

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()

도시철도용 차축베어링 개발 최종 보고서

R&D /
11-B551457-000021-01

도시철도용 차축베어링 개발 최종보고서

2017. 03.

주관연구기관 / (주)우진산전

협동연구기관 / 한국철도공사

공동연구기관 / (주)베어링아트

(주)선일플라스틱

위탁연구기관/ 두원공과대학 산학협력단

철도기술연구사업 R&D Report

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

‘도시철도용 차축베어링 개발’(연구개발 기간 : 2013. 12. ~ 2016. 12.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2017. 03.

주관연구기관명 :	(주)우진산전(김영창)	(인)
협동연구기관명 :	한국철도공사(홍순만)	(인)
참여기관명 :	(주)베어링아트(박형만)	(인)
	(주)선일플라스틱(서선옥)	(인)
	두원공과대학 산학협력단	(인)

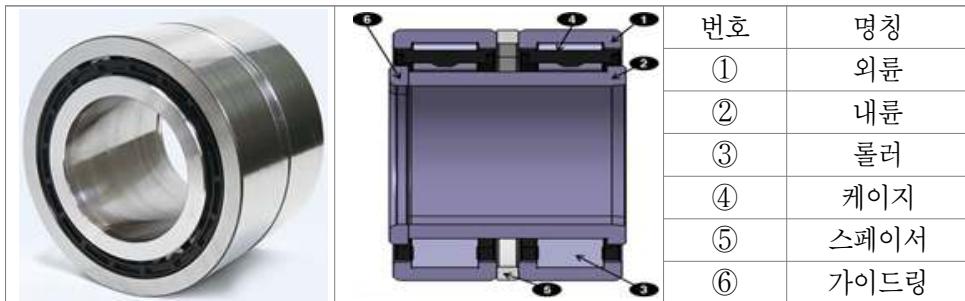
주관연구기관장임자: 전 병 진
협동연구기관장임자: 김 진 우
참여기관장임자: 이 희 대, 배 준 영, 이상훈

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	11-B551457 -00021-01	해당 단계 연구 기간	2016.04.27.~20 16.12.26.	단계구분	4/4	
연구사업명	중사업명					
	세부사업명	철도기술연구사업				
연구과제명	대과제명	도시철도 핵심부품 국산화 및 장치 고도화 개발 1단계				
	세부과제명	도시철도용 차축베어링 개발				
연구책임자	김 진 우	해당단계 참여 연구원 수	총: 34명 내부: 32명 외부: 2명	해당단계 연구개발비	정부:1,509,000천원 기업:503,000천원 계:2,012,000 천원	
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 66명 내부: 62명 외부: 4명	총 연구개발비	정부:4,659,800천원 기업:1,577,667천원 계:6,237,467천원	
연구기관명 및 소속 부서명	한국철도공사(연구원 기술연구처)			참여기업명	(주)베어링아트 (주)선일플라스틱	
국제공동연구	-			-		
위탁연구	-			두원공과대학교 산학협력단		
요약 - 100%수입에 의존하고 있는 도시철도용 차축베어링의 국산화 개발을 위해 시제품 제작, 수명내구 성능시험 수행 및 공인인증기관 인증, 유럽시장 진출을 위한 해외인증(IRIS)취득, 현차 적용시험 수행을 통한 온도모니터링 등을 수행함. 본 과제 수행을 통해 국내 유일의 차축베어링 수명내구 성능시험기를 제작하였고 공인인증, 해외인증 등을 취득함으로써 제품 및 제작사의 신뢰도를 향상하였으며 최종적으로 현차적용시험을 완료하여 성공적으로 과제를 수행함			보고서 면수	109P		

연구의 목적 및 내용	(연구목적) 도시철도용 차축베어링 국산화, 성능평가, 품질인증 획득을 통한 해외 해외시장 진출 및 고부가가치 핵심부품에 대한 기술기반 구축효과 기대 (연구내용) ■ 국내외 기술동향 조사 - 베어링 분야 특허기술 조사 및 회피전략 수립 - 기술선진국 기술동향 분석 (기술자료 및 문헌 조사) - 국내외 인증기관 인증절차 관련자료 조사 및 방안 수립 ■ 전동차량용 차축베어링 설계 및 제작 - 차축베어링 성능 요구조건 검토 - 차축베어링 벤치마킹 - 차축베어링 접촉부 응력해석 - 차축베어링 결함파턴 조사 - 차축베어링 설계 및 시제품 제작 - 플라스틱 케이지 소재 특성평가 및 CAE 분석 - 차축베어링 시제품 성능평가 및 결과분석 ■ 차축베어링 수명내구 성능시험기 설계 및 제작 - 유럽규격(EN12082)에 근거한 차축베어링 수명내구시험기 설계/제작 - 차축베어링 수명내구성능시험 시행 및 성능평가 ■ 해외인증(IRIS) 획득 - 유럽철도산업표준(IRIS) 인증절차 조사 및 방안 수립, 획득 ■ 현차 적용시험 완료 - 현차 적용시험 추진을 위한 기술검토서류(시험절차서 등) 작성 - 현차 적용시험 계획(안) 작성 - 안전성 검증 - 4계절 현차 적용시험 수행 및 성능평가
연구개발성과	■ 도시철도용 차축베어링 개발



- 베어링 형태 : 원통형 롤러 베어링
- 특징 : 기존 사용중인 베어링과 100% 호환 가능하며, 베어링 내 롤러의 가이드 역할을 담당하는 케이지 재질 변경(황동→폴리아미드(PA) 케이지)
 - ☞ 기존 제품에 비해 14%수준의 중량 저감
- 기본 동 정격 하중 : 기존품(NSK社) 대비 4%수준 용량 증대
- 기본 정 정격 하중 : 기존품(NSK社) 대비 2%수준 용량 증대
- 베어링 수명<목표수명→500만km> : 기존품(NSK社) 대비 7%수준 용량 증대
- 정밀도 : 기존품(NSK社) 대비 동등 수준의 가공기술 확보

- 유럽규격(EN12082)에 근거한 자체 수명내구성능시험기 개발 및 내구성 테스트 완료
 - 60만km 수준(EN12082 기준)의 수명내구시험 완료 및 Certificate of Test(TÜV Rheinland) 확보
 - 144만km 수준(KORAIL TBO 기준)의 수명내구시험 완료 및 Certificate of Test(TÜV Rheinland) 확보
 - 360만km 수준의 수명내구시험 완료 및 Certificate of Test(TÜV Rheinland) 확보
 - ☞ 유럽규격(EN12082)에서 요구하는 수준(60만km) 이상 만족
- IRIS(International Railway Industry Standard, 국제철도산업표준) 인증 획득
 - ☞ 인증서 발급기관 : TÜV Rheinland
- 코레일 전동차량을 활용한 4계절 현차 적용시험 수행 완료
 - 시험기간 : 2015.11.02~ 2016.10.14.
 - 시험장소 : 대불선로(일로~대불, 약 42,000km 수준의 누적거리 확보)
 - 시험차량 : 광명역 셔틀 4량 1편성(M'Car 대차 2Set에 차축베어링 8개 적용)
 - 현차 적용시험 수행 중 베어링 이상유무 판단을 위한 온도 모니터링 시행
 - ☞ 온도 모니터링 결과 기존품 대비 상대적으로 낮은 수준(약 3.5~7°C)
 - ☞ 시험 종료 후 베어링 분해, 이상유무 점검 완료 및 공인기관 시험성적서 (한국화학융합시험연구원 등) 및 현차시험 관련 Certificate of Test(TÜV Rheinland) 확보
- 지식재산권 등록 및 출원 각 2건
 - (등록) 유행성능이 향상된 도시철도차량 차축베어링용 케이지 외 1건
 - (출원) 철도차량 차축베어링 모니터링 시스템 외 1건
- 차축베어링 국산화 성공 관련 언론홍보(2016.08.)
 - 대상언론 : 조선일보, 충청투데이 등 20여개 매체
- Innotrans2016 세계철도박람회 참가 및 홍보(2016.09., 독일 베를린 엑스포센터)
 - 대상언론 : 서울경제, 대전일보 등 30여개 매체
- 2015/2016 국토교통기술대전 참석 및 전시홍보(서울 COEX)
 - 도시철도용 차축베어링, 120km/h급 화차용 차축베어링 및 패널전시 및 홍보
- 국내 학술대회 논문발표 7건(대한기계학회, 한국철도학회/우수논문 1건)
 - 도시철도용 차축베어링 내부응력 해석(→ 2014 한국철도학회 추계학술대회/우수논문상)
- 기고문 투고 2건(한국철도협회, 한국자동차공학회)
 - <부품국산화>도시철도용 차축베어링 개발(2016.05., 한국철도협회 철도사랑)
 - 도시철도용 차축베어링 개발 및 수명내구성능 시험설비 구축(2016.03., 자동차 공학회 오토저널)

- 차축베어링 기술을 활용한 차축부품의 국산화 및 협력업체와의 협력을 통해 차축부품 수입 절감 효과를 예상합니다.

증빙자료로 활용

- 철도차량용 베어링의 경우 거의 수입에 의존하는 실정으로 국내 최초 차축베어링 국산화 개발을 통해 다양한 차종 및 주요 핵심부품(견인전동기 등)에 응용 가능
- 수입 대체 효과 : 연간 561,810(천원)

차 종	장착수량	평균수명	연사용량	단가	연간비용
KORAIL 전기동차	18,728	144개월	95	1,830	173,850
서울메트로 외 도시철도운영기관	41,752	144개월	212	1,830	387,960
합 계					561,810

- 수출 기대 효과 : 연간 109억원 수준

- 현재 해외에서 운행되고 있는 전동차량은 약 93,200량 수준(1량 당 평균 장착수량 8개, 총 745,600개)으로 추산되며 차축베어링 가격(₩1,830,000), 2013년도 국토교통부 철도R&D 점유율 목표(8%) 및 평균 정비주기(1/10년) 고려 시 중장기적으로 약 109억 수준의 정량적 기대효과 예상

- 철도 운영사 운영효율 증대 효과

- 현재 차축베어링은 운영사에서 부품 발주 및 공급과정에서 약 1년 정도의 시간이 소요되나, 국산화 성공 시 부품 조달기간을 6개월 정도 단축시킬 수 있을 것으로 예상

- 비용측면에서 기존 차축베어링 대비 약 20%수준의 Cost-down 가능

(기대효과)



< 연구결과 활용방안 >

핵심어 (5개 이내)	차축베어링	플라스틱 케이지	수명 내구성능 시험기	IRIS 인증	현차 적용시험
----------------	-------	----------	----------------	---------	---------

SUMMARY

Purpose & Contents	<p>(Purpose) Foreign market entry through localization of axle bearings for urban railway, performance evaluation, quality certification acquisition and establishing crowding-out effect of technology-base about high added value core parts</p> <p>(Contents)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Technique trend analysis Investigation of patent technology in bearing field and establishment of avoid patented technology ■ Design and manufacture of axle bearings for EMU (Metro) <ul style="list-style-type: none"> - Review of axle bearing performance requirements - Axle bearing benchmarking - Contact stress analysis - Investigation of axle bearing defect pattern - Axle bearing design and manufacture of proto - Plastic cage evaluation and CAE analysis - Performance Evaluation and Analysis of Axle Bearing Proto ■ Design & manufacture of durability performance tester <ul style="list-style-type: none"> - Design and manufacture of durability performance test based on EN12082 standard - Evaluation of durability performance ■ Prepare to acquire IRIS certificate <ul style="list-style-type: none"> - Collecting and reviewing for certification data ■ Actual test <ul style="list-style-type: none"> - Making of technical document - Making of actual test plan - Safety verification - Actual test for 4season and evaluation of test results ■ Development of railway axle bearing <ul style="list-style-type: none"> - Bearing type : Cylindrical roller bearing - Feature : 100% compatible with urban railway axle bearings Cage material changed to Polyamide from brass cage <ul style="list-style-type: none"> - Basic dynamic load : Capacity increased 4% compared with conventional products - Basic static load : Capacity increased 2% compared with conventional products - Bearing life : Life increased 2% compared with conventional products - Weight : 14% weight reduction (Registered 2 patents related to polyamide resin cage) ■ Design and manufacture of durability performance test based on EN12082 standard <ul style="list-style-type: none"> - acquire 3,600,000km durability test certification (TUV rheinland) (European standard required level : 600,000 km) ■ Acquire IRIS(International Railway Industry Standard) certificate <ul style="list-style-type: none"> - Company : TUV Rheinland ■ Actual test <ul style="list-style-type: none"> - test term : 2015.11.02.~ 2016.10.14. - Location : DAEBULL line (Illo ~ DAEBULL , acquire 42,000km data) - test vehicle : GWANGMYUNG urban railway vehicle - Temperature monitoring (Result : lower than 3.5°C~7°C existing products)
	<p>(Bearing disassembly after completion of test and acquire certificate)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Two intellectual property registration and application ■ Public relations for Localization ■ Participated in Innotrans 2016 ■ Participated in national railway exhibition
Results	<ul style="list-style-type: none"> ■ This project is to keep in mind for securing urban rail vehicle axle bearing design and production-related core technology and technology based construction about a high value added bearing for railway and building longterm overseas expansion. ■ For this purpose, the international standard for performance testing conducted its own production and life durability test according to EN 12082 regulations,
Expected Contribution	

and performance testing under the official approval certificate authority enrollment in order to maintain the objectivity of the results.

- In addition to promoting the acquisition IRIS (International Railway Industry Standard) considering overseas expansion.
- Through prototype axle bearing On-track test, plan to ensure the prototype temperature monitoring data acquisition and earning driving performance, to take overseas orders Evidence Warrant.
- Going through the promotion actively promote domestic and for exhibition in Germany Innotrans, Ministry of Land, Infrastructure and Transport Technology fair and so on.
- In the case of railway vehicles bearing, almost dependent on imports. So through the nation's first domestic development of axle bearing, A variety of models and key core components (traction motors, etc.) to be applied.
- Through the axle bearings localization of rail vehicles sector components and materials industry to prevent any possibility of constantly falling into consumption markets of developed countries and at the same time to ensure the basic technology for industrial large bearing on the national rail vehicles applicable and On future offshore market the good opportunity to gain competitiveness.
- Import substitution effect : Yearly 561,810 thousand won
- Expected Exports : Annual level of 10.9 billion won
- Cost-down of about 20% compared to existing axle bearings

Keywords	Urbal Railway Axe Bearing	Plastic cage	IRIS international certification	On track test for axle bearing	Manufacture of durability tester
-----------------	------------------------------	--------------	--	-----------------------------------	-------------------------------------

Contents

1. Development Outline.....	9P
2. Status of domestic and overseas technology development.....	16P
3. Research performance.....	22P
3.1 Research performance.....	22P
3.2 Research Process.....	26P
3.3 R&D stage 1.....	27P
3.4 R&D stage 2.....	47P
3.5 R&D stage 3.....	60P
3.6 R&D stage 4.....	73P
3.7 IRIS certificate.....	98P
4. The achievement of goal and contribution to related field.....	101P
5. R&D plan.....	103P
6. Representative Research Results.....	105P
7. References.....	108P

목 차

1. 연구개발과제의 개요.....	9P
2. 국내외 기술개발 현황.....	16P
3. 연구수행 내용 및 성과.....	22P
3.1 연구수행 내역 및 성과.....	22P
3.2 연구수행 Process.....	26P
3.3 연구수행 1단계.....	27P
3.4 연구수행 2단계.....	47P
3.5 연구수행 3단계.....	60P
3.6 연구수행 4단계.....	73P
3.7 IRIS 인증.....	98P
4. 목표 달성을 및 관련 분야 기여도.....	101P
5. 연구개발성과의 활용 계획.....	103P
6. 연구개발과제의 대표적 연구 실적.....	105P
7. 참고 문헌.....	108P

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

철도차량용 베어링은 대형 베어링(외경 200mm 이상)으로 국내 개발 사례는 전무하다. 현재 전량 외국산 베어링을 수입해서 장착 사용 중이며, 베어링 적용 철도차량은 공공 부문에서는 화차용/객차용/지하철용/KTX용/경전철용 등이 있으며, 2011 공공부문 수입 규모(추정)는 연간 100 억원 이상이다. 또한 향후 철차 베어링의 국내 수요량 증가 추세이며, 본 과제의 중요성은 다음과 같이 정리할 수 있다.

가. 철도는 에너지 효율, 수송효율, 토지이용률 등 친환경적인 부분에서 가장 확실한 미래의 교통 기술이며 국가적인 수송수단으로 거듭나고 있다. 유럽, 일본 등의 철도선진국들은 이러한 철도의 친환경성에 주목해 1990년대 후반부터 국가의 교통정책을 철도 중심으로 전환하여 철도에 대한 투자를 급속히 확대해 가고 있는 추세이며 실제 철도 선진국들은 첨단기술로 세계 철도시장을 점유하기 위해 단순히 철도투자를 확대하는 것이 아니라 철도 교통을 국가의 차세대 성장 동력으로 인식하고 철도 중심의 정책과 연구개발을 추진하고 있다.

나. 현재 전동차에 들어가는 부품의 90~95%가 국내 부품회사들이 만든 제품이나 (KTX-산천 차량 부품의 국산화율도 90%) 해외에 수출하는 철도차량의 대부분은 해외발주기관의 지정사양부품을 장착해야 하는 부분이 있다. 그 중 한국 부품이 차지하는 비중은 20~30%에 불과하며 전기 제어시스템이나 제동장치 등 핵심부품은 외국 제품을 대부분 사용하고 있다. 해외 수주차량에 따라 국내 부품을 사용하는 경우도 있지만 전체 물량에서 차지하는 국산화 부품의 비중은 극히 작은 부분이다.

다. 관련 부품업체들은 자체 기술력을 확보하기보다는 외국 기술과 제품을 도입하여 철도차량의 부품을 제작, 납품하는 형식으로 생존해 왔으며, 현재 철도부품업체는 우진산전, 유진기공산업, 현대중공업, 샬롬 앤지니어링 등 250여개의 관련업체가 있다. 그러나 철도차량부문 매출액이 60% 이상 차지하는 업체는 50개에 불과하며 세계적인 수준의 기술력을 확보한 메이저급 전문 업체는 거의 없는 실정이다.

라. 2011년도 우리나라 철도차량 부품의 대륙별 수입현황을 보면 유럽이 압도적이고 다음이 아시아로 최근 들어 증가하고 있는 추세다. 전통적으로 철도차량 부품에 대한 노하우와 기술력을 가지고 있는 프랑스, 독일, 영국에 대한 의존도가 높으며, 최근 중국의 시장 확대로 중국으로부터의 부품수입도 증가하고 있다. 연도별 철도차량의 부품 수입현황에서 보면 전년도 대비 증가하고 있는 것을 볼 수 있다.

마. 이러한 현실에서 부품 및 소재산업의 뒷받침 없이 단순한 철도건설에만 집중하면 부품 및 소재산업 분야가 선진국의 소비시장으로 전략할 수도 있을 것으로 판단된다. 그러나 철도차량 부품 중에는 철도 선진국 제품에 비해 우수하지만 적용 사례가 없다는 이유로 현장 적용에 제한을 받고 있는 경우도 있으므로 이러한 신기술 및 신제품에 대한 시범설치 및 적용을 확대하기 위해서는 국산화 부품의 적용을 위한 시범설치 구간의 의무 지정 등 제도적 지원 필요하다.

국가	조건
미국	Buy America 조건 (미 연방자금 활용 사업) - 계약가 중 재료비의 60% 미국산 부품 활용 - 최종조립은 미국내 수행(미국에서, 미국인이) ※ 시행청 자체자금 구입의 경우 조건변경 가능하며, 통상적으로 더 강화됨 (뉴욕메트로의 경우 100% 미국산 부품활용 조건)
중국	총 계약가의 70%이상 자국 부품 사용 의무화(차량) ※ 전장품 계약의 경우 40%이상 자국 부품 사용 의무화
터키	계약가 중 재료비의 25~30% 자국 부품 사용 의무화
브라질	계약가 중 재료비의 30%이상 자국 부품 사용 의무화
대만	계약가 중 재료비의 20%이상 자국 부품 사용 의무화
우크라이나	현지 생산 조건(현지 공장 설립)

<표 1.2> 철도차량 부품의 대륙 별 수입현황(2011년)

(단위 : 천 달러, %)

(단위 : 천 달러, Kg)

구분	금액	증가율	연도별	금액	중량
총계	271,588	46.9	2004	113,065	19,140,463
아시아	63,490	28.6	2005	125,718	21,032,668
중동	11	376.0	2006	90,727	16,137,331
유럽	154,671	57.9	2007	158,776	17,054,816
북미	50,027	51.3	2008	220,828	23,655,987
중남미	140		2009	208,343	24,379,314
아프리카	-	-100.0	2010	184,867	18,274,747
대양주	3,249	-20.1	2011	271,588	21,084,451
기타지역	-	-			

※ 자료 : KITA(HS86 품목분류코드 기준)

바. 우리나라는 이미 고속철도와 같은 철도건설 기술은 물론 철도차량 및 부품에 대한 신기술, 그리고 100년 이상의 철도운영 및 유지보수에 대한 노하우 등을 갖고 있으므로 부품 및 소재 기술에 대한 적극적인 기술개발이 이루어진다면 해외 철도시장에서 충분한 경쟁력을 보유하게 될 것이다. 이러한 경쟁력을 통해 철도산업이 국가적 전략산업이 될 것으로 확신한다. 이와 함께 철도교통을 보다 안전하게 이용하기 위해서는 반드시 지속적인 원천기술의 확보 및 관련 핵심부품의 국산화가 이루어져야 하며 관련 부품산업에 대하여 세계적인 경쟁력을 확보해야 할 시기이다.

2. 연구개발의 필요성

가. 세계철도시장은 년 간 약 4.5% 성장하여 2015년에는 약 250조원의 거대시장으로 성장할 것으로 예상된다. 유럽의 3대 업체, 미국의 2대 업체, 일본의 5개 업체, 그리고 새롭게 중국의 차량업체(CSR, CNR)등이 세계철도시장의 80%를 점유하고 있고, 국내 철도산업의 경우 국내발주 및 외국 OEM에 의존하다보니, 국내 철도 차량 업체의 세계시장 점유율은 2% 수준으로 철도산업 선진업체의 시장 점유율에 큰 차이가 나는 세계시장의 15위권 수준이다.



*출처:The worldwide market for railway technology, SCI('10) 및 제2차 철도산업발전기본계획('11.5)

<그림 1.1> 국내/외 철도시장규모 전망(2014)

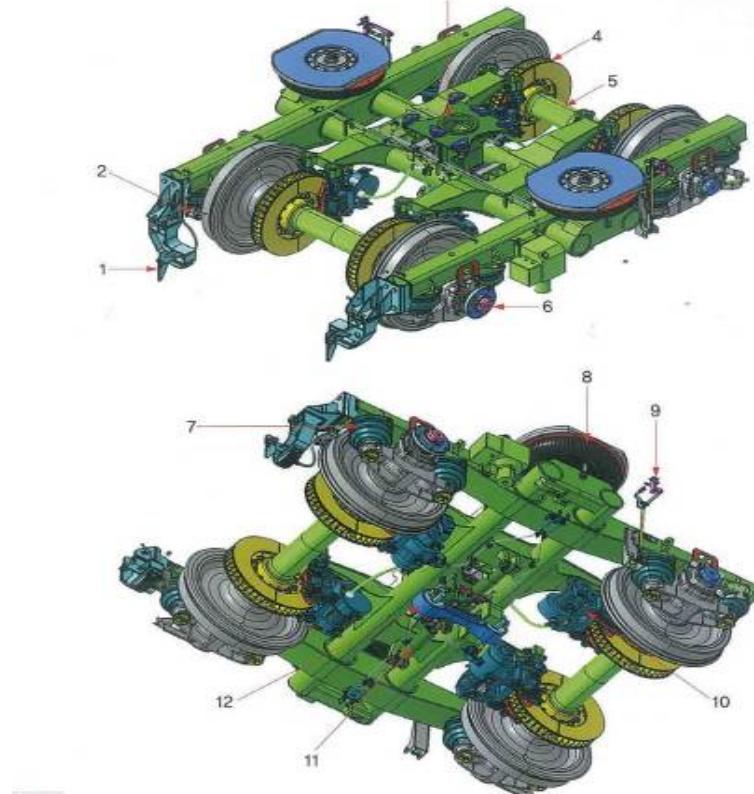
나. 이는 우리나라의 타 산업 분야인 자동차(생산액 '09기준 113조, 세계 5위 생산점유율), 조선(세계 2위 시장 점유율), 철강(세계 생산 점유율 5위) 등과 비교할 때 매우 취약하다고 판단된다. 이에 대한 원인은 정책/제도, 기술력, 국내시장의 규모 및 특수성, 철도 산업의 특성 등에 있을 것으로 예상되나, 향후 철도산업은 대한민국이 새롭게 도전을 해야 하는 이유다.

다. 철도 산업의 주요 부분은 차량, 궤도 및 신호체계, 유지보수 등이 있으나, 국내 산업 특징상 가장 경쟁력이 향상될 수 있는 부분은 차량으로 판단된다.

라. 기타

1) 철도 차량에서 동력을 전달하고 차체 하중을 지지하는 구동 체계의 핵심은 보기 시스템이다. <그림 1.2>는 국내에서 도시 철도형 보기 시스템을 나타내고 있으며 이 시스템의 구성부품은 대부분 국내 업체에서 90% 이상 제작되고 있지만, 차축베어링은 아직 기술 선진국의 제품과 사양을 그대로 사용하고 있는 실정이다.

2) 대량 운송 체계의 주요 부품인 철도 차량용 베어링은 특성상 높은 신뢰성, 내구성 및 정비의 정확성이 요구되는 부품이나 국내 철도 차량용 베어링 기술이 해외 베어링 업체보다 부족하기 때문에 국가 기간 운송 철도 차량 개발 시 외국 베어링 업체의 기술에 영향을 받게 되어 실질적인 국내 철도 차량의 개발에 어려움이 있다. 그러나 현재 대한민국의 산업 규모와 주요 산업은 세계적으로 자동차, 조선, 반도체, 이동통신 등의 주요 산업 분야에서 선두권을 구성하고 있어, 철도 차량용 베어링의 국산화는 큰 의미를 갖게 됨. 이에 본 과제에서 철도차량용 베어링의 국산화 개발을 위해 도시철도형 차축 베어링의 해석, 설계, 제작, 신뢰성 검증 해석 및 시험을 통해 최적의 베어링 개발 필요하다.



<그림 1.2> 국내 철도 차량의 보기 주요 부품 구성도



Axle Box



Cylindrical roller bearing units

<그림 1.3> 도시철도 차량과 차축베어링

3) 국내 철도차량용 베어링 기술은 주로 선진 기술을 기반으로 경쟁에서 우위를 차지하는 면모를 갖추고 있는 반면, 차량용 베어링의 국제적 경쟁력은 기술적으로 확장할 수 있는 경쟁력을 강화했다. 현재 철도 차량을 생산하는 국내 차량 업체들은 내수 및 수출 시 차량의 동력 전달의 핵심 요소 부품인 베어링 솔루션은 100% 수입에 의존하므로 외국 베어링 업체에 기술적으로 예속되어 있다.

4) 베어링 시스템의 해석, 선정 개발 등이 국내에서 이루어지지 않아 일방적인 규격 설정 등의 문제와 가격 및 제품 납기에 여러 문제가 있어 왔음. 또한 기존 외국 업체들은 신기술이 탑재된 베어링 (스마트 센서형 베어링 등)은 기존 베어링 대비 과다한 개발 비용을 요구하여 국내 차량업체가 도입을 주저하고 있어, 기술선진 차량업체에 비해 가격 경쟁력이 다소 미흡하다.

5) 전동차량용 베어링을 국내 개발하여 국내에 적용중인 철차용 베어링의 수입대체뿐만 아니라 세계를 무대로 철차용 베어링의 수출 실현 필요하다.

6) 국내 철도차량업계의 베어링 솔루션 보강 ⇒ 국제 경쟁력 강화.

- 현재 현대 로템 등 국내 전문 업체들이 시스템인 철도차량을 생산하여 내수는 물론 남아공, 인도네시아 등지에 수출도 하고 있으나, 핵심 요소 부품인 베어링 솔루션은 전적으로 해외 베어링 업체에 예속되어 있는 실정이다.

7) 현재의 베어링 관련 기술을 외국회사의 기술 수준과 개발 베어링에 맞추어 진행되고 있으나 철도 차량용 베어링의 상용화 기술개발을 통해 향후 국내 기술이 세계 차량의 베어링 기술을 선도할 수 있는 토대 마련해야 한다.

- 외국 업체 베어링의 경우 신기술 적용 시 고비용 요구

8) 외국 업체 베어링의 경우 신기술 적용 시 고비용을 요구하고 있어 철도차량 기술의 현대화를 능동적으로 대처를 위한 독자 개발 베어링 사용, 운행 패턴에 맞는 최적 베어링과 차축 시스템 개발, 국내 개발 기술로 세계 차량의 기술 선도 필요하다.



<그림 1.4> 도시철도용 차축 액슬 박스용 원통 롤러베어링

9) 역량을 갖춘 국내 베어링업체가 개발에 착수하여 기술적인 난관을 극복하고 국내 기술화하여 선진기술업체로 도약한다면 국산 철도차량업체의 구매 협상력이 강화될 수 있으며 국내 철도차량 기술이 크게 제고 될 것이다.

⇒ 수입대체 및 수출산업화 도모

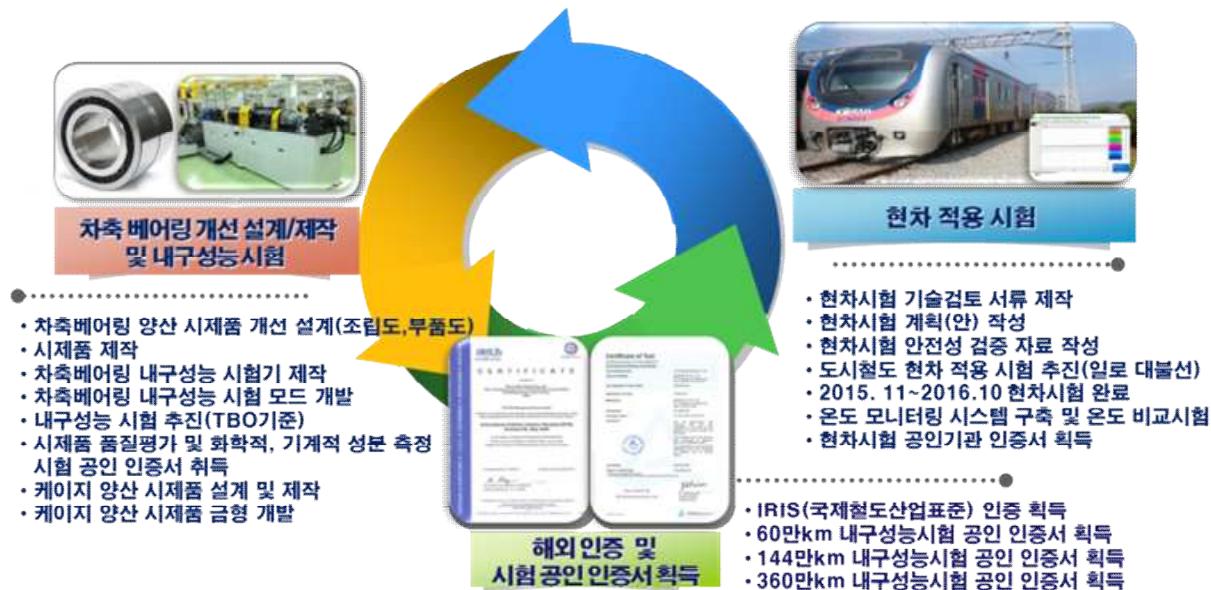
10) (참고사항) 해외 업체 : Timken, SKF, Schaeffler, NSK, KOYO, Brenco 등



<그림 1.5> 세계 철도차량 베어링 시장 현황(2012년)

3. 연구개발 범위

가. 추진전략



<그림 1.6> 차축베어링 추진방향

나. 연구개발 범위

<표 1.3> 연구개발 목표

구분	내용
최종 목표	<ol style="list-style-type: none"> 1. 도시철도 차축 베어링 시제품 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> ■ 도시철도용 차축베어링 시제품 성능평가 및 국내외 인증 추진 ■ 도시철도용 차축베어링 최적 형상 설계를 위한 내부 형상 및 하중 해석 2. 도시철도용 차축베어링 내구성 검증 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ■ 도시철도용 차축베어링의 최적 공정 및 품질 평가 기술 확립 ■ 차축베어링 내구성능 평가 시험기술 및 시험기 개발
세부 목표	<ol style="list-style-type: none"> 1. 도시철도용 차축베어링 국산화 개발 <ul style="list-style-type: none"> ■ 도시철도용 차축베어링(롤러 베어링) 설계 및 제작 ■ 내구 성능평가 및 국내외 인증 획득 2. 최적 형상 설계를 위한 내부 형상 및 하중 해석 <ul style="list-style-type: none"> ■ 곡률 반경에 따른 접촉 응력 해석 ■ 접촉 시 끝단부의 응력 분포 해석 ■ 내구 수명의 주요 설계 인자 확립 3. 내구성, 신뢰성, 장착 용이성 측면에서 단품 케이지 연구 <ul style="list-style-type: none"> ■ 케이지에 대한 각 국의 형상 특성 연구 ■ 최적 케이지의 형상 및 두께 ■ 최소 마찰을 유지하는 케이지 설계 ■ 온도를 고려한 케이지 재료 및 설계 4. 도시철도용 차축 베어링의 생산 및 평가시스템 확립 <ul style="list-style-type: none"> ■ 대형 베어링의 최적 공정 및 품질 평가 기술 확립 ■ 대형 베어링의 최신 생산시스템 구축 ■ 대형 베어링의 내구성능 평가 시험기술 및 시험기 개발 5. 내구 향상용 도시철도용 차축베어링 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ■ 기존 적용품 대비 베어링 내구 수명 향상 : 5% 이상 ■ 기대수명 : 5,000,000 km (L10 이론 수명 기준) <ul style="list-style-type: none"> 600,000 km(내구 수명 기준) ※ EN 12080 규격 따름

1) 국가 기본 교통수단은 기술 선진국에서 역사적으로 자국 개발의 원칙으로 개발을 진행한다. 일본과 중국의 경우도 초기에 국내 기술 부족으로 기술 선진국에서 기술협력의 형태로 개발하였지만, 어느 정도 기술적 사항에 대한 이해 및 경험이 쌓이면 국내 업체를 통해 혹은 국가 개발 과제로 기술 자립 추구하였다. 일본의 경우 1932년 축경 85mm의 차축용 복열 테이퍼 롤러 베어링을 국산화 개발에 성공한 후, 1940 후반기에 원통 롤러 베어링을 시험적으로 사용하기 시작하였다. 이후 일본 베어링 업체를 중심으로 도시철도용, 화물철도, 신칸센용 차축 베어링을 국내 개발하여 전량 적용중이며 이를 토대로 유럽, 중국, 인도 등에 철도용 베어링을 수출하고 있다.

2) 우리나라는 1974년 서울 지하철 1호선으로 도시철도가 처음 건설된 이래, 도시철도용 차축베어링을 기술력 부족 및 시장성으로 국내에서 개발 적용 못하였고, 40년이 지난 오늘날까지 전량 해외에서 수입하여 사용하고 실정. 그러므로 국내 철도차량 베어링 시장은 해외 업체들의 제품이 공급되어 국내 표준이 정립되기 어려운 분야로 신기술 도입, 성능 향상 등에 있어 제한이 있으며 국내 철도차량의 해외 수출에도 기술 및 가격적 차별성을 찾기 어렵다.

3) 또한, 국내의 경우 주요 구동 부품 및 동력원 등은 국산화를 달성하고 있지만, 동력 전달의 핵심 부품인 철차 베어링은 시장의 규모와 국내 베어링 업체의 기술, 자본 미비로 현재까지 국산화가 이루어지지 않고 있다. 그러나 향후 통일 후 철도망의 확대, 동북아시아의 철도 연결 등의 사항을 고려하면 도시 철도용 차축 베어링의 국산화는 필수적이라 판단된다.

4) 본 과제의 목표는 우선 기존 도시철도용 차축 베어링을 설계, 제작, 시험하여 우리나라 표준을 만들고 국산화를 통하여 최신의 베어링 기술이 접목된 도시철도용 차축 베어링을 설계, 제작하는 것이며 이를 위하여 초기의 제품은 국제 규격에 합당한 시험과 인증절차를 거쳐 품질의 확보는 물론 기술적인 차별성 증명하였다.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 개발 현황

가. 철도 차량은 여러 가지 운송체계에서 대중성, 공공성, 대량성, 녹색환경성에 매우 높은 경쟁력이 있다. 이를 토대로 미국, 일본, 유럽연합, 그리고 중국 등 대부분의 선진국에서 중점을 두고 있는 교통 체계다. 구성하는 주요 부품은 대부분 90%이상 국산화를 달성하였지만, 보기(Bogie) 시스템에서 주요 부품인 베어링은 아직 외국의 주요 베어링 메이커인 TIMKEN(미국), SKF(스웨덴), FAG(독일), NTN(일본), NSK(일본) 등에서 전량 수입하여 적용하고 있다.

나. 국내/외 철도 차량 베어링 현황 조사

1) KTX 베어링 현황

<표 2.1> KTX 베어링 현황

차종	품명 및 용도	규격 (원제작사 P/N)	제작사	조달 구분	교환/정비 주기	윤활관계 (유종규격)	연간 사용량
KTX	견인전동기 (롤러베어링)	NU216 ST310 CAT - ALIBC4ZSMP6 - ECM/C4 R VA 305 - E.M1.C4.T57A.F1.K147C - E/B/M6/P64/sv18.45A	NTN SKF FAG SNR	외자	25만km (교환)	SHELL ENGRENAGE 3470	138EA
	견인전동기 (롤러베어링)	NU2220 ST310 CAT - ECML/HB3VA 389 - E503	SKF SNR	외자	25만km (교환)	MOBILITH SHC 100	145EA
	견인전동기 (볼베어링)	QJ215 ST310 CAT - AL1BW-1C4 P6 - N2M/HB2 C4 VG901 - N2 - N2/M/C4/SV1B.45A	NTN SKF FAG SNR	외자	25만km (교환)	MOBILITH SHC 100	138EA
	모터/차축 감속기 (테이퍼롤러베어링)	Tapered Roller Bearing - BT1B 446356 A - C18657 - B-80785	SKF SNR TIMKEN	외자	18만km (교환)	SHELL ENGRENAGE 3470	282EA
	모터감속기 (롤러베어링)	NUP2314 - ECMP/C4VA390 - C18654	SKF SNR	외자	18만km (교환)	SHELL ENGRENAGE 3470	117EA
	모터감속기 (롤러베어링)	NUP2315 - ECMP/C4VA305 - C18656	SKF SNR	외자	18만km (교환)	SHELL ENGRENAGE 3470	114EA
	차축감속기 (테이퍼롤러베어링)	Tapered Roller Bearing - BT1B 446786 A0 - C19034 - C-49642	SKF SNR TIMKEN	외자	18만km (교환)	SHELL ENGRENAGE 3470	121EA
	축상용 (테이퍼롤러베어링)	FC 12788/12790 - C18657 - E38289	SNR TIMKEN	외자	14만km (정비)	SHELL X HVI 2858	617EA

<표 2.2> 전기동차 베어링 현황

차종	품명 및 용도	규격 (원제작사 P/N)	제작사	조달 구분	교환 주기	유통관계 (유중규격)	연평균 사용량
전기 동차	인버터 전동차 축상용 (롤러베어링)	130JRT(08)C3	NSK	외자	약 12년 (기본은 불량시 교체)	알바니아 EP2 4종2호	95
	인버터 전동차 견인전동기용 (롤러베어링)	2TS2-7MP-NU314HSL1B×2C4M P6	NTN	외자	약 8년 (기본은 불량시 교체)	알바니아 NO3 (KSM2130 3종2호 구름베어링)	450
	인버터 전동차 견인전동기용 (볼베어링)	2TS2-7MP-6312M2C4P6	NTN	외자	약 8년 (기본은 불량시 교체)		450
	저항제어 전동차 견인전동기용 (롤러베어링)	NU219C4P6	NTN FAG	외자	약 4년 (기본은 불량시 교체)	MALTINOC NO.2	332
	저항제어 전동차 견인전동기용 (롤러베어링)	6219C4P6	NTN FAG	외자	약 4년 (기본은 불량시 교체)	MALTINOC NO.2	332

3) 화차 베어링 현황

<표 2.3> 화차 베어링 현황

차종	품명 및 용도	규격 (원제작사 P/N)	제작사	조달 구분	교환 주기	유통관계 (유중규격)	연간 사용량
화차	차축용	NFL TYPE 2244-30600	TIMKEN	내자	30년 (8년 또는 80만km 주행 분해검수)	ARAPEN RB-320	1,228

<표 2.4> 일반차량 베어링 현황

차종	품명 및 용도		규격 (원제작사 P/N)	제작사	조달 구분	교환 주기	윤활관계 (유종규격)	연평균 사용량
디젤 기관 차	축상용	4400대용	40054532	TIMKEN	외자	12년	ARAPEN RB-320	2
		특대형용	7451945	HYATT	외자	12년	KRCS F001 2종	4,200
	기어박스	써포트 베어링	9557789	MAGNUS	외자	4년	KRCS F001 2종	700
		BTR축 베어링	PE 9442194 M246947 + M246910	TIMKEN	외자	12년	ARAPEN RB-320	30
	견인 전동기용	PE 9442191 LM545848 + M545810-B	CE	TIMKEN	외자	12년	ARAPEN RB-320	30
		PE 9437083, NU326ECM /CAVA301		SKF	외자	4년	쉘샤이프리나 RA3	400
	견인 전동기용	CE 9437296, HJ320 EC/VA301+NJ320ECM		SKF	외자	4년	쉘샤이프리나 RA3	440
8200 호대 전기 기관 차	축상용	BC2-0098	SKF	외자	약 12년 (기본은 불량시 교체)		SHELL Nerita HV	10
	기어박스	6048M /C4VA3091	SKF	외자			SHELL Retinax LX	20 (최초 구매)
		NU1061/C3HVL0241	SKF	외자				20 (최초 구매)
	견인전동기용	NU226ECML/C4HVR6 081	SKF	외자		120만km 주행후 샘플링 검사	SHELL Spirax AX 80W/90/	40 (최초 구매)
		BAQ-7115	SKF	외자				40 (최초 구매)
		NUB219ECMR/C4HVL 0241	SKF	외자			SHELL Retinax LX	80 (최초 구매)

1) 철도 차량의 특허 기술은 동력 및 추진 시스템, 제어시스템, 전원시스템, 공조 및 냉각 시스템에 대한 것들이 대부분이며, 철도 차축용 베어링에 대한 국내의 기술 특허 및 자료는 매우 미비하고, 국내 대학과 연구 기관에서의 연구 결과도 매우 미비하다. 따라서 관련 특허 기술 동향은 매우 미비하다. 그러나 해외의 경우 철도 차량용 차축 베어링에 대한 기술 개발은 지속적으로 이루어지고 있어 아래와 같은 특허 및 기술 개발이 이루어지고 있다.

가) 지능형 베어링

(1) 센서와 베어링이 조합되어 지능형 제어를 가능하게 하는 베어링이 제안된다.

- (가) 속도 센서 장착 베어링
- (나) 온도 센서 장착 베어링



<그림 2.1> 센서 장착 철도차량 베어링

(2) 고강성, 고 부하용량 베어링 개발

(가) 최근에 베어링 재질, 열처리 방법의 개발 등에 의하여 부하용량을 향상시킨 장수명화 기술이 개발되었다.

(나) 크라우닝, 허용차 최소화 등의 설계 및 생산방법의 개발로 베어링의 부하용량과 접촉응력을 최소화하여 수명을 향상할 수 있는 기술이 보고되었다.

(다) 로울러를 지지하는 케이지의 경우도 기존의 황동 혹은 스틸에서 플라스틱의 소재를 이용하고, 케이지의 형상도 충격하중을 고려한 반복 접촉응력을 최소화하는 형상 설계를 적용하고 있다.

나) 무보수 베어링

(1) 철도 차량용 베어링은 보통 3-5년마다 베어링의 그리스를 교환하며 일부 부품을 교체하여 수명을 20년까지 연장 사용하고 있으나, 이 정비과정을 늦추거나 정비가 필요 없는 베어링의 개발이 매우 요구된다.

(2) 기존업체의 NFL(Non-Field Lubrication)베어링보다 정비주기를 길게 할 수 있다.

가) 베어링에 대한 특허는 1890년 독일에서 'BALL MILLING MACHINE'에 대한 사항으로 처음으로 출원되었으며, 그 이후에 베어링에 대한 형상, 제조, 주변 부품 및 장치에 대한 특허가 출원된다.

나) 베어링에 대한 생산기술의 향상과 수명에 관한 연구 결과를 통해 중요한 기계요소 부품이 되었으며, 이후 1947년 및 1952년에 Lundberg와 Palmgren은 구름 베어링의 수명이론을 발표하여 주요한 기계요소의 규격품이 될 수 있었다.

다) AFAFBMA(Anti-friction Bearing Manufacturers Association), ABMA(American Bearing Manufacturers Association), ANSI(American National Standards Institute), ISO(International Organization for Standards) 등에서 베어링에 대한 기술 규격과 치수, 재료에 대해 정의하여 전 세계적으로 호환성을 갖게 되었다.

라) 또한 베어링에서 치수 정밀도를 축, 하우징 설치 시 필요한 항목, 내, 외경, 폭, 조립 폭의 허용차, 롤러 내접원경 및 외접원경의 허용차, 모폐기 치수의 허용 차, 폭 부동의 허용차 등으로 세분하였고, 베어링의 회전정밀도를 내, 외륜 경방향 흔들림의 허용치, 내, 외륜 축방향 흔들림의 허용치, 내륜 옆 흔들림 허용치 등으로 구분하여 제시하였다.

3) 윤축 베어링 모니터링 시스템 (SNCF, 프랑스)

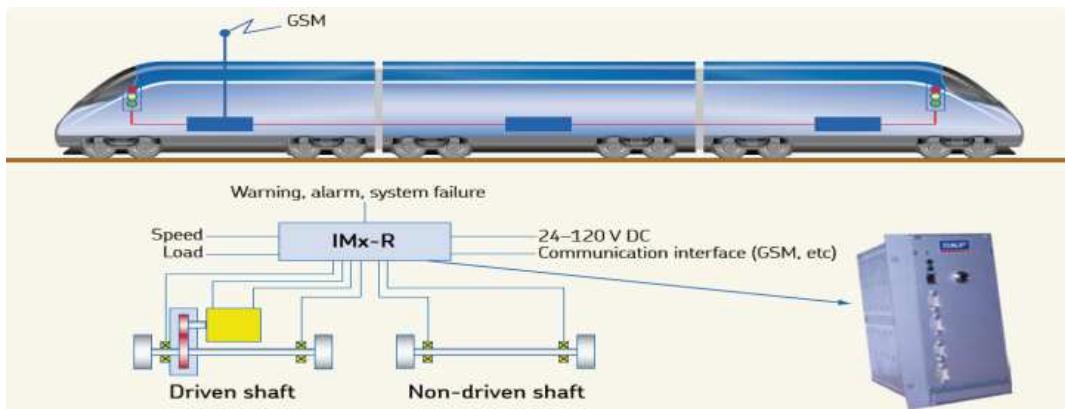
가) 접촉식 차량 onboard 모니터링 시스템으로서 온도센서(Temperature sensor) + 배터리 & 무선모듈 (wireless module with battery)로 구성되어 있다.

나) 윤축 베어링의 이상 발열 감지

4) Multilog online systems (SKF)

가) 철도차량의 안전과 신뢰성을 향상시키고 유지보수비 절감을 목표로 손상 발생 가능 항목에 대하여 모니터링하고 알람을 표시한다.

나) 모니터링 항목 : 윤축 베어링 상태와 그리스(grease) 수명, 차륜 찰상 및 형상 등



<그림 2.2> Railway bogie condition monitoring 시스템(SKF)

5) Axle box temperature & Derailment monitoring system on rail vehicles(야철차량에 대한 차축박스 온도 및 탈선 감지 시스템)

가) 기존 선로변에 설치한 윤축 베어링 온도 감시 장치는 온도 감시가 연속적이지 못하고, 기관사에게 자동으로 알람을 전달하지 못하는 단점이 있다.

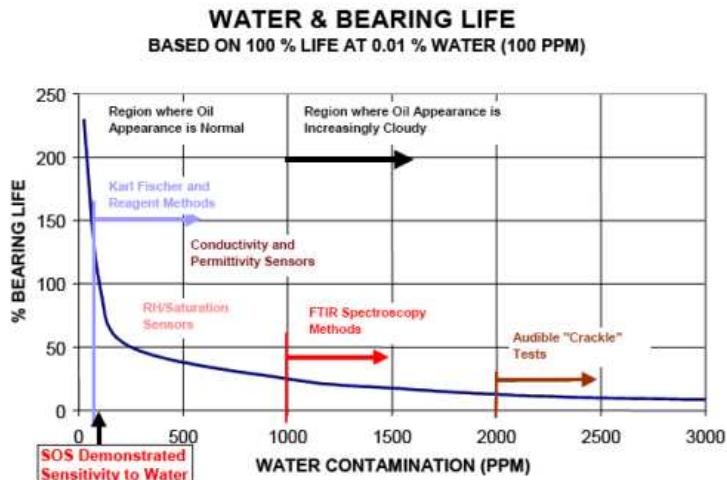
나) 기존 제품의 문제점을 개선하고자 윤축 베어링의 온도 및 윤축의 탈선 가능성을 실시간, 연속적으로 측정하고 과열 등이 발생할 경우 제어실에 알람 제공한다.

다) 윤축에 설치되어 베어링의 온도를 모니터링 하는 센서 유닛(WTS, Wheel Temperature Sensor unit)과 데이터의 취득 및 전송 역할을 하는 데이터 취득 유닛(DCT, Data Collection and Transmission unit)으로 구성된다.

6) 윤활유 이상상태 모니터링 및 진단 기술

가) 기어나 베어링과 같은 기계 요소부품은 정상 사용조건하에서도 재료의 기계적 강도 특성에 영향을 미치는 부식 등이 발생하면 초기 설계 수명보다 짧은 수준에서 파손이 발생하는 경우가 발생한다.

나) <그림 2.3>은 수분 함유량이 베어링 수명에 미치는 영향(Carl Byington et al., 미국 Impact Technologies사 자료, "Gearbox corrosion prediction via oil condition sensing and model fusion")을 나타낸 그림으로 수분 함유량이 베어링 수명에 지배적인 영향을 미친다.



<그림 2.3> 베어링 수명에 미치는 수분함유량의 영향

7) 미국은 철강 생산설비 원리를 기반한 hill stand gear drive의 연구개발을 위하여 온도 모니터링 시스템을 구축한다(NUCOR Steel Arkansas, 2009).

가) 최신 온도 모니터링 기술을 이용하여 온도 변화를 감지하고 과도한 하중 또는 속도에 의해 온도 한계를 초과하였을 때 경보하고 관계자에게 통보해 주는 시스템이다.

나) 계측된 데이터는 인터넷으로 전송되어 전문가가 설비의 속도와 하중이 적절한지를 판단하는 기초 자료로 활용한다.

다) 온도상태 모니터링 기술을 적용하여 생상설비의 성능과 신뢰성을 향상시켰으며, 고가 (\$24 million)의 감속기 손상 위험을 감소시킨다.

8) 결론

가) 도시철도용 차축 베어링은 국내 시장 및 기술의 특성상 현재까지 국산화가 지연되고 있는 주요 부품으로, 향후 철도차량 주요 핵심부품 원천기술 및 국가경쟁력 확보를 위하여 반드시 국산화가 추진되어야 할 분야로 판단된다.

나) 도시 철도형 차축 베어링은 제품의 신뢰성, 내구성 등이 매우 엄격하게 요구되는 주요 부품이나 특징상 주문생산과 단품종 소량생산이며, 현재까지 차축 베어링의 국산화에 어려움이 많았다. 하지만 향후에는 반드시 국산화가 추진되어야 한다고 판단된다.

다) 국내에서 철도차량 부품업체는 거의 영세한 중소기업이며, 부품이 다양하고 시장 규모가 제한적인 특성 때문에, 철도차량부품의 생산 비중이 80% 이상인 업체는 대체로 영세한 기업일 뿐만 아니라, 철도차량부품 생산에만 특화한 기업은 거의 없는 실정이다. 하지만 현재 국내의 베어링 업체는 세계적인 품질, 가격 경쟁력을 갖추고 있다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구 수행 내역 및 성과

연구 수행 결과는 아래의 연차별 성과점검기준표에 준하여 각 연차별 성과목표 대비 실적을 성과 측정방법에 의거하여 부록에 수록하였다.

<표 3.1> 1차년도 성과점검기준표

1세부과제 (공동과제)명 (연구목표, 분야)	성과목표	성과지표	성과점증 기준			가중치	달성평점 (평점:1 ~ 5)	
			목표수준	측정 방법	점증방법			
			목표치	달성치				
1 도시철도용 차축베어링 실용화 방안 연구	1-1 국내외 기술동향 조사	① 베어링 현황 자료 조사	1건	100%	보고서	5		
	1-2 차축베어링 성능요구 조건 제시	② 관련 기술문서 검토	2건	100%	관련 문서	5		
	1-3 국내외 특허조사 및 분석 (회피전략 수립 병행)	③ 기술동향조사/ 특허조사 실적	1건	100%	특허분석 보고서	5		
	1-4 국내외 인증관련 사전조사	④ 국내외 인증기관 인증절차관련 자료 수집/검토	3건	100%	관련 문서	10		
성과 질적 목표 점검 2 도시철도용 차축베어링 설계, 제작 및 인증	2-1 국내외 기술동향 조사	① 차축베어링 벤치마킹	1건	100%	보고서 확인	5		
	2-2 시제품 설계 및 샘플제작	① 차축베어링 설계(도면)	1건	100%	도면검토	10		
		② 시제품 제작	1건	100%	제작건수	5		
		③ 차축베어링 시험규격 작성	1건	100%	시험 규정	10		
		④ 1차 품질평가	1건	100%	품평회/ 보고서	5		
3 도시철도용 차축베어링 케이지 개발	3-1 Taper Cage 시작금형 설계	① 기술동향조사 실적	1건	100%	보고서	5		
		② Taper Cage소재 특성평가	3건	100%	공인기관 성적서	5		
		③ CAE 분석	2건	100%	보고서	5		
	3-2 시제품 제작	① 시제품 제작도면	1건	100%	도면검토	5		
		② 제작사양서 개발	1건	100%	관련문서	5		
		③ 시제품 제작	1건	100%	시제품	5		
4 도시철도용 차축베어링 내부응력 해석 및 특허동향 분석	4-1 베어링 특허 동향조사 (업무보조)	① 기술동향조사/ 특허조사 실적	1건	100%	보고서	5		
	4-2 베어링케이지 해석기술 개발	② - 하중 해석 결과 - 학술대회 논문	2건	100%	보고서	5		
종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 가중치)							100	
양적 지표 점검 사업연계지표	목 표	목표건수	달성건수	증빙	인정 건수	달성율(%)	가중치	비 고
	시제품 제작	1건	1건	시제품 (베어링 10EA/케이지 10EA)	1건	100%	50	
	학술논문	1건	1건	학술논문	1건	100%	10	
	하중해석 결과물	1건	1건	분석결과 보고서	1건	100%	20	
	도면/규격서	2건	2건	도면/규격서	1건	100%	20	
	종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 가중치)							100

성과 질적 목표 점검	1세세부과제 (공동과제)명 (연구목표, 분야)	성과목표	성과지표	성과검증 기준			가중치	달성평점 (평점:1 ~5)	
				목표수준	측정 방법	검증방법			
		목표치	달성치						
1	도시철도용 차축베어링 실용화 방안 연구	1-1 베어링특허회피 전략 수립	① 회피전략보고서/특허맵작성	1건	100%	보고서	10		
		1-2 현차 진동시험 추진	② 진동시험 분석결과	1건	100%	분석보고서	5		
		1-3 시제품 성능시험 평가	③ 시제품 성능시험 및 결과분석	1건	100%	분석보고서	5		
2	도시철도용 차축베어링 설계, 제작 및 인증	2-1 국내외 품질인증 추진	① 인증관련 문서 준비	2건	100%	관련문서	10		
		2-2 시제품 설계 및 샘플제작	① 차축베어링 개선설계 (조립도, 부품도))	1건	100%	도면검토	5		
			② 시제품 제작	1건	100%	제작건수	10		
			③ 차축베어링 시험기 개발	1건	100%	시험기 제작 건수	10		
3	도시철도용 차축베어링 케이지 개발	3-1 금형 개발	① 설계/제작도면	1건	100%	도면검토	5		
			② 구성품 설명서	1건	100%	설명서	5		
			③ 제작사양서	1건	100%	관련문서	5		
		3-2 시제품 제작	① 시제품 제작도면	1건	100%	도면검토	5		
			② 제조공정도	1건	100%	제조공정도	5		
			③ 시제품 제작	1건	100%	시제품	10		
4	도시철도용 차축베어링 내부응력 해석 및 특허동향 분석	4-1 차축베어링 접촉형상 설계 및 응력해석	① - 하중 해석결과물 - 학술대회 논문	2건	100%	보고서/논문	10		
종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 가중치)								100	
양적 지표 점검	사업연계지표	목 표	목표건수	달성건수	증빙	인정 건수	달성을(%)	가중치	비 고
		특허출원	2건	2건	특허출원문서	2건	100%	50	
		학술논문	1건	1건	학술논문	1건	100%	10	
		논문게재	1건	건		건		20	
		도면/보고서	2건	2건	도면/보고서	2건	100%	20	
		종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 가중치)						100	

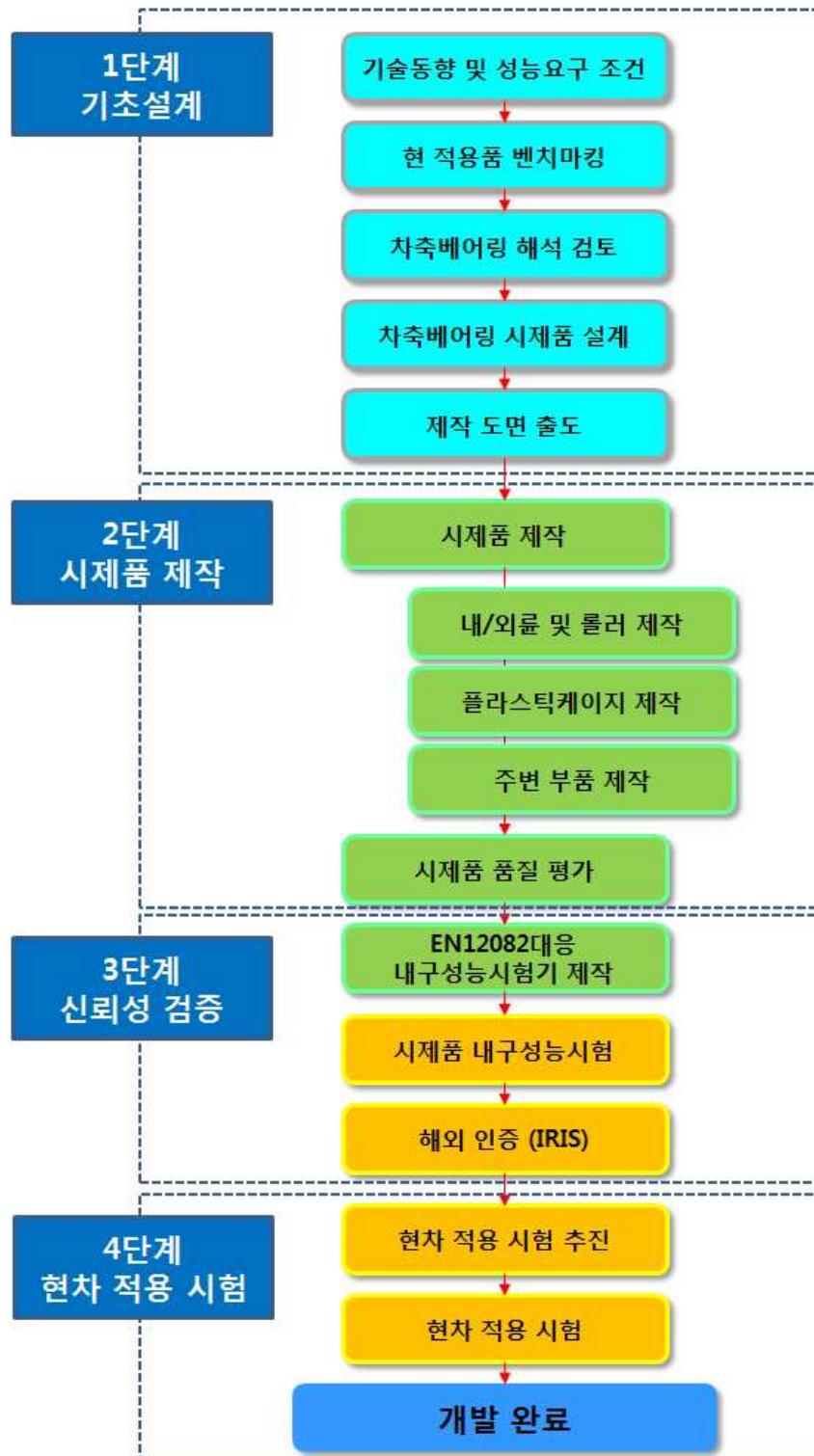
	1세세부과제 (공동과제)명 (연구목표, 분야)	성과목표	성과지표	성과점증 기준			가중치	달성평점 (평점:1~5)	
				목표수준	측정 방법	검증방법			
				목표치	달성치				
성과 질적 목표 점검	도시철도용 차축베어링 실용화 방안 연구	1-1 차축베어링 현차시험	① 현차시험 기술 검토 서류 준비	1건	100%	관련서류		1	
			② 현차시험 계획(안) 작성	1건	100%	현차시험 계획(안)		1	
			③ 안전성 검증	1건	100%	안전성 검증보고서		1	
			④ 차축베어링 현차 적용시험	1건	100%	현차적용 시험보고서		2	
		1-2 성과공유제 표준계약 추진	① 성과공유제 표준 계약 추진	1건	100%	계약건수		2	
		2-1 시제품 설계 및 샘플 제작	① 최종 양산 시제품 설계	1건	100%	도면검토		1	
			② 최종 양산 시제품 제작	1건	100%	제작건수		2	
3	도시철도용 차축베어링 설계, 제작 및 인증	2-2 베어링 내구성능 시험 추진	① 베어링 내구성능 평가/분석	1건	100%	성능시험		2	
			② 차축베어링 시험기 성능 보완	1건	100%	시험규정		0.5	
		2-3 차축베어링 화학성분분석	① 품질평가 성적서	1건	100%	시험성적서		1	
		2-4 IRIS사후인증 심사 추진	① IRIS 사후인증 심사 결과보고서	1건	100%	결과보고서		1	
		3-1 최종 양산 시제품 금형 개발	① 설계/제작도면	1건	100%	도면검토		1	
			② 구성품 설명서	3건	100%	설명서		0.5	
			③ 제작사양서	2건	100%	관련문서		0.5	
		3-2 최종 양산 시제품 설계 및 제작	① 최종 양산 시제품 제작도면 작성	1건	100%	관련도면		1	
			② 제조 공정도	1건	100%	제조 공정도		0.5	
			③ 시제품 제작	1건	100%	제작건수		2	
종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 가중치)								20	
양적 지표 점검	사업연계지표	목 표	목표건수	달성건수	증빙	인정 건수	달성율(%)	가중치	비 고
		특허 출원	2건	2건	특허 출원	2건	100%	50	
		시제품 제작	2건	2건	제작	2건	100%	30	
		S/W 등록 건수			등록				
		논문 (게재/발표)	게재: 발표:2	2	2건	게재/발표	2건	100%	20
		종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 가중치)							100

성과 질적 목표 점검	1세 세부과제 (공동과제)명 (연구목표, 분야)	성과목표	성과지표	성과검증 기준			기중치	달성평점 (평점:1 ~ 5)		
				목표수준	측정 방법	검증방법				
				목표치	달성치					
1	도시철도용 차축베어링 실용화 방안 연구	1-1	차축베어링 현차적용시험 수행	①	차축베어링 현차적용시험	1건	100%	보고서		
		1-2	연구성과 국내외 홍보	①	2016 독일 Innotrans 박람회 참가	1건	100%	보고서		
	2	2-1	차축베어링 성능평가	①	결과보고서	1건	100%	결과보고서		
	도시철도용 차축베어링 설계, 제작 및 인증	2-2	현차적용시험 온도모니터링 관련 학술대회 논문발표	①	발표 논문	1건	100%	발표논문		
		3-1	차축베어링 양산성 검증	①	공인인증성적서	1건	100%	성적서		
종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 기중치)								10		
양적 지표 점검	사업연계지표	목 표	목표전수	달성전수	증빙	인정 건수	달성을(%)	기중치	비 고	
		특허 출원	1건	2건	특허 출원	2건	200%	50		
		시제품 제작			제작					
		S/W 등록 건수			등록					
		논문 (게재/발표) 발표:1	게재: 1	1건	게재/발표	1건	100%	50		
종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 × 기중치)								100		

2. 연구 수행 Process

국내외 기관별 보고서원문 성과를 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

본 연구는 하기 연구수행 Process에 따라 기술동향 조사 및 벤치마킹, 시제품 설계, 시제품 제작 및 신뢰성 검증을 거치고 현차적용시험을 완료함으로써 현 적용품 대비 동등 또는 이상의 제품 품질 및 성능을 확인하였으며, 도시철도 차축베어링의 개발을 성공적으로 완료하였다. 따라서 본 최종보고서에서는 하기 Process에 따라 기초설계단계에서부터 검증 및 활용단계까지의 진행현황에 대해 종합적으로 서술하였으며, 개발성과는 각 연차별 부록으로 수록하였다.



<그림 3.1> 연구수행 Process

3. 연구 수행 1단계 : 기초설계

가. 성능요구 조건

1) 개발 차축베어링 성능요구 조건

<표 3.5> 개발 차축베어링 사양

항목	화차용 차축 베어링	도시용 차축 베어링	준고속 차축 베어링	고속 차축 베어링
BRG 사양	TRB	CRB	TRB	TRB
속도	90km/h 이하	120km/h 이하	120 ~200km/h	200km/h 이상
유활 타입	Grease	Oil 또는 Grease	Grease	Grease
하중	축당 [17 Ton]	축당 [20 Ton]	←	←
핵심사항	고하중, 장수명, 내오염성	정숙성, 안전성	고속 성능	Multilog online systems[SKF] [고속성능, 상시 모니터링 기술]
특징				

- 베어링 부하용량 및 접촉응력 개선
- 베어링 수명 향상 및 작동 온도 감소

<표 3.6> 요구사양 및 개발목표

항목	요구 사양	개선 목표	비고
면암	4,000 Mpa	3,600 Mpa	10% 감소
수명	이론 수명	2,000천 km 이상	2,200천 km 이상 10% 증가
	시험수명	600천 km 이상	시험 종료 수명
온도	80°C 이하	80°C 이하	동등 조건

- 플라스틱 케이지 적용을 통한 성능 향상 베어링 마찰, 마모 및 롤러 슬립 감소
- 윤활성능 향상을 통한 윤활 부족 시 베어링 소착 방지

<표 3.7> 플라스틱 케이지 사양

항목	스틸 Cage	플라스틱 Cage	비고
무게	1.9kg	0.2kg 이하	89% 감소
롤러 슬립[50km/h]	50%	5% 이하	90 % 감소
무윤활시 소착 발생 거리	70km (소착 발생)	100km 이상 (235°C)	42% 증가

2) KORAIL 요구 Spec.

		강재 재료					
구분 형식	기호	화학 성분 (%)					
		C	Si	Mn	P	S	Cr
내 봉 외 봉 봉려	SUJ 2	0.95 ~ 1.10	0.15 ~ 0.35	0.50 0.15~	0.025 0.05~	0.025 0.05~	1.30 ~ 1.60

윤활제	
ALVANIA EP2 혹은 이와 동등 한 것	

형식 및 치수	

성능

정밀도, 외관, 수명, 열처리 조건

종 레	경 도 (HRC)	인장강도 (MPa)
레이스 (내 봉, 외 봉)	50 ~ 63	1570 ~ 1960
로울 레	60 ~ 65	1570 ~ 1960

<그림 3.2> 성능필요조건

검사 및 시험

- 외관, 치수, 정밀도, 경도 및 자분 탐상 시험을 시행
- 화학 분석 시험, 기계적 시험, 압쇄 시험, 자분 탐상 시험 및 운전 시험

검사방식과 합격품의 품질 수준

No	항 목	형식시험	전수시험	비 고
1	외관 검사	○	○	
2	정밀도 검사	○	○	
3	화학 분석 시험	○	-	동일 용해 LOT마다 시험
4	기계적 성질	인장강도 같도	○	-
5	압쇄 시험	○	-	동일 열처리 LOT마다 시험
6	자분 탐상 시험	○	-	
7	운전 시험	○	-	

- 규정한 모든 시험 및 검사에 합격일 경우에는 합격으로 하고 1개라도 불합격일 때는 불합격

포장 및 표시

- 베어링의 주요 부분에는 따로 정하는 방정유를 바르고 포장
- 제품에는 제조자명, 제조 년 월 및 호칭번호를 명확히 각인하고 제조번호를 표시

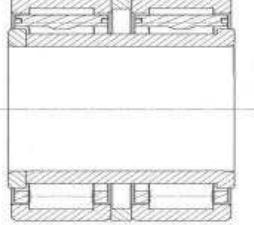
<그림 3.3> 검사 및 품질 보증

가) 개요

철도차량 차축용 베어링 기술과 관련된 선행 특허를 검색 분석함으로써 경쟁사들의 특허 출원 경향을 파악하는 한편, 경쟁사와의 특허 침해 분쟁을 미연에 방지하고, 분석된 결과를 활용함으로서 특허 획득을 위한 IP전략을 수립하고자 한다.

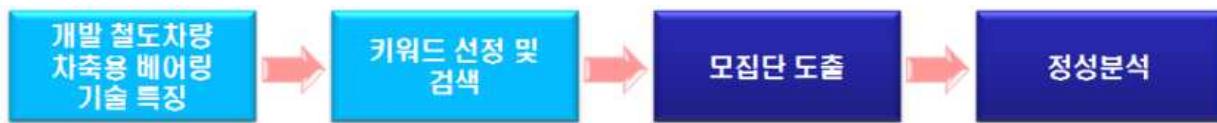
나) 개발된 철도차량 차축용 베어링

<표 3.8> 차축베어링의 도면 및 기술개요

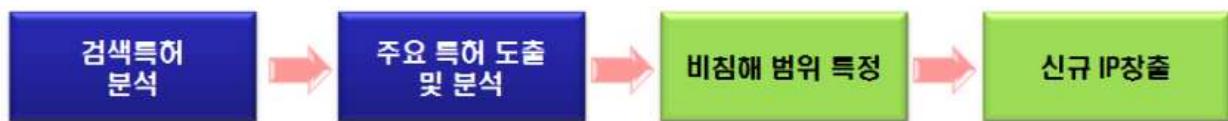
참고도면	내 용
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기술 개요 <ul style="list-style-type: none"> - 철도차량 차축용 베어링은 NUP Type 복열 원통 롤러 베어링임. - 2개의 외륜과 1개의 내륜으로 이루어진 형태임 - 철도차량 차축에 조립되어 외륜이 회전하는 구조로 설치됨 ○ 특성 <ul style="list-style-type: none"> - 윤활성을 향상시키기 위한 케이지 형상

다) 업무 진행내용 및 업무 진행 프로세스

(1) 1차년도 업무 진행 프로세스



(2) 2차년도 업무 진행 프로세스



(3) 특허분석 - 비침해 범위 특정

(가) 개발된 철도차량 차축용 베어링 기술 특성

- 구조 - 복열 원통 롤러 베어링으로서, 2개의 외륜, 1개의 내륜, 34개의 전동체, 2개의 플라스틱 케이지, 내륜의 일측으로 구비되는 1개의 가이드링, 외륜 사이에 구비되는 1개의 스페이서로 이루어져 있다.
- P.C.D 와 케이지 치수 관계 - 피치서클 지름(P.C.D)은 183.5mm, 플라스틱 케이지의 외경(D2)은 196.5mm, 플라스틱 케이지의 내경(D1)은 166.5mm이다.

조립 관계

물고도면	내 용
	(1) 구조 - 복잡 진동 풀러 베어링으로서, 2개의 내륜, 1개의 외륜, 34개의 전동체, 2개의 플라스틱 케이지, 내륜의 일죽으로 구비되는 1개의 가이드 링, 퍼лон 사이에 구비되는 1개의 스페이서로 이루어져 있음. (2) P.C.D. 와 케이지 치수 관계 - 케이지 플러그(P.C.D.)은 183.5mm, 플라스틱 케이지의 외경(D2)은 196.5mm, 플라스틱 케이지의 내경(D1)은 168.5mm임.

케이지 형태

물고도면	내 용
	(1) 창살홀 - 창살 외경면에 길이 방향으로 오목한 창살홀 형성. (2) 창살홀기 - 창살에 반경 방향 내향 둘둘된 돌기 형성. - 창살홀기에는 길이 방향 양쪽에 경사면 구비. (3) 링홀 - 링의 외면에 한두 방향을 따라 이격한 복수의 흔 형성.

재질 및 소재 특성

	재질	강도	거칠기
내륜	SUJ2	HRC 58~62	0.12a
외륜	SUJ2	HRC 58~62	0.12a
전동체	SUJ2	HRC 60~64	0.12a
가이드 링	SUJ2	HRC 58~62	0.5a
스페이서	S25C(소결재)	-	-

재질

케이지 PA66+ GF25wt%

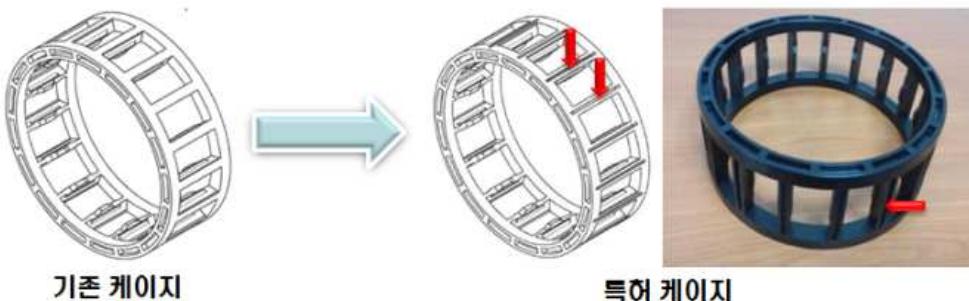
롤러 크라우닝과 챔퍼

물고도면	내 용
	(1) 청대 - 지름이 일정하며, 양측 단면에 오목한 흔이 형성. (2) 챔퍼 - 외경면과 양측 단면은 절끼로 연결.

<그림 3.4> 개발된 철도차량 차축용 베어링 기술 특성

라) 신규 IP(특허권) 창출

❖ 케이지 창살부에 오일 흔을 가공하여 구동 중 윤활 성능을 향상



특허 창출 내용

1. 창살홀의 형태
2. 링홀의 형태
3. 창살홀과 링홀을 연통시키는 관통공 형성

기대 효과

윤활의 극대화
윤활유의 유동 활성화 기대

<그림 3.5> 개발된 철도차량 차축용 베어링 플라스틱 케이지 기술 특성

1) 개요

연구개발 계획에 따라 도시철도에 현재 적용 중인 NTN 및 NSK社의 차축베어링 및 일진베어링아트 시제품에 대한 화학적 성분 분석 및 경도 측정 등을 통하여 일진 시제품 적용 소재의 특성 및 성능을 파악하고 경쟁사 소재와 비교 분석을 실시하여 얻은 결과를 베어링의 개선 설계 및 제작에 반영하여 양산 품질 및 성능을 확보하기 위함이다. 벤치마킹 대상은 도시철도용 차축베어링으로 코레일 적용품(신품)에 대하여 실시하였다.

2) 베어링강의 특징

일반적으로 사용하는 베어링강재인 STB2(SUJ2, SAE52100, 100Cr6와 유사)는 베어링이 필요로 하는 특성을 갖기 위해 크롬, 니켈, 몰리브덴, 바나듐 등을 첨가하여 높은 경도와 내마모성, 내식성, 인성 등의 특성을 가지는 합금강이다. 베어링강은 보통 소입해서 사용하는 것이 일반적이다.

베어링강재로는 고탄소 크롬강 이외에도 침탄을 통해 표면을 경화시켜 사용하는 침탄강 및 내식, 내열용 스테인리스강 등도 적용되고 있으며, 사용처에 따라 그 소재는 다양하다. 하지만 일반 부품용 베어링강으로는 고탄소 베어링강이 가장 많이 적용되고 있다.

현재 일반적으로 적용되고 있는 고탄소 베어링강은 90%이상 STB2이며, 탄소는 약 1% 첨가되어 내마모성 향상에 기여하며, 실리콘과 망간은 소입성을 향상 시킨다. 또한 망간과 일부 탄화물은 소재의 소둔상태의 페라이트를 강화시키는 효과는 크나 과잉 첨가되면 냉간 가공성을 저해시키는 요인이 되기도 한다. 또한 크롬은 탄화물의 구상화 및 미세분산에 기여하여 소입성을 향상시키는 중요한 요소이기도 하다.

<표 3.9> 베어링강의 특징

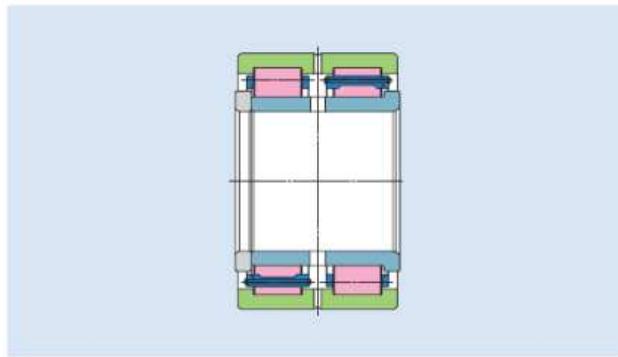
구 분	특 징	용 도
STB2	내마모성 및 내충격성 우수 볼베어링 및 롤러 베어링에 적용	볼베어링, 롤러 베어링, 인발금형, 금형의 가이드 핀 등

<표 3.10> 일반 열처리 방법

단조온도 (°C)	Annealing (소둔, °C)	Quenching (소입, °C)	Tempering (소려, °C)	Annealing (HB)	Annealing (HRB)	Quenching (HRC)	Tempering (HRC)
850~1,100	780~810	800~840	140~180°C	≤201	≤94	63~65	≥60

<표 3.11> 도시 철도용 차축베어링(코레일 적용품)

No	Maker	Type	형번	용도
1	NTN	CRB	2NUP2653HSC3PX1S20	철도 차축용
2	NSK	CRB	130JRT08	철도 차축용

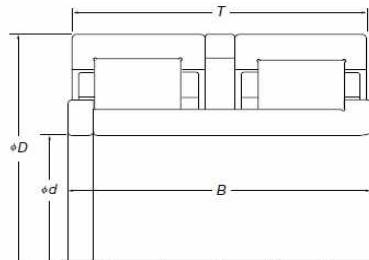


● Features

Bearing No. : 2RNUP2625
 Bearing Type : Double Row Cylindrical Roller Bearing with Ribs
 Bearing Bore : 130mm
 Lubrication : Oil bath
 Maximum Speed : 100km/h

<그림 3.6> NTN 차축베어링 Data

Type I



Class	Bearing Number	Dimensions (mm)				Basic Dynamic Load Rating (N)	Basic Static Load Rating (N)	Mass (kg) approx.	Main Application
		d	D	T	B				
95	95JRT01	95	190	125	130	800 000	1 340 000	15.7	Electric Car
95	95JRT02	95	170	115	125	440 000	685 000	11.4	Electric Car
100	20100-1	100	200	170	170	650 000	1 030 000	24.8	Electric Car
110	JC6K	110	220	172	180	790 000	1 190 000	30.5	Freight Car (Thailand)
110	20110-1	110	220	180	185	875 000	1 370 000	31.8	Electric Car
120	JC12	120	240	176	180	1 020 000	1 580 000	38.1	Electric Car
120	JC34	120	230	165	170	945 000	1 460 000	31.0	Shinkansen
120	JC35	120	225	165	170	875 000	1 380 000	30.0	Shinkansen
120	120JRT01	120	240	180	185	935 000	1 450 000	37.8	Electric Car
120	120JRT04	120	220	160	165	810 000	1 340 000	28.3	Electric Car
120	20120-4	120	240	180	185	935 000	1 450 000	38.1	Electric Car
120	20120-11	120	220	180	183	850 000	1 430 000	29.8	Electric Car
120	20120-12	120	220	180	185	850 000	1 430 000	29.9	Electric Car
125	JC38	125	235	165	170	945 000	1 470 000	32.1	Shinkansen
130	JC21	130	260	180	205.5	1 030 000	1 610 000	46.0	Electric Car
130	JC37	130	265	166	166	1 140 000	1 700 000	43.4	Shinkansen
130	130JRT01	130	260	180	185	1 030 000	1 610 000	45.6	Electric Car
130	130JRT08	130	235	165	170	895 000	1 520 000	32.1	Electric Car (Korea)
130	20130-6	130	260	180	185	1 030 000	1 610 000	45.7	Electric Car
130	20130-7	130	240	180	185	915 000	1 490 000	35.3	Electric Car
140	20140-1	140	250	155	160	865 000	1 480 000	33.5	Electric Car
170	170JRT01	170	340	230	230	1 660 000	2 760 000	99.4	Locomotive (Prototype)

<그림 3.7> NSK 차축베어링 Data

3) 벤치 마킹 재료 분석 결과
한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

개발 시제품 및 현 적용 차축베어링 재료 분석 결과, 화학적 성분은 일진 및 현 적용 베어링 모두 KS 및 JIS 규격을 만족하고 있으며 경도측정 결과 개발품의 내/외륜 및 롤러의 경도가 현 적용 차축베어링 2종 대비 우수하다.

<표 3.12> 베어링 재료분석 결과 비교

구 분	개발품		NTN	NSK
베어링No.	NUP130135C3PC		2RNUP2653HSPXI	130JRT08
베어링사진				
강종	내륜	STB2	SUJ2(STB2)	SUJ2(STB2)
	외륜	STB2	SUJ2(STB2)	SUJ2(STB2)
	롤러	STB2	SUJ2(STB2)	SUJ2(STB2)
경도 (공인기관성 적서)	내륜	Avg. HRC 60.8(61)	Avg. HRC 60.4	Avg. HRC 60.1
	외륜	Avg. HRC 62.0(62)	Avg. HRC 60.4	Avg. HRC 60.0
	롤러	Avg. HRC 63.1(62)	Avg. HRC 60.5	Avg. HRC 60.4

<표 3.13> 화학성분 참고 규격

강 종		Weight%									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
STB2 (KS)	min.	0.95	0.15	-	-	-	-	1.30	-	-	-
	max.	1.10	0.35	0.50	0.025	0.025	-	1.60	0.08	-	-

<표 3.14> 화학성분 분석 결과

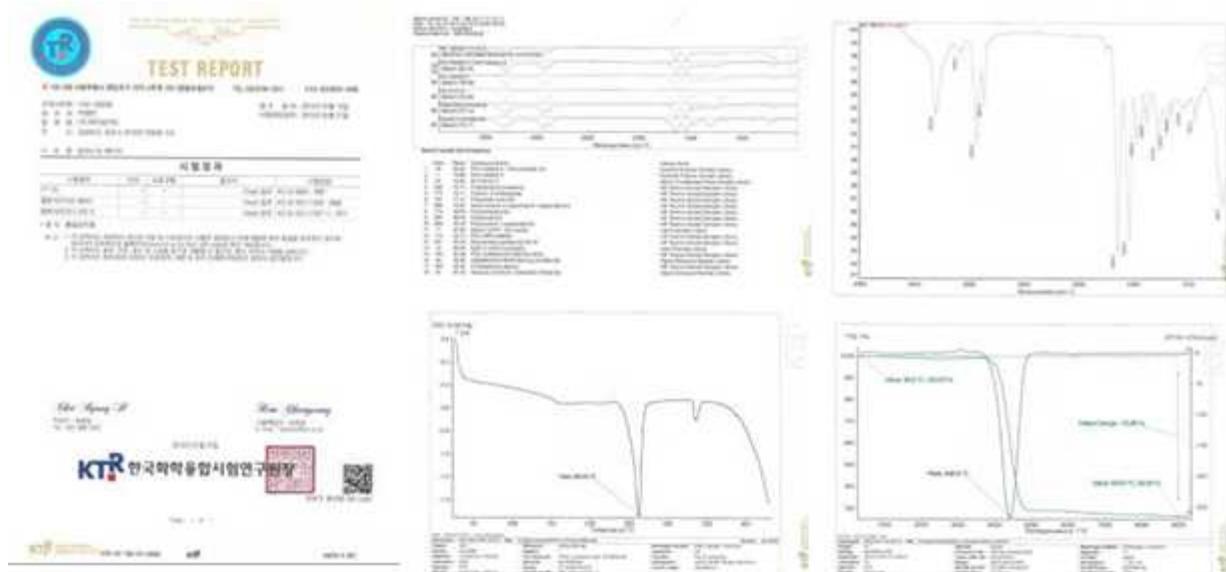
구 분		Weight%									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
개발품 (자체 측정)	내륜	1.04	0.28	0.39	0.025	0.007	0.05	1.58	0.02	0.02	0.02
	외륜	1.05	0.24	0.27	0.021	0.006	0.08	1.46	0.02	0.02	0.01
	롤러	0.98	0.18	0.27	0.015	0.001	0.01	1.46	0.01	0.01	0.01
개발품 (공인기관 성적서)	내륜	0.96	0.29	0.42	0.017	0.002	-	1.57	-	-	-
	외륜	0.97	0.23	0.32	0.012	0.001	-	1.53	-	-	-
	롤러	0.97	0.21	0.30	0.015	0.003	-	1.53	-	-	-
NTN	내륜	1.04	0.26	0.40	0.007	0.003	0.06	1.48	0.03	0.14	0.03
	외륜	1.03	0.24	0.40	0.010	0.004	0.10	1.47	0.03	0.12	0.02
	롤러	1.03	0.27	0.40	0.003	0.002	0.08	1.57	0.04	0.11	0.05
NSK	내륜	0.95	0.21	0.35	0.010	0.002	0.06	1.41	0.01	0.08	0.01
	외륜	1.00	0.26	0.37	0.010	0.008	0.06	1.42	0.01	0.01	0.02
	롤러	0.95	0.25	0.40	0.011	0.004	0.09	1.45	0.01	0.10	0.01

<표 3.15> 경도 참고규격

강 종		Hardness	
		Min.	Max.
STB2	내 레	59	63
	외 레	59	63
	롤 러	60	65

<표 3.16> 경도 분석 결과

강 종		Hardness	비고
개발품 (자체 측정)	내 레	Avg. 60.8	Attachment 1
	외 레	Avg. 62.0	
	롤 러	Avg. 63.1	
개발품 (공인기관성적서)	내 레	61	Attachment 2
	외 레	62	
	롤 러	62	
NTN	내 레	Avg. 60.4	Attachment 3
	외 레	Avg. 60.4	
	롤 러	Avg. 60.5	
NSK	내 레	Avg. 60.1	Attachment 4
	외 레	Avg. 60.0	
	롤 러	Avg. 60.4	

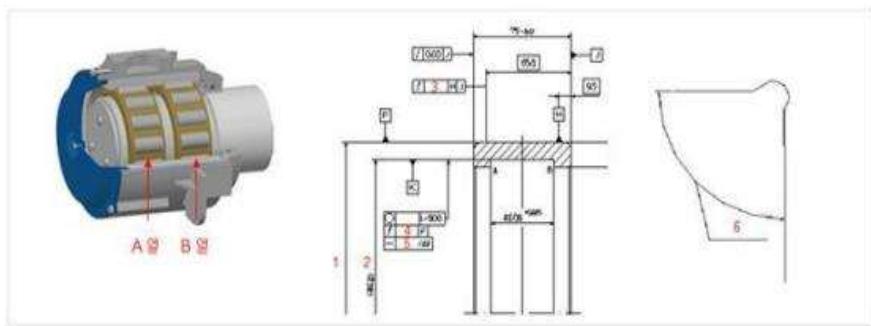


<그림 3.8> 공인기관 시험성적서(케이지)(한국화학융합시험연구원, '15.1.27.)

4) 정밀 치수 측정 결과

현 적용품 대비 내외륜 및 롤러 정밀 측정 결과 동등 수준으로 제작되었다.

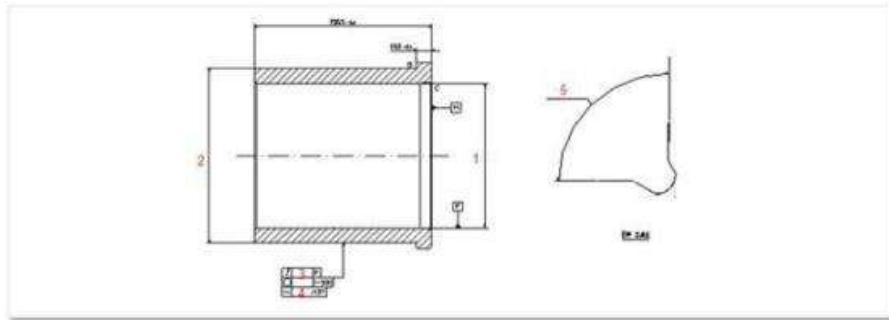
가) 외륜 (Outer Ring) 정밀 측정 결과



<그림 3.9> 외륜 치수 측정부

<표 3.17> 측정 결과

Designation	No	Drawing spec.	개발품 A열	개발품 B열	NTN A열	NTN B열	NSK A열	NSK B열
Unit		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
외 륜	외경	1	Ø235	Ø234.985	Ø234.985	Ø234.938	Ø234.985	Ø234.985
	궤도경	2	Ø210.6	Ø210.634	Ø210.647	Ø211.000	Ø210.996	Ø208.518
	외경 흔들림	3	0.009	0.002	0.005	0.003	0.005	0.009
	궤도 흔들림	4	0.025	0.004	0.002	0.002	0.002	0.003
	궤도 진직도	5	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005
	턱부 각도	6	90° 20'	90° 22'	90° 20'	90°25' 16"	90°27' 24"	90°25' 33"

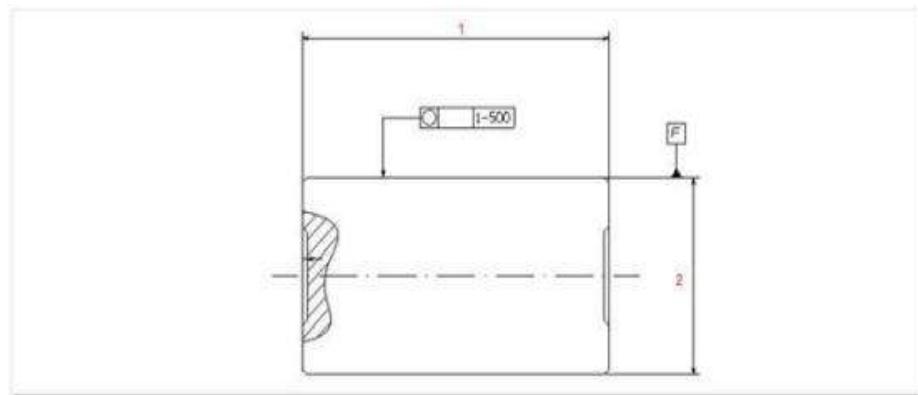


<그림 3.10> 내륜 치수 측정부

<표 3.18> 측정 결과

Designation		No.	Drawing spec.	개발품	NTN	NSK
Unit			mm	mm	mm	mm
내륜	내륜	1	$\varnothing 130$	$\varnothing 129.981$	$\varnothing 129.991$	$\varnothing 129.991$
	궤도경	2	$\varnothing 156.5$	$\varnothing 156.513$	$\varnothing 156.904$	$\varnothing 156.406$
	궤도흔들림	3	0.020	0.017	0.005	0.008
	궤도진직도	4	0.008	0.003	0.003	0.003
	턱부각도	5	$90^\circ 23'$	$90^\circ 22'$	$90^\circ 19'$	$90^\circ 27' 18''$

다) 롤러 (Roller) 정밀 측정 결과



<그림 3.11> 롤러 치수 측정부

<표 3.19> 측정 결과

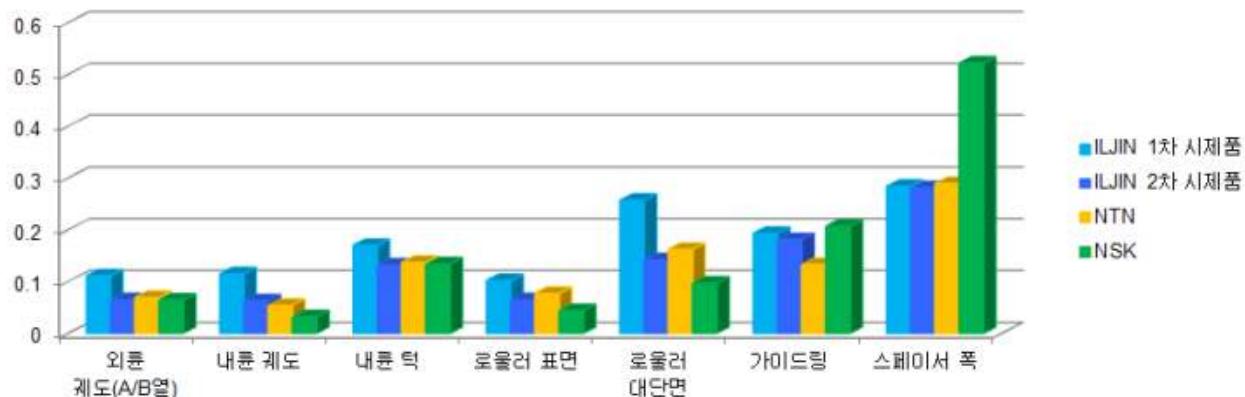
Designation		No.	Drawing spec.	개발품		NTN		NSK	
Unit			mm	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
롤러	길이	1	48	47.987	47.995	47.986	47.990	47.974	47.991
	롤러 경	2	$\varnothing 27$	$\varnothing 26.898$	$\varnothing 27.005$	$\varnothing 26.898$	$\varnothing 26.900$	$\varnothing 25.856$	$\varnothing 25.895$
	롤러 수		17	17		17		17	

5) 형상 측정 결과
구개발 보고서원문 성과를 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.
1, 2차 시제품 형상 측정 결과 현 적용품(NTN, NSK) 대비 동등 수준으로 제작되었다.

가) 표면거칠기 (μmRa) 측정 결과

<표 3.20> 표면거칠기 측정 결과

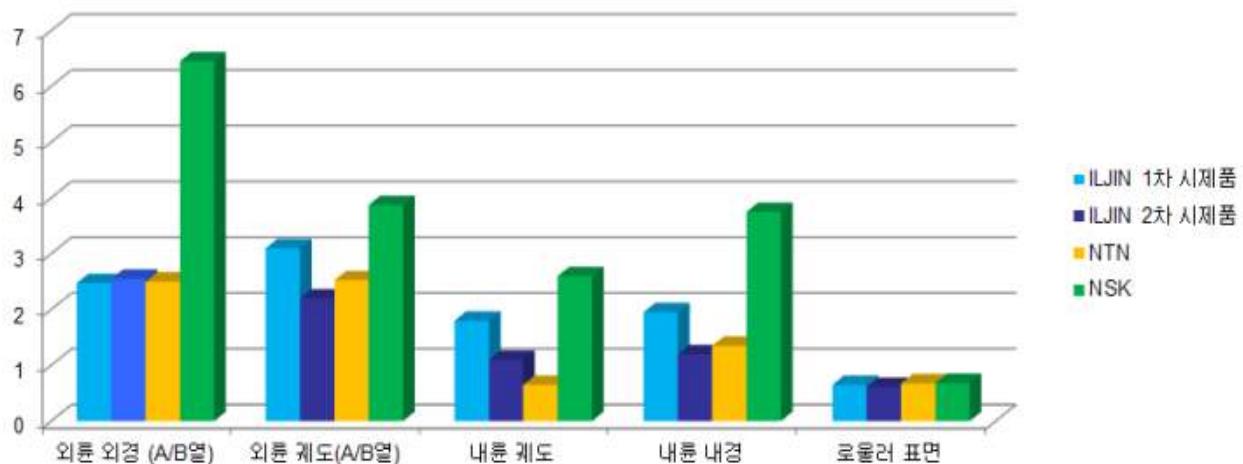
Designation		개발품		NTN	NSK
표면거칠기 (μmRa)	외륜궤도(A/B열)	0.112/0.110	0.063/0.067	0.074/0.064	0.064/0.055
	내륜궤도	0.115	0.063	0.054	0.032
	내륜 턱	0.170	0.132	0.137	0.134
	롤러 표면	Avg. 0.102	Avg. 0.065	Avg. 0.077	Avg. 0.044
	롤러 대단면	Avg. 0.257	Avg. 0.142	Avg. 0.162	Avg. 0.097
	가이드링	0.193	0.181	0.133	0.207
	스페이서 폭	0.284	0.281	0.289	0.522



<그림 3.12> 표면거칠기 비교 결과

<표 3.21> 진원도 측정 결과

Designation		개발품		NTN	NSK
진원도 (μm)	외륜외경(A/B열)	2.85/2.10	2.75/2.35	1.20/3.80	7.00/5.90
	외륜궤도(A/B열)	3.60/2.60	2.30/2.10	1.10/3.95	3.45/4.30
	내륜궤도	1.80	1.10	0.65	2.60
	내륜내경	1.95	1.20	1.35	3.75
	롤러표면	Avg. 0.60/0.70	Avg. 0.60/0.62	Avg. 0.80/0.55	Avg. 0.63/0.74



<그림 3.13> 진원도 비교 결과

다. 차축베어링 해석 검토

1) 베어링 수명 해석

가) 본 연구의 시제품 설계는 외부 조건인 작동 온도 및 하중 그리고 작동 속도 등을 충족시킬 수 있는 설계가 진행되어야 하며, 이를 위해 베어링 설계에서 가장 우선 시 되는 것은 요구되는 수명을 충족시키는 것이다.

나) 요구수명 검토 시 동 정격하중과 정 정격하중은 베어링 용량을 평가할 수 있는 척도로 동 정격하중은 수명과 관련되어 있고, 정 정격 하중은 궤도류의 소성 변형 여부 평가와 관련 있다. 본 연구에서는 동 정격 하중에 비중을 두어 설명 하도록 하겠다. 구름 베어링의 부하능력을 나타내는 기본 동 정격 하중은 외륜 고정, 내륜 회전인 조건에서 정격 수명이 백만 회전이 될 수 있도록 가해진 일정한 고정 하중을 의미한다. 이와 같은 동 정격 하중을 토대로 베어링의 수명을 아래와 같이 구하게 된다. 여기서 동 등가 하중은 실제 상태에서 얻어지는 수명과 같은 값을 얻도록 크기가 일정하고 베어링의 중심에 작용하는 상당 하중을 가상하는 것을 말하며, ISO 281 2)에 준하여 산출 한다.

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

L : 베어링 피로 수명 (신뢰도 90%, 100만 회전)

P : 베어링이 받는 등가 하중 (N)

C : 기본 동 정격 하중 (N)

동 정격하중은 아래와 같은 식을 통하여 유추된다.

$$C = b_m f_c (i L_{we} \cos \alpha)^{7/9} Z^{3/4} D_{we}^{29/27}$$

bm : 가공 조건 및 물성에 따른 factor (ISO 281 참조)

fc : 형상 및 정확도 관련 계수 3),4)

I : 단열/ 복열

le : 롤러 유효 길이

Z : 롤러 수, α : 접촉 각

Dwe: 롤러 직경

다) 따라서 위와 같은 설계 인자들을 기본으로 베어링 설계가 이루어지고, 이에 대한 검증이 진행된다. 본 보고서에서는 벤치마킹 데이터와 일진 설계 규정에 따른 베어링 설계 과정에 대해 언급한 후 상용 프로그램을 이용한 설계 검토 방법 및 결과에 대해 설명하였다. 또한 리테이너와 리벳팅에 대한 설계 및 조립성 검증도 함께 진행하였다.

라) 베어링 용량

(1) 도시철도용 차축 베어링에 적용되는 실린더리컬 롤러 베어링 수명 및 면압 해석 검토를 위하여 상용 프로그램인 Romax S/W를 사용하였으며, 베어링 정보는 당사 베어링 설계 제원을 적용하였으며 <표 3.24>와 같다.

<표 3.22> 시제품 베어링 형번 및 제원

형 번	Bearing Size [mm]			Capacity [kN]	
	Bore	O.D.	Width	Cr	Co
NUP 130235C3	Ø130.000	Ø235.000	170	895.0	1520.0

<표 3.23> 베어링 상세 제원

	Unit	Cylindrical Bearing
Bore	mm	130.000
Outer Diameter	mm	235.000
Width	mm	170.000
Z		17
Pitch circle diameter	mm	183.500
Roller diameter	mm	27.000
Full length of roller	mm	46.000
Roller corner radius	mm	0.800
Row separation	mm	75.000
Outer raceway shoulder bore	mm	198.000
Inner raceway shoulder diameter	mm	166.900

(2) 해석 시 적용 검토 하중은 차량 하중/시험 조건을 적용하여 수명 및 면압을 검토하였으며, <표 3.24>과 같다.

	차량 하중	설계 조건
Fm* [kN]	98	117.6
Fan* [kN]	0	10.88
RPM	796	875

※ 단열 베어링마다 작용하는 하중이므로, Romax Model에 하중 x2 적용

(3) 베어링 수명 검토를 위하여 ISO281 L10(이물조건 및 열처리, 윤활 미반영) 조건으로, 틈새량 (Radial Internal/Axial Internal Clearance=0)으로 가정하고 해석이 진행 되었으며 시험 조건 축 하중 11.88kN은 베어링 고정을 위한 하중이며, 시험 하중 Fm만 고려하여 해석검토를 수행하였다. 수명은 60만km를 목표로 수명 검토를 수행하였다.

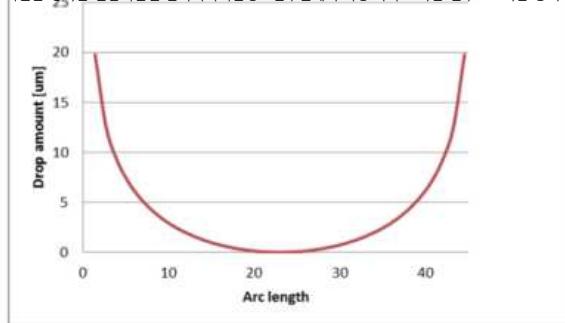
(4) 베어링 면압 검토를 위하여 베어링 롤러 Profile은 표준으로 가정하였으며, 접촉 면압은 < 4,000MPa 미만을 목표로 검토를 수행하였다.

(5) 베어링은 구동 중 과대 정하중을 받거나, 저속 회전에서도 외부 충격 하중을 받게 되면 전동체와 케도의 접촉면에서 국부적으로 영구변형이 발생하게 된다. 이 변형량은 하중의 증대와 함께 커지게 되며 일정 한계를 넘으면 베어링의 회전에 영향을 미치게 된다.

(6) 기본 정격하중이란 최대하중을 받고 있는 전동체와 케도와의 접촉부 중앙에서 아래의 계산접촉응력에 대응하는 정하중을 말하며, 이 접촉 응력하에서 발생하는 전동체와 케도의 총 영구변형은 전동체 직경의 약 1/10,000배가 된다. 따라서 롤러 베어링은 접촉 면압이 4,000MPa이 넘지 않는 범위에서 검토되어져야 한다. 아래 <그림3.14>는 차량 하중과 시험조건에 따른 작용 하중을 표시하였다.



<그림 3.14> 해석 검토 시 작용 하중



<그림 3.15> 르러 Profile

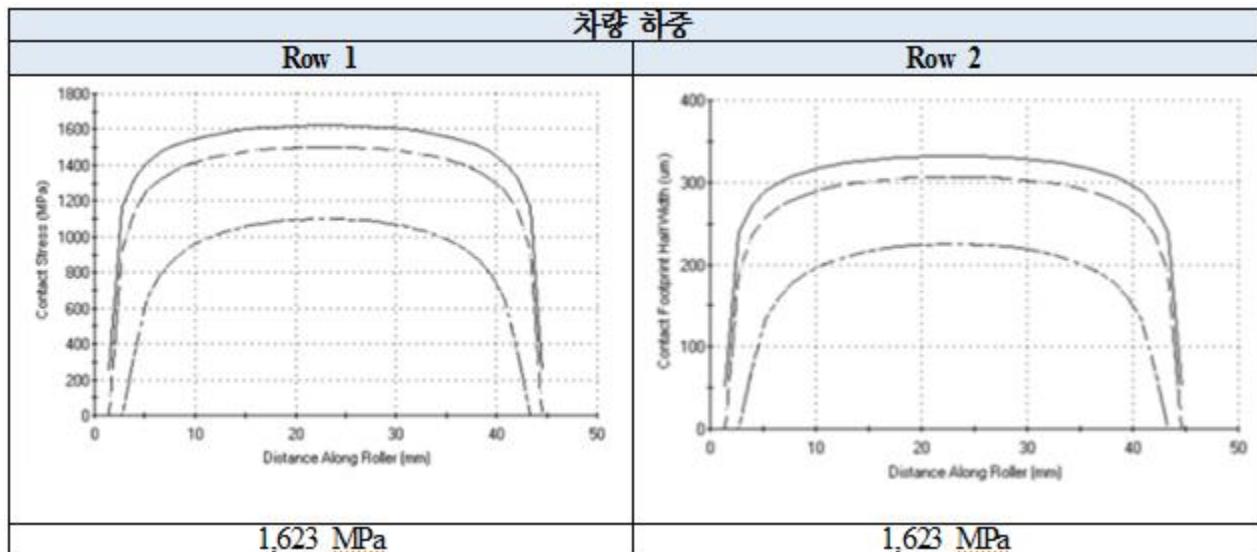
9(7) 베어링 수명 검토 결과는 아래 <표 3.25>와 같다.

<표 3.25> 베어링 수명

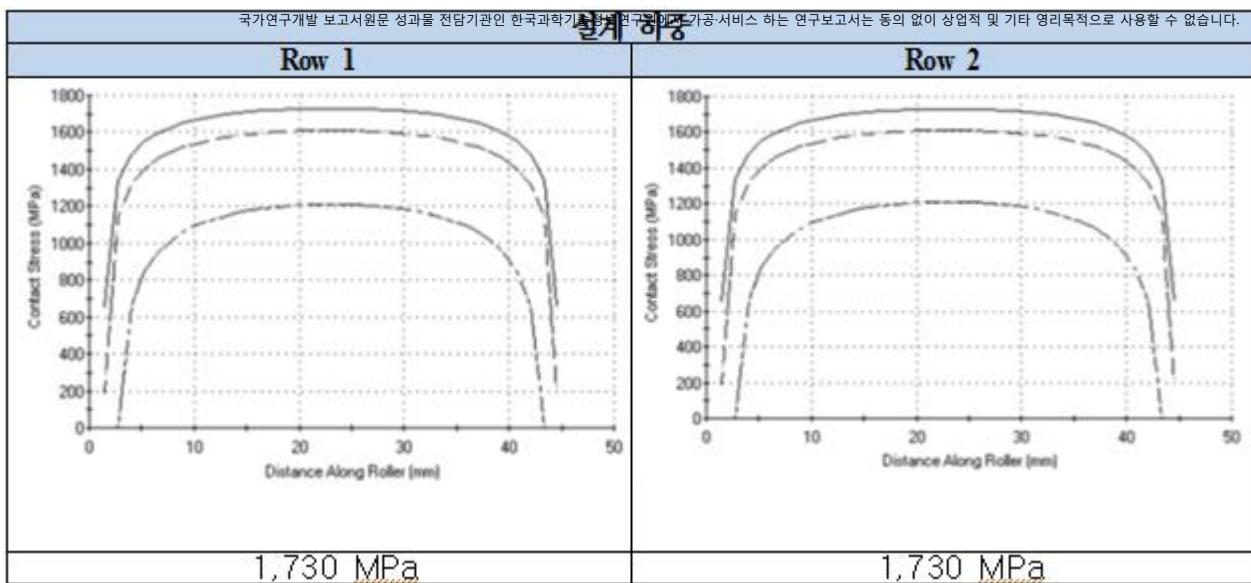
	형 번	Target[x104km]	L10[hrs]	L10[x104km]
차량 하중	NUP 130235C3		3,5721)	85.753)
시험 조건	↑	60	1,7702)	46.713)

1)796RPM 기준 / 2)875RPM 기준 / 3)차량 훨 동반경 : 0.8m(가정)

(8) 르러 표준 Profile을 적용하여 차량 하중 및 설계 조건 하에서의 접촉 면압을 검토한 결과를 <표 3.26>에 나타내었다.



<그림 3.16> 차량 하중 접촉 면압



<그림 17> 설계 하중 접촉 면압

<표 3.26> 롤러 적용 하중 (차량하중 조건)

차량 하중							
Row1				Row2			
Element No	Angle (deg)	Normal Load(n)	Moment (Nmm)	Element No	Angle (deg)	Normal Load(n)	Moment (Nmm)
1	270	3.17E+04	-19.869	1	270	3.16E+04	-19.868
2	248.824	2.62E+04	-17.915	2	248.824	2.62E+04	-17.913
3	227.647	1.19E+04	-9.47	3	227.647	1.18E+04	-9.47
4	206.471	0	0	4	206.471	0	0
5	185.294	0	0	5	185.294	0	0
6	164.118	0	0	6	164.118	0	0
7	142.941	0	0	7	142.941	0	0
8	121.765	0	0	8	121.765	0	0
9	100.588	0	0	9	100.588	0	0
10	79.412	0	0	10	79.412	0	0
11	58.235	0	0	11	58.235	0	0
12	37.059	0	0	12	37.059	0	0
13	15.882	0	0	13	15.882	0	0
14	354.706	0	0	14	354.706	0	0
15	333.529	0	0	15	333.529	0	0
16	312.353	1.19E+04	-9.47	16	312.353	1.18E+04	-9.47
17	291.176	2.62E+04	-17.915	17	291.176	2.62E+04	-17.913

설계 하중							
Row1				Row2			
Element No	Angle (deg)	Normal Load(n)	Moment (Nmm)	Element No	Angle (deg)	Normal Load(n)	Moment (Nmm)
1	270	3.71E+04	-22.822	1	270	3.70+04	-22.821
2	248.824	3.11E+04	-20.78	2	248.824	3.11E+04	-20.779
3	227.647	1.52E+04	-12.874	3	227.647	1.52E+04	-12.873
4	206.471	0	0	4	206.471	0	0
5	185.294	0	0	5	185.294	0	0
6	164.118	0	0	6	164.118	0	0
7	142.941	0	0	7	142.941	0	0
8	121.765	0	0	8	121.765	0	0
9	100.588	0	0	9	100.588	0	0
10	79.412	0	0	10	79.412	0	0
11	58.235	0	0	11	58.235	0	0
12	37.059	0	0	12	37.059	0	0
13	15.882	0	0	13	15.882	0	0
14	354.706	0	0	14	354.706	0	0
15	333.529	0	0	15	333.529	0	0
16	312.353	1.52E+04	-12.874	16	312.353	1.52E+04	-12.873
17	291.176	3.11E+04	-20.78	17	291.176	3.11E+04	-20.779

2) 베어링 내부 접촉 및 형상에 따른 하중 해석

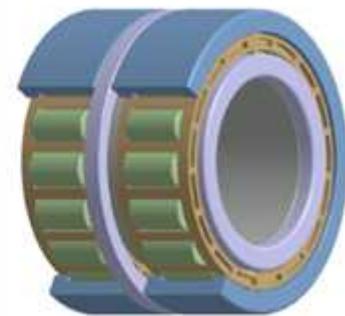
철도의 차축과 차축 베어링은 동력을 전달받아 바퀴를 구동시키는 주요 동력전달 장치이다. 1850년대 독일에서 Wöhler는 차축의 파손을 분석하여, 차축의 신뢰성을 확보하기 위해 S-N 선도 (Stress - life diagram)의 개념을 도입하였다. 구름 베어링의 피로수명은 여러 인자의 영향을 받고, 또한 베어링 수명의 산포가 매우 크기 때문에 베어링의 수명평가는 차축 보다 어렵다. 1901년 Stribeck은 베어링의 부하용량은 전동체와 베어링 궤도 사이의 최대접촉응력이 재료의 허용 응력과 같을 때 결정할 수 제안하였다. 1940년대 말에 Lundberg와 Palmgren은 베어링의 수명평가를 위해 수명이론을 발표한 후, 일부 수정되어 현재까지 산업계에서 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 베어링 재료에서 청정도 향상, 가공기술의 발전, 그리고 윤활 조건의 개선 등으로 수정된 L-P 수명 평가식이 제안 되고 있다. 또한 롤러 베어링 설계에 중요한 인자인 크라우닝 (crowning)형상에 고려한 롤러 베어링의 수명평가에 대한 제안도 이루어지고 있다. 베어링의 수명 평가를 위해서는 전동체와 궤도의 접촉응력을 정확하게 계산하여야 하는 데, 롤러의 크라우닝 형상과 크기에 따라 접촉응력이 변화하는 데도 불구하고 L-P수명 평가식은 이것을 고려하지 않았다. 그러나 철도 차량용 베어링에서 이에 대한 연구는 매우 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 도시철도용 차축 베어링으로 사용되는 롤러 베어링의 정확한 수명 평가를 위해 롤러 크라우닝에 따른 내륜의 접촉응력을 FEM을 통해 해석하였다.

(1) 도시 철도 차량의 보기와 차축 베어링

현재 도시 철도형 철도차량의 주행 장치는 보기(Bogie) 형식의 구조이며, 보기에는 차체와 차체에 수용되는 하중을 지지하여 안전하게 레일 위를 주행한다. 본 연구의 대차는 2축 보기이며, 차체의 진행 방향과는 관계없이 레일을 따라 방향을 전환할 수 있도록 대차의 중앙에 중심(center pivot)을 설치하여 차체를 지지하도록 구성되어 있다. <그림 3.18>(a)는 본 연구의 베어링이 장착되는 도시 철도 대차의 상태이고, <그림 3.18>(b)는 보기의 차축 끝부분에 위치한 원통롤러 베어링이다.



(a) Bogie



(b) Cylindrical Roller Bearing

<그림 3.18> Bogie and Cylindrical Roller Bearing for Urban Railway Train

본 연구의 원통 롤러 베어링의 제원은 <표 3.28>과 같다. 내륜이 일체형인 복열 원통 롤러 베어링으로 케이지는 합성 수지(PA66 + GF)로 구성되어 있다.

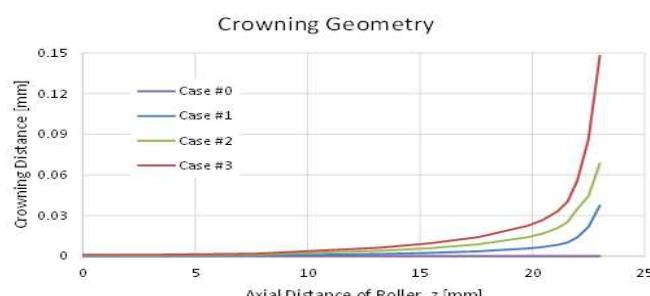
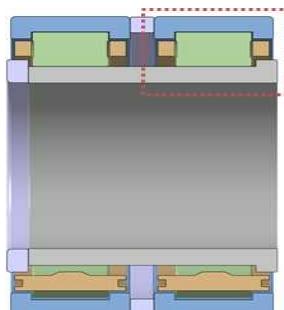
<표 3.28> 원통 롤러 베어링 제원

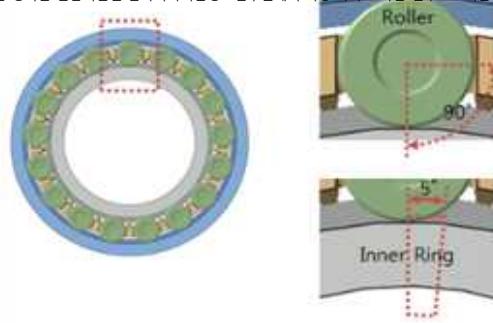
Inner Dia. (mm)	Outer Dia (mm)	Width (mm)	Precision	Basic Dynamic Load Rating (N)	Remarks
130	235	165	Normal	935,000	

나) 베어링 내부 하중 해석

(1) 모델링 및 해석 조건

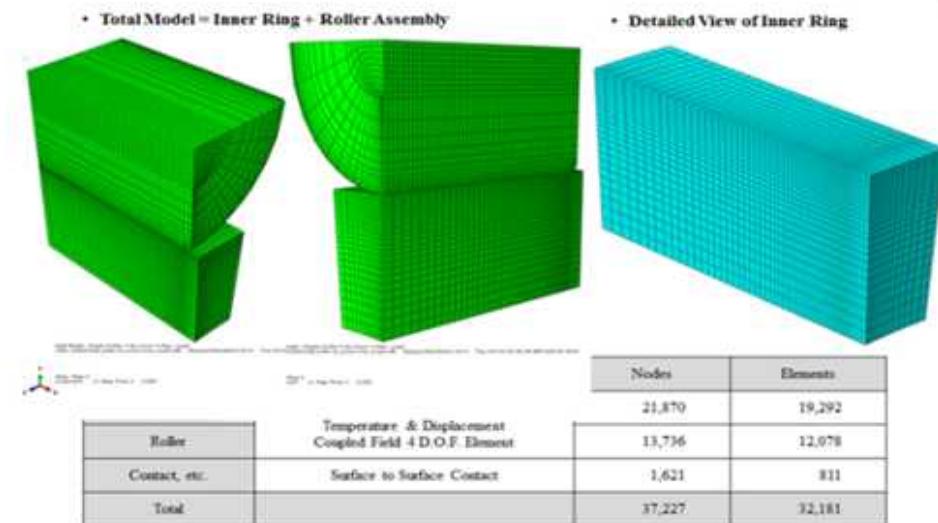
본 해석 모델은 Ansys workbench V14.0을 이용하여 베어링 내·외륜 및 케이지를 모델링하였고, 해석 모델은 <그림 3.19>와 같다. 롤러와 베어링의 elements는 각각 12,078과 19,292이다. 그리고 해석 적용조건은 상온이고, 케이지 밀도는 1.32, 종탄성계수는 2200MPa, 열 팽창계수는 7×10^{-5} [1]이다.





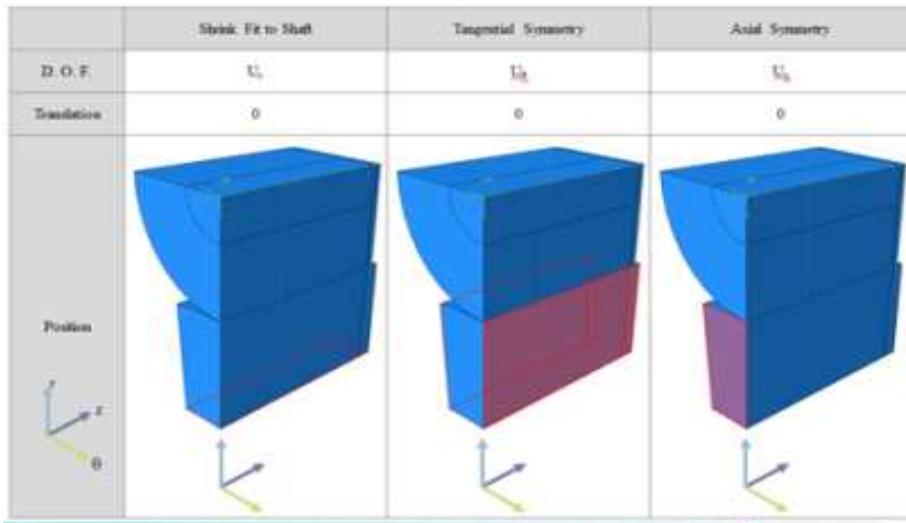
• Analysis Software : ABAQUS Standard v14.0

Parts	Material	Elastic Modulus	Poisson's Ratio
Inner Ring	Linear Elastic	208 GPa	0.3
Roller	Linear Elastic	208 GPa	0.3



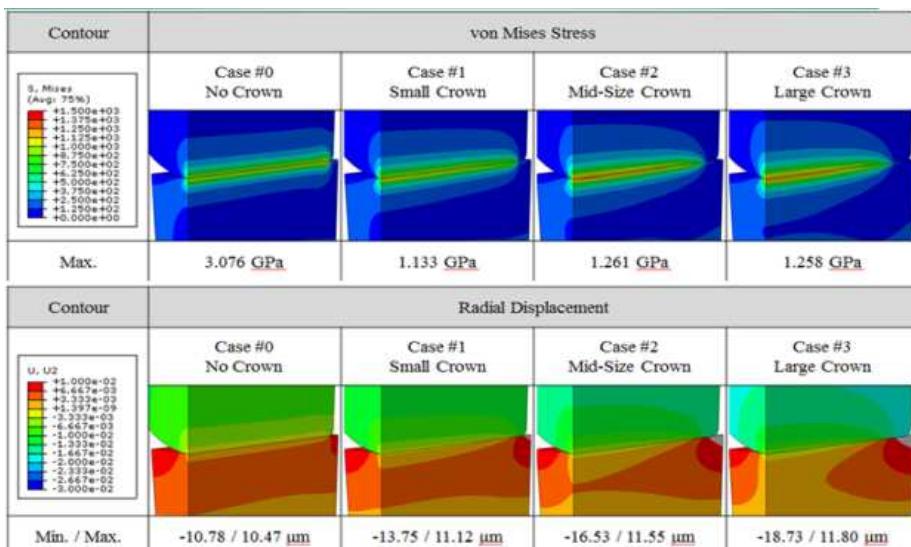
<그림 3.20> Meshes of Cylindrical Roller Bearing

베어링의 외륜이 하중을 받을 때 롤러는 압축응력에 의해 변형되고, 이때 롤러는 내륜과 접촉하게 된다. 10% 이내로 작용하지만, 충격 하중 등이 작용하게 되면 이보다 높을 것으로 예상된다. 이 때 내륜에 발생하는 접촉응력이 국부적으로 허용 접촉응력을 초과하게 되면 내륜은 손상될 수 있다. 차축 베어링에 작용하는 하중은 정상적인 운전 조건에서 베어링의 기본동정격하중(C) 따라서 본 연구에서는 차축 베어링에 작용하는 하중의 범위는 기본동정격하중 C의 5%, 7.5% 그리고 10%로 결정하였다.



<그림 3.21> Contact Stress Analysis 3-D Results for Cage

도시철도용 차축베어링의 내부응력해석 결과 작용하중에 따른 해석결과는 다음 <그림 3.22>와 같다.



(a)

(b)

<그림 3.22> Contact Stress Analysis 3-D Results for Cage

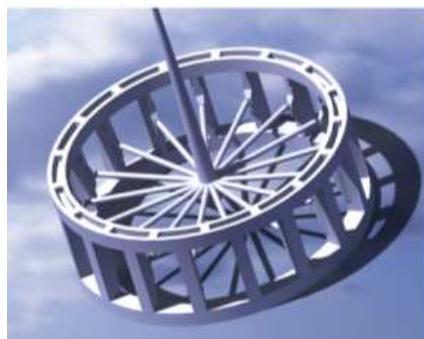
<그림 3.22> (a)는 베어링 작용하중이 C의 9.1%로 경 하중에 해당한다. 해석결과 크라우닝이 없는 경우의 최대 접촉응력은 3,351MPa이고, 크라우닝이 있는 경우는 접촉응력은 최대 31.3%~30.5%의 감소를 알 수 있었다. <그림 3.22> (b)는 베어링 작용하중이 C의 15% 비교적 중 하중에 해당한다. 해석결과 크라우닝이 없는 경우의 최대 접촉응력은 3,946MPa이고, 크라우닝이 있는 경우는 접촉응력은 최대41.1%~40.4%의 감소를 나타내고 있다. 또한 최대접촉응력의 위치는 작용하중의 크기와 관계없이 크라우닝이 없는 경우 롤러의 끝단과 접촉하는 내륜의 바깥 부분이고, 크라우닝이 있는 경우는 내륜의 중앙 부분임을 알 수 있었다.

도시 철도용 차축 베어링에서 롤러의 크라우닝 형상에 따른 내륜의 접촉응력해석 결과, 베어링에 작용하는 기본 동정격하중의 15% 이하의 하중의 범위에서 내륜의 접촉응력은 크라우닝이 있는 경우 크라우닝이 없는 경우에 비해 최대 41.1% ~ 30.5%의 감소를 나타내고 있다. 즉 롤러 베어링의 크라우닝은 베어링의 내부응력의 분포와 크기에 큰 영향을 준다. 그리고 본 과제에서 차축 베어링의 제시된 크라우닝 형상과 크기는 베어링의 수명 향상에 긍정적일 것으로 판단된다.

3) 케이지 해석

가) 차축 베어링 케이지 설계 및 모델링

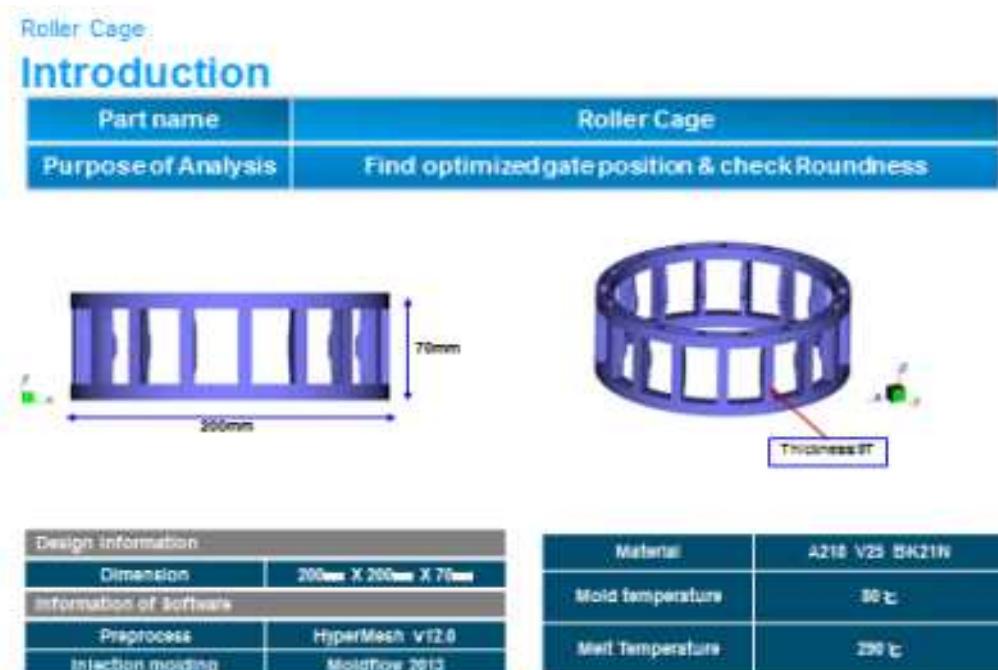
(1) 설계 기준이 어느 정도 정립이 되고난 후 그 바탕으로 하기 그림과 같이 오토캐드를 이용한 설계도면을 작성하고 카티아(CATIA) 프로그램을 이용하여 3D 모델링을 하였다.



<그림 3.23> 도시철도 베어링 케이지 모델링

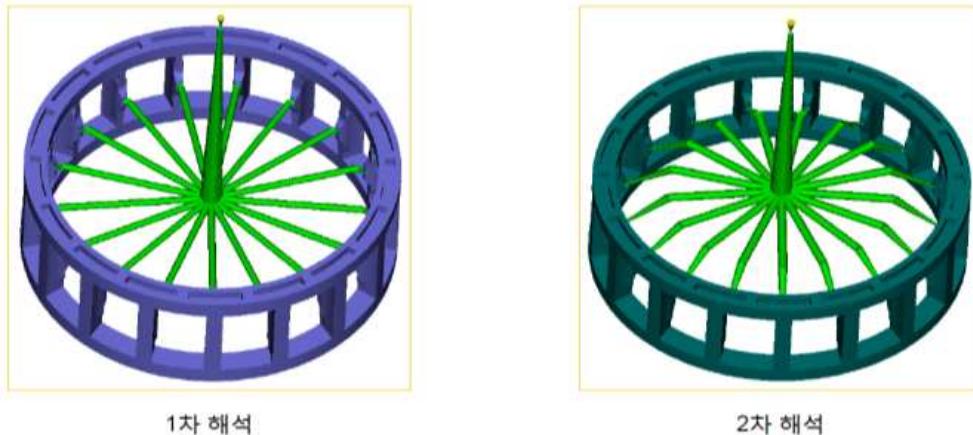
나) 시제품 제작 전 CAE 분석

(1) 도면을 기초로 한 필요 정보 및 소프트웨어 정보를 그림 3.27 에 나타냈다. 치수는 200mm X 200mm X 70mm이며 소프트웨어는 Hyper Mesh V12.0, Moldflow 2013을 사용하며, 시제품을 제작하기 위한 원재료의 그레이드는 A218 V25 BK21N, 금형온도는 80°C, 원재료의 용융온도는 290°C이다.

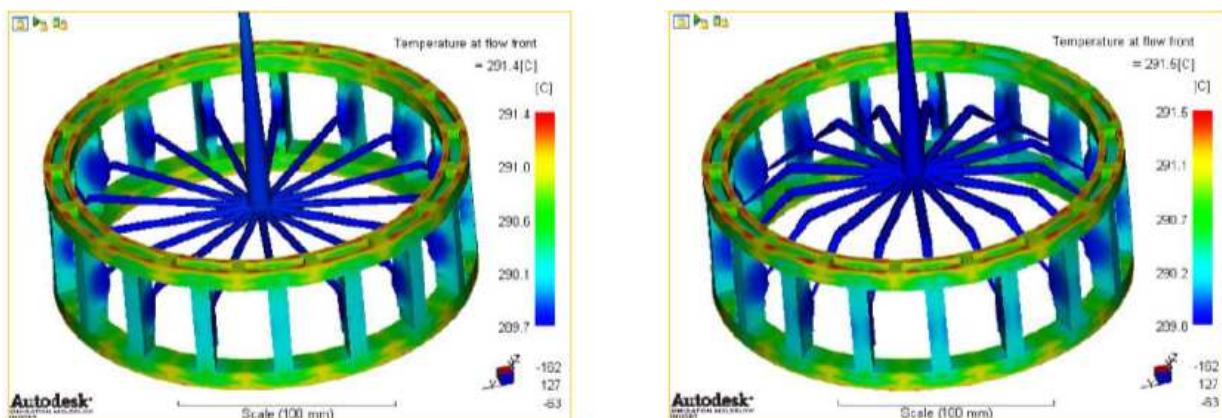


<그림 3.24> CAE 해석

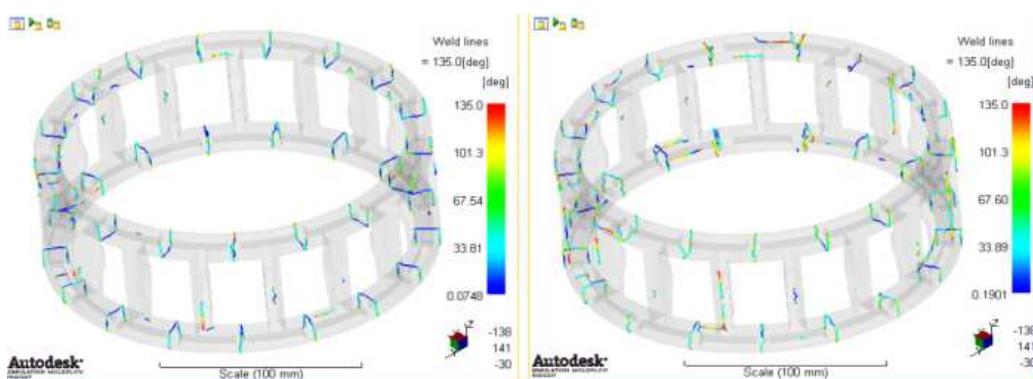
Gate, Runner, Sprue 정보는 업체로 부터 제공 받아서, 2차로 나눠 해석을 진행 하였다. 1차, 2차 해석 두 가지 모두 다 온도 변화가 크지 않으므로 미 성형이 발생하지 않을 것으로 판단되며, 제품의 끝단에 Void (Air traps) 발생 가능성이 높기 때문에 Vent 설치 필요할 것으로 판단된다. Warpage 결과, 1차 성형해석과 2차 성형해석은 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있다.



<그림 3.25> Gate Position



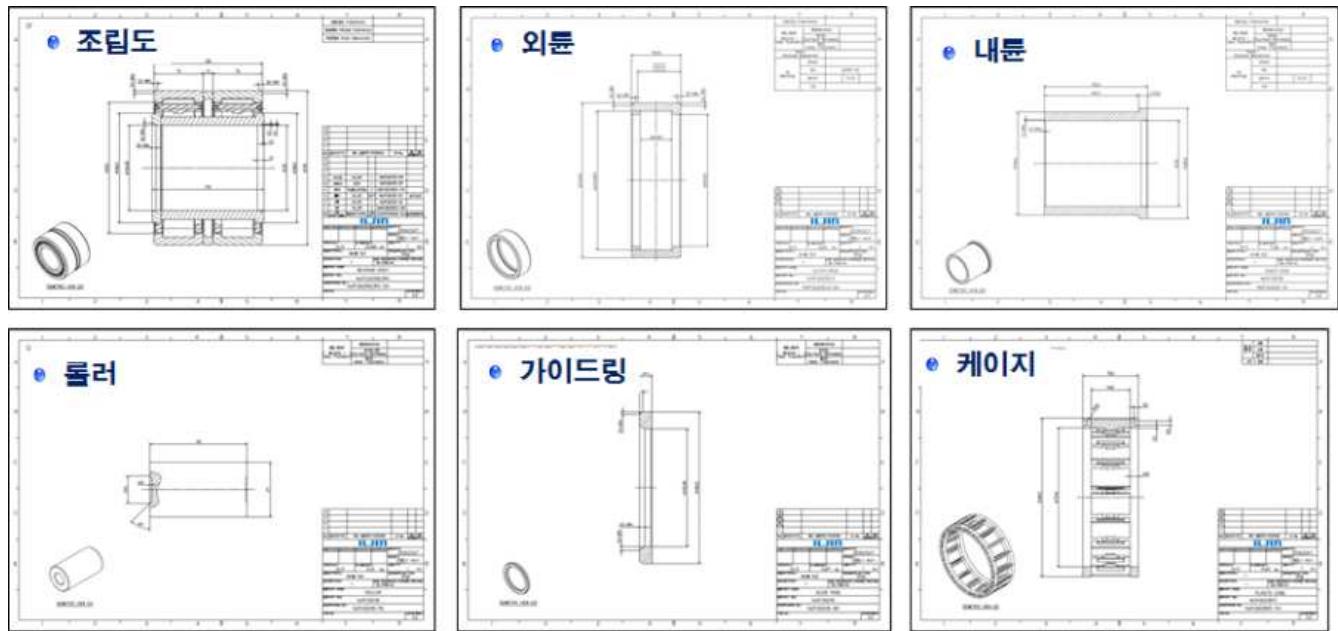
<그림 3.26> Temperature at flow front



<그림 3.27> Weld Line

<표 3.29> Warpage

Description	Warpage(mm)			
	Total	X-deflection	Y-deflection	Z-deflection
Case1	0.5340~1.179	-1.096~1.149	-1.038~1.077	-0.3863~0.3977
Case2	0.3213~1.068	-0.9622~1.031	-0.9854~0.9426	-0.4293~0.4279



<그림 3.28> 시제품 도면

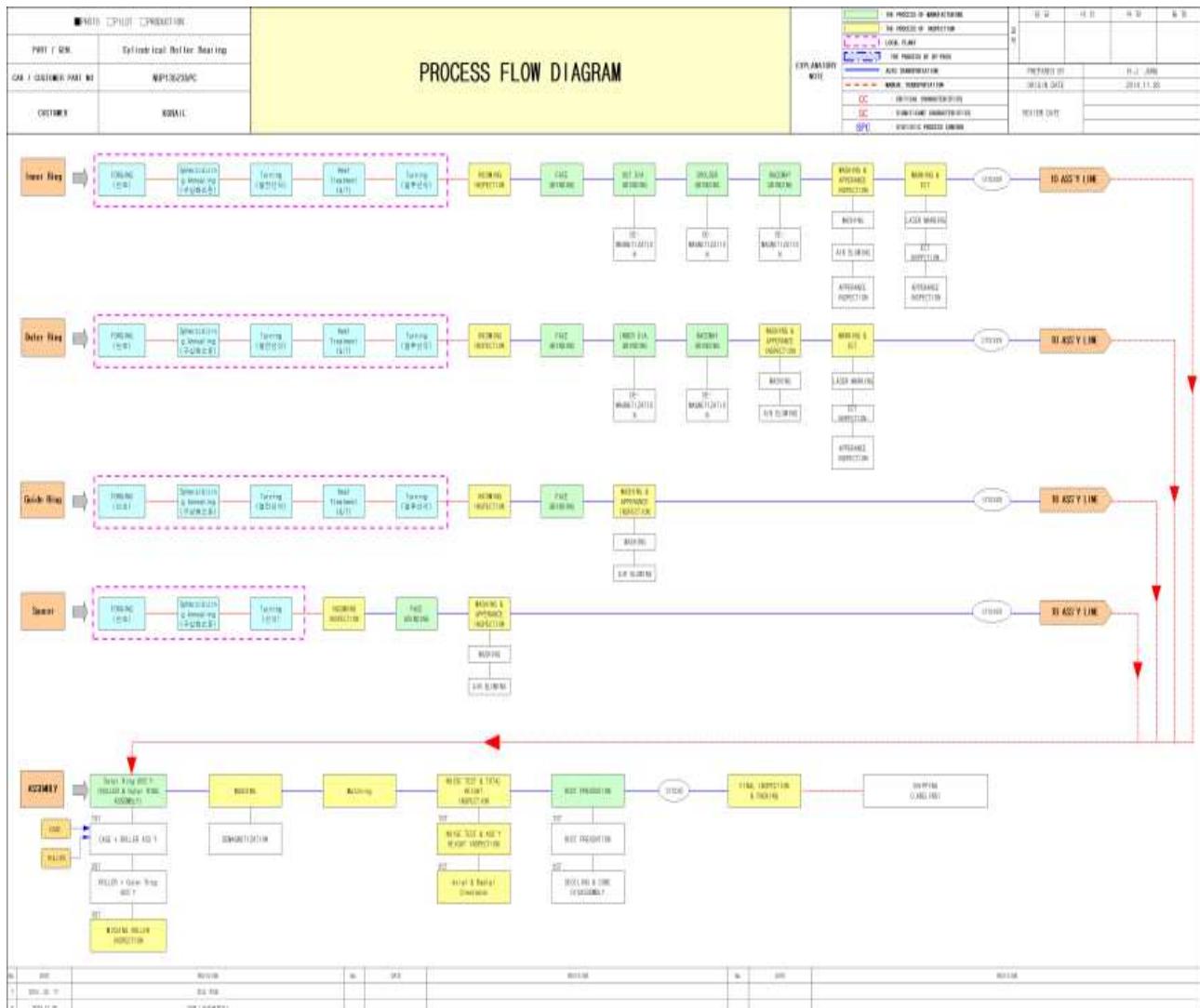
4. 연구 수행 2단계 : 시제품 제작

본 연구가 할 보고서는 전국 과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

가. 시제품 제작절차

1) Process Flow Diagram

도시철도 차축베어링인 Cylindrical Roller Bearing은 내륜, 외륜, 롤러, 리테이너(케이지), 가이드링, 서로 구성되며, 각 단품들의 제작 공정은 아래 <그림 3.29>와 같다.



<그림 3.29> 상세 Process Flow Diagram

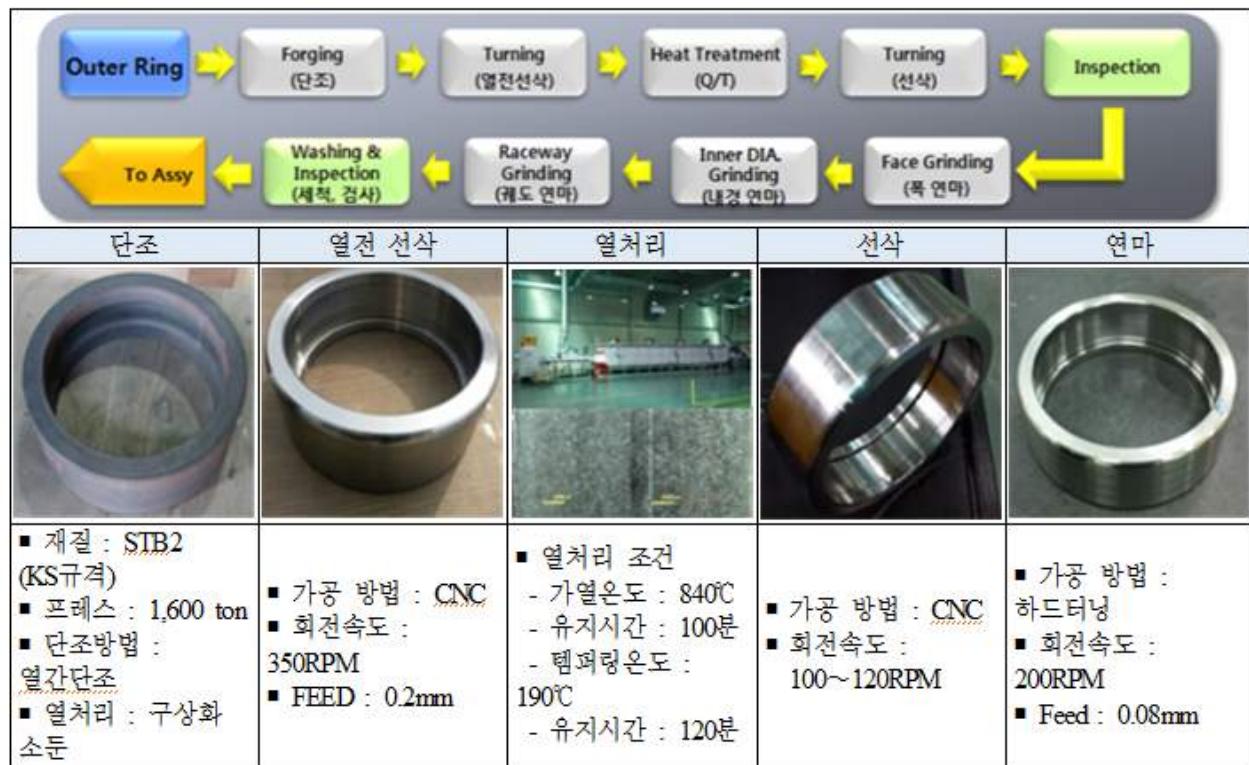
외륜과 내륜, 가이드링은 각각 단조 공정을 거치고 열처리 전 선삭 후 Q/T 열처리를 실시하고 이후 선삭을 실시한다. 이후 연마 공정을 거쳐 요구되는 치수 및 형상을 얻게 된다. 스페이서의 가공 공정은 단조 후 선삭과 연마를 거쳐 완성되며, 롤러의 경우 인발→절단→성형→열처리(Q/T)→선삭→연마 공정으로 진행된다. 리테이너(케이지)는 플라스틱 PA66소재를 적용함에 따라 인젝션 몰딩 공정을 거쳐 원하는 형상으로 성형 된다. 각 가공 완료된 단품들은 틈새를 맞춰 최종 조립을 통해 완성된다. 각 가공 공정에는 가공 후 검사 및 세척을 통하여 가공 품질을 확보하고 최종 조립 후 조립품에 대한 검사 및 세척을 통해 최종적으로 품질을 확보한다. 베어링 소재부터 각 가공 공정은 아래에서 상세히 기술하였다.



<그림 3.30> STB2 강종의 환봉

철차 베어링의 궤도륜(RACE)과 전동체(Rolling Elements)의 제조에 사용되는 강은 고탄소크롬 계로 STB2를 사용한다. STB2강은 탄소 함유량이 0.95%~1.10%를 가지고 있고, Cr 함량은 1.30%~1,60%로 사용이 많은 S45C를 포함한 기계구조용 강재 23가지 강종 중 최대 탄소함유량을 가지는 S58C강의 탄소함유량 Max. 0.61%와 비교하여 거의 두 배의 탄소를 함유하고 있는 것을 알 수 있으며, KS와 JIS에서 크롬합금으로 불릴 수 있는 크롬의 최소 함량치는 0.3% MIN으로 합금원소로서 Cr량은 상당히 높은 수준으로 고탄소 크롬강으로 불리운다. 고탄소 크롬강에서 STB2 강종은 시장에서 거의 90%를 차지하는 대표적인 강종이다.

3) 외륜



<그림 3.31> 외륜 공정



<그림 3.32> 내륜 공정

5) 가이드링



<그림 3.33> 가이드링 공정

6) 스페이서

국가연구개발 보고서원문 성과를 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.



<그림 3.34> 스페이서 공정

7) 단품 조립



<그림 3.35> 단품 조립

조립 시 첫 번째로 고무망치를 사용 하여 케이지에 롤러를 압입한다. 대각선상으로 차례로 반복 체결 후 조립된 롤러를 외륜에 압입 한다. 외륜 조립이 끝난 다음 세척 후 육안 검사와 치수 검사를 실시하며 이상이 없을 시 각인을 실시한다. 각인 후 나머지 부품들과 결합하여 Packing을 실시한다



<그림 3.36> 시제품 사진

<표 3.30> 기존품 및 개발품 성능 비교

구분	항목	현 적용제품(NSK)	개발품	비고
1	기본 동 정격 하중	895kN	932kN	4%수준 용량증대
2	기본 정 정격 하중	1,520kN	1,562kN	2%수준 용량증대
3	베어링수명 (목표 : 500만km)	808만km	866만km	7%수준 내구수명 증대
4	내구성능 (목표 : 60만km)	60만km 만족	60만km 만족	EN12082에 준하는 내구성 확보
5	중량	32.1kg	27.7kg	14%수준 저감
6	정밀도	-	동등 또는 이상	경쟁사와 동등수준의 가공기술 확보

* 동정격 하중은 현 적용품 대비 동정격 하중을 4%, 정적격 하중을 2% 증대하였음.

1) 일진 NUP130235C3PC 공인기관 시험성적서

일진베어링아트 시제품의 외륜, 내륜 및 롤러에 대하여 공인기관을 통해 화학성분 분석 및 경도 분석을 실시하였다. 시제품 리테이너에 대해서도 공인기관을 통해 분석을 완료하였다.

가) 화학성분 분석

일진베어링아트 시제품에 대하여 공인기관 화학성분 분석 결과, KS규격에 준하여 특별한 소재적 결함은 발견되지 않았다.

<표 3.31> 화학성분 참고 규격

강종		Weight%									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
STB2 (KS)	min.	0.95	0.15	-	-	-	-	1.30	-	-	-
	max.	1.10	0.35	0.50	0.025	0.025	-	1.60	0.08	-	-

<표 3.32> 화학성분 분석 결과

구분		Weight%									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
일진 (공인 기관성 적서)	내륜	0.96	0.29	0.42	0.017	0.002	-	1.57	-	-	-
	외륜	0.97	0.23	0.32	0.012	0.001	-	1.53	-	-	-
	롤러	0.97	0.21	0.30	0.015	0.003	-	1.53	-	-	-

나) 표면경도 측정 결과

일진베어링아트 시제품에 대하여 공인기관 표면 경도 측정 결과, 도면 규격을 만족하였다.

<표 3.33> 표면 경도 참고 규격 (HRC)

강종		Hardness	
		Min.	Max.
STB2	내륜	59	63
	외륜	59	63
	롤러	60	65

<표 3.34> 표면 경도 분석 결과 (HRC)

강종		Hardness	비고
일진(공인기관성적서)	내륜	61	
	외륜	62	
	롤러	62	

다) 공인기관 국제협정서에 성과를 전달기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

차축베어링 시제품 화학 성분 분석

- (발급기관) 한국화학융합시험연구원
- (분석내용) 베어링 재질(C/Si/Mn/P/S/Cr) 및 경도



<그림 3.37> 베어링 재질 및 경도 화학 성분 분석 인증서

차축베어링 시제품 화학 성분 분석

- (발급기관) 한국화학융합시험연구원
- (분석내용) 차축 베어링 개발품 인장강도 분석 결과

강종	측정치		측정기준	
	내仑	외륜	Min	Max
STB2	1.615MPa		1.570	1.960
		1.724MPa	1.570	1.960
		1.660MPa	1.570	1.960

The image shows three KTR Test Report documents for bearing development products. The first document is a summary table showing tensile strength values for three types: 내仑 (Inner), 외륜 (Outer), and 블러 (Bearing). The values are 1.615 MPa, 1.724 MPa, and 1.660 MPa respectively. The following two documents are detailed test reports for each type, featuring the KTR logo, QR codes, and extensive technical data. The reports are titled 'TEST REPORT' and include tables of results and graphs.

<그림 3.38> 차축베어링 인장강도 화학 성분 분석 인증서

기계적 성질시험-초음파 및 자분탐상시험

- (발급기관) 한국화학융합시험연구원
- (자분탐상) 각 부품 열처리 후 유해한 흠, 기타 결점이 없어야 함
- (초음파 탐상) 초음파 탐상을 통해 구성부품의 내부결함 위치 및 크기 검출
- (관련규정) EN12080



<그림 3.39> 초음파 및 자분탐상 시험 인증서

라) Taper Cage 소재 공인기관 시험성적서

<PA66+15%>



<PA66+25%>



<PA66+35%>



<그림 3.40> 원 소재 TEST 공인기관 시험성적서

시험 항목	단위	결과치			시험방법
		PA66+GF15%	PA66+GF25%	PA66+GF35%	
인강강도	MPa	112	141	185	ASTM D638-08
굴곡강도	MPa	185	225	271	ASTM D790-10
굴곡탄성률	GPa	5.48	7.12	9.31	ASTM D790-10
아이죠드 충격강도	J/m	57	86	130	ASTM D256-10
열변형온도	°C	243	246	253	ASTM D648-07

다. EN12082대용 차축베어링 시험기 제작

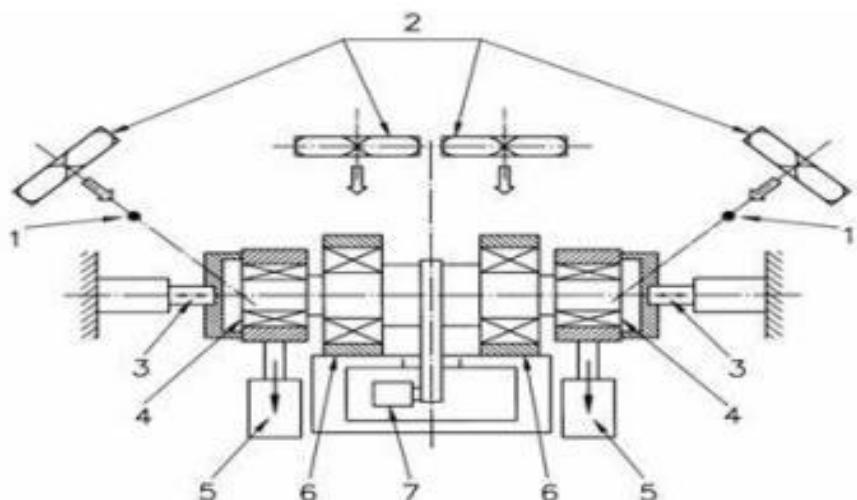
1) 개요

현재 국내에선 차축베어링의 내구성 검증이 가능한 시험기의 부재로 인하여 해외기관에서 실시한 시험 결과 또는 베어링 공급처의 시험 결과에 의존하였으나 도시철도 차축베어링 개발 2차년 계획에 따라 국제 규격 EN12082(Railway application - Axleboxes - Rolling Bearing)에 준하는 내구성능 시험이 국내에서도 가능하도록 내구성능 시험기를 설계 및 제작을 실시하였다. 이를 통해 시제품뿐만 아니라 현재 도입된 차축베어링의 내구 성능 및 품질 평가가 국내에서 가능하도록 제작 완료 하였다.

2) 내구성능 시험기 설계 및 제작

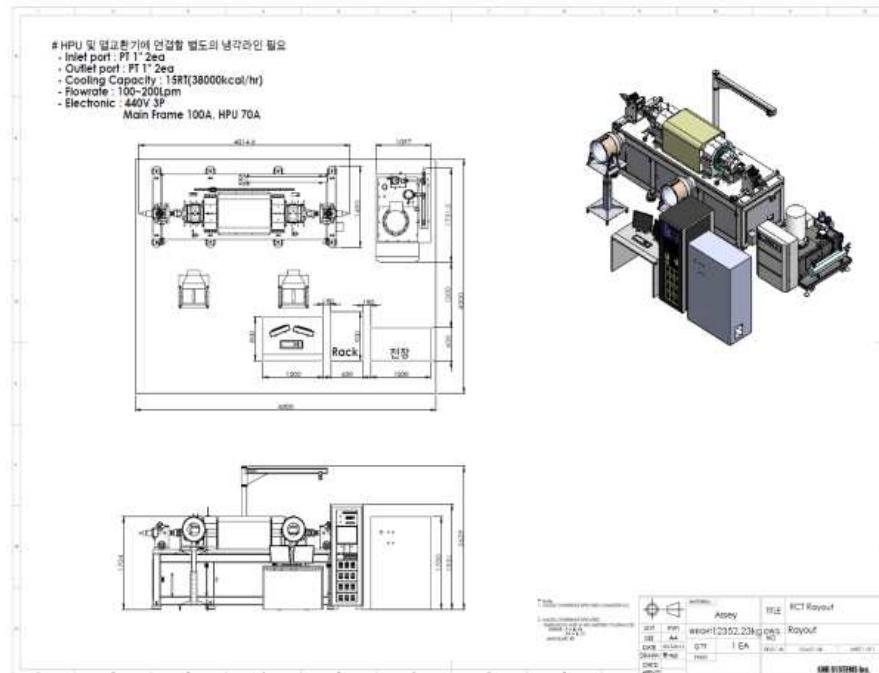
가) 내구성능시험기 설계

국제 규격에 준하는 내구성능시험기 제작을 위하여 <그림 3.41>과 같은 EN12082 A.1에서 정하는 시험리그와 동일한 기준으로 시험기 설계를 진행하였다.

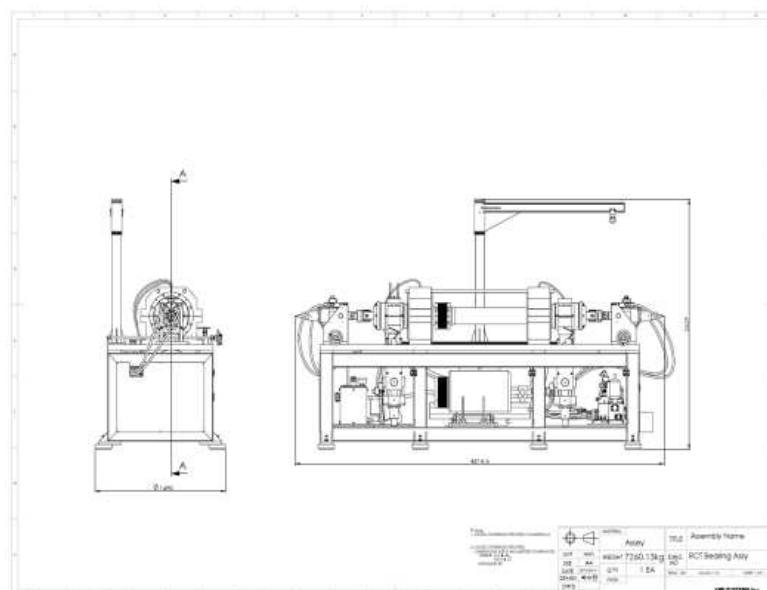


<그림 3.41> EN12082 A.1 시험리그

No.	설명	No.	설명
1	온도센서	5	경방향 하중
2	냉각 팬	6	지지 베어링
3	축방향 하중	7	모터
4	시험 축상		



<그림 3.42> 시험기 개략도 및 설명



<그림 3.43> 내구성능시험기 개략도

EN12082 규격에 준하는 내구성능시험기로서 국제 규격에 준하는 내구성 검증 및 단품 성능 검증이 가능하도록 설계 하였다.

(1) 철도차량 차축베어링 내구수명 검증

- 200km/h 미만 : 60만km
- 200km/h 이상 : 100만km

(2) 베어링 그리스 및 씰에 대한 성능 검증

- Ⓐ 베어링 시험 중 온도 및 진동에 대한 모니터링
- Ⓑ 고하중 적용을 통한 가속내구성능 시험
- Ⓒ 내구성능 시험기 제원

- Axial load capacity : 7.5Ton
- Radial load capacity : 15Ton
- Rotating speed : upto 2,000rpm
- Lubrication : Grease
- Tester quantity : 1 set

<표 3.37> EN12082 기준 평가 방법 및 검증

평가 항목	시험완료 후 평가방법 및 검증			비 고																				
온도적 기준	Division	First 20 Elementary Trips	Excluding the first 20 Elementary Trips	평가가능																				
	베어링 외경 하중역 온도	$\leq 100^{\circ}\text{C}$	$\leq 90^{\circ}\text{C}$ *(90 ~ 100°C, MAX 1%)																					
	하우징 표면 최고 온도	$\leq 80^{\circ}\text{C}$	$\leq 70^{\circ}\text{C}$ *(70 ~ 80°C, MAX 1%)																					
	2개의 베어링 외경 부하감의 최대온도차 (각 주행단위에 고온 측 베어링 외륜 온도가 50°C 이상일때)	-	$\leq 15^{\circ}\text{C}$ *(15 ~ 25°C, MAX 2%)																					
	2개의 베어링 외경 부하감의 최대온도차 (각 주행단위에 고온 측 하우징 표면 온도가 50°C 이상일때)	-	$\leq 15^{\circ}\text{C}$ *(15 ~ 25°C, MAX 2%)																					
	연속되는 2개의 주행단위에서 베어링 외경 부하감의 최대온도차	-	$\leq 10^{\circ}\text{C}$ *(10 ~ 15°C, MAX 2%)																					
기계적 기준	<ul style="list-style-type: none"> ■ 롤러와 베어링 내/외륜에는 Spaling, Smearing, 열흔(Heating)과 같은 결함이 없을 것 ■ 케이지에는 파손, 크랙, 변형 또는 이상, 마모 등의 결함이 없을 것 ■ 그리스에는 누유, 변색, 냄새, 모양 등의 결함이 없을 것 			평가가능																				
물리·화학적 기준	<table border="1"> <thead> <tr> <th>특 성</th> <th>단 위</th> <th>요 건</th> <th>시험 방법</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>점조도(consistency)</td> <td>0.1mm</td> <td>≥ 200 ≤ 380</td> <td>ISO 2137 (1/4 cone)</td> </tr> <tr> <td>적점(droppingpoint)</td> <td>°C</td> <td>> 160</td> <td>ISO 2176</td> </tr> <tr> <td>함수량</td> <td>%</td> <td>For information</td> <td>ISO 3733</td> </tr> <tr> <td>산화 안정성의 변화</td> <td>cm^{*1}</td> <td>≤ 10</td> <td>NF F 19*503</td> </tr> </tbody> </table>			특 성	단 위	요 건	시험 방법	점조도(consistency)	0.1mm	≥ 200 ≤ 380	ISO 2137 (1/4 cone)	적점(droppingpoint)	°C	> 160	ISO 2176	함수량	%	For information	ISO 3733	산화 안정성의 변화	cm ^{*1}	≤ 10	NF F 19*503	
특 성	단 위	요 건	시험 방법																					
점조도(consistency)	0.1mm	≥ 200 ≤ 380	ISO 2137 (1/4 cone)																					
적점(droppingpoint)	°C	> 160	ISO 2176																					
함수량	%	For information	ISO 3733																					
산화 안정성의 변화	cm ^{*1}	≤ 10	NF F 19*503																					

다) 일진 내구성능시험기 성과를 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

(1) 차축베어링 성능시험 국제 규격 EN12082와의 접합성 검토

나) 고하중 내구성능시험에 최적화된 전용 시험 공간 확보

다) 2인의 전담운영 요원 배치

라) 진동 및 시험 신뢰성 확보를 위한 방진 마운트 설치



<그림 3.44> 차축베어링 내구성능시험기 제작

마) KOLAS 거친 예상 보석 사용에 상관없이 기준 절차에 맞는 구조의 험기를 서비적 험기에서는 통의학적 입장에서 험기로 표기할 수 없습니다.

<그림 3.45> 내구성시험기 좌측 시험 Head 검교정 성적서(주)에이치피아이'14.7.)

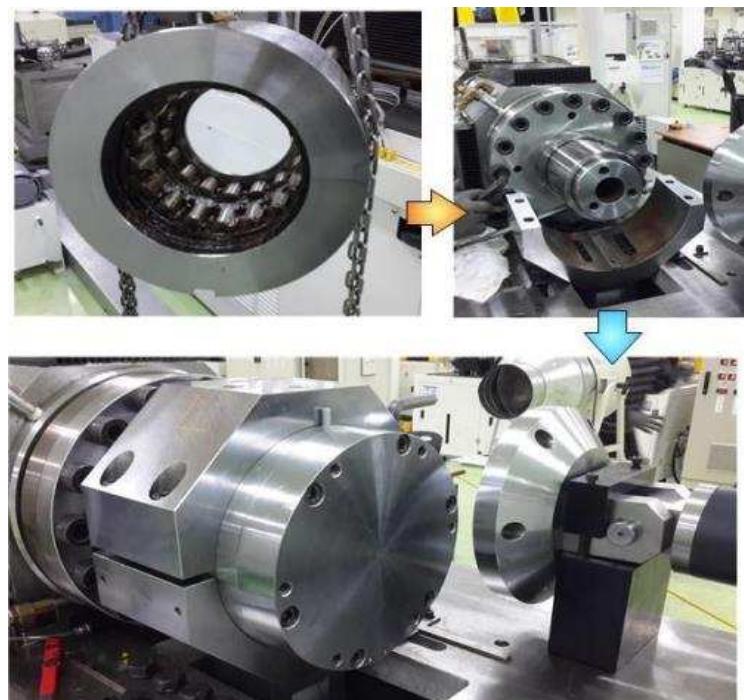
교정성적서 CALIBRATION CERTIFICATE	
제작자 주식회사 퀄리티테크놀로지 대표이사: 김민수 주소: 경기도 수원시 영통구 매탄동 1234 전화번호: 031-555-1234 팩스번호: 031-555-1235	
검정일자 2023년 10월 10일 검정자: 김민수 (031-555-1234)	
검정항목 1. 주파수 (Frequency) : 50Hz ± 0.1Hz 2. 저항 (Resistance) : 10Ω ± 0.01Ω 3. 전압 (Voltage) : 10V ± 0.01V 4. 저류 (Current) : 1A ± 0.01A 5. 주파수 (Frequency) : 50Hz ± 0.1Hz 6. 저항 (Resistance) : 10Ω ± 0.01Ω 7. 전압 (Voltage) : 10V ± 0.01V 8. 저류 (Current) : 1A ± 0.01A	
검정결과 주파수 (Frequency) : 50Hz ± 0.1Hz 저항 (Resistance) : 10Ω ± 0.01Ω 전압 (Voltage) : 10V ± 0.01V 저류 (Current) : 1A ± 0.01A 주파수 (Frequency) : 50Hz ± 0.1Hz 저항 (Resistance) : 10Ω ± 0.01Ω 전압 (Voltage) : 10V ± 0.01V 저류 (Current) : 1A ± 0.01A	
기록 1. 검정증명서 번호: QL-CAL-2023-101 2. 검정기기 번호: QL-12345 3. 검정기기 제조사: 퀄리티테크놀로지 4. 검정기기 모델: QL-1000 5. 검정기기 종류: 주파수/저항/전압/저류 측정기 6. 검정기기 사용설명서 주소: http://www.qualitytech.co.kr/manual/QL-1000.pdf	
보관처 주식회사 퀄리티테크놀로지 경기도 수원시 영통구 매탄동 1234 대표이사: 김민수 전화번호: 031-555-1234 팩스번호: 031-555-1235	
기밀성 본 문서는 기밀이며 무단 복제 및 배포를 금합니다. © 2023 Quality Technology Co., Ltd. All Rights Reserved.	

<그림 3.46> 내구성능시험기 우측 시험 Head 검교정 성적서(주)에이치피아이, '14.7.)

5. 연구 수행 3단계 : 검증 및 활용

가. 시제품 내구 성능 시험 준비

제작 완료된 시제품을 하우징에 압입하고 내부 그리스 도포 후 시험기 Shaft에 조립한다. 외부 하우징 조립 완료 후 베어링에 경방향 및 축방향 하중을 부하할 수 있도록 액츄에이터를 장착하고 시험기 조립을 완료한다. 아래 <그림 3.47>과 같이 제작된 시제품을 시험기에 조립한다.



<그림 3.47> 시제품 시험기 장착

나. 내구성능시험

1) 베어링 해석검토를 통한 내구시험 수명 검토

가) 개요

2차년도 연구개발 계획에 따라 도시철도에 적용 중인 차축베어링의 해석 검토를 통해 설계품의 수명 예측 및 내구성능 시험을 위한 가혹조건에서의 수명예측을 실시하였다.

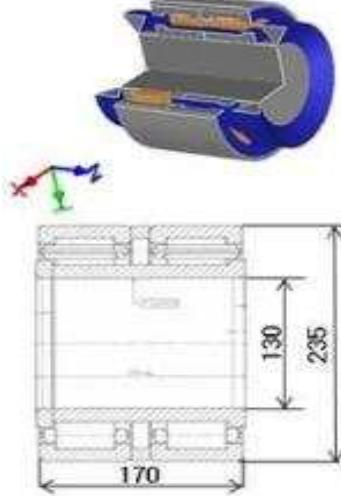
나) 설계 제원 및 해석 조건

(1) 베어링 제원

도시철도에 적용 중인 차축베어링은 복열 Cylindrical Roller Bearing으로 관련 제원은 아래 <표 3.38>과 같다.

<표 3.38> NUP 130235C3 차축베어링 제원

베어링 형변	NUP 130235C3	
제작사명	베어링 아트	
베어링 명칭	복열 원통 롤러 베어링	
베어링size (mm)	내경	Ø130.000
	외경	Ø235.000
	폭	170
capacity(kN)	Cr (동정격하중)	932.30
	Co (정정격하중)	1,562.50



<그림3.48> NUP130235C3 차축베어링

(2) 베어링 하중 제원

해석을 위한 베어링 하중 조건은 현재 운행 중인 9호선 전동차량을 기준으로 EN12082에 준하여 내구성능시험을 위한 기존 하중 조건 및 가혹 하중 조건으로 구분하여 해석 검토를 실시하였으며, 현차 제원은 표 5.2와 같으며, EN규격에 준하여 계산한 하중은 표 5.3과 같다.

<표 3.39> 9호선 현차 제원

항목	제원(9호선)	비고(Symbol)
만차중량(kg)	63.772	m_{\max}
축당중량(kg)	15.943	
윤축중량(kg)	1.692	m_0
차륜경(mm)	820	D
최고속도(km/h)	120	



<표 3.40> EN12082에 따른 베어링 하중 제원

구 분	기존하중 (8.55ton 부하)	가혹하중 (10ton 부하)	
Fr[KN]	83.88	98.10	
Fa[KN]	15.84	17.86	
rpm	898	898	

$$Fan = \frac{1.2}{2} \times 0.5 \times 0.85 \left(10^4 + \frac{Fo}{3} \right) = 0.225 \left(10^4 + \frac{Fo}{3} \right)$$

$$Frn = \frac{1.2}{2} (Fo - Mo) = 0.6 (Fo - Mog)$$

해석을 위한 베어링 적용 수명은 ISO281 L10을 사용하여 검토하였으며, 이를 조건 및 열처리, 윤활은 미반영하였으며, 베어링 틈새량은 0, 속도는 기존 제원보다 10% 가혹한 조건으로 적용하여 목표 수명 60만km 이상으로 하였으며, 접촉 면압은 4,000Mpa이하의 조건으로 해석 검토를 실시하였다.

<표 3.41> 베어링 수명 검토 조건

항 목	내 용
1 적용 수명	ISO 281 L10 (이물 조건 및 열처리, 윤활 미반영)
2 틈 새 량	0 (Radial / Axial internal clearance = 0)
3 속 도	132Km/h (898rpm) 적용 기존 제원(120km/h)보다 10% 가혹한 조건
4 목표 수명	60만 km 이상
5 면압 검토	접촉 면압 4,000 Mpa 이하

(4) 차축베어링 개발 목표

베어링의 전동체와 궤도면 사이에 가장 하중을 많이 받는 접촉면의 중심에 생기는 이론적 접촉 압력인 면압의 요구사항은 4,000Mpa 이하로, 개선 목표는 3,600Mpa이며 이는 기존보다 10% 감소한 수치다. 이론 시험 수명 요구사항은 200만km 이상이며, 개선 목표는 220만km 이상으로 이는 10% 증가한 수치이다. 요구 시험 수명과 개선 목표는 60만km 이상으로 동일하다.

<표 3.42> 요구수명 대비 개선 목표

항 목	요구사항	개선목표	비 고
면압	4,000mpa(*)	3,600mpa	10% 감소
수명	이론수명	200만km 이상	10% 증가
	시험수명	60만km 이상	시험종료 수명

(*)접촉 면압은 정정격하중하에서 가장 하중을 많이 받는 접촉부에서 전동체와 궤도륜의 소성 변형량의 합계가 전동체 직경은 1/10,000인 경우를 나타낸다.

다) 해석 결과

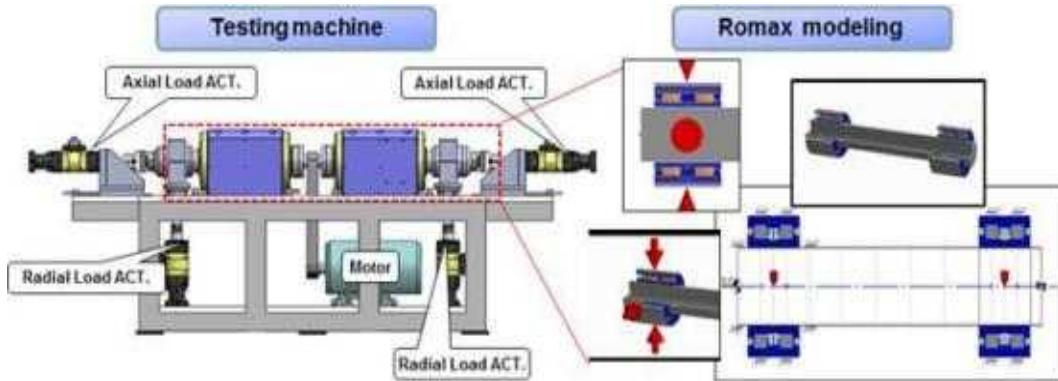
(1) 베어링 수명 검토 결과

베어링 수명 해석 결과, Bearing LH에서 기존 하중 조건(8.55ton)에서 430x 104km, 가혹 하중 조건(10ton)에서 268x104km로 목표 수명을 만족하였고, Bearing RH에서 역시 기존 하중 조건에서 2,731x104km, 가혹 하중 조건에서 1,548x104km의 결과로 목표 요구 수명을 만족한다. System Life는 기존 조건에서 387x104km, 가혹 하중 조건에서 239x104km의 결과로 목표 수명을 만족한다.

<표 3.43> 수명 해석 결과

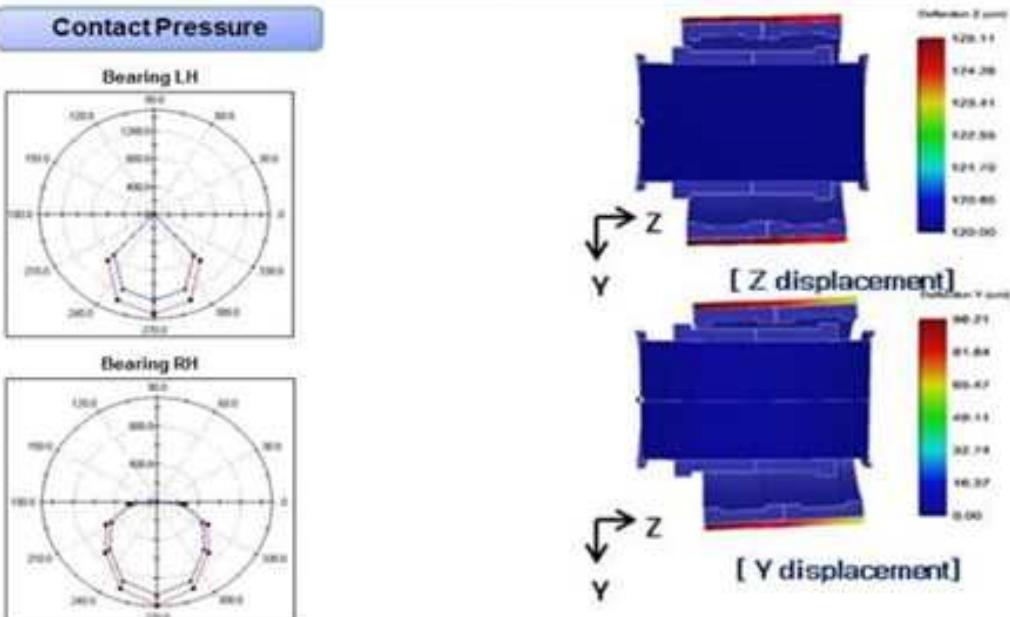
형 번	UNIT	목표	8.55 ton	10 ton	판정 (P/F)	비고
Bearing LH	NUP130235C3PC	x 104km	60	430	268	P
Bearing RH	↑	↑	↑	2,731	1,548	P
System Life	↑	↑	↑	387	239	P

기존 하중 조건에서 접촉 면압은 Bearing LH에서 1,400Mpa, Bearing RH에서 1,050Mpa의 결과가 나와 목표를 만족하며, 가혹 하중 조건에서 접촉 면압은 Bearing LH에서 1,450Mpa, Bearing RH에서 1,100Mpa의 결과로 목표 3,600 Mpa 이하를 만족한다. 아래 <그림 3.49>는 접촉면압 해석 검토 결과를 나타낸다.



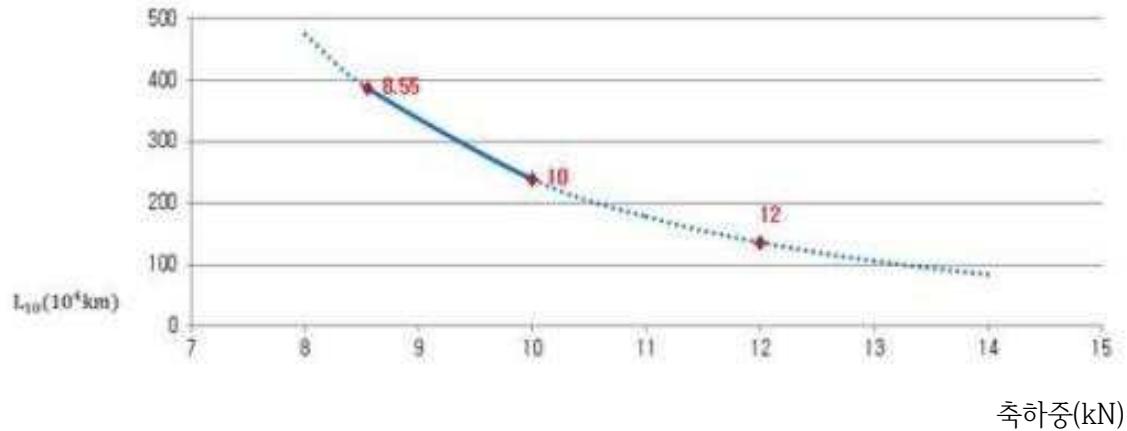
<그림 3.49> 해석 모델링

Bearing LH		Bearing RH		Rob load(Bearing RH)	Target	판정(P/F)
	1,400 MPa		1,050 MPa		3600Mpa	P
Bearing LH	Bearing RH	Rob load(Bearing RH)		Target	판정(P/F)	P
	1,450 MPa		1,100 MPa		3600Mpa	



<그림 3.50> 접촉면압 해석 검토 결과

하중에 따른 수명 선도는 그래프 1과 같으며, 기존 하중 조건과 가혹 하중 조건에서 L10수명과 요구수명, 시험시간을 구하여 하중에 따른 수명 선도는 다음 그림과 표 4.14와 같다. 기존 하중 조건인 8.55ton에서 차축 베어링 L10수명은 387x 104km로 이에 상응하는 EN12082 내구성능시험 요구 수명은 60x104km이며, 가혹 하중 조건 10ton에서의 L10 수명은 239 x 104km로 이에 대한 EN12082 내구성능시험 요구수명은 37x104km로 이 수명은 기존 요구수명 60만km에 상응한다. 각 요구 수명에 대하여 내구성능시험 시 132Km/h의 속도로 시험 시에 평균속도는 23.75km이므로 각 조건에서의 요구수명에 대한 시험시간은 기존하중 조건에서 202일, 가혹 하중 조건에서 124.6일이 소요된다.



<그림 3.51> 하중조건에 따른 수명 선도

<표 5.44> 하중조건에 따른 시험 조건

하 중	8.55ton(100%)	10ton(117%)	12ton(140%)	비 고
Fr [KN]	83.88	98.10	11.77	
Fa [KN]	15.84	17.86	20.64	
L10(104km)	387	239	136	이론수명 목표 만족
요구수명 (104km)	60	37	21	
시험 시간 (일)	202	124.6	70.7	

라) 결론

도시철도 차축 베어링 개발을 위한 복열 원통 롤러 베어링의 용량 검토를 위한 보고서로 베어링의 제원에 따른 수명은 ISO 281 L10 수명을 검토하여 적용하였다. 현재 운행 중인 9호선 전동차 제원을 바탕으로 기본하중조건(8.55ton) 및 가혹하중조건(10ton)에 대한 해석 검토 결과 3.1의 결과에 따라 요구수명(60만km)을 모두 만족하고, 따라서 17% 가혹한 하중 조건의 적용으로 40%의 시험 기간 단축 효과를 달성할 수 있다.

접촉 면압 및 이론 수명 요구사항의 10% 개선 목표에 대한 결과는 3.2의 해석결과에 따라 Bearing RH/LH에서 각각 1,450Mpa, 1,100Mpa의 결과로 개선 목표 3,600Mpa에 148%, 225%의 여유를 가진다.

본 보고서의 해석 결과에 따른 기본하중조건 및 가혹하중조건의 수명 예측과 접촉 면압 개선 결과를 통해 가속시험 방법의 타당성을 확인 하였다.

가) 개요

도시철도용 차축 베어링 시제품(실린더리컬 롤러 베어링)에 대하여 EN 12082에 준하여 일반시험조건 및 가속 내구시험조건 시의 베어링 수명 및 Test 시간에 대하여 검토하였다.

나) 시험조건

고객이 요구하는 사용 조건 및 수명을 만족하기 위한 내구성 평가를 실시하였다. 시험은 EN12082시험 규정을 따라 진행하며 하중조건은 안전한계 20%를 하중에 반영하였다.

- 시험베어링의 부하하중조건 설정 (EN12082 : 2007 의 기재식에 의하여 산출)

<표 3.45> EN12082 하중 계산 식 및 정의

번호	구분	내 용		일반 8.55 ton	가혹 10 ton
1	F _o	in the reference vertical load applied per wheelset on the track(축중(100% 정원시), N)		156,400	180,099
2	j	is the number of wheelsets per vehicle. (적용륜축 수)	4.0	4.0	
3	m _{max}	is the maximum mass of the vehicle in running order, (만차 중량(100% 정원시), kg)		63,772.0	73,434.7
4	9	is the acceleration due to gravity (9.81 m/s ²)	9.81	9.81	
5	1.2	applies to 20% safety margin over the reference vertical load (수직방향의 기본하중에 20%의 여유를 준 계수)	1.2	1.2	
6	1/2	applies to calculation of forces for one journal(편측 저널에 부하되는 것을 표시하는 계수)	0.5	0.5	
7	m ₀	is the mass of one wheelset, (윤축 중량, kg)	1,692	1,692	
8	0.5	is a factor to introduce an average lateral force throughout the operation (시험 중의 평균 축 방향 하중을 도입하기 위해 UIC515-4로부터 인용한 계수)	0.5	0.5	
9	0.85	is a coefficient that gives the maximum load before track displaces sideways (궤도의 횡방향 미끄러짐 한계치를 주는 식에서 이용되는 계수(prud'homme's formula))	0.85	0.85	

(1) 속도 조건

영업최고차량속도 120Km/h에 10% 증가한 132Km/h로 854rpm에서 실시한다.

* 차륜경 780mm

(2) 공기 냉각

공기 냉각 시스템은 축상 가까이에서 측정된 8 m/s에서 10 m/s까지의 대기속도를 제공해야 한다. 이 값은 기류가 충돌하는 지역에 있는 각 축상의 여러 지점에서 추출한 평균값이다. 이러한 냉각은 시험을 수행하는 동안 일정하게 유지된다. 공기 온도는 20 °C가 권장된다.

(3) 시험 방법
국내 연구개발 보고서원문 성과를 전달기관인 한국과학기술정보연구원에서 제공하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

(가) 예비시험

예비시험은 시험속도의 25%, 50%, 75%, 100%의 각속도에서 실시하여, 각속도는 각각 정회전, 역회전 2가지의 단독 주행으로 구성된다.

각 시험 속도에서 경방향 하중은 일정하나, 축방향 하중은 속도와 동일하게 표 5.9의 조건(최대 부하의 25%, 50%, 75%, 100%)로 부하한다. 각 속도에 대하여 시험시간은 시험베어링의 온도변화가 적어도 2시간 동안 5°C이내인 시점에서 온도가 안정되었다고 판단하여 다음의 회전속도로 이행한다.

<표 3.46> 예비시험시의 운전조건

Division	Pre Test			
	25%	50%	75%	100%
Bearing Speed(rpm)	225	449	674	898
Train Speed(Km/h)	33	66	99	132
Radial Load(kN)	83.9(일정)			
Axial Load(Kn)	3.96	7.92	11.88	15.84
Cooling Air Speed(m/s)	Approx. 10m/s (0m/s when no rotation in Progress)			
Run Duration(hr)	각 속도에서 온도가 안정될 때까지 (온도변화 5°C/2h이내)			

- * 정회전, 역회전을 실시함
- * 최고운전속도의 10% 증가
- * 차륜경 780mm로 환산
- * 시험 최고 속도의 20% 이상의 속도에서 부하하며 회전 정지 시에는 부하하지 않음

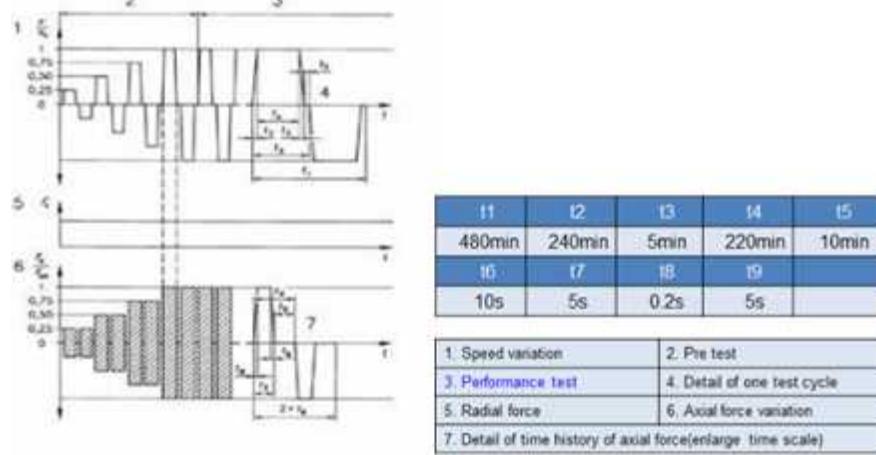
(나) 내구시험

각각의 테스트는 총8시간 동안 순차로 양방향 진행하며, 이 시간에는 두 번의 초기 시험운전과 두 번의 정지가 포함된다. 3시간 50분 동안 정 방향으로 진행하고, 그 중 3시간 40분은 시험속도로 진행, 10분은 공기 통풍 장치를 멈춘 채로 진행 중단 후 역방향으로 동일하게 4시간 동안 시험한다. 누적되는 거리는 최소한 600,000km를 초과해야 한다. Frn은 정격 경 방향 하중의 ±3%의 공차를 갖고, Fan은 정격 축 방향하중의 ±6%의 공차를 갖는다. 표 5.10은 60만Km내구 시험의 운전조건을 나타내며 그림 5.6에 운전조건 사이클도를 나타내었다.

<표 3.47> 60만Km 내구 시험의 운전조건

Division	Performance Test
Bearing Speed(rpm)	854rpm
Train Speed(Km/h)	132Km/h
Radial Load(kN)	83.89(일정)
Axial Load(KN)	15.84
Cooling Air Speed(m/s)	Approx. 10m/s (0m/s when no rotation in Progress)
Run Duration(hr)	60만Km 상당

- * 정회전, 역회전을 실시함
- * 최고운전속도의 10% 증가
- * 차륜경 780mm으로 환산
- * 부하패턴은 <그림 3.52>를 참조



<그림 3.52> 운전조건 사이클도

(다) 가혹 내구 시험 조건

가혹 내구 시험이란 약 10 ton의 가혹 하중을 부가 하여 진행(기존 하중에 약 17%증가된 하중) 하며, 기준 시험 조건 60만 Km상당이 아닌 37만 Km의 운전 조건으로 기준 시험 시간 보다 약 80일 의 시간이 단축 될수 있다.

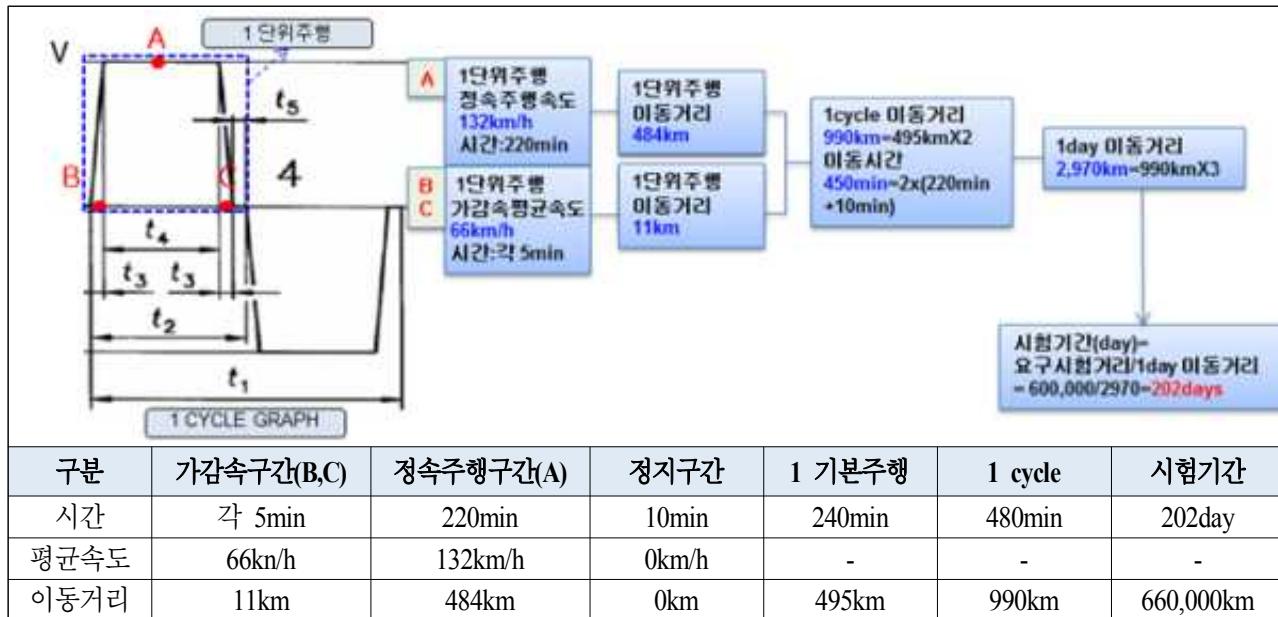
아래 <표 3.48>은 서울 9호선 전동차량 기준으로 기존 하중 조건과 가혹 하중 조건을 EN12082 규격에 따라 하중을 계산한 결과이며, 시험 운전모드에 따른 각각의 시험조건에서의 시험 거리를 나타내었다.

<표 3.48> EN12082규격에 따른 계산 결과

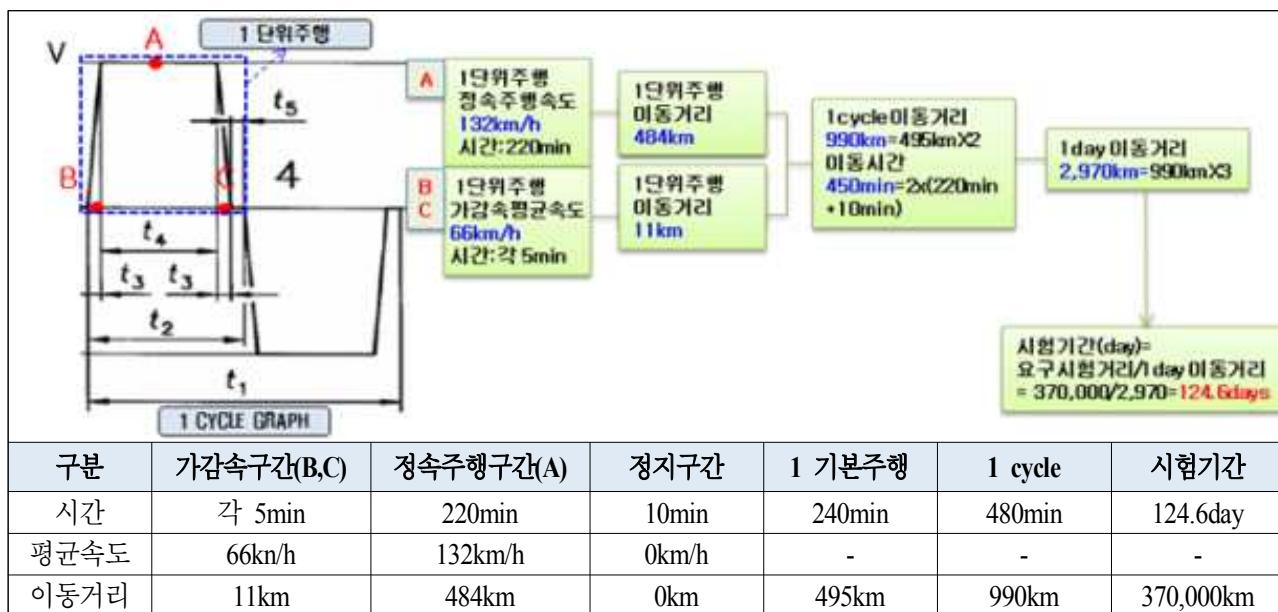
구분	계산식	결과값	
		기존하중시 (8.55ton)	가혹하중시 (10ton)
F_0	$\frac{1}{4} \times m_{\max} \times g$	156,400(N)	180,099(N)
F_{rn}	$1.2 \times 1/2(F_0 - m_0 \times g)$	83,881(N)	98,100(N)
F_{an}	$1.2 \times 1/2 \times 0.5 \times 0.85(10^4 + F_0/3)$	15,844(N)	17,858(N)
rpm	$\frac{V_{max} \times 1000}{60 \times \pi \times D} \times 1.1$	898(rpm)	898(rpm)

- 1) 1차량의 차축 수 4개
- 2) 최고운행속도 120km/h 적용
- 3) 차륜경 780mm
- 4) EN 12082규격에 준하여 최고 차량 속도의 10% 가속

<표 3.49> 내구시험기간 계산 결과(기존 시험 조건)



<표 3.50> 내구시험 기간 계산 결과(가혹 내구시험 조건)



<표 3.51> 내구시험 조건

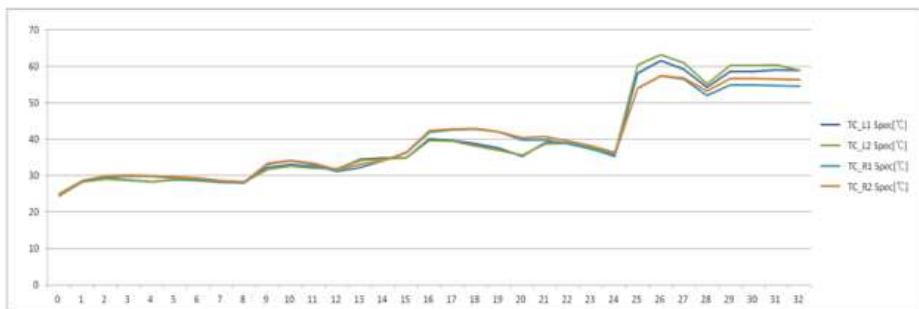
Division	Pre Test				Performance Test
	1cycle	2cycle	3cycle	4cycle	
Bearing Speed(rpm)	225	449	674	898	898
Train Speed(Km/h)	33	66	99	132	132
Radial Load(KN)			98.1		
Axial Load(KN)	4.47	8.93	13.40	17.86	17.86
Cooling air Speed(m/s)	Approx 10m/s (0m/s When no rotation in Progress)				
RunDuration	8 for each cycle			3,000시간 (370,000km 상당)	

<표 3.52> 측정항목

측정항목	측정위치	측정방법
외륜 A 옆 온도	하중 영역	K type
외륜 B 옆 온도	하중 영역	K type
하우징 주변 온도	하우징 주변	K type
하우징 진동 가속도	하우징 상부	가속도 센서

다) 예비 시험 결과

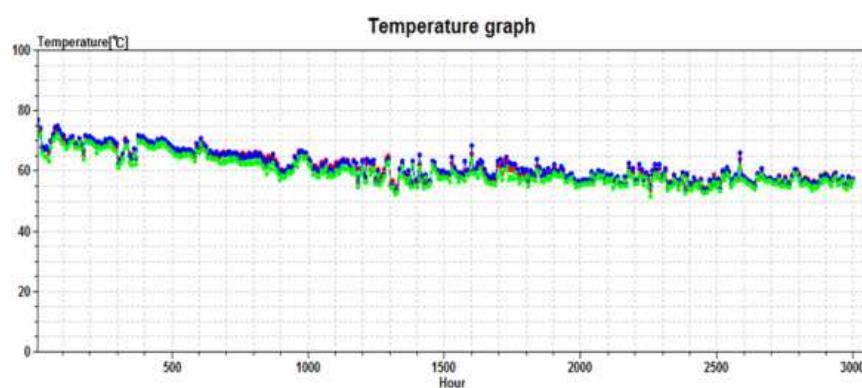
각 회전 속도마다(정회전 및 역회전) 회전 속도 변경 후에 그리스가 안정적으로 도포되기 이전에 발생하는 온도 변동이 발생하나, 시험 시간 경과에 따라 온도는 안정되어 EN규격의 2시간에 5°C 이내」를 만족하여 예비시험을 이상 없이 완료하였으며 시험 결과는 아래 그림 4.23과 같이 선도로 나타났다.



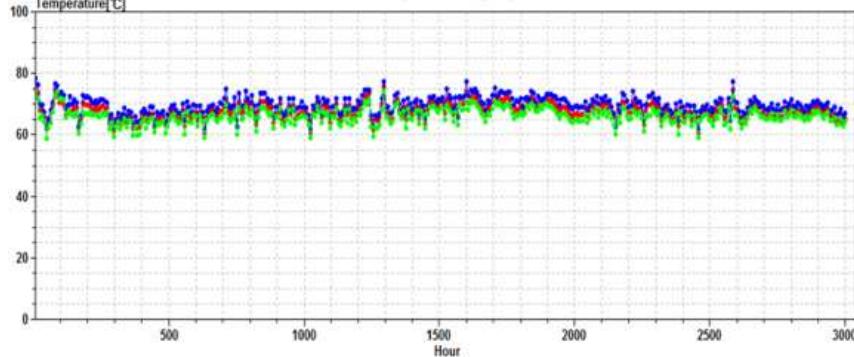
<그림 3.53> pre-test 시험 결과 선도

라) 내구 성능시험 결과

상기 내구성능시험 조건(가혹내구시험조건)에 따라 3,000시간 (60만km 상당) 시험 완료 후 각 부위의 온도 차트 (EN12082에 근거 20°C 환산)을 그림 4.24, 4.25에 온도 데이터를 나타내었다.



<그림 3.54> 내구시험 온도 차트 (No.1 베어링)



<그림 3.55> 내구시험 온도 차트 (No.2 베어링)

<표 3.53> 각 부위의 최고 온도 (°C)

Divison		Bearing 1			Bearing 2			Remarks
		A열	B열	하우징 표면	A열	B열	하우징 표면	
Pre Test	Max. Temp.	71.9	72.9	70.0	72.4	74.1	70.5	
	Value at stable state	66.5	67.3	65.1	66.9	68.5	65.7	5°C or lower for 2 hours
Performance Test	Max. Temp.	71.1	72.0	69.8	72.9	74.6	71.2	

<표 3.54> EN12082규격 판정 결과

Division	초기 10 Cycle	초기 10 Cycle 이후	Results
베어링 외경 하중존 최고온도	≤ 100°C	≤ 90°C (90~100°C)	Passed
하우징 표면 최고 온도	≤ 80°C	≤ 70°C (70~80°C)	Passed
2개의 베어링 외륜 최대 온도차 (각 주행단위에 고온 측 베어링 외륜 온도가 50°C 이상일 때)	-	≤ 15°C (15~20°C)	Passed
2개의 베어링 표면 최대 온도차 (각 주행단위에 고온 측 하우징 표면 온도가 50°C 이상일 때)	-	≤ 15°C (15~20°C)	Passed
연속되는 2개의 주행단위에서 외륜 최대 온도차	-	≤ 10°C (10~15°C)	Passed

가) 개요

차축베어링 내구시험기 설계 및 제작이 완료됨에 따라 도시철도 차축에 적용하기 위해 개발 중인 차축베어링 시제품의 성능이 국제규격(EN12082, Railway applications - Axle boxes - Performance testing)에서 요구하는 시험기준에 부합됨을 확인하고 국제인증기관(TÜV Rheinland)을 통하여 공인기관 시험성적서를 획득하였다.



<그림 3.56> 성능시험 진행 일정

나) 60만km 내구성능 공인기관 시험성적서 (EN12082 요구 시험 기준)



<그림 3.57> 60만km 내구성능 공인기관 시험성적서

다) 144만km 내구성능 공인기관 시험성적서(한국철도공사 TBO 기준)

<p>Certificate of Test</p> <p>Certification Number: TIC 250 100103 International Railway Standard</p> <p>Test Certification Body Owner of Certificate</p> <p>Type Designated Product Tested</p> <p>Identification of Product</p> <p>Manufacturer</p> <p>Test Standard</p> <p>Test Report Date:</p> <p>Test Result:</p> <p>Test witness Expert in review for test</p> <p>Seoul, 2016-01-28 TUV Rheinland Korea Co., Ltd.</p> <p><i>Yong-Jung Kim</i> Yong-Jung Kim Technical Service Railway Systems</p> <p></p>	<p>Test Report No.: TIC 250 100103 Page 1 of 11</p> <p>Supplier: BEARING ART Co., Ltd. 107, Samyeon-ro, Gangnam-gu, Seoul 131-070, Rep. of Korea</p> <p>Tool Name: Rolling Bearing</p> <p>Assembly No.: 1002201-SPC Serial No.: 1002201-SPC</p> <p>Project No.: 1002201-SPC Date of Assembly: 1002201-SPC</p> <p>Condition of tool when of delivery: As per contract spec.</p> <p>Testing Location: Client's premises</p> <p>Test Specification: EN 12082-2007</p> <p>Test Witness: The test witness is present at the test specifications.</p> <p>Delivery Address: 107, Samyeon-ro, Gangnam-gu, Seoul 131-070, Rep. of Korea</p> <p>Tested by:</p> <table border="1"> <tr> <td>Co. 100103</td> <td>0.0 Pass (Initial Rating)</td> <td>2016-01-28</td> <td>0.0 Pass (Final Rating)</td> </tr> <tr> <td>Date</td> <td>Measurement</td> <td>Date</td> <td>Measurement</td> </tr> </table> <p>Attachment</p> <ul style="list-style-type: none"> Attachment 1: Declaration of Test Method Attachment 2: Declaration of Test Data Attachment 3: Testing Documentation or Traceability <p>TÜV Rheinland Korea Ltd. </p>	Co. 100103	0.0 Pass (Initial Rating)	2016-01-28	0.0 Pass (Final Rating)	Date	Measurement	Date	Measurement
Co. 100103	0.0 Pass (Initial Rating)	2016-01-28	0.0 Pass (Final Rating)						
Date	Measurement	Date	Measurement						

<그림 3.58> 144만km 내구성능 공인기관 시험성적서

라) 360만km 내구성능 검증

개발 완료된 차축베어링의 내구성능 한계를 검증하고자 EN12082에 준하는 내구시험 조건으로 360만km 내구시험(EN12082 조건 : 60만km)을 완료하여 공인기관으로부터 시험 완료성적서를 확보하여 베어링 내구성 검증을 완료한다.

(1) 시험 완료 그리스 공인 시험성적서

360만km 내구시험 완료 그리스 분석 결과, EN12082를 만족하며 시험 베어링에서도 특별한 이상을 발견할 수 없었다.

<p>시험 성적서</p> <p>제작번호: TIC 250 100103 제작처: 한국기계전기전자시험연구원 제작자: 김민수 제작일: 2016-01-25 시행규격: EN 12082-2007 시험방법: 시험기자 허용 수: 10000회</p> <p>시행자: 김민수  승인자: 김민수 </p> <p>한국기계전기전자시험연구원장  </p>	<p>시험 결과</p> <p>시험 번호: TIC 250 100103-10000 시 험 항 목</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시 험 항 목</th> <th>단위</th> <th>시 험 결과</th> <th>비 험 원 험</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>총 회전 수</td> <td>-</td> <td>200</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> <tr> <td>회전 수</td> <td>-</td> <td>100</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> <tr> <td>회전수(회전 수 / 회전 수)</td> <td>-</td> <td>0.00%</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> </tbody> </table> <p>시 험 항 목</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시 험 항 목</th> <th>단위</th> <th>시 험 결과</th> <th>비 험 원 험</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>총 회전 수</td> <td>-</td> <td>200</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> <tr> <td>회전 수</td> <td>-</td> <td>100</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> <tr> <td>회전수(회전 수 / 회전 수)</td> <td>-</td> <td>0.00%</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> </tbody> </table> <p>시 험 항 목</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>시 험 항 목</th> <th>단위</th> <th>시 험 결과</th> <th>비 험 원 험</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>총 회전 수</td> <td>-</td> <td>200</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> <tr> <td>회전 수</td> <td>-</td> <td>100</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> <tr> <td>회전수(회전 수 / 회전 수)</td> <td>-</td> <td>0.00%</td> <td>EN 12082-2007</td> </tr> </tbody> </table>	시 험 항 목	단위	시 험 결과	비 험 원 험	총 회전 수	-	200	EN 12082-2007	회전 수	-	100	EN 12082-2007	회전수(회전 수 / 회전 수)	-	0.00%	EN 12082-2007	시 험 항 목	단위	시 험 결과	비 험 원 험	총 회전 수	-	200	EN 12082-2007	회전 수	-	100	EN 12082-2007	회전수(회전 수 / 회전 수)	-	0.00%	EN 12082-2007	시 험 항 목	단위	시 험 결과	비 험 원 험	총 회전 수	-	200	EN 12082-2007	회전 수	-	100	EN 12082-2007	회전수(회전 수 / 회전 수)	-	0.00%	EN 12082-2007
시 험 항 목	단위	시 험 결과	비 험 원 험																																														
총 회전 수	-	200	EN 12082-2007																																														
회전 수	-	100	EN 12082-2007																																														
회전수(회전 수 / 회전 수)	-	0.00%	EN 12082-2007																																														
시 험 항 목	단위	시 험 결과	비 험 원 험																																														
총 회전 수	-	200	EN 12082-2007																																														
회전 수	-	100	EN 12082-2007																																														
회전수(회전 수 / 회전 수)	-	0.00%	EN 12082-2007																																														
시 험 항 목	단위	시 험 결과	비 험 원 험																																														
총 회전 수	-	200	EN 12082-2007																																														
회전 수	-	100	EN 12082-2007																																														
회전수(회전 수 / 회전 수)	-	0.00%	EN 12082-2007																																														

<그림 3.59> 360만km 내구시험 완료 그리스 공인기관 시험성적서

(2) 시험 완료 공인시험성적서

Certificate of Test			
Certificate Number: TIC 250 181200 17			
International Railway Standards			
Test Certificate Body	TÜV Rheinland (Korea) Co., Ltd.		
Holder of Certificate	BEARING ART Co., LTD. 527, Samsung-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-070, Rep. of Korea		
Type designation / Product tested	Riding System		
Identification of Product	TIGE000PC		
Manufacturer	BEARING ART Co., LTD. 527, Samsung-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-070, Korea		
Test standard	EN 12082:2007		
Test Report / Date	TIC 250 181200, 2018-12-19		
Test Result	<p>The performance test with load test was conducted in line with the relevant standard as per the following report.</p> <p>Please express only if the parts below are composed of materials different from ART.</p> <p>The observations and test results referenced from this certificate are relevant only to sample tested.</p>		
Test address	Sanji-dong Park Young-Gang-ro		
Expert in charge for test	 Dr. Young-Gang Kim Technical Director Railway Systems		
Seoul, 2018-12-19			
TÜV Rheinland (Korea) Co., Ltd.			
 TÜV Rheinland® Premium Quality			
			
<small>Page 1 of 1 Version: 1 Printed: 2018-12-19 Page: 1 of 1</small>			
Test Report No.: TIC 250 181200 Page 1 of 1			
Supplier:	BEARING ART Co., LTD 527, Samsung-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-070, Korea		
Test Name:	Riding System		
Manufacturer:	TIGE000PC	Model No.:	Non applicable
Project No.:	1310017001	Date of Receipt:	2018-12-19
Condition of test at delivery:	Apparatus is good		
Testing Location:	Olympic Expressway Line 3 (Park)		
Test Specification:	EN 12082:2007		
Test Results:	All related test is passed in test specification.		
Testing Laboratory:	TUV Rheinland Korea Ltd. E&C Vehicle Testing Lab 107-26, Gwanggyo-ro, Mapo-gu, Seoul, 121-716, Republic of Korea		
Tested by:	Approved by:		
08.12.2018 (Dr. Park Hyun-Kil)	12.12.2018 (Dr. Y.G. Kim - Head Technical Director)		
Dr. Park Hyun-Kil	Description:	Dr. Y.G. Kim	Signature:
Attachment:	Attachment 9.1 Test Report on Lateral Acceleration Performance of Rail Attachment 9.2 Test Report on Lateral Acceleration Test		
Information:	This test report is valid for one month from the date of issue. Any changes made to the test object or test conditions must be notified to our organization. This test report does not constitute any guarantee on delivery or end products.		
Page 1 of 1	Page 1 of 1	Page 1 of 1	Page 1 of 1
TÜV Rheinland Korea Ltd.	Address:	Phone:	Customer Ref. No.:
527, Samsung-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-070, Korea	02-544-1000	02-544-1000	1310017001
E-mail:	Fax:	Mobile:	Customer Ref. No.:
info.korea@tuv.com	02-544-1001	010-544-1000	1310017001
Customer Ref. No.:	Address:	Phone:	Customer Ref. No.:
1310017001	527, Samsung-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-070, Korea	02-544-1000	1310017001
Customer Ref. No.:	Address:	Phone:	Customer Ref. No.:
1310017001	527, Samsung-ro, Gangnam-gu, Seoul 135-070, Korea	02-544-1000	1310017001

<그림 3.60> 360만km 내구시험 완료 그리스 공인기관 시험성적서

6. 연구 수행 4단계 : 현차 적용 시험

가. 현차 적용 시험 추진

1) 시험 개요

도시철도용 차축베어링 국산화 개발과 관련하여, 개발 완료된 시제품에 대하여 현차 적용을 통하여 성능 확인했다.

2) 시험 목적

검증된 내구성 시험과 해석 결과를 바탕으로 현차 시험을 실시하여 안정성 및 신뢰성 검증을 위함이다.

3) 현차 적용 시험 절차



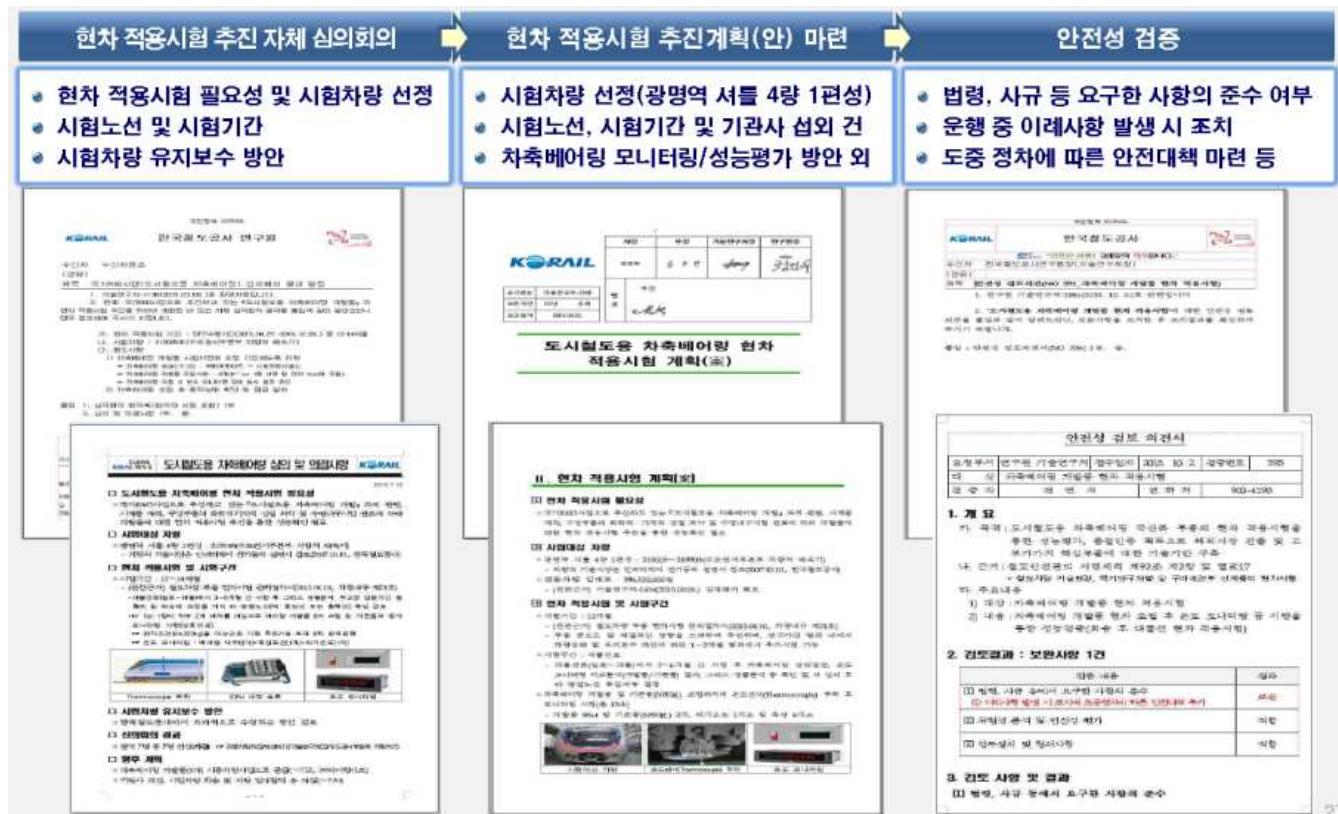
<그림 3.61> 적용시험 절차

4) 현차 적용 시험 기술검토

The screenshot shows a collection of technical documents related to the vehicle application test. At the top, there is a title bar for '현차 적용시험을 위한 기술검토서류 준비' (Preparation of technical review documents for vehicle application testing). Below this, there are two main sections of documents:

- 현차 적용시험(Field Test) ⇒ 차축베어링 수명내구시험 완료 후 시행(EN12082, 2년 or 600,000km)하도록 규정**: This section includes several documents related to the field test, such as '도시철도 차축베어링 국산화 개발 현차시험 개요서' (Summary report of the urban rail vehicle application test for domestic bearing development), '도시철도 차축베어링 국산화 개발 현차시험 검토서' (Review report of the urban rail vehicle application test for domestic bearing development), and '도시철도 차축베어링 국산화 개발 현차시험 결과서' (Report of the results of the urban rail vehicle application test for domestic bearing development).
- 철도차량 부품 국산화 업무절차서(2012.10.17, 한국철도공사)에 따라 현차 적용시험 추진을 위한 기술검토서류 작성**: This section includes documents such as '도시철도 차축베어링 국산화 개발 현차시험 및 서류(문서) 개선서' (Improvement document for the urban rail vehicle application test and documents), '도시철도 차축베어링 국산화 개발 AE 모니터링 시장조사' (Market survey for the urban rail vehicle application test and domestic bearing development), '도시철도 차축베어링 국산화 개발 주요부품 List 및 Data sheet' (List and Data sheet of major components for the urban rail vehicle application test and domestic bearing development), and a 'Certificate of Test' (Test certificate) from IRIS.

<그림 3.62> 현차 적용시험을 위한 기술검토서류



<그림 3.63> 현차 적용 시험 운영기관 내부 절차 및 안전성 검증

나. 시험 차량 및 시험 방법

1) 시험대상 차량 / 차축베어링

가) 광명역 서틀 4량 1편성 : 319005 ~ 319905 (수도권 서부본부 차량처 배속기)

나) 현차 적용 시험 차축베어링 ILJIN 개발품 8SET / 기존품(N社) 2SET 장착

2) 차축베어링 제원

가) 현차 시험 차량에 장착된 ILJIN 차축베어링의 제원은 하기와 같다.

나) 복열 원통 롤러 베어링으로 슈퍼 엔지니어링 플라스틱 케이지를 사용하여 기존품 비해 저중량 구조이며 저발열 및 저 진동성을 갖는다.



<그림 3.64> 현차 시험 적용 차량

- 다) 차축베어링은 내륜 / 외륜 / 롤러 / 케이지/ 스페이서 / 가이드링으로 구성됨
 라) 내 / 외륜 롤러 소재 : STB2 베어링 강
 마) 케이지 소재 : PA66 + GF 25% 폴리아미드 유리섬유 강화 플라스틱



도시철도용
차축베어링
NUP130235C3PC

베어링 전개도

<그림 3.65> 베어링 전개도

SPEC	
베어링 형변	NUP130235C3PC
베어링 명칭	복열 원통 롤러베어링
기본동적격하중	932KN
기본 정적격하중	1,562KN
베어링 사이즈	Ø130 X Ø235 X 170 (내륜* 외륜* 폭)
중량	27.7kg
열처리 경도	내/외륜 59~63, 롤러 60~65

3) 차축베어링 케이지 및 그리스

- 가) 차축베어링 케이지 소재는 강화 섬유 플라스틱(PA66+GF25%)을 사용하였다.
- 나) PA66(폴리아미드 66)은 내열특성 및 기계적 강도가 우수하여 고온환경의 플라스틱 부품으로 널리 사용되고 있다.
- 라) 현차시험에 사용된 그리스는 Shell Alvania grease EP2로 범용 그리스가 사용됨



차축베어링 케이지



Alvania ep2 그리스

<그림 3.66> 현차시험에 사용된 케이지와 그리스

4) 현차시험 준비

- 가) 시홍 차량 사업소 内에서 현차시험차량에 차축베어링 조립을 진행 (15. 8. 17 ~ 8. 24)
- 나) 윤축에 차축베어링 내륜을 유도가열하여 내경 확장 후 내륜을 조립
- 다) 윤축 외부 이물질을 제거후 초음파 탐상 검사 진행
- 라) 감속기 기어박스를 윤축에 장착 한뒤 축 저널부 외륜 하우징 조립 완료



<그림 3.67> 윤축 조립 순서

바) 하우징 커버 및 시험 차량 대차 조립 완료



<그림 3.68> 하우징 커버 조립 순서

사) 차축베어링 하우징 온도 센서 설치

- (1) 319105 차량 개발품 8pcs 장착, 319205 차량 기존품 2pcs 장착된다.
- (2) K type 온도센서를 차축베어링 하우징에 장착하여 베어링 외경면에 닿게 설치
- (3) 온도 센서 장착부는 총 10개소로 #1 ~ #8은 개발품 장착소이며, #9 ~ #10은 기존품 N社 온도센서가 장착된다.



319105 대차 개발품 8pcs 및 온도센서 장착

319205 대차 기존품 2pcs 및 온도센서 장착

<그림 3.69> 차축베어링 하우징 온도 센서 위치

- 하우징 커버에 장착되는 온도센서는 (1) 베어링 외경 접촉 센서 10EA, (2) 대기 온도 측정 센서 1EA, (3) 하우징 외기 온도 센서 1EA로 구성된다.
- 하우징 외부 온도센서 커버를 장착하여 이물질 및 외부 환경으로부터 센서를 보호하며 철제 거치대 구조로 온도 센서를 커버에 장착하기가 용이하다.
- 개발품 #1 ~ 개발품 #2 및 N #1, N #2는 철제 커버가 상하로 2개가 장착되며 상부에는 베어링 외경 접촉 센서가 장착되며 하부에는 하우징 외기 온도센서가 장착된다.
- 개발품 #3 ~#8에는 철제 커버가 상부에 장착되며, 베어링 외경 접촉 센서 장착된다.



K-type 온도센서

하우징 커버 온도센서
장착

철제 커버 장착

<그림 3.70> 차축베어링 하우징 온도 센서 설치

아) 차량 내 온도 모니터링 장비 설치 설치
온도 모니터링 장비를 전장 기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

- 외부 온도 센서에서 측정된 온도 DATA를 플렉시블 케이블을 통해 전달하여 DAQ 장비에서 온도 DATA를 수집하고, 온도 모니터링 프로그램으로 실시간 노트북 화면을 통해 모니터링 진행
- 플렉시블 케이블과 DAQ 장비 연결 및 외부 베어링 온도 센서 연결
- 온도 센서 T/O 진행 및 플렉시블 케이블 선 정리를 위한 덕트 설치.



플렉시블 케이블 연결



DAQ 장비 설치



외부 온도 센서 연결



온도 센서 T/O



케이블 커버 설치 완료

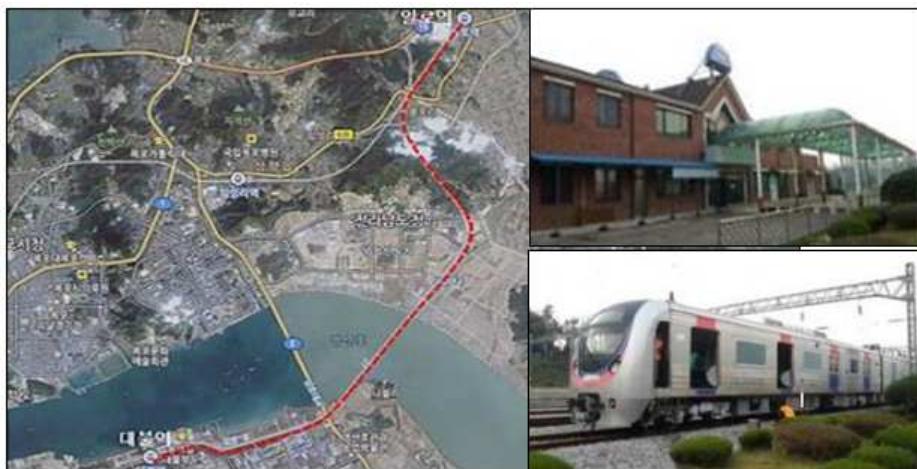


DAQ 장비설치 완료

<그림 3.71> 차량 내 온도 모니터링 장비 설치

다. 현차적용 시험 기간 및 방법(온도 모니터링)

- 1) 시험기간 : 12개월 (2015.11.02. ~ 2016.10.14.), 4계절 시험 운행
- 2) 시험구간 : 대불선로(목포 일로역~ 대불역 반환점)



<그림 3.72> 대불선

3) 온도 모니터링 시스템

- 차축베어링 개발품 및 기존품(N社) 외륜부에 온도센서를 통한 모니터링 실시 (총 15ch)
- 최적화된 온도 모니터링이 가능하도록 온도센서를 장착한 차축베어링 하우징 사용
- 개발품 8Sets, 기존품(N社) 2Sets, 외기온도 1개소 및 축상 온도 4개소
- 15개소의 온도센서에서 수집된 온도 데이터를 DAQ 장비로 전달하여 운행 중 실시간 온도 모니터링을 시행함
- 시험 중 온도 신뢰성 확보를 위하여 FLUKE9103 드라이웰을 사용해 센서검증을 실시



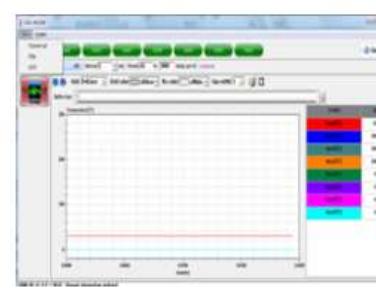
<그림 3.73> 온도센서 장착 위치



차축베어링 하우징



DAQ(Data AcQuisiton) 시스템



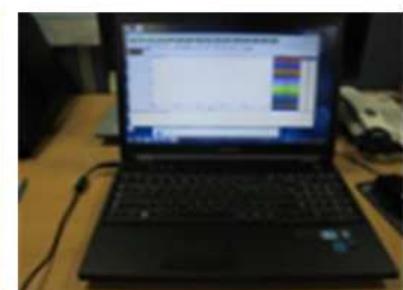
온도 모니터링 프로그램



플렉시블 케이블



온도센서(Thermocouple)

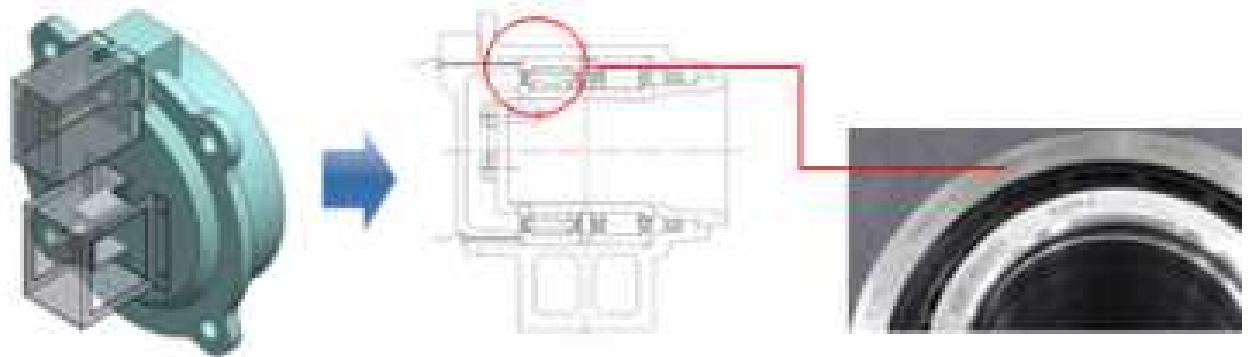


노트북

<그림 3.74> 온도 모니터링 시스템 장비

4) 시험 방법 및 센서 접촉 위치

- 현차시험 차량을 이용하여 일로역에서 대불선 반환점까지 왕복 19km의 구간을 하루 10~16회 반복 운행.
- 실제 전동차 운행과 흡사한 조건으로 반환점에서 30초 ~ 1분 정차 후 재운행하여 대략 3~8회 연속 운행
- 시험 종료 후 일일 일지 작성 및 월별 현차 시험 보고서 작성
- 온도센서는 고정되어 있는 차축베어링의 외경면에 접촉



<그림 3.75> 온도 센서 베어링 외경면 접촉

라. 현차 운행 조건

1) 현차 적용 시험 선로

가) 실제 전동차 도심지역 운행 조건과 최대한 흡사하게 설정

나) 실제 상황에서 발생할 수 있는 온도 이상 발열 검증이 가능하도록 조건 설정

2) 현차 시험 구간

가) 대불역 반환점 ~ 일로역 구간 왕복 약 19km(편도 9.5km)

나) 곡선 구간 3회, 직선 구간 1회, 터널 1회, 해상 철교 구간 1회, 도심지역 1회

3) 현차 시험 차량 속도

가) 최대 90km/h로 진행, 민락 지역의 도심 구간에서 20km/h로 저속 주행

4) 현차 시험 차량 중량

가) M'CAR 자중 42ton, 최대 승객기준 20ton

나) 차량 내 1.5ton 수탱크 13ea를 설치하여 만차 중량(62ton)으로 시험 진행



대불선(일로-대불역)

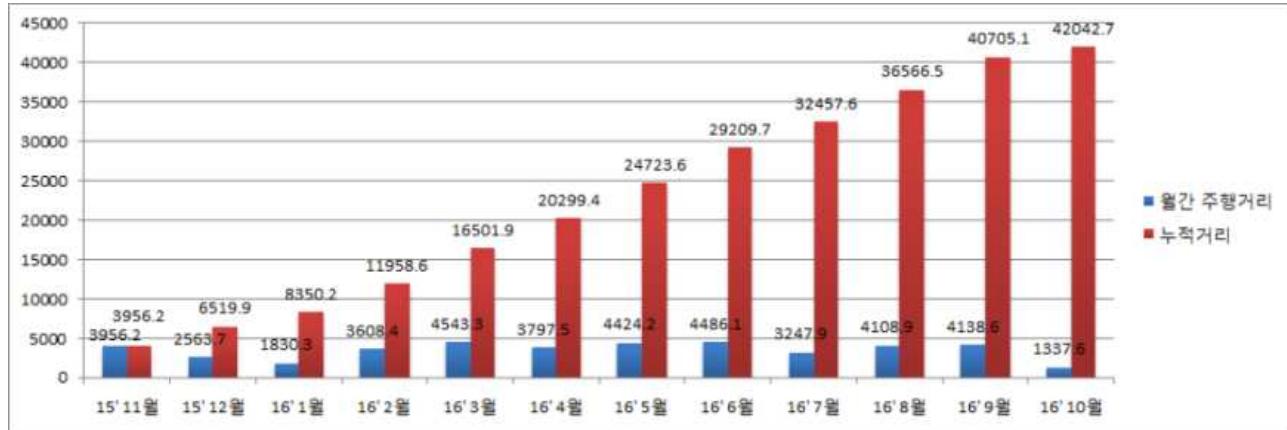


물탱크 20ton 만차 중량

<그림 3.76> 현차 시험 차량 중량

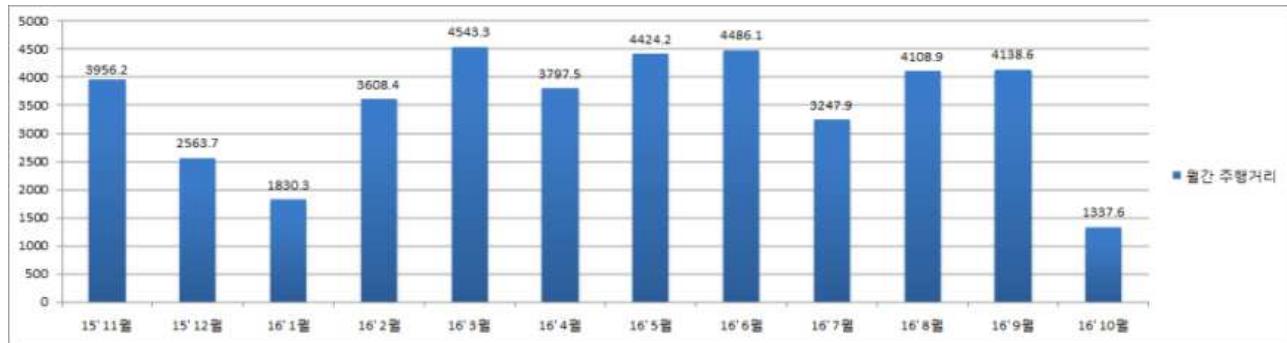
1) 시험기간 : '15. 11. 02 ~ 16. 10. 14 (12개월, 4계절 시험)

2) 총 주행거리 : 42042.7km(최종)



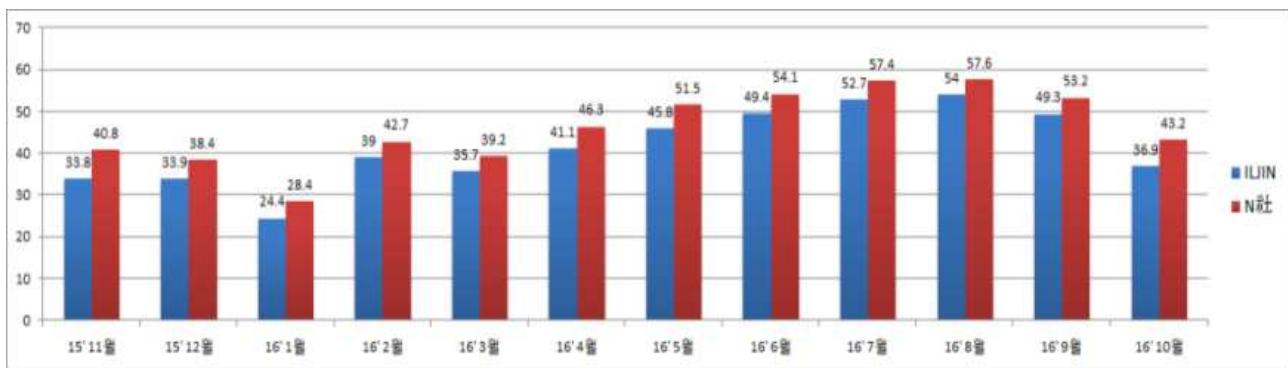
☞ 4계절 시험으로 총 1년간 42042.7km 현차 적용 주행 실적 획득

3) 현차시험 월별 주행거리

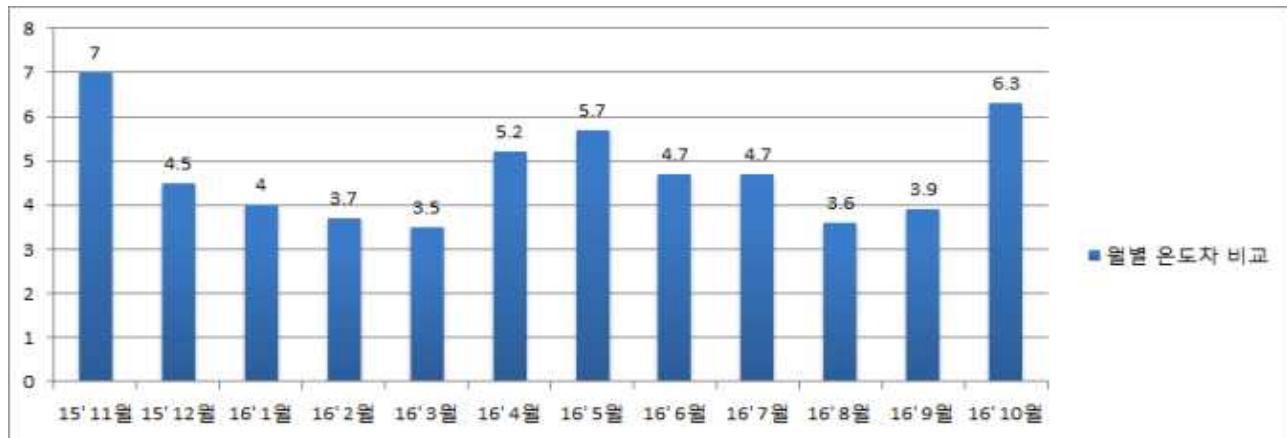


☞ 최고 월별 주행거리 : 3월 (4543.3km), 최저 월별 주행거리 : 10월 (1337.6km)

4) 현차시험 월별 최고 온도 평균 비교



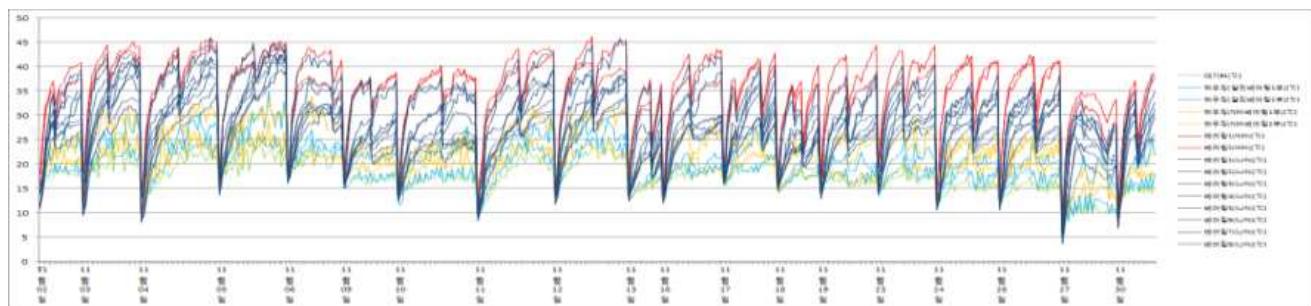
☞ 최고 평균 온도 : 57.6°C (N社 8월), 최저 평균 온도 : 24.4°C (ILJIN 3월)



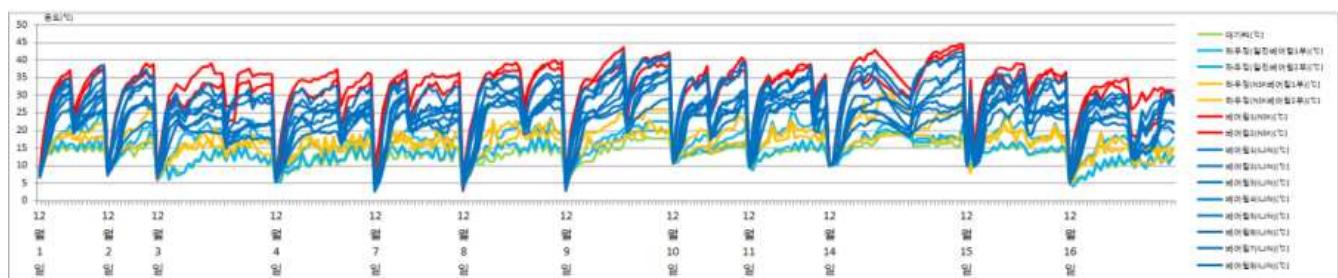
- ☞ 최고 온도차 : 7°C (11월), 최저 온도차 : 3.5°C (3월)
- ☞ N社와 ILJIN은 대략 3.5~7°C의 온도차를 보임(N社의 온도가 더 높음)

바. 현차시험 온도 모니터링 결과

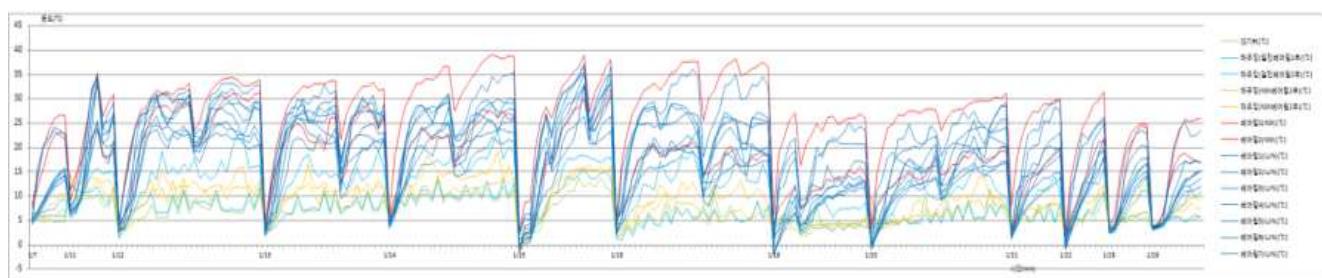
1) 2015. 11월 (평균 대기 온도 : 14.1°C)



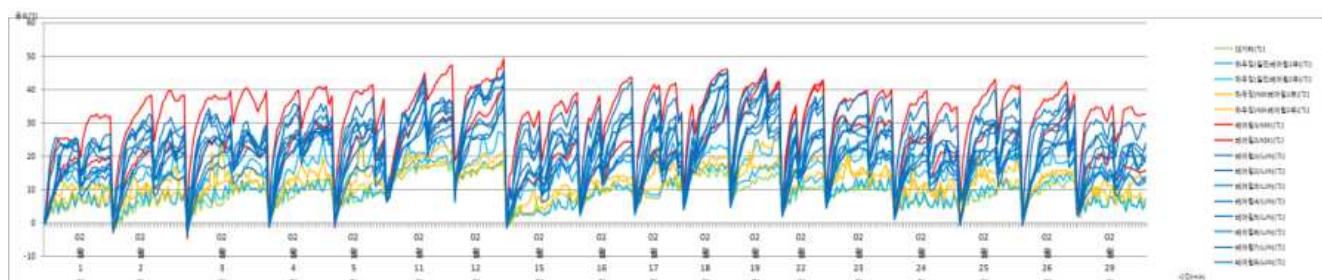
2) 2015. 12월 (평균 대기 온도 : 7.6°C)



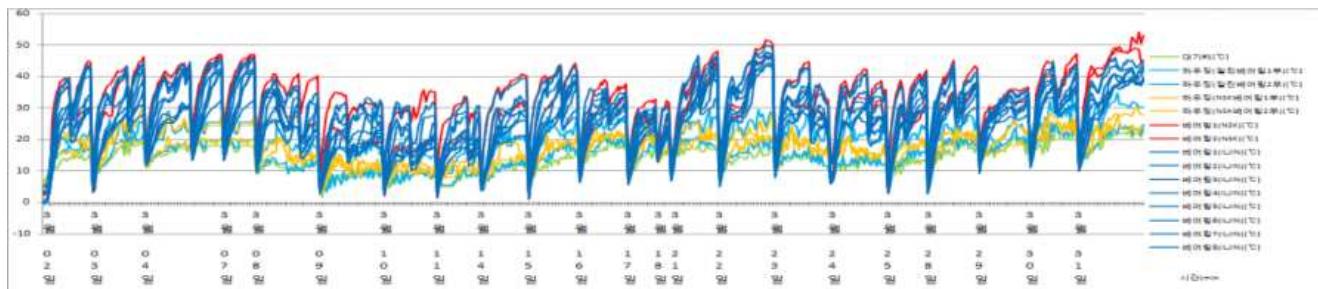
3) 2016. 1월 (평균 대기 온도 : 1.4°C)



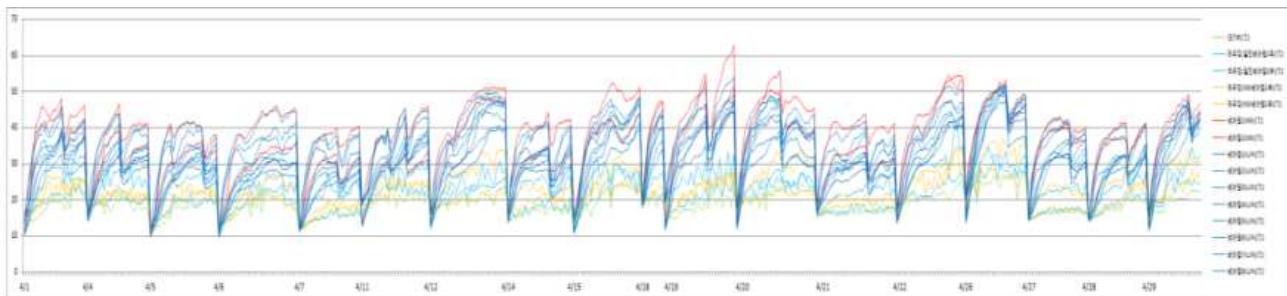
4) 2016. 2월 (평균 대기 온도 : 6.0°C)



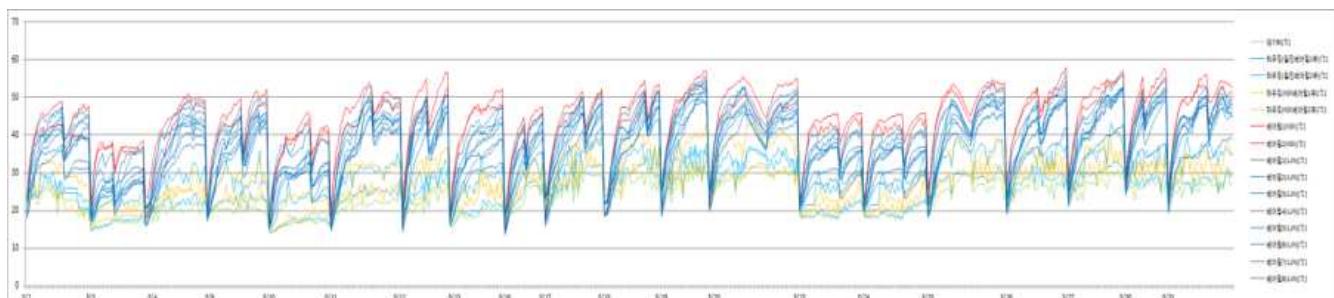
5) 2016. 3월 (평균 대기 온도 : 7.2°C) 기학기술정보연구원에서 제공하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.



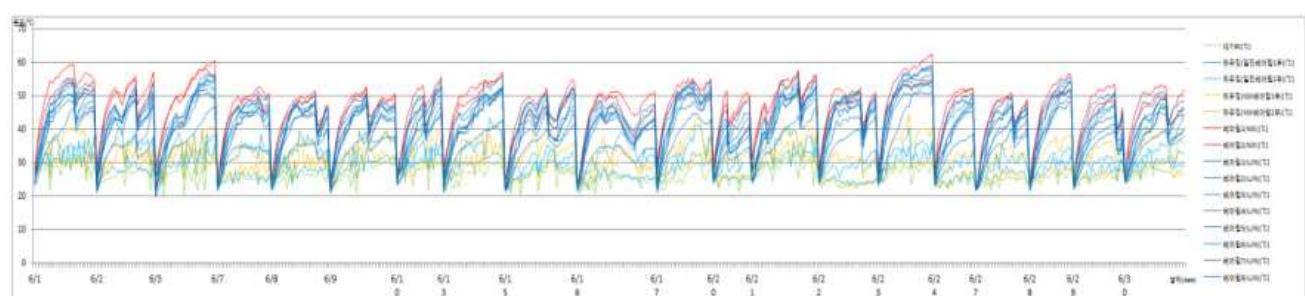
6) 2016. 4월 (평균 대기 온도 : 13.7°C)



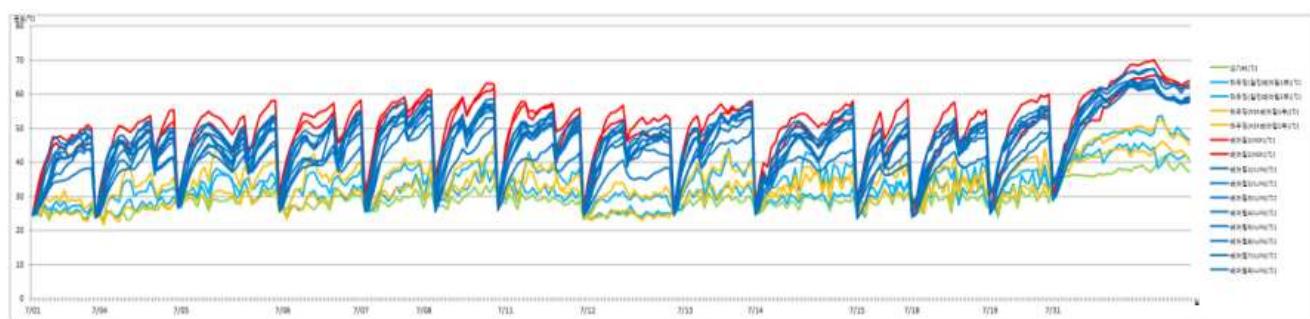
7) 2016. 5월 (평균 대기 온도 : 18.1°C)



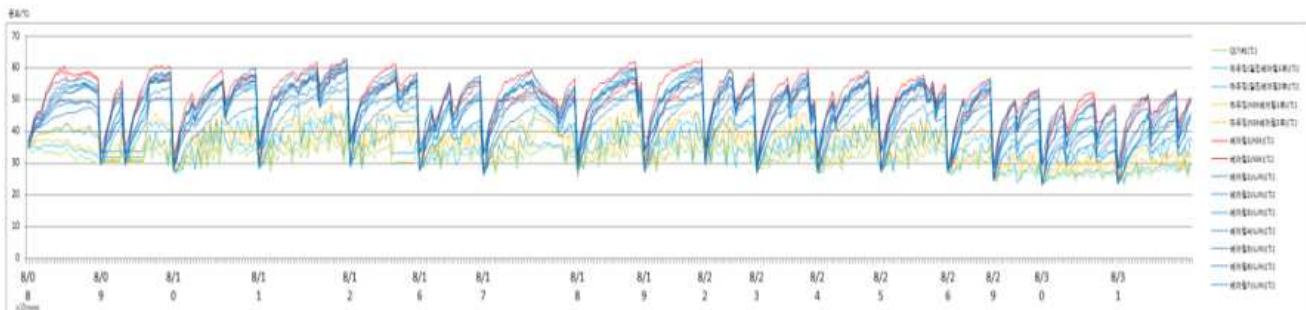
8) 2016. 6월 (평균 대기 온도 : 22.7°C)



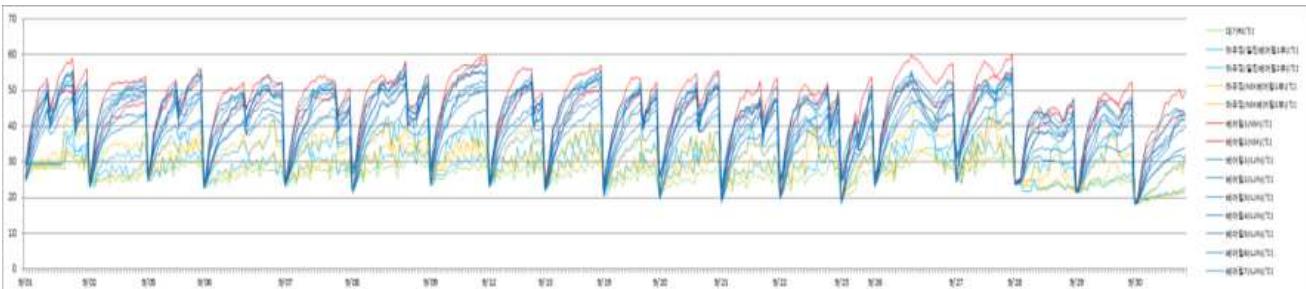
9) 2016. 7월 (평균 대기 온도 : 24.8°C)



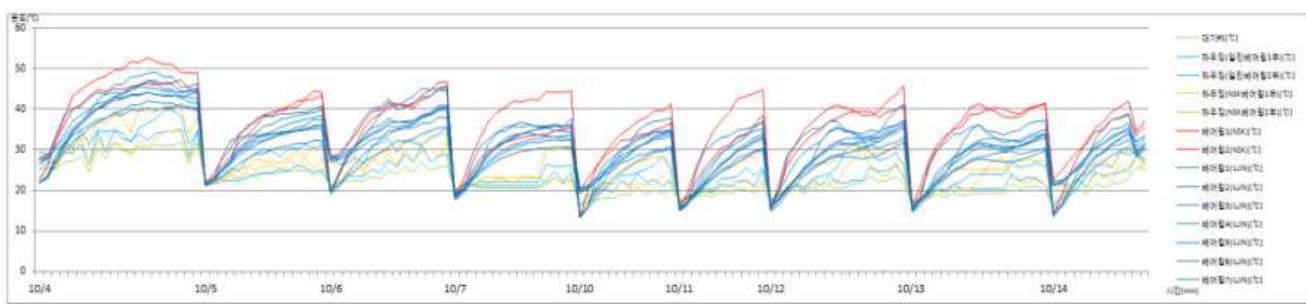
10) 2016. 8월 (평균 대기 온도 : 29.2°C)



11) 2016. 9월 (평균 대기 온도 : 22.9°C)



12) 2016. 10월 (평균 대기 온도 : 17.4°C)



사. 시험 결과

- 1) 1년 시험 기간 중의 개발품 평균 최고 온도 : 41.3°C
- 2) 1년 시험 기간 중의 기존품(N社) 평균 최고 온도 : 46.1°C
- 3) 2015. 11. 02 ~ 2016. 10. 14 일 현차 시험 온도 Data 분석 결과

- 1년 중 공휴일, 차량 고장으로 인한 운행 일 등을 제외한 총 193일의 data를 확보함
- 1년 시험 기간 동안 최고온도 평균은 개발품이 기존품 대비 약 4.8°C 낮음
- 월별 온도차의 경우 개발품과 기존품은 최소 3.5°C에서 최대 7°C를 보임.

(개발품이 기존품 대비 온도 낮음)

- 시험 구동 후 정지 시 개발품의 온도 하강속도가 기존품 대비 우수함
- 시험 왕복 싸이클이 더해질수록 개발품의 온도 상승폭이 기존품 대비 완만함
- 시험 기간 중 온도의 급격한 상승 등의 이상 현상은 발생하지 않음.

아. 현차시험 완료 및 차량 분해

1) 현차시험 차량 회송 진행

가) 목포 일로역 → 시흥 차량기지로 이동 (16. 11. 11)

	
1. 시험차량에 디젤 기관차 연결	2. 제동 호스 연결
	
3. 연결기 차량 연결 완료	4. 회송차량 디젤 기관차 7417

2) 시험 차축베어링 분해

가) 시흥 차량기지 정비창에서 온도 센서 케이블 컷팅 분리작업 진행(16. 11. 15)

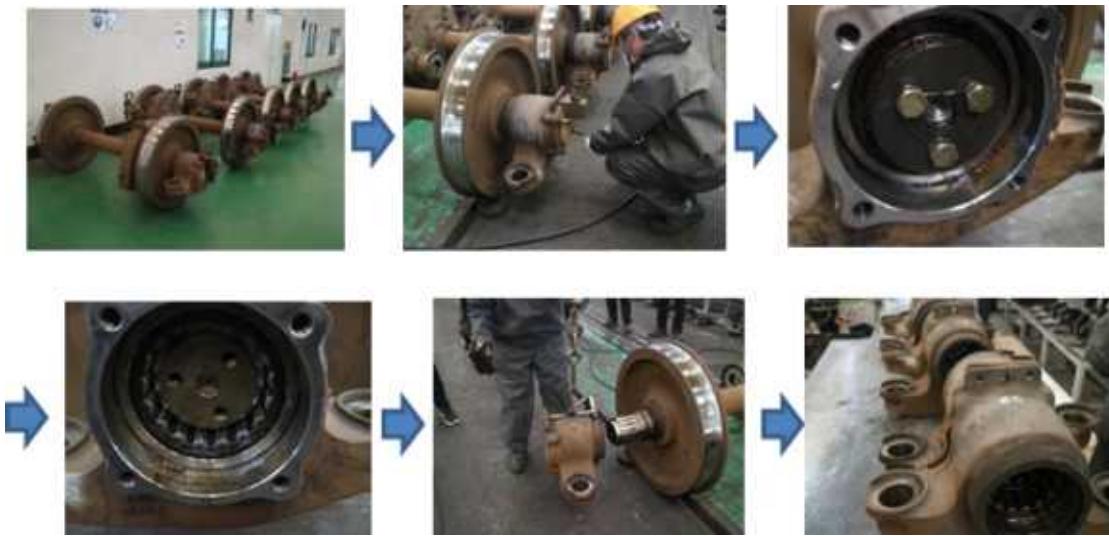
	
1. 차량기지 내부 정비창 이동	2. 온도 센서 케이블 컷팅
	

- 호이스트로 차량 대차를 시험차량에서 분리 완료
- 분리된 대차를 이동시켜 대차 바디에서 윤축을 분리 시키는 작업을 진행

- 시제품 배송 및 보상 및 환수를 전용 혹은 통제를 정비여행 가동 분체를 연워하는 등의 차량 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

		
호이스트로 차량 대차 분리	분리된 대차	윤축 분리

나) 차축베어링 하우징 분리 작업



- 하우징 캡 스크류 제거, 엔드 캡 제거, 하우징 분리 순으로 진행

다) 하우징 커버 및 엔드 캡, 스크류 볼트 정렬

		
하우징 커버 및 엔드 캡 스크류 볼트(#1,4,5,8, N#1)	하우징 커버 및 엔드 캡 스크류 볼트 정렬(#2,3,6,7,N#2)	하우징 커버 및 엔드 캡, 스크류 볼트, 가이드링



- 하우징 외륜 분해 장비를 사용, 하우징에서 베어링 외륜 및 스페이서 분리
- 분리한 베어링 외륜 및 케이지, 롤러, 스페이서는 자분탐상 및 초음파 분석을 위해 BA #1 ~ BA #8, N社 #1, N社 #2 구분 하여 개별 포장을 진행 함

마) 차축베어링 외륜 외부 그리스 세척



- 외륜 분리 후 그리스 제거를 위해 그리스 물세척 진행 및 잔여 이물질 제거



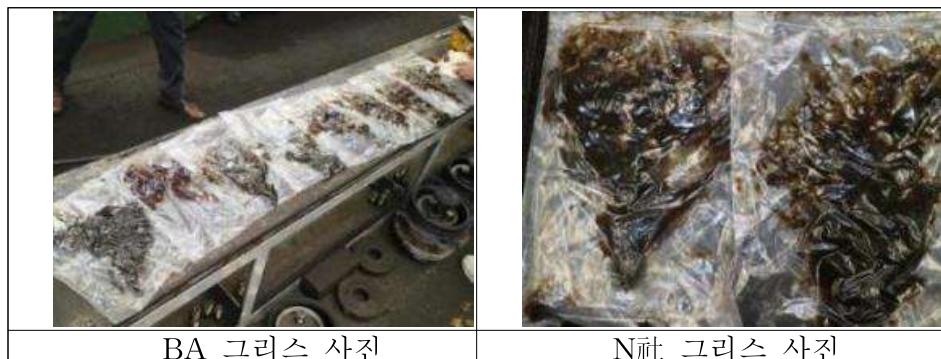
- 베어링 자분탐상 분석 및 초음파 분석을 위하여 차축 베어링 개별 포장
 - 비닐 포장지 곁면에 BA #1~#8 및 N #1 ~ N #2 표기

사) 차축베어링 내부 그리스 채취

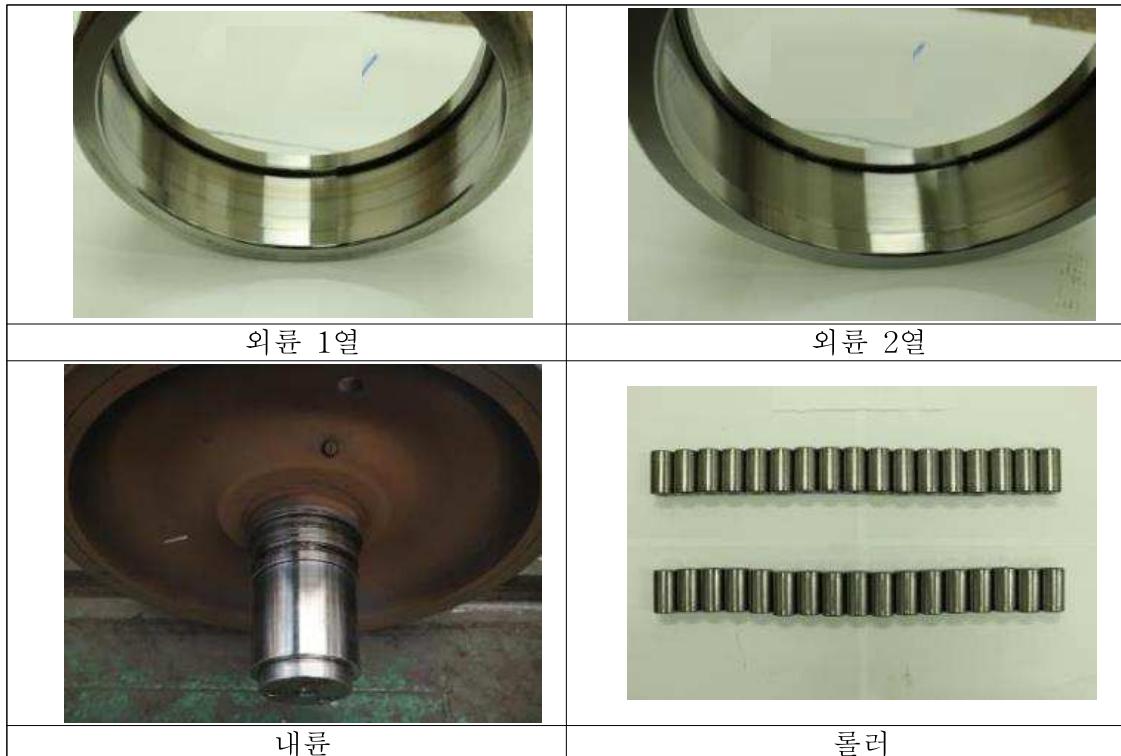


- 하우징 분해 후 장착되어 있는 차축베어링 내부의 그리스를 채취하여 비닐 봉투에 저장하며, 비닐봉투에는 BA #1 ~ #8로 표기하여 구분함
 - 이물 유입 방지를 위하여 고무 주걱이 달린 채취 도구를 이용하여 그리스 채취함

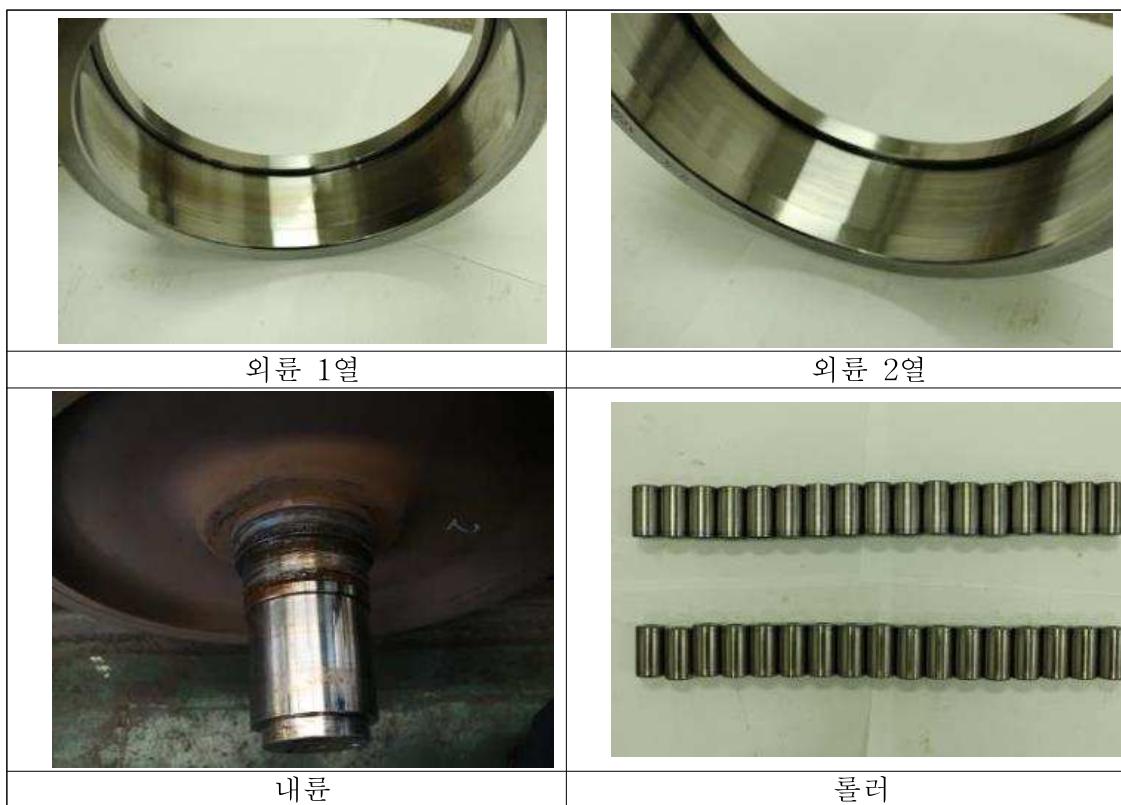
아) 그리스 사진

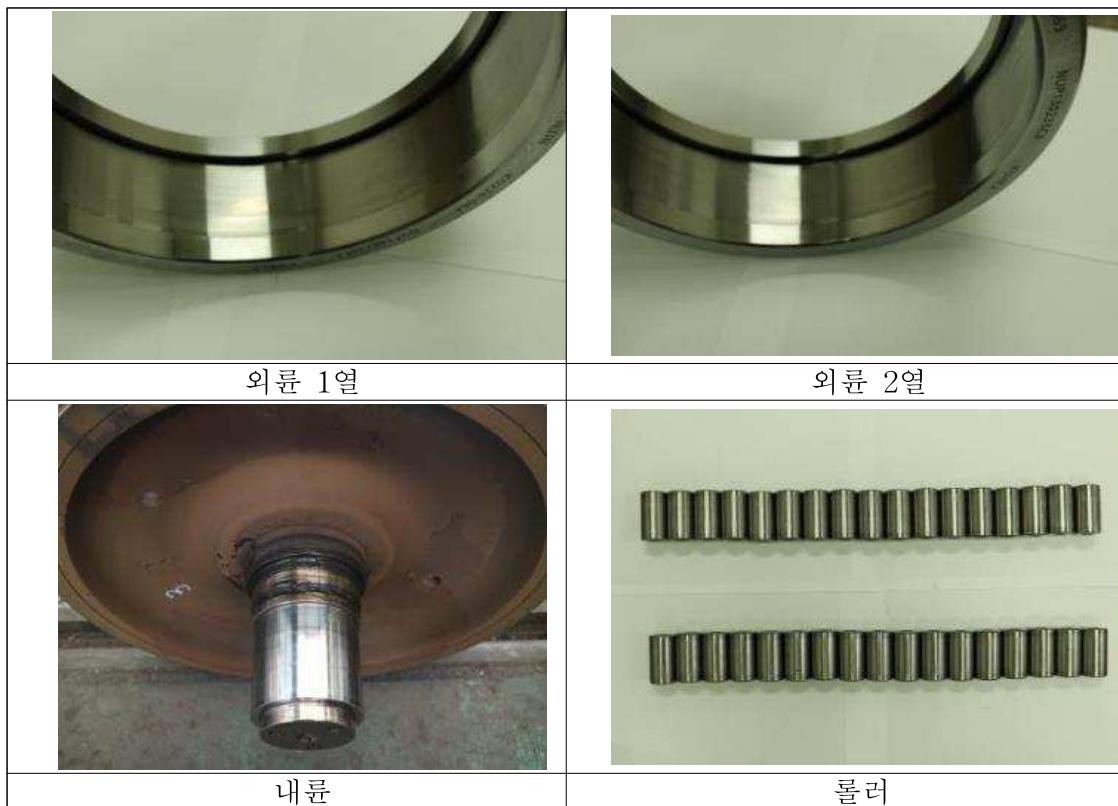


(가) 개발품 #1번

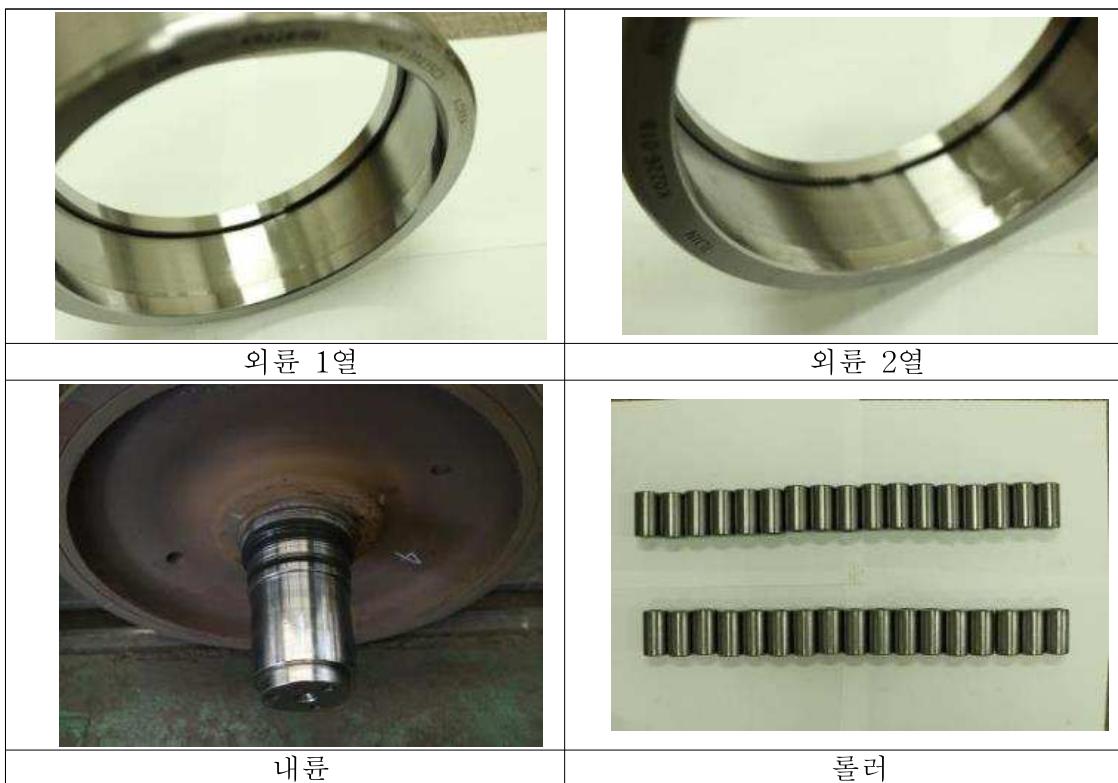


(나) 개발품 #2번



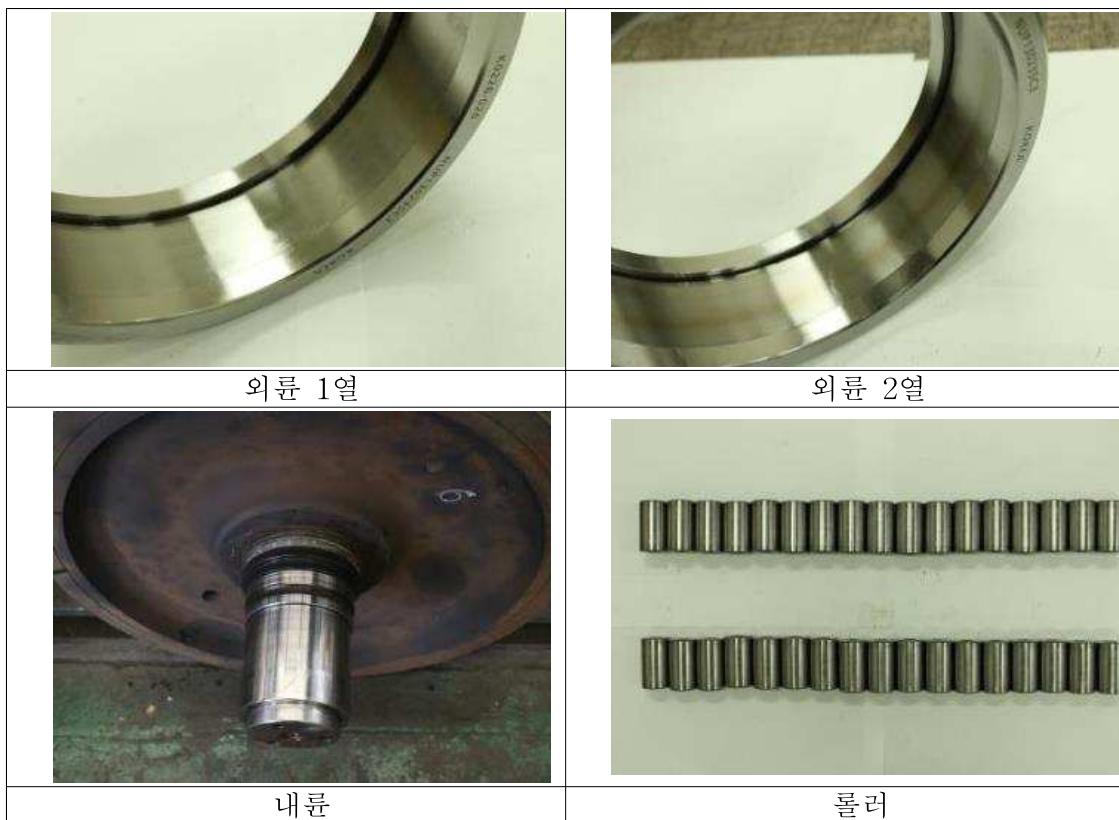


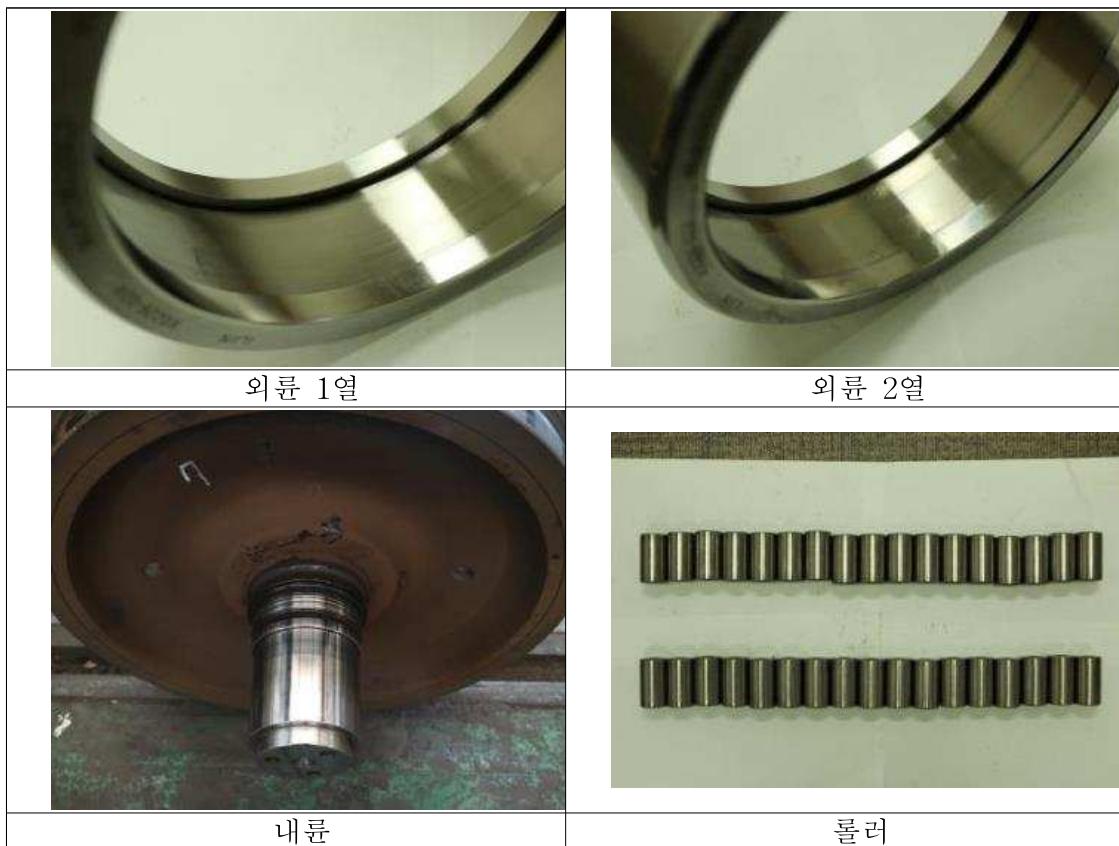
(라) 개발품 #4번



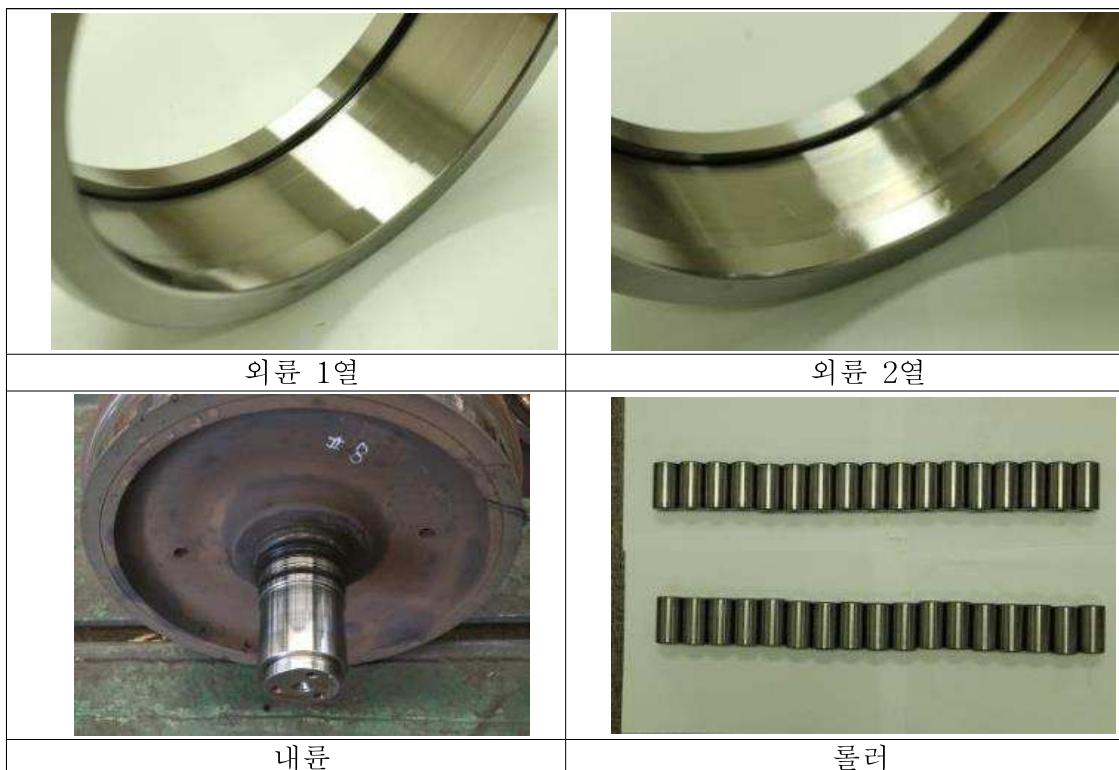


(바) 개발품 #6번





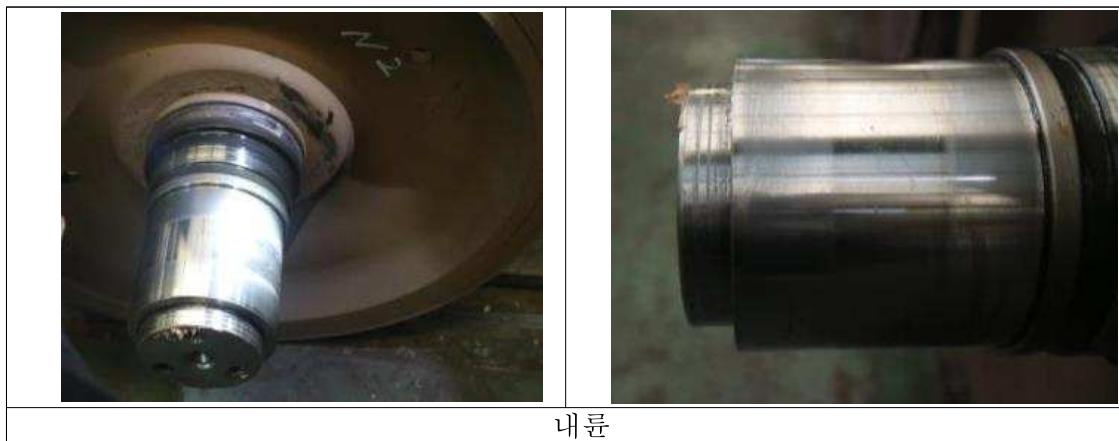
(아) 개발품 #8번





☞ N社 #1번 내륜 궤도면 마모 발생, 개발품 대비 심함

(차) N社 #2번



(3) 시험 후 차축 베어링 외관 검사 결과

- (가) 시험 기간(15. 11. 02 ~ 16. 10. 14, 42042.7km) 종료 후 개발품 #1 ~ #8 외관검사 결과 외관상 내, 외륜 궤도면 및 롤러 전동면 손상 없음
(나) 현차 시험 후 Grease 외관 검사 결과 변색이 없으며 양호함
(다) 특이사항 : N社 #1, 2번의 내륜 궤도면에 개발 시제품 대비 마모 발생

(4) 차축베어링 자분탐상 및 초음파 탐상 시험

- (가) 차축 베어링 초음파 탐상 시험 및 자분 탐상 시험결과
① 자분 탐상 시험 성적서 및 초음파 탐상 시험 성적서 취득
② 표면 및 내부 결함 발생 없음

(나) 개별로 연구원과 협력하고 사용하는 성과를 기반으로 유통과 기관별로 보상금을 지급하는 형식으로 성적 학술 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

외륜 #1~#8 A,B

내류 #1~내류 #8

(라) 개발품 롤러 #1 ~ #8 초음파 탐상 시험성적서

(마) 개발품 외류 #1 ~ #8 자분 탐상 시험성적서

(바) 개발품 내륜 #1 ~ #8 자분 탐상 시험성적서

자분 탐상시험 성적서		자분 탐상시험 성적서	
REPORT OF MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION		REPORT OF MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION	
 KTR 한국화학융합시험연구원 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE		 KTR 한국화학융합시험연구원 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE	
제작명 Item Name	내륜 #1	제작번호 Report No.	TAK-023805
제작일 Manufacture Date	2016. 12. 07	제작장소 Location	제작여행비로
재료 Material	SUJ2	제작일자 Date of Report	2016. 12. 07
활성화기 Examination Equipment	자분 Magnetic Particle	검사방법 Method of Test	N/A
제조사 Manufacturer	KTR	제조사 Manufacturer	N/A
제조모델 Model	MPT200E	제조모델 Model	N/A
형태 Function	SATELLITE/LEAVING POWER	형태 Type	14-NM
재료색 Material Color	Black	재료색 Color	Black
활성화방법 Magnetization Method	Black Light	활성화방법 Method of Magnetization	N/A
제작온도 Continuous	□ 여전히 Residual	제조자 Maker	TOKYO TECH
제작온도 Prof.	□ 여전히 Residual	모델 Model	BD-70
제작온도 Call	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Heat	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 AC	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 DC	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Magnetization Current	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Magnetization Direction	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Surface Temperature	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Before Heat Treatment	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 After Heat Treatment	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Applied Spec/Codes	ASTM E1444-16	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Procedure No.	N/A	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Rev. No.	N/A	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
그림 Sketch	첨부 Attachment	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
 12/07/2016 시험자 Examiner by		 12/07/2016 승인자 Approved by	
KTR-KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE		KTR-KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE	
내륜 #1~내륜 #8			

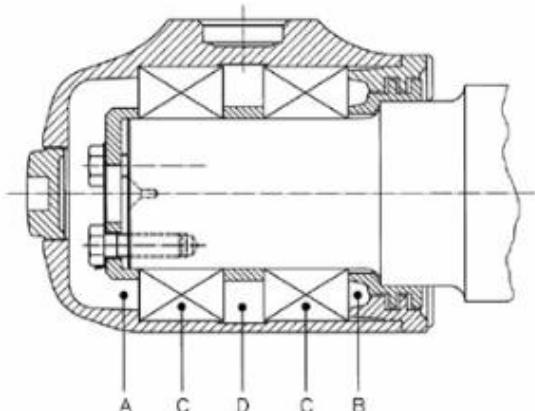
(사) 개발품 롤러 #1 ~ #8 자분 탐상 시험성적서

자분 탐상시험 성적서		자분 탐상시험 성적서	
REPORT OF MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION		REPORT OF MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION	
 KTR 한국화학융합시험연구원 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE		 KTR 한국화학융합시험연구원 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE	
제작명 Item Name	롤러 #1	제작번호 Report No.	TAK-033815
제작일 Manufacture Date	2016. 12. 07	제작장소 Location	제작여행비로
재료 Material	SUJ2	제작일자 Date of Report	2016. 12. 07
활성화기 Examination Equipment	자분 Magnetic Particle	검사방법 Method of Test	N/A
제조사 Manufacturer	KTR	제조사 Manufacturer	N/A
제조모델 Model	MPT200E	제조사 Manufacturer	N/A
형태 Function	SATELLITE/LEAVING POWER	형태 Type	14-NM
재료색 Material Color	Black	재료색 Color	Black
활성화방법 Magnetization Method	Black Light	활성화방법 Method of Magnetization	N/A
제작온도 Continuous	□ 여전히 Residual	제조자 Maker	TOKYO TECH
제작온도 Prof.	□ 여전히 Residual	모델 Model	BD-70
제작온도 Call	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Heat	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 AC	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 DC	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Magnetization Current	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Magnetization Direction	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Surface Temperature	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Before Heat Treatment	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 After Heat Treatment	□ 여전히 Residual	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Applied Spec/Codes	ASTM E1444-16	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Procedure No.	N/A	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
제작온도 Rev. No.	N/A	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
그림 Sketch	첨부 Attachment	제작온도 Temperature	Inductively 5~400
 12/07/2016 시험자 Examiner by		 12/07/2016 승인자 Approved by	
KTR-KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE		KTR-KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE	
롤러 #1~#8 A-1, A-2, B-1, B-2			

(4) 현 차 시 험가연우회를 고려해 준수 배수와 관광인 험로 험기 기술경쟁력을 확보해 주는 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

(가) 그리스 분석 기준

- ① 그리스 내 Fe 함량은 그림 5의 C 또는 D 영역에서 0.5% 미만이어야 하며, A 영역과 B 영역에서 1 % 미만이어야 한다.



Key

- A bearing locking cap side zone
 - B bearing thrust collar side zone
 - C bearing inaide zone
 - D zone between bearings

< 그리스 샘플링 위치>

- ② 시험 후 그리스 샘플은 아래 표에 따라 시험을 실시하여 확인한다.

<표 3.81> 그리스 시험

특성	단위	요건	시험 방법
점조도(consistency)	0.1mm	≥ 200 ≤ 380	ISO 2137 (1/4 cone)
적점(dropping point)	°C	>160	ISO 2176
함수량	%	≤ 0.2	ISO 3733
산화 안정성의 변화	cm ⁻¹	≤ 10	NF F 19-503

<그림 3.77> 그리스 성분 분석 시험 성적서

(나) 시험 결과 보고서원은 성과를 전달기관인 한국과학기술정보연구원에서 제공 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

- 현차시험 완료 그리스에 대한 공인기관 분석 결과, EN12082에 준하여 그리스에 서의 이상은 발견되지 않으며, 양호한 상태임.

<표 3.82> 그리스 시험 결과

특성	단위	요건	시험 결과	합격	비고
점조도(consistency)	0.1mm	≥ 200 ≤ 380	335	OK	ISO 2137 (1/4 cone)
적점(dropping point)	°C	>160	178~190	OK	ISO 2176
함수량	%	≤ 0.2	0.05 미만	OK	ISO 3733
산화 안정성의 변화	cm-1	≤ 10	0.015	OK	NF F 19-503
Fe 함량	mg/kg	0.5% ~ 1% 이하	0.005 ~ 0.043%	OK	EPA METHOD 3051A:2007

(5) 현차시험 공인시험성적서 취득 : TUEV 라인란드 16. 12. 15



7. IRIS 인증

국가연구개발 보고서원문 성과를 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 제공 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

가. IRIS 인증 추진

1) IRIS인증 개요

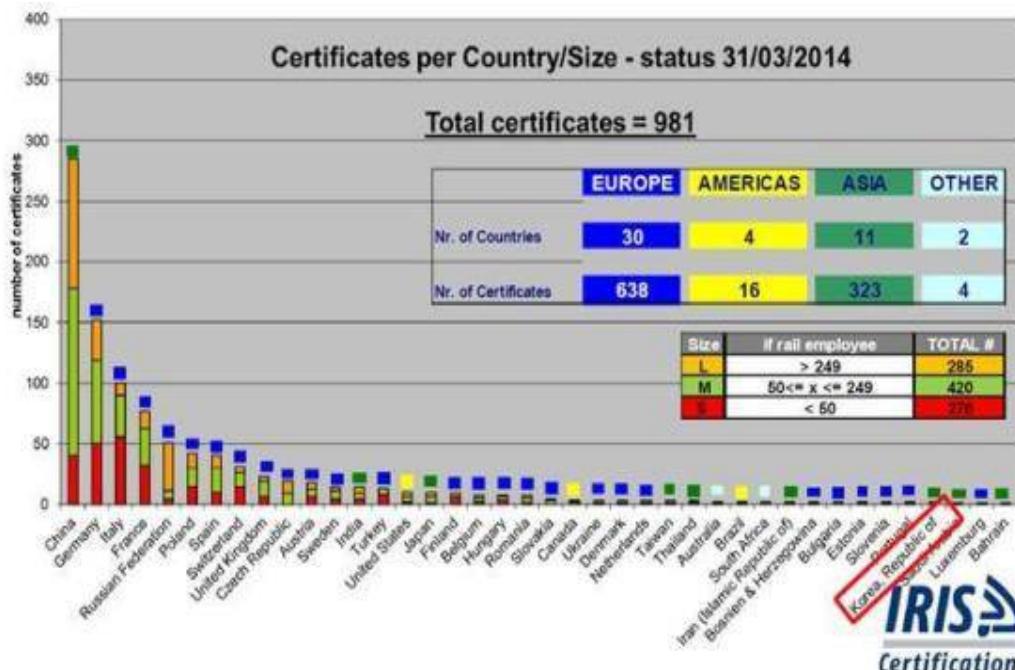
가) IRIS인증 목적

일진베어링아트의 사업특성에 맞는 IRIS BMS를 구축, 철도 비즈니스를 수행하는데 있어서 관련 리스크를 최소화하는 시스템을 구축하고 국제 인증을 취득하기 위한 필요한 요건을 갖추기 위해 IRIS 인증 추진을 실시했다.

나) IRIS 개요 및 특징

IRIS는 철도산업에 특화된 비즈니스 경영시스템을 평가하기 위한 공통의 글로벌 시스템을 개발하고 실행하는데 그 목적이 있다.

- ① IRIS는 철도산업에 특화된 핵심요소를 기반으로 한 국제적 규격
- ② IRIS는 일반의 규격(ISO 9001, ISO/TS 16949, ISO 14001 등)과 같이 인증에 국한하지 않고 시스템의 성숙도 (Maturity)를 유도하고 동종 업계간 우위를 가늠하기 위한 수단으로 운영하고 있다



다) IRIS인증 추진 목적

일진베어링아트 사업특성에 맞는 IRIS구축을 통해 품질을 포함한 프로젝트 전반의 취약요소를 제거/저감함으로서 고객에게 신뢰를 제공하고 나아가 해외 경쟁력을 확보하는 것에 그 목적이 있다.





2) 일진 베어링아트 IRIS 인증 추진 사항

(1) IRIS 인증 세부 추진 항목 및 계획

순	구분	세부추진항목	참여범위	주요산출물	추진일정계획					비 고
					1	2	3	4	5	
1	진단	IRIS 진단계획 Overviewing(진단협의 등)	MKM	-	1	2	3	4	5	IRIS Audit Tool 사용
2		진단계획수립 & 진단준비(IRIS Audit Tool 활용)	ProcessPartners	진단계획서						
3		진단	ProcessPartners	-						업무만이 아닌 현장포함 진단
4		진단결과 Reporting	ProcessPartners	진단보고서						
5		진단결과 Briefing(KOM 포함)	전부서	진단보고서						
6		세부추진계획	MKM	진단보고서						
7	교육훈련	인식 & 내부전문가 양성 교육교재 개발	ProcessPartners	교육교재						TQM IT 솔루션 포함
8		IRIS 인식교육	전직원	교육훈련일지						TQM IT 솔루션 포함
9		내부전문가양성교육	TFT	교육훈련일지						TQM IT 솔루션 포함
10	시스템 설계	IRIS 요구사항 vs. 일진의 핵심 프로세스 파악	일진&Process	프로세스목록등						
11		As-is 프로세스 맵핑(IRIS 특별요구사항 반영 및 B/M 포함)	일진&Process	프로세스표준						TQM IT 솔루션 활용
12		개선 이슈(IRIS 특별요구사항 반영) 도출(현장포함)	일진&Process	개선이슈						TQM IT 솔루션 활용
13		KPI 보강(KPI 파악, Owner지정, 정의, Action Plan 수립 등)	일진&Process	KPI목록						KO Questionnaire 포함
14		프로세스 To-Be 화(절차서 & 지침서 중심)	일진&Process	프로세스표준						TQM IT 솔루션 활용
15		기타 문서(작업표준서 중심) 표준화	일진&Process	개선Issue현황						TQM IT 솔루션 활용
16		BMS 매뉴얼 작성 보강	일진&Process	품질경영매뉴얼						TQM IT 솔루션 활용
17		1단계 검토	DKM	표준검토서						TQM IT 솔루션 활용
18		2단계 검토	관련부서	표준검토서						TQM IT 솔루션 활용
19		중간보고자작성	일진&Process	중간보고서						
20		중간보고	전직원	교육훈련일지						TQM IT 솔루션 포함

순	구분	세부추진항목	참여범위	주요산출물	추진일정계획					비 고
					1	2	3	4	5	
1	시스템 이행	IRIS 이행 관리표 작성(KPI Action Plan 수립 포함)	일진&Process	QMS이행표						TQM IT 솔루션 활용
2		시스템 이행 교육(각 표준& KPI 설정)	각 부서	교육훈련일지						
23		시스템 실행 및 문제점 모니터링(현장포함)	일진&Process	-						TQM IT 솔루션 포함
24		실행 문제점 시정조치 및 문서개정	전 부서	관련문서						
25	내부심사	내부심사원양성교육 교재 개발	ProcessPartners	교육교재						TQM IT 솔루션 활용
26		내부심사개획수립	ProcessPartners	심사계획서						TQM IT 솔루션 활용
27		내부심사체크리스트 작성	ProcessPartners	심사체크리스트						TQM IT 솔루션 활용
28		내부심사원양성교육	일진&Process	심사원교육수료증						
29		내부심사실시(IRIS Audit Tool 포함)	일진&Process	체크리스트 중						TQM IT 솔루션 활용
30	경영검토	내부심사 부적합사항 시정조치	각 부서	CAR						TQM IT 솔루션 활용
31		경영검토자료준비	일진&Process	관련자료						TQM IT 솔루션 활용
32		경영검토	각 부서	경영검토서						TQM IT 솔루션 활용
33		경영검토 후 지시사항 이행	해당 부서	이행계획서						TQM IT 솔루션 활용
34	인증심사(수검)	인증기관 인증심사 의뢰준비	주관부서	-						
35		1단계 심사(Readiness Audit) 수검 준비	주관부서	-						
36		1단계 심사(Readiness Audit) 수검	주관부서	심사결과보고서						TQM IT 솔루션 활용
37		1단계 심사(Readiness Audit) 결과 후속조치	각 부서	관련문서 등						
38		2단계 심사 수검 준비	TFT	교육훈련일지						TQM IT 솔루션 활용
39		2단계 심사 수검	전 부서	심사결과보고서						TQM IT 솔루션 활용
40		2단계 심사 수검 결과 후속조치	해당 부서	CAR						TQM IT 솔루션 활용
41	최종보고	최종보고서 작성	일진&Process	최종보고서						
42		최종 보고(사후관리 계획&지원방안 포함)	전 직원	-						

3) IRIS 인증 [추진국 연구기관 등록](#)과 서원문 성과물 전달기관인 한국과학기술정보연구원에서 제공하는 서비스는 등록 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

IRIS인증 획득을 위하여 관련 세미나 참석 및 Key-Man 세미나를 주기적으로 실시하여 내부전문성 확보 및 인증 심사 대응력을 강화하는 기회로 삼으며, 내부 전문인력 육성을 통하여 중장기적인 계획을 수립하였다.

1. TÜV 라인란드 IRIS 인증 세미나 참석		
<ul style="list-style-type: none"> ■ 일시 : 2014.11.05.(수) ■ 장소 : 서울역 4층 대회의실 ■ 대상 : IRIS 인증 키맨 ■ 강사 : TÜV 라인란드 ITALY Mr.Lasagna 		
2. IRIS 인증추진 Key Man 세미나 개최		
<ul style="list-style-type: none"> ■ 일시 : 2014.12.05.(금) ~ 06.(토) ■ 장소 : 제천 청풍 리조트 内 매화 연회장 ■ 대상 : IRIS KEY MAN 임직원(17명) ■ 강사 : 프로세스파트너즈 나승준 대표 		
3. RAMS 세미나 개최		
<ul style="list-style-type: none"> ■ 일시 : 2015.01.05.(월) ■ 장소 : 베어링아트 6층 대회의실 ■ 대상 : IRIS KEY MAN 임직원(17명) ■ 강사 : TÜV 라인란드 김영상 기술이사 		

<그림 3.64> IRIS 추진 활동 현황

나. IRIS 인증 결과



- 국내 철도차량 부품업체 : 약 300개 수준 ⇒ (국내 IRIS 인증 획득기관) LS산전주, 대원강업주, 유흥기공주, 주베어링아트,

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
국내외 기술동향 조사/벤치마킹	5%	100%	차축베어링 설계에 앞서 현 적용품 구입 및 벤치마킹 시행으로 성능이 향상된 베어링 개발을 완료함
차축베어링 특허회피전략 수립	5%	100%	베어링 분야 특히 회피전략 수립을 통해 플라스틱 케이지의 윤활성능 향상 측면의 특히 2건 등록 완료함
차축베어링 접촉형상 설계/응력해석	5%	100%	베어링 설계에 앞서 가장 기본적인 과정으로 베어링 내부 접촉(롤러 및 궤도면)부 응력해석을 수행함
차축베어링 기본설계, 샘플 제작 (플라스틱 케이지 포함)	5%	100%	차축베어링 기본설계 및 샘플제작을 시행하고 보완사항 도출
차축베어링 개선설계, 샘플 제작	5%	100%	차축베어링 기본설계 및 샘플제작을 통해 기술적 측면의 개선사항을 보완하여 시제품을 제작하였음(2차년도)
차축베어링 성능평가 (인장강도, 경도 등 기계적 성질 등)	5%	100%	차축베어링 샘플제작 후 기계적 성질, 화학적 성분 분석 등을 시행하고 신뢰성 확보차원에서 공인기관 시험성적서를 확보함
수명내구성능시험기 설계/제작 (관련규격 : EN12082)	10%	100%	국내의 경우, 철도차량용 차축베어링의 내구성 시험기 보유기관이 없는 실정이므로 유럽규격(EN12082)에 준하여 수명내구시험기를 자체 설계, 제작하여 차축베어링의 성능평가에 활용하였음
수명내구성능시험 시행 및 성적서 확보	10%	100%	유럽규격에서 요구하는 수준에 맞추어 수명내구시험을 시행하고 공인기관을 통해 관련 시험성적서를 확보하였음
해외인증(IRIS) 획득	10%	100%	IRIS인증(국제철도산업표준)은 유럽 내 철도산업분야에서 널리 통용되고 있는 인증으로 국내에도 획득업체가 5개 정도에 불과함. 향후 해외시장 진출 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대함
현차 적용시험 시행 (대불선, 온도 모니터링 시행)	30%	100%	한국철도공사의 현차 적용시험 절차에 따라 대불선(일로~대불)에서 4계절 현차 적용시험 시행을 완료하고 약 42,000km의 누적거리를 확보하였음.
차축베어링 성능평가(보고서 등)	5%	100%	현차 적용시험 종료 후 보고서 작성 및 공인기관 시험성적서, Certificate of Test를 확보였으며, 향후 영업본선에서 추가 시험 실시예정임
국내·외 홍보 (국토교통기술대전, Innotrans2016 등)	5%	100%	차축베어링 개발품을 대상으로 국내 학술대회 논문발표, 기고문 투고, 박람회 참가 등 다양한 방법으로 연구성과 홍보를 위해 노력하였음
합계	100점	100%	

2. 관련 분야 기여도

번호	구분	내용
1	기술도입기	기술의 잠재적 가능성만 있는 단계
2	기술성장기	기술개발국 및 일부 선진국에서 활용되고 있는 단계
3	기술성숙기	선진국 사이에서 활발한 기술이전이 일어나며, 기술의 표준화가 되어가는 단계
4	기술쇠퇴기	선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

- 차축베어링 구성부품의 소재 차별화(플라스틱 케이지 적용)를 통한 중량 저감 및 기존 품 대비 동등 또는 그이상의 성능 확보

구분	기존품	개발품	비교
도시철도 용 차축베어링	기본 동 정격 하중	895kN	932kN 4%수준 용량증대
	기본 정 정격 하중	1,520kN	1,562kN 2%수준 용량증대
	베어링 수명 (목표수명 : 500만km)	808만km	866만km 7%수준 내구수명 증대
	내구성능 (목표수명 : 60만km)	60만km 만족	360만km 만족 국제규격(EN12082)를 만족하는 내구수명 확보
	중량	32.1kg	27.7kg 무게 저감을 통한 효율 증대(14%수준)
	열처리(경도 HRC)	내/외륜 : 60~65 롤러 : 59~63	내/외륜 : 60~65 롤러 : 59~63 동등 수준의 소재 및 열처리 능력 확보
	정밀도	벤치마킹 수준 100% 기준	동등 수준의 정밀 가공능력 확보

기존 기술의 문제점

- ① 기존 제품의 경우 성능검증 완료 수준이며, 철도차량용 차축베어링은 현재 전량 수입하는 현실
- ② 도시철도차량의 경우 객차 및 구동/부수대차 구성부품의 90~95% 수준 국산화 완료
- ③ 철도 부품 소재산업의 활성화 및 국내 수요를 넘어 세계적인 경쟁력 확보차원의 부품 국산화 추진사업

기술의 차별성 및 효과

차별성

전동체(롤러) 가이드 역할을 수행하는 케이지 재질 변경(황동→폴리아미드) 및 차축베어링 중량 저감(약 14% 수준)

제5장. 연구개발성과의 활용계획

- 전량 수입에 의존하고 있는 차축베어링 국산화로, 생산성 향상 및 원가절감 노력을 통한 가격경쟁력 확보는 물론 철도운영기관 기술수요처와 공유하여 연구성과 상용화 가능
- 현재 차축베어링은 운영사에서 부품 발주 및 공급과정에서 약 1년 정도의 시간이 소요되나, 국산화 성공 시 부품 조달기간을 6개월 정도 단축시킬 수 있을 것으로 예상
- 차축베어링 손상 매커니즘 분석 및 손상 영향 분석 결과는 차축 손감 저감 및 유지보수 기초 자료로 활용 가능
- 차축베어링 개발 후 한국철도공사 대불선로(일로~대불)에서 4계절 현차 적용시험을 완료한 바 있음(누적거리 : 약 42,000km)
- 본 연구를 통해 개발된 차축베어링의 경우 전동차량이 운행하는 타 노선에서 성능을 확인할 필요가 있음. 따라서 개발품을 대상으로 영업본선(경부선 예정)에서 2차 현차 적용시험(최고속도 110km) 시행 예정임.
- 차축베어링 개발 성공 시 타 장치(대차 차축의 회전체, 감속기, 견인전동기 등 기타 회전체)에 응용하여 개발 가능



○ 기술적 측면 기대 효과

- 현재 베어링 관련 기술을 외국회사의 기술 수준과 개발에 맞추어 진행되고 있으나, 향후 국내 기술이 세계 차량의 기술을 선도할 수 있는 토대 마련
- 국내 철도차량용 차축베어링 국산화로 베어링 소재 원천 기술 확보 및 기술 선진국에 대등한 기술력 확보, 철도운영기관 부품 해외조달기간 단축(약 6개월), 해외시장 진출을 통한 베어링 분야 국가경쟁력 확보, 열차 주행 중 베어링 상태진단 모니터링 기술개발로 안전운행 확보
- 시험시설 및 내구성시험을 통해 국내에서 개발품에 대한 신뢰도가 확보 될 수 있으며, 차축 베어링 국산화의 기반 기술 확보가 가능

○ 경제·산업적 측면
[국내 연구개발 지원과 지원을 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 동의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.]

- 철도차량용 차축베어링 국산화 개발

- 철도차량용 베어링은 전량 수입에 의존하고 있어 이를 탈피한 생산성 향상 및 원가절감 노력을 통한 가격경쟁력 확보

- 철도공사 등 국내 도시철도공사 7개 기관의 철도차량 신규 도입, 유지보수용 재생부품, 해외 수출용으로 확대 가능

□ 공공부문 : 화차용/객차용/도시철도용/KTX용/경전철용 등

□ 민간부문 : 제철소, 광업소 등

- 철도차량용 차축베어링 수입대체 효과 : 5.6억 원/년

- 해외 수출 기대효과 : 109억 원/년(8% 점유 기준) □ 중장기적 관점

• 철도차량용 베어링과 유사한 크기의 중공업용 베어링 국산화 개발 과정에서 중간단계로 외경이 큰 철강, 제지, 선박, 풍력용 등 고부가가치 베어링을 본격적으로 개발 및 생산할 수 있는 기술기반 구축효과 기대

선진 기술수준과의 기술격차 해소

○ 차축베어링 구성부품의 소재 차별화(플라스틱 케이지 적용)를 통한 중량 저감 및 기존품 대비 동등 또는 이상의 성능 확보

구분	기존품	개발품	비고
도시철도 용 차축베어 링	기본 동 정격 하중	895kN	4%수준 용량증대
	기본 정 정격 하중	1,520kN	2%수준 용량증대
	베어링 수명 (목표수명 : 500만km)	808만km	7%수준 내구수명 증대
	내구성능 (목표수명 : 60만km)	60만km 만족	국제규격(EN12082)를 만족하는 내구수명 확보
	중량	32.1kg	무게 저감을 통한 효율 증대(14%수준)
	열처리(경도 HRC)	내/외륜 : 60~65 롤러 : 59~63	동등 수준의 소재 및 열처리 능력 확보
	정밀도	벤치마킹 수준 100% 기준	동등 수준의 정밀 가공능력 확보

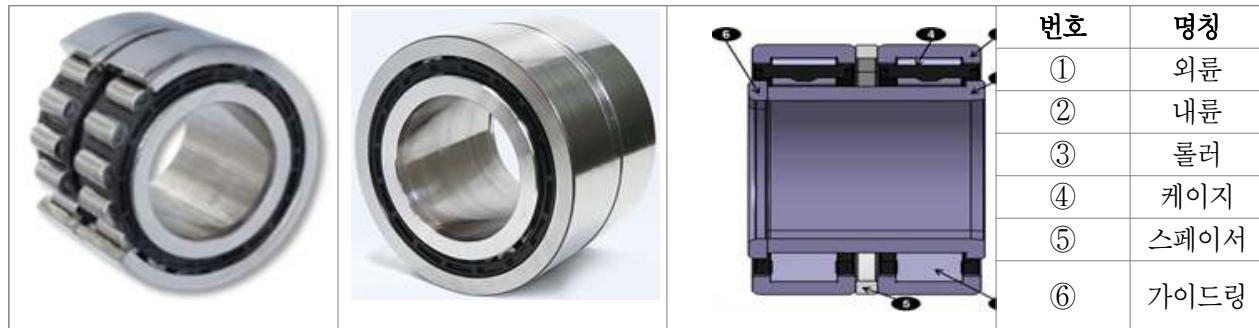
제6장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 계재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 계재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	윤활성능이 향상된 도시철도차량 차축베어링용 케이지	한국철도 공사	주관	한국		2016.11.15		
2	특허	돌기가 구비된 도시철도차량 차축베어링용 케이지	한국철도 공사	주관	한국		2016.11.15		

* (참고사항)주요 연구성과

■ 도시철도용 차축베어링 국산화 개발(국내 최초)

- 원통형 롤러베어링 탑입으로 기존 제품(NSK社)과 100% 호환 가능



- 유럽규격(EN12082)에 근거한 자체 수명내구성능시험기 개발 및 내구성 테스트 완료
 - 누적거리 360만km 수준의 수명내구시험 완료 및 Certificate of Test(TÜV Rheinland) 확보
 - ☞ 유럽규격(EN12082)에서 요구하는 수준(60만km) 만족
- 코레일 전동차량을 활용한 4계절 현차 적용시험 수행 완료
 - 시험기간 : 2015.11.02.~ 2016.10.14.
 - 시험장소 : 대불선로(일로~대불, 약 42,000km 수준의 누적거리 확보)
 - 시험차량 : 광명역 셔틀 4량 1편성(M'Car 대차 2Set에 차축베어링 8개 적용)
 - 현차 적용시험 수행 중 베어링 이상유무 판단을 위한 온도 모니터링 시행
 - ☞ 온도 모니터링 결과 기존품 대비 상대적으로 낮은 수준(약 3.5~7°C)
 - ☞ 시험 종료 후 베어링 분해, 이상유무 점검, 공인기관 시험성적서(한국화학융합시험 연구원 등) 및 현차시험 관련 Certificate of Test(TÜV Rheinland) 확보
 - ☞ (참고사항) 영업본선에서 2차 현차 적용시험 추진 예정(2017.03.22.~, 5개월)
 - 차축베어링 개발품에 대하여 다양한 시험노선에 투입하여 성능확인 예정
 - 대불선로의 경우, 속도제한으로 인하여 최고속도 90km/h 범위에서 운행
 - 영업본선에서 최고속도(110km/h)에서 운행 필요



■ 지식재산권 등록 및 출원 각 2건

- (등록) 윤활성능이 향상된 도시철도차량 차축베어링용 케이지 외 1건
- (출원) 철도차량 차축베어링 모니터링 시스템 외 1건



■ IRIS(International Railway Industry Standard, 국제철도산업표준) 인증 획득(주)베어링 아트)

☞ 인증서 발급기관 : TÜV Rheinland



■ 2015/2016 국토교통기술대전 참석(서울 COEX)

- 도시철도용 차축베어링, 120km/h급 화차용 차축베어링 및 패널전시 및 홍보

■ 국내 학술대회 논문발표 7건(대한기계학회, 한국철도학회/우수논문 1건)

- (논문명) 도시철도용 차축베어링 내부응력 해석(→2014한국철도학회 추계학술대회/우수논문상 수상)

■ 기고문 투고 2건(한국철도협회, 한국자동차공학회)

- <부품국산화>도시철도용 차축베어링 개발(2016.05., 한국철도협회 철도사랑)
- 도시철도용 차축베어링 개발 및 수명내구성능 시험설비 구축(2016.03., 자동차공학회 오토저널)

■ 차축베어링 국산화 성공 관련 언론홍보(2016.08.)

- 대상언론 : 조선일보, 충청투데이 등 20여개 매체
- 코레일 뉴스홍보(2016.08.01.~ 08.02)

■ Innotrans2016 세계철도박람회 참가 및 홍보(2016.09., 독일 베를린 엑스포센터)

- 대상언론 : 서울경제, 대전일보 등 30여개 매체
- 코레일 뉴스홍보(2016.09.22.)

- 철도차량용 차축베어링 수명내구성능시험기 자체 제작 및 성능평가 기술력 확보
 - 국내의 경우 철도차량용 차축베어링 수명내구성능시험기 부재
 - 유럽규격(EN12082)에 근거한 수명내구성능시험기 자체 설계/제작 및 개발품 내구성 테스트 시행
 - 수명내구성능시험 요구조건(200km/h급 이하 차량의 경우 600,000km)
 - 수명내구성능시험 누적거리 : 360만km수준(Certificate of Test 확보)



< 차축베어링용 수명내구성능시험기 >

제7장. 참고 문헌

국제기구개발 보고서원문 성과를 전담기관인 한국과학기술정보연구원에서 가공 서비스 하는 연구보고서는 등의 없이 상업적 및 기타 영리목적으로 사용할 수 없습니다.

- [1] KS B 2027, 원통로울러 베어링
- [2] KS B 2015, 구름베어링 측정방법
- [3] ISO 76, Rolling bearings-Static load ratings
- [4] ISO 281, Rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life
- [5] ISO 492, Rolling bearings – Radial bearings – Tolerances
- [6] EN 12080, Railway applications – Axleboxes – Rolling bearings
- [7] EN 12081, Railway applications – Axleboxes – Lubricating greases
- [8] EN 12082, Railway applications – Axleboxes – Performance testing
- [9] EN ISO 6507-1, Metallic materials – Vickers hardness test – Part 1: Test method
- [10] EN ISO 6508-1, Metallic materials – Rockwell hardness test – Part 1: Test method
- [11] EN ISO 683-17, Heat treated steels, alloy steels and free-cutting steels – Part 17: Ball and roller bearing steels
- [12] EN ISO 2639, Steels – Determination and verification of the depth of carburized and hardened cases
- [13] AAR(미국 철도 협회) Standard
- [14] NF(프랑스) Standard
- [15] SKF(Sweden) railway technical hand book
- [16] NSK(Japan) railway technical catalogue
- [17] FAG(Germany) Tapered roller bearing catalogue
- [18] KIPRIS 차축 베어링 특허 (케이지, 롤러, 내륜, 외륜, 모니터링)

주 의

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