20RTRP-C148760-03

사전 제작형

플로팅 슬래브 궤도

및

기존선 자갈궤도 급속개량

기술 실용화

최종 보고서

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

보안 과제( ), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개( ), 발간등록번호(11-B552989-000386-01)

철도기술연구사업 최종보고서

R&D / 20RTRP-C148760-03

사전제작형 플로팅슬래브 궤도 및 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 실용화

최종보고서

2021.02.05.

주관연구기관 / (주)에스코 알티에스
공동연구기관 / 한국철도공사
한국철도기술연구원
(주)서현기술단
삼표레일웨이(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

'사전제작형 플로팅슬래브 궤도 및 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 실용화'(연구개발 기간 : 2018.07.01~ 2020.12.31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021. 02. 05.

주관연구기관명 : (주)에스코 알티에스 조영철 (인)
공동연구기관명 : 한국철도공사 손병석
한국철도기술연구원 조용현
(주)서현 기술단 정병율
삼표레일웨이(주) 정인철
참여기관명 : 케이이테크 백준호
(주)베스트엔지니어링 유기대

주관연구기관책임자: 이찬영 이사
공동연구기관책임자: 권세곤 책임 연구원
강윤석 책임 연구원
박성현 상무
윤병현 차장
참여기관책임자: 백준호 대표
유기대 대표

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>20RTRP-C148760-03</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2018.07.01 ~ 2020.12.31</td><td>단계구분</td><td>3/3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">실용화 문턱 과제</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">사전제작형 플로팅슬래브 궤도 및 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이찬영</td><td>해당단계 참여연구원 수</td><td>총: 72명
내부: 72명
외부: 명</td><td>해당단계 연구비</td><td>정부: 960,000천원
민간: 321,730천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 1,281,730천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여연구원 수</td><td>총: 72명
내부: 72명
외부: 명</td><td>총 연구비</td><td>정부: 2,400,000천원
민간: 801,730천원
정부외: 천원
상대국: 천원
계: 3,201,730천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">(주)에스코 알티에스 제1기술연구소</td><td colspan="2">참여기업명
한국철도공사
한국철도기술연구원
(주)서현기술단
삼표레일웨이(주)</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
</table>

※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록・기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

구입기관	연구시설・장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수

요 약 문

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td>○ 연구개발 최종목표
철도역사의 소음/진동을 저감하기 위해 개발된 ‘사전제작형 플로팅슬래브 궤도 기술’과 이를 응용한 기존선 자갈궤도 급속개량 기술(20m/4.0h이상)의 사업화 달성</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td>○ 급속시공 사전제작형 플로팅슬래브 궤도 기술 상용화
- 방진장치가 설치된 공장형 프리캐스트 플로팅 궤도 시스템
- 진동 25dB(V) 이상 저감의 고성능 진동절연 성능
- 차단시간 (4.0h)내 20m 이상 급속시공 기술 검증
○ 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 상용화
- 현장 조건 및 유지관리를 고려 궤도-노반간 연결장치를 포함하는 공장제작형 프리캐스트 궤도 시스템
- 시스템 최적화로 안전성, 경제성 확보
- 차단시간 (4.0h)내 20m 이상 급속시공 기술 검증

<예상되는 연구개발성과 유형>
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">논문</th><th rowspan="2">특허</th><th rowspan="2">보고서 원문</th><th rowspan="2">연구시설·장비</th><th rowspan="2">기술요약 정보</th><th rowspan="2">소프트웨어</th><th rowspan="2">화합물</th><th colspan="2">생명자원</th><th colspan="2">신품종</th></tr>
<tr><th>생명정보</th><th>생물자원</th><th>정보</th><th>실물</th></tr>
<tr><td>예상성과 (N/Y)</td><td>Y</td><td>Y</td><td>Y</td><td>N</td><td>Y</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td><td>N</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td>○ 기술적 측면
- 차단시간 내 20m/day 이상 급속시공 가능한 기술로 우수한 시공성 확보와 수요처 요구사항 만족으로 실용화 문턱 해소
- 열차 운행선에서 교통 지연 없이 자갈궤도를 개량하는 급속시공 기술을 확보함으로써 국내 궤도 분야 기술 경쟁력을 세계적 수준으로 향상
- 국가 R&D 사업을 통해 개발된 설계 및 시공 기술이전 및 공동개발을 통한 기술개발 성공 및 기술사업화 도모
- 궤도 분야의 우수한 전문 인력을 양성함으로써 궤도 시공 및 설계분야 기술 수준을 한 단계 향상
○ 경제, 산업적 측면
- 기존선 소음/진동 민원개소 및 노후 자갈궤도 구간 개량에 적용함으로써 공사기간 및 공사비 절감
- 개발기술 실용화를 통해 중소기업 신규 수익 및 고용 창출
- 궤도 개량 사업 시장을 선점함으로써 국내 철도 인프라 분야의 해외 시장 진출에 기여
○ 사회적 측면
- 기존선 급속시공 기술 개발로 신속한 궤도개량 및 유지보수를 통한 양호한 궤도 상태 관리가 가능하며, 철도차량 운행의 주행안전성 및 승차감 확보로 철도 이용 고객만족도 향상 가능
- 일반·도시철도 등 철도운영기관 기술적용을 통한 철도 시설물 관리에 대한 대국민 신뢰도 향상 기대</td></tr>
</table>

국문핵심어 (5개 이내)	급속시공	기존선	자갈궤도 개량	사전제작형	차단시간
영문핵심어 (5개 이내)	Rapid construction	Conventional Line	Ballasted trac k Renovation	Precast Type	Cut-off time

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 1
2. 연구수행내용 및 성과 ····· 17
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 82
4. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 88

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 목적

(1) 개 요

○ 지원 대상 기술의 정의

사업화 지원 신청기술 '사전제작형 플로팅 슬래브 궤도'는 국토교통 기술연구개발 사업으로 개발된 기술로 철도운행에 의하여 소음·진동이 발생하는 역사를 대상으로 운행선상 철도운행의 지장 없이 급속시공 할 수있으며 진동과 소음을 저감할 수 있는 혁신적인 플로팅 궤도시스템 기술이다.

개발 궤도 구조는 공장에서 제작된 프리캐스트 슬래브 패널에 이산지지형 방진장치를 사전에 부착하여 시공현장으로 운송하여 소음/진동 저감 대상 역사에 조립 시공하는 궤도시스템으로서, 개발궤도의 구조는 2면의 종방향 패널이 가로보로 결속되는 'ㅍ' 자 모양의 형상을 가진 콘크리트 슬래브 패널과 패널을 지지하는 6개의 방진장치로 구성된 콘크리트 궤도이다.


(a) 궤도형상


(b) 방진장치


(c) 궤도 현장부설 전경(대천역)

그림. 사전제작형 플로팅 슬래브궤도

궤도 패널을 이산 지지하여 진동원과 노반슬래브를 격리시키는 데 적용된 방진장치는 수직방향 강성 및 감쇠 편차가 적은 방진코일스프링 및 마찰형 감쇠시스템을 적용하였으며, 현장설치시험 및 모니터링 결과 **소음 저감량**(**최대 15dB**, 평균 8.2dB), **진동 저감량**(**최대 35dB**, 평균 27.7dB)의 높은 저감 성능을 발휘한다. (※ 국외 기술 수준(진동) : 독일 평균 10dB, 일본 평균 20dB 저감)

또한 시공성 측면에서도 궤도 패널 및 방진장치의 일체 운반 및 설치를 통해 열차운행 중단 없이 급속시공이 가능한 기술로서, 1일 4시간 차단시간을 기준으로 하여 2패널/1일(10m)의 자갈궤도 교체 시공(신설선 제한없음)을 통해 시공성을 검증하였으며, 각각

의 패널별 긴급교체 및 패널 측면에서 방진장치의 관찰 및 교체가 가능하여 유지관리성 측면에서도 탁월한 기술이다.

해당 기술은 국가철도공단의 철도시설 성능검증지침에 따라 일반철도, 도시철도의 역사에 적용할 궤도에 대한 성능검증을 완료하고 공단규격에 등재하였으며, 장항선 대천역에 성공적 시험부설 및 현장시험/장기성능 모니터링을 마치고 현재 3년째 공용 중에 있다.

○ 선행과제 개발기술 요약

사업화 지원 신청기술의 '사전제작형 플로팅 슬래브 궤도'는 국토교통 기술연구개발 사업(과제명 : 역사구조물 소음/진동 저감기술 개발, 연구개발기간 : 2013. 12. 27~2019.01.26)으로 개발된 기술이다.

· 기술개발 참여기관 및 시설의 특징

개발참여기관	한국철도공사, 한국철도기술연구원, ㈜에스코알티에스, 평화엔지니어링
시설특징	- 열차운행 중단 없는 기존선/신설선 급속시공 - 발생원에서 열차 운행으로 발생되는 소음/진동 저감 기술 - 마찰형 방진장치 적용, 진동 25dB(V), 소음 8dB(A) 이상 저감성능

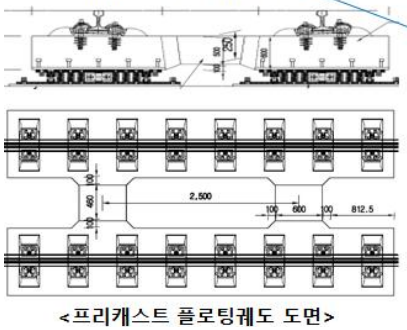




· 개발기술 기본구조



<프리캐스트 플로팅궤도 실모형>

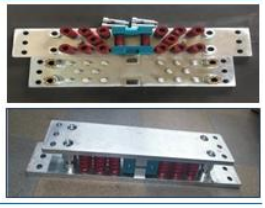


<프리캐스트 플로팅궤도 도면>

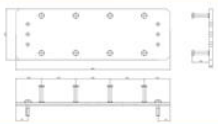
① 플로팅궤도 패널
- 급속 시공을 위한 공장 제작형 분리형 궤도패널
- 운행 중 시공을 고려한 패널길이 5m (중량7t)
- 하중분배 및 궤도 구조안전성을 고려한 형상



② 마찰댐퍼형 방진장치
- 마찰쐐기를 이용한 연직방진장치
  - 마찰이력거동활용 에너지 소산
- 유지관리/궤도정정 고려한 구조
  - 궤도 하면에 장착/분리가능 구조
  - 시공 및 궤도정정 용이



③ 인서트플레이트
- 패널과 방진장치 간 신속/안정적 체결을 위해 패널 하부에 매립
- 스터드 볼트로 패널과 일체화 거동



④ 궤도 리프팅 장비
- 급속시공
- 부재손실 최소화



· 선행기술의 완성도

선행기술은 국가철도공단의 철도시설성능검증절차를 완료하고 최종 국가철도공단로부터 성능을 인증받은 기술로서, 이를 위해 궤도구성품 및 실대형 모형에 대한 성능인증시험 및 현장시험부설, 현차주행시험을 수행하고 이를통해 궤도구조 안전성 및 주행안전성을 검증하였다. 이에 대한 설계 및 공사시방서, 자재사양서 유지관리 지침서 등을 제시하여 설계/제작/시공/유지관리의 모든 과정에 대한 기준을 제시하였다. 또한, 국가철도공단의 철도시설 성능규격에 등재되어 설계 및 개량/신설 사업에 적용할 수 있는 상황으로서 상용화를 위한 모든 준비가 완료된 기술이다.





관리번호 : 제 KR-2019-03호

철 도 시 설 성 능 검 증 서

철도시설의 명칭	사전제작형 플로팅 슬래브궤도		분 야	궤도
개발업체 또는 개발자	업체명	한국철도공사	법인등록번호	314-82-10024
	성명(대표자)	손 병 석	사업자 등록번호	160171-0004321
	주 소	대전광역시 동구 중앙로 240(소제동)		
적용범위	○ 적용구간 : 기존선 일반 및 도시철도 역사(선상·선하·지하) 자갈궤도 구간 신설선 일반 및 도시철도 역사(선상·선하·지하) 콘크리트 및 자갈궤도 부설구간 ○ 최소 곡선반경 등 선형조건 : 직선구간			

위 철도시설에 대하여 한국철도시설공단 「철도시설 성능검증지침」 제12조 6항에 의거 성능검증서를 교부합니다.

2019년09월02일

한 국 철 도 시 설 공 단 이 사 장

· 공사비 원가분석 결과 국내외 기술 대비 25%이상 경제성 확보

공종	자갈도상궤도	콘크리트궤도	현장타설 플로팅궤도 (함안역)	사전제작형 플로팅 슬래브궤도
직접공사비	98,917,771	168,305,560	278,201,408	218,634,811
간접노무비	2,785,417	6,931,381	9,938,045	5,448,468
보험료	2,768,344	14,169,180	22,009,916	14,548,127
기타경비	8,011,227	10,323,745	17,177,717	12,518,878
이윤 및 부가세	30,596,821	51,970,134	82,272,914	61,549,716
총공사비	145,900,000	251,700,000	409,600,000	312,700,000
단가비교(원/m)	2,084,286	3,595,714	5,851,429	4,467,143

※ 시공원가 전문산정기관의 경제성 분석 결과임

○ 대상기술 실용화 문턱 요인

‘프리캐스트 플로팅슬래브 궤도시스템 기술’은 국가철도공단에서 정하고 있는 “철도시설 성능검증지침(국가철도공단, 2015)”에 따라 기술 적합성 검토(전문가 검증), 조립성능시험을 완료하고, 현재 현장설치시험(운행선 시험)의 3단계를 진행하며 성능검증을 진행중에 있으며, 운행선인 대천역 시험부설 및 현차 주행시험을 통해 차단시간 내 급속교체 시공성 및 궤도성능을 입증한 완성도 높은 기술로 평가되고 있으나, 개발된 ‘사전제작형 플로팅슬래브궤도 시스템’는 시험부설시 전용장비가 없어 차단시간(4시간) 내 부설연장이 10m에 그쳐, 기존선 구간(일반, 도시철도) 1일 차단작업 시간이 4h이하인 점을 감안할 때 개발된 플로팅 슬래브궤도 시스템은 수요처의 요구(4.0h 이내 20m 이상 시공, 비용절감)을 충족하지 못해 실용화의 문턱에 직면하였다.

여기에, 현재 자갈궤도 운용상 다양한 문제점(열차 하중에 의한 자갈입자의 이동, 재배열, 마모, 노반 관입 또는 하부 노반의 부등 침하, 구조물의 신축 작용 등으로 궤도틀림이 계속 증가, 노후화된 자갈궤도의 경우 궤도 틀림 증가에 따른 충격 발생) 발생으로 궤도 선형을 양호한 상태로 유지하기 위한 궤도 유지보수 작업과 비용이 크게 증가하고 빈번한 유지보수 작업으로 열차 운행 지연과 이로 인한 사회적 손실 발생됨에 따라 유지보수 생력화(자갈궤도 → 콘크리트궤도)를 위한 기존선 급속 시공궤도 기술의 요구가 증대됨에 따라 해당 기술의 실용화가 요구되었다.

이에, 상기 실용화 문턱요인 해소를 위해서는 개발된 ‘사전제작형 플로팅 슬래브궤도’의 급속시공이 가능한 전용장비와 플로팅궤도기술의 완성도 향상 연구가 필요하며, 소음/진동 저감 요구가 적은 구간에서는 기존 플로팅 슬래브궤도 패널을 응용하여 다양한 선로조건의 노후 자갈궤도를 경제적으로 급속 개량할 수 있는 궤도시스템의 최적화가 필요하며 이에 대한 충분한 검토를 수행하였다.

○ 연구개발 배경(기존선 노후 자갈궤도의 문제점)

본 연구는 현재 공용중인 기존선 자갈궤도 구간 (특히 터널 및 지하구간 등)에서의 궤도기능 저하와 노후화에 따른 반복적인 궤도틀림에 대한 해결 및 속도향상 구간의 궤도품질 향상을 위하여 사전제작형 급속개량궤도 시공 전용장비와 사전제작형 슬래브를 적용하여 기존선 열차 중단 없이 20m/day 시공이 가능한 교체시공 궤도기술이다.

자갈궤도의 특성상 다양한 문제 발생(자갈입자 이동, 재배열, 마모, 노반 관입 또는 궤도틀림이 계속 증가, 틀림 증가에 따른 충격 발생)으로 유지보수 작업과 비용이 크게 증가하고 빈번한 유지보수 작업으로 열차 운행 지연과 이로 인한 사회적 손실이 발생됨에 따라 운영기관의 관심과 궤도구조의 개량 필요성이 증대되고, 해결책으로 유지보수 생력화 (자갈궤도 -> 콘크리트궤도)를 위한 기존선 급속 시공 궤도 기술이 요구되고 있다.

콘크리트 도상 궤도구조의 초기 건설비용이 1.3~1.5배 크지만 보수비용의 연간 비용을 적산하면 대략 10~12년으로 추가 투자분을 회수할 수 있으며, 생력화가 완전히 되는 궤도의 경우 LCC 평가결과 초기 건설비용이 약 2배의 비용이 들지만 장기적으로는 타당성이 있는 것으로 검토되었다.



그림. 자갈궤도와 콘크리트궤도의 LCC 평가

노후 자갈궤도 궤도구조 개량은 근본적으로 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 개량함으로써, 궤도 유지 보수업무를 대폭적으로 절감하는 것이 합리적이나, 열악한 작업환경(작업시간 부족, 작업공간 부족, 자갈두께 부족, 일부개소 자갈갱환 작업 불가 등)으로 기존 궤도개량 기술로는 자갈궤도 개량이 어려운 실정으로 이를 해소할 수 있는 급속 궤도개량 기술 개발의 필요성이 대두된다.

코레일의 경우 과천선(21km)의 궤도시설 기능 저하와 노후화에 따른 열차안전운행 확보 및 유지관리 효율성 제공 등 궤도안정성 확보를 위하여 2010년 '과천선 금정~남태

령 간 궤도구조개량 실시설계’를 시행하여 개량사업을 진행중에 있으며, 개량공법으로 B2S 궤도를 실시설계에 적용하여 개량사업을 추진하였으나, 차단시간 (4.0h) 내 5m의 낮은 시공속도, 다양한 현장조건에 수용 불가 및 개발사 시공장비 지원 문제로 2013~2016년까지 불과 1.8km 구간개량을 시행하는데 그쳤다. 이에 대한 해결책을 찾기 위해 2018년 현재 최근 5년 동안 적합한 궤도구조선정을 위한 기술자문회 시행 결과, 궤도개량 신규 궤도기술 개발 시 즉시 설계 반영토록 결정함에 따라 현장 제약조건을 극복할 수 있는 우수한 급속개량궤도 기술개발이 요구되었다.

○ 기존 자갈궤도의 문제점 및 기존 콘크리트궤도 개량기술의 한계

자갈도상은 열차의 하중을 레일과 체결장치, 침목, 자갈을 통해 하부 노반에 분산하여 전달하는 구조로 콘크리트 궤도에 비해 초기 건설비가 저렴하고 궤도틀림시 보수가 쉽지만 열차의 운행으로 진동이 발생하여 자갈이 부서지고 위치가 바뀜에 따라 지속적인 침하가 발생하여 유지보수 비용이 많이 발생하는 단점이 있다.

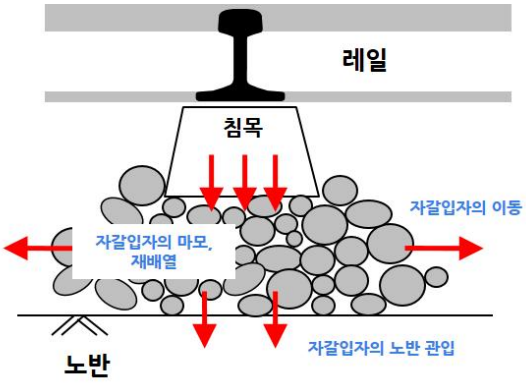


그림. 자갈궤도의 구조

또한, 자갈궤도는 시공 후 열차 운행 시 발생되는 비산먼지, 야간보수로 인한 심야 소음공해 등 환경적 측면에서 부정적이며, 열차 운행시 승차감은 콘크리트에 비해 좋지 않고 진동에 의해 자갈이 부서짐에 따라 레일에 자갈 파편이 튀어 레일 손상 및 열차 차량에 손상이 생겨 궤도 외적인 보수비용이 발생한다.

현재 운행중인 기존선을 콘크리트 개량화 기술 중 하나인 포장궤도 공법은 자갈을 교체 한 후 시멘트 모르터를 주입하여 콘크리트화하는 공법으로 영업선에서 운행 종료 후부터 운행 개시까지의 차단시간동안 콘크리트 궤도로 개량하는 방법이 어렵다.

국외에서는 일본에서만 포장궤도 기술을 보유하고 있으며, 200km이상의 시공실적을 확보하면서 시행착오를 통한 많은 기술 축적을 이루고 있어 국내 기술 수준보다는 다소 높은 것으로 판단된다.

국내에서 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 개량화 하려는 노력이 계속 되었지만, 개량화 하는 과정에서 많은 비용이 발생하며, 국외에서도 기존 운행선을 콘크리트 궤도로 개량화 하는 급속시공기술을 확보하지 못하는 실정이다.

서울 메트로에서 진행된 B2S System은 열차차단 시간내에 5~10m 개량하는 기술을 갖고 있지만 급속 개량에 관한 기술은 없으며, 또한 B2S 시공장비가 고가로 국내에 1대만을 보유하고 있어 현장적용에 한계가 있다. 이러한 문제점을 해결하면서 자갈구도의 급속개량화에 대한 기술을 확보함으로써 국내 철도시장의 콘크리트 궤도 기술 발전과 국외의 급속개량 기술의 시장 결쟁력을 확보할 수 있다고 판단된다.

○ 추가연구 개발의 필요성

기존 자갈궤도는 자갈입자의 이동, 재배열, 마모 등으로 궤도틀림이 계속 증가하는 취약성을 가지고 있다. 고속화와 물류 수송량의 증가는 지속적인 자갈궤도의 파괴와 노후화를 진행 시키고, 이에 따른 유지보수비용 증가가 예상되며, 자갈궤도와 콘크리트궤도의 LCC를 분석한 결과 자갈궤도는 교체비용 및 운영비용이 전체LCC의 60%이상을 차지하는 반면 콘크리트궤도는 초기 시공비가 75%이상을 차지하는 것으로 나타난다.

자갈궤도의 취약성을 개선하고, 유지보수를 현저히 줄이고, 주행 안전 향상을 도모하기 위해서는 운행선 상에서 빠른 시간 내에 궤도 구조를 개량할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 이에 따라 국내에서도 경부고속철도 1단계를 포함한 국내철도 주요 본선 자갈궤도가 노후화됨에 따라, 유지보수비용 저감을 위하여 콘크리트 궤도 교체에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

기존 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 교체하는 “포장궤도공법”과 “B2S공법”이 실용화 되고 있으나, 시공속도가 매우 느리기 때문에 (10m/4hr 이내) 국내 자갈궤도 노선으로 확대 할 경우 효율성 저하로 사업성 저하가 예상된다. 이에따라, 급속시공형 프리캐스트 플로팅 슬래브궤도 공법은 기존 기술개발 대비 시공속도(20m/4h)를 개선하여 사업 효율성을 향상 시키고자 한다.

급속시공형 프리캐스트 플로팅 슬래브궤도 공법의 초기공사비, 유지관리비 등을 산정하여 자갈궤도, 기존 개발기술과의 사업성을 검토하고, 직·간접적인 편익을 고려하여 경제적인 활용성을 극대화하고자 한다.

○ 실용화 문턱 설정 근거 및 달성방안

철도 운영 및 건설 기관에서는 철도 운행에 따라 소음/진동이 발생하는 역사를 대상으로 철도운행의 지장 없이 급속시공 할 수 있으며 효과적으로 진동과 소음을 저감할 수 있는 신개념의 궤도시스템 기술 적용을 필요로 하고 있으며, 이를 위해 철도기술연

구사업으로 '사전제작형 플로팅슬래브궤도 시스템' 을 개발하여 장항선 대천역 본선에 현장시험 부설하고 현재 운영중에 있다.

선행연구를 통해 개발된 '사전제작형 플로팅슬래브궤도 시스템' 시험 시공시에 전용장비가 없어 고속분기기 부설용 리프팅 장비를 사용하여 현장부설을 진행하였으나, 현장에서 리프팅장비 설치 및 조정에 많은 시간(2시간)이 소요되어 차단시간(4시간)내에 10m를 부설 한계로 전용장비의 필요성이 대두되었다.

기존선 구간(일반, 도시철도)의 경우 1일 차단작업 시간이 4.0hr이하인 점을 감안할 때 현재 개발된 플로팅슬래브 궤도 시스템은 수요처의 요구(4.0h 이내 20m 이상 시공, 비용절감)를 충족하지 못해 실용화가 어려운 실정이다. 또한, 기존선 자갈궤도 구간(특히 터널 및 지하구간 등)에서 궤도시설 기능 저하와 노후화에 따른 반복적인 궤도틀림이 발생되고 있으나, 열악한 작업환경 (작업시간 부족, 자갈두께 부족, 일부개소 자갈갱환 적업 불가 등)에 따른 자갈궤도 개량이 어려운 실정으로 이를 해소할 수 있는 궤도개량 기술 개발이 필요하다.

코레일에서는 2010년 이후 과천선 자갈궤도 구조개량(L=19km) 실시설계를 시행하였음에도 기존 개량기술의 기술적인 문제 (도상자갈 부족에 따른 궤도강성 확보 불가, 시공장비 제한 등)로 개량사업에 어려움을 겪고 있다.

코레일 및 철도시설공단은 노후된 자갈궤도 개량을 위하여 중장기 계획을 수립하여 추진예정으로 열차운행선에 지장없이 적용할 수 있는 급속 궤도개량 시스템 개발 시 즉시 설계에 반영하여 현장적용 예정이다. 따라서 개발된 사전제작형 플로팅 슬래브궤도와 기존선 노후 자갈궤도의 급속개량이 동시에 가능한 급속시공 전용장비 제작과 기존 플로팅 슬래브궤도 기술을 응용해 슬래브패널에 높이조정이 가능한 받침장치를 적용한 기술 사용화를 통해 수요처의 요구사항을 충족할 수 있도록 하였다.

표. 수요처 요구사항 및 달성방안

수요처 요구사항	달성방안
차단시간(4.0H) 이내 20m 이상 부설 가능한 궤도구조와 시공기술	급속시공 전용장비 제작으로 차단시간(4.0H) 이내 20m 이상 시공 가능
도상 자갈두께 가변(100~300mm)에 대응할 수 있는 궤도구조	기 개발된 사전제작형 슬래브 패널 하부에 가변형 받침장치 적용
기존 기술대비 시공비용 절감	전용장비 사용으로 1일 시공물량 증가 및 공기단축으로 시공비용 절감
국가철도공단 궤도구조 성능검증절차 인증	한국철도공사 · 국가철도공단 협업으로 연구기간내 성능검증 절차 인증
슬래브패널 내구성 등 품질확보	슬래브패널 설계 및 제작 전문업체와 협업으로 제품의 품질확보

나. 연구개발의 필요성

○ 연구개발의 연관성

기존 자갈궤도는 자갈입자의 이동, 재배열, 마도 등으로 궤도틀림이 계속 증가하는 취약성을 가지고 있다. 고속화와 물류 수송량의 증가는 지속적인 자갈궤도의 파괴와 노후화를 진행 시키고, 이에 따른 유지보수비용 증가가 예상된다.

자갈궤도와 콘크리트궤도의 LCC를 분석한 결과 자갈궤도는 교체비용 및 운영비용이 전체 LCC의 60%이상을 차지하는 반면 콘크리트궤도는 초기 시공비가 75%이상을 차지하는 것으로 나타난다.

독일 및 일본자료에 의하면 슬래브궤도의 보수비는 자갈도상 궤도의 10~20%정도이며, 6~12년 내에 초기투자분을 회수가 가능한 것으로 나타났다.

자갈궤도의 취약성 개선 및 유지보수를 현저히 줄이고, 주행 안전 향상을 도모하기 위해서는 운행선 상에서 빠른 시간내에 궤도 구조를 개량할 수 있는 기술의 개발이 요구된다. 이에 국내에서도 경부고속철도 1단계를 포함한 국내철도 주요 본선 자갈궤도가 노후화됨에 따라, 유지보수비용 저감을 위하여 콘크리트 궤도 교체에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

○ 추가 기술 개발에 대한 타당성

기존 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 교체하는 “포장궤도공법” 과 “B2S공법” 이 실용화 되고 있으나, 시공속도가 매우 느리기 때문에 (10m/4hr 이하) 국내 자갈궤도 노선으로 확대할 경우 효율성 저하로 사업성 저하가 예상된다.

본 연구를 통해 개발된 사전제작형 급속개량슬래브궤도 공법은 기존 기술개발 대비 시공속도(20m/4hr)를 대폭 개선하여 사업 효율성을 향상 시키고자 한다. 또한, 급속시공형 프리캐스트 플로팅 슬래브궤도 공법의 초기공사비, 유지관리비 등을 산정하여 자갈궤도, 기존 개발기술과의 사업성을 검토하고, 직・간접적인 편익을 고려하여 경제적인 활용성을 극대화하고자 한다.

1970~80년대에 건설된 서울지하철 1~4호선 복선 궤도 연장 276.9km중 82% (226.7km)가 자갈궤도로 건설되어있으며, 30년 이상 운영되면서 유지보수의 편의를 위하여 콘크리트궤도로 개량하는 사업을 1997년부터 추진하고 있으며, 자갈궤도 전체를 대상으로 하고 있다.

부산지하철공사의 경우, 1호선 72km 연장이 자갈도상궤도로 부설되어 있으며, 궤도개량에 대한 시공을 계획하고 있다. 철도공사의 경우, 과천선을 비롯한 수도권 인근의 도시철

도 선로가 주요 개량대상이 되며, 기존선에서도 터널구간 등이 개량대상이 예상된다.

국내 자갈도상궤도 개량사업은 시간의 경과에 따라 수요가 점점 증가할 것으로 판단되며, 교통환경 여건 상 빠르고 경제적으로 개량할 수 있는 공법이 경쟁력을 가질 것으로 판단되어 사전제작형 급속개량 슬래브 궤도기술의 사업화 전망은 매우 밝다고 할 수 있다.

표. 개량공사 관련

운 영 처	대상선로	궤도연장 (km)	비 고
서울교통공사	1-4호선 자갈도상궤도 개량공사	복선궤도 연장 226.7km	
	분기기 개량공사	전 체	
부산교통공사	1호선 자갈도상궤도개량공사	복선궤도 연장 72km	
철도공사	과천선을 비롯한 국철구간	200km	
	기존 철도구간 중 궤도구조개량이 요구되는 구간(터널, 급곡선, 역구내 구간 등)	500km	

코레일의 궤도개량실적을 보면 현재까지 3년간 110억원 (2km)의 예산이 소요되었으며, 향후 5년간 약 800억원 규모의 공사계획을 가지고 있다.

서울교통공사의 궤도개량실적을 보면 현재까지 5년간 660억원(33km)의 예산이 소요되었으며, 향후 3년간 약 200억원 규모의 공사계획을 가지고 있다.

표. 5년간 궤도 개량공사 건설비

구 분	2013년	2014년	2015년	2016년	2017년	비 고
궤도개량 연장	10km	15km	20km	30km	30km	
궤도개량 건설비	200억원	300억원	400억원	600억원	600억원	

궤도개량시장 단가는 약 40억원/km으로 예상되며, 향후 각 기간별 궤도개량 연장이 998.7km이므로 전체 공사비는 2조원 가까운 시장이 예상되어 기존선 자갈궤도 급속개량기술의 활용처가 많을 것으로 기대된다.

다. 연구개발의 범위

(1) 연구개발 최종목표

○ 철도역사의 소음/진동을 저감하기 위해 개발된 '사전제작형 플로팅슬래브 궤도기술'과 이를 응용한 기존선 자갈궤도 급속개량 기술(20m/4.0hr 이상)의 사업화 추진

- 구조해석 및 동특성해석에 의한 설계 안전성 입증
- 정적/동적 하중시험, 피로시험 및 주행안정성 시험을 통한 제품 안전성 입증
- 국가철도공단 궤도구조성능검증 절차(KR C 14060)를 통한 성능 인증
- 운행선 현장 시험부설을 통한 시공장비 안전성 및 1일 시공(20m/4.0h 이상) 실적인증
- 기술 국산화 및 급속시공 기술확보로 플로팅궤도 건설 및 개량 비용 절감

표. 플로팅 궤도 신청기술의 적용범위

구 분	내용
적용구간	- 기존선 일반/도시철도 선상/선하/지하역사 자갈궤도 구간 - 신설선 일반/도시철도 선상/선하/지하역사 콘크리트/자갈궤도 부설 구간
최고설계속도	- 일반철도 (200km/h이하)
최소곡선반경	- 직선구간
신규/개량 구분	- 신규

표. 급속 개량 궤도 신청기술의 적용범위

구 분	내용
적용구간	- 기존선 도시철도 터널구간 자갈궤도 구간 - 신설선 도시철도 콘크리트 노반 구간
최고설계속도	- 도시철도 (90km/h이하)
최소곡선반경	- 철도설계기준에 적합한 최소곡선반경 반영
신규/개량 구분	- 신규

(2) 연차별 연구개발 목표 및 내용

구분 (연도)	연구목표	핵심성과	연구범위	연구내용
1차년도 (2018)	급속개량궤도 시스템 기술 및 설계기술 정립	급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	• 개발궤도 시스템 개선 및 부재 단위 성능시험	- 기 개발시스템 실용화 장애요인 분석 - 시공성/유지관리성/경제성 향상을 위한 장애요인 개선 - 개선 방진장치 시제품 제작 및 성능시험
			• 설계기술 정립	- 구조해석 및 동특성해석에 의한 설계안정성 검증 - 설계절차서(안) 도출
			• 급속시공 전용장비 설계	- 급속시공을 위한 전용장비 구비요건 분석 - 현장 운용 및 고려한
		기존선 자갈궤도 급속시공 기술	• 기술응용 급속개량기술 정립 및 연결부재 성능시험	- 자갈궤도 개량 요건 분석 및 개발시스템 응용 검토 - 노반-패널 인터페이스를 고려한 최적 연결장치 설계 - 궤도-노반 연결장치 시제품 제작/시험
			• 설계기술 정립	- 구조해석 및 동특성 해석에 의한 설계안전성 검증 - 설계절차서(안) 도출
			• 급속시공 전용장비 설계	- 플로팅 궤도 호환 조건 도출 및 설계 반영
2차년도 (2019)	급속교체 궤도 시스템 성능인증 절차진행 및 현장 부설 준비	급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	• 개선 요소 시험체 제작 및 성능시험	- 개선 시험체 설계 및 제작 - 개선 시험체 실규격 성능시험(공인인증서)
			• 궤도구조성능검증 신청	- 성능검증보고서 및 자료작성 - 개선 구조 부재단위'궤도구조 성능검증 절차'신청
			• 현장부설 사전 검토 및 준비	- 현장부설 설계도서 작성 - 급속시공 장애요인 분석, 최적공정계획 수립 및 검토 - 프리캐스트 패널 설치를 위한 전용장비 제작 - 현장부설 자재 생산 및 품질관리(1)
		기존선 자갈궤도 급속시공 기술	• 시험체 제작 및 성능시험	- 시험체 설계 및 제작, 시험계획 수립 - 시험체 실규격 성능시험(공인성적서)
			• 궤도구조성능검증 신청	- 성능검증보고서 및 자료작성 - 급속개량 기술에 대한 '궤도구조 성능검증 절차' 신청
			• 현장부설 사전 검토 및 준비	- 현장부설 설계도서 작성 - 급속시공 장애요인 분석, 최적공정계획 수립 및 검토 - 현장부설 자재 생산 및 품질관리(1)
3차년도 (2020)	시험시공 및 급속시공 성능검증	급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	• 현장시험시공	- 현장부설 자재 생산 및 품질관리(2) - 시험부지 시험시공 (목표 : 차단시간내 20m/일)
			• 현차시험 및 성능검증 인증	- 현차주행시험 및 장기성능 모니터링을 통한

				신뢰성 검증 - 궤도구조 성능검증 보고서 작성 및 인증완료
		기존선 자갈궤도 급속시공 기술	• 현장시험시공	- 현장부설 자재 생산 및 품질관리(2) - 시험부지 시험시공 (목표 : 차단시간내 20m/일)
			• 현차시험 및 성능검증 인증	- 현차주행시험 및 장기성능 모니터링을 통한 신뢰성 검증 - 궤도구조 성능검증 보고서 작성 및 인증완료
	사업화 계획 수립	기술실용화	• 실용화 검증 기술에 대한 사업화 추진	- 플로팅 및 개량공사 비용 산출 및 경제성분석 - 기술이전을 통한 사업화 체계 구축 (설계기술, 제조기술, 시공기술)

라. 국내외 기술개발 현황

(1) 국내·외 기술수준 현황

○ 역사구조물 소음/진동 저감기술 현황

- 국내 기술로는 고성능 고무마운트를 적용한 플로팅 슬래브궤도 기술이 유일하며, 신설선에만 적용 가능한 기술로 철도시설공단의 궤도구조성능절차에 의한 성능인증을 받지 못하여 확대 적용 불가(방진고무를 슬래브패널에 이산지지형식으로 삽입하여 소음/진동 저감)
- 국외 기술로는 프리캐스트 슬래브패널 하부에 탄성패드와 방진고무를 이산지지 방식으로 설치하여 소음/진동을 저감하는 궤도기술(홍콩, 프랑스, 일본)과 구조물 하부에 코일스프링을 이산지지 방식으로 설치하여 소음/진동을 저감하는 기술(독일)이 개발되어 철도운행선에 부설되어 있음

  * 국내 고무마운트 플로팅궤도 : 함안역, 독일 Gerb : 부천역, 천안역
- 국내 및 국외 기술의 경우 모두 신설선에 적용 가능한 기술로 국내 수요처에서 요구하는 기존선 급속개량 기술로는 적합하지 않으며, 소음/진동 저감 효과 및 시공성, 경제성을 고려할 때 '사전제작형 플로팅 슬래브궤도'에 비해 경쟁력이 떨어짐

표. 국내·외 소음/진동 저감기술

				
홍콩(KCRC)	**프랑스(Railtech)**	**독일(Gerb)**	**일본(RTRI)**	**한국(KRRI)**
• 프리캐스트 콘크리트(신설) • 탄성패드 사용(이산지지) • 궤도 전구간 44% 부설실적 • 소음 10dB(A) 감소	• 프리캐스트 콘크리트(신설) • 탄성패드 사용(이산지지) • 스페인, 이탈리아 부설실적 • 평균 24dB 진동저감	• 현장타설 콘크리트(신설) • 코일스프링 사용(이산지지) • 6개소 104km 부설실적 • 평균 10dB 진동저감	• 프리캐스트 콘크리트(신설) • 방진고무 사용(이산지지) • 10km 부설실적 • 평균 20dB 진동저감	• 현장타설 콘크리트(신설) • 방진고무 사용(이산지지) • 함안역 상본선 부설(110m) • 평균 15dB 진동저감

○ 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 현황

- 국내 철도에 적용중인 궤도구조는 총 14개가 있으며, 이 중 2개의 궤도구조만이 운행선에서 시공한 사례가 있음
- 포장궤도구조는 궤도의 도상두께가 상이한 구간에서 적용이 불가하며, 노후자갈 치환 후 세척자갈 설치 시공이 가능한 공법으로 급속시공이 어렵고 궤도안전성도 낮음

· B2S 궤도구조는 현재 국내 기술 중 기존선 자갈궤도 개량(자갈궤도→콘크리트궤도)을 위한 유일한 기술로 서울교통공사에서 개발하여 적용중인 기술임

· B2S 궤도구조 시공을 위해서는 전용장비가 필요하나 국내 1대 보유로 서울교통공사 선로개량사업 추진으로 활용성이 떨어지며, 시공 시 궤광 가받침 설치 및 슬래브패널 채움콘크리트 경화 등 시공공정으로 1일 5m 시공 가능

표. 국내 운행선 적용 가능 궤도구조

궤도구조 명칭	적용 가능 체결장치	운행차량	침목	운행선 시공사례
포장궤도구조	ALT-, System300, SFC I	전동차	Mono-block(광폭침목)	○
	SMFS	전동차	PTT	○
B2S	VosslohSystem300-1W	전동차	Panel	○

(2) 국외사례 (TC형 포장궤도기술 - 일본, Xi Track - 영국)

○ 일 본

· 일본에서는 이미 약 40여년 전부터 자갈궤도의 유지보수 저감을 위한 궤도구조 개량 기술 개발을 추진해 왔으며 가장 유력한 대안으로 포장궤도를 개발하여 현재까지 약 10여개의 포장궤도 모델이 연구 개발된 바 있다.

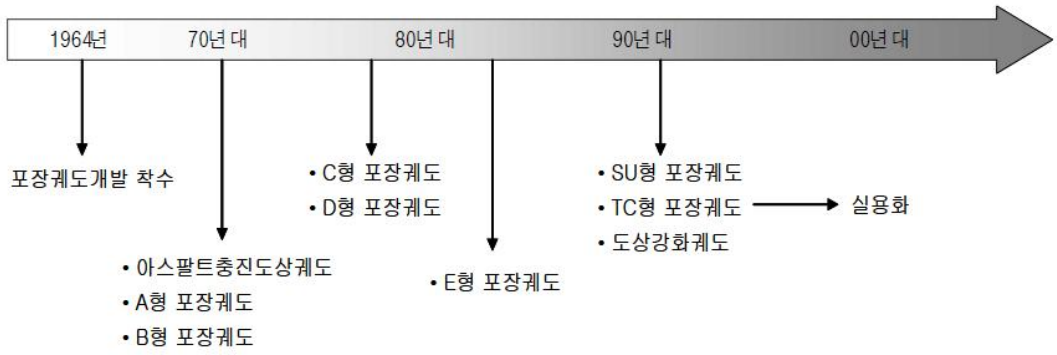


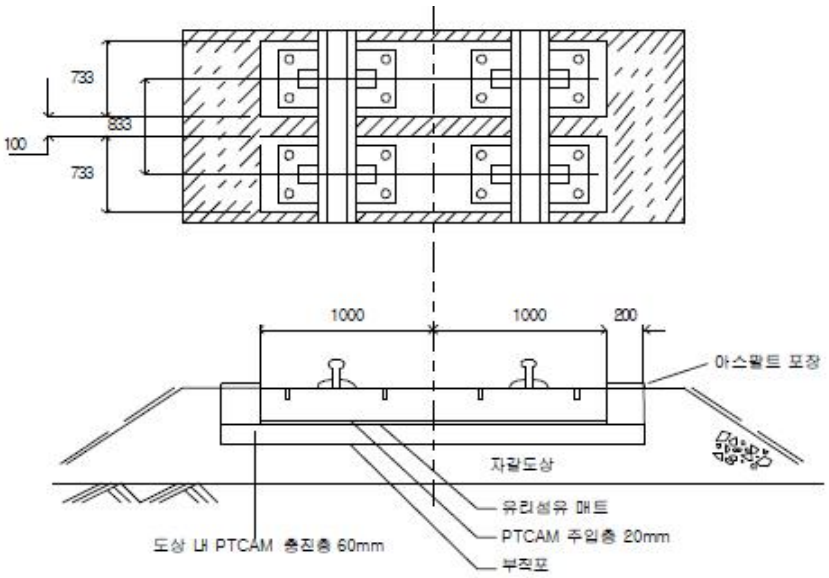
그림. 일본에서의 포장궤도 개발현황

· 가장 최근에 개발된 TC형 포장궤도(시멘트계 충전재를 주입하는 방식)는 일본 도쿄의 야마노테선에 적용되고 있다.

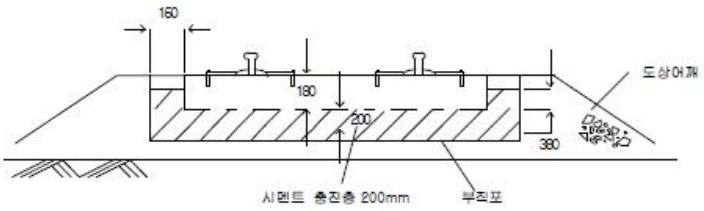
· 야마노테선은 하루 330대(1 궤도당)의 열차가 운행되어 연간 통과톤수는 4000만 톤에 이르는 일본의 대표적인 조밀 선구이지만 현재까지 포장궤도로 개량된 구간에서

문제점이 보고된 사례가 없다.

· TC형 포장궤도는 40mm의 PC침목(2,000×400×180, 중량 350kg)을 사용하며, 침목 하면 150~200mm범위내의 쇄석을 부직포로 감싸고 그 안에 시멘트그라우트를 침목 하면에서 주입하여 쇄석을 골재로 콘크리트도상을 PC침목과 일체화하여 토노반상에 구축하는 구조이다



(A) E형 포장궤도





(B) TC형 포장궤도

그림. 일본에서의 포장궤도 개발현황

○ 독 일

- 독일에서 1983년에 최초 개발된 Y-형 강재 침목은 2006년까지 1,000km 정도 부설된 바 있음
- 기존 자갈궤도에 비하여 30% 적은 양의 자갈, 50% 절감된 침목수, 우수한 위치유지 성능, 저렴한 초기투자비, 높은 재활용성 등의 장점이 있으나 소음레벨이 높고 탬핑 효과가 적은 단점이 있음.

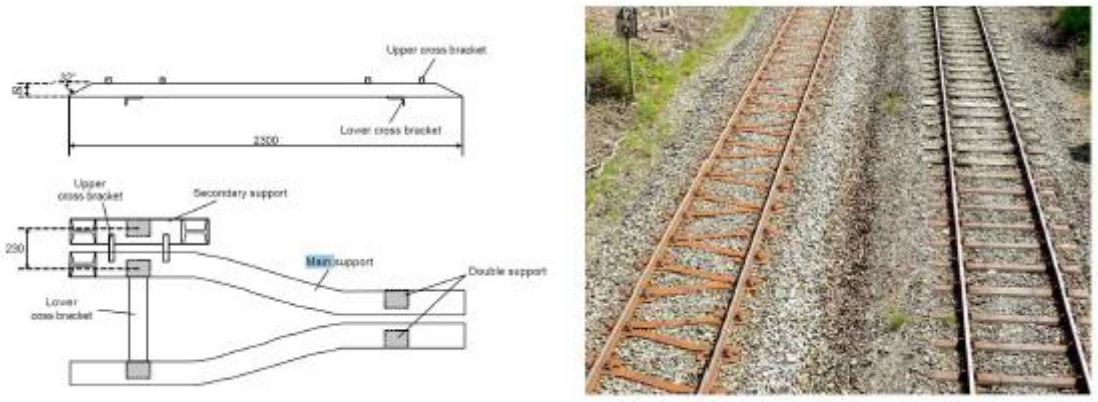


그림. Y형 강재침목궤도

- 1990년대 후반에 오스트리아 대학에서는 기존의 자갈궤도와 콘크리트궤도의 절충형인 격자형(횡 및 종방향 보의 조합) 콘크리트침목을 사용하는 프레임 침목(Frame sleeper) 궤도를 개발하여 오스트리아 기존선에 시험 부설한 바있음 (Risseberger, 1999).
- Frame sleeper 궤도는 기존의 노반 폭 변경 없이 적용가능하고 기존의 궤도 시공장비를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으며 또한 기존침목에 비하여 LCC가 우수하면서도 자갈도상에 작용하는 응력이 기존침목에 비하여 50% 저감되고, 도상 횡저항력이 기존 침목 대비 6배 증가되며 궤도틀림은 1/3 정도 밖에 발생하지 않는 장점을 갖고 있음.

(3) 국내 사례 (B2S System, 기술 특허자료)

○ 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 이용하여 빠른 시간 내에 자갈궤도를 철거하고 콘크리트궤도를 설치하는 공법으로 대표적으로 B2S 공법을 들 수 있다.

○ B2S 궤도는 서울지하철 1~4호선의 자갈궤도를 콘크리트궤도로 개량하기 위하여 서울

메트로에서 2001년부터 연구하여 2003년에 개발한 공법으로, 자갈층을 제거한 후 레일을 서포트로 지지한 상태에서, 침목 2개를 하나의 판으로 묶어 만든 프리캐스트 콘크리트 슬래브 패널(최대 폭 1,250mm)을 좌우순 간격이 1,310㎜인 레일 사이로 가로로 집어넣고 레일 하부에서 세로로돌려 레일과 체결하는 방식으로 조립하여 슬래브 하부를 모르터로 채우는 공법이다 (www.seoulway.com).

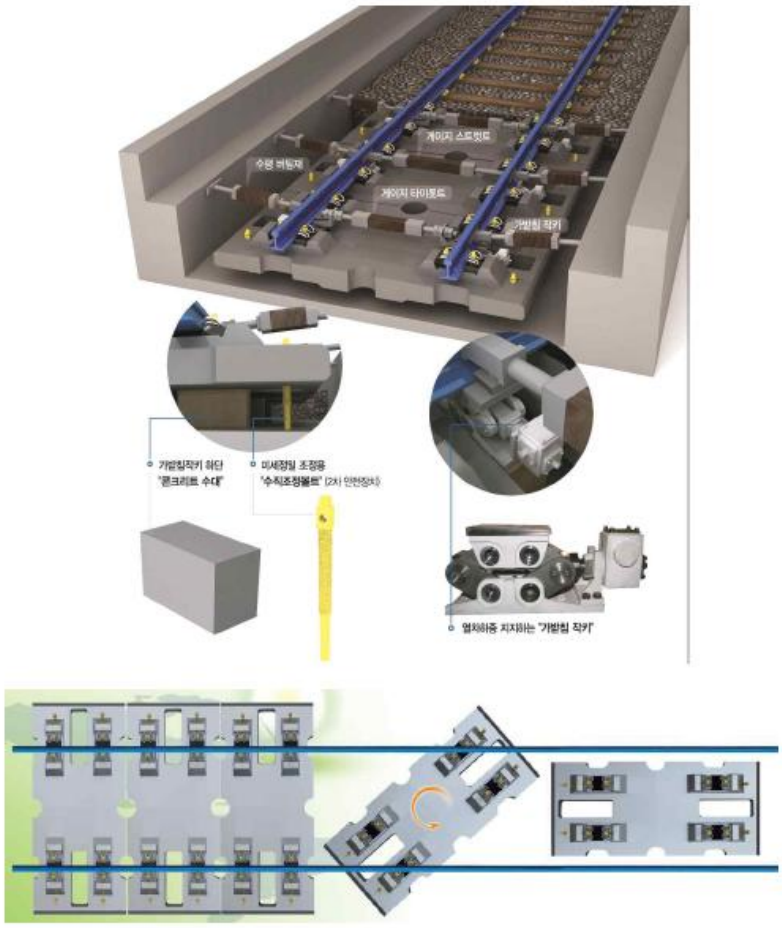


그림. B2S 궤도의 기본구조와 설치 개념



그림. B2S 궤도공법을 이용한 노후된 자갈도상궤도의 개량

○ B2S 공법은 기존 궤도공법에 비해 레일을 철거하지 않고 시공이 가능하므로 안전성을 확보할 수 있고, 비용과 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있으며, 프리캐스트 콘크리트 슬래브를 활용함으로써 현장타설 콘크리트를 25% 이상 줄일 수 있어 시공속도가 빠르고 높은 품질의 슬래브 시공이 가능하다.

○ B2S 궤도는 서울메트로 2호선 한양대역에 2004년 최초 시험시공 후 현재까지 총 24.1㎞가 고가역사, 터널, 역구내 등에 시공되었으며 현재까지 궤도 변형이나 하자 등의 문제가 발생하지 않고 우수한 승차감을 제공하고 있다.



그림. B2S 궤도 부설 전경

표. 궤도 부설 실적 (서울메트로) (단위:m)

연도별	계	1호선	2호선	3호선	4호선
합 계	24,108	4,699	7,595	4,890	6,924
2007 까지	7,750	2,861	1,887	1,401	1,601
2008	6,837	1,332	2,569	924	2,012
2009	4,876	506	1,274	1,267	1,829
2010.8	4,645	-	1,865	1,298	1,482

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구 개발 추진 전략 및 방법

○ 본 연구는 철도역사의 소음/진동을 저감하기 위해 개발된 ‘사전제작형 플로팅 슬래브 궤도 기술’과 이를 응용한 ‘노후 자갈궤도 급속개량 기술’ 실용화 완성 및 사업화 추진을 목표로 하였다.

○ 이를 위해 기 개발된 ‘사전제작형 플로팅슬래브 궤도’와 노후 자갈궤도의 급속개량 시공이 가능한 급속시공 전용장비를 제작하고, 기 개발된 플로팅슬래브 궤도 기술을 응용해 슬래브패널에 높이조정이 가능한 받침장치를 적용한 급속시공 궤도기술을 완성 및 실용화 추진을 실시하였다.

(1) 핵심성과명1 (급속시공 사전제작형 플로팅슬래브 궤도)

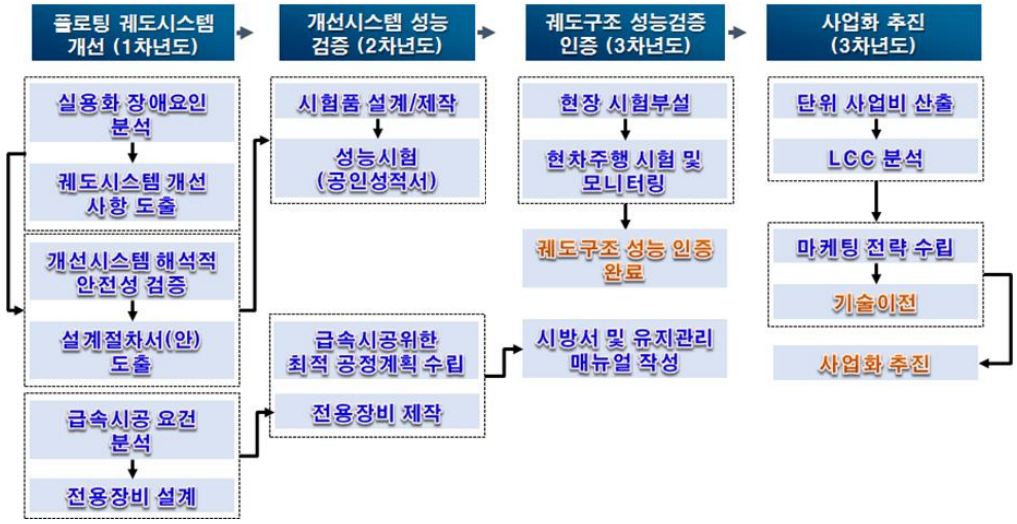
○ 사전제작형 플로팅슬래브 궤도 기본구조(Precsat Floating Slab Track)



○ 상용화 장애요인 분석을 기반으로 한 플로팅슬래브 궤도 시스템 개선 및 상용화 추진

- 시공성/유지관리성/경제성 향상을 목표로 개선안 도출
- 개선 부재 단위 ‘궤도구조 성능검증’ 진행 및 인증
- 전용장비 제작 및 이를 활용한 급속시공 시공기술 정립
- 실용화 요건(차단시간 내 20m/일) 검증

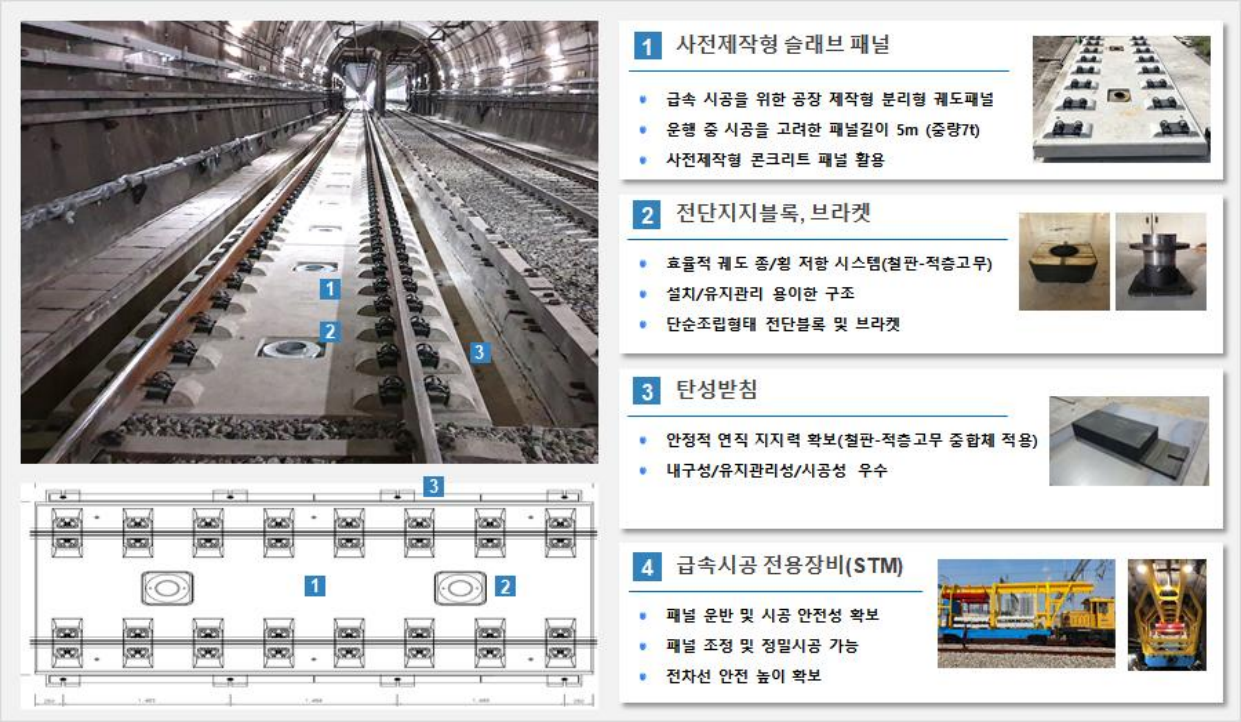
○ 사전제작형 플로팅슬래브 궤도시스템 상용화연구 수행절차 및 연차별 연구내용



연 차	주요 연구활동	세부 연구내용
1차년도	■ 개발궤도 시스템 개선 및 부재 단위 성능시험	– 기 개발시스템 실용화 장애요인 분석 – 시공성/유지관리성/경제성 향상을 위한 장애요인 개선 – 개선 방진장치 시제품제작 및 성능시험
	■ 설계기술 정립	– 구조해석 및 동특성해석에 의한 설계안전성 검증 – 설계절차서(안) 도출
	■ 급속시공 전용장비 설계	– 급속시공을 위한 전용장비 구비요건 분석 – 현장 운용 및 고려한 전용장비 설계
2차년도	■ 개선 요소 시험체 제작 및 성능시험	– 개선 시험체 설계 및 제작 – 개선 시험체 실규격 성능시험(공인성적서)
	■ 궤도구조성능검증 신청	– 성능검증보고서 및 자료작성 – 개선 구조 부재단위 '궤도구조 성능검증절차' 신청
	■ 현장부설 사전 검토 및 준비	– 현장부설 설계도서 작성 – 급속시공 장애요인 분석, 최적공정계획 수립 및 검토 – 프리캐스트 패널 설치를 위한 전용장비 제작 – 현장부설 자재 생산 및 품질관리(1)
3차년도	■ 현장시험시공	– 현장부설 자재 생산 및 품질관리(2) – 시험부지 시험시공 (목표 : 차단시간내 20m/일)
	■ 현차시험 및 성능검증 인증	– 현차주행시험 및 장기성능 모니터링을 통한 신뢰성 검증 – 궤도구조 성능검증 보고서 작성 및 인증완료
	■ 사업화 추진	– 공사비 산출 및 LCC분석 – 사업화 전략 수립 및 마케팅 전략 수립

(2) 핵심성과명2 (기존선 자갈궤도 급속개량 기술)

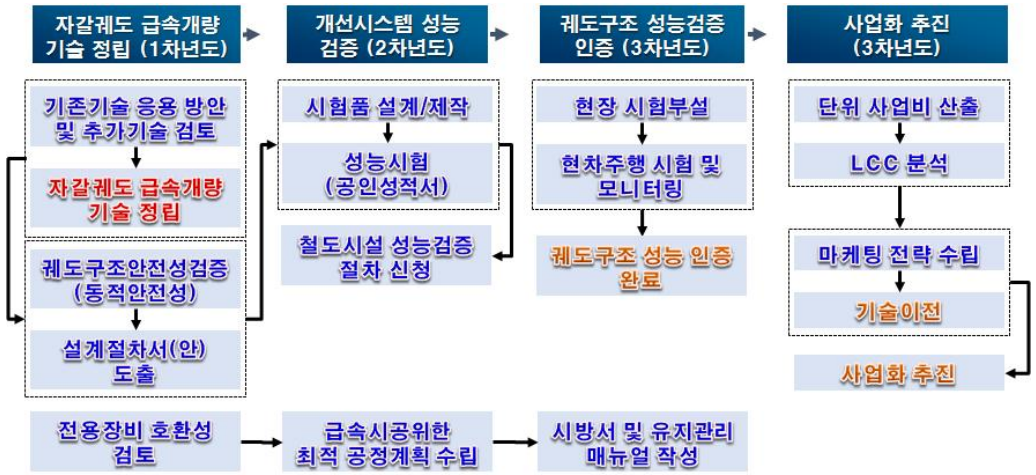
○ 사전제작형 급속개량 궤도 기본구조(Precsat Fast Improvements slab Track)



○ 개발 구조(핵심성과1)를 응용한 기존선 자갈궤도 급속개량기술 정립 및 상용화 추진

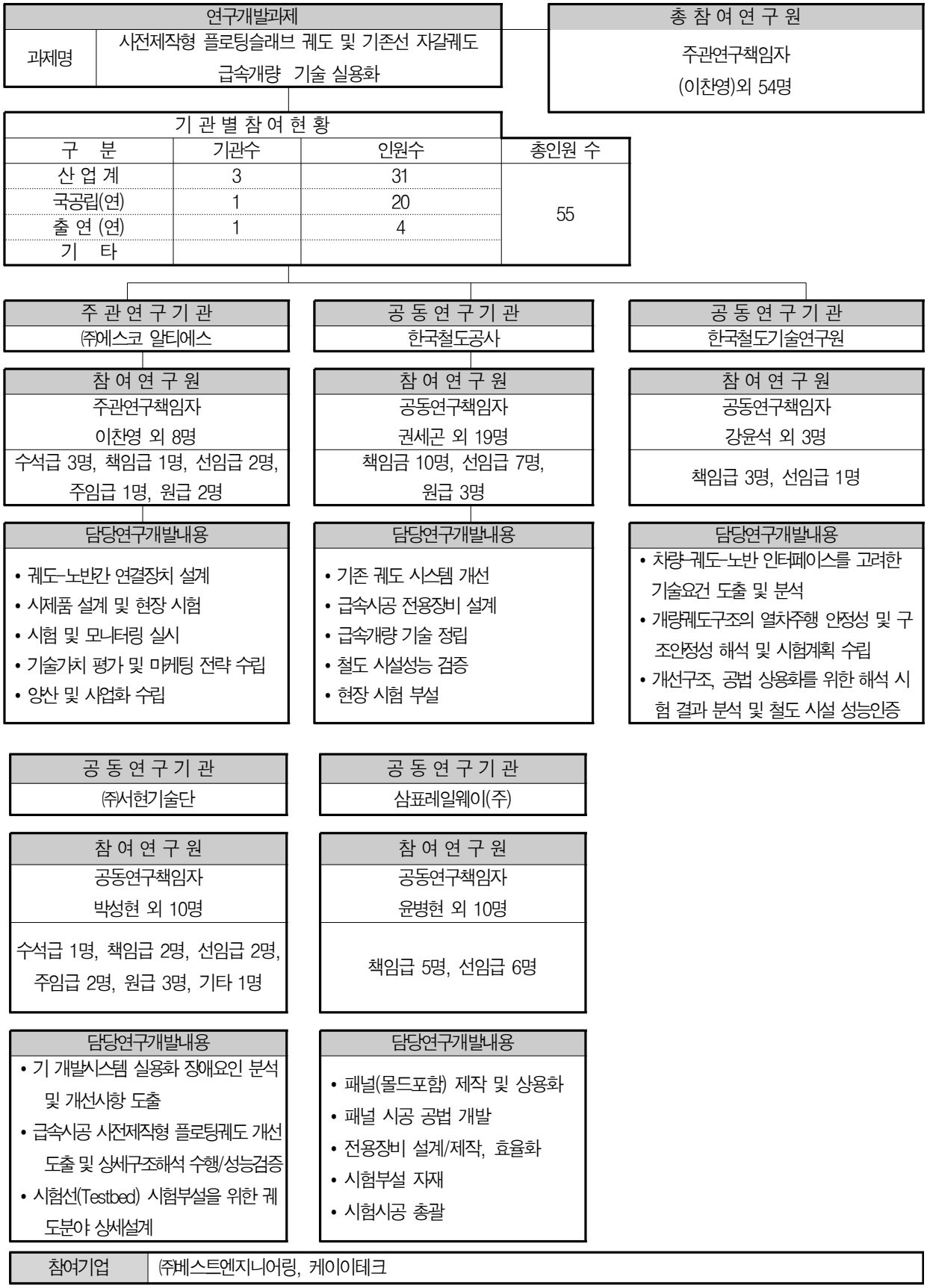
- 노반-패널 인터페이스 및 시공성/구조안전성을 고려한 최적 시스템기술 정립
- 기존 성능검증 결과를 활용하여 '궤도구조 성능검증' 인증 기간 단축
- 현장부설 시공을 통한 성능검증 및 실용화 요건 (차단시간 내 20m/일) 검증

○ 기존선 자갈궤도 급속개량기술 상용화 연구 수행절차 및 연차별 연구내용



연 차	주요 연구활동	세부 연구내용
1차년도	■ 기술응용 급속개량기술 정립 및 연결부재 성능시험	- 자갈궤도 개량 요건 분석 및 개발시스템 응용 검토 - 노반-패널 인터페이스를 고려한 최적 연결장치 설계 - 궤도-노반 연결장치 시제품 제작/시험
	■ 설계기술 정립	- 구조해석 및 동특성해석에 의한 설계안전성 검증 - 설계절차서(안) 도출
	■ 급속시공 전용장비 설계	- 플로팅 궤도 호환 조건 도출 및 설계 반영
2차년도	■ 시험체 제작 및 성능시험	- 시험체 설계 및 제작, 시험계획 수립 - 시험체 실규격 성능시험(공인성적서)
	■ 궤도구조성능검증 신청	- 성능검증보고서 및 자료작성 - 급속개량 기술에 대한 '궤도구조 성능검증절차' 신청
	■ 현장부설 사전 검토 및 준비	- 현장부설 설계도서 작성 - 급속시공 장애요인 분석, 최적공정계획 수립 및 검토 - 현장부설 자재 생산 및 품질관리(1)
3차년도	■ 현장시험시공	- 현장부설 자재 생산 및 품질관리(2) - 시험부지 시험시공 (목표 : 차단시간내 20m/일)
	■ 현차시험 및 성능검증 인증	- 현차주행시험 및 장기성능 모니터링을 통한 신뢰성검증 - 궤도구조 성능검증 보고서 작성 및 인증완료
	■ 사업화 추진	- 공사비 산출 및 경제성 분석 - 사업화 전략 수립 및 마케팅 전략 수립

(3) 연구개발 추진체계

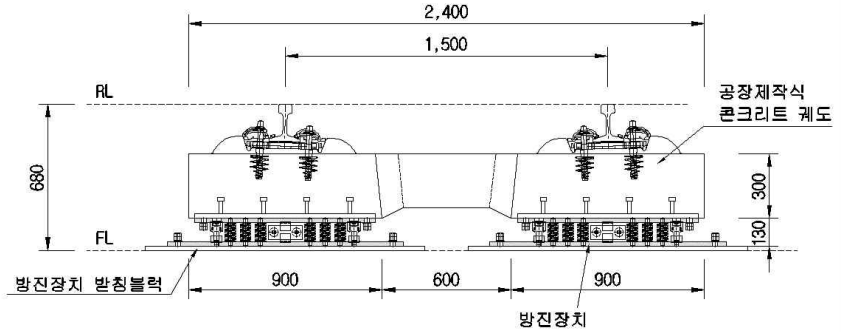

연구개발과제
과제명
사전제작형 플로팅슬래브 궤도 및 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 실용화
총 참 여 연 구 원
주관연구책임자
(이찬영)외 54명
기 관 별 참 여 현 황
구 분 | 기관수 | 인원수 | 총인원 수
산 업 계 | 3 | 31
국공립(연) | 1 | 20
출 연 (연) | 1 | 4
55
기 타
주 관 연 구 기 관
㈜에스코 알티에스
참 여 연 구 원
주관연구책임자
이찬영 외 8명
수석급 3명, 책임급 1명, 선임급 2명, 주임급 1명, 원급 2명
담당연구개발내용
• 궤도-노반간 연결장치 설계
• 시제품 설계 및 현장 시험
• 시험 및 모니터링 실시
• 기술가치 평가 및 마케팅 전략 수립
• 양산 및 사업화 수립
공 동 연 구 기 관
한국철도공사
참 여 연 구 원
공동연구책임자
권세곤 외 19명
책임금 10명, 선임급 7명, 원급 3명
담당연구개발내용
• 기존 궤도 시스템 개선
• 급속시공 전용장비 설계
• 급속개량 기술 정립
• 철도 시설성능 검증
• 현장 시험 부설
공 동 연 구 기 관
한국철도기술연구원
참 여 연 구 원
공동연구책임자
강윤석 외 3명
책임급 3명, 선임급 1명
담당연구개발내용
• 차량-궤도-노반 인터페이스를 고려한 기술요건 도출 및 분석
• 개량궤도구조의 열차주행 안정성 및 구조안정성 해석 및 시험계획 수립
• 개선구조, 공법 상용화를 위한 해석 시험 결과 분석 및 철도 시설 성능인증
공 동 연 구 기 관
㈜서현기술단
참 여 연 구 원
공동연구책임자
박성현 외 10명
수석급 1명, 책임급 2명, 선임급 2명, 주임급 2명, 원급 3명, 기타 1명
담당연구개발내용
• 기 개발시스템 실용화 장애요인 분석 및 개선사항 도출
• 급속시공 사전제작형 플로팅궤도 개선 도출 및 상세구조해석 수행/성능검증
• 시험선(Testbed) 시험부설을 위한 궤도분야 상세설계
공 동 연 구 기 관
삼표레일웨이(주)
참 여 연 구 원
공동연구책임자
윤병현 외 10명
책임급 5명, 선임급 6명
담당연구개발내용
• 패널(몰드포함) 제작 및 상용화
• 패널 시공 공법 개발
• 전용장비 설계/제작, 효율화
• 시험부설 자재
• 시험시공 총괄
참여기업
㈜베스트엔지니어링, 케이이테크

나. 연구 개발의 내용

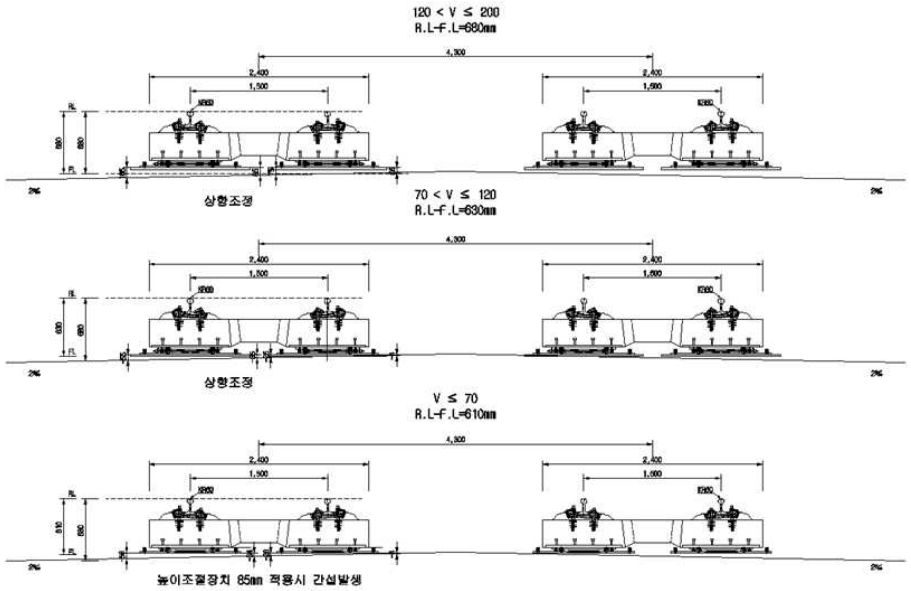
(1) 1차년도 <핵심성과 A. 급속시공 사전제작형 플로팅궤도기술>

○ 기존 개발시스템 개선사항 도출(A-1)

· 사전제작형 플로팅슬래브 궤도의 실용화를 위해 장애요인을 분석하고 개선사항을 도출하였다.



<플로팅 슬래브궤도(역사구조물 소음/진동 저감기술개발)>



<방진장치(높이조정장치) 높이 간섭 발생>

· 상기 그림과 같이 현재 개발된 플로팅 슬래브궤도는 레일면고 ~ 시공기면 높이 680mm로 고정되어 있어, 고속구간, 일반구간 등에 대한 자갈궤도 개량을 위해서 레일면고 ~ 시공기면 높이 조정이 반드시 필요하다.(장애요인)

· 기존 방진장치 높이는 130mm 높이를 계획하였으며, 기존 방진장치를 적용할 경우 설계속도 120km/h 이하에 레일면고와 시공기면 높이가 부족하여 궤도패널 높이조정장치 150mm 적용이 어렵다.

· 종단곡선 반경 R=1,000m 이상의 경우 패널길이에 따라 발생되는 종거량으로 패널길

이 5.0m 일 경우 12.5mm 설치오차, 패널단차가 발생할 수 있다. 따라서, 패널길이는 종단곡선 특성을 반영하여 계획되어야 한다.(장애요인)

○ **안전성 검증 및 설계기술 정립(A-2)**

· **(인터페이스 기술 검토)** 사전제작형 플로팅 슬래브궤도의 효율적인 방음·방진 성능을 확보하기 위해서는 적용되는 구성품의 진동제어성능 확보도 중요하지만, 대상역사와 플로팅 궤도시스템간 인터페이스 요소들을 명확히 정의하고 각 요소의 특징에 대한 분석을 통한 정확한 궤도시스템-역사구조물간 상관해석이 수반되어야 한다.

· 이에 사전제작형 플로팅 슬래브궤도 인터페이스 검토 항목을 다음과 같이 5단계로 구분하여 제시하였다.

분석단계	인터페이스 검토항목
현황조사단계 인터페이스 설계기초자료 확보 및 주요사항 협의	◦ 기존구조물 상세측량 및 주요지점 소음/진동 계측 진행 - 측량 및 계측결과 분석 - 소음/진동 저감 목표 설정 ◦ 기존구조물 설계보고서 검토 - 기존구조물(궤도포함)의 기본 제원 조사 - 측량결과와 설계서 비교 분석 - 설계 시 고려사항 도출 ◦ 주요 인터페이스 관련사항 협의 - 궤도/배수/신호시스템/전력시스템/1일시공시간 등
인터페이스설계 단계 궤도시스템-기존구조물 인터페이스 설계 및 분석	◦ 선형 및 R.L.- F.L - 궤도패널 단면규모 및 캔트, 슬랙 검토 - 방진장치 하면 레벨링 방안 검토 등 ◦ 궤도시스템 설계 인터페이스 항목 검토 - 접속구간설계, 궤도/교량 상호작용해석 등 검토 - 건축한계 및 승강장 높이, 이격거리 검토 - 배수, 신호/전력시스템 등 검토 ◦ 시공시 구조물간 인터페이스 요소 도출 및 검토
제작 및 이송단계 슬래브궤도 패널 제작 및 이송 시 인터페이스 요소 확인	◦ 공장제작 품질 확보방안 수립 - 철근배치, 시멘트/물 혼합비 등 품질상태 검토 - 방진장치 사전설치 상태 등 검토 - 제작 후 적재 상태 검토 ◦ 현장이송 시 패널상태 확인 - 현장이송을 위한 패널 적재방법 검토
시공단계 시공중 인터페이스 요소 확인 및 조치	◦ 시공기면 상태 확인 - 궤도시스템 레벨링 계획 적정성 확인 및 조치 ◦ 배수, 신호/전력시스템 배치현황 - 배수 및 절연 계획의 적정성 확인 및 조치 ◦ 기타 시공 인터페이스 검토
유지보수단계 시공완료 후 유지보수를 위한 인터페이스 요소 확인 및 조치	◦ 측량 및 주요지점 진동/소음 계측 진행 - 목표값 달성 여부 확인 ◦ 플로팅 슬래브궤도 및 하부구조물 상태 모니터링 및 조치 - 패널 및 하부구조 균열 발생 및 진전 여부 점검 및 조치 - 궤도틀림 발생 여부 점검 및 조치 - 방진장치 상태 점검(부식, 균열, 파손 등) 및 조치 - 하부구조물의 배수 상태 등 점검 및 조치

<사전제작형 플로팅 슬래브궤도 인터페이스 검토항목(개선)>

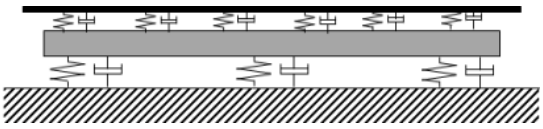
· **(주행안전성 및 승차감검토)** 사전제작형 플로팅궤도 주행안전성 및 승차감 검토를 위해 차량-궤도 상호작용을 고려한 프리캐스트 플로팅 슬래브궤도의 동적해석을 수행하고 시스템의 동적 안정성 검토 결과를 제시하였다.

<차량-궤도 상호작용 동적검토 결과 평가 기준>

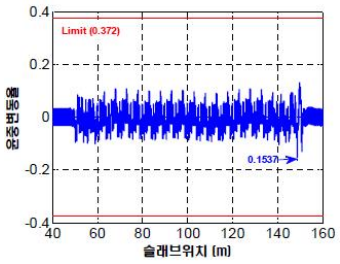
① 주행안전성:	윤중변동율	0.372 이하
② 승차감 :	차체 연직가속도 이하	1.3 m/s2 이하
③ 구조 안전/사용성	레일 응력	90 MPa 이하
	레일 상압력	초기 체결력의 70% 이하
	레일 부등변위-평행이동각	4/1000 이하



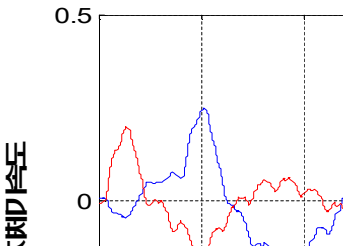
<차량 모델 구성도>



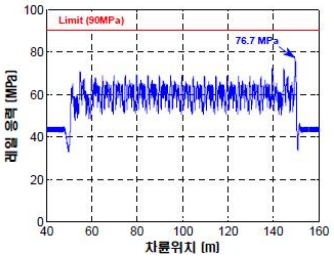
<플로팅궤도 구간 모델링>



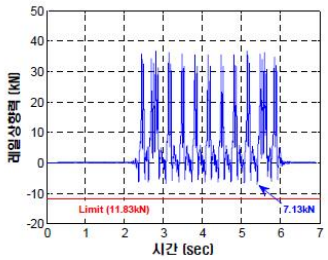
(a) 윤중변동율



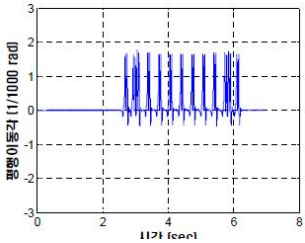
(b) 차체가속도



(C) 최대 레일응력



(d) 최대 레일상향력



(e) 최대 레일 평행이동각

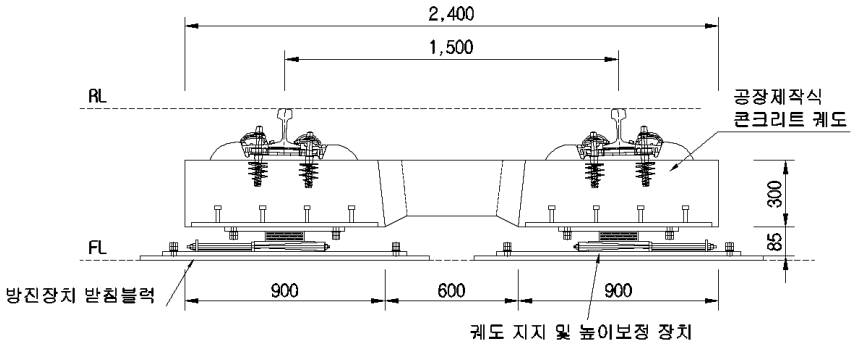
<동적 해석 결과(KTX, System300-1)>

· 접속구간의 방진장치의 개수를 조정하여 패널 단위의 지지강성을 높이는 것이 방진장치 제작 및 유지관리 측면에서 보다 유리하다. 또한 개별 방진장치의 강성을 증가시킨 경우에 비해 개수를 늘리고 배치를 조정한 경우의 응답이 모든 기준치를 만족하였다.

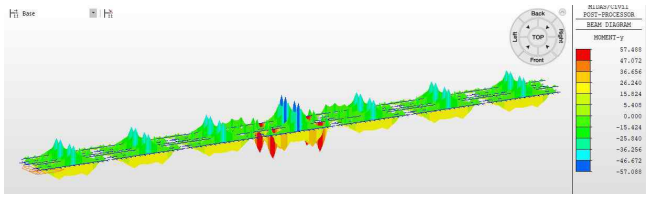
· **(궤도시스템 구조 검토)** 급속시공 플로팅 궤도패널은 프리캐스트 슬래브 패널과 높이조정장치, 내측 가로 보를 기본 구성하고 있으며, 침목배치 간격은 시공성을 확보하기 위하여 625mm 등 간격 배치하였다. 본 과업에서는 전차연구에서 성능검증 완료된 궤도패널에 기존 방진장치 대신 높이조절장치를 적용하고 수직강성을 240kN을 적용하였을 시 단면력 검토를 수행하였다.

· 검토결과 패널 상/하부에 발생되는 단면력, 모멘트, 전단력 모두 안정적으로 확인되었다.

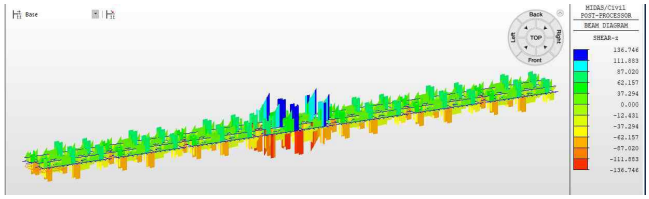
· 기존 개발시스템과 개선안에 대하여 수직, 종방향, 횡방향에 대하여 응력특성을 비교하였다. 수직응력은 동일하며, 종방향과 횡방향 응력에서 감소된 것을 확인하였다



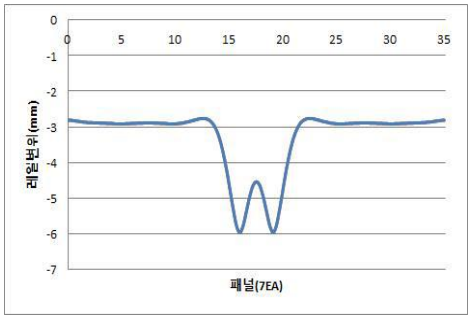
<플로팅 슬래브궤도 해석단면(횡단)>



(a) 해석결과 (모멘트)

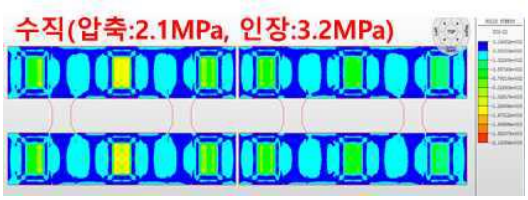


(b) 해석결과 (전단력)>

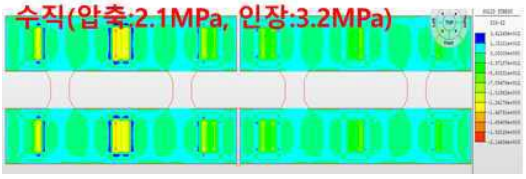


(c) 해석결과 (레일변위)

<개선 System 구조해석>



(a) 수직(기존)

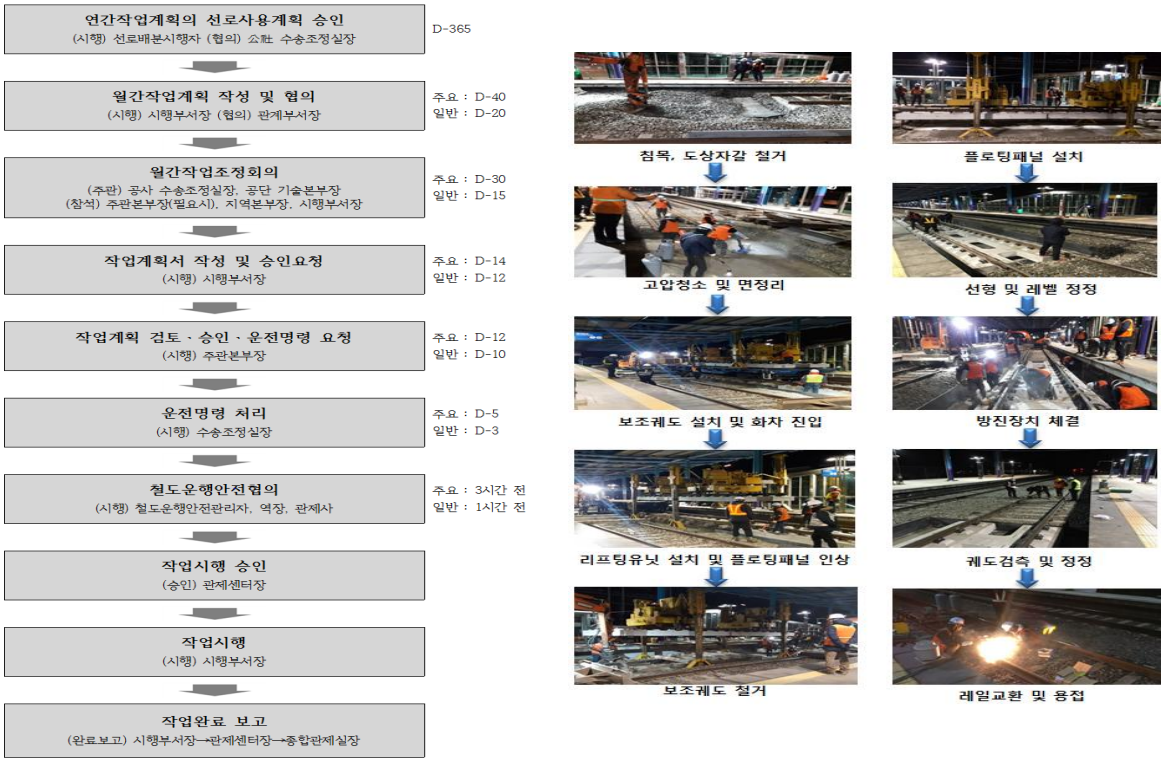


(b) 수직(개선)

<개발시스템 실용화를 위한 예비해석(발생응력)>

○ 시공 및 유지관리 기술 정립(A-3)

· **(기존 시공공정 검토/분석)** 본 연구에서는 선행연구에서 개발한 '사전제작형 플로팅 슬래브궤도 시스템'의 현장부설시 시공공정 전 과정 검토를 통해 향후 사업화 추진시 시공시간을 단축하고 열차의 주행안전성을 확보할 수 있는 시공공정을 도출하고자 각 단계별 분석을 시행하였다.

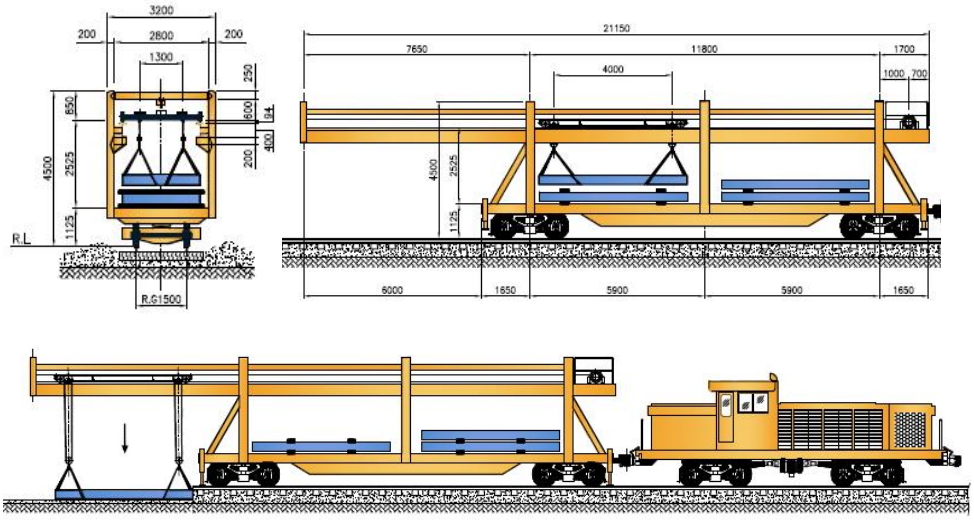


(a) 운행선 지장작업 프로세스 (b) 기존궤도 시공공정

<시공공정 고려사항 분석>

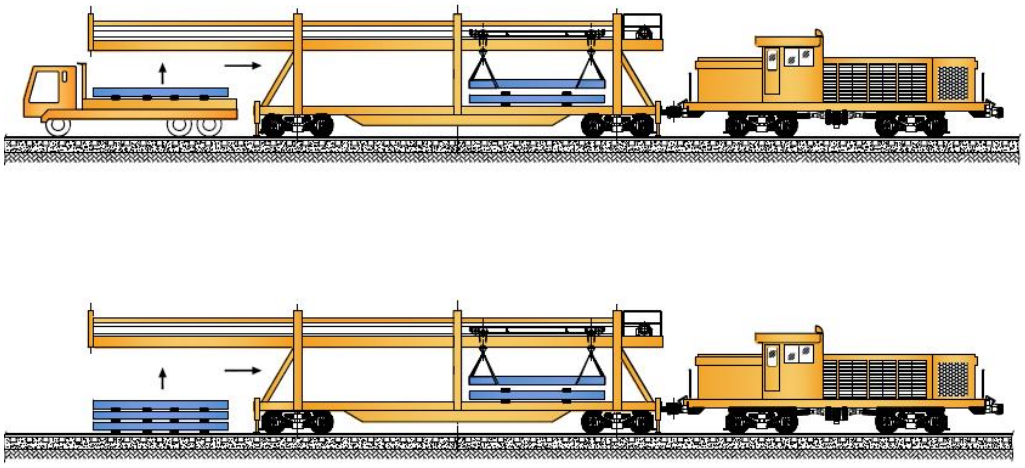
· 향후 사업화 대상인 과천선을 대상으로 급속시공 궤도 시공시 고려사항 (전차선 높이, 도상두께, 대피방법, 이동방안, 지하수, 선로구배 등)을 도출하여 개발궤도 설계에 반영하도록 제시하였다.

· **(전용장비설계)** 현재 열차 운행중인 궤도의 개량을 하기위한 전용시공 장비의 설계를 진행하였다. 평판화차위에 크레일을 설치하여 임시궤도 부설없이 패널을 부설할 수 있는 장비이며, 장비 컨셉도면은 아래 그림과 같다.



<전용장비 컨셉도면>

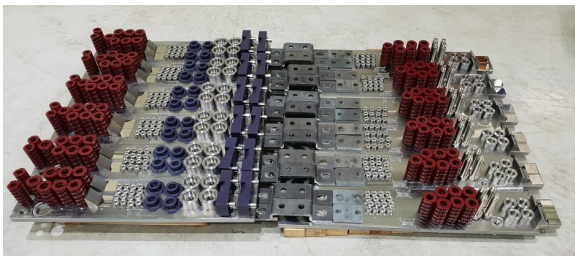
· 상기 크레인 런칭형 장비의 특징은 화차위에 크레인이 설치 되어 있고, 크레인이 화차후단부로부터 6m 런칭되어 크레인으로 패널을 배치하는 컨셉이다. 장비의 성능은 인양하중 8톤, 주행속도 20m/min, 런칭길이 6m 이며, 지하철, 터널 단선 BOX에서 사용가능하다. 이 장비의 특징은 지지대를 고정하지 않고 패널 1장씩 이동이 가능하고, 패널 1장에 미리 5m 임시레일을 조립해 놓으면 패널을 연속적으로 배치할 수 있다. 또한, 고정 지지대가 없으므로 그림과 같이 패널을 화차에 옮겨실을 때 지게차 없이도 바로 실을수 있는 장점도 가지고 있다.



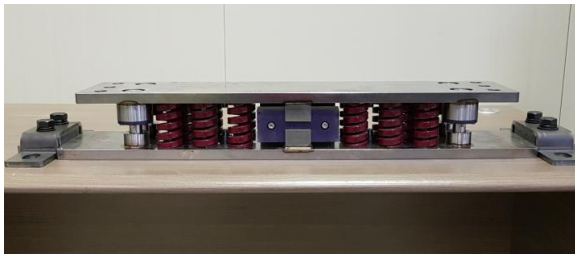
<런칭형 화차에 패널을 옮겨싣는 방법>

○ 성능시험 및 현장시험부설(A-4)

· **(시제품 설계 및 제작)** 급속시공 사전제작형 플로팅 궤도 기술 개발과 관련하여 선행 과제 수행 시 기개발된 장치의 문제점을 보완하고 개선하여 시제품을 상세 설계하였다. 현재 기 개발된 방진장치는 유지관리시 구조적 문제점이 발생하였다. 이는 인서트 플레이트 볼트의 돌출 길이가 60mm이며, 케미컬 앵커 볼트의 돌출길이가 50~90mm이다. 방진장치의 유지관리를 위해 교체시 100mm~150mm 인양해야 된다는 점은 현실 상 어려운 점이며, 이를 개선하기 위해 인양에 용이한 구조로 인서트 플레이트와 케미컬 앵커를 수정 및 개선을 진행하였다. 또한 오일러스 흑연부싱 사용시 흑연 함침의 내마모성의 문제로 인하여 흑연을 EP (Engineering Plastic)으로 교체하였다.



(a) 방진장치 수정 후 제작품



(b) 방진장치 조립체

<개선된 방진장치>

· **(시제품 성능시험)** 급속시공 사전제작형 플로팅 궤도 기술 개발과 관련하여 선행 과제 수행 시 기개발된 장치의 문제점을 보완하고 개선하여 시제품을 상세 설계 및 제작하였고 기개발된 장치와 동일한 성능을 발현하는지 확인하기 위해 시제품 성능시험을 수행하였다.



시 험 성 적 서
(TEST REPORT)



품질검사 성적서



품질검사 성적서

<선행 연구 시험 결과 및 개선된 방진장치 시험 성적서>

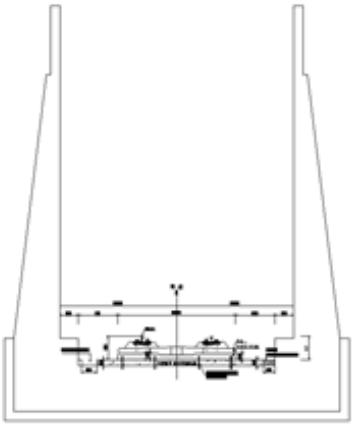
· 개선된 방진장치는 최대 수직하중, 정적 수직스프링계수, At-rest 정적 수직스프링계수, 정적 수평스프링계수, 동적 시험에 대하여 기 개발된 방징장치와 유사한 결과값을 보였다.

(2) 1차년도 <핵심성과 B. 기존선 자갈궤도 급속시공 기술>

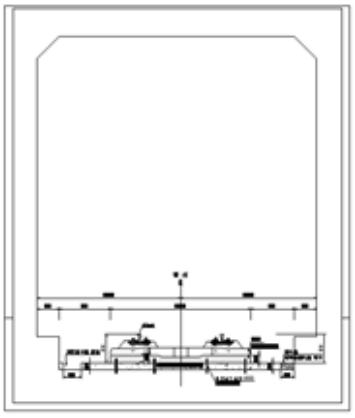
○ 기존시스템 개설을 통한 기술정립(B-1)

· **(기존 기술응용 및 추가 요건 검토)** 과천선 등과 같이 지하철 지하구간에서 기존 자갈궤도 급속개량을 위하여 궤도패널 형상 및 길이에 대해 검토를 수행하였다. 또한 본 연구에서는 지하구간에서 차단시간 3시내에 궤도부설이 원활하게 작업이 가능하도록 궤도패널 형상, 길이 특성을 고려한 시공계획(안)에 대해 검토하였다.

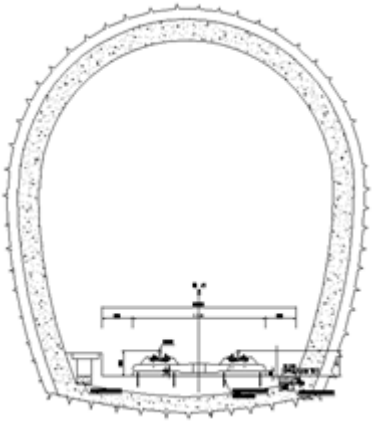
• 과천선의 레일면고(R.L)~시공기면(F.L)은 전차선 높이 확보를 위하여 구간별 하로작업을 수행하여 노선 전구간 도상두께가 상이하다. 그림과 같이 레일면고~시공기면 높이가 482mm~519mm까지 다양함을 알 수 있다.



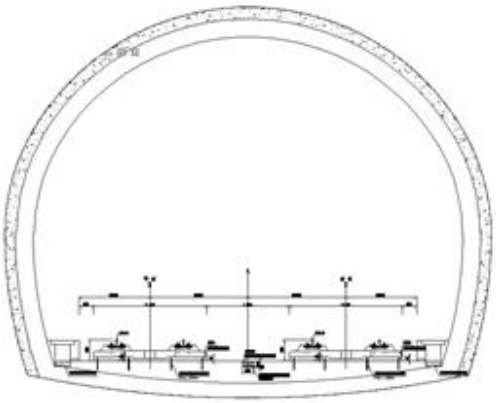
(a) U-TYPE(R.L~F.L:510mm)



(b) 단선박스(R.L~F.L:519mm)



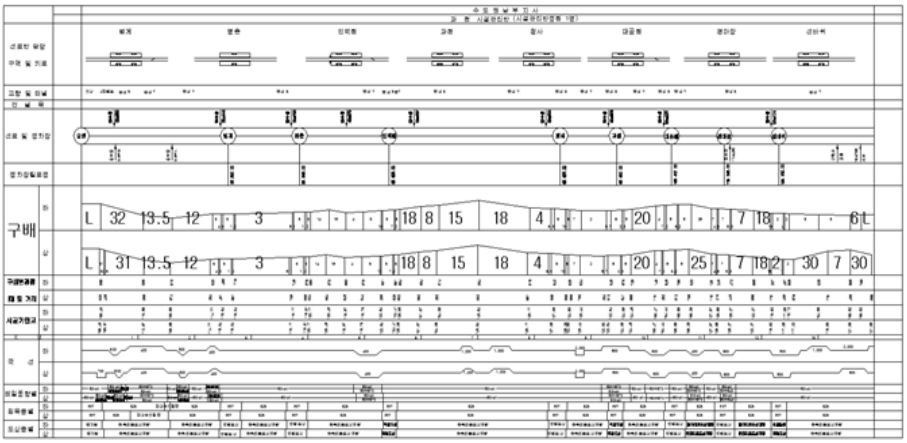
(c) 단선터널(R.L~F.L:482mm)



(d) 복선터널(R.L~F.L:483mm)

<과천선 R.L-F.L 검토>

· 궤도패널 길이는 그림 2.7과 같이 종단곡선 32.8‰ 과 최소곡선반경 300m 내에서 부설이 가능하도록 궤도패널 길이 약 1.2m를 반영하였다. 정거장 전후 단차를 조정(레일면고 조정 시행)하였으며, 노반 및 궤도의 종곡선 현황에 대한 분석이 필요하다. 노반 구조물의 신축을 고려한 패널배치를 검토하였다. 패널설치간격은 패널 온도 신축을 고려하여 산정하였고, 터널 인버트 신축간격에 따른 신축량은 아래 표와 같이 검토하였다.



<과천선 종단면도>

<패널설치 간격(패널온도신축)>

패널길이	신축량	비고
3.0m	0.45mm	• 콘크리트 열팽창계수 : 1 X 10^{-5}
4.0m	0.60mm	• 온도변화 -15 ℃ ~ 15 ℃ 기준
5.0m	0.75mm	• 마찰계수 무시

<터널 인버트 신축간격>

신축간격		길이변화	비고
온도	13.5m	0.68mm	• 콘크리트 열팽창계수 : 1 X 10^{-5} • 온도변화 -5 ℃ ~ 5 ℃ 기준 • 마찰계수 : 0.8(Silt계열 최소값) • 탄성계수 : 18MPa(Invert_KCI_2012)
	27.0m	1.35mm	
	30.0m	1.50mm	
온도+마찰	13.5m	0.67mm	
	27.0m	1.34mm	
	30.0m	1.49mm	

○ 안전성 검증 및 설계기술 정립(B-2)

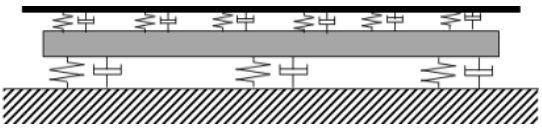
· **(궤도 주행안전성 및 승차감 검토)** 프리캐스트 패널 급속시공궤도는 기존 궤도와 궤도구조가 다르기 때문에 사전에 사용성에 대한 검토가 필요하다. 또한 기존 자갈궤도를 일부구간 혹은 전구간을 해당 궤도로 개량할 경우 기존 궤도와의 전이구간이 발생하게 되며 따라서 이에 대한 검토 또한 사전에 이루어져야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 프리캐스트 패널 급속시공궤도에 대한 주행안전, 승차감 등의 동적 안정성 검토를 위해 차량과 구조물을 같이 모델링하여 동적 상호작용을 분석하였다.

<차량-궤도 상호작용 동적검토 결과 평가 기준>

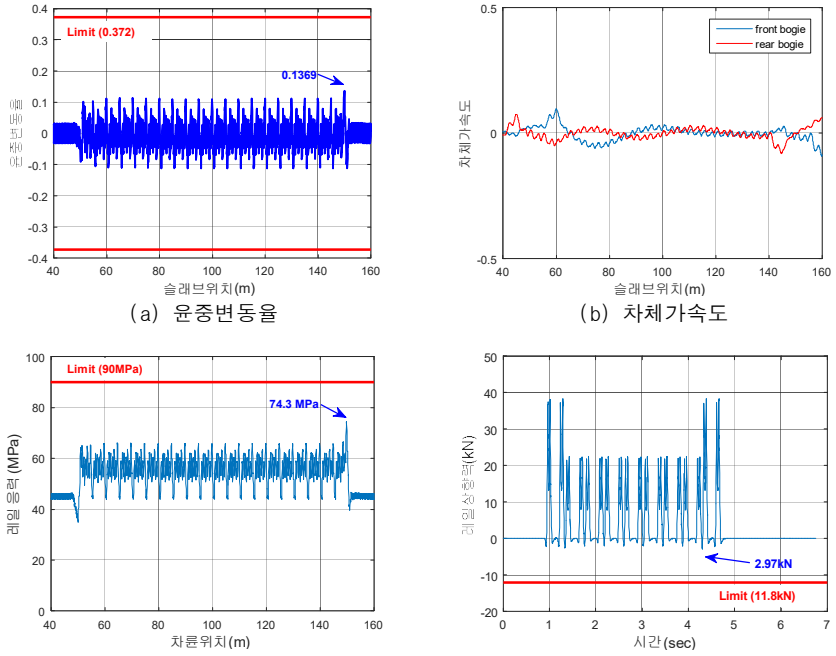
① 주행안전성:	윤중변동율	0.372 이하
② 승차감 :	차체 연직가속도 이하	1.3 m/s2 이하
③ 구조 안전/사용성	레일 응력	90 MPa 이하
	레일 상압력	초기 체결력의 70% 이하
	레일 부등변위-평행이동각	4/1000 이하



<차량 모델 구성도>



<프리캐스트 급속 시공구간 모델링>

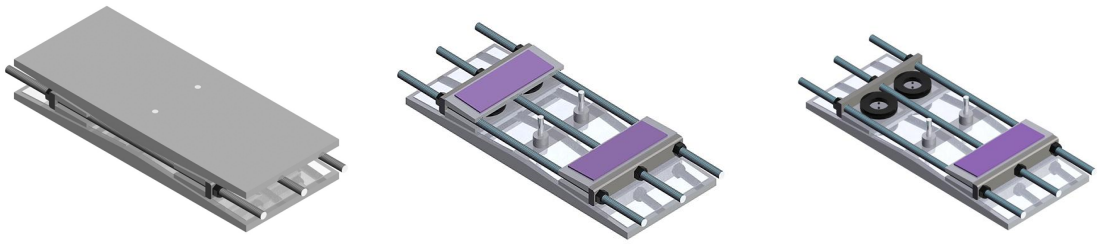


(a) 윤중변동율 (b) 차체가속도

(C) 최대 레일응력 (d) 최대 레일상향력

<동적 해석 결과(KTX, System300-1)>

- 동적 안정성 해석 결과 사전제작형 프리캐스트 플로팅 궤도와 달리 모든 항목에서 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 프리캐스트 패널 하부에 상대적으로 강성이 작은 방진장치를 설치한 플로팅 궤도와 달리 급속시공궤도는 강성이 큰 하부 블록을 설치하기 때문으로 보인다. 또한 기존 자갈궤도와의 접속구간에서도 모든 항목에서 기준치를 만족하는 것으로 나타나 기본 설계 단계에서의 해석 상 문제는 없는 것으로 판단된다.
- **(궤도-노반간 연결장치 설계)** 기존선인 과천선에 적용하기 위해 과천선의 RL-FL을 검토하여 최적 설계를 진행하였으며, 기 개발된 패널의 두께 300mm적용 시 궤도-노반간 연결요소의 RL-FL의 허용한계부터 패널 두께 200mm의 적용시 한계까지 검토하여 진행하였다. 기존의 플로팅 궤도에서 적용된 방진장치와는 다른 개념의 장치이며, 유효성능에 맞게 설계하였다.



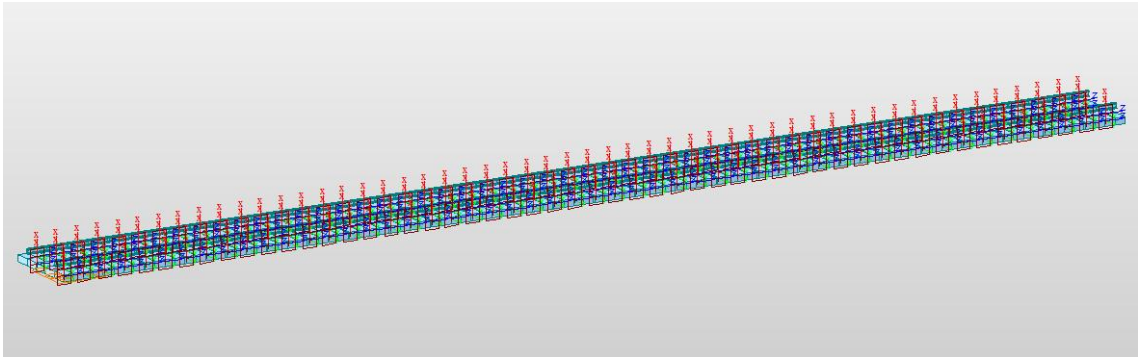
(a) 높이조절장치 외부 (b) 높이조절장치 가이드 Section (c) 높이조절장치 가이드 Section

<높이조절 장치 모델링>

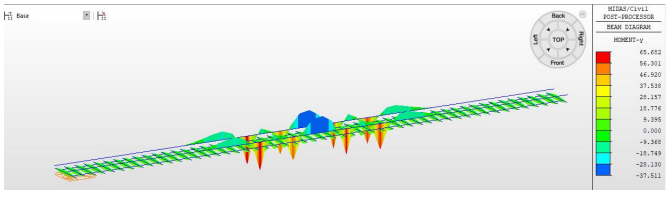
· 기존선 자갈궤도 급속시공 기술 개발을 위한 궤도-노반간 연결요소(장치)를 개발 하였으며, 이는 자갈궤도 급속시공을 위한 장치로서, 기 개발된 방진장치와는 다른 개념의 장치로 설계되었다.

· **(시스템 구조 안전성 검토)** 과천선 적용 가능한 궤도패널 실용화 개선(안)에 대한 최적화 단면 및 궤도시스템 구조검토를 위하여 단면해석을 수행하였으며, 궤도구조의 안전성을 검토하였다. 단면설계를 위한 구조해석은 MIDAS civil 2012를 사용을 사용하였으며, 패널 25ea(총연장 35m)를 모델링 하였다. 레일체결장치는 System300 - 1와 표준단면 설정을 위해 슬래브 단면높이 200mm에 대해 해석하였다.

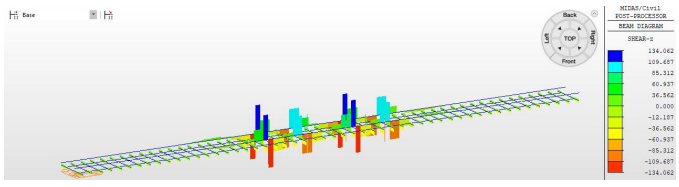
• 패널 1.2m에 대한 단면력을 검토하였으며, 열차길이는 21.4m 축중은 180kN 부재영향길이 21.4m(패널길이 약 1.2m를 고려하여 열차1량 길이 반영)를 시동하중은 219.6kN/m, 제동하중은 22.8kN/m를 산정하였다. 또한 탄성패드의 강성 중 수직강성은 1820kN/mm를 적용하였으며 해석조건은 레일, 체결장치 패널 탄성패드에 관하여 수행하였다. 발생단면적은 다음 표와 같으며, 그림 2.6과 2.7은 발생되는 모멘트와 전단력을 나타내었다.



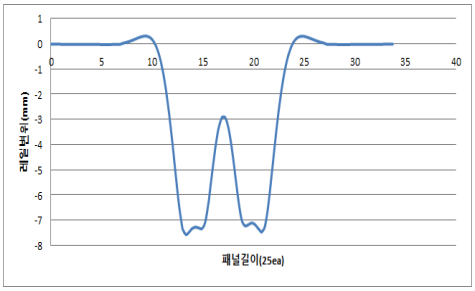
<구조해석 모델>



(a) 해석결과 (모멘트)



(b) 해석결과 (전단력)>



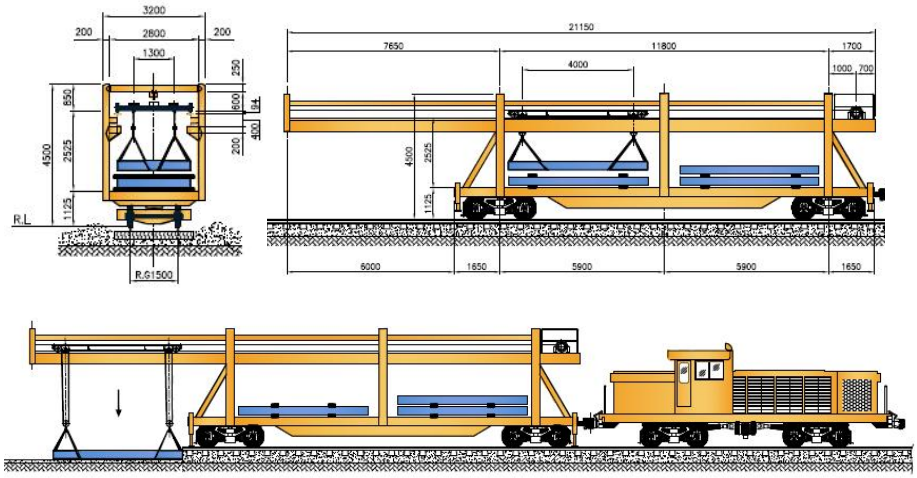
(c) 해석결과 (레일변위)

< System 구조해석>

○ 시공 및 유지관리기술 정립(B-3)

· **(운행선 시공 요건 분석)** 국토부 연구개발 사업으로 개발한 플로팅궤도를 2018년02월 대천역 상선에 50m 시험부설을 실시하여, 야간차단시간에 10m/4h 부설을 하였다. 수요처인 한국철도공사로부터 시공속도를 현재의 2배로(20m/4h) 향상되면 구매의사가 있음을 통보받아 부설전용장비를 제작하여 해결하고자 한다.

· 국내의 궤도(패널) 부설전문가를 활용하여 다양한 컨셉과 방안에 대해 검토를 수행하였고, 모든 장비는 그림과 같이 터널에서도 사용가능하도록 검토 하였다. 1장에서 기존 대천역 시공공법 분석 시 문제점으로 제기되었던 임시궤도 설치가 필요 없도록 장비 컨셉을 선정하였고, 리프팅 유닛으로 패널 배치 시 상당한 시간이(1시간) 소요되므로 패널 1장 배치 시간을 10분에 가능하도록 장비 성능을 선정하였다.



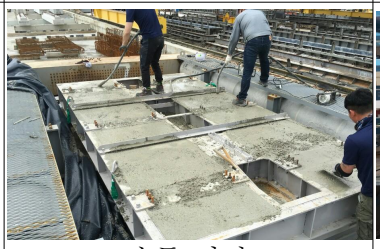
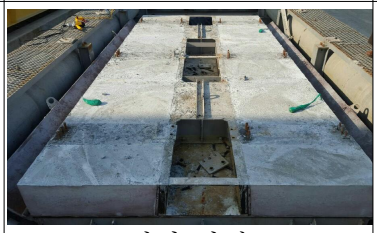
<크레인 런칭형>

· 플로팅궤도용 전용 부설장비 제작 시 철도차량 형식승인 필요여부를 검토하기 위하여 철도차량 형식승인 시행지침(국토교통부 044-201-4608호)을 확인하였으나, 본 장비는 [별표4]의 특수 작업차에 해당되어 형식승인 면제 대상인 것으로 확인되었다.

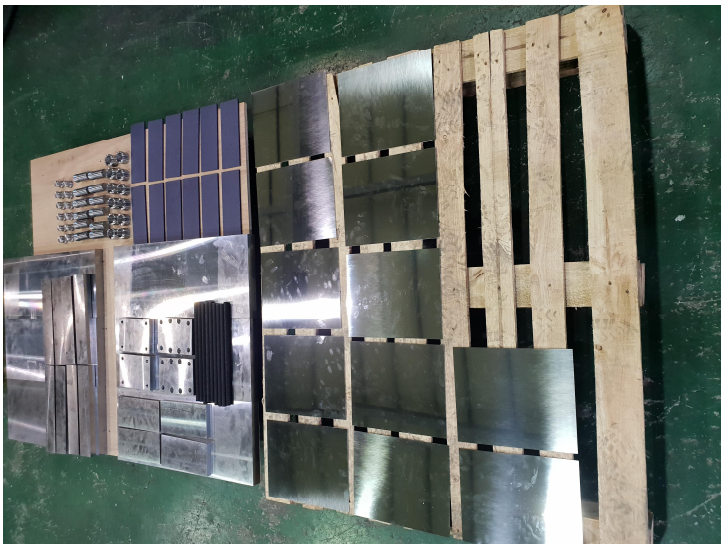
○ 성능시험 및 현장부설(B-4)

· **(패널 몰드 설계)** 기존 수동생산용 몰드 확인결과 표와 같이 자동생산이 불가하여 신규 몰드를 설계 하였다.

<자동생산 가능여부 검토>

항 목	수동생산용 몰드	자동생산용 몰드	자동가능 여부 검토 결과
탈형, 반전	 -크레인 탈형-	 -전용 탈형기-	스핀들 매입전 6개 추가 필요 (몰드 ϕ14홀천공)
콘베이어 체인 이동	 -저부 횡방향 리브 단차있음-	 -저부 십자형 리브(단차없음)-	저부 십자형 단차없는 프라임 구조 필요
진동다짐	 -수동 다짐-	 -자동 다짐(6개 고정장치)-	진동다짐기 연결용 고정장치 6개 추가 필요
양생	 -야외 양생-	 -전용 양생실(상단적재)-	상단 적재를 위한 6개 기둥 필요

· **(시제품 제작)** 기존선 자갈궤도 급속시공 기술 개발과 관련하여 궤도-노반간 연결요소의 문제점을 파악하여, 자갈궤도 급속시공에 적합한 궤도-노반간 연결요소(장치)를 개발하였다. 설계 단계시 일반구간의 RL-FL을 검토 하여 진행하였으며, 장치의 제작오차를 확인하고 유효성능 시험을 수행하기 위해 시제품을 제작하였다. 제작된 제품은 아래의 사진과 같으며, 장치의 구성품은 상판, 하판, 가이드 블록, 접시스프링으로 구성되어 있다.



<높이조절 장치 제작>

· **(시제품 성능시험)** 과천선 적용가능한 궤도-노반간 연결요소(높이조절장치)를 시제품 제작하여, 장치의 구조적 성능 및 특성을 검증하고자 이에 맞는 DIN 45673-7의 “4. 플로팅 슬래브 트랙시스템의 이산지지” 부분의 시험을 준용하여 성능시험을 수행하였다.



<높이조절장치 시험 성적서>

· 높이조절 장치는 최대 수직하중, 정적 수직스프링계수, At-rest 정적 수직스프링계수, 정적 수평스프링계수, 동적 시험에 대하여 설계한 수치와 유사한 결과값을 보였다.

(3) 2차년도 <핵심성과 A. 급속시공 사전제작형 플로팅궤도기술>

○ 안전성 검증 및 설계기술 정립(A-2)

· **(궤도 주행안전성 및 승차감 검증)** 프리캐스트 플로팅 궤도는 하부에 방진장치가 설치되어 기존 궤도 대비 큰 변위가 발생한다. 특히 개발형 프리캐스트 패널은 연결되어 있지 않기 때문에 주행안전, 승차감 등의 동적 안정성에 대한 검토가 필요하다. 일본 철도종합기술연구소(鉄道総合技術研究所)의 「철도구조물등 설계표준・동해설, 변위제한(鉄道構造物等設計標準・同解說, 変位制限)」에서는 '7장 안정성 검토'에서 상시 주행 안정성의 검토에 대해 다음과 같이 제시하고 있다. 이에 따라 차량-궤도 상호작용을 고려한 프리캐스트 플로팅 슬래브궤도의 동적 해석을 수행하고 시스템의 동적 안정성 검토 결과를 본 절에 제시한다.

<차량-궤도 상호작용 동적검토 결과 평가 기준>

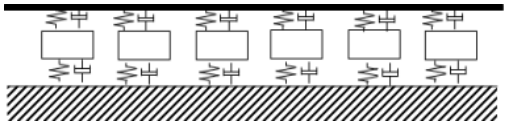
① 주행안전성:	윤중변동율	0.372 이하
② 승차감 :	차체 연직가속도 이하	1.3 m/s2 이하
③ 구조 안전/사용성	레일 응력	90 MPa 이하
	레일 상압력	초기 체결력의 70% 이하
	레일 부등변위-평행이동각	4/1000 이하



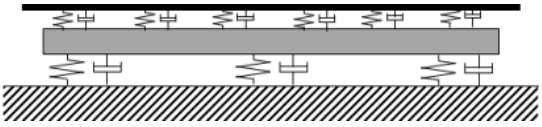
<차량 모델 구성도>



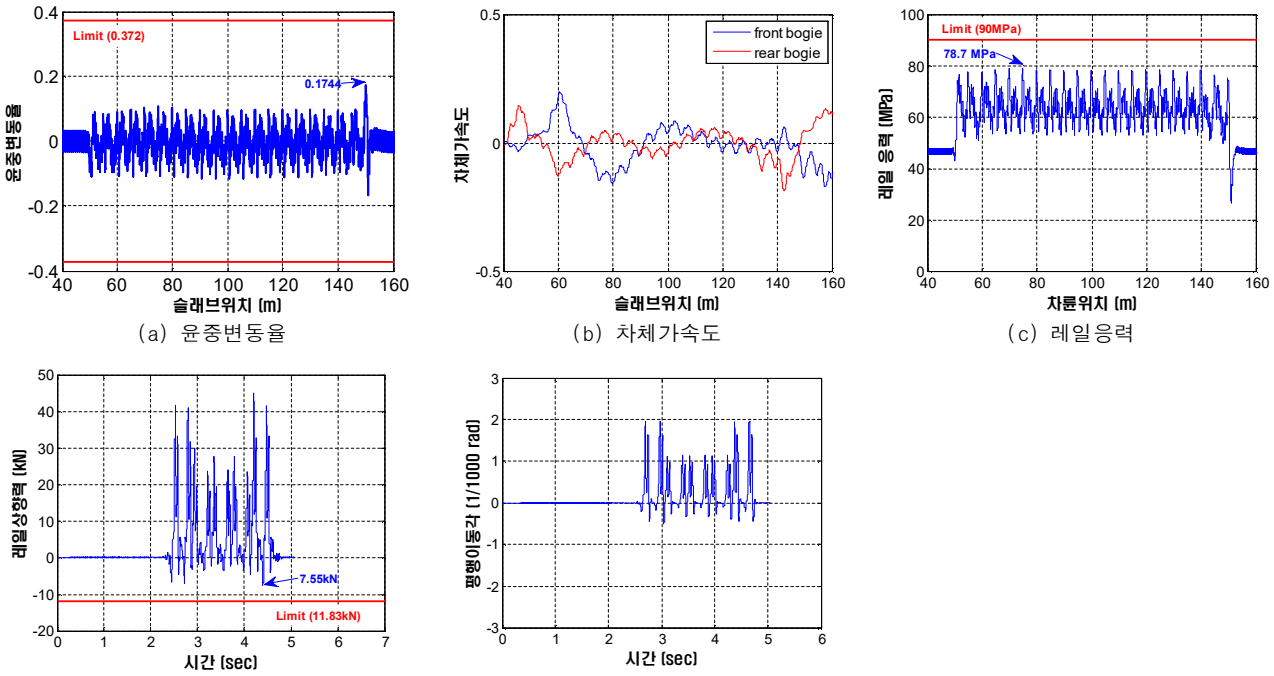
<새마을 열차>



<자갈궤도 구간 모델링>



<플로팅궤도 구간 모델링>



(a) 윤중변동율 (b) 차체가속도 (c) 레일응력

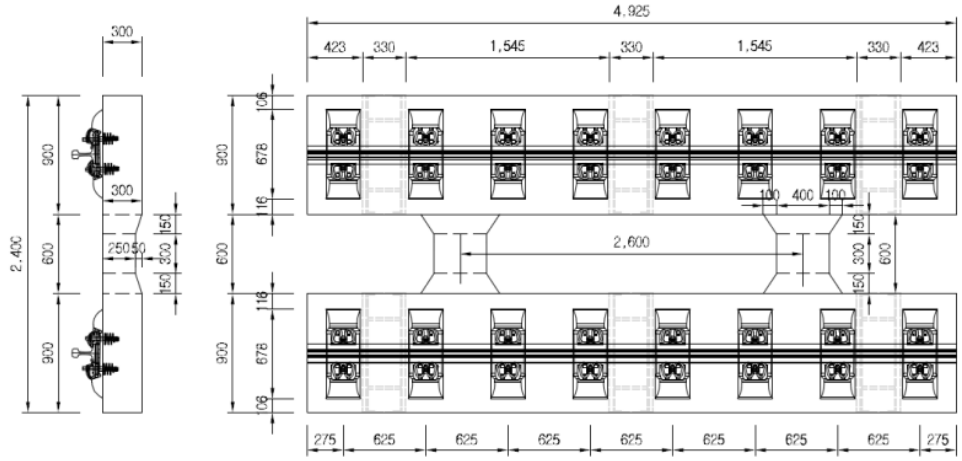
(d) 레일상향력 (e) 평행이동각

<동적 해석 결과(KTX, System300-1)>

· 접속부 구간의 방진장치 개수를 늘리고 배치를 조정함으로써 모든 궤도 및 차체 응답이 기준치를 만족하도록 하였다. 또한 접속부 구간에서의 응답 증가를 상당히 완화시킬 수 있었다.

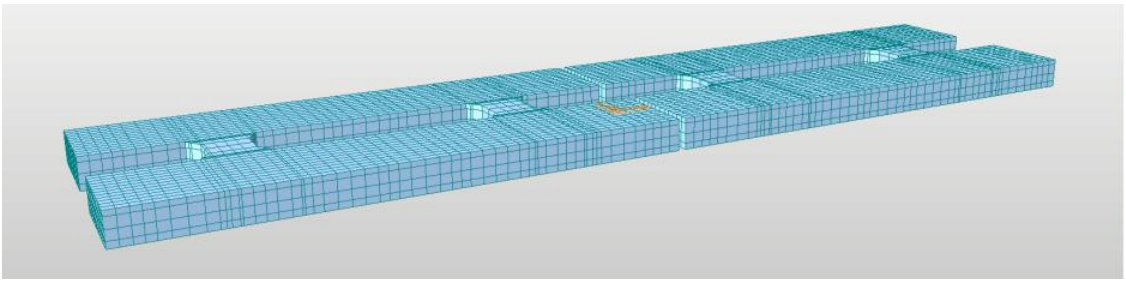
기본단면에 대한 방진장치의 강성이 22.5kN/mm이기 때문에 접속구간의 방진장치의 개별 강성을 높이기보다는 개수를 늘려서 패널 단위의 지지강성을 높이는 것이 방진장치 제작 및 유지관리 측면에서 보다 유리하다. 또한 개별 방진장치의 강성을 증가시킨 경우에 비해 개수를 늘리고 배치를 조정한 경우의 응답이 모든 기준치를 만족하면서 보다 작은 값을 보이고 있고 접속부 궤도지지강성 변화율에서도 보다 나은 결과를 보이고 있기 때문에 접속구간 슬래브 패널을 보완하도록 결정하였다.

· **(궤도구조 시스템 구조 안전성 검토)** RC 가로보를 적용한 플로팅 궤도패널 기본 설계안에 대한 단면설계 및 구조검토를 통하여 프리캐스트 플로팅 궤도 시스템의 구조적 안전성을 판단하는데 목적이 있다.검토 대상 구조물은 약 4.9m의 프리캐스트 플로팅 궤도시스템으로서 전반적인 시공성과 구조안전성 향상을 목표로 한다.

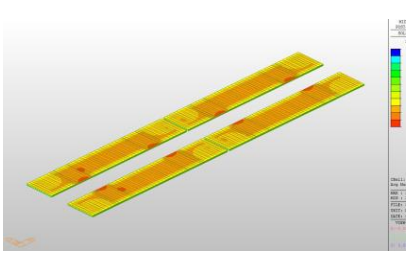


<플로팅 궤도패널 일반도>

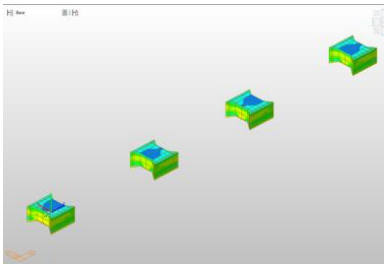
· 단면설계를 위한 구조해석은 MIDAS civil 2012를 사용하였고, 레일체결장치는 System300-1, 슬래브 단면높이 300mm에 대해 해석을 수행하였다.



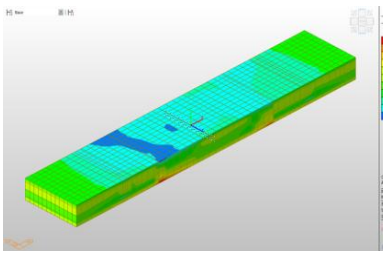
<콘크리트 패널 구조해석 모델>



(a) 궤도 응력 검토



(b) 휨모멘트 검토



(c) 휨모멘트 검토

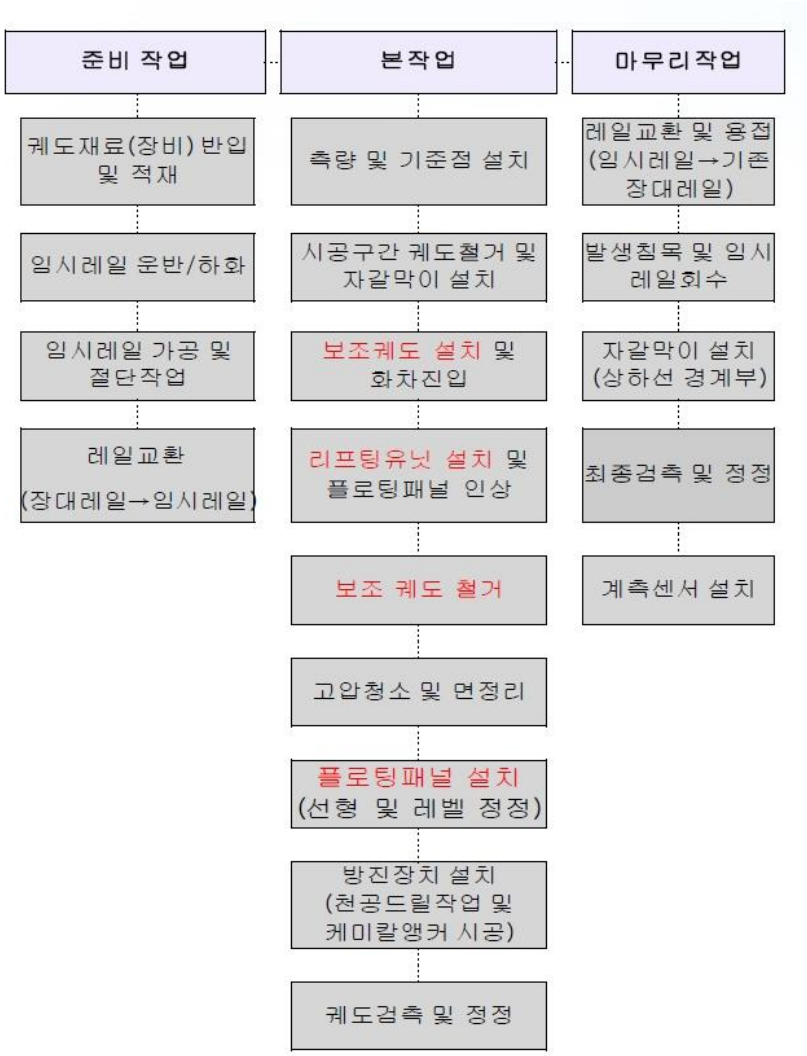
<높이조절장치 시험 성적서>

· **(플로팅 궤도 설계지침)** 기존선 자갈궤도 급속개량궤도에 반영된 궤도설계기준은 아래표와 같으며, 시공구간을 장항선 대천정거장으로 지정함에 따라 설계속도(150km/h)를 기존선에 준하여 계획한다.

· 궤도의 실질적인 구성요소인 레일, 침목, 도상 등 각종 궤도재료는 각각의 형상과 물성치를 조합하여, 고속으로 주행하는 열차의 직접적인 주행로를 제공하며, 차량의 중량 및 충격·진동에 충분히 견딜 수 있는 강도와 탄성을 확보해야 하므로, 사업구

간의 특성에 적합한 궤도재료를 선정하여야 한다.

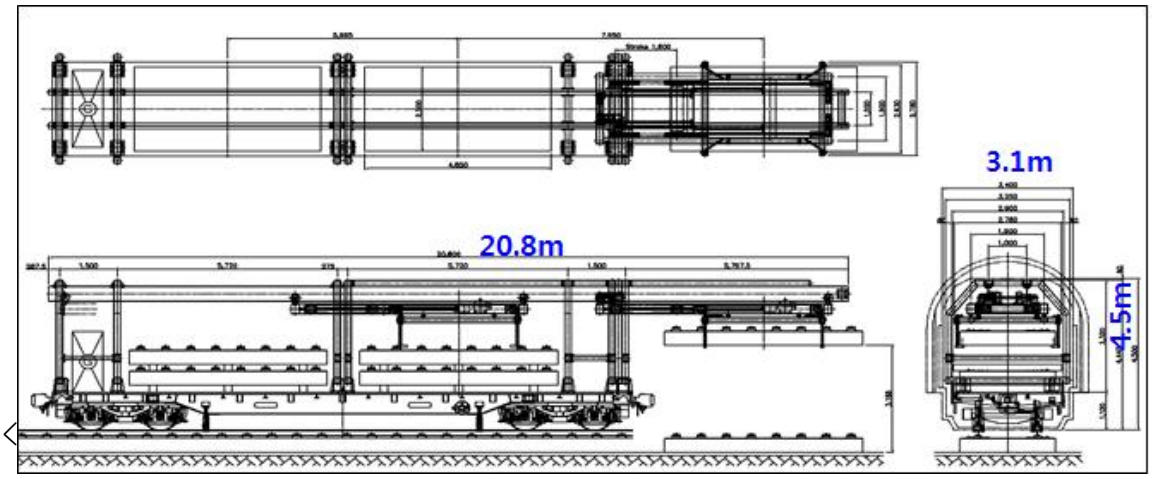
- 기존 장항선 대천정거장 직선구간 시험부설 예정으로 체결장치 형식은 KR60, System 300-1 레일체결장치용 사전제작식패널을 설계 적용하였다.추후 시험부설 위치 선정시 플로팅슬래브구조와 자갈궤도의 접속부구간은 상세 검토를 통한 시공계획을 수립하도록 한다.
- 본 과업구간의 시공조건은 기존선 개량에 따른 야간 차단공사가 필요하므로 열차운행의 지장을 최소화하고 안전하고 효율적인 시공이 되도록 다음과 같은 공정으로 시행토록 계획하였다.



○ 시공 및 유지관리기술 정립(A-3)

- 국토부 연구개발 사업으로 개발한 플로팅궤도를 2018년02월 대천역 상선에 50m 시험부설을 실시하여, 야간차단시간에 10m/4h 부설을 하였다. 수요처인 한국철도공사로부터 시공속도를 현재의 2배로(20m/4h) 향상되면 구매의사가 있음을 통보받아 부

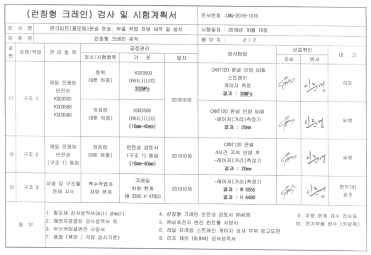
설전용장비를 제작하여 해결하고자 한다. “운행선에서 1일 20m/4h 부설” 달성을 위하여 플로팅궤도용 부설 전용장비 제작이 반드시 필요하다. 1차년도에 정한 컨셉대로 크레인 런칭형 장비 설계를 완료 하였다.



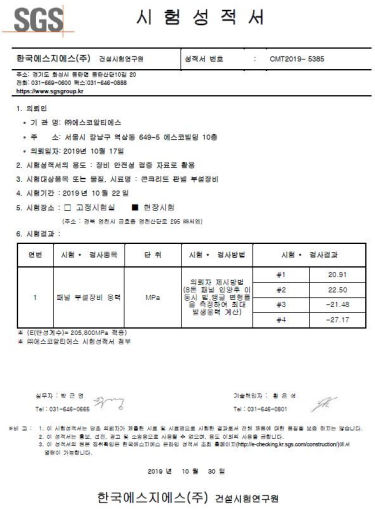
<부설장비 설계도>



(a) 부설장비 제작완료



(b) 부설장비 검사 완료

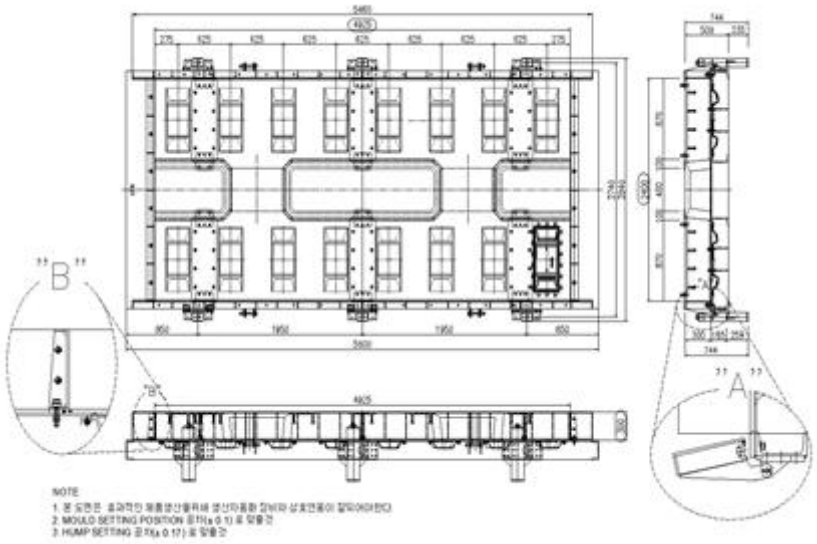


(c) 부설장비 공인기관 성적서

<전용 시공장비 제작>

○ **성능시험 및 현장시험부설(A-4)**

· **(플로팅궤도용 패널 몰드설계 및 제작)** 기존 수동생산용 몰드 확인결과 자동생산이 불가하여 그림과 같이 신규 몰드를 설계 하였다.



<자동생산용 몰드도면>

· 자동생산용 몰드를 제작하여 플로팅궤도용 패널 시제품을 제작 하였다.



(a) 자동생산용 패널 몰드 제작



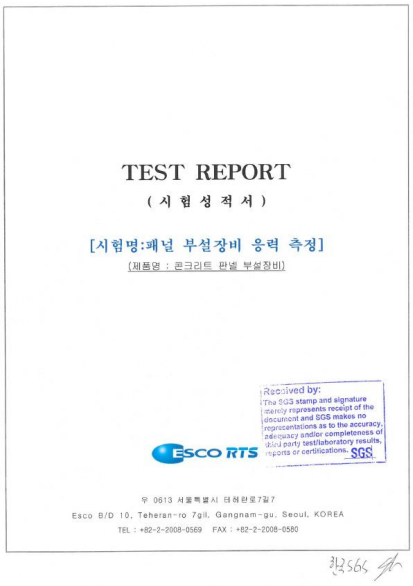
(b) 패널 시제품 제작

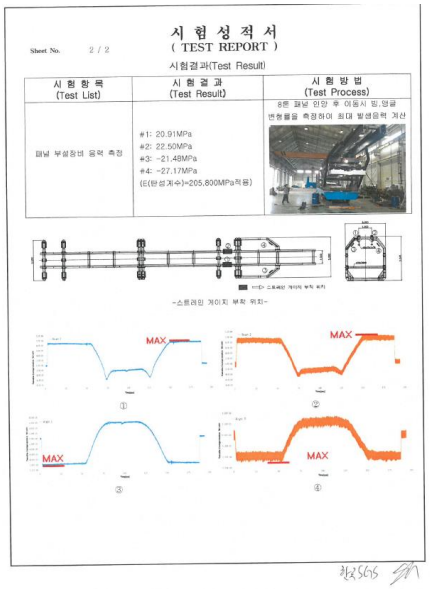
<패널 몰드 및 시제품 제작>

· **(성능시험 및 현장시험 부설)** 플로팅 궤도의 급속 시공을 위한 장비는 운행선상에서 패널 설치를 최적화 할수 있도록 후단으로 크레인이 5.8m런칭되어 있어 임시궤도 없이도 패널 설치가 가능하도록 아래 설계도와 같이 제작 되었다. 본 시험은 콘크리트 판넬 부설장비(스틸) 응력 측정을 목적으로 한다.

시 험 항 목 (Test List)	시 험 결 과 (Test Result)	시 험 방 법 (Test Process)
패널 부설장비 응력 측정	#1: 20.91MPa #2: 22.50MPa #3: -21.48MPa #4: -27.17MPa (E(탄성계수)=205,800MPa 적용)	8톤 패널 인양 후 이동시 빔,앵글 변형률을 측정하여 최대 발생응력 계산 

<시험 방법 및 결과>


TEST REPORT
(시 험 성 적 서)
[시험명:패널 부설장비 응력 측정]
(제품명 : 콘크리트 판넬 부설장비)
Esco B/D 10, Teheran-ro 7gil, Gangnam-gu, Seoul, KOREA


시 험 성 적 서
(TEST REPORT)
시험결과(Test Result)
MAX

<전용장비 시험성적서>

(4) 2차년도 <핵심성과 B. 기존선 자갈궤도 급속시공 기술>

○ 안전성 검증 및 설계기술 정립(B-2)

· **(궤도 주행안전성 및 승차감 검증)** 기존선 개량 급속시공궤도는 기존에 설치되어 있는 궤도와 다른 구조를 가지고 있기 때문에 사전에 사용성에 대한 검토가 필요하다. 또한 기존 자갈궤도를 일부구간 혹은 전구간을 해당 궤도로 개량할 경우 기존 궤도와의 천이구간이 발생하게 되며 따라서 이에 대한 검토 또한 사전에 이루어져야 한다. 일본 철도종합기술연구소(鉄道総合技術研究所)의 「철도구조물등 설계표준・동해설, 변위제한(鉄道構造物等設計標準・同解說, 変位制限)」에서는 '7장 안정성 검토'에서 상시 주행 안정성의 검토에 대해 다음과 같이 제시하고 있다. 이에 따라

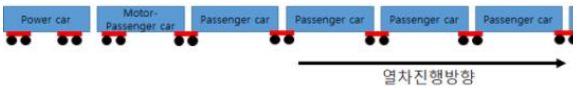
차량-궤도 상호작용을 고려한 기존선 개량 급속시공궤도에 대한 동적 해석을 수행하고 시스템의 주행안전, 승차감 등의 동적 안정성 검토 결과를 본 절에 제시한다.

<차량-궤도 상호작용 동적검토 결과 평가 기준>

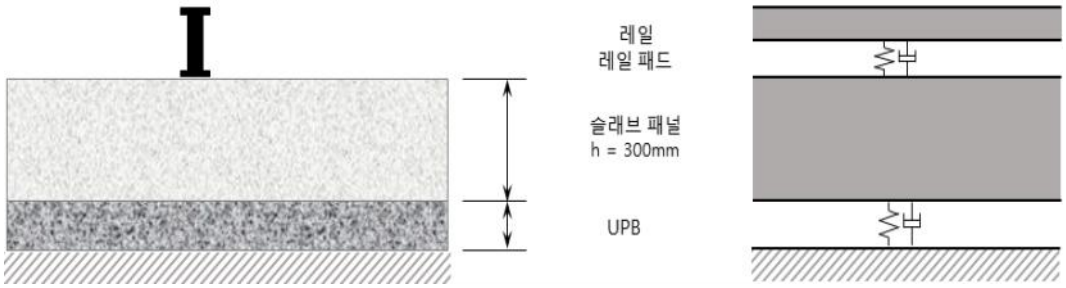
① 주행안전성:	윤중변동율	0.372 이하
② 승차감 :	차체 연직가속도 이하	1.3 m/s2 이하
③ 구조 안전/사용성	레일 응력	90 MPa 이하
	레일 상압력	초기 체결력의 70% 이하
	레일 부등변위-평행이동각	4/1000 이하



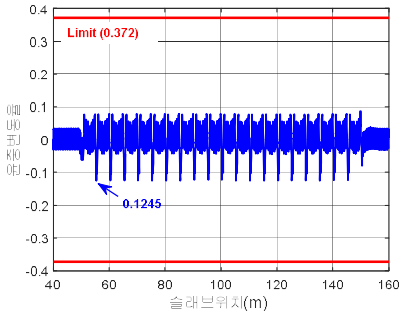
<차량 모델 구성도>



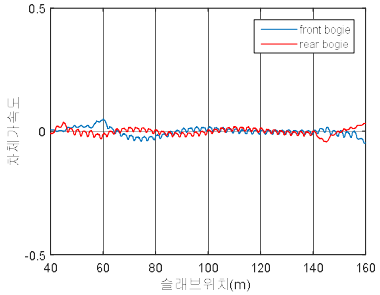
<KTX>



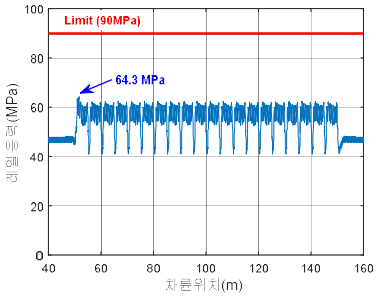
<궤도 모델링>



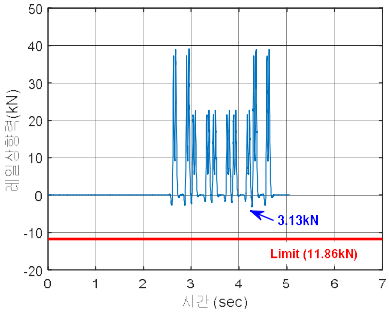
(a) 윤중변동율



(b) 차체가속도



(c) 레일응력

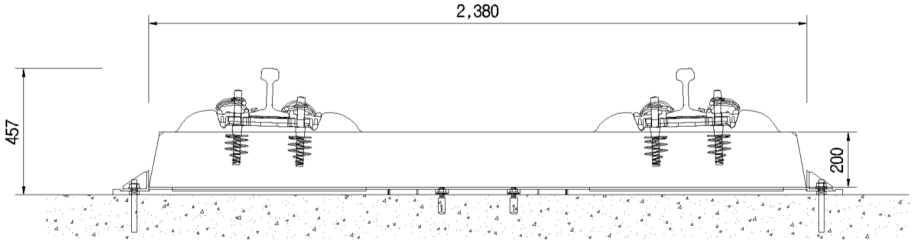


(d) 레일상향력

<동적 해석 결과(KTX, System300-1)>

· 동적안정성 평가 항목으로는 1) 탈선계수 및 윤중감소율을 통한 열차 주행 안전, 2) 차체 가속도를 통한 승차감, 3) 레일저부 응력 및 4) 레일 체결장치의 인발 여부로 선정 하였다. 해석 결과 모든 항목에서 기준치를 여유있게 만족하는 것으로 나타났으며, UPB 강성 차이에 따른 응답 차이는 거의 없었다.

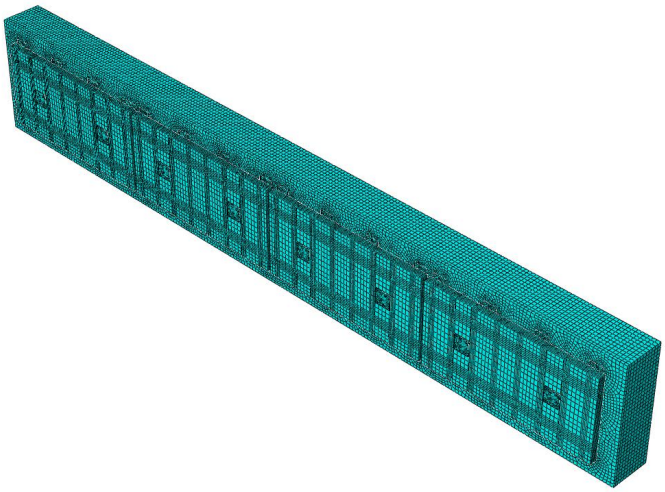
· **(시스템 구조 안전성 검토)** 자갈궤도에서 콘크리트 궤도로 급속개량이 가능한 플로팅 궤도패널에 대한 단면설계 및 구조검토를 통하여 최적 시스템을 선정하고, 선정된 시스템에 대한 상세해석을 통하여 급속개량이 가능한 플로팅 궤도 시스템의 구조적 안정성을 판단하는데 목적이 있다.



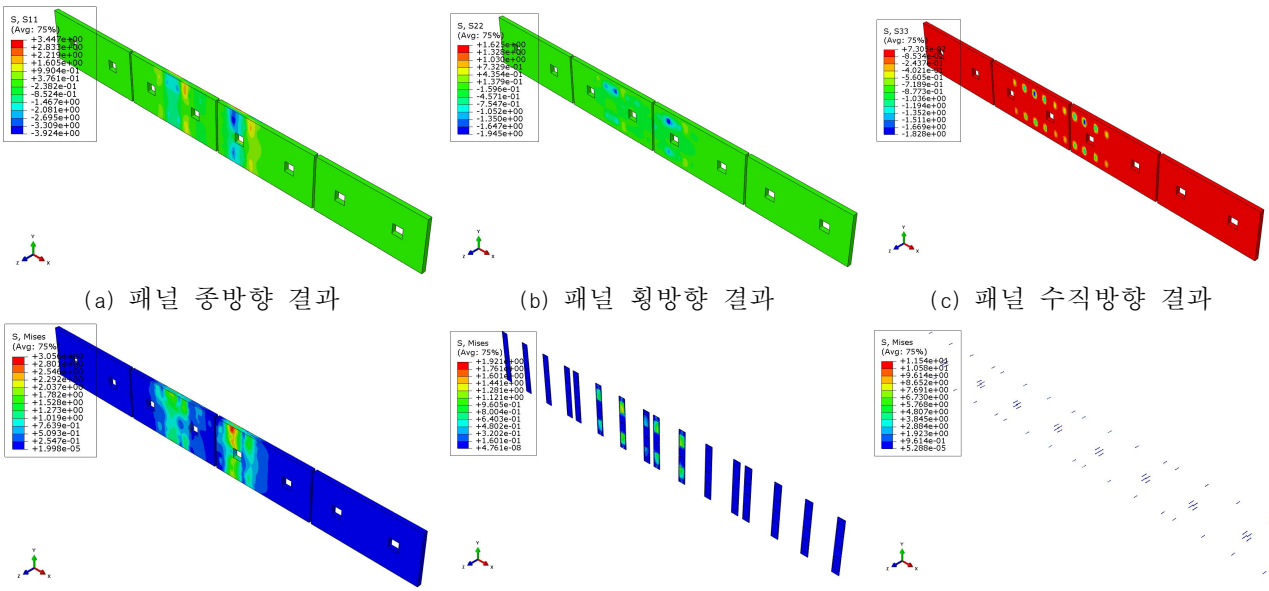
<패널 표준 단면도>

· 수직하중에 대한 구조해석을 위해 범용 유한요소해석 프로그램인 Abaqus 6.14를 사

용 하였다. 3D Solid-Element를 적용하였으며(그림 5.6), 해석 결과는 표 5.3과 같다.



<구조해석 모델링>



(a) 패널 종방향 결과 (b) 패널 횡방향 결과 (c) 패널 수직방향 결과

(d) 패널 Von Mises (e) EP BLOCK Von Mises (f) 전단앵커 Von Mises

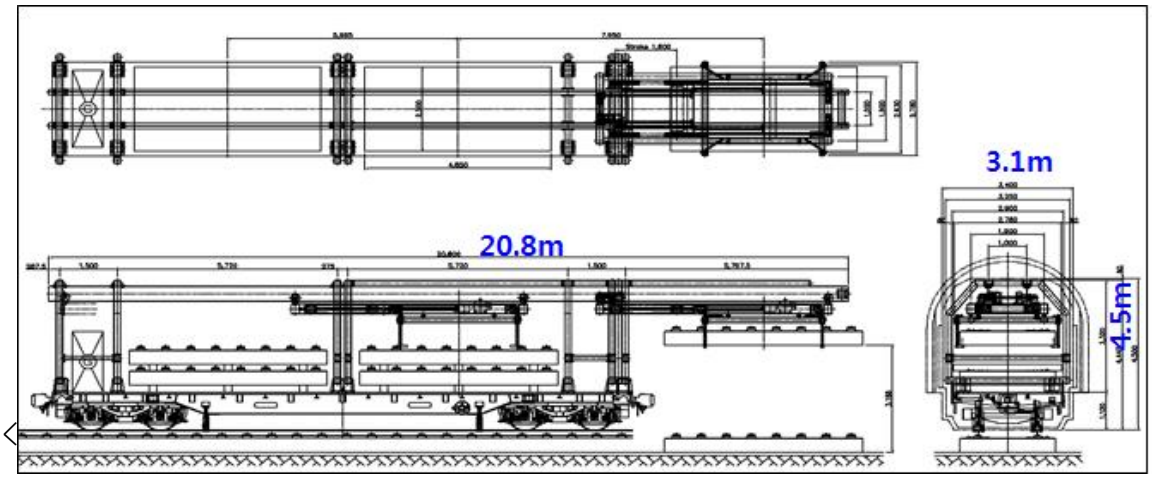
<열차하중 의한 구조해석 결과>

- 열차하중에 의한 최대 휨인장 응력은 모두 패널에서 발생하였다. 최대 휨 인장 응력은 체결구 위치의 패널 저부에서 나타나고, 패널의 상부에서는 최대 압축응력과 부인장 응력이 발생한다.
- **(급속개량궤도 설계 지침)** 기존선 자갈궤도 급속시공 기술에 반영된 궤도설계기준은 아래표와 같으며, 시공 예정구간을 과천선으로 지정함에 따라 설계속도(100km/h)를 기존선에 준하여 계획한다.
- 차량은 철도차량 안전기준에 관한 규칙 제22조 의거 직선 궤도상 정위에 있어서 아래그림의 차량한계도를 벗어나서는 안 된다.

· 궤도의 실질적인 구성요소인 레일, 침목, 도상 등 각종 궤도재료는 각각의 형상과 물성치를 조합하여, 고속으로 주행하는 열차의 직접적인 주행로를 제공하며, 차량의 중량 및 충격·진동에 충분히 견딜 수 있는 강도와 탄성을 확보해야 하므로, 사업구간의 특성에 적합한 궤도재료를 선정하여야 한다.

○ **시공 및 유지관리기술 정립(B-3)**

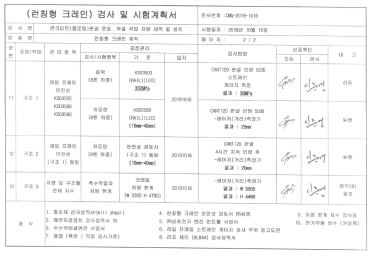
· **(운행선 최적 시공법 정립)** 수요처인 한국철도공사로부터 기존선 자갈궤도 급속개량 궤도시스템의 시공속도를 현재의 2배로(20m/4h) 향상되면 구매의사가 있음을 통보받아 부설전용장비를 제작하여 해결하고자 한다. “운행선에서 1일 20m/4h 부설” 달성을 위하여 플로팅궤도용 부설 전용장비 제작이 반드시 필요하다. 1차년도에 정한 컨셉대로 크레인 런칭형 장비 설계를 완료 하였다.



<부설장비 설계도>

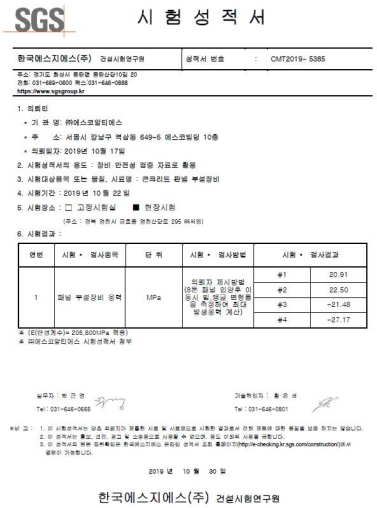


(a) 부설장비 제작완료



(b) 부설장비 검사 완료

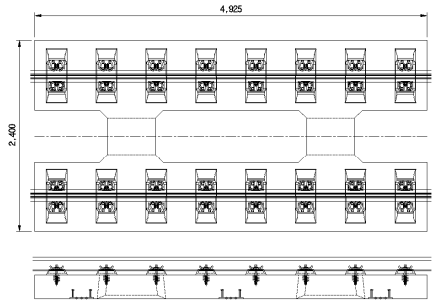
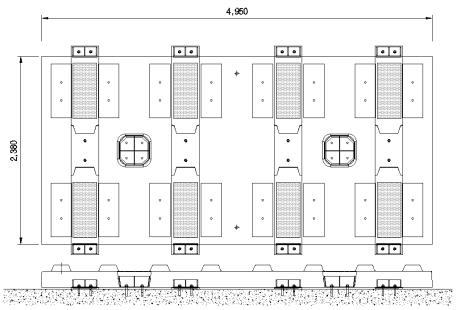
<전용 시공장비 제작>



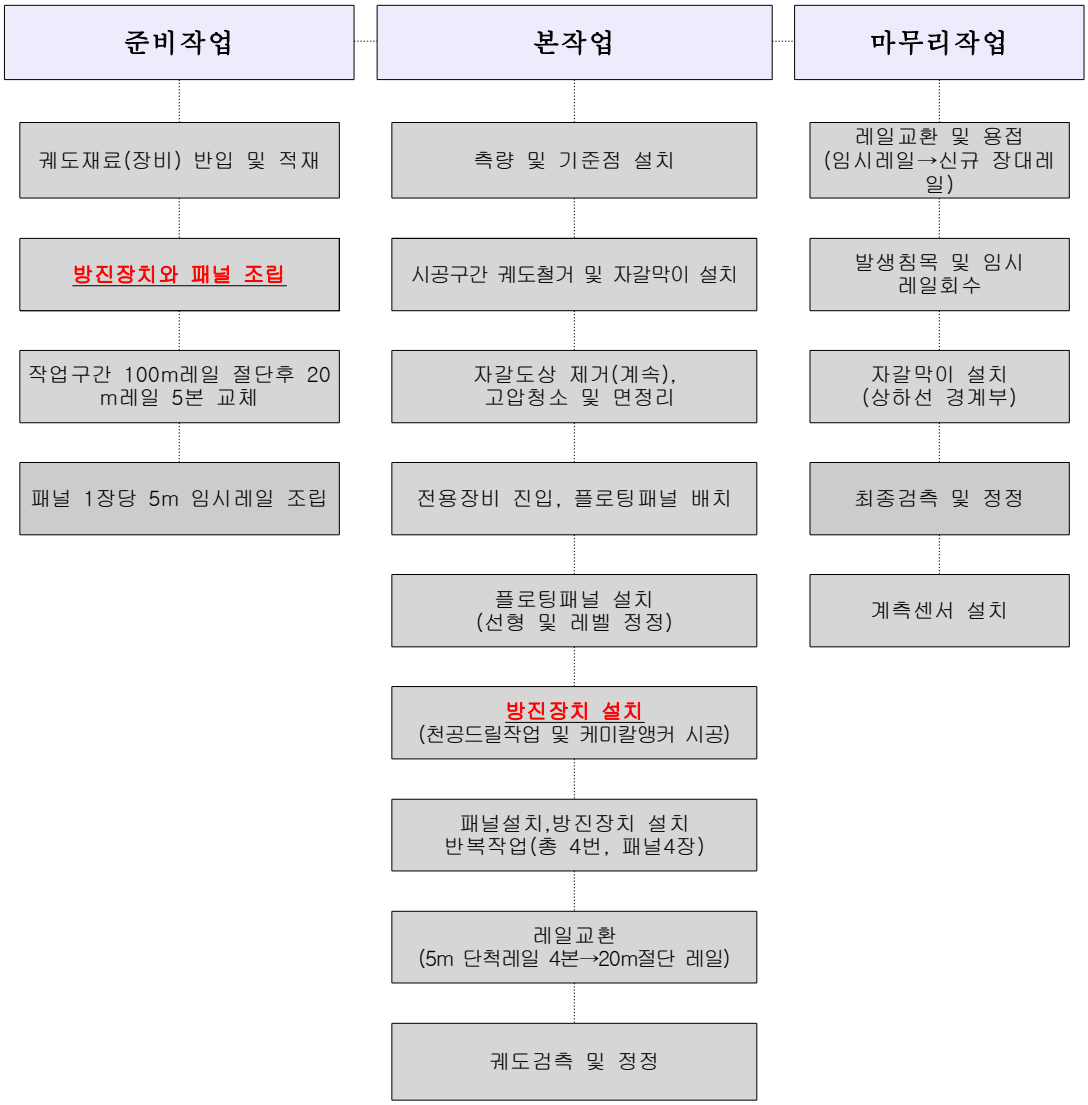
(c) 부설장비 공인기관 성적서

· **(전용장비 호환성 검토)** 본 장비는 운행선상에서 패널 설치를 최적화 할수 있도록 후단으로 크레인이 5.8m런칭되어 있어 임시궤도 없이도 패널 설치가 가능한 장비이다. 장비 사양은 엔진출력 147마력 이고, 붐대 길이는 5.8m이며 패널 적재량은 4장~6장이며 최대 하중은 14톤으로 10톤내에서는 안전하게 사용이 가능하다. 기기의 제작 및 설치에 필요한 자재는 강도, 유연성, 내구성 등에서 사용목적에 따라 최적의 것이며 최신기술에 의한 좋은 품질의 것을 사용하여야 한다. 자재는 다음의 요구사항에 적합하여야 한다.

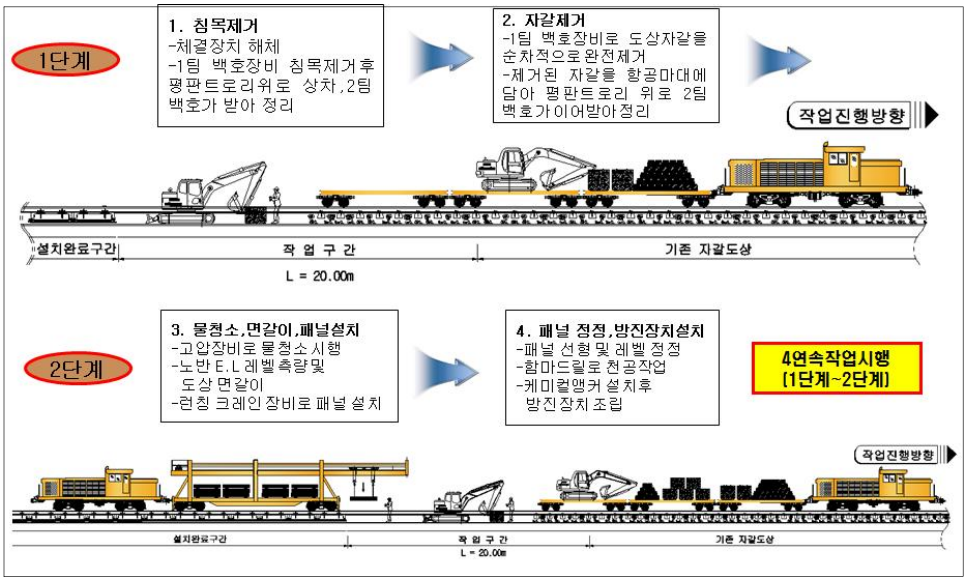
<패널 호환성 검토>

항 목	플로팅궤도용	자갈궤도 급속개량용
패널도면		
길이	L=4.925m	4.95m
폭	W=2.4m	W=2.38m
두께	H=0.3m	H=0.2m
무게	약7.5톤	약7톤
장비 적재량	최대 6장 적재	최대 6장 적재
검토결과	-길이,폭은 유사하며 플로팅궤도용 패널이 100mm두껍지만, 중앙 빈공간이 있어 무게는 0.5톤 정도 차이가 나고 패널 최대 적재량은 동일함.→**동일 전용장비로 패널 적재 및 설치 가능함**	

· 전용 장비를 적용하여 대천역 추가부설시 시공공정은 아래 그림과 같으며 밑줄친 부분의 공정만 상이하고 나머지는 동일한 시공공정이다.



<플로팅궤도 신규 시공 Flow>

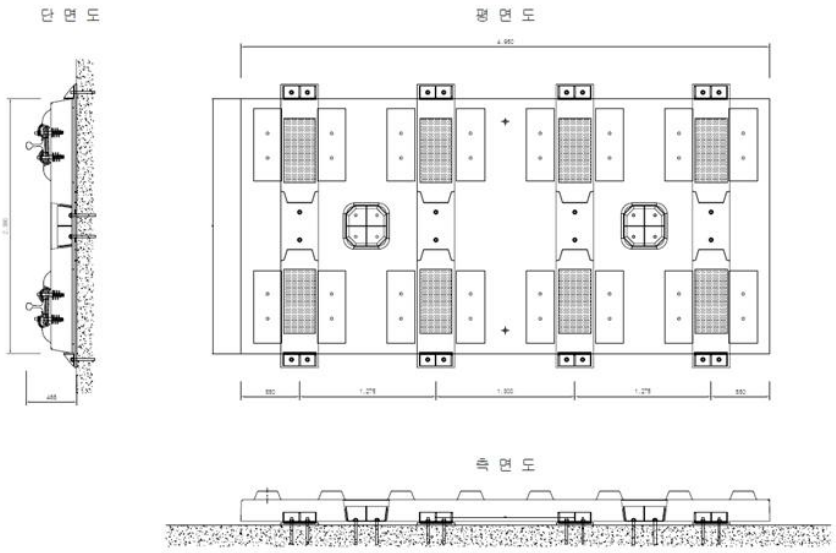


<플로팅궤도 시공공정 개략도>

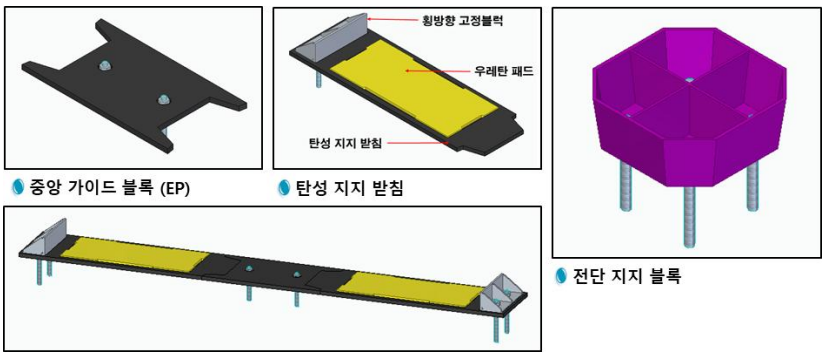
○ 성능시험 및 현장부설(B-4)

· **(시제품 설계)** 소음/진동 저감성능이 요구되지 않는 구간의 급속시공을 위한 조건을 도출하기 위해서는 첫째, 차단시간(약4시간) 내 20M 구간의 기존 자갈궤도 철거 및 궤도 부설이 가능해야 한다. 둘째, 과천선과 같은 지하구간의 RL-FL 조건이 수용 가능한 낮은 궤도 높이를 보유해야 한다. 셋째, 열차 개통 시 열차 주행안전성 확보가 가능한 궤도 구조여야 한다. 넷째, 궤도의 종-횡, 고저 정정이 용이한 구조여야 한다. 이와 같은 조건을 만족하면서 현장 타설 공정을 최대한 줄일 수 있는 단순 조립 형태의 궤도 시스템을 고안하였다.

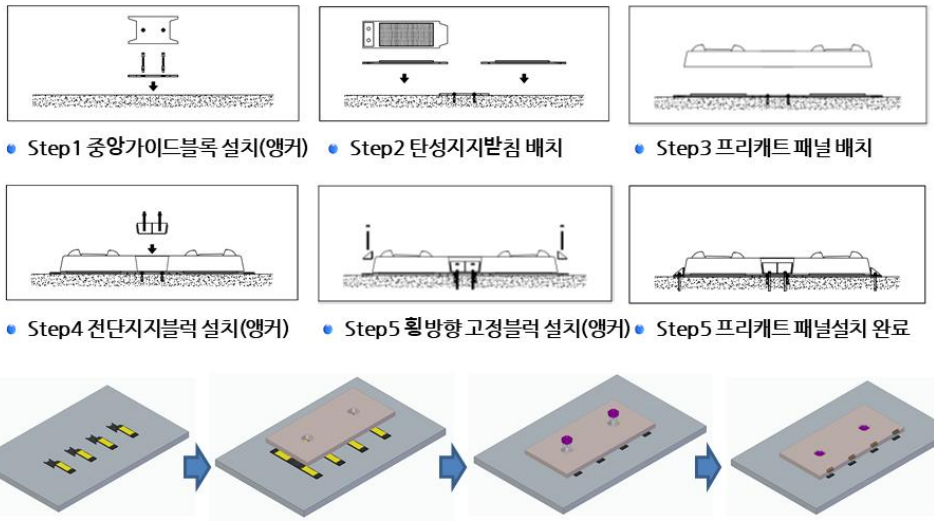
· 기 성능인증이 완료되어 검증된 PST-C TYPE 패널을 활용한 이산지지 방식의 조립식 궤도를 고안하였다. 기존선 급속교체 시공방식의 최대 난제였던 종·횡 수평저항력의 확보는 패널 중간에 2개의 홀 부분에 전단지지 블록을 삽입함으로써 총 8개의 앵커가 지지하며 탄성 지지받침이 포함된 패드를 레일 직하부에 설치하여 별도의 타설 없이 신속하게 채널 안착이 가능하다.



<이산지지방식 조립식 궤도 컨셉 도면>



<부품 모델링>

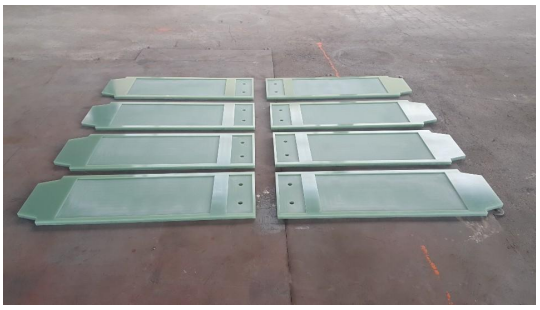


<시공 순서도>

· **(시제품 제작)** 자갈 궤도 급속개량 공법을 도출하기 위한 모든 조건을 만족하기 위한 장치 및 시공공법을 고안하였다. 기 성능인증이 완료된 PST-C Type 패널을 활용하여 이산지지 방식의 조립식 궤도를 고안하였으며, 급속교체 시공방식의 문제점 중 하나인 종· 횡 방향 저항력을 확보하고 탄성 지지 받침으로 레일 직 하부에서 발생하는 하중에 대한 저항을 확보할 수 있는 장치를 개발 및 제작하였다.



(a) 중앙 가이드 블록



(d) 탄성지지 받침



(c) Urethane pad

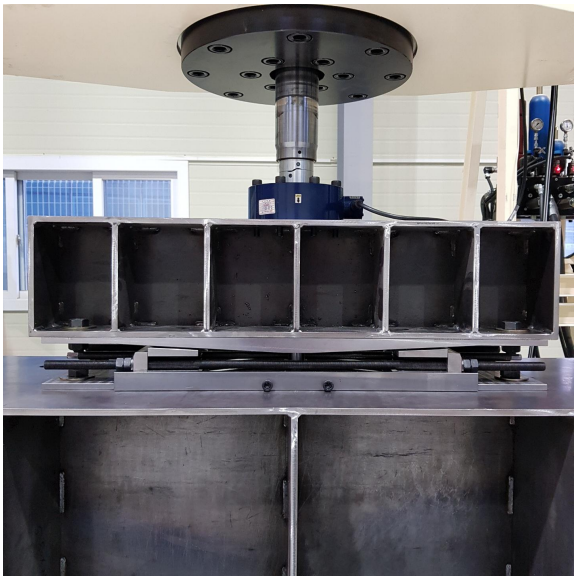


(d) Urethane pad cover

<패널 하부 탄성지지 받침 장치제작>

· **(현장시험부설 설계)** 기존 운행중인 자갈 궤도의 급속교체 시공기술의 개발을 진행하였다. 기존에 개발한 높이 조절 장치는 실제 현장중에 과천선에서 R.L.-F.L 기준에

의해 현장적용이 어려운 점을 파악하였으며, 이를 통해 장치 및 컨셉에 대하여 개선할 필요가 있었다. 이를 개선하기 위하여 연구과제의 목표인 기존선의 열차 차단시간내 10m 시공을 목표로 시공기법 및 궤도의 컨셉을 고려하여 도상 안정제를 도입한 자갈 도상 급속교체 시공, 기존 플로팅 궤도 패널을 이용한 시공 공법등 다양한 컨셉을 통하여 현재 과천선 현장에 적용 가능한 자갈궤도 급속교체 시공공법을 확인하기 위하여 위에 제시한 컨셉을 적용한 실내시험 및 현장적용에 필요한 실내시험 및 현장시험을 진행하였다.

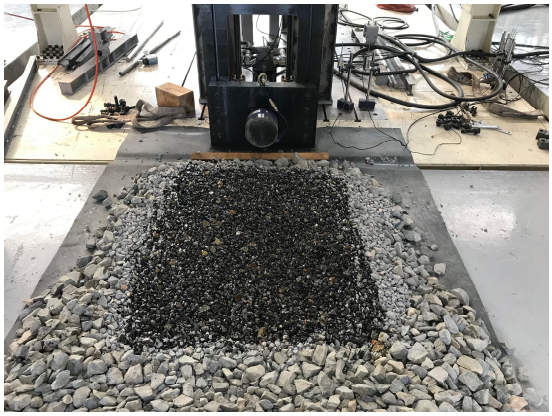


<높이조절장치 성능시험>

· 기 개발된 ‘ㅍ’자 패널을 이용하여 자갈 도상 급속교체 시공 관련하여 실 사이즈의 패널 시험 전에 축소 된 콘크리트 블록을 이용하여 수평저항력 시험을 진행하였다. 시험을 통하여 추후 진행될 실 사이즈 패널 시험의 거동 및 마찰력 등을 예측해 보고자 한다.



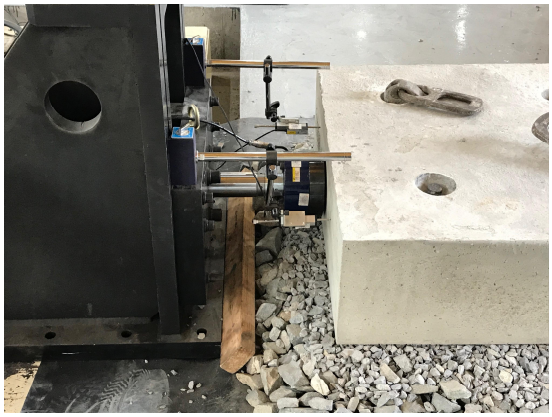
(a) 도상안정제 살포 X



(b) 도상안정제 살포 O



(c) 콘크리트 블록 거치



(d) 변위계 설치

<수평저항력 축소 시험>

· 수평저항력 축소시험 결과 USP 패드에 의한 수평저항력이 증가하지 않고 도상 안정제 적용 시 수평저항력이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이에 따라 추후 진행되는 실스케일의 패널 수평저항력 시험은 USP 패드를 적용하지 않고 진행하였으며, 시험결과 아래와 같다.

<수평저항력 축소시험 결과>

구 분	수평저항력 (kN)				기타
	도상안정제 살포 O		도상안정제 살포 X		
	USP 패드 O	USP 패드 X	USP 패드 O	USP 패드 X	
case 1	3.2989	2.9424	3.2291	2.8879	
case 2	3.4971	3.0332	2.9478	3.2585	
case 3	3.6554	2.7421	3.2139	3.3080	

· 기 개발된 ‘ㅍ’자 패널을 이용하여 자갈 도상 급속교체 시공 관련하여 수평저항력 시험을 진행하였다. 시험을 통해 구조적 안정성을 확보하고 추후 해석 시 필요한 마찰력, 수평저항력 등을 확인하고자 진행하였다.



(a) 도상 안정제 살포 X



(b) 도상 안정제 살포 O

<시험체 구성 (도상 안정제 살포 전 후)>



(a) 패널 거치



(b) 변위계 설치



(c) 도상 어깨 설정



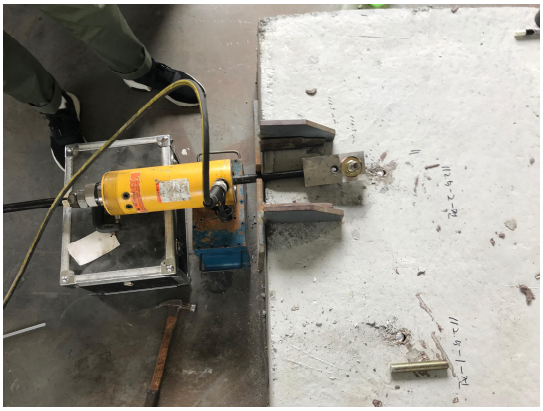
(d) 패널 내부 자갈채움

<수평저항력 시험>

· 패널 실 스케일을 적용하여 수평저항력 시험을 진행하였다. 시험결과 횡 저항력은 최대 77.28kN의 저항력이 발생하며 마찰계수는 약 1.1이다. 시험결과 값은 표와 같

다. 자갈과 궤도 패널 간 횡 저항력은 최소 약 113kN 이상의 저항력이 필요로 한다.

· **(케미컬 앵커 시험)** 이전에 제시한 도상 안정제를 적용한 자갈궤도 급속개량 컨셉을 통해 횡 방향 저항력 시험을 진행하였으나 필요 저항력에 비해 낮은 저항력이 발생하였다. 이에 따라 패널 하부에 장치적용 시 케미컬 앵커를 필요로 하기때문에 현장 적용 시 케미컬 앵커의 성능을 평가하기 위해 전단 및 인발 실내시험을 진행하였다.



(a)케미컬 앵커 전단 시험 셋팅



(b) 앵커 롯드 체결 및 전단 시험 셋팅

<케미컬 앵커 전단 시험 셋팅>



(a)케미컬 앵커 인발 시험 셋팅



(b) 앵커 롯드 체결 및 인발 시험 셋팅

<케미컬 앵커 인발 시험 셋팅>

· 케미컬 앵커 전단 및 인발 시험을 진행한 결과, 인발 시험의 경우 모든 시험에서 앵커의 파괴는 일어나지 않았으며 작용력에 의한 콘크리트 파괴만 발생하였다. 전단시험의 경우에는 앵커의 파괴가 발생하였으며 콘크리트와 같이 파괴형상을 보였다.

전단 시험결과 모든 시험 Case에서 앵커의 전단파괴가 먼저 발생하고 후에 콘크리트에서 발생하였다. 전단 시험 결과값은 매입 깊이 90mm – 64.1kN, 112.5mm – 63.5kN, 135mm – 63.4kN 으로 매입 깊이와 상관없이 비슷한 저항력이 발생하였다. 인발 시험결과 앵커의 파괴는 발생하지 않았으며 모든 시험 케이스에서 원추형 파괴

형상을 보였다. 인발 시험 결과값은 매입 깊이 90mm - 57.9kN, 112.5mm - 74.2kN, 135mm - 92.6kN 으로 매입 깊이에 따라 저항력이 증가하는 것을 볼 수 있다.

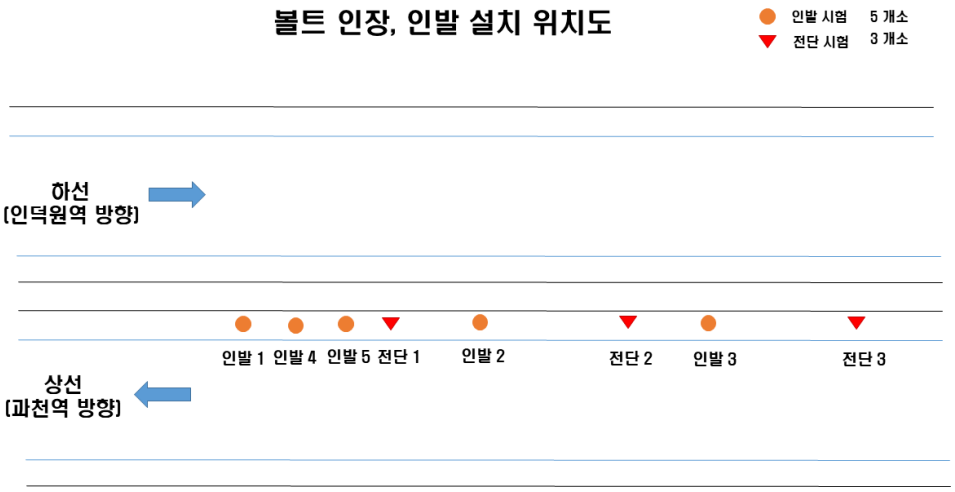
<케미컬 앵커 시험 결과>

구 분	매입깊이			기타
	90mm	112.5mm	135mm	
전단 시험 (kN)	64.1	63.5	63.4	
인발 시험 (kN)	57.9	74.2	92.6	

· **(과천선 현장 앵커 시험)** 과천선 현장의 케미컬 앵커 전단 및 인발 시험을 진행하여 앵커 지지 성능을 파악하고자 하였다. 이전에 시험한 결과의 값이 편차가 크게 나와 현장 시험을 다시 진행하였다.

<케미컬 앵커 시험 측정 항목>

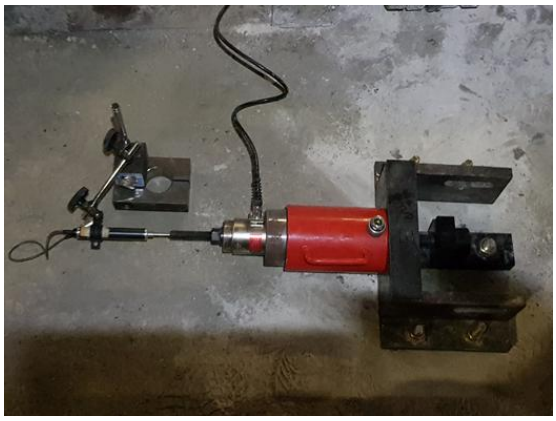
구 분	센서 종류	계측항목	개 소	측정방식	기타
앵커 전단 저항력	로드셀	케미컬 앵커 볼트 전단 저항 측정	3개소	동적 측정	
앵커 인발 저항력	로드셀	케미컬 앵커 볼트 인발 저항 측정	5개소	동적 측정	



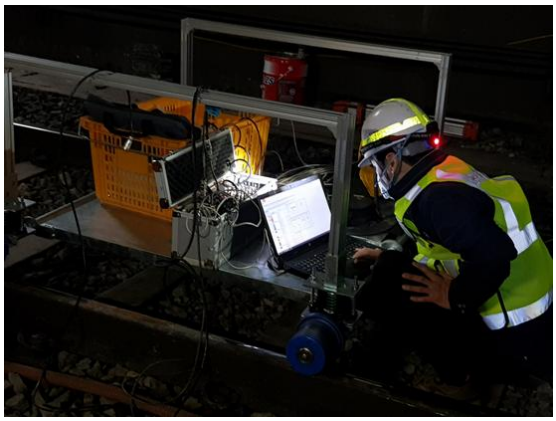
<케미컬 앵커 시험 위치도>



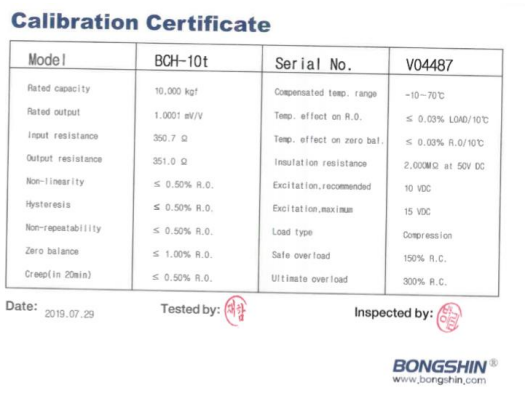

(a) 인발 시험




(b) 전단 시험



(c) 동적 측정



Calibration Certificate

Model	BCH-10t	Serial No.	V04487
Rated capacity	10,000 kgf	Compensated temp. range	-10~70℃
Rated output	1.0001 mV/V	Temp. effect on R.O.	≤ 0.03% LOAD/10℃
Input resistance	350.7 Ω	Temp. effect on zero bal.	≤ 0.03% R.O/10℃
Output resistance	351.0 Ω	Insulation resistance	2,000MΩ at 50V DC
Non-linearity	≤ 0.50% R.O.	Excitation,recommended	10 VDC
Hysteresis	≤ 0.50% R.O.	Excitation,maximum	15 VDC
Non-repeatability	≤ 0.50% R.O.	Load type	Compression
Zero balance	≤ 1.00% R.O.	Safe overload	150% R.C.
Creep(in 20min)	≤ 0.50% R.O.	Ultimate overload	300% R.C.

Date: 2019.07.29 Tested by: Inspected by:

BONGSHIN®
www.bongshin.com

(d) 성적서

<케미컬 앵커 현장 시험>

· 과천선 현장에서 진행한 케미컬 앵커 전단 및 인발 시험결과 이전에 진행한 현장 시험에 비해 결과값이 고르게 나오는 것을 볼 수 있다. 전단 시험의 경우 최소 60.5kN~ 67.0kN 의 저항력이 측정되며, 인발 시험의 경우 최소 39.1kN~ 54.3kN 의 저항력이 측정되었다.

(5) 3차년도 <핵심성과 A. 급속시공 사전제작형 플로팅궤도기술

○ 시공 및 유지관리 기술 정립(A-3)

·(유지관리메뉴얼 및 시방서)

- 목적 : 본 메뉴얼은 쐐기형 방진장치를 이용한 사전제작형 플로팅 슬래브궤도(이하 ‘사전제작형 플로팅 슬래브궤도’라 함.) 및 이에 부대하는 설비의 유지보수를 위한 세부적인 사항을 정하여 체계적이고 효율적인 유지관리를 확보하는데 있다.
- 적용범위 : 이 메뉴얼은 사전제작형 플로팅궤도 구조의 유지보수 관리를 대상으로 하며, 운영부서의 축적된 유지보수 경험을 반영하여 지속적으로 보완하는 것을 전제로 한다.
- 우선순위 : 이 메뉴얼은 다음의 현행 각종 규정 및 지침서를 근간으로 하여 작성하였으며, 아래의 규정과 본 메뉴얼이 상충하는 항목이 있을 경우는 아래의 현행 규정을 우선한다.

<현행 각종 규정 및 지침서>

현행 각종 규정 및 지침서
▪ 철도건설규칙 (국토교통부령 제609호 2019. 03. 20 개정) ▪ 선로유지관리지침 (국가철도공단지침 2020. 08. 27 개정) ▪ 보선작업지침 (국가철도공단지침 2020. 08. 27 개정) ▪ 열차운전시행세칙 (한국철도공사지침 2020. 10. 30 개정) ▪ 열차운행선로지장작업업무지침 (한국철도공사지침 2018. 09. 28 개정) ▪ 철도건설공사전문시방서 궤도편 (국토교통부 2013. 12. 개정)

<현행 각종 규정 및 지침서>

- 궤도 점검 : 사전제작형 플로팅궤도의 도상에 대한 검사는 <표 1.2>에 의해 실시하며 궤도틀림검사, 궤도재료검사 및 순회검사 등 정기적인 검사 외 계절별 특별검사, 취약개소 및 주의가 요구되는 개소는 수시로 점검하여야 한다.

<궤도점검 주기>

<table>
<tr><th colspan="2">검 사 항 목</th><th>점검대상</th><th>점검시기</th><th>점 검 내 용</th></tr>
<tr><td rowspan="3">궤도보수점검
주)1</td><td rowspan="2">궤도검측차
점검</td><td rowspan="2">본선 및
착발선</td><td>고속철도 : 월1회</td><td rowspan="3">- 궤도의 선형상태
・궤간
・수평
・줄맞춤
・면맞춤
・뒤틀림</td></tr>
<tr><td>일반철도 : 분기1회</td></tr>
<tr><td>보통여객열차 또는 화물만 운행하는 선로는 생략가능</td></tr>
<tr><td rowspan="2">인력점검</td><td rowspan="2">본선 및 측선</td><td>일반철도
: 반기 1회 이상</td><td rowspan="2">- 궤도의 선형상태
・궤간
・수평
・줄맞춤
・면맞춤
・유간점검</td></tr>
<tr><td>고속철도
: 궤도검측차점검, 차량가속도점검 후 불량개소에 대한 보수확인이 필요시</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">선로점검차 점검
주)1</td><td colspan="2">고속철도 본선 및 일반철도 주요선구 본선 : 월1회 이상</td><td rowspan="3">- 레일표면상태
- 침목
- 체결구
- 도상자갈단면
※ 분기1회 시행
- 고속철도
: 도상자갈단면, 침목, 체결구
- 일반철도
: 도상자갈단면, 침목</td></tr>
<tr><td colspan="2">일반철도 기타선구 본선
: 반기별 1회</td></tr>
<tr><td colspan="2">건설선(공사개소) 및 전용선 등 필요시 시행</td></tr>
<tr><td colspan="2">도상점검
주)2</td><td colspan="2">콘크리트 도상궤도
년 1회 이상</td><td>- 구체의 손상여부
- 균열</td></tr>
<tr><td rowspan="3">선로순회점검
주)3</td><td rowspan="2">일상
순회점검</td><td>도보순회</td><td>고속철도
: 10주 1회이상
일반철도
: 주요선구 주1회, 기타선구 주2회</td><td rowspan="2">- 궤도 및 시설물 이상유무 확인</td></tr>
<tr><td>열차순회</td><td>고속철도
: 15일 1회</td></tr>
<tr><td colspan="4">악천우 시 점검
열차기관사나 승무원의 요구 시 점검</td></tr>
</table>

※ 주)1 선로유지관리지침 (국가철도공단지침 2015.03.19) 3장 1절 궤도보수점검

※ 주)2 선로유지관리지침 (국가철도공단지침 2015.03.19) 3장 3절 도상점검

• 궤도 틀림 보수, 사전제작형 플로팅궤도 콘크리트 패널 보수, 방진장치 보수, 비상시 응급복구 방안으로 항목을 나누어 매뉴얼 및 자재 시방서에 기술하였고 자세한 보수 방법은 별첨 “질적성과 A-3-④ 유지관리 매뉴얼 및 시방서”에 기술하였다.

(6) 3차년도<핵심성과 B. 기존선 자갈궤도 급속시공 기술>

○ 시공 및 유지관리 기술 정립(B-3)

·(유지관리메뉴얼 및 시방서)

- 목적 :본 메뉴얼은 기존선 자갈궤도를 급속개량하기 위해 사용되는 사전제작형 급속개량 궤도 및 이에 부대하는 설비의 유지보수를 위한 세부적인 사항을 정하여 체계적이고 효율적인 유지관리를 확보하는데 있다.
- 적용범위 : 이 메뉴얼은 사전제작형 급속개량궤도의 유지보수 관리를 대상으로 하며, 운영부서의 축적된 유지보수 경험을 반영하여 지속적으로 보완하는 것을 전제로 한다.
- 우선순위 : 이 메뉴얼은 다음의 현행 각종 규정 및 지침서를 근간으로 하여 작성하였으며, 아래의 규정과 본 메뉴얼이 상충하는 항목이 있을 경우는 아래의 현행 규정을 우선한다.

<현행 각종 규정 및 지침서>

현행 각종 규정 및 지침서
▪ 철도건설규칙 (국토교통부령 제609호 2019. 03. 20 개정) ▪ 선로유지관리지침 (국가철도공단지침 2020. 08. 27 개정) ▪ 보선작업지침 (국가철도공단지침 2020. 08. 27 개정) ▪ 열차운전시행세칙 (한국철도공사지침 2020. 10. 30 개정) ▪ 열차운행선로지장작업업무지침 (한국철도공사지침 2018. 09. 28 개정) ▪ 철도건설공사전문시방서 궤도편 (국토교통부 2013. 12. 개정)

· 궤도 틀림 보수, 사전제작형 급속개량궤도 콘크리트 패널 보수, 궤도받침 보수, 비상시 응급복구 방안으로 항목을 나누어 매뉴얼 및 자재 시방서에 기술하였고 자세한 보수 방법은 별첨 “질적성과 B-3-③ 유지관리 매뉴얼 및 시방서”에 기술하였다.

○ 성능시험 및 현장부설(B-4)

· (현장시험부설)

- 공사현황

1) 공 사 명 : 과천정부청사역 구내 기존선 자갈궤도 급속개량 시험부설

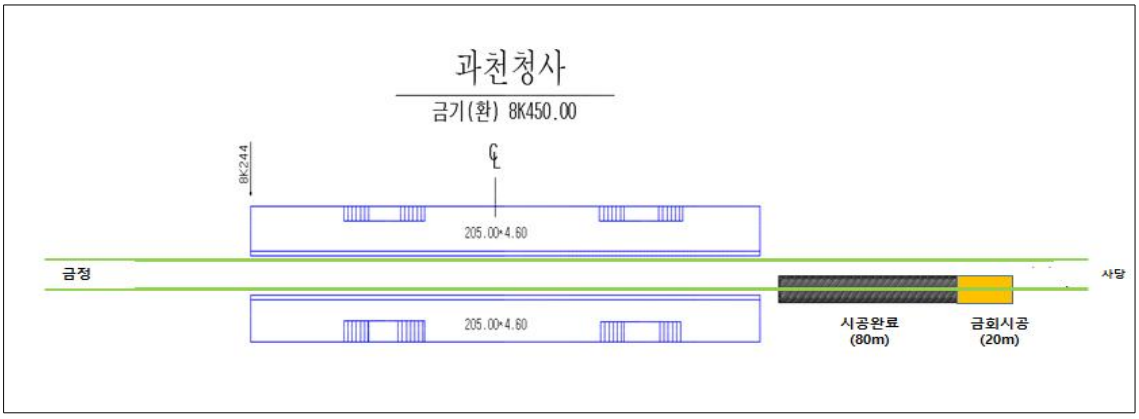
2) 공사목적 : 가R&D「사전제작형 플로팅슬래브 궤도 및 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 실용화」과제에서 신규 개발된 자갈궤도 급속개량 궤도시스템 성능검증을 위한 시험부설

3) 공사기간

- 1차 시험부설 : 2020.07.02.~07.12(80m)
- 2차 시험부설 : 2020.09.02.~09.06(20m)

4) 공사위치 : 과천선 인덕원 ~ 대공원 하선 금정(현) 8km545 ~8km645(L=100m)

5) 배 선 도



6) 현장전경



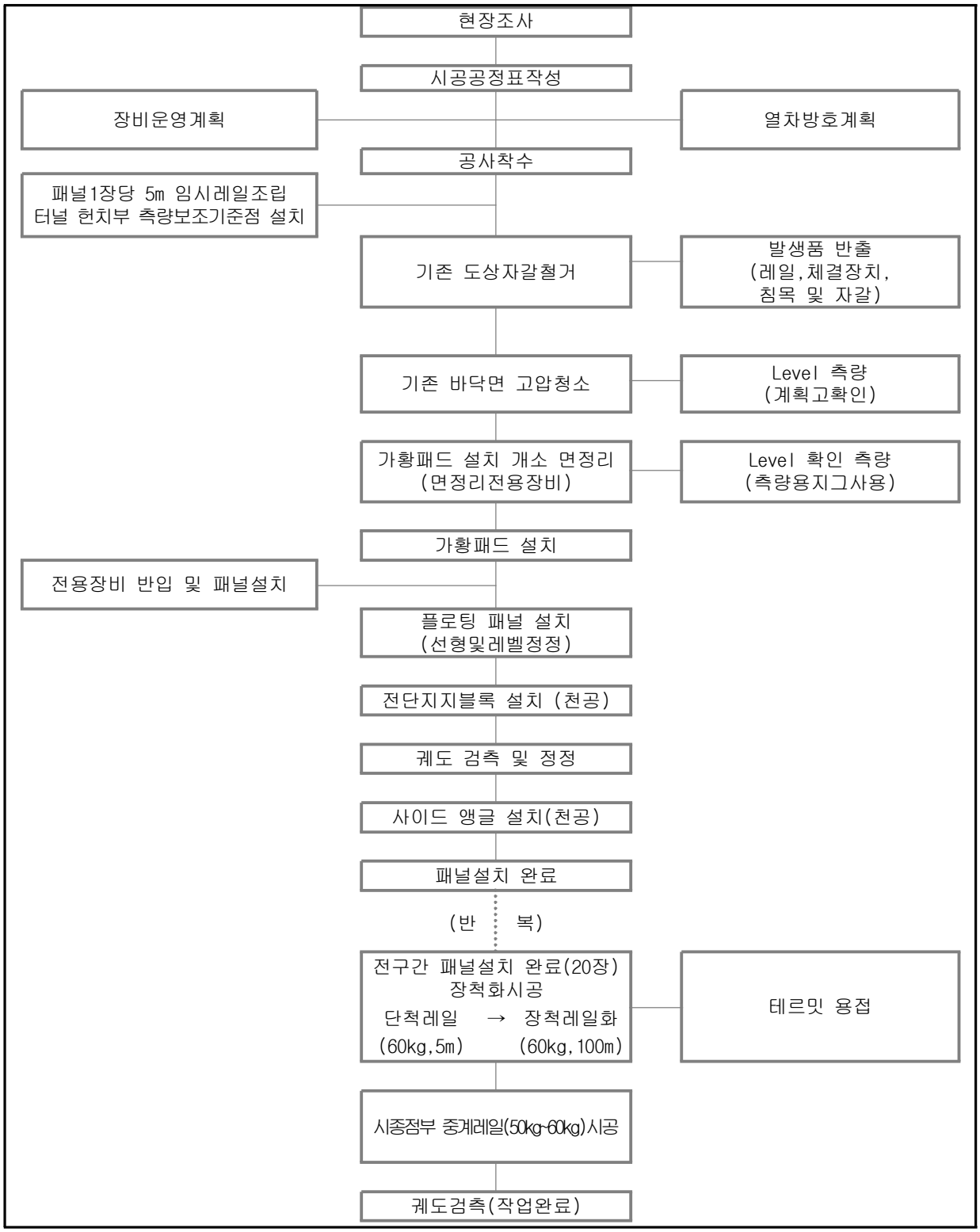
시점전경



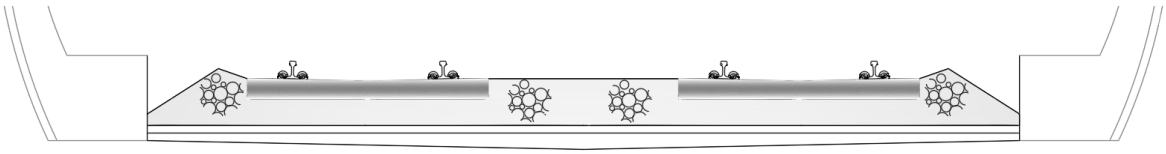
종점전경

그림. 부설구간 배선도 및 현장전경

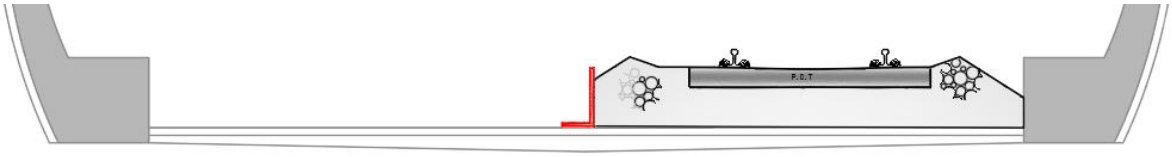
- 시공흐름도


현장조사
시공공정표작성
장비운영계획
열차방호계획
공사착수
패널1장당 5m 임시레일조립
터널 헌치부 측량보조기준점 설치
기존 도상자갈철거
발생품 반출
(레일,체결장치,
침목 및 자갈)
기존 바닥면 고압청소
Level 측량
(계획고확인)
가황패드 설치 개소 면정리
(면정리전용장비)
Level 확인 측량
(측량용지그사용)
가황패드 설치
전용장비 반입 및 패널설치
플로팅 패널 설치
(선형및레벨정정)
전단지지블록 설치 (천공)
궤도 검측 및 정정
사이드 앵글 설치(천공)
패널설치 완료
(반 복)
전구간 패널설치 완료(20장)
장척화시공
단척레일 → 장척레일화
(60kg,5m) (60kg,100m)
테르밋 용접
시종점부 중계레일(50kg-60kg)시공
궤도검측(작업완료)

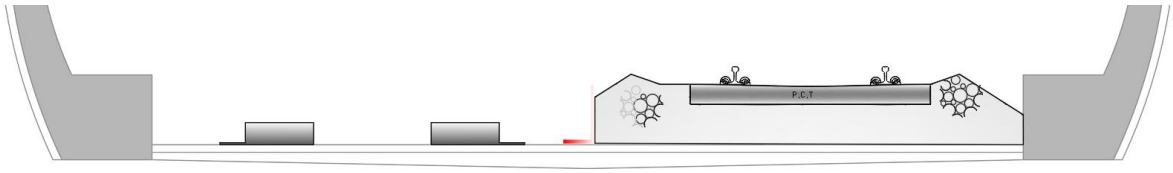
- 세부시공방법



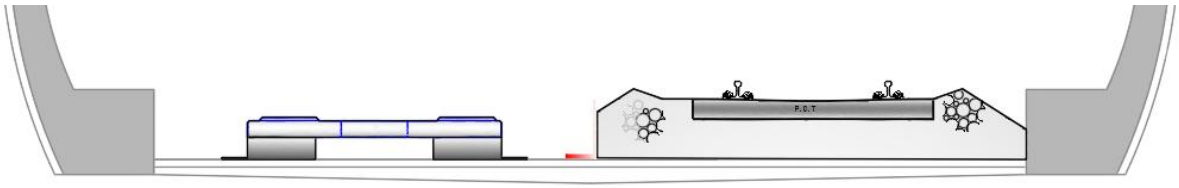
레일절단 및 체결장치 해체



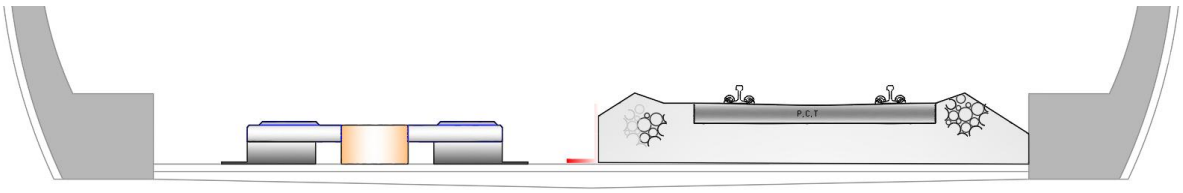
기존 자갈도상 제거(레일,체결장치,침목,자갈)



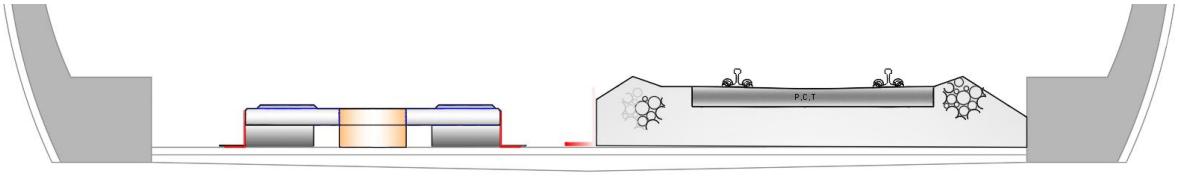
가황패드 설치(8지점)



패널설치(부설장비 활용)



전단지지블럭설치(앵커볼트 8개)



측면앵글설치(앵커볼트 8개)

그림. 시공순서

- 시간별 시공내역

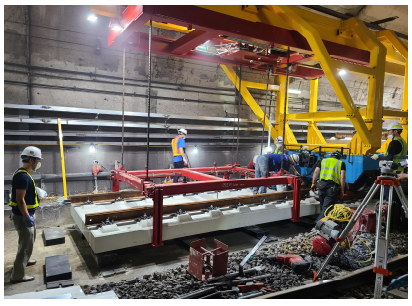
○ 총 시공 소요시간 : 3시간 40분, (01:00 ~ 04:40)

시공내용	시 간(분)	시공장비
장비도착	00:10~01:30(90)	모터카
체결구 탈거, 레일절단	01:00~01:10(10)	궤도공
레일, 침목, 자갈 철거	01:10~02:40(90)	궤도공, 백호우
#1 패널 설치	01:40~02:40(60)	STM, 궤도공, 백호우
#2 패널 설치	02:00~03:10 (70)	STM, 궤도공, 백호우
#3 패널 설치	02:40~03:50 (70)	STM, 궤도공, 백호우
#4 패널 설치	03:00~04:30 (90)	STM, 궤도공, 백호우
장비이동 및 정리, 시공완료	04:30~04:40(10)	궤도공, 백호우

- 시험부설 결과



시공 전



시공 중



시공 후

· **(현장시험 및 모니터링 결과 보고서)** 철도시설성능검증 '사전제작형 급속개량 궤도' 현장설치 시험에 대하여 국가철도공단 철도시설성능검증 지침 제4절 제24조(현장설치 시험시공)에 의거, 현장에서 실제 열차가 주행하는 조건 하에 '사전제작형 급속개량 궤도'의 성능 및 적합성을 검증하기 위해 실제 열차 주행에 의한 효과에 따른 영향 등 기술요건 적합성 검토단계나 조립시험에서 성능을 명확히 확인하기 곤란한 사항들을 종합적으로 판단하기 위해 실시한다.

· 본 과업은 국가 R&D '사전제작형 플로팅슬래브 궤도 및 기존선 자갈궤도 급속개량 기술 실용화' 연구개발품인 '사전제작형 급속개량 궤도'를 Test-bad 구간으로 선정된 과천선 내에 100m 부설 후 현차주행 성능시험, 현장 모니터링 시험을 실시하여 국가철도공단 철도시설성능검증 지침 제 4절 제 24조(현장설치 시험시공)에 의거 평가함으로써 '사전제작형 급속개량 궤도'의 성능 및 적합성을 검증하는데 목적이 있다.

· 시험 항목 : 국가철도공단 철도시설성능검증 지침 기준에 따라 다음과 같이 시험 종류별 측정항목을 선정하였다.

[시험항목 및 합격기준]

구분	항목	시험항목	시험방법	합격기준
현차 주행 성능 시험	동적 변위/ 응력	① 윤중/횡압 ② 레일응력 ③ 레일처짐 ④ 탈선계수	현차주행시험 시 지상계측	① 윤중감소율 -발생빈도 100%에서 50%이하 -발생빈도 0.1%에서 80%이하 ② 레일응력 최대값 130MPa 이하 ③ 레일처짐(레일-슬래브 상대변위) 3mm[1)] ④ 탈선계수 -발생빈도 100%에서 80%이하 -발생빈도 0.1%에서 110%이하
모니 터링	궤도 틀림	궤도검측	궤도검측차 또는 그에 준하는 장비 이용 궤도틀림 측정	-선로정비지침 궤도보수기준 적용 -통상적인 수준 이하의 궤도틀림 유지보수 횟수 및 난이도 확보
	외관 상태	구성품의 손상상태	육안조사	① 콘크리트 슬래브에 수축현상으로 인한 균열 외, 하중 전달구조에서 구조적 안정성에 영향을 주는 균열 또는 손상이 없을 것(0.3mm이하) ② 받침장치, 체결장치 등 구성요소 파손 변형이 없을 것 ③ 레일의 이상마모 등 구성품의 조기손상이 없을 것

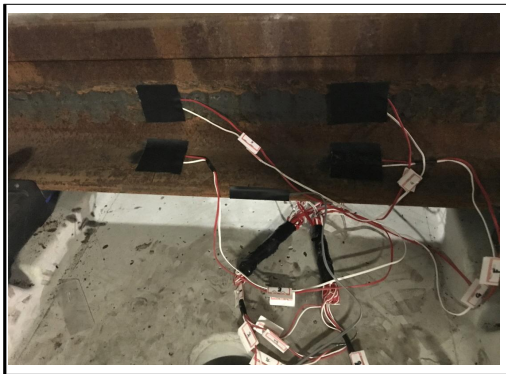
· 측정 방법



(a) 윤중게이지 설치



(b) 윤중 검정



(e) 횡압게이지 설치



(f) 횡압 검정



(a) 레일 수직 변위계 설치



(b) 도상 수직 변위계 설치

· 공인인증시험기관 선정



KTR

의뢰시험 신청서

결재	담당	팀장	본부장
		전결	

TBK 2020-004571

상 담 ID : 202006009920 (202006023483)
신 청 일 자 : 2020-06-23
접수승인일자: 2020-07-01
발급예정일 : 2020-12-31(15시 이후)
처 리 부 서 : 신뢰성평가센터
성적서구분 :
시 료 처 리 : 반환
성적서발송 : 해당없음 【 FAX 】
성적서용도 : 품질관리용
접 수 지 원 : 인천지원
시 료 명 : 현장측정용역

반환

주 소 : 대전광역시 동구 중앙로 240(소제동)
대 표 자 : 손병석
성적서표기업체 : 한국철도공사
의뢰인 부서/성명 : /
전 화 : 팩 스 :
메 일 주 소 : 휴 대 폰 :
전자계산서 업체 : (주)에스코알티에스/조영철/2148145395
계산서담당자 : 최빛나라 / cbnr@enrtech.co.kr / 010-2991-4570

시험항목	배정 부서명	조건	신청시료	수수료
현장측정	신뢰성평가센터			10,000,000
항 목 계				10,000,000
할인율 및 할인료	0 %			0
항목 계 (할인료 제외)				10,000,000

합 계 :10,000,000 부가세(10 %) : 1,000,000 총 합 계 : 11,000,000

결제안내	은행명	국민은행	예금주	한국화학융합시험연구원	입금금액 (VAT포함)	11,000,000
	계좌번호	231401-04-295955		입금확인 및 계산서 문의	☎ 032)5709-669	
	※ 시험은 입금 확인 후 진행되며, 회사명으로 입금해주시고, RCMS등에서 입금하시는 경우에는 별도의 계좌를 안내 받으시기 바랍니다.					

융합시험	계 약 서	시험 결과 보고서
	불 필 요	필 요

1. 수수료가 3주 이내에 입금되지 않을 경우 시료 및 신청서는 자동 폐기됩니다.
2. 반환시료를 인수하지 않으시면 성적서 발급 3주 후 자동 폐기됩니다.
3. 신용카드 수납 시 취소/환불은 해당카드로만 가능합니다.
4. 시험성적서 재발행신청은 발급일로부터 4년이내이며, 시험성적서 발급 후 변경(시료명, 업체명, 대표자, 주소 등 포함), 취소는 불가능합니다. (시험성적서 발급전 취소는 비용의 80%만 환불합니다. - 시험진행비용 차감)
5. 시험성적서는 원본(재발행 포함)만 인정하며, 사본 및 전자인쇄본/파일본은 불인정하는 것이 통례입니다.
6. 시험성적서 진행 및 위변조 확인 - http://www.ktr.or.kr, 메인화면 [고객서비스 > 성적서확인 > 성적서조회] 참조

(서명)

정보사항	주의사항	※ 협조부서:
	시험방법 및 특이사항	KOLAS용: 예 (아니오) (사유:고객요구) ILAC용: 예 (아니오)
우편발송주소		『우 :135080』 『서울특별시 강남구 테헤란로7길 7 (역삼동)』 『(주)에스코알티에스(최빛나라)』

상 담 자 : 유진규 Tel : 02-2092-3604 발 급 자 : (서명)
접 수 자 : (서명) (032)570-9700 인 수 자 : (서명)

위와 같이 시험을 신청합니다.

한국화학융합시험연구원장 귀하

KTR-QP-P01-F01(00) TBK 2020-004571 Page : 1 of 1 A4(210 X 297)

· 모니터링 시험 결과 : ‘사전제작형 급속개량 궤도’의 시험부설 후 궤도의 이상 유무를 확인하기 위해 총 4차에 걸쳐 모니터링 계획을 수립하였다. 현재까지 3차(9/8, 10/13, 12/23) 모니터링을 공인시험기관과 한국철도공사 수도권광역본부 유지보수 담당자 입회하에 시행하였으며, 모니터링 결과 궤도틀림은 기준 값 이내로 측정되었으며 패널 및 궤도받침 등 궤도구성품의 이상여부는 발견되지 않았다.

(7) 3차년도<핵심성과 C. 기술실용화>

○ 성능인증 및 실용화(C-1)

· **(철도시설성능검증)** 본 기술의 실용화 인증을 위해 “사전제작형 급속개량궤도(P-FIT)”이라는 철도 시설물로 국가철도공단의 철도시설성능검증을 신청하였다. 자

세한 신청서 내용은 “질적성과 C-1-① 철도시설 성능검증”에 첨부하였다. 제출된 신청서는 아래와 같다.

철도시설 성능검증 신청서

철도시설의 명칭	사전제작형 급속개량궤도(P-FIT) Precast-Fast Improvement slab Track		신청번호	제 호
개발업체 또는 개발자	법인명	한국철도	법인등록번호	314-82-10024
	성명(대표자)	손병석	생년월일	1962.01.25
	주소	대전광역시 동구 중앙로 240		
	담당자 성명	권 세 곤	전화번호	042-615-4743
			E-mail	tibobkr@korail.com
철도시설의 특징 (요약)	열악한 시공조건으로 인해 개량이 어려운 기존선 터널구간 자갈궤도를 대상으로 철도운행의 지장 없이 급속시공 할 수 있는 신개념의 궤도시스템 기술이다. 개발 궤도구조는 사전 제작된 사전제작형 슬래브패널와 궤도받침 사용하여 이산지지 조건으로 터널구간에 조립시공하는 궤도구조이다.			
적용범위	1. 적용구간 : 기존선 도시철도 자갈궤도 터널 구간 신설선 도시철도 콘크리트 노반 궤도부설 구간 2. 최고속도 : 도시철도 (90km/h이하) 3. 최소곡선반경 등 선형조건 : 철도설계기준에 적합한 최소곡선반경 반영 4. 기타 제한조건			
신규/개량 구분	신규			
한국철도 『철도시설 성능검증지침』 규정에 의하여 위와 같이 철도 적용을 위한 철도시설의 성능검증을 신청합니다. 2020년 10월 일 신청인 : 권 세 곤 (인)				
구비서류	1. 신청서(별지 제1호 서식) 1부. 2. 설계도서(각 10부) 가. 설계보고서 나. 구조계산서 다. 설계도면 라. 공사 시방서 및 자재사양서 또는 규격서 3. 구성품의 성능규격 및 성능 시험결과 보고서(각 10부) 4. 유지보수매뉴얼(10부) 5. 인터페이스 검토서(10부) 6. 조립 및 현장설치 시험계획서(필요시) - 시험계획서에는 시험항목 및 이에 대한 시험기준이 포함 되어야 한다. 7. 각서(별지 제3호 서식)			

· 철도시설성능검증 심의 위원회 의결 결과

- 국가철도공단에서 개최한 1차 철도시설성능검증 위원회 의결 결과는 기술요건 적합성 평가는 “조건부 적합”, 조립시험 계획 “적합”, 조립시험 결과 “필요”로 의결됨. 2차 철도 시설성능검증 위원회 의결결과는 조립시험 결과는 “적합”, 현장설치시험 계획은 “조건부 적합”으로 의결됨. 의결 결과 공문은 각각 아래와 같다.

소통과 믿음으로 고객과 함께 하는 KR

국가철도공단

수 신 한국철도공사 사장

(경유) 레일진단시스템연구단장

제 목 『사전제작형 급속개량궤도(P-FIT)』 철도시설성능검증위원회(1차, 기술요건적합성) 의결 결과알림

1. 귀 기관 무궁한 발전을 기원하며, 공단 품질관리처-5149(2020.12.30.)호 및 레일진단시스템연구단-219(2020.12.18.)호 관련입니다.
2. 「사전제작형 급속개량궤도(P-FIT)」에 대한 철도시설성능검증위원회(1차) 심의결과, 기술요건적합성 평가는 "조건부 적합", 조립시험 계획 "적합", 조립시험 결과 "필요"로 의결되었음을 알려드리며, 철도시설성능검증지침 제12조(의결) 제④항에 따라 심의의견서에 대한 조치결과를 해당 성능검증위원의 확인을 받아 제출하여 주시기 바랍니다.
3. 또한 보완 제출하는 보고서에는 심의위원 조치결과를 반영하여(심의위원의 확인받은 자료 포함) 제출하여 주시고, 철도시설성능검증지침 제16조 제①항에 따라 성능검증 비용을 처리하여 주시기 바랍니다.

붙임 1. 성능검증위원회 회의록 1부.
2. 심의 의견서 1식.
3. 심의비 산출내역서 및 청구서 1식. 끝.

국가철도공단이사장

국가철도공단 이사장인

★담당자 김석희 품질시험부장 연가 품질관리처장 전결 12/30 강홍묵

협조자

시행 품질관리처-5152 (2020.12.30.) 접수 기술연구처-6N ( )

우 34616 대전광역시 동구 중앙로 242 (국가철도공단) / http://www.kr.or.kr

전화 042-607-4045 /전송 042-607-6309 / kah6248ehf@kr.or.kr / 비공개(7)

국민의 나라 정의로운 대한민국



소통과 믿음으로 고객과 함께 하는 KR

국가철도공단

수 신 한국철도공사 사장

(경유) (기술연구처장)

제 목 「사전제작형 급속개량궤도(P-FIT)」 철도시설성능검증위원회(2차, 조립시험 결과 및 현장설치시험 계획) 의결 결과 알림

1. 품질관리처-369(2021.02.01.)호 및 한국철도공사 기술연구처-114(2021.01.18.)호 관련입니다.

2. 「사전제작형 급속개량궤도(P-FIT)」에 대한 철도시설성능검증위원회(2차) 심의결과, 조립시험 결과는 "적합, 현장설치시험 계획은 "조건부 적합" 으로 의결되었음을 알려드립니다.

3. 따라서, ?철도시설성능검증지침? 제12조에 따른 성능검증위원회의 '심의 의견서' 조치결과를 해당 성능검증위원의 확인을 받고, 보완된 '현장설치시험 계획 보고서' 는 심의위원 조치결과를 반영하여(심의위원의 확인받은 자료 포함) 제출하여 주시기 바랍니다.

4. 또한, ?철도시설성능검증지침? 제16조에 따라 성능검증 비용을 처리하여 주시기 바랍니다.

붙임 1. 성능검증위원회 회의록 1부.
2. 심의 의견서 1식.
3. 심의비 산출내역서 및 청구서 1식. 끝.

국가철도공단 이사장

국가철도공단 이사장인

★담당자 김석희 품질시험부장 전진호 품질관리처장 전결 02/02 강홍묵

협조자

시행 품질관리처-378 (2021.02.02.) 접수 기술연구처-242 (2021. 2. 2.)

우 34618 대전광역시 동구 중앙로 242 (국가철도공단) / http://www.kr.or.kr

전화 042-607-4045 /전송 042-607-3309 / kah6248ehf@kr.or.kr / 비공개(7)

국민의 나라 정의로운 대한민국

· 2차 철도시설성능검증 위원회 이후 2021년 2월 17일 최종 현장 모니터링 시험을 KTR (한국화학융합시험연구원) 입회하여 수행하였으며, 수일 내에 결과보고서 및 인증서발급 후 최종 성능검증 위원회 신청을 할 계획이다.

· **(기술가치평가)** 사전제작형 급속개량궤도 기술의 경제성 평가를 위해 외부 전문가 자문 용역을 수행하였다.

· 본 용역은 과천선 구간의 자갈궤도 급속개량 슬래브 궤도 현장적용을 위한 시공현장 공사비 산출이며, 과천선 시범 시공구간의 이해를 통해 최적의 공사비 산출로 타 공법과의 경제성 비교와 공사비 산출자료의 기준제시가 본 용역의 목적이다.

· 아래 표는 자갈궤도 급속개량 슬래브 궤도 단가산출 기준이다.

<자갈궤도 급속개량 슬래브 궤도 단가산출 기준>

구 분	적 용 내 용	비 고
1. 공사원가계산 적용기준	“2020년 공사원가계산 제비율 적용기준”에 의거 작성	
2. 환 율	2020년 7월 (1,208.0 원/$)	
3. 유 류 비	2020년 7월 (휘발유:1,313.0원/L,경유:1,161.0원/L)	
4. 적용노임단가	2020년 하반기 노임단가 (대한건설협회 시중조사)	
5. 기초자재가격	2020년 7월 (①가격정보,②물가자료,③물가정보)	
6. 중기 사용료	2020년 7월 (조달청에서 집행하는 기초자재가격)	
7. 단가적용기준	2020년 표준품셈 적산기준 적용	

· 궤도개량 100m를 현장에 설치하는 RC모노블럭 공법과 사전 제작형 슬래브 궤도의 현장설치 공사비를 다음 표와 같이 비교하였다.

<기타 자갈궤도 급속개량 공법 경제성 비교>

구 분	① 슬래브궤도	② RC모노블럭	③ B2S 궤도	④ 포장궤도
부설 전경				
시공방법				
	-.급속시공 전용장비(STM) -.자갈철거후 받침 위 패널설치	-.작키 가받침으로 궤광고정 -.콘크리트 믹서카 타설	-.작키 가받침으로 궤광고정 -.콘크리트 믹서카 타설	-.신자갈로 치환 후 MTT 작업 -.믹서, 홉퍼, 자갈화차, MTT
시공속도	20m/day	5~10m/day	5~10m/day	5~10m/day
시공비용	418만원/m	433만원/m	470만원/m	540만원/m
시공성 대 공사비지수	20m/day ÷ 418만원/m= **0.0478**	7.5m/day ÷ 433만원/m= **0.0173**	7.5m/day ÷ 470만원/m= **0.0160**	7.5m/day ÷ 540만원/m= **0.0139**

· 과천선 동일 조건상에서 자갈궤도 급속개량 슬래브 궤도가 RC모노블록 공사비 대비 **약 3.3%가 절감**되는 것으로 분석되었고, 각 공법의 시공속도와 시공비용을 산출하여 비교검토 한 결과 자갈궤도 급속개량 슬래브 궤도 공법이 시공속도 20m/day와 시공비용 418만원/m로 나와 시공속도대비 공사비 환산지수 0.0478로 나왔으며, 타 공법 대비 0.0305~0.0339 높게 나왔다. 이는 타 공법대비 공사비 뿐 아니라, 시공성에서도 우수하여, **2배 이상의 경제성이 우수**한 것으로 판단이 된다.

· **(마케팅 전략 수립)** 본 개발 대상의 사업환경 분석과 사업 타당성 분석을 통해 목표 시장 발굴을 위해 마케팅 전략을 수립하고자 외부 전문가에게 자문 용역을 수행하였다.

· 본 기술은 자갈궤도를 개량하는 급속시공 기술로써 차단시간내 20m/day 이상 급속으로 시공이 가능한 기술이다. 본 기술의 경제적 측면에서 기존선 소음/진동 민원개소 및 노후 자갈궤도 구사 개량에 적용함으로써 공사기간 및 공사비를 기존 개량 기술 대비 **시공기간 900일 단축, 공사비 최대 약 173억 절감**이 가능하다. (과천선 18km 개량 기준)

<개량 기술 비교 표>

구분		B2S 궤도	포장궤도	급속시공 슬래브 궤도
시공물량(1일)		5m ~ 10m	5m ~ 10m	20m
공사비(m)		약 447만원	약 434만원	약 380만원
1km 개량 시		100일 소요	100일 소요	50일 소요
과천선 18km 개량 시	공사기간	1,800일 소요	1,800일 소요	900일 소요
	공사비용	857억	781억	684억

<철도시설 중장기 개량사업 투자계획>

구분		총소요	기투자	'17	중장기 투자계획						'23 이후
					계	'18	'19	'20	'21	'22	
궤도구조 개량사업	수량(km)	204	3	1	19	2	4	4	5	4	181
	금액	6,828	92	39	416	46	92	83	105	90	6,281

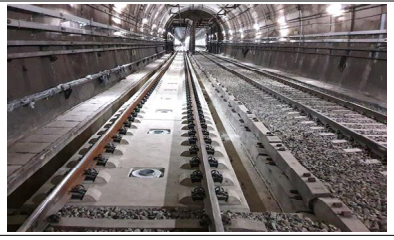


< 국내 철도 기존선 및 공사/계획 중 노선 현황>

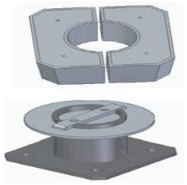
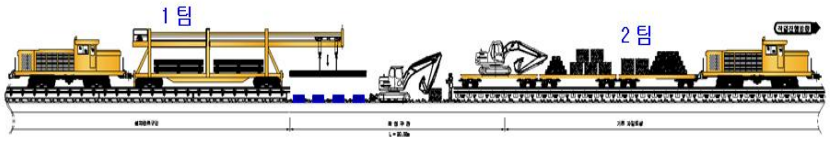
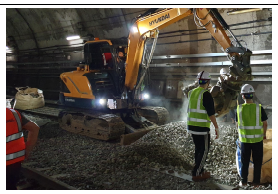
· 사전제작형 자갈궤도 급속개량 기술의 사업 타당성 분석 결과 연구개발 종료 후 3년차까지 사업가치가 467백만원 발생할 것으로 판단되며, 사업기간을 10년 이상으로 가정했을 때 기존기술 대비 원가측면에서 단위 연장당 최대 177만원 원가절감 효과가 발생할 것으로 기대되어 경제성이 있는 것으로 분석됨
· 본 개발 기술을 적용 가능한 주요 목표 비즈니스 영역으로는 '국내 기존선 개량', '국내 신설선 설계', '남북철도연결 사업', '해외 고속철도 시장 진출'로 분류할 수 있음
· 국내 시장 진출 전략으로는 다년간의 업력을 통한 시장 내 인지도를 활용하여 영업하되, 지속적인 현장 성능 테스트를 진행함으로써 기술의 우수성 및 필요성을 홍보할 필요가 있음
· 또한 수요처에서 유용하게 설계에 반영할 수 있도록 설계 기술 및 시공 기술을 정립하여 제공할 필요가 있음
· 해외 시장 진출을 위한 주요 마케팅 전략으로는 민관협력체제 구축을 통한 패키지형 인프라 수출, 국내 대기업의 해외수주 사업에 참여하여 동반진출, 마케팅 활성화, 기확보 네트워크 활용 및 확대, 관련 인증 취득 및 홍보가 있음
· 사업화 확대를 위해서는 적극적인 기술 홍보 및 설명회를 통해 KOTRA를 활용하여 아직까지 자갈 궤도가 많이 남아있는 중국, 유럽 등에 대해 적극적으로 마케팅 실시하는 것이 바람직해 보임
· 사업화 후 원활한 선로 유지관리가 될 수 있도록 수요처 대상 유지보수 교육 시행하여 요구에 유연하게 대응할 필요가 있음
· **(양산 및 사업화 계획수립)**

사전제작형 급속개량궤도에 대한 금번 실용화 연구과제를 통한 개발 성과물은 크게 3가지로 구분할 수 있으며, 이는 국내철도(지하철, 일반철도, 고속철도) 자갈도상 유지보수 갱환 공사에 적용 할 수 있는 기술로 분류할 수 있다.

<개발 전, 후 비교>

구 분	개발 전	개발 후	비고
궤도구조	자갈도상	콘크리트도상(슬래브패널)	
전경			과천선 시험선

<표> 개발 성과물

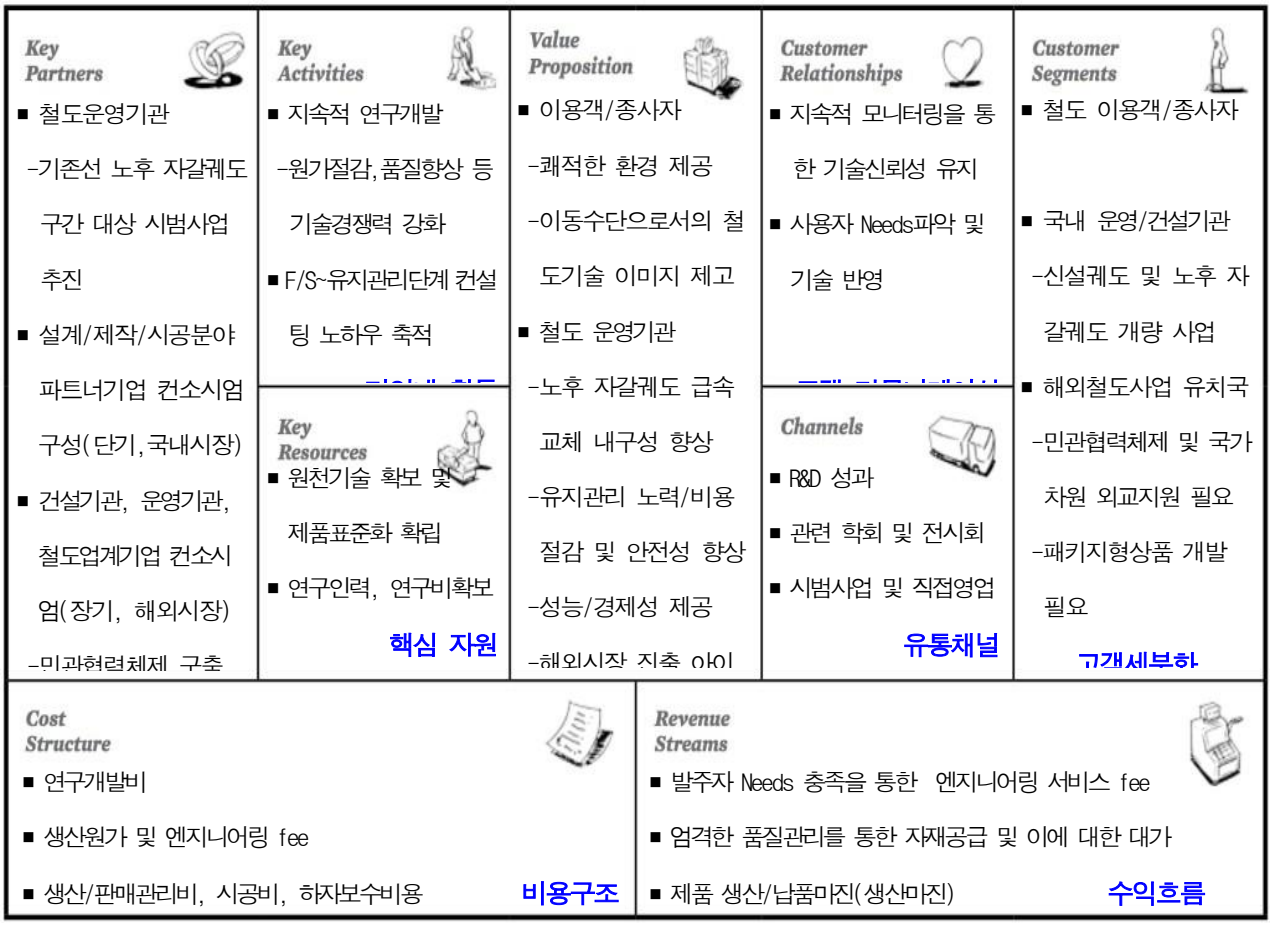
구분	part1	part2	part3	비고
① 궤도자재	 궤도받침, 높이조절씸	 전단지지블럭	 패널가이드	특허 제221275 7호
② 시공장비	STM Slab panel Track Machine 			특허 제151676 0호
③ 시공법	 자갈제거	 면갈이, 받치대 설치	 STM패널설치, 고정	특허 제221275 7호

<개량공사 구간>

운 영 처	대상선로	궤도연장 (km)	비 고
서울교통공사	1-4호선 자갈도상궤도 개량공사	복선궤도 연장 226.7km	
	분기기 개량공사	전 체	
부산교통공사	1호선 자갈도상궤도개량공사	복선궤도 연장 72km	
철도공사	과천선을 비롯한 국철구간	200km	
	기존 철도구간 중 궤도구조개량이 요구되는 구간(터널, 급곡선, 역구내 구간 등)	500km	

- 코레일의 궤도개량실적을 보면 현재까지 3년간 110억원(2km)의 예산이 소요되었으며, 향후 5년간 약 800억원 규모의 공사계획을 가지고 있음
- 서울교통공사의 궤도개량실적을 보면 현재까지 5년간 660억원(33km)의 예산이 소요되었으며, 향후 3년간 약 200억원 규모의 공사계획을 가지고 있음
- 궤도개량시장 단가는 약 40억원/km으로 예상되며, 향후 각 기간별 궤도개량 연장이 998.7km이므로 전체 공사비는 2조원 가까운 시장이 예상되어 기존선 자갈궤도 급속개량기술의 활용처가 많을 것으로 기대되며
- 또한 급속시공형 프리캐스트 플로팅 슬래브궤도 공법 방음·방진 기술의 적용으로 기존 100여개 이상의 선하역사 개량시 2,000억원 이상의 시장창출 가능

· 기술사업화 비즈니스모델(프리캐스트 플로팅 슬래브궤도&기존선 자갈궤도 급속개량궤도 기술)



· 생산 계획

- ㈜에스코알티에스 : 사전제작형 플로팅슬래브 궤도자재 중 방진장치, 사전제작형 급속개량 슬래브 궤도자재 중 궤도받침, 전단지지블럭 및 패널가이드의 제조 설비 및 생산라인을 구축하고 있으며, 이를 근거로 생산계획을 수립하였다.

사전제작형 플로팅 슬래브 궤도		(2024년) 개발 종료 후 1년	(2025년) 개발 종료 후 2년	(2026년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	3%	6%	10%
	판매량(단위 : EA)	480	800	1,600
	판매 단가(천원/m)	5,000	4,800	4,500
	국내 매출액(백만원)	2,400	3,840	7,200
해외	시장점유율(%)	-	-	-
	판매량(단위:)	-	-	-
	판매 단가(달러)	-	-	-
	해외 매출액(백만달러)	-	-	-
당사 생산 능력[1]		150EA/월	300EA/월	500EA/월

사전제작형 급속개량 슬래브 궤도		(2024년) 개발 종료 후 1년	(2025년) 개발 종료 후 2년	(2026년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	5%	10%	12%
	판매량(단위 : EA)	600	1,300	1,650
	판매 단가(천원)	4,000	3,700	3,500
	국내 매출액(백만원)	2,400	4,800	5,760
해외	시장점유율(%)	-	-	-
	판매량(단위:)	-	-	-
	판매 단가(달러)	-	-	-
	해외 매출액(백만달러)	-	-	-
당사 생산 능력[1)]		150EA/월	300EA/월	500EA/월

- 삼표레일웨이㈜ : 프리캐스트 패널 의 제조 설비 및 생산라인을 구축하고 있으며, 이를 근거로 생산계획을 수립하였다.

구분		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
국내	시장점유율(%)	5%	10%	12%
	판매량(단위: EA)	400	1,600	1,920
	판매 단가(천원)	1,700	1,700	1,700
	국내 매출액(백만원)	680	2,720	3,264
해외	시장점유율(%)	-	-	-
	판매량(단위:)	-	-	-
	판매 단가(달러)	-	-	-
	해외 출액(백만달러)	-	-	-
당사 생산 능력[1)]		200EA/월	300EA/월	500EA/월

・판매 계획

구분	구체적인 내용
판매 형태/규모	o 판매 형태 : 신설선 콘크리트 궤도 기술 적용, 기존선 노후 자갈궤도 급속개량기술 적용 및 궤도용품 판매(궤도받침, 패널 등) - 도입기 : 매출발생 및 적용확대를 위해 궤도구조성능인증 및 운행선 현장부설 실현 - 성장기 : 일반/고속선 급속개량 사업분야로의 확장 및 해외시장 진출 o 수요처 : 국가철도공단, 철도운영기관, 철도 설계사 및 건설사 - 기존 선하역사에 대한 소음/진동 개선이 필요한 국내・외 철도운영기관 - 기존선 자갈궤도 급속개량 및 신설선에 유지보수가 용이한 궤도구조가 필요한 국내・외 철도운영기관 - 국내・외 철도건설기관(기존선 개량 및 신설선 설계 시 기술 적용) - 철도역사 외 소음/진동 민원 발생 구조물 관리주체 및 운영기관 o 예상단가 : 450만원/m(소음/진동 저감 궤도) 430만원/m(기존선 개량 기준) o 개발 투입인력 및 기간 - 연구인력 및 생산공장 인력 투입 - 4~5년간 개발 및 안정화 업무 수행 예정

구분	구체적인 내용
판매영업 능력 및 자원 보유	o 초기 상용화시 기존의 주력 시장에 아이템을 적용하는 형태로 진행 예정 → 기존의 영업망 활용(㈜에스코알티에스, 삼표레일웨이㈜) o 해당 기업의 경우 제품적용을 위해 설계단계에서부터 기술지원을 하기 때문에 사업 진입에 매우 유리함 o 기존 다른 아이템의 경우에도 개발 완료 후 기존의 영업망을 활용하여 안정적으로 사업 활동을 하고 있음 o 제품 생산을 위한 설비 공장 국내 다수 보유 o 연구개발 종료 2년후 양산체계 구축 완료 예정
판매영업 계획 및 일정	o (2021~2022) 기존 운행선 철도 운행 중단 없이 시공 가능한 사전제작형 급속개량 궤도 기술 개발 - 사전제작형 급속개량 궤도시스템 기술(20m/4.0H) 정립 - 프리캐스트 궤도 시제품 제작/실험 등을 통한 궤도구조 성능 검증 - 운행중인 일반선 구간(교량/터널 각 1개소) 현장 시험부설 및 운영 (장기성능 모니터링) - 궤도구조 성능검증(국가철도공단) 진행 o (2022~2023) 현장 시험시공 및 성능 모니터링, 궤도구조 성능검증(국가철도공단) 인증획득 및 규격 제정, 기술이전, 사업화 계획 수립 o (2023) 단가절감을 위한 양산체계 구축 o (2024) 양산 시작

· 세계 철도 인프라 시장은 ’18년 470억 달러에서 연평균 3.4% 증가하여 ’25년 614억 달러에 도달할 것으로 전망됨



다. 연구 개발의 성과

(1) 특허출원

특허출원 1	
출원일자	2019.11.20
출원번호	10-2019-0149947
출원인 명칭	㈜에스코 알티에스, 한국철도공사, 한국철도기술연구원
국명	대한민국
발명의 명칭	자갈궤도의 급속개량에 적합하게 사용될 수 있는 콘크리트궤도 시공방법 및 이를 위한 콘크리트 슬래브 지지장치와 철도 부설장치
특허출원 2	
출원일자	2019.12.13
출원번호	10-2019-0166468
출원인 명칭	한국철도공사, 삼표레일웨이(주)
국명	대한민국
발명의 명칭	콘크리트 패널 시공장비
특허출원 3	
출원일자	2020.10.23
출원번호	10-2020-0138667
출원인 명칭	㈜에스코 알티에스, 한국철도공사, 한국철도기술연구원
국명	대한민국
발명의 명칭	자갈궤도의 급속개량에 적합하게 사용될 수 있는 콘크리트궤도 시공방법 및 이를 위한 콘크리트 슬래브 지지장치와 철도 부설장치

(2) 특허등록

특허등록 1	
등록일	2020.06.08
등록번호	10-1226100-0000
특허권자	㈜에스코 알티에스. 한국철도공사, 한국철도기술연구원
국명	대한민국
발명의 명칭	자갈궤도의 급속개량에 적합하게 사용될 수 있는 콘크리트 궤도 시공방법 및 이를 위한 콘크리트 슬래브 지지장치와 철도 부설장치
특허등록 2	
출원일자	2020.08.28
등록번호	10-1516760-0000
특허권자	한국철도공사, 삼표레일웨이(주)
국명	대한민국
발명의 명칭	콘크리트 패널 시공장비
특허등록 3	
등록일	2021.02.01
등록번호	10-2212757-0000
특허권자	㈜에스코 알티에스. 한국철도공사, 한국철도기술연구원
국명	대한민국
발명의 명칭	자갈궤도의 급속개량에 적합하게 사용될 수 있는 콘크리트 궤도 시공방법 및 이를 위한 콘크리트 슬래브 지지장치와 철도 부설장치

(3) 논문

1	논문명	사전제작 플로팅 궤도의 구조성능에 관한 실험연구						
	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부	게재일	등록 번호
	한국방재학회	강윤석	19	대한 민국	한국철도기술연 구원	국내 일반	2019.11. 18	2287-67 23
2	논문명	자갈궤도 급속개량을 위한 패널 이산지지형 사전제작 궤도구조의 거동에 관한 연구						
	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부	게재일	등록 번호
	한국방재학회	강윤석	20	대한 민국	한국철도기술연 구원	국내 일반	2020.10. 27	2287-67 23

(4) 시험체 제작

번호	시험체명	년도	개수	제작업체명	설치장소	이용분야
1	소음진동저감장치	2018		㈜서원	KCT	시제품 성능시험
2	높이조절장치	2018		㈜서원	KCT	시제품 성능시험
3	자갈궤도 급속개량 하부 탄성 지지받침	2019		대주 ENG	KCT	완성품 성능시험용
4	인서트 플레이트, 베어링 플레이트 커넥션 어댑터	2019		대주 ENG	삼표레일웨이, 대주 ENG	성능시험용
5	전단블럭 및 궤도받침	2020		자돌	과천선 현장	자갈궤도 급속개량궤도 설치
6	플로팅궤도용 패널 부설 전용장비	2019		㈜씨엠	영천시 금호읍 영천산단로 295	운행선상 플로팅궤도 및 자갈궤도 급속개량용 패널 부설
7	플로팅궤도용 패널	2019		삼표레일웨이(주)	제천시 봉양읍 장평로 81-1	역사 소음진동 감소용 플로팅궤도 패널

(5) 시험부설

번호	시험부설명	년도	길이	시공업체	시공장소
1	과천선 기존선 자갈궤도 급속개량 궤도시스템 시험부설	2020	100m	㈜삼표레일웨이 ㈜투트랙	과천선 인덕원 ~ 대공원 하선 금정(현) 8km545 ~ 8km645

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

(1) 성과지표 달성 목표

연차	세부 연구 목표		달성내용	달성도(%) (달성/목표)
1차 년도	급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	A-1 기존시스템 개선	- 기 개발시스템 실용화 장애요인 분석	100% (2/2)
		A-2 안전성 검증 및 설계기술 정립	- 차량-궤도-노반 인터페이스를 고려한 기술요건 도출 분석 - 궤도 주행안전성 및 승차감 검토 - 궤도구조 최적화 및 시스템 구조검토	100% (15/15)
		A-3 시공 및 유지관리기술 정립	- 기존 시공 공정 검토/분석 - 전용장비설계	100% (14/14)
		A-4 성능시험 및 현장 시험부설	- 시제품 설계 - 시제품 제작 - 시제품 성능시험(실내)	100% (20/20)
	기존선 자갈궤도 급속시공 기술	B-1 기존시스템 개선을 통한 기술정립	- 기존 기술응용 및 추가 요건 검토	100% (6/6)
		B-2 안전성 검증 및 설계기술 정립	- 궤도 주행안전성 및 승차감 검토 - 궤도-노반간 연결장치 설계 - 시스템 구조 안전성 검토	100% (17/17)
		B-3 시공 및 유지관리 기술 정립	- 운행선 시공 요건 분석	100% (6/6)
		B-4 성능시험 및 현장부설	- 시제품 설계 - 시제품 제작 - 시제품 성능시험(실내)	100% (20/20)
2차 년도	급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	A-2 안전성 검증 및 설계기술 정립	- 궤도 주행안전성 및 승차감 검증 - 궤도구조 시스템 구조 안전성 검토 - 플로팅궤도 설계지침	100% (14/14)
		A-3 시공 및 유지관리기술 정립	- 운행선 최적 시공 공정 도출 - 전용장비 제작 - 유지관리매뉴얼 및 시방서	100% (20/20)
		A-4 성능시험 및 현장 시험부설	- 시제품 설계 - 시제품 제작 - 시제품 성능시험(실내) - 현장시험부설 설계	100% (15/15)
	기존선 자갈궤도 급속시공 기술	B-2 안전성 검증 및 설계기술 정립	- 궤도 주행안전성 및 승차감 검증 - 시스템 구조 안전성 검토 - 급속개량궤도 설계지침	100% (14/14)
		B-3 시공 및 유지관리기술 정립	- 운행선 최적 시공법 정립 - 전용장비 호환성 검토 - 유지관리매뉴얼 및 시방서	100% (12/12)
		B-4 성능시험 및 현장부설	- 시제품 설계 - 시제품 제작 - 시제품 성능시험(실내) - 현장시험부설 설계	100% (21/21)
3차 년도	급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	A-3 시공 및 유지관리기술 정립	- 유지관리매뉴얼 및 시방서	100% (5/5)
		A-4 성능시험 및 현장시험부설	- 현장시험부설 - 현장시험 및 모니터링 결과 보고서	0% (0/25)
	기존선 자갈궤도 급속시공 기술	B-3 시공 및 유지관리기술 정립	- 유지관리매뉴얼 및 시방서	100% (5/5)
		B-4 성능시험 및 현장부설	- 현장시험부설 - 현장시험 및 모니터링 결과 보고서	100% (35/35)
	기술실용화	C-1 성능인증 및 실용화	- 철도시설 성능검증 - 기술가치 평가 - 마케팅 전략 수립 - 양산 및 사업화 계획수립	100% (30/30)

나. 목표 달성여부

(1) 질적 성과

○ 가중치에 대한 목표 달성치는 달성치 건수에 목표 가중치를 곱하여 산출함

· 달성치(건수) X 목표치(가중치) = 달성치(가중치)

○ 1차년도 필수 성과목표 달성 여부

· 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 질적 성과 목표를 100% 달성함

구 분			성과점검기준					가중치(%)		비고
			질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	목표치	달성치	
A.급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	A-1	기존시스템 개선	①	기 개발시스템 실용화 장애요인 분석	1건	1건	보고서	2	2	-
	A-2	안전성 검증 및 설계기술 정립	①	차량-궤도-노반 인터페이스를 고려한 기술요건 도출 분석	1건	1건	보고서	4	4	-
			②	궤도 주행안전성 및 승차감 검토	1건	1건	보고서	7	7	
			③	궤도구조 최적화 및 시스템 구조검토	1건	1건	보고서	4	4	
	A-3	시공 및 유지관리기술 정립	①	기존 시공 공정 검토/분석	1건	1건	보고서	10	10	-
			②	전용장비설계	1건	1건	설계도	4	4	
	A-4	성능시험 및 현장시험부설	①	시제품 설계	1건	1건	설계도	4	4	-
			②	시제품 제작	1건	1건	시제품	6	6	
			③	시제품 성능시험(실내)	1건	1건	시험성적서	10	10	
B.기존선 자갈궤도 급속시공 기술	B-1	기존시스템 개선을 통한 기술정립	①	기존 기술응용 및 추가 요건 검토	1건	1건	보고서	6	6	-
	B-2	안전성 검증 및 설계기술 정립	①	궤도 주행안전성 및 승차감 검토	1건	1건	보고서	7	7	-
			②	궤도-노반간 연결장치 설계	1건	1건	설계도	6	6	
			③	시스템 구조 안전성 검토	1건	1건	보고서	4	4	
	B-3	시공 및 유지관리기술 정립	①	운행선 시공 요건 분석	1건	1건	보고서	6	6	-
	B-4	성능시험 및 현장부설	①	시제품 설계	1건	1건	설계도	4	4	-
			②	시제품 제작	1건	1건	시제품	6	6	
			③	시제품 성능시험(실내)	1건	1건	시험성적서	10	10	
합 계								100	100	

○ 2차년도 필수 성과목표 달성 여부

· 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 질적 성과 목표를 100% 달성함

구 분			성과점검기준					가중치(%)		비고
			질적 성과지표		목표치	달성치	측정 방법	목표치	달성치	
A.급속시공 시전제작형 플로팅궤도 기술	A-2	안전성 검증 및 설계기술 정립	②	궤도 주행안전성 및 승차감 검증	1건	1건	보고서	5	5	-
			③	궤도구조 시스템 구조 안전성 검토	1건	1건	보고서	4	4	
			④	플로팅궤도 설계지침	1건	1건	보고서	5	5	
	A-3	시공 및 유지관리기술 정립	①	운행선 최적 시공 공정 도출	1건	1건	보고서	9	9	-
			③	전용장비 제작	1건	1건	장비제작	7	7	
			④	유지관리매뉴얼 및 시방서	1건	1건	매뉴얼 및 시방서	4	4	
	A-4	성능시험 및 현장시험부설	①	시제품 설계	1건	1건	설계도	3	3	-
			②	시제품 제작	1건	1건	시제품	5	5	
			③	시제품 성능시험(실내)	1건	1건	시험성적서	7	7	
			④	현장시험부설 설계	1건	1건	설계도	4	4	
B.기존선 자갈궤도 급속시공 기술	B-2	안전성 검증 및 설계기술 정립	①	궤도 주행안전성 및 승차감 검증	1건	1건	보고서	5	5	-
			③	시스템 구조 안전성 검토	1건	1건	보고서	4	4	
			④	급속개량궤도 설계지침	1건	1건	보고서	5	5	
	B-3	시공 및 유지관리기술 정립	①	운행선 최적 시공법 정립	1건	1건	보고서	5	5	-
			②	전용장비 호환성 검토	1건	1건	보고서	2	2	
			③	유지관리매뉴얼 및 시방서	1건	1건	매뉴얼 및 시방서	5	5	
	B-4	성능시험 및 현장부설	①	시제품 설계	1건	1건	설계도	3	3	-
			②	시제품 제작	1건	1건	시제품	5	5	
			③	시제품 성능시험(실내)	1건	1건	시험성적서	9	9	
			④	현장시험부설 설계	1건	1건	설계도	4	4	
합 계								100	100	

○ 3차년도 필수 성과목표 달성 여부

· 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 질적 성과 목표를 75% 달성함

구 분			성과점검기준					가중치(%)		비고
			질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	목표치	달성치	
A.급속시공 시전제작형 플로팅궤도 기술	A-3	시공 및 유지관리기술 정립	④	유지관리매뉴얼 및 시방서	1건	1건	매뉴얼 및 시방서	5	5	-
	A-4	성능시험 및 현장시험부설	⑤	현장시험부설	1건	0건	시공속도 20m/일	20	0	-
			⑥	현장시험 및 모니터링 결과 보고서	1건	0건	보고서	5	0	-
B.기존선 자갈궤도 급속시공 기술	B-3	시공 및 유지관리기술 정립	③	유지관리매뉴얼 및 시방서	1건	1건	매뉴얼 및 시방서	5	5	-
	B-4	성능시험 및 현장부설	⑤	현장시험부설	1건	1건	시공속도 20m/일	30	30	-
			⑥	현장시험 및 모니터링 결과 보고서	1건	1건	보고서	5	5	-
C. 기술실용화	C-1	성능인증 및 실용화	①	철도시설 성능 검증	2건	2건	설계심의 조립시험	15	15	-
			②	기술가치 평가	1건	1건	전문가 자문	5	5	-
			③	마케팅 전략 수립	1건	1건	전문가 자문	5	5	-
			④	양산 및 사업화 계획수립	1건	1건	보고서	5	5	-
합 계								100	75	

(2) 양적 성과

○ 1차년도 필수 성과목표 달성 여부

· 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 양적 성과 목표를 100% 달성함

구 분	성과점검기준					가중치(%)		비고
	양적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	목표치	달성치	
A.급속시공 시전제작형 플로팅궤도 기술	①	시제품 제작	1건	1건	시제품	20	20	-
B.기존선 자갈궤도 급속시공 기술	①	시제품 제작	1건	1건	시제품	20	20	-
합 계						40	40	

○ 2차년도 필수 성과목표 달성 여부

· 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 성실히 수행하여 양적 성과 목표를 100% 달성함

구 분	성과점검기준					가중치(%)		비고
	양적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	목표치	달성치	
A.급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	①	논문	1건	1건	게재증명서	5	5	
	②	특허출원	1건	1건	특허출원증	5	5	
	③	특허디자인	2건	2건	특허출원증	10	10	
	④	시제품제작	3건	3건	시제품	30	30	
B.기존선 자갈궤도 급속시공 기술	①	특허출원	1건	1건	특허출원증	10	10	
	②	시제품 제작	1건	1건	시제품	10	10	
합 계						70	70	

○ 3차년도 필수 성과목표 달성 여부

· 연구기간 내에 성과목표 달성을 위하여 연구를 수행하여 양적 성과 목표를 65% 달성함

· 성과 목표 중 “사전제작형 플로팅 슬래브 궤도” 시험부설 건의 경우, 본 연구 우수 개발성과인 “사전제작형 급속개량 슬래브궤도(P-FIT)”의 실용화 실증을 목적으로 당초 계획보다 부설연장(80m→100m)을 추가함에 따라, 동일한 시공공정의 플로팅 궤도에 대한 연구기간 내 시험부설이 유보된 사항임.

· 선하역사구간보다 열악하고 시공공정이 복잡한 도심지 지하구간에서 시공속도 목표(차단시간내 시공속도 20m/일)를 달성함에 따라 선하역사구간 차단시간내 시공속도도 간접적으로 검증된 것으로 간주할 수 있음

· 필수 성과 중 구매계획서의 경우 현재 철도시설 성능검증 최종단계 진행 중이며, 성능인증 직후 과천선 구간 노후자갈궤도 사업에 적용되어 실용화를 달성할 계획임

구 분	성과점검기준					가중치(%)		실적
	양적 성과지표		목표치	달성치	측정방법	목표치	달성치	
A.급속시공 사전제작형 플로팅궤도 기술	①	현장시험부설	1건	0건	시공속도 20m/일	20	0	
	②	특허등록	1건	1건	특허등록증	10	10	
B.기존선 자갈궤도 급속시공 기술	①	논문	1건	1건	게재증명서	5	5	
	②	특허등록	1건	2건	특허등록증	10	20	
	③	현장시험부설	1건	1건	시공속도 20m/일	30	30	
C. 기술실용화	①	구매계획서	1건	0건	수요처 구매계획서	25	0	
						100	65	

다. 목표 성과 미달성 사유 및 사후대책

○ 현장시험 및 모니터링 결과 보고서 미달성 사유 및 대책

- 해당 현장부설은 3차년도인 2020년 7월에 실시하여 모든 조건을 갖추었으나, 코로나-19 국가현황에 따른 국가철도공단 성능검증위원회 개최의 대면심의 일정 지연 됨
- 이에 따라 3회 현장시험 중 최종현장시험 및 성능모니터링을 2월 17일 실시하였음
- 현재 최종 취득 Data분석 및 결과보고서 작성 중이며, 평가 후 1개월 내 달성하여 최종 성과결과를 추후 제출하겠음

○ 철도시설 성능검증 미달성 사유 및 대책

- 상기 성과 미달성 사유와 동일하게 코로나-19 국가현황에 따른 국가철도공단 성능검증위원회 개최의 대면심의 일정 지연 된 사항임
- 국가철도공단의 철도시설성능검증 절차 중 최종단계만을 남겨둔 상황이며 상기 현장시험 및 모니터링 결과 달성 직후 심의신청 예정임
  (붙임 3 성과증빙서류 참조)
- 평가 후 2개월 이내 최종단계 성능검증위원회 개최 및 인증을 획득하고 결과를 추후 제출하겠음(해당비용은 참여기관 기업부담으로 진행)

○ 수요처 구매계획서 미달성 사유 및 실용화 계획

- 수요처인 한국철도공사에서 제시한 실용화 문턱 요구사항 중 국가철도공단 궤도구조 성능검증절차 인증만을 남겨두고 있는 상황임
- 평가 후 2개월 이내 최종단계 성능검증위원회 개최 및 인증을 획득 예정이며, 이를 근거로 한국철도공사에서는 2021년 당해 지하철4호선 과천선 지하 터널구간 자갈궤도 개량사업에의 적용을 계획하였으며, 이를 통해 기술사업화를 달성할 계획임

라. 관련 분야 기여도

구분	연구개발 성과	기존 국내외 기술 현황	기술의 발전 기여도
기존선 자갈궤도 급속시공 기술	◦ 기존선 자갈궤도 급속시공 기술 개발 ◦ 궤도 구성품 성능시험 및 현장 시험부설 ◦ 시공 전용장비 제작 ◦ 계측 및 모니터링 ◦ 철도시설성능검증 인증	◦ 열차 차단시간 내 자갈궤도 개량구간 5~10m ◦ B2S System은 전용장비가 있으나, 장비의 비용이 고가이며 적용하기 어려움	◦ 열차 차단시간 내에 자갈궤도 20m 개량 기술 개발 (4h/20m) ◦ 시공 전용장비 제작 구축을 통해 자갈궤도 개량 속도 확보

4. 연구개발성과의 활용 계획

가. 성과 활용계획

○ 본 연구에서 개발된 사전제작형 플로팅슬래브궤도와 노후 자갈궤도의 급속개량이 동시에 가능한 급속시공 전용장비와 기존 플로팅슬래브궤도 기술을 응용한 급속시공 궤도시스템 기술이 수요처 요구사항 (시설공단 철도성능검증 인증, 차단시간 4시간 내 20m이상 시공)을 만족하는 실용화 기술 기반을 다음 4단계를 통하여 구축하였다.

1단계('18년)	2단계('19년)	3단계('20년)	4단계('21~)
급속시공 공정 개선 기술 최적화 설계	**시작품 제작 실내 성능검증**	**시험부설 성능검증 기술이전**	**실용화/사업화 추진**
-급속시공 전용장비 상세 설계 -플로팅궤도시스템 개선 및 최적화 설계 -패널 가변몰드 설계	-급속시공 전용장비 제작 및 성능검증 -개량 궤도시스템 제작 및 실내 조립시험 -궤도구조성능검증 절차 진행	-시험부설, 현차주행시험 -설계기술, 시공기술, 매뉴얼 정립 -궤도구조성능검증 인증	-철도공사 등 운영기관 궤도구조 개량 사업 설계 반영, 사업화 추진

○ 수요처인 코레일에서는 소음진동이 심한 철도역사의 소음진동을 저감하여 철도 고객의 편의성과 유지관리 효율성을 제고하고 주요선구의 터널(교량) 및 수도권 지하구간의 궤도구조를 개량 (자갈 → 콘크리트 궤도) 하여 궤도안정성을 확보하기 위해 철도시설 중장기 개량사업 투자계획을 수립하여 연차적으로 도상개량 사업이 계속하여 추진중에 있다.

표. 철도시설 중장기 개량사업 투자계획_출처:코레일 시설기술단 (단위: 억원)

구 분		총 소요	기투자	'17	중장기 투자계획						'23이후
					계	'18	'19	'20	'21	'22	
궤도구조 개량 사업	수량 (km)	204	3	1	19	2	4	4	5	4	181
	금액	6,828	92	39	416	46	92	83	105	90	6,281

○ 철도시설 중장기 개량사업을 추진함에 있어 기존 기술의 시간적인 제약 및 고가의 시공비로 사업추진에 어려움을 겪고 있는 실정으로, 본 기술 적용 시 공사기간 단축 및 비용절감이 가능할 것으로 예상되어 코레일에서는 구매의향서를 제출, 연구개발 성공 시 즉시 개량사업 설계에 반영하여 사업화를 추진할 예정이다. 또한, 수요처에서 유용하게 설계 반영할 수 있도록 설계기술, 시공기술을 정립하여 제공할 계획이며, 사업화 후 원활한 선로유지관리가 될 수 있도록 수요처 대상 유지보수 교육 등을 시행하여 요구에 유연하게 대응하고자 한다.

○ 향후 추가연구를 통해 기존선 급속개량 적용범위를 일반철도, 고속철도로 확대적용하고, 프랑스 SNCF 공동연구를 통해 유럽 고속철도 시장에 까지 진출을 목표로 하였다.



나. 기대효과

(1) 기술적 측면

○ 차단시간 내 20m/day 이상 급속시공 가능한 기술로 우수한 시공성 확보와 수요처 요구사항 만족으로 실용화 문턱을 해소하고, 열차 운행선에서 교통 지연 없이 자갈궤도를 개량하는 급속시공 기술을 확보함으로써 국내 궤도 분야 기술 경쟁력을 세계적인 수준으로 향상할 수 있다.

○ 국가 R&D사업을 통해 개발된 '급속시공형 사전제작형 슬래브궤도 시스템' 설계 및 시공 기술이전, 공동개발을 통한 기술개발 성공 및 기술사업화를 도모할 수 있다.

○ 궤도분야의 우수한 전문 인력을 양성함으로써 궤도 시공 및 설계분야 기술 수준을 한 단계 향상시킬 수 있다.

(2) 경제적・산업적 측면

○ 기존선 소음/진동 민원개소 및 노후 자갈궤도 구간 개량에 적용함으로써 공사기간 및 공사비 절감이 가능하다.

・기존 개량기술 대비 시공기간 900일 단축, 공사비 최대 약 173억 절감 가능(과천선 18km 개량 기준)

표. 개량기술 비교표

구분		B2S 궤도	포장궤도	급속시공 슬래브궤도
시공물량(1일)		- 5m~10m	- 5m~10m	- 20m
공사비(m)		- **약 477 만원**	- **약 434 만원**	- **약 380 만원**
1km 개량 시		- 100일 소요	- 100일 소요	- 50일 소요
과천선 18km 개량 시	공사기간	- 1,800일 소요	- 1,800일 소요	- 900일 소요
	공사비용	- **857억**	- **781억**	- **684억**

○ 궤도 개량 사업 시장을 선점함으로써 개발기술 실용화를 통해 중소기업 신규 수익 및 고용 창출 가능함과 동시에 해외 시장 진출이 가능하다.

・개발완료 후 향후 4년간 사업화 추진으로 신규 매출 242억, 고용창출 24명 예상

※ 21년은 사업화 초기 단계로 실용화를 추진하고 22년부터 사업 확대 추진하여 시장 점유율 향상

표. 중장기 실용화 계획

구 분	실용화 년도			
	2021년	2022년	2023년	2024년
투자계획(코레일)	105	90	120	115
판매계획	30	60	72	80
고용 창출(명)	3	6	7	8

○ 급속시공 슬래브궤도 연구의 개발 및 개량사업을 포함한 모든 사회적 비용과 유지보수절감편익, 통행시간 감소편익, 환경비용 감소편익 등 모든 사회적 편익을 비교 분석을 시행하였다.

○ 교통시설 투자평가지침 (국토교통부, 2017)에 따라 분석기간, 철도의 사회적 할인율 5.5%와 분석기간 40년을 기준으로 산정하였다.

○ 철도부문 사업의 예비타당성조사 운영비 추정 개정안(KDI 공공투자관리센터, 2015)에 따라 경제성 분석을 위한 유지관리비, 일반관리비, 전력비, 잔존가치 등을 산정하였다.

표. 초기 1년 시점 총 비용 및 편익 (단위:백만원)

총 비 용 (C)				총 편 익 (B)			
구 분	내 역	단 가	비용산정	구 분	내 역	단 가	비용산정
실용화연구비	1식	2,400	2,400	유지관리비 절감편익(년)	18km	499	8,984
과천선 개량 공사비	18km	4,380	78,840	일반관리비 절감편익(년)	유지관리비의 13%	499	65
유지관리비(년)	18km	50	898	속도향상편익	18km	27	482
일반관리비(년)	유지관리비의 13%	50	6	환경비용편익	18km	40	720
합 계			82,145	합계			10,251

○ 부설후 13년 후부터는 급속시공 슬래브궤도가 투자비용 대비 편익부분에서 1.044로 경제적효과가 전환되며, 철도의 분석기간인 40년 기준으로는 1.718로 매우 경제적으로 산정된다.

○ 기존선 자갈궤도 급속개량 기술의 원가 비교분석 결과는 다음과 같다.

구분	B2S 궤도	포장궤도	급속시공 슬래브궤도
부설전경			
궤도구조	- 공장에서 미리 제작된 콘크리트 슬래브 패널	- 프리팩콘크리트방식 현장타설 콘크리트도상궤도	- 공장에서 미리 제작된 콘크리트 슬래브 패널
시공방법	- 전용장비 활용	- 전용장비 활용	- 전용장비 제작 및 활용
공 법	- 운행선 전용시공법(작키 가받침) : 인력	- 5m~10m	- **20m 이상**
시공물량 (3.5H 이하)	- 5m~10m	- 5m~10m	- **20m 이상**
초기공사비	- 585 만원/m	- 420 만원/m	- **418 만원/m**
유지관리비 (1년기준)	- 1.9 만원/m	- 1.9 만원/m	- **2.0 만원/ m**
교체비용 (1년기준)	- 1.26 만원/m	- 1.26 만원/m	- **1.32 만원 / m**
LCC비용 (10년기준)	- 617 만원 / m	- 452 만원 / m	- **451 만원 / m**
원가절감	-	- 165 만원/m 절감	- **166 만원/m 절감**

○ 초기공사비, 유지관리비, 교체비용 등을 포함하여 10년 사용기준으로 분석결과 현재 사용되고 있는 기존기술 대비 원가측면에서 단위연장당 최대 166만원 원가절감 효과가 발생할 것으로 기대된다.

(3) 사회적 측면

○ 기존선 급속시공 기술 개발로 신속한 궤도개량 및 유지보수를 통한 양호한 궤도상태 관리가 가능하며, 철도차량 운행의 주행안전성 및 승차감 확보로 철도 이용 고객만족도 향상이 가능하다.

○ 일반·도시철도 등 철도 운영기관 기술적용을 통한 철도 시설물 관리에 대한 대국민 신뢰도의 향상이 기대된다.

다. 선진기술수준과의 기술격차

○ 본 연구를 통해 개발된 '사전제작형 급속개량 궤도 기술(P-FIT)'은 운행선상 자갈궤도 급속개량 분야에서 현재 세계 최고수준의 기술로서, 철도 지하구간 미세먼지 저감을 통해 한국판 뉴딜정책을 실현한 우수한 기술이다.

· 철도 선직국(유럽, 일본)에서도 기존선 자갈궤도를 콘크리트 궤도로 개량하는 기술에 대한 연구가 진행중이나 현재 상용화 중인 개발기술은 개량구간 열차운행 중단없이 적용할 수 있는 기술은 없는 실정이다.

· 따라서 내수시장 뿐만 아니라 일본, 유럽과 같은 다른 국가에 제품 및 기술을 판매가 가능할 것으로 판단된다.



※ 2020년 글로벌코리아 박람회 한국철도공사CEO 발표자료 발췌 (2020.12.09.)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 철도기술연구 사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시국토교통부에서 시행한 철도기술연구 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.