

17RTRP-
B072165
-05

보안 과제(), 일반 과제(o) / 공개(o), 비공개()발간등록번호(11-B551201-000117-01)

철도기술연구개발사업 제5차 연도 최종보고서

R&D /17RTRP-B072165-05

급구배 추진시스템 핵심기술 개발 최종보고서

2019. 2.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 동부엔지니어링
공동연구기관 / 빌드캠
공동연구기관 / 에코마이스터
공동연구기관 / 우진산전

급구배
추진시스템
핵심기술
개발
최종보고서

2018

국
토
교
통
부

국토교통과학기술진흥원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'급구배 추진시스템 핵심기술 개발'(연구개발 기간 : 2013. 12. 19 ~ 2018. 12. 18) 과제의 최종보고서 15부를 제출합니다.

2019. 2.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원 (대표자) 나 희 승 (인)
공동연구기관명 : (주)동부엔지니어링 (대표자) 노 재 화 (인)
빌드켄(주) (대표자) 하 상 욱 (인)
(주)에코마이스터 (대표자) 오 상 윤 (인)
(주)우진산전 (대표자) 김 상 용 (인)

주관연구기관책임자: 서 승 일(한국철도기술연구원)

공동연구기관책임자: 이 근 배(동부엔지니어링)

하 상 욱(빌드켄)

유 기 권(에코마이스터)

김 찬 수(우진산전)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제37조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	17RTRT-B072165-05	해당 단계 연구 기간	5차년도	단계구분	5차년도/5년
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	철도기술연구개발 사업			
연구과제명	대과제명	(연구단)급곡선/급구배 차량시스템 기술개발			
	세부과제명	급구배 추진시스템 핵심기술 개발			
연구책임자	서 승 일	해당단계 참여연구원 수	총:48명 내부:10명 외부:38명	해당단계 연구비	정부:605,000천원 민간:403,334천원 정부 외: 천원 상대국: 천원 계:1,008,334천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총:83명 내부:20명 외부:63명	총 연구비	정부:5,318,500천원 민간:3,145,667천원 정부 외: 천원 상대국: 천원 계:8,464,167천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국철도기술연구원 차세대철도차량본부			참여기업명 동부엔지니어링, 빌드캠, 에코마이스터, 우진산전	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반
-------------------	----

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	5	15	1								

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약	보고서 면수 140
----	------------

- 급구배(180% 이상), 급곡선(R10m)의 도로위에 설치된 매립형 궤도에서 운행 가능한 산악철도의 주행추진 장치와 궤도시스템 개발
- 급구배 추진시스템 경량구조체 상세설계
- 급구배 추진시스템 시제품 개발 완료
 - 대차시스템, 탄성피니언, 독립구동 차륜/차축, 밴드제동장치, 감속구동장치, 탄성재 및 충전재, 프리캐스트 콘크리트 궤도 패널, Rack 궤도 시제품 제작 및 성능 검증
 - 집전장치 및 분기기 히팅 장치 시제품 제작 및 성능 검증
- 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 소규모 시험궤도(40m, 10R, 100%) 제작
- 급구배 추진시스템 시험차량 제작 및 시험선로 주행 시험
 - 세계최고 급곡선 10R, 급구배 180% 운행 급구배 추진시스템 및 시험차량 제작
 - 세계 최초 무가선 운행 급구배 추진시스템 개발 및 도로 겸용 매립형 궤도시스템 성능 검증
- 산악 벽지형 궤도 기술 기준(안) 작성
 - 급구배 추진시스템 노반 및 차량 설계 기준 분석
- 기타 성과
 - 2016년 철도10대 기술 선정
 - 산업통상자원부 신기술Net 인증(제1039호, 2016.12.21.)
 - 국토교통부 교통신기술 지정(제45호, 2018. 8. 2.)

요약문

연구의 목적 및 내용	<p>[연구개발 목적]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 급구배 추진시스템을 통한 산악 관광지 대중교통수단, 산악벽지 거주 주민들을 위한 교통기본권, 대도시 고지대 교통복지 혜택 등 제공 ○ 친환경 대중교통수단 운영을 통한 자연 환경 보전 <p>[연구개발 목표]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 급구배(100% 이상)에서 운행 가능한 산악철도의 추진 장치와 산악 지역에 적합한 경량 구조 차체 개발 ○ 산악Rack & Pinion 궤도 제작, 소규모 시험 궤도 제작을 통한 급구배 산악철도 핵심기술개발 개발 <p>[연구개발 내용]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 급구배 추진시스템 개념설계안 도출 ○ 급구배 추진시스템 상세설계 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진 대차시스템 및 주요 부품 / 경량구조체 / 궤도시스템 ○ 급구배 추진시스템 시제품 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 대차시스템 및 궤도시스템 ○ 급구배 추진시스템 성능 시험 및 검증 ○ 급구배 추진시스템 노반설계 기준분석 및 인허가 사항 검토 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 세계 최고 성능(급구배 180%, 급곡선 R10m)의 급구배 추진시스템 핵심 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 대차시스템, 탄성피니언, 독립구동 차륜/차축, 밴드제동장치, 감속구동장치, 탄성재 및 충전재, 프리캐스트 콘크리트 궤도 패널, Rack 궤도 시제품 제작 및 성능 검증 (공인기관 인증서 발급 8건) - 집전장치 및 분기기 히팅 장치 시제품 제작 및 성능 검증 ○ 소규모 시험궤도(40m, 10R, 100%) 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용한 급곡선, 급구배 시험 궤도 제작 ○ 급구배 추진시스템 시험차량 제작 및 시험선로 주행 시험 <ul style="list-style-type: none"> - 세계최고 급곡선 10R, 급구배 180% 운행 급구배 추진시스템 및 시험차량 제작 - 세계 최초 무가선 운행 급구배 추진시스템 개발 - 도로 겸용 매립형 궤도시스템 성능 검증 ○ 산악 벽지형 궤도 기술 기준(안) 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진시스템 노반 및 차량 설계 기준 분석 ○ 궤도운송법 개정 ‘산악벽지형 궤도’ 신설 ○ 국정운영계획 정책 반영 ○ 2016년 철도10대 기술 선정 ○ Net 신기술(제1039호), 통신신기술(제45호) 지정 ○ 기업 기술 이전 4건 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산악지역 지자체에서 운영 계획인 산악철도에 활용 <ul style="list-style-type: none"> - 관광 및 교통용으로 산악철도 활용 - 기존 교통수단으로 접근이 어려운 산악지역에 대한 접근성 문제를 해결 - 대중교통 서비스를 제공하여 장애인, 노약자와 같은 교통약자들도 산악 관광 가능 - 산악벽지 주민들에게 교통이 두절되는 동절기 교통 수단으로 활용 - 국내 산악철도 시장은 7,783억원으로 예상 ○ 해외 시장 진출 <ul style="list-style-type: none"> - 신규 산악철도 차량시장(1,064억원/년, 세계 38개 주요 산악철도 연장 1,031 km, 평균 연장 30.3 km) 진출 - 기타 시스템 및 유지보수 시장 진출 (기존 산악철도시스템 시장 7,066억원/년) 				
국문핵심어	급구배	툽니바퀴 궤도	추진	급곡선	주행시험
영문핵심어	Steep Gradient	Rack&Pinion	Traction	Sharp Curve	Running Test

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구개발 목적	1
나. 연구개발의 필요성	2
다. 연구개발의 범위	6
2. 국내외 기술 개발 현황	9
가. 해외 기술개발 현황	9
나. 국내 기술개발 현황	11
3. 연구 수행 내용 및 성과	13
가. 급구배 추진시스템의 시스템엔지니어링 기술 개발	13
나. 급구배 추진 대차시스템 설계	21
다. 급구배 궤도시스템 설계	37
라. 급구배 추진 대차시스템 제작	49
마. 급구배 궤도시스템 제작	59
바. 급구배 추진시스템 성능 시험 및 평가	73
사. 소규모 시험 궤도 제작 및 주행 시험	100
아. 급구배 추진시스템 성능 보완	107
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	122
가. 목표 달성도	122
나. 관련분야 기여도	127
5. 연구개발성과의 활용 계획	130
가. 국내 산악철도 활용 계획	130
나. 해외 산악철도 활용 계획	132
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	135
가. 해외 산악철도 운영 현황	135
7. 기타 사항	138
붙임. 참고 문헌	140

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

(1) 연구개발 추진 목적

(가) 급구배 추진시스템을 통한 산악 관광지 대중교통수단 제공

- 산악지역에 형성된 관광지에 행락철에 관광객이 몰리고 있어, 이동 편의성 제공을 위해 대중교통시스템을 구축함
- 산악관광지 급구배, 급곡선 도로에서 사고가 빈발하고 있어 안전한 교통수단을 제공함
- 동절기에도 산악 지역 도로에 전천후 대중교통수단을 제공하여 관광객을 확대하고 지역 경제 활성화에 기여함



<자연공원 관광객>



<산악관광지 주차장>

(나) 산악벽지 거주 주민들을 위한 교통기본권 제공

- 동절기 도로가 폐쇄되어 교통이 두절되는 산악벽지 거주 주민들에게 교통 기본권을 제공함



<급구배 급곡선 산악지역 도로>



<겨울철 결빙된 산악 도로>



<폐쇄되는 도로>

(다) 친환경 대중교통수단 제공

- 산악지역 도로에서 온실가스 발생 주범인 자동차의 운행 증가 억제
- 산악지역 도로에서 로드킬로 인한 야생동물 보호

(라) 대도시 고지대 교통 복지 제공

- 급구배와 급곡선이 심하고, 겨울철 대중교통 운행에 지장을 받는 교통 사가지대인 대도시 고지대 지역 주민에게 교통 편의 제공



<대도시 고지대>



<늘어가는 산악도로 로드킬>

(2). 연구개발 최종목표

(가) 최종목표

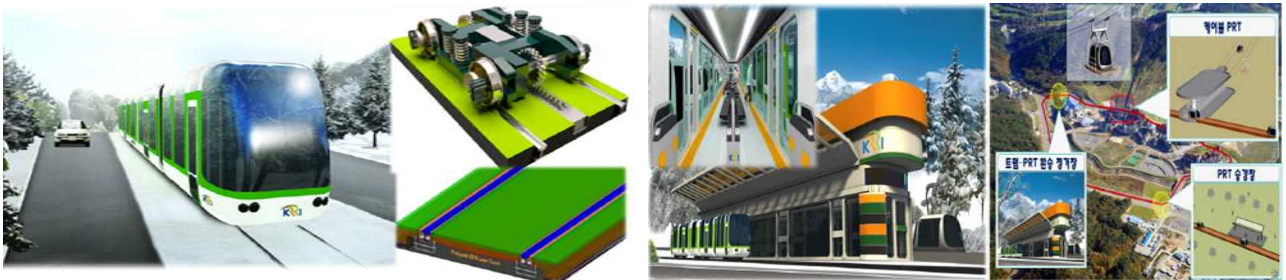
- 국내외 산악 지역의 교통수단제공, 대도시 고지대 교통 복지 향상 및 스포츠 행사나 이벤트 기간에 투입이 가능한 산악 철도 기술 개발, 급구배(100% 이상)에서 운행이 가능한 산악 철도의 추진 장치와 산악 지역에 적합한 경량 구조 차체 그리고, 산악 Rack & Pinion 궤도 제작, 소규모 시험 궤도 제작을 통한 급구배 산악철도 핵심기술 개발
 - 추진기어방식 : Strub 또는 Abt
 - 100% 등판시 발생하는 추진견인력을 견딜 수 있는 추진장치
 - 궤도사양 : 매립형 탄성체 무진동 패널형
 - 국내 산악지역 도로 현황을 고려하여 구배 180%에서 추진 성능 확인

나. 연구개발의 필요성

(1) 급구배 추진시스템의 필요성

(가) 산악 관광 수요 증가

- 국토의 70%가 산악지대인 한국은 산악지역의 접근성 확대와 산악자원 활용을 위한 교통물류 인프라 구축이 시급히 요구됨



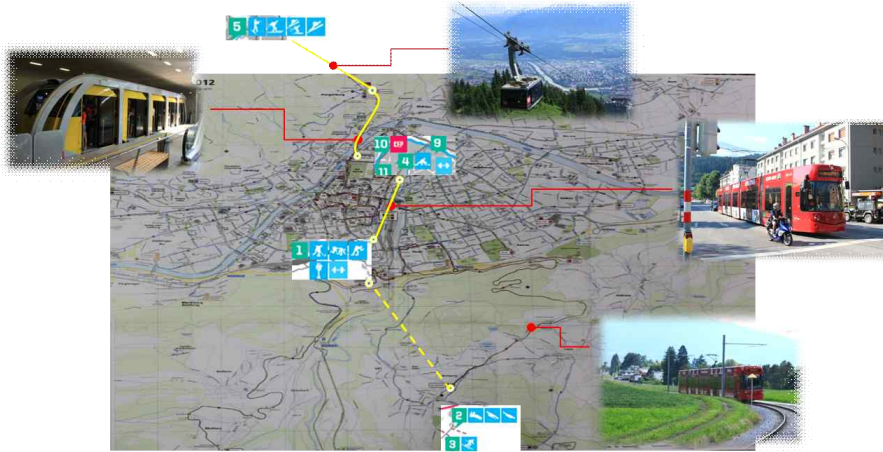
<급구배 추진시스템 개념설계도>

- 산악지역에서 교통의 단절구간(missing link) 연계가 가능한 교통대안 마련 필요
 - 국가 철도망 구축계획(2006년)상의 추가검토 대상사업 중 용평~구절리 연계노선을 기반으로 하여 정선선과 원주~강릉 지역 간 철도와의 연계 계획이 제시됨(강원비전 21계획)
 - 원주~강릉 철도건설 사업 구간 중 사업 추진에 따른 철도노선과의 이격으로 사업시행에

따른 효과가 미치지 못하는 구간이 있어 연계노선을 구축하여 원주~강릉 철도 주변지역으로 파급효과를 증대하며 지역 균형발전을 도모할 필요가 있음

○ 동계 관광지 교통인프라 구축 요구

- 오스트리아 인스부르크의 경우 도심지를 로프웨이, 강삭철도(Funicular)등으로 주요 시설을 연계하는 교통망을 구축하여 성공적으로 국제적인 행사를 치룬 바 있음

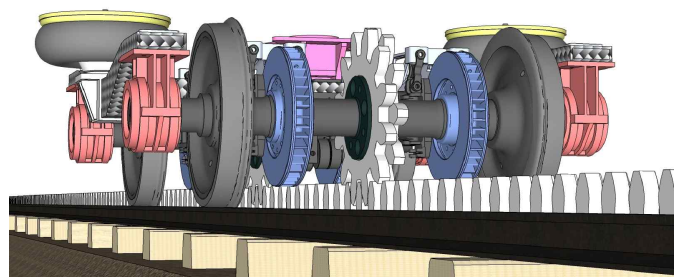
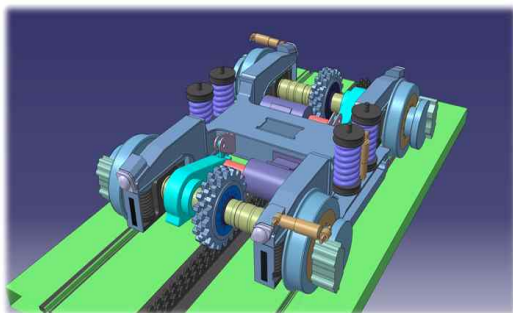


<오스트리아 인스부르크 연계 교통망 구축 사례>

(2) 연구개발의 중요성

(가) 기술적 중요성

- 국토의 70%가 산악지대인 한국은 산악지역의 접근성 확대와 산악자원 활용을 목표로 이에 필요한 교통 물류 인프라 구축이 시급히 요구됨
- 산악 국립공원 국토 활용성 증대 및 고지대 접근성 확대 수요증대
- 선형전동기 기술은 자기부상철도, 물류이송, 놀이기구 개발등에도 활용 가능하나시설 유지비와 막대한 건설비로 산악지역 작용에 어려움이 있음
- 급구배 추진에 가장 효과적인 랙 피니언(Rack & pinion) 기술은 노반 공사비용 및 터널 건축 비용을 획기적으로 절감할 수 있는 산악지역 운송 교통임
- 산악철도 급구배 추진 대차기술 확보를 통한 관련 산업 활성화 및 관련 요소기술 육성기반조성



<산악철도 구동장치를 포함하는 시스템 구성도>

- 급구배 경량화 차체 기술은 급구배 이용객에서 수려한 전경을 제공



<급구배 경량구조체 차체 적용사례>



<철도차량 경량 구조체 차체>

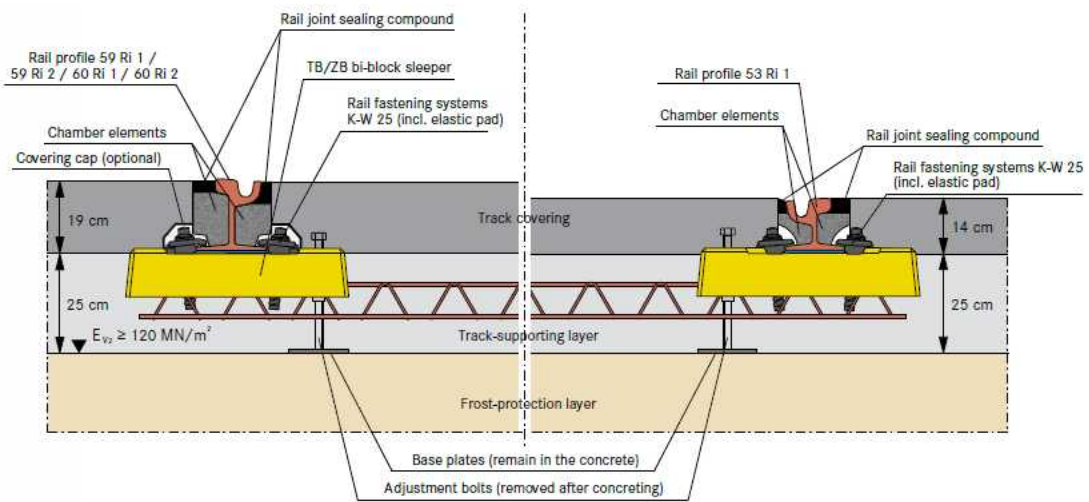
- 급구배 철도 인프라 기술개발 및 운영유지보수개발을 통한 관련 기술력 축적



<해외 강삭철도 점검>



<매립형 Rack 궤도>



<Rheda City 트랙 (Rail One GmbH Website) 부설 시스템도>

(나) 사회 문화적 중요성

- 오스트리아 인스부르크는 알프스 산악지형을 활용하여 산악철도를 건설하고 교통문제 해결가능
- 정시성, 안전성 등의 장점에 따른 이용객 만족도 향상 및 교통약자를 포함하는 산악 이용객 증가
- 전세계인을 대상으로 한국형 친환경 산악철도 기술력 확보 및 해외진출 기반구축
- 대중교통망 구축에 따른 산악 스포츠 지역의 방문객의 지속적 증가

(다) 경제 산업적 중요성

- 급구배 철도 관련부품 기업 및 생산 기술 확보 해외진출 기반조성
 - 급구배 철도 제작 및 생산 관련 강소형 기업육성 기반 구축
 - 대한민국 기술 이미지의 향상 및 브랜드 파워 증가 산악철도 시스템이 도입 시 총 생산 유발효과 7,425억원 발생 예상
 - 국내 산악 및 스포츠 연계 활성화 사업과 연동 추진하여 국내 관련 산업 진흥
 - 국내 주요 산악지역의 차량위주 교통수요를 처리함으로써 만성적인 교통체증과 환경적인 문제점을 노출하고 있음. 접근성 불편 문제해소와 교통약자의 통행수요 흡수 등을 통한 산악지역 활성화 정책과 더불어 지역개발 사업과 효과적으로 연계 추진 가능
 - 급구배 철도 적용 가능한 국내 주요 산악 철도적용 가능지역은 약 12개소로 주요 지점을 도시와 직접적으로 연계 가능함에 따라 환승의 불편이 없이 이용할 수 있도록 하여 교통약자를 대상으로 대폭적인 교통수요 창출이 가능할 것으로 기대됨
 - 또한 급구배 철도의 경량 차체구조가 구조가 미려한 산악지역 풍경을 제공할 수 있도록 하여 철도이용객 증대 도모 (예: 스위스 융프라우 산악철도)
 - 대중교통망 구축에 따른 산악 지역방문객의 지속적 증가
 - 백두대간협곡열차(V-train)운행 사례를 통한 산악철도의 경제적 잠재력 예측
 - 급구배 철도가 아닌 단순협곡운행 차량임에도 많은 교통수요 기대
 - ※ 산악철도일 경우 보다 수려한 경관제공이 가능
 - 협곡 전용열차 급구배 산악철도 기술 부재에 따른 제한적 운영
 - 산악철도는 승객에게 차를 타고 가거나 평소처럼 여행하면서는 절대 맛볼 수 없는 멋진 풍경 제공가능
 - 분천과 양원, 승부, 철암 구간(27.7km)을 하루에 3차례 왕복하는 관광 전용 열차
- 대도시 고지대 교통 복지 제공



<백두대간협곡열차(V-train) 2013.3.26. (자료 : 봉화=연합뉴스)>

다. 연구개발의 범위

(1) 연구개발의 단계

(가) 연차별 연구개발 단계

- 본 과제는 급구배 추진시스템의 성능 및 타당성을 증명하기 위하여 실험실 규모의 핵심 요소 간의 시스템 인터페이스를 검증하는 단계임
- 특히 급구배 추진의 핵심 기술인 Rack & Pinion 장치의 사양과 성능을 실험실 수준에서 예측하고 이를 근거로 시제품 제작에 반영하여야 하는 단계임
- 경량구조 차체 구조체 개발도 역시 최종운영시스템과의 환경차이를 고려한 실험실 수준의 연구가 진행될 예정임
- 궤도시스템 분야는 급구배 추진시스템의 실험실규모의 연구결과와 기술적 상호호환을 검토한 후 시공기술 및 시제품 제작 관련된 실험실 수준의 연구가 진행되고 이를 토대로 전체 완성 시제품을 만들어 소규모 시험궤도에서 신뢰성기반 성능시험이 수행될 예정임
- 급구배 추진시스템에 대한 연구는 철도기술연구원에서는 산악철도에 대한 해외기초자료 조사와 구동 축소모형제작 소형기어 성능시험수준의 기초기획연구가 진행되었음
- 상기의 연구는 보다 실질적인 체계로 추진될 예정인데 실제 유사한 환경에서 산악철도 운영 실험이 가능하며 전체적인 개념설계 수준의 시스템 구성이 1차년도에 완성된 후 산악철도 및 궤도인프라 상세설계 및 시제품 완성을 위한 연구가 2차년도와 3차년도에 걸쳐서 수행될 예정임
- 이후 4차년도에는 대차 추진시스템 주행안전성 및 차체 하중시험과 궤도 내구성시험을 통하여 시스템 단위별 실용화 기술 확보를 목표로 하고 있음

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	<input type="checkbox"/>	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	<input type="checkbox"/>	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	<input type="checkbox"/>	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	<input type="checkbox"/>	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	<input type="checkbox"/>	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	<input checked="" type="checkbox"/>	TRL 6	유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	<input type="checkbox"/>	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	<input type="checkbox"/>	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	<input type="checkbox"/>	TRL 9	현장적용/사업화 단계

(2) 연구개발의 범위

(가) 연차별 연구개발 내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	<input type="checkbox"/> 급구배 추진시스템 개념설계안 도출 <input type="checkbox"/> 급구배 추진 대차시스템 개념설계	<input type="checkbox"/> 급구배 추진시스템의 시스템엔지니어링 기술 개발 - 급구배 추진시스템 요구조건 분석 - 급구배 추진시스템 기본 사양 결정

	<ul style="list-style-type: none"> - 급구배 운행 경량구조체 개념설계 - 급구배 궤도시스템 개념설계 	<ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진시스템 구성품 결정 - 급구배 추진시스템 신뢰성 기반 개념설계 - 급구배 추진 대차프레임 초기 강도해석 및 평가 - 급구배 운행 경량구조체 초기 강도해석 및 평가 - 궤도/대차 호환성 검토 □ 급구배 추진 대차시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진 Rack& Pinion 개념설계 - 급구배 추진 대차 개념설계 □ 급구배 운행 경량구조체 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 운행 경량구조체 개념설계 □ 급구배 추진 궤도시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진시스템 운행 노선 조사 및 환경 분석 - 급구배 궤도시스템 개념설계 - 급구배 궤도시스템 탄성충진재 요구조건 분석
2차년도	<ul style="list-style-type: none"> □ 급구배 추진시스템 상세설계안 도출 및 주요부품 시제품 제작 - 급구배 추진 대차시스템 상세설계 및 주요부품 시제품 제작 - 급구배 운행 경량구조체 상세설계 - 급구배 궤도시스템 상세설계 및 충진재 시제품 개발 	<ul style="list-style-type: none"> □ 급구배 추진시스템의 시스템엔지니어링 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진시스템 상세 사양 결정 - 급구배 추진시스템 신뢰성 기반 상세설계 - 급구배 추진 대차프레임 상세 강도해석 및 평가 - 급구배 운행 경량구조체 상세 강도해석 및 평가 - 급구배 궤도시스템 구조해석 및 평가 - 급구배 추진시스템 동특성 해석 및 평가 - 급구배 추진시스템 핵심 부품 호환성 검토 □ 급구배 추진 대차시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진 Rack& Pinion 상세설계 - Rack& Pinion 시제품 제작 - 급구배 추진 대차 상세설계 □ 급구배 운행 경량구조체 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 운행 경량구조체 상세설계 □ 급구배 추진 궤도시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진시스템 운행 노선 타당성 검토 및 분석 - 급구배 궤도시스템 상세설계 - 급구배 궤도시스템 탄성충진재 및 베딩재 개발
3차년도	<ul style="list-style-type: none"> □ 급구배 추진시스템 시제품 제작 - 급구배 추진 대차시스템 시제품 제작 - 급구배 궤도시스템 시제품 제작 	<ul style="list-style-type: none"> □ 급구배 추진시스템 성능시험 및 평가 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진 대차프레임 하중시험 및 평가 - 급구배 궤도시스템 하중시험 및 평가 - 소규모 급구배 시험 선로 상세 설계 수정보완 - 급구배 추진시스템 핵심 부품(전동기 및 추진제어 장치, Rack& Pinion 시제품) 호환성 시험 및 평가 - 급구배 추진 대차시스템 동특성 시험 및 평가 □ 급구배 추진 대차시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진 대차프레임 제작(1set) - 급구배 추진 대차시스템 시제품(1set) 완성 □ 급구배 추진 궤도시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 궤도시스템 탄성충진재/베딩재 완성 시제품 제작 - 급구배 궤도시스템 시제품(1set) 완성
4차년도	<ul style="list-style-type: none"> □ 급구배 추진 요소기술 성능검토 및 설계 보완 □ 급구배 기어방식 추진체 곡선부 인터페이스 설계 □ 소규모 시험궤도(10R) 제작 □ 급구배 추진시스템 노반설계 기준 분석 및 인허가 사항 검토 	<ul style="list-style-type: none"> □ 급구배 추진 요소기술 성능검토 및 설계 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 대차시스템 상세 설계 수정 보완 - 곡선부 차량간 연결장치 설계 - 동절기 급구배 추진 급전장치 설계 □ 급구배 기어방식 추진체 곡선부 인터페이스 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 대차 Pinion과 Rack의 곡선부(10R) 인터페이스 시험 및 평가 □ 소규모 시험궤도(10R) 제작 <ul style="list-style-type: none"> - R=10급 곡선부 상세 설계 - 소규모 곡선 시험 궤도 제작 및 거동 계측 - 탄성충진재 성능 향상 - 소규모 급구배 시험선로상 급구배 추진시스템 조합 구동 시험실시 □ 급구배 추진시스템 노반 표준(안) 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 급구배 추진시스템 노반설계 기준분석 - 급구배 추진시스템 인허가 사항 검토 - 급구배 추진시스템 홍보방안
5차년도	□ 급구배 추진 시스템 성능보완	□ 급구배 추진 시스템 성능보완

	<input type="checkbox"/> 급구배 추진시스템 노반 표준(안) 수정 보완	<ul style="list-style-type: none"> - 대차/궤도 인터페이스 성능 보완 - 대차 시스템 설계보완 <input type="checkbox"/> 급구배 추진시스템 노반 표준(안) 수정 보완 - 급구배 추진시스템 노반 표준 기술 분석 보완 - 급구배 추진시스템 노반 표준안 보완
--	---	--

2. 국내외 기술 개발 현황

가. 해외 기술개발 현황

(1) 해외 산악철도 추진 기술 현황

(가) Rack & Pinion 기술

<[Rack & Pinion 추진장치 주요 사양 비교]>

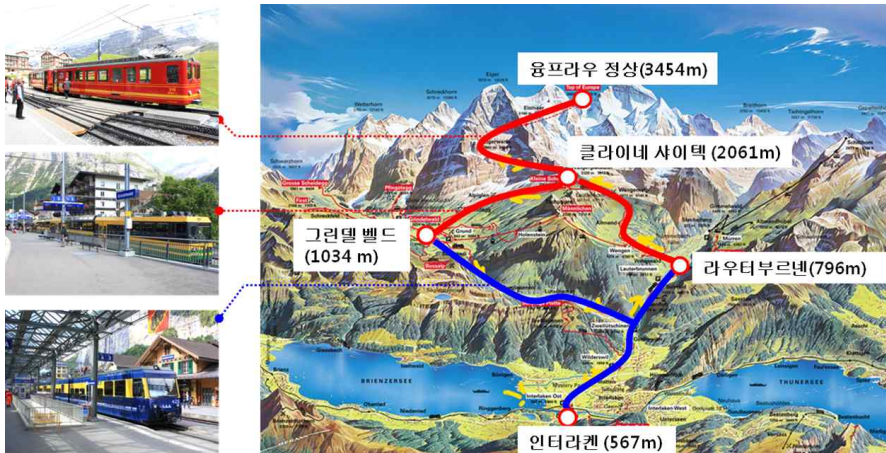
방식	모 습		특 징
Abt			<ul style="list-style-type: none"> - 최초의 톱니바퀴식 철도로 1885년 독일 Hertz에서 최초적용 (7.5km, 200 %). - cogwheel 철도차량에서 약 75% 점유하고 스위스에서 가장 일반적으로 적용 - 최대 구배한도 : 1 in 4 (250 %) - 좌우 레일 중앙에 치형(齒形)을 조금씩 어긋나게 한 2~3개의 랙 레일을 부설하여, 차량 쪽의 피니언(pinion)을 맞물리게 하고 구동하여 주행하는 구조 - 랙의 추종성 우수
Strub			<ul style="list-style-type: none"> - 1898년 융프라우에서 최초 적용 - 좌우 레일의 중앙에 폭 넓은 랙 레일을 부설하고 차량측의 피니언(pinion)을 랙 레일에 맞물려 구동하여 주행하는 구조로, 급구배를 오르는 철도에 채용
Riggenbach			<ul style="list-style-type: none"> - 1869년 미국의 워싱턴 산에 처음 적용 - 사다리형 랙레일 : 금속재 판이나 일정한 간격을 갖는 원형 및 사각형 바로 구성된 채널로 구성됨 - 타 시스템에 비해 형상이 복잡하고 건설비 고가
Locher			<ul style="list-style-type: none"> - 1889년 스위스의 필라투스 산악철도 (Pilatus Mountain railway)에 최초 적용 - Abt시스템의 등판능력을 향상한 모델 (Maximum gradient limit : 250% → 500%) - 수평대칭의 랙시스템 - 필라투스 산악철도의 구배는 세계최고 수준

(나) 스위스 산악철도 기술

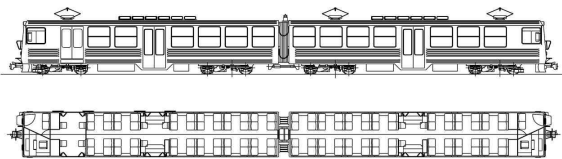
- 톱니바퀴 및 궤도(rack & pinion)을 이용한 급구배 추진
- 산악지역 자갈 전용궤도에서 곡선반경 30m 이상, 구배180%까지 운행
- 산악철도 최고기술 보유사는 Stadler사임
- 스위스 융프라우에서 관광객 운송

<웅프라우 산악열차 주요 사양>

DESCRIPTION	(BDhe 4/8 two-car electric rack EMUs)
TRAINSET	2량1편성
TRAINSET LENGTH	31,000mm
PASSENGER CAPACITY	좌118+입82
TRACK GAUGE	1,000mm
CAR WIDTH	2,633mm
CAR HEIGHT	3,350mm
MINIMUM RADIUS	30m
STAIRWAYS	○
FLOOR HEIGHT	High 950mm
TARE WEIGHT	45 ton
GRADIENT	180 ‰
PINION TYPE	Strub
ELECTRIC POWER	1,125V/50Hz
TRACTION POWER	804 kW
POWER SUPPLY	전차선
SPEED	27km/h(180‰)/14km/h(180‰)
TRACK	자갈



<웅프라우 산악열차>



<웅프라우 산악열차 배치도>

(다) 강삭철도 기술

- 로프웨이와 회전활차(pulley)를 이용하여 차량을 급구배에서 추진
- 200% 이상 급구배 산악지역 및 고지대에서 적용
- 로프웨이에 의한 추진이므로 운행거리 제한



<추추파크 강삭철도>



<오스트리아 인스브루크 강삭철도>



<강삭철도 견인Pulley>

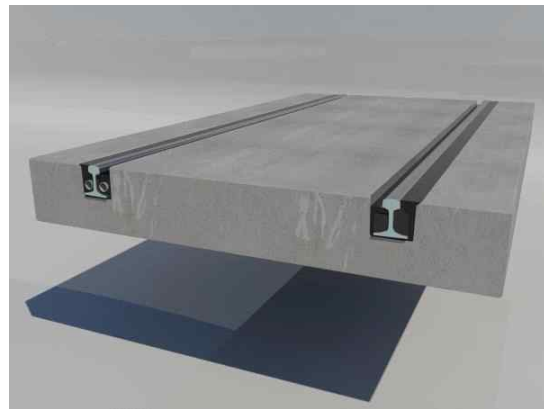
(2) 해외 궤도 기술 현황

(가) 매립형 궤도 기술

- 네덜란드의 Edilon사가 매립형 궤도관련 최고 기술 보유
- 충전재를 이용한 콘크리트 궤도(<http://www.edilonsedra.com>)



<노면 매립형 궤도>



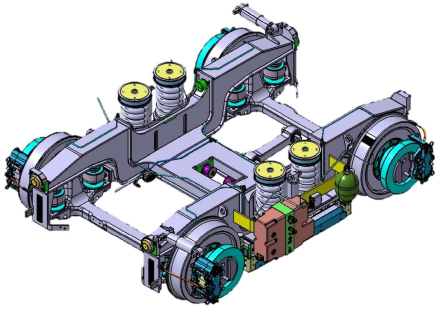
<콘크리트매립형 궤도 단면>

나. 국내 기술개발 현황

(1) 국내 트램 기술

(가) 저상대차 기술

- 철도(연)과 현대로템이 개발한 차축이 없는 독립구동 방식의 저상대차
- 차륜 디스크 제동 방식 적용



<무가선 트램 저상대차>

<저상대차 주요성능>

항목	성능	비고
최고속도	70km/h	평지 속도
구배	40%	급구배 운행 불가
곡선반경	25m	산악지역 곡선 주행 불가
구동방식	차축이 없는 독립구동	피니언 설치 불가

(2) 기존기술의 현황과 문제점

<기존기술 분석>

기존기술	현황	문제점
산악철도	-자갈궤도 -Rack&Pinion을 이용하여 급구배 180% 상승 -최소 곡선 반경 30m	-궤도 건설을 위한 산악지역 환경 훼손 불가피 -산악지역의 기존도로 활용 곤란
강삭철도	-로프웨이와 Pulley에 의한 추진 -급구배 1000%까지 상승 가능 -운행가능 거리 3km 이하 -최소 곡선 반경 30m	-추가의 궤도 건설을 위한 산악지역 환경 훼손 불가피 -산악지역의 기존도로 활용 곤란 -운행거리 제한에 따라 3km이상 장거리 노선 적용 불가
저상대차	-독립구동 저상대차 -구배 40% 상승 -최소 곡선 반경 25m	-급구배 운영을 위한 톱니바퀴 및 궤도 설치 곤란 -급구배 제동력 향상을 위한 밴드제동장치 추가 곤란 -급곡선 10m 운행 불가
매립형 궤도	-좌우 레일이 삽입된 콘크리트 매립형 궤도	-중양 톱니궤도 설치 곤란

3. 연구 수행 내용 및 성과

가. 급구배 추진시스템의 시스템엔지니어링 기술 개발

(1) 급구배 추진시스템 요구조건 분석 및 사양 결정

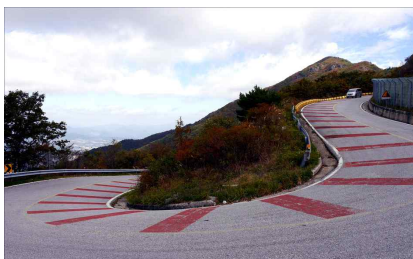
(가) 급구배 추진시스템 요구조건

- 국내 산악지역 급구배 및 급곡선 도로에서 주행 가능
 - 곡선 반경 10m, 구배 180‰ 주행
 - 외기 온도 -40℃ ~ +50℃
 - 급곡선 주행을 위한 협궤 (궤간 1,000mm) 적용

<국내 산악도로 현황>

지역	현장조사결과	
	최급 기울기(구배)	최소곡선반경
남산순환로	115%	15m
하늘공원순환로	120%	15m
갯바위 진입로	130%	30m
석굴암 진입로	78%	12m
한계령 도로	100%	10m
미시령 옛길	130%	15m
백담사 진입로	100%	10m
지리산 도로	130%	10m
한라산 영실진입로	170%	15m
태백시-오투리조트 구간	130%	15m
하동(최참판댁-형제봉)	140%	15m

- 산악지역 환경이나 주변 조망 훼손 없는 인프라 구축
 - 무가선 배터리 추진



<급구배 급곡선 도로>

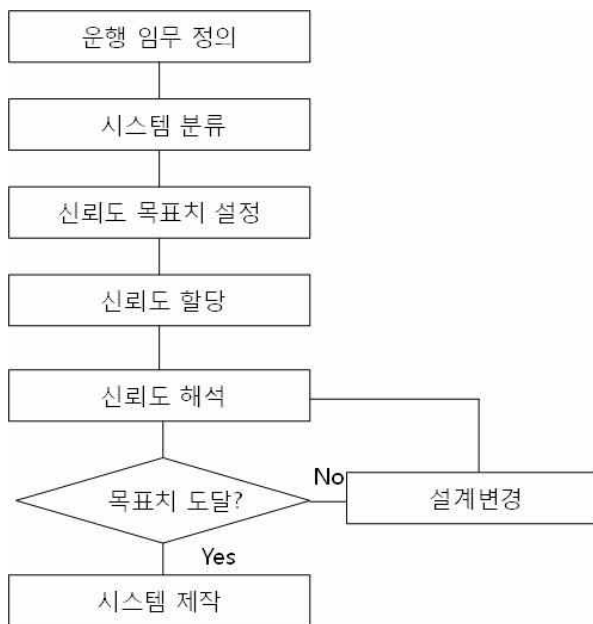


<산악도로 구배 현황>

(나) 신뢰성 기반 급구배 추진시스템 설계

- 신뢰성 목표 설정
 - IEC62278에 따른 신뢰성 관리 절차 도출

- 산악트램 시스템 분류
- 추진시스템 분류 및 기능블록도 작성
- 신뢰성 할당 및 부품별 신뢰도 목표치 설정
- 운영 임무 설정
 - 산악철도 노선 18.9km 구간(정거장 4곳)을 3량1편성 산악트램이 표정속도 20km/h로 왕복 4회 운행
 - Service Availability, $As = MTBSF / (MTBSF + MTTR)$
 - 평균 서비스 고장시간, $MTBSF = \text{Mean Time Between Service Failure}(hr)$
 - 평균수리시간, $MTTR = \text{Mean Time To Repair}(hr)$
 - 평균수리시간은 기존 경전철시스템의 경우를 참고로 하여 2.5 hr을 목표로 설정
 - 서비스 가용도 99.5%를 목표를 달성하기 위한 평균 서비스 고장시간은 서비스 가용도 계산식에 따라 500 hr(고장률 $2.00E-02$ 회/hr)으로 설정
 - 각 시스템 및 주요 서브시스템의 신뢰도 목표를 기존 자료의 가중치를 고려하여 설정함



<추진시스템 신뢰성 목표치 설정 과정>



<산악트램 시스템 분류>

○ 급구배 추진시스템 신뢰성 목표치

<주행추진시스템 신뢰성 목표치>

시스템	가중치	서비스 고장률	목표 MTBSF (hr)
대차프레임	0.01	2.000E-06	500,000
1차현가장치	0.10	2.000E-05	50,000
2차현가장치	0.15	3.000E-05	33,333
베어링어셈블리	0.10	2.000E-05	50,000
윤축	0.03	6.000E-06	166,667
감속기박스	0.04	8.000E-06	125,000
공압장치	0.20	4.000E-05	25,000
제동장치	0.30	6.000E-05	16,667
피니언장치	0.07	1.400E-05	71,429
대차	1.00	2.000E-05	5,000

<전기추진장치 신뢰성 목표>

시스템	가중치	서비스 고장률	목표 MTBSF (hr)
AC/DC 컨버터	0.14	5.600E-05	17,857
배터리	0.08	3.200E-05	31,250
인버터	0.15	6.000E-05	16,667
컨버터	0.15	6.000E-05	16,667
견인전동기	0.10	4.000E-05	25,000
Auxiliary Power Unit	0.15	6.000E-05	16,667
전력공급장치	0.15	6.000E-05	16,667
컨트롤배터리	0.08	3.200E-05	31,250
전기추진장치	1.00	4.000E-04	2,500

(다) 급구배 추진시스템 상세 사양

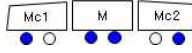
○ 대차시스템 사양

<급구배 추진 대차시스템 사양>

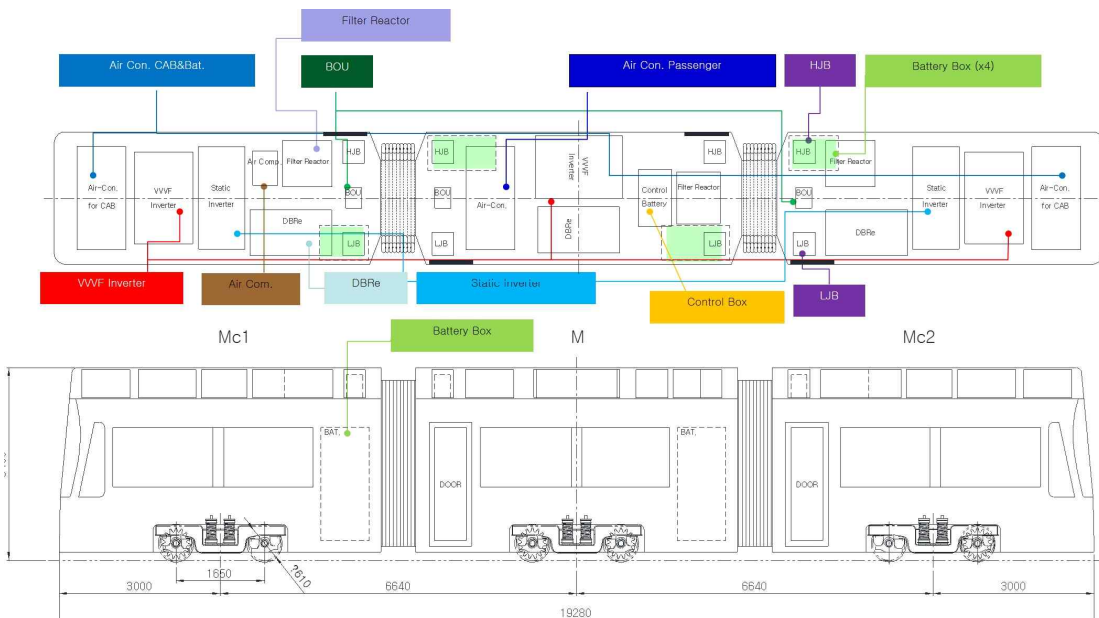
Contents		Spec.
Bogie Design Weight		about 4,850 kg/set (driving bogie)
Maximum Shaft Load		9 ton
Traction Motor		85 kW x 4
Wheel		610 - 580 mm
Wheel Base		1,650 mm
Distance of Bogie		MC1-M-MC2 : 6,640 mm
Primary Spring		Conical rubber spring
Lateral Distance of Primary Spring		1,550 mm
Secondary Spring		Coil spring
Lateral Distance of Secondary Spring		1,775 mm
Minimum Curve Radius		10 m
Max. Gradient		180 ‰
Pinion P.C.D		477 mm
V _{max} Rack	Uphill	15 km/h (120 ‰)
	Downhill	15 km/h

○ 산악트램 시스템 주요 사양

<산악트램 시스템 주요사양>

항 목		사 양
Vehicle Type		LRT (무가선 저상트램)
Vehicle Arrangement		3module 3 driving bogie, (Mc1-M-Mc2)  (●구동축)
Operation Type		Manual operation by 1person
Supply Voltage		750 V, DC
Gauge		1,000 mm
Weight [kg]	Tare	46,000
	Load	8,000
	Full	54,000
Capacity		82 (Seats 34, Standing 48, 3person/m ²)
Dimension	L	19,300 mm
	W	2,300 mm
	H	3,400 mm
Floor Height		MC1, MC2, M Car 790 mm (Entrance 350 mm)
Max. Speed		Adhesion 50 km/h
		Uphill (120 %) 15 km/h, (180 %) 5 km/h
Max. Acceleration		Adhesion 3.5 km/h/s
		Uphill (120 %) 1.0 km/h/s, (180 %) 0.5 km/h/s
Deceleration		Service 3.5 km/h/s (Adhesion)
		Emergency 4.5 km/h/s (Adhesion)

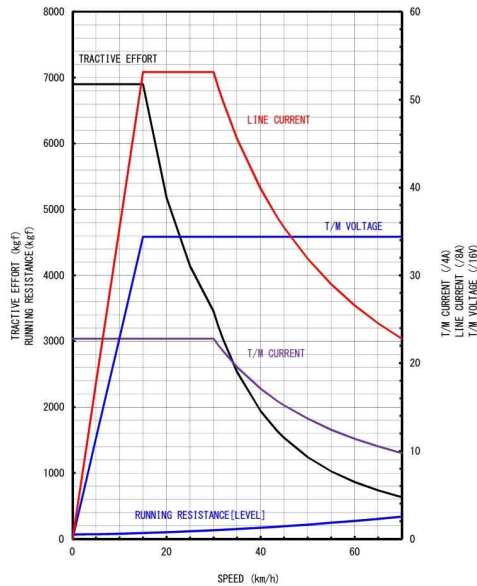
○ 급구배 추진시스템 주요기기 배치



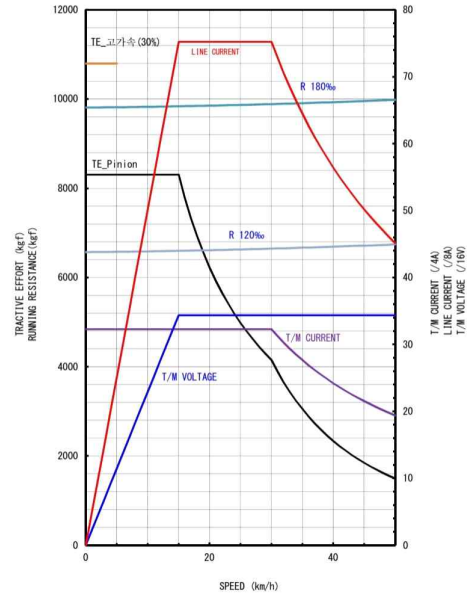
<산악트램 기기배치도>

(라) 급구배 추진시스템 견인 성능 검토

- 주요 특성
 - 평지 및 구배(180%)에서 추진에 적합한 전동기의 견인 성능 특성
 - 프로펠러 추진축과 감속기를 통해 차축에 동력 전달
 - 3상 PWM(펄스폭 변조) 제어, Slip/Slide 제어, 백터 제어 방식
 - 배터리에 의한 전력 공급
- 주요 성능
 - 85kW급 견인전동기의 평지 및 구배(180%)에서 성능 곡선



<평지 주행 견인 성능>



<구배 주행 견인 성능>

- 주행 속도 : 평지 50km/h, 구배 120%시 15 km/h, 구배 180%시 5km/h
- 가속도 : 상승 구배 120%시 1.0 km/h/s, 상승 구배 180 %시 0.5 km/h/s
- 배터리 및 충전장치 구성 및 사양

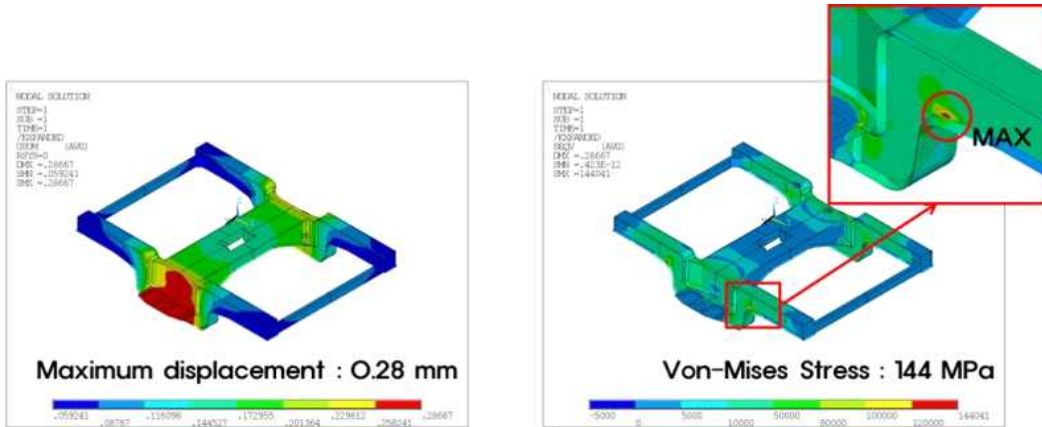
<배터리 및 충전기 사양>

항목		값
소비전력	5회 왕복시 운행 소비 전력	1.94kWh
	보수율 (70%)	2.76kWh
	온고계수 (60%, -10℃)	4.61kWh
방전율	가선전류	65A
	방전 용량	2C, 20Ah
	최대 방전전류	20A
용량계산	공칭용량	40Ah, 28.8kWh
	최대 방전전류	80A
	사용 전압	668.16 ~ 787.2 V
	무게	약 350kg
	사용시간	대기 6시간, 76회 주행 가능

(2) 급구배 추진 대차프레임 강도 해석 및 평가

(가) 대차프레임 모델링 및 강도 해석

- 철도차량기술기준(국토부 고시 KRTS-VE-Part41-2014) 적용



<수직하중 해석 결과>

- 강도해석 결과 기준 만족

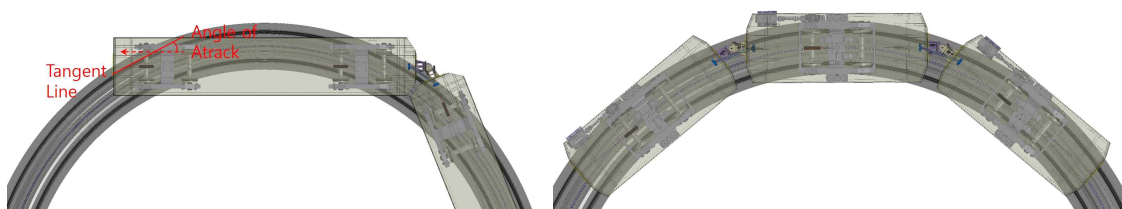
<대차프레임 강도 해석 결과>

하중조건	최대응력(MPa)	기준(MPa)
수직	144	320
좌우	42.7	
전후	107.5	
비틀림	100.3	

(3) 급구배 운행 경량구조체 설계 및 강도 평가

(가) 차체 재질 선정

- 산악트램은 도로 상에서 주행하므로 자동차와의 충돌 대비 필요
- 노면에서 승하차를 고려하여 저상 차체가 되어야 하나, 차축이 존재하여 언더프레임 상면 바닥을 동일 높이로 유지하기가 곤란하며, 바닥의 단차가 불가피하게 존재
- 중공 알루미늄 압출재의 경우, 표면 손상시 유지보수가 곤란하고, 단차가 있는 언더프레임의 경우 접합부 강도 유지가 곤란
- 자동차 충돌 대비 차체의 유지보수가 용이하고, 언더프레임의 단차를 유지하면서 강도를 유지하기 위해 스틸(SM490B)을 차체 재질로 결정
- 언더프레임 센터실(t6), 사이드실(t4.5), 엔드실(t4.5) 설계
- 측구조물 외판(t1.6) SS400 적용

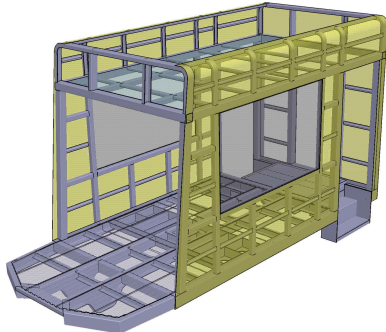


<차체 길이 증가 시 차륜 공격각>

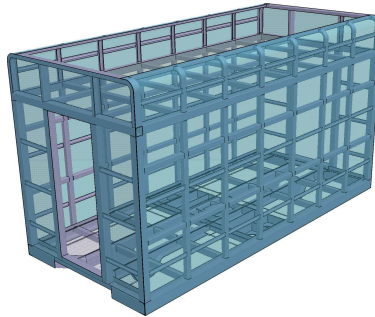
<1대차-1차체 구조의 곡선 통과>

(나) 차체 길이 결정

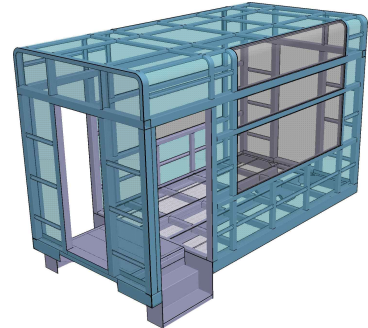
- 급곡선(R10m)에서 차체 길이가 증가하면 공격각 증가에 따라 주행이 불가하므로 차체 길이 축소 필요
- 급곡선 주행을 위해 1대차-1차체 구조 설계(차체 길이 6.4m)
- 차량 편성에 따라 출입문 구조 및 차체 설계



<전두부 차체>



<중간부 차체>



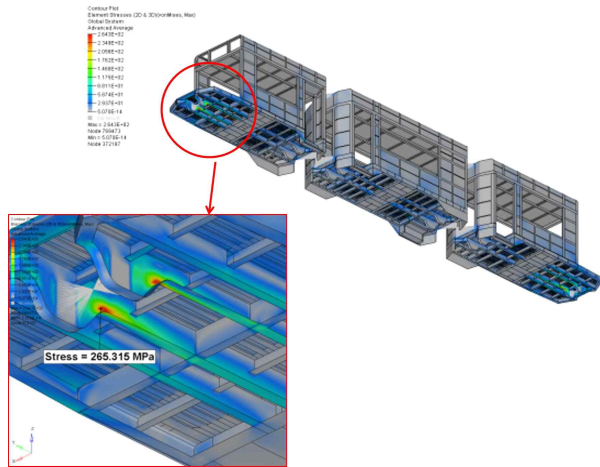
<출입문 차체>

(다) 차체 구조 해석

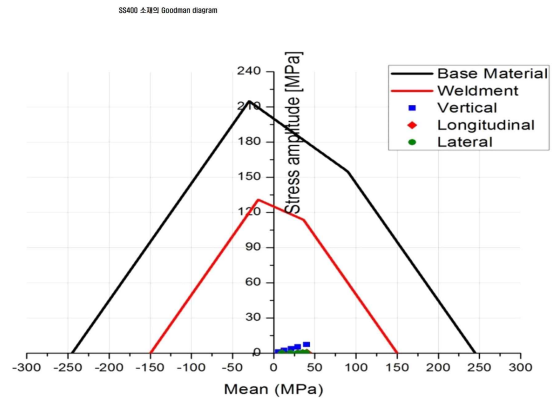
- 철도차량기술기준(국토부 고시 KRIS-VE-Part41-2014))에 따른 하중조건 및 응력 평가 기준 적용
- 유한요소해석 S/W를 이용한 구조해석 수행
- 항복응력 기준 및 Goodman다이그램을 이용한 피로강도 기준을 적용한 결과 안전성 확인

<경량구조체 구조해석 결과>

하중 조건	Result of FE Analysis		Limits
	위치	Von Mises Stress [MPa]	Yield Stress
수직 하중	M CAR Under Frame 하부 대차취부	52.930	365 (SMA490B)
압축 하중	MC CAR Under Frame 하부 센터실	262.537	
인장 하중	MC CAR Under Frame 하부 센터실	235.882	
복합압축 하중	MC CAR Under Frame 하부 센터실	265.315	
복합인장 하중	MC CAR Under Frame 하부 센터실	234.159	
4점지지 하중	MC-CAR Under Frame 사이드실	101.943	
	M-CAR Under Frame 사이드실	109.880	
3점지지 하중	MC-CAR Under Frame 사이드실	238.841	
	M-CAR Under Frame 사이드실	170.101	



<복합압축하중 하 응력 분포>

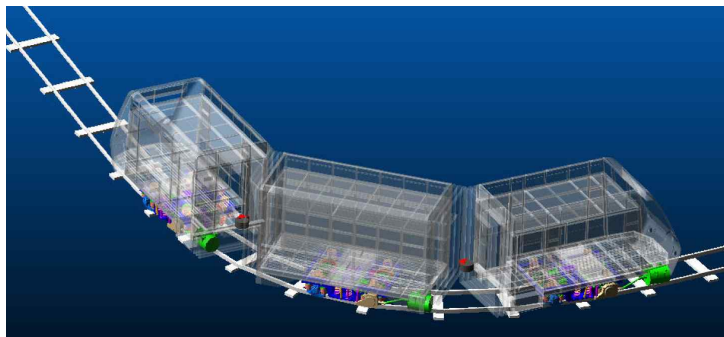


<피로강도 검증을 위한 Goodman 선도>

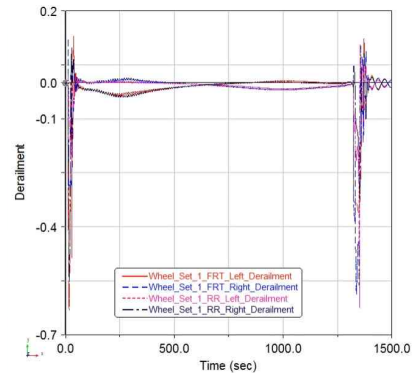
(4) 급구배 추진시스템 동특성 해석 및 핵심 부품 호환성 검토

(가) 급구배 추진시스템 동특성 해석 및 평가

- 급구배 급곡선부 다물체 동특성 해석 결과 180%에서 5km/h 주행 시 탈선계수 0.701(기준 0.8 이하 만족)



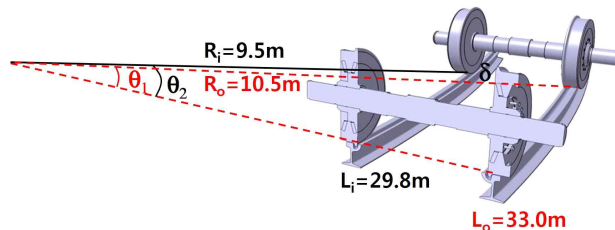
<급구배 추진 대차 곡선 주행해석>



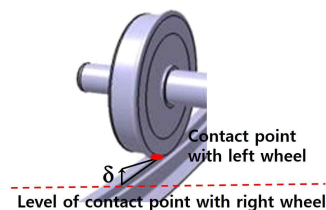
<탈선계수 해석결과>

(나) 급구배 추진시스템 핵심 부품 호환성 검토

- 급구배 R10, 협궤(궤간 1,000mm)에서 주행 대차의 곡선 좌우 차륜 주행 거리 비교
 - 내측 차륜 29.8m, 외측 차륜 33m로 원활한 주행 곤란
- 급곡선 R=10 m를 원활하게 주행하기 위해 축간거리 1,650 mm, 휠경 610 mm로 결정
 - 3량 1편성 10R 곡선부 통과에 따른 주요 전장품 인터페이스 추정
- 급곡선 R10m와 급구배 180% 궤도 조건에서 대차의 차륜간 높이 차이 28mm 발생



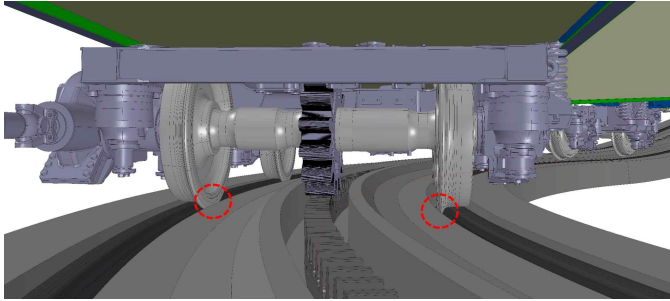
<내외측 차륜 주행거리 차이>



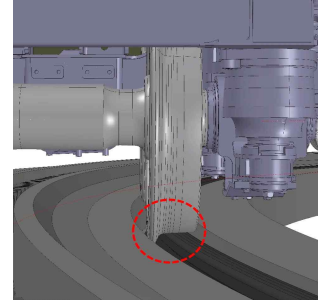
<차륜간 높이 차이>

- 급곡선에서 차륜과 궤도의 간섭 검토

- 3차원 CAD CATIA를 이용하여 곡선에서 매립형 궤도의 콘크리트 패널과 차륜의 간섭 검토
- 곡선에서 차륜과 레일의 공격각 증가에 따른 차륜플랜지와 콘크리트 패널 간섭 발생에 따른 설계 보완



<곡선에서 차륜 플랜지와 궤도 간섭 발생>



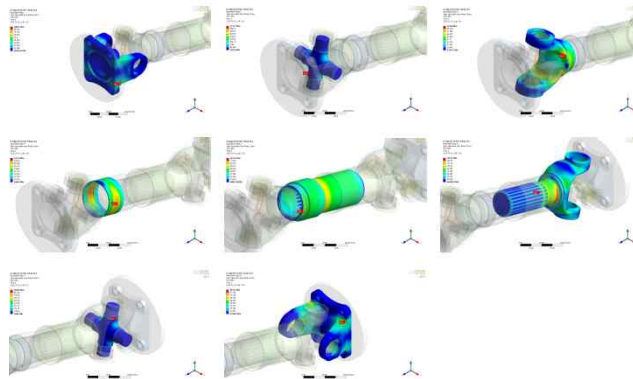
<간섭부 확대>

(다) 프로펠러샤프트의 구조해석 및 강도 검증

- o 구조해석을 위한 프로펠러샤프트(propeller shaft) 모델링 실시
- o 최대 토오크 하에서 동력 전달을 위한 프로펠러샤프트의 구조해석 실시
 - J/BRG ASS'Y의 SPIDER 목 부분에서 응력 집중 발생
 - 최대응력은 950MPa < 허용응력 1047MPa
 - 설치 각도를 15.4° 까지 하여 안전성 향상

TORQUE - 1,895N.m, DEGREE 15.4°

No.	Part name	Max. stress [MPa]	Yield stress [MPa]	Safety factor	Material
1	FLANGE YOKE 1	100	512	5.12	S45C(Q,T)
2	J/BRG ASS'Y 1	753	1047	1.39	SCM420(Q,T/철탄)
3	TUBE YOKE	96	512	5.33	S45C(Q,T)
4	PIPE	121	440	3.64	STKM13B
5	SLEEVE	83	512	6.17	S45C(Q,T)
6	YOKE SHAFT	164	1155	7.04	SCM440(Q,T/고주파)
7	J/BRG ASS'Y 2	950	1047	1.10	SCM420(Q,T/철탄)
8	FLANGE YOKE 2	99	512	5.17	S45C(Q,T)



<프로펠러샤프트 강도해석 결과>

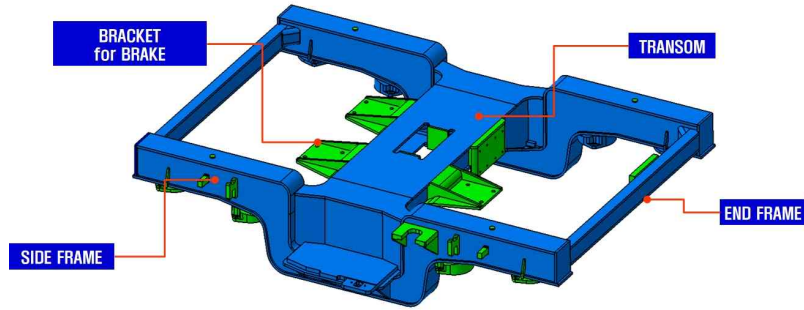
나. 급구배 추진 대차시스템 설계

(1) 급구배 추진 대차 설계

(가) 대차프레임 설계

- o 차륜 상부의 1차 스프링과 차체 하부의 2차 스프링에서 전달되는 하중, 센터 피봇의 전후 및 좌우 하중을 견딜 수 있도록 설계

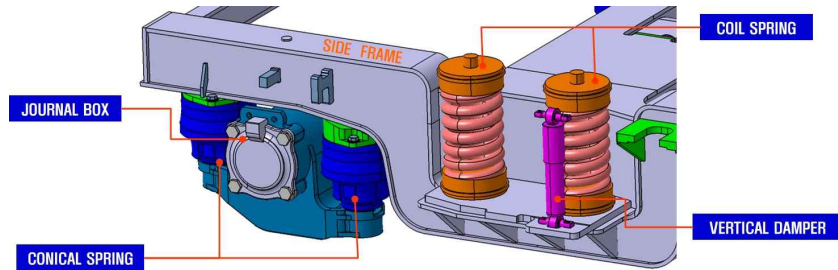
- 재질은 고장력 강재 SM490A로서 주요 부재의 두께는 12t를 기본으로 설계
- 제동기를 설치하기 위해 브라켓 추가



<대차프레임 3차원 형상>

(나) 급구배 대차시스템 배치설계

- 급구배 추진 대차시스템 주요 부품 조립도
 - 1/2차 현가장치, Center Pivot, Yaw Damper, 윤축, 차륜, 대차프레임 제작 배치 설계
- 대차프레임 공간 활용을 위해 견인전동기를 차체에 부착
 - 직각 카르단 구동 방식 적용
 - 견인전동기 동력은 프로펠러샤프트를 이용하여 감속구동장치로 전달

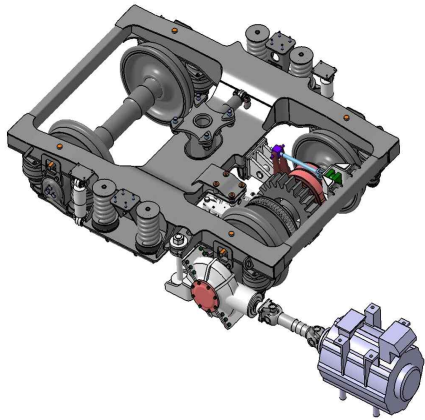


<대차시스템 주요 부품 조립도>

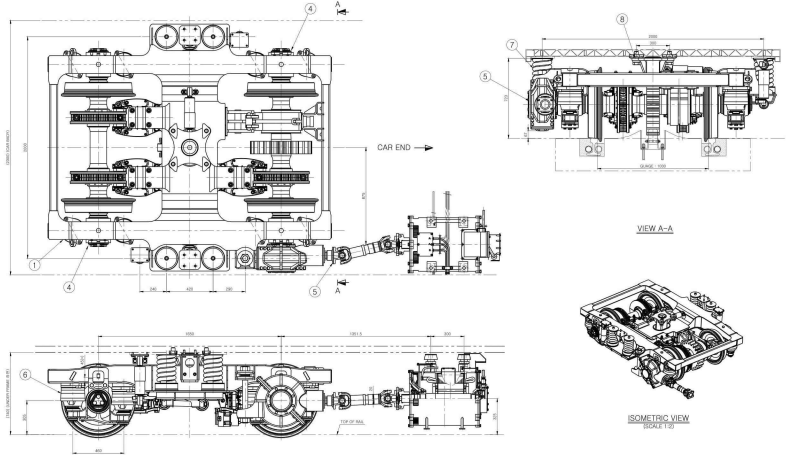
- 급구배 대차시스템의 주요 특징
 - 편성당 총 3대(MC1 1대, M 1대, MC2 1대)의 구동대차를 적용
 - 산악지형의 급구배 운행을 위한 Rack & Pinion 적용
 - 곡선반경 10 m 주행을 위한 610 mm 차륜 적용
 - 급구배 제동을 위한 피니언 드럼 밴드제동(비상) 적용

(다) 급구배 대차시스템 조립도

- 대차프레임 공간을 고려하여 제동장치, 동력전달장치, 피니언, 현가장치, 견인전동기 등을 배치



<급구배 추진 대차시스템 형상>



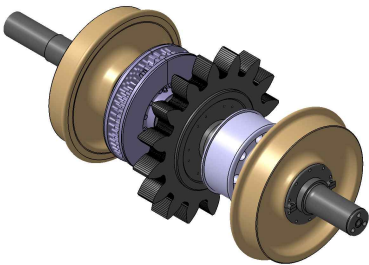
<급구배 추진 대차시스템 조립도>

(2) 급구배 추진 대차 핵심 부품 설계

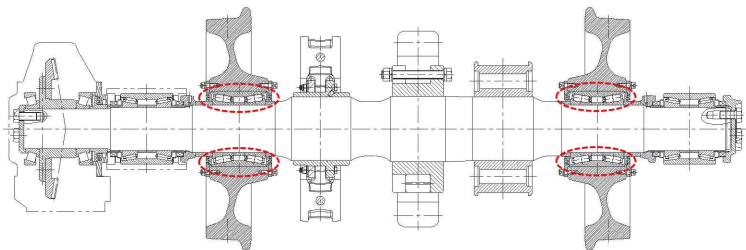
(가) 차축 설계

○ 독립구동 차축

- 대차 시스템엔지니어링 과정에서 급곡선 궤도에서 차륜과 레일의 인터페이스 검토 결과, 내외 차륜의 주행거리 차이는 차륜 답면의 경사로 극복하기가 곤란한 것으로 나타나서 독립 구동 차륜 적용
- 차륜과 차축 사이에 베어링 삽입
- 피니언의 추진력을 이용하여 주행 및 급구배 상승



<차축 3차원 조립도>



<차축 조립도>

(나) 현가장치 설계

○ 차량의 롤링 강성 도출 및 1차 스프링 (코니컬 고무 스프링)의 선택

- 차체 중심에 0.1 g의 좌우 움직임이 작용 했을 때의 차체 경사 각도를 0.015 rad 억제하는 롤링 강성 산출
- 목표 스프링 상수의 결정 및 1차 스프링의 선택

<1차 현가장치 특성>

구 분	1차 고무스프링 특성
높이	237±2 mm
스프링정수 (Z-Z 방향)	$\delta(19.6 \text{ kN}) - \delta(0.49 \text{ kN}) = 26.4 \pm 2.6 \text{ mm}$
고무 재료	A (09)
경도시험	JIS A 60

- 2차 현가장치 설계
 - 차체 언더 프레임 하면과 대차 사이드 프레임 상면 사이에 코일스프링 설치
 - 코일 스프링 하단에는 방진고무를 설치하여 진동 최소화
 - 좌우 진동을 제어하기 위하여 차량과 대차 프레임 사이에 횡 댐퍼 설치
 - 상하 움직임을 완화하기 위한 댐핑 효과를 얻도록 수직 댐퍼 설치
 - 2차 코일 스프링 설계 사양

<2차 현가장치 특성>

구 분	2차 코일스프링 특성	비 고	
스프링 정수 (Z-Z 방향)	66.58 kg/mm ±5%		
변위	공차	42.3 mm±2	2,818.5 kgf
	만차	51.6 mm	3,438.5 kgf
	밀착	71.0 mm	4,727.0 kgf
재질	SUP 9	연마+숫피닝	

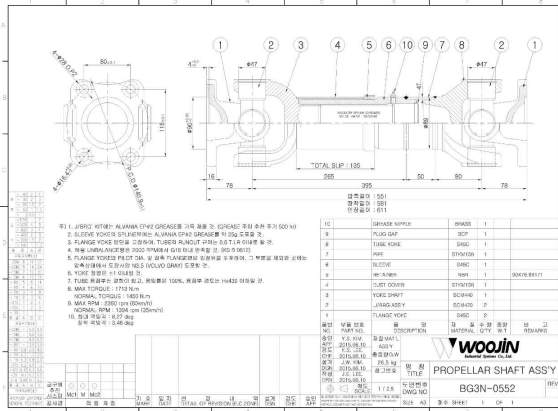
- 댐퍼 사양의 선정

<댐퍼의 목표 사양>

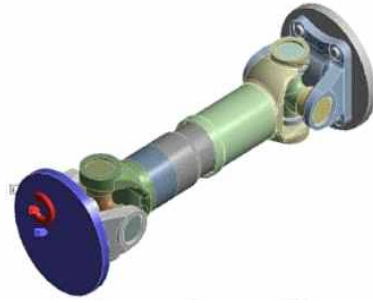
구 분	상하 댐퍼	좌우 댐퍼	
목표 감쇠력 kg/cm/s	30	60	
진폭± mm	15	15	
길이 mm	L_{max}	401±2	417±2
	L_{min}	311±2	337±2
	취부길이	356	377
	Stroke	90	80
최대 속도 m/s	0.2	0.2	

(다) 프로펠러샤프트 설계

- 차체 취부 견인전동기의 동력을 드라이브 기어에 전달
 - 상용토크 1,231 N-m, 최대 토크 1,895 N-m 전달
- 설계 단계에서 구조해석 실시, 시험품 제작 후 비틀림 파괴 시험과 내구성 시험을 수행하여 제품 안전성 점검



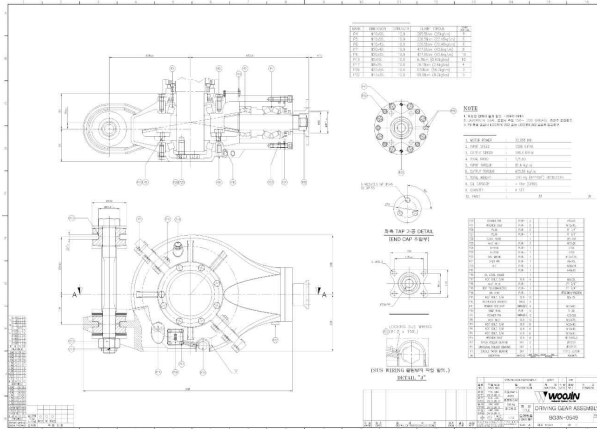
<프로펠러샤프트 조립도>



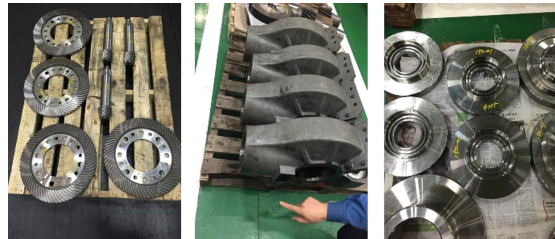
<프로펠러샤프트 3차원 형상>

(라) 감속구동장치 설계

- 차축 구동을 위한 감속구동장치 설계
- 차체 취부 견인전동기의 동력 전달



<감속구동장치 조립도>



<감속구동장치 주요부품>

○ 드라이빙기어 설계

- 피니언 및 베벨기어 강도 검토 결과 Service Factor 1.31이상으로 충분한 기어 강도 확보

**BENDING STRENGTH AND PITTING RESISTANCE
OF BEVEL GEAR BASED ON AGMA 2003, 2005**

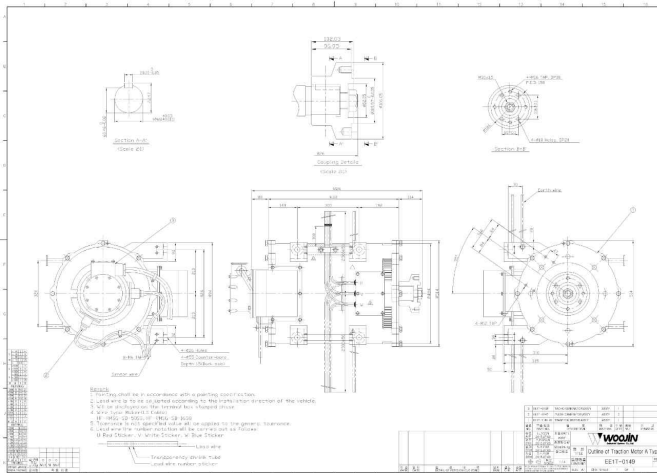
Order No. 1504-150 Customer 우진산전
Machine Name DRIVING UNIT Life time of Gears 50,000
Gear Type Gleason Spiral Bevel Gear

No	DESCRIPTIONS	SYMBOL	UNIT	2 STAGE	
				PINION	GEAR
1	Transmitted Power	P	kW	21.00	
2	Speed	n_p, n_g	rpm	221,000	37,886
3	Transverse Module	m_t	mm	5.500	
4	Gear Ratio	m_g		5.833	
5	Number of Teeth	n, N		12	70
6	Mean Spiral Angle	γ	degree	35.00	
7	Face Width	F	mm	55	
8	Tooth Taper Type			Standard	
9	Gear Quality (JIS / AGMA)	Q_v		3	
10	Pitchline Velocity	v_t	m/s	0.76	
11	Transverse Contact Ratio	m_x		1.63	
12	Tangential Load	W_t	kg	2804.69	
13	Unit Load		kg/mm	50.99	
14	External Dynamic Factor			1.5000	
15	Reliability Factor for Bending			1.0	1.0
16	Reliability Factor for Pitting			1.0	1.0
17	Temperature Factor			1.0	1.0
18	Load Distribution Factor	K_{mc}, C_m		1.5000	
19	Dynamic Factor	K_{vc}, C_v		0.9311	
20	Curvature Factor	K_α		1.0000	
21	Life Factor for Bending	K_L		0.8733	0.9245
22	Life Factor for Pitting	C_L		0.7920	0.8736
23	Size Factor	K_s		0.9848	0.9848
24	Geometry Factor for Bending Stress	J		0.3558	0.3458
25	Geometry Factor for Pitting Resistance	I		0.1899	0.1899
26	Material			SCM420	SCM420
27	Heat Treatment			CARBURIZING	CARBURIZING
28	Surface Hardness			78-85	78-85
29	Total Case Depth		mm	2.00	
30	Tooth Cutting Method			General Tool	
31	Allowable Bending Stress of Material	S_{at}	kg/mm ²	48.00	48.00
32	Allowable Pitting Resistance of Material	S_{pc}	kg/mm ²	158.00	158.00
33	Calculated Bending Stress	S_t	kg/mm ²	35.51	36.54
34	Calculated Pitting Resistance	S_c	kg/mm ²	113.02	
35	Calculated Service Factor for Bending			1.35	1.31
36	Calculated Service Factor for Pitting			1.40	1.40
37	Allowable Max. Transmitted Power(Bending)	Pat	kW	28.95	
38	Allowable Max. Transmitted Torque	T	kg-m	744.24	
39	Required Total Oil Quantity		liter	0.71	
40	Viscosity of Oil			220.00	

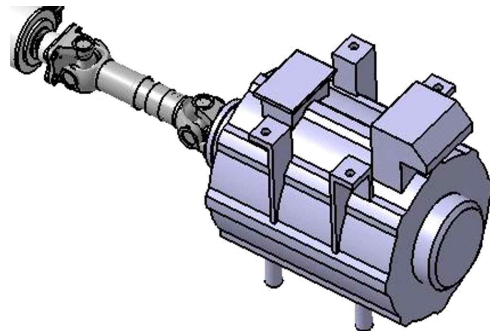
<기어 강도 검토 결과>

(마) 추진장치 설계

- 견인전동기 배치 설계



<견인전동기 조립도>

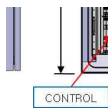


<견인전동기 외형>

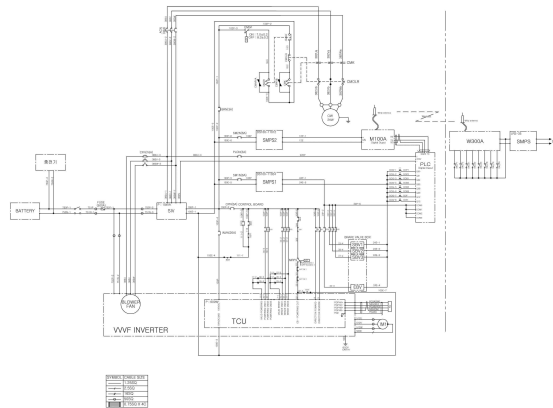
- 추진제어장치 구성 및 설계

<추진제어장치 설계사양>

항 목	사 양
제어방식	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조 ⇔ 1P MODE
입력전압	DC 750V (500V ~ 900V)
출력전압	3상 0 ~ 550V (RMS)
최대출력	130 kVA 이상 (110kW급 TM)
주회로 소자	IGBT : 1,700V - 800A
냉각방식	강제 냉각 방식
가 감속도	가속도: 1 km/h/s (120%), 감속도: 3.5 km/h/s
기어비	기어비: 5.82, 피니언(DP): 0.477m, 점착(DA): 0.6m
속도	최고속도: 50km/h/s, 급구배 : 15 km/h/s



<추진제어장치 구성>



<배터리 구성 회로도>

(3) 급구배 추진 Rack&Pinion 설계

(가) Rack Type 선정

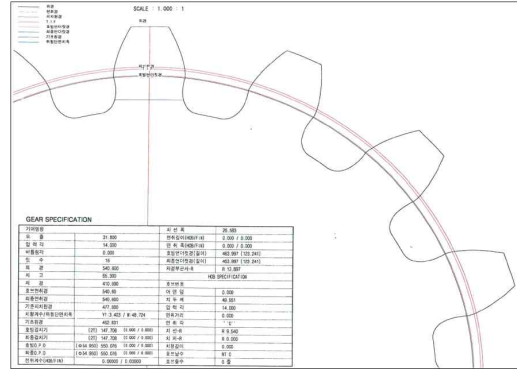
- Von Roll, Strub, Abt 3가지 Type을 검토한 후 Von Roll Type을 선정
- Von Roll Type 특징
 - 기본적인 치형은 Strub와 유사하나 제작 방식이 달라 Steel Plate로 가공 제작
 - 제작 방법이 가장 단순하므로 비용 최저

(나) Rack&Pinion 상세설계

- 주요 사양

<Pinion 사양>

항 목	사 양
Type	Von Roll
Module	31.8
Pressure Angle	14°
Rack Pitch	100 mm
Rack Tooth Width	80 mm
Pinion Tooth	15 ea
Pinion PCD	477 mm
Pinion Tooth Width	114 mm



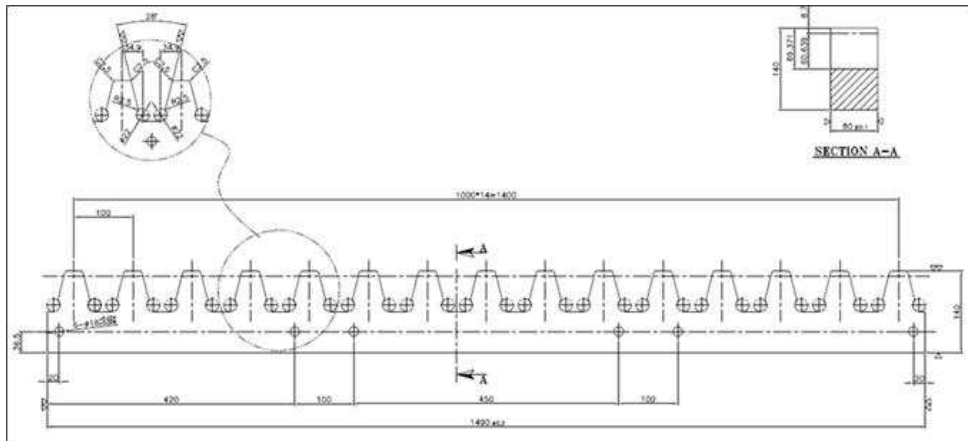
<Pinion 치형 설계>

○ Rack 단면 설계

- 기어설계 전용S/W인 'KISSOFT'를 활용하여 급구배 주행 요구 조건에 준하는 치형 선정



- 반복 설계 과정을 거쳐 최종 Rack 단면 결정



<Rack 단면도>

○ Rack&Pinion 소재

<급구배 추진 Rack 소재 특성>

규 격	Yield Point N/mm ²	Tensile strength N/mm ²	Elongation at break %	Analysis				
				C %	Si %	Mn %	P %	S %
S45C	>500	>700	>17	0.42~0.48	0.15~0.35	0.60~0.90	<0.030	<0.035

<급구배 추진 Pinion 소재 특성>

규격	Tensile Strength	Hardness	Analysis						
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
	N/mm ²	HRC	%	%	%	%	%	%	%
SCM440	<1,000	50-57	0.38~0.43	0.15~0.35	0.60~0.85	<0.030	<0.030	0.90~1.20	0.10~0.30

(다) Rack&Pinion 설계 검증

○ 치형 확정

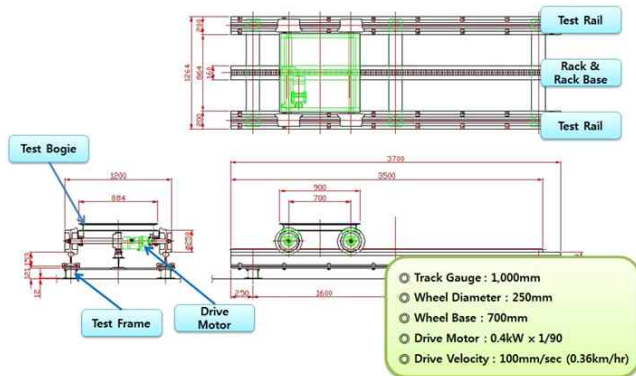
- 실제 기어 Plate를 제작하여 총 3개의 치형 중에서 실제 물림율, 백러시 등을 고려하여 3안으로 결정



<Rack&pinion 설계 검증을 위한 평면 모형>

○ 실물 모형에 의한 Rack&pinion 설계 검증

- Meter Gauge 구성시 공간적 제약 등 사전 파악 및 보완
- R10 곡선 구성시 Rack 제작 등 문제 사전 파악 및 보완

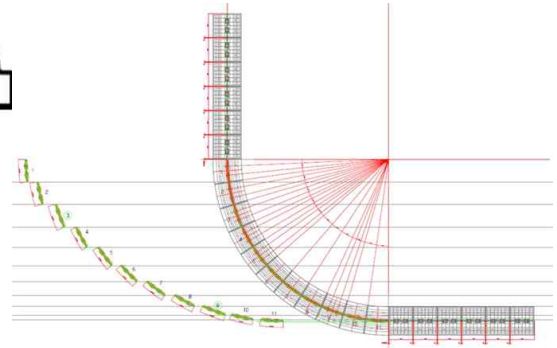
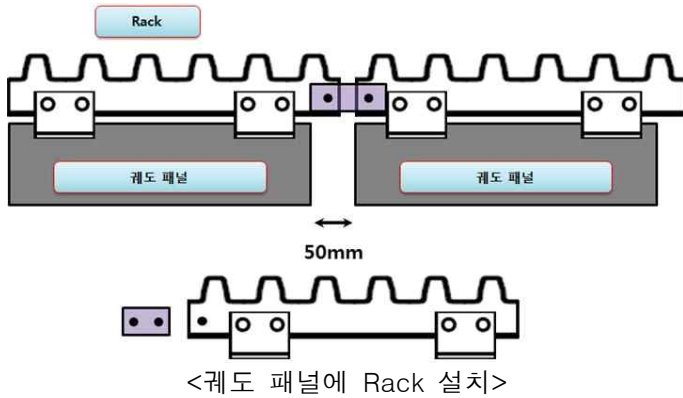


<급구배 급곡선 모형 Rack&pinion 대차와 궤도>

<모형 대차의 급구배 급곡선 주행>

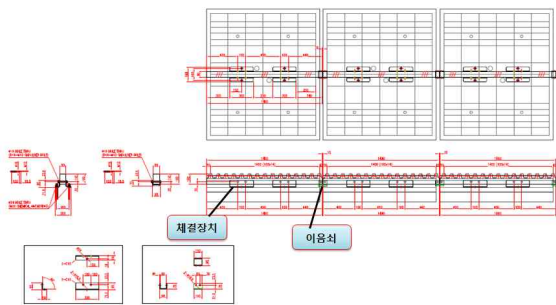
(라) 매립형 궤도 패널과 인터페이스 설계

- 궤도 패널에서 Rack 연결을 위해 브래킷을 이용한 취부 설계



<곡선부 Rack의 형상 설계>

- 곡선부 Rack과 궤도의 인터페이스 설계
 - Rack을 곡률에 맞추어 가공한 후 궤도에 설치



<Rack 체결장치 및 이음쇠 설계>



체결장치



탄성패드(2mm)

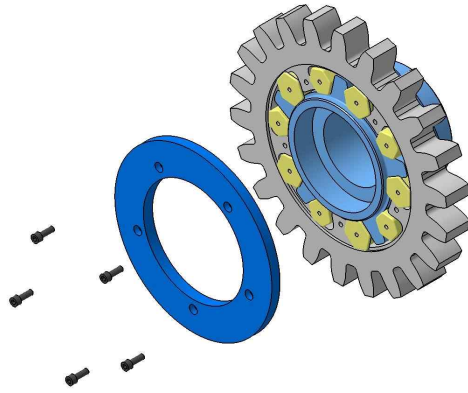


이음쇠

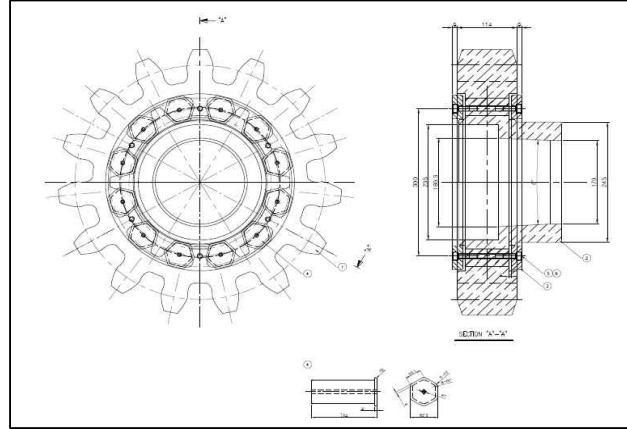
<Rack 체결장치 및 이음쇠 제작 완료>

(마) 탄성 Pinion 설계

- 탄성 Pinion의 필요성
 - Rack&Pinion의 기어가 맞물리면서 발생하는 진동에 의해 승객 승차감 저해
 - 노후화된 객차의 경우 하부 Rack&Pinion 마찰 진동·소음으로 Rack&Pinion 추진 장치가 없는 객실에 비해 10dB 이상의 높은 소음 수준을 보임
 - 기존 산악열차와는 차별화를 위해 객실 쾌적성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 탄성 Pinion을 개발하고 그 효과를 검증함
- 탄성 Pinion의 구조
 - 타이어와 보스(boss)로 분리된 이중 구조의 중간에 탄성체 삽입
 - 부싱(bushing) 타입의 육각 기둥 탄성체를 적용하고, 탄성체 중앙에 관통 홀을 주어 탄성 변형 공간으로 활용
 - 내측 기어와 외측 기어를 일체화하는 커버를 양쪽에 볼트로 체결하고, 검사와 교체가 용이한 구조로 설계



<탄성톱니바퀴 조립도>



<탄성 Pinion 설계도>

<탄성 피니언 기본 사양>

항목		비탄성 Pinion	탄성 Pinion
Axle Outside Diameter		∅180	
기어 모듈		31.8	
Tooth		15	
PCD		477	
압력각		14°	
열처리(치면)		저주파 열처리	
재질	Gear	SCM440	SCM440
	Boss & Cover	S45C	S45C
	탄성체	-	Rubber
탄성체 규격		-	∅7 × 94L × 12ea

○ 고무 탄성체의 물성

<탄성체 물성 시험 결과>

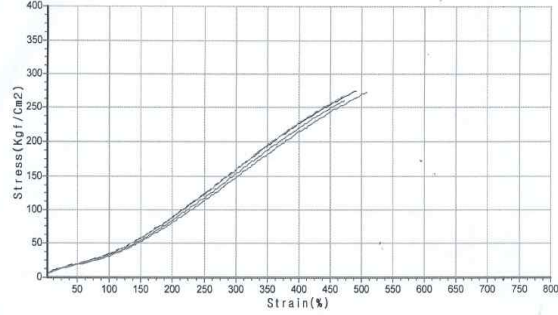
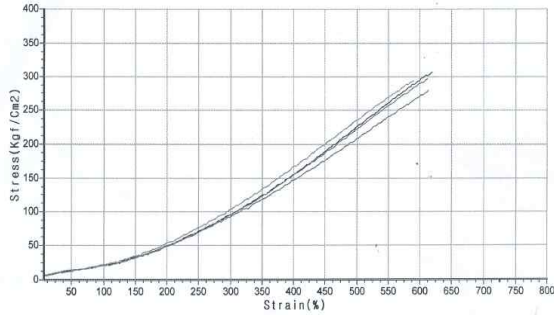
시험항목		A형 (NR55)		B형 (NR65)		C형 (NR80)	
		규격	결과치	규격	결과치	규격	결과치
R-2000	Ts2	참고치	3:13	참고치	2:49	참고치	1:01
	Tc90	참고치	9:04	참고치	8:24	참고치	6:25
	Tc10	참고치	3:03	참고치	2:42	참고치	1:01
물성	Hs(JIS-A)	55 ± 5	52	65 ± 5	62	80 ± 5	77
	인장강도	21.56MPa이상	22.64MPa	17.64MPa이상	24.2MPa	17.64MPa이상	20.05MPa
	신장율	500% 이상	710%	300% 이상	634%	300% 이상	358%
압축영구 줄임	100℃ × 22 h	50% 이하	-45.3%	50% 이하	-47.9%	60% 이하	-50.3%

○ 고무 탄성체 내열 시험

- 산악철도 운행시 여름의 환경적 요인(고온)을 고려한 탄성체 내구 시험
- 탄성체 시편을 80℃에서 70시간 노출 뒤 물성 변화 등을 측정하여 내열 노화 시험 진행
- 탄성체 3종의 경도, 인장강도, 신장율 변화 Data 모두 일반 규격대비 양호한 결과를 보임

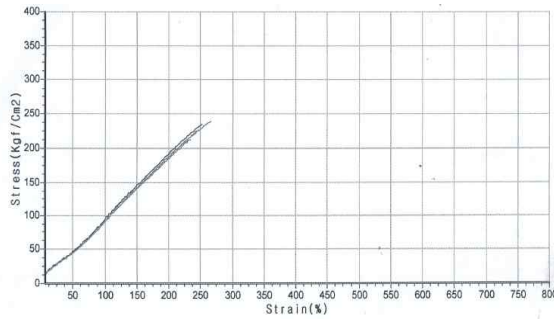
<탄성체 내열 시험 결과>

구분	규격	NR55	NR65	NR80
경도 변화	+12% 이하	+5%	+6%	+6%
인장강도 변화	-30%이하	+27.1%	+8.8%	+11.3%
신장을 변화	-50%이하	-14.5%	-23.6%	-31.3%



NO	Sample Name	length	Width	Thick	PkForce	Strength	EB	Test Data			Remark
								100 %	200 %	300 %	
10	55노화80	2.0	0.50	0.202	31.04	307.32	617.52	21.80	49.49	94.68	
11	55노화80	2.0	0.50	0.200	29.74	297.40	610.21	20.94	49.35	94.81	
14	55노화80	2.0	0.50	0.210	30.91	294.37	588.59	21.68	53.63	102.66	
15	55노화80	2.0	0.50	0.203	28.44	280.21	612.20	20.47	48.99	92.19	
0	AVR	2.0	0.50	0.204	30.03	294.83	607.13	21.22	50.36	96.08	

NO	Sample Name	length	Width	Thick	PkForce	Strength	EB	Test Data			Remark
								100 %	200 %	300 %	
16	nr65 80노	2.0	0.50	0.217	29.87	275.30	489.83	35.91	89.40	158.94	
20	nr65 80노	2.0	0.50	0.217	28.31	260.94	470.54	33.26	85.09	153.21	
21	nr65 80노	2.0	0.50	0.222	29.74	267.93	472.54	34.72	88.55	159.12	
22	nr65 80노	2.0	0.50	0.230	31.43	273.29	508.12	31.62	82.12	147.52	
0	AVR	2.0	0.50	0.222	29.84	269.37	485.26	33.88	86.29	154.70	



NO	Sample Name	length	Width	Thick	PkForce	Strength	EB	Test Data			Remark
								100 %	200 %	300 %	
23	nr80 80노	2.0	0.50	0.236	27.79	235.53	250.07	94.92	191.95	0.00	
24	nr80 80노	2.0	0.50	0.240	25.58	213.20	232.44	91.17	184.78	0.00	
26	nr80 80노	2.0	0.50	0.246	27.66	224.90	240.09	92.16	188.45	0.00	
27	nr80 80노	2.0	0.50	0.247	29.61	239.76	263.37	90.74	186.98	0.00	
0	AVR	2.0	0.50	0.242	27.66	228.35	246.49	92.25	188.04		

<탄성체 내열 노화 시험 결과>

○ 고무 탄성체 내한 시험

- 산악열차 운행시 겨울의 환경적 요인(고온)을 고려한 탄성체 내구 시험
- 탄성체 시편을 -40℃에서 냉동한 뒤 충격을 가하여 내한 타격 시험 진행
- 탄성체 3종 모두 이상이 없는 것으로 결과가 나타남



<탄성체 내한 타격 시험성적서>

(바) 탄성 Pinion 시제품 제작

- 탄성 Pinion 제작성 및 성능 확인을 위해 설계도에 따른 시제품 제작



<탄성 Pinion Part - Gear 제작>



<탄성 Pinion Part - Boss 제작>



<탄성 Pinion Part - Cover 제작>



<탄성 Pinion Part - 탄성체 3종 제작>



<탄성 Pinion 내부>



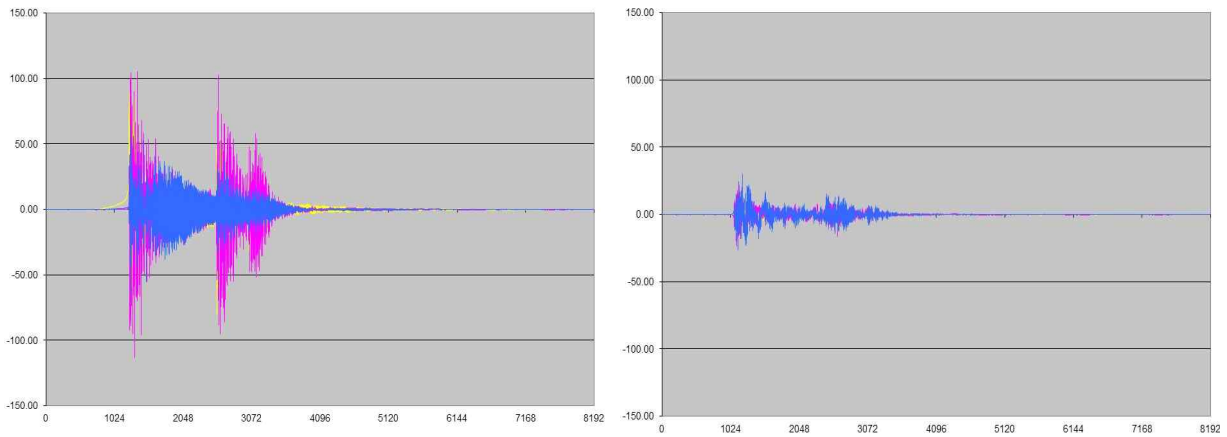
<탄성 Pinion 조립>

(사) 탄성 Pinion의 시제품 진동 시험

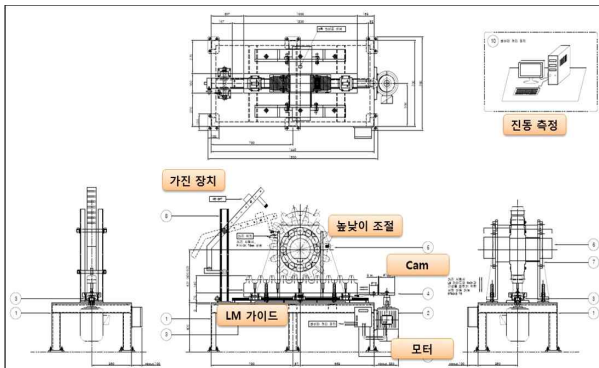
- 진동 시험 방법
 - 비탄성 Pinion과 조립된 탄성 Pinion을 각각 축에 압입하여 고정시킨 후 실제 Rack과의 접촉면에 충격을 가하고 축에 설치된 진동가속계를 통해 진동 특성 비교
- 진동 시험 절차
 - 충격 지점(Pinion Tooth)과 윤축 2곳에서 진동 가속도 측정
 - 비탄성 Pinion과 탄성 Pinion(탄성체 3종) 측정
 - 각각 3번의 Test 진행
 - 상하, 전후, 좌우 3축에 대한 진동 가속도 분석
- 진동 시험 결과
 - Test 결과 비탄성대비 NR65 탄성체를 삽입한 탄성 Pinion의 진동 저감 효과가 가장 큼
 - 컷으며 이는 약 70%의 저감 효과를 보임

<탄성체 물성 시험 결과>

구분	비탄성Pinion	탄성 Pinion		
		NR55	NR65	NR80
상하 진동	138.7 m/s ²	70.4 m/s ²	57.5 m/s ²	73.8 m/s ²
전후 진동	180.5 m/s ²	51.0 m/s ²	44.3 m/s ²	66.4 m/s ²
좌우 진동	88.2 m/s ²	22.4 m/s ²	19.5 m/s ²	38.0 m/s ²



<탄성 톱니바퀴-NR65 진동 Data (좌 : 톱니바퀴 Tooth, 우 : 윤축)>



<탄성 Pinion 진동 및 내구성 시험 개념도>



<탄성Pinion 진동 및 내구성 시험장치>

(아) 탄성 Pinion 시제품 내구성 시험

- 내구성 시험 방법
 - 탄성 Pinion을 고정시키고 Rack에 CAM을 연결하여 왕복운동을 주어 탄성체의 반복 탄성 작용에 의한 물성치 변화 등을 통해 내구성을 측정
- 내구성 시험 절차
 - 급구배(180%) 주행시 Pinion에 걸리는 실제 압축력을 적용하여 탄성체 변위량 측정
 - Rack Base(LM Guide)의 변위량 만큼의 왕복운동을 위해 CAM 제작 및 설치
 - 탄성체 3종 모두 각각 500,000 Cycle 왕복 작용(약 140시간 소요)
 - 각 탄성체의 형상 및 기본 물성치 변화 측정
- 내구성 시험 결과
 - Test 결과 탄성체 3종 모두 내구성이 양호한 것으로 나타남

<내구성 시험 결과>

구분	탄성 Pinion		
	NR55	NR65	NR80
물성 변화	변화 없음	변화 없음	변화 없음
형상 변화	양호	양호	양호

(4) 급구배 추진시스템 제동장치 설계

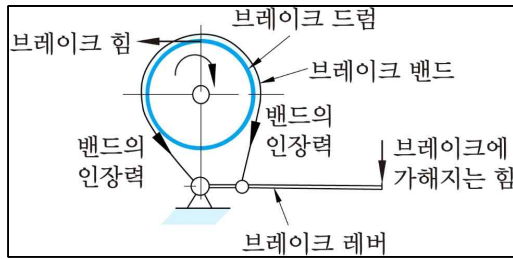
(가) Pinion 제동장치 타입 선정

- 급구배에서 제동 안전성을 확보하기 위해 2단계 제동시스템(디스크 제동장치와 밴드제동장치) 적용
 - 스위스 Rack Railway 규정집에 의하면 120% 이상의 구배에서는 2단계의 제동시스템이 필요한 것으로 제안

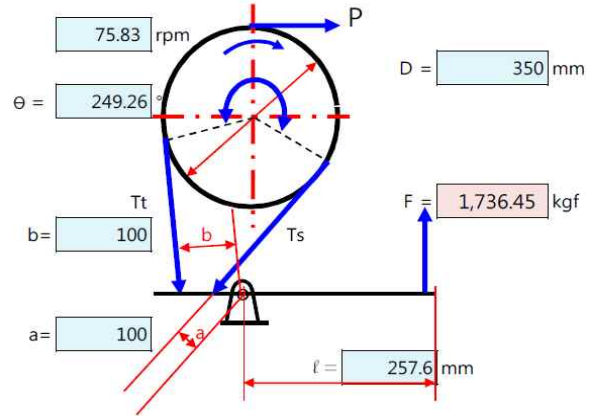
6.1.1	Für Klotzbremsen mit Grauguss-Bremssohlen und $\lambda \leq 120$: Einstufige Bremse zulässig $\lambda > 120$: Zweistufige Bremse notwendig $\lambda \geq 160$: Zweistufige Bremse und Gleitschutz notwendig
6.1.2	Scheibenbremsen oder Klotzbremsen mit Kunststoff-Bremssohlen $\lambda \geq 120$: Gleitschutz notwendig.

<스위스 규정집의 구배에 따른 제동 시스템>

- 밴드제동장치(band brak)는 유압을 이용하여 제동력 발생
 - 공압식 디스크 제동장치의 제동력과 분담하여 제동력 발생



<Band Brake의 원리>



<제동레버 조작력 계산>

(나) Pinion 제동장치의 제동력 계산

○ 3모듈의 산악트램에서 180% 급구배에서 필요 제동력

- 전체 소요 제동력

$$F = (W' \times \beta / 3.6) + R_g$$

여기서, F = 전체 소요 제동력(kN)

R_g = 구배저항

β = 감속도(km/h/s)

W' = 관성계수 보상 제동중량(tonf)

<전체 차량 소요 제동력>

차종	Mc1	M	Mc2	합계
공차	33.29kN	37.45kN	32.46kN	103.20kN
만차	36.52kN	35.34kN	35.68kN	107.54kN

○ 밴드제동장치의 요구 제동력 계산

- 기존 공압식 디스크 제동장치의 제동력을 제하고 밴드제동장치의 필요 제동력 계산

<밴드제동장치 소요 제동력>

차종	Mc1	M	Mc2	합계
공차	15.56kN	17.50kN	15.17kN	48.23kN
만차	17.06kN	16.51kN	16.68kN	50.25kN

- 최급구배 180%에서 피니언 브레이크에 할당된 필요제동력은 50.25 kN

- 한 편성당 Pinion 제동장치 수는 2개

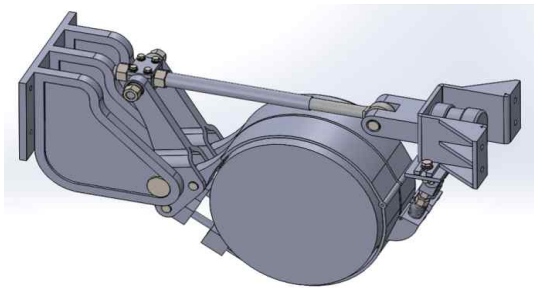
- 밴드제동장치의 제동레버에 가해지는 조작력 계산 1,736 kgf

<밴드제동장치 사양>

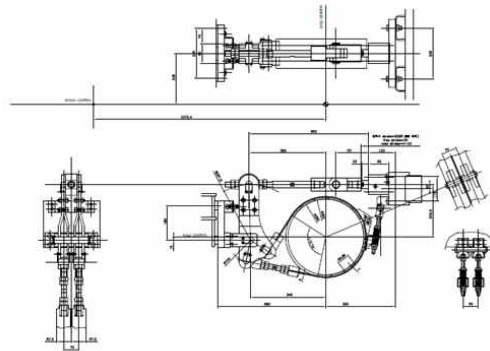
항목		사양	항목		사양
드럼의 직경	D	350 mm	밴드의 마찰계수	μ	0.3 이상
드럼의 회전 각속도	N	75.83 rpm	밴드의 허용인장응력	σ_t	7.0 kgf/mm ²
브레이크 레버 길이	l	257.6 mm	축과 T _s 사이의 거리	a	100 mm
밴드의 두께	t	5 mm	축과 T _t 사이의 거리	b	100 mm
밴드와 드럼 접촉각	θ	249.26°			

(다) 밴드제동장치 상세 설계

- 밴드제동장치의 드럼 공차는 $\varnothing 176 \text{ H7}(0, +0.04)$ 을 적용하고, 차축의 공차를 드럼에 맞도록 $\varnothing 176 (+0.141, +0.170)$ 로 가공



<밴드제동장치 3차원 형상>

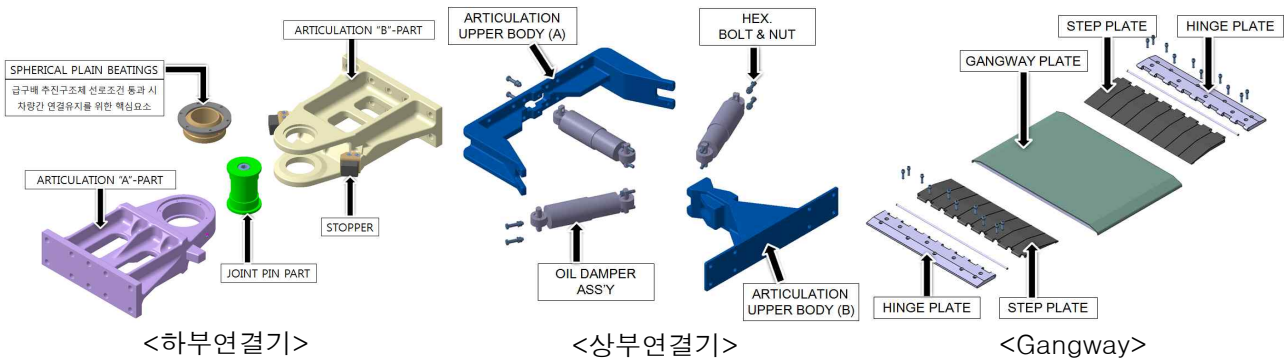


<밴드제동장치 조립도>

(4) 차량간 연결장치 설계

(가) 차량간 연결기 및 연결막 설계

- 급구배, 급곡선 주행 시의 굽힘과 비틀림, 동요를 흡수할 수 있는 하부연결기, 상부 연결 댐퍼, 하부 Gangway 설계



다. 급구배 궤도시스템 설계

(1) 급구배 추진시스템 운행 노선 타당성 검토

- (가) 급구배 추진시스템 운행구간 노선 수요자 만족도 조사
- 국내 급구배 지역에 대한 급구배 시스템 적합성 타당성 조사
 - 석굴암 진입로, 지리산 진입로, 영실 진입로 및 태종대 순환로 등

<수요자 만족도 조사개요>

조사 항목	조사 내용	조사/ 분석 방법
인적사항	· 성별, 나이, 거주지 등을 조사	· 설문 조사 · 선호도 조사/ 분석 · 교차 분석
대상지 이용사항	· 대상지까지의 소요시간 · 교통수단, 방문목적, 이용객 형태, 이용횟수, 방문시기 등을 조사하여 이용객 특성 파악	· 설문 조사 · 선호도 조사/ 분석 · 교차 분석
급구배 추진시스템 이용사항	· 급구배 추진시스템의 이용여부, 이용여부에 따른 이유, 장·단점을 조사하여 급구배 추진 시스템의 이용자 특성 파악	· 설문 조사 · 선호도 조사/ 분석 · 교차 분석

급구배 추진시스템 핵심기술개발을 위한 설문조사

안녕하십니까?
한국철도기술연구원이 추진하고 있는 급구배 추진시스템 핵심기술개발을 위한 기술자료를 수집하고 정책에 대한 시민 여러분의 의견을 듣고자 한국철도기술연구원의 의뢰로 (주)동부엔지니어링/우진엔지니어링/상지엔지니어링에서 설문조사를 실시하고 있습니다. 응답해 주신 내용은 통계법 제13조와 14조에 의해 비밀이 보장되며, 오직 통계적인 목적으로만 사용되거나 비공개처리도 감사 시간을 내어 주시면 감사하겠습니다.

■ 석굴암진입로(불국사주차장~석굴암주차장) 급구배추진시스템 노선계획

■ 노선개요 : 불국사주차장 ~ 석굴암주차장
■ 연 장 : 4.954km
■ 노선개요 : - 석굴암과 연결되는 별도의 등산로 연결
- 왕복 2차로
- 일반차량 통행 가능
- 태종교동(1개 노선) 운행중

급구배 시스템은 일정 노선(선로)을 운행하는 노면전차 종류의 대중교통수단입니다.

A. 인적사항 관련 문항

1. 인적사항에 관한 질문입니다.

성별	남	여	나이	_____	거주지 (시, 군, 구)	_____
----	---	---	----	-------	---------------	-------

B. 대상지 이용 관련 문항

1. 속도(또는 거주지)에서 대상지까지 소요시간은 얼마나 걸리십니까?
 ① 30분이내 ② 1시간이내 ③ 1시간~2시간이내 ④ 2시간이상

2. 대상지 이용시 어떤 교통수단을 이용하십니까?
 ① 승용차 ② 택시 ③ 버스 ④ 관광버스 ⑤ 도보 ⑥ 기타()

3. 대상지의 방문목적은 무엇입니까?
 ① 관광 ② 등산 ③ 여흥 ④ 기타()

4. 대상지를 이용시 주로 어떤 분과 이용하십니까?
 ① 혼자 ② 연인 ③ 친구 ④ 가족 ⑤ 동호회 ⑥ 기타()

5. 대상지의 방문횟수는 어떻게 되십니까?
 ① 연 1회이하 ② 연 2회~11회 ③ 연 11회이상

5-1. 대상지를 연2회이상 방문분의 방문시기에 어느 계절입니까?(응답가능)
 ① 봄(3-5월) ② 여름(6-8월) ③ 가을(9-11월) ④ 겨울(12-2월)

6. 대상지를 어느 계절에 가장 방문하고 싶으십니까?
 ① 봄(3-5월) ② 여름(6-8월) ③ 가을(9-11월) ④ 겨울(12-2월)

6-1. 겨울에 방문하고 싶으나 방문을 못하신 이유는 무엇입니까?
 ① 도로밀집으로 차량통행 불편 ② 매서운 추위
 ③ 시간 부족 ④ 기타()

6-2. 급구배 추진시스템은 도로밀집시 운행이 가능하여 겨울에도 여행을 할 수 있습니다. 6-1문항에서 ①만큼 언택하신 분 중 겨울철 방문을 위해 급구배시스템을 이용하실 의향이 있으십니까?

전혀 이용하지 않는다	별로 이용하지 않는다	보통이다	다소 이용한다	자주 이용한다
-------------	-------------	------	---------	---------

C. 급구배 추진시스템 이용 관련 문항

1. 만약 대상지 접근을 위한 급구배 추진시스템을 설치한다면 이용하실 의향이 있으십니까?

전혀 이용하지 않는다	별로 이용하지 않는다	보통이다	다소 이용한다	자주 이용한다
-------------	-------------	------	---------	---------

1-1. 이용하신다면 그 이유는 무엇입니까?
 ① 편리성 ② 접근성 ③ 호기심 ④ 기타()

1-2. 이용하지 않으신다면 그 이유는 무엇입니까?
 ① 환승불편 ② 환경훼손 ③ 도로밀집 ④ 기타()

2. 급구배추진시스템 설치시 교통적인 측면에서 가장 큰 영향을 무엇이라고 생각하십니까?
 ① 자연경관훼손 ② 관광목적에 의한 통행과제 ③ 급구배 소음 ④ 일출영향
 ⑤ 생태계 파괴 ⑥ 기타()

3. 급구배추진시스템 설치시 환경적인 측면에서 가장 큰 영향을 무엇이라고 생각하십니까?
 ① 자연경관훼손 ② 관광목적에 의한 통행과제 ③ 급구배 소음 ④ 일출영향
 ⑤ 생태계 파괴 ⑥ 기타()

4. 급구배추진시스템 설치시 교통적인 측면에서 가장 큰 영향을 무엇이라고 생각하십니까?
 ① 기존 도로를 이용한 왕복도 통행가능 ② 대가모양광소로 친환경적인 교통수단
 ③ 관광홍보효과 ④ 사계절이동가능 ⑤ 기타()

5. 급구배추진시스템 설치시 기존도로 통행차량보다 CO₂ 저감효과가 있다고 생각하십니까?

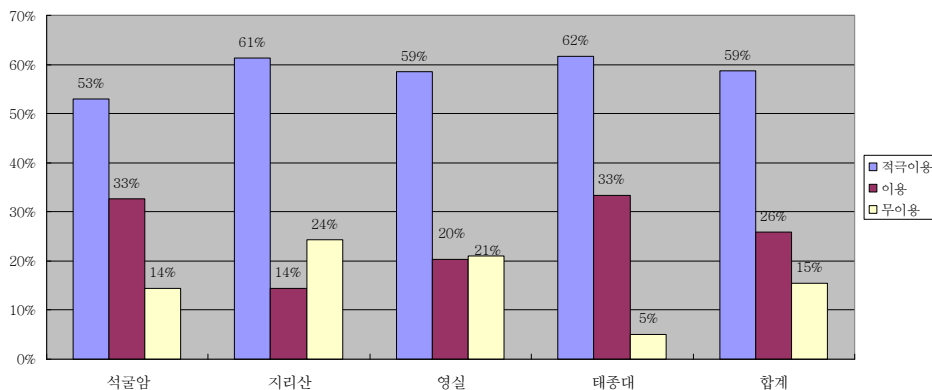
전혀 효과가 없다	효과가 없다	보통이다	효과가 있다	매우 효과가 있다
-----------	--------	------	--------	-----------

6. 급구배추진시스템 설치시 자연경관과 잘 조화될 수 있고, 주변 자연경관을 구경할 수 있다고 생각하십니까?

전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다
-----------	--------	------	-----	--------

<만족도 조사 설문지 예시>

- 설문조사 결과 85 %의 만족도 응답



<검토노선별 수요자 만족도 조사결과>

<국내 급구배 추진시스템 적용 검토 구간별 노선분석결과>

지역	구간	연장	최급기울기	최소곡선반경	비고
석굴암 진입로	불국사 주차장~석굴암 주차장	7km676	78%	12m	
지리산 도로	고기삼거리~도계쉼터	12km498	130%	10m	
영실진입로	영실삼거리~영실휴게소	4km954	170%	15m	일반차량 통제
태종대 순환로	태종대 관광용 순환로	3km590	160%	15m	일반차량 통제

- 교통적 측면에서는 급구배 추진시스템 도입 시 차량 통행이 가능한 도로 폭원(6~8.0m)을 유지하고 있는 것으로 조사되었으며, 설문조사 결과 긍정적인 비율이 75.7~95.0 %로 대체적으로 우호적인 것으로 분석
- 검토된 4개 노선은 급구배 추진시스템 적용 시 적합성이 높은 지역으로 판단

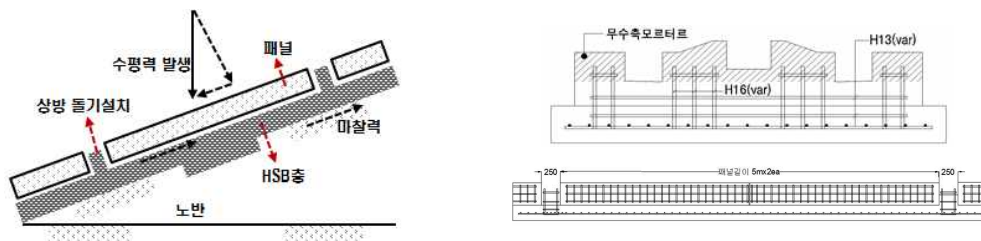
<급구배추진시스템 검토노선 교통 현황>

노선	도로여건	보행여건	대중교통	교통량	노선특성
석굴암 진입로	8.0m 양방통행	등산로 운영	1개 노선 운행	-	차량통행가능 대중교통 및 관광버스 운행
지리산 도로	6~7.0m 양방통행	보행로 미운영	-	1,656대/일	차량통행가능 화물차통행비율 높음
영실 진입로	8.0m 양방통행	보행로 미운영	1개 노선 운행	-	차량통행가능 일부구간 대형차량통행허용
태종대 순환로	7~8.0m 일방통행	보행로 운영	-	-	차량 통제 다누비 열차 운행

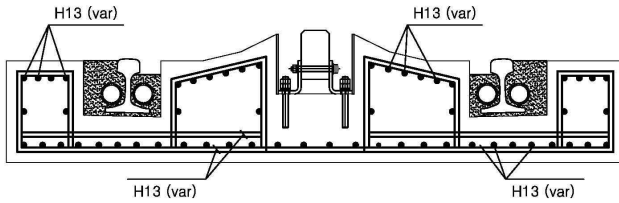
(2) 급구배 궤도시스템 상세설계

(가) 급구배 궤도시스템 상세설계안 도출

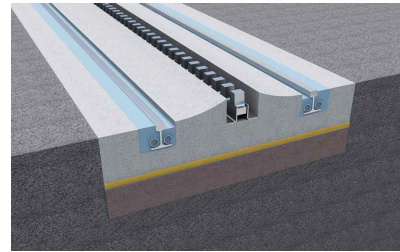
- 설계 기준 정립 및 차량-궤도 인터페이스를 통한 단면 산정
- 구조계산을 통한 단면 철근 배근



<구배 구간 돌출형 HSB층>



<패널 단면도>



<매립형 톱니궤도>

<단면 설정 검토 내용>

구분	검토내용	적용 (mm)
Rack	분기기 통과 및 Rack 보호	75
	Rack & Pinion 상호작용 및 체결 필요단면	W220 × H170
	플랜지 깊이	45
Rail	최대 슬랙(Smax) 허용폭	60
	곡선반경 R10m 레일가공을 고려한 레일설치 단면	W220 × H160
	레일수직 마모(10mm) 및 차량 마모(3mm) 와 레일탄성 변위(1.5~ 4.0mm)	6
	레일패드 기능 고려 / 50kgN 레일담면기울기 반영(1:40)	10

- 종방향 저항성 증대를 위한 돌출형 HSB 층 설계
- 급구배 궤도시스템 강도 검토
 - 종방향 구조해석을 통한 요구성능 (휨모멘트 및 전단력) 산정
 - 지반-궤도 상호작용 고려한 패널 변위 및 응력 평가 결과 허용 변위 및 응력 만족

<급구배 궤도시스템 구조해석 결과>

구분	콘크리트기층(HSB)	강화노반
궤도패널 주응력		
	<ul style="list-style-type: none"> • 지반의 최소 주응력 분포 (압축) • 최소값 : 0.028 MPa < 0.089 MPa (O.K) 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반의 최소 주응력 분포 (압축) • 최소값 : 0.046 MPa < 0.089 MPa (O.K)
노반처짐		
	<ul style="list-style-type: none"> • 최대처짐 = 1.158 mm • 최대들림 = 0.19 mm → 상대치 : 1,348 mm (O.K) • 패널간 단차 = 0.025 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • 최대처짐 = 1.495 mm • 최대들림 = 0.44 mm → 상대치 = 1.935 mm (O.K) • 패널간 단차 = 0.063mm

(3) 급구배 궤도시스템 탄성충진재 및 베딩재 시제품 개발

(가) 탄성충진재 원료실험

○ 일반적 특성

<탄성충진재 특성>

품명	FM-200A (주제)	FM-200B (경화제)
외관	진황색 투명	검정 불투명
고형분 (%)	93.0	97.8
NCO (%)	23.1	-
점도 (Cps/ 25℃)	500	720
성분	MDI계 Prepolymer (※MDI:4,4-Diphenylmethane diisocyanate)	Polyester Polyol 및 Glycol Mixture
배합비	FM-200A/FM-200B=1/2	
	shore A - 70	

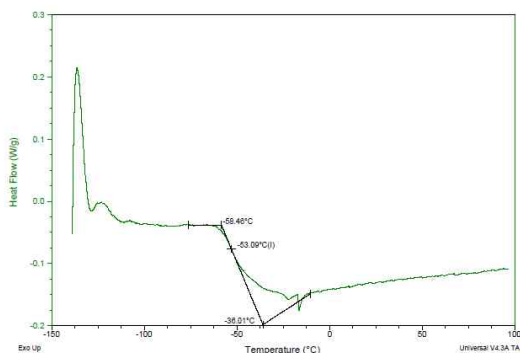
○ 기계적 특성

<탄성충진재 기계적 특성>

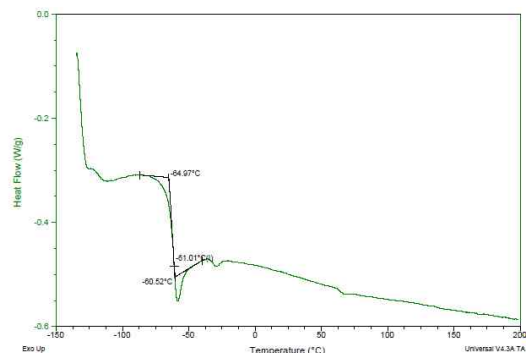
측정항목	단위	측정방법	측정수치
100% Modulus	MPa	ASTM D 638	2.744
200% Modulus	MPa	ASTM D 638	10.98
300% Modulus	MPa	ASTM D 638	-
Tensile Strength	MPa	ASTM D 638	19.8
Elongation	%	ASTM D 638	250

○ 유리전이온도

- 고체 상태에서 유동성 액체 상태로 형이 변화하는 온도로 일반적으로 Tg값이 낮을수록 재료는 유연성을 가지게 되며 Tg값이 높을수록 강성이 있는 성향
- 시험장비는 DSC로 분석을 진행하였으며 유리전이온도(Tg)를 측정
- 실험결과 FM-200A(주제)의 유리전이 온도는 -53.09℃이며 FM-200B(경화제)의 유리전이 온도는 -61.01℃으로 확인



<FM-200A(주제) 유리전이온도>



<FM-200B(경화제) 유리전이온도>

○ 내열성실험

- 산악지형의 특성상 일교차가 큰 지역이며 따라서, 열에 대한 저항성이 우수한 재료로 설

계가 진행

- 내열성열분석 실험은 KS M 6518에 따라 노화시험기(Rubber Aging Tester)로 진행하였으며 최대 300°C까지 측정이 가능한 시험기로 진행
- 내열성 실험은 0°C부터 진행되며 시편을 크기를 50mm*50mm Film으로 제작하여 온도를 올려 Film이 녹아 흘러내리는 온도가 내열성의 평가
- 실험결과 내열성이 300°C이상이 측정되어 내열성이 매우 우수한 것으로 평가됨



<내열성 실험>

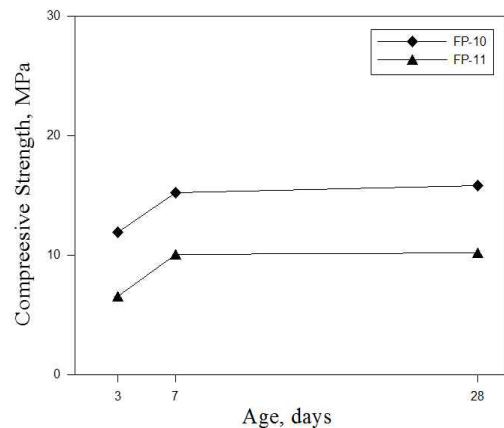
(가) 탄성 충전재 요소실험

○ 압축강도

- 압축강도 실험은 KS K 5105에 의거하여 실험을 진행
- 실험 결과 FP10의 설계 배합이 압축강도에서 우수한 물성을 발현
- FP10과 FP11의 물성을 비교했을 때, 3일 양생 후 압축강도는 28일 양생에 비해 약 60 %의 강도를 발현하였으며, 7일과 28일 양생 후 압축강도는 크게 차이나 나지 않는 것을 확인
- 탄성충진재의 반응이 7일이 지난 시점에서 90 % 이상 발생한 것으로 판단

<탄성충진재 재령별 압축강도 Data>

시간	FP 10	FP 11
3 일	11.9	6.52
7 일	15.24	10.02
28 일	19.74	10.13



<탄성충진재 재령별 압축강도 그래프>

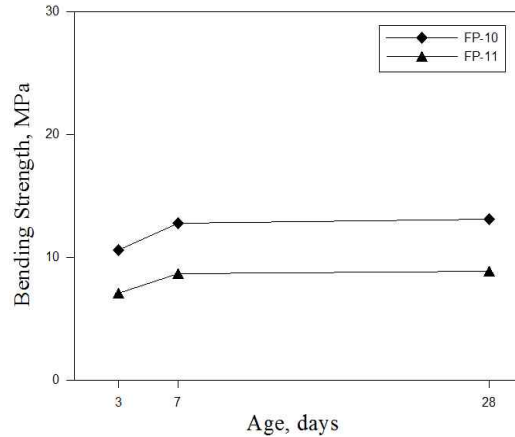
○ 휨강도

- 휨강도 실험은 KS에 규정된 몰탈의 휨강도 시험에 따라 실험 진행

- 실험 결과 FP10의 물성이 FP11보다 우수한 강도를 발현하는 것으로 확인

<탄성충진재 재령별 휨강도 Data>

시간	FP 10	FP 11
3 일	10.60	7.09
7 일	12.07	8.63
28 일	12.78	8.85



<탄성충진재 재령별 휨강도 그래프>

○ 탄성계수

- 탄성계수 실험은 KS F 2438에 따라 100φ200 원주형 공시체의 일축 압축실험을 통해 탄성계수를 측정
- 압축강도 실험과 휨강도 실험에서 볼 수 있듯이 7일 양생 후 강도의 발현이 거의 이루어지므로, 7일 표준 양생을 거친 실험체를 대상으로 실험을 수행
- 실험 결과 탄성계수는 평균 185.2 MPa로 나타남

<탄성충진재 7일 탄성계수>

항목	1	2	3	평균
탄성계수 (MPa)	181.6	172.0	201.9	185.2



<실험 전>



<실험 후>

(나) 탄성 충진재 내구특성 실험

○ 동결융해 실험

- 산악지역의 경우 도심에 의해 일교차가 매우 크므로, 재료의 매립 시 내후성의 문제점에 대한 검증이 필요할 것으로 판단
- 급속 동결융해시험에서 가장 널리 이용되는 것은 ASTM C 666(Resistance of Concrete Rapid Freezing and Thawing)

- 실험 진행 과정은 콘크리트 공시체의 중심 온도가 동결 시 -18 °C, 용해 시 +4 °C가 되도록 수중 또는 기증에서 동결 용해의 반복 적용을 1사이클에서 2~4시간 정도로 300사이클 또는 상대동탄성계수가 60 %이하가 되는 사이클까지 반복 진행
- 동결 용해의 저항 정도를 수치로 표현하는 방법으로 상대동탄성계수를 측정하여 내구성 지수를 구하며, 이는 콘크리트의 열화정도를 판단하는 기준이 됨

$$DF = \frac{PN}{M}$$

여기서, DF : 시험용 공시체의 내구성 지수

P : N 사이클에서의 상대동탄성 계수 (%)

N : 상대동탄성계수가 60 %가 되는 사이클 수 또는 동결 용해에 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M : 동결용해에 노출이 끝날 때의 사이클 수



0사이클 1번공시체 50사이클 1번공시체 100사이클 1번공시체 100사이클 (확대)



150사이클 1번공시체 200사이클 1번공시체 250사이클 1번공시체 300사이클 1번공시체

- 급속동결용해 실험이 진행되면서 1번, 4번 공시체 표면에 스케일링이 발생한 것을 확인
- 실험 사이클 횟수 증가에 따라 표면 열화의 정도는 심화되지 않는 것을 확인
- 콘크리트 또는 몰탈은 시멘트와 골재, 물의 수화 반응으로 인해 경화가 진행되고, 그에 따라 공극의 크기가 비교적 큰 재료임
- 탄성콘크리트의 경우 PU바인더와 골재로 구성된 원료가 화학 반응을 통해 경화가 진행되며, 폴리머의 경화반응은 필름을 형성하여 진행
- 동결용해에 대한 저항성이 일반 콘크리트에 비해 현저히 좋은 것으로 보이며, 아래의 표는 사이클별로 정리된 동탄성계수임

<동결 용해 상대동탄성 계수>

항목	공시체 1번	공시체 2번	공시체 3번
0 Cycle	100	100	100
60 Cycle	101.7	72.08	100.06
120 Cycle	120.48	83.26	117.36
180 Cycle	100.14	68.24	168.10
240 Cycle	112.44	108.54	101.13
300 Cycle	100.37	103.36	100.37

○ 온도 변화에 따른 강도 특성

- 급구배 궤도 시스템 개발 과정의 특성상 철도궤도는 산악에 정용이 가능한 재료로 설계가 되어야 함
- 산악지대의 경우 일반적인 환경조건보다 일교차가 크고 상대적으로 가혹한 조건임
- 본 연구과제의 적용 대상지 중 한 곳인 남원시 온도조건을 살펴보았을 때 최저온도는 1월 -15.2 °C, 최고온도는 8월 35.9 °C로 기온차가 크게는 50 °C 이상임
- 온도 변화에 따른 탄성 충전재의 강도 변화를 살펴보기 위해 실험을 진행
- 온도변화에 따른 강도변화 실험은 크게 4가지 조건을 주어 실험을 진행함
 - 50 °C와 -50 °C의 사이클
 - -50 °C에서 지속적으로 거취
 - -20 °C에서 지속적으로 거취
 - 50 °C에서 지속적으로 거취
- 총 4가지 변수를 가지고 실험을 진행함으로써 사이클에 따른 온도변화, 각 온도(-50, -20, 50 °C)별 외관상 변화, 길이변화(수축 및 팽창), 압축강도 및 휨강도의 물리적인 성능에 대한 평가를 진행



<20°C 향온향습 양생>



<-50°C 저온양생>



<50°C 고온양생>

- 실험결과는 크게 4가지로 압축강도, 휨강도, 길이변화, 외관상 상태변화로 구분하여 진행
- 실험은 총 40사이클을 진행하였으며 -50 °C 2시간 거취, -20 °C의 향온향습 2시간 거취, -50 °C 2시간 거취를 1사이클로 진행

○ 압축강도, 휨강도

- 압축강도의 경우 20 °C에서 향온향습 시킨 재료와 온·냉 반복 실험을 거친 공시체의 물성을 비교하였을 때 7일 양생의 경우 약 93 %, 14일 양생의 경우 약 95 %의 강도를 보

입

<온/ 냉 반복 실험 후 압축강도>

시간	20 ℃	-50 ℃~50 ℃	강도비 (%)
7 일	15.24 MPa	14.14 MPa	93
14 일	17.34 MPa	16.43 MPa	95

○ 휨강도

- 7일 재령으로 온·냉반복 실험을 진행 후 휨강도는 20 ℃ 항온항습 시킨 공시체와 비교하였을 시 약 93 %의 강도비율을 발현한 것으로 나타남
- 재령 14일로 온·냉 반복 실험을 진행 후 휨강도는 20 ℃ 항온항습 시킨 공시체와 비교하였을 시 약 98 %의 강도비율을 발현한 것으로 나타남

<온/ 냉 반복 실험 후 휨강도>

시간	20 ℃	-50 ℃~50 ℃	강도비 (%)
7 일	12.07 MPa	11.19 MPa	93
14 일	12.24 MPa	12.04 MPa	98

○ 외관 상태 비교

- 단순 외관상의 형태 변화를 비교해 보았을 때 아래 그림과 같이 외관상에는 큰 변화를 찾을 수 없었음



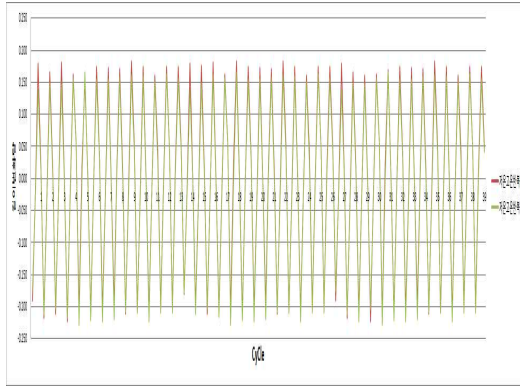
<10사이클 후 외관> <20사이클 후 외관> <30사이클 후 외관> <40사이클 후 외관>



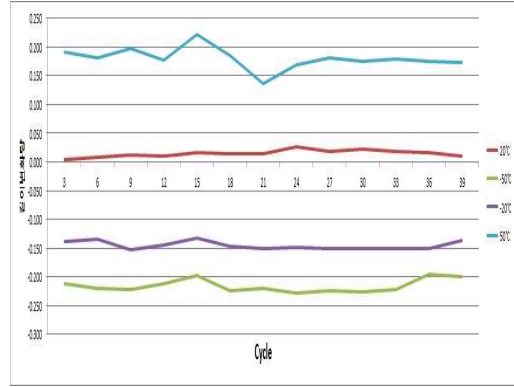
<소형공시체 제작>

○ 길이변화 실험

- 길이변화율의 경우 -50 ℃저온, 20 ℃항온항습, 50 ℃고온의 각 사이클의 온도 변화시점에서 측정을 진행하였으며 1번의 사이클에 총 5번의 길이변화율을 측정하였음
- 길이변화율은 고정된 온도에서 양생된 탄성충진재와 냉·온 반복실험에 의한 길이변화율로 비교할 수 으며, 고정된 온도의 길이변화율을 보았을 때 20 ℃의 항온항습으로 양생시킨 공시체의 길이변화율은 약 0.01 %로 매우 안정적인 길이변화율을 나타냄



<냉/ 온 반복 실험 시 길이변화율>



<고정된 온도에서의 길이변화율>

(2) 시스템 조합실험을 통한 개발 재료의 성능 시험

- 레일과 탄성 충진재를 조합하여 충진재가 레일 체결장치로서의 역할 여부가 가능한지에 대하여 연구를 수행

<탄성충진재 시스템 조합실험 실험 항목 및 요구성능 조건>

대항목	소항목	실험 항목	요구 성능
탄성충진재-레일인터페이스	기계적 특성	실대형 종방향 저항력 실험	2 mm 변위 발생 시 14 kN 이상

○ 레일-탄성충진재-콘크리트 종방향 저항력실험

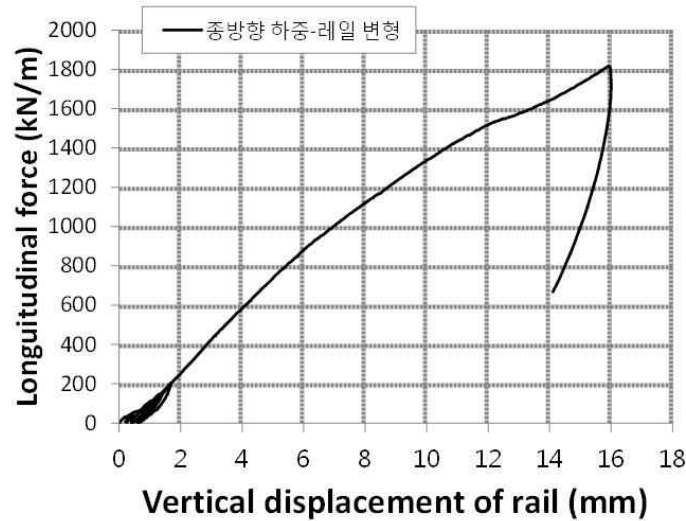
- 실대형 콘크리트 시험체(1000x1000x1000 mm)를 제작하여 50 kgN의 레일을 탄성충진재와 함께 삽입하여 경화시킨 후 레일의 상면에 축방향 하중을 가력하여, 콘크리트-탄성충진재의 분리 및 탄성충진재와-레일의 분리를 관찰하고 하중변위 곡선을 측정하여 궤도의 종방향 저항 능력을 평가함



<실대형 탄성충진재 종방향 저항력 실험>

- 실험 결과 레일-탄성충진재 인터페이스에서 상대변위는 미미하였으나, 콘크리트와 탄성충진재 사이에서 변형이 먼저 발생함

- 체결부 성능 규격(EN 13481-5)에 의하면 2 mm 변위 발생 시 종방향 저항력은 14 kN 이상이 되어야 함
- 실험 결과 위의 그림과 같이 2 mm 변위 발생 시 종방향 하중은 약 300 kN/m로 종방향 저항력이 우수한 것을 확인



<실대형 탄성충진재 종방향 저항력 실험 결과>

라. 급구배 추진 대차시스템 제작

(1) 급구배 추진 대차 핵심 부품 제작

(가) 차축 제작

- 윤축 부품 제작 및 조립



<피니언, 드럼, 디스크 시트 차축 조립>



<차륜 시트 조립>



<베어링 조립>



<차륜 조립>



<동력축 조립 완성>



<중축 조립 완성>

(나) 구동장치 제작

- 차축 구동을 위한 감속구동장치(드라이빙기어) 제작



<감속구동장치 제작>



<감속구동장치 성능 검증>

- 감속구동장치(드라이빙기어) 무부하 시험
 - 드라이빙기어 조립 후, 정회전/역회전 방향으로 무부하 구동시험을 진행
 - 정회전과 역회전을 각각 90분 실시하여 소음 측정, 진동 측정, 오일 누유 확인 검사, 베어링 온도 측정 실시

NO-LOAD RUNNING TEST REPORT PAGE : 1 OF 1

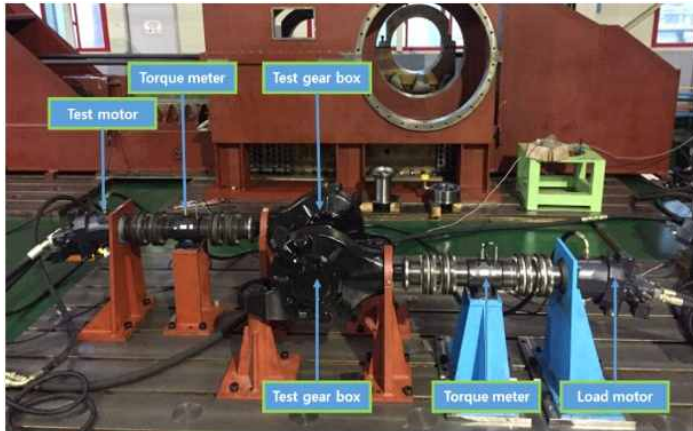
CUSTOMER	우린산업		D.W.G NO	B80100A			
PJT NAME	신약 협차용	GEAR BOX	ITEM NO				
ITEM	B0.95BKW * 1086RPM * 1/5.83		RESULT	<input checked="" type="checkbox"/> ACCEPT <input type="checkbox"/> REJECT			
PART NAME	GEAR BOX ASS'Y		CONTROL NO	W1504-150-1			
Q'TY	1 SET		DATE	2015. 11. 06			
1.TEST OIL : ISO VG 220							
BEARING TEMP RECORD							
ROTA-TION INPUT SIDE	TEMP(°C)	SPEC : AMBIENT TEMP+40°C (MAX)			AMBIENT TEMP (°C)		
	TIME(min)	1 (INPUT)	2 (OUTPUT)	3			
	START						
C.W	30	30	30	30	30		
	60	30	30	30	30		
	90	30	30	30	30		
C.C.W	120	30	30	30	30		
	150	30	30	30	30		
	180	30	30	30	30		
NOISE RECORD							
MEASUREMENT PART	A	B	C	D	SURROUNDING NOISE	SPEC	MEASUREMENT DISTANCE
RESULTS	37	37	37	37	36	dB(A)	98dB(A) Max
VIBRATION RECORD							
MARKS	1(INPUT)	2(OUTPUT)			SPEC	DIL LEAKAGE : NONE	
V	0.49	0.44			4.5mm/sec Max		
H	1.14	1.34					
A	0.25	1.36					
REDUCTION RATIO RECORD							
SPECIFICATION		TEST RPM					
INPUT	1086 RPM	INPUT	1086.0 RPM				
OUTPUT	186.3 RPM	OUTPUT	186.9 RPM				
RATIO	1/5.83	RATIO	1/5.83				
RATIO TOLERANCE ±3% (5.655-6.005)							
DECIDE							
INSPECTED	CHECKED	APPROVED	WITNESSED BY CUSTOMER/REP.				
2015. 11. 06	2015. 11. 06	2015. 11. 06					
P700-05-02 Woorim Machinery Co., Ltd. A4(210mmx297mm)							



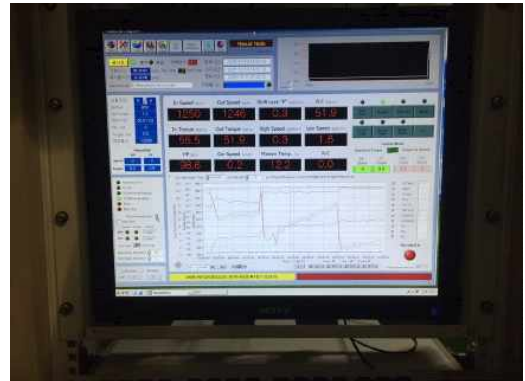
<드라이빙기어 무부하 시험>

<무부하 시험 결과 보고>

- 감속구동장치 부하 시험
- 드라이빙기어 부하 시험



<드라이빙기어 부하 시험 장치>



<Torque data acquisition system>

- 부하시험 결과

<드라이빙기어 부하시험 결과>

항목	기준	결과	
부하시험 (시험 조건표 에 의함)	① 오일 누유	오일 누유가 없어야 함	만족 (오일 누유 없음)
	② 볼트 풀림	볼트 풀림이 없어야 함	만족 (볼트 풀림 없음)
	③ 온도 상승	상승온도 60°C 이하 (상승온도=측정온도-대 기온도)	만족 (53 °C)
	④ 효율 시험	최대토크 시 동력손실 2.5% 이하	만족 (결과 그래프 참고)
		최고속도 시 동력손실 4.0% 이하	
	⑤ 소음 시험	90 dB 이하 이상 소음 없음	만족 (79 dB, 이상 소음 없음)
⑥ 이상 진동	이상 진동 없음	만족 (이상 진동 없음)	

○ 추진 구동을 위한 프로펠러샤프트 제작

- 재료시험 및 용접부 절단 시험, 부식 시험, 저널베어링 비파괴 검사 수행 및 성적서 발행

열처리 검사 성적서

LOT NO: HEAT-TREATMENT
SIZE: INSPECTION REPORTS
NAME: 한성중공업 (주)
SPECIFICATION: JIS S45C
QTY: 1 EA
MATERIAL: ACAC 75
METHOD: ASME Q13.1

열처리 온도: 820°C
냉각 속도: 100°C/hr
유도 온도: 70-100°C

재료시험 성적서

남일엔피아이
NAMIL NEW PRECISION INDUSTRY
737 DAEHANGDONG, GILGEO-GU, GANGWU-KU, SEOUL, KOREA
TEL: 02-9392-9811 FAX: 02-9392-9854

재료 시험 성적서
REPORT OF INSPECTION AND TESTS OF MATERIAL

종류: ACAC 75
시편 번호: 1EA
시험 일자: 2015.05.15
시험 방법: TENSION TEST

종류	화학 조성 (%)
시편 번호	C: 0.45, Mn: 0.35, P: 0.015, S: 0.015, Si: 0.35, Ni: 0.005, Cu: 0.03, Al: 0.005, Fe: Bal.

용접부 절단 검사

비틀림 파괴시험 종료 SAMPLE
시료 절단

비틀림 내구성시험 종료 SAMPLE
관절부위
시료 절단

<용접부 절단 검사>

T/YOKE 커팅 사진

용접부 부식시험사진

용접부 확대사진

용인율 100% 이상 양호

용인율 100% 이상 양호

S/YOKE 커팅 사진

용접부 부식시험사진

용접부 확대사진

용인율 100% 이상 양호

용인율 100% 이상 양호

<용접부 부식시험>



<저널 베어링 비파괴 검사>

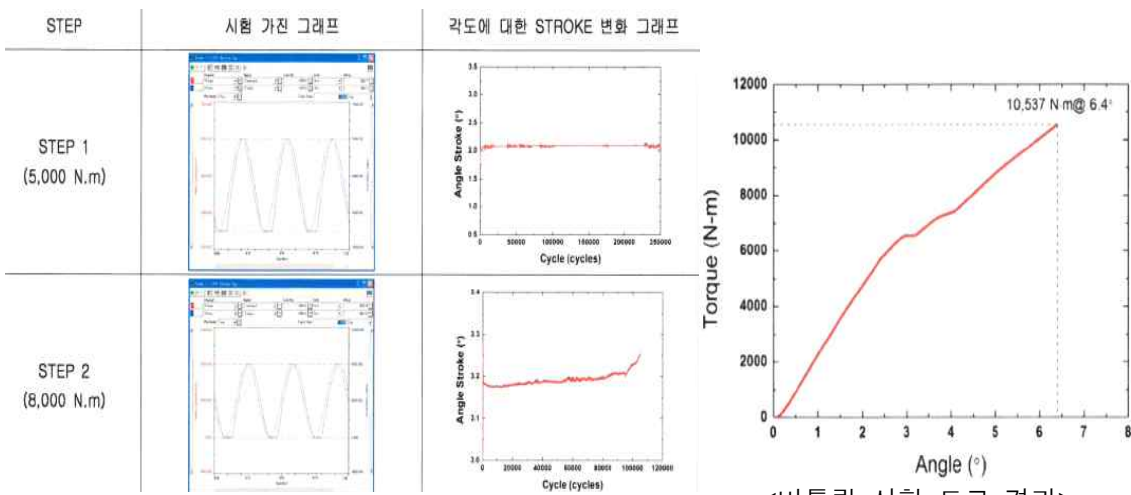
○ 프로펠러샤프트 비틀림 및 내구성 시험 결과

- 시험 장비 최대 하중 10,537 N-m까지 하중 부하시에도 파괴가 발생하지 않음(안전율 5 이상 확인)

- 차량 최대 작동 토크 1,895 N·m의 2.5배 이상의 5,000 N·m 토크에서 25만 사이클 시험에서도 균열이 발생하지 않음



<비틀림 파괴 / 비틀림 내구 시험 (전북자동차연구원, JIAT)>



<비틀림 반복 하중후 Stroke 변화>

<비틀림 시험 토크 결과>

(다) 급구배 추진시스템 제작

- 견인전동기 제작

<견인전동기 검사성적서>

- 추진제어장치 및 충전배터리 제작



<견인전동기 제작>



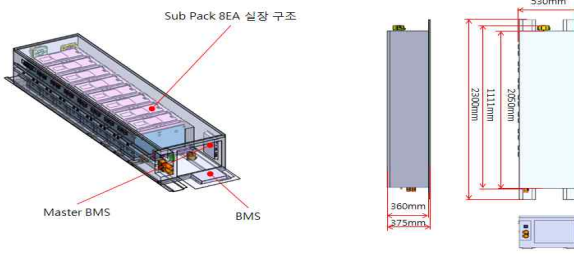
<추진제어장치 제작>



<부품 조립 및 배선>



<완성 추진제어장치>



<충전 배터리 제작>

○ 동절기 배터리 안전성 확보

- 무가선 저장트램의 배터리는 수냉냉각장치의 철리내에 설치된 소형히터로 예열 및 보온을 하여 겨울철 배터리 성능 유지
- 배터리 예열 장치 추가에 따른 배터리 성능 확보

(2) 급구배 추진 대차 제작

(가) 대차프레임 제작

- 판재(SM490A, 12t) 절단 → 조립 → 용접 → 검사

(다) 급구배 추진 대차 조립

- 견인장치 및 구동장치 조립
- 완성 대차 조립



<견인장치 조립>



<추진/구동장치 조립 형상>



<조립 중인 급구배 추진 대차>

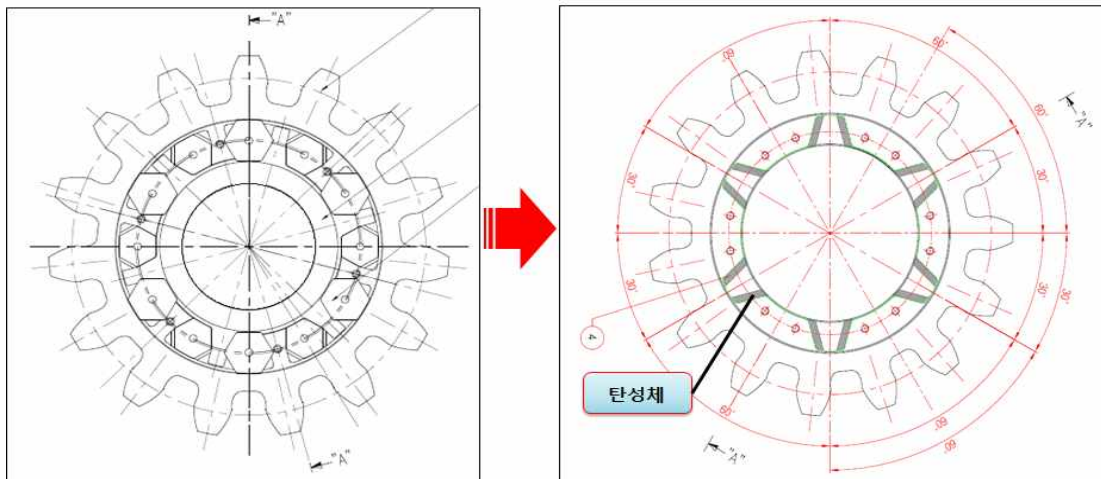


<완성된 급구배 추진 대차>

(3) 급구배 추진 Rack & Pinion 제작

(가) 탄성 Pinion 보완 시제품

- 기존의 탄성 Pinion의 외측 기어와 내측 보스로 분리된 이중 구조를 유지하여 진동 및 소음 저감 효과는 유지하고, 외측 기어와 보스 사이의 육각기둥 형태의 천연고무 타입이 아닌 패드형의 탄성체를 삽입
- 파손염려가 적고, 유지보수가 용이한 패드형 탄성체 적용
- 기계적 강도 및 내마모성이 우수한 우레탄 고무 소재의 탄성체 선정
- 기존의 시제품보다 안전성을 높이기 위해 커버의 체결 볼트를 6개에서 12개로 증가



<탄성체가 변경된 보완 탄성 Pinion>

(나) 탄성 Pinion 제작

- 패드형 탄성체를 삽입한 탄성 Pinion 제작



<탄성피니언 조립>



<탄성피니언 외측 기어>



<내측 보스>



<패드형 탄성체>

(4) 급구배 추진시스템 제동장치 제작

(가) 공압식 제동장치 제작

- 댐퍼 및 공압식 제동장치 디스크 및 캘리퍼 제작



<제동디스크 및 캘리퍼 제작>



<공압 제동장치 조립>

(나) 유압식 밴드제동장치 제작 및 설치

- 밴드제동장치 핵심 부품인 라이닝의 제작 품질 관리를 위하여 “산악열차 Band Brake 라이닝 제작 규격서” 작성

산악열차 Band Brake 라이닝
제작 규격서

2015.10



제작규격서		용어명칭	ISO 15926-1			
(주)에코마이스터		밴드브레이크 라이닝	1.1.1			
<p>특 차</p> <p>1. 목적</p> <p>2. 적용범위</p> <p>3. 범위 유래 및 도판</p> <p>4. 용어 설명</p> <p>5. 검사</p> <p>6. 시험</p> <p>7. 포장 및 표시</p> <p>8. 기타 사항</p>						
구분	적용도	이행	유지/개선/취소	작성	검토	승인
개	2015.10.10	2015.10.10				
정						
이						
취						



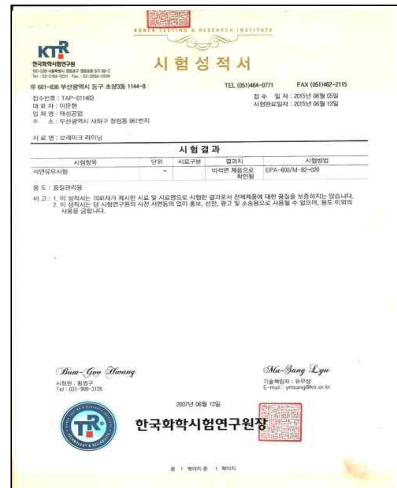
<밴드제동장치 드럼>

<밴드제동장치 라이닝 제작규격서>

- 밴드제동장치 의 브레이크 라이닝의 품질 검사를 위하여 “KS L 5212 산업기계용 브레이크 라이닝(2008)” 을 참조하여 비석면 검사 및 정속마찰 시험 실시한 결과, 설계 기준에 적합한 것으로 나타남

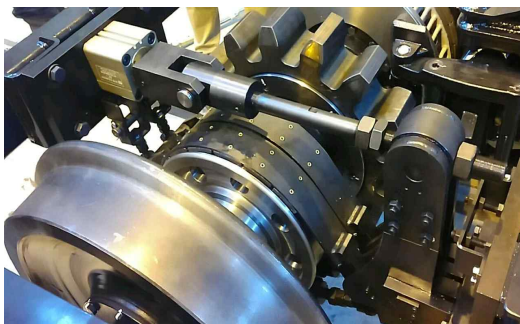


<밴드제동장치 라이닝>



<라이닝 시험성적서>

- 밴드제동장치를 대차에 설치



<차축에 설치된 밴드제동장치>



<밴드제동장치 드럼과 라이닝>

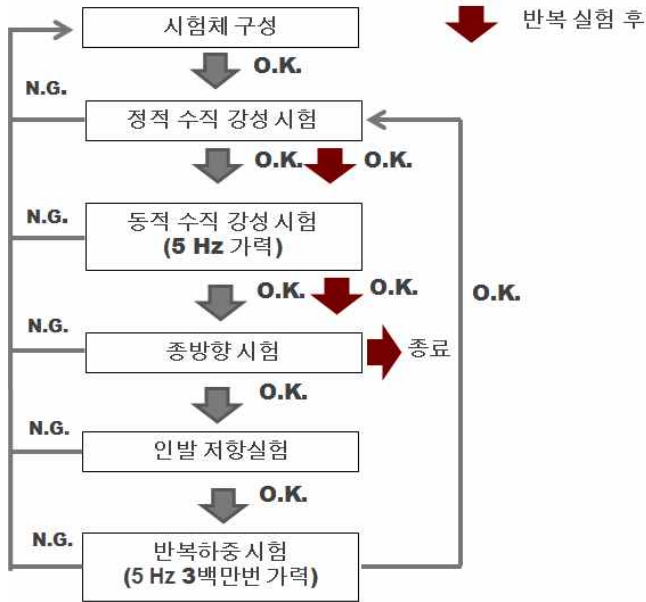
- 밴드제동장치 추가 보완 항목
 - 협소한 대차 내부 공간에 피니언, 디스크 제동장치와 함께 설치하기 위해 제동장치의 소형 경량화 필요

마. 급구배 궤도시스템 제작

(1) 급구배 궤도시스템 탄성충진재 및 베딩재 완성 시제품 제작

(가) 탄성충진재 및 베딩재 완성 시제품 제작 및 시험 절차

- 탄성충진재 주요 시험 내용
 - 한국철도표준규격 KRS TR 0014-15R에 의거하여 실험 진행
 - “매립형철도궤도 시스템 성능평가”, 2008년 철도학회 춘계학술대회 논문집(pp.1649-1568)에 성능 평가 항목을 기준으로 본 개발기술의 성능평가 진행
- 탄성충진재 성능 시험 절차
 - 시험절차 개요도



<급구배 궤도시스템 성능시험 절차>



<MTS 250kN 피로시험기>

○ 성능시험 요구조건

<급구배 궤도시스템 성능시험 요구조건>

항목		KTRS TR 0014-15R	매립형철도궤도 시스템	본 연구
정적 수직강성		요청자 제시	41.15kN (실험결과, L=600mm)	요청자 제시
동적 수직강성		요청자 제시	94.97kN (실험결과, L=600mm)	요청자 제시 (정적대비 1.1~1.3배)
종방향 저항력		7kN	7kN/mm 이상	7kN/mm 이상
반복하중시험	수직강성변화범위	반복시험 전 25% 이하	반복시험 전 25% 이하	반복시험 전 25% 이하
	종방향 저항력 및 강성변화범위	반복시험 전 20% 이하	반복시험 전 20% 이하	반복시험 전 20% 이하
인발저항시험		균열 및 파손 없어야 함	16kN 이상	16kN 이상 (L=600mm)

○ 체결장치 분류

- 일반적으로 축중, 곡선반경, 설계속도, 레일 단면, 침목 또는 지지체 간격 등에 따라 체결장치 형식을 구분
- 체결장치는 B형식 체결장치로서 도시철도, 산업용 철도 등과 같이 일반적으로 축중 160kN, 최소 곡선반경 100m, 최고 속도 140km/h, 50kg/m 또는 60kg/m 레일, 침목 또는 지지체 간격이 600mm 내외인 선로에 적용되는 레일체결장치 적용

○ 수직강성 측정 하중(정적 및 동적 동일)

- KRS TR 0014-15R에 의거하여 B형식 체결장치로 구분하여 하중 적용

○ 반복하중 시험하중

- KRS TR 0014-15R에 의거하여 B형식 체결장치로 구분하여 반복하중의 시험하중과 하중 재하 위치 결정

○ 탄성충진재 시험체 제작

- 시험체 타설은 레일패드 제작(1/40경사 반영), 레일 거취, PVC관 거취 및 단부처리 후 탄성충진재 타설의 절차로 진행



<레일패드 제작>



<레일거취>



<PVC관 거취 및 단부처리>



<탄성충진재 타설>

(나) 탄성충진재 및 베딩재 완성 시제품 시험

○ 정적 수직강성시험

- 레일 두부 중심선에 1kN~43kN까지 일정한 속도로 하중을 재하하여 레일 저부 4개의 변위 측정 장치를 이용하여 수직변위 측정



<정/동적 수직강성 시험>



<종방향 저항력 시험>

○ 동적 수직강성시험

- 레일체결장치 조립체의 동적 강성을 결정하기 위한 절차이며, 이 동적 강성을 통해서 반복하중 시험 시 해당 체결장치 형식별 적용 최대 하중 결정
- 동일하중을 적용하여 5Hz의 속도로 1000번 하중을 재하하는 실험을 진행

- 종방향 저항력시험
 - 수지고정형 레일체결장치가 적용되는 매립형 궤도 시스템 시험체에 대한 규정된 종방향 변위에서의 종방향 강성을 확인 하는 시험
 - 레일 한 쪽 단부를 일정한 속도로 종방향력을 가하고, 시험 시작 단계부터 하중 및 레일의 상대변위 측정
 - 1kN~70kN까지 가력하여 변위 측정



<인발저항력 시험>



<반복하중 시험>

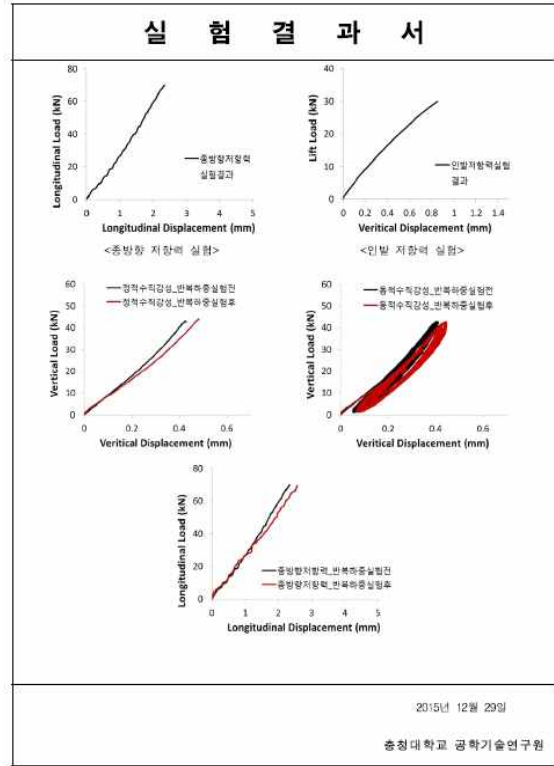
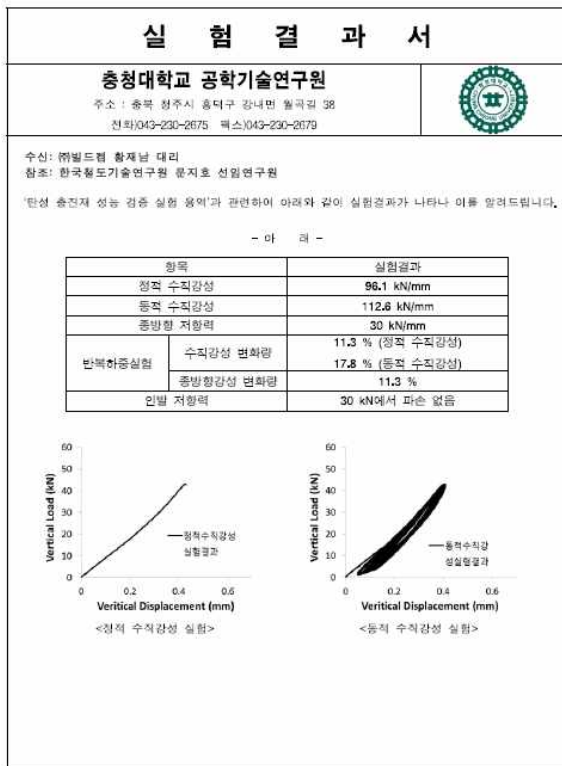
- 인발 저항력시험
 - 콘크리트 내부에 매립되거나 콘크리트 경화 후 부착되는 체결장치의 인발력에 대한 저항 성능을 확보하고 있는지 여부를 결정하기 위한 실험
 - 레일 좌면부에 수직방향으로 일정한 속도로 정하중을 재하하며 16kN 이상 하중 재하 시 균열 및 파손이 없어야 함
- 반복하중시험
 - 궤도 상의 차량 운행으로 발생할 수 있는 변위를 나타낼 수 있는 주기적인 반복 변위를 가하는 실내 실험
 - 체결장치의 장기 성능을 평가하는데 적용
 - 5Hz의 속도로 총 300만번 반복하중을 재하하여 레일 두부 횡변위를 측정
- 반복하중시험 후 정적/동적 수직강성 변화 시험
- 반복하중시험 후 종방향 저항력 시험
- 탄성충진재 성능시험 결과
 - 공인 시험기관 시험성적서 발급

<급구배 궤도시스템 탄성충진재 성능시험 결과>

항목	요구조건	실험결과	만족여부
정적 수직강성	요청자 제시	96.1kN/mm	OK
동적 수직강성	요청자 제시 (정적대비 1.1~1.3배)	112.6kN/mm	OK
종방향 저항력	7kN/mm 이상	30kN/mm	OK
반복하중시험	수직강성변화범위	반복시험 전 11.3% (정적) 25% 이하 17.8% (동적)	OK
	종방향 저항력 및 강성변화범위	반복시험 전 20% 이하 11.3%	OK
인발저항시험	균열 및 파손 없어야 함	30kN에서 균열 및 파손없음	OK

<기존 제품과의 차별성>

항목	기존 제품	탄성충진재
사용재료	Polycork	Polyurethane + 특수바인더
주요 재료특성	빠른시공, 연속탄성지지, 저진동 등 평지 주행에 적합한 재료특성	고내구성, 고내후성등 산악철도 환경에 적합한 재료특성
환경특성	-	300℃이상의 내열성과 저온환경 동결융해 저항성능 우수
성능특성	유연성이 진동, 소음에 집중한 성능 특성	유연성이 우수하며 내후성 및 내구성이 우수한 성능특성



<탄성충진재 시험성적서>

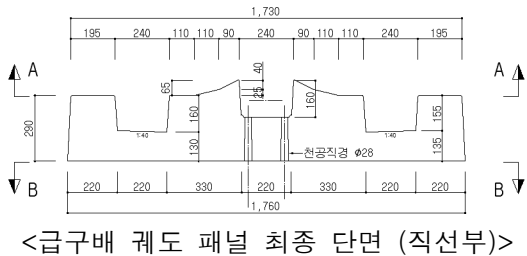
(2) 급구배 궤도시스템 시제품 제작

(가) 급구배 궤도 패널 단면 결정

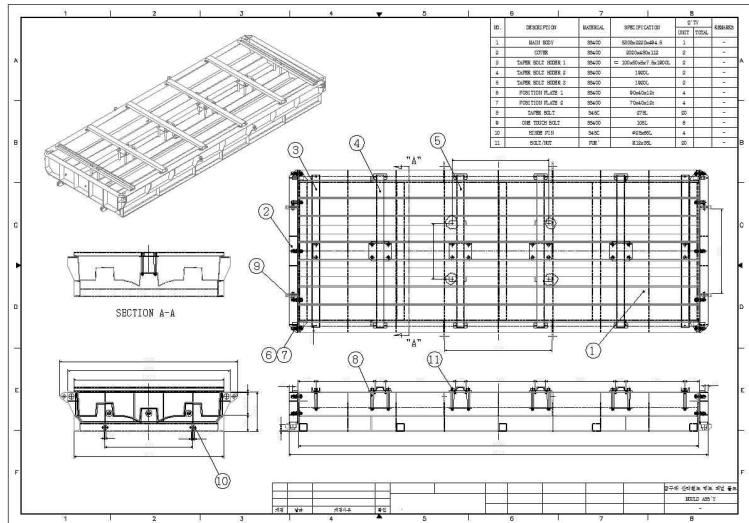
- 사전 제작형 PC (Pre Cast) 콘크리트로 제작이 되므로 타설 및 탈형 고려
- 설계된 단면에 대해서 단면의 기울기 및 단부 처리 등 상세 검토하여 최종 단면 (직선부) 설정

(나) 급구배 궤도 몰드 제작 및 패널 제작

- 몰드 제작
 - 강재를 이용하여 몰드 제작
 - 몰드를 반복적으로 생산함으로써 생산 단가를 낮추고 균일한 품질의 제품 생산 가능



<급구배 궤도 패널 최종 단면 (직선부)>



<급구배 궤도 패널 강재 몰드 도면 (직선부)>

○ 패널 제작 공정

- ① 몰드 준비, ② 철근 배근 및 콘크리트 타설, ③ 앵커 삽입홀 생성을 위하여 설치된 볼트 해체, ④ 몰드를 뒤집어 탈형 후 패널 완성
- 본 시제품에는 압축강도 50 MPa급 콘크리트가 사용되었으며, 28일에 측정한 압축 강도는 평균 52.6 MPa
- 콘크리트 타설 후 증기 양생을 하였으며, 공시체의 압축강도가 30 MPa 이상인 시점에 탈형



<강재 몰드 제작>



<콘크리트 타설>



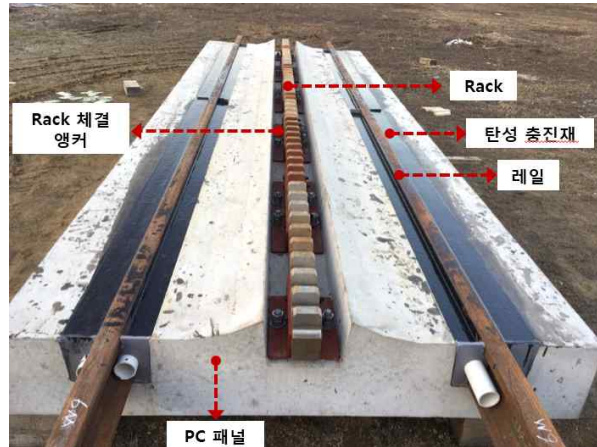
<콘크리트 타설 작업 완료>



<패널 탈형>



<탈형 후 최종 PC 궤도 패널 형상>



<최종 급구배용 매립식 궤도 패널 완성품>

○ 급구배 궤도 패널 레일 및 랙 설치

- 콘크리트 PC 패널에 본 과제에서 개발된 Rack 및 매립형 레일을 설치하여 최종 궤도 패널 완성품 (1set)을 제작

(다) 급구배 콘크리트 궤도 패널 성능 시험 및 인증

○ 시험 목적

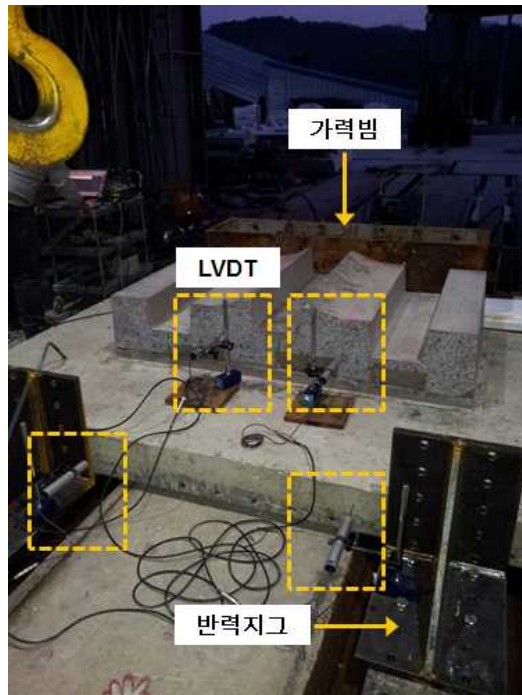
- 급구배에서 궤도 패널의 종방향 저항력 검증

○ 시험 방법

- 시험체 및 지그 제작
- 반력 지그에 시험체를 놓고 가력빔으로 하중 부과
- LVDT에 의한 변위 및 로드셀(load cell)에 하중 기록
- 단위 길이(1m) 당 종방향 마찰 및 앵커 저항력 계측
- 파단 순간 하중 및 최대 변위 계측

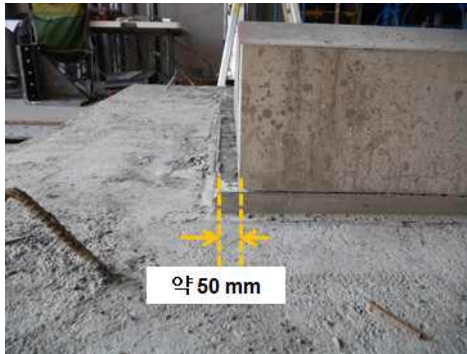


<패널 시험체 제작>



<시험 구성도>

- 시험 결과
 - 전단 부착력 = 55.9 kN/m, 마찰계수 = 0.48
 - 최대 전단 하중 542.2 kN



<종방향 마찰 시험 결과>



<종방향 앵커 저항력 시험 결과>

<궤도 패널 전단 성능시험 검증 결과>

검증항목	검증기준	검증결과	분석 내용	비고
궤도 패널 앵커 전단	174 kN	542.2 kN	앵커 전단 저항력이 설계기준 이상	앵커 4개 설치시 극한 하중

○ 시험성적서

실 험 결 과 서

충청대학교 공학기술연구원
주소 : 충북 충주시 충덕구 갈매면 벌곡길 38
전화)043-230-2675 팩스)043-230-2679

수신: 한국철도기술연구원 윤지호 신철현구팀

"급구배 추진시스템 핵심기술개발 궤도 패널 실험 설계 및 운영"과 관련하여 아래와 같이 실험결과 나르다나 이를 알려드립니다.

- 아 래 -

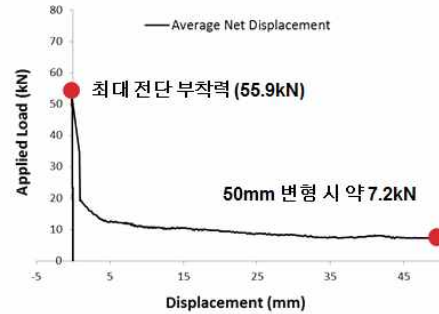
시험명	결과	비고
급구배 궤도 패널 마찰저항력 실험	55.9 kN 7.2 kN	최대 부착력 50mm 변형 시 작용하중
급구배 궤도 패널 앵커 전단 실험	542.2 kN	앵커 4개 설치 시 극한하중

<마찰저항력 실험>

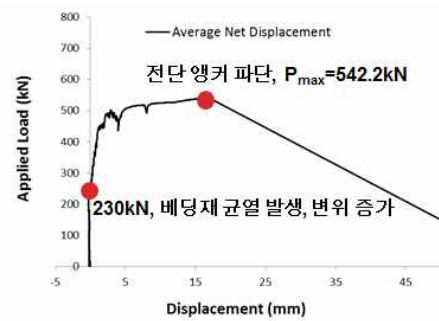
<앵커 전단 실험>

2019년 12월 29일
충청대학교 공학기술연구원

<궤도 패널 전단 성능 시험성적서>



<종방향 마찰 시험 결과>



<종방향 앵커 저항력 시험 결과>

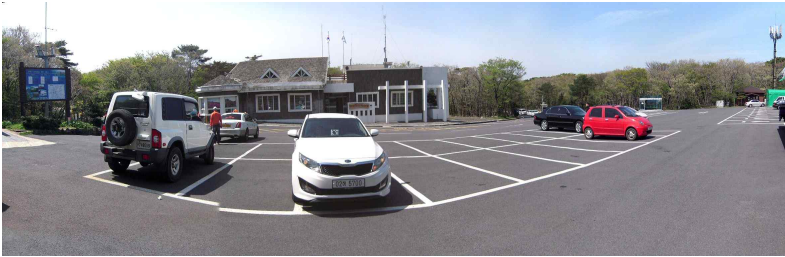
(3) 급구배 추진시스템 운행 구간노선 타당성 검토

(가) 급구배 추진 시스템 타당성 분석 개소 선정 및 조사

○ 영실진입로 타당성 분석

- 산악철도 이용 수요가 많을 것으로 예상되는 지역에 대한 현장조사 시행 결과를 참고하여 영실진입로 지형조건과 선형 분석 수행

- 수치지도를 이용하여 선형을 먼저 검토하고 현지 답사를 통하여 실제적인 주변여건 분석 및 반영
- 급구배 추진시스템 노선 교통성 검토
 - 급구배 추진 시스템 적합성이 높은 지역인 영실진입로에 대하여 교통시설현황(도로현황, 보도현황, 대중교통현황, 교통량 현황)과 주차시설 현황 등에 대하여 조사된 내용을 검수하고 부족한 부분에 대해서는 보완조사 실시
 - 교통권역을 설정하고, 기준년도 OD 및 Network를 구축한 후, 수요예측프로그램 실행
 - 급구배추진시스템 도입에 따른 교통수요를 예측하고 경제성분석 실시



<영실매표소 주변 주차장>



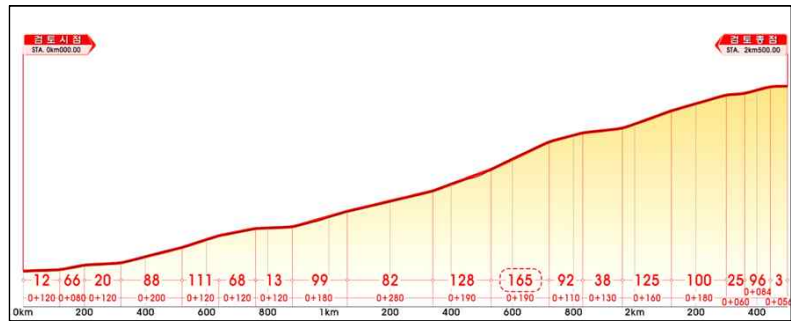
<영실매표소 연결 도로>

○ 급구배 추진시스템 적용 노선 현황

- 영실진입로는 한라산을 관통하는 제주1100도로에서 분기하는 도로로서 2차선도로이며 별도 보도는 확보되어 있지 않고, 접근 인프라시스템으로는 제주시에서 서귀포시로 버스가 영실매표소까지 운행
- 최소곡선반경은 R=10m로 분석되었으며, 영실매표소에서 영실휴게소 측으로 연속되는 상행기울기의 최급기울기는 165%로 검토되었고, 평균기울기는 83%로서 평상시에도 안전을 위하여 대형차량 운행은 통제하는 구간이며 동절기시 눈이나 결빙 시에는 일반차량도 통제를 시행하고 있는 것으로 조사되었음

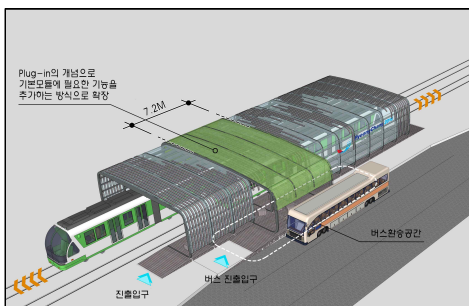


<영실매표소~영실휴게소 노선>

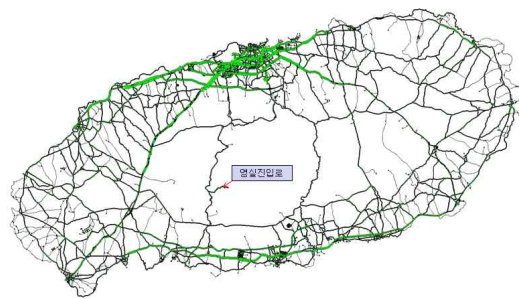


<영실진입로 종단노선>

- 현재 영실 매표소 까지 운행하는 버스와 환승을 고려하여 승차장 한 면을 버스 승강장으로 계획하고, 기존 인프라 시스템과의 상호인터페이스를 고려하여 승차장 설계



<환승승차장 개념도>



<2035년 통행배정 결과>

(나) 영실진입로(영실매표소~영실휴게소) 급구배 추진시스템 경제성 분석

○ 사업비 분석

- 경제성 분석을 위하여 “도로·철도 부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)”(2008.12, 한국개발연구원)에 준하여 사업비를 산정
- 사업비 분석 결과

<급구배 추진시스템 영실진입로 노선 사업비> (단위 : 억원)

공 종	구 분	단위	수량	단가	공사비	비 고
A.공사비					152.30	
A-1.노반		식	1		2.53	
A-1-1.본선	토공	기존도로철거	m ²	7,500	0.00007	0.53
	부대공	폐아스콘처리	m ³	2,175	0.00092	2.00
A-2.궤도		식	1		37.50	
A-2-1.궤도시공	매립형	km	2.50	15.00	37.50	
A-3.건축		식	1		1.07	
A-3-1.승강장	Slab 설치	개소	2	0.035	0.07	
	부스설치	개소	2	0.50	1.00	
A-4.시스템		식	1		97.35	
A-4-1.전기		km	2.50	20.92	52.30	
A-4-2.신호		km	2.50	8.44	21.10	
A-4-3.통신		km	2.50	9.58	23.95	
A-5.부가가치세	(A1~A4)x10%	식	1		13.85	
B.부대비					29.69	
B-1.기본설계비	(A1~A5)x1.48%	식	1		2.25	
B-2.실시설계비	(A1~A5)x2.96%	식	1		4.50	
B-3.SE비	(A1~A5)x5.00%	식	1		7.62	
B-4.감리비	(A1~A5)x7.29%	식	1		11.10	
B-5.조사및측량비	(A1~A5)x1%	식	1		1.52	
B-6.부가가치세	(B1~B5)x10%	식	1		2.70	
C.차량구입비		편성	1		70.00	
C-1.급구배추진시스템		편성	1	70.00	70.00	
D.예비비	(A+B+C)x10%	식	1		25.20	
E.총사업비	(A+B+C+D+E)	식	1		277.19	

○ 영실진입로(영실매표소~영실휴게소) 급구배추진시스템 운영비 추정

- “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)”(KDI, 2008)의 운영비용 산정기준 중 광역 및 도시철도 기준을 준용하고, 2014년 기준 소비자 물가지수 1.208을 반영하여 보정

<급구배 추진시스템 영실진입로 노선 사업비> (단위 : 백만원/년)

공 종	단 위	단 가	수 량	금액
1. 인건비	인	69.7	19	1,324
2. 동력비	kwh	78.42원	1,314,000	103
3. 유지관리비	km	287	2.5	718
4. 일반관리비	(1+2+3)×7%			150
연간운영비	1+2+3+4			2,295

○ 장래 영실진입로 수요 예측

- 급구배 추진시스템 연간 평균 이용객 추정

<급구배 추진시스템 평균 이용객> (단위 : 통행/년, 왕복통행)

구분	2014년	2020년	2025년	2030년	2035년
급구배추진시스템 이용객	432,752	496,448	557,282	624,316	698,032

○ 영실진입로 편익 추정

<영실진입로 편익 산출 결과 (단위: 억원/년)>

분석연도	통행시간 절감	환경오염 절감	통행시간 신뢰성	요금편익	총편익
2021년	1.5	0.3	21.6	10.2	33.6
2025년	1.7	0.3	23.7	11.1	36.7
2030년	1.9	0.3	26.5	12.5	41.1
2035년	2.1	0.3	29.7	14.0	46.0
2040년	2.1	0.3	29.7	14.0	46.0
2050년	2.1	0.3	29.7	14.0	46.0

○ 경제성분석

- 경제성 분석 결과 총 할인비용은 600.5억원, 총 할인편익은 624.4억원이며, B/C=1.04, NPV=23.9억원, IRR=5.56%으로 분석되었음

<영실진입로 급구배추진시스템 경제성 분석 결과> (단위 : 억원)

구분	총 할인비용	총 할인편익	결과
B/C	600.5	624.4	1.04
NPV			23.9억원
IRR			5.56%

(3) 지리산 산악철도 경제성 분석

○ 산악철도 운행 노선



<지리산 산악철도 노선 계획>

○ 공사비 추정

<지리산 산악철도 노선 구간별 공사비 추정>

구 분		분석 시나리오			
		구 간	연 장	정거장	공사비(억원)
1구간	1-1구간	고기삼거리~정령치구간	6km160	2개소	840.4
	1-2구간	정령치~도계쉼터구간	6km338	1개소	462.6
	1-3구간	육모정~고기삼거리구간	6km411	1개소	465.1
2 구간	2-1구간	천은사~도계쉼터	14km000	1개소	1,564.9
	2-2구간	도계쉼터~달궁구간	2km722	3개소	

○ 편익 추정

- “교통시설 투자평가 지침, 국토해양부, 2011.11.”에서 제시한 속도별 차종별 운행비를 적용하여 운행비 절감 편익 산정
- 위 지침에 따라 수단별 해당 시간 가치를 고려하여 통행시간 절감 편익을 산정하였으며, 평일에 대해서 지침에서 제시된 시간 가치를 적용하였고, 성수기 추가 관광 수요는 비업무 통행의 시간 가치를 적용
- 교통사고로 인하여 발생하는 부상 및 사망에 한하여 2009년 기준 교통사고 비용을 참고하여 비용을 산정하였으며, 도로유형별로 억대-km당 교통사고 발생 건수를 기준으로 함
- 철도 소음가치의 평균 원단위를 이용하여 계량화함
- “도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판), KDI, 2008. 12.”에서 제시된 실질배출계수 및 오염물질별 원단위를 이용하여 대기오염 편익 추정

<편익 산출 결과 2구간 모두 건설시 (단위: 억원/년)>

분석연도	시간 비용	운영/ 추가편익	사고 비용	대기 오염	소음 절감	총편익
2021년	16.77	270.86	11.53	24.17	-10.39	312.9
2025년	17.62	299.18	13.77	27.76	-10.35	348.0
2030년	18.52	326.55	15.81	31.06	-10.32	381.6
2035년	19.22	346.67	17.61	34.00	-10.30	407.2
2040년	19.46	358.12	18.69	35.75	-10.29	421.7
2050년	19.46	358.12	18.69	35.75	-10.29	421.7

○ 경제성 분석

- 기존 철도 건설 사례 대비 경제성 양호
- 1-2구간 건설시 경제성이 있는 것으로 평가

<지리산 산악철도 경제성 분석>

구간		B/C	할인 비용	할인 편익
지리산 1구간	1-1	0.90	1,051	944
	1-2	1.20	1,559	1,871
	1-3	0.96	1,979	1,905
지리산2구간		1.13	3,627	4,098

(4) 급구배 추진시스템 노반 설계 기준 분석

(가) 급구배 추진시스템 노반 설계 기준

- 국내 철도 및 도로 관련 설계 기준 조사 및 급구배추진시스템 적용성 분석
 - 철도의 건설기준에 관한 규정(2014)
 - 철도설계기준 (노반편) (2013)
 - 철도설계지침 및 편람 (2012)
 - 선로정비지침 (2013)
 - 도로의 유지·보수등에 관한 규칙 (2014)
- 급구배 추진시스템 기술 기준안 제시

**급구배 추진시스템
기술기준(안)**

2017. 01

한국철도기술연구원

목 차

제 1 장 총 칙

1.1 적용 범위 1

1.2 관계 법령 및 기준 1

 1.2.1 도의 및 규정 1

 1.2.2 관련 기준 1

1.3 용어의 적용 1

제 2 장 산악철도 차량 기술기준

2.1 일반사항 2

 2.1.1 적용 범위 2

 2.1.2 차량 종류와 편성 단위 2

 2.1.3 설계 목표 2

 2.1.4 신차량, 유제보수차, 민선차량 2

2.2 차량 운행조건 3

 2.2.1 기동 조건 3

 2.2.2 속도 조건 3

 2.2.3 가속 조건 4

 2.2.4 운전 조건 4

 2.2.5 유지보수 조건 4

2.3 차량시스템 성능 규격 5

 2.3.1 전기방식 5

 2.3.2 승객량당 5

 2.3.3 정속 속도 5

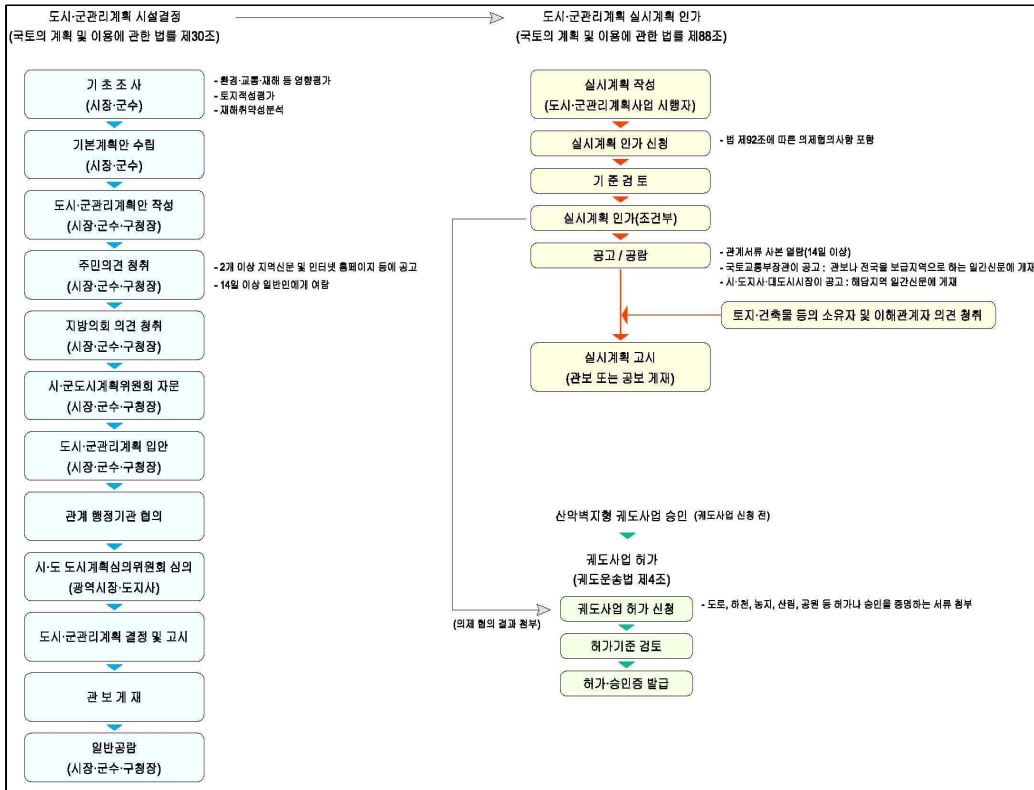
 2.3.4 최고 운행속도 5

 2.3.5 최대 가속도 5

- 목차**
1. 총칙
 - 적용범위
 - 관련 법령 및 규정
 - 용어의 정의
 2. 산악철도 차량 기술기준
 - 일반사항
 - 차량운행조건
 - 차량시스템 성능 규격
 - 차체, 대차
 - 랙피니언 추진장치
 - 전기장치, 제동장치
 3. 산악철도 선로시설 기술기준
 - 일반사항
 - 산악철도 하중
 - 선로선형 설계기준
 - 궤도, 노반

<급구배 추진시스템 기술기준(안)>

○ 급구배 추진 시스템 국내 적용 시 인허가 시행 절차 마련



○ 급구배 추진 시스템 홍보브로서 작성 및 배포

연구개발 목표

- 국내외 산악지역의 교통수단제공, 대도시 고지대 교통 복지 향상 및 스포츠 행사나 이벤트 기간에 투입이 가능한 산악철도 기술 개발, 급구배(180%이상)에서 운행이 가능한 산악 철도의 추진 장치와 산악지역에 적합한 경량구조 차체, 산악 Rack & Pinion 궤도 제작, 소규모 시험궤도 제작을 통한 급구배 산악철도 핵심 기술개발
- 추진방식 : Von Roll Rack & Pinion
- 180% 등판 시 발생하는 추진 견인력을 견딜수 있는 추진장치
- 궤도사양 : 매립형 탄성체 저진동 패널형

연구개발 개요

과제명	급구배 추진시스템 핵심기술 개발
과제유형	국토교통부 철도기술개발사업
주관연구책임자	한국철도기술연구원 급구배 차량시스템 기술개발 연구단 서승일 단장
총 연구기간	2013.12.16.~2018.12.18.(5년)

연구 추진 체계

주관연구기관	우진산전	급구배 추진대차 핵심 부품 제작 및 설계
한국철도기술연구원	빌드랩(주)	하이브리드 탄성체를 이용한 저진동 저소음형 궤도개발
급구배 추진시스템 핵심기술 개발	동부 엔지니어링	급구배 철도시스템 지형조건을 고려한 인프라 시스템 상호작용 설계 및 시뮬레이션 분석기술개발
	에코 마이스터	급구배 운행대차 추진체 및 제동장치 개발

연차별 연구목표

- 1차 : 급구배 추진시스템 개념설계안 도출
- 2차 : 급구배 추진시스템 상세 설계안 도출 및 주요 부품 시제품 제작
- 3차 : 급구배 추진 대차시스템 구동 시험
급구배 추진시스템 노반표준(안) 제시
- 4차 : 급구배 추진 요소기술 성능검토 및 설계보완
급구배 기어방식추진체 곡선부 인터페이스 설계
소규모 급곡선 시험궤도(10R)제작
급구배 추진시스템 노반설계 기준분석 및 인허가 사항검토
- 5차 : 급구배 추진 대차시스템 구동 시험
급구배 추진시스템 노반 표준(안) 제시

연구성과의 우수성

■ 사양의 우수성

- 합당한 국내 산악도로에서 운영 가능한 사양의 대차시스템
- 도로경용, 곡선반경10m, 구배180%

■ 효율적인 기기배치

- 합계 대차프레임에 Rack & Pinion, 밴드 제동장치, 감속기를 효율적으로 배치
- 진동기는 차체에 부착하여 사프트로 구동

■ 저진동 Rack & Pinion 추진

- 스위스 용프라우 산악철차 소음 계속 결과(2014.4.22)
Rack & Pinion 대차 상부 89dBA
- 저진동 Rack & Pinion 개발 적용 시 5dB 이상 감소 가능

■ Rack Rail 콘크리트 궤도 기술의 우수성

- 콘크리트 패널을 이용한 급구배 궤도시스템 시공으로 공사기간 단축, 품질 향상, 유지보수 비용 절감
- 세계 최초로 급구배 철도용 콘크리트 패널 기술 개발

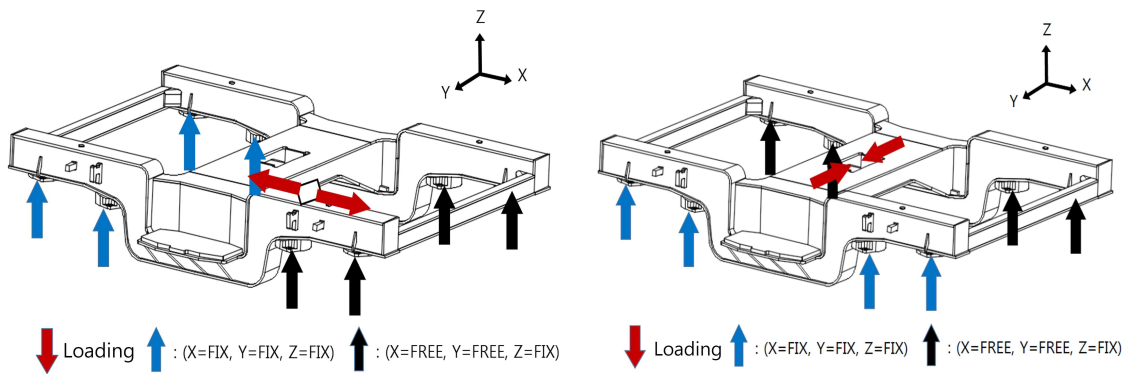
<급구배 추진시스템 홍보 자료>

바. 급구배 추진시스템 성능 시험 및 평가

(1) 급구배 추진 대차프레임 성능 시험 및 평가

(가) 대차프레임 하중시험 및 평가

- 철도차량기술기준(KRTS-VE-Part51-2014(R1), 2014)에 따라서 하중시험 및 평가 수행



<전후 하중 조건>

<좌우 하중 조건>

- 급구배와 급곡선 조건을 고려하여 기준 가속도를 초과하는 경우 초과 가속도 고려
- 급구배 180% 를 고려한 전후 하중 조건

$$F_l = a_l M_t + G_{\max} g M_t \times 10^{-3} = \left(\frac{a_l}{g} + G_{\max} \times 10^{-3} \right) W_t$$

여기서, F_l = 최대 전후하중

a_l = 최대 가속도

G_{\max} = 최대 구배(%)

M_t = 대차 상부 차체 최대 질량

W_t = 대차 상부 차체 최대 중량

- 급곡선 R10m 에서 최대 원심력에 의한 횡가속를 고려한 좌우 하중 조건

$$F_t = W \frac{v^2}{gR} + a_t M_t$$

여기서, F_t = 최대 좌우하중

a_t = 최대 좌우 가속도

R = 곡선 반경

v = 차량 속도

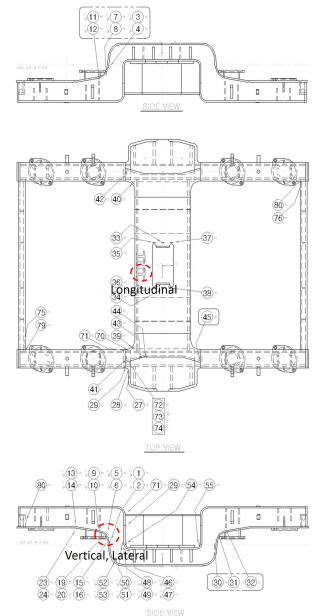
- 급구배, 급구배 병합 조건에서 최대 비틀림 하중 (28mm 단차) 고려

<하중 시험을 위한 조건>

Condition	기술기준	급구배 급곡선 조건	하중조건	비고
수직	$1.3W_t$	$1.11W_t$	$1.3W_t$	$a_v = 1.09m/s^2$
좌우	$0.3W_t$	$0.39W_t$	$0.39W_t$	$a_t = 0.4m/s^2$, $R = 10m$ $v = 8.33m/s$
전후	$0.3W_t$	$0.31W_t$	$0.31W_t$	$a_l = 1.25m/s^2$ $G = 180\%$
비틀림	15mm	28mm	28mm	$R = 10m$, $G = 180\%$



<스트레인게이지가 부착된 대차프레임>



<스트레인게이지 부착 위치>

- 응력 측정을 위한 스트레인게이지 부착
 - 대차프레임 제작 완료
 - 대차프레임의 각 부위에서의 응력을 측정하기 위하여 길이 5mm 단축 스트레인게이지 71개와 3축 스트레인게이지 3개 부착
- 하중프레임에서 액튜에이터를 이용한 시험하중 부과 및 응력 계측
 - 급구배 급곡선 추진을 고려한 대차프레임의 시험하중

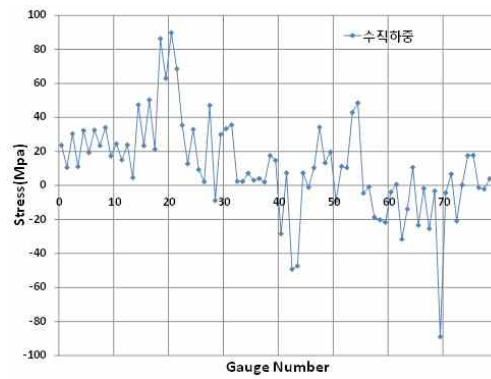
<대차프레임 시험하중>

하중방향	하중조건	하중값
Vertical	$1.3W_t$	173.8kN
Lateral	$0.39W_t$	52.1kN
Longitudinal	$0.31W_t$	41.4kN

- 500kN 용량의 로드셀이 장착된 직경 90mm인 2개의 강봉(Tie Beam)과 500kN 액츄에이터 2대에 의해 지면 접촉이 없도록 하중 프레임상에 세팅하여 하중조건 구현
- 최대 응력이 작용하고 있는 위치는 21번 게이지로서 사이드 프레임과 중앙의 볼스터 프레임이 연결된 부분의 하부에 위치하고 있으며, 단면이 급격히 변화하여 원호를 이루는 곳임

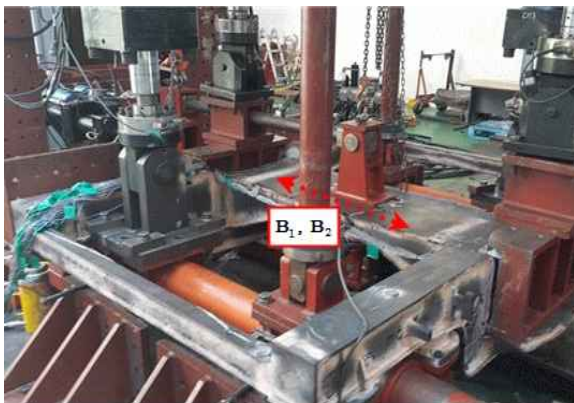


<수직하중 시험>

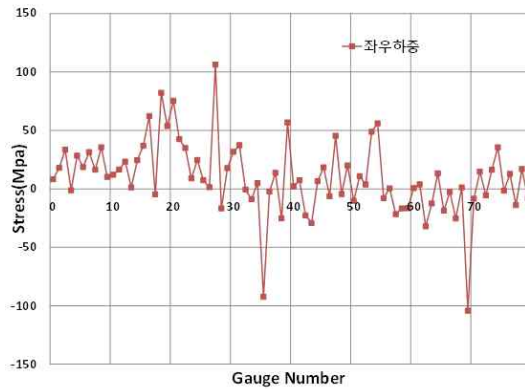


<수직 하중조건 응력계측 결과>

- 좌우하중은 수직하중과 같은 위치에서 최대응력이 발행

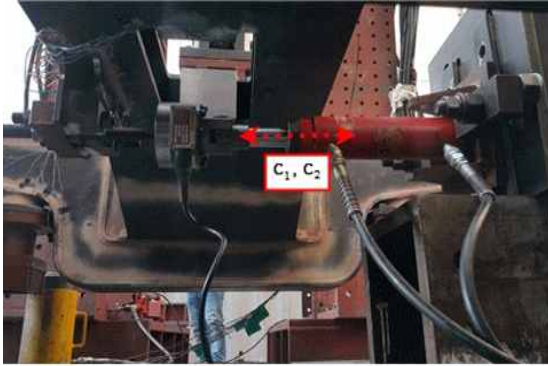


<좌우하중 시험>

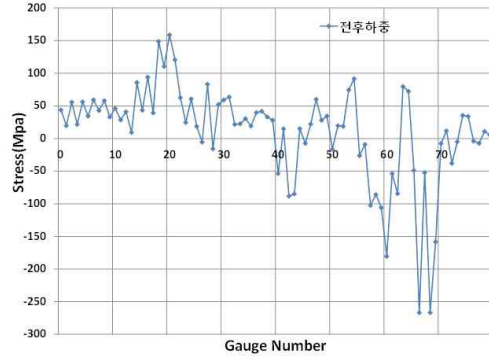


<좌우 하중조건 응력계측 결과>

- 모노링크에 의한 전후하중을 유압 액츄에이터로 C1 C2로 가하였을 때, 최대응력은 볼스터 프레임 중앙 하부 모노링크의 브라켓 측부인 69번 게이지에서 발생

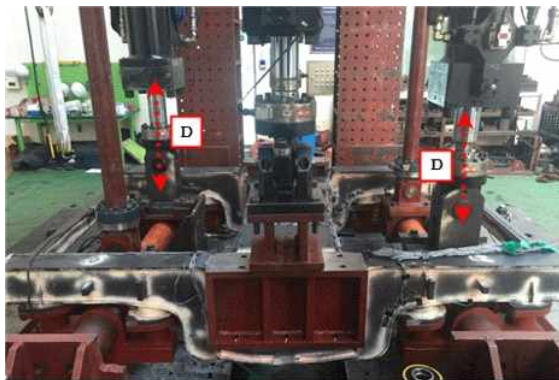


<전후하중 시험>

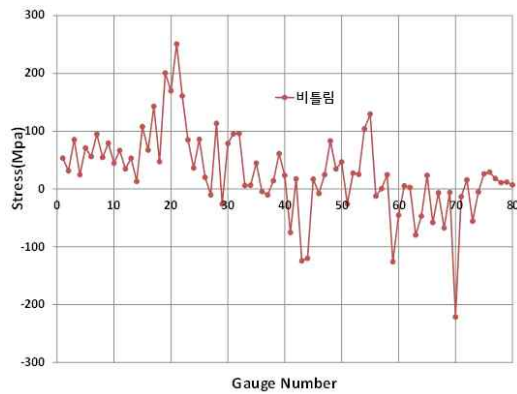


<전후 하중조건 응력 계측 결과>

- 모노링크에 의한 전후하중을 유압 액츄에이터로 C1 C2로 가하였을 때, 최대응력은볼스터 프레임



<비틀림 하중 시험>



<비틀림하중 조건 응력 계측 결과>

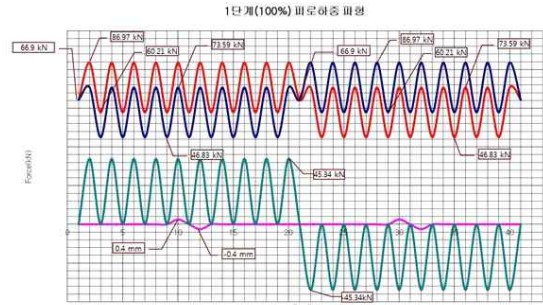
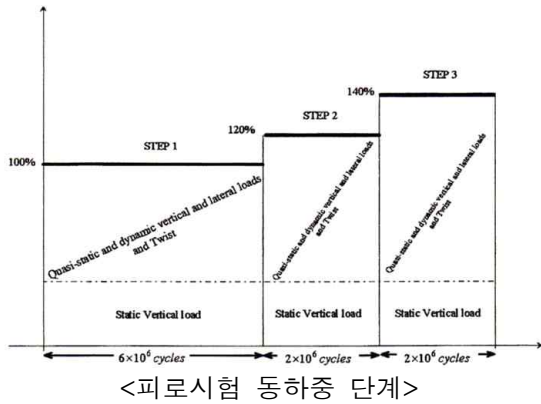
- 비틀림 하중은 2차 스프링 취부면의 편측에 상하방향으로 수직하중을 부과하고 대차프레임의 대각 방향으로 변위를 부과한 후, 응력 계측 수행
- 각 하중별 계측된 최대 응력

<최대 응력 계측 결과>

하중조건	계측 최대응력 (MPa)	항복강도(MPa) SM490A
수직	89.8	320
좌우	106.3	
전후	266.7	
비틀림	251	

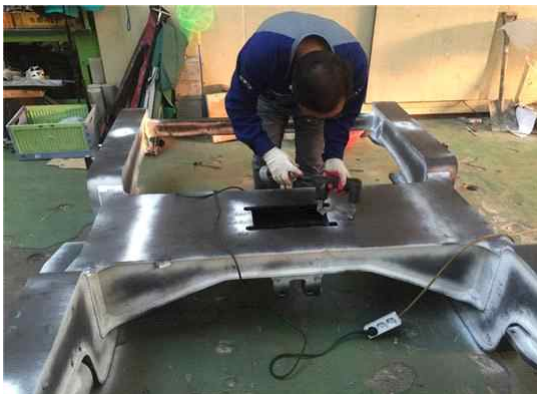
(나) 대차프레임 동하중 시험 및 평가

- 정하중 시험에 대하여 이상 없음이 확인된 대차프레임에 대하여 동하중시험 관련 규격인 (UIC 515-4, Passenger rolling stock trailer bogies - running gear bogie frame structure strength tests) 및 철도차량기술기준(KRTS-VE-Part51-2014(R1), 2014)에 의거하여 반복 하중 시험을 실시하고, 대차프레임의 전 부위에 걸쳐서 균열발생 여부 측정



<1단계 하중 사이클>

- 동하중 시험(피로시험)은 수직하중, 좌우하중, 비틀림 하중을 동시에 작용시키며, 각각의 하중에 대하여 정적성분, 준정적성분, 동적성분을 고려함
- 동하중시험은 운용하중이 가해지는 위치와 동일한 곳에 정확히 피로하중이 가해지도록 함
 - 수직 및 좌우하중의 동적 사이클 횟수는 1,000만회
- 3단계의 Load Application Step에 따라 수행
 - 1단계 : 수직하중과 좌우하중이 6×10^6 회 동안 준정적 및 동적성분을 100%에 걸쳐 적용하며, 100%의 비틀림 효과를 6×10^6 회에 걸쳐 중첩 적용되었다. 각 Step 별 하중은 다음과 같다.
 - 2단계 : 2×10^6 회 동안 120%에 걸쳐 적용
 - 3단계 : 2×10^6 회 동안 140%에 걸쳐 적용
- 판정 기준
 - 각 단계별 피로시험 완료 후, 비파괴 검사(M/T:자분탐상)를 실시하여 균열발생 유무를 확인하여 이상 유무 판단
 - 피로시험 800만회까지는 어떠한 형태의 균열도 발생하지 않아야 하며, 800만회 이후로는 현장에서 즉시 보수 가능하여 운행에 지장을 주지 않는 범위의 균열발생 허용



<1차 자분탐상검사>



<2차 자분탐상검사>

- 시험 결과
 - 피로시험 착수 전, 600만회 종료 후, 800만회 종료 후, 1,000만회 종료 후, 총 4회의 비파괴검사(M/T)를 실시하였으며, 비파괴검사 결과 균열 발생 없었음
 - 공인 시험성적 입증

시험 성적서

1. 의뢰자

회 사 명 : 주식회사 우진산전 오창공장
 주 소 : 충북 청원군 옥산면 과학산업4로 167
 접 수 일 자 : 2015. 04. 15.

2. 성적서 용도 : 품질관리용

3. 시험 품 목

제 품 명 : 급구배 주신시스템 내차프레임
 모 델 명 :
 수 량 : 1 set

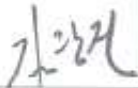

4. 시험 기 간 : 2015. 08. 20. ~ 2015. 10. 06.

5. 시험 방 법 : 의뢰자 제시 조건

6. 실험실 환경 : (25 ± 5) ℃, (50 ± 25) % R.H.

7. 시험 결과 :

시험 항목	시험 결과	기 타
결하중 및 피로시험	시험 결과, 이상 없음	본문 5 장 참조

확 인	시험자	승인자
	성 명 : 김 광 진 	성 명 : 윤 지 영 

- 본 성적서는 신청자로부터 제공된 시험품에 한하여 평가한 결과로서 전체 제품에 대한 품질 및 성능을 보증 하지 않습니다.
- 당사의 사전 승인 없이 본 성적서의 전부 혹은 일부를 복사하여 사용할 수 없습니다.

2015. 10. 28.

주식회사 알에스피 대표이사



(2) 추진제어장치의 성능 시험 및 평가

○ 추진제어장치 시험절차서 작성

	「 급속선/급구배 차량시스템 기술개발」	WBS No.:
	추진시스템 구성품 시험 절차서	개정이력 : Rev. A
		개정일자 : 2015. 11. 09.
	Page : 3/19	

목 차

1. 적용범위	4
2. 적용자료 및 구분	4
2.1 적용자료	4
2.2 구분	5
3. 필요조건	5
3.1 구조 및 형태	5
3.2 적용기준	5
4. 기술사양	6
4.1 공통사양	6
4.2 각 장치별 사양 및 기능	6
5. 사용환경	6
6. 검사와 시험	7
6.1 검사	7
6.1.1 검사의 종류	7
6.1.2 검사방법	7
6.2 시험	9
6.2.1 시험항목	9
6.2.2 시험방법	9

	「 급속선/급구배 차량시스템 기술개발」	WBS No.:
	추진시스템 구성품 시험 절차서	개정이력 : Rev. A
		개정일자 : 2015. 11. 09.
	Page : 4/19	

1. 적용범위

국가 R&D 연구수행중인 「급속선/급구배 추진시스템 기술개발」 과제 관련하여 추진시스템 시작품에 대하여 구성품 시험을 통하여 성능 및 안전성이 확보되고 있는지를 확인하기 위한 시험방법 및 기준에 대하여 규정한다.

2. 적용자료 및 구분

2.1 적용자료

자료/도면번호	제 목	개정번호	개정일자
KS R 9156	철도차량 전자기기의 시험 통칙		
KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법		
IEC/EN 61000-4-2	정전기 방전 내구성 시험		
IEC/EN 61000-4-4	전기적 빠른 과도현상(EFT) 시험		
IEC/EN 61000-4-5	서지 내성시험		
IEC/EN 61000-4-6	전자파 전도내성(CS)		

2.2 구분

No.	장치명	도면번호	비고
1	COVER ASS'Y	R1B002946	
2	BOX ASS'Y	R1B004509	
3	추진제어장치 주회로도	R1D009197	

검 사 사 항

1. 검 사

- 가. 외 관 검 사 : 적 합
나. 측 정 검 사 : 1) 중량: 380 kg
2) 길이: 1,710 mm
3) 폭 : 1,260 mm
4) 높이: 494 mm

2. 시 험

- 가. 냉각장치 동작 시험 : 적 합
나. 보호기능 검출 시험 : 적 합
다. 제 어 기 능 시 험 : 적 합
라. 경 부 하 시 험 : 적 합
마. 소 음 시 험 : 적 합
바. 효 율 측 정 시 험 : 적 합
사. 공급과전압과 과도에너지시험 : 적 합
아. 절 연 저 항 시 험 : 적 합
자. 내 전 압 시 험 : 적 합
차. 안 전 요 구 시 험 : 적 합
카. 전 자 파 내 성 시 험 : 적 합
타. 환 경 시 험 : 적 합
파. 조 합 시 험 : 적 합

상기 물품은 우리 법인의 검사를 필하였으며 그 성적은 위와 같이 양호하고 한국철도기술연구원 승인 절차서, 도면의 모든 조건에 부합됨을 증명함.

삼철 한국철도차량엔지니어링 이사장

<추진제어장치 공인 성적증명서>



- 추진제어장치의 공인기관 (한국철도차량엔지니어링) 시험성적서 발급
- 최대 부하 조건(180%) 견인력 확인

(3) 탄성 Pinion 성능 시험 및 평가

(가) 저진동 탄성 Pinion 최대 하중 시험

○ 시험 개요

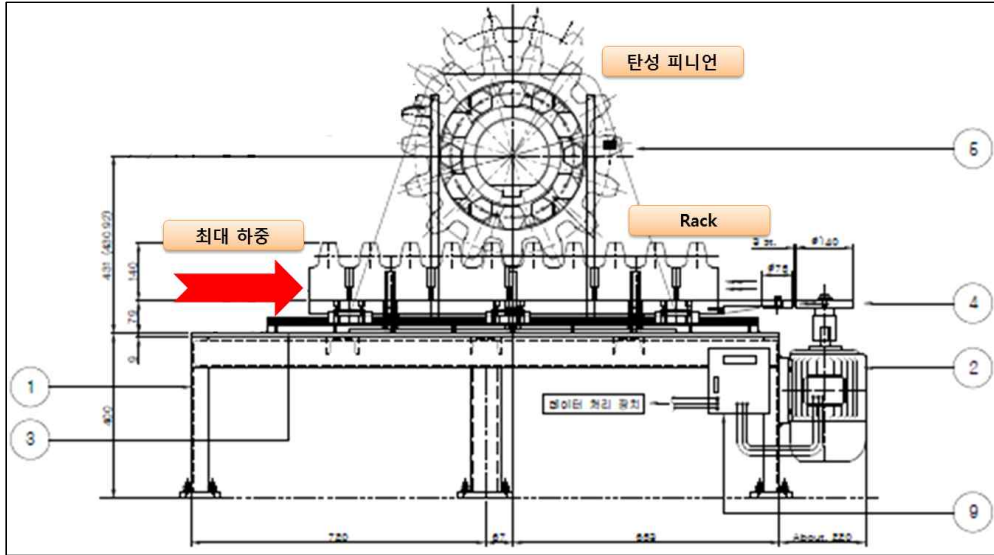
- 탄성 Pinion의 기어, 보스, 탄성체 등 각 부품의 강도 설계 검증을 위한 시험으로 실제 급구배 추진시 Pinion Tooth에 걸리는 하중에 대한 내구성 평가를 목적으로 실시
- “산악열차 탄성 피니언 최대 하중시험 절차서”에 규정된 절차 및 방법에 의거 실시

○ 참조 규격

- KS C IEC 61373 : 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법
- KS M 6606 천연 고무 시험 방법
- EN 14363:Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Test of running behaviour and stationary test
- UIC 518 OR : Testing and approval of railway vehicles from the point of view of

their dynamic behavior - Safety - Track fatigue - Ride quality

○ 시험기 제작 및 설치



<탄성 Pinion 최대하중 시험 구성>

○ 최대 하중 및 구동력 계산

<탄성 Pinion 최대하중 시험을 위한 하중 계산>

항목		Specification	비고
경사도	120‰ Uphill	0.375 radian	21.50°
	180‰ Uphill	0.559 radian	32.06°
총 가속력	120‰ Uphill	209,057 N	$F=m*a + m*g*\sin\theta$
	180‰ Uphill	288,562 N	$F=m*a + m*g*\sin\theta$
Pinion 1ea 기준 가속력	120‰ Uphill	104,528 N	
	180‰ Uphill	144,281 N	
Pinion 1ea 180‰ 기준 Data	최대 전단응력	26.37 N/mm ²	
	압력면 수직력	148,694 N	= 가속력/cos(압력각)
	축방향 수직력	35,954 N	= 가속력*tan(압력각)
Pinion	수량	2 ea	
	폭(너비)	114 mm	
	두께	48 mm	
	압력각	0.244 radian	14°

○ 시험 절차

- 규격을 참조하여 시험절차서 작성 및 공인인증기관 승인

산악열차 탄성 피니언 최대하중시험절차서

2015.12



(주)에코마이스터	최대하중시험절차서	문서번호	ECO-151201
	탄성 피니언	제 - 개정일자	2015. 12. 01
		제 - 개정번호	0
		페이지	1 / 7

<h2 style="margin: 0;">목 차</h2> <ol style="list-style-type: none"> 1. 목 적 2. 적용범위 3. 참조 규격 4. 구성 및 주요 구성부품 5. 성능 평가기준 6. 시험 조건 7. 시험 방법 	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">□관리본</td> <td style="padding: 2px;">/</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">□비관리본</td> <td style="padding: 2px;">/</td> </tr> </table>	□관리본	/	□비관리본	/
□관리본	/				
□비관리본	/				

제-개정번호	제-개정일자	시행일	주요 개정 내용	작성	검 토	승 인
0	2015.12.01	2015.12.01				

<탄성 pinion 최대하중 시험 절차서 표지>

(주)에코마이스터	최대하중시험절차서	문서번호	ECO-151201
	탄성 피니언	제 - 개정일자	2015. 12. 01
		제 - 개정번호	0
		페이지	2 / 7

1. 목적
본 절차서는 급구배 추진시스템의 핵심 추진 장치인 탄성 피니언의 내구 성능을 확인하기 위하여 최대 하중 시험을 수행하고, 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위
기준은 산악열차에서 Pinion 추진 시스템의 핵심 추진 장치로 사용되는 탄성 피니언의 최대 하중 시험 방법에 대하여 규정한다. 본 규격에서 적용될 수 있는 제품의 사양범위는 다음과 같다.

항목	탄성 피니언	
Axle Outside Diameter	∅180	
기어 모듈	31.8	
Tooth	15mm	
PCD	477mm	
압력각	14°	
열처리(치면)	저주파 열처리	
재질	Gear	SCM440
	Boss & Cover	S45C
	탄성체	Rubber
탄성체 규격	∅7 × 80L × 12ea	

3. 참조 규격
다음에 나타내는 규격은 이 기준에 참조점으로써 이 기준의 규정부를 구성한다. 이러한 참조 규격은 그 최신판을 적용한다.

- 1) KS C IEC 61373:철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법
- 2) KS M 6606:원연 고무 시험 방법
- 3) EN 14363:Railway applications – Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles – Test of running behaviour and stationary test
- 4) UIC 518 OR : Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Ride quality

(주)에코마이스터	최대하중시험절차서	문서번호	ECO-151201
	탄성 피니언	제 - 개정일자	2015. 12. 01
		제 - 개정번호	0
		페이지	3 / 7

4. 구조 및 주요 구성부품
산악열차용 탄성피니언은 외측 기어와 내측 보스로 분리된 이중 구조로 되어있으며, 구조적 특성 자체만으로 충격, 진동, 소음 저감의 효과를 얻을 수 있다. 외측 기어와 내측 보스 사이에 부상 타임의 충격 기동 형태의 탄성체를 적용하였는데, 이 탄성체 중앙에는 관통 홈을 주어 탄성체의 진동 저감을 위한 탄성 변형 공간으로 작용시키고, 내측 보스와 외측 기어를 일치화하는 커버를 각각 양쪽에 볼트로 체결하게 함으로써 정기적인 검사와 내부 고무 탄성체의 교체 용이한 타임이다.

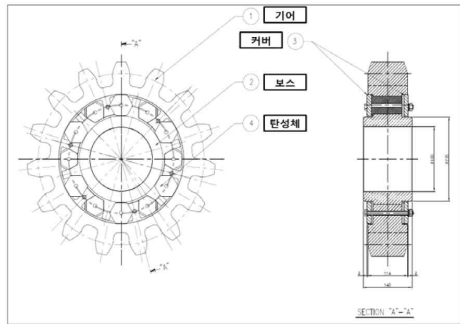


그림 1. 산악열차 탄성 피니언 구성도

5. 성능 평가기준

시험 항목	시험 방법	판정 기준	시험 횟수
최대하중 시험	7	- 평균구배 180‰에서의 최대 하중을 인가하였을 때 탄성 피니언 각 부품의 파손이 없어야 한다.	3회 ¹⁾

1) 급구배 추진시스템 핵심기술 개발 2차년도(2014~2015) 과제 수행시 500,000 Cycle 수행

<탄성 pinion 최대하중 시험 절차서>

○ 시험 결과

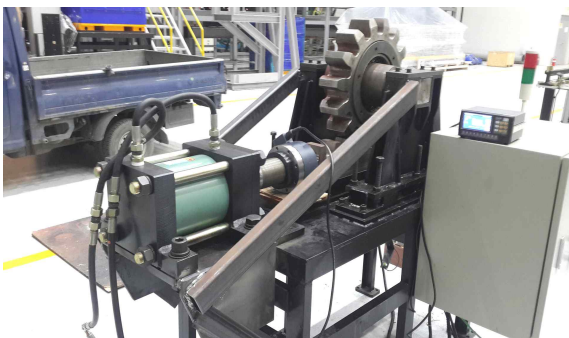
- 시험기에서 탄성 Pinion과 Rack을 맞물린 상태에서 최대 하중(15 ton)을 유압으로 반복 인가하여 탄성 Pinion의 각 부품의 형상 변화 및 조립 유지 상태 확인
- 시험하중을 500,000회를 반복으로 가한 후, 객관적이고 신뢰성을 지닌 시험 데이터를 구축하여 공인기관(TÜV Rheinland) 입회 확인



<탄성 Pinion과 Rack 맞물림 상태>



<탄성 Pinion 최대 하중 시험>



<탄성 Pinion 최대 하중 측정>



- 탄성체를 포함한 각 부품이 최대 하중 반복 인가시 파손 및 변형이 없는 것 확인



<최대하중 시험 후 기어 확인>



<최대하중 시험 후 Rack 확인>



<최대하중 시험 후 Cover 확인>



<최대하중 시험 후 탄성체 확인>

○ 시험 인증

- 본 시험의 결과에 대해 해외 공인인증 전문기관(TÜV Rheinland)의 인증

시험 결과서

프로젝트명	급구배 추진시스템 개발	시험기관	검사	경도	승인
제 작 사	쥬에코마이스터	시험자	심성일	이대성	이대성
품 명	탄성 피니언	입회자	임용규		
시험일	2016년 1월 5일	판정	적합		
시험환경	온도 : 11℃	습도 : 33%	날씨 : 맑음		

구분	검사항목	판정기준	시험 결과			판정	비고
			1	2	3		
최대 하중 시험	1 시험기 상태	피니언과 랙의 이빨이 맞물려 있을 것	정상	정상	정상	적합	
		각 부품의 조립이 완료되어 있을 것	정상	정상	정상	적합	
	2 최대 하중	유압계와 실린더 사양으로 계산된 값이 설계된 값 이상일 것 (144,281N)	1.52 ton	1.52 ton	1.52 ton	적합	
	3 탄성 피니언 상태	기어 치면의 파손이나 변형이 없을 것	정상	정상	정상	적합	
		탄성체의 파손이 없을 것	정상	정상	정상	적합	
		커버의 조립상태가 양호한 상태를 유지할 것	정상	정상	정상	적합	
		[비고]					

<탄성 Pinion 최대하중 시험 결과서>

Certificate of Test

Certificate Number: TIC 250 160101 11

International Railway Standards

Test Certification Body	TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.
Owner of Certificate	ECOMAISTER Co., Ltd. 117, Jeongseojin-ro, Seo-gu, Incheon, Rep. of Korea
Type designation/ Product tested	Elastic Pinion of Mountain Railway
Identification of Product	Proto Type
Manufacturer	ECOMAISTER Co., Ltd. 117, Jeongseojin-ro, Seo-gu, Incheon, Rep. of Korea
Test procedure	ECO-151201 (ECOMAISTER Co.)
Test Report / Date ¹⁾	TIC 250 160101, 2016-1-5
Test Result ²⁾	

The test was undertaken in line with the test procedure as proved through the test report.

The test results are in compliance with the test criteria in the test procedure.

The observations and test results referenced by this certificate are relevant only to the product under test.



Test witness	Sang-Goo Park
Expert in review for test	Young-Sang Kim

¹⁾ This test report is an integral part of the certificate.

²⁾ The test result are justified in detail in the test report and exclusively related to the product under test.

Seoul, 2016-01-11

TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.

Dr. Young-Sang Kim
Technical Director
Railway Systems

www.tuv.com

 **TÜVRheinland**[®]
Precisely Right.

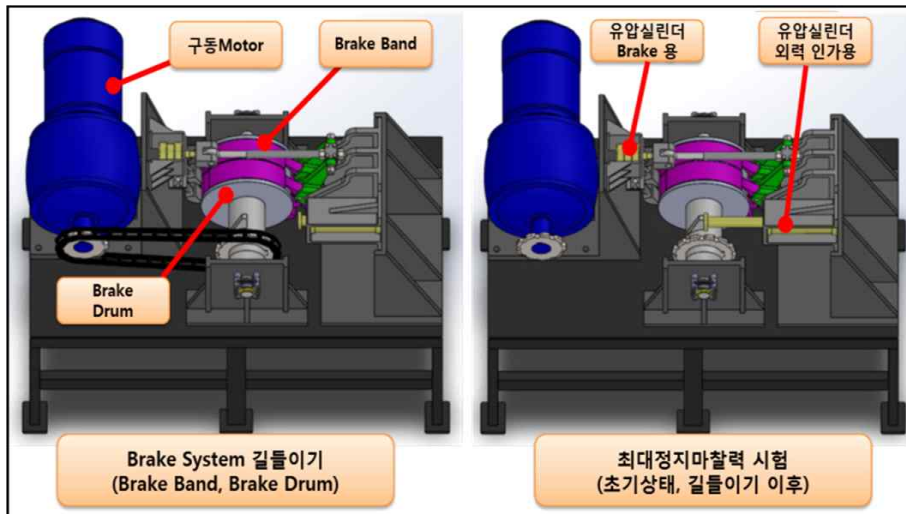
(4) 제동 장치 성능 시험 및 평가

(가) 밴드제동장치 성능 시험 개요

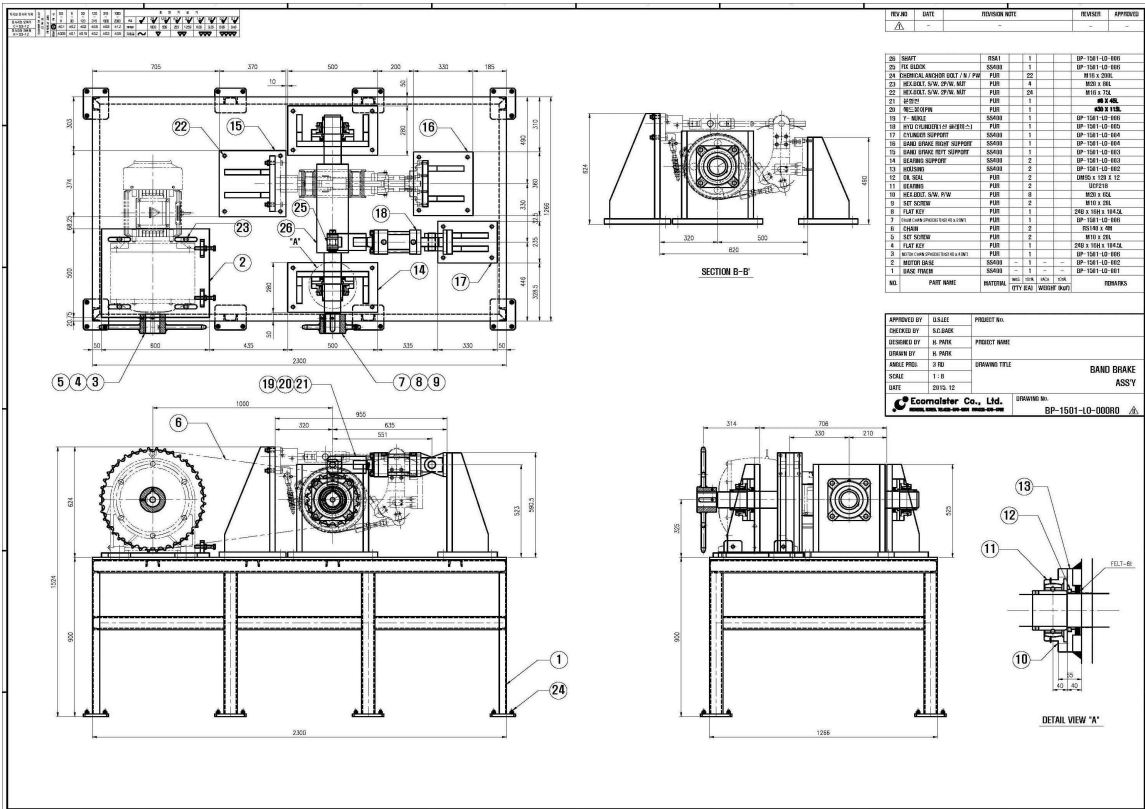
- 급구배 추진시스템의 핵심 추진 장치인 Pinion의 제동 장치로 쓰이는 밴드제동장치의 설계 검증을 위한 시험
- 급구배 추진시 밴드제동장치에 할당된 제동력 구현에 대한 성능 평가 목적
- “산악열차 밴드 브레이크 제동성능 시험절차서”에 규정된 절차 및 방법에 의거 실시
- 참조 규격
 - 철도차량기술기준 (KRTS-VE-PART51-2014(R1) 도시철도차량 4.4 제동장치)
 - RS B 0018 지게차용 드럼 브레이크
 - EN 14531-1:2005 Railway applications. Methods for calculation of stopping distances, allowing distances and immobilization braking. General algorithms
 - UIC 541-3 Brakes - Disc brakes and their application - General conditions for the approval of brake pads

(나) 밴드제동장치 성능 시험

- 시험기 제작 및 설치



<밴드 브레이크 제동 성능 시험 개념도>



<밴드 제동성능 시험기 조립도>



<밴드제동성능 시험장치 측면>



<밴드제동 성능 시험장치 정면>

○ 시험절차

- 산악열차 밴드 브레이크 제동성능 시험절차서

산악열차 Band Brake 제동성능시험절차서

2015.10



(주)에코마이스터	제동성능시험절차서	문서번호	ECO-151001
	밴드브레이크	제·개정일자	2015. 10. 01
		제·개정번호	0
	페이지	2 / 7	

1. 목적

본 절차서는 급구배 추진시스템의 Pinion 제동시스템인 밴드브레이크 장치의 제동 성능 시험을 수행하고, 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

기존은 산악열차에서 Pinion 추진 시스템의 제동장치로 사용되는 밴드 브레이크의 성능 시험 방법에 대하여 규정한다. 본 규격에서 적용될 수 있는 제품의 사양범위는 다음과 같다.

항 목	규 격	비 고
차량 사양	3모델	Mc1 M Mc2
Pinion Brake 수	2 Set	
Pinion Brake 설계 제동력	25.13kN ¹⁾	180% 구배
드럼 내경	350mm	
최고 속도	15km/h	구배 120% 기준

1) 180%시 소요 제동력 (F)

$$F(kN) = W \times g / 3.6 + Rg$$

$$Rg: \text{구배저항(kg/ton)} = (\text{kg/ton}) \times 9.8 = \text{kN} \quad (\text{원속도 } \sim 1\text{km/h/s}) \quad [\text{단위: kN}]$$

차종	Mc1	M	Mc2	합계
승차	15,56	17,50	15,17	48,23
차동	17,08	16,51	16,88	50,25

3. 참조 규격

다음에 나타내는 규격은 이 기준에 참조됨으로써 이 기준의 규정일부를 구성한다. 이러한 참조 규격은 그 최신판을 적용한다.

- 1) 철도차량기술기준 (KRTS-VE-PART51-2014(R1) 도시철도차량 4.4 제동장치)
- 2) RS B 0018 지게차용 드럼 브레이크
- 3) EN 14531-1:2005 Railway applications. Methods for calculation of stopping distances, slowing distances and immobilization braking. General algorithms
- 4) UIC 541-3 Brakes - Disc brakes and their application - General conditions for the approval of brake pads

에코마이스터

(주)에코마이스터	제동성능시험절차서	문서번호	ECO-151001
	밴드브레이크	제·개정일자	2015. 10. 01
		제·개정번호	0
	페이지	1 / 7	

목 차

1. 목 적
2. 적용범위
3. 참조 규격
4. 구성 및 주요 구성부품
5. 성능 평가기준
6. 시험 조건
7. 시험 방법

□관리본	/
□비관리본	

제·개정번호	제·개정일	시행일	주요 개정 내용	작성	검 토	승 인
0	2015.10.01	2015.10.01				

에코마이스터

(주)에코마이스터	제동성능시험절차서	문서번호	ECO-151001
	밴드브레이크	제·개정일자	2015. 10. 01
		제·개정번호	0
	페이지	3 / 7	

4. 구조 및 주요 구성부품

산악열차용 밴드 브레이크는 일반적으로 브레이크 시스템에 전달된 유압을 받아서 레버에 힘을 전달하는 실린더와 구동 장치에 연결되어 피니언의 회전과 함께 회전하는 드럼이 있다. 그리고 실린더에서 발생한 제동력을 드럼에 전달하는 밴드, 밴드에 접촉되어 있는 라이닝 등으로 구성 되어 있다.

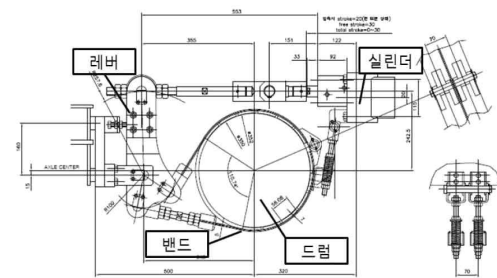


그림 1. 산악열차 밴드 브레이크 구성도

5. 성능 평가기준

시험 항목	시험 방법	만정 기준	비고
길들이기 시험	7.1	- 라이닝과 드럼의 접촉 면적이 충분할 때까지 반복 시험을 수행한다. - 드럼의 온도는 250℃ 미만이어야 한다. - 시험 중 파손, 풀림 등이 없어야 한다.	RS B 0018 참조
제동성능 시험	7.2	- 설계된 레버 조작력으로 드럼을 제동시킨 상태에서 필요제동력에 상응하는 힘을 가한다. - 설계 레버조작력을 기준으로 하였을 때 브레이크는 제동상태를 유지하여야 한다.	RS B 0018 참조

에코마이스터

<밴드브레이크 제동성능시험 절차서>

○ 시험 과정

- “RS B 0018 지게차용 드럼 브레이크”의 종합성능 시험방법을 참조하여 크게 길들이기

시험과 제동성능 시험 두 가지로 나누어 진행

- 길들이기 시험은 밴드 마찰재와 드럼 사이에 물리적으로 충분한 접촉면을 얻기 위하여 실시하는 예비 제동시험
- 길들이기 시험을 수행한 후 브레이크 레버 조작력과 브레이크 제동력의 설계사양을 검증하는 시험인 제동성능 시험 실시
- 제동성능 시험은 밴드브레이크의 필요 제동력을 구현할 수 있는 레버 조작력 설계치를 유압으로 가하여 드럼을 제동시킨 상태에서 외력용 유압 실린더로 밴드 브레이크의 필요 제동력에 상응하는 하중을 드럼에 압입된 축에 인가하였을 때 드럼의 제동상태를 유지하는지 확인

(다) 밴드제동장치 성능 시험 결과

○ 길들이기 시험 결과

- 드럼 회전을 통한 반복 시험 후 라이닝과 드럼의 접촉면, 온도 등 확인



<밴드 브레이크 길들이기 예비시험>

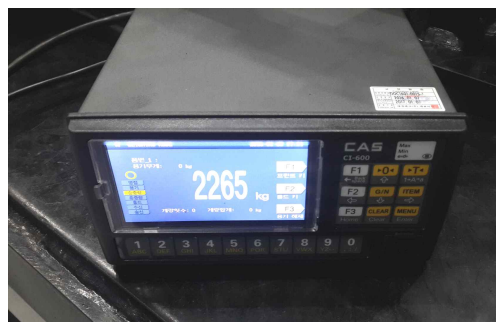


<드럼의 온도 측정>

- 시험 결과 드럼의 온도는 약 70℃로 기준치인 250℃ 이하의 만족하는 값을 나타냄
- 라이닝과 드럼의 접촉면 또한 제동성능 시험을 위한 충분한 면적을 확보하였음을 확인

○ 제동성능 시험 결과

- 외력 인가용 블록에 2.26ton의 하중을 인가하였을 경우 드럼에 걸리는 외력은 밴드 브레이크의 필요제동력인 2.56ton이 됨
- 밴드브레이크는 필요 제동력 2.56ton 이상의 제동력을 가지고 있는 것을 확인하여 설계치에 적합함 확인



<밴드 브레이크 제동력 측정>

시 험 결 과 서

프로젝트명	급구배 추진시스템 개발	시험기관	검사	검도	승인
제 작 사	쥬에코마이스터	시험자	심성일	이대성	이대성
품 명	밴드 브레이크	입회자	임용규		
시험일	2016년 1월 5일	판정	적합		
시험환경	온도 : 12 ℃	습도 : 33%	날씨 : 맑음		

구분	검사항목	판정기준	시험 결과		판정	비고
			1	2		
길들이기 시험	1 라이닝 접촉 면적	드럼과 라이닝의 접촉 면적이 충분할 것	정상		적합	
	2 드럼 온도	250℃ 미만일 것	69.3℃		적합	
	3 장치 상태	밴드 브레이크 장치의 파손이 없을 것	정상		적합	
브레이크 라이닝의 풀림이 없을 것		정상		적합		
제동성능 시험	4 초기 상태	드럼은 제동된 상태로 움직임이 없을 것	정상	정상	적합	
	5 제동 성능	설계된 제동력으로 외력을 가할 것	2.56 ton	2.56 ton	적합	
		드럼의 제동 상태를 유지할 것	유지	유지	적합	
	6 장치 상태	밴드 브레이크 장치의 파손이 없을 것	정상	정상	적합	
브레이크 라이닝의 풀림이 없을 것		정상	정상	적합		
[비고]						

<밴드 브레이크 제동성능 시험 결과서>

Certificate of Test

Certificate Number: TIC 250 160102 12

International Railway Standards

Test Certification Body	TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.
Owner of Certificate	ECOMAISTER Co., Ltd. 117, Jeongseojin-ro, Seo-gu, Incheon, Rep. of Korea
Type designation/ Product tested	Band Brake of Mountain Railway
Identification of Product	Proto Type
Manufacturer	ECOMAISTER Co., Ltd. 117, Jeongseojin-ro, Seo-gu, Incheon, Rep. of Korea
Test procedure	ECO-151001 (ECOMAISTER Co.)
Test Report / Date ¹⁾	TIC 250 160102, 2016-1-5
Test Result ²⁾	The test was undertaken in line with the test procedure as proved through the test report. The test results are in compliance with the test criteria in the test procedure. The observations and test results referenced by this certificate are relevant only to the product under test.



Test witness Sang-Goo Park
Expert in review for test Young-Sang Kim

¹⁾ This test report is an integral part of the certificate
²⁾ The test results are justified in detail in the test report and exclusively related to the product under test.

Seoul, 2016-01-11
TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.

Dr. Young-Sang Kim
Technical Director
Railway Systems

www.tuv.com

TÜVRheinland[®]
Precisely Right.

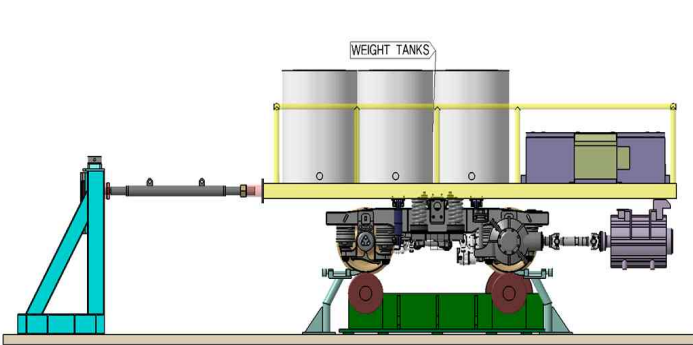
<밴드제동 성능시험 인증서>

- 시험 인증
 - 해외 인증 전문기관 TÜV Rheinland의 시험인증서 발급

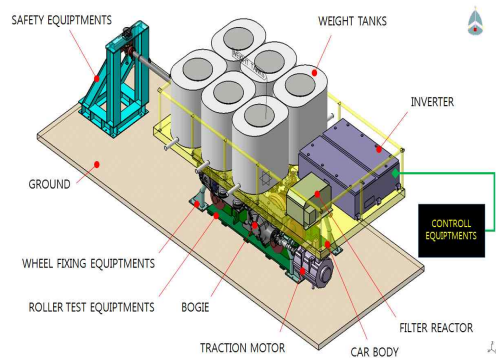
(5) 급구배 추진 대차시스템 동특성 시험 및 평가

(가) 대차 동특성 시험장치의 구성

- 자가 구동 대차시스템
 - 차체 프레임 상에 견인전동기, 추진제어장치, 추진 배터리 등 설치
 - 하중 재현을 위한 중량 탱크 설치
- 대차 동특성 시험 장치(Roller Rig)



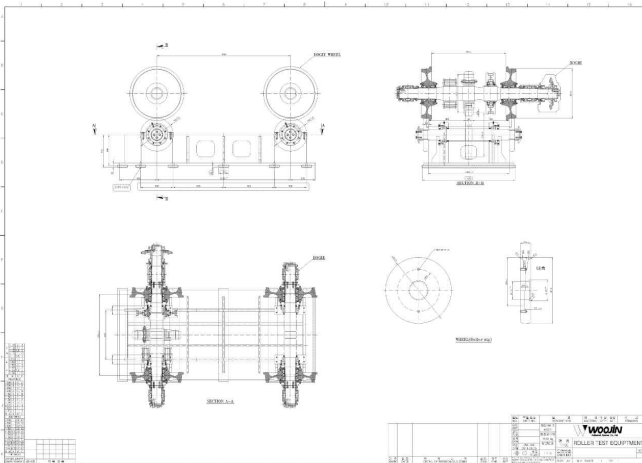
<대차 동특성 시험장치 측면>



<대차 동특성 시험장치 주요 구성품>

(나) 대차 동특성 시험장치의 설계 및 제작

- 대차 동특성 Roller Rig 설계
 - 프레임에 레일 대체 휠, Rack 대체 톱니바퀴 설치



<대차 동특성 Roller Rig 조립도>



<대차 동특성 시험장치 Roller Rig 제작>

- 시험용 간이 차체프레임 제작



<차체 프레임 용접 조립>



<차체 프레임 측면>

- 급구배 추진 대차시스템 동적거동 계측 시스템 조립
- 대차 + 차체(전장품) + 하부 Roller zig



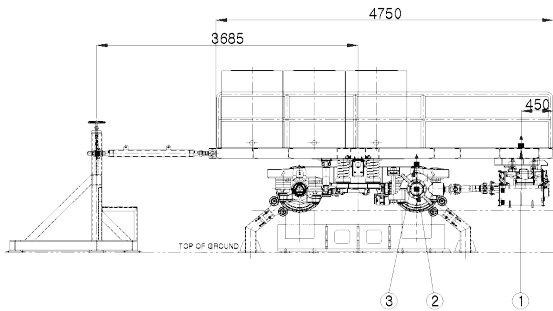
<대차 동특성 시험장치 위의 대차>



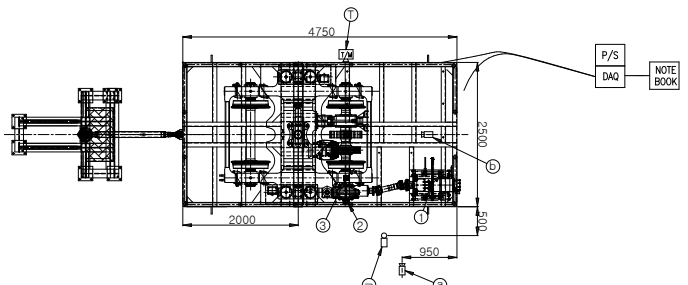
<자가 구동 대차시스템과 동특성 시험장치>

(다) 대차 동특성 시험장치에 의한 대차성능 시험

- 대차 동특성 계측을 위한 센서 설치



<대차 동특성 시험장치 위의 대차>



<대차 동특성 시험장치 위의 대차>

<대차 동특성 성능 계측 항목>

No.	기호	항목	측정항목		비고
			가속도	영상	
1	①	차체 상하 가속도	○		
2	②	드라이빙 기어 상하 가속도	○		
3	③	대차 프레임 상하 가속도	○		
4	㉠	견인전동기 및 드라이빙 기어 동작상태		○	
5	㉡	차축 및 피니언 동작상태		○	
6	㉢	소음계			소음 측정
7	㉣	차축 회전 RPM			차량속도

○ 자가 구동에 의한 대차 동특성 시험 및 성능 계측 실시



<대차 동특성 시험을 위한 센서 설치>



<대차 동특성 시험 결과 분석>



<급구배 추진 대차시스템 동특성 시험>

○ 시험 결과

- 톱니바퀴 주행 중 차체의 상하 진동가속도 측정 결과 기준치 1.5m/s² 이내 확인
- 견인전동기와 드라이빙기어를 연결하는 추진축 구동 안정성 확인 (KS R 9239 철도차량용 추진축, “불규칙한 구동 및 이상소음이 없을 것”참조)
- 추진제어 장치 및 견인전동기 구동 소음 측정 결과 설계 목표 100dB(A) 이내 확인 (철도차량기술기준, “추진제어장치시험의 견인전동기 소음 시험 100dB(A)이하” 참조)

<대차동특성 주행시험대 시험 검증 결과>

검증항목	검증기준	검증결과	분석 내용
차체 수직가속도	1.5m/s ² 이내 ¹⁾	0.068 m/s ²	기준 이내 양호
대차 추진 시스템 호환성 검증	현가장치의 변위로 인한 구성품간의 간섭이 없을 것 ²⁾	구성품간 간섭 없음	기준 만족 양호
드라이빙기어, 추진축 구동 안정성	불규칙한 구동, 누유 이상 소음이 없을 것 ²⁾	원활한 작동	기준 만족 양호
소음	구동상태가 원활할 것 소음이 100dB(A) 이하일 것 ³⁾	66.9 dB(A)	기준 만족 양호
톱니바퀴 및 궤도 시제품의 성능확인	불규칙한 구동, 과도한 백슬래시가 없을 것	불규칙한 구동없이 원활한 동작	기준 만족 양호

1) UIC 518 OR Safety 조건 (3m/s²이내)

2) KS R 9239 철도차량용 추진축

3) 철도차량기술기준, 추진제어장치시험의 견인전동기 소음시험

- 급구배 추진시스템 동적 거동 시험 TUV 국제 성능 인증서 발급

Test Report No. :	TIC 250 151201	Page 3 of 15
--------------------------	----------------	--------------

1. Generals
The tests for propulsion and dynamic performance of the prototype bogie are carried out and evaluated according to the test procedure.

2. Test procedure
Bogie Propulsion and Dynamic Performance of High Steep Propulsion system
GIYEON2-483-15044 (Rev.0, Woojin IS)

Referred technical specifications in the test procedure
- KRTS-VE-PART51 - 2014 (R1)
Technical Specifications for Urban Railway Vehicles
- UIC 518 OR Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior - safety-Track fatigue-ride quality

3. Test Objectives
Traction motor drive test driven by the traction control unit for the pro type high steep propulsion system is performed to analyse the followings.
- Carbody acceleration around traction motor
- Interchangeability of bogie propulsion system
- Dynamic stability of driving gear
- Operation of propulsion control unit and traction motor
- Driving stability of pinion system
- Performance of proto type pinion and rack system

4. Testing date and location
1. Date : Preliminary test 12.15.2015
Main test 12.22.2015
2. Location : Ochang factory, Woojin IS

5. Technical Specification of the Bogie

No	Item	Spec.	Ref.
1	Maximum speed	15 km/h	120 ‰ slope
2	Bogie weight	Approx. 4,850 kg	
3	Maximum axle load	9 ton	
4	Wheel dia.	610 mm	
5	Wheel base	1,650 mm	
6	Pinion P.C.D	477 mm	

6. Summary of the Test procedures
6.1 Test bogie condition
- The test bogie is the motor bogie for actual service, and must be maintained properly for nominal operation.
- Some parts, such as braking pad, causing interference during the test can be removed when necessary.

Certificate of Test

Certificate Number: TIC 250 151201 10

International Railway Standards

Test Certification Body

TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.

Owner of Certificate

Woojin Industrial Systems, Ltd.
167, Gwahaksaneop 4-ro, Oksan-myeon,
Cheongwon-gun, ChungCheongbuk-do,
Republic of Korea

Type designation/ Product tested

Bogie of Steep Gradient Propulsion System for
Rolling Stock

Identification of Product

Proto Type

Manufacturer

Woojin Industrial Systems, Ltd.
167, Gwahaksaneop 4-ro, Oksan-myeon,
Cheongwon-gun, ChungCheongbuk-do,
Republic of Korea

Test procedure

GIYEON2-483-15044 (Woojin Industrial Systems)

Test Report / Date ¹⁾

TIC 250 151201, 2015-12-30

Test Result ²⁾

The test was undertaken in line with the test
procedure as proved through the test report.

The test results are in compliance with the
test criteria in the test procedure.

The observations and test results referenced
by this certificate are relevant only to the
product under test.



Test witness

Sang-Goo Park

Expert in review for test

Young-Sang Kim

¹⁾ This test report is an integral part of the certificate.

²⁾ The test results are justified in detail in the test report and exclusively related to the product under test.

Seoul, 2016-01-07

TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.

www.tuv.com

Dr. Young-Sang Kim
Technical Director
Railway Systems

TÜVRheinland[®]
Precisely Right.

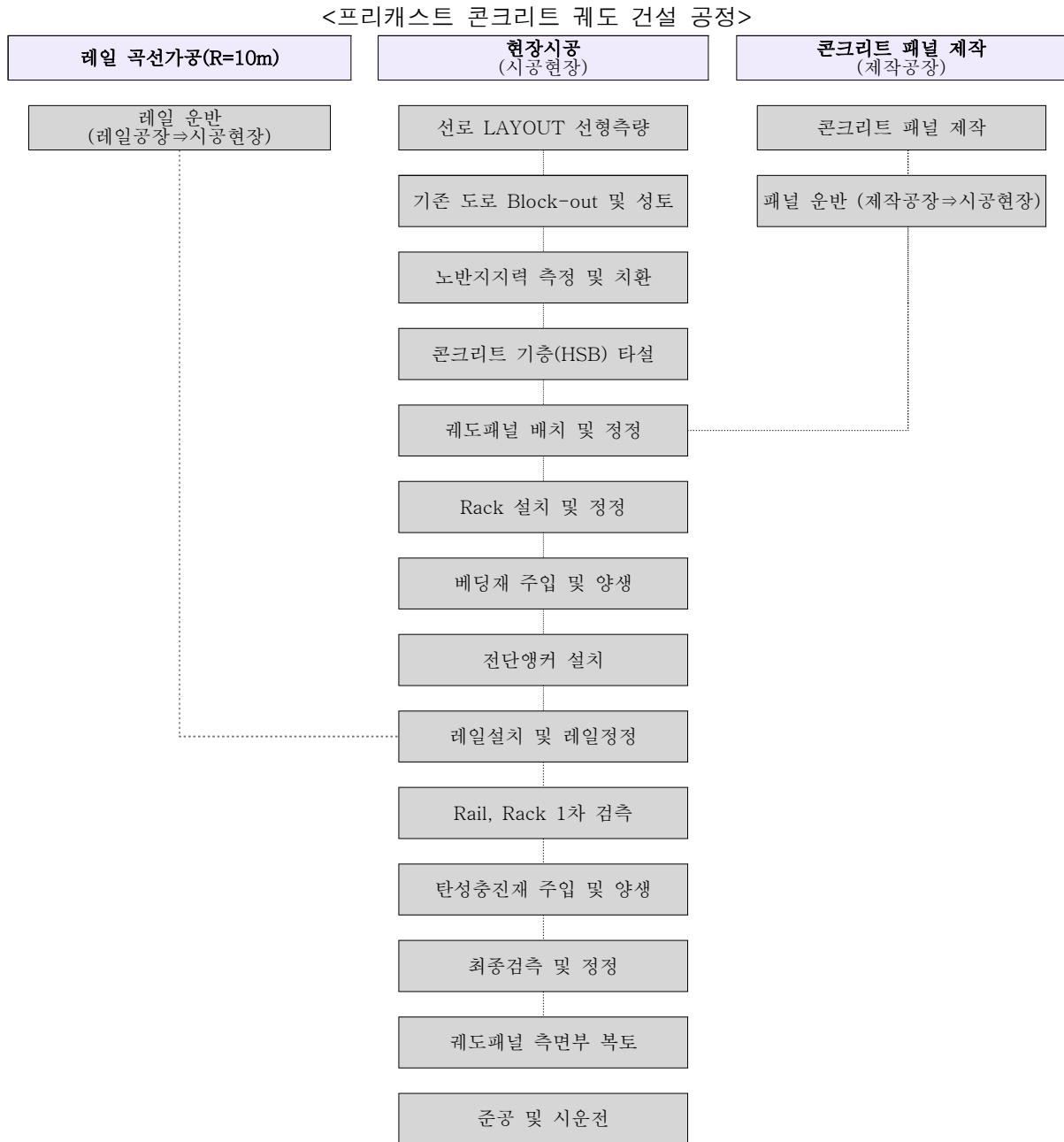
<급구배 추진시스템 대차 동특성 시험 공인 성적서>

사. 소규모 시험 궤도 제작 및 주행 시험

(1) 소규모 시험궤도 건설 및 성능 검증

(가) 소규모 시험궤도 건설

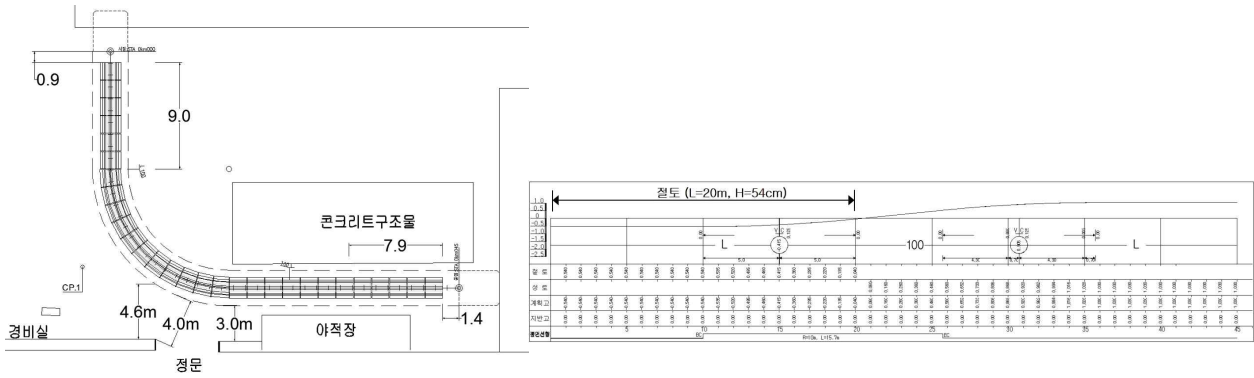
- 소규모 시험궤도 건설 공정



- 소규모 시험 궤도 현황

- 평면곡선(R=10m), 기울기(100%)
- 종곡선 반경(R=200), 종곡선 길이(L=10m)
- 시점부 직선 : L=10m
- 곡선부(R=10m) : L=15.7m

- 종점부 직선 : L=19.3m



○ 소규모 시험선 제작



중심선 측량 도로 컷팅 작업 콘크리트 철거 작업 절토부 진동 다짐



HSB 층 거푸집 작업 HSB 층 타설 패널 거취/Rack 설치 배당재 타설 전단 앵커 설치



레일 부설 및 정정 탄성 충전재 타설 완성된 시험궤도

(나) 소규모 시험궤도 성능 검증

○ 노반 안정성 평가

- DCP(Drop Cone Penetrometer)를 활용한 노반 안정성 평가

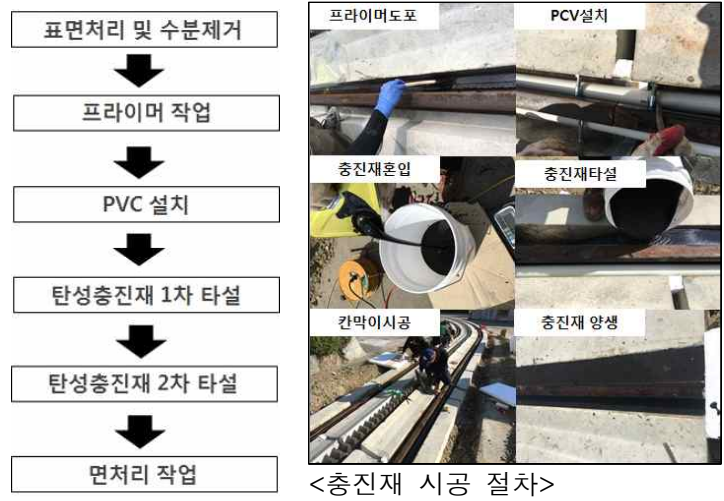


<노반 다짐>

<DCP 시험>

○ 탄성충진재 시공 성능 확인

- 100% 구배 및 10R 곡선부 충전재 시공성능 확인
- 흐름성 및 Self leveling 성능 검토 완료



- 그라우팅 베딩재 주입성능 시험
 - 100% 구배 상 그라우트 베딩재 채움성 확인
 - 주입 경화 후 기포 및 분리 현상 없음



<베딩재 주입성능 확인>

(2) 소규모 시험궤도 주행 시험

(가) 소규모 시험궤도 주행을 위한 시험차량 제작

- 추진제어장치와 제동장치, 견인전동기, 감속구동장치 등 성과품을 탑재하고 배터리 추진에 의해 주행이 가능한 차체와 대차 제작
- 구배 100%, 최소곡선반경 10m에서 운행 가능



[차체 제작]



[전장품 (단품) 제작]



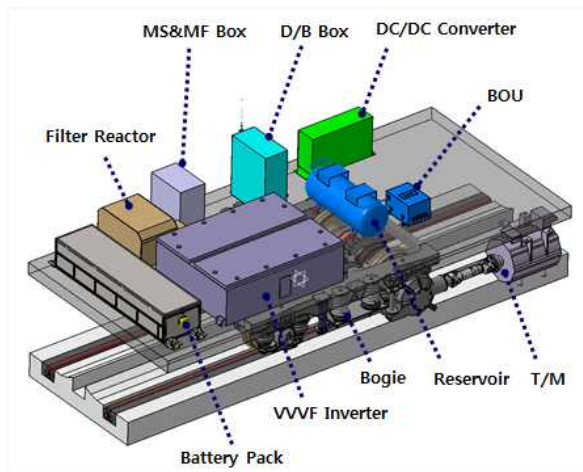
[전장품 조립/설치]



[전기 배선]



[대차 차입]



<시험차량의 구성>



<제작 완료된 시험차량>

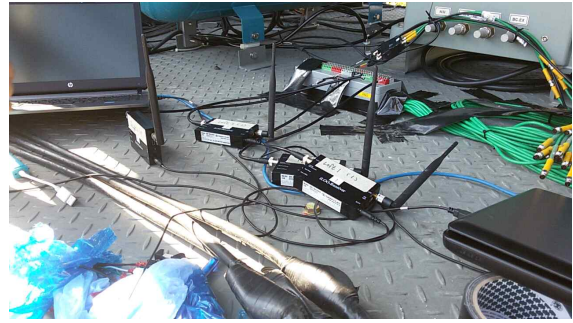
- (나) 소규모 시험궤도 주행시험
 ○ 성능시험을 위한 센서 부착

<센서 종류 및 부착 위치>

기호	항목	측정 항목		측정 위치
		데이터	영상	
①	차체 프레임 상하 가속도	○		대차 센터피봇 상부 차체 프레임
㉠	견인전동기 및 드라이빙 기어 동작상태		○	대차프레임
㉡	차축 및 피니언 동작상태		○	대차프레임 차륜 앞
㉢	소음	○		차량 외부 소음 측정



<센서 취부 현황>



<차체 위 계측시스템>

○ 시험 결과

- 소규모 시험선 완성 후 대차 주행 시험을 수행, 소음·진동 기준 값 만족



<급구배 추진 주행시스템 공개시연>

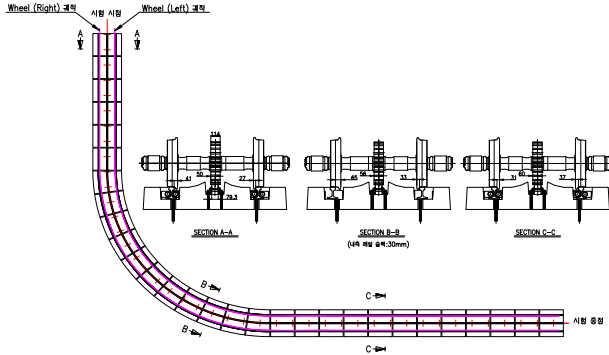


<자동차 겸용 매립형 시험궤도>

<시험차량 성능 시험 결과>

항 목	기 준	결 과	
차체의 수직, 좌우 가속도	1.5m/s ² 이내(설계목표)	1차 수직	0.56m/s ²
		1차 좌우	1.48m/s ²
		2차 수직	0.73m/s ²
		2차 좌우	1.32m/s ²
		3차 수직	0.90m/s ²
		3차 좌우	1.22m/s ²
대차 추진 시스템 호환성 검증	현가장치의 변위로 인한 구성품 간의 간섭이 없을 것	구성품간 간섭 없음	
드라이빙기어, 추진축 구동 안정성	불규칙한 구동, 누유 이상 소음이 없을 것	원활한 작동	
소음	구동상태가 원활할 것 소음이 100dB(A) 이하일 것(설계 목표)	구간별 최대 Leq: 90dB(A)	
피니언 & 랙시제품의 성능확인	불규칙한 구동, 과도한 백래쉬가 없을 것.	불규칙한 구동없이 원활한 동작	

- 차륜/레일 인터페이스 이상 없음
- 주행 실험을 통한 적용된 슬랙 및 캔트량에 대한 검토 완료



<시험선 위치에 따른 휠-레일 인터페이스 분석> <차륜-레일 인터페이스 모니터링>

- 동절기 Rack이 결빙 조건 주행 시험을 수행, 결빙 시 주행성 실증
- 소규모 시험궤도 동절기 결빙 폭설 시험 실시

	1. 소규모 추진시스템 핵심기술 개발	WRS No. : 1
	2. 소규모 추진시스템 대량 동결기 결빙	개발단계 : Rev. 0
	3. 동결기 결빙	개발일자 : 2016. 12. 01.
		Page : 10/13

시험 기록서

프로젝트	소규모 추진시스템 핵심기술 개발	시험기관	한국철도기술연구원	장소	고도	승인
제작사	한국철도기술연구원	시험코드	001	시험일자	2017. 12. 01.	승인자
문명	소규모 추진시스템	시험명	동결기 결빙	시험장	한국철도기술연구원	승인일자
시험일	2017. 12. 01.	시험시간	09:00 ~ 12:00	시험장	한국철도기술연구원	승인일자
시험환경	온도 : -4 ℃	습도	60%	날씨	맑음	
측정장비	소규모 추진시스템	측정장비	동결기	시험장	한국철도기술연구원	
측정구분	소규모 추진시스템	측정구분	동결기	시험장	한국철도기술연구원	

No.	검사항목	판정기준	시험 결과	판정
1	대차 결빙구간 운행시 차량 운행	차량의 이상 진동 소음 및 차량 탈선 없음	이상없음	합격
2	대차 결빙구간 운행후 타협률 속도 및 Rack 케드 상태	타협률 속도 및 Rack 케드 이상 및 손상 없음 K1100과 K1100이 동일하게 타협률 타협률 현상없음, 안전적으로 진행	이상없음	합격
3	대차 결빙구간 운행시 차량 운행	차량의 이상 진동 소음 및 차량 탈선 없음	이상없음	합격
4	대차 결빙구간 운행후 타협률 속도 및 Rack 케드 상태	타협률 속도 및 Rack 케드 이상 및 손상 없음 결빙지역 눈송기 타협률 현상없음, 안전적으로 진행	이상없음	합격



<폭설 결빙 시 주행>

<폭설 결빙 주행시험 기록시험>

2017. 12. 01. 09:00 ~ 12:00

11' 위험리 기록	0.3
10' 돌기이동	0.5
8' 열차리 돌리	1.1
8' 위험정지	1.0
1' 발진정지 후 위험리 기록	0.2
0' 위험 속도	0
2' 위험정지	0.4
4' 위험정지 후 정지	0.4
3' 위험정지	0.4
5' 위험정지	0.4
1' 정지	0.4

결과

시험일	2017. 12. 01.
시험시간	09:00 ~ 12:00
시험장	한국철도기술연구원
시험장	한국철도기술연구원

2017. 12. 01. 09:00 ~ 12:00

시험일	2017. 12. 01.
시험시간	09:00 ~ 12:00
시험장	한국철도기술연구원
시험장	한국철도기술연구원

- 1) 위험리 기록
- 2) 위험정지
- 3) 위험정지 후 정지
- 4) 위험정지 후 정지
- 5) 위험정지

시험일	2017. 12. 01.
시험시간	09:00 ~ 12:00
시험장	한국철도기술연구원
시험장	한국철도기술연구원

<시험궤도 주행시험 절차서>

- 소규모 시험선 구동 차량 주행 안전성 성능 인증서 발급 (국제인증기관 TÜV)

Certificate of Test

Certificate Number: TIC 250 170101 19

International Railway Standards

Test Certification Body	TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.
Owner of Certificate	Korea Railroad Research Institute 176, Cheoldo bangmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-do, 437-757, Korea
Type designation/ Product tested	Bogie of Steep Gradient Propulsion System for Rolling Stock
Identification of Product	Prototype
Manufacturer	Woojin Industrial Systems, Ltd. 613-6 Bangchuk-ri, Sari-myeon, Goesan-gun, ChungCheongbuk-do, Rep. of Korea
Test procedure	GIYEON2-483-16157 : Propulsion and Dynamic Performance of Steep Propulsion Bogie system on small scale test line
Test Report / Date ¹⁾	TIC 250 170101, 2016-10-05
Test Result ²⁾	

The test was undertaken in line with the test procedure as proved through the test report.

The test results are in compliance with the test criteria in the test procedure.

The observations and test results referenced by this certificate are relevant only to the product under test.



Test witness	Ryoung-Kyu Lim
Expert in review for test	Young-Sang Kim

¹⁾ This test report is an integral part of the certificate.

²⁾ The test results are justified in detail in the test report and exclusively related to the product under test.

Seoul, 2017-01-13
TÜV Rheinland (Korea) Co. Ltd.

Dr. Young-Sang Kim
Technical Director
Railway Systems

www.tuv.com

 TÜVRheinland®
Precisely Right.

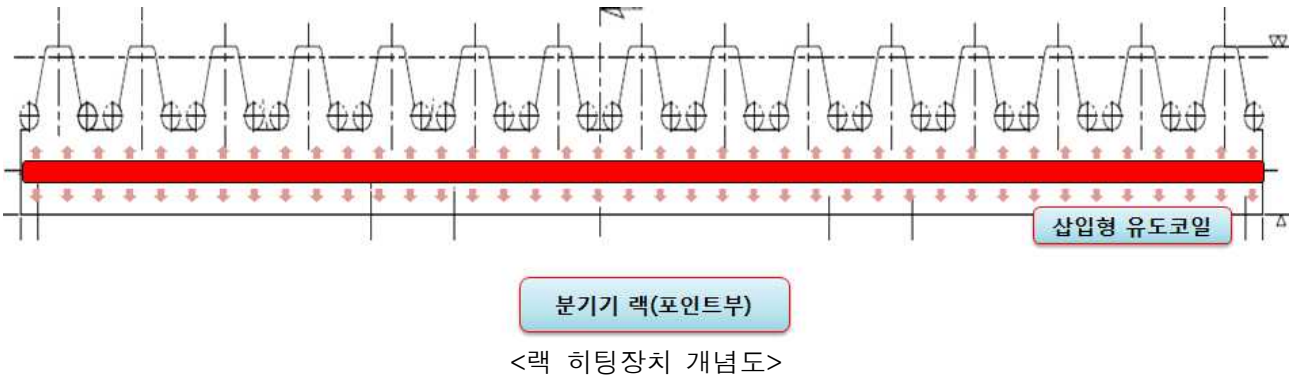
<TÜV 시험인증서>

아. 급구배 추진시스템 성능 보완

가. 랙(rack) 히팅 장치 개발

(1) 랙 히팅장치 설계

- 유도가열(induction heating) 장치
 - 레일에 감긴 코일에 전류가 공급되면 금속에 와전류(eddy currents)가 발생하고, 레일의 저항에 의해 발생된 줄열(Joule heating)에 의해 온도 상승
 - 선로분기기의 히팅으로 동절기 작동을 원활하게 함
- 랙 히팅장치의 사양
 - 겨울철 산악지형의 환경에서 Rack의 온도를 15℃/min의 효율로 히팅
 - 관련 장비들의 유지보수 용이
 - 30kW / 15kHz의 고주파 출력반과 냉각장치가 일체형인 타입
- 유도코일 타입 선정
 - 유도코일 타입을 삼입형으로 선정하고 분기기 포인트부의 랙(rack)은 유도코일의 삼입이 용이하게 측면을 조립형으로 설계



(2) 분기기 랙 히팅장치 제작

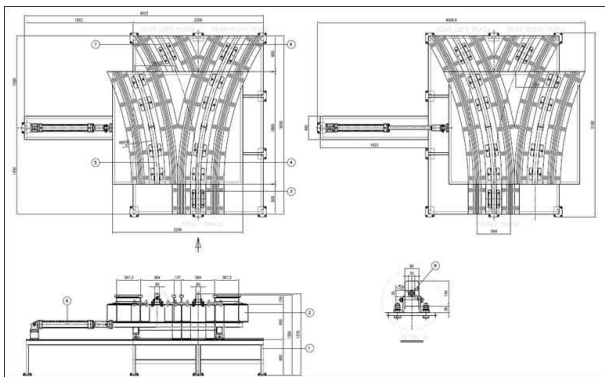
- 히팅 제어장치 제작
 - 고주파 출력반과 냉각장치의 일체형



냉각수 설비 일체형

<제작된 랙 히팅장치>

- 테스트용 분기기 및 선로전환기 제작
 - 최종적으로 결정된 랙과 레일의 레벨은 동일하기 때문에 일반적인 분기기를 적용할 수 없어, 트레바스 타입의 테스트용 분기기 제작
 - 테스트용 선로전환기는 유압식으로 작동



<테스트용 분기기 및 선로전환기 조립도>



<제작된 테스트용 분기기 및 선로전환기>

(3) 랙 히팅장치 성능시험

- 성능시험 절차
 - 철도용품 코레일 규격서 “KRCS C231 04 : 선로전환기 히팅장치” 참조
 - 본 시험은 크게 예비시험, 히팅 효율시험, 히팅 유지시험으로 분류하여 수행
 - 예비시험은 선로전환기의 작동이 원활하게 이루어지는지 확인하는 예비 작동 시험
 - 히팅 효율 시험은 랙 히팅장치의 히팅 성능을 검증하는 시험
 - 히팅 유지 시험은 랙 히팅장치의 히팅 성능 셋팅된 온도 유지를 검증하는 시험

**산악열차 Rack 히팅장치
성능시험절차서**

2018.08

성능시험절차서
Rev. 01

목적

1. 목적
본 시험은 급구배 전차(산악열차)의 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

2. 시험대상
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

3. 시험장소
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

4. 시험장비
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

5. 시험절차
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

6. 시험결과
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

7. 시험비고
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

성능시험절차서
Rev. 01

목적

1. 목적
본 시험은 급구배 전차(산악열차)의 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

2. 시험대상
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

3. 시험장소
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

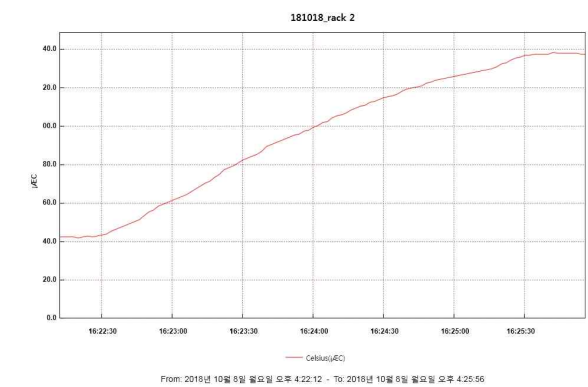
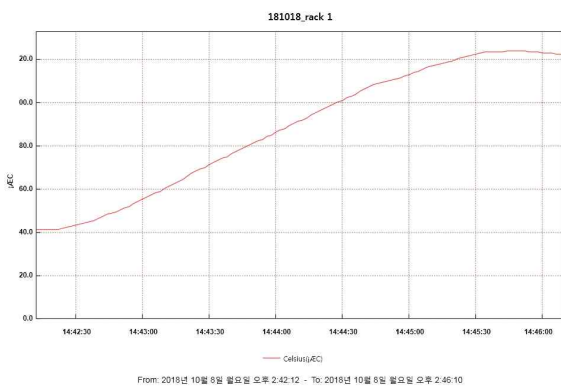
4. 시험장비
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

5. 시험절차
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

6. 시험결과
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

7. 시험비고
본 시험은 산악열차용 히팅장치 및 히팅장치용 배전장치에 대한 성능시험을 목적으로 하며, 시험결과를 바탕으로 히팅장치의 성능을 평가하고, 시험결과에 따른 개선사항을 도출한다.

○ 성능시험 결과



<시간에 따른 온도 상승>

○ 향후 개선

- 유도 코일의 삽입을 위한 절단부 랙 레일의 강도 보강을 위해 랙 형상 설계 변경 검토

(2) 급구배 추진시스템 기술 기준 보완

(가) 급구배 추진 차량시스템 기술기준 보완

- 전문가(차량분야 국내 전문가 5인) 자문회의 개최(2018. 4. 4., 2018. 4. 18.)
- 차량분야 기술기준 정립



<전문가 초청 자문회의(2018.4.18.)>

○ 산악벽지형 노면전차 기준(안) 제시

- 궤도운송법 하위 기술기준에 핵심 내용 포함

회의 목적

(산악열차용 차량 기술기준 보완 회의)

본 회의는 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의(이하 '본 회의')를 개최하여, 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 목적을 달성하고, 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 결과를 발표한다.

본 회의의 주요 내용은 다음과 같다.

1. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 목적

2. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 범위

3. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 일정

4. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 결과

5. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 결론

회의 목적

(산악열차용 차량 기술기준 보완 회의)

본 회의는 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의(이하 '본 회의')를 개최하여, 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 목적을 달성하고, 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 결과를 발표한다.

본 회의의 주요 내용은 다음과 같다.

1. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 목적

2. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 범위

3. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 일정

4. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 결과

5. 산악열차용 차량 기술기준 보완 회의의 결론

- 세부 기술적 내용은 “산악철도 차량 기술기준 지침”으로 별도 작성

산악벽지형 노면전차

목차

제1절 선형
 제1조(선로의 구배)
 제2조(평면곡선반경)

제2절 주행선로
 제3조(주행선로의 설치)
 제4조(주행선로의 구조)
 제5조(주행선로의 강도)

제3절 노반
 제6조(노반의 기능)
 제7조(노반의 시공)
 제8조(시공기면의 폭)
 제9조(결방방지장치)
 제10조(낙석방지공)

제4절 정거장
 제11조(정거장)
 제12조(분기기)

제5절 시스템
 제13조(전력)
 제14조(신호/통신)

제6절 차량
 제15조(사용조건)
 제16조(차량의 구조)

산악벽지형 노면전차 기술 기준

제1절 선형

제1조(선로의 구배) 산악벽지형 노면전차 선로의 구배는 산악벽지의 급경사에서 운행이 가능하도록 제작된 차량의 운행성능을 벗어나지 않도록 한다.

제2조(평면곡선반경) 산악벽지형 노면전차 선로의 곡선반경은 차량의 대차, 연결부 등 조건에 따른 성능에 의하여 허용되는 곡선반경의 범위를 벗어나지 않도록 한다.

제2절 주행선로

제3조(주행선로의 설치) 주행선로는 정해진 선로를 차량이 이탈하지 않고 운행할 수 있도록 설치된 것으로서 차량의 주행에 충분히 견디는 내구성을 확보하여야 한다.

제4조(주행선로의 구조) 기존 도로 상에 설치되어 공용 운행되도록 설치되는 주행선로의 경우는 도로를 이용하는 자동차가 주행선로를 교행 운행하는 것이 가능한 구조로 설치되어야 한다.

제5조(주행선로의 강도) 주행선로는 차량의 운행, 출발 및 제동 등에 따라 발생하는 하중에 대해 견고히 지지할 수 있어야 한다.

제3절 노반

제6조(노반의 기능) 노반은 도공, 교량, 터널 등의 구조물 형식을 통해 레일로부터 전달되는 하중을 견고히 지지하는 기능을 확보하여야 한다.

제7조(노반의 시공) 산악벽지형 노면전차의 특성 상 기존 도로 용지의 일부를 점용하여 전용차로 노반을 설치하는 경우 도로 주행과의 상관관계를

<산악철도 기술기준(안)>

목차

제 1 편 산악철도 차량 기술기준

제 1 장 총칙 1

제 2 장 구조 안전기준 2

제 1 절 차량한계 등의 안전기준 2

제 2 절 좌석 안전기준 2

제 3 절 전기 안전기준 4

제 3 장 장치별 안전기준 6

제 1 절 차체 안전기준 6

제 2 절 조향장치의 안전기준 9

제 3 절 제동장치의 안전기준 12

제 4 절 추진제어장치의 안전기준 14

제 5 절 보조전원장치의 안전기준 15

제 6 절 신호보조장치의 안전기준 16

제 7 절 열차감시장치의 안전기준 16

제 8 절 기타장치의 안전기준 17

제 4 장 성능 19

제 1 절 운행조건 19

제 2 절 운행성능 19

제 5 장 인터페이스 19

제 1 절 차량-전력 19

제 2 절 차량-신호 21

제 3 절 차량-통신 22

제 4 절 차량-레드 24

제 5 절 차량-기관사 25

제 1 편 산악철도 차량 기술기준

제1장 총칙

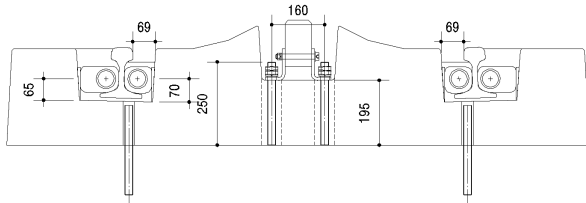
- 제1조(목적)**
- 이 규칙은 도시철도법 제22조의2 및 동법시행령 제25조의 규정에 의하여 궤도운송법(이하 "법"이라 한다)에 의하여 산악 벽지형 궤도에서 운행하는 돌니바위식 노면전차의 구조 및 장치의 안전성능에 필요한 기준을 규정함을 목적으로 한다.
- 제2조(정의)** 이 규칙에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.
- "열차"라 함은 여러 차량이 하나의 편성을 이루어 본선에서 운행할 목적으로 열차번호를 부여받은 차량을 말한다.
 - "차량"이란 급강사에서 운행이 가능한 것으로서 교류편의 및 전압 준전을 목적으로 열차를 구성하는 돌니바위식 노면전차를 말한다.
 - "차량한계"라 함은 차량의 안전을 확보하기 위하여 궤도위에 정지된 상태에서 측정한 차량의 길이, 너비 및 높이의 한계를 말한다.
 - "저석"라 함은 주행장치의 의하여 지지되며 승객 및 운전자가 탑승하거나 화물 및 운전용기기 등을 적재하는 차량 부분의 승장을 말한다.
 - "구조체"라 함은 차체를 구성하고 있는 차체 프레임, 축연 구조물, 지붕구조 등 주요 구조부를 말한다.
 - "운속(運速)"이라 함은 차체(車體)와 차축(車軸)의 결합체를 말한다.
 - "속중(速重)"이라 함은 차량이 수평상태에 있을 때 1개의 차축에 연결된 모든 차륜의 운중(運重)을 합한 것을 말한다.
 - "운량(運量)"라 함은 차량이 수평상태에 있을 때에 1개의 차륜의 수직으로 궤도를 누르는 운중을 말한다.
 - "삭정(削正)"이라 함은 부분의 미모던 부분을 초기의 형상에 가까운 모양으로 깎는 것을 말한다.
 - "비밀-에어기능"이라 함은 어떤 장치에 고장이 발생한 경우에도 당해 고장의 영향이 차단되어 전체 장치가 안전하게 작동할 수 있는 기능을 말한다.
 - "미니언"이라 함은 운속에 설치되는 돌니바위식 궤도의 턱 기어에 맞물려 차량이 구동할 수 있도록하는 기어장치 일체를 말한다.
 - "미니언 제동장치"라 함은 대차에 설치되어 차량의 부족한 제동력을 보완하기 위한 부수 장치 일체를 말한다.
 - "추진축"이라 함은 견인전동기와 구동장치를 연결하여 구동력을 운속에 전달해주는 장치를 말한다.

<산악철도 차량 기술기준 세부 지침>

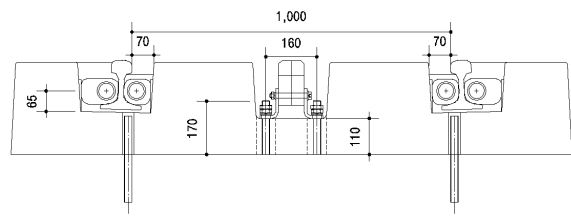
(나) 궤도 Rack 시공개선 및 궤도패널 설계보완

○ 소규모 시험궤도 시험을 통한 인터페이스 설계보완

- 도로 겸용 편의를 위해 기존 랙 부분 돌출부를 편평하게 조정

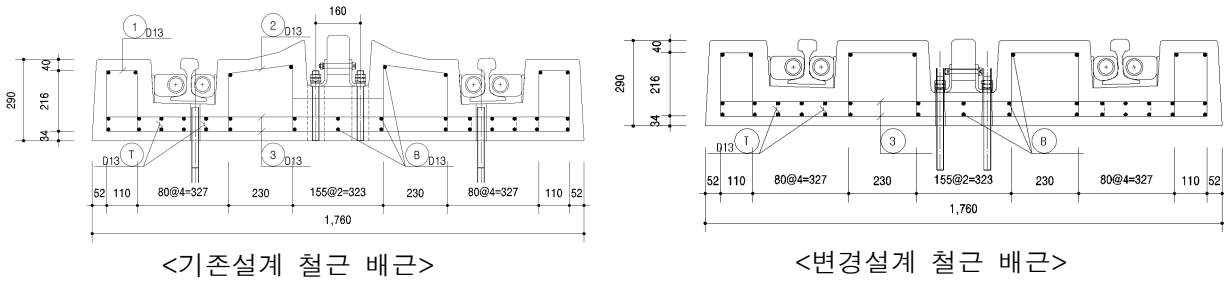


<기존 설계 궤도 단면>



<변경 설계 궤도 단면>

- 단면 변경에 따라 궤도패널 철근배근 설계보완



○ 궤도 시공성 및 대차와의 인터페이스를 반영한 표준단면 선정

구분	내용	적용(mm)
Rack	분기기 통과 및 Rack 보호	75
	Rack&Pinion 상호작용 및 체결필요 단면	W200×H170
	플랜지 깊이	45
Rail	최대슬랙(S_{max}) 허용폭	63
	최소곡선반경(R10)을 고려한 레일홈부	W220×H170
	레일수직마모 및 차량마모와 레일 탄성변위	6mm
	레일패드 기능고려/레일답면기울기 반영(1:40)	10mm

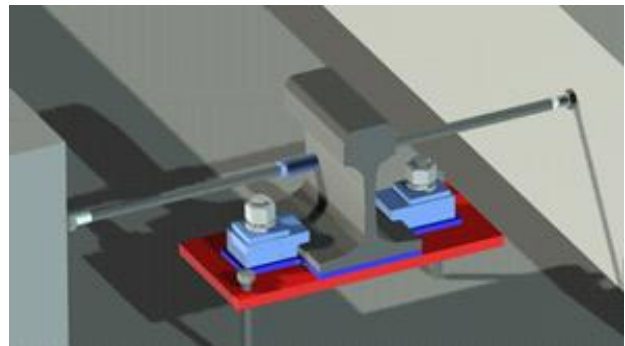
○ 곡선반경에 따른 슬랙(slack)량 검토

- 곡선반경 10m에 대하여 최대 슬랙량은 약 60mm, 최소 슬랙량은 약 24mm 산정되었음
- 최대 슬랙량은 차량의 동적특성을 고려하여 안전율을 2배 적용할 경우 국내에서 제시하는 최대 슬랙량 30mm 적용이 바람직함
- 국내 일반철도에서는 평면곡선과 종단곡선의 경합이 없는 조건이며, 산악철도의 경우 평면곡선과 종단구배 경합이 불가피함에 따라 슬랙의 체감길이를 반드시 일정길이 이상 적용해야 할 것으로 판단됨
- 도로설계기준에서는 최소 20m 이상의 완화구간을 두고 있으며, 산악철도의 경우 도로 선형조건에 부합하게 곡선 전후 20m이상의 완화구간이 필요할 것으로 판단됨

○ 랙 체결장치 설계 변경

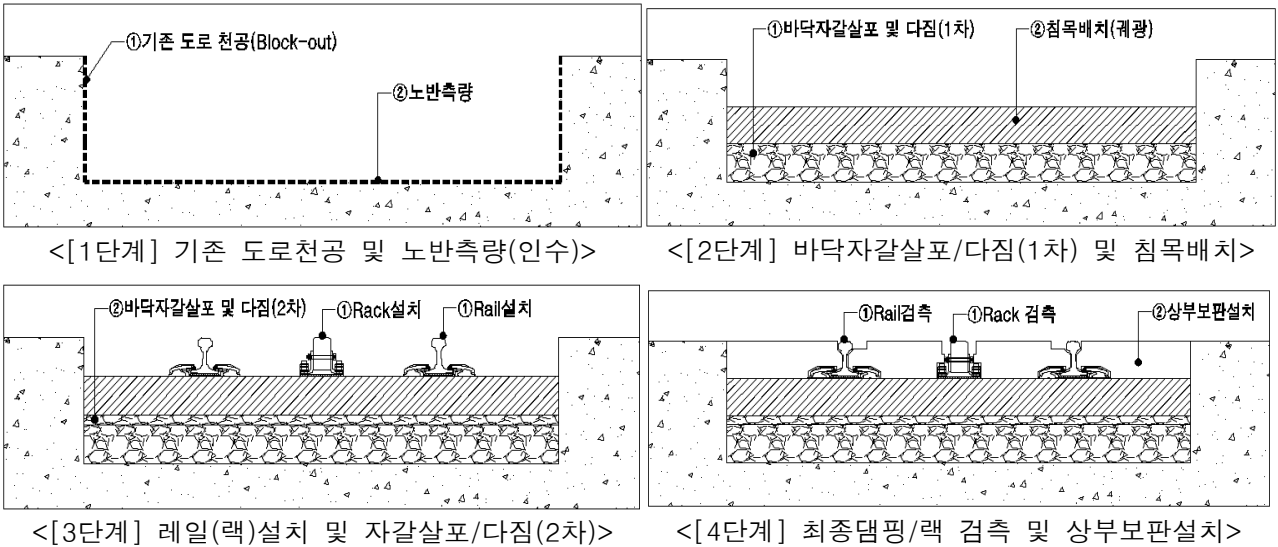


<기존 Rack 이음매 및 볼트>



<Rack 체결장치(안)>

○ 궤도패널 시공흐름 및 개념정립



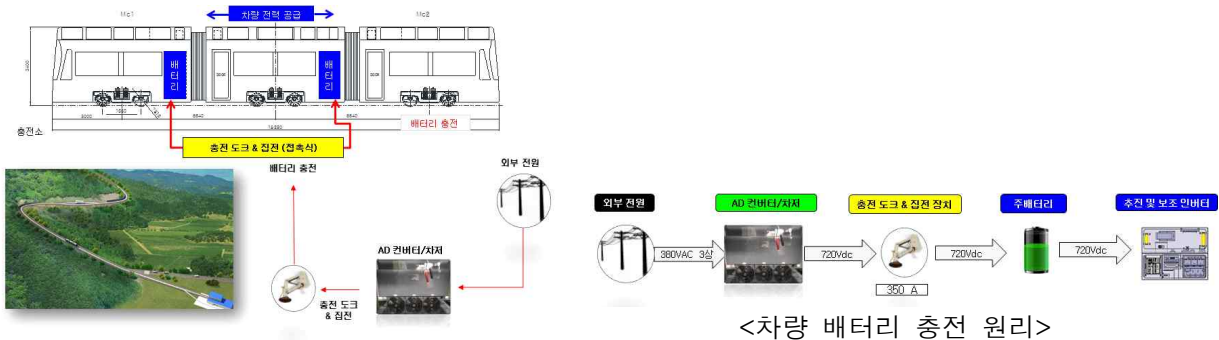
- 평지의 기존 도로를 활용하는 경우 1단계로 천공후 배수와 진동 흡수 등을 위해 2단계로 바닥을 자갈로 살포하여 다지고 침목을 배치하는 과정을 거쳐서 락 레일을 설치함
- 구배 구간의 경우 돌출형 HSB층을 설계하여 락 궤도 건설
- 기존 설계에서 중앙부 돌출부를 제거하여 자동차 통행에 불편이 없도록 개선

(3) 급구배 추진시스템 집전장치 개발

(가) 급구배 추진시스템 집전장치 설계

○ 대차 시스템 설계보완

- 산악지형에 적합한 충전 인프라와 차량 배터리 충전을 위한 인터페이스 방법 연구
- 차량 정차시 하부 집전을 통한 차량 배터리 충전

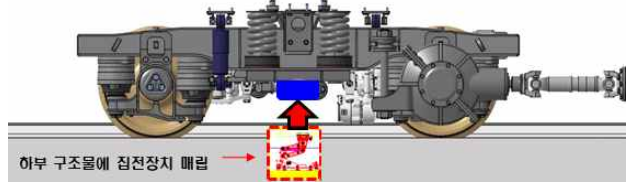
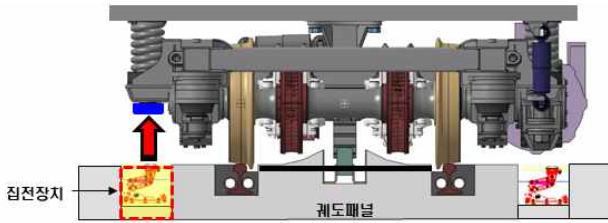


<급구배 추진시스템 배터리 충전 개념도>

○ 하부 집전장치 개념

- 차량이 충전소에 정차하였을 때, 집전장치를 통해 차량의 배터리 충전
- BOTTOM-UP 충전 방식을 적용하여 자연 경관 파괴에 영향이 없도록 궤도 매립 방식의 집전장치 개발

○ 대차 및 궤도 설치 방안



<BOTTOM-UP 방식 집전장치 설치 방안(정면)>

<BOTTOM-UP 방식 집전장치 설치 방안 (측면)>

- 집전장치 사양 및 정격
- 배터리 사양

<배터리 정격 및 사양>

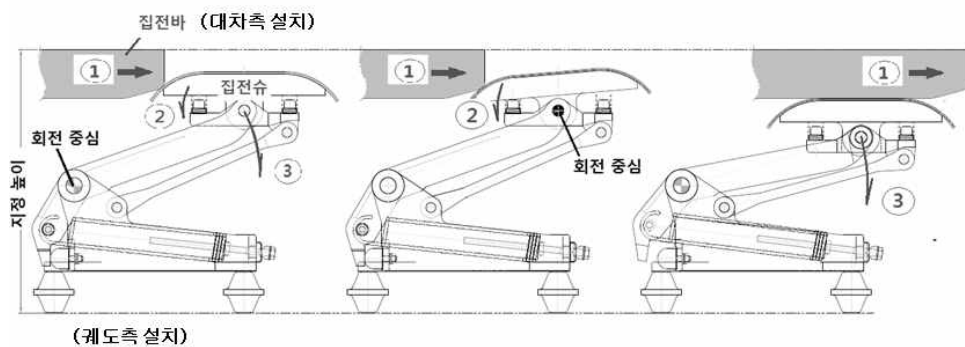
항목	사양
배터리	리튬폴리머 배터리
사양	DC 750V/670Ah, 488kwh
부하 전류	1C, 670A (1시간 연속)
작동 조건	정지 동작 (주행시보다 정지시 전류 정격이 작음)

- 집전장치 사양

<집전장치 목표 사양 및 기능>

No.	항목	사양
1	변위	상하 33mm (가선높이 +8mm~-25mm)
2	치수	H 298 × W 140 × L 377mm
3	설치높이	주행 레일면에서 집전슈 상면까지 +118mm
4	매립깊이	주행 레일면에서 집전장치 하면 까지 -180 mm (절연 애자 포함)
5	압상력	120N 이상 (Max. 180N 이하)
6	집전슈	C3602-P (황동계)

- 집전장치의 작동 메커니즘



<집전장치 작동 과정>

- 집전장치 제작 규격서

woojin	급구배용 집전장치 부품규격서	문서No.	42A-2018-0011
		일 자	2018. 06. 11.
		Rev. No.	Rev. 00

woojin	급구배용 집전장치 부품규격서	문서No.	42A-2018-0011
		일 자	2018. 06. 11.
		Rev. No.	Rev. 00

- 목 차 -

1. 개요	4
2. 적용규격	4
3. 필요 조건	4
4. 검사 및 시험	6
5. 기타	9
6. 품질 보증	9
7. 표시 및 포장	10
8. 관련 도면	10
9. 검사 및 시험기준서	11

1. 개요

본 문서는 급구배용 차량이 경거장 중차시에 차량의 센터리 축경용으로 경거장에 설치되어 있는 급구배용 집전장치 개발함에 대해 적용한다.

2. 적용 규격

- 1) KS C IEC 60494-2 절도회 전기설비 - 절도회로의 특성 및 시험 - 제2부 : 도시용도 및 경관용 차량용 절도회로
- 2) KS R 9144 절도 차량 부품의 적용시험
- 3) KS C IEC 60077-1 절도 차량용 전기 설비-제1부 : 일반 요구 사항
- 4) KS D 6061 알루미늄 및 알루미늄 합금의 굵 및 꺾
- 5) KS C 0704 제어 기기의 절연 거리 · 용연 저항 및 내전압
- 6) KS R 9197 절도 차량 절연 저항 및 내전압 시험 방법

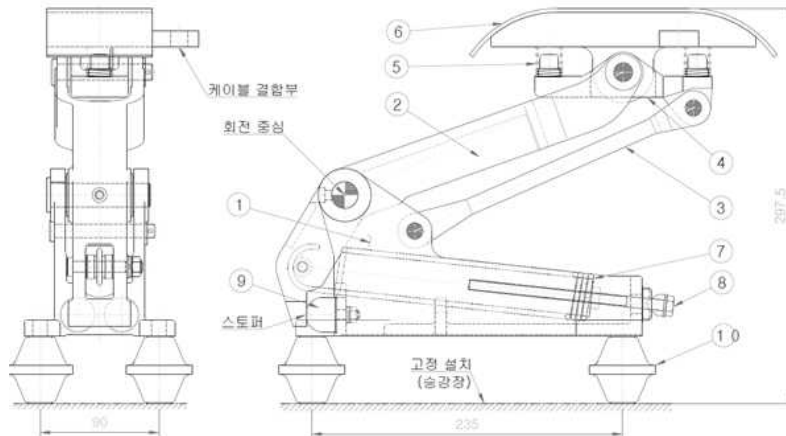
3. 필요 조건

3.1 재질

명칭	재질 및 규격	비고
MOUNTING BASE	AL6061	
MOVING ARM	AL6061	
LEVER ARM	AL6061	
SHOE BODY	AL6061	
SHOE PLATE	C380C-P	
MAIN SPRING	SMP-A	

<집전장치 제작규격서>

○ 집전장치 구조 및 제작도



<집전장치 구조도>

No.	명칭	No.	명칭
①	몸체 (Body)	⑥	집전 슈(Collector Shoe)
②	무빙 암 (Moving Arm)	⑦	인장 스프링 (Extension Spring)
③	레버 암 (Lever Arm)	⑧	텐션 볼트 (Tension bolt)
④	슈 받침대 (Shoe Support)	⑨	스토퍼 고무 (Stopper Rubber)
⑤	완충 스프링 (Cushion Rubber)	⑩	절연 애자 (Insulator)

(나) 급구배 추진시스템 집전장치 제작

○ 주요 부품 제작



<집전장치 주요부품 제작>

- 집전장치 및 동작 시험용 지그 제작



<집전장치 시작품>



<동작시험용 지그>

- (다) 급구배 추진시스템 집전장치 성능시험

- 집전장치 시험 적용 규격
 - KS C IEC 60494-2 철도용 전기설비 - 팬터그래프의 특성 및 시험 - 제2부: 도시철도 및 경전철 차량용 팬터그래프
 - KS R 9144 철도 차량 부품의 진동시험
 - KS C IEC 60077-1 철도 차량용 전기 설비-제1부 : 일반 요구 사항
 - KS D 6061 알루미늄 및 알루미늄 합금의 판 및 띠
 - KS C 0704 제어 기기의 절연 거리·절연 저항 및 내전압
 - KS R 9197 철도 차량 절연 저항 및 내전압 시험 방법
- 집전장치 시험절차서

WOOJIN	급구배용 집전장치 시험절차서	문서No.	424-2018-0010
		일 자	2018. 06. 18.
		Rev. No.	Rev. 00

WOOJIN	급구배용 집전장치 시험절차서	문서No.	424-2018-0010
		일 자	2018. 06. 18.
		Rev. No.	Rev. 00

- 목 차 -

1. 개요 4

2. 적용규격 4

3. 필요 조건 4

4. 검사 및 시험 항목 8

5. 검사 및 시험 기준 9

6. 검사성적서 12

1. 개요

본 문서는 급구배용 차량이 정거장 정차시에 차량의 배터리 충전용으로 정거장에 설치되어 있는 급구배용 집전장치 개발품에 대해 적용한다.

2. 적용 규격

- 1) KS C 1EC 60484-2 용도분 전기설비 - 권선그래프의 특성 및 시험 - 제2부: 도시형도 및 경관형 차량용 권선그래프
- 2) KS R 9144 철도 차량 부품의 진동시험
- 3) KS C 1EC 60077-1 철도 차량용 전기 설비-제1부: 일반 요구 사항
- 4) KS D 6061 알루미늄 및 알루미늄 합금의 판 및 띠
- 5) KS C 0704 제어 기기의 절연 거리·절연 저항 및 내전압
- 6) KS R 9197 철도 차량 절연 저항 및 내전압 시험 방법

3. 필요 조건

3.1 재질

명 칭	재질 및 규격	비 고
MOUNTING BASE	AL6061	KS D 6061
MOVING ARM	AL6061	KS D 6061
LEVER ARM	AL6061	KS D 6061
SHOE BODY	AL6061	KS D 6061
SHOE PLATE	C3802-P	
MAIN SPRING	SMP-A	선경 45

<집전장치 시험절차서>

○ 공인인증 시험

- 시험 진행



- 집전장치 시험 결과 및 시험 인증

<집전장치 시험 결과>

No.	시험 진행 항목	시험 기준	결과	
1	외관 검사	육안 검사하여 이상 없을 것	합격	
2	치수 검사	치수 검사	도면 의거 오차 범위 이내	합격
		최대 높이 측정	246.5 ± 3mm (MOUNTING BASE 기준)	합격
3	중량 측정 검사	6 ± 1kg	합격	
4	절연저항 측정 시험	절연저항 10MΩ 이상	합격	
5	내전압 시험	AC 3000V 인가 후 절연저항 10MΩ 이상	합격	
6	동작 시험	10회 동작하여 이상 없을 것	합격	
7	접촉력 시험	117 ± 15N	합격	
8	발열 시험	시험절차서 의거 제한 온도 이내	합격	
9	진동 시험	KS R 9144 철도차량부품의 진동시험방법	합격	



시험성적서



발행번호 : **SGS-R18-1933-KR00**
 접수번호 : **TON-R18-2823**
 의뢰기관 : (주)우진기전
 회사주소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95
 제품명 : 급구배용 집전장치
 모델명 : RFC000005
 시험일자 : 2018년 09월 14일 ~ 2018년 09월 18일
 시험규격/방법 : 성능시험 - 의뢰자 제시 기준
 KS R 9144: 2014 철도차량 부품의 진동시험 방법 (2중 B)
 시험결과 : Page 12, Page 18, Page 24 참조
 용도 : 품질 평가용

이 성적서 위의 내용은 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

확인	작성자	기술책임자
	성명 : 백주옥 	성명 : 안효경 

* 위 성적서는 국제시험기관인정협력체 (International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정 (Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구 (KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

* **표시된 시험결과에는 시험기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.

2018. 10. 11.

한국인정기구 인정 **한국에스지에스(주) 동탄시험소장**



This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested and such sample(s) are retained for 90 days only.



SGS Korea Co., Ltd. | 20, Dongtansandan10-gil, Dongtari-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea | t +82 (0)31 240 6671 | f +82 (0)31 240 6629 | www.sgsgroup.kr
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

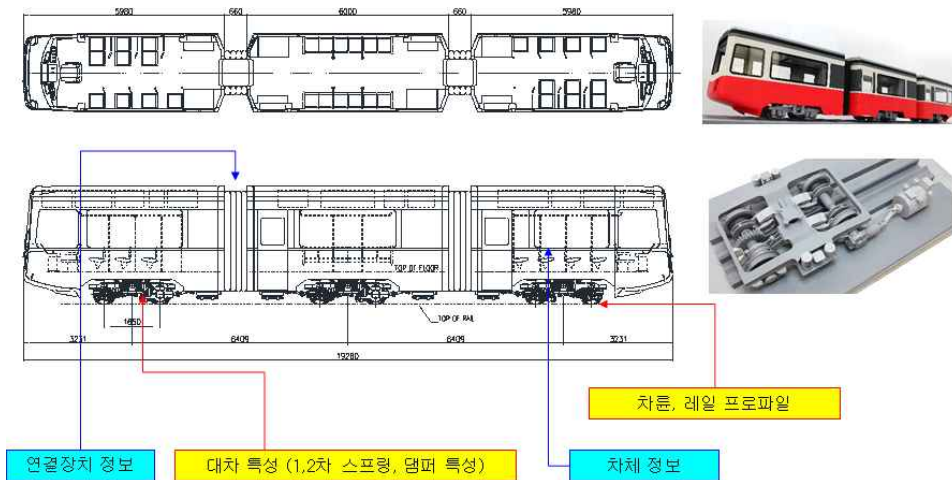
<집전장치 공인 시험성적서>

- 향후 개선
 - 집전장치의 절연 및 도로 표면에서 안전 보호장치 추가

(4) 급구배 추진시스템 대차 주행안전성 검토 및 차간 연결장치 개념설계 사양 도출

(가) 대차 주행안전성 검토

- 검토 목적
 - 핵심기술 개발 단계에서 현재까지 설계 진행된 차량 및 대차 모델을 기반으로 동역학 해석 실시 (3량 1편성, 1량 1대차 구조)
 - CASE 스터디를 통한 차량 구조, 연결장치의 메커니즘에 대한 문제점 예측 및 연결장치의 특성, 개선사항 도출
 - 동역학 해석을 통한 연구 성과를 향 후 차량 설계에 활용
- 급구배 추진시스템 연결장치 개념설계 모델 개요



<차량 해석 모델 구성>

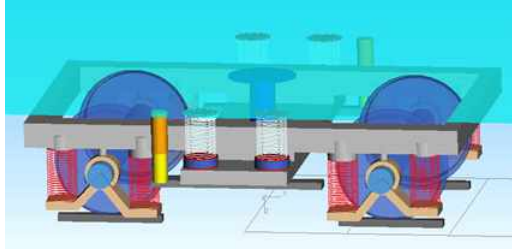
○ 급구배 추진 대차시스템 구성



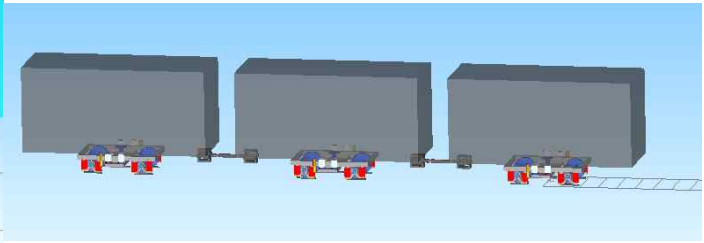
<대차 현가장치의 구성>

<대차 현가장치의 특성>

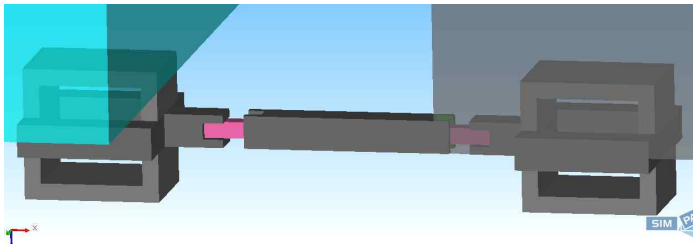
○ 단순화 시뮬레이션 모델



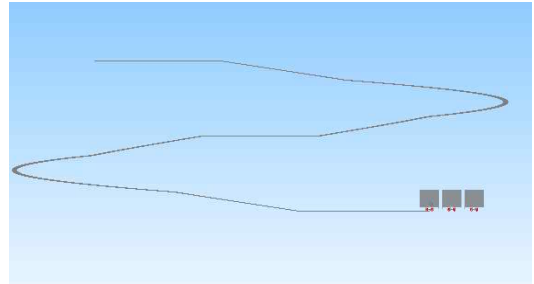
<대차 해석 모델>



<3량 1편성 해석 모델>



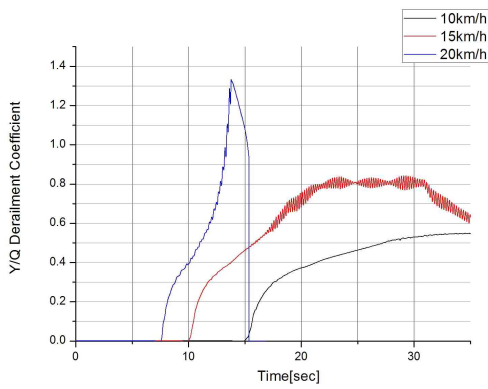
<차량 연결기 모델>



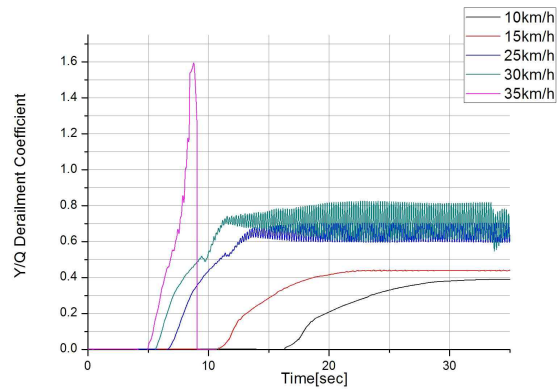
<곡선 및 구배 동시 구간 (한라산 노선)>

○ 시뮬레이션 결과

- 곡선 반경, 차량의 속도에 따른 주행안전성(탈선계수) 해석 결과



<10R에서의 탈선계수[만차]>

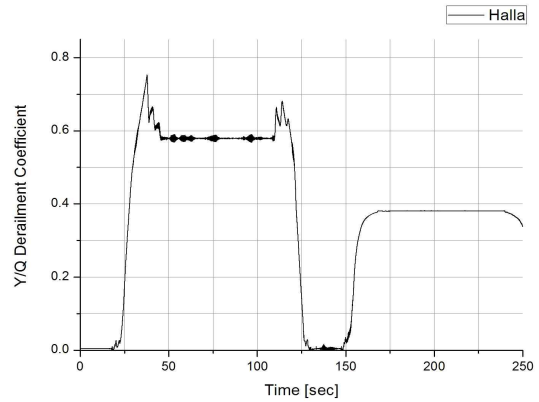


<30R에서의 탈선계수[만차]>

- 곡선 반경에 따른 차량 속도 제한 결과 도출
- 곡선 및 구배 동시 구간의 주행안전성(탈선계수) 해석 결과

<곡선반경/차량속도에 따른 탈선계수>

반경(m)	시속 [km/h]	공차	만차
		최대 탈선계수	
R10	10	0.53	0.56
	15	0.71	0.84
	20	1.29 (탈선)	1.33 (탈선)
R30	10	0.4	0.4
	15	0.5	0.4
	25	0.6	0.7
	30	0.8	0.8
	35	1.5 (탈선)	1.5 (탈선)
R50	10	0.3	0.3
	15	0.3	0.3
	30	0.5	0.61



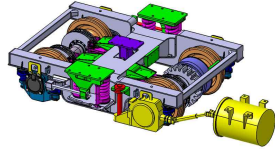
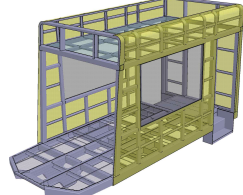
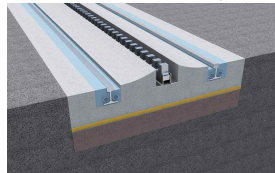
<한라산 노선 곡선 및 구배 적용 해석 결과>

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

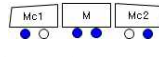
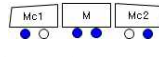
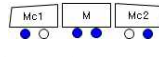
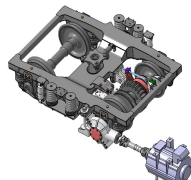
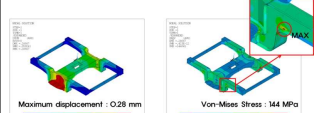

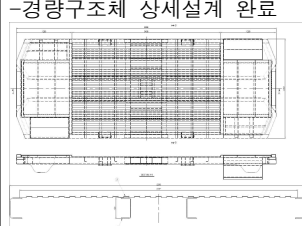
가. 목표 달성도

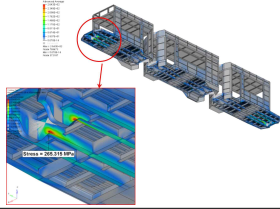
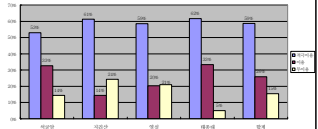
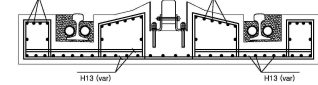
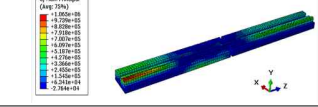

(1) 연차별 목표 달성도

(가) 1차년도 목표 달성도

연차 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	달성내용	달성도
급구배 추진시스템 핵심기술 개념 및 기본설계	국내외 지적재산권 확보 건수	(특허 출원 3건)	3건	특허출원 -산악철도차량용 대차프레임 -산악 철도용 피니언 기어 승하강 구조 -산악철도 차량용 연결기 설치구조	100%
	급구배 추진시스템 대차, 차체, 궤도 시스템 상위개념 설계도	급구배 추진 시스템 개념 설계도 -대차 시스템 개념도 4건 -차체 시스템 개념도 3건 -궤도 시스템 개념도 3건	10건	- 대차시스템 개념 3차원도 작성 (필요시 다양한 2차원 도면)  - 차체시스템 개념 3차원도 작성 (필요시 다양한 2차원 도면)  - 궤도시스템 개념 3차원도면 (필요시 다양한 2차원 도면) 	100%
소 계					100%


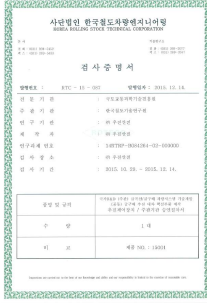





(나) 2차년도 목표 달성도

핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	최종 성과점검기준					달성내용	달성도																														
		질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	가중 치																																
A 급구배 추진 대차시스 템 상세 설계	A-1 급구배 추진시 스템 상세 사양 결정	① 급구배 추진 시 스템 상세사양서	1건	사양서	보고 서	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>사양</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vehicle Type</td> <td>LRT (무가선 저상트램)</td> </tr> <tr> <td>Vehicle Arrangement</td> <td>3module 3 driving bogie, (Mc1-M-Mc2)  (● 구동축) </td> </tr> <tr> <td>Operation Type</td> <td>Manual operation by 1person</td> </tr> <tr> <td>Supply Voltage</td> <td>750 V, DC</td> </tr> <tr> <td>Gauge</td> <td>1,000 mm</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Weight [kg]</td> <td>Ta 46,000</td> </tr> <tr> <td>Lo 8,000</td> </tr> <tr> <td>Ft 54,000</td> </tr> <tr> <td>Capacity</td> <td>82 (Seats 34, Standing 48, 3person/m²)</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Dimension</td> <td>L 19,300 mm</td> </tr> <tr> <td>W 2,300 mm</td> </tr> <tr> <td>H 3,400 mm</td> </tr> <tr> <td>Floor Height</td> <td>MC1, MC2, M Car 790 mm (Entrance 350 mm)</td> </tr> <tr> <td>Max. Speed</td> <td>Adhesion 50 km/h Uphill (120 %) 15 km/h, (180 %) 5 km/h</td> </tr> <tr> <td>Max. Acceleration</td> <td>Adhesion 3.5 km/h/s Uphill (120 %) 1.0 km/h/s, (180 %) 0.5 km/h/s</td> </tr> <tr> <td>Deceleration</td> <td>Service 3.5 km/h/s (Adhesion) Emergency 4.5 km/h/s (Adhesion)</td> </tr> </tbody> </table>	항목	사양	Vehicle Type	LRT (무가선 저상트램)	Vehicle Arrangement	3module 3 driving bogie, (Mc1-M-Mc2)  (● 구동축)	Operation Type	Manual operation by 1person	Supply Voltage	750 V, DC	Gauge	1,000 mm	Weight [kg]	Ta 46,000	Lo 8,000	Ft 54,000	Capacity	82 (Seats 34, Standing 48, 3person/m ²)	Dimension	L 19,300 mm	W 2,300 mm	H 3,400 mm	Floor Height	MC1, MC2, M Car 790 mm (Entrance 350 mm)	Max. Speed	Adhesion 50 km/h Uphill (120 %) 15 km/h, (180 %) 5 km/h	Max. Acceleration	Adhesion 3.5 km/h/s Uphill (120 %) 1.0 km/h/s, (180 %) 0.5 km/h/s	Deceleration	Service 3.5 km/h/s (Adhesion) Emergency 4.5 km/h/s (Adhesion)	100%
	항목	사양																																				
	Vehicle Type	LRT (무가선 저상트램)																																				
	Vehicle Arrangement	3module 3 driving bogie, (Mc1-M-Mc2)  (● 구동축)																																				
	Operation Type	Manual operation by 1person																																				
	Supply Voltage	750 V, DC																																				
Gauge	1,000 mm																																					
Weight [kg]	Ta 46,000																																					
	Lo 8,000																																					
	Ft 54,000																																					
Capacity	82 (Seats 34, Standing 48, 3person/m ²)																																					
Dimension	L 19,300 mm																																					
	W 2,300 mm																																					
	H 3,400 mm																																					
Floor Height	MC1, MC2, M Car 790 mm (Entrance 350 mm)																																					
Max. Speed	Adhesion 50 km/h Uphill (120 %) 15 km/h, (180 %) 5 km/h																																					
Max. Acceleration	Adhesion 3.5 km/h/s Uphill (120 %) 1.0 km/h/s, (180 %) 0.5 km/h/s																																					
Deceleration	Service 3.5 km/h/s (Adhesion) Emergency 4.5 km/h/s (Adhesion)																																					
A-2 급구배 추진 대 차시스템 상세 설계안 도출	① 급구배 추진 대 차시스템 상세설 계서	1식	설계도 면	보고 서	20	-대차시스템 상세설계 완료 	100%																															
	② 급구배 추진 대 차프레임 강도기 준 만족	1식	해석결 과	보고 서	5	-대차프레임 강도 해석 및 기준 만족 확인 																																
A-3 급구배 추진 Rack&pinion 시제품 개발	① 저진동 Rack& pinion 시제품 (10% 이상 저 감)	1식	시제품 시험결 과	사진/ 보고 서	10	-탄성Rack&pinion 시제품 제작 및 성능 시험 완료 	100%																															
B 급구배 운 행 경량구 조체 상세 설계	B-1 급구배 운행 경 량구조체 상세 설계안 도출	① 급구배 운행 경 량구조체 상세설 계서	1건	설계안	보고 서	20	-경량구조체 상세설계 완료 	100%																														
		② 급구배 운행 경 량구조체 강도기 준 만족	1식	해석결 과	보고 서	5	-경량구조체 강도해석 및 기준 만 족 확인																															

										
C	급구배 추진 시스템 상세 설계	C-1	급구배 추진 시스템 운행 구간 노선 설계	① 급구배 추진 시스템 운행 구간 노선 설계 수요자 만족도	1건	만족도 조사 결과	보고서	10	-운행구간 노선 수요자 만족도 조사 및 만족도 확인 	100%
		C-2	-급구배 궤도 시스템 상세설계 안 도출	① 급구배 궤도 시스템 상세설계서	1식	설계도면	보고서	10	-궤도 시스템 상세 설계 완료 	100%
				② 급구배 궤도 시스템 강도기준 만족	1식	해석결과	사진	5	-궤도 강도 해석 및 기준 만족 확인 	
C-3	급구배 궤도 시스템 탄성충진재 및 베딩재 시제품 개발	① 급구배 궤도 시스템 탄성충진재 (인장강도 5.17Mpa) 및 베딩재 (압출율 0.4%) 시제품 성능	2건	시제품 시험결과	사진/보고서	10	-충진재 및 베딩재 시제품 제작 및 성능 검증 완료 	100%		
양적 지표				① 논문: 게재 1 건					-산악트램 객실 쾌적성 향상을 위한 저진동 액션피니언 추진장치 개발(한국방재학회논문집15-3)	100%
				② 특허: 출원 4 건					특허출원 -래칫기어를 이용한 산악철도차량용 비상제동장치 -산악철도차량용 비상제동장치 -산악 철도용 궤도 구조 -산악철도차량용 비상제동장치	100%
				③ 특허: 등록 1 건					특허등록 -산악 철도용 피니언 기어 승하강 구조 -산악철도 차량용 연결기	100%
				④ 시제품: 3 건					-탄성 Rack&Pinion -탄성 충진재 -베딩재	100%
계										100%

(다) 3차년도 목표 달성도

핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	최종 성과점검기준					달성내용	달성도
		질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증 방법	기종치		
A 급구배 추진 시스템 성능 평가 및 기술	A-1 급구배 추진 대차 프레임 하중시험 및 평가	① 시험 및 평가 결과의 안정성	1식	시험결과	보고서/사진	5	-대차프레임 하중시험 및 시험성적서 발급 	100%
		② 시험 및 평가 결과의 안정성	1식	시험결과	보고서/사진	10	-급구배 궤도시스템 하중시험 및 시험성적서 발급	100%



									
		급구배 추진 시스템 핵심 부품(전동기 및 추진제어장치 Rack&pinion 시제품) 호환성 시험 및 평가	③ 시험 및 평가 결과의 안정성	1식	시험결과	보고서/사진	10	-Rack&pinion 추진 전동기 및 추진제어장치, 조합시험 완료 및 시험인증서 발급 	100%
		급구배 추진 대차 시스템 동특성 시험 및 평가	④ 시험 및 평가 결과의 안정성	1식	시험결과	보고서/사진	5	-대차동특성 시험 및 공인 시험 성적서 발급 	100%
B	급구배 추진 대차 시스템 개발	B-1 급구배 추진 대차 프레임 (1set)	① 단품 시제품	1식	시제품	보고서/사진	5	-대차프레임 제작 완료 	100%
		B-2 급구배 추진 대차 시스템 (1set) 완성	① 완성 조합 시제품	1식	시제품	보고서/사진	10	-대차시스템 제작 완료 	100%
C	급구배 추진 궤도 시스템 개발	C-1 급구배 궤도 시스템 탄성충진재 및 베딩재 완성 시제품 제작	① 단품 시제품	1식	시제품	보고서/사진	20	-탄성충진재와 베딩재 시제품으로 레일이 고정된 급구배 궤도 시스템 시제품 제작 완료 	100%
		C-2 급구배 궤도 시스템 시제품(1set) 완성	② 완성 조합 시제품	1식	시제품	보고서/사진	25		
		C-3 급구배 추진 시스템 운행 구간 노선 타당성 검토	① 급구배 추진 시스템 운행 노선 타당성 검토 및 분석	1식	보고서	보고서	10	-한라산 영실진입로 노선 타당성 검토 분석 	100%
양적 지표			① 특허출원 4건					특허출원 -철도차량용 통로 연결막 설치 구조 -산악 철도 궤도의 랙기어 진동 감쇄구조 -산악철도차량용 연결기 -산악 철도용 침목 구조	100%
			② 특허등록 4건					특허등록 -랙기어를 이용한 산악철도차량용 비상제동장치 -산악철도차량용 비상제동장치 -산악 철도용 궤도 구조 -산악철도차량용 비상제동장치	100%
			③ 시제품 4건					-대차프레임 시제품	100%

									-대차시스템 -탄성충진재 -베딩재 -급구배 궤도시스템	
계										100%

(라) 4차년도 목표 달성도


핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	최종 성과점검기준						달성 내용	달성도	
		질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증방법	기량치				
A	급구배 추진 대차시스템 설계	A-1	대차시스템 상세 설계 보완	① 대차 설계 완성도	1식	설계도면	보고서	20	-시험주행을 위한 대차시스템 상세 설계 보완 	100%
B	소규모 급구배 시험궤도 제작	B-1	소규모 급구배 시험궤도 제작	① 소규모 급구배 시험 궤도 제작	1식	시제품	보고서/사진	80	-소규모 급구배 시험궤도 제작 완료 	100%
양적지표		① 특허출원2건		-산악철도차량용 대차 구조 -산악철도차량용 연결기 구조 -산악철도차량의 연결통로용 발판 구조		100%				
		② 특허등록1건		-철도차량용 통로 연결막 설치 구조		100%				
		③ 논문게재1건		-급구배 및 급곡선 궤도 추진시스템 개발 및 성능 평가(한국산학학회논문지 17-9)		100%				
계									100%	

(마) 5차년도 목표 달성도

핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	최종 성과점검기준						달성 내용	양적 성과목표	
		질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증방법	기량치				
A	급구배 추진 대차시스템 조합 시험	A-1	소규모 급구배 시험선로상 급구배 추진시스템 조합 구동 시험	① 급구배 추진시스템 조합 구동 시험	1식	시험결과	보고서	50	-시험선로 추진시스템 구동시험 완료 및 공인시험성적서 발급 	100%
B	급구배 추진 시스템 노반 표준(안) 제시	B-1	급구배 추진시스템 노반 표준(안) 제시	① 급구배 추진시스템 노반 표준(안)	1식	표준(안)의 현장 적용성	보고서	50	-급구배 추진시스템 노반 및 선로 표준 및 기술기준(안 작성 완료) 	100%
양적지표		① 특허출원1건		-교통 약자용 계단 이송장치		100%				

		② 특허등록1건	-산악철도차량용 대차 구조 -산악철도차량용 연결기 구조 -산악철도차량의 연결통로용 발판 구조	100%
		③ 논문게재1건	-급곡선 급경사 운행 산악트램의 대차 및 차체 연결 구조 개발(한국산학학회논문지(19-7))	100%
계				100%

(바) 추가 성과 달성도

핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	최종 성과점검기준					달성 내용	양적 성과목표
		질적 성과지표	목표치	측정 방법	검증방 법	가중치		
A 집 전 장 치 개발	A-1 집전장치 및 설계 및 제작	① 집전장치 성능	1식	시험결과	보고서	50	-집전장치 성능시험 완료 및 공인 시험성적서 발급 	100%
B 분 기 기 랙 히팅 장 치 개발	B-1 분기기 랙 장치 설계 및 제작	① 분기기 랙히팅장치 성능	1식	시험결과	보고서	50	-분기기 랙히팅장치 성능시험 완료 및 시험성적서 발급 	100%
계								100%

나. 관련 분야 기여도

(1) 기존 산악철도 기술의 진보

(가) 기존기술과의 비교

- 개발 기술의 혁신성

항목	개발기술	기존기술 (스위스 용프라우 철도)	비고
주행 곡선 반경	10m	30m	세계 최고 사양
상승 구배	180%	180%	구배 상승 능력 동일
톱니 바퀴	탄성톱니바퀴	강체(steel)톱니바퀴	진동수준 1/3이하 감소
차륜-차축	차륜 독립 구동	차륜 차축 일체	곡선 주행시 슬립 방지
궤도	프리캐스트 콘크리트 궤도	자갈 궤도	건설 기간 단축 및 유지보수 비용 감소
레일 고정 방식	탄성충진재	레일 체결구	레일 진동 감쇠
노면 활용	도로 겸용	철도 전용	자동차 운행 가능
전력 공급	배터리 추진	전차선 급전	세계 최초 무가선 추진 (산악 조망 확보)

(2) 산악지역 환경보전 기여

(가) 자연공원 지역 환경 보호

- 기존도로를 그대로 활용하므로 산악지역에서 궤도를 건설하기 위한 환경훼손이 없음



<환경훼손 방지 산악트램>

- 전차선이 없으므로 산악도로에서 주변 조망 확보

(3) 신규 시장 창출 기여

(가) 국내 신규 시장

- 본 기술 개발로 신규 산악철도 시장 창출 가능
- 국내에서 산악철도가 적용될 수 있는 관광지 및 대도시 고지대의 현황은 아래의 표와 같고 시장 규모는 7,783억원(69.26억원/km 적용)으로 추정됨

<국내 산악철도 적용 가능 지역>

지 역	현장 조사 결과	예상 사업비(억원)
	연 장	
남산순환로	3km276	226.9
하늘공원순환로	2km604	180.4
갯바위 진입로	5km498	380.8
석굴암 진입로	7km676	531.7
한계령 도로	18km860	136.3
미시령 옛길	19km845	751.2
백담사 진입로	6km289	435.6
지리산 도로	35km63	2467.8
한라산 영실진입로	2.5km	173.2
태백시-오투리조트 구간	12km093	837.6
하동(최참판댁-형제봉)	7km1	491.8

5. 연구개발성과의 활용계획

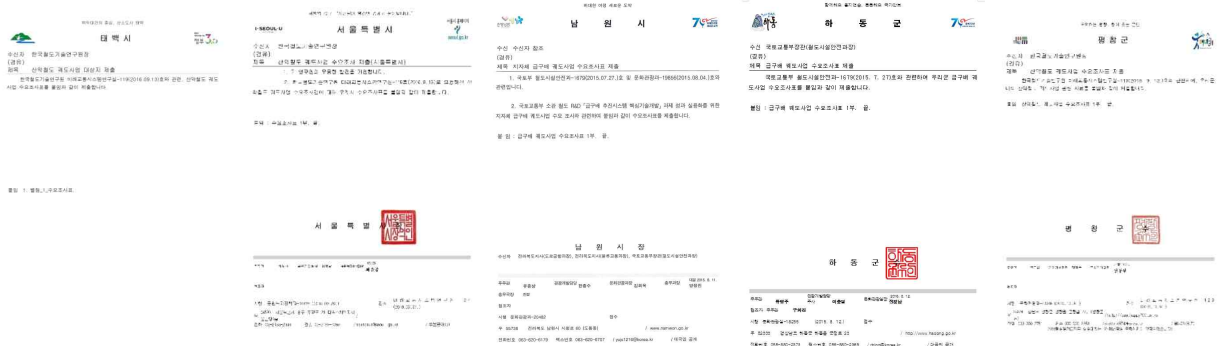
가. 국내 산악철도 활용 계획

(1) 산악철도 도입 가능 지자체

- 산악지역 지자체에서 운영 계획인 산악철도에 활용
 - 관광 및 교통용으로 산악철도 활용
 - 기존 교통수단으로 접근이 어려운 산악지역에 대한 접근성 문제를 해결
 - 대중교통 서비스를 제공하여 장애인, 노약자와 같은 교통약자들도 산악 관광 가능
 - 산악벽지 주민들에게 교통이 두절되는 동절기 교통 수단으로 활용
- 국내 지자체를 대상으로 수요조사를 실시한 결과 아래와 같은 수요가 있는 것으로 판단됨

<지방자치 단체 대상 수요조사 결과, 2016>

연번	지자체	사업 위치	입지 (용도지역·지구·구역)	궤도 연장 (km)	주 목적	필요성
1	서울특별시	남산공원	자연녹지지역 (도시공원, 도시자연공원)	7	관광객 수송	-남산공원 대기청정지역 구현을 위한 친환경 대체 교통수단 도입
2	남원시	-1구간(육모정~고기삼거리~정령치~도계삼거리~달궁) -2구간(천은사~성삼재~도계삼거리~달궁)	-공원지역 (공원자연보존지구, 공원자연환경지구) -백두대간보호지역 (핵심구역, 완충구역)	3	-산악벽지형 궤도(교통시설) -관광형 궤도	-산악벽지형 주민들의 겨울철 교통 기본권 확보 -환경훼손이 최소화되면서 사계절 지리산 관광이 가능한 친환경 녹색 교통시스템 도입 필요성 제기
3	경남 하동군	화개, 악양, 청암면	보전관리지역	12.4	관광객 수송	-하동군 대표 관광지 간 연계 관광 자원화
4	태백시	피재⇔매봉산	계획관리지역, 보전관리지역, 농림지역	2.84	관광연계 대중교통	-관광연계 -대중교통
5	태백시	시내⇒절골⇒오투⇒서학⇒시내(환형)	도시계획구역	10.89	관광연계 대중교통	-관광연계 -대중교통
6	평창군	횡계리 산1-134 일원	계획관리지역 외	3.5	관광	-규제프리존

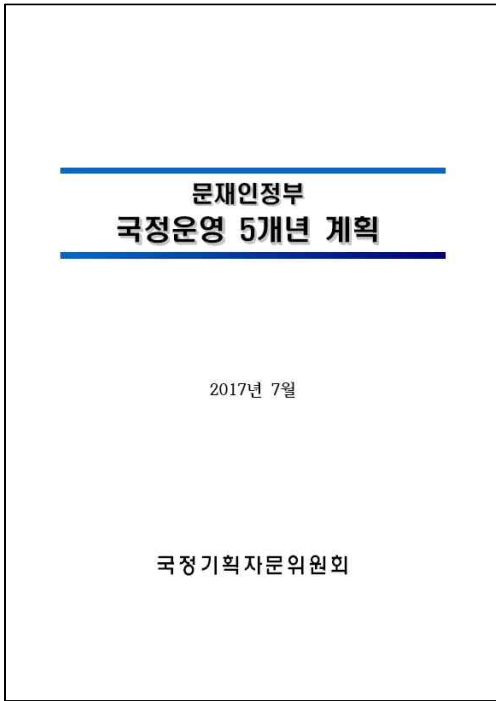


<지자체 수요조사 공문>

- 국내 산악철도 시장은 7,783억원으로 예상

(2) 정부 정책 반영

- 문재인 정부 100대 국정과제 전북지역 공약(2017. 7. 19)
 - 지리산권 친환경 전기열차 사업 지원



<문재인 정부 국정운영 계획>

지역	발전 비전 및 공약
	<ul style="list-style-type: none"> · 서남해안 관광·휴양벨트 조성 · 이순신 호국관광벨트 조성 전라도 정도 1,000년 기념 영산강 유역 고대문화권 개발 · 목포 크루즈항 개발, 여수 해양관광 및 유전 생태관광 활성화 · 화순·나주·장흥 생물의약산업벨트 구축
	전북을 농생명산업의 수도로 만들겠습니다.
전북	<ul style="list-style-type: none"> · 5대 농생명클러스터를 아시아를 대표하는 스마트 농생명 벨트로 육성 · 5대 농생명 클러스터: 익산(이천, 김제중지 ICT농기계, 정읍(이성원), 새만금첨단농업) · 전북 혁신도시를 서울, 부산과 함께 제3의 금융도시로 육성 · 탄소저산업, 안전음복합제품산업 등을 미래성장산업으로 육성 · 국가 주도도 속도감 있는 새만금 사업 추진 · 청외대에 새만금사업 전담부서 설치, 광안도도 매립 추진, 국제공항·신항만과 배후단지 조성, 물류·과도망 구축 · 공공연락·발주·금융 지원 확대도 현대중공업 군산조선소 정상화 지원 · 지리산권 친환경 전기열차 사업 지원 · 국립 지리산 산림자유원 및 국립 자유농업원 조성 지원 · 전라도 새천년공원조성 및 '전주문화특별시 지정 및 지원 특별법' 제정
	제주도를 평화와 인권의 꿈을 담은 동북아 환경수도로 만들겠습니다.
제주	<ul style="list-style-type: none"> · 제주특별자치도의 제도적 완성 · 제주국립공원 지정과 하는분화구 복원 추진 · 송·백전선로 지중화 사업 지원 · 탄소제로섬 실현을 위한 전기차 보급 확대 및 실증사업 지원 · 갈금육성 지원 및 제주농산물 해상운송물류비 지원 · 제주 신항만 초기 개발과 제주 제2공항 개발 지원 · 제주4·3 해결 국가 책임 약속 및 해군의 강령마을에 대한 구상권 협의 · 남북화해와 동아시아 협력을 위한 평화대공원 사업 추진
광주전남	광주전남을 미래 신산업과 4차 산업혁명시대를 선도하는 빛과 생명의 땅으로 만들겠습니다.
광주전남	<ul style="list-style-type: none"> · '5·18민주화운동 정신' 헌법전문 수록 및 '5·18진상규명위원회' 구성 · 빛가람 혁신도시와 광주 도시첨단단지 중심으로 애주센터 조성 및 한전공대(EPD)·TECH 센터 · 전남 장성, 광주 북구를 포함한 광주연구개발특구 내 '국립심리관센터' 건립
전남산악	<ul style="list-style-type: none"> · 노빙산악역 휴양 자유벨트 조성 · 전북·전남 6개 시군(정읍, 순창, 고창, 부안, 담양, 장성) 일대

- 168 -

<국정과제 지역공약>

- 연구성과 정책토론회
 - 지리산 친환경 산악철도 도입 (국회정책토론회 2017. 2. 24)
 - 지리산권 친환경 전기열차 (국회정책토론회 2017. 6. 26)
- 법령 반영
 - 궤도운송법 개정 “산악벽지형 궤도” 신설 (2016. 3. 22)



<지리산권 친환경 산악철도>



<지리산권 친환경 전기열차 정책토론회>

(3) 경제적 파급효과

- 지리산 산악철도의 총경제적 파급효과 8,232억원(생산유발액 5,720억원, 수입유발액 602억원, 부가가치 유발액 1,910억원)
- 한라산 산악철도의 총경제적 파급효과 428억원(생산유발액 297억원, 수입유발액 31억원, 부가가치 유발액 99억원)

(4) 산악철도 실용화

(가) 산악트램 양산 제작 대비 추가 소요 기술 확보 방안

- 산악트램의 핵심기술을 본 과제를 통해 개발
- 산악트램 양산 제작을 위한 소요 기술은 추가로 개발하거나 기존 기술 활용 가능
- 편성된 완성차량에 대한 검증 필요

<본 과제에서 개발 완료 항목>

항목	본과제 개발 여부	완성도	비고
차체	△	50%	핵심기술로서 설계 완료
의장	×	-	개발 또는 기존 기술 활용
대차	○	100%	핵심기술로서 개발 완료
제동장치	○	100%	핵심기술로서 개발 완료
추진시스템	○	100%	핵심기술로서 개발 완료
보조전원장치	×	-	개발 또는 기존 기술 활용
신호장치	×	-	개발 또는 기존 기술 활용
종합제어장치	×	-	개발 또는 기존 기술 활용
완성차	×	-	편성차량 추가 개발 필요

(나) 산악철도(친환경 전기열차) 국내 도입 준비

- 국토부 용역과제를 통해 산악철도의 국내 운영을 위한 세부기준 및 안전체계 마련 중
- 급곡선에 30m 이상인 급구배 선로의 경우, 본 연구에서 개발한 톱니바퀴 추진시스템을 활용하면, 평지에서는 기존 트램과 동일하게 운행하고, 40% 이상의 구배 구간에서는 랙 궤도 건설 후 산악트램 주행 가능

나. 해외 산악철도 활용 계획

(1) 해외 시장 진출

- 세계 주요 산악철도 연장은 1,031 km (38개소), 평균 연장 30.3 km
- 신규 산악철도 차량시장 1,064억원/년으로 분석됨
- 기타 시스템 및 유지보수 시장 등 총 기존 산악철도 시스템 시장은 7,066억원/년

<국외 톱니궤도 산악철도 현황>

대륙	국가	노선	개통년도	개보수 현황/비고
유럽	오스트리아	Achensee Railway	1889	-
		Schneeberg Railway	1893	-
	체코 공화국	Cograilway Tanvald-Harrachov	1902	•2010년 2월 추가 확장
	프랑스	Lyon Metro Line C	1974	-
		MontBlanc Tramway	1907	-
		Montenvers Railway	1909	-
		Petit train de la	1924	-

		Rhune		
		Panoramique des Domes	2012	-
	독일	Drachenfels Railway	1883	•2004-2005년도 관광 목적으로 재건축
		Stuttgart Rack Railway	1884	•2004년 트랙의 상부구조 교체
		Wendelstein Rack Railway	1912	-
		Bavarian Zugspitze Railway	1929	-
	헝가리	Budapest Cogwheel Railway	1874	-
	이탈리아	Sassi-Superga tramway	1884	-
	슬로바키아	Štrba rack railway	1896	-
	스페인	Vall de Núria Rack Railway	1931	-
	스위스	Rheineck-Walzenhausen mountain railway	1896	-
		Bernese Oberland railway	1890	•1991년 트랙(노선)용량 증설
		Aigle-Leysin railway	1900	-
		Aigle-Ollon-Monthey-Champéry railway	1907	•2001년 이래로 지속적으로 용량 증설
Bex-Villars-Bretaye railway		1898	-	
Brienz-Rothorn railway		1892	-	
Dolderbahn-Betriebs railway		1895	•2004년에 일부노선 재완공	
Gornergrat railway		1896	•상부 터미널 재건축	
Jungfrau railway		1898	-	
Pilatus railway		1889	•2001년 랜드마크로 지정	
Wengernalp railway	1893	•2005년 두 개 노선 개통		
아시아	인도	Nilgiri Mountain Railway	1908	•2005년 유네스코 세계 문화유산 지정
	일본	Ikawa Line	1935	•2009년 자동 열차정지 시스템 적용
남아메	아르헨티나	Transandine Railway	1910	-

리카	브라질	Corcovado Rack Railway	1884	-
	칠레	Arica-LaPaz railway	1913	-
북아메리카	미국	Manitou and Pike's Peak Railway	1889	-
		Mount Washington Cog Railway	1868	-
		Quincy and Torch Lake Cog Railway	1997	•2009년 차량 개선
아프리카	앙골라	Benguela railway	1920	•2006-2014년 재건축
오세아니아	호주	West Coast Wilderness Railway	1899	-
		Skitube Alpine Railway	1988	•도로 수송능력 한계로 건설

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

가. 해외 산악철도 운영 현황

(1) 독일 축스피체(Zugspitze) 산악철도 운영 현황

(가) 차량 검수고

- 톱니 휠 및 송풍기를 이용한 제설 장비
- 전차선 제빙을 위한 고온 염수 분사 특수 차량
- 차량 2량을 연결하는 연결 대차(Stadler사 제작)
- 찰상 차륜 삭정을 위한 삭정기



<제설장비>



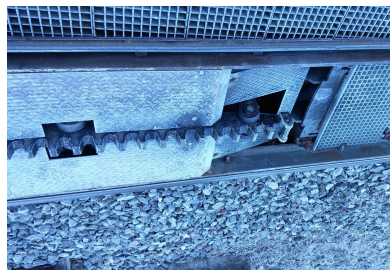
<전차선 용설장비>

(나) Rack 궤도

- Hinge를 이용한 Rack 분기
- Rack 궤도 시점의 Pin
- 2가지 형태의 Strub Rack 궤도 혼용



<Rack 분기 Hinge>



<Rack 궤도 시작점>



<Rack Type 혼용>

(다) 정보 입수 방법

- 해외 출장
 - 일 시 : 2016. 12. 11 ~ 2016. 12. 13
 - 출장자 : 한국철도술연구원 서승일, 이재선

(2) 독일 Stuttgart Rack Railway 운영 현황

(가) Rack 궤도 현황

○ 도심 2.2km 구간 최대 구배 175‰ % 랙 궤도 운행



<Stuttgart Rack Railway 정거장>



<Stuttgart Rack Railway 차량>



<Stuttgart 도로겸용 Rack 궤도>

<Stuttgart Rack 궤도 분기부>



<도로 교차로>



<Stuttgart Rack 궤도 이물질>

(나) 입수 자료

○ 스위스 철도 규정

- 일 시 : 2016. 6. 11 ~ 2016. 12. 13
- 출장자 : 한국철도기술연구원 석명은

(3) 트램 궤도 유지보수 현황

(가) 도심 궤도 관리

- 톱니궤도와 매립 레일에 이물질이 삽입되어 차륜 주행을 방해하고 탈선의 위험성을 높이

는 문제는 주기적인 청소차에 의한 이물질 제거로 방지 가능함



<청소용 궤도차>

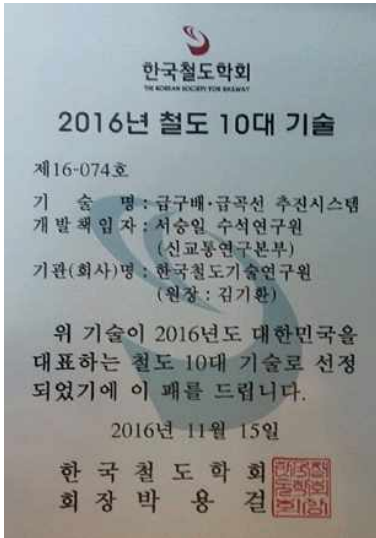


<트램 레일 청소차>

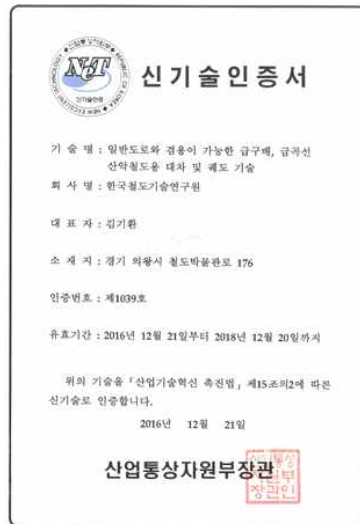
7. 기타 사항

가. 연구성과 수상 실적

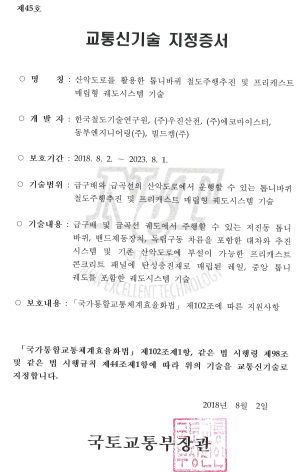
- 2016년 한국철도학회 철도 10대 기술상 수상
 - “급구배 급곡선 추진시스템” (2016. 11. 15)



<2016년 철도10대기술>



<신기술 인증서>



<교통신기술 지정증서>

나. 연구성과 인증

- 산업통상자원부 NeT 신기술 인증
 - “일반도로와 겸용이 가능한 급구배 급곡선 산악철도용 대차 및 궤도 기술(제1039호)”(2016. 12. 21)
- 국토교통부 교통신기술 인증
 - “산악도로를 활용한 톱니바퀴 철도주행추진 및 프리캐스트 매립형 궤도시스템 기술(제45호)”(2018. 8. 2)



<연구성과 발표 세미나(더케이호텔, 2016. 12.6)>



<국토교통기술대전(2016.5.25.-27)>

다. 연구성과 발표 및 전시

- 연구성과 발표회
 - “급구배 급곡선 산악철도 핵심기술 연구성과 세미나 및 토론회”(더케이호텔, 2016. 12. 6)
- 연구성과 전시
 - 2016년 국토교통기술대전 (코엑스, 2016. 5. 17 ~28)

- 2017년 국토교통기술대전 (킨텍스, 2017. 5. 24~26)
- 2017년 부산국제철도기술산업전 (백스코, 2017. 6. 14~17)
- 제주 신교통품평회 (제주체육관, 2017. 11.30~12.1)
- 2018년 국토교통기술대전 (코엑스, 2018. 6. 7~8)



<부산국제철도기술산업전(2017.6.14.)>



<제주 신교통 품평회(2017.12.1)>

라. 연구성과 언론 홍보

- 철도연, '산악트램 궤도시스템 기술 개발'... 교통신기술 지정
 - 매일경제, 헤럴드경제, 전자신문, 국토매일, 이데일리 등 언론 홍보(2018. 8.22)
- 산악철도용 궤도기술 등 34건 '신기술'로 추가 인증
 - KBS, 연합뉴스, 아시아경제 등 언론 홍보(2016. 12. 21)



<산악철도 신기술 KBS 보도(2016.12.21)>



<산악철도 교통신기술(2018.8.22.)>

붙임. 참고 문헌

- [1] 철도차량기술기준, KRTS-VE-Part41, 국토교통부, 2014.
- [2] N. P. Christos, Railway Transportation Systems, Design, Construction, Operation, pp. 237-250, CRC Press, 2016.
- [3] 이수형 외, 친환경 노면전차 시스템인 무가선트램과 매립형 궤도의 개발 현황, 대한토목학회지, 제60권, 제6호, 2012.
- [4] Regulations governing for rail regulation, AB-EBV, The Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communication, 1983
- [5] UIC 515-4, Passenger rolling stock trailer bogies - running gear bogie frame structure strength test
- [6] EN 14363, Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Test of running behaviour and stationary test
- [7] UIC 518 OR, Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior - Safety - Track fatigue - Ride quality

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

ISBN: 979-11-89761-63-9