형식 고가구조물의 구조적인 안전성 검증을 위해, 실험형 재하 성능 검증 연구와 함께 실험장 Test-bed 구축 및 실차 주행을 통한 성능 검증 연구가 반드시 필요함. ☐ 개발 기술의 실 시공을 위해, 실물 구조체의 제작, 운반, 조립, 시공에 대한 일련의 개발 기술에 대한 검증이 반드시 필요함.
연구 목표	☐ 100m 장경간 신형식 경전철 고가구조물 제작 및 Test-bed 시공 ☐ 경전철 실차 주행 성능 검증 평면도 S = 1: 600 (a) 평면도 종단면도 S = 1: 600 (b) 종단면도 <Test-bed 경전철 고가구조물(장경간:100m)>
연구 내용	☐ 100m 장경간 신형식 경전철 고가구조물 제작 및 Test-bed 시공 - 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 설계 - 신형식 상부 및 하부 고가구조물 Test-bed 구조체 제작 및 운반 - 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 - 시험장비 현장 시공성 검증 ☐ 경전철 실차 주행 성능 검증 연구 - 실차 동적주행에 따른 장경간 신형식 고가구조물 성능 검증
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 장경간 신형식 고가구조물에 대한 실험장 조립·시공 기술 및 시공장비의 시공성 검증 기술 확보로 향후 건설 시공 및 검증 기술 발전 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 실제 구조물에 대한 실차 주행 성능 검증을 통해, 향후 장경간 고가구조물 시공 및 운영시의 안전성을 확보하여 인명 및 재산 피해 예방
성과 지표 및 목표	☐ 실차 주행에 따른 구조물 응답: 기준치 이내

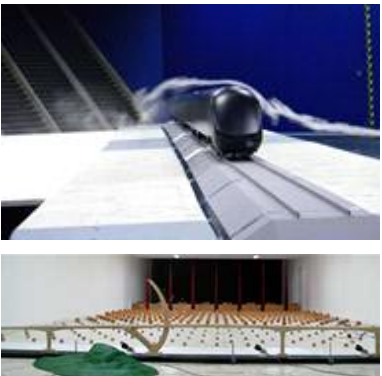
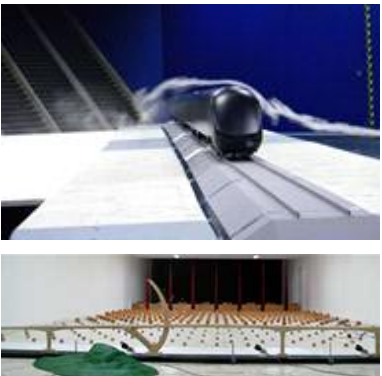
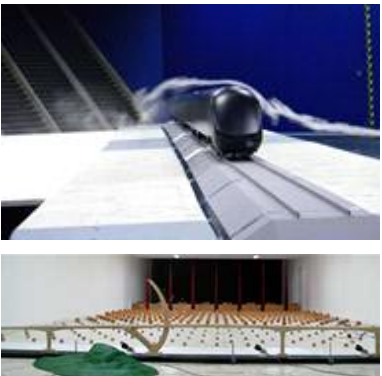
2. 2세부과제: 도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제진·관리 기술 개발

○ 세세부과제(2-1): 신형식 고가구조물의 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발

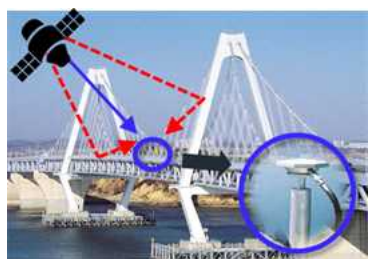
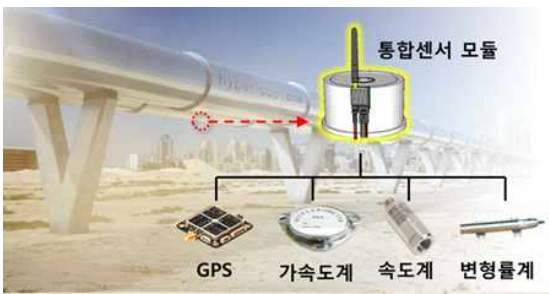
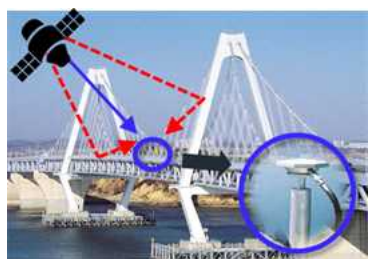
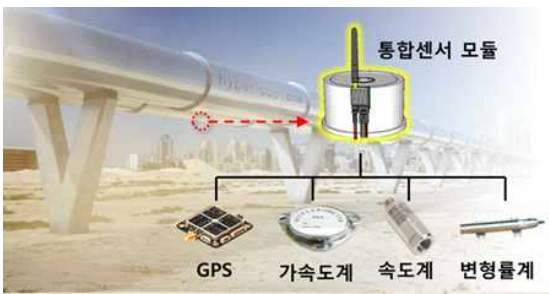
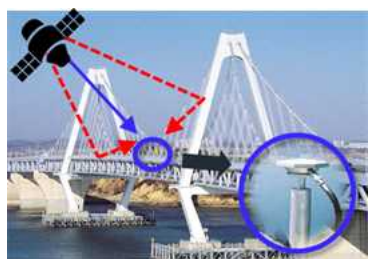
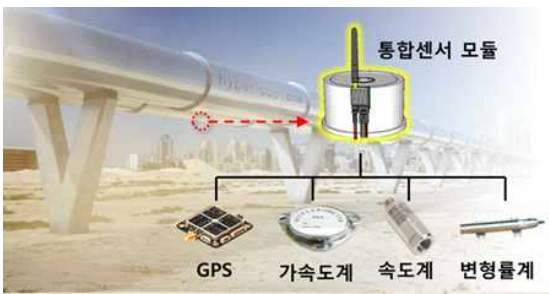
연구 필요성	□ 지금까지의 경전철용 고가구조물들의 경우, 교각간 거리가 짧고 상부 구조가 두꺼워 안정적인 구조를 갖춘 상태였으며, 추가적인 수직방향의 진동 저감이 필요한 경우에는 주로 시공 후에 대형 휨제어장치, TMD 등의 수동형 진동 저감 장치를 사용한 사례가 있음. □ 신형식 고가구조물은 경간장이 200m에 달하고 경량 구조인 관계로 차량하중이나 풍하중과 같은 동적하중에 매우 취약한 유연한 구조물이 되며 이로 인해 과도한 진동 발생이 예상됨. 또한, 기존에 적용되던 진동 저감 장치의 단순적용이나 시공이 완료된 후에 추가적으로 적용하는 방식으로는 문제해결에 커다란 어려움이 있을 것으로 사료됨. □ 이에, 차량하중 및 풍하중에 대한 신형식 고가구조물의 동적안정성 평가를 충실하게 수행해야 하며, 특히 설계 단계에서부터 진동제어 시스템의 도입을 고려함으로써 동적안정성 향상 및 경제성 확보를 동시에 추구할 필요가 있음. □ 또한, 기존 수동형 진동 저감 장치의 단순 적용으로는 신형식 고가구조물에 필요한 수준의 제진 성능을 확보할 가능성이 매우 낮으므로, 다중 TMD 또는 Stockbridge 댐퍼와 같은 새로운 형태의 수동형 제진 장치와 능동형 텐던 제어 및 AMD와 같은 능동형 제진 장치를 복합적으로 활용한 통합 제진 시스템 개발을 통해 다양한 하중 조건에 효과적인 제진 기술 개발이 필수적임.				
연구 목표	□ 차량하중 및 풍하중을 받는 신형식 경전철 고가구조물의 동적안정성 검토 - 차량하중 및 풍하중에 의한 고가구조물의 동적 거동 분석 거동 분석 - 차량하중 및 풍하중 동시 작용 하의 고가구조물 동적안정성 검토 □ 신형식 고가구조물의 진동저감을 위한 복합제어 기반 통합 제진 시스템 개발 - 신개념 다중 TMD(Stockbridge 댐퍼 등)를 이용한 최적 수동제어 시스템 개발 - AMD 및 능동형 텐던 제어 시스템을 이용한 예측제어 기술 개발 - 수동 및 능동 진동 제어 시스템이 조합된 복합제어 기반 통합 제진 시스템 개발 □ 신형식 고가구조물의 제진을 위한 통합 제진 시스템에 대한 제어성능 평가 - 통합 진동제어 시스템 프로토타입 설계 및 제작 및 실험을 통한 제어성능 평가 - Hybrid Simulation 기법을 이용한 통합 제진 시스템 성능 평가 <table border="1" data-bbox="272 1216 1401 2089"> <thead> <tr> <th data-bbox="272 1216 831 1261">As is(기존기술)</th><th data-bbox="836 1216 1401 1261">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="272 1267 831 2089"> ○ 장경간 고가구조물의 수직 진동 저감을 위해, PSC(Prestressed Concrete) 거더를 이용하거나 휨제어장치 등을 이용한 진동 제어 ○ 동조질량감쇠기(TMD)를 이용한 풍하중에 의한 구조물의 진동 제어  <Prestressed Concrete>  <교량에 설치된 TMD> </td><td data-bbox="836 1267 1401 2089"> ○ 장경간·경량 고가구조물의 차량 가진·풍하중에 대해 효과적인 통합 진동제어 시스템(수동제어와 능동제어가 조합된 복합제어 시스템)을 통한 최적 진동제어  모멘트가 큰 지점부 근처 : Active Tendon control 교각 및 교대 : Viscous/MR Damper 구조물의 중앙부: TMD/AMD/HMD Control <경전철 고가구조물의 통합 진동제어 시스템 예시> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○ 장경간 고가구조물의 수직 진동 저감을 위해, PSC(Prestressed Concrete) 거더를 이용하거나 휨제어장치 등을 이용한 진동 제어 ○ 동조질량감쇠기(TMD)를 이용한 풍하중에 의한 구조물의 진동 제어  <Prestressed Concrete>  <교량에 설치된 TMD>	○ 장경간·경량 고가구조물의 차량 가진·풍하중에 대해 효과적인 통합 진동제어 시스템(수동제어와 능동제어가 조합된 복합제어 시스템)을 통한 최적 진동제어  모멘트가 큰 지점부 근처 : Active Tendon control 교각 및 교대 : Viscous/MR Damper 구조물의 중앙부: TMD/AMD/HMD Control <경전철 고가구조물의 통합 진동제어 시스템 예시>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○ 장경간 고가구조물의 수직 진동 저감을 위해, PSC(Prestressed Concrete) 거더를 이용하거나 휨제어장치 등을 이용한 진동 제어 ○ 동조질량감쇠기(TMD)를 이용한 풍하중에 의한 구조물의 진동 제어  <Prestressed Concrete>  <교량에 설치된 TMD>	○ 장경간·경량 고가구조물의 차량 가진·풍하중에 대해 효과적인 통합 진동제어 시스템(수동제어와 능동제어가 조합된 복합제어 시스템)을 통한 최적 진동제어  모멘트가 큰 지점부 근처 : Active Tendon control 교각 및 교대 : Viscous/MR Damper 구조물의 중앙부: TMD/AMD/HMD Control <경전철 고가구조물의 통합 진동제어 시스템 예시>				

연구 내용	☐ 차량하중 및 풍하중을 받는 신형식 경전철 고가구조물의 동적안정성 검토 - 차량하중과 고가구조물 간의 상호작용을 고려한 동적해석을 통한 고가구조물의 동적 거동 분석 - 풍동실험 및 CFD 해석을 통한 풍하중에 의한 고가구조물의 동적 거동 분석 - 고가구조물의 내풍안정성 평가(시공단계별 자유진동해석/플러터 풍속 추정/버페팅 해석 등) - 차량하중 및 풍하중 동시 작용 하의 고가구조물 동적안정성 검토 ☐ 신형식 고가구조물의 진동저감을 위한 복합제어 기반 통합 제진 시스템 개발 - 신개념 다중 TMD(Stockbridge 댐퍼 등)를 이용한 최적 수동제어 시스템 개발 - 차량하중 가진 진동 저감을 위한 AMD 및 능동형 텐던 제어 시스템을 이용한 예측제어 기술 개발 - 수동 및 능동 진동 제어 시스템이 조합된 복합제어 기반 통합 제진 시스템 개발 - 통합 제진 시스템의 제어 성능에 대한 수치적 검증 ☐ 신형식 고가구조물의 제진을 위한 통합 제진 시스템에 대한 제어성능 평가 - 통합 진동제어 시스템 프로토타입 설계 및 제작 - 고가구조물 축소 모형의 가진실험을 통한 열차주행진동 제어성능 평가 - 풍동 실험을 통한 풍진동 제어성능 평가 - Hybrid Simulation 기법을 이용한 통합 제진 시스템 성능 평가 ☐ 통합 제진시스템 Test-bed 구축 및 제어성능 평가
기대 효과	☐ 기술적 측면 - 장경간·경량 고가구조물에 대비한 최적의 진동 제어 기술 확보를 통한 국가 기술 경쟁력 향상 도모 - 통합 진동 제어 기술을 유사한 형태의 다른 대형 구조물(철도교, 도로교 등)에 활용 기대 ☐ 사회·경제적 측면 - 장경간·경량 고가구조물에 대한 진동 제어 시스템 기술 개발로 국내외 고가구조물 건설 시장 선도 - 통합 진동제어 기술의 해외 시장 진출을 통한 국가 경제적 발전에 기여
성과 지표 및 목표	☐ 정량적 기술수준 목표 - 고가구조물의 최대 가속도응답 50% 이상 저감 (비제어시 대비) - 경전철용 고가구조물에 대한 진동사용성 허용 처짐 기준 만족

○ 세세부과제(2-2): 신형식 고가구조물 동적성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가

연구 필요성	□ 장경간 신형식 고가구조물(sky-guideway)의 성공적인 개발을 위해서는, 차량 하중, 풍하중과 같은 동적 하중에 의한 진동문제를 효과적으로 제어할 수 있는 제진 대책과 함께, 개발된 진동제어 시스템의 제진 성능을 효과적으로 검증할 수 있는 기술의 개발이 필요함. □ 지금까지의 고가구조물의 동적 성능검증은 완공된 구조물에 대한 현장에서의 차량 주행실험을 통한 사후검증 위주로 수행돼 왔으며, 특히 차량의 성능검증 중심으로 수행되어, 상대적으로 고가 구조물의 동적 성능검증에는 미흡하였음. □ 이에 장경간·경량의 고가구조물인 만큼 구조물을 중심으로 한 차량 하중, 풍하중과 같은 동적 하중별 진동제어 시스템의 성능을 검증할 수 있는 기술 개발이 필요함.				
연구 목표	□ 장경간 신형식 고가구조물 진동제어 시스템의 성능검증 기술개발 - 장경간 신형식 고가구조물과 동일한 차량진동특성을 갖는 축차 모델 개발 - 장경간 신형식 고가구조물에 대한 경전철의 주행하중을 모사할 수 있는 차량하중모사시스템 개발 - 장경간 신형식 고가구조물과 동일한 풍진동특성을 갖는 공탄성 모델 개발 - 차량하중 및 풍하중에 대한 제진성능 검증 <table border="1" data-bbox="272 703 1401 1323"> <thead> <tr> <th data-bbox="272 703 836 748">As is(기존기술)</th><th data-bbox="836 703 1401 748">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="272 748 836 1323"> ○ 차량주행실험에 의한 단순 내하력 검증 위주의 사후 구조물 진동제어 성능검증  <차량주행실험에 의한 구조물 내하력 검증> </td><td data-bbox="836 748 1401 1323"> ○ 장경간 신형식 고가구조물의 차량 가진 및 풍하중에 대비한 효율적인 통합 진동제어 시스템에 대하여, 별도 동하중 모사 시스템에 의한 사전 구조물 진동제어 성능검증  <동하중 모사 시스템에 의한 진동제어 성능검증> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○ 차량주행실험에 의한 단순 내하력 검증 위주의 사후 구조물 진동제어 성능검증  <차량주행실험에 의한 구조물 내하력 검증>	○ 장경간 신형식 고가구조물의 차량 가진 및 풍하중에 대비한 효율적인 통합 진동제어 시스템에 대하여, 별도 동하중 모사 시스템에 의한 사전 구조물 진동제어 성능검증  <동하중 모사 시스템에 의한 진동제어 성능검증>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○ 차량주행실험에 의한 단순 내하력 검증 위주의 사후 구조물 진동제어 성능검증  <차량주행실험에 의한 구조물 내하력 검증>	○ 장경간 신형식 고가구조물의 차량 가진 및 풍하중에 대비한 효율적인 통합 진동제어 시스템에 대하여, 별도 동하중 모사 시스템에 의한 사전 구조물 진동제어 성능검증  <동하중 모사 시스템에 의한 진동제어 성능검증>				
연구 내용	□ 장경간 신형식 고가구조물의 차량진동에 대한 제진성능 검증시스템 개발 - 장경간 신형식 고가구조물과 동일한 차량진동특성을 갖는 축차모델 개발 - 축차모델에 대한 경전철의 주행하중을 모사할 수 있는 차량하중 모사시스템 개발 □ 장경간 신형식 고가구조물의 풍하중에 대한 제진성능 검증시스템 개발 - 장경간 신형식 고가구조물과 동일한 풍진동특성을 갖는 공탄성모델 개발 - 공탄성모델에 대한 풍하중을 모사할 수 있는 풍하중 모사시스템 개발 □ 개발된 진동제어 성능검증시스템을 이용한 장경간 신형식 고가구조물의 진동제어 성능평가 - 자유진동 및 강제가진 실험을 통한 동특성 분석 - 풍하중/차량하중에 대한 가진실험 및 동적성능 평가 - 장경간 신형식 고가구조물 진동제어시스템의 제진성능 평가				
기대 효과	□ 기술적 측면 - 장경간 신형식 고가구조물에 대한 최적의 진동제어 성능검증 기술 확보를 통한 국가기술경쟁력 향상 도모 - 개발한 진동제어성능검증기술을 유사한 형태의 다른 대형구조물(철도교, 도로교 등)개발시 활용기대 □ 사회·경제적 측면 - 장경간·경량 고가구조물에 대한 진동제어 성능검증 기술 개발로 국내외 고가구조물 건설 시장 선도 - 진동제어 성능검증 기술의 해외 시장 진출을 통한 국가 경제적 발전에 기여				
성과 지표 및 목표	□ 개발한 차량하중 및 풍하중 모사시스템의 진동 오차 10% 이내 (수치해석을 통한 RMS 진동수준 대비)				

○ 세세부과제(2-3): 신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발

연구 필요성	□ 변위는 고정지점을 기준으로 계측되는 물리량으로 변위계측의 중요성에도 불구하고, 현실적으로 정확하게 계측하는 것이 어려운데, 구조물 동적거동 계측에 사용되는 센서 및 계측 시스템은 해외 의존도가 대단히 높은 데다가 계측 정밀도가 낮고 주위 환경의 영향에 제한적으로 사용되는 실정임. - 구조물의 변위 계측에 가장 많이 활용되는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer)의 경우 고정지점 확보를 위해 복잡한 가설 구조물의 설치가 필요하므로 설치시간 및 비용이 과다하고 상시 계측이 제한됨. - RTK-GPS의 경우 샘플주파수와 변위 정밀도가 각각 20Hz와 1~5cm에 불과하며, 특히 수직계측에 취약한 데다가, 멀티패스, 사이클 슬립 등 주위 환경에 대한 영향을 받음. - 레이저 변위센서, LDV, LiDAR 역시 기준좌표가 될 지면에 설치해야 하므로 장기거동 모니터링에 있어 적용성이 떨어지며, 특히 LDV와 LiDAR는 장비 가격이 1억원을 상회하여 망실 및 도난의 위험 때문에 일상계측 현장에 적용하기 어려움 - 비전센서의 경우 날씨에 민감하며, 시야확보가 제한되면 사용이 불가함. 특히, 상시 모니터링을 위해 야간에도 사용한다면 별도의 유지관리가 필요하며 정확도는 비전의 픽셀수에 따라 제한됨 □ 구조물의 과대 변위 발생은 안전성과 직결되므로 건전성 평가에 있어 변위는 가장 중요한 동적응답이며, 특히 장경간 고가구조물의 경우 상대적으로 큰 동적응답이 발생하므로 이에 대한 실시간 고정밀 변위 계측 시스템 활용이 필수적임. □ 이에, 동적응답이 큰 장경간·경량의 고가구조물인 만큼 구조물을 응답을 정밀하게 감시할 수 있는 가속도, GPS, 속도, 변형률계를 통합 계측이 가능한 기술 개발이 필요함.				
연구 목표	□ 가속도, GPS, 속도, 변형률계를 통합한 장경간 고가구조물 정밀 모니터링 시스템 구축 <table border="1" data-bbox="271 996 1396 2072"> <thead> <tr> <th data-bbox="271 996 829 1041">As is(기존기술)</th><th data-bbox="829 996 1396 1041">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="271 1041 829 2072"> ○기존의 기술인 LVDT와 GPS는 각각 고정지점을 필요로 하거나, 멀티패스와 같은 외부환경에 영향을 받아 정밀도 및 정확도의 신뢰성이 낮아 상시 모니터링에 한계가 있음  <고정지점 확보가 필요한 LVDT>  <멀티패스 영향을 받는 GPS> ○기존 에너지 하베스팅 기술은 태양광 및 풍력에너지 기반이며 대부분 매우 큰 규모의 발전소 형태 ○최근 들어 휴대전화, 무선 센서 등이 널리 보급되면서 소형 태양광 및 진동에너지 하베스터들이 개발되고 있으나, 에너지 생산량이 충분하지 않고 하베스터 내구성의 향상이 필요함 </td><td data-bbox="829 1041 1396 2072"> ○별도의 고정지점을 필요로 하지 않는 구조물 부착방식 ○GPS데이터와 가속도, 속도, 변형률계 데이터를 융합한 변위 산출 방식으로 고정밀 센싱(변위추정 오차 2mm 이내 가능)  통합센서 모듈 GPS 가속도계 속도계 변형률계 <GPS, 가속도계, 속도계, 변형률계로 이루어진 통합센서 모듈> ○교량에 부착된 초고효율 고내구성 태양광에너지 하베스터 및 차량 주행시 발생하는 풍력 및 진동에너지 수집용 고내구성 하베스터를 통한 계측 센서 및 교량 LED 조명 작동 </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○기존의 기술인 LVDT와 GPS는 각각 고정지점을 필요로 하거나, 멀티패스와 같은 외부환경에 영향을 받아 정밀도 및 정확도의 신뢰성이 낮아 상시 모니터링에 한계가 있음  <고정지점 확보가 필요한 LVDT>  <멀티패스 영향을 받는 GPS> ○기존 에너지 하베스팅 기술은 태양광 및 풍력에너지 기반이며 대부분 매우 큰 규모의 발전소 형태 ○최근 들어 휴대전화, 무선 센서 등이 널리 보급되면서 소형 태양광 및 진동에너지 하베스터들이 개발되고 있으나, 에너지 생산량이 충분하지 않고 하베스터 내구성의 향상이 필요함	○별도의 고정지점을 필요로 하지 않는 구조물 부착방식 ○GPS데이터와 가속도, 속도, 변형률계 데이터를 융합한 변위 산출 방식으로 고정밀 센싱(변위추정 오차 2mm 이내 가능)  통합센서 모듈 GPS 가속도계 속도계 변형률계 <GPS, 가속도계, 속도계, 변형률계로 이루어진 통합센서 모듈> ○교량에 부착된 초고효율 고내구성 태양광에너지 하베스터 및 차량 주행시 발생하는 풍력 및 진동에너지 수집용 고내구성 하베스터를 통한 계측 센서 및 교량 LED 조명 작동
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○기존의 기술인 LVDT와 GPS는 각각 고정지점을 필요로 하거나, 멀티패스와 같은 외부환경에 영향을 받아 정밀도 및 정확도의 신뢰성이 낮아 상시 모니터링에 한계가 있음  <고정지점 확보가 필요한 LVDT>  <멀티패스 영향을 받는 GPS> ○기존 에너지 하베스팅 기술은 태양광 및 풍력에너지 기반이며 대부분 매우 큰 규모의 발전소 형태 ○최근 들어 휴대전화, 무선 센서 등이 널리 보급되면서 소형 태양광 및 진동에너지 하베스터들이 개발되고 있으나, 에너지 생산량이 충분하지 않고 하베스터 내구성의 향상이 필요함	○별도의 고정지점을 필요로 하지 않는 구조물 부착방식 ○GPS데이터와 가속도, 속도, 변형률계 데이터를 융합한 변위 산출 방식으로 고정밀 센싱(변위추정 오차 2mm 이내 가능)  통합센서 모듈 GPS 가속도계 속도계 변형률계 <GPS, 가속도계, 속도계, 변형률계로 이루어진 통합센서 모듈> ○교량에 부착된 초고효율 고내구성 태양광에너지 하베스터 및 차량 주행시 발생하는 풍력 및 진동에너지 수집용 고내구성 하베스터를 통한 계측 센서 및 교량 LED 조명 작동				

	 <큰 규모의 태양광/풍력 발전소> <태양광 충전기 및 진동에너지 하베스터> <태양광, 풍력, 진동에너지 하베스터 적용 예시>
연구 내용	□ 변위추정을 위한 데이터 융합기술 개발 - 실시간 변위 추정 융합 알고리즘 개발 (변위추정 오차 2mm 이내) - GPS와 변형률계를 연계한 정밀 정적변위 알고리즘 개발 □ 장기간 고가구조물 제진·관리용 통합센서 모듈 개발 - 멀티 레이트 샘플링(Multi-rate sampling) 획득 보드 개발 - 보드와 센서를 통합한 단일 센서융합 모듈 개발 □ 에너지 하베스팅 기술 기반의 제진·감시시스템 연계 스마트 전원 공급시스템 개발 - 태양광, 풍력 및 진동에너지 기반 초고효율 고내구성 에너지 하베스터 개발 및 적용기술 연구 - 태양광, 풍력, 진동에너지 하베스터 전력 감지를 통한 통합 센서 작동 및 초고효율 전원공급시스템 개발
기대 효과	□ 기술적 측면 - 기존 구조물에 번거롭게 설치해야 했던 가속도계, GPS 등의 센서를 하나의 시스템으로 대체가능하여 계측의 편의성과 적용범위가 증대 - 기존 기술로 계측하기 힘든 정적/동적 변위를 3축에 대해 동시/실시간 계측이 가능한 기술을 개발함으로써 변위계측분야의 핵심 원천기술 확보가 가능하며 기술 선점효과 확보 - 기존 센서보다 계측능력(정밀도 및 샘플주파수)이 월등히 우수하므로, 구조물 안전관리 및 건전성 모니터링 기법의 정확도가 향상되어 검사의 신뢰성을 높일 수 있으며 구조물의 안전도를 제고할 수 있음 - 기존 변위센서보다 적용성이 뛰어나 시공중 구조물, 고속철도, 고층빌딩, 노후 구조물, 원자력 발전소, 댐 등 다양한 구조물의 건전도 모니터링에 적용가능함 □ 사회·경제적 측면 - 전 세계적으로 사회기반시설물 및 건설 분야 유지관리 및 건전성 모니터링 시장에서 가속도 및 변위 센서는 연간 약 8억 달러 규모의 시장을 형성하고 있는 것으로 추산되며, 향후 연 17%의 성장세를 보일 것으로 예상됨. 따라서 향후 해외시장에 성공적으로 진입해 시장의 1%를 점유할 경우 연간 8백만 달러 규모의 매출을 기대할 수 있음 - 구조물 변위는 구조물 안전성 평가에 가장 중요한 지표임에도 불구하고 실제 계측의 어려움으로 인해 변위기반 안전성 평가기준이 확립되지 않고 있으나, 변위기반 구조물 안전기준 수립이 가능해짐으로써 더욱 효과적인 안전관련 규정 및 법령 제정 가능 - 구조물 동적거동 계측의 정확도 제고를 통해 손상 구조물의 조기진단이 가능하며, 국가 주요 구조물의 안전성을 향상시켜 대형사고 방지, 국가이미지 쇄신, 국민 신뢰확보 등의 효과 기대
성과 지표 및 목표	□ 변위 측정 2 mm 이내 정확도, 100 Hz 이상의 샘플링 주파수로 변위 계측

○ 세세부과제(2-4): 구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발

연구 필요성	□ 케이블 장력 완화는 프리스트레스 구조물의 전체적인 강성의 저하를 야기하여 극단적인 경우 구조물 붕괴 및 막대한 인적/경제적 피해가 불가피함. □ 실제, 2016년 2월 서울시 내부순환로 정릉천고가 구조물 중 케이블에 대한 점검결과 다수의 부분절단 및 부식이 진행되는 등 결함이 심각한 상태가 발생한 바 있으며, 손상이 발견된 케이블의 경우 외부 노출 형태로 다행히 인력점검을 통하여 발견 및 사전대처가 가능했으나, □ 대다수의 신설 프리스트레스 구조물의 내부에 케이블을 포함하고 있으므로 인력점검으로 인한 손상 발견이 불가능하며, 인력점검이 가능한 외부 노출 케이블이라 하더라도 구조물의 안전을 위해 실시간 자동감시가 가능하도록 하는 구조물 내부 케이블 장력 모니터링 기술개발이 시급함				
연구 목표	□ 내장형 무선 케이블 장력 모니터링 시스템 개발 - 설계 변경, 전력선 및 배터리 교체 없이 케이블의 정착부에 시공 중 내장되어 케이블의 장력 변화를 반영구적으로 모니터링 할 수 있는 내장형 무선 케이블 장력 모니터링 시스템의 원천기술 개발 및 세계 최초 구현 <table border="1" data-bbox="271 667 1401 1641"> <thead> <tr> <th data-bbox="271 667 834 712">As is(기존기술)</th><th data-bbox="834 667 1401 712">To Be(개발기술)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="271 712 834 1641"> ○ 시공중 일시적으로 케이블 장력 계측 가능 ○ 공용중 고가 구조물의 외부 노출 텐던 경우 육안 검사를 통한 케이블 건전성 평가 ○ 계측 데이터 유선전송 또는 수기 기록 관리  시공 중 일시적 계측  육안 검사 <기존 육안검사 및 시공중 장력 계측> </td><td data-bbox="834 712 1401 1641"> ○ 시공중 내장되어 반영구적으로 구동 가능한 내장형 무선 센서노드로서, ○ 와전류 기법을 적용한 저비용·저전력 센서노드 구동으로, 케이블 장력 10 kN 수준의 변화 감지를 통한 구조물의 안전성/사용성 진단 가능 ○ 구조물 투과 무선 전력전송 효율 25% 이상, 전력량 5W 이상 전력 전송 및 무선 신호 약 1,000 bit/s 전송으로 센서에 접근하지 않고 관리 가능  <케이블 긴장력 감시용 내장형 센서 및 무선 감시시스템 예시> </td></tr> </tbody> </table>	As is(기존기술)	To Be(개발기술)	○ 시공중 일시적으로 케이블 장력 계측 가능 ○ 공용중 고가 구조물의 외부 노출 텐던 경우 육안 검사를 통한 케이블 건전성 평가 ○ 계측 데이터 유선전송 또는 수기 기록 관리  시공 중 일시적 계측  육안 검사 <기존 육안검사 및 시공중 장력 계측>	○ 시공중 내장되어 반영구적으로 구동 가능한 내장형 무선 센서노드로서, ○ 와전류 기법을 적용한 저비용·저전력 센서노드 구동으로, 케이블 장력 10 kN 수준의 변화 감지를 통한 구조물의 안전성/사용성 진단 가능 ○ 구조물 투과 무선 전력전송 효율 25% 이상, 전력량 5W 이상 전력 전송 및 무선 신호 약 1,000 bit/s 전송으로 센서에 접근하지 않고 관리 가능  <케이블 긴장력 감시용 내장형 센서 및 무선 감시시스템 예시>
As is(기존기술)	To Be(개발기술)				
○ 시공중 일시적으로 케이블 장력 계측 가능 ○ 공용중 고가 구조물의 외부 노출 텐던 경우 육안 검사를 통한 케이블 건전성 평가 ○ 계측 데이터 유선전송 또는 수기 기록 관리  시공 중 일시적 계측  육안 검사 <기존 육안검사 및 시공중 장력 계측>	○ 시공중 내장되어 반영구적으로 구동 가능한 내장형 무선 센서노드로서, ○ 와전류 기법을 적용한 저비용·저전력 센서노드 구동으로, 케이블 장력 10 kN 수준의 변화 감지를 통한 구조물의 안전성/사용성 진단 가능 ○ 구조물 투과 무선 전력전송 효율 25% 이상, 전력량 5W 이상 전력 전송 및 무선 신호 약 1,000 bit/s 전송으로 센서에 접근하지 않고 관리 가능  <케이블 긴장력 감시용 내장형 센서 및 무선 감시시스템 예시>				
연구 내용	□ 와전류를 이용한 케이블 장력 진단 알고리즘 및 센서노드 개발 - 케이블 장력에 따른 구조물의 전자기장 변화의 정량적 확인을 통한 와전류 센서의 최적화 - 케이블 장력과 와전류 센서의 신호변화의 관계를 통한 장력 진단 알고리즘 개발 - 단일 및 다중 케이블의 장력 변화를 통한 개발된 진단 알고리즘의 성능평가 실험 및 검증 - 개발된 케이블 장력 진단 알고리즘 탑재 내장형 무선 장력 모니터링 센서노드 개발 □ 케이블 정착부 내장형 무선 장력 감시시스템 개발 - 케이블 장력 진단을 위한 내장형 프로세서 및 자기유도 기반 전력/신호 전송 모듈 등 센서노드 개발 *운영방식: 검사용 기차는 주기적 또는 필요시 내장형 센서가 설치된 상부 주행궤도에 접근하여, 자기유도/공진 기반 무선 전력/신호 전송 기술을 통해 전력을 공급하고, 장력 측정 결과 신호를 수집 - 단일 및 다중 케이블 시험체의 응력변화 모니터링을 통해 실험실 환경에서의 케이블 내장형 무선 장				

	력 모니터링 센서노드 성능평가/검증 - 실구조물과 동일한 크기의 Mock-up 구조물 제작 및 테스트베드를 통한 현장조건과 유사한 환경에서의 무선 센서노드 성능평가/검증 □ 케이블 긴장력 감시 센서 연계 이상신호 자동 경보시스템 구축 - 긴장력 모니터링 센서와의 연계를 통해 긴장력 이상치 발생시 설계허용 변위와 비교하여 자동 경보 알람 시스템 구축 - 내장된 가속도 센서로 지진 등에 의한 이상치 발생시 설계허용 변위와 비교하여 자동경보 알람 시스템 구축 □ 열차주행시 구조물 내장 · 일체형 센서로의 자기유도 기반 무선 전력 · 센싱데이터 전송 기술 개발 - 구조물이 전력/신호 전송에 미치는 영향 분석 - 구조물 통과 기능을 갖는 최적 성능의 무선 전력/센싱데이터 전송 기술 개발 - 자기유도/공진 기반 무선 전력/센싱데이터 전송 모듈 설계/제작 - 실 구조물 시험체를 대상으로 한 무선 전력/센싱데이터 전송 모듈 성능 검증
기대 효과	□ 기술적 측면 - 기존 고가의 유선계측시스템 기반으로 수행되고 있는 케이블 모니터링 시스템을 무선내장형 센서노드 시스템으로 대체할 수 있는 세계최초/최고 핵심 원천기술 확보 - 기존 설계변경, 전력선 및 배터리 교환이 필요 없는 반영구적 무선 내장형 센싱 기술 개발을 통한 센서노드 내구성/수명 향상 및 모니터링 시스템의 적용성 · 운용성 개선 - 지리적, 환경적 요인에 의하여 인력의 접근이 어려운 원자력 발전소, 초고층 빌딩 등 케이블이 포함된 구조물의 구조적 안전성 모니터링에 활용 가능 □ 사회 · 경제적 측면 - 케이블 장력 완화의 조기 진단을 통한 구조물 안전성 향상 및 대형사고 방지 - 첨단 안전 모니터링 기술 개발/적용을 통하여 최근 사회에 팽배한 국민들의 사회기반시설물 및 공공시설물 안전에 대한 불안감 해소 - 최근 구조물 노후화 진행과 함께 급격히 성장하고 있는 세계 구조물 유지관리 분야의 새로운 시장 개척 및 시장 우위 선점
성과 지표 및 목표	□ 20 kN 정밀도로 내장형 케이블 장력 실시간 계측 □ 센서 무선 전력/신호 전송효율 25%, 전력전송량 5W, 무선신호 1,000 bit/s

- 2개 세부과제로 구성된 연구단 규모의 연구과제로 산학연 공동연구의 수행체계 수립
- 1세부과제는 산학연 공동으로 도시 경전철용 신형식 고가구조물 개발을 위한 설계기준, 신형식 구조 설계, 상·하부구조물의 정밀 제작 및 시공 기술을 개발하고, 신형식 고가구조물의 구조 성능 검증을 위한 실무구조 시험체 및 Test-bed를 구축하여 성능검증 연구를 수행
 - 도시 경전철용 신형식 고가구조물의 설계부터 제작, 시공, 검증까지 유기적이고 일관된 연구수행체계 수립
- 2세부과제는 산학연 공동으로 개발된 장경간의 도시 경전철용 신형식 고가구조물의 안전한 운용과 지속적인 유지를 위한 핵심 부속 연구로서, 신형식 고가구조물에 적합한 최적의 동적 제어 기술 및 안전한 구조물 구현을 위한 신형식 고가구조물의 핵심 부재에 대한 상태관리 기술을 개발하고, 성능평가 연구를 수행
 - 도시 경전철용 신형식 고가구조물의 구조물의 동적 응답 예측과 이를 활용한 최적의 동적제어 및 상태감시, 이에 필요한 에너지까지 상호 유기적으로 연계된 연구수행체계 수립

국토교통부

- R&D 예산 지원
- R&D 성과의 철도정책 연계

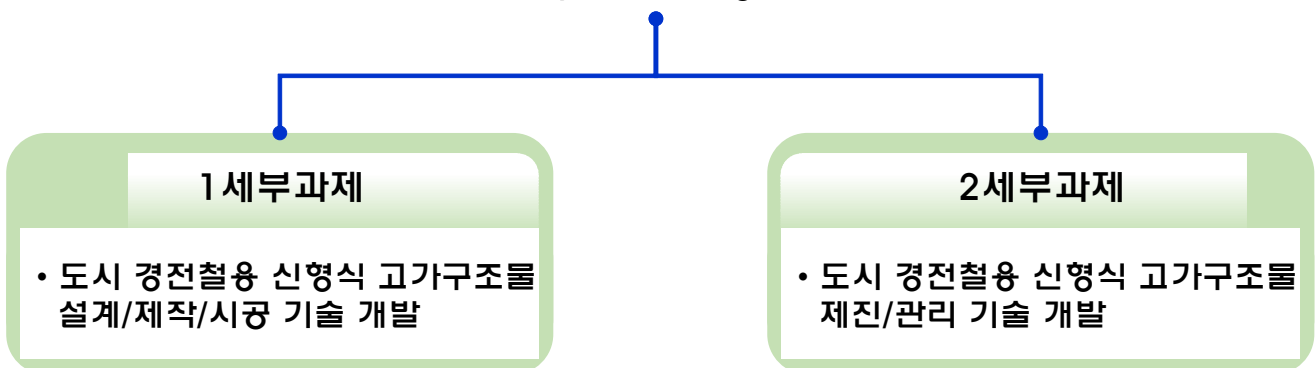
전문기관

국토교통과학기술진흥원

- R&D 기획/관리/평가

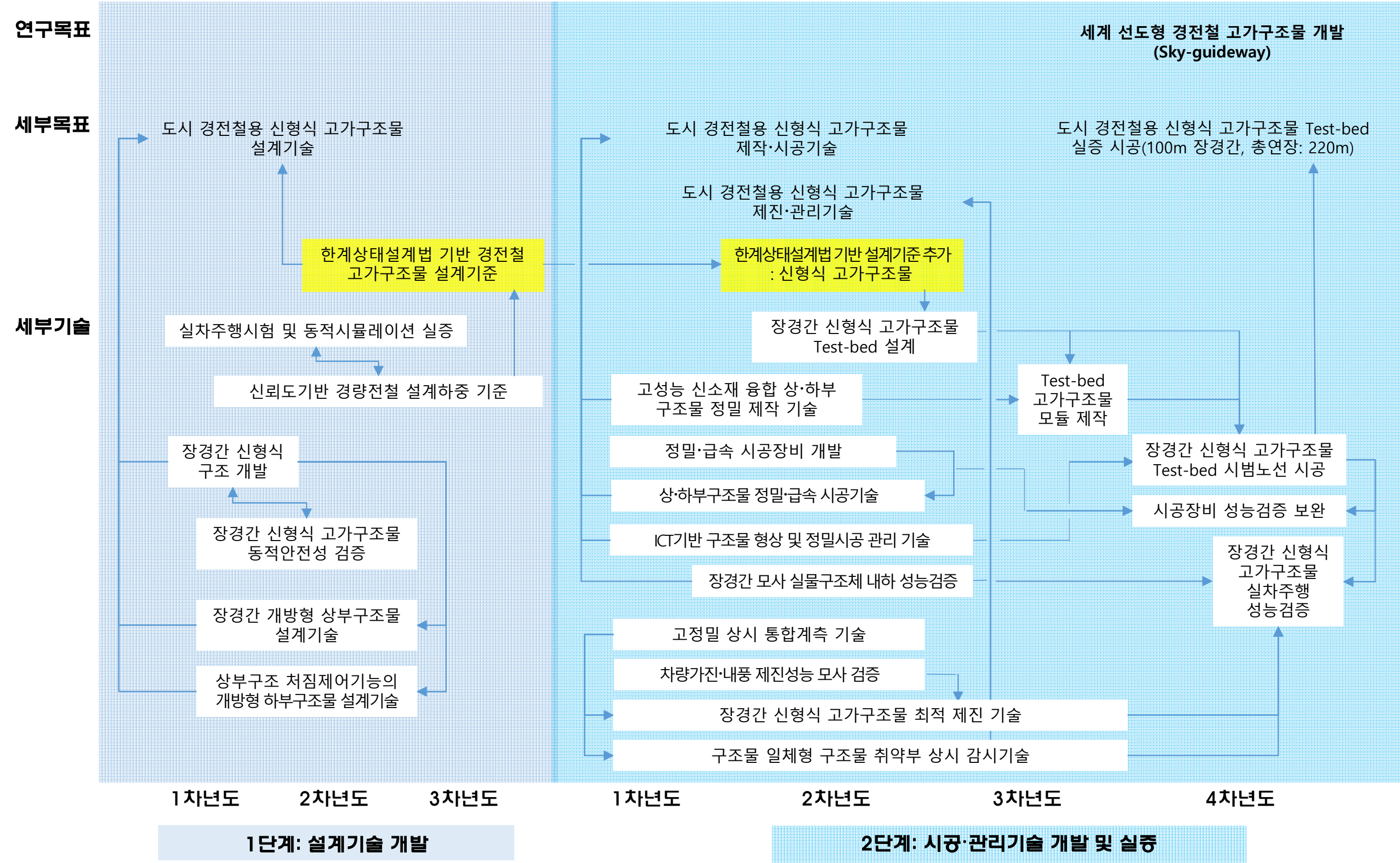
주관연구기관 (연구단장)

- 도시 경전철용 신형식 고가구조물 개발 총괄



<연구추진체계도>

- 본과제는 세계 선도형의 하이 리스크(high-risk) 과제인 만큼, 시급한 경전철 고가구조물에 대한 설계기준 마련과 함께 장경간 신형식 고가구조물의 설계기술 개발을 통한 기술실현 가능성을 선 검증 후 후속단계 기술개발을 추진하는 등 설계기술, 시공·관리 기술 개발 및 실증 연구로 단계별 추진
- 전체 기술로드맵(Technical Roadmap)은 아래 그림과 같으며, 1단계(설계기술 개발 단계), 2단계(시공·관리기술 개발 및 실증 단계)에 대한 세부목표 및 세부 개발기술간 연계도를 나타냄.



<1단계: 세계 선도형 경전철 고가구조물 설계기술 개발>

○ (1세부과제) 도시 경전철용 신형식 고가구조물 설계기술 개발

세세부과제	주요 연구내용	1차년도				2차년도				3차년도				주요성과물
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1-1 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구	신뢰도 기반 경량전철 설계하중 연구													고가교설계 하중 기준
	실차주행시험 및 동적시뮬레이션 실증 연구													실측DB, 구조해석DB
	한계상태설계법 기반의 경전철 고가구조물 설계기준(안) 연구													한계상태설 계법 기반 설계기준서
1-2 도시 경전철용 고가구조물 신형식 구조 및 최적설계기법 개발	장경간 신형식 고가구조 개발													200m장경간 신형식구조
	장경간 신형식 고가구조물 최적 설계기법 개발													신형식구 조 설계기법
	신형식 고가구조물 동적안전성 검토 및 축소모형 제작													200m고가교 축소모형

<2단계: 세계 선도형 경전철 고가구조물 건설기술 개발>

○ (1세부과제) 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제작·시공 기술 개발

세세부과제	주요 연구내용	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				주요성과물
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1-3 장경간 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계기술 개발	장경간 개방 튜브형 상부구조 형상 도출 및 해석기법 개발																	장경간구조 해석기법
	장경간 개방 튜브형 상부구조 상세설계																	개방튜브형 상부구조 설계도
1-4 상부구조물 처짐제어기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계기술 개발	장경간 상부구조 처짐제어용 Cable-stayed Pier시스템 상세설계																	200m장경간 부모멘트 제어시스템
	개방형 Circular 하부구조 상세설계																	개방형 하부구조 설계도
1-5 고성능 신소재 융합 상부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	상부구조 경량화를 위한 첨단 신소재 및 적용 기술 개발																	상부경량화 고성능신소재
	고성능 신소재 적용 하이브리드 구조체 제작 기술 개발																	신소재 융합 상부구조체 제작지침서
	고성능 신소재 적용 하이브리드 구조체 시공 기술 개발																	상부구조물 시방서
	장경간 상부구조물 모듈간 연결· 조립 기술 및 신축시스템 개발																	상부구조 연결부 제작지침서
	고성능 신소재 적용 경량 바닥판 개발																	경량바닥판 시방서
1-6 고성능 신소재 융합 하부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	신형식 하부구조물 제작을 위한 첨단 신소재 및 적용 기술 개발																	하부슬림화 고성능신소재
	장경간 상부구조 처짐제어용 개방형 하부구조 제작 기술 개발																	하부구조체 제작지침서
	장경간 상부구조 처짐제어용 개방형 하부구조 시공 기술 개발																	하부구조물 시방서
1-7 신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발	자가 승강 방식의 조립식 시공장비 개발																	조립식승강 시공장비
	구조물 정밀 시공 위한 전후·좌우 조정 가능한 Skid 시스템 개발																	정밀미세조정 시공장비
1-8 시공 단계에서의 ICT기반 구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발	ICT 기반의 장경간 상부구조물 정밀 제작·급속 시공관리 기술 개발																	ICT기반 시공관리 지침서
	드론기반 실시간 공간정보를 활용한 고가구조물 최적 시공기술 개발																	드론기반 시공관리 지침서

세세부과제	주요 연구내용	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				주요성과물
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1-9 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능검증 연구	신형식 고가구조물 실물 구조시험체 설계																	실물구조 시험체 설계도
	신형식 고가구조물 실물 구조시험체 제작·구축																	신형식고가교 실물구조 시험체
	신형식 고가구조물 실물 내하성능 검증 연구																	내하성능 실험보고서
1-10 신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구	신형식 고가구조물 Test-bed 설계																	신형식고가교 Test-bed 설계도
	신형식 고가구조물 Test-bed 제작 및 시험시공																	신형식고가교 (100m장경간)
	신형식 고가구조물 Test-bed 실차주행 성능검증 연구																	실차주행 성능검증 실험보고서

○ (2세부과제) 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리 기술 개발

세세부과제	주요 연구내용	1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				주요성과물
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
2-1 신형식 고가구조물의 차량가진·내풍 안전성 평가 및 최적 제진시스템 개발	신형식 고가구조물 차량진동 제어 기술 개발																	차량진동 제진장치
	신형식 고가구조물 풍진동 제어 기술 개발																	풍진동 제진장치
	차량진동 및 풍진동 통합진동 제어시스템 성능평가																	통합제진 시스템 및 실험보고서
	최적 제진시스템 Test-bed 시험구축 및 성능검증																	제진시스템 현장 성능 검증보고서
2-2 신형식 고가구조물 동적성능 검증시스템 개발 및 제진성능평가	신형식 고가구조물의 제진성능 검증 모사시스템 개발																	제진성능검증 모사시스템
	신형식 고가구조물의 진동제어 성능 평가																	차량·풍진동 제진성능 실험보고서
2-3 신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발	변위 추정을 위한 데이터 융합기술 개발																	통합계측 알고리즘
	장경간 고가구조물 제진·관리용 통합센서 모듈 개발																	통합센서 모듈
	에너지 하베스팅 기술 기반 통합센서 스마트 전원 공급시스템 개발																	고내구성, 고효율 전원 공급시스템
	고정밀 통합계측시스템 Test-bed 시험구축 및 성능검증																	계측시스템 현장 성능 검증보고서
2-4 구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발	와전류를 이용한 케이블 장력 진단 알고리즘 개발																	케이블 장력 진단 알고리즘
	케이블 정착부 내장형 무선 장력 감시센서 개발																	구조물내장형 감시센서
	케이블 긴장력 감시센서 연계 이상신호 자동경보시스템 구축																	케이블긴장력 감시시스템
	자기유도기반 구조물 내장 센서로의 무선 전력 및 데이터 전송 기술 개발																	무선전력 신호전송모듈
	신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 Test-bed 시험구축 및 성능검증																	감시시스템 현장 성능 검증보고서

제4장. 기술개발 타당성 검토

1절. 정책적 타당성

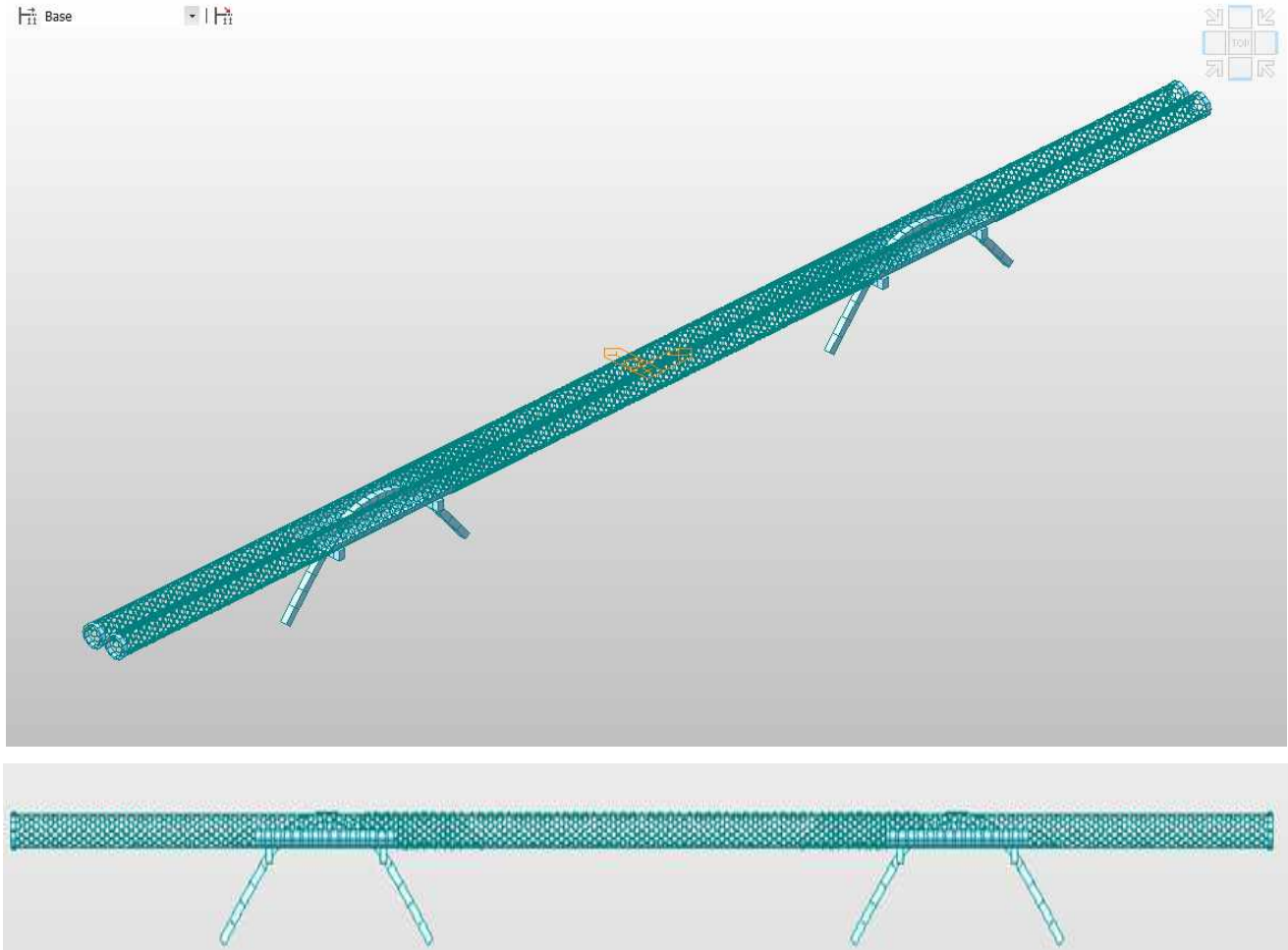
- 지난 20세기까지는 개발·성장·효율이 사회발전의 주요 개념이었으므로 이동성의 증진이 교통정책의 목표가 되어왔지만, 현재 환경, 형평에 대한 가치의식 변화와 IT기술의 발달로 공간적인 제약이 허물어지면서 교통체계도 새로운 패러다임의 설정이 요구되고 있음
 - 따라서 새로운 교통체계의 목표는 이동성과 더불어 환경성·소통성·형평성·안전성 등이 강화되면서 인간이 중심이 되는 교통시설이나 교통수단을 기반으로 지속가능한 교통체계로서의 변환이 되어가고 있음
 - 지속가능한 교통체계란 환경의 질을 저해하지 않고 경제성장과 사회발전을 이루면서 사람, 장소, 물건, 서비스에 대한 이동성과 소통성을 증진시켜 국가경쟁력을 강화할 수 있는 미래교통체계를 의미함.
- 앞으로는, 쾌적하고 편리한 이동성에 환경성·소통성·형평성·안전성 등이 강화된 교통행태의 변화와 삶의 질 중시 성향에 따른 신속·쾌적·안전한 교통수단 및 시설에 대한 욕구 증가, 알기 쉬운 교통정보 제공의 필요성 증대 등 서비스 질적 향상과 더불어 쾌적성, 편리성이 요구될 것이라고 예상됨.
 - 따라서, IT기술 등 첨단기술을 이용한 교통네트워크의 효율성 및 안전성, 교통수단의 편의를 개선하기 위한 교통기술, 첨단기술을 활용한 IT-교통수단 연계기술 등이 주목받을 것으로 예상됨.
 - 이를 통해 이동성 중심인 1세대 교통체계에서 환경친화적 저에너지, 저공해 교통수단의 등장으로 쾌적한 교통환경과 사회 각층의 교통이동권을 보장하고 형평성을 추구하는 클린교통체계 및 융합교통체계가 2세대 미래교통체계의 중심으로 등장할 것임
 - 특히, 인구의 도시집중 현상은 지속될 것으로 전망되어 이로 발생하는 교통이동권 저해 문제, 환경오염 문제 등을 해결하기 위한 노력은 정책의 최우선순위로 설정될 가능성이 높은 상황임
- 도심 내에서 친환경정책 및 도로용량의 한계로 인한 자동차 억제정책*으로 도시철도의 역할과 기술발전이 더욱 증대될 것이며, 도시 간 이동 신속성 및 안전성 확보 중요성 증대로 인해 대안 철도의 이용이 증가하여 관련 융·복합 기술개발이 촉진될 것임
 - * 런던, 싱가포르 등 세계 주요도시는 이미 혼잡도심 내 '자동차 통행세'를 부과하고 있으며, 2014년 서울시도 이를 검토한바 있음
 - 특히, 도심에서 하이브리드 자동차, 전기자동차의 출현으로 환경오염 및 에너지 효율 문제해결이 개선될 것으로 제시하고 있지만 근본적으로 한계에 다다른 도로용량, 배터리 사용시간의 한계, 가격·충전과 수명의 한계 등에 직면하고 있음
 - 더구나, 현재로서는 세계 경제의 급속한 진전을 예측하기는 어려워 전기차가 유류차에 비해 대폭 개선된 경쟁력을 확보하기 까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 판단됨

- 여러 경제·사회적 상황 등을 고려할 때 도시철도 관련 기술개발의 필요성이 우선적으로 요구될 것이며, 이에 따른 정책적 지속성은 타당성이 확보될 것임
 - 물류량의 증가와 인건비의 상승은 보다 효율적인 운송수단의 수요를 증대시키고 신속화와 자동화에 필요한 기술개발에 집중적 투자가 이루어질 수 밖에 없는 환경을 조성할 것임
 - 또한, 철도의 경우 향후 정부의 재정지출 상황 등을 고려할 때 막대한 공사비와 운영비를 줄이는 문제를 해결하기 위한 기술발전이 우선적으로 요구될 것이며, 도심내 철도와 자동차와의 환승 기술, 에너지 효율성, 친환경성, 안전성과 연관된 기술발전도 증대될 것으로 예측됨
- 기본적으로 철도는 정시성, 친환경성, 인당/톤당 수송 및 유지비용 저렴 등의 장점과 국가차원의 사회적 중요성과 파급효과로 인하여 지속적인 성능개선 등과 관련된 기술개발이 이루어질 것으로 예측 가능함
 - 이로 인해 현재의 문제를 해결할 수 있는 도심 교통체계로서 도시철도의 역할이 더욱 중요해 질 것으로 판단됨
 - 도시철도의 경우 최근까지도 선진 유럽에서 유행하고 있는 경전철 교통체계가 우리나라에서도 지속적으로 수요가 확대될 것이며, 현재 경전철 시스템이 가진 문제를 해결하기 위한 정책적 노력이 시급한 상황임
- 현재에도, 도시과밀화, 교통정체 해소 등을 위해 국내 지자체별 다양한 방식의 경전철 사업이 추진 중*이며, 상당수는 비용이 저렴(지하방식의 1/2 수준)한 고가방식 경전철로 추진 예상
 - * 現 46개 노선 33조원 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 대부분 고가형식
 - 현재 경전철 고가구조물은 경간이 짧고 육중하여 도시미관을 저해하고 조밀한 교각(경간 20~50m)으로 인한 도로교통 혼잡 야기 등으로 시민들의 지하화 요구를 유발하고 있고, 지하화의 경우 재정부담으로 사업 추진 자체가 어려운 실정
- 현재 무게가 가볍고 저속(최대 80km/hr)인 경량전철의 특성을 고려한 경전철용 고가구조물에 대한 국내 설계기준이 없어 지나치게 육중하게 과다 설계되고 있는 실정으로 안전성과 경제성 확보를 위한 합리적 설계기준 마련 시급
 - 경전철 고가구조물에 대한 국내설계기준 부재로 기존 철도교 형식의 과다 설계 및 건설비 과다로 예산 낭비, 운영유지비 가중 지적(감사원 경전철 건설사업 추진실태 감사 결과, '13년)
 - * 의정부 경전철, 용인 경전철 등의 파산위기는 수요부족 및 과다한 초기 건설비에 기인
 - 유럽(Eurocode), 캐나다(D/CIM, 설계건설기준) 등 해외 선진국에서 경전철용 고가구조물 설계기준을 운용 중이며, 구조물의 최적화를 위해 한계상태설계법 기반의 설계기준으로 표준화 추진 중
 - * 해외 경전철 고가구조물은 단면적 기준으로 국내 대비 54%(상부구조), 31%(하부구조) 수준(말레이시아 3, 4호선 vs 부산-김해경전철)

-
- 지속적인 경전철의 확충과 이로 인한 국민부담의 경감을 위해, 연구기간내 경전철용 고가구조물 설계기준 마련 및 법제화, 장경간 고가구조물의 설계기술 개발을 추진하여, '19년 이후 경전철 신규사업에 설계기준을 우선 적용 추진
 - 장경간 신형식 고가구조물에 대한 후속 건설기술 개발을 통해 '22년 이후 신규사업에 신형식 고가구조물 도입 추진과 함께, 국내 실적을 기반으로 해외 경전철 시장 진출 병행 추진.
 - * 現 해외건설 수주 효자지역인 동남아(베트남, 말레이시아 등)에서만 17개 노선 300여 km 규모 경전철 사업 계획 중
 - 한편, 정부는 “제3차 국가철도망 구축계획”의 5대 기본 방향으로 철도운영 효율성 제고, 지역거점간 고속 이동서비스 제공, 철도물류 활성화, 통일 대비 외에 대도시권 교통난 해소를 기본 정책 방향 중 하나로 수립 하였으며,
 - 이를 위해, “제3차 철도산업발전기본계획('16~'20)”에서 대도시 광역·도시철도망 확충 정책을 추진하고 있음.
 - 또한, 정부에서는 “제3차 철도산업발전기본계획('16~'20)”에서 국민행복과 경제성장을 견인하는 글로벌 수준 철도산업 육성이라는 비전 하에, 철도 공공분야 거버넌스 개편, 철도운영, 철도건설, 철도안전, 철도산업 생태계 분야별로 추진 목표를 수립하였는데, 이중 광역철도망 통한 이동성 향상, 철도기술 자립 및 미래선도형 R&D 추진을 주요 추진 목표들 중 하나로 수립함.
 - 이와 함께, 정부에서는 “제4차 국토종합계획('11~'20)”을 통해 쾌적한 도시·주거환경 조성전략 정책을 추진하고 있음.
 - 이에, 도시환경과 부합되고 도시경관을 고려하여 구축되는 세계 최초의 장경간(200m) 경전철용 고가구조물 개발이라는 동 과제는 향후 지속적인 광역·도시철도망 확충에 대비하여 쾌적한 도시 환경을 고려하고 미래지향적이고 미래선도적인 철도토목기술 개발 과제로서, 이와 같은 정부의 철도산업 정책에 매우 부합하는 기술개발 과제임.
 - 동 과제의 드론 등 ICT기술의 신형식 고가구조물 시공관리에의 응용기술과 실시간 구조물 상태 위험 감지 가능한 구조물 일체·내장형 센싱기술 등이 적용된 스마트시티에 적합한 구조물 개발로서, 국토교통 7대 신산업의 드론, 스마트시티 분야와 관련되어 있고, 구조물의 초경량화를 위한 신소재 융합 하이브리드 구조체 기술은 19대 미래성장동력의 융복합소재 분야와 관련됨.
-

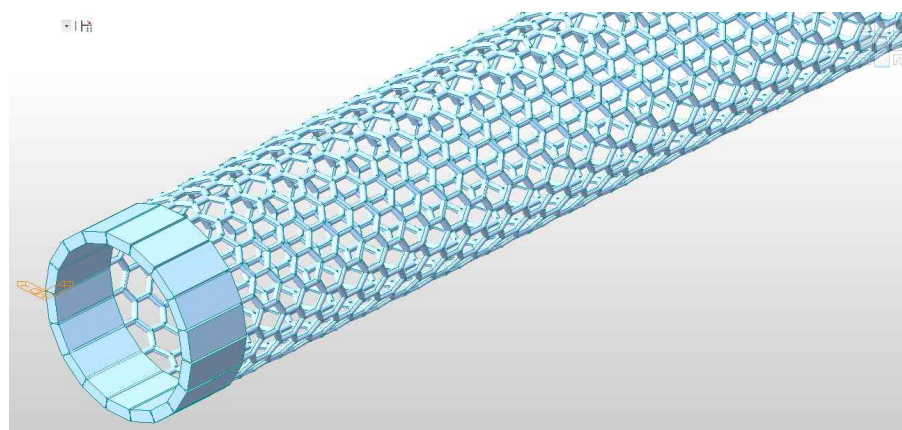
2절. 기술적 타당성

- 국내에서는 기존 일반 및 고속철도 교량에 대한 설계·시공기술과 국외 설계기술을 바탕으로 도시 내 육중한 경전철 고가구조물을 건설하고 있는 관계로, 2013년 감사원의 전국 지자체 경전철 건설사업 추진실태 감사 결과, 경전철 고가구조물에 대한 국내설계기준 부재로 철도교 형식의 과다 설계 및 이로 인한 예산 낭비 초래를 지적받은 바 있음.
- 이렇듯, 육중한 고가구조물로 인한 도시 미관 저해, 조밀한 교각 시공으로 인한 하부 도로교통 혼잡 가중, 소음진동 문제, 사생활 침해 문제 등으로 국민들로부터 고가구조 건설방식의 경전철 사업을 기피하고 지하화를 요구하고 있는 실정임.
- 지하 경전철의 경우, 고가 경전철의 비해 건설비가 2배 이상 비싼 관계로 국가 및 시 재정 부담이 가중되어 결국 신규 고가 건설방식의 경전철 사업 추진이 상당히 어려운 실정임.
- 전 세계적으로 도심지에 적용 가능한 장경간의 고가구조물에 대한 건설기술은 기술공백 상태로, 전략적으로 기술개발 추진을 통해 이분야 기술을 선점할 필요가 있음.
 - 교량의 장경간을 위해 경량재료를 활용하거나 케이블형, 아치형 등의 특수형 교량을 도입한 바 있는데, 이는 도심지내 적용 불가능한 규모가 크고 육중한 형식임.
 - 도심지내 기존 단경간의 고가구조물에 심미적인 효과를 위해 별도의 심미적인 구조물을 덧입힌 시도가 있었을 뿐, 구조 자체적으로 도심지내 도시친화적이고 심미적인 장경간의 구조물로 설계된 사례가 없고 이에 대한 기술 또한 세계적으로 부재한 상태임.
- 이에, 본과제는 세계적 추세인 한계상태설계법 기반으로 경전철용 고가구조물에 대한 설계기준 마련과 함께, 도시조형물 같이 도시친화적으로 도시경관을 살리면서 하부 도로교통 혼잡을 최소화할 수 있도록 장경간(200m) 신형식 고가구조물 개발을 통해 상기 기술한 문제점을 일시에 불식시킬 수 있는 기술개발 과제임.
- 또한, 동 과제는 세계선진기술의 추종형 성격이 아니라, 세계기술을 선도할 수 있는 미래 지향적인 철도기술 개발이라는 미래 선도형 성격의 과제로서, 세계적으로 도시형 고가구조물서 200m의 장경간·경량 구조 형식의 경전철 고가구조물에 대한 설계·제작·시공 및 관리 기술은 전무하므로 이에 대한 기술개발은 타당하다고 판단됨.
- 도시미관을 고려하고, 하부 도로교통 혼잡을 최소화하기 위한 장경간(200m) 기술 구현을 위해 개방형 튜브 형식의 상부 구조에 대한 설계·제작·시공 기술과 함께, 기존의 상부 구조를 단순 지지하는 역할을 탈피하여 장경간 상부구조의 자중 처짐을 제어를 겸할 수 있는 개방형 하부 구조 등 신형식 고가구조물 구조에 대한 설계·제작·시공 기술 개발은 타당함.
 - 기획단계에서, 기본적인 장경간(200m) 고가구조물(개념안)의 상·하부 구조물에 대한 아래의 기본적인 구조 검토를 통해, 충분히 기술개발 실현이 가능한 것으로 검토됨.

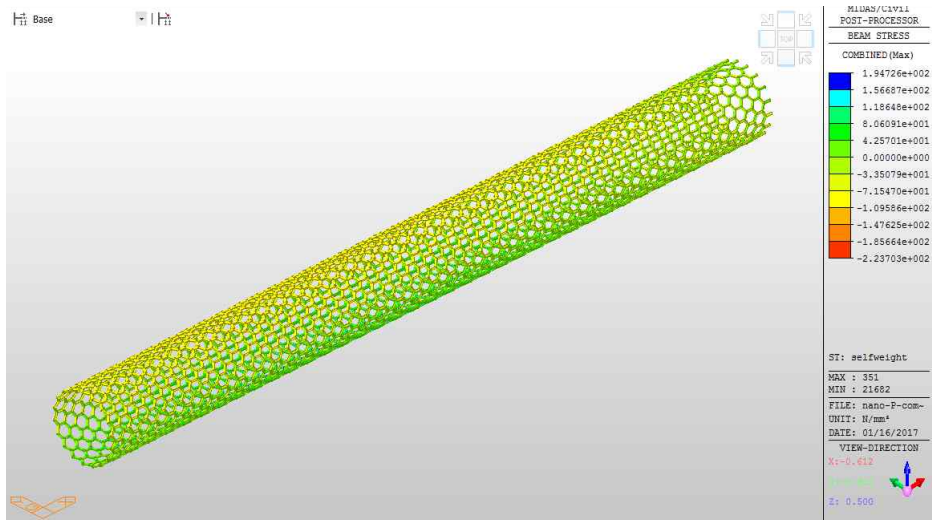
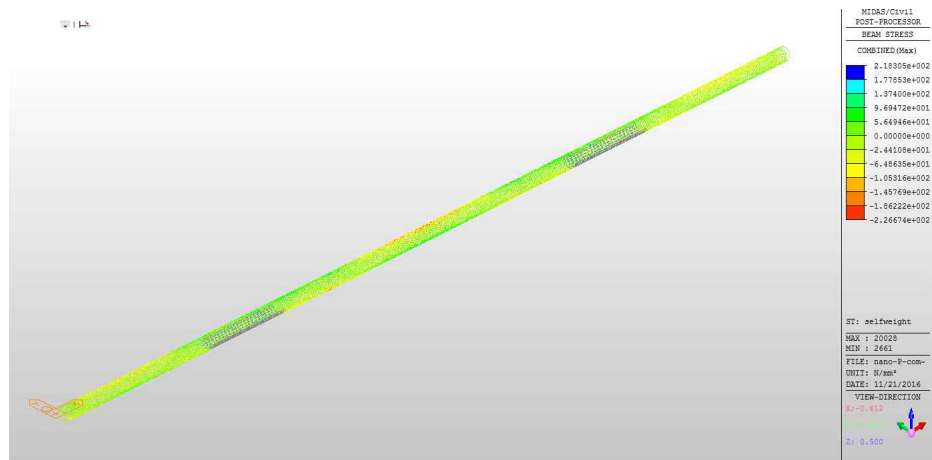


<장경간 신형식 고가구조물 구조해석 모델>

- 경간 200m의 강관 재료를 이용한 육각구조 형식의 상부 구조에 대한 응력 검토 결과, 허용치 수준을 약간 상회하는 수준으로 응력검토 되었으나, 동 과제에서 개발하는 상부 처짐 제어 기능을 갖는 하부구조의 영향을 고려한다면 충분히 허용치 이내 수준을 만족할 것으로 검토됨.



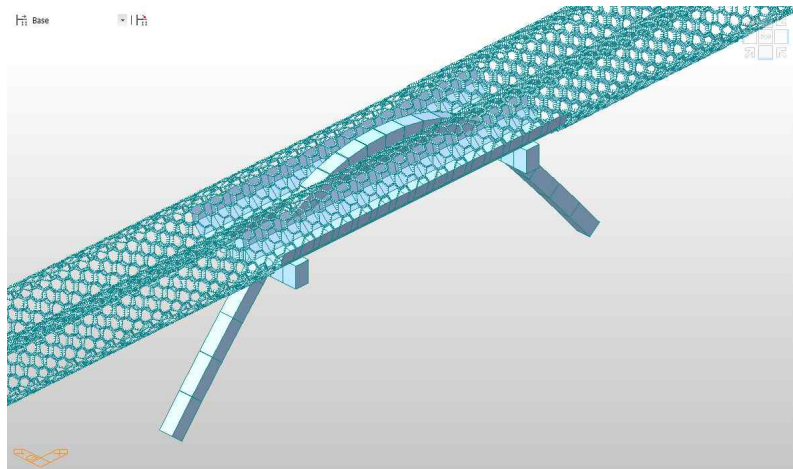
<상부구조물 모델>



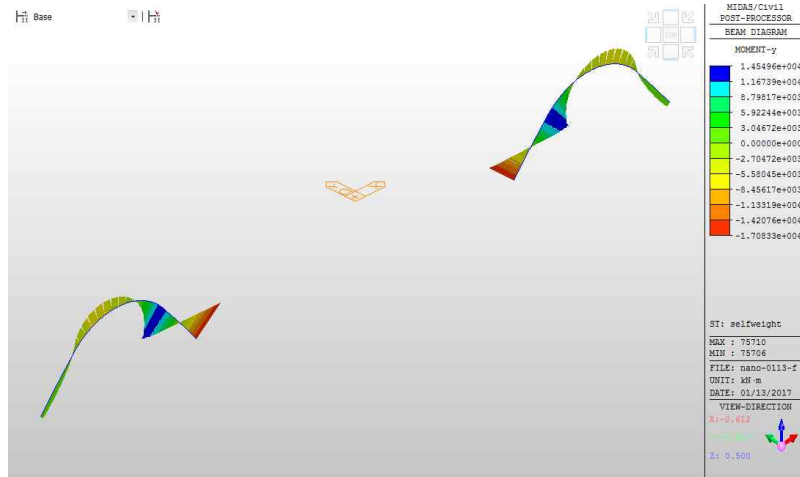
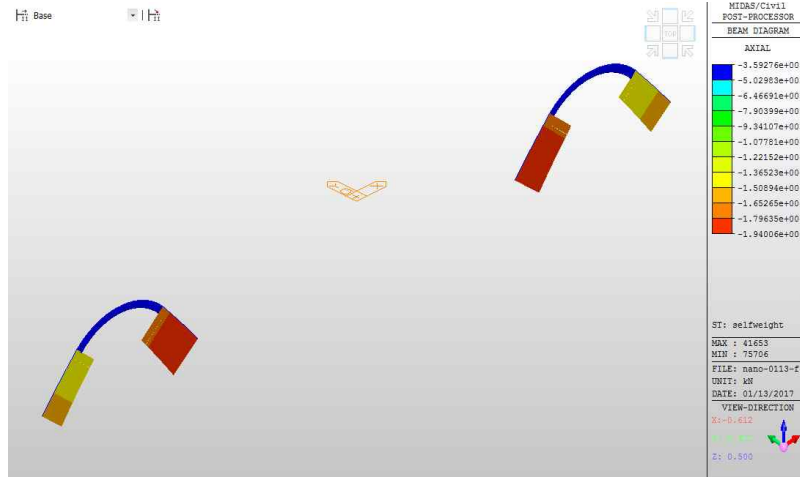
구 분	인장응력(MPa)	압축응력(MPa)	허용응력(MPa)
최대응력	218	227	215

<상부구조물 응력 검토 결과>

- 장경간(200m)를 지지하는 아치형 구조를 갖는 하부 구조에 대한 응력 검토 결과, 하부 구조에 작용하는 최대 축력 및 모멘트가 충분히 설계강도 이하 수준으로 설계 가능함을 검토함.



<하부구조물 모델>

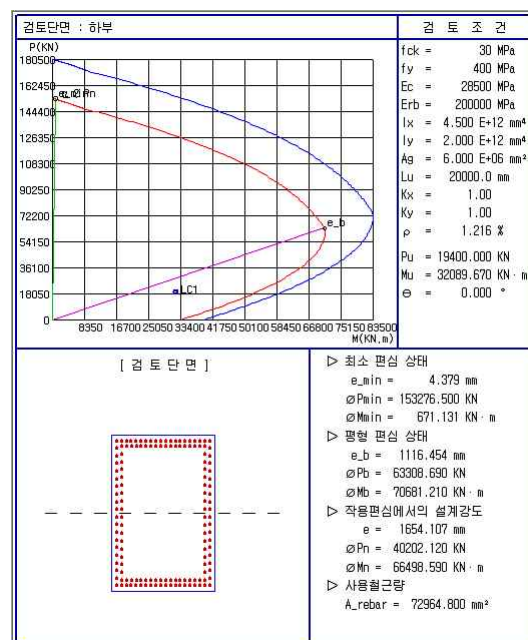


(a)

(b)

구 분	축 력(kN)	모멘트(kN-m)	전단력(kN)
작 용 력	19,400	17,083	1,699

<하부구조물 응력 검토 결과: (a)축력, (b)모멘트>



<하부구조물 단면 검토: P-M 상관도>

○ 경제성 분석의 개요

① R&D사업 경제성 분석의 목적 및 필요성

- 정부나 공공기관의 대형 R&D 사업의 경우 사업은 사전에 사업시행의 타당성 여부 검토를 통해 재정 운영의 효율성 제고 필요
- 이를 위해 사업 추진을 통해 예상 가능한 경제적 파급효과 또는 직간접적 편익을 산정함으로써 사업 추진의 타당성 결정에 활용

② R&D사업 경제성 분석 방법

- 기획재정부에서 발간한 R&D사업 예비타당성조사 운용지침에 의하면 연구개발사업의 국민 경제적 경제적 파급효과와 투자 적합성을 분석하는 핵심적 조사과정으로서 비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis)을 기본적인 방법론으로 채택하여 분석함
 - 단, 순수 R&D사업 및 기타 재정사업 등 비용-편익분석이 적합하지 않다고 판단되는 사업의 경우에는 경제사회적·과학기술적 파급효과 등을 산출하고 이를 통해 비용-효과분석(Cost-Effectiveness Analysis)을 실시할 수 있음
- 비용-편익분석을 위해서 사업 시행에 따른 수요를 추정하여 편익을 산정하고, 총사업비와 해당 사업의 운영에 필요한 모든 경비를 합하여 비용을 산정
 - ※ 일반적으로 B/C비율이 1보다 클 경우 경제적 타당성이 있음을 의미

③ 경제성(비용-편익) 분석 지표의 정의 및 경제적 타당성 평가 기준

- 본 사업에서는 비용편익분석의 대표적 지표인 비용편익비율(Benefit Cost Ratio: BCR)과 더불어 순현재가치(Net Present Value: NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return: IRR)을 통해 사업의 경제성을 분석
 - 순현재가치(NPV)란 서로 다른 시간에 발생하는 다양한 항목의 편익과 비용을 현재가치로 환산하여 정책을 평가하는 방법으로서 현시점으로 전환된 편익이 비용보다 크면 제안된 대안은 경제적 타당성을 인정
 - 편익비용비율(BCR)이란 정책의 총편익을 정책에 투입된 총비용으로 나눈 값, 즉, 단위비용당 편익으로서 편익비용비율이 1보다 크면 그 대안은 비용에 비해 더 큰 편익이 발생하고, 편익비용비율이 1보다 작은 대안은 비용에 비해 낮은 편익이 발생됨을 의미
 - 내부수익률(IRR)은 현재가치법과 마찬가지로 시간대 별로 편익과 비용이 발생하는 정책을 평가하는데 널리 사용되는 방법으로 현재가치의 편익과 비용을 서로 동일하게 만드는 할인율로서, 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 평가
 - 비용편익분석의 세 가지 지표는 각각 장단점이 있고 상호 보완적이므로 본 사업 평가에 있어 세 가지 지표를 비교하여 평가하되, 편의상 NPV와 BCR에 중점을 두고 본 사업의 경제적 타당성 평가에 활용
 - NPV, BCR, IRR는 각각 편익과 비용간의 절대적 차이와 상대적 비율, 수익률과 사회적 할인율과의 비교 등 경제성 분석에 있어 지표 간 보완관계가 존재
 - 본 사업의 경제적 타당성 평가에 활용한 NPV와 BCR 지표에 대한 정의와 타당성 평가 기준은 다음과 같음

<비용편익분석 지표의 정의 및 기준>

$$NPV = \sum_{k=1}^T \frac{NB(k)}{(1+r)^k} \quad NB(k) \text{는 순편익, } r \text{은 사회적 할인율}$$

※ NPV가 0 이상이면 경제적 타당성 인정

$$BCR = \frac{\sum_{k=1}^T \frac{B(k)}{(1+r)^k}}{\sum_{k=1}^T \frac{C(k)}{(1+r)^k}} \quad B: \text{총편익, } C: \text{총비용}$$

※ B/C Ratio(BCR) 값이 1 이상이면 경제적 타당성 인정

$$IRR = i \text{ when } \sum_{k=1}^T \frac{B(k)}{(1+i)^k} = \sum_{k=1}^T \frac{C(k)}{(1+i)^k}$$

※ 내부 수익률(i)이 사회적 할인율(r)보다 크면 경제적 타당성 인정

④ 비용편익분석의 특징

- 비용편익분석은 개별 투자사업을 평가하는 경제적 분석의 한 분야
- 비용편익분석은 사회적 관점 또는 국민경제 전체의 관점에서 비용과 편익을 파악하는 것으로, 국민경제적 관점에서의 편익이란 특정 사업의 국민에 대한 공헌을 뜻하며, 비용이란 국가자원의 소비를 의미함
- 비용편익분석은 사업추진과정에서 발생될 것으로 기대되는 모든 비용과 편익을 장기적 시각에서 종합적으로 평가
- 비용편익분석은 현실적인 측면을 고려한 실무적인 방법임

⑤ 비용편익분석의 한계

- 비용편익분석은 사업에 대한 지출결정의 타당성을 평가하기 위해 활용되어지는 매우 중요한 척도
- 그러나 이러한 비용편익분석의 유용성에도 불구하고 비용편익분석의 가장 큰 한계는 모든 편익을 화폐단위로 환산하는 것이 불가능하다는 한계를 가짐

○ 비용 추정

① R&D 사업의 비용 산정 기준은 크게 3가지로 분류

- 유추추정법 : 유사 성격, 동일 분야의 기존 사업 및 과제와 크게 다르지 않다는 관점에서 유사 사례를 통해 사업비용 추정
- 상향식 추정법 : WBS¹⁾(Work Breakdown Structure)와 같이 하위 구성요소의 원가동인 측면에서 인건비/재료비 기반을 통한 비용 추정
- 관계추정법 : 사업/과제의 속성과 기존 통계자료와의 통계적 관계를 통한 비용 추정

② 동 사업의 과제 중복성 검토 결과 차별성이 인정되는 만큼 유사 성격의 사업 및 과제가 없는

- 것으로 판단되어 투자계획서에서 제시된 연도별 소요예산 규모를 활용하여 비용 추정에 활용
- 우선 동 사업의 경전철 고가 구조물 개발을 위한 연구개발 내용의 중복성 검토결과 기존 사업과의 차별성이 있는 것으로 조사되어 사업계획에서 제시한 비용을 경제성 분석에 적용
- 각 부문별 예산의 아래 표에 제시된 바와 같음.

<소요예산>

(단위: 백만원)

구분	연도별 소요예산							소계
	1단계			2단계				
	'18년	'19년	'20년	'21년	'22년	'23년	'24년	
정부	1,760	1,793	947	2,892	6,975	10,972	4,132	29,471
민간	-	-	-	964	2,325	3,657	1,378	8,324
합계	1,760	1,793	947	3,856	9,300	14,629	5,510	37,795

○ 경제성 분석의 기본 방향

① 사업의 최종 목표 및 기대효과 반영

- 동 사업은 미래 경전철을 중심으로 한 도시철도의 지속적인 확충에 대비하여 심미적인 도시환경을 구현하고 기술경쟁력 확보를 통한 해외 시장 개척을 목표로 하고 있음
 - 이를 위해 200m 이상의 경전철용 신형식 고가구조물 설계·시공 기술과, 경전철용 신형식 고가구조물 자가 능동제어 관리 기술개발을 추진하고자 함
- 이러한 목표 달성을 통해 도시공간의 효율적 활용을 극대화하여 경제적 비용절감에 기여할 수 있을 뿐만 아니라, 앞선 기술 확보를 통한 해외 시장 개척을 통한 경제적 편익 창출에 기여할 수 있을 것으로 기대됨
- 동 사업을 위한 구체적인 연구개발 항목 및 소요기술은 다음과 같음

<연구개발 항목별 소요 기술>

I 세부	II 세부
도시경전철용 신형식 고가구조물 설계·제작·시공 기술 개발	도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리 기술 개발
- 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구 - 도시경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발 - 장경간·개방형 상부구조물 설계·제작·시공 기술 개발 - 상부구조물 처짐 제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계·제작·시공 기술 개발 - 신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발 - 시공 단계에서의 ICT 기반 고가구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발 - 도시 경전철용 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능검증 연구 - 도시 경전철용 신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구	- 도시 경전철용 신형식 고가구조물의 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발 - 도시 경전철용 신형식 고가구조물 동적 성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가 - 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리를 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발 - 구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시감시시스템 개발

○ 편익 분석 방법

－ 편익 산정식

- 경전철 고가구조물 공사비 절감 편익 산정을 위한 식은 아래와 같음

<비용 절감 편익 계산식>

① 경전철 공사비용 절감 편익

$$= \text{국내 미래시장 규모} \times \text{km당 공사비 절감액} \times \text{국내 시장 점유율} \times \text{R\&D 사업화 성공률} \times \text{사업 점유율} \times \text{R\&D 기여율} \times \text{편익발생기간}$$

－ 국내 경전철 미래 시장 규모

- 앞서 기획보고서에서 제시된 바와 같이 현재 전국 광역시 및 경기도 기준 약 41개 노선 621.07km 규모의 경전철 사업을 추진·계획 중으로 조사됨
- 동 사업의 경제성 분석을 위해서는 연평균 경전철 공사 구간(거리)에 대한 수치가 필요하나 일부 구간만 사업추진 기간이 제시되어 있음
- 따라서 동 사업의 경제성 분석에서는 사업기간이 제시되어 있는 구간(거리)만을 합해 연평균 경전철 공사 구간(거리)를 구하여 경제성 분석에 적용함
- 이는 전체 구간을 포함하지 않아 경제적 편익의 과소계산 가능성이 높으나 명확한 근거를 기반으로 보수적 접근하는 R&D사업 경제성 분석에 부합함
- 또한, B/C Ratio가 1이상으로 분석될 경우 과소 계상 가능성을 고려했을 때 사업추진을 위한 경제적 타당성을 충분히 확보한 것으로 볼 수 있음
- 기획보고서에서 제시된 국내 경전철 사업 추진계획 중 사업기간이 명확하게 제시된 구간을 확인한 결과, 최소 연평균 16km의 경전철 건설이 추진·계획 중인 것으로 조사되어 편익산정에 반영함

－ km당 경전철 고가 구조물 공사비 절감액

- 기존방식 고가구조물의 경우 km당 약 364억원*의 공사비가 소요되었으나, 동 사업을 통해 약 5%의 공사비 절감을 목표로 추진
- 즉, 동 사업의 R&D를 통한 km당 경전철 고가 구조물 공사비를 18억 2천만원 절감하는 것을 목표로 하며 이를 경제성 분석에 적용함
- * 원주-강릉선 전천교(경간 50m 강재박스형 상부구조) 공사비 455억/km(상부구조 17.5억×20개=350억, 하부구조 5억×21개=105억), 경전철 축종 감안하여 전천교 공사비의 80% 반영

－ 국내 시장 점유율

- 해당 연구개발 사업은 정부투자에 의해 진행되는 만큼 그 결과를 민간에 제공함으로써 최소한 국내 전체 경전철 고가구조물에 적용하고자 하므로 국내 시장 점유율 100%를 적용함

－ R&D사업화 성공률

- R&D사업화성공률은 국가연구개발사업을 통하여 개발된 결과물이 시장에서 편익을 창출하는 데까지는 기술 실증 및 상용화 과정을 거쳐야 하므로, 이 때 발생하는 불확실성을 반영하기 위한 항목임
- 동 사업의 경제성 분석을 위해 각 부처의 해당 기술 분야 성과분석(활용)보고서를 참조하도록

한 예비타당성조사의 지침에 따라 발표된 산업부 의 “2014년도 성과활용현황조사 보고서”의 성공률을 적용함

- : 일반 재정사업과는 달리 연구개발 사업은 기술개발 자체에 대한 불확실성과 개발 에 성공한 기술이 사업화로 연계되는 데 따른 불확실성이 크기 때문에 이에 대한 추가적인 고려가 필요함
- : 불확실성에 대한 고려없이 계산된 부가가치나 비용 절감액을 모두 그대로 부가가치로 간주하는 경우, 편익을 과다 추정할 위험이 존재함
- : 따라서 일반적으로 유사 분야의 기존 연구개발 사업의 사업화 성공률을 조사하여 이를 위험요인(Risk Factor)으로 곱해주는 방식을 취함
- : 동 사업의 경제성 분석에서는 기계·소재 분야 사업화 성공률 44.6%를 적용함

- 부가가치율

- 동 사업의 경제적 편익은 사업 수행으로 인해 창출된 매출 기준이 아닌 새롭게 창출된 부가가치만을 기준으로 산정함
- 따라서 실제 창출된 경제적 편익은 각 편익발생 시장별 매출액에 부가가치율을 적용함
- 동 사업의 경제성 분석에 활용한 부가가치율은 ‘2013년 산업연관표(연장표)(한국은행, 2015)’의 소분류 기준 기초가격평가표를 적용하되, 각 편익발생 시장과 가장 근접한 분류의 수치를 활용함
- 그 결과 교통시설 건설 부문의 부가가치율 40.3%를 편익분석에 적용함

- 편익발생시점 및 편익발생기간

- 국가연구개발사업에 대한 예비타당성조사 지침에 의하면 편익발생기간은 분석대상 사업의 기술분야에 대한 기술수명기간(Technology Cycle Time, TCT)을 적용하고 있음
 - : 기술수명기간(Technology Cycle Time, TCT)²⁾은 특허의 서지정보를 이용해 정량적으로 산출되는 지표 중 하나로서, 인용된 특허들의 발행연도와 인용한 특허의 발행연도의 차이값들의 중간값(Median age), 즉 인용-피인용 특허 시차의 중앙값으로 정의됨
- 이는 인용특허수명과 유사하게 특허인용분석을 통한 기술변화 관련 측정지표이며, 미국 CHI(Computer Horizon Inc.) Research에서 제시하고 있는 지표임
- 이렇게 산출된 기술수명기간 값은 기술발전의 속도, 즉 혁신활동의 속도에 대한 정보를 제공함과 동시에 해당특허에 포함된 기술의 유효수명을 의미함³⁾
- 또한, 연구개발사업의 목표로 제시된 기술이 편익으로 실현되는 기간은 해당 기술이 특허를 통해 권리를 보호받고 후발 특허에 의해 영향력이 사라지지 않는 기간으로 해석할 수 있기 때문임
- 따라서 특허를 이용해 세부분야별로 산출된 기술수명기간은 관련분야의 기술을 개발하는 연구개발사업의 편익기간으로 적용함
- 그러나 동 사업의 경전철용 교량 분야에 대한 특허분석결과가 존재하지 않아 건설분야 중 고층 건축분야의 기술수명주기 약14년(13.91년)⁴⁾을 대리지표로 활용하여 편익발생기간을 14년으로 적용함
- 기술개발 이후 사업화 및 상용화에 걸리는 기간인 회임기간에 대한 공식적인 조사 자료가 제시되지 않아 편익계산에 별도의 회임기간은 고려하지 않음. 즉, 동 사업의 편익은 연도별 예산 투자 이후 바로 다음 년도(2025년)에 편익이 발생하는 것으로 가정함

- R&D 기여율

- R&D사업의 직접적 경제적 편익을 산정하기 위해서는 편익발생 대상 시장에서 창출된 부가가치 중에서 R&D가 기여한 정도를 고려해야함
- 즉, R&D기여율은 R&D 성과의 상업화를 통해 부가가치가 창출되었을 때 전체 부가가치 가운데 연구개발에 의한 기여분을 나타내는 지표이며, 해당 사업의 경제적 가치를 정확히 추정하기 위해 이를 활용함
- 창출된 전체 경제적 가치 가운데 R&D가 기여한 몫에 대해서는 일반적으로 전문가 및 사업 수행주체의 인식에 기초한 주관적 조사를 통해 그 값이 추정되거나, 거시적 관점에서 산출된 값을 대표적으로 활용할 수 있음
- 그러나 R&D기여율을 정량적인 근거를 토대로 세부 기술분야별로 산정하는 것이 어렵기 때문에, 거시적 관점의 R&D기여율이 일반적으로 활용됨
- 동 사업의 경제적 타당성 분석에서는 R&D부문 예비타당성조사 표준지침에서 권고하고 있는 R&D기여율 값인 '제3차 과학기술기본계획(국가과학기술심의회, 2013)'에서 제시한 35.4%를 적용함

- 사회적 할인율

- 연구개발사업의 비용과 편익은 미래의 어느 시점 또는 여러 시점에 걸쳐 발생하지만, 이에 대한 타당성 평가는 현재시점에서 이루어져야 하기 때문에 모두 현재가치로 환산시켜 비교할 필요가 있음
- 미래의 편익과 비용을 현재가치로 바꾸기 위해서는 할인율(discount rate)이 적용되어야 하며, 이는 곧 시간에 대한 선호 및 투자가치를 반영하는 개념으로 볼 수 있음
- 할인율은 R&D사업의 경제성 분석결과에 영향을 줄 수 있기 때문에 비용과 편익을 분석하는 과정에서 반드시 고려되어야 함
- 할인율로 고려될 수 있는 것으로는 시장이자율(market rate of interest), 정부공채이자율(government borrowing rate), 기업할인율(corporate discount rate), 개인적 할인율(personal discount rate), 사회적 할인율(social discount rate) 등이 있음
- 이러한 할인율 중 R&D사업의 예비타당성조사에서는 사회적 할인율을 적용하고 있어 동 사업의 경제성 분석에서도 이를 준용하여 적용함
- 따라서 사회적 할인율은 연구개발사업의 예비타당성조사에서 일반적으로 준용하고 있는 5.5%*를 적용하였으며, 본 사업의 기획 시점인 2017년의 이전년도인 2016년 말을 기준으로 편익과 비용의 현재가치를 산출함

* 한국개발연구원(KDI)의 예비타당성 수행을 위한 일반지침의 사회적 할인율 5.5%를 적용함

- 사업 점유율

- 사업 점유율은 동 사업과 비슷한 목적 하에 특정 산업 및 기술분야에 투자한 국내 민간 및 정부 연구개발비 대비 동 사업의 총사업비가 갖는 비율을 의미함
- 동 사업에서 투자하고자하는 세부과제에 대한 국내의 다른 투자에 대한 동 사업의 비중으로 볼 수 있음
- 이는 동 사업 추진에 따라 가증되는 부분을 고려하기 위한 것으로, 동 사업을 추진하지 않고 기존 민관의 투자에 따라 발생할 편익은 제외하기 위함임
- 따라서 동 사업의 사업 점유율을 추정하기 위해서는 경전철용 고가구조물에 대한 여타 정부 투자 규모와 동 사업의 연간 투자 규모, 민간의 유사 분야 투자 규모를 고려하여 계산할 필요가 있음

: 이를 위해 동 사업을 통한 각 편익창출 시장과 관련한 기존의 2015년 정부과제를 검색

하여 정부 투자규모를 산출하였으며 그 결과 약 경전철용 고가 구조물 관련 정부투자는 없는 것으로 조사됨

- 편익분석 대상별 민간 투자 규모는 ‘연구개발활동조사보고서(한국과학기술기획평가원, 2015)’에서 나타난 정부·공공재원 대비 민간재원의 투자 비중인 21.9 : 78.2의 비율을 이용하여 추정함
- 동 사업의 경우 경전철 고가구조물에 대한 정부R&D투자가 없는 것으로 조사되어 민간 투자 규모도 없는 것으로 가정하여 편익 산정에 반영함
- 즉, 동 사업의 사업점유율은 1로 적용함

<동 사업의 사업점유율(기여율) 계산식>

사업 점유율 = 동 사업의 R&D 투자액 / (경전철 교량 관련 분야에 대한 R&D 투자 + 경전철 교량 관련 분야 민간 R&D 투자 + 동 사업의 R&D 투자액)

○ 경제적 편익분석 결과

- 앞서 제시한 국내 시장규모, km당 공사비 절감액, R&D사업화 성공률 등 설정항목에 근거하여 비용-편익 분석을 수행함.
- 비용-편익분석을 실시한 결과 B/C Ratio가 1.056으로 분석되어 동 사업 추진을 위한 경제적 타당성을 확보한 것으로 평가됨.
- 동 사업의 경제적 총 편익은 2025년부터 2038년까지 약 643억원에 이를 것으로 분석되었으며, 이를 2016년 말 기준으로 현재 가치화 할 경우 약 287억원에 이르는 것으로 분석됨.

<비용 편익 분석결과>

구분	B/C Ratio	NPV
수치	1.056	1,513,847,601

- 이러한 분석결과는 동 사업추진에 따른 편익 중 그 발생경로가 명확한 직접편익으로 한정하고 보수적인 최소한의 편익만을 산정한 만큼 『경전철용 미래선도형 고가구조물 개발 사업』 추진을 위한 기본적인 경제적 타당성을 갖춘 것으로 평가됨.
- 동 사업의 편익 대상으로 전체 경전철 건설 시장이 아닌 고가 구조물 시장에 한정하고 불확실한 해외 시장을 제외한 보수적인 접근은 재정사업 경제성 분석의 원칙으로 효과에 대한 불확실성이 높은 사업추진의 결정을 위한 명확한 근거제시를 위한 것임.
- 그러나 이러한 보수적 접근에 의한 직접적 편익외에 동 사업 추진을 통한 간접편익, 즉 해외 시장 창출을 통한 수출 증대효과 및 국민 경제 활성화 기여, 국민 민원 해소에 대한 공적 편익 등의 공공기여 측면도 사업 추진시 적극적으로 고려되어야 할 것으로 판단됨.

<총 편익 및 총 비용의 현재가치>

	총 비용	총 편익	총비용현재가 (할인율5.5%적용)	총편익현재가 (할인율5.5%적용)
2017	-	-	-	-
2018	1,760,000,000	-	1,581,276,252	-
2019	1,793,000,000	-	1,526,943,300	-
2020	947,000,000	-	764,434,256	-
2021	3,856,000,000		2,950,358,068	
2022	9,300,000,000		6,744,786,247	
2023	14,629,000,000		10,056,513,072	
2024	5,510,000,000		3,590,309,777	
2025	-	4,597,582,080	-	2,839,601,224
2026	-	4,597,582,080	-	2,691,565,141
2027	-	4,597,582,080	-	2,551,246,579
2028	-	4,597,582,080	-	2,418,243,203
2029	-	4,597,582,080	-	2,292,173,652
2030	-	4,597,582,080	-	2,172,676,448
2031		4,597,582,080		2,059,408,955
2032		4,597,582,080		1,952,046,403
2033		4,597,582,080		1,850,280,951
2034		4,597,582,080		1,753,820,806
2035		4,597,582,080		1,662,389,390
2036		4,597,582,080		1,575,724,540
2037		4,597,582,080		1,493,577,763
2038		4,597,582,080		1,415,713,520
합계	37,795,000,000	64,366,149,120	27,214,620,973	28,728,468,574

- 1) WBS(Work Breakdown Structure)란 Project 목표달성을 위한 목적물 중심의 분할계측 구조체계로, Project의 총 범위(Scope)를 작은 작업단위로 관리하기 쉽게 Family Tree 구조로 정의한 것(PMBOK, 2004)
- 2) TCT(Technology Cycle Time)는 연구자에 따라 기술순환주기, 기술교체주기, 기술수명기간 등으로 다양하게 해석되는데, 본 연구에서는 용어의 일관성을 위해 기술수명기간으로 지칭함
- 3) 이에 대해 TCT는 특허의 수명을 대리한다기보다는 기술변화의 속도를 나타내는 지표이며, 특정 시점에서 과거의 기술들에 대한 횡단면적 정보를 제공하므로 동태성이 떨어진다는 단점을 지적하는 의견(유선희 외, 2006)도 일부 존재함

- 감사원의 경전철 건설사업 추진실태 감사(2013.5) 결과, 경전철 구조물 설계기준 미비 및 과다 설계로 예산 낭비 초래 지적과 함께 시급히 경전철 구조물 설계기준 마련토록 제도개선 요구.

*국내 경전철 고가구조물(의정부·용인·부산)은 설계기준 등이 없어 일반철도 기준으로 시설물을 과다 건설하여 예산 낭비, 운영유지비 가중 등의 문제 초래

<감사원, 감사결과 전문(발췌)>

5 구조물 설계기준 미비 및 과다 설계로 예산 낭비 초래

□ 구 국토해양부에서 철도 구조물 설계를 위한 「철도설계기준」을 마련하여 운용하면서

- 경전철은 일반철도에 비하여 차량속도가 낮고(60%), 차량중량이 작은데도(40%) 별도의 기준을 마련하지 않은 채 위 일반철도의 설계기준을 그대로 적용

※ 속도[경전철(80-90km/h), 일반철도(150km/h)] 중량[경전철(23-42ton), 일반철도(70ton)]

△ 그 결과 경전철 교량구조물의 규모가 과다하게 산정되어 예산 낭비 초래

☞ 한국철도기술연구원 기술자문 결과, 구조물 공사비의 최소 5% 절감 가능(장래 계획된 경전철 76개 사업에서 8,406억 원 절감효과)

⇒ 국토교통부장관에게 안전 허용 한도 내에서 경제적으로 경전철의 교량 등 구조물을 설계할 수 있도록 경전철 설계기준을 제정하는 방안을 마련하도록 통보

- 경제적이면서 안전한 고가구조물을 건설하기 위해서는, R&D를 통해 다양한 경량전철 차종별(철제차륜, 고무차륜 등)·속도별 실차 주행시험, 동적시뮬레이션 해석 등 설계기준 연구와 국민안전을 위해 실구조물 실험 등 안전성 검증 연구를 반드시 수행해야 함.

- 향후 경전철 확충에 대비하여, 고가구조물로 인한 도시미관 저해, 도로교통 혼잡 가중 등의 국민 민원 해결과 해외시장을 선점할 수 있는 세계최초 신형식(長경간:200m·저비용·경량화) 구조물을 적시에 개발하여 국내·외 수요에 시급히 대응 필요.

(As - Is)

(To - Be)



- 현재 국내 경전철 고가구조물은 일반 철도교 규모로 육중하여 도시미관 저해와 도로교통 혼잡 가중 등에 따른 시민들의 지하화 요구로 국가 재정 부담이 가중되고 있어, 이의 경감을 위해서라도 국가 차원의 기술 개발이 시급함.

* 지하 경전철 건설비 800억원/km, 고가 경전철 건설비 450억원/km (△350억원/km)

- ** 현재 전국 광역시 및 경기도 기준, 43개 노선 612.8km, 약 32.9조 규모의 경전철 사업을 추진·계획 중으로, 계획 노선의 20%를 지하에서 고가로 건설시 4.3조 사업비 절감 기대

- 200m의 장경간을 갖는 세계 최초의 경전철용 신형식 고가구조물 기술은 건설사 등의 민간기업 주도로 기술개발하기에는 초기 투자비용이 크고 리스크가 큰 과제이므로, 정부 지원 하에 정부 주도로 미래 지향적인 세계 선도 기술 개발을 추진함이 타당하고, 향후 기술을 실시하는 민간 기업을 기술개발에 적극 참여케 함이 필요함.

- 또한, 도시친화적이면서 200m 이상의 경간을 갖는 세계 최초의 경전철용 신형식 고가구조물에 대한 획기적인 미래의 세계 선도기술 확보를 통한 국가 기술경쟁력 향상으로, 일본의 기술 및 중국의 가격 경쟁력 극복을 통한 동남아 등 해외 경전철 시장 진출 가능으로 경제적 파급효과가 큰 성격의 과제이므로 국가지원이 시급히 필요함.

* 베트남, 말레이시아, 필리핀 등 동남아 17개 노선 300여 km, 수십 조 규모의 경전철 사업 추진·계획 중('16년 말 기준)

- ** 2050년까지 세계적으로 도시철도 시장 지속 급증 추세 전망: 연평균 성장률(CAGR) 2.6%

[출처: Executive Analysis of the Global Rail Market 2016, UIC]

- 이와 함께, 환경친화적인 도시환경 구현과 교통혼잡 최소화를 통해 환경·교통분야 사회문제 해결 분야와 관련되는 등 미래 국가적으로 시급하고 경제·사회적 파급효과가 크므로 정부 주도의 기술개발이 타당함.

5절. 종합검토 결과

- 경전철용 미래선도형 고가구조물은 신개념 교통체계 구축을 위한 핵심분야로 친환경 기반시설 확충, 도시 과밀화에 따른 교통문제 해결 등 미래 정책수요 대응을 위해 반드시 확보해야 할 필요성이 높음
 - 국내 기술개발 인프라 및 역량 등을 고려할 때 적극적 투자가 이루어지면 기술개발 가능성이 높아 실현에 따른 경제·사회적 파급효과가 클 것으로 기대됨
 - 또한, 국내수요 뿐 아니라 세계 시장에서 성장성이 높은 분야로 관련분야 우위 선점을 통한 산업적 경쟁력 확보가 용이한 분야로 판단되며, 실제 투자시 경제적 편익 창출 가능성도 높은 분야임
- 따라서, 정부의 신속한 의사결정을 토대로 조속한 투자를 통해 기술개발이 이루어질 경우 국내의 수요 대응 측면에서 뿐 아니라 세계 시장을 선도할 수 있는 분야로 성장할 것으로 판단됨

검토 항목	결과	판단근거(Evidence)
정책적 타당성	高	· 친환경 교통체계 수요대응, 도시 교통체계 한계 극복 등 새로운 정책수요 대응을 위한 최적의 대안 · 도시공간 활용성 극대화, 이동편의성 확보를 위한 신개념 교통수요 증대에 대한 정책적 대응 확대 필요 · 정부의 제3차 국가철도망 구축계획, 제3차 철도산업 발전 기본계획 등 정책실현 요구 증대
기술적 타당성	可	· 장경간 고가구조물의 상·하부에 대한 기본 검토를 통해 충분히 기술적 실현이 가능함을 확인 · 경간 200m 강관재료 이용 육각구조 형식의 상부구조 응력 검토결과 허용치 수준을 약간 상회하는 수준으로, 응력 집중부 부부재 보강 및 상부처짐 제어기능을 갖는 하부구조 적용시 충분히 허용치 이내 수준을 만족할 것으로 검토 · 장경간을 지지하는 아치형 구조의 하부구조 응력 검토결과 충분히 설계강도 확보가 가능함을 확인
경제적 타당성	$1.056 > 1.0$	· 국내 수요전망에 따른 시장성장성 및 세계 시장규모의 확대 전망 등을 고려할 때 개발 성공시 경제성 확보 매우 용이 · 기존 방식 대비 고가구조물 공사비의 절감이 가능하며 향후 수요 등을 적용할 경우 경제성은 더욱 높아짐 · 미래시장 규모, 공사비 절감액, 시장 점유율, R&D사업화 성공률, 사업 점유율, R&D기여율, 편익발생기간 등을 종합적으로 고려할 때 비용 편익이 2.13에 도달
정부지원 필요성	大	· 철도는 사회 기반시설로 민간주도가 어려운 대표적 분야로 정부가 타당성을 확인하고 발전을 견인해야할 대상 · 친환경, 이동편의성 확보 등 공공이익을 위한 분야로 신개념의 도전적 기술개발을 통한 정부주도의 적극적 문제해결이 필요 · 200m의 장경간경량 구조 형식의 고가구조물에 대한 설계·제작·시공·관리기술은 세계 최초로 성공시 파급효과 매우 높음

종합검토 결과	정부의 신속한 투자확대를 통한 선제적 국내 수요 대응 및 적극적 세계 시장 개척 필요
---------	---

제5장. 자원투입 계획

1절. 연구시설 및 장비 투입 계획

○ 세부과제별 연구시설 및 장비투입 계획은 다음과 같음.

- 1단계

구분	과제명	장비투입 계획
일반	세계 선도형 경전철 고가구조물(sky-guideway) 설계기술 개발	
1-1	한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구	구조해석/데이터 처리 프로그램, 가속도계, 변위계, DAQ 등 현장 계측장비, 신소재 재료 시험장비
1-2	도시 경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발	구조해석 프로그램, 3D 모델링 프로그램, 구조해석 서버, 요소실험 시험장비 및 시설

- 2단계

구분	과제명	장비투입 계획
연구단	세계 선도형 경전철 고가구조물(sky-guideway) 건설기술 개발	
1세부 과제	도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제작·시공 기술 개발	
1-3	장경간 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계기술 개발	구조해석 프로그램, 3D 프린터, 개방형 디자인 프로그램
1-4	상부구조물 처짐제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계기술 개발	구조해석 프로그램, 개방형 디자인 프로그램
1-5	고성능 신소재 융합 상부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	신소재 성능시험장비 및 시설, 형상/모듈별 상부구조물 시제품 구조성능 시험장비 및 시설, 상부구조물 연결부 구조성능 시험장비 및 시설, 바닥판 구조성능 시험장비 및 시설,
1-6	고성능 신소재 융합 하부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	신소재 성능시험장비 및 시설, 하부구조물 시제품 구조성능 시험장비 및 시설
1-7	신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발	구조해석 프로그램, 스트래들 캐리어(Straddle Carrier) 등 구조물 승·하강 설비
1-8	시공 단계에서의 ICT 기반 구조물 형상관리 및 정밀 시공 기술 개발	드론, 비전센서, 맵핑 프로그램, BIM 프로그램,

			고가구조물 형상정보 취득 사용성 평가를 위한 이동식 레이저 스캐너
	1-9	신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구	현장 가설 장비, 구조물 구조성능 시험장비 및 시설, 통합계측시스템
	1-10	신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구	현장 시공 장비 일체, 경량전철 실차량, E&M 등 인프라, 통합계측시스템, 제진시스템, 취약부 감시시스템
2세부 과제		도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제진·관리 기술 개발	
	2-1	신형식 고가구조물 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발	교량의 저주파수 (5Hz 이하) 진동 환경 모사용 Low frequency long stroke shaker, 터널 내부 열차 운행시 바람 환경 모사용 Subsonic wind tunnel, 유체해석 프로그램, 풍동시험장비 및 시설, DAQ시스템, 가속도계, 변위계, 워크스테이션
	2-2	신형식 고가구조물 동적성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가	DAQ시스템, 가속도계, 변위계, 워크스테이션 등 계측장비
	2-3	신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발	Trimble GNSS, Bridge view vision system, 정밀 레이저 변위계, NI-DAQ, 센서 모듈 성능시험 장비 및 시설, 태양광/풍력/진동 에너지 하베스터의 출력 (전압/전류) 정밀 측정용 고정밀 sourcemeter
	2-4	구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발	내장형 센서노드 알고리즘 개발 위한 NI PXIe 시스템, PSV-500 scanning vibrometer, 오실로스코프

2절. 인력 투입 계획

○ 연구단 및 세부과제별 소요 인력은 아래와 같음.

- 1단계

구분	과제명	소요 인력(M/M)			
		1차년도	2차년도	3차년도	소계
일반	세계 선도형 경전철 고가구조물(sky-guideway) 설계기술 개발	9.5	9.5	6.5	25.5
1-1	한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구	5.0	5.0	2.0	12.0
1-2	도시 경전철용 고가구조물 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발	4.5	4.5	4.5	13.5

- 2단계

구분	과제명	소요 인력(M/M)				
		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	소계
연구단	세계 선도형 경전철 고가구조물(sky-guideway) 건설기술 개발	17.25	24.6	21.6	6.0	69.45
1세부 과제	도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제작·시공 기술 개발	13.25	20.6	15.6	4.0	53.45
1-3	장경간 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계기술 개발	1.0	1.0	0.4	-	2.4
1-4	상부구조물 처짐제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계기술 개발	1.0	1.0	0.4	-	2.4
1-5	고성능 신소재 융합 상부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	3.8	3.8	2.5	-	10.1
1-6	고성능 신소재 융합 하부구조물 정밀 제작·시공 기술 개발	3.5	4.0	1.5	-	9
1-7	신형식 고가구조물 상·하부 구조 급속·정밀 시공장비 개발	3.5	3.5	3.5	-	10.5
1-8	시공 단계에서의 ICT 기반 구조물 형상관리 및 정밀 시공 기술 개발	0.45	0.8	0.8	-	2.05
1-9	신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구	-	4.0	4.0	-	8
1-10	신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구	-	2.5	2.5	4.0	9
2세부 과제	도시 경전철용 신형식 고가구조물(sky-guideway) 제진·관리 기술 개발	4.0	4.0	6.0	2.0	16.0
2-1	신형식 고가구조물 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발	1.0	1.0	1.5	-	3.5
2-2	신형식 고가구조물 동적성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가	1.0	1.0	1.5	1.0	4.5
2-3	신형식 고가구조물 제진·관리를 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발	1.0	1.0	1.5	0.5	4
2-4	구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발	1.0	1.0	1.5	0.5	4

3절. 소요예산 투입 계획

○ 총 연구비: 37,795백만원(정부 29,471백만원, 민간 8,324백만원)

– 1단계: 4,500백만원(정부)

– 2단계: 33,295백만원(정부 24,971백만원, 민간 8,324백만원)

○ 연차별 소요 예산

– 1단계(일반과제)

(단위: 백만원)

구분		1차년도	2차년도	3차년도	합계
일반	정부	1,760	1,793	947	4,500
	민간	–	–	–	0
합계		1,760	1,793	947	4,500

– 2단계(연구단과제)

(단위: 백만원)

구분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
연구단	정부	2,892	6,975	10,972	4,132	24,971
	민간	964	2,325	3,657	1,378	8,324
	합계	3,856	9,300	14,629	5,510	33,295
1 세 부	정부	1,881	5,948	9,867	3,341	21,037
	민간	627	1,983	3,289	1,114	7,013
	계	2,508	7,931	13,156	4,455	28,050
	정부	1,010	1,027	1,105	792	3,934
	민간	337	342	368	264	1,311
	계	1,347	1,369	1,473	1,056	5,245

○ 예산 총괄표

- 1단계

(단위: 백만원)

구분			1차년도	2차년도	3차년도	합계	비율(%)
직 접 비	인건비		765	765	523	2,053	45.6
	연구장비 재료비	연구기자재 및 시설비	62	62	50	174	3.9
		시작품 제작비	100	150	100	350	7.8
		재료비	4	6	4	14	0.3
	연구 활동비	여비	45	23	10	78	1.7
		수용비 및 수수료	46	46	31	123	2.7
		기술정보활동비	464	464	64	992	22.1
	연구수당		114	114	79	307	6.8
	간접비		160	163	86	409	9.1
합 계		1,760	1,793	947	4,500	100	

- 2단계

(1세부과제)

(단위: 백만원)

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계	비율(%)
직 접 비	인건비		1,066	1,658	1,256	322	4,302	15.3
	연구장비 재료비	연구기자재 및 시설비	310	807	1,217	1,600	3,934	14.0
		시작품 제작비	262	3,968	6,783	－	11,013	39.3
		재료비	180	225	186	－	591	2.1
	연구 활동비	여비	106	93	140	50	389	1.4
		수용비 및 수수료	64	99	75	20	258	0.9
		기술정보활동비	132	111	2,115	2,010	4,368	15.6
	연구수당		160	249	188	48	645	2.3
간접비		228	721	1,196	405	2,550	9.1	
합 계		2,508	7,931	13,156	4,455	28,050	100.0	

(2세부과제)

(단위: 백만원)

구분			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계	비율(%)
직 접 비	인건비		322	322	483	161	1,288	24.6
	연구장비 재료비	연구기자재 및 시설비	388	245	206	20	859	16.4
		시작품 제작비	173	351	275	600	1,399	26.7
		재료비	170	131	140	0	441	8.4
	연구 활동비	여비	50	54	55	30	189	3.6
		수용비 및 수수료	29	29	43	15	116	2.2
		기술정보활동비	45	65	65	110	285	5.4
	연구수당		48	48	72	24	192	3.7
	간접비		122	124	134	96	476	9.1
합 계		1,347	1,369	1,473	1,056	5,245	100.0	

제6장. 과제공모 방안

1절. 과제 제안 요구서(RFP)

○ 1단계: 일반 과제 제안 요구서

연구개발과제명	세계 선도형 경전철 고가구조물(Sky-guideway) 설계기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도시 과밀화에 따른 친환경 교통수단인 철도의 수송분담률 제고를 위한 국내 경전철 신규건설 수요 대응과 해외시장 진출을 위해, 육중하고 조밀한 교각으로 도시 경관을 해치고 건설비가 높은 기존 고가방식을 대체할 수 있는 경제적이면서도 안전한 경전철 고가구조물 설계기술 개발 - 한계상태설계법 기반의 경전철 고가구조물 설계기준 마련 - 장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조 개발 및 설계기법 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 도시과밀화, 교통정체 해소 등을 위해 국내 지자체별 다양한 방식의 경전철 사업이 추진 중*이며, 상당수는 비용이 저렴(지하방식의 1/2 수준)한 고가방식 경전철로 추진 예상 * 現 46개 노선 33조원 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 대부분 고가형식 - 현재 경전철 고가구조물은 경간이 짧고 육중하여 도시미관을 저해하고 조밀한 교각(경간 20~50m)으로 인한 도로교통 혼잡 야기 등으로 시민들의 지하화 요구를 유발하고 있고, 지하화의 경우 재정부담으로 사업 추진 자체가 어려운 실정 ○ 현재 무게가 가볍고 저속(최대 80km/hr)인 경량전철의 특성을 고려한 경전철용 고가구조물에 대한 국내 설계기준이 없어 지나치게 육중하게 과다 설계되고 있는 실정으로 안전성과 경제성 확보를 위한 합리적 설계기준 마련 시급 - 경전철 고가구조물에 대한 국내설계기준 부재로 기존 철도교형식의 과다 설계 및 건설비 과다로 예산 낭비, 운영유지비 가중 지적(감사원 경전철 건설사업 추진실태 감사 결과, '13년) * 의정부 경전철, 용인 경전철 등의 파산위기는 수요부족 및 과다한 초기 건설비에 기인

- 유럽(Eurocode), 캐나다(D/CIM, 설계건설기준) 등 해외 선진국에서 경전철용 고가구조물 설계기준을 운용 중이며, 구조물의 최적화를 위해 한계상태설계법 기반의 설계기준으로 표준화 추진 중
- * 해외 경전철 고가구조물은 단면적 기준으로 국내 대비 54%(상부구조), 31%(하부구조) 수준(말레이시아 3, 4호선 vs 부산-김해경전철)
- “제4차 국토종합계획(‘11~’20)”의 쾌적한 도시·주거환경 조성 전략 및 “제3차 철도산업발전기본계획(‘16~’20)”의 철도기술 경쟁력 확보를 통한 해외 철도사업 수주전략에 부합

□ 기술동향

- 국내
 - 국내 경전철 고가구조물에 대한 별도의 설계기준이 없어, 국내에 현재 건설된 도시철도 고가구조물은 일반 철도교 형식으로 건설됨.
 - 국내에서는 초장대 도로교량 기술은 확보하고 있는 반면, 철도교는 일본 기술을 기반으로 하여 80~300m의 장경간을 갖는 특수목적용 교량이 건설된 바 있을 뿐 초장대 철도교량에 대한 독자 기술은 없으며, 이러한 초장대 도로교량 기술은 도시 내 고가구조물에 적용할 수 없는 교량 형식임.
 - 최근 도시형 자기부상철도 고가구조물에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 이는 자기부상철도용으로 제한된 고가구조물이며 이에 대한 독자 설계·시공기술을 확보하기 위한 연구로서, 이 또한 교각이 조밀하게 시공됨.
 - 특히 도시경관을 고려하여 도시환경에 부합한 구조물 형식 및 장경간의 규모를 가지면서도 안전한 도시친화적인 경전철 고가구조물에 대한 연구는 전무함.
- 국외
 - 유럽(Eurocode), 캐나다(D/CIM, 설계건설기준) 등 해외 선진국에서 경전철용 고가구조물 설계기준을 운용 중이며, 유럽(Eurocode), 미국(AASHTO) 등 세계적으로 구조물의 최적화를 위해 한계상태설계법 기반의 설계기준으로의 표준화 개정 추세
 - 일본, 독일, 프랑스, 스페인 등 철도선진국은 경간 100~350m의 사장교, PSC교, 아치교, Extradosed교 등 다양한 특수목적용 장경간 철도교량 기술을 확보하고 있으나, 도시에 범용적으로

적용 가능한 심미적인 구조를 갖는 장경간·경량의 경전철 고가 구조물 기술은 세계적으로 전무함.

- 최근 해외에서는 도시와 어우러지는 구조물로의 변화를 꾀하고 있는데, 네덜란드 헤이그(Hague)의 Beatrixkwartier 금융지구에서는 기존의 경간이 짧은 고가구조물에 스타킹 망사 모양을 덧씌워 시각적인 개방감과 함께 도시경관을 고려하는 추세임.

3. 연구개발내용

□ 연구내용 【 일반 】 세계 선도형 경전철 고가구조물 설계기술 개발

- 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준 연구
 - 신뢰도 기반 경량전철 설계하중 연구
 - 실차주행시험 및 동적시뮬레이션 실증 연구
 - 한계상태설계법 기반의 경전철 고가구조물 설계기준(안) 연구
- 도시경전철용 고가구조물 장경간(200m) 신형식 구조 개발 및 최적설계기법 개발
 - 국내외 도시 고가구조물 장경간화 사례 조사·분석
 - 장경간 구현 위한 신형식 고가구조 개발 (승객대피구조 고려)
 - 장경간 신형식 고가구조물 최적 설계기법 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물 동적안전성 검증 및 축소모형 제작

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법이 반드시 제시되어야 함
 - 총 연구기간 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
 - 기존 연구개발과제 성과물 활용 및 연계를 통해 연구개발 효율 극대화
 - 관련 연구기관 보유 장비 적극 활용
 - 기술수요처의 요구사항 반영 및 의견수렴을 통한 구체적 실용화 계획 제시
 - 연구성과 실용화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 적극 검토
- 추진체계
 - 과다한 연구기관 및 연구인력 참여로 인한 연구추진의 비효율성을 최대한 지양하고 반드시 필요한 기관 및 인력을 구성하여 연구추진의 효율성 도모
 - 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고

○ 수행체계에 도시철도 운영기관을 포함하여 연구결과의 검증 및 활용성 제고 ○ 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축 ○ 관련 기술 및 법·제도 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용	
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 한계상태설계법 기반 경전철용 고가구조물 설계기준(안) ○ 도시 경전철용 장경간(200m) 신형식 고가구조 및 설계기법
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	○ 지속적인 경전철의 확충과 이로 인한 국민부담의 경감을 위해, 연구기간내 경전철용 고가구조물 설계기준 마련 및 법제화, 장경간 고가구조물의 설계기술 개발을 추진하여, '19년 이후 경전철 신규사업에 설계기준을 우선 적용 추진 - 후속사업으로, 장경간 신형식 고가구조물에 대한 후속 건설기술 개발을 통해 '22년 이후 신규사업에 신형식 고가구조물 도입 추진과 함께, 국내 실적을 기반으로 해외 경전철 시장 진출 병행 추진 도모. * 現 해외건설 수주 효자지역인 동남아(베트남, 말레이시아 등)에서만 17개 노선 300여 km 규모 경전철 사업 계획 중
□ 기대효과	○ 경제적 효과 - 도시환경과 부합하는 도시미관 개선, 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대 - 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대 ○ 기술적 효과 - 세계 최초 200m 장경간의 도시 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 국내 철도기술 수준 향상 및 미래 선도기술 선점을 통한 철도산업 경쟁력 제고 기대 ○ 정책적 효과 - 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대

7. 연구기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : '18.4 ~ '20.12 (2년 9개월)
 - 1차년도 연구기간 : '18.4.1. ~ '18.12.31. (9개월)
- 총 정부출연금 : 4,500백만원 이내
 - 1차년도 정부출연금 : 1,760백만원

연도	연구기간	정부출연금(백만원)
1차	2018.4.1. ~ 2018.12.31. (9개월)	1,760 이내
2차	2019.1.1. ~ 2019.12.31. (12개월)	1,793 이내
3차	2020.1.1. ~ 2020.12.31. (12개월)	947 이내
합계		4,500 이내

※ 정부출연금은 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

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 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 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 구체적 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

- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술·경제·사회·문화적 파급효과 및 산출근거
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 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
- 핵심기술(CTE)별 현시점과 개발 완료시 기술성숙도(TRL) 목표를 설정

○ 2단계: 연구단 과제 제안 요구서

연구개발과제명	세계 선도형 경전철 고가구조물(Sky-guideway) 건설기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도시 과밀화에 따른 친환경 교통수단인 철도의 수송분담률 제고를 위한 국내 경전철 신규건설 수요 대응과 해외시장 진출을 위해, 육중하고 조밀한 교각으로 도시 경관을 해치고 건설비가 높은 기존 고가방식을 대체할 수 있는 경제적이면서도 안전한 경전철 고가구조물 건설기술 개발 - 장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조물 제작·시공기술 개발 - 장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조물 제진·관리기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 도시과밀화, 교통정체 해소 등을 위해 국내 지자체별 다양한 방식의 경전철 사업이 추진 중*이며, 상당수는 비용이 저렴(지하방식의 1/2 수준)한 고가방식 경전철로 추진 예상 * 現 46개 노선 33조원 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 대부분 고가형식 - 현재 경전철 고가구조물은 경간이 짧고 육중하여 도시미관을 저해하고 조밀한 교각(경간 20~50m)으로 인한 도로교통 혼잡 야기 등으로 시민들의 지하화 요구를 유발하고 있고, 지하화의 경우 재정부담으로 사업 추진 자체가 어려운 실정 ○ 1단계 사업의 후속과제 성격으로, 1단계 사업의 설계기술을 기반으로, 도시 경전철용 장경간 신형식 고가구조물에 대한 제작·시공 기술 및 제진·관리 기술을 개발하여, 이 분야 세계 기술을 선점할 필요가 있음 ○ “제4차 국토종합계획(’11~’20)”의 쾌적한 도시·주거환경 조성 전략 및 “제3차 철도산업발전기본계획(’16~’20)”의 철도기술 경쟁력 확보를 통한 해외 철도사업 수주전략에 부합 □ 기술동향 ○ 국내 - 국내에서는 초장대 도로교량 기술은 확보하고 있는 반면, 철도교는 일본 기술을 기반으로 하여 80~300m의 장경간을 갖는 특수목적용 교량이 건설된 바 있을 뿐 초장대 철도교량에 대한 독자 기술은 없으며, 이러한 초장대 도로교량 기술은 도시 내 고가구조물에 적용할 수 없는 교량 형식임 - 최근 도시형 자기부상철도 고가구조물에 대한 연구가 수행된

바 있으나, 이는 자기부상철도용으로 제한된 고가구조물이며 이에 대한 독자 설계·시공기술을 확보하기 위한 연구로서, 이 또한 교각이 조밀하게 시공됨

- 특히 도시경관을 고려하여 도시환경에 부합한 구조물 형식 및 장경간의 규모를 가지면서도 안전한 도시친화적인 경전철 고가 구조물에 대한 연구로서, 1단계 사업으로 장경간 경전철 고가 구조물에 대한 설계기술을 개발한 것이 전부임.

○ 국외

- 일본, 독일, 프랑스, 스페인 등 철도선진국은 경간 100~350m의 사장교, PSC교, 아치교, Extradosed교 등 다양한 특수목적용 장경간 철도교량 기술을 확보하고 있으나, 도시에 범용적으로 적용 가능한 심미적인 구조를 갖는 장경간·경량의 경전철 고가 구조물 기술은 세계적으로 전무함.
- 최근 해외에서는 도시와 어우러지는 구조물로의 변화를 꾀하고 있는데, 네덜란드 헤이그(Hague)의 Beatrixkwartier 금융지구에서는 기존의 경간이 짧은 고가구조물에 스타킹 망사 모양을 덧씌워 시각적인 개방감과 함께 도시경관을 고려하는 추세임.

3. 연구개발내용

□ 연구내용 【 1세부 】 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제작·시공 기술 개발

- 장경간(200m) 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계·제작·시공 기술 개발
 - 장경간 개방형 상부구조 형상 해석 및 상세 설계
 - 상부구조 경량화 위한 고성능 신소재 개발 및 적용기술 개발
 - 고성능 신소재 적용 상부 구조체 제작 기술 개발
 - 장경간 상부구조물 모듈간 연결·조립 기술 개발
 - 장경간 상부구조물의 신축시스템 개발
 - 고성능 신소재 적용 경량 바닥판 개발
 - 장경간 상부구조물 시공 기술 개발
- 상부구조물 처짐 제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계·제작·시공 기술 개발
 - 장경간 상부구조 처짐 제어용 Cable-stayed 하부구조 개발
 - 장경간 상부구조 처짐 제어용 개방형 하부구조 상세설계
 - 고성능 신소재 적용 개방형 하부구조물 제작 기술 개발
 - 장경간 상부구조 처짐 제어용 개방형 하부구조 시공기술 개발

- 장경간 신형식 고가구조물 시공 장비 개발
 - 자가 승강 방식의 조립식 시공장비 개발
 - 구조물 정밀 시공 위한 전후/좌우 미세 조정 가능한 Skid 시스템 개발
- 시공 단계에서의 고가구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발
 - ICT기반의 구조물 정밀 형상 제작 및 급속 시공 관리기술 개발
 - 드론기반 실시간 공간정보를 활용한 고가구조물 최적 시공 기술 개발
- 장경간 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구
 - 신형식 고가구조물의 상부 및 하부 실물구조 시험체 설계
 - 신형식 고가구조물의 상부 및 하부 실물구조 시험체 제작·구축
 - 신형식 고가구조물 실물 내하성능 검증 연구
- 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구(최대경간: 100m, 총연장 220m)
 - 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 설계
 - 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 제작 및 시험시공
 - 장경간 신형식 고가구조물 실차주행 성능검증 연구

【 2세부 】 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리 기술 개발

- 장경간 신형식 고가구조물 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물 차량진동 제어 기술 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물 풍진동 제어 기술 개발
 - 차량가진·풍하중의 통합 진동 제어시스템 실내 성능 평가
 - 차량가진·풍하중의 통합 진동 제어시스템 Test-bed 구축 및 성능검증 연구
- 장경간 신형식 고가구조물 동적 성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가
 - 장경간 신형식 고가구조물의 차량·풍진동 제진성능 검증용 모사시스템 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물의 실내 진동제어 성능 평가

- 장경간 신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발
 - 변위 추정을 위한 데이터 융합 기술 개발
 - 장경간 고가구조물의 상태감시를 위한 통합센서 모듈 개발
 - 에너지 하베스팅 기술 기반의 제진·감시시스템 연계 스마트 전원 공급시스템 개발
 - 고정밀 통합계측시스템 Test-bed 구축 및 성능검증 연구
- 구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발
 - 와전류를 이용한 케이블 장력 진단 알고리즘 개발
 - 케이블 정착부 내장형 무선 장력 감시시스템 개발
 - 케이블 긴장력 감시센서 연계 이상신호 자동경보시스템 개발
 - 구조물 내장·일체형 센서로의 자기유도기반 무선 전력·데이터 전송 기술 개발
 - 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 Test-bed 시험 구축 및 성능검증 연구

4. 연구개발 추진방법

- | | |
|---------------|--|
| □ 추진전략 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법이 반드시 제시되어야 함 ○ 총 연구기간 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립 ○ 기존 연구개발과제 성과물 활용 및 연계를 통해 연구개발 효율 극대화 <ul style="list-style-type: none"> - 관련 연구기관 보유 장비 적극 활용 ○ 기술수요처의 요구사항 반영 및 의견수렴을 통한 구체적 실용화 계획 제시 ○ 연구성과 실용화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 적극 검토 |
| □ 추진체계 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 과다한 연구기관 및 연구인력 참여로 인한 연구추진의 비효율성을 최대한 지양하고 반드시 필요한 기관 및 인력을 구성하여 연구추진의 효율성 도모 ○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 ○ 수행체계에 도시철도 운영기관을 포함하여 연구결과의 검증 및 활용성 제고 |

○ 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축 ○ 관련 기술 및 법·제도 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용	
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 도시 경전철용 신형식 고가구조물 시방서 ○ 장경간의 개방형 상부구조물 제작지침서 및 급속·정밀 시공법 ○ 장경간 상부구조물 처짐제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 제작지침서 및 급속 시공법 ○ 신형식 고가구조물용 경량 바닥판 제작지침서 및 시방서 ○ 신형식 고가구조물 정밀 시공 장비 및 운용 매뉴얼 ○ 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 및 성능검증 결과 보고서 ○ 신형식 고가구조물 Test-bed 및 실차주행 성능검증보고서 ○ 차량하중-풍하중 진동제어시스템 ○ 고가구조물 동적 성능 검증 모사시스템 ○ 고가구조물 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 ○ 구조물 내장·일체형 고가구조물 취약부 상시 감시시스템
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	○ 연구기간내 장경간 신형식 경전철 고가구조물의 건설기술 개발 및 Test-bed 시공 검증을 통해, 24년 이후, 국내 신규사업에 신형식 고가구조물 도입 및 이를 기반으로 동남아 등 해외 경전철 시장 진출 도모 *現 국내 광역시·도 기준 46개 노선 720여 km(33조원) 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 해외건설 수주 효자지역인 동남아(베트남, 말레이시아 등)에서만 17개 노선 300여 km 규모 사업 계획 중
□ 기대효과	○ 경제적 효과 - 도시환경과 부합하는 도시미관 개선, 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대 - 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대

- 기술적 효과
 - 세계 최초 200m 장경간의 도시 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 국내 철도기술 수준 향상 및 미래 선도기술 선점을 통한 철도산업 경쟁력 제고 기대
- 정책적 효과
 - 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대

7. 연구기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : '21.1 ~ '24.12 (4년)
 - 1차년도 연구기간 : '21.1.1. ~ '21.12.31. (12개월)
- 총 정부출연금 : 24,971백만원 이내
 - 1차년도 정부출연금 : 2,891백만원

연도	연구기간	정부출연금(백만원)
1차	2021.1.1. ~ 2021.12.31. (12개월)	2,891 이내
2차	2022.1.1. ~ 2022.12.31. (12개월)	6,975 이내
3차	2023.1.1. ~ 2023.12.31. (12개월)	10,972 이내
4차	2024.1.1. ~ 2024.12.31. (12개월)	4,132 이내
합계		24,971 이내

※ 정부출연금은 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

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 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부 과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 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 구체적 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
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술·경제·사회·문화적 파급효과 및 산출근거
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 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
- 핵심기술(CTE)별 현시점과 개발 완료시 기술성숙도(TRL) 목표를 설정

○ 2단계 【1세부과제】 제안 요구서

연구개발과제명	장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조물 제작·시공기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도시 과밀화에 따른 친환경 교통수단인 철도의 수송분담률 제고를 위한 국내 경전철 신규건설 수요 대응과 해외시장 진출을 위해, 육중하고 조밀한 교각으로 도시 경관을 해치고 건설비가 높은 기존 고가방식을 대체할 수 있는 경제적이면서도 안전한 장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조물의 제작 및 시공기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 도시과밀화, 교통정체 해소 등을 위해 국내 지자체별 다양한 방식의 경전철 사업이 추진 중*이며, 상당수는 비용이 저렴(지하방식의 1/2 수준)한 고가방식 경전철로 추진 예상 * 現 46개 노선 33조원 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 대부분 고가형식 - 현재 경전철 고가구조물은 경간이 짧고 육중하여 도시미관을 저해하고 조밀한 교각(경간 20~50m)으로 인한 도로교통 혼잡 야기 등으로 시민들의 지하화 요구를 유발하고 있고, 지하화의 경우 재정부담으로 사업 추진 자체가 어려운 실정 ○ 1단계 사업의 후속과제 성격으로, 1단계 사업의 설계기술을 기반으로, 도시 경전철용 장경간 신형식 고가구조물에 대한 제작·시공 기술을 개발하여, 이 분야 세계 기술을 선점할 필요가 있음 ○ “제4차 국토종합계획(’11~’20)”의 쾌적한 도시·주거환경 조성 전략 및 “제3차 철도산업발전기본계획(’16~’20)”의 철도기술 경쟁력 확보를 통한 해외 철도사업 수주전략에 부합 □ 기술동향 ○ 국내 - 국내에서는 초장대 도로교량 기술은 확보하고 있는 반면, 철도교는 일본 기술을 기반으로 하여 80~300m의 장경간을 갖는 특수목적용 교량이 건설된 바 있을 뿐 초장대 철도교량에 대한 독자 기술은 없으며, 이러한 초장대 도로교량 기술은 도시 내 고가구조물에 적용할 수 없는 교량 형식임 - 최근 도시형 자기부상철도 고가구조물에 대한 연구가 수행된 바 있으나, 이는 자기부상철도용으로 제한된 고가구조물이며 이에 대한 독자 설계·시공기술을 확보하기 위한 연구로서, 이

또한 교각이 조밀하게 시공됨

- 특히 도시경관을 고려하여 도시환경에 부합한 구조물 형식 및 장경간의 규모를 가지면서도 안전한 도시친화적인 경전철 고가 구조물에 대한 연구로서, 1단계 사업으로 장경간 경전철 고가 구조물에 대한 설계기술을 개발한 것이 전부임.

○ 국외

- 일본, 독일, 프랑스, 스페인 등 철도선진국은 경간 100~350m의 사장교, PSC교, 아치교, Extradosed교 등 다양한 특수목적용 장경간 철도교량 기술을 확보하고 있으나, 도시에 범용적으로 적용 가능한 심미적인 구조를 갖는 장경간·경량의 경전철 고가 구조물 기술은 세계적으로 전무함.
- 최근 해외에서는 도시와 어우러지는 구조물로의 변화를 꾀하고 있는데, 네덜란드 헤이그(Hague)의 Beatrixkwartier 금융지구에서는 기존의 경간이 짧은 고가구조물에 스타킹 망사 모양을 덧씌워 시각적인 개방감과 함께 도시경관을 고려하는 추세임.

3. 연구개발내용

□ 연구내용 【 1세부 】 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제작·시공 기술 개발

- 장경간(200m) 구현이 가능한 개방형 상부구조물 설계·제작·시공 기술 개발
 - 장경간 개방형 상부구조 형상 해석 및 상세 설계
 - 상부구조 경량화 위한 고성능 신소재 개발 및 적용기술 개발
 - 고성능 신소재 적용 상부 구조체 제작 기술 개발
 - 장경간 상부구조물 모듈간 연결·조립 기술 개발
 - 장경간 상부구조물의 신축시스템 개발
 - 고성능 신소재 적용 경량 바닥판 개발
 - 장경간 상부구조물 시공 기술 개발
- 상부구조물 처짐 제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 설계·제작·시공 기술 개발
 - 장경간 상부구조 처짐 제어용 Cable-stayed 하부구조 개발
 - 장경간 상부구조 처짐 제어용 개방형 하부구조 상세설계
 - 고성능 신소재 적용 개방형 하부구조물 제작 기술 개발
 - 장경간 상부구조 처짐 제어용 개방형 하부구조 시공기술 개발
- 장경간 신형식 고가구조물 시공 장비 개발

- 자가 승강 방식의 조립식 시공장비 개발
 - 구조물 정밀 시공 위한 전후/좌우 미세 조정 가능한 Skid 시스템 개발
- 시공 단계에서의 고가구조물 형상관리 및 정밀 시공관리 기술 개발
- ICT기반의 구조물 정밀 형상 제작 및 급속 시공 관리기술 개발
 - 드론기반 실시간 공간정보를 활용한 고가구조물 최적 시공 기술 개발
- 장경간 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 구축 및 성능 검증 연구
- 신형식 고가구조물의 상부 및 하부 실물구조 시험체 설계
 - 신형식 고가구조물의 상부 및 하부 실물구조 시험체 제작·구축
 - 신형식 고가구조물 실물 내하성능 검증 연구
- 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 시험시공 및 실차주행 성능검증 연구(최대경간: 100m, 총연장 220m)
- 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 설계
 - 장경간 신형식 고가구조물 Test-bed 제작 및 시험시공
 - 장경간 신형식 고가구조물 실차주행 성능검증 연구

4. 연구개발 추진방법

- ☐ 추진전략 ○ 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법이 반드시 제시되어야 함
- 총 연구기간 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
- 기존 연구개발과제 성과물 활용 및 연계를 통해 연구개발 효율 극대화
- 관련 연구기관 보유 장비 적극 활용
- 기술수요처의 요구사항 반영 및 의견수렴을 통한 구체적 실용화 계획 제시
- 연구성과 실용화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 적극 검토
- ☐ 추진체계 ○ 과도한 연구기관 및 연구인력 참여로 인한 연구추진의 비효율성을 최대한 지양하고 반드시 필요한 기관 및 인력을 구성하여 연구 추진의 효율성 도모

	○ 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고 ○ 수행체계에 도시철도 운영기관을 포함하여 연구결과의 검증 및 활용성 제고 ○ 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축 ○ 관련 기술 및 법·제도 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	○ 도시 경전철용 신형식 고가구조물 시방서 ○ 장경간의 개방형 상부구조물 제작지침서 및 급속·정밀 시공법 ○ 장경간 상부구조물 처짐제어 기능을 갖는 개방형 하부구조물 제작지침서 및 급속 시공법 ○ 신형식 고가구조물용 경량 바닥판 제작지침서 및 시방서 ○ 신형식 고가구조물 정밀 시공 장비 및 운용 매뉴얼 ○ 신형식 고가구조물 실물구조 시험체 및 성능검증 결과 보고서 ○ 신형식 고가구조물 Test-bed 및 실차주행 성능검증보고서
6. 활용방안 및 기대효과	
□ 활용방안	○ 연구기간내 장경간 신형식 경전철 고가구조물의 건설기술 개발 및 Test-bed 시공 검증을 통해, 24년 이후, 국내 신규사업에 신형식 고가구조물 도입 및 이를 기반으로 동남아 등 해외 경전철 시장 진출 도모 *現 국내 광역시·도 기준 46개 노선 720여 km(33조원) 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 해외건설 수주 효자지역인 동남아(베트남, 말레이시아 등)에서만 17개 노선 300여 km 규모 사업 계획 중
□ 기대효과	○ 경제적 효과 - 도시환경과 부합하는 도시미관 개선, 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대 - 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대 ○ 기술적 효과

- 세계 최초 200m 장경간의 도시 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 국내 철도기술 수준 향상 및 미래 선도기술 선점을 통한 철도산업 경쟁력 제고 기대

○ 정책적 효과

- 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대

7. 연구기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : '21.1 ~ '24.12 (4년)

- 1차년도 연구기간 : '21.1.1. ~ '21.12.31. (12개월)

○ 총 정부출연금 : 21,037백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 1,881백만원

연도	연구기간	정부출연금(백만원)
1차	2021.1.1. ~ 2021.12.31. (12개월)	1,881 이내
2차	2022.1.1. ~ 2022.12.31. (12개월)	5,948 이내
3차	2023.1.1. ~ 2023.12.31. (12개월)	9,867 이내
4차	2024.1.1. ~ 2024.12.31. (12개월)	3,341 이내
합계		21,037 이내

※ 정부출연금은 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

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 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조

- 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부 과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 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 구체적 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
- 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
 - 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술·경제·사회·문화적 파급효과 및 산출근거
- 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
 - 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 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
- 핵심기술(CTE)별 현시점과 개발 완료시 기술성숙도(TRL) 목표를 설정

○ 2단계 【2세부과제】 제안 요구서

연구개발과제명	장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조물 제진·관리기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 도시 경관을 해치고 건설비가 높은 기존 고가방식을 대체할 수 있는 신형식 경전철 고가구조물의 안전한 열차운행을 위하여, 장경간(200m) 신형식 경전철 고가구조물의 진동제어 및 취약부 상태감시관리 기술 개발
2. 연구개발의 필요성 및 기술동향	□ 연구개발의 필요성 ○ 신형식 고가구조물은 경간장이 200m에 달하고 경량 구조인 관계로 차량하중이나 풍하중과 같은 동적하중에 매우 취약한 유연한 구조물이 되며 이로 인해 과도한 진동 발생이 예상됨. ○ 이에, 차량하중 및 풍하중에 대한 신형식 고가구조물의 동적 안정성 평가를 충실하게 수행해야 하며, 특히 설계 단계에서부터 진동제어 시스템의 도입을 고려함으로써 동적안정성 향상 및 경제성 확보를 동시에 추구할 필요가 있음. ○ 기존 수동형 진동 저감 장치의 단순 적용으로는 신형식 고가구조물에 필요한 수준의 제진 성능을 확보할 가능성이 매우 낮으므로, 새로운 형태의 수동형 및 능동형 제진 장치를 복합적으로 활용한 통합 제진 시스템 개발과 함께 제진성능검증 기술 개발을 통해 다양한 하중 조건에 효과적인 제진 기술의 확보가 필수적임. ○ 구조물의 과대 변위 발생은 안전성과 직결되므로 건전성 평가에 있어 변위는 가장 중요한 동적응답이며, 특히 장경간 고가구조물의 경우 상대적으로 큰 동적응답이 발생하므로 이에 대한 실시간 고정밀 변위 계측 시스템 활용이 필수적임. ○ 일반적으로 변위는 고정지점을 기준으로 계측되는 물리량으로서 변위계측의 중요성에도 불구하고, 현실적으로 정확하게 계측하는 것이 어려운데, 구조물 동적거동 계측에 사용되는 센서 및 계측 시스템은 해외 의존도가 대단히 높은데다가 계측 정밀도가 낮고 주위 환경의 영향에 제한적으로 사용되는 실정임. ○ 이에, 동적응답이 큰 장경간·경량의 고가구조물인 만큼 구조물을 응답을 정밀하게 감시할 수 있는 가속도, GPS, 속도, 변형

를계를 통합한 고정밀의 통합 계측 기술 개발이 필요함.

- 장경간 신형식 고가구조물은 케이블이 이용되는 구조로서, 구조물의 내부 케이블은 인력점검으로 인한 손상발견이 불가능하며, 인력점검이 가능한 외부 노출 케이블이라 하더라도 구조물의 안전을 위해 실시간 자동감시가 가능하도록 하는 구조물 내부 케이블 장력 모니터링 기술개발이 시급함

□ 기술동향

○ 국내

- 국내에서는 일반적인 에너지소산형 강재 댐퍼 등의 제진장치 기술과 함께, 자유진동 및 강제가진 시험을 통한 구조물의 고유진동수 및 감쇠비 추정에 의한 제진 성능검증 기술과 풍동 실험에 의한 내풍 안전성능 검증 기술의 확보로 질량동조형 제진장치(TMD)에 대한 제작 및 진동제어 기술을 보유하고 있음.
- 이를 통해 교량, 건물 등 일반 토목·건축 구조물의 진동제어를 위해 에너지소산형 강재 댐퍼 등의 제진장치와 질량동조형 제진장치(TMD)를 주로 적용하고 있으나, 초고층 건물용 제진장치는 전량 해외 기술에 의존하고 있는 수준임.
- 국내에서 반능동제어장치를 개발하여 공항관제탑 구조물에 적용한 사례가 있고, 최근 능동제어장치를 개발하여 실 구조물에 적용을 시도하고 있음.
- 국내에서는 교량/고가교의 상태 및 성능 검증을 위해 차량 주행실험을 통한 단순 내하력 검증 위주로 수행해 왔으나, 최근 ICT 기술의 발달로 무선센서네트워크 기술을 활용한 구조물 상태감시 및 동적 성능검증 기술 개발이 활발히 추진 중임.
- 케이블 장력 상시 계측 기술로서, 세계적으로 시공 중의 일시적 케이블 장력 계측 혹은 사용 중의 육안검사 수준이며, 구조물 내장형 실시간 무선 센싱 기술은 세계적으로 전무함.

○ 국외

- 미국, 일본, 유럽 등 여러 국가에서는 지진, 풍하중에 의한 구조물 붕괴 사고 경험을 시작으로, 여러 구조물에 다양한 종류의 에너지소산형 및 질량동조형 제진장치를 개발하여 내진/내풍 및 구조물 보강 개념으로 적용된 바 있고,
- 특히 미국과 일본의 경우 시공 중에 발생하는 풍진동 해결을 위한 제진 기술을 보유하고 있으며, 국내에서도 내풍 안전성 해석을 통한 설계 기술 및 제진 기술에 대한 활발한 연구를

통해 실 구조물에 적용한 사례가 있음.

- 능동 제진기술과 관련하여, 일본에서는 장경간 교량의 진동 제어를 위한 반능동제어장치(HMD)를 개발하여 적용한 바 있고, 1990년대 들어서는 여러 형태의 능동형질량댐퍼(AMD)를 개발하여 실 구조물에 적용하는 등 반능동 및 능동 제진분야의 최고 수준의 기술을 보유하고 있음.
- 국외에서도 널리 활용 중인 기존의 LVDT와 GPS는 각각 고정 지점을 필요로 하거나, 멀티패스와 같은 외부환경에 영향을 받아 정밀도 및 정확도의 신뢰성이 낮아 상시 모니터링에는 한계가 있음.
- 변위 측정 기술로서, LVDT, LDV, LiDAR 등 여러 접촉식 혹은 비접촉식 계측 기술을 국내외에서 개발하여 기술을 보유하고 있지만, 비접촉식의 경우 장비의 고정 설치에 의한 국부적인 변위를 계측하는 수준인 데다가 세계적으로 현장의 극한 환경에서의 주야간 실시간 고정밀 계측기술은 전무하며, 최근 드론기술과 융합하여 검사 인력의 접근이 어려운 곳까지 상태 감시 가능한 기술 개발이 시도되고 있음.

3. 연구개발내용

□ 연구내용 【 2세부 】 도시 경전철용 신형식 고가구조물 제진·관리 기술 개발

- 장경간 신형식 고가구조물 차량 가진·내풍 안정성 평가 및 최적 제진시스템 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물 차량진동 제어 기술 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물 풍진동 제어 기술 개발
 - 차량가진·풍하중의 통합 진동 제어시스템 실내 성능 평가
 - 차량가진·풍하중의 통합 진동 제어시스템 Test-bed 구축 및 성능검증 연구
- 장경간 신형식 고가구조물 동적 성능 검증시스템 개발 및 제진 성능평가
 - 장경간 신형식 고가구조물의 차량·풍진동 제진성능 검증용 모사시스템 개발
 - 장경간 신형식 고가구조물의 실내 진동제어 성능 평가
- 장경간 신형식 고가구조물 제진·관리용 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템 개발
 - 변위 추정을 위한 데이터 융합 기술 개발
 - 장경간 고가구조물의 상태감시를 위한 통합센서 모듈 개발

- 에너지 하베스팅 기술 기반의 제진·감시시스템 연계 스마트 전원 공급시스템 개발
- 고정밀 통합계측시스템 Test-bed 구축 및 성능검증 연구

○ 구조물 내장·일체형 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 개발

- 와전류를 이용한 케이블 장력 진단 알고리즘 개발
- 케이블 정착부 내장형 무선 장력 감시시스템 개발
- 케이블 긴장력 감시센서 연계 이상신호 자동경보시스템 개발
- 구조물 내장·일체형 센서로의 자기유도기반 무선 전력·데이터 전송 기술 개발
- 신형식 고가구조물 취약부 상시 감시시스템 Test-bed 시험 구축 및 성능검증 연구

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략 ○ 연구개발계획서에는 구체적인 연구방법이 반드시 제시되어야 함

- 총 연구기간 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
- 기존 연구개발과제 성과물 활용 및 연계를 통해 연구개발 효율 극대화
 - 관련 연구기관 보유 장비 적극 활용
- 기술수요처의 요구사항 반영 및 의견수렴을 통한 구체적 실용화 계획 제시
- 연구성과 실용화를 위해 실수요처 및 실시기업 참여 적극 검토

□ 추진체계 ○ 과다한 연구기관 및 연구인력 참여로 인한 연구추진의 비효율성을 최대한 지양하고 반드시 필요한 기관 및 인력을 구성하여 연구추진의 효율성 도모

- 연구진의 연구참여율을 높여 연구집중도 제고
- 수행체계에 도시철도 운영기관을 포함하여 연구결과의 검증 및 활용성 제고
- 기술수요처와의 유기적 협조체제 구축
- 관련 기술 및 법·제도 등에 대한 전문가 자문단을 구성·활용

5. 최종성과물

□ 주요

최종성과물

- 차량하중-풍하중 통합 진동제어시스템
- 고가구조물 동적 성능검증 모사시스템
- 통합 진동제어시스템 Test-bed 및 성능검증보고서
- 고가구조물 에너지 자립형 고정밀 통합계측시스템
- 구조물 내장·일체형 고가구조물 취약부 상시 감시시스템
- 고정밀 통합계측시스템 및 구조물 취약부 상시감시시스템 Test-bed 및 성능검증보고서

6. 활용방안 및 기대효과

□ 활용방안

- 연구기간내 장경간 신형식 경전철 고가구조물의 제진·관리기술 개발 및 Test-bed 구축 검증을 통해, 24년 이후, 국내 신규 사업에 신형식 고가구조물 도입 및 이를 기반으로 동남아 등 해외 경전철 시장 진출 도모
- *現 국내 광역시·도 기준 46개 노선 720여 km(33조원) 규모의 경전철 사업이 계획되어 있으며, 해외건설 수주 효자지역인 동남아(베트남, 말레이시아 등)에서만 17개 노선 300여 km 규모 사업 계획 중

□ 기대효과

- 경제적 효과
 - 도시환경과 부합하는 도시미관 개선, 도시 내 고가 하부 도로점유 최소화로 도로교통 혼잡 가중 해소 및 제한된 도시공간 효율적 활용 기대
 - 세계 최초 장경간·경량의 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 개발로 동남아 등 해외 경전철시장 진출 기대
- 기술적 효과
 - 세계 최초 200m 장경간의 도시 경전철용 신형식 고가구조물 (Sky-guideway) 제진·관리기술 확보로 국내 철도기술 수준 향상 및 미래 선도기술 선점을 통한 철도산업 경쟁력 제고 기대
- 정책적 효과
 - 국내 고가경전철 사업의 원활한 추진과 해외 고가 경전철 시장 진출을 통한 경전철 건설 등 관련 철도산업 발전 기대

7. 연구기간 및 소요예산

- 총 연구기간 : '21.1 ~ '24.12 (4년)
 - 1차년도 연구기간 : '21.1.1. ~ '21.12.31. (12개월)
- 총 정부출연금 : 3,934백만원 이내
 - 1차년도 정부출연금 : 1,010백만원

연도	연구기간	정부출연금(백만원)
1차	2021.1.1. ~ 2021.12.31. (12개월)	1,010 이내
2차	2022.1.1. ~ 2022.12.31. (12개월)	1,027 이내
3차	2023.1.1. ~ 2023.12.31. (12개월)	1,105 이내
4차	2024.1.1. ~ 2024.12.31. (12개월)	792 이내
합계		3,934 이내

※ 정부출연금은 정부예산사정 등에 따라 조정될 수 있음

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 수행 중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함
 - ※ www.kaia.re.kr 및 <http://rndgate.ntis.go.kr>의 유사과제목록 참조
 - 공모과제와 관련하여 기 수행되었거나 현재 수행 중인 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
- 연구 착수시점 현황과 개발종료 후의 대비가 가능하도록 세부과제별로 As-Is와 To-Be를 구체화·가시화하여 제시
- 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 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 구체적 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

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진 시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 실용화·사업화로 예상되는 기술·경제·사회·문화적 파급효과 및 산출근거

○ 추후 연구개발계획 등은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제 내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약 시 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

○ 핵심기술(CTE)별 현시점과 개발 완료시 기술성숙도(TRL) 목표를 설정

2절. 공모조건

- 1단계 세계 선도형 경전철 고가구조물 설계기술 개발은 단일 일반과제로 하여, 주관연구기관 및 위탁연구기관으로 편성된 컨소시엄 구성·공모 가능
- 2단계 세계 선도형 경전철 고가구조물 건설기술 개발은 도시 경전철용 고가구조물의 제작·시공 기술개발 분야와 제진·관리 기술개발 분야로 나뉘, 상호 과제간 인터페이스는 필요하나 세부 기술 분야가 상이하므로 1세부과제 및 2세부과제를 분리하여 공모 가능
 - 1세부과제의 경우, 도시 경전철용 고가구조물의 제작·시공이 1단계의 기본 개념설계부터 제작·시공 및 검증까지 일관성 있게 연구 추진될 수 있도록, 주관(협동)연구기관, 공동연구기관, 위탁연구기관 및 참여기업으로 편성된 컨소시엄 구성·공모 가능
 - 2세부과제의 경우, 도시 경전철용 고가구조물에 대한 계측 신호로부터 동적 제어 및 상태 관리 연구가 상호 인터페이스되어 추진될 수 있도록, 주관(협동)연구기관, 공동연구기관, 위탁연구기관 및 참여기업으로 편성된 컨소시엄 구성·공모 가능
- 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 따라, 기업이 참여하는 경우 연구개발비 중 정부 출연금 이외의 아래 연구개발비 출연기준에 따른 민간부담비용을 부담

<기업이 참여하는 경우의 연구개발비 출연기준>

1. 중앙행정기관의 연구개발비 출연 기준	2. 참여기업이 부담하는 연구개발비 중 현금 부담 기준	3. 참여기업이 부담하는 연구개발비 중 현물 부담이 허용되는 비목 및 범위
가. 참여기업이 모두 대기업인 경우: 총연구개발비의 50퍼센트 이내 나. 참여기업이 모두 중견기업인 경우: 총연구개발비의 60퍼센트 이내 다. 참여기업이 모두 중소기업인 경우: 총연구개발비의 75퍼센트 이내 라. 참여기업이 복합적으로 구성되고, 그 중 대기업의 비율이 3분의 1이하인 경우: 총 연구개발비의 60퍼센트 이내. 다만, 참여기업 중 중소기업의 비율이 3분의 2 이상인 경우는 총연구개발비의 75퍼센트 이내로 한다. 마. 그 밖의 경우: 총연구개발비의 50퍼센트 이내	가. 참여기업이 대기업인 경우: 부담금액의 15퍼센트 이상 나. 참여기업이 중견기업인 경우: 부담금액의 13퍼센트 이상 다. 참여기업이 중소기업인 경우: 부담금액의 10퍼센트 이상	가. 참여기업 소속 연구원의 인건비(대기업의 경우에는 현물 부담액의 50퍼센트 이내, 중견기업인 경우에는 70퍼센트 이내) 나. 직접경비 중 보유하고 있는 연구기자재 및 시설비, 재료비, 시작품 제작에 필요한 부품비(대기업이 보유하고 있는 연구기자재 및 시설비는 기업의 현물 부담액 중 인건비를 제외한 금액의 50퍼센트 이내, 중견기업인 경우에는 70퍼센트 이내)

<비고>

1. "중소기업"이란 「중소기업기본법」 제2조에 따른 중소기업을 말한다.
2. "중견기업"이란 「중견기업 성장촉진 및 경쟁력 강화에 관한 특별법」 제2조제1호에 따른 중견기업을 말한다.
3. "대기업"이란 중소기업 및 중견기업이 아닌 기업을 말한다.
4. 연구개발과제가 둘 이상의 세부과제로 구성된 경우에는 세부과제 단위로 연구개발비 출연·부담 기준을 적용한다.
5. 중앙행정기관의 연구개발비 출연금 중 대기업에 지원되는 금액은 해당 대기업 연구개발비의 50퍼센트 이하로 한다.

3절. 선정평가 방법

○ 선정평가 형태 및 방법

- 전문기관에서는 연구과제 신청기관에서 제출한 연구개발계획서 등의 신청서류에 대하여 RFP와의 부합성, 신청자격 및 신청서류의 적합성 등을 검토
- 전문기관 주관 하에 구성된 평가위원회를 통해 대면(발표) 방식으로 객관적이고 공정한 선정 평가 시행

○ 선정평가 항목 및 기준

기준항목	세부평가항목	점수
연구개발목표 (20점)	최종 연구목표/성과목표의 명확성, 타당성, 창의성	10
	단계/연차별 연구목표/성과목표(지표) 설정의 명확성, 구체성	10
연구개발 내용 (20점)	최신 기술동향 분석 및 사전계획의 충실성	5
	목표달성을 위한 연구내용, 예상성과의 적절성 및 실현가능성	5
	세부과제 구성의 타당성 및 연계성	5
	연구기간 및 연구개발비 편성의 적절성	5
추진전략 및 계획 (20점)	연구개발 추진전략 및 방법의 적정성, 구체성, 타당성	10
	연구수행체계 구성의 타당성(적정기관수, 산학연 구성 등) 및 연구진의 전문성	5
	연구기관의 연구인프라 및 연구지원시스템의 적절성	5
활용방안 및 실용화(정책제 안) 가능성 (20점)	연구성과 활용 시나리오의 적절성 및 구체성	5
	연구성과 실용화 및 정책제안 가능성	10
	개발 기술의 기대성과(기술적/경제적) 및 파급효과	5
연구단장의 연구수행역량 (20점)	해당분야 연구 및 프로젝트 수행 실적	5
	연구과제 기획 경험 및 능력	5
	연구과제 관리 경험 및 능력	5
	연구윤리 수준	5
소계		100

부합성 평가	평가위원 과반수가 연구개발계획서가 과제제안요구서(RFP)와 부합되지 않는다고 판정시 탈락 조치
중복성 평가	평가위원 과반수가 기 수행되었거나, 수행중인 과제와 중복되는 것으로 판정시 탈락 조치
보안등급 분류 적정성 평가	보안등급 분류의 적정성을 검토하고 그 결과를 반영하여 보안등급 결정 * 관련 : 공동규정 제24조의5 제2항, 운영규정 제19조 제2항 제5호

* 선정평가지 기준항목(세부 평가항목) 및 배점 기준이 일부 달라질 수 있음

* 총점은 100점이며, 총점의 60% 미만인 경우에는 탈락

○ 가점 및 감점 기준

- 관리지침 제17조(가점 및 감점 기준)에 따라 과제 선정평가시 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여
- 가점 및 감점은 평가위원회 개최전까지 제출된 자료를 근거로 평가위원회의 종합평가점수에 합산하되, 60점 미만인 기관에 대하여는 부여하지 않음

<연구개발과제 선정 시 가·감점 기준>

구분	내 용
평가결과 등에 따른 가·감점	◦ 최종평가 결과, 최우수등급(상대평가시 최상위 10%, 절대평가시 만점의 90% 이상)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정평가점수의 2% 가점 ◦ 최종평가결과 최하위등급(상대평가 시 하위 10% 등급, 절대평가시 만점의 50% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후(연구개발참여제한에 해당되는 경우에는 참여제한 기간 만료 후) 2년간 선정평가점수의 2% 감점 ◦ 최종평가결과 하위등급(상대평가 시 하위 30% 등급, 절대평가시 만점의 60% 이하)인 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 최종평가 후 2년간 선정평가점수의 1% 감점
논문실적에 따른 가점	1. ◦ 최근 3년 이내에 국내외 과학기술논문색인지수(Science Citation Index) 논문에 기고한 실적이 있는 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
보안과제 수행에 따른 가점	2. ◦ 최근 3년 이내에 협약한 연구개발과제로서 협약 시 보안과제로 분류된 연구개발과제의 주관연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
국제공동연구에 따른 가점	3. ◦ 국제공동연구 중 외국의 정부·법인·단체 또는 개인이 연구개발비의 일부를 부담하는 경우, 선정 평가점수의 1% 가점
기술실적에 따른 가점	4. ◦ 최근 3년 이내에 기술실시계약을 체결하여 징수한 기술료 총액이 2천만원 이상이거나, 같은 기간 내에 2건 이상의 기술이전 실적이 있는 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점
연구성과 포상에 따른 가점	◦ 최근 3년 이내에 공동관리규정 제17조제9항에 따라 포상을 받은 자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점 ◦ 최근 3년 이내에 과학기술 분야의 훈장, 포장, 대통령 표창 또는 대통령상을 수상한 연구자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우, 선정 평가점수의 1퍼센트 가점
신기술 또는 녹색인증에 따른 가점	◦ 최근 2년 이내에 「건설기술 진흥법」 제14조에 따른 건설신기술 또는 「국가통합교통체계효율화법」 제102조에 따른 교통신기술을 받은 중소·중견기업이 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점 ◦ 최근 2년 이내에 국토교통부장관으로부터 녹색인증 및 확인을 받은 실적이 있는 연구자 및 연구기관이 관련 녹색기술로 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 1% 가점

구분	내 용
연구부정행위에 따른 감점	최근 3년 이내에 공동관리규정 제31조제3항에 따라 연구부정행위로 판단되어 협약이 해약된 연구개발과제의 연구책임자가 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 4% 감점
협약 또는 연구 포기에 따른 감점	5. 연구개발과제 선정 후 정당한 사유없이 협약을 포기하거나, 연구수행 도중 연구를 포기한 경력이 있는 연구책임자나 기업이 협약 또는 연구 포기 후 3년내 새로운 연구개발과제를 신청하는 경우 선정평가점수의 2% 감점
기업의 연구참여에 따른 가점	- 중소기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우로서 - 중소기업의 참여율이 1% 이상 ~ 20% 미만 : 선정평가점수의 2% - 중소기업의 참여율이 20% 이상 ~ 50% 미만 : 선정평가점수의 2.5% - 중소기업의 참여율이 50% 이상 : 선정평가점수의 3% * 참여율 = $\frac{\text{해당 제안과제의 중소기업 배정 정부출연금 합계}}{\text{해당과제 총정부출연금}} \times 100\%$ - 중소기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하지 않고, - 중견기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1.5% - 대기업이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1%
산업기술연구 조합에 대한 가점	산업기술연구조합이 연구기관(주관, 협동, 공동)으로 참여하는 경우 : 선정평가점수의 1%
기 타	「하도급거래 공정화에 관한 법률」을 최근 3년 이내에 상습적으로 위반한 기업이 연구개발과제를 신청한 경우에 그러한 위반 사실이 같은 법 제26조에 따른 공정거래 위원회로부터 관계 행정기관의 장에의 통보 등을 통하여 확인될 경우 ,선정평가점수의 2% 감점

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표하거나 공개하여서는 안됩니다.