

(옆면)

(앞면)

18CTAP-
C116386
-03

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호()

국토교통기술촉진연구사업 최종 보고서

R&D /
18CTAP-C116386-03

고속철도(KTX) 운행 중 동력전달 차단 사고 발생 시
에도 정상운행 속도를 보장하는 국내 고유모델의 다
단계 퓨즈 내장형 동력전달 축 실용화 시제 개발

최종보고서

2019. 05. .

주관연구기관 / (주) 카 템
공동연구기관 / 한국철도기술연구원

고속철도(KTX) 운행 중 동력전달 차단 사고 발생 시에도 정상운행 속도를 보장하는 국내 사고 발생
유모델의 다단계 퓨즈 내장형 동력전달 축 실용화 시제 개발
용화 시제 개발 최종보고서
2019

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국
토
교
통
부

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 귀하

‘고속철도(KTX) 운행 중 동력전달 차단 사고 발생 시에도 정상운행 속도를 보장하는 국내 고유모델의 다단계 퓨즈 내장형 동력전달 축 실용화 시제 개발’(연구개발 기간 : 2016. 06. ~ 2019. 04.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019. 05. .

주관연구기관명 : (주) 카 템

이 태 영



협동연구기관명 : 한국철도기술연구원

나 희 승



주관연구기관책임자 : 이 태 영

협동연구기관책임자 : 권 태 수

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C116386-03	해당 단계 연구 기간	2016.06.27. ~ 2019.04.26	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업 (창의도전연구분야)			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	고속철도(KTX) 운행 중 동력전달 차단 사고 발생 시에도 정상운행 속도를 보장하는 국내 고유모델의 다단계 퓨즈 내장형 동력전달 축 실용화 시제 개발			
연구책임자	이 태 영	해당단계 참여연구원 수	총: 8 명 내부: 8 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부:365,000천원 민간:121,670천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 486,670천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 8 명 내부: 8 명 외부: 명	총 연구비	정부:880,000천원 민간:293,344천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:1,173,344천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)카템			참여기관명	한국철도기술연구원(KRRI)
국제공동연구	상대국명 : 해당 없음			상대국 연구기관명	해당 없음
위탁연구	연구기관명 : 해당 없음			연구책임자	해당 없음

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보통
-------------------------	----

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	1	2									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약 - 100% 수입에 의존해 왔던 고속철도(KTX)용 동력전달 축을 설계/해석, 시제품 제작, 신뢰성평가 등 국내최초, 자체기술로 국산화개발에 성공하였으며 개발과정에서 고객(한국철도공사)의 Needs 만족을 위하여 고속철도 운행 중 동력전달 차단 사고 발생 시에도 정상운행 속도를 보장하는 국내 고유모델의 다단계 퓨즈(MSMF) 기능을 개발, 동력전달 축에 내장한 성능 고도화 시제를 완성함으로써 해외기술을 선도하고 기술경쟁력을 확보하게 되어 해외시장 진출을 위한 기술적 기반을 마련하게 되었음

보고서 면수 : 140 페이지

요약문

연구의 목적 및 내용	고속철도운행 중 외부의 과도한 Torque 유입으로 동력전달 축의 Safety-set이 작동되어 동력전달이 차단되는 비상 상황에서도 320km/h 정상속도를 유지하여 승객을 안전하게 종착역 까지 수송할 수 있는 국내 고유모델의 고속철도(KTX)용 다단계 퓨즈(Multi-Stage Mechanical Fuse : MSMF) 내장형 동력전달 축(Telescopic 구동축)의 실용화 시제를 국내 자체기술로 개발하여 사회이슈 해결뿐만 아니라 국, 내외 고속철도 시장에 상용화하는 것이 본 연구의 목표임				
연구개발성과	○ 수입품 동등이상 성능의 기계식 동력전달 축(Telescopic 구동축) 국산화 개발 - Reverse Engineering을 통한 국산화 설계, 생산 공정 Set-up 및 시제품 제작, 단품 성능평가 - 동력전달 축(선진국 동등이상) + MSMF(선진국 추월) = MSMF 내장형 동력전달 축 (차세대 신제품) 개발 성공 ○ 수입품 추월 성능수준의 국내 고유모델 MSMF 신규개발 - 다단계 퓨즈(MSMF : Multi-Stage Mechanical Fuse) 방식의 국내 고유모델 - 고유모델 MSMF 설계, Interface Engineering 및 시제품 제작, 유지보수 편의 성기술 개발 ○ MSMF 내장형 차세대 신제품의 동력전달 축 신뢰성 확보 - 비틀림 파단강도 및 비틀림 피로수명 등 동력전달 성능 세계수준 만족 - 신뢰성평가 기준 설정, 신뢰성 평가(한국기계연구원) 및 해외수출 기반확보 ○ 고속철도(KTX) 철도안전사고 방지 및 정상운행 보장을 통한 국민 교통 편의의 질 향상 ○ 수입품 추월수준 성능, 고유모델의 MSMF 내장형 동력전달 축 원천기술 확보 ○ 경부/호남/원강/수서선 등 고속철도 4개 노선 적용 약 60억의 수입대체 효과 ○ 특허등록 2건 및 논문 1건 ○ 신규인력 총 6명 채용				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 활용계획 - 1차 : KTX 46편성 및 KTK-산천 24편성 등 총 70편성 - 2차 : 최근 개통된 KTX 원강선, 수서선 총 25편성 - 3차 : iTX, GTX 등 준 고속열차 등 - 4차 : 북중미 신규 시장 및 유럽 등 해외시장 진출 ○ 기대효과 - 국내 매출은 사업종료 1년 후인 2021년부터 10.0억을 시작으로 5년 후인 2025년 200억 예상 - 수입대체 효과는 2021년 6억을 시작으로 증가하여 2025년 약 60억으로 예상됨 - 해외시장 진출로 사업종료 5년 후인 2024년 세계시장 점유율 10.0%, 100Mll.\$, 1,200억 목표 - 2021년 30명을 시작으로 2025년까지 약 240명의 신규 일자리창출 예상됨				
국문핵심어 (5개 이내)	동력전달 축	다단계 퓨즈	융. 복합	고속철도	국산화
영문핵심어 (5개 이내)					

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	5
가. 연구개발 대상품	5
나. 연구개발 대상품의 국내외 현황	6
다. 연구개발의 중요성	8
2. 연구수행내용 및 성과	10
가. 연구내용	10
나. 연구성과	120
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	131
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	135
가. 연구개발성과의 활용방안	135
나. 기대효과	136
붙임. 참고 문헌	140

<별첨> 주관연구기관의 자체 평가 의견서

첨부 # 1. 신뢰성시험 공인성적서

첨부 # 2. MSMF 예비/최종 강도시험 공인성적서

첨부 # 3. MSMF 내구수명시험 공인성적서

첨부 # 4. 가속수명시험 공인성적서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 대상품

- 1) 품명 : 고속철도(KTX)용 동력전달 축 (Telescopic 구동축)
- 2) 기능 : 전인 전동기에서 인출되는 회전동력을 차축에 전달하여 고속열차를 움직이게 하는 기본적인 동력전달 기능과 반대로 외부로부터 과도한 토크(Torque) 유입 시 스스로 절손되어 동력을 차단함으로써 내부의 주요 부품을 보호하는 동력 차단 기능을 동시에 발휘하는 고기능 핵심부품이다.
아래 그림 1. 은 KTX용 동력전달 축의 형상 및 장착위치를 나타내고 있으며 그림 2. 는 동력전달 축의 단면형상 및 절손부위인 Safety-set 위치를 나타내고 있다,



그림 1 KTX용 동력전달 축(Telescopic 구동축)의 형상 및 장착위치

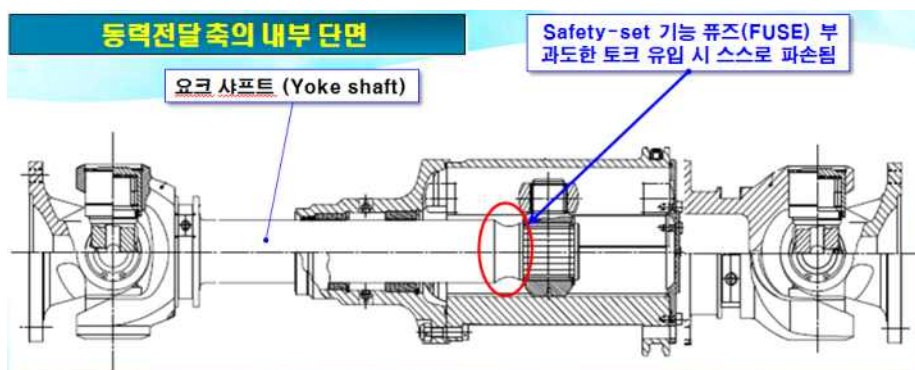


그림 2 동력전달 축의 단면 형상 및 Safety-set 위치

- 3) 현황 : 2004년 KTX 도입초기부터 GKN(영)사로부터 도입 적용해 왔으며 현재 KTX 46 편승에 총 552개 장착, 운행 중이다. (KTX-산천은 2010년부터 VOITH(독) 제품 도입적용 중)

4) 수입품 품질문제 발생 (사회적 이슈)

가) 도입 1년 후인 2005년부터 동력전달 축(Telescopic 구동축)이 예상 교환 시기보다 조기에 결함 또는 절손현상이 발생하였으며 이로 인한 지연운행으로 승객의 불만고조 및 환불 사태가 발생하는 등 고속철도의 승객 안전수송 측면에서 승객의 불안감을 가중시키는 사건으로 사회적 이슈가 되었다.

※ 관련근거 : 한국기계연구원 부설 재료연구소(KIMS) 보고서 (2008.10)
“고속차량 동력전달장치 균열발생원인 조사보고서”

나) 당시 한국철도공사(KORAIL) 감사보고서에 의하면 그 수량은 2005년 5월 28일 최초 발생 이후 조사 진행 중이었던 2006년 06월까지 총 6개에 달한다고 보고되어 있다.

다) 공급사인 알스톰사로부터 유지보수 계약조건으로 일부 개선된 제품으로 교체하였으나 유지보수 계약 종료 이후 현재는 KTX-산천용으로 VOITH(독)사의 유압식 동력전달 축을 도입하는 등 이원화 운영 중이나 근본적인 해결책을 강구하지 못하여 많은 유지보수비용이 소모되고 있어 국부의 유출이 우려되는 상황으로 판단된다.

라) 따라서 국내 운영사인 한국철도공사(KORAIL)에서는 승객의 안전수송 확보차원에서 무엇보다도 시급하게 해결해야 될 고질적 품질문제로 분류하였으나 아직도 근본적인 대책을 강구하지 못하고 있으며 단지 해외 도입품의 품질 안정화에 의존하고 있다.

5) 고객의 Needs : KTX 운행 중 과도한 Torque 유입으로 동력전달 축의 Safety-set이 작동되어 동력전달이 차단되는 비상 상황에서도 운행속도 저하 없이 320km/h 정상속도를 유지하여 승객을 안전하게 종착역 까지 수송할 수 있는 동력 전달 축 요구 (고객 : 한국철도공사(KORAIL))

나. 연구개발 대상품의 국내외 현황

1) 국내 현황

가) 현재 KTX용으로는 GKN(영)사의 기계식 동력전달 축을, KTX-산천용으로는 VOITH(독)의 유압식 동력전달 축을 도입하여 2원화 적용 중. 아래 그림 3.은 GKN(독)사의 기계식 동력전달 축을, 그림 4.는 VOITH(독)사의 유압식 동력전달축의 사진이다



그림 3 기계식 동력전달 축



그림 4 유압식 동력전달 축

나) KTX용 기계식 동력전달 축은 Safety-set 작동 시 80km/h 속도저하 상태에서 서행운행이 불가피하여 승객에게 불편을 초래함은 물론이고 이로 인한 민원의 소지가 있어 필수 개선과제로 대두되었다.

다) 이를 개선하기 위해서 KTX-산천에는 새로운 개념의 유압식 동력전달 축을 VOITH (독)로부터 역시 도입하여 적용하고 있으나 높은 도입가 대비 그 성능이 만족스럽지 못해 여전히 개선과제로 남아 있으며 유압식은 기계식과 달리 Safety-set이 작동되어도 현장에서 유압 재 세팅으로 다시 정상속도 유지가능하며 이를 10회까지 반복 사용 가능하게 설계되어 있다고 공급사측은 설명하고 있다.

라) 따라서 국내 운영사인 한국철도공사(KORAIL)에서는 해외 공급사에게 지속적으로 개선을 요구하고 있으나 현재까지 효율적인 개선방안을 얻지 못하고 있는 상황으로 파악된다.

2) 국외 현황

가) 최근 KTX용 기계식 동력전달 축 공급사인 GKN(영)사는 KORAIL의 요구를 만족, 즉 Safety-set이 작동하여도 속도저하 없이 320km/h의 정상속도로 5,000km 이상 운행을 보장하는 개선 유닛 (HSSU : High Speed Safety Unit, 고속안전유닛)를 개발하여 KORAIL에 제안하였으며 KORAIL에서는 2014년 이 안을 받아 들여 2018년 개통되는 원강선(원주↔강릉)에 적용하기로 결정하여 현재 현대다이모스(주)에서 수입, 차축 조립 중이다.

아래 그림 5.는 GKN(독)사의 고속안전유닛(HSSU)의 개념을 설명하고 있다.



그림 5 GKN(영)사의 HSSU 개념

다. 연구개발의 중요성

1) 국내연구개발의 중요성과 필요성

- 가) 동력전달 축은 그 기능상 고속철도의 안전운행과 직결되는 핵심 부품으로 고속철도 도입 초기 수입부품의 잦은 품질문제로 인해 80km/h 이하 서행운행의 원인되었으며 승객의 안전수송 차원에서 사회적 이슈가 되기도 하였으나 현재까지 현실적으로 발생하는 품질문제에 대응하기 위한 국내연구가 전혀 없어 해외 부품공급사에 의존하는 방법 외에는 대안이 없는 상황으로 이로 인한 많은 유지·보수비용이 소모되고 있는 것이 현실이다.
- 나) 더욱이 현 운행노선의 운행 잔여기간 동안 그리고 향후 계속해서 확대되는 국내고속철도 노선과 증대되는 차량의 수요에 대응하기 위한 동력전달 축 독자기술 확보의 필요성이 대두되고 있어 본 국내연구개발의 중요성과 필요성이 여기에 있다.
- 다) 국내에서 상용차용 Cardan 방식의 구동축 기술을 기반으로 고속철도(KTX)용 기계식 동력전달 축으로 확대할 수 있는 연구 환경이 조성되어 있으며 또한 국내에서도 다단계 퓨즈(MSMF : Multi-Stage Mechanical Fuse) 개념의 원천기술을 보유하고 있어 이 두 분야의 기술을 적절히 융·복합하여 고객(KORAIL)의 Needs를 만족할 수 있는 국내 고유모델의 MSMF 내장형 동력전달 축을 개발하여 상용화함으로써 사회적 이슈를 해결하고 국내수요는 물론 해외 시장을 개척하고자한다.
- 라) KTX 2004년 운행착수 이후 사용수명 10년이 이미 도래하여 년 간 50개 이상의 수요가 실제 발생하며 순수 내수용으로 10년간 60억의 대체효과 발생이 예상된다.

2) 혁신성, 차별성

- 가) 국내 고유모델의 MSMF 내장형 동력전달 축은 독자설계 모델의 MSMF를 Reverse Engineering 기법을 활용하여 국산화 개발한 기계식 동력전달 축에 내장한 혁신적이고 해외제품과 차별화된 국내 고유의 제품으로 고객의 Needs 만족은 물론 퓨즈부가 파손되는 한계토크(Limit Torque)를 필요시 조절할 수도 있는 구조로 최근 GKN(영)로부터 도입되어 원광선에 적용중인 HSSU 보다 더욱 더 우수한 성능이 발휘될 것으로 예상된다.
- 나) 특히, MSMF 내장형 동력전달 축은 국내 고유모델로 해외 특허분쟁의 소지가 없으며 유지·보수 측면에서도 저 비용일 뿐만 아니라 신속 대응이 가능하여 KORAIL에서도 많은 관심을 나타내고 있다.
- 다) 원가절감을 통한 제품의 차별화방안 강구
- 국내소재 대체 선정,
 - 금형개발 양산성 향상,
 - 고가 U/J 국산화, - 저비용 구조 MSMF 적용

3) 시장 수요조사

가) 국내시장

현재 국내시장에는 경부선 KTX 46편성에 총 552개의 동력전달 축이 장착되어 운행되고 있으며 기타 호남선 KTX-산천 외에도 2018년부터 운행예정인 원강선, 수서선 등 총 4개 노선에 약 944개 동력전달 축의 수요가 있는 것으로 조사되어 예비 수량까지 합쳐 약 200억의 시장이 형성되어 있는 것으로 분석됨. 아래 표 1. 은 국내 운행 중이거나 운행예정인 노선별 동력전달 축 수요 및 금액을 나타내고 있다.

표 1 국내 운행 중이거나 운행예정인 노선별 동력전달 축 수요 및 금액

순	노 선	편성량	동력전달축 수량 (ea)	단가(원)	금액 (억)	비고
1	KTX (경부선)	46편성	46x12=552	20,000,000	110.04	기계식
2	KTX (원강선)	15편성	(15x8=120)	20,000,000	(24.00)	기계식
3	KTX-산천(호남선)	24편성	(24x8=192)	20,000,000	(38.40)	유압식
4	KTX (수서선)	10편성	(10x8=80)	20,000,000	(16.00)	유압식
합계			552 (944)	-	110.04 (188.44)	() : 4개 노선 합계

나) 해외시장

해외시장은 2010년 기준 전체 약 73 백만\$ 로 추정되며 VOITH(독), GKN(영)이 선진 메이커로서 전 세계시장의 80% 이상을 장악하고 있는 것으로 조사되고 있다. 그러나 최근 세계시장의 규모는 중국 고속철도 시장 진출로 인해 폭발적으로 증가되고 있는 추세로 정확한 규모는 추가적으로 3P분석과 세계시장 동향분석 및 시장규모 조사를 통하여 그 규모를 파악할 예정이다.

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구내용

1) 연구개발 추진전략

[1차 년도]

기관명	세부내역 및 범위	예상 사업비
(주)카템	• 수입품 특성 분석 - 조립체 외형형상 및 장착부 치수확인 - 조립체 비틀림 강도, 피로수명 확인 - 부품별 소재 화학성분, 물성치 분석	• 수입품 구입비 2,000천원 • 시험 검사비 200천원 - 소재 검사비 200천원
	• 성능 최적화 3D 모델링 - 수입품 조립체 및 부품 Reverse Engineering - CATIA를 활용한 3D 기본, 상세 모델링 - Simulation을 통한 굽힘 각도, 간섭 체크 - 구조강도 해석 및 Rendering, BOM 등	• Design tool 임차 30,000천원 - 3D Catia V5 R18 Lease (10개월) (10,000천원) - 강도해석 S/W Lease (4개월) (20,000천원)
	• 부품설계 및 금형개발 - 2D 부품도(조립도 및 단품도) 작성 - 작업표준서, 부품검사기준서, 조립절차서 작성 - 형단조금형 개발 및 단조소재 확보 (대부분의 부품이 중량물이고 단조품으로 막대한 단조금형비가 소요되어 Shaft 1종은 자유단조로 추진) - Universal Joint 국산화개발 검토 (U/Joint 한국철도공사 독점품목으로 수급에 애로 예상됨)	• 금형 및 소재비 37,600천원 - 금형개발비 : 26,400천원 (총 5종) - 단조소재비 : 11,200천원 (총 3종, 1종 자유단조)
	• 1차시제 제작(8sets) 및 밸런스 시험 - 소재선정, Spline 열 박음 등 공정설정 - 단조소재 및 일반가공품 기계가공 - TRIPOD부 치형 및 Fuse부 정밀가공 - 부품검사(3차원측정기), 조립 및 도장 - 굽힘 각, 언밸런스량 측정 (G16 수준)	• 시제품 제작비 16,734천원 - 원소재비 2,400천원 - 외주가공비 12,000천원 - 구입부품비 334천원 - 치. 공구비 1,000천원 - 특수공구비 1,000천원
한국철도기술 연구원 (KRRRI)	• MSMF 개념설계 - 개발품 system 요구사항 파악 - 성능요구조건에 따른 부품 설계 - 단품별 제작 및 시험	• 설계 비용 1,000천원 • 단품 제작 5,000천원 • 시험 검사 1,000천원
	• Interface engineering - 단품시험 결과 획득 - 단품 정밀 재설계 (인터페이스를 고려) - 전체구동축과의 인터페이스 완성	• 설계비용 2,000천원 (해석비용 포함)
	• MSMF 1차 시제제작 및 검사 - Sub-assembly 제작(푸즈부만 독립적으로 시험할 수 있도록) - 시험 수행(최소 3회) 및 결과 획득 - 푸즈부 개선사항 도출 및 방안 확보	• 어셈블리 제작 6,000천원 • 시험수행 4,000천원 • 분석비용 4,000천원 (해석비용 포함)

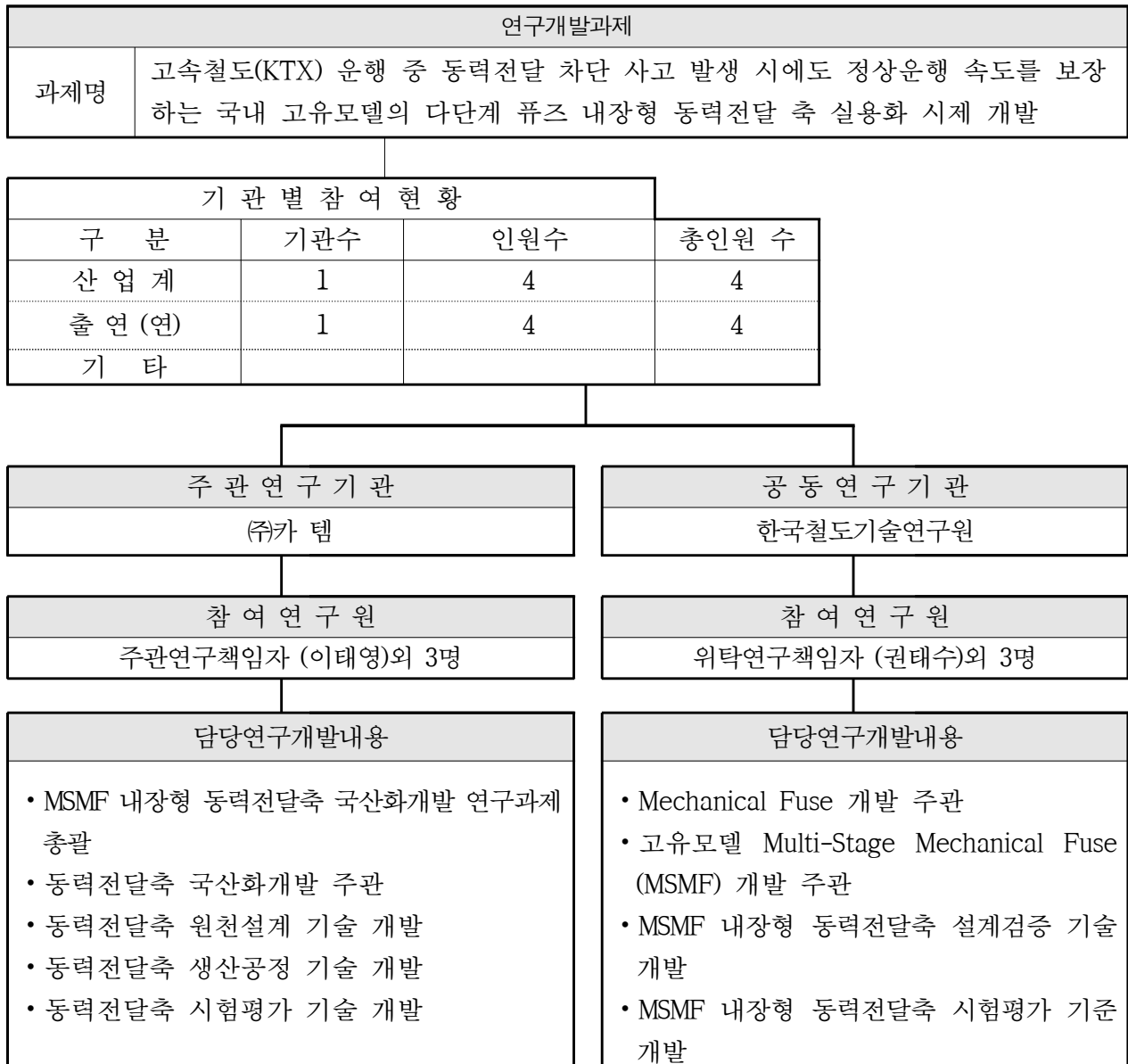
[2차 년도]

기관명	세부내역 및 범위	예산 사업비
(주)카템	• 1차 시제품 성능평가 - 비틀림 최대강도 평가 (시료 2set) - 비틀림 피로수명 평가 (시료 2set) - 성능시험결과 분석 및 개선방안 도출	• 성능 시험비 10,000천원 - 성능 시험비 10,000천원
	• 1차 시제 개선 설계 - 1차 시제 개선방안 반영한 보강설계 - 굽힘 각 증대(8°)를 위한 개선설계 - 밸런스 등급 상향을 위한 정밀설계 - 비틀림 강도, 피로수명 Up-grade ; 강도(43kN.m), 수명(180,000Cycle)	• Design tool 임차 10,000천원 (4개월)
	• 개선시제 제작, 평가 - TRIPOD부 고합금(SNCM)소재 적용 - Spline부 열/냉간박음 공정 적용 - 밸런스 2차 시험.(G6.3 수준 확보) - 비틀림 성능(강도, 피로) 2차 평가	• 금형 및 소재비 20,000천원 - 금형비 : 15,000천원 - 단조소재비 : 5,000천원 (총 6종, 1종 자유단조) • U/Joint 제작비 5,000천원
	• 생산공정 기술 셋업 - SNCM 소재 최적 열처리공정 셋업 - Spline부 열/냉간 박음 공정 셋업 - Universal Joint 정밀조립 공정 셋업 - 공정 표준화 및 치,공구, 측정구규격화	• 시제품 제작비 15,000천원 - 외주가공비 15,000천원 • 밸런스 시험비 5,000천원 - 시험비 5,000천원
한국철도기술 연구원 (KRRRI)	• 단품 퓨즈 개선시제 제작(최소 3EA) - 시험결과를 바탕으로 재설계 - 제작 조건 변경 및 확보 - 단품제작 및 시험검증	• 단품 제작 2,000천원 • 시험 검사 1,000천원
	• 퓨즈 삽입부(틀) 개선시제 제작 - 강도조건 재설정 - 삽입부 강도 해석 - 삽입부 설계완료(부쉬 및 퓨즈틀 재설계, 재료 및 제작변수 확보)	• 설계비용 1,000천원 • 단품 제작 2,000천원 • 시험 검사 1,000천원
	• MSMF 개선 시제 제작 - 개선시제를 위해 재설계(퓨즈와 퓨즈삽입부를 합친 sub-assembly) - 개선 서브어셈블리 제작 - 강도 및 내구성 시험평가	• 어셈블리 제작 3,000천원 • 시험수행 3,000천원

[3차 년도]

기관명	세부내역 및 범위	예산 사업비
(주)카템	• 시제품 신뢰성 평가 준비 - 회전 가속수명시험(ALT) 조건 점검. - 시료 준비(5set) 및 2차 성능평가 수행. - 2차 성능평가 결과 및 시료 분석 - 2차 공인기관 평가 및 공인성적서 확보.	• 신뢰성 평가비 5,000천원 - 치구제작비 2,000천원 - 예비평가비 1,000천원 - 공인기관평가, 성적서발급비 2,000천원
	• 신뢰성시험 추진 추진 - 신뢰성시험용 시료 준비.(2sets 예상) - 신뢰성시험 시료 시험 및 평가 실시. - 시험완료 후 시험결과 확인 및 정리.	• 신뢰성평가비 15,000천원 - 치구제작비 5,000천원 - 신뢰성평가 10,000천원
	• 신뢰성시험 적용시제 분석 - 신뢰성시험 완료시료 탈거 및 분해. - 부품별 마모부위, 양상, 정도 분석. - 분석결과 설계 및 제작공정 F/Back. - F/Back 내용 반영 양산용 기술자료 완성.	
	• 기술, 홍보자료 완성 - 양산용 기술자료 최종 완성 (제품도면, BOM, 작업 표준서, 부품 검사 기준서, 조립절차서, 성능평가 기준/절차 서 등) - 제품 홍보용 팸플릿, 브로슈어 제작 - 국, 내외 전시회 출품(InnoTrans, Bexco)	• 홍보물 제작비 5,000천원 - 팸플릿, 브로슈어 등 • 전시회 출품비 10,000천원 - 해외 8,000천원(InnoTrans) - 국내 2,000천원(Bexco)
한국철도기술 연구원 (KRRRI)	• MSMF 최종 시제 제작 - 개선시제 시험결과에 따른 최종 보완 - 신뢰성평가용 최종 시제 준비 - ALT 결과분석 및 설계 Feed back.	• 어셈블리 제작 3,000천원
	• 신뢰성평가 후 적용시제 분석 - 신뢰성평가 완료시료 탈거 및 분해. - 부품별 마모부위, 양상, 정도 분석. - 분석결과 설계 및 제작공정 F/Back.	• 분석비용 5,000천원 (검사비 포함)
	• 유지보수 편의성 기술 확보 - 구동축 절손 시 교체용이 설계 - 재사용 부품 평가 기술 및 방안(유지보수 시 재사용 가능 판단하도록) - 전시회 출품(InnoTrans, Bexco) 지원	• 설계비용 5,000천원 (해석비용 포함) • 재사용 평가기술 5,000천원 • 홍보물 제작비 5,000천원 - 팸플릿, 브로슈어 등

2) 연구개발 추진 체계



3) 연구개발추진 일정

구분	연구과제명 (연구수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도				3차년도				
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	
총괄																				
주관	고속철도 (KTX) 운행 중 동력전달 차단 사고 발생	기계식 동력전달 축 단품 실용 시제개발 (기본성능 향상)	원천설계 기술 확보	수입품성능 특성분석	벤치마킹, 자료분석	분석보고서	5.0	■												
				성능최적3D 모델링	모델링 및 강도해석	해석보고서	32.0	■												
				1차시제 개선설계	개선 모델링, 해석	해석보고서	20.0				■									
			생산공정 기술 확보	부품설계, 금형개발	부품도, 금형 설계	금형(4종)	27.0		■											
				1차시제 제작, 시험	1차 시제품 제작	시제품(8st)	32.3			■										
				개선시제 제작, 평가	굽힘각, 밸런스	공인성적서	30.0					■								
				생산공정 기술셋업	생산공정 셋업	작업표준서	15.0							■						
				시험평가 기술 확보	개선시제성능평가	회전속도, 강도시험	공인성적서	50.0								■				
공동	시에도 정상운행 속도를 보장하는 국내 고유모델의 다단계 퓨즈 내장형 동력전달 축 실용화	MSMF 장치개발 (선진국 추월)	시제품 제작	개념설계	특허, 해석	특허/모델	45.0	■												
				1차 시제품제작	도면, 시제	도면/해석보고서	55.0			■										
			성능개선	단품검증	파단시험	시험보고서	45.0				■									
				개선시제제작	개선설계, 개선시제제작	해석보고서	55.0					■								
			검증	현장검증	파단시험 및 현차시험	시험보고서	60.0								■	■				
				상용화	시연회/기술이전	부품설명서	40.0												■	
		주관/공동	시제 개발	MSMS 내장형 동력전달 축 완성품 신뢰성 확보 (차세대 신제품)	시험평가 기준 확보	시제품 신뢰성 준비	비틀림 파단, 수명	공인성적서	50.0									■		
					시험평가 기술 확보	가속수명시험(ALT)추진	6개월 현차시험	시험보고서	30.0										■	
신뢰성평가 적용시제 분석	부품 마모상태 분석					분석복고서	5.0												■	
기술, 홍보 자료 완성	기술/홍보자료 제작					카탈로그 외	3.7													■

4) 연구개발 수행 내용

(1차년도)

- 주관기관 ((주)카템)

가) 수입품 특성 분석

① 시장조사 및 벤치마킹

국내 수요기관 및 제작사 등의 시장조사를 통해 MSMF에 대한 Needs 및 기본개발 방향결정

- 수요기관 : 한국철도공사(Korail) 제공자료



그림 6 기계식 동력축(KTX)



그림 7 유압식 동력축(KTX산천)

표 2 동력전달축 Safety-kit 사용 횟수 비교

구분	사용횟수	거리 [km]	설 명	비 고
기계식	1회	-	Safety-kit 절손으로 수명을 다함	KTX
유압식	10회	6,8302	Safety-kit 10회 동작까지 허용	KTX-산천

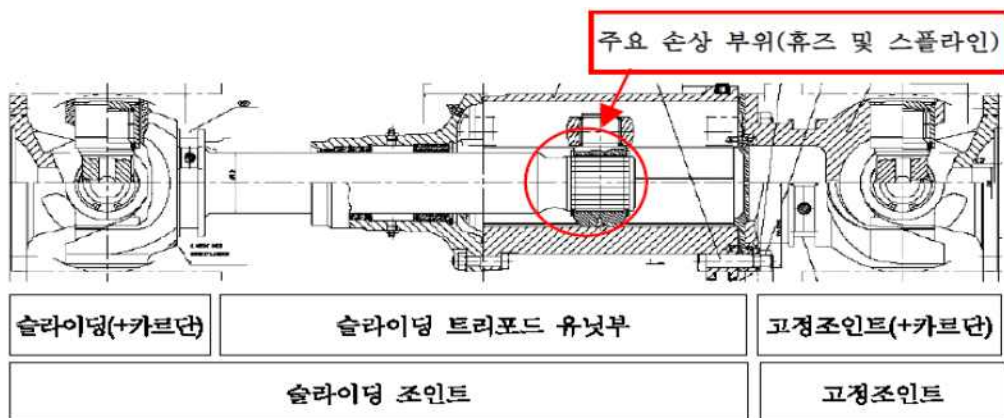


그림 8 기계식 동력전달축 단면도

- 제 작 사 : 현대다이모스(주) 제공정보

- : HSSU(고속안전장치, High Speed Safety Unit)
- : 동력축 기능상실상태에서 300km/h, 5,000km 주행
- : 원강선(원주 ↔ 강릉)선에 이미 채택
- : GKN 기능은 1세대 vs 개발품의 컨셉은 차세대

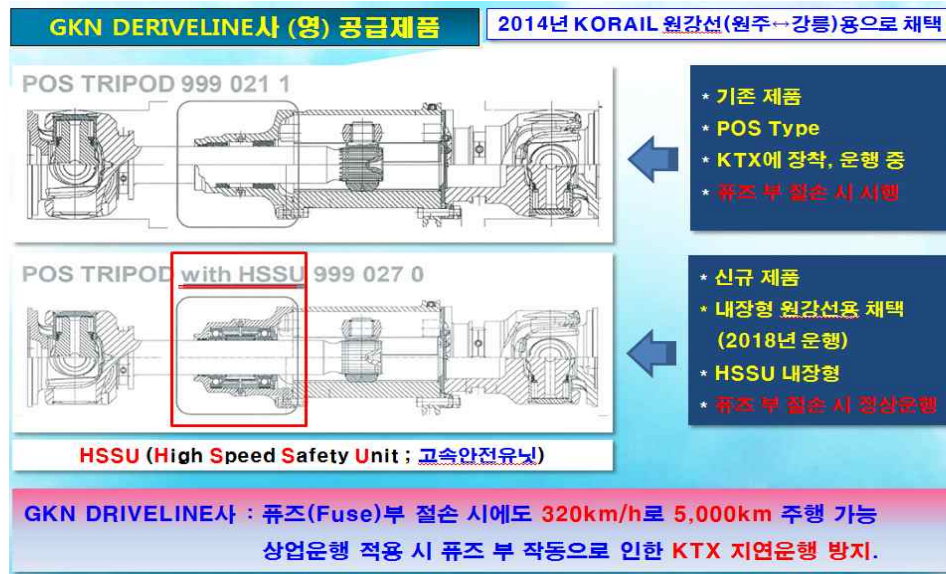


그림 9 GKN(영)사의 HSSU의 개념

- 유관기관 (재료연구소(KIMS)) 정보제공

- : 재료연구소 GKN사 고장원인분석 잔재
- : ATX Type(구 사양) 외관 비교 (개발사양 : POS Type(신 사양))



그림 10 GKN(미)사 ATX Type(구사양) 벤치마킹

- InnoTrans 2016 (독일, Berlin) (2016.09.19.~09.24)

: 해외전시회 참관 및 해외기술동향 분석

: GWB(미)사에서 Spicer사와 합작으로 안전장치 내장형 동력전달축 출시

: 향후 해외시장에서 경쟁대상 예상



그림 11 InnoTrans 2016 참관 및 해외바이어들과의 상담 모습



그림 12 InnoTrans 2016 출품한 GWB사의 안전장치 내장형 동력전달축 모습

- InnoTrans 2018 (독일, Berlin) (2018.09.17.~09.22)



그림 13 InnoTrans 2018 전시장면



그림 14 InnoTrans 2018 해외바이어와 상담 장면

② 수입품 외형 치수 확인

○ 수입현품 대여

- 대여기관 : 한국철도공사 수도권정비단
- 대여수량 : 1set



그림 15 대여한 동력전달축

○ 대여품을 통한 외형치수 정밀 확인

- ATX Type(기존타입)과 POS Type(개선타입) 외형비교 및 Design factor(설계인자) 검출

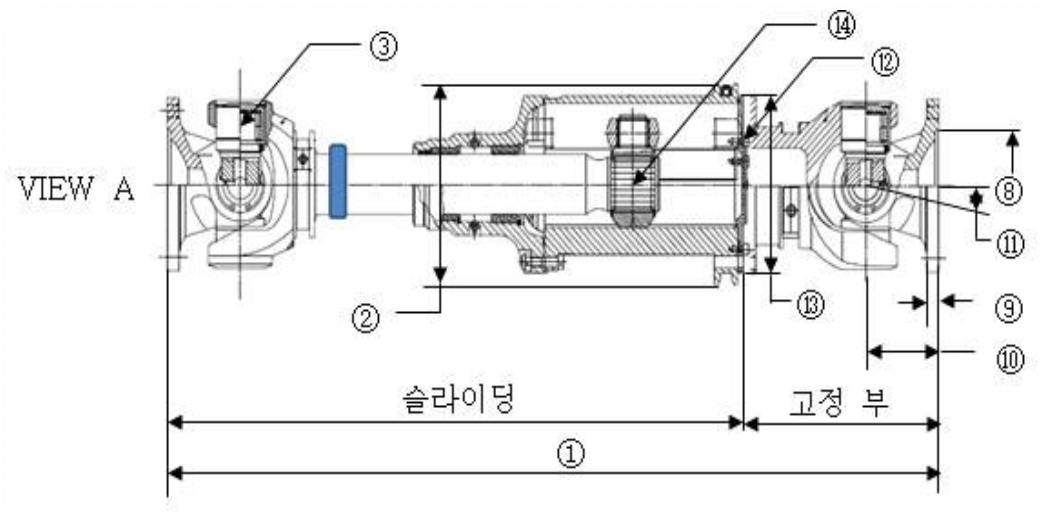


그림 16 트리포드 구동축 단면 및 주요치수

③ 수입품 성능 비교확인

○ 대여품 파괴 불가로 각종 기술자료 분석

- 기술사양서(KOREA TGV Consortium)

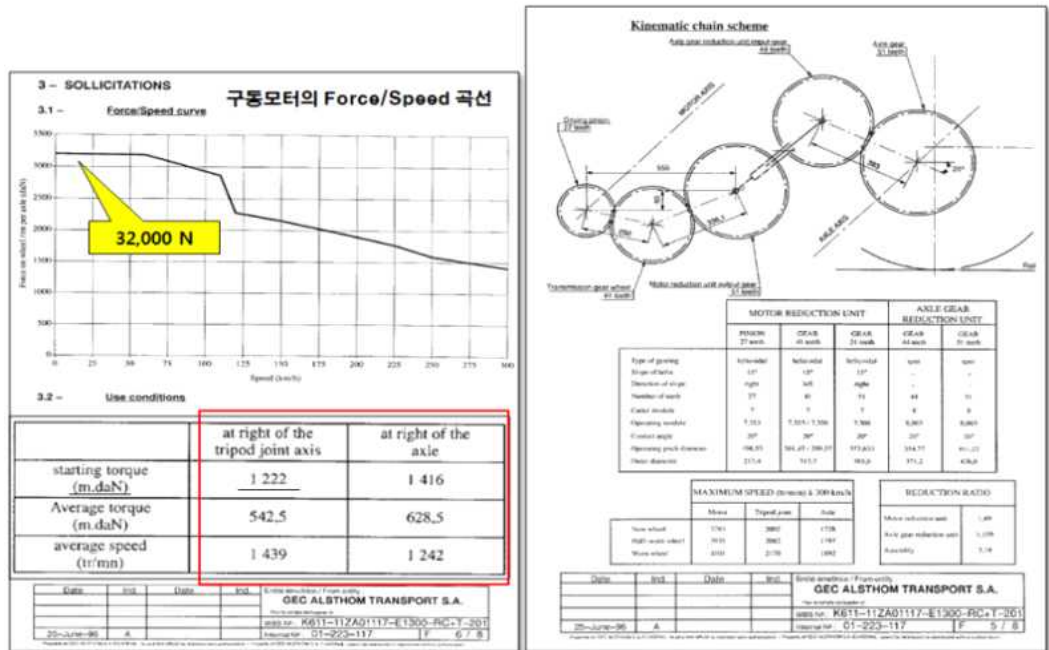


그림 17 동력전달축의 Max. Force

- : Max. Force → 시동초기 32,000 N
- : Max. Torque → 12,220 ~ 14,160 N.m
- : Mean Torque → 5,425 ~ 6,285 N.m
- : Mean Speed → 1,435 ~ 1,242 rpm

	MAXIMUM SPEED (tr/min) à 300 km/h			REDUCTION RATIO	
	Motor	Tripod joint	Axle	Motor reduction unit	Ratio
New wheel	3783	2002	1728	Assembly	2.19
Half-worn wheel	3935	2082	1797		
Worn wheel	4101	2170	1892		

그림 18 트리포드 구동축의 최대속도

- : Mean Speed → 300km/h 주행 시 2.170rpm

4 – CALCULATION RESULTS OF CAPACITY AND LIFETIME		
4.1 – SPIDER BLOC		
Static load C_0 (ISO 76)		: 223 723 N
Dynamic load C (ISO 281)		: 157 105 N
Lifetime L_{T10}		: 3.13×10^6 km
4.2 – SHAFT BLOC		
Static load C_0 (ISO 76)		: 157 610 N
Dynamic load C (ISO 281)		: 92 641 N
Lifetime L_{E10}		: 3.84×10^6 km
5 – STRUCTURALE RESISTANCE OF TRANSMISSION		
In the vertical plane, the efforts du to the shaft transmission are not considered :		
CRE : Torque at elastic limit		<u>$\approx 34\,000\text{ Nm}$</u>
CRP : Torque at breaking		<u>$= 43\,500\text{ Nm}$</u>

그림 19 트리포드 구동축 파단강도

- : Torque of elastic limit → 30,000 N
- : Torque at breaking → 32,0000 N.m

○ SNCF Test Report (2006년 3월)

- : 시험장소 → VITRY-SUR-SEINE의 철도 연구소
- : 수입품(GKN사 제품) 비틀림 피로수명시험
- : 결과 145,000 cycle 확인

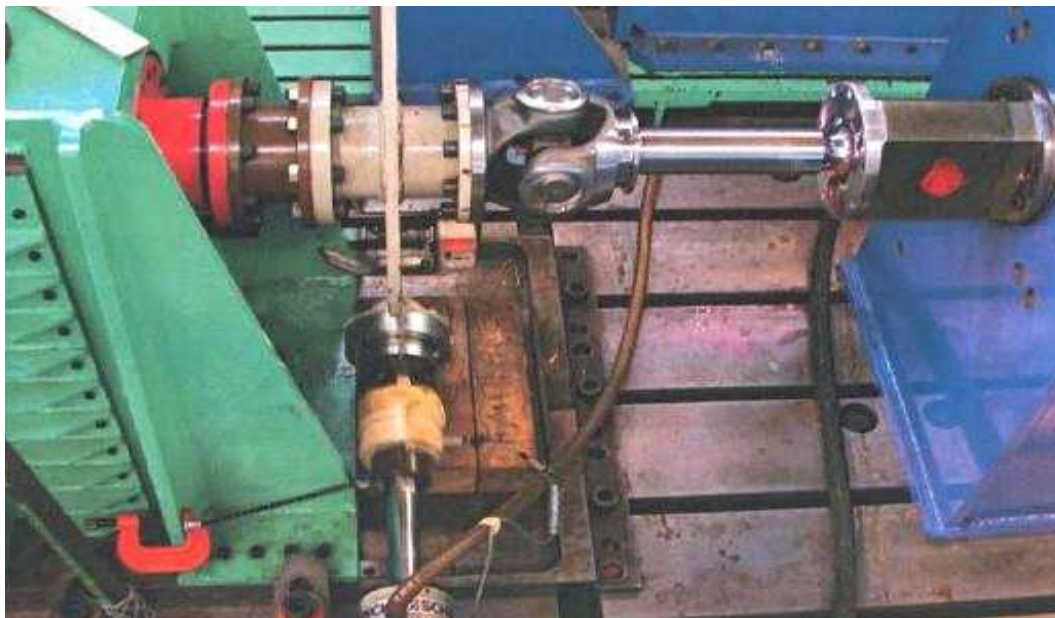


그림 20 VITRY-SUR-SEINE의 철도 연구소

○ 한국철도공사 실차시험 보고서 (동력전달축 최대토크 실 차량 측정결과)

- : 구간 → 고양 ↔ 서대전
- : 편성 → KTX-II 2호 편성
- : 동력전달축에 작용하는 이론적 설계토크 → 12,480 N.m
- : 실차량에서의 측정토크 → 13,480 N.m

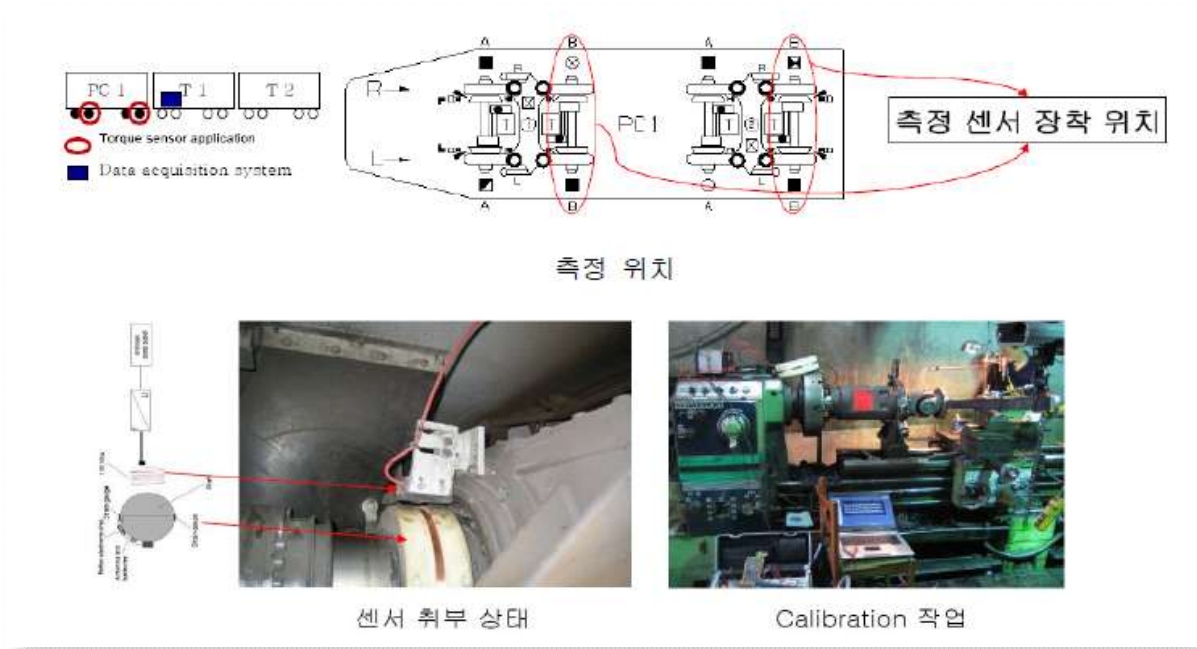


그림 21 한국철도공사의 동력전달축 실제 운행 중 부하토크 측정 개요

④ 수입품 소재분석

○ 수입소재 분석 및 국내 대체소재 선정

- 재료연구소(KIMS) 보고서 입수 및 분석

“고속철도차량 균열발생원인 조사보고서 (2008.10)”

: 수입소재 규격 확인

→ 30CrNiMo8, 유럽 통합규격 DIN EN 10083-1

: 수입소재에 대한

→ 화학성분, 기계적 성질(항복강도, 인장강도 등), 경도, 충격치 등 확인

- 자체 보고서 완성 : KTTR201601

: 수입소재에 동등이상의 국내소재 선정

→ SCM 440, KS D 3867, 크롬 몰리브덴 강재

→ 화학성분, 기계적 성질, 경도, 충격치 및 가격 분석

표 3 수입소재(30CrNiMo8) 및 국내소재(SNCM431, SCM440)의 기계적 성질 비교

소재	항복점 kgf/mm ² (N/mm ²)	인장강도 kgf/mm ² (N/mm ²)	연신율 (%)	단면수축률 (%)	충격치 kgf m/cm ² (J/cm ²)	경도 (HB)
30CrNiMo8	90	110~130	≥10	≥45	3.5 (≥35)	(330~370) ^{주)}
SNCM431	≥70 (≥686)	≥85 (≥834)	≥20	≥55	≥10 (≥98.1)	248-302
SCM440	85 (≥834)	100 (≥980.7)	≥12	≥45	≥6 (≥59)	285~352

나) 성능최적화 3D 모델링

① 수입품 조립체 및 부품 Reverse Engineering (역설계)

○ 조립체 외관 형상, 치수 및 장착부 치수 정밀 확인. (3차원 측정)

○ 아래 그림 22. 은 기계식 동력전달 축의 단면 형상을 나타내고 있음

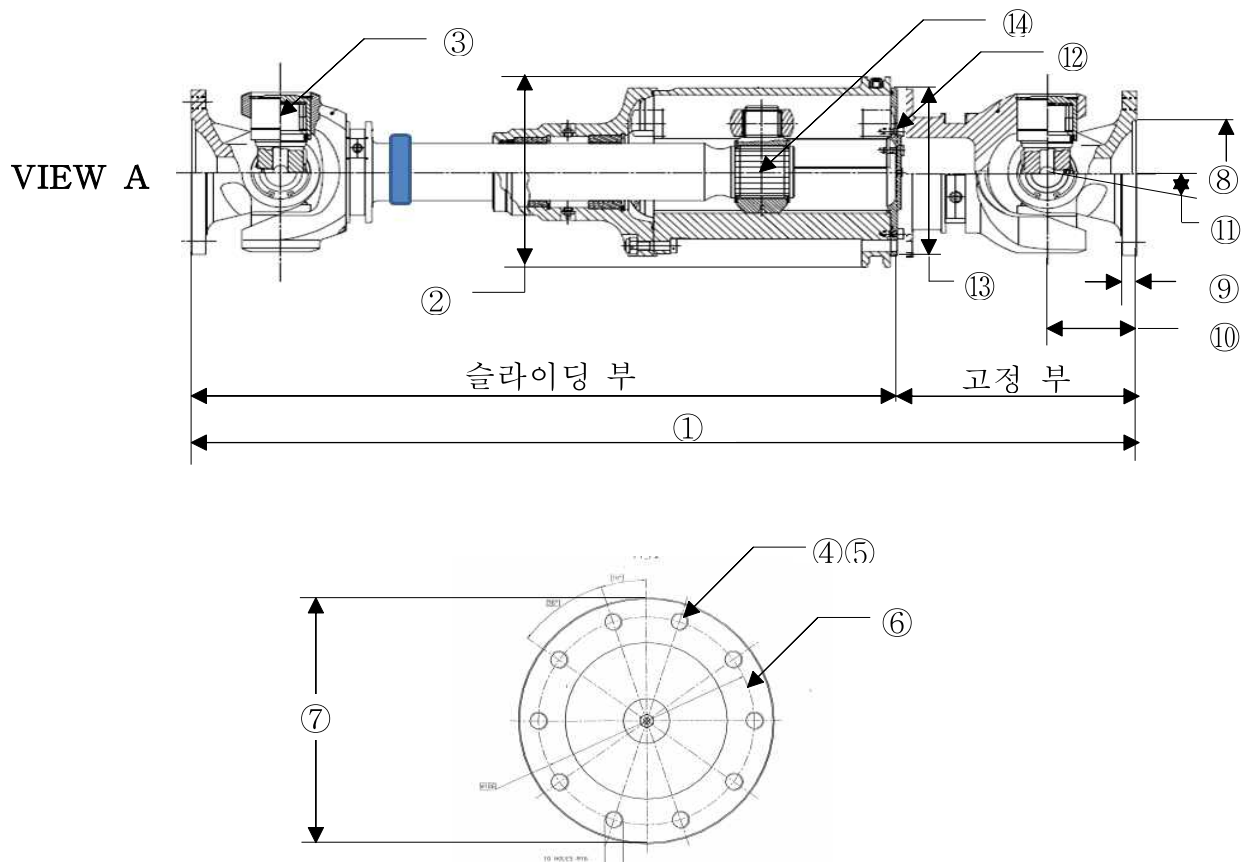


그림 22 동력전달축의 단면도

○ 수입품 현품대여를 통해 외형치수 확인 (POS Type:최신사양)

- 형상 data 확보 및 주요제원 측적 Data화
- 중량 확인 : 157.36kg

○ 내부 치수는 GKN사 도면 확보 호 적용

- KOREA TGV Consortium : GKN사 도면(ATX)과 현품 형상, 치수비교
- Tolerance Engineering(공차설계)수행

- 한국철도공사 수도권정비단(고양) 방문
 - Universal Joint(수입품) 제원 및 사양 확인



그림 23 GWB(미)사 카단 조인트(Cardan joint)

② CAE를 활용한 3D 기본, 상세 모델링

- 기본 모델링 및 상세 모델링 수행
 - 조립체 기본 3D 모델링
 - Component별 상세 모델링 3D 모델링
 - : Component 단위 1차적 강도 확인
 - : 조립체 DMU(Digital Mock-Up) 완성
 - 조립체 내부 부품간 간섭확인 및 체결부위 간섭여부 확인



그림 24 3D 단품 모델링

- Design Tool Catia V5 R22

○ Mock-up 제작

- 3D Printing 기법 적용



그림 25 동력전달축 Mock-up

③ Simulation을 통한 굽힘 각도, 간섭 체크

○ 최대 굽힘각 확인(개발목표 : 8°)

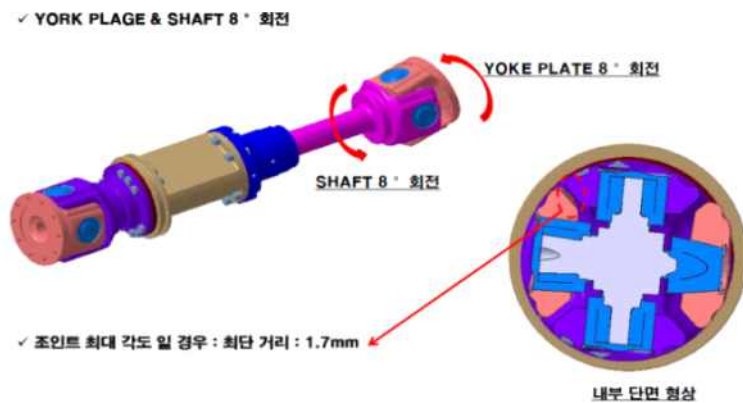


그림 26 3D 모델링 단면 (회전)

○ Interface Check

- 내부간섭 없는 최적 모델 확보

: 구동축 최대 굽힘 각도에서 부품간 이격거리 1.7mm 확보

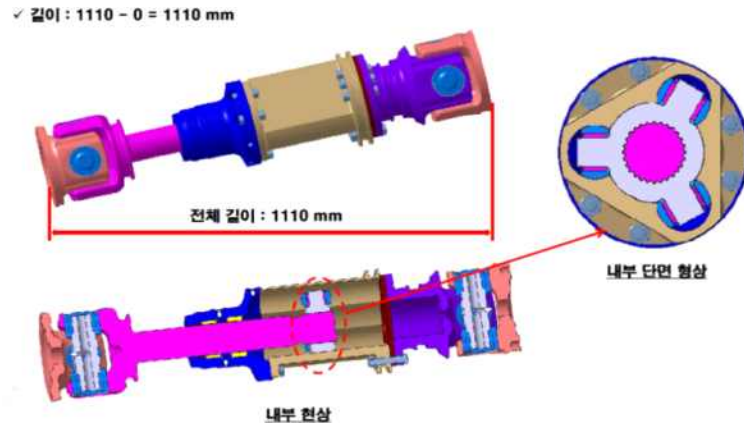


그림 27 3D 모델링 단면형상

○ 최대/최소 길이 확인

- Neutral(중립) : 1,110 mm
- Max. Extended(최대 팽창) : 1,230 mm
- Max. Cpmressed(최대 수축) : 990 mm

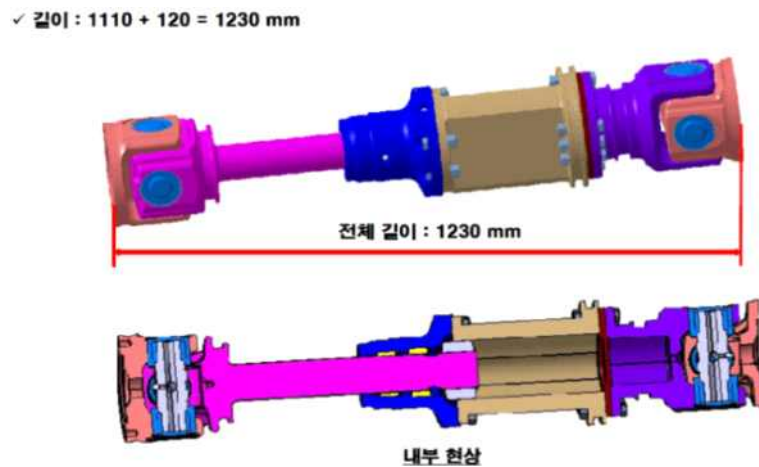


그림 28 3D 모델링 단면 (확장)

④ 구조강도 해석

○ Finite Element Modeling(FEM, 유한요소모델링)

- Meshed geometry
- : Nodes 1,004,127ea, Element 635817ea



그림 29 트리포드 구동축 3D 유한요소 모델

○ Structural Strength Analysis(구조강도해석) 수행

- 해석조건
 - : SCM440 (KS D 3687), 열처리조건 Q/T
 - : 항복강도 835 MPa, 인장강도 1,100 MPa
- Safety-set(Fuse부)의 강도 비교
 - : Input torque 19,000N.m 일 경우(1,800rpm)
 - 최대응력 집중부 Safety-set(Fuse부)
 - Max. Stress 819 MPa, Max. Strain 0.00409 mm
 - 인장강도 1,100 MPa > Max. Stress 819 MPa
 - : Input torque 27,500N.m 일 경우(1,800rpm)
 - 최대응력 집중부 Safety-set(Fuse부)
 - Max. Stress 1,186 MPa, Max. Strain 0.00593 mm
 - 인장강도 1,100 MPa < Max. Stress 1,186 MPa

○ 구조건전성 확보

- 해석결과 입력토크 19,000N.m이하에서 구조건전성 확인
- 27,500N.m이상에서 Safety-set 기능 발휘 범위 확인

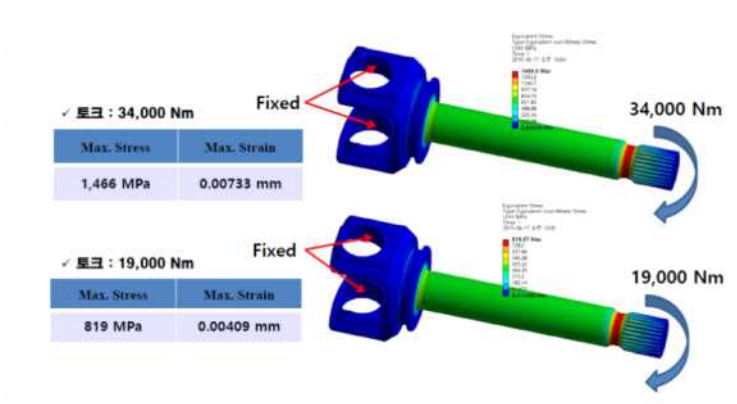


그림 30 3D Fuse부 강도해석

- 부품별 구조강도 해석 수행 (총 8종)
 - YOKE PLATE, SHAFT, TRIPOD RING GEAR, BEARING CAP, TRIPOD TUBE, TRIPOD COVER, LOW CLAMP, BOLT
 - 구조강도 건전성 확인

⑤ 고유진동수 해석

- Mode Analysis(정규모드 해석) 수행
 - 총 10가지의 모드별 고유진동 분석(Natural frequency each mode)
 - : 1차 공진 고유주파수가 290.74 Hz
 - : 이 때의 속도는 17,444.4 rpm 으로 동력전달축 최대회전수 1,800rpm을 상회하여 고유진동 증폭에 의한 영향은 없는 것으로 확인됨



그림 31 고유진동수 해석 결과

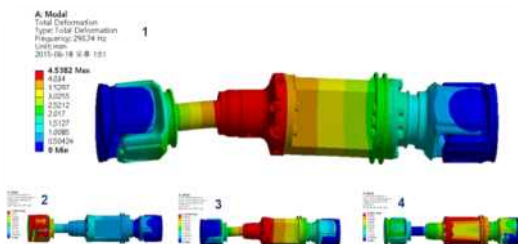


그림 32 고유진동수 해석 결과 (mode 1-4)

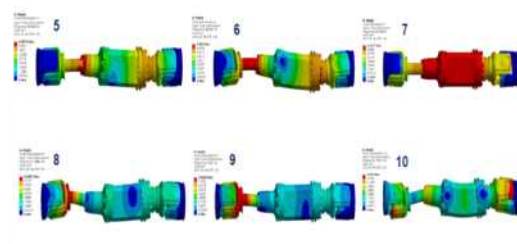


그림 33 고유진동수 해석 결과 (mode 5-10)

- 고유진동에 영향이 없음 확인

⑥ 렌더링 및 BOM

- 렌더링은 2차원의 화상에 광원, 위치, 색상 등 외부의 정보를 고려하여 사실감을 더 하여 3차원 화상을 만드는 작업이며 아래 그림 34.는 렌더링 완료한 동력 전달축 그림이다.



그림 34 동력전달축의 렌더링(Rendering)

○ BOM 완성

- 아래 표 4는 완성된 동력전달축의 BOM을 보여주고 있다.

< 표 4 동력전달축 BOM 목록 >

NO	ITEM NO	TITLE	QMS NO	MATL	SIZE (SPEC)	QTY	TOTAL QTY	Weight (kg)	공정	비고
1	0	OVER ALL TRIPOD ASSY	YH-TP16-001	-	-	1	1	157	조립	
2	1	SUB YORE LOW CLAMP ASSY	YH-TP16-100	SCM40	-	1	1	40.9	조립	
3	2	YORE PLANT	YH-TP16-101	SCM40	Ø225x140L	1	1	13	가공	
4	2	LOW CLAMP	YH-TP16-102	SCM40	Ø225x257L	1	1	20	가공	
5	2	SPIDER	YH-TP16-100 Item 3	-	Ø283x201L	1	1	-	구매용	
6	2	SNAP RING	YH-TP16-100 Item 4	STD	CR-85	4	4	-	구매용	
7	2	WRENCH BOLT	YH-TP16-100 Item 5	10.9T	M6 x 15L	1	1	-	구매용	
8	1	SUB MAIN SHAFT ASSY	YH-TP16-200	SCM40	-	1	1	54.5	조립	
9	2	YORE PLANT	YH-TP16-101	SCM40	Ø225x140L	1	1	30	가공	
10	2	SHAFT	YH-TP16-201	SCM40	Ø223x695L	1	1	13	가공	
11	2	SPIDER	YH-TP16-200 Item 3	-	Ø283x201L	1	1	-	구매용	
12	2	SNAP RING	YH-TP16-200 Item 4	STD	CR-85	4	4	-	구매용	
13	1	SUB TUBE COVER ASSY	YH-TP16-300	SCM40	-	1	1	31	조립	
14	2	TRIPOD TUBE	YH-TP16-301	SCM40	Ø225x254L	1	1	27	가공	
15	2	TRIPOD COVER	YH-TP16-302	SCM40	Ø225x10L	1	1	3	가공	
16	2	PIN	YH-TP16-300 Item 3	S45C	Ø12 x 30L	2	2	-	구매용	외장재
17	2	O-RING	YH-TP16-300 Item 4	NBR	Ø72 x 55L	1	1	-	구매용	필요함
18	2	WRENCH BOLT	YH-TP16-300 Item 5	10.9T	M6 x 30L	3	3	-	구매용	
19	1	SUB HOUSING ASSY	YH-TP16-400	-	-	1	1	15.5	조립	
20	2	TRIPOD HOUSING	YH-TP16-401	SCM40	Ø220x185L	1	1	13.7	가공	
21	2	BUSING	YH-TP16-402	BC3	Ø152x254L	1	1	0.6	가공	
22	2	BUSING-01	YH-TP16-403	BC3	Ø110x254L	1	1	1	가공	
23	2	DUST SEALS	YH-TP16-400 Item 4	UICOM	LBH-75	1	1	-	구매용	NOK
24	2	PACKING	YH-TP16-400 Item 5	UICOM	USH-75	1	1	-	구매용	NOK
25	2	SNAP RING	YH-TP16-400 Item 6	STD	CR-95	1	1	-	구매용	구매 필요함
26	2	SNAP RING	YH-TP16-400 Item 7	STD	CR-100	1	1	-	구매용	구매 필요함
27	2	O-RING	YH-TP16-400 Item 8	NBR	Ø72 x 63L	1	1	-	구매용	필요함
28	1	SUB GEAR BEARING ASSY	YH-TP16-500	-	-	1	1	53	조립	
29	2	TRIPOD UNIT	YH-TP16-501	SCM40	Ø150x25L	1	1	37	가공	
30	2	BEARING CAP	YH-TP16-502	SCM40	Ø185x24L	3	3	0.4	가공	
31	2	NYLON-01	YH-TP16-503	NYLON	Ø143x4L	3	3	0.2	가공	
32	2	NYLON-02	YH-TP16-504	NYLON	Ø143x3L	3	3	0.2	가공	
33	2	NEEDLE BEARING	YH-TP16-500 Item 5	STD	Ø15.5 x 28L	23	69	-	구매용	
34	2	SNAP RING	YH-TP16-500 Item 6	STD	CR-35	3	3	-	구매용	구매 필요함
35	1	SNAP RING	YH-TP16-000 Item 6	STD	CR-75	2	2	-	구매용	
36	1	MIPPLE	YH-TP16-000 Item 7	STD	PT18	5	5	-	구매용	
37	1	HEX BOLT	YH-TP16-000 Item 8	10.9T	M16 x 55	6	6	-	구매용	
38	1	HEX BOLT	YH-TP16-000 Item 9	10.9T	M16 x 80	9	9	-	구매용	
39	1	HEX NUT	YH-TP16-000 Item 10	10.9T	M16	15	15	-	구매용	

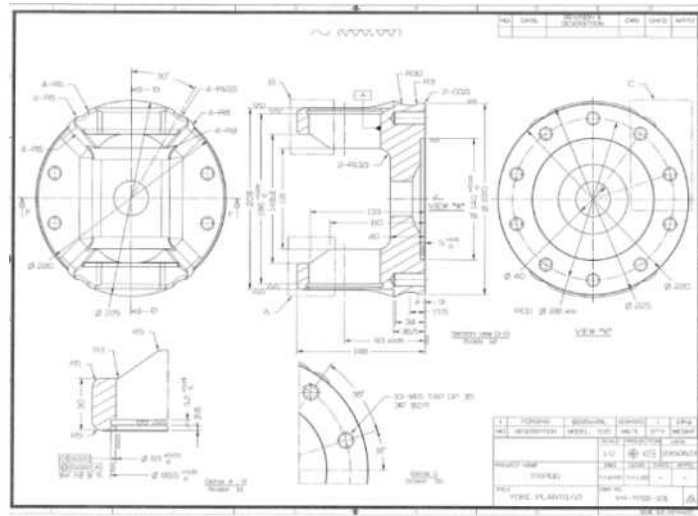


그림 37 YOKE PLANT 도면 (YH-TP16-101(1/2))

② 시제품 제작용 기술자료 작성

○ 기술보고서 2건 작성

- 샤프트 열 박음 공차선정
 - : 동력전달축의 비틀림 특성 개선목적
 - : 억지끼워 맞춤 설계(KS R 2001;1972)
 - : 스플라인부 열 박음 생산공적 적용
 - : 관련 보고서 작성(KTTR-2016-01)
 - “KTX 트리포드 구동축 SHAFT 열 박음 공차 선정 “
- Shot peening 공정 검토
 - : 샤프트의 스플라인부 피로수명 증대 목적
 - : Intensity(강도) 0.015~0.020A
 - : Coverage(커버리지) 200%
 - : 관련 보고서 작성(KTTR-2016-02)
 - “KTX 트리포드 구동축 Shoot peening 기술검토“



그림 38 Shot peening 작업공정

③ 형단조금형 개발 및 단조소재 확보

○ 단조금형 개발 성공

- 단조금형 총 4종

: Yoke plate (YH-TP-101)

: Law clamp (YH-TP-102)

: Tripod unit (YH-TP-501)

: Cross (YH-TP-701)

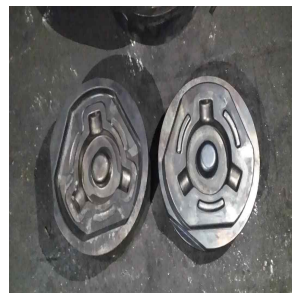


그림 39 단조금형 개발 (4종)

- Near-net shape 공법 적용
 - 최소 소재투입 및 고 회수율의 친환경공법
- 석고모형 제작
 - 금형검사용



그림 40 트리포드 유닛 석고

④ Universal Joint 확보

- Universal Joint 자재 국산화개발 1차 완료 (1차 성능만족)
 - 수입품 역설계 (Reverse Engineering)
 - 3D 모델링
 - 구조강도해석
 - 고유진동수 해석
 - Cross 단조금형



그림 41 Cross 석고

○ 시제개발품 6sets 제작



그림 42 국산화개발 Universal Joint

라) 1차 시제제작 및 밸런스

① 소재선정 및 공정설정

○ 수입소재 대체 국내소재 선정

- SCM440 (KS D 3687) 크롬 몰리브덴 강재
 - : 수입소재 30CrNiMo8(DIN EN 10083-1)
 - : 특성분석 및 동등이상 국내소재 선정
- 국내 소재 선정과정
 - : 1단계 : 30CrNiMo8 vs SNCM431
 - : 수입소재 상응하는 국내소재 1차 선정
 - : 2단계 : SNCM431 vs SCM440
 - : 조성율에 대한 원소별 영향, 국내 수급성, 단가 등을 고려하여 최종

○ SCM440 선정

- 소재선정 보고서 (KTKR-2016-01)
 - “KTX 트리포드 구동축용 샤프트 소재선정 기술검토 “

○ 공정설정

- 샤프트 Safety-set (Fuse부) 버핑 및 크롬 도금
 - : Fuse부 곡면표면 조도 개선 : 2.0-3.0 μ m
- 샤프트 열 박음
 - : 유니트 가열 후 샤프트에 스플라인부 조립
- Spline부 Shot-peening 공정
 - : 샤프트 스플라인부 피로수명 증가 목적
- 조립체 밸런스 공정
 - : G16등급 (KS B ISO 1940-1) 만족

② 일반부품의 기계가공

○ 가공품 10대분 확보 완료

- Yoke Plate 등 총 12종



그림 43 YOKE PLATE



그림 44 LAW CLAMP



그림 45 TRIPOD UNIT



그림 46 TRIPOD HOUSING

○ 구매품 10대분 확보 완료

- Bearing Cap 등 총 17종



그림 47 BEARING CAP



그림 48 BUSH



그림 49 BUSH-1

③ MSMF부의 정밀 가공

- 샤프트 Safety-set (Fuse부)
 - 버핑 및 크롬 도금
- 곡면 표면조도 향상
 - 수입품 : 4.50-7.50 μ m
 - 개발품 : 2.0-3.0 μ m



그림 50 SHAFT

- 균열방지 및 내구 수명 향상 성과확보
- 부품단위 8대분 확보

④ 부품검사, 조립, 도장

- 총 8대분 추진
 - 조립 : 7대분, 단품 : 1대분



그림 51 Tripod unit & Ball bearing 조립



그림 52 SHAFT, TRIPOD HOUSING, TRIPOD
TUBE 및 LAW CLAMP 조립



그림 53 동력전달축 가 조립 상태



그림 54 동력전달축 가조립품 도장상태

○ 시험용도(6대분)

- 최대 회전각시험 : 4대
- 비틀림 성능시험 : 4대
- : 비틀림 파단시험(2대)
- : 비틀리 피로시험(2대)

⑤ 굽힘각 및 밸런스 측정

○ 최대 굽힘 각

- 개발목표 만족
- : 개발목표 : 5°
- : 측정결과 : 8°



그림 55 굽힘각 측정장면

○ 최대 회전속도

- 개발목표 만족 조건
- : 개발목표 : 1,000 rpm
- : 측정결과 : 1,016 rpm

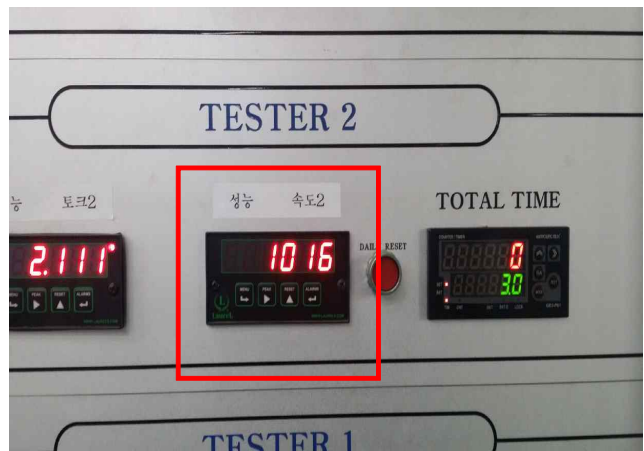
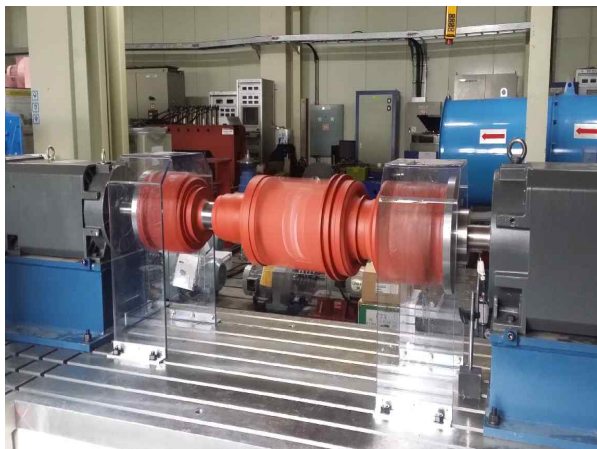


그림 56 동력전달축의 굽힘 각도 측정 장면

○ 언밸런스

- 개발목표 만족 (KS B ISO 1940-1)조건

: 개발목표 : G16등급

: 측정결과 : G8등급 ~ G16등급



그림 57 동력전달축의 언밸런스시험 장면

○ 비틀림 특성시험(파단강도 및 피로수명)



그림 58 비틀림 성능시험 장면 및 Fuse부 박리현상

- 참여기관(한국철도기술연구원)

마) MSMF 개념설계

① 개발품 요구사항 분석

○ 스플라인 가공

- MSMF를 통해 원활한 동력전달 여부가 중요함
- FUSE PLATE를 스플라인 가공



그림 59 1차 퓨즈플레이트 스플라인 형상

○ 메커니즘 해석결과

- 개발품의 메커니즘 작동여부가 중요함
- 1차 퓨즈 작동 중 2차 퓨즈 작동 하지 않음을 확인하였으며 1차 퓨즈 파단 후 2차 퓨즈가 작동

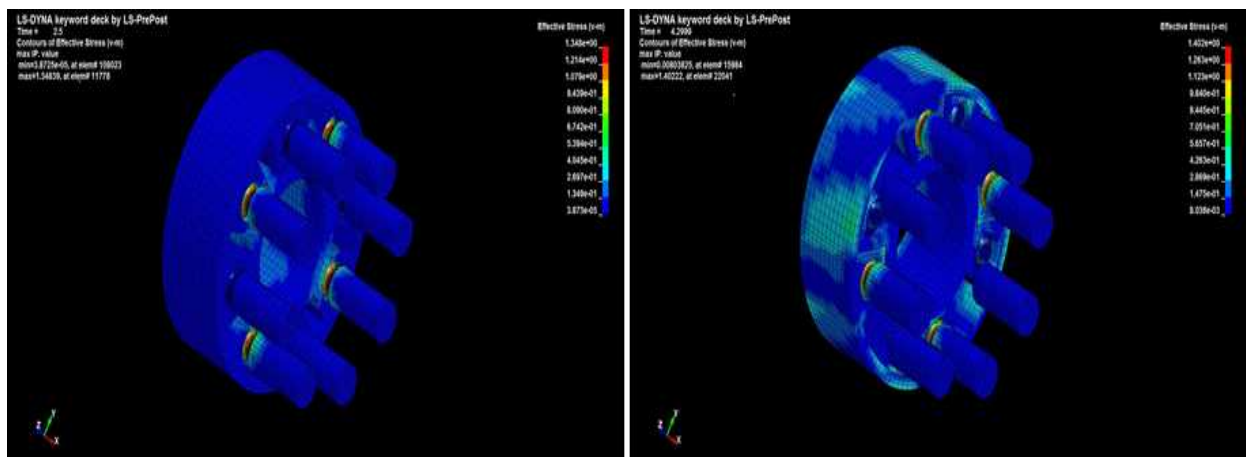


그림 60 1차 퓨즈 파단 전, 후 해석결과

② 성능요구조건기반 설계

- 1ST FUSE PLATE 해석결과 : 687Mpa
- 2ND FUSE PLATE 해석결과 : 562Mpa
- FUSE PLATE 해석결과 : 565Mpa
- 열처리한 SCM440의 항복강도를 넘지 않음

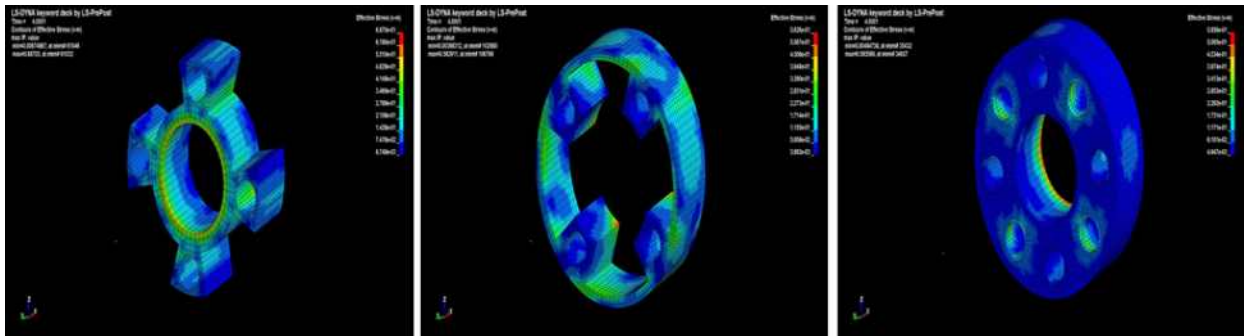


그림 61 1차년도 MSMF 초기모델 해석결과

③ 단품별 제작 및 시험

- 전단방식 퓨즈사용
 - 1차 퓨즈 시편 24개(비틀림시험용), 1차 퓨즈 시편 6개(파단시험용)
 - 2차 퓨즈 시편 24개(비틀림시험용), 2차 퓨즈 시편 6개(파단시험용)



그림 62 퓨즈 시편

○ 단품 전단시험

- 일정 전단력에서 파단 함을 확인
- 1차 퓨즈 : $84 \pm 10\%$ kN, 2차 퓨즈 : $123 \pm 10\%$ kN



그림 63 전단시험 후 파단 퓨즈

바) 인터페이스 Engineering

① 단품시험 결과 Feed Back

○ 단품시험결과 검증

- 84kN을 토크로 변환 시 22kNm
- 123kN을 토크로 변환 시 32kNm

$$* \text{ 1차 퓨즈 파단하중 : } F = \frac{T}{RN} = \frac{22000Nm}{0.065m \times 4} = 84615N = 84.62kN$$

$$* \text{ 2차 퓨즈 파단하중 : } F = \frac{T}{RN} = \frac{32000Nm}{0.065m \times 4} = 123076N = 123.08kN$$



그림 64 1차년도 전단시험 전, 후 퓨즈



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98 (중앙동)

TEL (02)2164-0011

FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TAK-013142

대 표 자 : 김기환

업 체 명 : 한국철도기술연구원

주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)

접 수 일 자 : 2017년 05월 26일

시험완료일자 : 2017년 05월 31일

시 료 명 : 구동축 퓨즈

시험 결과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
전단하중	kN	1-1	85.8	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	1-2	86.1	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	1-3	86.2	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	1-4	86.0	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	1-5	86.1	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	1-6	85.6	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	2-1	121.0	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	2-2	123.4	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	2-3	120.8	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	2-4	123.0	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	2-5	122.6	외뢰자제공시험방법(*)
전단하중	kN	2-6	123.4	외뢰자제공시험방법(*)

* 만능재료시험기(SHIMADZU UH-F1000kNX, 시험속도 : 1 mm/min)

* 용 도 : 품질관리용

- 비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험방법에 의한 시험결과를 포함하고 있습니다.
 4. 이 성적서는 원본(등본 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Park Geun-Hyeok

작성자 : 박근혁
E-mail: getto123@ktr.or.kr

Ham Song-oh

기술책임자 : 함종오
Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2017년 05월 31일

KTR

한국화학융합시험연구원장



위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

전자문서본(Electronic Copy)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

KTR-QP-T08-F01-02(07)

A4(210 x 297)

그림 65 1차년도 1, 2차 퓨즈 전단시험 결과

② 단품 정밀 재설계

- 실험적 방법을 통한 퓨즈 재설계
- 추후에 다수의 전단 파단시험을 통해 현재보다 비교적 정확한 파단하중을 보이도록 재설계

③ 전체 구동축과의 Interface

- 구동축 직경 75mm와 결합되도록 제작
 - KS R2001 인블류트 스플라인 (모듈 2.5, 잇수 28)로 구동축과 결합되도록 제작

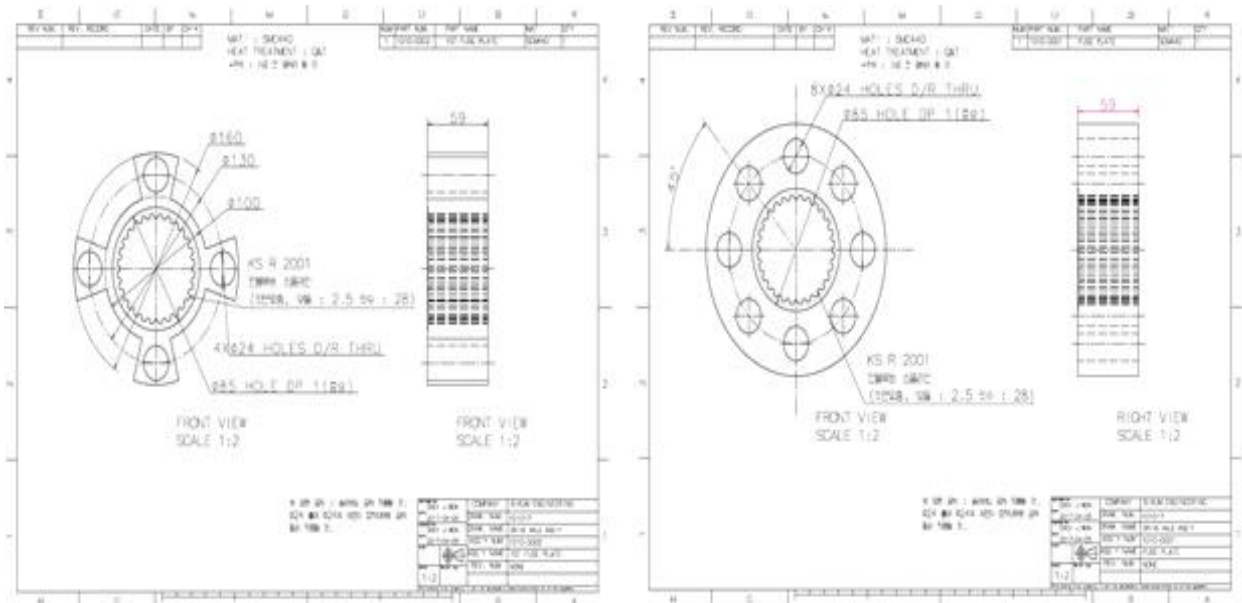


그림 66 1차 퓨즈플레이트, 퓨즈플레이트 도면

사) MSMF 1차 시제 제작

① Sub-assembly 제작

- 퓨즈만 따로 시험할 수 있도록 제작

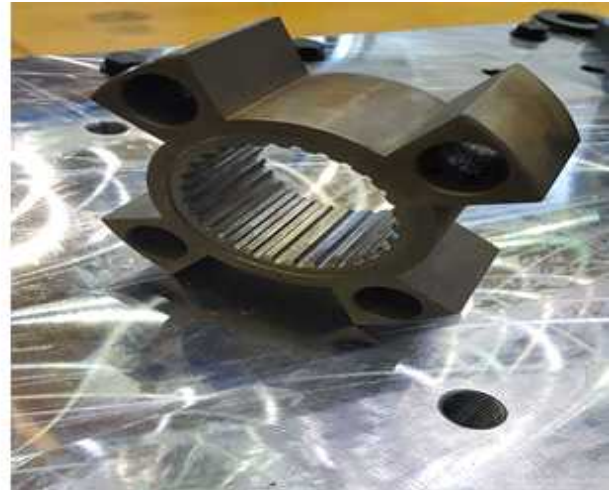
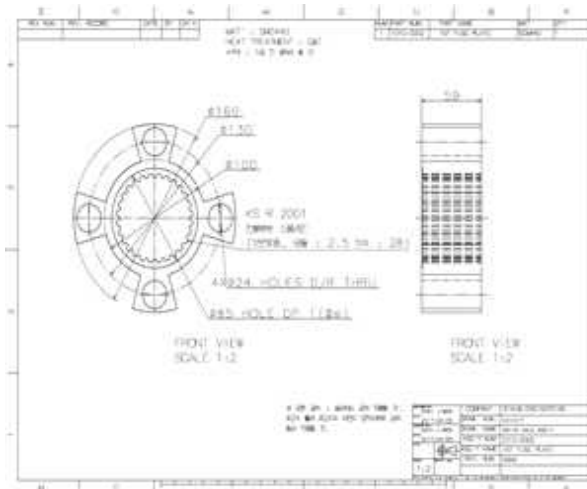


그림 67 1차 퍼즐플레이트 도면 및 형상

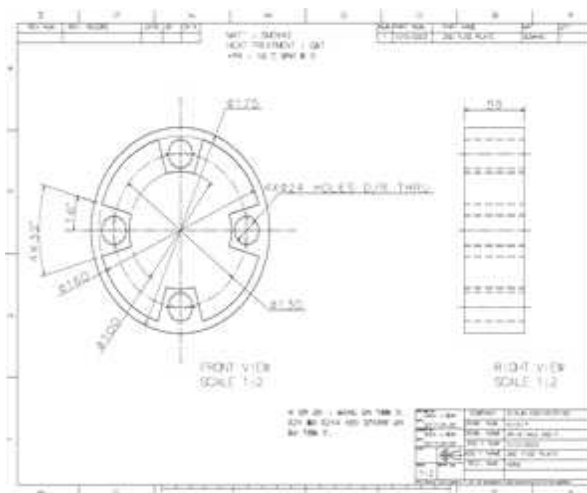


그림 68 2차 퍼즐플레이트 도면 및 형상

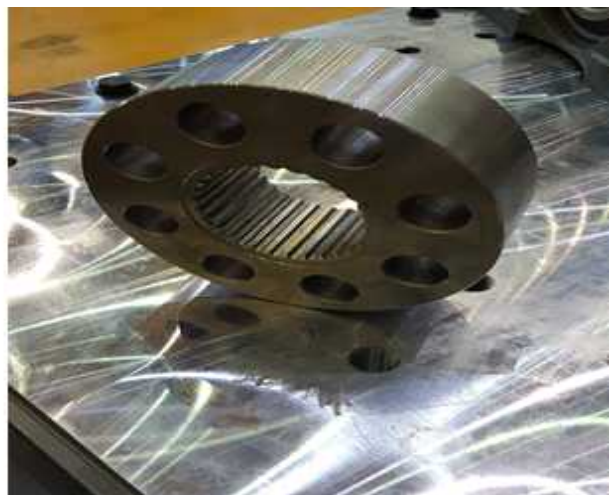
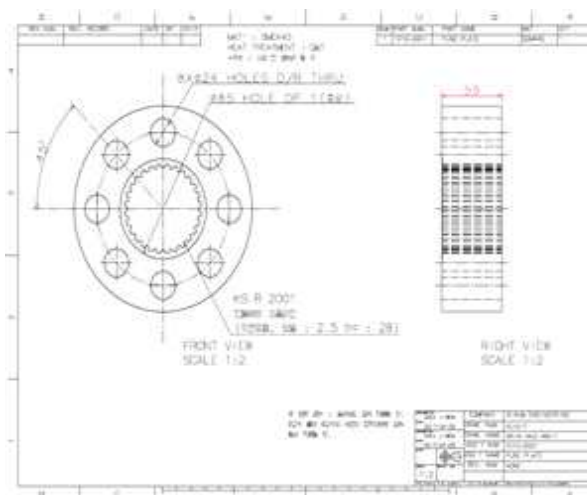


그림 69 퍼즐플레이트 도면 및 형상

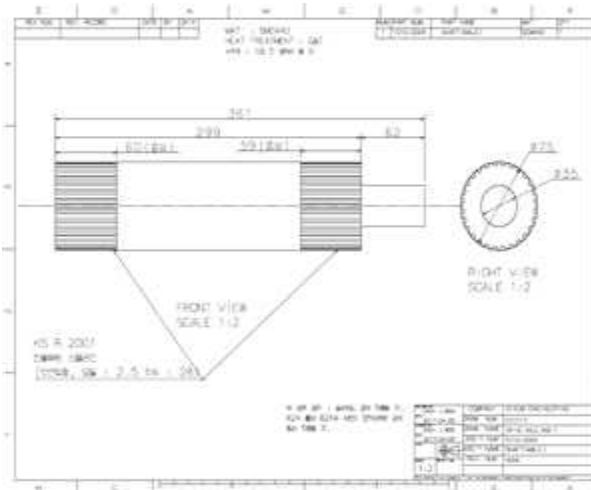


그림 70 축(MALE) 도면 및 형상

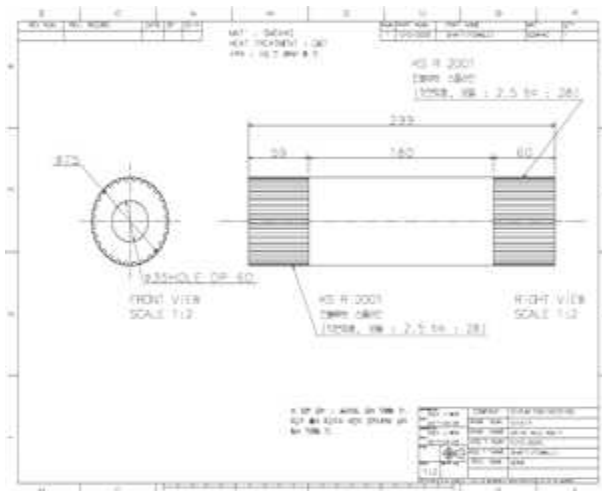


그림 71 축(FEMALE) 도면 및 형상

② 시험 및 결과 획득

○ 한국철도기술연구원 구조시험동 UTM 시험기를 활용하여 시험

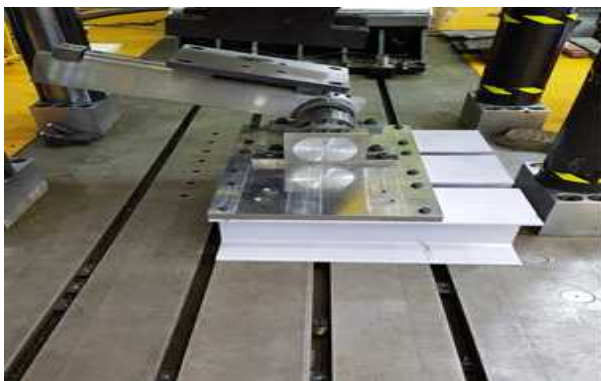


그림 72 시험기 및 지그 배치

시험 전



시험 후



- 시험결과

시료	평균 최대 토크
1차 퓨즈	19.84 kNm (만족 범위 : 19.8~24.2kNm)
2차 퓨즈	28.3 kNm (만족 범위 : 28.8~35.2kNm)

그림 73 1차년도 MSMF 비틀림시험 결과

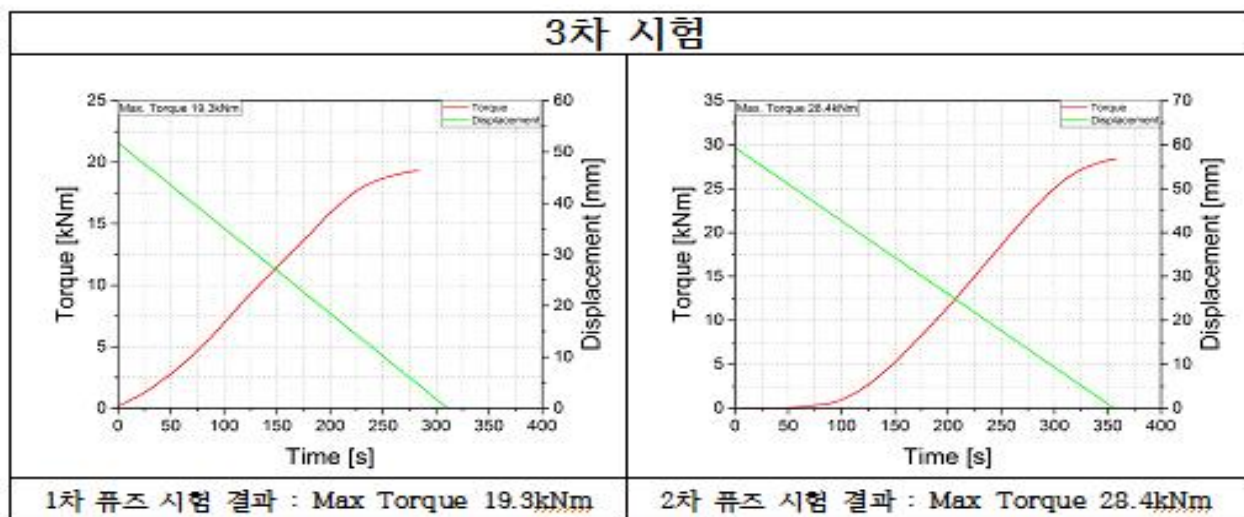
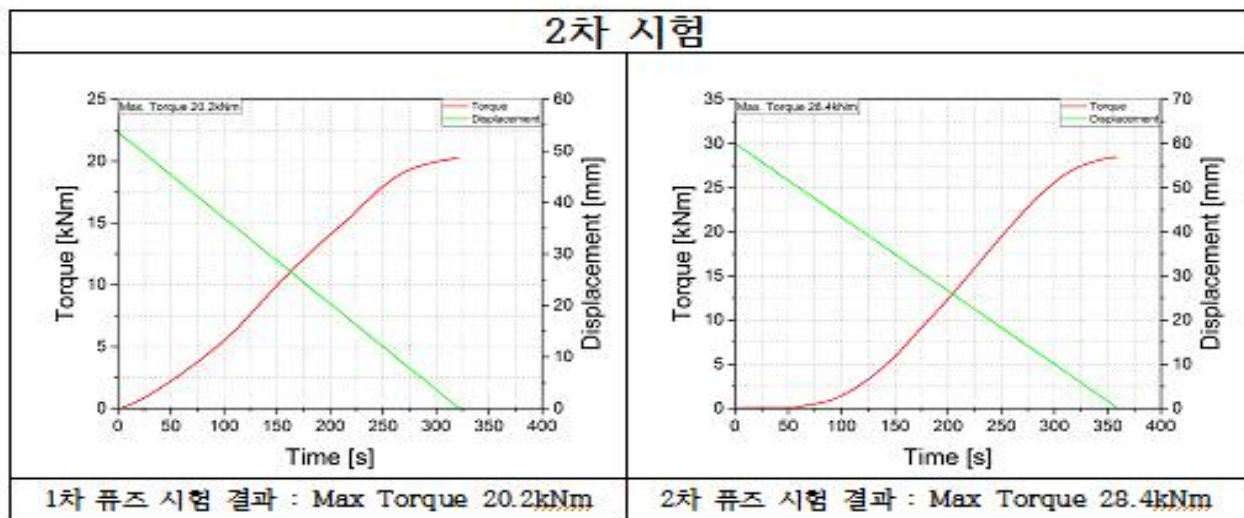
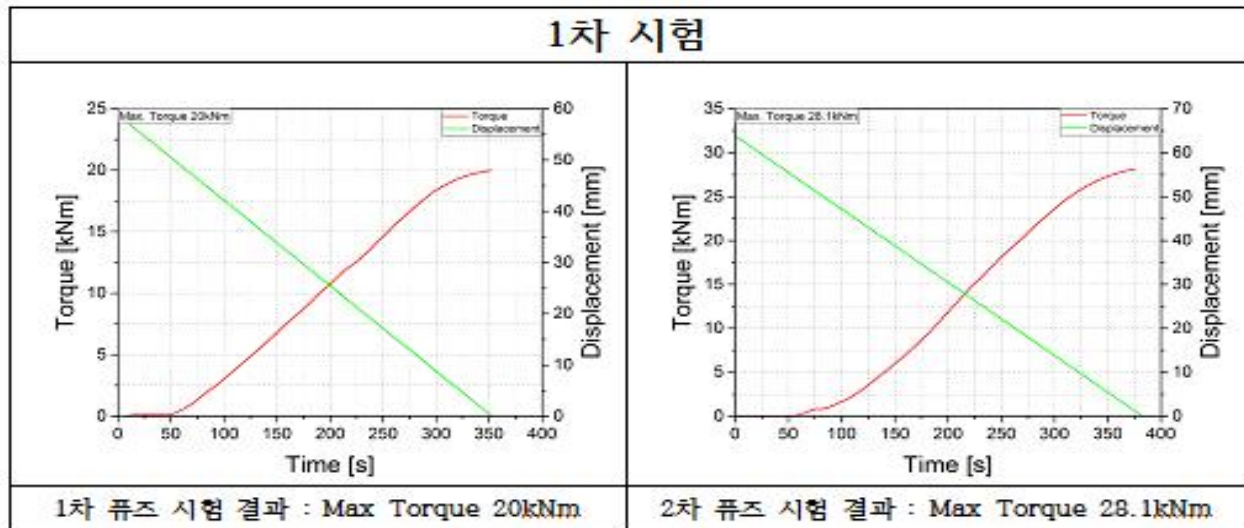


그림 74 1차년도 MSMF 비틀림시험 결과 그래프

③ 개선사항 도출/문제점 수정

- 1ST FUSE PLATE와 FUSE PLATE가 퓨즈에 의해 조립되었을 때, 퓨즈의 중심부가 정확히 가운데로 위치해야하나 그렇지 못함
 - 추후 설계 변경하여 새롭게 시험
- FUSE PLATE의 공차가 불안정하여 4개의 퓨즈가 완벽하게 동작점이 일치하지 못함
 - FUSE PLATE의 공차를 수정하여 MSMF가 작동할 때 4개의 퓨즈에 힘이 적절하게 분산되도록 수정
- 1차 퓨즈는 $22\text{kNm} \pm 10\%$ 의 결과를 만족하였으며 2차 퓨즈는 $32\text{kNm} \pm 10\%$ 의 결과를 만족 하지 못하였음. 따라서 퓨즈를 튜닝하여 오차 범위 안에 만족시킬 수 있도록 단품개선 계획
- 단품개선 후 공인시험기관에 의뢰하여 단품검증 계획

(2차 년도)

- 주관기관 ((주)카템)

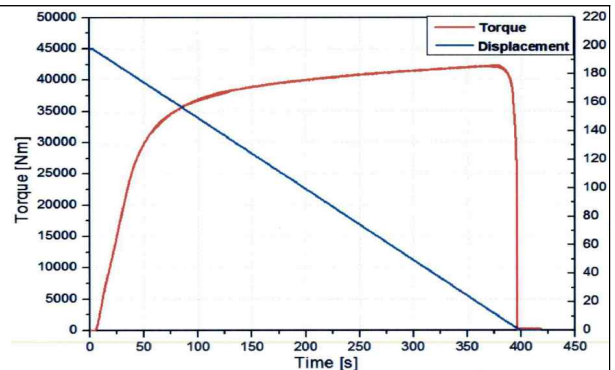
아) 1차 시제 성능평가

① 비틀림 최대강도 평가(시료 : 2sets)

- 1차 시제 비틀림 파단강도시험 실시
 - 시험일시 : 2017.01.03.~01.04
 - 시험장소 : 한국기계연구원(KIMM/대전)
 - 시험규격 : RS-KIMM-0082
 - 시료수량 : 2sets
- 시험결과 : 1차 시제 요구조건 만족
 - 요구조건 : 30kN.m 이상 (1차 시제)
 - 시험결과 : 38.8kNm, 42.4kNm
 - ※ 공인성적서 확보



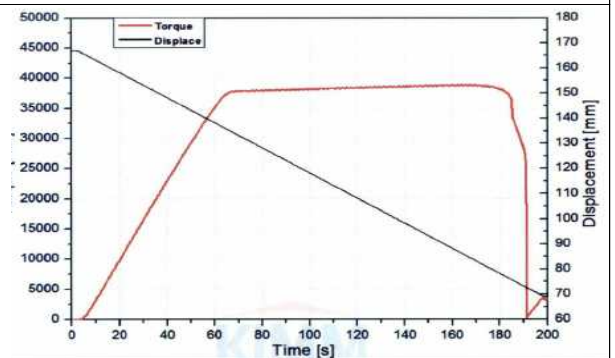
(그림 75 비틀림 파단시험 실시 장면)



(그림 76 시료 1 시험그래프(38.8kNm))



(그림 77 시험 전(좌) 및 시험 후(우) 파단 양상)



(그림 78 시료 2 시험그래프 (42.4kNm))

② 비틀림 피로수명 평가(시료 : 2sets)

○ 1차 시제 비틀림 피로수명시험 실시

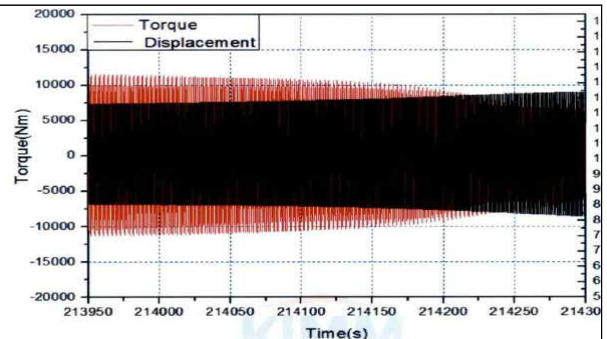
- 시험일시 : 2017.04.04.~04.12
- 시험장소 : 한국기계연구원(KIMM/대전)
- 시험규격 : RS-KIMM-0082
- 시료수량 : 2sets
- 시험조건 : 입력토크 13.5kN.m, 시험속도 1Hz

○ 시험결과 : 1차 시제 요구조건 만족

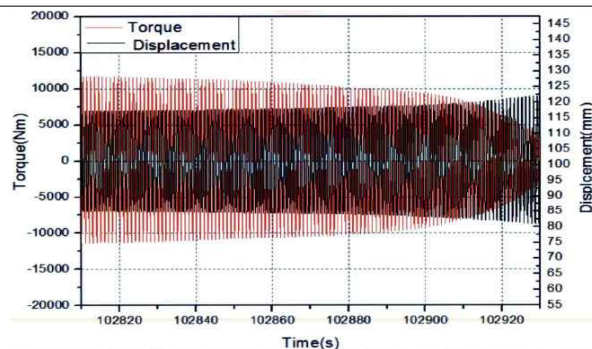
- 요구조건 : 100,000cycle 이상 (1차 시제)
- 시험결과 : 401,000cycle 102,900cycle
- ※ 공인성적서 확보



(그림 79 비틀림 피로시험시험 실시 장면)



(그림 80 시료 1 시험그래프(401,000cycle))



(그림 81 시료 2 시험그래프(102,900cycle))



(그림 82 시험 전(좌) 및 시험 후(우) 파단 양상)

③ 성능시험 결과분석 및 개선방안 도출

○ 최대강도

- 1차 시제 단계에서 이미 최종목표 달성 (최종목표 : 34kN.m)

○ 피로수명

- 피로수명 불균일현상 확인
- 1차 시제 파단양상 분석을 통한 2차 시제 피로수명 개선방안 강구 필요

○ 피로수명 개선방안 (3가지 방안)

- 샤프트의 스플라인 샷 피닝(Shot peening) 공정 추가

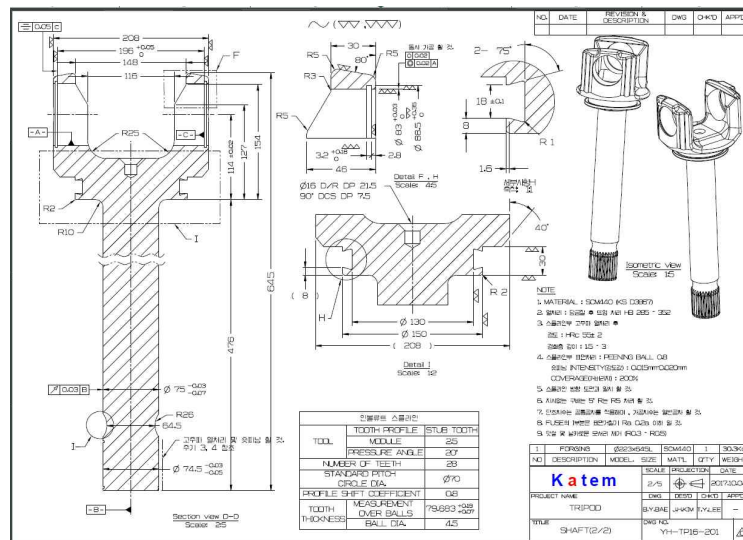
: Peening ball 0.8mm

: Intensity(강도값) 0.015~0.02mm

: Coverage(반복정도) 200%

※ 샷 피닝(Shot peening) 공법

금속표면에 강구(shot ball)를 강하게 충돌시켜 잔류압축응력을 존재하게 함으로써 표면부의 피로수명을 증대시키는 일종의 표면처리 공법



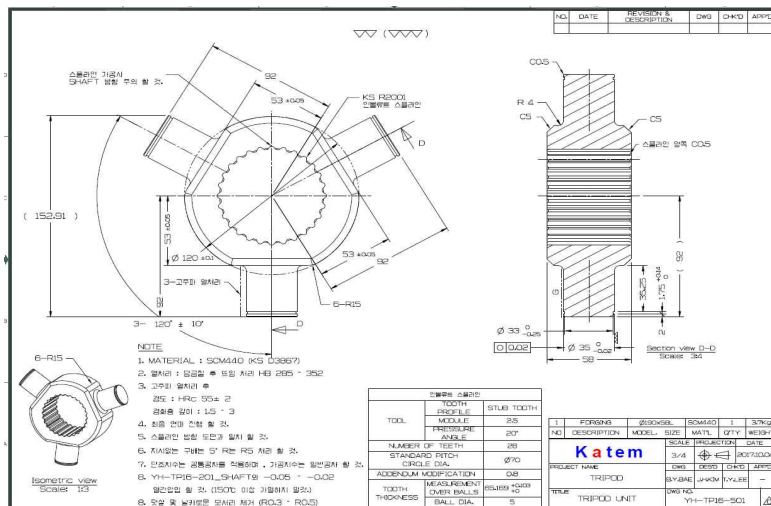
(그림 83 샤프트 도면 (YH-TP16-201))

- 샤프트 퓨즈(Fuse) 부 곡면연마(0.1~0.2 μ m)

(현 상태 : Rough finishing, 1.0 ~ 1.8 μ m)

- 스플라인 및 유닛조립 공정 개선

: 헐거움 조립 (Slide fitting) → 열간 압입



(그림 84 트리포드 유닛 도면 (YH-TP16-501))

자) 1차 시제 개선설계

① 1차 시제 개선방안 반영한 보강설계

○ 보강설계 내용

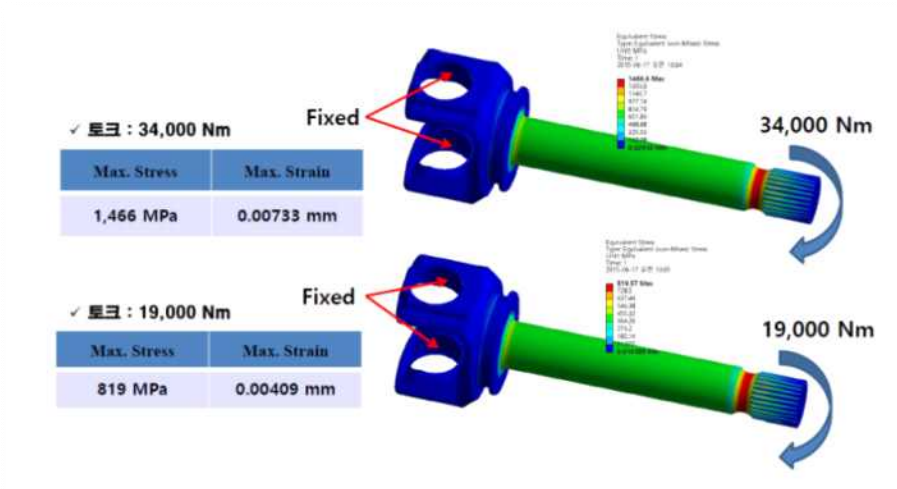
- 굽힘각 증대($5^{\circ} \rightarrow 8^{\circ}$)
- 밸런스 등급 상향 (16G $\rightarrow$ 6.3G)
- 비틀림 강도, 피로수명 Up-grade
 - : 강도($30 \rightarrow 34\text{kN.m}$)
 - : 수명($100,000 \rightarrow 180,000\text{cycle}$)

○ 구조강도해석(Structural Strength Analysis) 수행

- 해석조건
 - : SCM440 (KS D 3687), 열처리조건 Q/T
 - : 항복강도 835 MPa, 인장강도 1,100 MPa
- Safety-set(Fuse부)의 강도 비교
 - : Input torque 34,000N.m 일 경우(1,800rpm)
 - 최대응력 집중부 Safety-set(Fuse부)
 - Max. Stress 819 MPa, Max. Strain 0.00409 mm
 - 인장강도 1,100 MPa > Max. Stress 819 MPa
 - : Input torque 43,000N.m 일 경우(1,800rpm)
 - 최대응력 집중부 Safety-set(Fuse부)
 - Max. Stress 1,186 MPa, Max. Strain 0.00593 mm
 - 인장강도 1,100 MPa < Max. Stress 1,186 MPa

○ 구조건전성 확보

- 해석결과 입력토크 34,000N.m 이상에서 구조 건전성 확인
- 34,000N.m 이상에서 Safety-set 기능 발휘 범위 확인



(그림 85 3D Fuse부 강도해석)

○ Mode Analysis(정규모드 해석) 수행

- 총 10가지의 모드별 고유진동 분석 (Natural frequency each mode)
- 1차 공진 고유주파수가 290.74 Hz
- 이 때의 속도는 17,444.4 rpm 으로동력전달축 최대회전수 1,800rpm을 상회하여 고유진동 증폭에 의한 영향은 없는 것으로 확인됨



(그림 86 고유진동수 해석 결과)

② 굽힘각 증대(8°)를 위한 개선설계

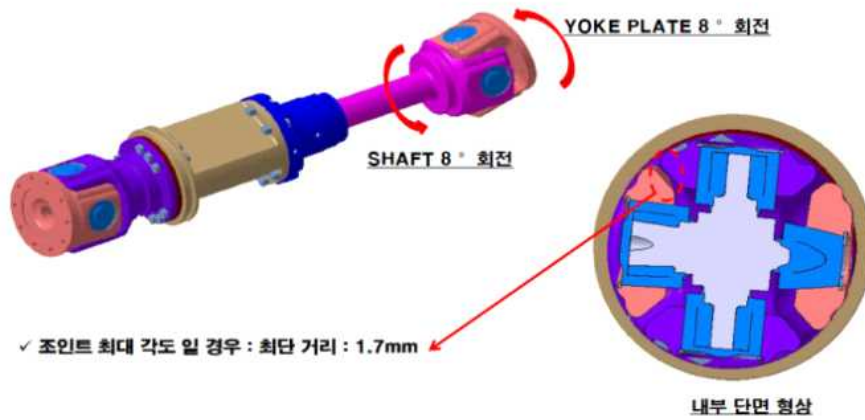
○ 굽힘각 증대(8°)를 위한 2차 시제 설계

- YOKE FLANGE 형상 개선
- SHAFT 형상 개선

○ 2차시제 3D 모델링

- 최대 굽힘각 확인(개발목표 : 8°)

✓ YORK PLAGE & SHAFT 8° 회전

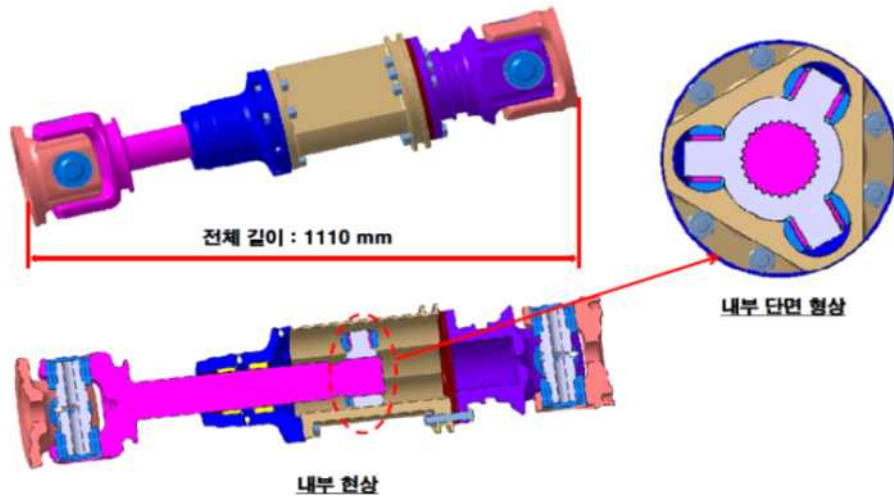


(그림 87 3D 모델링 단면 (회전))

○ Interface Check

- 내부간섭 없는 최적 모델 확보
- : 구동축 최대 굽힘 각도에서 부품 간 이격 거리 1.7mm 확보

✓ 길이 : $1110 - 0 = 1110 \text{ mm}$

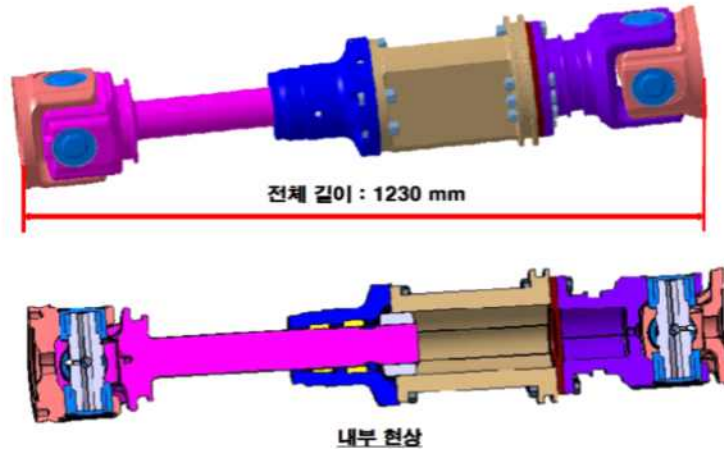


(그림 88 3D 모델링 단면형상)

○ 최대/최소 길이 확인

- Neutral(중립) : 1,110 mm
- Max. Extended(최대 팽창) : 1,230 mm
- Max. Compressed(최대 수축) : 990 mm

✓ 길이 : $1110 + 120 = 1230 \text{ mm}$



(그림 89 3D 모델링 단면 (확장))

- 2차 시제 3D 모델링을 통하여 동력전달 축 8° 굽힘 상태에서 YOKE FLANGE와 SHAFT의 이격거리 확보 (이격거리 : 최소 1.7mm)로 동력전달 축 굽힘 각 확보

③ 밸런스 등급 상향을 위한 정밀 설계

- 밸런스 등급
 - 1차 시제 : 16G
 - 2차 시제 : 6.3G (향상 목표)

- 이론적 밸런스 값 계산

표 5 이론적 밸런스 값 계산

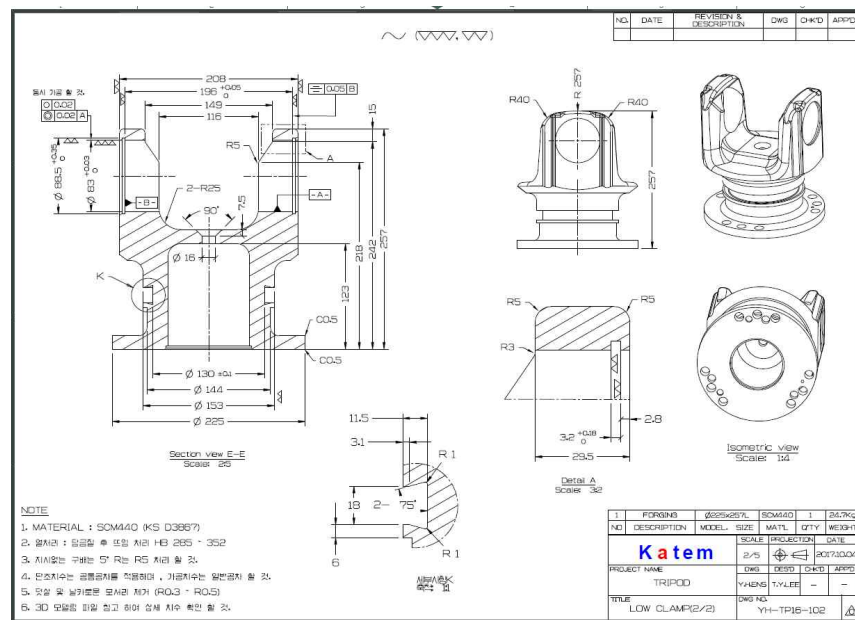
순	항 목	계산식	단위
1	e : 허용잔류 비불평형	$e = G \times 9550 \div N$	gmm/kg
2	U : 언밸런스량	$U = G \times 9550 \times M \times (1/N)$	g·mm
3	g : 잔존값	$g = U \div R$	gram

- 동력전달축 밸런스값 계산 (6.3G)

표 6 동력전달축 밸런스값 계산 (6.3G)

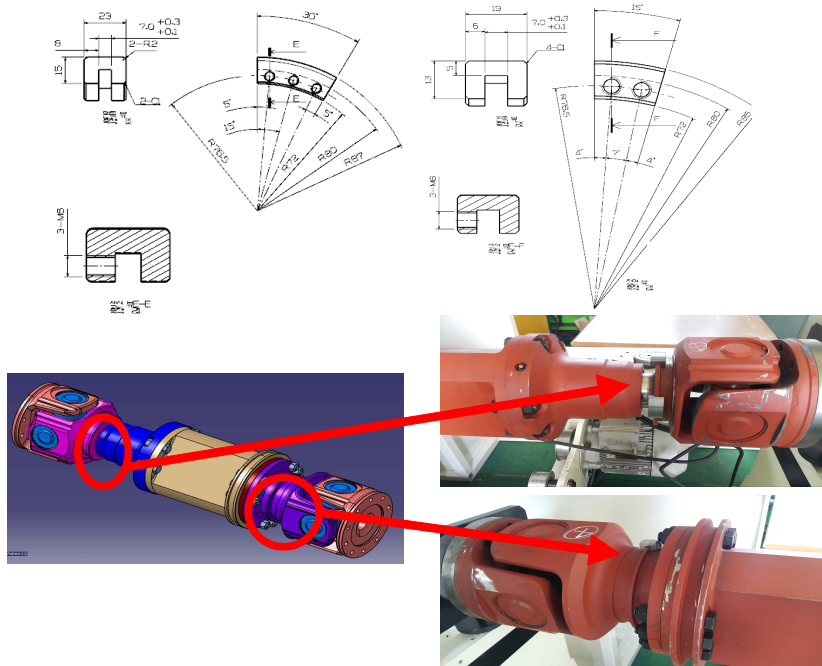
순	변수의 정의	고정 조인트	미끄럼 조인트	조립체	단위
1	U : 언벨런스량	3385.3	6155.1	9540.4	g·mm
2	G : ISO 190-1의 G값	6.3	6.3	6.3	-
3	M : 측정물의 중량	55	100	155	kg
4	N : 회전수(장축 회전수)	1000	1000	1800	rpm
5	R : 반경	80	126	103	mm
6	e : 허용잔류비율(%)	33.4	33.4	33.4	gmm/kg
7	g : 허용잔존값	42.3	48.8	91.1	gram

○ 밸런스를 만족하기 위한 Yoke부의 형상공차 정밀도 추가



(그림 90 형상공차 추가 도면(Yoke flange))

○ 밸런스 웨이트 설계



(그림 91 밸런스 웨이트 설계도면 및 부착위치)

④ 비틀림 강도, 피로수명 Up-grade

○ 샤프트의 스플라인 샷 피닝(Shot peening) 공정 추가

- 대상부품 : SHAFT (YH-TP16-201)

- 적용사양

: ARCHIGHT(만곡도) 0.2~0.4mm

: INTENSITY(강도값) 0.015~0.02A

: 샷트볼 사양 0.8mm HRC 55~60

: COVERAGE(커버리지) 200%

- 적용효과

샤프트의 Spline부 치형에 샷 피닝(Shot peening)을 추가함으로써 치형표면에 압축잔류응력을 유지시켜 약 25~30%의 피로수명 향상을 기대함

- 기술검토보고서 작성 (KTTR 17-002, 2017.03.13.)

○ 샤프트 퓨즈(Fuse) 부 곡면연마(0.1~0.2 μ m) (현 상태: Rough finishing, 1.0 ~ 1.8 μ m)

- 대상부품 : SHAFT (YH-TP16-201)

- 적용사양

곡면부 표면조도 0.1~0.2 μ m (연삭/연마)

- 적용효과

현재 수입품의 곡면부 표면은 선삭(Rough finishing)으로 종료되어 있어 표면조도는 약 1.0~1.8 μ m으로 확인되며 피로에 의한 초기 균열은 이러한 미세한 요철

(凹凸)부에서 형성되어 성장하므로 곡면부를 연삭 또는 연마공정으로 마무리함으로써 초기균열의 발생을 방지하여 약 50% 이상의 비틀림 수명향상효과가 기대됨.

○ 스플라인 및 유닛조립 공정 개선 (헐거움 조립 (Slide fitting) → 열간 압입)

- 대상부품

: SHAFT (YH-TP16-201) 와 TRIPOD UNIT (YH-TP16-201)의 조립공정

- 적용사양

: 압입공차 : $-0.05 \sim -0.02\text{mm}$, 가열온도 : 150°C 이하

- 기대효과

샤프트와 유닛의 조립공정에 현재의 헐거움 끼워맞춤(Slide fitting)에서 열간 압입으로 공정을 개선하여 유격을 최소화함으로써 초기 부하조건에서의 유동을 방지하여 마모를 최소화하고 이로 인해 비틀림 피로수명의 증가효과를 기대함

- 기술검토보고서 작성 (KTTR 18-002, 2018.03.15.)

차) 생산공정기술 Set-up

① 퓨즈(Fuse)부 곡면정밀 연마공정 적용

○ 공정형태 : 자체가공

○ 공정순서

- 샤프트 선삭 → 퓨즈부 치수검사 → 퓨즈부 연마 → 퓨즈 부 조도측정



(그림 92 샤프트 선삭 및 퓨즈 부 연마)



(그림 93 퓨즈 부 치수검사 (연마 전))



(그림 94 퓨즈 부 표면조도 측정(연마 후))

② Spline부 슛 피닝(Shot peening)

○ 공정형태 : 전문업체 외주 ((주)코텍)

○ 공정순서

- 작업 전 스플라이부 검사
: 육안검사로 치형 상태 확인



(그림 95 슛 피닝 작업 대기상태)



(그림 96 마스킹 작업) (그림 97 작업진행 중)



(그림 98 작업 완료 후 검사장면)



(그림 99 슛 피닝 후의 치형 표면상태)

○ 작업조건

관련 사진	작업 조건
	슛트 볼 타입(주강) 0.8mm HRC 55~60
	SHOT PEENING 1차 RPM : 1200 2차 RPM : 1800 각 10분간 분사

③ Spline부 열/냉간 압입 공정 적용

○ 대상부품

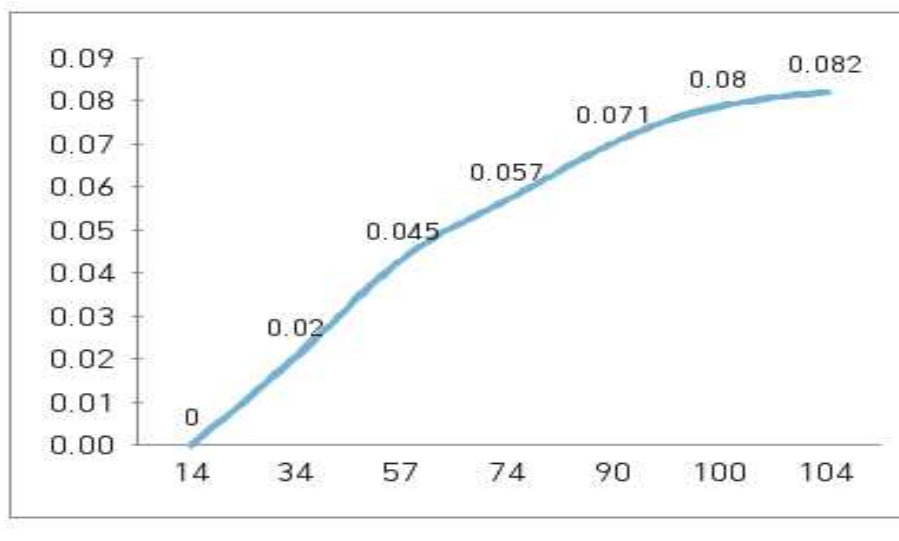
- 샤프트 (YH-TP16-201)
- 트리포드 유닛(YH-TP16-501)



(그림 100 샤프트 및 트리포드 유닛)

○트리포드 유닛 열팽창 치수 검토

- 1℃ 당 0.00091mm을 온도 상승량을 확인할 수 있음
- 현상온도 10℃를 기준으로 140℃ 까지 가열시 0.118mm 가량을 변화량을 얻을 수 있을 것으로 판단됨



(그림 101 유닛 가열에 의한 치수변화 그래프)

○ 기계가공공정 셋업

- 트리포드 유닛 내치형 표준규격 적용 및 표준공구(Broach bar) 적용
- 샤프트 외치형 냉/열간 공차 적용된 off set 공구(Hopping tool) 적용

○ 조립공정 셋업

- 트리포드 유닛을 냉/열간 후 샤프트에 압입



(그림 102 SHAFT, TRIPOD HOUSING, TRIPOD TUBE 및 LAW CLAMP 조립)

④ Universal Joint 정밀조립공정 셋업

○ Universal Joint 2차 시제 제작

- 제작수량 : 20sets (동력전달축 10sets분)



(그림 103 단조소재 형상)



(그림 104 캡, 니들베어링 및 리테이너 조립형상)



(그림 105 CAP Sub-Ass'y와 Spider 조립)



(그림 106 Universal Joint Ass'y 조립상태)

카) 2차 시제 제작

① 2차 시제 부품제작

○ 가공품 10대분 확보 완료

- Yoke Plate 등 총 12종



(그림 107 YOKE PLATE)



(그림 108 LAW CLAMP)



(그림 109 TRIPOD UNIT)



(그림 110 TRIPOD HOUSING)

○ 구매품 10대분 확보 완료

- Bearing Cap 등 총 17종



(그림 111 BEARING CAP)



(그림 112 BUSH)



(그림 113 BUSH-1)

② 2차 시제 부품검사, 조립, 도장

○ 총 8대분 추진

- 조립 : 7대분, 단품 : 1대분



○ 시험용도(6대분)

- 최대 회전각시험 : 4대
- 비틀림 성능시험 : 4대
- : 비틀림 파단시험(2대)
- : 비틀림 피로시험(2대)

③ 굽힘각 및 언밸런스 측정

○ 최대 굽힘 각

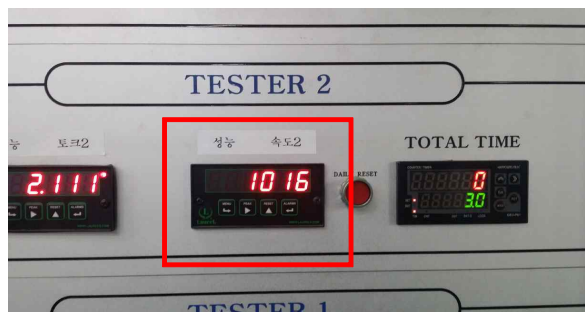
- 개발목표 만족 : 개발목표 : 8°
- 측정결과 : 8° 이상 (공인성적서 확보)



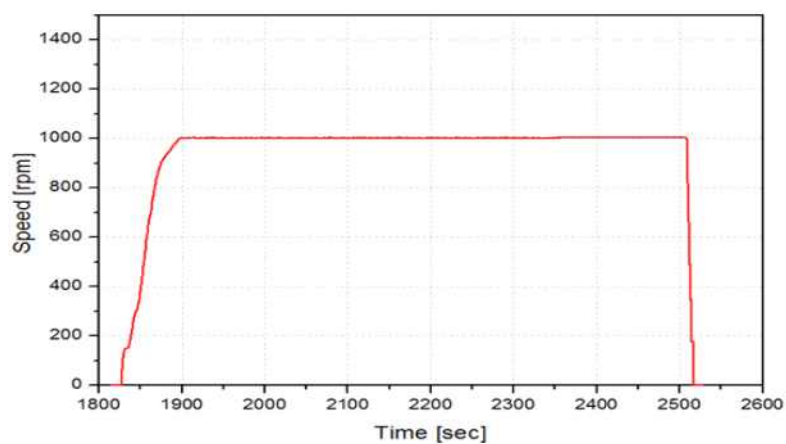
(그림 118 최대 굽힘 각 시험장면 (KIMM))

○ 최대 회전속도

- 개발목표 만족 조건
- : 개발목표 : 1,000 rpm
- : 측정결과 : 1,016 rpm



(그림 119 동력전달축의 굽힘 각도 측정 장면)



(그림 119-1 굽힘 각도 측정 회전속도 그래프)

○ 언밸런스

- 개발목표 만족 (KS B ISO 1940-1)조건

: 개발목표 : G6.3등급

: 측정결과 : G6.3등급 만족

(공인성적서 확보)



(그림 120 동력전달축의 언밸런스시험 장면)

- 참여기관(한국철도기술연구원)

타) 단품 퓨즈 개선 시제

① 시험결과를 바탕으로 재설계

○ 1차 년도 시험결과 평균 19.8, 28.3kNm에서 파단. 아래는 1차년도 조합시험 결과

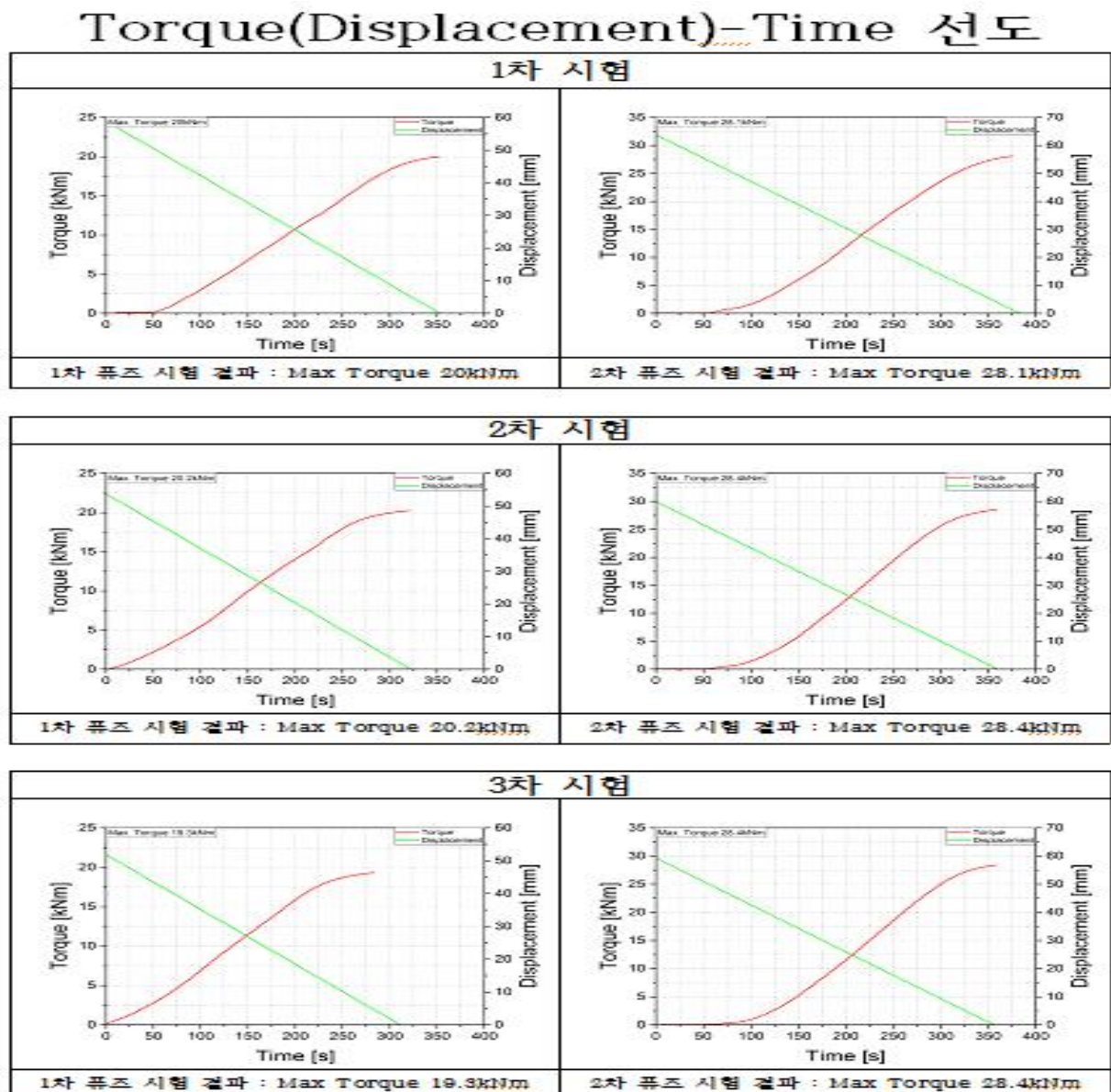


그림 121 1차년도 MSMF 비틀림시험 결과 그래프

○ 22kNm, 32kNm 기준 설계하였으므로 $22 - 19.8 = 2.2$, 3.7 가량의 여유분이 필요함

- 따라서 $22+2.2=24.2$, $32+3.7=35.7$ 이므로 24.5, 35.5kNm를 기준으로 재설계

② 제작 조건 변경 및 확보

○ 단품 퓨즈 계산공식

- 1차 퓨즈, 2차 퓨즈 각각 아래와 같이 파단하도록 단품퓨즈 조건 변경

$$F = \frac{T}{RN} = \frac{24500Nm}{0.065m \times 4} = 94230N = 94.23kN, \quad F = \frac{T}{RN} = \frac{35500Nm}{0.065m \times 4} = 136538N = 136.54kN$$

③ 단품제작 및 시험검증

○ 단품 퓨즈 튜닝 계산식 결과를 토대로 재설계 도면 작성

○ 단품 퓨즈 정하중 시험을 통한 설계 검증

- 1차 퓨즈 평균 파단 하중 100.12kN, 상대오차 6%
- 2차 퓨즈 평균 파단 하중 142.81kN, 상대오차 4.6%

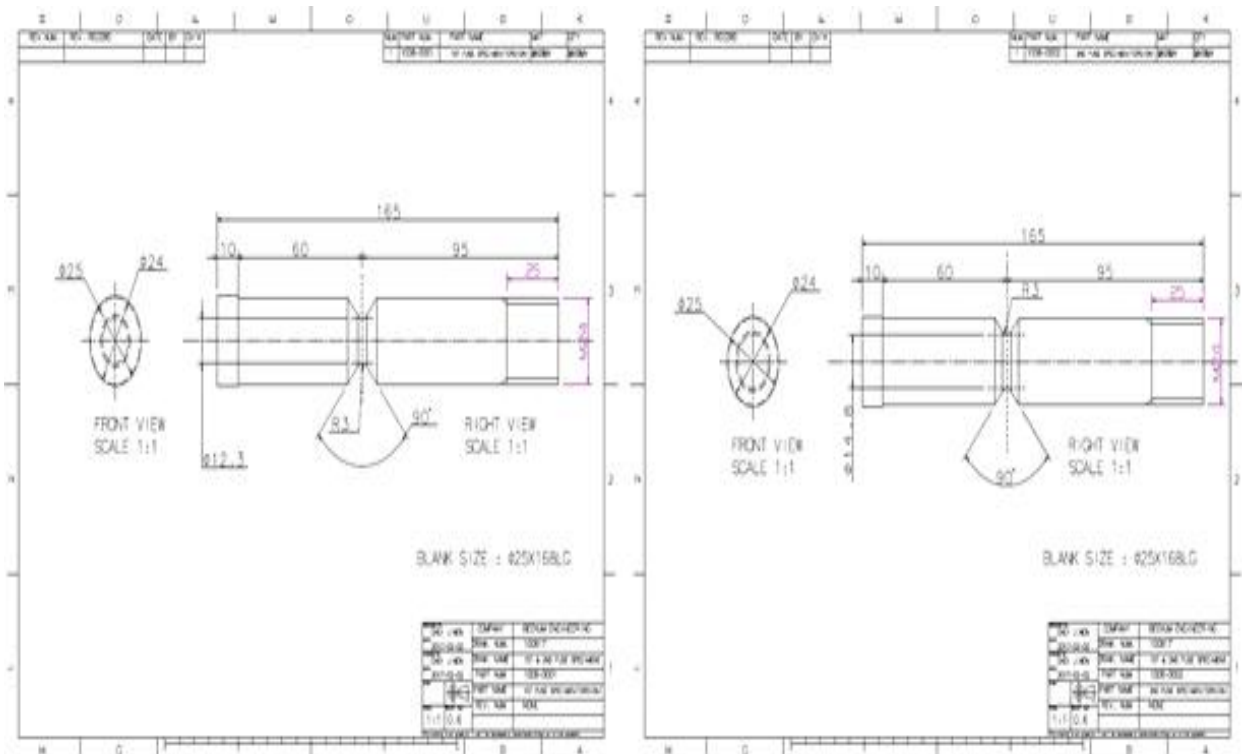


그림 122 2차년도 1, 2차 퓨즈

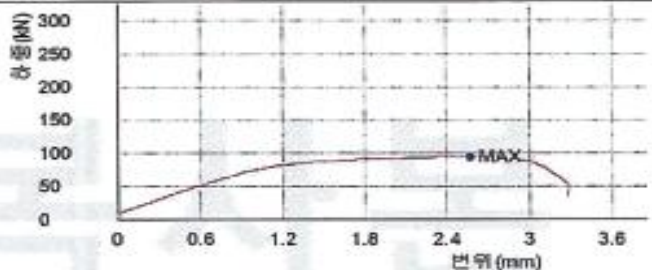
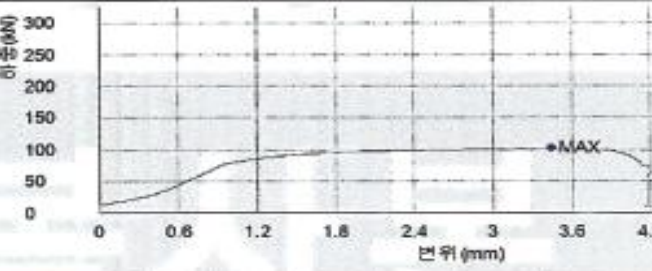
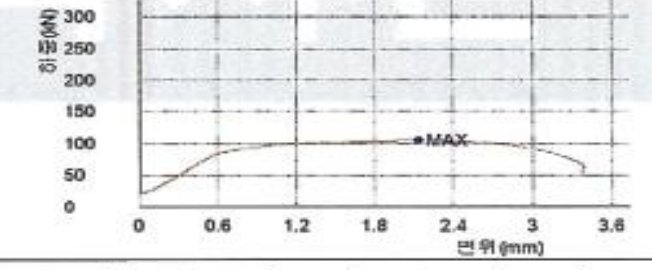
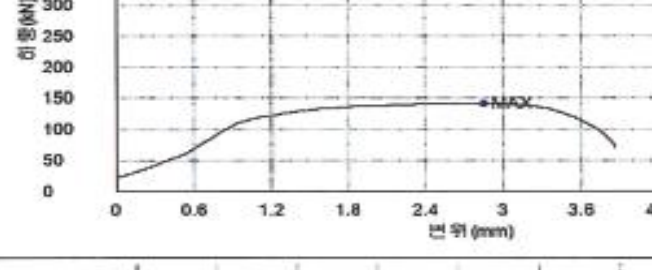
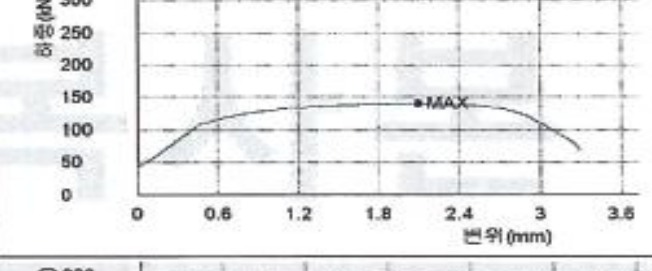
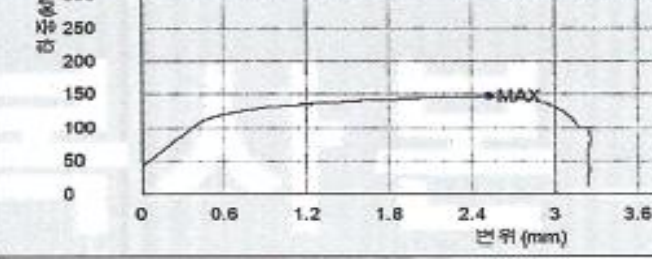
	시험 시료	24-A1
	최대 하중 (kN)	93.764
	시험 시료	24-A2
	최대 하중 (kN)	102.307
	시험 시료	24-A3
	최대 하중 (kN)	104.297
	시험 시료	24-B1
	최대 하중 (kN)	141.704
	시험 시료	24-B2
	최대 하중 (kN)	140.490
	시험 시료	24-B3
	최대 하중 (kN)	146.247

그림 123 2차년도 1차, 2차 퓨즈 전단시험 결과

파) 퓨즈 삽입부(틀) 개선시제 제작

① 강도조건 재설정

- 트리포드 구동축과 인터페이스를 고려하여 MSMF를 재설계하였음
- MSMF의 메커니즘 구동을 위한 파트가 변경되었으며 반경이 작아짐에 따른 응력 상승
- 따라서 1100Mpa로 열처리 변화로 인한 응력 한계조건 변경

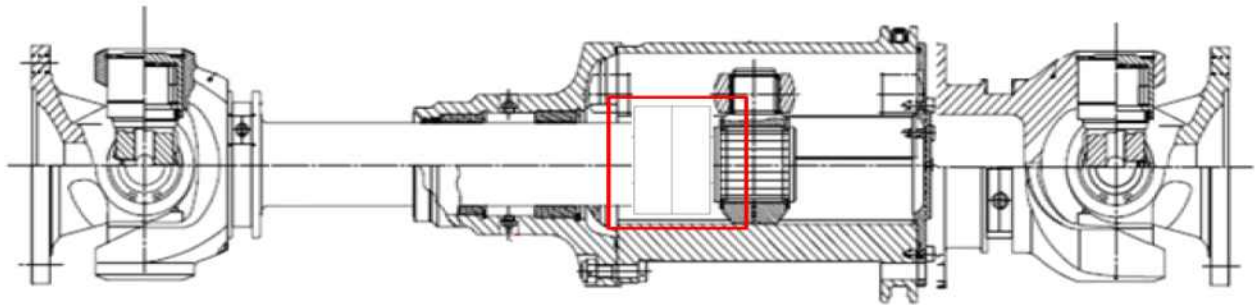


그림 124 트리포드 구동축 MSMF 장착 모사 단면도

② 삽입부 강도 해석

- 1ST FUSE PLATE 해석결과 : 703Mpa
- 2ND FUSE PLATE 해석결과 : 935Mpa
- FUSE PLATE 해석결과 : 919Mpa

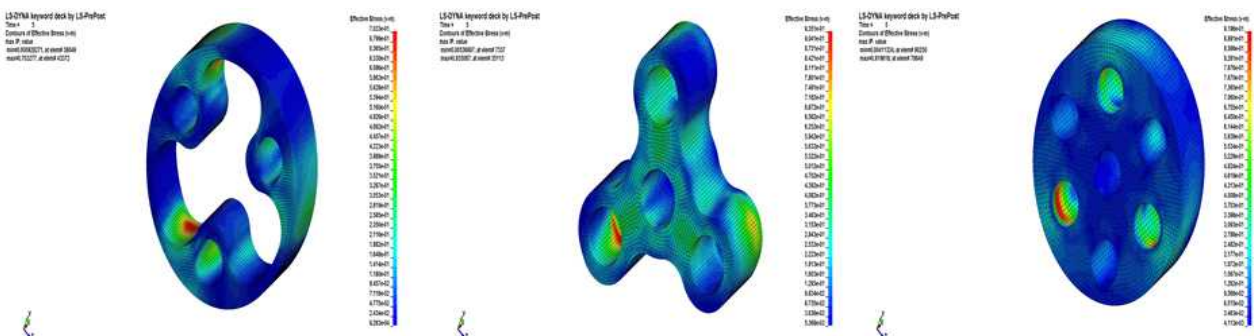


그림 125 2차년도 MSMF 해석결과

- 응력 한계조건을 1100Mpa로 설정하였으므로 안전하다고 판단되며 최대를 하중을 받는 각 파트의 부위는 1차 퓨즈플레이트를 제외하고 모두 퓨즈 삽입부 내부이므로 약간의 소성변형을 감안하여도 무관함.

③ 삽입부 설계완료

○ 강도해석 결과를 토대로한 퓨즈 삽입부 지그 재설계 도면

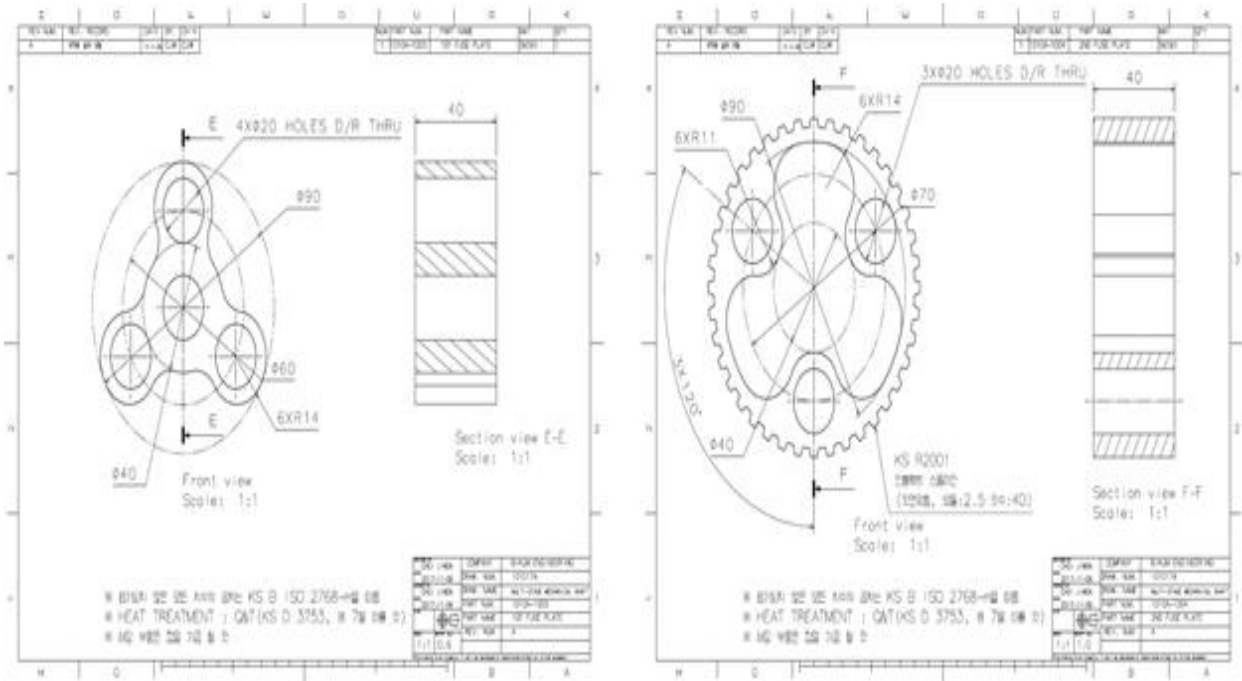


그림 126 2차년도 1차, 2차 퓨즈플레이트 도면

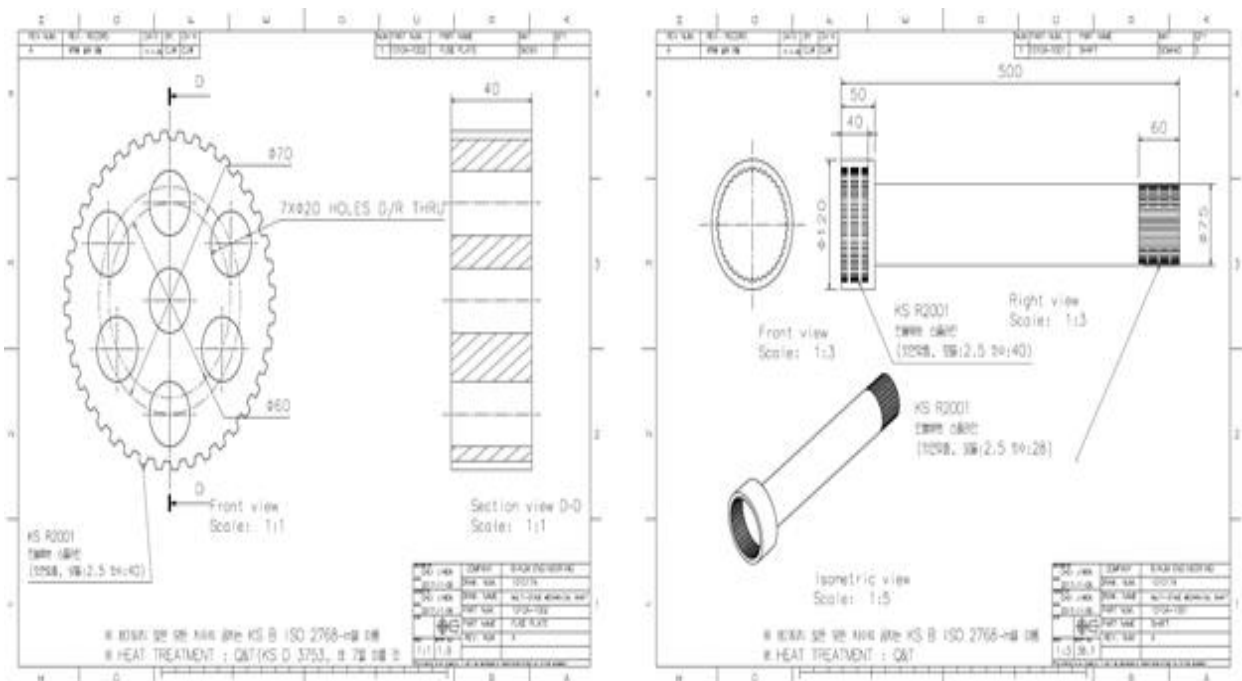


그림 127 2차년도 퓨즈플레이트, 축 도면

하) MSMF 개선시제 제작

① 개선시제를 위해 재설계

○ MSMF 개선시제 풀모델 재설계 도면

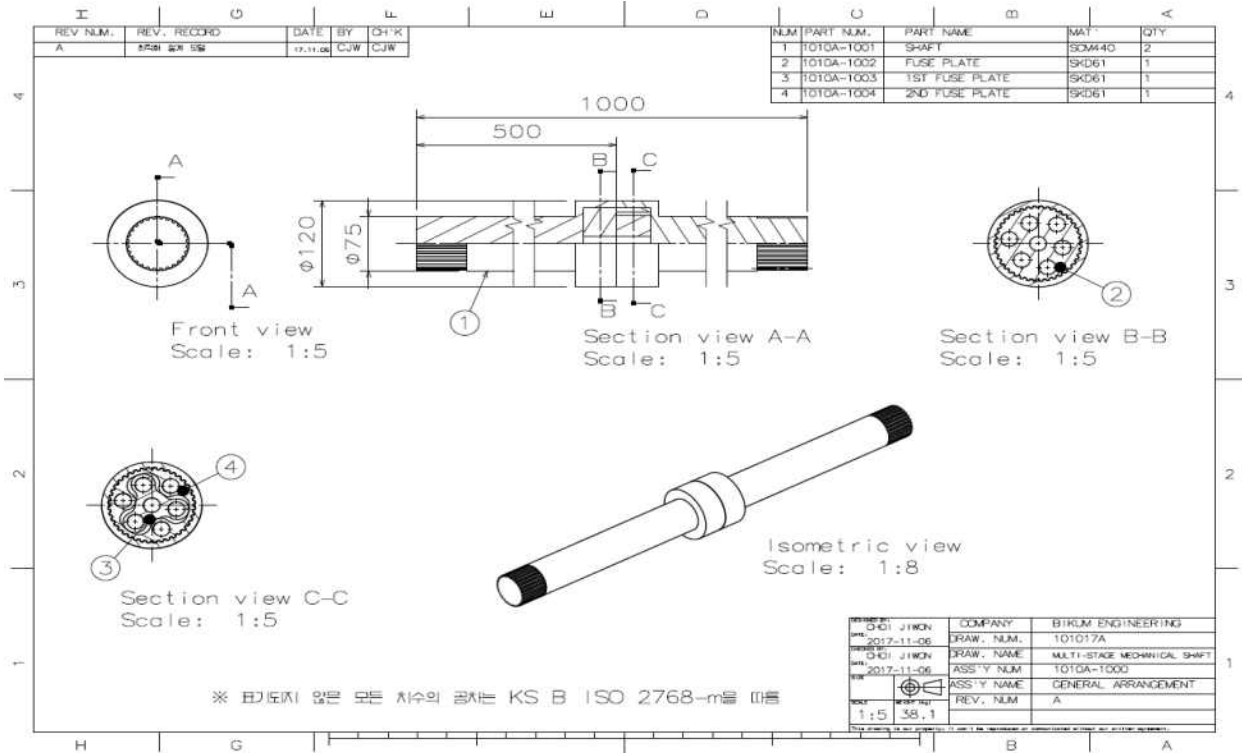


그림 128 2차년도 MSMF 전체 도면 세부정보

② 개선 서브 어셈블리 제작

○ 트리포드 구동축 인터페이스 고려한 서브 어셈블리 제작완료



그림 129 1차 퓨즈플레이트, 2차 퓨즈플레이트, 퓨즈플레이트

○ 축 지그에 결합된 MSMF 어셈블리



그림 130 트리포드 구동축 모사 지그 결합

③ 강도 및 내구성 시험평가

○ MSMF 개선시제 파단성능 계산

- 1차 퓨즈 : $T = FRN = 100120N \times 0.065m \times 4 = 26031.2Nm$
초과값이 2.5kNm이므로 $26031.2Nm - 2500Nm = 23531.2Nm$
- 2차 퓨즈 $T = FRN = 142810N \times 0.065m \times 4 = 37130.6Nm$
초과값이 3.5kNm이므로 $37130.6Nm - 3500Nm = 33630Nm$
- 1차 퓨즈 파단시험 결과 평균 23.5kNm 파단
- 2차 퓨즈 파단시험 결과 평균 33.6kNm 파단

(3차 년도)

- 주관기관 ((주)카템)

A) 시제품 신뢰성평가 준비

④ 신뢰성평가 추진 개요

○ 최종년도인 3차 년도에서는 전 평가항목에 대하여 MSMF 내장형 동력전달축 최종 시제품을 대상으로 최종평가를 실시하였다. 항목 중 최대 굽힘 각, 언밸런스 량, 최대 회전속도 및 비틀림 파단강도는 2차 년도에 개발목표치를 달성한 항목이었으나 3차 년도에 가속수명시험을 위한 시료 검증차원에서 재평가를 실시하였다.

○ 예비 비틀림 최대강도 및 최종 비틀림 파단강도는 MSMF 평가항목으로 공동연구기관인 한국철도기술연구원(KRR)에서 주관하여 한국화학융합시험원(KTR)의 입회하에 실시하였다.

○ 회전 성능 신뢰성시험은 신뢰성인증 분야에서 가장 권위 있는 한국기계연구원(KIMM/대전) 신뢰성인증센터에서 가속수명시험(ALT : Accelerated Life Test)을 수행하였다. 또한 시험비용의 부족으로 한국기계연구원(KIMM)의 협조하에 2018년도 신뢰성바우처 사업을 활용, 추진하게 되었다. 평가항목은 아래 표 7과 같다.

표 7. 개발성능목표

평가항목 (주요성능)	단위	전체항목 에서 차지하는 비중 (%)	선진국 수준 (GKN(영) 사)	개발목표치			평가방안	
				1차 년도	2차 년도	3차 년도	평가방법	공인기관
1. 최대 굽힘 각	°	10	8	5	8	8±0.1	신뢰성규격 RS-KIMM- 2010-0082	KIMM
2. 언밸런스 량	G	10	6.3	16	6.3	6.3		KIMM
3. 최대 회전속도	rpm	10	1,800	1,000	1,800	1,800		KIMM
4. 비틀림 최대강도	kN.m	10	34	30	34	34 이상		KIMM
5. 예비 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능없음	-	20이상	22±10%		KTR
6. 최종 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능없음	-	29이상	32±10%		KTR
7. 비틀림 내구수명	cycle	30	130,000	-	100,000	130,000		KIMM
8. 가속수명시험	Km	100	200,000	-	-	200,000	수요기관 (KORAIL) 요구기준 (KRCS B 349)	KIMM

㉔ 신뢰성평가 조건 및 평가기준

○ 시험기관인 한국기계연구원(KIMM/대전)의 신뢰성인증센터와의 협의하고 신뢰성 규격, RS-KIMM-2010-0082를 참고하여 신뢰성평가 기준 및 기준을 아래 표 8와 같이 정하였다.

표 8 동력전달 축 신뢰성평가 조건 및 평가기준

시험항목	시험조건	평가기준	비고
최대 굽힘 각 시험	* 최대 허용 작동 각 8° 로 고정 * 정격 속도 1,000 rpm로 10분간 회전 ※ 정격속도는 최대속도(1,800 rpm)의 0 % 적용	* 작동원활, 이상소음, 진동 및 누유 발생이 없을 것	* 시료 : 6개
언밸런스 량	* 시험장비 조정 치구에 장착 * 시험 속도는 1,000 rpm로 고정 * ISO 1940-1에 준하여 언밸런스 량 측정	* G6.3 기준을 만족하여야 한다	* 시료 : 6개
최대 회전속도	* 최대 허용 작동 각 $0\sim5^{\circ}$ 이하로 고정 * 정격 속도 1,800 rpm로 10분간 회전 ※ 정격속도는 최대속도(1,800 rpm)의 0 % 적용	* 작동원활, 이상소음, 진동 및 누유 발생이 없을 것	* 시료 : 6개
비틀림 최대강도 시험	* 트리포드 구동축의 슬라이딩 부를 시험장비에 조립 * 비틀림 속도 : 360 도/min 이하 * 작동 각 : $(0\sim5)^{\circ}$ 사이 * 시료의 소성변형 시작을 확인 * 시료가 파괴될 때까지 시험 진행 ※ 비틀림 소성 변형토크 값과 각도를 측정	* 34.0 kN·m 이하에서는 퓨즈 부 및 기타 전 부에 소성변형이 없을 것	* 시료 : 2개
예비/최종 비틀림 파단시험	* 시료에 부착된 스트레인게이지의 값 초기화 및 변형률 데이터 기술 시작 * 성능시험기의 로드 셀 하중 값 초기화 * 시험 속도 10mm/min 으로 퓨즈 파단 시까지 하중 부가 * 퓨즈가 파단하면 하중 제거	* 1차 퓨즈(예비) 파단토크 22 kN.m $\pm$ 10% 일 것 * 2차 퓨즈(최종) 파단토크 32 kN.m $\pm$ 10% 일 것	* 시료 : 2개
비틀림 내구수명	* 트리포드 구동축의 슬라이딩 부를 시험장비에 조립 * 정 방향으로 정격토크 100 % 인가 후 부하 제거를 1 사이클로 함 * 작동 각 : $(0\sim5)^{\circ}$ 사이 * 적용 토크 : 13.5 kN·m * 토크파형 : 정현파 (사인곡선) * 반복속도 : 2 Hz 이하 * 파괴될 때까지 시험	* 비틀림 파괴 회전수가 1.3×10^5 사이클 이상일 것	* 시료 : 2개
가속 수명시험	* 시험 속도 : 정격 속도의 30 % * 시험 부하 : 정격 토크의 35 % * 작동 각 : $(0\sim5)^{\circ}$ 사이 * 수명 시험 전과 완료 후에 종합 성능 시험을 실시한다. * 총 수명 시험 시간의 50 % 구간에 서 대표 성능 시험을 실시한다.	* 종합 성능 시험 및 대표 성능 시험의 평가 기준을 모두 만족하여야한다. * 시료 2개를 200,000 km 까지 가속 수명 시험 한 후, 2 개 모두 고장 없고 종합 성능 시험의 평가기준을 만족하여야 한다.	* 시료 : 2개

© 신뢰성평가 절차

(가) 시험소 환경 시험 장소의 조건에 대한 별도로 규정이 없으면 KS A 0006의 상온·상습 상태에서 시험을 수행한다.

① 상온 : $(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$

② 상습 : $(65 \pm 20) \%$

(나) 시험 장치 성능 시험 및 수명 시험 장비는 그림 131 및 132와 같이 구성한다.

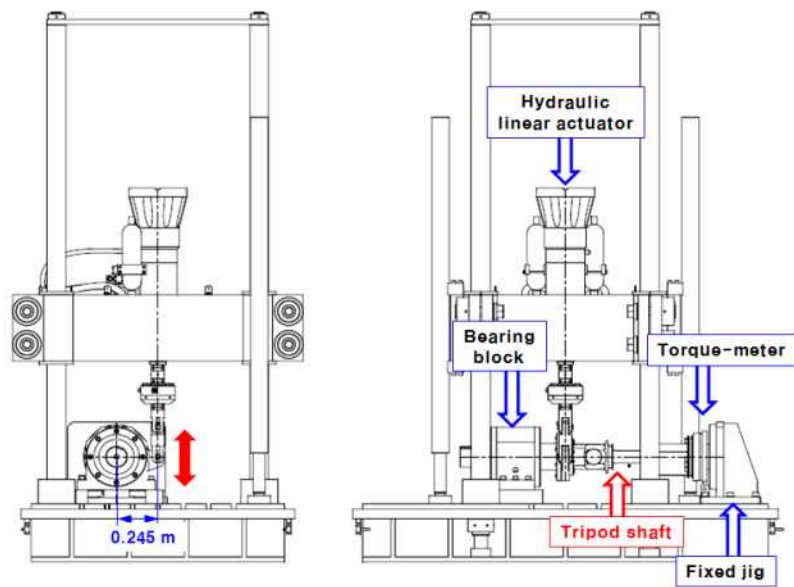


그림 131 비틀림 특성시험을 위한 압축·인장시험기

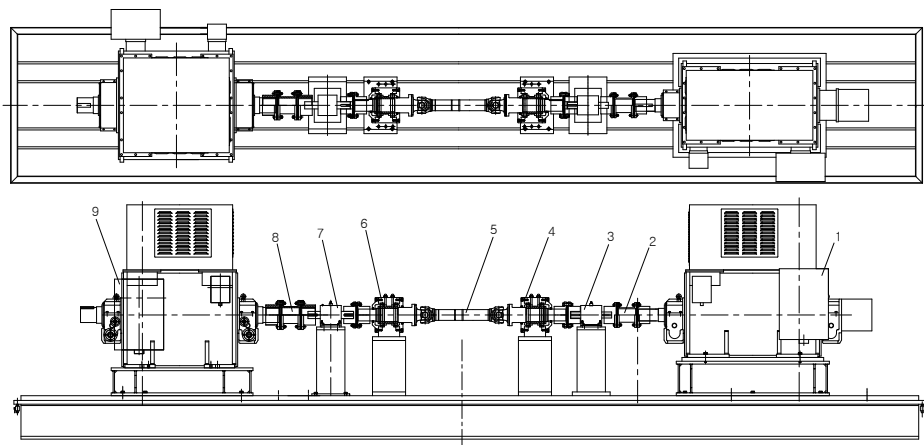


그림 132 동력전달축 가속수명 시험 장비

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1. 입력축 다이내모미터 | 2. 입력축 커플링 | 3. 입력축 토크미터 |
| 4. 입력축 베어링 블록 | 5. 동력전달축 | 6. 출력축 베어링 블록 |
| 7. 출력축 토크미터 | 8. 출력축 베어링 블록 | 9. 출력축 다이내모미터 |

(2) 성능 시험 절차

(가) 최대 굽힘 각 시험

- ① 동력전달 축을 종합 성능 시험 장비 고정 치구에 장착한다.
- ② 작동 각은 최대 허용 작동 각으로 조정한다.
- ③ 회전 속도는 도면에 표기된 정격 속도로 10분간 회전시킨다.
- ④ 동력전달축이 정상적으로 작동하는지 여부를 확인한다.
- ⑤ 허용 작동각과 정상 작동 여부를 기록한다.

(나) 비틀림 최대강도 시험

- ① 동력전달축(슬라이딩 부)을 비틀림 성능시험장비 고정 치구에 장착한다.
- ② 작동각은 $(0 \sim 5)^\circ$ 사이로 한다.
- ③ 비틀림 속도는 $360^\circ/\text{min}$ 이하로 한다.
- ④ 동력전달축을 일정 방향으로 정격토크 이상으로 파단 될 때까지 비틀어서 시험하고, 파단 토크 값을 기록한다.

(다) 비틀림 내구성 시험

- ① 동력전달축(슬라이딩 부)을 비틀림 성능시험 장비 고정 치구에 수평으로 설치한다.
- ② 작동각은 $(0 \sim 5)^\circ$ 로 고정한다.
- ③ 토크 파형은 정현파로 한다.
- ④ 반복 속도는 2 Hz 이하로 한다.
- ⑤ 정방향으로 정격토크의 100 %를 인가 후, 부하 제거하는 것을 1사이클로 하여 1.3×10^5 사이클 까지 시험한다.

(라) 기속수명시험

- ① 수명시험 장비에 시료 2개를 직렬로 설치한다.
- ② 각 시료의 한쪽 끝을 44.23 mm 올려 인위적으로 작동각을 만들어 준다.
- ③ 회전속도는 800 r/min, 토크는 정격토크의 100 %를 시료에 인가하여 시험한다.
- ④ 수명 시험 중 성능 열화를 확인하기 위해서 수명 시험 전과 완료 후에는 종합 성능 시험을 실시하여 평가 기준을 모두 만족하여야 하며, 수명시험 50% 구간에서는 대표 성능 시험을 실시하여 평가 기준을 만족하여야 한다.

※ 신뢰성시험의 세부 평가절차서는 성과 점검기준 표 (증빙 C-1) 시험평가 기준 서에 상세히 설명하였다,

㉔ 신뢰성평가용 시료 준비

○ 아래 표 9에서 신뢰성시험 시료 수량과 시험항목별 시료의 번호를 정리하였다. 시료 수량은 총 7sets로 시료 #1, 2로 최대 작동 각, 언밸런스 량, 최대회전속도 시험을 2sets 동일 시료로 시험하였으며 이 파손시험이 아니므로 이 시료로 비틀림 최대강도 시험도 실시하였다. 그리고 파손시험인 비틀림 내구수명시험은 시료#3, 4로 시험하였고 가속수명시험은 시료 #5, 6으로 수행하였으며 시료 #7은 예비로 활용하였다. 단 7sets 전 시료에 대하여 언밸런스시험을 예비시험으로 진행하였다.

표 9 시제품 시료별 시험항목

번호	시료 번호	시험항목						비고
		최대 작동각 시험	언밸런스 량 시험	최대 회전속도 시험	비틀림 최대강도 시험	비틀림 내구수명 시험	가속 수명시험	
1	#1	●	●◎	●	●			
2	#2	●	●◎	●	●			
3	#3		◎			●		
4	#4		◎			●		
5	#5		◎				●	
6	#6		◎				●	
7	#7		◎					예비

주) 범례 : ◎ 예비 시험(언밸런스 량 시험). ● 공인시험

○ 아래 그림 133은 7sets의 시료 중 신뢰성평가용 시료(번호 #1~7)을 보여주고 있다. 그리고 아래 표 10은 시제품 단품 상태를 그리고 표 11은 시제품 조립단계이다. 또한 그림 134는 시제 가 조립품 도장단계 이다.



그림 133 신뢰성평가용 시료(시료 # 1~7)

표 10 동력전달 축 부품 상태



트리포드 조립용 치구



TRIPOD SHAFT



TRIPOD HOUSING



LOW CLAMP



YOUK PLATE



SHAFT & HOUSING



TUBE



COVER



BUSING-1



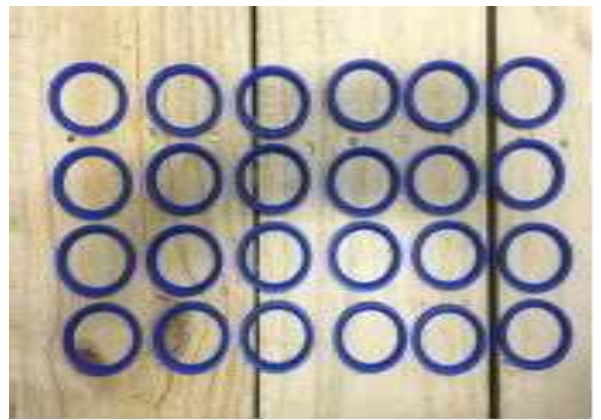
BUSING-2



UNIT



BEARING CAP



RING-1



RING-1



표 11 동력전달 축 시제 조립 단계

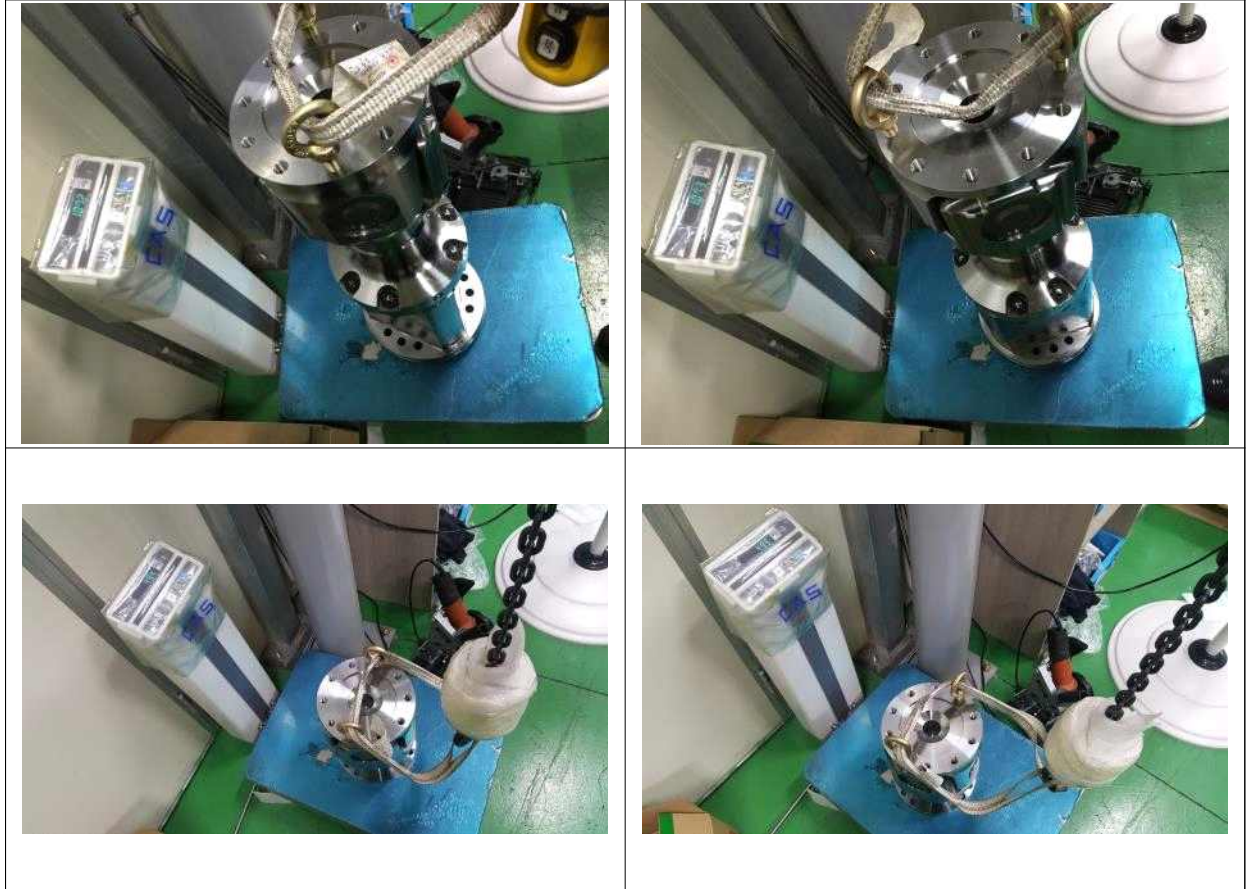


그림 134 동력전달 축 가 조립품 도장상태

㉔ 신뢰성평가 예비시험 (언밸런스 시험)

○ 공인기관 신뢰성평가를 위하여 사전 예비시험으로 준비된 시료 전량을 전문 업체에 의뢰하여 한국기계연구원(KIMM) 입회하여 언밸런스 시험을 실시하였다

- 시험기간 : 2019.01.27.~01.28
- 시험업체 : 세원발란싱 (부산소재)
- 시료수량 : 신뢰성시험용 1차 4sets
- 시험기준 : KS B ISO 1940-1

○ 언밸런스 시험결과는 최초 언밸런스 상태에서 밸런스 웨이트를 부착하여 질량의 불균형 제거 즉, 밸런스 작업 후 최종상태 값을 확인하는 과정으로 진행되며 KS B ISO 1940-1 기준 G6.3 수준에 해당되는 잔존 값(g)을 계산하고 이를 기준으로 실제 잔존 값을 확인한 것으로 시험결과를 아래 표 12에 정리하였다

○ 아래 표에서 보듯이 시료 4sets 모두 G6.3 에 해당되는 요구 잔존 값을 모두 만족하도록 밸런스 작업이 완료되었음을 알 수 있다. 아래 그림 135는 예비 언밸런스작업 모습을 보여주고 있다. 시험성적서는 첨부#1 언밸런스 예비시험 성적서에 첨부하였다.

표 12 언밸런스 예비시험결과

단위 : g

시료 구분	요구규격(Spec.)	단위	좌측(L)	우측(R)	만족 여부	비고
			22.8	40.3		
	시험결과(Act.)		-	-		
시료 #1	-	g	14.2	19.2	만족	* 공인시험을 위한 예비시험 * 한국기계연구원(KIMM) 입회
시료 #2	-		9.5	11.7	만족	
시료 #3	-		11.0	18.0	만족	
시료 #4	-		11.9	12.4	만족	

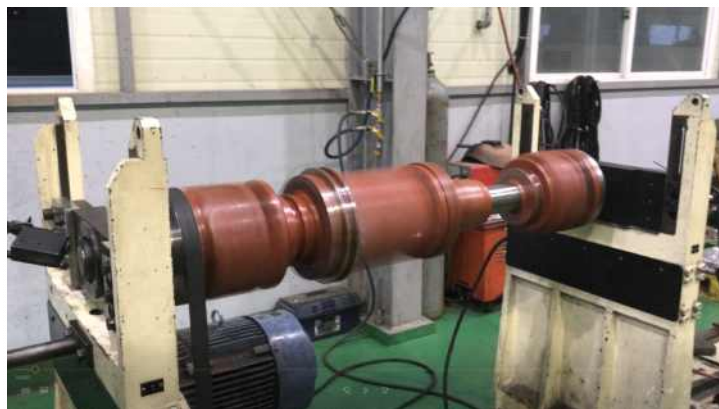


그림 135 예비 언밸런스 시험

B) 신뢰성평가 결과 (첨부#1 참조)

- 시험기간 : 2018.08.16.~2019.02.22.
- 시험장소 : 한국기계연구원(KIMM/대전) 신뢰성인증센터
- 시험항목 : 최대 곱힘 각, 언밸런스 량, 최대회전속도, 비틀림 최대강도
비틀림 내구수명

㉠ 최대 곱힘각시험

○ 최대 곱힘각은 아래 그림 136에서 보는 바와 같이 모터 블록을 수직방향으로 상승 시킬 수 있도록 제작하여 8° 구현할 수 있도록 하고 1,000rpm 구동에 간섭이나 소음이 없는 지를 감각적으로 확인 하였다. 그 결과 8° 에서 10분간 구동하는 동안 이상소음, 진동 및 누유현상이 발견 되지 않아 요구조건을 시료 2sets 모드 만족하였다. 그 결과를 아래 표에 정리하였다.

시료 구분	단위	요구조건 (Spec.)	평가결과 (Act.)	만족 여부	비고
시료#1	$^{\circ}$ (Degree)	8 ± 0.1	7.92	만족	첨부#1 성적서 참조
시료#2			7.96	만족	

㉡ 최대 회전속도 시험

○ 1,800rpm에서 10분 동안 구동결과 역시 작동원활하고 이상소음, 진동 및 누유발생이 없었으며 그 결과를 표에 나타 내었으며 2차 년도 1,000rpm 구동에 비해 향상되었다.

시료 구분	단위	요구조건 (Spec.)	평가결과 (Act.)	만족 여부	비고
시료#1	rpm	1,800	이상 없음	만족	첨부#1 성적서 참조
시료#2			이상 없음	만족	

주) 요구 조건 : 1,800rpm에서 10분 작동 시 작동원활, 이상소음, 진동 및 누유발생이 없을 것



그림 136 최대 곱힘 각 및 최대 회전속도 시험

◎ 언밸런스 시험

○ 시료 #1, 2 에 대하여 최대 굽힘 각 시험과 최대 회전속도 시험에 이어 언밸런스량 시험(잔류 허용 불평형 시험)을 실시하였다.

○ 시험조건은 다음과 같다

- 시험 속도는 1,000rpm에서 측정하였다.
- 시험규격은 KS B ISO 1940-1에 준하여 수행하였다.
- KS B ISO 1940-1 규격상의 G6.3 수중은 잔존값(g)이 좌측은 23.5g, 우측은 41.6g을 만족하여야 한다.

○ 시험결과 시료 #1은 좌측 11.0g, 우측은 18.0g을, 그리고 시료 #2는 좌측이 11.9g, 우측이 12.4g으로 측정되어 두 시료 모두 양측 다 요구조건인 좌측 23.5g, 우측 41.6g을 만족하였다. 그 시험결과를 아래 표에 정리 하였다.

시료 구분	요구규격(Spec.)	단위	좌측(L)	우측(R)	만족 여부	비고
	시험결과(Act.)		23.5	41.6		
시료 #1	-	g	11.0	18.0	만족	첨부#1 성적서 참조
시료 #2	-		11.9	12.4	만족	

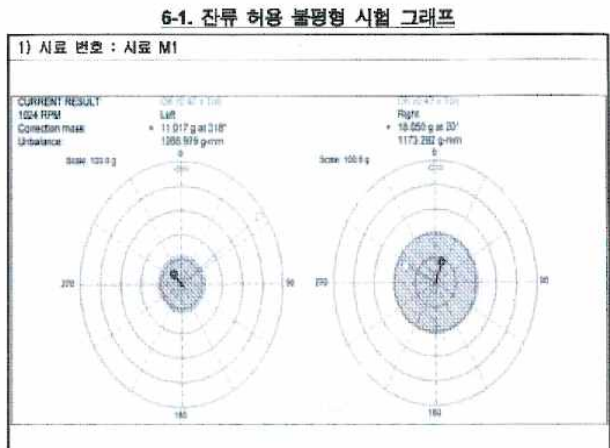


그림 137 언밸런스 량 시험

○ 3차 년도의 언밸런스 량 시험결과 2차 년도의 G16 수준보다는 훨씬 향상된 결과를 얻게 되었으며 이는 설계단계에서부터 정밀하게 형상공차를 적용하고 시제제작 공정의 개선을 통하여 제품의 가공수준을 향상 시킨 결과로 향후 제품의 신뢰성 확보에 상당한 효과가 있을 것으로 판단된다.

⑩ 비틀림 최대 강도시험

- 시료 #1, 2 에 대하여 최대 굽힘 각 시험과 최대 회전속도 시험 및 언 밸런스 량 시험(잔류 허용 불평형 시험)에 이어 비틀림 최대 강도시험을 실시하였다.
- 시험조건은 다음과 같다
 - 동력전달 축의 작동 각을(0-1)^o로 고정치구에 설치한다.
 - 비틀림 속도는 10^o/min 이하로 한다.
 - 동력전달 축을 한쪽 방향으로 34,000 N.m까지 비틀어 시험한 후 부하를 제거하고 동력전달 축의 이상 유무를 확인 한다.
- 시험결과 시료 #1의 소성변형이 발생하는 한계토크는 34.021Nm, 시료#2가 소성변형이 발생하는 한계 토크는 34,093 Nm로 다행이 요구조건인 34,000 Nm를 모두 만족하였다. 그 시험 결과를 아래 표로 나타내었다.

시료 구분	단위	요구조건 (Spec.)	평가결과 (Act.)	만족 여부	비고
시료#1	Nm	34,000	34.021	만족	첨부#1 성적서 참조
시료#2		이상	34.093	만족	

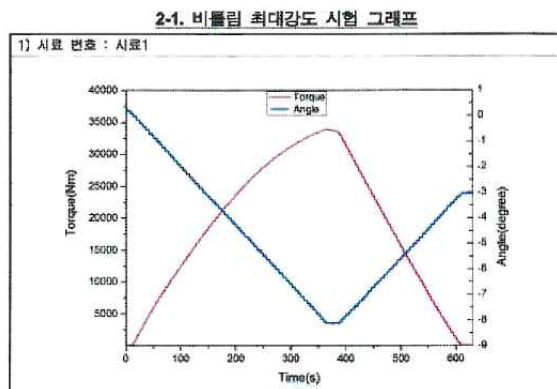


그림 138 비틀림 최대강도 시험

- 이번 시험에서 평가항목인 비틀림 최대토크를 넘어 파단 될 때까지 비틀림 하중을 가하여 파단토크를 측정해 보았다. 측정결과 시료 #1은 42,460 Nm에서 그리고 시료 #2는 42,050Nm 에서 판단되어 최대토크와는 확실한 격차를 보였다. 따라서 사용상의 최대토크는 코레일 자료에 의하면 12,500~13.500 정도로 안전율이 약 3정도 인 것으로 판단된다.
- 상용차량용 동력전달축의 파단토크가 최대 10,000 Nm임을 고려할 때 역시 고속철도(KTX)용 동력전달 축은 상당히 고 토크의 동력전달 축임이 확인되었다.

㉔ 비틀림 내구수명 시험

- 비틀림 내구수명 시험은 파손시험이므로 시료 #3, 4 로 시험하였으며 사전 언밸런스 시험을 수행하여 제품의 안정성을 확보하였다.
- 시험조건은 다음과 같다
 - 동력전달 축의 슬라이딩 부를 비틀림 시험장비에 수평으로 장착한다.
 - 동력전달 축의 작동 각을(0-1)°로 고정치구에 설치한다.
 - 비틀림 속도는 10°/min 이하로 한다.
 - 파단토크는 정형파 (사인파)로 한다.
 - 피로시험의 비틀림 반복속도는 2Hz로 한다.
 - 동력전달 축을 한쪽 방향으로 12.5 kN.m 토크 인가 후 제거하는 것을 1 cycle로 하여 1.3×10^5 cycle 이상 시험하고 5,000cycle 마다 동력전달 축의 이상 유무를 확인 한다.
- 시험결과 시료 #4의 170,800cycle 까지이상 이상이 확인되어 요구조건인 130,000 cycle를 만족하였다. 그 시험 결과를 아래 표로 나타내었다. 시험일정상 시요구조건 만족함을 확인하고 중단하였다.

시료 구분	단위	요구조건 (Spec.)	평가결과 (Act.)	만족 여부	비고
시료#4	cycle	130,000 이상	170,800	만족	첨부#3 성적서 참조

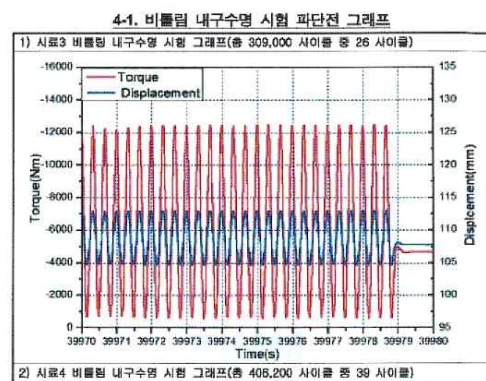


그림 140 비틀림 내구수명 시험

- 이번 시료에서는 샤프트 제작과정에서 퓨즈의 노치 부에 Rough finish 상태를 개선하기 위하여 곡면 부 연마공정을 추가하였을 뿐만 아니라 스플라인부의 피로수명을 개선하기 위하여 샷 피닝(Shot peening) 공법을 추가하고 트리포드 유닛의 샤프트 조립 시에 헐거운 끼워 맞춤을 개선하여 열간 압입 공정을 적용하는 등의 노력의 결과를 2차 년도에 100,000cycle 보다 훨씬 개선된 결과를 얻게 되었다. 시험일정상 시요구조건 만족함을 확인하고 중단하였으나 계속 시험을 진행하여 시에는 보다 높은 내구수명을 확보할 수 있을 것이다.

㉞ 가속수명시험결과

- 최종 시제품을 대상으로 한국기계연구원(KIMM) 신뢰성인증센터에서 신뢰성규격 RS-KIMM-2010-0082을 기준으로 2개의 시료에 대하여 가속수명시험(ALT)을 수행하였다.

- 시험기간 : 2019년 03월 06일 ~ 03월 22일
- 시험규격 : 신뢰성규격 RS-KIMM-2010-0082
- 시험기관 : 한국기계연구원(KIMM/대전) 신뢰성인증센터
- 시료수량 : 2sets (시료#5,6)

- 시험조건은 다음과 같다

- 수명시험 장비에 시료 2sets를 직렬로 연결하였다 (그림 144 참조)
- 작동 각(8°)를 구현하기 위하여 중간 베어링 블록의 높이를 44.23mm 올렸다.
- 그림 141 의 시험 모드와 같이 정격토크의 100%(12.5 kN.m)와 800 r/min으로 100km, - 800 r/min으로 가동하는 것을 1주기로 수명시험을 반복하였다.
- 시료 2sets를 6.3×10^3 km (200 km x 31.5회)까지 이상 없이 가동하면, 신뢰성 수준 70%에서 B_5 수명 2.0×10^5 km를 보장한다.

※ KTX는 통상 6개월에 200,000 km를 주행하므로 2.0×10^5 km는 6개월간의 주행거리로 6개월 주행간 동력전달축의 불량확률은 5%로 추정할 수 있다.

- 아래 그림 141 은 동력전달 축 가속수명시험의 1주기를 그래프로 나타내고 있다.

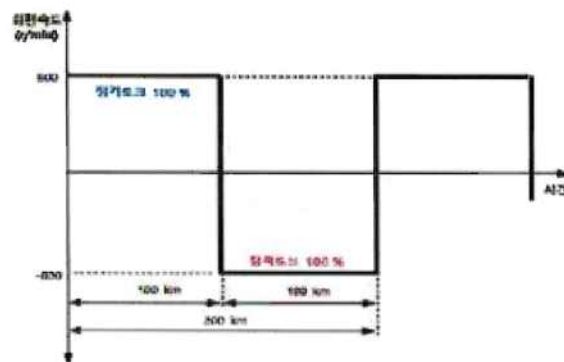


그림 141 가속수명시험 시험 모드(1주기)

- 가속수명시험 완료 후 2sets 모두 외관상으로는 이상 현상이 없었으며 시험 중 및 시험종료 시까지 이상소음 및 진동이나 누유현상이 전혀 발생하지 않았다. 또 시험완료 제품을 시험장비에서 탈거하고 제품을 분해하여 MSMF등 주요 기능 품을 확인해 본 결과도 그림 142와 143에서 보는 것과 같이 전혀 문제가 없었다.



그림 142 시료 #5 MSMF

시료 #5의 MSMF의 내부 상태로 심한 마모현상이나 파손부위가 없음을 확인 함



그림 143 시료 #6 MSMF

시료 #6의 MSMF의 내부 상태로 심한 마모현상이나 파손부위가 없음을 확인 함

- 따라서 가속수명시험결과 시료 2sets가 모두 만족하는 결과를 얻었으며 그 결과를 아래 표 13에 정리하여 나타내었다.

표 13 가속수명시험 결과

시료 구분	단위	요구조건 (Spec.)	평가결과 (Act.)	만족 여부	비고
시료#5	km	200,000	6,400 (2.0x10 ⁵ km 상당)	만족	첨부#4 성적서 참조
시료#6			6,400 (2.0x10 ⁵ km 상당)	만족	

- 그림 144는 가속수명 시험용 동력전달 축 시료를 그리고 그림 145는 한국기계연구원 가속수명시험 장면을 보여주고 있다.



그림 144 가속수명시험 시료 (수료 #5, 6)



그림 145 동력전달 축 가속수명시험 장면

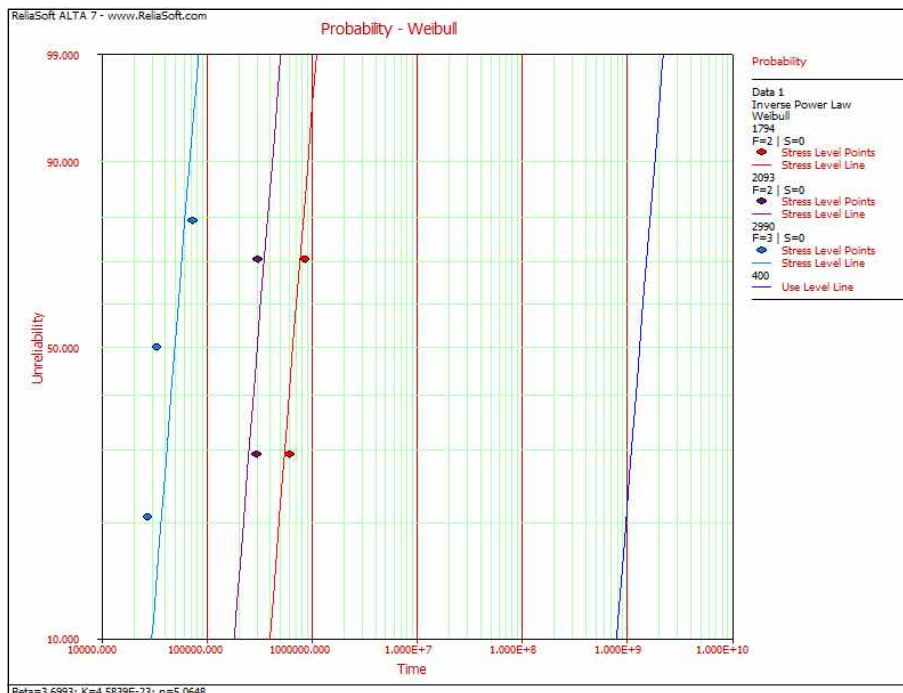
- 이번 고속철도(KTX)용 동력전달 축 (트리포드 구동축)의 가속수명시험은 현재 동력전달 축에 대한 연구가 국내연구가 전혀 진행되고 있는 않는 즉, 고속철도(KTX)용 동력전달 축 개발의 불모지라고 해도 과언이 아닌 국내 어려운 여건 속에서 이루어 낸 의미 있는 성과라 아니할 수가 없다. 특히 고속철도(KTX)용 동력전달 축 국산화개발 자체가 국내 최초라는 점에서 더욱 더 큰 의미가 있다고 믿어 의심치 않는다. 이번 고속철도(KTX)용 동력전달 축은 세계기술을 선도할 수 있는, 그리고 국내 고유 모델인 MSMF(다단계 기계식 퓨즈)를 내장하고 있는 고성능 동력전달 축으로 동력전달 축 자체의 성능개선을 넘어서서 성능고도화를 실현한 제품으로 이번 가속수명시험을 통하여 어느 정도의 신뢰수명을 검증할 수 있는 좋은 계기가 되었다.
- 이번 가속수명시험의 의미는 고속철도(KTX)용 동력전달 축이 약 6개월간 (통상 운행거리 200,000km) 정상 주행하는 동안 MSMF 내장형 동력전달축의 고장확률이 5% 이내라는 것을 추정할 수가 있는 의미 있는 결과이다.
- 현재 고속철도(KTX)용 동력전달 축에 대한 성능시험규격이 제정되어 있지 않은 상황으로 당사는 이번 동력전달 축의 가속수명시험을 통하여 고속철도(KTX)용 동력전달 축에 대한 신뢰성시험 규격을 제정할 수 있는 기준을 제정하였으며 이는 향후 고속철도(KTX)용 동력전달 축의 정규 신뢰성 규격 제정에 밑거름이 될 것으로 판단된다.
- ㈜카템은 공동연구기관인 한국철도기술연구원(KRRI)와 협력하여 국내에서 신뢰성 분야에 가장 권위 있는 한국기계연구원(KIMM)신뢰성센터의 신뢰성시험 결과를 바탕으로 수요기관인 한국철도공사(Korail)의 협조 하에 국산품 채택의 최종단계인 현차시험을 추진 할 예정이며 이를 통하여 사업화에 성공하고자 한다.

㉔ 신뢰성 수준의 기준 및 근거제시

○ 수명 시험

고속철도용 동력전달 축의 보증수명은 신뢰수준 70 %에서 B_5 수명 2.0×10^5 km로 한다. 또한, 동력전달 축의 수명 분포는 와이블 분포를 따르고, 주 고장 모드는 주축의 스플라인 파손으로 “대형 차량용 동력 전달 축의 가속수명시험 평가에 관한 연구”의 시험결과인 형상모수(β) 3.7을 인용하여 적용한다.

참 고 김도식, “대형 차량용 동력 전달 축의 가속수명시험 평가에 관한 연구”, 충남대학교 박사논문, 2017



(형상모수 분석 결과 그래프)

○ 무고장 시험 시간 산출

신뢰성 평가 기준에서 규정된 동력전달 축의 수명 2.0×10^5 km(B_5 수명)을 보장하기 위한 무고장 합격 기준을 만족하는 시험 시간의 계산은 다음에 따른다.

- 수명 분포 : 형상모수(β)가 3.7인 와이블(Weibull) 분포
- 보증 수명 : B_5 수명 2.0×10^5 km
- 신뢰 수준 : 70 %
- 시 료 수 : 2개
- 무고장 시험 시간(t_n) :

$$t_n = B_{100p} \cdot \left[\frac{\ln(1-CL)}{n \cdot \ln(1-p)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$= 2.0 \times 10^5 \cdot \left[\frac{\ln(1-0.7)}{2 \cdot \ln(1-0.05)} \right]^{\frac{1}{3.7}} = 389\,126.8 \text{ km}$$

여기에서 t_n : 무고장 시험 시간

B_{100p} : 보증 수명

CL : 신뢰 수준(confidence level)

n : 시험 중인 전체 아이템의 개수(시료수)

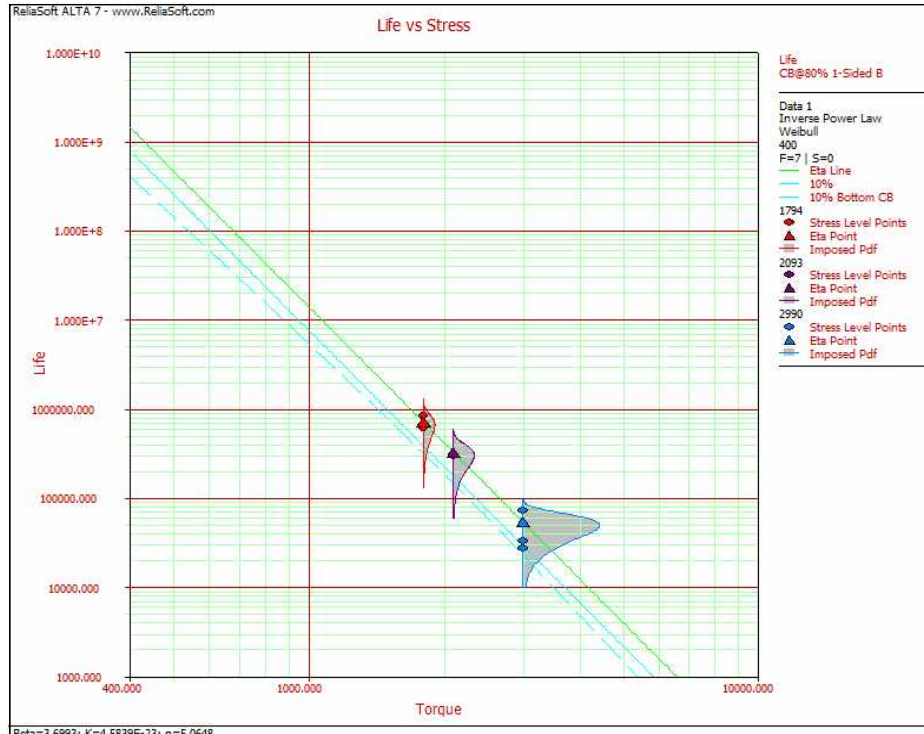
p : 불신뢰도(B_5 수명이면 $p = 0.05$)

β : 형상 모수

○ 가속 수명 시험

동력전달 축의 주 고장 모드인 스플라인 파손의 가속을 위해 가속인자를 토크로 선정하였으며, 가속모형은 역승모형으로 한다. 고속열차 운행 시 동력전달 축에 걸리는 등가토크는 정격토크의 44.47 %, 가속시험을 위한 등가토크는 정격토크의 100 %로 결정하였다. 또한 가속지수 5.1은 다음의 참고문헌에서 인용하여 적용한다.

참 고 김도식, “대형 차량용 동력 전달 축의 가속수명시험 평가에 관한 연구”, 충남대학교 박사논문, 2017



(토크와 수명과의 관계 그래프)

- 등가 토크에 따른 가속 계수(AF)

$$AF = \left(\frac{T_{test}}{T_{field}} \right)^m = \left(\frac{1.000 T_{rated}}{0.4447 T_{rated}} \right)^{5.1} = 62.37$$

여기에서 AF : 가속 계수

T_{test} : 가속조건인 토크

T_{rated} : 정격 토크

T_{field} : 사용조건인 등가 토크

m : 가속지수($m=5.1$)

- 가속 수명 시험 시간(t_{na})

$$t_{na} = \frac{t_n}{AF} = \frac{389\,126.8}{62.37} = 6\,238.7 \approx 6.3 \times 10^3 \text{ km}$$

○ 합격기준

발체 시료 2개를 6.3×10^3 km까지 가속수명 시험한 후 2개 모두 고장이 없고 종합 성능의 평가 기준을 만족하면 신뢰 수준 70 %에서 보증수명 2.0×10^5 km을 (B_5 수명)을 보장한다.

C) 신뢰성시험결과

④ 신뢰성시험결과

- 최종적으로 신뢰성평가 결과를 아래 표 14에 정리하였다. 결론적으로 개발성능목표 전 평가항목에 대하여 요구조건을 만족하는 결과를 얻게 되어 성공적으로 목표표를 달성하게 되었다.

표 14. 개발성능목표

평가항목 (주요성능)	단위	전체항 목 에서 차지하 는 비중 (%)	선진국 수준 (GKN(영) 사)	개발 목표치	평가 결과	목표성 여부	비고
				3차 년도			시험기관
1. 최대 굽힘 각	°	10	8	8±0.1	7.92~7.95	달성	KIMM
2. 언밸런스 량	G	10	6.3	6.3	6.3	달성	KIMM
3. 최대 회전속도	rpm	10	1,800	1,800	1,800	달성	KIMM
4. 비틀림 최대강도	kN.m	10	34	34 이상	34.021 ~ 34.093	달성	KIMM
5. 예비 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능 없음	22±10%	22.31 (+1.4%)	달성	KTR
6. 최종 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능 없음	32±10%	31.46 (-1.7%)	달성	KTR
7. 비틀림 내구수명	cycle	30	130,000	130,000	170,800	달성	KIMM
8. 가속수명시험	Km	100	200,000	200,000	200,000	달성	KIMM

- 공인시험성적서 현황은 다음과 같다
 - 평가항목 순 1~4, 7 : KIMM-19-0162 (2019.02.25.) (첨부 #2 참조)
 - 평가항목 순 5, 6 : KTR 시험성적서 번호 TBK-2019-002332 (2019.04.22.) (첨부 #4 참조)
 - 평가항목 순 8 : KIMM-19-0206 (2019.04.04.) (첨부 #3 참조)
- 국산화개발 된 고속철도(KTX)용 동력전달 축의 개발성능 평가결과로 기계식 동력 전달축의 성능수준은 선진국 수준(GKN(영社)의 동등이상 수준임이 확인 되었다. 특히 비틀림 내구수명은 선진국 수준보다 훨씬 우수한 것으로 입증 되었다.
- 특히, 이번개발품에 내장된 MSMF의 퓨즈 기능은 해외 선진 사에서는 이러한 기능을 찾아 볼 수 없을 뿐만 아니라 그 정밀도 역시 목표 했던 ±10%는 물론이고 ±2%를 만족하는 초 정밀도를 나타내어 아주 성능이 우수한 것으로 분석되었다.
- 국내 최초로 개발을 시도한 고속철도(KTX)용 동력전달 축임에도 불구하고 국내 최고의 권위를 자랑하는 한국기계연구원(KIMM)의 신뢰성인증센터에서 가속수명시험을 수행하였으며 그 결과 역시 개발목표를 안정적으로 달성함으로써 이번 개발품의 성능이 수입품 동등이상을 넘어 세계기술을 선도할 수 있음을 확인할 수 있었다.

㉔ 향후 개선과제

○ 본 연구개발을 통하여 고속철도(KTX)용 동력전달 축에 대하여 국내 최초로 국산화개발 및 200,000km 가속수명시험을 수행한 바 있으나 당사는 보다 정확한 사용수명을 확인하기 위하여 3,900,000km 가속수명시험을 진행하고 있으며 정상적으로 진행될 경우 내년 2월 경 완료 될 것으로 판단하고 있다.

- 가속수명시험 : 3,900,000km (2단계) (1단계 200,000km 완료)
- 시험기관 : 한국기계연구원(KIMM/대전) 신뢰성인증센터
- 시험종료 : 22020년 2월 경
- 시료수량 : 2sets

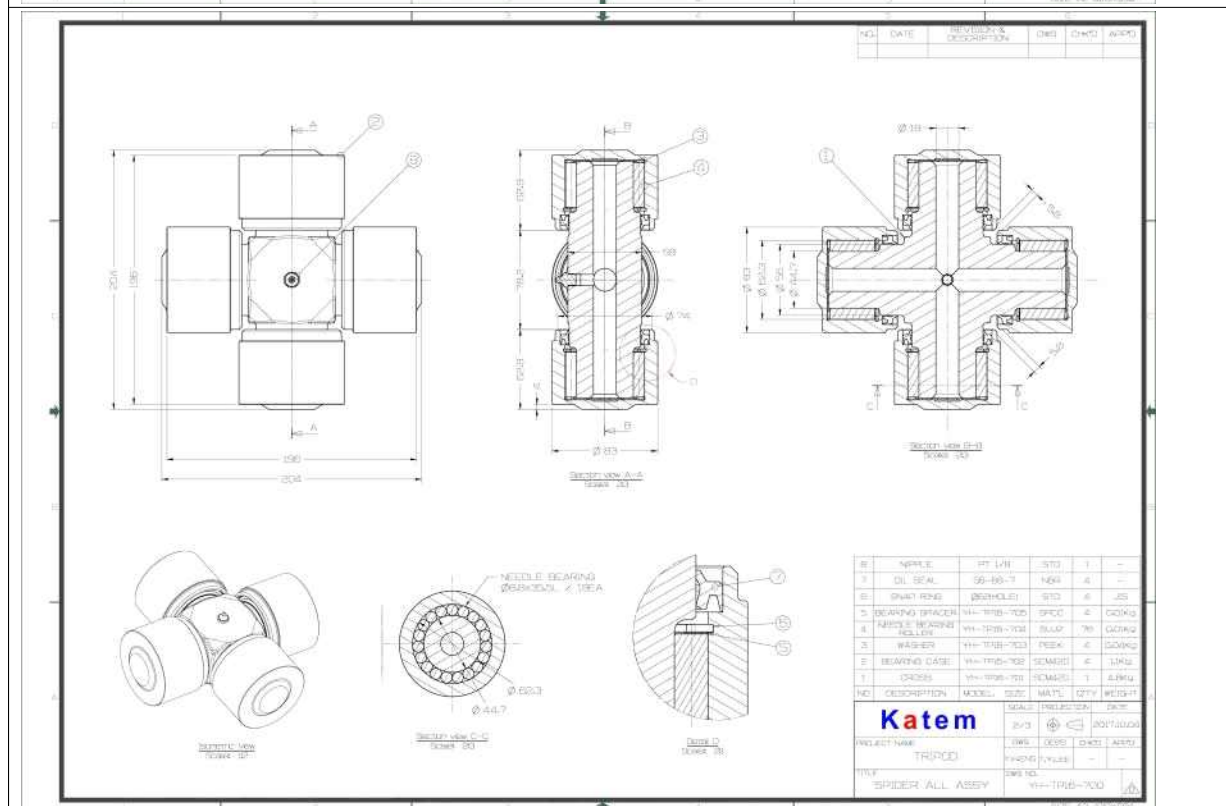
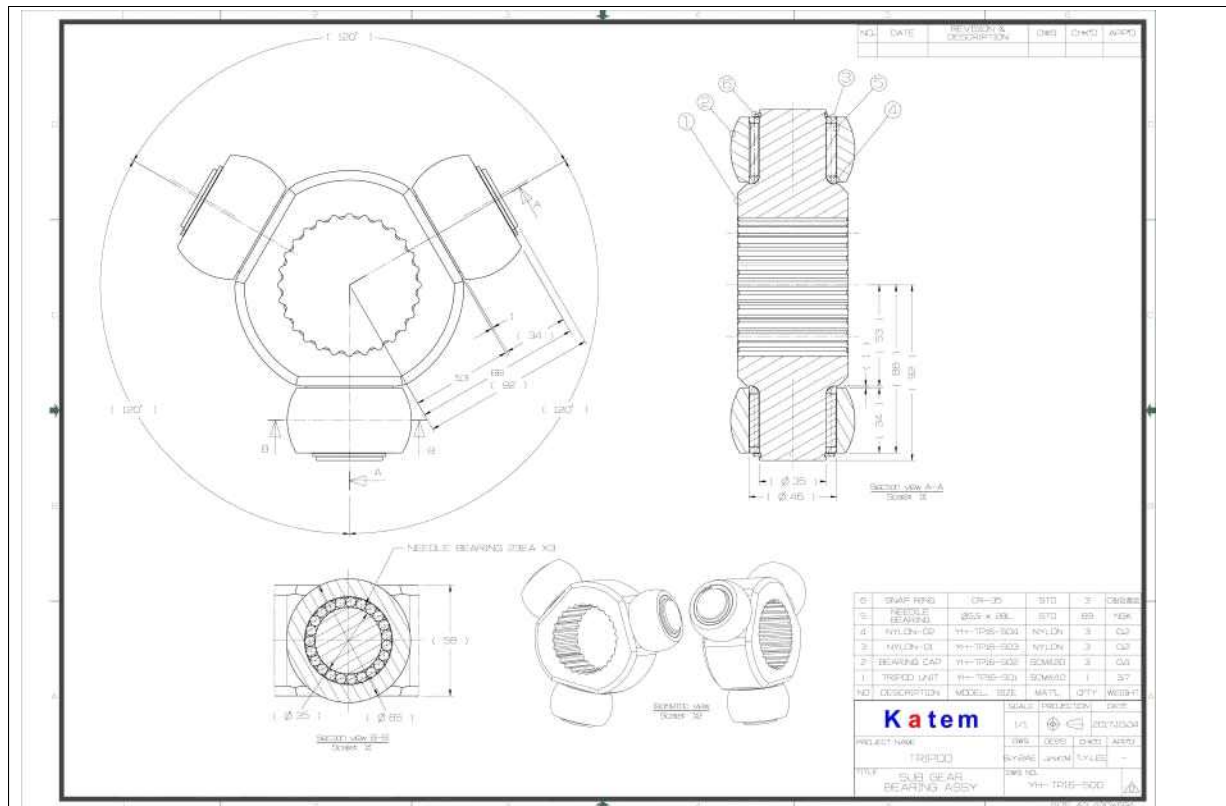
○ 아래 그림 146,147은 현재 진행 중인 2단계 가속수명시험 장면이다.



그림 148 동력전달 축 2단계 가속수명시험(1)

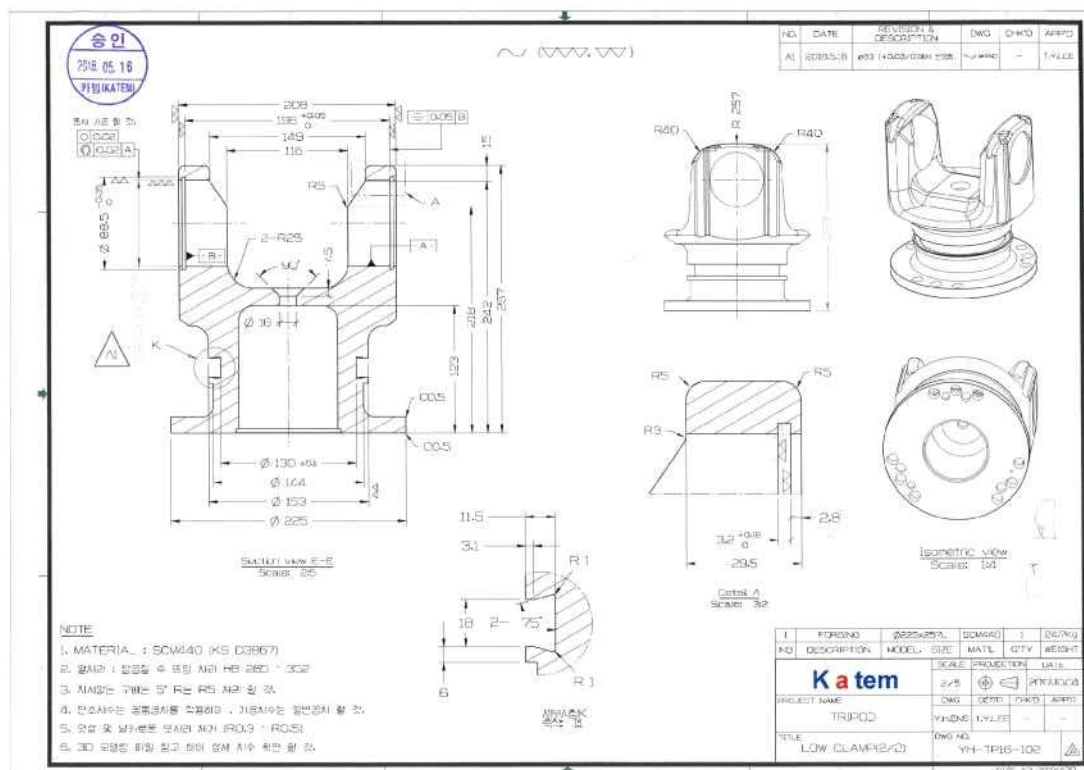


그림 149 동력전달 축 2단계 가속수명시험(2)

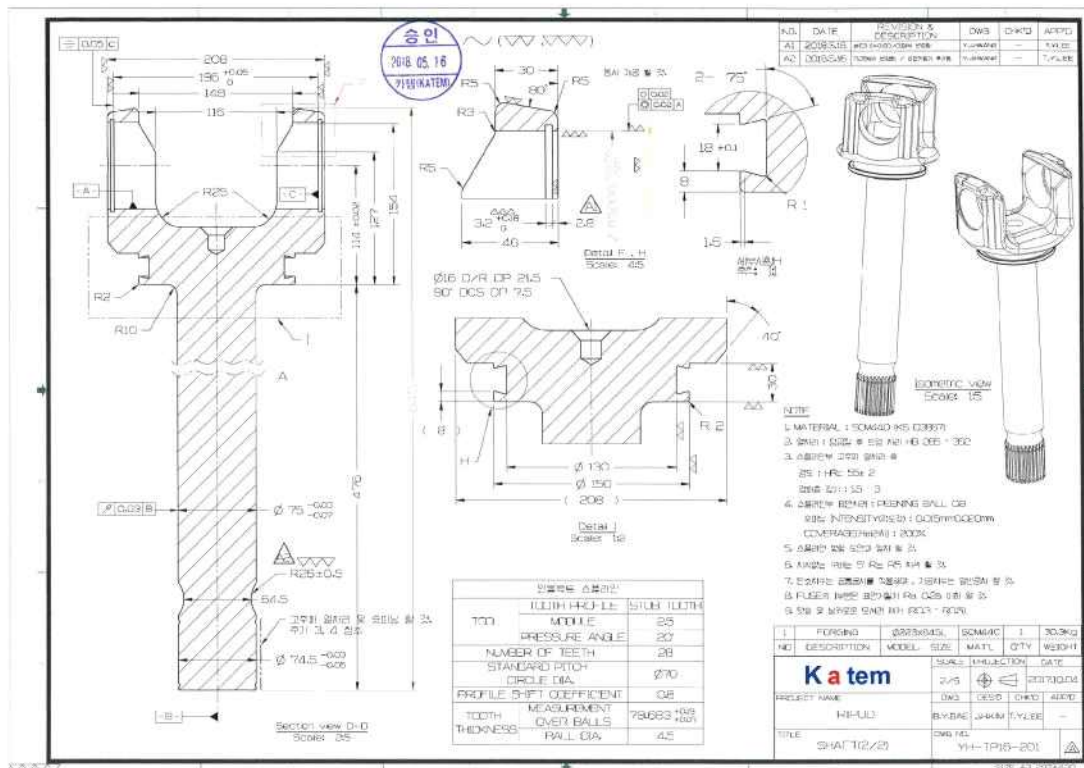


[illegible]

Technical drawing of a Yoke Plate (Yoke Plate) showing various views and dimensions. The drawing includes a top view, a side view, a section view, and a detail view. The top view shows a circular plate with 12 holes and a central hole. The side view shows the thickness and internal structure. The section view shows the internal structure and dimensions. The detail view shows a close-up of the central hole and its connection to the plate. The drawing is labeled 'Yoke Plate' and 'Yoke Plate'.

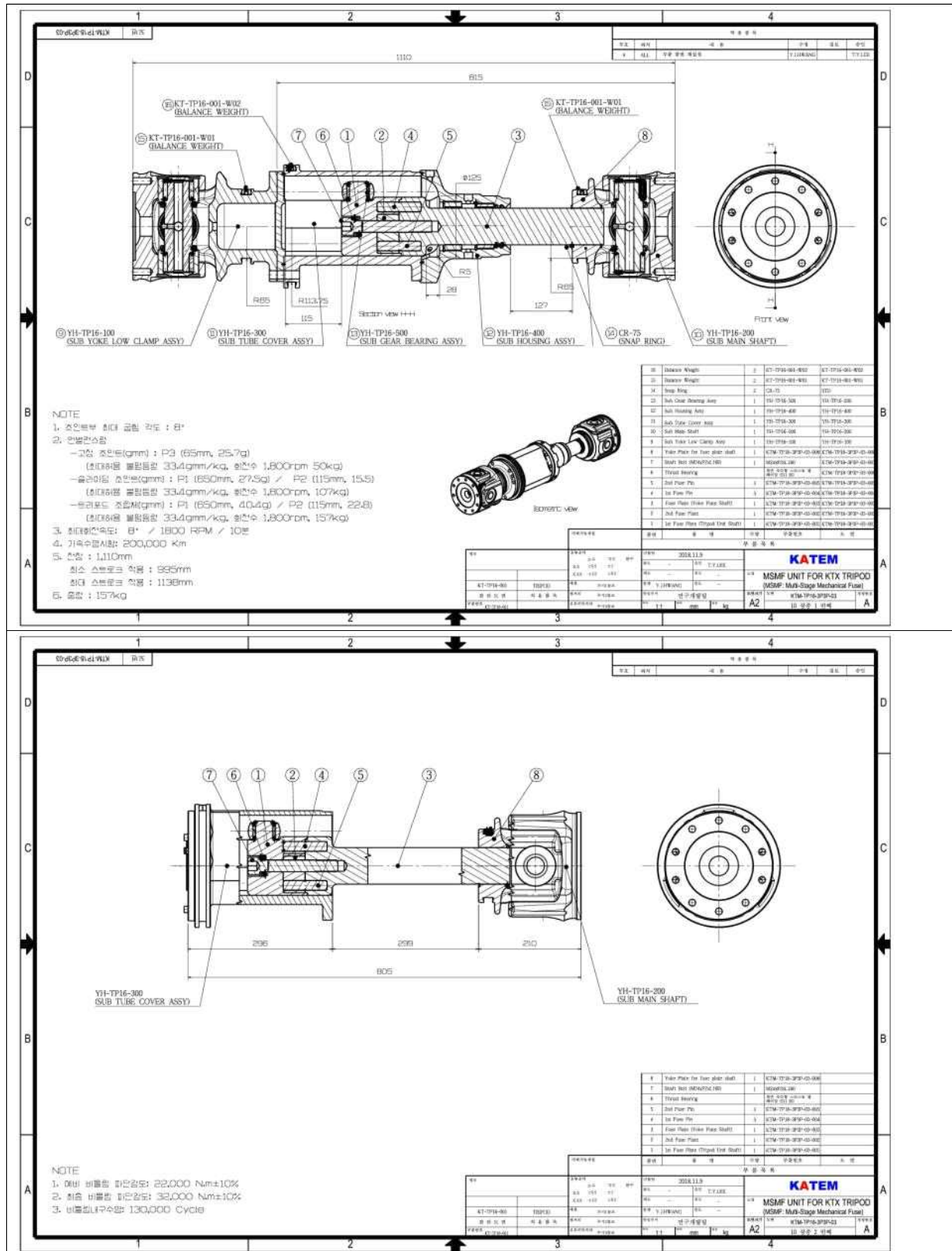


로우 클램프의 유니버설 조인트 캡 조립부를 간섭 압입으로 변경함.



푸즈부에 조도 및 공차를 추가함.

- MSMF 내장형 동력전달 축 조립체 도면 (조립도 2매, 단품도 6매)



○ 가공 공정 순서도 (부품)

시제개발 종료시점에서 향후 양산을 대비하여 현재까지 개발된 고속철도(KTX)용 동력전달 축의 BOM을 완성하고 BOM을 바탕으로 가공공정표를 부품별로 체계적으로 작성하였다.

This table represents a Bill of Materials (BOM) for a high-speed train (KTX) component. It details the assembly structure, including parent and child parts, their respective quantities, and technical specifications. The table is organized into columns for part numbers, descriptions, and assembly details.

KTX용 TRUSS ASSY PARTS (가공)

This table provides a detailed BOM for KTX Truss Assembly Parts. It lists various parts with their specifications, quantities, and hierarchical relationships. The table is organized into columns for part numbers, descriptions, and assembly details.

This table provides a detailed BOM for KTX Truss Assembly Parts. It lists various parts with their specifications, quantities, and hierarchical relationships. The table is organized into columns for part numbers, descriptions, and assembly details.

⑩ 제품 홍보용 팸플릿, 브로슈어 제작

www.katem.co.kr




Transmission Tripod for High Speed Train (KTX)

High Speed Train (KTX)

- Pioneer of low carbon & green growth
- Started commercial service from 2004

The Localized Development of Transmission Tripod

- Item Imported since 2004 of Operating Early
- Power Transmission Function from Main Motor to Wheel
- Braking for Protection of Key Components, When Excessive Torque is inputed (MSMF ; Multi-Stage Mechanical Fuse)

Development Summary

- ▶ **Government Support P/G**
Project of National Land Transportation Science Technology Promotion
- ▶ **Project Title**
Localization of the Shaft System with Safety Unit for the Power Transmission of HST
- ▶ **Development Period**
Jul. 2016 ~ Jun. 2019
- ▶ **Specialized Organization**
Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAIA)
- ▶ **Participating Company**
Korea Axle System (KATEM)
- ▶ **Joint Research Center**
Korea Railroad Research Institution (KRRRI)
- ▶ **Field Test (6 Months)**
Korea Railroad Corp. (KORAIL)

Development Contents



CAD 3D Design & Analysis



Performance Test



Field Test

Introduction



KTX Bogie Axle




Evaluation

Index of Performance	Unit	Target	Value of Weight (%)	High level of World Market (2 Company)	Institution of Test
Performance	Weight	kg	Max. 15.5	10%	KRR/KRRRI
	Unbalance	G	5.0	10%	KRR/KRRRI
	Max. Speed	rpm	1,800	10%	KRR/KRRRI
	Tensile Strength	KN/m	Max. 45,000	20%	KRR/KRRRI
	Tensile Fatigue	Cycle	Min. 300,000	20%	KRR/KRRRI
Field Test	Month	6	20%	-	KRR/KRRRI

Sales Plan

Index of Performance	Year of Commercialization		
	2019 (1 Year after Development)	2021 (3 years after Development)	2023 (5 years after Development)
Investment (\$)	100,000	200,000	300,000
Sales Plan (\$)	Domestic	440,000	680,000
	Export	-	-
Total	440,000	680,000	2,680,000
Substitution of Import (M\$)	440,000	680,000	680,000
Creation of Jobs (man)	3	5	8

KATEM Co., Ltd.

Gyeongnam Techno Park Venture -Building No.209, 22, Changwon-daero 18beon-gil, Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 51395, Rep. of KOREA

Tel. 055-287-8546 E-mail. lty8546@naver.com

그림 147-1 동력전달 축용 팸플릿(1)

Transmission Tripod for High Speed Train (KTX)



www.katem.co.kr



> Applications

- High Speed Train(KTX)

> Product Specifications

- 220mm(O.D) x 1,100mm(Length)
- Torsional Braking Torque : 43.5kNm
- Torsional Fatigue Life : 300,000cycle

> Product Features

- Mechanical Type
- Safety-set Inner Mounting Type

> Product Function

- The ability to rotate the axle to move the vehicle forward by transmitting the high speed train motor power to it through the reducer.

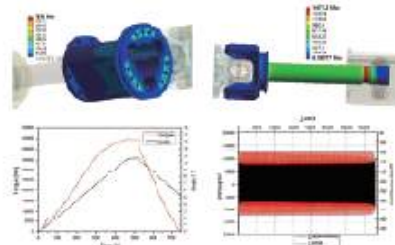
> Customer

- Korea Rail Corporation(KORAIL)



Transmission Shaft / Torsional Performance Test

> Torsional Strength Test



Test Name	Test Standard	Test Results	Remark
Torsional Braking Strength Test	Max. Rotational Speed : 360°/min	44.5kNm	KOREA INSTITUTION MACHINERY & MATERIAL (KIMM)
Torsional Fatigue Life Test	Repeat Speed : 2Hz	317,510Cycle	
Max. Rotational Speed	Diffraction Angle : 8°	1,016rpm	

KATEM Co., Ltd.

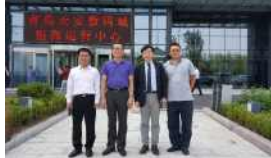
Gyeongnam Techno Park Venture -Building No.209, 22, Changwon-daero 18beon-gil,
Uichang-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 51395, Rep. of KOREA
Tel. 055-287-8546 E-mail. Lty8546@naver.com

그림 148 동력전달 축용 팜플릿(2)

◎ 국, 내외 전시회 출품

○ 국내.외 전시회에 출품하여 수행했던 홍보활동을 현황을 아래 표로 정리하였다.

표 15 국내. 외 전시회 출품 및 홍보활동 현황

전시회명	전시회사진	출품성과
Tianan Cyber Park in 2016, 청도/중국 (2016.08)	   	* 출장지 : 중국 청도시 청양구 관내 사이버파크, 고속철도차량산업 관련 협력회사 등 * 청도시/청량구청 부구청장 면담 및 투자유치 협의 - 중국시장 진출을 위한 정부 관계자 Network 구축 - 중국 철도부품시장 파악
InnoTrans 2016 in Berline/독일 (2016.09)	   	* 이번 이노트랜스 전시회에는 당사 부스는 설치하지 않았음 * SNCF의 엔지니어(기술고문)과 접촉하여 우리제품을 홍보하는 등의 성과가 있었음 * Spacer GWB에서 안전장치 내장형 동력축 출시 정보입수 - 한국에 현차시험 요구
InnoRail 2016 in Lucknow/인도 (2016.11)	   	* 한국철도기술연구원(KRRI) 부스에 공동 출품 * 인도의 철도 승인기관인 RDS O 관계자 면담 및 동력전달부품 구매 담당자 Network 구축 - 고위급 관계자 식사 초대로 가정 방문 등 관계 구축
Raillog Korea in Busan (2017.05)	 	* 당사 부스 설치 * 현대로템(주) 등 관계사 면담 * 철도공사, 철도연등 방문
InnoTrans 2018 in Berline/독일 (2016.09)	   	* 2018년 이노트랜스에 최초로 당사 부스 설치 및 홍보 * 유럽의 Major 인 GKN사에 당사제품 홍보 등 성과 * 인도기업 총 3개 업체 상담 성과 및 상호 방문 등 성과 * 당사와 경쟁사인 IBRE사 방문, 현황파악 및 지속적 협의 약속 등 성과 있었음. * 총 23개업체 상담 성과

- 참여기관(한국철도기술연구원)

E) MSMF 최종 시제 제작

④ 개선시제 시험결과에 따른 최종 보완

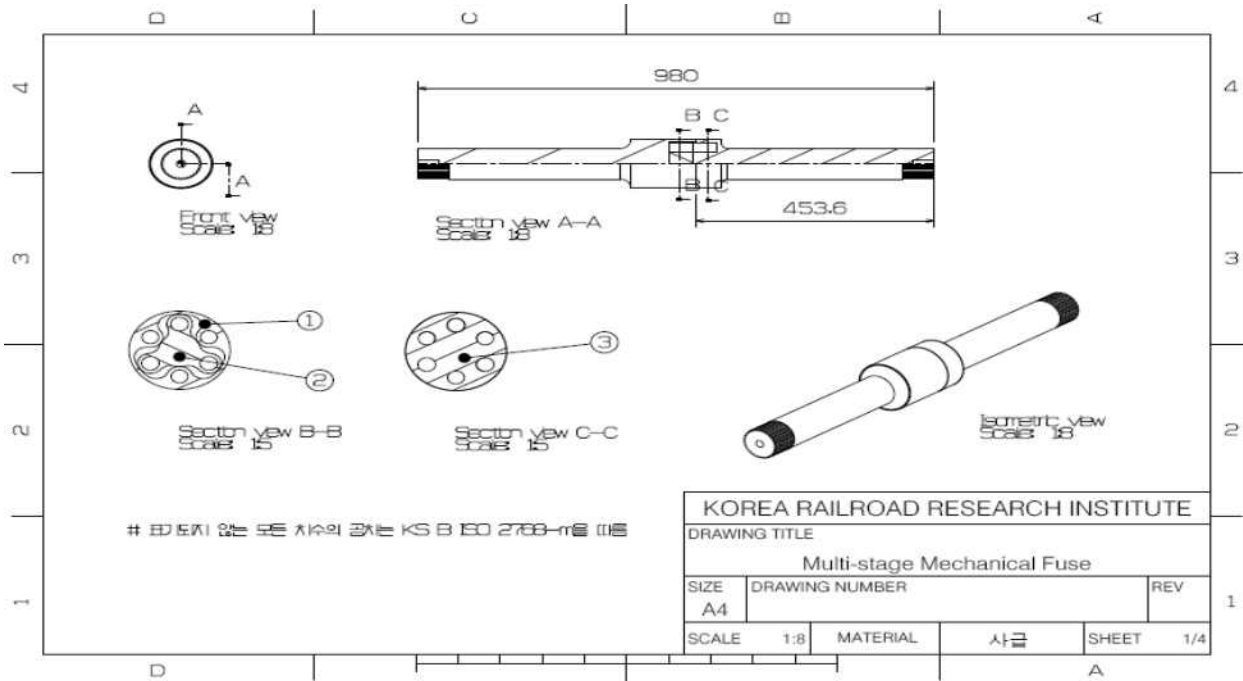


그림 149 최종 3차년도 개선시제 전체 도면

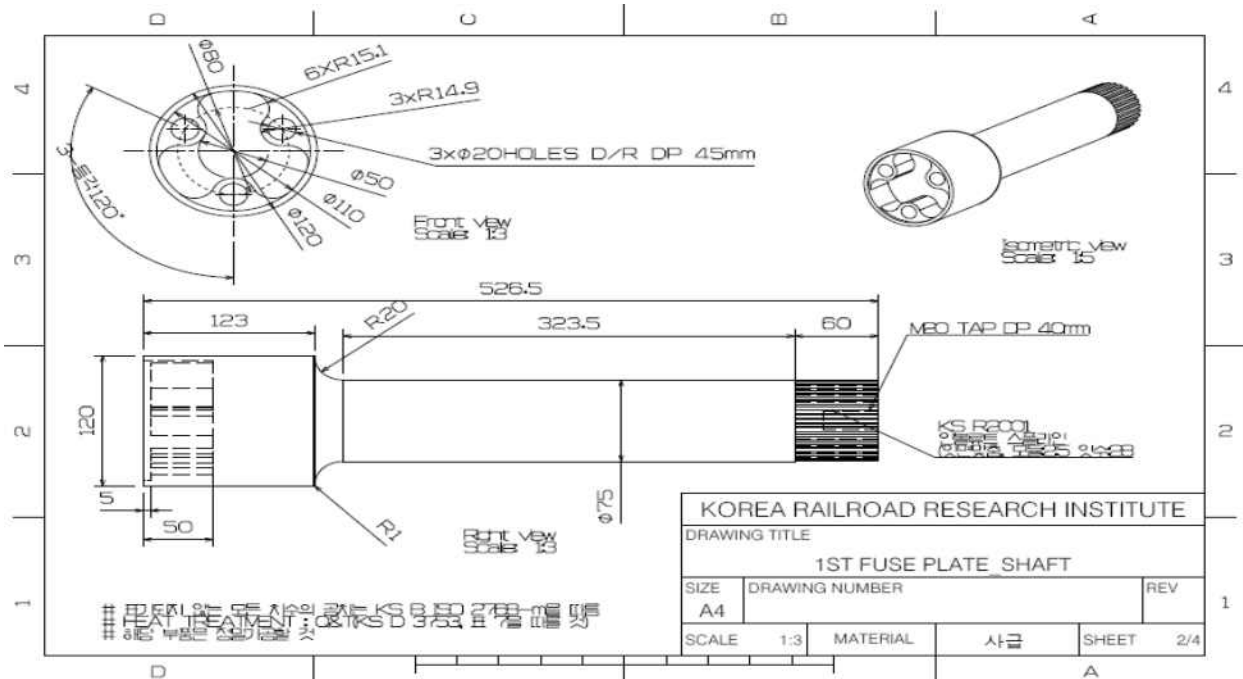


그림 150 최종 3차년도 개선시제 축-1차 퓨즈플레이트 결합도면



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동)

TEL (02)2164-0011 FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TBK-2019-002332

접 수 일 자 : 2019년 04월 03일

대 표 자 : 나희승

시험완료일자 : 2019년 04월 22일

업 체 명 : 한국철도기술연구원

주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)

시 료 명 : 다단계 기계식 퓨즈 결합용 트리포드 구동축 퓨즈

시 험 결 과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
퓨즈파단 토크	kN.m	1차 퓨즈 1 세트	22.31	의뢰자 제시 방법(*)
퓨즈파단 토크	kN.m	2차 퓨즈 1 세트	31.46	의뢰자 제시 방법(*)

- 용 도 : 품질관리용

- 비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Park Ki Duck

작성자 : 박기덕

Tel : 02-2092-3628

Moon Suk Park

기술책임자 : 박문석

Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2019년 04월 22일

KTR 한국화학융합시험연구원



위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

KTR

KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

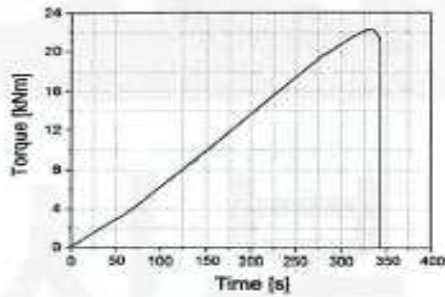
KTR-OP-T09-F01-02(08)

A4(210 X 297)

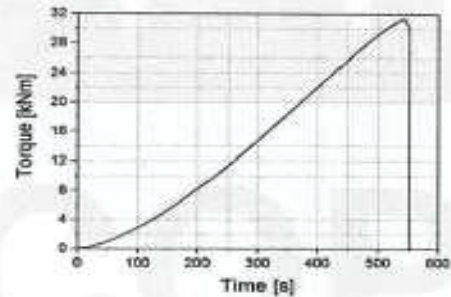
그림 153 최종 3차년도 비틀림시험 공인인증성적서

5. 시험결과

비틀림 시험 : 시험속도 10 mm/min

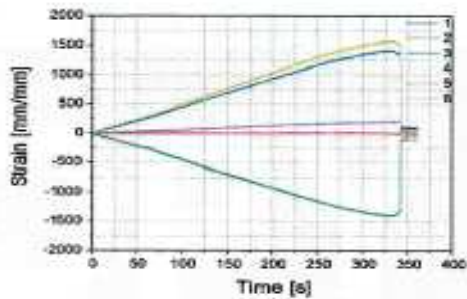


(a)

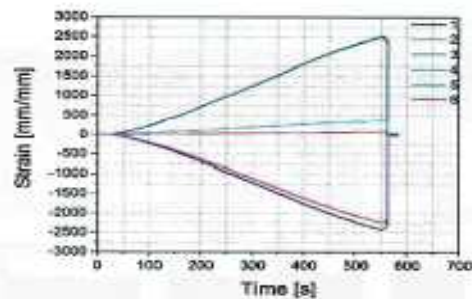


(b)

Figure 3. Result of MSMF torsion test : Torque-Time curve (a) 1st Fuse; (b) 2nd Fuse



(a)



(b)

Figure 4. Result of MSMF torsion test : Strain-Time curve (a) 1st Fuse; (b) 2nd Fuse

Table 1 Summary of EFG3 Quasi-static test result

	Fracture Torque [kN.m]
1st Fuse	22.31
2nd Fuse	31.46

그림 154 최종 3차년도 비틀림시험 시험결과 그래프

○ MSMF 개선시제 파단성능 시험결과

- 1차 퓨즈 22.31 kN · m에서 파단
- 2차 퓨즈 31.46 kN · m에서 파단
- 시험 결과 1, 2차 퓨즈 모두 오차 $\pm 10\%$ 이내이다.
- 따라서 본 시험결과를 토대로 트리포드 구동축 결합형 MSMF를 제작하였다.

㉔ 신뢰성시험용 최종 시제 준비



그림 155 최종시제 트리포드유닛 결합용 1차 퓨즈플레이트와 2차 퓨즈플레이트



그림 156 최종시제 MSMF를 트리포드 구동축에 결합하는 모습



그림 157 피로시험용 최종시제 시편장착



그림 158 가속수명시험용 최종시제 시편장착



그림 159 피로시험 및 가속수명시험용 시제 플러그 장착부

© 가속수명시험(ALT) 결과분석 및 설계 Feed back

- 정격토크 100%와 800r/min으로 100km, - 800r/min으로 100km 가동하는 것을 1 주기로 하여 수명시험을 반복하였다.
- 시료 2개가 $6.3 \times 10^3 km$ ($200km \times 31.5$ 회)까지 이상없이 작동하였으며 이는 신뢰수준 70%에서 B_5 수명 $2.0 \times 10^5 km$ 를 보장된다.
- 시험결과 가속수명시험 시편은 파단하지 않고 변형이 없으므로 설계변경이 요구되지 않는다.

시료 번호	가속수명시험	수명시험 후 1차 핀 파단 여부
시료 #1	6,400 km (2.0×10^5 km 상당)	파단안됨
시료 #2	6,400 km (2.0×10^5 km 상당)	파단안됨

그림 160 가속수명시험 시험결과

1-1. 가속수명시험 그래프

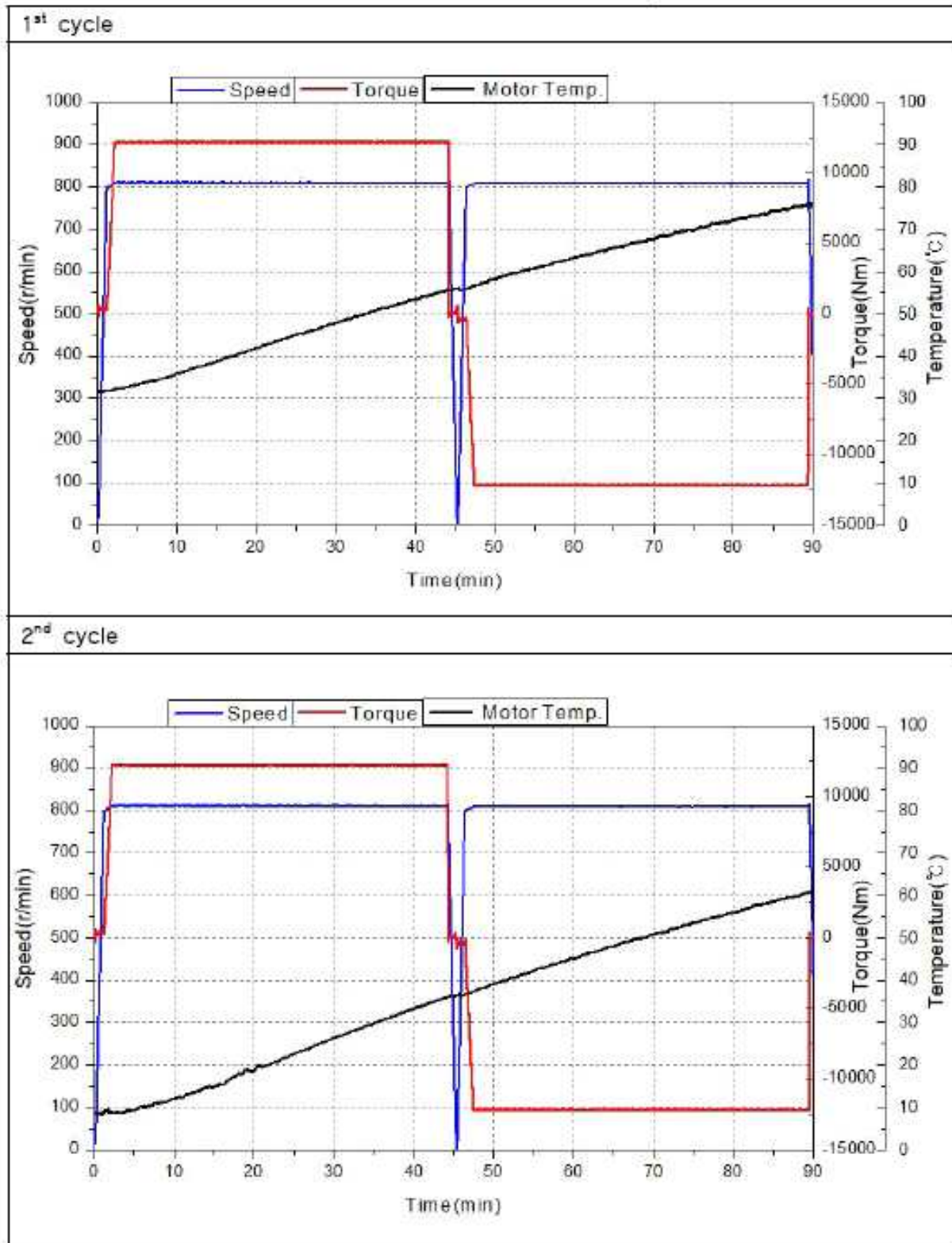


그림 161 가속수명시험 시험결과 그래프

F) 신뢰성평가 적용시제 분석

④ 신뢰성평가 완료시료 탈거 및 분해.



그림 162 피로시험용 완료시편(1차) 탈거 후 사진



그림 163 피로시험용 완료시편(2차) 탈거 후 사진



그림 164 가속수명시험용 완료시편 탈거 후 사진

㉔ 부품별 마모부위, 양상, 정도 분석.

- 피로시험은 총 2회 시도하였으며 1회는 실패하였고 2회는 성공하였다.
- 1차 피로시험은 66,200 사이클에서 파단하였으며 목표치에 절반 밖에 도달하지 못하였다. 또한, 퓨즈가 파단하면서 플레이트를 긁고 지나가 MSMF의 재사용이 불가능하였다.
- 2차 피로시험은 171,600 사이클에서 파단하였으며 목표치를 초과하였다.
- 퓨즈 삽입부에 퓨즈가 잘 삽입되어 MSMF는 재사용이 가능하였다.
- 가속수명시험은 2회 모두 성공하였으며 퓨즈의 변형이 없었고 MSMF의 변형 또한 없었다.

4) 1차 시료 비틀림 피로시험 (시험 알기)

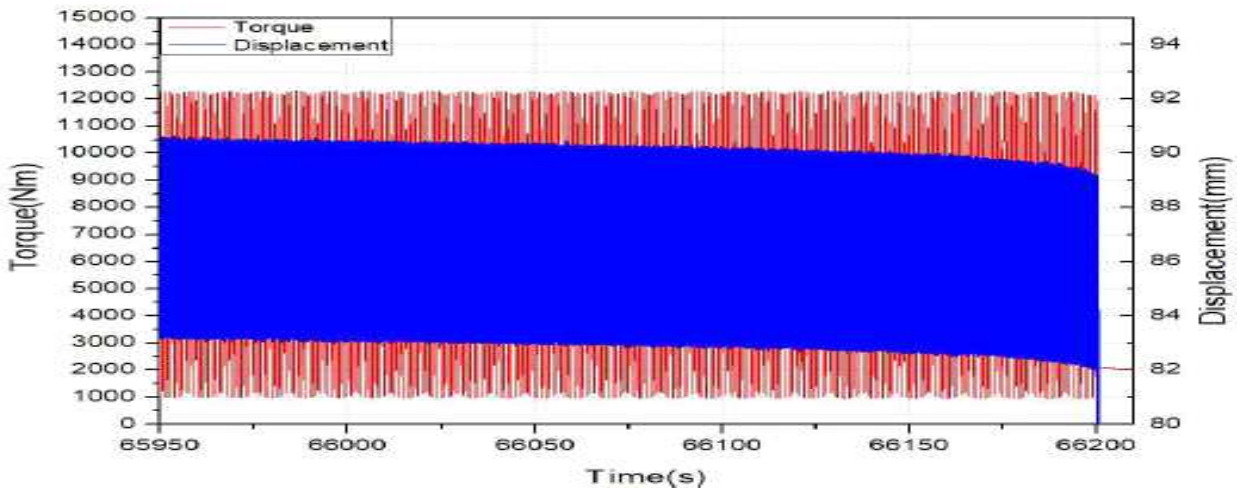


그림 165 1차 피로시험 시험결과

4) 2차 시료 비틀림 피로시험 (시험 알기)

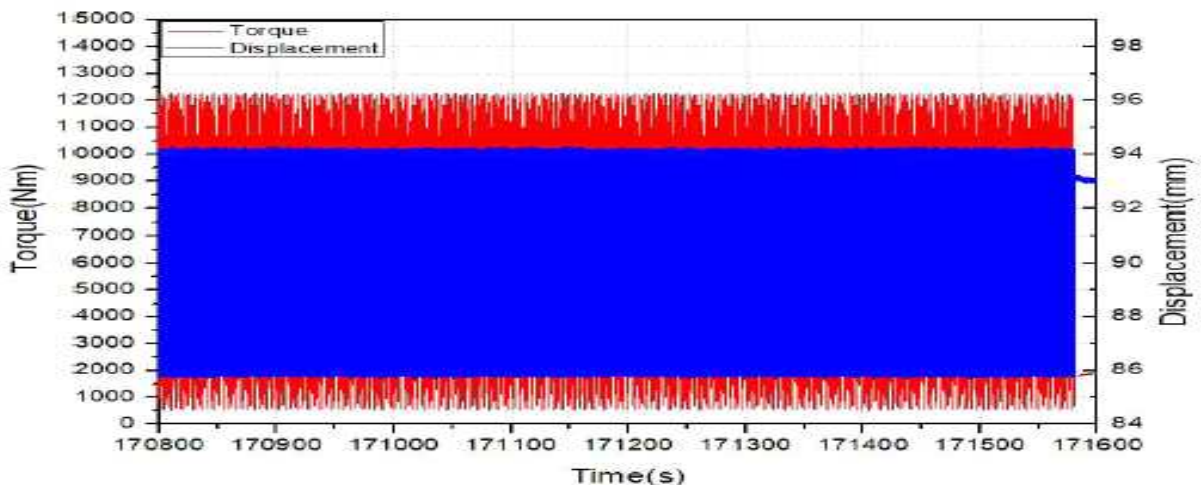


그림 166 2차 피로시험 시험결과

© 분석결과 설계 및 제작공정 F/Back.

- 퓨즈가 파단하면서 플레이트를 긁고 지나가는 현상은 퓨즈플레이트 축과 트리포드 유닛 결합용 1차 퓨즈플레이트의 공차가 작기 때문이다. 공차를 조금 조금 키워 문제를 해결
 - 퓨즈의 파단시험에서의 MSMF에서는 이러한 현상이 발견되지 않았으므로 공차 문제임이 확실
- 1차 피로시험 시 퓨즈의 표면조도가 높아 크랙이 발생하였다고 판단하여 2차 피로시험 시 퓨즈의 치수를 정밀하게 가공하고 샷피닝 작업을 진행
 - 퓨즈의 표면조도를 낮추고 정밀가공을 통해 문제해결
- 가속수명시험 시에는 퓨즈에 가혹한 반복하중이 부가되지 않아 퓨즈의 손상이 없고 마찬가지로 MSMF도 손상이 없었다.

G) 유지보수 편의성 기술 확보

④ 구동축 절손 시 교체용이 설계

- 구분되어있던 축과 플레이트들을 결합하였고 공간절약을 위해 1차 퓨즈플레이트와 트리포드 유닛을 결합하였다.
- 1차 퓨즈플레이트와 퓨즈플레이트 간의 체결을 위해 볼트를 사용하여 빠지지 않게 하였다.
 - 1차 시제와 다르게 퓨즈가 노출되지 않아 빠져 다른 부품을 훼손할 여지가 없다.
 - 2차 시제와 다르게 체결이 되므로 플레이트간의 간격이 벌어지지 않는다.
 - 볼트체결을 풀고 MSMF의 퓨즈만 바꾸면 되므로 유지보수가 매우 간편하다.

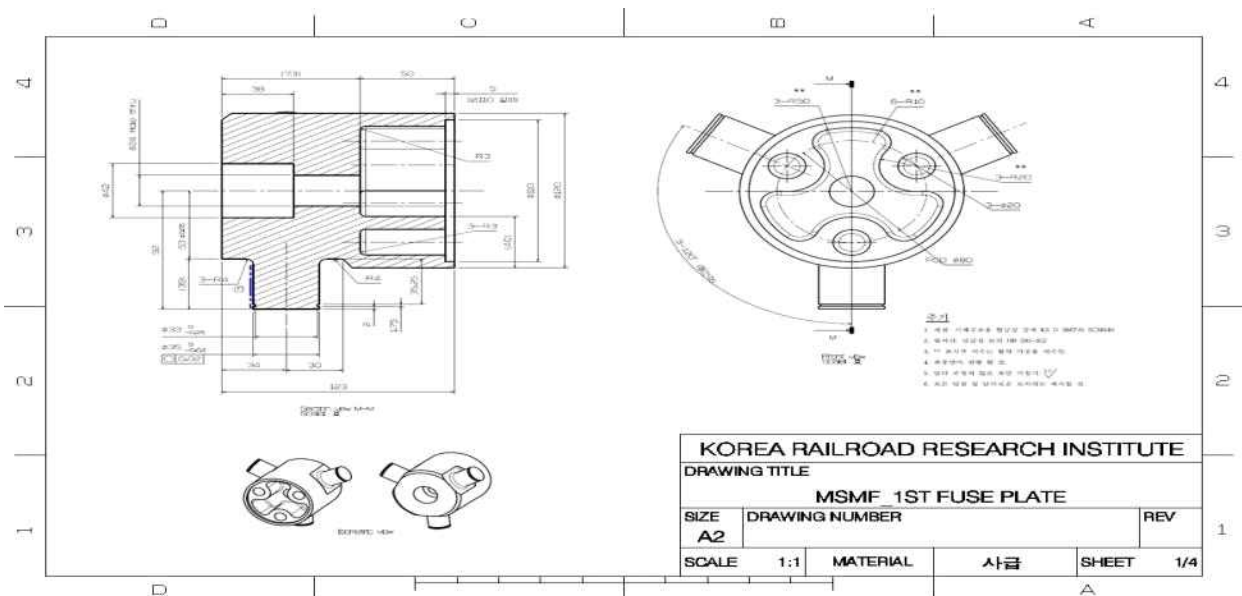


그림 167 트리포드 유닛 결합용 1차 퓨즈플레이트 도면

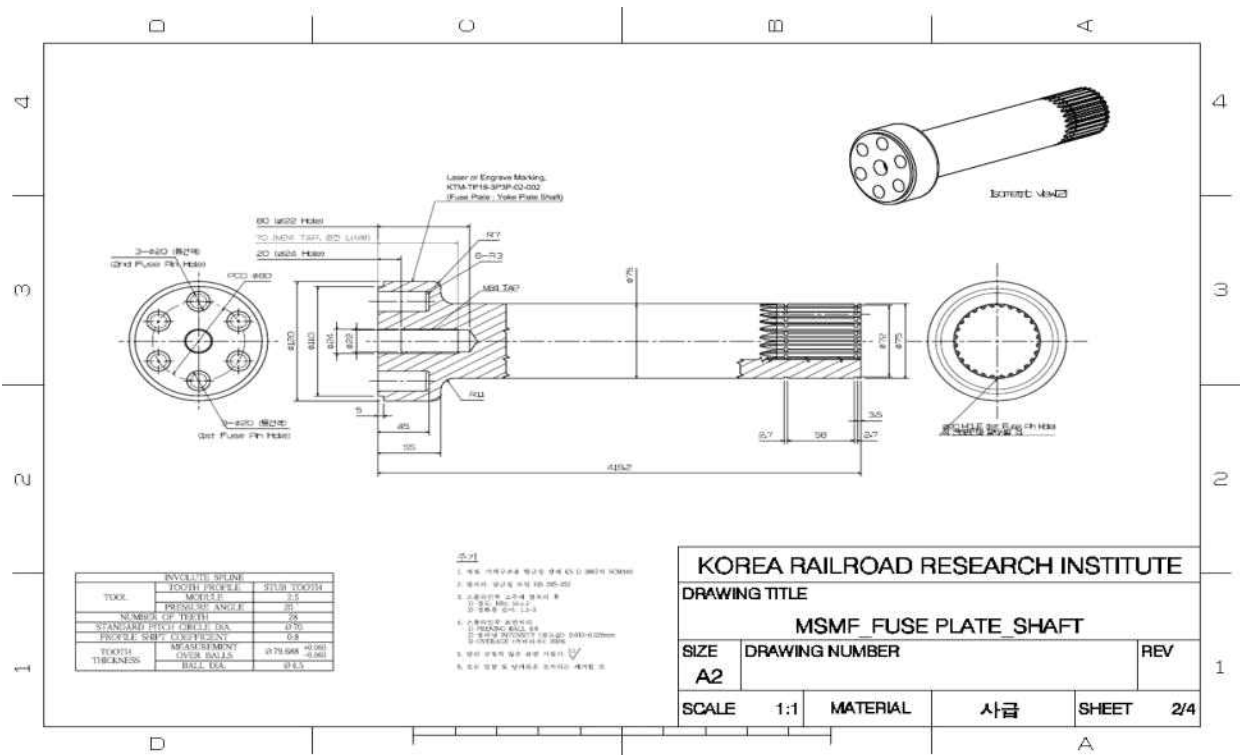


그림 168 축-퓨즈플레이트 도면

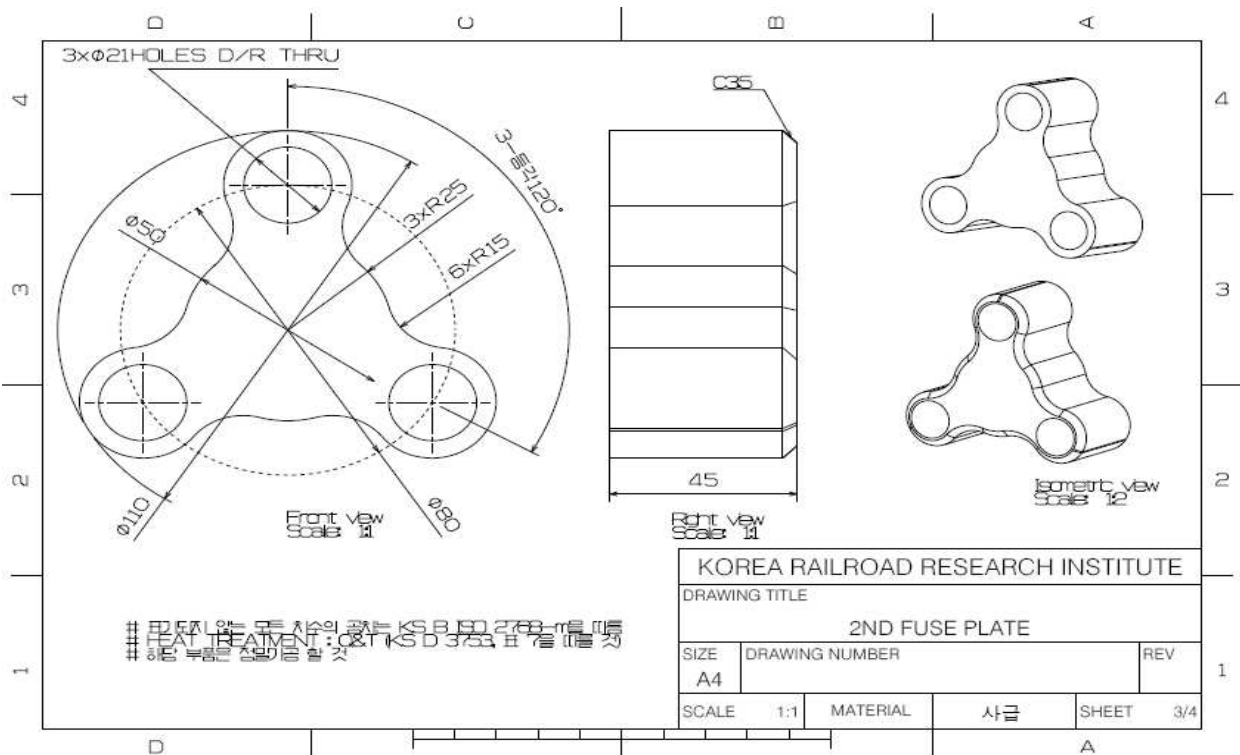


그림 169 2차 퓨즈플레이트 도면

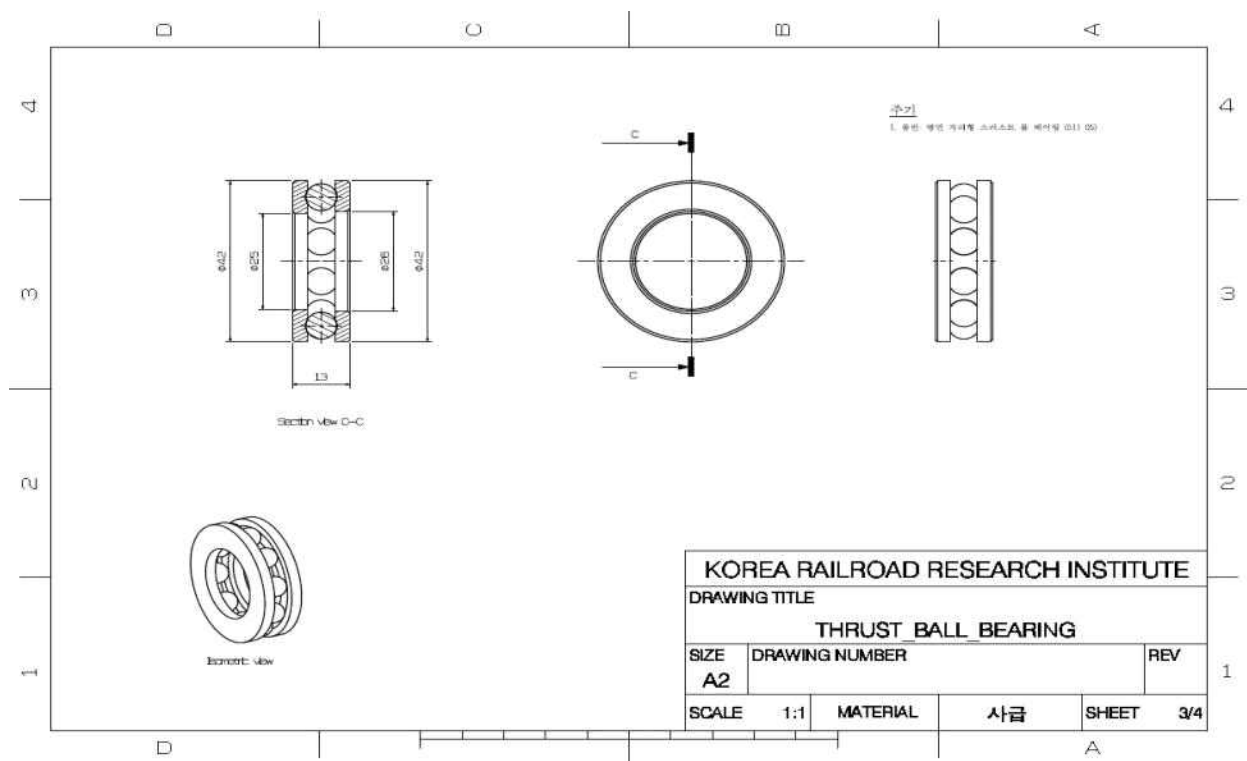


그림 170 1차 푸즈플레이트-푸즈플레이트 결합용 베어링

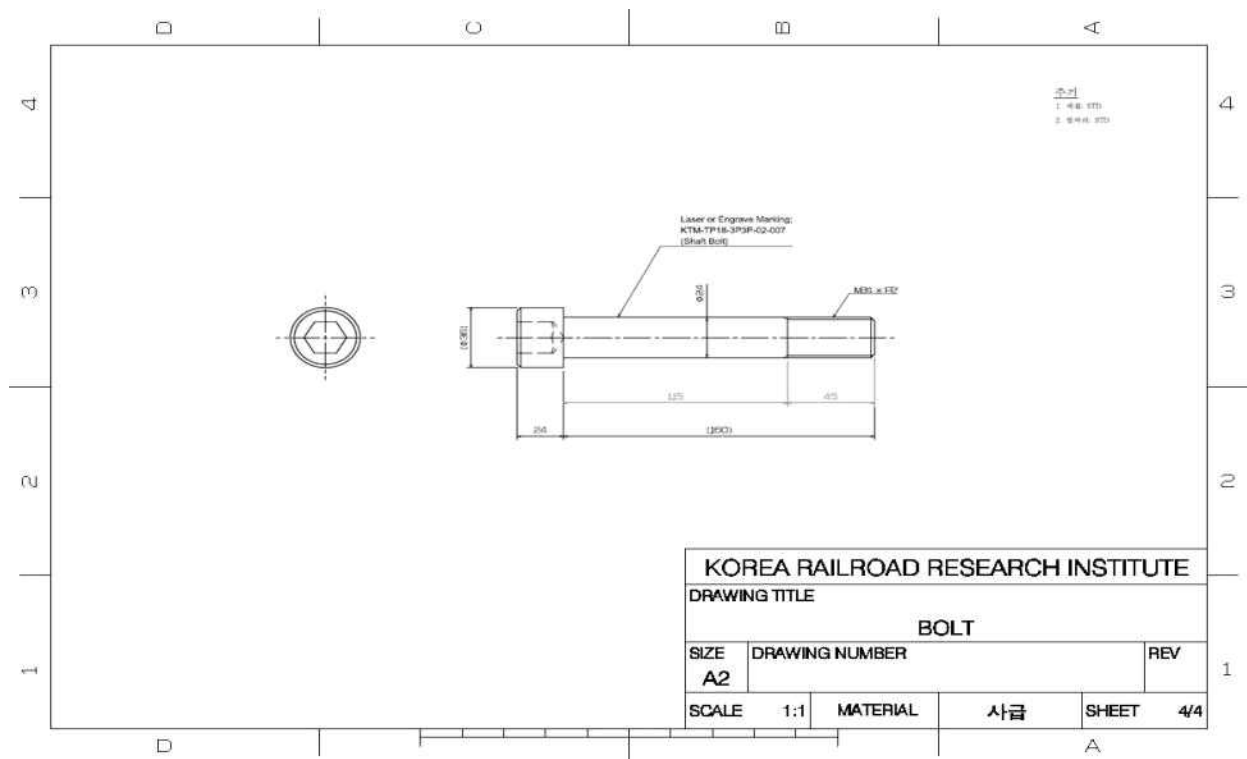


그림 171 1차 푸즈플레이트-푸즈플레이트 결합용 볼트

㉔ 재사용 부품 평가 기술 및 방안

○ MSMF 내부 부품의 영구변형

- MSMF의 사용된 재료는 SCM440 이므로 열처리 시 기법에 따라 항복응력이 1GPa을 초과하여 매우 높다.
- 1차 퓨즈가 작동 시에는 해석 및 시험결과를 토대로 절대 영구변형이 발생하지 않는다.
- 2차 퓨즈는 빠른주행이 가능하나 소비자의 컴플레인을 방지하는 역할이므로 2차 퓨즈가 작동하기 시작하였으면 가급적 빠른 정비를 통해 1차 퓨즈를 재장착할 필요가 있다.
- 2차 퓨즈가 작동 시에는 철도운전자가 정비의 필요성을 인식하지 않고 과토크가 투입되면 순간적인 응력집중에 의해 MSMF에 영구변형이 발생하여 재사용이 불가능하다.

○ MSMF 내부 부품의 재사용 불가능 판단기준

- MSMF의 내부 부품 중 파손의 가능성이 가장 높은 것은 1차 퓨즈플레이트와 2차 퓨즈플레이트의 접촉에 의한 퓨즈 삽입부 변형이다.
- MSMF가 변형하면 퓨즈가 삽입되지 않아 재사용이 불가능하다.
- MSMF가 매우 적은 영구변형이 발생하여 퓨즈가 삽입되게 되면, 이는 재사용이 가능한 MSMF이다. 그 이유는 퓨즈가 힘을 받아 변형하게 되면 최종적으로는 같은 하중에서 파단하기 때문이다.

○ MSMF 퓨즈의 재사용 불가능 판단기준

- 1, 2차 퓨즈는 MSMF의 성능을 좌우하는 매우 중요한 부품이다.
- 퓨즈의 재료특성상 아주 미세한 영구변형이 발생하면 바로 폐기를 권장한다.

㉕ 전시회 출품(Bexco) 지원



그림 172 MSMF 전시모형



그림 173 트리포드 구동축 및 MSMF 전시



그림 174 트리포드 구동축 및 MSMF 전시

나. 연구성과

순	성과내용	목표(건)	달성(건)	비고
1	논문	1	1	
2	등록특허	2	3	1건 초과 달성
	계	3	4	

1) 논문계제 성과

가) 논문 1건 게재 완료 (양적성과 달성, 목표 1건, 달성 1건)

본 연구개발과정에서 논문 1건을 게재하였으며 세부내용은 다음과 같다

(논문 전문 첨부 참조)

- 논문제목 : 한국형 기계식 동력전달 축과 다단계 기계식 퓨즈의 기초연구
- 게재학회 및 일시 : 한국철도학회 논문집(제 21권 제 8호 PP.755~766, 2018년 9월)
- 저자 및 공저자 : 공영훈, 권태수 *, 이태영, 김진성, 정현승
- 초록

본 연구는 한국형 기계식 동력전달 축과 동력전달 축의 핵심부위에 해당하는 퓨즈부를 대체하는 다단계 기계식 퓨즈의 기초 연구이다. 기계식 동력전달 축은 수입품을 역설계하여 제작하였으며 수입품 동등이상의 성능을 검증하기 위해 최대 허용각 및 회전속도, 언밸런스, 구조강도해석과 비틀림 강도, 피로 시험 등을 진행하여 이를 검증하였다. 다단계 기계식 퓨즈 장치는 구조강도해석과 메커니즘해석을 진행하였으며 이를 검증하기 위해 성능시험을 진행하였으며 기계식 동력전달 축의 퓨즈부를 대체할 수 있음을 입증하였다.

- 주요어 : 트리포드 구동축, 퓨즈, 비틀림 시험, 고속철도

- 주요연구내용

- 트리포드 구동축의 역할 및 구조
- 트리포드 구동축의 성능 시험
: 최대 허용각 및 회전시험, 언밸런스시험, 비틀림 강도 시험, 비틀림 피로 시험
- 트리포드 구동축 실물시험 고찰
- MSMF(다단계 기계식 퓨즈장치)의 역할 및 구조
- MSMF의 유한요소해석
- MSMF의 전단 및 비틀림시험 : 단품 전단시험, 비틀림 시험
- MSMF 실물시험 고찰

나) 연구의 의미

본 연구는 현재까지 전량 수입에 의존해 왔던 기계식 동력전달 축을 국내 최초로 역설계하여 한국형 기계식 동력전달 축을 제작하고 수입품 동등이상 의 성능을 검증하기 위한 실물시험을 진행하였다는데 의미가 있다 하겠다. 또한 과도한 토크가 유입되었을 때 스스로 절손되는 Safety-set 기능을 수입품보다 진보시킨 다단계 기계식 퓨즈 장치(MSMF)를 개발하여 마찬가지로 성능을 검증하기 위한 해석과 실물 시험을 진행함으로써 이 분야의 후속연구를 진행하는 연구자들에게 실질적인 데이터를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 특허 성과

가) 총 특허등록 건수 : 3 건 (양적성과 달성, 목표 2건, 달성 3건)

나) 특허내용

① 구동축용 유니버설 조인트에 대한 특허 (세부내용 첨부참조)

- 등록번호 : 제 10-1952889 호
- 등록일 : 2019년 02월 21일
- 발명의 명칭 : 고속열차의 구동축용 유니버설 조인트
- 특허권자 : (주)카템
- 발명자 : 이태영
- 특허 내용 : 본 발명은 고속열차의 구동축용 유니버설 조인트에 관한 것으로, 본 발명은 십자형의 몸체; 상기 몸체의 길이방향의 각 단부의 외주면 일부에 배치되는 베어링; 상기 몸체의 길이방향의 각 단부와 상기 베어링을 커버하며, 내측면 어느 일부에 리테이너 홈이 형성된 베어링 캡; 외측이 상기 리테이너 홈에 삽입되고 내측이 상기 단턱부에 배치되며 상기 베어링 캡과 함께 상기 베어링을 지지하는 리테이너; 및 상기 몸체의 길이방향으로 상기 몸체 및 상기 베어링과 상기 베어링 캡의 사이에 배치되어 상기 베어링의 일단과 대면하는 외경부와, 중앙에 미리 정해진 넓이로 관통된 홈이 형성되고 상기 외경부에 대하여 오목한 오목부를 포함하며 상기 오목부는 상기 몸체의 끝단과 대면하고 오일이 수용되도록 홈이 형성된 내경부를 포함하고 마찰 또는 진동을 저감시키는 와셔;를 포함한다. 본 발명은 유니버설 조인트 내부에 배치되는 와셔에 오일이 일부 수용될 수 있는 홈이 형성되므로, 유니버설 조인트의 고속회전시 언밸런스 량을 최소화할 수 있다. 또한, 본 발명은 와셔의 홈에 비산되는 오일을 일부 수용하고 수집하여 베어링에 다시 공급할 수 있으므로, 유니버설 조인트의 수명을 연장시킬 수 있다.

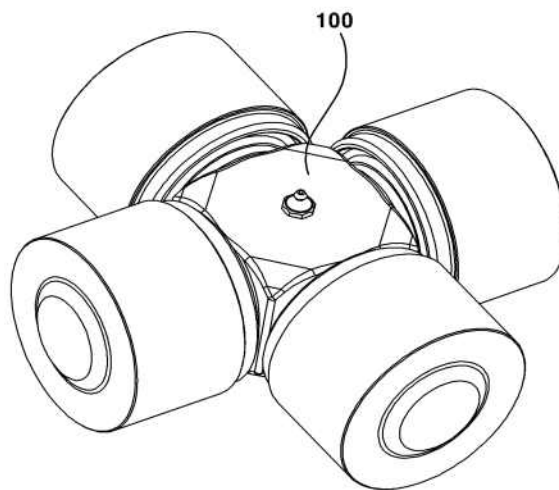


그림 175 고속철도차량용 유니버설 조인트 개략도

- 등록번호 : 제 10-172884 호

- 등록일 : 2017년 04월 14일

- 특허권자 : 한국철도기술연구원

- 특허 내용 : 본 발명은 동력전달용

특징으로 한다.

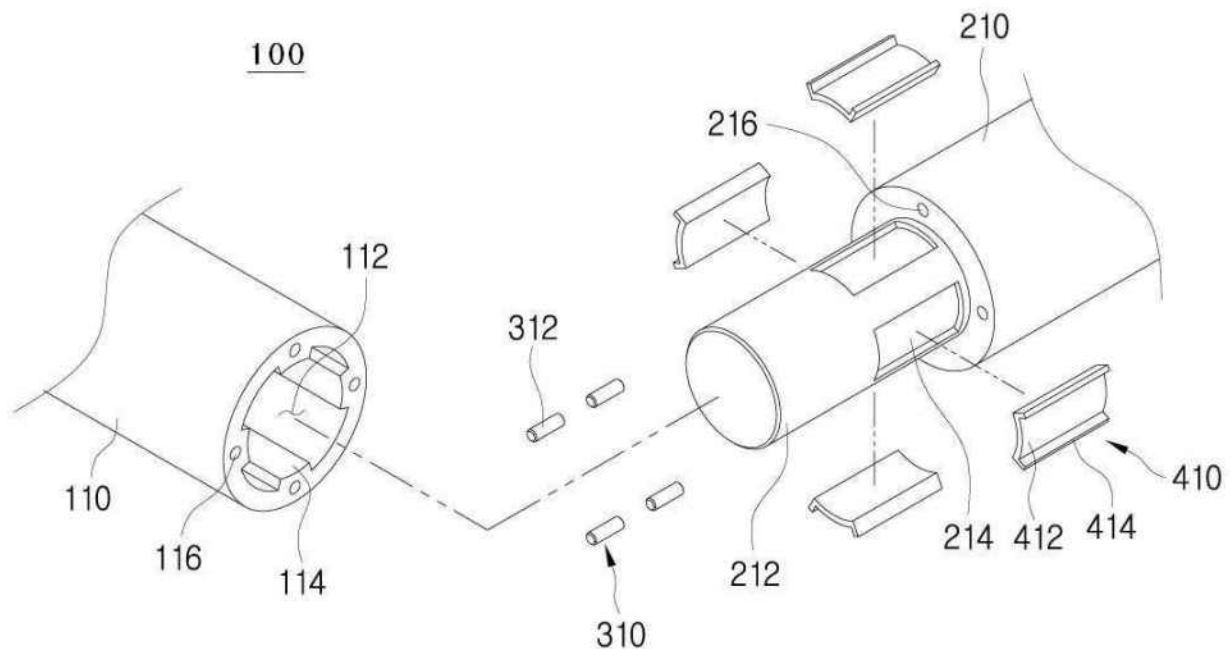


그림 176 동력전달용 구동축 연결장치 개략도

③ 구동축 연결구조에 대한 특허 (세부내용 첨부참조)

- 등록번호 : 제 10-1728885 호
- 등록일 : 2017년 04월 14일
- 발명의 명칭 : 동력전달용 구동축 연결구조
- 특허권자 : 한국철도기술연구원
- 발명자 : 권태수, 정현승, 김진성
- 특허 내용 : 본 발명은 동력전달용 구동축 연결구조에 관한 것으로, 보다 상세하게는 동력전달계통에 과부하 등 이상이 발생하게 될 경우 구동축과 연결축을 연결 고정시키는 연결부가 파손되도록 함과 동시에 구동축과 연결축을 고정시키는 연결부가 파손되더라도 보조동력전달부에 의해 구동축의 동력이 연결축으로 전달되도록 하여 철도차량이 안전하게 운행이 이루어지도록 한 동력전달용 구동축 연결구조에 관한 것이다. 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명은 동력장치에 결합되는 구동축과, 상기 구동축에 일측부가 결합되고, 타측부에는 동력전달부에 결합되는 연결축과, 상기 구동축과 연결축을 결합시키는 연결부로 구성된 것을 특징으로 한다.

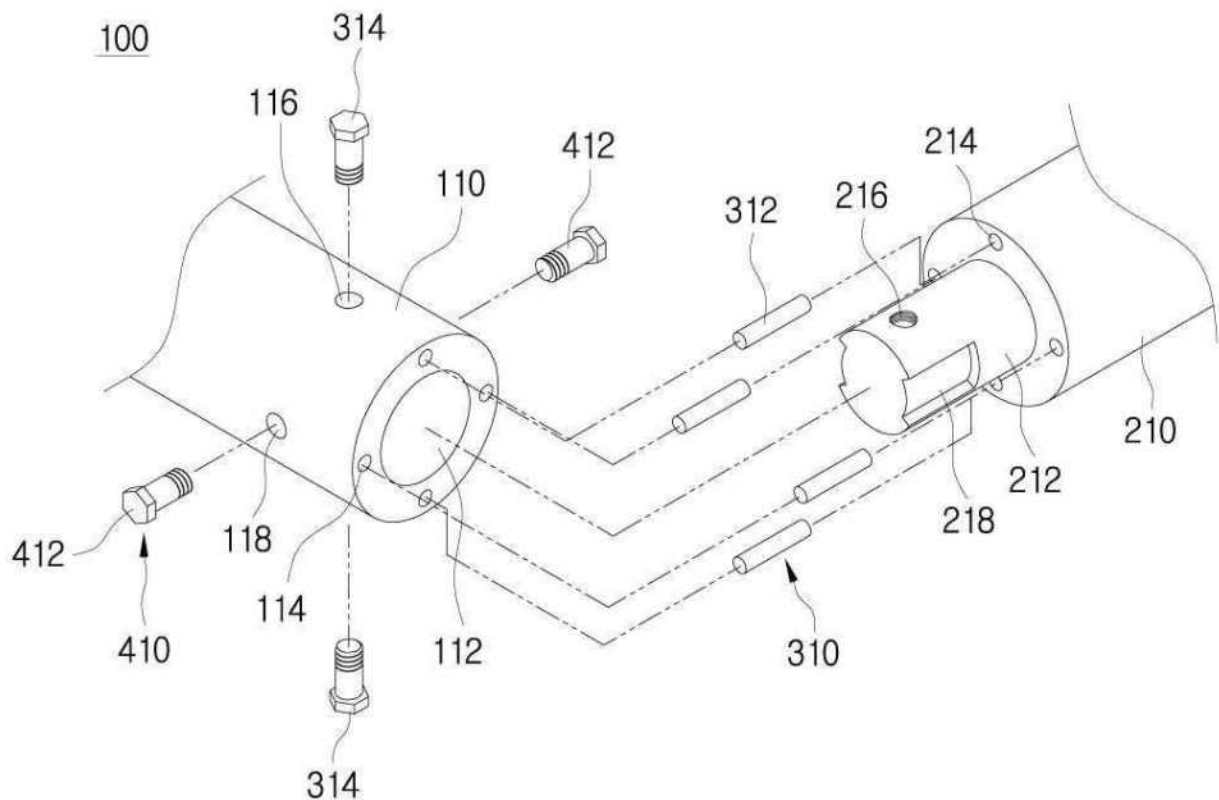


그림 177 동력전달용 구동축 연결구조 개략도

다. 연구결과

1) 기술적 성과

가) 고객의 Needs 대응

○ 고속철도(KTX) 운행 중 동력전달 계통 이상발생 시에도 정차 또는 서행 없이 정상속도로 안전하게 종착역까지 운행 가능한 동력전달 기능이 요구에 대응할 수 있는 다단계 퓨즈 기능(MSMF : Multi-Stage Mechanical Fuse)이 내장된 한국형 고유모델의 동력전달축 국산화개발에 성공하였다.

○ 안전운행 확보차원에서 초고가의 수입품을 도입 적용하고 있으나 이로 인해 발생하는 막대한 유지보수비용에 대한 근본적인 대책이 마련되었다고 볼 수 있겠다.

※ 신규 도입품(GKN)에는 고속안전유니트(HSSU : High Speed Safety Unit) 내장으로, 구동축 절손 시에도 속도저하 없이 정상적인 운행이 가능

나) 기계식 동력전달 축의 성능개선 (4대 공정개선)

○ 퓨즈 곡면 부 곡면연마 공정 추가

- Safety set의 퓨즈 곡면 부 기존품(수입품) 선삭공정에서 연마공정 추가

- 기존 및 개발품 표면 거칠기 비교

(기존 수입품 : 4.50~7.50 μm , 개발품 : 2.0 ~ 30. μm)

- 거친 표면의 미세 굴곡 부 발생 균열 방지로 비틀림 내구수명 획기적 개선



그림 178 퓨즈 곡면 부 연마공정

○ 스플라인부 샷 피닝 공정 추가

* 작업조건

- 샷트 볼 : 주강, 0.8mm, H_RC 55~60

- 1차 1,200rpm, 2차 1,800rpm, 10분

* 스플라인 부 내마모성 향상으로 피로수명 증대



그림 179 스플라인 부 숏 피닝(Shot pening) 공정

○ 트리포드 유닛 및 샤프트 조립간 열간압입 공정 적용

- * 적용부위 : 트리포드 유닛 스플라인 내경
- * 작업조건
 - 온도 챔버에서 140°C 조건으로 10분 가열
- * 온도 챔버 확보 및 적용으로 공정 안정화 완료



그림 180 트리포드 유닛 및 샤프트 조립간 열간압입 공정

○ 동력전달 축 조립체 언밸런스 공정 추가

- * KS B ISO 1940-1 기준
- * 6.3G 등급 만족
 - 좌측 23.5g 이하, 우측 41.6g 이하
- * 잔류 불평형 최소화로 사용수명 증대 목적



그림 181 동력전달 축 조립체 언밸런스 공정 추가

다) 국내 기술기반 구축을 통한 국산품 공급요구에 대응

- 도입품에 대한 잦은 품질문제 발생에도 불구하고 국내 연구가 전혀 없어 해외기술에 의존하고 있는 실정이었으나 이번 국산화개발을 통하여 국내 기술기반 구축을 통한 국산품 공급요구에 대응 방안이 마련되었다.
- 이에 대한 근본적 대책으로 수입품 동등이상 성능의 국내 고유모델 요구 증가에 대한 대응이 필요하며 이번 국산화개발을 계기로 근본적 대책수립을 위한 기반을 마련하게 되었다.

라) 국내시장 수요 대응 및 해외시장 진출 기반 구축

- 국내시장 KTX, KTX-산천, 수서선, 원강선 호남선 총 200억원, 해외시장 약 4,000억원 등으로 추정된다. 향후 국내시장을 석권하고 해외시장으로 진출하여 선진메이커들과 기술경쟁을 통한 해외시장 진출을 실현하고자 한다.

마) 해외 경쟁사 신기술 출시에 대응가능한 고유 모델 확보

- 이번 국산화개발과정에서 괄목할 만한 성과는 해외 선진 메이커(GKN)에서 신규 개발된 HSSU 기능을 대체하고 더욱 더 우수한 기술로 세계시장을 선도할 수 있는 다단계 퓨즈(MSMF) 내장형 한국형 동력전달축 개발에 성공한 것이다.
- HSSU (High Speed Safety Unit) 개요
 - Fuse부 절손 시에도 320 km/h로 5,000 km 주행 가능
 - 상업운행 적용 시 Fuse 부 작동으로 인한 KTX 지연운행 방지
 - 공급사 : GKN DRIVELINE사
 - 한국철도공사에 공급
 - 2018년 운행예정인 원강선에 채택

바) MSMF와 HSSU와의 기술적 차별성

- MSMF는 주행 중 과 토크 유입으로 **MSMF**의 1차 퓨즈 절손 후에도 연속적으로 2차 퓨즈가 작동되어 동력을 전달함으로써 속도저하 없이 정상속도로 동력전달이 가능한 Mechanism 으로 절손이 된 상태에서 단순 진동만을 억제한 채 절손상태를 복구하지 못한 상태로 주행해야 되는 해외 선진사의 HSSU와는 동력전달 Mechanism 측면에서 본질적으로 차별화 된다.
- 또한 MSMF는 1, 2차 핀의 두께를 조절함으로써 파단토크의 범위를 조절할 수 있는 구조적 특징이 있을 뿐만 아니라 핀의 조립방향을 축방향이나 반경 방향으로 변경할 수 있는 확장성을 가지고 있는 점 등이 기술적 차별설이라 할 수 있겠다. 아래 그림 182는 HSSU의 개념을 설명하고 있다.

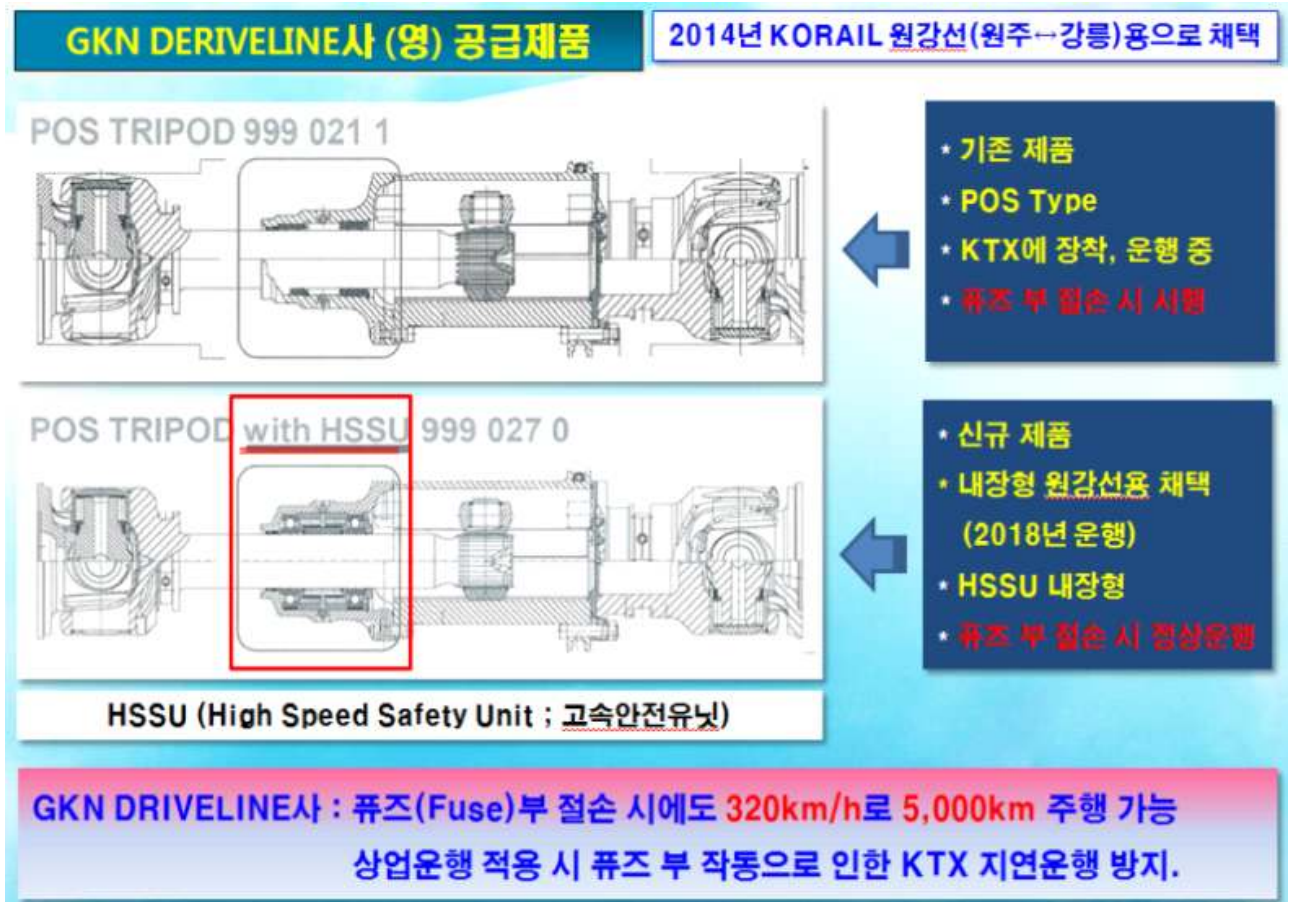


그림 182 HSSU (High Speed Safety Unit) 개요

사) MSMF와 HSSU의 성능비교

- 1차적으로 외부로 부터의 과도한 토크 인입 시 동력전달축의 Safety-set 이 작동된 상태에서 정상적인 주행속도 300km/h로 5,000km 이상 주행하는 기본성능은 MSMF와 HSSU가 유사하다고 볼 수 있다. 다만 현 상태에서의 MSMF와 HSSU의 성능 차이점을 아래 그림 182-1에서 비교하였다.
- HSSU는 현재의 제품과 호환성이 있으며 검증이 완료된 점이 장점이다. 그러나 중량이 증가되고 가격이 고가인 점이 단점으로 분석되고 있다
 - 장점 : 현 제품과 호환, 검증 완료
 - 단점 : 중량 증가, 가격 고가
- MSMF의 장점은 국내고유 모델로 특허침해 에 대한 논란이 없으며 역시 현 제품과 호환성은 있으나 중량증가가 없으며 강조조절이 용이하고 가격이 저렴하며 유지보수가 용이하다는 점이 강점인 반면에 단점으로는 유일하게 아직 검증이 이루어지지 않았다는 점이다.

- 장점 : 국내 고유모델, 현 제품과 호환, 증량증가 없음, 강도조절 용이, 가격 저렴, 유지보수 용이
- 단점 : 검증이 이루어지지 않았음

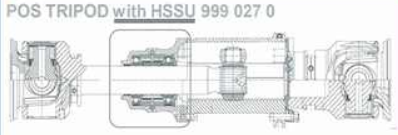
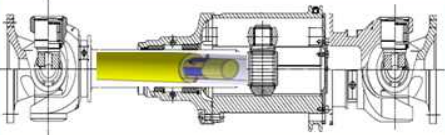
구 분	HSSU, GKN	MSMF, KOREA	비고
			
장 점	• 현 제품과 호환 • 검증 완료	• 국내고유 모델 • 현 제품과 호환 • 증량증가 없음 • 강도조절 용이 • 가격 저렴 • MSMF 유지보수 용이	HSSU : GKN사 모델
단 점	• 증량 증가 • 가격 고가	• 검증 예정	

그림 183-1 MSMF와 HSSU와의 기술적 비교

아) 해외기술 대응전략에 1단계 기여

○ 기계식 트리포드 구동축 국산화 개발 : 1단계 (선행개발)

- 트리포드 구동축 국산화개발로 해외기술 대응 1단계 기여
- 해외기술 대응 전략수립을 위한 기반 마련에 기여
- 1단계 개발완료 : 2014 ~ 2016년

○ 다단계 퓨즈(MSMF) 내장형 트리포드 구동축 성능고도화 개발 : 2단계 (이번 사업)

- 국내 고유모델의 다단계 퓨즈(MSMF) 국산화개발로 기술자립 및 해외시장 진출
- 다단계 퓨즈(MSMF) 내장형 트리포드 구동축 사업화 궁극적인 목표로, 기계식 구동축 개발을 통하여 확보된 기술을 바탕으로 고사양화
- 2단계 개발(사업화) : 2016 ~ 2019년

- 다단계 퓨즈(MSMF) 내장형 트리포드 구동축 사업화 : 3단계 (별도 사업화과제 추진)
 - 한국철도공사 협조 하에 완성차 협차시험 (1년, 4계절)
 - 3단계 개발 단계 : 2020 ~ 2022년
 - 3단계 개발은 별도의 사업화 과제를 통한 국내, 외 사업화 추진

최종목표 고속철도(KTX)용 <u>고속안전유닛(HSSU)</u> 내장형 <u>트리포드</u> 국산화 개발			
			
구 분	Before	After	비고
트리포드 기본성능 향상	□ 미흡 (2014년부터 독자 개발)	□ 선진국 동등이상 수준	□ 1단계 개발 (2014~2016)
차세대 성능 추가 (HSSU)	□ 국내제품 없음 (국내 고유기술 개발)	□ 선진국 추월 수준	□ 2단계 개발 (2016~2018)

그림 184 트리포드 구동축 기술 대응전략 개념

2) 경제적 성과

가) 투자유치

- 고속철도(KTX)용 기계식 트리포드 구동축 국산화개발을 통하여 확보한 연구개발 결과를 기반으로 국내외의 지속적인 투자유치 활동과 매출 증대를 위한 홍보의 병행 추진 등으로 신규 자금을 유치하기 위한 기반을 마련
- 고속철도(KTX)용 기계식 트리포드 구동축의 수요처인 한국철도공사의 Needs를 만족하기 위한 고 사양 사업화를 목적으로 현재 추진 협의 검토 중인 별도의 사업화과제 또는 구매조건부 기술개발사업의 기획을 통하여 지속적인 개발 진행을 위한 개발자금을 유치와 동시에 현차시험을 위한 환경도 마련
- 이와 동시에 초기투자의 위험성을 방지하기 위하여 생산기술 능력을 보유한 제조 Start up 기업과의 전략적 제휴를 통하여 향후 양산을 대비한 생산능력을 확보하여 투자유치에 버금가는 효과 창출

- 아울러 향후 본격적인 양산 및 해외 수출을 대비, 기업공개와 동시에 IR을 통하여 제도권 내의 벤처캐피탈(VC), 엘젤투자 및 금융권 자금을 포함하여 설비투자 및 공장부지 확보를 위한 지자체의 운전자금 및 시설자금의 확보를 병행 추진
- 철도분야의 해외 전시회 참여 등을 통하여 개발된 기술을 해외시장에 홍보 및 수주 활동 병행으로 해외 수출을 위한 환경을 조성함과 동시에 해외기업으로부터 국내 투자를 유도하여 가시적인 성과 도출
- 특히 최근 성공사례가 지속적으로 보도되고 있는 정상회담 등의 후속조치의 일환으로 이루어지고 있는 경제사절단을 활용하는 방안도 강구

나) 수입대체효과

- 현재 국내 고속철도차량 시장은 수입에 전적으로 의존하는 상황이므로, 본 과제를 통하여 확보된 개발 기술로 수입대체효과가 기대되며, 또한 수출을 통한 경제적 효과가 기대됨
- 국내에서 기계식 트리포드 구동축을 장착하고 운행되고 있는 KTX는 총 46편성으로, 장착되어 있는 트리포드 구동축의 수량은 총 552개이며 수입가 20,000만 원 기준 약 110억원의 시장이 형성되어 있으며, 사용수명을 10년으로 가정하면 연간 6억원 이상의 매출이 가능할 것으로 판단됨
- 따라서 본 과제를 통하여 개발된 제품이 채택된다면 매년 약 6억원의 수입대체효과가 예상되며, 향후 현재 KTX-산천에 장착되어 운용되고 있는 유압식 트리포드 구동축까지 국산화개발에 성공할 경우 추가적인 효과도 기대됨

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1) 목표

가. 연구개발 목표

구분	내용
최종 목표	고속철도(KTX) 운행 중 동력전달 차단 사고 발생, 즉 Safety-set이 작동되어 동력전달 문제발생 시에도 320km/h 정상속도 유지 가능한 국내 고유모델의 고속철도용 다단계퓨즈 내장형 동력전달 축 실용화 개발
세부 목표	○ 기본성능 향상을 통한 선진국 동등이상 성능 수준의 동력전달 축 국산화개발 ○ 국내 고유모델의 MSMF(다단계 퓨즈) 기능 개발을 통한 선진국 추월수준의 성능 확보 ○ 차세대 신제품의 MSMF 내장형 동력전달 축 상용화를 통한 국, 내외 신시장 개척

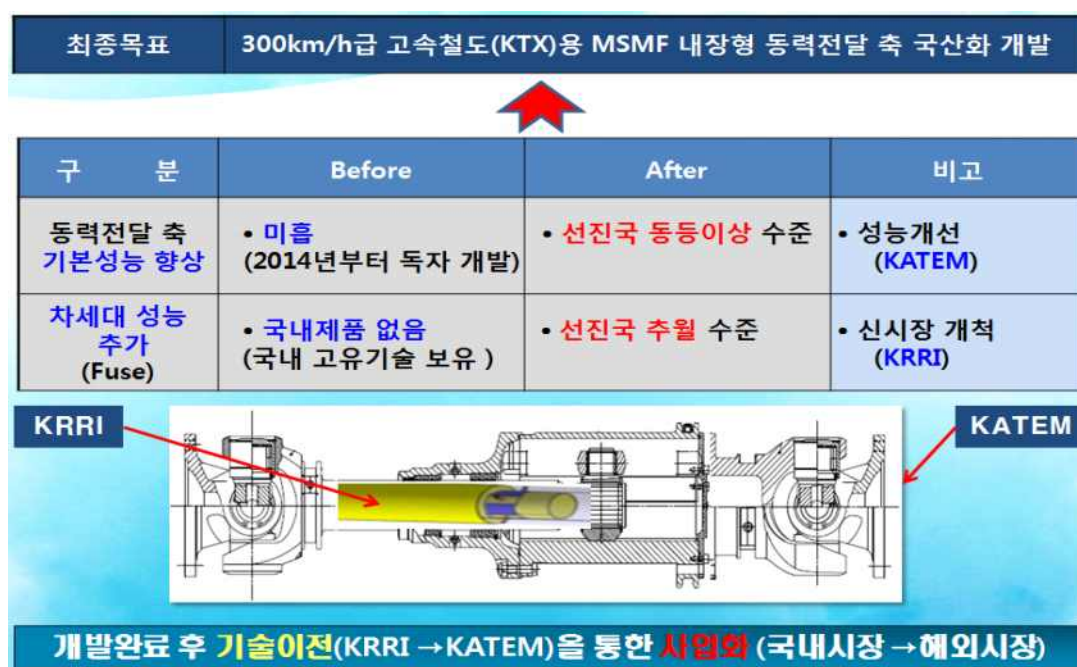


그림 185 MSMF 내장형 동력전달 축 국산화개발 개념

나. 연차별 연구개발 목표

가) 1차 년도

비틀림 최대강도 30kN.m급 동력전달 구동축 국산화개발을 통한 원천설계기술 확보

- 주관연구기관(카템)

- 수입품 성능특성 분석
- 성능 최적화 3D 모델링
- 부품설계 및 금형개발
- 1차 시제 제작 및 시험

- 공동연구기관(한국철도기술연구원)

- MSMF 개념설계
- 인터페이스 engineering
- MSMF 1차 시제

나) 2차 년도

최대 비틀림 파단강도 34 kN.m 이하급 MSMF 내장형 동력전달 구동축 국산화 개발을 통한 제작공정 기술 확보

- 주관연구기관(카템):

- 1차 시제품 성능평가
- 1차 시제 개선 설계
- 개선시제 제작, 평가
- 생산공정 기술 셋업

- 공동연구기관(한국철도기술연구원):

- 단품 퓨즈 개선시제
- 퓨즈틀 개선시제 제작
- MSMF 개선시제 및 평가

다) 2차 년도

최대 비틀림 파단강도 $22 \pm 5\%$ kN.m급 MSMF 내장형 동력전달 구동축 국산화 개발을 통한 시험평가 기술 확보

- 주관연구기관(카템):

- 시제품 신뢰성 평가
- 신뢰성시험 추진

; 3차년도에 한국기계연구원(kimm) 신뢰성인증센터 시험설비 활용

; 신뢰성시험용용 시료 준비(2sets 예상)

; 신뢰성시험 시료 시험 및 평가 실시

; 시험완료 후 시험결과 확인 및 정리

○ 신뢰성시험 적용시제 분석

; 신뢰성시험 완료시료 탈거 및 분해

; 부품별 마모부위, 양상, 정도 분석

; 분석결과 설계 및 제작공정 F/Back

; F/Back 내용 반영 양산용 기술자료 완성

○ 기술, 홍보자료 완성

- 공동연구기관(한국철도기술연구원):

○ MSMF 최종시제 제작

○ 현차시험 적용시제 분석

○ 유지보수 편의성 기술

다. 개발 성능목표

평가항목 (주요성능 Spec ¹⁾)	단위	전체항목 에서 차지하는 비중 (%)	선진국 수준 (GKN(영) 사)	개발목표치			평가방법
				1차년도	2차년도	3차년도	
1. 최대 굽힘각	°	10	8	5	8	-	수요기관 (KORAIL) 요구기준 또는 신뢰성규격 RS-KIMM-20 10-0082
2. 언밸런스량	G	10	6.3	16	6.3	-	
3. 최대 회전속도	rpm	10	1,800	1,000	1,800	-	
4. 비틀림 최대강도	kN.m	10	34	30	34	-	
5. 예비 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능없음	-	200이상	22±10%	
6. 최종 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능없음	-	290이상	32±10%	
7. 비틀림 내구수명	cycle	15	130,000	-	100,000	130,000	
8. 신뢰성시험 주1)	Km	15	200,000	-	-	200,000	

2) 목표 달성여부

가. 개발 성능목표 대비 달성 정도

평가항목 (주요성능 Spec ¹⁾)	단위	전체항목 에서 차지하는 비중 (%)	선진국 수준 (GKN(영) 사)	개발 목표치	개발 달성치	달성여부	평가방법
				최종단계			
1. 최대 굽힘각	°	10	8	8 이상	8	달성	신뢰성규격 RS-KIMM-2010 -0082
2. 언밸런스량	G	10	6.3	6.3	6.3	달성	
3. 최대 회전속도	rpm	10	1,800	1,800	1,800 (이상소음 없음)	달성	
4. 비틀림 최대강도	kN.m	10	34	34 이상	34.021	달성	
5. 예비 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능없음	22±10%	22.31	달성	
6. 최종 비틀림 파단강도	kN.m	15	기능없음	32±10%	31.46	달성	
7. 비틀림 내구수명	cycle	15	130,000	130,000	170,800	달성	
8. 신뢰성시험 주1)	Km	15	200,000	200,000	200,000 상당	달성	

나. 시험평가 기관

- 한국기계연구원(KIMM/대전) 신뢰성인증센터(시험설비 활용)

단, 평가항목 5. 6.의 비틀림 파단강도는 한국화학융합시험원(KTR) 입회 시험

다. 전항목 공인성적서(KIMM, KTR) 첨부

3). 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

가. 미달성항목 : 없음

나. 후속연구의 필요성

- 최종 비틀림 파단강도의 경우 개발목표치대비 범위 내 하향 만족상태로 ±10% 이내로 만족은 하였으나 향후 후속연구를 통하여 MSMF의 보다 정밀한 Sizing과 설계검증을 통하여 상향만족 수준으로 개선 필요성이 있는 것으로 판단된다.

4. 연구개발성과의 활용 계획

가. 연구개발성과의 활용방안

1) 기술수요처

- 가) 한국철도공사(KORAIL) : 4개 노선 총 1,000개 (944개+예비품), 약 200억 시장 대상(보수품)
- 경부선 KTX 46편성 총 552개 (사용 년 수 10년 이상 도래로 대량의 보수품 수요 예상)
 - 호남선 KTX-산천 24편성 총 192개 (현재는 유압식이나 기계식과 공용화 적용 가능 ; 한국철도공사(KORAIL)에서는 VOITH(독)사 제품의 유압식 동력전달 축이 상대적으로 고가인 반면 성능은 만족스럽지 못해 향후 기계식과 공용화 방안 검토 중임)
 - 수서선 KTX 10편성 총 80개 (현재는 유압식을 적용하고 있으나 기계식과 공용화시 적용)
 - 원강선 KTX 15편성 총 120개 (현재는 GKN사의 HSSU 내장형이 채택되었으나 향후 보수품으로 적용 가능)

나) 현대로템(주) : 향후 고속철도 해외수출 계약 시 (ex) 터키, 미국 등)

다) 현대다이모스(주) : 국내 및 해외 고속철도용 차축 수주 시 대응

라) 해외 시장 진출 모색 : 국내에서 영업하는 국, 내외 Dealer를 대상.

(ex) 엠테크인(주) : 프랑스 SNCF에 국내부품 공급사)

2) 현장적용 방안(계획)

- 가) 본 연구의 3차년도에 한국철도공사(KORAIL) 협조 하에 현차시험 실시.
- 6개월 또는 200,000km (선 도달하는 조건에 종료), 수입품과 동일조건으로 비교시험
 - 또는 개방형 SIL 기반의 Virtual Test 수행

3) 실용화. 제품화 방안(계획)

가) 1단계 : KORAIL에 완성품 공급 이전에 부품단위 보수품 또는 수리 키트로 공급하는 방안.

(현재 동력전달 축은 정기검사 시 부산, 고양기지에서 핵심부품에 대하여 NDT 검사를 실시하고 결함이 발견된 부품은 조립체 단위로 탈거하여 수도권정비단(고양)에서 부품 교체작업을 진행하므로 꾸준히 부품단위, 수리키트의 수요가 발생하고 있음)

나) 2단계 : 본 연구를 통해서 KORAIL 협조 하에 현차시험을 수행한 후 가격경쟁력을 가지고 입찰을 통하여 완성품 공급

라) 3단계 : 현대로템(주), 한국무역공사(Kotra)를 통하거나 또는 직접 국, 외 전시회 등에

참가하여 판로모색

- 2016년 InnoTran 출품 및 기술동향 분석, 국내기업(현대로템)과 해외 동반진출
- 고속철도 특화 홈페이지 구축(On line 마케팅) 및 홍보물 제작 (Off line)

4) 미래원천기술 확보

- 가) 신뢰성인증(R-Mark)획득, 신기술(NET) 인증, 세계일류상품 인증 등 기술인증 획득 추진
- 나) 특허등록 및 장영실상 수상 등 원천기술에 대한 기술경쟁력 확보 추진
- 다) 확보된 기술력을 바탕으로 향후 개발 예정인 GTX, iTX용으로 기술력 확대
- 라) 동력전달 축 단일 기술에서 제어기능과 신호시스템이 접목된 동력전달 시스템기술로 확대

5) 신산업 창출

- 가) 1차적으로 국내 고속철도 동력전달 축 시장 석권으로 수익기반 조기 확보.
 - 국내 KTX, KTX-산천에 2원화 적용되어 있는 기계식, 유압식 동력전달 축을 본 연구를 통해서 개발되는 MSMF 내장형 동력전달 축으로 단일화 적용 유도하여 매출 증대 달성
- 나) 2차적으로 또는 1차와 병행으로 해외시장 기술경쟁력과 가격경쟁력으로 해외 시장에 진출 하여 친환경 산업인 고속철도용 동력전달 축 신산업 창출.

나. 기대효과

1) 기술적 측면(현재 또는 미래 시장 확대 전망)

- 가) 기술적 측면에서 그동안 수입에 의존해 왔던 고속철도용 동력전달 축을 자체 기술로 국산화개발에 성공함으로써 해외 선진국의 제품대비 보다 우수한 기술경쟁력과 가격 경쟁력을 확보한 국내 고유 모델의 개발을 통하여 국내시장 석권은 물론 해외시장으로 진출할 수 있는 기술적 기반을 확보하게 되었다.
 - MSMF 내장형 동력전달 축 : 국내 고유모델의 차세대 신제품으로 해외수출기반 마련
 - 나) 동력전달 축은 Universal Joint가 내장되어 있는 Cardan Joint type으로 이러한 방식의 동력전달 축 기술은 대형버스, 건설장비용 차량 외에도 특수목적 군용차량에도 광범위하게 적용되는 기술로 그 파급효과가 상당히 큼
 - Cardan Joint type 적용 범위 : 민, 군용 상용차, 건설기계 장비, 특장차량 등
- 아래 그림 185.는 Cardan Joint type 구동축 적용 차량(예시)를 보여주고 있음



그림 185. Cardan Joint type 구동축 적용 차량(예시)

다) 현재 국내시장은 고속철도용 동력전달 축 수입가(2,000만원/단가) 기준 약 200억의 시장이 형성되어 있다.

- 경부선(KTX), 호남선(KTX-산천), 원강선, 수서선 등 총 1,000개(944개+예비) 동력전달 축이 장착되어 운행되고 있거나 장착될 예정이다
- 단가 2,000만원 기준 약 200억으로 10년 사용수명 기준 연간 20억의 시장이 형성되어 있으며 KTX 잔여 운행기간 고려 향후 약 20년 지속될 것으로 예상된다.

라) 국. 내외적으로 고속철도는 친환경 산업으로 각광을 받고 있어 시장은 지속적으로 확대될 것으로 예상된다.

- 국내 향후 전망은 탄소가스 배출규제 등 환경정책에 편승하여 고속철도 노선 증가 및 준고속철도(iTX, GTX 등) 증설이 예상되어 동력전달 축 수요는 지속 증가가 예상된다.
- 해외시장은 2010년 기준 전체 약 73 백만 볼로 추정되며 VOITH(독), GKN(영)이 선진 메이커로서 전 세계시장의 80% 이상을 장악하고 있는 것으로 조사되고 있음. 그러나 최근 세계시장의 규모는 중국 고속철도 시장 진출로 인해 폭발적으로 증가되고 있는 추세로 정확한 규모는 추가적으로 3P분석과 글로벌 시장 동향 분석 및 시장규모 조사를 통 하여 그 규모를 파악할 예정이다.

2) 경제적 · 산업적 측면 (수입대체, 수출가능성)

가) 국내 매출은 사업종료 2년 후인 2021년부터 10.0억을 시작으로 6년 후인 2025년 200억 예상된다.

나) 수입대체 효과는 2021년 6억 을 시작으로 증가하여 2025년 약 60억으로 예상된다.

다) 해외 고속철도시장 진출로 사업종료 6년 후인 2025년 세계시장 점유율 10.0%, 100Mill. \$, 1,200억 목표이다.

< 표 16. 경제, 산업적 측면 기대효과 분석 >

구분		(2021 년) 사업종료 후 2년	(2023 년) 사업종료 후 4년	(2025 년) 사업종료 후 6년
국 내	시장점유율(%)	10	50	100
	판매량(단위: 대)	100	750	2,000
	판매단가(천원)	10,000	10,000	10,000
	국내매출액(억)	10.0	75.0	200.0
	수입대체 효과(억)	6.0	45.0	60.0
해 외	시장점유율(%)	0.6	5.0	10.0
	판매량(단위: 대)	600	3,000	10,000
	판매단가(\$)	10,000	10,000	10,000
	해외매출액(백만\$)	6.0	30.0	100.0
당사 생산능력 ¹⁾		700	3,750	12,000

3) 사회적 측면 일자리 창출

가) 사업종료 2년 후인 2021년부터 30명의 신규인력 채용을 시작으로 사업종료 6년 후인 2025년 까지 약 240명의 신규일자리가 창출될 것으로 예상된다.

< 표 17. 사회적 측면 일차리창출 기대효과 분석 >

창출내용	고용 기여도				
	2021년	2022년	2023년	2024년	2025년
동력전달축(with MSMF)	30	80	100	150	240

나) 철도분야에서 방산분야, 민수차량분야, 건설장비 분야 및 특장차량 분야로 사업영역을 확대함에 따라 경제 유발효과 및 고용 유발효과를 분석해 본 결과 사업종료 5년 후인 2024년까지 약 5,198억의 경제 유발효과와 4,626명의 고용유발효과가 분석되었다.

아래 그림 186.은 경제 유발효과 및 고용 유발효과 분석그림이다.

- 2024년까지 경제 유발효과 : 5,198억, 고용 유발효과 : 4,626명



그림 186 경제 유발효과 및 고용 유발효과 분석

가) 기타 특허출원 3건, 특허등록 3건, 논문 1건 및 국, 내 전시회 출품 3건 등의 성과가 있었다.

< 18 기타 기대성과 >

구분	성과	1차년도	2차년도	3차년도	합계
사업화 R&D 역량강화	특허출원(건)	2	1		3
	특허등록(건)		2	1	3
	논문(건)		1		1
	국/내외 전시회	1	1	1	3
	신규인력	1	2	3	6
	인력양성			1	1

성과분석

KATEM

구분	성과		목표	1차년도 (2016년)	2차년도 (2017년)	3차년도 (2018년)	합계
고용/ 일자리 확대	고용	연구직	-	1	2	2	5
		비 연구직	-	-	-	1	1
		계	-	1	2	3	6
시제품 제작			5	2	1	2	5
사업화 R&D 역량 강화	특허출원(건)		2	1	1	-	2
	특허등록(건)		2	-	1	1	2
	논문(건)		1	-	-	1	1
	국/내외 전시회		-	1	3	1	4
	인력양성		-			1	1(KRAI)

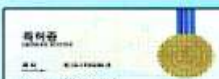
 철도자랑을 동경전문주 재조방합(2017.02.06)	 고속열차의 구조중심 유니 비설 조인트(2019.02.21)		년도	전시회명
			2016.06	TIANAN CYBER PARK, 청도/중국
			2016.09	InnoTrans 2016, Berlin/독일
			2016.11	InnoRail 2016, Lucknow/인도
			2017.05	Raillog Korea 2017, Busan/한국
			2018.09	InnoTrans 2018, Berlin/독일

그림 187 성과분석결과

붙임. 참고문헌

- 트리포드 구동축 분해조립 절차서 (한국철도공사)
- 2가지 TGV 트랜스 미션에 대한 피로도 시험번역 (2006.07.06.)
- 수리키트 도면 (9990173K_1_E)
- Eurailtest_report (SNCF)
- Presentation KORAIL (GKN, 2006.07)
- Calculation note (TGV, 1996.06.25)
- 그랜저 트리포도(ATX형) 외형도면(GKN사)
- 트리포드 매뉴얼-번역 (한국철도공사, 1996.06.19)
- 트리포드 구동축 사양서 (TGV, 1996.06.25)
- 유압식 트리포드 외형도면 (VOITH사)
- U/Join 부품 카탈로그 (Welte_Industrie_GelenkWellen_2014)
- 한국철도기술연구원 “중소중견기업 수요기반 철도원천기술 개발연구”과제 최종보고서(2015.12.31.)

뒷면지

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.