R&D/II-1

고속철도 차량시스템 안정화 기술개발 연구보고서

2007. 10.

주관연구기관 / (주)로템
현대중공업(주)

참 여 기 업 / (주)로템
현대중공업(주)
유진기공산업(주)
유진전기공업(주)
(주)비츠로테크
정원산전(주)
인터콘시스템스(주)

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "고속철도 차량시스템 안정화 기술개발"의 중간보고서로 제출합니다.

2007. 10.

주관연구기관 : (주)로템/현대중공업(주)
대표이사 이여성/최길선
참여기업 : (주)로템
현대중공업(주)
유진기공산업(주)
유진전기공업(주)
(주)비츠로테크
정원산전(주)
인터콘시스템스(주)
대표이사 : 이여성
최길선
김정자
이재영
양 흔
오범근
손강호

■ 참여연구원 / 김재홍, 김국진, 이병석, 정병호, 장대성, 김연준,
민평오, 최권희, 전성현, 김창래, 곽종현, 김경하,
정 훈, 윤형주, 장경현, 정은성, 노애숙, 김대광,
조현욱, 김봉철, 김정철, 김두식, 이광주, 전세봉
박훈규, 차봉훈, 전영욱, 김동식, 조진영, 설연우,
구치욱, 이승석, 손강호, 심재철, 전성준, 오범근 외

요 약 문

Ⅰ. 제 목

고속철도 차량시스템 안정화 기술개발 (Ⅱ-1)

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

제1절 연구개발의 목적

고속철도기술개발사업, '차량시스템 안정화 기술개발' 과제는 차량시스템 안정화 시험 및 과제 참여기관 개발부문의 문제점 보완, 차량시스템 유지보수 체계구축 및 정비, 실용화를 위한 변경설계, 부품제작 및 성능검증, 기존선 연계 시운전 시험 및 영업시운전 시험 등을 통하여 '한국형 고속철도시스템의 신뢰성 확보로 안정화 및 실용화 기술개발'을 최종목표로 한다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

고속철도 시스템은 그 개발뿐 아니라 개발차량의 실용화를 위한 추가 기술 개발이 필수적이라 할 수 있다. 개발차량의 속도 증가 시험을 비롯하여 시스템 차원의 신뢰성과 안정성을 확보하기 위한 시운전 시험이 필요하며, 실용화를 위한 고속철도 안전 및 유지보수 관리 체계의 구축을 위한 기술개발이 이루어져야 한다.

2. 경제·산업적 측면

세계의 고속철도 시스템은 지속적인 기술개발과 고속철도망의 확장을 통해 향후에도 성장을 거듭할 것으로 예상된다. 고속철도는 사회적 간접자본으로서 중요한 역할을 하며, 특히 우리나라와 같은 좁은 국토에서는 고속도로를 무한히 건설할 수도 없고, 항공기의 노선도 제한적으로 운용될 수밖에 없다. 이러한 우리나라의 지리적 환경조건으로 볼 때, 시속 350㎞의 고속전철 개발은 자동차나 항공기보다 대량수송이 가능하고, 안정성이 우수하며 특히 항공기와 같은 시간적 생산성을 달성할 수 있어 사회활동의 활성화를 기할

수 있다.

남북철도 연결 사업을 비롯하여 유라시아 대륙 철도망 구축, 중국의 고속철도 건설 계획 등 국내·외 환경 변화를 고려할 때, 현 시점에서 고속철도 실용화를 위한 기술개발을 적극 추진함으로써 세계적 추세 및 주변 여건 변화에 적기에 대응 할 수 있는 기반을 다질 수 있다.

3. 사회·문화적 측면

국가철도건설사업은 국가의 미래를 좌우하는 것으로서 그 중요성은 기술, 경제, 산업 측면 뿐 아니라 사회, 문화적인 측면도 충분히 고려되어 수립되어야 한다. 고속전철 시스템은 현대적인 기술을 필요로 하고 있으며, 더욱이 철도차량 분야의 기술이 선진국에 비해 떨어져 있는 국내 현실을 감안한다면, 고속철도 개발사업은 국가의 사회, 문화적 측면에 끼치는 영향은 아주 크다고 할 수 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

당해연도의 연구개발 내용 및 범위는 아래와 같다.

1. 차량시스템 안정화 시험
2. 본선 시운전 시험시, 과제참여기관이 개발한 장치의 문제점 보완
3. 유지보수 검사 및 데이터 분석
4. 차량부문 실용화를 위한 변경설계
5. 연결구조체 및 연결용 부수대차 개발
6. 주요 전장품 신뢰성 확보방안
7. 제동부문 실용화를 위한 변경설계, 부품제작 및 단품시험
8. VCB부문 실용화를 위한 보완설계
9. SCU/VCU부문 실용화를 위한 변경설계, 부품제작 및 단품시험

Ⅳ. 연구개발결과

제1절 일반

1. 총 연구개발비

< 표 1 총 연구개발비 > (단위: 천원)

구 분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
정부출연금		1,800,000	2,100,000	2,340,000	2,960,000	3,760,000	12,960,000
민간부담	현 금	127,771	168,837	209,603	167,041	206,510	879,762
	현 물	472,242	531,163	647,397	1,032,959	1,277,490	3,961,251
계	현 금	1,927,771	2,268,837	2,549,603	3,127,041	3,966,510	13,839,762
	현 물	472,242	531,163	647,397	1,032,959	1,277,490	3,961,251
		2,400,013	2,800,000	3,197,000	4,160,000	5,244,000	17,801,013

2. 민간기업 참여현황(당해년도)

< 표 2 당해연도 연구기관별 민간부담금 > (단위: 백만원)

연구개발 과제명	연구기관 (책임자)	5차년도 연구개발비				계	참 여 기 업	
		정부	기 업				부담금	유형
			현금	현물	소계			
고속철도 차량시스템 안정화 기술개발	(주)로템	2,707	160	908	1,068	3,775	1,068	대기업
	현대중공업(주)	238	14	80	94	332	94	대기업
	유진기공산업(주)	397	16	141	157	554	157	중소기업
	유진전기공업(주)	113	4	40	44	157	44	중소기업
	(주)비츠로테크	60	2	21	23	83	23	중소기업
	정원산전(주)	156	6	55	61	217	61	중소기업
	인터콘시스템스(주)	90	4	32	36	126	36	중소기업
합 계		3,761	206	1,277	1,483	5,244	1,483	

제2절 차량 시스템

1. 유지보수 체제 구축

차량의 보증 수명 동안 정상적인 운행과 성능의 안정적 발휘를 위해서는 무엇보다도 기능 부품별로 정해진 유지 보수 일정 및 방법에 맞추어 관리하는 것이 매우 중요하다. 따라서 고속철도 기술개발사업 시제차량의 유지보수 체제 구축을 통해 유지 보수 항목별 검수 주기 방법을 규정함으로써 차량의 상태를 항시 최적의 조건으로 유지하는 것이 중요하다.

고속철도 기술개발사업 시제 차량의 유지보수 문서는 유지보수 지침서, 유지보수 기술문서, 부품검사 지침서로 크게 3가지로 구분되며, 기능별로 차체 설비, 전기 장치, 공압 제동장치, 기계장치, 공기조화 냉동장치 등으로 세분화 하였고 주기별 유지 보수 항목을 정리하여 보다 쉽게 유지보수 작업을 실행할 수 있도록 구성 하였다.

2. 실용화 보완

가. 동력차 부분

① 자동 연결기

10량 1편성 차량을 2편성으로 중련 운행할 경우 선두 편성차량의 모든 추진, 제동, 제어 신호가 후속 편성차량으로 전달될 수 있는 자동 연결기 설치가 필수적이며 차량 충돌시 효율적으로 승객 및 승무원을 보호하고 차량의 손상을 최소화 할 수 있는 자동 연결기의 사양 결정이 중요하다.

향후 국내 실용화 고속전철의 경우에도 고속 주행에 따른 공기저항을 최소화 하는 유선형 형상으로 전두부를 디자인하고 연결기의 커버부위인 노우즈(Nose)형상과 조화를 이루며 중련 연결시 노우즈 부위를 기관사가 운전실에서 원격 조정하여 자동 및 수동으로 레버를 사용하여 열수 있는 구조로의 설계 및 사양 검토를 진행하고 있다.

② 운전실 비상문

현 시제 차량의 운전실로 들어가기 위해서는 동력차 좌우 측 출입문을 통과하여 운전실 파티션에 설치된 1개의 문을 이용하여야 한다. 운전실내의 비상 상황 발생시 개폐가 가능한 운전실 사이드 창문을 통하여 탈출은 가능하나 선로에서의 높이 문제 및 측 선로에 운행 차량이 있을 수 있어서, 실용화 차량을 위한, 유사시 기관사용 비상 탈출 문의

추가를 위한 설계 검토가 진행 중이다.

운전실에 기관사 비상용 문을 추가하기 위해서는 고속 주행에서 발생되는 공력 소음이 운전실 실내로 유입되는 것을 방지하기 위한 기밀구조 및 비상시를 제외한 기관사 실수로 비상문이 열리는 것을 방지하기 위한 안전 잠금 장치의 구비 등에 관한 기본설계를 진행하고 있다.

③ 운전실 데스크

시제차량 제작 완료 후 현재까지 시운전 시험을 하면서 운전실 데스크에 배치된 각종 제어 스위치 및 레버들에 대한 사용 용도별 효율적인 공간 배치를 점검하고 사용 빈도에 따른 레버 재배치, 접근 용이성 및 기관사의 스위치 및 레버 조작 시 운행 중 전방 주시를 방해하는 요소 등에 대한 기관사의 개선 요청 사항이 있었으며, 실용화 설계 시 이를 반영하여 기관사의 조작 편리성을 고려한 설계가 진행 중에 있다.

④ 전두부 스포일러 및 전조등 Glass

현 시제차량은 우천시 빗물이 전면창으로 역류하여 기관사의 시야를 방해하는 현상이 발생하고 있다. 실용화 차량에서는 이러한 사항을 개선하기 위하여 스포일러 형태의 장치가 포함된 곡면 형상의 전두부를 개선하고자 한다. 전두부 스포일러는 공기 역학적 영향을 고려하여 고속 주행시 전두부 유선형 곡면을 따라 빗물이나 충돌물의 잔여물이 전면창으로 역류하여 기관사 시야를 방해하는 현상이 발생되지 않고 와이퍼 동작에 영향을 주지 않도록 유동해석 및 설계검토 중이다.

전조등 Glass는 전조등 위치를 전방으로 이동하여 겨울철 전조등 Glass에 눈이 쌓일 경우 전조등에서 발산되는 열로써 제거할 수 있도록 설계 진행하고 있다.

⑤기관사 시계 확보 및 운전실 공간

시제차량은 350km/h로 고속주행이 가능하도록 공기 역학을 고려한 유선형 전두부를 형성하였고, 미려한 단일 전면창 구조로 기관사의 전방 시야를 UIC 규격에 맞추어 확보하였다. 그러나 KTX 및 유럽의 고속전철 차량에 비해 전면창 끝단에서 전두부 노우즈 방향으로의 기울기가 완만하여 기관사가 선로 밑으로 시야를 확보하기 위해 필요한 거리가 상대적으로 길게 느껴지는 문제가 있다. 또한 국제규격에서 규정하는 기관사의 안전을 위한 운전실 체적이 다소 부족함으로 실용화를 위하여 운전실 공간을 확보 및 기관사 시야 확보에 대한 설계 변경작업을 진행 중이다.

나. 차체

실용화 차량은 10량 1편성을 기본으로 하고 승객수요에 대비하여 중련편성이 가능하게끔 해야 한다. 10량 편성으로 운행속도 300km/h로 주행하는데 편성 차량의 전후2대의 동력차 출력으로 충분하여 현 동력객차의 동력실부를 승객이 활용가능한 공간으로 변경이 요구된다. 현 시제차량의 동력실 부위는 추진장치의 냉각을 위하여 차체의 상하좌우에는 공기 출입을 위한 그릴이 설치되어 있다. 이 공간을 승객용으로 변경하기위한 차체분야의 설계변경 작업이 진행중이다. 또한, 동력실과 객실사이의 기존에 있는 단차를 흡수하기 위하여 설계 검토 중이다.

다. 설비 및 부품 보완

실용화 설계시 변경되는 가장 큰 부분은 동력객차를 객차로 변경한 단부 객차에서 기존 동력실 공간의 활용 방안, KTX 상업 운전후 발생한 민원사항 및 시제차량 운행 중 변경이 필요 부분의 반영이다. 이를 위하여 선진 차량의 설비 기술 및 경향을 파악하여 실용화 차량의 개념 설계 단계에서부터 적극 반영 중에 있다.
먼저, LAY-OUT은 단부 객차부터 시작한 2량을 1등 객차로 구성하여 2등 객실과 1등 객실의 분리가 자연스럽게 이루어질 수 있도록 설계 변경 진행 중이다.
부속실의 경우 휴식 공간, 장애자 설비의 확대, 측출입문의 출입부 높이 변경 및 화장실 설비의 모듈화, 짐칸의 도난 방지 설비 등에 대한 기본 설계가 진행 중이며, 객실의 경우 승객 정보 전달 방법 변경, 비상 창문 추가설치 및 KTX의 가장 큰 민원 사항인 회전식 의자 설치 방안, 선반 유리 반사 현상 해소 등을 검토 완료하여 설계 진행 중이다.

라. HVAC 및 상하기기

실용화 차량 제작시 현 시제차량보다 실내 공간을 넓게 하고 부속실에서의 장애인 이동 공간을 보다 더 확보하기 위해 실내 덕트의 변경이 요구된다. 즉, 객실의 보다 넓은 공간 확보를 위해 시제차량의 실내 덕트를 Floor하부로 이동하고 덕트를 기존의 함석판 용접구조에서 알루미늄 프로파일로 변경하여 제작함으로써 덕트 제작기간과 강도의 개선 및 실내 하부 공간 증가가 가능할 수 있도록 설계 변경 중에 있다. 이렇게 실내 덕트가 바뀌므로 부속실 덕트의 구조도 변경되며 전체적인 냉난방 공기 유동의 재분석을 위해 Mock-up 제작도 검토 중에 있다. 또한, 상하기기 취부방법을 현재의 Bolt-carrier를

C-rail에 삽입하여 취부하는 것에 추가하여 U자모양의 Bracket을 추가로 제작, 취부시 같이 조립함으로써 C-rail의 벌어짐 현상을 예방하여 기기 취부강도가 개선되도록 설계 변경 중이다. 아울러 차량에 취부된 상하기기는 Bay-frame과 Bay-partition에 의해 6개의 구역으로 나누어지며, 시제차량의 Bay-frame 구조는 차량 제작시 Cabling과 배관작업에 어려움이 많아 실용화 차량 제작시 설계 변경중이다.

상하기기의 유지 보수 작업이 현재의 시제차량보다 용이하도록 사이드 점검 커버부위 개선 및 상하기기 보호용 Underframe cover의 취부방법도 개선하는 등 상하설비의 유지보수에 대한 설계변경 작업이 진행 중에 있다.

마. 대차

현 시제차량의 동력객차 동력실을 객차 승객을 위한 공간으로 흡수하기 위해서는 동시에 대차부분도 이에 맞게 변경되어야 한다.
이를 위하여 기존 대차 프레임의 변경 및 차축 제동장치용 브라켓 추가, 횡방향 버퍼 브라켓 변경, 변경 하중에 맞는 현가장치 개발, 대차와 차체간의 연결장치 변경 설계, 안티롤바 타입 변경 및 윤축의 형상 변경 등의 설계가 진행 되고 있다. 그리고 객차의 관절대차 분야에서도 실용화 운행시에 특허분쟁의 가능성을 배제하기 위하여 새로운 개념의 관절장치를 개발중에 있다. 이에 따라 객차사이의 연결링 부분도 신규 관절장치를 취부할 수 있는 구조로 설계변경 검토 중이다.

바. 현가장치 보완

차량에서의 현가장치는 선로에서 오는 충격흡수 및 롤링현상 최소화 등 차량의 운행중 발생하는 각종 비정상적인 운동을 차단하여 고속 주행시의 안정성 확보에 중요한 역할을 한다.

일부객차의 주행중 흔들림 현상이 발생하여 검토결과, 국산화 개발품인 각종 댐퍼류와 가이드스프링 및 공기 스프링 등의 현가장치 문제로 판단되어 해외 유수의 업체제품으로 교체후 안정화되었다. 이는 국산화 댐퍼류의 성능 미달 및 고무 제품류의 특성치 및 구성 문제 등에서 기인하는 것으로 판단된다.

3. 차량 중점검

시운전 시험개시 3년 9개월 경과 및 주행거리 130,000km 시험에 따른 전반적인 차

량 중점검 기간이 도래하여 지난 2006년 3월 16일부터 4월 24일까지 약 1개월간에 걸쳐 전반적인 차량의 중점검을 한국철도시설공단 오송기지에서 한국철도기술연구원 및 연구기관(로템, 현대중공업, 유진기공산업, 유진전기공업, 비츠로테크, 인터콘시스템스, 정원산전)이 참여하여 일상점검, 월상점검을 통해 기계적 이완 조정, 오일교환 및 보충, 절연강화, 튜닝작업, 삭정, 주요전장품(추진장치, 보조전원장치, 제동장치, 열차진단제어장치, 에어콘, 신호장치 등)을 체계적으로 점검·보완 작업을 수행하였다.

< 표 3 주요점검 항목 및 조치내용>

차종	점검항목	조치내용
차량일반	동력차 운전실 소음	운전실 바닥, 천정, 측면, 출입문 등에 제진강판/차음고무/흡음재/다공판 취부
	동력차 전두부 스포일러	빗물 역류방지를 위한 스포일러 추가
	객차 차간 댐퍼지지대 보강	보강 브라켓을 Thread 형태로 수정보완 취부
	TT2 창문 교체	파손분을 신품으로 교체 작업
	Mud flap 교체(TT2 전후)	종전 Mud flap 탈거 후 신품으로 교체
	Strain gauge 설치(TM5-TT4)	실용화 설계시 적용성 검토를 위한 차량간 연결부에 스트레인게이지 설치
	사이드 버퍼 점검	제품의 내구성 시험(마모,성능확인), 마모 발생한 packing sealing류 교체
제동장치	공기압축기 점검	정밀점검 및 소모품(축씰, 오링, 패킹, 시트,링웨어링, 제습제 등) 교체, 리액처 추가
	와전류 제동장치 점검	월디스크 캘리퍼/주차제동실린더 보완품, 상/하 높이 조절장치 개선품 교체
대차	#3,4,5 공기 스프링 교체	크랙이 발생한 공기 스프링을 신품으로 교체
	동력차용 댐퍼 교체	Dispen사에서 Koni사 제품으로 변경
	#9 대차 전/후 윤축검사 및 테로텍스 작업	손상된 테로텍스 코팅제거, 초음파검사
전장품	판토그라프 점검	분해 및 세척, base frame 수평도 점검
	PC1/2 T/M Vent. Fan점검	분해 및 점검, Grease 주입 및 배출구 설치
	전장품 장치별 청소 및 점검	노후 부품 교체, 절연저항 측정
	추진장치 신뢰성 확보	IGBT 용량증대 및 GDU Board 보완
	객차 인버터 출력파형 개선	신규 필터취부 배선연결 및 출력파형 측정
	MVB board up-grade 작업	MVB 신품으로 교체 및 배선 라인 정리

4. 전문가 지적사항 및 조치내용

KTX 민원사항, 기관사 제안사항, 수요처 요구사항 등을 반영한 실용화 변경설계 항목을 검토하였음. 특히 2006년 4월 21일 한국철도시설공단(오송기지)에서 고속열차 분야별 전문가 정밀 진단실시 결과 총 107건의 지적사항에 대하여 104건을 조치 완료하였고, 잔여 3건에 대해서는 2006년 차량 중점검시 수행할 예정이다. 분야별 지적건수 및 조치현황은 다음 표와 같다.

< 표 4 전문가 지적건수 및 조치현황 >

수정주체	지적건수	조치건수	설계반영	조치예정	비 고
로템	37	36	37	1	미조치 항목은 차량 중점검시 수행 예정
개선반	46	46			
유진기공	10	8		2	
철도기술연구원	12	12			
현대중공업	2	2			
계	107	104	37	3	

제3절 안정화 시운전 시험

추진성능과 제동성능을 포함한 열차의 전반적인 안정화 및 신뢰성 시험에 치중한 결과, 지난 2004년 12월에 350㎞/h 주행시험을 성공적으로 달성하였고, 2002년 8월부터 2006년 9월 21일까지 총 324회, 약 150,300km의 주행시험을 수행하여 당해연도 연구목표인 4만km 주행시험을 달성하였다. 또한 2006년 12월말까지 주행거리 160,000km를 달성할 수 있도록 미진한 성능에 대해서는 지속적으로 수정/보완 작업을 수행할 예정이다.

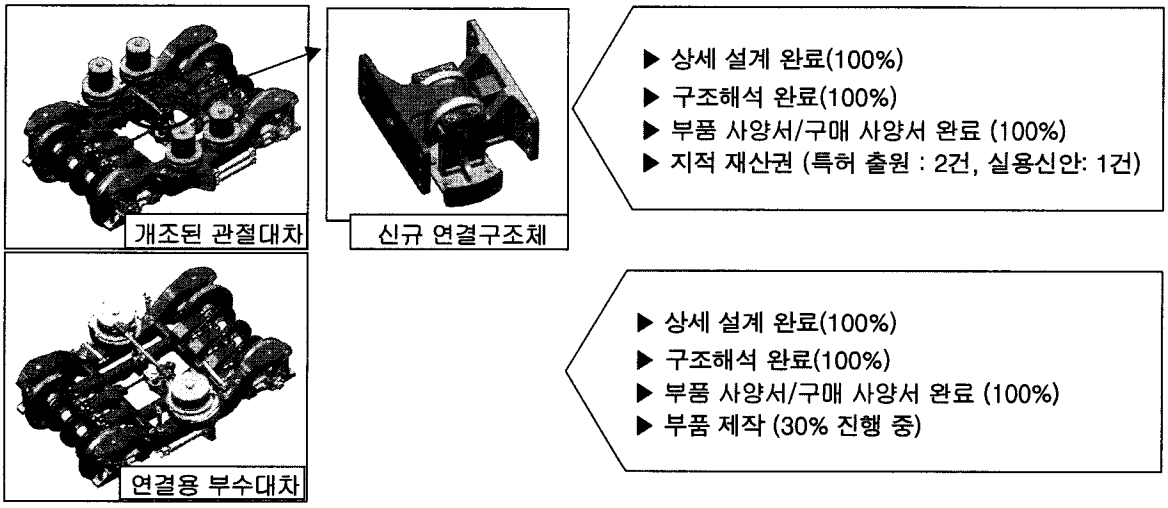
제4절 연결구조체 및 연결용 부수대차

당해년도 연결 구조체의 경우 3차년도에 정의된 연결 구조체의 하중 조건에 따라 구조해석을 실시하여 검증하였고 해석결과에 의한 최종 연결구조체의 형상과 도면을 작성한 후 제작을 진행하였으며, 연결용 부수대차도 구조해석과 제작을 병행 추진하였다. 또한,

< 표 5 시운전 시험 현황 >

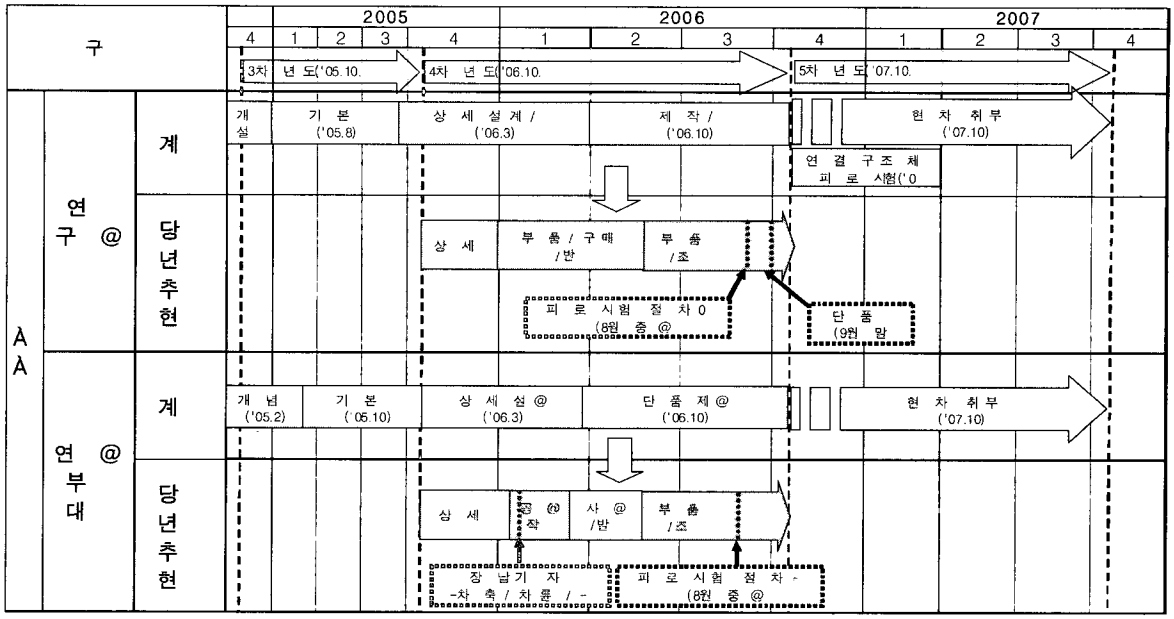
● 2003년 11월부터 2006년 9월 말까지 300m/h 안정화 시험 중 (시험횟수: 324회, 주행거리: 150,300km ● 2006년12월 말까지 16만km 이상 주행시험을 통한 신뢰성 확보 예정 (사업4차년도내 4만km 주행)			
구 분	시험운행	운행구간	주행거리
'02.08 ~ '04.07	주 1일, 2회 왕복	광명역 ~ 천안역 (70km)	280km/주
'04.07 ~ '04.08	주 2일, 2회 왕복	광명역 ~ 천안역 (70km)	560km/주
'04.09 ~ '04.10	주 3일, 2회 왕복	광명역 ~ 서대전역(120km)	1,440km/주
'04.11 ~ '04.12	주 4일, 1회 왕복	광명역 ~ 동대구역(270km)	2,160km/주
'05.01 ~ '05.11	주 4일, 1회 왕복	광명역 ~ 부산/목포역(400km)	3,200km/주
'05.12 ~ '06.9 현재	주 3일, 1회 왕복	광명역 ~ 동대구역(270km)/목포역(400km)	1,900km/주

개발되는 연결구조체를 차량에 적용하기 위하여 주변장치, 즉, 대차 및 차체의 인터페이스 부분을 연결 구조체에 맞도록 개조 설계하고 제작을 추진하였다.



< 그림 1 연결구조체 및 연결용 부수대차 >

< 표 6 설계 및 제작/시험 일정 >



제 5절 모터블록(로템 수행부분)

1. Motor Block 성능 개선

가. 주 전력변환장치의 저항 제동 기능 구현

사 구간 진입 또는 가선 전압이 29kV이상으로 가선이 회생 전력을 수용할 수 없을 경우 저항 제동을 실시한다. 저항 제동으로 생기는 제동력은 BCH를 통해 저항으로 소비된다. 저항 제동력은 저항 제동용 저항의 용량을 고려하여 회생 제동력의 60%로 한다.

(1) 구성요소

(가) BCH 스택

- IGCT, Free wheeling Diod
- Snubber 회로

(나) BCHRe

(2) 저항 제동 시퀀스

유도전동기는 기동 시 회전자의 자속이 형성되어야 하므로 발전 제동을 위해서는 충분한 DC 링크 전압의 확보가 중요하다. 그래서 회전자에 별도의 전류공급원을 가지는 동기전동기와

달리 유도전동기는 DC 링크 전압의 크기에 따라 저항 제동 동작에 제약이 따르게 된다.

저항제동 적용 후 초기 운행 시 잦은 고장이 발생 하였으며, 특히 저항제동 모드시 속도대별로 고장 발생 빈도 상이하였고 특히 100 km/h 근방에서 DC Link 과전압(VDOV) 고장 발생 빈도가 높았다. 또한,특정 속도대역에서의 저항제동 차단 문제를 해결하기 위한 프로그램 튜닝을 실시하며 전력제한, BCH Gate On 전압 등을 수정 및 보완 하였으며, 2007년 10월 8일 야간 제동시험 시 300km/h에서 정차 시 까지 정상적인 저항제동 동작을 확인하였다.

나. 주전력변환장치 컨버터 부 클램프 저항 보완

본선 시운전 중 빈번히 발생하였던 컨버터부 IGCT 소자 고장과 관련, 고장발생시 클램프 회로의 소손 경위를 분석한 결과 소자 고장의 영향 보다는 운행 중 클램프 회로의 계속적인 스트레스 누적으로 인한 크램프 회로 소손이 IGCT 소자 고장으로 확대된다는 판단으로 주전력변환장치 컨버터부 클램프 저항에 대한 보완 및 교체 작업을 실시 하였다. 또한 저항 교체 전/후의 클램프 회로 전압을 측정하여 클램프 저항에 따른 영향을 조사하였다. 현차시험 시 신규 클램프 저항 적용 시의 클램프 회로 전압의 리플이 더 작은 것으로 측정되었고 이는 신규 클램프 저항의 방전능력이 기존 저항보다 더 향상 된 결과라고 판단된다. 2007년 6월 12일 주전력변환장치 컨버터 부 클램프 저항 일괄 교체 후 10월 15일 현재 40여 차례의 본선 시운전 기간중 한건의 IGCT소자 고장 및 클램프 회로 소손도 발생하지 않았으며 그 상태를 계속 모니터링 중이다.

제6절 보조전원장치

1. 성능개선 및 보완설계

가. IGBT Stack 신뢰성 보완

정차 중 보조 블록 내 보조 컨버터의 입력 전류에 대한 변화율은 750[A]정도로 안정적이나, 고속 주행 시 주 변압기의 권선간 임피던스의 간섭으로 무효전력의 상승분에 의한 전류가 1500[A]이상 상승하여 간헐적인 입력 과전류 및 게이트 드라이브 고장 검지로 인한 재 기동 발생되었다.

보조 블록 내 보조 컨버터의 IGBT 소자 전류는 1700[V], 1800[A]의 소자를 선

정하였으나, 현차 실측치 결과 차량 조건의 여유분을 고려하여 IGBT 소자용량을 증대하여 RBSOA(Recovery bias safe operation area)의 영역을 좀 더 넓게 설정하고 보조 컨버터의 내구성에 영향을 미치지 않는 범위에서 정상적인 운행 및 보조 전원 공급을 하고자 1700[V], 2400[A] IGBT를 적용하였다. 또한, 입력단 공급전압을 안정시킨 IGBT 게이트 드라이버를 보완하였으며 Filter Capacitor에 연결되어있는 Bus Plate도 보완하여 Plate간 Frame 간섭을 최대한 피하고 절연효과를 증대하여 안전에 문제없도록 개선하였다

나. 모니터링 기능 적용 개선

보조 블럭 내 보조 컨버터 고장신호 발생 시 경고장일 경우에는 자동 재기동, 중고장일 경우 격리된 후 고장신호를 모니터 보드를 통하여 LED에 고장 발생 항목을 현시하도록 구성하였으나, 고장 발생 시의 각종 정보에 대한 기록을 수행할 수 있는 보드를 개발하여 적용하였다. 보조 컨버터의 운전 상태를 모니터링하여 실시간으로 PC의 Monitor에 수집된 정보를 현시하며. 보조 컨버터의 제어기에 저장되어 있는 고장 DATA를 전송받아 아날로그 신호와 디지털 신호로 나주어 PC의 Monitor에 현시하고 프린터에 연결하여 수집된 정보에 대한 출력이 가능하다.

다. 보조 컨버터 1, 2군 동시 기동 방안

보조 블럭 내 보조 컨버터 1군 및 2군을 동시 기동하여 차량 운영이 안정적으로 이루어지도록 하였다.

이를 위해 주회로 변경, Busplate 보완설계,Blocking Diode 추가 설치 및 배선 등의 작업을 진행 하였으며 현차 시험 및 본선 시운전을 통해 그 기능을 확인하였다. 1,2군 동시나 임의군 고장시 입력 및 출력의 이상 현상이나 보조전원장치 차단 현상등은 없었으며 임의군 고장 발생 시에도 정상군의 출력으로 안정적인 전원공급이 가능해 졌다.

제7절 견인전동기

1. 실용화 보완설계

ROTOR SHAFT는 회전자 철심 부분의 응력변화와 철심이 변형, 온도상승에 충분히

견딜 수 있도록 설계되었다. 전자 철심(ROTOR CORE)은 1열의 통풍구를 적용하여 냉각 특성이 향상되도록 설계되었다. 통풍구는 회전자 바(BAR)에서 발생하는 열원을 냉각시키며, 열이 축으로 전달되는 것을 차단하기 위한 것이다.

고정자 코일은 다상 교류전원을 수반하여 회전자계를 유도하고 전자기적 토오크를 발생시키는 중요한 전기회로 매개체이다. 인버터 전원에 의한 써지(Surge) 전압 및 내압에 견딜수 있도록 절연 등급을 200 Class 절연으로 하였으며, 1 Turn당 평균 길이가 1640mm로 제작되었으며, 2개의 소선으로 구성되었다.

고정자 코일은 다상 교류전원을 수반하여 회전자계를 유도하고 전자기적 토오크를 발생시키는 중요한 전기회로 매개체이다.

인버터 전원에 의한 써지(Surge) 전압 및 내압에 견딜 수 있도록 절연 등급을 200 Class 절연으로 하였으며, 1 Turn당 평균 길이가 1640mm로 제작되었으며, 2개의 소선으로 구성되었다.

전동기의 특성, 손실, 온도상승, 가격 등을 고려하여 설계하였다. 통풍홀은 1열로 설계하여 자속의 흐름에 대한 손실을 감소시켰다. 그리고 END FRAME D.E.는 STATOR CORE와 STATOR CORE END PLATE를 지지한다. 또한 고정자 권선의 상호결선을 위한 공간을 확보하였고, 전동기 내부 공기가 외부로 원활히 배출 될 수 있는 구조로 설계되었다.

END FRAME은 주강품으로 기어박스와의 조립을 위한 인터페이스를 고려하였으며, 차량의 진동에 충분히 견딜 수 있도록 견고하게 설계되었다. 고정자용 END RING은 고정자 권선으로의 전원투입과 중성점 연결을 목적으로 설계한 링 타입의 연결부이다. 결선 작업 시 작업이 편리하도록 설계되었다.

차량의 고속운행으로 인한 진동 등에 대처하기 위해 강도와 구조적 안정성을 고려하였다. 단자함의 연결부 경우, 입력전원의 Impulse에 대하여 충분한 절연성을 가지도록 Kapton으로 절연 보강을 하였다.

2. 현차 시험

당해연도에도 지속적인 현차시험에 대한 견인전동기의 외관 상태, 온도 상승 및 인터페이스부 등의 이상 유무를 확인하였다. 시제차의 견인전동기는 320km/h까지의 시험운행에서 만족스러운 특성을 보여 주었다.

제8절 제동장치

제동시스템 전체의 안정화를 위하여 제동분야에서 중점적으로 추진한 사항은 첫째, 본선시운전 시험을 통한 제동데이터 수집. 둘째, 전자제어장치의 안정성에 문제점이 발견된 개소의 수정/보완 방안 연구. 셋째, 구원운전전자제어장치(BTCU)의 신호인터페이스 개선 연구 및 회로제작, 실차 적용 시험. 넷째, 시제차량의 본선시운전 과정에서 발생된 상구배에서의 정차제동 로직 개선방안 연구 및 이를 실현하기 위한 차량제어회로의 반영 작업, ECU 내부 소프트웨어 수정 작업 후 실차 동작시험 등을 수행하였다.

당해연도 주요 연구 성과로는 본선시운전 시험을 통한 제동데이터 수집, 초기 회로설계 오류로 인한 제동장치 운용상의 오류 발견 및 수정/보완, 활주방지 관련 전자밸브의 변경 설계 및 적용에 대한 연구가 수행되었다.

1. 제동전자제어유니트 수정보완

제동제어전자유니트(ECU)의 내부 소프트웨어의 주요 보완 내용은 운전자 정차제동 지령기능의 추가이고, 또 다른 하나는 BC압력 피드백 제어루틴의 오차감쇄 비율의 수정을 완료하였다.

2. 활주방지제어장치 압력제어밸브 변경설계 및 제작시험

1차년도의 시운전 증속 시험시 발생한 찰상사고는 활주방지제어를 담당하는 제어시스템의 문제뿐만 아니라 제동 작용 시 실린더 내부의 공기압력을 신속하게 배출 시켜주는 압력제어밸브의 성능에도 문제가 있었다.

이 문제를 근본적으로 해결하기 위하여 덤프밸브의 내부 동작 메카니즘을 기존의 피스톤 운동방식의 전자밸브 구조에서 다이아프램 작동 방식으로 변경하여 재설계 및 제작완료 하여 시제차량에 탑재하고, 현재까지 동작상황을 관찰하고 있다.

3. 휠디스크 제동장치 캘리퍼 구조 변경 설계

휠디스크 제동장치용 캘리퍼는 최초 설계 당시의 취부 구조 상 하중분포측면에서 불균형 조건인데다가 상부레버와 하부레버가 분리된 형태여서 대차의 상하 진동 시 구조상으로 많은 취약점이 있었다. 이러한 설계변경 요소를 반영하여 캘리퍼의 레버부분의 주물품을 제작 진행하고 있으며, 시제차량의 종합 점검 시 대차부분을 분해 조립 할 때, 변경

된 제품으로 장착 할 계획이다.

4. 구원운전제어장치 내부회로 변경설계 및 제작시험

디젤기관차에 의한 피구원모드 상태에서의 시제차량의 회송과정에서 발생되었던 제동지령 전달기능 오류현상에 대하여 검토하고, ECU의 PWM신호 입력 회로와 BTCU의 PWM 출력 인터페이스 회로를 면밀하게 조사한 결과 BTCU의 PWM신호 출력 회로의 구동능력에 문제가 있음을 발견하여, 1차적으로 ECU의 입력 측 회로를 수정하여 구원회송 작업 시 적용하여 보았으나, 근본적인 해결 방안은 BTCU의 회로를 전면적으로 수정해야만 가능하다는 결론을 얻었다. 이에 따라, 해당 회로를 제작하여 시험하고, 장치를 수정조치 하였다.

이외에도 다음과 같은 수정 보완 작업들이 당해연도에 수행되었다.

- 열차속도연산장치(SPMD) 주변 노이즈에 의한 오동작 현상 보완작업
- 사이드버퍼, 주공기압축기, 제동제어공압판넬 보수유지 및 보완작업
- 휠디스크 및 축디스크용 소결마찰패드 비교시험 및 교체작업
- 판토그래프 정적 압상력 점검

제9절 VCB 및 Safety 스위치

당해연도에는 주차단기 사용 시험 및 보완, 접지 스위치 및 Safety 스위치 사용 시험 및 보완, 판넬도어의 인터록 시스템 내부 통합을 연구목표로 설정하여, 주차단기 소음문제를 개선(110dB --> 68dB)하였고, 조작기 로드 풀림 방지와 유지보수가 용이하도록 잠금장치를 개선하였다. 또한 접지 스위치 및 Safety 스위치와 인터록 시스템을 설계 및 연계동작 등에 대한 연구를 수행하였다.

제10절 진단처리 및 열차제어시스템

1. 실용화 보완설계

한국형 고속열차의 시스템 구성은 동력차에 설치되는 SCU 마스터, 슬레이브가 있고 운전실에 설치되는 지원정보화면, 차량정보화면이 있다. 객차에는 VCU가 설치된다. SCU, VCU는 차량의 데이터 수집 및 로직 처리를 담당하며 운전실에 설치되는 지원정보화면과 차량정보화면을 통해 검수원의 검수 지원 및 승무원의 운전지원을 한다.

통신방식은 TCN(Train Communication Network)으로 IEC 61375-1의 표준규격을 준수하여 하드웨어 설계, 소프트웨어 설계를 진행하였으며 차량간 통신방식인 MVB(Multifunction Vehicle Bus)와 차량과 차량사이의 통신방식은 WTB(Wire Train Bus)로 이중화 통신 방식을 사용하고 있다.

SCU, VCU는 유럽제품의 E2Brain의 MPC860 모듈을 사용하여 CPU보드 및 G/W보드를 새로 제작하였으며 OS(Operatin System)는 VxWorks를 사용하여 어플리케이션을 구현하였다. DIO, AI 보드도 VME로 인터페이스 될 수 있도록 새로 제작하였다.

MVB 통신의 경우 기존 대비 IEC 61375-1 규격을 준수하여 하부장치의 MVB 인터페이스 카드를 새로 제작하여 OBCS와 인터페이스 되도록 재 설계 제작하여 장착하였다.

화면장치의 경우 차량정보화면, 지원정보화면은 MVB 카드를 안에 장착하여 PC타입의 판넬 PC를 사용하였으며 해상도는 800*600을 지원하며 온도 특성이 매우 우수하고 매우 빠른 속도의 특성을 가지고 있다.

2. SCU/ VCU 안정화 시험

SCU & VCU 와 TCN Network 통신시험 및 안정화 시험으로 다음과 같은 시험이 수행되었다.

- TCN Network 통신 Cable 연결 확인 작업
- 열차내 Network 통신 Cable 연결 포설확인작업
- 모터블록 격리 및 견인/제동 전류치 통신시험
- 유치선에서 MB와의 Network 통신시험 및 본선시운전시험
- MB의 각 상태에 의한 접점시험 및 현시시험
- TCN Network 통신 및 Gateway 통신시험
- 각 통신 Port Data Monitoring시험
- MB Network data 운전석 표시장치 Sink 시험
- PC 1 Car Network 통신 시험
- PC 2 Car측 CSS 제어 Logic 시험
- PC 2 Car측 TCN Network Port 통신시험
- 본선시운전관련 사전 TCN Network 통신시험
- 본선시운전관련 PC 2 Car Display 1 S/W작업
- PC 2 Car 운전석 Display 1 동작시험
- TCN Network 통신시험

● 초기기동시 TCN Network 통신 Error 점검

제11절 설계용역 및 시운전 시험 기술용역 투입 현황

차량시스템 안정화 시험을 보다 효율적으로 수행하기 위해 고속철도기술개발사업 1차년도부터 시운전시 발생되는 설계개선사항과 시운전 시험 지원업무 및 차량 중점검을 에스테크(주)에서 수행하고 있으며, 당해연도에도 설계인원 및 시운전 전담인원을 표 7과 같이 매월 투입하여 사업을 성실히 수행하였다.

< 표 7 기술 인력 투입 내용 >

분 야			2005년		2006년										합계
			11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	
설 계	투입인원		2명	2명	2명	2명	3명	3명	3명	4명	4명	4명	4명	4명	37명
시운전 시 험	투입인원		6명	6명	6명	6명	6명	6명	6명	6명	6명	6명	6명	6명	72명
	시간 (M/H)	정시	1,121	1,188	984	1,080	1,149	1,065	1,080	1,134	1,134	930	1,121	1,188	11,986
		조출	63	57	24	45	9	0	40	53	53	5	63	57	412
		잔업	357	239	405	172	171	151	72	181	181	59	350	239	2,338
		근문 시간	1,541	1,484	1,413	1,297	1,329	1216	1,193	1,368	1,368	995	1,534	1,484	14,738

제12절 주전력변환장치(현대중공업 수행부분)

1. 주전력변환장치 안정화 시험

가. 새로운 Type의 전력용 반도체 소자적용

새로운 Type의 전력용 반도체 소자를 시험하여 1호기에 장착하여 본선에 적용하였다. 전력용 반도체 소자를 교체하고 스택을 구성하여 스위칭 특성 시험을 하였다. 부하를 단락시켜 6,000A의 대전류를 차단하는 데 성공하여 본선에 적용 시운전 중에 있으며 튜닝을 통해 안정성 향상 시험 중에 있다.

나. New IGCT 소자 적용

신뢰성 향상을 위해 용량이 증대된 New IGCT 소자로 적용하여 2호기에서 본선 시운전 중에 있다. New IGCT 적용에 따라 다이오드 및 클램트 저항 용량을 함께 증대하여 본선 시운전 중에 있으며 튜닝을 통해 안정성 향상 시험 중에 있다. 또한 클램프 저항과 클램프 커패시터간의 연결을 용이하게 하기 위해 취부구조도 변경하였다.

다. 새로운 Analog Board 기능시험 및 제어기 점검

주전력변환장치의 PWM 컨버터는 전원위상 검출을 위해 가선전압을 센싱한 후 소프트웨어 위상 동기화 루프(Phase Locked Loop, PLL) 방식을 채용하고 있다. 적용된 PLL 알고리즘은 센싱된 가선전압에 노이즈 혹은 왜곡 성분이 포함되어 있을 경우, PWM 인터럽트 주기가 그렇지 않을 경우에 비해 상대적으로 크게 변동하기 때문에 입력전류의 위상 및 크기가 변동하는 문제점을 가지고 있다. 가선전압 왜곡은 특히 고속선이 아닌 기존선 구간과 사구간 전후에 특히 심한 경향을 나타내고 있는 것으로 보고 되고 있다. 가선전압 왜곡으로 인해 무부하 운전시 직류전압이 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본선시운전에 적용할 AIO 보드의 필터계수를 선정하고 제어기의 상태를 점검하였다

라. 팬용인버터 제어기의 Power Supply 안정화

팬용인버터의 Power Supply의 오동작을 막고, 전원을 안정화하기 위해서 가변저항으로 되어있던 전압 조정용 저항을 고정저항으로 취부하여 안정성을 향상시켰다.

마. 주전력변황장치 제동저항 점검

제동저항의 안정성을 확보하기 위해 제동저항 사이의 이격거리확보 하였고 발열을 보

다 효율적으로 하기 위해 제동저항의 통풍 보완을 실시하였다. 최종시험된 제동 저항을 내압 시험을 거쳐 차량에 장착하였다.

바. 컨버터부 튜닝

가선전압은 동일 가선을 사용하는 차량의 영향으로 인해 상당량의 전압 Dip 등으로 왜곡되어 있음을 확인할 수 있다. 이러한 파형 왜곡의 정도는 동일한 것이 아니라 구간별로 다르기 때문에, PWM 컨버터의 입장에서 볼 때 입력전압의 위상을 안정적으로 검출하기 어려워지는 문제가 발생하게 된다. 또한 부정확한 입력전압의 위상은 PWM 컨버터 제어시 입력 과전류 혹은 출력 전압의 변동 등과 같은 문제점을 발생시킬 수 있다

이를 해결하기 위해 시뮬레이션 결과와 본선시운전을 통해 얻은 자료를 분석하여 가선왜곡, 역률제어, 직류전압일정제어 이득을 튜닝하였다. 또한 컨버터 출력전압에 기존의 필터를 120Hz Band Pass Filter로 변경/적용하고, 견인권선간의 임피던스 간섭을 최소화하도록 변압기 2차측 권선을 변압기 2차측 동일 레그에 PWM 컨버터 1대만 이용하고, 나머지 PWM 컨버터는 변압기 2차측 타 레그에서 사용하도록 하였고, 컨버터 제어의 PWM 값을 계산하는데 최소 ON TIME을 조정하였다.

제13절 열차진단제어장치(현대중공업 수행부분)

1. SCU & VCU 및 운전 표시장치안정화 시험

가. SCU & VCU 제어기 기능 수정 보완

(1) SCU, VCU I/O BUS Part MPM(Main Process Module)수정

① CPU를 변경(MPC860 -> KS8695x)하여 Input, Out Data 처리속도가 향상되었다.

② CPU내부에 EtherNet Controller가 2 Port 내장되어있어서 Input Data처리를 하기 위한 LAN Port외에 Debug용 LAN Port의 추가적인 사용이 가능해졌다.

③ 기존에 Accessory Board로서 추가적으로 삽입하였던 232-to-485 COM Module을 MPM Board에 직접 설계, 탑재하였기 때문에 열차내의 진동과 Noise의 외부 불안정 요인에 대해서도 안정적인 Data 처리를 가능하게 하였다.

④ 기존에 Accessory Board로서 추가적으로 삽입하였던 232-to-Current Loop COM Module을 MPM Board에 직접 설계, 탑재하였기 때문에 열차내의 진동과 Noise의 외부 불안정 요인에 대해서도 안정적인 Data 처리를 가능하게 하였다.

⑤ UART(Z8523010VSC)소자를 2개 탑재하여 Data처리용량 증가에 따라서 Serial COM port를 2 port 더 추가로 사용할 수 있다.

(2) SCU, VCU I/O BUS Part AIM32 CARD수정

① 기존에 2 Layer의 PCB를 4 Layer PCB로 수정하였다. 따라서 Noise가 많은 현장 상황에서도 안정적인 Data의 처리를 가능하게 하였다.

② 열차의 가선전압을 입력받는 A/D Converter에 Hardware Calibration을 가능하도록 하였다. 따라서 현장상황에 맞게 Offset값을 조절하여 정확한 Data의 취득을 가능하게 했다.

③ 전류입력(4~20mA) 채널에 사용되는 소자를 기존의 RCV420 (Current-to- Voltage Converter)에서 OpAMP(TL084)로 수정하여 정확한 Data의 입력을 가능하게 하였다.

(3) SCU, VCU I/O BUS Part DIM32 CARD수정

① DIM32 Card는 열차의 Sensor로부터 72Vdc를 직접 입력받아서 Data처리를 하기 때문에 현장의 순간적인 과전압으로부터 Card를 보호하고 안정적인 Data의 취득을 보장할 수 있어야 한다. 따라서 NEW DIM32 Card에서는 각 입력채널별로 TVS(Transient Voltage Suppressor)를 탑재하였기 때문에 순간적인 과전압에 대한 Card의 보호는 물론 안정적인 Data의 처리를 보장하고 있다.

나. 시운전 시험

① 전체 CSS 제어 Logic의 61개 항목을 동력차 및 동력객차, 객차에 대해 자체 Logic 및 공장내 확인시험을 실시하여 100% 성능 확인하였다.

② 정적시험 35개 항목 & 동적 30개 항목에 대해 확인시험을 실시하여 100% 성능 확인하였다.

③ 운전자 표시화면의 사용자 요구사항에 따라 화면의 표시내용을 개선하였다.

제14절 Battery Charger

1. 배터리 충전기의 전력회로 보강

보조전원 장치에서 670VDC를 받아 72VDC로 변환하는 배터리 충전기는 차량의 모든 제어전원을 공급하고, 차량의 배터리를 충전하는 역할을 한다. 이 배터리 충전기의 입력 전원

인 보조전원 장치의 670VDC의 품질은 배터리 충전기의 동작에 큰 영향을 주게 된다.

2. 배터리 충전기 제어기 노이즈 보강

차량의 접지 라인이 배터리의 (-)라인과 함께 연결되어 있어 차량 전체에서 발생되어지는 모든 노이즈들이 배터리 충전기의 제어기로 유입되고 있다. 또한, 배터리 충전기의 제어기는 차량 배터리 팩의 나이프 스위치를 통해 직접 연결되어 있어 착탈 시나 배터리 전원 투입 시에 고전압 서지에 의하여 오동작을 일으키는 경우가 발생하였다. 이를 보강하기 위하여 제어기 입력단에 L-C필터를 강화하였다.

제15절 주변압기 부분(최종 보고서에 반영예정)

제16절 열차통신네트워크((최종 보고서에 반영예정)

V. 연구개발결과의 활용계획

개발 완료시 기 추진중인 호남고속전철 사업 또는 계획중인 동서 고속전철 사업 및 향후 예상되는 국내외의 고속전철 사업에 적용시 대외 기술에 의존하지 않고 독자적으로 신뢰성 및 안정성 있는 고속철도 차량의 개발에 적용될 수 있다.

차량시스템 안정화를 위한 내구성 시험을 통해 차량시스템 및 구성품에 대해 얻어진 각종 데이터는 실용화단계에서 차량의 유지보수 및 운영에 활용될 수 있으며, 개발기간 동안 수행하게될 유지보수 및 정비를 통해 차량시스템 유지보수 체계를 구축하고 향후 실용화 단계에서 이를 활용함으로써 보다 경제적이고 효율적인 운영이 가능함은 물론 신규 차량의 설계, 제작시에도 폭넓게 활용함으로써 경부고속전철 이후에 건설되거나 계획되어있는 고속철도 사업의 기반기술로 활용될 수 있다.

Summary

☐ **Goals**

The purpose of Korean High Speed Train project named 'the development for stabilization of vehicles system' is to secure reliability for bullet train and put to practical use.

The necessity of technology development is to secure especially our own intelligence on the design, system interface, on-line test through the connection existing track and prepare potential demands for the near future. In this year, we sucessfully completed various outstanding things like doing the stabilization test, revising the issued point and supplementing the design and the manufacturing.

☐ **Results and Scope of the project**

○ **Stabilization Test**

1. Stabilization test for vehicles system
2. Supplement on the point at issues occured on-line test
3. Inspection and Data Analysis
4. Modification Design and manufacture for stabilization:
   In the Dampers of inter-carbody.
   In the Braking system.
   In the VCB, Earthing Switch and Safety Switch.
   In the Vihicle Diagnosis and Train Control system.
5. Stabilization test for instability of input voltage source in the Battery Charger
6. Stabilization test for the lighting-surge Voltage Phenomenon for Main Transformer

○ **Results**

In this year, we successfully accomplished 320km/h through stabilization test of related components. It may benefit from replacement with localization instead of overseas one, not even foreign technical assistance. Futhermore, these technologies and intelligences will be applied to develop not only overseas but domestic High Speed Rolling Stock and thus can be expected to improve functional items and qualities for the traditional rolling stock.

- Establishing inspection and maintenance process
- In the process of commercial design reflecting the issued point and problem
- Interim certification of dynamic performance and stabilization of vehicles system by Lloyd 's Register Rail.

☐ **Expected Effects**

By improving and establishing the Korea's own technology for a high speed train system, technical improvement over the whole related components industries will be expected as well as huge substitution effects for imported products and infrastructure estabilishment for the foreign market entry. In this phase of practical steps, our project may be made use of basic technology of Korean High Speed Train project on Honam-line and apply to the following projects.

목 차

제 I 부
주관연구기관 로템

제1장 서 론 1
제1절 최종개발목표 1
제2절 개발의 목적 및 중요성 1
1. 기술적 측면 1
2. 경제·산업적 측면 1
3. 사회·문화적 측면 2
제3절 기술개발목표 및 범위 3
1. 연차별 기술개발 목표 및 범위 3
2. 기술개발 추진체계 6

제2장 국내외 기술개발 현황 7
제1절 개발현황 7
1. 국외의 경우 7
2. 국내의 경우 7
3. 현 기술상태의 취약성 8
4. 고속철도의 효과 및 향후 전망 8
제2절 각국의 개발동향 11
1. 프랑스 11
2. 독일 15
3. 일본 19
4. 스페인 23
5. 이탈리아 24
6. 미국 25
7. 영국 27
8. 스웨덴 27
9. 러시아 28
10. 캐나다 28

11. 호주 28
12. 터키 29
13. 대만 및 중국 29
14. 브라질 30

제3장 연구개발수행 내용 및 결과 31
제1절 일반 31
1. 총 연구개발비 31
2. 민간기업 참여현황 31
3. 참여기업 업무 추진체계 34
4. 주요 인터페이스 추진경위 37
5. 한국형고속열차 유지보수 개선회의 47
제2절 차량시스템 66
1. 유지보수체계 구축 66
제3절 안정화 시운전시험 90
1. 시운전시험 현황 90
2. 시운전시험 상세내용 91
3. 주요 문제점 96
4. 안정화 시험현황 및 신뢰성 확보계획 98
제4절 연결구조체 및 연결용 부수대차 104
1. 연결구조체 성능시험 104
2. 연결용 부수대차 프레임 성능시험 125
3. 연결용 부수대차 성능시험 163
4. 연결구조체 취부를 위한 차체 변경 176
5. 연결구조체 및 연결용 부수대차 제작 및 조립 252
6. 신규 관절 개발 및 장착 256
제5절 모터블록(로템 수행부분) 264
1. 일반 264
2. 시운전 시험 및 보완 265
3. TCU(Traction Control Unit) 개발 279
4. 전문가 활용 기술 자문 291

제6절 보조블록 294
1. 일반 294
2. 시운전 시험 및 보완 295
제7절 견인전동기 329
1. 일반 329
2. 본선 시운전 시험에서의 견인전동기 온도 측정 334
3. 견인전동기 중점검 337
4. 현차 견인전동기 점검 350
제8절 제동장치 354
1. 일반 354
2. 추진경위 356
3. 제동장치 안정화 시험 404
4. 제동장치 유지보수 작업 502
5. 신뢰성 확보 방안 534
제9절 VCB 및 Safety 스위치 639
1. 일반 639
2. 중점검 및 시험 640
3. 시험 결과 및 보완 조치 내역 653
4. 유지 보수 654
5. 결론 658
제10절 열차진단제어 장치 659
1. 열차진단제어 장치의 일반 659
2. 열차진단제어장치의 구성 659
3. 열차진단제어 장치의 TCN의 정의 664
4. 열차진단제어 장치의 기능 670
5. 조합시험 707
6. 현차시험 718
7. 결론 722
제11절 열차통신네트워크 724
1. 일반 724
2. 시운전 시험 및 보완 734
3. 시운전 시험 데이터 분석 755

제Ⅱ부
주관연구기관 현대중공업

제12절 주전력변환장치(현대중공업 수행부분) 767
1. 일반 767
2. 주전력변환장치(1,2,3) 안정화 769
제13절 밧데리 충전기 829
1. 일반 829
2. 배터리 충전기 안정화 시험 830
제14절 주변압기 854
1. 일반 854
2. 주변압기의 안정화 854

제Ⅲ부
주관연구기관 로템/현대중공업

제4장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 863
제1절 기술개발 결과물 및 목표달성도 863
1. 목표달성도 863
2. 기술개발 결과물 866
제2절 관련분야에의 기여도 869

제5장 연구개발결과의 활용 계획 871
제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 873
제1절 연구사례의 조사 873
제2절 세부기술사항의 검토분석 904
제7장 참고문헌 909

CONTENTS

The First

Management Research Institution : ROTEM

Chapter 1 Introduction 1

Section 1 Last Development Target 1

Section 2 Purpose and Importance of Development 1

1. Technological Side 1

2. Economy and Industrial Side 1

3. Society and Cultural Side 2

Section 3 Target and Scope of Technical Development 3

1. Target and Scope of Technical Development(Order by year) 3

2. Propulsion System of Technical Development 6

Chapter 2 Present Condition of Inside and Outside of the Country Technical Development ... 7

Section 1 Present Condition of Development 7

1. External Case 7

2. Domestic Case 7

3. Weakness of Present Technology State 8

4. Effect of rapid-transit Railway and Hereafter View 8

Section 2 World trend 11

1. France 11

2. Germany 15

3. Japan 19

4. Spain 23

5. Italy 24

6. USA 25

7. England 27

8. Sweden 27

9. Russia 28

10. Canada 28

11. Australia 28
12. Turkey 29
13. Taiwan and China 29
14. Brazil 30

Chapter 3 Contents and Result of Research Development 31
Section 1 General 31
1. All Research Development Costs 31
2. A Private enterprise 31
3. Task formation 34
4. Propulsion of Main Interface 37
5. Improvement Meeting 47
Section 2 Trainset Systems 66
1. System Construction of Maintenance 66
Section 3 Test Driving for Stabilization 90
1. Present Condition of test driving 90
2. Details Contents of Test Driving 91
3. Main Problem 96
4. Stabilization Test and Plan to Secure authoritativeness 98
Section 4 Connection Structure and Giant Swing for Connection 104
1. Efficiency Test of Structure for Connection 104
2. Frame Efficiency Test of Giant Swing for Connection 125
3. Efficiency Test of Giant Swing for Connection 163
4. Car body Alteration to Establish of Connection Structure 176
5. Manufacture and assemble of Giant Swing for Connection 252
6. New Joint Development and Installation 256
Section 5 Motor Block (ROTEM) 264
1. General 264
2. Test and Repletion of Test Driving 265
3. TCU(Traction Control Unit) Development 279
4. Specialist Practical use and Technology Inquiry 291

Section 6 Auxiliary Power Supply 294
1. General 294
2. Test and Repletion of Test Driving 295
Section 7 Traction Motor 329
1. General 329
2. Temperature Measurement of Traction Motor in Test Driving 334
3. Middle Checking of Traction Motor 337
4. Traction Motor Checking on Vehicles 350
Section 8 Braking System 354
1. General 354
2. Propulsion Process 356
3. Test for Stabilization of Braking System 404
4. Repair Work of Braking System 502
5. Program for Authoritativeness Security 534
Section 9 VCB and Safety Switch 639
1. General 639
2. Middle checking and Test 640
3. Test result and Repletion Particulars 653
4. Maintenance 654
5. Conclusion 658
Section 10 Vehicle Diagnosis and Train Control System 659
1. General 659
2. Composition 659
3. TCN 664
4. Function 670
5. Combination Test 707
6. Test on Vehicles 718
7. Conclusion 722
Section 11 Train Communication Network 724
1. General 724
2. Test and Repletion Through Road Test 734
3. Data Analysis Through Road Test 755

The Second
Management Research Institution : HHI

Section 12 Propulsion System (HHI) 767
1. General 767
2. Stabilization of Propulsion System(1,2,3) 769
Section 13 Battery Charger 829
1. General 829
2. Stabilization Test of Battery Charger 830
Section 14 Main Transformer 854
1. General 854
2. Stabilization of Main Transformer 854

The Third
Management Research Institution: ROTEM/HHI

Chapter 4 Achivement and Contribution 863
Section 1 Results and Achivement 863
1. Achivement 863
2. Results 866
Section 2 Contribution of Connection Field 869
Charter 5 Practical use with Research and Development Result. 871
Charter 6 Scientific Technique information of the foreign countries 873
Section 1 Investigation of Research Example 873
Section 2 Analysis of Technology Item 904
Chapter 7 Reference 909

제1장 서론

제1절 최종개발 목표

고속철도기술개발사업, '차량시스템 안정화 기술개발' 과제는 차량시스템 안정화 시험 및 과제 참여기관 개발부문의 문제점 보완, 차량시스템 유지보수 체계구축 및 정비, 실용화를 위한 변경설계, 부품제작 및 성능검증, 기존선 연계 시운전 시험 및 영업시운전 시험 등을 통하여 '한국형 고속철도시스템의 신뢰성 확보로 안정화 및 실용화 기술개발'을 최종목표로 한다.

제2절 기술개발의 목적 및 중요성

1. 기술적 측면

2004년 4월 개통한 경부고속철도의 경우 그 성능이 입증된 차량인데도 불구하고 1999.10월부터 총 52개월에 걸친 종합 시운전을 수행하였다. 그러나 동적 설계 입증 시험에서 차량의 진동 문제가 발생하는 등 여러 가지 문제점이 있었다.

일본의 300X 신간선의 경우도 1990년 차량설계를 위한 기초조사를 시작으로 1995년 5월 시운전 시험을 시작하여 속도증가시험, 차량성능 및 안정성시험에 총 7년이 소요되었다.

이와 같이 고속철도 시스템은 그 개발뿐 아니라 개발차량의 실용화를 위한 추가 기술 개발이 필수적이라 할 수 있다. 개발차량의 속도 증가 시험을 비롯하여 시스템 차원의 신뢰성과 안정성을 확보하기 위한 시운전 시험이 필요하며, 실용화를 위한 고속철도 안전 및 유지보수 관리 체계의 구축을 위한 기술개발이 이루어져야 한다.

2. 경제·산업적 측면

고속철도는 사회적 간접자본으로서 중요한 역할을 하며, 특히 우리나라와 같은 좁은 국토에서는 고속도로를 무한히 건설할 수도 없고, 항공기의 노선도 제한적으로 운용될 수밖에 없다. 이러한 우리나라의 지리적 환경조건으로 볼 때, 시속 350㎞의 고속전철 개발은 자동차나 항공기보다 대량수송이 가능하고, 안정성이 우수하며 특히 항공기와 같은 시간적 생산성을 달성할 수 있어 사회활동의 활성화를 기

할 수 있다.

매년 고속도로 정체로 인한 물적 및 시간적 손실금액은 수십조억원으로 보고되고 있다. 고속철도는 이를 감소시킬 수 있는 대중교통수단으로서 충분한 역할을 담당할 수 있다. 또 한편으로는 새로운 고속철도 건설에 따른 효과로서 건설경기 활기와 고용인력 창출, 그리고 역 주변에 전개되는 상권의 발전은 경제성장을 가속화시킬 수 있다.

세계의 고속철도 시스템은 지속적인 기술개발과 고속철도망의 확장을 통해 향후에도 성장을 거듭할 것으로 예상된다. 유럽의 경우 세계철도연맹(UIC)에 의해 고속철도 계획이 통합 조정되고 있으며, 현재까지 확정된 계획을 기준으로 할 때, 고속철도망은 현재 3,040 km에서 2010년에는 6,000 km, 2020년에는 약 10,000 km 까지 확대될 계획이다. 일본의 경우도 현재 총연장 약 1950 km 의 신간선 4개 노선을 운영중이며 향후 신간선 노선을 4940 km 까지 확장할 계획을 가지고 있다. 미국에서도 차세대 고속철도 프로그램이 1995년 미국 연방 철도법에 의하여 시작되어 미국 연방 철도국과 건설부가 봄바르디아를 비롯한 관련 업체와 협동하여 새로운 고속열차 시스템 개발을 추진하여 최근 첨단 가스터빈 고속열차 개발을 완료하였다. 미국의 고속철도망은 봄바르디아와 알스톰이 공동제작한 ACELA 차량이 보스턴, 뉴욕 및 워싱턴 운행을 개시했으며 연방정부 및 각 주정부에서 많은 고속철도 시스템 개발 및 도입을 추진하고 있다.

남북철도 연결 사업을 비롯하여 유라시아 대륙 철도망 구축이 논의되고 있고, 중국이 10,000 km 고속철도 건설 계획을 발표하는 등 국내·외 환경 변화를 고려할 때, 현 시점에서 고속철도 실용화를 위한 기술개발을 적극 추진함으로써 세계적 추세 및 주변 여건 변화에 적기에 대응 할 수 있는 기반을 다질 수 있다.

3. 사회·문화적 측면

국가철도건설사업은 국가의 미래를 좌우하는 것으로서 그 중요성은 기술, 경제, 산업 측면 뿐 아니라 사회, 문화적인 측면도 충분히 고려되어 수립되어야 한다. 고속전철은 현대적인 기술을 필요로 하고 있으며, 더욱이 철도차량 분야의 기술이 선진국에 비해 떨어져 있는 국내 현실을 감안한다면, 국가의 사회적, 문화적 측면에 끼치는 영향은 아주 크다고 할 수 있다. 우리나라도 국민 소득이 이미 선진국 수준

에 이르고 있어, 문화생활의 수준이 높아져 있다. 그러므로 고속전철은 문화적, 시대적 욕구를 충족시킬 수 있는 수단이 되고, 주요도시간을 연결하는 빠른 교통수단은 사회간접자본 역할을 할 뿐만 아니라 지역간의 균형적인 개발을 위해서도 고속철도 시스템의 개발은 충분한 가치가 있다.

제3절 기술개발 목표 및 범위

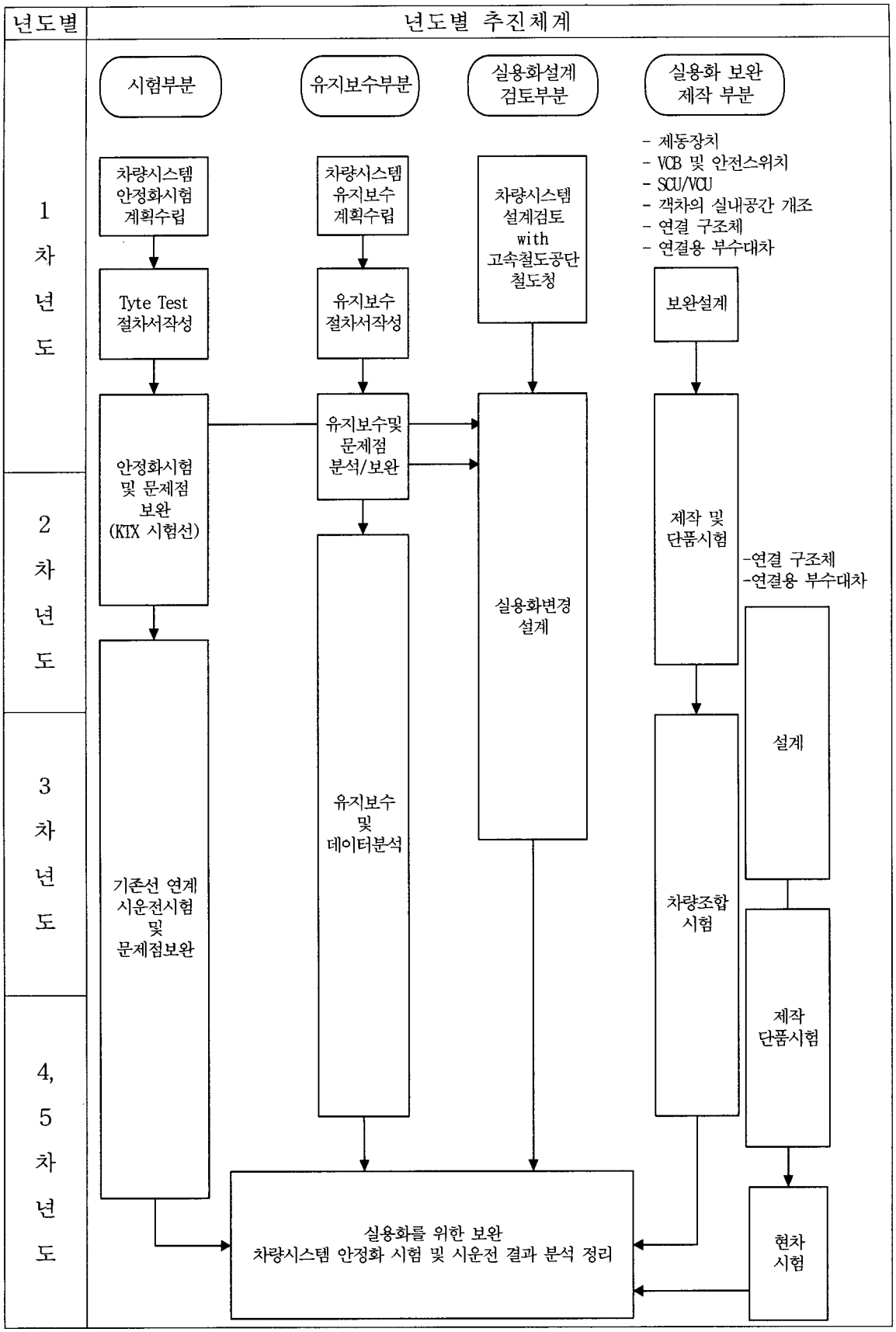
1. 연차별 기술개발 목표 및 내용

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	· 차량시스템 안정화시험 및 문제점보완 · 유지보수 체계구축 및 정비 · 실용화 변경설계 및 제작, 시험	· 차량시스템 안정화시험, 유지보수 및 부품 조달(과제참여기관 개발품) · 차량시스템 유지보수 체계 구축을 위한 자료 조사 및 해외사례 분석 · 차량시스템 실용화 및 성능향상을 위한 변경설계 계획 수립, 설계 및 부품제작 · 차량시스템 실용화를 위한 객차 보완설계
2차년도	· 차량시스템 안정화시험 · 시험시, 문제점 보완 · 유지보수 및 정비 · 실용화 보완제작분 설계 및 제작	· 차량시스템 안정화시험, 유지보수 및 부품 조달(과제참여기관 개발품) · 차량시스템 유지보수 및 정비체계 구축을 위한 하위시스템 특성 분석 · 차량시스템 실용화를위한 변경시스템 조립 · 차량시스템 안정화를 위한 기존선 시험
3차년도	· 차량시스템 안정화시험 · 유지보수 및 정비 · 실용화를 위한 변경설계 · 차량폭 확대방안 연구 · 연결용 구조체 설계 · 연결용 부수대차 설계 · 객차의 실내공간 효율성 연구	· 차량시스템 안정화를 위한 기존선 시험 · 차량시스템 유지보수 및 정비체계 구축, 유지보수 시행 및 부품조달 · 차량시스템 실용화를 위한 변경 시스템 성능 검증시험 · 기존선 연계 시험 결과분석에 따른 하위시스템 특성 분석 및 대책 수립

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
		· 차량폭 확대방안 연구(설계부분, 차량한계,좌석 회전방안, 중량검토 등) · 관절구조 및 연결용 부수대차 설계(해외기술자문, 특허조사) · 객차의 실내공간 효율성 연구
4차년도	· 차량시스템 안정화시험 · 유지보수 체계구축 및 정비 · 연결구조체 단품 제작 · 연결용 부수대차 단품 제작	· 차량시스템 안정화를 위한 기존선 연계 영업시운전 시험 ※ 4만km 이상 주행시험을 통한 내구성, 안정성 및 신뢰성 확보로 조기 실용화추진 · 구축된 유지보수 및 정비체계에 따른 시행결과분석 및 유지보수체계 보완(유지보수 매뉴얼 작성), 유지보수 시행 및 부품조달(과제참여기관 개발품) · 기존선 연계 영업시운전 시험 결과 분석 및 하위시스템 변경 보완 · 차량시스템 실용화를 위한 변경 시스템 성능 검증시험 · 연결 구조체 및 연결용 부수대차 단품 제작
5차년도	· 차량시스템 안정화시험 · 유지보수 체계구축 완성 · 시운전시험 결과분석 · 정리 · 연결구조체 취부완료 및 현차시험 · 연결용 부수대차 제작완료 및 현차시험	· 유지보수 및 정비체계에 따른 유지보수 체계 완성, 유지보수 시행 및 부품조달 · 차량시스템 성능보완 - 추진장치, 제동장치 및 열차진단제어장치 성능보완 - 에어콘, 차단기, 접지스위치 및 Safety 스위치 성능보완 - 연결링 및 연결용 부수대차 현차시험 및 특성개선

구분	연구개발의 목표	연구개발의 내용
		- 와전류 제동장치 성능보완 및 제작 - 주변압기 냉각용 팬 교체 · 차량시스템 안정화시험 및 결과 분석 · 차량 개발(차량, 핵심부품단위별) 기술에 대한 교육/훈련 매뉴얼 작성 (국·영문)

2. 기술개발 추진체계


년도별
년도별 추진체계
1 차 년 도
2 차 년 도
3 차 년 도
4, 5 차 년 도
시험부분
유지보수부분
실용화설계 검토부분
실용화 보완 제작 부분
차량시스템 안정화시험 계획수립
차량시스템 유지보수 계획수립
차량시스템 설계검토 with 고속철도공단 철도청
- 제동장치
- VCB 및 안전스위치
- SCU/VCU
- 객차의 실내공간 개조
- 연결 구조체
- 연결용 부수대차
Tyte Test 절차서작성
유지보수 절차서작성
보완설계
안정화시험 및 문제점 보완 (KTX 시험선)
유지보수및 문제점 분석/보완
제작 및 단품시험
-연결 구조체
-연결용 부수대차
실용화변경 설계
설계
기존선 연계 시운전시험 및 문제점보완
유지보수 및 데이터분석
차량조합 시험
제작 단품시험
실용화를 위한 보완
차량시스템 안정화 시험 및 시운전 결과 분석 정리
현차 시험

제2장 국내외 기술개발 현황

제1절 개발현황

차세대 철도차량의 수요는 빨리 달리는 열차, 조용한 차량, 가벼운 차량, 안전한 차량, 승차감 좋은 차량, 다양한 승객의 요구에 대응 가능한 차량, 안심하고 탈수 있는 차량, 지구환경과 조화된 차량, 취급이 쉬운 차량을 수요처에서 요구하고 있다. 이에 부응하기 위해 국내외 철도차량의 제조사들은 다양한 신모델의 열차를 개발 혹은 운행 중에 있다.

1. 국외의 경우

세계적으로 고속열차를 개발하여 운영하고 있는 국가는 약 10개국에 이르지만, 그 중 핵심기술을 보유하고 있는 나라는 프랑스, 일본, 독일 3개국에 불과하다. 따라서 이들 국가는 자국의 시스템, 즉 신간선, TGV 및 ICE에 알맞은 시스템 기술을 보유하고 있다고 할 수 있다. 예를 들면, 동력분산식인 일본의 신간선, 관절형 대차 형식인 프랑스의 TGV, 공기저항을 최소화한 공력설계와 컴퓨터 등의 첨단기술 적용과 대용량 비동기 견인전동기를 사용한 독일의 ICE가 있다. 그러나 최근 이들 국가는 운영여건의 변화로 각국 고유 개발 시스템을 다른 국가의 기술을 접목하여 기술의 영역을 넓혀가려고 한다. 대만 고속전철의 경우 ICE의 동력차에 TGV 2층 객차를 연결하여 수요자의 요구에 부응하고 있고, 독일과 이태리는 동력집중식에서 동력 분산식 시스템으로 변화를 시도하는 등 각국간의 상호 보완적인 기술 협력으로 역량을 늘려가고 있다.

2. 국내의 경우

선진국의 고속전철 개발 현황과 비교하여 볼 때 우리나라의 고속전철 시스템과 관련된 체계적인 기술 개발은 매우 취약하다. 1991년 "고속전철 시스템의 속도 향상에 미치는 기계적 요인에 관한 연구"가 한국기계연구원에서 수행된 것을 시작으로, 1993년 고속전철 기획단이 설치되어 "고속전철 기술개발 연구기획 조사사업"이 시작되었으며, 1994년 경부고속전철 사업 컨소시엄 계약과 더불어 1999년 경부고속전철의 시험운행을 시작으로 2004년 4월에 서울-부산간 영업운행이 개시되었다.

또한 고속철도 비 수혜지역으로 시급한 개선이 필요한 전라·호남선 및 경전선 고속전철의 입찰에서 차세대 한국형 고속전철인 HSR350-x가 선정될 수 있도록 하기

위해 연구개발에 박차를 가하고 있다.

3. 현 기술상태의 취약성

고속전철을 상업운용하고 있는 프랑스, 일본, 독일 외에도 중국, 구미 각국의 철도 차량 업체의 기술수준은 다양한 차종의 개발과 다년간에 걸친 운용경험을 바탕으로 우리나라와 비교할 때 상당한 수준에 도달해 있다. 또한 현재까지도 기술개발에 의한 차량 성능향상을 꾸준히 추진해오고 있어 고속전철 시스템 엔지니어링 기술의 격차는 날로 커지고 있다. 이에 비해 기술발전이 매우 느렸고 따라서 관련부품 산업도 발달되지 못해 전반적인 여건은 매우 나쁜 상태이다. 실질적인 기술개발을 위해서는 다양한 경험과 기초 자료의 확보가 무엇보다 필요함을 감안할 때 본 과제의 수행은 모두 중요한 전기가 될 것이다.

4. 고속철도의 효과 및 향후 전망

경부고속전철은 우리나라 인구와 생산의 70% 이상이 집중된 사회·경제의 중심축이나, 이미 기존 고속도로나 철도가 포화상태가 되어 심각한 교통·물류난을 겪어 왔다. 우리나라 물류비용은 1997년 기준으로 국내 총생산(GDP)대비 16.5%에 해당하는 69조원 수준으로서 미국·일본 등 선진국의 약 1.5배에 달하였다. 2000년도에는 국내 물류비용의 증가로 인하여 교통혼잡비용이 19조5천억원에 이르고 있으며, 이는 국내 총생산(GDP)의 3.7%로 1997년도의 18조4000억원에 비하여 3년만에 1조가 넘게 증가하였다. 그러나 고속철도가 완공되면 경부축의 수송능력이 대폭 증가되어 여객수송능력은 1일 20만명에서 최대 52만명으로 2.6배 늘어나게 되며, 또한 경부선 화물수송 능력도 컨테이너 기준으로 연 35만개에서 300만개로 8.6배 증가될 것이다.

해외에서도 고속철도는 운행시부터 시장점유에서 우위를 차지했다. 예로 일본의 신간선의 성공적인 출발로부터 시작하여 유럽에서도 점차적으로 점유율을 높여가고 있다. 1997년도에는 고속철도에 의한 승객의 수송은 12%에 달하였으며, 이러한 수치는 밀집된 네트워크를 갖는 프랑스에서는 수송전체의 40%를 고속철도가 담당하고 있다. 파리와 브뤼셀구간의 Thalys 열차는 이미 1997년 수송의 43% 그리고 1998년도에는 60%를 차지할 만큼 운송의 절대적인 위치를 차지하고 있다. 이러한 밀집된 인구분포에서 우위를 갖는 철도의 개념은 국내에서도 더욱 고속철도의 역

할이 운송에서 중요한 위치를 가질 것이 자명한 일이다.

고속철도는 물류수송의 장점뿐만이 아니라 4차선 고속도로나 재래식 복선철도보다 장거리·대량·고속수송이 가능한 최적의 교통대안이다. 운행시간, 건설비, 수송능력을 종합한 수송 효율면에서 고속도로보다 약 3배, 복선 전철보다 약 2배가 뛰어난 교통수단이다. 일반적으로 고속철도는 200km~500km의 중장거리구간에서 다른 운송수단(항공기, 자동차 등)에 비하여 우위를 차지하고 있다. 서울~부산구간은 410km 구간으로서 최적의 조건이다. 비슷한 구간과 조건인 프랑스의 파리~리용에서의 성공과, 국제간 수송으로 철도와 항공이 공동으로 운행되고 있는 런던과 파리 사이에서 유로스타는 수송전체의 60%를 상회하고 있다. 그러므로 철도의 장점을 최대한 살릴 경우에는 500km 이상의 연결에서도 더욱 높은 점유율을 가질 수 있음을 보여주고 있다. 특히 토지이용 효과측면에서 프랑스의 TGV노선을 비교하면 왕복 6차선 도로에 비하여 약 3배의 시간당 통과량을 기록하나 토지 이용폭은 TGV가 15m인데 반하여 도로는 35m에 이르고 있다.

고속철도는 시속 300km의 속도로 운행될 것이므로 자동차보다 3배 정도 빠르다. 표 2.1-1의 교통수단별 비용비교에서와 같이 서울에서 부산까지 운행할 때 고속철도가 승용차의 반 정도로 저렴하다.

표 2.1-1 교통수단별 비용비교

구 분	고속철도	새마을호	비행기	우등버스	승용차
비 용(원)	62,640	82,590	85,750	102,750	110,500

※ 서울 여의도~부산시청구간을 시간비용, 운임비용, 효용가치로 산출(97. 7 기준)

철도는 도로보다 일반적으로 매우 안전한 수단이라는 것은 수송인원당 사고율의 통계로 입증되고 있다. 2001년을 기준으로 할 경우 지하철의 사고가 많음에도 불구하고 철도사고의 발생건수는 도로의 1/456이며 사망자는 도로의 1/33에 불과하다. 안전한 것은 특히 철도에 있어 당연한 것으로 되어있다. 지금도 철도차량 자체의 위험성은 대단히 낮으며, 건널목사고 및 열차화재는 완전히 방지하는 것이 곤란하여 여기에 어떻게 대처하는가가 기술로서 중요하게 된다.

고속철도 세계시장규모는 '93년도 철도분야의 총 투자액은 약 $350억로 철도차량의 경우 총 투자액의 24%에 해당하는 $84억의 투자가 이루어져 있다. World

Railway Market (Oct. 2003) by SCI Verkehr(독일계 철도 컨설팅업체) 조사 자료에 의하면, 전세계 200km/h 이상의 고속전철차량은 총 1,650편성, 향후 5년간 권역별 고속철도 시장 연평균 성장률은 약 6%, 년간 물량 100편성, $17억(북미: $ 12mil, 서유럽: $1,037mil, 동유럽: $12mil, 아시아: $610mil)으로 추정하고 있다.

철도차량 세계시장 규모는 '93년도 84억 1100만 US$로 이 가운데 프랑스, 독일, 일본 및 미국 등이 차지하는 시장이 약 53%에 달하고 있다. 하지만, 최근에는 유럽 62%, 아시아 36%, 북미와 동유럽이 각각 1%의 시장을 형성하고 있어 향후 세계 각국의 교통정책에서 철도 수송의 역할을 크게 증대시켜 나가고 있는 추세이다.

표 2.1-2 고속전철 시장규모

(i) 주요 생산업체의 세계시장점유율

구분	해외업체				국내 업체
회사명	Alsotm	Siemens/ Bombardier	Kawasaki/ Hitachi	기타	(주)로템
시장 점유율	44%	34%	19%	3%	-

High Speed Transport (200km/h 이상) 기준

(ii) 제품의 시장성장전망 (단위 : 백만불)

구분	2006년	2008년	2010년	2014년
세계수요 (A)	$1,771	$1,990	$2,236	$2,823
국내기업 수출전망 (B)	-	$60	$224	$565
점유율 (B/A)	-	3%	10%	20%

고속전철의 건설은 지역간의 거리가 300~500km인 경우가 가장 이상적으로 우리나라만큼 고속전철에 적합한 나라도 없다고 하겠다. 현재 건설 중에 있는 경부고속전철은 물론 앞으로 국토의 균형적인 발전의 견지에서 필요한 호남지역을 위한 호남선 전철, 경의선, 경원선 등이 모두 이 거리 범위에 있는 노선들이다. 본 과제의 수행을 통하여 앞으로 추가로 소요될 고속전철을 독자 제작하므로 기술이전 비용

을 절감할 수 있고, 국내의 철도차량의 부품시장을 확대가 가능해져 국가산업의 발전에 기여 할 것으로 본다.

제2절 각국의 개발 동향

1. 프랑스

프랑스의 고속전철 기술개발은 국가기관(SNCF)과 산업체(GEC-ALSTOM 및 계열기업군)가 공동으로 수행하며, GEC-ALSTOM 및 계열기업군은 차량, 기기, 전장품 분야의 기술개발과 생산을, SNCF의 자회사인 SOFRERAIL은 시스템 엔지니어링 사업을 담당하는 등 긴밀한 협조체제를 유지하고 있다. TGV 시스템의 연구 개발은 고속성, 기존 선로와의 호환 주행성, 경제성 및 승객 수송에 적합한 특성을 갖추어야 한다는 조건하에서 추진되어졌으며 현재 대부분의 분야에 걸쳐 기초 및 운용 연구가 이루어진 상태라고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 공기역학적 해석, 진동 및 소음저감, 턴넬 형상설계, 동기 및 비동기 전동기, 집전기 성능향상, 제동장치, 신호통신장치, 고장진단 및 자료처리 시스템, 전자화, 시스템 경량화 등의 기술향상을 위하여 지속적인 연구를 추진하고 있다.

프랑스의 고속전철 개발에 있어서, 간과할 수 없는 것은 안전성 시험 평가이며, 이는 반드시 실제 선로상의 주행시험을 통하여 이루진다는 것이다. 그 결과로 TGV 시스템은 여러 국가에서 도입되었으며 풍부한 운행 실적을 가지고 있다. 우리나라에서는 KTX 선로를 운행할 300km/h급의 고속전철을 개발하여 2004년 4월 1일부터 영업운전을 하고 있다.

TGV남동선의 수송력 증강을 위해 전(全)2층차인 TGV-Duplex가 개발되어 1996년 가을부터 영업운전을 시작하였다. 최고운전속도는 300km/h, 교직류(AC25kV 50Hz/ DC1500V)사양의 40편성이 제작되어 파리-리용간 대부분의 열차가 TGV-D로 교체되었다. 또 리용 이원 열차에도 일부 사용되고 있다.

기관차는 둥근띠를 두른 디자인으로서, 운전대가 좌측에서 중앙으로 옮겨 TGV의 이미지를 바꾸고 있다. 또 파리-암스트레담간의 타리스기관차도 같은 디자인을 채용하고 있다. 자기전류형(自己轉流形)인버터에 의한 동기(同期)전동기구동은 TGV-A 이래의 것이기도 하다. 중간객차 8량은 높이 4.3m의 전(全) 2층차로서 플랫홈 높이가 레일면상 550mm인 점을 이용하여 출입구를 1층에 설치, 차량간의 통로는 2층부를 지나고 있다. 출입구는 1량에 1개소이고 1층객실은 앞 뒤 막힘이다.

차체를 알루미늄합금의 중공압출형재로 구성하는 더블스킨구조로 하여 차체, 대차 및 내장재 등의 경량화가 이루어졌다. 1등차 3량, 식당차 1량, 2등차 4량의 편성으로 좌석수 545석으로, TGV-PSE의 368에 비하여 48%가 늘어났다. 식당차의 1층부분은 창고와 기계실로 되어 있다.

SNCF의 누적채무를 해소하기 위하여, 채무의 대부분과 철도시설을 보유하고 있는 프랑스철도선로공사(RFF)가 1997년에 설립되어 SNCF는 열차운행에 전념하게 되었다. 동시에 고속신선 건설계획도 수정하여 일부선 구간에는 차체경사식 차량을 도입하여 고속화하는 것으로 되었다. 그래서 TGV-PSE의 제101편성이 차체경사식으로 개조되어 TGV-P로 명명되어 1998년 1월부터 TGV-북유럽선에서의 고속주행, 중부산악선구에서의 주행시험 등을 하였다. 이것은 후술하는 아메리칸플라이어의 예비시험도 겸하고 있는 것으로 생각된다.

TGV-P는 청색과 은색으로 칠해져 있으며, P01의 로고가 크게 새겨져 있다. 차체경사시스템은 본발티에사가 개발한시스템을 채용하여 선두차에 설치한 가속도센서로 곡선에 진입한 것을 검지하여 차체경사를 시킨다. 대차후레임과 링크로 결합된 진자량과 볼스타스프 링 사이에 유압실린더를 설치하여 차체를 경사시킨다. 객차는 새로 제작한 유압실린더 내장 차체경사기구부 대차로 교체되었다. 이에따라 상판이 60mm높아졌다. 차체는 곡선내측으로 최대 6.3°기울어진다.

한편 곡선통과시 가선과 판타그라프의 변위를 보상하지 않아도 가능하도록 기관차에는 차체경사기구를 설치하지 않고 대차에 안티롤링장치를 부가하여 곡선통과시 외측으로의 차체경사를 억제하고 있다. 또한 차체경사식 차량의 경우 경사시에 차량한계를 침범하지 않도록 차체단면을 작게할 필요가 있지만 TGV 차체폭은 차량한계에 대해 충분히 여유가 있기 때문에 이번 개조에서는 차체를 그대로 사용하고 있다. 객차내부는 계측기기 등이 탑재되어 있다.

TGV-PSE는 1편성에 525kW의 전동기를 12대 탑재하고 있으며 각 기관차에 6대의 전동기를 구동하기 위한 제어기를 탑재하고 있다. 이번의 기관차에는 차체경사를 위한 제어기기를 탑재하였기 때문에 2전동기의 제어기를 철거하였다. 이에 따라 편성출력은 6300kW에서 4200kW로 낮아져 고속시험시에는 TGV-D와 연결하여 힘을 보충하고 있다. 양산차에서는 고속전용선을 320km/h/, 재래선을 220km/h로 주행할 계획이다.

최근 들어 Alstom과 SNCF는 TGV POS(Paris~Ostfrankreich~Suddeutschland)와

AGV (Automatrice Grande Vitesse)를 개발하고 있다.

TGV POS는 동유럽 고속선 프로젝트에 투입되는 10량 1편성의 신형 고속열차로, 최고속도는 320km/h이다. 주행장치는 Eurostar에 채택된 유도모터를 사용한 IGBT회로로 구성된 모터블럭 2기와 1기의 보조블럭, 1대의 주변압기로 구성하여 1편성을 제어하는 동력집중 방식이다. 모터 1대당 출력은 1,160 kw이며, 총 출력은 9,260kw이다. TGV R 차량과는 다르게 각 견인전동기가 독립되어 있어 일부 전동기의 장애 시에도 정상적인 전동기만으로 운행이 가능하다는 특징을 가지고 있기도 하다. 또한 TGV POS는 프랑스 고속선 및 기존선과 독일 고속선을 통과하기 위해 3가지의 서로 다른 조건의 공급전원(25kV 50Hz; 15kV 16.7Hz; 1.5kV DC)을 받을 수 있도록 개발되으며, 제동장치는 공기압제동, 전기제동, 회생제동, 와전류제동을 사용한다. TGV POS는 2003년에 시제차량이 완성되어 현재 시험운행 중이다. AGV는 유럽 전역을 운행하는 성능을 목표로 하는 차세대 고속열차로, 최고속도는 320km/h와 350km/h의 2개 버전이 상정되었다. 열차의 길이는 200m(10량편성), 정원은 411명이며, 3량 1유니트 구성이다. 주전동기는 600kw급 유도전동기를, 전력변환기는 IGBT를 사용하였다. 이외에 분산식 동력장치 및 IGBT를 사용하는 VVVF 인버터와, 승차감 향상을 위한 능동 현가장치, 방진블록을 이용한 소음개선, 와전류 제동장치 등의 기술을 적용하였다. 차체는 알루미늄을 사용하였으며, 철제 TGV 대비 2톤가량을 경감시킬 수 있도록 전두부의 충격에너지는 TGV Duplex와 동일한 6MJ를 흡수하도록 하였다. 현재 AGV는 시제 2량이 개발되어 2001년 3월부터 릴~카레(calais)에서 320km/h로 시험운행 중에 있다.

프랑스 철도의 향후 개발계획으로는 TGV 유럽선, Languedoc~Roussillon선, TGV Rhine~Rhone선, Bretagne~Pays de la Loire선 등이 있다.

TGV 유럽선은 Paris 교외 동측 Vaire sur Marne~Strasbourg 간 406km구간으로 2010년 완성예정에 있다. 이 중 Baudrecourt까지의 300km는 2007년 개통을 목표로 하고 있다. 신형 TGV와 병행하여 ICE를 305km/h로 주행할 예정이다.

Languedoc~Roussillon선은 TGV 지중해의 지선으로부터 분기하여 스페인 고속철도 AVE의 Madrid~Barcelona선으로의 325km선로의 객화양용선로이다. Manduel~Lattes간 60.5km는 2010년, 스페인의 Perpignan~Le Psrthu간 24.6km는 2008년에 완성될 예정에 있다.

한편, TGV Rhine~Rhone과 Bretagne~Pays de la Loire선 등의 경우는, 25억 유

로 이상의 건설비를 필요로 하기 때문에 2015년~2020사이의 완공은 어려울 것으로 예상되며, 그 외의 계획으로는 알프스 횡단 Lyon~Turin선로, Paris의 RER의 연장 등이 있다.

표 2.2-1

TGV 차종	내 용
TGV Sud-Est	- 1981년 개발 - 파리와 동남부지방 연결, 최고운행속도 : 270km/h - 동력차 2량 + 객차 8량 (368석)
TGV Atlantique	- 1990년 개발 - 파리와 서부지방을 연결 - 최고운행속도 : 300km/h - 동력차 2량 + 객차 8량(485석)
TGV Reseau	- 1993년에 개발 - 최고운행속도 : 300km/h - 동력차 2량 + 객차 8량 (377석)
TGV Eurostar	- 1993년 개발 - 파리와 런던/브뤼셀 연결, 최고운행속도 : 300km/h - 동력차 2량 + 객차 18량 (794석) - 유도전동기 시스템, 해협터널운행을 고려하여 설계
TGV Duplex	- 1996년 개발 - TGV Sud-Est 노선의 수송능력이 포화되어 개발 - 최고 운행속도 : 피크타임시 300km/h - 동력차 2량 + 객차 8량 (545석)
TGV Thalys	- 1996년 개발, 운행최고속도 : 300km/h - 동력차 2량 + 객차 8량 (377석) - PBA : 파리-브뢰셀-암스테르담 연결 - PBKA : 파리-브뢰셀-암스테르담-Cologne 연결
TGV POS	- 2003년 개발, 시험운행중, 최고운행속도: 320km/h - 동력차 2량 +객차 8량 - 동유럽 고속선(LGV East) - 독일, 프랑스의 3개 가선전압 수용
AGV	- 2004년 개발, 시험운행중, 최고운행속도: 350km/h - 동력차 2량 + 객차 8량(10량 편성 기준 : 411석) - 동력분산식, 영구자석 이용한 동기모터, 능동형 현가장치

2. 독일

1972년부터 시작된 ICExpress 개발계획은 10년간의 연구개발과 3년간의 차량제작과 선로건설, 3년간의 주행시험을 거쳐 1991년 6월부터 ICE의 상업운행에 들어갔다. 독일 ICE선의 특징은 여객과 화물겸용으로 이용된다는 사실이다. ICE의 설계개념에는 21세기를 지향한 철도차량으로서의 면모를 갖추기 위하여 기술적 측면, 경제적 측면, 환경적 측면, 내외장 디자인 등에서 최대한 최신기술을 도입하여 반영하고 있으며 식당 및 회의실 라운지 등에서 고급스럽고 실용적인 설계가 나타나고 있다.

ICE는 2대의 기관차를 견인하는 Push-Pull 형식의 추진방식을 채택하여 최대 15량의 객차를 속도 250km/h로 견인할 수 있다는 결론을 얻었으며 시험주행에서는 350km/h까지도 가능하다는 것을 입증하였다.

ICE 차량의 형상설계에서는 선두부 형상에 따른 공기저항, 측풍에 대한 저항, 차체의 하부 및 대차의 공기저항을 최소화하기 위하여 공기 역학적 해석을 수행하고 있다. 차체는 UIC 규격을 만족하는 경량화 설계에 대한 연구도 추진하고 있으며, 제동 시스템의 설계를 위하여 비접촉식 제동장치인 Eddy Current Braking System과 Regenerative Braking System에 대한 연구를 계속해서 수행하고 있다. 또한, 차상 장치의 제어를 위하여 마이크로프로세서와 광섬유의 사용 및 차량 연결부의 곡선구간에서의 기밀효과를 유지하기 위한 연결장치의 기구학적 해석연구도 추진하고 있다. 이러한 연구 개발활동은 주로 연방철도청이 중심이 되어 기초연구는 대학, 기기개발은 산업체가 담당하고 있다.

최근 쾰른-프랑크푸르트간의 신선용으로 개발된 ICE-3은 최고 330km/h로 주행이 가능하며 종전의 ICE-1 또는 ICE-2와 같은 동력집중식이 아닌 동력을 전 열차에 분산시킨 동력 분산식을 채택하였다. ICE-3의 신호시스템은 독일뿐 아니라 유럽의 여러 나라의 신호시스템에서도 쉽게 확장할 수 있도록 개발되어졌다. 처음에는 ICE2/2로 불리어져 왔지만 ICE2와는 전혀 다른 차량으로서 ICE3로 명칭을 고쳤으며, 차량 형식은 403이다.

330km/h운전에 40‰구배에서의 등판속도향상과 가감속도 향상에 의한 소요시간 단축을 지향하여 단위질량당 출력을 20kW/t로 하여, ICE2(10kW/t)의 2배로 하였다. 또 국제열차로서 각국의 철도노선으로의 운행을 위하여 4전기식이라도 축중 17t이하로 하고 좌석수를 늘리기 위해 전차방식을 채용하고 있다.

교류전용이 37편성, 다전기식 13편성이 발주되었으며, 옵션으로 40편성이 계획되고 있다. 교류전용은 독일 국내와 오스트리아, 스위스로의 운행에 사용된다.

다전기식은 네덜란드 운행용 3전기식(AC15kV 16⅔Hz/AC25kV 50Hz/DC1500V)과 4전기식(AC15kV 16⅔Hz/AC25kV 50Hz/DC1500V/DC3kV)2종류가 있으며 각각 4편성 및 9편성이 있다. 최초의 편성은 1998년 9월부터 시험에 들어갔다. 또한 네덜란드철도가 암스테르담-쾰른간 열차용으로 4전기식 ICE3을 4편성 발주(옵션20편성)하였다.

8량 편성에서 1등차 3량, 뷔페부 식당차 1량 및 2등차 4량의 구성으로 되어 있으며 최고운전속도는 330km/h로 2편성 중련운전도 가능하다. 변압기 탑재 부수차 1량의 양측에 전동차를 1량씩 연결한 3량유니트 2조 사이에 부수차 2량을 연결하고 있다. 각 전동차 출력은 2000kW이며 VVVF인버터제어, 유도전동기 구동에, 정지직전까지 전력회생브레이크를 효과 있게 하여 디스크브레이크의 사용을 최대한 줄이도록 하고 있다.

차체는 ICE2와 같은 알루미늄 더블스킨으로 구성되어 있지만 상하기기 취부방법을 변경하여 경량화를 기하고 있다. 공기조화장치는 항공기에서 사용하고 있는 후레온 가스를 사용하지 않는 공기냉각식을 채용하였다. 또 선두차의 운전대 후부 좌석은 전방시계를 좋게 하고 있지만 칸막이유리에 액정을 취부하여 건널목사고 등 필요시 시야를 막을 수 있도록 하고 있다.

차체경사식 고속열차 ICE-T는 재래선 개량에 의한 속도향상을 위해 차체경사식인 ICT(Inter City Tilting)이 개발되어 1998년부터 제1진이 영업운전을 시작하였다. 동시에 명칭을 ICE-T로 바꾸었다. 최고운전속도는 230km/h로 곡선통과속도를 30%향상시켰다. 차체경사시스템 및 차체설치전동기에 의한 구동은 펜토리노와 같다. 동력방식은 전기, 디젤 및 전기/디젤 겸용의 3종류가 계획되고 있다. 모두 차체는 알루미늄 더블스킨이다.

전차 ICE-T는 1998년에 전기동력(AC15kV16⅔Hz)에 의한 43편성이 완성되어 1999년 5월부터 슈투트가르트-쮜리히간의 열차로서 사용되고 있다. 장래에는 베를린-뮨헨-가르밋슈간, 뉘른베르크-슈투트가르트간 등에 사용된다. 43편성 가운데 32편성은 7량, 11편성은 5량으로 된다. 차량형식은 7량편성이 411, 5량편성이 415, 차량의 내외장 디자인은 후술하는 ICE3과 거의 같으며 객실에서의 전망을 보다 좋게 한 운전대가 특징이다.

기동차 ICE-T는 20편성이 발주된 뒤에 최초의 편성이 완성되어 1999년 7월부터 뷔그베르크-빌덴란트간에 시험을 시작하였다. 전기식 기동차로서 형식 605을 부여하여 먼저 등장한 610형식과 같은 모양, 엔진·발전기, 제어장치 및 전동기를 상판 아래에 탑재하고 있다. 뉘른베르크-드레스덴간 등에서 사용될 예정이다. 300km/h 운전에 대응한 이탈리아국철의 ETR500, ICE-T의 대차, 차체경사방식은 펜토리노와 같다.

Siemens는 미래형 ICE 3 성능향상 개발계획을 발표, 350km/h의 최고속도를 갖는 Velaro를 개발 중에 있으며 안락한 승객환경과 고급스러운 인테리어를 자랑하며 전 세계 시장을 목표로 홍보에 열중하고 있다. Velaro E Version 고속열차는 2001년 7월에 스페인 RENFE부터 마드리드~바르셀로나~프랑스 국경에 이르는 625km 노선을 2시간 30분 이내로 주행하기 위하여 16편성을 의뢰하였으며 Siemens는 ICE 3 기술을 이용하여 현존하는 전 세계 고속열차 중 최고의 차량으로 개발 중에 있다.

이 차량은 동력 분산식을 채택하여 최대출력 8,800kW로 350km/h를 주행할 수 있으며 8량 1편성으로 제작되고 있다. 객실은 Club Class, Preferente Class, Turista Areas의 3등급으로 나뉘어져 있으며 차내 서비스의 고급화에 역점을 두고 있다.

표 2.2-3

ICE 차종	내 용
ICE-1	- 1991년 영업개시 - 전기기관차 2량 + 객차 12량 - 독일 국내 운행용
ICE-2	- 1997년 영업개시 - 베를린-쾰른/본 사이의 노선에 사용 - 동력차 1량 + 객차 7량 (368석 + 24석 (식당)) - 독일 국내 운행용
ICE-3(403)	- 1999년 개발 - 최고 운행속도 300km/h - 쾰른-프랑크푸르트 신선 - 동력분산식 : 8량 편성 (394석) - 독일 국내 오스트리아, 스위스 운행 - 단일교류 전원 방식
ICE-3(406)	- 1999년 개발 - 2000년 5월 네덜란드 철도에서 개통 - 동력분산식 : 8량 편성 (384석) - 국제선 운행가능하도록 4전원 방식 채용
ICT	- 1999년 개통 - 슈트트가르트-취리히 노선 운행 - 5량 및 7량 편성(398석) - 최고 운전속도 230km/h - 재래선 개량으로 속도를 향상하기 위한 동력분산식 틸팅 차량임
ICE-TD	- 최고속도 200km/h - 디젤 전기기관차 방식 틸팅 열차로 비전철화 선로 운행용임
Velaro	- 현재 개발 시험중 - 최고속도 350km/h - 8량 편성 - 동력분산식

표 2.2-2

구 분	Hannover~Wurzzburg	Mannheim~Stuttgart
연 장	327km	100km
개 통 년 월	1991. 6.	
최 고 속 도	300km/h	
선로최소곡선변경	7,000m(5,100m)	
선로최급구배	12.5‰	
최고중심간격	4.70m	
터 널 크 기	81.9m^2	
- 구 간	1,435mm	
- 레 일	60kg/m 장대 레일	
- 침 목	P. C. 침목	
- 체결방식	2중 강성 체결구	
- 도 상	자갈	
- 분기기	강성 포인트 및 가동 크로싱	
신 호	A.T.C	
전 기	AC 15kV	
차량의 동력방식	집중식	

3. 일본

일본은 소위 신간선 탄환열차 개발의 타당성 연구가 착수된 후 JNR 연구소와 관련 산업체가 혼연일체가 되어 고속전철의 개발에 몰입하였다. 개발에 착수한지 5년 후인 1962년에는 신간선의 시제품 차량을 제작하여 차량시험에서 각종의 성능시험을 실시하였고, 2년여의 주행시험을 거쳐 세계 최초로 고속전철의 개발에 성공하게 되었다.

동경 올림픽에 맞추어 1964년 10월 1일에 동경과 오사까 사이의 515.4km구간을 운행최고속도 190km/h로 개통 하였다. 이것이 통상 신간선으로 불리우는 고속전철의 효시이다. 최초에 개발된 차량을 0계 전차라 하며 기후 속도 향상 및 문제점 개

선을 점진적으로 하여 100계, 200계 전차를 개발하였으며 최근에는 노조미로 불리는 제4대 차량인 300계 전차가 운전 최고속도 270km/h로 운행되고 있다.

지난 20여년간의 경험과 기술 축적을 바탕으로 1980년대 중반부터 신간선의 속도를 210km/h에서 240km/h대로 향상시켰듯이 궁극적으로는 속도를 300km/h로 끌어올리기 위하여 많은 연구를 추진하고 있다. 특히, 설해 대책에 관한 연구개발에도 힘을 기울이고 있으며, 시속 300km/h대의 모의 주행시험이 가능한 신형 차량시험대도새로이 설치하였다. 신간선의 속도향상을 위한 주요연구 분야로는 차체 및 경량화, 현가질량의 경감, 차체의 공기역학적 연구, 턴넬 형상개선, Pantograph의 집전성능 및 내마모성 향상과 소음의 감소, 부분 동력집중식의 채택 가능성 검토, 유도 견인전동기, 제동 장치의 개선, 차륜의 전동 소음감소, 환경 진동/소음저감, 열차편성 및 운행편수의 최적화, 보수유지의 주기의 연장 등을 열거할 수 있다. 이중에서도 현실적으로 가장 큰 애로 사항은 환경 소음 문제로 알려지고 있다.

2004년 3월에 개통된 新八代-鹿兒島중앙(西鹿兒島에서 개칭될 예정)간 약 127km를 九州신간선용 800계전차의 컨셉으로서는 JR九州가 20세기 최후로 디자인 전략을 강하게 내세우며 만든 재래선 특급차량의 주체성을 집대성하여 21세기 최초의 신간선 차량이라고 하는 것을 강하게 의식하는 한편, "日本이기도 하고 九州이기도 하다" 라고 하는 지역특성과 풍토를 느낄 수 있는 것을 기본적인 시각으로 자리잡았다고 한다. 이것을 표현하기 위해 신간선이라고 하는 첨단기술에 전통적 소재와 장인의 기능에 의한 가구류를 조합하고 있다.

전차는 6량편성으로, 개업시까지 5편성 30량이 갖춰진다. 鹿兒島방면 1호차부터 ①821형0대+②826형0대+③827형0대+④827형100대+⑤826형100대+⑥822형100대로 된다.

표 2.2-4

차 종	내 용
0계	- 주요 특징 : 스틸, 11840kW, 탭제어, 직류 직권 전동기 - 편성길이 : 400m - 최고속도 : 220km/h - 좌석수 : 1340석
100계	- 주요 특징 : 스틸, 11040kW, SCR 위상제어, 직류 직권 전동기 - 편성길이 : 400m - 최고속도 : 230km/h - 좌석수 : 1321석
200계	- 주요 특징 : 알루미늄, 눈제거장치 12880kW, SCR 위상제어, 직류 직권 전동기 - 편성길이 : 400m - 최고속도 : 275km/h - 좌석수 : 1321석
300계	- 주요 특징 : 알루미늄, 12000kW, GTO, IGBT 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 402m - 최고속도 : 270km/h - 좌석수 : 1323석
400계	- 주요 특징 : 스틸, 5040kW, SCR 위상제어, 직류 직권 전동기 - 편성길이 : 149m - 최고속도 : 240km/h - 좌석수 : 399석
500계	- 주요 특징 : 알루미늄 하니콤, 11240kW, GTO, IGBT를 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 404m - 최고속도 : 300km/h - 좌석수 : 1323석
700계	- 주요 특징 : 알루미늄 하니콤, 11240kW, GTO, IGBT 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 405m - 최고속도 : 270km/h - 좌석수 : 1323석
800계	- 주요 특징 : 알루미늄 하니콤, 6600kW - 편성길이 : 155m - 최고속도 : 260km/h - 좌석수 : 392석

표 2.2-4 (계속)

차 종	내 용
E1	- 주요 특징 : 스틸, 2층차, 9840kW, GTO, IGBT 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 302m - 최고속도 : 240km/h - 좌석수 : 1235석
E2	- 주요 특징 : 알루미늄, 7200kW, GTO, IGBT 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 201m - 최고속도 : 275km/h - 좌석수 : 630석
E3	- 주요 특징 : 알루미늄, 4800kW, GTO, IGBT 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 108m - 최고속도 : 275/130km/h - 좌석수 : 270석
E4	- 주요 특징 : 알루미늄, 2층차, 6720kW, IGBT 사용, VVVF 인버터 유도전동기 - 편성길이 : 201m - 최고속도 : 240km/h - 좌석수 : 817석

기본적인 성능은 東海道·山陽신간선의 700계와 동일하며, 특히 JR西日本의 "히까리레일스타"가 기본이다. 단 3량 유니트의 전동차에 제어차를 조합시킨 6M2T의 히까리레일스타에 대해 800계는 6량편성 全전동차방식으로 되어 있다. 이 때문에 편성출력 6,600kW (275kW x 24대)는 동일하지만 편성중량은 히까리레일스타의 약 320t에 비해 800계는 252.9t으로, 단위중량당 출력이 700계를 상회하는 만큼 35‰급 구배구간에 대비하고 있다.

九州신간선의 최고운전속도는 260km/h이지만 차량성능으로서는 285km/h 운전이 가능하며 고속시 요동방지를 위해 차량간 댐퍼와 세미액티브서스펜션도 같이 설치되어 있다. 한편, 팬터그래프는 東北신간선 八戶연장시에 신조된 JR東日本E2계1000대와 같은 애자커버레스 싱글암식이지만 내설대책은 생략되고 있다. 또 ATC장치는 최신방식인 디지털ATC를 채용한 점이 700계와 틀린 점이다.

열차애칭은 일반공모로 <쯔바메>로 명명되었다. 이것은 九州로서도 새로운 시대

를 여는 면에서 부활시킨 애칭명으로서, 이미 鹿兒島행 열차로서 정착하고 있는 점에서 채용되었다. 또한 博多-新八代간에 운전되는 재래선특급은 <릴레이쯔바메>의 애칭으로 된다.

4. 스페인

Madrid-Sevile 간을 새로운 고속철도를 건설하기로 결정하고 1987년 10월에 착공하여 Barocelona 올림픽경기 이전인, 1992년 4월에 운행 최고 속도 250km/h의 고속전철을 개통하였다. 이것이 AVE(Alta Velocitad Espaniola) 열차로, TGV-Atlantique의 설계를 채택하여 프랑스에서 제작되었다. 독일식 콘크리트 기둥에 설치된 전차선으로부터 25kV의 전원을 열차의 각 동력차 지붕의 끝부분에 설치되어 있는 2개의 판토그라프를 통하여 집전하는 시스템을 가지고 있다. TGV-PSE는 Madrid-Barocelona 간을 최고속도 350km/h로 운행할 수 있도록 할 예정이며, Barcelona Narbonne 간은 최고속도350km/h로 프랑스와 공동으로 발주하여 2004년에 개통예정이다.

표 2.2-5

구간	연장	최고속도	최소 곡선반경(m)	최급구배	착공	개통
Madrid-Cordoba	350km	250km/h	4,000이상	12.5%	1997.10	1992.4
Cordoba-Seville	125km	250km/h	4,000이상	12.5%	1997.10	1992.4

또한 Talgo사와 Adtranz사는 공동으로 시속 300km/h~350km/h의 성능을 내는 고속전철을 개발키로 계획을 가지고 있다. Talgo사는 객차 개발을 하고 Adtrantz사는 동력차를 개발하기로 하였으며, 열차 동력은 4000kW로 25kV의 전압을 사용 한층 진화된 견인 제어 시스템과 Real Time Maintenance Workshop등을 갖추게 된다. 차량은 Single Bo-Bo 형태의 동력차와 관절형 6량 객차로 이루어진다. 특히 소음 저감 측면과 트랙의 손상을 줄이기 위하여 특별히 설계된 관절형 객차이다. 객차는 알루미늄 차체로 경량화 시켜 에너지 효율이 높아졌으며, 새로운 개념의 HVAC와 공력소음을 줄이기 위한 차량 측면의 새로운 처리를 계획하고 있다.

5. 이탈리아

이탈리아에서는 국토의 대부분이 산악지형으로 직선화된 고속철도의 건설이 부적합하다고 판단하여 곡선이 많은 기존선을 활용하여 운행시간을 단축하는 연구 및 정책이 진행되었으며, 교통수단의 성능향상은 편리성 증진을 위하여 고속 신설망 구축 계획을 수립하여 진행하고 있다. 고속 신설망은 현재 기존선의 고속화와는 별도로 추진되고 있으며 2005년에 완공이 가능할 것으로 보고 있다.

고속선에서의 300km/h 운전을 지향하여 개발된 ETR500은 앞뒤에 기관차가 있는 Push-Pull 형식으로 수송 수요에 따라 객차의 수를 변화시킬 수 있다. 1차로 30편성이 발주되어 1996년말부터 밀라노-로마-나폴리간에서의 영업운전을 시작하였다. 양단에 전기기관차를 연결, 중간에 보기객차를 11량(1등차 3량, 특별 1등차 1량, 뷔페부 식당차 1량, 2등차 6량) 연결하며 최고운전속도는 300km/h이다. 2차로 제작된 30편성은 교직류 C3kV/ AC25kV50Hz)로서 기관차 전면 디자인은 둥근 띠를 두른 것으로 되어 있다. 1998년 9월부터 시험이 개시되었지만 교류전화의 신선이 완성되지 않아 우선 DC3kV만으로 사용한다. 표 2.2-6은 ETR500의 열차 제원을 나타낸 것이다.

표 2.2-6

항목	운영 및 서비스 특징
운영형태	여객 및 화물 혼용
운영구간	964.7km
최고속도 (운영속도)	250~300km/h (객차 200km/h, 화차 160km/h)
최소 곡선반경	5,450m
최대 구배	1.8%
최대 축중	18 ton
급전	25kV, 50Hz AC
신호 시스템	프랑스식 TVM430 시스템
차량	ETR500
편성당 수송량	590석
총 연장	964.7km(최종 1300km 예상)

6. 미국

미국은 9.11테러 이후 고속전철에 대한 관심이 높아지고 있으며 현재 각 주에서 고속전철 도입을 검토 및 추진 중에 있다. 따라서 우리나라 기술로 개발된 한국형 고속전철이나 경부고속전철의 기술을 바탕으로 시장 개척의 여지가 많다고 할 수 있다. 그러나 미국 시장 진출은 엄격한 규정과 독특한 사회적 환경으로 인해 쉽지 않을 것으로 보인다. 철도와 관련된 일반적인 규정들을 알아보면 연방규정(Code of Federal Regulation Title 200~399), 장애자법(Americal Disabilites Act), 미국 철도 엔지니어링/유지 보수법(American Railway Engineering & Maintenance Way of Engineering) 등이 있으며 열차 내에 사용되는 모든 전장품 및 기장품은 Consultant와 협의를 통해, 필요시 FRA(Federal Railroad Administration)의 승인을 받아야 한다. 무엇보다 가장 어려운 점은 미국 내 150mph(240km/h)이상의 속도를 내는 차량에 대한 규정이 없다는 것이다. 그만큼 미국 시장은 고속전철 운행 경험이 없는 시작 단계이기 때문으로 자국인의 안전을 위해 보다 엄격한 규정을 제정하고 있는 것이다. 따라서 우리는 미국 시장 진출을 위하여 사전에 많은 자료의 검토와 조사를 할 필요가 있으며 가격 경쟁력을 높이기 위한 원천 기술 개발이 필요하다고 하겠다.

현재 미국 내 추진 중인 고속전철 프로젝트로는 캘리포니아와 플로리다가 있으며 그중 플로리다 고속전철 사양을 살펴보면 한국형고속전철의 사양과 차이점을 가지고 있다. 특히 동력차의 압축하중은 953[ton]을 요구하고 있어 200[ton]으로 설계된 한국형고속전철에 대하여 많은 격차를 보이고 있다. 따라서 953[ton]에 맞추어 차체를 재설계를 한다면 재질과 구조 등 변화가 불가피하며, 이는 현재 17[ton]인 축 중의 증가가 예상되므로 차체, 대차 제동 추진계 등 전반적인 열차의 재설계가 필요할 것이다.

또한 한국형 고속전철개발사업을 통하여 개발된 전장품들은 UIC 및 IEC 규격을 따랐으며 CFR과의 규격과의 적합성을 검토하여 보완하여야 한다는 문제점을 가지고 있다.

현재 미국에서 운영되고 있는 고속전철 노선은 북동회랑(워싱턴-뉴욕-보스톤간 734km)에 새로운 고속열차를 도입하기 위해 장거리여객수송공사 Amtrak은 고속열차 12편성과 200km/h 운전용 전기기관차 15량을 알스톰과 본발티에사에 발주하였다. 아셀라 고속전철의 특징은 Bombardier의 틸팅 기술과 Alstom의 관절형 대차를

사용한 것이라 할 수 있으며 최고운행속도는 240km/h이다.

고속열차는 개발시 「아메리칸플라이어」로 불렸지만 차량완성에 맞추어 「아셀라(Acela)」로 명명하였다. 최초의 편성이 1998년에 완성되어 푸에블로의 시험선에서 시험중이다. 아셀라는 기관차 2량과 비연절객차 6량(1등차 1량, 2등차 4량, 비스트로차 1량)의 편성으로 기관차는 VVVF 인버터제어, 유도전동기구동으로서, 전동기는 대차에 설치(TGV는 차체설치)되어 있다. 또 객차에는 본발티에사가 개발한 차체경사시스템을 채택하고 있다.

표 2.2-7

구 분	FHSR(Florida High Speed Rail)	한국형고속전철	경부고속전철
Development Period(yrs)	4.8	11	9.2
Speed(mph/kmh)	120/193	218/350	186/300
Train Formation	2P+5T	2P+2IP+3T	2P+2IP+16T
Traction Motor	750kW	1100kW	1130kW
Power Electronic Device	-	IGBT, IGCT	GTO Thyristor
Compression Load (Power Car Cab)	953[Ton]	200[Ton]	200[Ton]
Compression Load(Trailer Car)	363[Ton]	200[Ton]	200[Ton]
Collision Absorption Energy Front, End of Power Car and Trailer Car	5MJ, 3MJ, 5MJ	6MJ, N/A, M/A	5MJ, N/A, N/A
Fire Retardancy	NFPA 130	NF F 16101/102	NF F 16101/102
Eddy Brake System	No Necessary	Applied	N/A
Pressurization System	No Necessary	Applied	N/A
Disabled Facility	ADA	Partially appied	Partially appied
Electric & Electronic Euquipment	CFR	UIC, IEC	NF, UIC, IEC

7. 영국

영국은 1970년대에 들어서면서 수송력 증강을 위한 도시간 철도의 고속화를 추진하였고, 그의 일환이 APT(Advanced Passenger Train) 계획이다. APT계획은 신선을 건설하지 않고, 기존선을 전철화하고 진자식 차량을 개발, 최고속도 250km/h로 운행하려는 시도였다. 그러나 북해 유전의 발견으로 에너지 절감의 필요성이 약화되면서 철도 고속화 연구는 사실상 중단되어, APT계획은 실패한 것으로 평가된다.

그 다음 계획으로는 APT의 전기기관차가 아닌 디젤기관차를 이용하는 고속열차 HST(High Speed Train)을 개발하고자 하였지만, HST의 운행선로는 신선이 아니었기 때문에 HST의 최고속도인 210km/h의 주행이 불가능 하였고, 그러한 이유로 161km/h로 운행되었는데, HST가 아닌 전기열차도 177km/h로 운행되고 있었음으로 보아 HST계획 역시 실패라고 볼 수 있다.

현재는 London-Edinburgh 사이의 동해안선의 전철화를 추진하고 있으며, 이와 더불어 HST를 개량한 MARK IV열차로 최고속도 240km/h의 운행을 계획하고 있다. 영국은 선로의 개량이나 신선의 건설보다는 차량에 대한 차량동력학적 연구를 통하여 기존선에서 열차의 고속화를 도모하려는 경향이 있다. 이러한 방식의 철도 고속화에는 한계가 있다. 수송효율을 감안하지 않는다면 비용이 적게 드는 방법이기도 하다.

8. 스웨덴

스웨덴은 1970년부터 10여 년간 연구개발을 거쳐 실용화한 200km/h급 고속열차를 운행 중에 있다.

- 1986년 최고속도 200km/h의 틸팅열차 X2000 도입 및 Stockholm~Goteborg간 454km 노선에 운행 개시. 기존선(선로 개량)에서 특히 곡선구간에서 속도 향상.
- 1993년 X2000을 기존선 개량구간에서 고속 시험운행, 276km/h 달성
- 1996년까지 Stockholm~Malmo간 600km 구간 최고속도 200km/h로 선로 개량
- 2003년까지 Stockholm~Goteborg간 노선 중 일부구간 최고속도 350km/h로 향상
- 1988년부터 기반시설(건설)은 국유 철도청이 기획, 건설, 유지보수 등을 담당하고 철도운영은 스웨덴 국철(SJ) 및 민간 철도회사가 국가로부터 임대 형태로 운영하고 있다.

9. 러시아

러시아는 광대한 국토만큼이나 장거리 노선이 많아, 국내에서 Moskva와 Vladivostok 사이의 9,288km를 묶는 세계 최장의 시베리아 철도는 우등열차 '러시아호'가 매일 1개 노선씩, Moskva와 Vladivostok를 출발해서 약 7박 8일의 시간동안 이동한다. 이 노선은 1916년에 전 구간이 개통되었지만, 전철화 공사는 1929년에 개시되어 전체 노선의 전철화를 달성한 것은 73년 후인 2002년 12월이었다.

러시아는 Moskva~SanktPetersburg, Brest~Moskva 간의 고속철도 선로건설, 시베리아 철도의 컨테이너 수송 강화, 야간철도 전철화 및 복선화, 사하철도 광궤화, 고속전차 Sokol 개발, Talgo식 자동 궤관 변환 차량 도입 등의 향후 계획을 가지고 있다.

10. 캐나다

캐나다도 디젤 전기식 기관차로 견인하는 LRC(Light Rapid Comfortable) 차량을 개발하여 운행하고 있는데, 이 차량은 차체 경사장치인 Banking System을 장착하고 있으며, 200km/h급 열차로서 차량동력학적 연구에 의하여 속도향상을 기한 것이 특징이다. 최근에는 캐나다 회랑(Canadian corridor)에 대해서 콘소시움을 결성하여 고속전철 건설의 타당성을 검토하고 있다. 캐나다 회랑은 퀘벡(Quebec)~몬트리올(Montreal)~토론토(Toronto)~윈저(Winsor) 사이의 1,200km 구간을 말하며, 컨소시움은 Bombardier ~Alsthom, Air Canada~CP, Rail, ABB Traction으로 구성되었다.

11. 호주

2002년 6월부터 건설공사가 시작되어 앨리스 스프링스~다윈 간 1,420km의 신선로가 완성되어 대륙의 남부 애들레이드와 북부의 다윈 사이의 남북 종단철도가 연결되었다. 이 신선은 궤간이 1,435mm로 축중은 23t이다. 최고 구배 12%, 전 선로를 단선으로, 역 이외에 교차 설비가 2개소에 설치되어 있다. 설계최고속도는 115km/h이지만 매일 운행되는 길이 1.6km의 2층 컨테이너 화물열차(더블스택트레인)은 약 90km/h로 운행 중이다.

향후 계획으로는 Sydney~Canberra(350km/h)구간, Brisbane~Rockham(160km/h이상)구간의 고속화 개발이 추진 중에 있다.

12. 터키

터키 국철이 운용 중인 디젤 기관차는 독일·프랑스·미국제 등 다양한 종류가 있지만 1970년 알스톰사의 DE2400형 전기식 디젤 기관차가 반 이상인 288량을 차지한다. 한편, 전기 기관차는 도시바제 E43000형이 많아서 전부 45량이 있다. 그리고 Ankara나 Istanbul의 근교 수송에 사용되는 Tuvasas 및 유럽 기업 그룹 사제의 E14000계 전철 63량, Izmir에서 근교 수송에 도입한 피아트 MT5700형 기동차 30량도 운행 중이다.

2002년부터는 노선 연장을 위해 약 1,900km구간의 CTC화가 되고 있다. 그리고 전철화 구간은 광석 수송로선 및 근교 노선으로 점진적 확대를 계획하고 있다.

13. 대만 및 중국

대만에 있어서는, 대북-고웅간(345km)의 서해안선에 대해 고속화 프로젝트가 실제 시행되기 시작하였다. 이 프로젝트에 대해서는 일본과 프랑스·독일연합(유로트레인·컨소시엄)과의 경쟁으로 되었다. 1997년 일단 유로트레인이 우선입찰자격을 얻어 독일의 ICE의 동력차와 TGV2층차량에 의한 공개시험도 1998년 독일에서 이루어졌다. 1998년 7월에는 철도시설의 BOT계약(건설·운영·양도) 프로젝트에 대해 대만운수성으로부터 시행 동의가 나왔지만 유로트레인과는 정식계약에는 이르지 못했다.

1999년 12월에는 일전하여 일본의 기업그룹 「대만신간선컨소시엄」에 차량을 포함한 전기·기계 일괄거래에 대한 우선교섭권을 부여하는 결정이 이루어졌다. 유로 트레인측은 이에 반발하였지만, 대만측은 1997년 우선 입찰의 합의는 제조품납품업자의 선정을 구속하는 것은 아니라고 하였다. 대만이 왜 일전하여 일본으로 결정하였는가는 밝혀지지 않고 있지만, 수송용량과 축중 문제에서 열차정원이 훨씬 많은 일본 열차쪽이 대만의 사정에 맞다는 점과 일본의 은행들로부터 자금조달의 가능성 등이 그 요인이 아닐까하고 알려지고 있다 대만신간선컨소시엄은 신간선 700계를 기본으로 한 고속열차를 대만의 고속노선에 투입할 예정이다.

중국의 고속철도 사업자로 일본과 프랑스, 캐나다 등 응찰에 임한 3국의 컨소시엄이 모두 선정됐다. 일본의 가와사키(川崎) 중공업 컨소시엄과 프랑스의 알스톰 컨소시엄, 캐나다의 봄바르디아 컨소시엄은 베이징(北京)-선양(瀋陽) 구간을 포함한 총연장 2천㎞인 고속철 사업을 노선별로 분할 수주, 차량을 납입하는 것으로 확정

했다. 그리고 3국의 각 컨소시엄에는 중국 국내의 철도차량 업체가 포함돼 있다.
중국 국내의 철도 재래선을 내년부터 시속 200㎞의 고속철도 노선으로 탈바꿈시키는 이 사업은 총 철도차량 200편성(1천600량)이 대상으로 가와사키 중공업과 알스톰, 봄바르디아는 각각 4천200억엔, 5천400억엔, 3천800억엔으로 응찰했다.
중국측이 응찰에 나선 3국 사업자 모두를 낙찰자로 선정한 것은 일본, 프랑스의 기술력과 캐나다의 중국내 철도고속화 실적 등을 두루 배려한 것으로 분석된다.
이와 별도로 현재 중국은 베이징-상하이(上海) 1천300㎞ 구간의 고속철도화를 추진중이며 여기에는 일본과 독일, 프랑스 사업자가 뛰어들었다. 이 경쟁에는 이번에 재래선의 고속 사업자로 선정된 일본과 프랑스측 업체가 일단 유리한 고지를 점한 것으로 보인다.

14. 브라질

브라질 철도의 총 연장은 3만 km에 이르지만 연방 철도, 철광석 운반용으로 부설된 피트리아미나스 철도(Vitoria a Minas Railway: EFVM), 통근 철도를 운행하는 도시철도공사(Companhfa Brasilera de Trens Uranos: CBTU) 그리고 상파울로 주내의 상파울로 주립 철도(FEPASA) 등 많은 기업이 존재한다.

민영화한 RFFSA 그룹은 회사에 따라 격차는 있지만 전체적으로는 민영화로 인해 수송량이 증가하여 노동 생산성도 향상되었고 기업 체질도 강해지고 있다. 구체적인 수송 실적은 경기의 침체나 석유 파이프라인의 완성도 있었지만, 1996년 대비 2002년에는 50% 가량이 증가했다. 사원수는 당초 계획으로 3만 8,000명의 종업원 가운데, 1만 8,000명을 줄일 계획이었고 실제로도 재고용 등의 중복을 고려하고도 계획대로 실현되었다.

상파울로에는 CBTU에서 분리된 CPTM(Companhia Paulista de Trens Metropolitanos)이 지하철을 지원하여 도시 교통으로서의 철도 정비가 활발하게 행해지고 있다.

브라질은 각 선로 구간이 착실하게 발전해 나가는 단계에 있다. Rio de Janeiro~Sao Paulo 합의 고속철도 계획이나 완전히 새로운 화물철도의 새 선로의 건설을 장기적으로 추진할 계획이다.

제3장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 일반

1. 총 연구개발비

표 3.1-1 (단위: 천원)

구 분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	계
정부출연금		1,800,000	2,100,000	2,340,000	2,960,000	3,760,000	12,960,000
민간부담	현 금	127,771	168,837	209,603	167,041	206,510	879,762
	현 물	472,242	531,163	647,397	1,032,959	1,277,490	3,961,251
계	현 금	1,927,771	2,268,837	2,549,603	3,127,041	3,966,510	13,839,762
	현 물	472,242	531,163	647,397	1,032,959	1,277,490	3,961,251
		2,400,013	2,800,000	3,197,000	4,160,000	5,244,000	17,801,013

2. 민간기업 참여현황

가. 1차년도

표 3.1-2 (단위: 백만원)

연구개발 과제명	연구기관 (책임자)	1차년도 연구개발비				계	참 여 기 업	
		정부	기 업				부담금	유형
			현금	현물	소계			
고속철도 차량 시스템 안정화 기술개발	(주)로템	757.1	75.7	176.7	252.4	1,009.5	252.4	대기업
	현대중공업(주)	259.3	25.9	60.5	86.4	345.8	86.4	대기업
	유진기공산업(주)	264.2	8.8	79.2	88.1	352.2	88.1	중소기업
	유진전기공업(주)	106.9	3.6	32.1	35.6	142.5	35.6	중소기업
	(주)비츠로테크	240.0	8.0	72.0	80.0	320.0	80.0	중소기업
	정원산전(주)	60.0	2.0	18.0	20.0	80.0	20.0	중소기업
	인터콘시스템스(주)	112.5	3.8	33.8	37.5	150.0	37.5	중소기업
합 계		1,800.0	127.8	472.2	600.0	2,400.0	600.0	

나. 2차년도

표 3.1-3 (단위: 백만원)

연구개발 과제명	연구기관 (책임자)	2차년도 연구개발비				계	참 여 기 업	
		정부	기 업				부담금	유형
			현금	현물	소계			
고속철도 차량시스템 안정화 기술개발	(주)로템	1,241.1	124.1	289.6	413.7	1,654.8	414	대기업
	현대중공업(주)	241.5	24.1	56.3	80.5	322.0	80	대기업
	유진기공산업(주)	110.4	3.7	33.1	36.8	147.2	37	중소기업
	유진전기공업(주)	55.2	1.8	16.6	18.4	73.6	18	중소기업
	(주)비츠로테크	55.2	1.8	16.6	18.4	73.6	18	중소기업
	정원산전(주)	34.5	1.2	10.3	11.5	46.0	11	중소기업
	인터콘시스템스(주)	362.2	12.1	108.7	120.7	482.9	121	중소기업
합 계		2,100.0	168.8	531.2	700.0	2,800.0	700	

다. 3차년도

표 3.1-4

(단위: 백만원)

연구개발 과제명	연구기관 (책임자)	3차년도 연구개발비				계	참 여 기 업	
		정부	기 업				부담금	유형
			현금	현물	소계			
고속철도 차량시스템 안정화 기술개발	(주)로템	1,381	141	330	471	1,852	471	대기업
	현대중공업(주)	411	44	104	148	490	148	대기업
	유진기공산업(주)	70	3	31	34	105	34	중소기업
	유진전기공업(주)	55	3	26	29	85	29	중소기업
	(주)비츠로테크	34	2	20	22	56	22	중소기업
	정원산전(주)	56	3	27	30	85	30	중소기업
	인터콘시스템스(주)	332	12	110	122	524	122	중소기업
합 계		2,340	210	647	857	3,197	857	

라. 4차년도

표 3.1-5 (단위: 백만원)

연구개발 과제명	연구기관 (책임자)	4차년도 연구개발비				계	참 여 기 업	
		정부	기 업				부담금	유형
			현금	현물	소계			
고속철도 차량시스템 안정화 기술개발	(주)로템	1,883	114	649	763	2,646	763	대기업
	현대중공업(주)	438	27	151	178	616	178	대기업
	유진기공산업(주)	110	4	40	44	154	44	중소기업
	유진전기공업(주)	60	2	22	24	84	24	중소기업
	(주)비츠로테크	34	1	13	14	48	14	중소기업
	정원산전(주)	145	6	53	59	204	59	중소기업
	인터콘시스템스(주)	290	12	106	118	408	118	중소기업
합 계		2,960	166	1,034	1,200	4,160	1,200	

라. 5차년도

표 3.1-6 (단위: 백만원)

연구개발 과제명	연구기관 (책임자)	5차년도 연구개발비				계	참 여 기 업	
		정부	기 업				부담금	유형
			현금	현물	소계			
고속철도 차량시스템 안정화 기술개발	(주)로템	2,707	160	908	1,068	3,775	1,068	대기업
	현대중공업(주)	238	14	80	94	332	94	대기업
	유진기공산업(주)	397	16	141	157	554	157	중소기업
	유진전기공업(주)	113	4	40	44	157	44	중소기업
	(주)비츠로테크	60	2	21	23	83	23	중소기업
	정원산전(주)	156	6	55	61	217	61	중소기업
	인터콘시스템스(주)	90	4	32	36	126	36	중소기업
합 계		3,761	206	1,277	1,483	5,244	1,483	

3. 참여기업 업무 추진체계

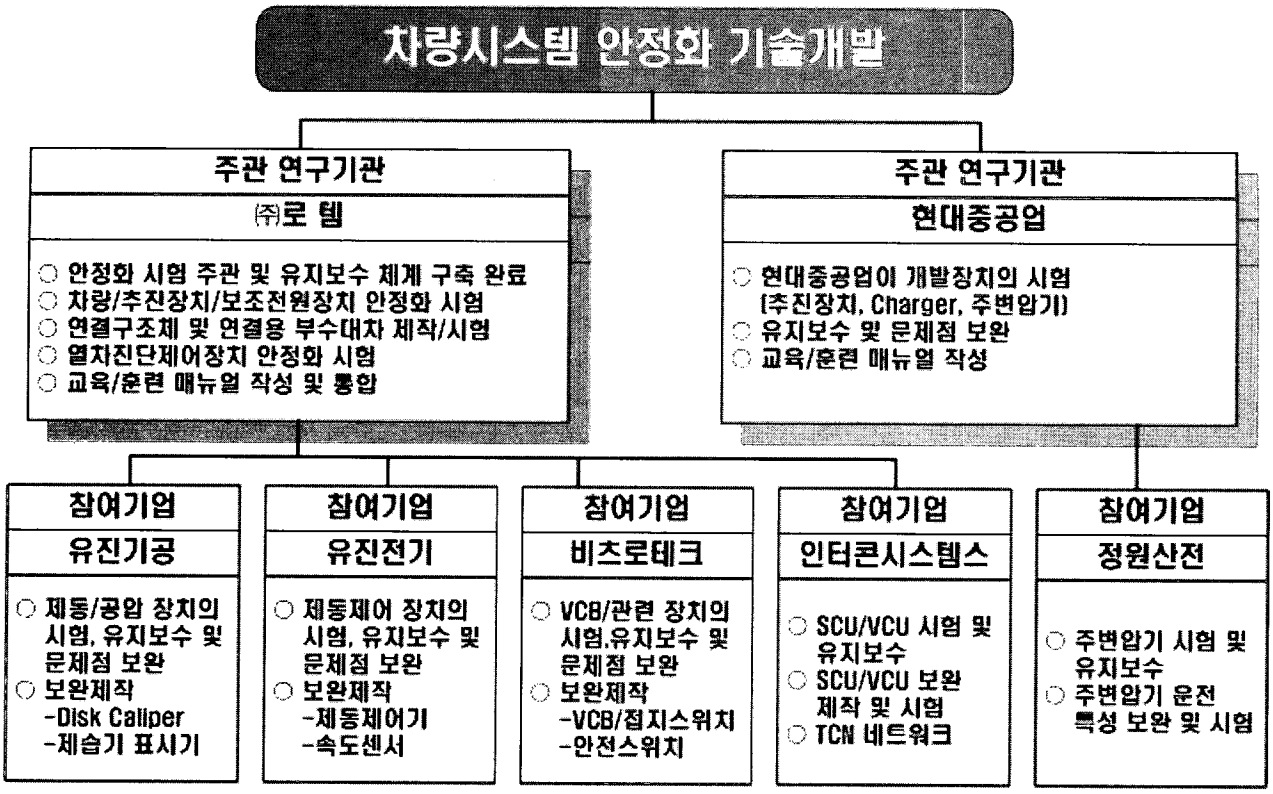


그림 3.1-1 기술개발 추진체계

차량시스템 안정화 기술개발은 로템, 현대중공업이 공동주관하며, 참여기업은 연구개발 내용에 따라 로템이 관리하는 참여기업과 현대중공업이 관리하는 참여기업으로 구분하여 참여하였다. 또한, 로템 및 현대중공업은 상호 협의, 협력하에 연구개발을 수행하되, 각각의 참여기업을 포함한 연구개발 수행, 사업비 사용, 개발결과 및 기술료 징수/사용/납부 등 제반적인 사항에 독립적인 책임을 지고 사업을 수행하였다.

가. 주관연구기관 ((주)로템)

- 차량시스템 안정화 시험 및 기존선 연계 시운전 시험주관
  · 시험계획수립, 일정관리 및 시험수행/문제점 분석
  ※ 4만km 이상 주행시험을 통한 내구성, 안정성 및 신뢰성 확보로 조기 실용화 추진
- 시험 및 유지보수시 (주)로템이 개발한 장치의 문제점 보완(차량, 대차, 추진/보

조전원장치)

- KTX에 준하는 일상/주간/월간/3개월/6개월/1년 주기 검사지침서를 작성하고, 지침서에 따른 유지보수 반복검사
- 유지보수 검사시, 문제점 및 데이터 분석 체계구축 완료
- 고속전철공단/철도공사와의 설계검토에 따른 차량시스템 실용화 변경설계
- 차량시스템 실용화를 위한 변경 시스템 성능 검증시험
- 시험 결과 분석에 따른 하위시스템 특성분석 및 대책수립
- 연결링 구조개선 연구는 개발차량의 연결링 부분의 경사판, 지지부 및 링의 일부 변경과 재료를 변경하여도 향후 특허분쟁 발생 가능성이 있으므로 새로운 연결링 개발이 필요함에 따라 사업5차년도에는 연결구조체 제작/시험, 성능평가 수행
- 향후 수요가 예상되는 구간은 전라선 등이므로 10량 1편성 구성시 동력객차가 불필요함. 따라서 수요에 능동적으로 대처할 수 있는 편성제작을 위해 동력차와 객차의 연결을 위한 연결용 부수대차의 개발이 필요함에 따라 사업5차년도 연결용 부수대차 제작/시험
- 열차진단제어장치 안정화 시험
- 교육훈련 매뉴얼 작성 총괄

나. 로템의 참여기업(유진기공산업(주), 유진전기공업(주))

- 유진기공이 개발한 장치의 시험, 유지보수 및 문제점 보완
- 실용화를 위한 보완설계, 제작 및 성능검증
- 와전류제동장치의 시험
- 연결용 부수대차 제작을 위해 제동장치 부품(제동디스크, 제동실린더, 센서 등) 변경 및 차량분야 지원
- 교육훈련 매뉴얼 작성

다. 로템의 참여기업(비츠로테크)

- 차단기, 접지스위치 및 safety switch의 사용시험 및 보완
- 유지보수체계의 구축
- 차단기 안전성 확보

- 교육훈련 매뉴얼 작성

마. 로템의 참여기업(인터콘시스템스(주))

(1) TCN 게이트웨이(Gateway) 신뢰성 확보

(2) MVB 통신 실시간 감시 기능 확보

(3) WTB 소프트웨어 보완

(4) TCN 통신품질 측정 시스템 구축

(5) 열차진단제어장치 시험지원

바. 주관연구기관 (현대중공업(주))

(1) 주전력변환장치

- 전력용 능동 반도체 소자 안정화 시험
- 컨버터 제어 알고리즘 고성능 튜닝시험
- 인버터 출력전류 신뢰성 향상
- 인버터 제동성능 안정화
- 제어기 안정화 및 문제점 보완
- 전력회로 안정화 및 문제점 보완
- TCN Network 안정화
- 본선시운전을 통한 Data 분석하여 전력용반도체 소자의 고장 횟수 시운전 1회 당 0.1개 이하 목표

※ 중간평가 결과에 따라 반영된 사항임.

(2) 배터리 충전기

- 본선시운전을 통한 충전기 안정화
- 전력회로 Stack 안정화
- 제어기 안정화

마. 현대중공업의 참여기업(정원산전(주))

- 현대중공업과 공동 개발한 주변압기 시험 및 유지보수 지원수행
- TM5 변압기 코일을 교체 작업 실시
- Silicon oil 교환 및 절연 향상 작업 실시

- 주변압기 냉각용 팬 국산화 개발
- 주변압기 외함 보수 및 관리 체계 립으로 사고예방 계획 수립
- 절연상태 및 냉각장치의 신속한 시험 실시
- 각종 온도센서의 신속한 점검, 시험방안의 강구 및 효율적인 보수 점검
- 각종 Sealing 개소 점검 및 보수
- 운전 특성 시험 및 분석

4. 주요 인터페이스 추진경위

날짜	구분	추진내용
2005.12.06	공문	○ 한국형 고속열차 12만km 주행 및 3차 연구성과 발표회 개최 공문 접수 - 관련근거 : 고속철도기술개발사업운영지침 제28조의2(연구성과 발표등) - 일 시 : 2005년 12월 13일(화) 09:30~17:00 - 장 소 : 고속철도 광명역 홍보실(1번게이트 지하1층) - 참석대상 : 건설교통부, 한국철도공사, 한국철도시설공단, 시운전단, 국가과학기술위원회 위원, 운영위원, 참여기업 관계자, 주관연구책임자 및 참여연구원 등 - 주요내용 : · 한국형 고속열차 시승(광명역↔천안역) · 연구과제별 연구책임자 연구성과 발표 · 각 과제별 현안사항 및 사업추진현황 관련 질의응답
2005.12.09	차륜 삭정	○ 한국형고속열차 차륜삭정 협조 요청 한국형고속열차의 차륜삭정을 하기위한 협조요청공문 - 관련근거 : 고속전철기술개발사업 개발차량 시운전시험에 관한 협약서('05.11.01) - 기 간 : 2005년 12월 16일(금) - 장 소 : 수색차량사무소 부곡분소 - 삭정수량 : 2개 대차(3개 차축)

날짜	구분	추진내용
		#2번대차 후위 차축, #7번대차 전위 및 후위 차축 - 단면형상 : KTX용 1/40 Profile - 협조사항 : '05.12.15(목) 23:05~ (오송기지--> 의왕역: 자력이동, 의왕역→부곡분소 기지내이동 : 입환기관차 지원필요) '05.12.17(토) 05:15~ (부곡분소→의왕역 : 입환기관차 지원필요, 의왕역→오송기지 : 자력이동) - 수신처 : 한국철도공사사장(고속차량개발팀장, 서울지역본부 기술처장, 수색차량사무소장)
2005.12.29	차륜 삭정	○ 한국형고속열차 차륜삭정 협조요청 공문 발송 - 관련근거 : 고속전철기술개발사업 개발차량 시운전시험에 관한 협약서('05.11.01) - 기 간 : 2006년 1월 3일(화) - 장 소 : 수색차량사무소 부곡분소 - 삭정수량 : 4개 대차(4개 차축) #1번대차 전위차축, #3번대차 전위차축 #5번대차 전위차축, #6번대차 전위차축 - 단면형상 : KTX용 1/40 Profile - 협조사항 : · '06.1.2(월) 23:05~ (오송기지--> 의왕역: 자력이동, 의왕역→부곡분소 기지내이동 : 입환기관차 지원필요) · '06.1.3(화) 17:15~ (부곡분소→의왕역 : 입환기관차 지원필요, 의왕역→오송기지 : 자력이동) - 수신처 : 한국철도공사사장(고속차량개발팀장, 서울지역본부 기술처장, 수색차량사무소장)
2006.01.09	차륜 삭정	○ 한국형고속열차 차륜삭정 협조요청 공문 발송 - 관련근거 : 고속전철기술개발사업 개발차량 시운전시험에 관한 협약서('05.11.01)

날짜	구분	추진내용
		- 기　　간 : 2006년 1월 12일(목) ~ 1월 13일(금) - 장　　소 : 수색차량사무소 부곡분소 - 삭정수량 : 5개 대차(7개 차축) #1번대차 : 후위차축 #4번대차 : 전위차축 #8번대차 : 전위차축 #9번대차 : 전/후위차축 #10번대차: 전/후위차축 - 단면형상 : KTX용 1/40 Profile - 협조사항 : · '06.1.11(수) 23:05~ (오송기지--> 의왕역: 자력이동, 의왕역→부곡분소 기지내이동 : 입환기관차 지원필요) · '06.1.13(금) 17:15~ (부곡분소→의왕역 : 입환기관차 지원필요, 의왕역→오송기지 : 자력이동) - 수신처 : 한국철도공사사장(고속차량개발팀장, 서울지역본부 기술처장, 수색차량사무소장)
2006.01.11	공문	○ 고속철도기술개발사업 관련 기업 초청간담회 참석의뢰 공문 접수 고속철도기술개발사업과 관련한 사업 성과의 실용화 및 해외시장 진출 촉진 전략 등에 관하여 기업계의 견해를 듣고 협력방안을 논의 - 일　　시 : 2006년 1월 17일(화) 11:00~14:00 - 장　　소 : 한국철도기술연구원 외빈 접견실(신관2층) - 초청대상 : 고속철도기술개발사업 관련 기업대표
2006.02.01	공문	○ 한국형고속열차 시운전단 직원(참여기업) 선정·배치 요청 공문 접수 "한국형고속열차 시운전단 개선.운영" 방안에 따라 한국형고속열차 시운전단에 근무할 로템등 참여기업 인력 18명을 선정하여 전직원 회의에 참석하고 시운전단에서 근무할 수 있도

날짜	구분	추진내용
		록 조치 ▶ 시운전단 전 직원 회의 - 관련공문 : 건교부 공무 철도산업팀-123('06.01.26)호 - 일 시 : 2006년 2월 3일(금) 13:30 ~ 14:30 - 장 소 : 고속철도 광명역 홍보실 - 참석대상 : 시운전단 전직원
2006.02.03	회의	○ 고속철도기술개발사업 주관연구기관 업무협의 공문 접수 - 일 시 : 2006년 2월 6일(월) 14:00~ - 장 소 : 한국건설교통기술평가원 6층 1회의실 - 회의내용 : 5차년도 고속철도기술개발사업 추진 방안 협의 - 참 석 자 : 각 주관연구기관 연구책임자
2006.02.09	차륜 삭정	○ 한국형고속열차 차륜삭정 협조요청 공문 발송 - 관련근거 : 고속전철기술개발사업 개발차량 시운전시험에 관한 협약서('05.11.01) - 기 간 : 2006년 2월 20일(월) - 장 소 : 수색차량사무소 부곡분소 - 삭정수량 : 2개 대차(4개 차축) #9번대차 : 전/후위 차축 #10번대차: 전/후위 차축 - 단면형상 : KTX용 1/40 Profile - 협조사항 : ·'06.2.19(일) : 오송기지(23:15)→의왕역(익일 06:20) 자력이동, (의왕역→부곡분소 기지내이동 : 입환기관차 지원필요) ·'06.2.20(월) : 의왕역(20:45)→오송기지(21:50) 자력이동, (부곡분소→의왕역 : 입환기관차 지원필요) - 수신처 : 한국철도공사사장(고속차량개발팀장, 서울지역본부 기술처장, 수색차량사무소장)
2006.02.21	회의	○ 고속철도기술개발사업 과제책임자회의 개최 공문 접수

날짜	구분	추진내용
		- 관련근거 : 고속철도기술개발사업 운영지침(2002.10) 제9조 1항 - 일 시 : 2006년 2월 28일 (화) 14:30 ~ 18:00 - 장 소 : 한국철도기술연구원 연구지원동 2층 대회의실 - 참석대상 : 한국생산기술연구원, 로템, 현대중공업, LS산전, 대우엔지니어링, 건설기술연구원, 기계연구원 - 회의안건 : · 고속철도기술개발사업 4차년도 연구계획 · 고속철도기술개발사업 4차년도 진행현황 협의 · 차세대 고속철도기술개발사업 설명 및 의견수렴
2006.03.14	회의	○ 열차진단제어장치(TDCS) 시연회 참석요청 공문 발송 - 관련문서 : 로템(기연)제06-051호 - 회의일시 : 2006년 3월 23일(목) 15:00~17:00 - 회의장소 : (주)로템 기술연구소 세미나실 및 TCMS 시험실 - 참석대상 : 고속철도차량 개발팀장, KTX OBCS 개발사업책임자, 한국형고속열차 시운전단장 등 - 회의내용 : · 개발현황 설명 및 TDCS 신뢰성 확보방안 실행결과(1차) 발표 · TDCS 기능 및 조합시험 시연과 평가
2006.03.27	공문	○ 한국형고속열차 차축 초음파 탐상 지원 협조 요청 공문발송 한국형고속열차의 주행안전성 향상을 위한 동력차중공축의 초음파탐상을 위한 지원협조 요청 - 관련문서 : 기연(선행)제06-31호 - 관련근거 : 연구개발 과제협약서(2005.11.01) - 지원요청일자 : 2006년 3월 29일(수) ~ 3월 30일(목) - 지원요청장비 : USL 초음파 포터블 탐상기 및 운송용 장비 - 지원요청인력 : 유지보수 요원 및 책임자(팀장급)
2006.04.05	공문	○ 한국형고속열차 차축 초음파 탐상 지원 협조 요청 공문발송 한국형고속열차의 주행안전성 향상을 위한 테로텍스 제거작

날짜	구분	추진내용
		업 및 동력차중공축 3개의 초음파탐상을 위한 지원협조 요청 - 관련문서 : 기연(선행)제06-36호 - 관련근거 : 연구개발 과제협약서(2005.11.01) - 지원요청일자 : 2006년 4월 6일(목) ~ 4월 7일(금) - 지원요청장비 : USL 초음파 포터블 탐상기 및 관련장비 - 지원요청인력 : 유지보수 전문요원
2006.04.07	공문	○ Semi-Active 댐퍼 취부관련 업무 협조 요청 공문 접수 - 주요내용 : 1. 고속철도기술개발사업과 관련하여 "고속철도기술개발사업 통합 및 총괄" 과제에서 "Semi-Active Suspension의 적용" 연구를 수행함에 있어 횡댐퍼 설치에 따른 열차성능개선 효과가 큰 것으로 검토되어 한국형고속열차에 횡댐퍼를 설치하여 시운전시험과정에서 그 효과 확인하고자 함. 2. 객차 및 동력차에 횡댐퍼 설치 가능성에 대한 검토를 위하여 자료 요청 - 요청자료 : 횡댐퍼 설치 관련 요청자료
2006.04.21	공문	○ 한국형고속열차 신규 진단제어장치 적용 협조 요청 공문 발송 - 관련문서 : 약정서((주)로템 - 현대중공업(주)) - 주요내용 : 1. 기존 개발주관 업체인 현대중공업(주)이 <고속철도기술개발사업> 협약상의 모든 제반사항(권리, 의무 등)을 (주)로템에 양도하고 (주)로템은 이를 승계하여 모든 책임을 지고 <고속철도기술개발사업>을 계속 수행키로 약정서를 체결하였음을 통보 2. 상기 변경과 관계없이 <고속전철기술개발사업> 및 <고속철도기술개발사업>의 진단제어장치 정부기술료는 현대중공업(주)에서 지불할 것임.
2006.06.08	차륜	○ 한국형고속열차 차륜삭정 협조요청 공문 발송

날짜	구분	추진내용
	삭정	- 관련근거 : 고속전철기술개발사업 개발차량 시운전시험에 관한 협약서('05.11.01) - 기 간 : 2006년 6월 16일(금) - 장 소 : 수색차량사무소 부곡분소 - 삭정수량 : 1개 대차(1개 차축) #5번대차 : 후위 차축 - 단면형상 : KTX용 1/40 Profile - 협조사항 : '06.6.15(목) : 광명기지(23:48)→→의왕역 자력이동, (의왕역→부곡분소 기지내이동 : 입환기관차 지원필요) '06.6.16(금) : 의왕역(20:45)→오송기지 자력이동 (부곡분소→의왕역 : 입환기관차 지원필요) - 수신처 : 한국철도공사사장(고속차량개발팀장, 서울지역본부 기술처장, 수색차량사무소장)
2006.06.09	공문	○ 고속철도기술개발사업 4차년도 연구성과 발표회 개최공문 접수 고속철도기술개발사업 4차년도 연구추진 현황에 대한 종합적인 점검 및 연구성과를 발표하기 위해서 연구성과 발표회를 개최 - 관련근거 : 고속철도기술개발사업운영지침 제28조의2(연구성과 발표등) - 일 시 : 2006년 7월 7일(금요일) 10:00 ~ 17:00 - 장 소 : 과천그레이스호텔 크리스탈룸 - 참석대상 : 건설교통부, 한국철도공사, 한국철도시설공단, 시운전단, 건설교통미래기술위원, 운영위원, 참여기업관계자, 주관연구책임자 및 참여연구원 등 - 주요내용 : · 연구과제별 연구책임자 연구성과 발표 · 각 과제별 현안사항 및 사업추진현황 관련 질의응답
2006.07.11	회의	○ Spare 부품 현황 제출 및 주요 전기장치 안정화 회의 참석요청공

날짜	구분	추진내용
		문 접수 1. 각 장치별 Spare 부품 현황 - 제출자료 : 4차년도 기발주 입고량, 현재보유량, 현재발주량 및 향후 발주량 - 제출일시 : 2006년 7월 20일까지 2. 모터블록 및 보조블록 안정화 회의 - 회의일시 : 2006년 7월 14일(금) 10:00 ~ 12:00 - 회의장소 : 광명시운전단 사무실 - 준비자료 : 모터블록 및 보조블록 안정화 방안 - 참석대상 : "고속철도 차량시스템 안정화 기술개발(II-1)"과제 연구책임자 및 실무담당자
2006.07.24	차량 회송	○ 한국형고속열차 회송 신청 공문발송 변압기 장애 복구를 위하여 한국형고속열차 7량에 대한 착지까지의 회송 요청 - 차 량 명 : 한국형고속열차 - 수 량 : 7량 - 차 호 : TP1, TM1, TT2, TT3, TT4, TM5, TP2 - 회송구간 : KTX 광명역에서 오송기지 검수선(M2 Line)까지 - 출발일자 : 2006년 07월 25일 01시 00분 - 도착일자 : 2006년 07월 25일 05시 00분 - 회송방법 : 전세기관차를 이용한 화물탁송
2006.07.28	차량 회송	○ 한국형고속열차 회송 재신청 공문 발송 변압기 장애 복구를 위하여 한국형고속열차 7량에 대한 착지까지의 회송 재요청 고장원인 및 조치사항, 회송관련 당사책임자등 알림. - 고장원인 : 기관차-G7 제동지령변환기제어기(BTCU)의 DC전원공급용 계전기(R-ROS-03) 접점 불량 원인으로 BTCU 전원공급 안됨으로 인하여, 기관차 제동지령이 구원열차(G7 열차)로 전달이 되지 않음

날짜	구분	추진내용
		- 조치사항 : R-ROS-03 계전기 신품교체후 기능정상확인(PC2: 동력차) PC1/2 양 동력차 구원관련 계전기 점검 완료 - 출발일자 : 2006년 7월 29일 01시 00분 - 도착일자 : 2006년 7월 29일 05시 00분 - 회송구간 : KTX 광명역에서 오송기지 검수선(M2 Line)까지
2006.08.10	공문	○ 고속철도기술개발사업 차량안정화 과제 철저시행 요청 공문 접수 - 관련사항 : 고속선 광명역구내에서 발생한 급전장애(2006.7.19) 및 철도공사 안전조사-477(2006.8.3) 한국형고속열차 시운전 시험중 차량고장으로 인해 발생한 철도공사 광명역 구내의 전차선 단선 장애와 관련하여 차량안정화 과제 책임자 및 담당자들께서는 각 관련기업과 차량점검 및 결함에 대한 조치 등을 철저히 시행하여 향후 차량 결함으로 인한 시운전 중지 및 철도공사 영업에 지장을 주는 일이 없도록 협조
2006.08.18	회의	○ 고속철도기술개발사업 주관연구기관 업무협의 공문 접수 2006년도 고속철도기술개발사업 시행계획 세부내용 수립과 관련하여 주관연구기관 회의 개최 - 일 시 : 2006년 8월 23일(수) 10:30 ~ - 장 소 : 한국건설교통기술평가원 3층 1 회의실 - 회의내용 : 고속철도기술개발사업 5차년도 추진방안 협의 - 참 석 자 : 각 주관연구기관 연구책임자
2006.09.08	공문	○ 장치별 Spare 부품 구매 및 재고 관리 철저 공문 접수 - 관련근거 : 고속철도기술개발사업단-12(2006.07.11. Spare 부품 현황 제출 및 주요전기장치 안정화 회의참석요청) 및 로기연 제06-225호(2006.07.20. 한국형고속열차 장치별 Spare 부품현황제출) - 주요내용 :

날짜	구분	추진내용
		1. 고속철도기술개발사업이 2007년 10월에 종료되는바, 각 장치의 Spare 부품들을 제출한 계획에 따라 구매시 누락되지 않도록 할 것. 2. 부품 미확보로 인한 본선시운전 시험일정에 지장이 없게 할 것. 3. 재고품 관리 철저
2006..	공문	○ 공문 접수 - 관련근거 : - 주요내용 : 1. 2. 3.
		○ 공문 접수 - 관련근거 : 고속철도기술개발사업단-12(2006.07.11. Spare 부품 현황 제출 및 주요전기장치 안정화 회의참석요청) 및 로기연 제06-225호(2006.07.20. 한국형고속열차 장치별 Spare 부품현황제출) - 주요내용 : 1. 고속철도기술개발사업이 2007년 10월에 종료되는바, 각 장치의 Spare 부품들을 제출한 계획에 따라 구매시 누락되지 않도록 할 것. 2. 부품 미확보로 인한 본선시운전 시험일정에 지장이 없게 할 것. 3. 재고품 관리 철저
2007.10.17	공문	○ 한국형고속열차 시운전 관련 안정화방안 회의결과공문 접수 고속철도기술개발사업의 추진 관련 한국형고속열차 시운전 안정화방안 협의(차세대고속철도기술개발사업단-122)사항 위 호와 관련하여 개최한 관계기관(기업) 회의에서 협의된 주요 내용을 정리한 회의록 송부

날짜	구분	추진내용
		- 일 시 : 2007년 10월 15일(월) 14:00 ~ 16:30 - 장 소 : 철도연 회의실 - 회의내용 : 한국형 고속열차 시운전시험 실적과 현황 및 협조사항을 설명함. - 참 석 자 : 건설교통부 방윤석 서기관, 이맹춘 주무관 한국건설교통기술평가원 조용희실장, 박준우연구원 철도연 김기환 시운전단장, 목진용 책임 로템 이병석 부장, 현대중공업 김두식 부장 유진기공 박훈규 전무

5. 한국형고속열차 유지보수 개선회의

날짜	참석기관	주요회의내용
2005.11.04	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 유지보수 종결 확인 시험 · 단독제동 확인시험 · SCU와 MB간 기능시험 · 비상제동 시험 · ATC에 의한 비상제동 시험 · 전기제동 시험

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 소비전력 측정 시험 · 활주방지 장치 시험
2005.11.11	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 유지보수 종결 확인 시험 · 단독제동 확인시험 · 열차외부 통신기능 시험 · 비상제동시험 · ATC에 의한 비상제동 시험 · 전기 제동 시험 · 활주방지 장치(동력대차/객차대차) · Heart beat port · 보조속도계 활성화
2005.11.18	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 정적압상력 측정 · 열차외부 통신기능 시험 · 속도이중계 관련 시험 · 300→250kph 100% 상용제동 시험 · 전기 제동시험 · 소비전력 측정시험 · 비정상 가속 성능 시험 · 기존선 ATC 시험
2005.11.25	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 승강문 보완작업(로템)

날짜	참석기관	주요회의내용
	인터콘시스템	· New AIO Board 1, 2 적용성 시험(현대) · ATC 보조속도계 현시 시험 · 비상제동 시험 · 가속성능 시험 · 전기제동 시험 · 야간시운전 현장운영 계획
2005.12.02	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 차륜 찰상관련 제동 Dump 벨브 점검 · ATC 튜닝 관련 야간시운전 · #7대차 차축 해체 및 삭정 후 조립(로템) · 가속성능 시험 · 전기제동 시험 · 비정상 가속시 가속 성능시험
2005.12.09	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 차륜 찰상관련 제동 Dump 벨브 점검 · 주변압기 냉각펜 모터교체 · 와전류 제동장치 추진계획 · 속도이중계 시험 · PC2 주변압기 Fan Motor 교체작업(현대) · 속도이중계 기능확인 시험 · MB#1~3 1호기 Con.2,700V 승압시험(현대) · 속도 이중계 기능확인 시험 · EPL Valve 전류 모니터링 시험 · BBCU Blending 제어 최적화 시험 · 가속성능시험

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 전기제동 시험
2005.12.16	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 제동디스크 비파괴 검사 · 야간 비상제동 시험 · 와전류제동 장치 관련 차량배선 점검 · 장차별 분해검사계획 제출 · 속도이중계 관련시험 · PC2 주변압기 Fan Motor 취부작업(현대) · New ECU Board 적용시험 · 와전류제동장치 전자석 내압측정 · 불연속 정보 수신 확인 시험 · 가속성능 시험 · 전기제동 시험
2005.12.23	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 모터블럭 Slip 제어 · 미결 안정화 시험 완료일정 · 제동디스크 균열 및 볼트 유실 문제 · 향후 제동시험 계획 · 가속성능 시험 · 전기제동 시험
2005.12.29	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 시운전 운행전 차량 예열 · Service Retention 기능 확보(로템/현대/인터콘)

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 본선시운전 가능 차량상태 · 가속성능 시험 · 전기제동 시험
2006.01.13	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 제동디스크 균열 및 볼트 유실문제 · 제동디스크 및 대차 프레임 간섭문제 · 보조속도계 현시기능 보완 · 시운전 중 공사협상단 시승 · PC2 부견압기 Vent Fan Motor 취부(현대) · New ECU보드 적용 시험(기지내 주행) · 전기제동력 Pattern 확인 시험 · 가속성능 시험 · 전기제동 시험
2006.01.20	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 객실조명 점멸 문제해결을 위한 관련기업 현차점검 (2/10일 / 현대, 인터콘 / 오송기지) · New ECU보드 적용 시험(기지내 주행) · 와전류제동장치 정적 시험 · 전기제동력 Pattern 확인 시험 · 가속성능 시험
2006.02.03	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 주간실적 및 향후계획(1주일분) 공정회의 전 공유 · 오송기지의 운영에 대해서는 각 반별 업무분장 확정 후 재

날짜	참석기관	주요회의내용
		논의 · 중 점검 계획(창원) 조속한 제출 및 각반 공유 · 향후 MTF Blower Motor 교환 작업 · ATC, 백업화면 누락사항 확인 및 시험 · ATS 안테나 조정 작업 · 가속성능 시험 · 전기제동 시험
2006.2.10	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 중검점 계획(창원공장)을 참고하여 각업체간 긴밀한 업무협의 후 시행요망 · OBCS 관련, Hot Beat S/W 수정(인터콘) · PC2 냉각송풍팬 교체작업(현대) · Slip 정상동작 여부 기능점검(로템, 현대) · SCU백업 화면 현시오류 점검(현대, 인터콘, LS) · #3대차 속도센서 교체작업 · 신규 ECU S/W 보완적용 · 절연구간 통과 시 전류제한 시험(로템, 현대) · 제동성능 시험(유진) · 가속성능 시험(철도연) · 절연구간 통과 시험(철도연) · 등가방해전류 측정(철도연)
2006.02.17	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · PC2, AUX BLOCK건 · #8대차 A축 휠디스크 제동실린더 탈출건 · #8대차 축 제동 실린더 조립체 취부(유진)

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 여압장치 전반 점검(캐리어) · Heart Beat S/W 수정보안 · 신규 ECU S/W 수정보안 · PC2 보조블럭 차단원인 조사(로템) · 살사시스템 보완(로템) · PC1~2간 제동압력 수정(로템) · 동력대차 4축 삭정(#9,10대차) · 가속성능 시험(로템, 현대중) · 절연구간 통과 시험(LS산전) · 등가방해전류 측정(시험반)
2006.02.24	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 보조블럭 출력에 따른 각종 전동기류의 제정격 검토 · 와전류 제동장치와 관련하여 향후계획을 차질없이 시행 · MM/06/07차부터 공정회의는 직접적인 장치관련자 및 책임자급 참석 · Heart beat S/W 수정(보안)(인터콘) · PC2 주변압기 Fan Motor 취거 작업(현대) · BBCU - 신규ECU와 적합성 시험(유진) · PC1~2간 주공기압력 수정(로템, 현대) · 트리포트 불균형, 운전실 현시 검증(로템) · 살사장치 전반 점검
2006.03.03	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 기계적 고장(대차불안정, 활주방지) 현시 · 모터블럭차단, MB제어기(MVB카드) 전원공급시 정상

날짜	참석기관	주요회의내용
		동작 가능케 해당업체 3월10일까지 대안제시 · SCT 프로그램(MVB의 ID) 3월7일까지 수정완료 · 시운전 중 발생된 ATS응동불가에 대한 신속조치 요망 · 여압장치 전반점검(캐리어) · BBCU - 신규ECU와 적합성 시험(유진) · 구원제동 시스템 적합성 시험(유진) · 기계적 고장 현시 관련점검 · 살사시스템 일괄점검
2006.03.10	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 월요일 야간시운전 장치별 점검 및 계획 수립, 안전 유의 · 수요일 시운전시, 건교부 수습사무관 시승 · 절연구간 통과후 재기동시퀀스 불일치 문제 해결방안 협의/제출 · 휠디스크 실린더 진동계 설치후 진동측정 보고요망(유진) · 중점검 실시 · BBCU - 신규ECU와 적합성 시험(유진) · 구원제동 시스템 적합성 시험(유진)
2006.03.28	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 소음저감작업 4/6일까지 완료(로템, S-Tech) · 현대MB #2, 3호기 격차저항 일부 용손 현상으로 재설계 의뢰 4/10일까지 현차조립 완료(현대) · 현대MB #1호기 개선 보완 작업 진행, 해당위치 Weight

날짜	참석기관	주요회의내용
		적재 · 로템MB #4호기 개선보완작업 04/18까지 현차 조립 완료 · 차단된 모터블럭, 해당대차 공기제동시스템 보완사항 4/11일 공정회의까지 개선대안 제시(유진) · AC220V 파형개선 · 중점검 중 문제점 종합보고서 제출 · 안전사고 관리철저 · MB #4, 5번 조립 · PC 1, 2 VCB조립체 취부 · PC 및 TM 내 각종전장품 취부 · #3, 8번 대차 조립 · #3, 8번 대차 휠디스크 캘리퍼조립 · #9번대차, T/M 조립 · PC 1, 2 판토그라프 조립
2006.04.04	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 현대MB #2, 3ghrl 격차저항 일부 용손현상으로 재설계의뢰 4/13일까지 현차조립 완료, 현대MB #1호기 개선보완작업5월중 진행 · PC1 MTF 송풍전동기 4/13일 현차취부 완료 · 로템 MB #5, 6 동시가동 문제해결방안 제시(04/18일까지) · MB 차단시 답면제동 체결문제 보완방안 제시(04/11일까지) · MB #1, 2, 3 격자저항면적의 적정성등 제반사양 재점검 예정

날짜	참석기관	주요회의내용
		·#2 대차 B축 냉각송풍전동기 탈거 후 종합 점검 보고서 제출(4/13일까지) ·CVCF필터 및 MCP필터의 기능은 시운전단의 사전승인 후 시행 ·#9대차 4/4일 부산기지 반출 - 4/15일 오송 대차차입완료 단 #1eocksms 4/6일 취거후 부산기지 반출 - 4/17일 오송 차입완료 ·OBCS신규 TDCS의 차량탑재 4/10일 시행 ·동적시운전 개시 중점검 연장사유로 4/24일 야간시운전 시행 ·4/18일 공정회의 종결 후 오송에서 체육대회 시행 예정 ·운전실 소음저감 작업 ·모터블럭 케이블 결선 및 보완(PC1, 2 / TM 1, 5) ·CVCF 필터취부 작업 ·# 1, 9대차 분리 ·#10대차 스위벨 교체 ·각종 계측선 설치 및 튜닝 ·ATC/ATS 기능시험
2006.04.11	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : ·신규 TDCS 작업계획서 시운전단에 제출(4/18일까지) 4/19일부터 구내시운전 시행 ·#1대차 A축은 언밸런스 검증 시행 후 입고(4/18일까지) 현차조립 완료토록 추진 ·동력대차 답면 제동장치 사용관련, 제출된 기술검토서 재검토하여 시운전단 승인 후 형차 적용(4/18일까지)

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 차량기동 시험 · TDCS 기능시험 · MB #2, 3 및 PC1 MTF Fan Motor 취부 · #3, 8계측선 연결작업 · CVCF 필터 기능시험 · TM 1, 5 트리포드 톡크 작업 · #2대차 #4 T/M 및 #1, 9대차 현차 조립 · 디스크 및 완전류제동장치 점검 · 각종 계측선 설치 및 튜닝 · 각종 통신, 누수, 축중 시험
2006.04.18	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 신규 OBCS 기능검증은 시운전단장의 책임 하에 시행 · 로템 금주내로 관련 행정처리 완료, 시운전단에 제출, 시운전여부 결정 · 안전관련 기능검증은 신뢰성반 입회하에 기능 검정 완료(4/22일까지) · #1대차 A축은 양측차윤 천공 60mm 각 4개소, 양측허브 20mm 1개소, 16mm 2개소 발견 · 동축천공부 및 윤축상 자분탐상결과 문서로 시운전단에 제출, 시운전 여부 결정 · 동축 언밸런스시험 윤축기어 유니트의 분해, 조립작업 병행 기어유니트로 조립된 윤측 예비품이 없으므로 시행 못함 · 동축의 UT는 윤축 중공부의 천공으로 검사 수행이 불가 · 주행안전을 위해 영업열차가 없는 야간시간대만 운행토록 제

날짜	참석기관	주요회의내용
		안 · 동축 진동센서 보강하여 진동값을 매일 기록, 관리토록 함 · 중점검 결과보고서 시운전단에 제출(로템 5/12일까지) · PC 1, 2 ATC/ATS 기능점검 · MB #1 Weight 적재 · PC, BTCU 구원시험 · #1대차 현차조립 · 각종 계측선 설치 및 튜닝 · 각종 통신, 누수, 축중 시험 · 신규 MVB통신 시험
2006.05.12	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 윤축 신품교체 추진 · 전기/공기 제동력과 패턴에 대하여 설계치/측정치 확인 보고(5/19) · 실제동 견인/제동시 토크측정 방안보고(5/19) · 성능개선 시험절차서 작성완료(5월말까지) · 중점검 결과보고서 제출 · 외부 전문가 초청 안전교육 (5/17 16:00 ~ 17:00, 오송) · MB#1 반입 및 취부/결선 · MB#1 기능확인 · 에어컨 라인점검 · OBCS 기능시험 · 야간시운전 대비차량 점검(5/21) · 차륜/궤도 작용력 시험

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 모터블럭/보조블럭 정상동작 확인시험 · 이선율/압상력 시험 · 소비전력 시험
2006.05.19	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 야간시운전 후 고양기지입고(5/21) · 윤축교체 완료(6/10, 개선반) · 운전실 탑승자 통제 · 고양기지 유치기간 중 항목별 작업계획 작성(로템) · 야간시운전 발생 문제점 원인 및 대책협의 · 시운전단 Workshop · 시설물 적합성 시험 · PC1, #1 윤축 탈거 및 반출 · OBCS 기능시험 · MB 기능시험 · 차륜/궤도 작용력 시험 · 모터블럭/보조블럭 정상동작 확인시험 · 이선율/압상력 시험 · 소비전력 시험
2006.06.02	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · #1 윤축 교체 상세일정 제출 · 제동명령 Stopper 동작관련 현황 정리보고(6/9) · 주간시운전 6월 주 3회 · OBCS 시험 및 공정계획, 실적제출(6/8) · CVCF 출력전압 KTX 비교 측정완료 · 판토그라프 점검 결과보고 및 대책제출, 협의(6/7)

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 이상전압 발생시 검지 및 MB보호방안 제출 · 시설물 적합성시험 · PC1, #1 윤축 반입 및 대차 차입 · OBCS, MB 기능시험 · 동력차 차륜삭정
2006.06.12	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 신품윤측 1set 철도공사 반납 일정 재확인 후 보고 · EQ. Earth Return Cuturnt 2 ea 철도공사 반납 일정 재확인 후 보고 · 시운전 시험 잔여 항목 조기시행 추진 · 야간시운전 결과보고(6/23) · 성능개선시험 계획(6/14) · #5 대차 찰상원인 분석보고 · 시운전시 일반실 Weight만 하역조치(6/23) · 판토그라프 점검(6/7) 내용설명, 상세점검 오송기지에서 별도 시행 · 시설물 적합성 시험 · OBCS, MB 기능시험 · 동가방해전류 측정 시험 · 차량소비전력 측정 시험 · #5 대차 B축 삭정
2006.06.16	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 객차대차 제동실린더 행거 BRK'T 간섭건 개선반과 협의후 방안제출 · 트리포드 측정방안 및 종합검토 예정

날짜	참석기관	주요회의내용
		· 전동기토크 특성 제시 요청 · 트리포트 절손회로 검토(로템, 현대) · 원인규명을 위한 로템 대차팀 의견제시 · 차량소비전력 측정시험
2006.06.30	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · MB #1 보완/튜닝 작업 진행 현황 및 추진 계획 제출(현대) · MB #5, 6 동시 기동 운행(7/6, 로템) · 와전류 제동장치 저전압시험 진행(7/4, 유진) · 와전류 제동장치 브라켓 보강방안 제출 · MB기능 안정화 관련 향후 추진계획에 대하여 명확히 제출(현대, 로템) · 화장실 오물수거 방안 협의(총괄반, 개선반) · 객실 서비스장치 기능확인 및 점검 시행(개선반) · 예비품 구매/보유현황 제출(7/6일 까지) · 주/야간 시운전 제외(8/7~8/11) · 주변압기 성능개선 확인 시험 · 객실화장실 일제점검 · 제동시험 · 가속성능 시험 · ECU 성능개선 확인시험 · 야간동적 시험 · 제동 블렌딩 시험 · 객실 모니터 점검 및 조치
2006.07.14	시운전단 로템 LS산전	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 :

날짜	참석기관	주요회의내용
	현대중공업 유진기공 인터콘시스템	· Tripod 절손 현시관련 MB 보완 S/W, T4선로 시험 확인 후 본선시운전 진행, 참여기업 06:00~ 차량점검 진행 · 주간시운전 - 7/18일 시운전 결과에 따라 조정시행 · PC2 주변압기 송풍기 고장원인 및 대책보고 · TM5 주변압기 Oil Flow Detector 교체일정(7월말 입고예정) · 장치별 제어기랙의 PCB Front Panel 누락분 취부할 것 · 실내/상하 Cover류 취부상태 점검 · 장치별 체결상태 확인 및 보완 · 차량/시설물 적합성 시험(신뢰성반) - 기밀장치 동작시험 · 성능개선시험(개선반)
2006.07.21	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · MB #6 GDU 안정화방안 제출(7/25) · MB #3 전기제동 미인식 원인 및 대책방안 제출(7/25) · PC2 주변압기 코일교체 필요시 일정 (취거:7/25, 오송반입: 8/25) · MB #6 TFT 점검(7/26~28, 의왕) · PC2 보조블럭 / VCB / Pantofraph등 고압관련기기 점검 · MB #5 기능 및 상태 점검(무가압, 7/26~28) · 제동장치 점검(무가압, 7/25~28) · 기타 저압라인 / 기계파트 일제 점검

날짜	참석기관	주요회의내용
		· CSS와 형차 상이 항목 LIST 할 것 · TM5 주변압기 Oil Flow Detector : 8/7 오송반입 · 와전류제동 취거후 점검 예정(7/31~, 4일 소요) · PC2 주변압기 송풍기 팬 주파수변환기 추가설치 검토
2006.08.04	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · Pantograph(8/3) : 공기배관 정상, 손상 습판체조립품 교체 예정(유진) · 고속-저속구간 Stopper 보완일정 제출 요망(8/17, 유진) PC1측 KTX Panto 교체후 시험예정(8월중, 로템) · 옥상 애자류점검(8/3) : 청소 및 상태점검(개선반) · 주변압기 점검(8/3) : 내부단락 추정, 오일채취 재검사 의뢰(정원산전), 9/3 야간 시운전관련 일정단축 추진(TFT, 개선반) · 보조블럭 점검(8/3) · 주변압기/계전기 입고일정 확정시 전체일정 조정(8/7, 개선반) · 종합점검 후 적용된 최종 회로도면 제출(8/31, 로템) · 종합점검 및 시험은 8/31일 한 완료 될 수 있도록 추진(시운전단) · 와전류 제동장치 철거후 축상 보호방안 제출 할 것(8/11, 유진) · OBCS와 각 장치간 시간동기화 보완 할 것 (로템) · 보호계전기 진행사항 설명완료(로템) · 종합점검 및 시험(8/3~9/7)
2006.08.11	시운전단 로템	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역)

날짜	참석기관	주요회의내용
	LS산전 현대중공업 유진기공 인터콘시스템	- 주요 내용 : · 주변압기 오송반입 일정단축 추진(현대) · 정적압상력 기준치 준슈요(70Nm), 습판체 원제작사 검토요청완료(유진) · ADD장치 동작기능을 차량 재장착 전까지 사전확인, 조치할 것(유진, 로템) · 옥상 애자 점검/청소 할 것(개선반) · VCB 제어확인 시험 PC1(진행중), PC2(8/22~ 진행예정) · OBCS와 각 장치간 통신 에러 문제 사전 확인할 것(8/28일한) · 주변압기 방압변 회로 확인결과 정상(PC1, 2) · 제작사 시험결과 양호, 애자 표면 상세 점검 예정(비츠로테크) · 와전류 제동장치 철거후 축상 보호방안 제출할 것(8/14일한, 유진) · 축상 보호방안 호가정후 프레임 철거 진행, 일정 재검토 · MB#3, 4 상호 교체방안 검토 (8/18, 로템-현대,유진 협조) · MB#4 정상화 방안 포함 · 주변압기 소손 TFT 2차회의 시행완료(8/10, 오송) · TFT 3차회의 시행(8/16, 14:00~, 광명) · 종합점검 및 시험(8/3~9/2)
2006.08.18	시운전단 로템 LS산전 현대중공업 유진기공	○ 한국형고속열차 유지보수 개선회의 - 회의 장소 : 시운전단 회의실(광명역) - 주요 내용 : · 모터블럭 #6 오송기지입고/취부(8/29)

날짜	참석기관	주요회의내용
	인터콘시스템	· 현차취부 및 기능시험(8/21, 13:00~, 유진) · 오송기지 차량입환등 작업조건 수립할 것(개선반) · VCB 제어확인 시험 PC1(진행중), PC2(8/22~25 진행예정) · OBCS와 각 장치간 통신 에러 문제 입회하여 확인할 것 · TM5 주변압기 보호동작회로 시험대비 각종센서 확인(8/21, 현대) · VCB 피뢰기치, 접지스위치 : 취부일정대비 작업(8/18, 비츠로, 개선반) · SCU : 시험절차서/항목 작성, 개선반장 확인후 시험진행 (로템, 개선반) 주변압기 공장내 점검/시험 : 시운전단 입회하에 실시할 것(현대) · 9/3 야간시운전 - 트리포드 토르크 값 측정 · 주변압기 소손 TFT 2차외의 시행(8/22, 14:00, 광명) · 종합점검 및 시험(8/3~9/2)

제2절 차량 시스템

1. 유지보수체계 구축

차량의 보증 수명 동안 정상적인 운행과 성능의 안정적 발휘를 위해서는 무엇보다도 기능 부품별로 정해진 유지 보수 일정 및 방법에 맞추어 관리하는 것이 매우 중요하다. 따라서 고속철도 기술개발사업 시제차량의 유지보수를 위해 유지 보수 항목별 검수 주기 방법을 규정함으로써 차량의 상태를 항시 최적의 조건으로 유지하는 것이 중요하다.

고속철도 기술개발사업 시제 차량의 유지보수 문서는 유지보수 지침서, 유지보수 기술문서, 부품검사 지침서로 크게 3가지로 구분되며, 기능별로 차체 설비, 전기 장치, 공압 제동장치, 기계장치, 공기조화 냉동장치 등으로 세분화 하였고 주기별 유지 보수 항목을 정리하여 보다 쉽게 유지보수 작업을 실행할 수 있도록 구성 하였다.

가. 유지보수 지침서

유지보수 지침서는 일상 검수지침서, 주간 검수지침서, 월간 검수지침서, 3개월 주기 검수지침서, 6개월 주기 검수지침서, 1년 주기 검수지침서로 구성 되며 유지보수 대상 항목들의 주기별 보수 내용과 방법 및 판단 근거를 명료하게 제시하여 유지 보수 시 지침서로써 사용 된다.

(1) 일상 검수지침서 (문서번호: G7-U2400-100)

차량 운행에 대비 일상적으로 수행하는 검수 내용을 정리한 것이며 검수사항 중 지적된 사항이 있으면 차량을 운행에 투입하기 전에 반드시 수정해야 한다.

(가) 검수 항목

댐퍼 및 취부대, ATS 센서 보호커버, 안티-롤 바, 동력차축 리액션 로드, 접지케이블 및 션트, 전선 보호커버(대차단부), 제석기 및 살사장치, 공압장치, 차축 및 차륜, 동력차 전두부 하부판, 객차 제동장치, 플랜지 도유기, 모터-감속기 장치, 지붕 절연 애자, 스커트 커버, 차체 하부판, 팬터그래프, 차축기어 감속장치 및 감속기, 2차 현수장치 스프링, 제륜자, 동력차와 동력객차 간 완충기, 배장기 하부판, 트리포트 동력전달장치.

(나) 검수 장비

토크렌치, 스패너, 감속장치용 유량게이지

(다) 필요 소모품

LOCTITE Unijoint 518, LOCTITE 243, GREASE (SHELL CALITTIA EP2)

(2) 주간 검수지침서 (문서번호: G7-U2400-110)

차량 운행 중 주간 마다 수행하는 검수 내용을 정리한 것이며 검수사항 중 지적된 사항이 있으면 차량을 운행에 투입하기 전에 반드시 수정해야 한다.

(가) 검수 항목

유리창, 쓰레기통 문, 화장실 휴지 걸이, 화장실 비눗물 용기, 위생 시설, 동력차 배장기 (STEM), 소화기, 객실의 창, 비상 창 및 행선지표시 창, 잡지걸이 망, 표시 (마킹), 거울, 동력차 공구 및 안전설비, 옷걸이, 승강 손잡이, 일반화장실 및 장애자용 화장실 쓰레기 투입구, 승강대문, 객실 출입문, 화장실문, 바닥, 화장실 손 건조기, 좌석, 기관사 좌석, 객실 선바이저, 운전실 선바이저, 좌석 및 테이블, 객실 중앙 접이식 테이블, 220V 연결코드 카바, 동력차 전두부 카바 (retarctable hatch), 기타 각종 내·외부 잠금장치 (카바) 및 플랩 (젖히는 문), 전구와 램프, 각종 나사, 스크류 종류, 운전실 전면유리, 댐퍼, 동력차 축 리액션 로드, 동력대차 제동장치, 대차, 축상, 접지케이블 및 션트, 대차 불안정 감지센서, 공압장치, 주공기 압축기, 차체 하부, 차축 및 차륜, 객차대차 제동장치, 플렌지 도유기, 견인전동기 - 감속장치, 지붕 절연 애자, 스커트, 팬터그래프, 차축기어 감속장치 및 감속기, 댐퍼 취부대, 2차 공기 현수장치, 동력차와 동력객차 간 완충기, 트리포드 동력전달 장치, 살사장치

(나) 검수 장비

· 윤활유 원심분리기 (oil analysis centrifuge)

· 형광 X 분석기 (fluorescent X-analyser)

· 토크렌치, 개인 휴대 공구

(다) 필요 소모품

· 그리스 (SHELL ALVANIA EP LF2)

· 윤활유 (SHELL EP 460 or BP GRTB 460, SHELL ENGRENAGE 3470)

· 표준 나사 록킹 콤파운드 (standard thread-locking compound):
LOCTITE 243

· 고장력 나사 록킹 콤파운드 (high-strength thread-locking compound):
LOCTITE 270

· 밀봉용 콤파운드 (sealing compound):LOCTITE UNIJOINT 518

(3) 월간 검수지침서 (문서번호: G7-U2400-130)

차량 운행 중 월간 수행하는 검수 내용을 정리한 것이며 검수사항 중 지적된 사항이 있으면 차량을 운행에 투입하기 전에 반드시 수정해야 한다.

(가) 검수 항목

알카라인 축전지, 제동 디스크, 운전대의 지시등과 안전장치의 지시등, 차축, 전조등 / 후미등, 차륜 도유기, 견인 전동기, 공기조화 장치의 구성요소, 고압회로 접지 스위치, 필터 랙, ATC 장치, 기타 주기적 점검 및 특별 점검

(나) 검수 장비

형광 X-분석기 (윤활유 성분 검사용)

(다) 필요 소모품

· 윤활유 : SHELL ENGRENAGE 3470

· 그리스 : SHELL XHVI 2858, MOBILITH SHC 10

(4) 3개월 주기 검수지침서 (문서번호: G7-U2400-200)

차량 운행 중 3개월 마다 수행해야 하는 검수 내용을 정리한 것이며 운행 조건 등에 의해 일부 수정 사항이 있을 수 있으나 3개월 주기 검수는 일간, 주간, 월간 검수와는 달리 부품별 정밀 검사를 필요로 하는 검수임을 감안하여야 하며 검수사항 중 지적된 사항이 있으면 차량을 운행에 투입하기 전에 반드시 수정해야 한다.

(가) 검수 항목

① 차체장치

전화박스, 유리 칸막이, 화장지 함, 비누물 공급기, 위생설비, 동력차 배장기 (STEM), 소화기, 동력차 측면창, 객실창, 비상용창, 행선지표시창 및 창틀, 승무원실, 승강 문, 운전실 출입문, 동력차의 측면 출입문, 화장실 출입문, 장애자용 화장실 출입문 (여닫이식), 승무원실 출입문, 비디오 케비넷 문, 동력차 사이 연결문, 일등석, 이등석, 운전석, 객차사이 고무 주름판, 객실중앙 테이블, 객실 내벽 조명 헷치문, 동력차 전두부 연결기 카바, 220V 소켓 카바, 차량내부의 기타 헷치문, 외부 기타 헷치문, 헷치에 부착된 각 스크류, 전조등 유리, 전면창

② 전기장치

알카라인 축전지, 모터블록 및 보조블록의 각 장치, 대차 불안정 감지센서, Electro-Magnetic Contactor (전자석형 접촉기), 제어대 등 및 램프, 적색 후미등, 인터콤, 경보, 객실방송장치, 지붕애자 및 지붕장치, 견인전동기, 전조등, 고압회로 차단기 (ISW-HV-01), 필터 랙, 주 변압기

③ 공압장치

주공기 압축기, 윈드스크린 와이퍼, 윈도우 워셔, 제동 표시기, 주 건조기, 공압 현수장치, 제동 장치 검사.

④ 기계장치

댐퍼 (damper), 고정 링 (fixed ring), 캐링 링 (carrying ring), 동력차축의 리액션 로드 (motor axle reaction arm), 동력대차 제동장치 (brake set), 대차 (bogie), 축상 (axle Box), 차체 하부의 회전 스톱퍼 (underbody rotation stop), 접지케이블 (earth cable), 대차 불안정 검지센서 (bogie instability monitor), 감속기와 축상의 속도센서 (reduction gear unit and axle sensor), 동력차와 동력객차 사이의 연결기 (draft and cushion gear), 회귀전류 장치 (return current device), 제동 디스크 (brake disk), 동력차 후드 (power car roof components), 동력객차 지붕 (trailer extremity roof sections), 차축 (axle), 디스크 브레이크 (disk brake), 플렌지 도유기(flange lubricator), 견인전동기 - 감속기 장치 (motor reduction gear unit) 객차간 통로 (trailer intercommunication), 스커트 (skirt), 차체 하부의 보호판 (underbody panel), 팬터그래프 (pantograph), 차축기어 감속장치 (motor axle and reduction gear unit), 감속기 조립체 (reduction gear unit), 살사장치 (sander), 댐

퍼 취부대 (damper support), 트리포드 동력전달장치 (tripod sliding transmission)

⑤ 공기조화장치

배기판, 여압장치, 공기조화장치 (air-conditioning equipment)

⑥ 시험

일반사항, 제한검수 (LI) 전 시험 차체 및 실내 설비, LI 검수 전 시험 공기조화장치, 제한검수 (LI) 전 시험 전기장치, LI 전 시험 제동장치, 제한검수 전 시험 기계장치, 제한검수 후 시험 : 차체 차내 설비, 제한검수 (LI) 후 시험 전기장치, LI 후 시험 제동장치, 전압표

(나) 검수 장비

· 진공청소기, 온도계, 유량계, 전압계, 초시계
· 0 ~ 18 N · m, 정밀도 0.1N · m의 토크렌치
· 10 ~ 30N의 범위까지 측정할 수 있는 장력측정기
· 25 N · m까지 조일 수 있는 토크렌치
· 기름 성분분석용 원심분리기
· 윤활유 정밀 검사기 (형광 검사법)
· 노트북 컴퓨터 (maintenance terminal)
· 커넥터 (RS232 link)

(다) 필요 소모품

· 접착제 (BOSTIK 1400), 폴리우레탄화합물, 폴리우레탄 페인트
· 부식 방지제, 산업용 세척제
· 그리스 (SHELL XHVI 2858, CAZAR K2), MOBILITH SHC 100
· 윤활유 (SHELL ENGRENAGE 3470, SHELL EP 460 or BP GRTB 460)
· 나사 체결용 연성 컴파운드 (LOCTITE 222)
· 나사 체결용 중성 컴파운드 (LOCTITIE 242, LOCTITE 243)
· 기밀용 컴파운드 : LOWAC N°4 (DEMI - EPAIS)
· 마킹 팬 (이완 확인선 표기용) : LOCTITE UNIJOINT 518

(5) 유지보수시 안전 관리

- 차량 기동 상태 혹은 기동 차단 상태에서 유지 보수 및 점검 작업은 매우 위험하므로 안전 관리가 매우 중요하다. 작업자는 안전관리 절차를 준수하여 작업 하여야 한다. 또한, 안전 교육을 실시하여 모든 작업자가 불의의 사고로부터 예방할 수 한다.
- 작업자는 작업전에 반드시 안전교육 내용을 숙지하고, 작업시 안전 관리자(또는 통제자) 지시에 따라 작업을 수행해야 한다.

(6) 안전관리 교육 내용

- 작업자는 전차선에 인접하여 작업을 수행할 때 위험과 관련된 현장 안전지침을 준수하여야 한다. 또한 차량의 지붕에 고압선이 없는 위치이거나, 고압선의 가선이 활성화 상태인지 또는 단선상태인지 확인하고 가선이 있는 상태에서는 단선 확인후 가선에 접지봉 접지를 확인한 상태에서 안전관리자 (또는 통제자) 승인하에 지붕 또는 보조전원공급장치, 고전압 장치에서 작업을 수행하여야 한다.
- 고압(300V이상) 작업은 반드시 전원차단후 5분 경과후에 방전상태 및 잔류전압을 확인하고 시행한다. 일부 컨덴서의 터미널에서는 방전전류가 잔류하므로 방전상태를 테스터로 확인하고 이상이 없을 때에만 작업한다.
- 저압부분 작업도 반드시 제어 전원을 차단하고 작업 한다.
- 차량하부 작업시는 반드시 차량 기동을 차단하고 차륜지를 휠 전후에 고인 상태에서 안전관리자(또는 통제자) 지시에 의해서만 시행한다.
- 차량을 장시간 정차시 차륜지를 휠 전후에 고인다.
- 하부작업이나 옥상작업, 차량간 작업시는 작업표시 깃발을 꽂고 작업완료시는 제거한다.
- 디젤 기관차로 차량 이동시는 제동 완해상태를 필히 확인하고 사람이 하부에 없는 것과 장애물이 없는지를 확인한 후 차륜지를 제거하고 이동시킨다. 차량 이동은 진로 방향쪽에 반드시 선로 통제자를 세우고 운전자와 긴밀한 연락을 취하며 시행한다.
- 차량 기동시 안전관리자(또는 통제자)는 모든 작업자가 안전한 위치에 있는지 확인 후 차량을 기동시킨다.

나. 유지보수 기술문서

유지보수 지침서에서 정의된 유지 보수 작업을 수행함에 있어 참고해야 하는 기술적인 사항을 정의한 것으로 총 18종으로 구성되어 있으며 유지보수 작업 시 작업 절차, 작업 도구, 판단 기준 등이 상세 내용이 기술 되며 유지보수 기술문서 항목은 다음과 같다.

· 윤활 (문서번호 : G7-U2300-008)
· 플렉시블 파이프 연결 (문서번호 : G7-U2300-009)
· 기계적 연결 (문서번호 : G7-U2300-010)
· 열차청소 (문서번호 : G7-U2300-100)
· 도장 (문서번호 : G7-U2300-101)
· 표시 및 문자 (문서번호 : G7-U2300-102)
· 다층판 (문서번호 : G7-U2300-103)
· 배선 (문서번호 : G7-U2300-300)
· 단자작업 (문서번호 : G7-U2300-301)
· 연결 (문서번호 : G7-U2300-302)
· 절연애자 (문서번호 : G7-U2300-303)
· 강관 (문서번호 : G7-U2300-501)
· 알루미늄관 (문서번호 : G7-U2300-502)
· 커플링 연결 (문서번호 : G7-U2300-506)
· 압축공기통 (문서번호 : G7-U2300-560)
· 차륜결함 (문서번호 : G7-U2300-621)
· 차륜삭정 (문서번호 : G7-U2300-622)
· 차륜직경 (문서번호 : G7-U2300-623)

다. 부품검사 지침서

유지보수 지침서에서 정의된 유지 보수 작업을 수행함에 있어 특히 기능을 갖고 있는 각각의 부품에 대한 상세한 내용이 기술되어 있으며 공급 업체와 협의하여 작성된 지침서로써 실제 작업 절차, 사용되는 작업 도구, 필요시 필요한 특수 공구 목록, 유지 보수 시 사용 유무에 대한 판단 기준 등을 정의하였다.

부품검사 지침서는 총 32종으로 구성되어 있으며 세부 부품검사 지침서 항목은

다음과 같다.

- 위생설비 (문서번호 : G7-U2500-140)
- 내부부품 (문서번호 : G7-U2500-141)
- 의자 (문서번호 : G7-U2500-142)
- 운전실 전면유리 (문서번호: G7-U2500-160)
- 창문 (문서번호 : G7-U2500-161)
- 승강대문 (문서번호 : G7-U2500-181)
- 객실출입문 (문서번호 : G7-U2500-182)
- 전두부 연결기 커버 (문서번호 : G7-U2500-183)
- 공기조화장치 (문서번호 : G7-U2500-200)
- 축전지 (문서번호 : G7-U2500-300)
- 주변압기 (문서번호 : G7-U2500-306)
- 접지스위치 (문서번호 : G7-U2500-307)
- 주회로 차단기 (문서번호: G7-U2500-363)
- ATC 장치 (문서번호 : G7-U2500-400)· 소화기 (문서번호 : G7-U2500-404)
- 운전사 경계장치 (문서번호: G7-U2500-405)
- 방송장치 (문서번호 : G7-U2500-406)
- 제동 제어장치 (문서번호 : G7-U2500-520)
- 동력대차 제동장치 (문서번호 : G7-U2500-522)
- 부수대차 제동장치 (문서번호 : G7-U2500-523)
- 주 공기압축기 (문서번호 : G7-U2500-540)
- 공기건조기 (문서번호 : G7-U2500-541)
- 판토그라프 (문서번호 : G7-U2500-600)
- 차축 (문서번호 : G7-U2500-620)
- 동력대차 (문서번호 : G7-U2500-621)
- 부수대차 (문서번호 : G7-U2500-622)
- 동력 전달장치 (문서번호 : G7-U2500-623)
- 차륜 도유기 (문서번호 : G7-U2500-624)
- 살사장치 (문서번호 : G7-U2500-625)
- 대차 불안정 검지센서 (문서번호 : G7-U2500-626)

· 공압 현수장치 (문서번호 : G7-U2500-640)

· 연결기 (문서번호 : G7-U2500-660)

라. 부품별 검사주기

부품별 검사 주기는 먼저 유지보수에 해당되는 모든 세부 항목을 6가지의 그룹별로 구분 하였다. 6가지 그룹별 세부 내용은 차체설비, 전기 장치, 공압 제동장치, 기계 장치, 공기조화 냉동장치이며, 부품별 검사주기는 각각의 세부 항목에 따른 일간검수, 주간검수, 월간검수, 3개월 주기검수, 6개월 주기검수, 1년 주기검수를 표로써 정리하여 유지 보수 검사 시 명료하게 작업할 수 있게 하였다.

다음은 6가지 그룹별 전체 세부 항목 중에서 일간 검수, 주간 검수, 월간 검수, 3개월 주기 검수에 해당되는 항목들을 표시한 것으로 각각 일부 내용을 보여 준다.

(1) 차체 설비

표3.2.1-1은 차체 설비에 대한 일부 내용을 보여준다.

표 3.2.1-1 차체 설비

부 품	일간검수	주간검수	월간검수	3개월 주기검수
소화기		○		○
외부 도장				○
통로문		○		○
전조등	○			
운전실 출입문		○	○	○
측면 출입문		○	○	○
단순 비상창, 행선지 표시창		○		○
출입문		○	○	○
위생 설비		○	○	○

(2) 전기 장치

표3.2.1-2는 유지보수 항목 중 전기 장치와 관련된 일부 항목을 보여준다.

표 3.2.1-2 전기장치

부 품	일간검수	주간검수	월간검수	3개월 주기검수
고압, 대용량 접촉기				○
인터콤, 알람, 객실방송				○
튜브 및 전구		○		○
밧데리			○	○
ATS 안테나	○	○		○
모터블럭 및 보조블럭 장치				○
운전대 스위치				○
지붕 애자 및 각 장치	○	○		○
견인 전동기			○	○
380/220v 변압기				○

(3) 공압 제동장치

표3.2.1-3은 공압 제동장치와 관련된 세부 항목을 보여준다.

표 3.2.1-3 공압 제동장치

부 품	일간검수	주간검수	월간검수	3개월 주기검수
공압회로 배관	○	○		○
제동 표시기				○
Cut Out Cock				○
제동 판넬				○
주 공기압축기		○	○	○
전면창 와이퍼/와셔액/제어모듈				○
주 건조기				○
이중 경적 제어변				○
공압 현수장치				○

(4) 기계 장치

표3.2.1-4는 기계 장치와 관련된 일부 항목을 보여주며 부품에 대한 일간 검수, 주간 검수, 월간 검수, 3개월 주기검수에 대한 해당 표시를 하였다.

표 3.2.1-4 공압 제동장치

부 품	일간검수	주간검수	월간검수	3개월 주기검수
대차	○	○		○
축	○	○	○	○
접지 케이블	○	○		○
대차 불안정 센서		○		○
버퍼	○	○		○
언더후레임 패널	○	○		○
감속기 리액션 롯드	○	○		○
견인전동기 감속 조립체	○	○		○
판토그래프	○	○		○
트리포드	○	○		○

(5) 공기조화 냉동 장치

표3.2.1-5은 공기조화 냉동 장치와 관련된 세부 항목을 보여주며 부품에 대한 일간 검수,

주간 검수, 월간 검수, 3개월 주기검수에 대한 해당 표시를 하였다.

표 3.2.1-5 공기조화 냉동 장치

부 품	일간검수	주간검수	월간검수	3개월 주기검수
에어컨 부품			○	○
공기 배출 후드			○	○
관, 플렉시블 링크				○
밸브				○

마. 철도전문가 지적사항

(1) 목적

KTX 유지보수 경험을 바탕으로 주요 장치 및 기능에 대한 객관적이고 상호보완적인 유지보수 측면에서의 점검을 통해 전문가 지적사항을 바탕으로 한국형고속열차에 직접 조치 가능한 장치는 적용하고 실용화 설계에서는 관련 내용을 반영하여 차량의 정상적인 운행과 성능의 안정적 상태를 유지할 예정이다.

(2) 점검기간

2006.04.21~2006. 04. 21 한국고속철도 시설공단 오송기지에서 수행

(3) 전문가

한국철도 고양관리단 소속 김태언 부장외 2명

(4) 점검내용 및 조치내역

전문가 점검 사항은 차체장치, 기계장치, 전기장치, 전장품, 대차등으로 구분하여 총 107종이며, 이중 조치사항 104종을 와료하였고 나머지 3종은 시운전 일정을 고려하여 조치 예정이다.

전문가 점검 사항에 대한 세부 내용은 표 3.2.1-6과 같다.

표 3.2.1-6 전문가 점검 내역

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
1	차체장치	노즈부 고무씰 탈락	고무씰 재작업	본딩후 재 작업
2	차체장치	노즈부 록킹장치 볼트부 급유 불량	급유실시	급유 실시
3	차체장치	ATC 카바 나비볼트 2개 낙실	볼팅 처리	볼트 취부
4	차체장치	R측 하부배장기 구멍(270*89)	패쇄요	차량 리프팅시 간섭, 구멍작업 현행유지
5	기계장치	#10 대차 B측 온도측정용 그리스부족	구리스 보충	구리스 보충실시
6	기계장치	#9 대차 R측 캐스터플랜(28.5+28=56.5)	규정치 조정	수정조치(310+310=620)

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
		조정불량		
7	기계장치	#9 대차 A축 R축 감속기 차륜축 트리포드 볼트 이완표기 누락	토르크 확인 및 이완표기실시	토르크 확인 및 이완표기실시
8	기계장치	#9 대차 R측 캐스터 플랜 조정불량(30+30=60)	규정치 조정	수정조치(310+310=620)
9	기계장치	B측 제동명령 스토퍼 위치불량	위치조정	위치조정
10	기계장치	버퍼면 그리스 유종불량	규정품 사용	규정품 사용
11	차체장치	R측 대차스커트 볼트1개 낙실	취부	취부
12	차체장치	R측 차등밸브 케이블 상부부식	구리스처리	구리스 처리
13	차체장치	R측 차체댐퍼 서포트설계제작결함→객차 대차 횡형스톱퍼~차체스톱퍼위치 불량	개선요망	일상검수시 지속확인
14	기계장치	R측 레벨링밸브 상하볼부분 구리스 없음	구리스 보충	구리스 보충실시
15	기계장치	R측 와전류 제동장치 마그넷과 대차 하부 서포트 간섭	위치 교정	수정보완
16	전기장치	L측 여압장치 탈거부위 각종 고압케이블 단자고정불량(CVCF L.C 탈거부분)	케이블 고정 재처리	케이블 재 고정재작업
17	차체장치	에어백시트 횡형 스톱퍼교환요-> 갱웨이링 스톱퍼 찰상	횡형스톱퍼 교환	마모상태 정상

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
18	차체장치	#5 대차 L측 철도연 계측선 고정위치 불량-> 차체 인양패드하부에 고정	위치 수정	수정보완완료
19	차체장치	L측 철도연 풍압센서 케이블 고정상태 불량	고정작업 재실시	수정보완완료
20	차체장치	L측 차체댐퍼서포트 설계제작결함	재검토	일상검수시 지속확인
21	차체장치	대차 L측 Srain guage 케이블 에어백 중간단판부분고정불량->절손/나선우려	고정작업 재실시	수정보완완료
22	차체장치	L측 AL 차체균열(200mm)	보완작업실시	일상검수시 지속확인
23	차체장치	B축L측 Wheel disk 균열부 응급조치부 원상복귀	원상복귀	원상복귀
24	차체장치	B축L측 공기통 차체고정볼트 록킹플레이트 미체결	록킹플레이트 체결	록킹 플레이트 체결
25	기계장치	감속기 차륜측 트리포드 볼트재조임 후 이완표기 미실시	토르크 확인 및 이완표기실시	토르크 확인 및 이완표기실시
26	차체장치	건널판 파손	교체	수정조치
27	차체장치	A,B 축 온도측정용 그리이스무	보충요	구리스 주입
28	기계장치	A,B 축 캐스터 플레이트 불량(28.5+28=56.5)	위치수정요	위치조정
29	차체장치	B축 L 회귀전류장치 절연와샤균열	교체	신품취부
30	차체장치	R,L 운전실 바디하부 대차 유선형(ATC케이블부) 카바	보완작업실시	차량 리프팅시 간섭으로 작업

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
		절단		하였음, 현행유지
31	차체장치	노즈와 운전실 바디간격 과다(40mm) -> 빗물,오물 침투우려	간격 조정	1차 보완상태이후 추가 진행사항 없음, 현행유지
32	차체장치	R측 노즈개방용 카바 L키 홀 파손		수정보완
33	차체장치	A축R 측단부 밀폐불량-> 중공내부로 이물질 혼입우려	밀폐처리	윤축교체
34	차체장치	B축 하부 감속기 누설->차축기어/감속기어 오일과충	정량유지	정량조치
35	대차장치	L측 축상 Low 가드조립시 씰리콘 도포결여	씰리콘 작업 재실시	재작업실시
36	차체장치	공기통 록킹플레이트 없음	록킹플레이트 체결	록킹 플레이트 체결
37	기계장치	L측 2차 코일스프링 캐스터플랜 조정불량(29.5+28=57.5)	위치수정	수정조치(310+310=620)
38	전기장치	ATS 차상자 돌출(200mm)		기능상 정상-> 현행유지
39	차체장치	운전실 측창문 고정용 경첩 유동	수정보완	경첩부 추가 볼트 취부
40	C.C	고압,저압터미널 카바 무(내부)	카바설치	일상검수시 지속확인
41	전기장치	MB #6 카바 화염부분 청결 결여	청소실시	청소실시
42	전기장치	MB#5 카바 굴곡-> 화재위험	수정보완	수정보완
43	기계장치	Compressor 상부 나전선	절연처리	절연처리

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
		절연불량		
44	차체장치	Auxb 2 철도연 CT 고정불량-> 화재우려	고정보완작업실시	고정방법 보완
45	전기장치	Reactor 고정불량	고정작업 재실시	고정방법 보완
46	전기장치	Reactor 고정불량	고정작업 재실시	고정방법 보완
47	보조블록	Auxb, MTF CT 유동->고정장치없음	고정장치 설치	고정장치 설치
48	차체장치	랙 고정불량으로 유동심함	고정방법개선	장비보호차원에서 rubber 구조로 약간의 진동은 있음
49	전기장치	후부 필터 청소불량	청소실시	청소재실시
50	전기장치	후방배선 정리요망->화재우려	배선 정리정돈	배선정리정돈 실시
51	차체장치	440V 배전반 고정볼트 이완	볼트 재조임	재조임실시
52	전기장치	440V 배전반 Ampare meter 철거요망	철거	밧데리 출력전압 확인중
53	기계장치	MB#3 후부 모래통 부근 하부 판넬 강도약함	교체	설계의견 반영후 조치
54	기계장치	지붕진입구 접지록킹시스템 무-> 안전사고 우려	안전장치 설치	임시 록킹장치 설치
55	보조블록	Auxb. 안전 key 없음	안전 Key 설치	안전교육실시
56	보조블록	Auxb. Capacity 방전용 안전 key 없음	안전 Key 설치	안전교육실시
57	C. CUBICLE	운전실 입구 계전기 취부대 취부불량	취부대 취부방법 보완	일상검수시 확인, 운행시 판넬고정후 운행
58	전기장치	Cab cubicle 내	배선 정리정돈	배선 정리정돈 실시

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
		배선정리필요, 필요없는 배선제거		
59	C. CUBICLE	각 컴퓨터 랙 예비커버 취부요	예비커버 설치	열냉각순환장치가 없어 현행유지
60	전기장치	모터블록 송풍인버터 출력리액터 고정 및 보호카바 필요	고정 및 보호카바 설치	설치
61	전기장치	변압기 오일펌프 누유시 바닥에 담을수 있는 용기 필요	누유방법개선	설치
62	전기장치	보호카바 쉽게 열수 있도록 개선요	취부 방번 개선	정병류 취부 완료
63	보조블록	보조블록 스위치 및 회로차단기 판넬 취부불량(공통)	판넬 취부방법 개선	일상검수시 확인, 운행시 판넬고정후 운행
64	보조블록	보조블록 상단 계전기 판넬불량	판넬 수정보완	일상검수시 확인, 운행시 판넬고정후 운행
65	전기장치	TM 송풍인버터 구리스 주입구 외부로 돌출	주입구 수정보완	현행유지
66	기계장치	동력실 접지시킬때 발판 필요	발판추가 설치	현행유지
67	보조블록	Auxb 블록 자동방전 기능필요	기능보완	현행유지
68	전기장치	동력실 건널통로 측면 보호취부 봉 필요	보호장치 설치	수정보완
69	전기장치	동력실(PC1) 방호벽 계측선 뭉치 통로 커버필요	커버설치	soft cover 설치
70	전기장치	동력실 통로 도출부위 커바 필요	카바설치	soft cover 설치

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
71	전기장치	밧데리 나이프 스위치 및 단자 바세린 도포필요	바세린 도포	바세린 도포 재실시
72	전기장치	계측장비고정필요 및 계측선 정리	정리정돈	정리정돈실시
73	차체장치	전두부카바 고정핀 외부이탈	고정핀 설치방법개선	임시고정조치(현행유지)
74	차체장치	전부두 카바 간극 너무 넓음	간극조정	임시고정조치(현행유지)
75	기계장치	차축기어감속기 주유구 카바 상부이탈	카바잠금재실시	수정보완작업
76	기계장치	차륜 휠센타 부위(구멍4EA) 차륜이 열균열로 파손부려 있음윤축교체		
77	기계장치	살사호스 리턴스프링 무	리턴스프링 설치	수정보완조치
78	기계장치	센타핀 보호카바 이완표기 없음	재조임 및 이완표기 실시	재조임실시 및 이완표기완료
79	대차장치	제동명령 스토퍼 간섭으로 공기관 취약	보호대 필요	KTX 와 동일(현행유지)
80	기계장치	제동명령 B축 살사호스 기존사양과 다름(투명)	반투명사용	주기적 교환품임
81	기계장치	각부 동력대차 밑에 하부판넬 없음(특히 3,8번), 전선노출		카바불필요(계측선 재작업)
82	기계장치	객차 하부 판넬 에어컨 카바 철망 간격 큼		안전/기능 이상무,현상태 유지
83	기계장치	제동디스크 잔 균열이 많음	교체	차기 중점점검 실시
84	기계장치	제동 패드 균열로 깨짐 ->원통형이 아닌	교체	교체

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
		분리형으로 인해 추정됨		
85	기계장치	와전류 댐퍼 밸로우즈 찌저짐	벨로우즈 교체	벨로우즈 교체
86	기계장치	와전류 케이블 불량-> 타이랩으로 임시처리	브라켓 설치	브라켓 설치
87	기계장치	객차대차 제동패드 쇄정핀이 길어 돌에 맞아 구부러질 염려가 있음	규정준수	규정치수로 작업됨
88	기계장치	객차대차 안티롤바 수평레버가 공기 배관 및 대차에 간섭	보호대 필요	보호대 설치
89	기계장치	8번 대차(TM5) 살사호스 타이랩 묶음처리됨	취부대 설치요	수정보완작업
90	기계장치	8번-9번 대차사이 재래식 연결기 가 덜 조염짐(13mm)	규정치수 준수	규정치수 준수
91	기계장치	트리포드 균형추 이완표기 안됨	토르크 확인 및 이완표기실시	토르크 확인 및 이완표기실시
92	차체장치	PC1,2,9,10 스커드 무	사이트 카바 설치	카바설치
93	기계장치	PC1,2 케스트 플레이 이완표시 무	토르크 확인 및 이완표기실시	토르크 확인 및 이완표기실시
94	기계장치	A축 슈킹분할핀 불량->덜 벌려짐	규정작업 준수	수정보완작업
95	기계장치	탄성블록(제동명령스토퍼) 볼트커버 누락(#1,2,3,9,10)	커버설치	신품취부
96	대차장치	엑셀 BOX 밑에 와전류 BOX 인하여 차축발열 검지불가능	작업공간 확보	sensor 설치되어 있음
97	기계장치	와전류 공기호스 대차와 간섭	간섭방지	보호처리

No	장치	점검내용	개선요망사항	조치사항
98	기계장치	한쪽에 인양패드나 핀구멍이 없음-> 댐퍼 브라켓 원인	규정작업 준수	현행유지
99	기계장치	요댐퍼 취부대 보조브라켓으로 댐퍼 취부볼트가 너무 길어 부러질 염려있음일상검수시 지속확인(현상태유지)		
100	기계장치	B축 살사브라켓 너무약함	설계검토후 반영	일상검수시 지속확인
101	기계장치	B축 살사브라켓 작업공간 부족	작업공간 확보	현행유지
102	기계장치	차축 R측 전방카바 무(엑슬BOX) -> 철도연 취부예정	카바취부	Earth return current device 설치완료
103	기계장치	버퍼 높이가 다름(약 20mm)	높이조정	Air 충기후 높이 같아짐
104	기계장치	버퍼 높이가 다름(약 20mm)	높이조정	Air 충기후 높이 같아짐
105	기계장치	R측 회귀 전류장치 절연부싱 깨짐	교체	정품으로 교체
106	대차장치	센타핀이 차체와 대차사이 간격이 너무 큼		현행유지
107	대차장치	한쪽 차륜디스크로 인한 좌우 제동 불균형		현행유지

바. 차량 차륜 삭정 관리

(1) 차륜 삭정

차량 주행시험 중 비상제동이나 상용제동시 제동장치의 불량으로 차륜이 레일에

서 미끄러짐 현상이 발생되어 찰상을 입는 경우가 발생되었으며 차량 정상운행을 위해서 차륜 삭정작업을 실시하였다.

(가) 차륜 찰상 원인

① 동력대차 찰상 발생의 경우

우천시 130km/h 속도에서 80% 상용제동 체결 시 발생하였는데 Motor block의 Anti-slide 제어 오류 및 동력대차 내 전기/공기 제동 Blending 제어 오류이거나, 실제 발생되는 전기 제동력 값 보다 적게 공기제동장치로 전기 제동력 값이 Feedback 되어 공기 제동력이 크게 작용한 것으로 판단된다.

② 부수대차 찰상 발생의 경우

우천시 100km/h 속도에서 상용 제동 체결시 발생되며, 공기제동 제어장치의 Anti-slide 제어 오류로 판단된다.

(나) 차륜 삭정 자료

단기간내에 많은 차륜의 삭정을 하기 위해 편성 상태로 차륜을 삭정할 수 있는 철도청 구로기지나 부곡기지로 이송하여 기지 내 차륜 삭정장에서 차륜 삭정을 실시하였다.



(a) (b) (c)

그림 3.2.1-1 차륜 찰상 사진

차륜 삭정시 규정치에서 허용하는 범위(30mm)내에서 1회에 3mm 정도 삭정하였으며 차륜 찰상 정도는 그림 3.2.1-1에 나타내었다.

(다) 차륜 찰상 방지를 위한 대책

① 동력대차의 경우

차륜에 찰상을 입히지 않도록 하기 위해서 Motor block의 Anti-slide 제어장치 및 동력대차 내 전기/공기제동 Bending 제어장치 검토 및 보완작업을 포함한 제동판넬에 대한 수정작업을 통해 정상화 하였다.

② 부수대차의 경우

동력대차보다는 차륜 찰상 발생정도가 적으나 동력대차와 마찬가지로 공기제동 제어장치의 Anti-slide 제어장치 전면 재검토 및 제동판넬의 보완 작업을 통해 정상화하였다.

③ 모의 속도 시험

차량 주행 시 제동시험을 하면 미수정된 제동장치로 인해 차륜 손상이 다시 발생될 수 있으므로 동력대차 및 부수대차에 대해서 정지상태에서 차축 속도 신호 시뮬레이터(simulator)를 이용한 전체적인 제어상태의 시험을 통해 보완하였다.

(2) 차륜 삭정 현황 관리

표.3.2.1-7에서는 시제차 전체 차축에 대한 신조 차륜 직경 값과 지금까지의 관리되고 있는 삭정 값 이력을 보여 준다. 표에서 신조차륜 직경에서 삭정 값을 제외한 추정 직경 값과 삭정 후 측정된 최종 직경 값 사이에 발생된 차이는 측정 장비의 오차나 실제 삭정예정 값과 실제 삭정한 값의 공차로 추정된다

표 3.2.1-7 차륜 삭정 현황

한국형 고속열차 차륜삭정 현황/이력표								작성 일자 2007/05/07 (단위 : mm)
Truck	Wheel No.	1차 삭정후 (02/09/11)	5차 삭정후 (03/08/29)	10차 삭정후 (05/12/16)	15차 삭정후 (06/10/25)	16차 삭정후 (06/12/07)	#8 대차교체후 (07/05/07)	현재 차륜경 (2007/05/07)
#1	WS11좌	918.57	#	#	#	874.99	#	874.99
	WS11우	918.53	#	#	#	874.93	#	874.93
	WS12좌	919.03	#	#	#	872.24	#	872.24
	WS12우	918.93	#	#	#	872.21	#	872.21
#2	WS21좌	917.07	#	900.69	#	#	#	897.48
	WS21우	916.94	#	900.95	#	#	#	897.54
	WS22좌	919.25	#	904.80	#	#	#	899.98
	WS22우	919.59	#	904.56	#	#	#	899.98
#3	WS31좌	919.81	#	#	#	#	#	909.96
	WS31우	919.71	#	#	#	#	#	909.96
	WS32좌	919.64	#	#	#	#	#	910.96
	WS32우	919.93	#	#	#	#	#	910.93
#4	WS41좌	920.22	917.78	#	886.93	#	#	886.93
	WS41우	920.01	917.73	#	887.06	#	#	887.06
	WS42좌	915.26	913.04	#	#	#	#	908.52
	WS42우	914.99	912.75	#	#	#	#	908.61
#5	WS51좌	919.73	#	#	#	#	#	899.73
	WS51우	919.77	#	#	#	#	#	899.90
	WS52좌	920.05	917.05	#	#	#	#	907.44
	WS52우	920.15	917.04	#	#	#	#	907.48
#6	WS61좌	920.08	#	#	895.95	#	#	895.95
	WS61우	920.23	#	#	895.99	#	#	895.99
	WS62좌	919.73	#	#	#	#	#	919.73
	WS62우	919.61	#	#	#	#	#	919.61
#7	WS71좌	919.84	917.88	905.52	#	#	#	905.52
	WS71우	919.70	917.58	905.42	#	#	#	905.42
	WS72좌	919.93	#	914.95	#	#	#	914.95
	WS72우	920.09	#	914.68	#	#	#	914.68
#8	WS81좌	919.32	#	#	#	#	924.10	924.10
	WS81우	919.09	#	#	#	#	924.10	924.10
	WS82좌	919.54	#	#	#	#	924.20	924.20
	WS82우	919.84	#	#	#	#	924.10	924.10
#9	WS91좌	918.57	#	#	#	#	#	888.74
	WS91우	918.70	#	#	#	#	#	888.69
	WS92좌	916.98	#	#	#	#	#	887.39
	WS92우	916.84	#	#	#	#	#	887.10
#10	WS101좌	920.25	#	#	#	#	#	890.99
	WS101우	920.27	#	#	#	#	#	891.03
	WS102좌	920.20	#	#	#	#	#	888.27
	WS102우	920.03	#	#	#	#	#	888.51

(가) 신조 차륜 직경

차량의 대차에 조립전의 차륜은 기계 가공을 걸쳐 각각의 등급에 해당되는 차륜을 동일 대차에 취부 한다. 이는 차륜의 좌/우 직경 차이를 엄격하게 관리하기 때문이며 좌/우 불균형에 의한 대차의 진동 및 속도제어 불량을 방지하기 위함이다.

고속철도 기술개발 시제차량의 차륜 관리는 고속전철에서 적용하는 규정과 동일하게 동일 축에서의 좌/우 직경차이는 최대 0.3mm로 관리하며, 동력대차의 경우 동일대차에서의 첫 번째 두 번째 축사이의 차륜 직경은 최대 20mm로 관리한다.

표 3.2.1-8은 신조 차륜 직경의 등급별 기준을 보여주며 여기서 동일 등급에 해당되는 차륜을 선별하여 동일 축에 취부하게 된다.

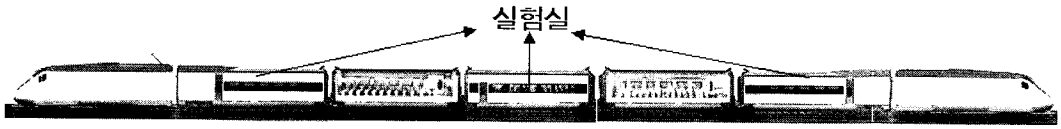
표 3.2.1-8 신조 차륜 직경(단위:mm)

공칭 지름	기계가공 후 지름	등급	
		직경	등급
920 =4/-0	920±0.3	$920_{-0.3}$	A
		$920^{+0.3}$	B
	922±0.3	$922_{-0.3}$	C
		$922^{+0.3}$	D
	924±0.3	$924_{-0.3}$	E
		$924^{+0.3}$	F

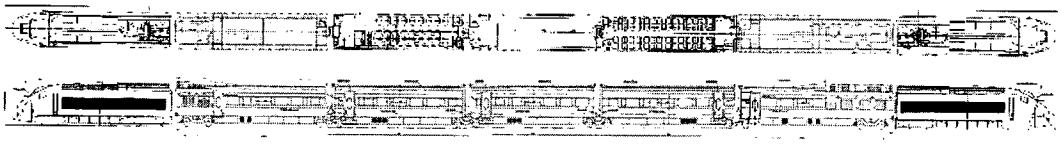
(나) 차륜 직경 관리

차량의 차륜 현황을 파악하고 관리하는 목적은 제어 시스템 사양의 SPMD에 차륜 직경에 대한 입력 값을 차륜 직경 850mm~920mm의 반마모 상태인 885mm 입력값을 대신하고 차륜 직경이 10mm 단위로 마모가 발생될 때마다 정기적으로 모터블럭과 제동 판넬에 입력되는 차륜 직경 값을 업데이트 하여 실제 차량의 속도 제어를 위한 추진력과 제동력 발생을 정밀하게 관리한다.

제3절 안정화 시운전시험



HSR 350X 시제차량 편성도



■ 좌석 수: 총 82석, 특실 26석, 일반실 56석
■ 서비스설비: 네트워크실 1, 카페테리아 1,
화장실: 2, 장애인 화장실 1, 승무원실 1
■ 온도, 진동, 변위 등 약 400Point On-Line으로 측정

그림 3.3.1-1 시제차 구성도

1. 시운전시험 현황

- 시험장소 : 경부고속철도 광명~서대전/목포 구간
- 시험기간 : 02.08월 ~ '07.10월 31일 현재
- 주행속도 : 60 km/h시작 → 352.4 km/h
- 총 시험횟수 : 438회
- 총 주행거리 : 205,488km

2. 시운전시험 상세내용

구 분	기 간	일 정				
		2003	2004	2005	2006	2007
증 속 시 험 및 안 정 화 시 험	2 년					
신 뢰 성 확 보 시 험	1 년					
KTX 선 로 계 측 및 신 뢰 성 검 증 운 행	2 년					

그림 3.3.2-1 안정화 기술개발 추진 일정

표 3.3.2-2 시운전 시험 현황

순	주행 회차	일자	운행구간		주행 거리	최고 속도	시험내용 및 특이사항
1	329	2006-10-10	오송	송정리	436	260	오송기지 출발시 비상제동체결에 따른 지연으로 운행경로 단축
2	330	2006-10-11	오송	송정리	492	300	#7, 10 제동제어장치(BCU) 제동압력 미현시 및 통신 fault 2회
3	331	2006-10-12	오송	동대구	491	300	
4	332	2006-10-17	오송	동대구	398	300	모터블록 3개(MB #2,4,6) 차단으로 시운전 경로 단축
5	333	2006-10-18	오송	동대구	454	300	MB6 : 인버터 W,Z,BCHIGCT 소자 3EA 소손 ☞ 차단운행
6	334	2006-10-19	오송	동대구	399	300	동대구 진입시 PC1 주변압기 과온으로 차단
7	335	2006-10-23	천안아산	신탄진	114	290	비상제동시험중에 바퀴 찰상으로 오송기지로 복귀
8	336	2006-10-30	천안아산	신탄진	275	310	제동장치 "활주방지 기능 고장" 현시 - 11/1일 야간 프로그램 수정 적용후 정상
9	337	2006-11-1	오송	동대구	341	300	
10	338	2006-11-2	오송	동대구	340	270	
11	339	2006-11-7	오송	광명	209	290	PC2 전면창 CRACK 발생으로 잔여 시운전 취소, 광명에서 오송기지로 복귀
12	340	2006-11-8	광명	대전	270	300	베트남 교통부차관 일행 시승(광명→대전)
13	341	2006-11-14	오송	동대구	341	300	MB #1 : 운행 중 컨버터 X상(GDU) 고장으로 입고중 기동 못함
14	342	2006-11-15	오송	동대구	341	300	MB #5&6 : 기지?T4 출고 중에 동시 격리되어 수동 재 기동함
15	343	2006-11-16	오송	동대구	606	300	출발시 대전북 연결선에서 PC1 1,2군 차단, 연장급전 운전
16	344	2006-11-21	오송	동대구	341	300	MB #5, 6 : Aux 블록 격리로 VCB개방 상태에서 저항제동 인가 시 격리되어 동작 중단, 수동 재 기동함 (각 1회).
17	345	2006-11-22	오송	목포	570	270	
18	346	2006-11-23	오송	동대구	607	300	
19	347	2006-11-27	천안아산	신탄진	217	310	
20	348	2006-11-29	오송	송정리	438	270	
21	349	2006-11-30	오송	동대구	606	300	PC2, SPMD : ATC 열차속도 이상 발생->SPMD CPU Board 불량

순	주행 회차	일자	운행구간		주행 거리	최고 속도	시험내용 및 특이사항
22	350	2006-12-6	오송	동대구	341	300	열차 경부고속선 서기 309km 지점 통과중 PC1 대차 #1번의 제동불완해로 인한 차륜과열 발생, 운행구간 단축
23	351	2006-12-11	고덕	신탄진	330	330	MB #4 330km/h 제동시 차단: IGCT 소자 소손(4개)
24	352	2006-12-13	오송	동대구	343	300	제동시 AUX2 OFF -> MB #4 OFF(351차 야간시운전과 동일한 상황에서 발생한 것으로 판단됨
25	353	2006-12-14	오송	동대구	601	300	
26	354	2006-12-19	오송	동대구	613	300	PC1 AUX2 52kV Inverter 차단
27	355	2006-12-20	오송	동대구	341	300	
28	356	2006-12-21	오송	동대구	606	300	활주 방지고장 신호가 현시되어 T4 도착하여 BCU #7 ECU 격리 시운전 운행을 계속 시행함.
29	357	2006-12-27	천안아산	동대구	455	300	
30	358	2007-1-4	오송	동대구	607	300	
31	359	2007-1-9	오송	동대구	607	300	MB6 : Chopper IGCT 소손 ⇨ 차단운행
32	360	2007-1-10	오송	동대구	607	300	
33	361	2007-1-11	오송	동대구	607	300	동력차 운전실 및 특실 소음 측정 시행
34	362	2007-1-16	오송	동대구	341	300	시운전중 MB#4 IGCT 소손발생 차단운행
35	363	2007-1-17	오송	목포	570	240	트리포드 특성시험 시행 : 시험완료(트리포드 절손 미발생)
36	364	2007-1-23	오송	동대구	607	300	
37	365	2007-1-24	오송	목포	570	260	MB4 : 제동초퍼,인버터 U상/X상 IGCT 소손 ⇨ 차단운행
38	366	2007-1-25	오송	동대구	607	300	
39	367	2007-1-30	오송	동대구	607	300	
40	368	2007-1-31	오송	동대구	341	300	
41	369	2007-2-1	오송	동대구	341	300	기지입고시 약 9분간 PC1 주변압기 송풍기팬 이동작 발견
42	370	2007-2-5	오송	고덕	184	330	330Km/h 상용제동시험중 MB1,2 격자저항 과열(불꽃 및 연기) 발생으로 300, 320, 330Km/h 속도별 제동시험 불가 판단, 잔여 1왕복 시험취소후 오송기지 복귀.
43	371	2007-2-6	오송	동대구	607	330	
44	372	2007-2-7	오송	동대구	607	300	
45	373	2007-2-8	오송	동대구	607	300	
46	374	2007-2-22	오송	목포	570	240	
47	375	2007-2-27	오송	동대구	607	300	HVAC 자동운전 기능고장(운전실/객실)

순	주행 회차	일자	운행구간		주행 거리	최고 속도	시험내용 및 특이사항
48	376	2007-2-28	오송	동대구	607	300	제동장치(ECU) 프로그램 교체관련 오송기지 지연 출발(09:42 ☞ 10:21)
49	377	2007-3-6	오송	동대구	607	300	
50	378	2007-3-7	오송	동대구	607	300	국회 건교위 인원 시승(대전 →동대구)
51	379	2007-3-8	오송	동대구	607	300	
52	380	2007-3-13	오송	동대구	607	300	
53	381	2007-3-14	오송	목포	570	200	철도공사 정책비서관 4명 차량 상태 확인(대전-동대구 왕복)
54	382	2007-3-15	오송	동대구	607	300	철도공사 정책비서관 4명 차량 상태 확인
55	383	2007-3-20	오송	동대구	607	300	
56	384	2007-3-21	오송	동대구	607	300	베트남 철도 부국장외 9명 대전→ 동대구 시승 완료
57	385	2007-3-22	오송	동대구	393	110	기존 경부선 대전-동대구간 고속철도 차량 시운전
58	386	2007-3-26	오송	동대구	393	135	기존 경부선 대전-동대구간 고속철도 차량 시운전
59	387	2007-3-29	오송	동대구	171	300	오송-동대구 시운전 후 차량중점검차 기관차 회송하여 공장입장(19:30)
60	388	2007-5-14	고덕	신탄진	324	300	스피드센서 브라켓과 차체의 요댐퍼 브라켓간 상하 Bouncing 시 간섭으로 이음발생
61	389	2007-5-21	고덕	신탄진	225	300	제동시험중 곡선통과시 #7 대차 1위® Wheel 상면과 주공기관 차단콕크 간섭으로 이음발생
62	390	2007-5-23	오송	동대구	608	300	
63	391	2007-5-29	오송	동대구	643	300	
64	392	2007-5-30	오송	동대구	608	300	
65	393	2007-5-31	오송	동대구	373	300	MB #5,#6 IGCT 소자소손에 따른 모터블록 #4,#5,#6 차단으로 정상 시운전 불가
66	394	2007-6-5	오송	동대구	347	300	동대구→대전 운행중 ATS 제한속도 수신고장으로 비상제동 체결못함.
67	395	2007-6-7	오송	동대구	341	300	오송IEC→동대구 운행중 PC2 ATC CH #1 고장으로 절체 및 CH #2 절환 후 시운전 경로변경하여 오송기지 입고조치
68	396	2007-6-12	오송	동대구	607	300	
69	397	2007-6-13	오송	동대구	607	300	

순	주행 회차	일자	운행구간		주행 거리	최고 속도	시험내용 및 특이사항
70	398	2007-6-14	오송	동대구	607	300	
71	399	2007-6-18	오송	동대구	607	300	아리랑 TV 에서 "MADE IN KOREA" 제목으로 G7 차량 시운전 탑승후 촬영
72	400	2007-6-19	오송	함평	504	275	
73	401	2007-6-20	오송	동대구	607	300	아리랑 TV 에서 "MADE IN KOREA" 제목으로 G7 차량 시운전 탑승후 촬영
74	402	2007-6-21	오송	목포	571	255	
75	403	2007-7-12	오송	동대구	355	300	
76	404	2007-7-13	오송	동대구	342	300	운전실 차량정보화면 신규품 취부 후 본선시운전 기능확인
77	405	2007-7-18	오송	동대구	607	300	
78	406	2007-7-19	오송	동대구	607	300	
79	407	2007-7-25	오송	동대구	341	300	
80	408	2007-7-26	오송	동대구	607	300	
81	409	2007-8-7	오송	동대구	607	300	
82	410	2007-8-8	오송	동대구	341	300	동력차(PC2) 판타계측용 접지선 스파크 발생으로 시운전 경로변경 및 비상판타 사용 후 오송기지 입고조치
83	411	2007-8-9	오송	동대구	607	300	
84	412	2007-8-13	천안아산	신탄진	111	300	모터블록 #1,#2 소자소손에 따른 차단으로 시험조건(4MB) 부적합 ☞경로단축 후 기지입고
85	413	2007-8-16	오송	동대구	372	300	대전-동대구 하행운행시 모터블록 #2 IGCT 소자소손에 따른 시험조건(4MB) 부적합 ☞옥천역에서 회차하여 오송기지 입고조치
86	414	2007-8-21	오송	동대구	609	300	
87	415	2007-8-22	오송	동대구	607	300	MB3 : 그라운드 고장(GND_FAULT) 3회 ☞수동재기동(동대구 도착후 인버터 보드 MB#1 에서 유용취부)
88	416	2007-8-23	오송	동대구	607	300	MB3 : 상 불균형 고장(PUD_FAULT) 1회 ☞수동재기동
89	417	2007-8-27	오송	동대구	274	300	제동시험 : 비상제동(90kph) 회생(푸쉬버튼), 블렌딩시험(150kph)
90	418	2007-8-29	오송	동대구	607	300	Aux.B : PC1 출력저전압(DCLV) 1회 ☞수동재기동
91	419	2007-8-30	광명	동대구	546	300	코레일 품질경영평가단 시승
92	420	2007-9-4	오송	동대구	607	300	
93	421	2007-9-5	오송	동대구	608	300	

순	주행 회차	일자	운행구간		주행 거리	최고 속도	시험내용 및 특이사항
94	422	2007-9-6	오송	동대구	608	300	MB3 : 상불평형(PUD), 수동재기동 1회
95	423	2007-9-10	오송	천안아산	67	275	PC2측 52kVA 소손으로 시운전 취소후 복귀
96	424	2007-9-12	오송	동대구	607	300	PC1측 VCB 트립 발생 (비상판토 사용 운행)
97	425	2007-9-13	오송	동대구	607	300	
98	426	2007-9-17	광명	동대구	547	300	브라질 정부인사 시승(광명역→동대구역)
99	427	2007-9-18	오송	동대구	608	300	판토 집전판 공압 누수 교체후 출발 (시운전 출장 지연)
100	428	2007-9-19	오송	동대구	341	300	
101	429	2007-10-2	오송	동대구	607	300	MB1 : W상 GDU 고장, 자동재기동 1회
102	430	2007-10-4	오송	동대구	607	300	MB3 : 컨버터 V1 상 소자 소손 격리
103	431	2007-10-8	오송	천안아산	281	300	
104	432	2007-10-10	오송	동대구	608	300	
105	433	2007-10-15	오송	천안아산	285	300	
106	434	2007-10-17	오송	동대구	341	300	MB1 : GDU(Gate Drive Unit) Y2상 고장 => 격리. MB3 : 컨버터 X1 상 소자 소손 => 격리
107	435	2007-10-18	오송	동대구	607	300	MB1 : 컨버터 입력과전류(U2,Y2상 소자 소손). MB3 : 컨버터 입력과전류 (Y2상 소자 소손)
108	436	2007-10-22	오송	고덕	190	300	
109	437	2007-10-24	오송	목포	285	230	
110	438	2007-10-25	목포	광명	488	300	

3. 주요문제점

표 3.3.3-1 시운전시 주요 문제점 및 조치 현황

순	고장일자	장치구분	장치명	관련기관	현상 및 문제점	비고
1	2006.10.10	제동	BCU02	유진기공	BCU 2번 제동 완해 지연	
2	2006.10.10	ATC/ATS	PC1	LS산전	ATS 절연구간 점등/소등(서대전역 진입 前, 두계역 통과 後)	
3	2006.10.11	제동	BCU10	유진기공	BCU10번 통신불량(통신중계 보드 불량)	
4	2006.10.17	MB	MB2	현대중공업	MB#2 : 입력 과전류로 보호 수동 재 기동 1회 및 IGCT 3개 소손으로 격리	
5	2006.10.17	ATC/ATS	PC1	LS산전	ATS-기존선 KP 176지점에서 절연구간 표시 -> 지상설비 확인 필요 및 장치 점검 실시 -5kph 이하 속도로 신호통과 시 속도 미 검출로 RG 비상제동 체결 -> ATS 절차 확인 필요 -ATS Special 기능 불능	
6	2006.10.18	MB	MB1, MB2	현대중공업	MB#1, #2 : 입력 과전류로 보호 수동 재 기동 4회 ->과전류 검지 보호 Level을 2000A에서 1900A 로 수정 후 자동 재기동 다수 발생초래, 이에 대한 보호레벨 적정 튜닝 필요	
7	2006.10.19	MB	MB2	현대중공업	MB#2 : 입력 과전류로 IGCT 1개 소손 격리	
8	2006.10.23	AUXB	PC1	로템	1.천안아산→신탄진 구간에서 차단되어 연장급전 2.80% PWM (MB 1, 2, 5, 6)	
9	2006.10.30	MB	MB1	현대중공업	MB#1 : Converter 입력 과전류로 보호 자동 재기동 2회, 저항제동 시 Converter 출력 과전압으로 수동 재기동 2회 -> 점검 후 차기 시운전 지장없이 조치	
10	2006.10.30	제동	BCU06,08	유진기공	BCU : 6번, 8번 대차 속도 신호 불량으로 활주방지 고장 현시 및 MB#6의 TCU 속도 불량으로 Tripod breakage 검지	
11	2006.11.01	MB	MB2	현대중공업	MB#2 : Converter 입력 과전류로 보호 자동 재기동 3회	
12	2006.11.14	MB	MB1	현대중공업	MB #1 : 운행 중 컨버터 X상(GDU) 고장으로 입고중 기동 못함.	
13	2006.11.14	MB	MB2	현대중공업	MB #2 : 운행 중 컨버터 2군 Y상 IGCT 고장으로 격리됨.	
14	2006.11.14	AUXB	PC1,PC2	로템	보조 블럭 : 하행 시 PC1 1,2호기, 상행 시 PC2 3, 4호기 격리 후 수동재기동 1회 발생함	
15	2006.11.15	MB	MB3	현대중공업	MB #3 : 동대구 출발전 제어기"ON" 상태에 격리, 수동 재기동함	
16	2006.11.16	MB	MB1	현대중공업	MB1 : 기지 출고시 컨버터 2군 과전류로 격리 운행	
17	2006.11.22	ATC/ATS		LS산전	ATS : 절연구간 인식 불량 2회 발생	
18	2006.11.27	MB	MB2	현대중공업	MB2 : 빈번한 슬립 발생	
19	2006.11.29	ATC/ATS	PC2	LS산전	PC2, SPMD : ATC 열차 속도 이상 발생 → SPMD CPY Board 불량	
20	2006.12.05	제동	BCU08	유진기공	BCU #8 차단 운행 : 통신 장애(5.5bar 현시)	
21	2006.12.05	MB	MB2	현대중공업	MB2, 1번 차단(2회):컨버터 입력과전류로 차단	
22	2006.12.11	MB	MB2	현대중공업	MB2, 1번 차단(2회):컨버터 입력과전류로 차단	
23	2006.12.13	AUXB	PC2	로템	PC2 AUX2 OFF 및 MB #4 OFF: IGCT 소자 소손 : 제동시 AUX2 OFF ->MB #4 OFF	
24	2006.12.19	AUXB	PC1	로템	PC1 AUX2 52kV Inverter 차단	

순	고장일자	장치구분	장치명	관련기관	현상 및 문제점	비고
25	2006.12.20	제동	BCU07	유진기공	1.BCU #7 : 활주방지고장 신호 현시 2.T4 출발 진행중 활주방지고장 신호 현시	
26	2006.12.21	제동	BCU07	유진기공	1.BCU #7 : "활주 방지장치 고장" 신호 현시 2.활주 방지고장 신호가 현시되어 T4 도착하여 BCU #7 ECU 격리 후시운전 운행을 계속 시행함. 3.#7 대차 전위 축 속도센서 이상으로 추정함.	
27	2007.01.10	AUXB	PC2	로템	1.증악터널내 운행중 전차선 이선에 의한 AUX2 순간 자동 재기동 2.1/11일 동일구간 재발생 여부 모니터링(PC1측 판타그래프 사용)	
28	2007.01.11	AUXB	PC2	로템	AUX#2 : 입력 과전류(1회) 및 입력과전압 차단(1회)/재기동 및 자동 재기동 3회발생	
29	2007.01.16	제동	BCU02	유진기공	BCU#2 : 속도시스널 오류로 활주방지고장 현시, 수동자단 후 운행	
30	2007.01.16	제동	BCU06	유진기공	BCU#6 : 별도 시험용 케이블 연결로 간헐적 활주방지고장 현시 -> 케이블 제거후 정상	
31	2007.01.24	AUXB	PC2	로템	PC2 AUX 차단 재기동 : 가선불균형으로 차단 재기동 발생	
32	2007.01.25	MB	MB1	현대중공업	Noise로 인한 자동 재기동 및 차단 발생(오송-동대구) →오송-동대구 구간에서 차단하고 MB3 기동 운행함 →SCU 측정을 위한 컨넥터 케이블 설치를 제거 후 문제 없음	
33	2007.01.30	AUXB	MB1~3 PC1	로템	MB1, 2, 3 및 PC1 AUX 차단 동시차단(4회 발생) ->변압기 오일펌프1, 2 차단에 의한 현상으로 추정되나, 고장정보에 변압기 오일펌프1만 차단된 것으로 확인.	
34	2007.01.31	MB	MB1	현대중공업	MB #1 슬립 제어상태 유지 및 Venflation fan 이상으로 완전차단.	
35	2007.02.05	AUXB	PC2	로템	PC2 AUX 차단 : PC2 AUX 입력과잔류로 차단(VCB 차단)되면서 저항제동 될 때 MB#4번 소자 소손(IGCT 2개)	
36	2007.02.08	MB	MB1	현대중공업	MB1 차단 : 컨버터 입력과전류/컨버터 휴즈 용손/IGBT 소손(3개)	
37	2007.02.22	제동	ECU	유진기공	ECU 고장정보 오류발생 : ECU 통신프로그램 교체에 따른 데이터 송신에러 발생 -> 활주방지고장 신호 현시에 따른 살사시험 불가	
38	2007.02.27	AUXB	PC2	로템	차단 재기동 및 연장급전 →입력 과전류	
39	2007.02.28	MB	MB1,2	현대중공업	1.대전→동대구 구간 2.출발시 MB2 견인력 미인출 되어 차단하여 3번으로 변경 3.MB1 U1상 GDU 고장 발생으로 차단 →MB 2 기동하여 운행 →동대구 도착하여 MB1 GDU 수정	
40	2007.03.20	MB	MB1	현대중공업	-MB1 고장 : 컨버터 IGBT 2개 파손	
41	2007.03.20	MB	MB2	현대중공업	-MB2 고장 : 인버터 IGCT 1개 파손	
42	2007.03.27	제동	대차07	유진기공	7번대차의 속도센서 케이블 고정용 브라켓트와 차체의 댐퍼 고정용 브라켓트 작은 간섭 발생 : 속도센서 케이블 고정용 브라켓트 일부를 절단한 후 지속적 관찰예정	
43	2007.05.21	MB	MB1	현대중공업	운행중 MB#1번 차단으로 MB#3번으로 교체 운행 ⇒ 컨버터 Y상 소자소손(입력과전류)	
44	2007.05.23	AUXB	PC2	로템	컨버터 2군 X2 GD 소손	
45	2007.05.31	신호	네트워크	LS산전	ATC 속도현시 상한 설정치(0, 120, 240) 표기 오류(36, 119, 239)	
46	2007.06.07	신호	PC1	LS산전	가선변경구간(대구복) 진입후 ATS Arming 되지 못함. →ATC 채널 2로 변경후 정상 운행 →고속선->기존선 변경시 발생	
47	2007.06.20	MB	MB1	현대중공업	2군 컨버터입력과전류(ocft)와 동시 GCU2-ft로 차단 (X2상 다이오드 소손 추정)/MB3번으로 대체 기동 운행함	
48	2007.06.21	신호	PC2	LS산전	ATS 고장 : 채운SP 지점 통과중 운전정보 화면내 ATS "R" 현시 비상제동 체결 정차 ⇒ATS 채널1에서 2로 절환후 목포까지 정상운행	
49	2007.06.21	MB	MB1	현대중공업	컨버터 입력과전류(lin1-ocft : 컨버터1군), 컨버터 게이트 고장 (GCX1-FT) ⇒ 컨버터 1군 X1상 IGBT 소손	
50	2007.07.13	제동	ECU01	유진기공	ECU #1 : 통신불량으로 대전역 정차 후 공압 차단 ?전일 보드 교체 후 출발시 정상이었으나 고장 발생	

순	고장일자	장치구분	장치명	관련기관	현상 및 문제점	비고
51	2007.09.05	신호	PC2	LS산전	ATS 절연구간 오현시 3회발생(옥천역 진입전, 신동-지천역간)	
52	2007.09.09	AUXB	PC2	로템	보조전원 (PC2 52KV 인버터) 차단, 복귀 불능 ->MB 5,6 차단	
53	2007.09.17	AUXB	PC1	로템	PC1 AUX 52KVA 인버터4번 차단 ※ 차징저항 크랙발생 ⇒#1번 저항으로 교체	
54	2007.10.04	MB	MB3	현대중공업	차단(V1상 IGCT 소손)	
55	2007.10.10	제동	BCU02	유진기공	Anti-slide 기능고장(수십차례) <-원인: 6번 대차 2번 휠 속도센서 작동불량으로 추측됨 ?고장정보 기록이 제동시만 Anti-slide 기능고장이 기록됨	
56	2007.10.15	MB	MB1	현대중공업	MB1 차단(인버터 입력과전류) 영향으로 MB2 자동재기동 2회 →MB3 기동/T40에서 MB1 기동하여 입고 - 통신불량 : ECU3,4,5,9,10번(SCU CB 트립 복귀 안 됨→축전지 OFF 후 재기동 정상)	
57	2007.10.17	MB	MB3	현대중공업	MB3번 차단(X1상 소자소손 : 컨버터 출력과전류 레벨값 조정오류 (3600A→8800A)	
58	2007.10.18	MB	MB3	현대중공업	MB3번 차단(컨버터 Y2상, V2상 IGCT 소손 : 컨버터 입력과전류	
59	2007.10.18	MB	MB1	현대중공업	MB1 차단(U2상, V2상 IGBT 소손 : 컨버터 입력과전류)	

4. 안정화 시험현황 및 신뢰성 확보계획

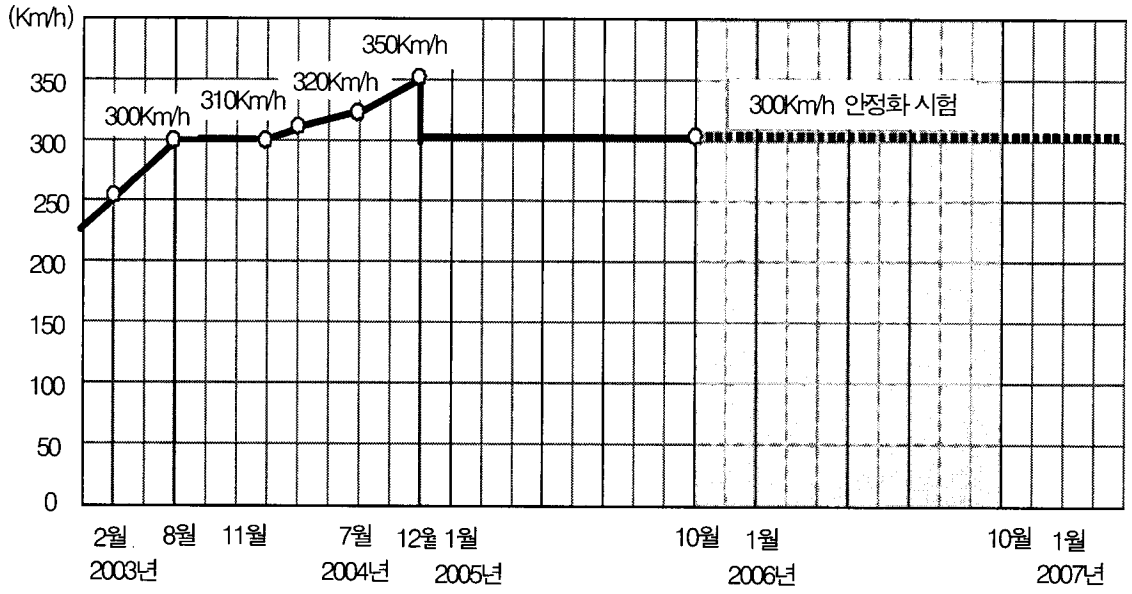


그림 3.3.4-1 증속시험 그래프

가. 종속시험

그림 3.3.4-1은 증속시험에 대한 그래프를 보인 것이다. 2002년 6월부터 2004년 12월말 까지 증속 시험을 완료 했으며, 2004년 10월에 330km/h를 주행하였고, 2004년 11월말에 340km/h중속과 2004년 12월중에 350km/h 증속시험을 수행하였다.

또한 2007년까지 20만km 이상 주행시험을 통한 신뢰성을 확보하기 위해 계획된 시운전 일정을 통해 달성하였다.

표 3.3.4-2 시운전 일정

구 분	시험운행	운행구간	주행거리
'02.08 ~ '04.07	주1일 2회왕복	광명역 ~ 천안역(70km)	280km/주
'04.07 ~ '04.08	주2일 2회왕복	광명역 ~ 천안역(70km)	560km/주
'04.09 ~ '04.10	주3일 2회왕복	광명역 ~ 서대전역(120km)	1,440km/주
'04.11 ~ '04.12	주4일 1회왕복	광명역 ~ 동대구역(270km)	2,160km/주
'05.01 ~ '05.11	주4일 1회왕복	광명역 ~ 부산/목포역(400km)	3,200km/주
'05.12 ~	주2일 1회왕복	광명역 ~ 부산/목포역(400km)	1,600km/주

나. 주요 문제점 현황 및 조치사항

표 3.3.4-3은 신뢰성 문제점 및 조치예정 사항에 대해 관련기관과 협의된 내용을 추가하였다. 증속시험에 필수적인 장치에 우선순위를 부여했으며, 각 장치별 조치사항에 대해서는 해당 장치 결과내용에 첨부되어 있다.

표 3.3.4-3 주요 문제점 및 조치사항

항목	추진실적	장소	추진계획	장소	비 고
모타 블록	1. IGCT 소손 1) Anode Reactor 재제작분 취부 완료('05.10.) 2) AIO 보드 성능개선('06.03.31) Gain 동일설정 확인 및 기능 확인 시험 3) 전류제한 프로그램 적용 완료('06.03.31) 4) 인버터 초기 기동전류 제어 프로그램 튜닝 완료('06.03)	현대중공업 마북리	1. IGCT 소손 1) Anode Reactor 교체 후 시스템 신뢰성 확인 및 시스템의 하절기 안정성 모니터링 (~'06.07.30) 2) AIO 보드 성능개선 현차 적용 성능 확인('06.05.10) 3) 전류제한 프로그램 시운전 튜닝 및 확인('06.06.30) 4) 인버터 초기 기동전류 제어 프로그램 시운전 튜닝 및 확인 (~'06.06.30)	시운전시	
	2. IGBT 소자 적용시험 1) 소자 입고 및 연구소 특성시험 완료('06.03.5) 2) IGBT Stack 스택 교체	현대중공업 마북리	2. IGBT 소자 적용시험 1) IGBT Stack 스위칭 특성 시험 (~'06.04.30) 2) 차량 취부 및 본선 시운전 성능 확인 ('06.05 ~'06.06.30)	현대중공업 마북리	

항목	추진실적	장소	추진계획	장소	비 고
	3. 과전압/ 과전류 1) PWM 컨버터 출력제어 안정화 검토 ('06.04.)	현대중공업 마북리	3. 과전압/ 과전류 1) PWM 컨버터 출력제어 안정화 제어 PI Gain 조정 및 리플 저감 알고리즘 적용 ('06.05. ~ '06.06.)	시운전시	
	4. 제어용 Power Supply 안정화 1) 팬용인버터 Power Supply 보완 및 배선 작업('06.04.03)	현대중공업 마북리	4. 제어용 Power Supply 안정화 1) 팬용인버터 Power Supply의 고장시 리셋 및 재기동 시간 재설정 ('06.04. ~ '06.05.)	현대중공업 마북리	
	5. IGCT 구동용 전원성능 검증 완료 ('05.11.)	현대중공업 마북리	5. IGCT 구동용 전원 교체 후 신뢰성 및 성능 확인 , 하절기 안정성 모니터링(~'06.07.30)	시운전시	
	6. Slip/Slide 제어 튜닝 작업(~'06.03.15)	시운전시	6. Slip/Slide 제어 튜닝 작업 ('06.04. ~ '06.06.)	시운전시	
제동	1. 제동불완해 1) 인터페이스 보드 개선품(ECU SET) 장착('05.12.23) 2) 전차량분 교체 장착 및 주행성능, 신뢰성 확인 시험('06.03. ~ '06.04.)	유진기공	1. 제동불완해 1) 전차량분 교체 장착 및 주행성능, 신뢰성 확인 시험('06.04. ~ '06.05.)	시운전시	
	2. 차륜찰상	유진기공	2. 차륜찰상	시운전시	

항목	추진실적	장소	추진계획	장소	비 고
	1) 활주검지기준값 관련 S/W 및 CPU 보드 수정/보완('06.02.23) 2) 전차량분 교체 장착 및 성능, 신뢰성 확인 시험('06.03. ~ '06.04.)		1) 전차량분 교체 장착 및 주행성능, 신뢰성 확인 시험('06.04. ~ '06.05.)		
	3. 제동정보 현시 불안정 통신담당 업체의 안정화 작업내용 중 제동장치관련 사항 업무지원(~ '06.03)	오송기지	3. 제동정보 현시 불안정 신규 OBCS 적용관련 TCN Network 통신프로토콜 확인시험 지원('06.03. ~ '06.04.)	오송기지	
열차진단장치	1. 신규 OBCS 적용 준비 1) 제동압력 , 모터 블록 고장등의 상태 현시('06.03.23 시연회) 2) Display(DISP1,DISP2)의 기동 확인 시험('06.03.23 시연회) 3) OBCS 현차 적용을 위한 준비 작업('06.04.07)	로템 의왕연구소	1. 신규 OBCS 적용 준비 1) 오송기지 현차 취부하여 배선 및 인터페이스 작업완료('06.04.11) 2) OBCS 성능 확인 시험('06.04.11 ~ 06.04.22) 3) 시운전시 신뢰성 및 성능 검증('06.04.24 ~ 06.06.30) 3) 기관사 운전정보 기능 향상 및 확인('06.06.01 ~ '06.06.30)	오송기지 및 현차확인	
보조블록	1. IGBT 소손 및 ACOC 보호동작 1) IGBT DRIVER 신규 설계 제작 및 신뢰성 시험 완료('06.03.20) 2) SEN 보드 개선 ('06.02.30) ACOC(입력과전류) 검지 레벨 상승	로템 의왕연구소	1. IGBT 소손 및 ACOC 보호동작 1) 보조블록 오송기지 현차 취부 및 결선 확인 작업('06.04.04) 2) 시운전시 PC1의 보조 블록(2군) IGBT (1800A→2400A) Stack 온도 측정 및 신뢰성 개	오송기지 및 시운전시	

항목	추진실적	장소	추진계획	장소	비 고
	3) IGBT Driver 기능 시험 수행 완료 ('06.03.28 ~ '06.03.31) 4) Filter Capacitor 用 Bus plate 보완 설계 및 적용 완료('06.03.20 ~ '06.03.31) 5) 보조 블록 1군 적용(PC1의 2군) IGBT(1800A→2400A)적용 취부 완료 ('06.03.25 ~ '06.03.31)		선 여부 모니터링('06.04.24 ~ '06.06.30)		
	2. 위상 검지 보호 동작 위상 검지 프로그램 보완 완료('05.11.)	오송기지	2. 위상 검지 보호 동작 현차에 위상 검지 프로그램 적용후 모니터링 진행중('06.01.01 ~ '06.05.30)	시운전시	
신호	1. 불연속 수신보드 개선(LS연구소) 1) Filter 회로 및 AMP회로 개선(신규 PCB제작중), 시뮬레이터 시험중 2) OBCS(로템)의 MVB 보드와 인터페이스 시험완료(로템의왕연구소)('06.03.30)	LS산전	1. 불연속 수신보드 개선(LS연구소) 1) 신규 불연속 수신 보드 하드웨어 조립 완료 2) 간이 시뮬레이터를 이용한 보드 기능시험 완료 (LS연구소) 3) 차상제어기에서 정적 시험 완료 ('06.04.19/오송기지) 2. PC1의 OBCS(로템)의 MVB 보드와 인터페이스 시험완료 ('06.04.19~'06.04.21/오송기지) 3. ATC/ATS 제어기 결선 및 일반점검 완료 ('06.04.19/오송기지)	오송기지	

제4절 연결 구조체 및 연결용 부수대차

연결용 부수대차는 당해연도에 완성하여 5월 중점검시 차량 TM5에 취부하여 현차에서 성능시험을 실시하였고, 연결용 부수대차의 성능 입증의 일환인 대차프레임 피로시험도 해외 성능시험 인증기관인 IMA(독일 드레스덴 소재)에서 실시하였다.

또한, 연결 구조체는 1세트를 제작하여 동일한 해외 인증기관인 IMA에서 성능시험을 실시하였으며, 추가로 1세트를 더 제작하여 한국형 고속열차의 차량 TT4와 TM5사이에 기존의 연결구조체를 탈거하고 신규 개발된 연결구조체를 취부하였다.

1. 연결 구조체 성능시험

연결구조체의 성능시험은 연결구조체의 개발을 위하여 기술자문한 LogoMotive사에 의뢰하여 독일의 전문시험기관인 IMA사(독일 드레스덴 소재)에서 실시되었으며, 그림 1과 같이 완전히 조립된 상태로 3차년도와 4차년도에 실시되었던 해석 조건을 적용하여 성능시험을 실시하였다.

성능시험은 정적하중이 적용되는 정하중 시험과 실제 운행중에 반복적으로 적용되는 하중인 피로하중 시험을 실시하였다.

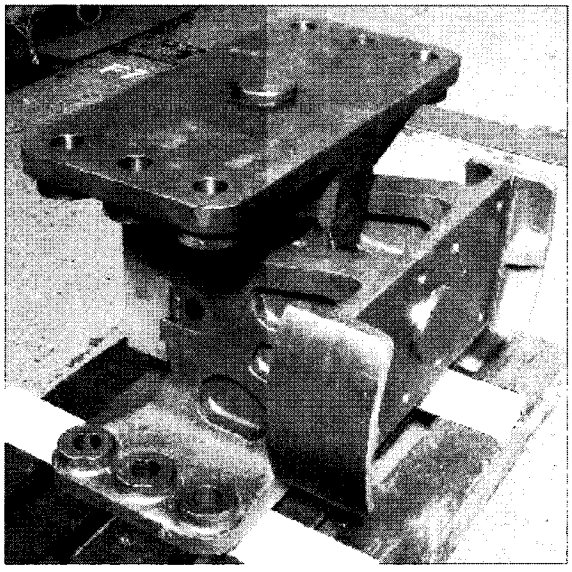


그림 1. 연결 구조체 구성

가. 시험장치 구성

연결 구조체의 성능시험을 위한 간략한 시험장치 구성은 그림 2와 같고, X 방향은 차량의 진행방향과 일치하고, Y방향은 차량 진행방향의 좌우방향을 의미한다. 또한, Z방향은 수직방향을 의미한다. 각 방향에 대하여 실제 거동상태를 구현하기 위하여 유압 실린더가 장착되어 있다.

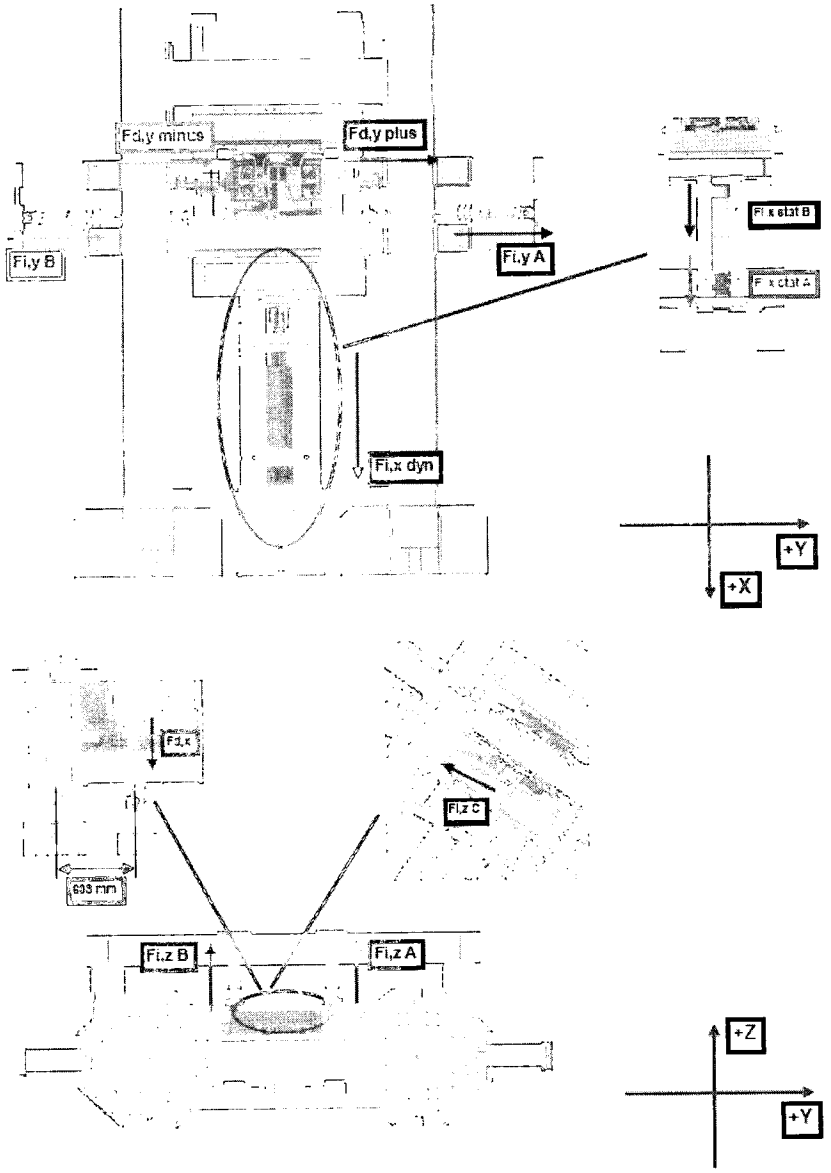


그림 2. 시험장비 개략도

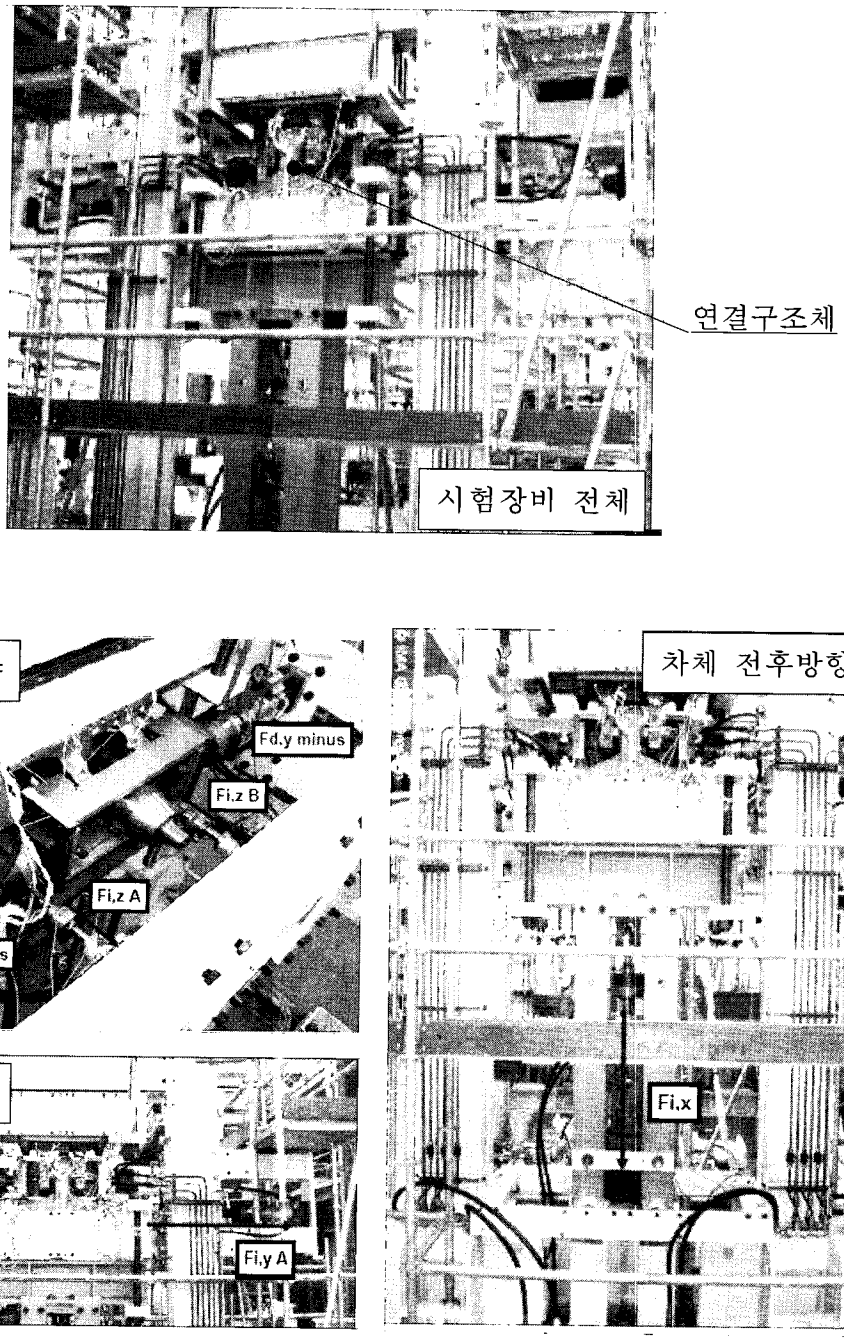


그림 3. 실제 시험장비 구성

나. 센서취부

연결 구조체의 성능시험 상태를 계측하기 위하여 표 1과 같이 27개의 단축 스트레인 게이지, 9개의 3축 로제트 스트레인 게이지와 6개의 변위센서를 취부하였으며, 그림 4와 5는 주요부위에 스트레인 게이지와 변위센서가 취부된 상태를 나타내

고 있다.

표 1. 스트레인 제이지 및 변위센서

No.	Picture	Picture File Name
Strain gauges		
1	A5.01/ A5.06	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_15.jpg
2	A5.01/ A5.06	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_15.jpg
3	A5.02/ A5.06	C49_7_110607_05.jpg/ C49_7_110607_15.jpg
4	A5.01/ A5.07	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_17.jpg
5	A5.01/ A5.07	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_17.jpg
6	A5.02/ A5.08	C49_7_110607_05.jpg/ C49_7_110607_39.jpg
7	A5.03/ A5.08	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_39.jpg
8	A5.03/ A5.09	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_41.jpg
9	A5.03/ A5.09	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_41.jpg
10	A5.02/ A5.10	C49_7_110607_05.jpg/ C49_7_110607_36.jpg
11	A5.01/ A5.11	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_29.jpg
12	A5.05/ A5.12	C49_7_110607_12.jpg/ C49_7_110607_53.jpg
13	A5.03/ A5.13	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_44.jpg
14	A5.01/ A5.14	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_21.jpg
15	A5.01/ A5.14	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_21.jpg
16	A5.04/ A5.15	C49_7_110607_07.jpg/ C49_7_110607_24.jpg
17	A5.05/ A5.16	C49_7_110607_12.jpg/ C49_7_110607_57.jpg
18	A5.04/ A5.17	C49_7_110607_07.jpg/ C49_7_110607_58.jpg
19	A5.04/ A5.17	C49_7_110607_07.jpg/ C49_7_110607_58.jpg
20	A5.01/ A5.18	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_26.jpg
21	A5.01/ A5.18	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_26.jpg
22	A5.05/ A5.19	C49_7_110607_12.jpg/ C49_7_110607_54.jpg
23	A5.04/ A5.20	C49_7_110607_07.jpg/ C49_7_110607_62.jpg
24	A5.04/ A5.21	C49_7_110607_07.jpg/ C49_7_110607_63.jpg
25	A5.04/ A5.21	C49_7_110607_07.jpg/ C49_7_110607_63.jpg
26	A5.01/ A5.22	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_34.jpg
27	A5.01/ A5.23	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_28.jpg
R1	A5.01/ A5.24	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_16.jpg
R2	A5.01/ A5.25	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_23.jpg
R3	A5.03/ A5.26	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_43.jpg
R4	A5.03/ A5.27	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_47.jpg
R5	A5.01/ A5.28	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_32.jpg
R6	A5.03/ A5.29	C49_7_110607_08.jpg/ C49_7_110607_49.jpg
R7	A5.01/ A5.30	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_27.jpg
R8	A5.01/ A5.31	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_18.jpg
R9	A5.01/ A5.32	C49_7_110607_02.jpg/ C49_7_110607_30.jpg
Displacement transducer		
SX1	A5.33/ A5.34	C49_7_190707_09.jpg/ C49_7_190707_02.jpg
SX2	A5.33/ A5.34	C49_7_190707_09.jpg/ C49_7_190707_02.jpg
SX3	A5.33/ A5.35	C49_7_190707_09.jpg/ C49_7_190707_05.jpg
SX4	A5.33/ A5.35	C49_7_190707_09.jpg/ C49_7_190707_05.jpg
SY	A5.33/ A5.36	C49_7_190707_09.jpg/ C49_7_190707_01.jpg

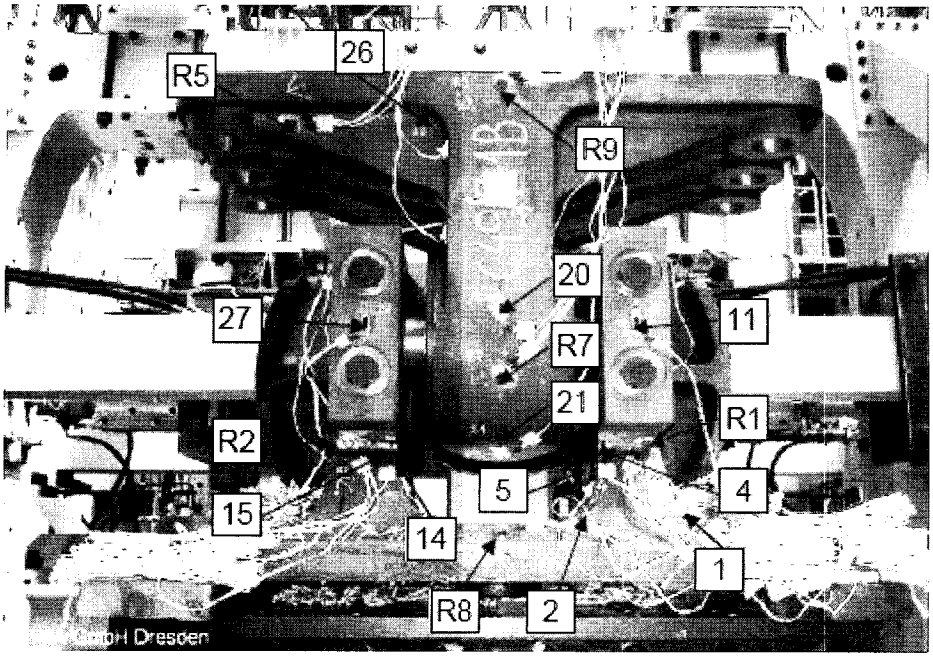


그림 4. 스트레인 게이지 취부 모습(1, 2, 4, 5, 11, 14, 15, 20, 21, 26, 27 R1, R2, R5, R7, R8, R9)

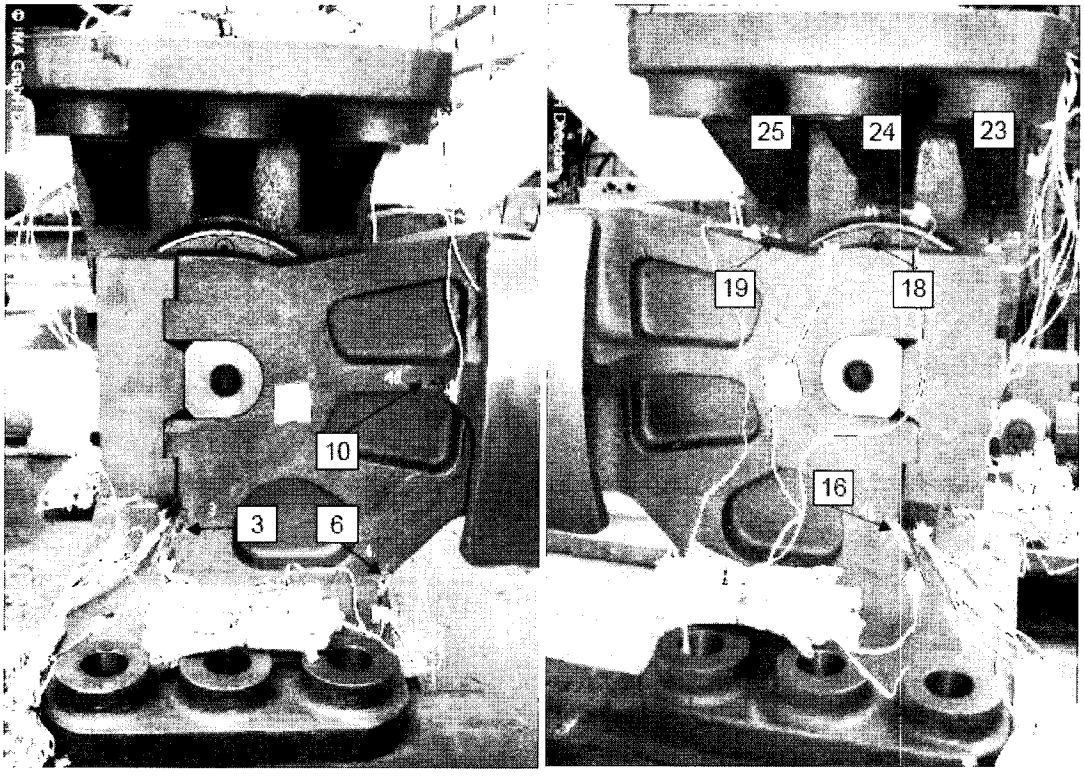


그림 5. 스트레인 게이지 취부 모습(3, 6, 10, 16, 18, 19, 23, 24, 25)

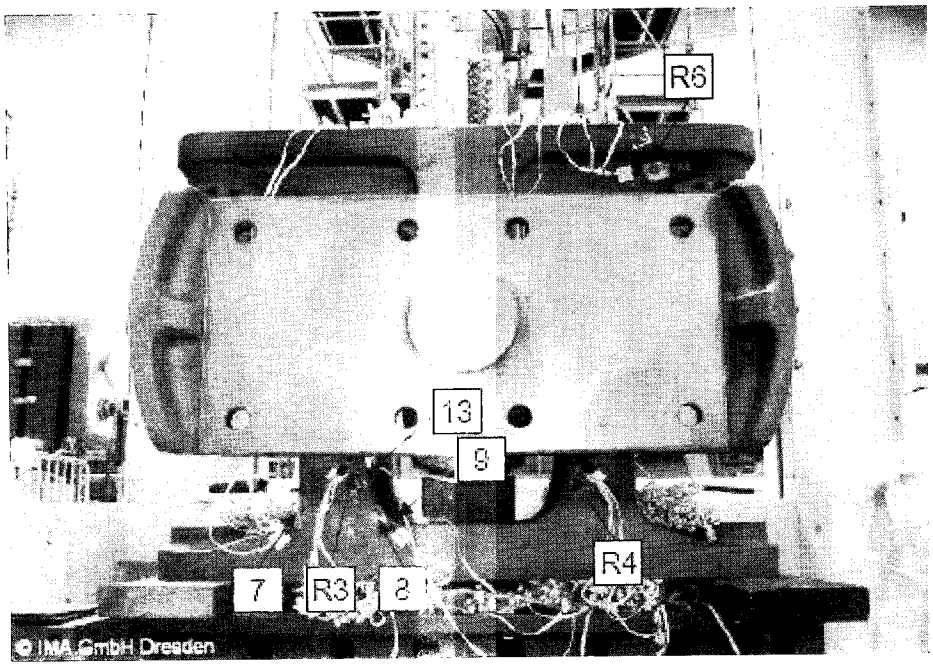


그림 6. 스트레인 게이지 취부 모습(7, 8, 9, 13, R3, R4, R6)

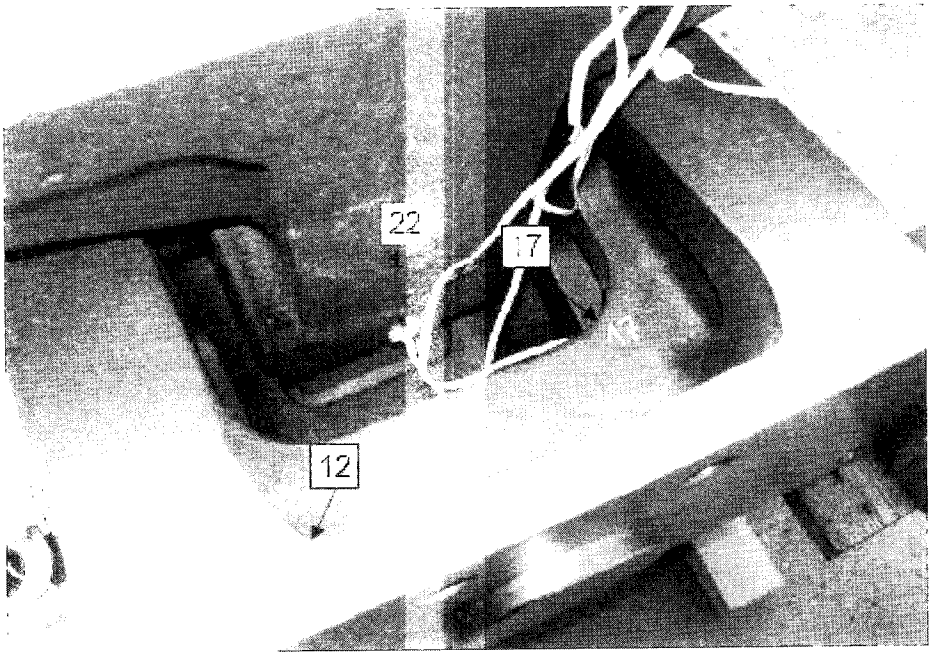


그림 7. 스트레인 게이지 취부 모습 (12, 17, 22)

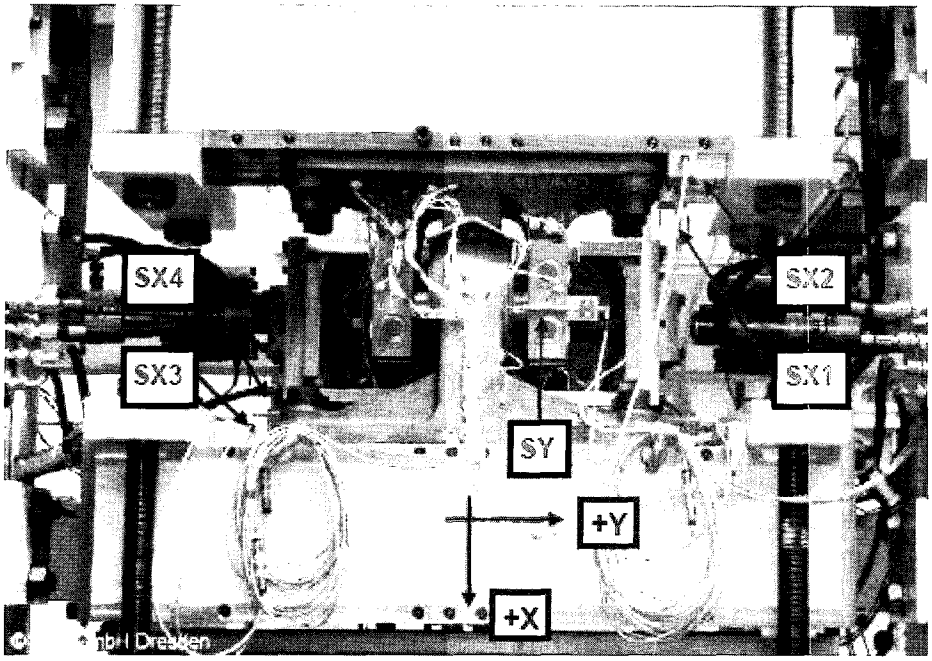


그림 8. 변위 센서 취부 모습(SX1, SX2, SX3, SX4, SY)

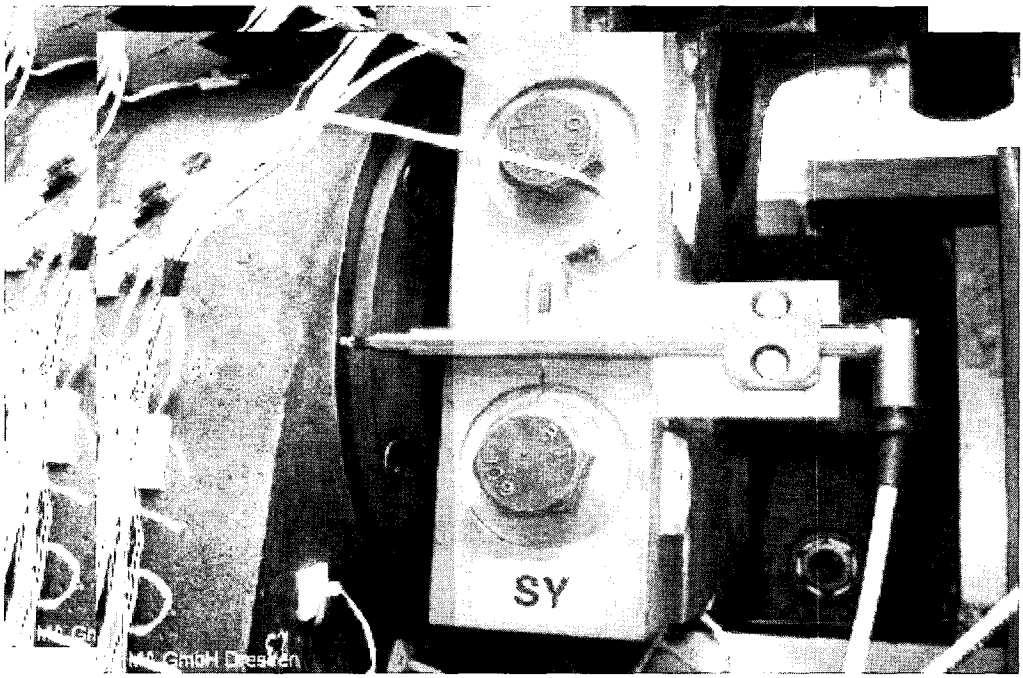


그림 9. 변위 센서 취부 모습 상세 (SY)

다. 적용 하중

연결구조체의 성능시험인 정하중시험과 피로시험에 적용되는 하중은 4차년도에 연결구조체 해석시 적용되었던 하중 CASE를 살펴보면 표2와 표3과 같다.

표 2. 정적 하중 CASE

조합하중 CASE	기본하중																			비고 기준
	S1 : 수직 하중 (중력하중)	S2 : 수직 하중 (충격 30%)	S3 : 수직 하중 (Jacking)	S4 : 수직하중 (Jacking, 3g)	S5 : 횡방향 하중 (H_{xx}, H_{yy})	S6 : 횡방향 하중 (UIC 615-4)	S7 : 횡방향 하중 (EN12663)	S8 : 풍압	S9 : 차간 COUPLER 압축하중	S10 : 차간 COUPLER 인장하중	S11 : 차간 COUPLER 압축하중(충돌)	S12 : 곡선 원심방향 하중 (횡방향 수직)	S13 : 곡선 길이방향 하중 (견인방향 후진)	S14 : 길이방향 하중 (구동장치 FAILURE)	S15 : 길이방향 하중 (제동장치 FAILURE)	S16 : 길이방향 하중 (정방향 견인)	S17 : 길이방향 하중 (역방향 견인)	S18 : 바닥판 하중(본선)	S19 : 바닥판 하중(기지)	S20 : 바닥판 하중 (열선)	
CASE 1		◉				◉		◉								●		●			S=1.15 for R_{xx}
CASE 2		◉				◉		◉									●	●			S=1.15 for R_{xx}
CASE 3		◉				◉		◉								●			●		S=1.15 for R_{xx}
CASE 4		◉				◉		◉									●		●		S=1.15 for R_{xx}
CASE 5		◎					○													●	S=1.2 for R_{xx}
CASE 6	○								○												S=1.15 for R_{xx}
CASE 7	○									◎											S=1.15 for R_{xx}
CASE 8	◎										●										S=1.2 for R_{xx} 5% 변경
CASE 9	◎											●									S=1.15 for R_{xx}
CASE 10	◉												●								S=1.15 for R_{xx}
CASE 11			◎																	●	S=1.0 for R_{xx}
CASE 12				◉																●	S=1.0 for R_{xx}
CASE 13	◉								○				●								S=1.15 for R_{xx}

표 3. 피로 하중 CASE

조합하중 CASE	기본 하중									허용 기준
	B1 : 최대 수직하중 (충격 20%)	B2 : 최소 수직 하중	B3 : 횡방향 하중 (운행시)	B4 : 횡방향 하중 (UIC 615 4)	B5 : 속위	B6 : 진이방향 하중 (정방향 견인)	B7 : 길이방향 하중 (역방향 견인)	B8 : 비틀림 하중 (정상운행)	B9 : 비틀림 하중 (경사)	
CASE 1	1			1	1					S-1.25 생존율 : 97.5%
CASE 2		-1		-1	-1					S=1.25 생존율 : 97.5%
CASE 3	1		1			1				S-1.25 생존율 : 97.5%
CASE 4		1	1				1			S-1.25 생존율 : 97.5%
CASE 5	1			1				1		S=1.25 생존율 : 97.5%
CASE 6		1		1				1		S-1.25 생존율 : 97.5%
CASE 7	1		1						1	S=1.25 생존율 : 97.5%
CASE 8		1	1						1	S-1.25 생존율 : 97.5%

표2와 표3의 정하중 CASE와 피로하중 CASE는 수직/횡/길이방향의 하중들에 대하여 서로 조합을 한 것이며, 이에 대하여 실제 시험에 적용된 하중으로 표현하면 표 5와 같다.

한편, 해석시 하중 CASE 명칭과 실제 시험시 하중 CASE의 명칭이 서로 상이하여 각각의 하중CASE를 비교하면 다음 표 5와 같다.

표 5. 명칭 비교

구분	하중 CASE 명칭 (해석시)	하중 CASE 명칭 (시험시)	하중 CASE 명칭 (해석시)	하중 CASE 명칭 (시험시)
정적 하중	CASE 1	C49_7_SLC1	CASE 9	C49_7_SLC10
	CASE 2	C49_7_SLC2	CASE 10	C49_7_SLC11
	CASE 5	C49_7_SLC5	CASE 11	C49_7_SLC12
	CASE 6	C49_7_SLC7	CASE 12	C49_7_SLC13
	CASE 7	C49_7_SLC8	CASE 13a	C49_7_SLC15a
	CASE 8	C49_7_SLC9	CASE 13b	C49_7_SLC15b
피로 하중	CASE 1	C49_7_DLC1	CASE 3	C49_7_DLC3
	CASE 2	C49_7_DLC2	CASE 4	C49_7_DLC4

상기 표 5를 참조하여 실제 적용되는 정적 하중 및 피로하중을 나타내면 표 6과 같다.

표6 정적 하중 및 피로 하중

Load case	Fi,x stat A kN	Fi,x stat B kN	Fi,x dyn kN	Fd,x kN	Fd,y plus kN	Fd,y minus kN
1.1 Static load cases						
C49_7_1_SLC1	289,0	-	-	-	0,0	180,0
C49_7_1_SLC2	-	-289,0	-	-	0,0	180,0
C49_7_1_SLC5		-	0,0	-	0,0	270,0
C49_7_1_SLC7	-	-1500,0	-	-	-	-
C49_7_1_SLC8	3000,0	-	-	-	-	-
C49_7_1_SLC9	-	-3000,0	-	-	-	-
C49_7_1_SLC10	-	-117,5	-	235,0	0,0	0,0
C49_7_1_SLC11	117,5	-	-	-235,0	0,0	0,0
C49_7_1_SLC12		-	0,0	-	0,0	0,0
C49_7_1_SLC13		-	0,0	-	0,0	0,0
C49_7_1_SLC15a	-	-1382,5	-	-235,0	-	-
C49_7_1_SLC15b	-	-1617,5	-	235,0	-	-
1.2 Dynamic load cases						
C49_7_1_DLC1		-	-	-	-83,0	0,0
C49_7_1_DLC2		-	-	-	0,0	83,0
C49_7_1_DLC3	-	-	140,0	-	-44,0	0,0
C49_7_1_DLC4	-	-	-140,0	-	0,0	44,0

표 5 정적 하중 및 피로하중(계 속)

Load case	Fi,z A	Fi,z B	Fi,z C	Fi,y A	Fi,y B
	kN	kN		kN	kN
1.1 Static load cases					
C49_7_1_SLC1	27,5	27,5	-	-44,3	-44,3
C49_7_1_SLC2	27,5	27,5	-	-44,3	-44,3
C49_7_1_SLC5	27,5	27,5	-	-66,0	-66,0
C49_7_1_SLC7	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	-	-
C49_7_1_SLC8	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	-	-
C49_7_1_SLC9	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	-	-
C49_7_1_SLC10	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	0,0	0,0
C49_7_1_SLC11	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	0,0	0,0
C49_7_1_SLC12	40,0	40,0	*95,0*	0,0	0,0
C49_7_1_SLC13	40,0	40,0	*155,0*	0,0	0,0
C49_7_1_SLC15a	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	-	-
C49_7_1_SLC15b	(7,5 kN)**	(7,5 kN)**	-	-	-
1.2 Dynamic load cases					
C49_7_1_DLC1	20,0	20,0	-	20,3	20,3
C49_7_1_DLC2	-17,5	-17,5	-	-20,3	-20,3
C49_7_1_DLC3	20,0	20,0	-	11,0	11,0
C49_7_1_DLC4	-17,5	-17,5	-	-11,0	-11,0

라. 하중 적용 형태

정하중 시험의 경우는 1회에 한하여 각 하중을 입력하고 그때에 각 센서로부터 응력과 변위를 측정하지만, 피로시험의 경우는 피로하중을 반복적으로 적용하여야 하므로 그림 10과 같이 3개의 구간으로 나뉘어 총 4백만회를 아래와 같이 적용한다.

Phase A : 1,000,000회

Phase B : 1,000,000회

Phase C : 2,000,000회

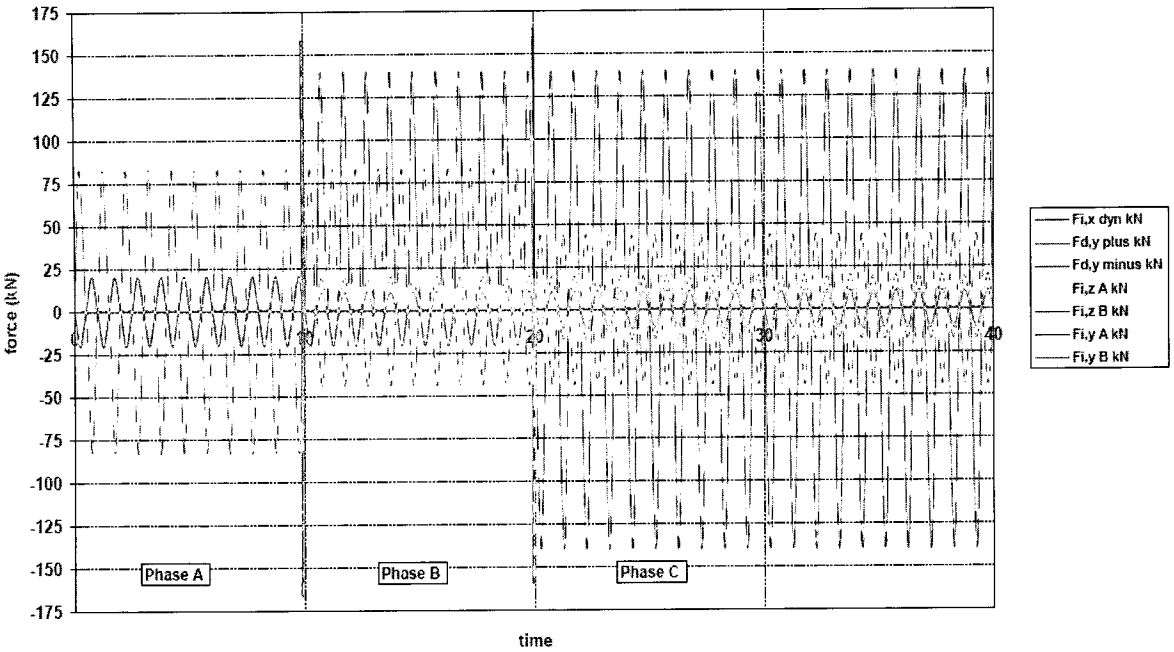


그림 10. 하중 적용 형태

한편, 연결구조체는 차량과 차량간 연결된 상태로 차량이 곡선을 통과할 때 차량간 발생하는 상대각을 원활히 해 주는 역할을 하기 때문에 하중 적용회수를 현 경부고속선로의 곡선회수를 검토해 보면 어느 정도가 적용되어야 하는 지 알 수 있다.

그림 11은 경부고속선로를 나타낸 것이며, 이 선로로부터 곡선을 검토해 보면, 그림11과 12와 같이 분석될 수 있다.

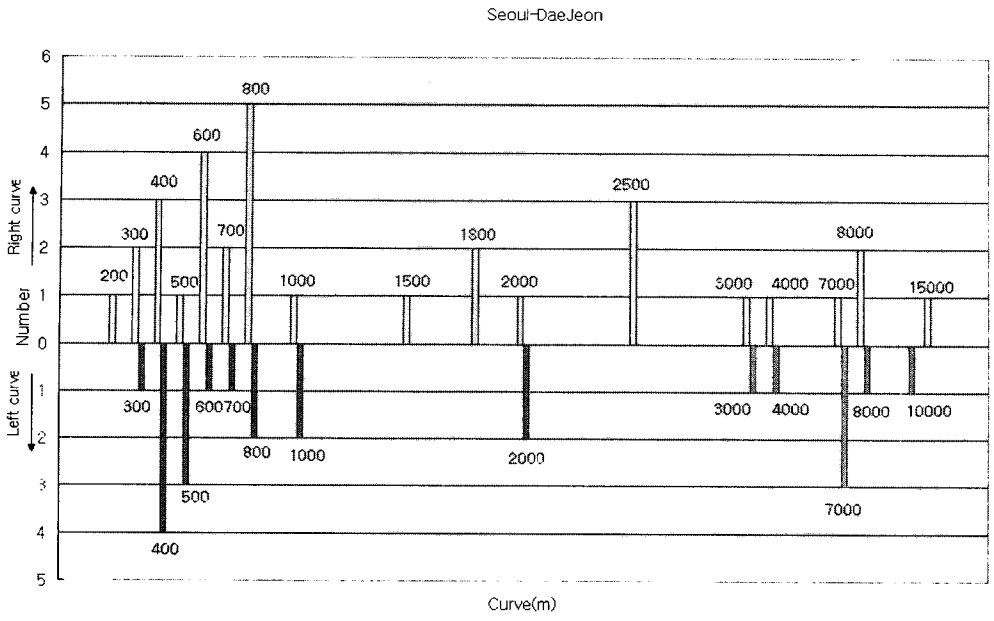


그림 11. 서울 - 대전간 곡선선로 분석

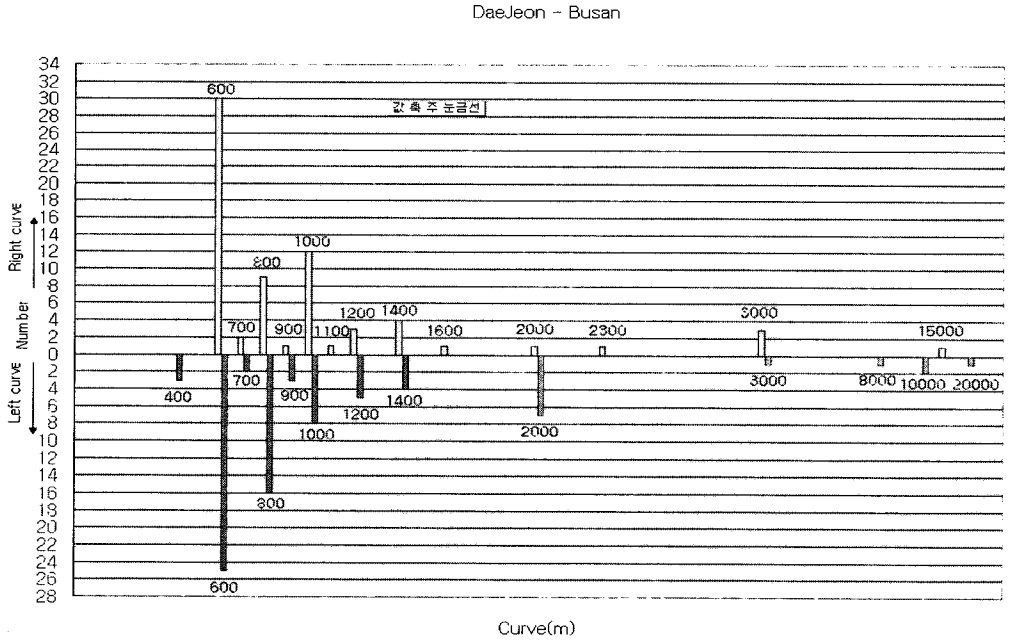


그림 12. 대전 - 부산간 곡선선로 분석

그림 11과 12로부터 곡선의 수의 합은 대략 편도 202개정도이다. 차량이 하루에 2왕복 및 1년(365일)으로 산출하였을 경우 약 295,000회 정도 계산된다. 그러면, 대략 10년정도가 되면 3백만회가 되므로 중앙의 탄성조인트(Resilient Joint)가 고무제품이 포함된 형태인 연결구조체의 성능을 확인하기 위한 피로하중 적용 회수 400백만회는 타당하다고 판단된다.

마. 시험 결과

(1) 정하중 시험

표2의 정하중 조건을 적용하여 각 스트레인 게이지로부터 얻은 응력은 표 6과 같으며, 연결구조체에 적용된 재질은 AAR M201 GRADE C를 적용하였고, 이 재질에 대한 항복응력은 414 N/mm2이고 인장응력은 621 N/mm2이다.

표 6. 정적 하중 시험 결과(응력)

Measuring point	SLC1	S_1	SLC2	S_1	SLC5	S_2	SLC7	S_2	SLC8	S_1	SLC9	S_2
1	55	7,57	1	622,80	31	19,75	-89	4,68	102	4,08	-121	5,14
2	20	20,27	7	58,80	21	29,50	-46	9,05	21	19,98	-119	5,22
3	48	8,62	-5	82,15	21	29,13	-95	4,34	126	3,28	-166	3,73
4	36	11,38	-10	39,73	24	25,82	-198	2,09	38	11,41	-183	3,40
5	19	22,04	0	-	18	35,39	-90	4,59	-3	161,30	-86	7,20
6	99	4,16	82	5,02	136	4,57	-39	10,66	91	4,54	-100	6,22
7	106	3,89	89	4,64	147	4,22	-45	9,29	102	4,04	-125	4,98
8	-101	4,06	-75	5,54	-127	4,90	40	10,42	-90	4,59	63	9,80
9	-100	4,15	-75	5,53	-126	4,92	39	10,55	-87	4,74	71	8,76
10	-37	11,33	-34	12,29	-34	18,48	9	45,03	-4	109,73	18	35,11
11	-5	78,77	3	118,50	0	-	21	20,17	-7	56,01	27	22,90
12	35	11,90	18	22,58	36	17,02	-25	16,35	43	9,57	-23	26,51
13	110	3,76	106	3,92	156	3,91	-6	69,70	14	29,29	-24	25,54
14	-2	171,67	-6	52,72	-6	97,04	-89	4,66	-1	704,61	-72	8,61
15	11	38,76	-20	21,09	-5	127,53	-182	2,28	42	9,92	-162	3,83
16	33	12,47	-24	17,04	-5	113,80	-89	4,66	123	3,37	-163	3,81
17	-50	8,26	-80	5,18	-102	6,09	-55	7,49	76	5,44	-67	9,24
18	1	608,66	3	129,38	1	446,36	-2	186,87	18	23,06	-2	326,59
19	-11	38,20	8	53,56	2	289,01	10	42,53	-56	7,45	11	54,65
20	-1	811,55	1	505,30	0	-	1	362,05	5	88,08	-16	37,93
21	31	13,16	-9	47,74	2	277,06	-18	22,50	134	3,09	-378	1,64
22	6	64,38	2	169,50	4	138,05	3	164,37	7	55,44	-11	55,87
23	-1	311,41	-85	6,36	-53	11,70	-109	3,81	166	2,50	-248	2,50
24	10	42,38	-48	8,69	-34	18,46	-108	3,83	122	3,41	-150	4,14
25	32	13,14	-42	9,86	-25	25,05	-114	3,62	173	2,39	-259	2,40
26	4	94,97	-18	23,21	-7	83,52	-50	8,29	38	10,84	-109	5,70
27	-4	113,00	5	79,47	-1	680,89	23	17,70	-5	81,38	29	21,44

표 6. 정적 하중 시험 결과(응력) -계속-

Measuring point	SLC10	S_1	SLC11	S_1	SLC12	S_1	SLC13	S_1	SLC15a	S_1
1	-145	2,86	142	2,92	52	8,00	67	6,22	10	39,51
2	-40	10,31	14	29,39	5	82,41	7	63,02	-6	69,40
3	-101	4,08	112	3,69	34	12,27	43	9,70	-2	167,43
4	-117	3,53	69	6,01	19	21,94	24	17,27	-90	4,60
5	-90	4,62	43	9,56	17	23,70	22	18,73	-11	36,10
6	216	1,91	-162	2,56	-35	11,72	-43	9,62	-192	2,16
7	290	1,43	-232	1,79	-52	7,92	-64	6,45	-262	1,58
8	56	7,44	-101	4,10	-13	32,23	-17	24,11	-66	6,23
9	24	16,99	-66	6,24	-5	85,03	-7	57,85	-35	11,94
10	-5	85,04	4	112,50	-4	113,49	-5	81,41	13	31,29
11	6	68,69	-7	58,85	-3	121,74	-4	100,31	18	22,64
12	-177	2,34	212	1,95	3	132,59	5	89,58	191	2,16
13	253	1,63	-222	1,87	-3	163,31	-2	177,37	-229	1,81
14	-90	4,60	42	9,86	17	24,48	22	18,63	-10	41,73
15	-107	3,86	65	6,32	19	22,03	25	16,73	-78	5,28
16	-91	4,53	112	3,69	33	12,43	43	9,53	5	82,68
17	2	227,02	27	15,56	6	69,39	10	42,31	-30	14,03
18	-6	73,80	7	62,56	-1	765,24	0	-	8	51,22
19	-14	29,12	14	29,59	-2	178,56	-3	149,63	29	14,50
20	0	892,95	0	-	-6	63,92	-8	52,11	1	339,09
21	-3	143,25	10	43,33	7	58,48	9	48,52	-17	24,11
22	0	-	1	514,91	7	55,22	11	36,05	3	124,60
23	-9	45,95	12	33,89	-34	12,06	-41	10,22	-101	4,08
24	-8	50,93	9	46,24	7	56,87	12	33,90	-100	4,15
25	-9	44,80	13	33,10	46	8,96	60	6,91	-106	3,89
26	-3	125,18	4	114,42	-22	18,98	-29	14,13	-46	8,91
27	5	86,98	-7	59,77	-4	112,06	-4	94,98	24	17,29

표 6. 정적 하중 시험(변위량) -계속-

Measuring point:	SLC15b	S_1
1	-180	2,30
2	-106	3,89
3	-180	2,30
4	-326	1,27
5	-189	2,19
6	148	2,80
7	213	1,94
8	120	3,44
9	86	4,81
10	4	108,90
11	23	18,03
12	-201	2,06
13	246	1,69
14	-174	2,38
15	-264	1,46
16	-180	2,30
17	-50	8,26
18	-9	44,72
19	-7	58,88
20	1	315,16
21	-16	25,96
22	2	182,23
23	-106	3,92
24	-108	3,82
25	-112	3,71
26	-53	7,83
27	24	17,02

표 6. 정적 하중 시험(응력) -계속-

Measuring point	SLC1	S_1	SLC2	S_1	SLC5	S_2	SLC7	S_1	SLC8	S_1
R1SigI	57	7,25	9	44,66	34	18,11	-12	34,85	163	2,53
R1SigII	1	712,59	-18	22,59	13	48,92	-187	2,21	66	6,30
R2SigI	47	8,89	7	62,91	23	27,03	-5	85,35	126	3,28
R2SigII	-3	140,01	-29	14,50	-18	35,36	-101	4,10	5	89,96
R3SigI	49	8,42	63	6,57	82	7,57	31	13,52	-3	129,94
R3SigII	-14	29,97	-7	57,78	-16	38,67	1	348,34	-43	9,60
R4SigI	6	65,82	13	32,35	16	39,36	33	12,47	-5	78,97
R4SigII	-67	6,21	-54	7,72	-89	6,98	3	131,20	-46	8,93
R5SigI	1	805,13	1	482,34	3	245,09	-5	82,82	72	5,73
R5SigII	-6	64,36	-17	24,41	-15	40,59	-34	12,30	-27	15,24
R6SigI	16	25,18	-2	185,75	1	775,50	-6	70,56	63	6,60
R6SigII	-8	50,18	-7	58,21	-4	151,79	-27	15,36	-22	18,52
R7SigI	11	36,40	2	201,05	8	79,99	-3	163,96	17	24,58
R7SigII	2	175,21	-5	79,69	-3	185,54	-8	53,34	6	69,81
R8SigI	21	19,51	0	-	7	85,78	-4	101,22	71	5,80
R8SigII	1	520,37	-9	44,39	-3	207,05	-44	9,43	6	73,42
R9SigI	3	133,46	6	64,34	8	76,62	3	148,15	-2	174,16
R9SigII	-2	207,21	-6	67,11	-2	395,88	-37	11,14	-35	11,73

표 6. 정적 하중 시험(응력) -계속-

Measuring point	SLC9	S_2	SLC10	S_1	SLC11	S_1	SLC12	S_1	SLC13	S_1
R1SigI	-17	35,66	-11	38,98	145	2,85	39	10,49	50	8,33
R1SigII	-299	2,08	-187	2,21	64	6,47	13	32,54	17	24,58
R2SigI	-6	99,90	-2	175,89	111	3,72	29	14,26	38	10,98
R2SigII	-165	3,77	-90	4,58	4	111,33	0	-	1	644,27
R3SigI	36	17,08	148	2,79	-13	31,31	2	207,75	3	164,00
R3SigII	1	501,08	10	42,17	-160	2,59	-3	127,33	-4	114,80
R4SigI	37	16,99	145	2,85	-18	22,46	2	171,79	3	122,90
R4SigII	2	327,88	15	27,52	-164	2,53	-3	161,43	-4	109,29
R5SigI	-8	75,69	-1	526,75	3	134,94	3	122,07	3	138,73
R5SigII	-53	11,69	-3	148,35	-1	354,34	-21	19,46	-26	15,75
R6SigI	-9	66,16	-1	439,35	2	232,40	27	15,13	37	11,16
R6SigII	-44	14,11	-2	186,92	-1	730,75	-11	38,51	-14	28,70
R7SigI	78	7,98	-1	283,13	1	306,33	12	35,90	17	24,70
R7SigII	34	18,43	-2	213,65	0	-	4	102,03	6	66,02
R8SigI	-12	52,58	-6	65,47	37	11,28	9	44,35	12	33,84
R8SigII	-89	7,00	-25	16,43	4	111,82	1	414,52	1	293,05
R9SigI	12	50,08	1	406,74	0	-	14	30,03	15	28,37
R9SigII	-88	7,02	-3	127,48	-2	246,31	-17	24,34	-23	17,74

표 6. 정적 하중 시험(응력) -계속-

Measuring point	SLC15a	S_1	SLC15b	S_1
R1SigI	0	1250,96	-22	19,13
R1SigII	-17	24,01	-359	1,15
R2SigI	-1	351,76	-8	54,48
R2SigII	-7	63,42	-194	2,14
R3SigI	-9	48,19	180	2,30
R3SigII	-130	3,18	15	27,83
R4SigI	-14	30,64	176	2,36
R4SigII	-133	3,10	20	20,20
R5SigI	-4	96,55	-5	78,70
R5SigII	-30	13,74	-33	12,39
R6SigI	-5	82,21	-6	70,64
R6SigII	-24	17,09	-27	15,23
R7SigI	-2	189,68	-2	186,42
R7SigII	-7	52,67	-8	54,48
R8SigI	-1	370,47	-9	45,08
R8SigII	-23	18,22	-59	7,18
R9SigI	4	94,53	4	111,42
R9SigII	-33	12,42	-39	10,69

상기의 표 6에서 S1는 항복응력에 대한 안전율 1.15를 나타내고, S2는 인장강도에 대한 안전율 1.2를 나타낸다.

따락서, 각 하중 CASE에 대한 측정 부위의 응력 결과로부터 S1과 S2에 근접하는 경우를 정리하면 표 7과 같고, 모두 안전율 1.15이상의 기준을 만족하고 있음을 알 수 있다

표 7. 정적 하중 시험 결과 정리

하중 CASE	측정 위치	측정 응력(N/mm2)	안전율
SLC15b	R1	-359	1.15
SLC15b	4	-326	1.27
SLC10	7	290	1.43
SLC15b	15	-284	1.46
SLC9	21	-378	1.64

(2) 피로 시험

피로시험은 그림 10과 같이 3구간으로 나뉘어 측정한 결과는 적용 하중 CASE별로 나타내면 표8과 같다.

표 8. 피로 시험 결과(DLC 1 및 DLC2)

Measuring Point	σ_{max}	σ_{min}	σ_m	σ_a	$\sigma_{a'm}$	S
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	-
1	6	-5	0	6	211	36,83
2	5	-5	0	5	211	41,41
3	4	-4	0	4	211	54,25
4	1	0	0	1	211	384,35
5	0	0	0	0	211	1240,43
6	51	-51	0	51	211	4,16
7	59	-59	0	59	211	3,58
8	32	-35	-2	33	212	6,37
9	34	-37	-1	36	211	5,94
10	6	-10	-2	8	212	26,65
11	1	0	0	1	211	379,02
12	9	-8	0	8	211	25,17
13	52	-48	2	50	210	4,21
14	10	-9	0	10	211	22,10
15	9	-9	0	9	211	22,84
16	11	-11	0	11	211	19,23
17	32	-32	0	32	211	6,60
18	1	-1	0	1	211	293,44
19	2	-2	0	2	211	124,04
20	1	-1	0	1	211	164,39
21	2	-1	1	1	211	149,12
22	1	-1	0	1	211	167,42
23	3	-4	-1	3	211	66,24
24	12	-12	0	12	211	18,18
25	23	-22	0	23	211	9,22
26	4	-4	0	4	211	53,72
27	1	-1	0	1	211	145,16
R1	12	-13	0	12	211	16,91
R2	10	-10	0	10	211	20,73
R3	28	-27	0	27	211	7,68
R4	28	-29	0	29	211	7,39
R5	3	-5	-1	4	211	56,13
R6	7	-7	0	7	211	31,03
R7	3	-4	-1	3	211	64,45
R8	3	-3	0	3	211	75,14
R9	5	-5	0	5	211	43,09

표 8. 피로 시험 결과(DLC 3 및 DLC 4)

Measuring Point	σ_{max} N/mm²	σ_{min} N/mm²	σ_m N/mm²	σ_a N/mm²	σ_{lim} N/mm²	S -
1	22	-19	1	21	211	10,28
2	1	-1	0	1	211	345,44
3	21	-19	1	20	211	10,46
4	12	-12	0	12	211	17,84
5	5	-5	0	5	211	43,45
6	28	-27	1	28	211	7,66
7	34	-33	1	34	211	6,29
8	9	-13	-2	11	212	19,12
9	12	-15	-2	13	212	15,79
10	4	-5	-1	4	211	47,71
11	3	-2	0	2	211	85,55
12	2	0	1	1	211	192,18
13	28	-25	1	27	211	7,96
14	8	-9	0	9	211	23,79
15	15	-16	0	16	211	13,41
16	24	-22	1	23	211	9,25
17	22	-21	1	21	211	9,98
18	2	-2	0	2	211	104,56
19	5	-6	0	6	211	37,08
20	1	-1	0	1	211	167,42
21	14	-5	4	10	210	21,85
22	2	-1	1	1	211	141,40
23	12	-13	0	13	211	16,85
24	19	-19	0	19	211	11,19
25	35	-30	2	32	210	6,46
26	0	-1	0	1	211	419,84
27	4	-3	0	4	211	57,33
R1	31	-29	1	30	211	7,06
R2	23	-21	1	22	211	9,61
R3	18	-18	0	18	211	11,73
R4	12	-13	-1	12	211	17,33
R5	1	-2	0	1	211	142,87
R6	11	-8	2	10	210	22,03
R7	5	-5	0	5	211	43,53
R8	7	-6	0	7	211	31,86
R9	3	-3	0	3	211	66,98

피로 시험 결과에 대한 평가는 표3에 명기된 바와 같이 안전율 1.25이상이어야 한다. 상기의 표 8에서 하중 CASE DLC1/DLC2이 측정 부위 6번으로서 안전율이 4.16이 최소이다. 따라서, 모두 안전율 1.25이상을 만족하고 있다.

(3) 비파괴 검사

비파괴 검사는 시험 실시 전과 피로시험을 진행하면서 중간에 실시되었고, 초기와 2백만회에서 측정한 결과 이상이 없었으며, 어느 정도의 균열을 허용하는 최종 4백만회 이후의 비파괴 검사에서 20mm정도의 지시가 발견되었다. 발견된 부위의 외형 형상이 매끄럽게 사상이 되지 않은 상태인 점을 감안하면, 주강품 제작시 업체에서 사상처리로 표면의 불균일한 부위를 완전히 제거해 주지 않은 문제점으로 판단된다.

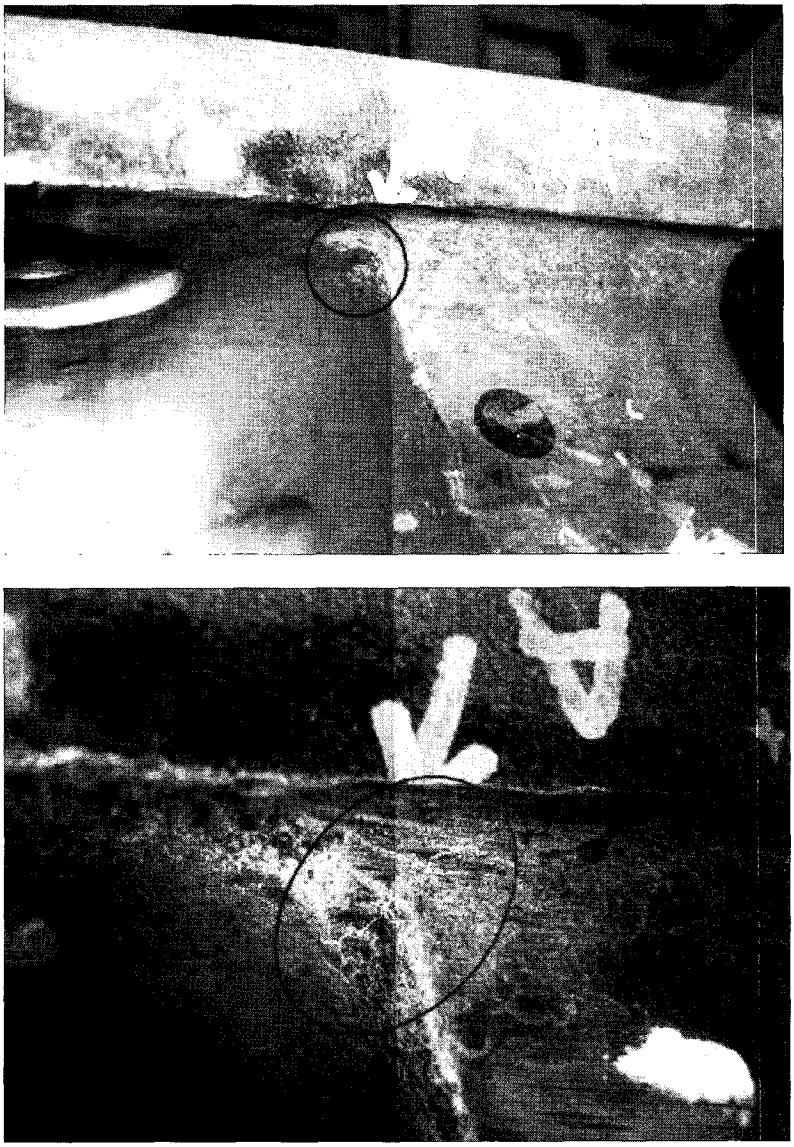


그림 11. 자분 탐상 결과

바. 연결구조체 성능 시험 결론

정하중 및 피로하중 시험을 기존 해석시 적용되었던 하중 CASE에 의하여 실시되었고, 측정된 결과 모두 연결구조체를 구성하는 재질인 AAR M201의 항복강도 414 N/mm2의 안전율이내에 있음을 확인하였다.

표 9. 정하중 및 피로하중 시험 결과 최소값

구분	하중 CASE	측정부위	안전율		평가
			측정	기준	
정하중시험	SLC15b	R1	1.15	1.15이상	기준 만족
피로하중시험	DLC1/DLC2	6	4.16	1.25이상	기준 만족

2. 연결용 부수대차 프레임 성능시험

연결용 부수대차 프레임 성능시험은 대차 프레임의 강도 및 내구수명을 입증하는 시험으로서 국내에 시험기관의 업무 과부하로 인하여 해외의 시험전문기관인 IMA(독일 드레스덴 소재)에서 대차프레임 성능시험을 실시하였다.

연결용 부수대차 프레임은 기존 동력대차 타입에서 객차대차 타입으로 변경됨으로 인하여 그림 13과 같이 대차프레임의 구조가 차축디스크 제동장치를 적용할 수 있는 형태로 UIC515-4에 준하여 시험을 실시하였다.

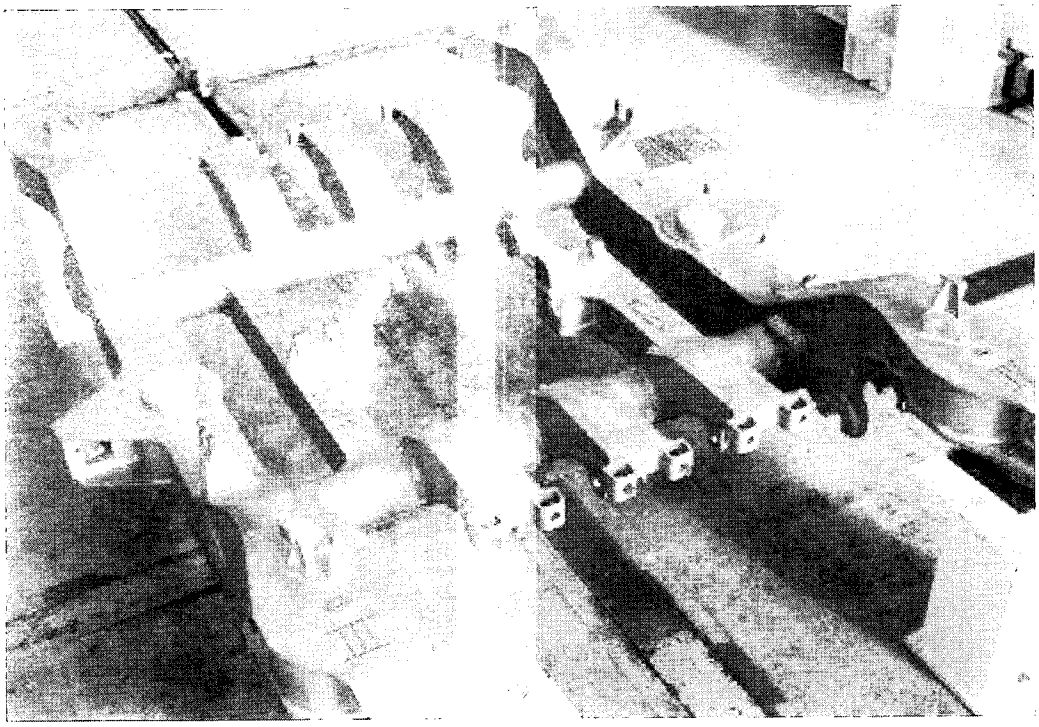


그림 13. 연결용 부수대차 프레임

가. 시험 장치 구성

연결용 부수대차 프레임 성능시험을 위한 시험장치 구성에서 좌표계는 그림 13과 같으며, 차량의 진행 방향이 X축이며, 진행의 좌우방향을 Y축 그리고 선로의 상방향으로 Z축을 선정하여 시험 시 정해진 하중을 입력하여 시험을 실시한다.

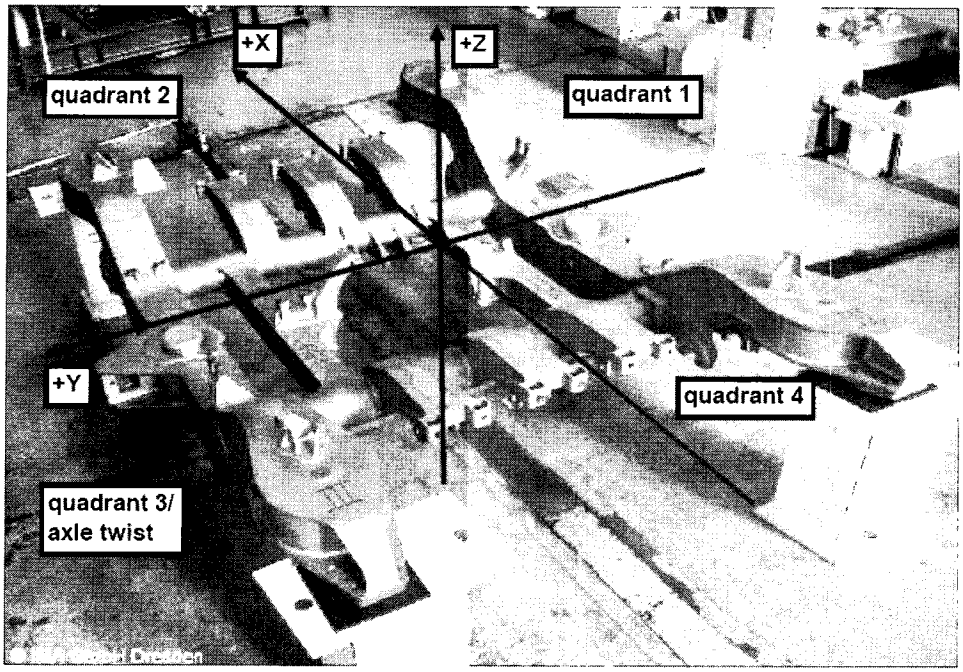


그림 14. 시험 좌표계

또한, 대차 프레임에 적용되는 하중의 위치, 방향 및 각 하중 지지형태를 그림 15 ~그림 21에 나타내었다.

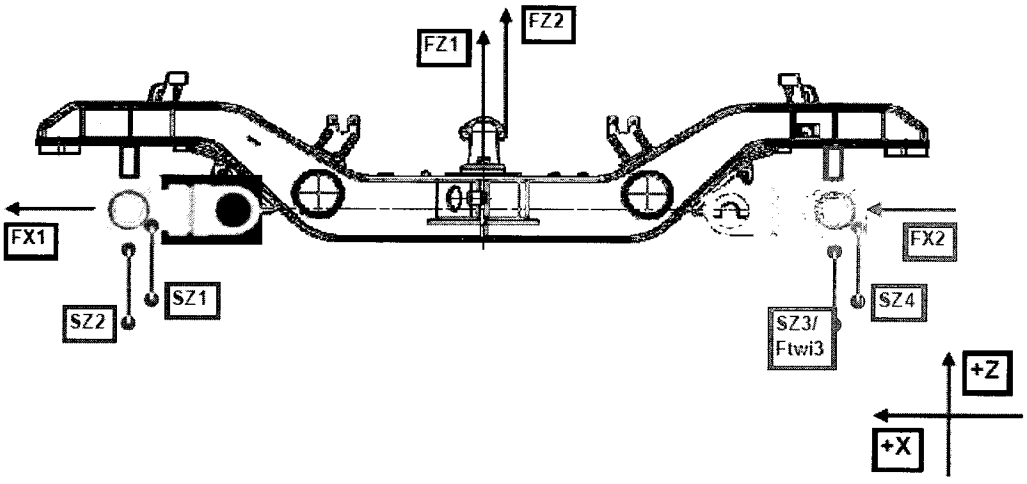


그림 15. 하중 적용 위치 및 적용 방향(X-Z 평면)

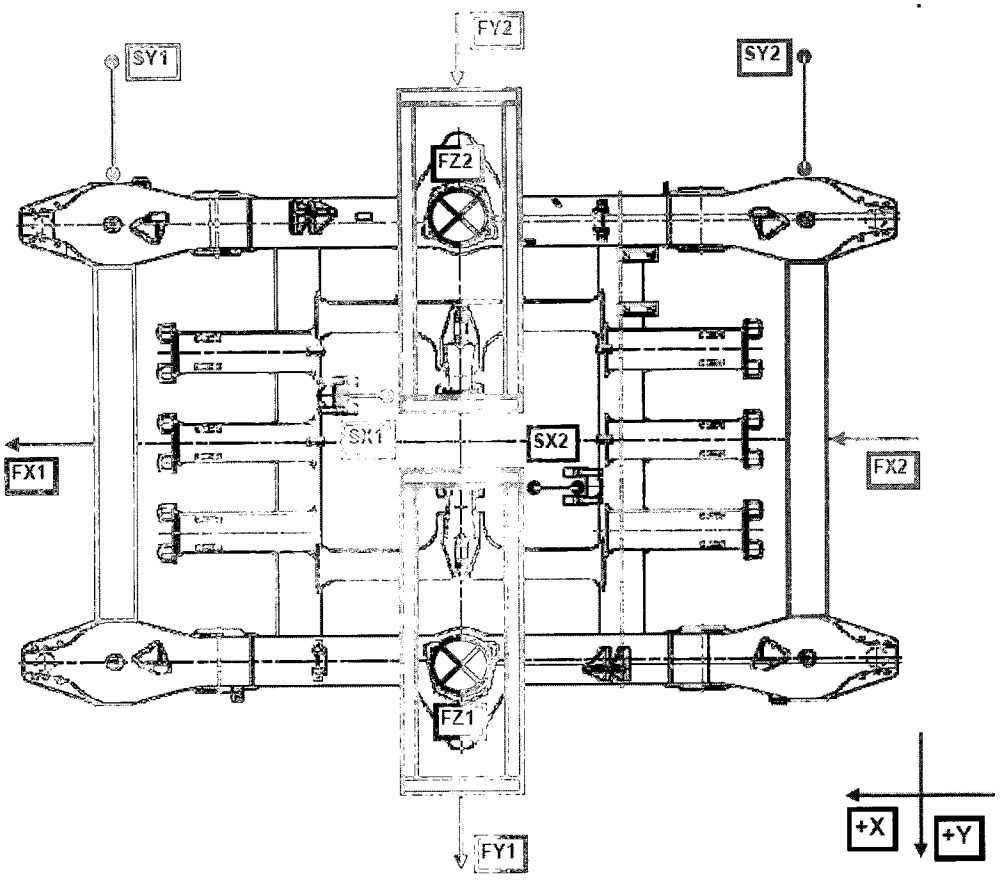


그림 16. 하중 적용 위치 및 적용 방향(X-Y 평면)

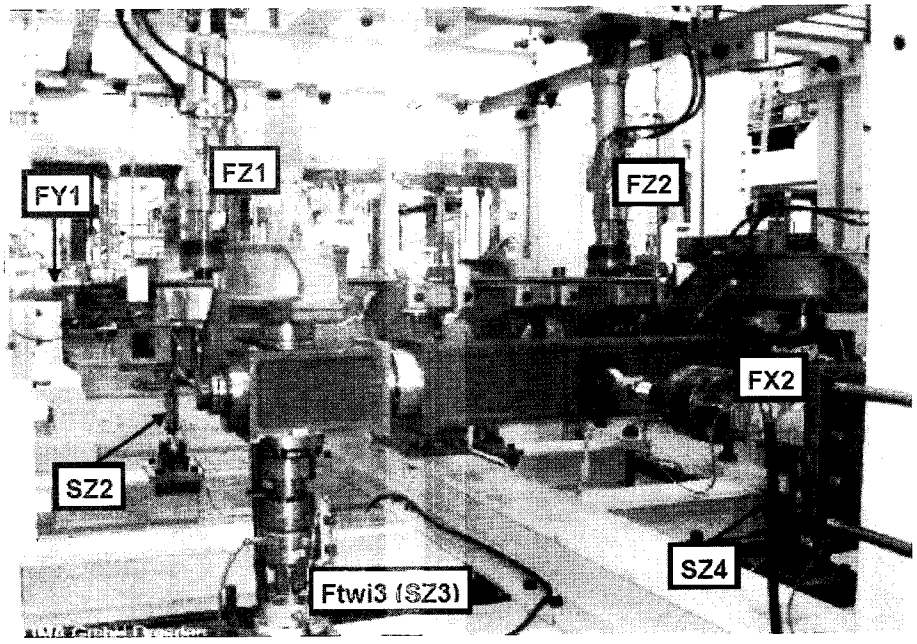


그림 17. 시험 장치 구성 (Fz1,2, FX2, SZ2, SZ3, SZ4)

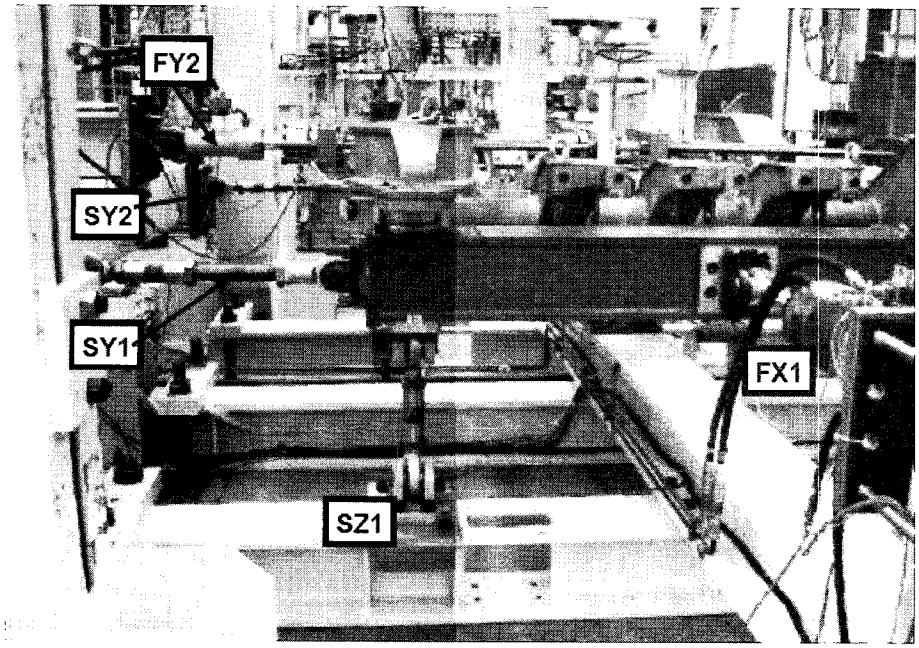


그림 18. 시험 장치 구성 (FY2, FX1, SZ1, SY1, SY2)

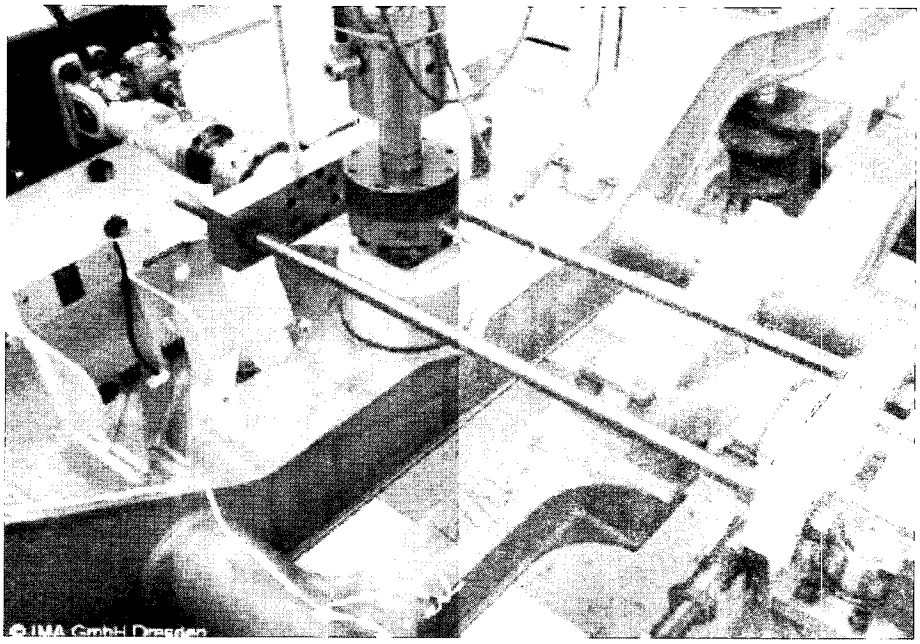


그림 19. 시험 장치 구성 (FZ1 및 FY1 지지형태)

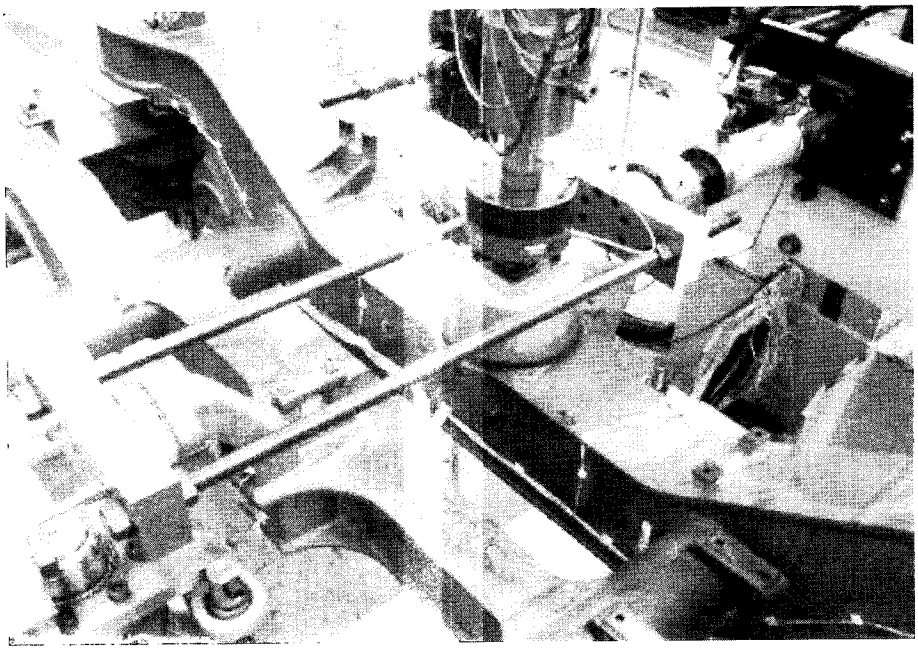


그림 20. 시험 장치 구성 (FZ2 및 FY2 지지형태)

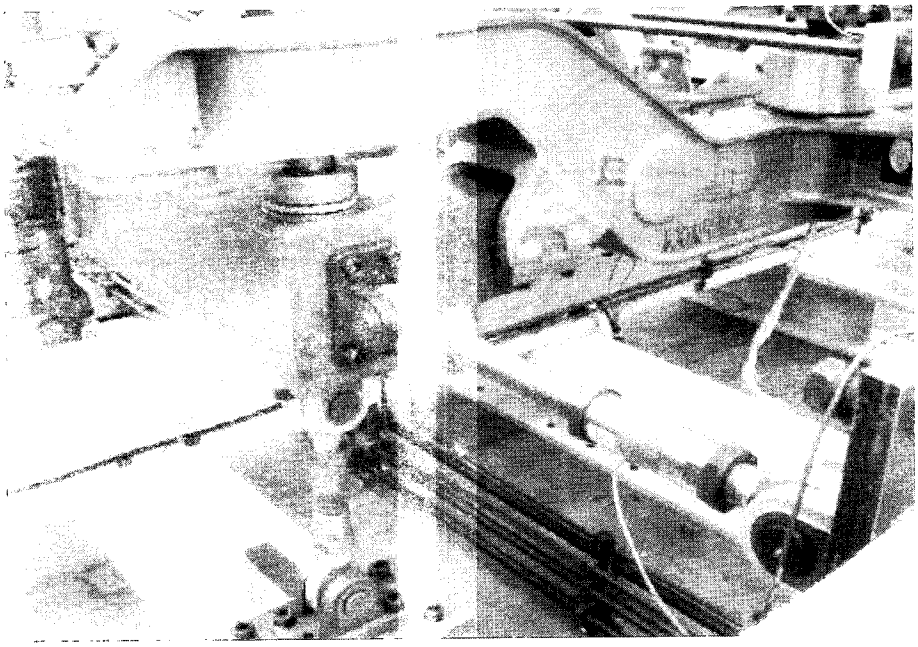


그림 21. 시험장치 구성(1차현가장치 지지 형태)

나. 센서취부

연결용 부수대차 프레임의 성능시험을 위하여 적용된 센서는 표10과 같이 51개의 단축 스트레인 게이지와 1개의 3축 로제트 스트레인 게이지를 적용하였다.

그림 22은 대차프레임에 적용된 스트레인 게이지의 적용 상태를 나타낸 것이다.

표 10. 센서 취부 위치

No.	Picture	Picture File Name
Quadrant 1		
L01	A5.01/ A5.04	C13_7_170407_01.jpg/ C13_7_170407_02.jpg
L05	A5.02/ A5.05	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_24.jpg
L09	A5.01/ A5.06	C13_7_170407_01.jpg/ C13_7_170407_04.jpg
L23	A5.02/ A5.07	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_26.jpg
L25	A5.02/ A5.08	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_25.jpg
L26	A5.02/ A5.09	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_27.jpg
L27	A5.02/ A5.09	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_27.jpg
L28	A5.02/ A5.09	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_27.jpg
L29	A5.02/ A5.10	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_29.jpg
L30	A5.02/ A5.09	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_27.jpg
L33	A5.02/ A5.11	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_28.jpg
L36	A5.02/ A5.12	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_30.jpg
L39	A5.02/ A5.13	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_23.jpg
L40	A5.02/ A5.14	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_22.jpg
L42	A5.02/ A5.15	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_21.jpg
L43	A5.02/ A5.15	C13_7_130407_18.jpg/ C13_7_130407_21.jpg
L44	A5.03/ A5.16	C13_7_130407_31.jpg/ C13_7_130407_34.jpg
L46	A5.03/ A5.17	C13_7_130407_31.jpg/ C13_7_130407_33.jpg
Quadrant 2		
L02	A5.18/ A5.20	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_07.jpg
L06	A5.19/ A5.21	C13_7_130407_07.jpg/ C13_7_130407_09.jpg
L10	A5.18/ A5.22	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_09.jpg
L13	A5.18/ A5.23	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_10.jpg
L15	A5.18/ A5.24	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_11.jpg
L21	A5.18/ A5.25	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_14.jpg
L22	A5.18/ A5.26	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_13.jpg
L24	A5.18/ A5.27	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_130407_10.jpg
L31	A5.19/ A5.27	C13_7_130407_07.jpg/ C13_7_130407_10.jpg
L34	A5.19/ A5.28	C13_7_130407_07.jpg/ C13_7_130407_15.jpg
L37	A5.19/ A5.29	C13_7_130407_07.jpg/ C13_7_130407_16.jpg
L41	A5.19/ A5.30	C13_7_130407_07.jpg/ C13_7_130407_13.jpg
L48	A5.18/ A5.31	C13_7_170407_06.jpg/ C13_7_170407_08.jpg

표 10. 센서 취부 위치 (계속)

No.	Picture	Picture File Name
Quadrant 3		
L03	A5.32/ A5.34	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_18.jpg
L07	A5.33/ A5.35	C13_7_130407_01.jpg/ C13_7_130407_02.jpg
L11	A5.32/ A5.36	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_27.jpg
L14	A5.32/ A5.37	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_25.jpg
L16	A5.32/ A5.38	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_35.jpg
R18	A5.32/ A5.39	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_22.jpg
L19	A5.32/ A5.39	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_22.jpg
L20	A5.32/ A5.39	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_22.jpg
L32	A5.33/ A5.40	C13_7_130407_01.jpg/ C13_7_130407_04.jpg
L49	A5.32/ A5.41	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_17.jpg
L50	A5.32/ A5.42	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_130407_05.jpg
L51	A5.32/ A5.43	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_33.jpg
L52	A5.32/ A5.43	C13_7_170407_15.jpg/ C13_7_170407_33.jpg
Quadrant 4		
L04	A5.44/ A5.46	C13_7_170407_30.jpg/ C13_7_170407_31.jpg
L08	A5.45/ A5.47	C13_7_130407_35.jpg/ C13_7_130407_37.jpg
L12	A5.44/ A5.48	C13_7_170407_30.jpg/ C13_7_170407_32.jpg
L17	A5.44/ A5.49	C13_7_170407_30.jpg/ C13_7_170407_26.jpg
L35	A5.45/ A5.50	C13_7_130407_35.jpg/ C13_7_130407_38.jpg
L38	A5.45/ A5.51	C13_7_130407_35.jpg/ C13_7_130407_39.jpg
L45	A5.03/ A5.16	C13_7_130407_31.jpg/ C13_7_130407_34.jpg
L47	A5.03/ A5.17	C13_7_130407_31.jpg/ C13_7_130407_33.jpg
Additional strain gauges		
L53	A5.52/ A5.53	C13_7_210807_04.jpg/ C13_7_210807_03.jpg
L54	A5.52/ A5.53	C13_7_210807_04.jpg/ C13_7_210807_03.jpg

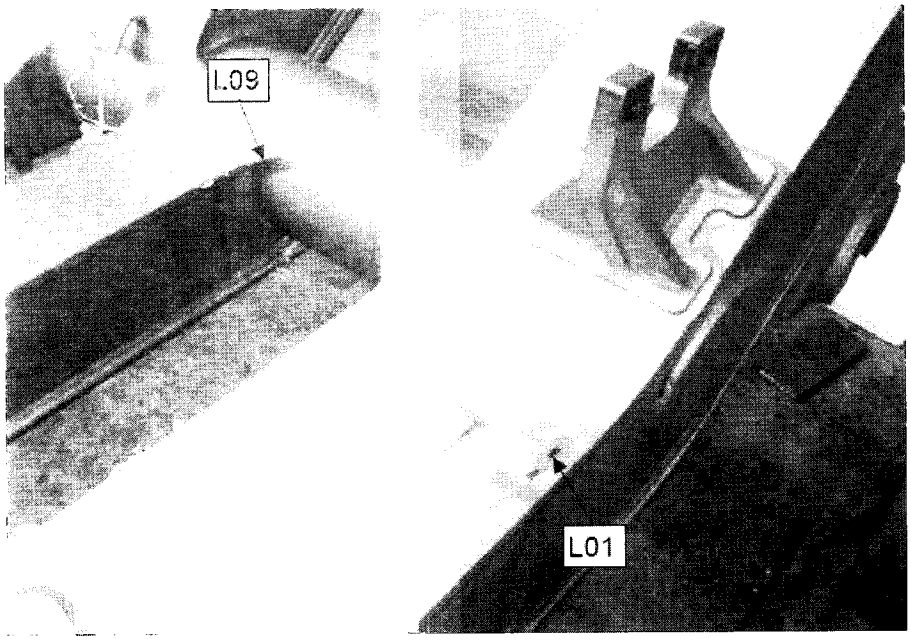


그림 22. 센서 취부(L9, L1)

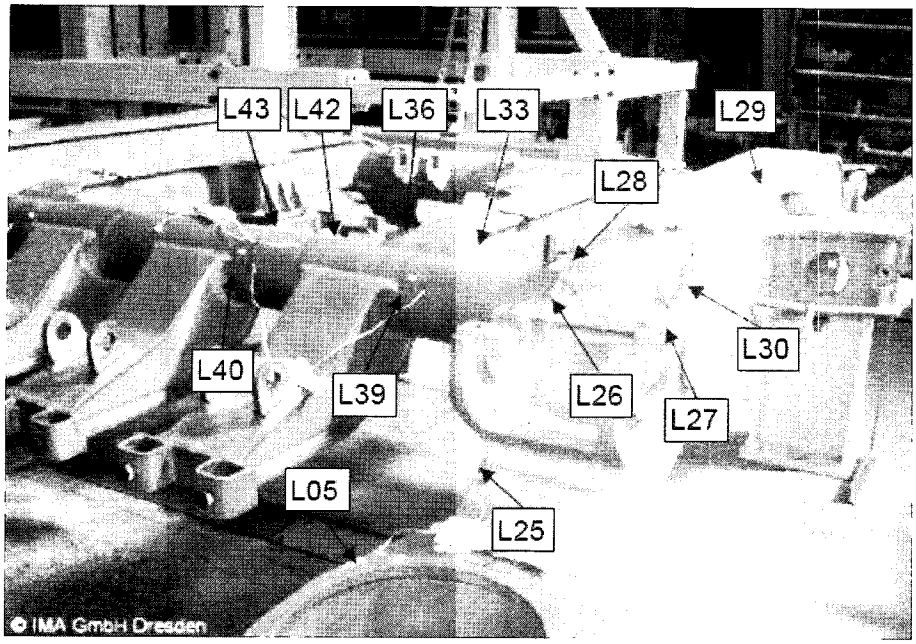


그림 23. 센서취부(L5, L25, L26, L27, L30, L39, L40)

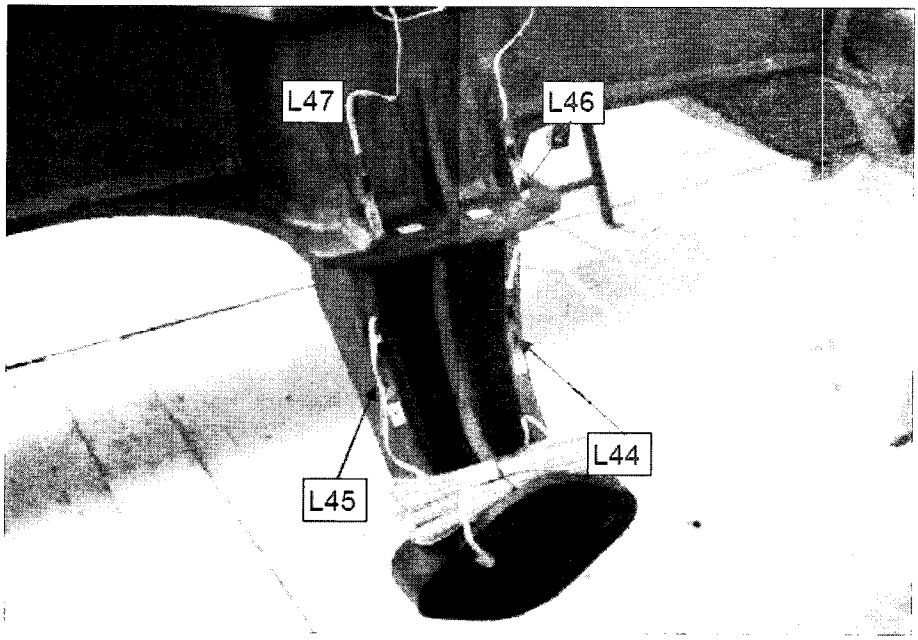


그림 24. 센서취부(L44, L45, L46, L47)

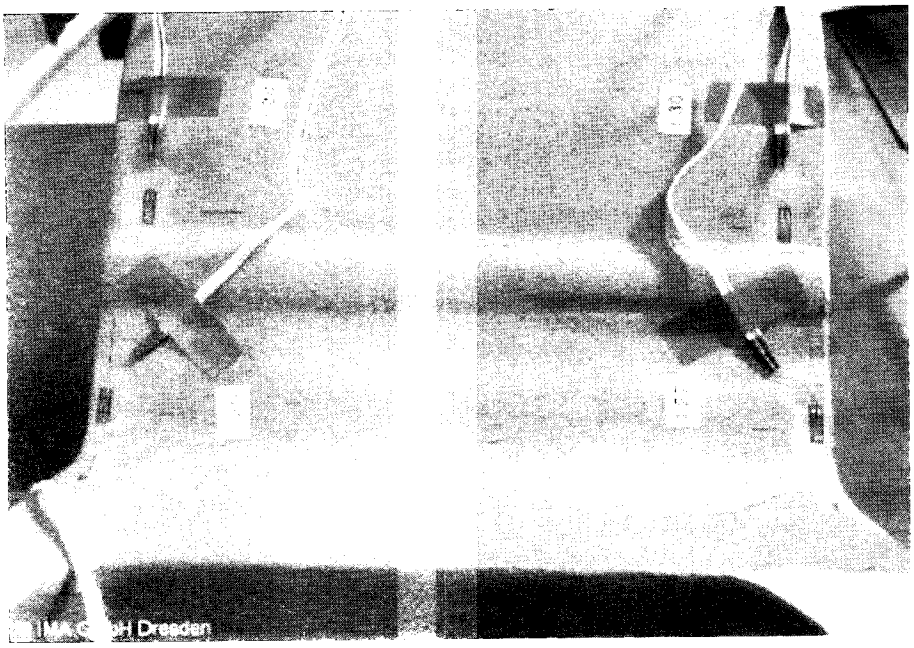


그림 25. 센서취부(L26, L27, L28, L30)

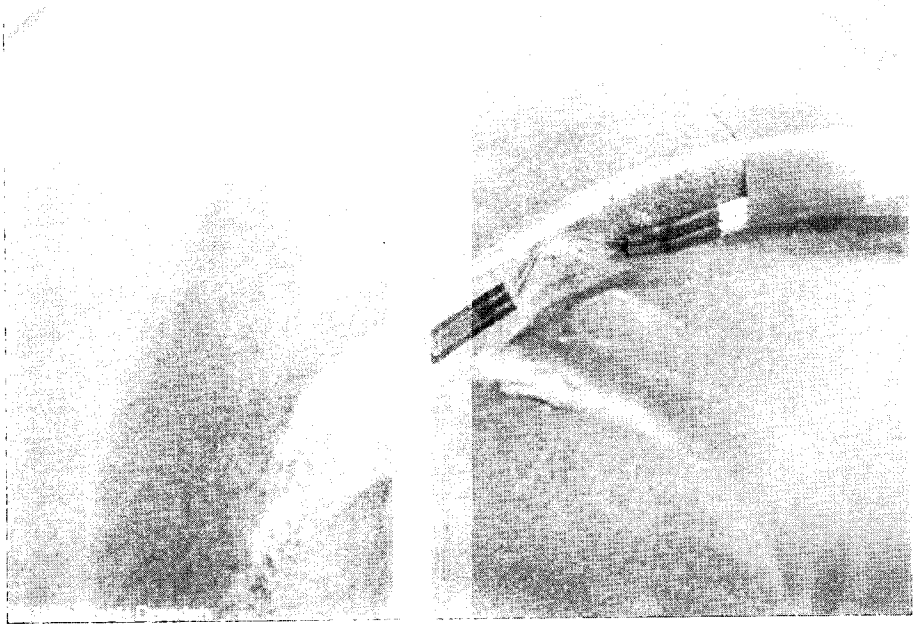


그림 26. 센서취부(L33 상세)

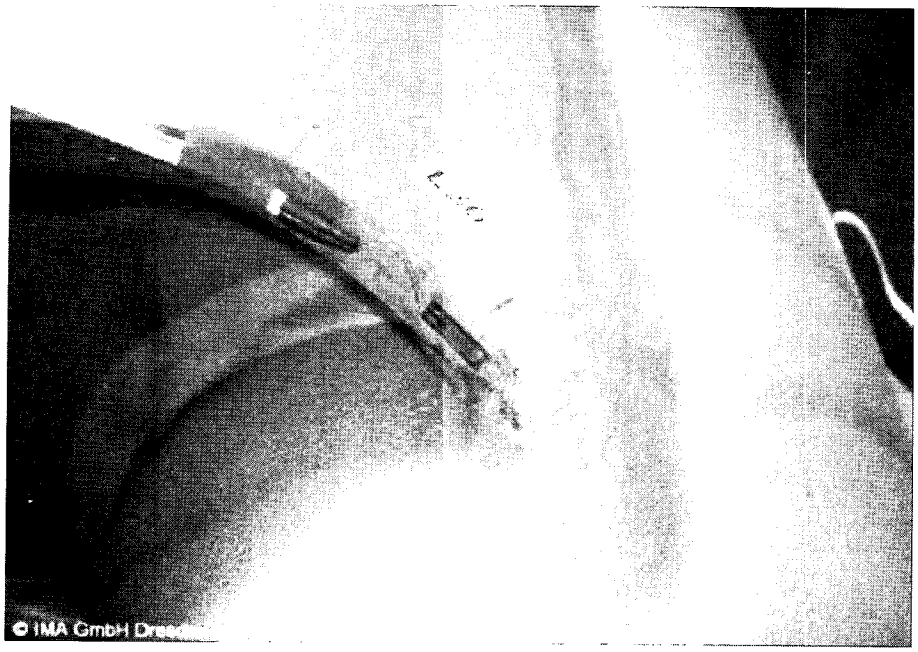


그림 27. 센서취부(L36 상세)

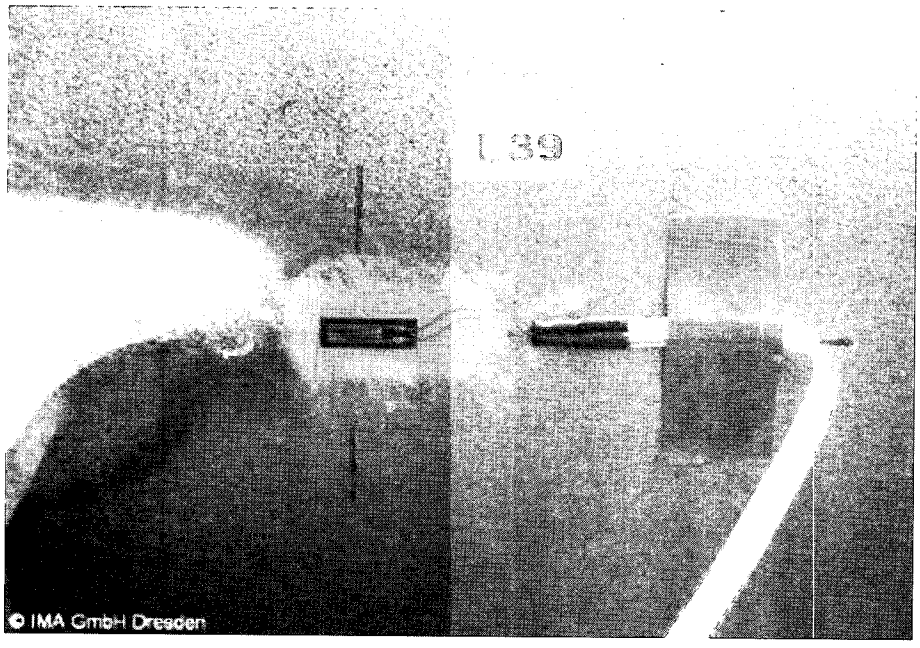


그림 28. 센서취부(L39 상세)

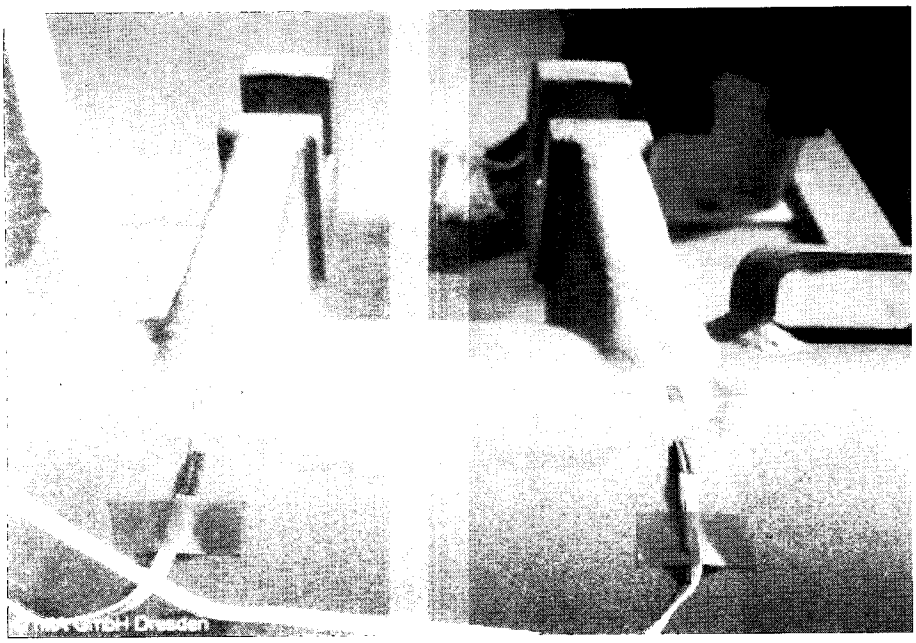


그림 29. 센서취부(L42, L43 상세)

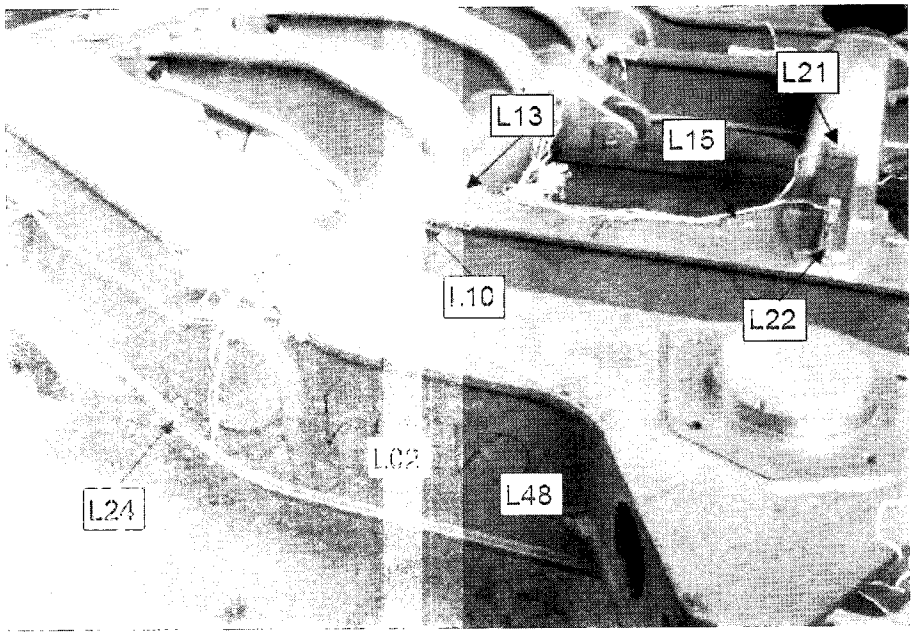


그림 30. 센서취부(L2, L10, L13, L15, L21, L22, L24, L48)

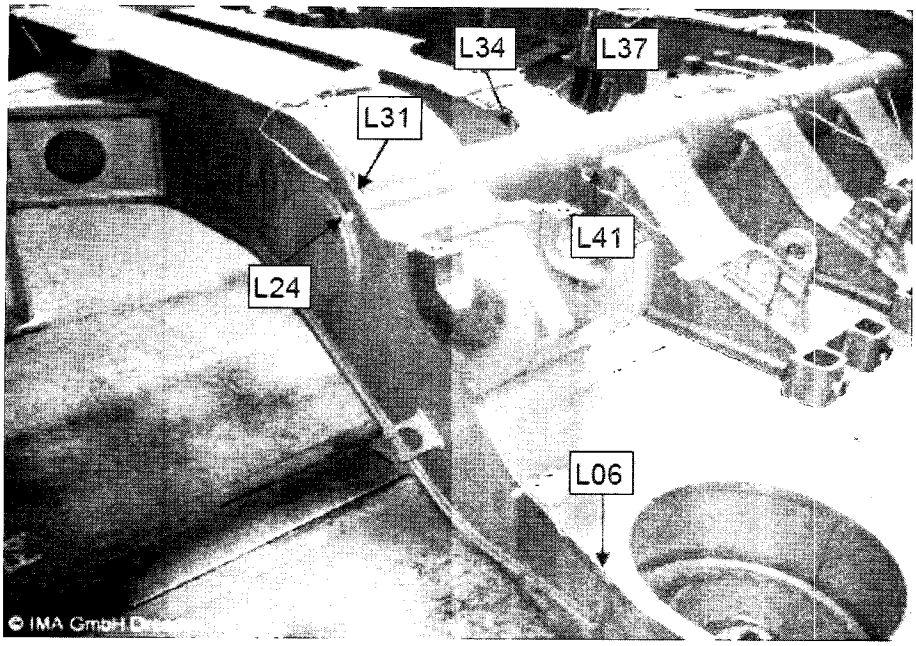


그림 31. 센서취부(L6, L24, L31, L34, L37, L41)

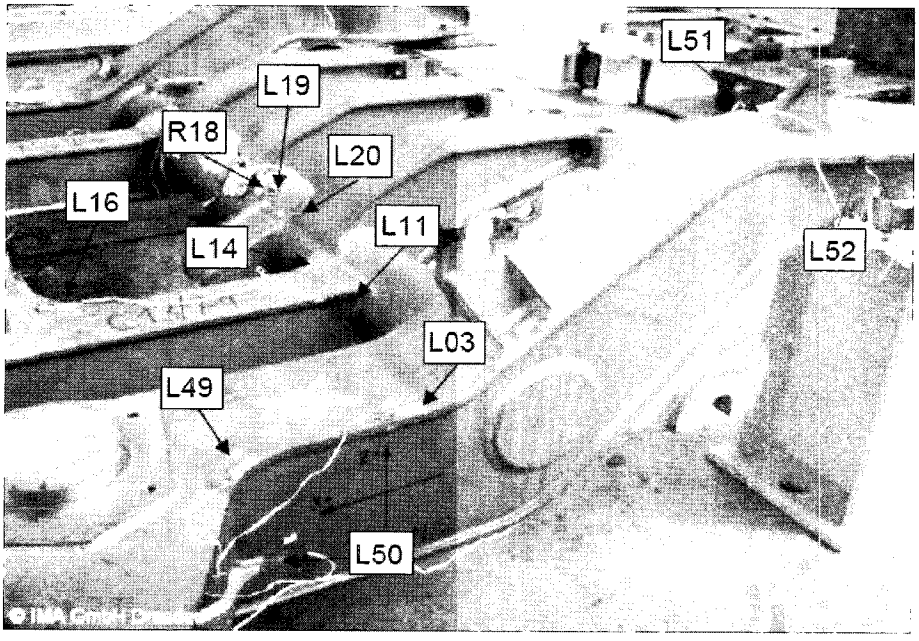


그림 32. 센서취부(L11, L14, L16, L18, L19, L20, L49, L50, L51, L52)

다. 적용 하중

연결용 부수대차 프레임의 성능시험을 위한 하중은 UIC515-4에 준하여 산출되었으며, 정하중 시험과 피로시험에 적용되는 각각의 하중을 살펴보면 표 11, 표 12와 같다.

표 11. 정하중 시험 적용하중

CASE	하중조건	하중기호	하중크기
1	수직하중 (만차)	F_{z1}	133.5 kN
		F_{z2}	133.5 kN
2	수직 하중 (예외)	F_{z1}	270 kN
		F_{z2}	270 kN
3	좌우 하중	F_{z1}, F_{z2}	133.5 kN
		F_y	133.3 kN
4	비틀림 하중	F_{z1}, F_{z2}	133.5 kN
		T_{W1}, T_{W4},	95.1 kN
		T_{W2}, T_{W3}	38.5 kN
5	전후 하중	F_{z1}, F_{z2}	133.5 kN
		F_x	109.5 kN

표 12. 피로시험 적용하중

CASE	수직하중 F_{z1}(kN)	수직하중 F_{z2}(kN)	좌우하중 F_y(kN)	비틀림 하중 T_W (mm)	비고
1	173.6	146.8	+85	-5.7 mm	1)0~6백만회 -> 하중 100%적용 2)6~8백만회 -> 하중 120%적용 1)8~10백만회 -> 하중 140%적용
2	120.2	93.4	0	5.7 mm	
3	146.8	173.6	-85	-5.7 mm	
4	93.4	120.2	0	5.7 mm	

라. 시험 결과

상기 다항에서 언급한 하중을 적용하여 정하중 시험과 피로시험에 대하여 다음과 같이 시험결과를 얻었다.

(1) 정하중 시험

표 13은 상기의 표11에서 정의한 하중 CASE에 대하여 대차프레임 취부된 센서 위치에서의 응력을 나타낸 것이다.

표 13. 정하중 시험 결과 (응력)

Load case	L1	L2	L3	L4	L5	L6
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	-73	-75	-78	-75	46	54
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	-147	-149	-156	-151	92	104
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	-81	-74	-75	-83	42	63
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	-69	-78	-81	-70	51	44
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	-74	-74	-78	-74	60	30
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	-72	-77	-77	-77	31	78
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	-53	-57	-99	-94	46	54
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	-92	-93	-57	-57	46	54

Load case	L7	L8	L9	L10	L11	L12
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	44	39	-34	-39	-43	-42
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	87	79	-68	-79	-86	-85
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	51	36	-30	-201	-209	-34
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	34	43	-170	-35	-38	-216
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	64	27	-57	-11	-73	-14
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	25	51	-12	-67	-14	-71
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	45	39	11	25	-98	-106
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	46	39	-78	-103	12	22

Load case	R18 Sig II	R18 phi	L19	L20	L21	L22
	N/mm²	Grad	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	1	-66	0	-1	1	3
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	2	-67	1	-1	1	6
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	12	-89	-9	-7	-224	-84
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	10	89	-7	-6	0	3
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	-14	-49	6	-10	0	3
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	-40	43	-6	9	0	3
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	-18	-7	27	29	0	3
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	-9	89	-30	-35	0	3

Load case	L23	L24	L25	L26	L27	L28
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	25	23	75	73	57	49
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	50	46	152	146	114	98
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	33	32	61	58	36	43
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	23	9	89	91	74	59
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	13	1	105	110	77	53
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	35	46	48	36	36	45
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	21	33	72	84	80	39
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	29	13	80	63	33	58

Load case	L29	L30	L31	L32	L33	L34
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	68	53	51	50	42	33
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	137	106	102	101	84	67
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	51	38	62	63	38	52
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	63	67	39	39	63	28
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	62	73	32	69	97	-16
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	76	33	70	33	-15	82
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	70	67	65	37	75	73
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	67	39	37	63	8	-7

Load case	L35	L36	L37	L38	L39	L40
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	32	18	26	26	-6	2
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	64	36	51	53	-14	4
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	29	12	-16	19	4	-6
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	53	-45	18	-22	-8	-23
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	-17	-78	113	117	-18	-12
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	79	112	-63	-65	4	16
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	-6	-26	-11	60	-20	-88
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	63	60	61	-8	6	92

Load case	L41	L42	L43	L44	L45	L46
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	-6	4	3	0	0	1
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	-13	8	5	0	0	2
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	-5	8	9	0	0	1
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	2	8	11	226	239	77
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	7	12	7	-1	0	4
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	-19	-3	-2	1	1	-2
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	-18	33	35	0	0	1
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	5	-23	-29	0	0	1

Load case	L47	L48	L49	L50	L51	L52
	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²	N/mm²
C13_7_vertical crush load (CASE 1)	1	-67	-58	48	-18	-21
C13_7_vertical proof load (CASE 2)	2	-134	-117	97	-36	-41
C13_7_lateral proof +Y (CASE 3)	1	-67	-58	65	-21	-23
C13_7_lateral proof -Y (CASE 3)	72	-67	-59	27	-14	-18
C13_7_twist proof load +Z (CASE 4)	-2	-70	-50	39	-24	-29
C13_7_twist proof load -Z (CASE 4)	4	-65	-66	58	-13	-12
C13_7_long proof load +X (CASE 5)	1	-66	-59	35	-19	-21
C13_7_long proof load -X (CASE 5)	1	-68	-57	61	-18	-21

상기 표 13을 그래프로 나타내면 그림 33과 같다.

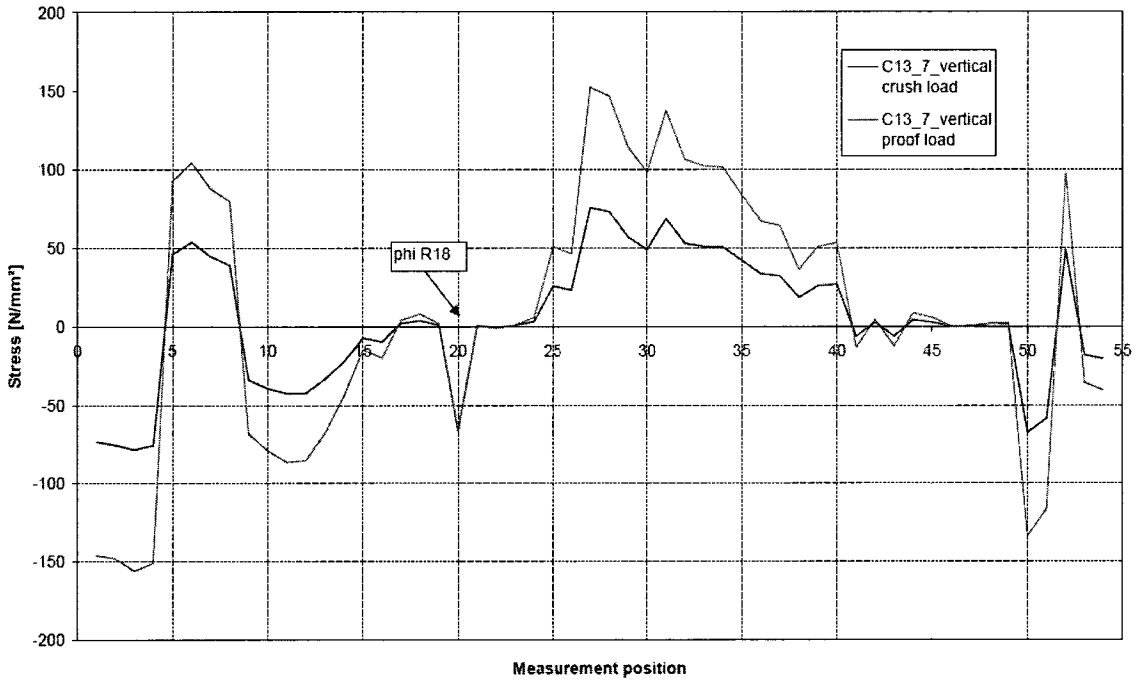


그림 33. 하중 CASE 1 및 CASE 2 (만차하중 및 예외하중 적용시)

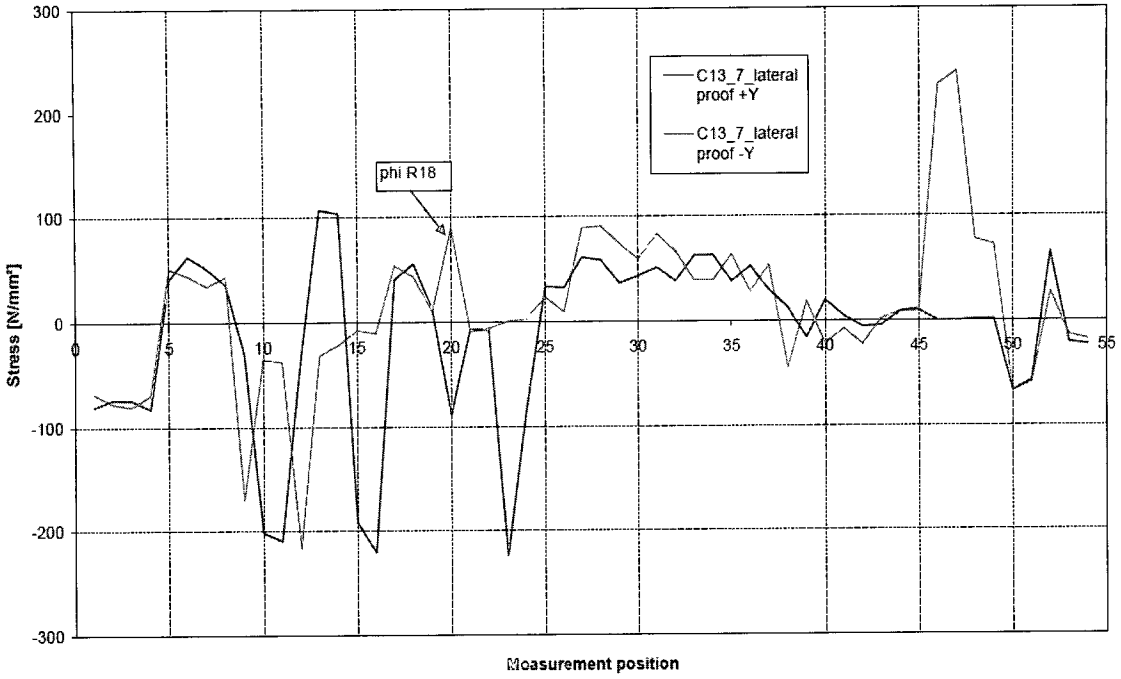


그림 34. CASE 3 (좌우하중 적용시)

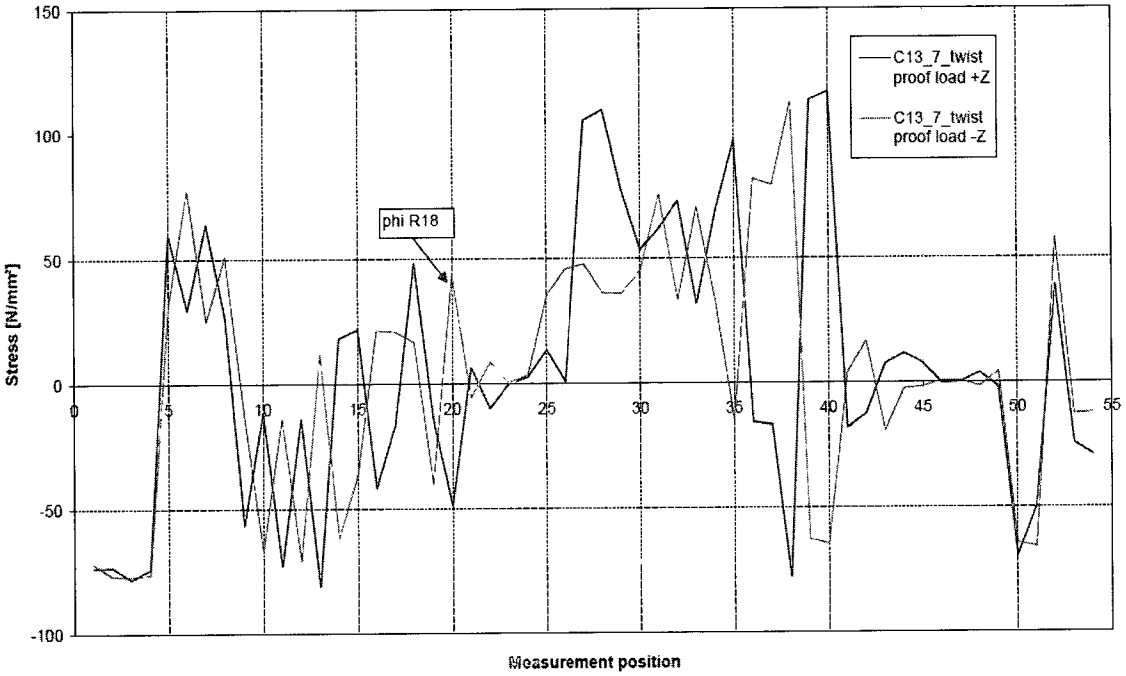


그림 35. CASE 4 (비틀림 하중 적용시)

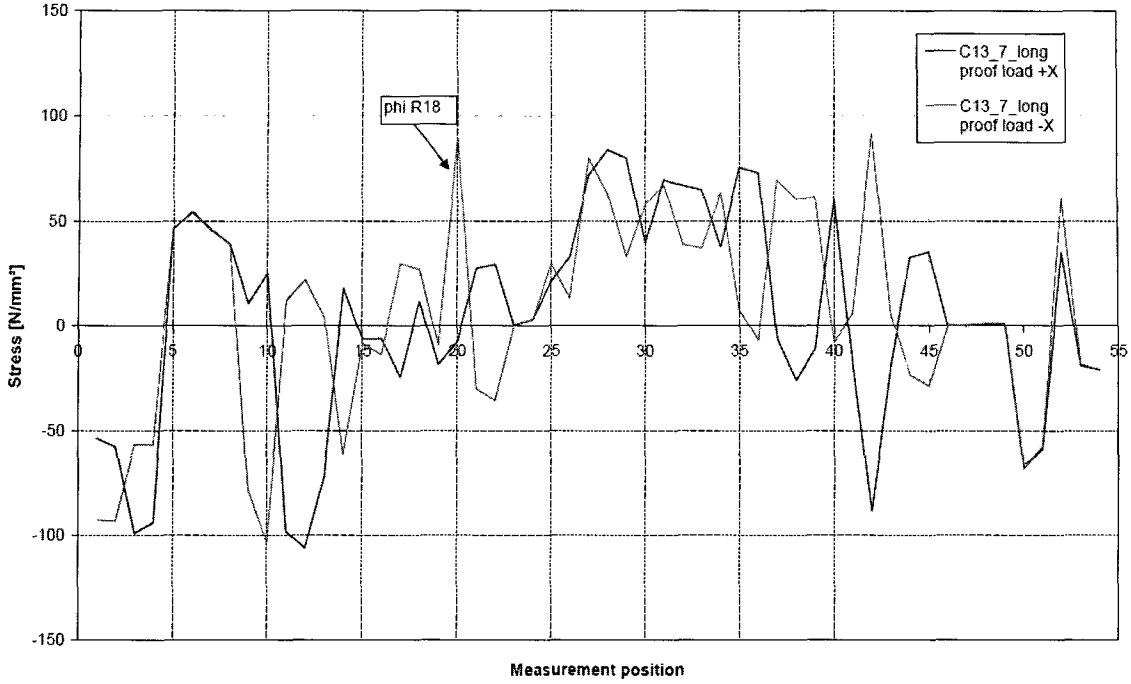


그림 36. CASE 5 (전후 하중 적용시)

그림 33에서 그림 36까지의 정하중 시험 결과에서 각 하중 CASE에서 최대 응력을 나타내면 표 14와 같다.

표 14. 정하중 시험 결과 (최대응력)

하중 CASE		센서번호	시험 결과(최대응력)
CASE 1	수직하중(만차)	L3	78 N/mm^2
CASE 2	수직하중(예외)	L3	156 N/mm^2
CASE 3	좌우하중	L45	239 N/mm^2
CASE 4	비틀림하중	L38	117 N/mm^2
CASE 5	전후하중	L10	103 N/mm^2

(2) 피로 시험

상기 다항의 표 12에 명기된 하중에 대하여 매 백만회별 최대/최소 변형량을 나타내면 다음의 그림 37에서 그림 62와 같다.

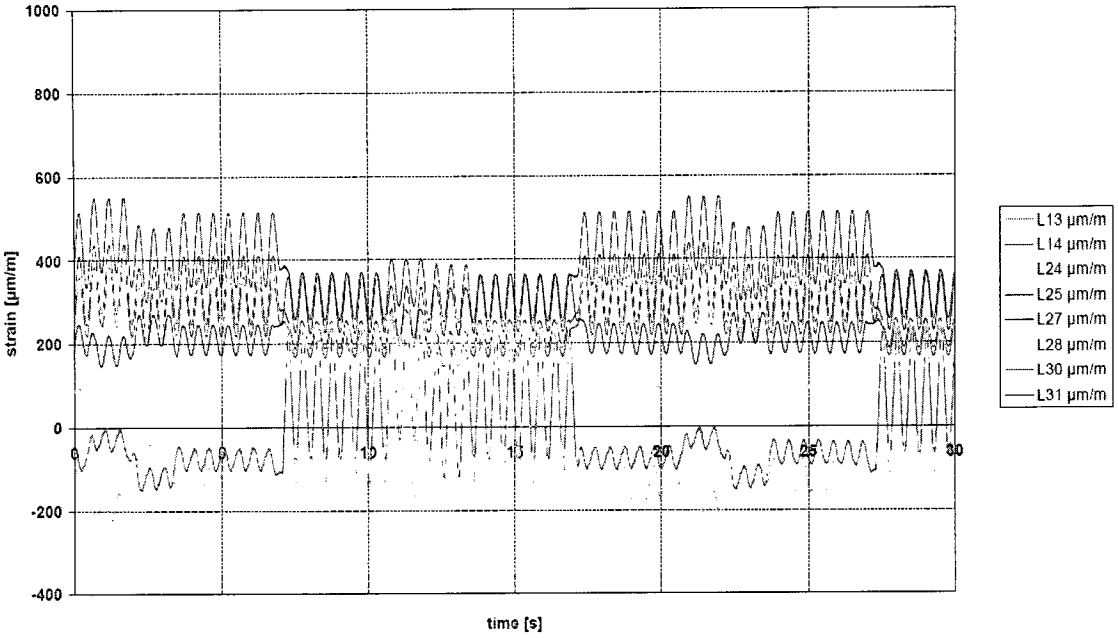


그림 37. 최대/최소 변형량(시험 시작시 하중 100%)

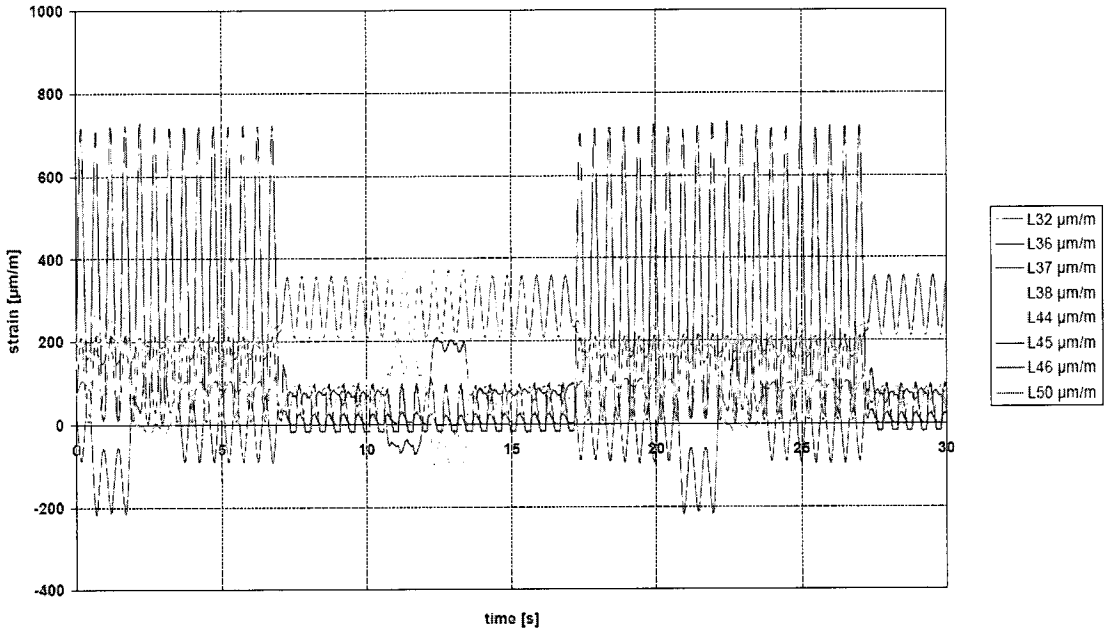


그림 38. 최대/최소 변형량(시험 시작시 하중 100%)

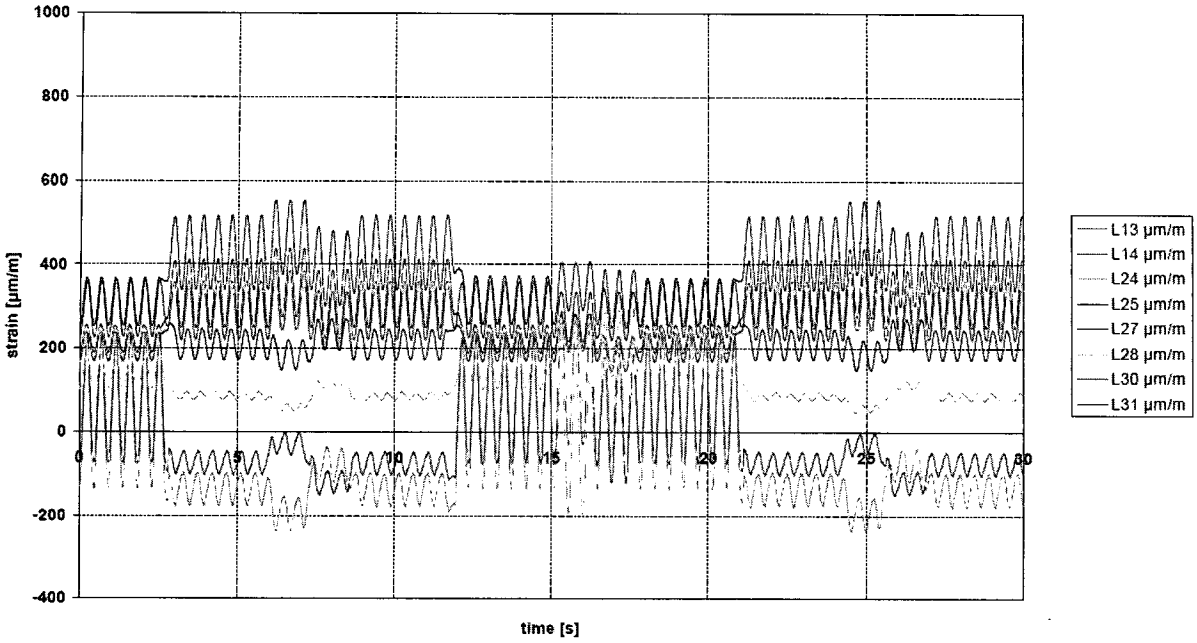


그림 38. 최대/최소 변형량 (1백만회 하중 100%)

그림 39. 최대/최소 변형량 (1백만회 하중 100%)

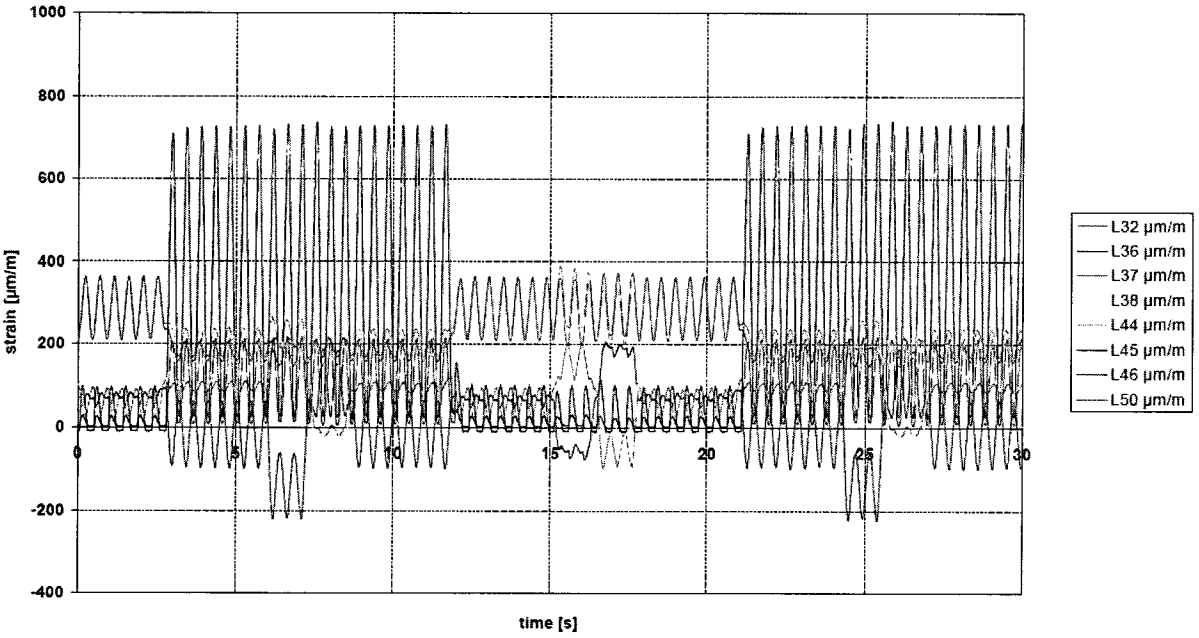


그림 40. 최대/최소 변형량 (1백만회 하중 100%)

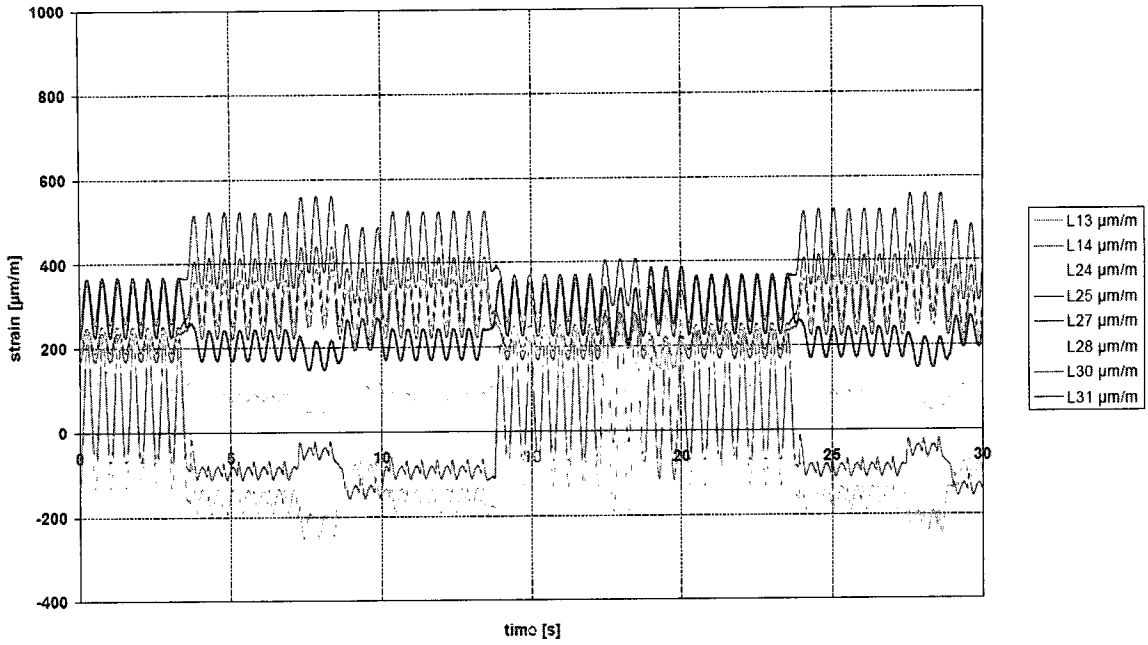


그림 41. 최대/최소 변형량 (2백만회 하중 100%)

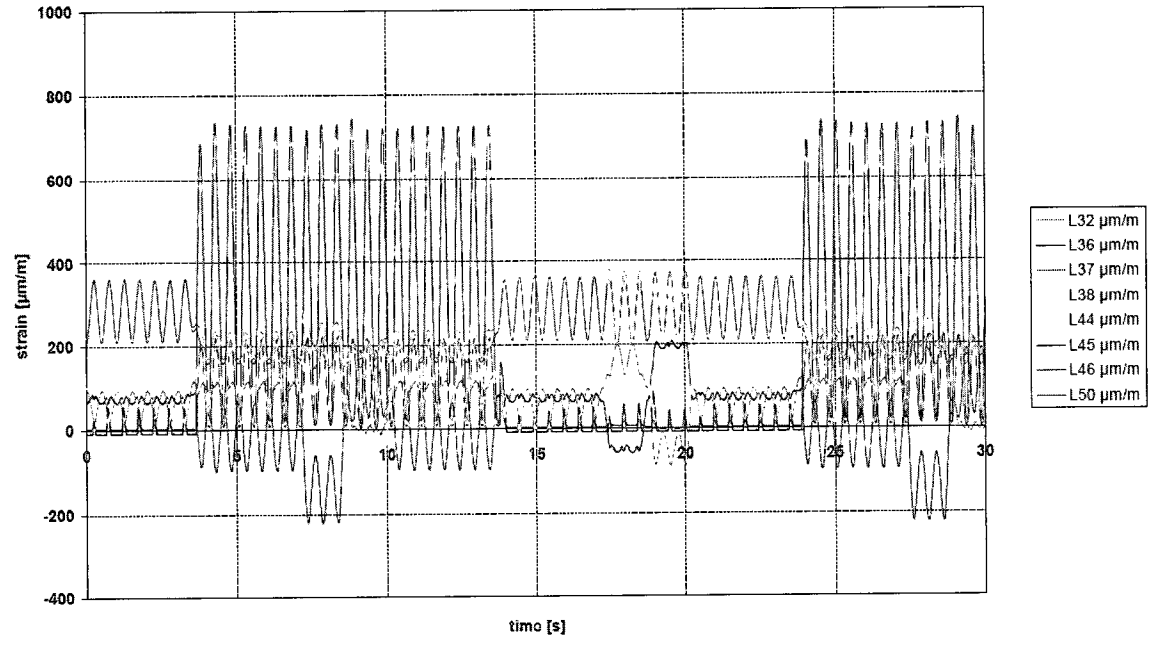


그림 42. 최대/최소 변형량 (2백만회 하중 100%)

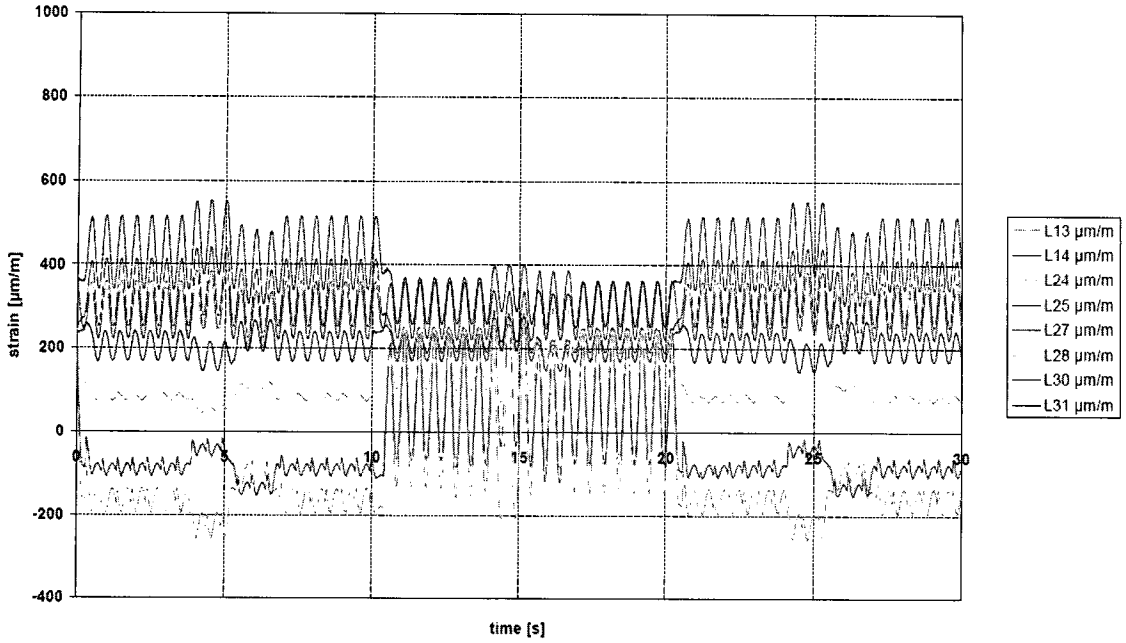


그림 43. 최대/최소 변형량 (3백만회 하중 100%)

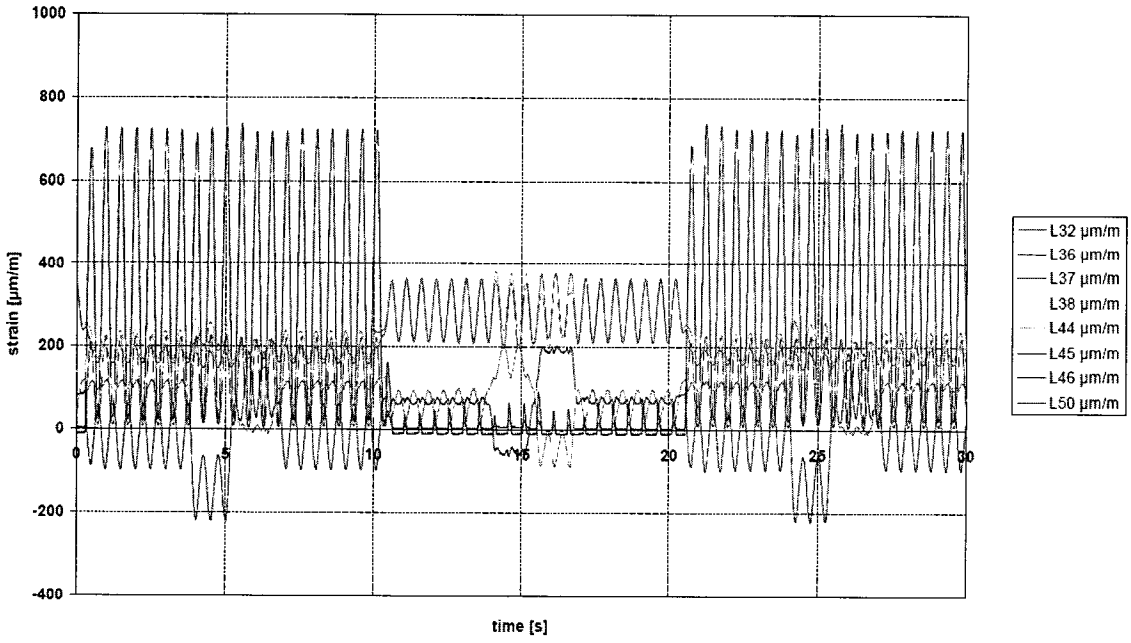


그림 44. 최대/최소 변형량 (3백만회 하중 100%)

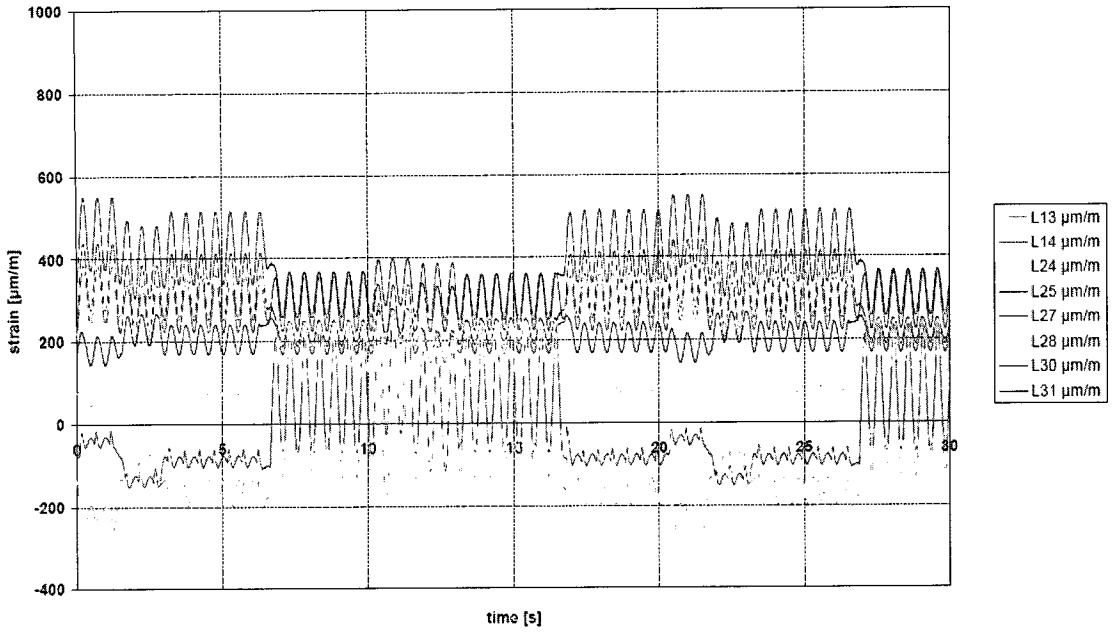


그림 45. 최대/최소 변형량 (4백만회 하중 100%)

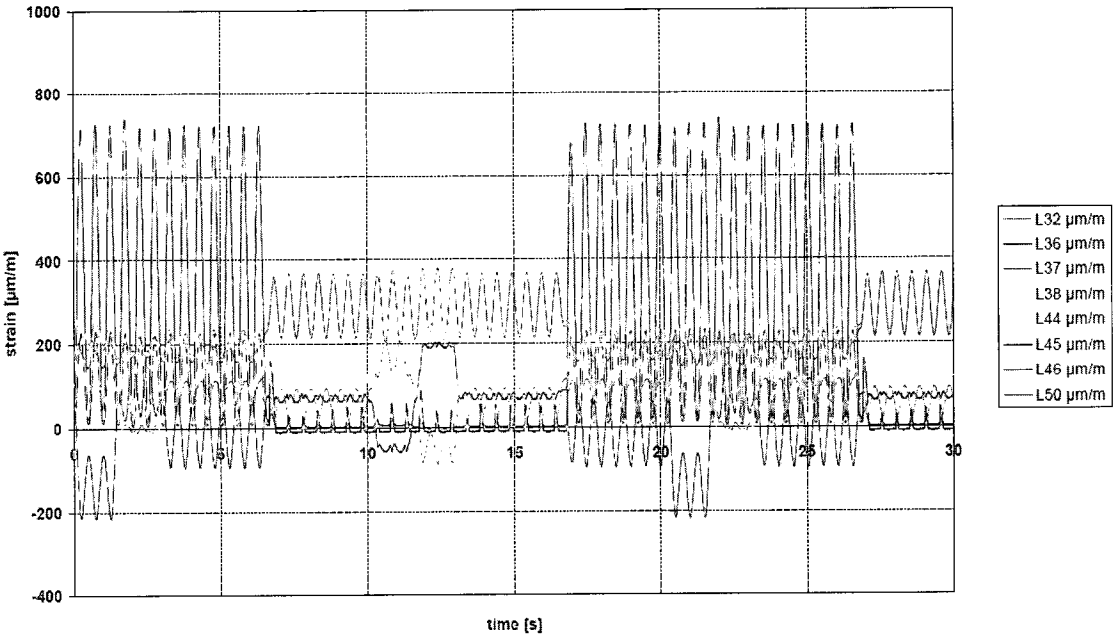


그림 46. 최대/최소 변형량 (4백만회 하중 100%)

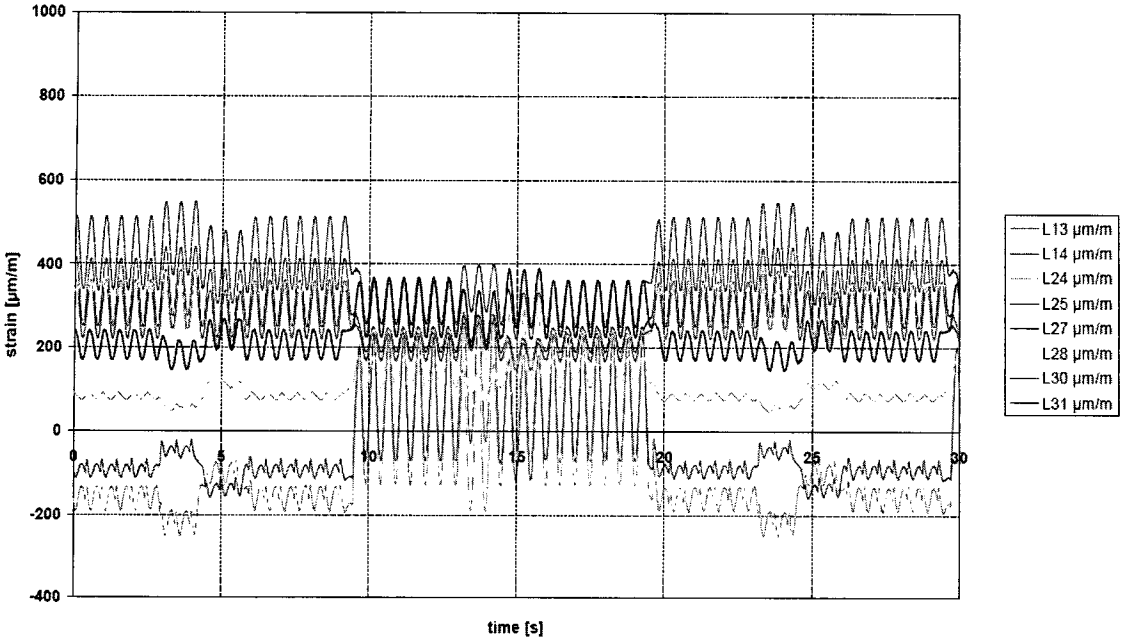


그림 47. 최대/최소 변형량 (5백만회 하중 100%)

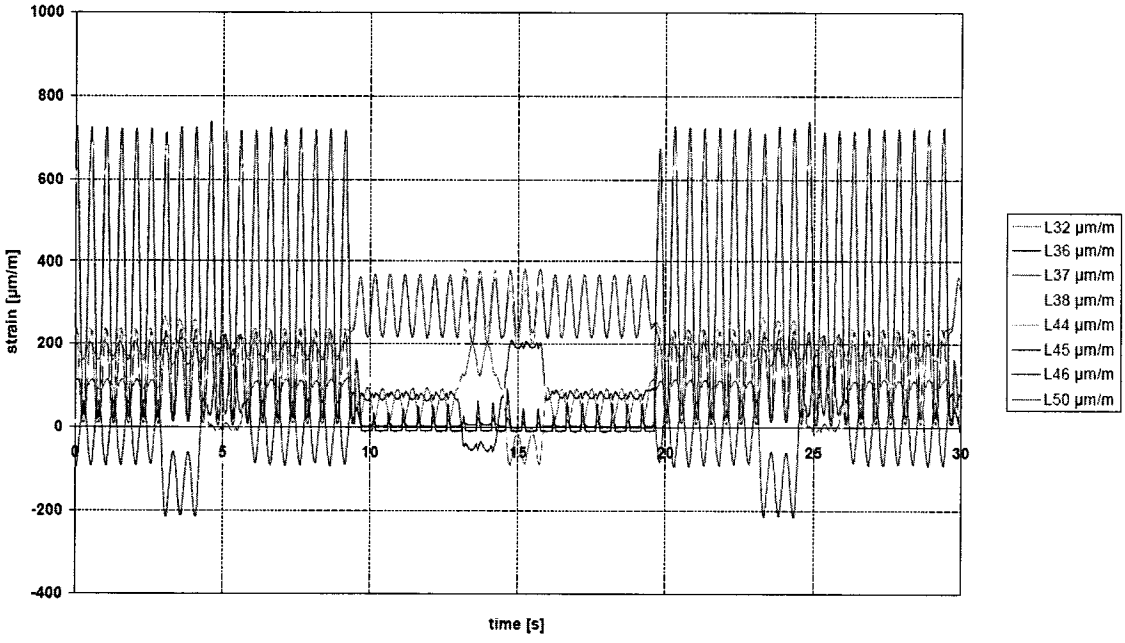


그림 48. 최대/최소 변형량 (5백만회 하중 100%)

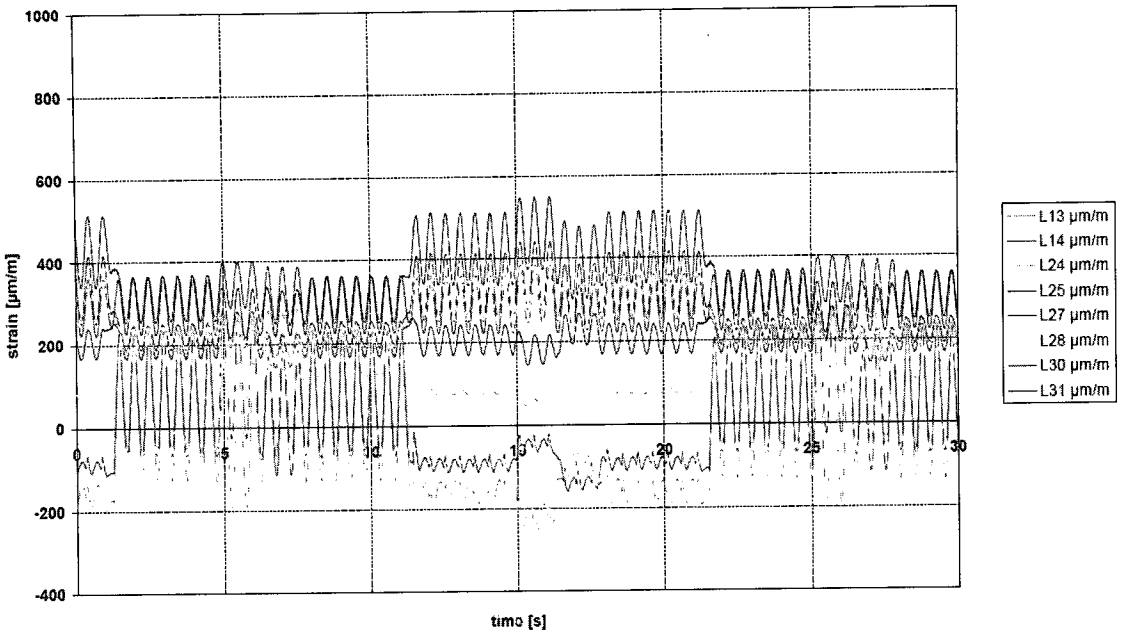


그림 49. 최대/최소 변형량 (6백만회 하중 100%)

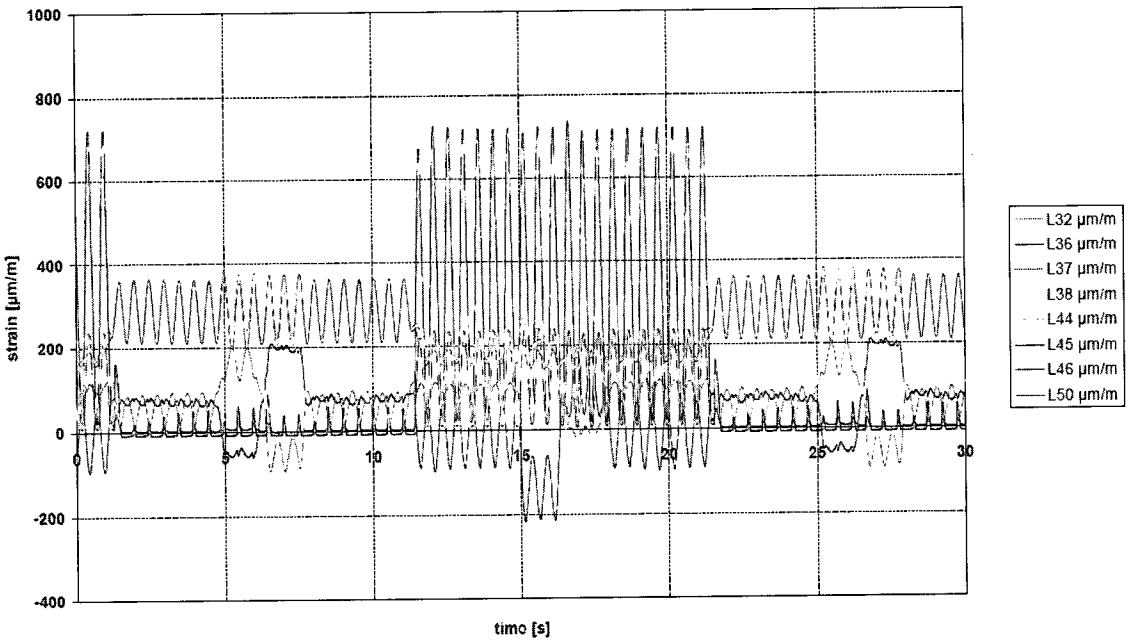


그림 50. 최대/최소 변형량 (6백만회 하중 100%)

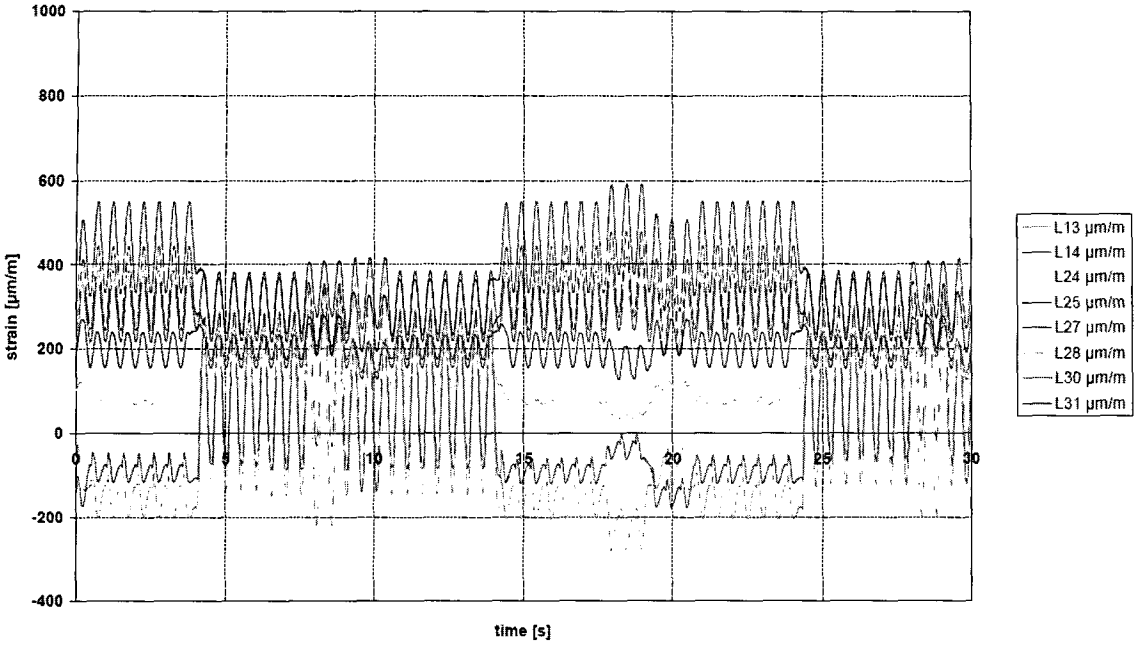


그림 51. 최대/최소 변형량 (6백만회 시작시 하중 120%)

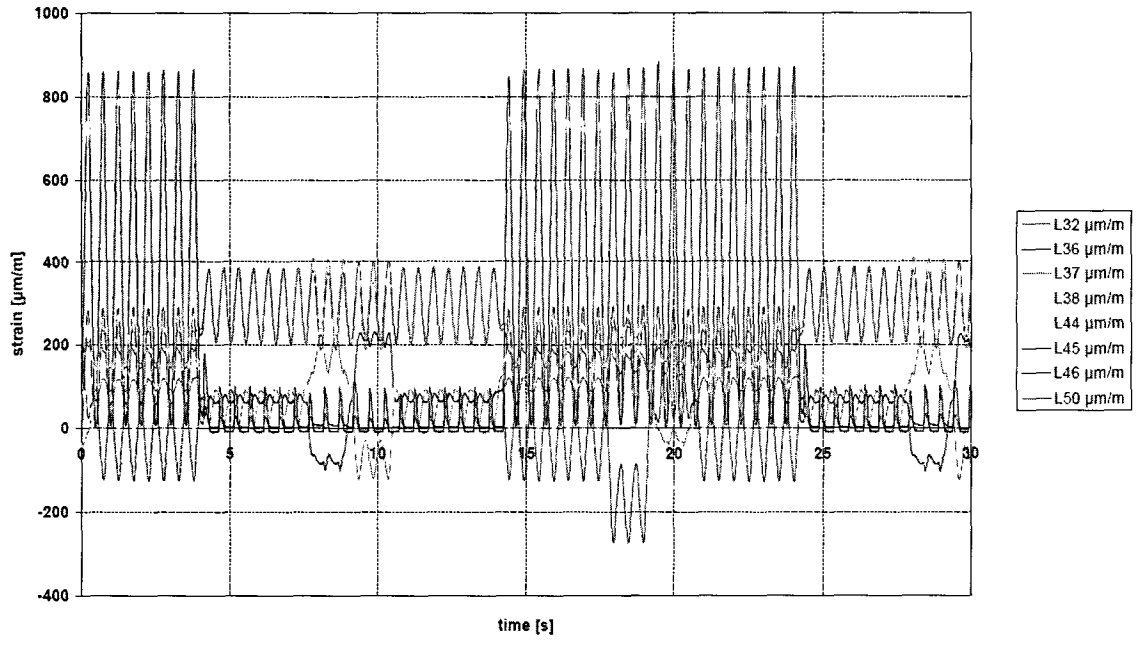


그림 52. 최대/최소 변형량 (6백만회 시작시 하중 120%)

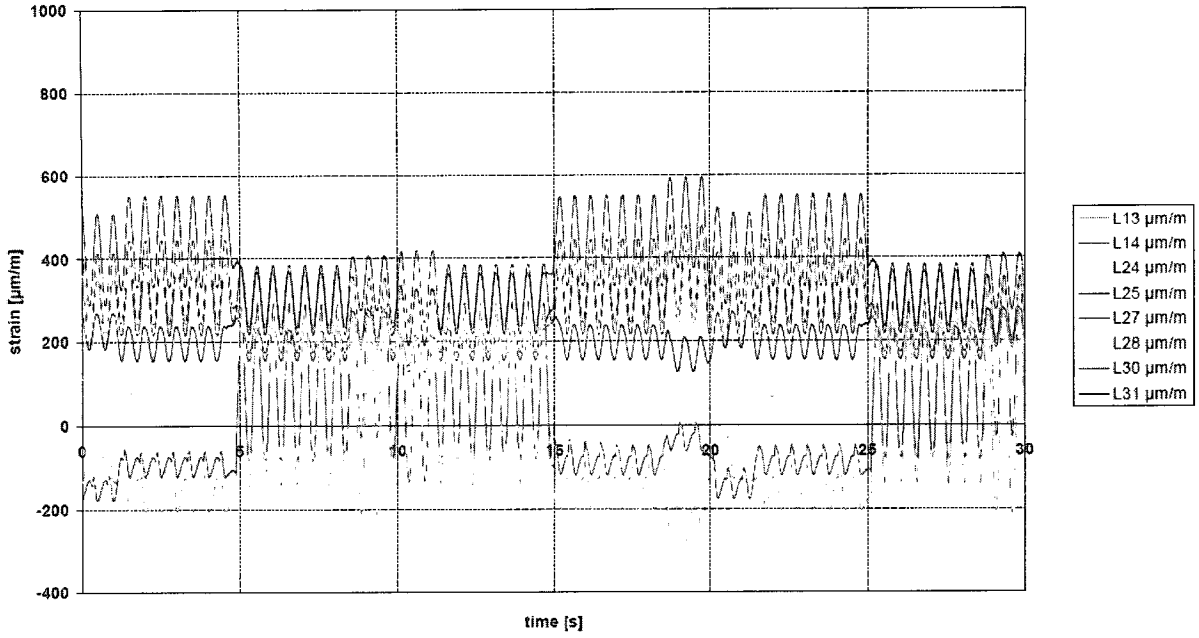


그림 53. 최대/최소 변형량 (7백만회 하중 120%)

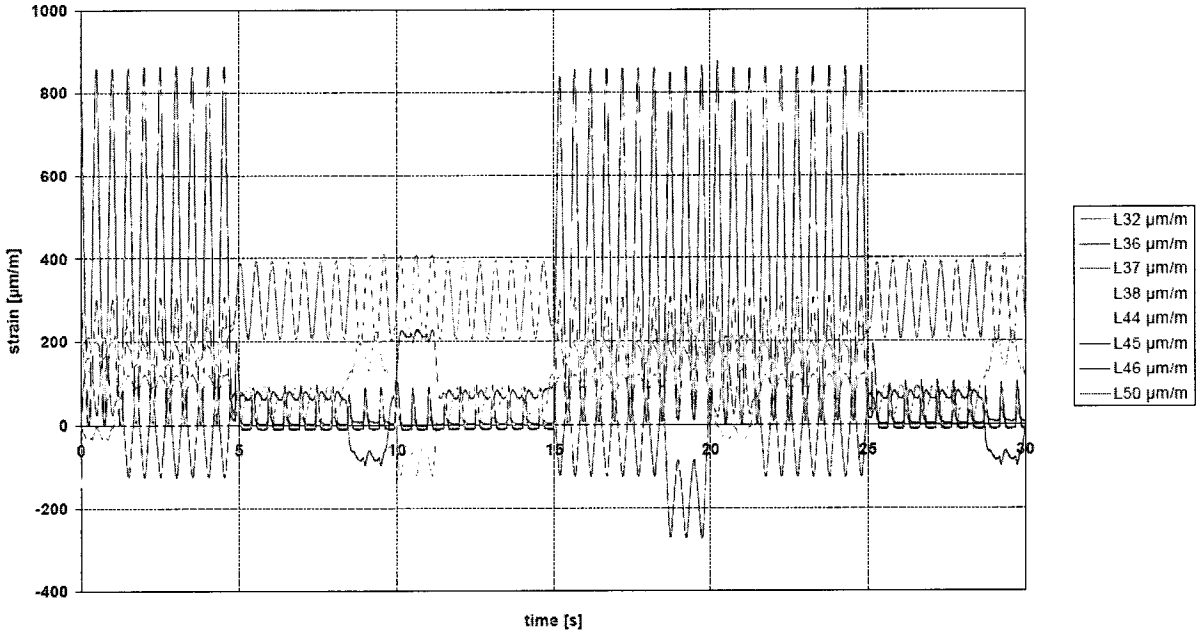


그림 54. 최대/최소 변형량 (7백만회 하중 120%)

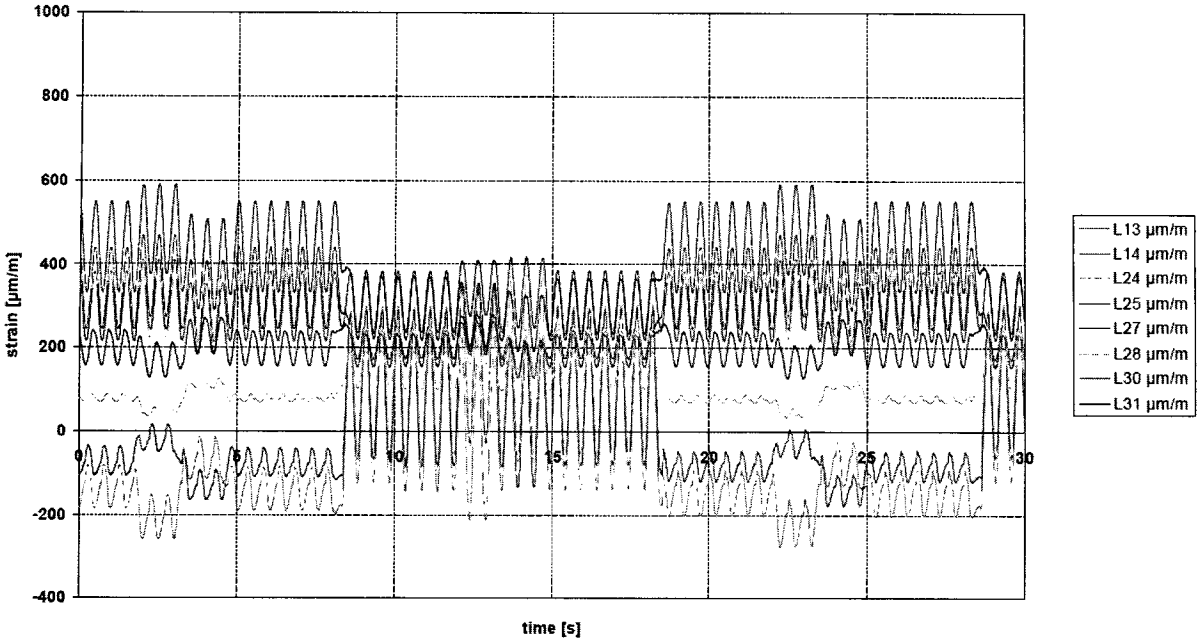


그림 55. 최대/최소 변형량 (8백만회 하중 120%)

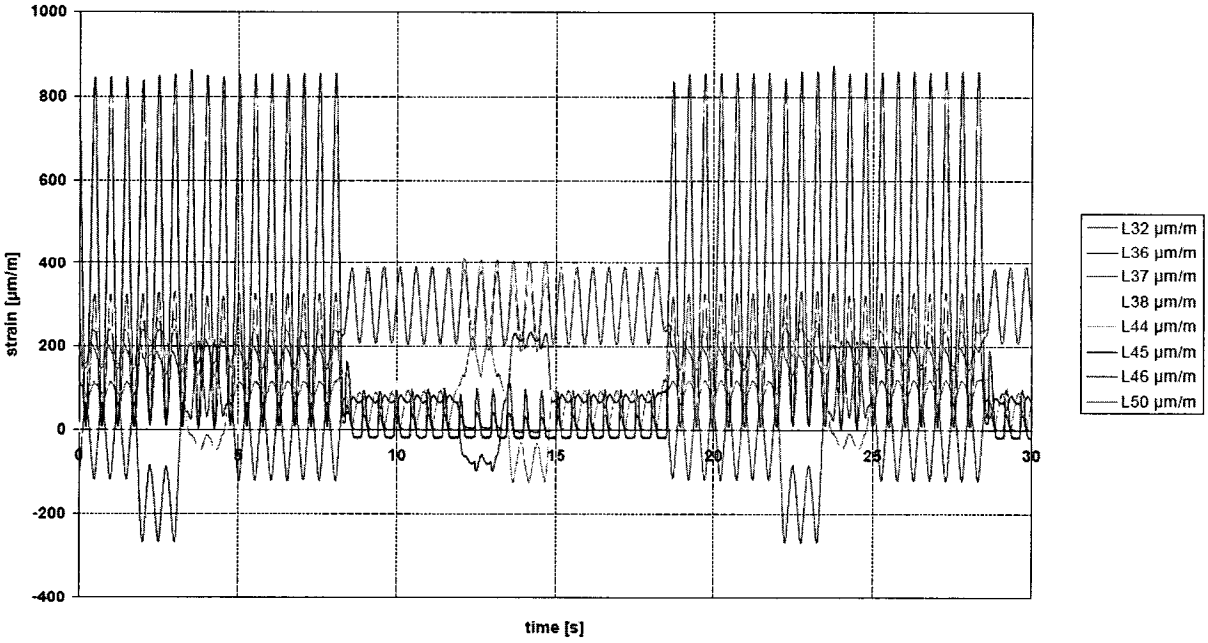


그림 56. 최대/최소 변형량 (8백만회 하중 120%)

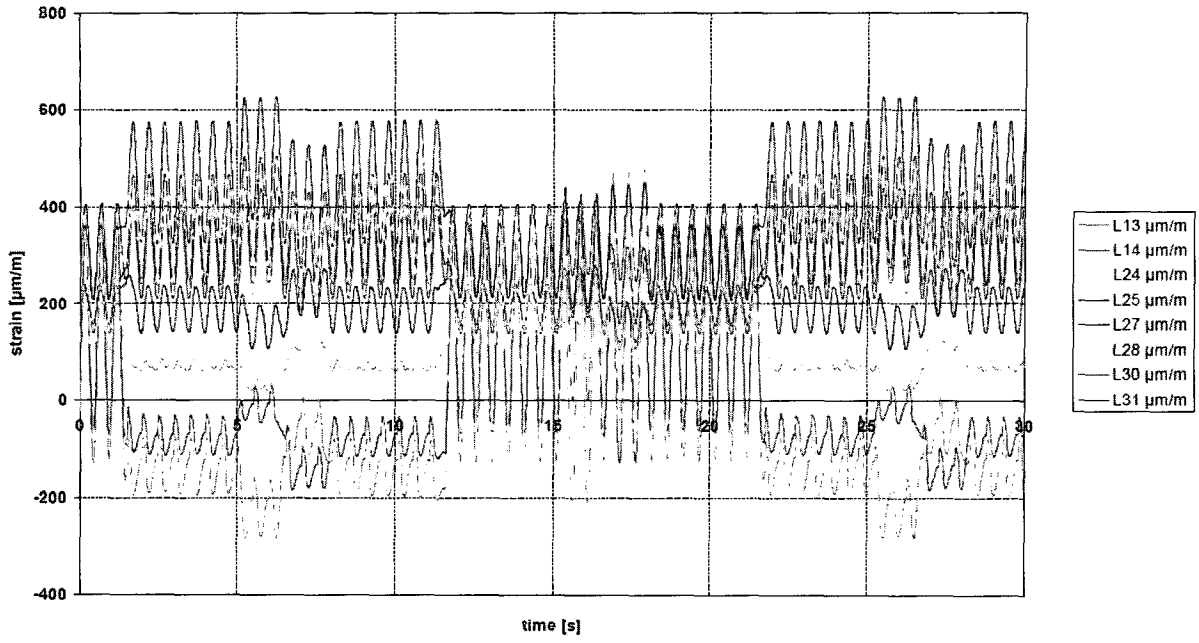


그림 57. 최대/최소 변형량 (8백만회 시작시 하중 140%)

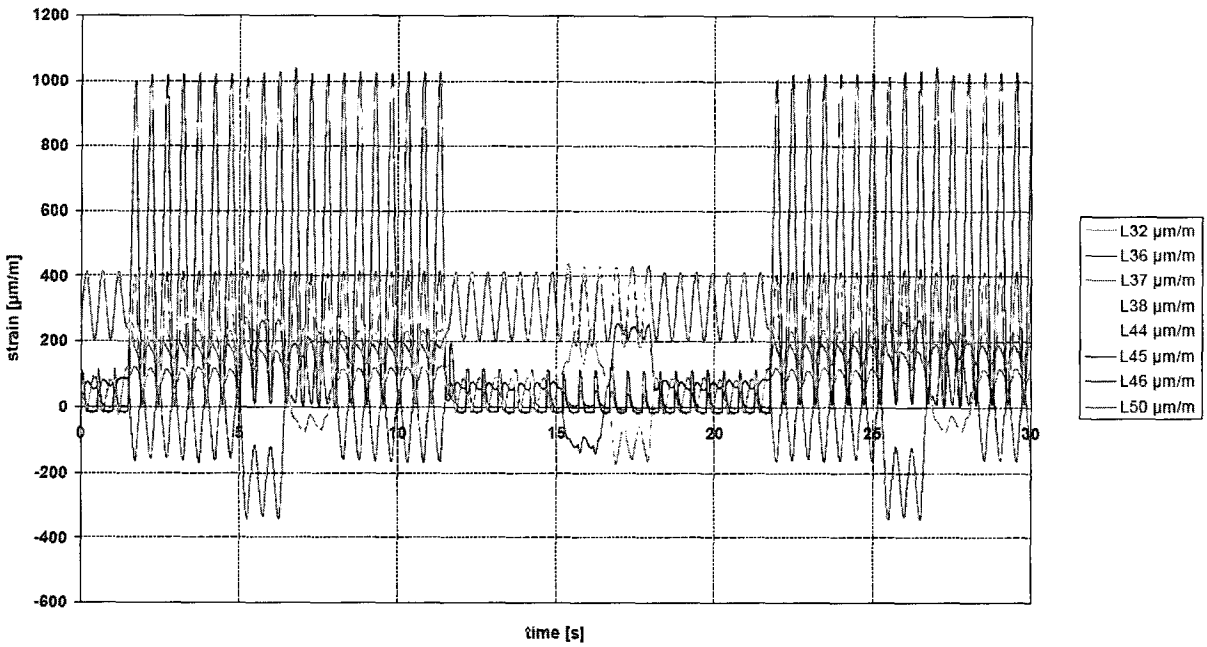


그림 58. 최대/최소 변형량 (8백만회 시작시 하중 140%)

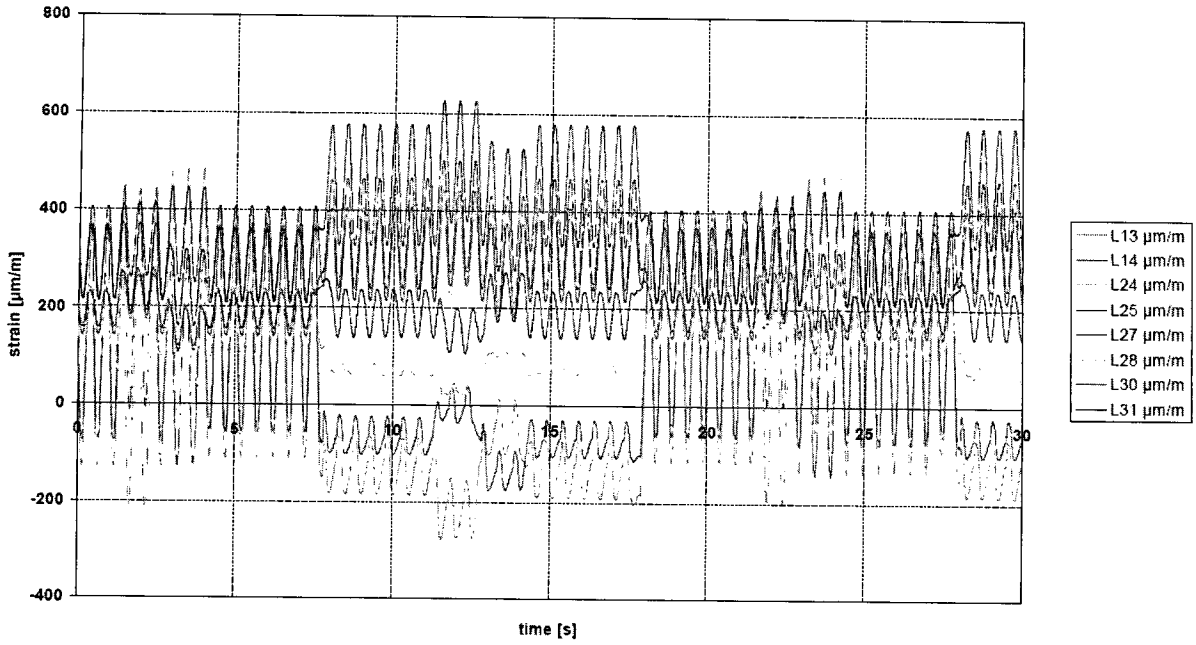


그림 59. 최대/최소 변형량 (9백만회 하중 140%)

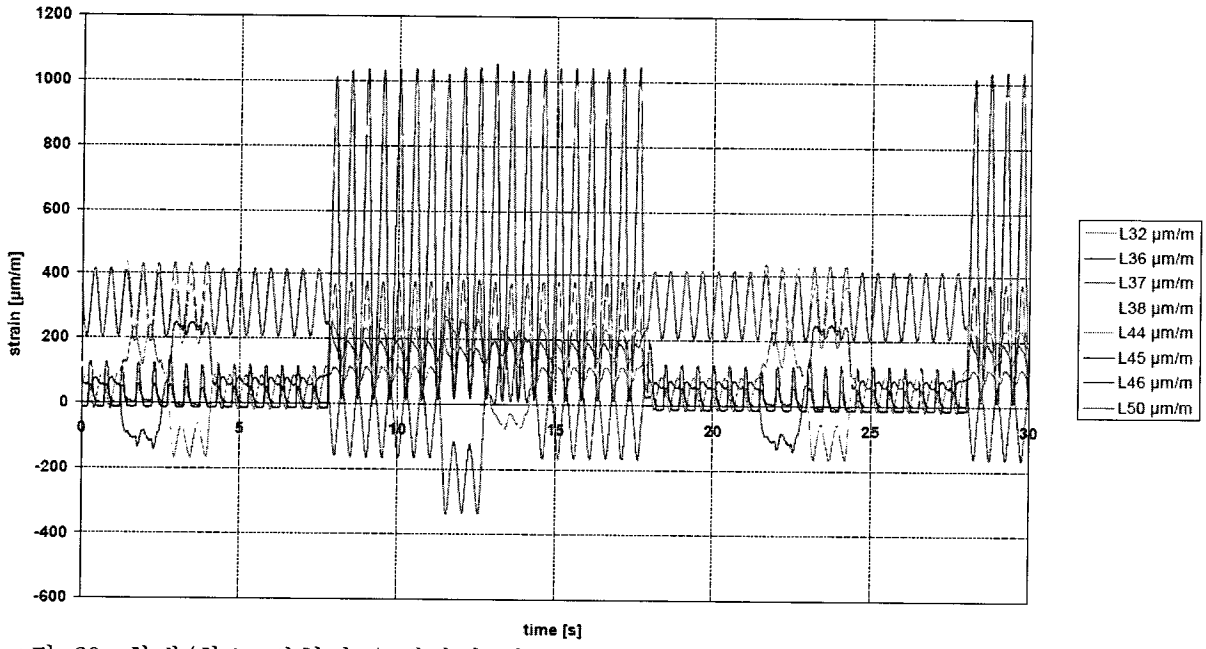


그림 60. 최대/최소 변형량 (9백만회 하중 140%)

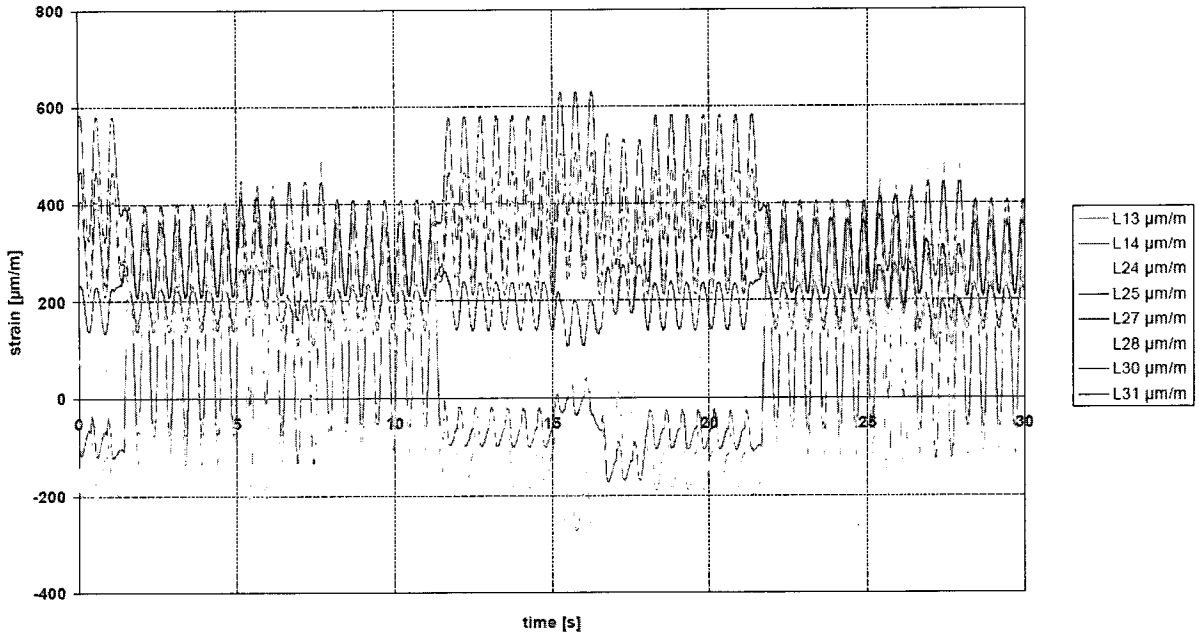


그림 61. 최대/최소 변형량 (10백만회 하중 140%)

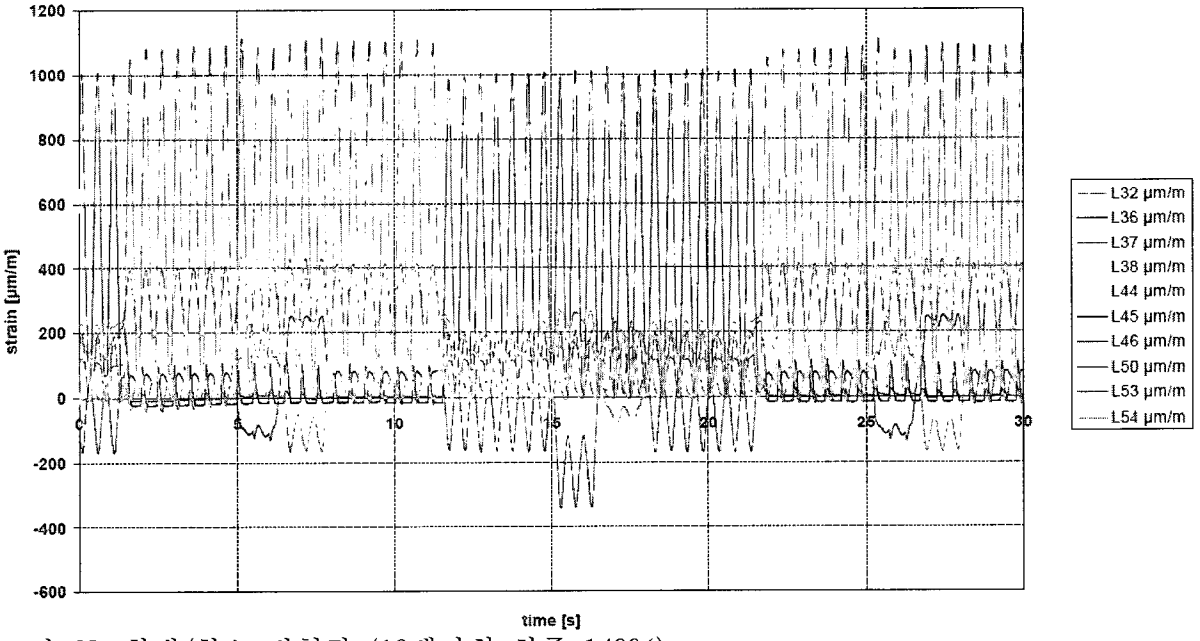


그림 62. 최대/최소 변형량 (10백만회 하중 140%)

상기의 변형량 결과 중 최대값을 정리하면, 표 15와 같다.

표 15. 피로시험 결과(최대/최소 변형량)

하중 CASE		하중 적용율	센서위치	시험 결과 (최대 변형율)
CASE 1	1백만회(시작)	100 %	L45	728 ㎛/㎜
CASE 2	1백만회		L45	740 ㎛/㎜
CASE 3	2백만회		L45	743 ㎛/㎜
CASE 4	3백만회		L45	740 ㎛/㎜
CASE 5	4백만회		L45	739 ㎛/㎜
CASE 6	5백만회		L45	739 ㎛/㎜
CASE 7	6백만회		L45	736 ㎛/㎜
CASE 8	6백만회(시작)	120%	L45	884 ㎛/㎜
CASE 9	7백만회		L45	874 ㎛/㎜
CASE 10	8백만회		L45	876 ㎛/㎜
CASE 11	8백만회(시작)	140%	L45	1046 ㎛/㎜
CASE 12	9백만회		L45	1054 ㎛/㎜
CASE 13	10백만회		L45	1023 ㎛/㎜

(3) 비파괴 검사

정하중 시험 및 피로시험이 완료되면 각각에 대하여 영구변형이나 표면의 균열등을 확인하기 위하여 비파괴 검사인 자분탐상 검사를 실시하게 된다.

자분탐상 검사는 다음의 표16에 명기된 사양으로 실시되었으며, 그림 63에서 그림 71까지는 비파괴 검사가 실시한 결과를 나타낸다.

표 16. 자분탐상검사 사양

구 분	사 양
자분탐상 검사 방법	DIN 54130
탐상 장비	FLUOFLUX 655.2
자화 강도	21 ~ 44 A/cm
검사 조건	Ee = 15 ~ 35 W/m2, E≤20 lx

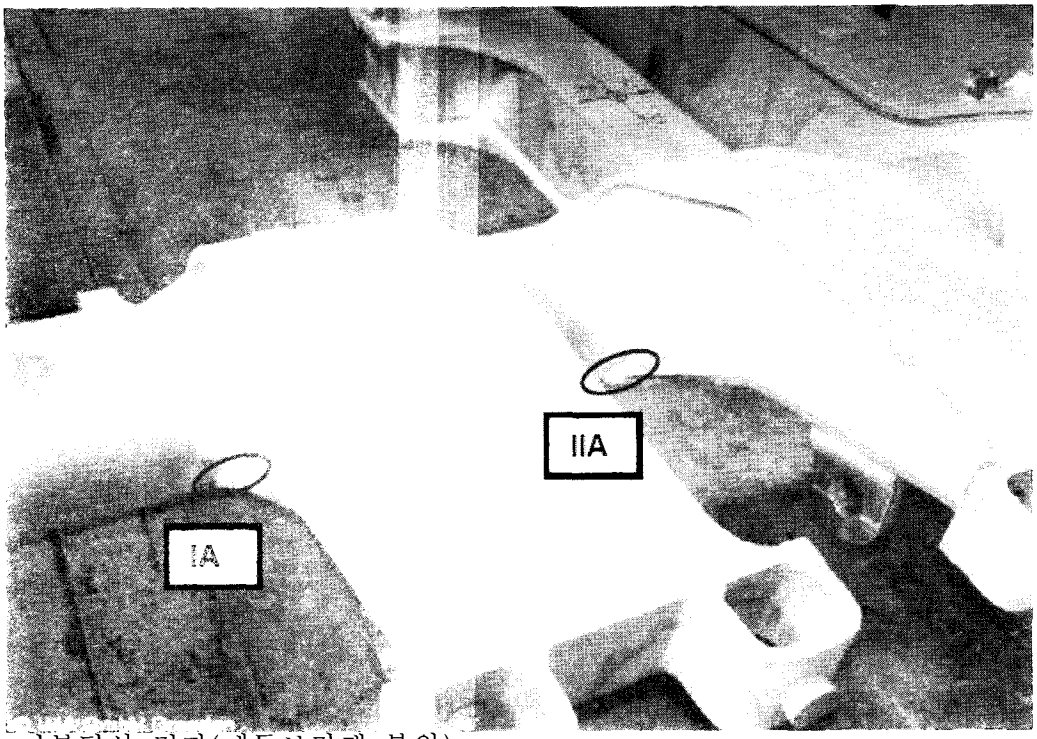


그림 63. 자분탐상 결과(제동브라켓 부위)

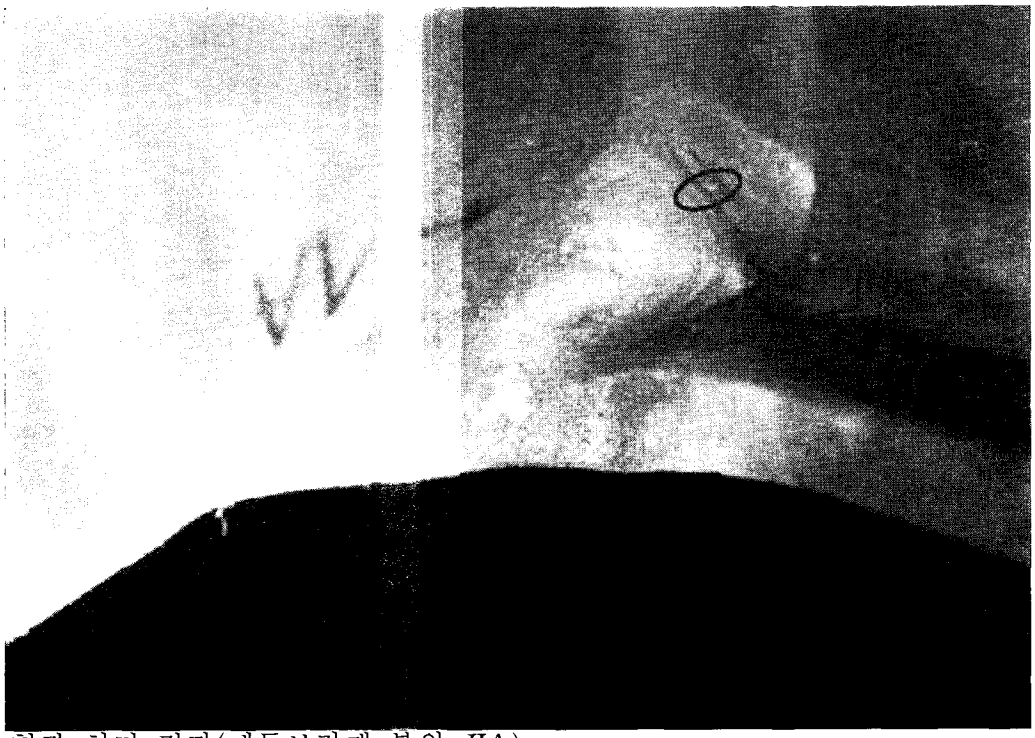


그림 64. 형광 처리 결과(제동브라켓 부위, IIA)

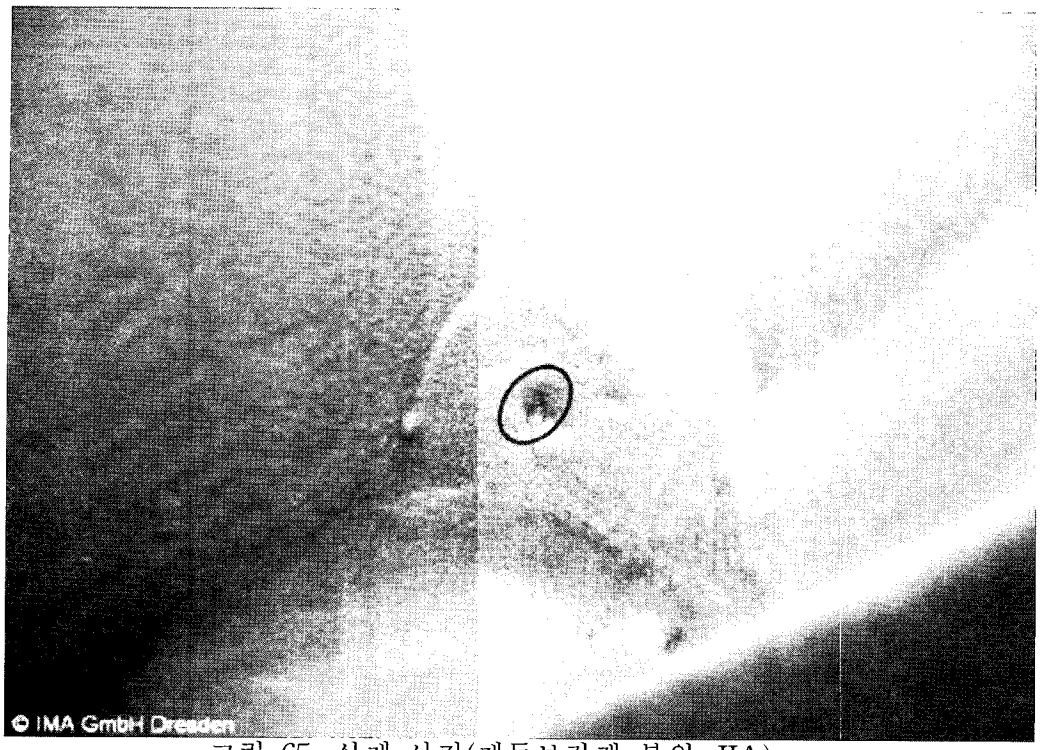


그림 65. 실제 사진(제동브라켓 부위, IIA)

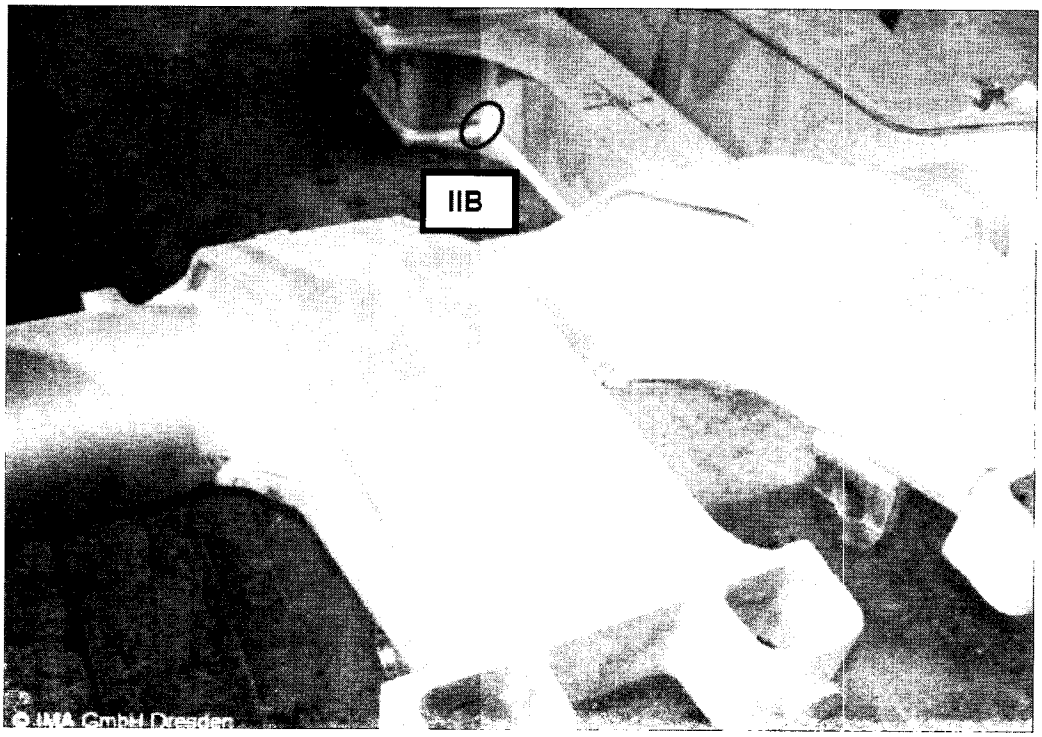


그림 66. 자분탐상 결과(보조 사이드프레임 부위, IIB)

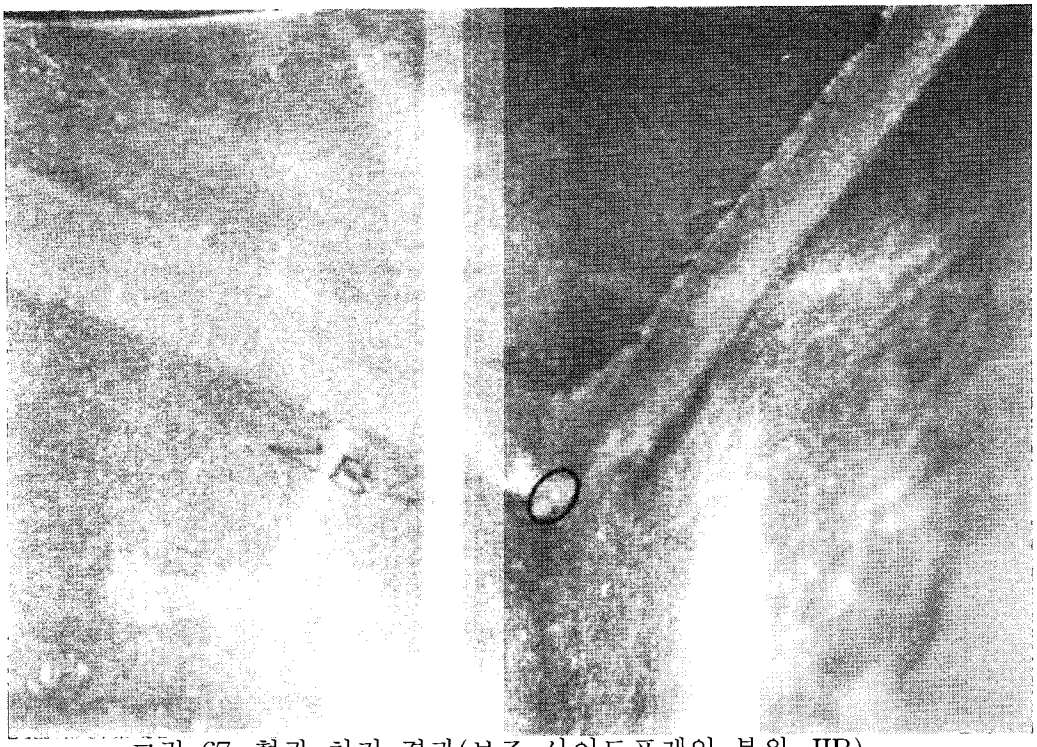


그림 67. 형광 처리 결과(보조 사이드프레임 부위, IIB)

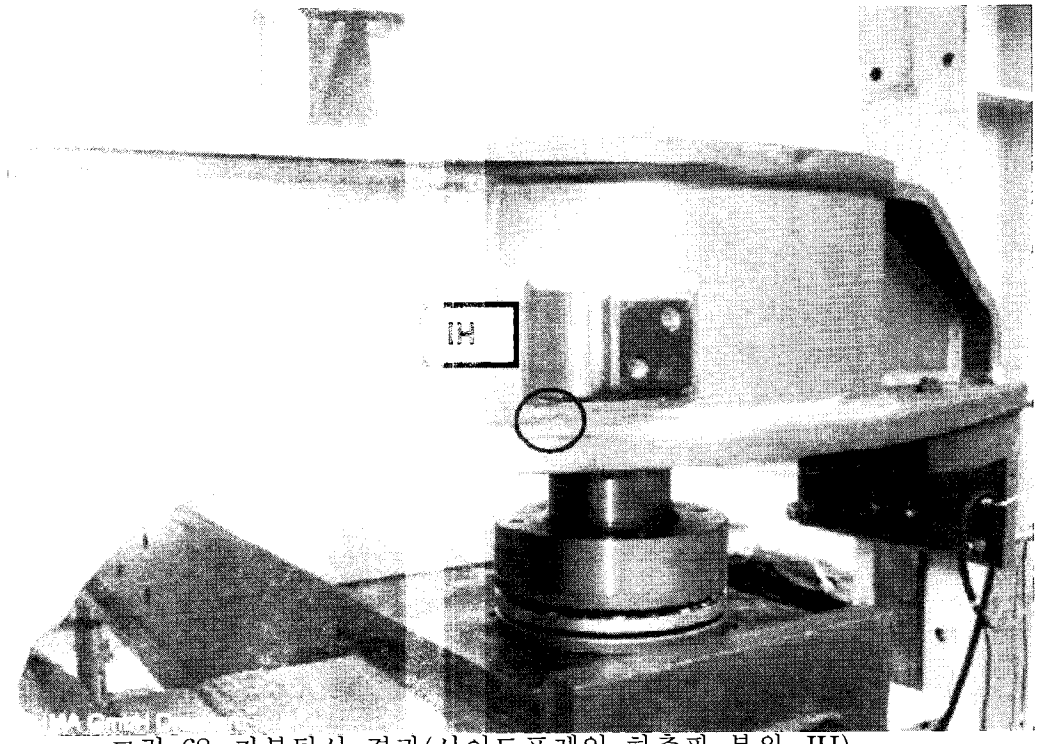


그림 68. 자분탐상 결과(사이드프레임 하측판 부위, IH)

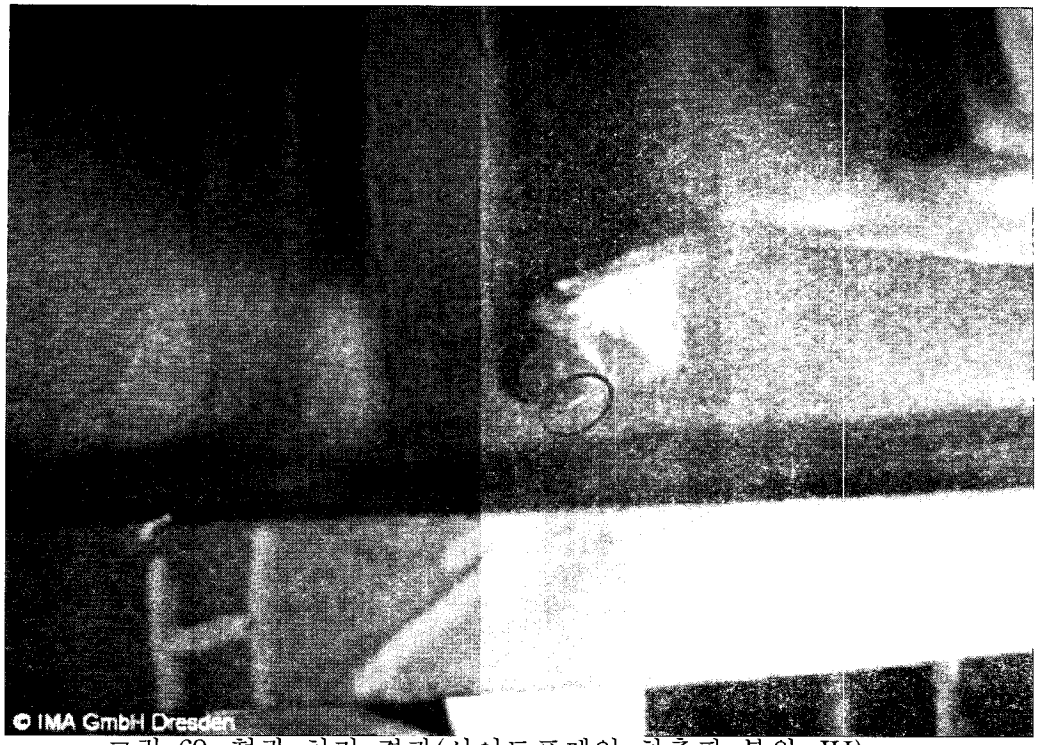


그림 69. 형광 처리 결과(사이드프레임 하측판 부위, IH)

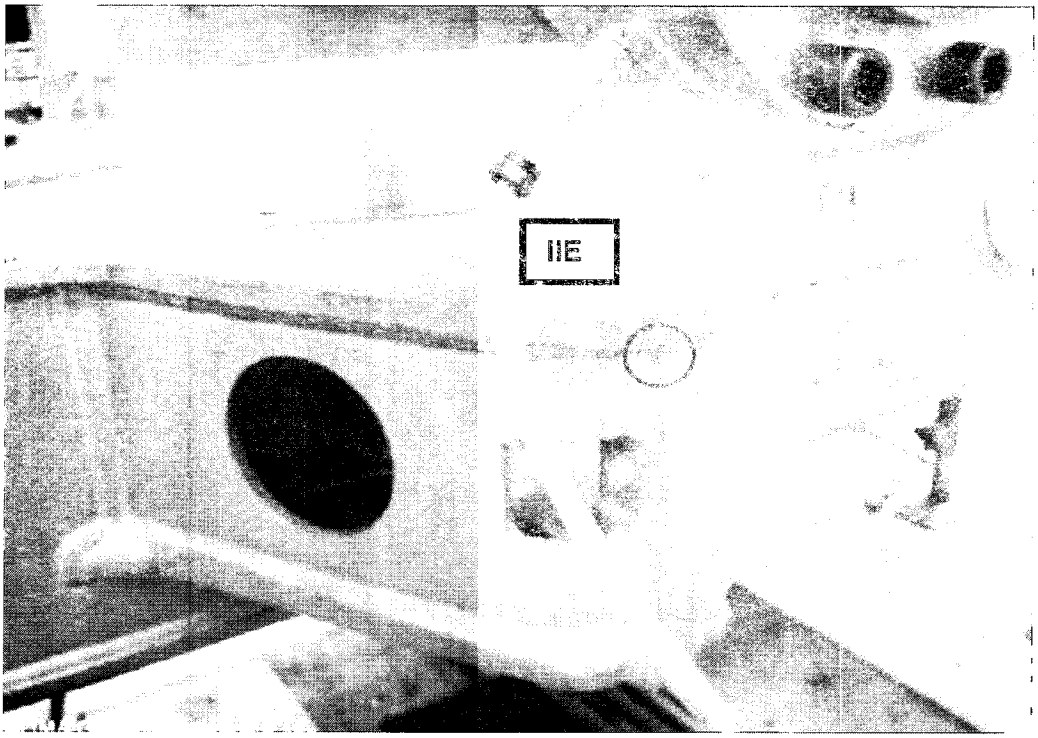


그림 70. 자분탐상 결과(요댐퍼 브라켓 부위, IE)



그림 71. 형광 처리 결과(요댐퍼 브라켓 부위, IE)

상기 그림 63에서 71까지의 10백만회를 실시한 후 측정한 자분탐상검사의 결과는 일부 용접시 마무리 사상 작업이 안 된 형태와 미세한 균열이 발견되었다. 하지만, 8백만회까지 피로시험을 실시한 후 발견된 균열은 전혀 없었다.

따라서, UIC 515-4에 명기된 바 8백만회 이후의 10백만회까지 발생되는 미세한 균열은 허용하는 것으로 되어 있으므로 피로시험의 결과는 이상이 없다고 판단할 수 있다.

마. 대차 프레임 성능시험 결론

대차 프레임 성능시험을 위하여 정하중 시험 및 피로하중 시험을 실시하였다.

정하중 시험의 경우 표 17과 같이 최대 응력이 대차프레임에 적용된 재질 SM490A의 항복응력인 325 N/mm2 이내에 있어 허용기준을 만족하고 있고, 피로시험의 경우는 표 18과 같이 8백만회까지 는 어떠한 균열도 없었으며, 10백만회 이후에 실시된 결과는 다소 미세한 균열이 발견되었으나 UIC515-4의 기준에 만족하였다.

따라서, 연결용 부수대차용 대차프레임의 성능시험을 통하여 구조적으로 충분히 정하중 및 피로강도를 만족하고 있다고 판단된다.

표 17. 정하중 시험 결과

하중 CASE		센서번호	시험 결과 (최대응력)	허용기준	평가
CASE 1	수직하중(만차)	L3	78 N/mm^2	325 N/mm^2	기준만족
CASE 2	수직하중(예외)	L3	156 N/mm^2		기준만족
CASE 3	좌우하중	L45	239 N/mm^2		기준만족
CASE 4	비틀림하중	L38	117 N/mm^2		기준만족
CASE 5	전후하중	L10	103 N/mm^2		기준만족

표 18. 피로시험 결과

하중 CASE		하중 적용율	자분탐상 결과	UIC515-4 허용기준	평가
CASE 1	1백만회(시작)	100 %	이상없음	영구변형 또는 균열 허용 안됨	기준만족
CASE 2	1백만회				
CASE 3	2백만회				
CASE 4	3백만회				
CASE 5	4백만회				
CASE 6	5백만회				
CASE 7	6백만회				
CASE 8	6백만회(시작)	120 %	이상없음	영구변형 또는 균열 허용 안됨	기준만족
CASE 9	7백만회				
CASE 10	8백만회				
CASE 11	8백만회(시작)	140 %	미세 균열발견	미세 균열 허용	기준만족
CASE 12	9백만회				
CASE 13	10백만회				

3. 연결용 부수대차 성능시험

객차대차 타입인 연결용 부수대차는 당해연도 5월경 차량 중점검시 기존 동력객차 대차(#8)를 탈거하고 교체하였다.

교체 시 연결용 부수대차의 대차 프레임에 가속도 센서를 취부하여 매 시운전시 측정된 가속도를 UIC518 기준에 의거하여 성능을 확인하였다.

가. 시험장치 구성

연결용 부수대차의 성능시험을 위하여 그림 72와 같이 대차프레임과 축상에 가속도센서를 취부하고, 표 19와 그림 73에서와 같이 측정 장비와 측정 후 데이터 처리에 대하여 간략하게 기술하였다.

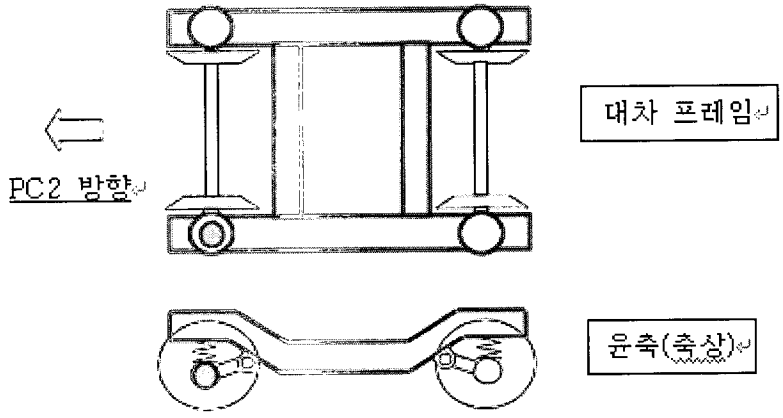
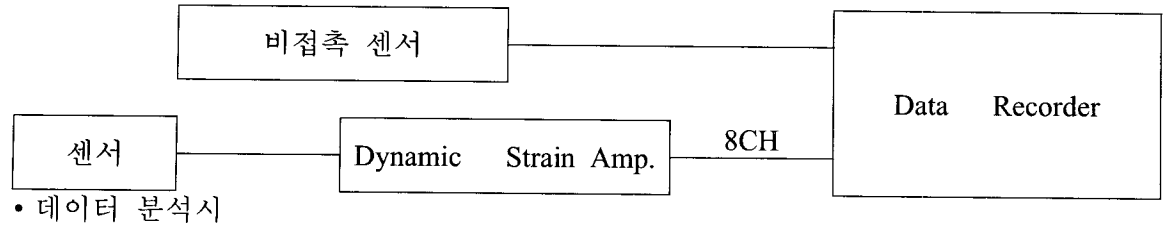


그림 72. 연결용 부수대차 성능시험 장치 구성

표 19. 계측 장비

순	장 비 명	용도
1	진동가속도계	진동가속도 측정
2	Dynamic Strain Amplifier	신호증폭
3	Data Recorder	기록
4	FFT Analyzer	분석

◦ 데이터 측정시



• 데이터 분석시

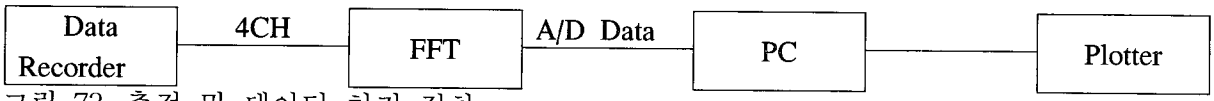


그림 73. 측정 및 데이터 처리 절차

나. 성능시험 평가 기준

연결용 부수대차 성능시험의 평가 기준은 차량 동특성과 관련된 규격인 UIC 518에 명기된 평가 기준을 적용하였으며, 평가 기준은 다음과 같다.

▶평가 기준 : 대차 프레임 좌우 가속도 ≤ 12- Mb/5 (= 10.44 m/s2)

->Mb : 대차 중량 (7.8 톤)

실제 대차 프레임으로부터 측정된 좌우가속도가 상기에 명기된 10.44이하이면 주행 안전성을 만족하여 안전하다고 볼 수 있다.

다. 성능시험 측정 결과

연결용 부수대차 성능시험의 측정 결과는 표 20과 같다.

당해연도 중점검 후 측정된 결과는 기준을 초과하였고, 기준을 초과한 원인은 다음과 같으며, 지속적으로 원인을 개선하여 2007년 9월6일에 시험 결과와 같이 성능평가 기준을 만족하였다.

▶기준 초과 원인

-대차와 차체 배관간 간섭

-TM#5 차량 하중 불균형

-TM#5 차량 공기스프링 레벨링 밸브 조정 불량

-#8 대차의 요댐퍼 불량

표 20 연결용 부수대차 성능시험 측정 결과

일 자	기 준	성능시험 측정 결과	평가	원인개선 사항

2007.6.5	10.44m/s^2	19.33 m/s^2	기준초과	
2007.6.18		13.10 m/s^2	기준초과	대차/차체간 간섭 제거
2007.6.20		13.07 m/s^2	기준초과	TM#5 하중 분포 조정
2007.7.18		12.68 m/s^2	기준초과	TM#5 하중 분포 조정 공기스프링 레벨링 밸브 조정
2007.8.21		11.95 m/s^2	기준 초과	TM#5 하중 분포 조정
2007.9.6		10.17 m/s^2	기준만족	TM#5 및 TT4차량 하중 분포 조정 #8대차 요댐퍼 교체
2007.10.31한		10.17 m/s^2 이하	추가개선	#7대차 요댐퍼 구속조건 변경하여 개선

그림 74에서 그림 75까지는 연결용 부수대차의 시험 결과 그래프를 나타낸 것이다.

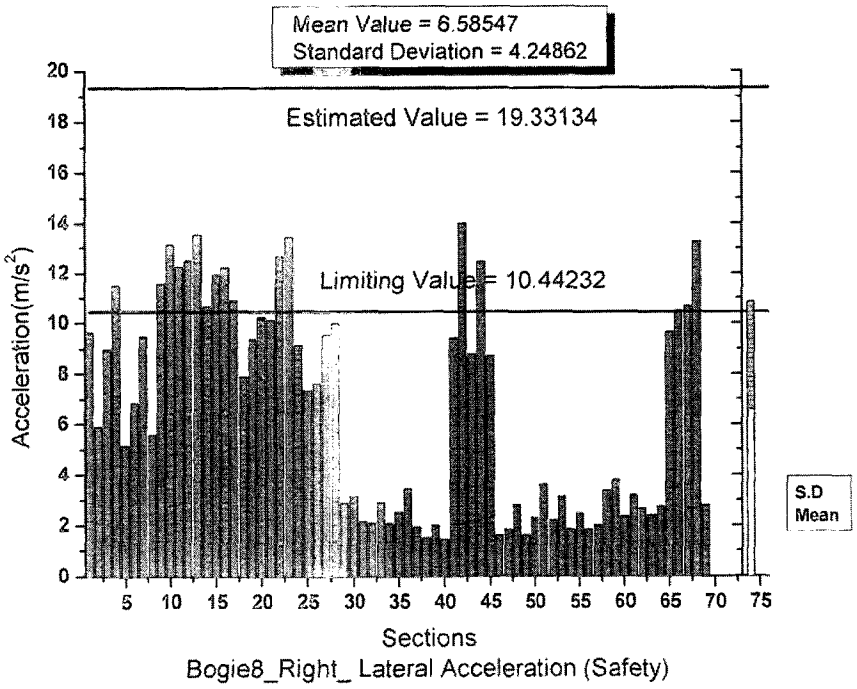
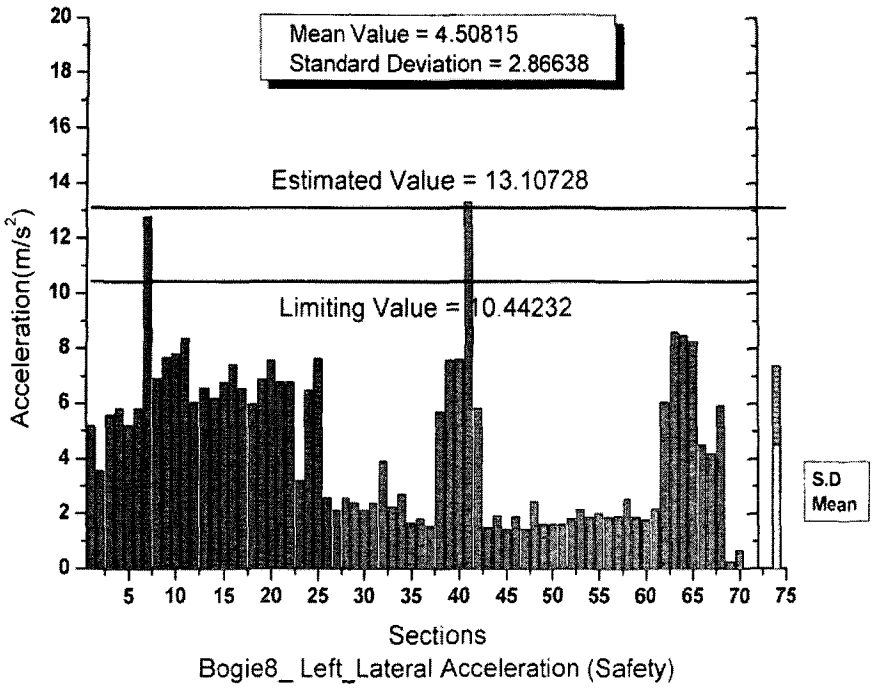


그림 74. 연결용 부수대차 성능시험 결과(2007.6.5)

그림 75. 연결용 부수대차 성능시험 결과(2007.6.18)



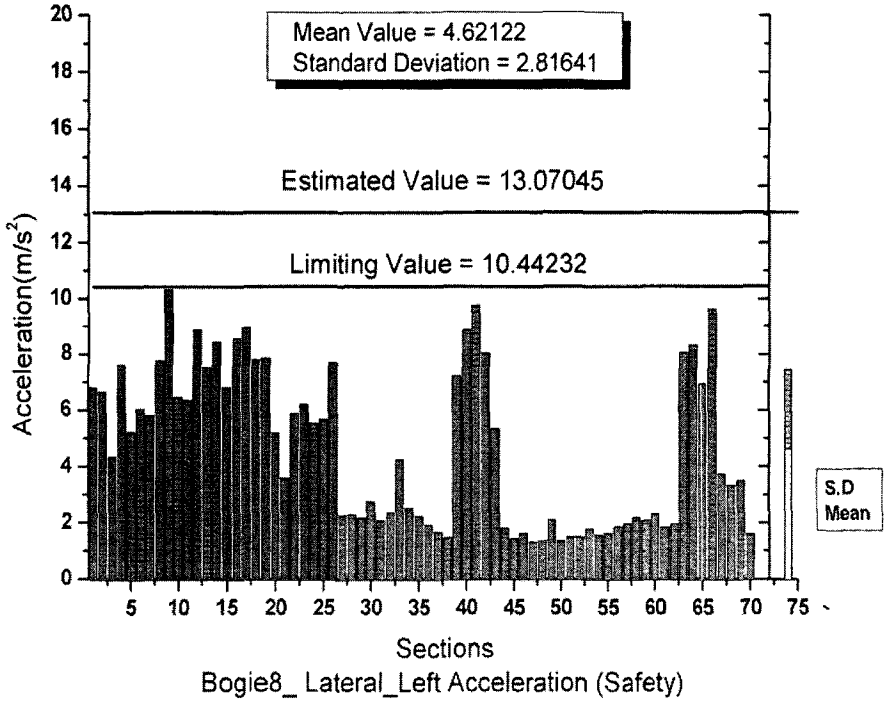


그림 76. 연결용 부수대차 성능시험 결과(2007.6.20)

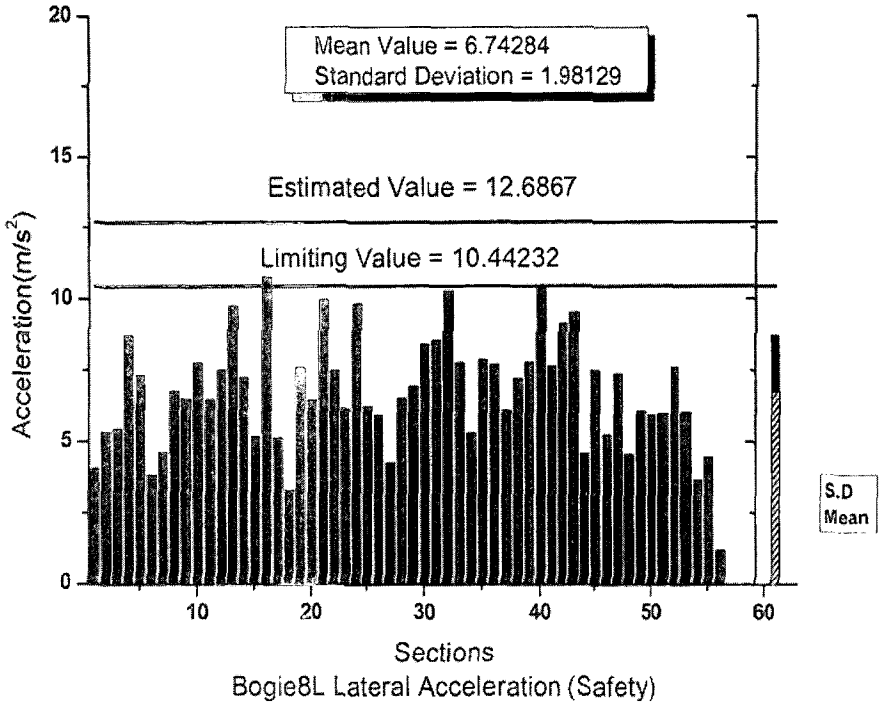


그림 77. 연결용 부수대차 성능시험 결과(2007.7.18)

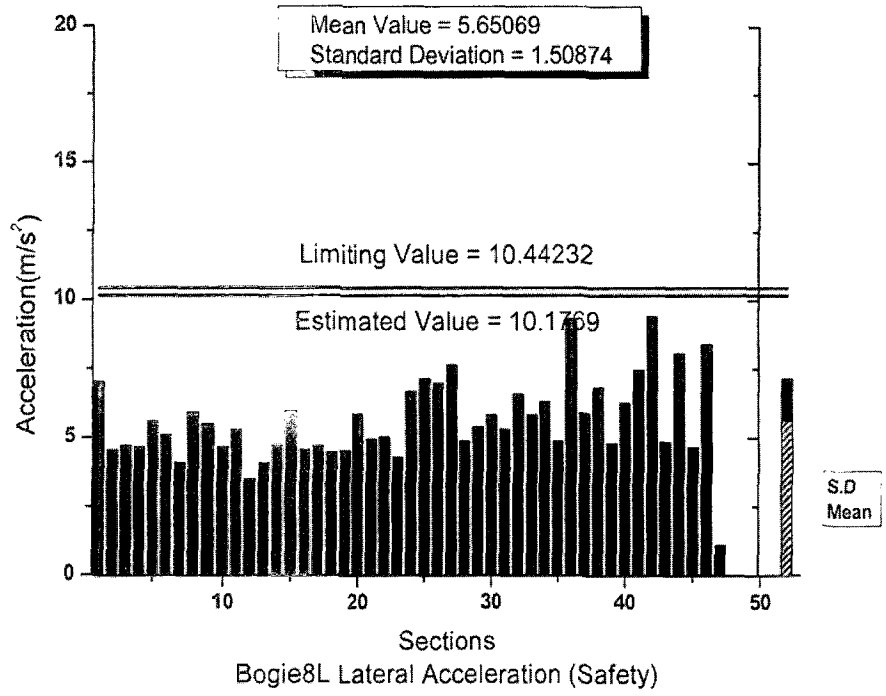


그림 78. 연결용 부수대차 성능시험 결과(2007.9.6)

라. 연결용 부수대차 성능시험 결론

상기의 다항에서와 같이 연결용 부수대차 성능시험의 결과가 초기에는 대차/차체간 간섭 , 하중의 분포, 레벨링밸브 조정등이 맞추어지지 않아서 대차의 주행안전성이 기준을 초과하는 문제가 발생되었으나, 지속적으로 원인을 파악하고 개선하여 기준을 만족하는 수준으로 연결용 부수대차는 UIC518에 규정하는 주행안전성을 충분히 만족한다고 판단된다.

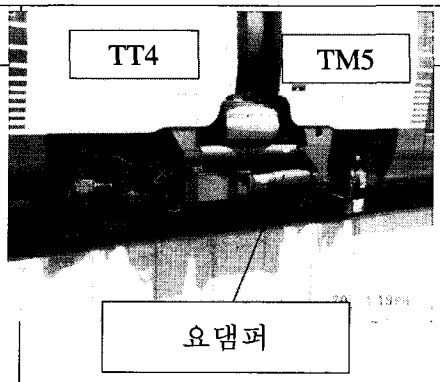
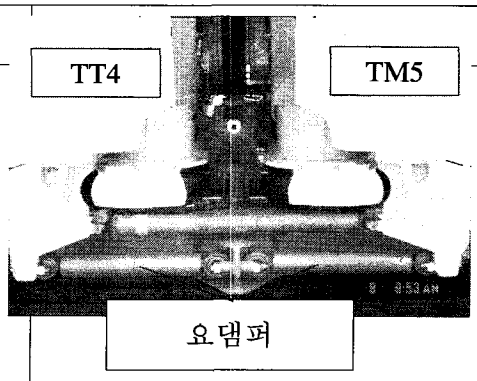
▶추가 개선

일반적으로 UIC518에서 명기하는 주행 안전성에 대한 기준은 안전계수를 포함한 기준으로서 신규대차를 개발할 경우 이 기준을 만족하면 충분한 안전성이 있다고 할 수 있으나, 연결구조체의 개발로 인하여 연결용 부수대차의 인접대차인 #7대차와의 연관관계를 감안한 요댐퍼 구속조건을 수정하여 연결용 부수대차의 안전성을 현재 만족하는 수준 보다 더 개선할 예정이다.

• 요댐퍼 구속 조건 변경 근거

#7대차의 요 댐퍼 구속 상대 비교는 표 1과 같으며, 신규대차는 기존대비 댐핑용량이 1/2로서 Fail-Safe개념을 적용한 것이며, 하기의 요댐퍼 구속에 대한 차량동특성 결과와 같이 구속조건을 변경하면 #8대차의 주행 안전성이 향상될 것으로 사료된다.

표 21. 요댐퍼 구속 상태 비교

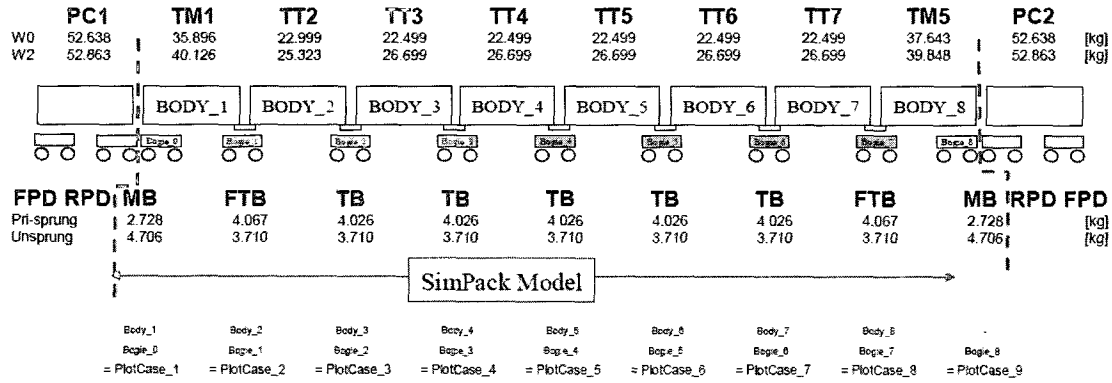
구 분		
댐퍼연결		
차간댐퍼	용량 -> 12 MN.s/m	용량 -> 12 MN.s/m
요 댐퍼	용량	용량

	-> 0.96 MN.s/m	-> 0.48 MN.s/m

◦ 요댐퍼 구속 변경에 대한 차량 동특성 결과

1)차량 모델링

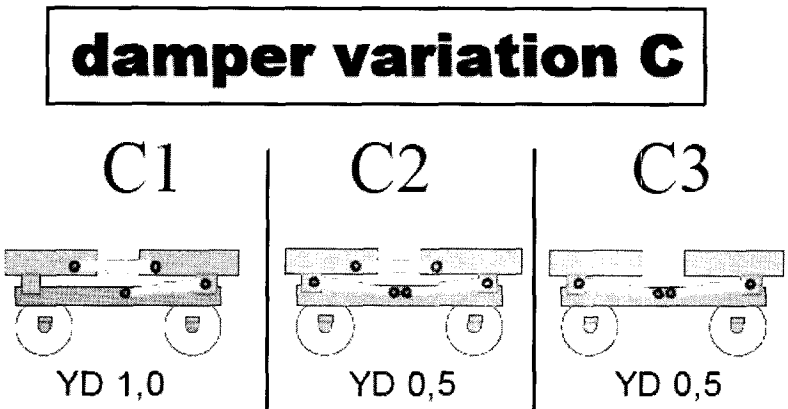
차량 동특성에 적용된 차량 모델은 Rake편성을 적용하였다.



2)대차 댐퍼 적용

#7 대차에 적용되는 댐퍼의 변화는 다음과 같다.

Variation Nr.	Yaw Damper	Body-Body-Damper_low		Anti-Roll	BBD_high	wheel profile	Variation Name
	faktor of charcteristic	gradient faktor (Grd.)	Blow by Force faktor (BbyF)	characteristic faktor	characteristic faktor	toward new line	
1C	1	1	1	1	1	1/40	(C1)_Normal
2C	0,5 (4x YD)	1	1	1	1	1/40	(C2)_YD_4x_05
3C	0,5 (4x YD)	0	0	1	1	1/40	(C3)_YD_4x_05_BBDNA



- Case C1 : 기존
- Case C2 : 기존 요댐퍼 1/2용량 2개 + 기존 댐퍼 1개
- Case C3 : 기존 요댐퍼 1/2용량 2개

• 해석 경계 조건

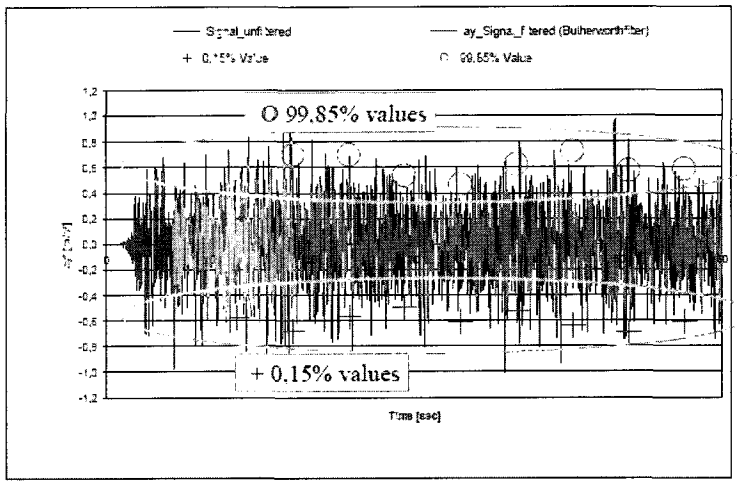
해석에서 이용한 선로 조건을 포함한 경계 조건은 아래와 같다.

New Line							
Rail Profile			UIC60				
Rail inclination			1/20				
Vmax operating			300 km/h				
R_min			7000 m				
Cant			115 mm				
Cant_deficiency			65 mm (aq=0,42m/s²)				
Straight			330 km/h				
Curve	Cant	Radii	Gauge widening	Speed		aq	Cant-Deficiency
	[mm]	[m]	[mm]	[km/h]	[m/s]	[m/s²]	[mm]
	115	7000	5	330	91.67	0,45	65,5

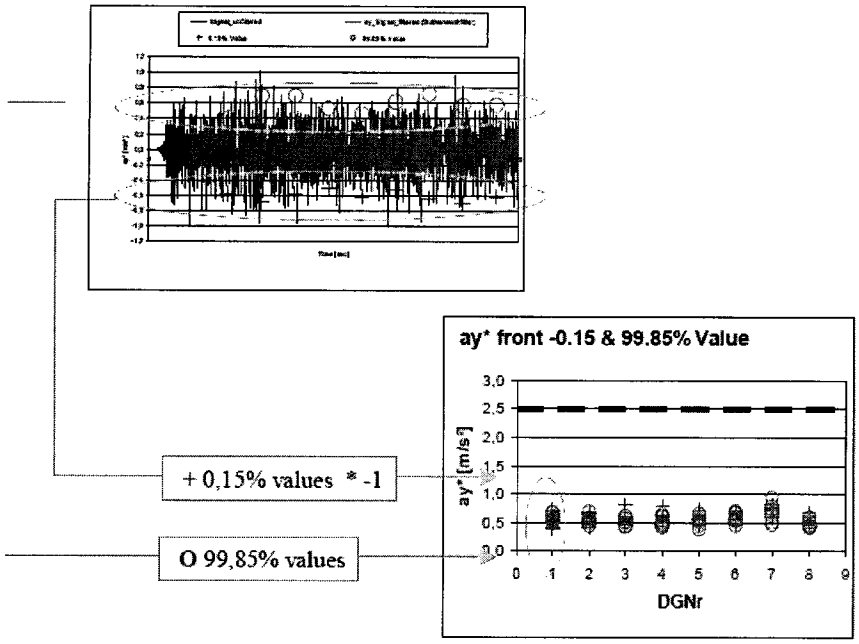
Existing Line							
Rail Profile			KS60				
Rail inclination			1/40				
Vmax operating			160 km/h				
R_min			400 m				
Cant			60 mm				
Cant_deficiency			100 mm (aq=0,65m/s²)				
Straight			176 km/h				
Curve	Cant	Radii	Gauge widening	Speed		aq	Cant-Deficiency
	[mm]	[m]	[mm]	[km/h]	[m/s]	[m/s²]	[mm]
	60	400	10	76	21.09	0,72	110.4

◦ 동특성 결과 표시

아래 그림은 동특성 결과의 샘플이며, 해석에서 표시된 표기설명이다.

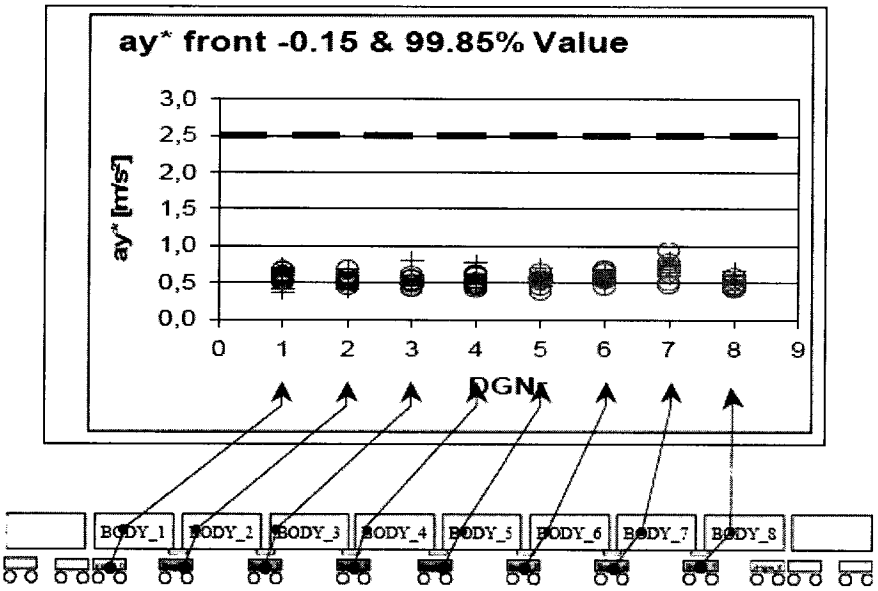


아래 그림의 샘플에서 0.15%와 99.85%는 각 500m 길이 구간에 해당하며, 하나의 구간은 300 km/h 의 주행속도의 경우 6초에 해당한다. 99.85% 값을 (○) 로 표시하였고. 0.15% 값은 (+)로 표시하였다.



• 차량/대차 번호

각 차량/대차의 번호는 아래와 같다..



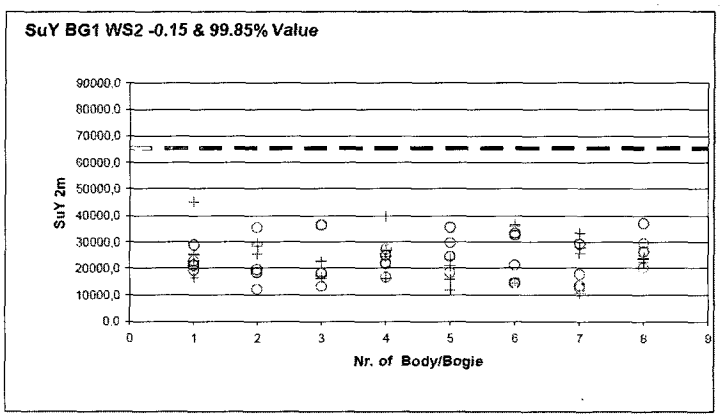
• 동특성 결과

차량 동특성의 결과는 UIC 518에서 명기하는 대차 주행안전성과 관련된 윤축의 횡방향 힘(ΣY), 탈선계수(Y/Q)에 대하여 나타내었다.

▶ 윤축 횡방향 힘

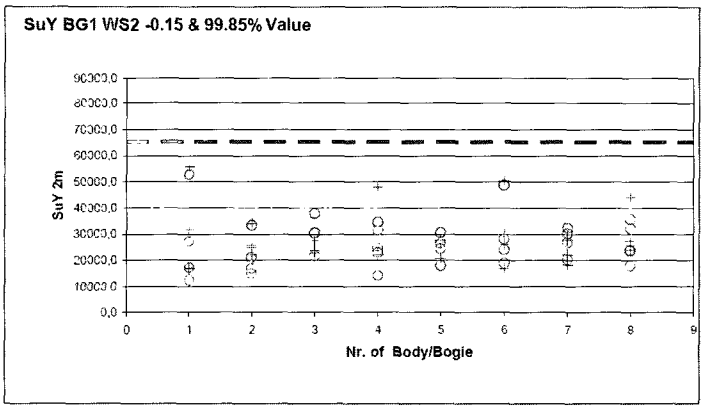
Case 1과 case3가 case 2보다 횡방향 힘에 대한 특성이 좋음.

Case1



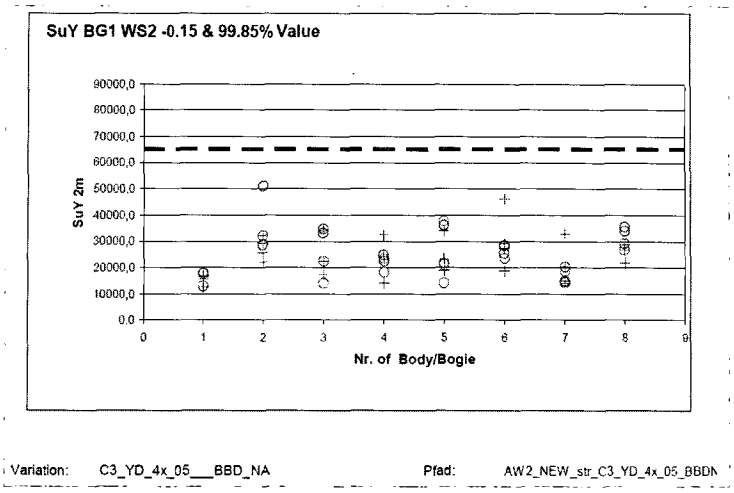
ariation: C1_Normal Pfad: AW2_NEW_str_C1_Normal\

Case2



Variation: C2_YD_4x_05 Pfad: AW2_NEW_str_C2_YD_4x_05\

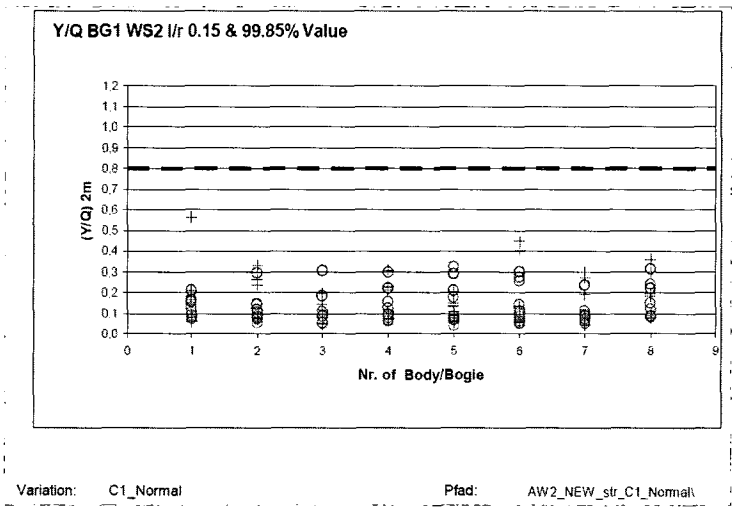
Case3



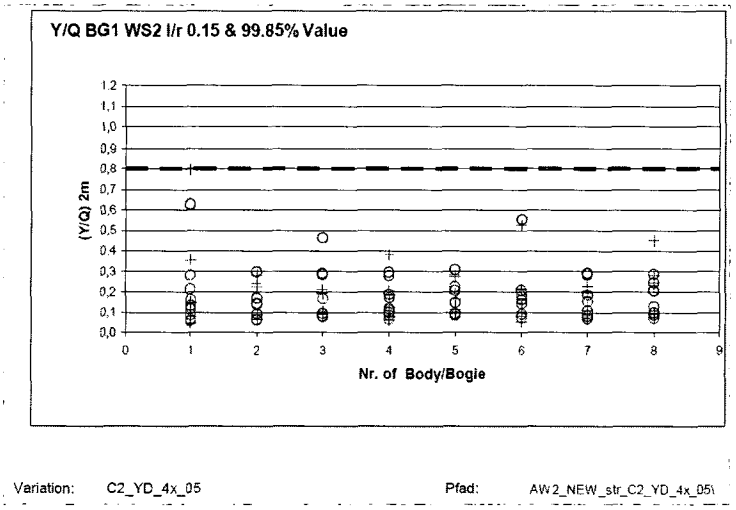
▶ 탈선 계수

Case 1과 case3가 case 2보다 탈선계수의 특성이 좋음.

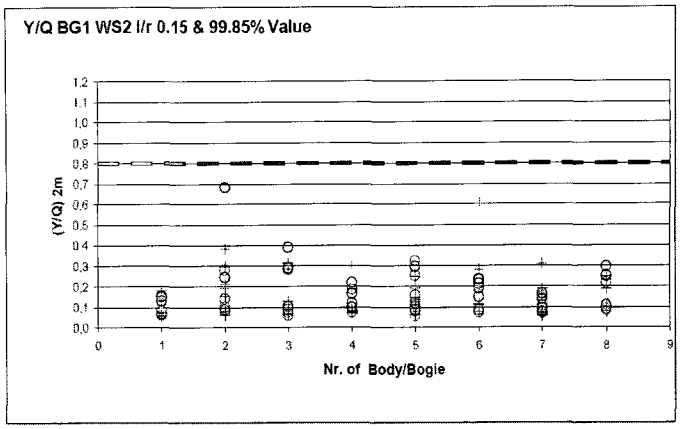
Case1



Case2



Case3



Variation: C3_YD_4x_05___BBD_NA Pfad: AW2_NEW_str_C3_YD_4x_05_BBDN

• 결 론

상기에서 대차의 요댐퍼의 용량과 댐퍼의 적용 여부에 대하여 차량 동특성을 실시한 결과 연결용 부수대차가 적용되는 #8대차의 횡방향 힘과 탈선계수가 요 댐퍼의 구속이 작은 경우인 case 1과 case3가 case 2보다 상대적으로 좋음을 알 수 있다.

연결용 부수대차의 거동에 영향을 주는 것은 댐퍼의 용량보다 댐퍼로 인한 차체와의 구속이 더 큰 영향을 준다고 할 수 있다

따라서, 요 댐퍼의 구속은 기존 KTX 의 연결방식인 Case 1 방안을 채택하여 기존 대차프레임의 횡방향 가속도가 다소 높게 나타난 사항을 개선하고자 한다.

4. 연결구조체의 취부를 위한 차체 변경

가. 개요

본 내용은 한국형 고속열차 차량안정화 사업의 일환인 독자적인 신규관절 개발에 따른 차체에 장착을 위한 차체 Modification 내용이다.

나. 현황

(1) 현황

- 기존 차량간 연결장치는 KTX의 개념을 근간으로 개발된 구조이므로 신규연결구조체 취부를 위한 차체 수정(Modification)이 필요하며(객차대차)
- #8번 대차는 동력대차의 기능이고, 신규대차는 동력장치가 없는 부수대차(기존 객차대차 활용)로 이를 취부 할 수 있도록 차체 개조가 필요함.



그림 1. TT4 차체 단부(케링링 쪽)



그림 2. TM5 차체 단부(픽스링 쪽)

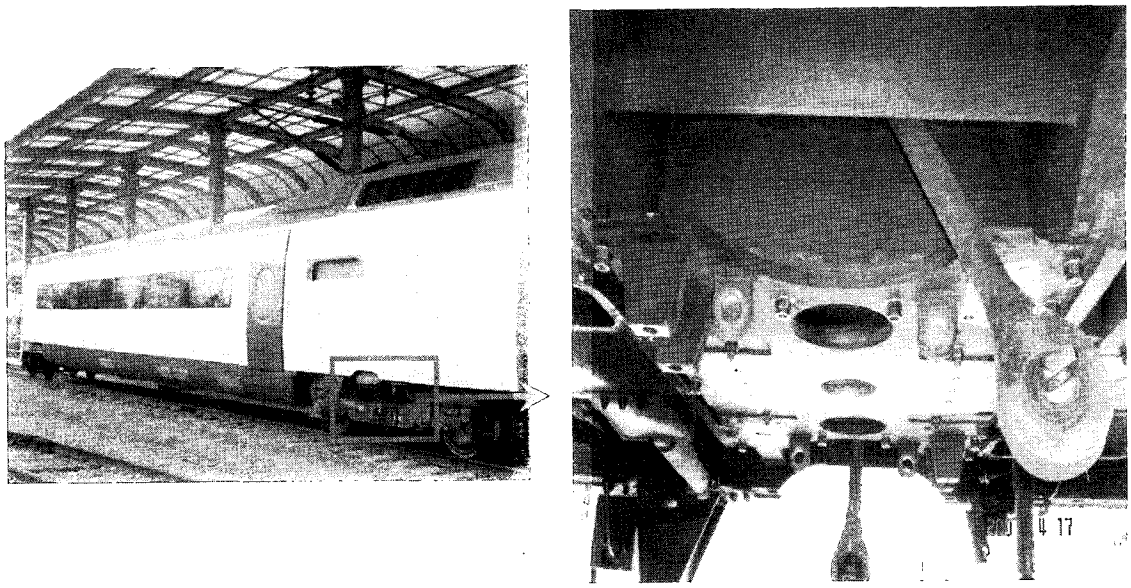


그림 3. TM5 차체 #8 동력대차 부위

(2) 구조해석

- 신규관절 취부를 위한 신규브라켓(그림9~11)의 구조강도적 검토를 위한 해석은 금년초 독일의 Logomotive社에서 수행, 완료하였다(첨부 참조)

다. 개조작업 내용

(1) 작업 일정('07.4.2~5.9)

작업명	2007 4월 1 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 / 5월 2 4 6 8 9 10	비고
연결링 취부를 위한 구체 수정 작업		
- 기존 차량 탈거(Carrying 링,Fixed링, 갱웨이 등)		
- 단부측 End panel, 실내 및 실외 기기류/설비품류 탈거		
- 단부 배전반 탈거 및 Junction box 케이블 해제		
- 단부 suspension panel 탈거, 배관 제거		
- 신규관절을 위한 차체 구조체(Articulation bracket, Airbag support, Damper bracket) 조립		
- 단부 신규배관 조립, 단부 Junction box 케이블 조립		
- 단부 배전반 및 Junction box 케이블 원위치		

(2) 작업 부위

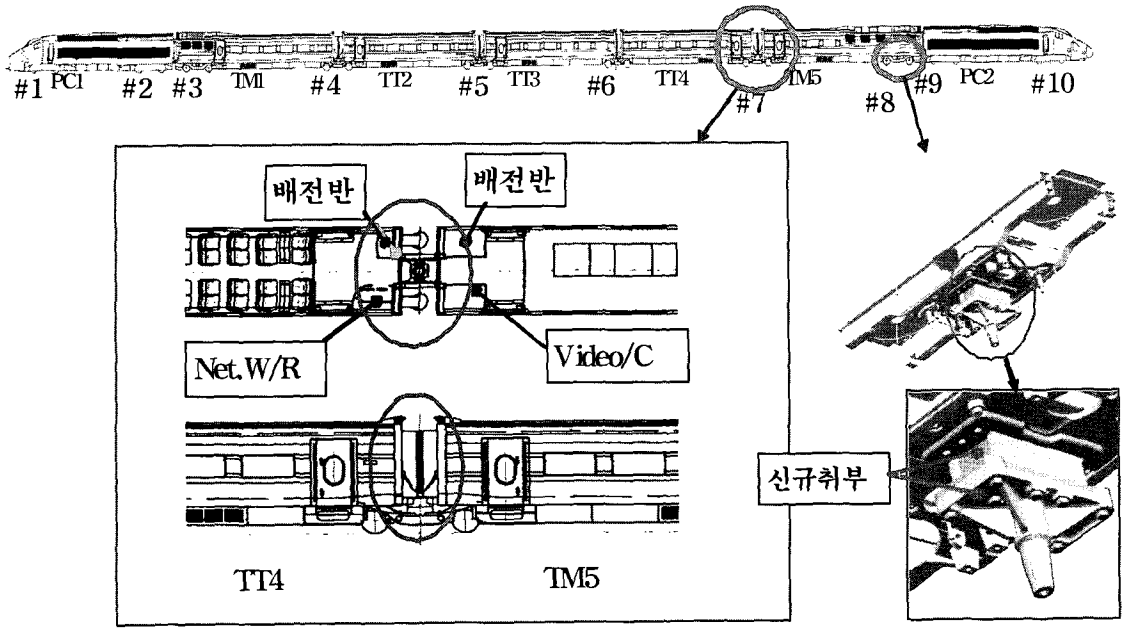


그림 4. 현차 개조 작업부위

(3) 작업 내용

- 차체단부(#7 대차)

1) 기존 차량의 구조물 탈거(Carrying 링, Fixed링, Air-bag지지대, 갱웨이 등)

2) 단부측 End panel,실내 및 실외 기기류/설비품류 탈거

3) 단부 배전반 탈거 및 Junction box 케이블 해체

4) 단부 suspension panel 탈거, 배관 제거

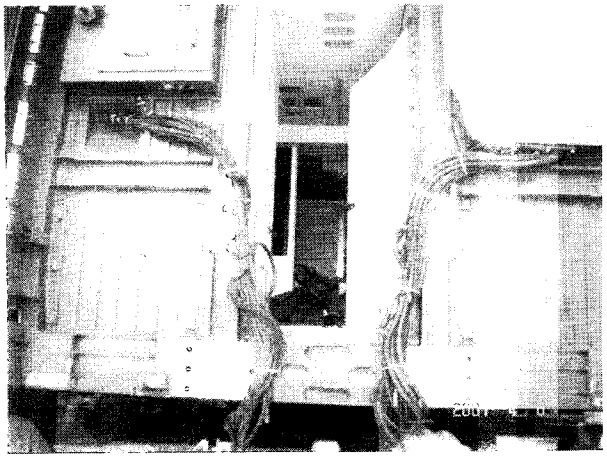


그림 5. 기존 차량 탈거(링 및 갱웨이)

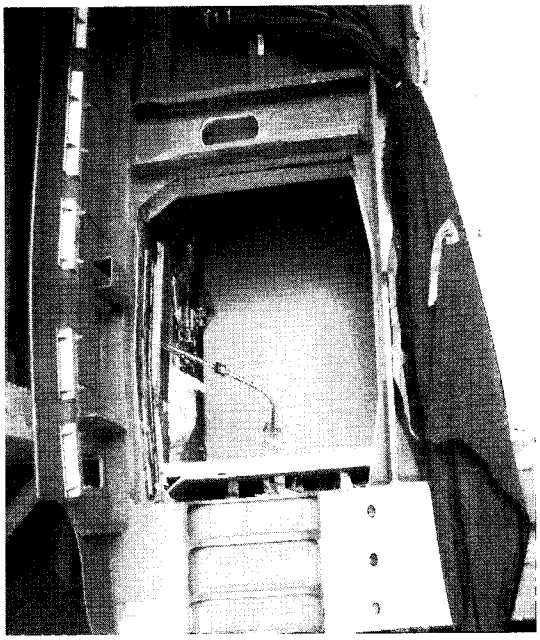


그림 6. 단부측 End panel,실내 및 실외 기기류/설비품류 탈거

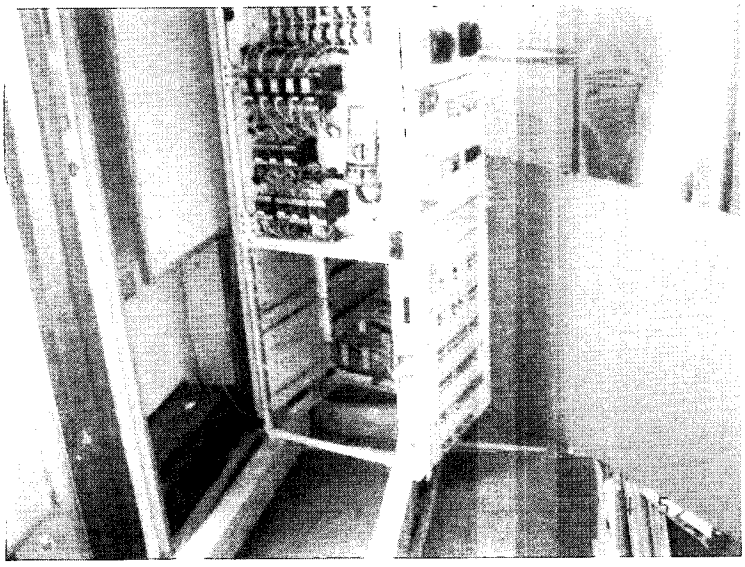


그림 7. 단부 배전반 탈거 및 Junction box 케이블 해체

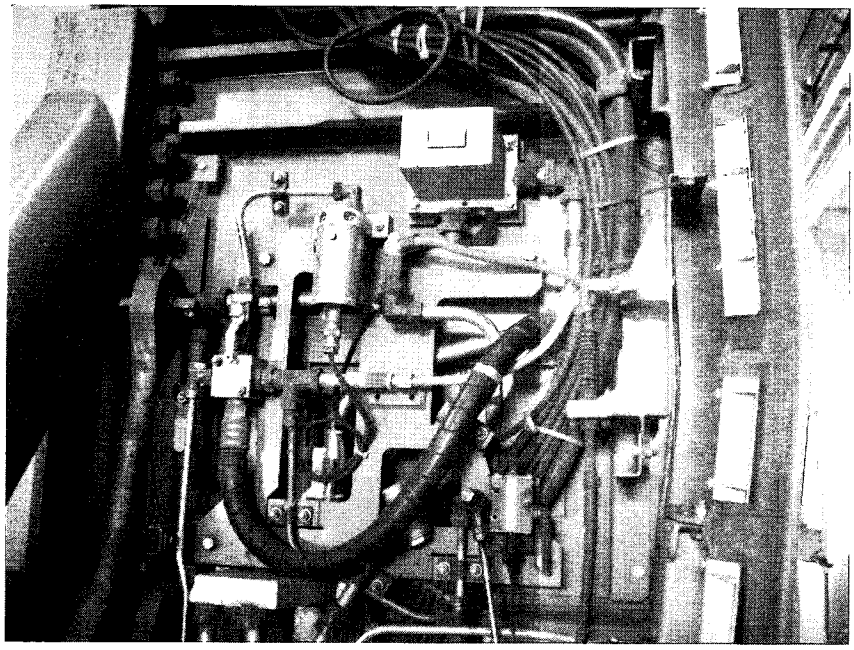


그림 8. 단부 suspension panel 및 배관 제거 전

5) 신규관절을 위한 차체 구조체 조립

한국형 고속열차 차량은 제작된지 5~6년이 지났기에, 이에 개조는 용접대신 볼팅으로 신규 부품을 장착함으로써 용접으로 인한 변형 및 차체강도의 손실을 줄이고자 노력하였다.

신규취부품은 다음과 같다.

① Airbag support(TT4 단부:2개, TM5 단부:2개)

② Articulation bracket(TT4 단부:1개, TM5 단부:1개)

③ Damper bracket(TT4 단부밑:2개, TM5 단부밑:2개)

6) 단부 신규배관 조립,단부 Junction box 케이블 조립

7) 단부 배전반 및 Junction box 케이블 장착(원위치)

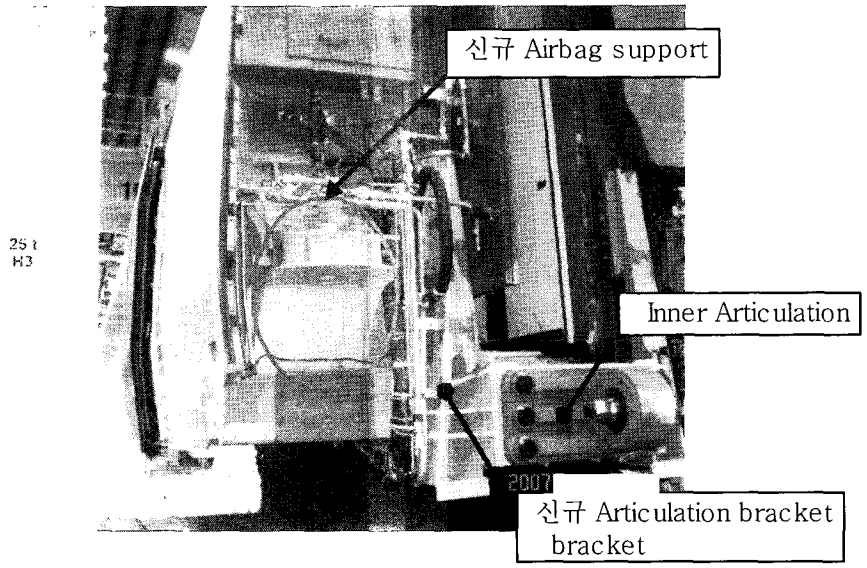


그림 9. 신규 브라켓 및 배관 취부(TM5 단부)

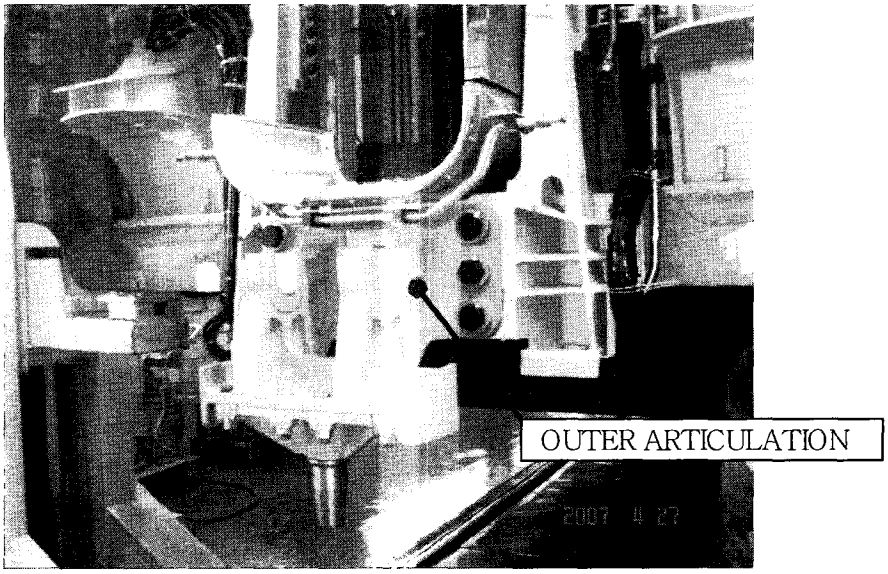


그림 10. 신규 브라켓 및 배관 취부(TT4 단부)

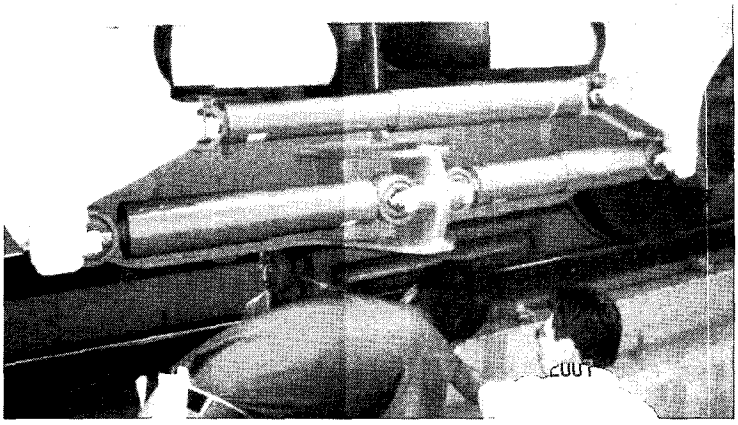


그림 11. 댐퍼 브라켓 및 댐퍼 취부

- TM5 볼스타 하부(#8 대차)

1) 기존 차량 부품 탈거(기존 Center pivot 등)

2) 신규 연결용 부수대차 브라켓(Center pvot bracket) 취부

3) 탈거된 덕트 등의 열린 공간 막음 처리

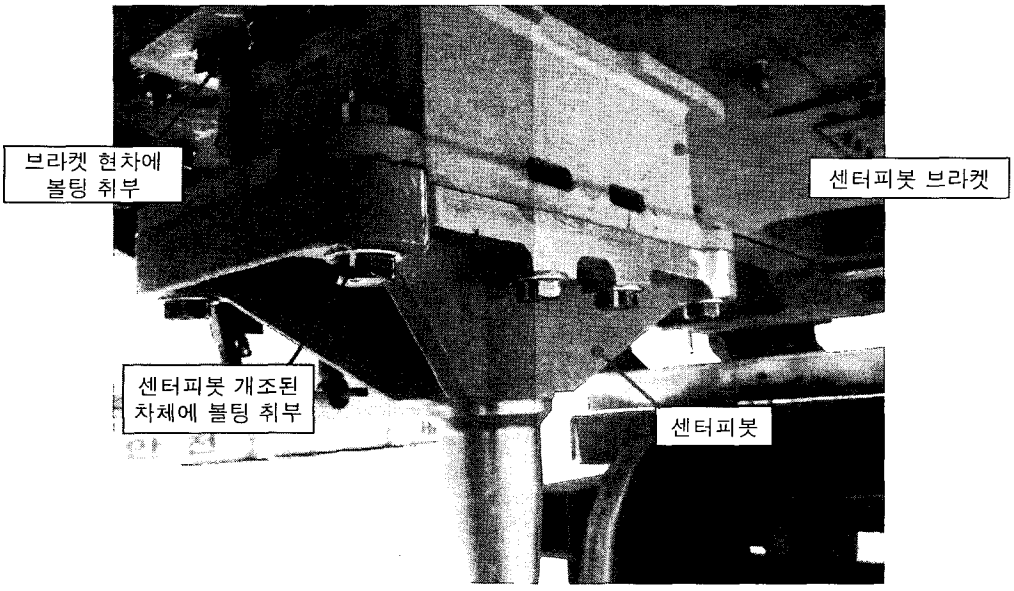


그림 12. 신규 부수대차(#8) 취부를 위한 센터피봇

라. 결론 및 향후활용

신규관절 기술 확보를 위하여 신규관절 개발, 취부작업을 완료하였으며, 그동안(5차년도)의 시운전을 통하여 어느정도의 신뢰성은 확보하였다고 판단된다.
이로인해 추후, 독자 관절구조의 차량제작에 활용 가능한 기술확보 라는, 큰 수확을 얻은 것으로 사료된다.

그러나 기존 차량의 개조를 통한 장착으로, 외형적인 미려함은 다소 부족해 보이며 이는 향후 차량 제작시 설계단계에서부터 반영해 나가면 해결될 것으로 사료된다.

마. 첨부

신규 브라켓류의 구조해석 자료(독일,Logomotive社)

Structural Strength Analysis
Brackets of a new articulation device for G7 high speed train

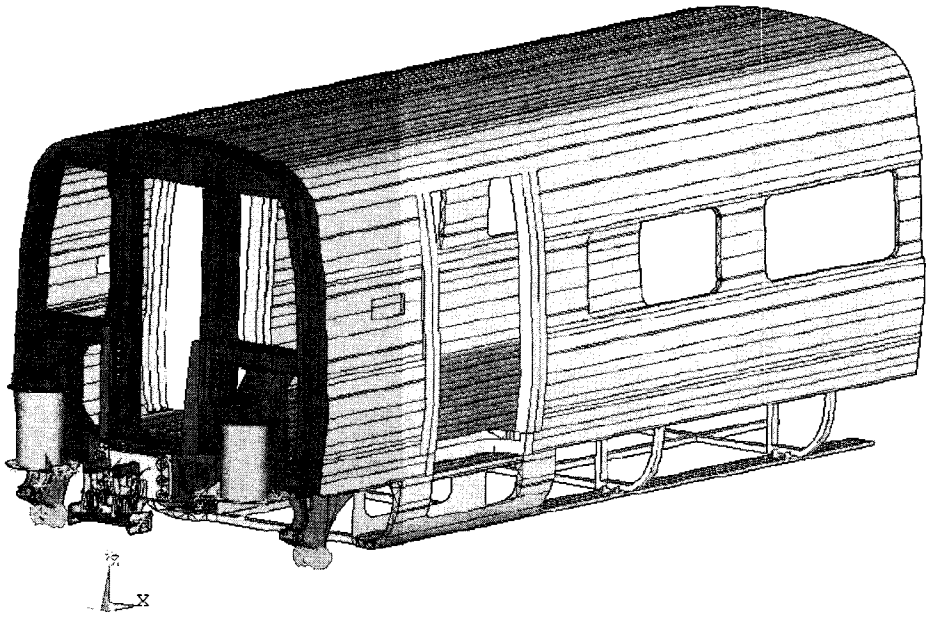
Damper Bracket

Overwiew
Analysis of the brackets of an new articulation device

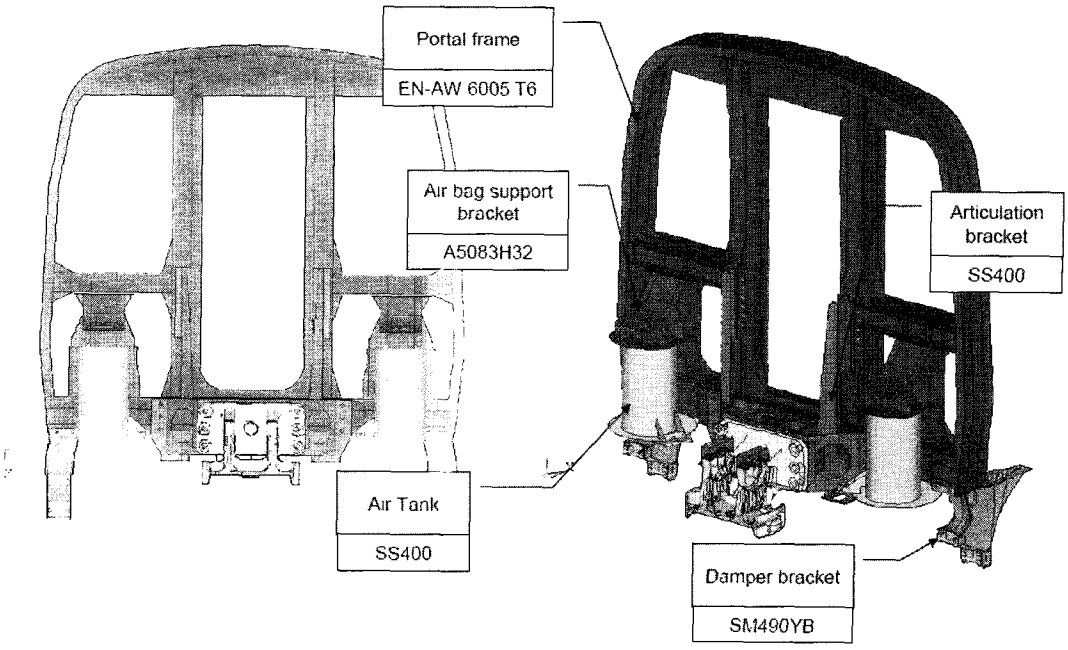
- Geometry and Material
- Modelling and Assumptions
- FE-Modells of the Brackets
- Material Properties (basic material / weld joints)
  - Nomenclature of weld types
  - EN-AW 5083 H32
  - EN-AW 6005 T6
  - SS 400 / SM 490 YB
- Load case combinations
- Load introductions
- Results
  - damper bracket
  - air bag support bracket (outer brackets)
  - articulation bracket (inner brackets)

Geometry and Material

Overall Model
Carbody / Brackets



Overall Model
Carbody / Brackets



Modelling and Assumptions

Modelling and Assumptions

• From the CAD solid model of the brackets a mid-faces are created

• The mid faces are meshed with linear shell elements. Mainly quads are used. The global element size is 10 to 15 mm.

• The brackets are connented to the structure of the carbody by bolted joints. The bolts are modelled with beam elements which have the geometric properties of the bolts. The connection between the beam and shell elements is done by coupling the translational displacements. In the FE-model it is assumed that forces are only transfered by the beams (moments are exlcluded due to the coupling)

• All translations of the carbody are fixed in the cutting section.

• The loads are applied as single forces. The load introduction points are documented in the chapter/foil „Applied Loads"

• A linear elastic material behaviour is assumed.

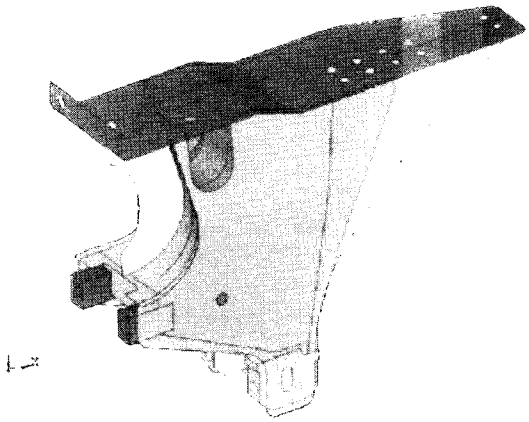
• For the stress evaluation of the basic material and the welds, nodal values of the equivalent stress are analysed.

• The thickness of the weld lines is assumed to be the same as the thickness of the metal sheets. If the weld thickness is smaller than the sheet thickness the calculated stresses in the sheets have to be increased.

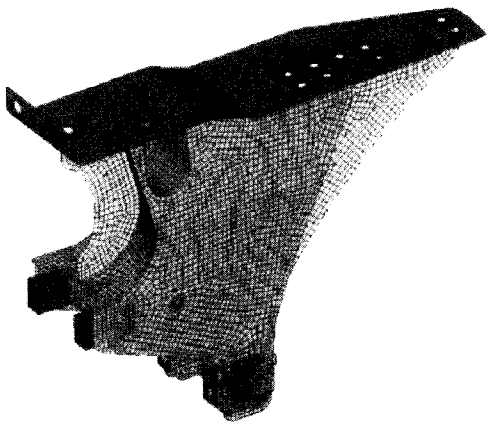
FE-Models of the Brackets

FE-Model
Damper bracket

The brackets are designed of welded steel sheets. The brackets are mounted to the structure of the carbody by bolt joints.



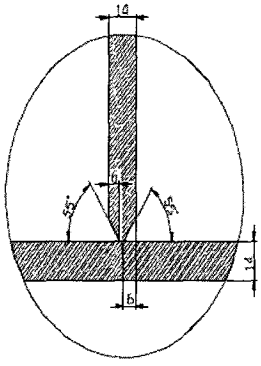
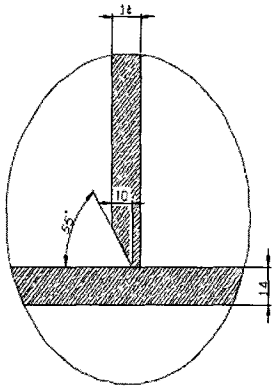
mid-face model



FE-mesh

Material Properties

Nomenclature of weld types

Picture of weld type:		
We call this weld type:	Double-bevel butt joint with broad root face or „K-weld“	Bevel seam „HV-weld“, Same properties as fillet weld

Please notice:
when talking about weld types, we will refer to „K-weld“ of „fillet weld“

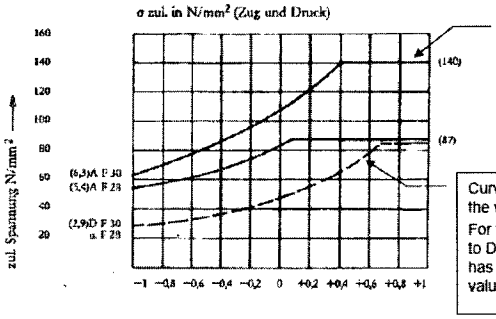
Material Data DVS 952
Mechanical Properties for aluminium
EN AW 5083 H32

Aluminium Alloy EN AW 5083 H32

Mechanical Strength Data
DIN EN 485-2 (03/95)

Tensile Strength R_m	305 N/mm²
Yield Strength R_e	215 N/mm²
Elongation at Break	9 %

DVS 952 Appendix II/5



Curve used for evaluation of the basic material

Curve used for evaluation of the welding
For fillet welds corresponding to DIN 5513 a factor of 0.65 has to be applied to the values of curve D

Annotations DVS 952

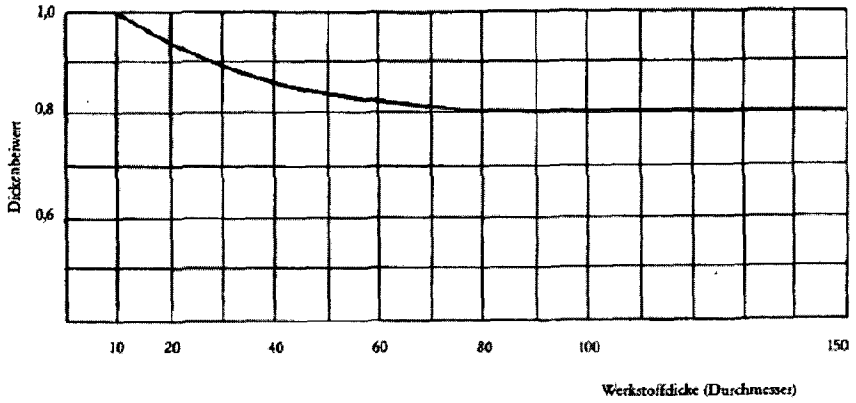
(24) The admissible stress for aluminium alloy Al Mg 4,5 Mn (EN AW 5083) are taken from data sheet DVS 1608 and calculated taking into account a safety factor S=1.5.
The admissible stresses are documented in appendix II/5.

(25) For wall thickness larger than 10 0mm for both steel and aluminium alloy a decrease of the admissible stresses has to be taken into account. The influence of the material thickness on the fatigue strength is documented in appendix II/8

Material Data EN AW 5083 H32

DVS 952 Appendix II/5

Einfluß der Werkstoffdicke (Durchmesser) auf die Dauerfestigkeit von Stahl und Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen



Material Data EN AW 5083 H32

Admissible stress values
EN AW 5083 H32
Basic Material

basic material	static strength					
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness	mechanical strength [N/mm²]		safety factor	admissible stress [N/mm²]	local plasticing
0.0mm < t < 40.0mm	1.0	tensile strength	305	1,20	**254**	limited to 5% total strain
		yield strength	215	1,15	**187**	allowed

For the admissible fatigue strength a safety factor S=1.25 is applied on the curves of the DVS 952

basic material		admissible fatigue strength S=1.25 [N/mm²]		
		stress ratio		
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness	R=-1	R=0	R=0.4
0.0mm < t < 10.0mm	1.0	**50,4**	**86,4**	**112**
10.0mm < t 15.0mm	0.95	**48**	**82,4**	**106,4**

Material Data EN AW 5083 H32

Admissible stress values
EN AW 5083 H32
Weld Joints

fillet weld		admissible static strength					
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness		mechanical strength V-weld [N/mm²]		safety factor	factor fillet weld / V-weld	admissible stress [N/mm²]	local plasticing
0.0mm < t < 15.0mm	1.0	tensile strength	197[1]		1,20	0,65	101	limited to 5% total strain
		yield strength	132		1,15	0,65	75	allowed

1) calculated from the (yield strength of the weld) x (ratio Rm/Re of the basic material)

For the admissible fatigue strength a safety factor S=1.25 is applied on the curves of the DVS 952

weld		admissible fatigue strength S=1.25 [N/mm²]						
		K-weld			fillet weld			
		stress ratio				stress ratio		
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness	R=-1	R=0	R=0.65	factor fillet weld / V-weld	R=-1	R=0	R=0.65
0.0mm < t < 10.0mm	1	23,2	38,4	69,6	0,65	15,2	24,8	45,6
10.0mm < t 15.0mm	0,95	22,0	36,5	66,1		14,4	23,2	43,2

Material Data EN AW 5083 H32

Material data
extrusion profiles

	Yield strength (N/㎟)	Tensile strength (N/㎟)	elongation (%)	Remark
SS400	245 ↑	400~510	17 ↑	Adapter bracket(Steel) : **Articulation bracket**
SMA490YB	365 ↑	490~610	15 ↑	Damper bracket(Steel)
A5083-O	118 ↑	275 ↑	14 ↑	Airbag support(Al)
A6005-T6	215 ↑	265 ↑	8 ↑	Extrusion of Shape (Al)

Material Data EN AW 6005 T6

Material Data DVS 952 / DVS 1608
Mechanical Properties for aluminium
EN AW 6005 T6

Aluminium Alloy EN AW 6005 T6	
Mechanical Strength Data DIN EN 755 -2 (08/97)	
Tensile Strength R_m	270 N/mm²
Yield Strength R_e	225 N/mm²
Elongation at Break	10 %

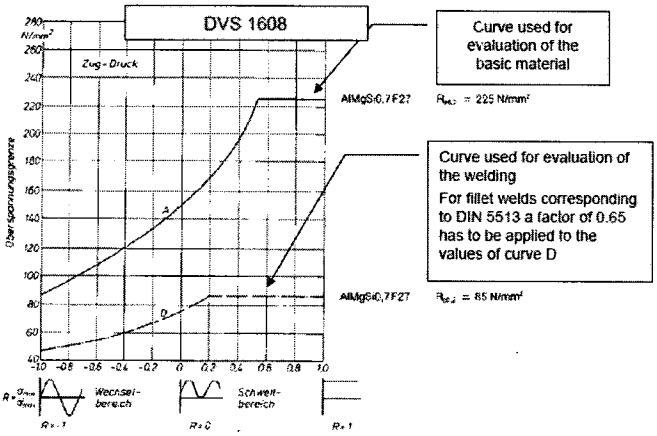


Bild 4. Grenzwerte für AlMgSi0,7 nach DIN 1725 Teil 1, ungeschweißt und geschweißt (Richtwerte)

Annotations

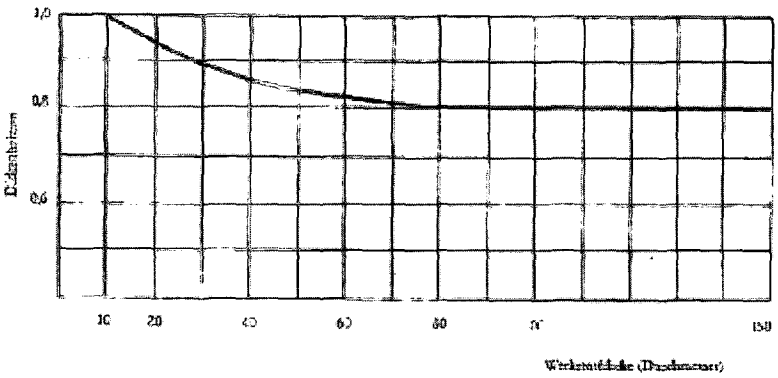
In correspondence with the DVS 952 a factor of 1.5 has to be applied on the curves of the DVS 1608.

In correspondence with DVS 952 for wall thickness larger than 10.0mm for both steel and aluminium alloy a decrease of the admissible stresses has to be taken into account. The influence of the material thickness on the fatigue strength is documented in appendix II/8 of the DVS 952

Material Data EN AW 6005 T6

DVS 952 Appendix II/5

Influence of the wall thickness (diameter) on the fatigue strength of steel and aluminium alloy



Material Data EN AW 6013 T6

Admissible stress values
EN AW 6005 T6
Basic Material

basic material	static strength					
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness	mechanical strength [N/mm²]		safety factor	admissible stress [N/mm²]	local plasticing
0.0mm < t < 25.0mm	1.0	tensile strength	265	1,20	**221**	limited to 5% total strain
		yield strength	215	1,15	**187**	allowed

For the admissible fatigue strength a safety factor S=1.25 is applied on the curves of the DVS 952

basic material		admissible fatigue strength S=1.25 [N/mm²]		
		stress ratio		
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness	R=-1	R=0	R=0.55
0.0mm < t < 10.0mm	1.0	**46,9**	**80,0**	**120,0**
10.0mm < t < 15.0mm	0.95	**44,6**	**76,0**	**114,0**

Material Data EN AW 6005 T6

Admissible stress values
EN AW 6005 T6
Weld Joints

fillet weld		factor taking into account						
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness		mechanical strength V-weld (curve D) [N/mm²]		safety factor	admissible stress K-weld [N/mm²]	factor fillet weld / V-weld	admissible stress fillet weld [N/mm²]	local plasticing
0.0mm < t < 15.0mm	1.0	tensile strength	105[1]		1,20	87,0	0,65	56,6	limited to 5% total strain
		yield strength	85		1,15	74,0	0,65	48,1	allowed

1) calculated from the (yield strength of the weld) x (ratio Rm/Re of the basic material)

For the admissible fatigue strength a safety factor S=1.25 is applied on the curves of the DVS 1608

weld		admissible fatigue strength S=1,25 [N/mm²]						
		K-weld			fillet weld			
		stress ratio				stress ratio		
thickness	factor taking into account the influence of wall thickness	R=-1	R=0	R=0,2	factor fillet weld / V-weld	R=-1	R=0	R=0,2
0,0mm < t < 10,0mm	1	25,6	41,6	46,3	0,65	16,6	27,0	29,5
10,0mm < t < 15,0mm	0,95	24,3	27,0	43,1		15,8	25,7	28,0

Material Data EN AW 6005 T6

Material Data DIN 15018
Mechanical Properties for structural steel

For the evaluation of the steel components the admissible stress curves provided by the DIN 15018 are used. The DIN 15018 contains two material curves for welded steel components with comparable mechanical properties as the given material SS400 (air tank, articulation bracket) and SM 490 YB (damper bracket).

	RSt 37-2	SS 400	ST 52-3	SM 490 YB
yield strength, R_e [N/mm^2]	235	245	355	365
tensile strength, R_m [N/mm^2]	360	400-510	510	490-610

Material Data SS 400 / SM 490 YB

Material Data
Steel components, weld joints
static strength

	conversion factor	weld joints, static strength admissible tensile strength normal to weld line [N/mm²]	
	=1.1*4/3 / 1.15	V-weld / K-weld	HV-weld / fillet weld
Steel			
SS 400	1,275	204	162
SM 490 YB	1,275	306	244

Material Data SS 400 / SM 490 YB

Material Data
Steel components, weld joints
static strength

General:

The stress values for the assessment of the static strength of the welds of the steel components are taken from the DIN 15018 (cranes, principles for steel structures, stress analysis)

The given static load cases are categorized to the load group HS (=extraordinary load cases) of the DIN 15018. For the admissible weld stresses of the HS load group an factor of 1.1 is applied on the admissible stress values of the load group HZ.

The admissible weld stress of the DIN 15018 include a safety factor of 4/3. These values are adjusted to a safety factor of 1.15

Thus the conversion factor applicable on the tabular values of the DIN 15018 is:

$$F_{conversion} = (4/3\ /1.15) \times 1.1 = 1.275$$

basic values of admissible stresses for a weld joints including a safety factor of S=4/3

Tabelle 11. Zulässige Spannungen in Schweißnähten beim Allgemeinen Spannungsnachweis

Stahlsorte der verschweißten Bauteile		Lastfall	admissible equivalent stress	admissible tensile strength $zul\ \sigma_{wz}$ N/mm²			admissible compressive strength $zul\ \sigma_{wd}$ N/mm²		zulässige Schub-spannung $zul\ \tau_w$ N/mm²
Kurzname	nach		alle Nahtarten	Butt weld K-weld extra quality	K-weld	Fillet weld	Butt weld K-weld	Fillet weld	alle Nahtarten
St 37 *)	DIN 17 100	H	160		140	113	160	130	113
		HZ	180		160	127	180	145	127
St 52-3	DIN 17 100	H	240		210	170	240	195	170
		HZ	270		240	191	270	220	191

*) Alle Gütegruppen, Erschmelzungs- und Vergießungsarten.

Material Data SS 400 / SM 490 YB

H : main loads
HZ: main loads plus additional loads
HS: main loads plus exceptional loads

Material Data
Steel components, weld joints
static strength

	conversion factor	weld joints, static strength admissible tensile strength normal to weld line [N/mm²]	
	=1.134/3 / =1.15	V-weld / K-weld	HV-weld / fillet weld
Steel			
SS 400	1.275	204	162
SM 490 YB	1.275	306	244

Material Data, DIN 15018
Steel components, basic material and weld fatigue strength

General:

The stress values for the assessment of the fatigue strength of the steel components are taken from the DIN 15018 (cranes, principles for steel structures, stress analysis)

The admissible stress amplitudes of the DIN 15018 include a safety factor of 4/3. These values are valid for a probability of survival of 90.0%.

The fatigue values of the DIN 15018 are adjusted to a probability of survival of 97.5% and a safety level of S=1.25.

The factor for converting the probability of suvival from 90.0% to 97.5% is 1.12 (according to Zammert)

Thus the conversion factor applicable on the tabular values of the DIN 15018 is:

$$F_{conversion} = 4/3 /(1.12 \times 1.25) = 0.95$$

Material Data SS 400 / SM 490 YB

Material Data, DIN 15018
Steel components, basic material and weld fatigue strength

Assessment of fatigue strength: basic values of admissible stresses for a stress ratio of R=-1

Tabelle 17. **Grundwerte der zulässigen Spannungen zul $\sigma_{(1)-1}$ in N/mm² für $\varkappa = -1$ in Bauteilen beim Betriebsfestigkeitsnachweis**

Stahlsorte	St 37			St 52-3			St 37					St 52-3				
Kerbfall	W 0	W 1	W 2	W 0	W 1	W 2	K 0	K 1	K 2	K 3	K 4	K 0	K 1	K 2	K 3	K 4
Beanspruchungsgruppe	Zulässige Spannungen zul $\sigma_{(1)-1}$ für $\varkappa = -1$															
B 1	160	180	180	270	270	247,2	180	180	180	180	152,7	270	270	270	254	152,7
B 2			168		249	199,2				180	108			252	180	108
B 3		161,4	141,3	252,2	200,6	160,5			178,2	127,3	76,4	237,6	212,1	178,2	127,3	76,4
B 4	169,7	135,8	118,8	203,2	161,1	129,3	168	150	126	90	54	168	150	126	90	54
B 5	142,7	114,2	99,9	163,8	130,3	104,2	118,8	106,1	89,1	63,6	38,2	118,8	106,1	89,1	63,6	38,2
B 6	120	96	84	132	105	84	84	75	63	45	27	84	75	63	45	27

Das Stufenverhältnis zwischen den Spannungen zweier aufeinanderfolgenden Beanspruchungsgruppen beträgt bei den Kerbfällen W 0 bis W 2 für St 37: 1,1892 und für St 52-3: 1,2409; bei den Kerbfällen K 0 bis K 4 für St 37 und St 52-3: 1,4142

Basic material

Corresponding notch factor of a K-weld

Material Data SS 400 / SM 490 YB

Material Data, DIN 15018
Steel components, basic material and weld fatigue strength

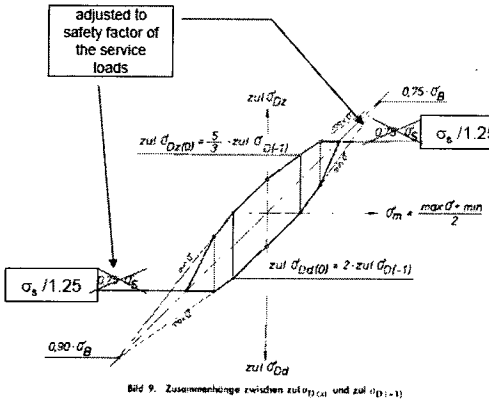


Bild 9. Zusammenhänge zwischen zul $\sigma_{D(x)}$ und zul $\sigma_{D(-1)}$

Calculation of the admissible upper stress depending on the stress ratio R(=lower stress / upper stress)

Tabelle 18. Gleichungen für die zulässigen Oberspannungen nach Bild 9 in Abhängigkeit von $\varkappa$ und zul $\sigma_{D(-1)}$ nach Tabelle 17

Wechselbereich		
$-1 \le \varkappa \le 0$ alternating stress	tension	zul $\sigma_{Dz\,(\varkappa)} = \frac{5}{3-2\varkappa}$ zul $\sigma_{D(-1)}$
	compression	zul $\sigma_{Dd\,(\varkappa)} = \frac{2}{1-\varkappa}$ · zul $\sigma_{D(-1)}$
$0 \le \varkappa < +1$ swelling stress	tension	zul $\sigma_{Dz\,(\varkappa)} = \frac{\text{zul } \sigma_{D\,(0)}}{1-\left(1-\frac{\text{zul } \sigma_{D\,(0)}}{0{,}75\cdot\sigma_B}\right)\cdot\varkappa}$
	compression	zul $\sigma_{Dd\,(\varkappa)} = \frac{\text{zul } \sigma_{D\,(0)}}{1-\left(1-\frac{\text{zul } \sigma_{D\,(0)}}{0{,}90\cdot\sigma_B}\right)\cdot\varkappa}$

Material Data SS 400 / SM 490 YB

Material Data, DIN 15018
Steel components, basic material and weld fatigue strength

		admissible fatigue strength (upper stress) [N/mm2]											
	conversion factor P()=97.5%; S=1.25	R=-1 (basic values)				R=0 tension				R=0 compression			
		notch factor				notch factor				notch factor			
Steel		W0	K2	K3	K4	W0	K2	K3	K4	W0	K2	K3	K4
SS 400	0,95	114,0	59,9	42,8	25,7	190,0	99,8	71,3	42,8	228,0	119,7	85,5	51,3
SM 490 YB	0,95	125,4	59,9	42,8	25,7	209,0	99,8	71,3	42,8	250,8	119,7	85,5	51,3

notch factor

W0: basic material

Kx: depending on type of weld and loading

Material Data SS 400 / SM 490 YB

Load Case Combinations

Static load cases (Single load cases and superimposed load cases)

Loadcase	superimposed Loadcase	Designation	direction of articulation force	articulation force at outer articulation [kN]	force at trailing link x [kN]	force at each swinging bracket y [kN]	force at each damping bracket z [kN]	force at each articul.-bar bracket z [kN] each	force at each body-body-damper x [kN]	force at each hunting damper x [kN]	force at each vertical damper z [kN]	force at each jacking pad z [kN]	annotation	relevant for	proof
S2	ULF5	vertical articulation load with 30% impact	z	66	0	0	62	0	12	8	1	0		articulation-bracket articulation bracket	B
S7		traverse force ($0,4m/s^2$)	y	139	0	66	0	113	0	0	0	0			
S8		crosswind	y	32,5	0	0	0	29	0	0	0	0			
S2	ULF5a	vertical articulation load with 30% impact	z	66	0	0	62	0	12	8	1	0		global	A
S7a		traverse force ($a_y=4m/s^2$)	y	19	0	18	0	44	0	0	0	0			
S8		crosswind	y	32,5	0	0	0	29	0	0	0	0			
S2b	ULF5c	vertical articulation load with 30% impact	z	0	0	0	86	0	12	8	1	0		global	A
S7b		traverse force (condition2)	y	19	0	18	0	44	0	0	0	0			
S8		crosswind	y	32,5	0	0	0	29	0	0	0	0			
S4	ULF13	parking with acceleration of bridge 3g	z	240	0	0	0	0	0	0	113,8	281	m_{Dx}=77574kg bogie flange at 2 vertical dampers	articulation bracket, vertical damper, picking pad	A
S4b	ULF13b	parking with global acceleration 1,1g	z	182	0	0	0	0	0	0	41,8	199	mDx=77574kg bogie flange at 2 vertical dampers	global	A
S1b	ULF7	vertical articulation load	z	15	0	0	66	0	0	0	0	0		global	A
S9		MPK tension	x	1500	0	0	0	0	12	8	1	0			
S1b	ULF8	vertical articulation load	z	15	0	0	66	0	0	0	0	0		global	A
S10		MPK pressure	x	-1000	0	0	0	0	12	8	1	0			
S1b	ULF9	vertical articulation load	z	15	0	0	66	0	0	0	0	0		global	B
S11		Crash MPK	x	3000	0	0	0	0	12	8	1	0			
S1c	ULF10	vertical articulation load	z	15	0	0	66	0	0	0	0	0		global	A
S12		overrunning collision forward	x	117,5	235	0	0	0	12	8	1	0			
S1b	ULF11	vertical articulation load	z	15	0	0	66	0	0	0	0	0		global	A
S13		overrunning collision backward	x	117,5	235	0	0	0	12	8	1	0			
neu	ULF20	hunting damper local		0	0	0	0	0	12	8	0	0		hunting damper	A

Querbeschleunigungen des Wagenkastens wurden in y-Richtung angenommen
Kräfte auf Body-Bad y Dämpfer und Schlingerdämpfer paarweise mit Vorzeichenwechsel aufbringen (Kräfte auf der gleichen Seite haben gleiches Vorzeichen außer bei ULF20)

method of proof		
methode	safety factor	local plastifizing
A	1,5 towards $R_{p0,2}$	permissible
B	1,2 towards $R_{p0,2}$	max. local plastifizing 5%

Loads

Service Loads

Loadcase	Designation	direction of articulation force	articulation force at outer articulation [kN]	force at trading link x [kN]	force at each strapping bracket y [kN]	force at each strapping bracket z [kN]	force at each anti-roll-bar bracket z [kN] (for curve)	force at each body-body-damper x [kN]	force at each hunting damper x [kN]	force at each vertical damper z [kN]	force at each jacking pad z [kN]	annotation	relevant for	proof
B1b	max. vertical operating articulation force	z	40	0	0	79	0	0	0	0	0			C
B2b	max. vertical operating articulation force	z	-10	0	0	20	0	0	0	0	0			C
B3b	traverse force according to EN 12663	y	22	0	18	0	18	0	0	0	0			C
B4b	[illegible]	x	[illegible]	0	[illegible]	[illegible]	28	0	0	0	0			C
B5b	[illegible]	x	[illegible]	0	0	0	0	0	0	0	0			C
B6	[illegible] force forward	z	140	0	0	0	0	0	0	0	0			C
B7	operating longitudinal force backward	x	140	0	0	0	0	0	0	0	0			C
B8	[illegible]	x	[illegible]	0		0	0	0	0	0	0	study as omitted if stresses are low		C
B9	torsion in depot	z	6450Nm	0	0	0	0	0	0	0	0	may be omitted if stresses are low		C
B20	hunting damper 1	x	0	0		0	0	12	8	1	0		hunting damper vertical damper	C
B21	hunting damper 2	x	0	0	0	0	0	-12	8	-1	0		hunting damper vertical damper	C
B22	hunting damper 3	x	0	0		0	0	12	8	1	0		hunting damper vertical damper	C
B23	hunting damper 4	x	0	0	0	0	0	12	8	-1	0		hunting damper vertical damper	C

method of proof	
method	safety factor
C	1,25 towards fatigue strength, Pg457 A3a

Loads

Superposition of the Service Loads

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	Assessment
ÜLF1	1			1	1					S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF2		1		-1	-1					S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF3	1		1			1				S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF4		1	-1				1			S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF5	1			1				1		S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF6		1		-1				-1		S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF7	1		1						1	S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%
ÜLF8		1	-1						-1	S=1.25 towards fatigue strength $P_{Ü}$=97.5%

Table 1: load case superposition for the proof of the fatigue strength

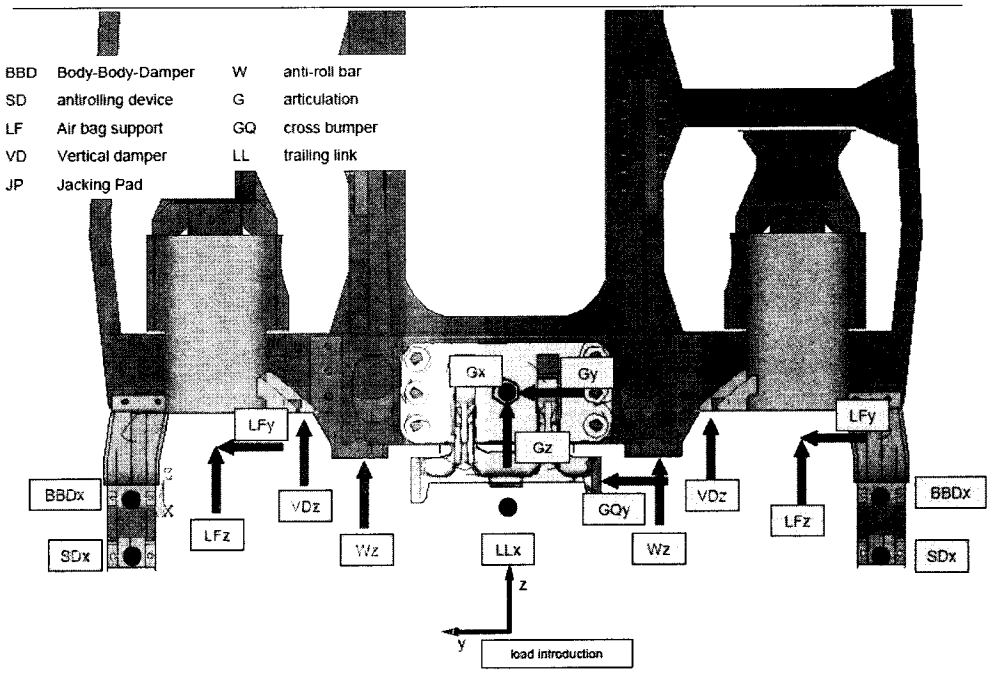
	Relevant if B8 and B9 are noncritical
	relevant, if B8 and B9 are critical

In comparison with the load case superposition ÜLF1 and ÜLF3 the load case superpositions ÜLF5 and ÜLF7 (including the service loads B8 and B) causes the higher stresses (documented on page 12/13). Thus the service loads B8 and B9 are taken into account for the evaluation of the fatigue strength.

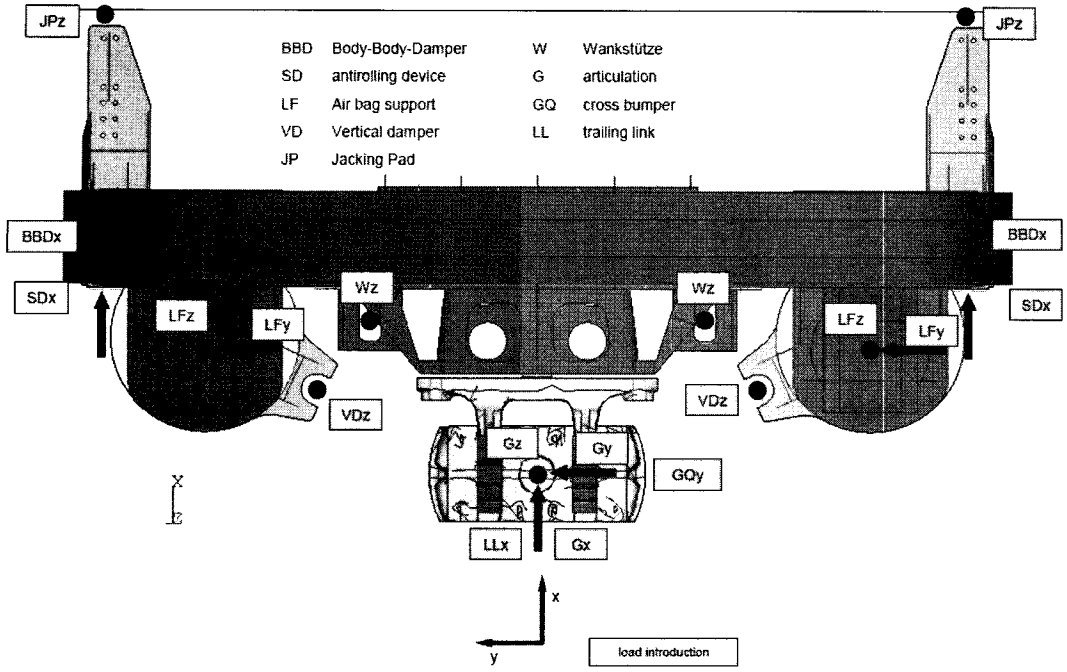
Loads

Load Introduction

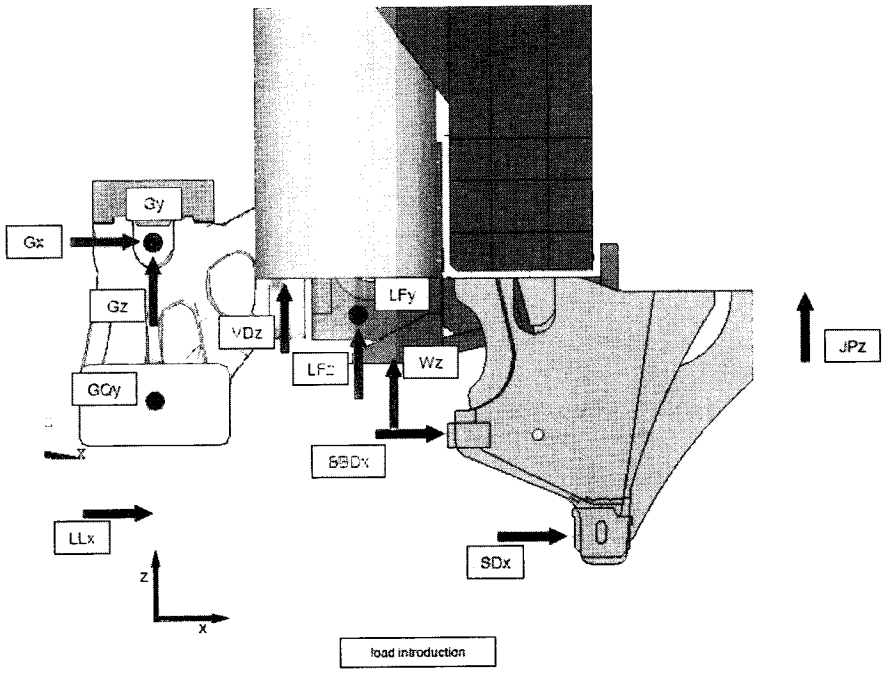
Applied Loads
(view x-direktion)



Applied Loads
(view z-direktion)

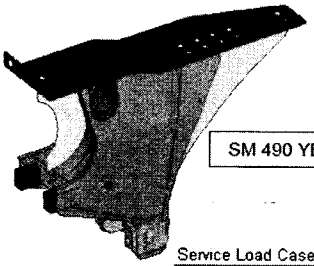


Applied Loads
(view y-direktion)



Results
Damper Bracket

Damper brackets
Overview stresses in weld and basic material



Relevant Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

SM 490 YB

Stress ratio (lower stress/upper stress) = R=-1

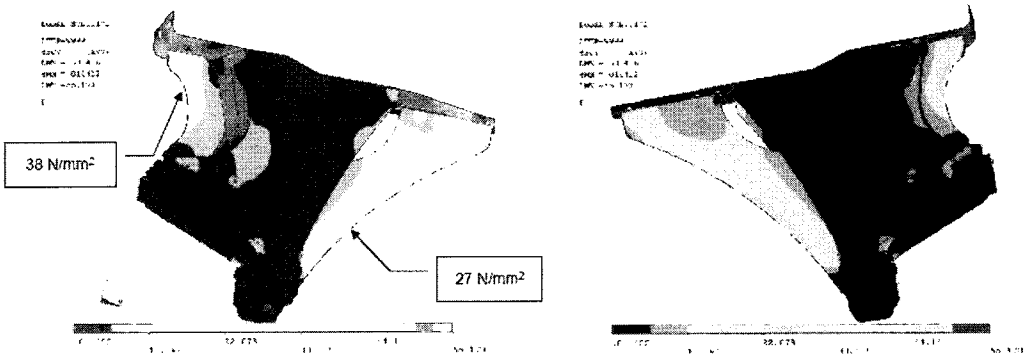
Service Load Case		Position	admissible stress fillet weld [N/mm²]	calcutaed stress [N/mm²]
		Pos. 1		38
		Pos. 2		41
		Pos. 3		25
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0 kN)	weld	Pos. 4	50,9	21
		Pos. 5		42
		Pos. 6		39
		Pos. 7		13
	basic material		127	38
± (BBDx=12.0kN - SDx=8.0 kN)	basic material		127	25

Results damper bracket

Damper brackets
Basic Material

Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

Admissible stress (Basic material)
σ (R=-1) = 127 N/mm²



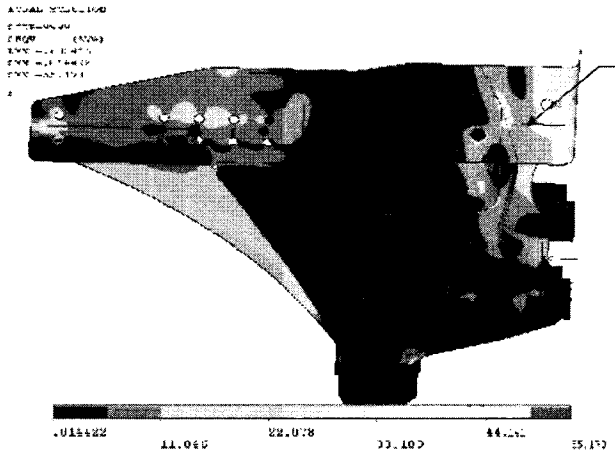
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Results damper bracket

Damper brackets
Basic Material

Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

Admissible stress (Basic material)
σ (R=-1) = 127 N/mm²



v.Mises equivalent stress [N/mm²]

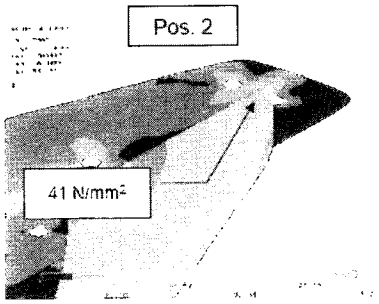
Results damper bracket

Damper brackets
Weld

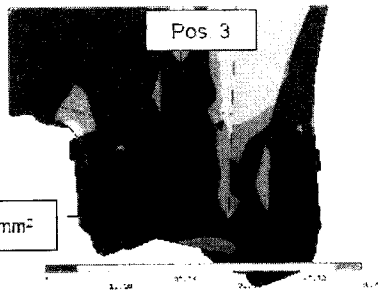
Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

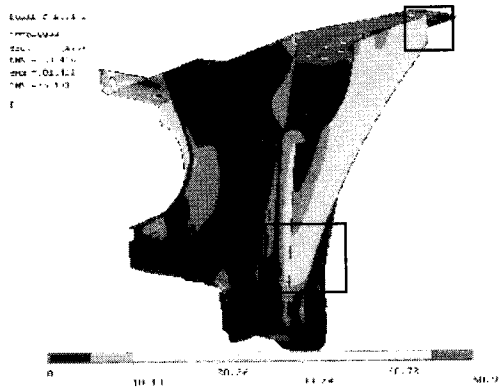
Admissible stress (fillet weld)
σ (R=-1) = 50.9 N/mm²

Pos. 2



Pos. 3





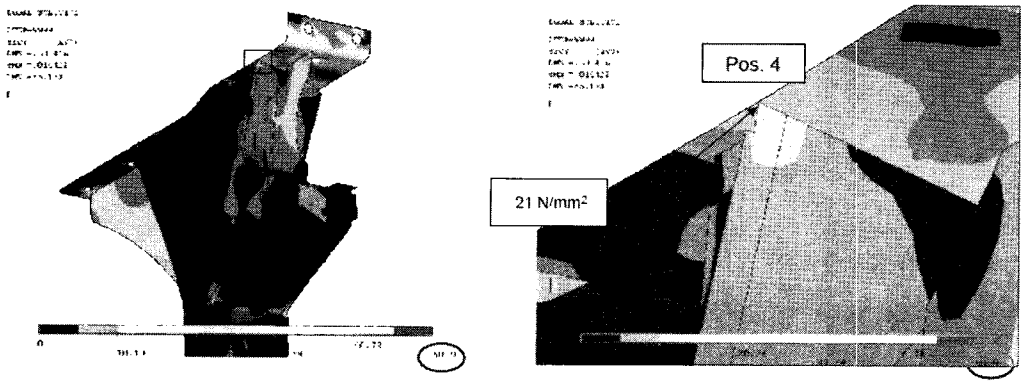
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Results damper bracket

Damper brackets
Weld

Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

Admissible stress (fillet weld)
σ (R=-1) = 50.9 N/mm²



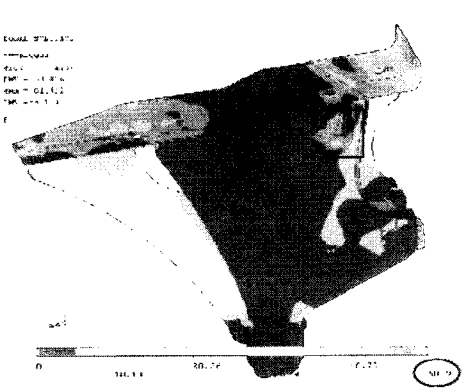
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

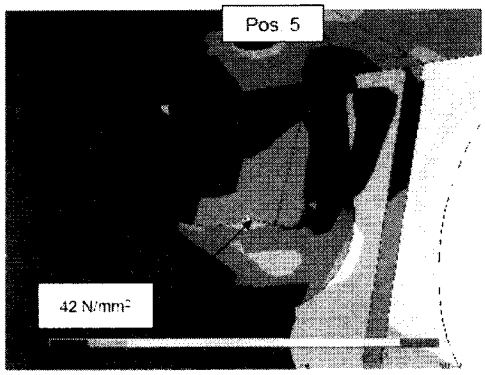
Results damper bracket

Damper brackets
Weld

Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

Admissible stress (fillet weld)
σ (R=-1) = 50.9 N/mm²





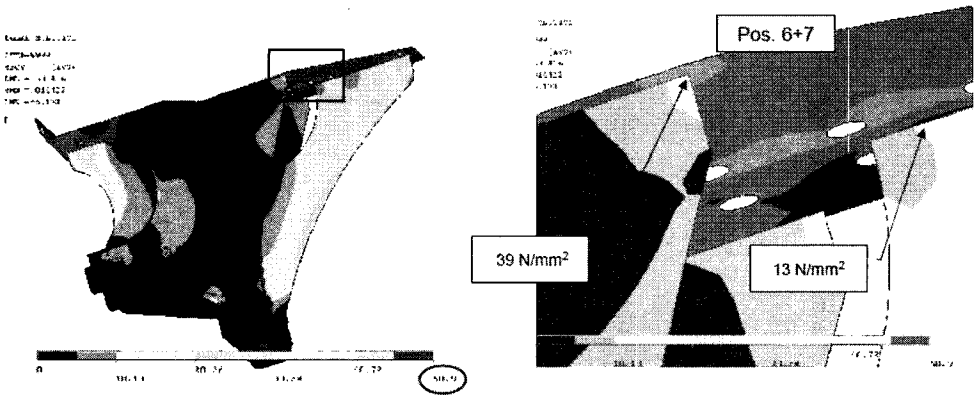
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Results damper bracket

Damper brackets
Weld

Service Load Case
± (BBDx=12.0kN + SDx=8.0kN)

Admissible stress (fillet weld)
σ (R=-1) = 50.9 N/mm²



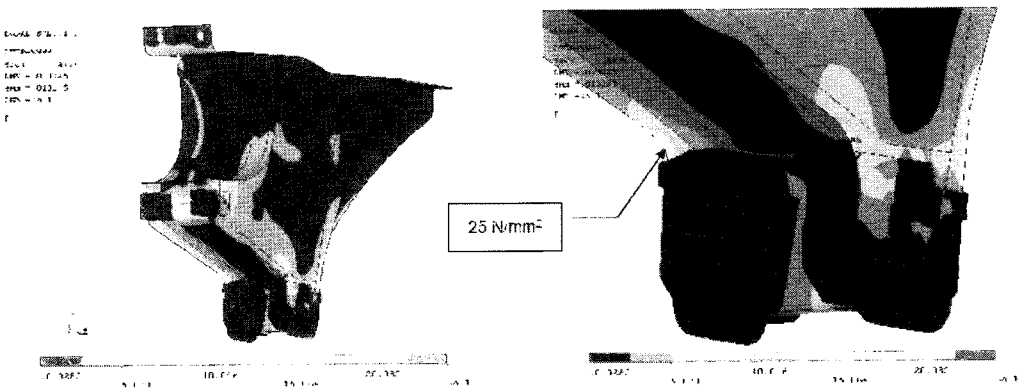
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Results damper bracket

Damper brackets
Basic Material

Service Load Case
± (BBDx= 12.0kN - SDx=8.0kN)

Admissible stress (Basic material)
σ (R=-1) = 127 N/mm²



v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Results damper bracket

Damper brackets
Conclusion

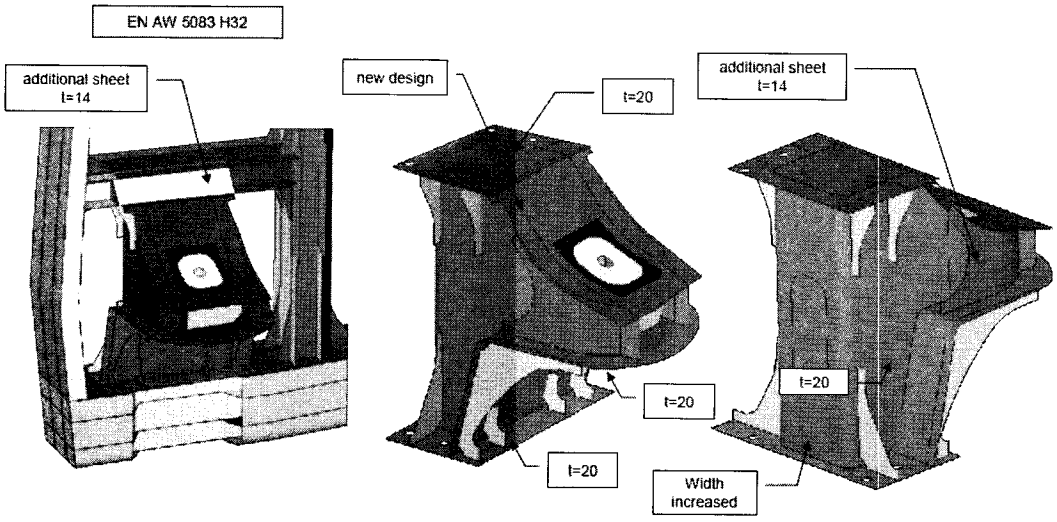
Summary of results

The results for all load cases are ok

The strength requirements according to the load cases are fulfilled

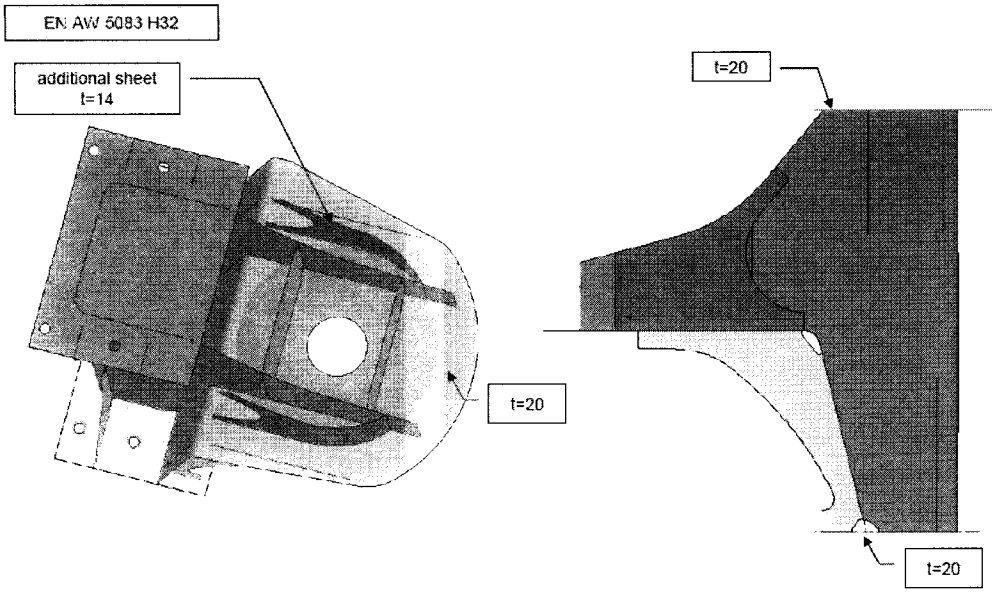
Results
Air Bag Support Bracket

Air bag support bracket



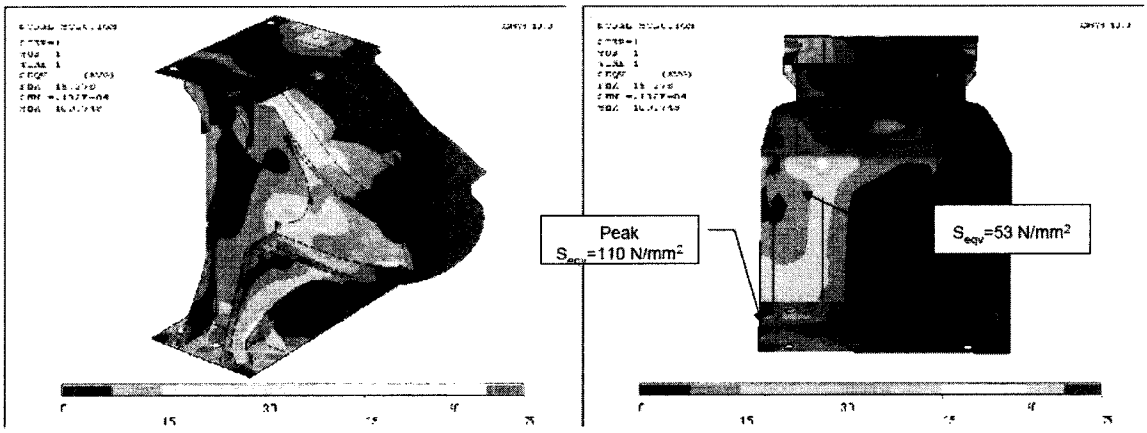
Design Optimization – Air bag support bracket

Air bag support bracket



Air bag support bracket

Static load case combination ÜLF5c
LFz=85.0 kN, LFy=18.0 kN

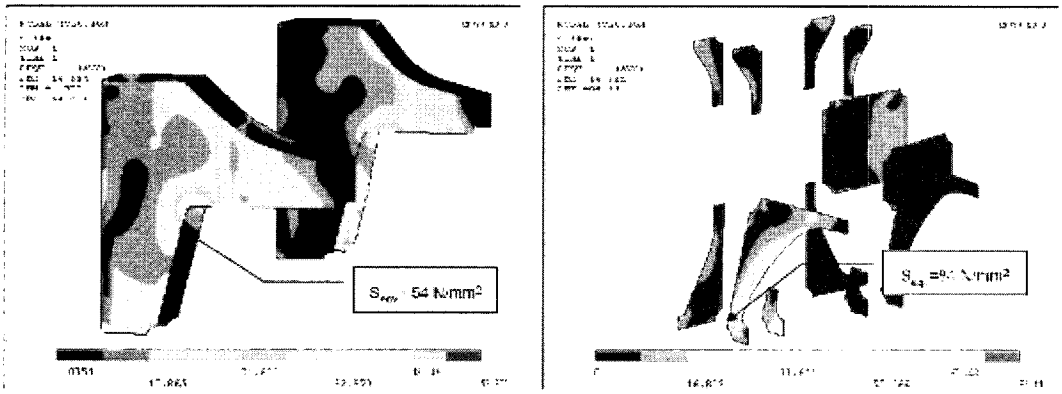


v.Mises equivalent stress [N/mm²]

$\sigma_{admissible}$ (basic material) = 187 N/mm²
$\sigma_{admissible}$ (fillet weld) = 75 N/mm²

Air bag support bracket

Static load case combination ÜLF5c
LFz=85.0 kN, LFy=18.0 kN

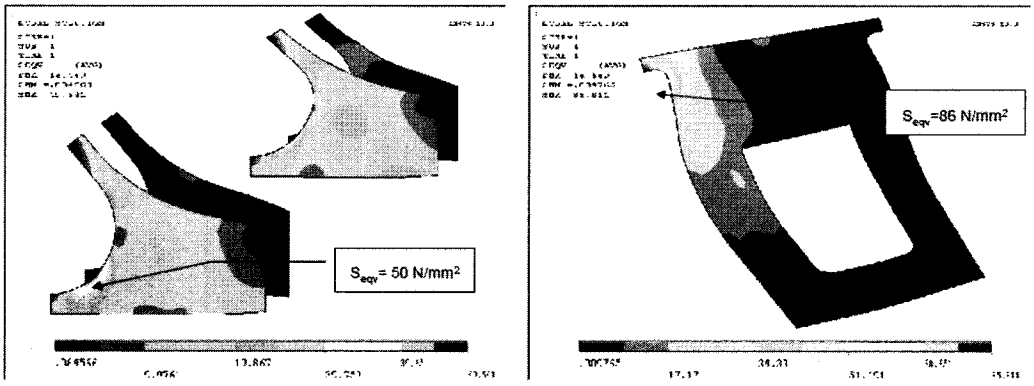


v.Mises equivalent stress [N/mm²]

$\sigma_{admissible}$ (basic material) = 187 N/mm²
$\sigma_{admissible}$ (fillet weld) = 75 N/mm²

Air bag support bracket

Static load case combination ÜLF5c
LFz=85.0 kN, LFy=18.0 kN



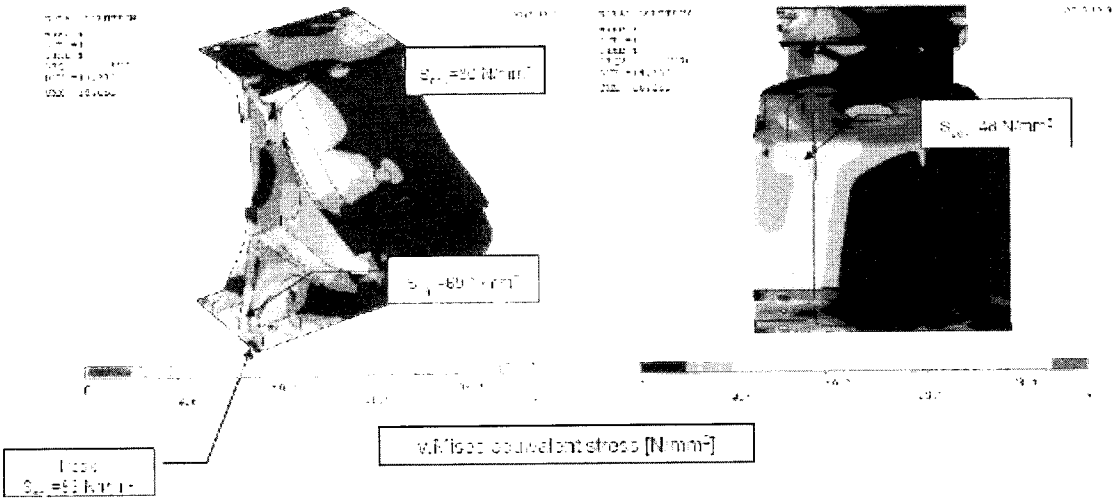
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

$\sigma_{admissible}$ (basic material) = 187 N/mm²
$\sigma_{admissible}$ (fillet weld) = 75 N/mm²

Air bag support bracket

(B1b - B2b) service load case
upper load: LFz=79.0 kN, LFy=18.0 kN
lower load: LFz=53.0 kN, LFy=-18.0kN

upper stress



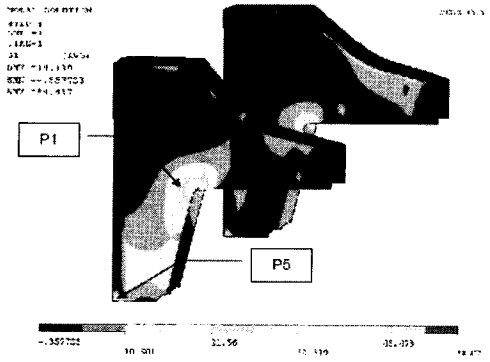
box (r=14.0mm)	P1 (10869)	P2 (28681)	P3 (28786)	P4 (13910)	P5 (4797)
upper load principal stress [N/mm²]	52,8	54,8	23,3	21,4	41,5
lower load principal stress [N/mm²]	9,9	6,3	-3,5	-3,2	8,1
R	0,19	0,11	0,15	0,15	0,19
	K-Weld	K-Weld	K-Weld	HV-Weld	K-Weld
σ_{zul} (incl. S=1,25)	43,3	42,6	41,0	26,7	43,3
safety factor	1,23	1,53	2,20	1,56	1,29

v.Mises equivalent stress [N/mm²]

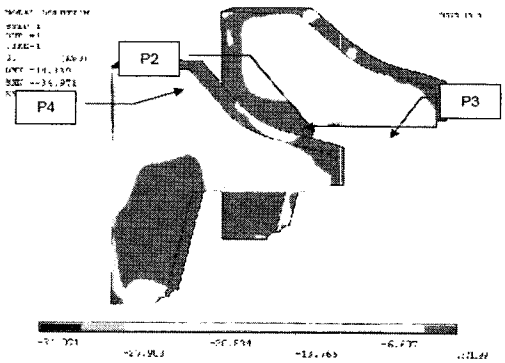
Air bag support bracket

(B1b / B2b) service load case
upper load: LFz=79.0 kN, LFy=18.0 kN
lower load: LFz=53.0 kN, LFy=-18.0kn

upper stress



principal stress S1 [N/mm²]

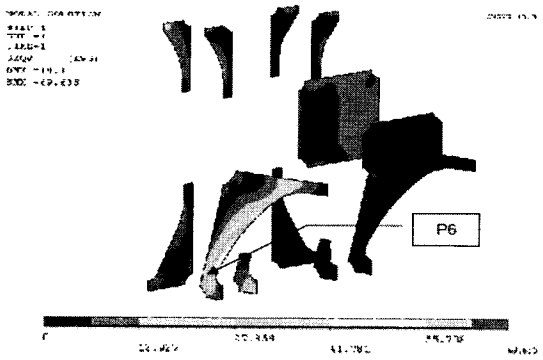


principal stress S3 [N/mm²]

Air bag support bracket
Ribs

(B1b / B2b) service load case
upper load: LFz=79.0 kN, LFy=18.0 kN
lower load. LFz=53.0 kN, LFy=-18.0kn

upper stress



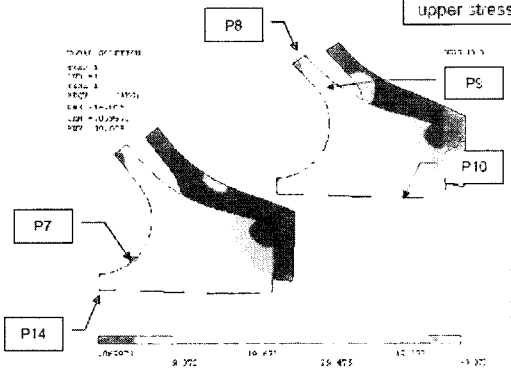
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

ribs (t=14.0mm)	P6 (11711)
upper load principal stress [N/mm²]	72,2
lower load principal stress [N/mm²]	9,3
R	0,13
	basic material
$\sigma_{admissible}$ (incl. S=1.25)	87,4
safety factor	1,51

Air bag support bracket additional sheets

(B1b / B2b) service load case
upper load: LFz=79.0 kN, LFy=18.0 kN
lower load: LFz=53.0 kN, LFy=-18.0kn

upper stress



sheet (=14 [mm])	P7 (6[illegible])	P8 (19[illegible])	P9 (19[illegible])	P10 (19[illegible])	P14 (22)
upper load principal stress [N/mm²]	49,8	25,7	22,7	26,2	33,1
lower load principal stress [N/mm²]	13,4	5,7	2,8	2,2	7,0
R	0,21	0,19	0,12	0,08	0,18
	base material	K-Weld	HV-Weld	HV-Weld	K-Weld
$\sigma_{zulässig}$ (incl. S=1,26)	73,0	30,4	21,7	24,7	32,6
safety factor	1,69	1,26	1,29	1,18	1,64

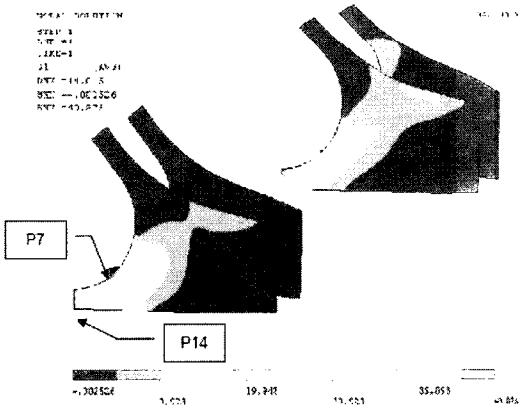
Double-sided welds at the front ends (K-weld) required

v.Mises equivalent stress [N/mm²]

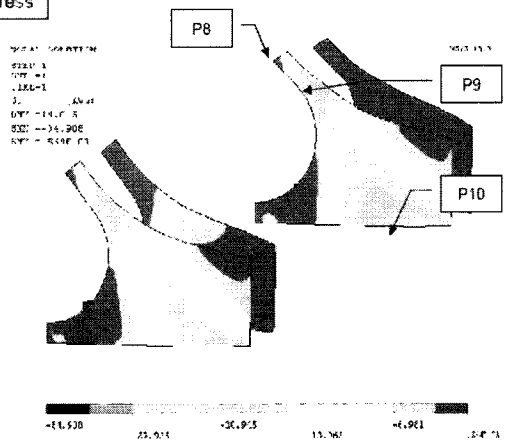
Air bag support bracket additional sheets

(B1b / B2b) service load case
upper load: LFz=79.0 kN, LFy=18.0 kN
lower load: LFz=53.0 kN, LFy=-18.0kn

upper stress



principal stress S1 [N/mm²]

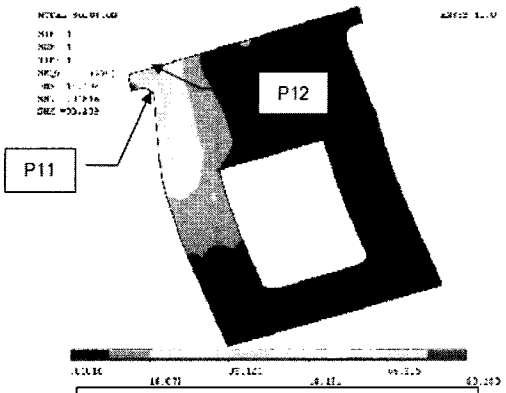


principal stress S3 [N/mm²]

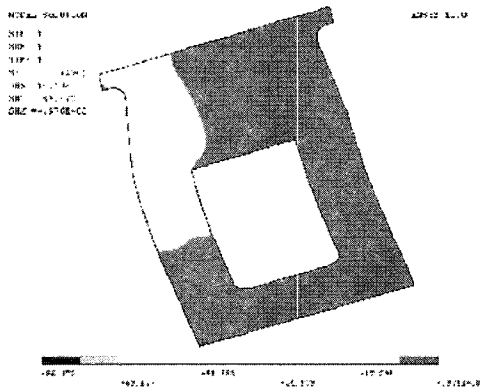
Air bag support bracket

(B1b / B2b) service load case
upper load: LFz=79.0 kN, LFy=18.0 kN
lower load. LFz=53.0 kN, LFy=-18.0kn

upper stress



v.Mises equivalent stress [N/mm²]



principal stress S3 [N/mm²]

upper chord (t=14.0mm)	P11 (17325)	P12 (12447)
upper load principal stress [N/mm²]	-86,5	-42,5
lower load principal stress [N/mm²]	3,7	-2,3
R	-0,04	0,05
	basic material	K-Weld
$\sigma_{admissible}$ (incl. S=1.25)	79,8	38,0
safety factor	1,15	1,12

K-weld required

Air bag support bracket
Conclusion -

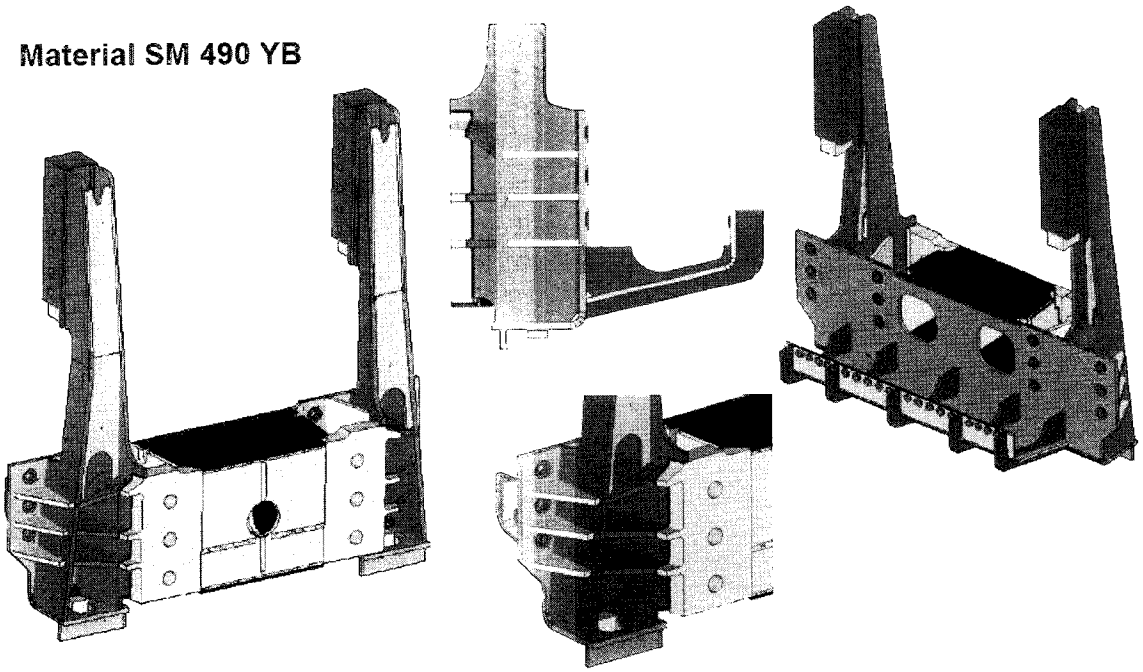
- Summary of results
  - The modified air bag support brackets satisfy the demands of the chosen static load cases.
  - The safety factors due to the service loads in all areas are above 1.0, but not above 1.25 (this value would be standard).

Structural Strength Analysis
Articulation Bracket –

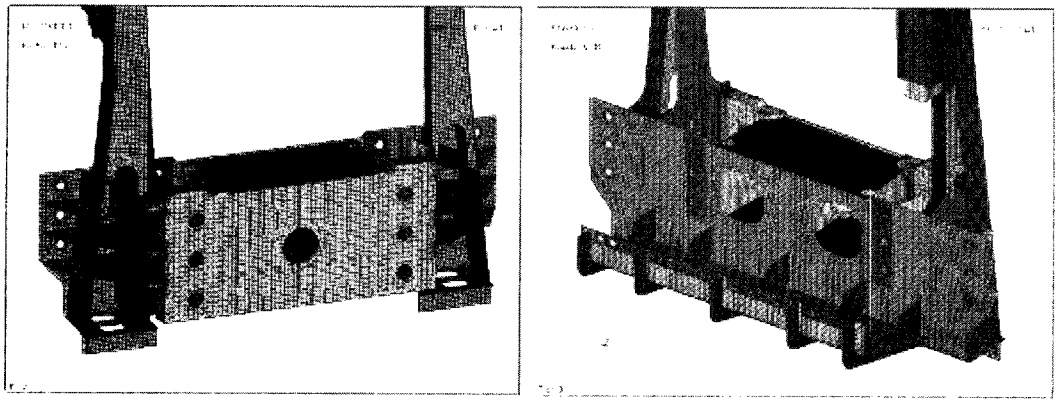
Strength Assessment of the articulation bracket

- Design and FE-Model of the bracket
- Material properties
- Load case combination, static and service load cases
- Load introduction
- Results and strength assessment
  - Static load cases
  - Service load cases

Material SM 490 YB



FE-Mesh



Static load cases

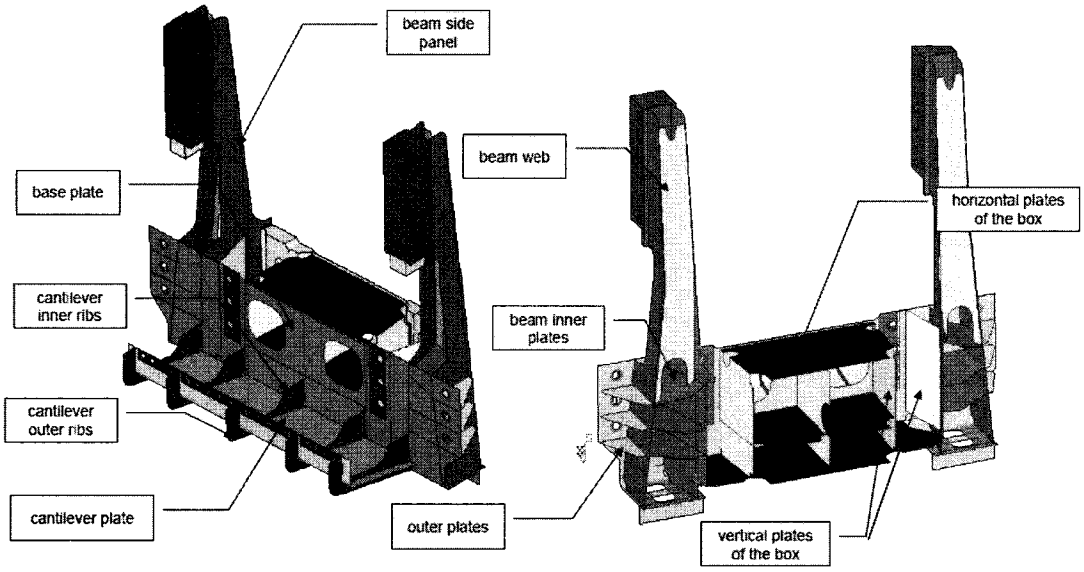
Summary of results – static load cases

For the static load case combinations the proof of strength of the articulation bracket was investigated taking into account the material characteristics of the material certificates.

With exception of two locations the required safety factor of S=1.15 is fulfilled for the static yield-strength-load-cases for all steel plates and weldings of the bracket.
The minimum safety of S=1.02 occurs in the HV-weld of a rib.
The minimum safety in the steel plate is S=1.12
As in both cases the stress excess is only local it is tolerated.

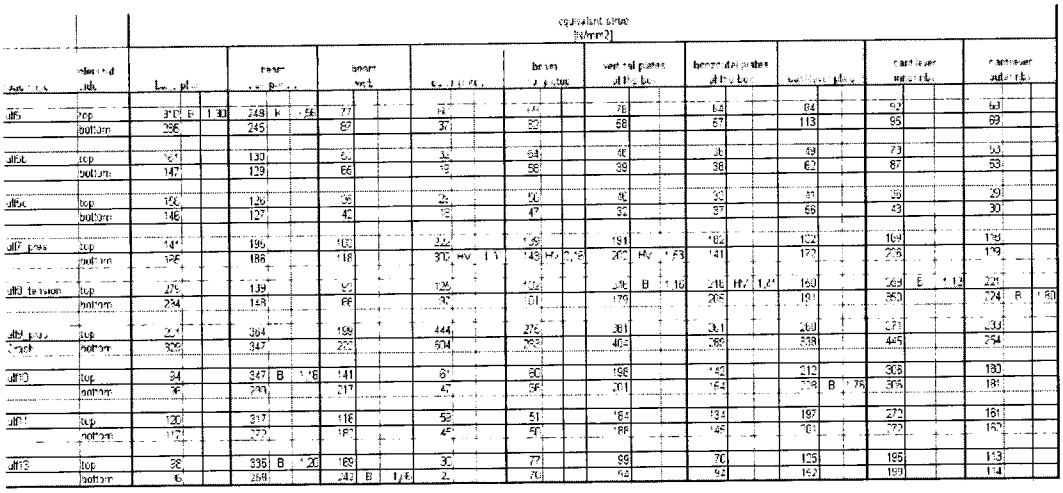
The structural strength assessment of the crash load (ÜLF9) is fulfilled for the steel plates and the welding. The stress level in the most parts of the brackets does not exceed the admissible stress values. There are only local plastic strains in one welding which are tolerated.

Articulation bracket overview



Articulation bracket

static load cases overview

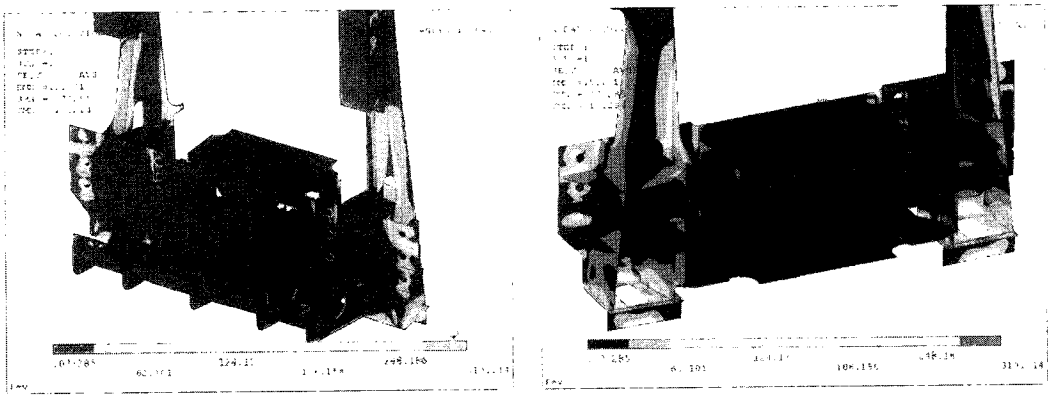


B= base material
K= Kreuzt
HV=HV weld

Articulation bracket

static load case

ÜLF 5
Articulation Forces Gz=55 kN, GQy=(138 +32.5)kN,
anti-role-bar Wz= (113 + 29) kN

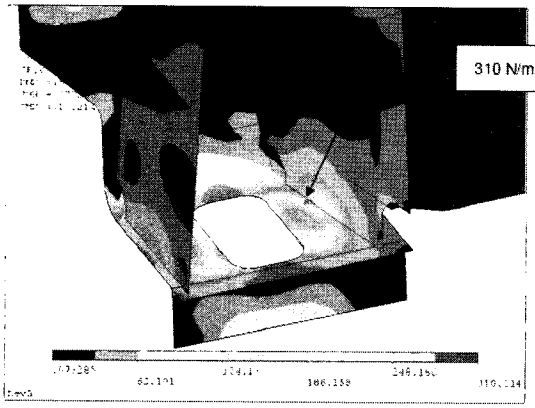


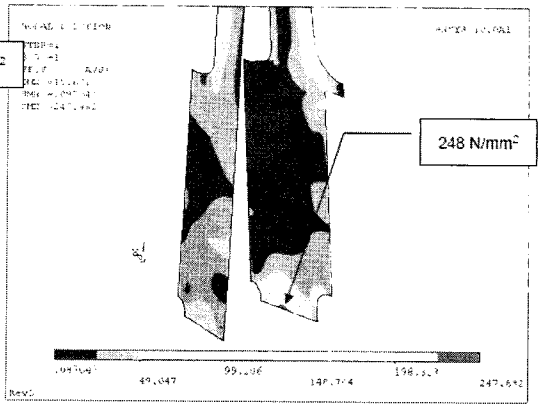
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

ÜLF 5
Articulation Forces Gz=55 kN, GQy=(138 +32.5)kN,
anti-role-bar Wz= (113 + 29) kN

beam side panels

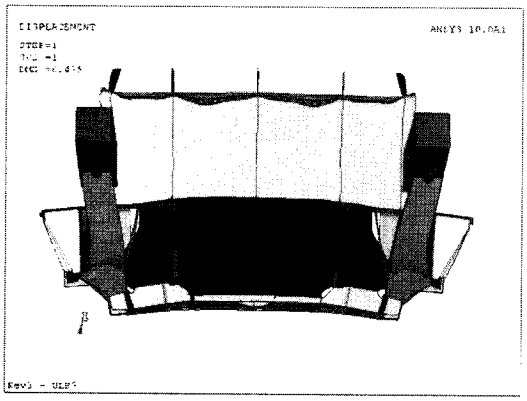




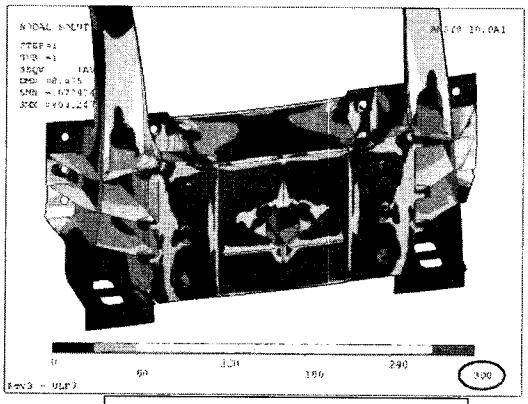
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

ÜLF 7 pressure force
Articulation Force Gx=1500 kN



deformed structure

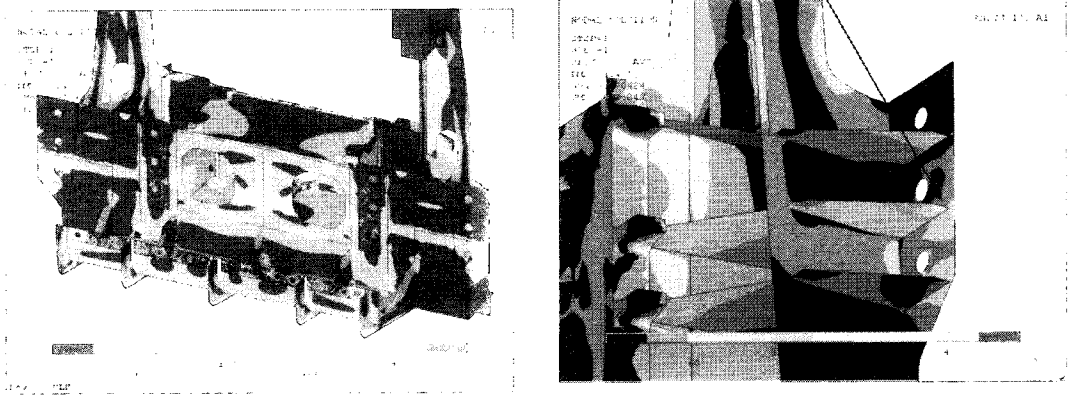


v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

ÜLF 7 pressure force
Articulation Force Gx=1500 kN

HV-weld
302 N/mm²
safety factor S=1.02

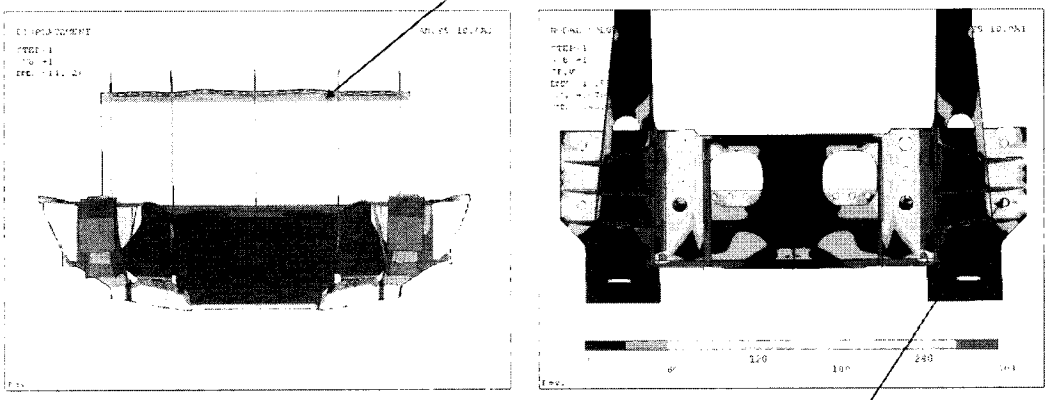


v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

ÜLF 8 traction force
Articulation Force Gx=-1000 kN

Additional contact (bonded contact) between articulation bracket and the cross beam of the carbody is defined (complete area is bonded)



deformed structure

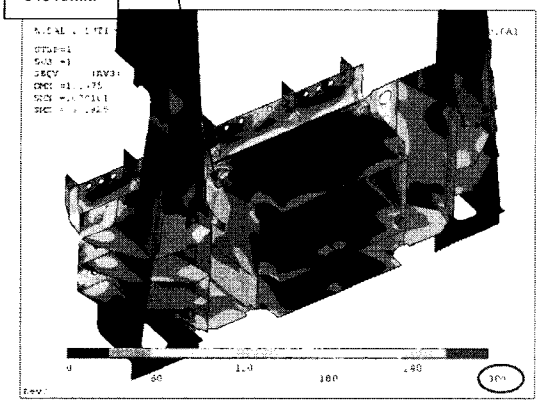
stress peak
bore whole
387 N/mm²

Articulation bracket
static load case

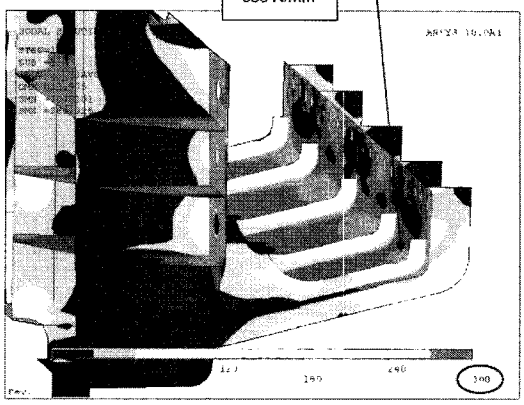
ÜLF 8 traction force
Articulation Force Gx=-1000 kN

v.Mises equivalent stress [N/mm²]

346 N/mm²

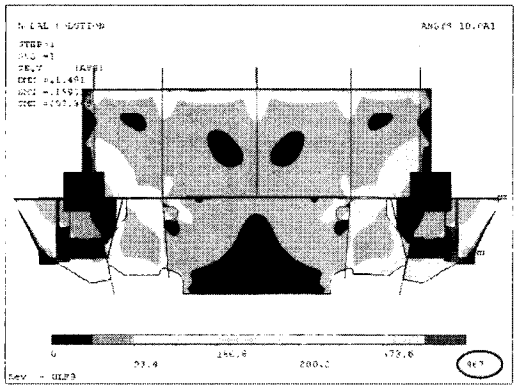


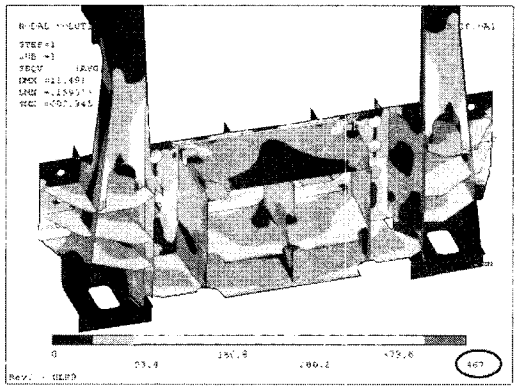
358 N/mm²



Articulation bracket
static load case

ÜLF 9 pressure force
Articulation Force Gx=3000 kN



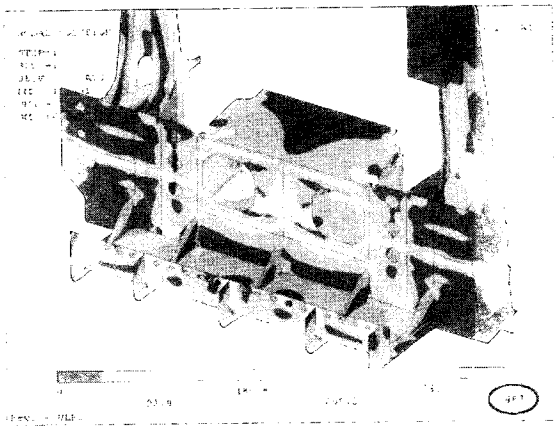


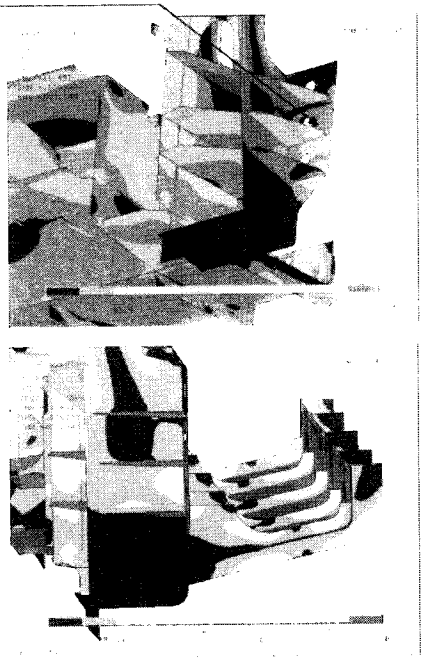
v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

ÜLF 9 pressure force
Articulation Force Gx=3000 kN

604 N/mm²
local plastic strain



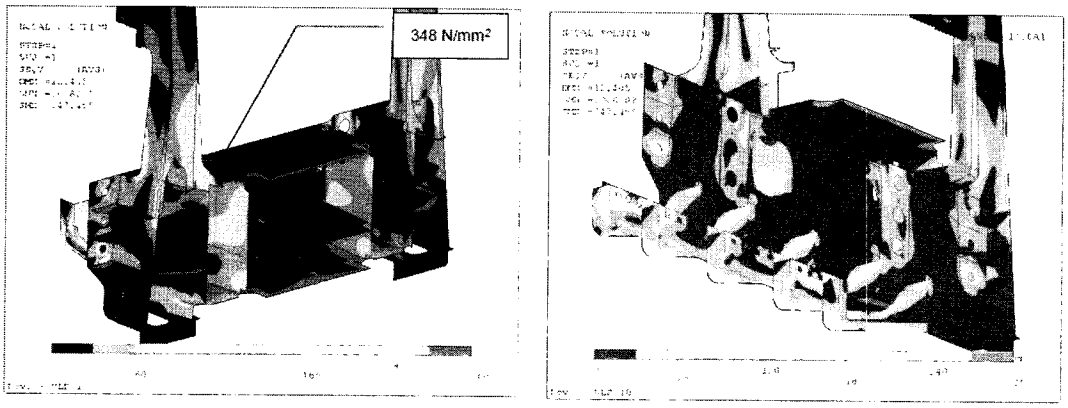


v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

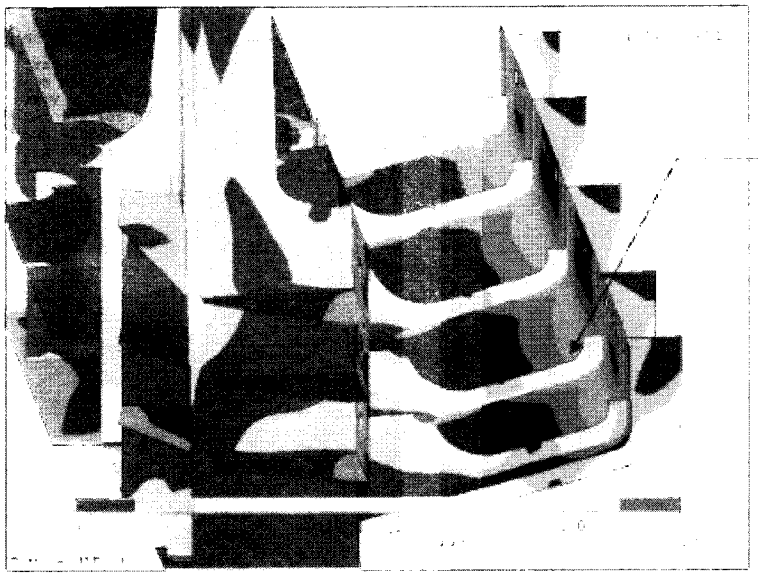
ÜLF 10
Articulation Force Gx=117. kN
Trailling Link LLx = -235 kN

Contact between articulation bracket and cross beam only in the region of the bolt joints. No additional support is assumed



v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

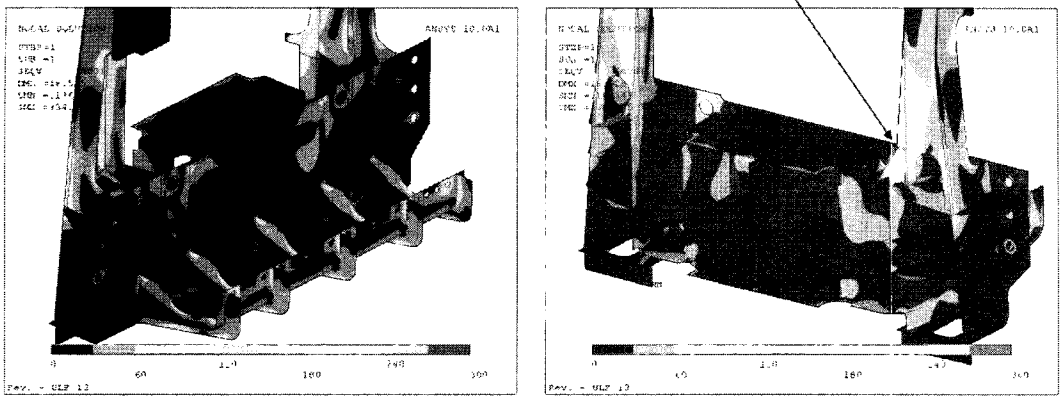


Mises equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
static load case

ÜLF 13
jacking with acceleration of bogie 3g
Gz = -240 kN

335 N/mm²



v.Mises equivalent stress [N/mm²]

Service load cases

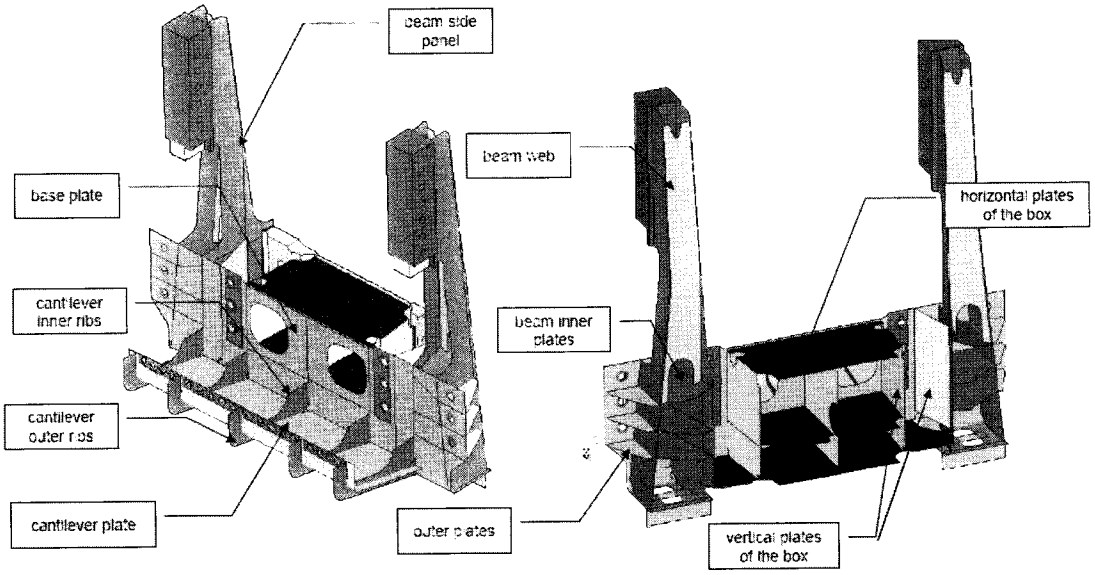
Summary of results – service load cases

For the service load case combinations the proof of strength of the articulation bracket was investigated

The strength assessment in the basic material is fulfilled for all service load cases with sufficient safety.

In most of the welding of the bracket the recommended safety factor of S=1.25 against a probability of survival of 97.5% is fulfilled.
The minimum safety factors in the highest stressed weldings do not fall below the required minimum safety factor of S=1.0

Articulation bracket
overview



Articulation bracket
service load cases
overview

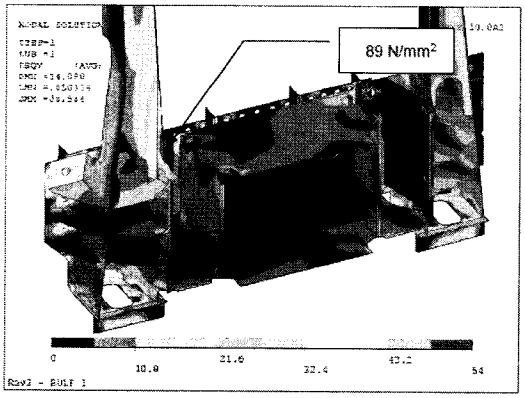
component	weld seam number	principal stress [N/mm²] ÜLF 1 upper load	ÜLF 2 lower load	stress ratio	principal stress [N/mm²] ÜLF1 upper load	ÜLF2 lower load	stress ratio	admissible weld stress (2-σ) [N/mm²] notch class K2	notch class K1	notch class K3	safety factor (probability of survival 97,5%) notch class K2	notch class K1	notch class K3	required weld quality (notch class)
beam side panels	P 1.1	68	65	1,0				75	64	32				K2
	P 1.2	-58	67	-1,0	-60	61	-1,0	72	64	32				K2
beam web	P 2.1	-41	41	1,0	32	32	1,0	75	64	32				K3
outer plates	P 3.1	-30	15	-0,5	-15	14	-0,9	92	66	39				K3
beam inner plates	P 4.1	-32	25	-0,8	-40	34	-0,9	80	67	34				K3
	P 4.2	60	33	-0,6	64	37	-0,6	90	66	36				K3
vertical plates of the axle	P 5.1	-36	43	-0,8				87	66	35				
	P 5.2	-16	41	-0,4	-42	67	-0,6	92	66	35				K2
	P 5.3	40	39	1,0				75	64	32				K2 / K3
horizontal plates of the hor.	P 6.1	28	16	0,6				96	66	41				K4
	P 6.2	-21	20	-1,0	-20	21	-1,0	75	64	32				K4
	P 6.3				-39	39	-1,0	75	64	32				K3
cantilever inner part	P 7.1	61	46	0,8				75	64	32				K2
	P 7.2	-54	39	-0,7	-45	30	-0,7	84	61	36				K2
cantilever outer ribs	not critical													
cantilever plate	P 8.1	46	41	0,9				78	66	33				K3
	P 8.2				-35	27	-0,8	82	66	35				K3

relevant for strength assessment

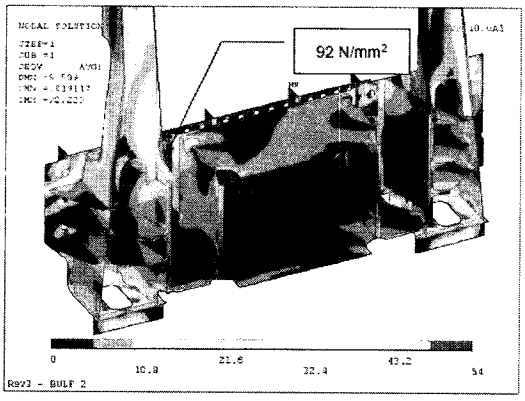
Solved by using local modifications

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2

ÜLF 1 – upper load



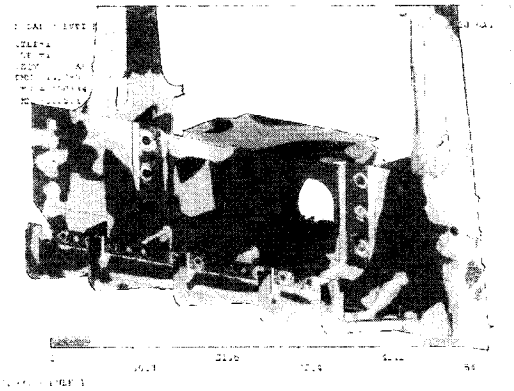
ÜLF 2 – lower load



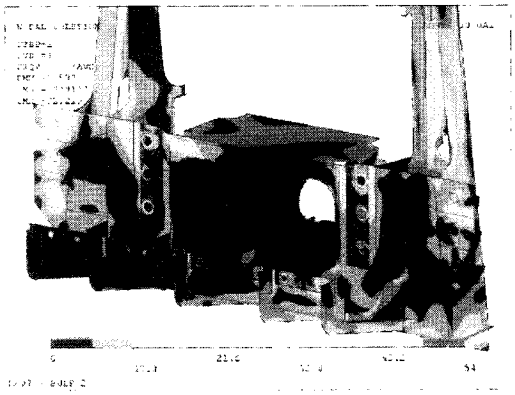
equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2

ÜLF 1 – upper load



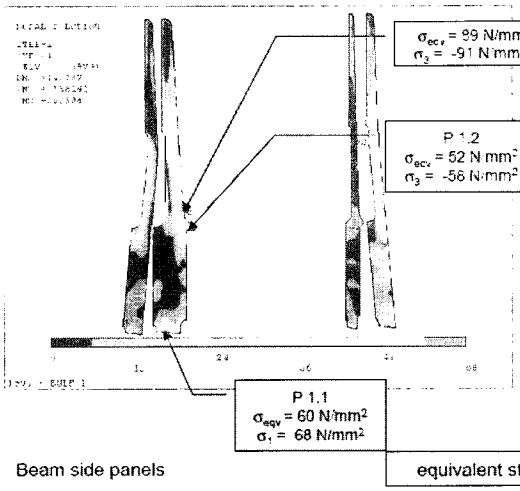
ÜLF 2 – lower load



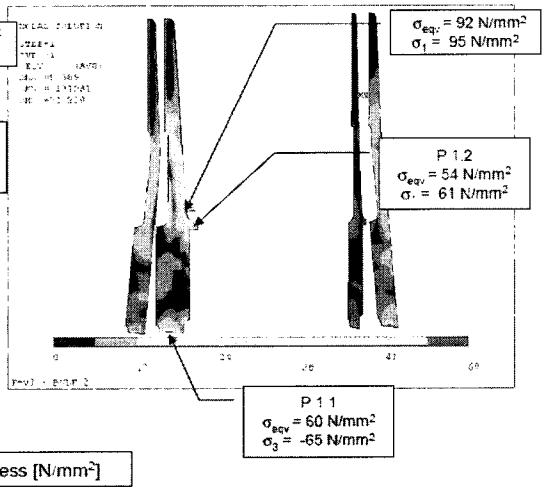
equivalent stress [N·mm²]

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2

ÜLF 1 – upper load



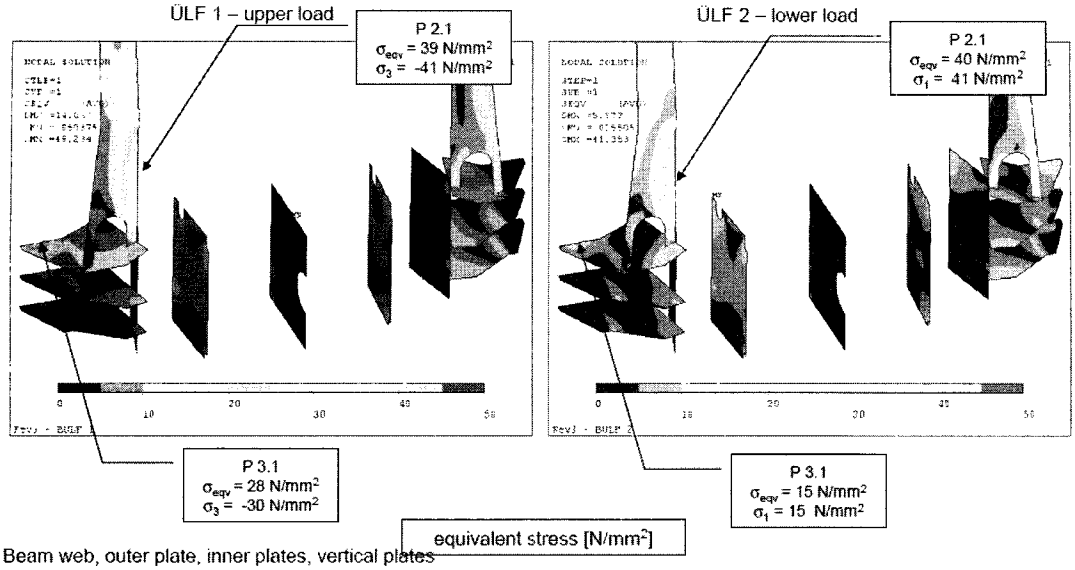
ÜLF 2 – lower load



Beam side panels

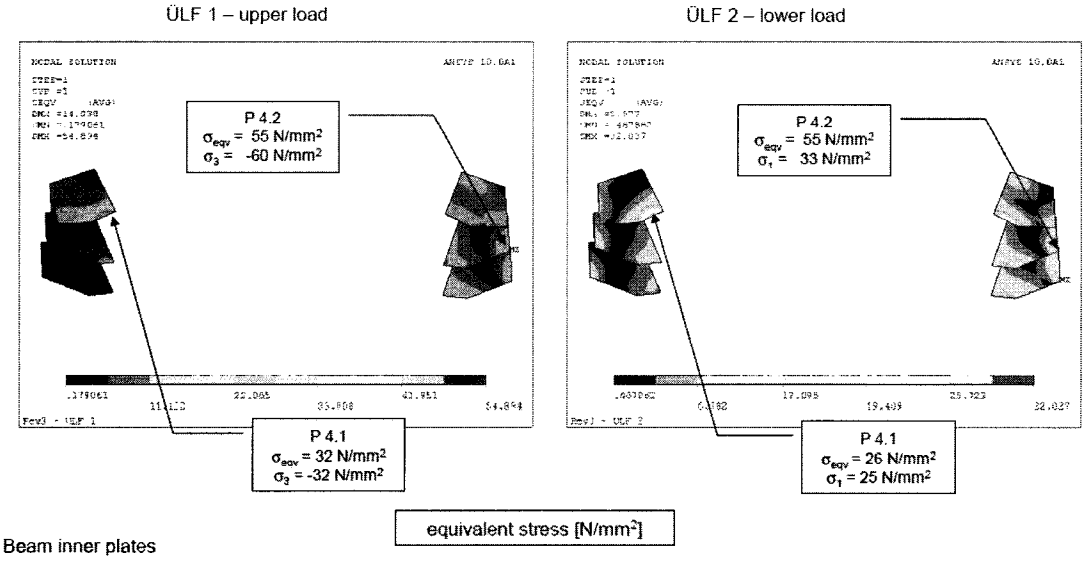
equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2



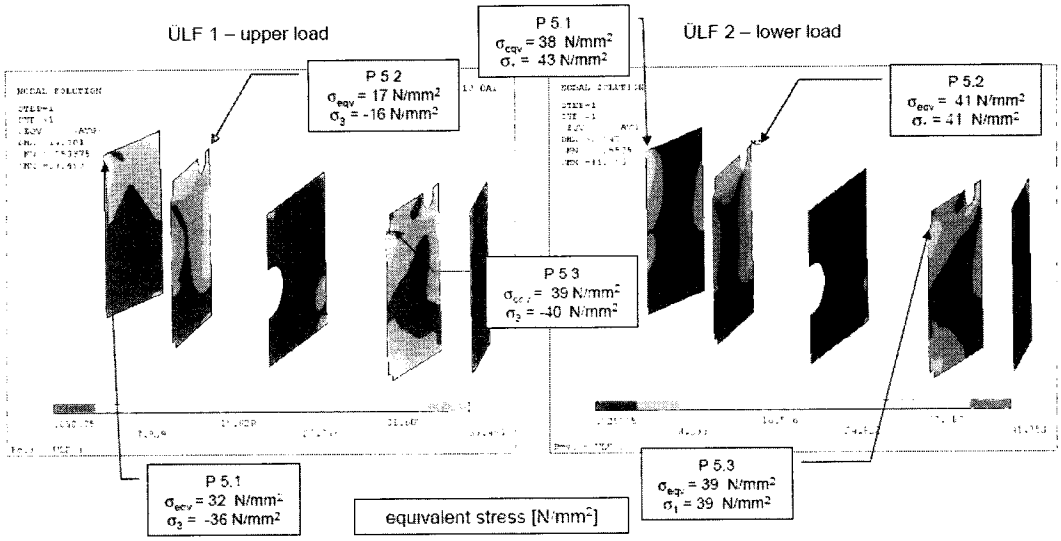
Beam web, outer plate, inner plates, vertical plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2



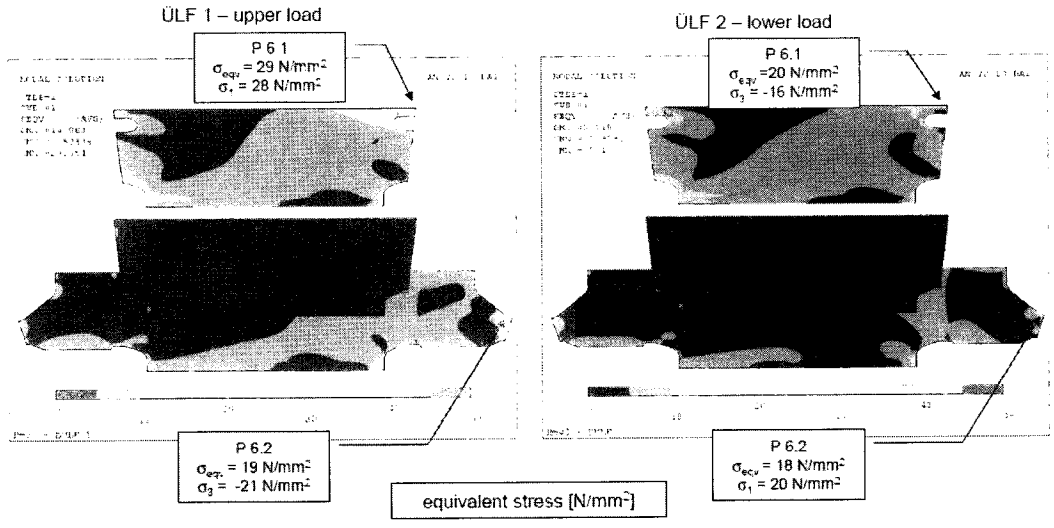
Beam inner plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2



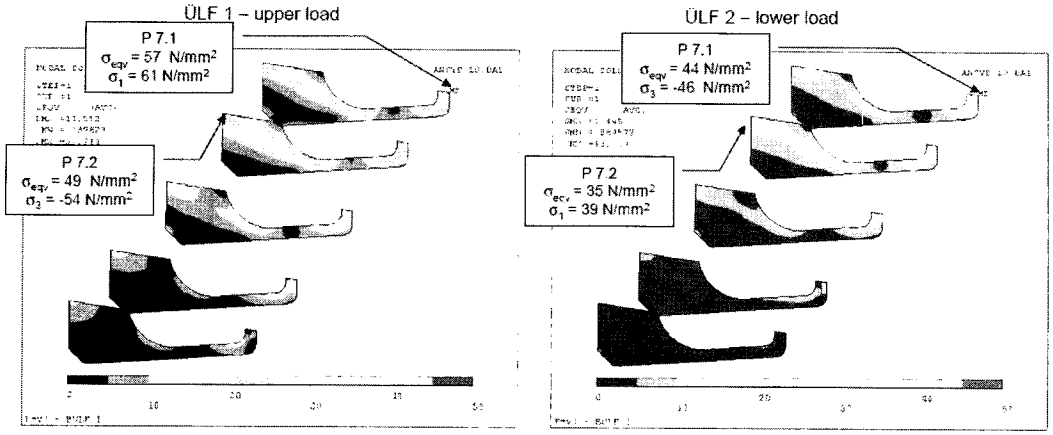
Beam inner plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2



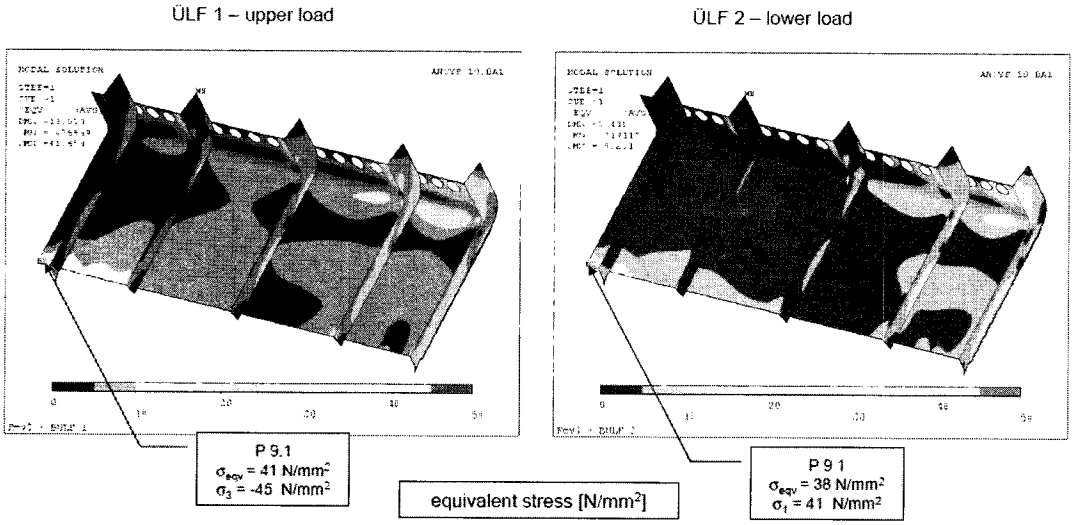
horizontal plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2



cantilever inner ribs

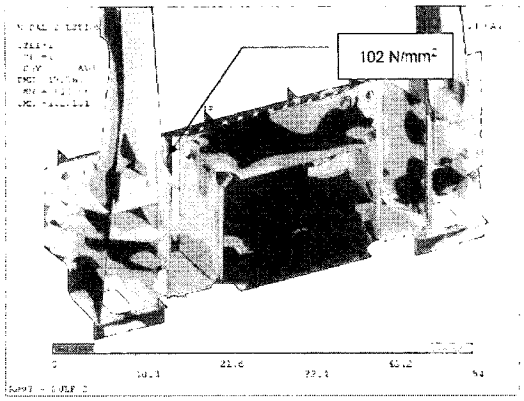
Articulation bracket
Service loads
ÜLF 1 / ÜLF 2



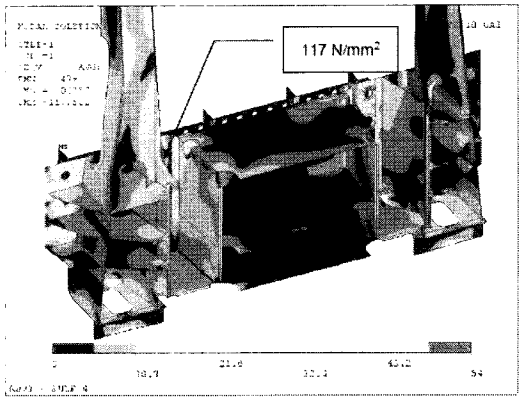
cantilever with outer ribs

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4

ÜLF 3 – upper load



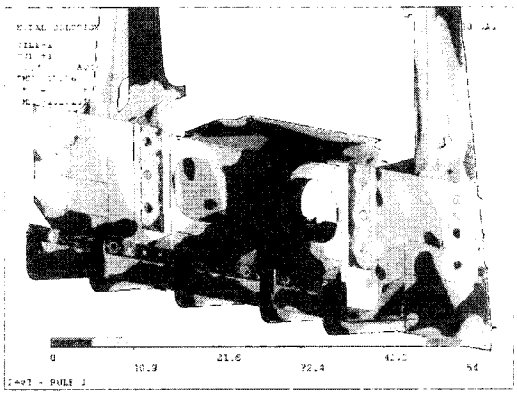
ÜLF 4 – lower load



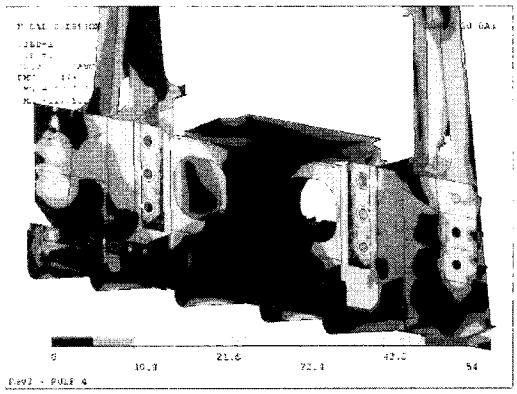
equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4

ÜLF 3 – upper load



ÜLF 4 – lower load

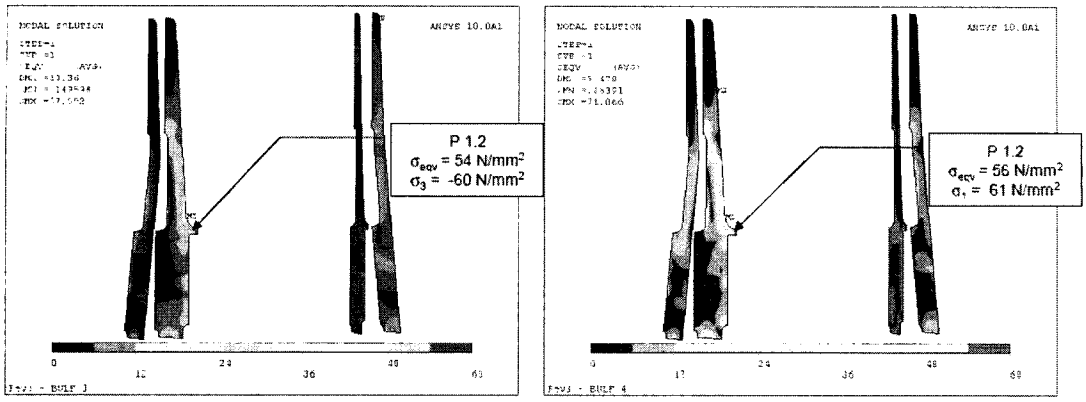


equivalent stress [N/mm²]

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4

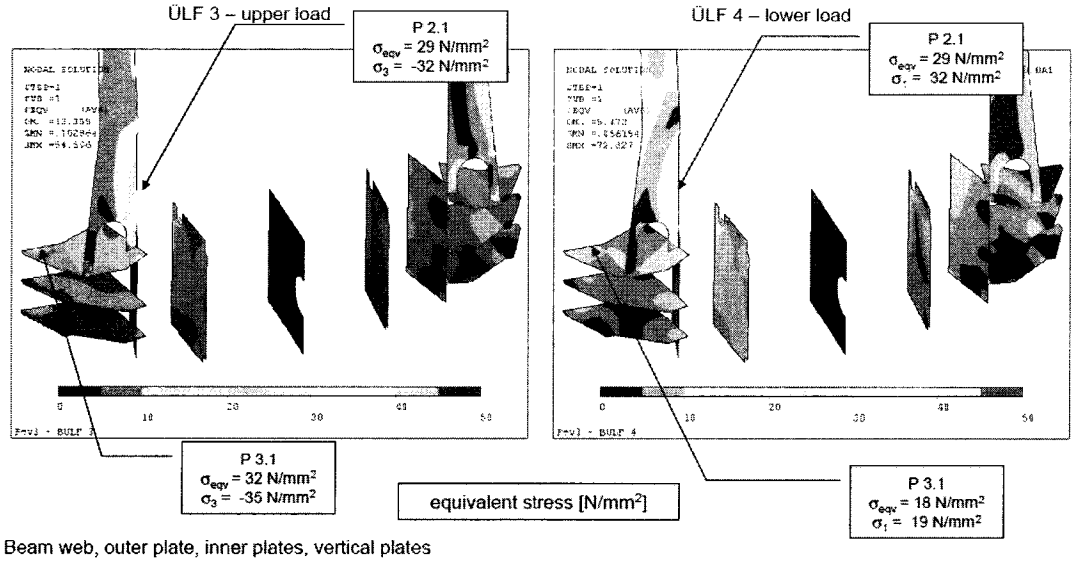
ÜLF 3 – upper load

ÜLF 4 – lower load



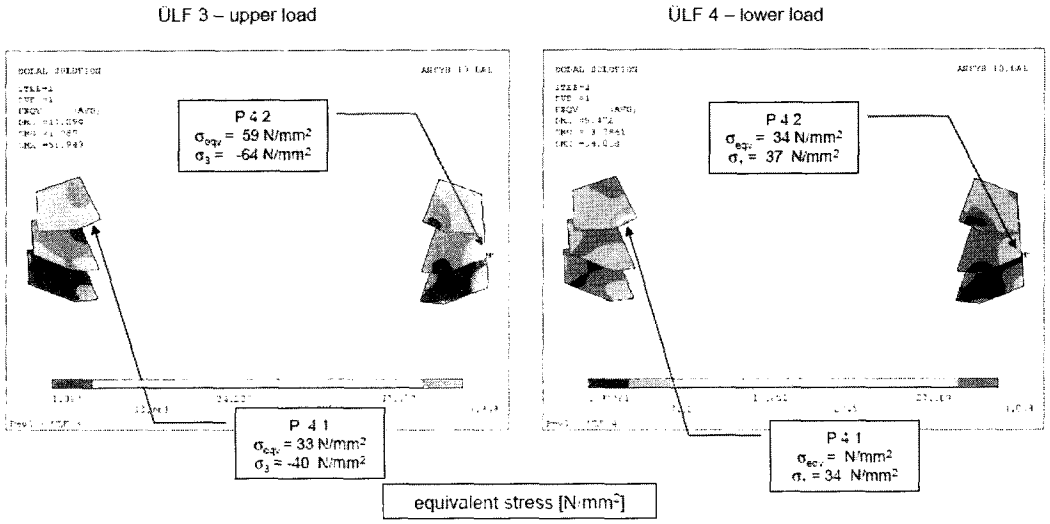
Beam side panels

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4



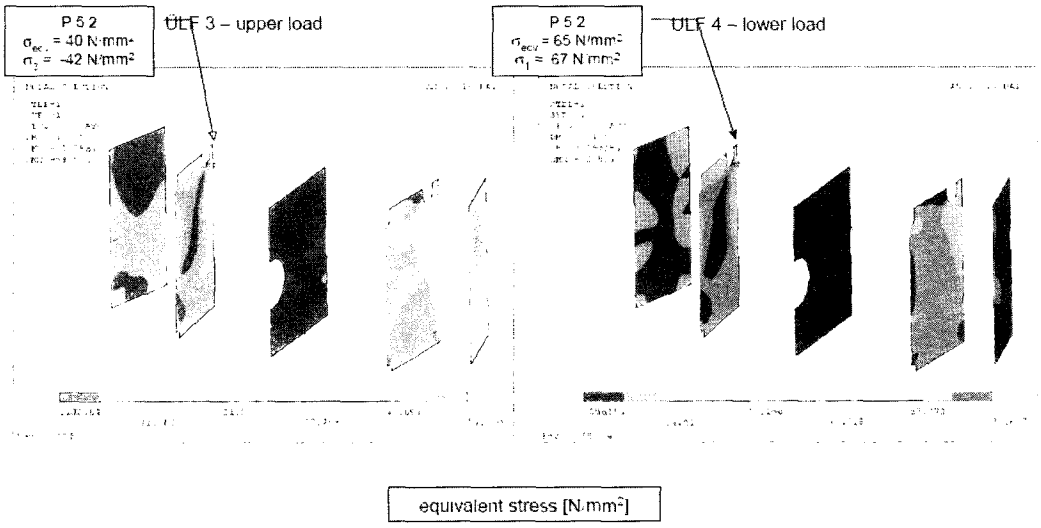
Beam web, outer plate, inner plates, vertical plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4



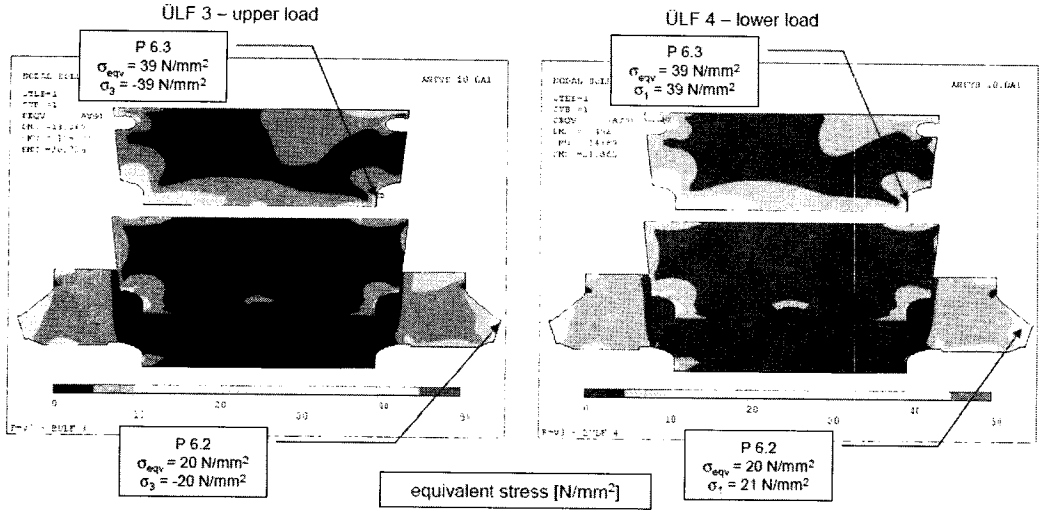
Beam web, outer plate, inner plates, vertical plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4



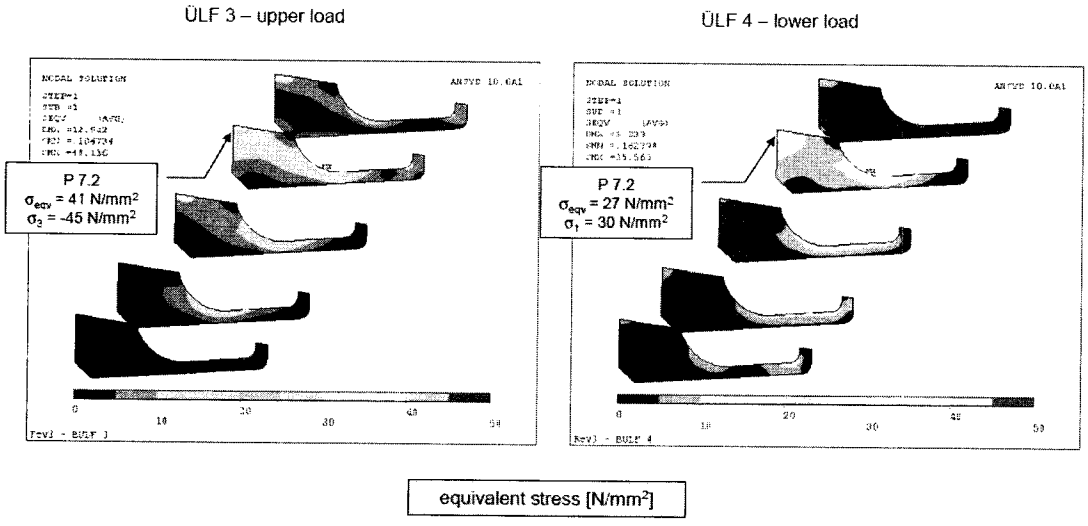
Beam web, outer plate, inner plates, vertical plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4



horizontal plates

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4

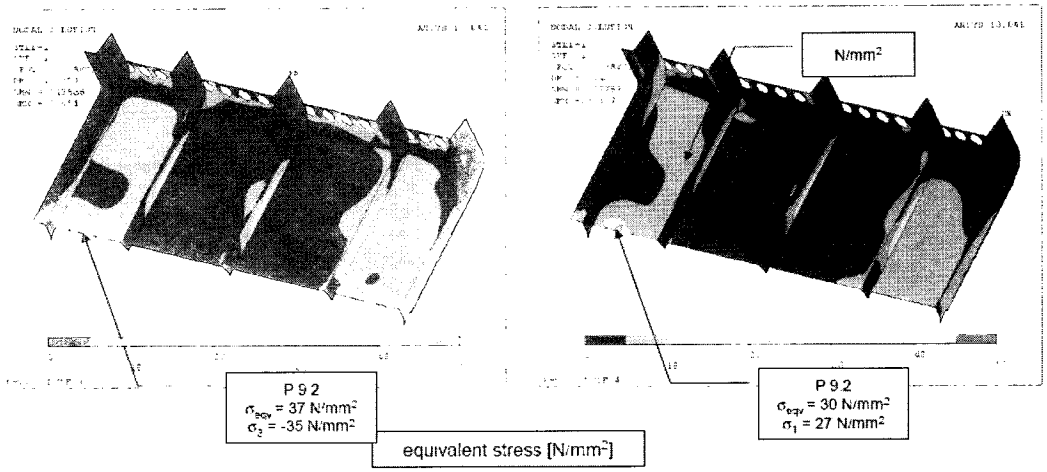


cantilever inner ribs

Articulation bracket
Service loads
ÜLF 3 / ÜLF 4

ÜLF 3 – upper load

ÜLF 4 – lower load



cantilever with outer ribs

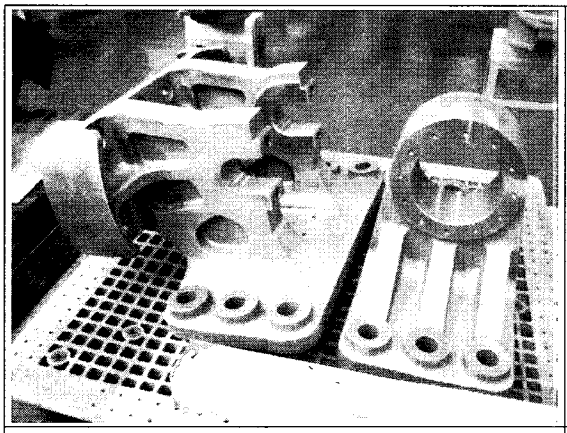
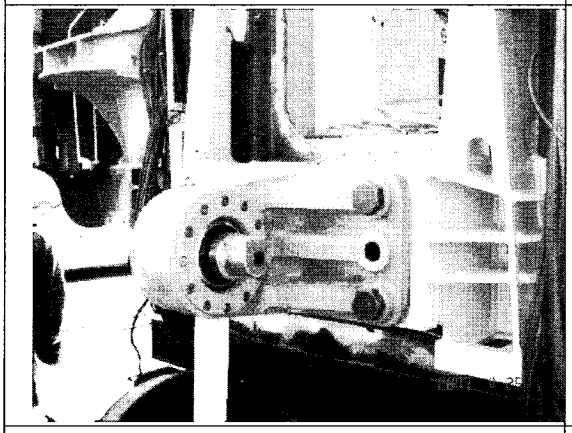
5. 연결 구조체 및 연결용 부수대차 제작 및 조립

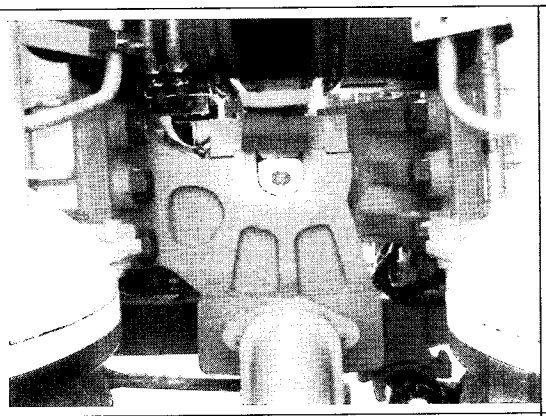
연결구조체 및 연결용 부수대차의 당해연도 목표인 완성품 제작 및 차량 취부를 차량 중점검 기간에 실시하여 최종 조립을 완료하였다. 단, 연결용 부수대차의 경우 차량 동특성의 결과에 따라 기존 동력객차대차에서 동일하게 사용 가능한 부품을 제외한 나머지 부품에 대하여 제작 완료된 부품과 기존 부품을 이용하여 완성하였다.

가. 연결구조체 조립 및 차입

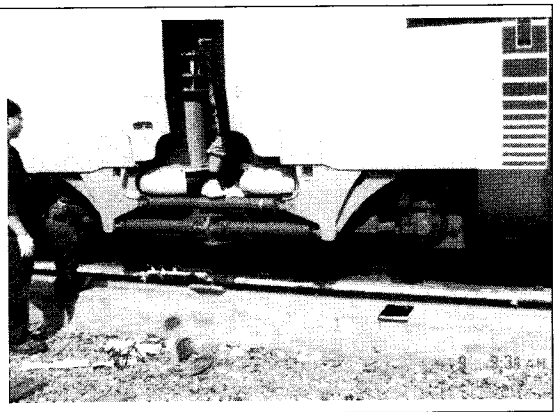
중점검 기간 중 연결구조체 제작 및 조립을 진행하였으며, 또한 조립 완료 후 G7 차량에 실적용하기 위한 차입 작업을 완료하였다.

아래 그림은 연결 구조체 제작 및 조립, 그리고 차량 차입 과정을 나타내었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>연결구조체용 주강 단품 제작</td><td>연결구조체용 조인트 조립</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>연결구조체 Inner 브라켓 차량 차입</td><td>연결구조체 Outer 브라켓 차량 차입</td></tr>
</table>



연결용 부수대차 조립 완료

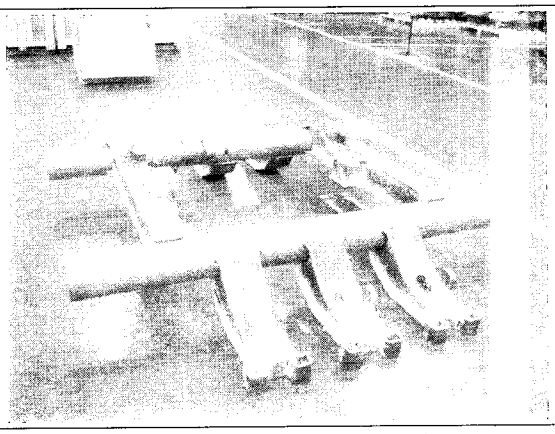


연결용 부수 대차 차량 차입 위치

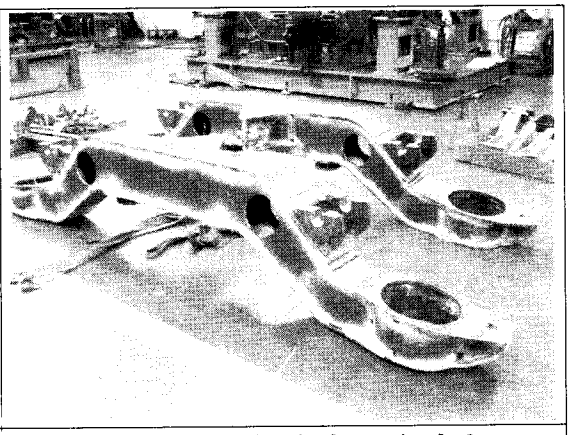
나. 연결용 부수 대차 조립 및 차입

중점검 기간 중 연결용 부수 대차 제작 및 조립을 진행하였으며, 또한 조립 완료 후 G7 차량에 실적용하기 위한 차입 작업을 완료하였다.

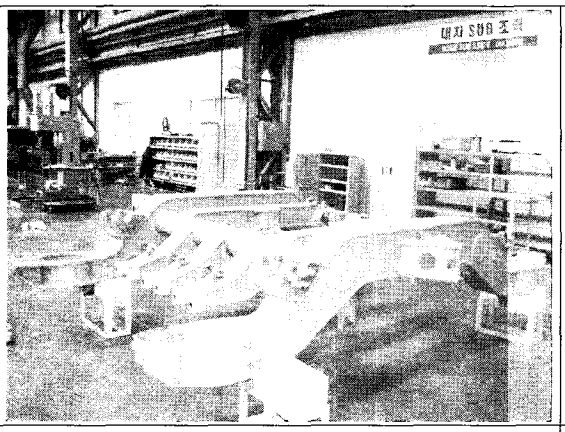
아래 그림은 연결용 부수 대차 제작 및 조립, 그리고 차량 차입 과정을 나타내었다.



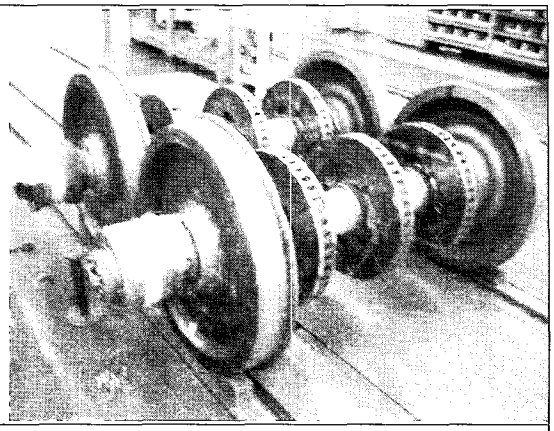
대차 프레임 트랜섬 용접품



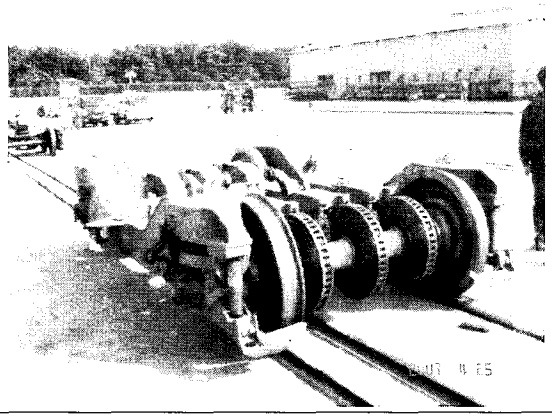
대차 프레임 사이드 용접품



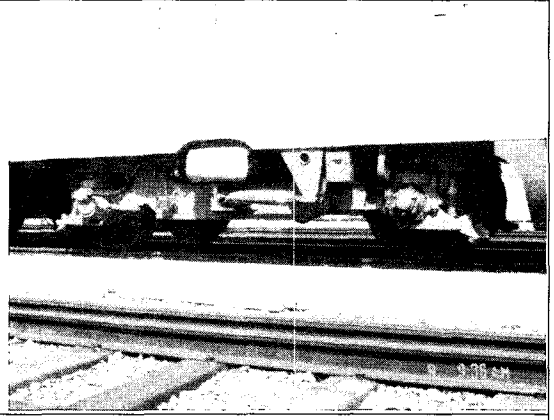
연결용 부수 대차 프레임 제작 완료



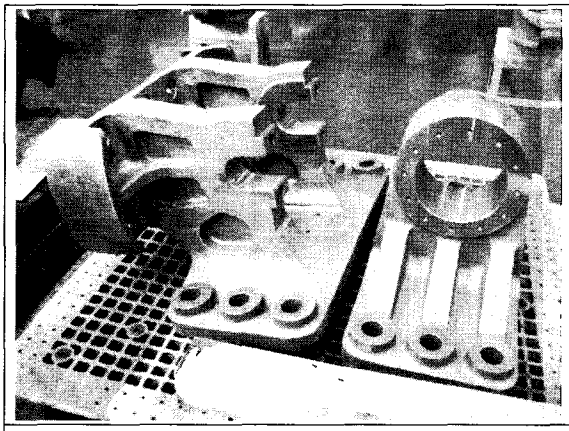
연결용 부수대차용 신규 적용 윤축



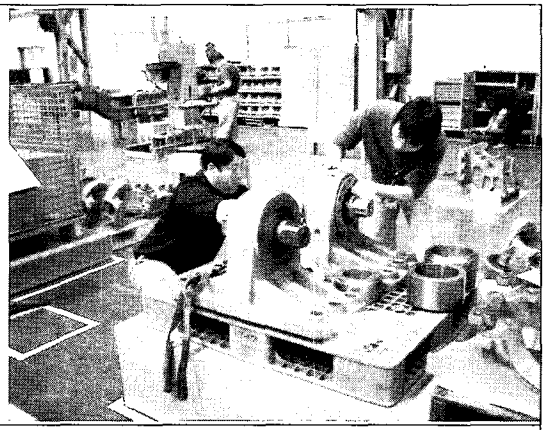
연결용 부수대차 조립 완료



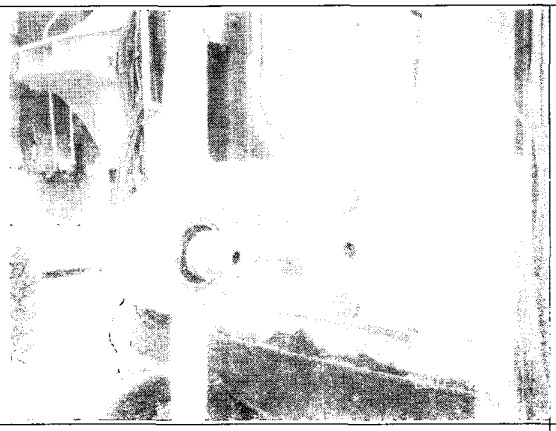
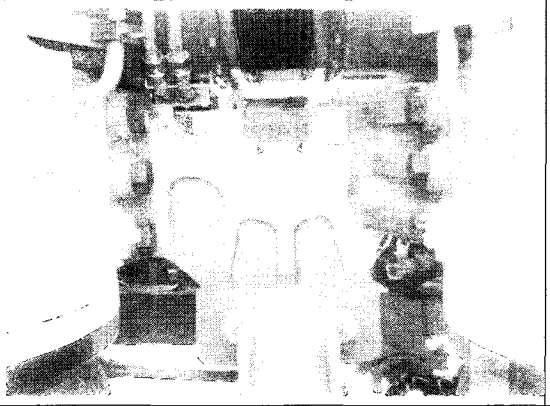
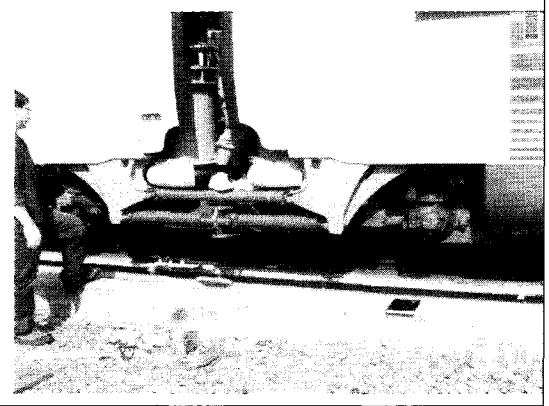
연결용 부수 대차 차량 차입 위치



연결구조체용 주강 단품 제작



연결구조체용 조인트 조립

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>연결구조체 Inner 브라켓 차량 차입</td><td>연결구조체 Outer 브라켓 차량 차입</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>연결용 부수대차 조립 완료</td><td>연결용 부수 대차 차량 차입 위치</td></tr>
</table>

6. 신규 관절 개발 및 장착

가. 개요

본 보고서는 한국형 고속차량 안정화 사업의 일환인 신규관절 개발 및 장착을 위한 취부에 대한 차체 개조 완료 보고서 임.

나. 현황

(1) 현황

- 기존 차량간 연결장치는 KTX의 개념을 근간으로 개발된 차량이므로 신규연결 구조체 취부를 위한 차체 개조가 필요하며,

- #8번 대차는 동력대차의 형태를 취하고 있으나, 신규대차는 동력장치가 없는 연결용 부수대차로 이를 취부 할 수 있도록 차체 개조가 필요함.

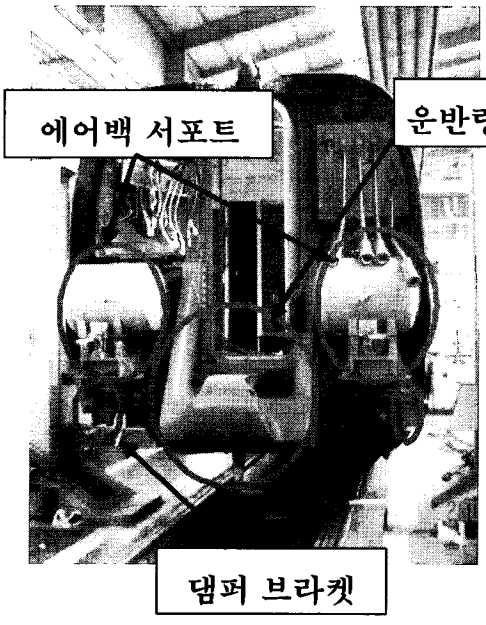


그림 1. TT4 차체 단부(케링링 쪽)

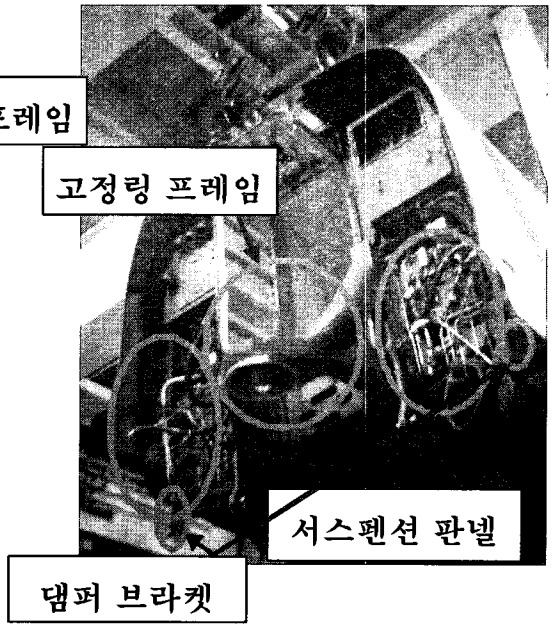


그림 2. TM5 차체 단부(픽스링 쪽)

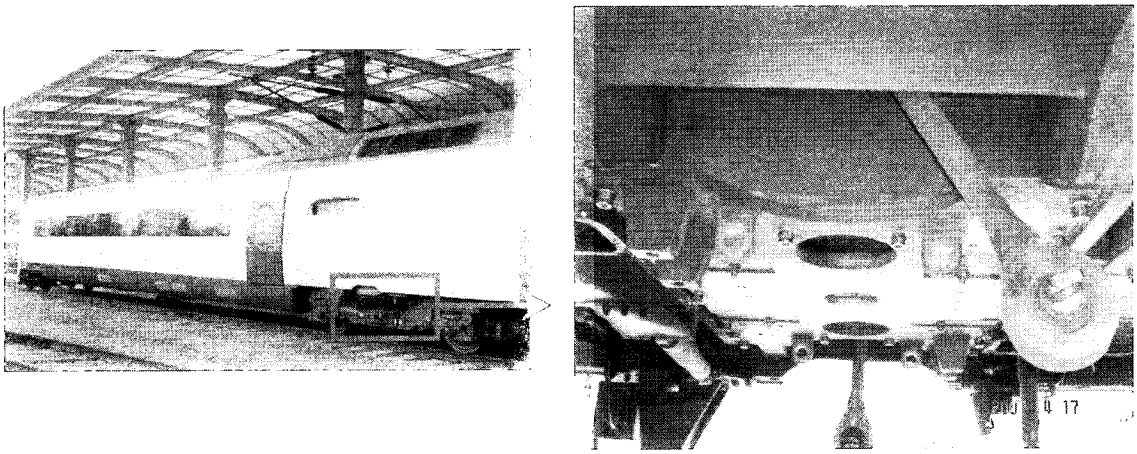


그림 3. TM5 차체 #8 대차 부위

(2) 구조해석

- 2006년 12월말 구조해석 1차 완료되었으며, 일부 보완을 거쳐 07년 2월초 구조해석 완료된 최종 보고서 접수하였다.

다. 개조작업 내용

(1) 작업 일정('07.4.2~5.9)

작 업 명	2007 4월 1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	5월 2	4	6	8	9	10	비 고
연결링 취부를 위한 구체 수정 작업																							
- 기존 차량 탈거(Carrying 링,Fixed링,갱웨이 등)																							
- 단부측 End panel,실내 및 실외 기기류/설비품류 탈거																							
- 단부 배전반 탈거 및 Junction box 케이블 해체																							
- 단부 suspension panel 탈거, 배관 제거																							
- 신규관절을 위한 차체 구조체(Articulation bracket, Airbag support, Damper bracket)조립																							
- 단부 신규배관 조립,단부 Junction box 케이블 조립																							
- 단부 배전반 및 Junction box 케이블 원위치																							

(2) 작업 범위

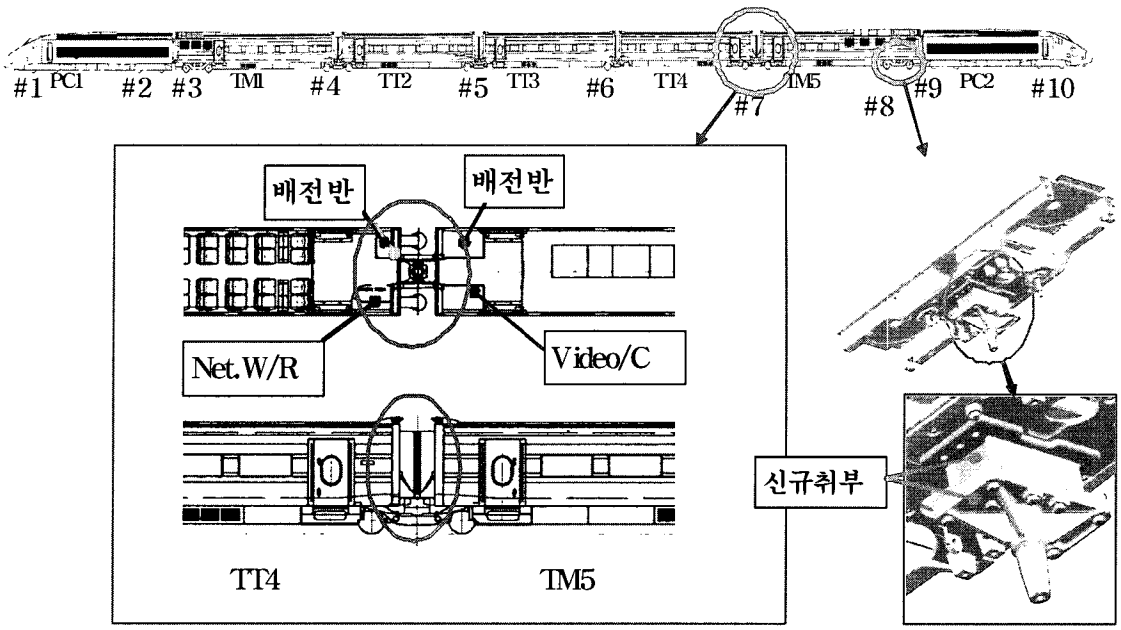


그림 4. 현차 개조 작업부위

(3) 작업 내용

- 차체단부(#7 대차)

1) 기존 차량의 구조물 탈거(Carrying 링, Fixed링, 갱웨이 등)

2) 단부측 End panel,실내 및 실외 기기류/설비품류 탈거

3) 단부 배전반 탈거 및 Junction box 케이블 해체

4) 단부 suspension panel 탈거, 배관 제거

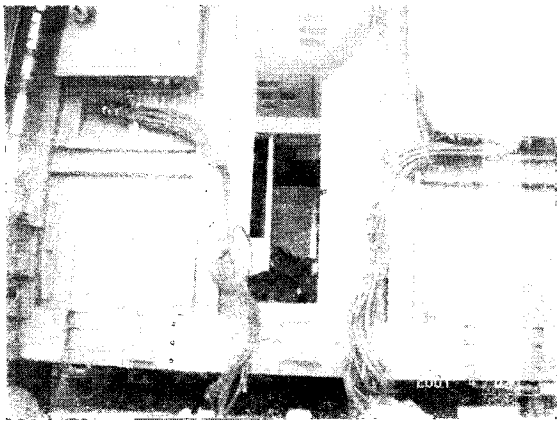


그림 5. 기존 차량 탈거(링 및 갱웨이)

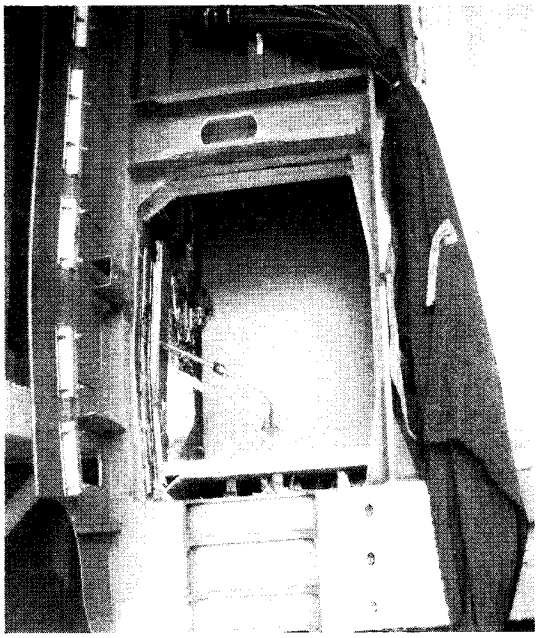


그림 6. 단부측 End panel,실내 및 실외 기기류/설비품류 탈거

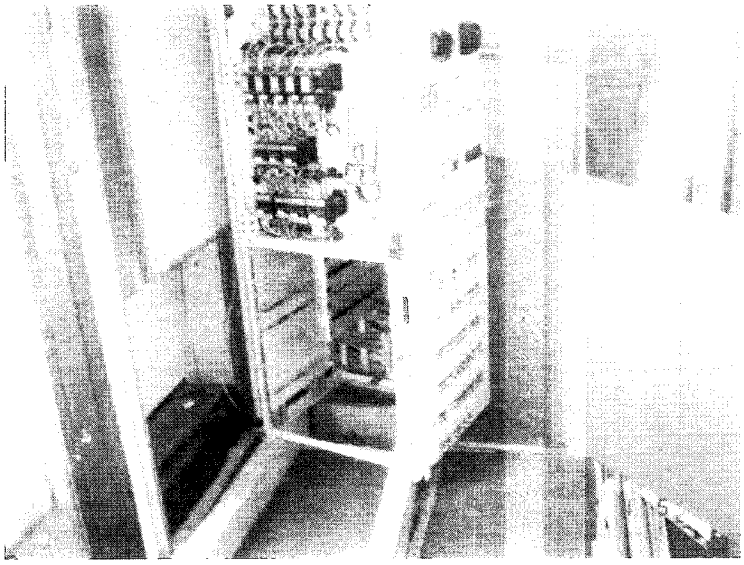


그림 7. 단부 배전반 탈거 및 Junction box 케이블 해체

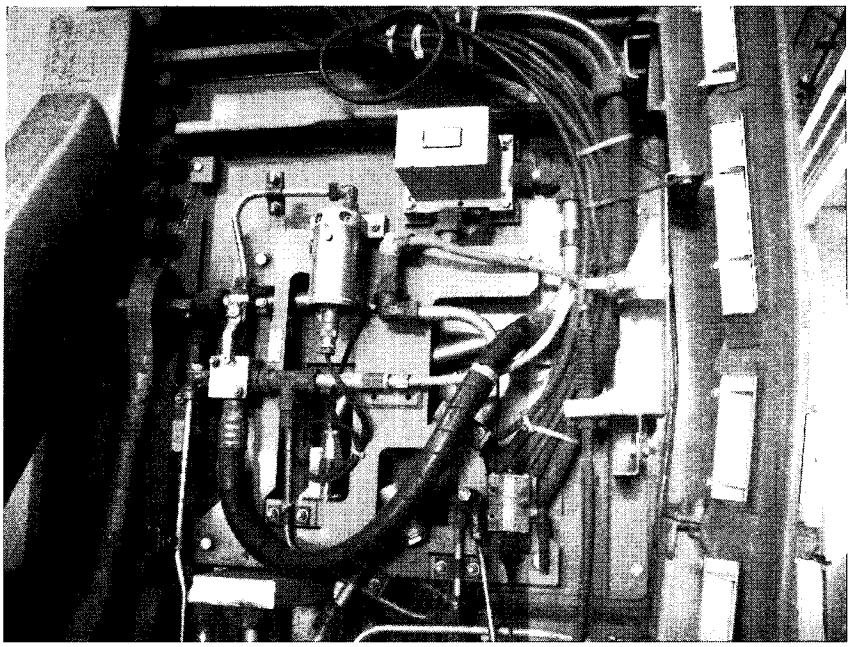


그림 8. 단부 suspension panel 및 배관 제거 전

5) 신규관절을 위한 차체 구조체 조립

- 한국형 고속열차 차량은 제작된지 5~6년이 지났으며, 이에 개조는 용접대신 볼팅으로 신규 부품을 장착함으로써 용접으로 인한 변형 및 차체강도의 손실을 줄이고자 노력하였다.

신규취부품은 다음과 같다.

① Airbag support(TT4 단부:2개, TM5 단부:2개)

② Articulation bracket(TT4 단부:1개, TM5 단부:1개)

③ Damper bracket(TT4 단부밑:2개, TM5 단부밑:2개)

6) 단부 신규배관 조립,단부 Junction box 케이블 조립

7) 단부 배전반 및 Junction box 케이블 원위치

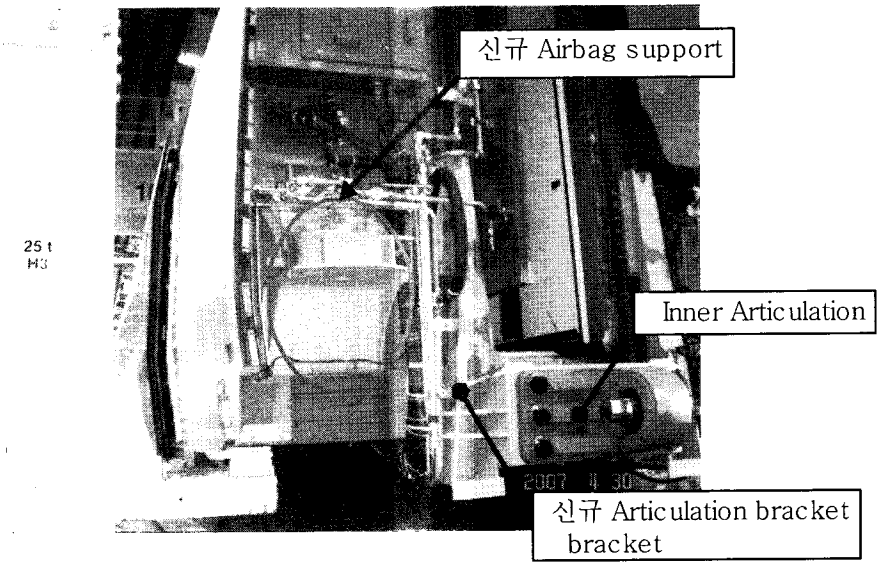


그림 9. 신규 브라켓 및 배관 취부(TM5 단부)

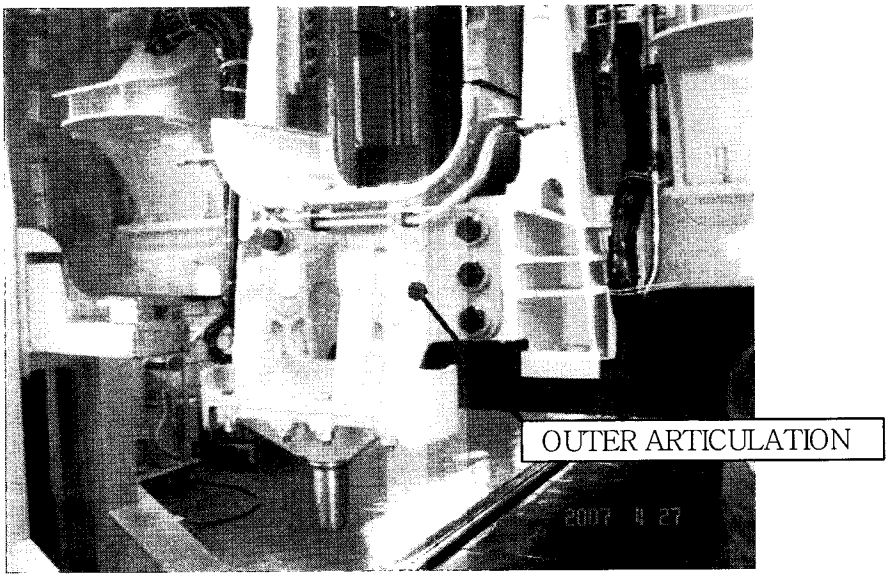


그림 10. 신규 브라켓 및 배관 취부(TT4 단부)

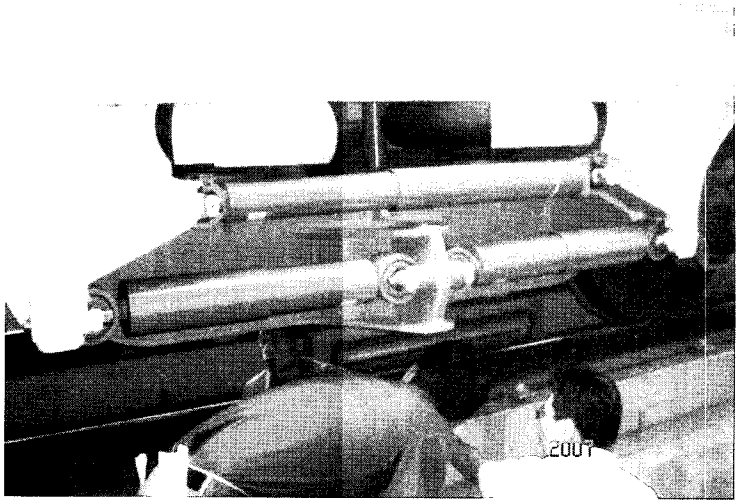


그림 11. 댐퍼 브라켓 및 댐퍼 취부

- TM5 볼스타 하부(#8 대차)

1) 기존 차량 부품 탈거(기존 Center pivot 등)
2) 신규 연결용 부수대차 브라켓(Center pvot bracket) 취부
3) 탈거된 덕트 등의 열린 공간 막음 처리

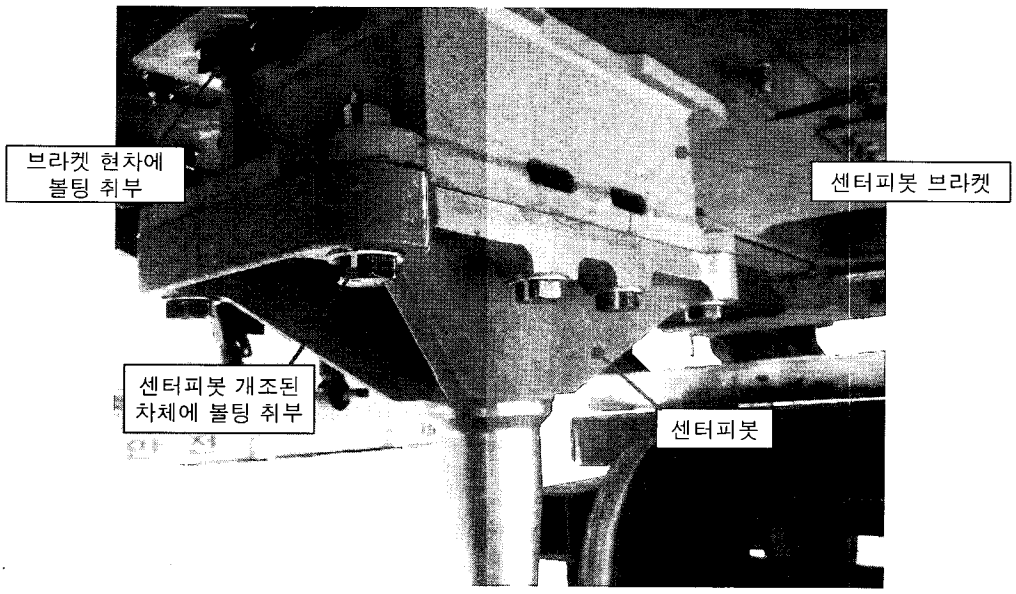


그림 12. 신규 부수대차 취부를 위한 센터피봇

라. 결론

신규관절 기술 확보를 위하여 신규관절 개발, 취부작업 완료하였으며, 몇 달간의 시운전으로 신뢰성운 충분히 확보되었다 사료된다.

제 5 절 모터블럭 (로템)

1. 일 반

G7 고속전철기술개발사업 단계에서 개발된 주 전력변환장치는 단상 교류 전원을 받아 직류전원으로 변환하는 장치인 컨버터부와 직류전원을 다시 3상 교류 전원으로 변환하여 견인전동기를 구동하는 인버터부, 그리고 컨버터부 Stack, 인버터부 Stack 및 견인전동기의 냉각을 위한 FAN 구동용 인버터인 Ventilation용 인버터부로 구성된다.

컨버터부는 4상한 PWM컨버터 2대를 병렬운전하고, 인버터부는 전압과 주파수를 동시에 제어하는 가변전압, 가변주파수(VVVF : Variable Voltage Variable Frequency)제어 방식을 적용 하였고, 또한 출력량을 변화 시키는 방법으로 Pulse의 크기를 일정하게 하고 Pulse 폭을 변화 시키는 Pulse폭 제어(PWM : Pulse Width Modulation)방식을 사용하였다. 추진시스템의 용량은 부하로 작용하는 견인전동기 용량과 역률 및 효율에 의해 결정되는데 본 과제에서 개발한 전력 변환장치의 용량은 3MVA급이다.

본선 시운전을 통해 타 기기와의 인터페이스 문제, 운행상의 시퀀스 문제, 노이즈 문제 등을 해결 하였으며, 주 전력변환장치의 증속 시험은 2004년 10월28일 334km/h, 11월23일 343km/h를 달성 하였고, 12월 16일에 354.7km/h 주행 시험을 달성 하였다.

그림 3.5.1-1 주 전력변환장치 주행 성능 시험 파형은 광명에서 신탄진 구간 까지 354.7km/h 주행 시험 시 측정한 시험 파형을 보인 것이다. 증속시험 이후 주행 안정화 및 신뢰성 확보를 위한 시험 및 개선이 추진되었으며 본선 시운전을 통해 그 성능을 확인하였다

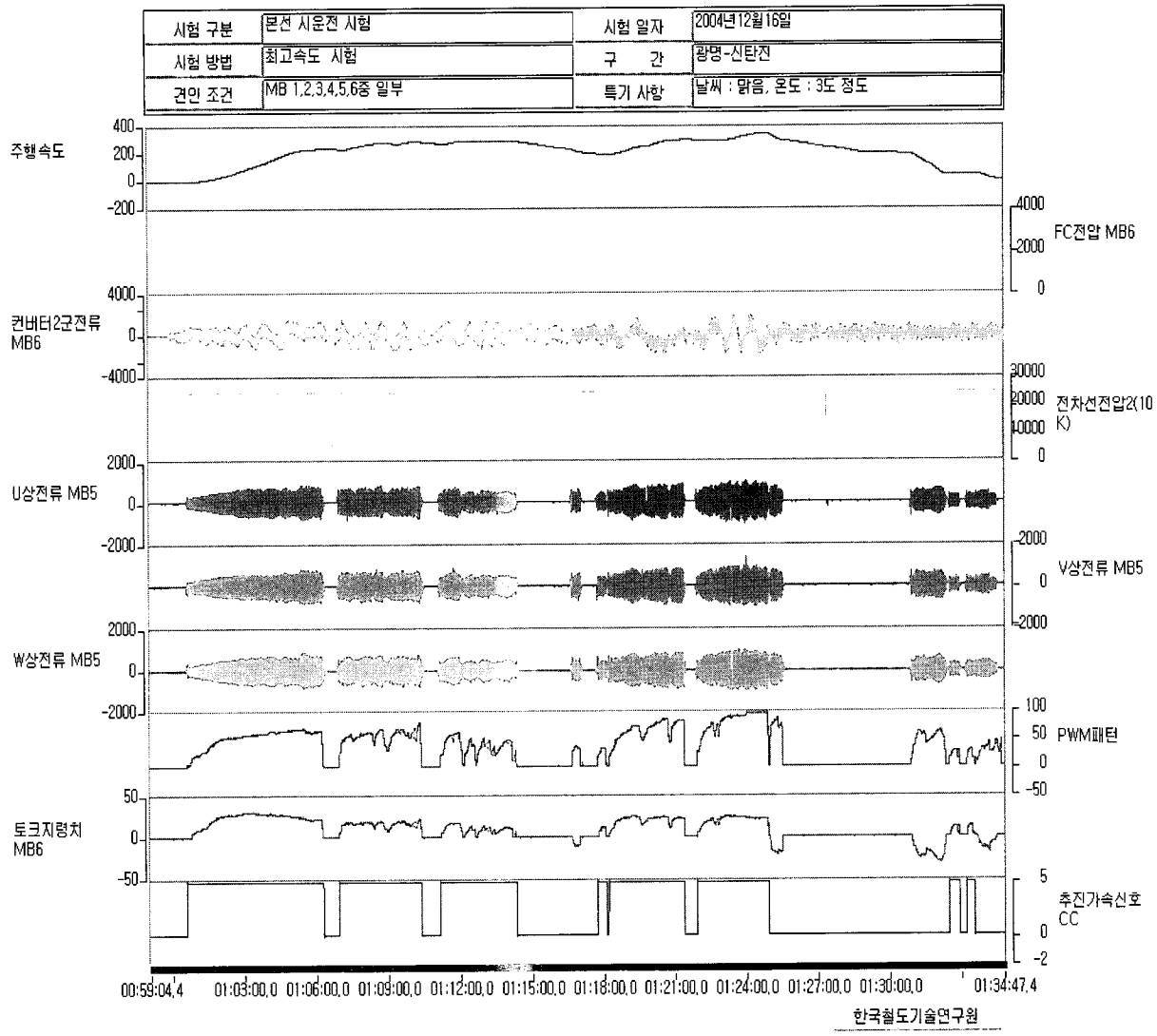


그림 3.5.1-1

2. 시운전 시험 및 보완

가. Motor Block 출력 전류 이상 개선

(1) Motor Block 출력 전류 이상 발생

200km/h 이상 고속 구간에서 MB #4의 출력 전류 이상으로 견인 전동기 입력에 이상 전류가 가해짐으로써 견인전동기의 흔들림 현상이 차에 그대로 전달되는 현상이 발생 하였다. 그림 3.5.2-1은 MB #4의 출력 전류 이상 현상이 생기는 출력 전류 파형을 보인 것이다.

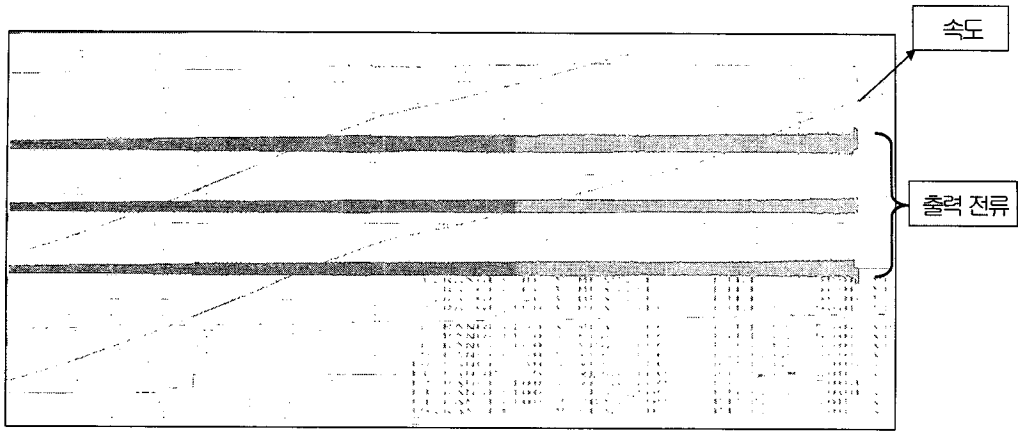


그림 3.5.2-1 Motor Block #4 이상 출력전류 파형

(2) Motor Block 출력 전류 성능 개선

(가) 주요 조치 내용

MB#4 탈거 후 의왕 공장 이송 및 조합시험장내 원인분석을 위한 시험 실시

① 세부 진행 사항

➢ 2004년 7월 12일 : 공장 이송

➢ 2004년 7월 12 ~ 16일 : MB 육안 및 부품 세부 검사

➢ 2004년 7월 19 ~ 24일 : 조합시험장내 원인 분석 시험

(견인전동기 및 관성부하 연결 시험)

➢ 2004년 7월 26일 : 오송 기지 이송 및 차량 탑재

➢ 2004년 7월 27일 : 본선 시운전 결과 양호

② 원인 분석 점검 및 조합 성능 시험 내용

➢ 배선 및 부품 검사

➢ 조합 시험 인터페이스 작업 실시

➢ 제어기 교체, 배선 교체, fiber optic 신호 교체, IGCT용 Main Power Supply 교체 시험

➢ 원인 규명을 위한 반복적인 운전 실시

③ 시험 결과

원인 규명 및 조치 후 시험 결과 출력전류 이상 현상 미 발생

➢ 원인 : 3개의 인버터 스택(U, V, W) 중 V상 스택 비정상

(스택 내부 IGCT 소자의 구동회로가 1 PULSE 제어 모드 구간 진입 후 오

동작 추정)

➢ 조치 : V상 스택 신품으로 교체

: 비정상 IGCT 소자 제작사(ABB) 송부 및 원인분석 의뢰

: 원인분석 의뢰 결과 IGCT 소자의 Version이 구형 Model로 오동작의 원인으로 밝혀짐.

➢ 시험 결과 : 출력전류 흔들림 현상 소멸 및 출력 정상

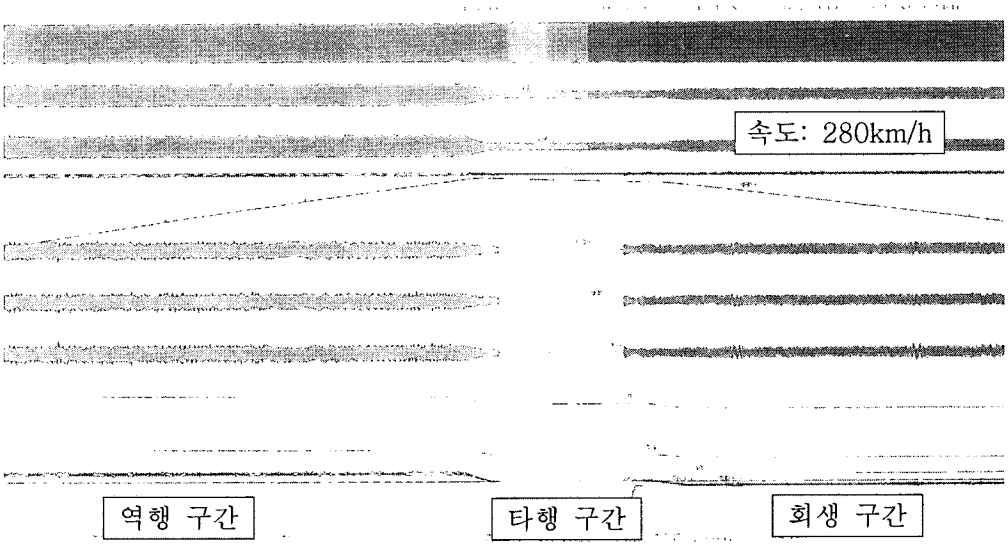


그림 3.5.2-2 Motor Block #4 정상 출력전류 파형

나. 통신 FAULT 보완 설계

(1) 통신 Fault 발생

200km/h 이상 고속 구간에서 Motor Block의 C/U와 TCU간 통신 고장이 빈번하게 발생하는 현상으로 견인력 부족현상의 유발 원인이 되었다.

고장 원인 중 통신 Fault가 차지하는 비율이 다른 고장 원인보다 상대적으로 많은 부분(78%) 나타났다.

2004년 1월 13일부터 2004년 6월 29일까지 고장 발생 내역을 표3..5.2-1에 보였다.

단위 : 건수

고장 내역	MB#4	MB#5	MB#6	계
출력전류이상	200km/h 속도 대에서 출력전류 이상발생	-	-	-
통신 FAULT	-	39	32	71
IGCT 소손	-	2	7	9
기타 보호 동작	-	5	5	10
계	-	46	44	90

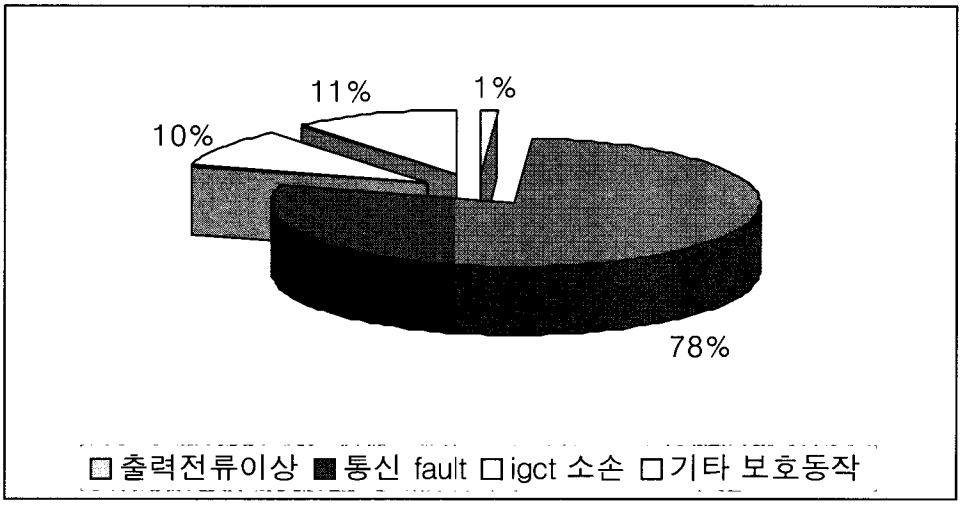


표 3.5.2-1 고장 발생 내역

(2) 통신 Fault 재발 방지를 위한 보완설계

(가) 주요 조치 내용

통신 프로그램 수정을 통한 통신 고장 처리 시퀀스 변경 적용 결과7월 이후 현재까지 통신 고장은 발생되지 않고 있다.

① 세부 진행사항

➢ 2004년 7월 1일 : 통신고장 프로그램 수정

② 시험 결과

➢ 2004년 7월 2일 ~ 현재 : 본선 시운전 시 통신고장 미 발생

③ 향후 계획

➢ 지속적인 EMI/EMC 시험 분석을 통한 항구적 대책 수립

이상과 같이 통신 프로그램을 수정하여 그 원인을 제거함으로써 주 전력 변환장치의 안정화 및 가동률을 높였다.

(나) TCU와 C/I 제어기간 RS485 Interface 회로

그림은 본 시스템의 TCU와 C/I 제어기간 통신 Interface 회로이다.

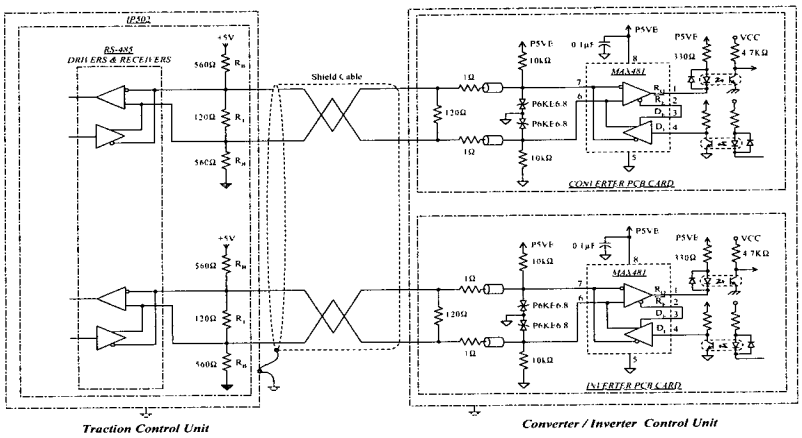


그림 3.5.2-3 TCU 와 C/I 제어기간 통신 Interface

다. Noise 방지 대책 Cooper Sheet 보완 설계

그림 3.5.2-4는 제어기로부터 IGCT를 스위칭 하기위해 Fiber Optic Cable을 이용하여 Gate신호가 들어가는 개방부의 Noise 유입 방지를 보완하기 위해 설계한 Cooper Sheet 설계도이다.

이 부분은 넓게 개방되어 있어서 주변의 고압에 의한 Noise가 노출되어 있는 상태이고, 정상 동작 중 이러한 노출된 Noise에 의해 오동작 할 수 있게 된다. 따라서 이부분에 대한 오동작을 미연에 방지 하고자 동으로 된 Cooper Sheet를 설계 제작하여 현차에 적용 하였다.

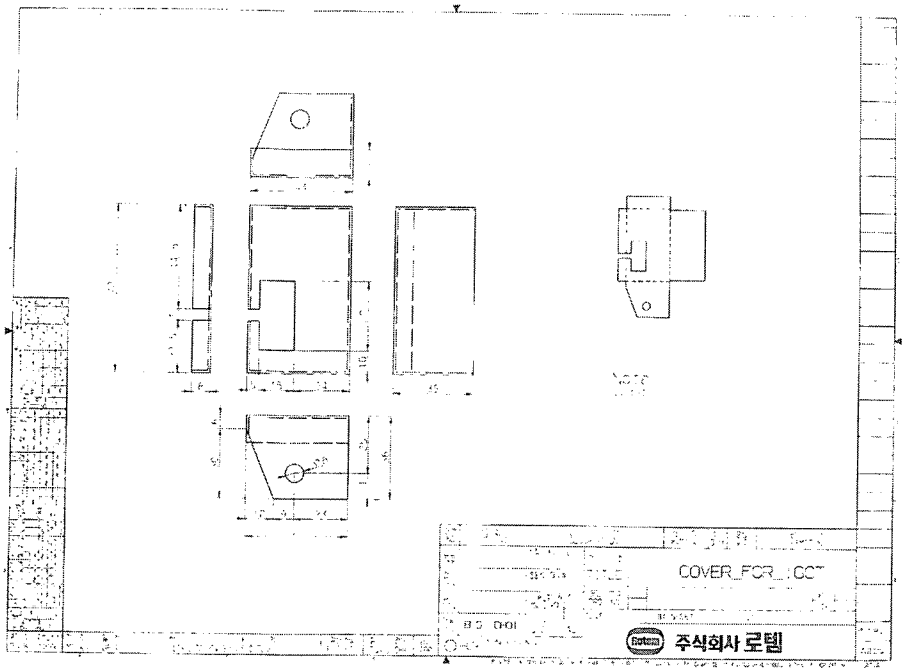


그림 3.5.2-4 Cooper sheet 설계도

그림 3.5.2-5는 본 Cooper Sheet를 적용하기 전의 IGCT의 GATE신호 인입구부위의 개방되어 있는 사진을 보인 것이고, 그림 3.3-6에 Cooper Sheet를 적용하여 개방 부위를 차폐한 사진을 보인 것이다.

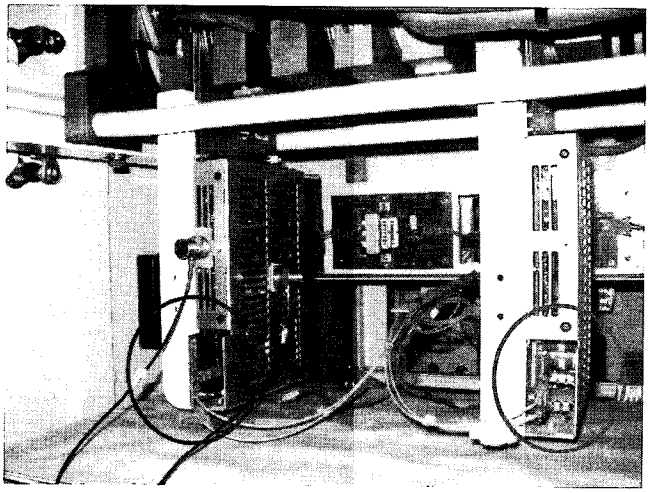


그림 3.5.2-5 Cooper Sheet 적용전 개방된 사진

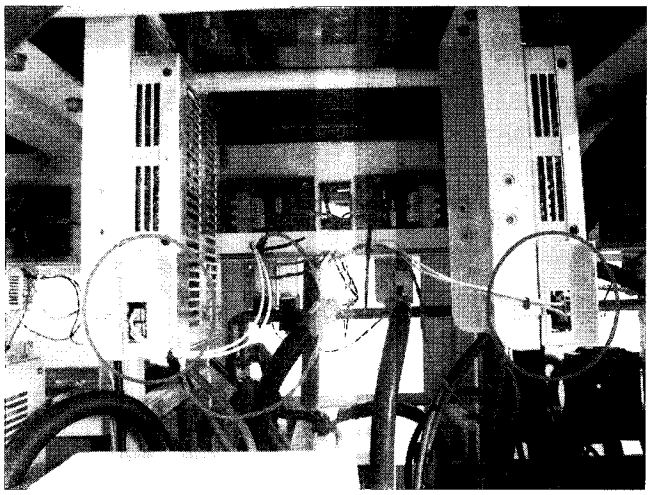


그림 3.5.2-6 Cooper Sheet 적용후 차폐된 사진

라. 주 전력변환장치의 저항 제동 기능 구현

사 구간 진입 또는 가선 전압이 29kV이상으로 가선이 회생 전력을 수용할 수 없을 경우 저항 제동을 실시한다. 저항 제동으로 생기는 제동력은 BCH를 통해 저항으로 소비된다. 저항 제동력은 저항 제동용 저항의 용량을 고려하여 회생 제동력의 60%로 한다.

(1) 구성요소

(가) BCH 스택

- IGCT, Free wheeling Diod
- Snubber 회로

(나) BCHRe

(2) 저항 제동 시퀀스

유도전동기는 기동 시 회전자의 자속이 형성되어야 하므로 발전 제동을 위해서는 충분한 DC 링크 전압의 확보가 중요하다. 그래서 회전자에 별도의 전류공급원을 가지는 동기전동기와 달리 유도전동기는 DC 링크 전압의 크기에 따라 저항 제동

동작에 제약이 따르게 된다.

그림 3.5.2-7은 저항 제동 동작 시퀀스이다.

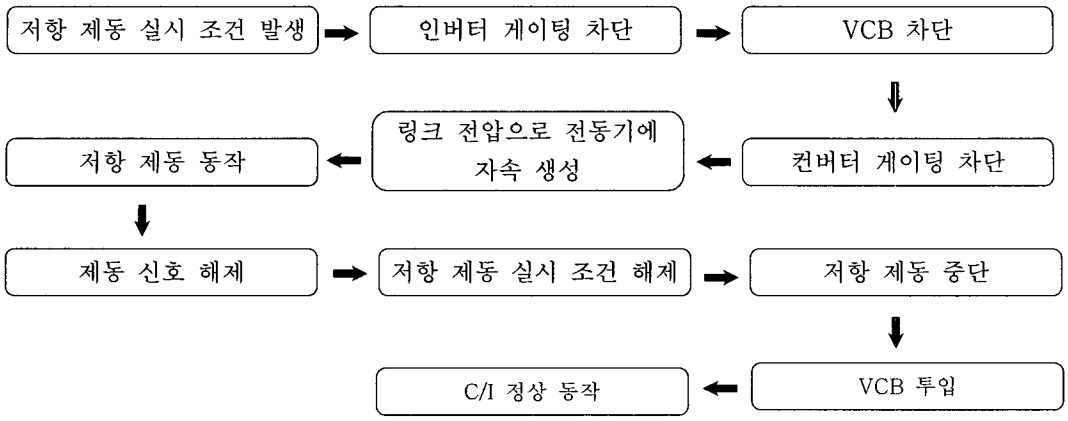


그림 3.5.2-7 저항제동 시퀀스

(3) 동작 파형

그림 3.5.2-8은 시운전시에 사 구간에서의 저항 제동 동작 파형이다.

DC 링크 전압이 초기 자속 형성 시에 급격히 감소하였다가 저항 제동력에 의해 다시 상승하는 것을 볼 수 있다.

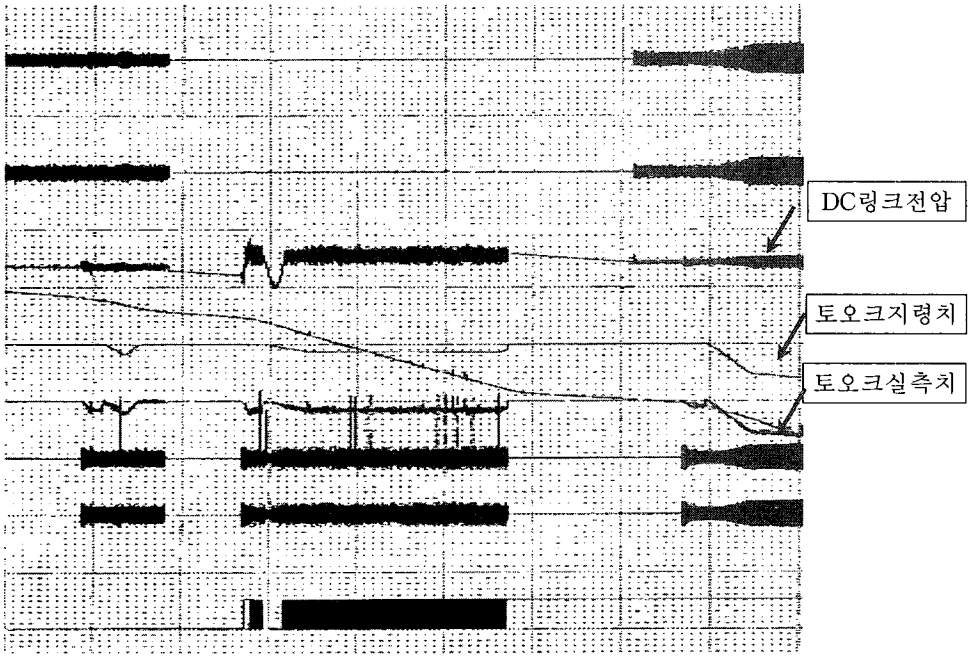


그림 3.5.2-8저항제동 파형

저항제동 적용 후 초기 운행 시 잦은 고장이 발생 하였으며, 특히 저항제동 모드 시 속도대별로 고장 발생 빈도 상이하였고 특히 100 km/h 근방에서 DC Link 과전압(VDOV)고장 발생 빈도가 높았다. 그림 3.5.2-9 는 저항제동 모드 중 고장 발생 파형이다.

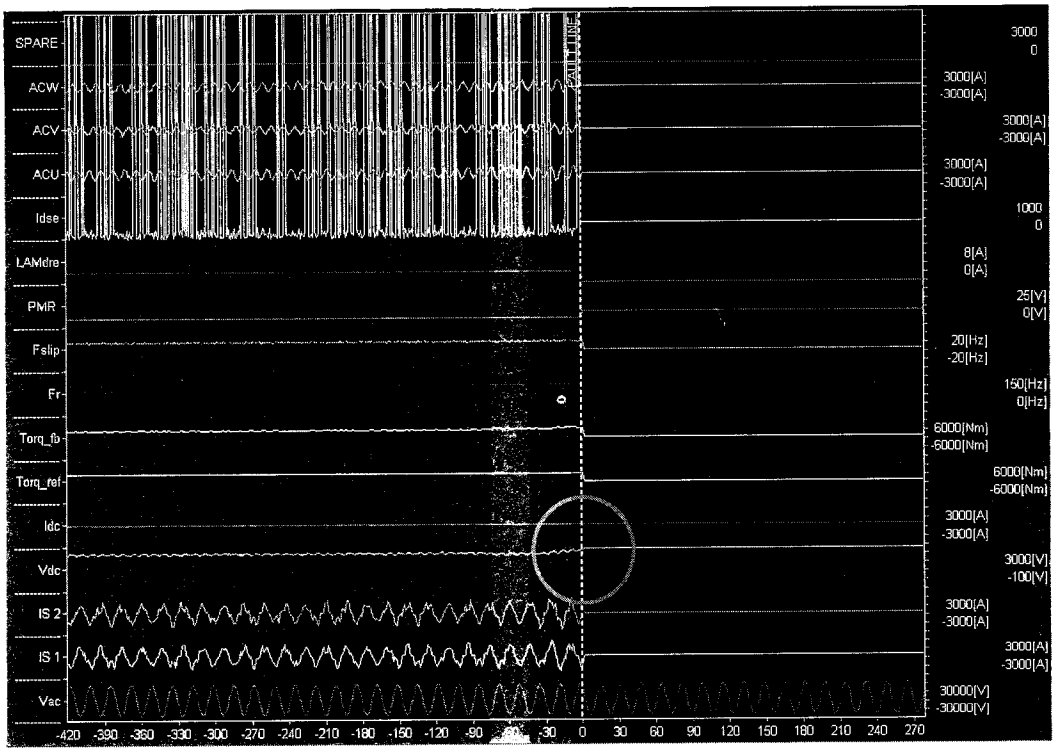


그림 3.5.2-9 저항제동 중 고장기록(VDOV) 파형

특정 속도대역에서의 저항제동 차단 문제를 해결하기 위한 프로그램 튜닝을 실시하며 전력제한, BCH Gate On 전압 등을 수정 및 보완 하였으며, 2007년 10월 8일 야간 제동시험 시 300km/h에서 정차 시 까지 정상적인 저항제동 동작을 확인하였다.

마. 절연구간 진입 시 전류제한 모드 시험

(1) 적용배경 및 시험 절차

견인이나 제동모드로 절연구간을 통과 할 시의 충격 최소화와 VCB 개방 직전까지의 동력 활용을 목적으로 적용 되었으며, 아래와 같은 시퀀스로 제어된다.

➢ 평탄선로 또는 상구배에서 열차가 절연구간을 통과할 때 차량속도와는 무관하게 절연구간 예고신호를 받는다.

➢ 주전력변환장치는 차량 진입속도를 이용하여 일정시간동안 출력을 유지한다.

➢ 이후 일정시간이 지나면 전류 감소제어를 시행한다.

➢ 토크 지령치의 10%까지 전류 감소제어를 수행한 후 수초 간 유지한다.

➢ 견인력 차단 신호가 입력되면 전류를 감소시키고, VCB 개방 시점에서는 견인력을 차단한다.

(2) 현차 적용시험(2007년 1월 9일)

2007년 1월 9일 절연구간에서 전류제한 시험을 실시하였다. 절연구간에서 사구간 진입신호시 바로 견인력을 10%로 감소하는 방안을 적용하지 않고 새로운 제어 방법을 이용하여 절연구간에서 견인력을 최대한 이용하도록 하였다. 그림에서 사구간 신호시 약 3초간 입력되는 견인력을 그대로 유지하다가 1초간 견인력을 감소 시키는 것으로 나타났고, 그 후 견인력을 10%로 유지, VCB 차단지점에서는 견인력도 차단 되었다. 이상의 결과로 사구간에서 전류제한 시험이 정상적으로 이루어졌음을 판단할 수 있다.

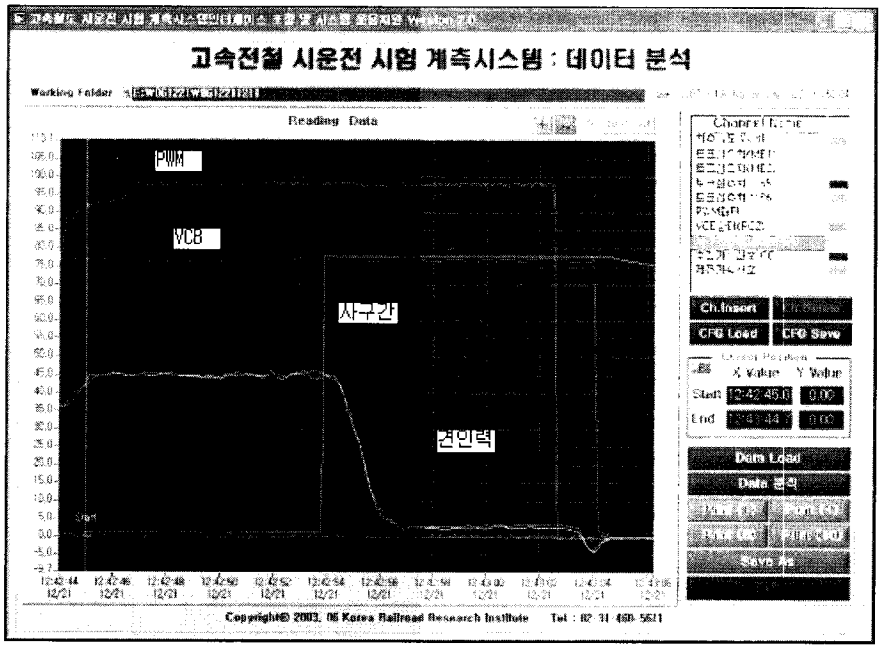


그림3.5.2-10 전연구간 전류제어 측정 파형

바. IGCT 전원용 Isolation Amp. 보완

시운전 중 간헐적으로 일어나는 IGCT GDU Fault를 방지하고자 기존 Isolation Amp.를 보완 설계하여 IGCT GDU로 가는 출력 단자를 2핀 구조에서 4핀구조로 변경 적용 하였다

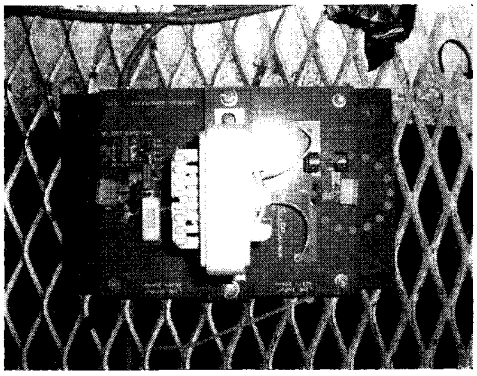


그림 3.5.2-11 기존 Isolation Amp.

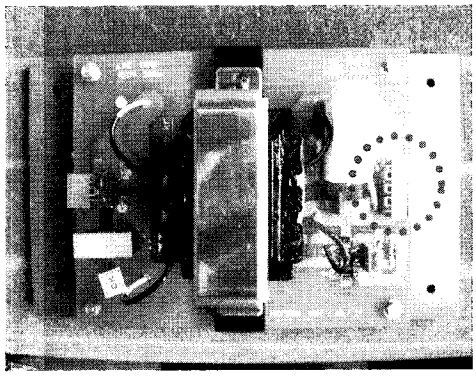


그림 3.5.2-12 신규 Isolation Amp.

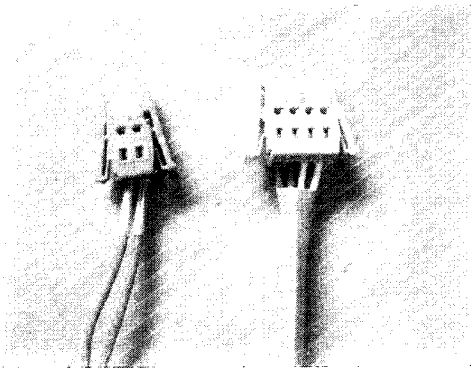


그림 3.5.2-13 2핀(기존)/4핀(신규) 출력선

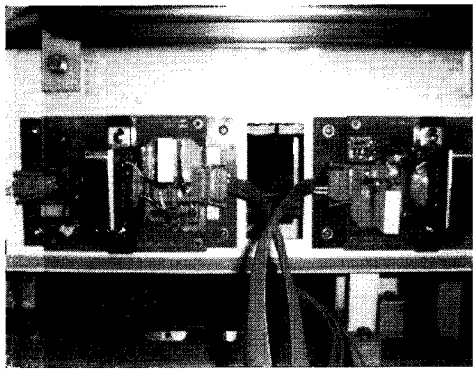


그림 3.5.2-14 신규 Isolation Amp. 취부모습

사.주전력변환장치 컨버터 부 클램프 저항 보완

본선 시운전 중 빈번히 발생하였던 컨버터부 IGCT 소자 고장과 관련, 고장발생시 클램프 회로의 소손 경위를 분석한 결과 소자 고장의 영향 보다는 운행 중 클램프 회로의 계속적인 스트레스 누적으로 인한 크램프 회로 소손이 IGCT 소자 고장으로 확대된다는 판단으로 주전력변환장치 컨버터부 클램프 저항에 대한 보완 및 교

체 작업을 실시 하였다.

(1) 기존 클램프 저항

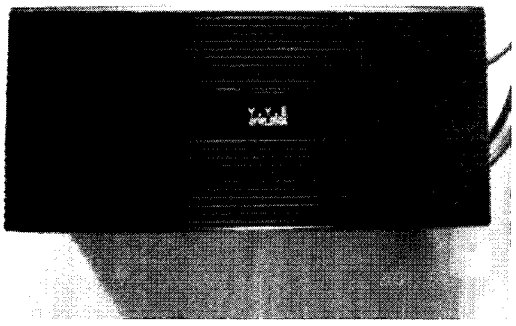


그림 3.5.2-15 클램프저항(정면)

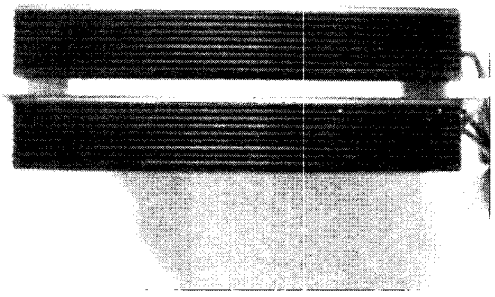


그림 3.5.2-16 클램프 저항(측면)

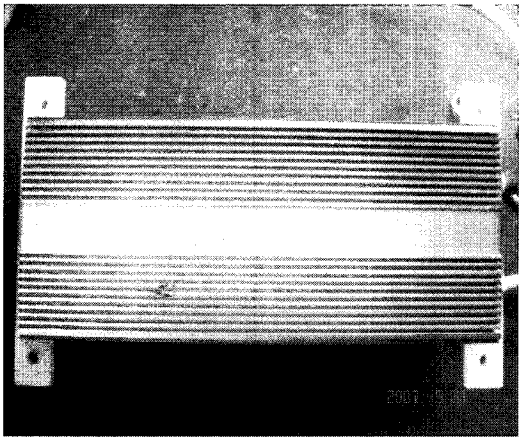


그림 3.5.2-17 소손된 클램프 저항(정면)

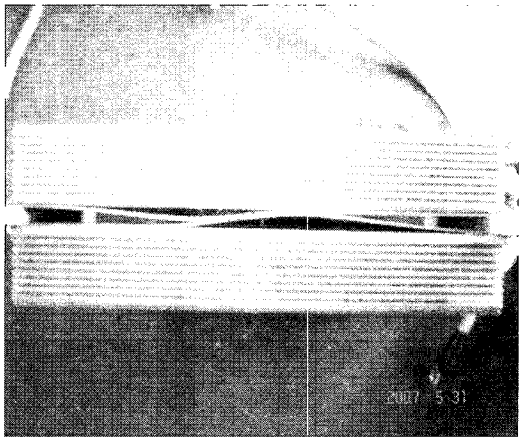


그림 3.5.2-18 소손된 클램프 저항(측면)

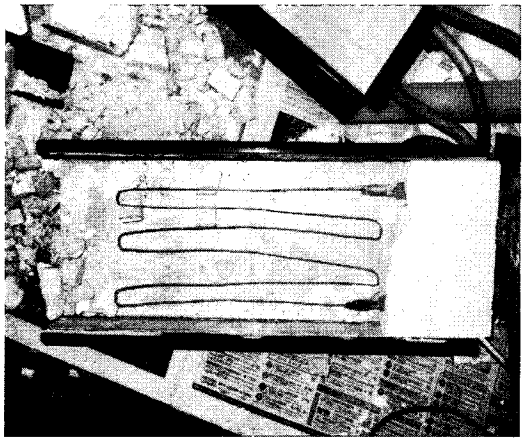


그림 3.5.2-19 소손된 클램프 저항(내부)

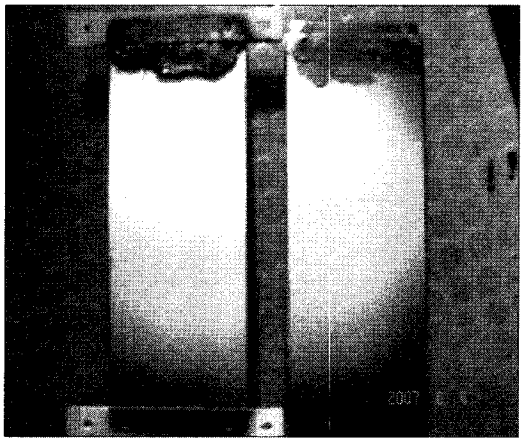


그림3.5.2-20 소손된 클램프 저항(단자대)

(2) 신규 클램프저항

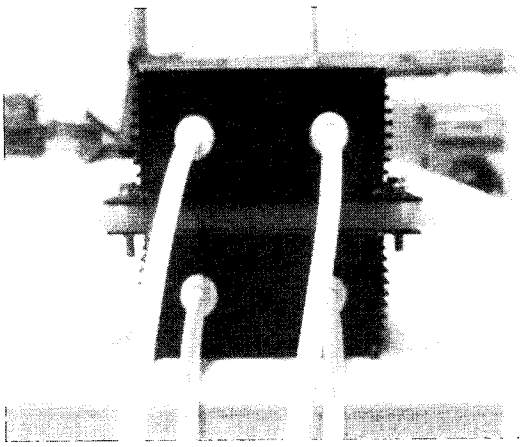


그림 3.5.2-21 클램프 저항(측면)

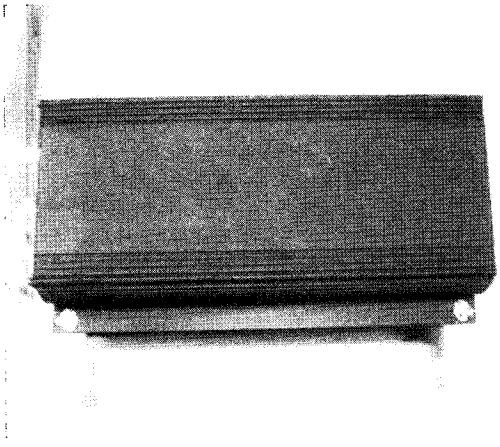


그림 3.5.2-22 클램프 저항(정면)

(3) 클램프 회로 전압 비교 측정

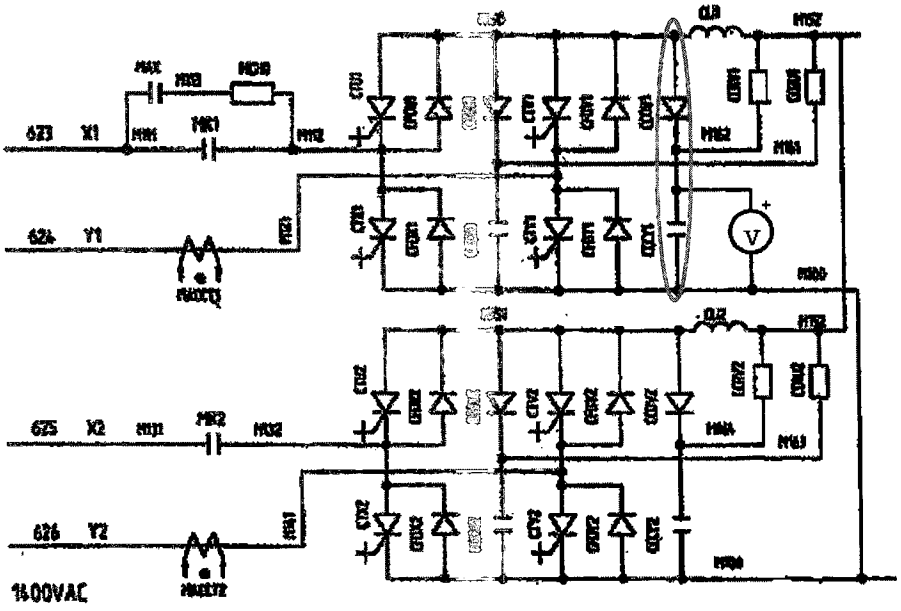


그림 3.5.2-23 클램프 전압 측정 위치

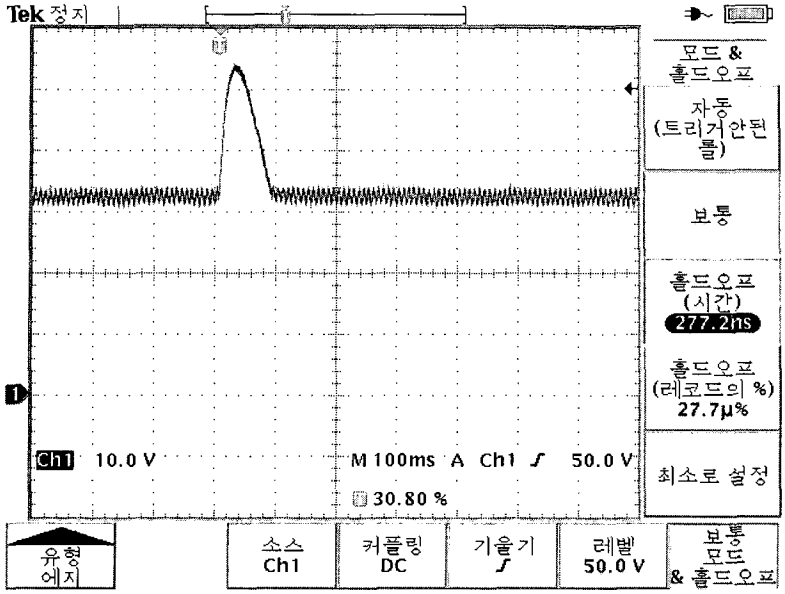


그림 3.5.2-24 클램프 전압 파형(기존 클램프 저항)

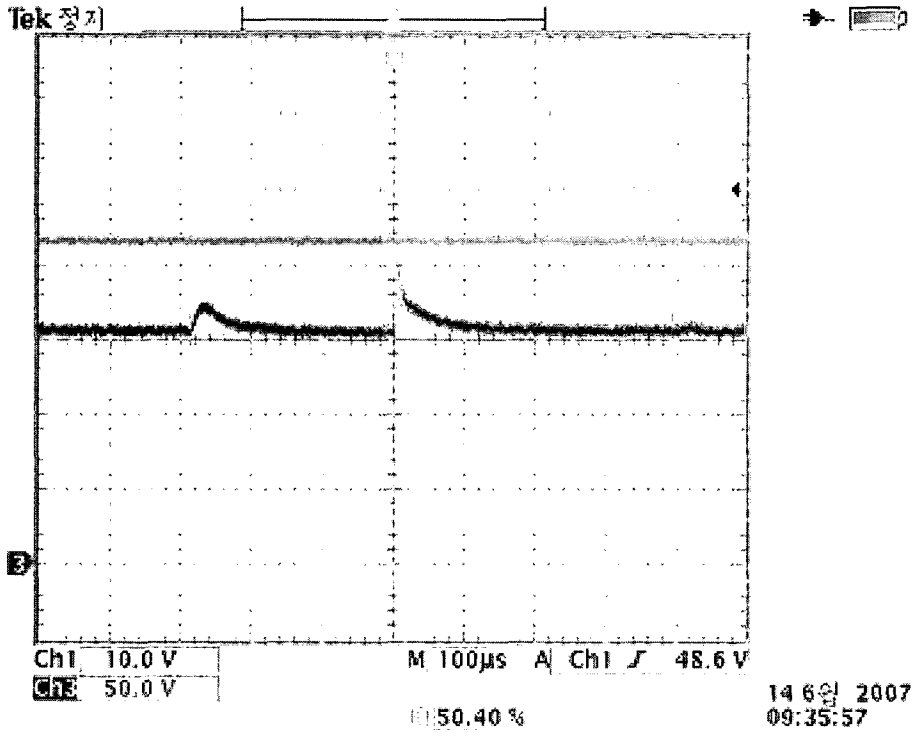


그림 3.5.2-25 클램프 전압 파형(신규 클램프 저항)

기존 클램프 저항 사진에서 보듯이 소손 시 표면 변색, 저항권선 단선 및 발생열에 의한 단자대 용융 등으로 이에 대한 보완이 필요하게 되었고 신규 업체 선정 및

시작품 제작과 현차 시험을 실시하였다. 또한 저항 교체 전/후의 클램프 회로 전압을 측정하여 클램프 저항에 따른 영향을 조사하였다. 그림에서 보면 신규 클램프 저항 적용 시의 클램프 회로 전압의 리플이 더 작은 것으로 측정되었고 이는 신규 클램프 저항의 방전능력이 기존 저항보다 더 향상 된 결과라고 판단된다. 2007년 6월 12일 주전력변환장치 컨버터 부 클램프 저항 일괄 교체 후 10월 15일 현재 40여 차례의 본선 시운전 기간중 한건의 IGCT소자 고장 및 클램프 회로 소손도 발생하지 않았으며 그 상태를 계속 모니터링 중이다.

3. TCU(Traction Control Unit) 개발

가. 연구개발의 목적

상용화용 TCU 하드웨어 제작 기술 및 소프트웨어 알고리즘을 개발하여 Traction Control Unit의 독자적인 제어기술을 확보하고 고속전철의 최적 운행제어와 시스템 안정화에 기여한다.

나. 연구개발의 실적

- 상용화용 TCU 하드웨어 1set 제작
- 상용화용 TCU 제어 알고리즘 소프트웨어 개발
- 조합시험을 통한 성능 확인

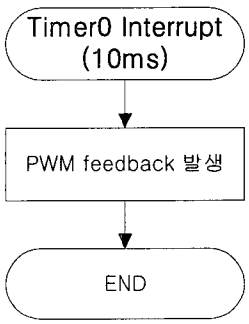
다. TCU 소프트웨어 제어 알고리즘

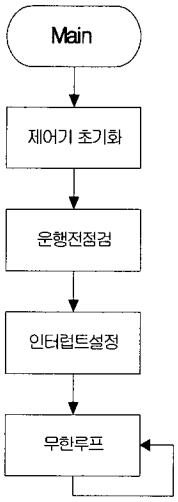
(1) 알고리즘 구성

TCU 알고리즘은 다음의 세가지 루틴에 의해 수행된다.

- Main loop : 운행전 점검후 해당 인터럽트 초기화 후 무한루프 수행

- Timer1 Interrupt : 25ms주기, 주요 제어 알고리즘 수행





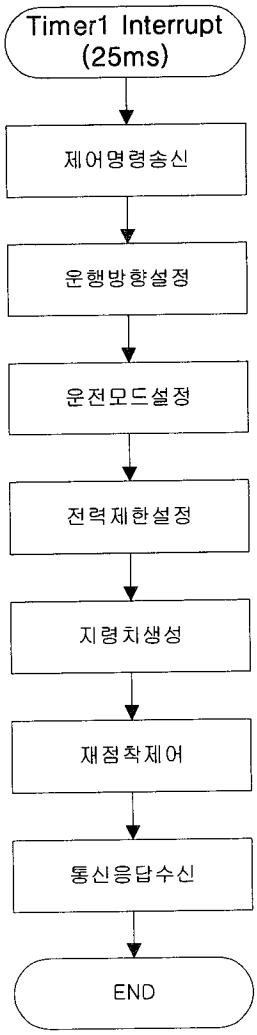
- Timer0 Interrupt : 10ms 주기, BCU로의 PWM feedback을 위한 PWM(72V, 100Hz)발생

(2) TCU 세부 알고리즘

(가) 운행전 점검 및 주전력변환장치 기동

초기 기동시 TCU에서 각 C/I 제어기의 초기화 소요시간을 고려하여 기동 후 5초 후에 각 C/I 제어기에 운행 전 점검 명령을 전달하며, 각 C/I제어기에서는 TCU의 운행 전 점검 명령에 따라 각 상태를 점검하고 이상유무를 보고한다. C/I 제어기에서는 기동 후 10초가 지날 때까지 TCU로부터 어떤 통신 지령도 입력되지 않으면 TCU의 고장으로 간주하고 모터블럭을 격리한다. 또한 TCU에서의 운행 전 점검 지령 후 C/I제어기에서 2초동안 점검결과를 응답하지 않으면 TCU에서는 고장으로 간주한다. 운행 전 점검 후 정상이 확인되면 TCU에서는 VCB투입상태를 확인하고 컨버터 제어기에 start 명령을 지령하며 TCU요청에 의해 컨버터 제어기는 MAK를 투입하고 저항을 통하여 돌입전류를 제한하고 DC link단을 충전시킨 후 MK를 투입하고 컨버터 스위칭에 의해 DC link 전압을 2600VDC로 제어한다. DC link 전압 확인 후 추진 또는 제동 지령 시 TCU는 인버터에 start명령을 전송한다.

운행 전 점검 시 이상 발생시는 TCU는 상세 고장 정보를 요구하며, 이에 따라 C/I는 상세 고장 정보를 전달한다. TCU는 고장정보를 기록하고 중고장 발생시 모



터블럭을 격리하고 대기한다.

(나) 운행방향 설정

시속 3km이하의 속도에서 Hard-wire에 의하여 운행방향이 지령되는 경우 또는 3km이상의 속도에서의 운행방향 지령이 현재 운행방향과 일치되는 경우 TCU는 인버터 제어기에 운행방향을 지령한다. 인버터 제어기는 TCU로부터 받는 지령에 따라 운행방향을 설정하고 이를 TCU에 확인한다. 전진과 후진모드 지령이 동시에 검출되거나 TCU의 지령과 인버터의 운행방향 불일치 검지시 TCU는 인버터에 타행운전모드를 지령하고 이 상황이 8초 이상 지속되는 경우 운행방향 불일치 고장을 기록하고 해당 모터 블록을 격리한다.

(다) 추진/제동 지령 요구 처리

MASCON의 운행모드지령에 의해 TCU는 현재 운전모드를 판별하고 추진, 상용제동, 비상제동지령을 인버터 제어기에 지시한다. 인버터 제어기는 TCU의 지령에 따라 운전모드를 설정하고 이를 TCU에 확인시킨다.

또한 현재 모터블럭의 격리상태와 모터블럭의 설치 위치에 따라 각 컨버터의 위상지연모드를 지령한다. 컨버터 제어기는 지령된 운전 모드 설정후 이를 보고한다.

(라) 추진/제동력 지령치 처리

MASCON의 PWM 인통선에 의해 지령된 %지령치에 의해 TCU는 현재 운전속도에서 발생시켜야 할 토오크 지령치를 계산한다. 추진시에는 견인전동기 개발 과제에서 제시한 전동기 속도-토크 특성곡선에 따라 실제 추진토크를 계산하며, 제동시에는 회생제동 특성 곡선으로부터 실제 제동토크를 계산한다.

지령치의 상승 및 하강시에는 Jerk 발생을 방지하기 위해 일정한 슬로프이하로 변화하도록 제한한다.

인버터 제어기는 운전모드와 TCU의 토크지령치에 따라 추진 및 제동을 수행하며, 그 결과 발생된 실제 추진/제동력을 TCU에 보낸다. 또한 현시를 위한 전류값을 보고한다.

(마) 전력제한

TCU는 각종 주변 고장상황 및 이상상황으로부터 인버터 제어기에 토크지령치 하달시 필요한 경우 전력제한을 수행한다.

전력제한은 입력 전압 상태, 주변압기의 과열정보 및 오일펌프 이상 정보, 견인전동기의 과열상태에 따라 이루어지며, 최종토크지령치를 수정하게 된다.

(바) 저항제동모드 구성

사구간 통과시 또는 회생금지 명령이 전달되는 경우를 가정하여 TCU에서 컨버터 및 인버터 제어기에 저항제동 모드구성명령을 지령한다. 이에 따라 인버터는 회생을 하지 않고 제동이 요구되는 경우 저항제동모드를 구성한다.

(사) Anti-slip/slide 제어

TCU에서는 휠의 슬립/슬라이드 상태에 따라 ASS 알고리즘을 수행하며 이 결

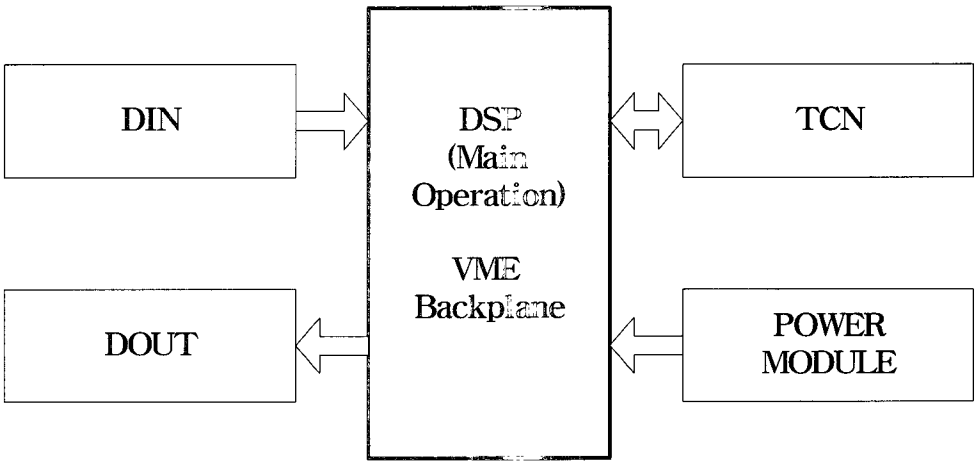
과는 인버터 제어기에 하달되는 토크 지령치에 반영된다. TCU의 ASS 알고리즘을 위해 인버터제어기는 전동기 각 축의 속도 정보를 주기적으로 제공한다. 제공되는 속도정보는 25msec 주기로 하며, 각 주기내의 평균치를 필터링하여 제공한다.

라. TCU 하드웨어 설계

(1) TCU Hardware 구성

(가) H/W Block diagram

하드웨어는 총 5장의 보드로 구성되나 TCN 보드는 인터콘 제작분으로 총 4장의 보드를 개발하였으며. 각 보드는 VME BUS로 연결된다.



(나) TCU Address Map

번호	Memory Address	**Peripheral device**	비고
1	0x000000~0x0FFFFF	DSP 영역	사용금지
2	0x100000~0x1FFFFF	VME	16Bit(R/W)
3	0x200000	DIN0	하위 16Bit(R)
4	0x200002	DIN1	상위 8Bit(R)
5	0x300000	DOUT0	16Bit(W)
6	0x400000~0x43FFFF	EEPROM	8Bit(R/W)
7	0x500000~0x51FFEF	NVRAM	8Bit(R/W)
8	0x51FFFF0~0x1FFFF	RTC	8Bit(R/W)
9	0x600000~0x63FFFF	SRAM	32Bit(R/W)
10	0x700000	PWM_COMP1	12Bit(W)
11	0x700002	PWM_COMP2	12Bit(W)
12	0x700004	PWM_CTRL	2Bit(W)
13	0x700006	PWM_DUTY1	12Bit(R)
14	0x700008	PWM_DUTY2	12Bit(R)
15	0x70000A	PWM_PERIOD1	12Bit(R)
16	0x70000A	PWM_PERIOD2	12Bit(R)
17	0x80800~0x8097FF	Internal Register	
18	0x809800~0x809BFF	Internal SRAM0 1K	32Bit(R/W)
19	0x809C02~0x809FC0	Internal SRAM1 1K	32Bit(R/W)
20	0x900000	MOTSPD1	16Bit(R)
21	0x900002	MOTSPD2	16Bit(R)
22	0xA00000~0xA00028	UART0~4	8Bit(R/W)
23	0xB00000	IRQ_MASK	6Bit(W)
24	0xB00001	IRQ_REG	6Bit(R)
25	0xB00002	UART_IRQ	5Bit(R)
26	0xB00003	VME_MODE	8Bit(W)
27	0xC00000	WD_LED	3Bit(W)
28	0xC00001	TCU_ID_SW	4Bit(R)
29	0xC00002	WD_REG	12Bit(W)
30	0xC00003	UART_IRQ_MASK	5Bit(W)

(2) DSP Board

(가) 기능

- 주연산 장치 : TMS320C31 32bit Floating point DSP , 50Mhz
- VME 브리지 : VME Master Bridge ADD24 , DATA 16
- NVRAM : 고장 기록 메모리 128KByte 8Bit
- Flash 메모리 : Firmware 저장 메모리 256KByte 8Bit
- SRAM : 프로그램 & 데이터 메모리 256KByte, 32Bit
- Watchdog : DSP 감시 장치.
- 리얼타임클록 : 실시간 타이머.
- RS485통신 : 4Ch ,38400Bps
- RS232 통신 : 1Ch, 38400Bps
- Serial Console : 115KBps, 1Ch
- TCU ID 설정 : TCU ID 설정용 4Bit Switch

(나) DSP Board 관련 함수

① Watchdog 관련 함수

void initWD() : Watchdog 관련 변수 및 레지스터 초기화

void WatchdogClr() : Watchdog timer clear 함수, 50 msec 주기

② Real Time Clock 관련 함수

void initRTC() : Real Time Clock 초기화

void rtcUpdate() : void readRtc() 500msec 주기로 호출함

void readRtc() : 현재 Real time을 읽어서 rtcTCU구조체에 저장함

void setRtc() : 사용자가 설정하는 현재 시각을 입력

③ NVRAM 관련 API함수

Byte nvramByteRead(Word addr) : nvram의 데이터를 1 Byte 리턴

Bool nvramByteWrite(Word addr , Byte src) : nvram에 1 byte를 저장

④ TCU_ID 관련 API함수

Byte ioReadSW() : 4BiT의 TCU_ID Switch의 값을 리턴

⑤ 통신 관련 함수

void initUart() : 16C554와 16C550 UART 디바이스를 초기화

void sendFifo(Word ch) : txBufd에 저장 된 데이터를 모두 전송

int getChar(Word ch) : rxBuf[ch]의 값을 리턴하고 rxTail[ch]를 1 증가

void rtsUpdate() : 각 통신 channel의 Request Send 신호를 제어

⑥ VME 관련 API함수

Bool vmeWriteA24D16(int add,Word data) : vme버스에 16Bit의 데이터를 씀

Bool vmeWriteA24D32(int add,Word data) : vme버스에 3216Bit의 데이터를 씀

Word vmeReadA24D16(int add) : Vme버스에서 16Bit의 데이터 읽기

Word vmeReadA24D32(int add) : Vme버스에 3216Bit의 데이터를 씀

Bool SetVmeMode(VME_AM am, VME_DM dm) : vme모드를 설정

(3) DIN BOARD

(가)기능

- 디지털 신호 인식 : 상태 신호 및 지령 신호

(나) DIN 관련 API 함수

Bool ioGetDin(Word BIT) : Din(Bit)의 값을 리턴

void ioUpdate(void) : ioTimeMax의 주기로 din data update

(4) DOUT BOARD

(가) 기능

- 디지털 신호 출력 : 접점신호 및 상태 신호 출력
- PWM 신호 : 견인 및 제동 지령치 계산, 제동달성치 출력
- 속도 신호 입력 : 모터 속도 계산

(나) DOUT 관련 함수

① 디지탈 신호

Bool ioSetDout(Word BIT) : 해당 Bit의 값을 1로 SET

Bool ioClrDout(Word BIT) : 해당 Bit의 값을 0으로CLEAR

② PWM IN

void initPwm() : pwm 관련 register를 초기화합니다.

void pwmInReadReg( ) : pwm duty register와 pwm period register 읽기

void pwmInMeaserment() : pwm positive duty를 계산

float pwmInGetDuty(Word ch) : pwm positive duty rate를 리턴

voidpwmUpdate() : pwm관련 함수를 upDate합니다. 주기는 10msec

③ PWM OUT 함수

Bool pwmGate(Word ch,Bool OnOff) : pwm out ch를 On / Off

Bool pwmSetDuty(Word ch, float duty) : pwm out ch의 positive duty를 설정

④ MOTOR SPEED 관련 함수

int spdGetCnt(int ch) Motor Encoder counter는 up/down 16bit 카운터

(5) Power Module

(가) 기능

- 제어전원 공급 : 72V를 받아 5V, ±12V 출력
- 속도센서 전원 공급 : 72V를 받아 15V 출력

마. 성능확인시험

(1) 시험 방법 및 블록도

개발 TCU의 성능을 확인하기 위해 토오크 지령치를 100% 최대견인력 지령치로 인가한 후 200km/h 까지 도달하도록 지령치를 유지하고, 이후 100% 최대제동력 지령치를 인가하여 전기제동이 소멸되는 8km/h의 속도까지 회생 제동을 실시하였다.

아래 그림은 조합시험시의 구성품 및 블록도이다.

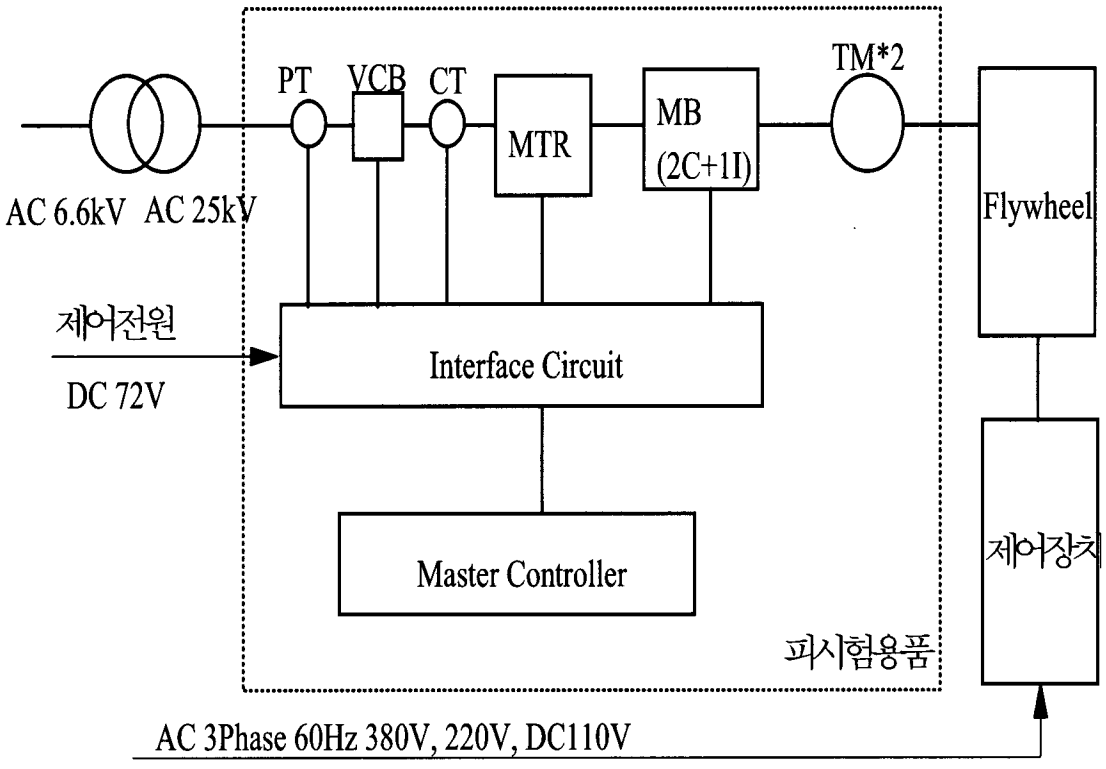


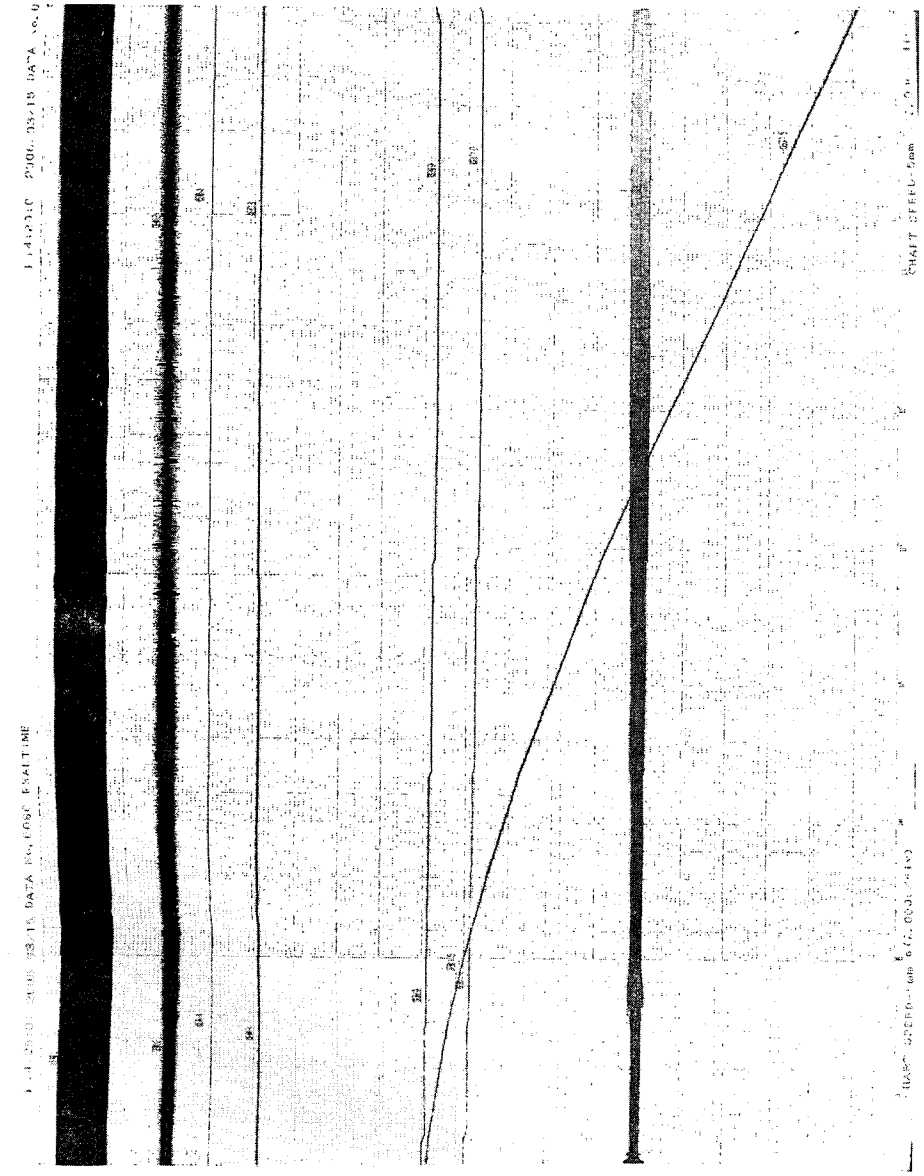
그림 3.5.4-1 조합시험 블럭도

(2) 시험 파형

(가) 역행파형


펄스 모드, 속도
20Km/h /div
U상 전류 3000A/div
토오크실측치 100kN/div
토오크지령치 100kN/div
DC 링크 전압
3000V/div
컨버터 1군 입력전류
3000A/div
가선전압 50kV/div

(나) 제동파형



펄스 모드, 속도
20Km/h /div

U상 전류 3000A/div

토오크실측치 100kN/div
토오크지령치 100kN/div

DC 링크 전압
3000V/div

컨버터 1군 입력전류
3000A/div

가선전압 50kV/div

4. 전문가 활용 기술 자문

가. 국내 전문가 기술 자문(한양대 현동석 교수)

(1) 기술자문의 목표 및 내용

(가) 목표

현재 나타나고 있는 고속전철 추진제어장치의 문제점의 원인을 분석하고 그 해결책을 찾음

① 주전력변환장치의 고장에 따른 파급 영향 분석

② 주전력변환장치의 안정적인 기동

(나) 내용 및 범위

주전력변환장치의 고장 발생시 추진시스템(Motor, Tripod, Axle Shaft, Bearing, Wheel etc.)에 파급되는 영향을 분석 제시하고 분석된 결과를 토대로 파급 영향을 제한 또는 최소화 하는 방법 및 고속전철 동력차에서 모터블럭 병렬운전시의 적정 전류 및 부하 분담이 균등하도록 제어하는 기법을 제안

(2) 주전력변환장치의 문제점

(가) Tripod 절손

①Tripod 구조 및 동작

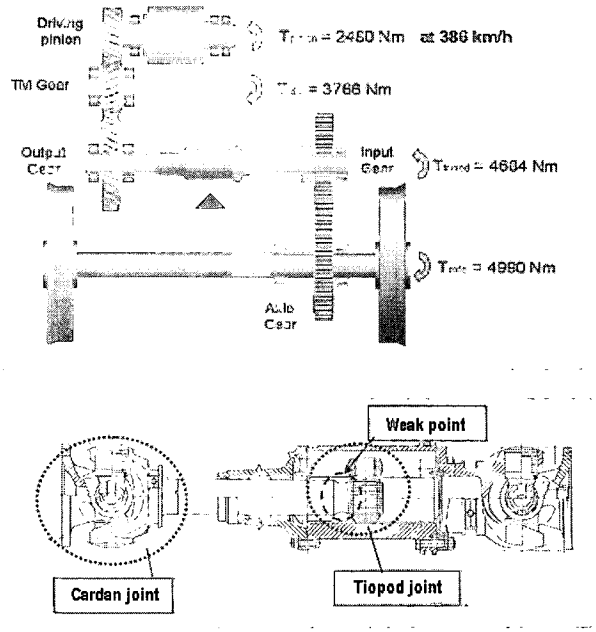


그림 3.5.5-1 Tripod 구조

Tropod는 과도한 힘이 가해졌을 때 제일 먼저 절소되 다른 추진장치를 보호하는 역할을 한다.

② Tripod 절손 발생

➢ 1차 절손

속도 : 약 90km/h

운전 모드 : 저항제동

피해 항목 : 8번 대차 두 축의 trpod 절손 및 인버터 U상, X상 IGCT 손상

➢ 2차 절손

속도 : 약 90km/h

운전 모드 : 저항제동

피해 항목 : 8번 대차 두 축의 trpod 절손 및 인버터 V상, Y상 IGCT 손상

③ Tripod 절손의 원인 파악 및 해결 방안

➢ 인버터 한 leg의 switch(IGCT)가 파손되면 인버터 3상 출력은 상전환이 발생

➢ 3상 회전기(전동기)에 이와같은 출력이 입력될 경우 3상 회전기는 정회전에서 역회전으로 반전하고 역토크(회전력)의 회전자계를 발생

➢ 또한 전류파형 분석 시 제2고조파 성분이 생성되며 이는 역회전력을 야기하는 회전자계를 발생

➢ 정상주행으로부터 저항제동 모드로 전환 시 발생되므로 전환모드순서 Switching Pattern(Control Algorithm) 수정 및 보완 필요

(나) 모터블럭 동시 기동 문제

① MB6 컨버터의 전류 불균형

MB6의 단독 동작 또는 MB5와 동시 기동 시 MB6 컨버터 1군, 2군 전류의 불평형 발생.

② 동시 기동 시 컨버터 전류 상승

MB6과 MB5를 동시에 기동 시켰을 때 단독 기동 시 보다 더 큰 컨버터 입력 전류가 흐름.

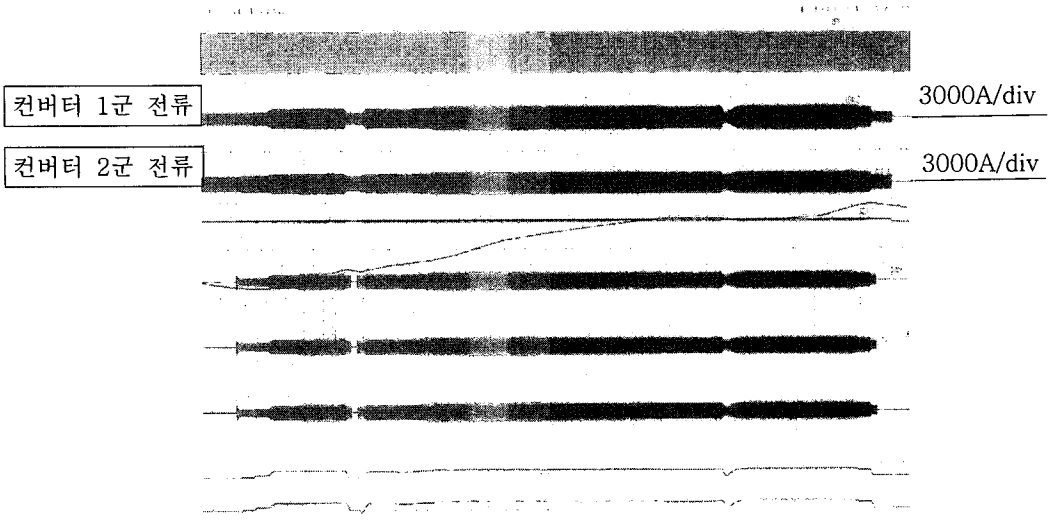


그림 3.5.5-2 MB6 단독 운전시 파형

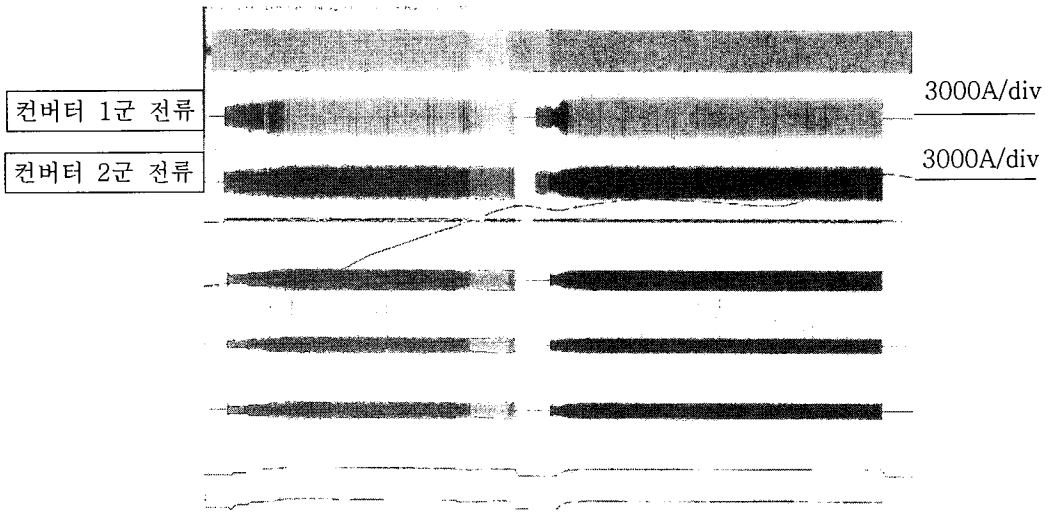


그림 3.5.5-3 MB5와 동시 기동시 MB6 파형

③ IGCT 소손을 방지 할 수 있는 모터블럭 병렬운전 제어

➢ 변압기 권선의 비대칭 배치 시 각각의 누설 인덕턴스가 상이하게 되어 부하전류의 과도 및 정상상태 값이 다르게 됨

➢ 변압기 권선의 대칭 배치가 필수 적임(누설 인덕턴스 값 일치)

➢ 부하전류를 균형화(Balancing)할 수 있는 전류제어기법 도입

➢ 클램프 회로 최적화 시뮬레이션에 따른 소자 용량 추전

제6절 보조 블럭

1. 일반

가. 보조 컨버터(Auxiliary Block Converter)

보조 블록 중 보조 컨버터 장치의 주요 기능은 한국형 고속 열차 내 승객 편의 시설 장치 및 각종 전장품에 대한 전원을 공급하여 승객 서비스 질 향상 및 고속 열차의 안정적인 운행을 위한 장치이다. 주요 부하 장치로서 에어컨 여압기 등에 전원을 공급하는 375[kVA] CVCF Inverter, 냉각 및 공기 압축기용 52[kVA] VVVF Inverter 및 배터리 충전 및 직류 부하에 전원을 공급하기 위한 Battery Charger 등이 있다. 또한, 주로 겨울철에 가동되는 운전실 및 객실의 Heater장치에 전원을 공급한다. 보조 컨버터 장치의 신뢰성 계획을 토대로 IGBT 및 GDU 보완 및 1, 2군 동시기동을 위한 시스템 개선을 통하여 시운전시 성능과 특성을 측정하여 장치의 내구성 및 신뢰성을 확보하는데 주력하였다.

나. 52[kVA] VVVF Inverter

보조 블록 내 보조 컨버터에서 공급하는 DC 670[V]를 입력으로 하여 공기 압축기용 전동기(Compressor Motor)의 3상 교류 전원을 공급하고, 주 변압기 오일 펌프(Transformer Oil Pump)와 모터 블록(Motor Block)과 보조 컨버터의 냉각 Fan에 3상 교류 전원을 공급하는 인버터 장치이다. 현재 시험 운행 중인 한국형 고속 철도에는 별도의 보조변압기가 탑재되어 있으며, 이 보조 변압기를 냉각하기 위한 별도의 52[kVA] VVVF Inverter 장치가 있다. 안정화 과제에 간헐적인 정지현상을 피하기 위한 시험 및 계측 및 분석을 통하여 프로그램 수정을 통한 고속선 및 기존선 구간에서의 주행 시에도 안정적인 전원공급 가능에 대한 신뢰성 여부를 판단하였다.

다. 375[kVA] CVCF Inverter

CVCF Inverter는 입력 전압 DC 670[V]를 입력으로 하여 여압장치 및 에어컨 부하 등의 입력 전압인 AC 440[V]로 변환시키는 인버터 장치이다. 공급전원의 출력 전류 및 전압의 안정적인 공급을 위한 계측 및 신뢰성 분석을 통하여 AC 220V 전원의 안정화에 주력하도록 장치검토를 하였다.

2. 시운전 시험 및 보완

가. 시운전 시험

(1) 일반

보조전원장치 주행시험 시 모터 블럭의 컨버터가 기동하면서 보조 컨버터에 흐르는 입력전류의 크기가 증가되었으며 차량의 속도가 증가되면서 입력전압의 크기는 변화가 없으나 보조 컨버터의 입력전류가 크게 증가되는 것을 확인하였으며 속도의 증가에 따라서 부하량은 일정속도까지는 FAN의 속도 증가로 부하량이 증가된 후 어느 일정속도에 도달하면 더 이상의 부하증가는 없는 것을 알 수가 있었다. 하지만 차량속도가 증가하면서 입력전류도 증가하고 위상이 점차 벌어져서 보조 블록 내 보조 컨버터에서 입력 과전류 현상이 간헐적으로 발생되었다. 이러한 현상을 방지하기 위해 수행한 작업 중 위상의 시간 지연 조정은 현재 상태에서 주변압기로부터 권선간 임피던스간의 간섭에 의해 모터 블럭의 스위칭 Pulse가 보조 컨버터로 유입되는 것을 차단할 수 있을 정도로 완벽한 조정을 할 수 없었다. 이에 보조 컨버터의 IGBT의 용량을 높이면서 기존의 게이트 드라이버를 신형 게이트 드라이버로 교체를 하고 입력 전압 및 위상 검출용 ACPT의 값을 필터링하여 위상을 정확하게 조정할 수 있도록 하였다.

(2) 시험 계측

한국형 고속 열차의 PC1의 보조 블록 2군 컨버터의 입력 전류 및 출력전압 계측선을 오실로 스코프에 연결하여 시운전 기간 동안 측정하였다. 측정 포인트는 아래 그림 3.6.2-1과 같다.

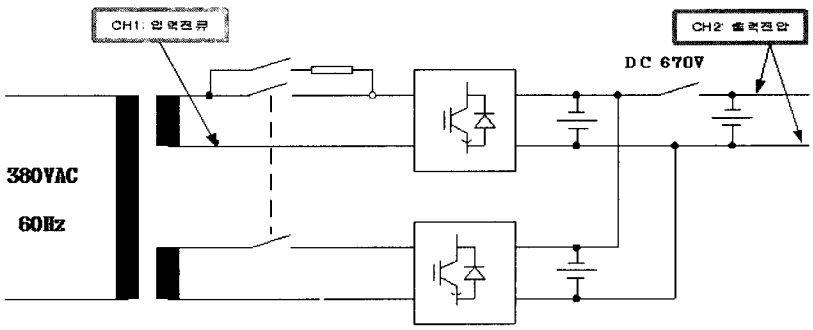


그림 3.6.2-1 보조 블럭 계측선

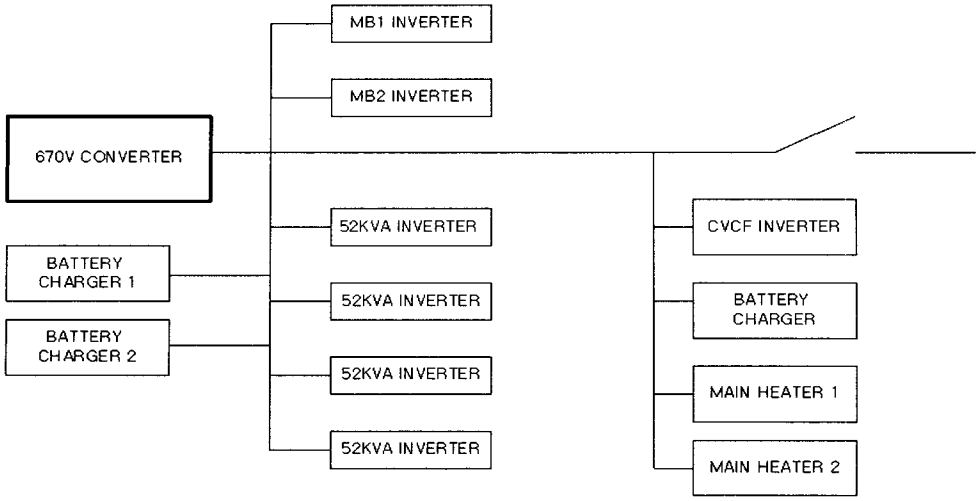


그림 3.6.2-2 보조 블럭

부하 조건은 Battery Charger 2대, 보조 블록 내 52[kVA] Inverter 4대, 모터 블럭의 Inverter 2대의 소비전력 151.5[kW]와 객차 내 CVCF Inverter, Battery Charger, Main Heater의 소비전력 약 200[kW]로 총 소비전력은 약 350[kW] 정도의 겨울철 전 부하량 조건이다.

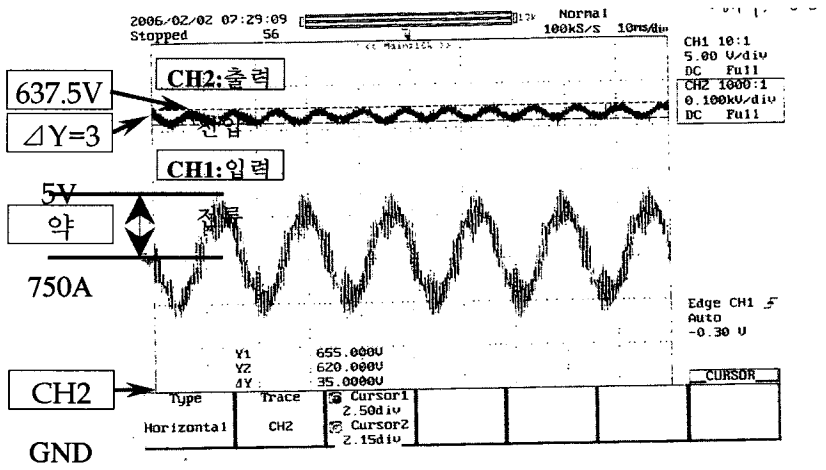


그림 3.6.2-3 정차 상태

그림 3.6.2-3은 정차 상태에서 히터부하를 넣은 상태에서 보조 블록 내 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압의 리플을 확인한 것이다. 입력 전류는 CH1에서 약 750[A]이고, CH2의 출력 전압 실효치는 637.5[V]로 리플은 약 35[V] 내외로 변환됨을 알 수가 있다.

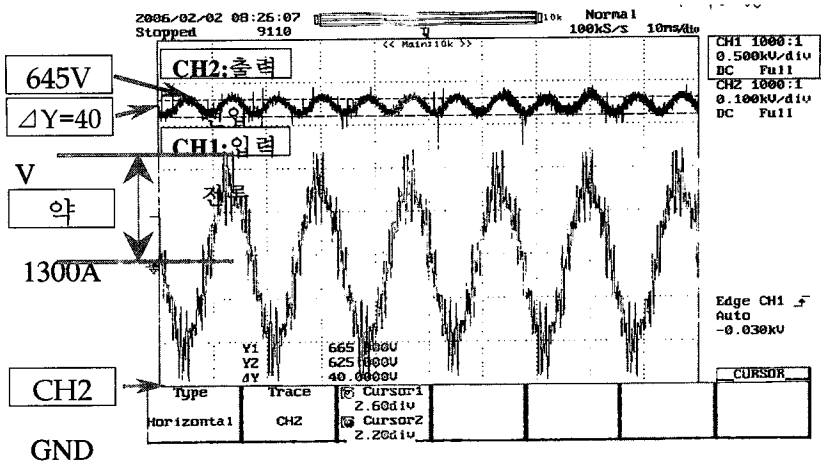


그림 3.6.2-4 100[㎞/h], 견인 PWM 88[%] 조건

그림 3.6.2-4는 300[㎞/h]로 가속성능 시험 중에 견인 PWM이 약 88[%], 주행속도가 100[㎞/h]의 속도에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다. 이 때 입력 전류는 주변압기로부터 모터 블럭에서 나오는 Pulse의 영향을 받아 전류가 상승하는 것을 알 수가 있다. 이 때 입력 전류는 약 1300[A]이고 출력전압의 실효치는 645[V]로 전류값은 상승하고 전압은 일정함을 알 수 있다.

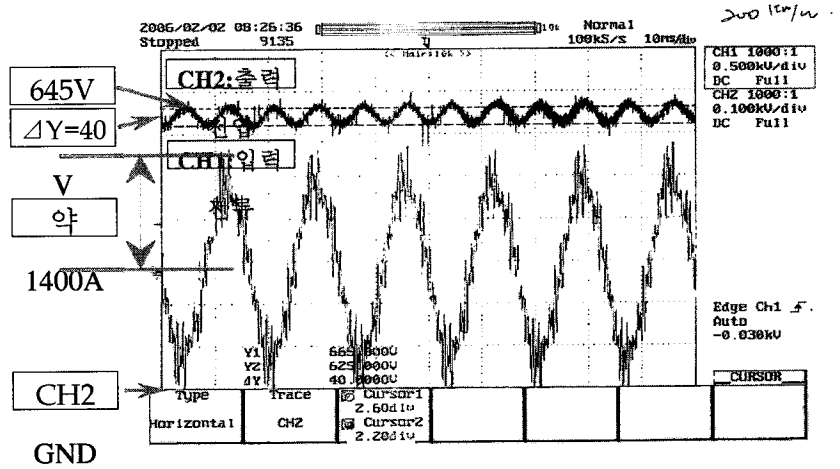


그림3.6.2-5 200[㎞/h], 견인 88[%] 조건

그림 3.6.2-5는 300[㎞/h]로 가속성능 시험 중에 견인 PWM이 약 88[%], 주행속도가 200[㎞/h]의 속도에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다. 앞선 시험과 마찬가지로 부하는 일정한 상태에서 주변압기와 모터 블럭의 영향으로 입력 전류가 약 1400[A]로 상승하게 되며 출력 전압은 변동

이 없으며 입력 전류가 변함을 알 수가 있다. 또한 출력전압은 약 40[V]정도 변화폭으로 고속으로 올라가는 상태에서도 큰 변화율 없이 안정됨을 볼 수가 있다.

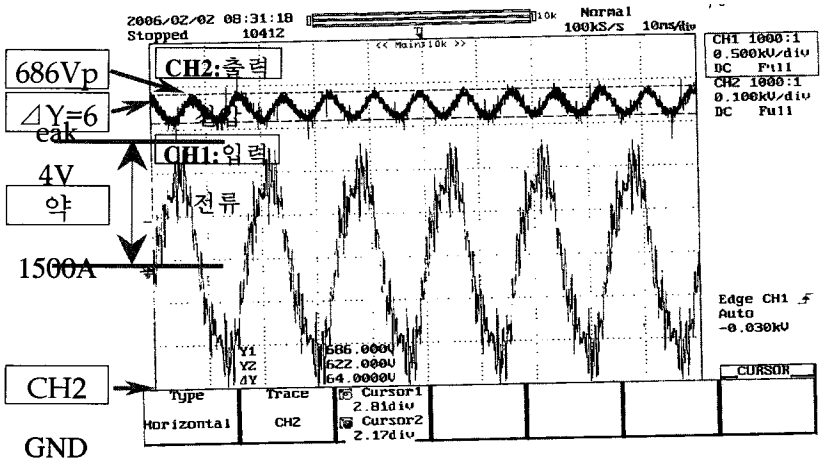


그림 3.6.2-6 300[㎞/h], 견인 88[%] 조건

그림 3.6.2-6은 300[㎞/h]로 가속성능 시험 중 견인 PWM이 약 88[%], 주행속도가 300[㎞/h]의 속도에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다. 앞선 시험과 마찬가지로 출력 전압의 큰 변화가 없이 입력전류는 약 1400[A]까지 상승하는 것을 볼 수가 있다.

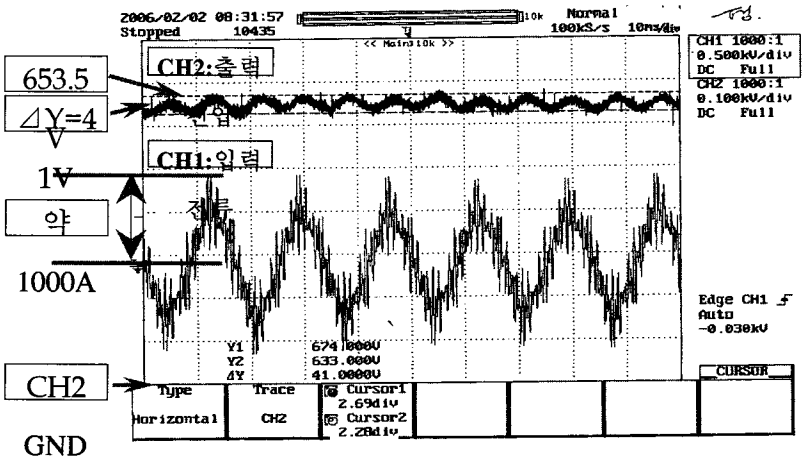


그림 3.6.2-7 300[㎞/h], 중립 조건

그림 3.6.2-7은 300[㎞/h]로 가속성능 시험 중 견인 PWM 중립 조건에서 주행속도 300[㎞/h] 속도에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것

이다. 이 때 입력 전류는 약 1500[A]이며 출력 전압은 계속적으로 안정된 값을 보이고 있으며 리플은 64[V]로 약간 상승하였다.

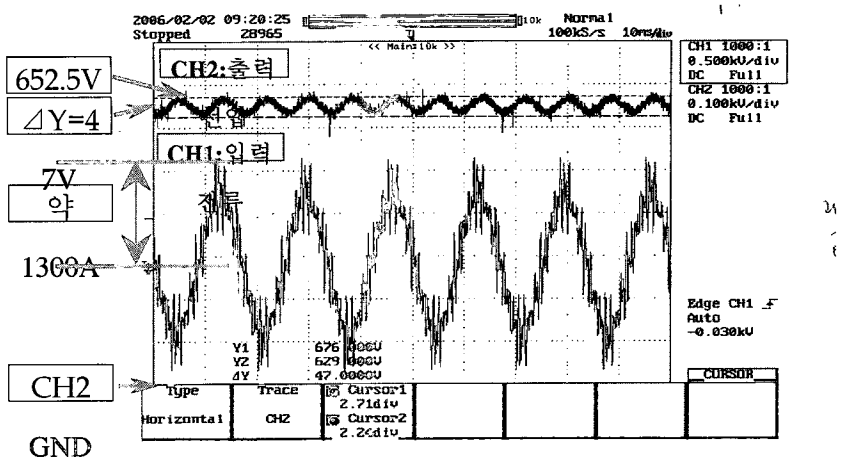


그림 3.6.2-8 100[㎞/h], 견인 70[%] 조건

그림 3.6.2-8은 100[㎞/h]로 주행 중 견인 PWM 70[%] 조건 상태에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다. 출력 전류는 주행속도 및 견인력에 의해서 입력 전류가 변화됨을 알 수가 있다.

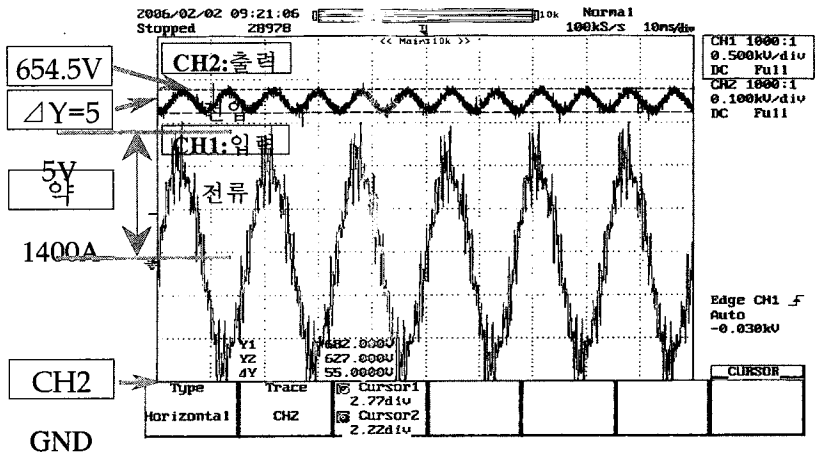


그림 3.6.2-9 200[㎞/h], 견인 85[%] 조건

그림 3.6.2-9는 200[㎞/h]로 주행 중 견인 PWM을 85[%] 조건 상태에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다.

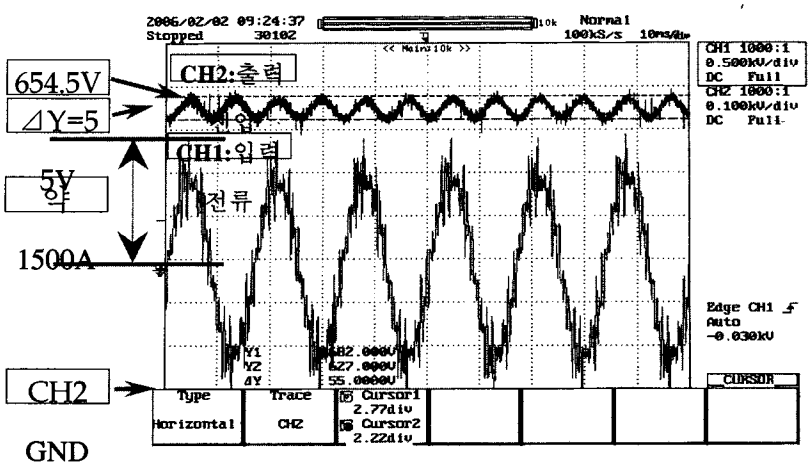


그림3.6.2-10 300[㎞/h], 견인 87[%] 조건

그림 3.6.2-10은 300[㎞/h]로 주행 중 견인 PWM을 87[%] 조건 상태에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다.

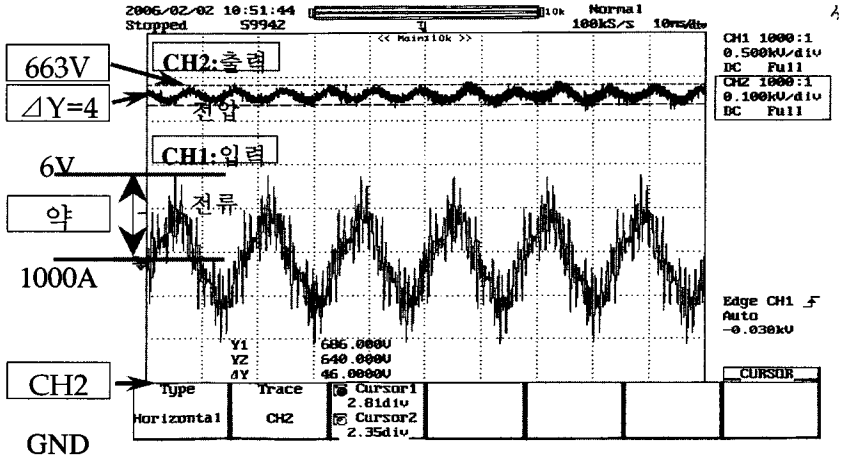


그림 3.6.2-11 150[㎞/h], 제동 40[%] 조건

그림 3.6.2-11은 150[㎞/h]로 주행 중 제동 PWM을 40[%] 조건 상태에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다.

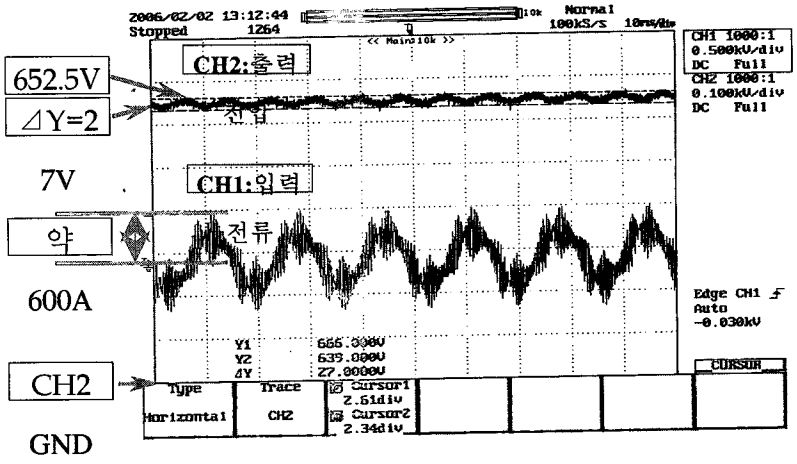


그림 3.6.2-12 정차 상태 조건

그림 3.6.2-12는 시운전 전 정차 상태에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다.

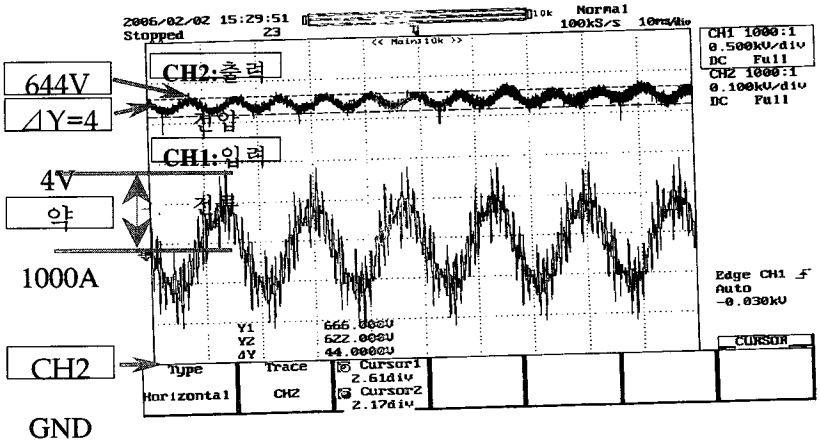


그림 3.6.2-13 280[㎞/h], 제동 76[%] 조건

그림 3.6.2-13은 280[㎞/h]로 주행 중 제동 PWM을 76[%] 조건에서 보조 컨버터의 입력 전류와 출력 전압을 측정한 것이다.

(3) 시험 계측 결과

보조 블록 내 보조 컨버터의 출력전압을 기존선 및 고속선에서 측정한 결과 전압 리플이 50[V]이내에서 동작하고 있으며 주행 시 속도별로 주변압기와 모터 블록에서 발생하는 고조파의 영향으로 입력 전류 변화에 의해서 변동은 있으나, 고속선 및 기존선 구간에서 기준치 범위 내에서 동작하는 파형을 나타내고 있으며 보조

컨버터의 출력전압은 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

나. 보조전원장치 신뢰성 보완

(1) IGBT Stack 신뢰성 보완 개요

㈎ 주행 시 보조 블럭 현상

정차 중 보조 블록 내 보조 컨버터의 입력 전류에 대한 변화율은 750[A]정도로 안정적이나, 고속 주행 시 주 변압기의 권선간 임피던스의 간섭으로 무효전력의 상승분에 의한 전류가 1500[A]이상 상승하여 간헐적인 입력 과전류 및 게이트 드라이브 고장 검지로 인한 재 기동 발생되었다.

㈏ 보조 블럭 IGBT 용량 변경

보조 블록 내 보조 컨버터의 IGBT 소자 전류는 1700[V], 1800[A]의 소자를 선정하였으나, 현차 실측치 결과 차량 조건의 여유분을 고려하여 IGBT 소자용량을 증대하여 RBSOA(Recovery bias safe operation area)의 영역을 좀 더 넓게 설정하고 보조 컨버터의 내구성에 영향을 미치지 않는 범위에서 정상적인 운행 및 보조 전원 공급을 하고자 한다.

㈐ IGBT 용량 변경에 따른 차이점

① 입력 과전류 보호동작 LEVEL

- 변경 전 : 입력 과전류 설정값 1500[A]
- 변경 후 : 차량 조건 및 변경 IGBT 소자 용량에 맞추어 설정

② IGBT 소자 소손 건

- 변경 전 : 입력 과전류에 의한 소자용량 한계로 예상됨
- 변경 후 : 보조 컨버터 및 차량 조건에 만족하는 소자 전류 증대

③ 게이트 드라이버 변경

- 변경 전 : 게이트 드라이버의 Optic Fiber IC 단종
- 변경 후 : 게이트 드라이버의 Optic Fiber IC 변경 및 Hybrid IC의 안정된 전원 공급을 위한 Capacitor 및 Diode 변경으로 내구성 보강

④ IGBT 용량 변경에 따른 시험 항목

- 제어 전원 변동시험
- 제어 시퀀스 시험
- 보호 동작 시험(보호동작 Level 변경에 따른 시험)
- Stack 온도 시험(시운전중 변경 전 과 변경 후 비교 시험)
- 입력 전류 모니터링(소자 변경에 따른 전류 변화는 없음)

(2) 보완 내용

아래 그림과 같이 보조 블록 내 보조 컨버터의 입력 과전류 발생을 방지하기 위한 대책으로 1700[V], 2400[A] IGBT를 적용하였다. 또한, 입력단 공급전압을 안정시킨 IGBT 게이트 드라이버를 보완하였으며 Filter Capacitor에 연결되어 있는 Bus Plate도 보완하여 Plate간 Frame 간섭을 최대한 피하고 절연효과를 증대하여 안전에 문제없도록 개선하였다.

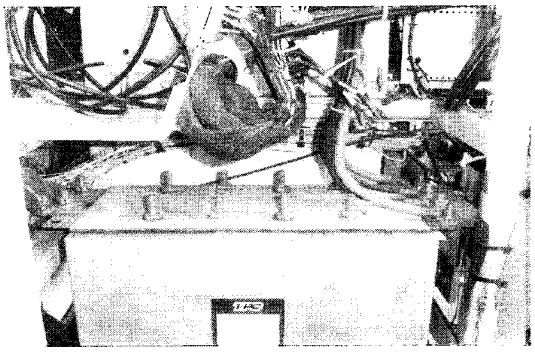


그림 3.6.2-14 FC Bus Plate 보완 전

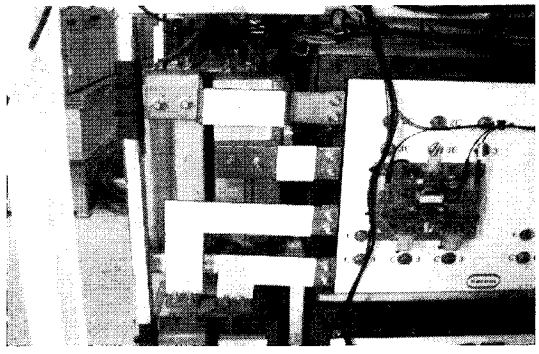


그림 3.6.2-15 Stack내 Bus Plate 보완 전

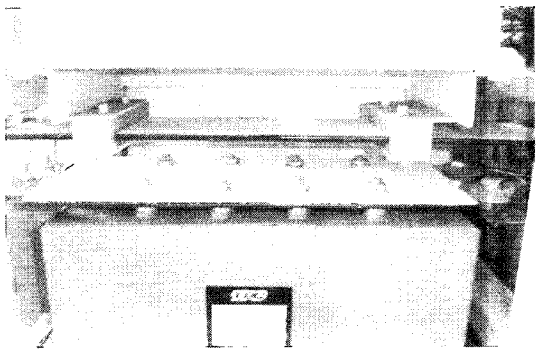


그림 3.6.2-16 FC Bus Plate 보완 후

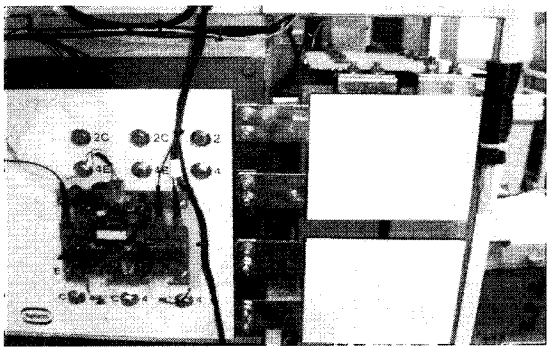


그림 3.6.2-17 Stack내 Bus Plate 보완 후

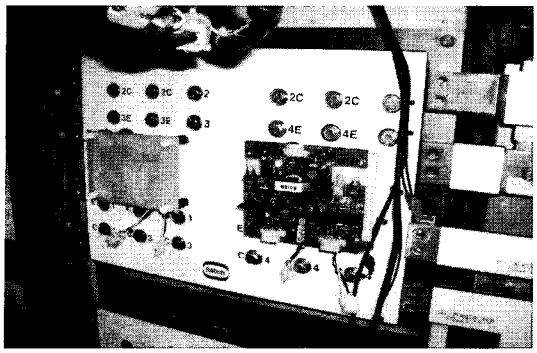


그림 3.6.2-18 IGBT 용량 변경

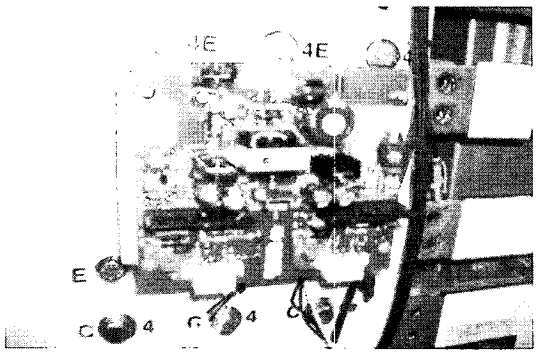


그림3.6.2-19 보완된 게이트 드라이버 적용

㈐ IGBT 게이트 드라이버 개선

철도차량용 게이트 드라이버는 대용량 IGBT 구동용으로 설계되었으며 현재까지는 IGBT 두 개를 하나의 드라이버로 구동할 수 있도록 하였다. 그 주요 기능은 아래와 같다.

= 주요 기능 =

- 내부 전원 저전압시 IGBT 의 구동 금지 기능
- 내부 전원 과전류 시 차단 기능
- V_{CE} 불포화 감시 기능(IGBT 과전류 차단)
- TRIP TURN OFF 시 SOFT TURN OFF 기능(IGBT 단락 전류 제한)
- 정전기 보호 기능

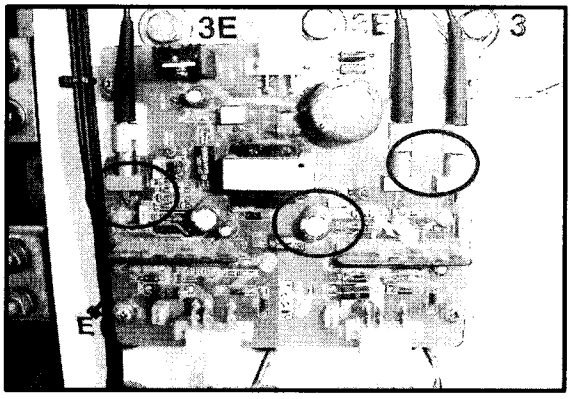


그림 3.6.2-20 게이트 드라이버 개선 전

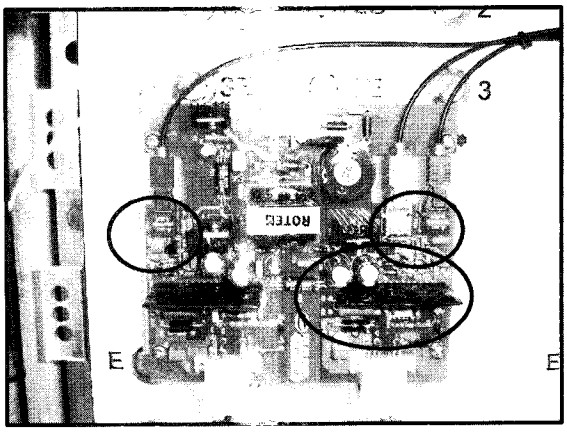


그림 3.6.2-21 게이트 드라이버 개선 후

① IGBT 게이트 드라이버 개선 내용

제어 전원을 안정화시키기 위해 적용한 Capacitor 증대로 인하여 제어 전원 On/Off 시 TOP IC의 특성으로 인하여 출력 전압이 순간적으로 상승하여 내부 IC가 간헐적으로 소손되는 현상이 발생하여 보조 컨버터가 차단되는 상황이 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 TOP IC의 제어에 의해 출력 전압이 DC 30[V]까지 변동되어도 +15[V]로 일정하게 유지하도록 전압 레귤레이터를 적용하여 안정적으로 동작하도록 회로를 수정하였다. 또한, 제품 단종으로 인하여 Optic Fiber IC를 변경하였다.

㈏ SEN 보드 및 가선 전압 검지용 보드개선 : 노이즈 오동작 방지용 필터 보강

보조 블록 내 보조 컨버터의 가선전압 검출 시 25[kV]/100[V] ACPT로 검출하여 위상제어에 적용함으로서 입력 전압에 대한 노이즈 유입 시 위상 제어가 흔들려 보조 컨버터가 차단되는 현상이 발생하였다.

① 개선 사항

주행 시 입력 가선전압의 ACPT 2차측을 통하여 보조 컨버터 센서보드로 들어오는 노이즈를 제거하기 위해서 노이즈 제거용 필터가 부착된 가선전압 검지용 보드 제작 및 SENSOR 보드 개선을 통하여 중고장이 발생하지 않도록 하였다.

② 센서 보드 및 가선전압검지용 보드

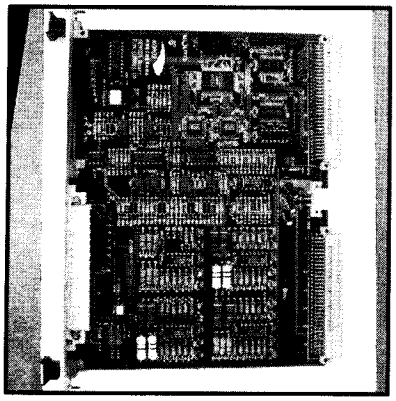


그림 3.6.2-22 개선 전 센서 보드

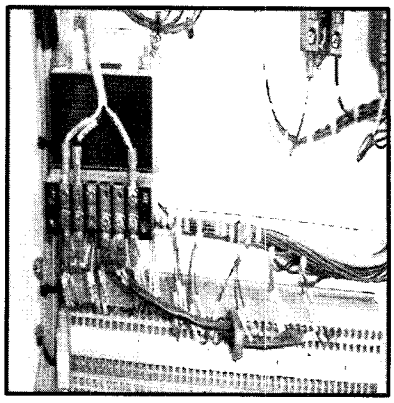


그림 3.6.2-23 개선 전 가선전압 검지 ACPT

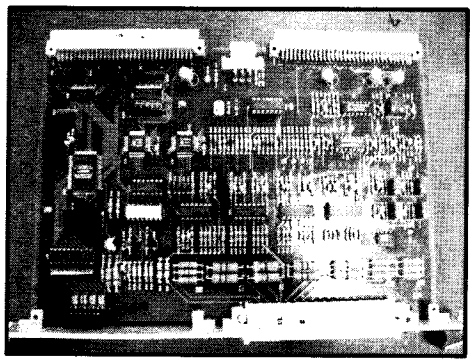


그림 3.6.2-24 개선 후 센서 보드

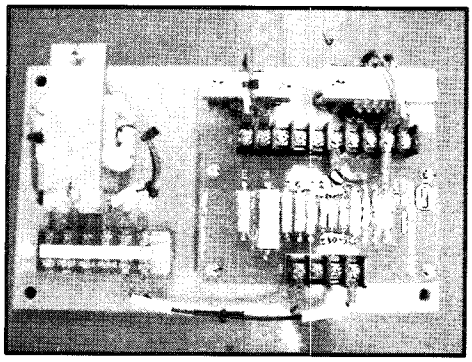


그림 3.6.2-25 가선전압 검지용 보드

㈐ 모니터링 기능 적용 개선

① 개요

보조 블럭 내 보조 컨버터 고장신호 발생 시 경고장일 경우에는 자동 재기동, 중고장일 경우 격리된 후 고장신호를 모니터 보드를 통하여 LED에 고장 발생 항목을 현시하도록 구성하였으나, 고장 발생 시의 각종 정보에 대한 기록을 수행할 수 있는 보드를 개발하여 적용하였다.

② 기능

ⓐ 운전상태 Monitoring 및 현시

보조 컨버터의 운전 상태를 모니터링하여 실시간으로 PC의 Monitor에 수집된 정보를 현시한다.

ⓑ 고장 DATA 현시 기능

보조 컨버터의 제어기에 저장되어 있는 고장 DATA를 전송받아 아날로그 신호와 디지털 신호로 나주어 PC의 Monitor에 현시하고 프린터에 연결하여 수집된 정보에 대한 출력이 가능하다.

ⓒ 고장 검지 및 저장

2[ms]의 정보 수집 주기를 가지며 고장 시점에서 고장 전 10주기, 고장 후 5주기의 고장 데이터를 저장할 수 있으며, 또한 수집된 고장 데이터(디지털, 아날로그 데이터)를 RS-232 통신을 통하여 신속히 PC에 저장 및 인쇄할 수 있다.

ⓓ 데이터 현시 화면

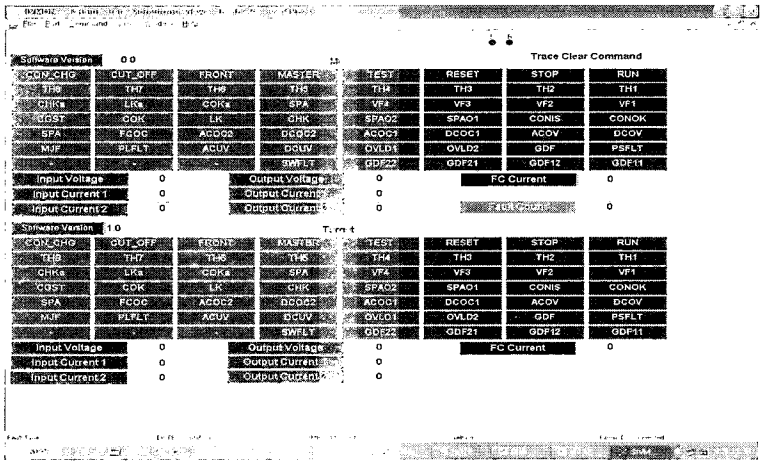


그림 3.6.2-26 상태 정보 표시 화면

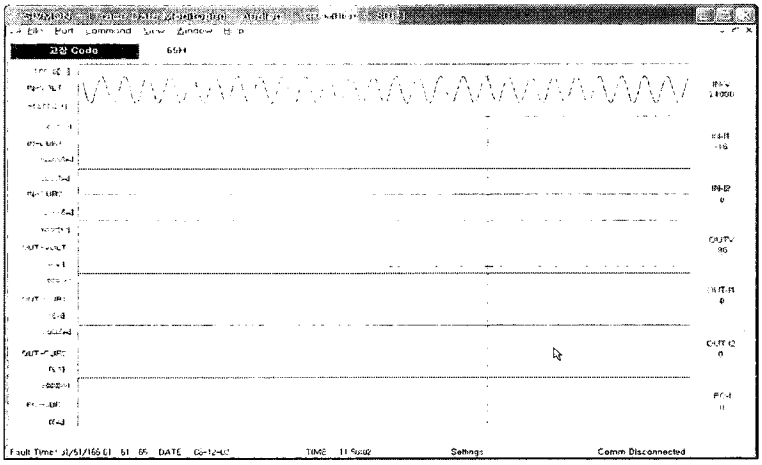


그림 3.6.2-27 아날로그 고장 정보 화면

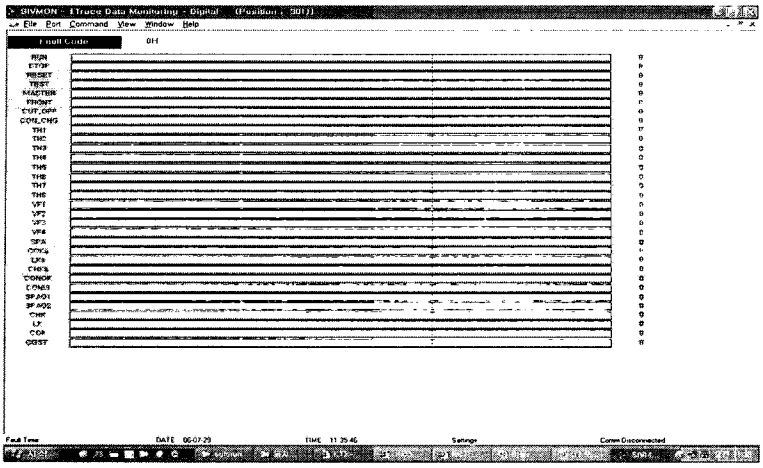


그림 3.6.2-28 디지털 고장 정보 화면

③ 제작된 모니터링 보드

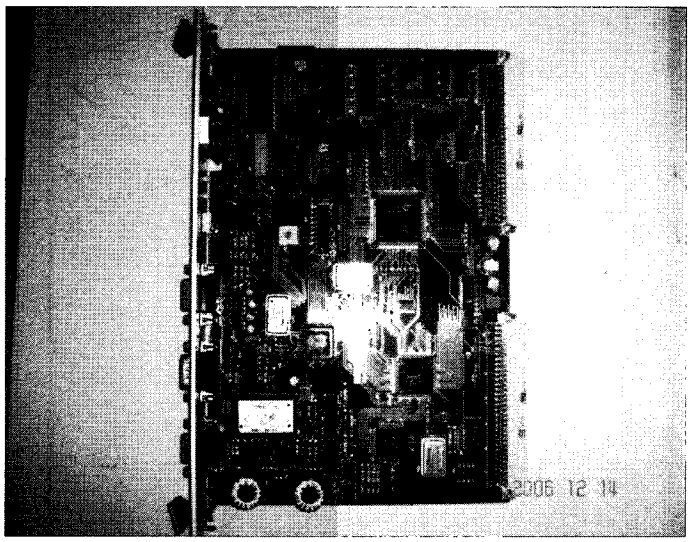


그림 3.6.2-29 제작된 모니터링 보드

④ 시험 결과

그림 3.6.2-30 ~ 3.6.2-33은 시운전 중 PC1, PC2 보조 컨버터 제어기에 기록된 고장 정보이다.

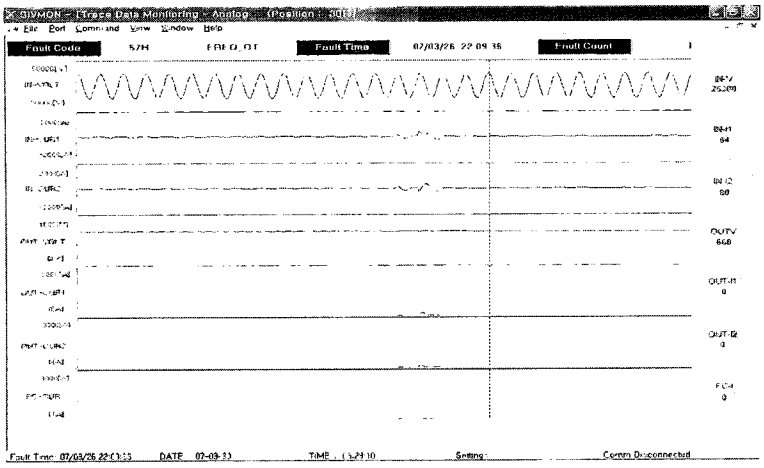


그림 3.6.2-30 아날로그 고장 정보 화면

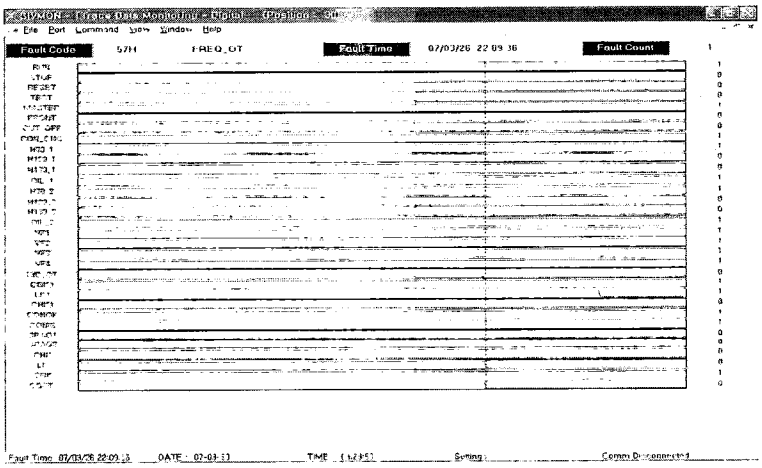


그림 3.6.2-31 디지털 고장 정보 화면

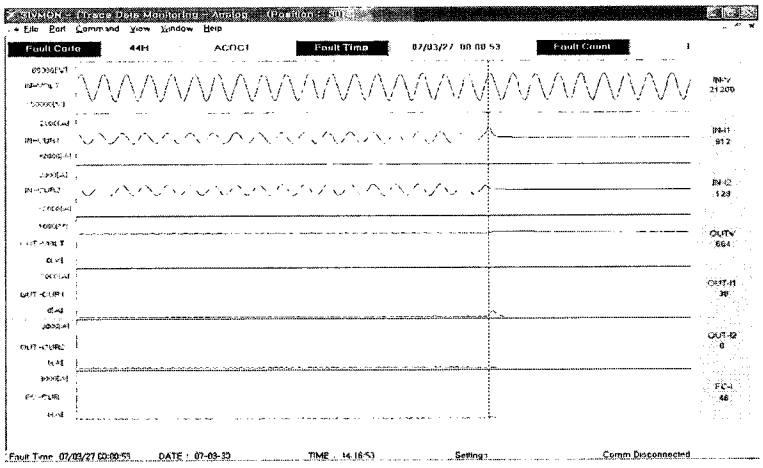


그림 3.6.2-32 아날로그 고장 정보 화면

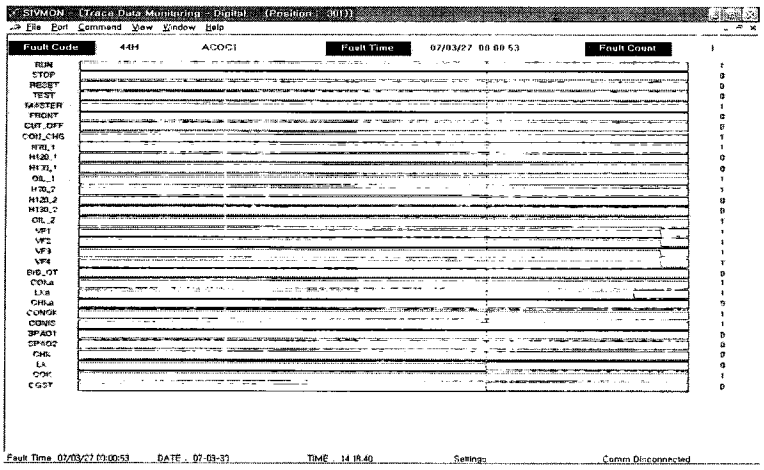


그림 3.6.2-33 디지털 고장 정보 화면

㈑ 위상 검지 시퀀스 개선

① 개요

사구간 진입 시 VCB가 차단될 경우 Line Contactor가 계속 유지되고 있어 VCB 투입 후 Line Contactor가 유지된 상태에서 충전용 Contactor가 동작이 되어 돌입전류에 의한 입력 과전류가 발생되어 VCB 차단 후 5초 후에 LK가 차단되도록 동작 시퀀스를 수정하였다.

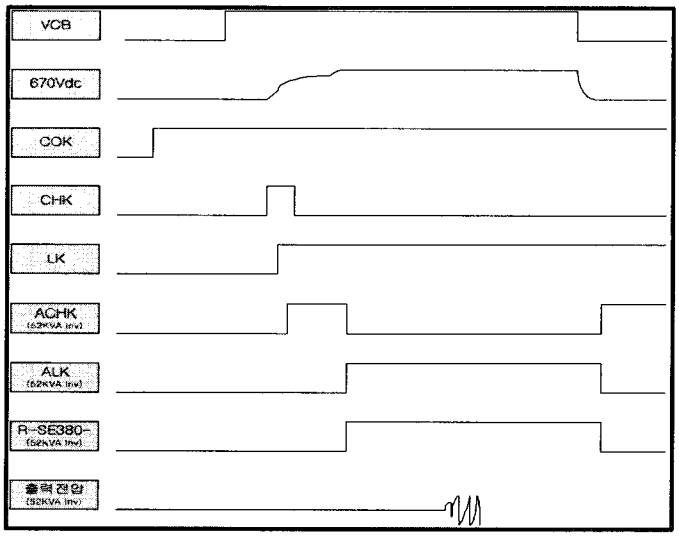


그림 3.6.2-34 개선 전 시퀀스

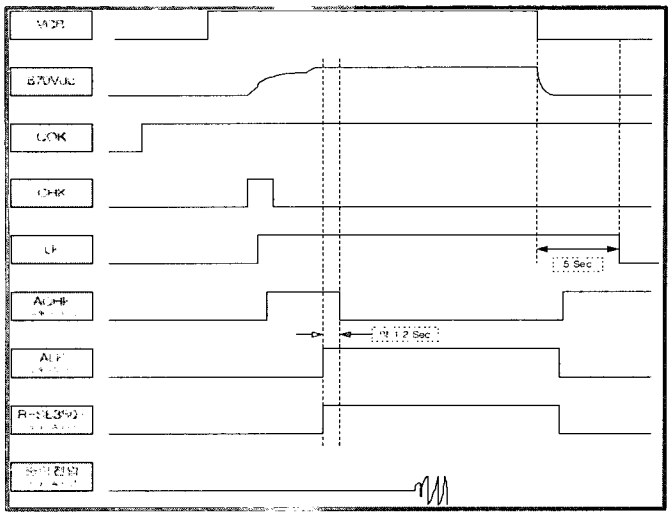


그림 3.6.2-35 개선 후 시퀀스

② 시험 결과

시퀀스 수정 후 현차 시험 및 모니터링을 통하여 사구간 진입 시 VCB가 차단되는 경우 보조 블록 내 보조 컨버터 입·출력차단 및 52[kVA] 인버터 차단 후 사구간 통과 후 VCB가 투입되었을 경우 정상적인 시퀀스 상태로 안정적인 동작을 확인할 수 있었으며 기동 시퀀스로 인한 입력 과전류 현상은 발생하지 않았다. 이는 보조블럭 내 보조 컨버터의 5초에 대한 조건은 사구간 진입 시 보조 컨버터를 차단하는 경우 안정적으로 방전이 이루어질 수 있도록 지연시간을 준 것이다.

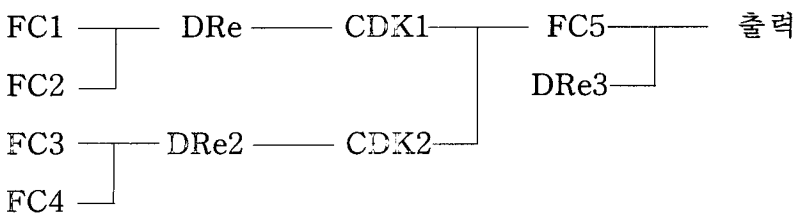
㈐ 보조 컨버터 1, 2군 동시 기동 방안

① 개요

보조 블럭 내 보조 컨버터 1군 및 2군을 동시 기동하여 차량 운영이 안정적으로 이루어지도록 하기 위한 기능 개선이다.

② 주회로 변경 사항

ⓐ 변경 전 주회로 경로



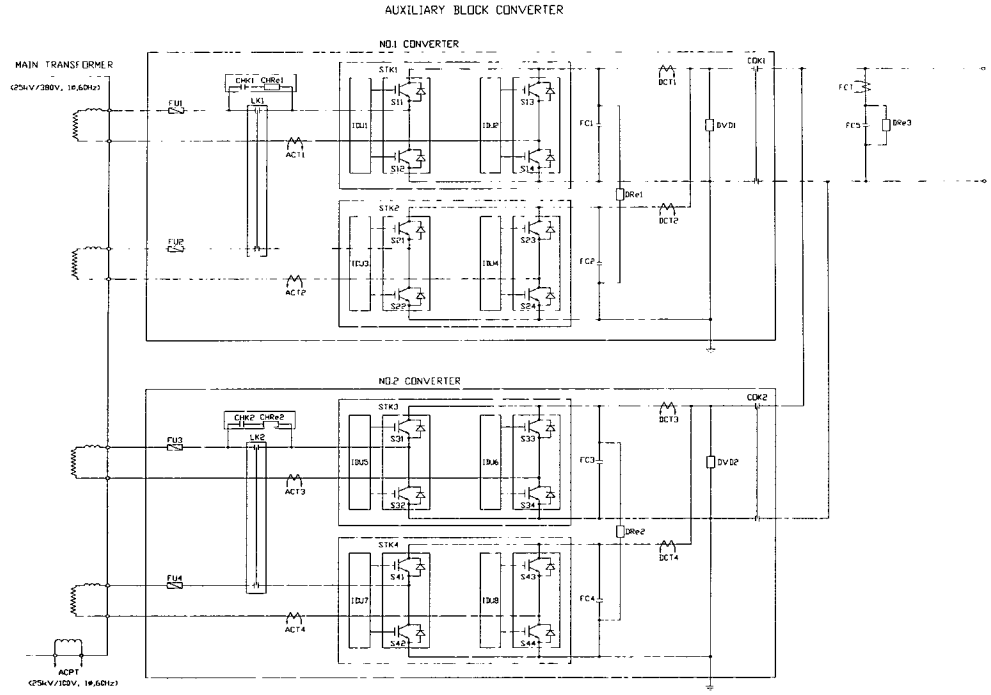


그림 3.6.2-36 변경 전 보조 컨버터 주회로도

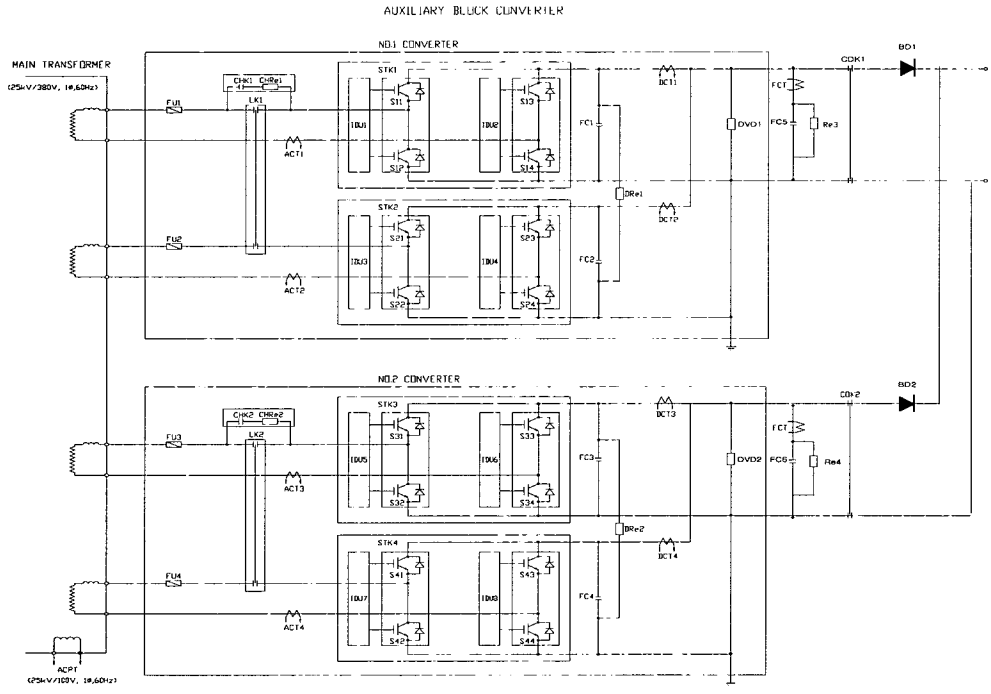
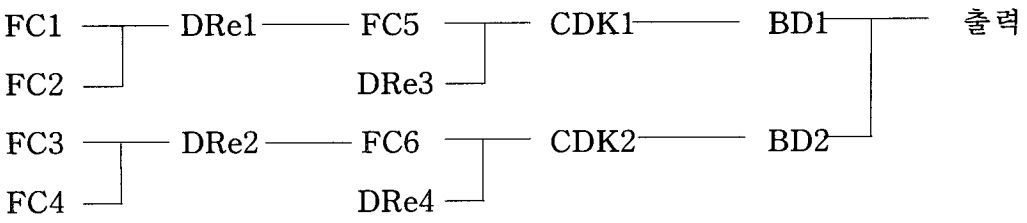


그림 3.6.2-37 변경 후 보조 컨버터 주회로도

ⓑ 변경 후 주회로 경로



ⓒ 주회로 변경 사항

- Filter Capacitor 1군, 2군 분리 배선
- Busplate 보완 설계
- COK1, 2 (출력 Contactor) -- Filter capacitor간 배선 변경
- Blocking Diode 추가 설치 및 배선

③ 주요 부품 사양 검토(Blocking Diode)

ⓐ 전류 정격 계산

- 정격전류 : 용량 1[MW](2군 병렬), 전압 670[V] => 746[A]
- 최대전류 : 용량 1[MW](2군 병렬), 전압 620[V] => 806[A]
- 150% 과부하시 : 806[A] × 1.5 = 1209[A]
- 전류리플 및 설계 여유 고려 시

  : IF(AV) = 1209[A] × 1.2 (ripple) × 1.3 (margin) = 1886[A]

ⓑ 전압 정격 계산

- 정격전압 : 670[V}
- 최대전압 : 720[V]
- Turn-off spike 및 설계 여유 고려 시

  VRRM = 720[V} × 1.3 × 1.2 = 1123[V]

ⓒ 소자 선정

상기의 계산 결과를 근거하여 2000[V], 2700[A]의 정류형 다이오드 (5SDA27F2002)로 선정

ⓓ 다이오드 열 손실 계산

- Threshold voltage : 0.79[V]
- Slope resistance : 0.09[mΩ]

- thermal resistance : ($R_{\theta(J-C)}$) = 0.04[K/W](Cathode side cooled)
- thermal resistance : ($R_{\theta(C-H)}$) = 0.01[K/W](Single side cooled)
- 최악의 경우 총 손실값 = 1886 × 0.79 = 1433[W]
- Junction to case 열 drop = 1433 × 0.04 =57.32[℃]
- case to heat sink 열 drop = 1433 × 0.01 = 14.33[℃]
- ΔT= 160[℃] - 57.32 - 14.33 - 40 = 88.35[℃]
- $R_{th(HS)}$ = 88.35 / 1433 = 0.06165 [℃/W]

따라서 보조 블록 내 보조 컨버터의 1[MW] 병렬 운전시 500[kW] 보조 컨버터 출력단에 취부되는 다이오드 냉각 장치의 열저항은 0.06165[℃/W]보다 작아야하며 이 열저항은 heatsink와 Fan으로 이루어진 강제 냉각 방식에 의해 얻어진다.

ⓔ Snubber Capacitor

- 다이오드 보호를 위해서 0.5[㎌]/2000[V]를 선정

ⓕ Snubber Resistor

- 15[Ω]/100[W] 선정

ⓖ FAN

- 52[kVA] 인버터 출력전원을 이용

④ 구성도

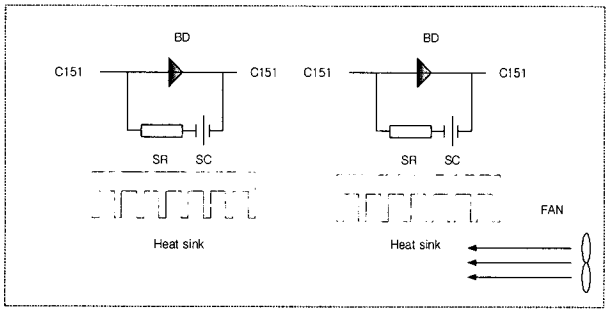


그림 3.6.2-38 Blocking Diode 구성도

⑤ BLOCKING DIODE 설계

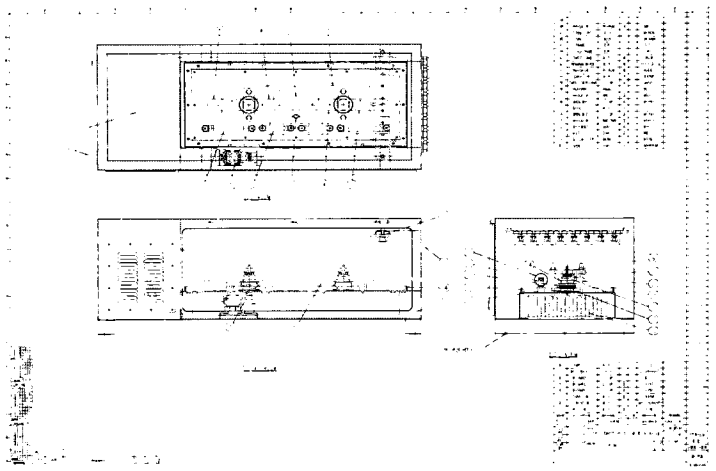


그림 3.6.2-39 Blocking Diode Ass'y 설계

⑥ 차량 취부 위치

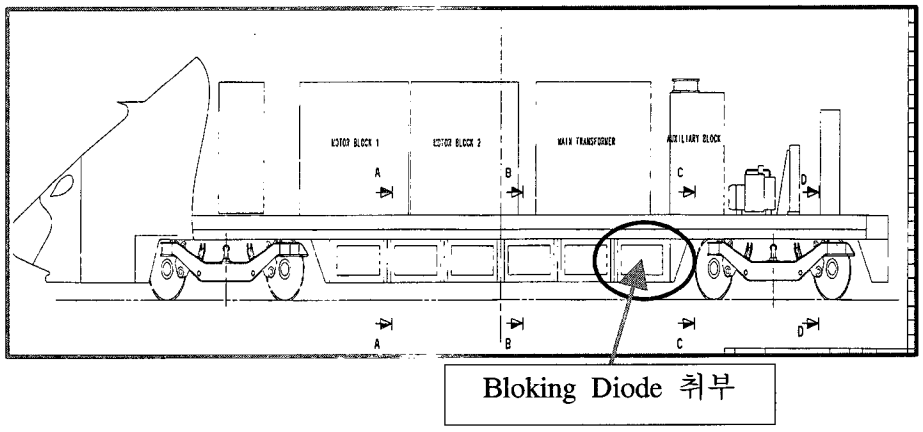


그림 3.6.2-40 Blocking Diode 취부 위치

- 차량에 취부한 Blocking Diode Box의 위치를 그림 3.6.40에 보였다.
- 취부 확보 공간 Size : 500(H) X 1100 (L) X 1100 (W)

⑦ 시험 결과

아래 그림은 Blocking Diode를 추가한 전체 주 회로도의 구성도이다.

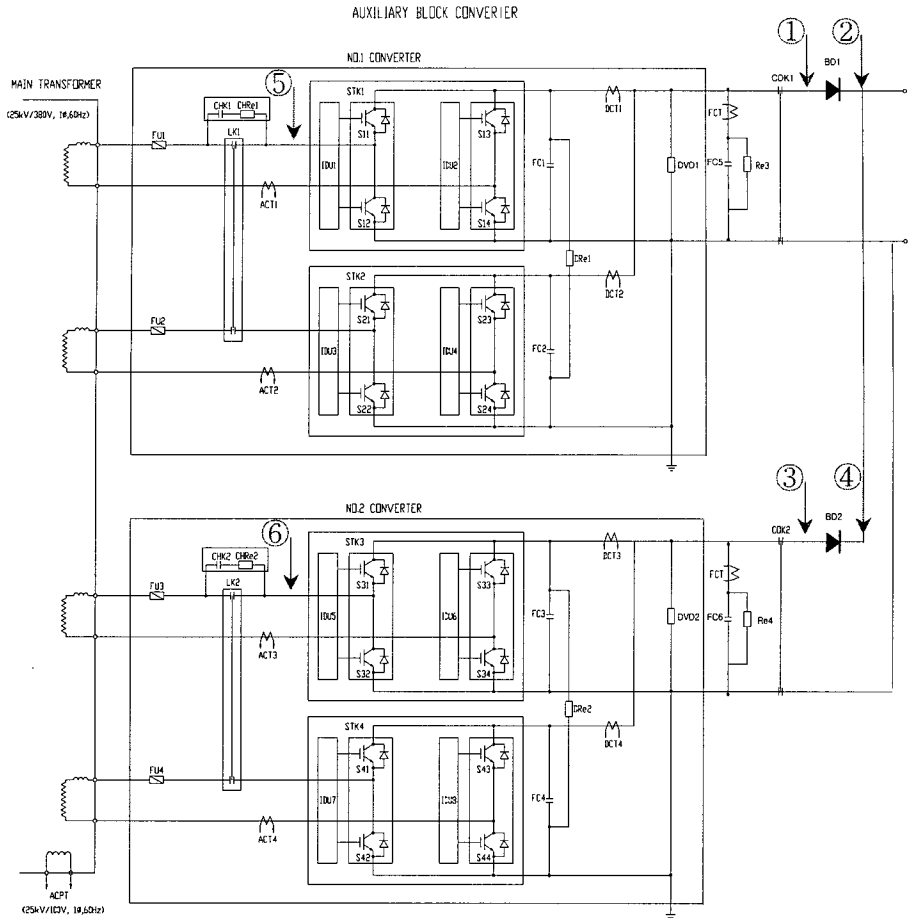


그림 3.6.2-41 주 회로도

ⓐ 동작상태 확인 시험(PC1 1군 보조 컨버터 단독 운전)

그림 3.6.42는 보조 컨버터 1군, 2군을 동시에 기동하기에 앞서 1군의 동작 특성을 살펴보기 위해 측정하였다. 그림 3.6.41의 ① 지점, 그림 3.6.41의 ② 지점 및 그림 3.6.41의 ⑤ 지점을 측정하여 출력전압의 리플 성분을 확인하였다. 시험 결과 출력전압의 리플 성분은 약 ±20[V]내에서 제어가 되고 있음을 확인할 수 있다.

넓은 범위에서 측정할 경우 측정 전압의 리플 성분을 정확히 확인할 수 없어 좀 더 정확하게 확인하기 위해 좁은 범위에서 측정할 필요가 있다. 따라서 출력전압을 측정한 CH2와 CH3의 측정 범위를 다르게 하였다. 동일한 조건에서 측정의 결과를 비교하기 위해 그림 3.6.42에서 적용한 측정 범위를 그림 3.6.43 ~ 그림 3.6.45에 적용하였다.

그림 3.6.41의 ①
지점(출력전압)
그림 3.6.41의 ②
지점(출력전압)
그림 3.6.41의 ⑤
지점(입력전류)

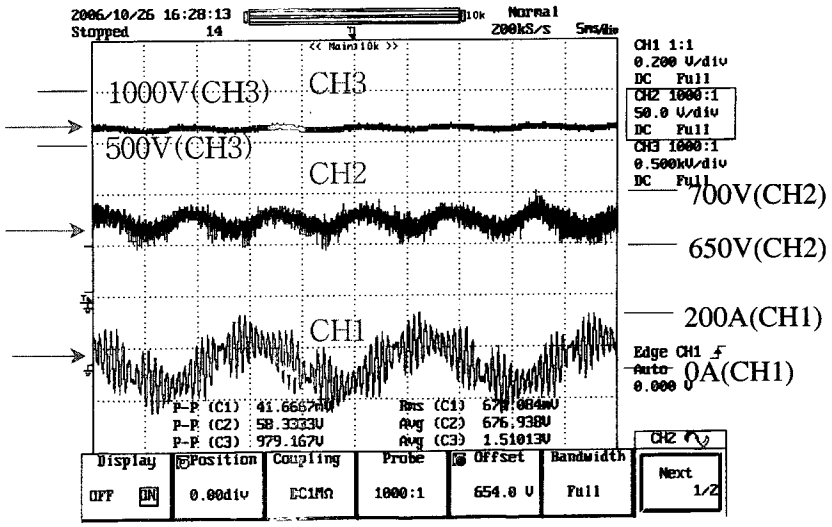


그림 3.6.2-42 1군 보조 컨버터 입·출력 파형

(CH1 : 200A/div, CH2 : 50V/div, CH3 : 500V/div)

ⓑ 동작상태 확인 시험(PC1 2군 보조 컨버터 단독 운전)

그림 3.6.2-43은 보조 컨버터 1군, 2군을 동시에 기동하기에 앞서 2군의 동작 특성을 살펴보기 위해 측정하였다. 그림 3.6.41의 ③ 지점, 그림 3.6.2-41의 ④ 지점 및 그림 3.6.41의 ⑥ 지점을 측정하여 출력전압의 리플 성분을 확인하였다. 시험 결과 출력전압의 리플 성분은 약 ±20[V]내에서 제어가 되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 3.6.41의 ③
지점(출력전압)
그림 3.6.41의 ④
지점(출력전압)
그림 3.6.41의 ⑥
지점(입력전류)

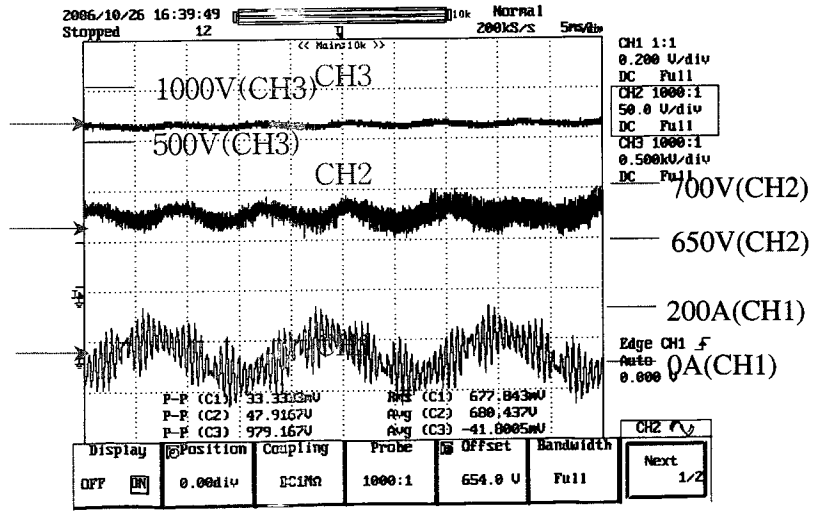


그림 3.6.2-43 2군 보조 컨버터 입·출력 파형

(CH1 : 200A/div, CH2 : 50V/div, CH3 : 500V/div)

ⓒ PC1 1군, 2군 보조 컨버터 동시 기동

그림 3.6.2-44는 보조 컨버터 1군, 2군을 동시에 기동할 때 1군, 2군의 동작 특성을 살펴보기 위해 측정하였다. 그림 3.6.2-41의 ① 지점, 그림 그림 3.6.2-41의 ③ 지점 및 그림 3.6.2-41의 ⑤ 지점을 측정하여 출력전압의 리플 성분 및 각 군별 정상 동작을 하고 있음을 확인하였다. 그림 3.6.2-44, 그림 3.6.2-45는 보조 컨버터 1군, 2군을 동시에 기동할 때 1군, 2군의 동작 특성을 살펴보기 위해 측정하였다. 그림 3.6.2-41의 ① 지점, 그림 3.6.2-41의 ③ 지점 및 그림 3.6.2-41의 ⑥ 지점을 측정하여 출력전압의 리플 성분 및 각 군별 정상 동작을 하고 있음을 확인하였다.

시험 결과 출력전압의 리플 성분은 약 ±15[V]내에서 제어가 되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 3.6.2-42, 그림 3.6.2-43에서 측정된 출력 전압 리플에 비해 그림 3.6.2-44, 그림 3.6.2-45에서 줄어들게 된 것은 보조 컨버터 1군, 2군이 부하에서 필요한 에너지를 동시에 공급하기 때문이다.

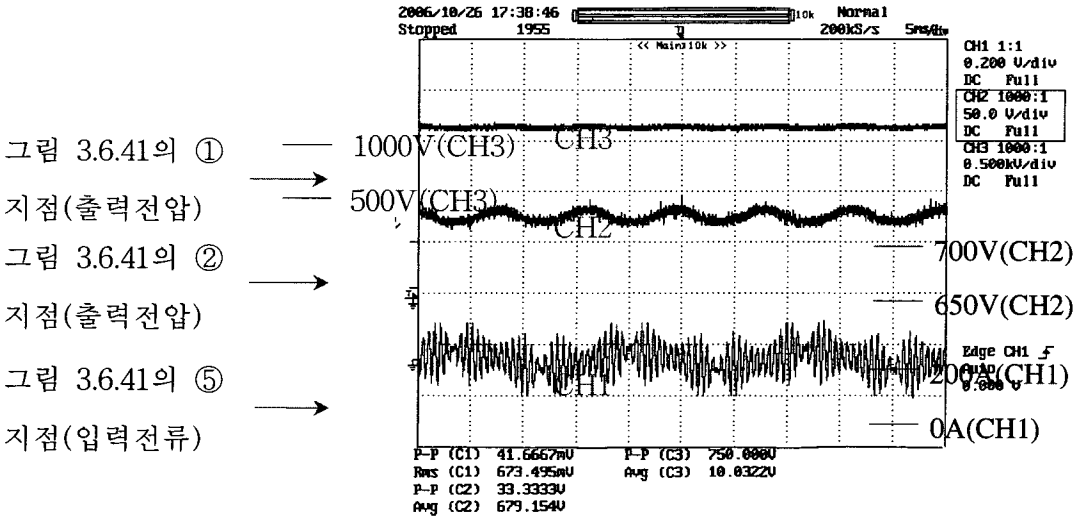


그림 3.6.2-44. 1군, 2군 보조 컨버터 동시 기동 시 입·출력 파형

(CH1 : 200A/div, CH2 : 50V/div, CH3 : 500V/div)

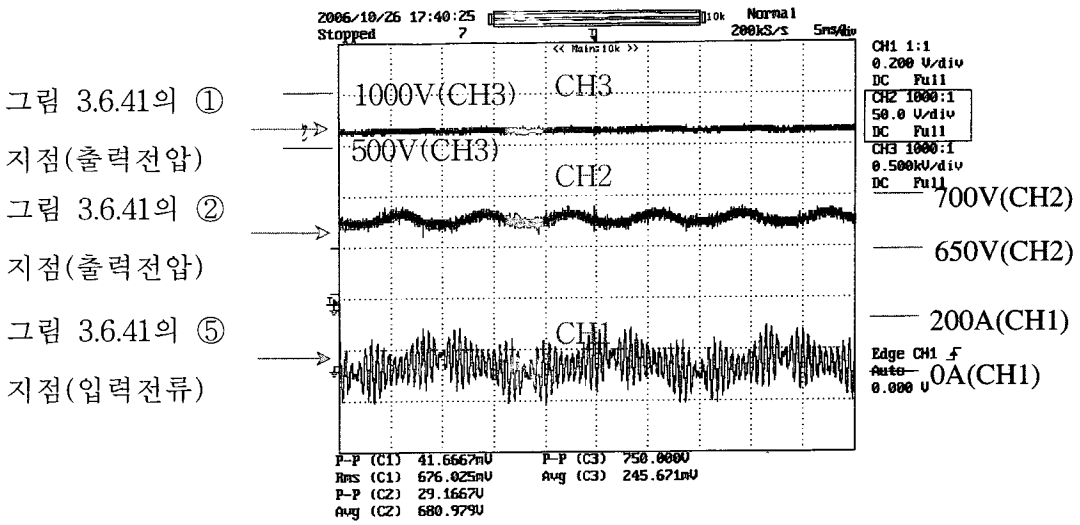


그림 3.6.2-45. 1군, 2군 보조 컨버터 동시 기동시 입·출력 파형

(CH1 : 200A/div, CH2 : 50V/div, CH3 : 500V/div)

ⓓ 1군, 2군 동시 기동 상태에서 1군 또는 2군 임의 고장으로 정지 시 잔여 군 정상동작 시험

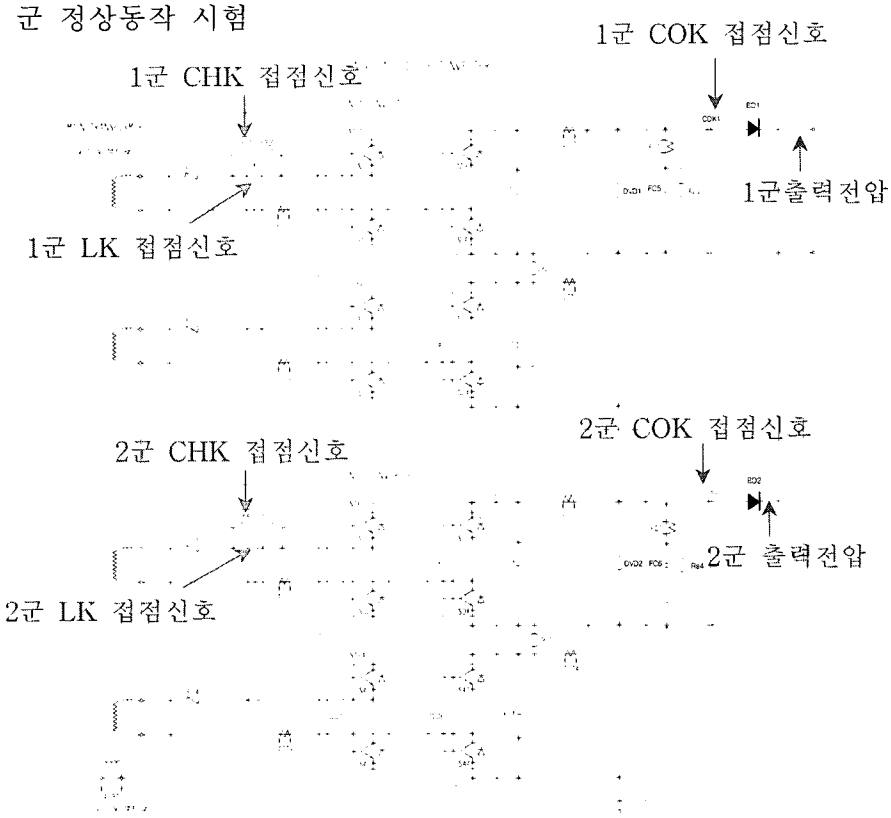


그림 3.6.2-46 동시 기동 상태를 확인하기 위한 계측 지점

1군, 2군 동시 기동 상태에서 1군 또는 2군 고장 발생 시 잔여군이 정상적으로 동작하는 것을 확인하기 위한 시험을 진행하였다.

그림 3.6.46은 동시 기동 상태를 확인하기 위해 계측을 수행한 지점을 나타내고 있다.

그림 3.6.47은 PC1 보조블럭 동시 기동 상태에서 2군 PWM Converter에 임의로 GDF(Gate Drive Fault)를 발생시켰을 때 동작 상태를 측정한 것으로써 1군 PWM Converter가 처리해야할 부하의 증가로 인하여 순간적으로 1군 PWM Converter 출력전압이 약 20[V] 떨어지는 현상이 발생하였으나 약 125[㎳] 후에 정상상태에 도달함을 확인하였다(그림 3.6.47의 ①).

그림 3.6.48은 GDF 발생 후 고장 발생 조건을 해제하여 정상 동작 조건을 만든 후 2군 PWM Converter가 재기동하는 상태를 측정한 파형으로 재기동 시에도 1군 PWM Converter 출력전압이 일정하게 제어됨을 확인하였다. 이 때 LK 컨택터와 CHK 컨택터가 동시에 기동한 이유는 다음의 LK 컨택터 기동 조건에 부합했기 때문이다.

1) LK 컨택터 기동 조건

- CHK 컨택터 기동 상태
- COK 컨택터 기동 상태
- PWM Converter 출력 전압이 325[V] 이상일 때

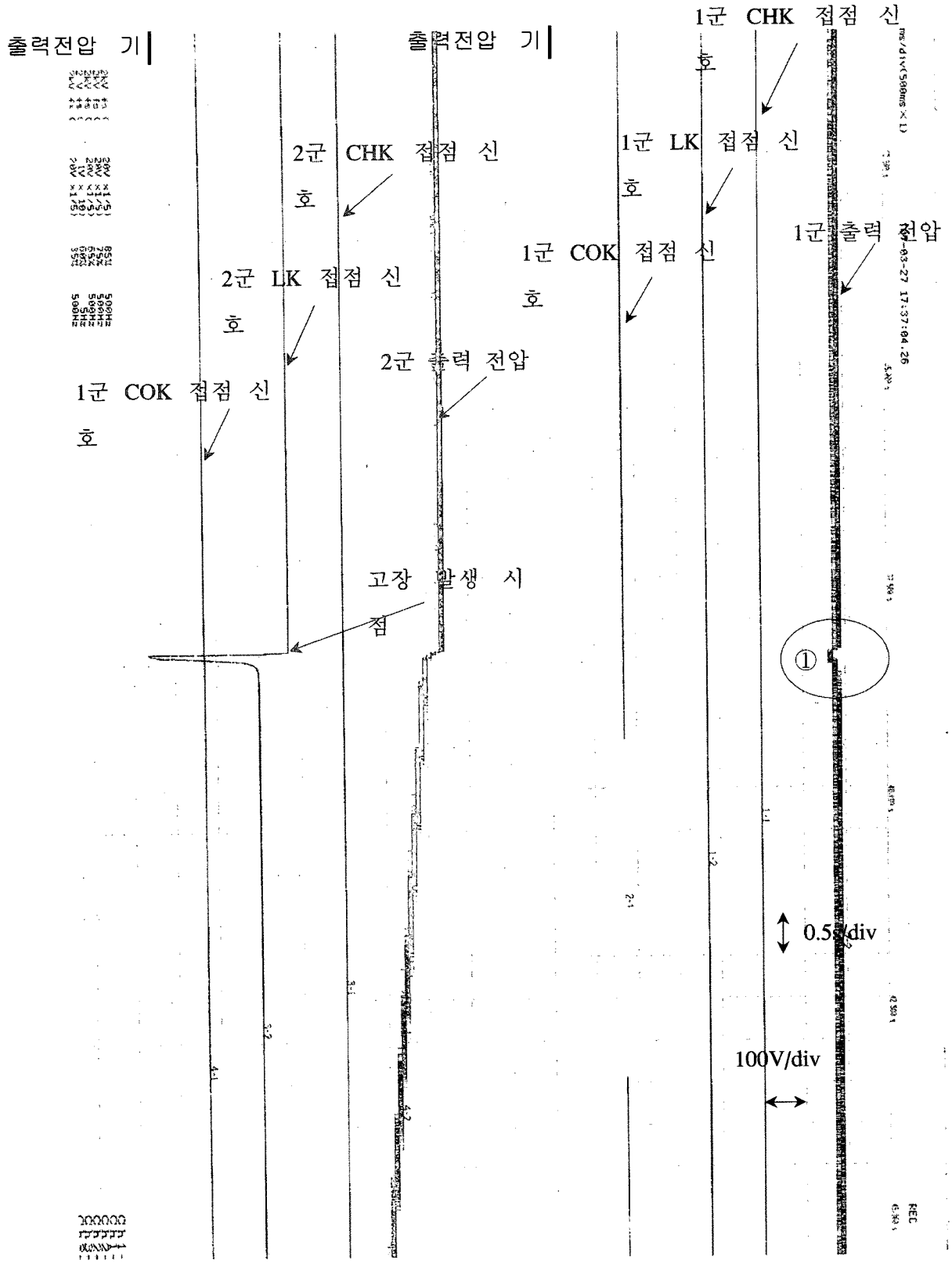


그림 3.6.2-47 정차 중 동시 기동 상태에서 2군 고장 발생 시 동작 파형

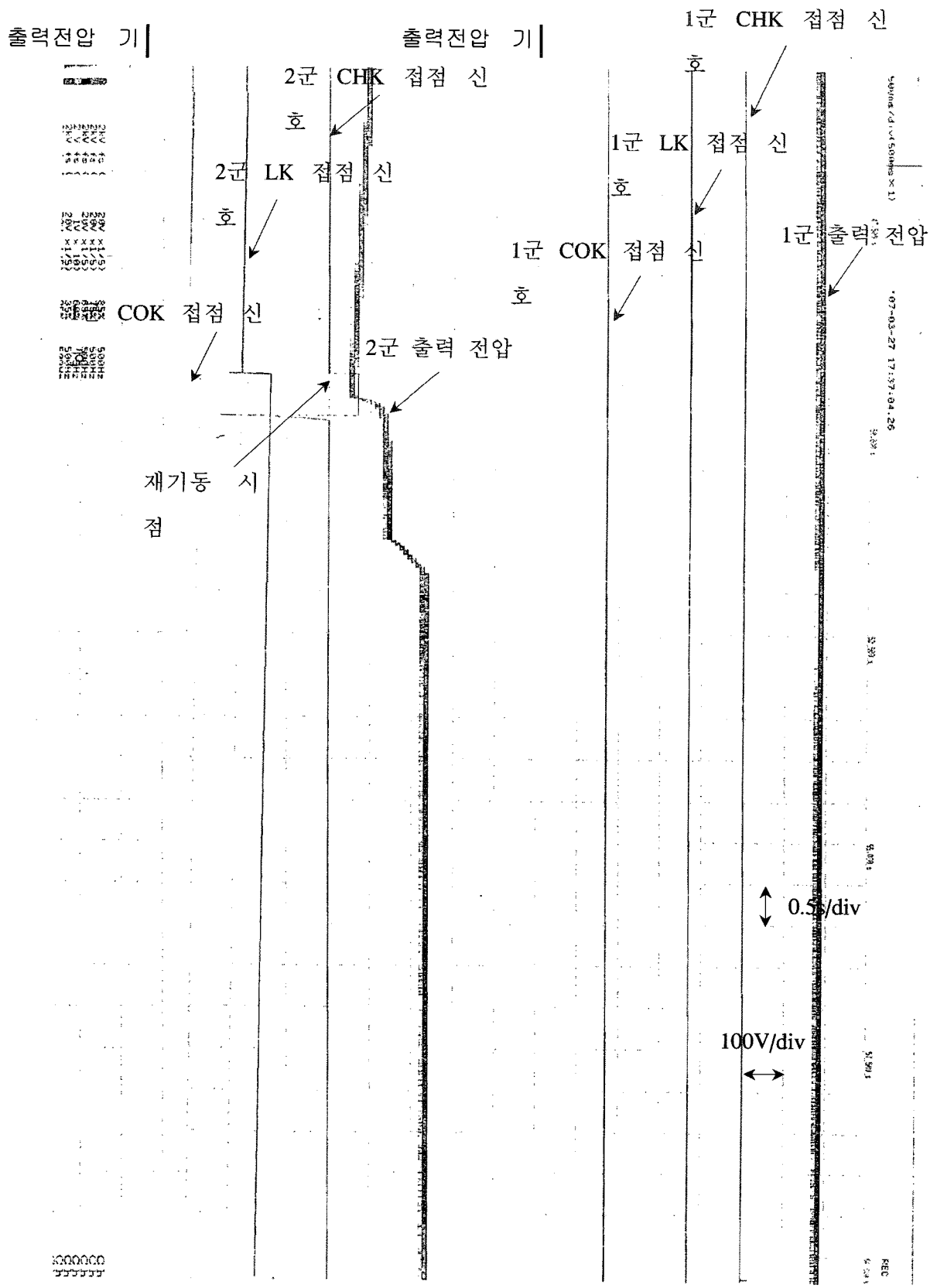


그림 3.6.2-48 정차 중 동시 기동 상태에서 2군 고장 발생 후 재기동 시 동작파형

ⓔ 동시 기동 상태에서 시운전 결과

PC1 보조 블럭을 동시 기동 상태로 하여 시운전을 진행하였으며 Recorder를 이용하여 시운전 동안 측정하였다.

그림 3.6.2-49 ~ 그림 3.6.2-50은 오송, 목포 구간 시운전 동안 측정한 자료의 일부를 나타내었다.

정상적인 보조 블럭 차단일 경우(절연 구간 통과, 가선 변경 구간 통과)에는 PWM 출력을 차단하고 5초 경과 후 LK 컨택터(입력 컨택터)를 차단한다.(그림 3.6.2.49)

고장 발생일 경우 보조전력변환장치는 PWM 출력을 차단함과 동시에 LK 컨택터(입력 컨택터)를 차단한다.(그림 3.6.2.50)

상기 두 경우에 PWM 차단과 동시에 PWM Converter는 승압 동작을 중지하게 되고 출력 전압은 감소하게 된다.

그림 3.6.2-51 ~ 그림 3.6.2-53은 1군 PWM Converter가 30초 이내 2회 경고장(입력 전원 주파수 이상)으로 인해 격리되었을 때의 동작 파형이다.

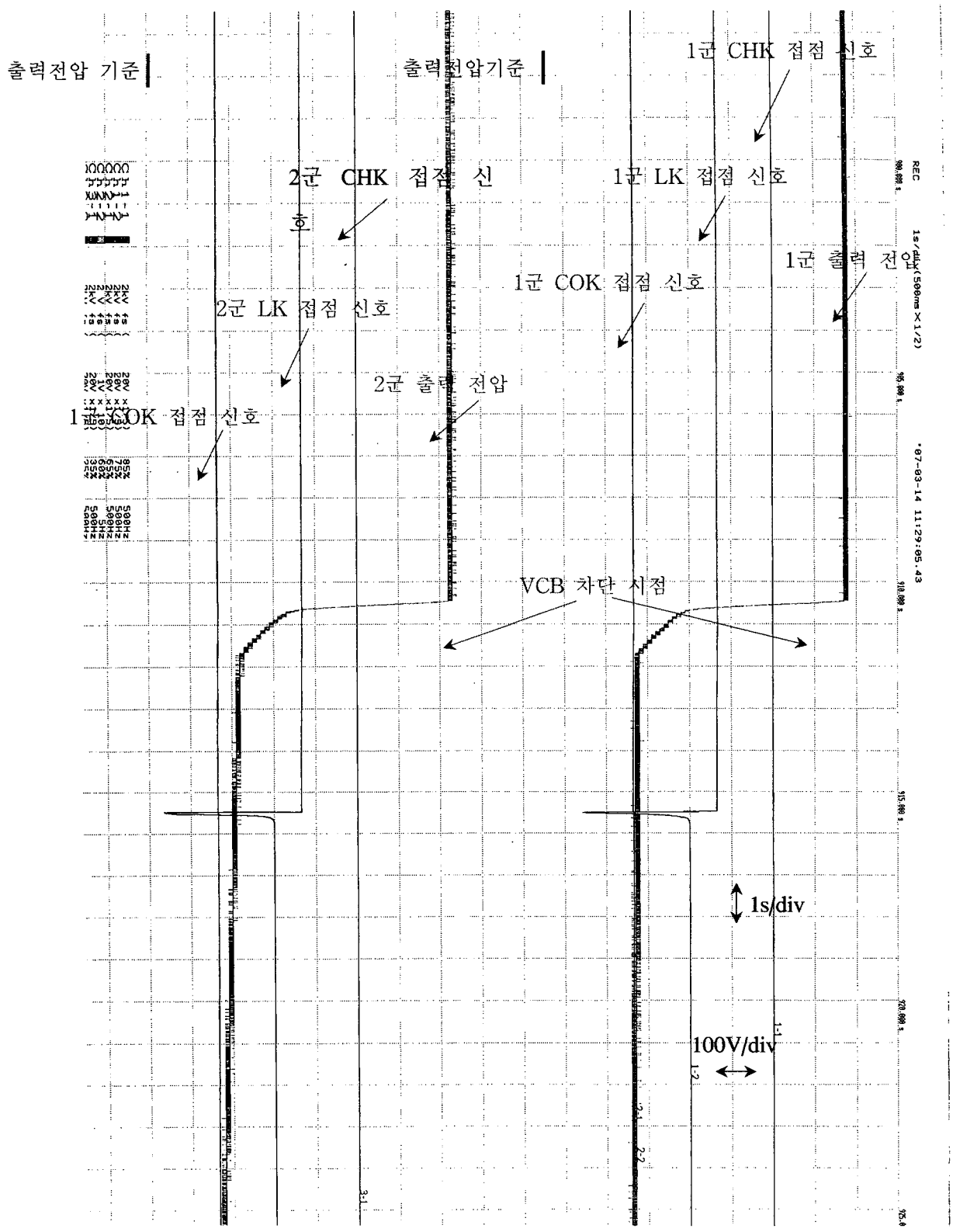


그림 3.6.2-49 절연 구간 통과 시 보조블럭 정상 차단 동작

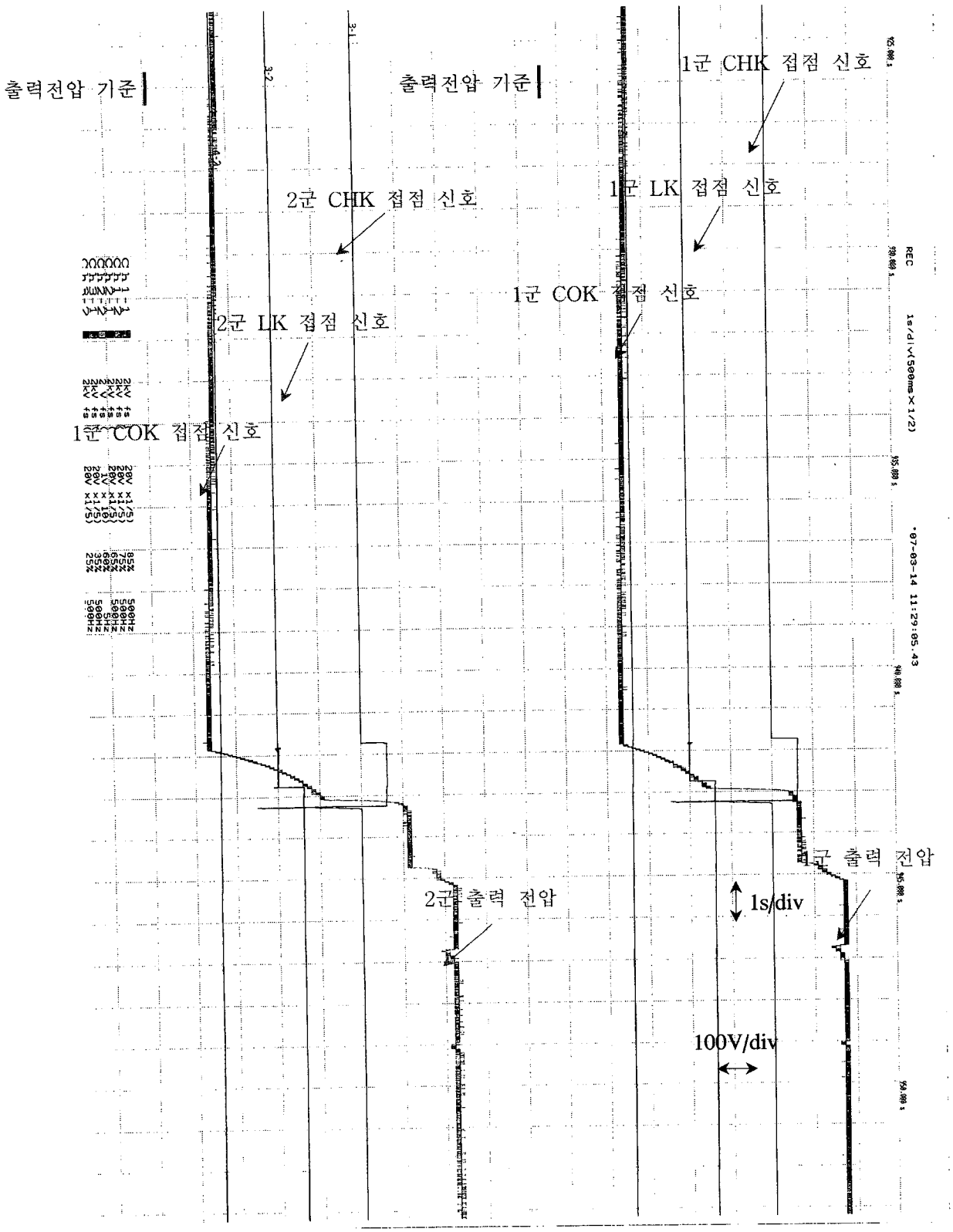


그림 3.6.2-50 절연 구간 통과 시 보조블럭 정상 기동 동작

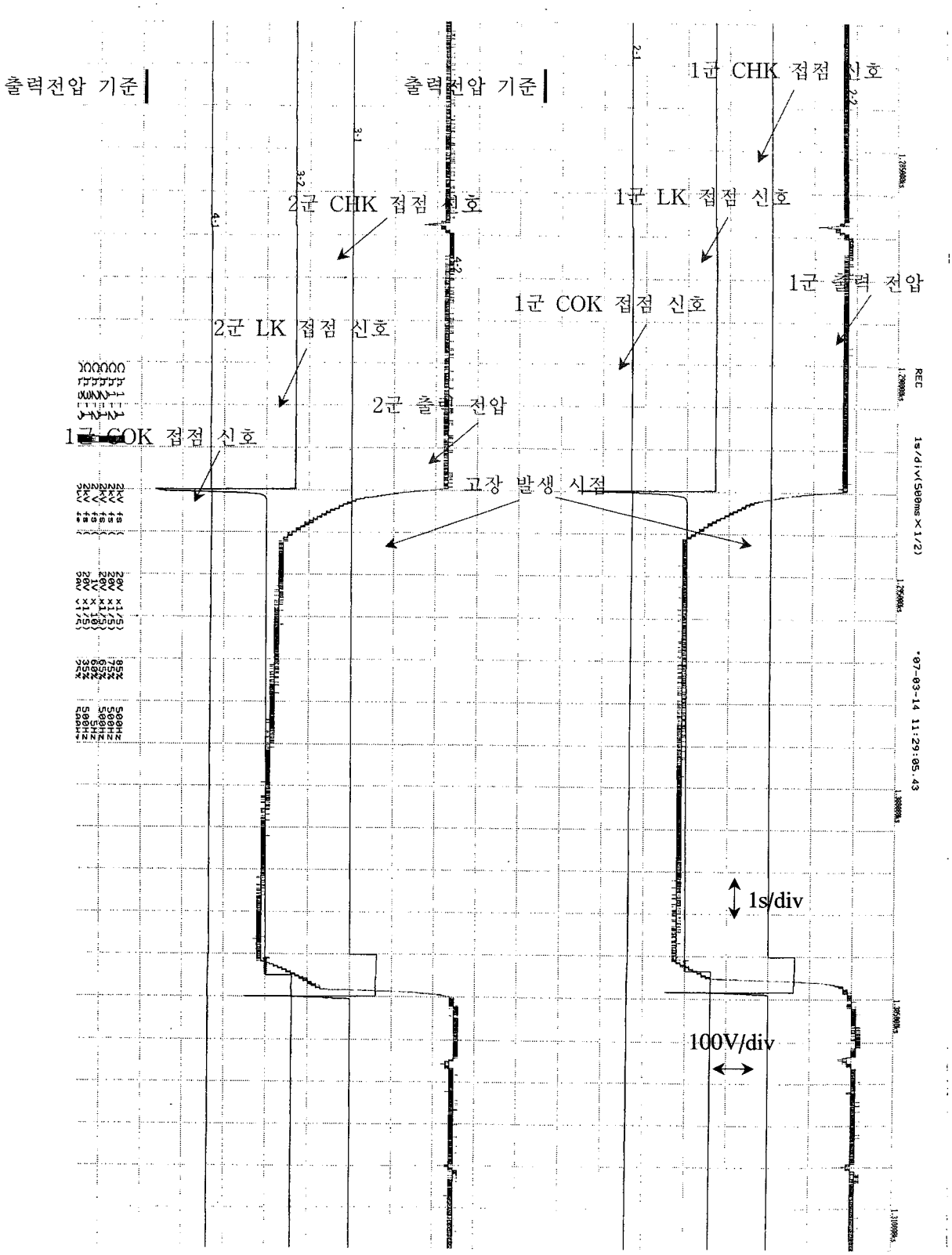


그림 3.6.2-51 고장 발생 시 보조블럭 동작 파형

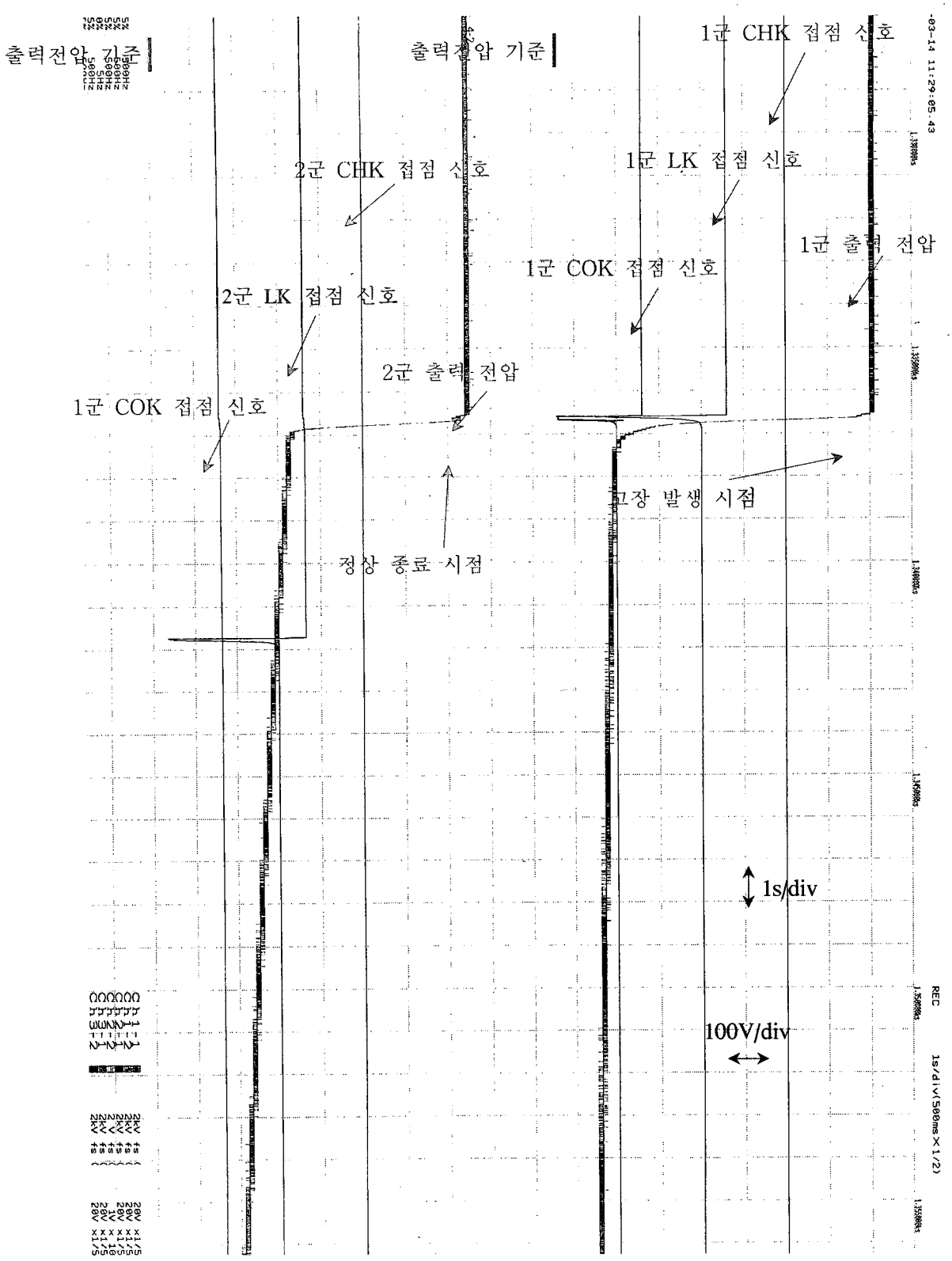


그림 3.6.2-52 1군 고장 발생 시 보조블럭 동작 파형

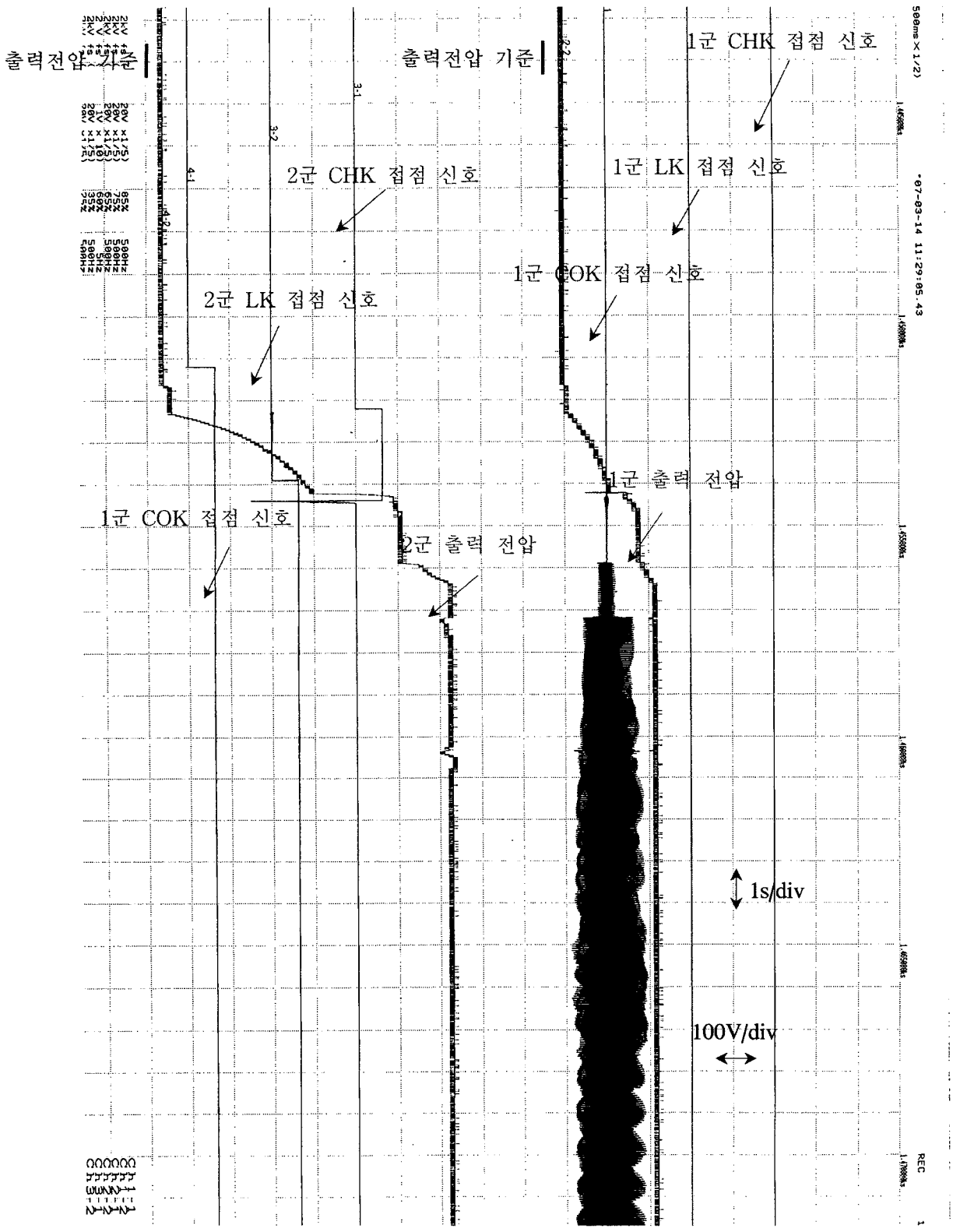


그림 3.6.2-53 1군 고장 발생 시 보조블럭 동작 파형

제7절 견인전동기

1. 견인전동기 성능검사

차량 시운전 중 200km/h 속도 대역에서 차체에 이상진동 발생에 대한 원인 검토를 위하여 추진시스템 각 장치 분석의 일환으로 견인전동기에 대하여 검토하였다.

가. 견인전동기 분리

차량에서 분리된 견인전동기/1차 감속기 유니트에서 견인전동기를 분리 하였다.

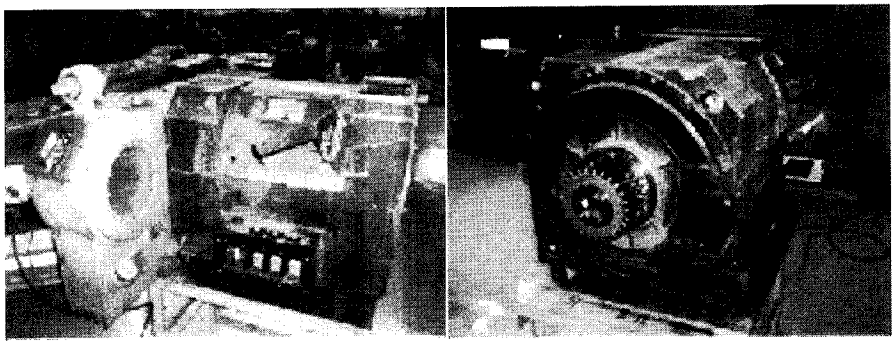


그림 1. 1차 감속기와 분리한 견인전동기

나. 견인전동기 분해 검사



그림 2. 견인전동기 분해 및 Balancing

견인전동기 1호기와 5호기를 분해하여 부품검사 및 Balancing 검사 결과 이상이 없었다.

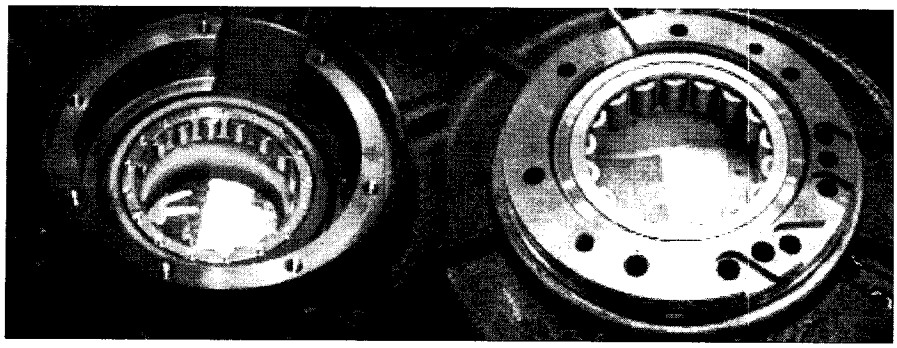


그림 3. DE 및 ODE 롤러 베어링

다. 견인전동기 시험

견인전동기 1호기와 5호기의 권선 저항, 절연저항, 진동 및 소음 측정 시험을 하였다.



그림 4. 저항측정 및 진동측정 시험

(1) 시험절차 및 측정항목

(가) 시험 일자

시험 일자: 2004.4.23

(나) Model 및 Serial No.

① Model No. : KTM-ILF-1100

② Serial No. : 001, 005

(다) 시험온도 및 습도

① 001 시험 : 16.8 ℃, 20.8 %

② 005 시험 : 18.0 ℃, 28.8 %

(라) 저항측정

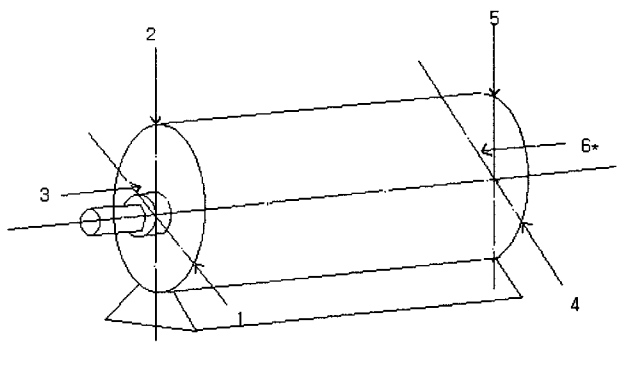
냉상태에서 전동기 단자간의 저항을 측정하여 150℃ 저항으로 환산하여 기준치 이내일 것.

Serial No. : 001					
	U-V	V-W	U-W	TEMP.	비고
기준치 (IEEE 112)	0.0856±10% 이내			150 ℃	설계치
2004.04.23	0.0548	0.0548	0.0548	16.8 ℃	측정치
	0.0838	0.0838	0.0838	150 ℃	환산치

Serial No. : 005					
	U-V	V-W	U-W	TEMP.	비고
기준치 (IEEE 112)	0.0856±10% 이내			150 ℃	설계치
2004.04.23	0.0549	0.055	측정치	18.0 ℃	측정치
	0.0838	0.0838	환산치	150 ℃	환산치

(마) 진동시험

전동기를 베드에 고정한 후, 가속도계를 아래 그림과 같이 베어링(부하측, 반부하측)근처에 부착 하여 수직, 수평, 축방향 6곳의 속도레벨을 측정하고, 600rpm에서 전동기를 구동하여 600rpm씩 4300rpm까지 측정하며, 각 회전수별 진동 기준치를 만족하여야 한다.



Vibration Check Point

① 측정장비

㉮ 제조사 : RION

㉯ Model : Vibration Meter

㉰ Type : VM-82

㉱ Series No. : 08632502

㉲ Device Adjustment : 10Hz, RMS

② Serial No. : 001

기준치 (IEC 60034-14)	TEST RESULT						DATE
	①	②	③	④	⑤	⑥	
600rpm(2.8mm/sec)	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	2004.4.23
1200rpm(2.8mm/sec)	0.3	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	
1800rpm(2.8mm/sec)	0.5	0.9	0.6	1.0	0.5	0.6	
2400rpm(4.5mm/sec)	0.5	0.4	0.5	0.7	0.3	0.4	
3000rpm(4.5mm/sec)	0.7	0.5	0.5	1.0	0.4	0.5	
3600rpm(4.5mm/sec)	0.7	0.4	0.8	0.8	0.4	0.8	
4300rpm(6.75mm/sec)	2.1	3.6	5.0	2.4	2.2	5.3	

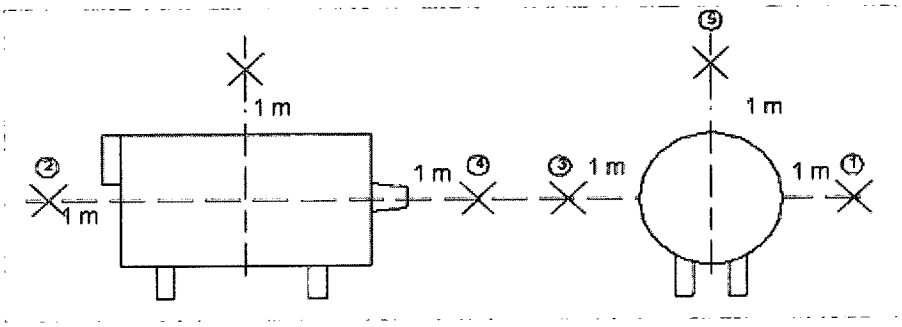
③ Serial No. : 005

기준치 (IEC 60034-14)	TEST RESULT						DATE
	①	②	③	④	⑤	⑥	
600rpm(2.8mm/sec)	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	2004.4.23
1200rpm(2.8mm/sec)	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	
1800rpm(2.8mm/sec)	0.7	0.4	1.2	0.7	0.6	1.3	
2400rpm(4.5mm/sec)	0.7	0.5	0.6	0.8	0.6	0.9	
3000rpm(4.5mm/sec)	1.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	
3600rpm(4.5mm/sec)	1.1	0.7	0.9	1.0	0.8	1.3	
4300rpm(6.75mm/sec)	2.2	2.2	4.9	1.9	3.6	6.4	

(바) 소음시험

① 전동기를 시험베드에 장착한 후, 최대 속도인 4300rpm까지아래와 같은 위치에서 소음을 측정한다.

② 아래의5개소에서 측정한 소음레벨을 평균한 값이 4300rpm에서는 115dB(A) 이하 이어야 한다.



③ 측정장비

㉮ 제조사 : RION

㉯ Model : Integrating Sound Level Meter

㉰ Type : NL-06

㉱ Series No. : 01270252

㉲ Device Adjustment : A-weighted, FAST

④ 측정결과

기준치 (IEC 60349-2)	TEST RESULT(평균)		비고
	Serial No. : 001	Serial No. : 005	
600rpm	60.2	58.7	
1200rpm	71.8	72.2	
1800rpm	83.0	83.7	
2400rpm	94.3	93.0	
3000rpm	97.5	100.2	
3600rpm	102.0	103.2	
4300rpm	106.7	105.9	

(사) 절연저항 측정

고정자권선의 리드선을 접속시켜, 권선과 프레임사이의 절연저항을 1,000V 메가로 측정한다.

기준치	200MΩ 이상	DATE
Serial No. : 001	3.72 GΩ	2004.4.23
Serial No. : 005	5.75 GΩ	2004.4.23

(2) 시험결과 검토

(가) 무부하 인버터 전원으로 600rpm에서 점차 속도를 높여 최고 속도 4300rpm까지 주파수를 가변하여 속도별 진동 시험 결과 기준치를 만족함.

(나) 소음 측정치는 1호기 및 5호기 모두 기준치를 만족함.

(다) 견인전동기의 이상 유무 판단을 위한 시험에서 위 결과와 같이 모든 기준치를 만족하며, 견인전동기는 이상 없음을 확인하였음.

2. 본선 시운전 시험에서의 견인전동기 온도 측정

본선 시운전 시 속도별 견인전동기의 온도 측정 결과는 모두 안정적이었으며, 아래와 같은 온도분포를 나타내었다.
가. 속도에 따른 견인전동기의 온도

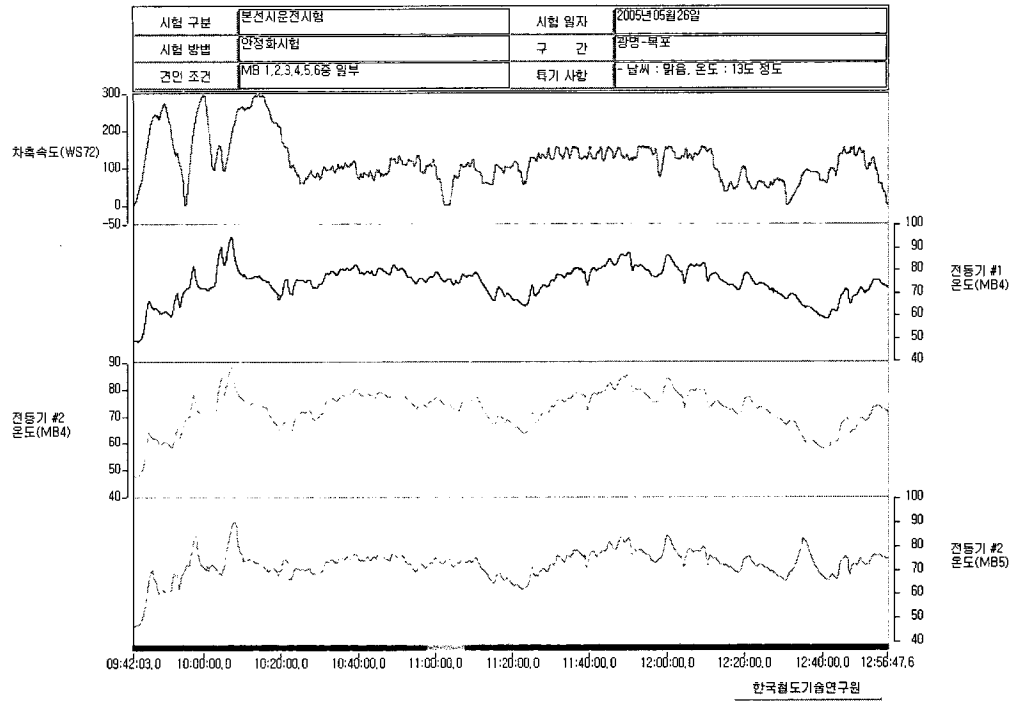


그림 5. 광명-목포 시운전시 견인전동기의 온도

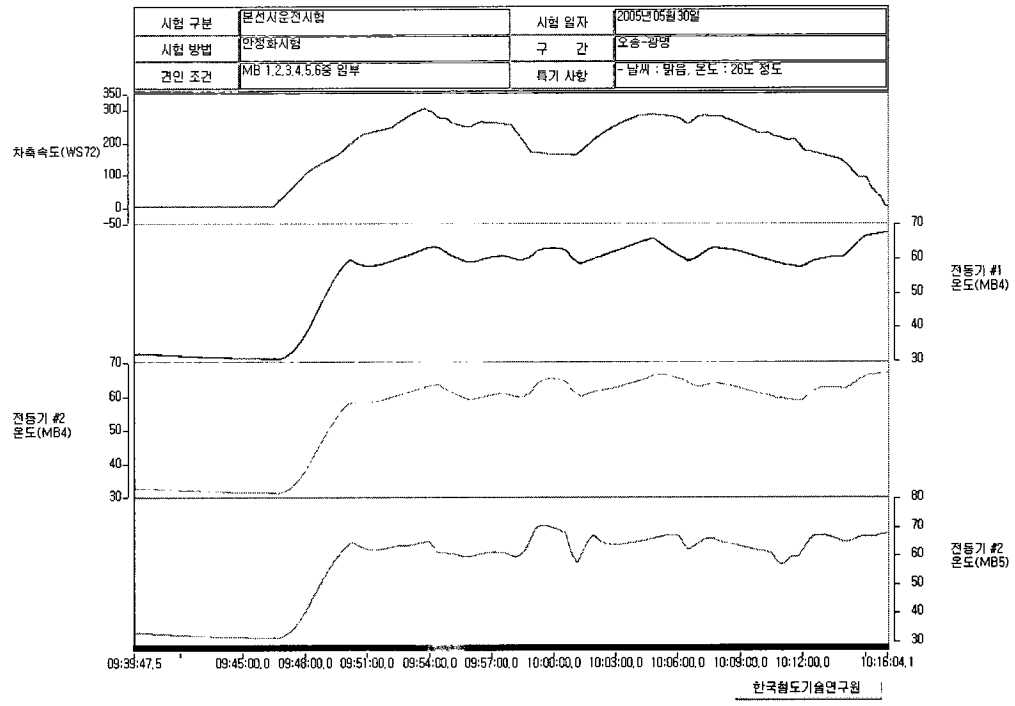


그림 6. 오송-광명 시운전시 견인전동기의 온도

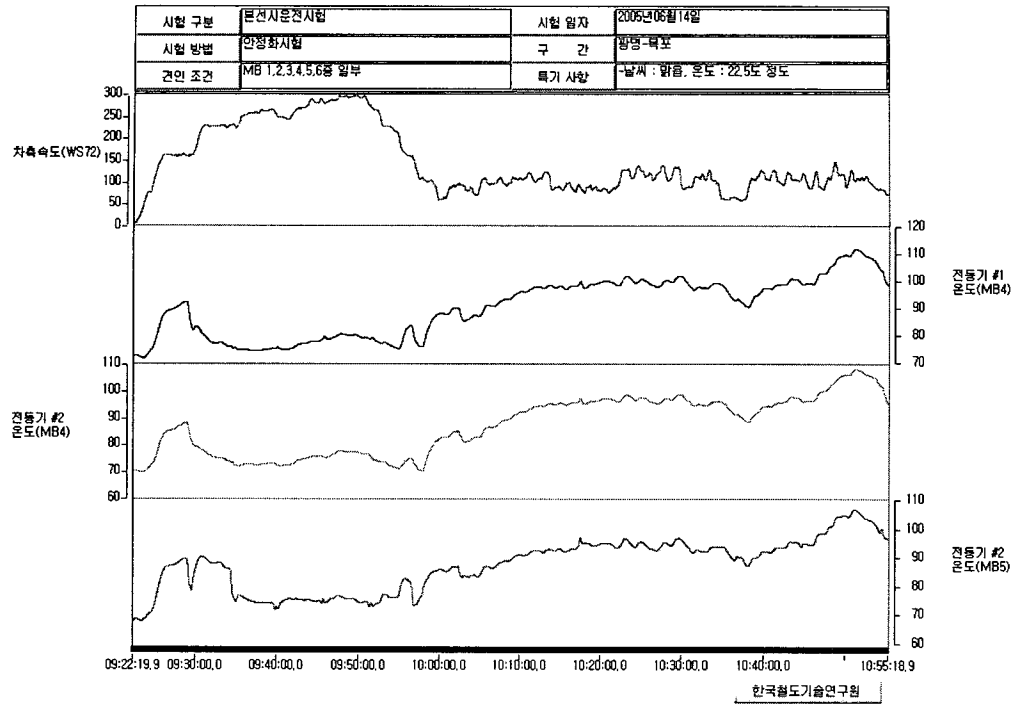


그림 8. 광명-목포 시운전시 견인전동기의 온도

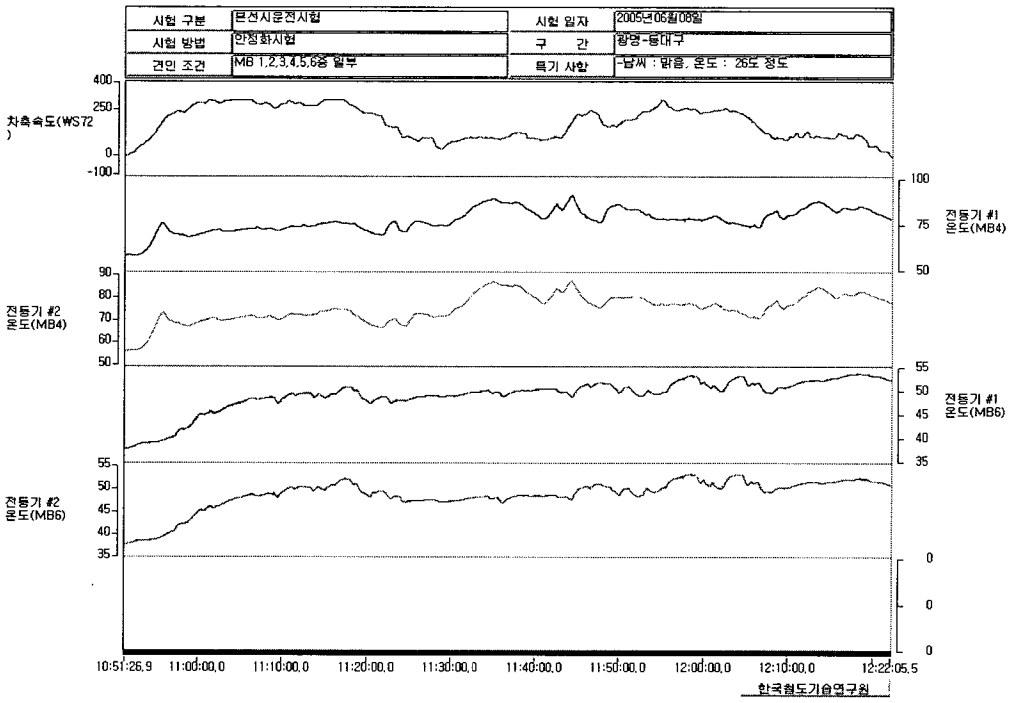


그림 7. 광명-동대구 시운전시 견인전동기의 온도

3. 견인전동기 중점검

본 항에서는 G7 시제차의 본선 시운전 거리가 130,000km를 넘어섬에 따라 차량 전체 중점검 실시와 더불어 견인전동기의 신뢰성 평가를 위해 한국철도기술연구원의 설비를 이용하여 견인전동기의 연속정격 온도상승시험을 수행하였다. 점검 및 시험 순서는 아래와 같다.

1) 외관검사 및 청소

2) 소음 및 진동측정

3) 분해 및 베어링 교체

4) 시험

가. 외관점검 및 검사

차량에서 탈거 후 견인전동기의 외관의 손상유무를 점검하고, 압축공기를 이용하여 청소 후 각 상간 저항을 측정하여 단락유무를 점검 하였다.

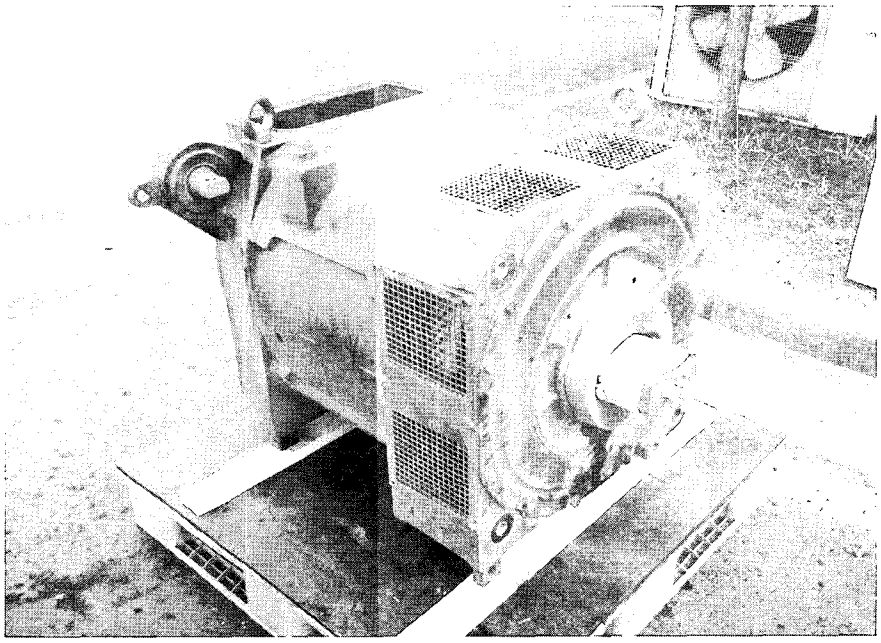


그림 9. 외관검사 및 청소

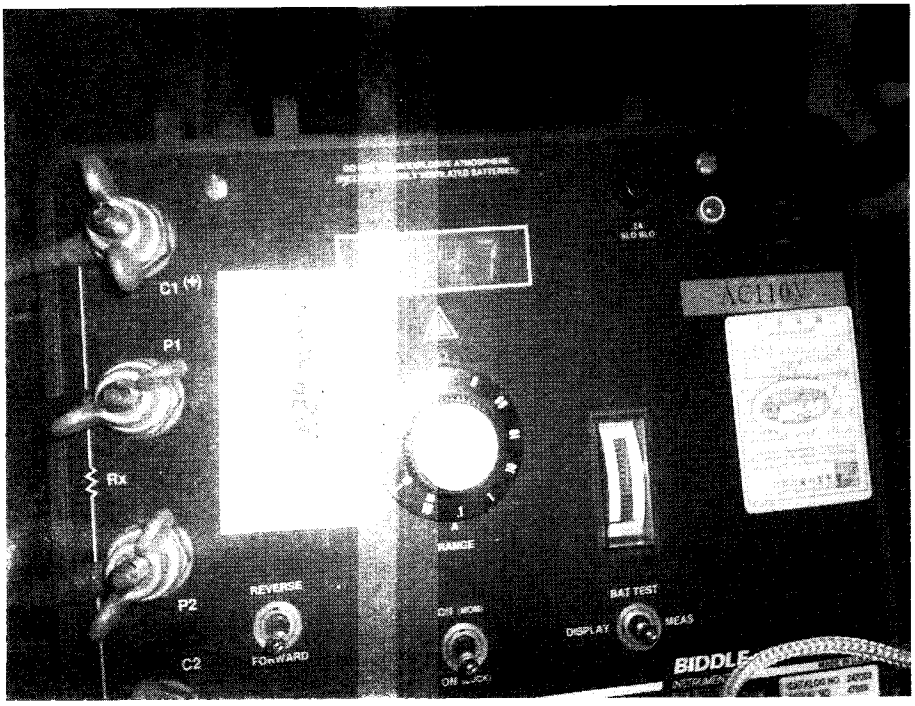


그림 10. 상간 저항측정

나. 소음 및 진동측정

외관 청소 후 성능변화 유무를 판단하기 위하여 분해점검 전 견인전동기의 진동 및 소음을 측정하였다.

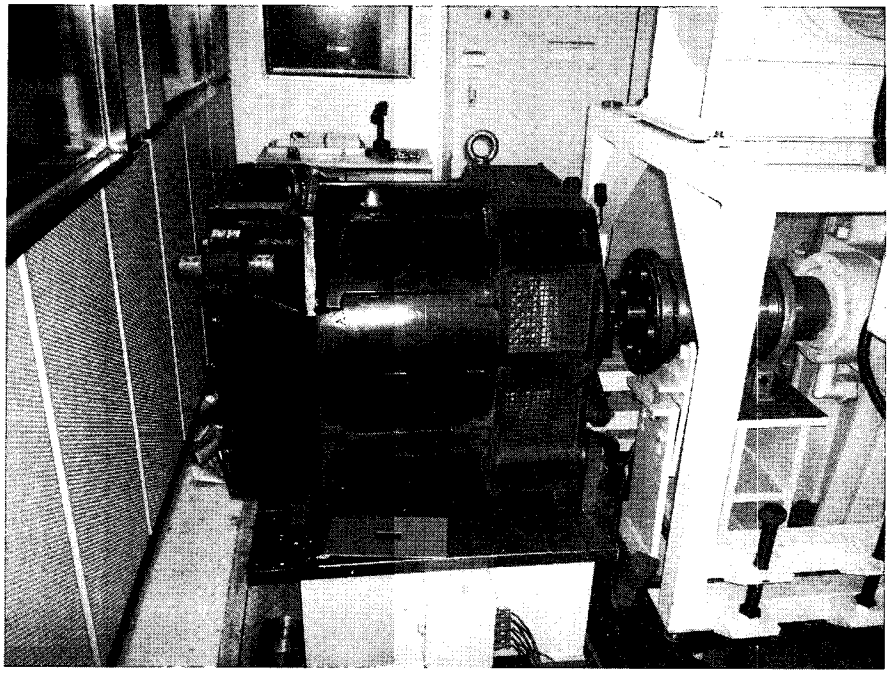


그림 11. 견인전동기 시험

다. 분해 및 베어링 교체

분해 후 견인전동기의 베어링을 교체하였고, 회전자의 밸런싱 정도를 측정하여 재조정하였다.

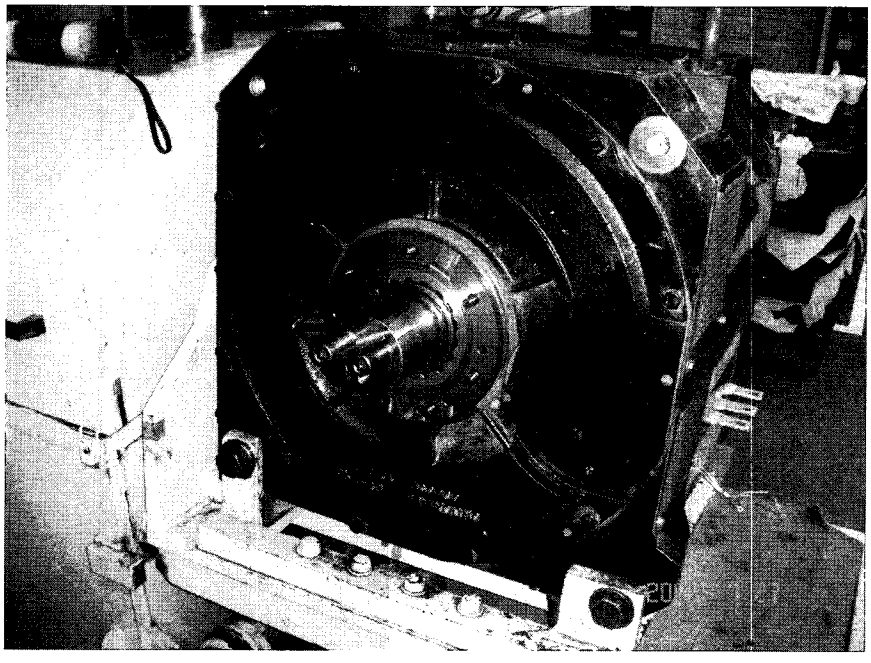


그림 12. 분해용 JIG에 장착된 상태

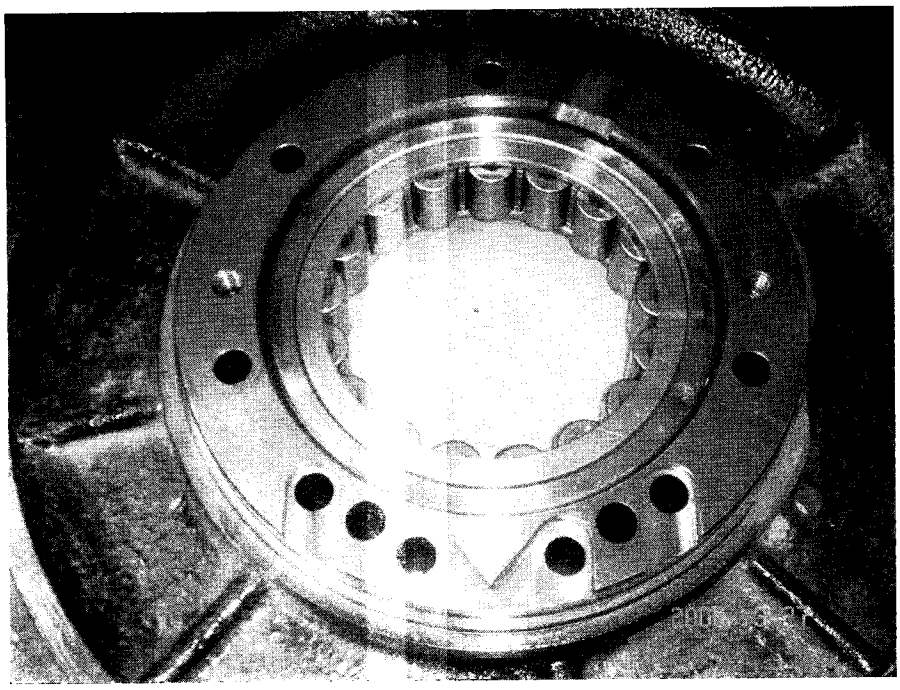


그림 13. 베어링 교체

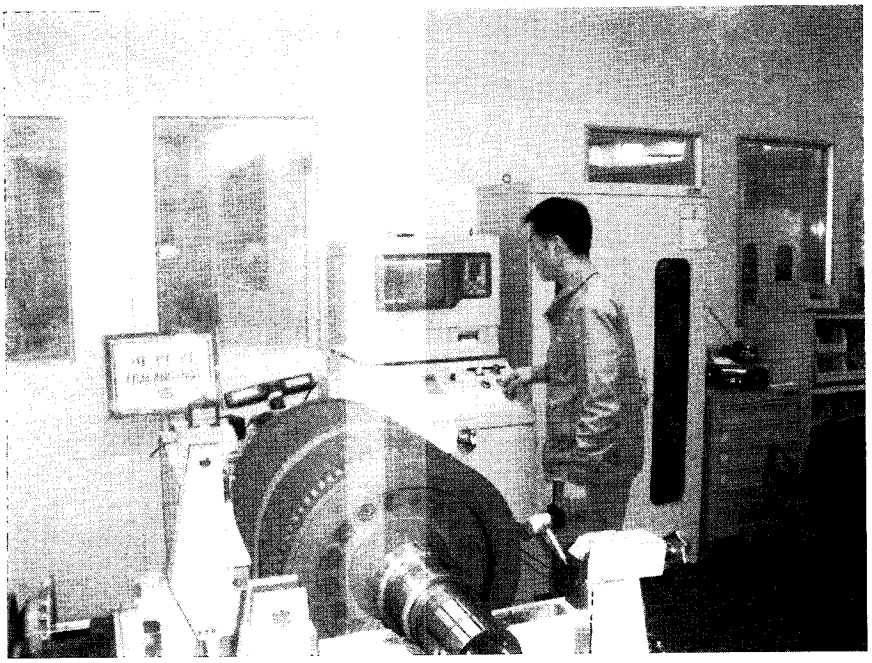


그림 14. 회전자 밸런싱 확인

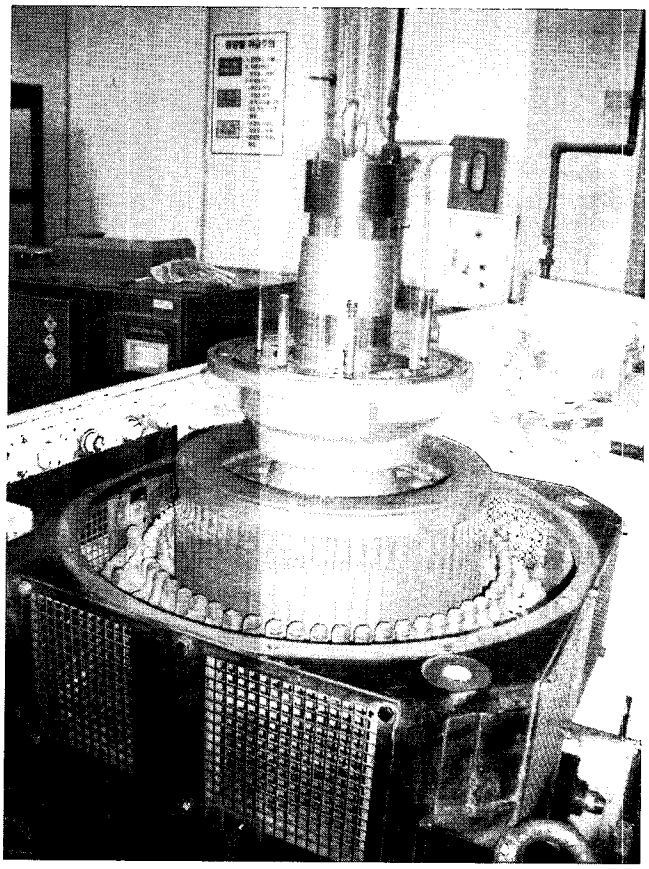


그림 15. 회전자와 고정자 조립

라. 시험 실시

(1) 무부하시험

임의의 주위온도에서 정격주파수, 정격전압으로 전동기를 무부하에서 운전하여 입력이 일정하게 되었을 때 각상에 흐르는 1차 전류 및 입력을 측정하였다.

시험조건

-정격전압 2183V, 143Hz를 인가한다.

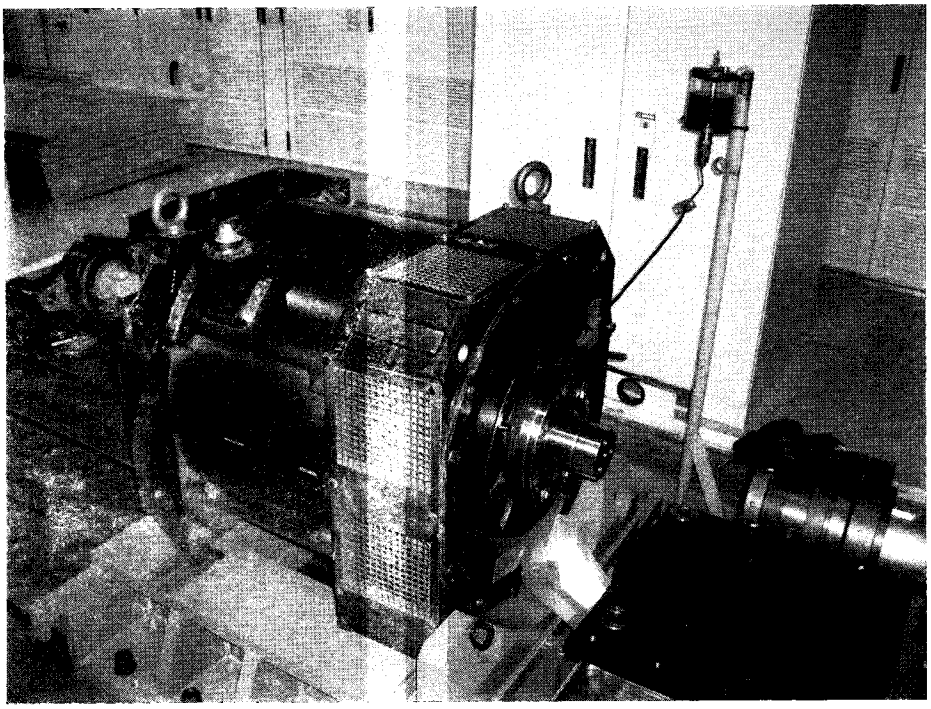


그림 16. 무부하시험

(2) 부하시험

부하시험은 상용 주파수에서 실시하였고, 이때의 토크, 슬립, 효율, 역률, 출력을 각각의 전류에서 측정 및 계산하였다.

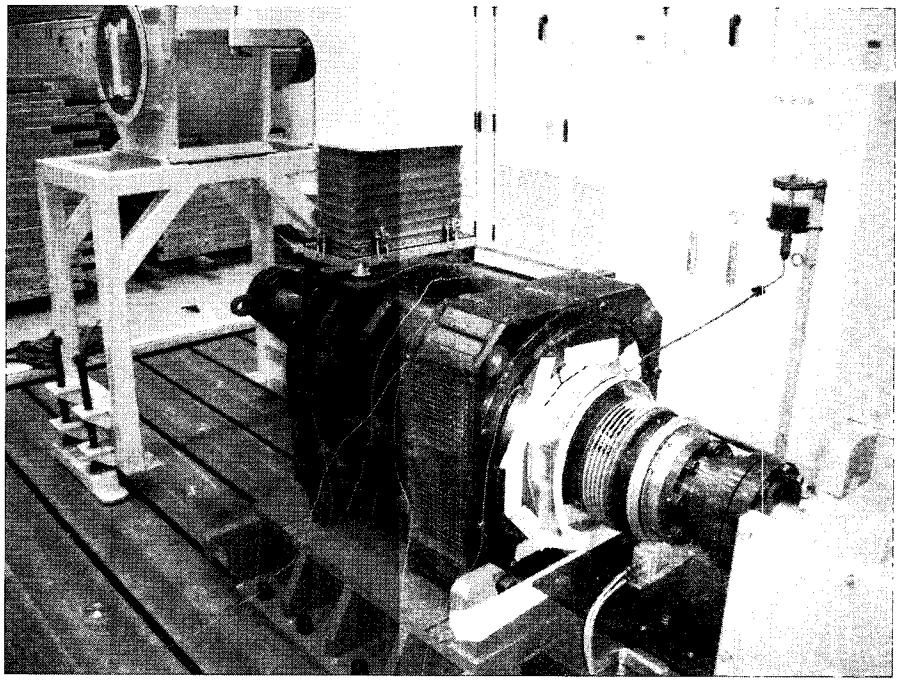


그림 17. 부하시험

(3) 연속정격 온도상승시험

전동기를 지정된 통풍상태로 하여 연속정격 전압, 주파수, 전류로 각부의 온도가 일정하게 될 때 까지 연속 운전하여 각부의 온도상승 치를 기록하였다.

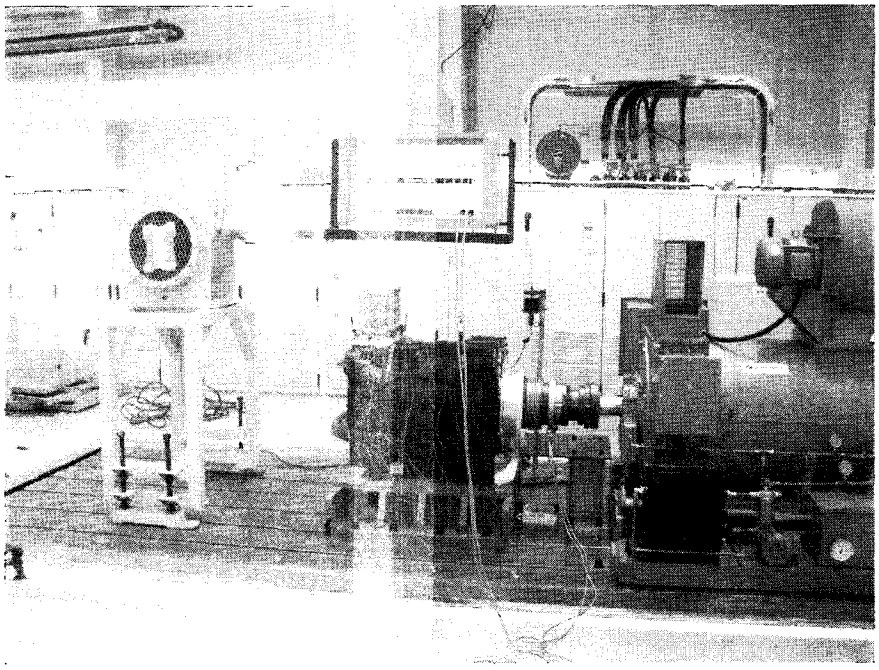


그림 18. 연속정격 온도상승시험 02

마. 시험 결과

(1) 저항측정

상온에서 각 상간의 저항을 측정하고 150℃로 환산한 선간저항값이 0.0836Ω±10%이어야 한다.

저 항	U V	V W	W U
18 ℃	0.0546 Ω	0.0546 Ω	0.0547 Ω
150 ℃(환산치)	0.0831 Ω	0.0831 Ω	0.0832 Ω

환산식 : 150℃ 환산결과치 = (234.5+환산온도)/(234.5+측정온도)×측정저항

(2) 진동측정

전동기를 베드에 고정한 후, 아래 그림과 같이 가속도계를 베어링(부하측, 반부하측)근처에 부착 하여 수직, 수평, 축방향의 속도레벨을 측정한다.
600rpm에서 전동기를 구동하여 600rpm씩 4300rpm까지 측정하며, 각 회전수별 진동 기준치는 아래표를 만족하여야 한다.

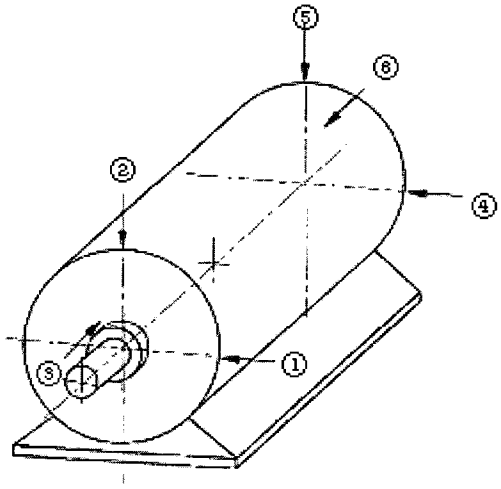


그림 21 진동측정 위치

기준치 IEC60349-2	TEST RESULT						판정
	①	②	③	④	⑤	⑥	
600rpm(3.5mm/sec)	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	양호
1200rpm(3.5mm/sec)	0.1	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1	
1800rpm(3.5mm/sec)	0.1	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	
2400rpm(3.5mm/sec)	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	
3000rpm(3.5mm/sec)	0.3	0.7	0.5	0.3	0.7	0.6	
3600rpm(3.5mm/sec)	0.4	0.7	0.7	0.5	1.0	0.7	
4300rpm(5.25mm/sec)	2.2	4.6	2.0	1.6	4.8	1.4	

(3) 소음측정

전동기를 시험베드에 장착한 후, 냉각용 송풍기를 정지한 상태에서 무부하로 최대 속도인 4300rpm에서 아래와 같은 위치에서 소음을 측정한다.

아래의 5개소에서 측정한 소음레벨을 평균한 값이 115dB(A) 이하 이어야 한다.

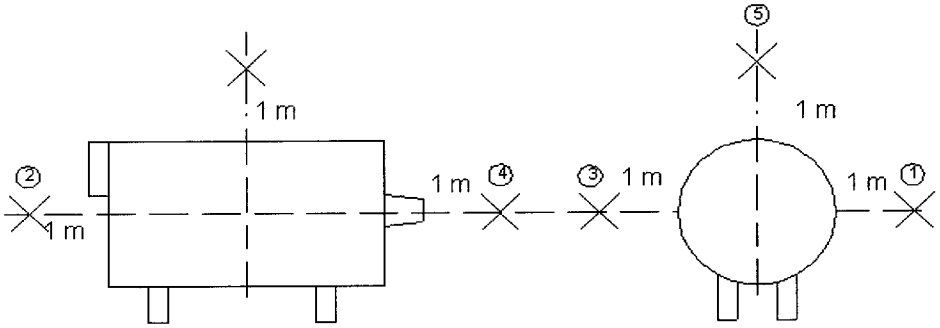


그림 22 소음측정 위치

측정지점 / 회전수	①	②	③	④	⑤	평균	판정
600rpm	65	공간 협소로 측정 불가	61	63.7	62.8	63.1	양호
1200rpm	72.8		72.8	72.5	75.7	73.5	
1800rpm	83.4		83.5	83.0	86.4	84.1	
2400rpm	94.6		92.9	91.5	94.1	93.3	
3000rpm	95.3		96.4	96.7	98.3	96.7	
3600rpm	99.3		99.5	98.7	100.5	99.5	
4300rpm	100.3		100.2	100.2	100.8	100.4	

(4) 무부하시험

기준전압(V)	주파수(Hz)	전류(A)	입력(kW)	비고
2183.6	143	4.613	24.51	

(5) 부하시험

부하율 (%)	전압 (V)	주파수 (Hz)	전류 (A)	역률 (%)	슬립 (%)	출력 (kW)	효율 (%)	토크 (N • m)
50	916	59.95	162.76	90.24	0.86	221	94.9	1185
75	916	59.92	243.69	91.32	1.41	333	94.5	1796
100	916	60	334.95	90.16	2.36	447	93.3	2427
125	916	59.85	445.42	87.22	3.77	556	90.3	3073

(6) 연속정격 온도상승시험

- 시험조건 : 2183V, 343A, 143Hz

주위온도 17.7 ℃

위치		온도상승결과			측정방법	판정
		온도상승 한도(K)	최종온도 (℃)	상승치 (K)		
고정자 권선		200	167.7	150	저항법	양호
베어링	부하측	55	53.4	35.7	온도계법	
	반부하측	55	61.3	43.6		
프레임		-	127	109.3		
공기입구		-	32.3	14.6		
공기출구		-	76.7	59		

연속정격 온도상승시험 후 권선의 저항(U-V)

시간(S)	0	15	30	45	60	75	90
저항(mΩ)					86.4	85.3	85.0
시간(S)	105	120	135	150	165	180	
저항(mΩ)	84.8	84.6	84.4	84.3	84.1	84.0	

$T_x = \frac{R_2}{R_1} \times (T + t_1) - (T + t_a)$의 식에 의해

고정자 권선의 상승온도 = (93.2÷56.4)×(234.5+17.7)-(234.5+32.3)

= 150 K

(7) 결론

- 시험결과 치는 모두 기준을 만족하므로 본선시험 후 성능 변화는 없음.

- 온도상승시험 전 DATA의 신뢰성 평가를 목적으로 2단계 3차년도 연차 보고서에 실린 부하시험과 같은 조건으로 시험 후 유사한 결과 값을 보여 온도상승시험 수행.

- 온도상승시험 결과 350km/h 운행조건에서 온도상승 기준치 200K를 만족함.

4. 현차 견인전동기 점검

- 일　　시 : 2006년 8월 28일
- 장　　소 : 오송 차량기지

점검항목		절연저항	외관검사	그리스 추가급유
점검내용		1000V 메가로 절연저항 측정하여 100MΩ 이상	볼트의 이완여부 기타 외관 상태검사	반구동측 베어링 추가급유 실시
점검결과	8대차_1호	336	양호	60g
	8대차_2호	340	양호	60g
	9대차_1호	-	양호	60g
	9대차_2호	-	양호	60g
	10대차_1호	-	양호	60g
	10대차_2호	-	양호	60g
비고		1분 측정		

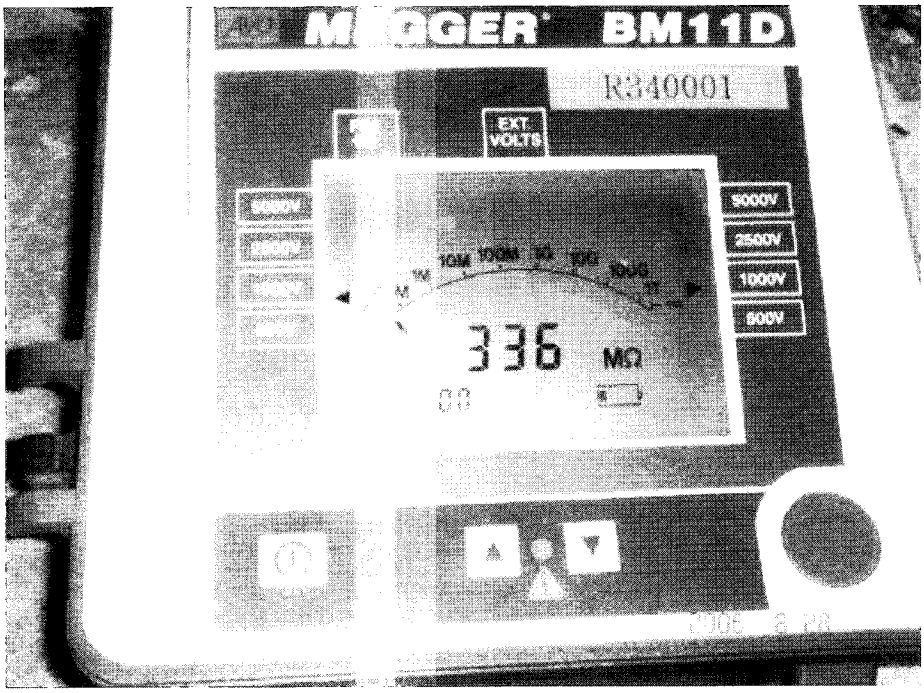


그림 19. 8대차_1호 T/M 절연저항측정

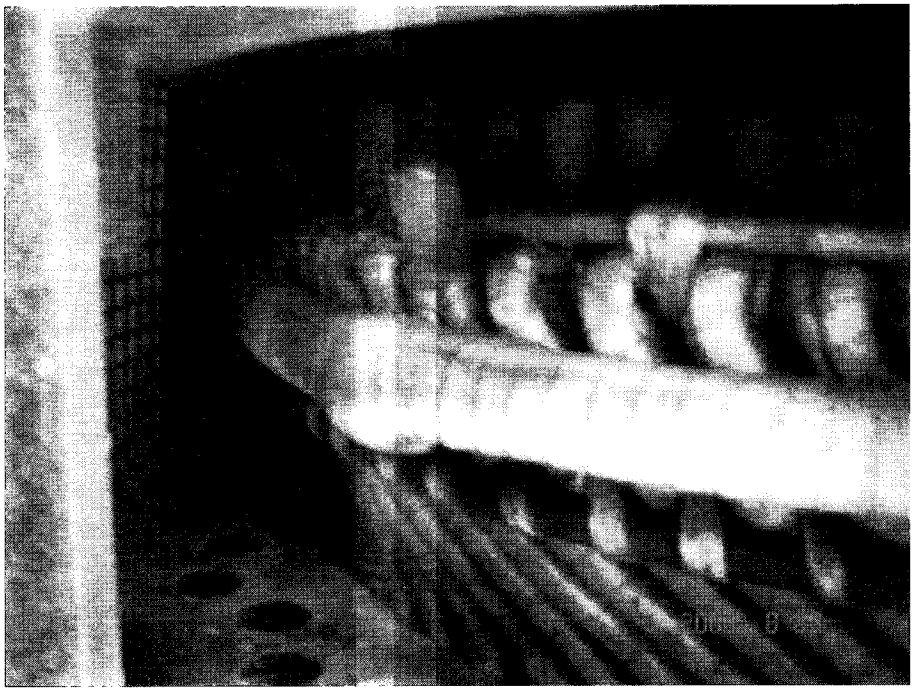


그림 20. 부하측 코일엔드 점검

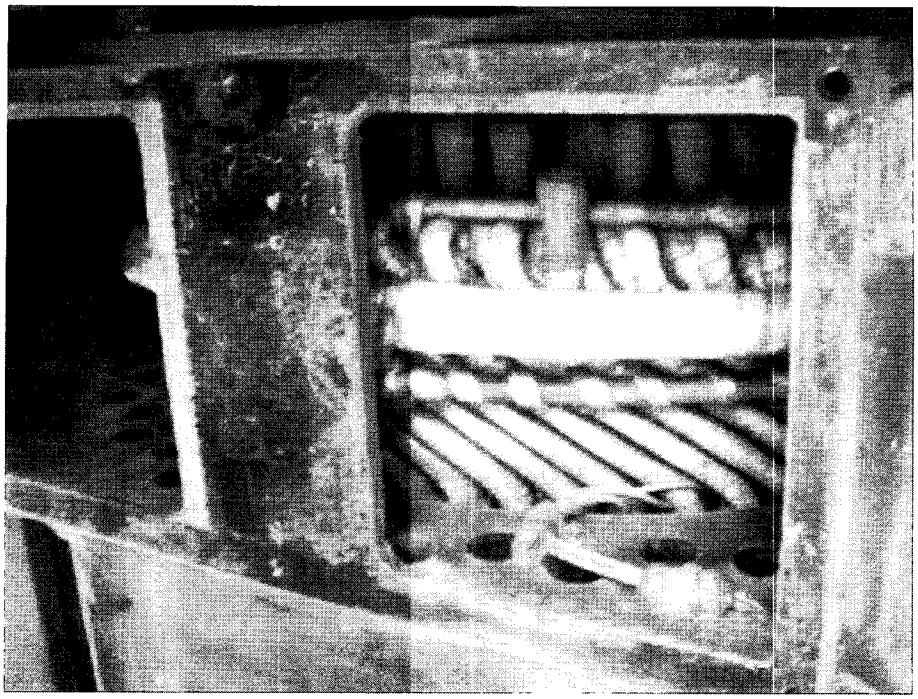


그림 21. 반부하측 코일엔드 점검

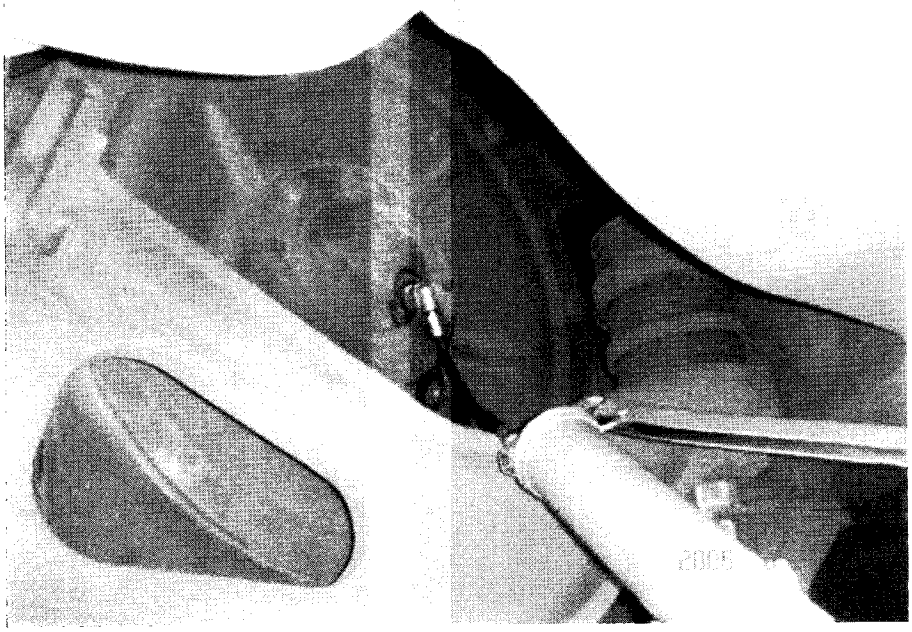


그림 22. 반부하측 베어링 그리스 추가급유

견인전동기는 차량의 20만km 시운전을 통하여 안정적인 성능이 확인과 내구성이 증명되었다고 판단되며 향후 지속적인 실용화 적용에 있어 신뢰성을 확보하였다고 할 수 있다

제8절 제동장치

1. 일반

한국형고속전철(KHST)의 제동시스템 안정화를 위하여 본 과제 전 기간동안에 중점적으로 추진한 연구내용은 다음과 같다.

한국형고속전철개발 사업 과제로 개발 시험 중인 한국형고속전철 차량 본선 시운전에 지속적인 참여를 통해 제동시스템의 안정성/신뢰성 및 내구성 확보에 주력하고, 제품의 유지보수 업무와 시스템 장치 시험 결과 분석을 통한 제품 성능 향상 목적의 제품 수정 보완 작업 수행으로 차량에 최적화된 제동시스템 실용화를 목표로 한다. 이와 같은 연구목표를 달성하기 위해 사업초기에 계획된 연차별 개발추진 세부사항을 성실히 수행하였다.

가. 연구개발의 목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (2002.12. ~ 2003. 9)	본선시운전을 통한 제동 시스템 안정성 확보 및 유지보수	- 각 제동장치(답면,디스크 휠디스크) 본선 시운전 성능 및 내구성 시험 - 필요시 제동제품 수정보완 및 유지보수 - 와전류제동장치 제동시험/분석 및 수정 보완
2차년도 (2003. . ~ 2004. 10)	각 제동장치 내구성 시험과 제품 실용화	- 지속적인 시험 실시 및 결과 검토 - 필수 제품 개량을 통한 최적 성능 확보 - 필요시 제동제품 수정보완 및 유지보수
3차년도 (2004.11. ~ 2005. 10)	추가차량용 제품 설계 및 기존장착제품 유지보수	- 지속적인 시험 실시 및 결과 검토 - 개량 제품 설계 및 시제품 시험 - 추가차량 탑재용 제동장치 설계
4차년도 (2005.11. ~ 2006. 10)	추가차량용 제품제작 및 시험 및 유지보수	- 제품 유지 보수 체계 마련 - 추가차량용 제동장치 제작 및 장착시험
5차년도 (2006.11. ~ 2007. 10)	추가차량용 제동부품 성능시험 및 전체시스템 유지보수	- 제품 유지 보수 체계 마련 - 개선 제품 장착 및 시험 - 추가차량용 제동장치 제작 및 장착시험

나. 연구개발 성과

■ 인터페이스 개선된 신규제작품 ECU 적용시험에서 발견된 보완사항을 반영하고, 신뢰성 검증시험 및 시운전단 주도하의 적용성 시험 및 성능개선시험 수행

■ 하드와이어 방식의 BBCU를 설계, 제작하여 차량적용시험 실시

■ 와전류제동장치의 기구적인 보완작업을 통해 본선 주행시험 상에서의 안전성을 확보하고, 저속주행중의 고전압 인가시험을 통해 개발초기 설계된 제동력 및 흡인력간의 상관관계 데이터를 취득함.

■ 상용 프로젝트 적용을 위한 기초제동장치 개선작업을 통해 전체 제동시스템에서 공기제동력이 차지하는 분담비율을 향상시키고, 제동시험 진행상의 안정성 향상에 기여함.

■ 시제차량 제동성능시험에 있어서의 제동거리 단축을 위해 전기 및 공기 제동력의 적용 방식을 기존상용차량(KTX)의 수준으로 변경 적용하여 제동성능시험을 실시함.

■ 구원제동장치(BTU)를 사용한 실차에서의 구원운전 시험실시

■ 부수대차 속도센서의 설계변경 및 개선제품을 개발하여 차량취부 적용시험을 완료함.

■ 본선시운전 시험을 통한 제동데이터 수집 및 분석결과를 활용하여 제동시스템 소프트웨어 측면의 시스템 개선작업을 지속적으로 실시함.

■ 주요부품에 대한 설계변경 및 보완제작(실용화 적용)

■ 한국형고속열차 기술개발사업과 차량시스템 안정화기술개발사업을 통해 축적된 제동기술을 적용한 상용화 고속열차 프로젝트 설계 과정에 필요한 장치별 신뢰성확보를 위해 시운전단 및 철도공사와 공동으로 신뢰성 검증시험을 수행함.

2. 추진경위

가 제동시스템 관련 장치 안정화를 위한 오송기지 작업

(1) 2003년도 주요 작업내용

표 1 2003년도 주요 보수유지 작업 내용

일자	내용
2003-03-31	밸브 YA72 PCV 직통 개선
2003-04-07	속도신호 오류점검
2003-04-09	속도센서 ECU간 배선확인
2003-04-09	덤프밸브 이상동작 확인
2003-04-11	속도신호 인식오류 -> Noise 차폐
2003-04-11	덤프밸브 작동상태 점검 및 수리
2003-04-14	FRS 보드 회사내에서 노이즈 차폐
2003-04-17	속도신호 인식상태 점검 by 시뮬레이터
2003-04-17	구동회로 PCB 카드(VDM) 점검 시험중 카드가 재소손됨 (커넥터, 솔레노이드 코일부 이상 추정)
2003-04-17	PC1 속도검지 기능 불량
2003-04-22	덤프밸브 및 배선 Check
2003-04-22	PC1 1번 대차용 보완작업
2003-04-24	덤프밸브 Coil 교체 -> 결과 : 미작동
2003-04-30	덤프밸브 구동용 PCB 카드 동작점검
2003-05-14	덤프밸브 교환 및 점검
2003-05-14	덤프밸브 카드 (VDM) 카드 문제 확인
2003-05-14	SPMD와 시뮬레이터간 인터페이스 시험을 위한 랙 탈거
2003-06-13	속도센서 동작 확인 시험 (TCU 출력채널 센서 Element 고장확인)
2003-06-13	ECU와 차량배선 100N Short 점검
2003-06-13	속도인식카드(FRS)시험
2003-07-02	ECU 장착
2003-07-02	속도인식카드(FRS)장착
2003-07-02	객차 디스크 패드 마모 조사
2003-07-03	ECU내 파워 접지검사
2003-07-02	속도인식시험 (간헐적으로 Noise 인식)
2003-07-24	속도인식카드(FRS) 교체 및 활주제어 소프트웨어 교체
2003-07-24	답면제동 발생 속도 변경 (50 km/h -> 60 km/h)
2003-07-29	속도인식카드(FSR) 점검 및 재장착
2003-07-29	제동실린더와 차체 간섭

(2) 2005년도 주요 작업내용

표 2 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (1)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	안정화 작업내용
2005년 6월 20일	Braking System	ECU 07	유지보수	#7 대차 디스크패드 6개 교체
2005년 6월 18일	Braking System	ECU 09	유지보수	#9 대차 답면 제동 슈 4개 교체
2005년 6월 17일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BBCU 블랜딩 제어 로직 수정 및 시험
2005년 6월 17일	Braking System	ECU 06	고장부품교체/보수	#6 와전류 제동장치 상승 실린더 설계 변경품 취부
2005년 6월 17일	SPMD	PC2	제어시험/계측	SPMD 고장 출력 시험
2005년 6월 17일	SPMD	PC1	제어시험/계측	고장 출력확인 시험 : 출력이상으로 SPMD 수정후 재시험 예정
2005년 6월 16일	SPMD	PC1	기능개선	고장 출력 라인 수정
2005년 6월 12일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BBCU Blending 시험
2005년 6월 12일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	Tripod Unbalance 검지 관련 프로그램 수정 및 확인 : #1, 2, 3, 8, 9, 10 ECU
2005년 6월 11일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	ECU 제동 불완해 프로그램 수정 시험
2005년 6월 11일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BBCU 블랜딩 제어 알고리즘 구현 시험
2005년 6월 10일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BBCU 블렌딩 시험 : 제동 제어 로직 프로그램 수정 시험
2005년 6월 10일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	1. #10 ECU Tripod Unbalance 검지시험 : 검지확인 2. #10 ECU 제동 불완해 모의 시험 : 프로그램 수정후 재시험 예정
2005년 6월 8일	Braking System	ECU 06	고장부품교체/보수	#6 대차 와전류 프레임 상승하강용 실린더 교체
2005년 6월 8일	SPMD	PC1	기능개선	PC1 SPMD 초기 기동시 문제 해결을 위한 회로보완 - 채널보드 회로수정 Ch1, Ch2, Ch3 - CPU 보드 고장 정보 출력부 relay 교체
2005년 6월 8일	BBCU	네트워크 제어시험	기능개선	BBCU 블렌딩 구내 정차시험
2005년 6월 7일	Braking System	ECU 07	유지보수	#7 대차 디스크 패드 2디스크분(4개) 교체
2005년 6월 7일	Braking System	ECU 06	고장부품교체/보수	#6 대차 와전류프레임 대차 고정 연결부 볼트 교체작업 및 방진고무 3개 교체
2005년 6월 7일	Braking System	ECU 04	유지보수	#4 대차 디스크 패드 1디스크분(패드 2개) 교체

표 3 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (2)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작업내용
2005년 6월 4일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	안정화 정적 시험 : 1. 공기제동 명령 확인 시험 : 동력대차/부수대차 긴급제동기능 시험, 고/저압 전자변 동작 상태 확인 2. 속도연산 장치 기능 시험 : 각 channel 고장 신호 출력상태의 현시기능 미확,인 6/10 예정 3. BBCU blending 알고리즘 수정 및 확인
2005년 6월 2일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	제동 불완해 제동시험, 강제 제동불완해 모의시험
2005년 5월 31일	Braking System	ECU 05	유지보수	#5 대차 디스크 패드 4 디스크분 교체
2005년 5월 31일	Braking System	ECU 06	유지보수	#6 대차 디스크 패드 1 디스크분 교체
2005년 5월 31일	Braking System	ECU 04	유지보수	#4 대차 디스크 패드 1 디스크분 교체
2005년 5월 29일	SPMD	PC2	기타	SPMD 취부 : 초기오동작 수정함. 초기기동시 Ch1, Ch2, Ch3의 reset을 좀더 빨리 수정하였음
2005년 5월 28일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	ECU 제어동작 테스트 : 제어 오동작 원인조사
2005년 5월 28일	SPMD	PC2	유지보수	SPMD 초기 기동눔제 해결을 위한 탈거 : 프로그램 및 H/W 점검후 5/29일 취부 예정
2005년 5월 28일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	#7 ECU와 PC1 BBCU간 블렌딩 제어시험
2005년 5월 27일	Braking System	ECU 10	유지보수	#10 ECU Rack backplane 납땜 작업
2005년 5월 27일	Braking System	ECU 02	유지보수	#2 ECU Rack backplane 납땜 작업
2005년 5월 27일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	ECU ↔ BBCU 간 네트워크 통신 시험(프로그램 오류 발견하여 수정)
2005년 5월 25일	Pantograph	PC1	고장부품교체/보수	판토그라프 주습판 1개 교체
2005년 5월 25일	Braking System	ECU 09	고장부품교체/보수	#9 ECU Power Card 교체 및 동작 확인
2005년 5월 25일	Braking System	ECU 10	고장부품교체/보수	#10 ECU Power Card 교체 및 동작 확인
2005년 5월 25일	Braking System	ECU 02	고장부품교체/보수	#2 ECU Power Card 교체 및 동작 확인
2005년 5월 25일	Braking System	ECU 01	고장부품교체/보수	#1 ECU Power Card 교체 및 동작 확인
2005년 5월 24일	Braking System	ECU 02	고장부품교체/보수	#2 ECU Power Card 교체 : ner Version 프로그램 테스트 상태 양호
2005년 5월 23일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BBCU blending 현차시험 : 정지상태에서 simulator로 속도 입력 후 BBCU와 #7 ECU간 동작 상태 확인, MVB 통신이상으로 ECU 제어동작 이상 발견, ECU 프로그램 수정 후 재시험 예정

표 4 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (3)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작업내용
2005년 5월 21일	Braking System	ECU 10	유지보수	#10 대차 제동 shoe 4개 교체
2005년 5월 21일	Braking System	ECU 06	유지보수	#6 대차 디스크 패드 4개 교체
2005년 5월 21일	Braking System	ECU 05	유지보수	#5 대차 디스크 패드 4개 교체
2005년 5월 21일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/ 계측	1. 네트워크 제동시험 : SCU를 통한 제동제어 시험 (PC1/2 제어 상태 양호) 2. 네트워크 제동 불완해 시험 : 5/28 재시험 예정 3. SPMD 속도 현시 점검 : 임의의 속도를 Simulator에 입력후 ATC모니터와 SCU DISP2 속도현시값 확인, 차이가 없음 4. SPMD 초기 기동시 channel 보드 에러 점검을 위해 탈거(5/23 출발전 점검전에 취부 예정)
2005년 5월 21일	Braking System	ECU 01	유지보수	#2 대차 전위축 오른쪽 제동 shoe 1개 교체
2005년 5월 20일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/ 계측	1. 네트워크 모드에 의한 제동제어시험 : ECU 네트워크 동작에 의한 제어확인, 5/21 SCU와 시험 예정 2. ASCU 긴급제동 프로그램 시험 : 자체시험, 프로그램 이상으로 수정 예정
2005년 5월 19일	SPMD	PC1	제어시험/ 계측	1. 속도 simulator를 이용하여 모의속도시험 : ATC장치와 SCU장치의 속도차이는 저속에서 1Km/h내, 고속에서는 1~2Km/h내 속도차이가 있음. PC1/2 동일함 2. SCU가 고속에서 8Km/h 속도차이가 나는 원인은 SCU측과 같이 점검 필요
2005년 5월 17일	Braking System	ECU 07	기능개선	긴급제동 기능보완을 위한 회로 수정
2005년 5월 17일	Braking System	ECU 05	기능개선	긴급제동 기능보완을 위한 회로 수정
2005년 5월 16일	Braking System	ECU 06	기능개선	긴급제동 기능보완을 위한 회로 수정
2005년 5월 14일	Braking System	ECU 02	고장부품교체/보수	#2 대차 철도연 계측용 BC 압력센서 신호 불량 점검 : 신호라인 납땜 작업
2005년 5월 13일	Buffer	PC1	고장부품교체/보수	PC1 좌측 side buffer 1개 교체
2005년 5월 10일	Braking System	ECU 06	유지보수	#6 대차 디스크패드 6개 교체

표 5 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (4)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 5월 10일	Braking System	ECU 10	유지보수	# 10 BCU EPV valve 교체, 완해시 잔압 0.2bar 원인 조사용임
2005년 5월 6일	Braking System	ECU 05	일상정검	부수대차 디스크 패드 점검 : 5월 10일 교체 예정
2005년 5월 6일	Braking System	ECU 10	기능개선	공압 튜닝 : 정차제동시 1.5 ~ 1.8Bar 제동압을 2.0 Bar로 변경
2005년 5월 6일	Braking System	ECU 07	일상정검	부수대차 디스크 패드 점검 : 5월 10일 교체 예정
2005년 5월 6일	Braking System	ECU 08	기능개선	공압 튜닝 : 정차제동시 1.5 ~ 1.8Bar 제동압을 2.0 Bar로 변경
2005년 4월 30일	Braking System	ECU 01	제어시험/계측	네트워크에 의한 제동시험 : 네트워크 모드시 프로그램 오류로 이상작동, software 수정후 추후 시험 예정
2005년 4월 28일	Braking System	ECU 07	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 28일	Braking System	ECU 06	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 28일	Braking System	ECU 08	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 28일	Braking System	ECU 05	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 27일	Braking System	ECU 04	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 27일	Braking System	ECU 09	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 27일	Braking System	ECU 10	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 27일	Braking System	ECU 01	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 27일	Braking System	ECU 03	기능개선	Anti-Skid Control Unit 강제완해 회로 수정
2005년 4월 26일	Braking System	ECU 02	기능개선	#2 ECU Anti-Skid control unit에 의한 강제완해 기능 구현
2005년 4월 26일	Braking System	ECU 05	유지보수	#5 대차 디스크 패드 2개 교체
2005년 4월 26일	Braking System	ECU 07	유지보수	#7 대차 디스크 패드 1개 교체
2005년 4월 23일	Braking System	ECU 02	기능개선	#2 ECU 강제 제동완해 s/w 취급시 Anti-Skid Dump v/v동작시켜 제동 완해되도록 작업 강제 재동완해시 동작상태 시험 : 프로그램 수정필요

표 6 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (5)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 4월 22일	Pantograph	PC1	일상정검	판토그라프 수평조정용 스프링 상태 점검, 절연애자 상태 점검, air pipe 상태 점검
2005년 4월 22일	Braking System	ECU 01	제어시험/계측	ECU #1 ~ #10 과 철도연 계측기간 압력 캘리브레이션
2005년 4월 21일	Braking System	ECU 10	기능개선	#10 ECU EPV valve 교체 : 비상 및 주차시 제동압 3.2Bar 이상 생성이상으로 교체
2005년 4월 20일	Braking System	ECU 02	기능개선	Power Supply 제어전원 노이즈 필터 작업 : power supply 72V 입력단 노이즈 필터 chopper 및 capacitor 교체
2005년 4월 19일	Braking System	ECU 02	제어시험/계측	BCU #2 CPU board 24V DC-DC Converter 입력단 계측용 라인 작업 : 제어전원 생성용 24V 입력단 파형 점검용
2005년 4월 19일	Braking System	ECU 01	제어시험/계측	회생제동력 PWM 계측라인 작업 : ECU 확인 결과 회생제동력 PWM 4% 고정
2005년 4월 16일	Braking System	ECU 01	제어시험/계측	네트워크 모드 제동시험 : 자차의 경우와 타차의 경우의 port data 형태가 다름(4/23 재시험 예정)
2005년 4월 15일	Braking System	ECU 09	제어시험/계측	네트워크에 의한 제동시험 : - #9, #10 ECU 정상동작 확인 - 나머지 ECU 이상동작(4/16 재시험 예정)
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 08	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 07	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 06	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 05	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 04	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 03	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 02	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 01	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 09	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정
2005년 4월 14일	Braking System	ECU 10	기능개선	BCU내 FSR카드 속도 펄스 측정회로부 저항 10kΩ → 1.5kΩ 로 수정

표 7 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (6)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 4월 12일	Pantograph	PC2	기능개선	판토 압상력 조정 : 65N → 70N
2005년 4월 12일	Braking System	ECU 10	고장부품교체/보수	제동불완해 관련 작업 : CPU board 전원 회로부 DC-DC Converter 교체 및 Converter 후단에 5V 제어전원 노이즈 차폐용 capacitor 보강
2005년 4월 12일	Braking System	ECU 02	고장부품교체/보수	제동불완해 관련 작업 : CPU board 전원 회로부 DC-DC Converter 교체 및 Converter 후단에 5V 제어전원 노이즈 차폐용 capacitor 보강
2005년 4월 8일	Braking System	ECU 07	유지보수	2개 디스크의 마찰 디스크패드 4개 교체
2005년 4월 8일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	1. BBCU blending 모니터링 #7 대차 네크워크 데이터 이상 확인 : 네트워크 통신시 초기화 실패에의한 데이터 이상, 이전 Ver. 프로그램으로 교체, 인터콘에 MVB 카드 요청 예정 2. SCU로 보내지는 네트워크 Sanding 요청신호 정상 확인
2005년 4월 8일	Braking System	ECU 04	유지보수	#4 대차 2개 디스크의 마찰 디스크패드 4개 교체
2005년 4월 8일	Braking System	ECU 05	유지보수	6개 디스크의 마찰 디스크패드 12개 교체
2005년 4월 4일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	#4, 5, 6, 7 ECU와 BBCU간 제동 blending 시험 : 동작상태 양호
2005년 4월 1일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	1. #4, 5, 6, 7 ECU와 BBCU간 제동 블렌딩 시험 : 제동 50%시 제동압 상승 확인, 프로그램 오류로 완해가 않됨 → 추후 조치후 재시험 예정 2. #1 ~ #10 ECU ROM 교체 : BBCU로 보내는 네트워크 데이타 수정
2005년 3월 29일	Pantograph	PC1	유지보수	PC1 판토그라프 편동선 교체
2005년 3월 29일	Braking System	ECU 08	고장부품교체/보수	#8 대차 전위축 제동실린더 교체
2005년 3월 28일	Main C.M	PC2 NO 01	일상정검	PC2 #1 Main Compressor 기동 불가 원인 조사 : main Compressor는 정상임. 52KVA INV #3, 4번 동시 기동시 인버터가 문제임
2005년 3월 28일	Main C.M	PC2 NO 01	일상정검	PC2 #1 Main Compressor가 기동 않되는 원인조사 : 52KVA 인버터 #3, 4 동시 기동시 문제 발생

표 8 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (7)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 3월 25일	Pantograph	PC1	유지보수	PC1 판토그라프 편동선 교체
2005년 3월 24일	Braking System	ECU 07	기타	#7 ECU Anti-Skid 탈거 : 시험실 시험후 3/28 취부 예정
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 10	기능개선	ECU 프로그램 수정 : 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 09	기능개선	ECU 프로그램 수정 : 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 08	기능개선	ECU 프로그램 수정 : - 휠디스크 속도별 제동력 테이블 수정 - 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 07	기능개선	ECU 프로그램 수정 : - 휠디스크 속도별 제동력 테이블 수정 - 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 06	기능개선	ECU 프로그램 수정 : - 휠디스크 속도별 제동력 테이블 수정 - 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 05	기능개선	ECU 프로그램 수정 : - 휠디스크 속도별 제동력 테이블 수정 - 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 04	기능개선	ECU 프로그램 수정 : - 휠디스크 속도별 제동력 테이블 수정 - 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h로 수정
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 03	기능개선	ECU 프로그램 수정 : - 휠디스크 속도별 제동력 테이블 수정 - 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 02	기능개선	ECU 프로그램 수정 : 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h로 수정
2005년 3월 22일	Braking System	ECU 01	기능개선	ECU 프로그램 수정 : 정차제동 채결조건 변경 : 속도 3Km/h → 1Km/h로 수정
2005년 3월 19일	Braking System	ECU 05	기타	ECU #5 고장 trace data 시험을 위해 MVB 카드 탈거 : (3/22 취부예정)
2005년 3월 18일	Braking System	ECU 02	고장부품교체/보수	3/17 소손된 ASCU 카드 수리후 취부/동작상태 확인
2005년 3월 17일	Braking System	ECU 02	기능개선	#2 ECU 취부후 동작상태 확인시 ASC DC-DC converter 소손으로 탈거 (3/18 취부 예정)

표 9 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (8)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 09	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 08	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 07	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 06	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 05	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 04	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 03	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 02	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 01	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 10일	Braking System	ECU 10	기능개선	운전자 정차제동 제어압 1Bar에서 2Bar로 수정 네트워크 통신 ECU 데이터 수정 : 모니터링 위함
2005년 3월 9일	Braking System	ECU 02	기능개선	#2 BCU EPV 교체 : 제동 불완해 원인 규명 위함
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 08	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중립시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 01	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중립시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	BBCU	PC2	기능개선	내부 블렌딩 알고리즘 보완
2005년 3월 8일	BBCU	PC1	기능개선	내부 블렌딩 알고리즘 보완
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 09	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중르비시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 07	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중립시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 06	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중립시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 05	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중립시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 04	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중립시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정

표 10 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (9)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 03	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중르비시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 02	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중르비시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 8일	Braking System	ECU 10	기능개선	정차제동 상태에서 정차제동 P/B을 누르면 견인시나 중르비시에 제동압이 1Bar 유지 하도록 프로그램 수정
2005년 3월 4일	Braking System	ECU 09	제어시험/계측	1. ECU ↔ ASCU Serial 통신 시험 : 직렬통신 모니터링 변수 증가시험 2. ECU ↔ SCU 네트워크 대차 불균형 검지 신호 확인
2005년 3월 4일	BBCU	PC2	제어시험/계측	1. BBCU 네트워크 통신시험 - MB6 ↔ BBCU2 (PC2) 간 데이터 통신 확인 시험 - MB6의 회생제동력 해당 Port Data 수집 및 MB6의 상태 Data 수집
2005년 3월 3일	Braking System	ECU 04	유지보수	#4 대차 디스크패드 4개 교체
2005년 2월 25일	Braking System	ECU 06	일상정검	# 6 대차 PC2쪽 (2차축) 디스크 3set 패드 마모량 측정
2005년 2월 25일	Pantograph	PC2	제어시험/계측	판토그라프 압상력 측정 : 70N
2005년 2월 25일	BBCU	PC1	제어시험/계측	BBCU Blending 시험 및 네트워크 통신 상태 시험 - PC1 BBCU를 통한 BCU ↔ BBCU 간 통신시험 - BBCU ↔ BCU 간 데이터 전송 상태 확인 - BBCU Blending 프로그램 현차 모의 Test
2005년 2월 25일	Pantograph	PC1	제어시험/계측	판토그라프 압상력 측정 : 70N
2005년 2월 18일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	1. 운전자 정차제동 (Driver_HB_Process)Test - 2/17일 Rom Program 교체후 2/18 Test - ECU #2~#10 - 내용: 정차제동 중 운전실의 운전자 정차제동 버튼 취급 시 Process 진행확인 ※ 추진 시 압력이 1bar에서 0bar로 주기적(5~10sec)으로 생성되는 현상 개선필요 : 차후 조치예정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 10	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 06	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정

표 11 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (10)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 01	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 02	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 03	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 05	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 07	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 08	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 09	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 17일	Braking System	ECU 04	기능개선	운전자 정차제동 push button on시 제동체결 되도록 ECU 프로그램 수정
2005년 2월 3일	Braking System	ECU 01	기능개선	ECU #1 PWM 인식 불량 원인조사 : IF/2 card 탈거 및 이송
2005년 2월 2일	Braking System	ECU 02	유지보수	ECU #2 제동 불완해 원인조사 : ECU #2 ↔ ECU #9 rack 전체 교환 설치
2005년 1월 26일	Braking System	ECU 02	유지보수	노이즈원인 분석을 위해 #2 ECU CPU와 #9 ECU CPU보드 바꿔 설치 CPU 차량 번호 인식 점퍼 수정
2004년 12월21일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	1. BBCU ↔ BCU 간 DATA 통신 상태 확인 : BBCU → BCU Data Write 시험확인, 구내주행시험시 BBCU Data 취득
2004년 12월20일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	주행중 BBCU 데이터 취득 : 광명 → 서대전 구간 1회
2004년 12월17일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	현대중공업 SCU 네트워크 시험 지원 및 시험 : SCU ↔ BCU 간 네트워크 Data 통신사항 확인(정상)
2004년 12월17일	Pantograph	PC2	고장부품교체/보수	판토 압상력 조정 : PC2 압상력 조절 (62N→70N)
2004년 12월17일	Pantograph	PC1	고장부품교체/보수	판토 압상력 조정 : PC1 압상력 조절(62N→70N)

표 12 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (11)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 12월 14일	Braking System	ECU 10개	고장부품교체/보수	BCU ROM교체 :네트워크 하드와이어모드 결정부분 강제 하드와이어모드전환(Hardwire 신호우선동작)
2004년 12월 10일	Braking System	네트워크제어시험	제어시험/계측	현대중공업 SCU 네트워크 시험 지원
2004년 12월 10일	Braking System	ECU 10개	고장부품교체/보수	BCU ROM 교체 작업 : 증속시험 대비(제동 Table 최고속도 조정 : 350Km/h→360Km/h)
2004년 12월 10일	Buffer	PC2	고장부품교체/보수	PC2 우측 side buffer 교체
2004년 12월 10일	Buffer	TM5	고장부품교체/보수	TM5 좌측 side buffer 교체
2004년 12월 8일	Braking System	ECU 02	고장부품교체/보수	2번 대차 답변제동장치 슈 교체 (3EA)
2004년 12월 7일	Braking System	ECU 02	기능개선	ECU 카드 취부(CPU, IF/2, ADD, EPL), ECU 노이즈 차폐 ※ ECU ROM 교체(모니터링시 취득 Data 수정)
2004년 11월 29일	Braking System	ECU 10개	기능개선	ECU cpu 보드 전원회로부 capacitor 교체 : 전원부분 후단 470㎌ → 1000㎌ 교체, Noise 차폐 목적
2004년 11월 25일	Braking System	ECU 06	고장부품교체/보수	와전류 접지 교체 #6(와전류 접지고정작업) 1EA
2004년 11월 23일	Pantograph	PC2	고장부품교체/보수	판토그라프 압상력 조절(62N → 70N으로 상승)
2004년 11월 23일	Pantograph	PC1	고장부품교체/보수	판토그라프 압상력 조절(62N → 70N으로 상승)
2004년 11월 22일	Braking System	ECU 03	고장부품교체/보수	휠디스크 제동장치 캘리퍼 고정볼트 와셔 교체(진동방지용 와셔로 시험적용함)
2004년 11월 22일	Braking System	ECU 04	고장부품교체/보수	잔류압력 제거를 취해 EP밸브 전류 구동용카트 교체
2004년 11월 22일	Braking System	ECU 06	고장부품교체/보수	좌,우측 와전류 접지 교체 2EA
2004년 11월 22일	Braking System	ECU 05	고장부품교체/보수	우측 와전류 접지 교체 1EA
2004년 11월 22일	Braking System	ECU 07	고장부품교체/보수	우측 와전류 접지 교체 1EA
2004년 11월 19일	Pantograph	PC1	기능개선	판토그라프 고속선 모드 최대 상승 높이 조절 및 압상력 조절(62N, 5240mm)
2004년 11월 19일	Pantograph	PC2	기능개선	판토그라프 고속선모드 최대상승 높이 조절 및 압상력조절(62N, 5235mm)

표 13 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (12)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 11월 16일	Braking System	네트워크제어시험	제어시험/계측	- BCU #1 ~ #10 비상제동 모드시 실제 압력과 ECU 인식 압력확인(정상) - MB6 → BCU 10번 발생회생제동력 PWM 인터페이스 확인(정상적으로 신호 통신 확인) - 네트워크 제어모드에 의한 시험지원
2004년 11월 15일	Braking System	ECU 05	고장부품교체/보수	대차열전대 센서 마찰패드 교체 - 센서케이블 단선으로 인한 교체
2004년 11월 15일	Braking System	네트워크제어시험	제어시험/계측	#10 ECU 회생제동 PWM 인터페이스 확인 -TCU Board 조치 후 재확인 예정(MB6) 제동력 PWM 신호
2004년 11월 12일	Pantograph	PC1	기능개선	판토 고속모드시 최대상승 높이 측정 5187mm (※레일선단위부터 판토습판체 위까지)
2004년 11월 12일	Pantograph	PC2	기능개선	판토 고속모드시 최대상승 높이 측정 5187mm (※레일선단위부터 판토습판체 위까지)
2004년 11월 12일	Braking System	ECU 04	유지보수	디스크 마찰패드 교체 1EA (2Set)
2004년 11월 12일	Braking System	ECU 07	유지보수	디스크 마찰패드 교체 2EA (4Set)
2004년 11월 12일	Braking System	ECU 10	제어시험/계측	#10 BCU 회생 PWM 계측용 라인작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 08	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 07	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 10	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 06	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 03	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 09	기능개선	-운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업 -MB5와 ECU 9번 통신 오류수정 : 회생소멸 예고신호와 회생신호의 뒤바뀜 문제해결(MB5배선오류수정)
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 04	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업

표 14 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (13)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 01	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 10일	Braking System	ECU 05	기능개선	운전자 정차제동 해소 루틴 삽입한 BCU ROM 교체작업
2004년 11월 9일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	운전자 정차 모드 테스트 : 운전자 정차 모드 Push Button 누른 후 Powering에서 1Bar의 압력 투입확인, 중립모드시 완해상태 유지, 제동 후 중립시 정차제동 2Bar 확인
2004년 11월 8일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	PC1/2 BBCU 네트워크 통신 시험 : 통신 Data 획득 목적(정상적으로 Data 획득)
2004년 11월 8일	Main C.M	PC2 NO 02	일상정검	PC2 CM2 상태점검 : 제습기 및 동작상태 점검(정상동작), Vent 밸브 작동상태(정상동작), 역지변 밸브의 이상으로 CM 엔드 내부의 내압을 처리 못하여, 초기 기동시 CM동작에 영향을 주는 것으로 판단됨(추후 조치예정)
2004년 11월 4일	Braking System	ECU 02	제어시험/계측	PC ↔ ECU 통신 Line 작업 (#2 ECU 모니터링을 위한 작업)
2004년 11월 4일	BBCU	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BBCU 네트워크 통신 Data 확인 : PC1 BBCU 통신시험(Acetronis)
2004년 11월 4일	Braking System	ECU 05	유지보수	디스크 패드 교체 (2EA)
2004년 11월 4일	Braking System	ECU 06	유지보수	디스크 패드 교체 (2EA)
2004년 11월 3일	BBCU	PC1	고장부품교체/보수	PC1 BBCU Backplan 교체 및 Power Board 교체 : BBCU Test 목적
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 10	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업, CPU 탈거 및 이송(ASCU와 통신이상), ASC 탈거 및 이송
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 01	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 04	고장부품교체/보수	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업, 와전류 제동장치 접지 교체 2EA
2004년 11월 2일	Pantograph	PC2	유지보수	판토그라프 편조선 교체 및 고정작업
2004년 11월 2일	Pantograph	PC1	유지보수	판토그라프 편조선 교체 및 고정작업
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 09	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 08	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업

표 15 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (14)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 07	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 06	고장부품교체/보수	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업, 와전류 제동장치 접지 교체 1EA
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 05	고장부품교체/보수	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업, 와전류 제동장치 접지 교체 1EA
2004년 11월 2일	Buffer	PC1	고장부품교체/보수	PC1 우측 사이드 buffer 교체 1EA
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 02	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업
2004년 11월 2일	Buffer	TM1	고장부품교체/보수	TM1 우측 사이드 buffer 교체 1EA
2004년 11월 2일	Braking System	ECU 03	일상정검	BCU CPU Board 세척 및 코팅작업
2004년 10월 28일	Pantograph	PC2	기능개선	판토그라프 압상력 조정 (60N→70N으로 상승)
2004년 10월 28일	Pantograph	PC1	고장부품교체/보수	판토그라프 편조선 교체 2EA
2004년 10월 27일	Braking System	ECU 05	고장부품교체/보수	디스크 패드 교체 2EA (디스크 6개중 2개)
2004년 10월 27일	Braking System	ECU 07	고장부품교체/보수	디스크 패드 교체 1EA (디스크 6개중 1개)
2004년 10월 27일	Pantograph	PC2	기능개선	판토그라프 압상력 조정 (70N→60N)
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 05	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함(속도 : 350Km/h →280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동) 대차 MVB board 이상 상태 확인 : 인터콘 조치요망
2004년 10월 22일	Pantograph	PC2	고장부품교체/보수	판토 습판제 2개 교체
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 01	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함(속도 : 350Km/h →280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 02	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함(속도 : 350Km/h →280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)

표 16 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (15)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 06	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함 (속도 : 350Km/h→280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 07	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함 (속도 : 350Km/h→280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 08	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함 (속도 : 350Km/h→280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 09	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함 (속도 : 350Km/h→280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 10	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함 (속도 : 350Km/h→280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 22일	Pantograph	PC1	고장부품교체/보수	판토 습판제 2개 교체
2004년 10월 22일	Braking System	ECU 03	기능개선	BCU 프로그램 수정 Rom 교체 : 고속 주행시 휠, 답면 제동압이 안 들어가는 현상을 수정함 (속도 : 350Km/h→280Km/h 0.5Bar 제동, 280Km/h→250Km/h 1Bar 제동)
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 05	고장부품교체/보수	- 열전대 센서(계측용) 소결마찰 패드 교환여 - 운행후 소결마찰패드 교체 4EA - 주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 10	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 09	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 08	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 07	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결

표 17 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (16)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 06	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 03	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 01	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 04	고장부품교체/보수	- 열전대 센서(계측용) 소결마찰 패드 교환 - 운행후 소결마찰패드 교체 4EA - 주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 21일	Braking System	ECU 02	기능개선	주행시험 목적 BCU롬 교체 : 고속영역(220Km/h)이상에서 답변제동 ㅗ체결
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 09	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인 가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상없음
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 01	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인 가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상 없음
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 02	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경 값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인 가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상 없음

표 18 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (17)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 03	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상없음 단, #3, #6에 대하여는 PC통신포트 접속부 점검 후 재확인 예정임
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 04	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상없음
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 05	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상없음
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 06	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상없음 단, #3, #6에 대하여는 PC통신포트 접속부 점검 후 재확인 예정임
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 08	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상 없음

표 19 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (18)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 10	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인 가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상 없음
2004년 10월 19일	Braking System	ECU 07	기능개선	ECU Rom 수정본 교체 및 동작시험 1) 수정내용 : 제동력 곡선 수정에 따른 Pre-plan look-up Table 변경값 적용, Network 통신데이터 수집 루틴 → 수집할 데이터 내용을 RS-232C포트를 통해 PC에서 확인가능하도록 함 2) Network 송.수신 데이터 확인 ECU 1~10번에 대하여 확인 결과 이상 없음
2004년 10월 15일	Braking System	ECU 04	고장부품교체/보수	와전류제동장치의 접지선 탈거 및 이송 : 접지선의 파손에 대한 원인분석 및 교체를 위함
2004년 10월 15일	Braking System	ECU 01	유지보수	Speed Sensor 배선수리
2004년 10월 15일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	네트워크 통신 시험
2004년 10월 12일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	BCU 네트워크 통신 시험 : BCU↔SCU간 Data 통신 상태확인, n-mode, Braking-PWM-TCN 동작상태확인, BCU 내부 통신프로그램 수정 진행중
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 02	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Braking System	네트워크 제어시험	제어시험/계측	ECU TCN Network 통신데이터 입력상태 점검 및 시험준비 초기 기동시의 모드결정 과정의 문제로 인해 전체 포트데이터 확인 실패(S/W 수정 후 재 점검예정)
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 04	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 10	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음

표 20 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (19)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 09	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 05	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 08	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Main C.M	PC1 NO 01	고장부품교체/보수	PC1 Compressor Oil 교체작업
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 07	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 03	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 01	일상정검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 8일	Main C.M	PC1 NO 02	고장부품교체/보수	PC1 Compressor Oil 교체작업
2004년 10월 8일	Braking System	ECU 06	일상점검	객차 대차 디스크용 패드 상태 점검 : 마모는 300Km/h에서의 제동시험 이전보다 증가되었으나, 전체적으로 큰 결함 없음
2004년 10월 6일	BBCU	PC2	고장부품교체/보수	BBCU 탈거 및 이송 : 내부 프로그램 수정 및 테스트 목적(11월 초 취부예정)
2004년 10월 6일	Braking System	ECU 01	제어시험/계측	Network 통신 시험 ECU1 : SCU-ECU 간 통신 현황 파악
2004년 10월 6일	BBCU	PC1	고장부품교체/보수	BBCU 탈거 및 이송 : 내부 프로그램 수정 및 테스트 목적(11월 초 취부예정)

표 21 2005년도 고속철도 차량안정화 유지보수작업 (20)

작업날짜	System Unit	Sub System	작업모드	작 업 내 용
2004년 10월 1일	Main C.M	PC2 NO 01	일상정검	C.M oil 변색 : 차량 C.M 2ST oil 미세변색 (차후 일정을 확인후 PC1,PC2 C.M oil 교환 예정임 *C.M oil 변색에 대한 재발방지를 위한 조치 요구 사항 : 초기기동시 0Kgf/㎠에서 9Kgf/㎠ 까지 MR압력이 도달하는데 걸리는 시간이 2분 20초이내임 이때 C.M온도는 60℃이하로 저온기동을 하므로 수분발생에 요인이됩니다. 그러므로 C.M온도 최적상태인 72℃이상으로 기동이 요구됨
2004년 10월 1일	Main C.M	PC1 NO 01	일상정검	C.M oil 변색 : 차량 C.M 2ST oil 변색이 심함 (차후 일정을 확인후 PC1,PC2 C.M oil 교환 예정임 *C.M oil 변색에 대한 재발방지를 위한 조치 요구 사항 : 초기기동시 0Kgf/㎠에서 9Kgf/㎠ 까지 MR압력이 도달하는데 걸리는 시간이 2분 20초이내임 이때 C.M온도는 60℃이하로 저온기동을 하므로 수분발생에 요인이됩니다. 그러므로 C.M온도 최적상태인 72℃이상으로 기동이 요구됨
2004년 10월 1일	Braking System	ECU 06	제어시험/계측	대차 압력센서 취부 : 9/23일 탈거 ACM확인 결과 전원'무'-전원 확인요
2004년 10월 1일	BBCU	PC1	고장부품교체/보수	BBCU 취부

(3) 2006년도 주요 작업내용

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-09-05	MAIN COMPRESSOR	PC1 NO_01	유지보수	PC1, PC2 Compressor Oil 내 수분 발생-원인:가동율저하로 발생-조치사항: CM 가동후 Air Vent 해줌으로써 T/W 제습기를 통해 수분 배출됨
2006-09-05	ECU	ECU09	유지보수	#9 대차 운전실 화면 정보에 제동 압력 현시 불량- 조치사항 : ECU 통신카드 Resetting 후 복귀
2006-09-05	ECU	ECU03	유지보수	#3 대차 운전실 화면 정보에 제동 압력 현시 불량-조치사항: ECU CPU CARD Resetting 후 해소
2006-09-05	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	유지보수	PC1, PC2 Compressor Oil 내 수분 발생-원인:가동율저하로 발생-조치사항: CM 가동후 Air Vent 해줌으로써 T/W 제습기를 통해 수분 배출됨
2006-09-01	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	유지보수	#4,5,6,7 대차 와전류 장치 중 상승높이 제한 장치 점검 및 취부용 볼트 설치, 이완표시 작업
2006-08-31	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_10	제어시험	-#3,7,8,9,10 대차 EPL V/V 제동 Step별(상용 100%, 비상, 주차, 정차, 완해) 전류 및 전압 측정 작업-#3,7,8,9,10 대차 Dump V/V 기능 작동 시험
2006-08-31	ECU	ECU04	유지보수	#4 신규 통신 cpu 보드 상태 확인 → 양호
2006-08-30	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	제어시험	-#1,2,4,5,6 대차 EPL V/V 제동 Step별(상용 100%, 비상, 주차, 정차, 완해) 전류 및 전압 측정 작업-#1,2,4,5,6 대차 Dump V/V 기능 작동 시험* 철도연 계측기에 정보저장, Data 분석 후 철도연 이태형 박사께 보고서 채출예정
2006-08-29	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_07	부품교체	#7 대차 B축 5위 Disk 제동 Cylinder 분해 후 점검- 점검 내용: Calinper Bushing 유격 check. Pad Head Bushing 유격확인
2006-08-29	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	부품교체	1.#4,5,6 대차 Dump V/V Coil 크랙 발생 - 신품으로 교환 조치 완료2. Dump V/V 단품 기능 테스트 → 양호
2006-08-29	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_05 MAGNET (#4,#6,#7)	기타	와전류 제동장치 전자석 점검(80ea)1. 전자석 내압 시험 - AC 6000 V / 10mA 이하 가압 : 이상없음 - 전자석의 Core 부분과 코일 사이에서 시험2. 전자석과 차량 취부 부분에 대부분 녹이 발생 → 고무 패킹과 취부시 몰딩이 필요할 것으로 보임3. 탈거 과정에서 상당부분 패킹 부분이 소손되어 취부시 새 패킹으로 교환 필요4. 이음 전선이 벗겨지거나 손상된 부분이 나타나고 있으므로 전선을 모두 교체할 것을 고려함
2006-08-28	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_09 (1,2,3,7,8,10 번 대차)	부품교체	#1,2,3,7,8,9,10 대차 Dump V/V Coil 크랙 발생으로 신품으로 교환작업- 총교환품 : 12ea- 현 교환 : 8ea- 차후 교환품 : 6ea(8/29 진행)

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-08-25	ECU	ECU 전대차	제어시험	-상용, 비상, 주차, 정차 제동, Mascon 비상 제동, ATC/ATS 비상 제동, 기능 시험 및 점검(시험절차서)-제동 불완해 시험 1) pc1에서 #5 대차 제동 불완해 시험(양호) 2) pc2에서 #1~10 대차 제동 불완해 시험(양호)
2006-08-23	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	전대차	부품교체	#1~#10 대차 대차차단용 Cut Out Cock Packing 일체 교환 작업 및 Air Leak 점검 → 양호
2006-08-23	ECU	ECU09	제어시험	-PC2 #2 대차 Tripod Unbalance 기능 시험
2006-08-22	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET 5,6,7번대차	유지보수	-#4,5,6,7 대차 와전류 장치 MAGNET 탈거 작업에 따른 후처리 작업1) MAGNET 취부용 BOLT → lock Nut 일괄 체결 작업2) 와전류 장치 전선 wire 정리 작업
2006-08-21	PANTOGRAPH	PC2	제어시험	* PC2 PANTOGRAPH 취부 및 기능검사목적 : 광명역 가선 단선 사고에 따른 Pantograph 제작사 자체 검사 후 차량 취부 및 기능 시험실시1. 작동 상태 검사 : 외부 공기압 7kgf/㎠를 Pantograph 에 투입하여 상승/하강 동작이 원활한지 확인 → 양호2. 공기회로 누설 검사 ; 주실린더 및 공기 회로에 투설 방생 여부 확인 → 양호3. 압상력 검사 ; Pantograph 작동 영역에서 정적 압상력(7kgf) 확인
2006-08-17	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	전대차	유지보수	- 답변 제동 장치 및 bracke shoe 상태 점검- 축디스크 제동 장치 및 제동 패드 상태 점검- #3, #8 휠 디스크 제동 장치 및 제동 패드 상태 점검
2006-08-16	ECU	ECU 전체차량분	제어시험	제동완해 불량감지 시험(정적시험)- ECU #1,2,3,4,6,7,8,9,10 정상확인(시험절차서에 의함)
2006-08-14	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_07	유지보수	#4,5,6,7 대차 Disk Pad 편마모 상태 측정 및 점검.Caliper 현차 상태 조사
2006-08-11	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	전대차	제어시험	#1~10 BCU 제동 완해 불량 감지 시험(정적 시험)
2006-08-11	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	유지보수	#4대차 와전류 장치 Magnet 탈거 작업(총 80ea 탈거 완료)* 장비 검사장에 적치* 본사 전영욱차장과 협의 후 조치 예정
2006-08-10	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	유지보수	#5,6,7 대차 와전류 장치 Magnet 점검차 취거 작업(작업 진행률:총80ea 중 60ea,75%)
2006-08-04	BTCU	PC2	유지보수	차량 PWM 배선 점검 - ECU, BTCU 커넥터와 차량간 PWM 배선 점검(도면 및 실재 일치)※ C/C ↔ C/T 간 배선 꼬임 확인(차량점검)
2006-08-04	PANTOGRAPH	PC2	기타	pc2 pantograph & 애자 점검차 취거 작업 → 본사 안산공장 이송 조치 완료
2006-08-04	BTCU	PC1	유지보수	차량 PWM 배선 점검 - ECU, BTCU 커넥터와 차량간 PWM 배선 점검(도면 및 실재 일치)※ C/C ↔ C/T 간 배선 꼬임 확인(차량점검)
2006-07-18	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	부품교체	#4대차 B축 Disk Pad(중앙, 좌측) 2set 교환 작업 → 완료, 마모량

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-07-11	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	부품교체	#3,8 대차NO1~NO4 CKP Brace Cylinder Caliper 교환작업* 신규제작품 제작중이며, 임시교환처리함.
2006-07-11	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU09	제어시험	- #9 대차 ECU 회생 제동시 공기압 투입 현상 원인 파악 및 모니터링- 로템 MB4 TCU 입출력카드 교환 확인 결과 양호함- 7/12 시운전시 #9대차 ECU Monitering 예정
2006-07-11	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	부품교체	#5 대차 B축 중앙 Disk Pad 교환 작업 - 이상마모
2006-07-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	유지보수	#3,4,6 대차 차단용CUT OUT COCK PACKING 가공 설치 TEST(AIR 누설 및 작동 상태) → 양호*임시적인 조치이며, 가공완료후 교환조치 예정임(#1~#10)
2006-07-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	유지보수	1. #3,4,6 대차 차단용CUT OUT COCK PACKING 가공 설치 TEST(AIR 누설 및 작동 상태) → 양호*임시적인 조치이며, 가공완료후 교환조치 예정임(#1~#10)2. #4 대차 CK BRACE CYLINDER DISK PAD 시험품 변형량 및 마모량 점검(다원프릭션)
2006-07-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	유지보수	#3,4,6 대차 차단용 CUT OUT COCK PACKING 가공 설치 TEST(AIR 누설 및 작동 상태) → 양호*임시적인 조치이며, 가공완료후 교환조치 예정임(#1~#10)
2006-07-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	유지보수	1. 5차년도 안정화 과제 패드부분- #4 BOGIE 구형 및 신형 패드 비교 시험 : 마모량 및 변형량 확인2. 패드점검
2006-07-06	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU07	기능개선	1. ECU 통신 CPU카드 통신 프로그램 보완 - 소프트웨어 WATCH-DOG TIMER 주기 수정2. ECU MVB 카드 쪽 커버 장착
2006-07-06	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	유지보수	#3 대차 제동 및 완해시 3set 씩 Time Relay 현상- 대차 차단용Cut Out Cock Packing 제거 작업 후 테스트- 현재 대차 차단용(BCU 판넬 하단 위치) Cut out Cock 사용불가(#4, #6, #3 대차용)이며, packing 제작 설치 예정임
2006-07-06	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	기능개선	1. ECU 통신 CPU카드 통신 프로그램 보완 - 소프트웨어 WATCH-DOG TIMER 주기 수정2. ECU MVB 카드 쪽 커버 장착
2006-07-06	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	EDDY CURRENT CHOPPER	제어시험	- 와전류 제동장치의 저전압 시험1. 제어 전원 투입후 이상동작 확인2. EXT-B/D 취부후 전원 확인 1) 입력전원(DC72V) 이상없음 2) 보드의 제어 전원 확인 - T5VDC 이상 없음. - ±15VDC 이상 발생.3. 제어보드의 DC -DC 컨버터 소자 이상 확인4. 탈거하여 수리 조치 후 재시험하기로 함. 1주일 소요 예상
2006-07-06	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU06	기능개선	1. ECU 통신 CPU카드 통신 프로그램 보완 - 소프트웨어 WATCH-DOG TIMER 주기 수정2. ECU MVB 카드 쪽 커버 장착

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-07-06	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	기능개선	1. ECU 통신 CPU카드 통신 프로그램 보완 - 소프트웨어 WATCH-DOG TIMER 주기 수정2. ECU MVB 카드 쪽 커버 장착3, MB6과 ECU 10의 크로스 블렌딩시 공기압 투입문제 - MB6에서 회생지령 PWM이 ECU10에 전달되는 것 확인. BCU신호는 미확인 - 금요일에 주행시험하며 모니터링으로 회생지령 PWM과 BCU신호 전달확인하고, ECU에서 크로스 블랜딩되어 공기압 빠지는 것 확인할 예정
2006-06-29	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_02	유지보수	#4 대차 제동 완해 속도 늦음 현상 원인 파악차 1. 좌측 Dump V/V -#1대차용 Dump v/v와 상호교환 2. 우측 Dump V/V -#2대차용 Dump v/v 와 상호 교환test는 6/30 Mascon Assy 취부 후 테스트 예정
2006-06-28	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	부품교체	#7 대차 와전류장치 Air Spring Housing 내 Bracket 고정용 볼트(M12*25,육각머리볼트)교환완료
2006-06-28	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	부품교체	1. #6 대차 A축 Disk Pad(좌측, 중앙, 우측) 6set 교환조치 완료2. #6 대차 B축 철도연 계측기용Presure Sensor 현시 불량 교환작업
2006-06-27	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU07	부품교체	1. #7 ECU B모드(제동모드) 인식 회로 부품 소자 소손 확인 → 예비품으로 교체2. 기계적 고장에 대한 작업 : 무전기시험, 모터블록 #3 컨버터링시 노이즈 시험, 보드착탈시험3. SPMD 는 주행중 모니터링(6/28예정)
2006-06-27	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	유지보수	#7 대차 와전류 장치Air Spring Housing 내Senter Point Bracket 고정용 Bolt 단락 설치 작업 완료
2006-06-27	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	유지보수	#5 대차 B축 중앙 Disk 철도연 계측 장비 철거 작업(작업지원)
2006-06-27	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	부품교체	#6 대차 B축 Disk Pad(좌측, 우측, 중앙 6set)교환작업완료
2006-06-27	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU03	부품교체	1. #3 ECU 통신 CPU 보드 동작불량 1) 2시간동안 동작시켜서 이상없는 보드로 교체하여 적용 2) 주행중에 노트북으로 모니터링(6/28 예정)2. 기계적 고장에 대한 작업 : 무전기시험, 모터블록#3 컨버터링시 노이즈 시험, 보드착탈시험3. SPMD 는 주행중 모니터링(6/28 예정)
2006-06-26	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_01	유지보수	* 차륜디스크 캘리퍼 레버와 실린더간의 간격이 벌어져 신품으로 교체하기 전까지 운행안전을 위하여 철와이어로 실린더와 레버를 단단히 묶어주었음* 7/10 신품레버로 교환할 예정임
2006-06-24	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	유지보수	1. #4,5,6,7 대차 와전류 장치Air spring housing PT check → 크랙 발생된곳 없음2. #4 대차 와전류 장치 전원선 Bracket Nut 풀림 → (M12*Lock Nut)로 교환작업

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-06-24	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	유지보수	#4,5,6,7 대차 와전류 장치Air spring housing PT check → 크랙 발생된곳 없음
2006-06-22	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	유지보수	#8 BCU 내 TRIPOD용 PRESURE S/W TEST 작업- L3 감압변 AIR 토출LINE ORIPICE(1.0Ø) 삽입 후 STOPPER AIR VENT시 4~5Sec 후 압력 S/W 작동됨oripice - 0.7Ø 4~5sec presure s/w 동작 - 1.0Ø 4~5sec presure s/w 동작 - 1.5Ø 10sec presure s/w 동작
2006-06-22	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU03	부품교체	#3 BCU-ECU 통신 불량 발생으로 통신카드 예비품으로 교환조치
2006-06-21	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	유지보수	#4 대차 제동 완해시 늦음 현상 발생으로 원인 파악 작업- EP V/V 교환┐- EPL V/V 교환 | - 압력 조정변 교환 ├ #5 대차용과 상호 교환후 테스트 진행함- 전장품 랙 장치 교환 | - 대차 차단용 COCK TEST ┘- DUMP V/V A축용 교환* 제동완해 속도 늦음 현상 변동이 없음* 원인 파악 중
2006-06-20	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_05 MAGNET	부품교체	#5 대차 우측 와전류 장치AIR SPRING HOUSING 크랙 발생 - 예비품으로 교환(1EA)
2006-06-20	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	부품교체	#7 대차 좌측 와전류장치 AIR SPRING HOUSING 크랙 발생으로 인한 파손교환작업(2EA)
2006-06-19	PANTOGRAPH	PC2	유지보수	1. PANTOGRAPH 외관상태 검사2. PANTOGRAPH plunger Weiht 증가에 따른 stroke 변위측정3. PANTOGRAPH Suspension Weight 증가에 따른 stroke 변위측정4. PANTOGRAPH Protector 및 Guide horn 상단 페이트 제거 작업5. 일상점검 및 월 점검시 점검항복과 점검방법에 대해 교육
2006-06-08	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	제어시험	- ECU #1,2,3,4,5,6,7,9,10 BC압, EP전류 값 실측 작업- 프로그램 업데이트 ECU #1,2,9,10 (답면장치) -100 km/h이상에서 제동 압력 '0'- 80~100km/h 는 일정 기울기를 갖고 제동압력 투입
2006-06-08	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU03	유지보수	- ECU #1,2,3,4,5,6,7,9,10 BC압, EP전류 값 실측 작업
2006-06-08	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU05	제어시험	- ECU #1,2,3,4,5,6,7,9,10 BC압, EP전류 값 실측 작업- 프로그램 업데이트 ECU #4,5,6,7 - 제동력 프로 파일을 5kn 상향 조정
2006-06-08	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	제어시험	- ECU #1,2,3,4,5,6,7,9,10 BC압, EP전류 값 실측 작업- 프로그램 업데이트 ECU #1,2,9,10 (답면장치) -100 km/h이상에서 제동 압력 '0' - 80~100km/h 는 일정 기울기를 갖고 제동압력 투입
2006-06-08	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU04	제어시험	- ECU #1,2,3,4,5,6,7,9,10 BC압, EP전류 값 실측 작업- 프로그램 업데이트 ECU #4,5,6,7 - 제동력 프로 파일을 5kn 상향 조정
2006-06-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_10	유지보수	1. 밸브 전류 대비 BC압 확인2. BCU내 대차 차단 BC COCK 보완 작업

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-06-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_09	유지보수	1. 밸브 전류 대비 BC압 확인2. BCU내 대차 차단 BC COCK 보완 작업
2006-06-07	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_01	유지보수	1. BCU내 대차 차단 BC COCK 보완 작업
2006-06-07	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU09	유지보수	ECU #9,#10 고장 기록 분석 프로그램 시험
2006-06-07	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	유지보수	ECU #9,#10 고장 기록 분석 프로그램 시험
2006-06-07	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU04	기능개선	1. ECU 통신 CPU카드 통신 프로그램 보완 - 소프트웨어 WATCH-DOG TIMER 주기 수정2. ECU MVB 카드 쪽 커버 장착
2006-06-05	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	제어시험	#2,3,4,5,6,7,8 BCU 내 대차 차단 BC Cock 보완 작업
2006-06-05	PANTOGRAPH	PC2/PC2	제어시험	*성능시험1. 압상력 시험2. 상승/하강 시간 시험3. 접은 상태 유지력 시험4. 비틀림 견고성 시험5. 높이 상승 제한 장치 조정 상태 점검6. plunger 및 2nd suspension spring 힘 측정*압상력 체크 방법 : 무게추(7kg) 확인 작업시 조정 필요하여 미세조정
2006-06-05	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	제어시험	#2,3,4,5,6,7,8 BCU 내 대차 차단 BC Cock 보완 작업
2006-06-01	AUX. COMPRESSOR	PC2	유지보수	-PC2 ACM(보조공기압축기)용 DRYER AIR 미세누설 발생 분해 점검 작업
2006-05-29	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU08	부품교체	#8 BOGIE BCU 장치내 TRIPOD UNBALANCE PRESURE S/W 접접 작동 불량 → 예비품으로 교환조치
2006-05-26	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_06 MAGNET	부품교체	#6 대차 우측 B축 와전류 장치 벨로우즈 파손 교환 작업 완료
2006-05-26	PANTOGRAPH	PC1/PC2	제어시험	1) PANTOGRAPH 동작 상태 점검2) PANTOGRAPH 상승 높이 제한 장치 동작 상태 점검3) PANTOGRAPH 상승 높이 제한 장치 고속 모드에서 저속모드로 순간 전환시 반응 상태 점검4) PANTOGRAPH 집전판에 ARC에 의한 산화/파손 흔적 점검5) PANTOGRAPH Plunger Spring Face 및 Stroke 점검6) PANTOGRAPH 2nd Suspersion Spring Force 및 Stroke
2006-05-26	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	기능개선	- ECU에서 대차 차단 신호/ 트리포드 검지 신호/ 불완해 검지 신호 점검 → 기능 정상 확인- 디스크 제동 장치에서 제동지령 57%이하에서 BC압 생성 안되던 문제는 프로그램 업데이트로 해결
2006-05-25	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU07	기능개선	- 제동 50% 이하에서 제동 안되는 문제 확인- 비상 제동 후 정차제동 기능 확인- MVB 카드에서 DPRAM의 네트워크 데이터 이상없음 확인(상태데이터, BC압력)

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-05-19	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	부품교체	#8 대차 NO3 주차 제동 실린더 로드-락와셔 설치 및 분활핀 설치 작업
2006-05-19	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_05 MAGNET	부품교체	#5 대차 A축 와전류 장치 벨로우즈 파손 교환 작업
2006-05-19	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	부품교체	#4 대차 A,B축 와전류 장치 벨로우즈 파손 응급조치 → 차후 교환 예정
2006-05-17	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	부품교체	1. #4대차 B축에 R측 상요제동 실린더 홈 발생, 로템에 제품 차용후 교환작업 완료2. #4 대차 A,B축 NO 1~6 디스크 패드 전량 교체(5차년도 패드 BACK PLATE 변형 개선 TEST) 1~3 번 디스크 : 구형 패드 4~6 번 디스크 : 신형 패드
2006-05-17	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_07	부품교체	#7 대차 B축 NO1,2 (L,C) 디스크 패드 교체
2006-05-17	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	부품교체	#6대차 B축 NO2(중앙) 디스크 패드 교체
2006-05-13	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	전대차	기능개선	ECU 프로그램 수정- 내용: 대차차단 및 정상 신호가 뒤바뀌어 있었음- 조치: 프로그램에서 바뀐 신호를 수정하여 정상으로 바꿨음- 확인: 대차차단 레바를 조정하여 정상 동작하는 것을 확인
2006-05-12	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	부품교체	* TM5 WHEEL DISK BRACE CYLINDER NO3 HOSE NIPPLE 파손 NO3 ↔ NO4 (주차브레이크 실린더) 상호 교환 업부 지원 작업 실린더 재장착시 NO3의 '실린더설치부'가 짧아 아답터 사용함.(*작업일지 그림 참고)
2006-04-27	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_09	기능개선	#9 대차 A축 슈킹분활팬 불량 → 덜벌어짐 => 조치완료
2006-04-27	BUFFER	PC1	기타	PC1 - TM1, PC2 - TM5 버퍼면 그리스 유종 불량 → 원제작사에 확인결과(EP2) 사용해도 무방함을 통보 받음
2006-04-27	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	부품교체	#4 대차 제동 패드 균열로 깨짐(4/26) → 패드 교환 조치 완료(4/27)
2006-04-27	BUFFER	TM5	기타	PC1 - TM1, PC2 - TM5 버퍼면 그리스 유종 불량 → 원제작사에 확인결과(EP2) 사용해도 무방함을 통보 받음
2006-04-26	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	부품교체	#4 대차 제동 패드 균열로 깨짐 → #4 대차 R측 DISK PAD 교환(4/26)
2006-04-26	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	부품교체	#7 대차 와전류 장치 좌측 상부 AIR SPRING 부위 누설 - 점검 보수 완료
2006-04-26	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_01	부품교체	PC2 COMPRESSOR 상부 전선 절연 조치 요망 → 작업완료됨

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-04-26	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_10	부품교체	PC2 좌측 WHEEL DISK PAD 교환
2006-04-26	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_01	부품교체	PC1 MR AIR TANK 역지변 불량(교환 작업 지원)
2006-04-26	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	부품교체	PC2 COMPRESSOR 상부 전선 절연 조치 요망 → 작업완료됨
2006-04-26	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	부품교체	#4 대차 와전류 장치 댐퍼 벨로우즈 찌져짐 → 교체작업완료
2006-04-26	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_05 MAGNET	부품교체	#5 대차 와전류 케이블 불량(임시로 케이블 타이 랩으로 묶어둠) → BRACKET 설치 완료
2006-04-21	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	부품교체	#8 대차 계측용 압력 센서 교환 및 Terninal 작업 완료
2006-04-21	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	유지보수	와전류 장치 전원선 연결 작업 및 실리콘 도포 작업 완료.
2006-04-21	PANTOGRAPH	PC1/PC2	유지보수	Pantograph 높이 제한 장치(고속전용) Bolt 교환 작업
2006-04-21	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	부품교체	#3 대차 계측용 압력 센서 교환 및 Terninal 작업 완료
2006-04-18	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_05 MAGNET	부품교체	1. #5대차 와전류장치 자바라 교환2. #5대차 와전류장치 높이 상승 조정 장치 교환(우측 2SET)→ 와전류 장치 높이 상승 조정 장치#4,5,6,7 대차 16SET전체 교환 완료 됨.
2006-04-17	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_06 MAGNET	부품교체	#6 대차 와전류 장치 높이 상승 조정 장치 교환(우측) 4SET
2006-04-17	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	부품교체	#7 대차 와전류 장치 높이 상승 조정 장치 교환(우측) 4SET
2006-04-12	AUX. COMPRESSOR	PC2	부품교체	ACM(보조 COMPRESSOR) AIR FILTER 오리피스 취부작업 및 기능 테스트 → 양호
2006-04-12	AIR DRYER	PC1	부품교체	CM AIR DRYER 기능 상태 점검 → 양호
2006-04-12	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	부품교체	#4 와전류 장치 상승 높이 제한 장치 개선품 교환 작업- 총 16SET중 8SET(좌측) 교환 완료
2006-04-12	AUX. COMPRESSOR	PC1	부품교체	ACM(보조COMPRESSOR) AIR FILTER 오리피스 취부 작업 및 기능 테스트 → 양호
2006-03-31	MAIN COMPRESSOR	PC1 NO_01	유지보수	주공기압축기 결선
2006-03-31	AUX. COMPRESSOR	PC2	유지보수	보조공기압축기 필터 취부
2006-03-30	AUX. COMPRESSOR	PC1	유지보수	보조공기 압축기 취부

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-03-30	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	유지보수	주공기 압축기 취부
2006-03-30	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_10	유지보수	EPL VALVE 취부
2006-03-30	MAIN COMPRESSOR	PC1 NO_01	유지보수	주공기 압축기 취부
2006-03-29	BUFFER	PC1	부품교체	사이드버퍼 취부
2006-03-29	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	부품교체	#5 디스크캘리퍼 취부 1SET
2006-03-29	BUFFER	PC2	부품교체	사이드버퍼 취부
2006-03-29	BUFFER	TM1	부품교체	사이드버퍼 취부
2006-03-29	BUFFER	TM5	부품교체	사이드버퍼 취부
2006-03-29	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	부품교체	#3, #8 캘리퍼/실리더 취부 4SET
2006-03-29	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	부품교체	#3, #8 캘리퍼/실리더 취부 4SET
2006-03-20	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	유지보수	CKP BRCUCE CYLINDER CALIPER 장치 탈거 - 본사이송조치, 점거차
2006-03-20	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	유지보수	#7 대차 분리 - 와전류 장치 전기 배선 및 speed sensor 탈거 작업
2006-03-20	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_04 MAGNET	유지보수	#4 대차 분리 - 와전류 장치 전기 배선 및 speed sensor 탈거 작업
2006-03-17	BUFFER	PC1	유지보수	탈거
2006-03-17	BUFFER	PC2	유지보수	탈거
2006-03-17	BUFFER	TM1	유지보수	탈거
2006-03-17	BUFFER	TM5	유지보수	탈거
2006-03-17	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치
2006-03-17	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_01	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치
2006-03-17	AIR DRYER	PC1	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송조치
2006-03-17	PANTOGRAPH	PC1	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송조치
2006-03-16	AUX. COMPRESSOR	PC2	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치함.
2006-03-16	PANTOGRAPH	PC2	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치함
2006-03-16	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치함.

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-03-16	AIR DRYER	PC2	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치함.
2006-03-16	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_01	유지보수	탈거후 안산공장으로 이송 조치함.
2006-03-07	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	제어시험	1.살사시험 - 저속구간 살사시험(30Km/h):OK2.ASCU 기능고장 - 네트워크 전송 안되었음, 금요일까지 조치 예정
2006-03-03	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	제어시험	살사시험 - 고속:살사시험 확인(150Km/h 이상), 저속:살사시험 미확인(150Km/h 이하) → 시뮬레이터 속도출력이 안되어서 시험을 다음번으로 미뤄야함
2006-03-03	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	제어시험	살사시험 - 고속:살사시험 확인(150Km/h 이상), 저속:살사시험 미확인(150Km/h 이하) → 시뮬레이터 속도출력이 안되어서 시험을 다음번으로 미뤄야함
2006-03-02	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	제어시험	ECU salsa 시험 - 속도 시뮬레이터에 의한 속도 출력이 차량에 인가되지 않아서 실패, 시뮬레이터를 금요일까지 수리하여 재시험할 것임
2006-03-02	BRAKE BLENDING CONTROL UNIT	PC1	제어시험	BBCU-ECU간 네트워크 통신 Data 확인 - endian으로 인한 상/하위 byte 바뀐 것을 swap으로 해결
2006-03-02	BRAKE BLENDING CONTROL UNIT	PC2	제어시험	BBCU-ECU간 네트워크 통신 Data 확인 - endian으로 인한 상/하위 byte 바뀐 것을 swap으로 해결
2006-03-02	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	제어시험	ECU salsa 시험 - 속도 시뮬레이터에 의한 속도 출력이 차량에 인가되지 않아서 실패, 시뮬레이터를 금요일까지 수리하여 재시험할 것임
2006-02-27	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU02	제어시험	BCU #1~3, #8~10 Tripod Unbalance 기능 확인 시험 → BCU에서 TUDS 신호를 검지하여 운전실 모니터에 현시되는 것을 확인(정상확인)
2006-02-25	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU03	기능개선	1. BCU1 ~ BCU10 살사기능 적용 및 차량 확인2. BCU1,2,3,8,9,10 Tripod Unbalance Pressure Switch 전원/신호 배선 확인 후 정상동작 수정 완료
2006-02-25	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	기능개선	1. BCU1 ~ BCU10 살사기능 적용 및 차량 확인2. BCU1,2,3,8,9,10 Tripod Unbalance Pressure Switch 전원/신호 배선 확인 후 정상동작 수정 완료
2006-02-25	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU06	제어시험	1. BCU1 ~ BCU10 살사기능 적용 및 차량 확인
2006-02-25	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU04	제어시험	1. BCU1 ~ BCU10 살사기능 적용 및 차량 확인
2006-02-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	부품교체	1. 대차 Disk 패드 고정핀, 와셔 점검 및 교환 작업 - 완료
2006-02-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	부품교체	1. 대차 Disk 패드 고정핀, 와셔 점검 및 교환 작업 - 완료2. 대차 1축 왼쪽, 중앙 디스크 패드 교환 작업 - 완료
2006-02-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	부품교체	1. 대차 Disk 패드 고정핀, 와셔 점검 및 교환 작업 - 완료2. 왼쪽, Front 자바라 호스 파손 교환 작업 - 완료

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-02-24	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU05	기능개선	BCU1 ~ BCU10 살사 및 Tripod Unbalance 기능 적용을 위한 BCU의 Source Code 수정작업
2006-02-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_07	부품교체	1. 대차 Disk 패드 고정핀, 와셔 점검 및 교환 작업 - 완료2. 대차 1축 오른쪽, 2축 왼쪽 및 중앙 디스크 패드 교체 작업 - 완료
2006-02-23	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	유지보수	#4 대차 Disk 표면검사(Color checking) - 확인결과 이상 없음
2006-02-23	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_05	유지보수	#5 대차 Disk 표면검사(Color checking) - 2월 24일 작업예정(Disk 표면 돌출 제거작업)
2006-02-22	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	유지보수	Tripod-Unbalance 시험 - ECU 검지하나 내부통신 CPU로 데어타 전송 불량, 프로그램 수정필요(2/24일 작업예정)※ 신규 CPU에는 검지됨. MVB 통신을 위한 구 CPU 데이터 전송 안됨
2006-02-22	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	부품교체	#3 대차 캘리퍼 행거 작업 - 캘리퍼 행거 I빔 고정핀 교체
2006-02-21	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	유지보수	1. 절연저항 측정(PC2의 CP #2) - DC 500V(1㏁ 이상), R,S,T 상간(이상없음), R,S,T↔접지간(이상없음)2. 절연내압 측정(기준:1760V/10㎃이하) - R,S,T 상간:7.43㎃(이상없음), R,S,T↔접지간:7.9㎃(이상없음)3. 운전시험 - R,T,S 상전류(정격부하):32~34A(이상없음), 전류파형:첨부자료 참조4. 향후 시운전시 계속 관찰하기로 함5. 기타 : Motor 입력선의 R,T,S가 바뀜(선번
2006-02-21	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	부품교체	#8 대차 (정/후위) 제동 실린더 및 캘리퍼 교체 - 캘리퍼 및 실린더 취부(02/21 21:00~02/22 05:00)
2006-02-21	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	기능개선	#1,#2,#3,#8,#9,#10 ECU Program 수정 - Tripod Unbalance Program 수정Tripod Unbalance 검지시 MVB 통신용 flag set, 미검지시flag off로 수정
2006-02-21	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	부품교체	#3 대차 1축 제동 켈리퍼 교체 - 캘리퍼 교체(02/21 21:00~02/22 05:00)
2006-02-17	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	유지보수	Disk Pad 마모량 측정 및 점검 - #4,#6 대차 마모량 측정, #3,#4,#5,#6,#7,#8 Pad 점검
2006-02-17	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	부품교체	- #3 대차 Speed Sensor 교체 - 1축 센서, 2축센서 교체(2/19 16:00~ 기능점검 예정)- Disk Pad 마모량 측정 및 점검 - #4,#6 대차 마모량 측정, #3,#4,#5,#6,#7,#8 Pad 점검

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-02-16	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	유지보수	- 차륜디스크 캘리퍼 레버 크랙 검사 → 양호- 8번 대차 그라이빙기어 및 모터 전면부 크랙 검사 → 양호- 8번 대차 차축 보호피막 벗겨진 부위 크랙 검사 → 양호- 8번 대차 캘리퍼 및 제동실린더 2Set 보수용으로 취거 후 유진기공 공장으로 이동(1Set 1위R:정품,2위L:파손품) → Lever Support 용접부 크랙 발생하여 용접보수 실시 예정
2006-02-15	MAIN COMPRESSOR	PC1 NO_02	유지보수	1. PC1의 CM1/2의 전자변 작동 불량건 조치 - 제습장치 판넬의 Cannon 커넥터 체결불량, 재체결 후 동작 : 이상없음2. PC1의 CM1/2의 오일 온도 및 오일 상태 점검 : 이상없음
2006-02-14	MAIN COMPRESSOR	PC2 NO_02	유지보수	공기압축기 점검 - 1)PC1 공기압축기 No.1,No.2의 배기전자밸브 평상시 누설→원인추정:전기결선 및 전원 문제 추정,조치:조속한 시일내로 조치하겠음,운행상:운행상 지장 없으나 공기추기시간이 약간 길어짐, 2)기타→나머지 PC1 No.1,No.2, PC2 No.2 정상임 3)PC2로 입력되는 전원 Aux.Block에서 ACOC 발생 → 부하측(PC2의 No.1,No.2) 문제는 아닌것으로 판단됨 4)PC2의 CM #2에 대한 점검 조치 계획을 금주
2006-02-10	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_06	유지보수	Disk Pad 상태점검 - 다원프릭션 감상호차장,김유신대리, 대차Pad 마모량 측정 및 검사(양호)
2006-02-10	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU04	부품교체	#4 대차 MVB 통신용 내부 CPU 교체 - #4 ECU 내 통신 전용 CPU 교체, 통신 상태 점검(양호)
2006-02-10	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	유지보수	Disk Pad 상태점검 - 다원프릭션 감상호차장,김유신대리, 대차Pad 마모량 측정 및 검사(양호)
2006-02-03	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU06	부품교체	#4, #5, #6 ECU 통신상태 점검 - MVB 통신 Buffer Time 조정
2006-02-03	BUFFER	TM1	부품교체	TM1 좌측 Sidebuffer 교체 - sidebuffer 1EA 교체, 우리테크 김기성
2006-02-02	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU06	유지보수	#6 제동압력 현시 지연 확인 - 인터콘 협조, 제동 및 완해시 ECU의 MVB 출력 이상 없음 확인, 해당 VCU의 MVB에서 Gateway로 넘어갈 때 지연됨(인터콘 확인)
2006-02-02	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU10	제어시험	#9, #10 ECU 교체 - 신규 Type 교체 및 제어시험(양호), 기지내 구내 주행시험(양호)
2006-02-01	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU06	부품교체	ECU 상태 점검, ECU #6 IF1 카드 교체, Serial Cable ECU #6에 모니터링 위해 연결
2006-01-25	EDDY CURRENT BRAKE SYSTEM	대차_07 MAGNET	유지보수	1. 와전류 제동장치 컨트롤 보드 확인 - 제어전원 투입 후 보드 상태 확인(이상 없음), 제어보드 유관 확인(보드내의Jumper 확인), 사내(유진) 보드를 현장과 맞추기 위해서 반출(다음 시험에 입고)2. 와전류 제동 장치 내전압 시험 - 절연저항: 500Vdc에서 1700MΩ 이상(이상 없음), 절연내전압 : AC1500V/1분:16mA 견딤,AC2500V/1분:26mA 견딤, 차량간 약 7mA씩 증가3. 전자석 연결 단자에서 피복 벗겨짐

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-01-24	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	부품교체	ECU 1~8번 대차 교체 및 주행 확인 시험
2006-01-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_04	부품교체	4번 bogie 총 6 Disc 패드 전량 교체, 각 bogie 패드 점검(결과 양호), Disc 상태 확인
2006-01-23	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU08	기능개선	신규 ECU 랙 설치 및 제어동작 상태 점검, BC압력 튜닝
2006-01-23	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU03	기능개선	신규 ECU 랙 설치 및 제어동작 상태 점검, BC압력 튜닝
2006-01-19	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_07	유지보수	디스크 크랙 및 segment Clearance 조사
2006-01-19	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU02	유지보수	- 제동 불완해 원인조사 : 랙 탈거 이송후 점검, 1/23 출발전 취부 예정
2006-01-18	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU04	기능개선	#4 ECU 신규제작 랙 취부/점검, 기지내 주행시험
2006-01-18	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU02	기능개선	신규 제작 랙 취부 및 점검, 기지내 주행 시험
2006-01-17	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU05	기능개선	#5 ECU 신규 제작 랙 취부/점검
2006-01-11	BUFFER	PC2	부품교체	PC2 Right Side buffer 교체 - Side buffer 1EA 교체, 우리테크 김기성 사장 외 1명
2006-01-11	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	부품교체	#8 대차 1축 캘리퍼 교체 - 캘리퍼 행거 부시 이상으로 행거교체, 사후관리 3명
2006-01-11	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU01	부품교체	New ECU 취부 Test - 오재선과장, 김건우 대리, 객차 ECU 취부 제동 제어동작 Test, 상태양호.※ Dump 제어 Test 추가 시험 예정
2006-01-11	MAIN COMPRESSOR	PC1 NO_01	유지보수	PC1 #1 Main Compresure - 사후 관리팀 2명, Compresure Main inverter의 이상동작으로 판단되며, 그 이외의 잔압현상은 Moter를 구동시키지 못할 정도는 아님, 차량 중점검시 소음 및 내부 이상유무를 회사에서 분해 점검 예정임
2006-01-09	MAIN COMPRESSOR	PC1 NO_01	유지보수	Compressor 점검, 강제순환으로 Oil 수분제거
2006-01-09	BUFFER	TM5	부품교체	TM5 Left Buffer 불량으로 교체
2006-01-06	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU02	부품교체	- 신규 제작 ECU 취부 Test : 제동 제어 동작 Test(상태양호), MVB 네트워크통신 Test(상태양호), 구내 10Km/h 주행 Test(상태양호)※1월 2주차 시험은 대차 차단상태에서 주행하며, 모니터링 함- #2 ECU CPU 보드 교체 - ASCU ↔ ECU간 통신이상 확인(통신정상 확인), 제어동작 상태 양호

작업일자	SYSTEM NAME	UNIT NAME	작업 모드	작업내용
2006-06-24	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU05	제어시험	1. BCU 완해 시간 Recording(완해시간 차이 없음)2. 디스크 제동장치 압부력 상승 시험(50kv에 대해 시험)
2006-06-24	ELECTRIC BRAKING CONTROL UNIT	ECU04	제어시험	1. #4 BCU 제동 불완해 현상 확인을 위한 기능 시험 진행 상용/비상 인가 후 완행 → 완해시간 확인2. BCU 측 대차 연결 Flexible Hose 차단 후 제동인가 완해 시험3. BCU 완해 시간 Recording (완해시간 차이 없음)4. 디스크 제동 장치 압부력 상승 시험 (50kv에 대해 시험)
2006-06-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_08	유지보수	#8 대차CKP Brace Cylinder(NO1,2) Caliper PT Check ->이상없음
2006-06-24	MECHANICAL BRAKE SYSTEM	대차_03	유지보수	#3 대차CKP Brace Cylinder(NO3,4) Caliper PT Check -> 이상없음

나. 오송 차량기지 내에서의 보수 유지 및 안정화를 위한 작업

시제차량의 본선 시운전 과정에서 발생한 제동장치 관련 고장상황의 조치, 개선 소프트웨어의 시험, 유지보수 측면의 부품교환 작업등을 현장에서 수행하고 그 진행과정과 조치내용 등의 이력을 정리 하였다.

(1) 고장이력 및 조치내역

표 3.6-36 시제차량의 고장이력 관리(신뢰성평가용)

ID	FAULT DATE	FAULT MODE	FAULT TIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
242	11월 8일		20분이상		OPERATION UNIT	BCU로 입력되는 운전자정차제동 신호(72V 디지털신호)가 잘못 검지되어, BCU의 운전자 정차제동이 실행된 상황.※운전자 정차제동 모드: 구배가 있는 역사에서 정차시 출발전 차량이 뒤로 밀리는 것을 방지하기 위해, 추진가속신호시 BCU에서 1kgf/㎠의 압력으로 제동을 잡고있는 모드	운전자 정차제동 해지관련 로직 수정운전자 정차제동 모드의 해소 방법을 교육구배 상에서의 출발 시험을 통해 최적의 공기압력 설정치 확정
304	12월 6일		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	제동불완해 주행중 ECU2번에서 불완해가 발생하였다 약 30초정도 제동 불완해가 유지됨	현장조치사항: ECU2번 재기동 강제 접지를 통해서 만약에 CPU 정지시 ECU는 완해상태로 유지하도록 조치할 예정임
305	12월 9일		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	제동불완해 주행중 ECU2번에서 불완해가 발생하였다 약 30초정도 제동 불완해가 유지됨	현장조치사항: ECU2번 재기동 강제 접지를 통해서 만약에 CPU 정지시 ECU는

ID	FAULT DATE	FAULT MODE	FAULT TIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
						기존선 구간에서 발생(목포-상행)	완해상태로 유지하도록 조치할 예정임
306	12월 20일		2분~4분	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	노이즈 영향으로 인한 ECU의 오작동	노이즈 원인 조사및 노이즈 차폐작업예정 ECU #2의 IF/2 카드 교체 실험(정상확인)
307	1월 26일		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	ECU #2의 제동불완해	제동불완해 원인 파악중 ECU CPU Board를 #2와 #9를 교환하여 실험 (1월 26일 예정)
308	2월 2일		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	ECU #2의 제동불완해	제동불완해 원인 파악중ECU RACK #2와 #9를 교환하여 실험
582	2월 3일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5.5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	차체의 노이즈로 인한 오동작 - 노이즈 원인 제거 시험 - 샤시와 쉴드선 분리
327	3월 9일		20분이상	BOGIE2	CONTROL PANEL	EPL(Electric-Pneumatic Change Valve)VALVE 밸브 다이어프램의 이상동작 밸브 내부의 다이어프램에 수분 응축으로 인한 압력 누설	EPL VALVE 교체(2005.3.9) 교체후 시운전
583	3월 9일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	EPL Valve의 다이어프램 결빙또는 수분응축에 의한 이상 동작으로 판단
349	3월 16일		20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	#2 ECU 오동작	장치 탈거, 원인 조사예정
584	3월 16일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	노이즈에 의한 제어장치 이상동작으로 판단됨- 모니터링 강화
345	3월 17일		20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	#2 ECU 고장	장치 탈거, 3/18취부예정
387	3월 17일	이상 작동	2분~4분	BOGIE9	OPERATION UNIT		
329	3월 23일		2분~4분	BOGIE2	CONTROL PANEL	제동불완해 4회 발생ECU카드와 Antiskid 카드의 통신 에러로 인한 인식불량으로 검지됨	ECU의 Reset으로 정상운행
336	3월 24일		20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	#2 ECU 제동 불완해 발생	격리시킴
337	3월 24일		2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	#9 ECU 제동 불완해 발생	reset 시킴
384	3월 28일	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
381	3월 29일	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
377	3월 30일	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING

ID	FAULT DATE	FAULT MODE	FAULT TTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
							프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
375	3월 31일	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
585	4월 4일	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - P_mode 수신 이상으로 인한 제동불완해	ECU의 모니터링 강화
365	4월 12일	이상작동	2분~4분	BOGIE10	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit)제동불완해 발생 추정원인 - 정차중 및 저속구간에서 또한 객차대차에서 문제 없는 것으로 볼때 주행 중 모터블럭 동작 시 이상노이즈 유입으로 추정됨	ECU(Electric Control Unit) - CPU Board내의 5V 제어전원Noise 감쇄를 위한 전해 콘덴서 추가 - CPU Board내의 5V 제어전원생성용 DC-DC Converter 교체 - BCU(Braking Control Unit) 공압패널상의 배선상태 점검 - 철도연 계측데이터 기록내용 중 제동압력 상태 변화 데이터 및 고장시점 상황 분석
366	4월 12일	이상작동	2분~4분	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit)제동불완해 발생 추정원인 - 정차중 및 저속구간에서 또한 객차대차에서 문제 없는 것으로 볼때 주행 중 모터블럭 동작 시 이상노이즈 유입으로 추정됨	ECU(Electric Control Unit) - CPU Board내의 5V 제어전원 Noise 감쇄를 위한 전해 콘덴서 추가 - CPU Board내의 5V 제어전원생성용 DC-DC Converter 교체 - BCU(Braking Control Unit) 공압패널상의 배선상태 점검 - 철도연 계측데이터 기록내용 중 제동압력 상태 변화 데이터 및 고장시점 상황 분석
388	4월 13일	이상작동	20분이상	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작으로 MVB카드에 오동작시의 데이터를 기록	MVB 카드에 데이터 전송시 Heart_Bit을 기록하여 제어장치의 이상을 판단하도록 조치할 예정임. 이상 데이터 처리는 SCU 및 네트워크 팀과 협의후 처리할 예정임.
401	4월 20일	이상작동	2분~4분	BOGIE10	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작으로 제동불완해	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨.#2 ECU로 노이즈 차폐 시험후 조치예정 - 제어전원 입력단의 노이즈 차폐용 쵸퍼 및 캐패시터 교체 및 지속적인 시험예정
400	4월 20일	이상작동	2분~4분	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작으로 제동불완해	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨. - 제어전원 입력단의 노이즈 차폐용 쵸퍼 및 캐패시터 교체 및 지속적인 시험예정
399	4월 21일	이상작동	2분~4분	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨.#2 ECU로 노이즈 차폐 시험후 조치예정
407	4월 28일	이상작동	2분~4분	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로

ID	FAULT DATE	FAULT MODE	FAULT TIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
						Control Unit) 제어장치 오동작	판단됨.제어전원 노이즈 안정화 시험 계속
426	5월 10일	이상 작동	2분~4분	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작 - 활주방지 제어장치와의 통신이상으로 인한 오동작	ECU와 활주방지제어장치와의 통신 프로그램 조사후 조치예정
423	5월 11일	이상 작동	2분~4분	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작 - 제어전원 노이즈에 의한 장치 오작동	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업 후 #9 대차 적용 예정
461	5월 18일		2분이내			SPMD (Speed Measurement Device) 초기 기동시 각 채널 보드로부터 속도인식	초기 기동시 속도센서쪽의 전압 Delay로 인한 문제로 예상되며, 이를 해결하기위해 회로 수정함.
455	5월 24일	이상 작동	2분~4분	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어동작 이상으로 인한 제동불완해	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업 후 #9 대차 적용 예정
456	5월 25일	이상 작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어동작 이상으로 인한 제동불완해 2회 발생	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업 후 #10 대차 적용 예정
457	5월 30일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내ECU(Electric Control Unit) 제어동작 이상으로 인한 제동불완해 발생	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업중이며, 시험중임.
459	6월 14일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 발생 - 계측기상 운전실 display 6bar현시로 보아 ECU의 제어오동작에 의한 제동불완해로 판단하기 힘듬.	#2 BCU(Braking Control Unit) 공압 배관라인 및 밸브류 점검
499	7월 25일	이상 작동	2분이내	BOGIE5	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동 제어 동작 이상 - 제동 모드 시 완해되어 제동이 체결 안되는 현상	#5 대차의 금요일 BBCU블랜딩 소프트 웨어 수정 후 Watch Dog Timer에의한 CPU 자동 리셋현상이 발생함.해당 대차의 프로그램을 수정하여 제동제어 동작이상 해결
500	8월 1일	이상 작동	2분이내	BOGIE5	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제어 CPU의 WDT(Watch Dog Timer)에 의한 제어 상태 이상 - 일정시간50ms의 주기로 프로그램 수행중 이 시간을 넘어갈시 이상동작을 예방하기 위하여 WDT에 의한 리셋을 자동으로 시켜주고 있슴. 제어 프로그램 동작시 시간초과에의한 WDT에 의한 리셋현상으로 간주됨	프로그램 코드 및 WDT의 해당 부분을 수정하여, 전체 프로세서가 50ms안에서 작동하도록 조치함
534	8월 17일	이상 작동	2분이내	BOGIE6	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 정차 제동시 완해 제동반복 현상	정차 제동시 완해와 제동의 반복현상으로 2BAR의 정차제동압력을 유지하기위한 제동압력

ID	FAULT DATE	FAULT MODE	FAULT TTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
							피드백이상으로 판단되어, BC압력센서 교체함
536	8월 18일	이상 작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동완해	Watch Dog Reset에 의한 제동 완해현상 - Watch Dog Reset Time 프로그램 수정
535	8월 18일	이상 작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해	차체 노이즈에 의한 이상동작으로 판단되어, 접지선과 차체 쉴드 분리
537	8월 23일	이상 작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5.5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	차체의 노이즈로 인한 오동작 - 노이즈 원인 제거 시험 - 샤시와 쉴드선 분리
586	8월 30일	이상 작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 6bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	제어 프로그램 실행중 오동작 - 프로그램 중 제어동작부분 일부 수정 및 모니터링
587	10월 19일	이상 작동	2분이내	BOGIE8	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 주행 중 0.5bar 제동 불완해	노이즈에 의한 제어 동작이상으로 판단- 모니터링 강화
543	10월 25일	이상 작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 6bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	제동 후 압력을 다시 센싱하여, 피드백을 받아 제어하는 부분의 오동작으로 인한제동불완해로 예상되어, 프로그램의 알고리즘 수정 Close loop방식에서 Open loop방식의 제어 알고리즘 수정 주행 예정
544	10월 26일	이상 작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 0.8bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	알고리즘 수정 후 Open Loop 제어 방식으로 주행, 고장기록 및 제동불랜딩제어장치에서 받은 상태 데이터 분석 결과, 알고리즘 이상이 아니라 전공변환밸브의 이상 동작으로 인한 제동불완해로 판단됨. 전공변환밸브의 역전류방지 소자를 취부할 예정임
556	11월 1일	이상 작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)_ 제동불완해 - 제동모드 후 6.2bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	제동불완해시 제동압력 디스플레이의 압력과 계측시스템의 압력이 일치하는 것으로 보아, ECU의 프로그램이상으로 판단하기 힘듬. 전공변환밸브의 전류생성 카드의 프로그램 수정 및 모니터링 예정
557	11월 7일	이상 작동	2분이내	BOGIE1	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 1.9bar의 압력이 중립시 생성됨, 마스콘 조작에 의하여 제동불완해 해소됨. 중립모드에 BCU의 Watch Dog Timer에 의한 리셋에 의해 제동불완해	프로그램의 부하가 많아 생성되는 것으로 판단되어, SoftWare의 부하를 줄일 수 있는 프로그램 수정. Watch Dog Timer는 프로그램의 이상동작을 막기 위한 방안임.
558	11월 14일	이상 작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 2bar의 압력이 중립시 생성됨, 마스콘 조작에 의하여 제동불완해 해소됨. Watch	Watch Dog Timer에 의한 리셋은 ECU의 오동작을 보호하기 위한 동작임.중립시Watch Dog Timer에 정차제동 채결됨. 내부 프로그램의 부하를

ID	FAULT DATE	FAULT MODE	FAULT TIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
						Dog Timer의에 의한 리셋 현상	줄이도록 software 수정 예정.
559	11월 24일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 차륜 찰상 - 90km/h 비상제동 살수 시험중 2번 대차의 덤프밸브 이상 동작으로 인한 차륜 찰상.	덤프밸브 구동 프로그램 및 동작상태 점검시 이상 없음 확인. 속도 센서 간극 조정 작업
560	11월 28일	이상 작동	2분이내	BOGIE7	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 차륜 찰상 - 90km/h 비상제동 살수 시험중 7번 대차의 덤프밸브 이상 동작으로 인한 차륜 찰상.	덤프밸브 구동 회로의 트랜지스터의 고장으로 인하여, 덤프밸브 동작 상태 이상확인, 해당 트랜지스터 교체 및 동작상태 확인
601	1월 3일	이상 작동	20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 활주방지제어장치 통신 고장 - 활주방지제어장치와 제동제어장치간의 통신불량으로 인한 완해	활주 방지 제어장치CPU의 통신 모듈 고장으로 인하여 제동제어장치와의 통신이 안됨. 활주 방지 제어장치CPU 교체함.
602	1월 18일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동 불완해 - 정차후 정차 제동 압력이 완해가 안되어 제동 불완해 현상 발생	추진 모드 신호을 해당 대차의 BCU에서 노이즈에 의해 인식이 불량하여,정차제동 압력을 완해하지 못함. #1,#5의 신규 타입의 ECU는 이를 개선하여,신호 인식에 이상이 없었음. 향후 신규 타입으로 전 대차 교체 예정임.
610	1월 19일	이상 작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동 불완해 - 정차후 정차 제동 압력이 완해가 안되어 제동 불완해 현상 발생	신규 제동 제어 장치의 프로그램 수정 이상으로 인한 제동 불완해 - 프로그램 수정 조치
611	1월 19일	이상 작동	2분이내	BOGIE4	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동압 오 현시 - MVB통신용 CPU카드의 이상 동작으로 인한 통신불량	제어 동작에는 이상이 없었으나, 통신보드의 이상동작으로 인제어 동작에는 이상이 없었으나, 통신보드의 이상동작으로 인하여 네트워크 통신이 원활하지 못한 상태. - 통신보드의 프로그램 수정
612	2월 15일	부품 손상	20분이상	BOGIE8	PIPE BRACKET ASSEMBLY	BCU(Braking Operatin Unit) ASSembly #8 대차 휠 디스크 제동 실린더 이탈	실린더 Assembly 교체 예정

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
16	04 02 14	이상작동	4분~20분	BOGIE6	ELECTRIC CONTROL UNIT	ECU의 제동지령 PWM 명령 신호 인식 오류(제동지령 명령값의 세기와 무관하게 제동모드에서 80% 명령값으로 인식, 제동 실린더의 공기압력이 3bar 이상 투입됨)	시운전시 제어장치 격리
31	04 05 13	이상작동	20분이상	BOGIE3	ELECTRIC CONTROL UNIT	제동장치 오류로 제동 불안해 발생	시운전시 BCU SET 차단
32	04 05 27	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	제어장치 오류로 정차제동모드시 비상제동 압력(4bar)이 인가됨	시운전시 제어장치 RESET
33	04 05 27		20분이상	BOGIE3	BRAKE SET	3번대차 전위 WHEEL DISK 제동용 CYLINDER-CALIPER ASSEMBLY의 CYLINDER 몸체와 상부 CALIPER를 공정시키는 M24 핀볼트가 유실되어 CYLINDER와 CALIPER가 일부 유실	시운전시 주의 및 추후 보수
152	04 06 03		2분이내		ELECTRIC CONTROL UNIT	제어장치 오류로 정차제동모드시 비상제동 압력(4bar)이 인가됨	시운전시 제어장치 RESET
77	04 09 23		20분이상	BOGIE6	OPERATION UNIT	ECU CPU보드의 NOISE에 의한 오작동으로 메인프로그램의 Watch Dog Time 의 event 발생에 영향을 주었다고 사려됨.	ECU Main Program의 WDT event 발생 부분에 대한 프로그램내용 상세 검토및 수정예정
181	04 10 18		20분이상	BOGIE6	OPERATION UNIT	MVB 카드로부터 데이터를 읽어오는 부분중 ap_start()부분을 실행중 MVB카드의 이상동작으로 인하여, 이부분이 무한루프를 동작함 MVB Board의 이상은 하드웨어적인 문제로 판단됨.	MVB board를 인터콘시스템즈에서 이상상태를 점검하고, 해결한다고 함. MVB 카드의 이상동작시 무한루프에서 탈출하는 프로그램 코드를 작성하여, BCU프로그램이 정상동작하도록 프로그램 변경할 예정임.

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
242	04 11 08		20분이상		OPERATION UNIT	BCU로 입력되는 운전자정차제동 신호(72V 디지털신호)가 잘못 검지되어, BCU의 운전자 정차제동이 실행된 상황. ※운전자 정차제동 모드: 구배가 있는 역사에서 정차시 출발전 차량이 뒤로 밀리는 것을 방지하기 위해, 추진가속신호시 BCU에서 1kgf/㎠의 압력으로 제동을 잡고있는 모드	운전자 정차제동 해지관련 로직 수정 운전자 정차제동 모드의 해소 방법을 교육 구배 상에서의 출발 시험을 통해 최적의 공기압력 설정치 확정
304	04 12 06		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	제동불완해 주행중 ECU2번에서 불완해가 발생하였다 약 30초정도 제동 불완해가 유지됨	현장조치사항: ECU2번 재기동 강제 접지를 통해서 만약에 CPU 정지시 ECU는 완해상태로 유지하도록 조치할 예정임
305	04 12 09		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	제동불완해 주행중 ECU2번에서 불완해가 발생하였다 약 30초정도 제동 불완해가 유지됨 기존선 구간에서 발생(목포-상행)	현장조치사항: ECU2번 재기동 강제 접지를 통해서 만약에 CPU 정지시 ECU는 완해상태로 유지하도록 조치할 예정임
306	04 12 20		2분~4분	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	노이즈 영향으로 인한 ECU의 오작동	노이즈 원인 조사및 노이즈 차폐작업예정 ECU #2의 IF/2 카드 교체 실험(정상확인)
307	05 01 26		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	ECU #2의 제동불완해	제동불완해 원인 파악중 ECU CPU Board를 #2와 #9를 교환하여 실험 (1월 26일 예정)
308	05 02 02		2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	ECU #2의 제동불완해	제동불완해 원인 파악중 ECU RACK #2와 #9를 교환하여 실험
582	05 02 03	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5.5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	차체의 노이즈로 인한 오동작 - 노이즈 원인 제거 시험 - 샤시와 쉴드선 분리
327	05 03 09		20분이상	BOGIE2	CONTROL PANEL	EPL(Electric-Pneumatic Change Valve)VALVE 밸브 다이어프램의 이상동작 밸브 내부의 다이어프램에 수분 응축으로 인한 압력 누설	EPL VALVE 교체(2005.3.9) 교체후 시운전
583	05 03 09	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	EPL Valve의 다이어프램 결빙또는 수분응축에 의한 이상 동작으로 판단

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
349	05 03 16		20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	#2 ECU 오동작	장치 탈거, 원인 조사예정
584	05 03 16	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	노이즈에 의한 제어장치 이상동작으로 판단됨 - 모니터링 강화
345	05 03 17		20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	#2 ECU 고장	장치 탈거, 3/18취부예정
387	05 03 17	이상작동	2분~4분	BOGIE9	OPERATION UNIT		
329	05 03 23		2분~4분	BOGIE2	CONTROL PANEL	제동불완해 4회 발생 ECU카드와 Antiskid 카드의 통신 에러로 인한 인식불량으로 검지됨	ECU의 Reset으로 정상운행
336	05 03 24		20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	#2 ECU 제동 불완해 발생	격리시킴
337	05 03 24		2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	#9 ECU 제동 불완해 발생	reset 시킴
384	05 03 28	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
381	05 03 29	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
377	05 03 30	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링
375	05 03 31	기타	20분이상	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU내 ECU의 동작상태 모니터링	ECU의 동작상태 모니터링 및 BBCU BLENDING 프로그램삽입 후 계속적인 동작상태 모니터링

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
585	05 04 04	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - P_mode 수신 이상으로 인한 제동불완해	ECU의 모니터링 강화
365	05 04 12	이상작동	2분~4분	BOGIE10	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit)제동불완해 발생 추정원인 - 정차중 및 저속구간에서 또한 객차대차에서 문제 없는 것으로 볼때 주행 중 모터블럭 동작 시 이상노이즈 유입으로 추정됨	ECU(Electric Control Unit) - CPU Board내의 5V 제어전원 Noise 감쇄를 위한 전해 콘덴서 추가 - CPU Board내의 5V 제어전원생성용 DC-DC Converter 교체 - BCU(Braking Control Unit) 공압패널상의 배선상태 점검 - 철도연 계측데이터 기록내용 중 제동압력 상태 변화 데이터 및 고장시점 상황 분석
366	05 04 12	이상작동	2분~4분	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit)제동불완해 발생 추정원인 - 정차중 및 저속구간에서 또한 객차대차에서 문제 없는 것으로 볼때 주행 중 모터블럭 동작 시 이상노이즈 유입으로 추정됨	ECU(Electric Control Unit) - CPU Board내의 5V 제어전원 Noise 감쇄를 위한 전해 콘덴서 추가 - CPU Board내의 5V 제어전원생성용 DC-DC Converter 교체 - BCU(Braking Control Unit) 공압패널상의 배선상태 점검 - 철도연 계측데이터 기록내용 중 제동압력 상태 변화 데이터 및 고장시점 상황 분석
388	05 04 13	이상작동	20분이상	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작으로 MVB카드에 오동작시의 데이터를 기록	MVB 카드에 데이터 전송시 Heart_Bit을 기록하여 제어장치의 이상을 판단하도록 조치할 예정임. 이상 데이터 처리는 SCU 및 네트워크 팀과 협의후 처리할 예정임.
401	05 04 20	이상작동	2분~4분	BOGIE10	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작으로 제동불완해	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨. #2 ECU로 노이즈 차폐 시험후 조치예정 - 제어전원 입력단의 노이즈 차폐용 쵸퍼 및 캐패시터 교체 및 지속적인 시험예정
400	05 04 20	이상작동	2분~4분	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작으로 제동불완해	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨. - 제어전원 입력단의 노이즈 차폐용 쵸퍼 및 캐패시터 교체 및 지속적인 시험예정

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
399	05 04 21	이상작동	2분~4분	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨. #2 ECU로 노이즈 차폐 시험후 조치예정
407	05 04 28	이상작동	2분~4분	BOGIE2	OPERATION UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작	CPU 제어전원 5V의 노이즈로 인한 이상동작으로 판단됨. 제어전원 노이즈 안정화 시험 계속
426	05 05 10	이상작동	2분~4분	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작 - 활주방지 제어장치와의 통신이상으로 인한 오동작	ECU와 활주방지제어장치와의 통신 프로그램 조사후 조치예정
423	05 05 11	이상작동	2분~4분	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어장치 오동작 - 제어전원 노이즈에 의한 장치 오작동	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업 후 #9 대차 적용 예정
461	05 05 18		2분이내			SPMD (Speed Measurement Device) 초기 기동시 각 채널 보드로부터 속도인식	초기 기동시 속도센서쪽의 전압 Delay로 인한 문제로 예상되며, 이를 해결하기 위해 회로 수정함.
455	05 05 24	이상작동	2분~4분	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어동작 이상으로 인한 제동불완해	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업 후 #9 대차 적용 예정
456	05 05 25	이상작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어동작 이상으로 인한 제동불완해 2회 발생	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업 후 #10 대차 적용 예정
457	05 05 30	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)내 ECU(Electric Control Unit) 제어동작 이상으로 인한 제동불완해 발생	#2 ECU(Electric Control Unit)에서 차량의 제어전원에 의한 노이즈 차폐 및 보완 작업중이며, 시험중임.
459	05 06 14	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 발생 - 계측기상 운전실 display 6bar현시로 보아 ECU의 제어오동작에 의한 제동불완해로 판단하기 힘듬.	#2 BCU(Braking Control Unit) 공압 배관라인 및 밸브류 점검

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
499	05 07 25	이상작동	2분이내	BOGIE5	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동 제어 동작 이상 - 제동 모드 시 완해되어 제동이 체결 안되는 현상	#5 대차의 금요일 BBCU블랜딩 소프트 웨어 수정 후 Watch Dog Timer에의한 CPU 자동 리셋현상이 발생함. 해당 대차의 프로그램을 수정하여 제동제어 동작이상 해결
500	05 08 01	이상작동	2분이내	BOGIE5	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제어 CPU의 WDT(Watch Dog Timer)에 의한 제어 상태 이상 - 일정시간 50ms의 주기로 프로그램 수행중 이 시간을 넘어갈시 이상동작을 예방하기 위하여 WDT에 의한 리셋을 자동으로 시켜주고 있슴. 제어 프로그램 동작시 시간초과에의한 WDT에 의한 리셋현상으로 간주됨	프로그램 코드 및 WDT의 해당 부분을 수정하여, 전체 프로세서가 50ms안에서 작동하도록 조치함
534	05 08 17	이상작동	2분이내	BOGIE6	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 정차 제동시 완해 제동반복 현상	정차 제동시 완해와 제동의 반복현상으로 2BAR의 정차제동압력을 유지하기위한 제동압력 피드백이상으로 판단되어, BC압력센서 교체함
536	05 08 18	이상작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동완해	Watch Dog Reset에 의한 제동 완해현상 - Watch Dog Reset Time 프로그램 수정
535	05 08 18	이상작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해	차체 노이즈에 의한 이상동작으로 판단되어, 접지선과 차체 쉴드 분리
537	05 08 23	이상작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 5.5bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	차체의 노이즈로 인한 오동작 - 노이즈 원인 제거 시험 - 샤시와 쉴드선 분리
586	05 08 30	이상작동	2분이내	BOGIE10	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 6bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	제어 프로그램 실행중 오동작 - 프로그램 중 제어동작부분 일부 수정 및 모니터링
587	05 10 19	이상작동	2분이내	BOGIE8	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 주행 중 0.5bar 제동 불완해	노이즈에 의한 제어 동작이상으로 판단 - 모니터링 강화

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
543	05 10 25	이상작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 6bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	제동 후 압력을 다시 센싱하여, 피드백을 받아 제어하는 부분의 오동작으로 인한 제동불완해로 예상되어, 프로그램의 알고리즘 수정 Close loop방식에서 Open loop방식의 제어 알고리즘 수정 주행 예정
544	05 10 26	이상작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 0.8bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	알고리즘 수정 후 Open Loop 제어 방식으로 주행, 고장기록 및 제동불랜딩제어장치에서 받은 상태 데이터 분석 결과, 알고리즘 이상이 아니라 전공변환밸브의 이상 동작으로 인한 제동불완해로 판단됨. 전공변환밸브의 역전류방지 소자를 취부할 예정임
556	05 11 01	이상작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit)_ 제동불완해 - 제동모드 후 6.2bar의 압력이 중립/추진시 해소가 안됨	제동불완해시 제동압력 디스플레이의 압력과 계측시스템의 압력이 일치하는 것으로 보아, ECU의 프로그램이상으로 판단하기 힘듬. 전공변환밸브의 전류생성 카드의 프로그램 수정 및 모니터링 예정
557	05 11 07	이상작동	2분이내	BOGIE1	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 1.9bar의 압력이 중립시 생성됨, 마스콘 조작에 의하여 제동불완해 해소됨. 중립모드에 BCU의 Watch Dog Timer에 의한 리셋에 의해 제동불완해	프로그램의 부하가 많아 생성되는 것으로 판단되어, SoftWare의 부하를 줄일 수 있는 프로그램 수정. Watch Dog Timer는 프로그램의 이상동작을 막기 위한 방안임.
558	05 11 14	이상작동	2분이내	BOGIE9	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동불완해 - 제동모드 후 2bar의 압력이 중립시 생성됨, 마스콘 조작에 의하여 제동불완해 해소됨. Watch Dog Timer의에 의한 리셋 현상	Watch Dog Timer에 의한 리셋은 ECU의 오동작을 보호하기 위한 동작임. 중립시 Watch Dog Timer에 정차제동 채결됨. 내부 프로그램의 부하를 줄이도록 software 수정 예정.
559	05 11 24	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 차륜 찰상 - 90km/h 비상제동 살수 시험중 2번 대차의 덤프밸브 이상 동작으로 인한 차륜 찰상.	덤프밸브 구동 프로그램 및 동작상태 점검시 이상 없음 확인. 속도 센서 간극 조정 작업
560	05 11 28	이상작동	2분이내	BOGIE7	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 차륜 찰상 - 90km/h 비상제동 살수 시험중 7번 대차의 덤프밸브 이상 동작으로 인한 차륜 찰상.	덤프밸브 구동 회로의 트랜지스터의 고장으로 인하여, 덤프밸브 동작 상태 이상확인, 해당 트랜지스터 교체 및 동작상태 확인

ID	FAULTDATE	FAULT MODE	FAULTTIME	SUBSYSTEM UNIT	LRU	FAULT MEMO	REPAIR MEMO
601	06 01 03	이상작동	20분이상	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 활주방지제어장치 통신 고장 - 활주방지제어장치와 제동제어장치간의 통신불량으로 인한 완해	활주 방지 제어장치 CPU의 통신 모듈 고장으로 인하여 제동제어장치와의 통신 이 안됨. 활주 방지 제어장치 CPU 교체함.
602	06 01 18	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동 불완해 - 정차후 정차 제동 압력이 완해가 안되어 제동 불완해 현상 발생	추진 모드 신호을 해당 대차의 BCU에서 노이즈에 의해 인식이 불량하여, 정차제동 압력을 완해하지 못함. #1,#5의 신규 타입의 ECU는 이를 개선하여, 신호 인식에 이상이 없었음. 향후 신규 타입으로 전 대차 교체 예정임.
610	06 01 19	이상작동	2분이내	BOGIE2	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동 불완해 - 정차후 정차 제동 압력이 완해가 안되어 제동 불완해 현상 발생	신규 제동 제어 장치의 프로그램 수정 이상으로 인한 제동 불완해 - 프로그램 수정 조치
611	06 01 19	이상작동	2분이내	BOGIE4	ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU(Braking Operatin Unit) 제동압 오 현시 - MVB통신용 CPU카드의 이상 동작으로 인한 통신불량	제어 동작에는 이상이 없었으나, 통신보드의 이상동작으로 인제어 동작에는 이상이 없었으나, 통신보드의 이상동작으로 인하여 네트워크 통신이 원활하지 못한 상태. - 통신보드의 프로그램 수정
612	06 02 15	부품손상	20분이상	BOGIE8	PIPE BRACKET ASSEMBLY	BCU(Braking Operatin Unit) ASSembly #8 대차 휠 디스크 제동 실린더 이탈	실린더 Assembly 교체 예정
740	06 10 23	이상작동	2분이내	BOGIE6	ELECTRIC CONTROL UNIT	차륜 찰상 - 속도센서 신호출력 에러 및 설정오류로 인한 제어 이상	- 속도센서 및 속도검지용 회전기어 세척 - 부수대차 속도센서 센싱방식 변경설계 (광투 방식 배제)
739	06 10 23	이상작동	2분이내	BOGIE4	ELECTRIC CONTROL UNIT	차륜 찰상 - 속도센서 신호출력 에러 및 설정오류로 인한 제어 이상	- 속도센서 및 속도검지용 회전기어 세척 - 부수대차 속도센서 센싱방식 변경설계 (광투 방식 배제)
697	06 12 20		2분이내		ELECTRIC CONTROL UNIT	BCU #7 활주방지고장 신호 현시	
741	07 02 27	이상작동	2분이내	BOGIE5	ELECTRIC CONTROL UNIT	제동불완해 - 제동완해명령및 강제완해명령에도 불구하고 제동상태 유지 - IF1 카드 취부 불량으로 인하여, 비상제동 계통의 공기제동 유지함.	비상제동 계통을 ECU에서 비상제동 인통선으로 변경. 카드 취부시 작업자 교육및 취부후 검토.

3. 제동장치 안정화 시험

가. 시제차량 본선 시운전 탑승시험을 통한 제동시스템 오류상태 기록

고속철도 차량시스템 안정화개발사업 과제의 제동장치 부문의 참여기업으로서 제동장치 관련 공압 시스템 및 제동제어장치, 기초제동장치와 관계된 기계부품들의 안정화와 유지보수를 담당하고 있으며 또한 전자제어장치 시스템의 고장상황 모니터링, 소프트웨어 측면의 버그 수정, 개선회로의 연구 및 시험 및 적용 등을 담당 하고 있다.

2002년 말부터 2007년 10월까지 5년간 진행된 시제차량 안정화 시운전 시험에 적극적으로 참여하여 탑승시험 중 발생되는 각종 고장상황을 모니터링하고, 기록하여 안정화를 위한 개선요소를 발견해 내고, 향후 상용화를 위한 제품 설계변경 기초 자료로 축적하는 업무를 중점적으로 진행하였다.

아래 표와 그림은 실제 계측데이터를 분석한 결과의 한 예를 보여준다.

■ 시운전 계측데이터 분석

시험일자	2006. 02. 15	시험구간	오송-광명-동대구-오송
누적거리(주행거리)	134,386km (543)	운행속도	300 km/h
출발시간	09:28	도착시간	15:45
날씨	흐림, 비		
특이사항	-4MB 100% 견인력 시험(MB 1,2,4,5) -회생제동력 파형확인시험(250-150km/h) -ATC, A/B Rack 기능절환 상태확인 -8번대차 압력센서 불량(철도연의 계측용센서)		
	TM5 #8대차 A축 Wheel disk 제동용 실린더 몸체 파손 및 일부탈락, 캘리퍼 변형, 파손됨 동대구-고속선 김천 분기구 부근		

■ 제동상태

항목		운행구간			특이사항
		오송-광명	광명-동대구	동대구-오송	
대차번호	1	정상	정상	정상	
	2	정상	정상	정상	
	3	정상	정상	정상	MB3 미기동
	4	정상	정상	정상	
	5	정상	정상	정상	
	6	정상	정상	정상	
	7	정상	정상	정상	
	8	정상	정상	정상	
	9	정상	정상	정상	
	10	정상	정상	정상	MB6 미기동
제동신호	Brake mode signal	정상	정상	정상	
	Powering mode signal	정상	정상	정상	
	Emergency signal	1회	정상	정상	
	PWM	정상	정상	정상	

■ 제동압력상태

동력대차의 MB과 공기제동장치와의 Cross blending은 그림에서 보는 것과 같이 정상적으로 동작하고 있다.

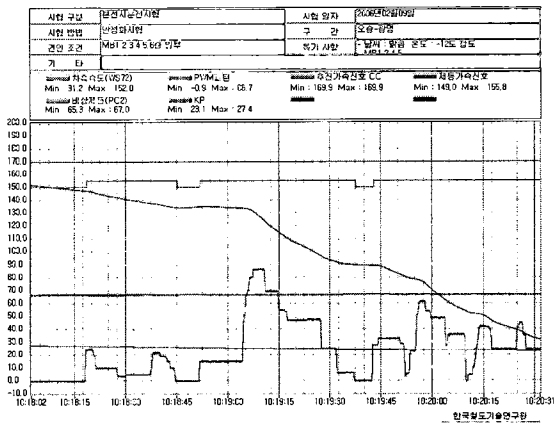


그림 1차축속도, PWM,
추진가속신호,제동가속신호 비상제동, KP

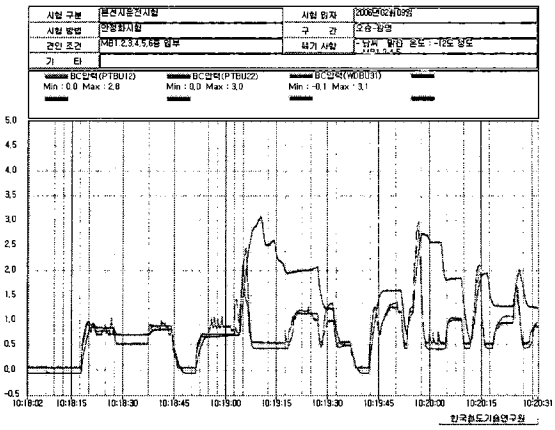


그림 2 BC압력 1, 2, 3번 대차

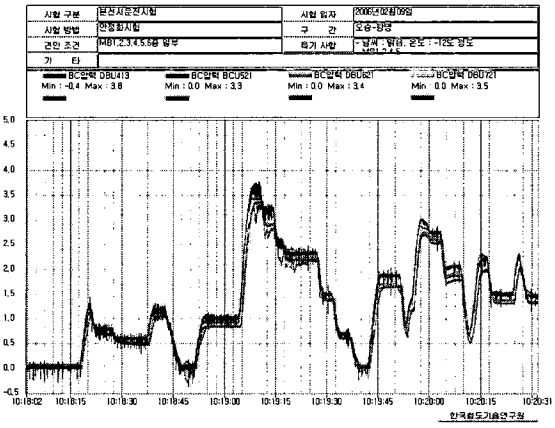


그림 3 BC압력 4, 5, 6, 7번 대차

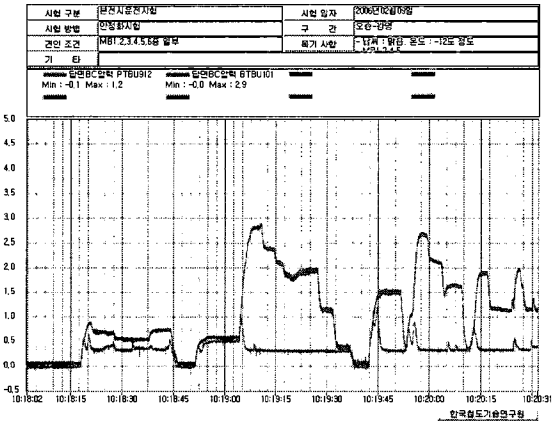


그림 4 BC압력 9, 10번 대차

나. 고장보고서의 작성 및 해당고장내용에 대한 분석 및 조치방안 연구

시제차량의 본선 시운전 과정에서 발생한 제동장치 관련 고장상황의 원인 분석과 차기 시험 전까지 조치계획 등을 정리한 보고서를 작성하여 한국철도기술연구원의 신뢰성 평가과제에 보고하였으며, 당 연구소에서도 이를 적극적으로 관리하고, 개선방안의 마련과 동일한 상황의 재발 방지를 위하여 최선을 다하고 있다.

(1) 차륜찰상

차량에서 차륜찰상이 발생되는 원인은 크게 5가지로 볼 수 있다.

■ 속도센서 고장으로 인한 차축속도 획득실패

자기대차 2축의 속도센서와 이웃대차 속도센서 2개로부터 4채널의 속도신호를 받아서 이를 비교 판단하여 활주상태 검지 후 압력제어밸브를 동작시켜서 차륜의 고착을 방지하는 기본 구조이므로 속도센서의 고장을 1차적 원인으로 볼 수 있다.

■ (VDM Board)의 회로소자 고장

활주방지장치(ASCU)의 압력제어밸브(MV-AN-01)를 구동시켜주는 밸브제어 인터페이스 카드의 Transistor소자 소손으로 공기압력 배출 신호가 밸브 터미널 까지 전달되지 않는 경우

■ 압력제어밸브 자체의 고장

실제 공기압력을 배출시켜서 제동력을 감해주는 밸브코일의 단선 등으로 밸브 단품 자체의 고장인 경우

■ 해당대차를 제어하는 활주방지제어장치(ASCU) 시스템 프로그램의 기동정지인 경우

■ 활주방지 프로그램 상의 설정 상수의 부적합

인접한 차축간의 속도차에 의한 활주판단 기준 또는 감속도차에 의한 활주판단기준에 사용된 검지 수준 상수가 사고 당시의 차축속도 상태를 활주로 판단할 수 없는 범위의 값인 경우

시제차량에서는 11월28일 오송-천안-오송 구간을 시운전운행도중 7번, 5번 대차에서 찰상이 발생하였는데 찰상난 차륜을 보면 아래 그림과 같다.

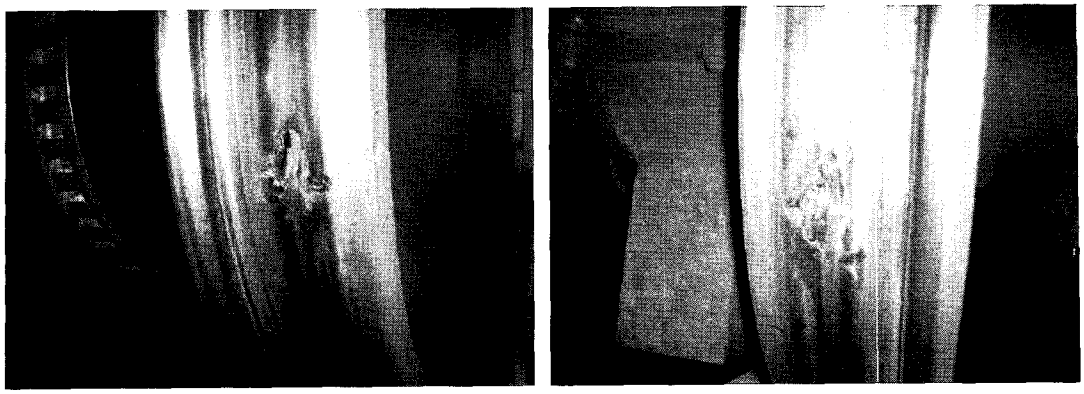


그림 5 7번대차 촬상



그림 6 5번대차 촬상

(가) 철도연 계측데이터 분석

철도연의 계측데이터를 분석한 결과 촬상이 발생한 순간의 차량의 속도는 약 75km/h, PWM 은 약60%였다. 그림 3에서 보는 것처럼 5번 대차의 덤프밸브가 동작하지 않았다.

이웃대차인 4번의 경우에는 덤프밸브가 동작하였다.

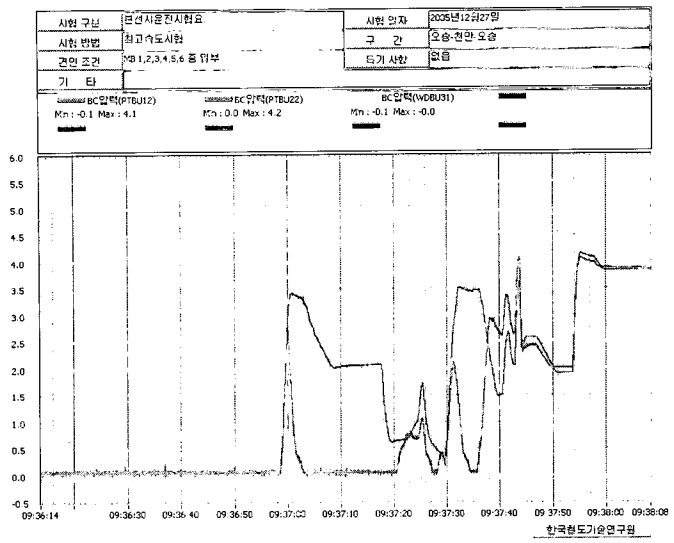


그림 7 BC 압력 (답면1,2)

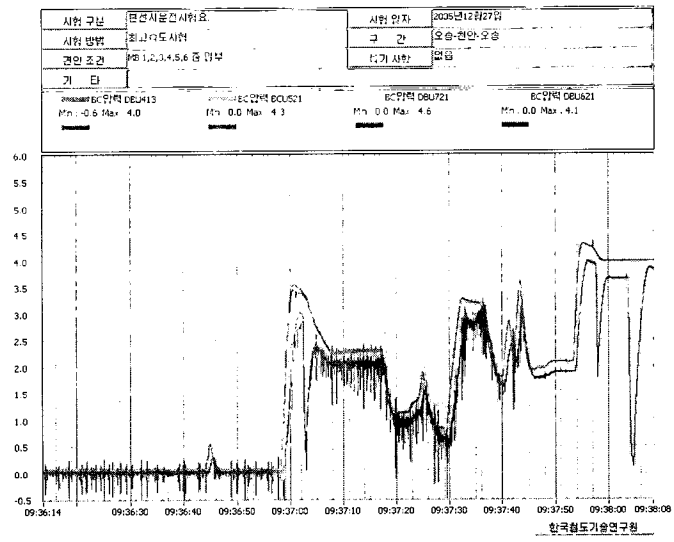


그림 8 BC 압력 (디스크 4,5,6,7)

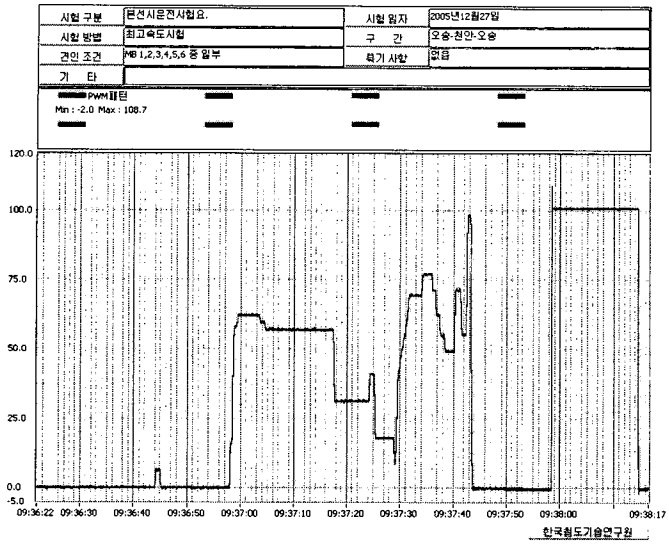


그림 9 PWM

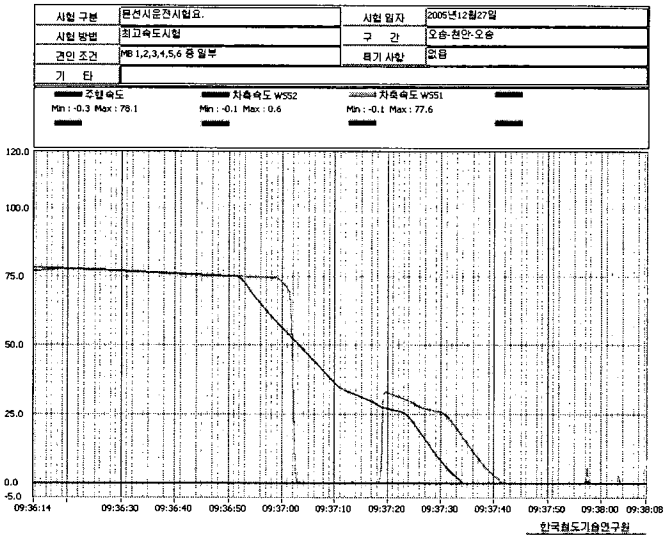


그림 10 차축속도(WS552, 주행속도)

(2) 강제완해 조작 후 제동체결 불능현상 관련

고양기지 점점 종료 후 시운전일(6월14일) 오전 출발전 점검 중 강제완해 스위치 조작 후 제동지령 인가 시 전체 대차 제동공기압력이 생성 되지 않는 현상 발생, 차량 재기동 후 고장상태 해소된 현상에 대한 조치결과 이다.

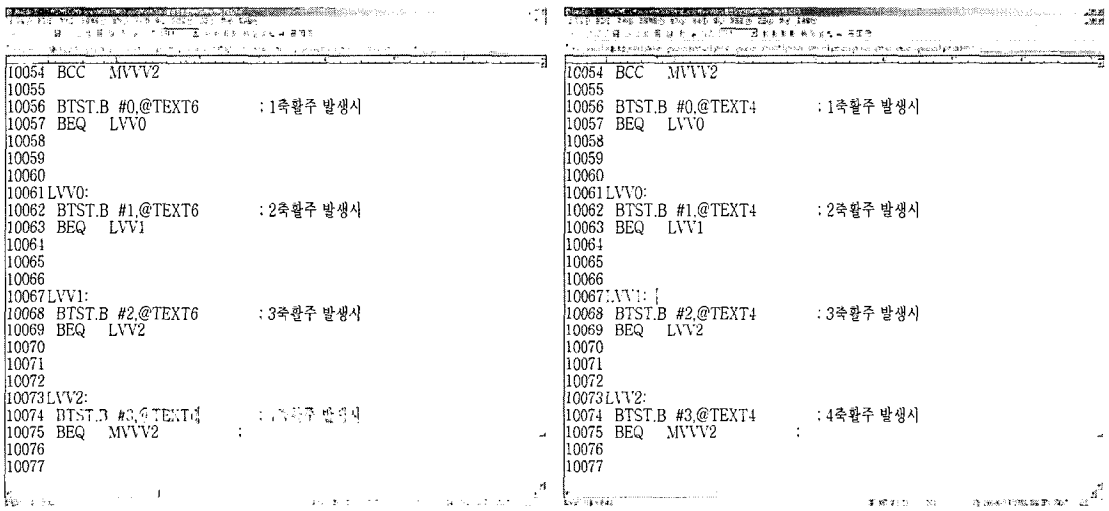
(가) 발생원인

ECU 내부 제어프로그램 수정 작업 중 소프트웨어 프로그램 코드 중 강제완해 명령 처리루틴 중 사용했던 내부변수를 처리종료 후 클리어 하는 구문이 누락되어 발생한 문제임

(나) 조치작업내용

ECU CPU카드의 System ROM 소스코드 재검토 중 문제 개소를 발견하여 수정하고 사내 시험을 거쳐 오송기지 현차 상태에서 확인 완료함.

사고당시 동일조건으로 운전실 제동관련 조작하여도 동일 현상 재발하지 않음.



```
10054  BCC    MVVV2
10055
10056  BTST.B  #0,@TEXT6        ; 1축활주 발생시
10057  BEQ    LVV0
10058
10059
10060
10061 LVV0:
10062  BTST.B  #1,@TEXT6        ; 2축활주 발생시
10063  BEQ    LVV1
10064
10065
10066
10067 LVV1:
10068  BTST.B  #2,@TEXT6        ; 3축활주 발생시
10069  BEQ    LVV2
10070
10071
10072
10073 LVV2:
10074  BTST.B  #3,@TEXT6        ; 4축활주 발생시
10075  BEQ    MVVV2
10076
10077
```

```
10054  BCC    MVVV2
10055
10056  BTST.B  #0,@TEXT4        ; 1축활주 발생시
10057  BEQ    LVV0
10058
10059
10060
10061 LVV0:
10062  BTST.B  #1,@TEXT4        ; 2축활주 발생시
10063  BEQ    LVV1
10064
10065
10066
10067 LVV1:
10068  BTST.B  #2,@TEXT4        ; 3축활주 발생시
10069  BEQ    LVV2
10070
10071
10072
10073 LVV2:
10074  BTST.B  #3,@TEXT4        ; 4축활주 발생시
10075  BEQ    MVVV2
10076
10077
```

그림 11 ECU Program 의 수정부분

(3) 제동완해 지연 관련

고양기지 종합 점검 작업 이후, 본선 시운전 중 발생한 상황으로 특정 객차대차(#4,#6)에서 타 대차 대비 제동완해 시 배기작용 지연이 발생하여 "제동불완해" 발생하는 문제가 발생하였다.

현차 조사 , 부품교체, ECU제어장치 모니터링 작업등을 시행하여 원인을 조사하여 해결하였다.

(가) 검토 및 조치내용

① 제동공기압력 배기와 관련된 공압회로 라인 상의 관련부품 교체 확인

⇒ 교체 전후 제동실린더 압력 배기상태 동일.

② 제동제어장치(BCU) 판넬상의 압력측정 포인트와 대차제동실린더 전단의 압력센서 측정 값 간의 대조 작업.

⇒ 제동인가 시 및 제동완해 시 공압 흐름의 장애로 인한 지연현상 지속됨.

③ 활주방지제어용 전자밸브 교체 후 상태 비교.

⇒ 전자밸브 자체를 배관에서 탈거하여 제품 정밀 조사함.

⇒ 교체 후 제동시험시 지연현상 지속됨

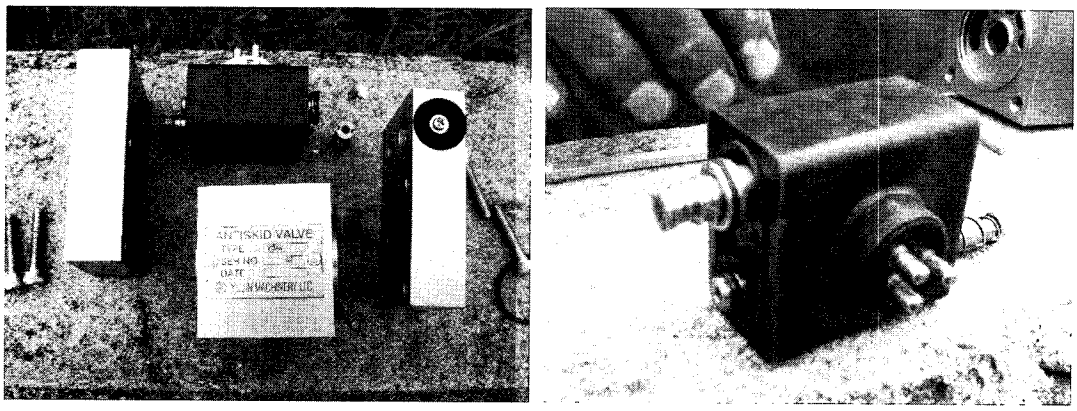


그림 12 활주방지 밸브 탈거 후 정밀 조사 작업

④ 단품상태의 제동실린더 동작상태 점검 하여 배기에 장애를 발생하는지를 점검

⇒ 단품상태의 제동실린더는 이상 없었음

⑤ BCU 판넬의 전기접점부 Cut-Out cock 점검

⇒ 고양기지 점검 후 재 취부시 고무패킹가 밀려서 배기부의 모양이 찌그러진 상태로 취부 되어 있었다. 결과적으로 공압의 충기/배기에 장애를 유발하는 원인이 되었다.

⇒ 고무실링을 제거후 공압을 투입/배기 하였을 때 정상으로 작동함

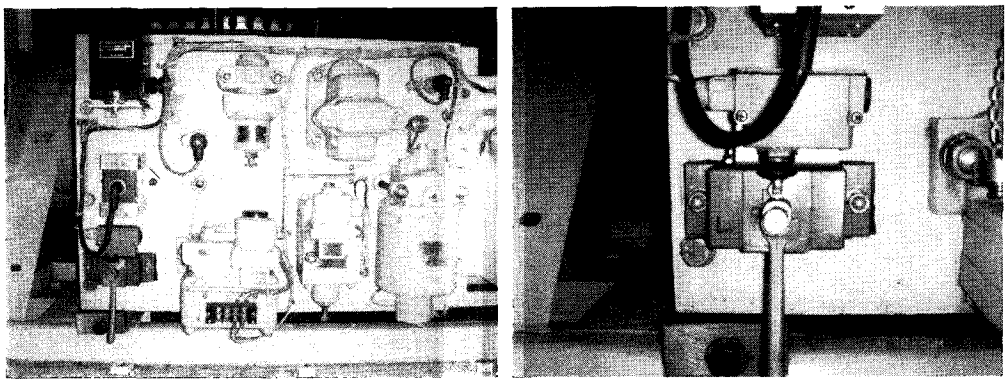


그림 13 BOU 판넬의 Cutout Cock

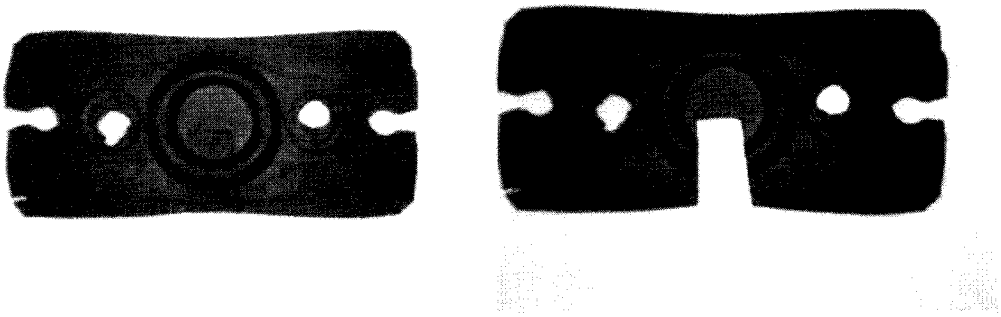


그림 14 고무패킹 고양기지 점검 전후

(나) 발생원인 검토

현재 취부된 Cutout Cock의 고무패킹은 두께가 4mm 이다. 이로 인해서 BOU판넬에 취부 시 연질의 고무패킹이 눌려져 변형되는 현상이 발생하였다. 공기가 통과하는 단면의 형상과 단면적을 축소시켜 배기 시간이 지연되는 현상의 원인이 되었다.

(다) 조치작업

각 BOU에 취부된 고무패킹에 대한 설계변경 및 신규제품으로 취부

완해지연현상해소 결과 확인 실시

⇒ 차량시운전시 철도연 계측기를 통한 모니터링 결과 제동지연은 발생하지 않음

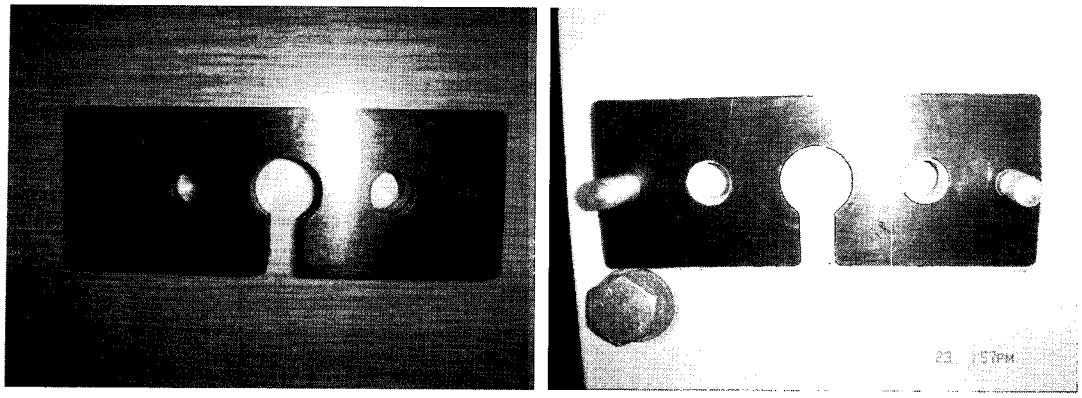


그림 15 신규 제작된 고무패킹

(4) 5번대차 강제완해 동작불능 관련

차량 점검차 실시한 제동불완해 및 강제완해 제어 시험 중 발생한 #5번 대차 강제완해 불량발생 이 발생하였다.

(가) 발생원인 검토

강제완해 제어는 BOU에서 유입되는 공기압력을 차단하는 밸브와 실린더측 공기압을 배기하는 두 개의 밸브가 정상적으로 동작하여야 한다.

#5번 대차의 경우, BOU로부터 유입되는 공기압력을 차단하는 용도의 밸브 불량으로, 배기제어용 밸브는 정상적으로 동작하였음에도 불구하고, BOU에서 공기압력이 계속 유입되어 발생함.

코일 열화에 의한 소손으로 판단된다.

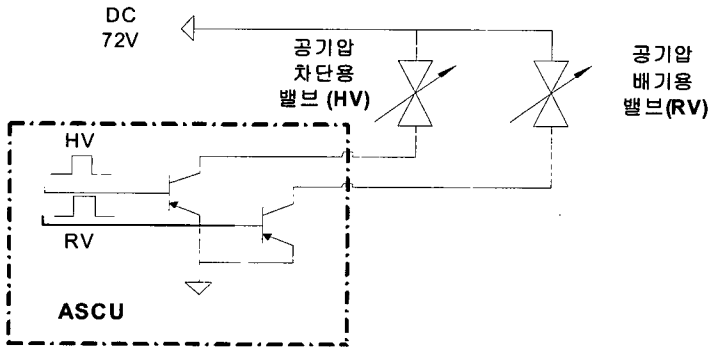
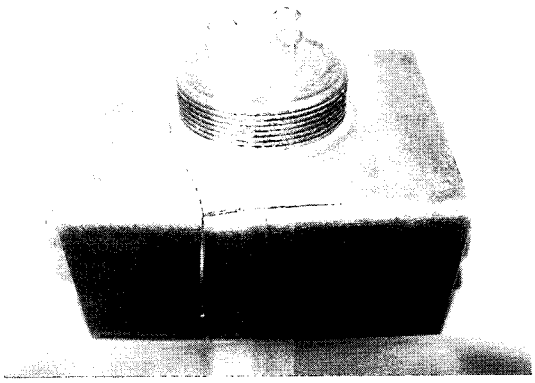


그림 16 덤프밸브의 시스템 구성



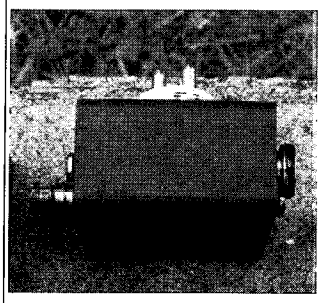
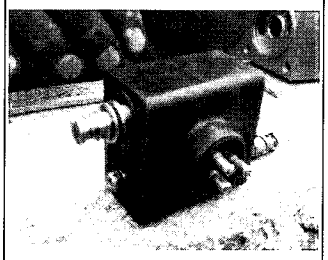
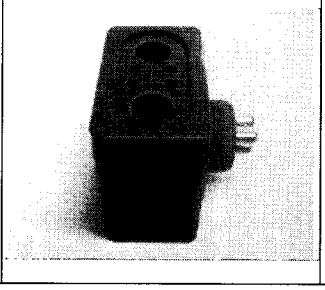
(나) 활주방지전자밸브 크랙의 원인 검토

조사결과 활주방지전자밸브(덤프밸브)의 72V용 솔레노이드 코일 Body를 형성하는 수지몰딩의 제조상 결함으로 확인되었으며, 몰딩구조물의 탐침과정에서 기포발생으로 인해 내부코일과 외피인 수지사이를 구분해주는 금속플레이트와 수지몰딩부의 접착부의 기밀이 불충분한 문제가 있는 롯트의 부품을 사용하여 발생한 문제로 판단됨. 한국형고속열차 시제차량에 설치된 덤프밸브는 코일부품에 대하여 현재까지 3차례의 제품변경이 있었으며 다음의 표와 같다.

(라) 조치결과

시제차량에 장착된 활주방지전자밸브(덤프밸브)를 탈거하여 솔레노이드 코일부를 교체작업 완료하였으며, 차량 중점검 기간 중 ECU의 자체시험기능을 이용하여 정차상태에서의 밸브 동작시험을 실시여 정상동작을 확인 하였다.

표 1 활주방지제어밸브의 교체이력

구분	공압 동작 형식	솔레노이드 코일의 외형	적용시기	비고
1차	피스톤 방식		2001년 8월 1일 최초 72V Coil 제작품	국내 전동차 프로젝트에 사용하는 덤프밸브가 DC100V용과 DC24V용이 표준으로 사용되는데 반해 G7차량에서의 사용목적으로 최초로 72V용 솔레노이드 코일을 개발하여 초기모델에 장착 사용함.
2차	다이아프렘 방식		2004년 3월 4일 2차년도 개선제품 제작시 적용	전자밸브 내부의 작동방식을 피스톤 방식에서 다이아프렘 방식으로 개선,변경한 모델을 적용하면서 72V용 솔레노이드 코일 2차 변경부품을 사용함.
3차	다이아프렘 방식		2006년 8월 23일 몰딩수지부 균열로 인한 교체	브라질 센트랄 전동차 프로젝트에 납품실적이 있는 3차 변경제품 솔레노이드 코일(내구성 강화)로 전량 교체작업 완료함.

다. 성능개선 시험 및 적용성 시험

안정화에 목적을 둔 성능 개선제품을 신규로 제작하여 단품시험, 조합시험, 차량장착시험을 진행 하였다.

(1) ECU 개선품 적용시험 시험절차서

(가) 목적 및 적용범위

본 절차서는 한국형 고속열차 차량의 편성상태에서의 성능개선 확보를 위한 개선품 ECU 대한 성능확인 시험에 대하여 규정한다.

(나) 관련자료

- Power Car HV
- LV Schematic Diagram
- Control System Specification
- Speed Simulator User Manual

(다)시험 항목

① 성능시험

㉮ 제동지령 인통선 PWM 입력상태 확인시험

㉯ 제동모드별 동작상태 확인시험 및 제동압력 확인 시험

㉰ 제동불완해 검지 기능시험

㉱ 제동상태 현시기능 확인시험

② 환경시험

㉮ 온도특성시험(2006년 3월 제작사 자체 확인시험 기 실시)

㉯ 전자파 내성시험(2006년 2월 공인기관 인증시험 기 실시)

(라) 시험 장비

- 제동제어 유니트 (구동차, 객차용 각 1SET)
- 자체 제작 시험기, 제동압력 제어 밸브(EPL)
- Pulse generator(TEKTRONIX, AFG-320)
- Protocol analyzer(LINE EYE, LE-7200)
- 디지털 오실로 스코프(TEKTRONIX, TDS-3034)

(마) 시험조건

① 본 시험은 편성열차 정지 상태에서 시행한다.

② 가선전압 가압상태에서 시행한다.

③ 모든 Connector 연결상태가 양호한지 확인한다.

④ Key ON 및 Battery투입 제어상태로 시험한다.

⑤ 전위 및 후위대차 휠에 차륜지를 견고히 설치한다.

⑥ 시험 절차와 안전에 유의하여 시험을 진행 시킨다.

(바) 시험 방법 및 절차

① 성능시험

㉮ 제동지령 인통선 PWM 입력상태 확인시험

시험 방법	결과 판정 기준
1. 압력계측 준비를 한다(철도연계측기 ON) 2. 속도시뮬레이터를 이용하여 가상의 속도를 입력한다. 3. ECU Display 에 현시되는 PWM 지령치를 확인한다.	마스콘 레버조작에 따른 PWM 지령치 표시값

㉯ 제동모드별 동작상태 확인시험

시험 방법	결과 판정 기준
1. 압력계측 준비를 한다. (철도연 계측기 ON) 2. 속도시뮬레이터를 이용하여 가상의 속도를 입력한다. 3. 정차제동 명령을 수행한다. 4. 주차제동 명령을 수행한다. 5. 비상제동 명령을 수행한다. 6. 상용제동 명령을 수행한다. 7. 제동모드 신호와 각 명령에 따른 압력값을 ECU Display 에 현시값으로 확인한다.	제동지령 모드상태에 따른 제동압력 변동상태 측정값

㉰ 제동불완해 검지 시험

시험 방법	결과 판정 기준
1. 제동 완해상태 2. BCU내부의 긴급제동전자밸브 터미널 분리하여 긴급제동 상태를 조성 한다. 3. 마스콘 레버를 추진 위치로 한다. 4. 지령인가 5초후 제동 불완해 검지 유무를 점검한다. 운전실 운전정보 화면에 "제동불완해" 발생으로 표시되는지 확인한다. 5. 제동 불완해가 검지된 상태에서, 강제완해 지령을 인가하여, 정상적으로 동작하는지까지 확인한다. 6. 시험 종료 후 긴급제동전자밸브 터미널 분리 상태를 원상 복귀한다.	5초이내 제동불완해 검지할 것. 불완해 검지상태에서 강제제동완해 푸쉬버튼조작시 해당대차 완해될 것.

㉮ 제동상태 현시 기능 확인 시험

시험 방법	결과 판정 기준
1. 압력계측 준비를 한다(철도연계측기 ON) 2. 정차,비상,상용,주차제동의 명령을 인가한다. 3. 시험대상 대차의 BCU에서 3.1 대차제동차단코크를 조작한 후 운전실상태 정보표시내용에 해당대차 차단으로 현시되는지 확인한다. 3.2 제동불완해 상태를 조성한 후 운전실상태 정보표시내용에 해당대차 제동불완해 발생으로 현시되는지 확인한다. 3.3 Tripod불균형검지 압력스위치의 점점을 조작하여 Tripod불균현 검지장치 동작상태로 조성한 후 운전실상태 정보표시내용에 해당대차 Tripod불균형 검지로 현시되는지 확인한다. 3.4 MVB 네트워크 통신카드를 제거한 후 운전실상태 정보표시내용에 해당대차 ECU 통신고장으로 현시되는지 확인한다.	BCU에서의 상태조작에 따른 고장상태 및 상태정보가 차량정보 화면에 표시될 것.

(2) 제동제어 유니트(BCU) 시험 절차서

(가) 개요

G7 고속차량 제동제어 유니트의 시험절차서에 적용한다.

(나) 시험장비

① 시험조건

본 시험은 제작이 완료된 서브 랙 단위로 시험실에서 전기 회로적인 기본 성능을 확인하는 것으로 하며, 일반적인 시험 환경(주변온도 상온, 정격입력전압)에서 실시한다.

제동제어 유니트 (구동차, 객차용 각 1SET)

자체 제작 시험기

제동압력 제어 밸브(EPL)

Pulse generator(TEKTRONIX, AFG-320)

Protocol analyzer(LINE EYE, LE-7200)

디지털 오실로 스코프(TEKTRONIX, TDS-3034)

※ 주의사항

1)시험 중, 이상 검지로 이하여, 공기압 제어를 하지 않을 때는 BCU를 Reset 시키고 시험을 진행한다.

2) 회생유효신호 스위치가 OFF 되어 있을 때, 회생피드백 신호는 10%로 셋팅 한다.

3) 시험 전 각 파트별 배선 상태가 배선도와 일치 하는지 확인한다.

4) 절연 시험(절연내압, 절연저항) 시행 시에는 BCU의 모든 커넥터를 OFF 한다.

5) 인통선 인터페이스 PWM 들은 하기의 범위 내에서, Pulse Generator에 의해 입력한다.

상용제동지령 (10 ~ 90%, DC72±5V)

회생피드백 신호 (10 ~ 90%, 72±5V)

(다) 시험

② 외관검사

형상, 치수가 도면과 일치 할 것

외관상 흠집이 없을 것

③ 성능시험

특별한 언급이 없는 한, 시험은 다음의 조건으로 실시한다.

전원전압 : DC 72V ±5V

주위온도 : KSR 0006 에 명기된 표준온도

㉮ 제동압력 측정 시험

상용 제동 밸브(EPL)을 제어 유니트에 연결한다.

제동모드 스위치를 누른다.

펄스 제너레이터를 이용하여, 표와 같이 PWM 신호를 상용제동지령으로 입력한다.

생성된 제동공기 압력을 측정한다.

Brake command	PWM Input signal (%)	제동압력(bar)		
		답면제동	W/disk 제동	disk 제동
Release Brake	10	0	0	0
제동50%	50	2.0	2.0	2.0
제동 100%	90	4.0	4.0	4.0
정차제동 지령	제동 제어 유니트 자동 체결	2.1	2.1	2.1
비상제동	비상 제동 스위치 작동	4.3	4.3	4.3
허용오차 : ±0.2 bar ※ 정차제동 체결 조건 -속도 '0' kph, -제동 모드에서 마스콘 중립으로 변경시 ※차량 속도는 펄스 제너레이터를 이용하여, 80kph 이하를 입력한다.				

㉰ 제동 블렌딩(회생제동+공기제동) 시험

제동모드 신호 스위치를 선택한다.

제동 유효 신호 스위치를 선택한다.

상용제동 100% 지령을 입력한다.

하기 표를 참조로 회생달성 PWM 지령을 입력한다.

입력된 회생달성 지령에 대하여, 제동압력을 측정한다.

회생제동 달성피드백 PWM duty(%)	제동압력(bar)	비 고
10.0	4.0 bar	
35.7	2.0 bar	
59.3	0.0 bar	
허용오차	±0.2 bar	

㉱ 제동 불완해 검지 시험

제동 완해상태

하기그림을 참조로 제동압력 셋팅

제동불완해 조사지령 인가

지령인가 5초후 제동 불완해 검지 유무를 점검한다.

※ 제동 불완해가 검지된 상태에서, 강제완해 지령을 인가하여, 정상적으로 동작하는지 확인한다.

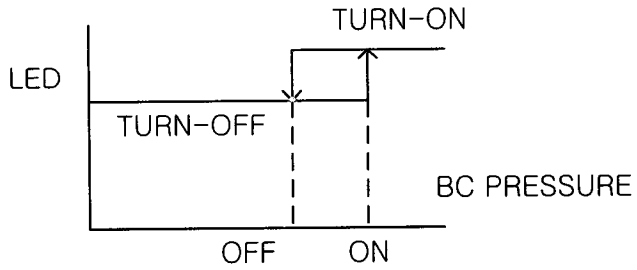


그림 21 제동 불완해 검지 신호 패턴

- ON : more than 1.0 bar, OFF : less than 0.75 bar

- Tolerance : ±0.1 bar

④ 선간 전압 편차 시험

이 시험의 목적은 차량의 battery 전원 변화 시에, 정상적인 성능을 보증하기 위한 시험이다.

제동제어 유니트 구동전원(dc 72V)은 dc 50V와 dc 80V에서 성능 시험을 실시한다.

㉮ 전원전압 = dc 50 ±1V 성능시험을 실시한다.

㉯ 전원전압= dc 80 ±1V 성능시험을 실시한다.

⑤ 절연내압시험

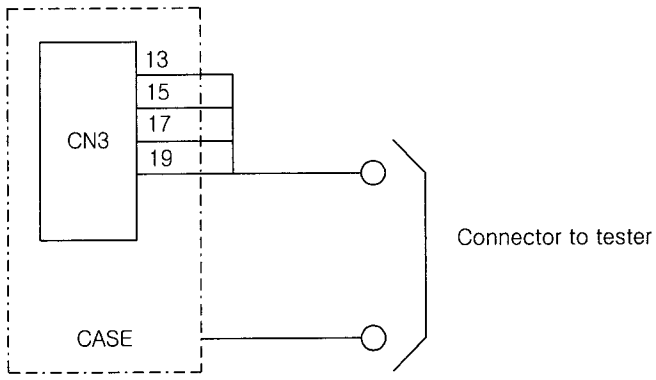


그림 22 절연내압시험 패턴

㉮ 절연저항 측정

전원전압 입력단자와 케이스 간에 dc 500V-MΩ테스터를 이용하여 절연 저항을 측정한다.

절연저항은 10 MΩ이상이어야 한다.

㈏ 절연내압 시험

AC 1200V, 60Hz 전원을 인가 후, 흠 및 소손 부위가 없을 것

⑥온도특성시험

전원전압온도	dc 50±3V	dc 80±3V
-25 ℃	성능시험 실시	성능시험 실시
20 ℃	성능시험 실시	성능시험 실시
40 ℃	성능시험 실시	성능시험 실시
55 ℃	동작유무 check	동작 유무 확인

⑦ 전자파 적합성 시험

- 외부 공인 기관에 의해 실시

㉮ Conduct emission

PORTS	Basic standard	Frequency range	Limits
Battery power supply	CISPR 11	9 kHz - 150 kHz	No limits
		9 kHz - 150 kHz	99 dB μV quasi-peak
		9 kHz - 150 kHz	93 dB μV quasi-peak

㈏ Radiation

PORTS	Basic standard	Frequency range	Limits	Remarks
Enclosure	CISPR 11	30 MHz - 230 kHz	40 dBμV/m quasi-peak measured at 10 m distance	Note 1
		230 MHz - 1GHz	47 dBμV/m quasi-peak measured at 10 m distance	
Note 1. A measurement distance of 3 m may be used with the limit increased by 10 dB				

라. 본선시운전 시험계측 데이터 분석을 통한 제동장치 소프트웨어 보완

(1) 제동성능 확인 시험(비상/상용)- 2006년도 성능개선시험

시제차량의 제동장치의 제동력 확보와 안정화를 위한 제동시험을 본선 주행시험 시 실시하였다.

(가) 시험 항목 및 시험패턴

○ 06.03.13 (월) 00:01 ~ 03:40

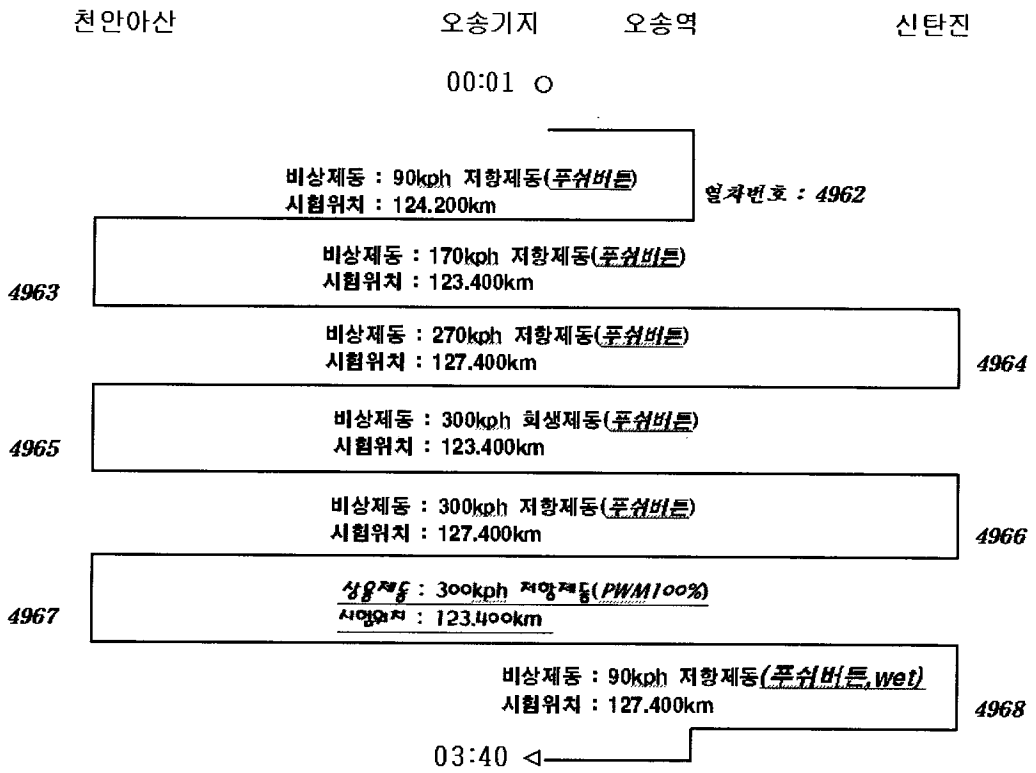


그림 23 시험 운행 패턴

○ 제동시험

- 90 km/h 비상제동 (회생 제동, 4MB, 레일조건 : dry)

- 170km/h 비상제동 (저항 제동, 4MB, 레일조건 : dry)

(나) 시험결과 분석

운행 도중 MB의 장애로 인해서 90, 170km/h에 대한 비상 제동 시험만 실시하였다.

표 2 제동시험 결과표

항목	CASE 1		CASE2	
초기속도	90.1 km/h		174.7 km/h	
제동시간	제동투입시간	제동종료시간	제동투입시간	제동종료시간
	00:20:15	00:20:42	00:53:27	00:54:32
	27 s		65 s	
평균 감속도	0.93 m/s2		0.75 m/s2	
제동 거리 (m)	제동시점 (KP)	제동종료 (KP)	제동시점(KP)	제동종료(KP)
	123.24	122.89	123.47	124.97
	350		1500	
예상 거리	379.7		1550	
제동 조건	비상회생		비상저항	
선로 구배	평탄선로		평탄선로	
제동투입시간(MB)	MB로템 1.5초		MB로템(초기기동실패) MB 현대 2초	
특이사항	-2,3,4,5 MB 기동 -DAM1의 계측이상		-2,3,4,5 MB 기동 -MB5 저속영역에서 재기동	

MB의 비상저항제동력을 비상회생제동의 50%에서 60%로 향상시킨 후 제동시험 실시하였다. 그림13을 보면 설정치의 약 96%까지 저항제동력이 향상된 것이 계측되었다.

신규 ECU에서는 비상제동시에도 동력대차에서는 크로스블랜딩을 실시한다.

90km/h, 170km/h의 제동시험 결과 제동거리는 예상거리를 만족한다.

■ CASE 1 90.1km/h 비상 회생 제동

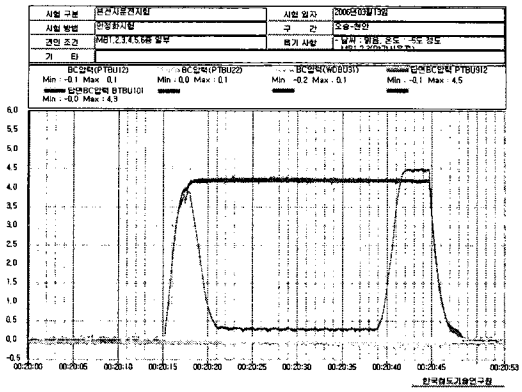


그림 24 BC압력(1,2,3,9,10)

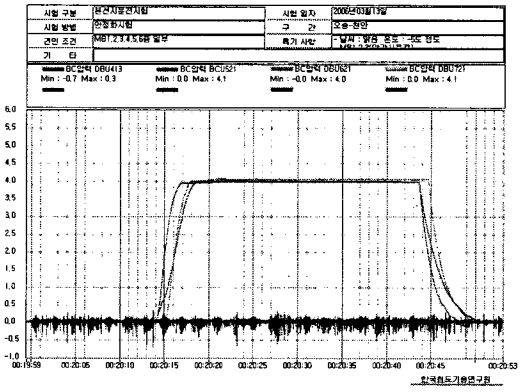


그림 25 BC압력(4,5,6,7)

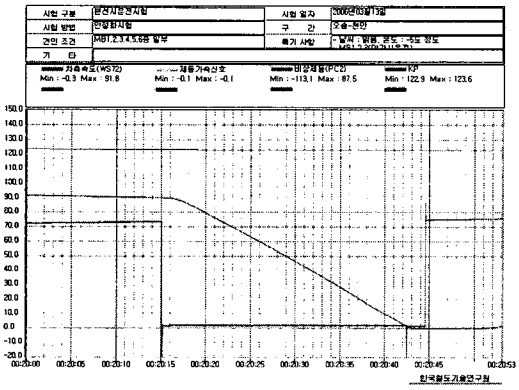


그림 29 차량속도, 비상제동신호, KP, 제동가속신호

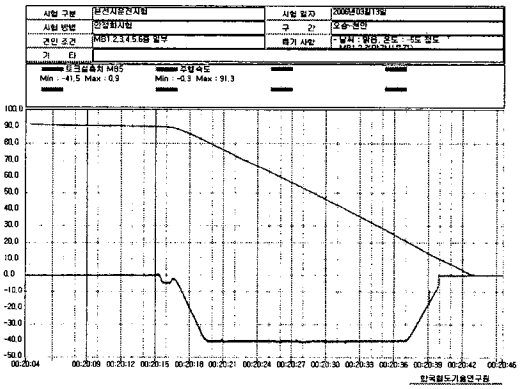


그림 30 MB의 토그실측치(MB 5)

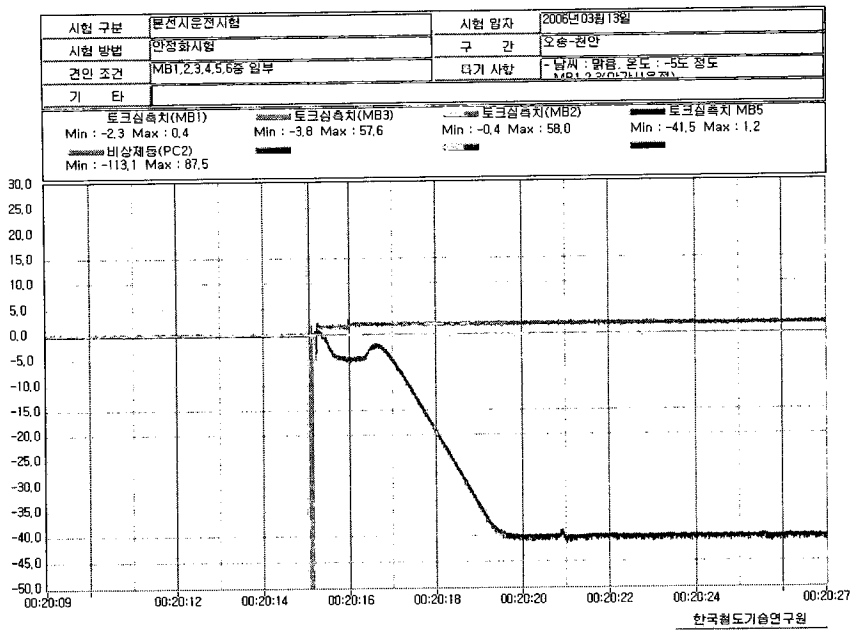


그림 31 MB의 투입시간(MB5)

■ CASE 2 174.7km/h 비상 저항 제동

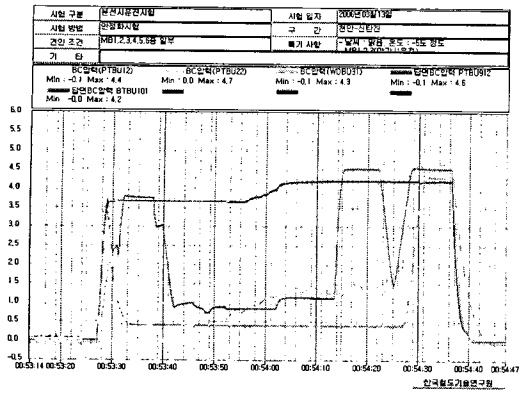


그림 32 BC압력(1,2,3,9,10)

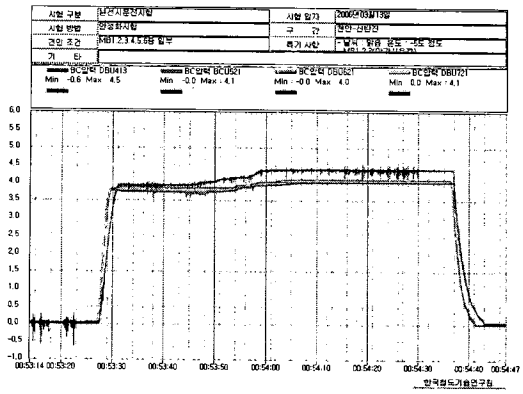


그림 33 BC압력(4,5,6,7)

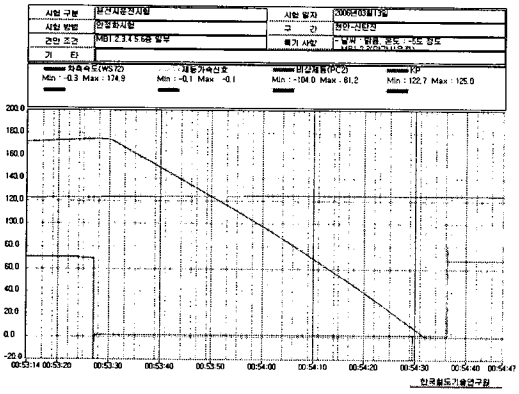


그림 34 차량속도, 비상제동신호, KP, 제동가속신호

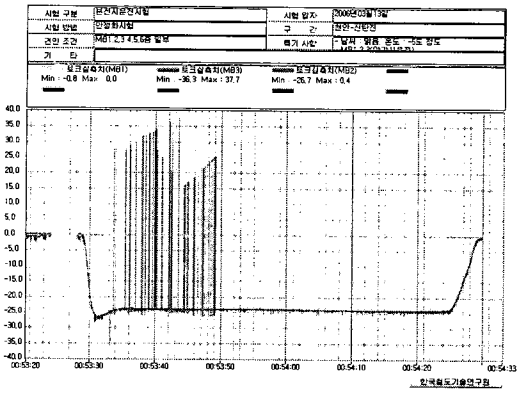


그림 35 MB의 토그실측치(MB 2,3)

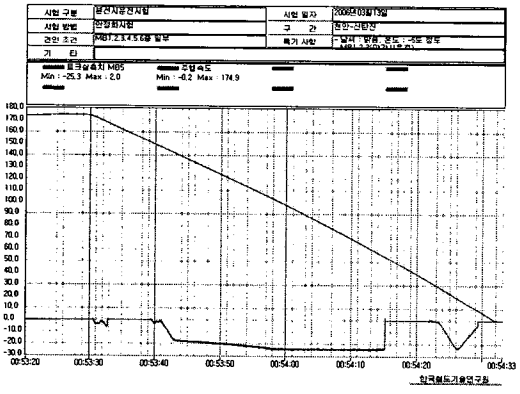


그림 36 MB의 토크실측치(MB5)

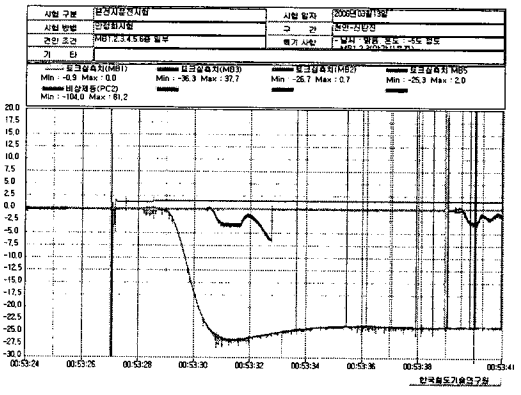


그림 37 MB의 투입시간(MB3)

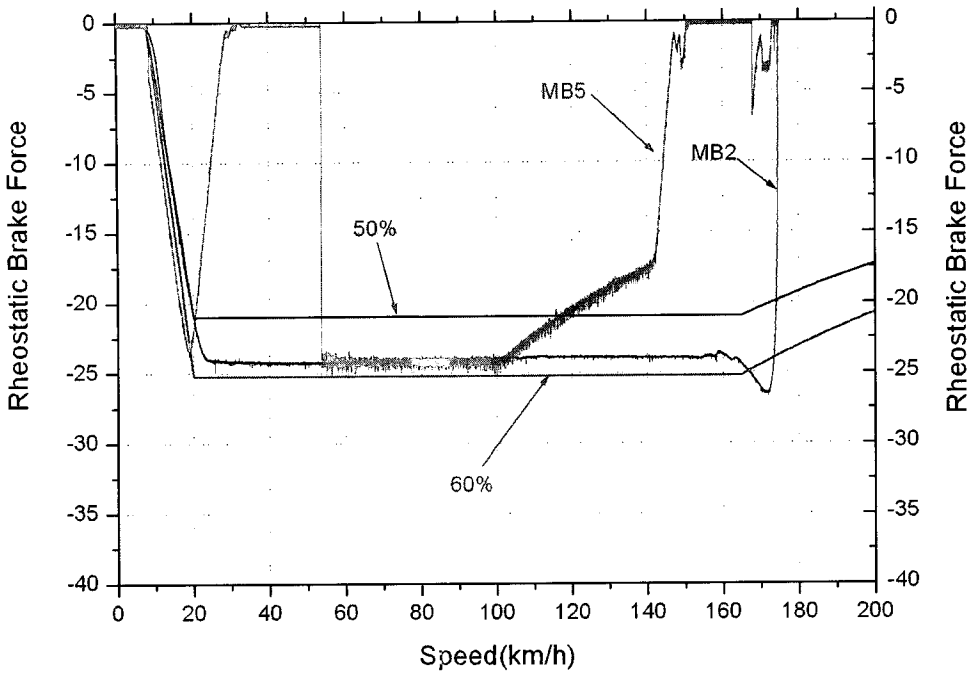


그림 38 MB의 저항제동력의 크기 (비상회생제동의60%)

(2) 제동성능 확인 시험(비상/상용)- 2007년 8월 성능개선시험

(가) 시험 항목 및 시험패턴

시험일시 : 2007년 8월 27일 0시부터 3시 30분

시험구간 : 천안<->신탄진

시험항목 :

CASE1 90km/h에서 비상제동

CASE2 150km/h에서 블렌딩제어 기능확인

CASE3 300km/h에서 상용(PWM 100%) 회생

CASE4 150km/h에서 블렌딩제어 적용/미적용 비교

CASE5 300km/h에서 비상제동(회생제동) ->VCB차단으로 시험실패

CASE6 300km/h에서 비상제동(회생제동) ->재시도

CASE7 150km/h에서 블렌딩제어(제동 진행중 1MB 차단)

CASE8 300km/h에서 비상제동(저항제동) ->MB2 자동재기동으로 시험실패

시험조건 : MB 2,3,5,6호기 기동

(나) 시험결과 분석

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE6	CASE7	비 고
제동조건	비상제동	블렌딩 기능 확인시험	상용100% (회생제동)	블렌딩 비교시험	비상제동 (회생)	블렌딩 기능 확인시험	MB 2,3,5,6
제동 초기속도 km/h	90	150	300	150	300	140	계측Data
제동시간 (sec)	23	65	95	적용/미적용 55/65	93	65	계측Data
평균감속도(㎨)	1.087	0.641	0.877	0.757/0.641	0.896	0.598	계산
구배조건	하구배 (-4) KP119 상행	하구배 (-11) KP109 상행	평탄선로 KP123 하행	(?)	평탄선로 (1.4km구간 +12포함) KP125 상행	상구배 (+8) KP 116 상행	노선도 참조
제동거리	290m	1,400m	4,200m	(?)	4,100m 4,231m (구배보정)	1,320m	KP데이터 실측
시 뮬 레 이 션 거 리	321m	1,831m	4,367m	1,831	4363m(주1.	1,831m	제동장치 변경사항반영

(다) 각 CASE 별 계측데이터 분석

CASE1 90kph 비상제동 시험

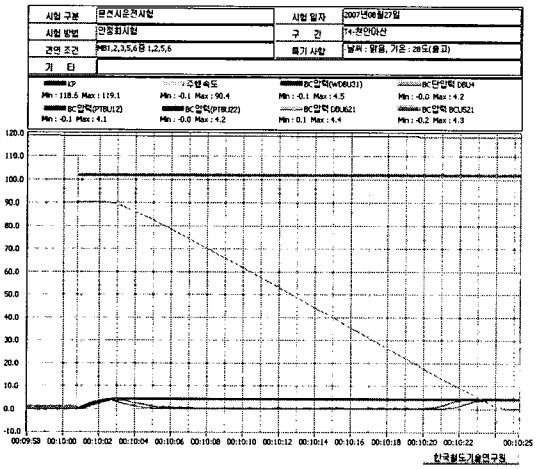


그림 39 90KPH 비상제동 속도, 제동압력

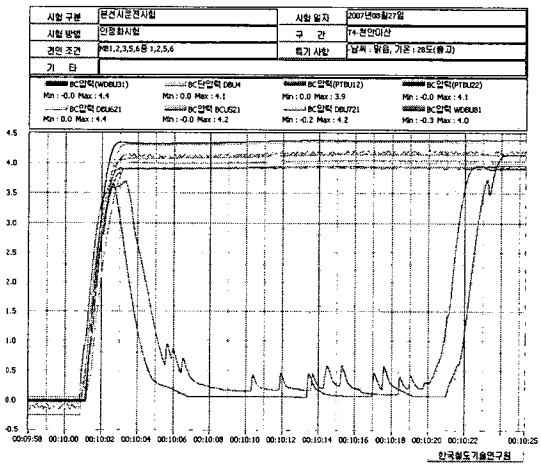


그림 40 90KPH 비상제동 제동압력 확대

CASE2 150kph 제동블렌딩 기능확인 시험

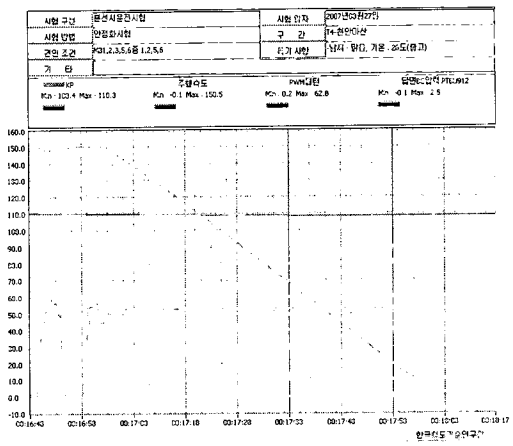


그림 41 150KPH 제동블렌딩
제어기능확인-KP, 속도, PWM

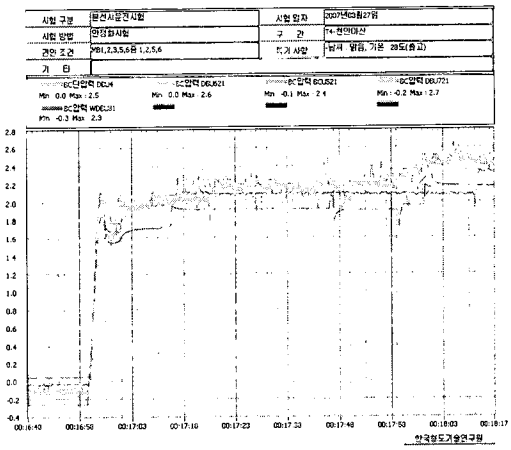


그림 42 150KPH 제동블렌딩
제어기능확인-객차대차 BC압력

CASE3 300kph 상용(회생)제동 시험

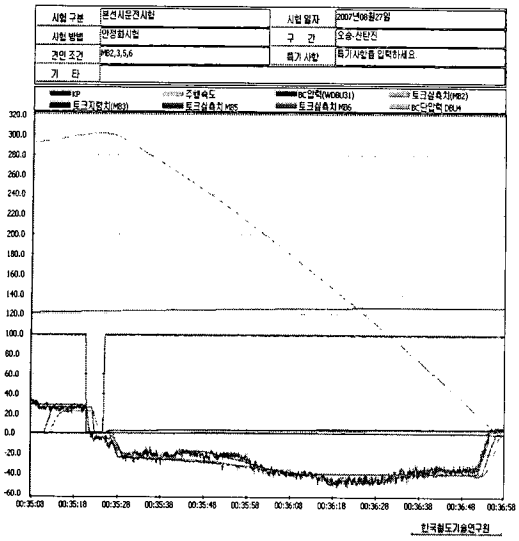


그림 43 300kph 상용(회생)제동 - 속도, KP, PWM, 회생제동력

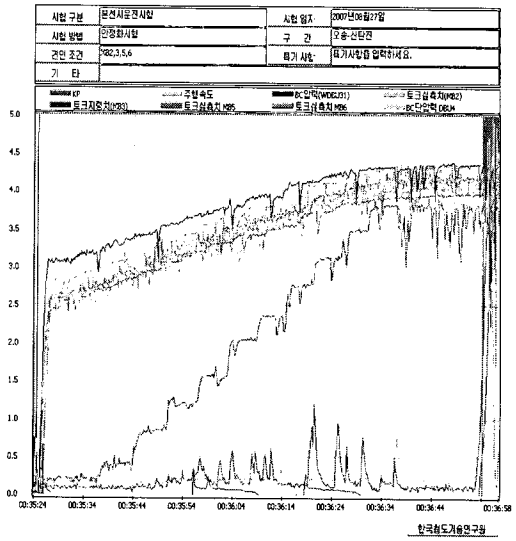


그림 44 300kph 상용(회생)제동-공기제동 압력 동작상태

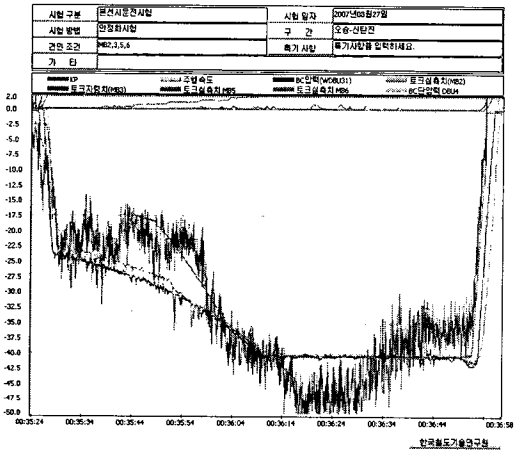


그림 45 300kph 상용(회생)제동 - MB 2,3,5,6의 토크 실측치 기록 상태

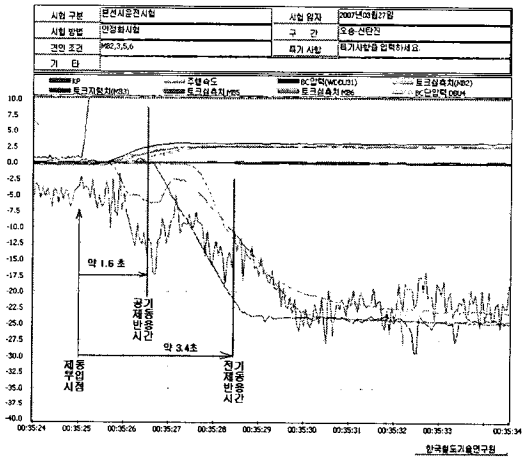


그림 46 300kph 상용(회생)제동 - 제동장치 반응시간 분석

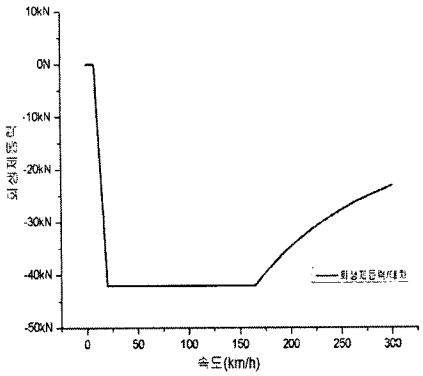


그림 47 1MB당 회생제동력 설정 곡선(설계치) -비상, 상용 동일

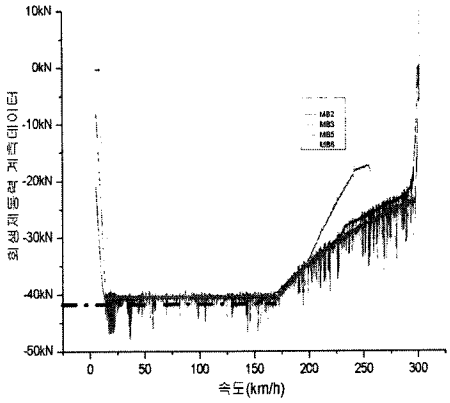


그림 48 MB2,3,6의 회생제동력 측정 데이터(MB5 미포함) - 상용 100% 제동

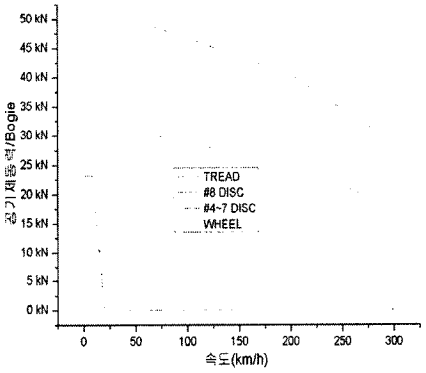


그림 49 대차당 공기제동력 설정곡선(설계치) -상용100% 제동

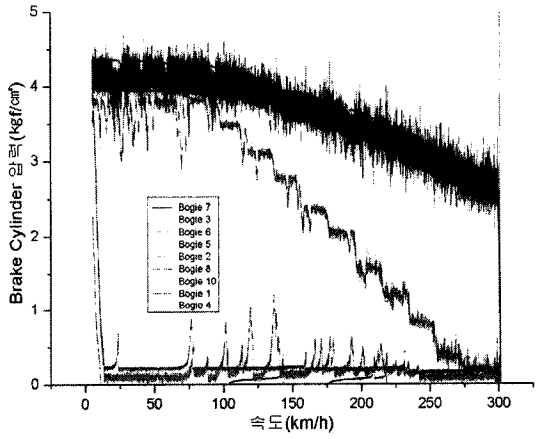


그림 50 대차별 제동실린더 압력 작용상태(계측데이터) - 상용제동

CASE4 제동블렌딩 적용 및 미적용 시 비교시험

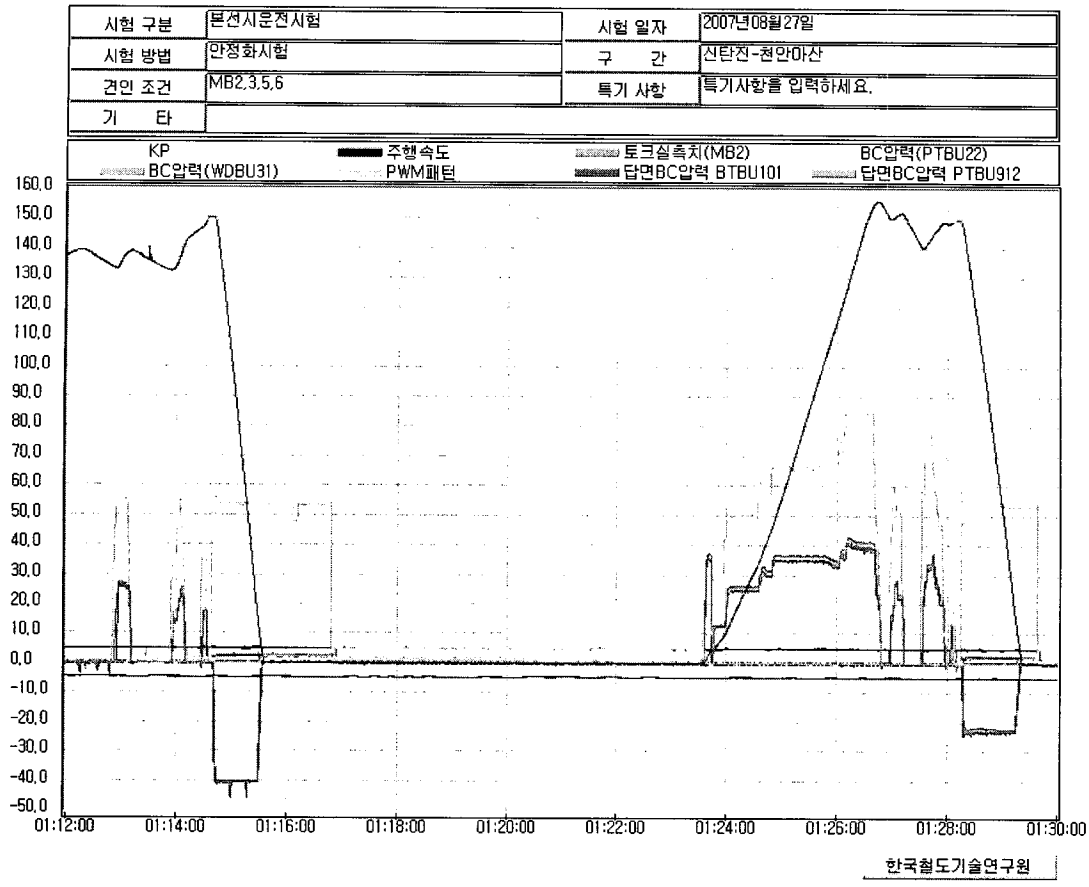


그림 51 블렌딩제어 적용/미적용 비교시험

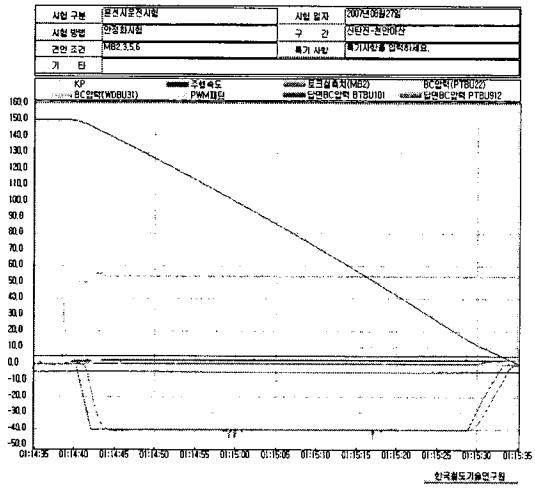


그림 52 블렌딩 적용시 속도, PWM지령

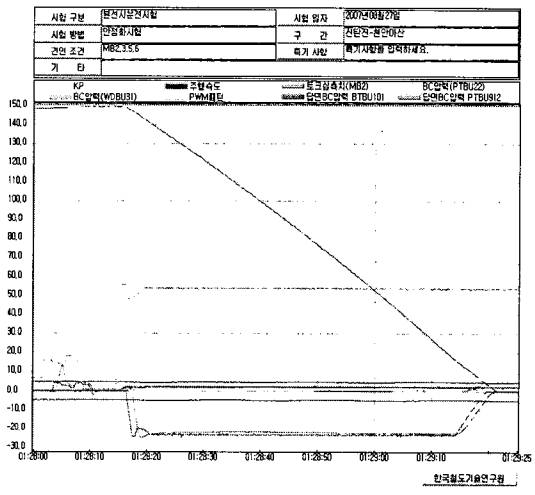


그림 53 블렌딩 미적용시 속도, PWM지령

CASE6 300kph 비상(회생)제동 시험

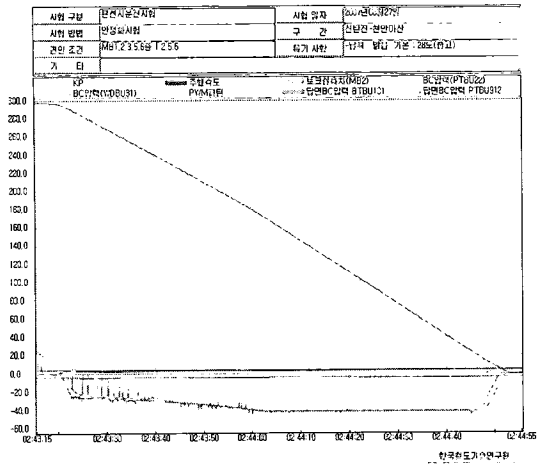


그림 54 300kph 비상(회생)제동-속도, KP, 전기제동력

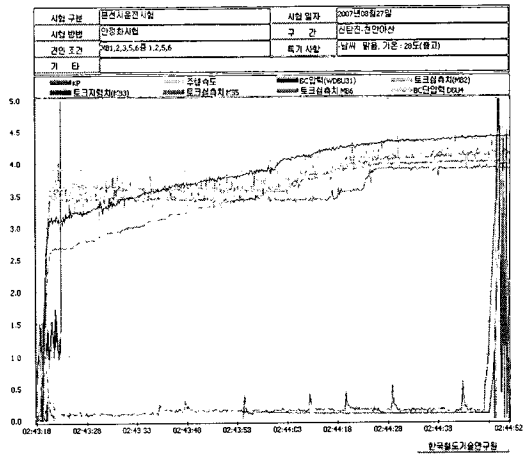


그림 55 300kph 비상(회생)제동 - 공기제동 압력 동작상태

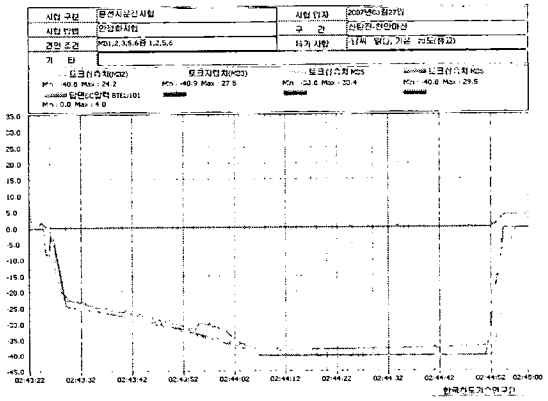


그림 56 300kph 비상(회생)제동 - MB 2,3,5,6의 토크 실측치 기록 상태

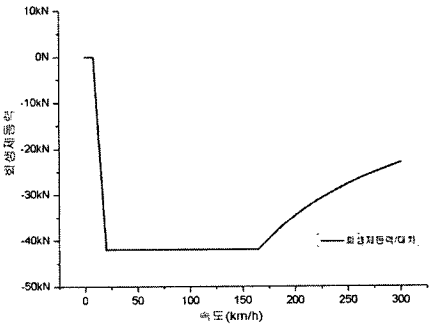


그림 57 1MB당 회생제동력 설정곡선(설계치) -비상, 상용 동일

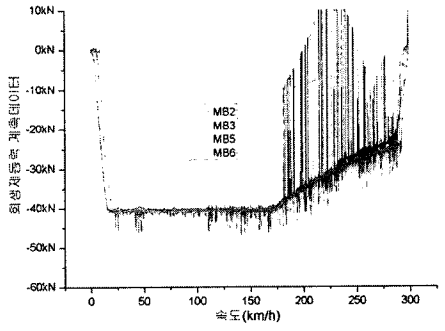


그림 58 MB2,3,6의 회생제동력 측정 데이터(MB5 미포함) - 비상(회생)제동

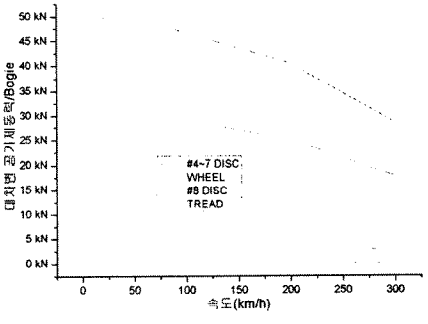


그림 59 대차당 공기제동력 설정곡선(설계치) -비상 제동

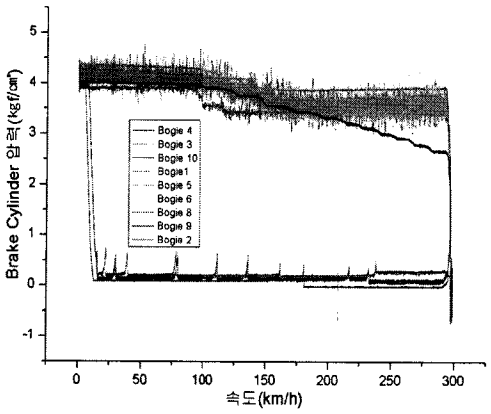


그림 60 대차별 제동실린더 압력
작용상태(계측데이터) - 비상제동

CASE7 제동블렌딩 진행중 1MB 차단 시험

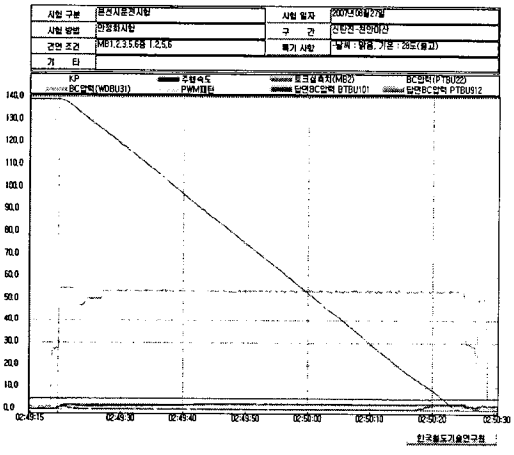


그림 61 제동블렌딩 제어 진행중 1MB
차단-속도, PWM지령

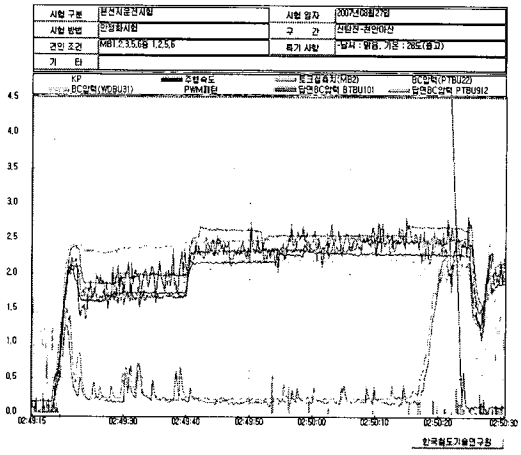


그림 62 제동블렌딩 제어 진행중
1MB차단-BC압력

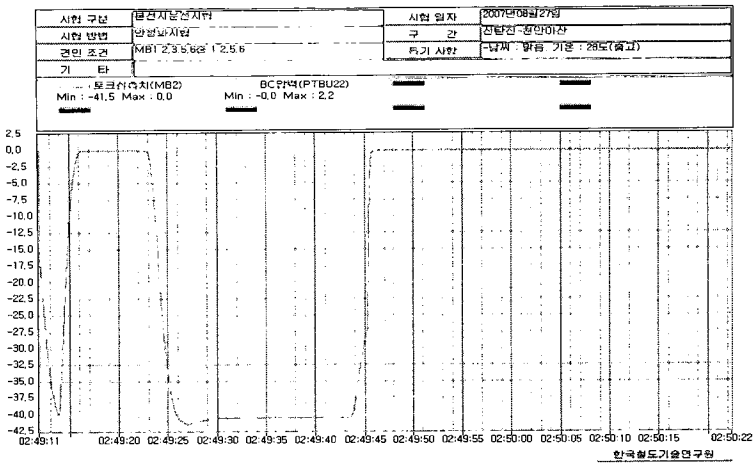


그림 63 제동블렌딩 제어 진행중 1MB차단 - #2 ECU 반응

(라) 시험결과 분석 요약

1) 속도별 전기제동력 설계치와 객차대차 공기제동력 설정치를 비상제동/상용제동 구분 없이 비상제동력으로 동일하게 설정하였기 때문에 제동력 시뮬레이션 결과치와 계측한 제동거리가 모두 동일한 수준으로 계측되었다.

2) 추진제어장치 차단시 쌍을 이루는 공기제동장치의 로컬 블렌딩 특성이 사전시뮬레이션 계산 시 반영되어져야 한다.

3) 추진제어장치의 전기제동력 출력상태를 분석해본 결과, 제동명령 투입 시점부터 회생제동력이 발휘되는 시점까지의 공주시간이 약 3.5초 정도로 계측되었으며, 제동명령신호 투입초기 고속영역에서의 제동거리 증가에 영향을 주고 있다고 판단된다.

4) 제동력 향상방안으로 협의되어 설계된 속도별 회생제동력곡선 상에서 정토크영역의 출력 제동토크치가 42kN의 값을 출력하여야 하나, 실제로 추진제어장치에서 계측된 값은 40.5kN으로서 목표치 대비 약간 부족한 것으로 분석되었고, 특정 영역에서 제동력이 갑자기 손실되는 현상으로 인해 전체 전기제동력에 영향을 주는 것으로 판단된다.

(3) 제동성능 확인 시험(비상/상용)- 2007년 10월 성능개선시험

(가) 시험 항목 및 시험패턴

시험일시 : 2007년 10월 8일 0시부터 3시 50분

시험구간 : 천안<->신탄진

시험항목 :

CASE 1 90km/h에서 비상제동

CASE 2 150km/h에서 블렌딩제어 기능확인

CASE 3 300km/h에서 비상제동(회생제동)

CASE 4 300km/h에서 150km/h로 제동중 블렌딩제어 적용

CASE 6 300km/h에서 150km/h로 제동중 블렌딩제어 미적용

시험조건 : MB 1,2,5,6호기 기동

(나) 시험결과 분석

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE6	CASE7	비고
제동조건	비상제동	블렌딩 기능 확인시험	비상제동 (회생)	블렌딩 기능 확인시험	블렌딩 기능 확인시험	비상제동 (저항)	MB 1,2,5,6
제동 초기속도 km/h	90	150	300	300(시작) 150(종료)	300(시작) 150(종료)	300	계측Data
제동시간	22초	73초	89초	제동지령 PWM : 50%		134초	계측Data
평균감속도(㎪)	1.136	0.570	0.936	블렌딩 적용	블렌딩 미적용	0.621	계산
구배조건	상구배 (+12) KP121 상행	상구배 (+8) KP115 상행	평탄선로 KP123 하행	평탄선로 (2.7km구간 +12포함) KP126 상행	평탄선로 (2.7km구간 +12포함) KP126 상행	평탄선로 (0.6km구간 +10포함) KP123 하행	시험구간 노선도 참조
제동거리 (m)	305m	1,750m	3,870m	5,450m 5,938m (구배보정)	5,230m 5,718m (구배보정)	5,286m	KP데이터 실측
시뮬레이션 거리 (m)	386m	1,831m	4,363m	5,998	5,998	5,169m (5,308m)	(MB에 적용한 저항제동 설정치 반영 후 재계산)

(다) 각 CASE 별 계측데이터 분석

CASE1 90kph 비상제동 시험

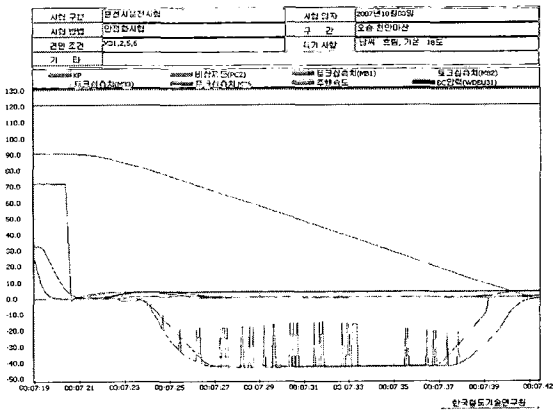


그림 64 비상제동 투입 시 속도 곡선 및
공기/전기제동 동작

CASE 2 150kph 제동블렌딩 기능확인 시험

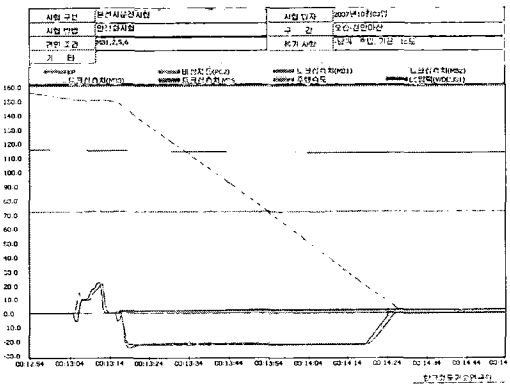


그림 65 전체 제동상황

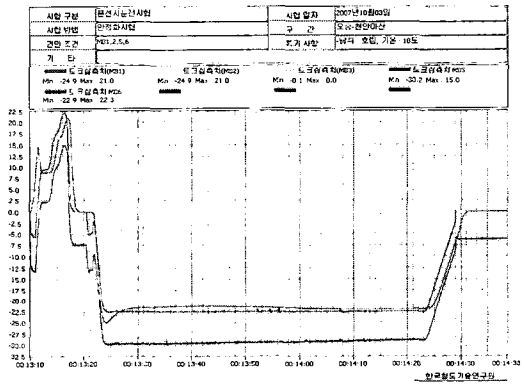


그림 66 회생제동력

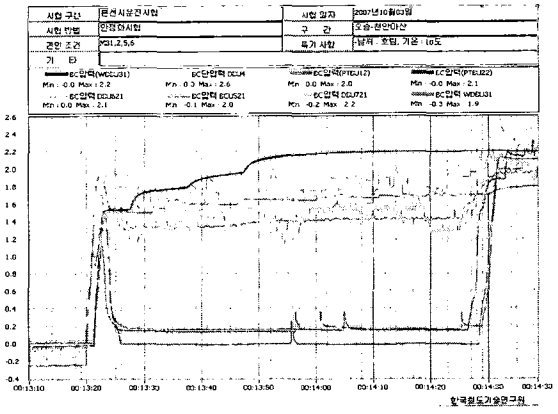


그림 67 BC압력

CASE 3 300kph 비상(회생)제동 시험

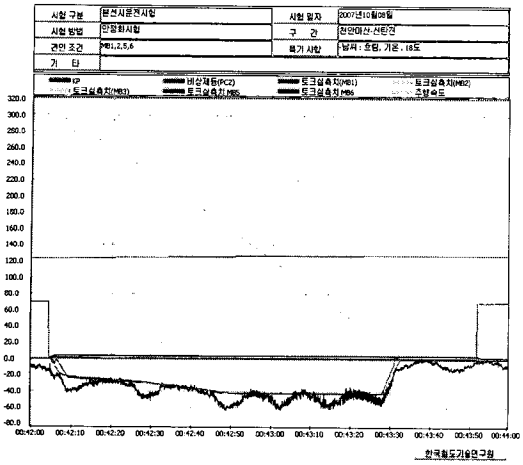


그림 68 전체 제동상황

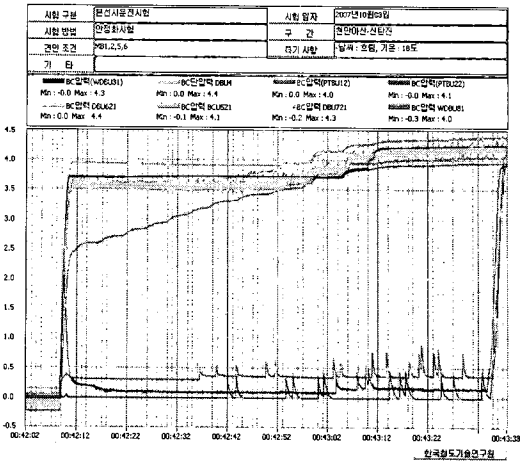


그림 69 BC압력

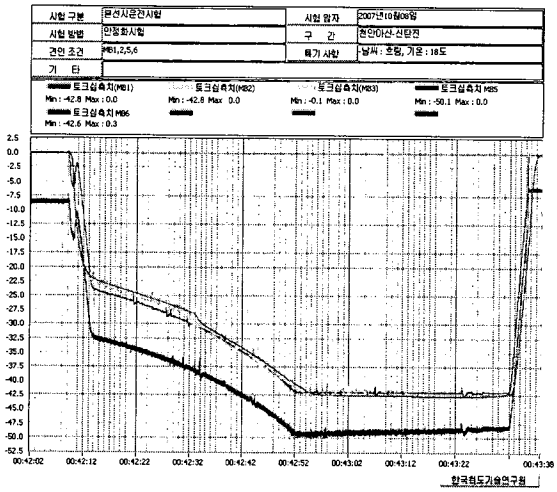


그림 70 회생제동력
(MB5의 곡선이 8KN정도 쉬프트 됨.)

CASE 4 300-->150kph 제동블렌딩 기능확인 시험(제동지령 50%, 블렌딩 적용)

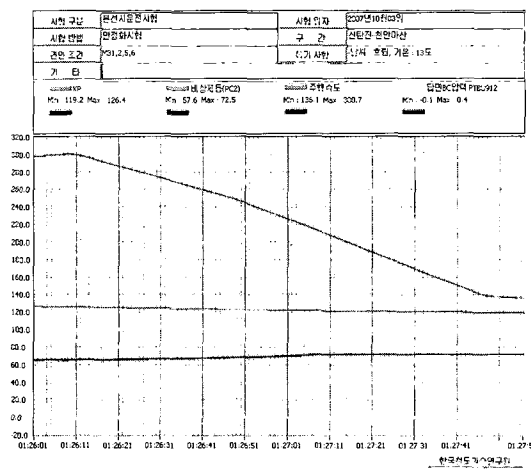


그림 71 제동속도, KP 변화상태

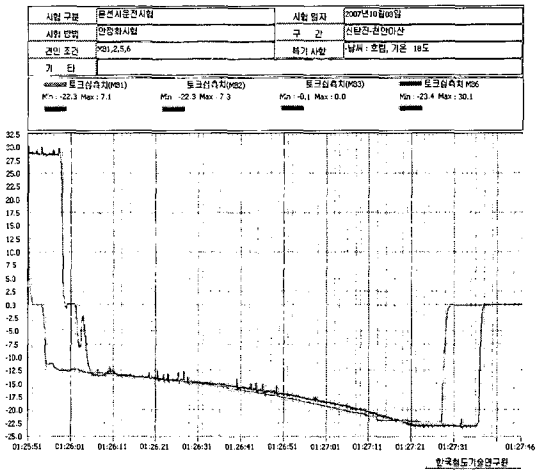


그림 72 회생제동력

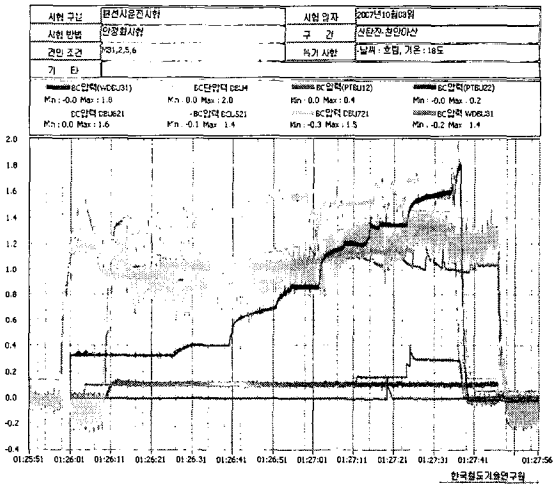


그림 73 BC압력

CASE 6 300-->150kph 제동블렌딩 기능확인 시험(제동지령 50%, 블렌딩 미적용)

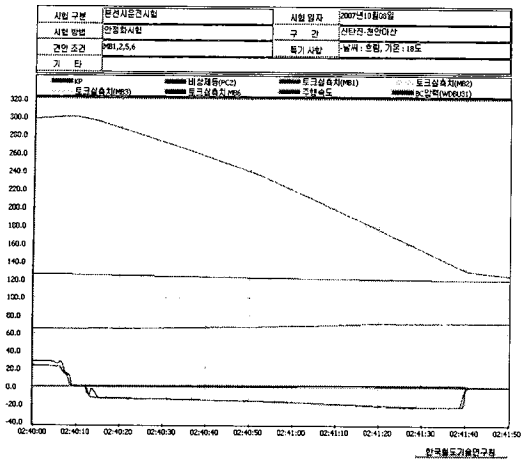


그림 74제동속도, KP 변화상태

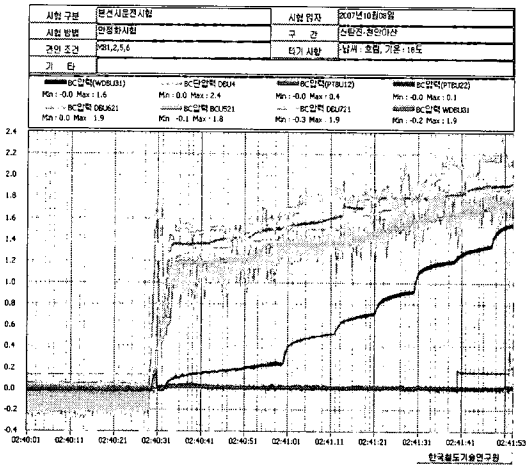


그림 75 BC압력

CASE 7 300kph 비상(저항)제동 시험

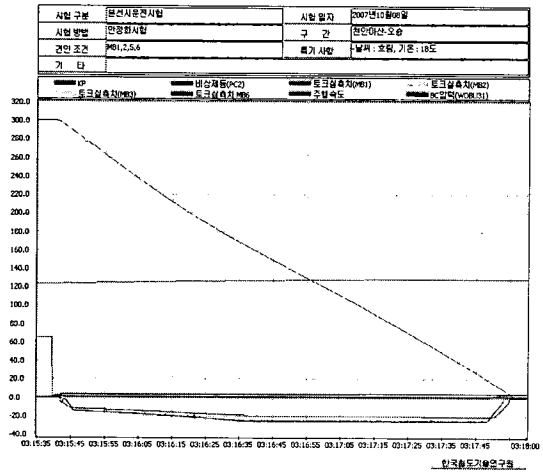


그림 76 전체 제동상황

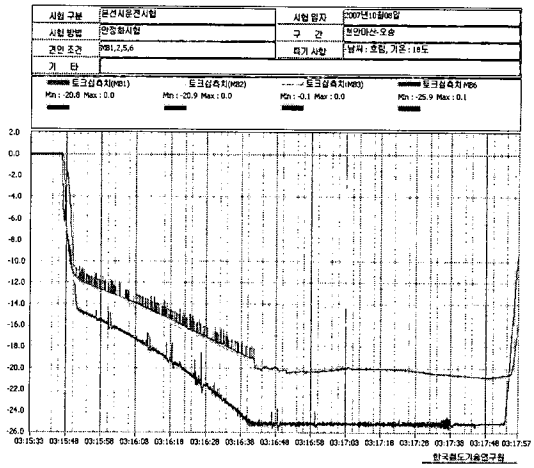


그림 77 저항제동력

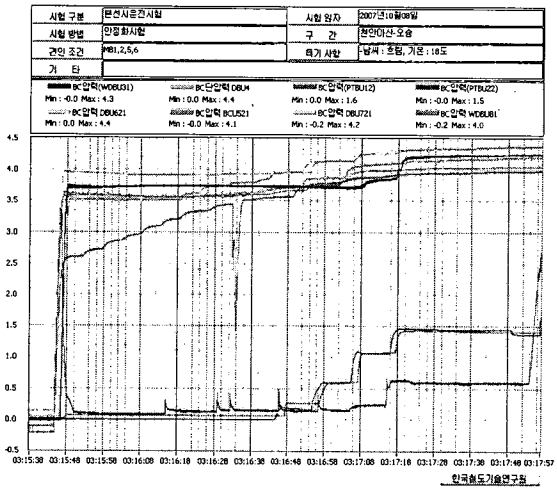


그림 78 BC압력

(4) 제동성능 확인 시험(비상/상용, 습윤조건)- 2007년 10월 성능개선시험

(가) 시험 항목 및 시험패턴

시험일시 : 2007년 10월 15일 0시부터 3시 50분

시험구간 : 천안<->신탄진

시험항목 :

CASE 1 90km/h에서 비상제동

CASE 2 150km/h에서 블렌딩제어 기능확인

CASE 3 300km/h에서 150km/h로 제동중 블렌딩제어 적용

CASE 4 300km/h에서 비상제동(회생제동), WET 조건

CASE 5 300km/h에서 150km/h로 제동중 블렌딩제어 미적용

CASE 6 300km/h에서 비상제동(저항제동), WET 조건

CASE 7 150km/h에서 블렌딩제어(제동 진행중 ECU #4 차단)

시험조건 : MB 1,2,5,6호기 기동

(나) 시험결과 분석

구분	CASE 1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6	CASE 7	비고
제동조건	비상 제동	블렌딩 기능 확인시험 PWM 30%	블렌딩 기능 확인시험 PWM 70%	비상제동 (회생) WET	블렌딩 기능 확인시험 PWM 70%	비상제동 (저항) WET	블렌딩 기능 확인시험 PWM 50%	MB 1,,2,5,6-> 2,3,5,6
제동 초기속도 km/h	90	150	300(시작) 150(종료)	300	300(시작) 150(종료)	300	150	계측Data
제동시간 (sec)	24	190	제동지령 PWM : 70%	105	제동지령 PWM : 70%	135		계측Data
평균감속도 (㎨)	1.042	0.219	블렌딩 적용	0.794	블렌딩 미적용	0.621		계산
구배조건	하구배 (-4) KP118 상행	하구배 (-11) KP109 상행	평탄선로 KP123 하행	평탄선로 (1.5km구간+12포함) KP126 상행	평탄선로 KP123 하행	평탄선로 (1.7km구간 +12포함) KP127 상행		시험 구간 노선도 참조
제동거리 (m) (구배보정)	320	4,378 (4,128)	5,310	4,460 (4,615)	4,950	6,110 (6,295)		KP데이터 실측
시뮬레이션 거리 (m)	386	3,457 (디스크용 패드 다량교체의 영향으로 거리증가 판단)	4,662	4,363 (D) 5,235 (W)	4,662	5,170 (D) 6,204 (W)		

(다) 각 CASE별 시험결과 분석

CASE 1 90kph 비상제동 시험

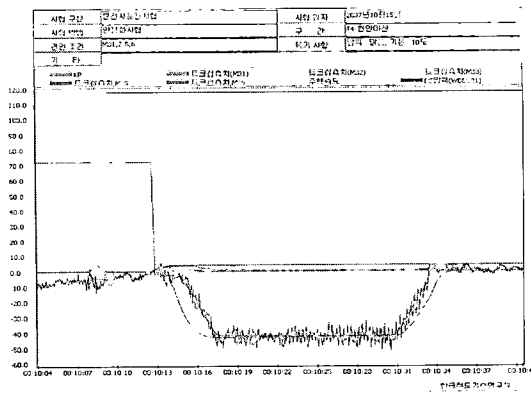


그림 79 전체 제동상황

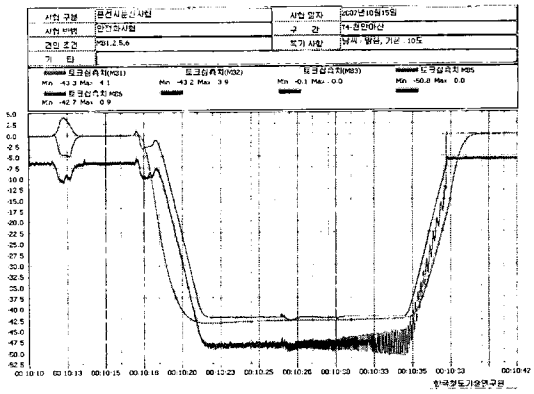


그림 80 전기제동력

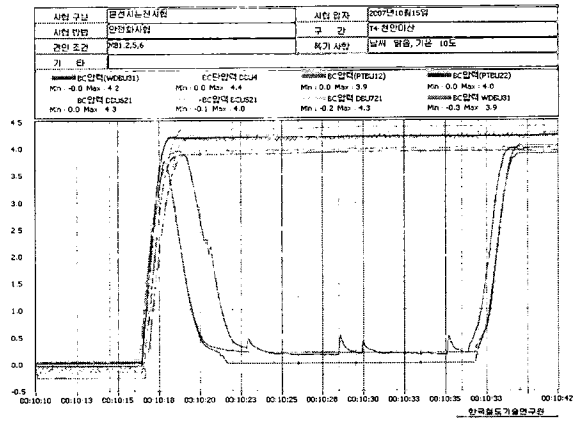


그림 81 BC 압력

CASE 2 150kph 제동블렌딩 기능확인 시험

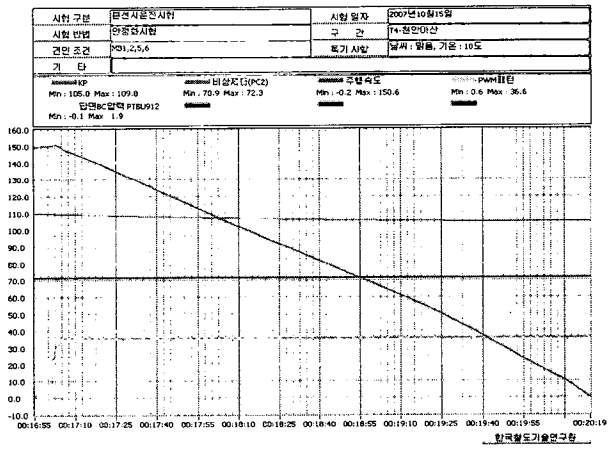


그림 82 전체 제동상황

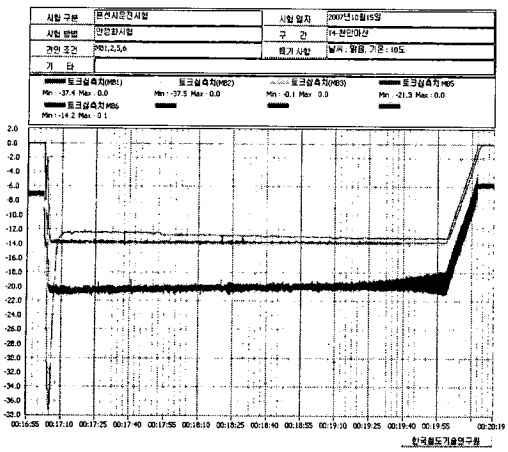


그림 83 전기제동력

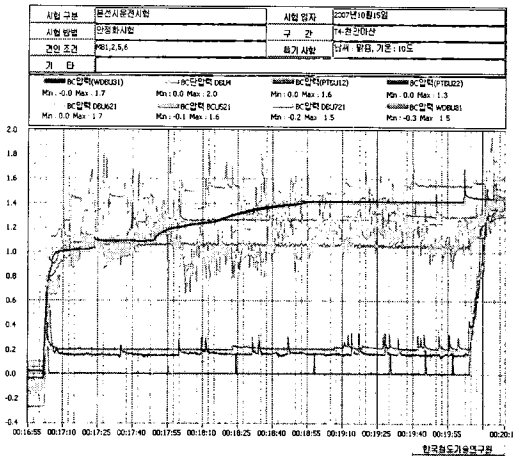


그림 84 BC 압력

CASE 3 300kph -> 150kph 제동블렌딩 적용(PWM 70%) 시험

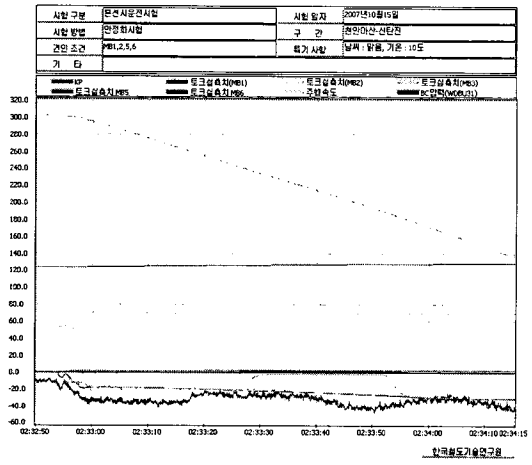


그림 85 전체 제동상황

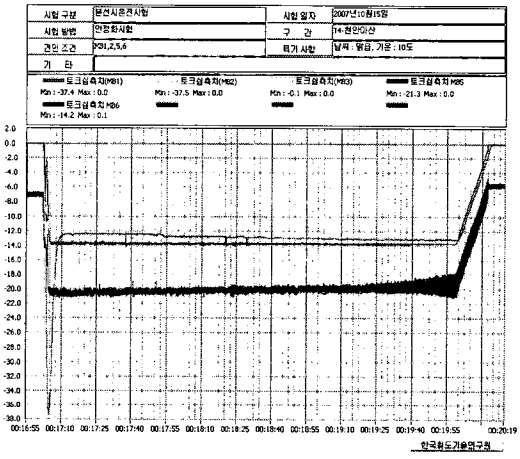


그림 86 전기제동력

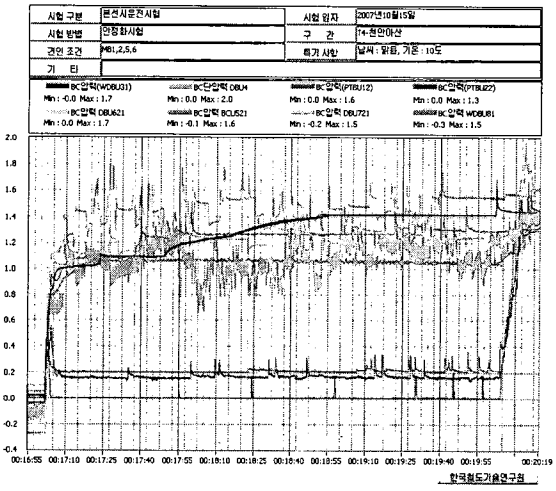


그림 87 BC 압력

CASE 4 300kph 비상(회생)제동, WET 조건 시험

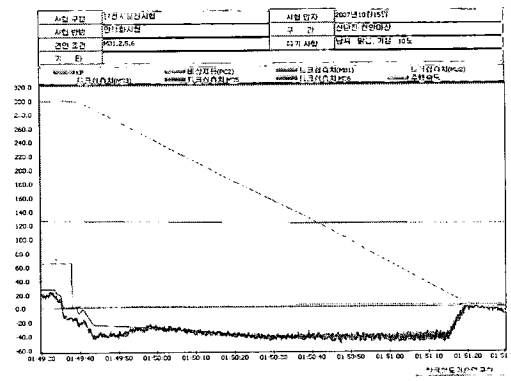


그림 88 전체 제동상황

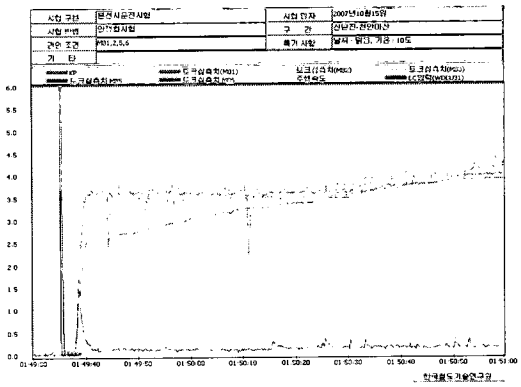


그림 89 제동중 살수 시 BC 압력변화

CASE 5 300kph -> 150kph 제동블렌딩 미적용(PWM 70%) 시험

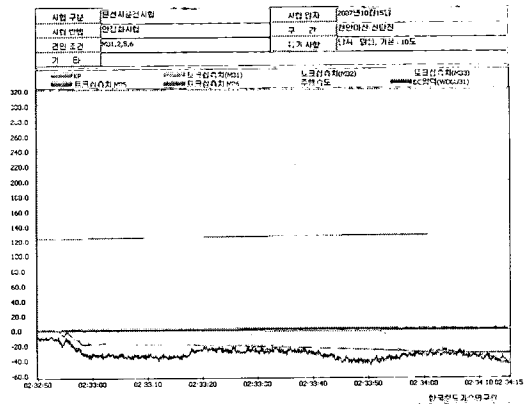


그림 90 전체 제동상황

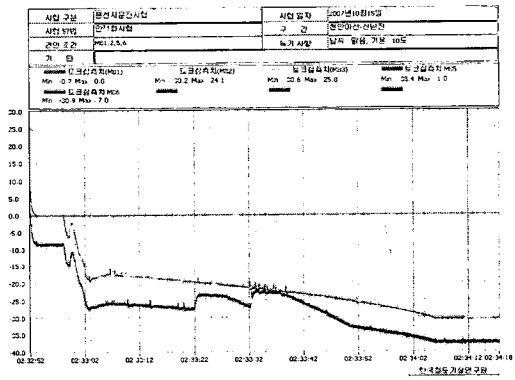


그림 91 전기제동력(MB3 약 30초간 차단됨)

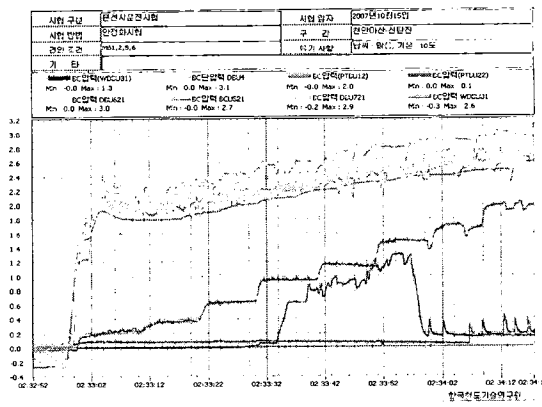


그림 92 BC압력(MB3 차단->BCU3압력투입됨)

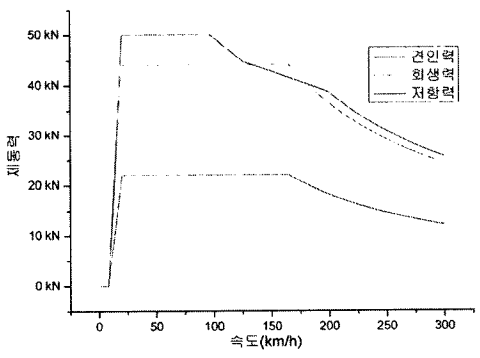


그림 93 비상제동력 설정곡선

CASE6 300kph 비상(저항)제동, WET조건 시험

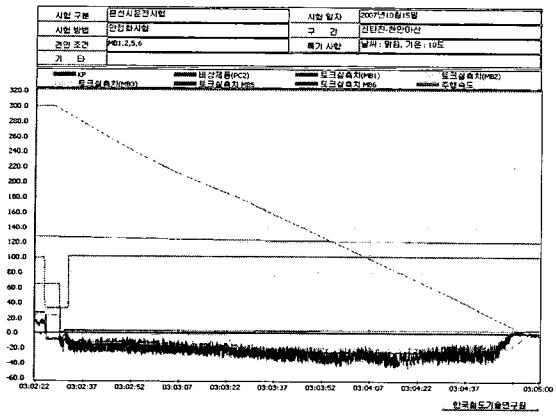


그림 94 전체 제동상황

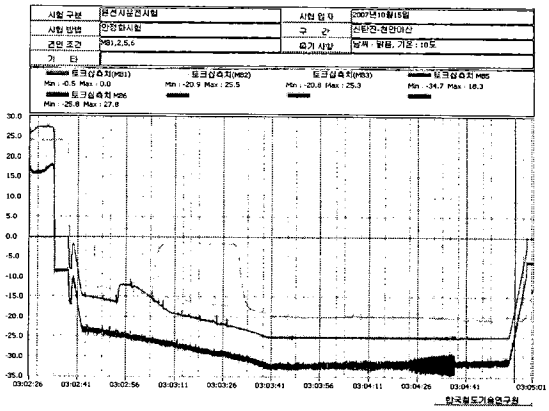


그림 95 전기제동력(MB3 약 30초간 차단됨)

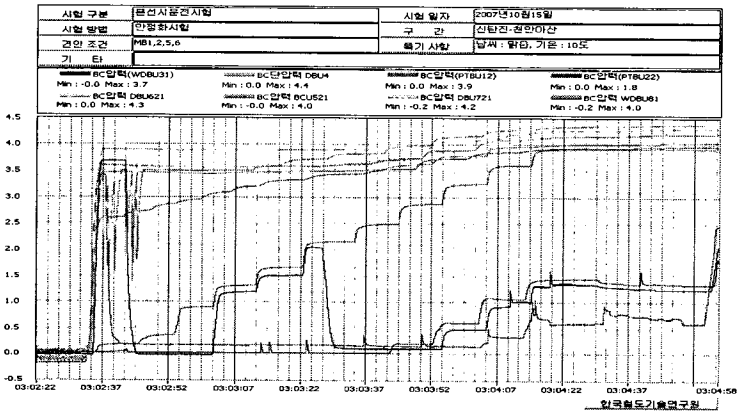


그림 96 BC압력(살수에 의한 활주검지로 BC압력 변화)

CASE7 150kph 상용(회생)제동, 제동블렌딩 제어기능 확인시험

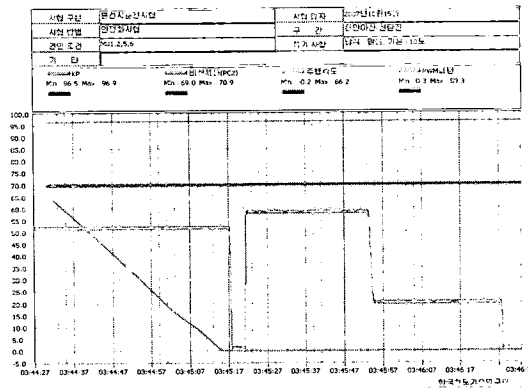


그림 97 제동 종료시 상황

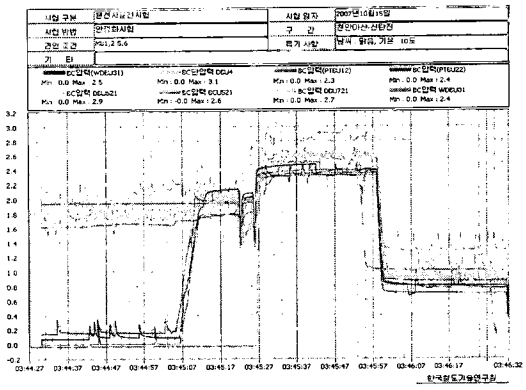


그림 98 ECU #5가 차단 후 복귀됨

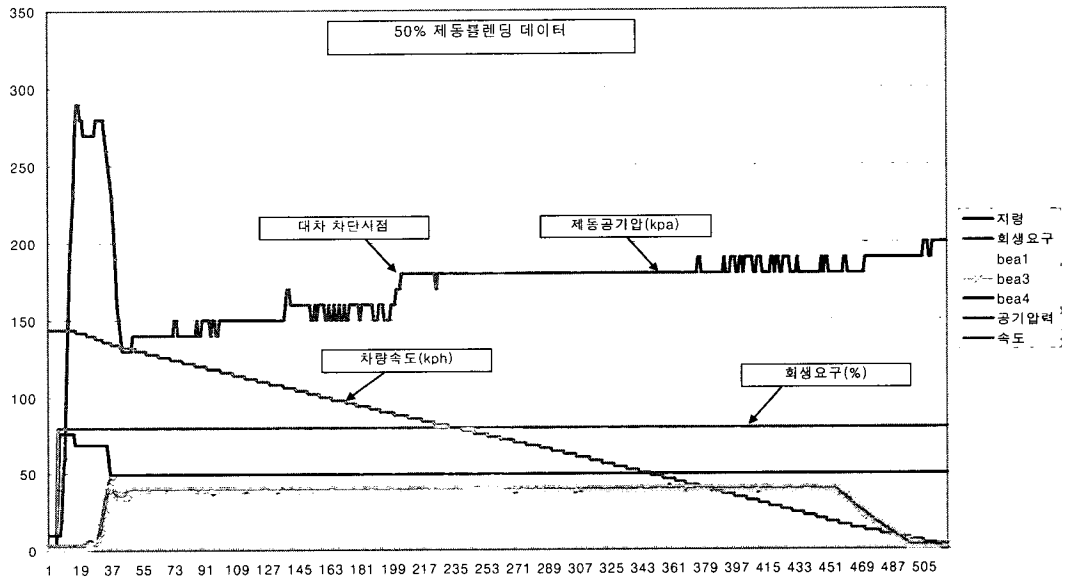


그림 99 BBCU 모니터링 데이터

마. 주공기압축기 리엑터 설치

(1) 시제차량 주공기압축기 점검

2006년 2월 13일 시운전 출발전 기지 운전중 Aux Block측에서 문제가 발생하였다. 확인결과 PC1-Aux Block의 IGBT가 소손되고, PC1의 주공기압축기 CM#1(Compressor Motor) 모터가 과온 상태였으며, 주공기압축기 CM#2는 오일 온도 트립에 의하여 정지 상태였다.

차량 점검을 위해서 현지 방문 시 로템의 연구소 측에서 PC1 Aux Block의 소손된 부분을 교체하고 있었으며, 주공기압축기CM#1의 모터를 손으로 돌렸을 때 빡빡한 느낌이 들어 전원 입력을 차단하고 주공기압축기 CM#2의 모터는 손상이 없는 것으로 판단되어 주공기압축기

CM#2를 운전해 보았다. 주공기압축기 CM#2 운전 시 Aux-Block측에서 ACOC(과전류) fault가 현시되고(10분-15분 간격), 정지 후 재기동 현상이 발생하여 운전 불가상태 발생 하였다. 주공기압축기 CM#1에 전원을 투입하고 운전을 하였을 때는 이상이 없었다.

(2) 발생원인

(가) CM모터의 사양 및 Aux Block출력

현재 Aux-Block의 출력 전압이 380AC이지만, 이것은 정현파가 아닌 PWM구형파로서 Aux-Block의 DC-LINK전압에 영향을 받는다.

이 DC-Link전압이 670VDC라서 상용 AC380의 인버터 DC-Link전압 540VDC보다 훨씬 높은 상태이다.

이 DC전압을 PWM에 의한 스위칭시 dv/dt 전압은 2.5배에서 3배의 피크 전압을 모터측에 전달한다. 이 전압 레벨은 현재 고속철도의 CM모터의 내전압보다 높은 전압으로 모터의 열화 및 내전압 파괴를 가져올 수 있다.

현재까지 운행되면서 모터 코일의 스트레스로 인한 내전압 저하를 추측한다.

(나) Aux Block 사양

Aux Block의 사양이 우리의 CM당 52KVA로 잡혀져 있다. 우리의 모터 15Kw의 두 배보다 큰 용량을 갖추고 있다.

Aux-block의 보호동작을 생각해 볼 때 정격의 150%라고 잡는다면 약 75KVA를 넘는 용량으로 만일 CM모터에서 오일 누유나 여타 다른 문제로 인하여 모터의 정격보다 높은 부하 상태일 때 차단할 수 있는 보호기능이 오일 온도센서에 의존해야 한다.

(다) Aux-Block의 출력 인버터단에서 발생

이번 Aux-Block의 소손은 Aux-Block의 출력 인버터단에서 발생한 것이 아니라 DC670의 DC-Link단의 터미널과 전선의 소손에서 발생한 것으로 이 터미널과 전선의 열화 원인을 CM모터에 두고 있으나, 만일 터미널의 취부가 느슨하거나 전선자체에 문제가 있을 수도 있

는 문제로서 많은 경우에 수가 발생할 수 있으므로 단지, CM의 영향이라고 볼 수 없다.

반대로, Aux-Block의 전원에 의해 CM모터가 소손의 원인이 되었다고도 할 수 있다. Aux-Block에서 전원을 받고 있는 CM모터뿐만 아니라 FAN모터의 경우 여러번 교체된 것으로 확인되었고 aux-block의 출력에 필터리액터 추가도 고려되어야 할 것이다.

(3) 리엑터 설치 및 시험결과

(가) 리액터 사양

표 6 리엑터 사양

항목	사양	항목	사양
정격압력전압	삼상 380VAC(PWM)	허용 전류	45A
적용 모터 용량	15KW	손실	150W
Inductance	0.15mH	개략 질량	7.5Kg
Inductance(L)	인버터 정격전압의 10%를 계산하여 ΔV = 38V로 하면 $L = \Delta V / (2*\pi*f*I) = 38/(2*\pi*1500*30) = 0.0001343$ [H]		

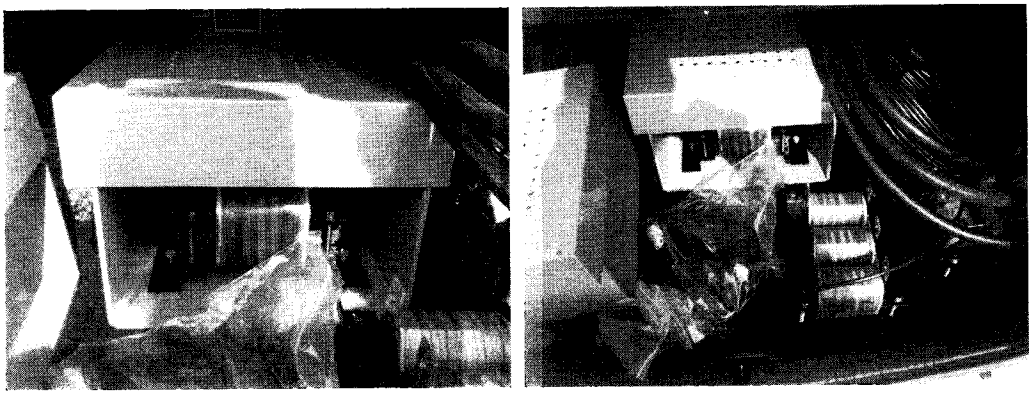


그림 100 설치된 리엑터 사진

(나) 진행일지

표 7 리엑터 관련 진행일지

날 짜	내용	조치	비고
2/14	- CM 기동 불량건 발생 - Aux-Block측 소손발생	- 전자변 작동불량 1건	
2/15	시운전	- 제습장치 판넬의 커넥터 체결불량	
2/24	공정회의	리액터 설치	
3/10	취부/시험을 위해 오송기지 출장	기지사정으로 연기	
3/15 - 3/28	중점검을 위해 탈거	중점검후 사내에서 리액터 취부	
3/30	기지이송/ 취부	Aux-Block 출력 터미널 보완	
4/4	리액터 취부상태 보완	터미널부분 보완	
4/11	리액터 입/출력 전류 파형 확인	상태확인 (이상없슴)	

전동기의 보호를 위해 각각의 공기압축기에 리액터를 추가 설치.

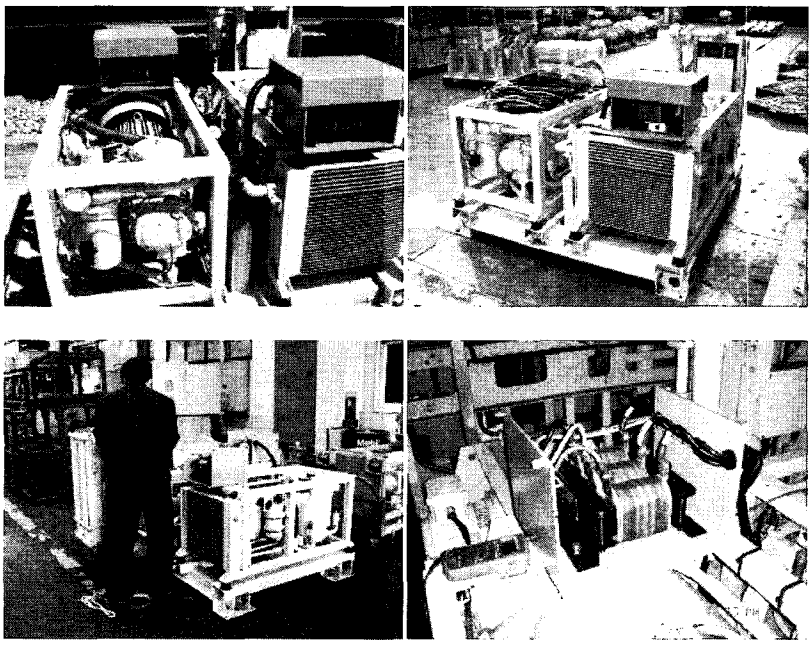


그림 101 현차에 설치된 리엑터

(다) 리엑터 설치 후 시험결과

Aux-Block의 출력 사양이 DC Link전압 DC670V의 PWM AC380V형태이고 CM모터 사양은 정현파 AC380V이므로 PWM시 발생하는 과전압에 의한 리플 서지와 노이즈를 방지하기 위하여 리액터를 설치하여 설치전과 후의 전류 파형을 확인한다.

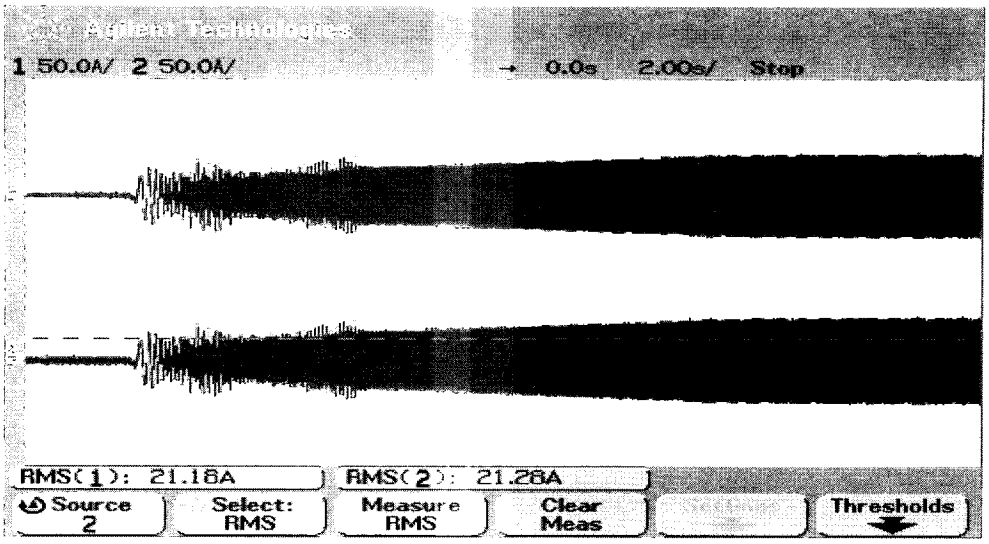


그림 102 리액터 설치후 모터 기동 전류

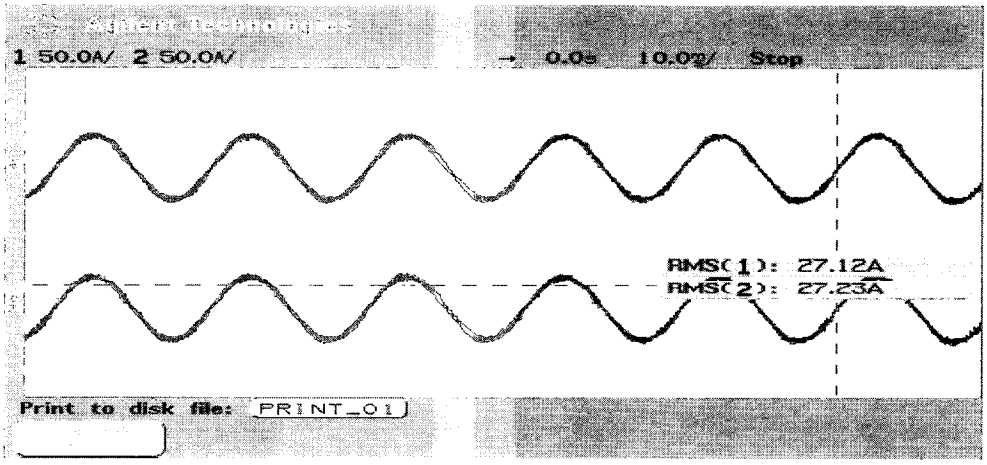
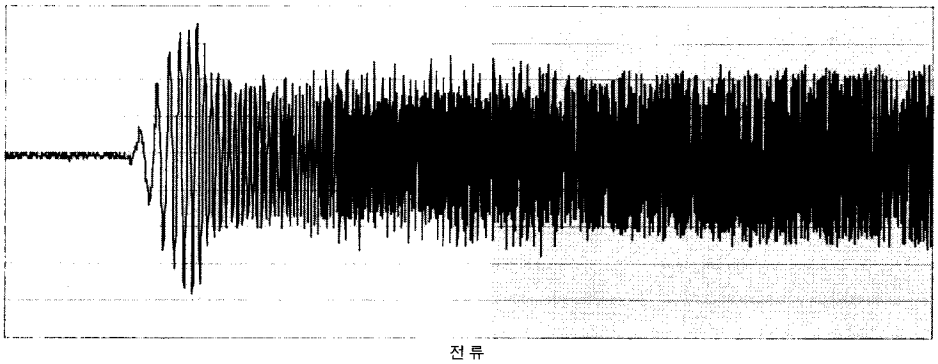


그림 103 리액터 설치후 모터 전류(정상상태)

CM 기동 전류



전류

그림 104 PC2-CM#2 모터 기동 전류(설치 전)

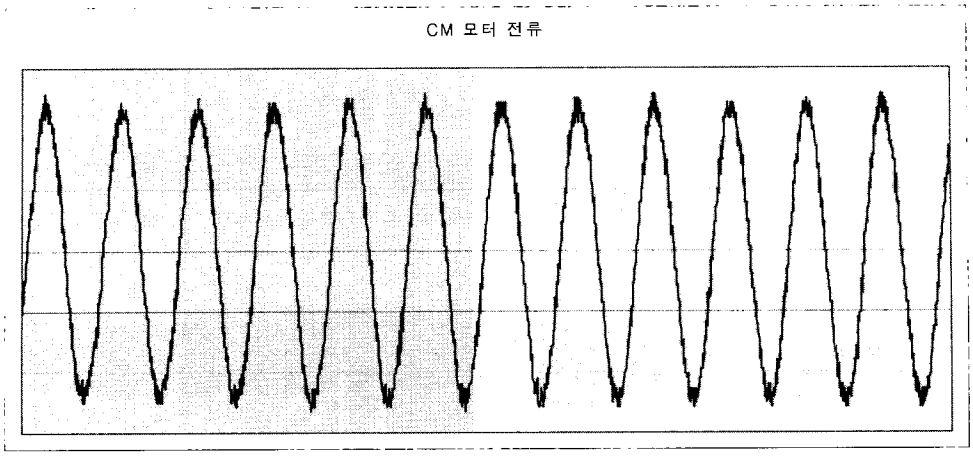


그림 105 PC2-CM#2 모터 전류(설치후)

바. 캘리퍼 설계 보완 및 개선품 적용

시제차량을 운전하면서 발생한 캘리퍼의 구조적 보완사항 및 설계반영사항을 정리하였다.

(1) 캘리퍼-대차 연결하는 너트풀림-이탈된 현상

캘리퍼와 대차를 연결하는 핀-너트 구조에서 중정비 후 시험운행에서 너트가 풀림-이탈된 현상이 발생하였다. 중정비 전 캘리퍼와 대차프레임 간을 연결하는 구조는 그림 3.6-53과 같이 핀, 평와셔, 로크너트를 사용하였다.

중정비를 위하여 당사로 입고되었을 때는 핀과 너트의 나사부가 훼손되어 신규로 교체하여야 했다. 이에 핀은 신규 가공을 하였으며 로크너트는 가는나사로써 로템에서 재고를 보유하고 있지 않았고 중정비 기간 내에 같은 형식의 제품을 구입하는 것도 불가능하여 그림 3.6-54 같은 대안을 마련하였다.

풀림방지를 위하여 그 효과가 널리 입증된 NORD-LOCK와셔를 사용하였다.

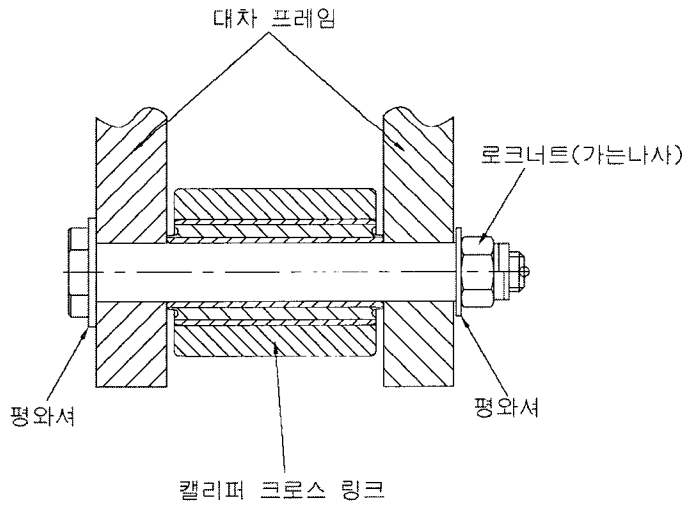


그림 106 캘리퍼-대차 연결 구조(중정비 전)

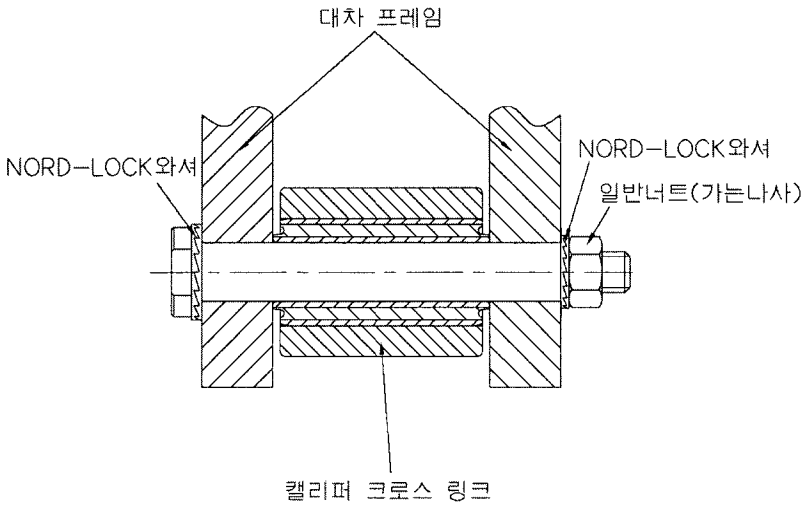


그림 107 캘리퍼-대차 연결 구조 대안

위와 같은 너트의 풀림이 발생된 원인은 NORD-LOCK 와셔의 경우 풀림방지의 효과를 기대하기 위해서는 다른 종류의 와셔를 같이 사용해서는 안 된다. 그러나 중정비 작업 시 그림 28과 같이 평와셔와 NORD-LOCK 와셔를 같이 조립하는 오류를 범하여 풀림-이탈이 발생하였다.

원설계대로 로크너트로 교체하기에는 현실적으로 구매처가 명확하지 않고 수입에 따르는 소요시일이 오래 걸린다. 너트의 풀림이 조립작업의 오류인 만큼 단시간의 해결방안으로는 정확히 조립한다면 풀림은 발생하지 않을 것이다. 이후 보완 설계시에는 이를 반영하고자 한다.

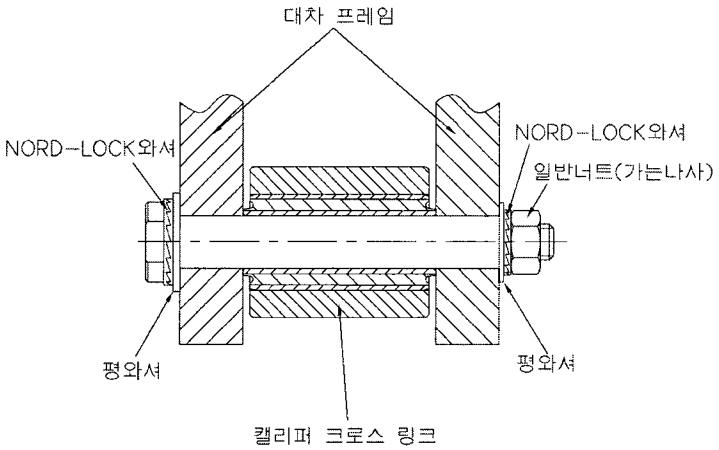


그림 108 중정비 작업 오류

(2) 캘리퍼-행거 부시

시제차량의 시운전 도중에 발생한 8번 대차의 휠디스크 캘리퍼의 행거 부시가 그림30처럼 빠져나오는 현상이 발생하였다.

이는 차량진동으로 인해서 부시가 처음 치부된 위치에 있지 않고 분할 핀이 있는 쪽으로 쏠림 현상이 발생함으로써 부시가 바깥으로 빠져나오게 된 것이다.

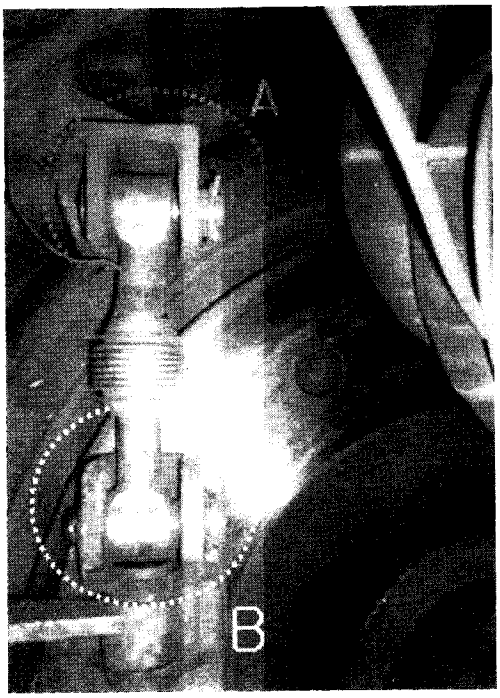


그림 109 캘리퍼 부시 쏠림현상

조치사항으로는 파손된 행거의 부시 교체, 부러진 분할핀 교체하였다.

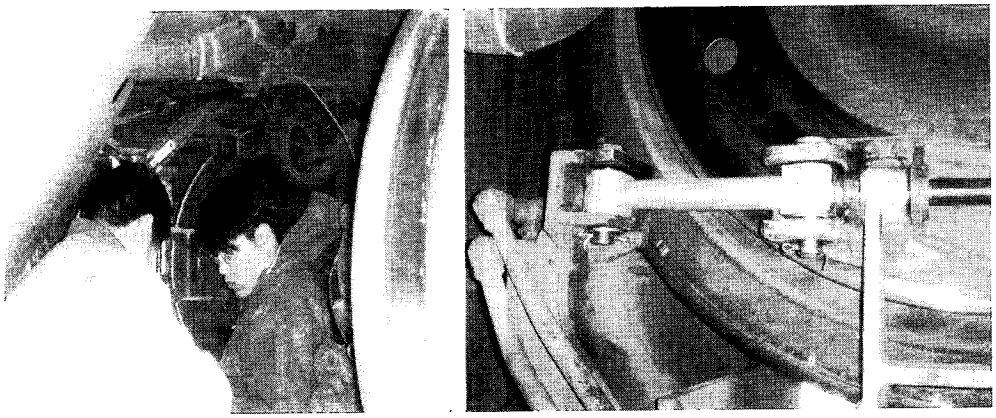


그림 110 휠디스크 캘리퍼의 행거 분해 작업사진

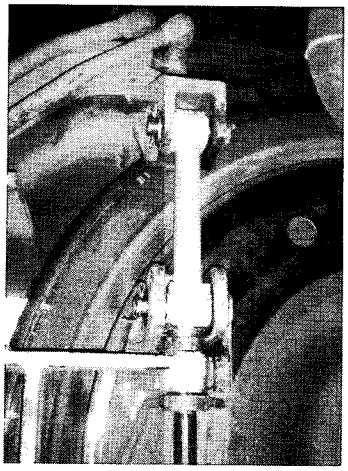


그림 111 파손된 부시
교체완료 후 사진

(2) 설계변경사항

시제차량에서 발생된 캘리퍼의 부시파손문제와 너트풀림현상등을 차륜디스크캘리퍼의 설계변경을 반영하였다.

(가) 차륜디스크 캘리퍼의 설계변경

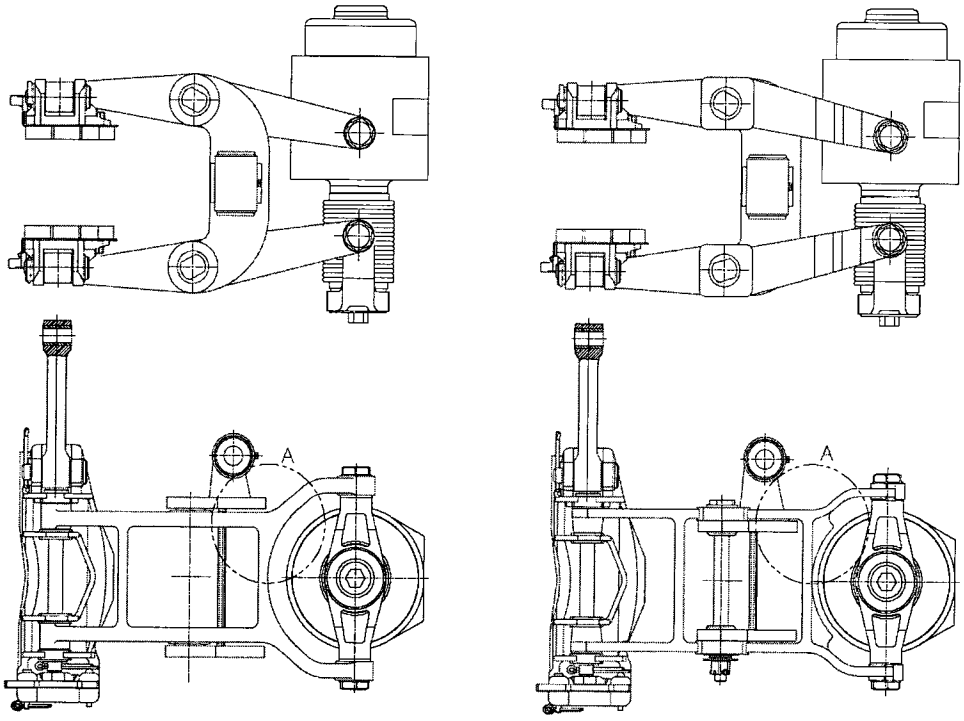


그림 112 차륜디스크 캘리퍼 (좌) 설계 변경 후 (우) 설계 변경 전

① 레버 두께 강화

그림 3.6-60와 같이 레버의 두께를 14mm에서 22mm로 강화하였다. 두께가 증가함에 따라 수직방향의 진동에 대한 내구성이 증가할 것으로 기대된다.

② 응력 집중 부위 제거

그림 3.6-61의 응력 집중부위 'B'를 제거하고 R140으로 부드럽게 연결하였다.

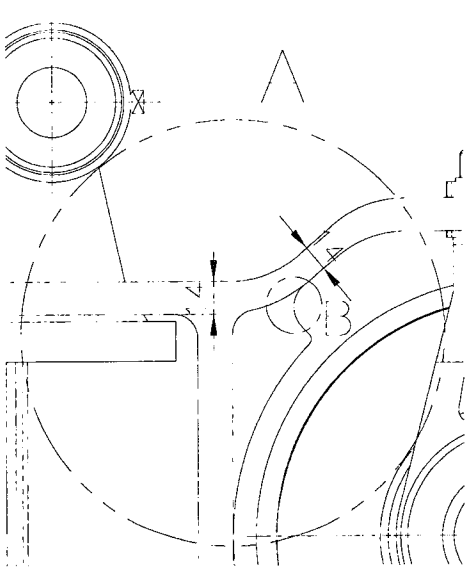


그림 113 설계 변경 전

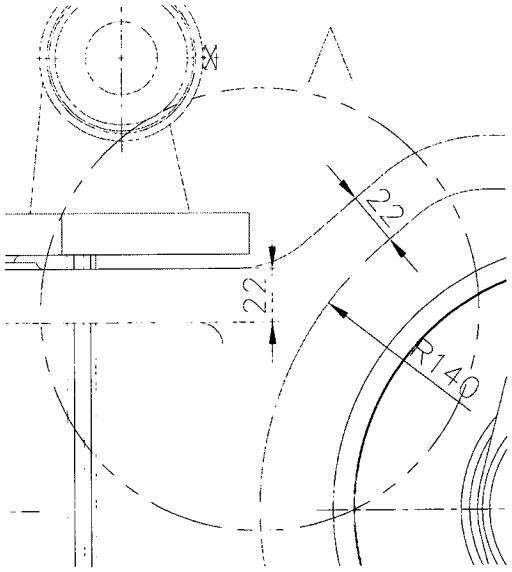


그림 114 설계 변경 후

사. 와전류제동장치 구조보완

와전류 제동장치는 레일과의 상호력을 이용하는 비접촉 제동장치로 기존의 고전적인 제동장치와는 다른 작동환경과 작동조건을 가진다.

와전류제동장치는 레일과 대차구조물 간의 자기력을 이용하기 때문에 제동장치와 레일간을 일정한 좁은간격(7mm)을 유지해야 한다.

와전류제동장치와 부수대차의 기계적 인터페이스는 크게 4부분으로 나뉜다. 가장 큰 힘이 걸리는 Stopper 부, 제동력을 대차에 전달하는 Link 부, 프레임 중앙에서 진동을 흡수하는 Damper 부, 제동완해서 와전류 제동프레임의 상승하강 작용과 고정기능을 하는 Cylinder Assembly 부 로 나눌수 있다. 아래 그림 3.6-36은 와전류제동장치의 외형도 이다.

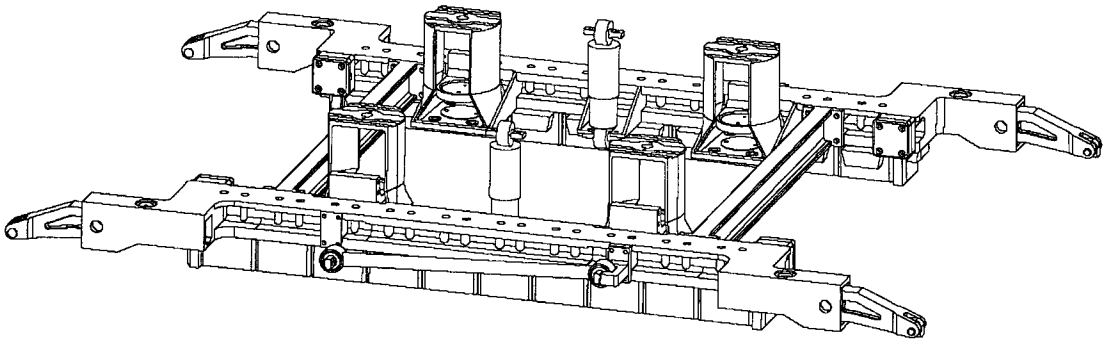


그림 115 와전류제동장치의 외형도

(1) 와전류전자석 프레임과 차체간 절연시험

절연내력 시험기를 이용하여 각 대차별 와전류제동 전자석 부하코일과 차체 사이 및 전자석 단품에 대한 절연정도를 검사함.

(2) 상승높이제한장치(Wearing Adjuster)기능 구조 수정 보완 제작 및 취부

초기설계당시의 오류로 인해 상승/하강 높이를 조정하는 기능을 가진 차륜마모 보정장치의 파손이 발생하여 기계적인 동작 메카니즘을 설계변경하고, 제작하여 교체 취부 하였다.

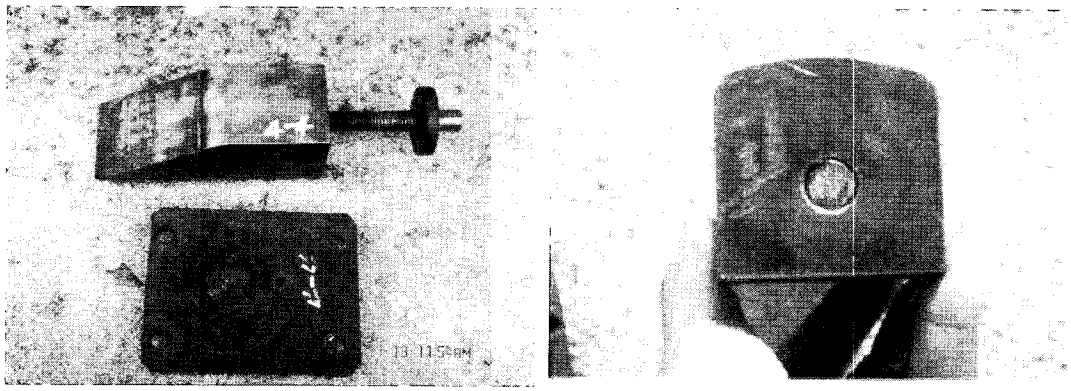


그림 116 상승높이 제한장치의 구조적 파손발생 부위

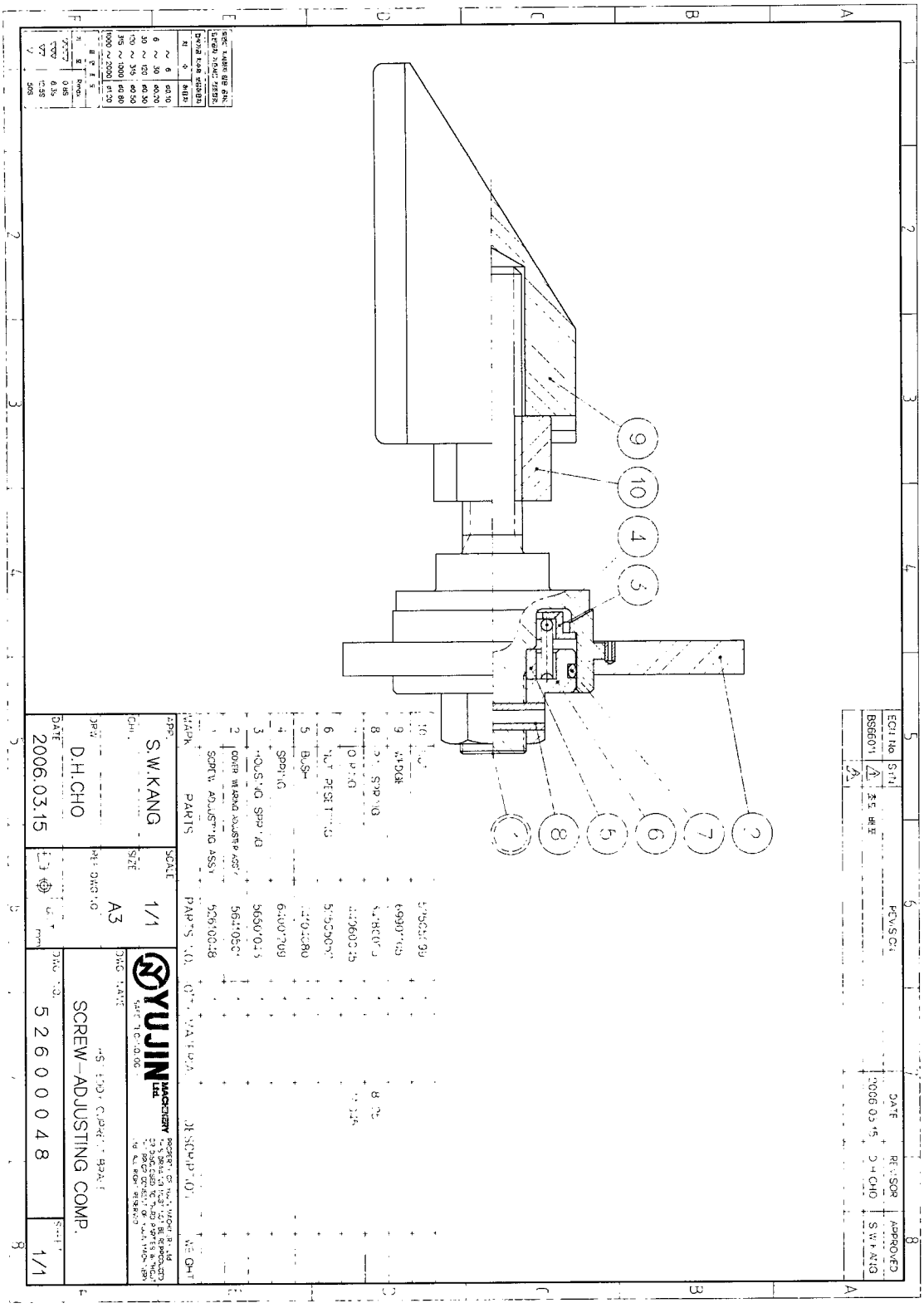


그림 117 상승높이 제한장치의 재설계

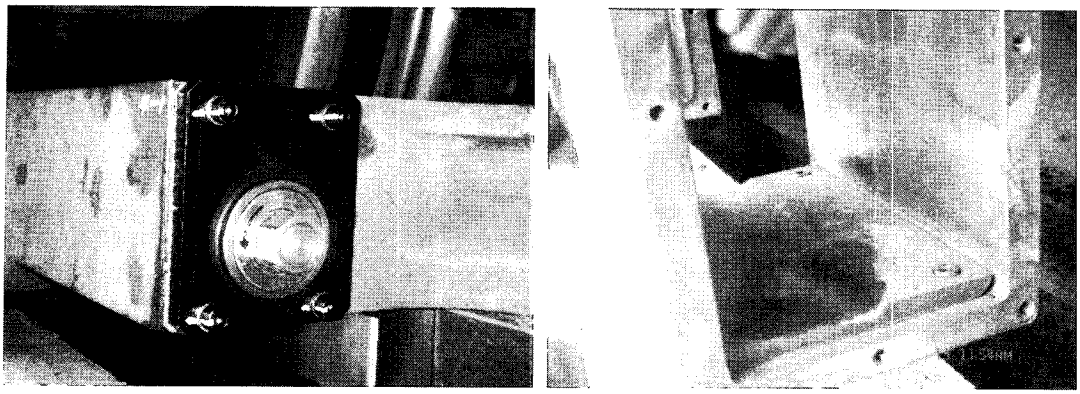


그림 118 상승높이 제한장치의 개선품 장착

(3) 방진고무 파손품 교체작업

파손된 벨러우즈 실린더 하부의 방진고무 Ass'y를 예비부품 제작하여 교체 장착하였다.

제작 공차를 허용하도록 제동장치 구속방식(고무댐퍼) 변경검토 중이다. 또한 고무댐퍼 브라켓과 대차프레임 간 연결방식 변경, 내구성 강화를 위한 방안을 협의중이다.

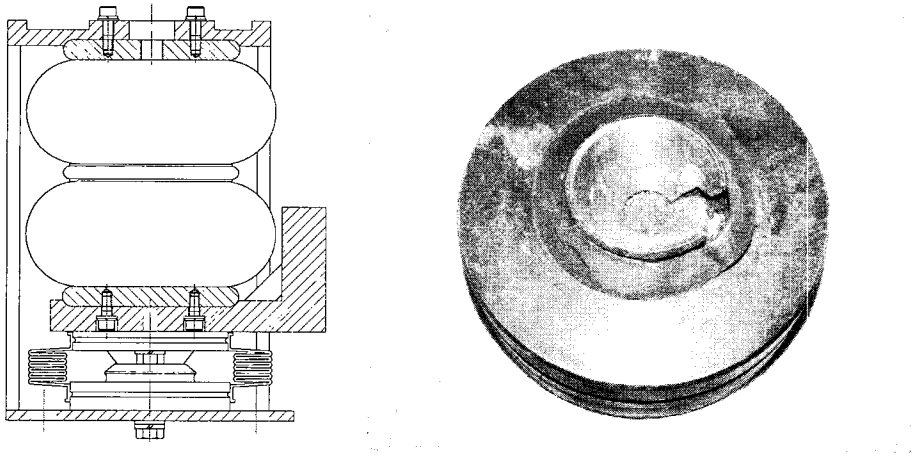


그림 119 방진고무의 취부위치 및 파손품

(4) 와전류제동장치 전원공급장치(EECU 쵸퍼) 제어장치 Board 점검

와전류제동 전원공급장치 내부의 제어기가 ECCU(차량 인터페이스 신호처리 및 쵸퍼제어장치로 필요 전류요구량 전송 기능 담당) 와 CCU(전송받은 요구전류량을 대전력제어하여 전자

석에 필요한 전류생성 기능)로 나뉘어져 있는 것을 한 개의 통합 제어장치로 재구성하여 신뢰성 향상과 다단계 신호전송경로 인한 고장발생원인 차단이 목적임.

(5) Bellows 실린더 교체 작업

와전류 초기 설계/제작시 발생한 오류로 인하여 Bellows 실린더가 파손되는 사고가 발생하였다. 피로강도 보강설계가 추가적으로 이우러져야 하며, 재질에 대한 검사가 필요하다.

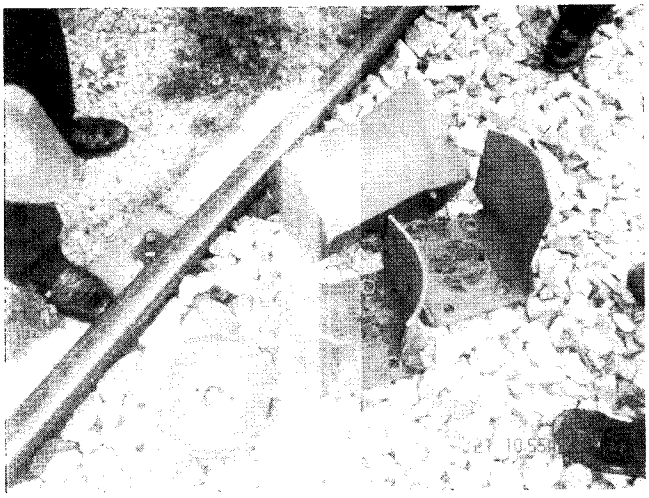


그림 120 피로에 의한 실린더 파손

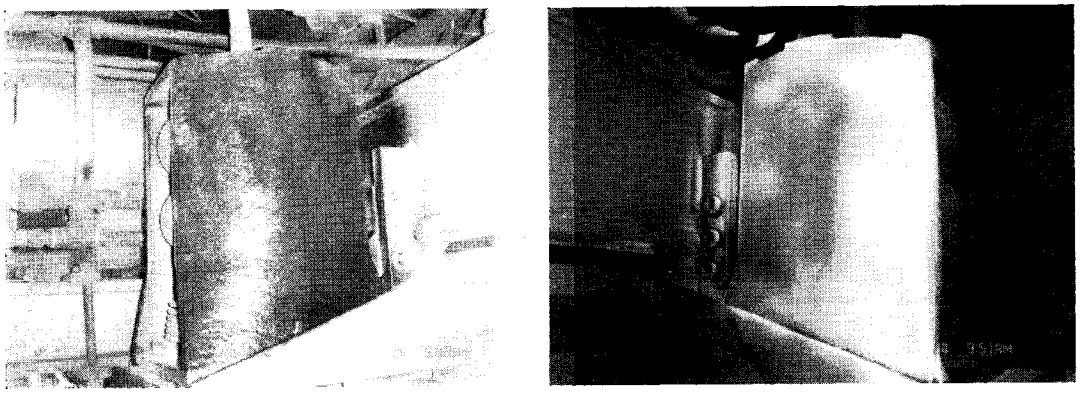


그림 121 탐상액을 통한 파손여부 확인

(6) 기타부품에 대한 보수유지

① 대차연결부 간섭

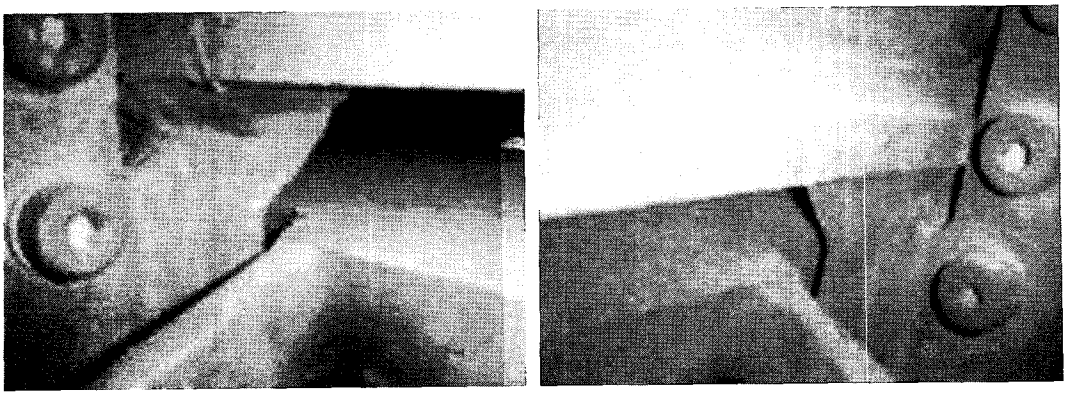


그림 122 대차간섭부위

② 레그부 보호 자바라 교체

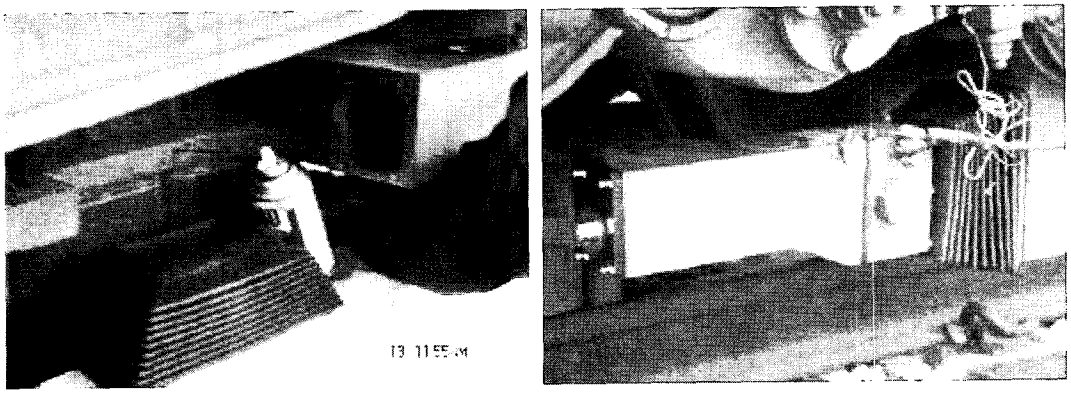


그림 123 자바라 교체

③ 전자석 정선박스 교체

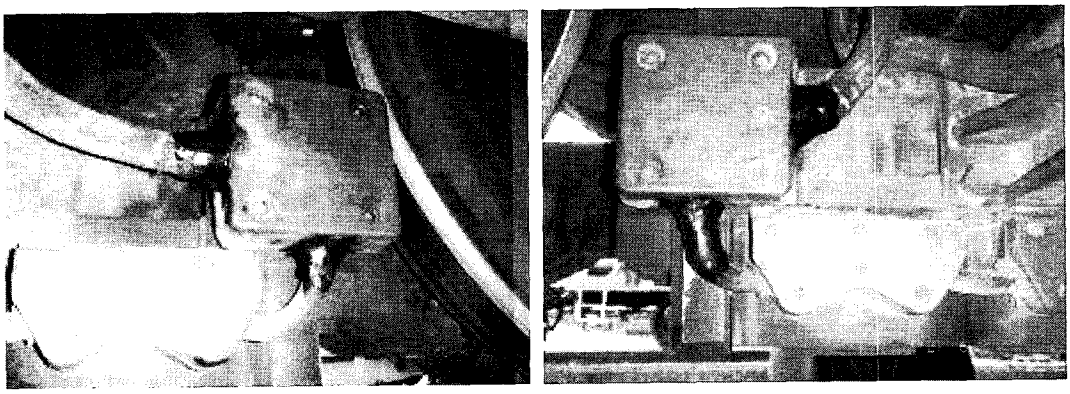


그림 124 정선박스 교체 및 기밀작업

시험일자 및 시간 : 2006년 6월 9일 11:00 ~ 18:00

아. 와전류제동장치 성능시험 절차서

1. 목적 및 적용범위

본 절차서는 한국형 고속열차 차량의 편성상태에서의 신뢰성 및 안정성 확보를 위한 와전류 제동장치 시험에 대하여 규정한다.

2. 정의 및 약어

1) ECCU(Eddy Current Control Unit) : 와전류제동 컨트롤 장치

2) CCU(Current Control Unit) : 와전류 제어장치

3. 관련자료

1) 동력차 및 객차 저압회로도(Power and Trailer Car LV Schematic Diagrams)

2) 차량제어사양서(Control System Specification)

4. 시험항목

1) 와전류 제동장치 고압시험

가) 고전압 입력시험

나) 기동-정지 시험

다) Off-Line제어시험

2) 와전류 제동장치 흡인력/제동력 확인시험

가) 정지상태에서의 와전류 제동장치 흡인력/제동력 시험

나) 시운전상태에서의 와전류 제동장치 흡인력/제동력 시험

5. 시험장비

노트북 컴퓨터

오실로스코프

스트레인 게이지 앰프

간이 테스터기

고압 전압 Probe, 전류 Probe

6. 시험조건

1) 전자석 조건

- 전자석의 깨짐이나 손상이 발생하지 않았는지 확인한다.
- 전자석간의 연결 Cable에 이상이 없는지 확인하다.
- 전자석과 와전류 제동장치 차체 프레임간의 고정에 문제가 없는지 확인한다.
- 전자석 하강장치에 문제가 없는지 확인하다.
- 전자석과 레일간의 공극조절장치에이상이 없는지 확인한다.

2) 와전류 초퍼장치 조건

- 장치내 부품에 손상이 발생하지 않았는지 확인한다.
- 부품간의 연결 Cable에 이상이 없는지 확인하다.
- 볼트 및 연결단자의 풀림이나 손상이 없는지 확인한다.
- 컨트롤 장치의 PCB에 손상이 발생하지 않았는지 확인한다.

3) 고전압 시험 조건

- 차량은 정지상태로 한다.
- 모든 NFB 및 스위치는 정상상태로 한다.
- 운전실 선택 및 배터리 투입상태로 한다.
- 와전류 제동장치의 입력전원단자 연결을 확인한다.
- 와전류 제동장치의 출력부하단자 연결을 확인한다.

4) 와전류제동장치 흡입력/제동력 확인시험

- 고전압 시험 조건을 만족하는지 확인한다.
- 차량은 정지상태 및 운전상태에서 시험한다.
- 스트레인 게이지의 상태를 확인하다.
- 차량의 운행조건을 확인한다.

7. 시험방법 및 절차

1) 와전류 제동장치의 차량속도 변화에 따른 흡인력/제동력 특성

가) 전자석 사양

항목	규격
최대 허용 전류	최대 120A-2분
저항/Magnet	0.25Ω
제동력	350Km/h에서 최소750N
입력 전압 정격	DC2800V
허용 온도	150℃
절연	AC8300V - 1분
충격강도	상하 : (±25g + 제동력) * 1.15 좌우 : (±10g + 제동력) * 1.15 전후 : (±5g + 제동력) * 1.15

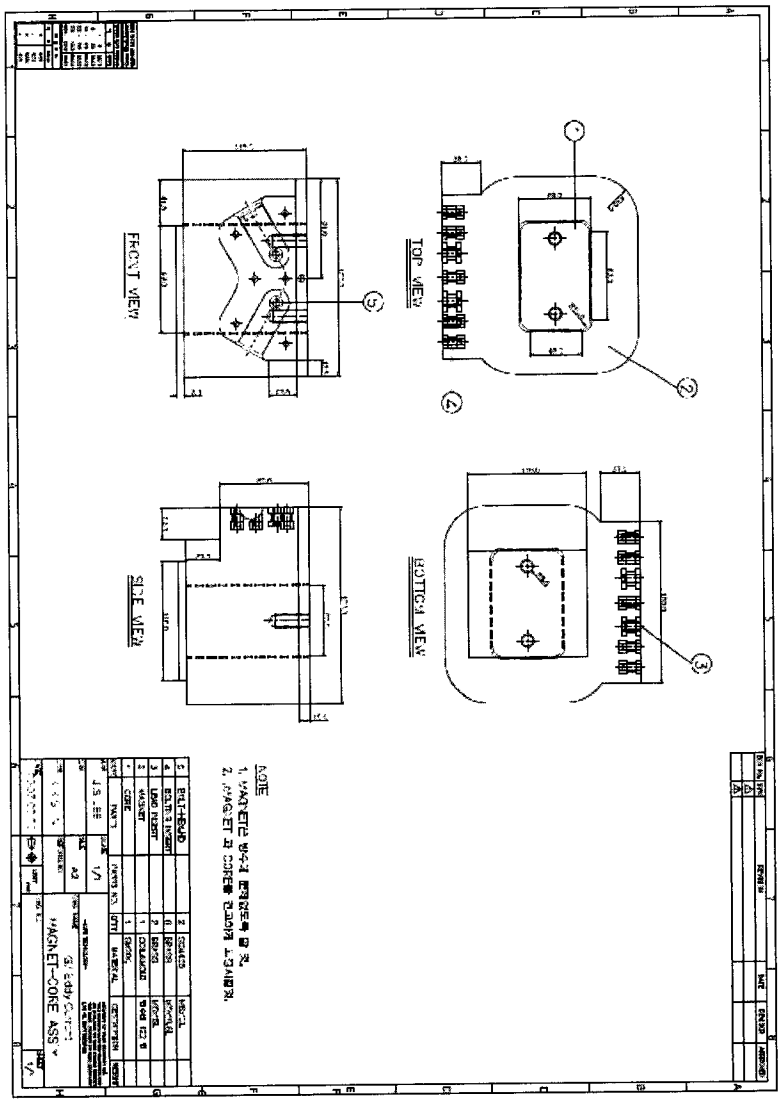


그림 125 와전류제동용 전자석 단품 외형도

나) 전자석 흡인력/제동력 특성 시뮬레이션

속도변화에 따른 전자석의 제동력 및 흡입력 특성을 시뮬레이션하고 실제 시험을 통하여 검증할 수 있도록 한다.

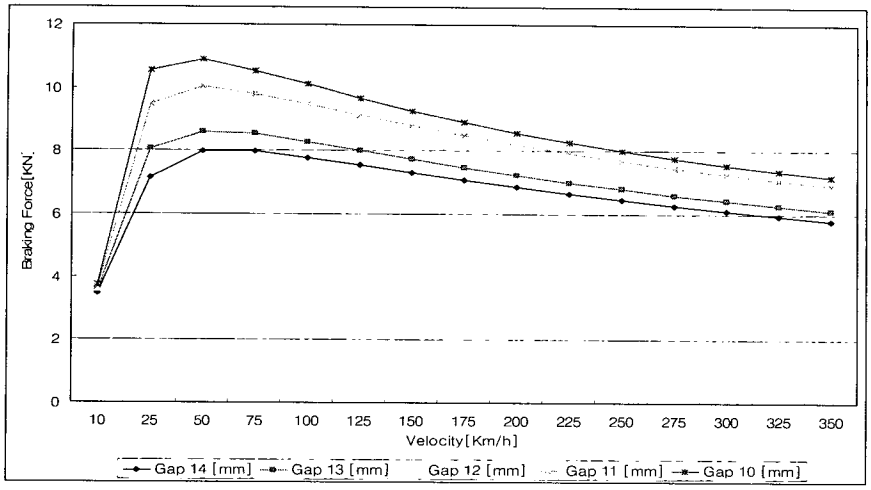


그림 126 공극변화에 따른 속도별 제동력 특성 그래프

속도\공극	Gap 14 [mm]	Gap 13 [mm]	Gap 12 [mm]	Gap 11 [mm]	Gap 10 [mm]
0	0	0	0	0	0
10	3.48852	3.559392	3.626358	3.6792	3.7473
25	7.1634	8.050974	8.69256	9.47412	10.54225
50	7.9776	8.605326	9.201768	10.04825	10.89626
75	7.96932	8.534316	9.092214	9.812916	10.53818
100	7.768986	8.274132	8.849784	9.484776	10.12991
125	7.556472	8.01243	8.522652	9.131268	9.673446
150	7.313028	7.746162	8.214792	8.812758	9.272772
175	7.076178	7.485468	7.922154	8.50389	8.909124
200	6.850482	7.23543	7.648272	8.209722	8.577426
225	6.641016	7.00365	7.39722	7.93635	8.27718
250	6.448284	6.795198	7.183188	7.689354	8.010906
275	6.268236	6.601962	6.961044	7.468224	7.774056
300	6.098838	6.422928	6.767808	7.265352	7.55901
325	5.936544	6.256572	6.586242	7.077696	7.360704
350	5.780328	6.09732	6.412782	6.899676	7.173552

표 2 공극변화에 따른 속도별 제동력 특성표

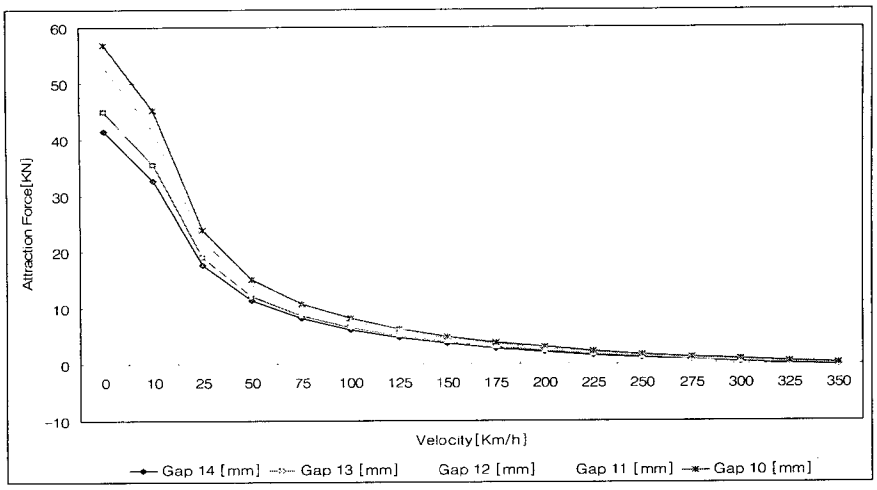


그림 127 공극변화에 따른 속도별 흡인력 특성그래프

속도\공극	Gap 14 [mm]	Gap 13 [mm]	Gap 12 [mm]	Gap 11 [mm]	Gap 10 [mm]
0	41.429	44.92347	49.39528	53.01553	56.83459
10	32.597	35.48116	39.28998	41.53284	45.25404
25	17.68588	18.99186	20.26691	22.05776	24.00179
50	11.36032	12.15102	12.85549	14.02099	15.13273
75	8.187408	8.739216	9.245382	10.05434	10.83184
100	6.154632	6.626814	6.968148	7.668564	8.192988
125	4.780932	5.159034	5.410092	5.987766	6.365106
150	3.748164	4.045878	4.24053	4.72053	5.015556
175	2.928912	3.158718	3.315942	3.721182	3.96402
200	2.26131	2.433954	2.566332	2.91324	3.101556
225	1.709652	1.841568	1.952646	2.250864	2.437662
250	1.24878	1.353156	1.444956	1.706658	1.877478
275	0.85485	0.940314	1.01436	1.24665	1.405548
300	0.51144	0.584778	0.640566	0.850542	0.996408
325	0.209256	0.273876	0.312882	0.503628	0.636612
350	-0.05934	0.002028	0.021558	0.193236	0.314106

표 3 공극변화에 따른 속도별 흡인력 특성표

2) 흡인력/제동력 측정 방법

가) 제동력 측정 방법

와전류 제동장치는 제동작용시 그림.1의 ①과 같이 네 지점이 대차의 액슬 박스에 지지되어 레일과 일정한 간격을 유지하도록 되어 있으며 ②의 두 지점은 링크로 대차와 연결되어 주행방향을 구속하기 때문에 전자석의 흡인력에 의한 제동력이 발생할 경우 대차로 전달하도록 되어있다.

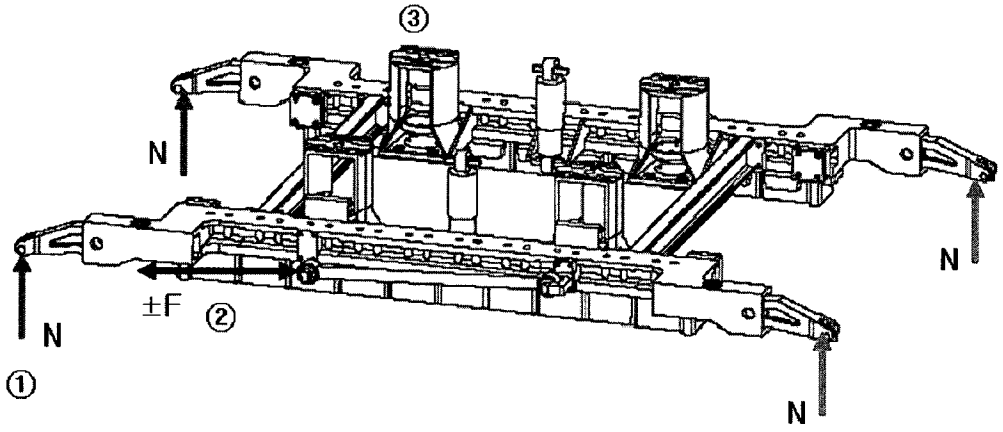


그림 128 와전류 제동장치

와전류 제동장치의 흡인력 측정은 그림.2,3,4와 같이 전단형 로드셀을 사용하여 네 지지점의 수직방향 하중을 측정한다.

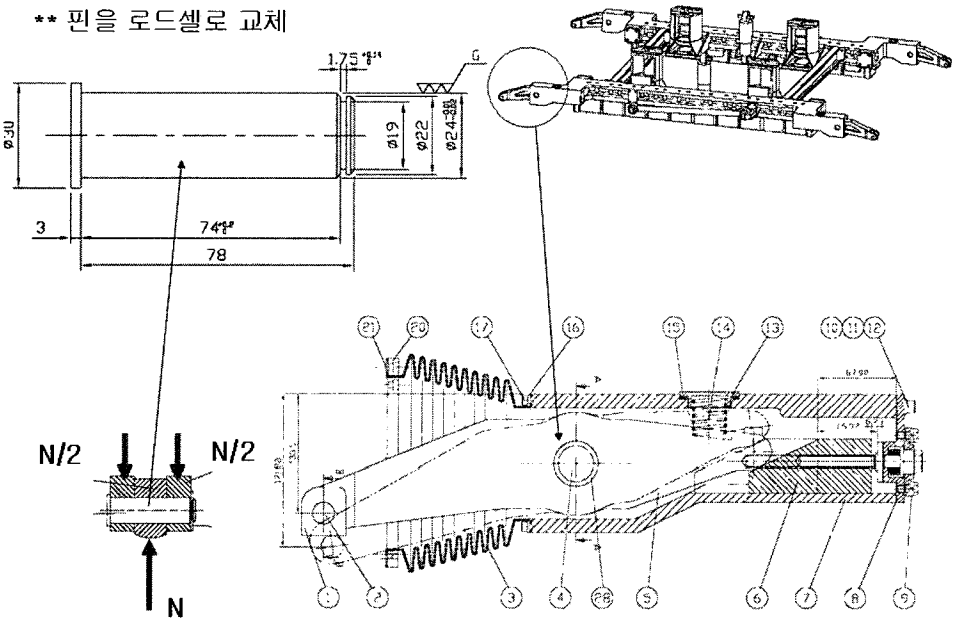


그림 129 수직방향 하중 측정 위치

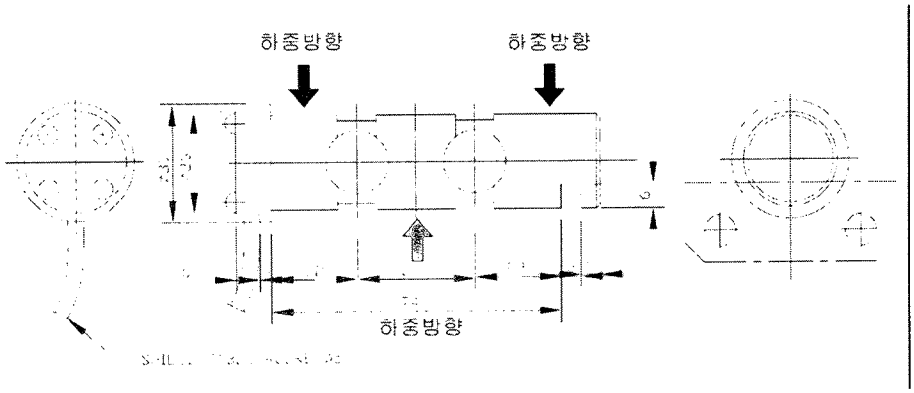


그림 130 전단형 로드셀

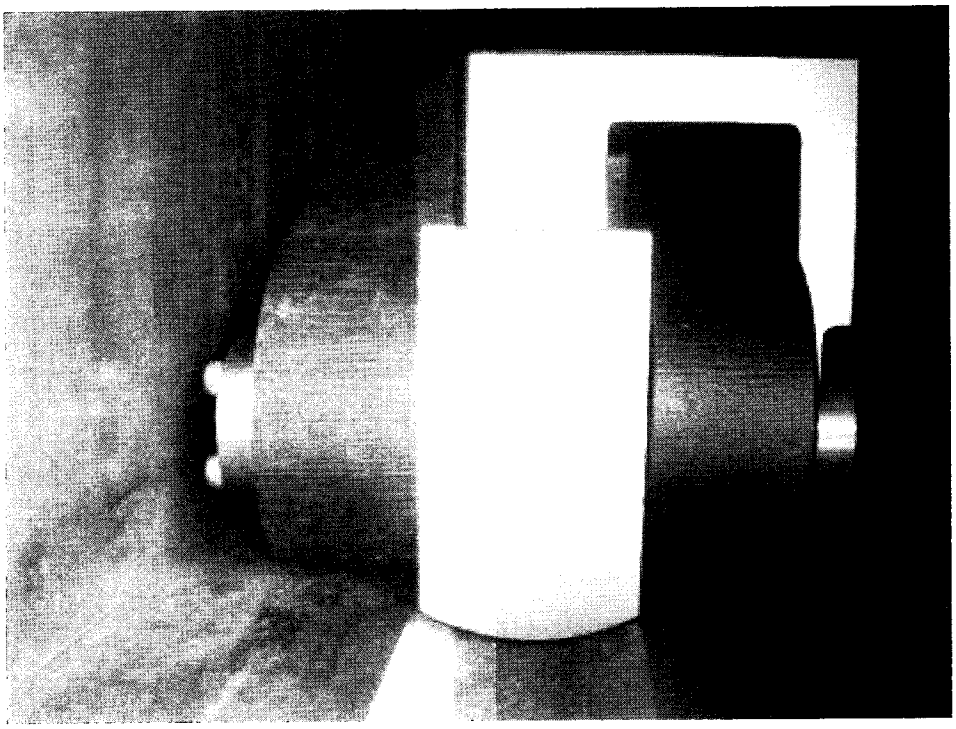


그림 131 전단형 로드셀 설치 결과

열차의 주행 방향과 평행하게 작용하는 제동력은 그림.5의 인장압축형 로드셀을 그림.6의 링크 가운데에 설치하여 측정한다.

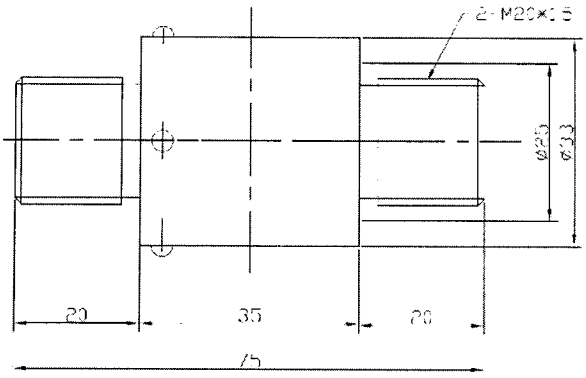


그림 132 인장압축형 로드셀

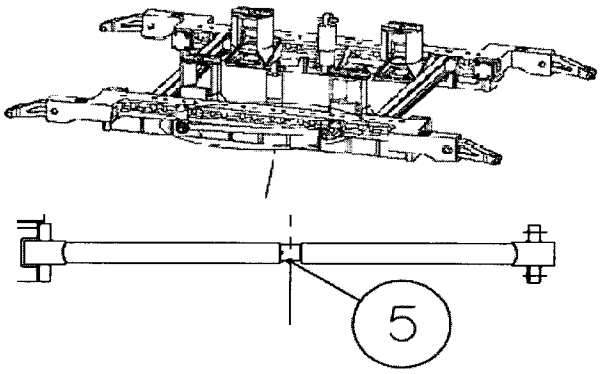


그림 133 인장압축형 로드셀 설치

나) 시험 장치

와전류 제동장치의 흡인력과 제동력을 측정하여 기록하는 시험장치는

로드셀 -> (스트레인게이지 앰프 -> 레코더) -> PC 와 같이 연결하여 구성하게 된다.

( )와 같이 로드셀의 신호를 디지털로 변환하여 PC로 전송하는 것은 VISHAY Strain Smart 5100 Scanner를 사용한다.(그림7) 그림.8은 실제 시험시 구성된 사진이다.

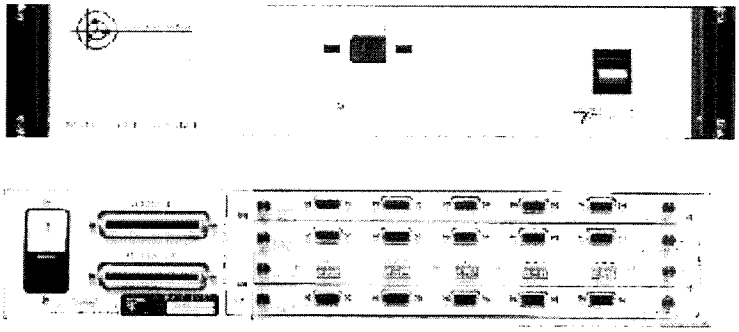


그림 134 Strain Smart 5100 Scanner

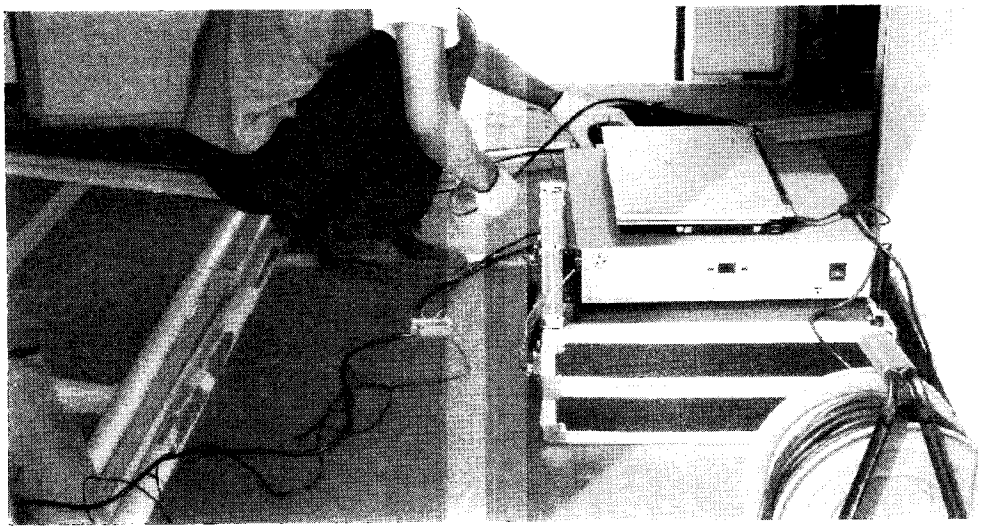


그림 135 실제 시험장치 구성

다) 구내시운전 방법

구내 시운전은 차량을 출발하여 10Km/h의 속도에 도달한 순간부터 일정 구간을 타력으로만 주행하고 이때 와전류제동장치를 기동하여 와전류제동장치 프레임에 부착된 로드셀 센서로부터 흡인력과 제동력을 측정하고 측정을 마친 후 와전류제동장치를 정지시키고 차량의 제동장치를 동작시킨다.

시험은 와전류제동장치를 정지시킨 상태에서 시운전 절차에 따른 운전에 의한 각 센서의 초기값을 얻고 이를 바탕으로 와전류제동장치를 동작한 상태에서 각 센서의 값을 읽어 흡인력과 제동력을 확인한다.

와전류제동장치의 최대 출력전압은 정지 상태에서와 동일한 값을 유지하며 출력한다.

이로서 정지상태의 흡인력이 운전중 제동력과 흡인력으로 변화한 값을 비교한다.

- 와전류 제동장치 기동 정지상태에서의 구내 주행시험 예

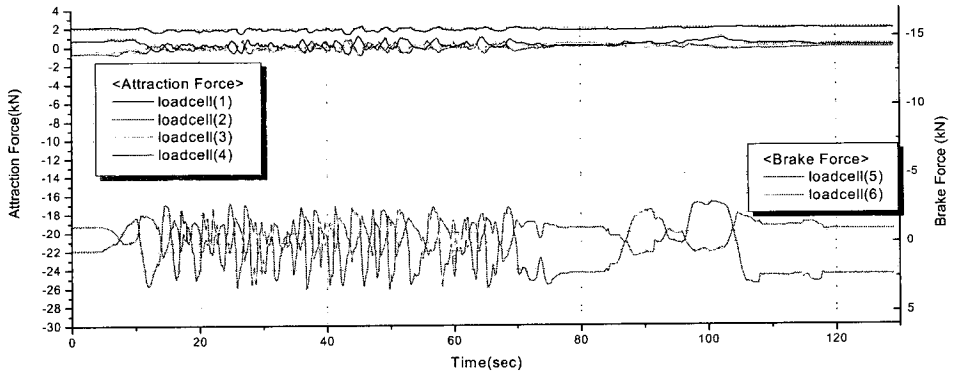


그림 136 와전류제동장치 정지상태에서 구내주행 시험

와전류제동장치의 초퍼에서 출력전압을 발생하지 않았을 경우 구내 시운전 중 타력 구간에서 흡인력(Attraction Force)의 각 로드셀로부터 얻어진 센서 값은 열차의 상하 진동에 의하여 약하게 나타난다(그림 9).

또한, 제동력(Brake Force)는 좌/우 진동에 의하여 2개의 로드셀이 서로 반대방향으로 힘이 작용하는 것을 볼 수 있다.

각각의 흡인력과 제동력을 센서값을 더하여 나타내면 그림10과 같으며 이것으로 구내 시운전 중 타력에 의하여 발생하는 차량의 주중에 의한 힘(흡인력)과 차량과 레일의 점착계수에 의한 마찰저항에 의한 힘(제동력)을 알 수 있고, 이 값은 와전류제동장치가 동작했을 경우 발생되는 흡인력과 제동력의 초기값이 될 것이다.

(F_{attr0} = 1.97463kN , F_{Brake0} = 0.4142kN)

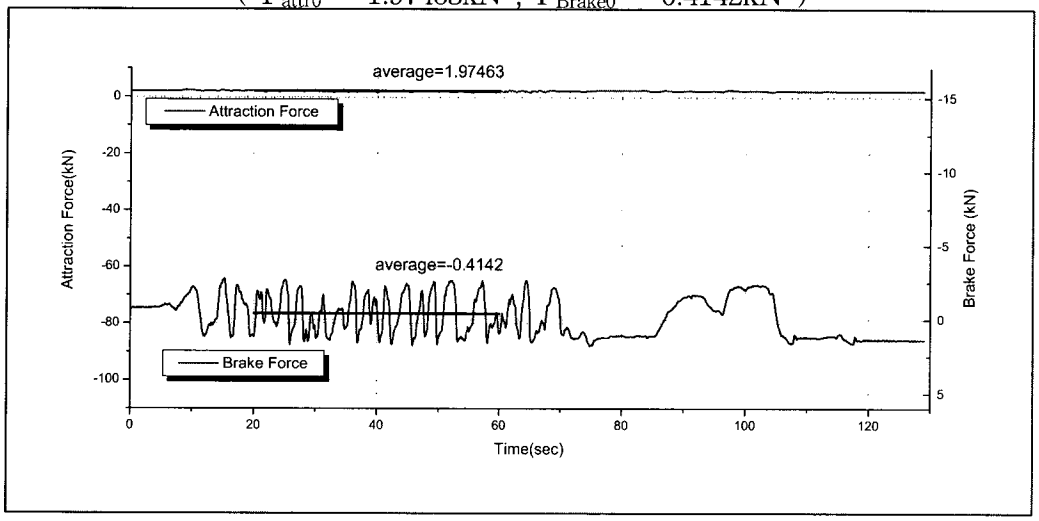


그림 137 와전류제동장치 정지상태에서 구내주행 시험2

3) 고전압 동작 시험

시험 방법	결과 판정 기준
준비사항 : : 차량을 정지상태로 하고 와전류 제동장치의 입력 단자를 연결한다. : 와전류 제동장치의 출력단자를 전자석에 연결한다. : 와전류 프레임의 전자석을 하강시키고 궤도와의 간극을 13mm로 한다. (차량의 시운전시 안전 고려) : 장치의 외부 통신단자에 노트북을 연결한다. : 와전류 초퍼의 출력전압과 출력전류를 확인할 수 있도록 전압 프로브와 전류 프로브 설치를 확인하다.	
1. 고전압 입력 시험 와전류 제동 장치를 정상 동작시켜 내부 캐패시터의 충전상태를 확인한다. : 모터블럭으로부터 와전류 초퍼장치로 DC2800V가 인가되어 초기충전 컨텍터(ECK)가 ON되고 1초후 주컨텍터(ELK)가 ON되어 장치의 주 콘덴서(FC1, FC2)에 전압이 충전된다. 컨트롤러는 장치내 전압검지장치를 통하여 인가된 전압을 확인하고 전자석으로 초퍼전압을 인가할 준비를 한다.	1.디스플레이창의 전압 확인

시험 방법	결과 판정 기준
2. 기동-정지시험 와전류 제동장치를 정상적으로 기동시켜 전자석에 고압이 발생하는지 확인한다. : 충전된 전압은 외부(노트북)로부터 초퍼 명령을 받아 전자석에 고압을 발생시키며 이 때 초기 출력전압은 최소전압(Duty Rate 1%)로 출력한다	2.출력 전압을 확인한다.(스코프)
3. OFF-LINE 제어시험. 고전압 입력상태에서 기동 동작을 시키고 출력의 Duty rate를 OFF LINE으로 1% ~ 40%까지 가변하였을 때 출력 파형이 정상적으로 나타나는지 확인하다.	3.듀티비에 따른 출력 전압/전류 파형 확인 (스코프)

4) 와전류 제동장치 흡입력/제동력 확인시험

시험 방법	결과 판정 기준
준비사항 : : 고전압 동작시험 준비상태를 만족한다. : 와전류 초퍼장치에 연결된 전압/전류 프로브를 탈거한다. : 와전류 제동장치의 카버를 닫고 차량을 운행할 수 있도록 준비한다. : 스트레인게이지의 영점을 조절하여 흡입력/제동력을 확인할 수 있도록 준비한다.	
4. 정지상태에서의 와전류제동장치 흡입력/제동력 측정 고전압 입력상태에서 기동 동작을 시키고 출력의 Duty rate를 OFF LINE으로 1% ~ 40%까지 가변하였을 때 흡입력/제동력을 측정한다.	4. 와전류 프레임의 4점에 위치한 로드셀의 센서값 합이 기준값 이상임을 확인한다. 제동력값은 0[KN]임을 확인하다.
5. 시운전 상태에서의 와전류제동장치 흡입력/제동력 측정 ①차량을 시운전 출발지점에 위치한다. ②와전류제동장치 전원인 모터블럭 컨버터를 기동시킨다. ③와전류제동장치를 기동준비상태로 한다. ④차량을 서서히 출발하여 차량의 속도가 10Km/h가 되도록 한다. ⑤와전류제동장치를 기동하여 정지상태에서와 동일한 출력값을 발생한다. ⑥차량은 10Km/h가 되는 지점에서 약 5초간 차량을 중립에 위치하여 와전류 제동장치의 흡입력/제동력을 측정할 수 있도록 한다. ⑦측정을 마친후 차량은 공기제동을 발생하여 차량을 정차시킨다. ⑧시험 데이터를 정확히 하기 위하여 위 시험을 2회 반복하여 평균값을 취한다.	5.차량이 10Km/h시점에서 흡입력/제동력을 측정하여 기준값 이상 측정되는지 확인한다.

8. 시험결과 보고서

1) 고전압 시험

시험 항목		시험 결과			판 정
		판정 기준	기 준	결 과	
고전압 입력 시험		디스플레이 창 확인	2800VDC	2800VDC	OK
기동-정지시험	기동	초퍼 출력 확인	2800VDC/ 360Hz(1%)	2800VDC /360Hz(1%)	OK
	정지	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	0V	0V	OK
OFF-LINE 제어시험 (Duty Rate)	1%	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	2800VDC/ 360Hz(1%)	2800VDC/ 360Hz(1%)	OK
	20%	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	2800VDC/ 360Hz(20%)	2800VDC/ 360Hz(20%)	OK
	25%	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	2800VDC/ 360Hz(25%)	2800VDC/ 360Hz(25%)	OK
	30%	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	2800VDC/ 360Hz(30%)	2800VDC/ 360Hz(30%)	OK
	35%	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	2800VDC/ 360Hz(35%)	2800VDC/ 360Hz(35%)	OK
	40%	듀티비에 따른 출력 파형 확인(스코프)	2800VDC/ 360Hz(40%)	2800VDC/ 360Hz(40%)	OK

2) 와전류 제동장치 흡인력/제동력 확인시험

시험 항목	시험 결과			판 정
	판정 기준	기 준[KN] (±5%)	결 과[KN]	
정지상태 흡인력 측정 (0Km/h, 40% Duty Rate)	스트레인게이지 측정	44.923	50.04	OK
정지상태 제동력 측정 (0Km/h, 40% Duty Rate)	스트레인게이지 측정	0	0	OK
운전상태 흡입력 측정 (10Km/h, 40% Duty Rate)	스트레인게이지 측정	35.481	34.94	OK
운전상태 제동력 측정 (10Km/h, 40% Duty Rate)	스트레인게이지 측정	1.7442	1.89	OK

9. 와전류제동장치 고전압인가시험 파형 참고자료

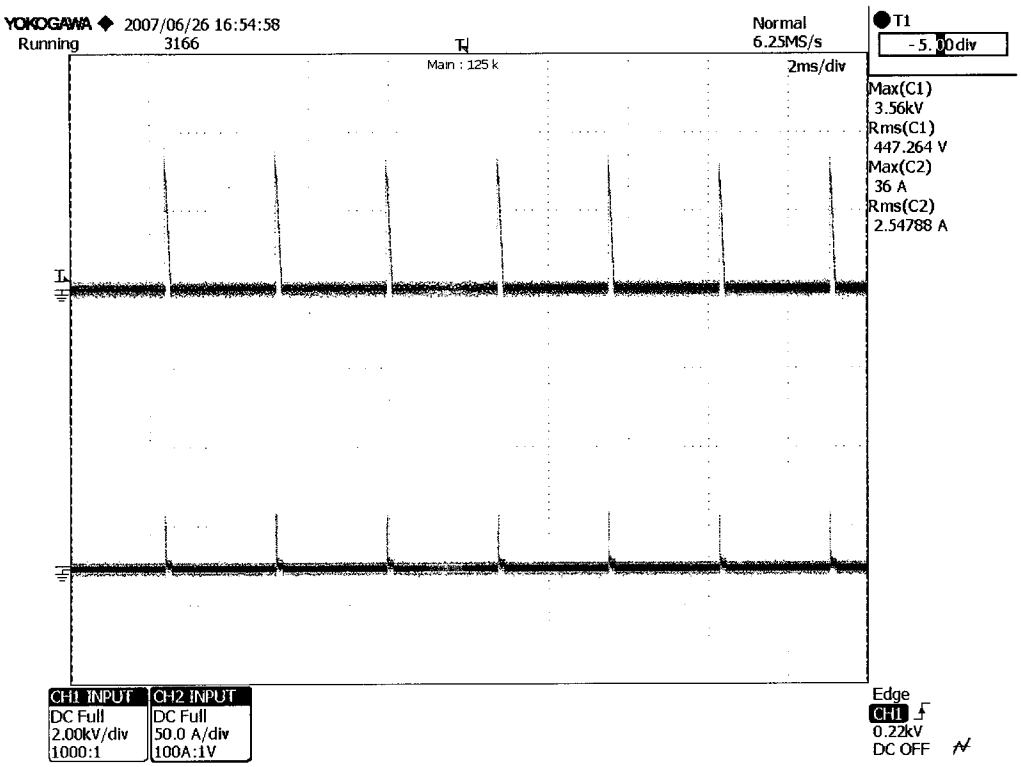


그림 138 고압 출력 - Duty Rate 1%

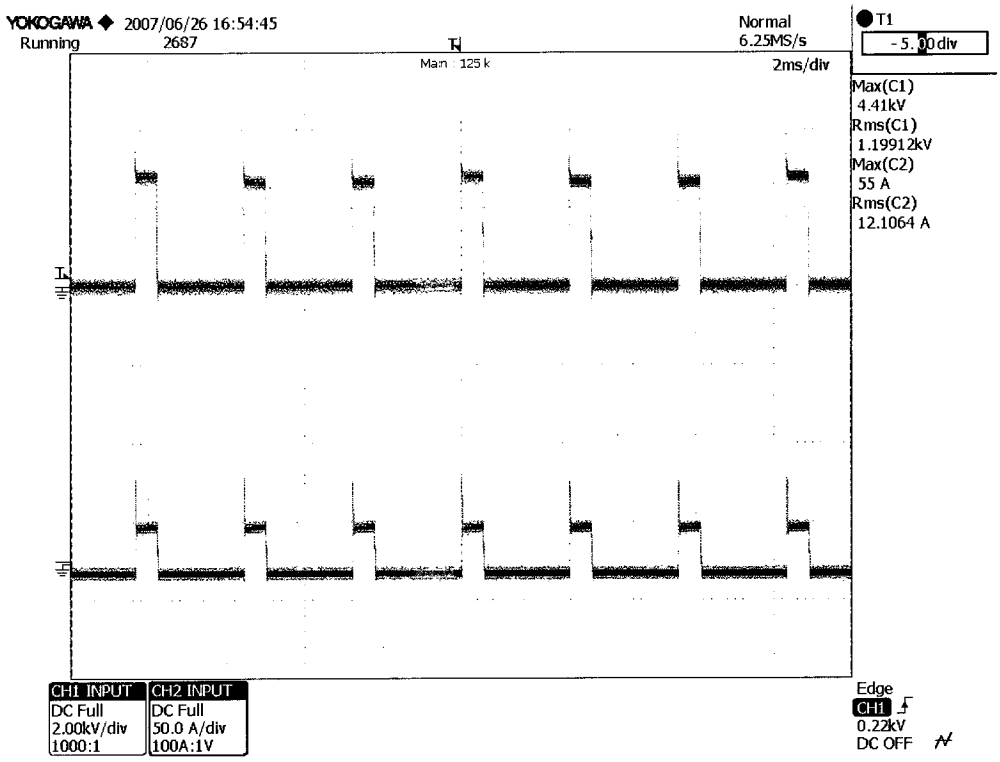


그림 139 고압 출력 - Duty Rate 20%

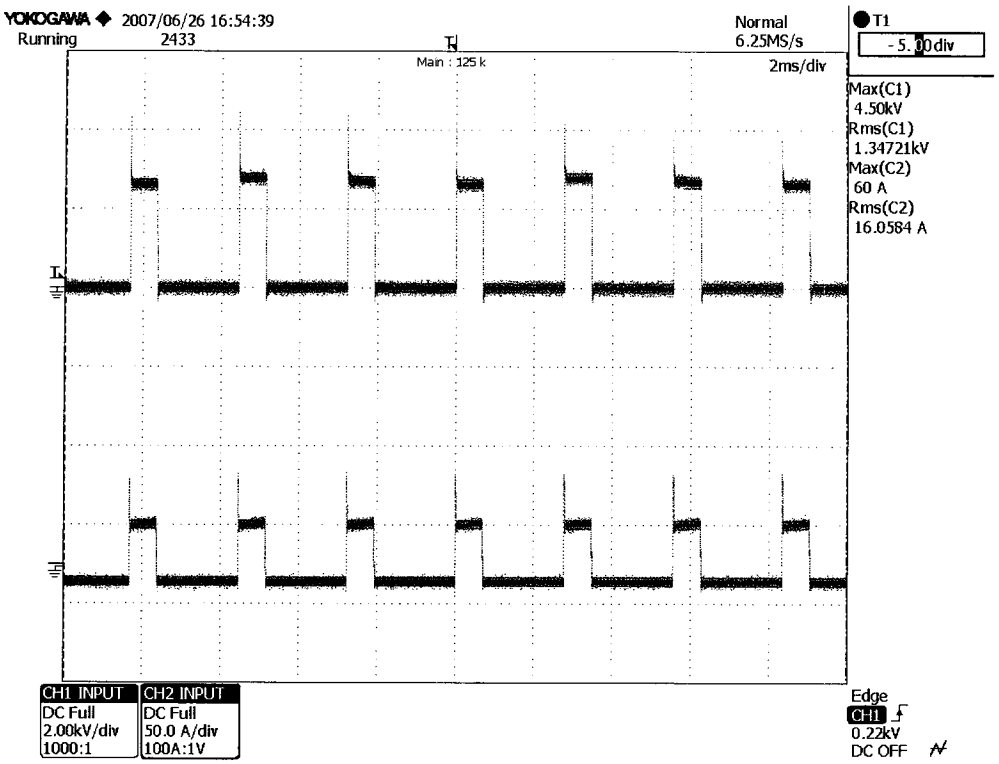


그림 140 고압 출력 - Duty Rate 25%

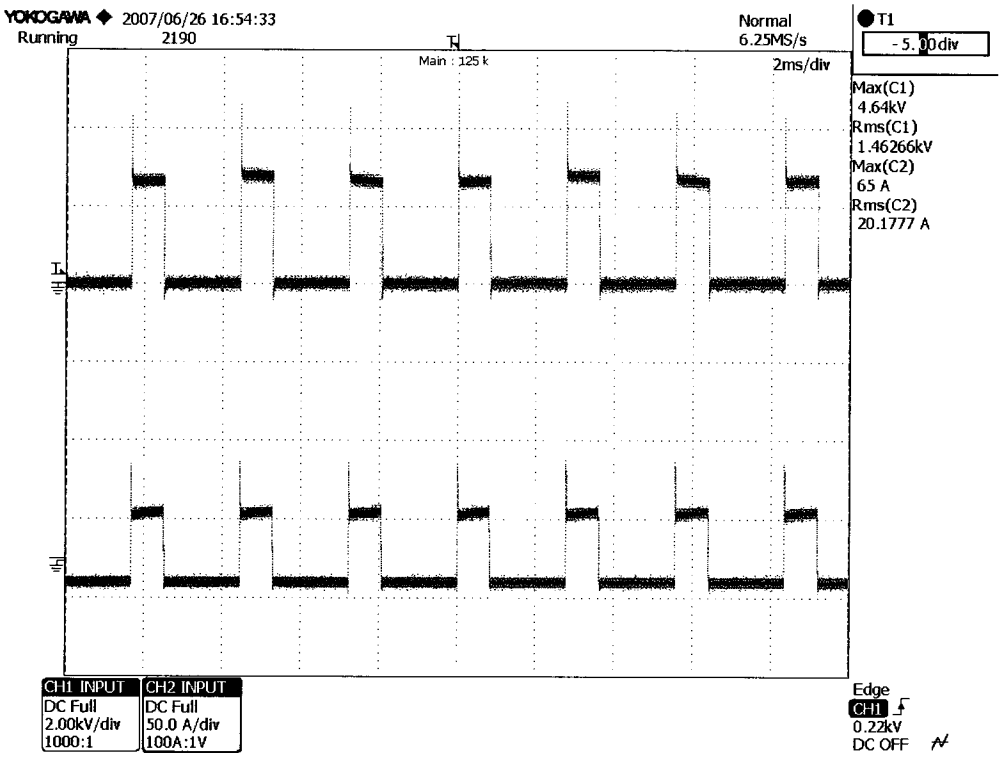


그림 141 고압 출력 - Duty Rate 30%

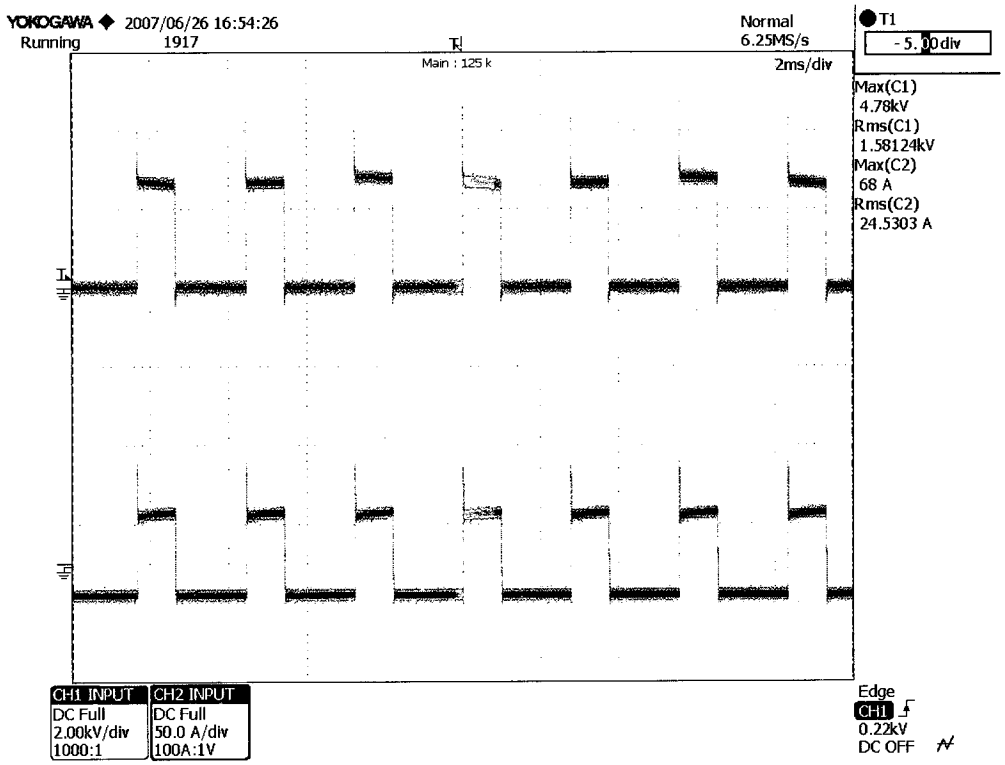


그림 142 고압 출력 - Duty Rate 35%

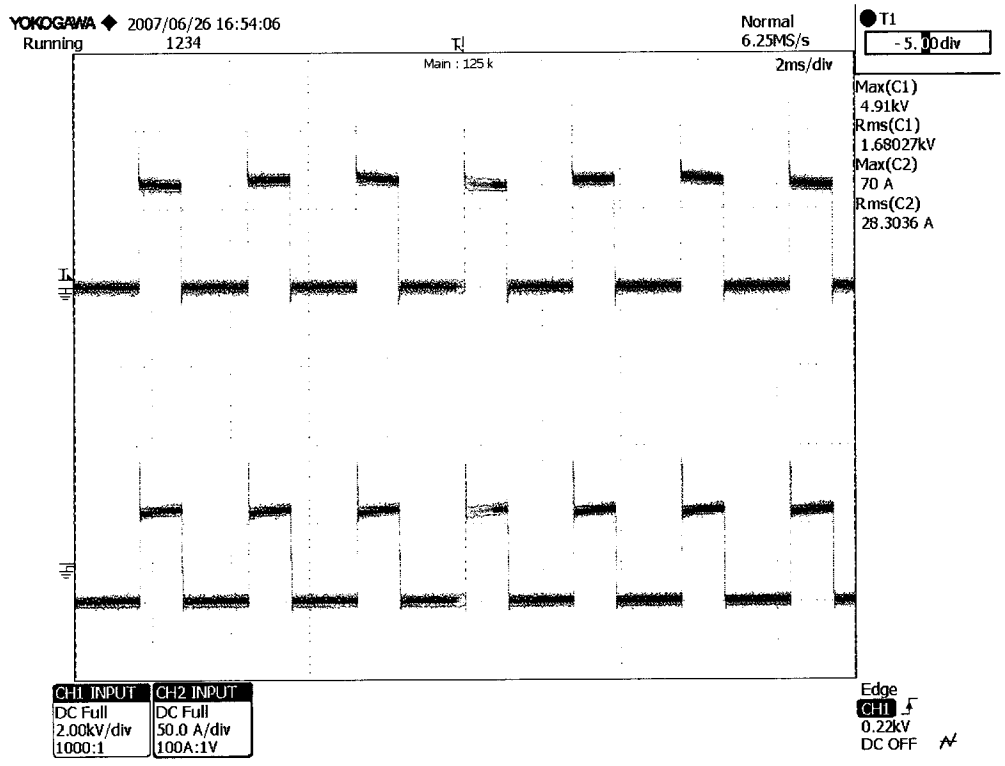


그림 143 고압 출력1 - Duty Rate 40%

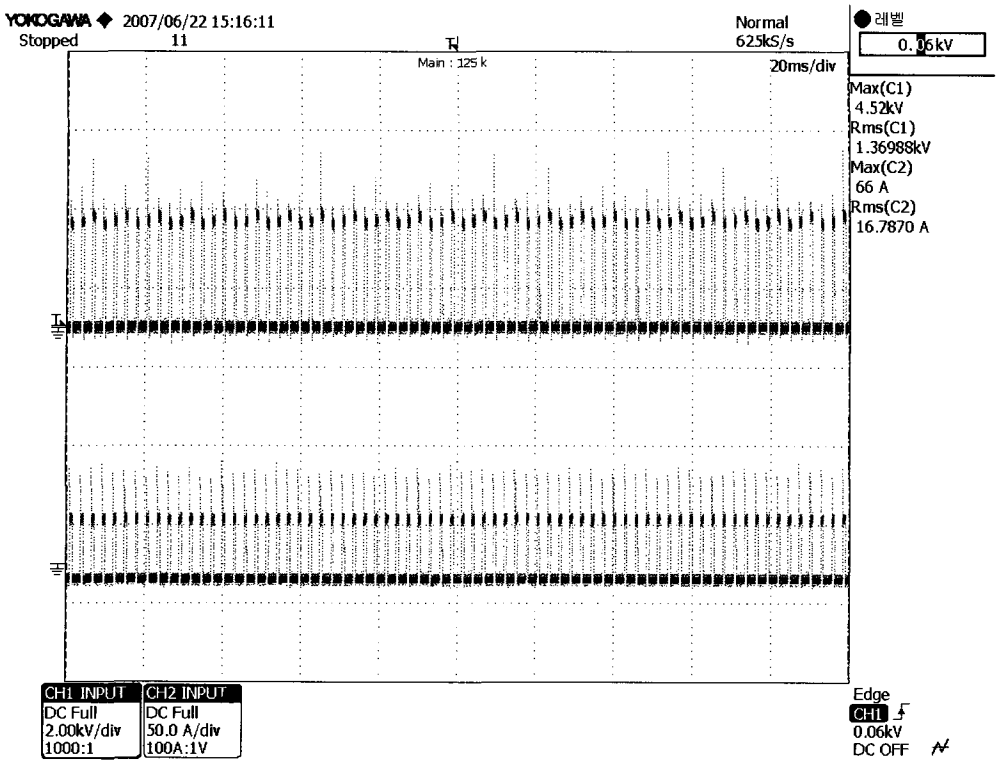


그림 144 고압 출력2 - Duty Rate 40%

0. 로드셀 장착 및 정지상태에서의 가압시험(제동력/흡인력 측정) 참고자료

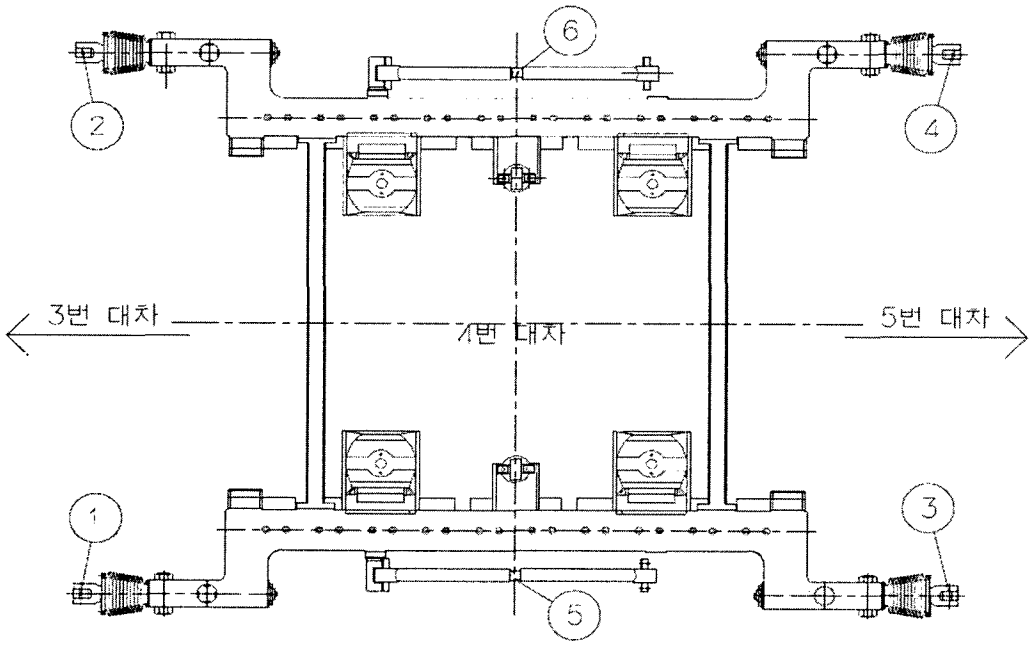


그림 145 전자석 프레임의 로드셀 장착

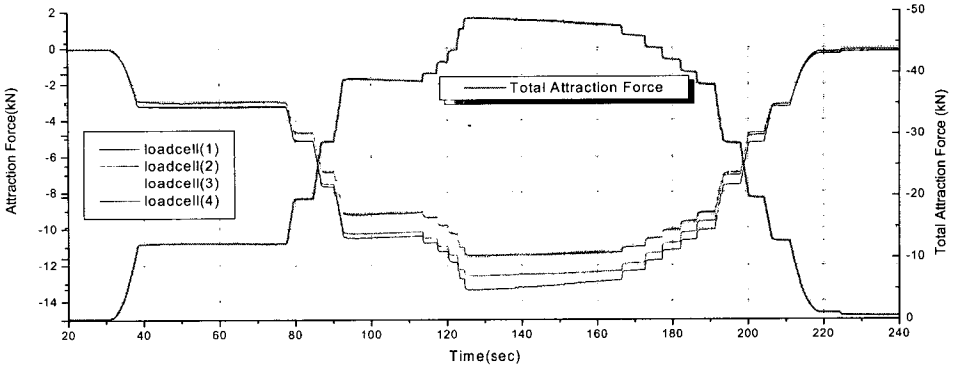


그림 146 정지상태 가압

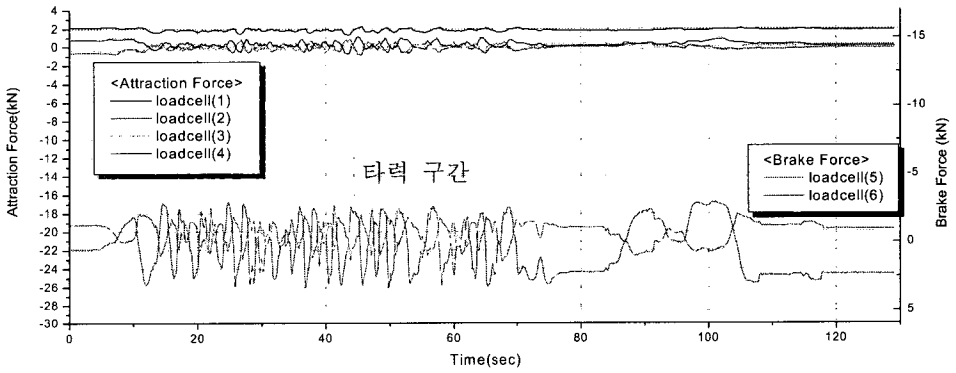


그림 147 운전상태 무가압 로드셀 입력

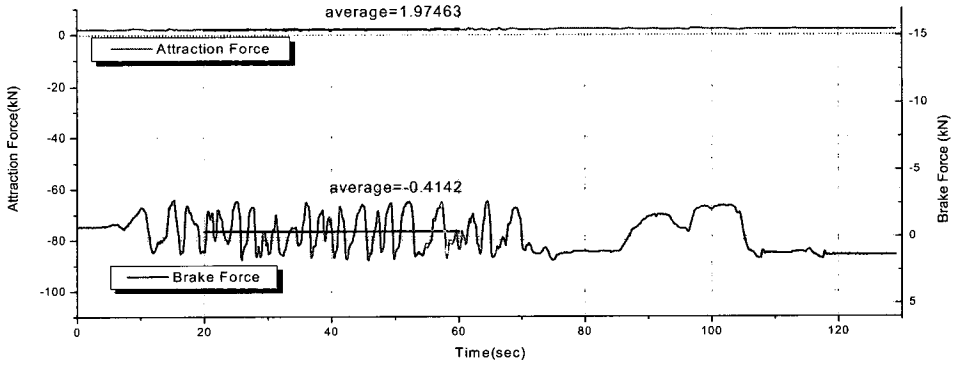


그림 148 운전상태 무가압 로드셀 입력 평균값

(F_{attr0} = 1.97463kN , F_{Brake0} = 0.4142kN)

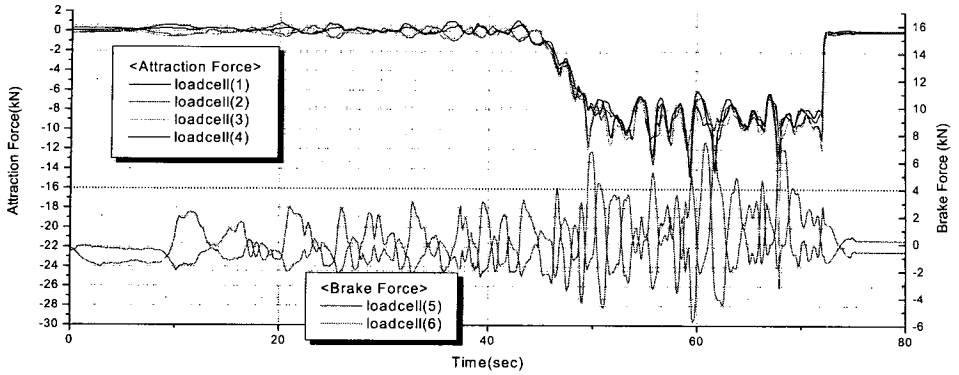


그림 149 운전상태 가압 로드셀 입력시험 1

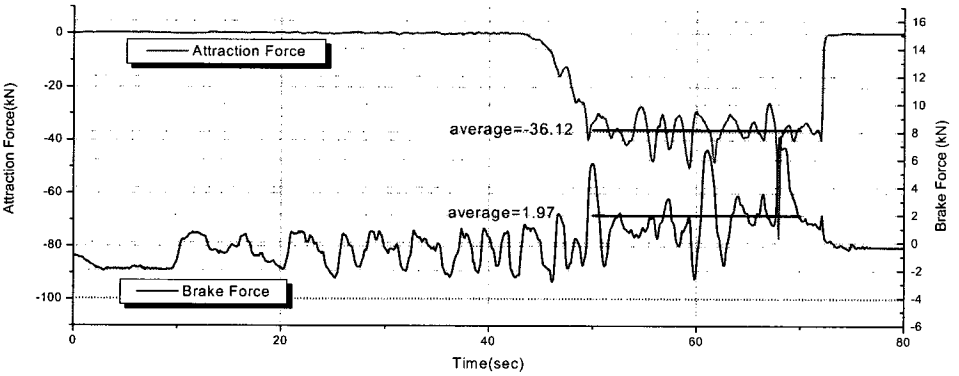


그림 150 운전상태 가압 로드셀 입력 시험 1 평균값

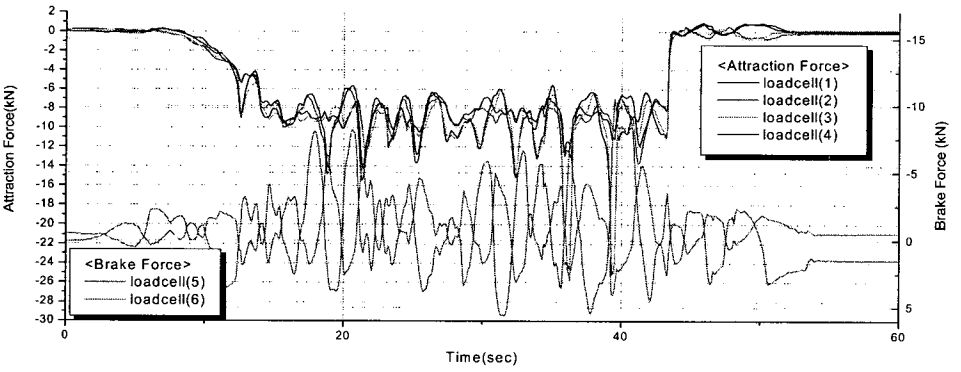


그림 151 운전상태 가압 로드셀 입력시험 2

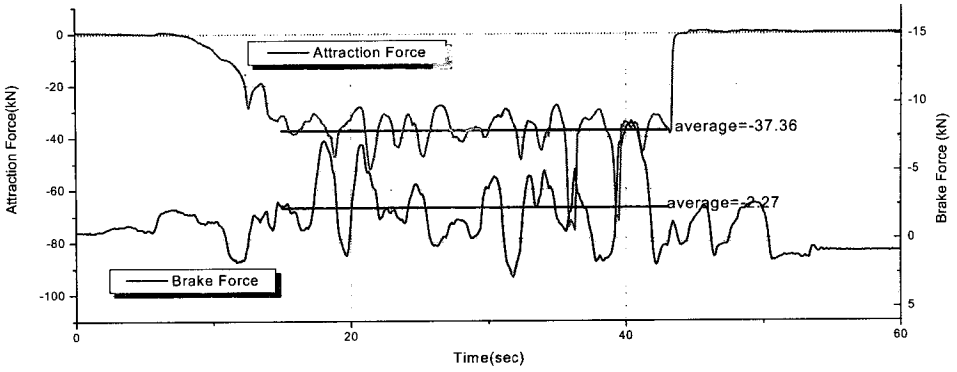


그림 152 운전상태 가압 로드셀 입력시험 2 평균값

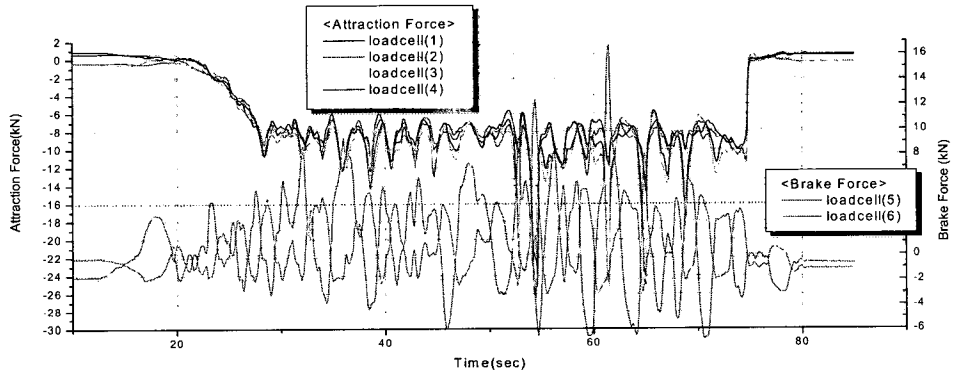


그림 153 운전상태 가압 로드셀 입력시험 3

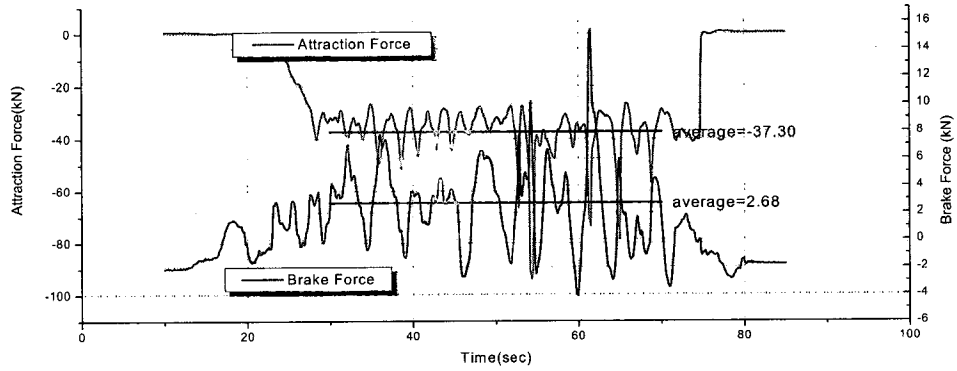


그림 154 운전상태 가압 로드셀 입력시험 3 평균값

11. 와전류제동장치 성능시험장면 사진



그림 155 고전압 기동/정지 시험

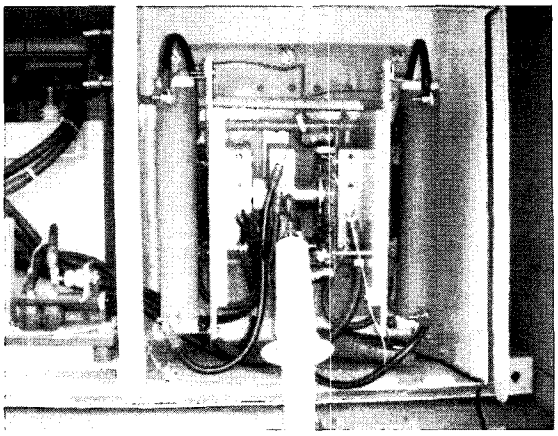


그림 156 고전압 시험 계측기 설치

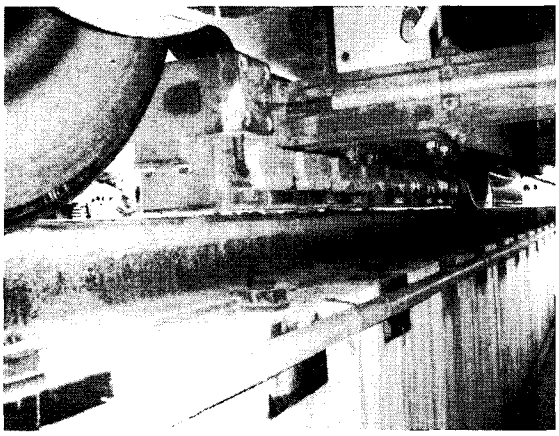


그림 157 전자석 / 레일 공극간격 조정

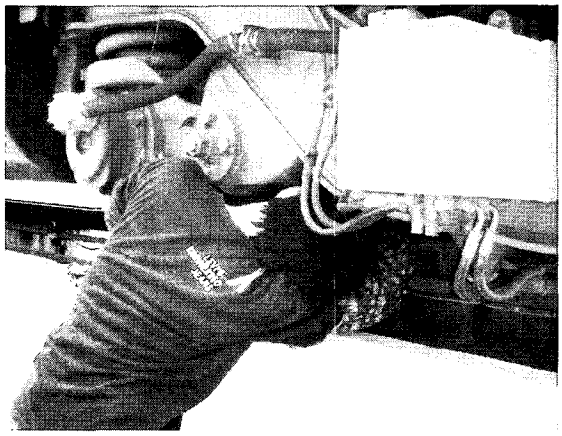


그림 158 공극간격 조절 작업

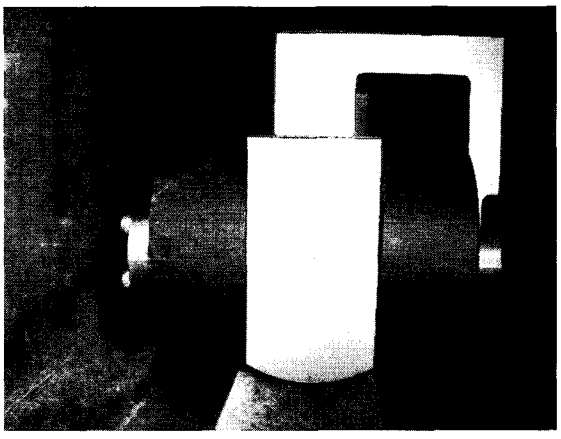


그림 159 공극간격 조절장치 내부

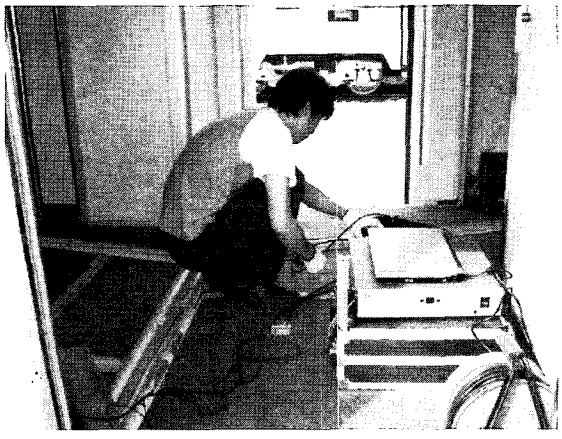


그림 160 운행시험중 로드셀 측정

자. 제동블렌딩제어장치 신뢰성 검증시험

(1) 개요

제동제어장치 신뢰성 검증을 위한 단품 및 현차시험 진행 현황 및 제동블렌딩 로직 검증방안 검토.

(2) 진행현황 및 결과

2007년 1월25일 차량에서 장치간 조합시험부터 2007년 10월15일 고속주행시(300 --> 150 kph, 제동지령 70%) 전대차 제동블렌딩 시험을 끝으로 차량에서 확인이 필요한 시험을 진행한 결과 동일제동지령에서 제동압력은 감소하고 제동력(제동거리)은 일정하게 유지되는 것을 확인하였다.
현실적으로 현재 개발 차량에서 확인 가능한 사항은 진행 완료한 것으로 판단되며 이후 장치간 조합시험을 통하여 동적 특성에 대한 상세한 데이터(제동지령별, 차량속도대별)는 조합시험을 통하여 검증하는 시험을 진행예정이다.

가. 차량 시험

1) 장치간 조합시험

▣ 시험일시 : 2007년 1월25일 ~ 1월26일, 29일

▣ 시험선로 : 기지내(차량 정차 상태)

▣ 시험목적 : 제동블렌딩과 관련된 장치간 송수신 신호의 정합성을 확인한다.

▣ 시험내용

- BBCU에서 10% 단위의 PWM 값(전기제동요구신호)을 출력하고 각각의 MB에서 수신하는 값을 확인한다.
- 각각의 MB에서 10% 단위의 PWM 값(전기제동달성신호)를 출력하고 BBCU에서 수신하는 값을 확인한다.
- 마스콘 제동지령과 전기제동요구지령이 동시 입력시 MB의 지령 추종성을 확인한다.

▣ 시험결과

시험결과 BBCU 및 견인제어장치에서 입출력하는 신호를 확인한 결과 오차 범위(±3%)내에서 송/수신이 확인 되었으며 전기제동 요구지령과 마스콘 지령 동시 입력 시 MB에서 큰 값을 추종하는 것이 확인되었다.
- 제동 PWM 지령을 10%와 50%에 설정하고 BBCU에서 임의로 10%씩 전기제동 요구지령을 증가시키면서 MB에서 신호 수신값 CHECK.

제동 지령	전기제동력 신호출력(%)	기준	MB수신 (%)					
			MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	MB6
10%	10%	출력값 ±3%	10.1%	10.1%	10.1%	10.5%	10.8%	10.6%

	20%		20.2%	20.0%	20.1%	21.4%	20.1%	20.9%
	30%		30.3%	30.2%	31.2%	32.3%	32.1%	30.6%
	40%		40.4%	40.4%	40.2%	41.2%	42.1%	40.3%
	50%		50.5%	50.1%	51.7%	51.1%	50.9%	50.8%
	60%		61.1%	61.2%	60.3%	60.6%	60.3%	62.1%
	70%		70.5%	71.0%	71.0%	70.2%	70.1%	70.6%
	80%		80.8%	80.0%	81.2%	82.1%	80.1%	80.7%
	90%		91.2%	90.8%	90.4%	92.2%	91.6%	90.9%
50%	10%	50±3%	50.4%	50.2%	50.0%	50.1%	50.3%	50.3%
	20%		50.1%	50.3%	51.8%	50.2%	50.4%	50.5%
	30%		50.2%	50.3%	50.1%	50.2%	50.2%	52.3%
	40%		50.2%	50.8%	51.2%	52.8%	50.5%	50.9%
	50%		50.5%	50.4%	50.4%	50.4%	50.5%	50.1%
	60%	출력값 ±3%	60.0%	60.6%	60.1%	60.1%	61.2%	62.1%
	70%		70.6%	70.5%	70.1%	71.2%	72.4%	72.2%
	80%		80.8%	80.0%	80.6%	80.8%	81.3%	80.6%
	90%		91.9%	90.5%	90.2%	91.2%	92.1%	90.5%

- 각각의 견인제어장치에서 전기제동달성 신호를 임의로 10%씩 출력하면서 BBCU에서 수신 CHECK.

	MB1출력	BBCU수신 MB1 측정	MB2출력	BBCU수신 MB2 측정	MB3출력	BBCU수신 MB3 측정	기준
출력 및 수신 측정값	10%	9.8%	10%	10.0%	10%	8.2%	출력값 ±3%
	20%	19.1%	20%	18.2%	20%	18.8%	
	30%	28.3%	30%	28.4%	30%	29.6%	
	40%	39.2%	40%	39.6%	40%	38.7%	
	50%	49.5%	50%	49.5%	50%	47.6%	
	60%	57.3%	60%	59.2%	60%	58.8%	
	70%	68.6%	70%	68.3%	70%	67.7%	
	80%	79.7%	80%	78.1%	80%	77.6%	
	90%	87.3%	90%	87.5%	90%	87.6%	

	MB4출력	BBCU수신 MB4 측정	MB5출력	BBCU수신 MB5 측정	MB6출력	BBCU수신 MB6 측정	기준
출력 및 수신 측정값	10%	7.4%	10%	8.8%	10%	9.5%	출력값±3%
	20%	17.8%	20%	17.5%	20%	18.9%	
	30%	27.5%	30%	28.1%	30%	27.8%	
	40%	38.3%	40%	38.1%	40%	37.5%	
	50%	48.7%	50%	49.1%	50%	47.7%	
	60%	58.8%	60%	59.7%	60%	57.2%	
	70%	67.4%	70%	67.9%	70%	69.4%	
	80%	78.9%	80%	77.4%	80%	77.2%	
	90%	87.9%	90%	89.6%	90%	88.2%	

2) 전기제동 모니터링 시험

▣ 시험일시 : 2007년 1월31일 ~ 2월1일

▣ 시험선로 : 고속선

▣ 시험목적 : MB에서 BBCU로부터 수신한 전기제동요구지령에 대한 반응성 Check

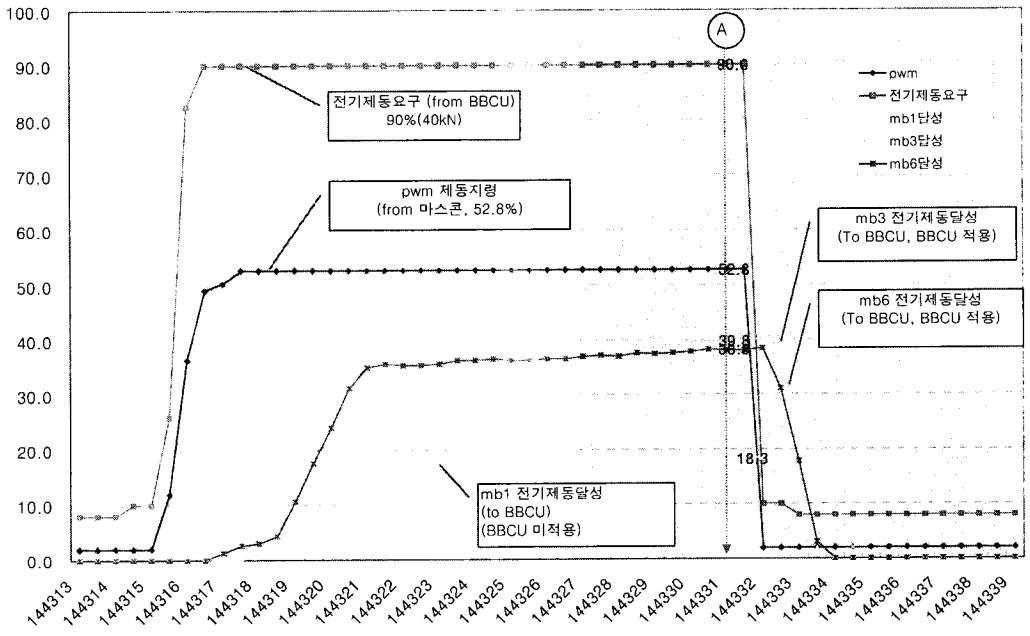
▣ 시험내용

- 제동체결 시점 : 14시 43분 15초 ~ 14시 43분 33초
- 상용제동 PWM 52.5 %
- 차량속도 129 km/h --> 105 km/h
- 모니터링 결과 (A 부분)

PWM 제동지령	전기제동요구 (From BBCU)	MB1 전기 제동달성	MB3 전기 제동달성	MB6 전기 제동달성	비고
52.8 %	90% (40 kN)	18kN	40kN	39kN	MB1은 BBCU 미적용

▣ 시험결과

제동 PWM 지령이 40% 이상에서 전기제동요구지령이 BBCU에서 90% (40 kN) 출력 되고, 이때 블렌딩 로직을 적용한 MB#3과 MB#6의 회생제동달성력이 최대 40 kN까지 BBCU의 요구지령을 추종하는 것이 확인 되었다. BBCU 로직이 적용되지 않은 MB#1의 경우, 약 18 kN의 전기제동력이 체결되었다.



[BBCU 모니터링 데이터 분석결과]

3) #8번대차 블렌딩 적용시험

▣ 시험일시 : 2007년 6월19일

▣ 시험선로 : 기존선[호남/전라선]

▣ 시험목적 : 8번 대차에 제동블렌딩 로직을 적용하여, 전기제동달성력에 따라 공기제동의 반응성 Check

▣ 시험내용

- 100 kph --> 0 kph, 50% 제동 투입

- 50 kph --> 0 kph 50% 제동 투입

▣ 시험결과

구분	시험속도	8번대차 제동압력 (감쇄지령 투입)	7 번대차 제동압력 (감쇄지령 투입 안됨)	제동거리 [측정치]	제동적리 [BBCU 미적용시]
1차	50 0 kPh	1.3 bar	2.4 bar	200 m	250 m
2차	100 0 kPh	1.3 bar	2.4 bar	720 m	900 m

※ 여분의 회생력을 대차수로 나누어 8번대차에만 적용한 결과 제동거리는 BBCU 미적용 시 보다 짧게 나왔다.

※ 시험결과 전기제동이 소멸되기 시작하는 시점(속도 20kph 이하)에서 전기제동이 소멸되는 정도가 공기압력 상승속도 보다 빨라 일시적인 제동 불균형 현상이 발생 => 블렌딩 제어 시 공기압 상승 속도 조정 (변경 전: 2 bar/s, 변경 후: 3 bar/s)

[그림 1]은 BBCU 및 8번대차 ECU에서 모니터링 한 결과를 나타낸것이고 [그림 2]는 7번 대차 ECU에서 모니터링한 결과를나타낸 것이다.

[그림1]에 의하면 제동 PWM 50% 지령에서 모터블럭은 BBCU로부터 90%(=100%) 전기제동 요구신호를 입력 받아 전기제동력을 100%(제동력 42 kN)의 전기제동력을 사용하고 있다

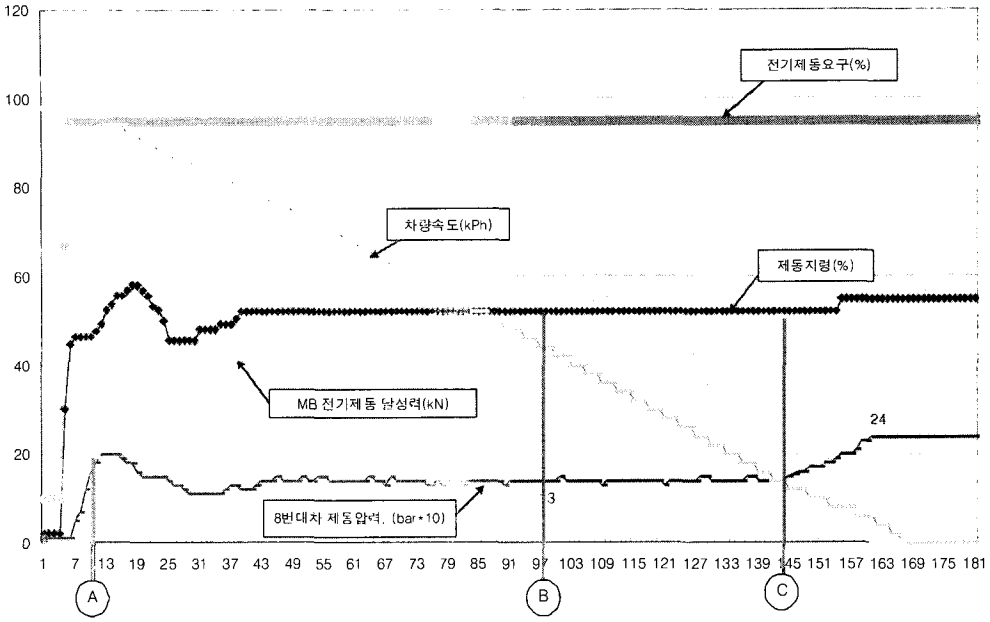
[그림1]의 (A)부를 보면, 제동초기 공기압력이 상승하다가 전기제동달성력이 활성화

되면서 제동압력이 감소하기 시작하여 1.3 bar 정도의 공기압력을 유지한다.(B 부분)

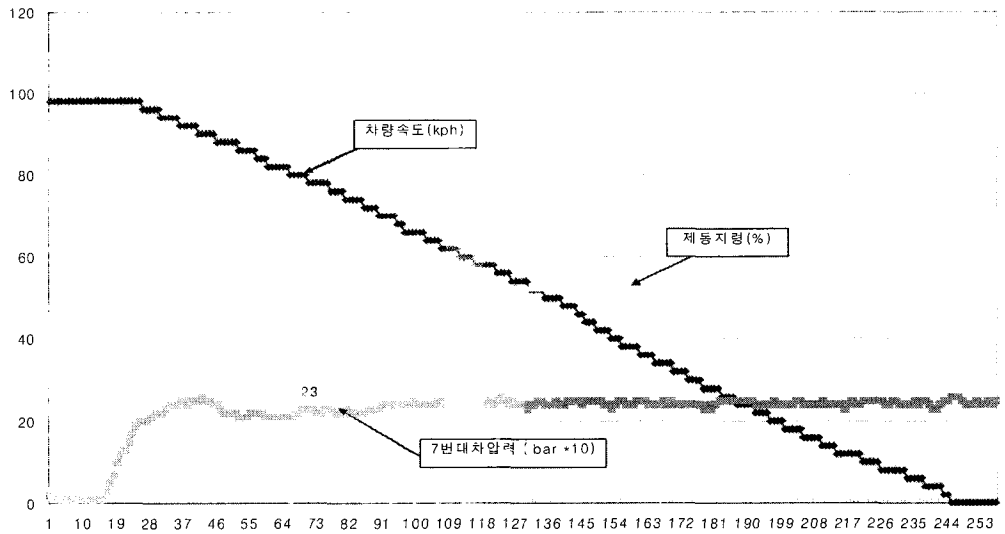
(C)부분은 전기제동력이 감소 되면서 공기제동압력이 상승하기 시작하는 시점으로 전기 제동력과 공기제동압력 교차 제동되면서 제어되는 것을 확인 할 수 있다.

※ [그림 2]의 7번 대차 제동압력의 경우 제동초기부터 2.4 bar 정도의 압력을 유

지한다.



[그림 1] 제동 프로파일 및 8 번대차 제동압력



[그림 2] 7 번대차 제동압력

4) 전대차 블렌딩 적용시험

▣ 시험일시 : 2007년 8월27일

▣ 시험선로 : 고속선 [야간시운전]

▣ 시험목적 : 전대차에 제동블렌딩 로직을 적용하여 제동력 보증 및 제동압력 데이터 확보함과 동시에 제동블렌딩 중 MB 한 대 차단시 승차감에 공기압력 지연으로 인한 져크 변화에 대한 시험.

▣ 시험내용

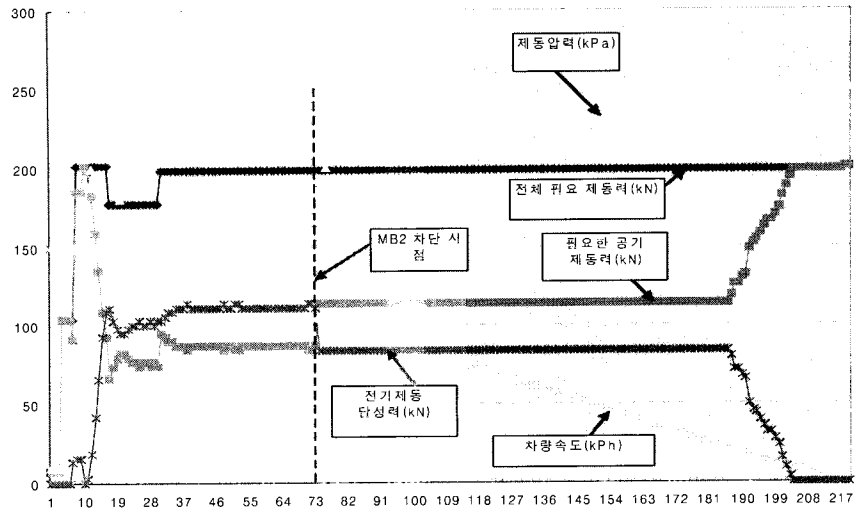
- 150 kph --> 0 kph, 50% 제동 투입(제동블렌딩 로직 적용시)
- 150 kph --> 0 kph, 50% 제동투입(제동블렌딩 로직 미적용시)
- 150 kph --> 0 kph, 50% 제동투입

(제동블렌딩 시험중, 100 kph에서 MB 한 대 차단)

▣ 시험결과

블렌딩 로직 적용시와 미적용시 제동거리는 동일한 결과를 나타냈으며, 챠트에서 블렌딩 제동중 MB2 차단시점에서 급격한 속도 변화(져크)는 발생하지 않았다.

시험모드	시험3	시험4	시험5	비고
	BBCU 적용	BBCU 미적용	BBCU 적용중 MB#2 차단	
제동초기 속도	150 KPH	150 KPH	140 KPH	
제동시간	65	65	63	
제동거리	1,400 m	1,400 m	1,320 m	
제어중 제동압력	1.6 bar	2.5 bar	MB2 차단전: 1.6 bar MB2 차단후: 2.3 bar	



[블렌딩 시험중 MB2 차단시, BBCU 모니터링 데이터
(샘플링 타임: 0.3초)]

5) 주행시 전대차 블렌딩 적용시험

▣ 시험일시 : 2007년 9월10일

▣ 시험선로 : 고속선 [야간시운전]

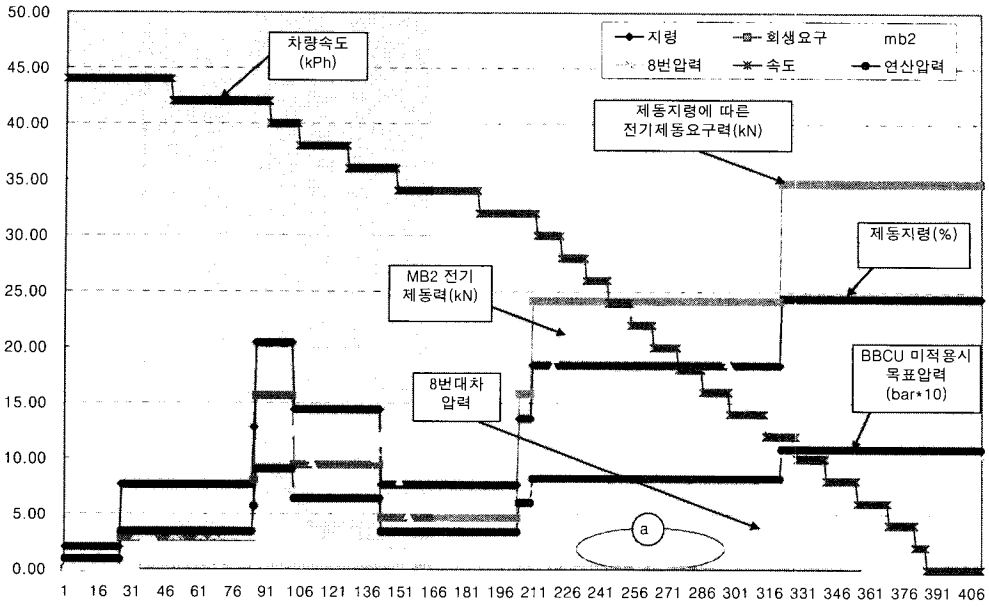
▣ 시험목적 : 차량 주행시 임의의 제동지령에 대한 전기제동력과 공기제동력의 동적 특성 확인 시험.(전대차 블렌딩 적용)

▣ 시험내용

- 차량 주행 속도 43 kph에서 차량 정지시까지 임의의 제동지령에 대한 전기 제동력과 전기제동력의 데이터를 측정

▣ 시험결과

모니터링 결과의 'a'부분을 보면 전기제동요구력과 전기제동달성력이 같아 지면서 제동공기압력이 인쇼트압력 정도의 낮은 압력을 생성하고, 이때 차량의 감속 패턴은 이전과 동일하게 형성되는 것을 확인할 수 있다.



[운행중 제동블렌딩 데이터-BBCU 모니터링(샘플링 타임: 0.2초)]

6) 고속 주행시 전대차 블렌딩 적용시험

▣ 시험일시 : 2007년 10월8일

▣ 시험선로 : 고속선 [야간시운전]

▣ 시험목적 : 고속 주행시 50% 제동지령에 대한 전기제동력과 공기제동력의 블렌딩 제동특성 확인 시험.(전대차 블렌딩 적용)

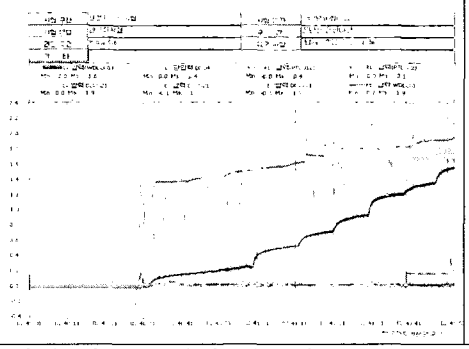
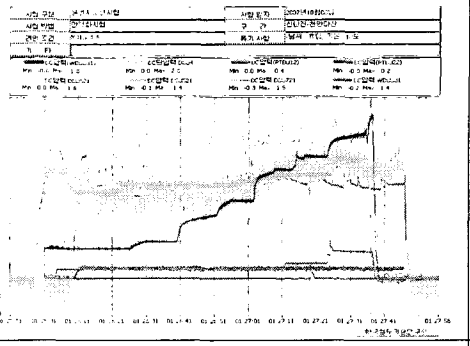
▣ 시험내용 :

- 300 kph --> 150 kph, 50% 제동 (블렌딩 적용)

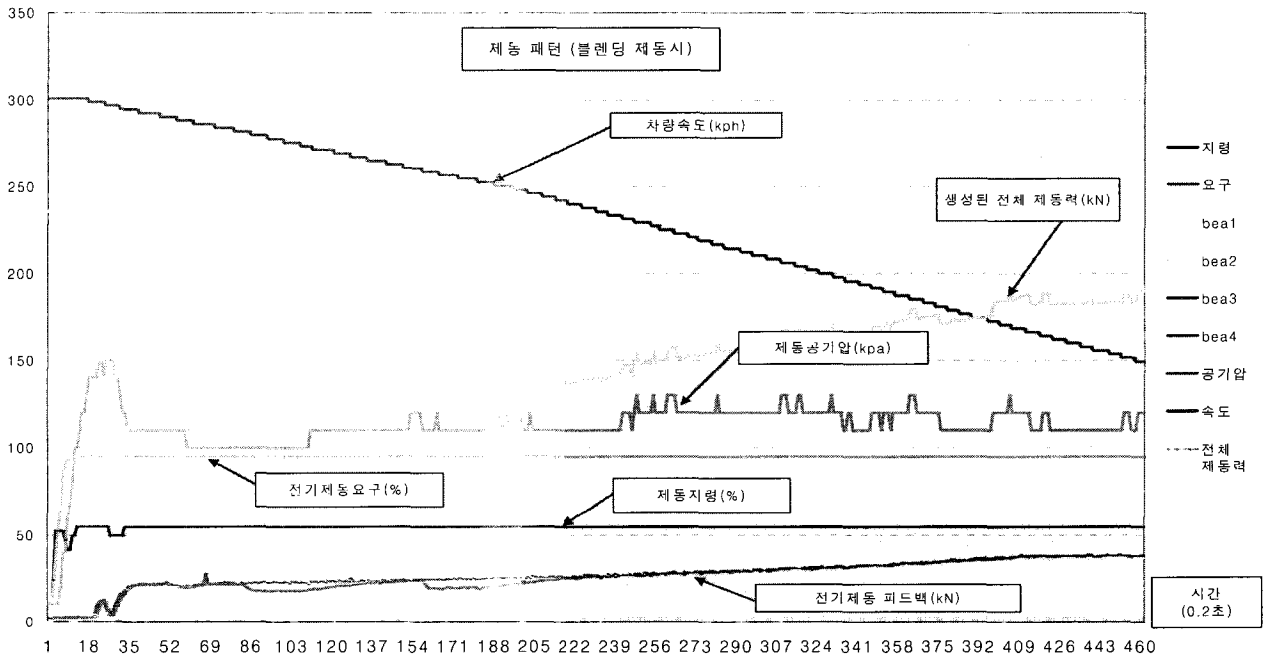
- 300 kph --> 150 kph, 50% 제동 (블렌딩 미적용)

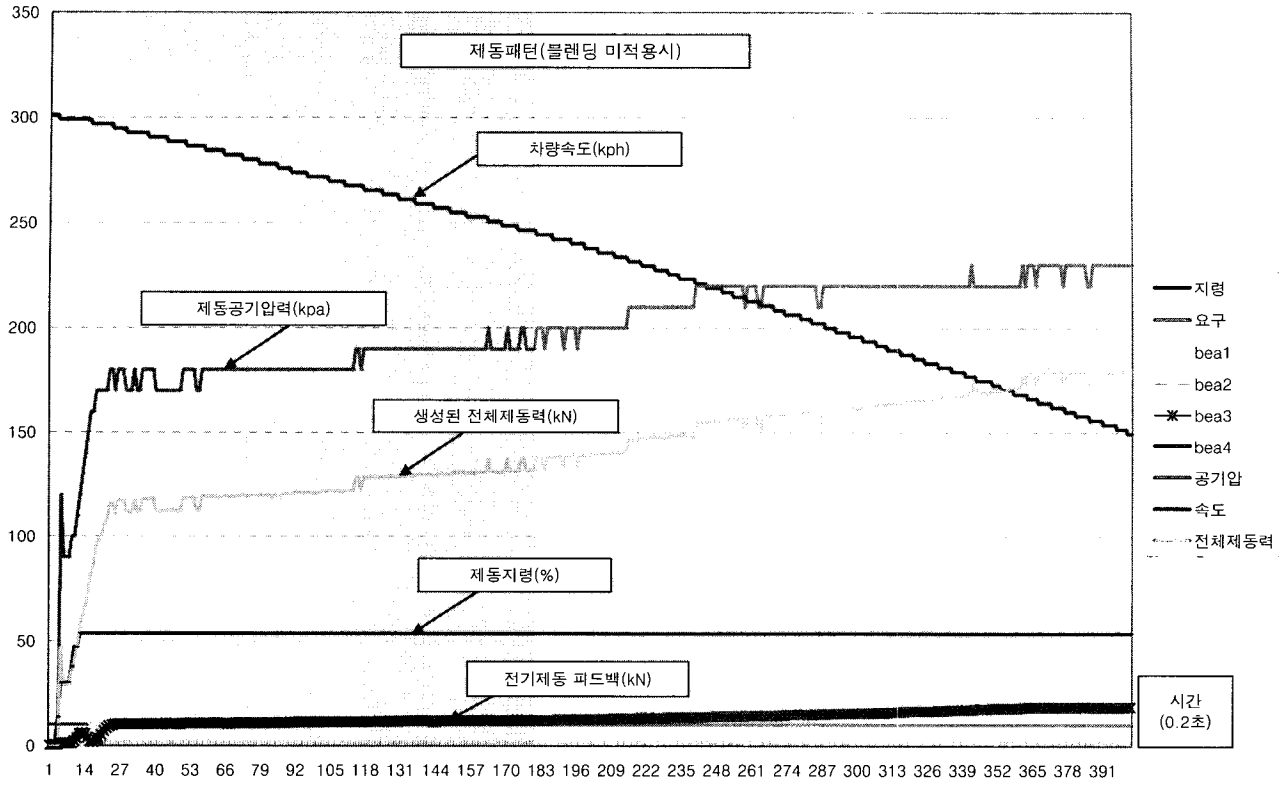
▣ 시험결과

구분	블렌딩 미 적용시	블렌딩 적용시	비 고
제동거리	5230 m	5450 m	
제동압력 특성	차량 속도가 감속됨에 따라 압력이 선형적으로 상승	차량 속도가 감속됨과 무관하게 일정한 제동압력 상태를 유지	

	(1.7 bar --> 2.4 bar) 	(1.2 bar) 
전체제동력	차량 감속에 따라 선형적으로 증가 (120 kN --> 190 kN)	

※ 시험결과 블렌딩 적용전후 제동거리 차이(약 200 m)는 차량 속도에 따른 제동력을 달리 적용하면서 발생하는 오차로 고속에서 제동 블렌딩 적용시에는 선형적으로 증가하는 제동력 특성을 고려하여 약 5% 정도의 제동력이 낮게 형성되는 것을 감안한 제어가 필요하다는 결론을 도출하였다.





7) 고속 주행시 전대차 블렌딩 적용시험

▣ 시험일시 : 2007년 10월15일

▣ 시험선로 : 고속선 [야간시운전]

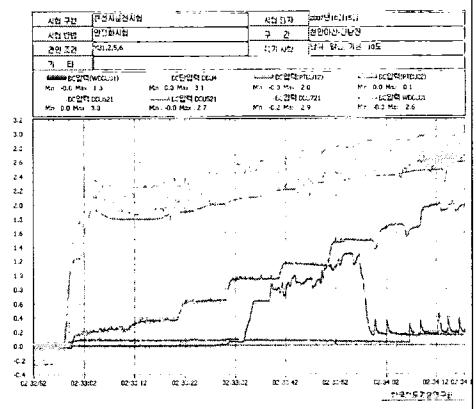
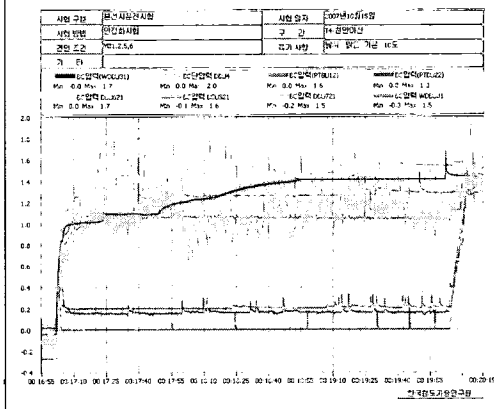
▣ 시험목적 : 고속 주행시 70% 제동지령에 대한 전기제동력과 공기제동력의 블렌딩 제동특성 확인 시험.(전대차 블렌딩 적용)

▣ 시험내용 :

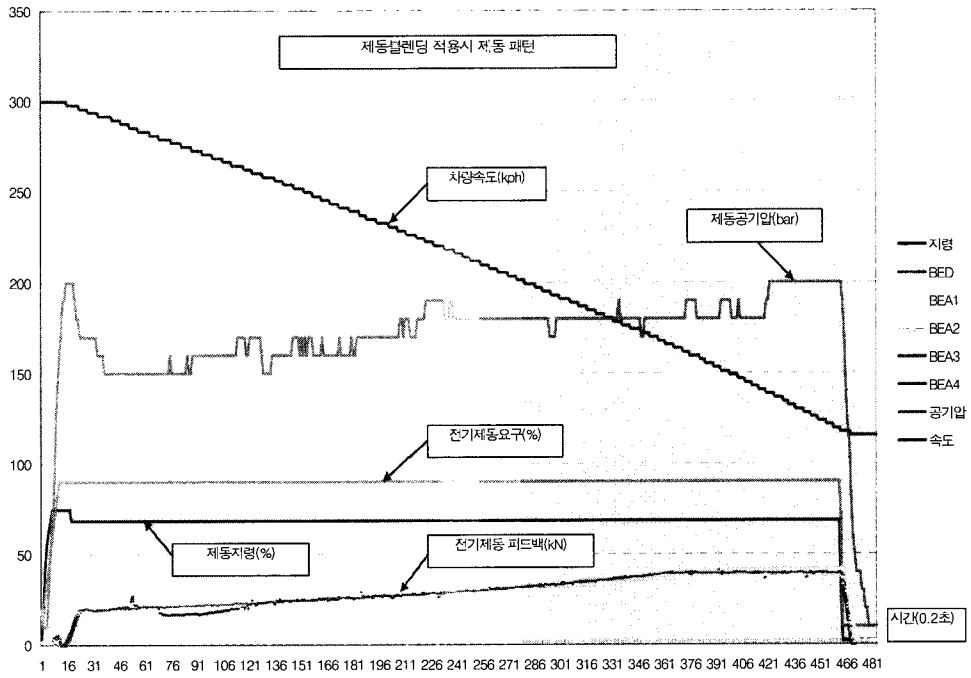
- 300 kph --> 150 kph, 70% 제동 (블렌딩 적용)
- 300 kph --> 150 kph, 70% 제동 (블렌딩 미적용)

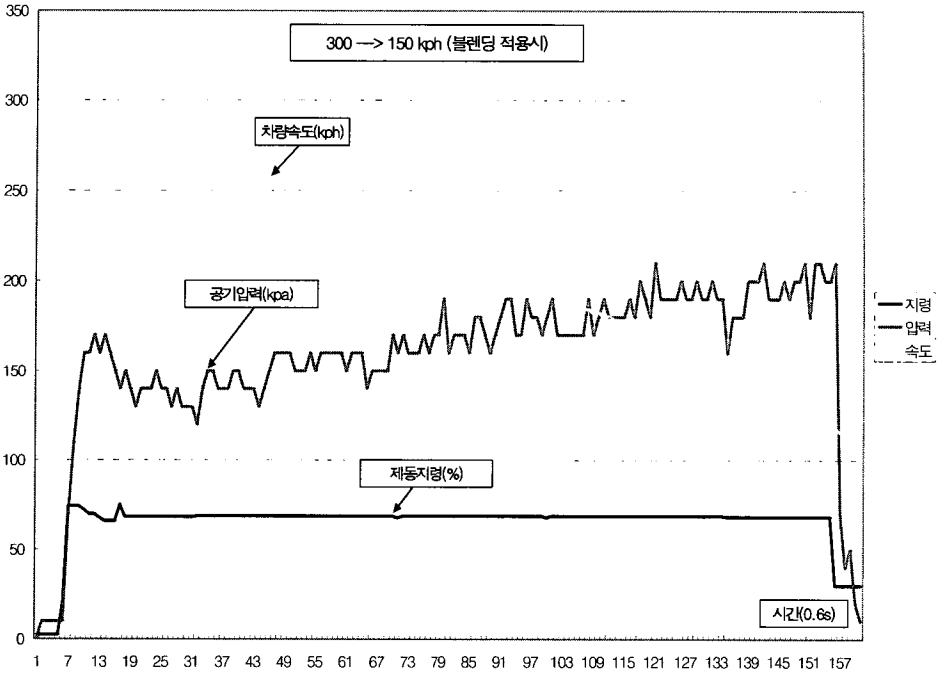
▣ 시험결과

구분	블렌딩 미 적용시	블렌딩 적용시	비고
제동거리	5000 m	5300 m	

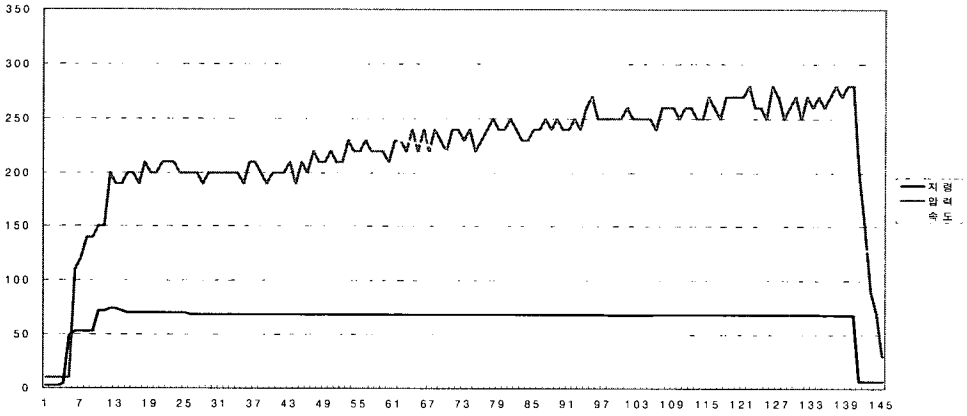
제동압력 특성	차량 속도가 감속됨에 따라 압력이 선형적으로 상승 (2.0 bar --> 2.8 bar) 	차량 속도가 감속됨과 무관하게 일정한 제동압력 상태를 유지 (1.3 bar --> 2.0 bar) 
전체제동력	차량 감속에 따라 선형적으로 증가 (140 kN --> 230 kN)	

▣ BBCU 내부 모니터링 데이터





[ECU 모니터링데이터(1) - 블렌딩제어 시 제동지령, BC압력, 주행속도]



[ECCU 모니터링데이터(2) - 블렌딩제어 미적용 시 제동지령,BC압력,주행속도]

나. 시험결과 로직 반영

▣ 장치간 조합시험

일시	시험 장소	시험 내용	비 고
2007년 1월25일 26일, 29일	기지내	▣ 제동블렌딩과 관련된 장치간 입출력 신호 정합성 확인 시험. ▣ 견인제어장치의 전기제동요구 추종성 확인	

시험 결과 및 변경내용	시험결과 입출력 신호는 오차범위(3%)내에서 송수신 되는 것이 확인 되었으나, MB로부터 입력되는 값을 BBCU에서 낮게 인식(약1.5%)하는 것이 확인 되었다. 이것은 신호 변환시 포토 커플러의 지연에 의한 것으로 소프트웨어 에서 1% 정도 보정하여 오차를 감소하였다. ※ 전기제동달성입력값 보정

▣ 전기제동요구시험 [주행 중]

일시	시험 장소	시험 내용	비 고
2007년 1월31일 2월1일	고속선	▣ MB에서 BBCU로부터 수신한 전기제동요구 지령에 대한 반응성 Check	
시험 결과 및 변경내용	전기제동요구지령에 따라 전기제동 사용량이 증가 하였고 추종성도 정상적인 추종성도 확인되었다. 주행중 수신되는 전기제동달성값을 안정적으로 수신하기 위하여 소프트웨에서 샘플링 타임을 설정하여 수신값이 안정화 되었다. [변경전 : 50 ms --> 변경 후 : 150 ms]		

▣ 8번 대차 블렌딩 적용시험

일시	시험 장소	시험 내용	비 고
2007년 6월19일	기존선 [호남/ 전라선]	▣ 8번 대차에 제동블렌딩 로직을 적용하여, 전기제동달성력에 따라 공기제동의 반응성 Check	
시험 결과 및 변경내용	제동압력은 BBCU 적용후 감소되는 것이 확인되었고, 여분의 회생력을 대차수로 나누어 8번대차에만 적용한 결과 제동거리는 BBCU 미적용시 보다 짧게 나왔다. 시험결과 전기제동이 소멸되기 시작하는 시점(속도 20kph 이하)에서 전기제동이 소멸되는 정도가 공기압력 상승속도 보다 빨라 일시적인 공기압력 상승속도를 보정하였다. => 블렌딩시 공기압 상승 속도 조정 (변경 전: 2 bar/s, 변경 후: 3 bar/s)		

▣ 전대차 블렌딩 적용시험

일시	시험 장소	시험 내용	비 고
2007년 8월27일	고속선 [야간 시운전]	▣ 주행속도 150 KPH --> 0 KPH ▣ 제동지령 50% ▣ 적용대차 : 전대차 적용	
		▣ 주행속도 150 KPH --> 0 KPH ▣ 제동지령 50% ▣ 적용대차 : 전대차 적용 ▣ 블렌딩 시험중 MB#2 차단	
시험 결과 및 변경내용	BBCU 적용전후 비교평가 결과 제동거리는 동일하게 나왔으며, 동일 지령에서 제동압력은 감소(적용전 : 2.3~2.5bar, 적용시: 1.3bar) 하였다. 또한 블렌딩 제동중 MB#2 번을 차단하여 감속도 변화를 Check한결과 승차감에 영향을 줄만한 속도 변화는 인지되지 않았다. ※ 제동초기 전기제동활성화 되기전 공기압 제어 패턴을 변경하여 시운전시 확인 필요 (제동초기 일괄적으로 공기압이 투입됨)		

▣ 주행중 블렌딩 적용시험[전대차]

일시	시험 장소	시험 내용	비 고
2007년 9월10일	고속선 [야간 시운전]	▣ 운행중 제동블렌딩 로직을 적용하여 제동지령에 따른 동적인 특성 확인	
시험 결과 및 변경내용	제동 30% 이하의 지령에서 제동공기압력이 인쇼트압력 정도의 낮은 압력을 생성하였고, 이때 차량의 감속 패턴은 이전과 동일 하게 형성되었다. ※ 낮은 제동지령에서 제동초기 져크가 상태적으로 큰 경우가 발생 하여 전기제동요구지령에 져크제어를 검토한다. (상승속도 50% /s)		

▣ 고속 주행중 블렌딩 적용시험[전대차]

일시	시험 장소	시험 내용	비 고
2007년 10월8일 ,10월15일	고속선 [야간 시운전]	▣ 고속 운행(300 kph--> 150 kph)중 제동블렌딩 로직을 적용하여 제동지령에 따른 특성확인	

시험 결과 및 변경내용	▣ 고속 주행중 제동시험결과 제동블렌딩 적용시와 미 적용시 약 200m, 300m 정도의 제동거리 오차가 발생하였다. 이것은 저속영역과 달리 고속영역에서는 전기제동력 값이 지속적으로 변하는 데에서 기인한 것으로 판단되며 전체제동거리 대비 우려할 만한 수준은 아니라고 생각된다. (전체제동거리 약 5000 m) ▣ 10월8일 블렌딩 시험 중 차량 정차시 정차제동이 체결되지 않는 현상이 발생하여 10월15일 재현험을 진행하였으나 재현이 되지 않아 정확한 원인 분석은 어려우나 BBCU 로직상에서 전기제동이 소멸하는 시점인 10 KPH 이하에서 로직출 차단하는 것으로 수정하여 재발 현상은 없을 것으로 판단된다.		

다. 단품 신뢰성시험

날 짜	시험 장소	주요 내용	비 고
07월 24일(화)	일본 [나브테스코 고베공장]	외관검사/성능시험/선간전압 편차시험/환경시험(저온셋팅) -->	
07월 25일(수)		--> 저온시험(성능검사)/고온셋팅	
07월 26일(목)		--> 고온시험(성능검사)/온도싸이클 셋팅	
07월 27일(금)		--> 온도싸이클 시험(성능검사)/절연저항 및 절연내압시험/조합시험	
08월 08일(목)	시험품 입고 [나브테스코 --> 유진]		
08월 16일(목)	SGS 테스팅 코리아 [경기도 용인]	전자파 적합성 시험	
08월 17일(금)			
08월 23일(목)			
08월 24일(금)			
08월 27일(월)	한양대학교 인증센터 [경기도 안산]	진동시험	2007년 9월13일 진동시험 후 성능검 사 실시
08월 28일(화)			
08월 29일(수)			

4. 제동장치 유지보수 작업

가. ECU 신규제작품 차량 취부

(1) 개선사항

(가) 외형 디자인 개선

외형적인 부분에서는 크게 5가지 부분에서 개선되었다. 먼저 유니트 케이스의 재질을 스틸에서 알루미늄으로 변경함으로써 중량이 감소하였고, 내진성이 증가하였으며, 방청성능이 향상되었다. 그리고 가장 두드러진 사항은 제어보드의 수량을 단순화 시킨 점이고, 전자파 노이즈에 대한 완전 차폐형 구조로 케이스를 구성하였다.

제동불완해의 근본적인 원인으로 주목되었던CPU의 제어불확실성을 감소시키기 위해서 통신CPU와 제어용CPU로 분리 제작하였다.

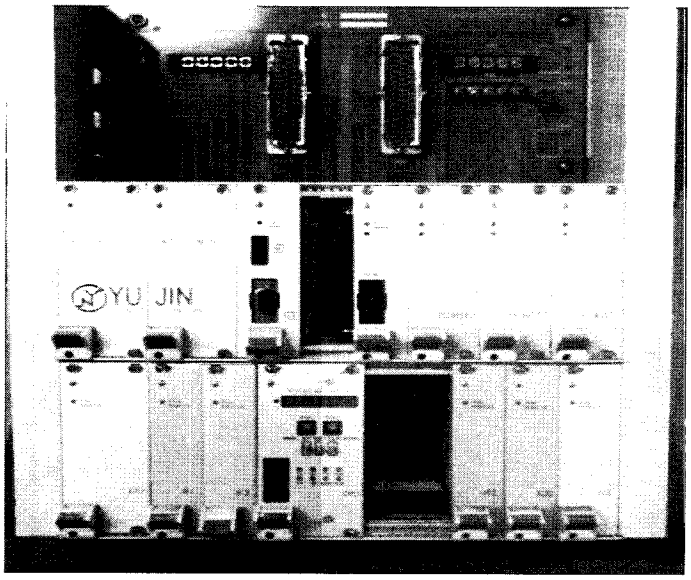


그림 3.6-1 개선전 ECU

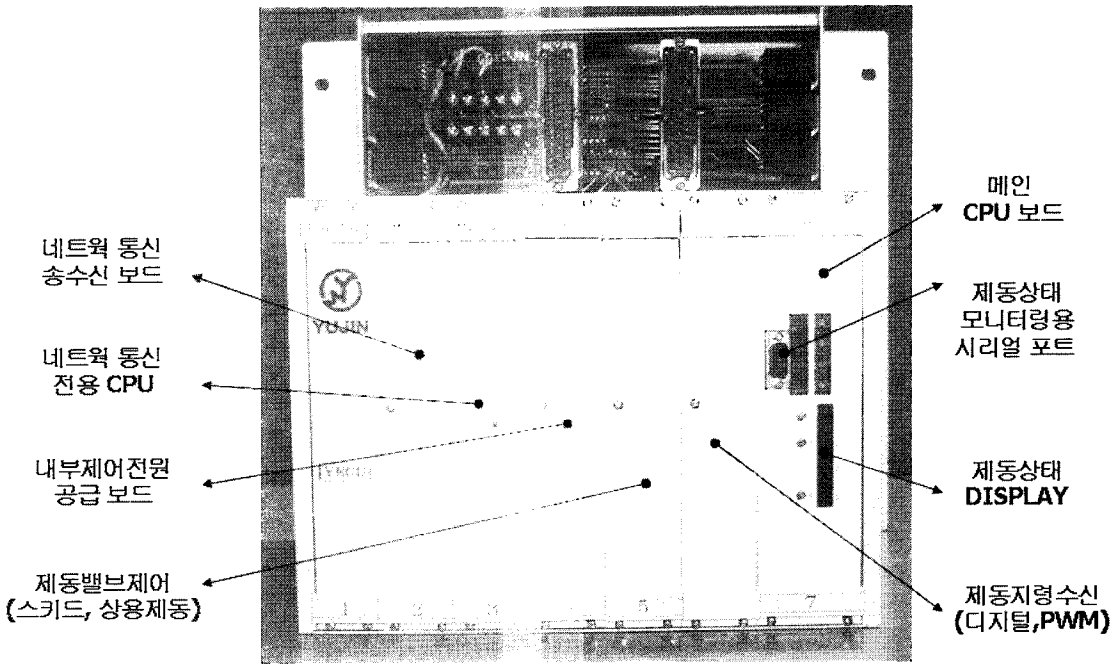


그림 3.6-2 개선후 ECU

(나)디지털지령 수신 성능 개선

제동 디지털(DC 72V) 지령 입력을 MPU에서 직접 수신 방식으로 전환 하였다.

제동 지령을 주변 IC(82C55)에서 수신하여, DATA 포맷으로 CPU에 입력되면서 발생하는 왜곡현상 방지하는 효과를 얻을 수 있었다.

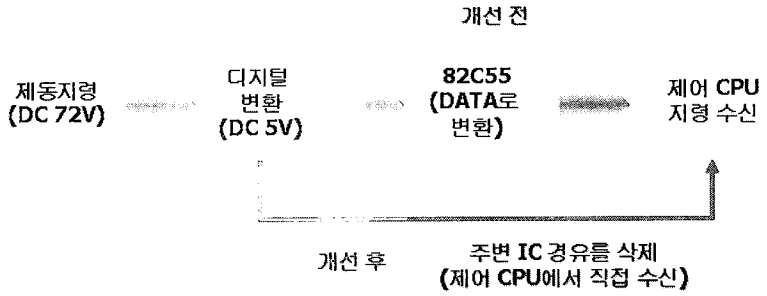


그림 3.6-3 디지털지령 수신 성능 개선

(다) 상용제동지령 수신 성능 개선

제동 PWM 지령(상용제동지령, 회생달성지령) 입력을 MPU에서 직접 수신 (DC 72V, 100Hz)

제동 지령을 수신하여, DATA 포맷으로 CPU에 전달하는 주변 IC (S3P9434) 삭제, 제동체

결 지연 및 지령 신뢰성 개선 하였다.

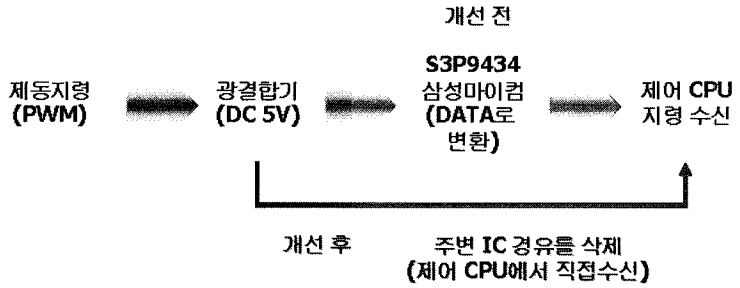


그림 3.6-4 상용제동지령 수신 성능 개선

(라) 상용제동밸브 제어성능 개선

상용 제동전류 제어 회로 보완함으로써 제어CPU에서 데이터를 전송하여, 펄스 발생기(M66240)을 통해 제어하던 방식을 제어 CPU에서 직접 펄스를 출력하여 제어하는 방식으로 변경 되었다.

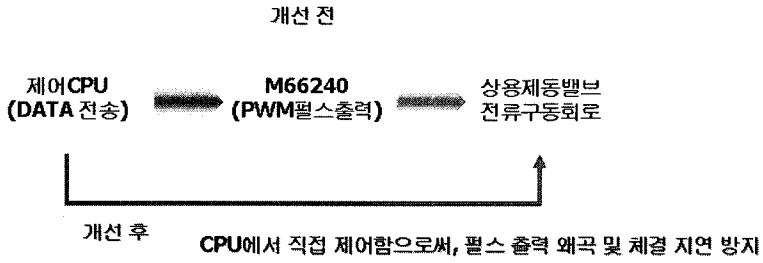


그림 3.6-5 상용제동밸브 제어 성능 개선

(마) 제동압력 모니터링 기능 개선

생성된 제동압력을 모니터링 하는 방식 변경하여 압력센서에서 수신하여 제어CPU에 데이터로 전송하던 주변 IC를 삭제하고, 제어 CPU의 A/D 컨버터 채널로 직접 입력

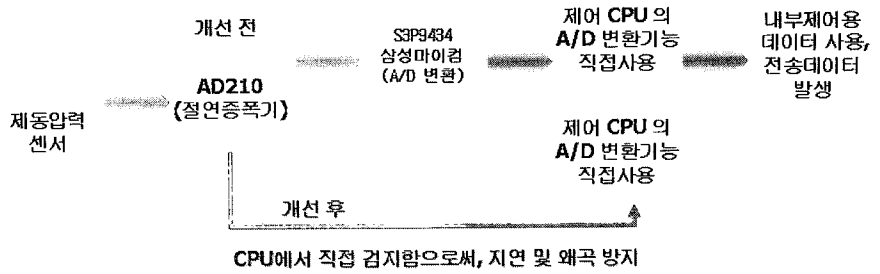


그림 3.6-6 제동압력 모니터링 기능 개선

(바) 내부 제어전원 노이즈 개선

내부 제어전원 컨버터에서 발생하는 스위칭 노이즈 저감을 위하여 전원 공급 보드를 하나로 통합

(각각의 제어 보드와 이격)

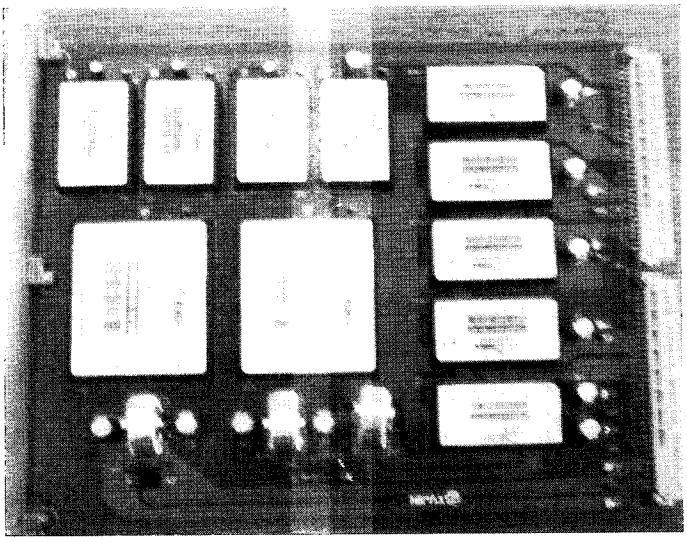


그림 3.6-7 내부제어전원 노이즈 개선품

(라) 모니터링 기능 보완

운행중 제동상태 정보를 전면 판넬의SERIAL PORT를 통하여 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기능 보완 (네트웍 통신과 동시 모니터링 가능)

고장 발생시 고장전 3초, 고장후 1초 데이터를 백업 저장하여 SERIAL PORT를 통하여 PC로 UPLOAD 기능 보완

차량 검수시, 모든 제동 상태정보를 전면DISPLAY를 통하여 확인 가능

(마) BBCU와의 인터페이스 추가

BBCU가 연산한 공기제동력 감쇄지령에 해당하는PWM신호 인터페이스를 위하여 회로보완 및 소프트웨어 기능 보완

나. 와전류제동장치 유지보수

(1) 방진고무 파손품 교체작업

파손된 벨러우즈 실린더 하부의 방진고무 Ass'y를 예비부품 제작하여 교체 장착하였다.

제작 공차를 허용하도록 제동장치 구속방식(고무댐퍼) 변경검토 중이다. 또한 고무댐퍼 브라켓과 대차프레임 간 연결방식 변경, 내구성 강화를 위한 방안을 협의중이다.

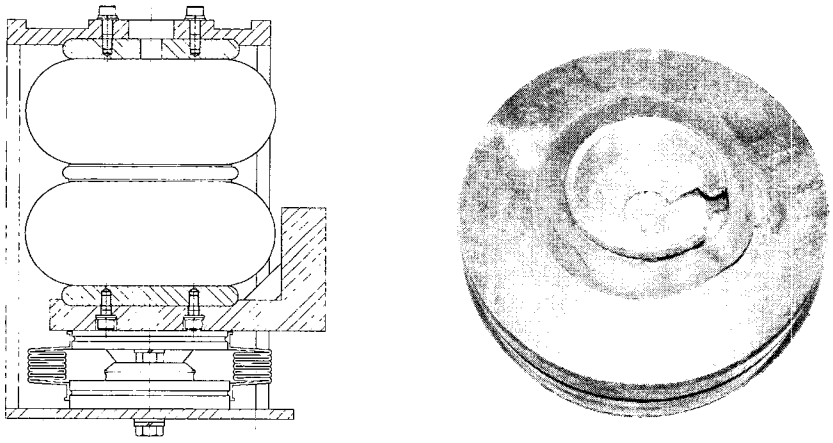


그림 3.6-8 방진고무의 취부위치 및 파손품

(2) 와전류제동장치 전원공급장치(EECU 쵸퍼) 제어장치 Board 점검

와전류제동 전원공급장치 내부의 제어기가ECCU(차량 인터페이스 신호처리 및 쵸퍼제어장치로 필요 전류요구량 전송 기능 담당) 와 CCU(전송받은 요구전류량을 대전력제어하여 전자석에 필요한 전류생성 기능)로 나뉘어져 있는 것을 한 개의 통합 제어장치로 재구성하여 신뢰성 향상과 다단계 신호전송경로 인한 고장발생원인 차단이 목적임

(3) Bellows 실린더 교체 작업

와전류 초기 설계/제작시 발생한 오류로 인하여Bellows 실린더가 파손되는 사고가 발생하였다. 피로강도 보강설계가 추가적으로 이우러져야 하며 재질에 대한 검사가 필요하다.



그림 3.6-9 탐상액을 통한 파손여부 확인

(4) 기타부품에 대한 보수유지

① 대차연결부 간섭

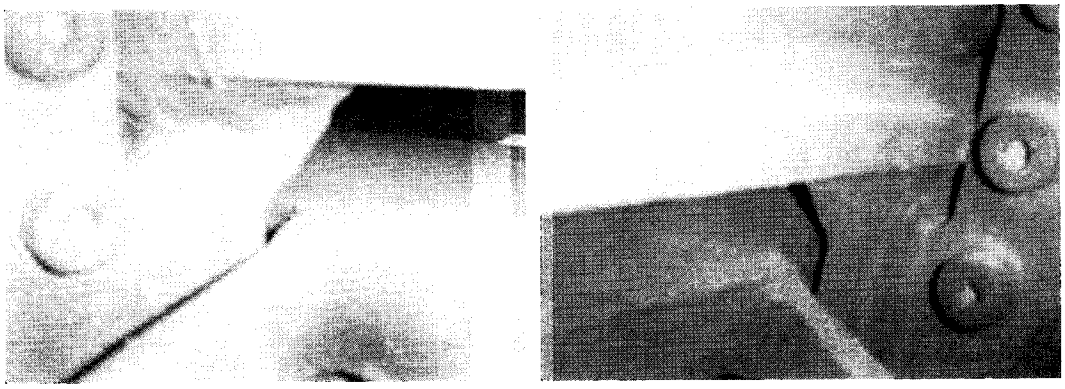


그림 3.6-10 대차간섭부위

② 레그부 보호 자바라 교체

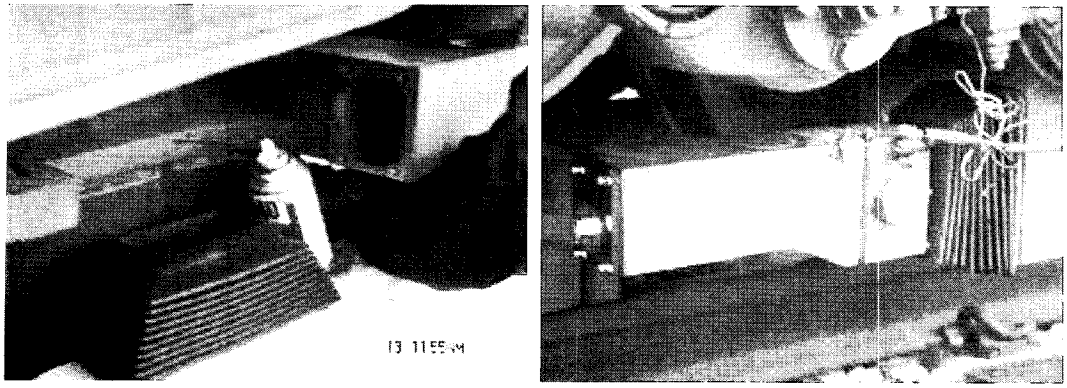


그림 3.6-11 자바라 교체

③ 전자석 정선박스 교체

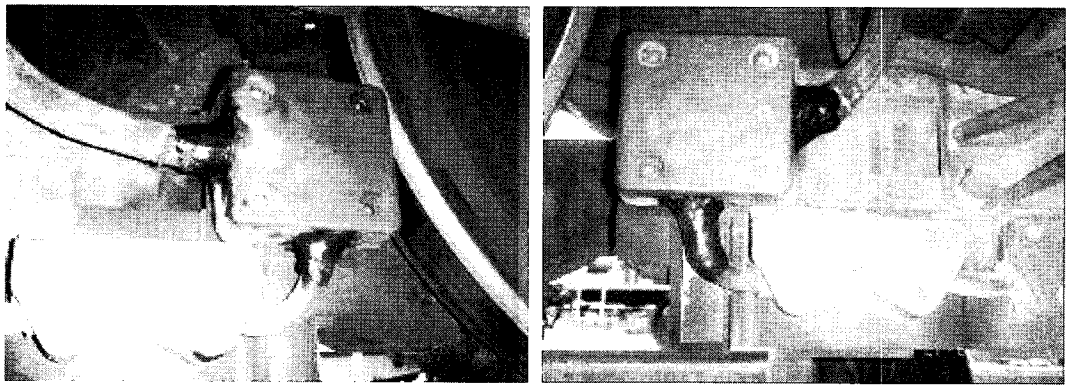


그림 3.6-12 정선박스 교체 및 기밀작업

다. BCU 공압판넬 내부 설치된 TRIPOD unbalance 검지시스템 관련 보완작업

(1) 압력조정밸브의 설정상태 점검 및 재조정 작업

현차에 취부된 압력조정밸브(L3감압변)를 탈거하여 조정작업용 지그를 사용하여 현장에서 점검 및 재조정함.

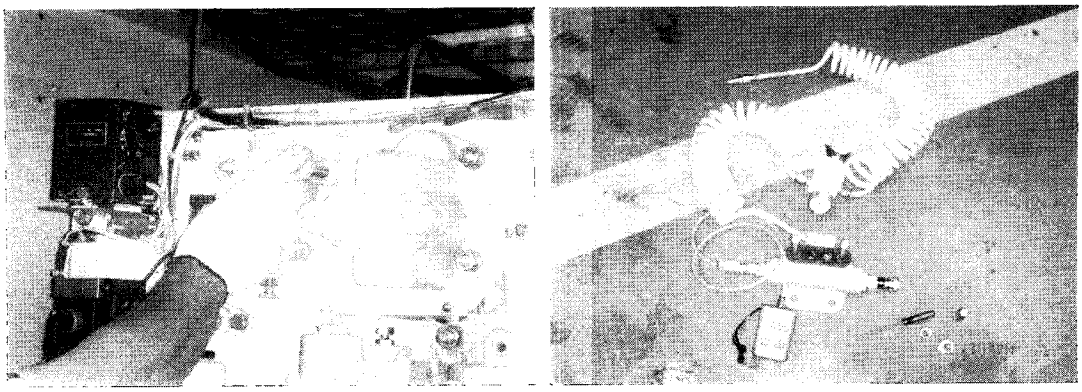


그림 3.6-13 감압변 탈거 및 조정작업

(2) 압력스위치(LME Type) 설정치 조정에 의한 시스템 동작 기능시험

LME Type의 압력스위치 커버를 열고 동작점 조정 스크류를 돌려서 동작점 압력을 변경하여 시험 실시함. 시험결과, 압력스위치 자체가 가지고 있는ON될 때의 압력값과 OFF될 때의 압력값 사이의 편차(Differential Value)가 크기(1.1 kgf/㎠)때문에 대차하부에 설치된 검지장치 측의 배관을 풀고 공기압력을 대기로 방출시켜도 압력스위치는 동작하지 않음

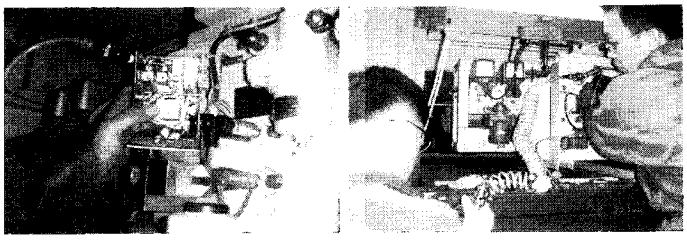


그림 3.6-14 동작점 조정 스크류 조절

(3) 압력스위치 제품 변경 시험

기 설치된 LME Type의 압력스위치 대신에 Saginomia社의 SNS Type과 FNS Type의 2종의 압력스위치를 가지고 시험한 결과 SNS Type의 압력스위치로 대체할 경우 설정압력을 4.8 kgf/㎠ 으로 세팅할 경우 최적의 동작상태를 확인 할 수 있었다.

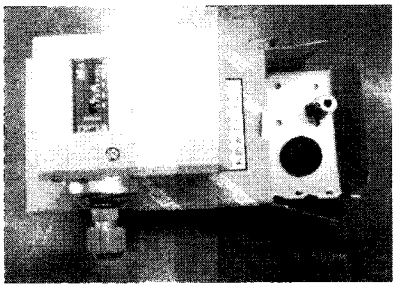


그림 3.6-15 신규압력스위치

(4) 오리피스 추가 삽입조치로 인한 Tripod 불균형 검지 시스템 정상화

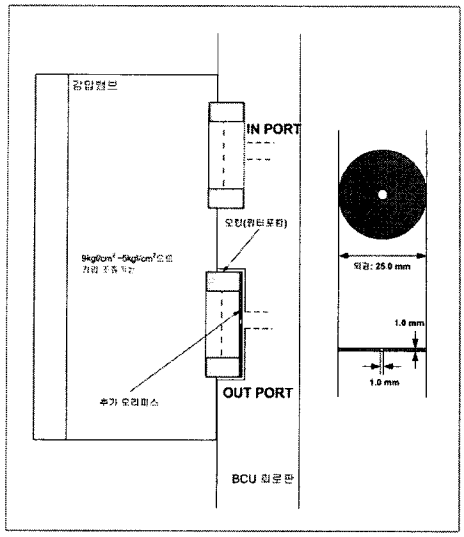


그림 3.6-16 오리피스 추가 설치 위치

5kgf/cm2 로 감압시켜서 트리포드 불균형 검지라인 공압배관으로 출력시키는 감압밸브의 출력포트에 원판형 오리피스를 삽입하고 제동스톱퍼 배관을 풀어 공기를 배기시키는 방식으로 시험한 결과 검지용 압력스위치의 전기접점은 확실하게 동작하는 것을 확인하였다.

오리피스 Hole Dia	압력스위치 반응시간
0.7mm	약 4초
1.0mm	4~5초
1.5mm	10초

(5) 파생된 문제점

차량의 주차제동 배관과 트리포드검지 장치와의 배관이 공통으로 사용함으로 인해서 BCU 주공기 압력 차단용 Cutout cock 취급시 주차제동이 체결되는 문제가 발생하였다. 추후 상용화 되는 차량에서는 트리포드 불균형검지 시스템과 주차제동용 배관 라인을 분리하는 방향으로 설계가 이루어져야 할 것이다.

라. 부수대차 속도센서 개선품 적용

(1) 설계변경 사유

광학반응식 부수대차 속도센서의 이물질 흡착과 관련된 문제점을 개선하기위하여 동력차 속도센서에 적용한 자기저항 반응방식 소자를 사용하여 설계 제작, 진행

(2) 설계변경 개선방안

- 부수대차 속도센서 센싱방식 변경설계(광투과 방식 배제)방안 수립
- 동력차용 속도센서에 사용된 자기저항방식의 센서소자를 부수차에 적용
- 포닉휠의 재질변경 (알미늄-->Steel)
- 포닉휠과 기어검지 센서의 감지구조 변경(수직관통--> 수평 관통)

==> 차축엔드커버형태 및 구조는 현재 상태 유지

==> 센서 몸체 가공품의 설계변경

(3) 설계개념 모델링 자료 및 단품성능시험 결과



그림 17 속도신호 검지 동작개념도

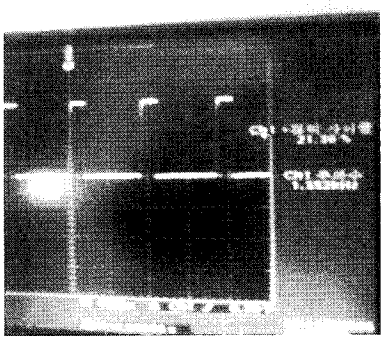


그림 18 출력파형의 특성확인

(4) 부수대차 속도센서 설계도면

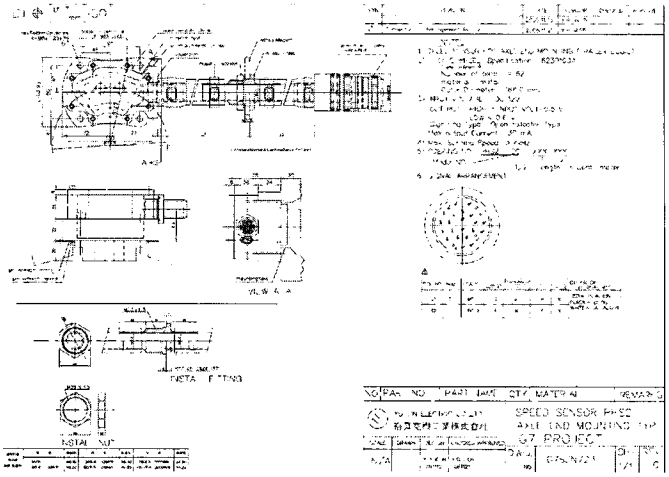


그림 19

(4) 주행시험 결과 : 신규제작품 속도센서에 의한 계측속도 제공

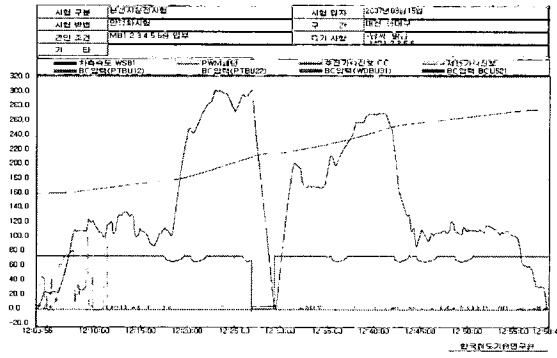


그림 20 차량속도, 비상신호, KP

마. 시제차량 제동시스템 관련 장치 점검 및 보수유지 작업보고내용

표 3.6-1 제동분야 점검 항목

	점 검 항 목	점 검 일	비 고
제동장치 육안 점검	객차대차 제동디스크 표면검사 및 패드마모상태 점검	8월17일	
	동력대차 답면제동장치 슈 마모상태	8월17일	
	객차대차 BCU 내 공압판넬 내부부품 육안검사	8월17일	
	동력대차 및 동력객차 공압판넬 내부 부품 육안검사	8월17일	
	휠디스크제동장치 캘리퍼 및 제동실린더 외관검사	8월17일	
	축디스크제동장치 캘리퍼 및 제동실린더 외관검사	8월17일	
	제동장치 ECU 렉 구성카드 장착상태 점검	8월18일	
제동제어장치 자체 기능확인 시험	EPL Valve 구동기능 확인	8월30일	
	Dump Valve 구동기능 확인	8월30일	
제동제어장치 마스콘에 의한 응답확인 시험	비상제동시 제동 및 완해 시간 및 압력확인	8월18일	
	정차제동시 제동 및 완해 시간 및 압력확인	8월18일	
	주차제동시 제동 및 완해 시간 및 압력확인	8월18일	

(1) 제동장치 육안점검(기초제동장치)

- 점 검 일 2006년 8월 17일 목요일
- 점검장소 오송기지
- 입 회 자 시운전단 이태형
  유진기공: 전영욱, 김규환, 조동현

(가) 시험방법

차량하부에 취부된 기초제동장치에 대하여 변형유무와 파손상태 등을 육안으로 검사한다

디스크패드와 답면슈의 마모량을 측정하였다.

(나) 점검항목 및 점검결과

① 축디스크 제동장치

점검위치 / 점검항목	4번대차						5번대차						6번대차						7번대차					
	1축			2축			1축			2축			1축			2축			1축			2축		
	L	C	R	L	C	R	L	C	R	L	C	R	L	C	R	L	C	R	L	C	R	L	C	R
실린더외관상태	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
캘리퍼 대차취부상태	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
패드마모상태	※ 8월14일 실시한 제동패드 편마모 조사결과 대체																							
디스크표면상태	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
패드장착부 쇄정상태	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
파손 및 변형여부	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
취부볼트 이완여부	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ 이상없음

△ 이완발생

축디스크제동장치에 대한 점검결과 외형상 변형과 파손은 없었으며, 패드의 편마모에 대한 이력은 꾸준히 조사하여 데이터화 할 필요가 있다고 사료되며, 이에 대한 설계검토가 이루어지고 있다. 주행시험을 진행하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

차축번호	디스크 위치			1위		2위		3위	
	패드 위치			좌	우	좌	우	좌	우
4A	패드 타입			구	구	구	구	구	구
	패드 두께	상	좌	13.2	19	16.9	19.1	18	17.7
			우	10	9.6	12	12.6	11.5	12
			차이	3.2	9.4	4.9	6.5	6.5	5.7
		하	좌	13.4	18.7	16.8	19	18.1	17.6
			우	10.2	9.1	11.4	12.2	12.4	11.7
			차이	3.2	9.6	5.4	6.8	5.7	5.9
	패드변형			중	중	중	중	중	중
4B	패드 타입			신	신	신	신	신	신
	패드 두께	상	좌	18.1	18	23.4	23.2	21.6	23.3
			우	14.3	13.6	22.3	22.4	21.1	22.7
			차이	3.8	4.4	1.1	0.8	0.5	0.6
		하	좌	17.9	17.9	23.2	23.1	21.7	23.2
			우	14.2	14.9	22.3	22.9	21.6	22.7
			차이	3.7	3	0.9	0.2	0.1	0.5
	패드변형			저	저	저	저	저	저
5A	패드 타입			구	구	구	구	구	구
	패드 두께	상	좌	14.6	11.7	16	16.4	15.9	14.3
			우	10	11	11.3	11.4	11.5	11.5
			차이	4.6	0.7	4.7	5	4.4	2.8
		하	좌	14.5	13	15.7	16.1	16	14.4
			우	6.8	11.3	10.7	11.6	11.2	11.7
			차이	5.7	1.7	5	4.5	4.8	2.7
	패드변형			고	고	고	고	고	고
	패드상태			용접부균열	용접부균열	스터드이탈	용접부 균열	스터드 이탈	용접부 균열
5B	패드 타입			구	구	신	신	구	구
	패드 두께	상	좌	15	탈거 불가 라이닝 헤드 핀 구멍이 외부충격으로 변형	21.9	22	16.7	17
			우	11.9		20	21.2	13	12.7
			차이	3.1		1.9	0.8	3.7	4.3
		하	좌	15.1		21.2	22	17.2	16.8
			우	11.8		20	21	13	11.3
			차이	3.3	0	1.2	1	4.2	5.5
	패드변형			고	고	저	저	고	고

② 휠디스크 제동장치

점검위치 / 점검항목	3번대차		8번대차	
	1축	2축	1축	2축
실린더외관상태	○	○	○	○
캘리퍼 대차취부상태	이완	이완		이완
패드마모상태(스터드)	8L/8R	15L/8R	7L/7R	13L/12R 스터드1개 탈락
디스크표면상태	○	○	○	○
패드장착부 쇄정상태	○	○	○	○
파손 및 변형여부	○	○	○	○
취부볼트 이완여부(마크)	○	○	○	○

○ 이상없음

휠디스크제동장치 점검결과 외형상의 파손과 변형은 발생되지 않았고 스터드가 떨어진 것은 제작상의 용접불량으로 생각되어지며 이에 대하여 신품교체를 실시하였다 따라서 점검결과 주행시험을 진행하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

③ 답면제동장치

점검위치 / 점검항목	1번대차				2번대차				9번대차				10번대차			
	1축		2축		1축		2축		1축		2축		1축		2축	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
슈 마모상태 및 외관	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
슈 마모한계 여유(mm)	22	19	24	27	35	37	35	35	40	42	41	40	20	20	18	18
대차장착상태 점검	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
취부볼트 이완여부	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
파손 및 변형여부	○	○	○	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○
슈장착부 쇄정상태	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ 이상없음

△ 하단부파손(슈의 끝단)

슈의마모한계 여유는 중앙부의 마모한계를 기준으로 측정

답면제동장치에 대한 점검결과 외관상의 파손과 변형은 발견되지 않았으며 답면슈에 대한 마모량 또한 양호하게 계측되었다. 따라서 주행시험을 진행하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

(다) 점검사진

① 축디스크 제동장치

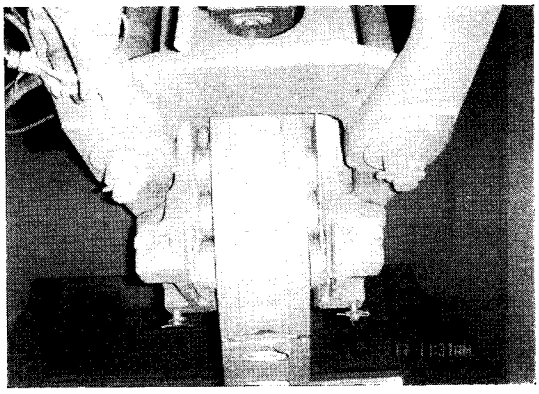


그림 21 축디스크제동장치 점검

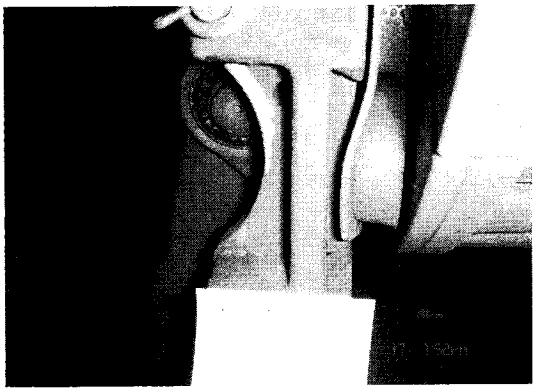


그림 22 패드의 변형여부 점점

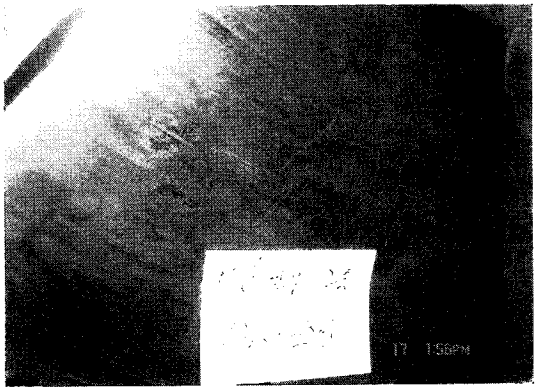


그림 23 디스크표면검사1

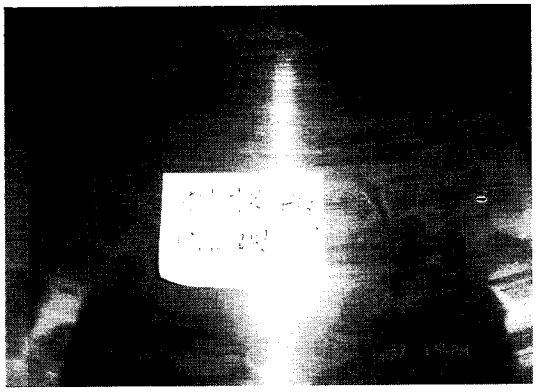


그림 24 디스크표면검사2

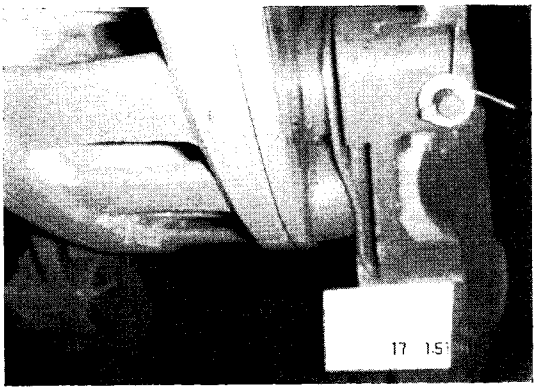


그림 25 패드의 체결상태 점검

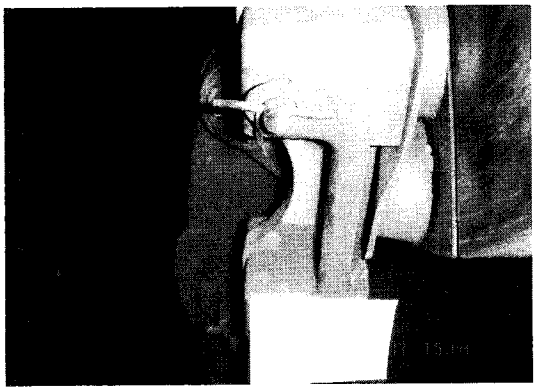


그림 26 패드 고정핀 점검

② 휠디스크 제동장치

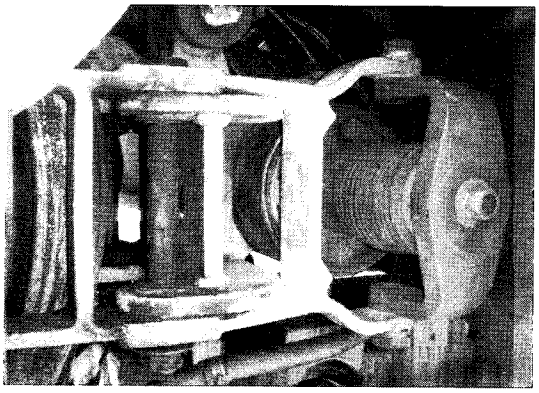


그림 27 축디스크 제동장치 점검

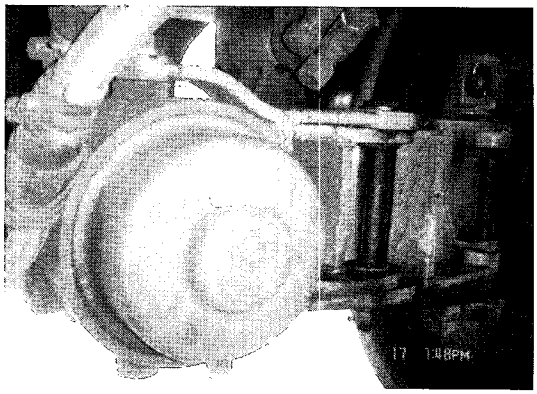


그림 28 제동실린더 점검

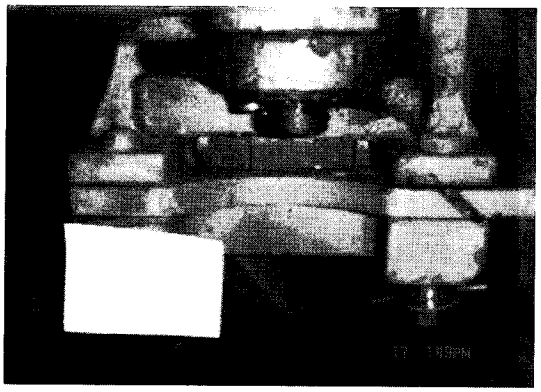


그림 29 취부상태 점검

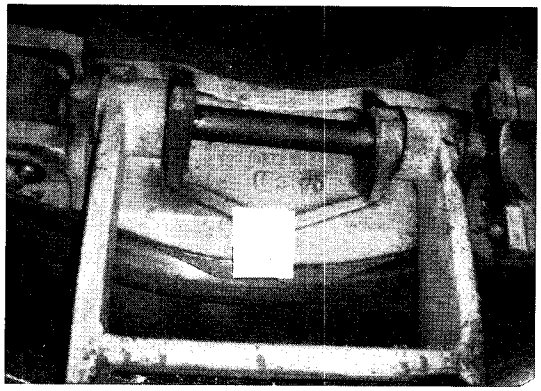


그림 30 축디스크 제동장치 점검

③ 답면제동장치

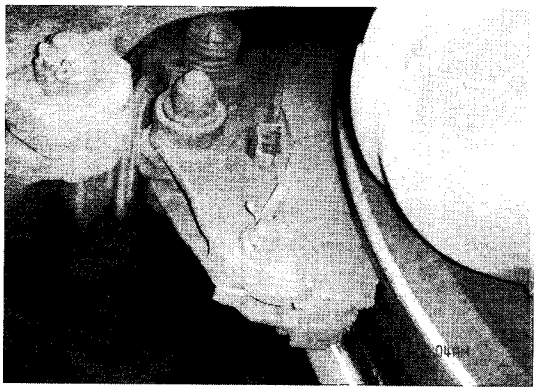


그림 31 슈의 마모량 측정1

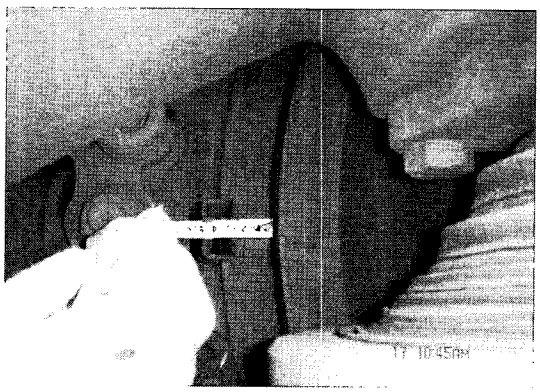


그림 32 슈의 마모량 측정2

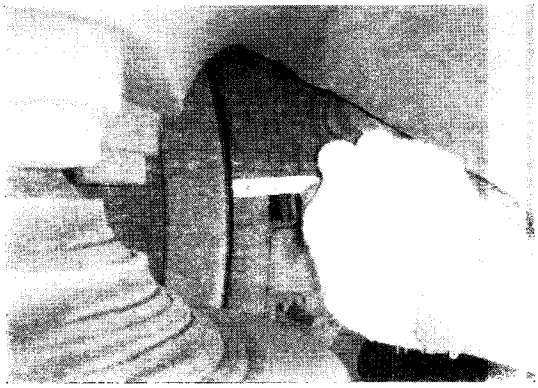


그림 33 슈의 마모량 측정3

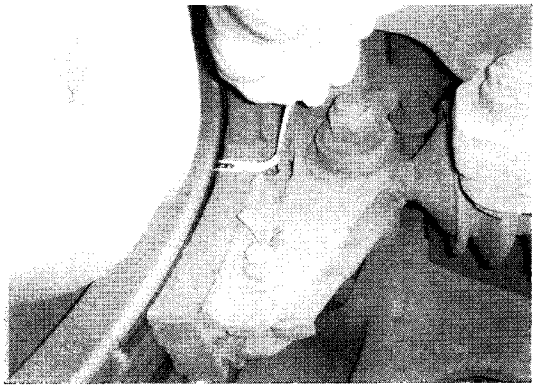


그림 34 슈의 마모량 측정4

(2) ECU Sub-Rack PCB card 장착상태 및 카드기판 육안 점검

- 점 검 일 2006년 8월 17일 목요일
- 점검장소 오송기지

(가) 시험방법

차량 BOU내에 취부된 ECU 및 창착카드에 대한 커넥터의 연결상태, 각 카드의 기판소손 및 변형유무 등을 육안으로 검사한다.

(나) 점검항목 및 점검결과

점검항목 \ ECU		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ECU	제어장치 취부상태(ECU)	정상	-	정상	-	-	볼트4개 유실	-	정상	-	정상
	I/F 커넥터 연결상태		-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	Power board PCB (기판소손 및 변형유무)	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	CPU board PCB (기판소손 및 변형유무)	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	I/F1 board PCB (기판소손 및 변형유무)	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	I/F2 board PCB (기판소손 및 변형유무)	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	PWM board PCB (기판소손 및 변형유무)	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	통신중계밸브 PCB (기판소손 및 변형유무)	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상
	공압판넬	정상	-	정상	-	-	정상	-	정상	-	정상

ECU Sub-Rack PCB Card 의 장착상태를 육안점검해본결과 6번대차의 볼트유실건을 제하고는 이상을 발견할 수 없었다. 볼트는 점검기간동안 재 취부하였다. 따라서 주행시험을 진행하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

(다) 점검사진

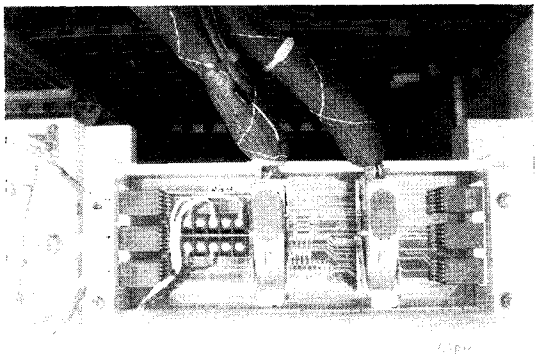


그림 35 커넥터 연결상태 점검

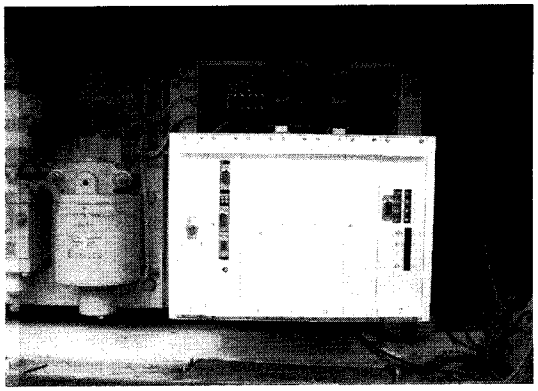


그림 36 ECU 장착상태 점검

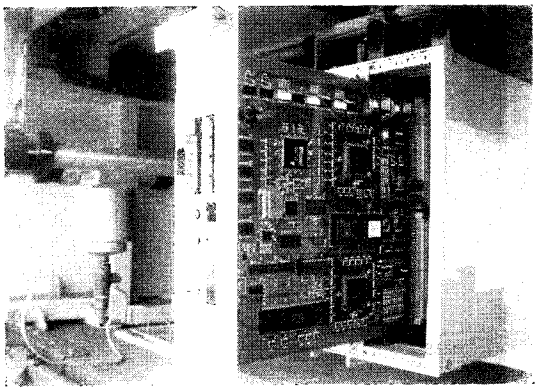


그림 37 ECU 장착카드 분리작업

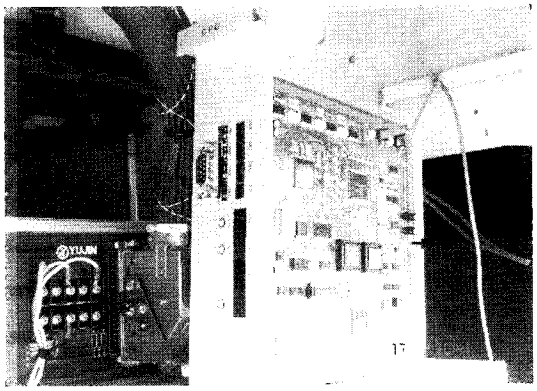


그림 38 CPU카드 점검

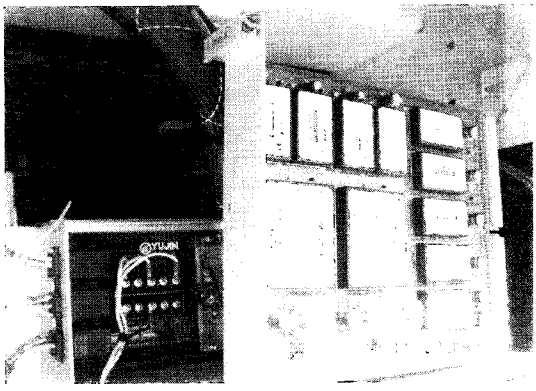


그림 39 Power카드 점검

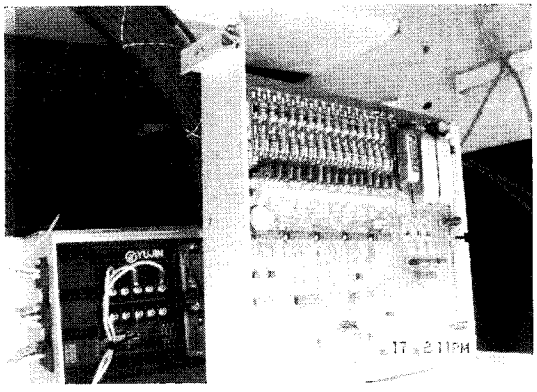


그림 40 IF카드 점검

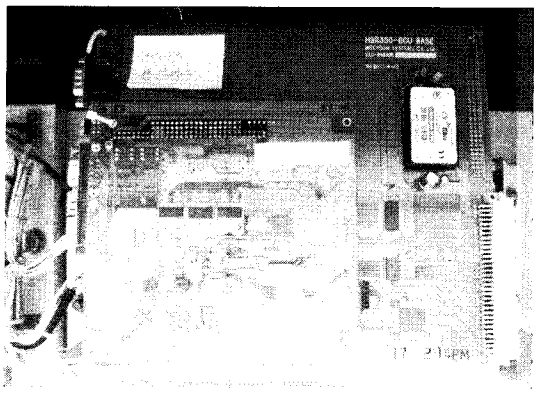


그림 41 통신카드 점검

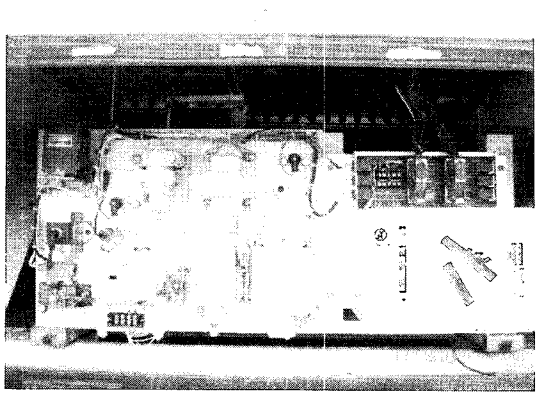


그림 42 BOU 및 ECU체결상태 점검

(3) 제동제어장치 자체 기능확인 시험

- 점 검 일 2006년 8월 30일 수요일
- 점검장소 오송기지

(가) 시험방법

Test 기능을 활용하여 덤프밸브의 기능을 확인하였고, 각 제동지령시 EPL Valve에 흐르는 구동전류와 터미널 양단간의 전압을 측정하였다

(나) 점검항목 및 점검 결과

점검항목 \ 대차번호		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	기준값±20		
												답면	휠	디스크
EPL Valve 전류구동명령(mA)	상용	476	484	463	480	482	470	480	449	476	472	486	468	481
	비상	482	488	463	480	447	445	443	457	482	472	491	476	462
	주차	528	540	-	-	-	-	-	-	530	522	528	509	
	정차	341	347	330	339	324	336	316	328	347	341	347	338	335
	완해	122	118	116	124	131	126	122	114	116	115	210이하	218이하	223이하
덤프밸브 구동확인		양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호			
Test Mode	배기	0.21	0.19		0.21							0.2s		
	유지	1.65	1.63		0.61							1.6s		
	배기	1.91	1.97		1.99							2.0s		
	충기	2.90	2.81		2.76							2.8s		

각 제동모드별 EPL valve의 구동전류치가 설정된 값과 비슷하게 계측되었고 실제 제동압력

도 생성되었다. 따라서 주행시험을 진행하는데 문제가 없을 것으로 사료된다.

(다) 점검사진 및 계측결과

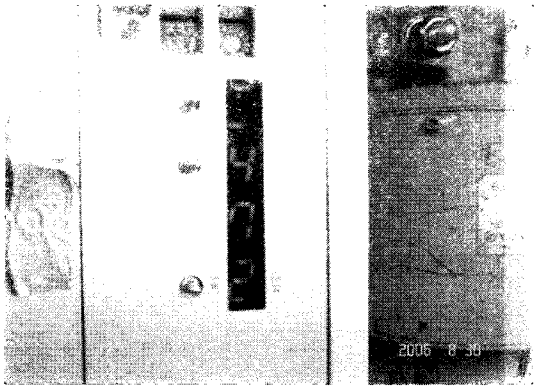


그림 43 EPL 전류치 측정

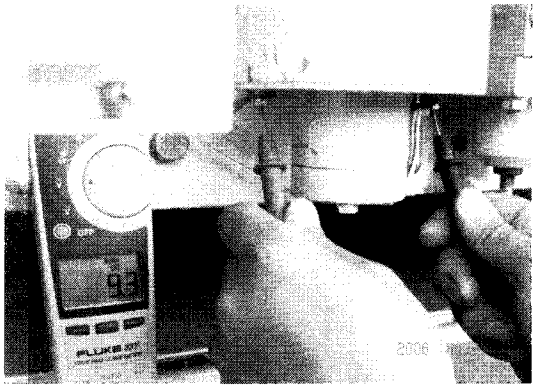


그림 44 EPL 양단전압 측정

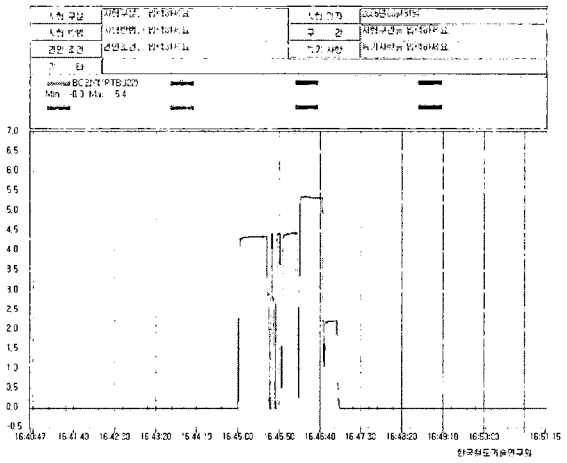


그림 45 덤프밸브 구동확인(1번대차)

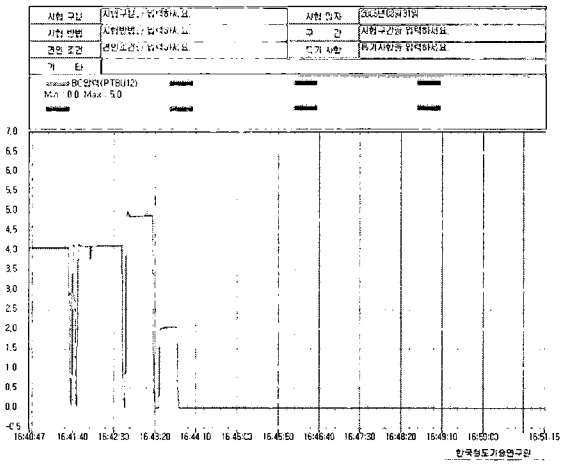


그림 46 덤프밸브 구동확인(2번대차)

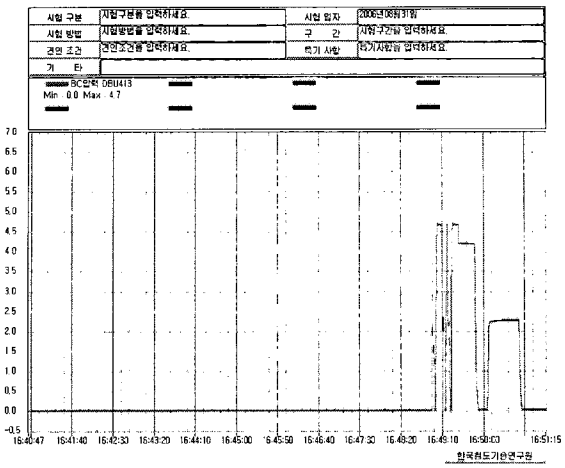


그림 47 덤프밸브 구동확인(4번대차)

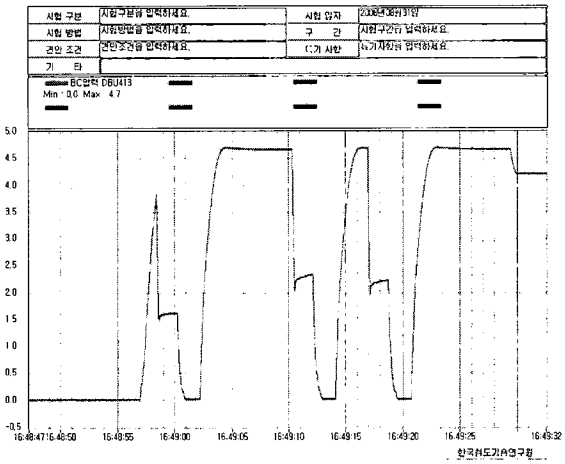


그림 48 덤프밸브 구동확인(4번대차 확대)

(4) 제동제어장치 마스콘에 의한 응답확인 시험

- 점 검 일 2006년 8월 18일 금요일
- 점검장소 오송기지

(가) 시험방법

Mascon 지령을 이용한 각 제동모드별로 제동압력 충기 및 배기 시간 등을 계측하였다.

(나) 점검항목 및 점검결과

제동모드 \ 대차번호		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	기준값±0.2		
												답면	휠	디스크
정차제동	작용압력	2.07	2.16	1.91				1.97	1.85	2.23	2.08	2.0	2.0	2.0
	충기시간	0.90	0.84	0.81				1.30	1.18	0.81	0.88	2초이내		
	완해시간	1.53	1.52	1.30				2.48	1.34	1.09	1.09			
상용제동	작용압력	4.03	4.27	3.94				4.24	3.86	4.39	4.06	4.2	3.9	4.1
	충기시간	1.02	0.96	1.01				1.97	1.62	0.97	1.03	2초이내		
(100%)	완해시간	2.19	2.43	2.07				3.82	3.00	1.84	1.89	5초이내		
비상제동	작용압력	4.10	4.38	4.10				4.00	4.10	4.49	4.13	4.3	4.1	4.0
	충기시간	0.83	0.89	0.72				1.08	1.15	0.77	0.91	2초이내		
	완해시간	2.04	2.24	1.88				3.96	2.84	1.67	1.67	5초이내		
주차제동	작용압력	4.82	5.38	4.90				-	-	-	-	5.0	5.0	-
	충기시간	0.83	0.86	0.71				-	-	-	-	2초이내		
	완해시간	2.01	2.38	1.90				-	-	-	-			

※ 충기시간은 제동명령인가후 기계적인 작동으로 제도압력이 발생되는 시간부터 발생된 제동압력이 설정제동압력의63%까지 되는 시간을 계측함

※ 상용/비상 제동시 충기시간은2초이내

제동압력의 충기시 시간은 제동명령(비상)이 인가후 평균1.5초 정도 걸렸고 배기 시간은 제동명령인가 후 약3초 정도이다. 불완해 검지 가5초인 것을 감안하면 배기는 충분한 성능을 가지고 있는 것으로 사료되어진다. 실험시 모든 계측센서에 대한 튜닝이 이루어져야 했는데 그러지 못함으로 인해서 계측의 정확성이 다소 감소하였다 각 제동모드별 제동압력의 제동시간과 제동압력은 설정치와 비슷하게 계측되었다

(다) 계측결과 분석

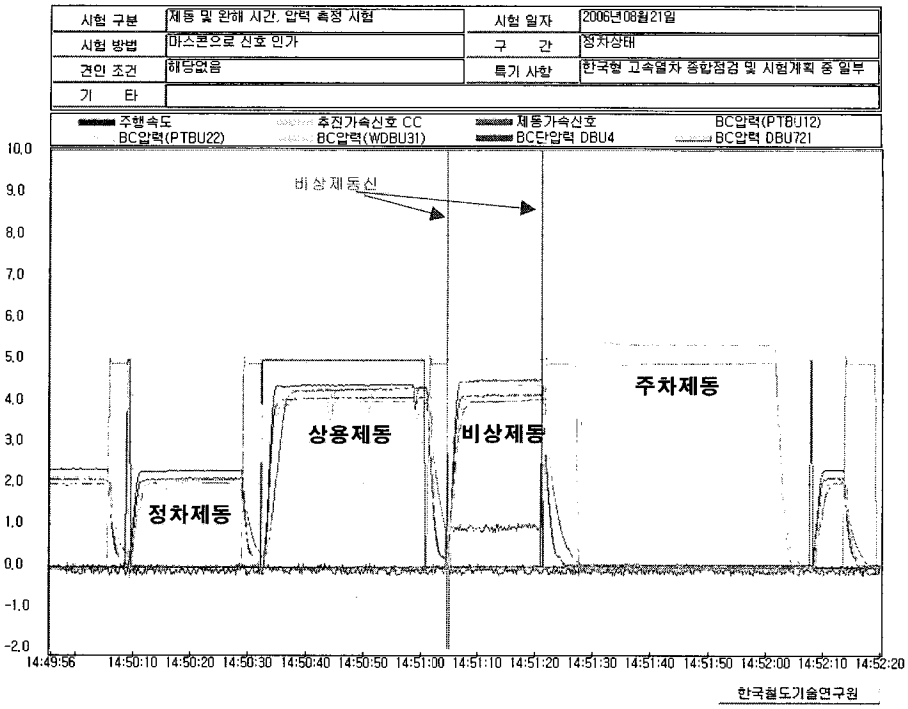


그림 49 제동모드별 제동압력 발생패턴(정차시)

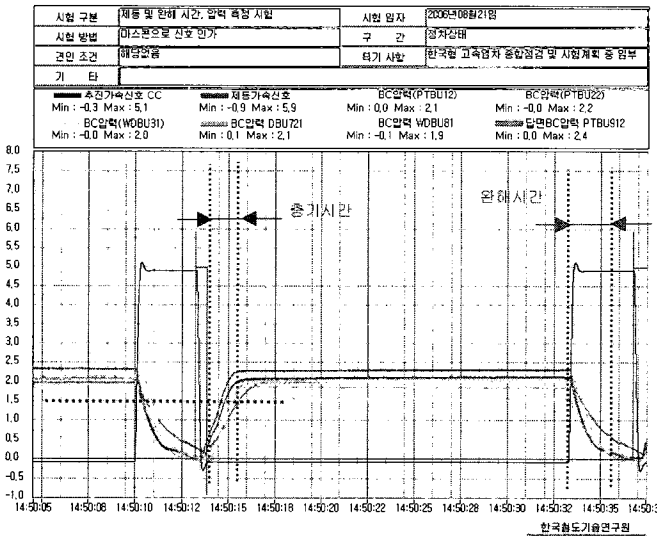


그림 50정차제동시

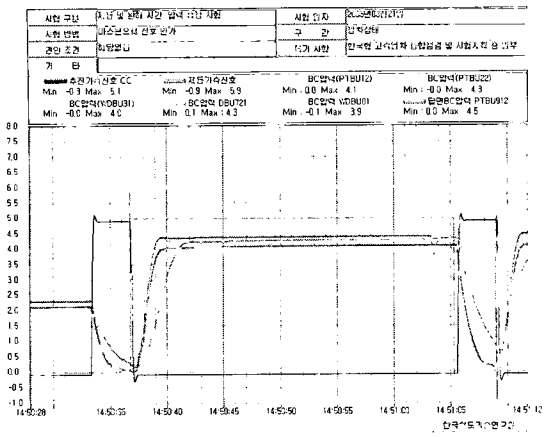


그림 51 상용제동시

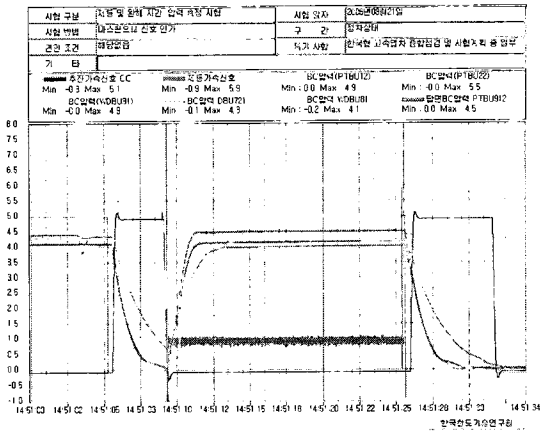


그림 52 비상제동시

바. 제동장치 및 시제차량 공압부품 차량중점검 및 유지보수 작업(로템 창원 공장)

(1) BCU내 BC압력센서 이동 설치작업

1. 작업 일자

2007년 4월 6일~2007년 4월 11일

2. 현황 및 문제점

BCU에 취부된 BC압 검지용 압력센서가 BC차단코크 전단에 있어서 차단코크 조작 후에도 운전실모니터에 BC 압력치가 현시됨.

3. 작업 내용

BCU 공압판넬상의 BC출력 라인상에 L보우와 피팅을 추가로 설치한 후 압력센서 설치 완료함.

4. 설치작업 관련 사진

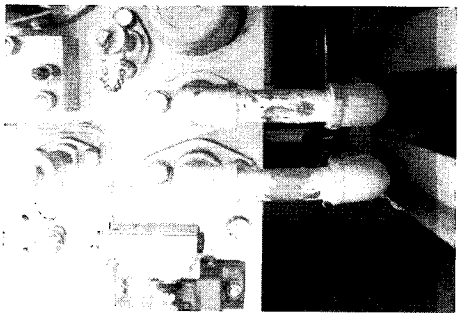


그림 53 변경전(객차대차용 BCU)

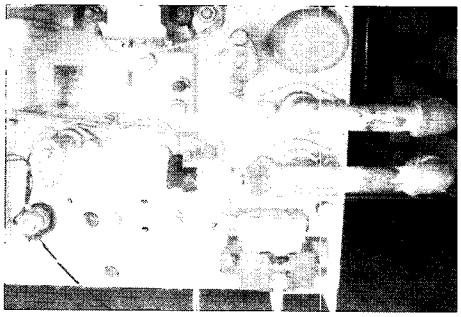


그림 54 변경후(객차대차용 BCU)

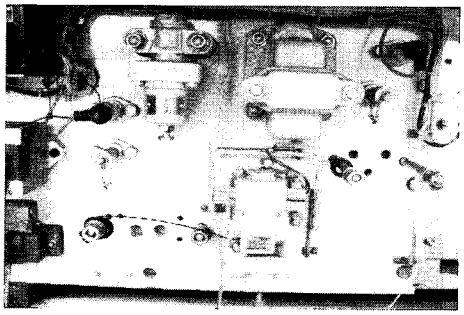


그림 55 변경전(동력대차용 BCU)

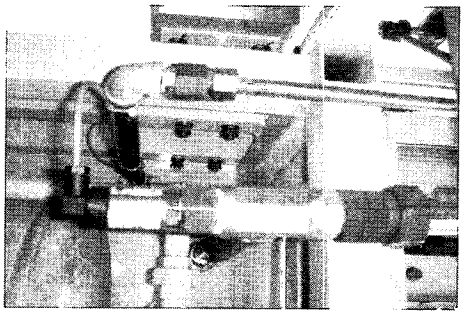


그림 56 변경후(동력대차용 BCU뒷면)

(2) 와전류 제동장치 쵸퍼유니트 점검

1. 작업 일자

2007년 4월 6일~2007년 4월 11일

2. 현황 및 문제점

와전류제동 쵸퍼유니트 내부의 고압컨택터 체결상태 점검

3.작업 내용

차량에서 부품탈거 및 컨택터 배선연결부 점검작업 실시

4. 점검 작업 관련 사진

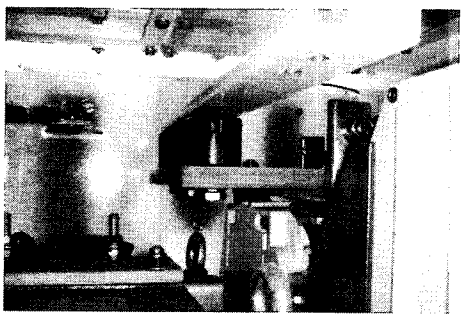


그림 57 내부배선 연결상태 점검

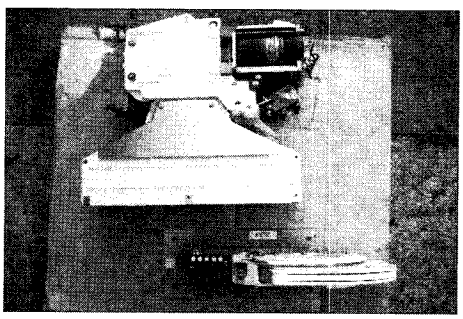


그림 58 컨택터 탈거후 이상유무 확인

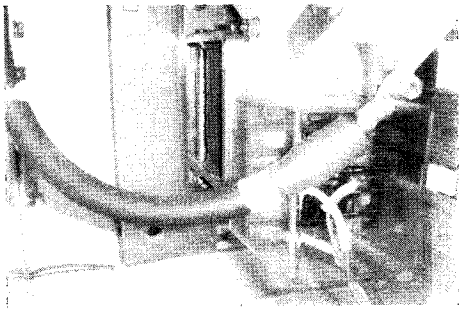


그림 59 내부배선 연결상태 점검

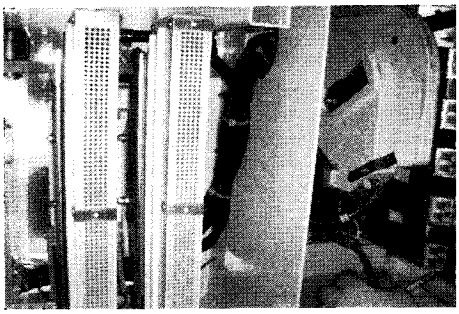


그림 60 컨택터 재취부 완료 상태

(3) 구원운전 공압회로 변경작업

1. 작업 일자

2007년 5월 7일~2007년 5월 9일

2. 현황 및 문제점

MR공급용 공압호스가 탑재되지 않은 디젤기관차와의 구원운전 연결시
BP 공압라인과 MR관을 관통연결하여 BP압력으로 MR공급을 하기위한 배관변경 작업

3.작업 내용

BTU 공압판넬상의 BP라인과 MR공급라인상에 체크밸브와 컷아웃 코크를 추가 삽입

4. 점검 작업 관련 사진

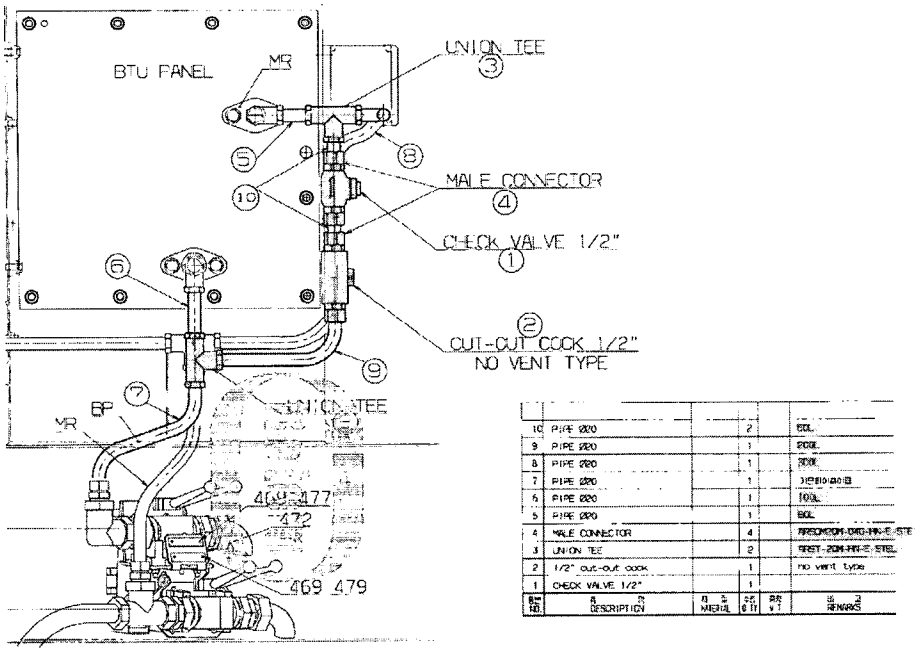


그림 61 배관변경 개념도

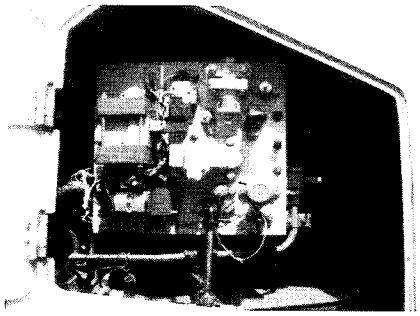


그림 62 변경전

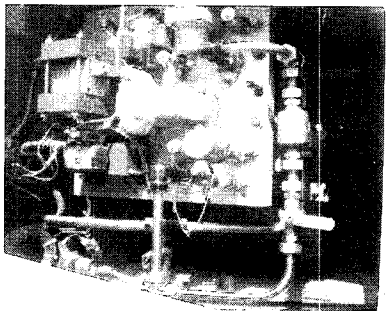


그림 63 변경후

(4) BTU & BTCU 기능점검 및 보완작업

1. 작업 일자

2007년 4월 4일~2007년 4월 11일

2. 현황 및 문제점

피구원모드 시 BTCU의 상용제동 PWM신호 출력회로부의 저항소자값 이상으로 차량자체전원 기동상태에서의 모의 피구원 시험 시PWM신호 왜곡현상 해소 목적

3.작업 내용

BTCU 회로기판상의 저항값 변경작업 후 자체기능시험 완료 후 차량에 재장착

4. 작업 내용 확인시험 및 점검 작업 관련 사진

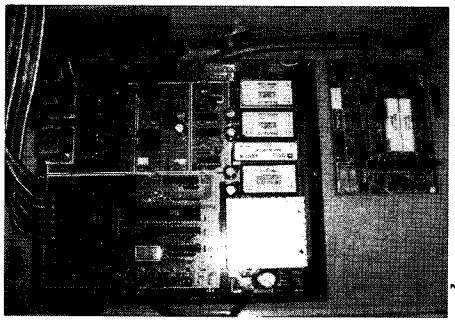


그림 65 BTCU 회로기판의 저항값 수정

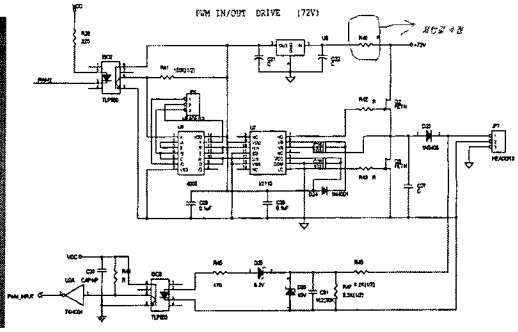


그림 66 회로변경부의 회로도

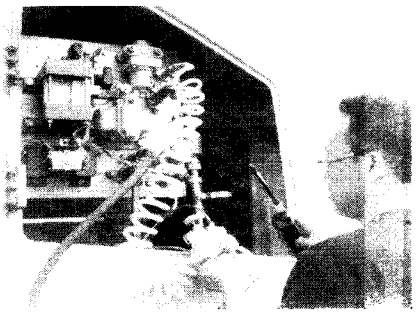


그림 67 피구원운전 모의 시험실시 장면

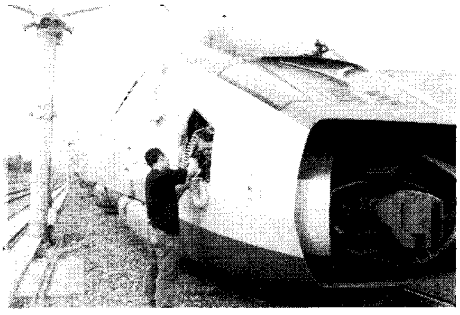


그림 68 피구원운전 모의 시험실시 장면

(5) 판토그래프 점검

1. 작업 일자

2007년 5월 11일

2. 현황 및 문제점

중점검 후 야간시운전을 위한 판토그래프 상태 점검

3.작업 내용

기기 취부상태 육안점검, 습판체 수평도 확인, 정적 압상력 측정 및 확인시험 실시

4. 점검 작업 관련 사진

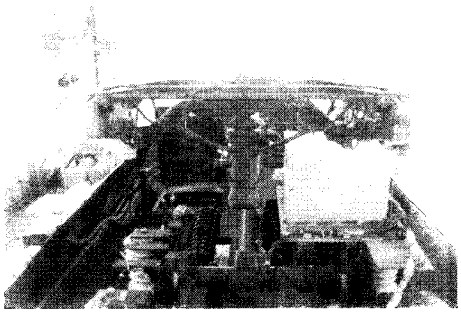


그림 69 정적 압상력 확인시험1

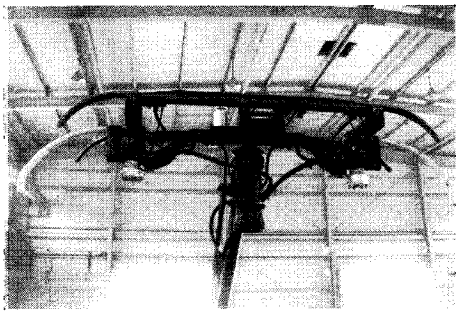


그림 70 정적 압상력 확인시험2

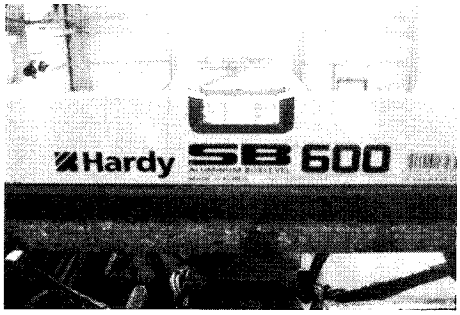


그림 71 습판체 수평도 확인1

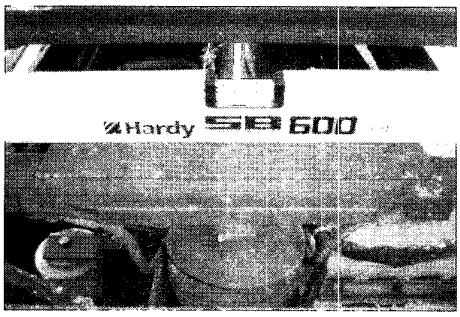


그림 72 습판체 수평도 확인2

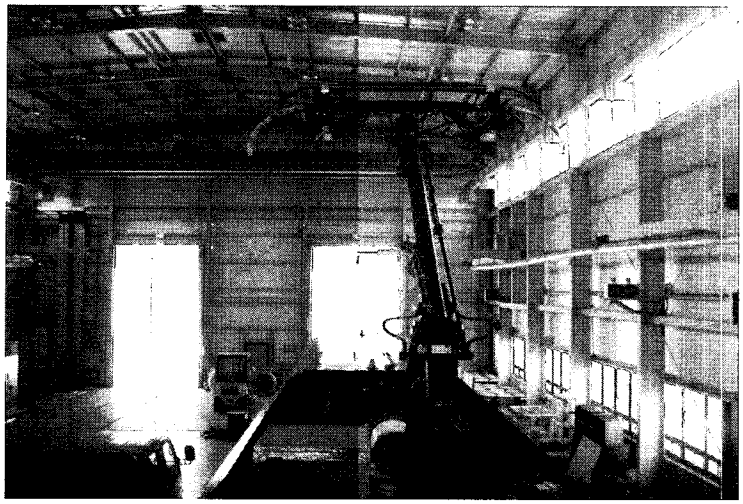


그림 73 기기 취부상태 점검 및 기능확인

(6) BCU 공압판넬 취부 밸브류 점검

1. 작업 일자

2007년 4월 6일~2007년 4월 11일

2. 현황 및 문제점

BCU에 취부된 공압 부품중 BC압력 생성관련 밸브류에 대한 점검작업

3.작업 내용

차량에서 부품탈거 후 공장이동(4월 6일)

EPL 밸브 및 EPR2 중계밸브 각 10개씩 탈거하여 누설시험 및 특성검사, 분해점검 및 노후부품 교체하여 정상동작확인(4월 11일)

4. 점검 작업 관련 사진

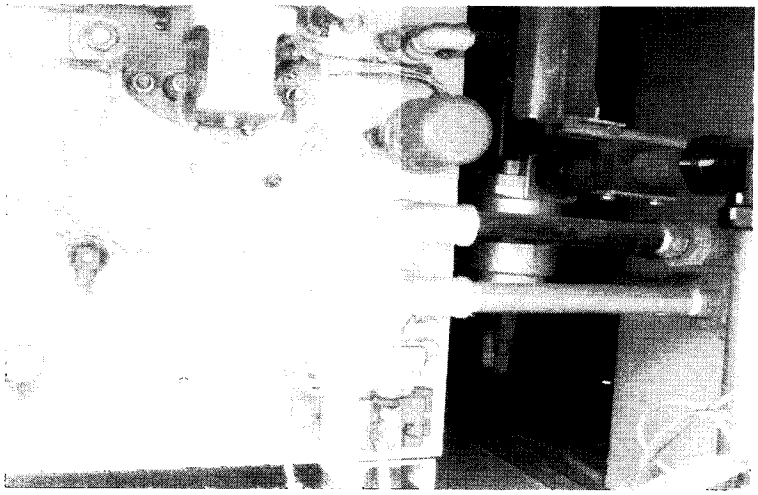


그림 74 EPL밸브 점검을 위한 탈거작업 상태

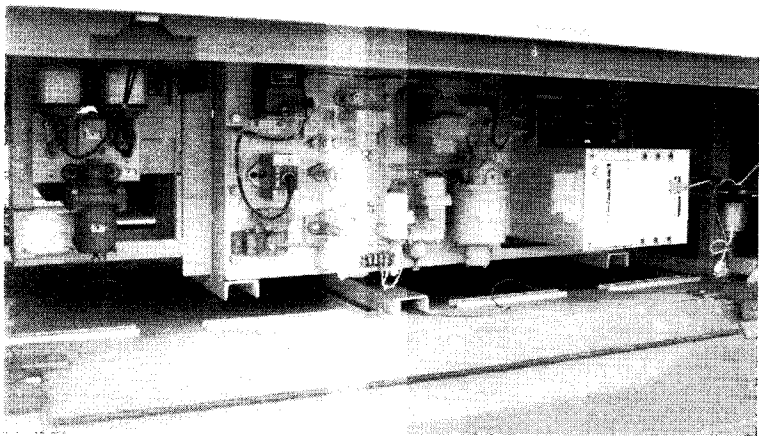


그림 75 점검 후 재취부 완료 상태

5. 신뢰성 확보방안

한국형 고속전철에 제안되는 시스템의 신뢰성 평가 및 신뢰성 확보를 위한 검토방안과 차량 시스템에서 요구되는 제동시스템의 목표 신뢰성지수(MKBSF : 2,600,000km)를 확보하기 위한 신뢰성 확보 계획을 수립 하였다.

가. 제동시스템 신뢰성평가

고속전철에서 신뢰성을 평가하기 위한 방법은 여라 가지가 있을 수 있는데 대표적인 차량에 대한 신뢰성평가 방법을 살펴보면 다음과 같다.

■ 경부고속전철(KTX) 신뢰성 해석

- System /Subsystem /Line Replaceable Unit로 기능분류
- System 별 Reliability Block Diagram 작성
- MKBSF(mean kilometer between service failure) 계산을 통한 신뢰성 평가

■ 표준전동차의 신뢰성 해석

- 14개의 Subsystem 으로 분류
- Public Data 를 이용한 MTBF 해석

■ UK High Speed Train 의 신뢰성 해석

- Criticality 에 따른 신뢰도 모델작성
- System /Subsystem /Component 의한 기능분류

■ 한국형고속전철(KHST)신뢰성 평가 과정

- 기본사양서에 기초한 신뢰성 요구조건 설정
- System 기준 신뢰성 블록선도 작성 및 신뢰도 계산식 도출
- 시운전 결과에 기초한 고장률 계산
- 신뢰도 성장 분석

따라서 신뢰성을 평가하기 위해서 제동시스템과 공기공급장치의 블록도를 나타내면 다음과

같다.

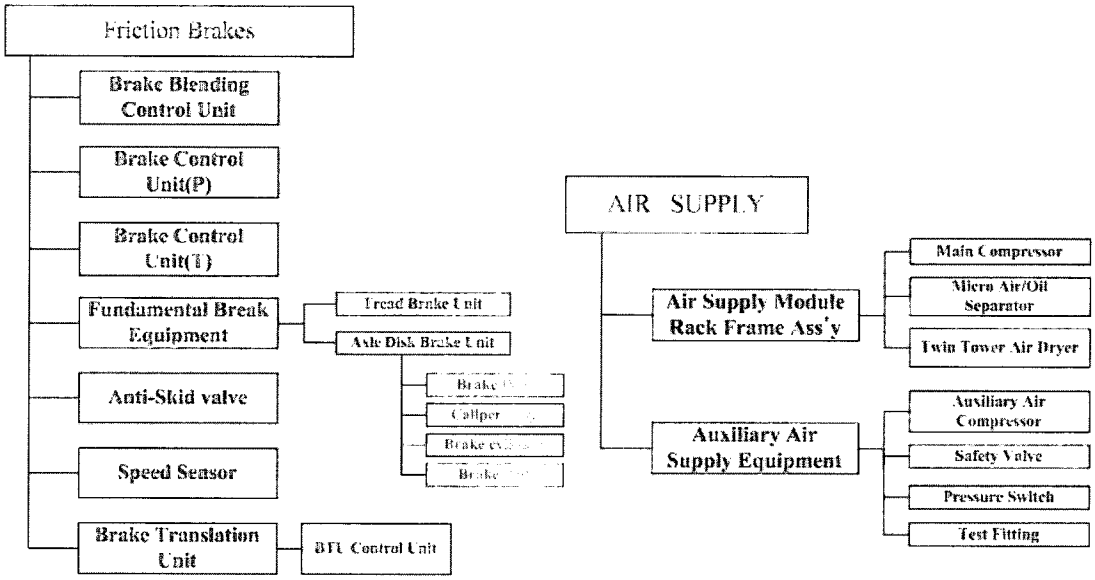


그림 1 제동시스템과 공기공급시스템의 신뢰성 블럭도

현재상태의 신뢰성을 평가하기 위해서는 고장기록에 대한 실제 상용차량의 필드데이터를 적용해야만 하는데 한국형고속전철에서는 아직 이러한 충분한 데이터를 수집할 수 있는 시간이 없었기 때문에 정확한 신뢰도를 산출하는 데는 많은 어려움이 있다. 제동시스템과 공압시스템의 목표치를 다음과 같이 설정하였다.

Reliability Data Table **Friction Brakes - Target**

STRUCTURE													SUPPLIER DATA			FAILURE DATA				
Identity	Description	Qty in each car									Qty in Train	Supplier Part Number	Supplier Name	Comment	Failure Rate	MTBSF	MKBSF	Data Source	
		Pc1	T1	T2	T3	T4	T5	T7	T8	Pc2					failures/hours	hours/failure		Cat.	Reference
180000	**Friction Brakes**														**5.30E-05**	18,881	2,346,669		
181000	**Brake Blending Control Unit**	1								1	2	N/D	유진기공		**1.00E-06**	**1.00E+06**	124,285,714	P	
182000	**Brake Control Unit (Pc)**	2								2	4	N/D	유진기공		3.65E-05	2.74E+04	3,452,381	A	
182100	**Electronic Control Unit**	2								2	4	N/D	유진기공		**3.60E-05**	**2.78E+04**	248,571,429		
182200	**Brake Valve Panel Ass'y(Pc)**	2								2	4	N/D	유진기공		5.00E-07	2.00E+06	13,082,707		
183000	**Brake Control Unit (T)**										9	N/D	유진기공		**9.50E-06**	**1.05E+05**	13,609,524	P	
183100	**Electronic Control Unit**										9	N/D	유진기공		9.00E-06	1.11E+05	248,571,429		
183200	**Brake Valve Panel Ass'y(T)**										9	N/D	유진기공		5.00E-07	2.00E+06	645,304,851		
184000	**Fundamental Brake Equipment**	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	N/D	유진기공		**1.93E-07**	**5.19E+06**	645,304,851	P	
184100	Tread Brake Unit	8								8	16	N/D	유진기공		2.13E-08	4.69E+07	5,835,010,060	P	
184200	Axle Disc Brake Unit										72	N/D	유진기공		1.71E-07	5.84E+06	725,544,156	P	
184210	Brake Disc										72	N/D	유진기공		1.25E-08	8.00E+07	9,942,857,143	P	
184220	Caliper Ass'y										72	N/D	유진기공		1.25E-08	8.00E+07	9,942,857,143	P	
184230	Brake Cylinder										72	N/D	유진기공		2.13E-08	4.69E+07	5,835,010,060	P	
184240	Brake Pad										144	N/D	유진기공		1.25E-07	8.00E+06	994,285,714	P	
185000	**Anti-Skid Valve**	2	3	2	2	2	2	2	3	2	22	N/D	유진기공		**1.80E-07**	**5.56E+06**	690,476,190	P	
186000	**Speed Sensor**	4	3	2	2	2	2	2	3	4	26	N/D	유진기공		**9.00E-08**	**1.11E+07**	1,380,952,381	P	
187000	**Brake Translating Unit**	1								1	2	N/D	유진기공		**5.50E-06**	**1.82E+05**	22,597,403	P	
187100	BTU Pneumatic Panel	1								1	2	N/D	유진기공		5.00E-07	2.00E+06	248,571,429	P	
187200	BTU Control Unit	1								1	2	N/D	유진기공		5.00E-06	2.00E+05	24,857,143		

비고
1 고장율 및 MKBSF 값은 편성 기준 임.(10량)
2 Data Source
P : Similar operational equipment
A : Actual data
3. Condition of MKBSF Calculation
1) Operating Time a day : 10.5 hours
2) Operating Distance a day : 1305 km
=> Operating Distance for single : 435 km
=> Operating Frequency a day : 3 times(single)
=> Scheduled Speed : 124.3km/h
3) Service Failure : Delay time over 10 min.
SF Detail Description : Next Sheet

그림 2 제동시스템 신뢰성 Target 분석

Reliability Data Table **Air Supply**

STRUCTURE													SUPPLIER DATA			FAILURE DATA				
Identity	Description	Qty in each car									Qty in Train	Supplier Part Number	Supplier Name	Comment	Failure Rate	MTBSF	MKBSF	Data Source	
		Pc1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Pc2					failures/hours	hours/failure		Cat.	Reference
190000	**Air Supply**											N/D	유진기공		**7.61E-06**	1.31E+05	16,336,992	P	
191000	**Air Supply Module Rack Frame Ass'y**	1								1	2	N/D	유진기공		**7.60E-06**	1.32E+05	16,359,568	P	
191100	Main Compressor	2								2	4	N/D	유진기공		7.03E-06	1.42E+05	17,681,366	P	
191200	Micro Air/Oil Separator	1								1	2	N/D	유진기공		1.10E-07	9.09E+06	1,130,000,000	P	
191300	Twin Tower Air Dryer	1								1	2	N/D	유진기공		3.39E-07	2.95E+06	366,666,667	P	
191400	Safety Valve	2								2	4	N/D	유진기공		1.19E-07	8.40E+06	1,044,537,815	P	
192000	**Auxiliary Air Supply Equipment**	1								1	2	N/D	유진기공		**1.36E-06**	7.38E+05	91,707,245	P	
192100	Auxiliary Air Compressor	1								1	2	N/D	유진기공		1.43E-07	6.99E+06	869,230,769	P	
192200	Safety Valve	1								1	2	N/D	유진기공		1.19E-06	8.40E+05	104,453,782	P	
192300	Pressure Switch	1								1	2	N/D	유진기공		1.19E-08	8.40E+07	10,445,378,151	P	
192400	Test Fitting	1								1	2	N/D	유진기공		1.05E-08	9.52E+07	11,838,095,238	P	

비고
1. 고장율 및 MKBSF 값은 편성 기준 임.(10량)
2 Data Source
P : Similar operational equipment
3. Condition of MKBSF Calculation
1) Operating Time a day : 10.5 hours
2) Operating Distance a day : 1305 km
=> Operating Distance for single : 435 km
=> Operating Frequency a day : 3 times(single)
=> Scheduled Speed : 124.3km/h
3) Service Failure : Delay time over 10 min.

그림 3 공압시스템의 신뢰성 Target 분석

(1) 상용화 열차에 대한 제동시스템 신뢰성 검토

상용화 차량인 전라선 고속열차의 시스템 구성상1편성에 총 13SET의 제동장치가 탑재되어 있고, 동력대차의 제동장치 1SET와 부수대차의 제동장치 1SET, 총 2SET가 고장 나는 경우를 신뢰성 판정기준으로 하여10분 이상 서비스 지연이 발생하는 경우이다

항 목	요구 신뢰성 수준
MKBSF(km)	2,600,000 km
MKBF(km)	297,100 km

*제동장치 1대의 MKBF가 297,100km인경우의 MKBSF계산 수식

$1/[(\text{고장율}\times\text{거리})^2\times {}_{13}C_2/\text{거리}]$

$MKBSF = 1/[((1/297,100)\times 435)^2\times {}_{13}C_2/435] = 2,601,486 \text{ km}$

(2) 현재 제동장치의 신뢰성 수준

현재 한국형 고속열차의 운행데이터를 근거로 한 신뢰성 검토결과는 다음과 같다

항 목	현재 신뢰성 수준	비 고
MKBSF(km)	10,770 km	2005년 2월 ~ 4월 운행실적 기준
MKBF(km)	19,117 km	2005년 2월 ~ 4월 운행실적 기준

현재 제동장치의 MKBF는 19,117 km이며 목표치인 297,100km에 부족하다. MKBSF는 10량 편성시에 제동장치 13대중 2대가 동시 고장으로 인하여 10분이상 서비스 지연을 초래하는 고장으로 . 현재까지 7량편성 한국형고속전철 시제차량에서 제동장치2대가 동시에 차단되는 경우는 발생하지 않았으나 주어진 수식에 의한 MKBSF는 10,770 km으로 계산되었다.

$MKBSF = 1/[((1/19,117)*435\text{km})2 \times {}_{13}C_2/435\text{km}] = 10,770 \text{ km}$

현재 한국형 고속열차에서 운용중인 제동장치의 신뢰성 수준은 상용화 고속열차에서 요구되어지는 목표수준에 크게 미달하지만, 지속적인 보완작업으로 신뢰성을 향상시키고 있으며 다음에 설명된 신뢰성 확보방안을 반영한다면 고속열차에서 요구하는 신뢰성 수준을 달성할 수 있을 것으로 판단한다. 따라서 제동시스템에 부여된 10량편성 상용차량 신뢰성 목표치인 MKBSF 2,600,000이상을 달성하기 위한 시제차량에서의 개선 및 보완 노력과 상용화 차량의 설계에서의 고장율 감소를 위한 Fail-Safe 설계 강화가 절실하게 요구된다. 특히, 제동제

어장치(Brake Control Unit: BCU)내의 전자제어장치인 제동전자제어유니트(ECU)의 고장률 감소가 전체 시스템의 신뢰성 향상에 가장 큰 영향을 주고 있다.

표 3.6-1 제동시스템의 신뢰성 검토

Description			Version 1			Version 2	Version 3
			Date	Number	MKBF	MKBF	MKBF
BCU	ECU	POWER	2/3, 3/9,16,17,23,24 4/21,28	13	25,000	1,842,028	2,652,519
		CPU	4/12,13,20	4	81,250	1,842,028	2,652,519
		I/F	-	-	-		
		MVB	-	-	-		
	Valves Bracket Ass'y		-	-	-		
	Tread Brake Unit		-	-	-		
		Brake Disk	-	-	-		
		Caliper Ass'y	-	-	-		
		Brake Cylinder	-	-	-		
		Brake Pad	-	-	-		
Sensors	Speed Sensor		-	-	-		
	Pressure Sensor		-	-	-		
Anti-skid Valves			-	-	-		
Brake Translating Unit			-	-	-		
MKBF(km)			19,118			250,000	300,000

Version 1 : 2005년 2월 ~ 4월 운행실적 기준
Version 2 : 신뢰성 향상방안에 따른 개선 후 예상 기대치
Version 3 : 상용화에 반영할 경우 기대치

(3) Definition of Brake system service failure

■ 고장으로 인해 차량운행을 10분 이상 지연시킨 경우

■ 차량에서 불완해 발생하여 운행에 10분 이상 출발 장애를 유발한 경우

■ ECU 제어오류로 인한 오동작 발생으로2개 대차이상 제동불능 상태

- CPU System Program Overrun
- EPL Valve Card 소손 등 인터페이스카드 고장

■ 공기압력센서고장에 의한 피드백제어 오류로 인해2개 대차이상 출력공기압력 제어불능 상태

제동장치 공압판넬 부의 공기압력 과다누설 등의 이유로2개 대차이상 공기압력제어가 정상적으로 작동하지 못한 경우

- 제동실린더의 공기압누설
- 기초제동장치의 파손

■2개 대차이상 활주방지 제어장치의 고장으로 정상적인 제동력 제어가 불가능한 경우

- 속도센서 고장
- 압력제어밸브 고장

나. 신뢰성 확보 방안 진행 결과 요약

전자제어장치의 고장원인을 분석하여 조치하는 것이 전체 제동시스템의 신뢰성 확보를 위한 열쇠라고 판단하여 다음과 같은 신뢰성 확보 계획에 따라 진행하였다.

(1) ECU 보완을 통한 BCU부분 고장률 감소

제동시스템에서 발생하는 고장의 단초를 제공하는 제어장치인ECU에 대한 안정화가 신뢰성을 높이기 위한 최우선의 방법으로 생각되어진다 따라서 이에 대한 안정화 방안을 마련하였다.

■ 시제차량의 ECU주변 노이즈의 영향에 의한 제어전원 불안정 현상에 대한 대책으로 DC/DC Converter POWER SUPPLY회로와 CPU CARD로 구성된 테스트 모델을 구축하여 전자파 내성에 대한 시험을 실시(SGS KEES EMI/EMC TEST전문기관 의뢰시험 완료.)

■ 차량제어전원 입력부 회로를 노이즈 감쇄 및 전원드롭 안정화 부분을 고려한 신규 제작 PCB를 적용, 안정적 제어전원확보 회로를 추가하여 제작한 후 성능시험환경신뢰성 시험을 실시 완료.

■ 제동불완해 검지에 의한 추진모드 차단에 의해 발생되는 운전장애는 강제제동완해 조치를 정상화시킴으로써 제동불완해 상태가 발생된 상황에서도Service Failure 상태로 진전되지 않을 수 있다. 이와 관련된 시스템적인 문제점을 극복하고자 활주방지제어장치(ASCU) 와 ECU간의 인터페이스 회로를 수정하고 ASCU의 Software 보완을 통해 조치를 완료.

■ 운전실 조치사항으로 제동불완해 검지 시 강제완해스위치 조작에 대한 내용을SCU고장처치 화면에 반영함.

■ ECU고장기록 기능에 대한 세분화 및 로깅작업 방법 개선을 통해 제동불완해 상태 검지나 전원불안정으로 인한 제어장치 오류 등에 대한 이력을 점검하기 쉽게 개선할 예정이다

■ 주기적인 정비계획을 마련하여 시행한다 (제어장치 보드 세척, 전기적 커넥션부 접촉점의 이완여부 등)

(2) 제품설계 능력 보완 및 전자제어부품 신뢰성 확보를 위한 기술자문 실시

■ 전자제어장치 노이즈 차폐 기술관련 국내 전자파 내성 및EMC/EMI 관련 시험 연구소에 ECU 제어장치에 대한 시험방법 자문 및 평가 요청

■ 철도차량 전장품 제어장치의 PCB기판 패턴 설계방법 및 노이즈 저감 설계관련 PCB 설계 제작전문 기업부설 연구소 엔지니어 초청 기술토론회 개최 및 기술자문을 통한 상용화 설계 시 반영요소 검증 및 확정설계 반영 예정.

■ 철도차량 제동시스템 엔지니어링 전문가를 통한 설계 엔지니어링 자문 계획의 일환으로 일본 철도차량 제동장치 전문제작업체의 기술고문을 영입하여 시제차량 시운전 관련 제동장치의 신뢰성 관련된 기술자문을 받아 2006년 말부터 추진함.

다. 신뢰성 확보 방안 추진계획 및 진행 결과

(1) 제동장치 추진계획 및 요약표

■ 조치내용 및 확인/검증 결과(요약) 2007.01.20

순	고장 및 개선항목	세부조치 항목	상세 조치 내용	조치일		결과	비고
				계획	시행		
	제동간완해						
1	1-1 인터페이스 보드 개선품 장착 시험	1-1-1 #2대차 기능 확인 시험(정차상태 동작시험)	개선품 인터페이스 보드 제작품을 기존장치와 교체 장착하여 정차 중 동작 상태값 확인	06.01.15	06.01.20		자료보완
		1-1-2 #2대차 주행시험 (기지 내 주행시험)	개선품 인터페이스 보드 제작품을 기존장치와 교체 장착하여 주행 중 동작 상태값 확인	06.01.15	06.01.20	완료	
	1-2 시스템 프로그램 변경작업 수정/보완	1-2-1 기지 내 주행시험 결과 S/W 반영(사내 보완작업)	주행시험에서 발견된 프로그램 수정/보완사항 조치	06.01.20	06.01.20	완료	
		1-2-2 통신 S/W보완 및 시험 (MVB통신보드와의 호환 반영)	통신인터페이스 보드와 MVB카드 간 정보전달상태 확인을 위한 모니터링 시스템 구축	06.01.20	06.01.20	완료	
		1-2-3 #4대차 기능 확인 시험 (기지 내 주행시험)	개선품 인터페이스 보드 제작품을 기존장치와 교체 장착하여 주행 중 동작 상태값 확인	06.01.25	06.01.23	완료	
	1-3 인터페이스 보드 개선품 전체 차량분 제작	1-3-1 총 10SET분 보드 제작	대체할 개선품 인터페이스 보드 전체 대차분 제작	06.02.07	06.02.07		자료보완
		1-3-2 제작부품 사내시험	기존제품과 대체할 개선품 인터페이스 보드 전체 대차분 제작부품 사내 기능 시험	06.02.15	06.03.23 ~06.03.24 06.03.04 ~06.04.04		자료보완
	1-4 전차량분 교체 장착 및 안정화 시험	1-4-1 개선품 인터페이스 보드 전체차량 취부	개선품 인터페이스 보드 제작품을 기존장치와 교체 장착 작업	06.03.20	06.02.03	완료	
		1-4-2 주행시험 적용 및 안정화 시험	안정화 본선 주행시험 중 동작상태 모니터링 주행 중 동작상태 모니터링 ~ 계측시스템 관찰 신뢰성 확보 신행계획 추진 기간 중 지속적 심시 장애사항 및 고장 발생시 검토보고서 및 분석결과 제출	06.11.30	06.02.03~	미결	진동,온도,양산시험 심시 및 결과보고 07.02.14

그림 4 신뢰성 확보 실행계획 추진결과 요약표 1

순	고장 및 개선항목	세부조치 항목	상세 조치 내용	조치일		결과	비고
				계획	시행		
	차륜찬상						
2	2-1 환주검지기준값 관련 S/W 수정/보완	2-1-1 기존 S/W상태 재검토	ECU 제어장치 내부 환주방지제어부분 소프트웨어 소스코드 중 환주검지레벨 관련 재검토, 실제 주행시험 기록데이터 분석	06.01.05	06.01.05		자료보완
		2-1-2 속도시뮬레이터등 이용한 사내 모의시험	환주방지제어장치로 모의속도 입력하여 환주검지 수준 및 덤프밸브 제어 명령 출력상태 확인	06.01.15	06.01.05	완료	
		2-1-3 시제차량에서의 속도시뮬레이터등 사용한 기능시험	오송기지 시제차량 정착상태에서 환주방지제어장치로 모의속도 입력하여 환주검지 수준 및 덤프밸브 제어 명령 출력상태 확인	06.01.20	06.01.27		자료보완
		2-1-4 환주검지 레벨 수정 프로그램 장착 및 주행시험	본선시운전 주행상태 계측데이터 입수 후 분석 분석포인트 : 정상 주행상태에서의 덤프밸브 이상동작(미환주 상태 중 덤프밸브 동작) 현황 분석	06.06.30	06.11.27	미결	개선품 속도센서격용 및 변경된 검지레벨 적용 재시행 07.01.17 07.01.24 기존선구간 삼수시험 07.01.24 완료예정
		2-1-5 기존선 주행시험 중 삼수시험	기존선 주행상태 삼수시험 후 계측데이터 분석 분석포인트 : 삼수 조건에서의 덤프밸브 동작 상태, 차축속도 재결착 분석, 시험절차와 방법에 따른 검증시험 실시 예정. **(잔상 원인 분석 및 시험절차서 검토후 시험선시)**	06.11.30	06.11.27	미결	개선품 속도센서격용 및 변경된 검지레벨 적용 재시행 07.01.17 07.01.24 기존선구간 삼수시험 07.01.24 완료예정

그림 5 신뢰성 확보 실행계획 추진결과 요약표 2

순	고장 및 개선항목	세부조치 항목	상세 조치 내용	조치일		결과	비고
				계획	시행		
3	제동정보 현시 불안정						
	3-1 제동정보 현시를 위한 네트워크 통신 안정화 작업	3-1-1 MVB통신카드와의 인터페이스 확인시험 지원	오송기지 시제차량 정차 상태에서 ECU에서의 네트워크 통신 출력 데이터 및 MVB카드 출력데이터를 공동 확인할 수 있도록 모니터링 프로그램 준비 후 공동 확인 작업	06.04.15	06.04.11~ 06.04.22		자료보완
		3-1-2 ECU자체 통신데이터 모니터링 시험	차량 정차 상태에서 ECU에서의 네트워크 통신 출력 데이터를 모니터링 **(제동완해 현시 지연 및 고장정보 데이터 확인)**	06.11.30	06.04.11~ 06.04.22 06.11.30		자료보완
		3-1-3 제동정보 현시 이상 발생 원인 공동조사 (신규 OBCS 적용 인터페이스)	ECU 직렬통신모니터링 데이터와 OBCS고장기록 내용을 상호비교하여 오정보 전송, 통신데이터 오류, 오 현시 여부 등을 분석. 오송기지 시제차량 주행 상태에서 운전실 제동정보 현시 불량 발생 시 네트워크 통신 담당 업체와 공동 원인 분석	06.05.31	06.10.13		자료보완
		3-1-4 ECU Sub-Rack Case 노이즈 차폐 플레이트 보강처리	신규제작 적용한 ECU Sub-Rack Case의 Backplane Board 후면에 Aluminum 플레이트를 보강 설치하여 방사노이즈에 대한 장치 자체의 Noise 내성을 강화함	06.07.05	06.06.28~ 06.07.05	완료	
		3-1-5 통신중계보드 CPU Program 중 MVB 초기화부분 시퀀스처리로직 보완	MVB Board의 Dual Port RAM에 데이터를 쓰기위해 MVB카드의 동작상태를 상호 체크하는 과정의 C언어 S/W Coding을 재검토하여 보완	06.09.15	06.07.05		자료보완
		3-1-6 통신중계보드 CPU 하드웨어 보드 개선	외부 감시회로 추가 및 데이터 라인 노이즈 저감효과를 반영한 PCB 재설계	06.10.13	06.10.13		자료보완
		3-1-7 ECU내부 고장검지 알고리즘 보완	시운전 진행중 고장기록 데이터 분석 및 수정/보완 안정화	06.10.13	06.11.15 07.01.12~	미결	07.01.29

그림 6 신뢰성 확보 실행계획 추진결과 요약표 3

순	고장 및 개선항목	세부조치 항목	상세 조치 내용	조치일		결과	비고
				계획	시행		
4	디스크/패드의 이상마모						
	4-1 디스크 PAD 성능확인	4-1-1 KTX/G7 차량운행패턴 확인	디스크제동의 투입횟수, 크기를 비교 KTX차량의 운전선도 및 G7시운전 계측데이터 자료로부터 운행패턴 확인 후 패드마모 과다의 원인을 분석, **검토서 제출**	06.08.15	06.09.13, 06.11.11	완료	
		4-1-2 G7 차량현차 적용시험 후 비교(KTX Pad)	패드 공급업체인 (주)다원프릭션 으로부터 개선품 패드와 카본로렌사의 마찰패드를 입수하여 동일차축에 설치 후 주행하여 주기적으로 마모상태를 점검하고 상호 비교함.	06.10.20	06.09.27 07.01.12	미결	07.02.01
		4-1-3 디스크 온도 측정	차량에 장착된, 철도연 온도측정 장비를 이용하여 9월1일부터 모니터링 실시 **(데이타 분석 완료후 보고서 제출)**	06.11.30	시험예정	미결	07.01.30
		4-1-4 패드마모량 측정시험	다원프릭션의 개선품을 장착하여, 주간단위의 모니터링 실시 **(필요시 1개월 연장)**	06.11.30	07.01.12	미결	07.02.01
	4-2 디스크 다이나모 시험	4-2-1 다이나모 예비시험	KTX-II 조건으로 예비 다이나모 시험 진행 및 중간결과 도출	06.07.15	06.08.02		자료보완
		4-2-2 시험절차 협의	세부시험 항목 및 시험 조건 협의 시험후 판정 기준 협의	06.09.05	06.09.05		자료보완
		4-2-3 다이나모시험(입회)	협의된 시험 절차 기준으로 다이나모 시험 진행	06.09.15	06.09.14~15		자료보완
		4-2-4 시험보고서 제출	보고서 제출	06.10.30	06.09.22		자료보완

그림 7 신뢰성 확보 실행계획 추진결과 요약표 4

순	고장 및 개선항목	세부조치 항목	상세 조치 내용	조치일 계획	조치일 시행	결과	비고
4	디스크/패드의 이상마모						
	4-3 BBCU 시스템 검토 및 상세설계	4-3-1 기본설계	외형설계, 상세 검토(인터페이스 신호 및 타기관 협의) **(상세설계 포함하여 11/20 인 완료)**	06.11.20	07.01.09		
		4-3-2 상세설계 (PCB설계 및 제작)	외형 디자인 설계(핵 및 커넥터), 각 보드별 설계(메인 CPU보드 및 인터페이스 보드), 보드 조립 , Ass'y 제작	06.11.20	06.10 ~ 07.01.15		
		4-3-3 Software 포팅 및 기능시험	기본 로직 기능 타 장치와의 정보 교환 잡핀딩 제어 부분	06.11.30	07.01.15~ 07.01.20		
		4-3-4 성능시험(기험신)	공장내부시험, 정차 중 인터페이스 시험, 대차별 적용시험	06.12.20	07.01.13		07.01.31
	4-4 BBCU Blending Algorithm 및 Software 수정	4-4-1 Blending Algorithm 수정	알고리즘 검증(시험) 후 수정 소프트웨어 검증 후 수정	07.01.15	07.01.13		07.01.31
	4-5 차량 및 관련 장치 인터페이스 변경사항	4-5-1 차량 인몰선 배선	추가되는 하드와이어 인터페이스 신호(PWM신호) 라인 배선작업	06.12.10	06.12.10		
		4-5-2 TCU 하드웨어 I/F 회로변경	TCU내 BBCU의 회생제동 요구신호 수신용(PWM신호) 입력회로 구성을 위한 정보 협의 및 변경	06.12.10	06.12.10		
		4-5-3 차량 기준 속도신호 SPMD↔BBCU 간 배선 추가작업	제동력 연산에 필요한 차량 기준속도 신호 line 추가	06.12.10	06.12.10		
		4-5-4 차량 기준 속도신호 SPMD⇒ BBCU 하드와이어 인터페이스 회로 추가작업	제동력 연산에 필요한 차량 기준속도 신호 출력회로 추가설계 및 제작(현재 PCB보드의 출력신호 라인 부족으로 재제작 필요)	06.12.10	06.12.10		
	4-6 BBCU 객퓨시험(주행)	4-6-1 주행시험	주행 시험으로 검증 , 적합성 모니터링 실시	07.01.30	07.01.17	미결	07.02.13

그림 8 신뢰성 확보 실행계획 추진결과 요약표 5

(2) 제동장치 신뢰성확보방안 추진결과 보고서

목 차

1. 제동불완해 4
1-1 인터페이스 보드 개선품 장착 시험 4
1-1-1 2대차 기능확인 시험(정차상태 동작시험) 6
1-1-2 #2대차 주행시험(기지내 주행시험) 9
1-2 시스템 프로그램 변경작업 (수정/보완) 11
1-2-1 기지내 주행시험 결과 SW 반영(사내 보완작업) 11
1-2-2 통신 S/W 보완 및 시험 (MVB 통신보드와의 호환 반영) 11
1-2-3 #4대차 기능확인 시험 (기지내 주행시험) 12
1-3 인터페이스 보드 개선품 전체 차량분 제작 16
1-3-1 총 10SET분 보드 제작 16
1-3-2 제작부품 사내시험 19
1-4 전 차량분 교체 장착 및 안정화 시험 39
1-4-1 개선품 인터페이스 보드 전체차량 취부 39
1-4-2 주행시험 적용 및 안정화 시험 41

2 차륜찰상 44
2-1 활주검지 기준값 관련 S/W 수정/보완 44

2-1-1 기존 S/W 상태 재검토 44
2-1-2 속도 시뮬레이터를 이용한 사내 모의시험 44
2-1-3 시제차량에서의 속도 시뮬레이터를 사용한 기능시험 46
2-1-4 활주검지 레벨 수정 프로그램 장착 및 주행시험 47
2-1-5 기존선 주행시험 중 살수시험 49

3 제동정보 현시 불안정 51
3-1 제동정보 현시를 위한 네트워크 통신 안정화 작업 지원 51
3-1-1 MVB 통신카드와 인터페이스 확인 시험지원 51
3-1-2 ECU 자체 통신 모니터링 시험 53
3-1-3 제동정보 현시 이상발생원인 공동조사 56
3-1-4 ECU Sub-Rack CASE 노이즈 차폐플레이트 보강처리 57
3-1-5 통신중계보드 CPU program 중 MVB 초기화 부분 시퀀스처리 로직변경 58
3-1-6 통신중계보드 CPU 하드웨어보드 개선 60
3-1-7 ECU 내부 고장검지 알고리즘 보완 61

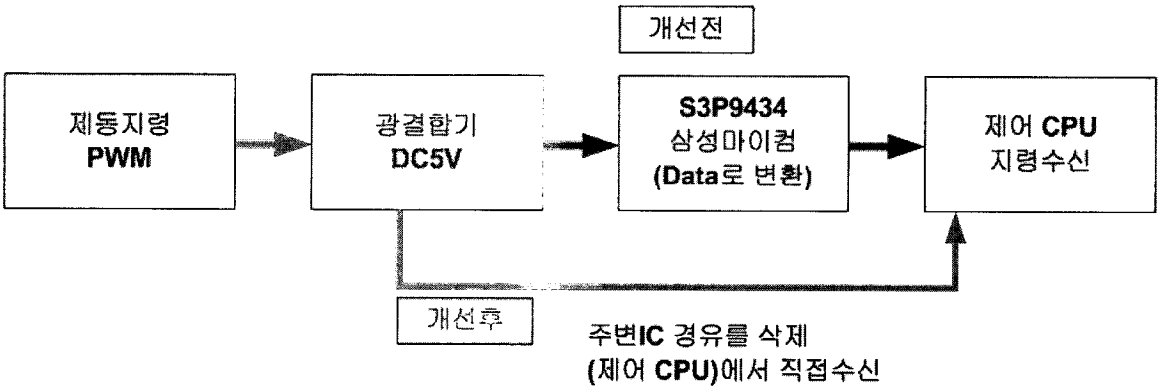
4 디스크/패드의 이상마모 64
4-1 디스크 PAD 성능확인 64
4-1-1 KTX/G7 차량 운행패턴 확인 64
4-1-2 G7 차량 현차 적용시험 후 비교 (KTX Pad) 68
4-1-3 디스크 온도 측정 70
4-1-4 패드마모량 측정시험 70
4-2 디스크 다이나모 시험 72
4-2-1 다이나모 예비시험 72
4-2-2 시험절차 협의 76
4-2-3 다이나모 시험(입회) 79
4-2-4 시험보고서 제출 79
4-3 BBCU 시스템 검토 및 상세설계 90
4-3-1 기본설계 90
4-3-2 상세설계 91
4-3-3 Software 포팅 및 기능시험 94
4-3-4 성능시험(시험실) 97
4-4 BBCU Blending Algorithm 및 Software 수정 97
4-4-1 BBCU Blending Algorithm 및 Software 수정 97
4-5 차량 및 관련 장치 인터페이스 변경사항 97

1. 제동불완해

1-1 인터페이스 보드 개선품 장착 시험

차량 정차 후 출발 시 제동압력이 완해 되지 않는 상황이 간헐적으로 발생하여 발생 원인을 조사한 결과, 제동모드 지령 및 PWM 지령을 메인 제어 CPU에서 직접 수신하지 않고, 주변 IC에서 처리하여 데이터 형식으로 메인제어 CPU로 전달되는 과정에서 제동지령이 정상적으로 수신되지 않는 문제점이 확인되었다. 대책으로, [그림 1-1-1]과 같이 주변 IC를 경유하지 않고 직접 메인제어 CPU에서 지령을 수신하고 처리하는 방식으로 인터페이스 회로를 변경하여 대책을 추진하였다.

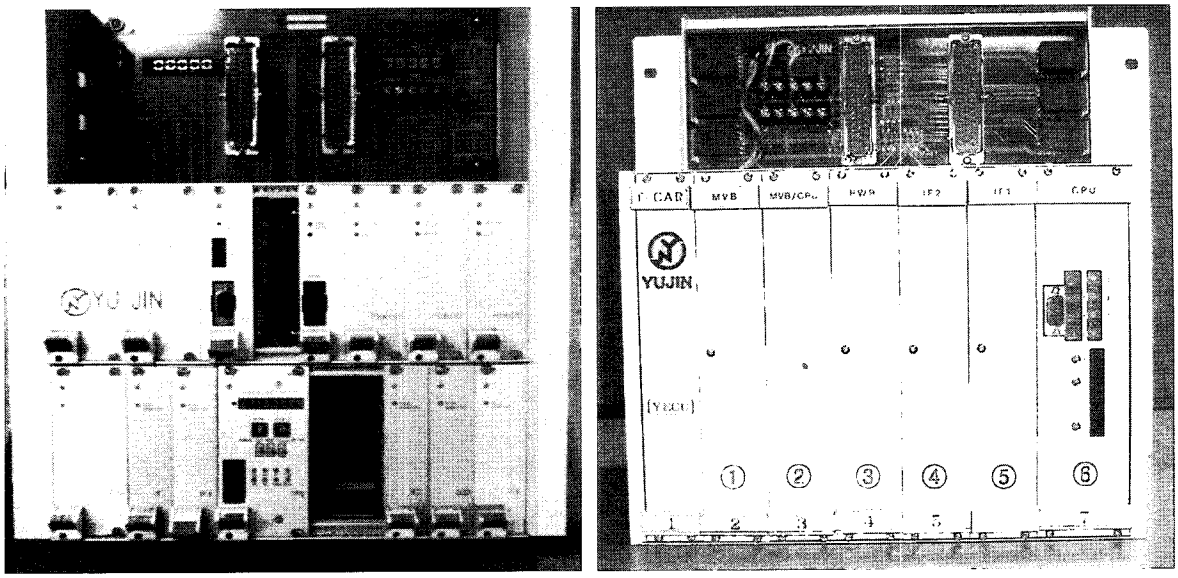
2006년 1월 13일 #1번대차와 #5번대차에 기능을 개선한 ECU를 취부하여 운행을 실시하였고, 운행 중 개선 성능이 확인되어 2006년 1월20일 #2번대차에 추가로 신규제작 ECU를 적용하게 되었다.(2006년 1월 18일 서대전 역사 정차 후 출발시 신규개선 적용 #1,#5번 ECU를 제외한 모든 대차에서 제동불완해 발생으로 차량 재기동 상황 발생)



[그림 1-1-1] 지령 수신회로 구성도

[그림 1-1-1]과 같이 광결합기에서 수신된 지령을 별도의 마이컴에서 처리하고 데이터라인을 통해 제어 CPU로 전달하는 방식에서 광결합기로부터 직접 제어 CPU에서 수신함으로써 제동지령에 대한 왜곡 현상을 개선하였다.

개선 전 개선 후



[그림 1-1-2] ECU 개선전/후 비교

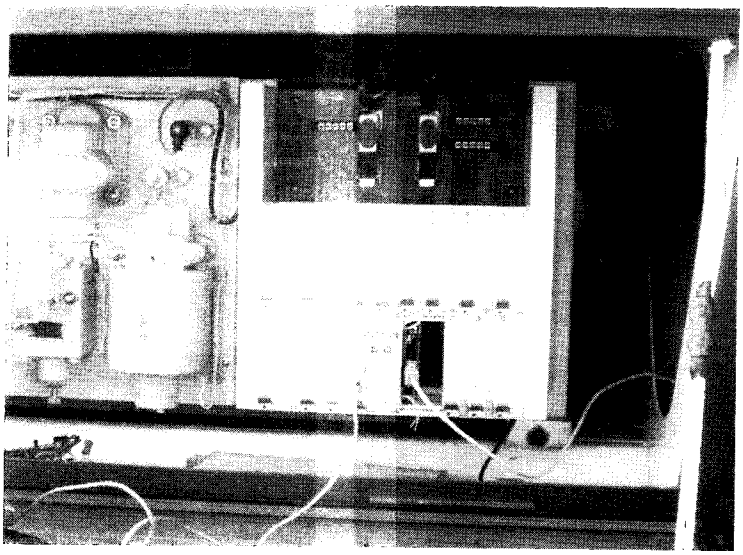
또한 [그림 1-1-2]와 같이 14장으로 나뉘어 있던 보드를 6장으로 단순화하여 정비성 및 제어의 신뢰성을 향상시켰다.

① 네트워크 통신 보드 : 차량과 네트워크 데이터 송/수신
② 통신 전용보드 : 네트워크 통신보드 내에 장착된 메모리에 제동상태 정보를 기록
③ 파워보드 : 차량으로부터 입력되는 DC 72V 전원을 제어에 필요한 전원으로 변환
④ 인터페이스 2 보드: 상용전자 밸브, 안티 스키드 제어 밸브를 구동하는 회로
⑤ 인터페이스 1 보드: 제동지령 입력 및 각 제동모드 신호 입력, 차량 속도 입력
⑥ 메인 CPU 보드: 제동력 연산 및 입/출력 신호 제어

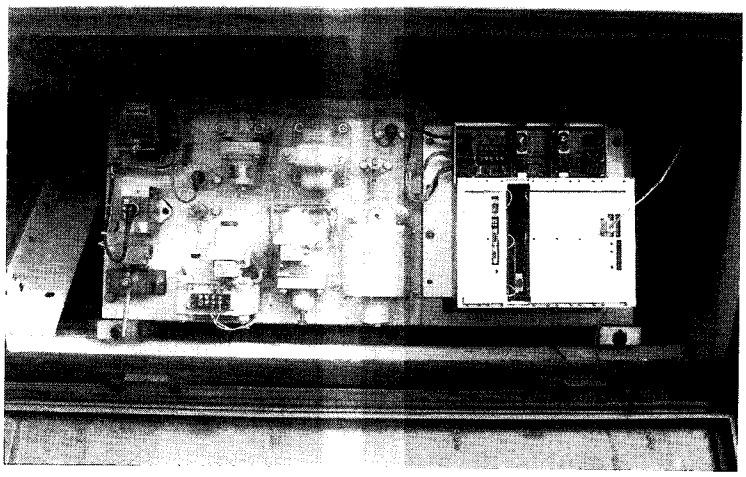
1-1-1 2대차 기능확인 시험(정차상태 동작시험)

ECU 개선품을 2006년 1월 20일 #2번대차 BCU(Brake Contorl Unit)에 장착하여 정차 상태에서 기능확인 작업을 실시하였고, [표1-1-1]과 [표1-1-2]와 같이 제동압력 및 기능이 정상적으로 구현되는 것을 확인하였다.

개선 전



개선 후



[그림 1-1-3] 신규 ECU 장착 후 기능 확인 시험

[표 1-1-1] 2번 대차용 ECU 정차상태 확인결과

ECU 정차 상태 확인			시험일 : 2006. 01. 20 시험자 : 오재선 대상품 : 2번대차 ECU		
No	시험항목		기준	결과	비 고
1	조립성 CHECK		이상이 없을 것	정상	
2	배선점검		이상이 없을 것	정상	
3	센서 검지압 조정		-	완료	
4	제동압력 CHECK	비상제동	4.3± 0.2 bar	4.4 bar	
		정차제동	2.0± 0.2 bar	2.1 bar	
		100% 상용제동	4.0± 0.2 bar	3.9 bar	
		주차제동	5.0± 0.2 bar	5.5 bar	5.1 bar로 수정 (SW)
5	PWM 수신	중립	4.0 ± 1.0 (%)	3.3 %	
		100% 제동	95 ± 1.0 (%)	95.7 %	
6	제동불완해 검지압력		0.5 ± 0.1 bar	0.50 bar	
7	제동불완해 검지시간		5.0 ± 1.0 초	5.0 초	
8	강제완해 시험		정상	정상	
9	OBCS와 통신		차량 모니터 확인	정상	
10	덤프밸브 동작시험		이상이 없을 것	정상	

[표1-1-2]는 ECU 전면에 설치된 시리얼 포트를 통해서 PC를 이용하여 모니터링한 데이터이다.

정차제동은 차량 입력 속도가 없고 마스콘이 제동모드에서 중립위치로 변경시에 ECU에서 자동으로 체결되는 지령으로 이때 제동지령은 기본값인 3.3%(규격: 4± 1%)가 입력되고 M/B로부터 수신되는 전기제동력 값 또한 정차상태이므로 기본값인 3.6%(규격: 4± 1%)로 수신된다. 이때 제동압력은 2.1 bar (규격: 2.0 ± 0.2 bar)로 기준을 만족하고 있다.

100% 상용제동시에는 제동지령이 95.7%(규격: 95 ± 1%)가 입력되고 이때 제동압력은 3.9 bar (규격: 4.0 ± 0.2 bar)이다. 또 비상제동 상태에서 4.4 bar (규격: 4.3 ± 0.2 bar)로 정상동작하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

[표 1-1-2] 2번대차용 ECU 정차상태 확인결과

	BC압력 (bar)	PWM (%)	회생달성 (%)	제동 모드	역행 모드	회생 유효	정차 제동	비상 제동
정차 제동	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0

	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0
제동 완해	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.8	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.8	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.8	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	0
100% 제동	0.1	9.6	3.6	1	0	0	0	0
	1.7	44	3.6	1	0	0	0	0
	1.9	72	3.6	1	0	0	0	0
	3.2	95.7	3.6	1	0	0	0	0
	3.9	95.7	3.6	1	0	0	0	0
	3.9	95.7	3.6	1	0	0	0	0
	3.9	95.7	3.6	1	0	0	0	0
	3.9	95.7	3.6	1	0	0	0	0
비상 제동	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1
	4.4	95.7	3.6	1	0	0	0	1

1-1-2 #2대차 주행시험(기지내 주행시험)

정차상태에서 확인시험 완료 후, 기지내에서 주행을 실시하고, 시리얼 통신을 이용하여 [표1-1-3]과 같이 제동지령, 회생제동달성 지령, 제동압력이 정상동작하는 것을 확인하였다.

정차상태에서 제동지령은 3.3%(규격: 4± 1%)가 입력되고, 100%제동시 95.7%(규격: 95± 1%)가 입력되고 있다. 견인중에는 오동작 방지를 위해 제동지령을 카운트 하지 않으므로 기본값은 3.3%를 보인다.

전기제동달성값은 기본값인 3.6%에서부터 24%까지 변하는 것을 확인 할 수 있다.

※ 데이터 측정은 0.4초 단위

[표 1-1-3] 2번대차 주행시험 결과 데이터

주행 모드	제동 압력 (bar)	제동 지령 (%)	회생 달성 (%)	제동 모드	역행 모드	회생 유효	정차 제동 모드	속도1	속도2	속도3	속도4
정차 제동 모드	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0
견인 모드	0	3.3	3.6	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	4	6	4	6
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	6	6	6	6
	0	3.3	3.8	0	1	0	0	6	6	6	6
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	6	6	6	6
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	8	8	8	8
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	10	10	10	10
	0	3.3	3.8	0	1	0	0	10	10	10	10
	0	3.3	3.8	0	1	0	0	10	10	10	10
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	12	12	12	12
	0	3.3	3.8	0	1	0	0	14	14	14	14
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	14	14	14	14
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	14	14	14	14
	0	3.3	3.6	0	1	0	0	14	14	14	14
타행	0	3.3	3.6	0	0	0	0	16	16	16	16
	0	3.3	3.6	0	0	0	0	16	16	16	16
제동 모드	0.1	9.6	3.6	1	0	0	0	16	16	16	16
	0.2	18.4	3.6	1	0	0	0	16	16	16	16
	1.7	44	3.6	1	0	0	0	16	16	16	16
	1.7	44	3.6	1	0	0	0	14	14	14	14
	1.8	44	3.6	1	0	0	0	14	14	14	14
제동 및 회생 제동 유효	1.9	72	3.6	1	0	1	0	14	14	14	14
	3.2	95.7	24	1	0	1	0	10	10	10	10
	3.8	95.7	24	1	0	1	0	10	10	10	10
	3.8	95.7	19.6	1	0	1	0	8	8	8	8
	3.9	95.7	14.4	1	0	1	0	8	8	8	8
	3.9	95.7	3.6	1	0	1	0	4	4	4	4
제동 모드	3.2	77.6	3.6	1	0	1	0	4	4	4	4
	1.8	44	3.6	1	0	0	0	0	0	0	0
정차제 동모드	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.3	3.6	0	0	0	1	0	0	0	0

1-2 시스템 프로그램 변경작업 (수정/보완)

제동불완해 방지를 위하여 제동체결 및 불완해검지 부분의 소프트웨어를 재검토하고 오동작시 모니터링 기능은 정상 동작하도록 통신전용 보드를 독립적으로 구성하기위한 소프트웨어 보완 작업을 실시하였다.

1-2-1 기지내 주행시험 결과 SW 반영(사내 보완작업)

개선품 ECU 2SET에 대한 장착시험 후 데이터를 분석하여 다음과 같이 소프트웨어를 수정하고 반영하였다.

1) 정차제동 체결 로직 수정

변경 전, 3축 속도를 기준으로 속도 '0 kph'에서 정차제동이 체결되던 것을 1,2,3,4축 모든 축 속도가 '0 km/h'일 경우 정차제동이 체결 되도록 변경하여 타행 중 축 속도 이상에 의해 정차제동이 체결되지 않도록 보완 하였다.

2) 제동불완해 검지 압력 변경

제동표시기에 의한 제동불완해 압력과 동일 조건에서 제동불완해를 검지되도록 검지압력을 1bar에서 0.5bar로 변경 하였다.

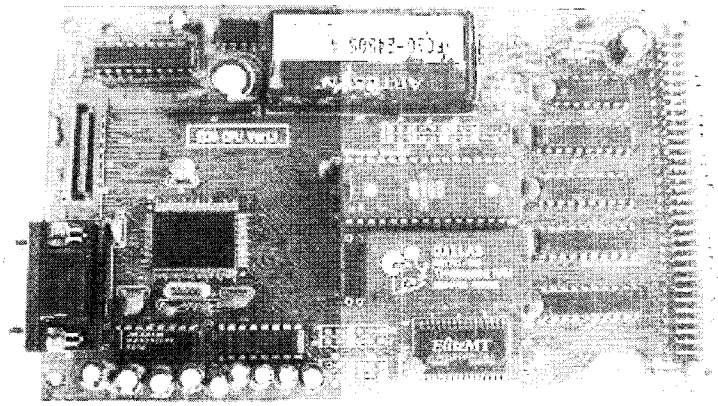
3) 동력대차의 정차제동 보완

정차제동시 동력대차의 정차제동력을 보완하는 제동압력이 5.5bar로 기준값(5.0 ± 0.2 bar)을 상회하여 제동압력을 5.0bar로 수정하였다.

1-2-2 통신 S/W 보완 및 시험 (MVB 통신보드와의 호환 반영)

제동제어 시스템 이상 발생 시 제어상태가 모니터에 현시 될 수 있도록 통신전용 보드를 독립적으로 설치하여 메인제어 시스템에 이상이 발생되더라도 네트워크 통신 기능은 정상적으로 구현될 수 있도록 시스템을 구성하였다.

개선 전에는 [그림 1-2-1]와 같이 하나의 보드에서 통신 및 제어를 수행하였으나, [그림 1-2-2]과 같이 통신전용 보드와 제어보드를 분리하고 상호 데이터를 공유하도록 보완하였다.



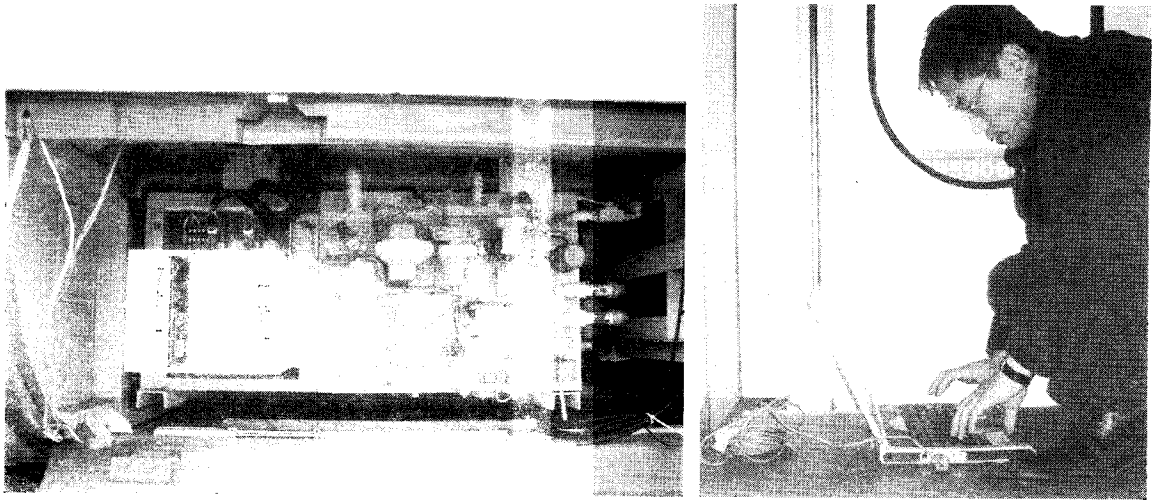
[그림 1-2-1] 개선 전 통신보드



[그림 1-2-2] 개선 후 통신시스템 구성

1-2-3 #4대차 기능확인 시험 (기지내 주행시험)

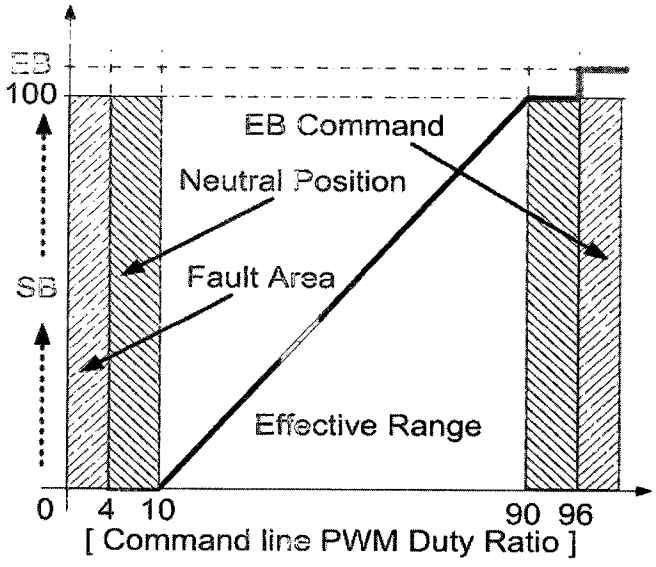
2006년 1월 23일 4번대차 BCU(Brake Contorl Unit)에 제동지령 수신 방식과 통신방식을 변경하고 인터페이스 회로 및 소프트웨어를 수정한 개선 품을 장착하고 기지내에서 기능 확인 및 주행시험을 실시하여 [표 1-2-1], [표 1-2-2]와 같이 정상적으로 기능이 구현되는 것을 확인하였다.



모니터링 케이블 (ECU 시리얼 포트를 통하여 주행 중 모니터링)

[그림 1-2-3] 4번대차 ECU 개선품 적용후 시험

정차상태에서 제동지령은 3.4%(규격: 4± 1%)가 입력되고, 100%제동시 95.6%(규격: 95± 1%)가 입력되고 있다. 제동압력은 각각의 제동모드에서 정차제동시 2.1 bar(규격: 2.0 ± 0.2 bar), 100 %제동시 4.0 bar (규격: 4.0 ± 0.2 bar), 비상제동시 4.3 bar (규격: 4.3 ± 0.2 bar)로 규격을 만족하고 있다. 주행 중 데이터에서도 동일한 결과가 확인되었으며, 차축속도 또한 정상적으로 입력되고 있는 것을 볼 수 있다. [그림 1-2-4]는 제어시스템사양서(CSS)에 정의된 제동지령 PWM신호의 사양이다.



[그림 1-2-4] 제동제령 PWM신호사양

[표 1-2-1] 4번대차용 ECU 정차상태 확인결과

ECU 정차 상태 확인			시험일 : 2006. 01. 23		
			시험자 : 오재선		
			대상품 : 4번대차 ECU		
No	시험항목		기준	결과	비 고
1	조립성 CHECK		이상이 없을 것	정상	
2	배선점검		이상이 없을 것	정상	
3	센서 검지압 조정		-	완료	
4	제동압력 CHECK	비상제동	4.3± 0.2 bar	4.3 bar	
		정차제동	2.0± 0.2 bar	2.1 bar	
		100% 상용제동	4.0± 0.2 bar	4.0bar	
		주차제동	-	-	
5	PWM 수신	중립	4.0 ± 1.0 (%)	3.4 %	
		100% 제동	95 ± 1.0 (%)	95.6 %	
6	제동불완해 검지압력		0.5 ± 0.1 bar	0.50 bar	
7	제동불완해 검지시간		5.0 ± 1.0 초	5.0 초	
8	강제완해 시험		정상	정상	
9	OBCS와 통신		차량 모니터 확인	정상	
10	덤프밸브 동작시험		이상이 없을 것	정상	

※ 데이터 측정은 0.4초 단위

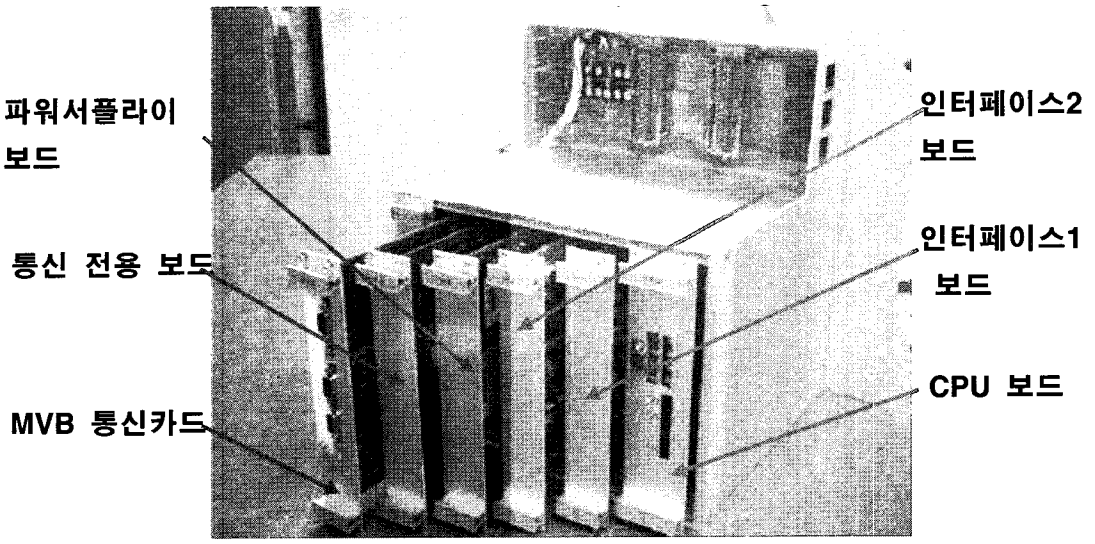
[표 1-2-2] 4번대차 주행시험 결과 데이터

주행 모드	제동 압력 (bar)	제동 지령 (%)	제동 모드	역행 모드	회생 유효	정차 제동 모드	속도1	속도2	속도3	속도4
정차 제동 모드	2.1	3.4	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.4	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.4	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.4	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.4	0	0	0	1	0	0	0	0
	2.1	3.4	0	0	0	1	0	0	0	0
견인 모드	0	3.4	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	3.4	0	1	0	0	2	2	2	2
	0	3.4	0	1	0	0	2	2	2	2
	0	3.4	0	1	0	0	4	4	4	4
	0	3.4	0	1	0	0	6	6	6	6
	0	3.4	0	1	0	0	8	8	8	8
	0	3.4	0	1	0	0	10	10	10	10
	0	3.4	0	1	0	0	10	10	10	10
	0	3.4	0	1	0	0	12	12	12	12
	0	3.4	0	1	0	0	12	12	12	12
	0	3.4	0	1	0	0	14	14	14	14
	0	3.4	0	1	0	0	14	14	14	14
	0	3.4	0	1	0	0	14	14	14	14
	0	3.4	0	1	0	0	14	14	14	14
타행	0	3.4	0	0	0	0	14	14	14	14
	0	3.4	0	0	0	0	14	14	14	14
제동 모드	0.1	9.6	1	0	0	0	14	14	14	14
	0.2	18.4	1	0	0	0	14	14	14	14
	1.7	44	1	0	0	0	15	15	15	15
	1.7	44	1	0	0	0	14	14	14	14
	1.8	44	1	0	0	0	14	14	14	14
	1.9	72	1	0	0	0	12	12	12	12
	4.0	95.6	1	0	0	0	10	10	10	10
	4.0	95.6	1	0	0	0	10	10	10	10
	4.0	95.6	1	0	0	0	8	8	8	8
	4.0	95.6	1	0	0	0	8	8	8	8
	3.9	95.6	1	0	0	0	4	4	4	4
	3.9	95.6	1	0	0	0	2	2	2	2
	3.9	95.6	1	0	0	0	0	0	0	0

1-3 인터페이스 보드 개선품 전체 차량분 제작

1-3-1 총 10SET분 보드 제작

신규 개선 제작된 ECU를 2번대차와 4번대차에서 시험한 결과 이상 없이 동작하는 것을 확인하여 10SET를 제작완료하고 공장내에서 기능 및 환경신뢰성 시험(1-3-2)을 실시하였다.



[그림 1-3-1] ECU Ass'y 조립품

각 보드별 개선 내용은 다음과 같다.

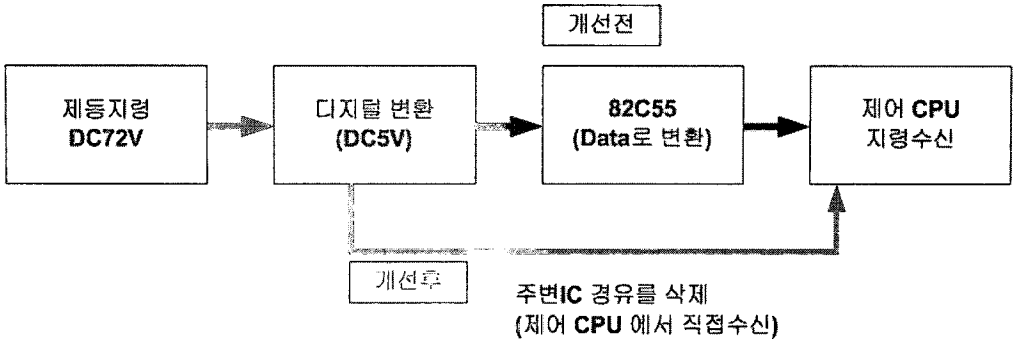
[표 1-3-1]각 보드별 개선 내용

명칭	개선 전	개선 후
CPU 보드	제동지령을 데이터 라인을 통해 수신	제동지령을 직접 수신
인터페이스 1	제동모드를 별도의 IC(82C55)에서 처리하여 데이터로 CPU에 전달	직접 CPU에서 수신
인터페이스 2	CPU로부터 데이터로 지령을 수신하여 상용전자변 제어용 전류를 출력하는 별도의 IC(S3P9434) 구성	CPU 제어신호를 직접 출력
파워서플라이 보드	DC 컨버터가 각 보드내 분산	하나의 보드로 통합하여 스위칭 노이즈 저감
통신 전용 보드	제어 CPU에서 동작 수행	제어 CPU와 분리

□ CPU 보드 변경 사항

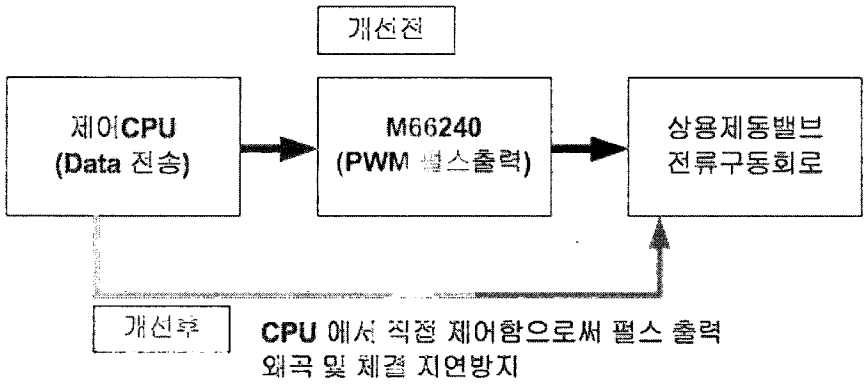
제동 지령을 주변 IC(82C55)에서 수신하여, DATA 포맷으로 CPU에 입력되면서 발생하는 왜곡현상 방지하기 위해 메인 제어 CPU 직접 수신하는 방식으로 변경하여 제동체결 및 완

해 불안 요소를 개선하였다.



□ 상용 제동전류 제어 회로 보완

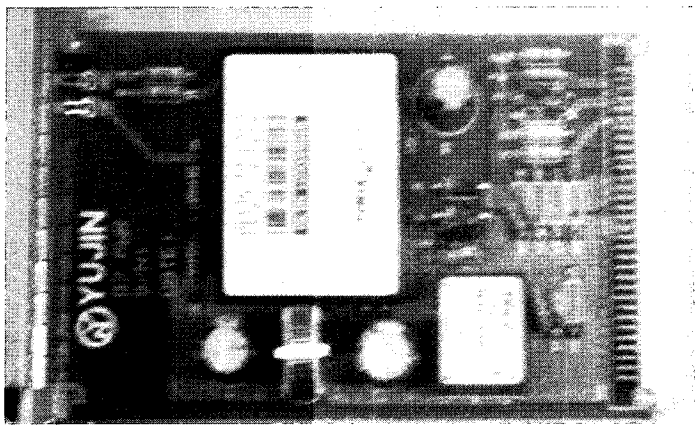
제어 CPU에서 데이터를 전송하여, 펄스 발생기(M66240)을 통해 제어하던 방식을 제어 CPU에서 직접 펄스를 출력하여 제어하는 방식으로 변경하여 제어전류의 왜란을 저감 하였다.



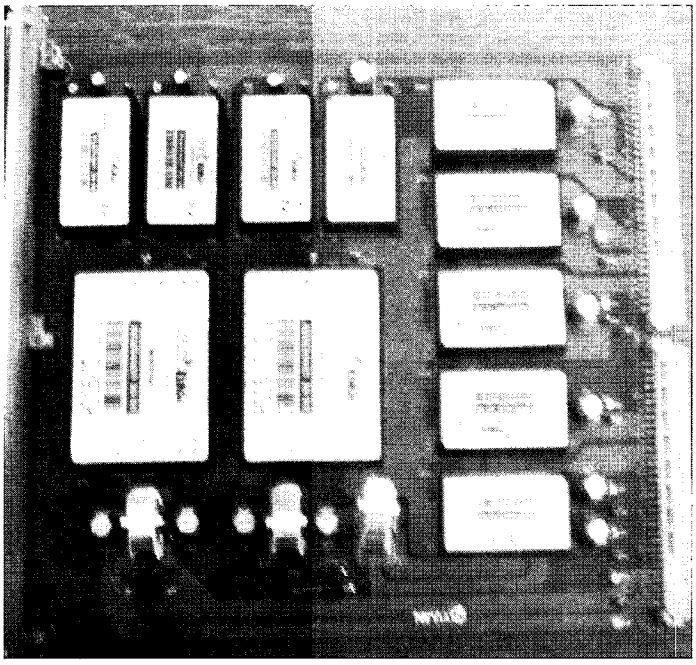
□ 내부 제어전원 컨버터에서 발생하는 스위칭 노이즈 저감을 위하여 전원 공급 보드를 하나로 통합하고 각각의 제어 보드와 분리하였다.

(9개의 DC 컨버터가 각각의 제어보드에 장착되어 있어 제어신호의 왜곡을 일으키는 현상이 발생 하여 하나의 보드로 통합관리)

개선 전(파워보드)

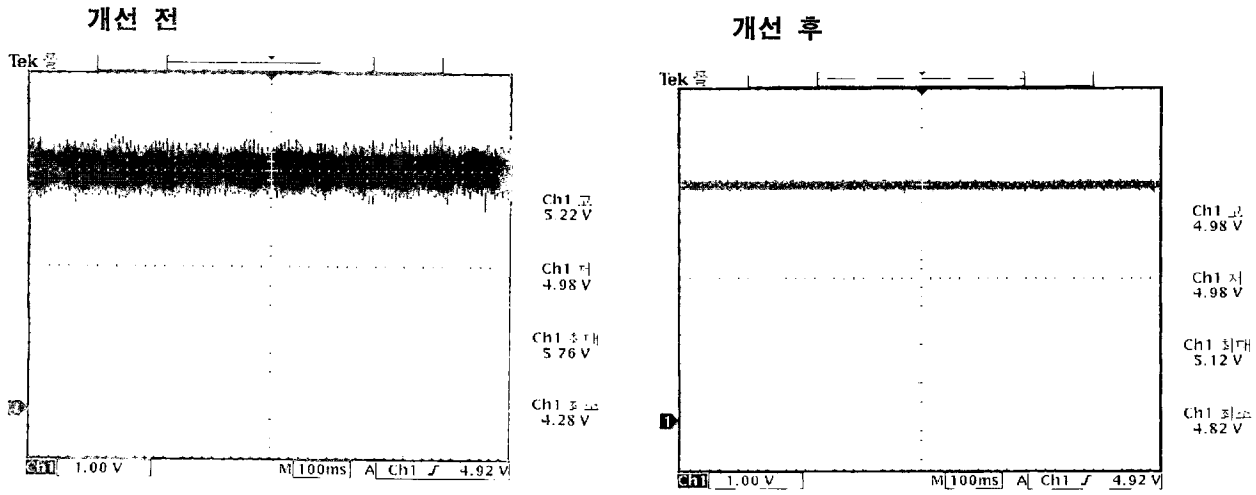


개선 후 (파워보드)



[그림 1-3-2] 전원공급보드의 통합

다음의 그래프는 파워보드를 개선하기 전과 개선품 적용 후, DC 5V 제어전원을 CPU보드에서 측정한 것이다. 개선 전 보드에서는 전원의 변동폭이 DC 4.98V ~ DC 5.33 V가 측정되었고, 개선 후 보드에서는 DC 4.98V로 안정화 되어 있다.



[그림 1-3-3] 파워보드를 개선하기 전과 개선품 적용 후, DC 5V 제어전원

1-3-2 제작부품 사내시험

공장내에서 신규 제작된 10SET분 ECU에 대하여 성능 검사를 실시하였고, 환경 신뢰성을 검증하기 위해 고온상태 및 저온상태에서의 주변온도 동작확인 시험 및 외부 공인기관에 의뢰, 전자파 적합성 시험(EMI/EMS)을 실시하여 그 신뢰성을 검증 하였다.

1) 환경시험

환경시험은 저온시험과 고온시험을 실시하였다.

저온시험은 ECU의 제어전원을 OFF한 상태에서 -25℃ 주위 온도조건에서 1시간 이상 방치한 다음 제어전원을 인가하고, 항온조 외부에 설치한 시험기를 이용하여 제동압력 특성, 제동블렌딩 특성, 제동불완해 검지시험 및 활주제어 시험을 실시하여, [그림 1-3-6] 의 데이터와 같이 성능기준을 만족함을 확인하였다.

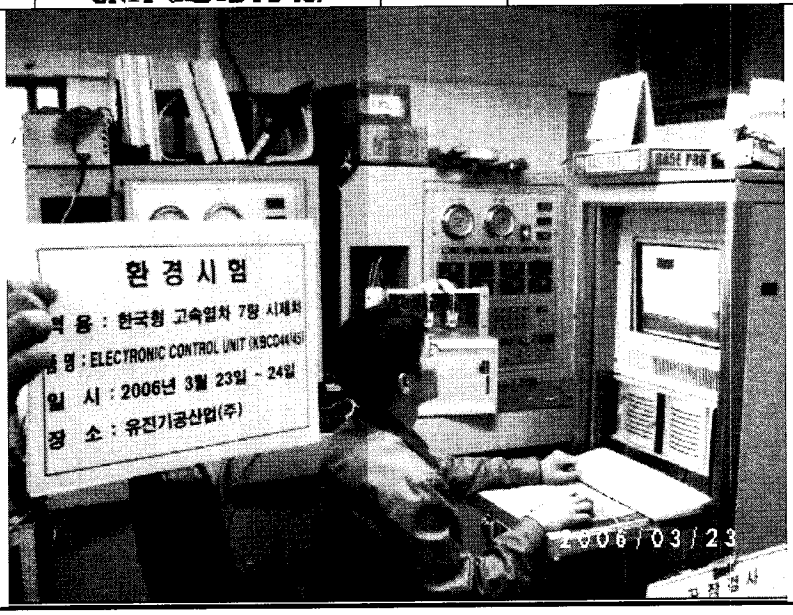
고온시험은 ECU에 제어전원을 인가한 상태에서 주위온도를 60℃로 설정하고 1시간 이상 방치 후 시험을 실시하여 [그림 1-3-7]과 같이 성능 기준을 만족하였다.

환 경 시 험 사 진

품 명	ELECTRONIC CONTROL UNIT (KBCD44/45)	시험내용	온도시험 (-25℃, DC 72V)



품 명	ELECTRONIC CONTROL UNIT (KBCD44/45)	시험내용	온도시험 (-25℃, DC 72V)



[그림 1-3-4] 저온특성시험

환 경 시 험 사 진

품 명	ELECTRONIC CONTROL UNIT (KBCD44/45)	시험내용	온도시험 (60℃, DC 72V)



품 명	ELECTRONIC CONTROL UNIT (KBCD44/45)	시험내용	온도시험 (60℃, DC 72V)



[그림 1-3-5] 고온특성시험

부 품 제 작 검 정 기 록 서

(환 경 시 험)

신청접수 NO.: 1 / 2

구 분	한국형 고속열차 7량 시제차량	제작사	검 사	검 토	승 인
제작회사	유 진 전 기 공 업 (주)			-	
품 명	ELECTRONIC CONTROL UNIT (KBCD44/45)				
수 량	1EA	연구소		-	
검 정 일	2006년 3월 23일 - 2006년 3월 24일	판 정	합 격		

No	검사항목	검 사 기 준		측 정 치	비 고
1	저온 환경 시험	-25 ℃에서 1 시간 이상 방치 후 성능시험 실시		-	
	내부 제어전원 전압출력	15V DC	15 ± 0.5	15.1	
		5V DC	5 ± 0.1	5.0	
	제동압력 특성시험	제동지령 PWM (%)	BCP(kgf/㎠), ± 0.20 PC1 #1대차	-	
		0	0.0	0.1	
		50	2.0	1.9	
		100	4.0	3.9	
		정차제동	2.1	2.0	
		비상제동	4.3	4.3	
		주차제동	5.0	5.0	
	제동블렌딩시험 (제동명령신호 PWM 100%)	회생피드백 PWM(%)	BCP(kgf/㎠), ± 0.20	-	
		10	4.0	3.9	
		35.7	2.0	2.0	
		59.3	0.0	0.1	
	제동불완해 검지시험	제동압력 OFF->ON	≥0.5 ± 0.1	0.5	
		제동압력 ON ->OFF	≤0.4 ± 0.1	0.3	
		검지시간(초)	5.0 ± 1 초	5.0	
		검지 후 강제완해가 정상적으로 동작할 것		양호	
	활주방지 제어기능 시험	1,2,3,4축에 속도신호를 모의 시뮬레이션으로 입력 하여, 활주 검지 및 제어 상태를 시험기로 확인한다.		양호	

제동모드만 입력상태,
실제 PWM 입력은 4%

실제 PWM 입력은 95%

유진기공산업(주) 철도차량부품기술연구소

[그림 1-3-6] 저온특성시험 성적서

부 품 제 작 검 정 기 록 서
(환 경 시 험)

신청접수 NO.: 2 / 2

No	검사항목		검 사 기 준		측 정 치	비 고
2	고온 환경 시험	60 ℃에서 1 시간 이상 방치 후 성능시험 실시			-	
		내부 제어전원 전압출력	15V DC	15 ± 0.5	15.0	
			5V DC	5 ± 0.1	4.9	
		제동압력 특성시험	제동지령 PWM (%)	BCP(kgf/㎠), ± 0.20 PC1 #1대차	-	
			0	0.0	0.1	
			50	2.0	2.0	
			100	4.0	4.1	
			정차제동	2.1	2.1	
			비상제동	4.3	4.4	
			주차제동	5.0	5.0	
		제동블렌딩시험 (제동명령신호 PWM 100%)	회생피드백 PWM(%)	BCP(kgf/㎠), ± 0.20	-	
			10	4.0	4.0	
			35.7	2.0	2.1	
			59.3	0.0	0.1	
		제동불완해 검지시험	제동압력 OFF->ON	≥0.5 ± 0.1	0.5	
			제동압력 ON ->OFF	≤0.4 ± 0.1	0.3	
			검지시간(초)	5.0 ± 1 초	5.0	
			검지 후 강제완해가 정상적으로 동작할 것		양호	
		활주방지 제어기능 시험	1,2,3,4축에 속도신호를 모의 시뮬레이션으로 입력 하여, 활주 검지 및 제어 상태를 시험기로 확인한다.		양호	

유진기공산업(주) 철도차량부품기술연구소

[그림 1-3-7] 고온특성시험 성적서

2) 전자파시험

전자파 적합성 시험은 차량으로부터 유입되는 유도 노이즈에 대한 내성을 평가하는 시험

(EMS)과 ECU에서 전도 및 방사되는 노이즈를 측정하는 시험(EMI)을 KOLAS 인증기관인 'SGS Testing Korea'에 의뢰하여 진행하였고 시험결과 '철도차량 전자제어 유니트류'의 기준인 'EN 55011' 규격과 'IEC 61000-4-3' 규격을 만족하였다.

시험내용은 다음과 같다.

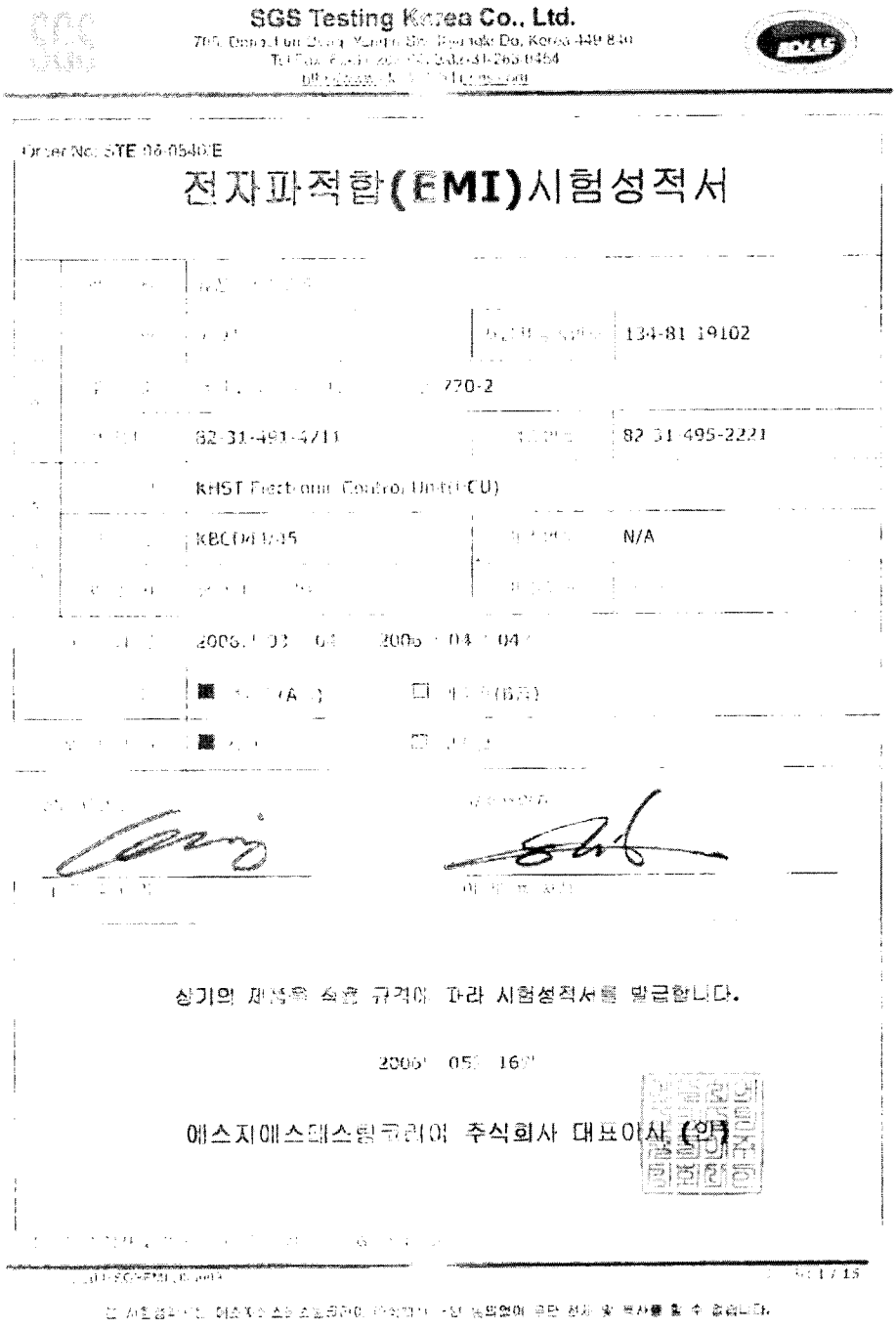
□ EMI 시험

- 전도시험 : ECU에 전원을 인가한 상태에서 연속적으로 동작시키고, DC 72V 제어 전원 입력단에 측정장비를 설치하고 ECU에 의해 발생하는 노이즈를 측정하는 시험.
- 방사시험 : ECU를 360도 회전하는 테이블에 장착하고 회전하면서 노이즈 측정 안테나를 1~4 m 높이로 가변하면서 수평 및 수직 편파 각각의 최대 방사점을 찾고 측정한다.

□ EMS 시험

- 전원을 인가한 상태에서 전자파 노이즈 발생 장치를 통하여 노이즈를 발생 시키고, ECU의 오동작 여부를 모니터링 한다.

안테나 거리는 3 m, 전계강도는 20 V/m, 주파수 범위는 80 MHz~1GHz



SGS Testing Korea Co., Ltd.

Order No.: SYE 06-0540-E

전자파적합(EMI)시험성적서

134-81 19102

770-2

82-31-491-4711

82-31-495-2221

KHST Electronic Control Unit(ECU)

KBCDM1245

N/A

2006. 03. 04 ~ 2006. 04. 04

■ 적합(A급) □ 적합(B급)

■ □

상기의 제품은 상호 규격에 따라 시험성적서를 발급합니다.

2006. 05. 16.

에스지에스테스팅코리아 주식회사 대표이사 (인)

[그림 1-3-8] EMI 시험성적서

5.0 전자파장해 허용기준

5.1 전자파 전도기준

구 분	주파수범위 (MHz)	허용기준(dBuV)	
		준-첨두치	평균치
A급기기	0.15 ~ 0.5	79	66
	0.5 ~ 30	73	60
B급기기	0.15 ~ 0.5	66 - 56	56 - 46
	0.5 ~ 5	56	46
	5 ~ 30	60	50

5.2 전자파 방사기준

주파수범위 (MHz)	허용기준(dBuV/m)	
	A급기기 (10 m)	B급기기 (10 m)
30 ~ 230	40	30
230 ~ 1 000	47	37

5.3 규격적용시 특기사항

해당없음

6.0 시험방법 및 결과

6.1 전도시험

6.1.1 측정설비

사용장비	모델명	제조자	제조번호	차기교정일	사용여부
Test Receiver	ESPC	Rohde & Schwarz	846824/003	2007.01.03	■
LISN	3825/2	EMCO	1289	2006.12.03	■
LISN	L3-25	PMM	0371	2006.09.22	■
Pulse Limiter	ESH3-Z2	R/S	100283	2006.12.03	■
Shielded Room	N/A	DAEIL EMC	N/A	-	■

6.1.2 시험장소 : 전자파 차폐실

6.1.3 환경조건 : 온도 13.0 °C, 습도 46.3 % RH

6.1.4 시험방법

※ 전자파 장해시험방법 : EN55011 : 1998/A1:1999/A2:2002

1) 수검기기 및 시스템을 취급설명서 상에 기술된 상태로 구성함.

2) 수검기기가 특정설비와 함께 사용되어진 때에는 해당 설비를 함께 접속하며 어떤 시스템의 일부로 사용되는 부분품의 경우에는 그 시스템에 설치하여 정상동작 시킴.

3) 각 접속단자(인터페이스 포트)마다 해당 주변기기를 접속하고 시험함.

4) 수검기기에 접지단자가 있는 경우에는 접지하고 전원선 플러그를 통해 내부접지된 수검기기는 사용전원을 통해 접지하고 시험함.

5) 통상 테이블 위에 올려놓고 작동하는 수검기기는 접지면으로부터 0.8 m 높이의 시험대 위에서 시험하고, 바닥에 설치하는 수검기기는 바닥면에서 시험함.

6) 수검기기는 동작모드, 전송속도 등이 다른 경우에는 각각 시험하여 가장 높은 측정값을 시험값으로 선택함.

7) 수검기기는 독립적인 회로망을 통해서 전원을 공급하고, 기타 주변기기는 별도의 회로망을 통해서 전원을 공급함.

8) 이동형 기기는 접지된 도체벽면으로부터 0.4 m 다른 접지면으로부터 0.8 m이상 떨어져서 시험함.

9) 유연성 전원선인 경우에는 회로망과 수검기기의 중앙 위치에서 30 Cm 내지 40 Cm 의 8자 형태로 수평적으로 종철하여 묶는다. 비유연성 전원선 또는 코일형 코드의 경우에는 실제 상태로 시험하며 시험성적서에 그 사실을 기록함.

6.1.5 시험결과

측정일 : 2006년 04월 04일

측정자 : 오명식

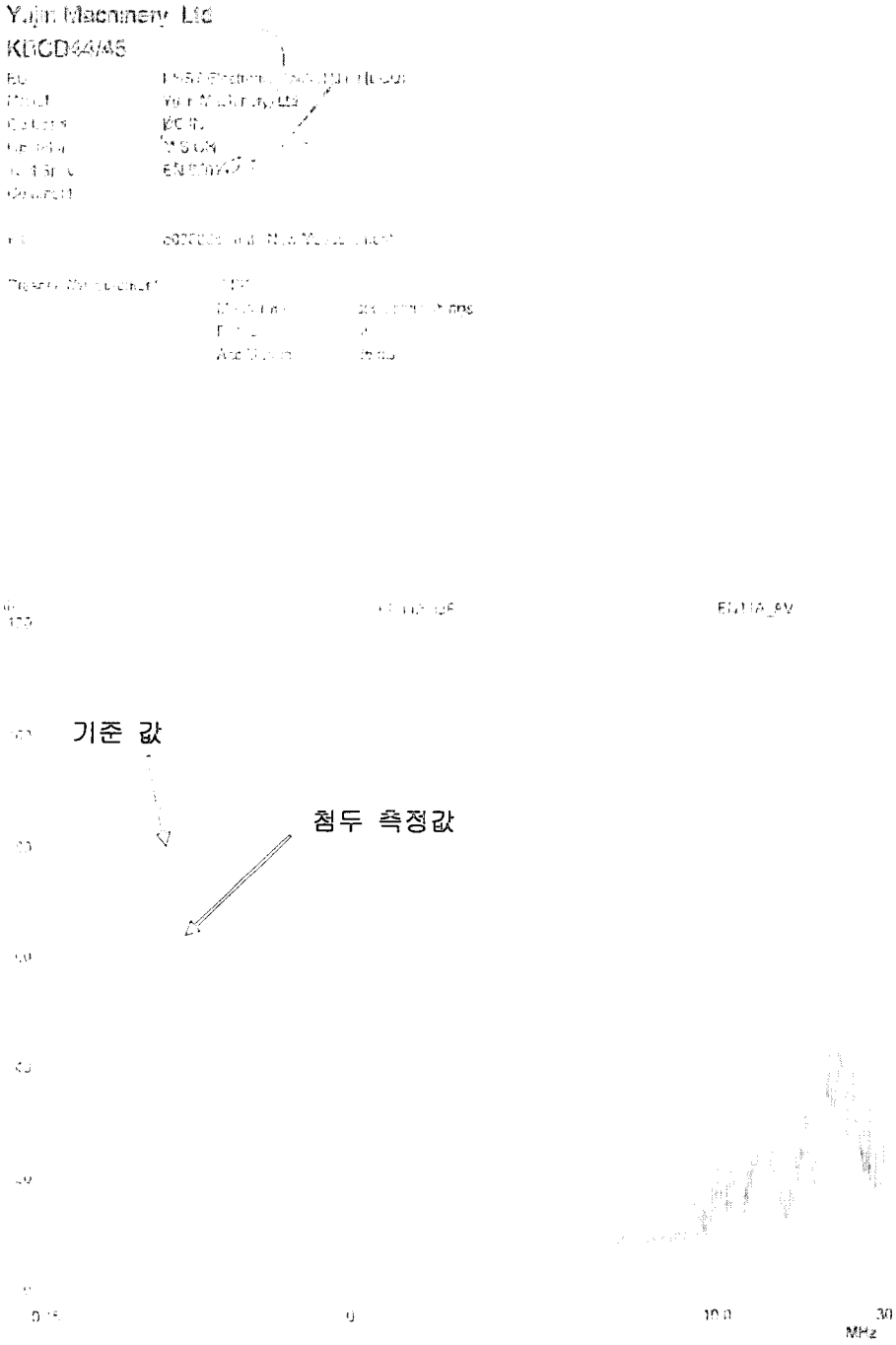
주파수 (MHz)	보정계수		극 성	준첨두치			평균치 (dBμV)		
	LISN	케이블		제한치 (dBuV)	측정값 (dBuV)	결과값 (dBuV)	제한치 (dBuV)	측정값 (dBuV)	결과값 (dBuV)
0.18	0.40	0.10	N	79.0	58.3	58.8	66.0	58.7	59.2
0.37	0.40	0.17	N	79.0	62.2	62.8	66.0	60.9	61.5
0.55	0.41	0.15	N	73.0	47.2	47.8	60.0	46.6	47.2
2.93	0.45	0.49	N	73.0	38.3	39.2	60.0	37.5	38.4
20.70	1.30	1.40	N	73.0	30.3	33.0	60.0	25.0	27.7
22.43	1.42	1.50	N	73.0	39.2	42.1	60.0	35.6	38.5

*** 시험결과**

■ 적합 □ 부적합

*** 측정그래프**

별첨


Yujin Machinery Ltd
KDGD44/45
기준 값
첨두 측정값
MHz

6.2 방사시험

6.2.1 측정설비

사용장비	모델명	제조자	제조번호	차기교정일	사용여부
Test Receiver	ESPC	Rohde & Schwarz	846824/003	2007.01.03	■
Bilog Antenna	CBL6111C	SCHAFFNER	2622	2007.05.02	■
Open Site	N/A	K.E.S	N/A	2006.08.20	■
RF Select S/W	CX-210N	DIAMOND Antenna	N/A	-	■

6.2.2 시험장소 : 10 m 야외시험장

6.2.3 환경조건 : 온도 20.3 °C, 습도 36.6 % RH

6.2.4 시험방법

※ 전자파 장해시험방법 : EN55011 : 1998/A1:1999/A2:2002

1) - 6) 6.1.4 시험방법과 동일

7) 수검기기는 통상 사용 상태에서 각 주변기기 및 케이블 등을 최대 방사가 일어나도록 배치함.

8) 수검기기를 360 도 회전시키고, 안테나 높이를 1~4 m 높이로 가변하며, 수평 및 수직편파 각각의 최대 방사점을 찾음.

9) 측정거리는 10 m로 함.

10) 잡음 전계강도는 다음식으로 산출하되, 보정요인이 자동 보정되는 경우에는 그때 측정치를 그대로 적용.

F1[dBuV/m] = F2[dBuV] + AF[dB/m] + CL[dB]
F1 : 최종측정치 F2 : 계기지시치 AF : 안테나 보정계수 CL : 케이블손실

본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

6.2.5 시험결과

측정일 : 2006년 03월 04일

측정자 : 오명식 _____

주파수 (MHz)	계 기 지 시 치 (dBuV)	편 파	안테나 높이 (m)	보정계수		제한치 (dBμV/m)	결과값 (dBμV/m)
				안테나 (dB)	케이블 (dB)		
71.14	16.3	V	1.00	6.31	1.21	40.0	23.82
71.41	18.6	H	4.00	6.35	1.21	40.0	26.16
72.70	14.3	V	1.00	6.57	1.23	40.0	22.10
80.59	14.6	H	4.00	7.85	1.31	40.0	23.76
131.86	20.2	V	1.00	11.66	1.50	40.0	33.36
179.69	25.3	H	4.00	8.78	2.00	40.0	36.08
*편파의 H는 수평, V는 수직을 나타낸다.							

*** 시험결과**

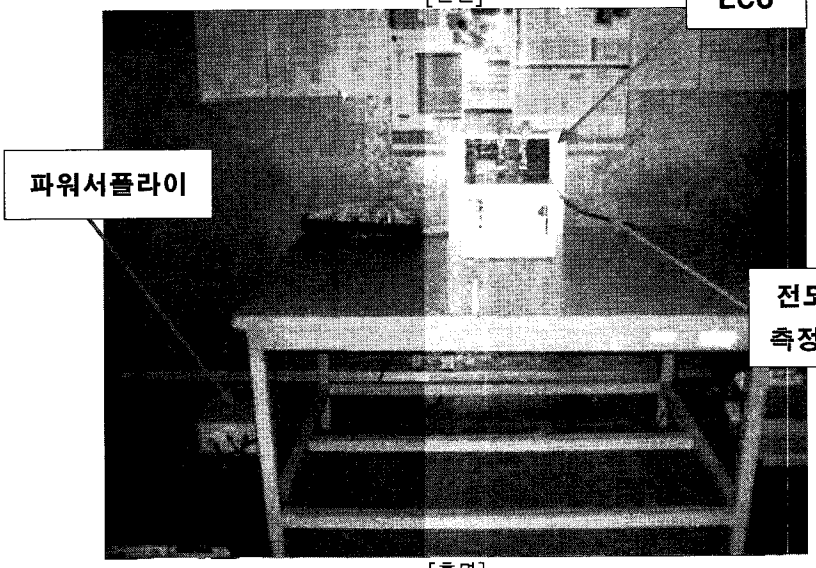
■ 적합 □ 부적합

본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

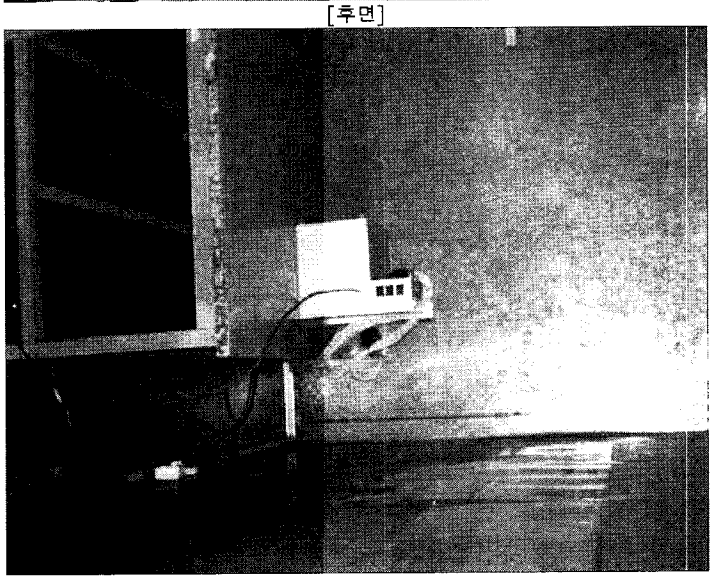
7.0 측정장면 사진

7.1 전도시험

[전면]



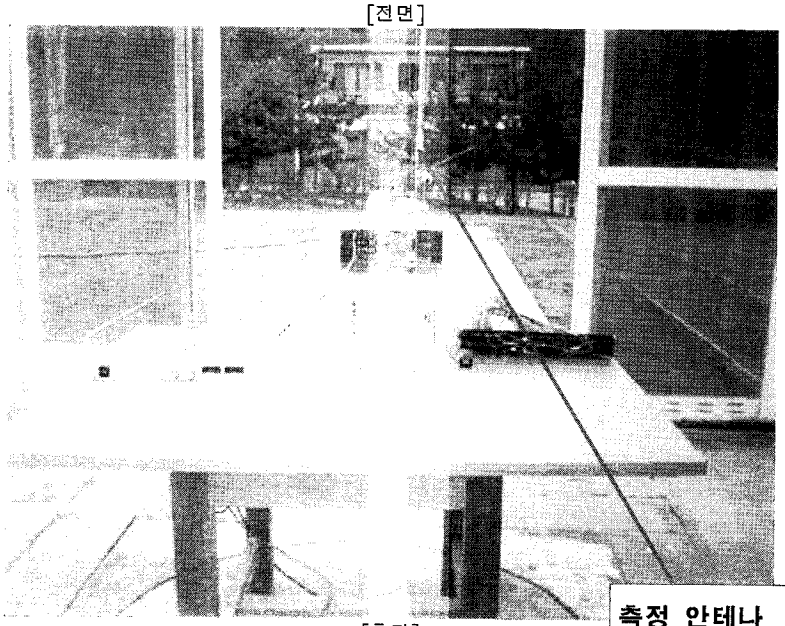
[후면]



본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

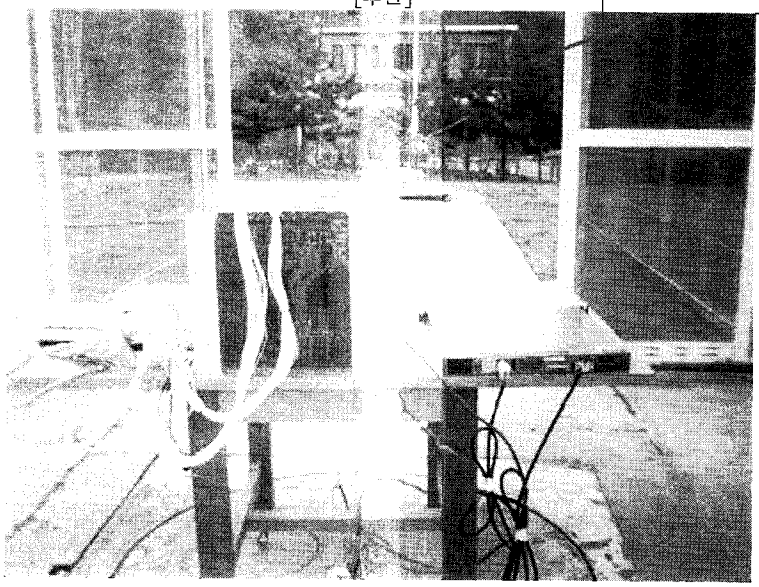
7.2.1 방사시험

[전면]



측정 안테나

[후면]



본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

SGS Testing Korea Co., Ltd.
705 Dongchun Dong, Yongin-Shi, Kyungki-Do, Korea 449-840
Tel/Fax: 82-31-263-0409/82-31-263-0454
http://www.electrolab.kr.sgs.com

Order No. STE-06-0540/E

전자파적합(EMS)시험성적서

신청업체	상 호	우신기공산업㈜		
	성 명	이 재 봉	사업자등록번호	134-81-19102
	주 소	경기도 안산시 단원구 원시동 770-2		
	전화번호	82-31-491-4711	팩스번호	82-31-495-2221
시험기기	명 칭	KHST Electronic Control Unit(ECU)		
	형 식	KBCD44/45	제조번호	N/A
	제 조 자	우신기공산업㈜	제조국가	한국
시험기간		2006년 04월 06일		
시험결과		■ 적합 □ 부적합		

시험담당자 이 시 호 대리

시험책임자 이 재 운 사원

상기의 제품을 적용 규격에 따라 시험성적서를 발급합니다.

2006년 05월 16일

에스지에스테스팅코리아 주식회사 대표이사 (인)

본 시험성적서의 결과는 시험을 실시한 품목에 한합니다.

본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

[그림 1-3-9] EMS 시험성적서

5.0 전자파보호 기준

5.1 시험적용 규격

내성시험명	적용단자	내성기준	단위	성능평가기준	적용규격
전자파방사 내성	표면단자	≤80~1 000 20 80	MHz V/m % AM (1 kHz)	A	IEC 61000-4-3

5.2 성능평가기준

대상기기에 대한 내성시험중 또는 내성시험 종료후에 적용하는 성능평가기준은 다음과 같다.

성능평가기준 A : 기기는 운용자의 개입없이 의도된 동작을 지속하여야 한다. 기기가 의도된 대로 사용될 때, 제조자에 의해 명시된 성능 레벨 이하에서의 성능 저하 또는 기능 손실은 허용되지 않는다. 성능 레벨은 한계 성능의 손실로 표현될 수도 있다. 만약 최소 성능 레벨이나 허용되는 수행의 손실이 제조사에 의해 명시되지 않다면, 이러한 판단은 제품 설명서나 문서, 그리고 기기가 의도된 대로 사용될 때 사용자가 기기로부터 이성적으로 기대할 수 있는 정상 동작의 기준으로부터 유도할 수 있다.

성능평가기준 B : 시험 후에 피시험기기는 작동자의 개입없이 의도된 동작을 지속하여야 한다.
내성시험을 실시한 이후에, 기기가 의도된 대로 사용될 때 제조자가 명시한 성능 레벨 이하의 성능저하나 기능손실은 허용되지 않는다. 성능 레벨은 허용 가능한 성능의 손실에 의해 대신 할 수 있다.
시험 중에는 성능의 저하가 허용된다. 그러나 동작 상태나 저장된 데이터의 변화가 시험 후에도 지속되는 것은 허용되지 않는다.
만약 최소 성능 레벨이나 허용되는 수행의 손실이 제조자에 의해 명시되어 있지 않았다면, 이러한 판단은 제품 설명서나 문서, 그리고 기기기 의도된 대로 사용될 때 사용자가 기기로부터 이성적으로 기대할 수 있는 정상 동작의 기준으로부터 유도할 수 있다.

성능평가기준 C : 기능이 자기 복구가 가능하거나 사용자가 제품 설명서에 지시된 대로 기기를 제어함으로써 회복될 수 있다면 기능의 손실은 허용된다.
비휘발성 기억장치에 저장되어 있거나 건전지 백업에 의해 보호되는 기능이나 정보는 손실되지 않아야 한다.

본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

6.0 시험방법 및 결과

6.1 전자파방사내성시험

6.1.1 측정설비

사용장비	모델명	제조자	제조번호	차기교정일	사용여부
Signal generator	SML 03	R/W	101362	2006. 09. 15	■
Power meter	PM 2002	AR	302884	2006. 09. 15	■
Power meter	PM 2002	AR	302885	2006. 09. 15	■
RF Amplifier	1000L	AR	307377	-	■
RF Amplifier	500W/1000A	AR	307076	-	■
E-Field Generating Antenna	EFG-3	Instruments For Industry Inc.	H077-0304	-	■
Horn Antenna	BHA9220	SHAFFNER	N/A	-	■
Direction Coupler	DC2500A	AR	N/A	-	■
Direction Coupler	DC6280	AR	N/A	-	■

6.1.2 시험장소 : 3m 대용시험실

6.1.3 환경조건

기준치	측정치
온도	24.7 °C
습도	35.9 % RH
기압	1 007 mbar

6.1.4 시험조건

안테나 위치: 수평 및 수직
안테나 거리: 3 m
전계강도: 20 V/m
주파수범위: 80 MHz to 1 GHz
변조: AM, 80 %, 1 kHz sine wave
스위프율: 1.5×10^{-3} decades/sec
주파수 스텝: 1 % step
인가 부위: 4 면
성능평가기준: A

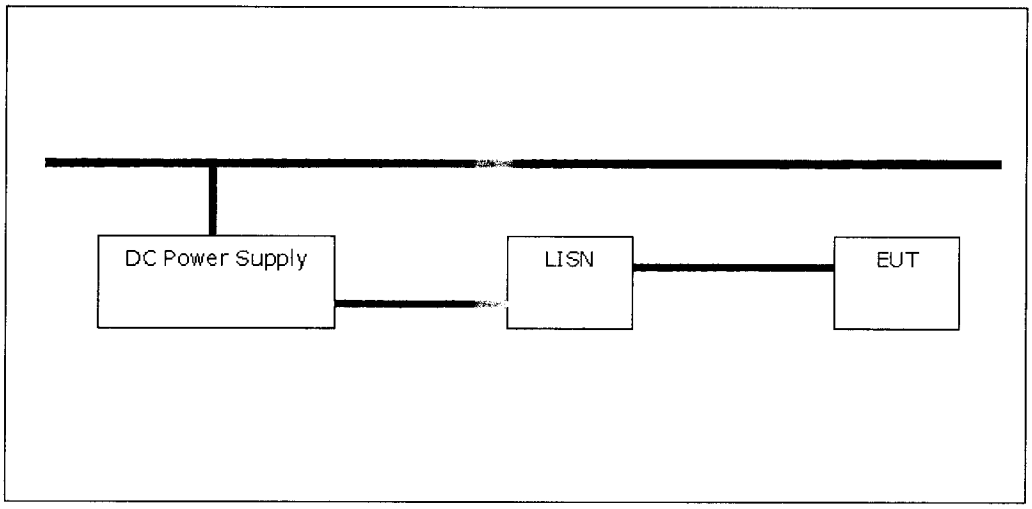
6.1.5 시험방법

※ 전자파 보호시험방법 : IEC 61000-4-3

1) 시험에 사용된 전자파 무반사실은 기준 접지면으로부터 0.8 m 이상 높이에서 정해진 1.5 m x 1.5 m 의 가상 수직면에 대한 전자장의 강도가 규정치의 0 dB~+6 dB이내의 균일 전자장이 형성되었고, 0.5m x 0.5m의 최소균일영역에 대해 격자의 4점도 이 허용오차내에 있다.
2) 탁상용 수검기기는 0.8 m 높이의 비전도성 받침대 위에 배치하고, 바닥설치형 수검기기는 0.1 m 높이의 비전도성 받침대위에 설치한다.
3) 각각의 주파수에서의 체재시간은 수검기기가 동작하고 응답할 수 있는데 필요한 시간 이하가 되어서는 아니되며 클럭주파수와 같은 민감한 주파수는 별도로 분석 되어야 한다.

본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

6.2.6 시험배치의 평면도



6.2.7 시험결과 : ■ 적합 □ 부적합

시험일 : 2006년 04월 06일

시험자 : 이시호 _____

인가부위	기 준	성능평가결과	
		수평	수직
전면	A	A	A
후면	A	A	A
우측면	A	A	A
좌측면	A	A	A

6.2.8 시험자 의견

- 데이터의 이상여부 및 기기의 오동작 여부 관찰.
- A: 시험 중/후에 EUT에 이상이 없음.

본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사의 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

7.0 시험장면 사진

7.1 전자파방사 내성시험

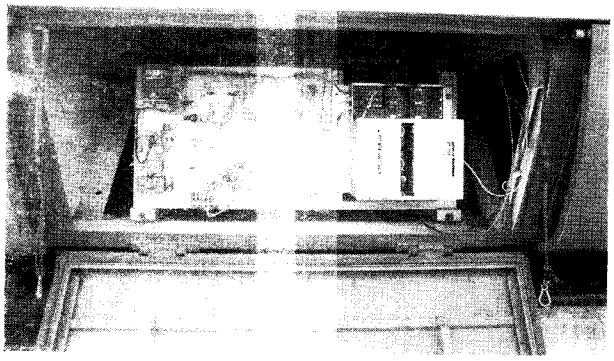


본 시험성적서는 에스지에스테스팅코리아 주식회사 서면 동의없이 무단 전재 및 복사를 할 수 없습니다.

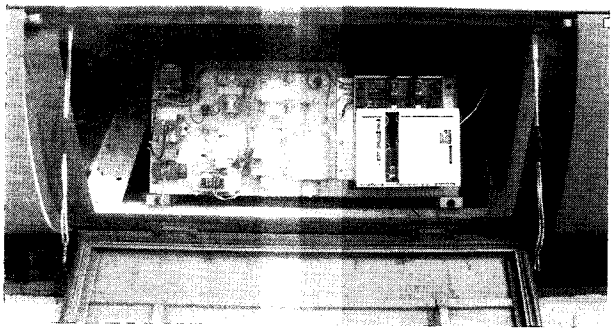
1-4 전 차량분 교체 장착 및 안정화 시험

1-4-1 개선품 인터페이스 보드 전체차량 취부

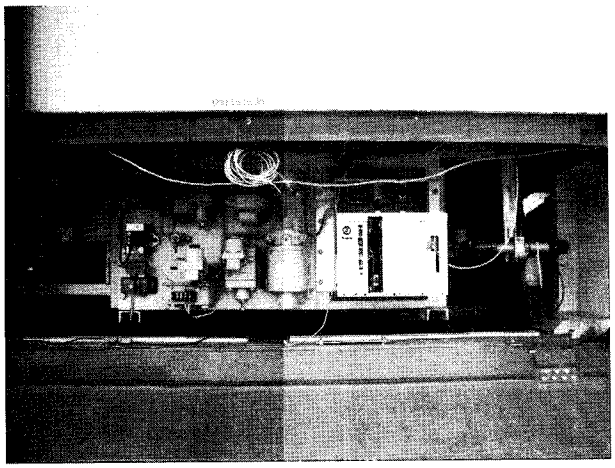
개선 보완한 ECU 10SET를 취부 완료(2006년 2월 3일)하고 본선 시운전 기간 중 차량에 설치된 철도기술연구원의 계측시스템을 통하여 수집된 운행 정보를 활용하여 운행 전/후 장애 발생사항 및 고장발생 상황을 모니터링하고 있다.(1-4-2 주행시험 적용 및 안정화 시험 참조)



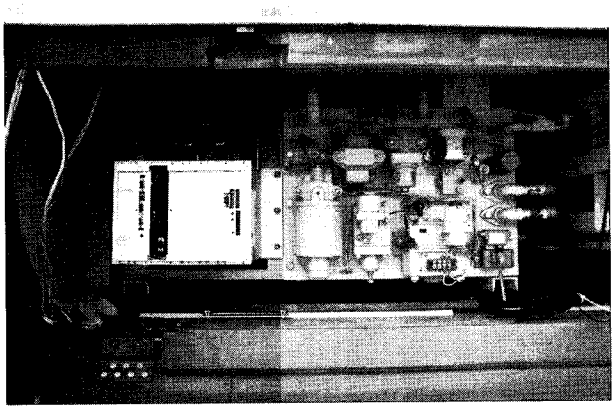
[그림 1-4-1] #1 ECU 장착사진



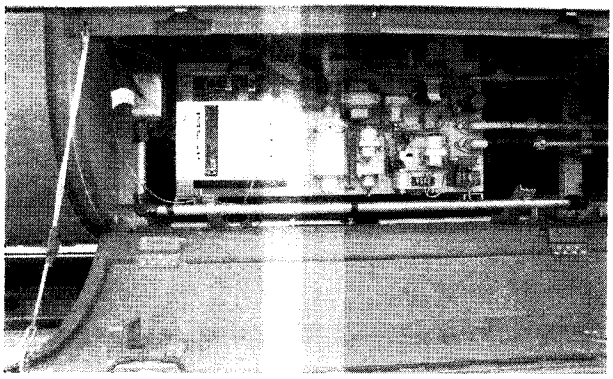
[그림 1-4-2] #2 ECU 장착사진



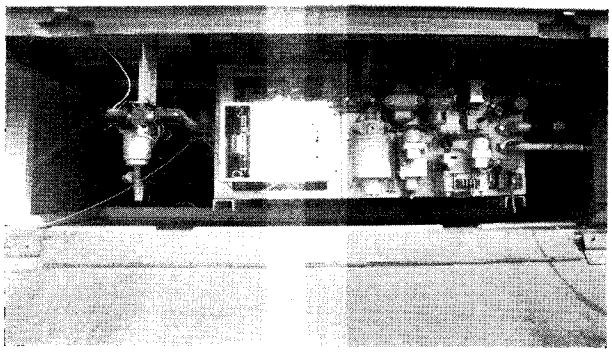
[그림 1-4-3] #3 ECU 장착사진



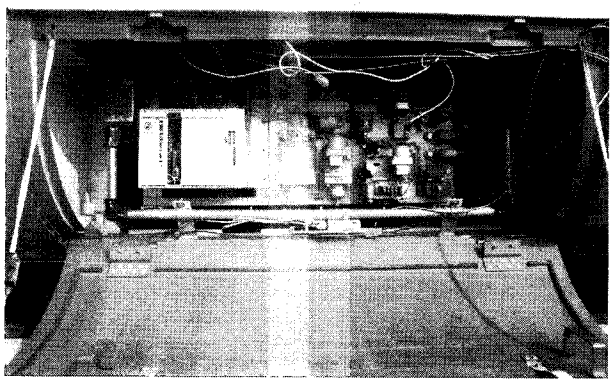
[그림 1-4-4] #4 ECU 장착사진



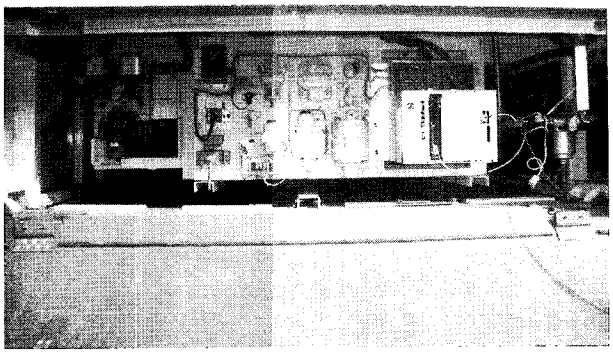
[그림 1-4-5] #5 ECU 장착사진



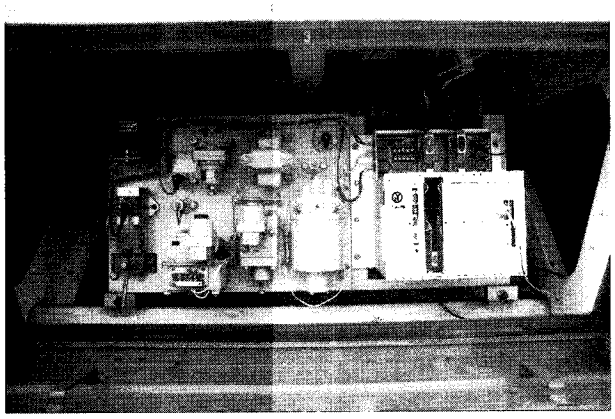
[그림 1-4-6] #6 ECU 장착사진



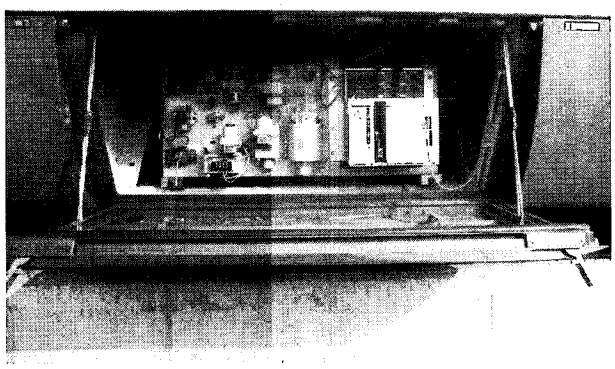
[그림 1-4-7] #7 ECU 장착사진



[그림 1-4-8] #8 ECU 장착사진



[그림 1-4-9] #9 ECU 장착사진

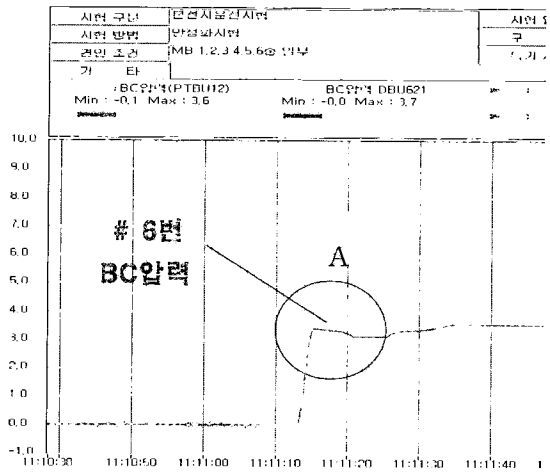


[그림 1-4-10] #10 ECU 장착사진

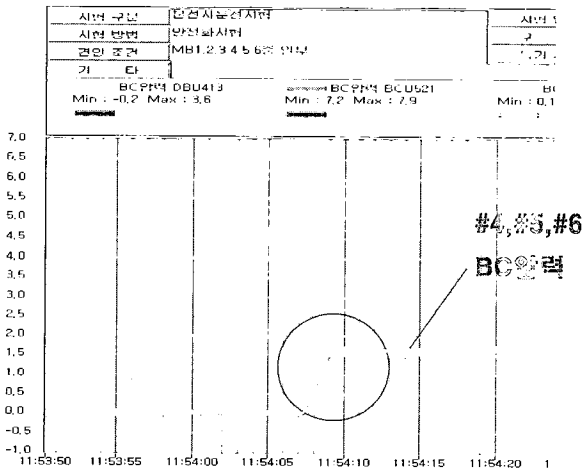
1-4-2 주행시험 적용 및 안정화 시험

차량에 설치된 철도기술연구원의 계측장비를 통하여 운행 전/후 측정된 데이터를 분석하여 제동불완해 현상에 대한 모니터링을 지속적으로 실시 중에 있다. 아래에 제시된 데이터는 본선시운전 시험 종료 각 대차의 실린더에 설치된 압력센서를 이용하여 주행 모드 및 제동지령에 따른 대차의 제동압력을 기록한 것을 분석한 것이다.

[그림 1-4-11]은 2006년 1월 17일 시운전 계측결과를 나타낸 것이다. [그림 1-4-12]는 2006년 11월7일 시운전 데이터를 나타낸 것이다. 개선 전에는 [그림 1-4-11]의 'A'부분에서 보듯이 제동초기 BC압력이 overshoot 현상을 보이나, 개선 후 데이터에서는 이러한 현상이 발견되지 않는다.



[그림 1-4-11] 개선 전 제동압력

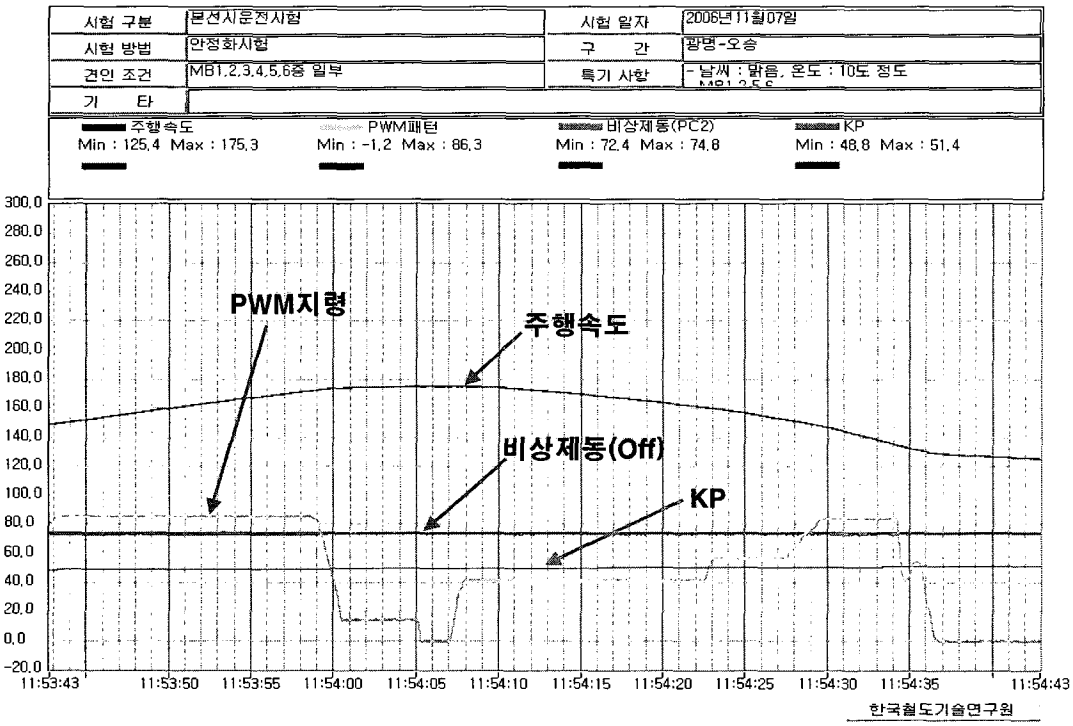


[그림 1-4-12] 개선 후 제동압력

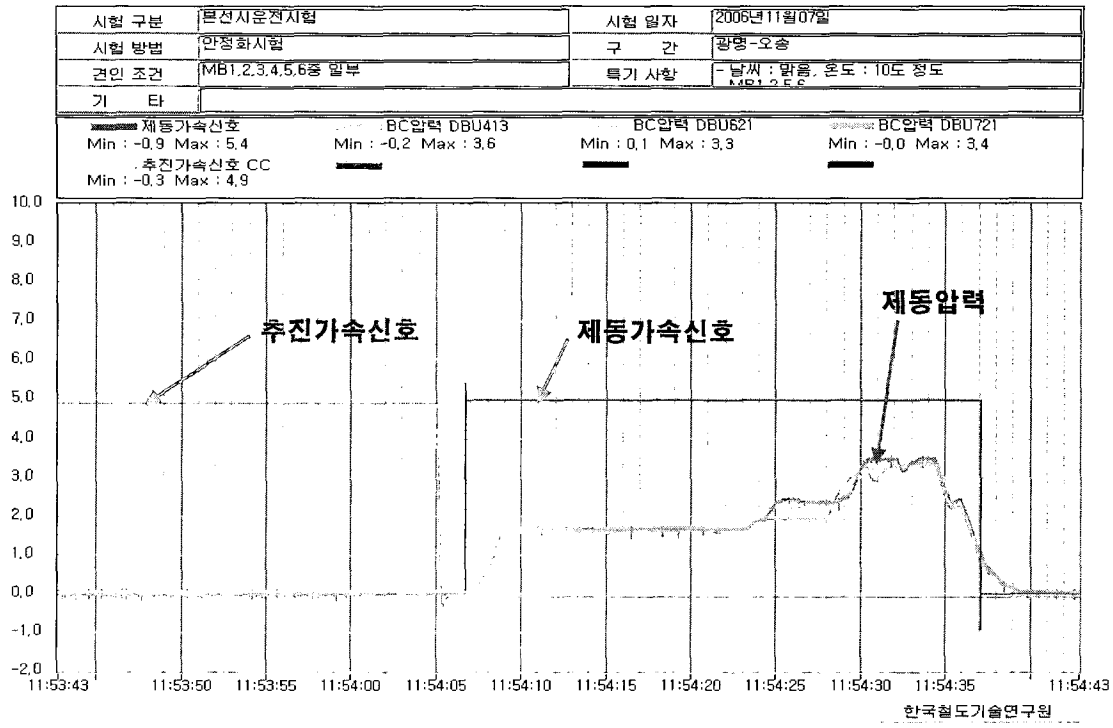
다음 데이터는 2006년 11월 7일 철도연계측기를 통해 분석한 데이터이다.

※ 시운전 개요

시험일자	2006. 11.07 (339회)	시험구간	오송-광명-오송
누적거리 (주행거리)	156,088km (209km)	운행속도	310 km/h
출발시간	10:32	도착시간	12:24
날씨	맑음		

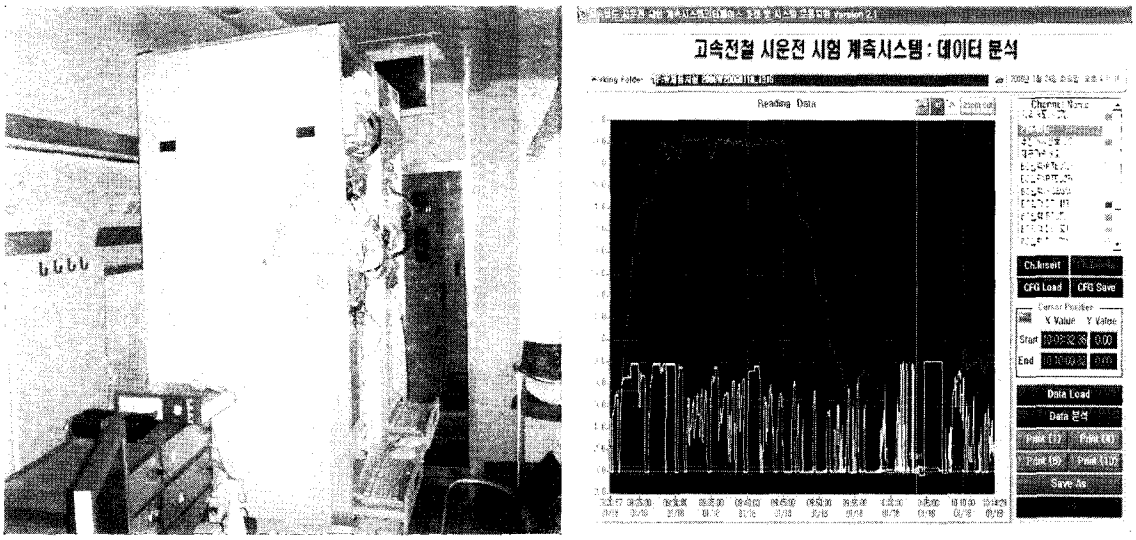


[그림 1-4-13] 주행속도, PWM패턴, 비상제동(PC2), KP



[그림 1-4-14] BC압력 #4,6,7

[그림 1-4-15] 철도기술연구원의 계측 시험기 및 계측되는 데이터 화면을 나타낸 것이다. 제동 PWM 지령 및 각 대차의 제동압력을 확인할 수 있다.



[그림 1-4-15] 계측장비 데이터화면 (철도기술연구원)

2 차륜찰상

2-1 활주검지 기준값 관련 S/W 수정/보완

본선 시운전 중, 선로 Wet 조건에서 비상제동 및 급격한 제동력을 투입시 차륜찰상 현상이 발생하여 원인 분석한 결과, 기존의 활주검지 조건[기준속도 * 0.1 + 3 km/h]에 의한 ECU의 활주제어 기능은 정상으로 동작하였으나 차륜찰상이 발생하였다. 따라서 활주검지 제어 기준을 변경하여 스키드 제어를 민감하게 변경해야할 필요성에의해 축간 속도차 검지에 의한 활주제어 로직을 검토하게 되었다.

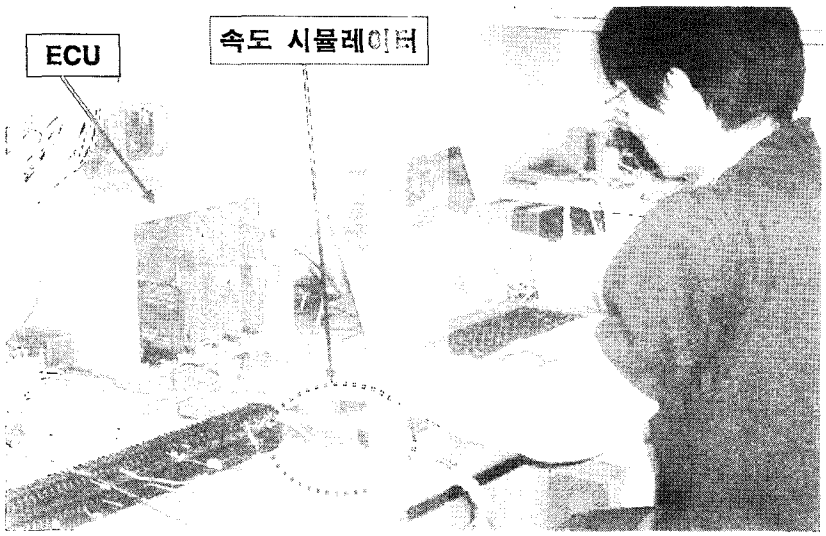
2-1-1 기존 S/W 상태 재검토

차륜찰상 방지를 위한 개선작업의 일환으로, 축간 속도차 검지에 의한 활주제어 기준을 강화할 목적으로, [기준속도 * 0.1 + 3 km/h]으로 설정되어 있던 활주검지 기준을 [기준속도 * 0.08 + 3 km/h]로 소프트웨어를 변경하였고 공장내에서 시뮬레이터를 이용한 모의시험[그림 2-1-2 참조], 차량에서 시험[그림 2-1-3 참조]및 살수시험 데이터[표 2-1-1]을 통하여 정상적으로 구현됨을 확인 하였다.

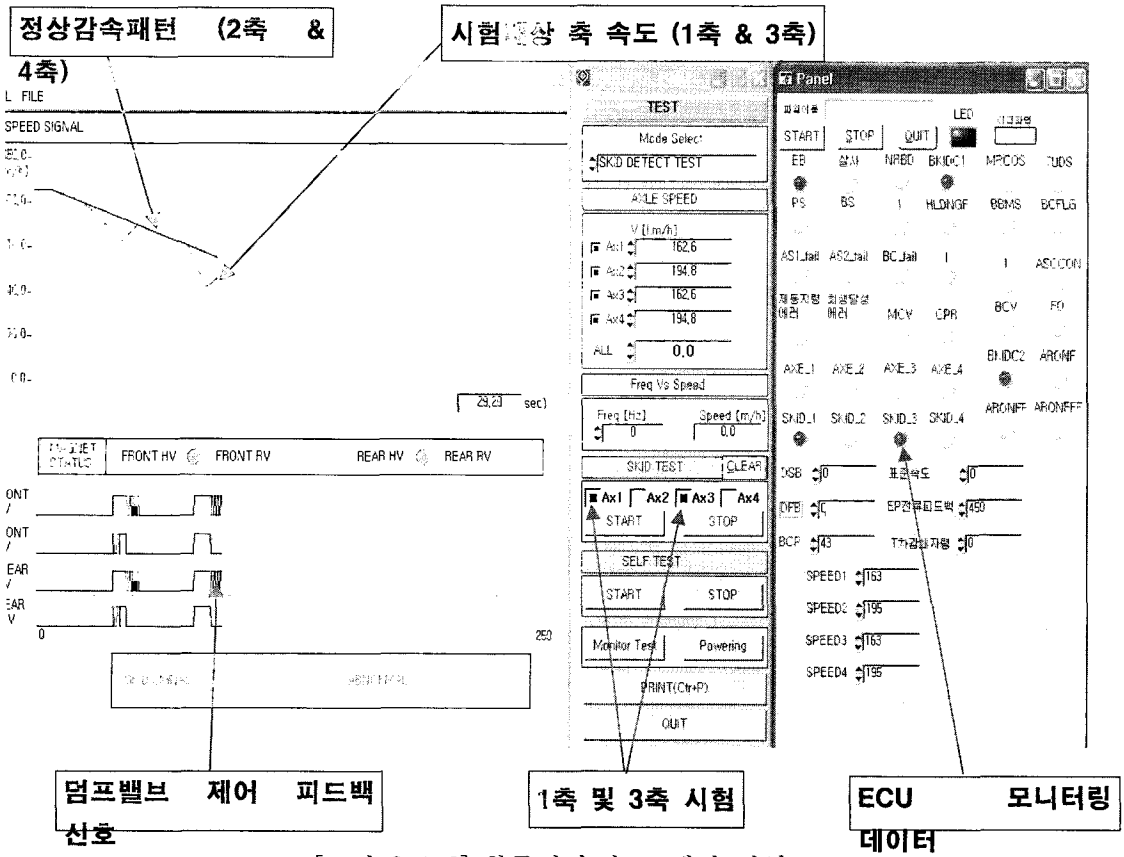
※ 축 속도 중 가장 높은 속도가 기준속도가 되고, 기준속도가 100 km/h라고 하면, 소프트웨어 변경 전에는 어느 한축의 속도가 87 km/h 이하일 경우 활주검지 및 덤프밸브 제어가 수행되었으나, 변경 후에는 89 km/h 이하일 경우 활주제어가 된다.

2-1-2 속도 시뮬레이터를 이용한 사내 모의시험

활주검지 기준을 변경한 소프트웨어가 정상적으로 제어되는지를 검증하기 위해 공장내에서 속도 시뮬레이터(펄스 발생기)를 이용하여 각축의 속도를 임의로 입력하고 속도차 기준에 의한 제어의 정상적인 동작여부를 검증하였다.



[그림 2-1-1] 펄스 발생기를 이용한 활주제어 시험



[그림 2-1-2] 활주제어 속도 패턴 시험

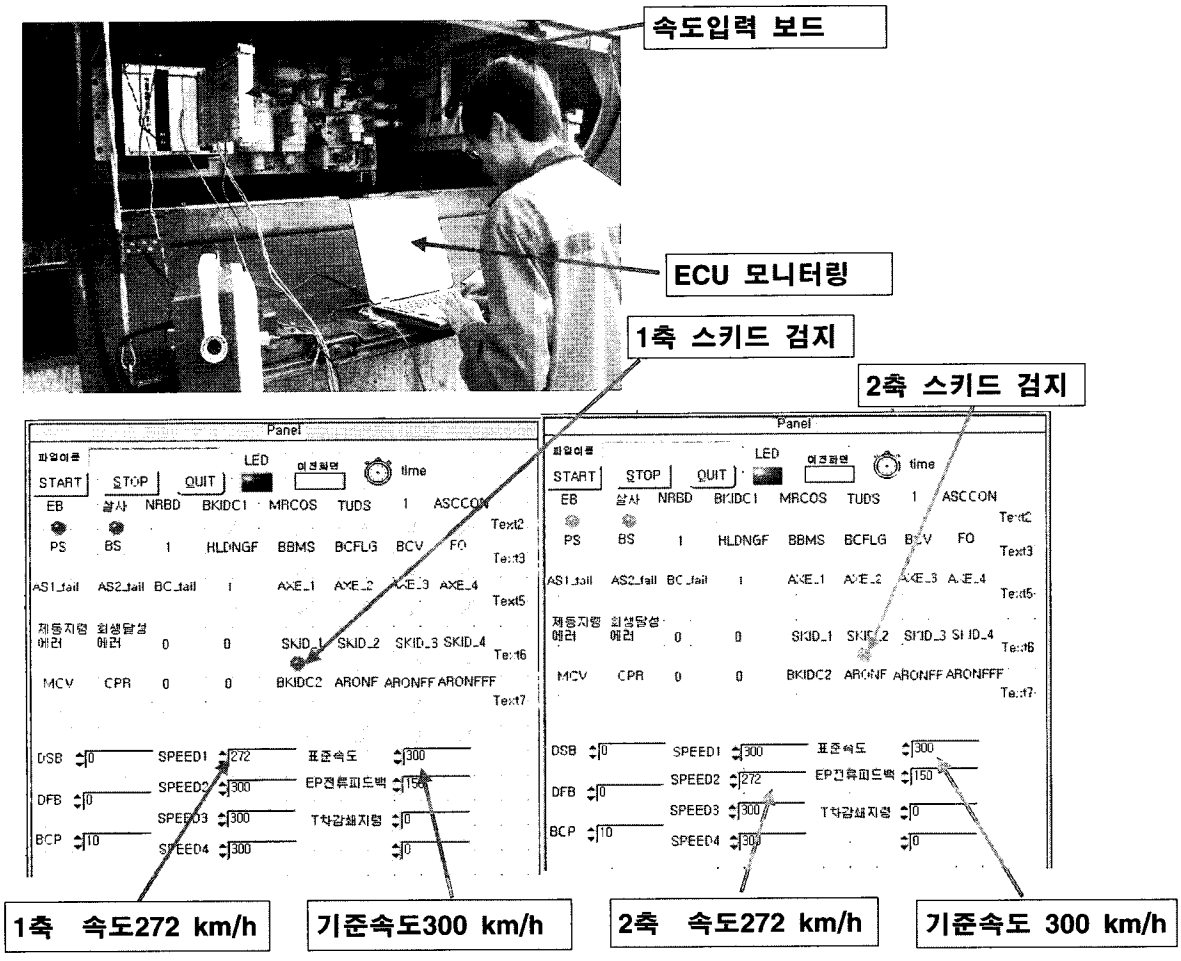
정상 감속 패턴
(2축 & 4축)

2-1-3 시제차량에서의 속도 시뮬레이터를 사용한 기능시험

2006년 1월 27일, 시제차량(4번대차 ECU)에서 속도 시뮬레이터를 이용하여 활주검지 시험 및 덤프밸브 제어 시험을 실시하여 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다.

시험 중 모니터한 데이터 [그림 2-1-3]의 하단 좌측을 보면, 임의로 각각의 축속도를 300km/h로 입력한 상태에서 1축 속도 입력단에 활주검지 기준(273 km/h) 이하의 속도인 272km/h 입력한 결과 '1축 활주검지' 신호가 모니터링 되고, 덤프 밸브가 정상적으로 제어되는 것을 확인 할 수 있었다.

[그림 2-1-3] 하단 우측은 2축 속도를 272km/h로 입력 후 모니터 결과이다.



[그림 2-1-3] 시제차량에서 활주제어 속도 패턴 시험

2-1-4 활주검지 레벨 수정 프로그램 장착 및 주행시험

활주검지 레벨값을 수정하여 적용하고 운행 중, 활주제어 발생시 데이터를 분석하여 활주검지제어가 정상 동작하고, 차륜의 재점착이 이루어지는 것을 확인 할 수 있었다.

아래 [표 2-1-1]의 데이터는 2006년 11월 27일 우천 시, 160 km/h에서 정지시점까지 비상저항 제동 중 ECU 전면 시리얼 포트에서 수신한 데이터이다. 음영 처리된 데이터를 보면, 최고속도(1축 속도) 154 km/h이고, 4축 속도가 138 km/h 일 때 4축 활주검지가 되고, 재점착 되는 것을 확인 할 수 있다.

※ 기준속도가 154 km/h 일 때 검지 기준은 138.7 km/h [154 * 0.08 + 3]이하

[표 2-1-1] 운행 중 활주제어 데이터 (ECU로부터 모니터)

속도1 (km/h)	속도2 (km/h)	속도3 (km/h)	속도 4(km/h)	활주상태	bc압력 (kpa)	최고 속도	검지 속도	회복 속도	비고
158	154	150	156	0	10	158	142.36	154	
158	154	150	156	0	10	158	142.36	154	
158	154	150	156	0	250	158	142.36	154	
156	152	152	154	0	360	156	140.52	152	
154	152	152	150	0	360	155	139.6	151	
154	150	150	138	10	370	154	138.68	150	4축검지
152	150	150	134	10	360	153	137.76	149	4축검지
146	144	144	146	0	360	149	134.08	145	
142	146	140	132	10	360	147	132.24	143	4축검지
138	142	140	146	0	360	146	131.32	142	
138	142	138	144	0	360	145	130.4	141	
142	140	136	140	0	360	142	127.64	138	
138	138	136	140	0	360	141	126.72	137	
140	136	134	125	10	370	140	125.8	136	4축검지
132	120	124	124	70	360	138	123.96	134	2,3,4축검지
134	132	134	136	0	370	136	122.12	132	
132	130	130	134	0	380	135	121.2	131	
134	130	130	126	0	380	134	120.28	130	
132	130	132	132	0	380	133	119.36	129	
130	124	124	122	0	380	131	117.52	127	
128	120	116	114	30	380	129	115.68	125	3,4축검지
124	118	128	128	0	380	129	115.68	125	
126	116	126	122	0	380	127	113.84	123	
128	116	126	126	0	380	128	114.76	124	
124	118	114	120	0	390	124	111.08	120	
124	118	110	122	20	380	124	111.08	120	3축검지
122	118	118	118	0	380	122	109.24	118	
122	118	114	114	0	380	122	109.24	118	
120	116	110	106	10	390	120	107.4	116	4축검지
118	116	116	116	0	390	119	106.48	115	
118	114	110	110	0	390	118	105.56	114	
116	114	114	104	10	390	117	104.64	113	4축검지

112	110	110	112	0	380	113	100.96	109	
110	110	102	106	0	390	112	100.04	108	
110	102	100	102	0	400	110	98.2	106	
108	102	100	104	0	400	109	97.28	105	
104	100	102	106	0	410	106	94.52	102	
106	98	100	104	0	410	106	94.52	102	
102	98	100	100	0	410	104	92.68	100	
102	98	98	102	0	410	103	91.76	99	
102	96	96	98	0	410	102	90.84	98	
100	96	90	96	0	410	100	89	96	
98	90	98	94	0	410	99	88.08	95	
98	90	94	88	0	410	98	87.16	94	
98	96	92	96	0	410	98	87.16	94	
94	92	88	90	0	430	95	84.4	91	
94	92	88	92	0	410	95	84.4	91	
92	90	90	81	10	410	93	82.56	89	4축검지
92	90	88	88	0	430	93	82.56	89	
90	88	88	88	0	430	90	79.8	86	
90	86	86	88	0	410	90	79.8	86	
88	86	80	82	0	410	89	78.88	85	
86	86	86	86	0	420	87	77.04	83	
84	82	82	82	0	410	84	74.28	80	
80	76	78	72	10	420	82	72.44	78	4축검지
82	80	76	76	0	430	82	72.44	78	
82	80	80	80	0	410	82	72.44	78	
78	76	76	78	0	410	79	69.68	75	
76	76	68	68	30	410	78	68.76	74	3,4축검지
76	74	74	76	0	430	77	67.84	73	
76	74	74	74	0	410	76	66.92	72	
72	72	68	72	0	410	73	64.16	69	
70	70	67	61	10	420	71	62.32	67	4축검지
72	70	70	70	0	430	72	63.24	68	
70	70	66	70	0	410	71	62.32	67	
68	68	66	62	0	420	70	61.4	66	
66	66	62	60	0	420	67	58.64	63	
66	64	64	62	0	430	67	58.64	63	
66	64	64	64	0	410	66	57.72	62	
64	62	60	55	10	420	65	56.8	61	4축검지
60	60	58	56	0	420	62	54.04	58	
60	60	56	50	10	430	60	52.2	56	4축검지
60	58	58	60	0	420	61	53.12	57	
58	58	58	58	0	410	60	52.2	56	
56	54	52	48	10	420	56	48.52	52	4축검지
56	54	54	50	0	430	56	48.52	52	
54	54	54	54	0	410	55	47.6	51	
54	52	45	45	30	420	54	46.68	50	3,4축검지
50	50	48	46	0	420	51	43.92	47	
50	48	48	46	0	430	51	43.92	47	
50	48	48	48	0	410	50	43	46	
46	44	44	40	10	420	48	41.16	44	4축검지

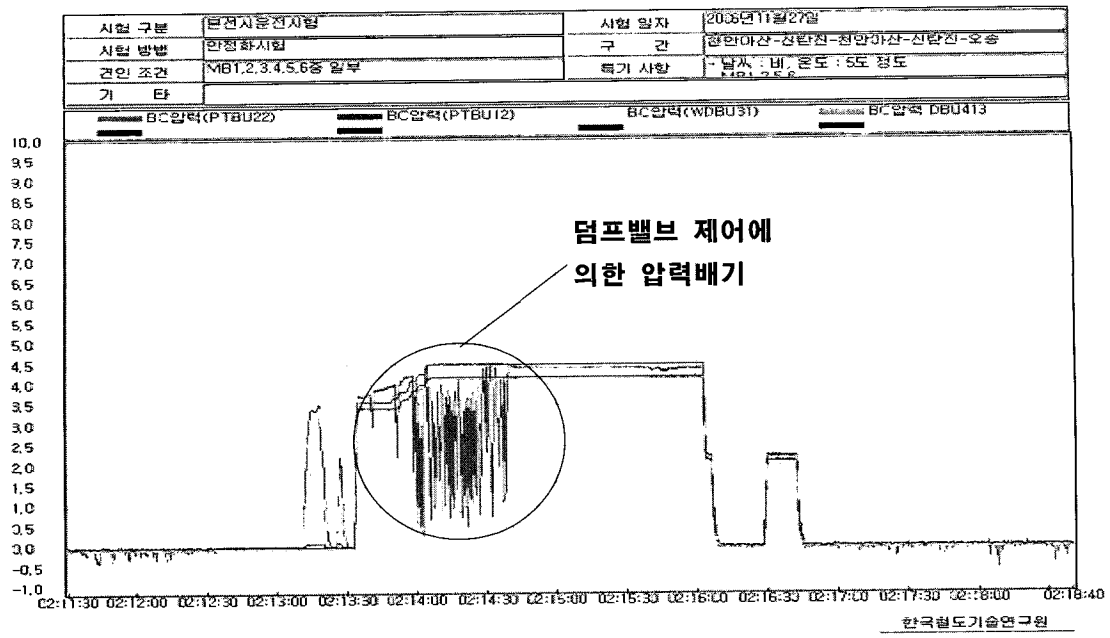
44	44	44	40	0	420	45	38.4	41	
42	42	44	36	10	430	44	37.48	40	4축검지
44	42	42	44	0	420	44	37.48	40	
42	42	42	40	0	410	43	36.56	39	
40	42	40	34	10	420	42	35.64	38	4축검지
40	34	38	32	10	430	40	33.8	36	4축검지
38	38	38	38	0	420	39	32.88	35	
38	36	36	36	0	410	38	31.96	34	
36	36	32	24	10	430	37	31.04	33	4축검지
32	34	34	34	0	430	34	28.28	30	
30	30	32	28	0	430	32	26.44	28	
32	30	32	30	0	430	32	26.44	28	
32	30	30	30	0	410	32	26.44	28	
30	30	30	28	0	430	30	24.6	26	
26	26	26	26	0	420	28	22.76	24	
24	26	26	26	0	430	26	20.92	22	
20	22	24	22	0	440	25	20	21	
16	24	24	22	80	430	25	20	21	1축검지
20	18	22	20	0	420	22	17.24	18	
14	16	16	16	80	430	20	15.4	16	1축검지
20	20	20	20	0	420	20	15.4	16	
18	18	18	18	0	410	19	14.48	15	
12	10	14	14	0	420	15	10.8	11	
14	12	14	14	0	430	14	9.88	10	
12	12	12	12	0	410	13	8.96	9	
12	10	12	12	0	420	12	8.04	8	
8	8	8	8	0	400	9	5.28	5	
8	8	8	8	0	420	8	4.36	4	
4	0	6	6	0	430	7	3.44	3	
0	0	2	4	0	440	5	1.6	1	
0	0	0	0	0	430	1	0	0	

2-1-5 기존선 주행시험 중 살수시험

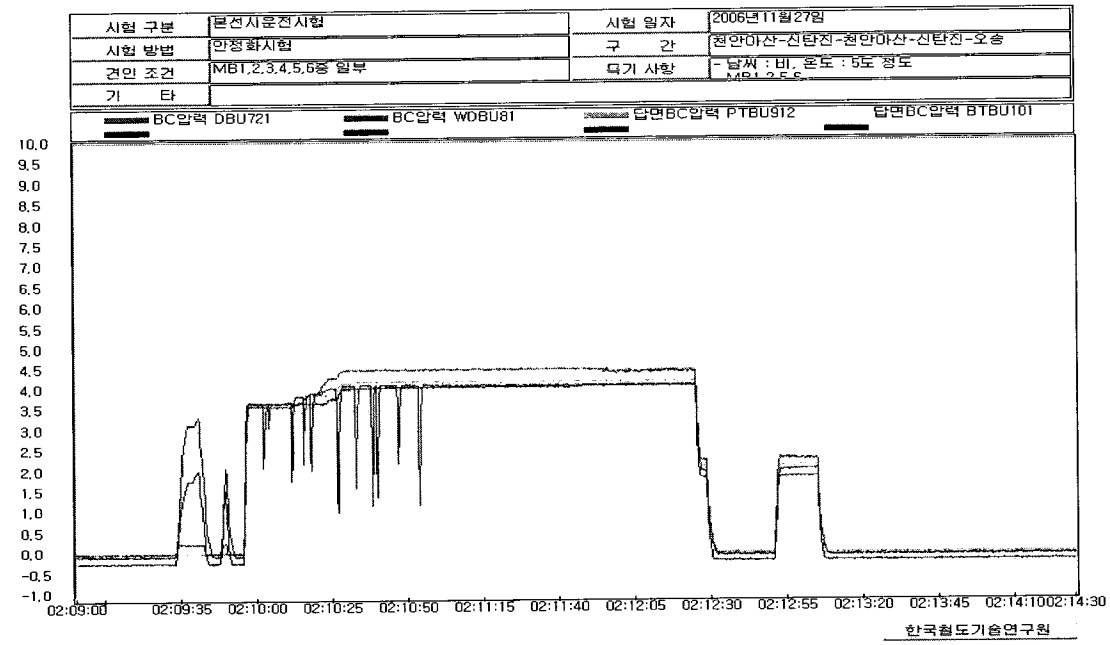
2006년11월27일 야간시운전 시 고속선에서 비눗물을 살포하고 활주제어 성능 시험을 실시하였다. 시험은 전기제동을 차단한 상태에서 속도 250 km/h에서 100 km/h까지 비상제동을 체결하여 고속영역에서의 제어성능을 확인하는 시험과 속도 160 km/h에서 정지시까지 저속영역에서 성능을 확인하는 시험을 실시하였다.

시험결과 속도차검지에 의한 활주검지 및 회복이 정상적으로 수행되었으며, 이때 차륜의 찰상은 발생되지 않았다.

[그림 2-1-4],[그림 2-1-5]는 차량의 제동실린더에 설치된 압력센서를 통하여 측정된 데이터로, 실린더 압력 제어가 정상적으로 작동 하는 것을 확인하였다.



[그림 2-1-4] 제동압력(ECU #1,2,3,4)



[그림 2-1-5] 제동압력(ECU #7,8,9,10)

3 제동정보 현시 불안정

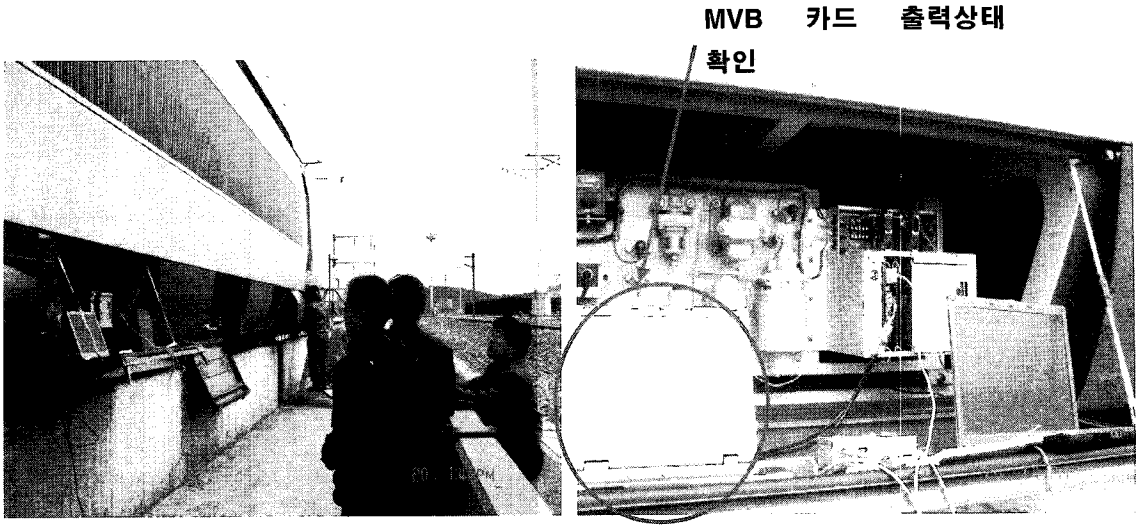
차량의 네트워크 통신 안정화를 위하여, 2006년 4월 11일부터 22일까지 OBCS 장치 신규 제작에 따른 통신상태 점검 및 보완 작업을 공동으로 진행하였으며, 동시에 제동장치로 인한 통신 불안 요소를 개선하는 작업을 진행하여 통신안정화 대책을 추진하여 왔다.

3-1 제동정보 현시를 위한 네트워크 통신 안정화 작업 지원

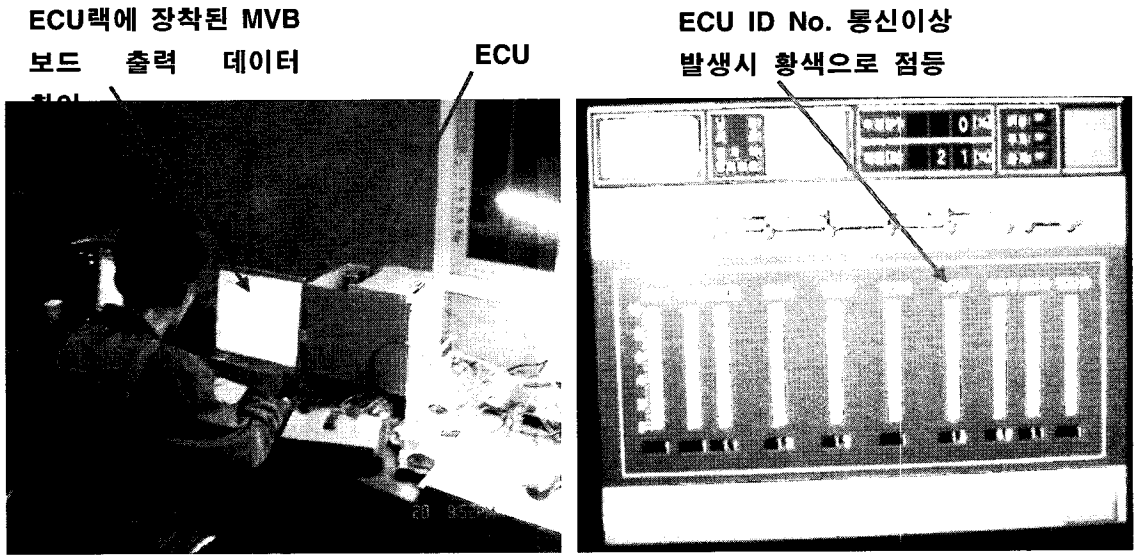
3-1-1 MVB 통신카드와 인터페이스 확인 시험지원

신규 OBCS 장치 제작에 따른 기능확인 시험을 위해 관련업체와 공동으로 ECU 내 장착되어 있는 MVB 통신카드와 OBCS 장치간 네트워크 통신 인터페이스 시험을 진행하였다. 시제차량 기지내 정차 중, MVB 카드 출력 데이터를 모니터 할 수 있도록 PC를 연결하고 차량 모니터 상태를 비교 확인하는 시험을 진행하여 통신기능이 정상적으로 구현되는 것을 확인하였다.

작업기간	작 업 내 용	비고
4월 11일 ~ 21일	제동장치 동작 및 현시상태 확인 작업	로템,유진
4월 19일 ~ 20일	제동장치와 OBCS간 인터페이스 기능 및 동작 확인	로템, 유진, 인터콘
4월 21일 ~ 22일	구내 기동시험 및 주행시험 시 제동장치 상태 정보 전송기능, 상태점검 및 보완작업 실시	유진, 인터콘



[그림 3-1-1] 통신 기능 및 동작확인 시험



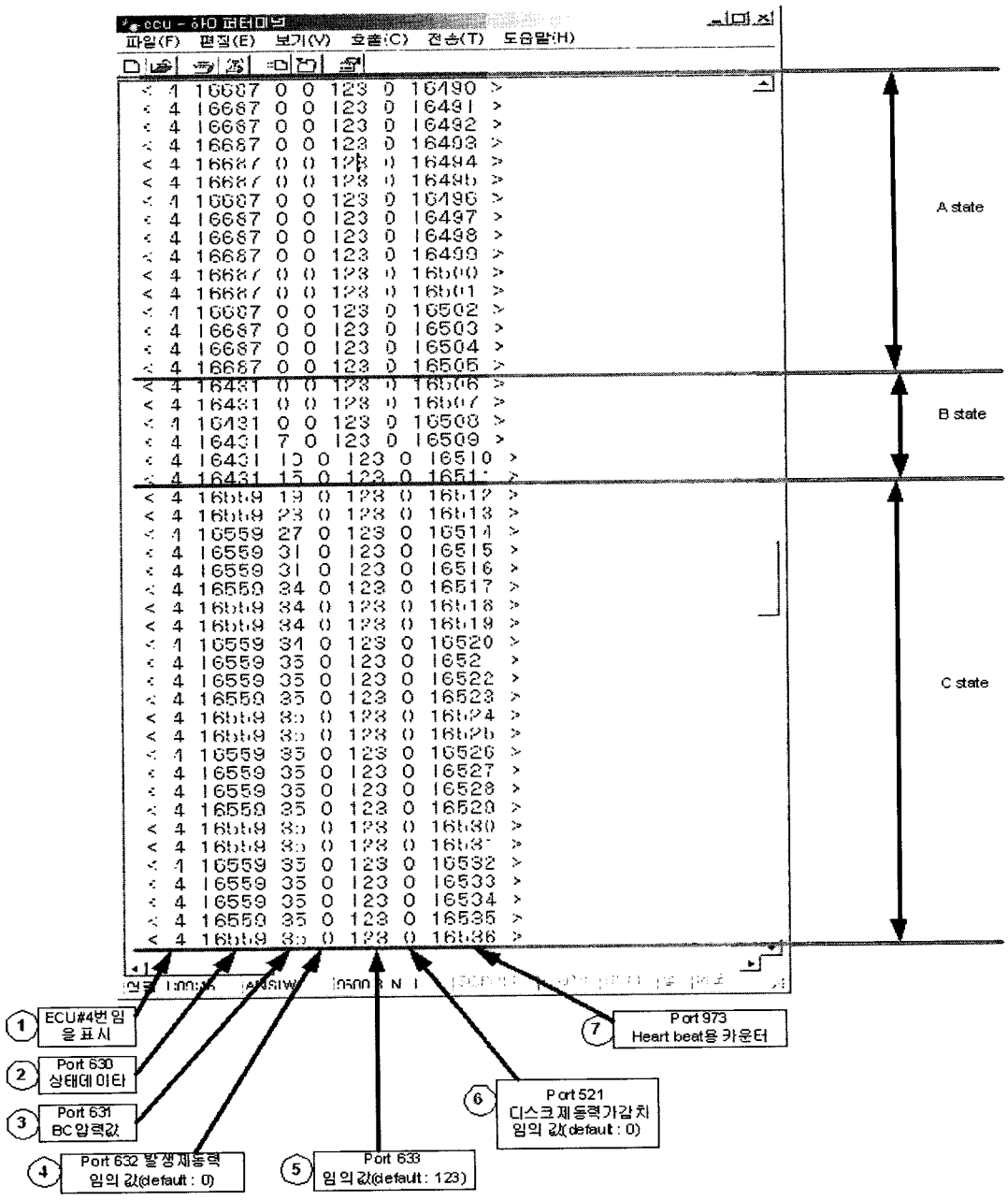
[그림 3-1-2] ECU 자체 확인시험 및 차량 모니터 화면

3-1-2 ECU 자체 통신 모니터링 시험

차량 정차상태 및 주행 중, 통신이상 발생 시 네트워크 카드로부터 출력되는 데이터를 PC를 이용하여 모니터링 하고 발생 원인을 분석하는 작업을 OBCS 신규제작에 따른 시험기간 중 진행하였다.

[그림 3-1-3]은 PC를 이용하여 시제 차량에서 MVB 통신카드 전면에 설치된 시리얼 포트를 이용하여 통신 카드의 출력의 정보를 나타낸 것이다.

그림의 'A state'는 제동완해 상태이고, 'B state'는 완해 중 제동지령이 입력되는 상태, 'C state'는 제동 중 상태를 나타낸다.



[그림 3-1-3] ECU 자체통신 모니터링 데이터

다음은 수집한 데이터를 각각의 state별로 분석한 내용이다.

① ECU ID No. 표시를 표시

② 제동 상태데이타 :

		ECU#4번 상태 데이타			
		Port 630 상태 데이타	A state	B state	C state
			완해	완해->제동	3.5~3.6bar
			완해	제동지령시작	BC압생성
			16687	16431	16559
			412F	402F	40AF
Bit0	0/1	TCN 통신 이상/정상	1	1	1
Bit1	0/1	출발전 시험결과 이상/정상	1	1	1
Bit2	0/1	제동장치 정상/이상	1	1	1
Bit3	0/1	열차속도 전송 이상/정상	1	1	1
Bit4	0/1	운전 Mode/제동시험 모드	0	0	0
Bit5	0/1	대차 정상/대차차단	1	1	1
Bit6	0/1	Anti-Slide 기능 정상/고장	0	0	0
Bit7	0/1	제동 완해/제동 체결	0	0	1
Bit8	0/1	제동모드/완해모드	1	0	0
Bit9	0/1	----------	0	0	0
Bit10	0/1	공기제동 시험완료/시험중	0	0	0
Bit11	0/1	제동완해 OFF/ON	0	0	0
Bit12	0/1	Sanding Request OFF/ON	0	0	0
Bit13	0/1	와전류제동장치 상태 상승/하강	0	0	0
Bit14	0/1	Check_Variable0	1	1	1
Bit15	0/1	Check_Variable1	0	0	0

③ BC압력값 : 0.1Bar 단위로서 "35"는 3.5Bar를 의미한다.

④ default "0"

⑤ default "123"

⑥ 디스크제동력 가감치 : ECU가 받고 있는 디스크제동력 가감치를 표시.
현재는 default "0"을 출력 함.

⑦ Heart beat용 카운터 : ECU가 정상적으로 동작하고 있는지 카운터를 출력함으로써 알 수 있도록 함.

3-1-3 제동정보 현시 이상발생원인 공동조사

시제차량에서 제동정보 현시 불안정에 대한 원인분석 조사 결과 제동장치로 인하여 발생되는 현상은 크게 두 가지 경우로 분류되었다.

■ 차량 제어전원 투입 시 통신전용 CPU가 MVB 보드를 초기화 시키지 못하여 제동제어 CPU로부터 수집된 상태정보를 잘못 전달하면서 발생

■ 초기화 과정이 정상적으로 기동되어 정상적인 통신이 수행되고 제동정보 현시가 양호한 상태로 진행되다가 통신전용 CPU 자체의 오동작(데이터 버스 라인 불안정)으로 인해 통신 상태가 끊겨 MVB 보드에 기록된 최종정보가 갱신되지 않은 상태에서 정보가 송신되는 경우

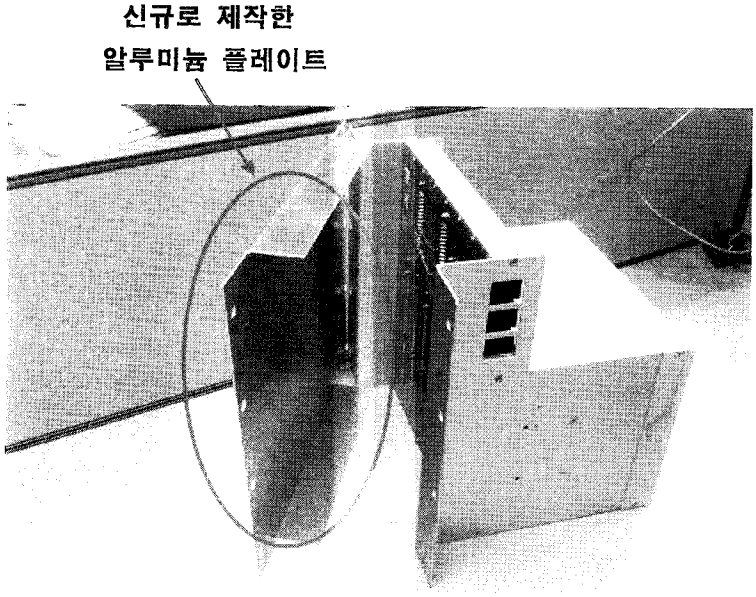
이러한 문제점을 해결하기 위해, 신규로 개선 제작한 통신카드를 차량에 장착 완료(2006년 10월13일) 하였고 오정보 현시를 방지하기 위해 송수신 데이터에
Heart beat를 Check함으로써 통신 데이터의 신뢰도를 개선하였다.

```
125
126  //          Sprintf(ASC_SERIAL_PORT, "%c%c%c%c",0xfa,system_counter,add_su
127              Sprintf(ASC_SERIAL_PORT, "%c%c%c",0xfa,system_counter,0xa0);  /*
128
129          }
130            // 계속되는 idle 방지
131          else serial_error_counter ++;
132
133          /* ****************************** */
134
135          system_counter++;
136          system_counter=system_counter%60000;
137
138          ap_err_counter++;
139          ap_err_counter = ap_err_counter%200;
140
141          RT_Flag = OFF;
142
143          }
144
145⊟        if ( no_test_flag !=1)  {
146            /* ******  TEST MODE ******* */
147            if (test_mode_flag== EXIST)
```

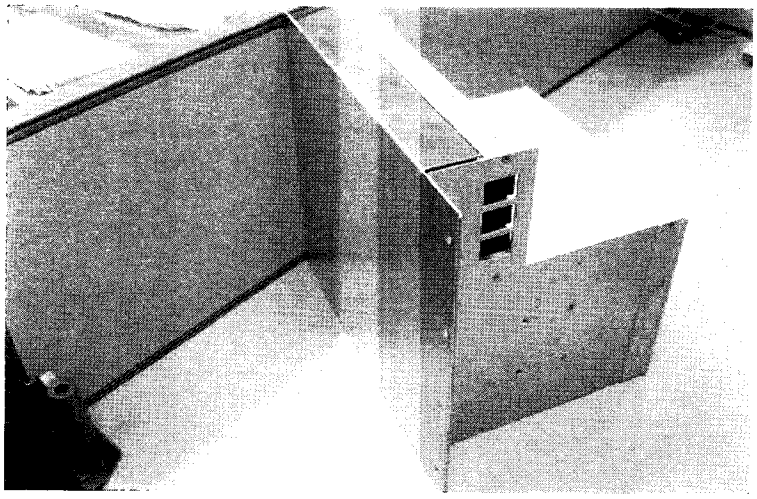
System Counter를 Heart beat로 사용

3-1-4 ECU Sub-Rack CASE 노이즈 차폐플레이트 보강처리

통신장애가 발생하는 원인중의 하나가 차량으로부터 유입되는 유도 노이즈 때문이다.
이 노이즈를 저감시키기 위해 후면에 노이즈 차단막 역할을 하는 알루미늄 플레이트를 제작하여 2006년 6월28일부터 2006년 7월 5일까지 모든 대차에 보강작업을 완료하였다.



[그림 3-1-4] 차폐플레이트 장착하기 전



[그림 3-1-5] 차폐플레이트 장착 후

3-1-5 통신중계보드 CPU program 중 MVB 초기화 부분 시퀀스처리 로직변경

통신이상 현상 분석결과, 통신중계보드와 MVB 카드간에 상호 동작을 Check하여 통신 데이터를 전송하던 방식으로 인해 데이터가 원활하게 전송되지 못하는 경우가 발생되었다.
상호동작을 Check하는 방법에는 하드웨어 초기화와 각 장치에 할당된 통신 포트를 Check

하여 소프트웨어 상으로 Check하는 방법이 있는데, 소프트웨어 프로그램에서 상호 에러 Check time이 동기화 될 경우 지속적으로 리셋을 실행시켜 통신기능이 정지되는 현상이 확인되었다. 이 문제에 대한 대책으로 ECU내의 Check 과정을 삭제하여 상호 독립적으로 동작하도록 하여 문제를 해결하였다. 이는 Application의 오동작에 의해 발생하는 문제점을 제거하기위한 조치로, 데이터의 신뢰도는 Check bit를 추가하여 상호 검증할 수 있도록 하였다.

[그림 3-1-6]은 변경 전 ECU 및 MVB 카드에서 동시에 수행하던 프로그램이며, 변경 후는 MVB 카드에서만 초기화 과정을 수행하도록 하였다. 프로그램은 2006년 7월 5일 적용을 완료하였다.

```
535  AP_RESULT ap_start ()
536  {
537      UNSIGNED16  state;
538      UNSIGNED16  cmd;
539      UNSIGNED8 *ptr;
540      unsigned int count = 0;
541
542      ptr = (UNSIGNED8*)(&cmd);
543
544      while(1){
545        state = (ap_get_state() & 0xFFFF);
546        count++;
547        if(count > 100) break;
548        if(state == 0x0800)
549        {
550          ap_start_flag = 1;
551          break;    /* IMD start */
552        }
553        else if(state == 0x0702){
554          Sprintf(1,"\n\rWaiting Initialization Ready.... Plz Wait..%d",state);
555        }
556        else if(state == 0x0500){      /* IMD ready */
557          cmd = 0xA505;
558          WriteDP(SER_APP_CMD, (UNSIGNED8*)ptr);
559          WriteDP(SER_APP_CMD+1, (UNSIGNED8*)ptr+1);
560          Sprintf(1,"\n\rWait 0 state      0x%04X ... %d",state);
561        }
562        else if(state == 0x0404){
563          cmd = 0xFAFA;
564          ap_put_pcs(ppPCS,nPCSCount); //putin 0x0420
565          WriteDP(SER_APP_CMD, (UNSIGNED8*)ptr);
566          WriteDP(SER_APP_CMD+1, (UNSIGNED8*)ptr+1);
567          Sprintf(1,"\n\rWait 0 state      0x%04X ... %d",state);
568        }
569        else if(state == 0x0101){      /* IMD MVLBPCS initial */
570          cmd = 0x505A;
571          WriteDP(SER_APP_CMD, (UNSIGNED8*)ptr);
572          WriteDP(SER_APP_CMD+1, (UNSIGNED8*)ptr+1);
573          Sprintf(1,"\n\rWait 0 state      0x%04X ... %d",state);
574        }
575        else if(state == 0x0101){
576          cmd = 0xA505;
577          WriteDP(SER_APP_CMD, (UNSIGNED8*)ptr);
578          WriteDP(SER_APP_CMD+1, (UNSIGNED8*)ptr+1);
579          Sprintf(1,"\n\rWait 0 state      0x%04X ... %d",state);
580        }
581        else{
582          Sprintf(1,"\n\rWaiting Error...%d",state);
583          }
```

변경전

코드 삭제

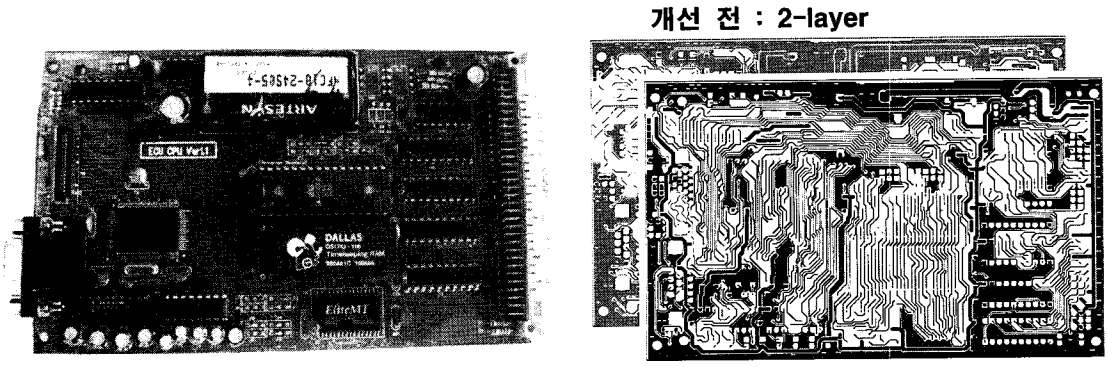
변경후

```
535  AP_RESULT ap_start ()
536  {
537      UNSIGNED16  state;
538      UNSIGNED16  cmd;
539      UNSIGNED8 *ptr;
540      unsigned int count = 0;
541
542      ptr = (UNSIGNED8*)(&cmd);
543
544      while(1){
545        state = (ap_get_state() & 0xFFFF);
546        count++;
547        if(count > 100) break;
548        if(state == 0x0800)
549        {
550          ap_start_flag = 0;
551          break;    /* IMD start */
552        }
553
554        else{
555          Sprintf(1,"\n\rWaiting Error...%d",state);
556          }
```

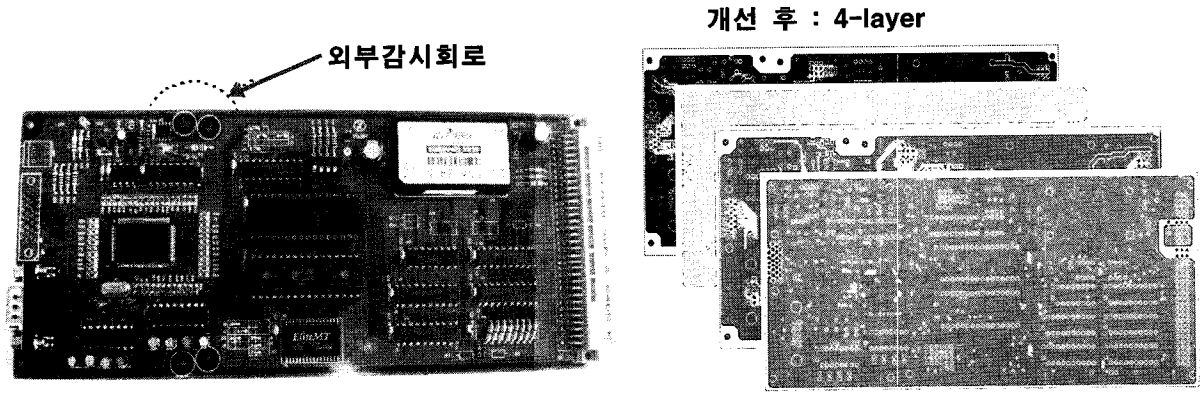
[그림 3-1-6] MVB 초기화 부분 루틴 변경사항

3-1-6 통신중계보드 CPU 하드웨어보드 개선

통신전용보드의 기판 레이어를 2층기판에서 4층기판으로 개선함으로써 노이즈에 대한 내성을 보완하였으며, CPU가 일시적으로 기동정지 하는 현상이 발생하는 경우, 소프트웨어 Watch dog으로만 재기동 시키던 방식에서 '외부감시회로'를 추가하여, 소프트웨어, 하드웨어 Watch dog을 동시에 채용함으로써 신뢰성을 개선하는 작업을 진행하여 2006년 10월 13일 적용완료 하였다.



[그림 3-1-7] 개선 전 통신중계보드



[그림 3-1-8] 개선 후 통신중계보드

3-1-7 ECU 내부 고장검지 알고리즘 보완

고장 발생 시 고장원인을 추적관리 할 수 있도록, ECU 자체적으로 고장시점을 기준하여 고장 전 3초 데이터와 고장 후 1초간 데이터 분석이 가능하도록 ECU 전면에 장착된 시리얼 포트를 통하여 고장정보를 수집할 수 있는 내부 알고리즘을 적용하여 2006년 11월 15일

적용완료 하였다.

다음의 내용은 ECU에서 자체적으로 관리되는 고장기록이다.

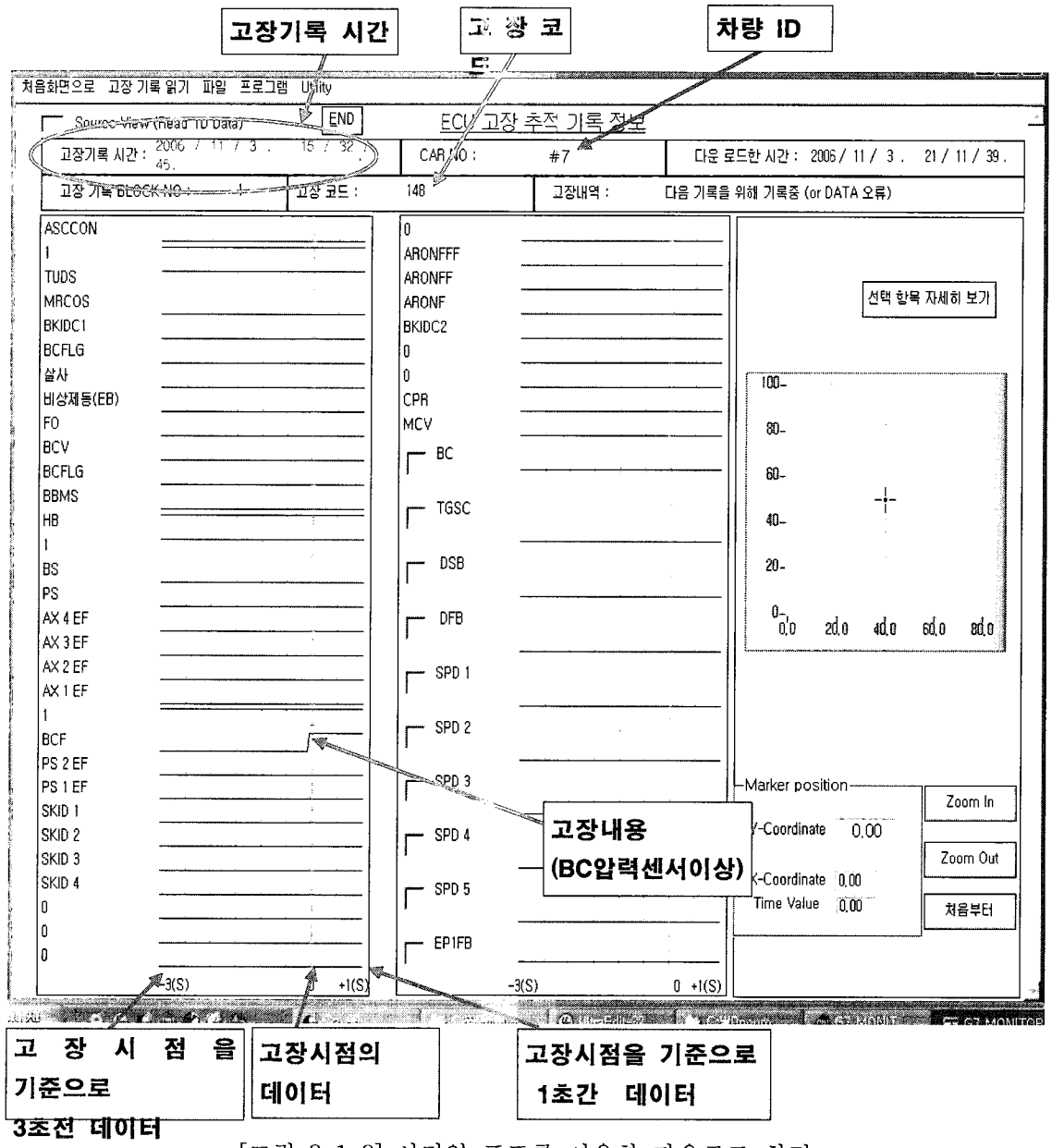
1) 램 CHECK 에러
2) 상용제동지령 이상
3) 회생제동달성 고장
4) 제동압력 센서 이상
5) 제동논리 이상
6) 전자변 이상
7) 덤프밸브 이상
8) 속도센서 이상

고장 발생 시 전면에 장착된 시리얼 통신 포트를 이용하여 고장내용을 다운로드하면 [그림 3-1-9]와 같이 고장내용을 분석할 수 있도록 ECU 내부고장검지 로직 및 Application 소프트웨어를 보완하였다.

고장기록은 5회까지의 고장내용을 기록하고 이후 발생되는 고장은 순차적인 시간 순으로 삭제된다. 단, 최초 고장 기록은 삭제되지 않는다. 고장내용 하나당 81개의 프레임이 기록되고 한 프레임에는 22byte의 정보가 기록된다. [표 3-1-1]은 한 프레임에 기록되는 제동정보를 나타낸 것이다.

[표 3-1-1] 한 프레임에 기록되는 제동정보

Text No	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	비고
0	h'3C								Check용
1	제동압력 (bar)								
2	비상	살사 요구	제동 불완해	대차 표시기 접점1	0	트라이 포드 언발런스	0	ASCU 고장	고장 내용
3	추진	제동	0	정차 제동	주차 제동	0	회생 유효	회생 소멸	제동 정보
4	감쇄지령 (%)								
5		0	0	제동압 센서 이상	1축속도 이상	2축속도 이상	3축속도 이상	4축속도 이상	고장 내용
6					1축활주	2축활주	3축활주	4축활주	활주검지 신호
7	0	강제 완해	0	0	대차 표시기 접점2	강제완해 동작중	0	0	제동제어 정보
8	제동 PWM (%)								
9	회생달성 지령 (%)								
10	1축속도 (kph)								
11	2축속도 (kph)								
12	3축속도 (kph)								
13	4축속도 (kph)								
14	표준속도 (kph)								
15	밸브전류 (mA)								
16	h'3E								Check 용
17~21	SPARE								



[그림 3-1-9] 시리얼 포트를 이용한 다운로드 화면

4 디스크/패드의 이상마모

4-1 디스크 PAD 성능확인

4-1-1 KTX/G7 차량 운행패턴 확인

G7 차량에서 확인 된 패드의 수명은 평균 3개월이며 KTX 차량은 평균 12개월 정도로 약 4 배정도 수명 차이가 발생 한다. 이런 수명 차이는 G7 차량이 KTX 차량에 비해 공기제동 사용 빈도수가 많기 때문에 발생 하는 것으로 실제 차량에서 계측된 공기 제동 패턴을 비교하여 패드 수명 단축의 원인을 규명 하고자 한다.

(1) KTX 차량의 운행패턴

□ 시험일시 : 2006년 11월 11일

□ 시험차량 : KTX 고속열차

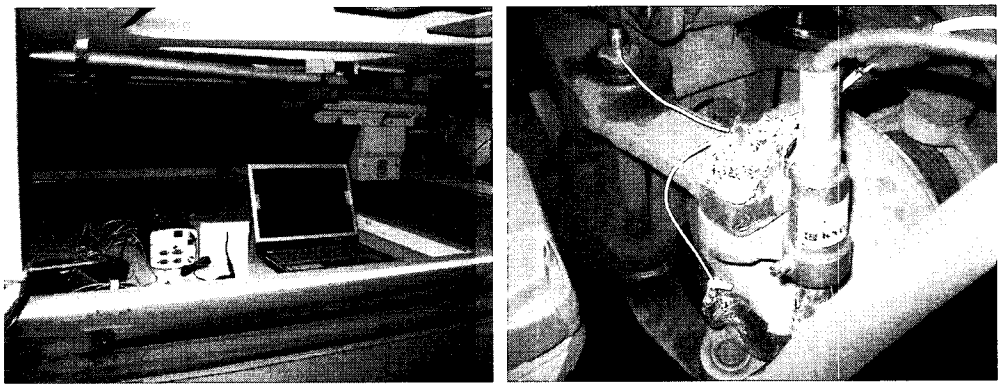
□ 계측위치 : 4편성 12번 대차

□ 시험구간 : 서울 ~ 부산 영업 운행 노선

□ 시험내용 : 제동실린더 BC압력 계측

□ 운행이력

출발역	출발시간	도착역	도착시간
서울역	09:00:38	대전역	09:51:22
대전역	09:54:10	동대구역	10:42:38
동대구역	10:45:24	밀양역	11:15:44
밀양역	11:17:22	부산역	11:51:40



[그림 4-1-1] 압력센서 및 계측기 설치

(2) G7 차량의 운행패턴

☐ 시험일시 : 2006년 9월 13일

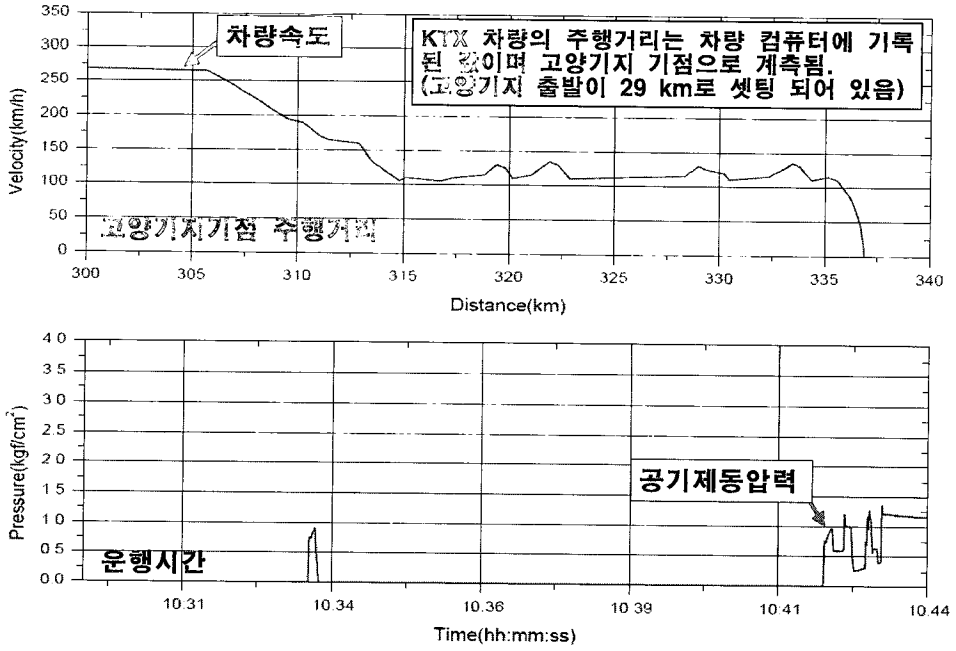
☐ 시험차량 : G7 한국형 고속열차

☐ 계측위치 : 7번대차

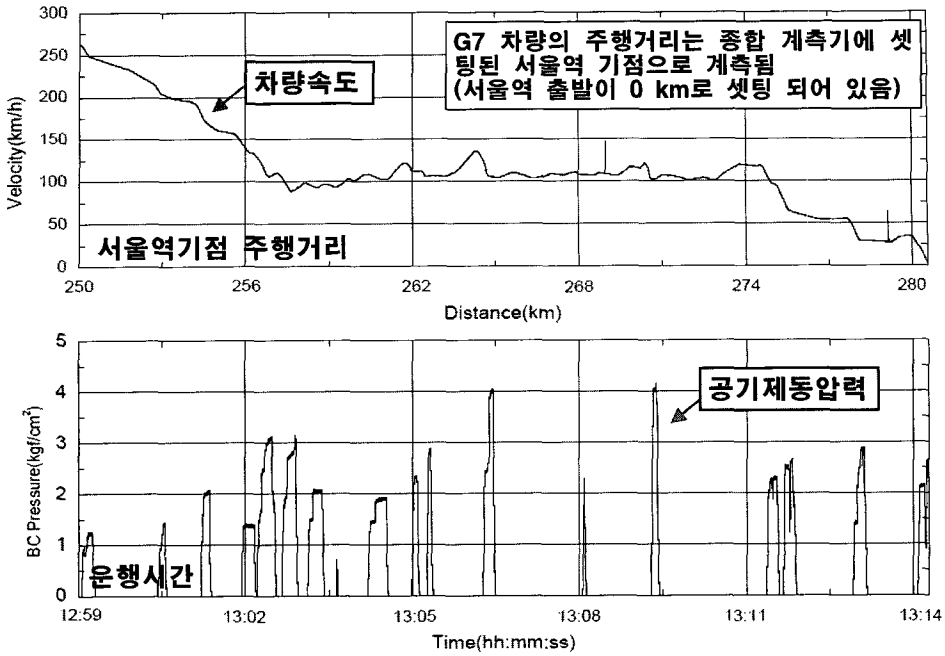
☐ 시험구간 : 광명 ~ 동대구 영업 운행 노선

☐ 시험내용 : 제동실린더 BC압력 계측

☐ 계측방법 : 시운전 종합계측 시스템 데이터에서 추출



[그림 4-1-2] KTX 차량의 속도 및 제동패턴



[그림 4-1-3] G7 차량의 속도 및 제동패턴

(3) 차량의 운행(제동)패턴 비교

① 차량의 비교는 동대구역 진입 시 발생 하는 제동 패턴에 대해 비교 한다.

② KTX 차량의 제동패턴

KTX 차량은 270 km/h 에서 160 km/h까지는 순수한 전기제동만으로 감속하였으며 160 km/h 구간에서 12초간 공기 제동이 발생 한 후 이후 소멸되고 80 km/h 이하에서 공기 제동으로 전환 되었다.

③ G7 차량의 제동패턴

G7차량은 차량 속도 250 km/h 구간부터 공기 제동이 발생하였으며 정지 시까지 반복적으로 공기 제동이 발생 하였다.

④ KTX 차량은 전기제동을 충분히 활용한 후 공기제동으로 전환되는 반면 G7 차량은 전기제동과 동시에 공기제동이 발생하여 공기제동 초속도가 KTX 차량에 비해 높고 공기제동 횟수도 많아서 패드의 수명이 단축 되는 것으로 확인 되었다.

차량	공기제동 초속도	공기제동 발생횟수	공기제동 중 최대압력
KTX 차량	150 km/h	4회	1.4 kgf/cm^2
G7 차량	250 km/h	17회	4.1 kgf/cm^2

4-1-2 G7 차량 현차 적용시험 후 비교 (KTX Pad)

G7차량에서 패드의 마모 특성은 일정한 높이로 마모 되지 않고 디스크 안쪽과 바깥쪽의 마모율이 다르게 나타나며 평균 6~7mm 정도 차이가 발생한다. 초창기 모델에서 이런 편마모의 원인은 패드의 철판(back plate) 두께가 얇아(2mm)변형이 발생하여 편마모를 가속화 시킨 것으로 판단되며 2006년 9월부터 3.6mm로 보강하여 차량에 적용 하였다.

본 시험은 패드의 개선품과 KTX 차량에 적용 된 패드를 동일한 조건에서 운행을 하여 발생하는 마모 패턴을 비교 하는 시험으로 2006년 10월13일 시험 제품을 취부하여 현재 시험

중에 있으며 패드가 완전 마모되는 시점인 2007년 1월경에 종료 될 예정이다.

□ 시험기간 : 2006년 10월 13일 ~ 2007년 1월
□ 시험제품 : KTX 차량용 패드와 G7 차량용 패드
□ 취부위치 :
-.6번대차 A축 2위(KTX), B축5위(G7)
□ 시험방법 :
-.동일한 조건에서 일정 기간 주행 후 패드의 마모 높이 측정 비교
-.패드 마모 측정은 [그림 4-1-4]의 패드에서 8개소의 높이를 측정하여 안쪽(2,4,6,8)과 바깥쪽(1,3,5,7)의 높이를 비교하여 편마모량 확인

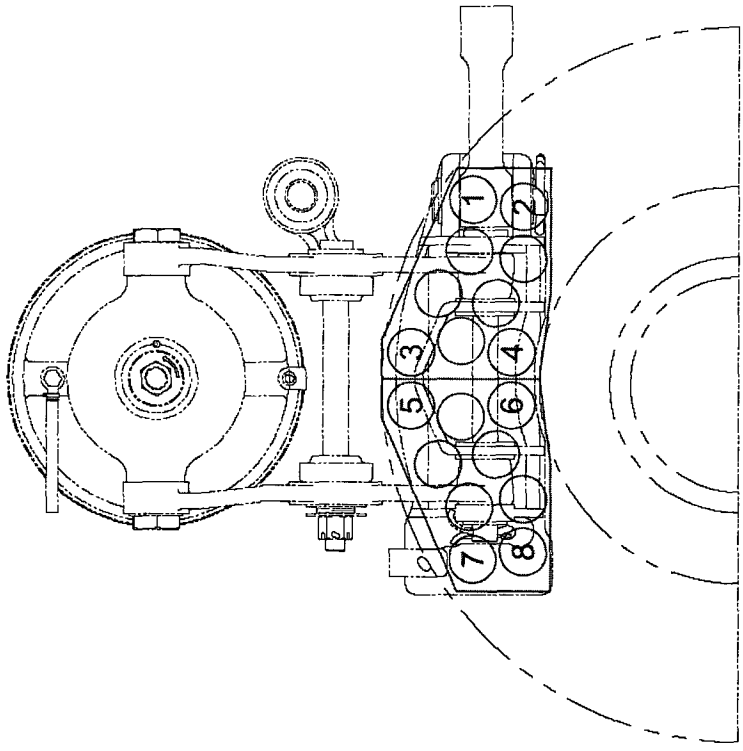
(1) 측정 결과
□ 1차 측정일시 : 2006년 11월6일
□ 1차 주행거리 : 2,888 km 주행

측정위치			스터드 측정 높이(mm)								평균 높이	편마 모량
			1	2	3	4	5	6	7	8		
6번 대차	A-2 KTX용 패드	R	15.0	15.5	15.5	14.8	14.5	14.5	15.0	15.5	15.0	1.0
		L	15.0	15.2	15.5	14.5	15.2	14.0	15.2	15.3	15.0	1.5
	B-5 G7용 패드	R	15.0	14.0	16.5	12.8	16.0	12.5	15.0	13.0	14.4	4.0
		L	15.5	15.0	17.5	13.0	17.0	13.2	15.5	13.8	15.1	4.5

□ 2차 측정일시 : 2006년 12월12일
□ 2차 주행거리 : 7,601 km 주행

측정위치			스터드 측정 높이(mm)								평균 높이	편마 모량
			1	2	3	4	5	6	7	8		
6번 대차	A-2 KTX용 패드	R	11.8	9.3	12.8	9.1	12.6	9.1	10.6	8.9	10.5	3.9
		L	10.4	8.3	11.4	8.4	11.3	7.6	10.8	8.4	9.6	3.8
	B-5 G7용 패드	R	13.3	11.1	15.1	10.7	14.7	10.2	13.0	11.0	12.4	4.9
		L	13.1	10.3	15.7	10.2	15.4	10.1	13.5	10.8	12.4	5.6

7,601 km 주행 시험 결과 패드의 마모량은 평균 약 11mm로 절반정도 마모 된 상태이며 KTX에 사용 중인 제품과 G7 제품 모두 편마모는 발생 된 상태로서 편마모량은 G7 제품이 최대 1.4mm 크게 발생 하였다.



[그림 4-1-4] 패드마모 높이 측정위치

4-1-3 디스크 온도 측정

디스크 온도 측정은 운행 중인 차량에서 공기제동 중에 디스크의 표면에서 발생하는 온도를 확인 하는 시험이다.

□ 시험방법

-.비접촉식 온도 계측기로 디스크 표면의 온도 계측

-.디스크 표면에 열전대를 부착하여 슬립링을 통해 온도 계측

-.패드의 온도를 계측하여 디스크의 표면 온도를 유추

-.시험방법에 대해서는 철도연과 협의 중에 있음.

□ 시험예정일 : 2007년 1월

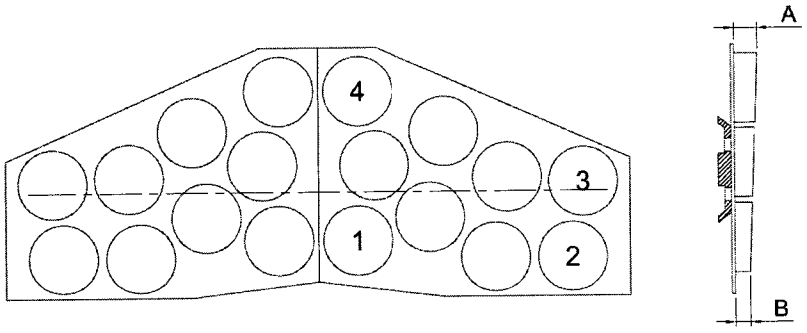
4-1-4 패드마모량 측정시험

패드 마모량 측정시험은 개선된 패드가 차량에 적용된 이후(2006년 9월) 패드의 마모 및 편마모 형태를 조사하는 시험으로 12월30일 최종 점검 후 패드의 개선 사항에 대해보고 할 예정이다. 아울러 이 결과는 차량에서 BBCU에 의한 제동 블렌딩이 구현된 후의 마모 형태와 비교하여 제동 블렌딩의 효율성을 패드 입장에서 확인 할 계획이다.

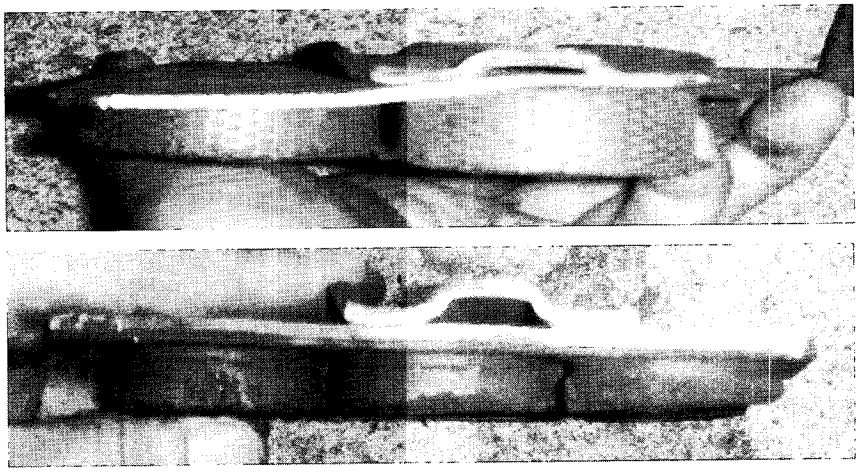
□ 시험기간 : 2006년 9월5일 ~ 2006년 12월30일

□ 점검항목 : 패드의 편마모 특성을 개선전과 비교

□ 측정방법 : [그림 4-1-5]에서 지정된 위치의 높이 측정



[그림 4-1-5] 패드의 스터드 마모 높이 측정 위치



[그림 4-1-6] 패드의 철판 변형(상:개선전, 하:개선후)



[그림 4-1-7] 패드의 스터드 마모 상태

패드의 스터드가 파손 된 상태(그림.4-1-7)는 제동 블렌딩이 적용 된 이후 공기 제동 분담율이 낮아지면 파손 없이 진원을 형성 하면서 마모 될 것으로 판단하며 이 부분에 대해서는 제동 블렌딩 적용 전/후에 대해 일정 기간 사용 이후 마찰 면적을 비교하여 패드가 파손 없이 마모 되는 것을 검증 할 계획이다.

4-2 디스크 다이나모 시험

4-2-1 다이나모 예비시험

G7 차량의 디스크는 표면에 열 크랙이 발생 된 상태이며 열 크랙의 발생 원인으로는 패드의 열섬(Hot Spot) 현상, 공기 제동 분담율의 증가 등을 원인으로 보고 있다. 향후 개선된 패드를 적용하여 패드의 열섬 현상을 최소화 시키고 제동 블렌딩을 통해 공기 제동 분담율을 낮춘다면 열 크랙은 발생 하지 않을 것으로 판단된다.

디스크 다이나모 시험은 차량에서 발생 할 수 있는 여러 가지 제동 상황을 설정하고 이 조건에서 시험을 실시하여 디스크의 발생 최고 온도, 디스크 표면의 크랙 발생 여부 등을 확인 하는 시험이다. 다이나모 시험에는 디스크 제작사가 보증 할 수 있는 패드를 사용하여 시험 하였다.

(1) 시험조건

차량에서 발생 할 수 있는 제동 조건은 다음과 같으며 각각의 경우에 발생 하는 제동 에너

지를 계산하면 표 4-2-1과 같이 정리된다. 6가지 제동 조건은 KTX-II 차량의 만차 조건에서 계산 된 것임.

□ Case.1 정상 조건에서 상용, 비상 제동,
: 동력대차와 부수대차의 회생제동과 공기제동이 모두 정상인 경우

□ Case.2 공기 제동만 사용
: 회생제동은 완전 차단 된 상태에서 공기 제동만 사용 하는 경우

□ Case.3 1개의 동력대차 고장
: 1개 동력대차의 회생제동 과 공기제동(답면) 모두 고장

□ Case.4 1개의 동력대차 고장 + 1개의 부수대차 고장
: 1개 동력대차의 회생제동 과 공기제동(답면) 모두 고장, 1개 부수대차의 공기 제동만 고장이 발생 한 경우

□ Case.5 1개의 동력대차 고장 + 3개의 부수대차 고장
: 1개 동력대차의 회생제동 과 공기제동(답면) 모두 고장, 3개 부수대차의 공기 제동만 고장이 발생 한 경우

□ Case.6 1개의 동력대차에서 회생제동만 고장
: 1개 동력대차의 회생제동만 고장, 부수대차의 공기 제동은 모두 정상

[표 4-2-1] 제동조건별 제동에너지(MJ)

공차조건		공차조건	만차조건
Case.1	상용	14.7	16.0
	비상	16.4	17.8
Case.2		18.5	20.1
Case.3		17.4	18.9
Case.4		18.8	20.4
Case.5		22.5	24.4
Case.6		14.4	15.6

(2) 시험내용

다이나모 시험은 표 4-2-1의 조건 중 정상적인 제동 조건인 Case1.의 상용, 비상 제동을 각 3회, 최대 제동 에너지가 발생 하는 Case.5에서 1회 실시 하여 총 7회의 시험을 하는 것으로 하였다.

□ 시험일시 : 2006년 8월2일
□ 시험장소 : 이태리 POLI사
□ 시험절차 :

[표 4-2-2] 다이나모 시험 절차

No	제동초속도 (km/h)	정지속도 (km/h)	감속도 (m/s^2)	초기온도 (°C)	제동조건
1	300	0	0.92	50	Case.1-상용 16.0 MJ
2	300	0		50	
3	300	0		100	
4	300	0	1.09	50	Case.1-비상 17.8 MJ
5	300	0		50	
6	300	0		100	
7	300	0	0.79	50	Case.5 24.4 MJ

(3) 성능시험 평가항목

시험 후 디스크의 안전성을 평가하는 항목은 [표 4-2-3]과 같다.

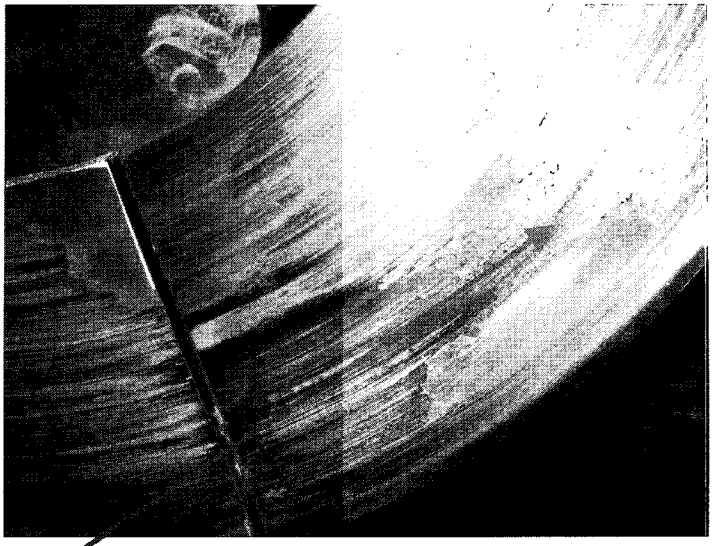
[표 4-2-3] 성능시험 평가항목

No	평가항목	관리기준
1	디스크 온도	최대 680°C
2	디스크 변형	육안으로 확인 시 변형은 없어야 함.
3	디스크 열크랙	정상조건에서 없어야 함.

** 디스크의 관리 온도 680°C는 디스크의 최종 열처리 온도로 이 온도를 넘어서면 디스크 조직의 변태가 시작하는 온도이다.

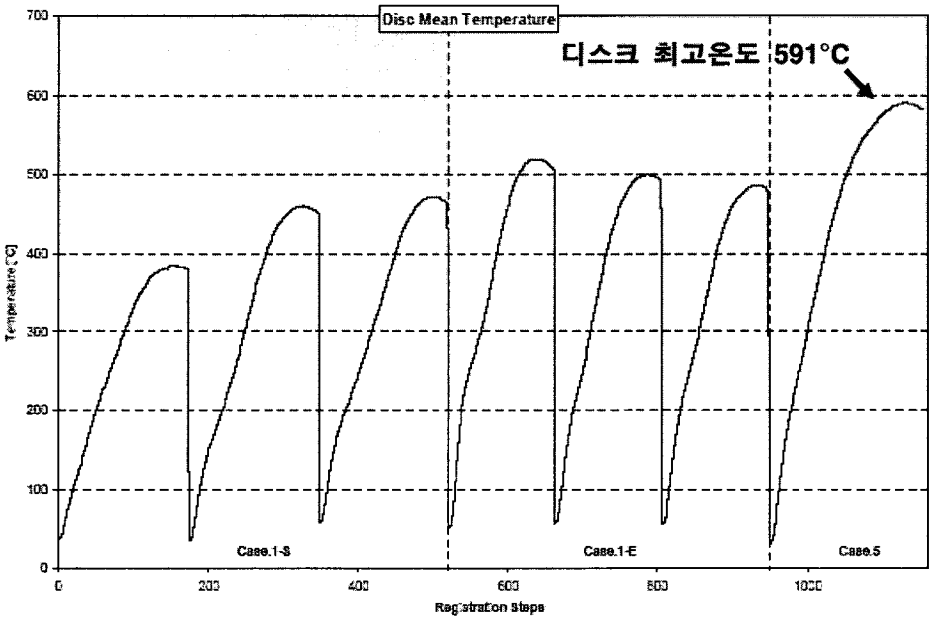
(4) 시험결과

7회의 시험 동안 제동 에너지는 총 125.8 MJ이 디스크에 전달되었으며 시험 중 발생 한 최고 온도는 591°C로 디스크의 관리 온도 680°C를 넘지 않았다. 시험 후 디스크는 육안으로 확인되는 변형은 없었으며 표면에 열 크랙은 발생 하지 않았다. 최종적으로 디스크 제작사가 보증하는 패드를 적용한 이 시험에서 디스크의 안전성은 검증이 되었다.



디스크 표면은 패드의 마찰 성분이 부착되어 있음.
이 현상은 소결 패드에서 발생 하는 일반적인 현상으로 300도 이상의 고온의 마찰 시 발생하는 현상으로 마찰 성능에는 영향을 미치지 않는다.

[그림 4-2-1] 시험완료 후 디스크 표면사진



[그림 4-2-2] 디스크 발생 온도

4-2-2 시험절차 협의

KTX 차량에 적용된 4개의 Solid 디스크는 제동 초속도 330 km/h에서 발생 하는 제동 에너지인 24 MJ 조건에서도 디스크의 안전성에 문제가 없음을 시뮬레이션을 통해 검증 하였다. 이 조건을 3개의 Ventilated 디스크에 적용하면 32 MJ에 해당하며 예비시험에서 진행한 시험조건 외에 32 MJ 조건에서도 디스크의 안전성을 검증 하는 것으로 협의 하였다.

(1) 시험조건

시험조건은 예비 시험의 6가지 조건에 Case.7의 32MJ 조건을 추가하였다. 32 MJ의 제동 에너지 조건은 2개의 동력대차와 3개의 부수 대차가 고장난 상황에서 발생하는 제동 에너지이다.

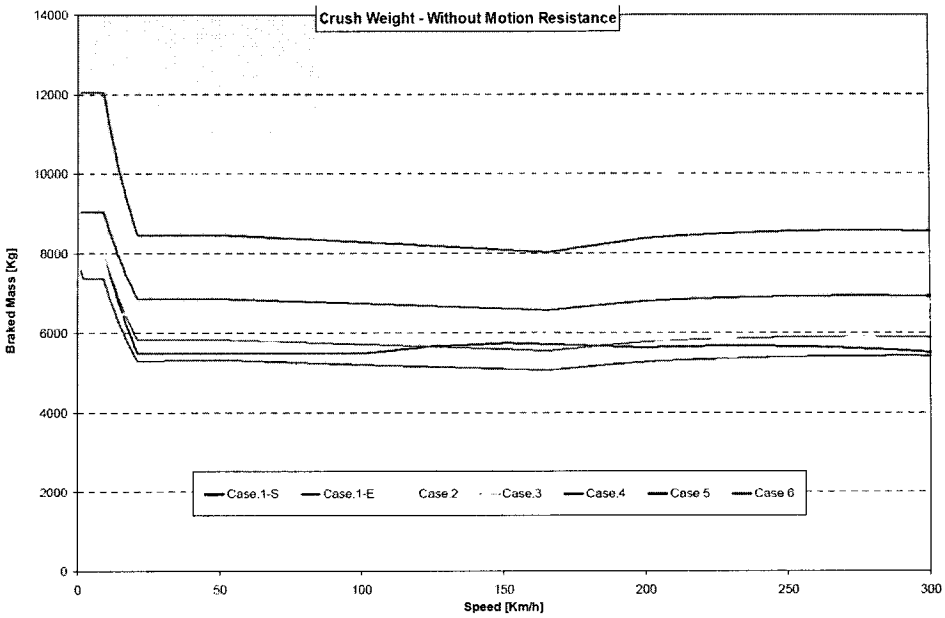
☐ Case.1 정상 조건에서 상용, 비상 제동
☐ Case.2 공기 제동만 사용
☐ Case.3 1개의 동력대차 고장
☐ Case.4 1개의 동력대차 고장 + 1개의 부수대차 고장
☐ Case.5 1개의 동력대차 고장 + 3개의 부수대차 고장
☐ Case.6 1개의 동력대차에서 회생제동만 고장
☐ Case.7 2개의 동력대차 고장 + 3개의 부수대차 고장

각각의 차량 운행 조건에서 제동 에너지는 차량의 전체 제동력과 디스크 제동력을 계산하여 디스크 당 제동 중량을 계산 하고 이 값을 이용하여 속도 변화에 따른 운동 에너지를 계산하여 제동 에너지로 적용한다.

$$BM(v) = \frac{W \cdot F_{T/D}(v)}{F_{T/T}(v) \cdot N_D},$$

$$E_D = \frac{1}{2} \cdot \sum_{v=300}^{1} [BM(v) \cdot v^2 - BM(v-1) \cdot (v-1)^2]$$

$BM(v)$: 제동 중량, W : 차량 하중, $F_{T/D}$: 디스크의 전체 제동력,
$F_{T/T}$: 전체 제동력, N_D : 디스크 수량, E_D : 제동 에너지



[그림 4-2-3] 디스크 제동 중량

[표 4-2-4] 제동조건별 제동에너지(MJ)

공차조건		공차조건	만차조건
Case.1	상용	14.7	16.0
	비상	16.4	17.8
Case.2		18.5	20.1
Case.3		17.4	18.9
Case.4		18.8	20.4
Case.5		22.5	24.4
Case.6		14.4	15.6
Case.7		32 MJ(330 km/h)	

(2) 시험내용

다이나모 시험은 표 4-2-4의 조건 중 정상적인 제동 조건인 Case1.의 상용, 비상 제동을 각 3회, Case.5에서 3회, Case.7에서 3회 실시 하여 총 12회의 시험을 하는 것으로 하였다.

□ 제동중량 : 제동에너지 패턴에 따라 변화

□ 제동직경 : 890 mm
□ 제동패드 : Carbone Lorraine - Model No.G35
□ 디 스 크 : 5-Segment Ventilated Cast Steel 디스크
□ 시험절차 :

[표 4-2-5] 다이나모 시험절차

No	제동초속도 (km/h)	정지속도 (km/h)	감속도 (m/s^2)	초기온도 (°C)	제동조건
1	300	0	0.92	50	Case.1-상용 16.0 MJ
2					
3					
4	300	0	1.09	50	Case.1-비상 17.8 MJ
5					
6					
7	300	0	0.79	50	Case.5 24.4 MJ
8					
9					
10	330	0	0.80	80	Case.7 32.0 MJ
11					
12					

(3) 성능시험 평가항목

시험 후 디스크의 안전성을 평가하는 항목은 표 4-2-6과 같다.

[표 4-2-6] 성능시험 평가항목

No	평가항목	관리기준
1	디스크 온도	최대 680°C
2	디스크 변형	육안으로 확인 시 변형은 없어야 함.
3	디스크 열크랙	정상조건에서 없어야 함.

** 디스크의 관리 온도 680°C는 디스크의 최종 열처리 온도로 이 온도를 넘어서면 디스크 조직의 변태가 시작하는 온도이다.

4-2-3 다이나모 시험(입회)

협의된 절차에 따라 아래와 같이 일정으로 디스크 다이나모시험이 진행 되었다.

□ 시험일시 : 2006년 9월14일~15일
□ 시험장소 : 이태리 POLI사
□ 입 회 자 : 유진기공산업(주), 철도기술연구원, (주)로템
□ 시험내용 :
(1) 32 MJ 에너지를 포함한 디스크 다이나모 시험
(2) 제동 시 발생 하는 디스크 최대 온도 확인

(3) 시험 후 디스크 변형 및 열 크랙 확인

4-2-4 시험보고서 제출

(1) 시험결과

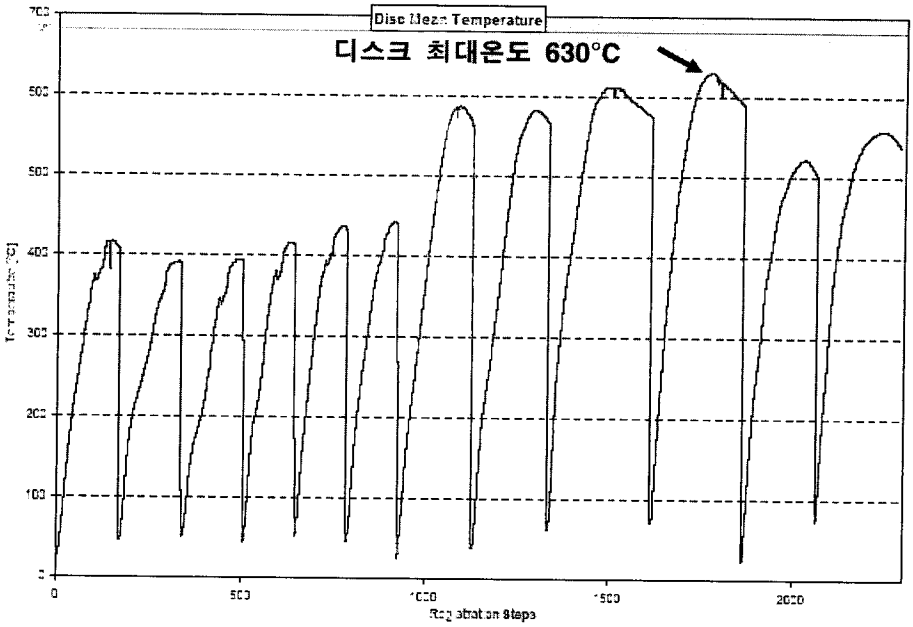
12회의 시험 동안 제동 에너지는 총 270.6 MJ이 디스크에 전달되었으며 시험 중 발생 한 최고 온도는 32 MJ 조건에서 630°C로 디스크의 관리 온도 680°C를 넘지 않았다. 시험 후 디스크는 육안으로 확인되는 변형은 없었으며 표면에 열 크랙은 발생 하지 않았다. 최종적으로 제동 초속도 330km/h의 32 MJ 제동 에너지 조건에서도 디스크의 안전성은 검증이 되었다.

[표 4-2-7] 다이나모 시험 결과

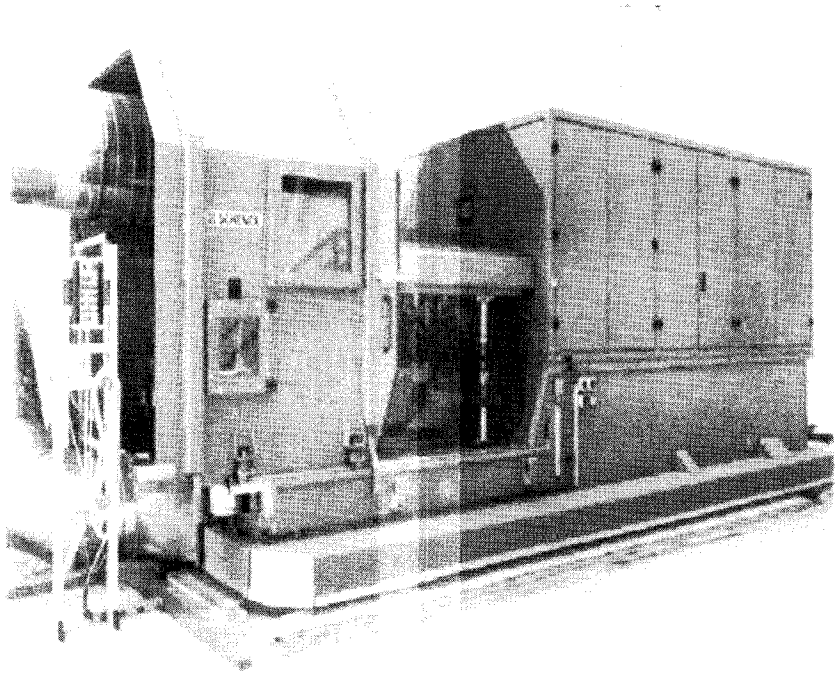
No	평가항목	시험결과
1	디스크 온도	630°C
2	디스크 변형	없음.
3	디스크 열크랙	없음.

[표 4-2-8] 다이나모 시험 결과

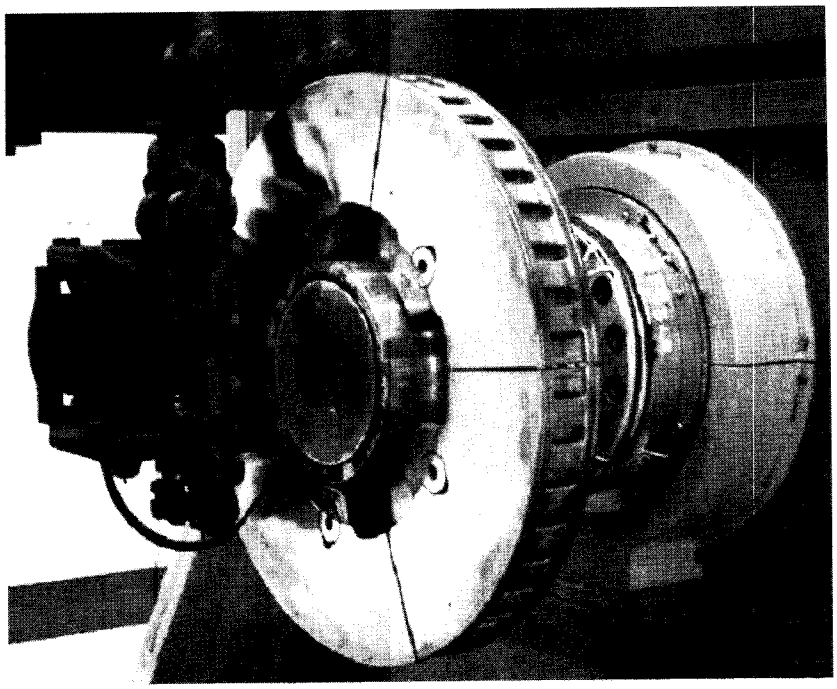
No	초속도 (km/h)	정지속도 (km/h)	감속도 (m/s^2)	초기온도 (°C)	제동에너지 (MJ)	발생온도 (°C)	열크랙
1	300	0	0.92	50	16	416	없음
2	300	0				392	
3	300	0				393	
4	300	0	1.09	50	17.8	415	없음
5	300	0				435	
6	300	0				442	
7	300	0	0.79	50	24.4	587	없음
8	330	0	0.80	80	32	582	없음
9	300	0	0.79	50	24.4	612	없음
10	330	0	0.80	80	32	630	없음
11	300	0	0.79	50	24.4	522	없음
12	330	0	0.80	80	32	558	없음



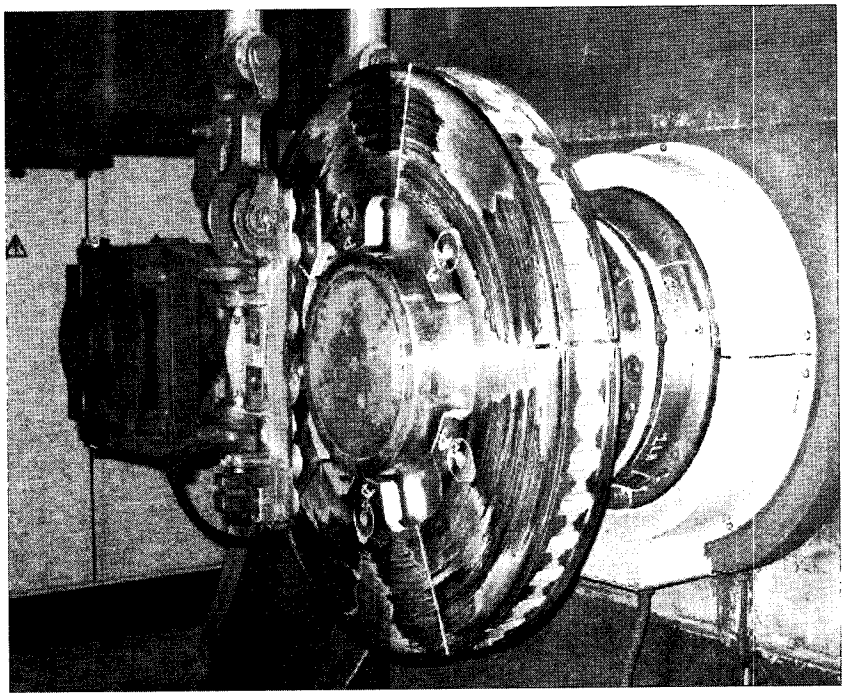
[그림 4-2-4] 디스크 발생 온도



[그림 4-2-5] 다이나모 시험장치



[그림 4-2-6] 시험 전 디스크 사진



[그림 4-2-7] 시험 후 디스크 사진

POLI사 다이나모 시험 보고서

YUJIN MACHINERY Ltd

KTX-II

High Speed Train for Honam Line

TEST SPECIFICATION AND REPORT

TYPE TEST

POLI BRAKE DISC 14000

Technical Note 00929.0

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.
Via Fontanella, 11
26010 CAMISANO (CR) - ITALIA

Technical Note 00929

Prepared by:	**Ing. Simone FACCHI**	Signature
Controlled by:	**Ing. Cristiano POLI**	Signature
Approved by:	**Ing. Paolo POLI**	Signature

REVISIONS

Issue	Date	Description
0	22.09.06	First edition.

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.
According to all in-force laws, this document is our copyright property and it must not be copied, loaned or otherwise disclosed to competitors or third parties, for any purpose, without our written permission.

CONTENTS

1	PURPOSE AND APPLICATION	3
2	REFERENCE DOCUMENTS	3
3	TESTING PROCEDURE	4
	3.1 DESCRIPTION OF THE TEST RIG	4
	3.2 DEFINITION OF PARAMETERS AND MEASURING METHOD	5
	3.3 TEST PROGRAM	6
4	MATERIAL DEFINITION	10
	4.1 BRAKE DISC	10
	4.2 FRICTION PADS	11
5	EVALUATION OF TEST RESULTS	12
6	COMMENTS	16

APPENDICES

Appendix 1: POLI drawing 14000-05, brake disc Ø 640 × 80 mm.

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.

According to all in-force civil, intl. document is our exclusive property and it must not be copied, loaned or otherwise disclosed to companies or third parties, for any purpose, without our written permission.

POLI - Mod. 0302

3 TESTING PROCEDURE

3.1 DESCRIPTION OF THE TEST RIG

Dynamometer test bench fits to perform braking tests simulating the use of materials on railways vehicles, according to UIC 541-3 requirements.
The main characteristics of the dynamometer test bench (Figure 3.1) are the following:

- Manufacturer: SCHENCK PEGASUS GmbH, Darmstadt
- Year of construction: 2000
- Seat: R&D Department, POLI S.p.A., Camisano
- Motor supply: DC
- Nominal power: 665 KW
- Max. rotational speed: 2'400 rpm
- Max. braking torque: 30'000 Nm
- Max. braking torque in drag braking: 5'000 Nm
- Basic mass: 147.5 Kgm²
- Flywheel 1: 300 Kgm²
- Flywheel 2: 600 Kgm²
- Flywheel 3: 1'200 Kgm²
- Total mechanical inertia: 2'247.5 Kgm²
- Max. simulated inertia: 3'500 Kgm²
- Inertia regulation step: 0.1 Kgm²
- Minimum brake disc diameter: 300 mm
- Maximum brake disc diameter: 1'350 mm

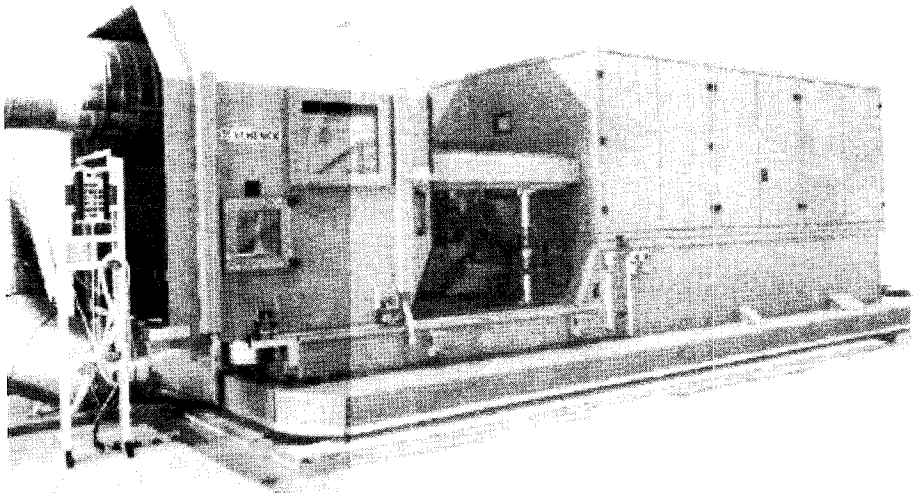


Figure 3.1

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.
According to all in-force laws, this document is our copyright property and it must not be copied, loaned or otherwise disclosed to competitors or third parties, for any purpose, without our written permission.

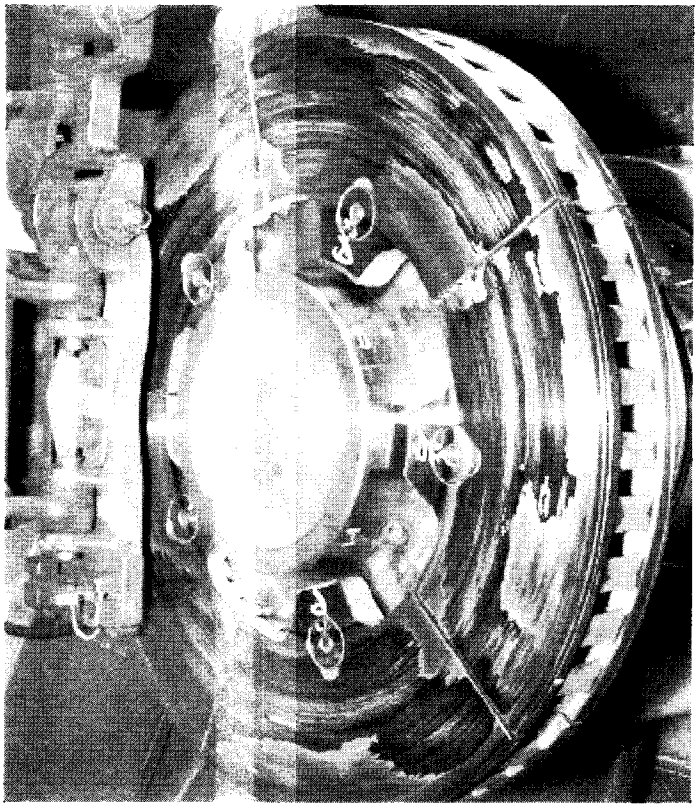


Figure 5.7

5.1 COMMENTS

The measured temperatures and the pad wear visible in Figure 5.4 and Figure 5.5 witness the heaviness and the special character of the braking applications from the Nr. 7 to the Nr. 12: such braking applications are only useful to evaluate the mechanical and thermal capability of the brake disc.

The disc mean temperature (max. = 630 °C) has never exceeded the upper limit of the disc material (620 °C).

The disc friction surfaces do not denote any sign of mechanical aggressiveness by the friction pads at the end of the test. The friction crown of the disc is partially covered by a thin film of friction material. This phenomenon is a characteristic of the Carbone Lorraine's materials. The copper included in matrix metallic transfers on the disc when the average temperature is over 300°C. Carbone Lorraine have the same

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.
According to all in-force laws, this document is our exclusive property and it must not be copied, loaned or otherwise disclosed to competitors or third parties, for any purpose, without our written permission.
POLI

phenomenon on the TGV trains during emergency braking applications, whereas it does not happen during the normal service.
This friction material film does not affect the friction behaviour of the couple disc-pads and it is removed during the standard service when the braking applications clean the disc surface.
No thermal cracks or any light hair cracks are visible as far as it is observable by a visual inspection on the disc still mounted on the test bench after the test.

No failure in the friction pads material is visible after the test.

All the results and comments shown in the present Report are characteristics of tested materials under the specified hypothesis.

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.
According to all in-force laws, this document is our copyright property and it must not be copied, loaned or otherwise disclosed to competitors or third parties, for any purpose, without our written permission.
POLI - Mod. 002/2

6 CONCLUSIONS

The results we obtained and summarized in this Test Report allow the following conclusions:

1. the POLI brake disc 14000 is suitable for the KTX-II application with three (3) disc per axle configuration;

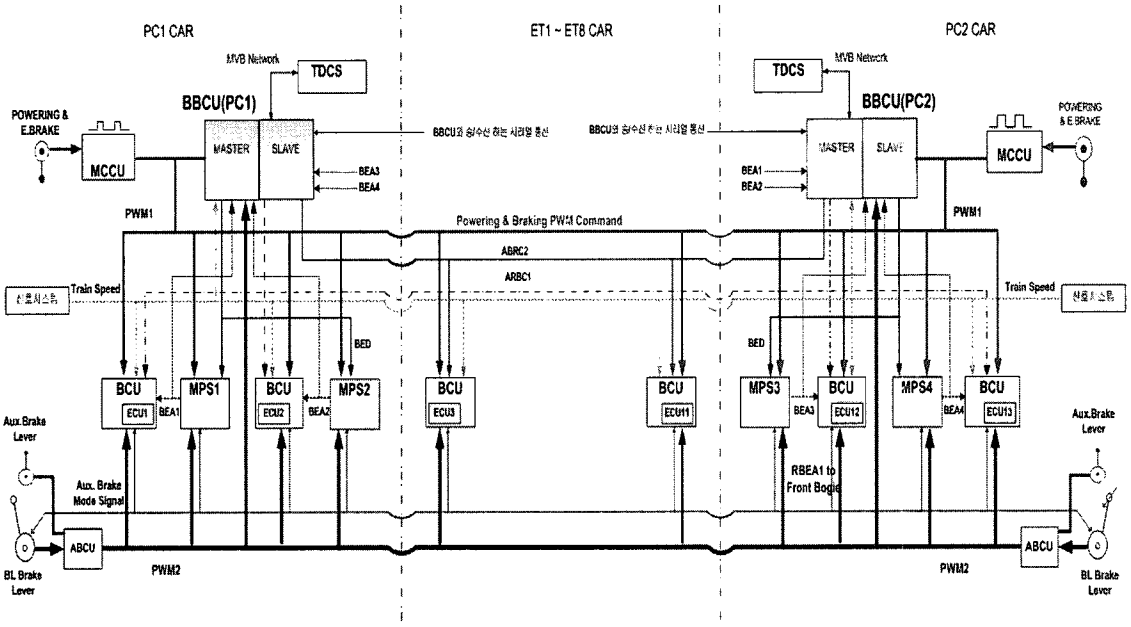
2. even the repetition and the heaviness of the braking applications dissipating 32 MJ, the POLI brake disc has not displayed any sign of failure and mechanical weakness.

POLI COSTRUZIONE MATERIALI TRAZIONE S.p.A.
According to all in-force laws, this document is our copyright property and it must not be copied, loaned or otherwise disclosed to competitors or third parties, for any purpose, without our written permission.

4-3 BBCU 시스템 검토 및 상세설계

4-3-1 기본설계

BBCU(Brake Blending Control Unit)는 제동시 필요한 제동력을 최대한 회생제동력으로 제어할 수 있도록 유도하는 장치로써, [그림 4-3-1]은 전체적인 제동블렌딩 시스템의 개요도를 나타낸 것이다



[그림 4-3-1] 제동블렌딩 시스템 개요도

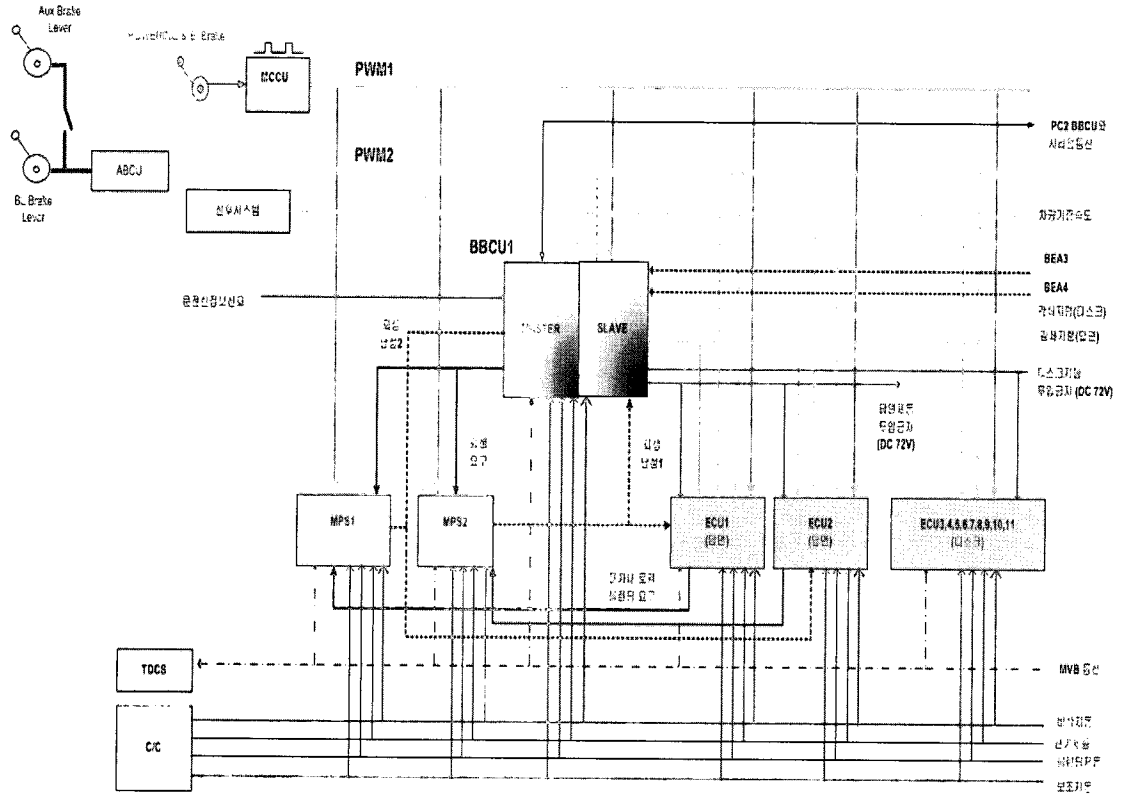
BBCU(Brake Blending Contorl Unit)는 차량으로부터 인가되는 PWM1(전기제동지령)과 PWM2(종합 제동지령)을 수신하고 전체 제동력을 연산하여 우선적으로 전기제동을 요구한 다음 견인제어장치로부터 전기제동달성지령을 수신하고 전기제동달성 정도에 따라 일차적으로 답면제동제어장치에 공기제동감쇄지령을 출력하여 공기제동 사용을 저감시키고, 전기제동력이 충분할 경우 디스크제동 제어장치에 공기제동감쇄지령을 출력한다.

답면제동제어장치와 디스크제동제어장치는 각각의 장치로 입력되는 제동감쇄지령을 수신하고 연산된 제동력 프로파일에서 감쇄지령 만큼의 제동력을 감한 후 공기제동을 체결한다.

PWM1과 PWM2 지령이 동시 입력되면 두개의 지령을 합산하여 제동력 프로파일을 계산하고, 전기제동 요구력 대비 전기제동 달성지령이 작을 경우에는 전기제동 요구력을 증가하여 전기 제동력을 최대한 사용할 수 있도록 제어한다.

PC1측과 PC2측에 편성당 2 SET의 BBCU가 장착되고 각각의 SET는 마스터 기능과 슬레이브 기능을 갖는 시스템으로 이중화되어 마스터 BBCU가 Fail이 발생할 경우에는 슬레이브 시스템으로 자동 절환 되도록 구성되어 있다. 또한 BBCU 시스템에 완전 Fail이 발생할 경우에는 견인제어장치로 출력되는 전기제동 요구력이 없게 되므로 견인제어장치는 제동지령(PWM1,2)의 지령을 추종하는 프로파일을 수행한다.

4-3-2 상세설계



[그림 4-3-2] 상세 입출력 신호

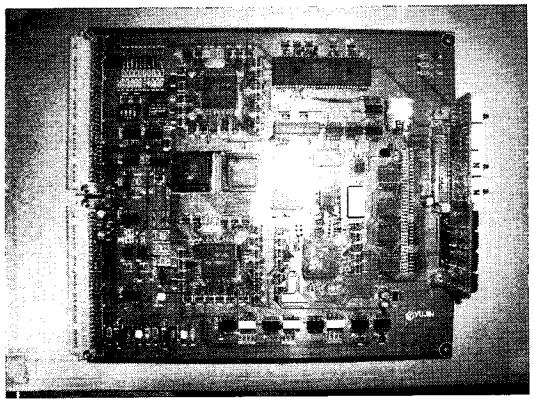
[그림 4-3-2]는 상세 입출력 신호를 나타낸 것으로 입력신호로는 마스콘 지령인 PWM1, 제동레버에 의한 지령인 PWM2가 있고, DC72V 입력신호로는 비상제동모드, 전기제동 모드, 블렌딩제동 모드, 정차제동 모드가 있다. PWM1 지령이 입력될 경우에는 전기제동 모드가 입력되고 PWM1과 PWM2 지령이 모두 입력될 경우에는 전기제동 모드와 블렌딩제동 모드가 동시에 차량으로부터 입력된다.

출력신호로는 견인제어장치에 전기제동을 요구하는 전기제동요구지령(PWM 신호), 답면제동제어장치에 공기제동력 사용량을 감소시키는 답면제동감쇄지령, 그리고 디스크제동력 사용량을 감소시키는 디스크 제동 감쇄지령이 있다. PWM 신호레벨은 DC72V에 500Hz이고 기본값은 10%, 최대 값은 90%로 설정한다.
또한 BBCU에서 출력하는 DC72V 모드지령으로 답면과 디스크 제동제어장치 각각에 대해 공기제동력 사용 여부를 판단할 수 있도록 공기제동력 투입 신호가 출력된다.

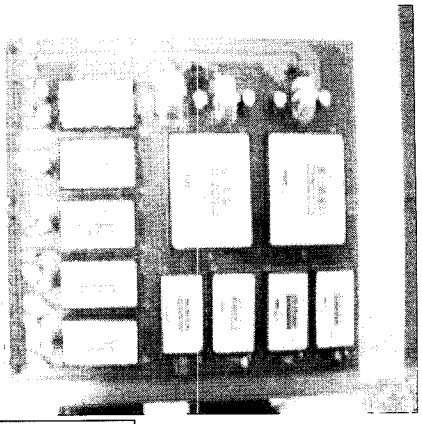
장치 구성은 PWM 지령을 수신하고 제동력을 연산하여 전기제동을 요구하는 지령, 공기제동감쇄지령(답면,디스크)을 연산하는 메인제어 CPU와 DC72V 입/출력 신호를 제어하는 인터페이스1 보드, PWM입력과 출력신호의 중계 역할을 하는 인터페이스2 보드, 그리고 제어에 필요한 전원공급을 위한 파워서플라이 보드, 네트워크 통신을 담당하는 통신전용보드

로 구분된다. [그림 4-3-3]은 이를 구성하는 각 보드의 사진이다.

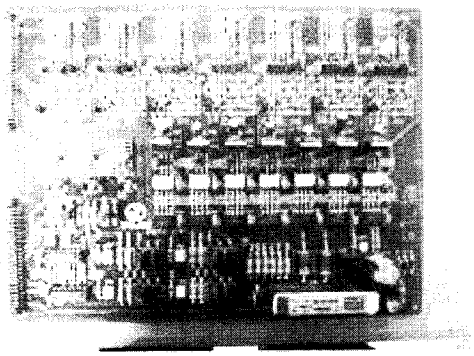
CPU 보드



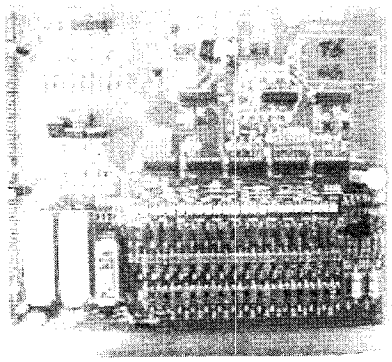
파워보드



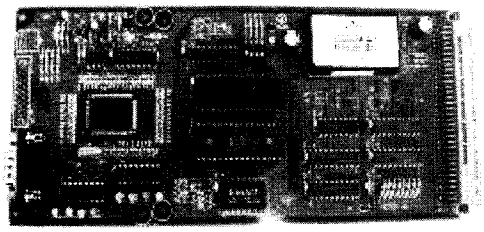
IF2 보드



IF1 보드



통신전용 보드



[그림 4-3-3] 시스템 구성보드

4-3-3 Software 포팅 및 기능시험

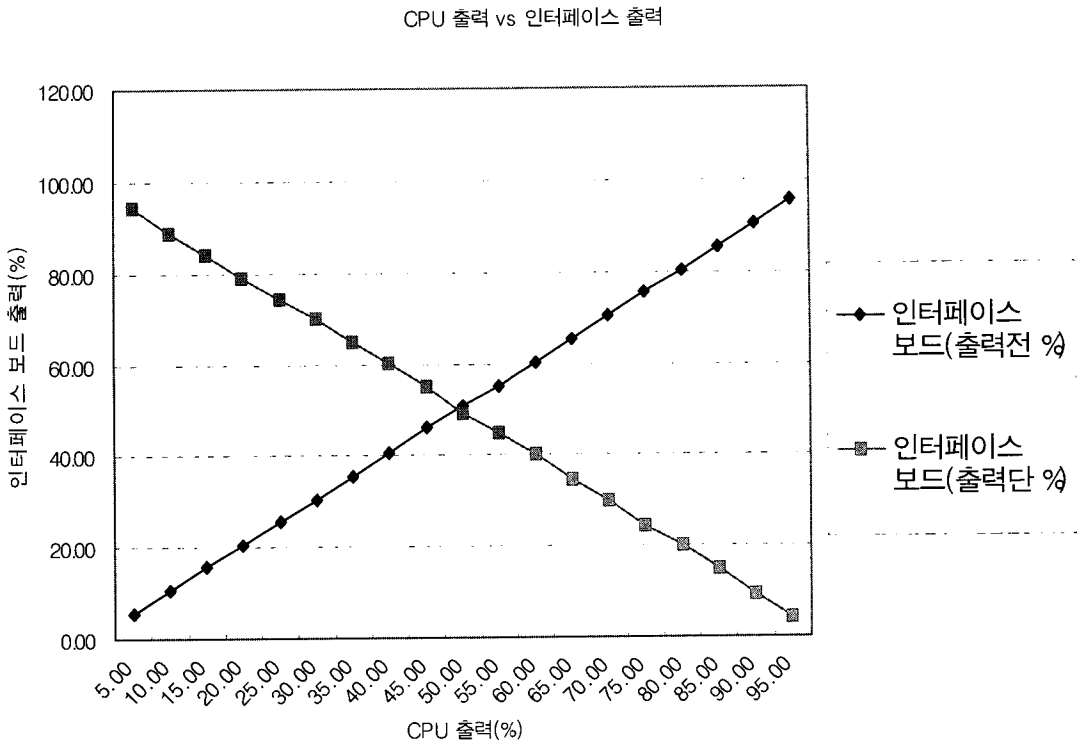
1) 기능시험

BBCU(Brake Blending Control Unit)의 각 보드별 입/출력 특성을 확인하기 위한 시험으로, [표 4-3-1]의 결과는 CPU 보드에서 5%에서 95%까지 5% 단위로 값을 출력하고, 인터페이스 보드를 경유하여 출력되는 PWM 출력을 Check한 데이터이다.

[표 4-3-1] PWM 신호 입/출력 특성

CPU 출력(%)	인터페이스 보드 (출력전 %)	인터페이스 보드 (출력단 %)	출력 오차 (%)	PWM 입력 (%)	기준 (V)	입력 오차 (V)
5.00	5.70	94.30	0.00	0.70	0.50	0.10
10.00	10.70	88.70	0.60	1.20	1.00	0.10
15.00	15.60	84.20	0.20	1.70	1.50	0.10
20.00	20.60	79.20	0.20	2.20	2.00	0.10
25.00	25.60	74.30	0.10	2.70	2.50	0.10
30.00	30.50	70.20	-0.70	3.20	3.00	0.10
35.00	35.30	64.80	-0.10	3.70	3.50	0.10
40.00	40.40	60.30	-0.70	4.20	4.00	0.10
45.00	46.00	54.90	-0.90	4.70	4.50	0.10
50.00	50.70	49.30	0.00	5.10	5.00	0.00
55.00	55.20	44.90	-0.10	5.60	5.50	0.00
60.00	60.30	40.30	-0.60	6.10	6.00	0.00
65.00	65.20	34.70	0.10	6.60	6.50	0.00
70.00	70.30	29.80	-0.10	7.00	7.00	-0.10
75.00	75.60	24.20	0.20	7.50	7.50	-0.10
80.00	80.40	20.20	-0.60	8.00	8.00	-0.10
85.00	85.60	14.80	-0.40	8.50	8.50	-0.10
90.00	90.60	9.20	0.20	9.00	9.00	-0.10
95.00	95.60	4.20	0.20	9.50	9.50	-0.10

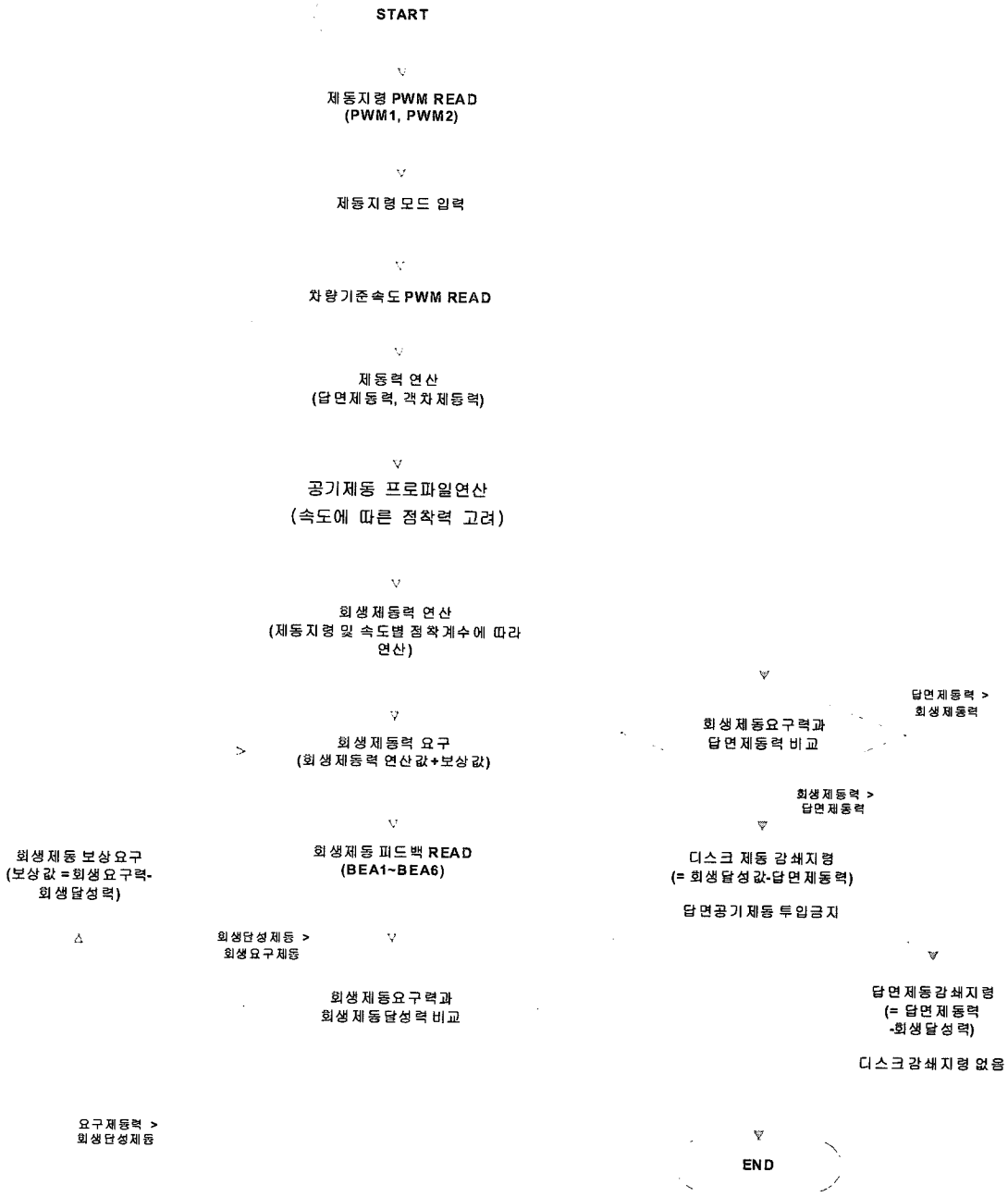
[그림 4-3-4]의 그래프에서 출력 신호의 선형성을 확인할 수 있다.



[그림 4-3-4] PWM 입/출력 특성 그래프

2) 제어로직

제어블렌딩의 기본제어 로직은 [그림 4-3-5]와 같다.



[그림 4-3-5] BBCU 제어로직

4-3-4 성능시험(시험실)

현재 보드별 기능시험을 진행 중이며, 시험완료 후 완성품의 성능 검사를 2006년 12월26일까지 진행 예정이다.

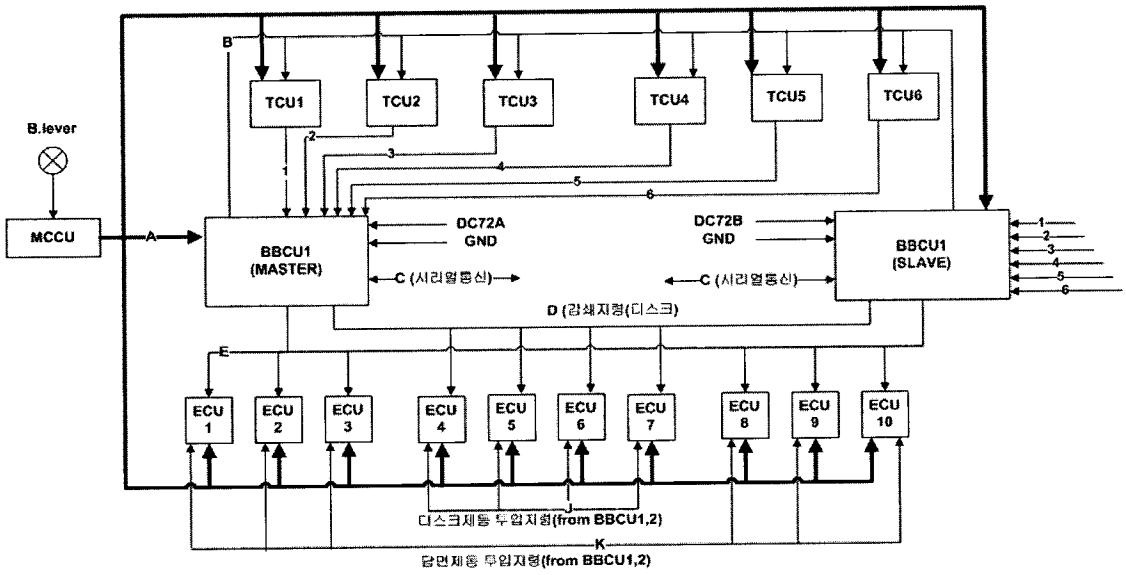
4-4 BBCU Blending Algorithm 및 Software 수정

4-4-1 BBCU Blending Algorithm 및 Software 수정

차량에 장착 상태에서 각 장치들 간 조합시험 및 기능시험 완료 후 시험결과를 반영하여 제어로직을 재검토하고 07년 1월 15일 완료까지 완료하여 주행시험 진행 예정이다.

4-5 차량 및 관련장치 인터페이스 변경사항

하드와이어 배선을 이용하여 제동블렌딩 제어를 수행하기 위하여 BBCU와 견인제어장치 간 배선, BBCU와 제동제어장치간 배선, 그리고 견인제어장치와 제동제어장치간 배선 가설 작업을 진행하여 [그림 4-5-1]과 같이 2006년 12월 10일 완료하였다.

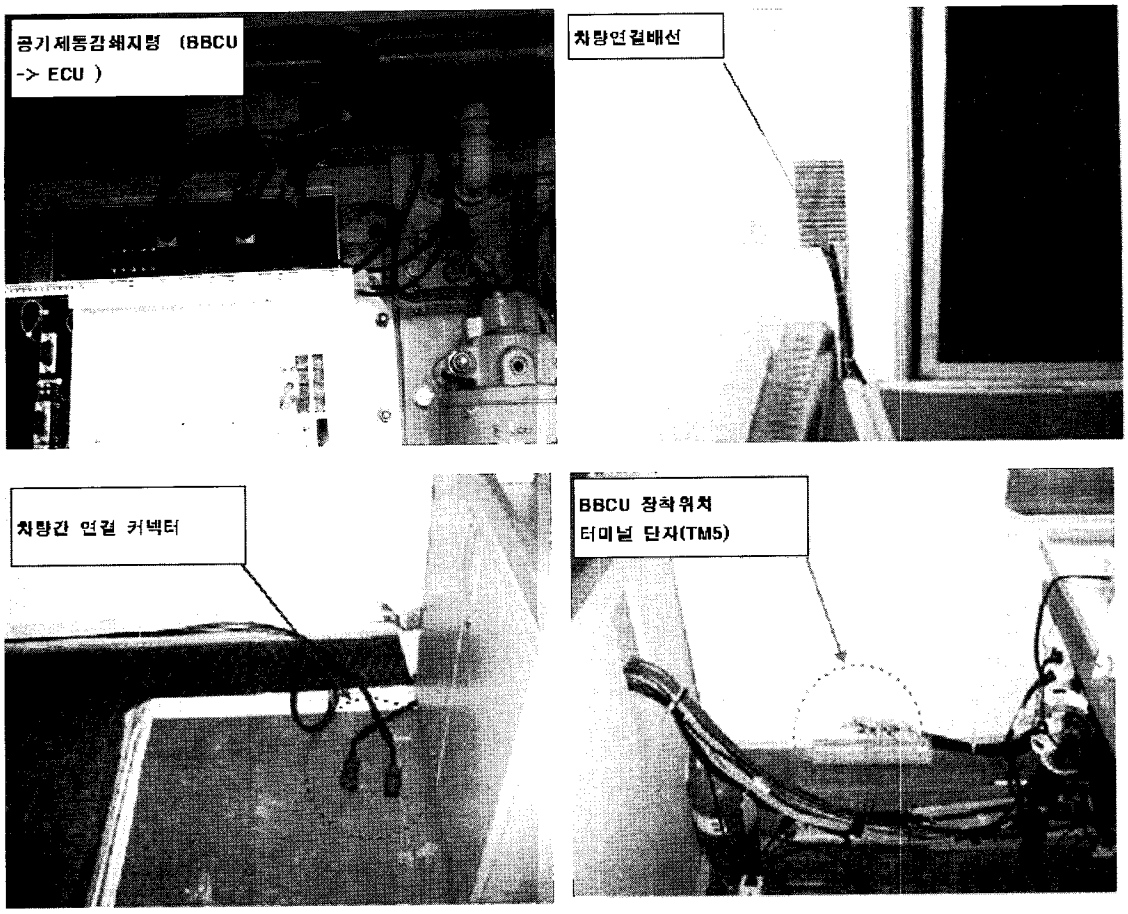


[그림 4-5-1] 차량 장치 간 배선도

[표 4-5-1] 추가 되는 배선 정보

배선	용도	경로	형식	비고
1	회생달성 피드백1	TCU1 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
2	회생달성 피드백2	TCU2 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
3	회생달성 피드백3	TCU3 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
4	회생달성 피드백4	TCU4 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
5	회생달성 피드백5	TCU5 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
6	회생달성 피드백6	TCU6 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
A	제동지령	MCCU --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
B	BBCU에서 회생요구	BBCU1,2 --> TCU1,2,3,4,5,6	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
C	시리얼 통신	BBCU1 --> BBCU2	2심 Shield	2심 Shield 0.75sq
D	감쇄지령 (디스크)	BBCU1,2 --> ECU4,5,6,7	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
E	감쇄지령 (답면)	BBCU1,2 --> ECU1,2,3,8,9,10	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
F	연산 제어용 속도1	ECU7 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
G	연산제어용 속도2	ECU10 --> BBCU1,2	P W M (DC72V)	2심 Shield 0.75sq
J	디스크제동 투입지령	BBCU1,2 --> ECU4,5,6,7	DC72V	1선 0.75sq
K	답면제동 투입지령	BBCU1,2 --> ECU1,2,3,8,9,10	DC72V	1선 0.75sq
	DC 72A	BBCU (Master 전원)	DC 72V	1선 1.5 sq
	GND	BBCU (Master Ground)	GND	1선 1.5 sq
	DC 72B	BBCU (Slave 전원)	DC 72V	1선 1.5 sq
	GND	BBCU (Slave Ground)	GND	1선 1.5 sq

[그림 4-5-2]는 장치 간 가설된 배선이다.



[그림 4-5-2] 차량 장치 간 가설된 배선

제9절 VCB 및 Safety 스위치

1. 일반

주회로 차단기는 안전성 및 신뢰성을 가져야한다. 이를 위해서는 구동부, 외부절연물의 내구성 및 안전성을 확보하고, 실제 사용 시 문제가 될 수 있는 요인을 미리 제거하여야하며, 접지스위치를 통해 운전실과 차단기의 하나로 된 인터페이스를 구축하여야 한다. 전기적 설비의 운전 및 유지보수시 안전을 최우선으로 고려한 접지스위치와 safety 스위치는 차량 검수 시 감전 등의 안전사고를 미연에 방지할 수 있는 장치이다. 전기적 위험이 있을 수 있는 장치를 유지보수하기 위해 장치의 인터록 시스템을 구축함으로써 안전사고에 대한 철저한 대비를 하여야 한다.

기존 경부고속철도(KTX)는 막대한 외화를 투입하여 수입함에 따라 외화의 유출뿐만 아니라, 국내 제품이 설 자리가 없었다. 하지만 한국형 고속철도를 국내기술로 개발하고, 이에 사용되는 주차단기 및 접지스위치의 기술개발로 국산화에 따른 수입 대체효과뿐만 아니라 기술력향상, 기초산업의 육성으로 연결되어 선진기술과 대등하게 경쟁력을 높일 수 있다. 국산고속철도에도 접지스위치와 Safety 스위치 등의 안전을 위한 인터록 시스템을 갖추게 함으로써 차단기, 접지스위치, Safety 스위치 분야에서는 국외의 제작사에 경쟁할 수 있는 요건을 갖추게 되었고, 현재의 국산 고속전철 및 차후 개발되는 국내의 전기기관차에 이러한 시스템을 적용함으로써 국내 전기철도 차량분야의 경쟁력이 향상되었다고 할 수 있다.

가. 연구개발의 목적

국내 철도산업이 기존의 디젤차량에서 전기차량으로의 전환을 모색하고 있는 시점에서 차량내의 안전에 관련된 시스템은 매우 중요하다고 할 수 있으며, 차량 개발 시 안전을 우선적으로 고려해야만 하는 사회분위기가 조성되어 있다. 따라서 차량 검수 요원의 감전 등 안전사고를 미연에 방지할 수 있는 인터록 시스템은 매우 시기적절하며 필수적이다. 본 연구개발의 목적은 고속철도용 주차단기로서 요구되는 내구성 및 안전성을 검증하고, 고신뢰, 소형, 경량에 최적합한 접지 스위치의 설계, 제작, 성능평가 및 차단기 성능 개선을 통한 안전성 및 신뢰성을 확보하고, 차단기 점검 및 시험에 대한 절차서를 작성하여, 유지보수에 대한 체계를 구축할 수 있도록 하는 것이다.

나. 연구개발의 필요성

고속철도의 수많은 요소기술 중 전기계통의 최후의 보호기기인 주회로 차단기는 고속철도가 운행하는 중에 전기계통의 고장이 발생하여 매우 큰 고장전류가 형성되면 주회로 차단기가 고장 전류를 안전하게 차단해야 하는 기능을 가진 일종의 보호기기이다. 만약 고장이 발생하여 주회로 차단기가 고장 전류를 차단하지 못한다면 2차적인 사고가 발생할 가능성이 증가하여 중요기기 및 인명피해도 예산된다. 따라서 주회로 차단기는 고신뢰성을 가져야 한다. 고속철도차량이 국내기술을 통해 개발된 시점에서 운행실적과 납품 실적이 없는 차량을 상용화하기 위해서는 차량의 시운전을 통해 그 안전성과 신뢰성을 지속적으로 검증하여야 한다. 본 연구개발을 통해 고속철도에서 요구하는 전기적, 기계적 성능을 만족하는지 확인하고, 성능개선과 함께 실제 운용에 필요한 유지보수 체계를 구축하여 이 장치들의 안전성과 신뢰성을 검증하여 안전사고에 대한 철저한 대비를 할 수 있다.

다. 국내·외 기술개발 현황

주회로 차단기의 차단방식 및 소호매질은 진공상태의 용기 내에서 아크 확산에 이한 전로의 차단으로 전 세계적으로 더 진전된 진공상태 유지 및 아크 확산 기술은 현재까지 보고된 바 없다. 배전 및 송전 전압의 상승으로 진공 기술 및 SF6가스를 이용한 스위치 등이 활발히 개발 및 현장 적용 중이나 이는 170kV급 이상의 전압에서 유용한 기술이며, 향후 본 기술에의 적용에 관해서는 좀 더 고찰이 필요하다. 접지스위치 및 Safety switch의 경우에는 사용자 중심의 안전성 및 용이성을 중심으로 지속적인 개선이 이루어지고 있다. 고차단용량 주회로 차단기의 독자 설계능력 확보 및 부품 국산화는 이루었으나, 이미 기술이 안정화 되어있는 선진사 제품에 비하여 제품에 대한 신뢰성이 모자란 상태이다. 이를 보완하기 위해 현재 한국형고속철도에 설치하여 시운전 시험을 하고 있는 중이다. 앞으로도 지속적인 신뢰성 확보 및 안전성 확보에 노력을 기울여야 하며, 보수유지체계의 확립을 통해 비상시 즉각 수급 가능한 체제의 확보가 요구된다.

2. 중점검 및 시험

가. 주회로 차단기

차단기는 평상시에도 전류를 통하고, 회로에 이상이 발생했을 때에 순간적으로 동

작하여, 전로나 주요기기를 보호하는 일을 한다. 이상시 사고전류를 그대로 흐르게 하면, 전기기기의 허용전류를 훨씬 초과하기 때문에 전로에 존재하는 변압기 권선, 차단기, 단로기 등이 타고, 녹고, 파열되는 사고로 이어지므로 이것을 방지하기 위하여 차단기가 필요하다. 이런 차단기가 가져야 할 기본적인 역할로 다음의 네가지를 들 수 있다.

첫째, 폐로시에는 양호한 도체이고, 평상시의 전류나 단락 전류에 대해서도 열적, 기계적으로 견뎌야 한다.

둘째, 개로시에는 양호한 절연성을 가지며, 이상시에도 대지 및 단자간의 전압에 견뎌야 한다.

셋째, 폐로상태의 임의 시점에 있어서 정격차단전류 이하의 전류를 이상전류 발생 없이 가능한 단시간에서 차단하여야 한다.

넷째, 개로상태의 임의 시점에 있어서 단락상태에 있는 회로를, 접촉자가 용착되지 않고 단시간에 안전하게 투입할 수 있어야 한다.

위의 네가지 역할에 대한 성능평가는 제품 설계 및 제작 시 이루어지지만, 시운전을 통해 실제로 사용해보고, 이에 따르는 검사와 시험을 통하여 안전성과 신뢰성을 검증할 수 있다.

시운전 시험에서 위의 네가지 역할을 충분히 수행할 수 있는지 뿐만 아니라, 차단기의 내구성, 개폐조작시 발생하는 소음과 같은 기계적 성능과 보수·점검의 용이성 등도 함께 확인을 하였다.

(1) 차단부 성능확인

진공 차단부에서 조작기의 동작에 의하여 가동 접점이 움직여서 개방된 위치로 이동되면 전류 차단이 이우어진다. 전류차단 과정에서 전극이 개방되면 그 점에서부터 아크가 발생한다. 공기 중에서의 아크와는 달리 이것은 용해된 전극 재료로부터 발생하는 플라즈마 상태의 금속증기에 의하여 형성되는 금속성 아크이다. 이 금속성 아크는 상당히 높은 증기압을 형성하므로 생성된 금속증기의 고압력 영역으로부터 주변 진공으로 급속한 확산이 이루어진다. 이 때 진공인터럽터(VI)의 접점이 소모되기 시작하는데 본 주회로 차단기에 적용되는 VI의 접점은 고속철도용의 다빈도 차단에 적합하도록 접점의 재료와 형상을 설계하여 제작 하였고, 가동부 리드에 철심을 삽입하여 요구 빈도인 250,000회에도 접점 및 가동부 소모량이 3㎜를 초

과하지 않도록 하였다. 이를 확인하기 위해서는 VI의 Stroke 변화량과 주회로저항의 측정이 필요하다.

(가) Stroke 측정

차단기 Stroeke는 차단기의 접점이 소모되었는지를 알 수 있는 중요한 변수이다. VI stroke는 제품의 특성으로써 개극이 이루어질 때 절연을 확보함으로써 전류의 차단이 이루어지도록 하는 것이며, 접점의 소모상태와 함께 충분한 압점력이 주어지는지를 확인하는 수단이다. VI와 Wipe의 Stroke가 적절해야 차단기의 성능이 유지될 수 있으므로, Stroke의 측정은 필수적이다.

① VI Stroke 측정

VI Stroke는 차단부 Cover를 열고 VI의 가동리드의 길이를 측정하여 얻을 수 있다. 우선 차단기 트립상태에서 아래 그림의 A의 길이를 측정한 후에 차단기를 투입하여 다시 A를 측정한다. 차단상태와 투입상태의 A의 길이의 차가 VI Stroke이다.

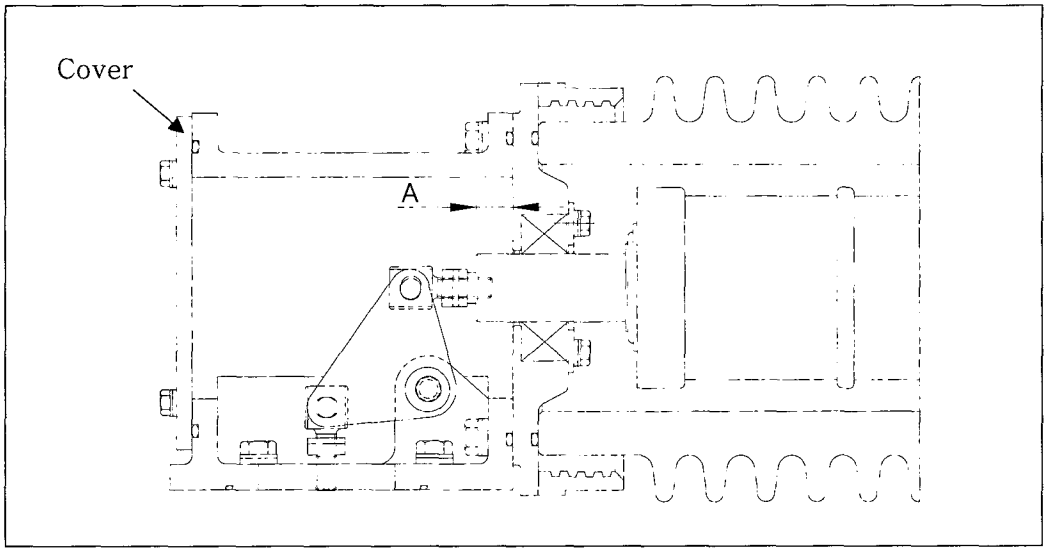


그림 3.9.2-1 VI Stroke 측정방법

측정 방법	기준
트립 시 A값 - 투입 시 A값	19㎜ ~ 22㎜

표 3.9.2-1 VU=I Stroke 측정기준

② Wipe Stroke 측정

Wipe Spring은 조작부의 Moving Flange 안에 들어가 있기 때문에 직접적으로 측정이 불가능하다. 따라서 조작기의 총 Stroke를 측정한 후 VI Stroke를 빼는 방법으로 측정할 수 있다. 조작기부의 Moving Flange와 Connection Flange의 거리(B)를 투입 상태와 트립 상태에서 각각 측정하고 그 차를 계산하면 총 Stroke가 나온다. 여기에서 VI Stroke를 빼어 Wipe Stroke를 측정하였다.

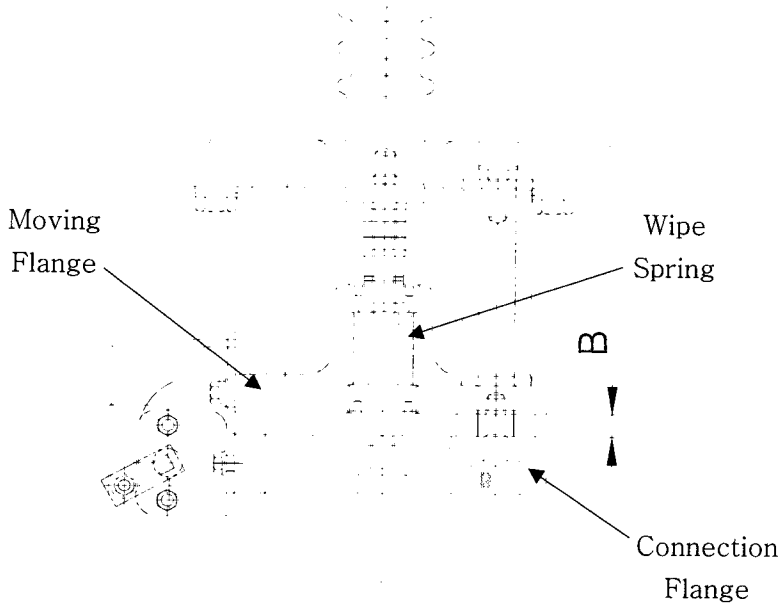


그림 3.9.2-2 Wipe Stroke 측정방법

측정 방법	기준
(투입 시 B값 - 트립 시 B값) - VI stroke	2㎜ ~ 4㎜

표 3.9.2-2 Wipe Storke 측정기준

③ Stroke 측정결과

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
VI stroke	19~22㎜	20.7㎜	양호
Wipe stroke	2~4㎜	3.2㎜	양호

표 3.9.2-3 Stroke 측정결과

(나) 주회로저항 측정

주회로저항은 물체의 고유저항과 달리 차단기의 개폐 Surge에 의해 접점이 마모되거나 손상이 되면 저항값이 올라간다. 이를 방지하기 위하여 접점의 재료선정 시 내용착성이 좋은 재료를 사용하는데 순동은 전기전도도는 좋으나 무부하 개폐시에도 쉽게 용착되므로 융점이 높은 재료를 함께 사용하거나, 용착하여도 쉽게 개리되도록 기계적으로 연질인 합금으로 만들어 사용한다.

주회로저항은 Stroke 측정과 함께 접점의 마모상태를 유추하는 근거가 될 수 있으며, 주회로 저항이 증가하게 되면 통전 시 도체부의 발열이 증가되어 사고를 야기할 수 있다. 주회로저항은 차단기가 투입된 상태에서 저회로저항 측정기를 이용하여 직류 100A를 흘려서 전압강하법을 통해 측정할 수 있다.

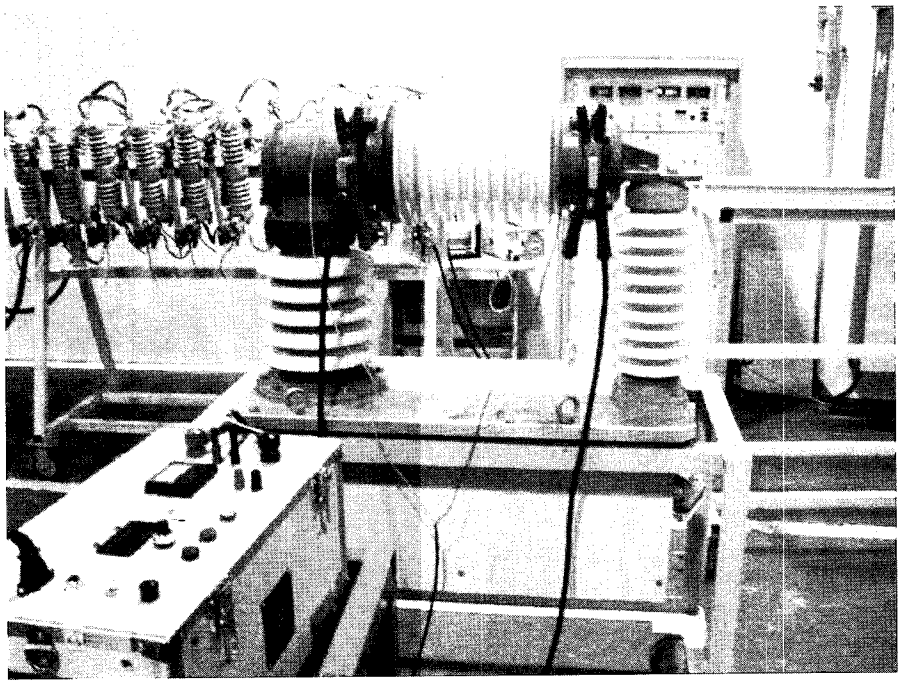


그림 3.9.2-3 주회로저항 측정

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
주차단기를 투입한 후 직류 100A를 흘려 전압강하법으로 측정	57μΩ±20%	67μΩ	양호

표 3.9.2-4 주회로저항 측정결과

(다) 온도상승시험

접점의 손상을 알아보는 가장 손쉬운 방법은 주회로저항을 측정하는 것이지만 온도상승시험을 하면 실제로 전류 통전 시에 발생하는 발열량을 직접 측정하여 접점의 상태를 유추할 수 있다. 온도상승시험은 통전부에 온도측정용 센서를 부착하여 정격 전류 1000A를 지속적으로 통전시킨 후 각 측정 부분의 온도 변화가 1시간 동안 1℃ 이내로 일정하게 유지될 때까지 실시하였다. 각 부분에서 측정된 온도에서 주위온도를 뺀 값을 통해 판정기준에 만족함을 확인하여 접점의 손상유무를 판단하였다. 주위 온도는 차단기에서 1m 떨어진 곳에서 측정(3개소)하여 평균값으로 정하였고, 주위 온도 측정시 온도의 급격한 변화를 방지하기 위해 주위온도 측정 센서를 오일 안에 넣어서 측정하였다.

그림 3.9.2-4 온도상승시험 DATA

No.	측 정 위 치	시 험 결 과		판 정
		판정기준	결 과	
1	No.2의 1m 전 지점	No.2 값의±5 이내	43.2	양호
2	1차측 단자 인입부	65	47.3	양호
3	1차측 단자 접속부	65	45.6	양호
4	1차측 단자	65	45.6	양호
5	2차측 단자 가동리드부	65	54.9	양호
6	2차측 단자	65	51.2	양호
7	2차측 단자 접속부	65	52.3	양호
8	보호애관	65	5.2	양호
9	차단스프링	65	0.5	양호
10	주위온도(℃)	+10～+40	26.2	양호
11	주위온도(℃)		26.2	
12	주위온도(℃)		26.3	

표 3.9.2-5 온도상승시험 결과

(2) 절연저항 측정

절연이 나빠지면 누설전류에 의해 감전이나 화재의 위험이 있게 되고 전력손실이 발생한다. 따라서 전기설비를 관리하는데는 회로의 절연이 양호한 상태로 유지되고 있는가를 정기적으로 확인하는 것이 매우 중요하다.

절연저항은 IEC60056을 기준으로 주회로부와 대지간의 절연상태를 확인하는 것으로 이는 전기적 사고를 예방하고 사용자의 안전을 확보하기 위한 수단이다.

측정은 차단기의 투입, 트립 상태에서 각각 실시하였다. 절연저항기를 이용하여 대지-터미널간, 극간은 1000V 메가로, 대지-제어회로간은 500V 메가로 측정하여 기준의 값이 나오는지 확인하였다.

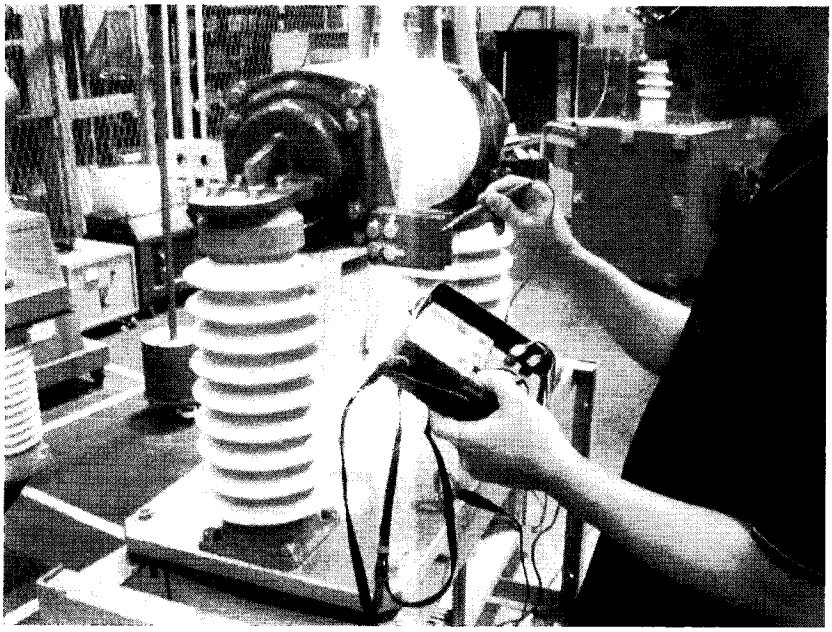


그림 3.9.2-5 절연저항 측정

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
도체 - 접지간	1,000MΩ 이상	∞	양호
극 - 극간	1,000MΩ 이상	∞	양호
접지 - 제어회로간	500MΩ 이상	∞	양호

표 3.9.2-6 절연저항 측정결과

(3) 내전압시험

내전압 시험은 이상 전압의 유입으로 극간 혹은 대지간의 절연이 파괴되는 사고를 방지할 수 있는지를 확인시험이다.

(가) 상용주파 내전압

다음의 각 부분 간에 75kV 전압을 1분동안 인가하는 동안 절연파괴(Flash Over)가 일어나는지를 확인하여 성능을 확인하였다.

구 분	차단기상태	전압인가측	접지측
대지-터미널	투입	차단기 터미널	차단기 base
극간	트립	차단기 터미널 (1차)	차단기 터미널 (2차)
대지-제어회로	투입	제어회로	차단기 base

표 3.9.2-7 상용주파 내전압시험 위치

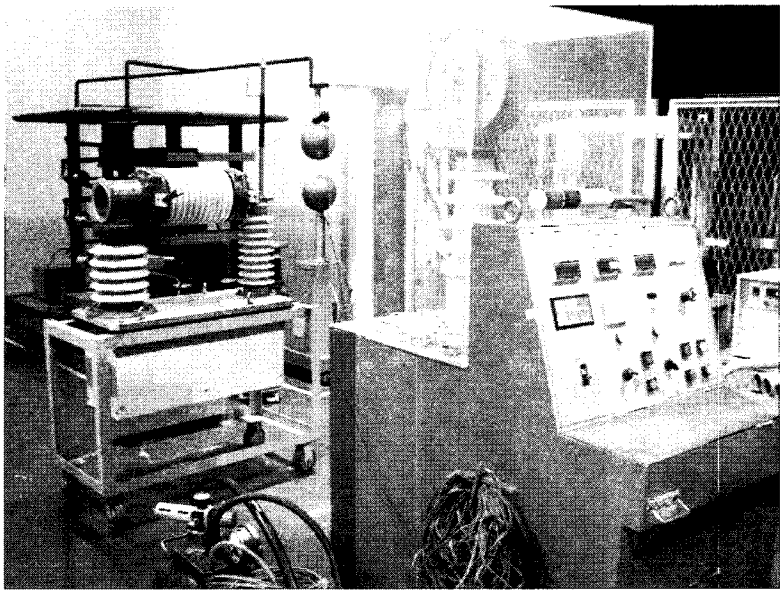


그림 3.9.2-6 상용주파 내전압시험

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
대지-터미널	75kV/60sec	OK	양호
극간	75kV/60sec	OK	양호
대지-제어회로	1.5kV/60sec	OK	양호

표 3.9.2-8 상용주파 내전압시험 결과

(나) 충격파 내전압 시험

다음의 각 부분 간에 1.2*50㎲의 파형을 가진 임펄스 정·부 파형을 각 3회씩 인가하여 절연파괴 유무를 확인하였다.

	차단기상태	전압인가측	접지측
대지-터미널	투입	차단기 터미널	차단기 base
극간	트립	차단기 터미널 (1차)	차단기 터미널 (2차)

표 3.9.2-9 충격파 내전압시험 위치

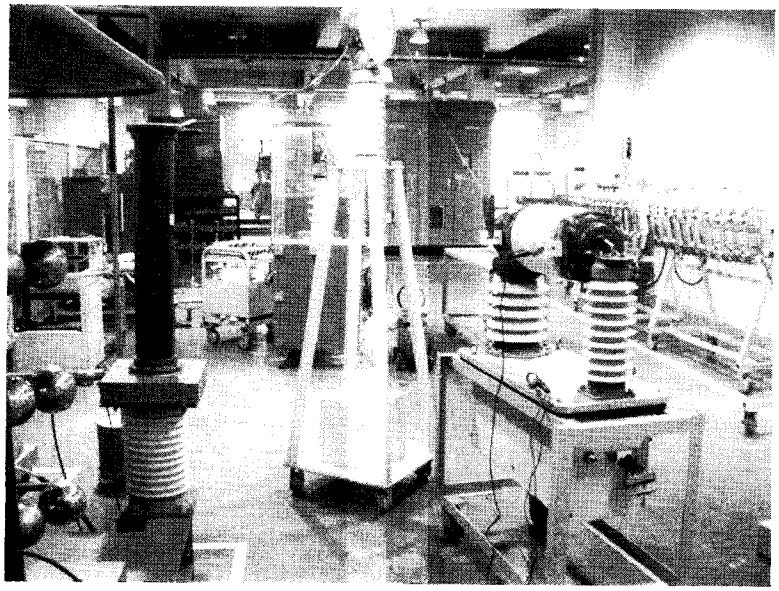


그림 3.9.2-7 충격파 내전압시험

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
대지-터미널	175kV (1.2×50㎲)	정·부 3회 OK	양호
극간	175kV (1.2×50㎲)	정·부 3회 OK	양호

표 3.9.2-10 충격파 내전압시험 결과

(4) 개폐시험

차단기의 동작 특성을 확인하는 시험으로 저전압, 정격전압, 과전압 시에 투입 및 트립 타임의 측정을 통해 사고전류의 유입 시 정격 차단시간인 5cycle이내에 차단할 수 있는지를 확인할 수 있으며, 차단기 각 부에 기계적으로 이상이 있는지도 확인할 수 있다.

(가) 투입시험

조작압력 4kg/㎠에서 최소, 정격, 최대 제어전압으로 가변하면서 투입인가 신호 시부터 주회로 차단기의 주접점이 붙는데 까지 걸리는 동작시간을 측정한다.

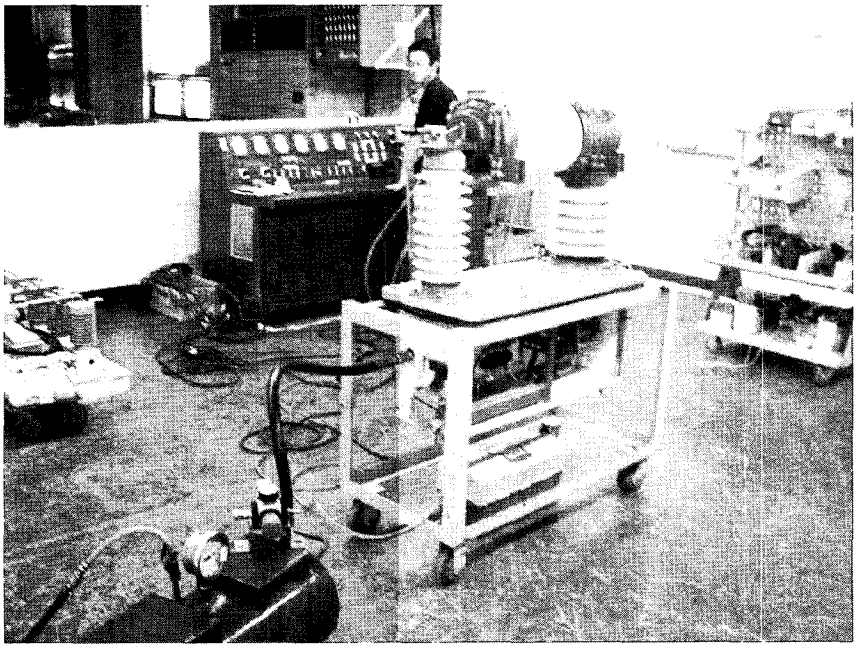


그림 3.9.2-8 개폐시험

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
저 전 압 투입 (DV50.4V)	150ms 이내	85.5ms	양호
정격전압 투입 (DV72.0V)	150ms 이내	63.1ms	양호
과 전 압 투입 (DV90.0V)	150ms 이내	56.1ms	양호

표 3.9.2-11 투입시험결과

(나) 트립시험

조작압력 3.5kg/㎠에서 최소, 정격, 최대 제어전압으로 가변하면서 트립인가 신호시부터 주회로차단기의 주접점이 떨어지는데 걸리는 동작시간을 측정한다. 트립타임이 60ms를 벗어나게 되면 주회로 차단기의 정격차단시간인 5cycle을 넘어서게 되므로 60ms이내에서 접점이 개리되는 것이 중요하다.

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
저 전 압 트립 (DV50.4V)	60ms 이내	39.4ms	양호
정격전압 트립 (DV72.0V)	60ms 이내	42.3ms	양호
과 전 압 트립 (DV90.0V)	60ms 이내	43.0ms	양호

표 3.9.2-12 트립시험결과

(다) 최저동작전압

주회로 차단기의 제어전압은 DC72.0V 이나 순간적인 제어전압의 강하가 일어날 경우 차단기는 투입이 유지되어 있어야 다른 전기기기에 전원이 지속적으로 공급될 수 있다. 따라서 제어전압이 낮아질 경우에 어느 정도의 전압까지 차단기를 투입하고 투입상태를 유지하는게 가능한지를 알아보는 시험을 실시하였다..

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
동작가능 최저 제어전압 측정	DC50.4V 이하	DC42.0V	양호

표 3.9.2-13 최저동작전압시험결과

(라) 자동트립

차단기가 투입되어 통전되고 있는 상태에서 에어라인의 손상 혹은 에어의 공급이 원활하지 못할 시에는 조작공기압력이 낮아져 투입상태를 온전히 유지하지 못하고 천천히 개극이 이루어지게 되는데, 이때에는 Surge가 비정상적으로 많이 발생하게

되어 접점이 손상되고 심지어는 진공차단부에 사고가 발생할 수도 있다. 이를 예방하기 위하여 조작공기압력이 3.4kg/㎠ 이하가 되면 자동으로 트립이 되도록 안전장치가 되어있으며, 다음 시험은 차단기가 조작공기압이 떨어질 때 자동으로 트립이 가능하지를 확인하여 안전성을 검증하였다.

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
조작전압 DC72.0V에서 조작공기압력을 4.0kg/㎠에서 투입한 후 압력 하강	3.4kg/㎠에서 트립	OK	양호

표 3.9.2-14 자동트립시험결과

나. 접지스위치

(1) 동작확인

차단기 투입 중에 접지스위치가 투입이 되면 단락사고가 발생하며, 차량 점검 중 접지스위치가 트립이 되면 점검자의 안전사고를 야기할 수 있으므로, 접지스위치의 동작확인이 필요하다. 따라서 트립 Lock 위치에서는 투입이 불가능한지, 투입 Lock 에서는 트립이 불가능 한지를 확인하였다.

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
트립 Lock	투입 불가	OK	양호
트립 Lock 해제	투입·트립 가능	OK	양호
투입 Lock	트립 불가	OK	양호

표 3.9.2-15 접지스위치 동작 확인

(2) 내전압시험

접지스위치의 내전압 시험은 이상 전압의 유입으로 접지스위치와 주회로 차단기간의 절연이 파괴되는 사고를 방지할 수 있는지를 확인하는 것이다. 접지스위치와 차단기간의 절연이 확보되어야 전기적으로 안전을 유지할 수 있으므로 접지스위치는 주회로 차단기에서 트립된 상태에서 시험을 실시하였다.

(가) 상용주파 내전압시험

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
접지스위치 - 주회로 차단기	75kV/60sec	OK	양호

표 3.9.2-16 접지스위치 상용주파 내전압시험 결과

(나) 충격파 내전압시험

시 험 항 목	시 험 결 과		판 정
	판정기준	결 과	
접지스위치 - 주회로 차단기	175kV (1.2×50μs)	OK	양호

표 3.9.2-17 접지스위치 충격파 내전압시험 결과

3. 시험 결과 및 보완 조치 내역

시운전 기간 동안 주회로 차단기가 동작한 회수는 약 9,000회 정도이며, 상기 시운전 시험에 대한 시험 결과들을 확인 한 결과 현재까지는 차단기의 성능 보완이나 부품의 교체 등은 요구되지 않는다.

4. 유지보수

차단기의 정상적인 동작을 유지하고 안정적인 성능을 발휘하기 위해서는 차단기의 지속적인 점검과 각 부품의 수명에 따른 주기적인 교체를 해주어 차단기의 상태를 신품과 같이 유지하는 것이 매우 중요하다.

유지보수 작업을 수행함에 있어 유지보수 항목별 점검 주기와 방법을 구체적으로 제시하기 위하여 유지보수 지침서를 마련하였다. 주회로 차단기와 접지스위치는 차량에 있어 기능을 가지고 있는 부품이기 때문에 부품검사 지침서라고도 한다.

유지보수 지침서는 1일, 1주, 1개월, 6개월, 1년, 3년, 5년 주기의 검수내용과 함께 검수 전 유의해야할 안전사항 등이 제시되어있다.

가. 일상 검수

차량 운행에 대비하여 매일 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

육안을 통하여 볼트, 너트 조임부 풀림상태 및 부품 이완 및 풀림 상태, 파손 여부를 확인한다. 제어회로의 배선상태, 배관의 공기누설을 확인하고, 기타 외관 검사 및 청소를 시행한다. 커운터를 확인하여 주회로 차단기의 동작회수를 기록하여 동작회수에 따른 점검항목이 있는지를 검토한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜

나. 주간 검수

차량 운행 중 주간마다 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

일상 검수항목을 시행하고, 애자와 애관이 외부충격에 의해 파손되거나 시멘팅 부분에 크랙이 발생하지 않았는지 점검한다. 차단기를 동작시켜 보조스위치가 제대로 동작하는지 확인한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼, 멀티테스터

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜

다. 월간 검수

차량 운행 중 1개월 마다 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

일상 검수, 주간 검수항목을 시행하고, 절연저항을 측정한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼, 멀티테스터, 절연저항테스터

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜

라. 반년 검수

차량 운행 중 6개월 마다 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

일상 검수, 주간 검수, 월간 검수항목을 시행하고, 기구부에 급유하며, 주회로 저항

을 측정한다. 실리콘 도포상태를 확인하여 보강한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼, 멀티테스터, 절연저항 테스터, 주회로저항 측정기

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜, NYE RHEOLUBE 363 그리스, 무초산형 실리콘

마. 연간 검수

차량 운행 중 1년 마다 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

일상 검수, 주간 검수, 월간 검수, 반년 검수항목을 시행하고, 레귤레이터의 필터를 확인하여 오염되었을 경우 교체하도록 한다. VI의 진공도 검사를 실시하고, 가동리드 급유 및 차단레버를 점검한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼, 멀티테스터, 절연저항 테스터, 주회로저항 측정기, 진공체커

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜, Liqui-Moly 카렌트 루부 S1 그리스, 무초산형 실리콘, 레귤레이터 필터 LF-1/2D-MIDI

바. 3년 검수

차량 운행 중 3년 마다 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

일상 검수, 주간 검수, 월간 검수, 반년 검수, 연간 검수항목을 시행하고, 애자를 제외한 주회로차단부, 피뢰기, 릴레이를 교체한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼, 멀티테스터, 절연저항 테스터, 주회로저항 측정기, 진공체커

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜, Liqui-Moly 카렌트 루부 S1 그리스, 무초산형 실리콘, 레귤레이터 필터 LF-1/2D-MIDI

사. 5년 검수

차량 운행 중 5년 마다 수행해야하는 검수 내용을 포함하고 있으며, 차량 운행 전에는 반드시 검수내용이 이행 되었는지를 확인하여야 한다.

(1) 검수항목

일상 검수, 주간 검수, 월간 검수, 반년 검수, 연간 검수, 3년 검수항목을 시행하고, O링, 절연로드, 가스켓, 고무패킹을 교체한다.

(2) 검수장비

토크렌치, 스패너, 와이퍼, 멀티테스터, 절연저항 테스터, 주회로저항 측정기, 진공체커

(3) 필요 소모품

중성 나사고정제 LOCTITE 243, 강성 나사고정제 LOCTITE 271, 세정용 알콜, Liqui-Moly 카렌트 루부 S1 그리스, 무초산형 실리콘, 레귤레이터 필터 LF-1/2D-MIDI

아. 유지보수 안전관리

- 주회로 차단기는 반드시 유지보수 지침서를 익어 본 후 기기의 지식, 주의사항, 안전지식을 모두 이해 한 후에 취급하여야 한다.
- 운반 시 Lifter로 들어올리거나 Chain-Block 등으로 고정하여 들어 올릴 때 주회로 차단기 아래로 들어가는 경우 주회로 차단기는 중량물이므로 낙하시 인명의 피해를 야기할 수 있다.
- 설치는 유자격자(전기공사기사, 전기공사기능사)가 행해야 하며, 설치에 앞서 모든 전원을 차단하여야 한다.
- 유지보수 작업은 차단기를 OFF 시키고 주회로, 제어회로가 단로된 상태에서 완전 방전되었는지를 확인한 후 행하여야 한다.

5. 결론

본 연구개발 과제 "고속철도 차량시스템 안정화 기술개발"을 통하여 주회로 차단기와 접지스위치의 시운전을 시작하여 고속철도에서 요구하는 사양에 만족할 수 있는 성능을 확인하였고 또한 유지보수와 관련된 내용을 정리하는 부수적 성과를 거두어 향후 시장성도 갖추었다.

주요연구결과로는 다음과 같다.

- 수입 및 외국기술에 의존하던 고속철도용 주회로 차단기의 설계 및 제작 기술을 독자적으로 확보하였다.
- 고속철도용 주회로 차단기의 시운전을 통하여 실제 운용 시 발생할 수 있는 문제점을 확인하여 보완하고, 유지보수의 체계를 확립하였다.
- 고속철도의 다빈도 개폐성능 및 차단회수 성능에 만족하기 위한 기존 진공차단기의 1.5배 안전 설계한 차단기의 성능을 시운전을 통하여 확인하였다.
- 접지스위치와 인터록 키를 통하여 차량 유지보수 시 필요한 안전성을 확보하였다.

이상과 같이 주요 연구결과를 토대로 "고속철도 차량시스템 안정화 기술개발"에 참여기업으로 참가하여 주회로 차단기 및 접지스위치 개발 및 시운전에 대한 연구개발을 완료하고자 한다.

제10절 열차진단제어 장치

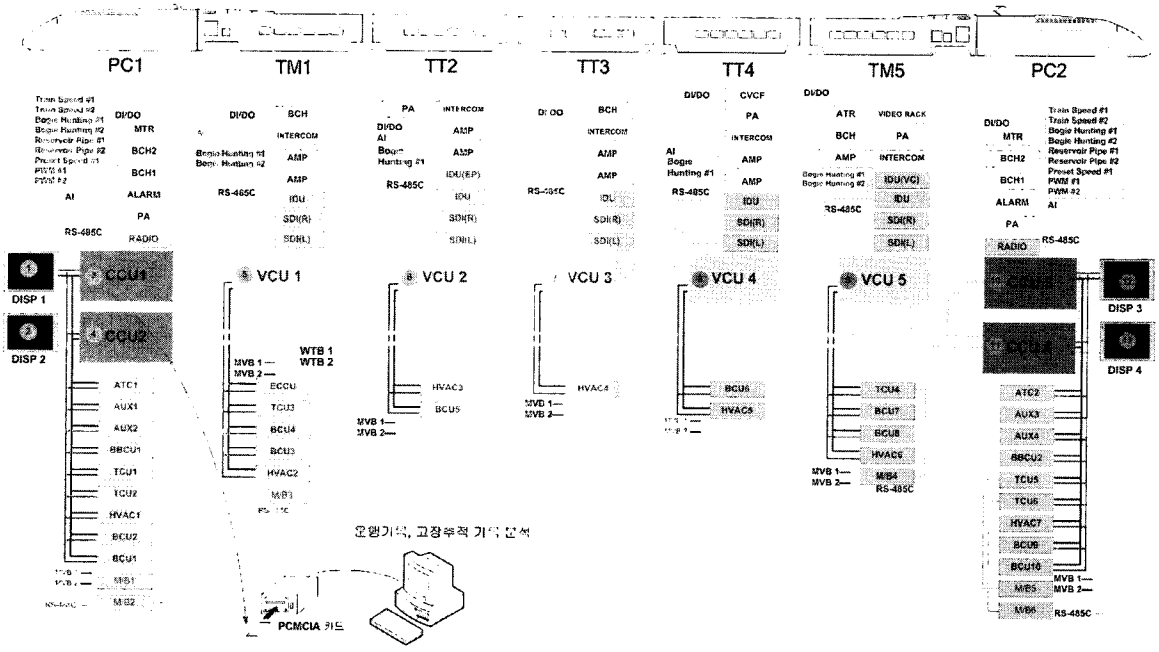
10.1 열차진단제어 장치의 일반

OBCS는 차량의 상태 및 고장에 대한 정보를 현시 및 기록하고, 추진/제동에 대한 명령 제어를 제외한 일정부분의 차량제어를 담당하며, 차량의 운전과 깊은 관련이 있는 데이터들을 주기적으로 기록하여 향후 지상장치를 통하여 분석이 용이하도록 지원한다. 또한 OBCS는 출발 전 시험과 각각의 하부장치의 기능 및 상태시험을 수행하도록 명령을 내리고, 시험의 결과를 기록하여 향후 분석이 가능하도록 지원한다.

OBCS는 시스템 백업기능을 가지고 있다. 시스템 백업은 차량정보화면용 화면장치, 지원정보화면용 화면장치 상호 백업, ATC(Automatic Train Control) 화면 장치 고장시 지원정보화면용 화면 장치의 ATC 화면 백업 기능, 중앙장치 고장시 SCU 1과 SCU 2의 상호 백업, SCU 3와 SCU 4의 상호 백업을 지원한다(그림 10.1 참조). 그리고 SCU 및 VCU는 전원이중화로 구성되어 있다.

OBCS는 IEC 61375-1의 TCN 국제표준을 지원하도록 설계하였다. 통신백업은 MVB 이중화 통신, WTB 바이패스 및 이중화 통신을 표준에 맞도록 설계하였다.

10.2 열차진단제어 장치의 구성



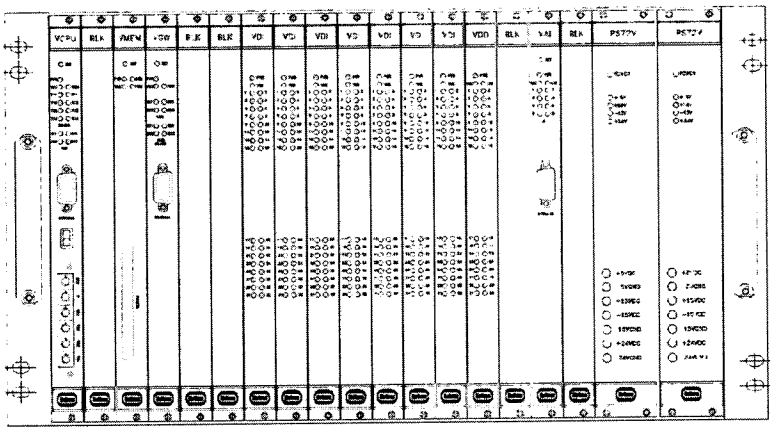
[그림 10.1] 한국형 고속열차 구성도

그림[10.1]은 한국형고속열차의 구성도를 보여주고 있다. 열차진단제어장치(한국형 고속열차에서 'OBCS'라 함)의 구성요소는 동력차에 설치되는 SCU, 객차에 설치되는 VCU와 운전실의 Display Unit으로 구성된다. 한국형 고속열차와 OBCS와 인터페이스는 크게 하드와이어 신호, 로컬 통신(RS-485C), 차량내 통신방식인 MVB, 차량간 통신방식인 WTB로 구성된다. 특히, MVB의 경우 상호 호환성이 중요함으로 (주)로템은 현차 설치전 MVB로 연결되는 하부장치의 MVB 보드를 표준에 맞추어 재설계 개발하여 OBCS와 조합시험의 과정을 거쳐 현차에 설치 적용하고 있다.

OBCS는 열차진단제어시스템으로 각 열차의 실내에 장착되어 객차간 WTB, 객차내 하부장치간 MVB 통신으로 연결된다. OBCS의 구성요소는 [그림 10.1]과 같이 지원정보화면용 화면장치, 차량정보화면용 화면장치, 중앙장치(SCU1/SCU2, SCU3/SCU4), 단말장치(VCU), 기록 분석용 지상장치로 구성되어 있다. SCU(Central Control Uint, 이하 'SCU'라 함)와 VCU(Vehicle Control Unit, 이하 'VCU'라 함)는 19인치 Rack으로 구성되어 있으며 각 보드는 탈부착이 용이하도록 구성되어 있다. 화면장치는 10.4[inch] 칼라 TFT-LCD 터치스크린을 사용하였다.

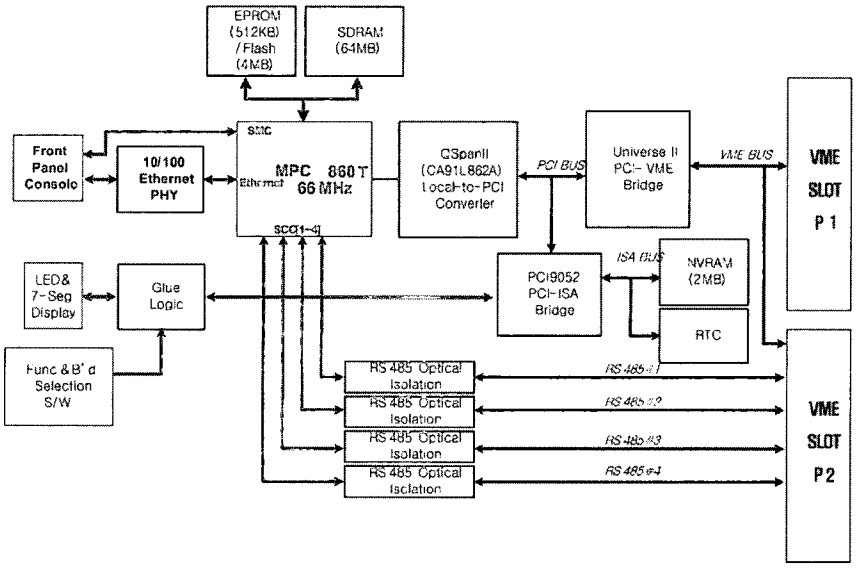
10.2.1 SCU의 구성

SCU의 하드웨어를 구성하는 서브시스템은 VCPU(VME Central Processing Unit) 보드, VMEM(VME Memory & PCMCIA)보드, VGW(VME Gateway)보드, VDI(VME Digital Input)보드 32채널 7장, VDO(VME Digital Output)보드, VAI(VME Analog Input)보드, Power Supply(PS72V)보드 2장으로 구성되어 있다. [그림 10.2]는 SCU의 랙 구성을 나타낸 것이다.



[그림 10.2] SCU 랙 구성

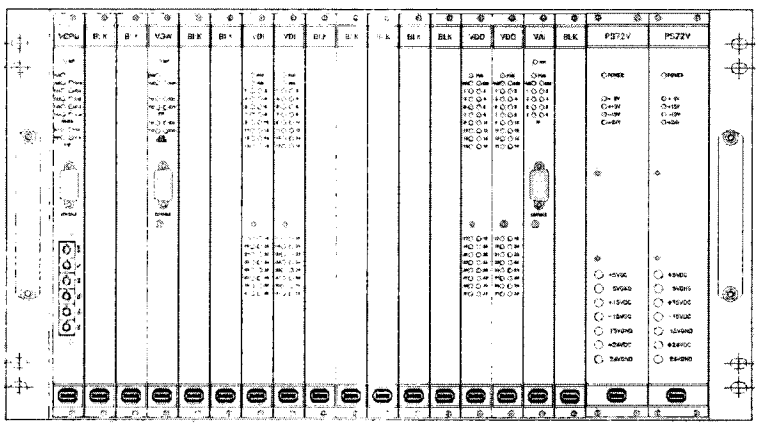
SCU 및 VCU의 CPU의 보드는 [그림 10.3]의 구성도와 같다.



[그림 10.3] SCU 및 VCU의 VCPU 구성도

CPU 보드는 Motorola사의 MPC 860T 프로세서를 채택하였다. CPU 모듈은 현재 유럽에서 가장 많이 사용하고 있는 Kontron사의 E^2Brain 모듈을 사용한다. CPU 보드와 기타 VDI, VDO보드 등은 VME(Versa Module Eurocard) 버스로 연결된다. CPU 보드에 운영되는 운영체제는 RTOS(Real Time Operating System)인 VxWorks가 탑재되어 어플리케이션 개발을 위한 환경을 제공한다.

10.2.2 VCU의 구성

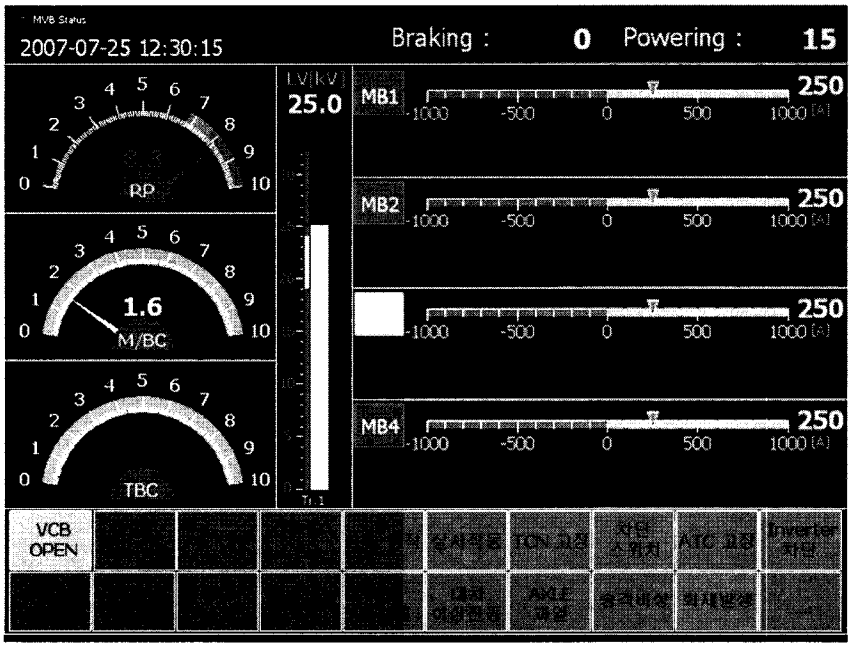


[그림 10.4] VCU 랙 구성

VCU의 하드웨어를 구성하는 서브시스템은 VCPU(VME Central Processing Unit) 보드, VGW(VME Gateway)보드, VDI(VME Digital Input)보드 32채널 2장, VDO(VME Digital Output)보드, VAI(VME Analog Input)보드, Power Supply(PS72V)보드 2장으로 구성되어 있다. [그림 10.4]는 VCU의 랙 구성을 나타낸 것이다.

10.2.3 화면장치의 구성

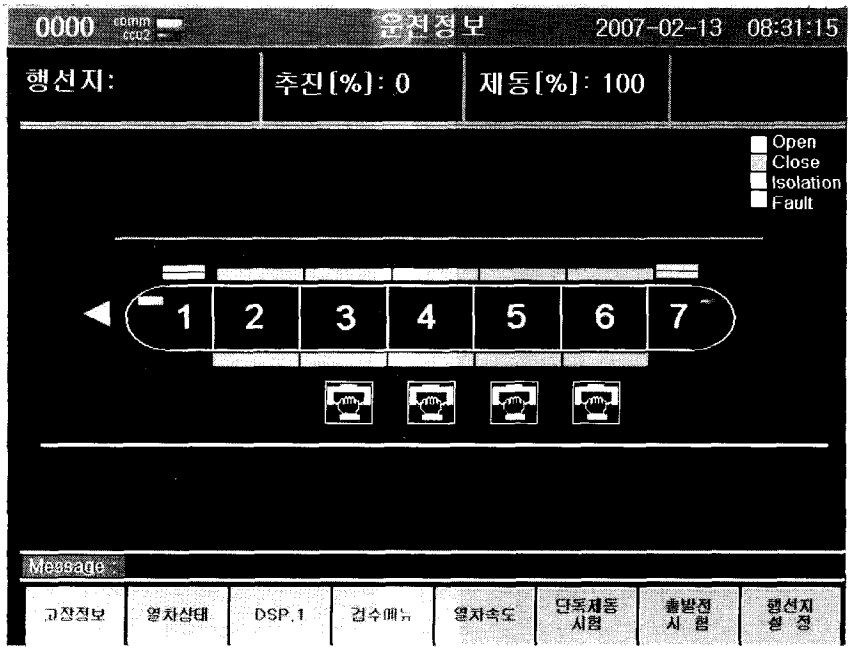
화면장치는 개발 초반기 독일의 Deuta사의 제품을 사용하여 Linux환경에서 소프트웨어를 구현하여 개발하였으나 개발 환경이 좋지 않고 속도 및 성능이 떨어져 GUI에 적합하지 않아 (주)로템에서는 MVB가 지원되는 '임베디드 XP' 기반의 화면장치를 개발하였다. 이는 기존의 해외 제품에 비하여 성능이 우수하고 특히 MVB의 지원 및 온도 특성이 우수한 특징을 가지고 있다.



[그림 10.5] 지원정보화면

화면장치는 'RS-485C' 통신방식으로 연결되는 지원정보화면, MVB 통신으로 연결되는 차량정보화면으로 구성된다. 지원정보화면은 차량의 검수기능, 고장기록, 상태현시 등의 기능을 가지고 있고 차량 정보화면은 운행시 필요한 차량의 상태정보를

실시간으로 현시하도록 구성되어 있다.

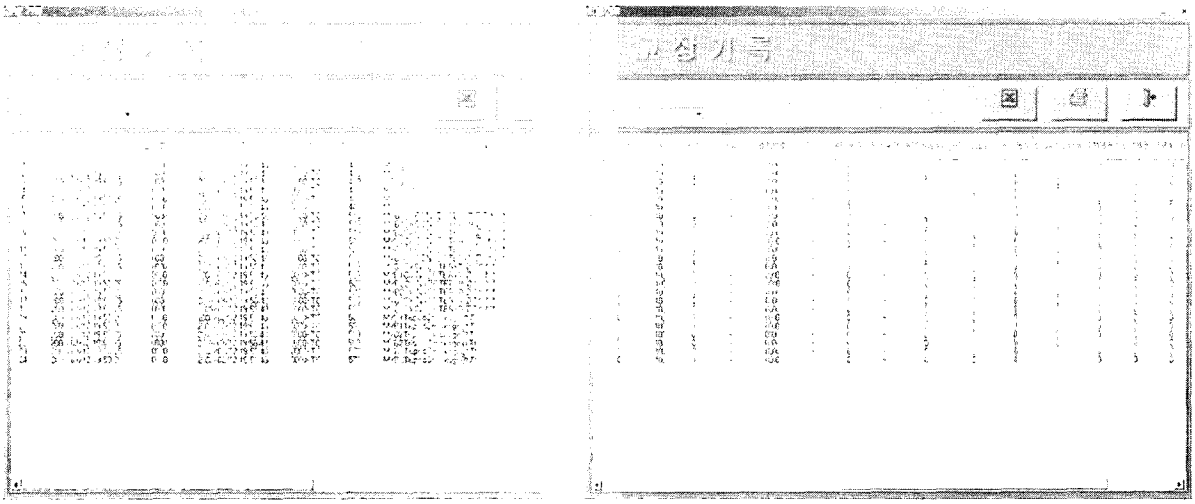


[그림 10.6] 차량정보화면

화면장치는 터치스크린 방식으로 화면을 제어하며, 고장 또는 시스템 이상발생시 자체 경보음이 울리도록 하였다. 또한 주면의 빛의 밝기에 따라 자동 밝기 조절이 가능하다.

10.2.4 지상장치의 구성

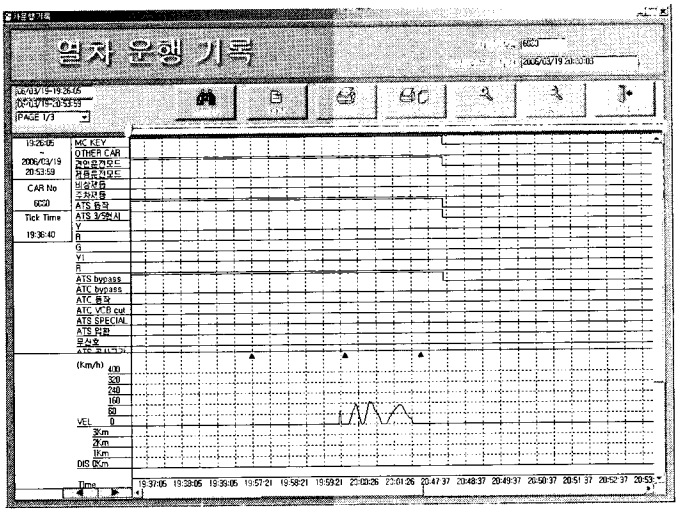
지상장치는 열차운행 후 검수원에 의하여 SCU에 저장되어 있는 고장기록 및 운행기록을 PCMCIA카드로 복사한 후 컴퓨터를 이용하여 고장기록 및 운행기록을 분석할 수 있도록 구성되어 있다.



[그림 10.7] 고장기록 분석 화면

[그림 10.7]은 고장기록 분석 화면으로 고장 발생시 차량의 속도, 거리, PWM 출력, 신호데이터 등의 차량 상태 데이터 32종류를 같이 저장하여 고장발생 원인을 추적할 수 있도록 구현하였다.

[그림 10.8]은 열차운행기록으로 1초 주기로 기록하며 그래프와 텍스트형태로 출력할 수 있다. 매초마다 기록되는 운행기록 종류는 약 80종으로 신호정보, 운전실 정보, 출입문 정보, 차량상태 등을 분석할 수 있다.



[그림 10.8] 열차운행기록

10.3 열차진단제어 장치의 TCN(Train Communication Networks, IEC 61375-1)의 정의

한국형 고속열차의 차량 네트워크는 TCN을 사용하였다. TCN은 유럽에서 1999년에 제정된 차량 네트워크 국제 표준으로 국내에서는 최초로 적용하여 사용하였다.

10.3.1 TCN의 정의

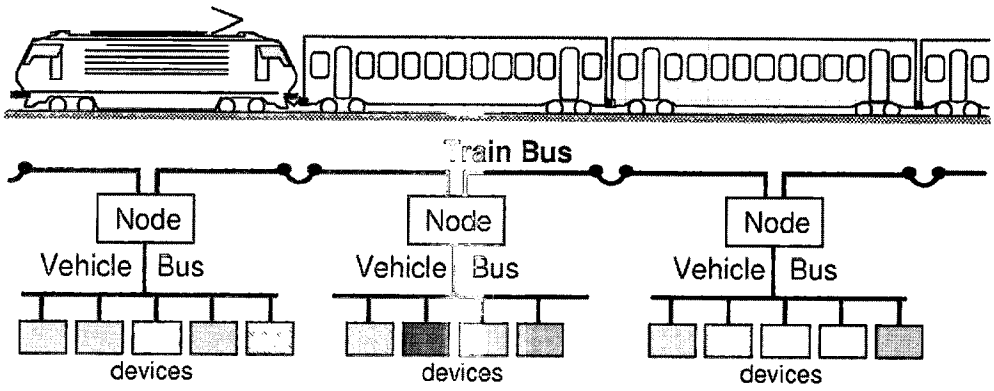
TCN은 차량네트워크의 국제 표준으로 최근 많이 사용하는 차량네트워크이다. TCN은 차량내에서 인터페이스 되는 제어기기 사이에 연결되는 MVB와 차량과 차량사이에 연결되는 WTB의 구성을 TCN이라 정의한다.

IEC 61375-1에서 TCN은 다음과 같이 정의하고 있다.

TCN, Train Communication Network, as a set of communicating vehicle and

train buses.

[그림 10.9]는 TCN의 정의를 나타내고 있다.



[그림 10.9] TCN의 정의

[그림 10.10]은 TCN 개념도이며 개방된 네트워크 사이에 제어기기간 상호 연결되는 개념도를 나타낸 것이다.



[그림 10.10] TCN의 연결 개념도

TCN의 신뢰성이 확보되면 하드와이어와 인터페이스 회로의 최소화를 가져올 수 있다. 이는 제조사가 차량 설계 및 유지보수 측면에서 시간 단축과 비용 절감의 효과가 있다. [표 10.1]은 하드와이어 결선과 네트워크 방식의 장단점을 보여주고 있다.

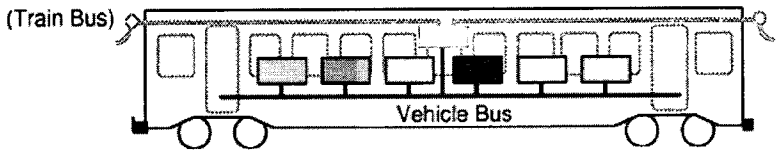
[표 10.1] 하드와이어 연결과 네트워크 연결의 장단점

	Wire Cables	Networks
Security	High	With Care Redundancy Network
Cabling	With Care	Easy
Cost	High	Low
Maintenance	With Care	Easy

TCN은 열차버스인 WTB와 차량버스인 MVB로 이루어진 계층 구조를 가지고 있다. WTB는 1[Mbps]의 전송속도를 가지고 있으며, 전송거리는 860[m], 노드 수는 32개를 기준으로 하고 있다. 전송 기본 주기는 25[ms]이다. MVB 통신은 ESD(Electrical Short Distance medium), EMD(Electrical Middle Distance medium) 두 종류의 방식이 있다. ESD의 경우 20[m]의 전송거리를 가지고 있고, EMD의 경우 200[m]의 전송거리를 가지고 있다. 두 방식 모두 전송속도는 1.5[Mbps]이며, 노드는 'Logical Port'의 경우 4095개의 포트데이터를 'Physical Port'의 경우 256개를 지원하도록 구성되어 있다. 전송 기본 주기는 1[ms]이다.

10.3.2 MVB의 개요

MVB는 차량내 제어기기간 통신방식으로 IEC 61375-1에서 정의하는 MVB는 다음과 같다.



[그림 10.11] MVB의 정의

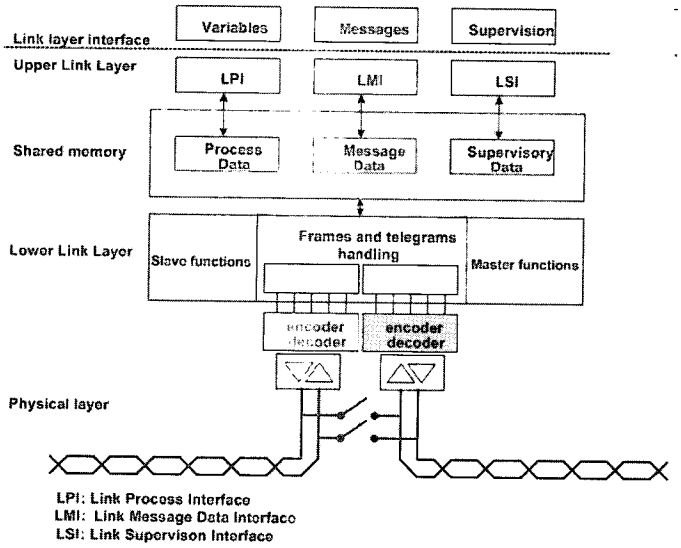
MVB, IEC 61375-1 defines the data communication interface of equipment located in a vehicle as a connection of devices to a vehicle bus, as shown in the above.

MVB의 사양은 [표 2]와 같다. MVB는 ESD(Electrical Short Distance),

EMD(Electrical Media Distance), OGF(Optical Glass Fibre)의 미디어의 3종류이며 ESD는 20[m], EMD는 200[m], OGF는 2000[m]의 전송거리를 가지고 있다. MVB는 EMD를 보편적으로 사용한다. 최근에는 차량간 통신 방식인 WTB를 사용하지 않고 OGF 방식을 사용하여 차량간 통신을 담당하도록 설계하는 제조사도 종종 있다. 이는 WTB로 연결되는 CC(Car Computer)의 고유 인터페이스에 해당함으로 이런 방식이 가능하고 중련이 아닐 경우의 구성에 해당된다. 중련의 경우라면 차량간 통신방식에 있어 MVB와 WTB를 병행해서 사용하기도 한다.

[표 10.2] MVB 사양 요약

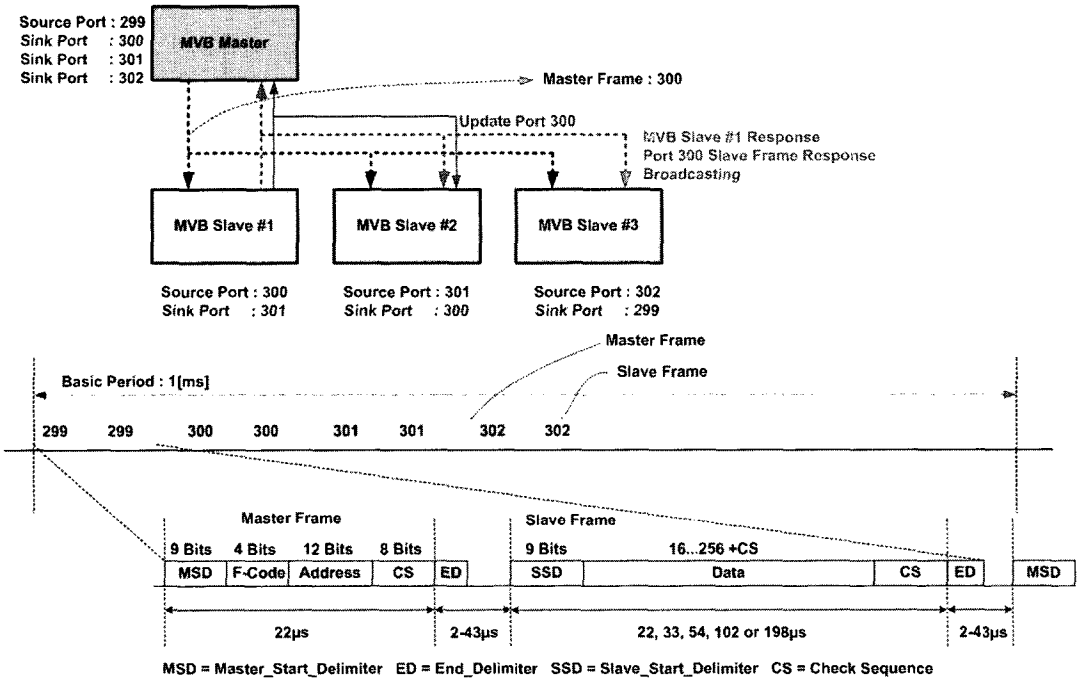
topology	bus(electrical) star(optical)	
Media	Electrical Short Distance Electrical Middle Distance Optical Glass Fibre	twisted wire pair, biased RS-485 shielded twisted wire pair, transformer coupled 200/240 µm fibres and star coupler
Length	Electrical Short Distance Electrical Middle Distance Optical Glass Fibre	20 m, 32 devices per segment 200 m, 32 devices per segment 2000 m
Physical Redundancy	duplicated physical medium(synchronous send)	
Signalling	Manchester II, 9-bit frame Start Delimiter	
Signalling rate	1.5 Mbit/s	
Address space	12-bit Device Address (0...255 reserved for devices with Message Data capability) 12 bit Logical Address for Process Data (each 16 ... 256 bits)	
Physical Addressing	single cast and broadcast	
Frame size (useful data)	16, 32, 64, 128, 256 bits	
Integrity	CRC-8 per 64bits + Manchester encoding, different frame Start Delimiter for Master Frame and Slave Frame against synchronization slip, reception time window supervision	
Traffic	periodic(mainly for Process Data) sporadic(mainly for Message Data) supervisory(for Supervisory Data)	



[그림 10.12] MVB 링크 레이어(Link Layer)

MVB의 통신 속도는 1.5[Mbps]이며 열차제어신호의 Process Data, 트레이스 데이터처럼 비 규칙적이고 비교적 데이터가 클때 전송하는 Message Data, 통신의 네트워크 관리를 위한 Supervisory Data의 3가지 서비스가 링크레이어(Link Layer)에서 제공된다. [그림 10.12]의 MVB 링크레이어에서 어플리케이션 레이어(Application Layer)와 함께 6개의 레이어(layer)를 가지게 된다.

MVB는 하나의 마스터에 다수의 슬레이브 노드를 형성하며 임의적인 전송이 아니라 데이터 형태를 주기적으로 기본주기를 반복하며 통신한다. 마스터는 정해진 순서에 따라 순차적으로 슬레이브를 폴링한다. 이에 따라 발생지 노드(Source Port)로부터 여러 목적지 노드(Sink Port)로 브로드케스팅(Broadcasting)된다.



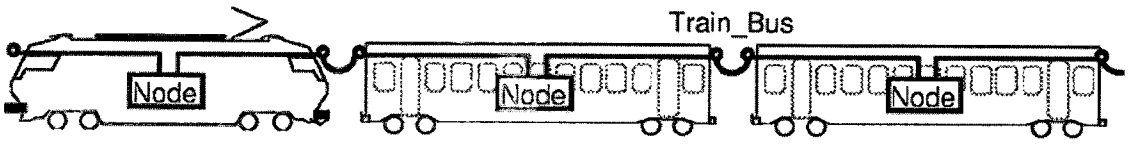
[그림 10.13] MVB 통신 원리와 텔레그램(telegram)

MVB는 기본주기(Basic Period: 통상적으로 1[ms])의 시간적인 대역폭을 주기적 전송구간(Periodic Phase)과 산발적 전송구간(Sporadic Phase)으로 나누어 전송하는 시분할 다중방식을 사용하고 있다. 기본 주기의 일정구간을 점유하는 주기적 전송구간에서는 미리 정해진 순서에 따라 마스터가 폴링하게 되어 실시간 통신을 보장하는 효율이 높은 장점이 있다. 연속하는 주기적 전송구간 사이에는 전송 요구에 의하여 마스터가 폴링하는 산발적 전송구간으로 사용되는데 전송 요구시 충돌 및 무응답이

있을 수 있으므로 시간 지연을 예측할 수 없게 된다. [그림 5]는 MVB의 원리와 텔레그램(telegram)을 보여준다.

10.3.3 WTB의 개요

WTB는 860[m] 길이에 통신속도는 1[Mbps]이다. WTB의 특징은 차량의 자동인식(Auto-Numbering)을 특징으로 하고 있다.
IEC 61375-1에서 WTB는 아래와 같이 정의하고 있다.

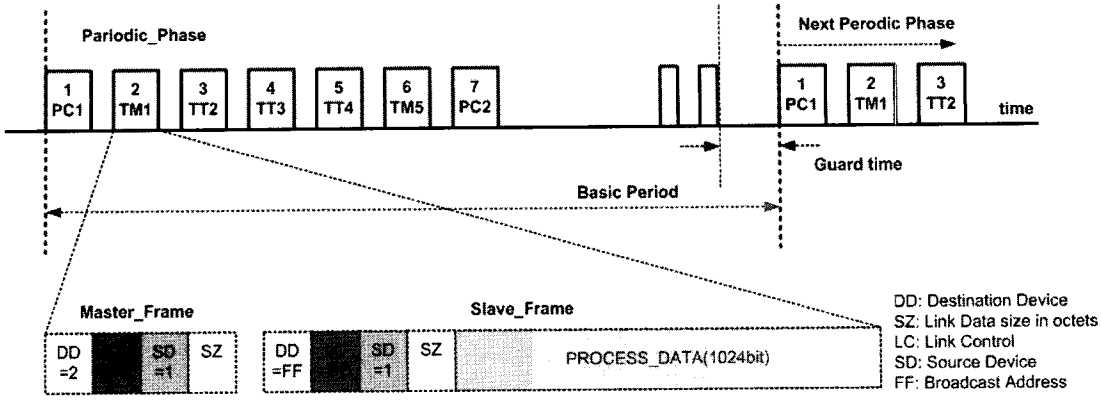


[그림 10.14] WTB의 정의

WTB, IEC 61375-1 defines the data communication interface between vehicles as the connection of nodes located in vehicles to a train bus, as shown in the above.
[표 10.3]는 WTB의 사양을 요약한 것이다.

[표 10.3] WTB 사양 요약

topology	Chain of cable sections forming a bus
Media	Shielded, twisted wire pair, 120[Ω]
Length	860[m], 32 Nodes with the specified cable Longer distance and higher number of Nodes(up to 62)possible
Physical Redundancy	Double line physical medium
Signalling	Manchester encoding with a preamble of 16 to 32 bits
Signalling rate	1.0 Mbit/s
Address space	Single cast : (6bit position address allocated by the inauguration) broadcasting
Medium allocation	By one Master
Traffic	Cyclic(period 25ms)(list Process Data) Sporadic(for Message Data and for Supervisory Data)



[그림 10.15] WTB의 프레임 구성과 텔레그램(telegram)

WTB는 MVB와 같이 하나의 마스터에 의해서 관리되며, 나머지 모든 노드들은 슬레이브 노드가 되며, 자신들이 임의적으로 전송할 수 없다. 기본주기(Basic Period, fixed 25[ms])는 주기적 전송구간(Periodic Phase)과 산발적 전송구간(Sporadic Phase)으로 나누어 사용된다. 주기적 전송구간에서는 Process Data가 전송되며, 비주기적 전송구간에서는 Message Data 또는 Supervisory Data가 대역폭을 할당받아 전송한다. 기본 주기의 동작은 마스터에 의해 결정되며, 각 슬레이브는 마스터의 폴링에 따라 브로드케스팅으로 응답하는 형태이다. [그림 10.15]은 WTB의 프레임 구성을 보여주고 있다.

10.4 열차진단제어 장치의 기능

10.4.1 열차운영제어및감시

가. 운전실 선택/전후진 Monitoring

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- Driver's Key의 ON/OFF 상태를 검지, 동력차의 전두부/후두부 차량상태를 판단하여 전두부 차량의 SCU가 열차의 주제어기로 동작되도록 한다.
- Key ON상태에서 운전사가 전/후진기 취급시, 전진/후진 운전모드 신호를 Network 신호로 각 추진장치로 전송한다

(3) 제어조건 및 방법

- IS-RSB01 or IS-RSB02 신호 및 IS-RSB11 or IS-RSB12 신호가 인가되는 SCU는 전두부 차량의 SCU 는 전두부 차량의 SCU 로 인식, 운행/시험중 열차의 주 제어기로 동작시킨다.
- IS-RSB11 or IS-RSB12 신호만 인가되는 SCU는 후두부 차량의 SCU로 인식, 운행/시험중 해당 차량의 제어기로만 동작시킨다.
- 전진 운전모드 신호 인가시, 3km/h 이하조건에서 전진모드로 설정하고, Network 신호로 전진 운전모드 신호를 출력한다
- 후진 운전모드 신호 인가시, 3km/h 이하조건에서 후진모드로 설정하고, Network 신호로 후진 운전모드 신호를 출력한다.
- 상기의 전진 or 후진 운전모드 신호가 인가되지 않으면, 3km/h 이하조건에서 중립모드로 설정하고 Network 신호로 중립 운전모드 신호를 출력한다
- 3km/h 이상에서의 운전모드 신호 변경시는 이를 무시한다.

나. 견인/제동 모드 Monitoring

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- 운전사가 주간제어기(MC-IC-01) 취급시, 견인/타행/상용제동/비상제동 운전모드 신호를 모니터링 한다.

(3) 제어조건 및 방법

- 비상제동 모드가 아닌 조건에서, 견인 운전모드 신호 인가시, 견인모드로 설정하고 Network 신호로 견인 운전모드 신호를 출력한다.
- 비상제동 모드가 아닌 조건에서, 제동 운전모드 신호 인가시, 상용제동 모드로 설정하고 Network 신호로 상용제동 운전모드 신호를 출력한다.
- 비상제동 운전모드 신호 인가시, 우선적으로 비상제동 모드로 설정하고 Network 신호로 비상제동 운전모드 신호를 출력한다.
- 상기의 견인 or 제동 or 비상제동 운전모드 신호가 인가되지 않으면, 타행모드로 설정하고 Network 신호로 타행 운전모드 신호를 출력한다

다. Preset speed 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- 운전모드선택기(MC-TT-01)에 의한 Preset speed 운전모드로 운행시 추진/제동제어를 모니터링 한다.

(3) 제어조건 및 방법

- 주간제어기 제동위치가 아닌 상태에서 설정속도(Preset speed) 운전모드로 운행시 PS 설정치(설정치+/-3KM/H) 혹은 SL(5+/-3KM/H) 운전 상태 및 설정속도장치의 고장을 감시한다. 설정속도 운전모드로 운행시 감속은 주간제어기를 추진위치로 놓으면 자동 감속한다.

라. Vigilance 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-이 기능은 주기적인(2.5초주기) vigilance 스위치 취급위반(ON/OFF신호 변화 없음)시 경고신호 출력(2.5초)하여 주위를 환기시키고, 경고신호출력 중 스위치 취급신호가 없으면 운전사 사고로 인식하여 자동으로 비상제동이 체결되도록 제어한다 .

-Vigilance Control Module의 제어신호에 따라 ATC 장치로 70km/h 제한속도 현시 명령신호를 전송하고, Vigilance 응급상황 발생신호 인가(비상제동출력에 의한 3km/H이하이후 30초이내 스위치 취급없는 경우)시는 Radio 장치로 신호를 전송한다.

(3) 제어조건 및 방법

-Vigilance 제어차단 신호(VACMA스위치) 또는 70km/h 제한속도 요청신호가 인가되면, Network 신호를 통하여 ATC 장치로 70km/h 제한속도 현시 명령신호를 출력한다.

-Vigilance 제어차단 신호 미인가 조건에서 Vigilance 응급상황 통보신호가 인가되면, 3km/h 이하 속도조건에서 Radio 장치로 Vigilance 응급상황 발생신호를 출력한다.

-출고전시험시 운전경계장치시험스위치에 의한'VDS 시험'시험시 GUIDE를 지원한다.

마. By-pass Switches 상태 Monitoring

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- 안전에 관련된 SCU, ATC/ATS, Vigilance, TSL 기능고장으로 관련 By-pass 스위치를 취급한 경우에 스위치 취급중 상태가 현시 되도록 한다

(3) 제어조건 및 방법

- 운전실 선택조건에서 By-pass 스위치 위치신호1 이 인가되고, By-pass 스위치 위치신호2가 OFF되면, 안전관련 By-pass 스위치 취급중 상태로 검지하여 열차상태Monitor에 '차단스위치'를 현시한다

바. 신호장치 감시 및 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-이중계로 구성된 ATC,ATS장치 동작모니터링 및 고장감시를 수행한다.

(3) 제어조건 및 방법

-ATC 혹은 ATS장치동작중 과속시 비상제동제어 감시

-ATC/ATS의 바이패스 스위치, 고장을 감시

-고속선로에서 사구간 진/출입시 ATC/ATS장치의 다음 제어를 감시한다.

* 진입시 사구간검지/견인력차단/VCB차단 제어(2초출력), 사구간통과후 VCB 투입(2초 출력)/견인력차단 해제 제어를 모니터링한다.

-고속<->저속선로 전환구간 진/출입시 ATC/ATS장치의 다음 제어를 감시한다.

* 진입시 선로전환구간 검지/견인력차단/VCB차단 제어(2초출력)/판토하강제어 출력, 전환구간 통과후 판토하강제어 출력해제/판토상승확인후VCB 투입(2초 출력)/견인력차단 해제 제어를 모니터링한다.

* 저속구간->고속구간 진입시 ATS->ATC모드로 자동전환하고, 고속구간->저속구간 진입시 ATC->ATS모드로 자동절환한다.

-출고전시험 ATC시험스위치에 의한 'ATC시험'의 진행을 지원한다.

사. 열차상태 Monitor 제어(DISP1)

열차상태 Monitor에 운전에 필요한정보인 가선전압, Main Reservoir 공기압, 동력대차/부수대차의 Brake Cylinder 공기압, 각 Motor Block의 견인/전기제동 전류치 및 동작상태, 각종 열차상태/고장상태, 현재시간을 표시한다.

- 가선전압 현시 ('KV')

  SCU로부터 인가되는 가선전압치 신호를 이용하여, 19KV ~ 30KV 범위에서 0.5KV 단위로 가선전압 표시계에 현시한다.

- Main Reservoir 공기압 현시 ('RP')

  SCU로부터 인가되는 RP 압력치 신호를 이용하여, 0~ 10bar 범위에서 0.1bar 단위로 공압표시계 및Digital 숫자로 현시한다.

- 동력대차의 Brake Cylinder 공기압 현시 ('M/BC', 적색계통)

  BCU-M1으로부터 인가되는 동력대차의Brake Cylinder 압력치 신호를 이용하여, 0~ 6bar 범위에서 0.1bar 단위로 공압표시계 및 Digital 숫자로 현시한다.

- 부수차의 Brake Cylinder 공기압 현시 ('T/BC')

  BCU 로부터 인가되는 부수대차의 Brake Cylinder 압력치 신호를 0~6bar 범위에서 0.1bar 단위로 공압표시계 및 Digital 숫자로 현시한다. BCU-T1으로부터 인가되는 압력치를 우선 적용하며, BCU-T1 인가신호 이상시(BCU-T1 고장시)에는 다른 BCU의 신호를 적용한다.

- Motor Block의 견인/전기제동 전류치 현시 ('MB1 ~ 4')

  견인전류치 및 전기제동 전류치를 현시한다.

- 열차상태 표시등

  - VCB Open 상태표시등
  - VCB 투입가능 상태표시등

- Master Controller OFF 상태표시등
- 타 운전실 선택 상태표시등
- TCN 고장 상태표시등
- Sanding 동작 상태표시등
- Safety 관련 Bypass 스위치 취급 상태표시등
- ATC 고장 상태표시등
- VCB 차단 상태표시등
- 기계적 고장 상태표시등
- 활주방지 고장 상태표시등
- 주차제동 상태표시등
- 제동 불완해 상태표시등
- 대차 이상 상태표시등
- Axle 과열 상태표시등
- 승객 비상 Alarm 상태표시등
- Service Retention 동작상태 표시등

10.4.2 고압시스템제어및감시

가. 판토그라프 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-운전실이 선택되고 VCB OFF상태조건 및 제어차단 스위치의 정상위치 조건에서 판토 선택 스위치에 따라서 판토를 상승제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

-운전실이 선택되고 VCB OFF상태조건 및 제어차단 스위치의 정상위치 조건에서 다음 4가지 판토 선택 스위치에 따라서 판토를 상승제어한다.

* 고속선로 정상모드/비상모드

정상모드시는 후부 동력차의 판토를 상승시키고, 비상모드시는 전두부 동력차의 판토를 상승토록 제어. 고속선로에서는 먼저 상승높이 제한 제어신호를 출력하고, 상승높이 제한장치 동작신호가 인가되면 판토상승 제어

신호를 출력한다.

* 저속선로 정상모드/비상모드

정상모드시는 후부 동력차의 판토를 상승시키고, 비상모드시는 전두부 동력차의 판토를 상승토록 제어. 저속모드시는 상승높이 제한장치 동작없이, 판토상승 제어신호를 출력한다.Pantograph 선택 제어조건에서 Rp 압력이 6.2 bar 이하가 검지되면, 보조 Compressor 용 Contactor 제어신호를 출력하고, Rp압력 7bar 이상이 검지되면 제어신호를 차단한다.[2.3.2절 보조 Air Compressor 제어 참조]

나. 보조 Air Compressor 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-열차기동 초기에 Pantograph 상승 및 VCB 투입에 필요한 압축공기 확보를 위하여 SCU 제어에 의해 PC차에 위치한 보조 Compressor 를 동작시킨다.

(3) 제어조건 및 방법

-Pantograph 선택 제어조건에서 Rp 압력이 6.2 bar 이하가 검지되면, 보조 Compressor 용 Contactor 제어신호를 출력하고, Rp압력 7bar 이상이 검지되면 제어신호를 차단한다.

다. Service Retention 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- Pantograph 상승상태, VCB 투입상태, Driver's Key ON 상태에서 , Service Retention ON 스위치를 취급한후, Pantograph 및VCB 를 OFF 시키고 Driver's Key OFF시켜도 SCU의 제어신호에 의해 Pantograph 상승상태 및 VCB 투입상태를 유지시켜서 객실 조명 및 HVAC 동작 및 청소용 Socket 전원이 계속 유지되도록 한다.

(3) 제어조건 및 방법

- S/R Cancel 조건 및 Preconditioning 모드가 아닌 조건에서, S/R ON 신호가 인가되면, Pantograph 상승 및 VCB 투입제어 신호가 계속 유

지되도록 제어한다.

- S/R 동작신호가 인가된 SCU에서는 객실 조명 및 HVAC 동작 및 청소용 Socket 전원이 계속 유지되도록 Network 신호로 S/R 동작중 신호를 관련장치로 전송한다.
- S/R 동작제어중, S/R을 제어한 운전실의 반대편 동력차 운전실 SCU에서S/R Cancel 신호 검지시는, SCU가 Network 신호로 이 신호를 전송하여 S/R을 제어한 차량의 SCU가 S/R 을 Cancel 시키도록 한다

라. 가선전압 검지 Monitoring

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명 :

- TCU로부터 가선전압치를 수신하여 열차상태 Display Unit에 가선전압을 현시하고,29KV 이상시는 희생제동이 차단되도록 SCU가 제어한다

(3) 제어조건 및 방법

- TCU로부터 가선전압치 신호를 수신하면, 운전실이 선택된 SCU는 열차상태 Display Unit에 가선전압치를 현시한다

  * 현시신호 범위 : 19KV ~ 30KV, 0.5KV 단위

- 아래의 경우에 회생제동 차단 제어신호를 Network 신호를 통하여 각 TCU로 출력한다

  * 가선전압이 29KV 이상으로 검지되는 경우 (TCU자체 차단에 대한 BACKUP)

  * ATC Unit 로부터 사구간 진입신호가 인가되는 경우

- 고장진단 Monitor 상 운행중 Main 화면의 '회생제동 차단'Function Key 취급시

마. VCB 투입제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- VCU투입스위치1 ON시, 판토조건, ATS/ATS 비상제동 제어조건 및 ATC에 의한 VCB제어조건을 고려하여 SCU에 의한 VCU 투입조건1을

구성한다.

- VCU투입조건1이 형성되면, 판토, SAFTY스위치, A/B, 가선전압/전류, 화재, 접지등의 조건들을 고려하여 SCU에 의해 VCB 투입조건 2를 구성한다.
- VCU 투입조건2 ON시, 주간제어기 조건을 고려하여 SCU에 의해 VCB가 투입되도록 한다.
- RADIO장치의 원격제어에 의한 PRECONDITIONING 모드시 자동으로 판토가 상승된 차량의 VCB가 투입되도록 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

- 아래 조건을 모두 만족한 상황에서 선두차의VCB투입스위치1 ON신호 인가시, 판토가 상승되어 있는 동력차(선두 혹은 후부)에 대하여 VCB 투입조건 1 제어신호를 출력한다.

* 판토 상승
* ATC 비상제동 미인가조건 또는 관련 BYPASS스위치 취급조건
* ATS 비상제동 미인가조건 또는 관련 BYPASS스위치 취급조건
* ATC VCB 차단제어신호 미인가조건 또는 관련 BYPASS 스위치 취급조건

- 투입조건1이 형성되면, 아래조건 모두 만족시 판토가 상승되어 있는 동력차(선두 혹은 후부)에 대하여 VCB투입조건 2 제어신호를 출력한다.

* VCB투입조건 1 형성조건
* SAFTY 스위치 정상위치조건
* 해당동력차 및 반대편동력차 AUXB 정상조건
* 25KV가선전압정상, 과전류 미검지조건
* 화재 미검지조건
* 접지고장 미검지 조건
* 670VDC 차단 미인가 조건(670VDC차단시 연장급전되면 재출력)

-주간제어기 OFF(중립) 상태조건에서 VCB투입스위치 2 ON신호 인가시 또는 ATC에 의한 VCB재투입 신호 인가시, 판토가 상승되어 있는 동력차(전부 혹은 후부)의 VCB 투입명령을 3초간 출력한다 .

-RADIO장치로부터 AIR CONDITIONING START-UP신호 및 CLOSE

& LOCKING OF DOOR신호가 인가되면, 제어순서에 따라 각 단계별 조건 만족시(에 VCB투입조건1 제어신호, VCB투입조건 2 신호출력 및 VCB투입 제어신호를 출력한다.(단 VCB투입스위치1,2투입조건배제)

바. 25KV 차단스위치 제어

(1) 적용 장치 : SCU / VCU(TM1)

(2) 기능 설명

-가선 과전류시, 주변압기 냉각고장시, 화재발생시에 SCU 제어신호에 의해 25KV 차단스위치를 차단위치로 제어한다

(3) 제어조건 및 방법

-동력차 주변압기의 과전류 검지신호시 또는 동력차 주변압기의 냉각고장 검지신호시 또는 화재발생 검지신호시에 VCB OFF 조건에서 25KV 차단스위치의 차단 제어명령을 Network 신호를 이용하여 TM1 VCU로 출력한다.

-VCU(TM1) 의 경우 25KV 차단스위치의 차단제어 명령신호 인가시, 25KV 차단스위치의 차단 Coil 제어신호를 10초간 출력한다.

사. 동력차용 MTF과온시의 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- 동력차용 MTF 130C 과열신호 검지 또는 MTF Oil 2set 과열신호가 검지되면 VCB를 차단시키고 MTF 120C 과열상태 , MTF 130C 과열상태, MTF Oil 과열상태 신호를 해당 Motor Block 으로 전송한다.

(3) 제어조건 및 방법

* SCU 및 R-SCU에서의 VCB 차단제어

-PC no.1 or no.2 MTF 70C 과열신호 검지조건 및 PC no.1 or no.2 MTF 120C 과열신호 검지 조건에서, PC no.1 or no.2 MTF 130C 과열신호 검지 또는 PC no,1 & no.2 MTF Oil과열신호가 검지되면, VCB 차단을 위하여 VCB 투입조건 1 출력신호 및 VCB 투입조건2 출력신호를

차단하여 VCB를 차단시킨다.

* SCU 및 R-SCU 에서의 VCB 투입복귀 제어

-VCB 차단후, PC no.1 & no.2 MTF 130C 과열신호 및 PC no.1 & no.2 MTF Oil 과열신호 복귀시의VCB 투입복귀 제어는 상기 VCB 제어의 제어순서에 따른다.

* SCU 및 R-SCU에서의 과열상태 검지기준 설정

* R-SCU 에서 검지된 과열상태는 SCU로 전송

* Motor Block 으로의 과열신호 전송

아. 동력객차용 MTF과온시 제어/ACTIVE FILTER고장감시

(1) 적용 장치 : SCU/VCU(TM5)

(2) 기능 설명

- 동력객차용 MTF 130C 과열신호 검지 또는 MTF Oil 과열신호가 검지되면 VCB를 차단시키고120C 과열상태 , MTF 130C 과열상태, MTF Oil 과열상태 신호를 해당 Motor Block(MB4) 으로 전송한다.

(3) 제어조건 및 방법

- TM5 MTF 70C 과열신호 검지조건 및 TM5 MTF 120C 과열신호 검지조건에서, TM5 MTF 130C 과열신호 검지 또는 TM5 MTF Oil과열신호가 검지되면, VCB 차단을 위하여 VCB 투입조건 1 출력신호 및 VCB 투입조건2 출력신호를 차단하여VCB를 차단시킨다.
- VCB 차단후, TM5 MTF 130C 과열신호 및 TM5 MTF Oil 과열신호 복귀시의 VCB 투입복귀 제어는 상기 VCB 제어의 제어순서에 따른다.
- TM5 M/B동작시 M/B에 의해 발생되는 고조파성분이 상쇄되도록 제어하기 위한 ACTIVE FILTER의 고장감시
- TM5 MTF/AUXB COOLING INVERTER 고장검지

10.4.3추진시스템제어및감시

가. M/B 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-M/B의 고장 및 차단유무 검지하여 고장기록 및 현시한다.

(3) 제어조건 및 방법

<M/B 고유번호>

- PC1 차량NO.1 M/B -> MB1
- PC1 차량 NO.2 M/B -> MB2
- TM1 차량 NO.1 M/B -> MB3
- TM5 차량 NO.1 M/B -> MB4
- PC2 차량 NO.1 M/B -> MB5
- PC2 차량 NO.1 M/B -> MB6

나. Train Speed Limit(TSL) 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- TSL Control Module 의 제어신호에 따라 ATC 장치로 30km/h 제한속도 Alarm 현시명령신호를 전송한다

(3) 제어조건 및 방법

- TSL 제어차단 신호 미인가 조건 및 TSL 제어 고장신호 미인가 조건에서 30km/h 제한속도 Alarm 현시 신호가 인가되면 Network 신호를 통하여 ATC 장치로 30km/h 제한속도 Alarm 현시 명령신호를 출력한다. 이 기능은 ATC/ATS고장시, 동력차 단독운행시 적용한다.
- 출고전시험의 'TSL 시험'시 시험진행/조작내용을 고장 정보화면에 현시한다.

다. 열차속도 및 차륜경설정 제어 및 감시

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- Speed Measureement Module로부터 검지된 열차속도 신호를 Netwokr 신호를 통하여 각 TCU, Brake ECU, BBCU 및 ESCU로 전송한다.
- 각 Motor Block 에서 별도의 Speed Sensors에 의한 속도연산을 위하여, Wheel Dia. 보정기능을 수행한다.

(3) 제어조건 및 방법

- Speed Measorement Module 로부터 인가되는 열차속도 V1,V2 신호를 비교하여 큰값을 현재 열차속도로 검지한다.(최대 24V/40mA, 80hz ~ 4490hz)
- 단, V1,V2 신호 비교시, 고장신호가 인가된 속도신호 또는 70Hz 이하, 4490Hz 이상으로 인가되는 속도신호는 고장으로 인식하여 제외시킨다.
- 검지된 열차속도 신호는 SCU 내부 제어에 사용하며, Network 신호를 통하여 각 VCU,TCU, BCU, ESCU 및 BBCU로 전송한다.
- Channel 1(for V1) & Channel 2(for V2) 고장신호 인가시, 열차속도 검지고장으로 인식한다.
- 또한, 고장 진단/처리 Monitor 화면상의 Key Board를 이용하여 속도연산 장치에 사용되는 동력대차의 Wheel Dia. 정보를 850mm ~ 920mm 범위에서 10m 단위로 등록하면, SCU 내에 기록된 Wheel Dia. 정보를 Up-date 하고, 열차운행 준비시, 최근 등록된 Wheel Dia. 정보를 Network 신호를 통하여 각 TCU로 전송한다.
- 200km/h 이하의 열차속도 검지 시, 전면 창 Wiper 제어를 위하여 200km/h 이하속도 검지신호를 Digital 신호로 출력한다

라. Sanding 제어

(1) 적용 장치 : SCU/VCU

(2) 기능 설명

- 열차주행중 견인시의 Slip 발생시 또는 제동시의 Slipe 발생시, TCU 또는 Brake ECU의 요청에 따라 SCU가 Sanding 제어신호를 출력한다.

(3) 제어조건 및 방법

-자동 Sanding Cancel 스위치 신호 미인가 조건에서 견인모드시, Network 신호를 통하여 TCU로부터 Sanding 요청신호가 인가되면, SCU는 150km/h 미만시는 Sanding 제어신호를 10초간/1회 출력하고, 150km/h 이상시는 Sanding 제어신호 & Large Sanding 제어신호를 같이 10초간/1회 출력한다.

또한, 동력객차의 Sanding 을 위하여 SCU는 Network 신호를 통하여 VCU로 상기의 열차속도 조건에 따라 Sanding 명령신호 또는 Sanding

명령신호 & Large Sanding 명령신호를 출력한다.

- 이 경우, Gateway Unit 와의 연계를 통하여 후두부 객차로 인식된 차량의 VCU는 Sanding 명령신호 인가시는 Sanding 제어신호를 10초간/1회 출력하고, Sanding 명령신호 & Large Sanding 명령신호 인가시는 Sanding 제어신호 & Large Sanding 제어신호를 같이10초간/1회 출력한다.

-제동모드시, Network 신호를 통하여 TCU 또는 Brake ECU로부터 Sanding 요청신호가 인가되면, 3km/h 이상의 속도조건에서 상기와 동일한 제어를 수행한다. 또한, 비상제동 신호 인가시에는 자동 Sanding Cancel 스위치 신호인가 조건에서도 상기와 동일한 제어를 수행한다.

-수동 Sanding 스위치 신호 인가시는 TCU 또는 Brake ECU의 Sanding 요청신호에 우선하여 상기와 동일한 제어를 수행하여 스위치 신호인가 시간동안만 상기의 관련 제어신호가 출력되도록 한다

-상기의 Sanding 제어시간은 시험시 SCU의 고장 진단/처리 Monitor 의 화면상 Key취급을 통하여 간편하게 조정이 가능하도록 한다.

마. Lubricating 제어

(1) 적용 장치 : SCU/ VCU

(2) 기능 설명

-열차진행 방향에 따라 동력객차의(TM1,TM5) SCU가 열차속도에 따른 주행거리를 계산하여 일정거리 주행시 마다 SCU명령에 따라 VCU는 Lubricating 제어신호를 출력한다.

(3) 제어조건 및 방법

-열차진행 방향에 따른 Gateway Unit와의 연계를 통하여 전두부의 동력객차로 인식된 차량의 VCU에서 Lubricating 제어를 수행한다

-SCU에서는 3km/h 이상 속도검지 조건에서 인가되는 열차속도 신호를 이용하여 주행거리를 계산하여 3~35km/h 속도영역에서는 150m 마다 Lubricating 제어명령을 하면 VCU는 3초간 출력하며, 35 ~ 350km/h 속도영역에서는 700m 마다 Lubricating 제어명령을 하면 VCU는 3초간 출력한다.

-상기의 Lubricating 제어 속도영역, 거리기준 및 제어시간은 시험시 SCU의 고장 진단/ 처리 Monitor의 화면상 Key 취급을 통하여 간편하게 조정이 가능하도록 한다.

바. 세척기 운행모드 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- 세척기 통과모드시, 고장진단 Monitor에 Pantograph 오동작 경고 메시지를 현시하고, 열차의 진행거리를 연산하여 Panto. 절환 및 통과완료 메시지를 현시한다.

(3) 제어조건 및 방법

-운전실 선택 및 열차정지 상태검지 조건에서, 세척기 통과모드 신호가 인가되면 세척기통과 운행모드로 설정한후 먼저, 출입문이Close 되도록 제어한후, Pantograph의 동작위치를 검지하여 후두부 동력차의 Panto, 가 상승되어있지 않은 경우에는 고장진단 Monitor에 경고음과 함께 '세척기 통과모드중, 판토그라프를 정상위치로 절환 하세요' 라는 메세지를 후두부 동력차의 Panto. 상승상태가 검지될때까지 현시한다.

-열차의 진행거리를 연산, 0부터 카운트하여 50m가 검지되면, 고장진단 Monitor에 경고음과 함께 '세척기 통과모드중, 판토그라프를 비상위치로 절환 하세요' 라는 메시지를 전두부 동력차의 Panto. 상승상태가 검지될 때까지 현시한다.

-열차의 진행거리가 180m로 검지되면, 고장진단 Monitor 에 경고음과 함께 '세척기 통과완료' 라는 메시지를 세척기 통과모드 신호 차단시까지 현시한다.

-세척기 통과모드 신호 차단시는 세척기통과 운행모드 설정을 해제한다.

10.4.4. 제동시스템제어및감시

가. 비상제동 감시 및 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

- SCU에 의한 비상제동 체결관련 제어 및 모니터링

(3) 제어조건 및 방법

- SCU는 다음 2가지 경우에 비상제동을 명령한다.

* 기계적고장(TRIPOD고장검지/메인압력저하)에 의한 비상제동체결

* 열차전체 TCN고장검지에 의한 비상제동체결.

- SCU는 신호/VSD/TSL/SCU, EB PB 및 MC PB등에 의한 비상제동 LOOP 소자에 의한 열차 비상제동체결 상태 현시한다.

나. 상용제동 제어 및 감시

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-SCU에서Main Reservoir Pipe 압력치 및 각종 대차의 Brake Cylinder 압력치를 입력받아 감시하고, 주차제동 및 제동 불완해 검지시 강제완해 스위치 취급신호 인가 시 관련신호 전송 및 화면장치에 현시한다.

(3) 제어조건 및 방법

- 주차제동 스위치 취급신호 인가시, 관련 시스템 및 화면장치로 주차제동 상태신호를 전송한다.

- SCU에서 상용/비상/정차제동모드 OFF 5초후에 ECU 혹은 DIGITAL신호로 제동 불완해가 검지되면 열차상태모니터에 '제동불완해' 상태를 현시하고 NETWORK를 통해 TCU, BBCU,ECU로의 추진 차단을 요청한다. 이때 강제완해 스위치 취급신호 인가 시, 해당 제동장치만 강제배기된다. SCU는 NETWORK으로 전체 BCU로 강제완해 상태신호를 전송한다.

-SCU에서 Main Reservoir Pipe 압력치 및 각종 대차의 Brake Cylinder 압력치를 입력받아, 열차상태 Monitor에 현시하고, 운행 중 Rp압력의 이상 저하시 안전을 위하여 비상제동을 제어한다.

-구원제동용 회로 및 고장감시

-출고전검사시 '기관사 단독제동시험'을 지원

다. Main Air Compressor 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-Rp 상태 및 열차속도 조건에따라 운행중 Rp가7.8 bar~ 9bar가 유지되도록 SCU제어신호에 의해Main Air Compressor를 Full Speed or Half Speed 로 동작시킨다.

(3) 제어조건 및 방법

-운행중, 운전실이 선택된 동력차의 SCU에서, 자차 또는 반대편 동력차의 Rp 7.8 bar이하가 검지되면, 운전실이 선택된 동력차의 SCU에서는 해당 Compressor의 차단신호가 인가되지 않은 조건에서 no.1 Compressor 동작 제어신호를 출력한다. 또한, 반대편 동력차의 SCU로는 Network 신호를 통하여 no.2 Compressor 동작 명령신호를 출력한다. 이경우, 반대편 동력차의 SCU에서는 해당 Compressor 의 차단신호가 인가되지 않은 조건에서no.2 Compressor 동작 명령신호가 인가되면, no.2 Compressor 동작 제어신호를 출력한다.

-해당차 해당compressor가 차단된 경우 해당차 다른 대기 compressor를 동작시킨다.

-Compressor 동작으로 양쪽 동력차 모두에서 Rp 9 bar 이상이 검지되면, 운전실이 선택된 동력차의 SCU에서는 상기의 출력신호를 차단한다.

-운행중, 3km/h 이하의 속도가 15초 이상 검지되는 경우 또는동력차 단독운전 조건시, 동력차의 SCU에서는 상기의 Compressor 제어신호 인가조건에서, Half Speed 제어신호를 출력하고 또한, 반대편 동력차의 SCU로도 Network 신호를 통하여 Half Speed 명령신호를 출력한다. 이경우, 반대편 동력차의 SCU에서는 Half Speed 제어신호를 출력한다.

라. Tripod 고장검지시의 제어

(1) 적용 장치 : SCU/TCU

(2) 기능 설명

-Tripod Unbalance 또는 Tripod Breakage 검지시, VCB 및 해당 Motor Block을 차단하고, 고장표시를 현시한다.

(3) 제어조건 및 방법

-SCU에 Network 또는 Digital 신호를 통한 Tripod Unbalance 검지신호 또는 Network를 통한 Tripod Breakage 또는 Unbalance 신호가 인가되면 고장현시하고 비상제동명령을 출력한다.

-TCU에서는 TRIPOD BREAKAGE 검지조건 또는 TRIPOD UNBALANCE신호가 인가되면 해당 MOTOR BLOCK을 차단한다.

마. Bogie Hunting 검지

(1) 적용 장치 : SCU /VCU

(2) 기능 설명

- 각 대차의 취부된 좌우진동 가속도 Sensors 신호를 Monitoring 하여 규정치 이상으로 진동이 발생하는 경우, 관련 표시등을 점등하고, 270km/h 이하속도 주행요구 Massage를 현시한다.

(3) 제어조건 및 방법

-운전실이 선택된 동력차 SCU의 경우, SCU로 인가되는 동력 대차용 가속도Sensor 1 신호 및 Sensor 2 신호를 각각 연산하여, 270km/h 이상의 속도 조건에서 Sensor 1 신호의 가속도치 또는 Sensor 2 신호의 Zero to Peak 가속도치가 + or 방향으로 0.8G이상으로 1.5초이상 지속되는 경우 또는, Network 신호를 통하여 R-SCU, VCU로부터 Bogie Hunting 신호가 인가되면, Bogie Hunting으로 검지하여, 현시모니터에 '대차이상'표시등 점등하고 고정모니터에 열차속도가 270km/h 이하속도 주행요구 Massage 현시한다. 열차속도가 270km/h 미만으로 검지되면, 상기의 현시 및 메시지표시를 중단한다.

-운전실이 선택된 동력차 반대편의 SCU경우, 상기와 같은 조건으로 Bogie Hunting이 검지되는 경우, Network 신호를 통하여 R-SCU로 Bogie Hunting 신호를 전송한다.

-VCU로 인가되는 동력대차용 가속도 Sensor 신호 및 부수대차용 가속도 Sensor신호를 각각 연산하여, 상기와 같은 조건으로 Bogie Hunting 이 검지되는 경우, Network 신호를 통하여 SCU로 Bogie Hunting 신호를 전송한다.

-SCU/VCU로 입력되는 가속도 Sensors 신호는 다음을 기준으로 하며, 추

후 시험시Sensors 특성에 따라 SCU/VCU내 기준치의 변경이 용이하도록 한다.

* 12V /-1.7g, +12V/+1.7g 선형적비례치

바. Air-bag Suspension 이상검지

(1) 적용 장치 : SCU/ VCU

(2) 기능 설명

-각 VCU에서 Air-bag 이상이 검지되면, SCU는 관련 표시등을 점등하고, 270km/h이하속도 주행요구 Massage를 현시한다.

(3) 제어조건 및 방법

-VCU의 경우, 각 VCU로 Air-bag 2bar 이하신호가 5초이상 계속 인가되면, Network 신호를 통하여 SCU로 Air-bag이상 신호를 전송하고, Digital 신호로도 Air-bag 이상 신호를 출력한다.

-VCU 의 경우, 각 VCU로 Air-bag 1 2bar 이하신호 또는 Air-bag2 2bar 이하신호가 5초이상 계속 인가되면, Network 신호를 통하여 SCU로 Air-bag이상 신호를 전송하고, Digital 신호로도 Air-bag 이상 신호를 출력한다.

-SCU의 경우, VCU 로부터 Network 신호를 통한 Air-bag 이상 신호 인가 또는 Digital 신호로 Air-bag 이상 신호가 인가되면 열차상태 Monitor에 '대차이상' 표시등을 현시하고, 고장 진단/처리 Monitor에 270km/h 이하속도 주행요구 Massage 를 현시한다.

-열차속도가 270km/h 미만으로 검지되면, 상기의 표시등 현시및 Massage 현시를 중단한다.

10.4.5.보조전원장치제어및감시기능

가. 밧데리 차단제어(SCU)

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-열차운행, 시험 종료후 Battery를 수동 차단하지 않은 경우, Battery의

과방전 보호를 위하여 SCU 제어신호에 의해 Battery를 자동 차단시킨다

-운행종료후, 기지에서 Radio 장치에 의해 차량의SCU와 Data통신을 할 경우 또는, Pre-conditioning 제어를 위하여 Radio 장치가 원격제어로 Battery를 투입하는 경우의 Battery 차단은 SCU 제어신호에 의한다.

(3) 제어조건 및 방법

-다음 조건에서 양 운전실의 SCU는 Battery 자동차단 제어신호를 10초간 출력한다. SCU의 차단으로 TM1,TM5,TT3의 밧데리접촉기가 모두 OFF 된다

* Service Retention 제어모드가 아닌 조건에서, 양쪽 동력차의 Panto. 선택OFF 상태 및 Driver's KEY의 OFF상태가 30분동안 계속 검지된경우. 30분내에 Panto. 선택신호 또는 Driver's Key의 ON 상태가 검지되면, 관련제어를 중지한다.

* Service Retention 제어모드에 의한 동작중, 가선전압 정상신호가 30분동안 계속 인가되지 않은 경우. 30분내에 가선전압 정상신호가 검지되면, 관련제어를 중지한다.

* Radio 장치의 제어신호에 의한 SCU-Radio 장치간의 Data 통신 종료후 또는, Radio 장치의 명령신호에 의한 SCU의Pre-conditioning 제어가 종료되는 경우.

나. 동력차 Battery Charger의 ON/OFF제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-670VDC 전압정상시, SCU제어신호에 의해 자동으로 Battery Charger가 동작 되도록 한다

(3) 제어조건 및 방법

-Battery Charger 의 no.1/no.2 Module중, 하나 이상의 Module이 정상동작 조건에서 670VDC 전압정상이 검지되면, 양쪽 동력차의 각 SCU는 Battery Charger ON 제어신호를 출력한다

다. 동력객차 Battery Charger의 ON/OFF제어

(1) 적용 장치 : VCU(TM1,TM5)

(2) 기능 설명

-670VDC 전압정상시, SCU제어신호에 의해 자동으로 Battery Charger가 동작 되도록 한다

(3) 제어조건 및 방법

-Battery Charger 의 no.1/no.2 Module중, 하나 이상의 Module이 정상동작 조건에서 670VDC 전압정상이 검지되면, TM1,TM5 VCU는 Battery Charger ON 제어신호를 출력한다

라. 객차 Battery Charger 의 ON/OFF제어

(1)적용 장치 : VCU(TT3)

(2)기능 설명

-670VDC 전압정상시, VCU제어신호에 의해 자동으로 Battery Charger가 동작 되도록 한다.

(3)제어조건 및 방법

-Battery Charger 의 고장신호 및 Air-con 고장신호가 없고, Air-con 의 배기기능 고장이 20초이상 지속되지 않는 조건에서 670VDC 전압정상이 검지되면, VCU는 Battery Charger ON 제어신호를 출력한다.

-또한, Battery Charger의 동작상태에 따른 객차의 조명제어를 위하여 각 VCU로 Battery Charger의 동작상태 신호를 전송하고, Battery Charger 냉각용 Fan 제어를 위하여 Air-con Control Module로 전송한다.

마. 670VDC 연장급전 제어

(1) 적용 장치 : SCU / VCU(TM5)

(2) 기능 설명

-편성중 한쪽 동력차의 670VDC Converter 차단 검지시, SCU 제어 명령에 의해 SCU에서 연장급전용 Contactor 투입제어 신호를 출력한다.

(3) 제어조건 및 방법

-운전실 선택신호에 의한 열차기동 제어시, 670V 연장급전 Contactor 는 정상상태(OFF상태) 초기 제어한다.

-SCU 에서편성중 한쪽 동력차의 670VDC Converter 차단신호가 검지되면, 반대편 동력차의 670VDC 연장급전 명령신호를 Network 신호를 통

하여 SCU로 출력한다

-VCU는 SCU로부터 670VDC 연장급전 명령신호가 인가되면, 연장급전용 Contactor 투입제어 신호를 출력하고, Contactor 투입상태 신호를 검지하여VCB 제어를 위하여 SCU로 전송한다

-670V 연장급전 중에 차단된 670VDC Converter가 복귀되더라도 제어전원 차단시까지는 연장급전 상태를 지속시킨다.

-SCU는 연장급전시, 동작중인 Converter의 차단신호가 검지되는 경우, VCB 차단 조건에서 670VDC 연장급전 복귀 명령신호를 Network 신호를 통하여 VCU로 출력한다

-SCU는 반대편 SCU로부터 670VDC 연장급전 복귀신호가 인가되면, 연장급전용 Contactor 투입제어 신호를 차단한다.

바. 440VAC/220VAC 감시제어

(1) 적용 장치 : VCU

(2) 기능 설명

-Air-con 고장신호 또는 배기기능 고장신호가 인가되면, 냉각고장신호를 출력한다.

-각 객차에 설치된 440/220VAC Transformer Line의 이상상태를 Monitoring 한다.

(3) 제어조건 및 방법

-Air-con Control Unit로부터 인가되는 Air-con 고장신호 또는 배기기능 고장신호가 20초이상 지속되면, Inverter 고장이 검지되지 않은 조건에서 CVCF Control Module로 냉각고장 신호를 출력한다.

-또한, CVCF Inverter 고장신호 인가시는 냉각팬 제어를 위하여 Air-con Control Module로CVCF Inverter 고장신호를 출력한다

-차량의 VCU에 220VAC Line 이상상태 신호가 인가되면, Network 신호를 통하여 SCU및 DISP2로 전송한다

10.4.6.차체전기장치제어및감시기능

가. Radio 장치와의 I/F를 통한 Data 통신 및 관련제어

Radio 장치의 제어 신호/정보에 따라 Pre-conditioning 관련 제어를 수행하고, 행선지/열차번호가 현시되도록 제어하며, 유지보수를 위하여 고장기록 관리 및 고장처치 관련 제어를 수행한다. Radio 장치와의 통신 방식은 RS-485 방식이다.

- Pre-conditioning 관련 제어
- 행선지 및 열차번호 현시관련 제어
- 동력차 차량 고유번호 확인관련 제어
- 고장기록 관리관련 제어
- 고장처치 관련제어
- 자동 고장기록 전송관련 제어

나. 객차용 Air- con 제어

(1) 적용 장치 : SCU

(2) 기능 설명

-Air-con ON/OFF 스위치 신호 및 440VAC 정상 검지신호에 따라 객차용 Air-con 동작을 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

-Air-con ON 신호 인가조건에서 440VAC 정상신호가 인가되면, Air-con 동작명령 신호를 Network 신호로 객차용 Air-con Control Module 전송한다.

-Air-con ON 신호 차단시 또는 440VAC 정상신호 차단시는 Air-con 정지명령 신호를 전송한다.

-또한, ATC로부터 사구간 진입신호가 인가되면 Air-con Contorl Module로 Air-con 정지명령 신호를 전송하고, 사구간 통과신호가 인가되면 Air-con 동작명령 신호를 전송한다.

-동력차 Air-con으로부터 외부온도 신호를 인가받아서 편성 내 모든 Air-con으로 전송한다

다. 조명 제어

(1) 적용 장치 : SCU/ VCU

(2) 기능 설명

-SCU 제어에 의해 터널구간 진입시 Tail Light를50W 에서 18W로 전환하며, VCU 제어에 의해 객실 조명모드를 Battery Charger의 동작상태에 따라 Maximum/ Reduced/ Safety 모드를 제어한다

(3) 제어조건 및 방법

< 동력차 Tail Light 제어>

-터널구간 진입시 후부 동력차의 Tail Light 를 50W에서 18W 로 전환하여 위하여, Head Light ON 신호 인가 조건에서 Air-con Unit 로부터 터널구간 제어신호가 인가되면, 반대편 동력차의 SCU로 Low Tail Light 신호를 전송하고, 터널구간 제어신호 차단시 신호전송을 차단한다.

-반대편 동력차 SCU에서는 Low Tail Light 신호가 인가되면 Tail Light 감광 신호를 출력한다.

< 객실조명 제어 by SCU>

1) 아래항목의 조건시, VCU로 조명 OFF 신호를 전송한다.

-객실조명 차단스위치의 정상위치 신호 인가시(IS-SWCOTR12=1)

-Service Retention 모드시

-Pre-sonditioning 모드 조건에서 MTD로부터 Lighting start-up(code BA) 신호 인가시

2) 아래항목의 조건시, VCU로 조명 ON 신호를 전송한다.

-객실조명 차단스위치의 차단위치 신호 인가시(IS-SWCOTR12=0)

-Service Retention 모드 해제시

-Pre-conditioning 모드 조건에서 MTD로부터 Extinction(code BB) 신호 인가시

3) 또한, VCU에서의 조명제어를 위하여 670VDC 정상 670 정상신호를 VCU로 전송한다.

< 객실 조명제어 by VCU >

-SCU로부터의 조명 ON신호 인가조건 및 670V 정상신호 인가 조건에서, Battery Charger의 동작상태에 따라 정상동작 신호 인가시는,Maximum 모드 제어신호를 출력하고 DEGRADED모드 동작모드가 인가되면 5분후 MAXIMUM모드 제어신호를 차단하고,REDUCED모드 제어신호를 출력한다.

-Maximum 모드 제어신호 출력중에 Battery Charger 고장신호 인가시 또는 670V 정상신호 미 인가시는 5분후 Maximum 모드 제어신호를 차단하고, Safety 모드 제어신호를 출력한다.

-Reduced 모드 제어신호 출력중에 Battery Charger 고장신호 인가시 또는 670V 정상신호 미 인가시는 바로 Reduced 모드 제어신호를 차단하고, Safety 모드 제어신호를 출력한다.

-단, SCU로부터 조명 OFF 신호 인가시는 상기의 출력신호를 차단시킨다

라. 방송장치 제어

(1) 적용 장치 : SCU/ VCU

(2) 기능 설명

-SCU와 VCU가 연계하여, 운전사/승무원의 대승객 방송시 또는 운전사의 승무원 호출시, 방송중 표시등, Alarm 및 객실 Speaker 용 Amp. 를 제어하고 또한, 승객비상 상황 발생시 Alarm 및 객실 Speaker 용 Amp. 를 제어한다

(3) 제어조건 및 방법

< 대승객 방송 제어 >

-대승객 방송제어(SCU) : 운전실 선택조건 및 TT2/TT4/TM5 VCU로부터의 승무원 방송중 신호가 인가되지 않은 조건에서, 동력차 방송장치로부터 대승객 방송 요청신호가 인가되면, 동력차 방송장치의 대승객 방송 허가신호를 출력하고, 방송장치용 전원인가 검지 조건에서 방송중 표시등 점등신호를 출력한다. 또한, 모든 VCU로 운전사 방송중 신호를 전송한다.

-대승객 방송제어(VCU_TT2/TT4/TM5) : 운전자 방송중 신호 또는 승무원 방송중 신호가 인가되지 않은 조건에서, 방송장치로부터 대승객 방송 요청신호가 인가되면, 요청신호가 인가된 VCU에서는 방송장치로 대승객 방송 허가신호를 출력하고, 방송장치용 전원인가 검지 조건에서 방송중 표시등 점등신호를 출력한다. 또한, SCU 및 모든 VCU로 승무원 방송중 신호를 전송한다.

-대승객 방송전 Alarm 제어(방송장비 탑재객차 VCU_TT2) : TT2 VCU에서는 운전사 방송중 신호 또는 승무원 방송중 신호 또는 대승객 방송

요청신호가 인가되면 3TONE 음의 대승객 방송전 Alarm 을 위하여 대승객 방송전 Alarm 제어 신호를 출력한다.

-대승객 방송시의 Amp. 제어 : 각 VCU에서는 운전사 방송중 신호 또는 승무원 방송중 신호 또는 대승객 방송 요청신호가 인가되면, Amp용전원인가 검지 조건에서 Amp. ON 신호를 출력한다.

< 운전자에 의한 승무원 호출제어 >

-승무원 호출제어(SCU) : SCU에 동력차 방송장치로부터 승무원 호출신호가 인가되면, 방송장치용 전원인가 검지 조건에서 동력차 방송장치로 5초간 방송중 표시등 점등신호를 출력하고, 모든 VCU로 승무원 호출 Alarm 제어신호를 전송한다.

-승무원 호출시의 Alarm 제어(TT2 VCU): TT2 VCU에서는 승무원 호출 Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 5초간 승무원 호출 Alarm 신호를 출력한다

-승무원 호출시의 Amp. 제어(ALL VCU) : 각 VCU에서는 승무원 호출 Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp. ON 신호를 출력한다.

< 승객 비상상황시의 제어 >

-승객 비상상황시의 제어(해당 VCU) : 승객이 비상Alarm 스위치를 취급한 차량의 VCU에 승객비상 Alarm 신호가 인가되면, SCU 및 모든 VCU로 승객비상 Alarm 제어신호를 전송한다. 승무원에 의한 비상Alarm 스위치 복귀에 의하여 상기의 승객비상 Alarm 신호가 차단되면, 승객비상 Alarm 제어신호 전송을 차단한다.

-승객 비상상황시의 Alarm 제어(TT2 VCU) : TT2 VCU에서는 승객비상 Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 25초간 승무원 호출 Alarm신호를 출력한다.

-승객 비상상황시의 Amp. 제어(모든 VCU) : 각 VCU에서는 승객비상 Alarm 검지상태 또는 승객비상 Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp.ON 신호를 출력한다.

-승객 비상상황시의 제어(SCU) : SCU 에서는 운전실 선택 2초후부터 승객비상 Alarm 신호또는 승객비상 Alarm 제어신호가 인가되면, 방송장치

로 Alarm 신호를 출력한다.

-상기의 신호출력중에 Alarm 인지스위치 취급신호가 인가되면, 상기의 Alarm 신호출력을 차단시킨다.

마. Intercom 통화제어

(1) 적용 장치 : VCU

(2) 기능 설명

-각 VCU간의 연계를 통하여 승무원 호출시 Alarm을 제어하고 Intercom을ON/OFF시키며, 승무원과 승객간 통화를 위한 송신/ 수신 모드를 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

< 승무원 호출 제어 >

-승무원 호출시의 제어(해당VCU) : 승무원 호출스위치를 취급한 차량의 VCU에 Intercom 제어전원 신호인가 조건에서 승무원 호출신호가 인가되면, Intercom ON 신호 및 Intercom 사용중 표시등 신호를 출력하고, 모든 VCU로 승무원 호출 Alarm 제어신호를 전송한다.

-Alarm 제어(TT2 VCU) : VCU에서는 승무원 호출 Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 5초간 승무원 호출 Alarm 신호를 출력한다.[2.7.4절참조]

-Amp. 제어(모든VCU) : 각 VCU에서는 승무원 호출 검지상태 또는 승무원 호출 Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp. ON 신호를 출력한다.[2.7.4절 참조]

< Intercom 통화제어 >

-승무원 응답시의 제어(해당VCU) : 승무원 응답스위치를 취급한 차량의 VCU에 Intercom 제어전원 신호인가 조건에서 승무원 응답신호가 인가되면, Intercom ON 신호 및 Intercom 사용중 표시등 신호를 출력하고, 모든 VCU로 승무원 응답 제어신호를 전송한다. 또한, 승무원 응답신호 인가조건에서 승무원 호출신호 인가중에는 승무원 송신모드 신호를 출력한다. 승무원 응답신호가 차단되면, 관련 Intercom 제어를 중지하고 모든

VCU 로 Intercom 통화종료 제어신호를 전송한다.

-Intercom 제어(모든VCU) : 각 VCU에서는 승무원 응답제어신호가 인가되면, Intercom 사용중 표시등 신호를 출력하고, 승무원 호출신호가 인가되더라도 무시한다. 또한, 승무원 송신모드 신호 인가중에는 Intercom 통화종료 제어신호가 인가되면, 관련 Intercom 제어를 중지한다.

바. Audio/Video 장치 제어

(1) 적용 장치 : VCU(TM5)

(2) 기능 설명

- 각 VCU 간의 연계를 통하여 Audio/Video 장치의 전원공급 제어, Audio/Video 방송시의 객실 Speaker 제어 및 Audio/Video 장치의 Speaker/Headphone 신호 출력을 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

< Audio/Video 장치 전원공급 제어 >

-Audio/Video 장치용 72V 전원인가 검지시, A/V 전원공급 신호를 출력하고, Battery Charger 고장검지가 5분이상 지속되는 경우 A/V 전원공급 신호를 차단한다.

< Audio 방송시의 객실 Speaker 용 Amp 제어>

-TM5 VCU에 Audio/video Cabinet으로부터 음악방송 신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 ON신호를 출력하고, 모든 VCU로 음악방송 제어신호를 전송한다.

-음악방송 제어신호가 인가된 모든 VCU에서는 Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp. ON신호를 출력한다.

< Video 방송시의 객실 Speaker용 Amp 제어>

- TM5 VCU 에 Audio/Video Cabinet 으로부터 Video 방송신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조검에서 Amp. ON 신호를 출력하고, 모든 VCU로 Video 방송 제어신호를 전송한다.

- Video 방송 제어신호가 인가된 모든 VCU에서는 Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp. ON 신호를 출력한다.

< Audio/Video Cabinet의 Speaker/Headphone 출력제어 >

-TM5 VCU에서 Audio/Video Cabinet의 Speaker and/or Headphone 출력 제어를 위하여, 대승객 방송 또는 Alarm 신호 인가가 없는 정상시는 A/V Speaker 출력제어 신호 및 A/V Headphone 출력제어 신호를 출력한다

-Alarm 신호 인가시는A/V Headphone 출력제어 신호만 출력하고 A/V Speaker 출력제어 신호는 차단하며, 운전사/승무원 대승객 방송신호 인가시는 A/V Speaker 출력제어 신호 및 A/V Headphone 출력제어 신호 출력을 차단한다.

마. 출입문 제어

(1) 적용 장치 : SCU/ VCU

(2) 기능 설명

-출입문 Open/Close 상태를 검지하여 표시등을 제어하고 Pre-conditioning시 자동으로 출입문 Open/Close 제어를 하며, 세척기통과 운행모드시는 자동으로 출입문이 Close 되도록 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

< 출입문 Open/Close 상태표시등 제어(SCU) >

-오른쪽 출입문 Open 상태표시등 제어:1개이상 오른쪽출입문 open시 ON

-왼쪽 출입문 Open 상태표시등 제어 :1개이상 왼쪽출입문 open시 ON

-오른쪽 출입문 Close 상태표시등 제어 : 하나이상 오른쪽 출입문 LOCKED OR ISOLATION 입력시 점멸. 오른쪽 출입문 모두 LOCKED OR ISOLATION상태 혹은 모든출입문 LOCKED OR ISOLATION인가시 점등.

-왼쪽 출입문 Close 상태표시등 제어 : 하나이상 왼쪽 출입문 LOCKED OR ISOLATION 입력시 점멸. 왼쪽 출입문 모두 LOCKED OR ISOLATION상태 혹은 모든출입문 LOCKED OR ISOLATION인가시 점등.

< Pre-conditioning 시의 출입문 제어(SCU) >

RADIO장치로부터 해당제어신호 인가되면 열차정지검지조건에서 출입문 제어수행

-오른쪽 출입문 Open 제어

-왼쪽 출입문 Open 제어

-출입문 Close 제어

< 세척기통과 운행모드시의 출입문 제어(SCU) >

-세척기통과 운행모드 설정시, VCU로 출입문 Close 명령신호를 전송한다.

< 출입문 제어 (VCU) >

-속도신호 전송 : DCU에서의 출입문제어를 위하여 5KM/H이하속도 및 15KM/H이상속도를 출력한다.

-오른쪽 출입문 Open 제어 : SCU로부터 오른쪽 출입문 OPEN 명령신호가 인가되면, 오른쪽 출입문 RELEASE신호를 계속 출력하고, 또한 오른쪽 출입문 OPEN신호를 3초간 출력한다.

-왼쪽 출입문 Open 제어 : SCU로부터 왼쪽 출입문 OPEN 명령신호가 인가되면, 왼쪽 출입문 RELEASE신호를 계속 출력하고, 또한 왼쪽 출입문 OPEN신호를 3초간 출력한다.

-오른쪽/왼쪽 출입문 Close 제어 : SCU로부터 출입문 CLOSE 명령신호가 인가되면, 출력하고이던 오른쪽/왼쪽 출입문 RELEASE신호를 차단한다.

< 출입문 상태검지(VCU) >

-출입문 상태신호가 인가되면, SCU로 출입문 상태신호를 전송한다.

< 출입문 Step 등 제어(VCU) >

-아래의 조건에서 오른쪽 또는 왼쪽 출입문 Locked 상태신호가 차단되는 경우, 오른쪽 또는 왼쪽 출입문 Step등 제어신호를 출력한다

1출입문제어 고장신호 미인가조건

1오른쪽 또는 왼쪽출입문 ISOLATION 상태신호 미인가조건

1출입문 STEP등 전원신호 인가조건

< 출입문 Not Close 상태신호 전송(VCU) >

-Digital 신호로 오른쪽 출입문 Release 명령신호 차단 조건에서, Door Controller 로부터 오른쪽 출입문 Isolation 상태신호가 인가되지 않은 상태에서, 오른쪽 출입문 Locked 상태신호가 인가되지 않는 경우에 오른쪽 출입문 Not Close 상태신호를 모든 VCU로 전송한다.

-Digital 신호로 왼쪽 출입문 Release 명령신호 차단 조건에서, Door

Controller 로부터 왼쪽 출입문 Isolation 상태신호가 인가되지 않은 상태에서, 왼쪽 출입문 Locked 상태신호가 인가되지 않는 경우에는 왼쪽 출입문 Not Close 상태신호를 모든 VCU로 전송한다.

< 출입문 비상 Open 시의 제어 >

-출입문 비상 Open 시의 제어 (VCU) : 5KM/H이상속도 조건에서 DCU로부터 출입문 비상스위치 취급스위치 인가되면 모든 VCU로 출입문 비상 ALARM제어신호를 전송한다.

-Alarm 제어 (VCU_TT2) : TT2 VCU는 출입문 비상 ALARM제어신호가 인가되면 AMP용 전원 검지조건에서 25초간 승무원 호출ALARM신호를 출력한다.

-Amp. 제어(VCU_ALL) : 각 VCU에서는 출입문 비상스위치 취급검지상태 또는 승무원 비상 ALARM제어신호가 인가되면 AMP용 전원인가 검지조건에서 AMP ON신호를 출력한다.

바. 행선표시기 제어

(1) 적용 장치 : SCU / VCU/ DISP

(2) 기능 설명

-SCU/VCU 와 연계하여, Radio 장치로부터 또는 고장진단 Monitor 상의 Key 스위치를 이용하여 수동으로 Up-dated 열차번호, 행선지 Code 신호가 인가되는 경우, 행선표시기에 열차번호, 행선지가 현시되도록 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

* 열차번호 및 행선지 현시 제어(SCU)

-Radio 장치에 의한 원격제어 : 통신데이타로 수신한 열번(8자리이내의 아라비아 숫자),행선지설정 및 UPDATE된 데이터를 모든 VCU로 전송

-고장진단 Monitor 에 의한 제어 : 화면의 key스위치에 의한 열번(8자리이내의 아라비아 숫자),행선지설정 및 UPDATE된 데이터를 모든 VCU로 전송

-현시제어(VCU) : UP-DATED된 열번,행선지를 RS485를 통하여 행선표시기로 전송하고,열차정지시에만 현시될 수 있도록 5KM/H이하 속도신호

를 출력한다.

-고장진단 Monitor에 의한 행선표시기 상태시험 제어 : 행선표시기 시험 명령을 전송하고 시험결과를 받아서 고장진단표시기에 현시한다.

사. 승무원 Information Display Unit 제어

(1) 적용 장치 : VCU

(2) 기능 설명

-승무원 호출상태, Intercom 통화중 상태, 화장실 Tank Full 상태, Air-con 고장상태, 여압기능 고장상태, 출입문 상태, 승객 비상호출 상태, 화재검지 상태 등 승무원이 인지 해야하는 14개 항목의 현시신호를 RS485 통신을 통하여 Information Display Unit로 전송한다.

(3) 제어조건 및 방법

Information Display Unit 전원인가 검지신호 인가조건에서

- 운전자의 승무원 호출상태 현시제어 승무원 호출 Alarm 제어신호가 인가되면, 승무원 호출상태 'TM-CALL-DRIVER' 현시명령 신호를 Information Display Unit로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

- 승객의 승무원호출 상태 현시제어

승객비상 Alarm 신호 또는 승객비상 Alarm 제어신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 승무원 호출상태 'TM-CALL-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit로 전송하고 승무원 응답신호 또는 승무원 응답 제어신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-Intercom 통화중 상태 현시제어

승무원 응답신호 또는 승무원 응답 제어신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 Intercom 통화중 상태 'ACK-CALL-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit로 전송하고 승무원 응답신호 차단시 또는 Intercom 통화종료 제어신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-일반 화장실 Tank Full 상태 현시제어

일반 화장실 Tank 80% 수위신호 또는 일반 화장실 Tank Full 수위신호 또는 일반 화장실 TanK Full 신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 일

반 화장실 Tank Full 상태 FULL-WC-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit 로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-장애자 화장실 Tank Full 상태 현시제어

장애자 화장실 Tank 80% 수위신호 또는 장애자 화장실 Tank Full 수위신호 또는 장애자 화장실 Tank Full 신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 장애자 화장실 Tank Full 상태' FULL-WCD-TT-02' 현시명령 신호를Information Display Unit로 전송하고, 인지스위치 취급 신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-Air-con 고장상태 현시제어

Air-con 고장상태 신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 Air-con 고장상태 ' FA-AIRCON-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit 로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-여압기능 고장상태 현시제어

여압기능 고장상태 신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 여압기능 고장상태 'FA-PRES-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit 로 전송하고, 인지 스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-오른쪽 출입문 Not Close 상태 현시제어

오른쪽 출입문 Not Close 상태 검지시 또는 오른쪽 출입문 Not Close 상태신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 오른쪽 출입문 Not Close 상태 'NOCL-RDOOR-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-왼쪽 출입문 Not Close 상태 현시제어

왼쪽 출입문 Not Close 상태 검지시 또는 왼쪽 출입문 Not Close 상태신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 왼쪽 출입문 Not Close 상태 'NOCL-LDOOR-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit로 전송하고,. 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-출입문 비상상태 현시제어

5km/h 이상의 속도에서 출입문 비상스위치 취급 검지상태 또는 출입문 비상 Alarm 제어신호가 인가되면, 해당 차량번호와 함께 출입문 비상상태 'EM-DOOR-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit 로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-승객 비상호출 상태 현시제어

승객 비상호출 검지상태 또는 승객비상 Alarm 제어신호 인가시, 해당 차량번호와 함께 승객 비상호출 상태 'AL-EMS-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit로 전송하고 검지상태 복귀시 또는 승객 비상 Alarm 제어신호 인가 차단시 명령신호를 차단한다.

- 배전반 화재 검지상태 현시제어

배전반 화재 검지상태 또는 배전반 화재발생 검지신호 인가시, 해당 차량번호와 함께 배전반 화재 검지상태 'FI-EC-TT-xx (01~05)' 현시명령 신호를 Information Display Unit 로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

-Audio/Video Cabinet 화재 검지상태 현시제어

A/V Cabinet 화재 검지상태 또는 A/V Cabinet 화재발생 검지신호 인가시, 해당 차량번호와 함께 배전반 화재 검지상태 'FI-AV-TT-05' 현시명령 신호를Information Display Unit로 전송하고, 인지스위치 취급신호 인가시 명령신호를 차단한다.

아. 화장실 제어

(1) 적용 장치 : VCU

(2) 기능 설명

-화장실 Tank의 수위를 Monitoring 하여 80% 수위검지시 또는 Full 수위 검지시 Alarm이 되도록 제어한다.

(3) 제어조건 및 방법

<화장실 Tank Level Monitoring >

-Toilet Contorl Panel 로부터 화장실 Tank 80% 수위신호 또는 Full 수위 신호가 인가되면, 해당 차량의 VCU는 모든 VCU로 화장실 Full Alarm

제어신호를 전송한다.

-또한, 일반 화장실과 장애자용 화장실을 구분하여 일반 화장실 Tank 80% 수위신호 또는 Full 수위신호 인가시 일반화장실 Tank Full 신호를 모든 VCU로 전송하고, 장애자용 화장실 Tank 80% 수위신호 또는 Full 수위신호 인가시 장애자 화장실 Tank Full 신호를 모든 VCU로 전송한다.

< 화장실 Full 시의 Alarm 제어 >

-TT2 VCU에서는 화장실 Full Alarm 제어신호가 인가되면, Amp 용 전원인가 검지 조건에서 25초간 승무원 호출 Alarm 신호를 출력한다.

< 화장실 Full 시의 Amp. 제어 >

-각 VCU에서는 화장실 Tank 80% 또는 Full 수위 검지상태 또는 화장실 Full Alarm 제어신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp. ON 신호를 출력한다.

자. 화재검지 제어

(1) 적용 장치 : SCU/VU

(2) 기능 설명

-동력객차/객차의 배전반 또는 A/V Cabinet 내부에서 화재발생시 해당 VCU에서 이를 검지하여 SCU, 모든 VCU, DISP1, DISP2 및 자차의 Air-con Control Moudel 로 전송하고, Alarm 제어를 한다

(3) 제어조건 및 설명

< 화재검지 (VCU) >

-각 VCU의 경우, 배전반 화재검지용 제어전원 신호 인가 및 Rp 압력정상 신호 인가조건에서 배전반 화재검지 정상 신호가 인가되지 않으면, 배전반 화재발생으로 검지하여 배전반 화재발생 검지신호를 SCU, 모든 VCU, DISP1, DISP2 및 자차의 Air-con Control Module로 전송한다.

-또한, VCU의 경우, A/V Cabinet 화재검지용 제어전원 신호 인가 및 Rp 압력정상 신호 인가조건에서 A/V Cabinet 화재검지 정상신호가 인가되지 않으면, A/V Cabinet 화재발생으로 검지하여A/V Cabinet 화재발생 검지신호를 SCU, 모든 VCU, DISP1,DISP2, 및 자차의 Air-con Control Module로 전송한다.

<화재검지 제어 (SCU)>

-VCU로부터 배전반 또는 A/V Cabinet 화재발생 검지신호가 인가되면, 방송장치로 Alarm 신호를 출력한다.

-상기의 신호출력중에 Alarm 인지스위치 취급신호가 인가되면, 상기의 Alarm 신호 출력을 차단시킨다.

< 화재검지시의 Alarm 제어>

-TT2 VCU 에서는 배전반 또는 A/V Cabinet 화재발생 검지 신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 25초간 승무원 호출 Alarm 신호를 출력한다.

-각 VCU에서는 화재발생 검지상태 또는 배전반 또는 A/V Cabinet 화재발생 검지신호가 인가되면, Amp용 전원인가 검지 조건에서 Amp. ON 신호를 출력한다.

차. ALARM요청 중복시 제어

(1) 적용 장치 : SCU/VU

(2) 기능 설명

-운전사의 승무원 호출시, 객실 비상스위치 취급시, 화재발생 검지시, 승객 Intercom 사용시에 의한 Alarm 요청중복시 각 조건에 따라Second call Alarm 요청을 Cancel 또는 First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm이 수행되도록 한다.

(3) 제어조건 및 설명

-운전사의 승무원 호출에 의한Alarm 요청이 First call인 경우에서, 아래와 같은 Second call 신호가 인가되는 경우

* 운전사의 승무원 호출에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

* 객실 비상스위치 취급에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 화재발생 검지에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 승객 Intercom 사용에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

-객실 비상스위치 취급에 의한Alarm 요청이 First call인 경우에서, 아래와 같은 Second call 신호가 인가되는 경우

* 운전사의 승무원 호출에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

* 객실 비상스위치 취급에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

* 화재발생 검지에 의한Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 승객 Intercom 사용에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

-화재발생 검지에 의한 Alarm 요청이 First call인 경우에서, 아래와 같은 Second call 신호가 인가되는 경우

* 운전사의 승무원 호출에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

* 객실 비상스위치 취급에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 화재발생 검지에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 승객 Intercom 사용에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

-승객 Intercom 사용에 의한 Alarm 요청이 First call인 경우에서, 아래와 같은Second call 신호가 인가되는 경우

* 운전사의 승무원 호출에 의한Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 객실 비상스위치 취급에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 화재발생 검지에 의한 Alarm 요청시

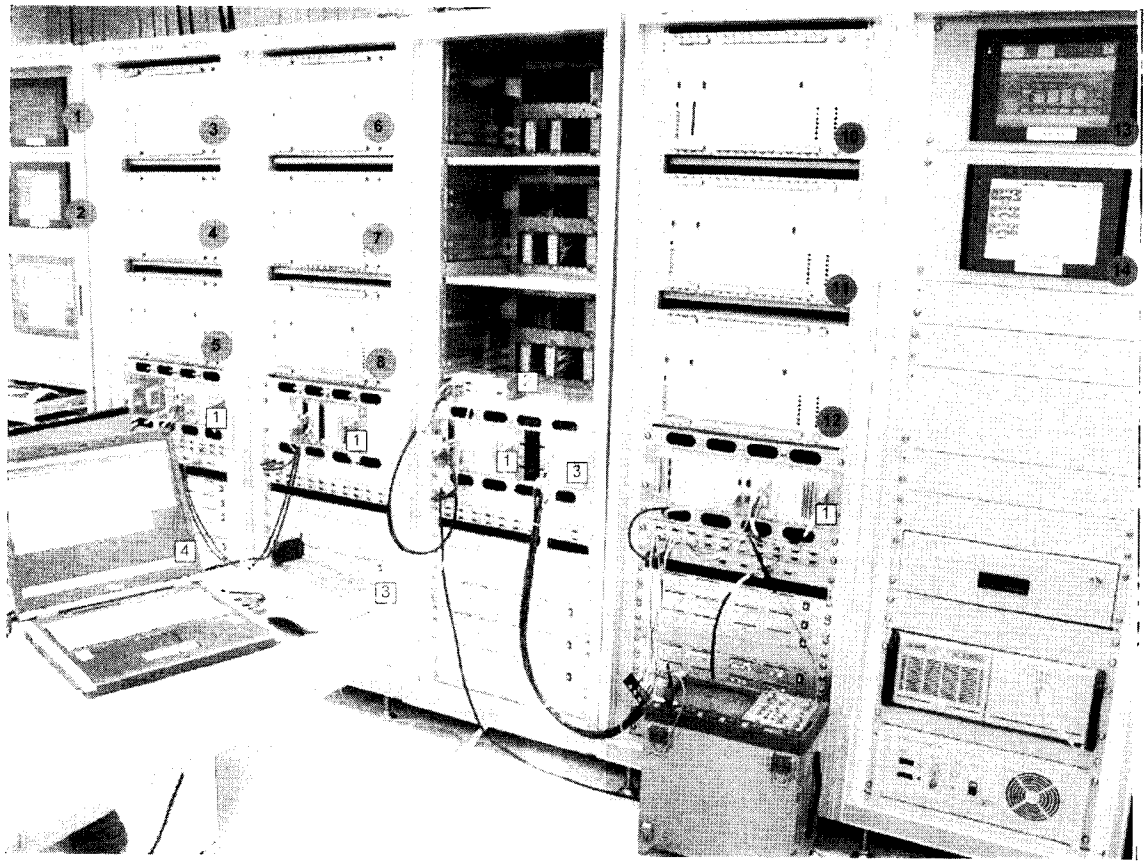
: Second call 신호저장, First call 제어완료후, 자동으로 Second call Alarm 제어

* 승객 Intercom 사용에 의한 Alarm 요청시

: Second call 신호 Cancel

10.5 조합시험

[그림 10.16]은 시뮬레이터의 구성을 나타낸 것으로 [그림 10.16]의 ①은 [그림 10.16]의 ①과 같이 나타내었다. 시뮬레이터는 한국형 고속열차의 구성도와 동일하게 구성하였다.



[그림 10.16] 시뮬레이터 구성도

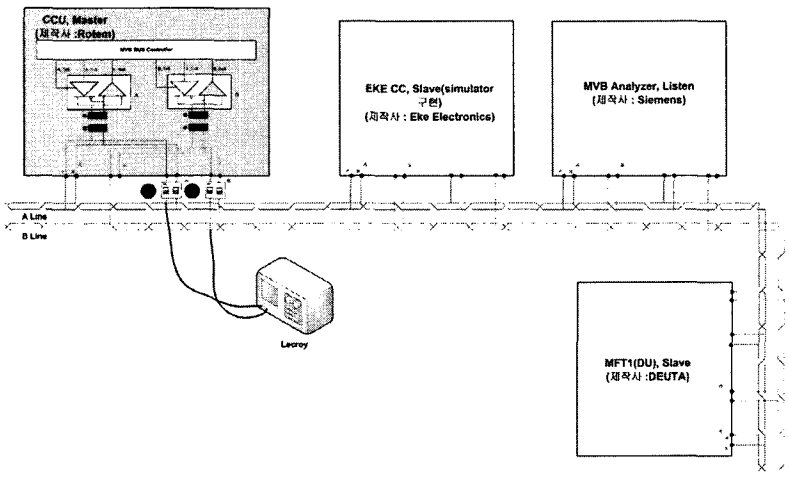
[그림 10.16]의 ①⑬은 PC차의 지원정보화면으로 각종 고장정보, 하부장치의 상태정

보 등을 표시하며, 중고장 발생시 경보음이 울리는 것과 동시에 발생된 고장에 대처할 수 있도록 구성되었다. ②⑫는 PC차의 차량정보화면으로 열차의 중요한 상태정보를 실시간으로 표시한다. PC1의 ③④는 SCU로 이상발생시 상호 절체 될 수 있도록 설계되었으며, ⑩⑪은 PC2의 SCU이다. [1]은 EKE TC로 각 차의 MVB 통신의 슬fp이브를 담당한다. [2]는 MVB 통신의 호환성을 시험하기 위하여 Siemens사의 'MVB Bus Analyzer'를 이용하여 통신에러 체크 및 포트데이터를 확인 할 수 있도록 하였다. [3]은 'EKE Electronics'사의 'WTB Bus Analyzer'로 EKE CC와 WTB 인터페이스를 통하여 컴퓨터의 TCN 소프트웨어로 통신에러 체크, 통신데이터 확인, 초당프레임 확인 등을 할 수 있도록 구성하였다. TCN 통신선은 HUBER +SUNHNER사의 120[Ohm] TCN 전용선을 사용하였으며 WTB의 경우 300[m], MVB의 경우 30[m]를 이중화 구조로 연결하여 거리에 의한 통신의 영향을 분석하였고, 이중화 시험을 위하여 라인선택스위치를 부착하여 이중화시 통신에 미치는 영향을 분석하였다.

10.5.1 MVB 통신 시험

10.5.1.1 MVB 호환성 시험환경 및 파형분석

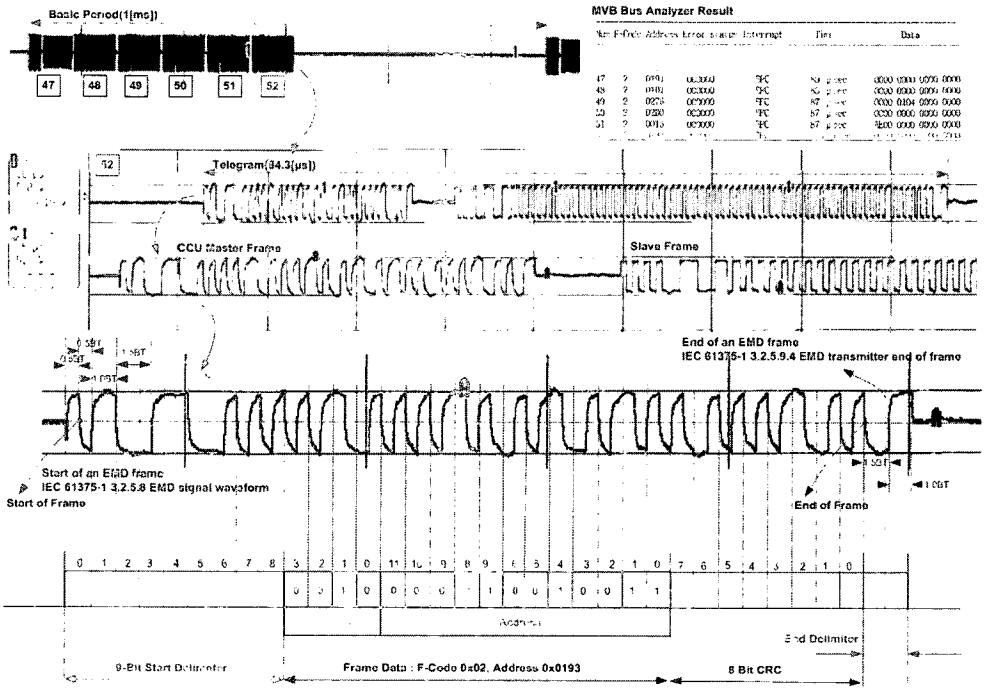
MVB는 하나의 마스터에 다수의 슬레이브 노드를 형성하며 임의적인 전송이 아니라 데이터 형태를 주기적으로 기본주기를 반복하며 통신한다. 마스터는 정해진 순서에 따라 순차적으로 슬레이브를 폴링한다. 이에 따라 발생지 노드(Source Port)로부터 여러 목적지 노드(Sink Port)로 Broadcasting 된다.



[그림 10.17] MVB 호환성 시험환경

[그림 10.17]는 MVB 호환성 시험을 위한 시험환경이다. 호환성 시험을 하기 위하여 각각 다른 유럽회사의 두 제품을 시험하였다.

당사개발 제품인 SCU는 마스터이고 EKE CC는 한국형 고속열차의 포트테이블을 마스터에 응답하도록 구성하였다. 화면장치인 Deata사의 MFT1도 슬레이브로 해당 데이터를 주고받을 수 있도록 하였다. [그림 10.18]은 'Macro Period'중 'Basic Period'의 한 부분의 파형을 캡처한 화면이다.



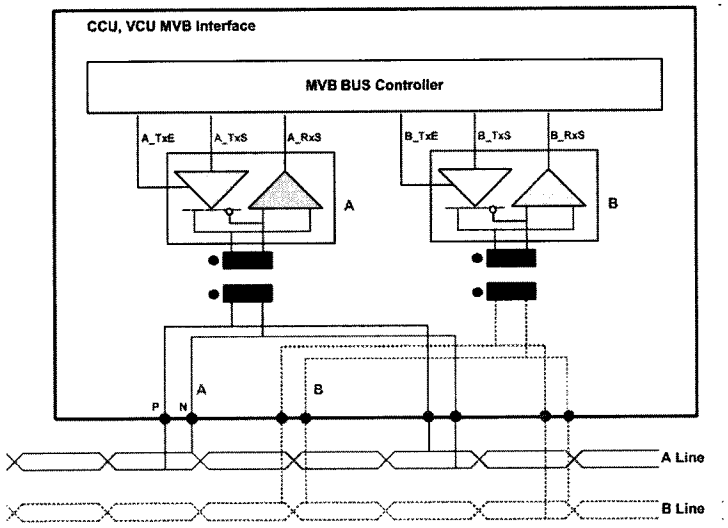
[그림 10.18] MVB Telegram 분석

'Basic Period'는 [그림 10.18]과 같이 1[ms]이고 6개의 마스터프레임, 6개의 슬레이브 프레임을 포함하여 6개의 Telegram이 있다. 마스터 프레임은 22[μs]이고 슬레이브 프레임('F-code : 0X02'일 경우)은 54[μs]이다. [그림 10.18]과 같이 한 Telegram은 84.3[μs]이고 'MVB Analyzer Result'에도 약 87[μs]로 분석되었다. 약간의 시간차이는 측정오차이다. [그림 10.18]은 SCU 마스터가 401, 465, 630, 720, 21, 403 포트를 폴링하며 SCU 및 EKE CC는 해당 마스터 프레임에 대하여 Broadcasting으로 응답한다. 'Basic Period' 안의 6개의 Telegram은 'MVB Analyzer Result'로 되어 있는 부분과 비교하여 분석하면 된다. 그중 SCU 마스터 프레임 9-Bit 'Master Start Delimiter(MSD)'는 'IEC 61375-1 3.2.5.8'의 파형과 일치하고, 'End Delimiter(ED)'는

'IEC 61375-1 3.2.5.9.4'과 일치한다. 데이터 부분은 F-code 4-bit, Address 12-bit로 맨체스터코드로 분석하면 '0x0193'으로 'Basic Period'의 마지막 마스터 프레임 '403번' 포트로 해석된다.

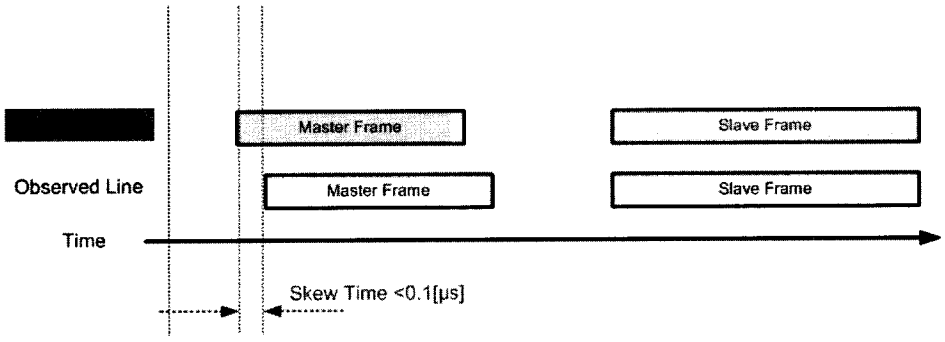
10.5.1.2 MVB 이중화(Redundancy) 시험

[그림 10.19]는 MVBC의 이중화 구성도이다. MVB는 이중화로 구성되어 있다. 마스터 프레임은 Line A, Line B에 동시에 보내고 이에 대하여 슬레이브 프레임도 동시에 실린다.



[그림 10.19] MVB 이중화(Redundancy) 구성도

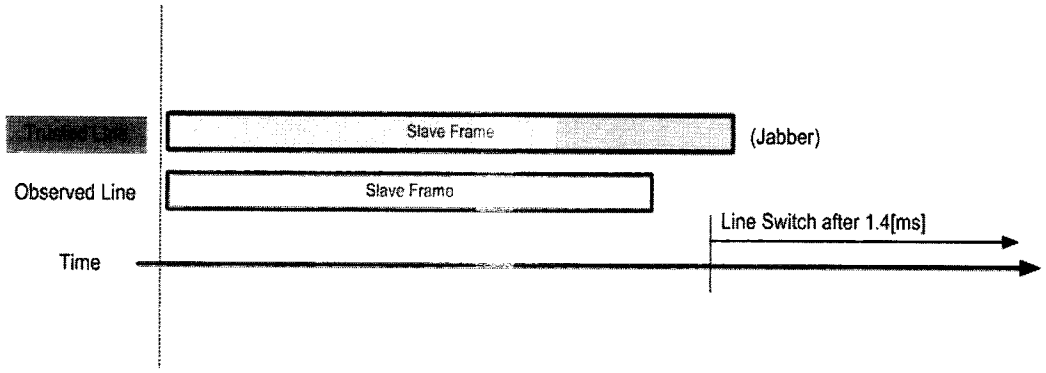
내부 'MVBC'로직에 의하여 'Bus Controller'가 두신호중 사용되어지는 신호를 수신받는다. 이 신호를 'Trusted Line'('Active Line' 이라고도 함)라 하고 나머지 신호를 'Observed Line'이라 한다.



[그림 10.20] Skew Time

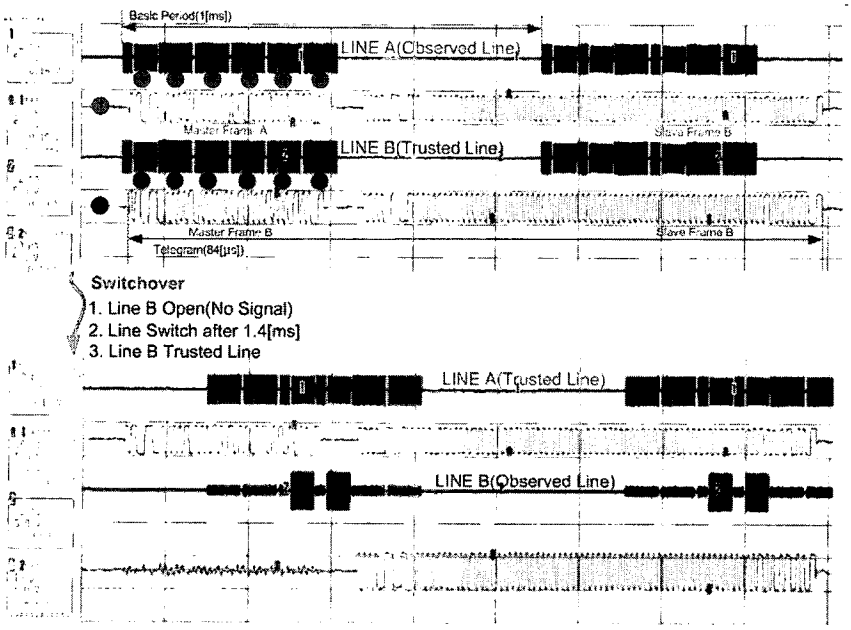
[그림 10.20]은 MVB 마스터가 마스터 프레임을 0.1[μs]차이로 보내는데 이 시간을 'Skew Time'이라 한다. 이는 이중화를 위한 방법으로 신호의 중첩을 방지하기 위하여 'Skew Time'을 둔다.

[그림 10.21]은 'Trusted Line'에서 신호의 왜곡이 생길 경우 1.4[ms]후 'Observed Line'으로 절체 된다. 통신라인의 절체의 경우는 여러 가지 조건을 가지고 있지만 [그림 10.21]은 그 중 하나의 조건을 소개한 것이다.



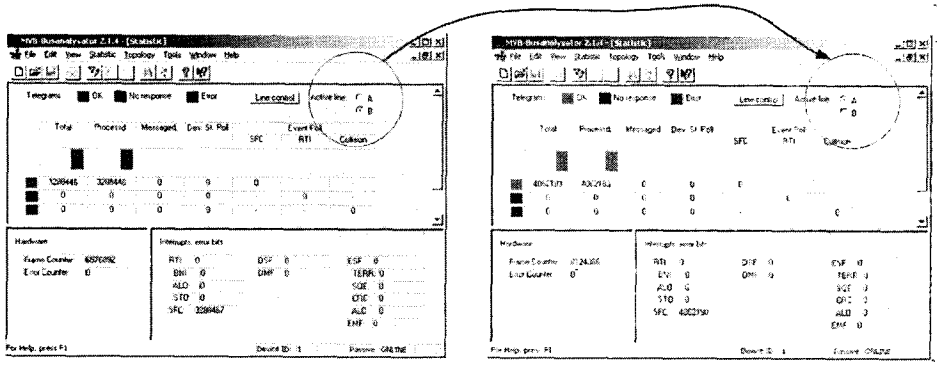
[그림 10.21] Switch Over

[그림 10.22]는 [그림 10.23]의 'Line B' 절체 후 파형을 관찰한 것이다. [그림 10.23]의 좌측 'MVB Bus Analyzer' 분석 화면에서 'Active Line'이 'B'로 체크되어 있는 것을 확인한다. 'Line B' 절체 후 'Active Line'이 'Line A'로 체크 되어 있는 것을 확인한다.



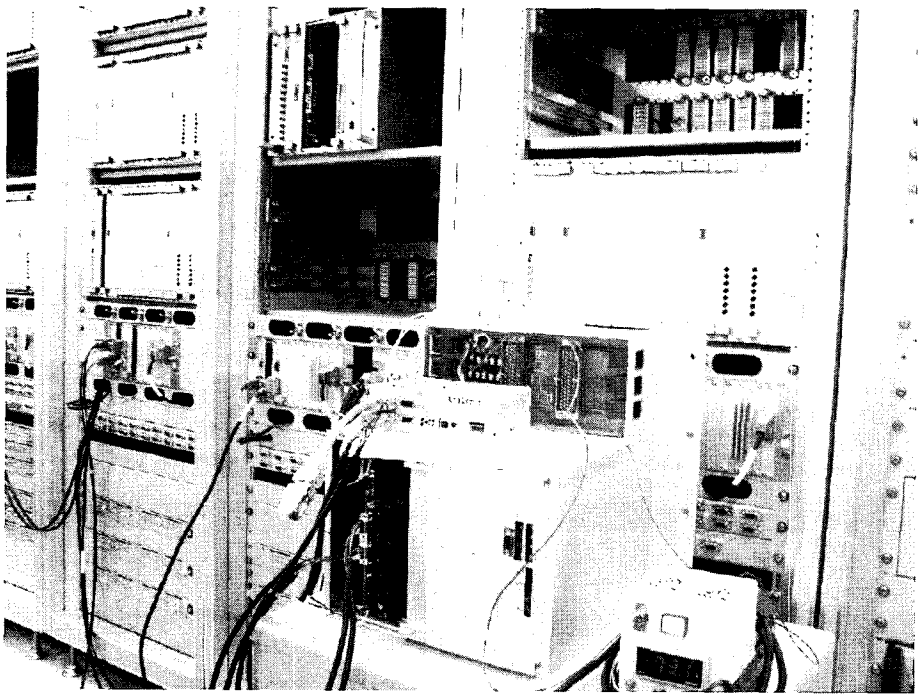
[그림 10.22] 'Switch Over'후 파형 관찰

[그림 10.23]은 'Line B' 절체 후 'Trusted Line'이 'Line A'로 이동하고 'Line B'의 파형은 슬레이브 프레임 2개만 존재 하는데, 이는 마스터와의 관계가 아닌 Mft1에서 보내는 슬레이브 파형이다. 절체를 포함하여 시험시간 약 10분 동안 약 670만 번의 마스터 프레임, 슬레이브 프레임 중 한 프레임의 에러도 발생되지 않았고, 버스의 절체를 [그림 10.23]의 'MVB Bus Analyzer'에서 확인할 수 있다.



[그림 10.23] 'Switch Over'후 'Trusted Line' 절체 확인

10.5.1.3 SCU와 새로 개발된 MVB보드가 탑재된 하부장치와 'MVB Bus Analyzer' 분석 결과

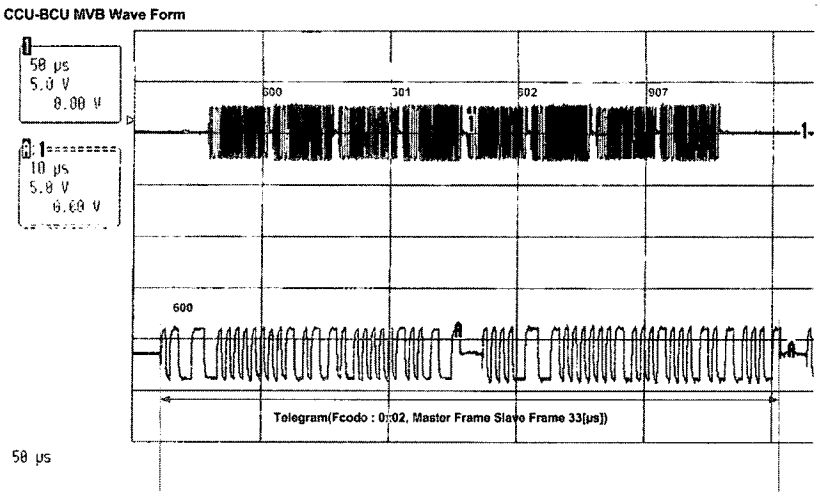


[그림 10.24] OBCS와 BCU 조합시험 장면

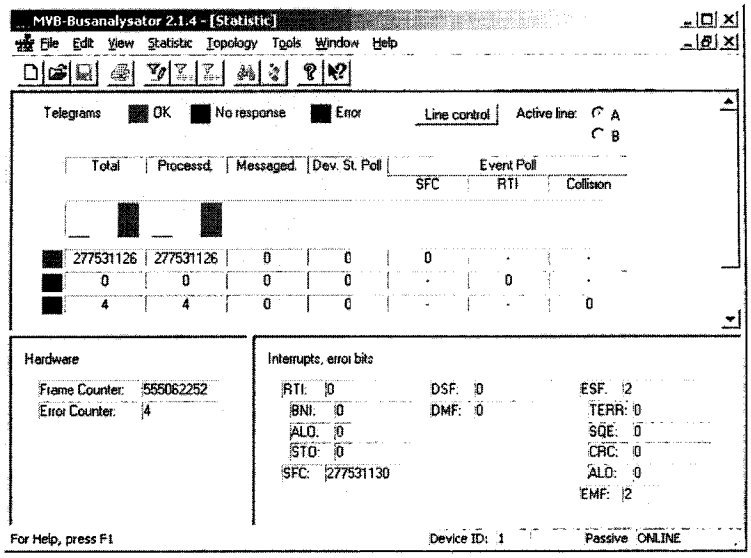
당사에서 개발한 SCU의 MVB 방식은 EMD로 한국형고속전철의 ESD 방식과 호환

되지 않는다. SCU는 EMD, ESD 방식 모두 지원하지만 한국형고속열차와 호환이 되지 않은 이유는 ESD 방식의 거리 제한 문제 때문에 트랜스포머를 부착하여 신호는 ESD 방식, 실제 라인에 흐르는 신호는 EMD 방식으로 'MVB Bus Analyzer'로 분석이 불가능 하여 하부장치의 'EMD Interface'보드를 다시 제작하게 되었다. 하부장치 'EMD Interface' 보드는 'PC 104' 방식인 AUX, BCU, HVAC가 있고, VME 방식인 ATC, BBCU, TCU가 있다. 현재 모든 하부장치의 조합시험을 마친 상태이며 본 논문에서는 BCU 장치의 시험 결과를 소개한다. [그림 10.24]는 BCU와 조합시험을 하는 장면으로 MVB의 통신시험 장면이다.

[그림 10.25]는 한국형고속열차 'BCU 1'번의 소스포트를 SCU가 폴링 하여 응답한 파형으로 사용하는 소스포트는 600, 601, 602, 907 이다. 이에 대하여 약 1일을 시험한 결과 통신에러는 [그림 10.26]과 같이 Telegram은 277,531,126개중 4개의 에러가 발생하였고 프레임 에러는 Telegram 개수의 두 배인 555,062,252개중 4개의 에러가 발생하였다. 'IEC 61375-1'에 의하면 3,000,000개의 프레임 중 3개의 에러를 허용한다. 이를 기준으로 판단한다면 통신에러는 규격을 만족한다고 할 수 있다.



[그림 10.25] SCU와 BCU의 MVB 통신 파형

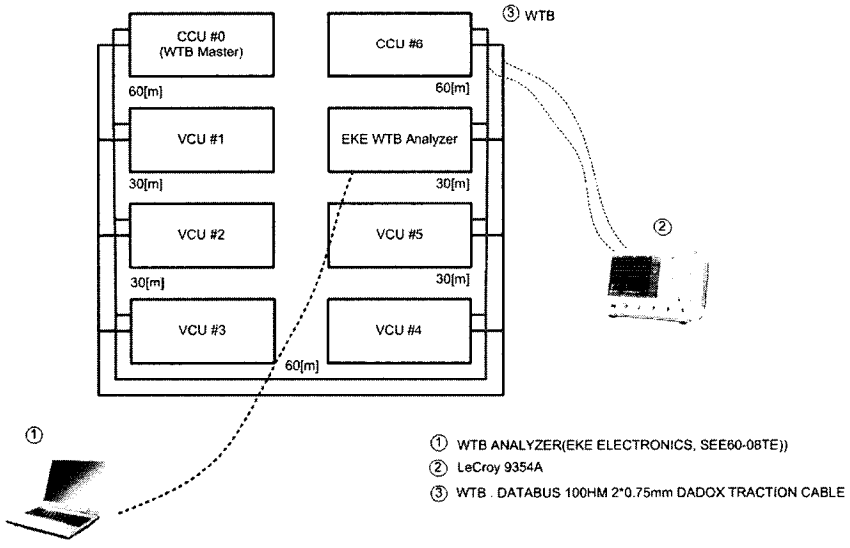


[그림 10.26] SCU와 BCU의 'MVB Bus Analyzer' 통신에러 분석결과

10.5.2 WTB 통신 시험

10.5.2.1 WTB 통신 시험 환경 및 파형분석

WTB는 맨체스터 코드로 인코딩/디코딩 되며 모든 프레임은 HDLC(ISO 3309)표준을 준수한다. 당사의 WTB 개발은 초기자동인식기능(Inauguration), 이중화 구조, 표준준수를 목적으로 개발하였다.

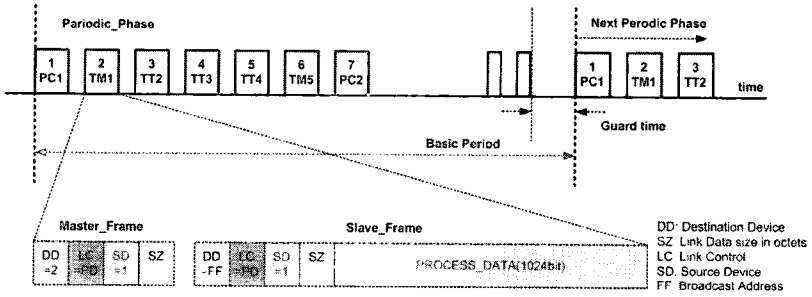


[그림 10.27] WTB 시험 환경

이를 시험하기 위하여 [그림 10.27]와 같은 시험 환경을 구성하였다. WTB는 TCN 120[Ohm] 전용선을 사용하였으며 300[m]을 이중화로 연결하여 통신선 길이에 따른

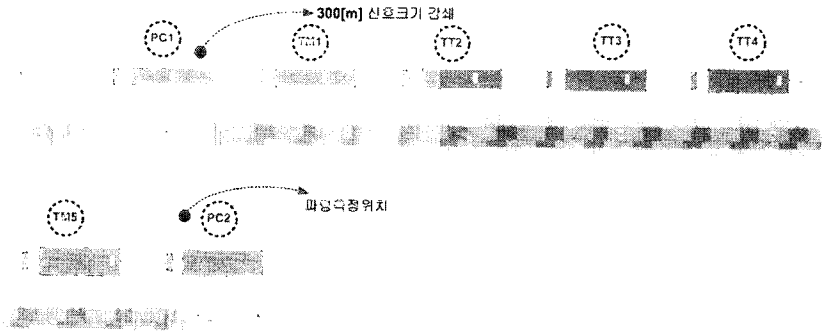
통신의 영향을 분석하였다. 표준 시험을 위하여 'EKE WTB Analyzer'로 WTB 라인의 신호를 Listen하도록 구성하였다. 'WTB Analyzer'는 초당 프레임수, 총 프레임수, 에러프레임수를 측정할 수 있도록 구성되어 있다.

WTB 프레임은 [그림 10.28]과 같은 구조를 가진다. 'Basic Period'는 25[ms]로 'Process Data'만 표시하였다. 25[ms]안에는 7량의 차량 정보를 마스터 프레임과 슬레이브 프레임의 조합으로 구성된다. 즉 하나의 'Basic Period'안에는 7개의 마스터프레임과 7개의 슬레이브 프레임이 존재한다. 마스터가 해당 차의 데이터를 요청하면 슬레이브는 해당데이터를 Broadcasting으로 응답한다. 즉 마스터 프레임은 'DD:1, LC :PD, SD:1'('Slave Device Address 2'를 'Master Device 1'이 'Process Data'를 요청)로 요청하면 슬레이브 프레임은 'DD:FF, LC:PD, SD:1'(해당 'Slave Device Address 2'가 Broadcasting으로 'Process Data'를 응답)로 응답한다.



[그림 10.28] WTB Frame 구성

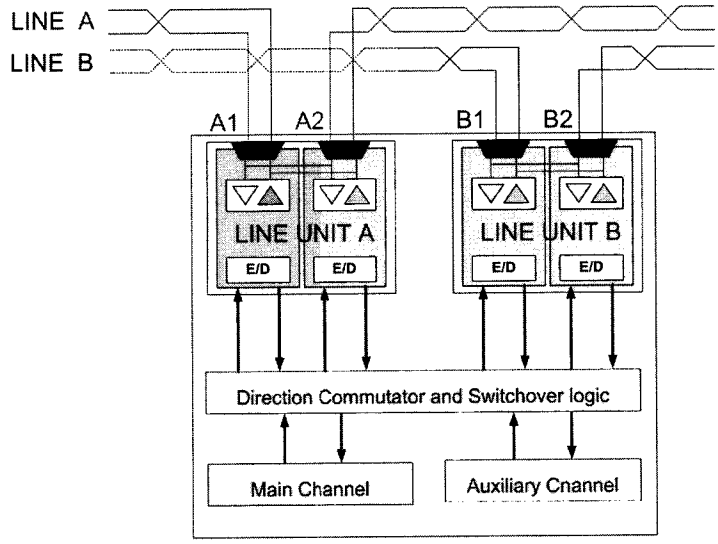
[그림 10.29]는 WTB의 파형을 측정한 것으로 파형측정위치는 PC2 앞단에서 측정하였다. WTB 파형은 거리에 따라서 [그림 10.29]와 같이 파형의 전압 감쇄를 눈으로 확인 할 수 있다. 측정오차는 있지만 300[m]거리의 경우 약 1.5[V]의 파형 전압감쇄가 발생하였다.



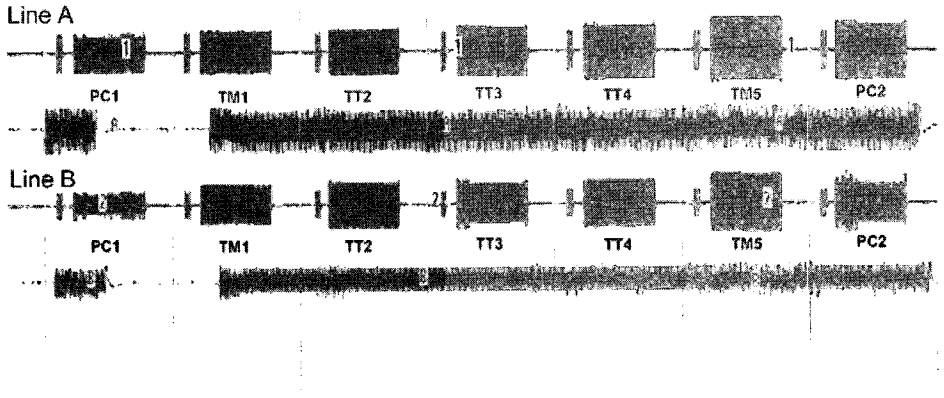
[그림 10.29] WTB 파형분석

10.5.2.2 WTB 이중화 시험

[그림 10.30]은 WTB의 이중화 구성도이다. WTB는 이중화로 'Line A', 'Line B'에 동시에 보내고 이에 대하여 라인에 슬레이브 프레임도 동시에 실린다. WTB 'Bus Controller'에서는 두 신호 중 하나의 신호를 선택하여 디코딩한다. [그림 26]은 'Line A', 'Line B'를 동시에 측정한 파형이다.



[그림 10.30] WTB 이중화 구성도

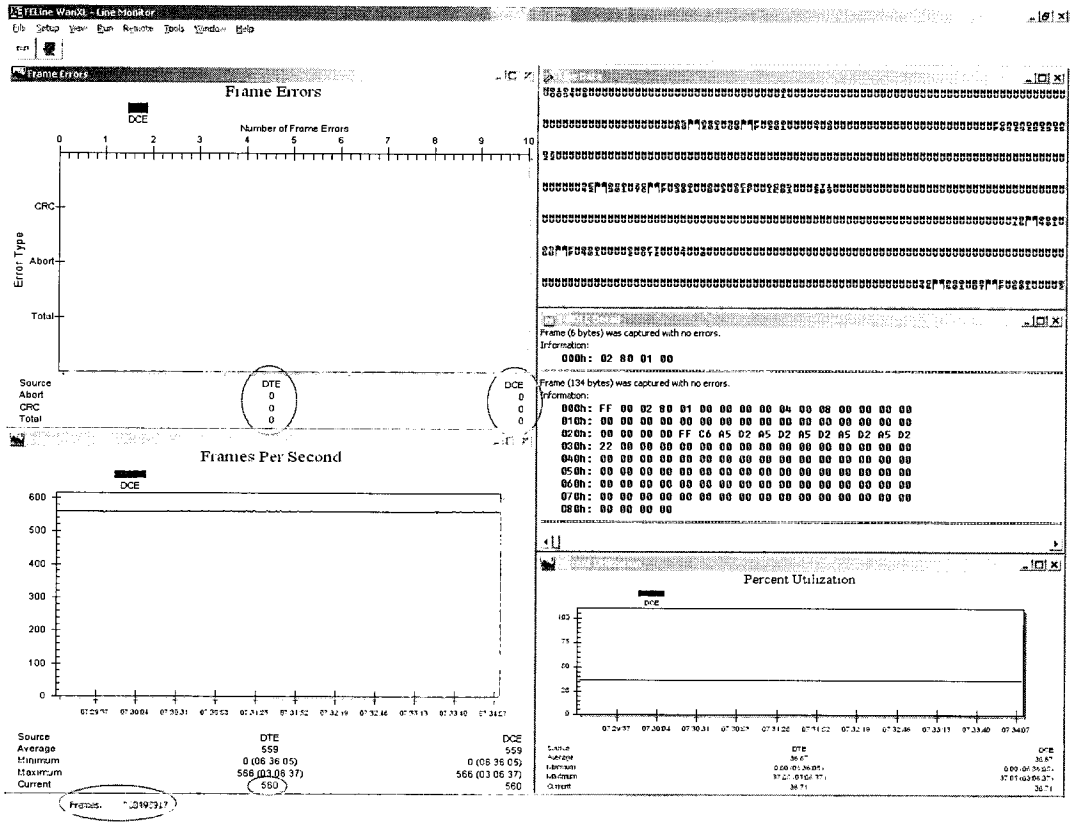


[그림 10.31] WTB 이중화 파형

10.5.2.3 'WTB Analyzer'분석 결과

'IEC 61375-1 4.2.6.3.5'에 의하면 초당 1000[frames]의 WTB 통신에서 총 프레임 9,000,000번 중 3개의 에러를 허용한다. [그림 27]은 'WTB Analyzer' 분석 결과를 나타낸 것이다. [그림 27]의 좌측 하단의 30,493,917 중 'Frame Errors'란에 DTE(마스터 프레임의 에러), DCE(슬레이브 프레임의 에러)가 모두 '0'으로 에러프레임을 검지

하지 못했다. 'Frame Per Second'란은 초당 프레임 수로 한 개의 'Basic Period'안에 마스터 7[Frames], 슬레이브 7[Frames]으로 14개의 프레임이 있고, 1초에 40개의 'Basic Period'프레임이 있으므로 '14 × 40' 즉, 초당 프레임수는 560개이다.

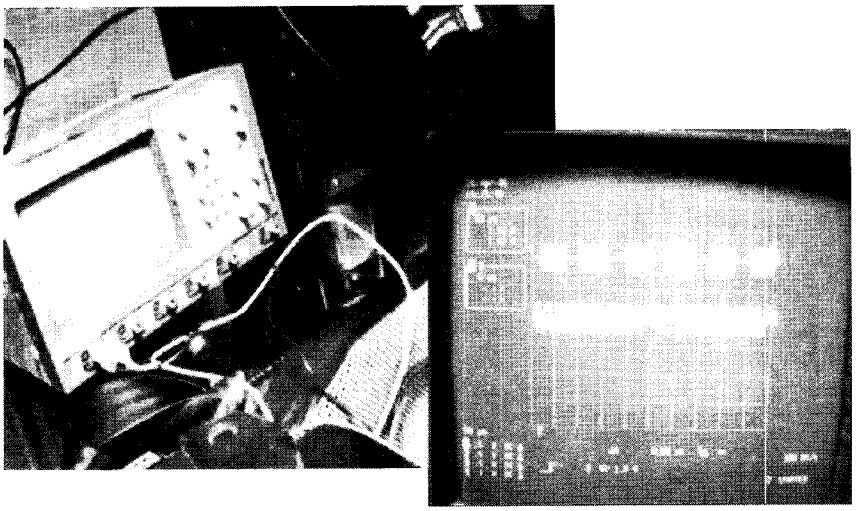


[그림 10.32] 'WTB Analyzer' 분석 결과

10.6 현차시험

10.6.1 한국형고속열차 MVB 통신 시험

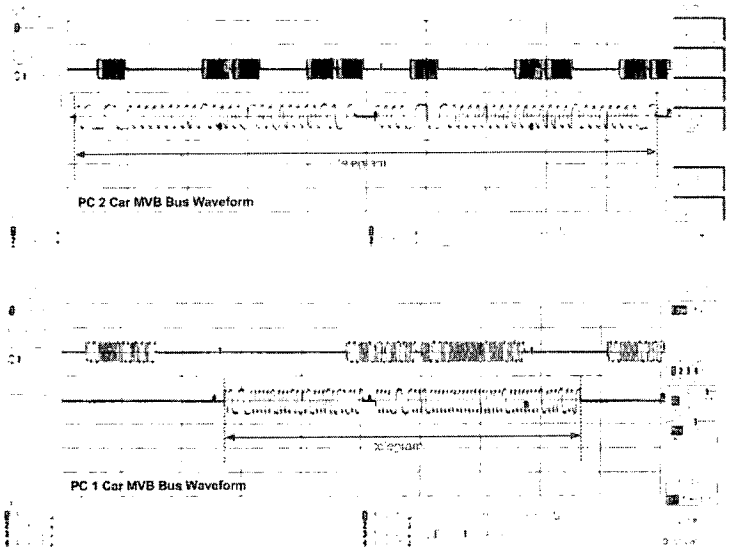
10.6.1.1 MVB 파형분석



[그림 10.33] PC 2 MVB 파형측정 모습

MVB 파형분석은 PC1(Power Car1), PC2(Power Car2)에서 실시하였다. [그림 16]는 PC2에서 파형 측정 모습이다.

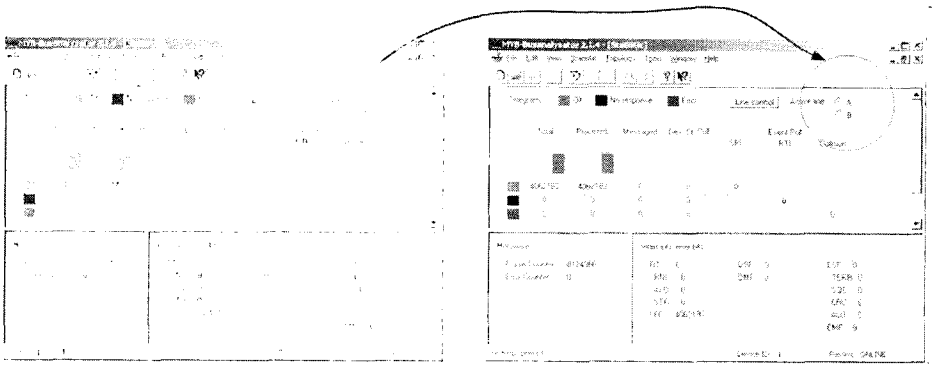
[그림 17]은 PC1, PC2에서 측정한 MVB 파형이다. IEC 61375-1의 파형 정상조건 이상을 만족하고 파형의 왜곡이나 중첩현상은 없다.



[그림 10.34] PC1, 2에서 측정한 MVB 파형

10.6.1.2 MVB 이중화(Redundancy) 시험

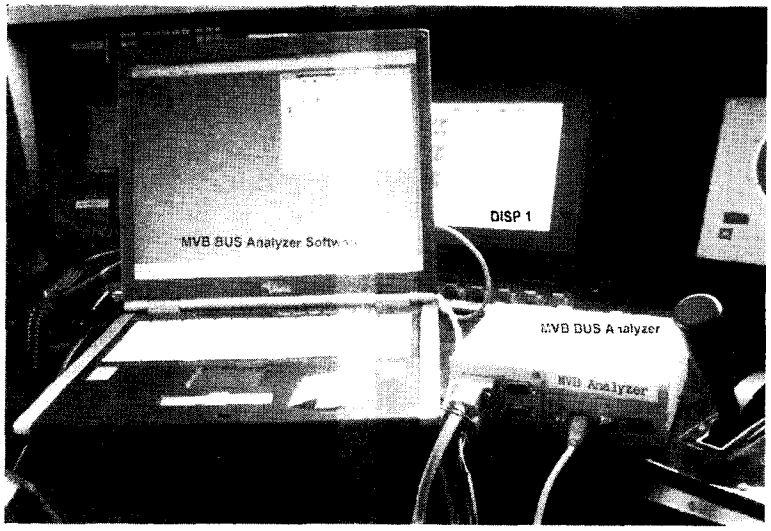
[그림 10.35]는 'Line B' 절체 후 파형을 관찰한 것이다. [그림 10.35]의 좌측 'MVB Bus Analyzer' 분석한 화면에서 'Active Line'이 'B'로 체크되어 있는 것이 확인되고 'Line B'로 절체 후 우측 'Active Line'이 'Line A'로 체크 되어 있는 것을 확인할 수 있다.



[그림 10.35] 'Switch Over'후 'Trusted Line' 절체 확인

10.6.1.3 MVB Analyzer 분석 결과

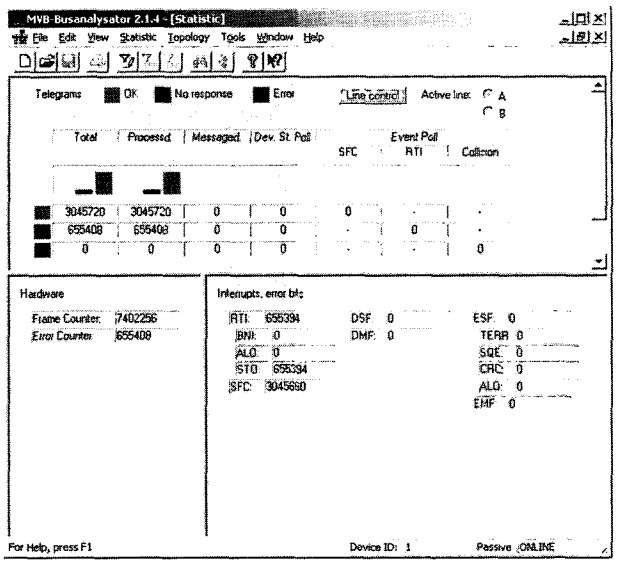
MVB Analyzer를 이용한 분석은 PC1(Power Car1), PC2(Power Car2)에서 실시하였다. [그림 23]은 PC1에서 MVB Analyzer를 이용하여 MVB 버스의 에러율 체크 및 데이터를 검증하는 모습이다.



[그림 10.36] PC1에서 MVB 버스 Analyzer를 이용한 검증 모습

[그림 24]은 MVB 에러 분석 결과이다. Telegram은 3,045,720개중 0개의 에러가 발

생하였고 프레임 에러는 Telegram 개수의 두 배인 7,402,256개중 0개의 에러가 발생하였다. 'IEC 61375-1'에 의하면 3,000,000개의 프레임 중 3개의 에러를 허용한다. 이를 기준으로 판단한다면 통신에러는 규격을 만족한다고 할 수 있다. No response는 장치가 응답하지 않은 것으로 에러가 아님을 밝혀둔다.



[그림 10.37] PC1에서 MVB Analyzer를 이용한 에러 분석 결과

10.6.2 한국형고속열차 WTB 통신 시험

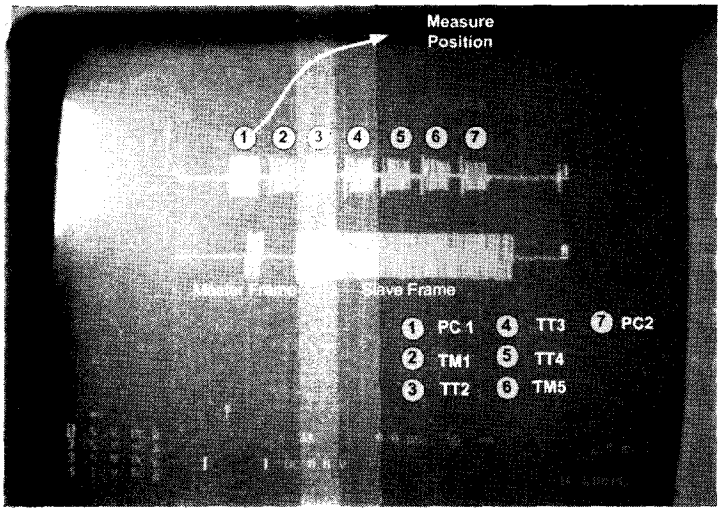
10.6.2.1 WTB 파형분석

WTB 파형분석은 PC1(Power Car1), PC2(Power Car2)에서 실시하였다. [그림 10.38]은 PC1에서 파형 측정 모습이다.



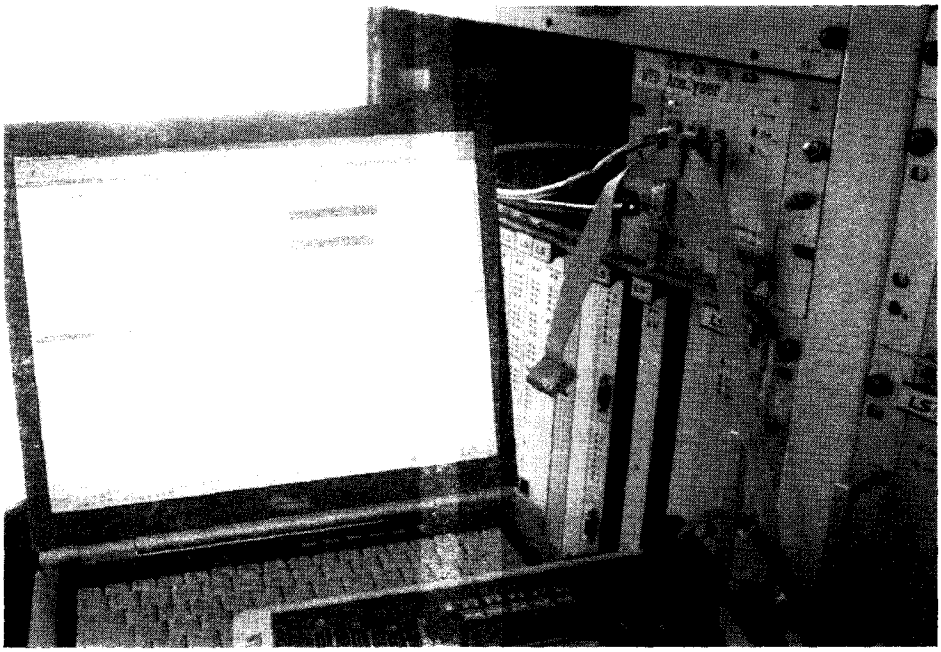
[그림 10.38] PC1에서 WTB 파형 측정 모습

[그림 10.39]는 PC1에서 측정한 WTB 파형이다. IEC 61375-1의 파형 정상조건 이상을 만족하고 파형의 왜곡이나 중첩현상은 없으나 [그림 10.39]와 같이 PC2으로 갈수록 거리가 멀어서 신호의 크기가 감소되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 10.39] PC2에서 측정한 WTB 파형

10.6.2.2 WTB Analyzer 분석 결과

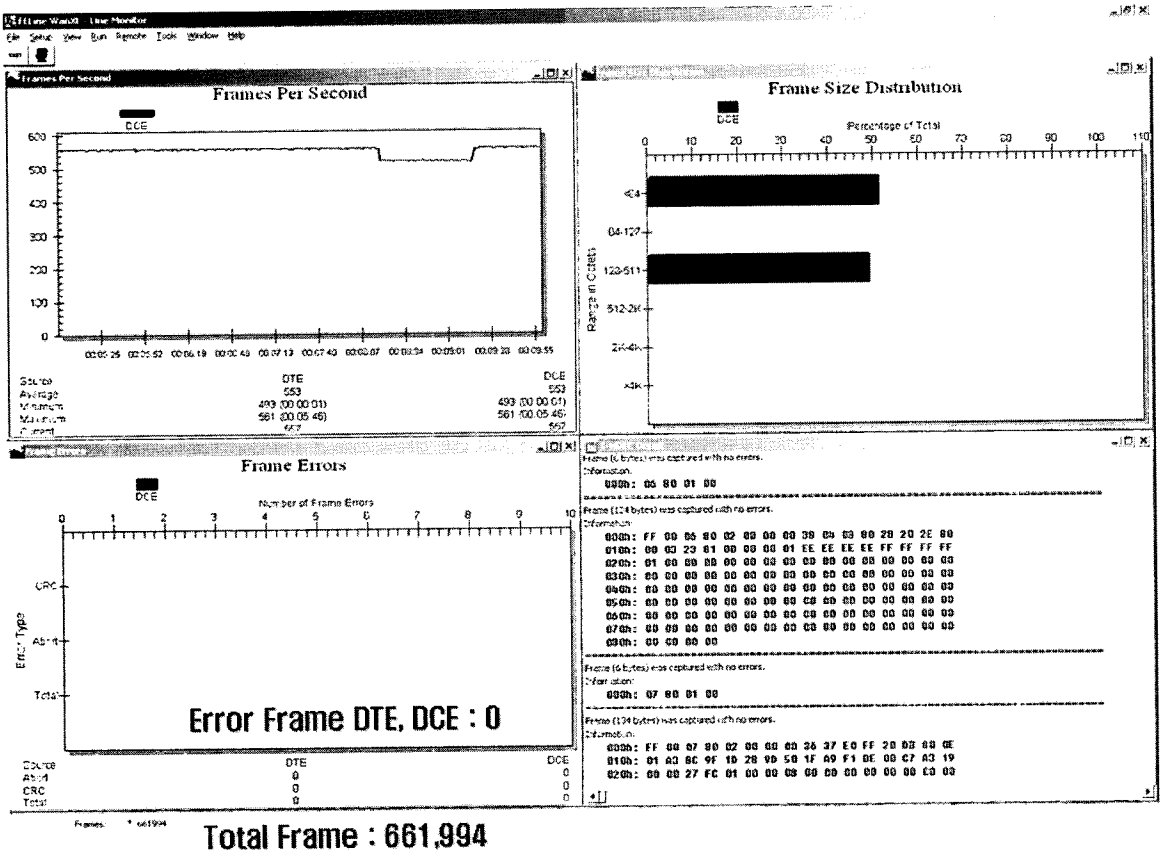


[그림 10.40] PC1에서 WTB 버스 Analyzer를 이용한 검증 모습

표준 시험을 위하여 유럽에서 제작한 'EKE WTB Analyzer'로 WTB 라인의 신호를 Listen하도록 구성하였다. 'WTB Analyzer'는 초당 프레임수, 총 프레임수, 에러프

레임수를 측정할 수 기능이 있다. WTB Analyzer를 이용한 분석은 PC1(Power Car1), PC2(Power Car2)에서 실시하였다. [그림 10.40]는 PC1에서 WTB Analyzer를 이용하여 WTB 버스의 에러율 체크 및 데이터를 검증하는 모습이다.

'IEC 61375-1 4.2.6.3.5'에 의하면 초당 1000[frames]의 WTB 통신에서 총 프레임 9,000,000번 중 3개의 에러를 허용한다. [그림 10.40]은 'WTB Analyzer' 분석 결과를 나타낸 것이다. [그림 10.41]의 좌측 하단의 661,994 중 'Frame Errors'란에 DTE(마스터 프레임의 에러), DCE(슬레이브 프레임의 에러)가 모두 '0'으로 에러프레임을 검지하지 못했다. 'Frame Per Second'란은 초당 프레임 수로 한 개의 'Basic Period'안에 마스터 7[Frames], 슬레이브 7[Frames]으로 14개의 프레임이 있고, 1초에 40개의 'Basic Period'프레임이 있으므로 '14 × 40' 즉, 초당 프레임수는 560개이다.



[그림 10.41] PC1에서 WTB Analyzer를 이용한 에러 분석 결과

10.7 결 론

TCN 통신방식을 이용한 열차진단제어장치를 개발하여 한국형 고속열차에 적용하

여 현차 시험을 완료하였다. TCN은 신뢰성(Reliability) 및 내고장성(Fault Tolerance)이 우수한 통신방식으로 이로 인해 하드와이어(Wire Cables) 연결 및 전기회로의 최소화로 설계시간, 비용 및 유지보수 측면에서 많은 장점이 있다. 이에 TCN의 이해와 장점을 인지하여 국내에서도 활발히 적용되길 기대한다. 현재 (주)로템의 TCN 적용 프로젝트는 국내에서 KTX-2 및 신분당선이 적용 예정이며 해외에서는 터키 이스탄불 프로젝트에 적용 예정이다.

향후, TCN을 무선랜(Wireless Lan) 및 이더넷(Ethernet)을 이용하여 TCP/IP로 연결 될 수 있도록 차세대 프로젝트가 진행중에 있으며 관련된 주변기기 개발 연구가 이루어지고 있다. 이는 현재 활발히 진행중인 유럽의 차세대 프로젝트에 대응 할 수 있을 것으로 기대되어 진다.

제11절 열차통신네트워크

1. 일반

가. 개발목표

고속철도 차량에 탑재된 주요 전장품과 차량의 상태정보를 Network을 통하여 실시간으로 최적의 정보를 제공하여 차량의 안정성 및 신뢰성 확보

나. 개 요

한국형 고속철도 차량이 성능의 고속화 및 시스템의 안전성을 도모하기 위해서는 첨단의 전자기술이 적용되고 이중의 안전장치가 적용되어 운용적인 측면에서 효율적이고 신뢰성이 있는 차량이 되도록 해야 하므로 고속철도 차량에도 최신의 전자기기를 설치하여 차량 내에서 정보의 수집 및 분배, 그리고 승객에게 다양한 정보를 제공하며, 지상시스템과 연계하여 차량시스템으로서의 효율성과 안전성의 향상을 도모하도록 해야 한다. 또한 고성능화 경향이 뚜렷하며 고속철도 차량의 제어장치로서의 기기 상호간에 더욱 복잡해지고 있어 신뢰도 및 안전의 유지, 효율적인 운용이 중요한 문제로 나타나고 있다. 그리고 각종기기들의 전자화 추세가 더욱 빨라져 각종 제어기기간의 구성이 복잡해짐에 따라 돌발적인 고장의 발생이 높아졌고 고장원인을 규명하기엔 많은 시간을 요구하며, 때에 따라서는 원인 불명인 채로 그대로 사용하여 동일한 고장을 재발시키는 등의 위험요소를 가진 상태에서 운행속도 300km/h ~ 350km/h로 고속으로 차량을 운행한다는 것은 많은 위험요소를 항상 가진 상태에서 차량의 내부에 탑재된 각종 제어기기의 상태와 차량의 운행상태 및 열차의 많은 기능적인측면에서 차량을 진단하고 열차를 상시 감시 및 제어하는 시스템의 필요성은 필수 불가결한 요소이다. 또한 한국형 고속철도 차량이 상용화가 되어 실제로 승객을 탑승하고 운행한다면 더욱 더 제어의 고도화, 복잡화, 고속철도 차량의 배차신간의 축소가 진행되어 안정된 수송 Service의 제공이 필요하다. 이를 위해서는 즉각적인 차량의 보수와 차량이 운행 중에 발생하는 차량의 고장에 대해 신속한 조치를 하여 타 차량에 대해 끼치는 영향을 최소화하도록 해야 한다. 이런 관점에서 적용된 한국형 고속철도 차량의 진단처리 및 열차제어시스템의 효과는 한국형 고속철도 차

량의 기관사가 각종 기기의 동작상태의 Monitoring과 기기의 고장발생시에 고장내용 또는 발생상황을 기억하여 발생된 고장정보를 근거로 고장의 원인 및 발생위치를 신속 정확하게 파악함으로서 차량의 운행적인 측면과 유지보수적인 측면에서 발생하는 효과는 매우 크다. 따라서 한국형 고속철도 차량의 진단 및 열차제어시스템이 특성을 발휘하기 위해서는 차량 내부의 모든 정보를 한눈에 파악하여 차량이 운행 중의 운전 저해 요인을 적게함과 동시에 SCU(Supervisory Control Unit) & VCU(Vehicle Control Unit)가 수집한 정보의 활용으로 최적의 차량상태를 유지할 필요가 있는 것이다. 이런 필요성과 우수하고 많은 기능을 갖는 시스템이 되도록 하기 위해 적용된 한국형 고속철도 차량의 진단처리 및 열차제어시스템은 여러가지 기능이 안정적으로 수행하여 한국형 고속철도 차량이 운행하는데 차질이 없도록 만전을 기하고자 하였다. 그러기 위해 고속철도 차량에 탑재된 주요 전장품과의 차량의 상태정보를 Network을 통하여 실시간으로 Monitoring하여 차량이 출발 전 상태나 차량이 운행 중에 발생하는 각종 고장 및 운행상태를 운전석 표시장치에서 즉시 파악할 수 있는 최적의 정보를 제공하여 차량의 안정성 및 신뢰성을 높이고자 하였다. 각 차량에 탑재된 SCU & VCU와 차량간 또는 차량 내부의 기기들 간의 통신하기 위한 TCN(Train Communication Network)이 있다.

고속전철 진단처리 및 열차제어 시스템이 점점 복잡해지고 고급화되어 가는 추세에 필요한 정보의 양 또한 증가하여 사용자 인터페이스가 복잡해지고, 수집되는 데이터의 수가 많아지고 수집되는 간격도 점점 짧아지면서 네트워크의 부하도 급격히 증가하게 된다. 따라서 열차 시스템에 의하여 열차 내의 각종 기기에 대한 정보를 취득하여 처리하고 운전자에게 전달하며 열차 운전의 유지/보수에 필요한 정보를 실시간으로 처리하고 생성하며, 상시 감시해야 하는 각 제어장치의 Data를 주기적으로 읽어 들여 이를 비교 분석하여 고장 여부를 판단 및 현시하고, 또 고장 발생 시 고장의 원인을 쉽게 분석할 수 있도록 필요한 자료를 제공한다.

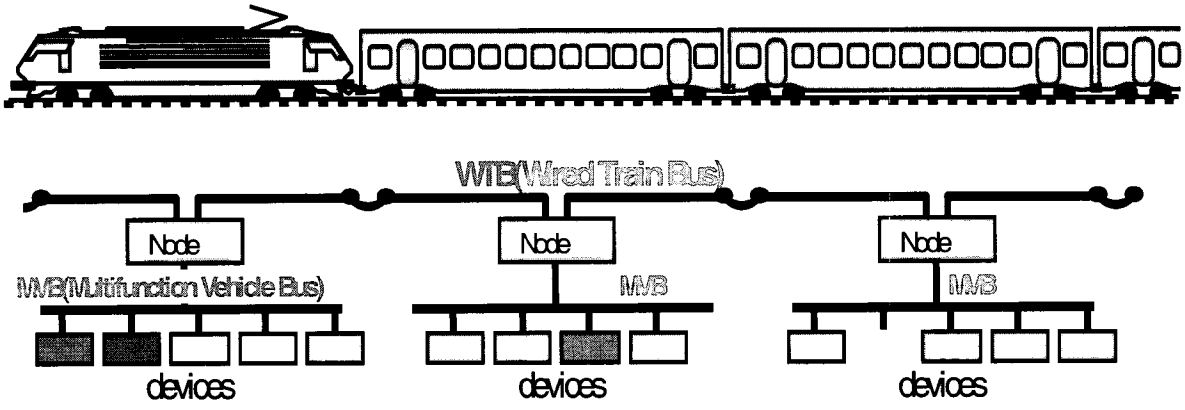
SCU는 주요장치의 제어, Monitoring 및 검수 지원 기능을 갖고 있다. 이는 열차의 운행제어 및 진단을 하기 위함이며, 운전자와 열차 내부 기기간 필요한 정보를 주고받을 수 있는 Network는 TCN방식으로 Master - Slaver 개념을 가지고 Data를 전송, Signal 전송, Information 전송 뿐 아니라 열차 외부와의 제어신

호 전송 및 Monitoring 신호 전송을 포함한 모든 정보를 교환한다. 진단처리 및 열차 제어 시스템의 중요한 기능은 보다 안전하게 열차를 운행 할 수 있도록 최상의 정보를 제공하고 안전 운전을 보장하는 것이다.

다. TCN (Train Communication Network) 개요

종래의 열차제어시스템의 Network은 각 제작회사 전용의 규격과 기술로 제작되어서 제작사가 서로 다른 열차와의 상호운영 및 장치의 교체 사용이 용이하지 않았으며, 열차 운행사는 운행효율을 높이기 위한 고차원적인 교통시스템의 일원화가 필요하였으나 그 요구에 부응할 수 있는 열차제어시스템 전용의 Network이 없었다. 이에 UIC(Union Internationale des Chemins de Fer)는 스텐다드화된 개방형 열차제어시스템 전용의 Network 제정을 IEC(International Electrotechnical Commission) TC9에 의뢰하였고 IEC는 1988년 WG22(Working Group22)를 구성하여 TCN(Train Communication Network)을 개발하여 국제표준규격으로써, "Electric Railway Equipment - Train Communication Network", IEC61375-1로 정의하였다.

(1) 계층적 구조



[그림1-1] TCN의 계층적 구조

TCN은 차량간의 통신을 담당하는 WTB와 차량 내 기기들 사이의 통신을 담당하는 MVB로 구성된 계층적 구조이다.

WTB와 MVB는 게이트웨이 역할을 하는 노드에 의해 상호 연결되어 있다.

(2) 계층적 구조의 장점

(가) 하부Network(MVB)의 이상 시에도 전체시스템에 영향을 주지않는다.

(나) 높은 수준에서 제공하는 Real Time Protocol이 버스에 무관하게 동작하므로 하부 네트워크에 변동이 생겨도 전체 네트워크를 수정하거나 교체할 필요가 없다.

(다) 여러 종류 UIC 열차들의 상호 운영성이 좋다.

(3) WTB사양

(가) UIC 열차처럼 개방형 열차들을 위해 개발되었다.

(나) 통신 라인은 Shielded Twisted Wire를 사용한다.

(다) 최대 통신 가능한 거리는 860m이며, 최대 노드 수는 32개이다

(라) 이중화된 물리적 계층을 사용한다.

(마) 통신 속도는 1Mbit/s이며 응답속도는 25ms이다

(바) 통신 신호 보전을 위하여 프레임당 FCS-16을 사용하고 프레임 크기를 검사하고, 맨체스터 코드를 사용한다

(사) 각 노드는 마스터가 될 수 있고, 통신은 마스터에 의해 이루어진다.

(아) 열차의 구성 시 자동으로 각 노드의 주소와 상대적 위치를 할당한다

(자) 사용하는 데이터는 프로세스 데이터, 메시지 데이터, 관리자 데이터이다

(4) MVB사양

(가) 고정된 구조와 디바이스 주소를 갖는다

(나) 통신 라인은 Twisted Wire, Shielded Twisted Wire, Optical Fiber를 사용하며, Electrical Middle Distance(200m)의 경우 전기적으로 절연되어 있다.

(다) 연결 가능한 최대 스테이션 수는 32개이다. 간단한 센서나 작동장치는 255개까지 가능하다.

(라) 이중화된 물리적 계층을 사용한다.

(마) 통신 속도는 1.5Mbit/s이다

(바) 통신 신호 보전을 위하여 IEC60870 Check Sequence를 사용하고 프레임 크기를 검사하고, 맨체스터 코드를 사용한다

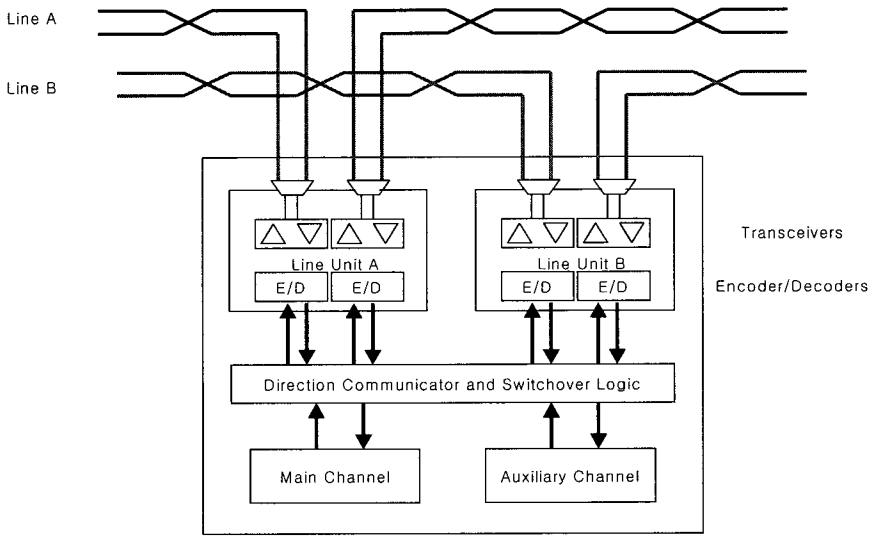
(사) Bus Administrator는 Token Passing방식에 의해 마스터가 되며 통신은 마스터에 의해 이루어진다.

(아) 사용하는 데이터는 프로세스 데이터, 메시지 데이터, 관리자 데이터이다

라. TCN의 기능

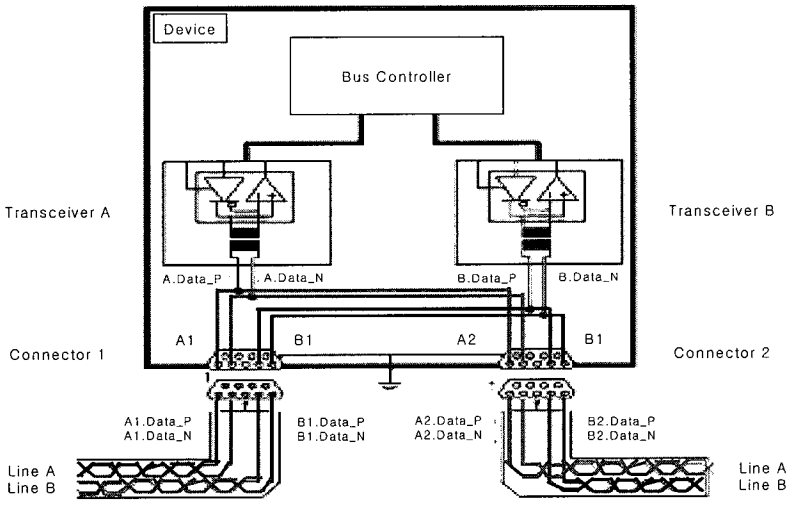
(1) Bus Redundancy

(가) WTB의 Bus Redundancy



[그림1-2] WTB의 Bus Redundancy

(나) MVB의 Bus Redundancy



[그림1-3] MVB의 Bus Redundancy

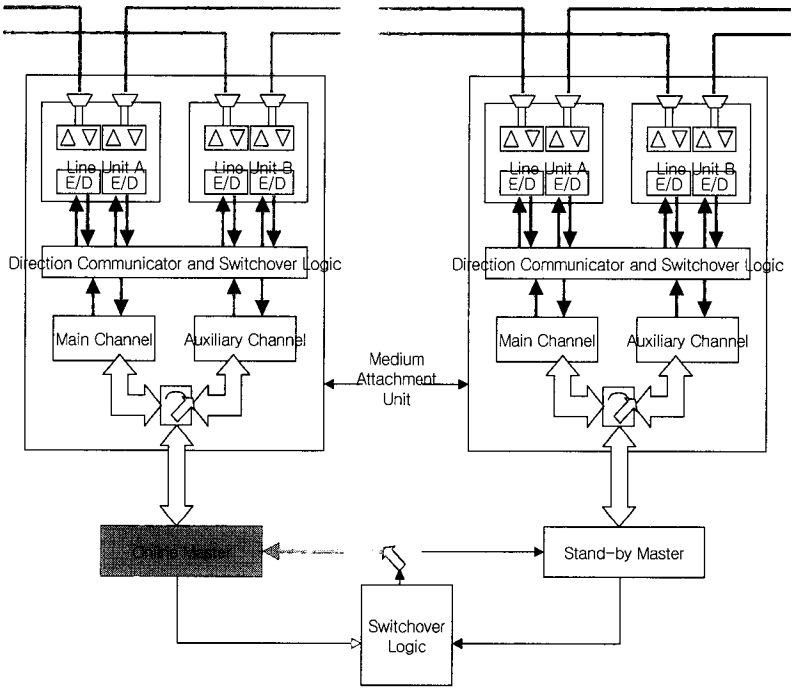
(2) 이중화Line Check

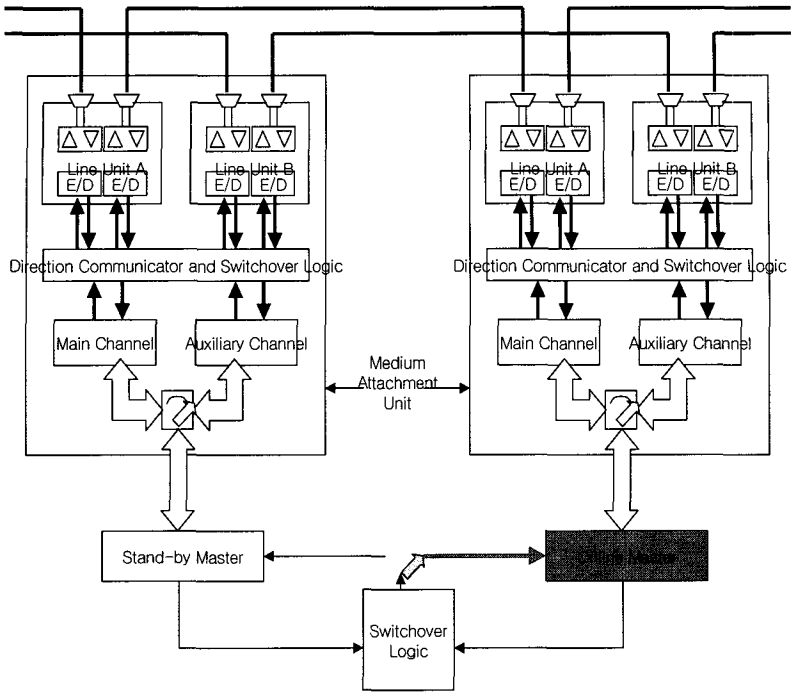
(가) WTB 통신의 경우, WTB는 통신 채널의 이중화를 통하여 Main Channel은 내부방향으로 연결시켜 WTB통신을 하며, Auxiliary Channel은 열차 외부 방향으로 노출되어 새로운 노드의 검색에 사용된다.

(나) MVB 통신의 경우, 이중화한 Line중 통신이 이루어 지고 있는 Line을 Trusted Line으로 그렇지 않은 Line을 Observed Line으로 결정한다. Trusted Line에 이상이 발견될 경우 Observed Line을 Trusted Line으로 교체하여 사용한다.

(3) Master 이양권

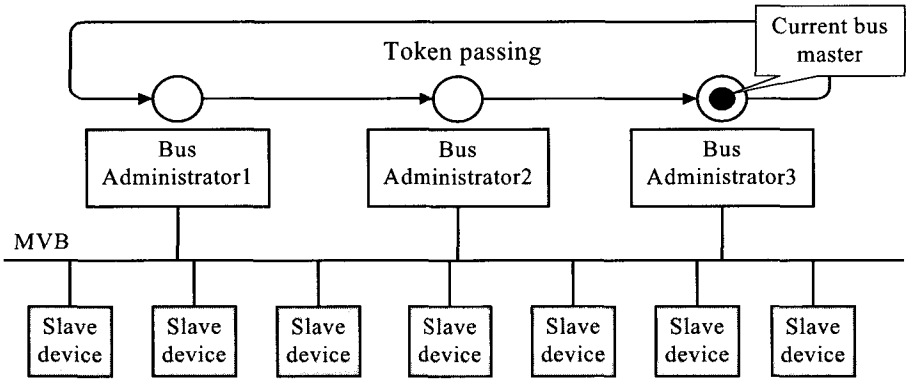
(가) WTB 통신의경우, 마스터 노드에 이상이 발생하면 많은 문제점이 발생하기 때문에 모든 노드들은 마스터 노드가 될 수 있고 자동으로 마스터 권한이 현재의 마스터 노드에서 다음 노드로 전달된다





[그림1-4] WTB Master 이양권

(나) MVB는 몇 개의 Bus_Administrator들 중의 하나로부터 마스터를 선택하고 한 턴의 끝이나 실패가 발생했을 때 Token Passing방법을 사용하여 마스터권한을 교체한다.



[그림1-5] MVB Master 이양권

(4) Fault tolerance

(가) Link_layer에서8bit의 Hamming distance로 프레임 에러를 감지한다.

(나) 하나의 디바이스가 통신에 실패할 경우, 그 영향이 다른 디바이스에는 미치지 않는다.

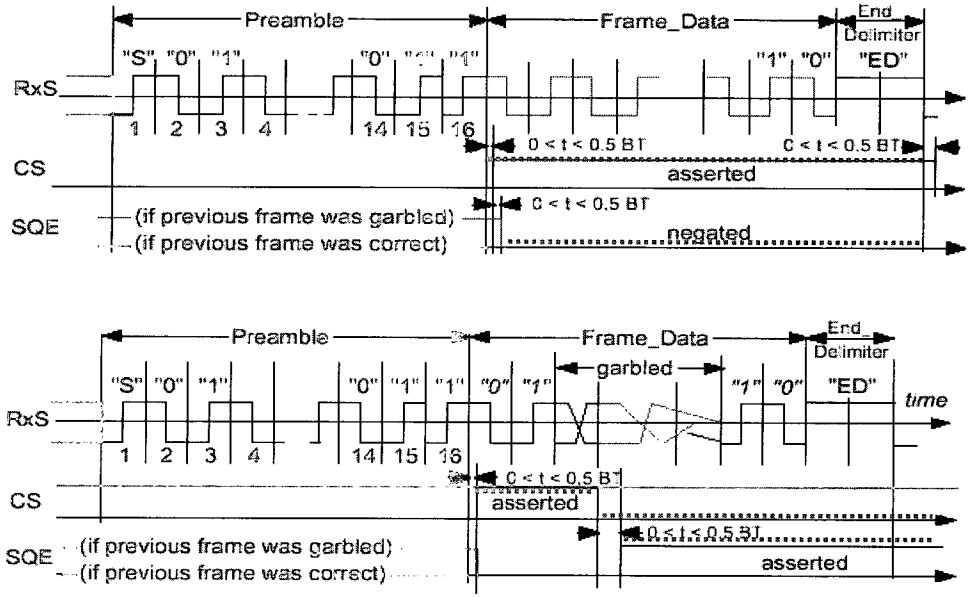
(다) 라인의 이중화와 bus_administrator의 이중화로 인하여 데이터의 유효

성을 높일 수 있다.

(5) Error Check

(가) 전송 오류검사

Line Unit에 있는 Decoder는Carrier Sense(CS)와 Signal Quality Error(SQE)를 이용하여 전송 데이터에 오류가 있는지 검사한다.



[그림1-6] 전송 오류검사

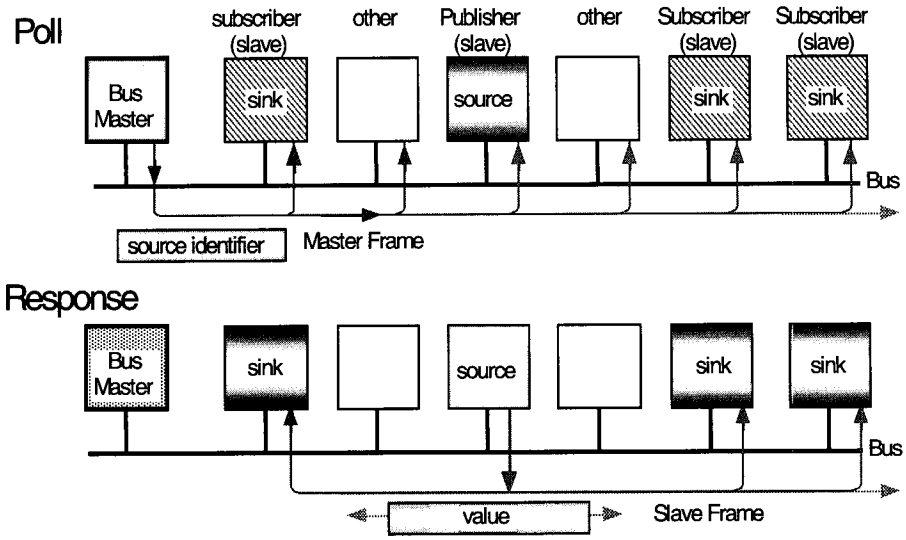
(6) 효율적인 Data Type

(가) 프로세스 데이터(process data) : 발생지의 논리적 주소를 가지고 한 발생지 기기에서 이 데이터를 필요로 하는 여러 기기로 브로드케스팅(broadcasting)된다.

각 프로세스 데이터는 하나의 발생지 포트(source port)와 여러 기기들에 목적지 포트(sink port)를 가지고 있다.

마스터는 이러한 포트를 논리적 주소로 폴링(polling)하며 목적지 포트는 프로세스 데이터를 전송 받으면 계속 갱신한다.

프로세스 데이터는 데이터 세트(Data set)로 주기적 전송을 프로세스 데이터 서비스에 의해 이루어진다.

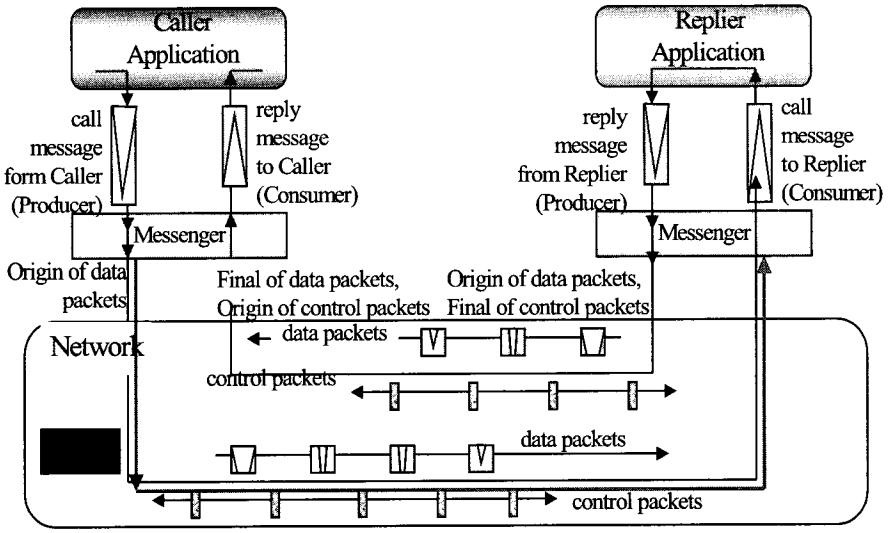


[그림1-7] 프로세스 데이터

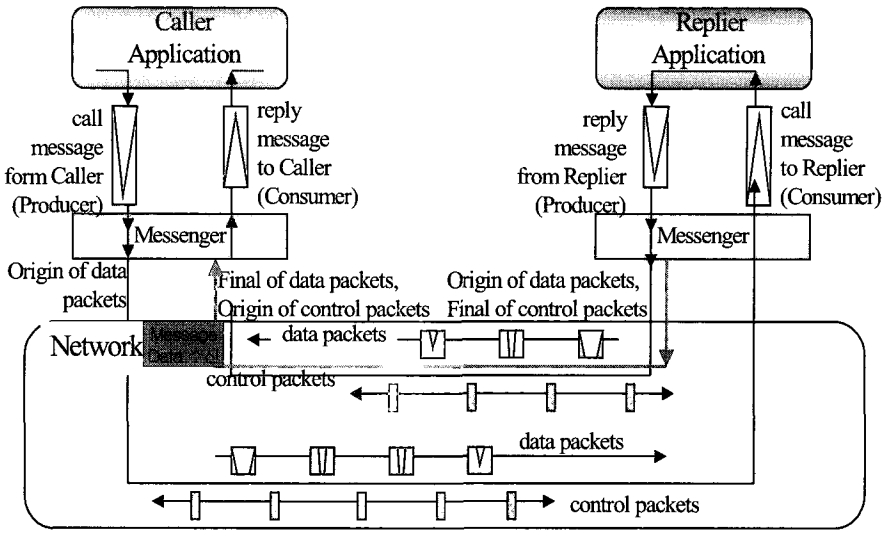
(나) 메시지 데이터(message data) : 발생지와 목적지의 논리적 주소를 가지고 하나 또는 그룹 주소를 가지고 있는 목적지로 전송된다.

각 기기들은 메시지 데이터를 위하여 두개, 하나는 보내지는 또 다른 하나는 받는 메시지 큐(queue)를 가지고 있다.

메시지 데이터는 주기적이 아니라 요구에 의하여 전송되며 메시지 데이터는 패킷(packet)으로 산발적 전송을 메시지 데이터 서비스에 의해 이루어진다.



[그림1-8] 메시지 데이터 요청



[그림1-9] 메시지 데이터 수신

(다) 관리용 데이터(supervisory data) : 관리용 데이터는 기기들의 상태를 점검하거나 응답이 없는 기기들을 감지하고, 마스터권한(Mastership)을 전송하고, 초기화하는데 사용되어 진다.

관리용 데이터는 자신의 버스 안의 상태만을 점검한다.

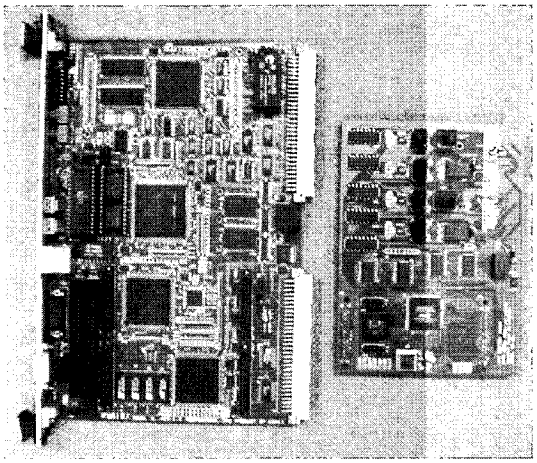
어떠한 관리용 데이터는 주기적 전송을 하기도 하고, 또 어떤 데이터는 산발적 전송을 한다.

2. 시운전 시험 및 보완

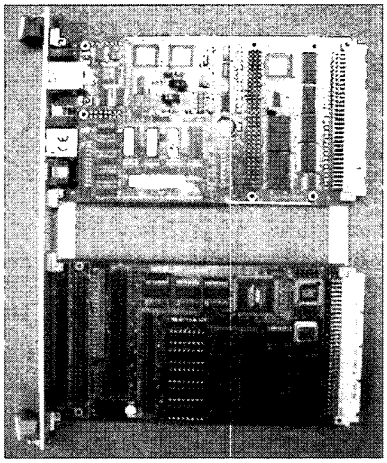
가. WTB Board 통신을 위한 기능 보완설계 배경

G7 한국형 고속철도의 차량진단 및 열차제어시스템은 차량에 탑재된 각 제어기기와의 정보교환 및 차량의 상태를 알려주기 위한 통신으로 TCN 통신을 이용한다. 특히 차량과 차량간의 통신에 적용된 WTB Network은 차량 전체의 상태를 확인하고 필요시 적절한 제어 명령을 내릴 수 있도록 하기 위한 필수적인 장치로 고속철도 차량전체를 모니터링하고 진단 및 제어를 하기 위해 없어서는 안될 Network이다. 차량 간 통신망으로 개발된 Wired Train Bus (WTB) 보드의 문제점 개선 및 성능 향상을 위한 시스템의 안정성을 확보하기 위한 연구에 목적이 있다.

나. WTB Board 통신을 위한 기능 보완설계



[그림 2-1] 기존의 WTB Board



새로 개발한 WTB Board

기존의 WTB Board로 사용하던 XV015A Board의 Error와 열차의 진동 및 온도특성에 대해 미약한 부분을 보완하기 위해 새로운 WTB Board를 제작하였다. 이미 열차에 사용중인 WTB Board와 일대일 교체 사용이 가능하도록 통신 시퀀스 및 프로토콜을 모두 포함하며 더욱 안정된 통신이 가능하도록 소프트웨어와 하드웨어를 구현하였다.

WTB Board의 Base Board는 상용보드인 VMEbus를 지원하는 PEP사의 VMP60을 사용하였고 CXC Interface를 이용하여 통신을 위한 WTB 통신 Signal Generator 보드와 연결하였다. WTB 통신 Signal Generator 보드는 Altera사의

CPLD를 이용하여 MAU(Medium Attachment Unit)를 구현하였으며 CPU에서 지원하는 HDLC 신호를 받아 이를 Manchester encoding하여 WTB를 통해 전송하고, WTB로부터 받은 신호는 Manchester decoding하여 HDLC신호를 CPU에 전달한다. 또한 MAU의 이중화 구조를 통해 신뢰성을 높였다.

다. TCN 통신 Cable 주파수 특성시험

G7 열차의 TCN 통신에는 1 shielded 2×0.6mm^2 105Ω TWINAX pair cable을 사용하여 차량에 배선 작업이 이루어져 있으며, TCN Network 통신을 하기 위해 Cable의 길이에 따른 통신의 감쇄가 얼마만큼 많이 생기는지를 시험을 통하여 확인함으로서 안정적인 Network 통신을 수행할 수 있다. 우선 차량과 차량간의 통신은 물론이고 차량 내부에 연결된 기기간의 통신에 TCN Network가 적용된 G7 차량의 전기적인 사양을 알아보면, MVB 통신의 경우 Signaling Speed는 1.5 Mbit/s 속도로 Data를 전송할 경우 오차율이 ∓0.01%의 오차를 가지고 있어야 하며, Bit ratio는 sms 1.5MHz 또는 1.5Mbit/s를 가진다. 또한 Bit Time은 666.7ns을 가지므로 이 기준에 적합한지 통신을 통하여서 검증을 하지만 다른 한편으로는 TCN Network 통신 Cable 자체의 Loss가 없는지를 검증하고자 하였다. 따라서 G7 차량에 설치된 통신 cable의 특성을 검증하고, Cable 길이 당 얼마만큼의 감쇄가 있는지 시험하였다.

(1) TCN 통신 Cable Characteristics

표 2-1

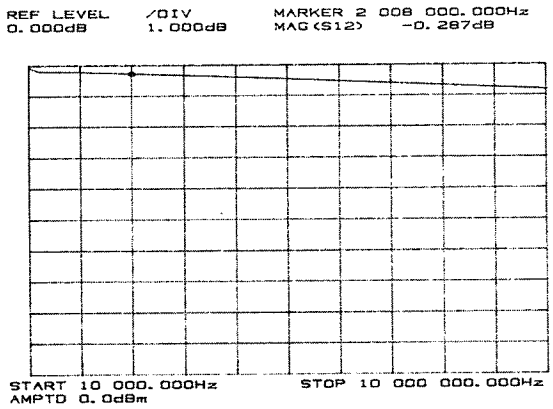
구 분	내 용
Characteristic impedance, Zc	105Ω±5% per 1MHz
Attenuation, expressed in dB/m	≤0.15 at 100MHz and 25℃ ≤0.154at 100MHz and 70℃
Propagation speed	0.63 to 0.69
Mutual capacitance	48pF/m±10%
Resistance per unit length for tinned core in DC	≤33.06Ω/km at 20℃
Insulation resistance	>1750MΩ.km
Maximum operation voltage	V_{DC} : 350V / V_{AC} : 250V
Operating Temperature	-25℃ to +70℃

(2) TCN 통신 Cable 특성 시험

현재 G7 열차에 사용 중인 1 shielded 2×0.6mm^2 105Ω TWINAX pair cable과 각 Unit들의 내부에 사용 중인 통신 Cable 각각의 특성과 혼용시 나타나는 감쇄 현상을 알아보기 위해 Start Frequency는 10KHz로, Stop Frequency는 10MHz로 하여 실험하였다.

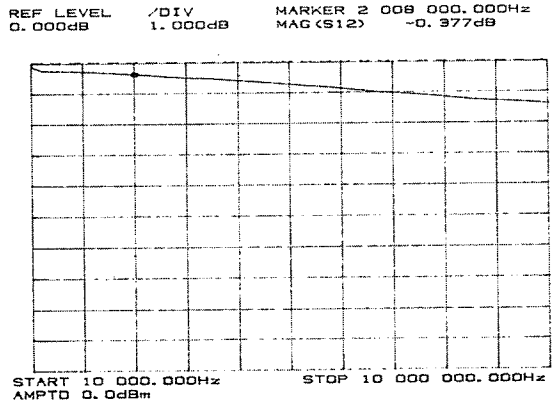
(가) 1 shielded 2×0.6mm^2 105Ω TWINAX pair cable 특성 시험

① Cable length 1m의 신호 감쇄Graph



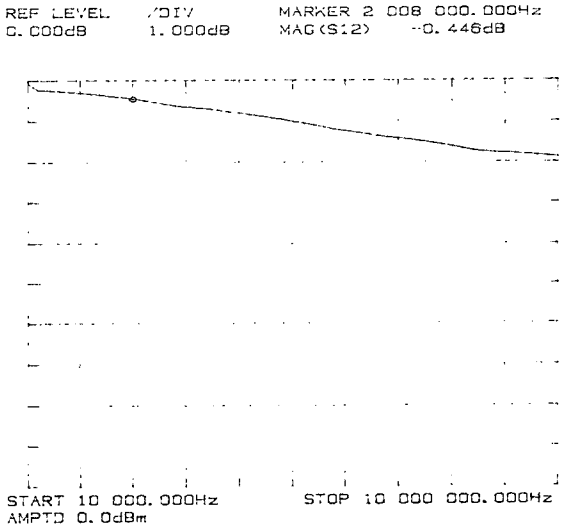
[그림 2-2] TWINAX pair cable 특성 곡선 1

② Cable length 2m의 신호 감쇄Graph



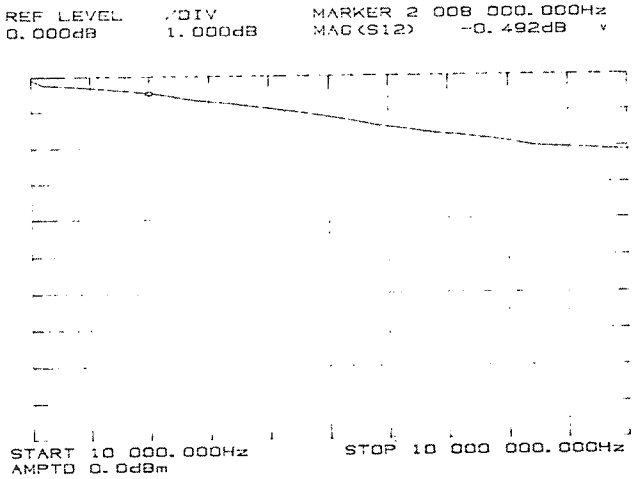
[그림 2-3] TWINAX pair cable 특성 곡선 2

③ Cable length 2m와 1m를 연결時의 신호 감쇄 Graph



[그림 2-4] TWINAX pair cable 특성 곡선 3

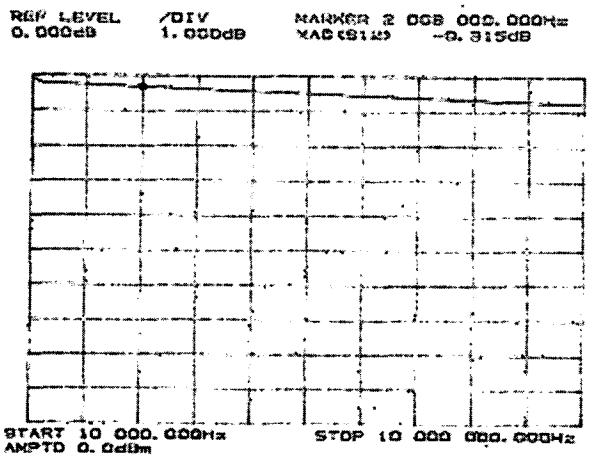
④ Cable length 2m와 1m의 사이에 다른 통신 Cable(30cm)을 연결時의 신호 감쇄Graph



[그림 2-5] TWINAX pair cable 특성 곡선 4

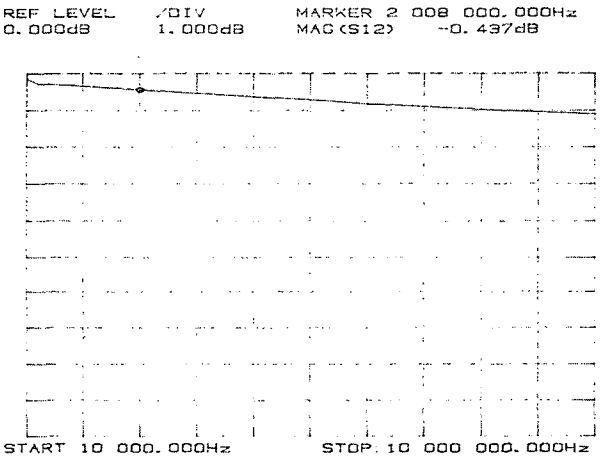
(나) T사의 CY-PIDY cable 특성 시험

① Cable length 1m의 신호 감쇄Graph



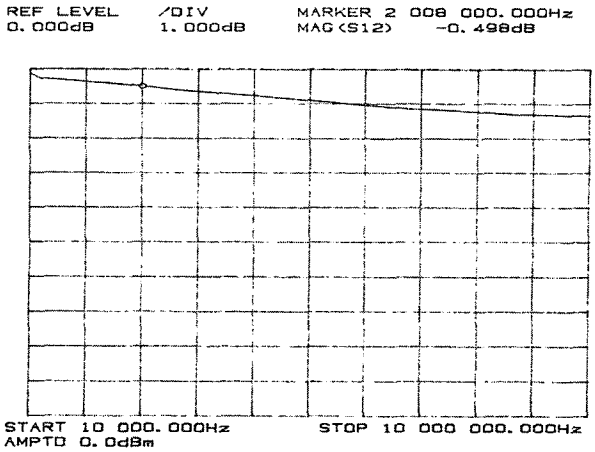
[그림 2-6] T사 CY-PIDY cable 특성 곡선 1

② Cable length 2m의 신호 감쇄Graph



[그림 2-7] T사 CY-PIDY cable 특성 곡선 2

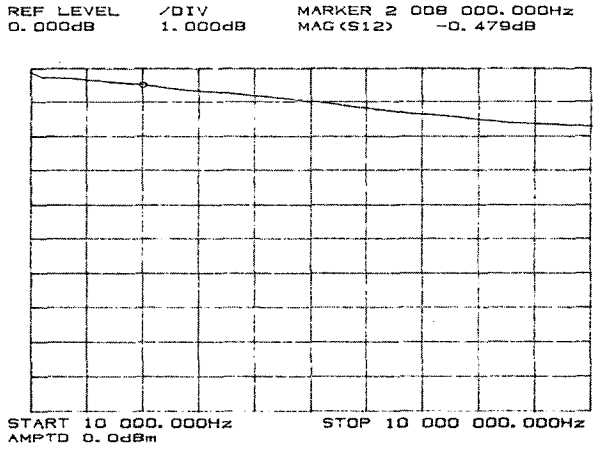
③ Cable length 2m와 1m를 연결하였을 경우의 신호 감쇄Graph



[그림 2-8] T사 CY-PIDY cable 특성 곡선 3

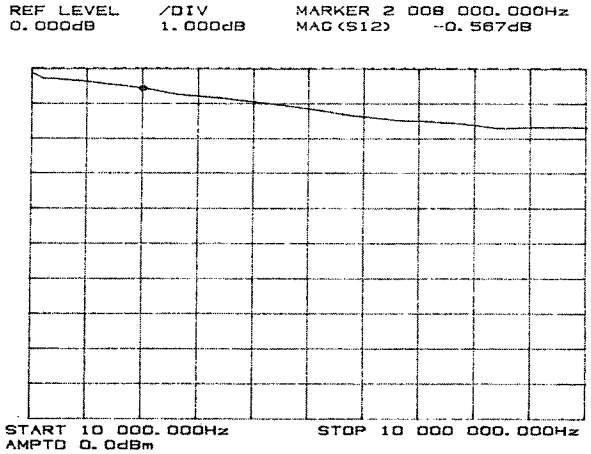
(다) 1 shielded 2×0.6mm^2 105Ω TWINAX pair cable과 T사의 CY-PIDY cable 혼용 시험

① TWINAX pair cable 2m + CY-PIDY cable 1m의 신호 감쇄Graph



[그림 2-9] 혼용 cable 특성 곡선 1

② TWINAX pair cable 2m + CY-PIDY cable 2m의 신호 감쇄Graph



[그림 2-10] 혼용 cable 특성 곡선 2

(3) TCN 통신 Cable Test 결과

TCN 통신 Cable을 Network Analyzer에 연결하여 신호 감쇄현상을 Test한 결과 1 shielded 2×0.6mm^2 105Ω TWINAX pair cable만을 사용하였을 경우 감쇄현상이 가장 적은 것으로 나타났으며, 각 Unit 내부에 다른 통신 Cable을 이용할 경우 신호의 감쇄현상이 높게 나타났다. 현재 사용중인 G7의 TCN Cable은 신호의 감쇄 현상에서 우수한 품질을 나타내는 것으로 실험의 결과과 나왔다.

라. TCN Network 시험 및 작업

(1) 2003. 07. 08(화) → TCN Network 통신 Cable 연결 확인 작업

(가) TCN Network 통신시험 장비 점검 및 차량 내 Network 통신 상태 재점검

(2) 2003. 07. 09(수) → 열차내 Network 통신 Cable 연결 포설 확인 작업

(가) 열차 내 Network Cable 포설 내용 검토 및 Cable 점검

(나) 열차 내 Network Cable 연결상태와 회로 도면과 비교 검토

(3) 2003. 07. 10(목) → 열차내 Network 통신 Cable 포설 확인 작업

(가) PC 2 Car & TM 5 Car Network Cable 연결 상태 회로 도면과 비교 및 포설 상태 점검

(나) PC 2 Car & TM 5 Car Network Cable Labeling 작업

(4) 2003. 07. 11(금) → 열차내 Network 통신 Cable 포설 확인 작업

(가) TT 4 Car & TT 3 Car Network Cable 연결 상태 회로 도면과 비교 및 포설 상태 점검

(나) TT 4 Car & TT 3 Car Network Cable Labeling 작업

(5) 2003. 07. 12(토) → 열차내 Network 통신 Cable 포설 확인 작업

(가) PC 2 Car 의 Cab cubicle 장치 내 Network Cable 연결 상태 회로 도면과 비교 및 포설 상태 점검

(나) 본선시운전시 양쪽 모니터의 모터블록 상태 및 전류치가 TCN Network 통신시험

(다) PC 2 Car의 G/W 장치에서 ATC 1 사이의 Network Cable 연결상태 점검

(6) 2003. 07. 15(화) → 열차내 Network 통신 Cable 포설 확인 작업

(가) TT 2 Car / TM 1 Car / PC 1 Car Network Cable 연결 상태 회로 도면과 비교 및 포설 상태 점검

(나) TT 4 Car / TT 3 Car / PC 1 Car Network Cable Labeling 작업

(7) 2003. 07. 16(수) → 열차내 Network 통신 Cable 포설 확인 작업

(가) 전체차량내부 Network Cable연결 상태 점검에 따른 포설도면작성

(나) TT 3 Car VCU 의 100N Line과 Frame Ground Line 과의 Short 확인

(8) 2003. 07. 19(토) → 유치선에서 MB와의 Network 통신시험 및 본선시운전 시험

(가) PC 1 Car 의 모터블록 견인/제동 전류치 유치선 내에서 시험

(나) PC 2 Car 의 모터블록 견인/제동 전류치 유치선 내에서 시험

(다) 본선 시운전 증속 시험

(라) Motor Block 동작시험 및 Network Line 점검

(9) 2003. 07. 23(수) → 각 통신 Port Data Monitoring시험

(가). PC 1 Car에서의 PC 2 Car WTB 통신 Error 상황 점검 시험

(나) PC 1 Car에서의 TM 5 Car / TT 2 Car 초기 Power On時 통신 Error 상황 점검 시험

(다) PC 1 Car의 WTB Board에서의 DPRAM Data Access 상황 점검

(라) PC 1 Car가 PC 2 Car로부터 받는 G/W 통신 Error 상황과 PC 2 Car

가 PC 1 Car로부터 받는 G/W 통신 Error 상황 점검

(마) TCN Monitoring 장치를 이용한 Network Data 검증 방법 및 활용법 시험

(10) 2003. 07. 29(화) → PC 1 Car Network 통신 시험

(가) PC 1 Car에서의 전원 투입 후 Network 상태 점검

(나) CSS Logic에 의한 차량진단 및 열차제어 시험

(11) 2003. 07. 31(목) → PC 2 Car측 TCN Network Port 통신시험

(가) PC 2 Car에서의 Gateway 통신 시험

(나) 운전석 표시장치와 BCU 1~10간 TCN Network 통신 확인시험

(12) 2003. 08. 01(금) → 본선시운전관련 사전 TCN Network 통신시험

(가) 차량 전체 TCN Network 통신 상태 점검

(13) 2003. 08. 14(목) → TCN Network 통신시험

(가) PC 1 Car 측에서 Motor Block TCN Network 통신시험

(14) 2003. 08. 21(목) → 초기기동시 TCN Network 통신 Error 점검

(가) 차량 전체 초기 기동시 운전석 화면에 SCU & VCU 불량(적색)상태 관련 TCN 통신시험

(나) MVB용 VME 확장 Board Setting 및 시험

(15) 2003. 08. 22(금) → 초기기동시 Network 통신 Error 점검 계속

(가) WTB(G/W 1 ~ G/W 7) 내부 통신 프로그램을 수정하여 Download 후 Test View 창으로 확인 작업

(16) 2003. 08. 27(수) → 본선 시운전시 모터블록 상태 관련 TCN Network 통신시험

(가) 차량 본선 시운전시 Motor Block의 상태 및 견인/제동 전류치 정보 현시 관련 TCN 통신시험

(17) 2003. 09. 01(월) → 본선 시운전시 모터블록 상태 관련 TCN Network 통신시험

(가) TM 5 Car측의 VCU와 Motor Block No4 간 열차내 포설된 Network Cable 통신시험

(18) 2003. 09. 02(화) → AP_START 통신시험 및 Motor Block 상태 관련 TCN Network 통신 시험

(가) 초기 기동시 Network의 AP_START Error 관련 TCN 통신시험 및 Motor Block 상태정보 현시관련 TCN 통신시험

마. 실험실에서의 TCN Network 시험 및 작업

(1) 2003. 09. 26(금)~10. 11(토) → SCU & VCU 와 TCN 통신시험

(가) 상기 기간 동안 오송기지에 있는 G7 고속철도 차량이 창원 로템 공장으로 이송하여 전반적인 점검을 받는 동안 SCU & VCU 및 운전석 표시 장치를 담당하는 Part는 고속철도 차량에 탑재된 SCU & VCU 및 운전석 표시장치를 이송하여 사무실에서 차량에 탑재된 것과 동일한 환경에서 시험을 실시하기 위해 동력차, 동력객차, 객차 순으로 SCU & VCU를 설치 후 WTB & MVB 통신을 연결한 후 기본통신 시험 및 TCN Network 통신시험을 실시하였다.

바. WTB Network 기능 보완시험

(1) 2004. 03. 19(금) → WTB 통신 Board 제작방안 비교 작업

(가) WTB Board 제작방안 비교 작업

① VBSC-860과 VM-162 보드를 이용한 WTB Board 제작방안 비교

② Board Interface Test 및 통신 상태 Test 환경 구축

(나) TCN Network Spec. 검토

① Wire Train Bus(IEC 61375-4 국제규격 사양) Spec. 검토

(2) 2004. 03. 22(월) → WTB통신Board를 VSBC860으로 작업하는 방안 마련

(가) VSBC860에 VxWorks를 Porting할 경우, BSP를 구매해야 하는 방안 검토, 또한 기존과 CPU가 다르므로 프로그램을 새로 만들어야 함

① XV015A 보드 CPU : MC68EN360

② VSBC-860 보드 CPU : MPC860

(나) VSBC860에 VRTX를 Porting할 경우, 현대에 BSP도 있고 XV015A Board에서 사용한 VxWorks용 Application을 VRTX용으로 바꾸는 것도 어렵지 않음

① 현대에서 프로그램 작업을 할 경우 VRTX로 작업하는 것이 좋고, 인하대에서 작업을 해서 납품을 할 경우 VxWorks로 작업하는 것이 좋음

(다) CXC Interface를 할 경우, Program이 쉽지 않을 것으로 봄

① 현대는 CXC Interface를 해본 경험이 없고, CXC Interface는 PEP사의

Interface 방식이므로 프로그램을 하려면 많은 것을 고려해야 함

(라) 현재의 IP Module Part를 VMEbus Slave Board로 하여 WTB용 VSBC860 Board가 VMEbus를 통하여 Interface하는 방안으로 검토

① IP Module Part를 VMEbus Slave Board로 할 경우 WTB용 VSBC860 Board에 이상이 생기면 CPU Board인 VSBC860 Board가 VMEbus 감시를 통하여 WTB 통신용 Board로 대체 할 수도 있음

② IP Module Part를 VMEbus용 Slave Board로 바꾸는 작업을 검토해야 함

③ VMEbus를 사용할 경우 1Mbit/s의 통신속도 가능한지 검토함

(마) PEP Korea의 CXC Interface는 MPC860의 Memory Map을 이용하여 제어하는 방식. IP(IndustryPack) 방식과 유사함.

① VSBC860 제품은 현재 단종된 상태, 비슷한 사양의 제품으로는 VSBC32가 있음 (CPU : MC68EN360), 단 이 경우 BSP를 구매해야 함

(바) MVME162 Board에 관해 어느 정도 알아보고 대체 방안 마련

① 인하대에 MVME162 Board가 있을 경우, 현재 사용 중인 IP Module Part를 바로 Interface해서 사용할 수 있는지 검토하여 가능할 경우 MVME162 Board를 이용하여 Test

② 사용 중인 IP Module Part에 수정이 필요할 경우 수정하여 Test

③ MVME162 보드도 단종 된 제품으로 추정됨

(3) 2004. 03. 26(금) → WTB 통신 Board 제작방안 방안 검토

(가) VSBC860, XV015A 및 대체품을 이용한 WTB Board제작방안검토

(4) 2004. 03. 29(월) → WTB 통신 Board 제작방안 방안 검토

(가) VMP60을 이용한 WTB Board제작방안검토

(5) 2004. 04. 08(목) → VSBC 860 Board와 WTB Network Board의 Interface 시험

(가) WTB의 Base Board와 WTB Upper Board간에 Interface 시험

① WTB의 Base Board와 WTB Board의 상단에 장착되는 Upper Board 간에 상호 Data를 주고받는 Interface 관계를 파악하고 IP Module의 CXC Interface 검증작업 실시

(6) 2004. 04. 14(수) → CXC Interface 예제 검토

(가) VMP60를 Base로 하여 CXC Interface를 이용한 통신 Board를 제작하기 위한 CXC Interface 사항 및 예제 검토

(7) 2004. 05. 07(금) → PC1-PC2간 WTB 통신 점검

(가) WTB Board 상태 점검 및 통신 Line 점검

(8) 2004. 05. 12(수) → WTB Network 통신 안정화작업

(가) WTB Board의 손상으로 인한 통신 Error

① 원인 : Cab cubicle 내부의 높은 온도와 WTB 통신 선로의 Noise, 장시간 사용으로 인한 내구성이 악화되어 통신의 신뢰도가 떨어짐.

② 대책 : Cab cubicle 내부에 냉각용 Fan 설치하여 내부의 높은 온도를 강제 순환시켰으며, WTB 통신선로에 Noise Filter 제작 설치하여 외부의 Noise에 대해 Robust하게 하였으며, Noise에 견elf 수 있는 Surge 대책 Board를 제작하여 WTB 통신 Board의 신뢰성 및 안정성을 높혔음.

(9) 2004. 06. 04(금) → WTB Board용 VMP60 BSP Porting

(가) VMP60 Board에 대한 VxWorks용 BSP를 Porting하고 Application Software 제작을 위한 기본 작업 수행

(10) 2004. 07. 06(화) → WTB Board용 CXC Interface Board 제작

(가) WTB Signal Generator를 위한 CXC Interface Board를 제작

(11) 2004. 08. 06(금) → WTB Board용 Serial ROM 제작

(가) WTB 통신을 위한 Manchester Encoder/Decoder 부분의 Serial ROM을 제작

(12) 2004. 08. 12(목) → WTB Board 시험

(가) 새로 제작한 VMP60 Board와 CXC Interface Board를 Test함

(나) 문제가 발생한 통신 Signal Preamble에 대하여 Serial ROM의 Logic과 Application을 수정함

(13) 2004. 08. 26(목) → New WTB Board의 차량 내 현차 탑재시험

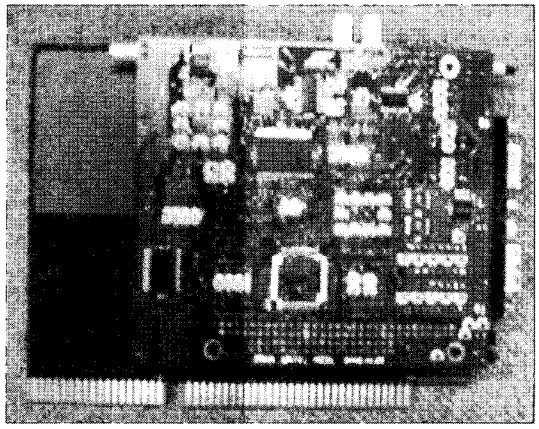
(가) New WTB Network 통신 Board의 차량 내 일부 탑재시험

① 계속 시운전 및 시험을 진행하는 가운데 일부 WTB Board 가 정상적인 동작을 하지 못하고, 또한 주변의 상황 때문에 열화되거나 Board가 동작 중에 소손이 되어 WTB 통신시스템이 제 기능을 하지 못한 것을 보강하여 New Type의 WTB Board를 만들어 차량에 탑재하여 정상적

인 기능을 수행하는지 시험함.

사. MVB Network 기능 보완시험

(1) 2004. 02. 11(수) → 모니터용 PC/104 to ISAbus Interface Board 제작



[그림 2-11] PC/104 to ISAbus Interface Board를 장착한 MVB Board

(가) 고장정보모니터의 MVB Board 교체

① 원인 : 고장정보모니터의 MVB Board 예비수량 부족으로 인하여 보드에 손상이 생길 경우 문제 발생

② 대비 : Standard화된 예비품으로 제작되어 있는 PC/104 Type의 MVB Boar를 Interface하기 위해 PC/104 to ISAbus Interface Board를 제작함. 또한 모니터에 고정시킴으로써 진동에 의한 Connector의 헐거워짐이나 통신 Error를 방지함

(2) 2004. 02. 19(수) → 모니터용 MVB 통신 입력단에 Noise 제거용 클램프비드 설치

① 원인 : Motor Block이나 열차내의 각종 Device로부터 MVB 통신 Cable로 유입되는 Noise로 인하여 통신 정보 현시 Error 발생

② 대비 : 클램프필터를 통하여 모니터로 유입되는 Noise를 제거함

(3) 2004. 04. 28(수) → SCU / VCU & TCN 정상 동작 상태 점검

(가) SCU와 VCU의 동작 상태를 점검하고 TCN통신의 정상 여부 점검

① 4월 28일부터 29일 양일간 양쪽 선두 동력차의 SCU와 동력객차 및 객차에 탑재된 VCU 의 동작상태를 점검하고 각 Unit간의 TCN Network 통신이 정상적으로 동작하는지 점검함

(4) 2004. 05. 07(금) → MVB 포설 Line 점검 및 통신 Test

(가) TT4 MVB 통신에 대하여 열차 내 포설되어 있는 Line을 이용한 MVB 통신이 가능한지에 대하여 점검

(나) TT4 MVB 통신에 대해 임시로 설치한 MVB Line을 제거하고 열차에 포설되어 있는 Line을 이용함

(5) 2004. 05. 27(목) → MVB Network 통신 안정화작업

(가) MVB Board의 통신 수행 상 Error

① 원인 :

㉮ 초기 기동 시 각 Local Unit와 SCU의 MVB Board가 통신을 할 때 Initializing Error 가 발생하여 초기 동신 구동에 어려움이 있음.

㉯ 운전석 표시장치의 각 현시정보 및 고장정보 Display에 MVB 통신에 의한 정보 현시 Error 발생

㉰ MVB 통신 Cable의 상태 불안정하여 TM5의 통신 Cable에 많은 Noise 영향을 받으며, 주변 통신 Cable 환경이 매우 열악함

㉱ MVB Board의 예비 물량의 부족으로 인해 본선시운전시 동작 중의 소손이나 기타 이유로 정상 동작하지 않을 경우 MVB Board의 예비 물량이 부족하여 본선시운전 증속시험에 MVB Baord가 소손될 경우 즉각적인 조치 미흡함.

② 대비 :

㉮ Stand화된 MVB 통신 Routine 구현 및 Manual 작업으로 통신의 기본 Basic을 구현함으로 초기 통신의 신뢰성을 높임.

㉯ 해당 운전석 표시장치의 MVB 통신 Board에 탑재된 초기화 Routine을 수정하여 운전석 현시정보의 정확도 및 통신의 신뢰성을 높임

㉰ MVB Board의 Noise 상태를 측정하여 외부의 Noise에 통신이 안정적으로 동작하도록 Noise Filter를 설치하여 안정된 통신상태를 보여줌.

㉱ New type의 MVB Board의 설계를 하여 안정적이고 신뢰성있는 MVB 통신 Board를 제작하도록 함.

(6) 2004. 06. 10(목) → BCU용 MVB Board 수정보완작업

(가) 제동장치의 Controller에 탑재된 MVB Board의 Network 통신상태 동작 시험

① 원인 : G7 한국형 고속철도 차량에 탑재된 BCU용 MVB Board가 초기 기동 시 Initial Error 가 발생하여 정상 신호가 일부 들어오지 못하는 현상 발생

② 대비 : BCU용 MVB Board 내부에 탑재된 CPLD Logic을 수정보완 작업을 수행하여 초기 통신 Error 발생을 최소화하였음.

(7) 2004. 07. 22(목) → MVB Board의 초기화 Program 기능보강

(가) MVB Board의 초기기동 Program 기능 보강 작업

① 차량의 전원이 Power On 시 차량에 탑재된 전체 제어기의 MVB Board 중에서 일부 MVB Board가 정상적으로 Booting 하지 못하여 통신이 원활하게 되지 못하여 MVB Board의 내부 초기화 루틴에 이를 Check 하는 기능을 보강하고 Hardware 적으로 초기 전원 투입 시 발생하는 과전압에 안정적으로 동작하도록 기능 보강함.

(8) 2004. 07. 27(화) → MVB 포설 Line 점검 및 통신 Test

(가) TM5 MVB 통신에 대하여 열차 내 포설되어 있는 Line을 이용한 MVB 통신이 가능한지에 대하여 점검

(나) TM5 MVB 통신에 대해 임시로 설치한 MVB Line을 제거하고 열차에 포설되어 있는 Line을 이용함

(9) 2004. 09. 03(금) → Standard MVB Board Interface 자료 작성

(가) 각 Local Device들이 MVB Board를 Interface하기 위한 방법으로써 Standard화 되고 쉽게 Interface할 수 있는 자료 작성

(나) 각 CPU들이 공통으로 MVB Board의 DPRAM을 Interface할 수 있도록 공통의 Source File과 Manual 작성

(10) 2005. 04. 19(화) → TT2 네트워크 케이블 교체

(가) TT2의 VCU의 MVB 보드와 BCU 5번의 MVB 보드를 연결하는 통신 케이블을 기존의 UTP 라인에서 쉴드타입의 4라인, 연선의 것으로 교체함.

(11) 2005. 07. 12(화) → AUX 네트워크 시험

(가) AUX에 MVB 보드와 케이블을 연결하여 네트워크 상태를 확인함.

(나) AUX의 Staus를 나타내는 포트값이 지원정보 모니터에서 정상적으로 확인됨.

(다) 변경된 Check variable이 포함된 프로그램으로 AUX의 네트워크 상태를 다시 확인함.

(라) Check variable이 정상적으로 변동되는 것을 지원정보 모니터에서 확인함.

(마) MVB 보드 한 장에 대해서는 정상적인 네트워크 상태를 확인할 수 있었으나 나머지에 대해서는 보드 셋팅의 문제로 확인하지 못함.

(마) AUX 측에서 PC 2측에서 700번 포트를 사용으로 인하여 G/W와 충돌함

(바) 720번 포트를 사용하여 확인한 결과 정상적으로 네트워크가 지원정보 모니터에 현시됨을 확인함.

(12) 2006. 04. 26(수) → PC2 네트워크 점검

(가) 오실로스코프를 이용하여 PC2의 파형을 체크함.

(나) B라인은 파형이 깨끗했으나 A라인은 파형이 일그러져 보였음.

(다) AUX측의 MVB 케이블을 조사한 결과 AUX 3번의 입력쪽 A, B 라인 모두 꼬여있었으며 AUX 3번에서 AUX 4번으로 가는 MVB 케이블 중 한 핀이 단선되어 있었음.

(라) 케이블 작업 후 파형을 다시 체크한 결과 A, B 라인 모두 파형이 깨끗하였음.

(마) Analyzer로 확인한 결과 에러가 발생하지 않았음.

(13) 2007. 09. 18(화) → BCU용 MVB 보드 S/W 수정

(가) 초기화 불량이 발생하는 원인은 Host인 BCU의 CPU 보드와 MVB 보드 간의 초기화 과정에서 BCU의 CPU 보드가 DPRAM에 정해진 값을 Write하지 못하여 발생하는 것임.

(나) 현재 G7의 MVB 보드의 S/W는 초기화 과정에 포함되어 있으며 이 초기화 과정 중에 Host로부터 Port 정보를 입력받고 이 정보를 이용하여 Port Configuration을 하고 있음.

(다) 수정하고자 하는 S/W는 이 초기화 과정을 생략하고 MVB 보드의 S/W에 Port 정보를 미리 포함시켜 자체적으로 Port Configuration을 진행하

도록 수정한 것임.

아. G7 차량 내부선 점검 및 네트워크 시험 (2005년 4월 26일 시행)

현재 차량 내부에 포설되어 있는 내부선을 아래와 같이 점검하고 문제점들을 시정하였으며 아울러 정상적인 통신이 가능하도록 네트워크 시험을 시행하였다.

(1) TM1

(가) Aircon을 bypass 시키기 위하여 보드에 bypass 커넥터를 연결함.

(나) 차량의 양 끝단인 VCU와 BCU 4번까지의 내부선 연결에 이상이 없음을 확인함.

(다) TM1의 모든 장치를 내부선 모드로 바꾸어 상태를 확인함.

(라) VCU, BCU 3번, BCU 4번이 모두 정상적으로 현시됨을 확인함.

(마) 열차 기동시에 M/B 3번이 정상적으로 현시되는지 확인해야함.

(2) TT2

(가) Aircon을 bypass 시키기 위하여 보드에 bypass 커넥터를 연결함.

(나) TT2 VCU 배전반 상단 좌측부의 Aircon BCU 5번 간의 커넥터의 핀이 휘어져있는 것이 확인하고 이를 정상으로 조치함.

(다) TT2 차량 하부의 단자대의 Aircon - BCU 5번 간의 결선이 잘못되어 이를 수정함.

(라) 차량의 양 끝단인 VCU와 BCU 5번까지의 내부선 연결에 이상이 없음을 확인함.

(마) TT2의 모든 장치를 내부선 모드로 바꾸어 상태를 확인함.

(바) VCU, BCU 5번이 모두 정상적으로 현시됨을 확인함.

(3) TT4

(가) Aircon을 bypass 시키기 위하여 보드에 bypass 커넥터를 연결함.

(나) 차량의 양 끝단인 VCU와 BCU 6번까지의 내부선 연결에 이상이 없음을 확인함.

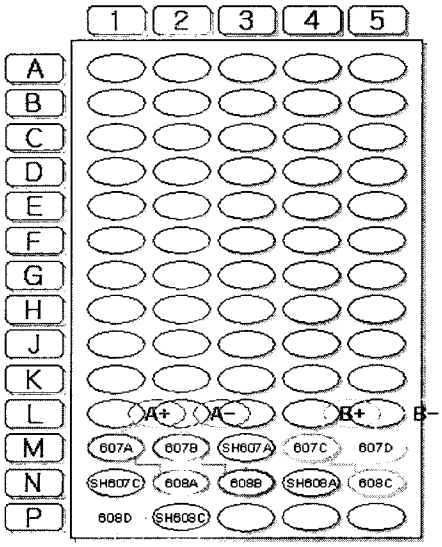
(다) TT4의 모든 장치를 내부선 모드로 바꾸어 상태를 확인함.

(라) VCU, BCU 6번이 모두 정상적으로 현시됨을 확인함.

(4) TM5

(가) 현재 TM5에는 Aircon이 설치되어 있지 않아 FRB 커넥터를 bypass 되도록 조치해놨으나 케이블의 재질이 달라 이를 재질이 같은 케이블로

교체하여 bypass 시켜놓았음.



[그림 2-12] TM5 MVB 통신 Connector 점검

(나) 차량의 양 끝단인 VCU와 BCU 7번까지의 내부선 연결에 이상이 없음을 확인함.

(다) TM5의 모든 장치를 내부선 모드로 바꾸어 상태를 확인함.

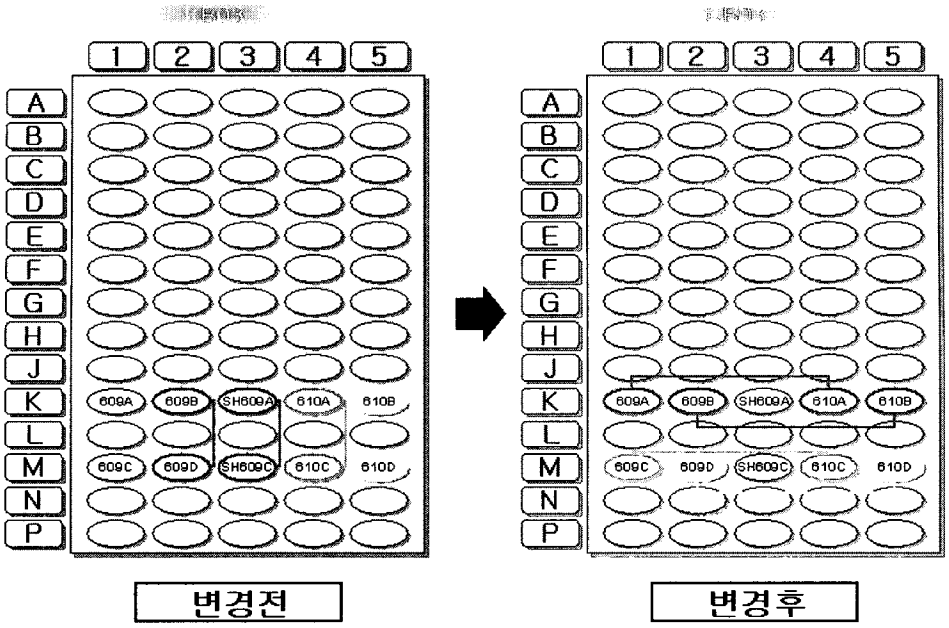
(라) VCU, BCU 7번, BCU 8번이 모두 정상적으로 현시되는 것 같았으나 BCU 8번이 일시적으로 현시가 안되는 것을 확인함.

(5) PC1

(가) Aircon을 bypass 시키기 위하여 보드에 bypass 커넥터를 연결함.

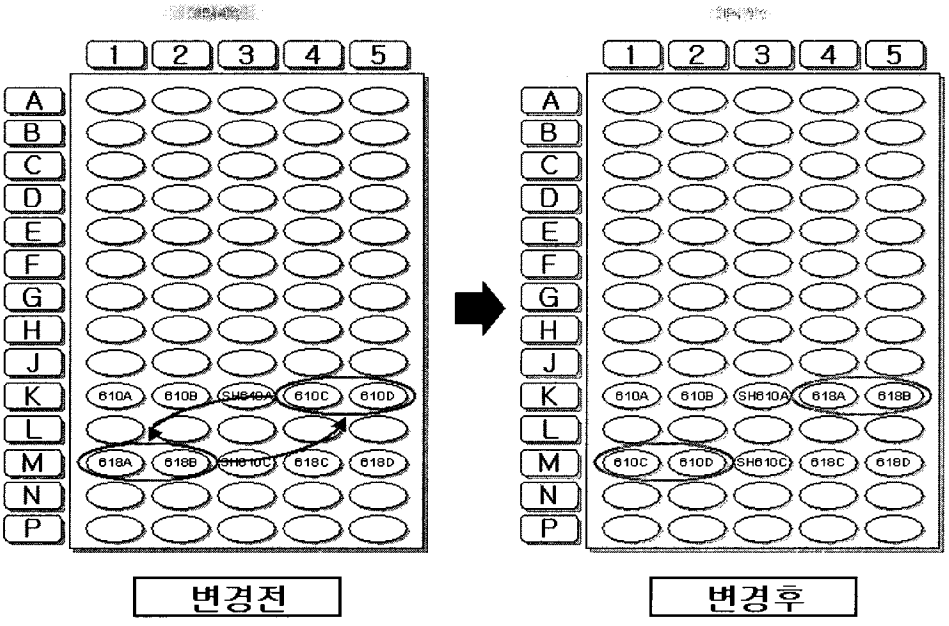
(나) PC1 Cab Cubicle의 Gateway에서부터 차량의 끝단인 차량하부의 BCU 2번까지의 각 연결부위를 점검함.

(다) Cab Cubicle의 SCU 2번은 현재 설치되어 있지 않아 FRB 커넥터에서 bypass 되도록 조치를 해놓았으나 이의 결선이 잘못되어 있어서 정상적으로 수정함.



[그림 2-13] PC1 SCU2 MVB 통신 Connector 점검

(라) SCU 1번의 FRB 커넥터 부분의 결선이 잘못되어 있어서 이를 정상으로 수정함.



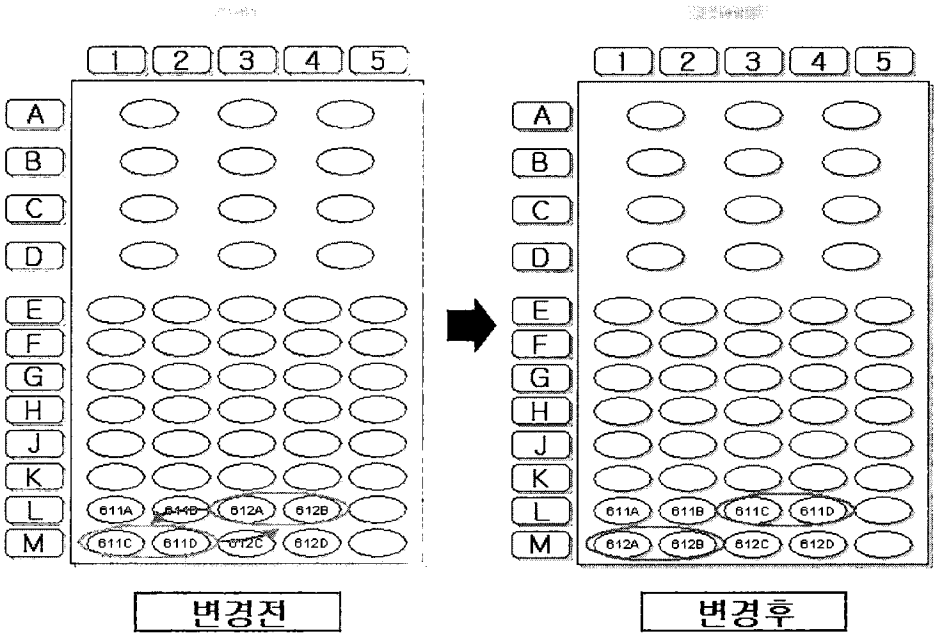
[그림 2-14] PC1 SCU1 MVB 통신 Connector 점검

(마) SCU 1번 RACK 백플레인의 통신 라인이 bypass 되어있지 않았음.

(바) A+(1번), A-(2번)는 입력단인 SCU 2번과는 연결이 되어있지만 출력단인 BBCU와는 연결이 되어있지 않았음.

(사) B+(4번), B-(5번)는 출력단인 BBCU와는 연결이 되어있지만 입력단인 SCU 2번과는 연결이 되어있지 않았음.

(아) ACU의 RACK 백플레인의 통신 라인 결선과 Cab Cubicle의 FRB 커넥터의 통신 라인 결선이 서로 달라 이를 통일하기 위해 Cab Cubicle의 FRB 커넥터의 통신 라인 결선을 ACU의 것으로 맞추어 교체함.



[그림 2-15] PC1 ACU MVB 통신 Connector 점검

(자) DISP 2번의 D-SUB 커넥터 중 BCU 1번으로 나가는 부분의 "B+(4번)" 라인 부분이 단선되어있어서 이를 다시 결선하여 정상 상태로 조치함.

(차) BCU 1번부터 M/B 1번, 2번, AUX 를 통과하여 끝단인 BCU 2번까지의 통신 라인은 정상임을 확인함.

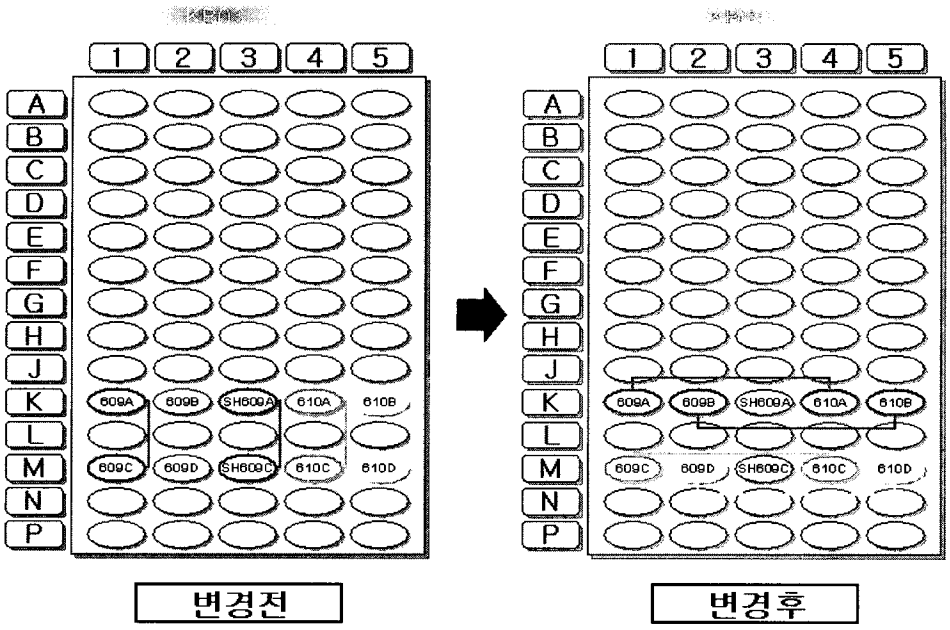
(카) SCU 1번의 백플레인 결선 문제로 인해 네트워크 시험은 취소됨.

(6) PC2

(가) Aircon을 bypass 시키기 위하여 보드에 bypass 커넥터를 연결함.

(나) PC2 Cab Cubicle의 Gateway에서부터 차량의 끝단인 차량하부의 BCU 9번까지의 각 연결부위를 점검함.

(다) Cab Cubicle의 SCU 1번은 현재 설치되어 있지 않아 FRB 커넥터에서 bypass 되도록 조치를 해놓았으나 이의 결선이 잘못되어 있어서 정상적으로 수정함.



[그림 2-16] PC2 SCU2 MVB 통신 Connector 점검

(라) SCU 2번 RACK 백플레인의 통신 라인이 bypass 되어있지 않았음.

(마) A+(1번), B-(5번)는 입력단인 ATC와는 연결이 되어있지만 출력단인 SCU 1번과는 연결이 되어있지 않았음.

(바) B+(4번), B-(5번)는 출력단인 SCU 1번과는 연결이 되어있지만 입력단인 ATC와는 연결이 되어있지 않았음.

(사) ACU의 RACK 백플레인의 통신 라인 결선과 Cab Cubicle의 FRB 커넥터의 통신 라인 결선이 서로 달라 이를 통일하기 위해 Cab Cubicle의 FRB 커넥터의 통신 라인 결선을 ACU의 것으로 맞추어 교체하려고 했으나 차량에 맞추기로 협의하고 교체하지 않음.

(아) DISP 2번의 D-SUB 커넥터 중 BCU 10번 쪽으로 출력되어지는 핀의 번호가 정반대로 뒤바뀌어져 있어 이를 원래대로 복귀함.

(자) BCU 10번에서부터 M/B 6번, 5번, AUX를 통과하여 차량의 끝단인 차량하부의 BCU 9번까지 통신라인이 정상임을 확인함.

(차) SCU 2번의 백플레인 결선 문제로 인해 네트워크 시험은 취소됨.

3. 시운전시험 데이터 분석

가. WTB 통신 시험 분석

(1) 시험 개요

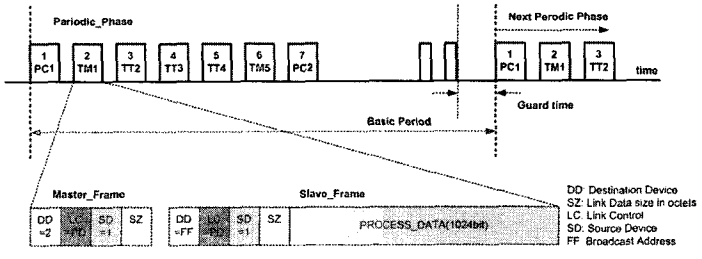
G7 한국형 고속철도의 차량진단 및 열차제어시스템은 차량에 탑재된 각 제어기기와의 정보교환 및 차량의 상태를 알려주기 위한 통신으로 TCN 통신을 이용한다. 특히 차량과 차량간의 통신에 적용된 Wire Train Bus (WTB) Network은 차량 전체의 상태를 확인하고 필요시 적절한 제어 명령을 내릴 수 있도록 하기 위한 필수적인 장치로 고속철도 차량전체를 모니터링하고 진단 및 제어를 하기 위해 없어서는 안 될 Network이다. WTB 통신 시험은 차량간 통신망으로 개발된 Wire Train Bus (WTB) 보드의 문제점 개선 및 성능 향상을 위한 시스템의 안정성을 확보하기 위한 통신 시험에 대한 분석이다.

(2) 시험 내용

(가) 통신 신호 시험

WTB는 맨체스터 코드로 인코딩/디코딩 되며 모든 프레임은 HDLC(ISO 3309)표준을 준수한다. 당사의 WTB 개발은 초기자동인식기능(Inauguration), 이중화 구조, 표준준수를 목적으로 개발하였다. 표준 시험을 위하여 'EKE WTB Analyzer'로 WTB 라인의 신호를 측정하도록 구성하였다. 'WTB Analyzer'는 초당 프레임수, 총 프레임수, 에러프레임수를 측정할 수 있도록 구성되어 있다.

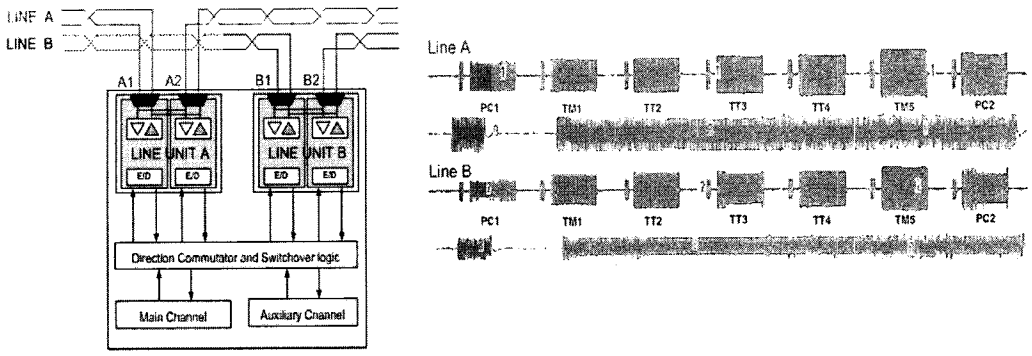
WTB 프레임은 [그림 3-1]과 같은 구조를 가진다. 'Basic Period'는 25[ms]로 'Process Data'만 표시하였다. 25[ms]안에는 7량의 차량 정보를 마스터 프레임과 슬레이브 프레임의 조합으로 구성된다. 즉 하나의 'Basic Period'안에는 7개의 마스터프레임과 7개의 슬레이브 프레임이 존재한다. 마스터가 해당 차의 데이터를 요청하면 슬레이브는 해당데이터를 Broadcasting으로 응답한다.



[그림 3-1] WTB Frame 구성

(나) 통신 이중화 시험

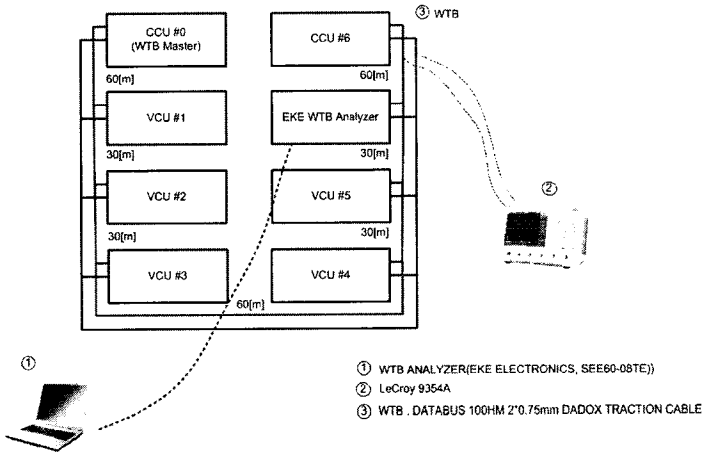
[그림 3-2]는 WTB의 이중화 구성도이다. WTB는 이중화로 'Line A', 'Line B'에 동시에 보내고 이에 대하여 라인에 슬레이브 프레임도 동시에 실린다. WTB 'Bus Controller'에서는 두 신호 중 하나의 신호를 선택하여 디코딩한다.



[그림 3-2] WTB 이중화 구성

(다) 시뮬레이터 시험

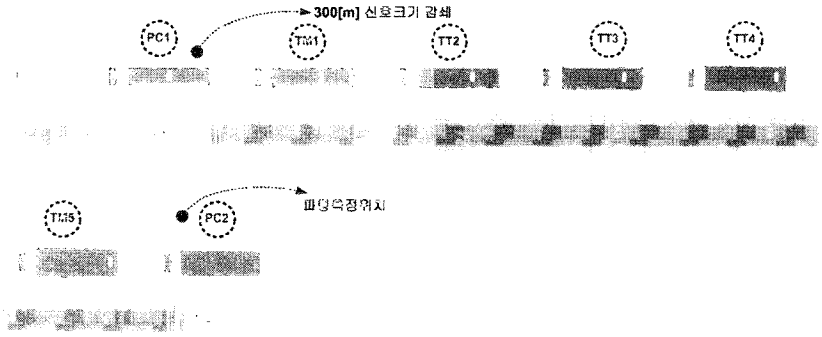
이를 시험하기 위하여 [그림 3-3]와 같은 시험 환경을 구성하였다. WTB는 TCN 120[Ohm] 전용선을 사용하였으며 300[m]을 이중화로 연결하여 통신의 상태를 분석하였다.



[그림 3-3] WTB 시뮬레이터 시험 환경

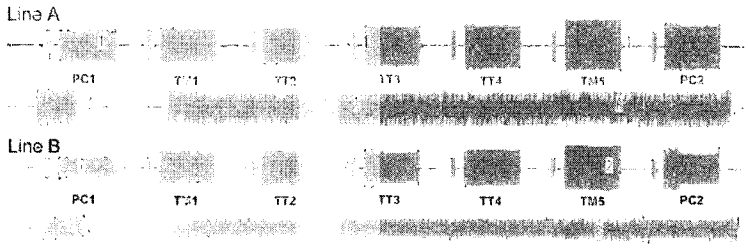
[그림 3-4]는 WTB의 파형을 측정한 것으로 파형측정위치는 PC2 앞단에서 측정하였다. WTB 파형은 거리에 따라서 [그림 3-4]와 같이 파형의 전압 감쇄를 눈으로 확인 할 수 있다. 측정오차는 있지만 300[m]거리의 경우 약 1.5[V]

의 파형 전압감쇄가 발생하였다.



[그림 3-4] WTB 파형분석

[그림 3-5]은 'Line A', 'Line B'를 동시에 측정한 파형이다.

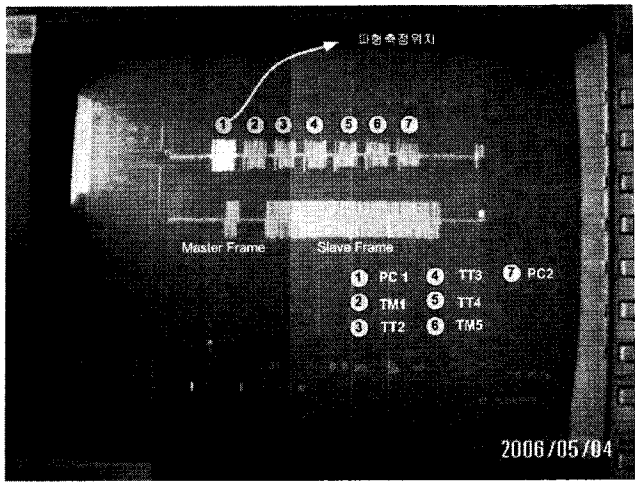


[그림 3-5] 이중화된 WTB 통신 파형

(라) 현차 시험

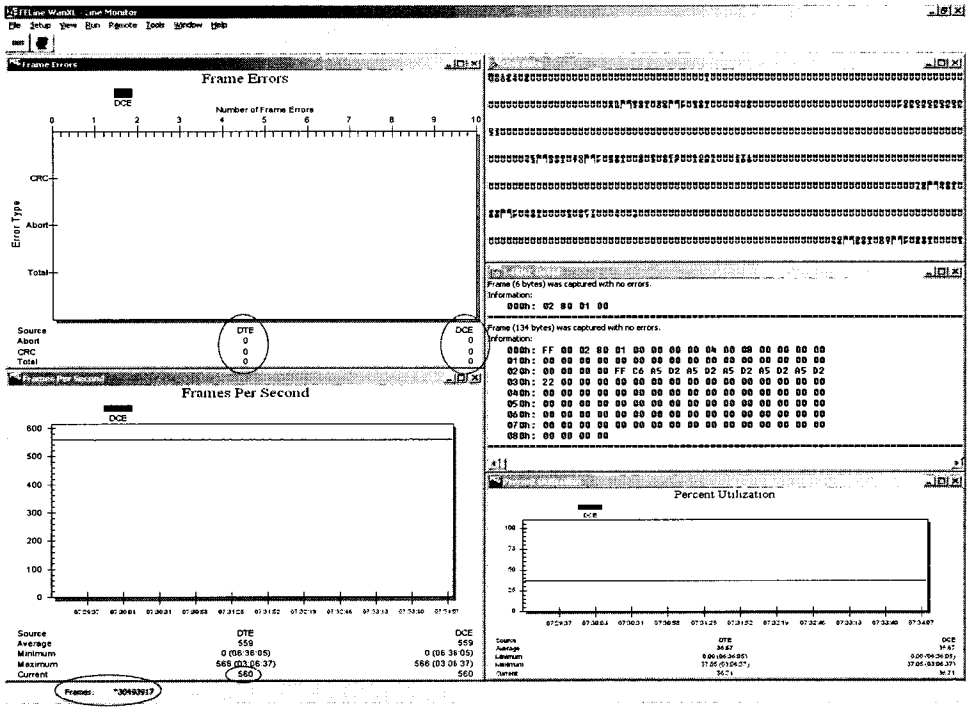
[그림 3-6] 과 [그림 3-7] 에서 현차 적용된 WTB 통신의 파형 및 에러율을 확인 할 수 있다.

[그림 3-6]은 WTB의 파형을 측정한 것으로 파형측정위치는 PC2 앞단에서 측정하였다. WTB 파형은 거리에 따라서 [그림 3-4]와 유사하게 파형의 전압 감쇄를 눈으로 확인 할 수 있다. 측정오차는 있지만 PC1의 Signal과 PC2의 Signal을 비교할 경우 약 1.5[V]의 파형 전압감쇄가 발생하여 시뮬레이터 시험의 결과와 거의 동일하다는 것을 알 수 있다.



[그림 3-6] 현차 WTB 파형 측정

'IEC 61375-1 4.2.6.3.5'에 의하면 WTB 통신에서 총 프레임 9,000,000번 중 3개의 에러를 허용한다. [그림 3-7]은 'WTB Analyzer' 분석 결과를 나타낸 것이다. [그림 3-7]의 좌측 하단의 30,493,917 중 'Frame Errors'란에 DTE(마스터 프레임의 에러), DCE(슬레이브 프레임의 에러)가 모두 '0'으로 에러프레임을 검지하지 못했다. 'Frame Per Second'란은 초당 프레임 수로 한 개의 'Basic Period'안에 마스터 7[Frames], 슬레이브 7[Frames]으로 14개의 프레임이 있고, 1초에 40개의 'Basic Period'프레임이 있으므로 '14 × 40' 즉, 초당 프레임수는 560개이다.



[그림 3-7] 'WTB Analyzer' 분석 결과

(3) 시험 결과

기존 고속철도 차량의 네트워크의 불안에 의해 많은 문제가 야기되었다. 따라서, 네트워크의 안정화를 위해 OBCS 시스템을 완전 재개발 하는 방향으로 진행하였다.

시뮬레이터 통신시험 및 현차 통신시험을 수행하였으며, 시험의 결과는 양호하였다. 향후에는 지속적인 모니터링 및 추가적인 기능 보강에 의해 높은 신뢰성을 확보하도록 할 것이다.

나. MVB 통신 시험 분석

(1) 시험 개요

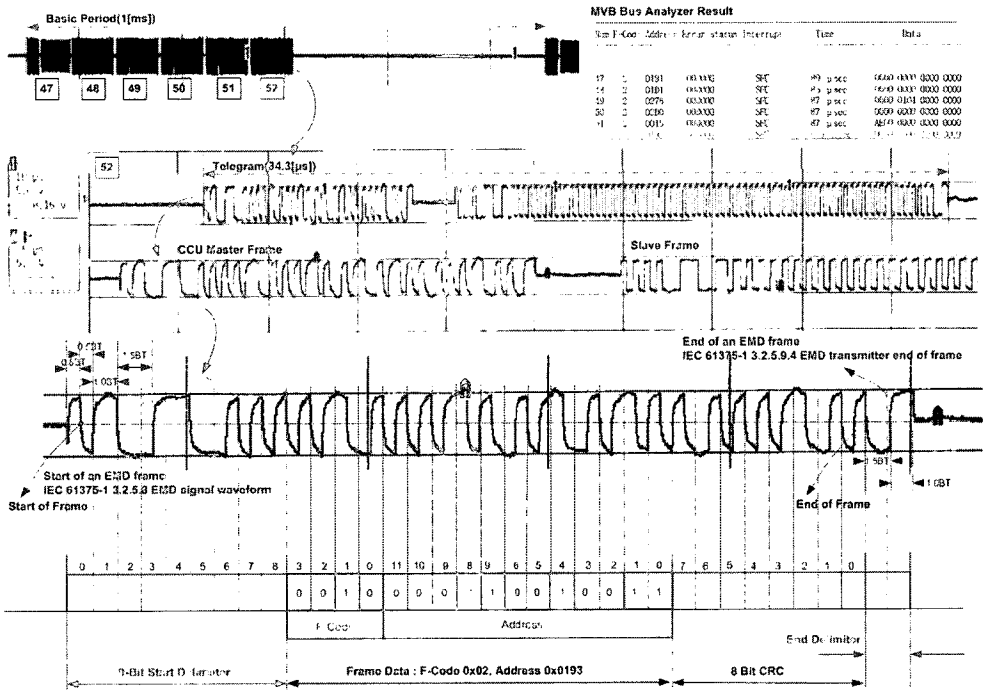
G7 한국형 고속철도의 차량진단 및 열차제어시스템은 차량에 탑재된 각 제어 기기와의 정보교환 및 차량의 상태를 알려주기 위한 통신으로 TCN 통신을 이용한다. 차량 내 기기들의 통신에 적용된 Multifunction Vehicle Bus (MVB) Network은 차량내 각 장치들의 상태를 확인하고 필요시 적절한 제어 명령을 내릴 수 있도록 하기 위한 필수적인 장치로 열차의 운행제어 및 진단을 행하며 운전자와 열차 내부 기기간 필요한 정보를 주고 받을 수 있는 Network이다. MVB 통신 시험은 열차 제어 시스템의 중요한 기능을 보다 안전하게 열차를 운행 할 수 있도록 빠르고 정확하게 최상의 정보를 제공하기 위하여 개발된 Multifunction Vehicle Bus (MVB) 보드의 문제점 개선 및 성능 향상을 위한 통신시험에 대한 분석이다.

(2) 시험 내용

(가) 통신 신호 시험

MVB는 하나의 마스터에 다수의 슬레이브 노드를 형성하며 임의적인 전송이 아니라 데이터 형태를 주기적으로 기본주기를 반복하며 통신한다. 마스터는 정해진 순서에 따라 순차적으로 슬레이브를 폴링한다. 이에 따라 발생지 노드(Source Port)로부터 여러 목적지 노드(Sink Port)로 브로드케시팅된다.

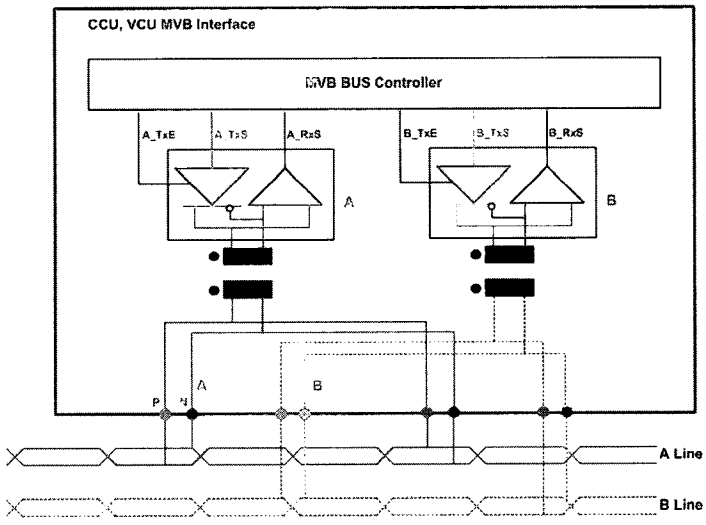
'Basic Period'는 [그림 3-8]과 같이 1[ms]이고 6개의 마스터프레임, 6개의 슬레이브 프레임을 포함하여 6개의 Telegram이 있다. 마스터 프레임은 22[μs]이고 슬레이브 프레임('F-code : 0X02'일 경우)은 54[μs]이다. [그림 3-8]과 같이 한 Telegram은 84.3[μs]이고 'MVB Analyzer Result'에도 약 87[μs]로 분석되었다. 약간의 시간차이는 측정오차이다.



[그림 3-8] MVB Telegram 분석

(나) 통신 이중화 시험

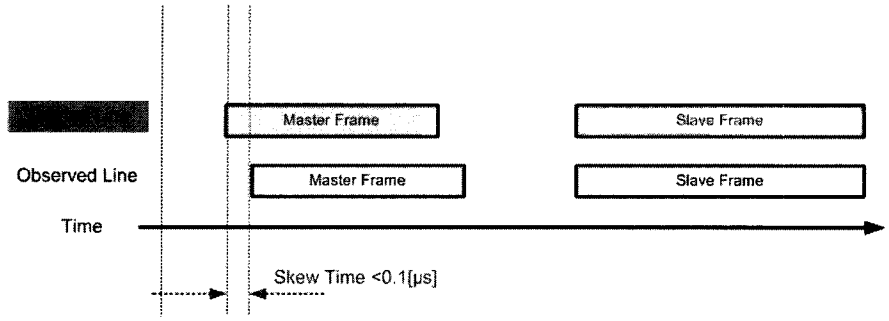
[그림 3-9]는 MVBC의 이중화 구성도이다. MVB는 이중화로 구성되어 있다. 마스터 프레임은 Line A, Line B에 동시에 보내고 이에 대하여 슬레이브 프레임도 동시에 실린다.



[그림 3-9] MVB 이중화(Redundancy) 구성도

내부 'MVBC'로직에 의하여 'Bus Controller'가 두신호중 사용되어지는 신호

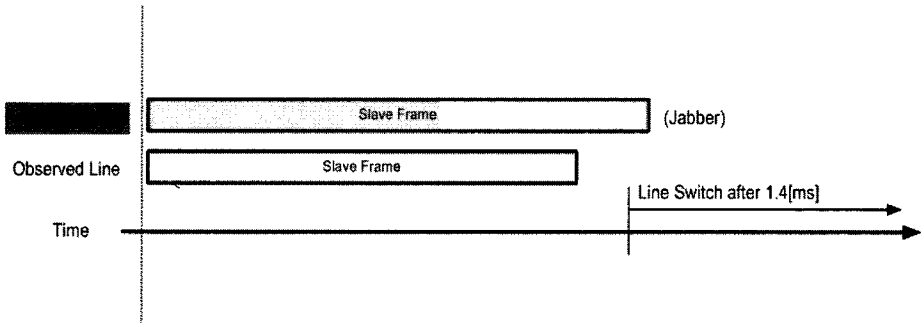
를 수신 받는다. 이 신호를 'Trusted Line'('Active Line' 이라고도 함)라 하고 나머지 신호를 'Observed Line'이라 한다.



[그림 3-10] Skew Time

[그림 3-10]는 MVB 마스터가 마스터 프레임을 0.1[μs] 이내의 차이로 보내는데 이 시간을 'Skew Time'이라 한다. 이는 이중화를 위한 방법으로 신호의 중첩을 방지하기 위하여 'Skew Time'을 둔다.

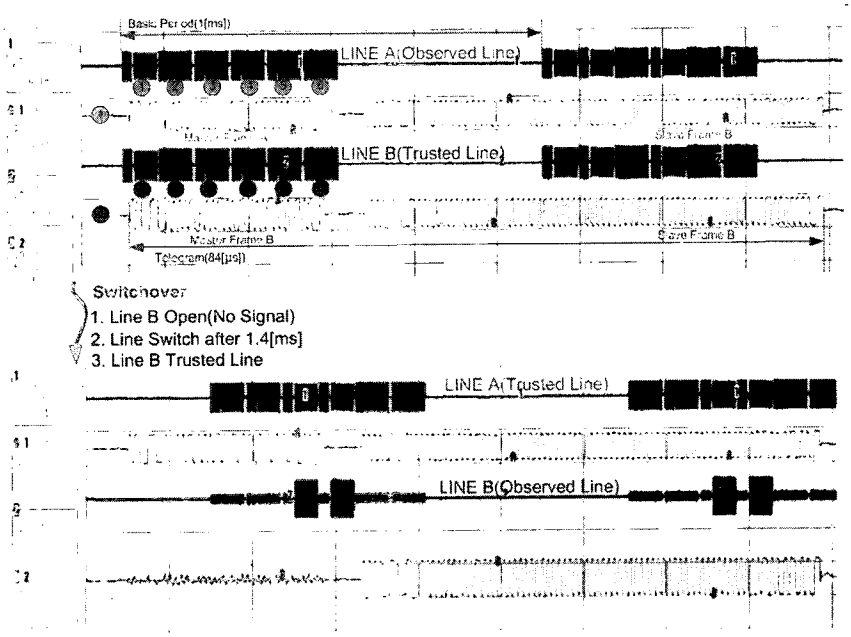
[그림 3-11]은 'Trusted Line'에서 신호의 왜곡이 생길 경우 1.4[ms]후 'Observed Line'으로 절체 된다. 통신라인의 절체의 경우는 여러 가지 조건을 가지고 있지만 [그림 3-11]은 그 중 하나의 조건을 소개한 것이다.



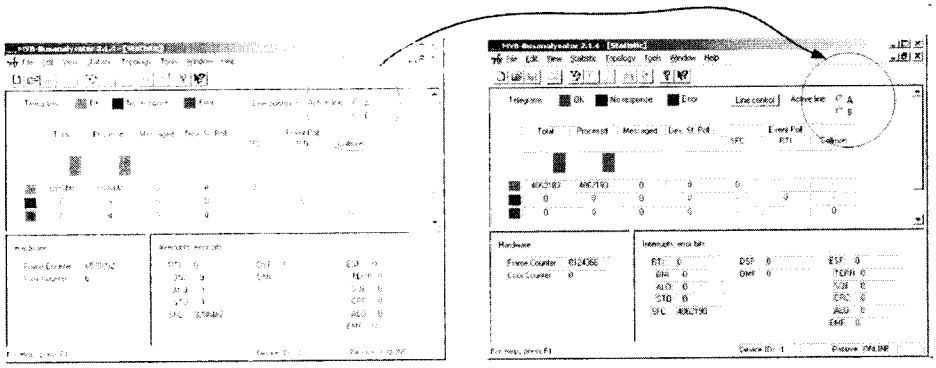
[그림 3-11] Switch Over

[그림 3-12]은 [그림 3-8]의 'Line B' 절체 후 파형을 관찰한 것이다. [그림 3-13]의 좌측 'MVB Bus Analyzer' 분석 화면에서 'Active Line'이 'B'로 체크 되어 있다. 'Line B' 절체 후 'Active Line'이 'Line A'로 체크 되어 있다. [그림 3-12]는 'Line B' 절체 후 'Trusted Line'이 'Line A'로 이동하고 'Line B'의 파형은 슬레이브 프레임 2개만 존재 하는데, 이는 마스터와의 관계가 아닌 보내는 슬레이브 파형이다. 절체를 포함하여 시험시간 약 10분 동안 약 670만 번의

마스터 프레임, 슬레이브 프레임 중 한 프레임의 에러도 발생되지 않았고, 버스의 절체를 [그림 3-13]의 'MVB Bus Analyzer'에서 확인할 수 있다.



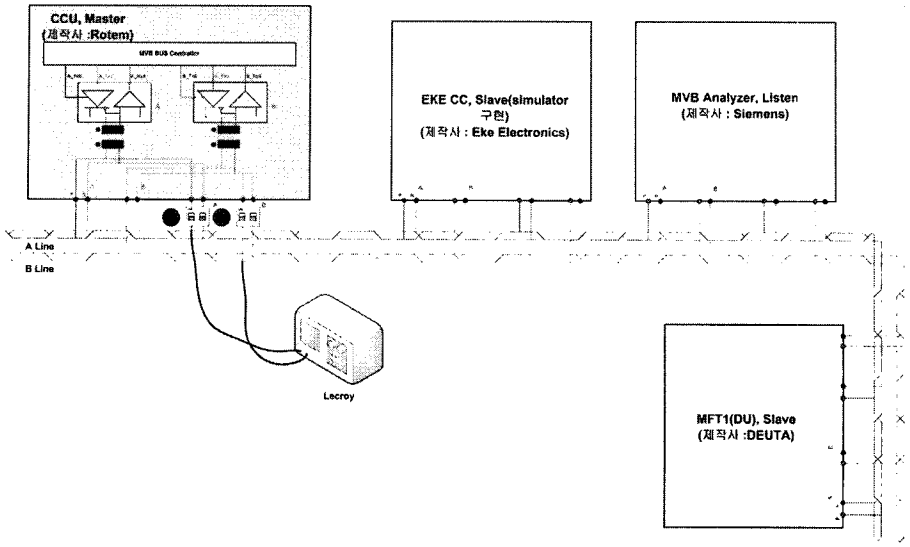
[그림 3-12] 'Switch Over'후 파형 관찰



[그림 3-13] 'Switch Over'후 'Trusted Line' 절체 확인

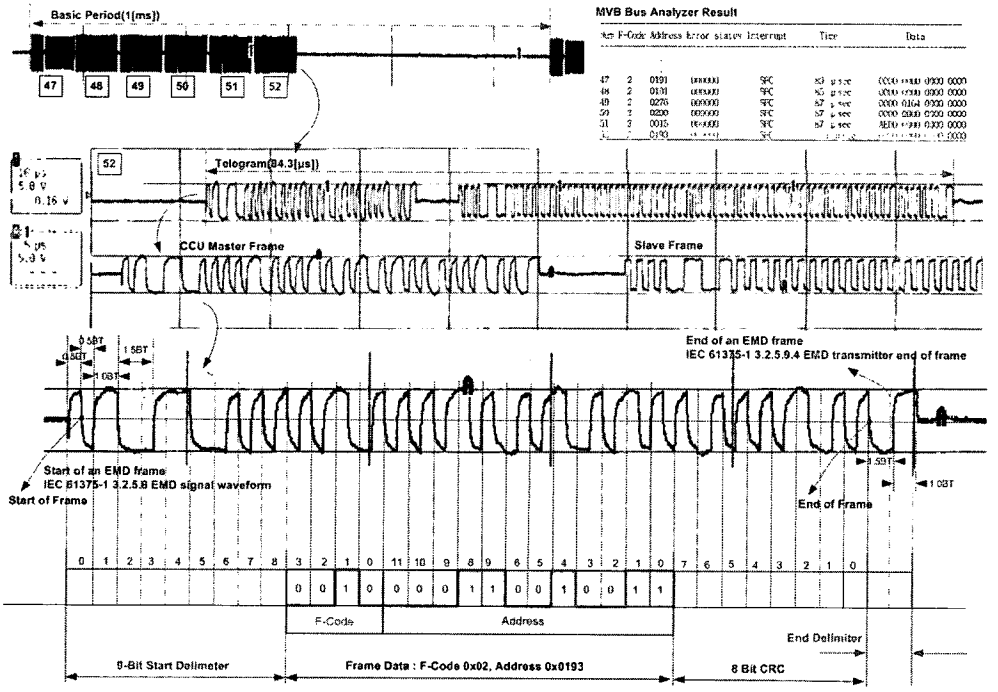
(다) 시뮬레이터 시험

[그림 3-14]는 MVB 호환성 시험을 위한 시험환경이다. 호환성 시험을 하기 위하여 각각 다른 유럽회사의 두 제품을 시험하였다.



[그림 3-14] MVB 호환성 시험환경

SCU를 마스터로, 핀란드 EKE(사)의 제품을 슬레이브로 하여 한국형 고속열차의 포트테이블을 마스터에 응답하도록 구성하였다. 화면장치인 독일의 Deuta사의 Panel PC도 슬레이브로 해당데이터를 주고받을 수 있도록 하였다. [그림 3-15]은 'Basic Period'의 한 부분의 파형을 캡처한 화면이다.



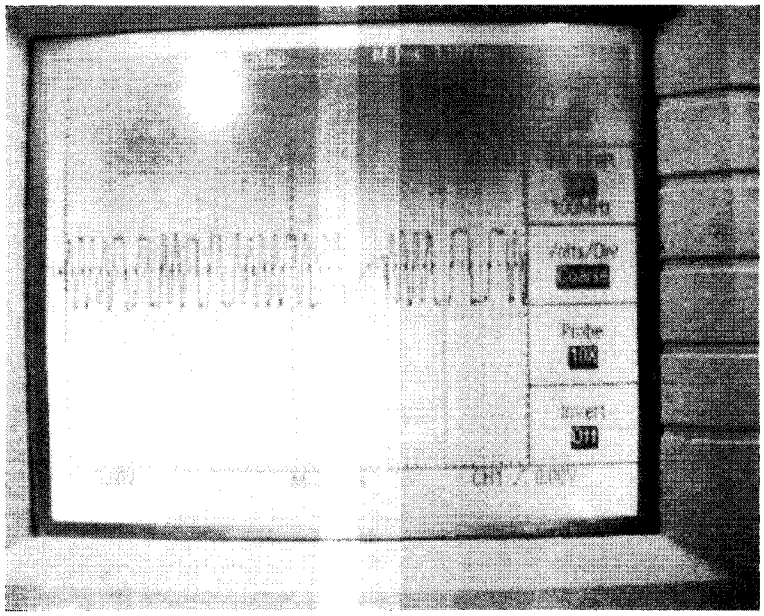
[그림 3-15] MVB Telegram 분석

[그림 3-15]은 SCU 마스터가 401, 465, 630, 720, 21, 403 포트를 폴링하며 SCU 및 EKE 제품은 해당 마스터 프레임에 대하여 브로드케스팅으로 응답한다. 'Basic Period' 안의 6개의 Telegram은 'MVB Analyzer Result'로 되어 있는 부분과 비교하여 분석하면 된다. 그중 CCU 마스터 프레임 9-Bit 'Master Start Delimiter(MSD)'는 'IEC 61375-1 3.2.5.8'의 파형과 일치하고, 'End Delimiter(ED)'는 'IEC 61375-1 3.2.5.9.4'과 일치한다. 데이터 부분은 F-code 4-bit, Address 12-bit로 맨체스터코드로 분석하면 '0x0193'으로 'Basic Period'의 마지막 마스터 프레임 '403번' 포트로 해석된다.

(라) 현차 시험

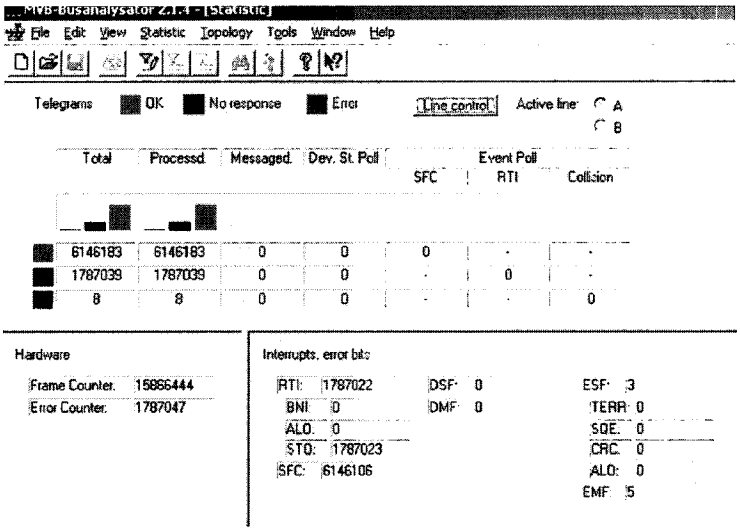
[그림 3-16] 과 [그림 3-17] 에서 현차 적용된 MVB 통신의 파형 및 에러율을 확인 할 수 있다.

[그림 3-16]은 MVB의 파형을 측정한 것으로 마스터 프레임에 이어 슬레이브 프레임이 정확하게 통신하는 것을 확인할 수 있다.



[그림 3-16]현차 MVB 파형 측정

'IEC 61375-1'에 의하면 MVB 통신에서 총 프레임 3,000,000번 중 3개의 에러를 허용한다. [그림 3-17]은 'MVB Analyzer' 분석 결과를 나타낸 것이다. 총 15,866,444개의 프레임당 8개의 에러가 검출되었으며, 이는 IEC61375 규격을 만족한다.



[그림 3-17] 현차 MVB 에러율 측정

(3) 시험 결과

고속철도 차량의 차량 내 네트워크는 배선의 불안정, 통신 보드의 열화, 노이즈의 유입등 많은 불안 요소에 의해 문제가 야기되었다. 따라서, 네트워크의 안정화를 위해 보드의 재개발, 통신 신호선 점검, 통신 노이즈 점검 및 대책수립에 목표를 두고 시뮬레이터 통신시험 및 현차시 통신시험을 수행하였으며, 시험의 결과는 양호하였다. 향후에는 지속적인 모니터링 및 추가적인 기능 보강에 의해 높은 신뢰성을 확보하도록 할 것이다.

제 12 절 주전력변환장치

1. 일반

본 연구는 순수 국내기술로 개발된 한국형 고속열차의 최고시속 350 km 달성과 이후 주전력변환장치 관련 문제점 해결 및 상용화 기술, 특히 가선전압 왜곡에 의한 PWM 컨버터의 고장발생 억제기술 및 전기제동이 불가능한 절연구간 조건시 인버터만에 의한 제동기술 확보 알고리즘을 연구하였다.

2004년 12월 16일(목)에 천안-신탄진 구간에서 352.4km/h 시험운행에 성공하여 주전력변환장치의 우수성을 증명하였다. 새벽에 실시된 350km/h 증속시험에서 주전력변환장치가 단 한 차례의 보호동작도 없이 무사히 주파해 냄으로써 제품의 우수성을 또한 확인하였다.

컨버터 입력 아날로그 보드에 하드웨어 필터와 종단저항을 보강하여 컨버터제어를 안정적으로 하였고, 여기서 적용한 자료를 가지고 새로운 입력 아날로그 보드를 제작하였다. IGCT 오동작을 방지하기 위해 절연펄스 변압기를 재설계하여 적용하였고 IGCT 에 공급되는 Power Supply를 디지털화하여 제작 시험하여 현차에 적용하였다. 또 리셋저항과 Anode Reactor를 재설계 제작하였다.

가선전압의 왜곡 성분을 제거하기 위해 하드웨어 필터링 기법을 적용하여 왜곡 성분을 필터링하였다. 저차수의 매우 큰 가선왜곡 성분을 안정적으로 제거할 수 있을 뿐만 아니라 PWM 컨버터의 출력과전압 문제를 완화시켰다. 저항제동 알고리즘을 통해 절연구간 조건하에서도 회생에너지의 양에 따른 제동 초퍼의 통률제어로 전기 제동력을 안정적으로 확보하였다.

특히 주전력변환장치의 안정성과 신뢰성을 향상시키기 위해 새로운 Type의 전력용 반도체 소자를 1호기에 장착하여 시험하였고 2호기에는 신뢰성 향상을 위해 용량이 증대된 New IGCT 소자를 적용하여 비교하였다. New IGCT 적용에 따라 다이오드 및 클램트 저항 용량 증대하였고 본선에서 안정된 성능을 유지할 있도록 하기 위해 보완 및 튜닝을 진행하였다.

최고속도로 본선 주행시험을 성공적으로 수행함으로써 설계 및 해석기술 자립, 제작관련 핵심요소기술을 입증하였고, 고속전철 주전력변환장치의 독자설계기술을 확립하고, 안정적인 운행에 필요한 시스템 운영기술과 인버터의 고속 운전 제어기술을 확보하였다. 또한 기술자립으로 기술 도입비 절감, 해외시장 진출, 수입대체효

과 및 유지보수비용도 절감하는 효과를 얻을 수 있다.

2002년 6월 오송 기지로 이송된 후 2003년 8월 300km/h, 2004년 10월 330km/h 11월 340km/h 거쳐 350km/h에 다다랐다. 또한 2007년 10월에는 총 주행거리 20만 km를 무사히 주행하였다. 이러한 본선시운전을 통하여 고역율 PWM 컨버터 및 PWM 인버터의 본선 현차적용에 있어 시스템의 적합성, 안정성 및 신뢰성을 검증되었고, 이로써 진동 및 환경시험에 견디고 350km/h로 주행할 수 있도록 설계 제작되었음을 확인하였고, 설계 및 해석기술 자립, 제작관련 핵심요소기술을 습득하고, 고속전철 주전력변환장치의 독자설계기술을 확립하였다. 열차 추진에 가장 핵심적인 장치인 추진제어장치의 전력변환회로와 제어기에 관하여 시운전 데이터 취득 및 분석을 통한 안정성과 신뢰성 확보하였다.

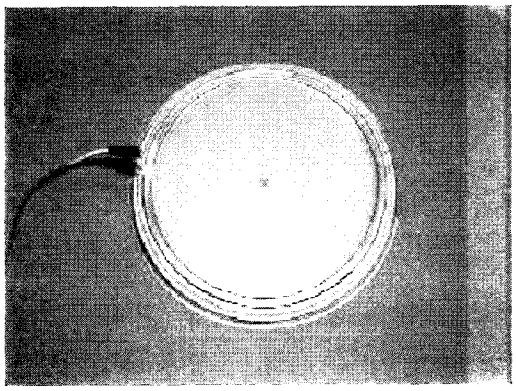
2. 주전력변환장치(1호기, 2호기, 3호기) 안정화

가. 전력용 능동 반도체 소자 및 전력회로 안정화

(1) 주전력변환장치 1호기 IGBT 안정화

주전력변환장치의 안정성과 신뢰성을 향상시키기 위해 새로운 Type의 전력용 반도체 소자를 시험하고, 본선에 적용할 수 있도록 하기 위해 스택 조립과 스위칭 특성을 시험하였다.

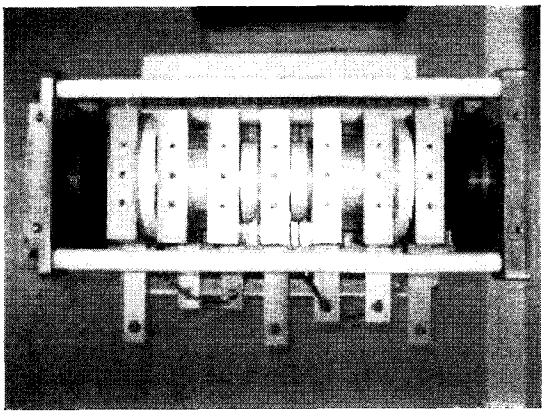
그림 3.13.2-1은 채택된 전력용 반도체 소자의 외형사진, 새로운 소자를 장착하여 결선하는 모습과 조립된 스택 외형 및 스택 특성 Switchig 시험을 하기 위한 시험 사진을 보여주고 있다.



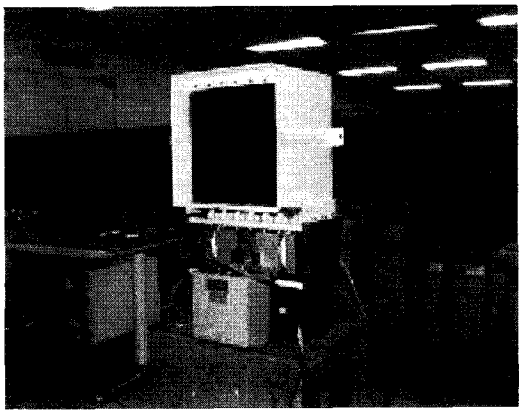
(a) 전력용반도체 소자(Press Pack Type)



(b) 전력용 반도체 스택 조립 및 결선



(c) 전력용 반도체 스택



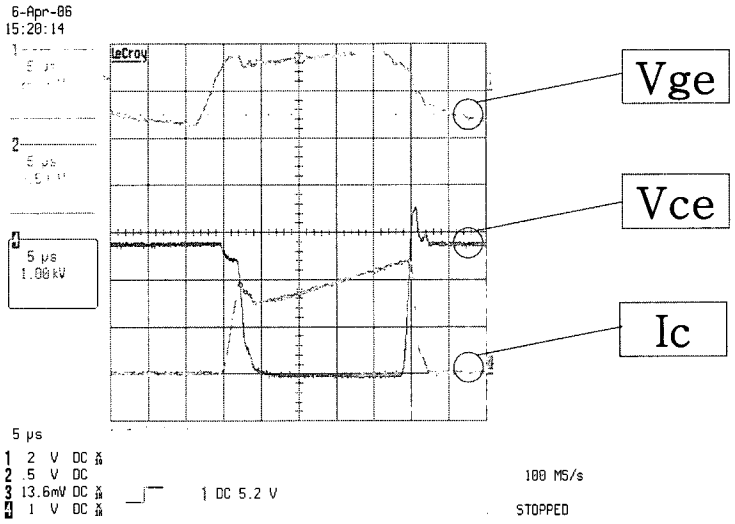
(d) 스택 Switching 시험

그림 3.13.2-1 신규 전력용 반도체 스택 사진

(가) 새로운 전력용 반도체 소자 특성 시험

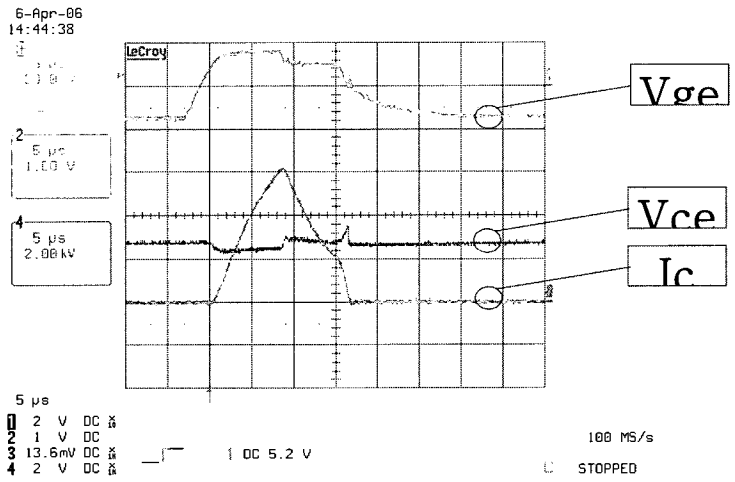
새로운 소자의 특성시험을 확인하기 위하여 정격전압/전류 Switching 시험 및 단락전류 차단 시험을 실시하였다.

그림 3.13.2-2는 정격전압/전류 Switching 특성 시험파형이다. 시험조건은 DC Link 전압 2800V, 부하전류 2400A이다. 그림 3.13.2-3은 전력용 반도체 소자 단락 차단 시험파형이다. 시험조건은 DC Link 전압 2800V이다. 부하를 단락 시켰을 때 6,000A의 대 전류가 소자에 흐르고 있으며 이를 차단하고 있는 모습을 보여주고 있다.



Ch1 : Vge (20V/div), Ch2 : Ic (1000A/div), Ch4 : Vce (1000V/div)

그림 3.13.2-2 정격전압/전류 Switching 특성 시험



Ch1 : Vge (20V/div), Ch2 : Ic (2000A/div), Ch4 : Vce (2000V/div)

그림 3.13.2-3 전력용 반도체 소자 단락 차단 시험

(나) 새로운 소자를 적용한 주전력변환장치 1호기 외형

새로운 전력용 반도체 소자의 정격전압/전류 Switching 특성시험 및 단락전류 차단시험을 MB1호기의 컨버터부/인버터부/쵸퍼부 총 8개 스택에 모두 실시하여 정상적으로 동작하는 것을 확인한 후, 주전력변환장치 1호기 전체 조립을 수행하였다.

그림 3.13.2-4는 새로운 소자를 적용하여 조립 완료된 주전력변환장치 1호기의 외형도를 보여주고 있다.

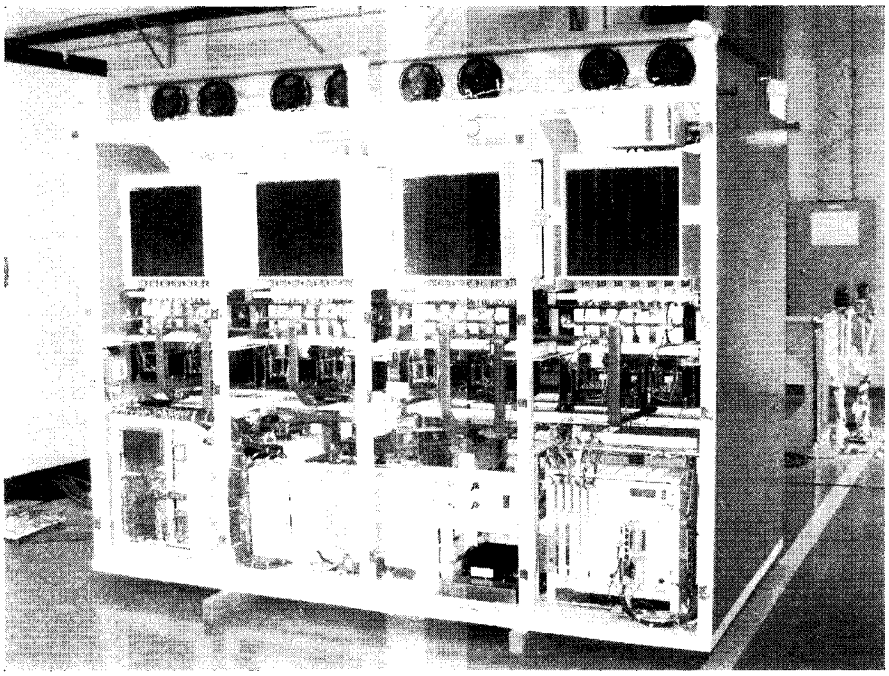
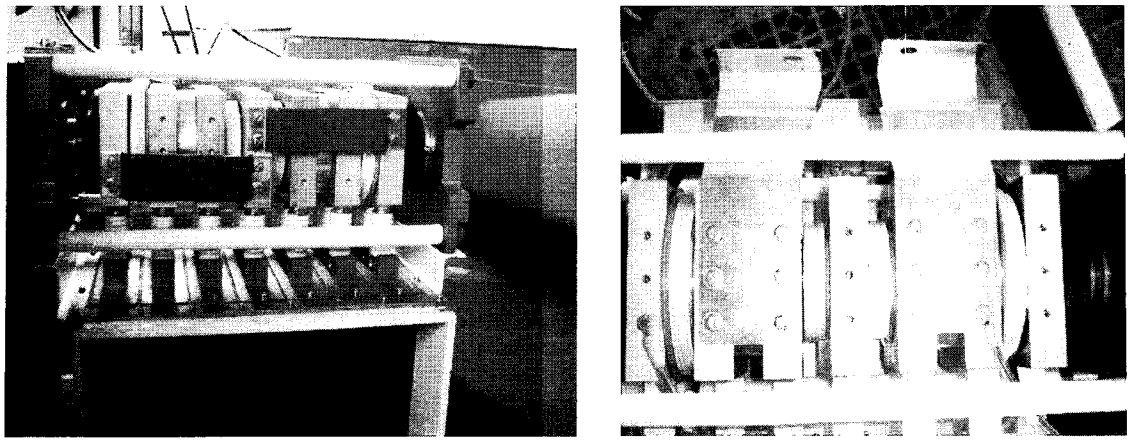


그림 3.13.2-4 새로운 소자를 적용하여 조립 완료된 1호기 외형

(다) 스택 Busbar 수정 재설계 및 제작

새로운 소자를 적용한 MB1의 본선 시운전을 수행한 시험 결과를 검토한 후, 스택 Busbar (+), (-), (Output) 중 (Output) Busabr와 Snubber Capacitor의 Busbar를 그림 3.13.2-5와 같이 수정 재설계하였다.



(a) 스택 (Output) Busbar (b) Snubber Capacitor Busabr

그림 3.13.2-5 스택 (Output) Busbar와 Snubber Capacitor Busabr 수정

(라) 주전력변환장치 1호기 IGBT 보완

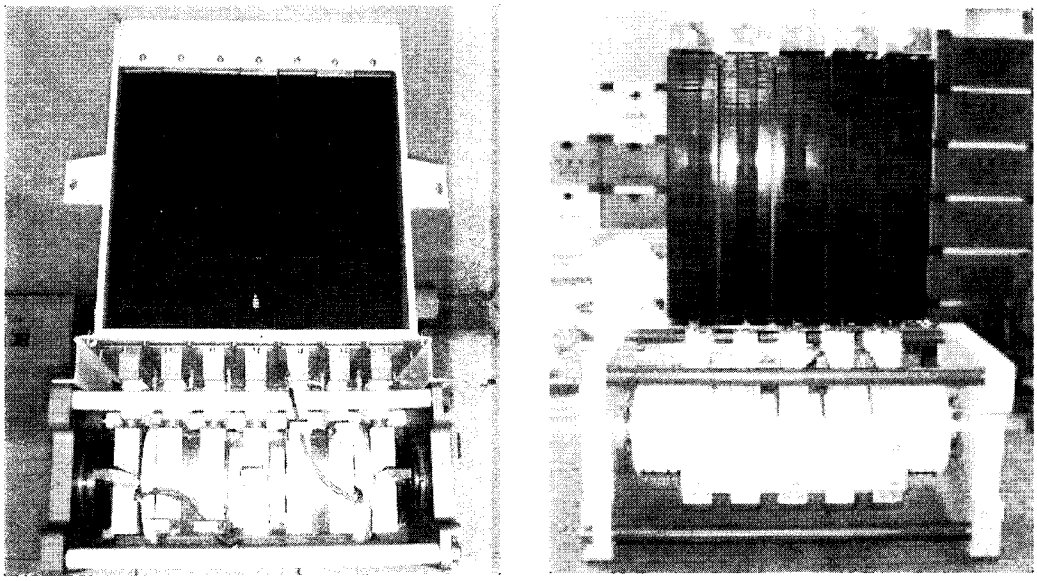
2007년 2월 8일, 대전 ~ 동대구 구간에서 주전력변환장치 1호기에서 IGBT 고장이 발생하였다. 1호기에 장착되어 있는 IGBT 스택은 기존의 IGCT 스택을 일부 수정하여 사용하고 있다. IGCT의 소자 반경(Pole-piece diometer)은 85mm이고, IGBT는 125mm 이다. 반경의 차이로 인하여 IGBT의 소자 단면 전체가 균일하게 압착하지 못하는 문제점이 있다. 이로 인하여 소자내부의 전류의 불평이 발생할 수 있고 소자 고장의 원인이 될 수 있다. 또한 1호기 스택은 Self Inductance가 커서 소자에 악영향을 주는 것으로 판단되었다. 2007년 3월 13일과 20일 동대구-오송구간에서 발생한 IGBT 소자 고장은 GDU 오동작 즉 GDU Noise 대책 미흡 제어신호입력에 따른 On/Off 동작 미 수행으로 추정되고 구조적으로 기존의 IGCT Stack을 이용하여 IGBT소자를 적용함에 따라 Heat Block 크기가 IGBT 외형에 비해 작고, Stack의 Mounting Torque도 작아서 소자내부 반도체의 전류 불균형에 의해 가장자리 Chip에 고장이 발생되는 것으로 추정하였다.

주로 IGBT 고장이 Converter부에서 발생하고 있으므로 IGBT 성능을 보장할 수 있도록 Converter Stack을 재설계/제작하여 적용하였다. 그림 3.13.2-6은 보완되기 전후의 IGBT 스택 사진이고, 그림 3.13.2-7은 컨버터 보수 완료 후 조립된 주전력변환장치 사진이다.

Converter 부 업무로는 Heat Pipe 재설계/제작, Heatblock Size 증대, Stack Spacer 추가, 스프링 교체, Stack 크기, 무게 변경에 따른 구조 재설계, 팬덕트 재설계,

Power Busbar 및 기타 구조물 제작 등이고 인버터부는 Inverter Stack 분해, Inverter Stack 세척, Inverter Stack 스프링 및 볼 교체, Inverter Stack 조립, 전용 정밀 Press을 사용하여 정규 압력으로 재 Mounting.등이다. 이상과 같이 수정한 전력용 반도체 소자는 Turn On 시에 IGBT 양단 전압을 GDU가 실시간으로 감시하여 과전류 Setting값 이상 전류가 흐르면 지연 시간 없이 직접 차단함으로써 소자를 보호할 수 있다.

보완된 Converter Stack으로 Switching 시험을 수행하였다. 그림 3.13.2-8은 정격전압/전류 Switching 특성 시험파형이다. 시험조건은 DC Link 전압 2800V, 부하전류 2800A이다. 스위칭 전압의 첨두치가 약 100V정도 감소하는 것으로 나타났다.



(a) 보완 전 컨버터 스택 (b) 보완 후 컨버터 스택

그림 3.13.2-6 보완 전후의 컨버터 스택

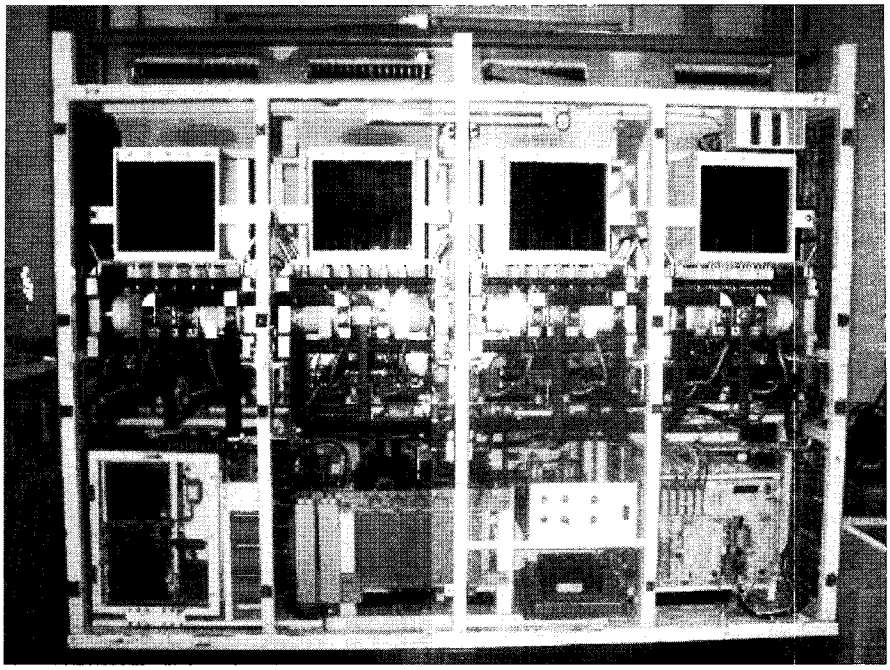
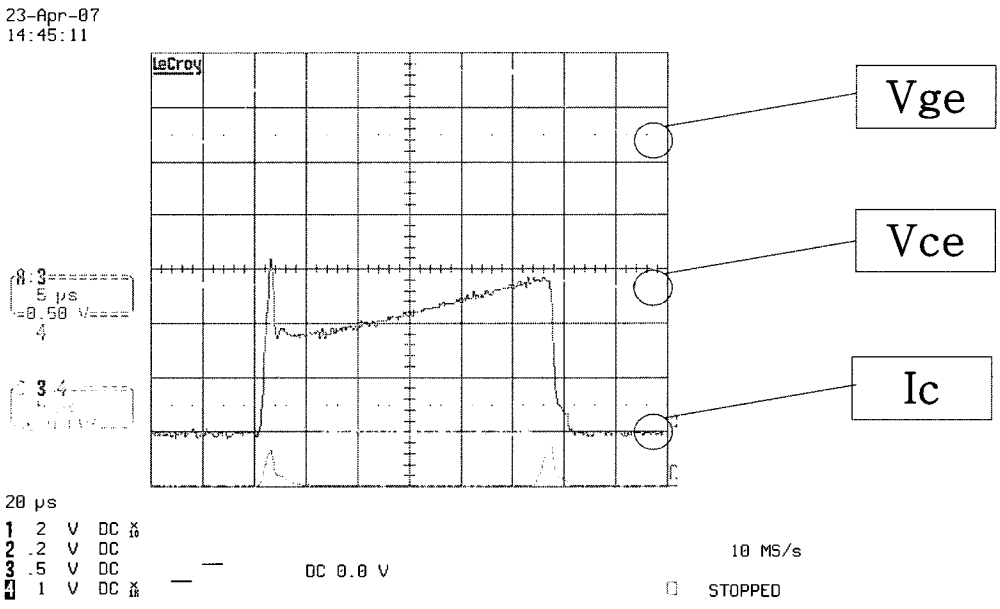


그림 3.13.2-7 컨버터 보수 완료 후 사진



Ch1 : Vge (20V/div)

Ch2 : Ic (1000A/div)

Ch4 : Vce (1000V/div)

그림 3.13.2-8 정격전압/전류 Switching 특성 시험

이밖에도 전력용 반도체 소자의 Clamping 압력불균형으로 인한 전류 불 평형을 해소하고 주전력변환장치를 안정화하기 위하여 다음과 같은 보완업무를 하였다.

- 스택 Spring 및 Ball 축 Pressure Spreader 설계 제작
- Heatpipe heatblock 표면 연마
- 컨버터 프로그램 변경(스위칭 주파수 변경 비교 시험, 최소 On 시간 변경)
- 직류출력 과전압 검지 변경
- 1호기 컨버터 GDU Ron 저항 변경
- GDU 보호레벨 및 전원전압 수정
- IGBT P/S 전압 미세조정 및 교체
- 스너버 커패시터 교체
- 광케이블 교체 V2-Y2

(2) IGBT GDU 개발

(가) 단락전류 차단기능을 갖는 Gate Drive 회로 설계

① IGBT 및 Gate Driver 특징

대용량 IGBT를 이용한 전력변환장치 개발 및 응용이 IGBT의 개발 기술에 힘입어 GTO 소자를 대체하여 신규 개발하고자 하는 사용자의 요구가 증대되고 있으며, 신규 개발시에는 IGBT를 적용하여 개발하고 있는 추세다.

일반 지하철 및 경전철용 전장품인 VVVF 추진제어장치 또는 보조전원장치, 그리고 저압(3상 440V~660Vac 입력) 중대용량 인버터 시스템에 적용되고 있는 대용량 IGBT는 이미 신뢰성이 입증되었으며, 다양한 IGBT 모델이 개발되거나 동일 모델에서는 칩 능력이 개선되어 차세대 제품으로 출시되고 있다.

특히 한국형 고속전철 주전력변환장치에 적용되는 IGBT는 4500V/3300A급 Press Pack Type(Disk type) 이며 PPI(Press Pack IGBT)로는 현재 세계적으로 시판되고 있는 최대 전압/전류 정격에 해당하는 대용량 신규 개발 소자이다.

따라서, IGBT를 구동하는 회로의 기능 및 신뢰성이 더 한층 요구되고 있으며, 과도한 dv/dt 및 di/dt에 의한 소자의 소손이나 노이즈가 발생하는 것을 방지하기 위한 회로가 절실히 필요하다고 할 수 있다.

반도체 소자의 안정적인 스위칭 동작을 보장하는 것을 기본으로, 특히 소자 및 시

스템의 보호를 위한 보호 동작이 이루어질 때, 과도한 dv/dt 및 di/dt에 의한 소자의 소손이나 노이즈에 대한 대책이 필요하다고 할 수 있다.

특히 과전류에 의한 소자 보호를 위한 보호 동작시 IGBT를 Turn-Off하게 되는데, 이 때 과도한 di/dt 성분에 의해 dv/dt가 상당히 큰 값을 가지게 되므로, ce_peak 전압이 안전동작영역(SOA: Safe Operation Area)를 벗어나게 되어 결국에는 소자가 파손되거나 노이즈원이 되어 시스템의 오동작을 야기할 수 있다.

정상적인 스위칭 On/Off 동작을 보장하면서, 단락전류와 같은 과전류에 의한 보호 동작시 과도한 di/dt를 억제하여 Vce_peak 전압을 제어할 수 있는 Soft-Turn Off 기능을 갖는 즉, 단락전류 차단기능을 갖는 GDU(Gate Drive Unit) 회로를 개발하였다.

② 단락전류 차단기능을 갖는 GDU의 효과

본 기능은 과전류와 같은 과도 상태시 시스템을 보호하기 위한 보호 수단으로 스위칭 소자를 구동하는 GDU(Gate Drive Unit)내에서 스위칭 Off시 Gate 전압을 제어하여 Soft-Turn Off 함으로써 IGBT의 Turn Off 전압인 Vce_peak을 현저히 저감하기 위한 기술로서, Vce_peak을 SOA(Safe Operation Area)이내에서 동작되도록 제어하여 IGBT 소자 보호 및 과도한 dv/dt에 의한 시스템 노이즈를 저감하기 위한 기술로서, 2800VDC 조건에서 단락회로에 의한 단락전류가 발생하였을 때 Soft-Turn Off 기능의 유무에 따른 Vce_peak치의 현저한 차이를 확인할 수 있었을 뿐만 아니라, 소자 제작사가 추천하는 차단 시간인 15μs~25μs 이내에 차단되는 것 또한 확인할 수 있었다.

(나) 절연 펄스 트랜스포머 설계 및 제작

절연 펄스 트랜스포머는 저압부와 고압부의 절연을 위해 필수적이며, 절연내압은 AC10kV/1분간의 정격으로 설계하였다. 또한 PCB 취부형으로 설계하였으며, PCB 취부를 용이하게 하고 노이즈 내량을 향상시키기 위하여 Molding 방식으로 설계하였다.

기본 설계 사양은 다음과 같다.

- 절연내압조건 1차 <=> 2차, 3차, 4차 AC10kV 1분간
- 1차측 스위칭 주파수 ≥ 200kHz 이상
- Molding 형식 및 PCB Direct 취부 형식

상기와 같은 조건을 만족하도록 설계된 절연 펄스 트랜스포머(Pulse Transformer)의 외형은 그림 3.13.2-9와 같다.

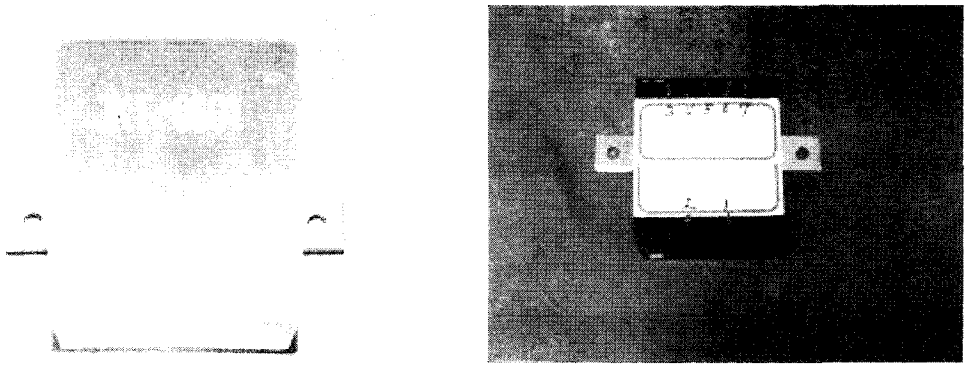


그림 3.13.2-9 절연 펄스 트랜스포머 외형

(다) PCB 설계 및 Artwork

PCB 설계는 IGBT Stack 구조와 밀접하게 관련되어 있어 구조적인 설계 구성을 기본적으로 만족시킬 수 있는 상태에서 설계되었다. 기본적인 인터페이스는 IGBT, 게이트 구동 광신호 및 GDU용 제어전원과의 인터페이스가 있으며, 제어전원의 저압부와 IGBT 및 게이트 구동 광신호의 고압부를 절연 내압을 위하여 공간적인 거리를 충분히 확보하도록 설계하였다.

또한 진동 내구성 확보를 위하여 PCB의 두께를 2T로 설계하였으며, PCB 내부에서 부품 취부의 양호성 및 신뢰성을 확보하기 위하여 단면(상부)에 실장 되도록 부품 배치를 하였다.

고압부의 센싱부는 PCB 내부에서 절연내압을 확보하기 위하여 공간적인 거리를 확보하였으며, 고압신호의 간섭을 배제할 수 있도록 최대한 신호 절연 및 필터부를 강화하였다.

PCB의 부품들은 기본적인 공고 사양을 만족할 수 있도록 온도 사양을 -35℃~ 85℃급으로 선정하여 저온 및 고온에서 정상적으로 동작할 수 있도록 하였다.

최종 설계 사양은 다음과 같다.

- 2층 구조(양면), 부품 상부 취부, 130×210mm, 2T, 2 Ounce
- PCB 부품 온도 사양 : -35℃ ~ 85℃급

(라) 구조 및 인터페이스 설계, GDU Case 설계 및 제작

구조 및 인터페이스는 IGBT Stack 구조와 주위 부품들과의 간섭을 방지하면서 진동 및 신호간 절연 등을 고려하여 설계하였다.

1차측과 2차측에 해당되는 부분의 신호 인터페이스는 절연 내압을 확보할 수 있도록 공간적인 거리를 확보하였으며, 유지보수 편리성을 고려하여 설계되었다.

또한 노이즈 내량을 향상시키기 위하여 GDU Case를 설계하여 스위칭시 di/dt, dv/dt에 의한 오동작을 방지할 수 있도록 하였다.

최종적으로 설계한 GDU Case 및 인터페이스 부분은 그림 3.13.2-10과 같다.

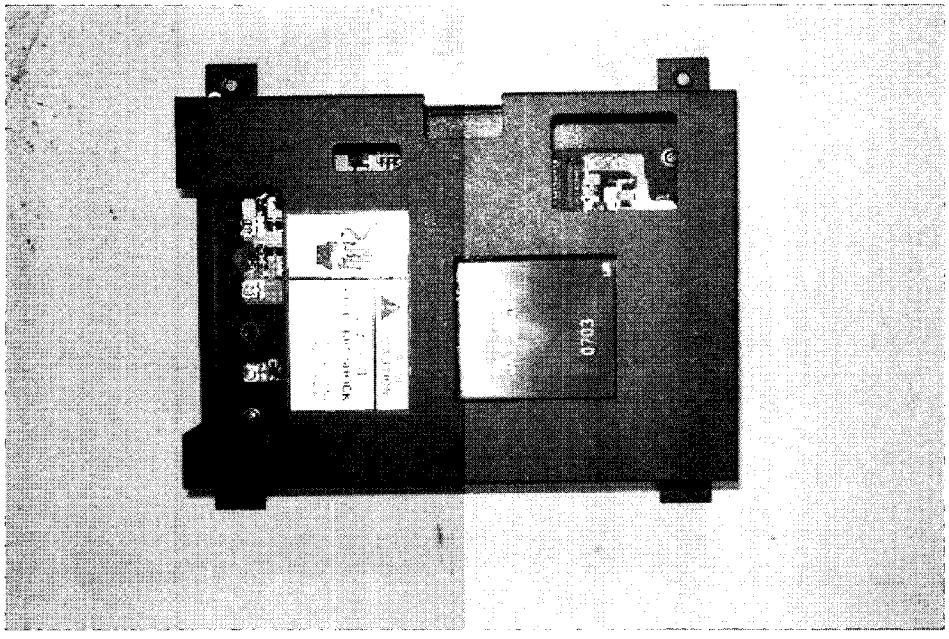


그림 3.13.2-10 GDU Case 및 PCB 인터페이스 외형

(마) PCB 시제품 제작 및 기능 및 특성시험

상기와 같은 회로 설계 및 절연 펄스 트랜스포머(Pulse Transformer), GDU Case, PCB를 제작하고 조립한 상태의 외형은 그림 3.13.2-11과 같다.

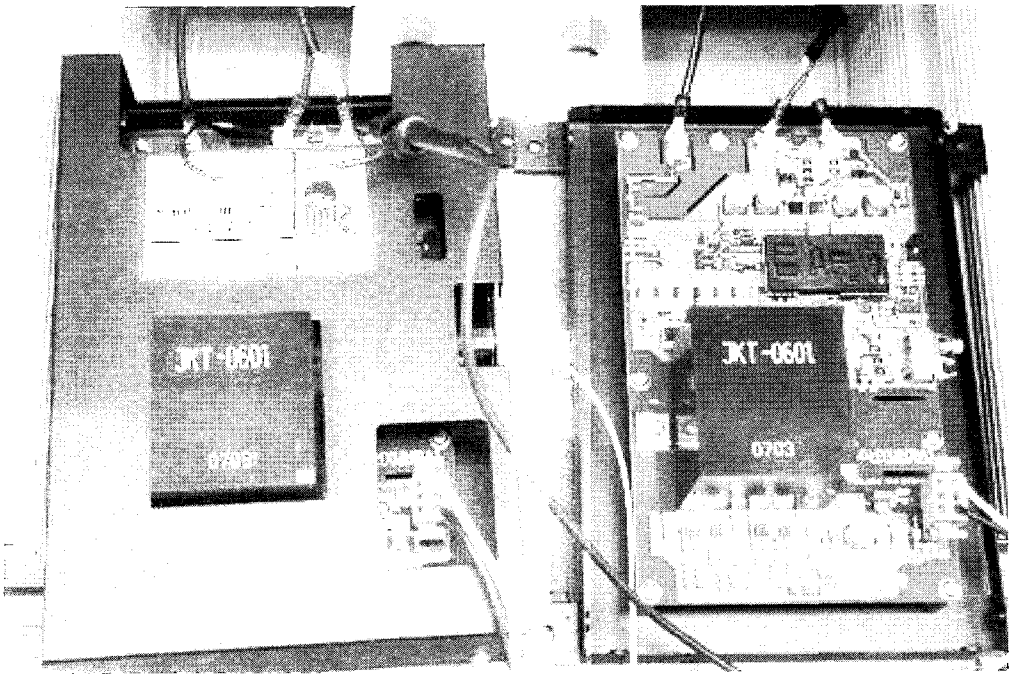


그림 3.13.2-11 GDU Case 및 게이트 신호 인터페이스 시험 장면

기본적인 기능 및 특성시험을 위하여, 먼저 PCB 조립상태의 육안 검사를 수행하고 이상이 없으면 제어전원을 인가하여 1차 및 2차측 전원부를 체크, 전원부가 이상이 없으면, 게이트 신호 측정, Fault 로직 검증 시험을 실시하여 PCB 레벨에서의 시험을 수행하였다.

그림 3.13.2-12는 기능 시험 중 일부인 Vge(게이트 전압)인 게이트 출력 파형을 측정한 것이며, 5V/div Scale로 측정되었다. -15V는 게이트 Off 전압에 해당하고, +15V는 게이트 On 전압에 해당한다. 따라서 IGBT는 이 게이트 전압에 의해서, -15V에서는 Turn Off 상태를 유지하고, +15V인 경우에 Turn On 상태를 유지하게 된다. 또한 설계된 게이트 로직의 검증을 위하여 장시간 펄스를 인가한 상태에서 게이트 파형은 변동폭을 측정한 상태를 보이고 있으며, 그 파형의 궤적이 일정하게 안정적으로 측정되고 있는 것을 알 수 있다.

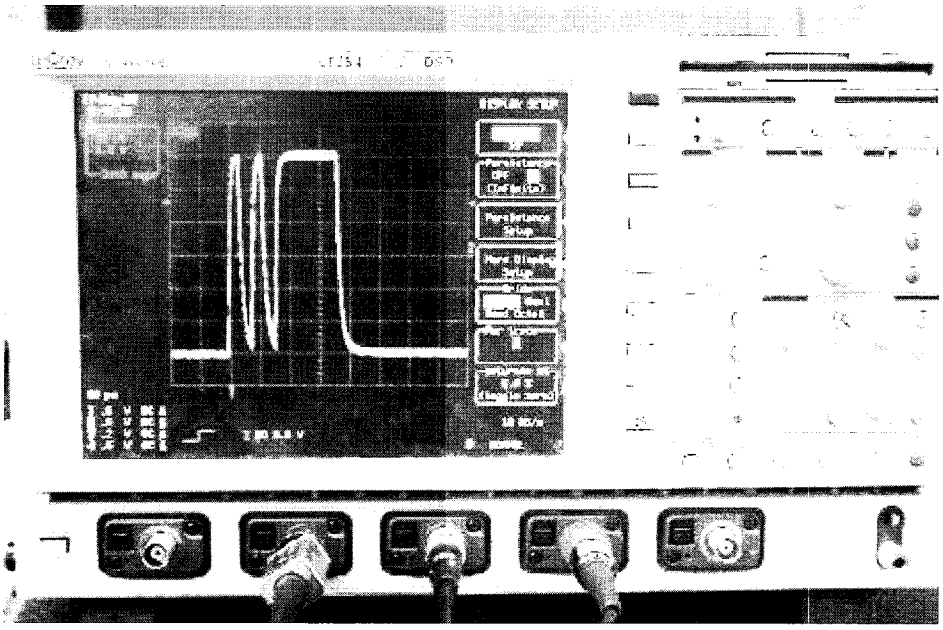


그림 3.13.2-12 게이트 출력 신호 측정

(바) 간이 시험용 전력 Stack 구성

PCB 레벨에서 전원부 및 기능 시험을 완료한 후, IGBT Stack을 구성하여 스위칭 시험을 수행할 수 있도록 하였다.

간이 시험용 IGBT Stack 구성은그림 3.13.2-13과 같다.

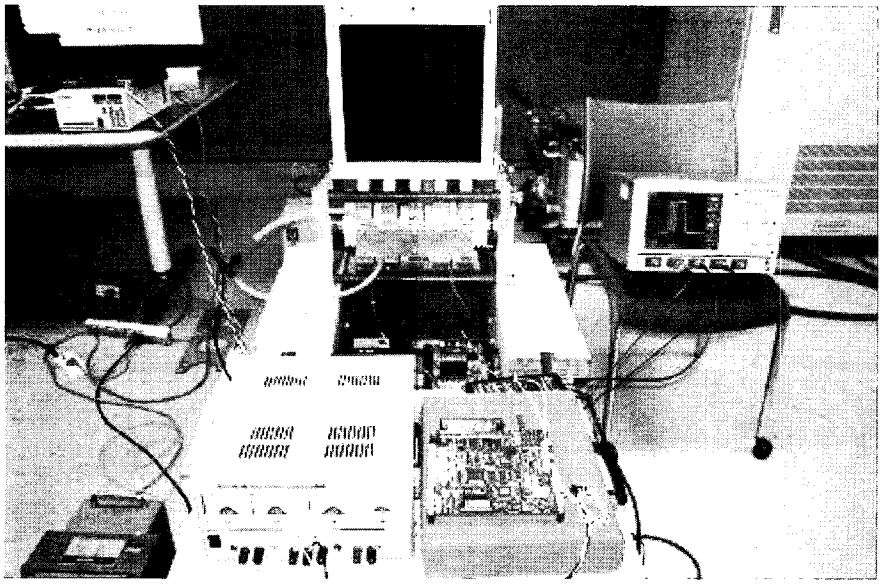


그림 3.13.2-13 간이 IGBT Stack 구성

(사) 검토 및 수정보완

On/Off 스위칭 시험 및 단락회로 차단시험을 통하여 게이트 On/Off 저항 및 Cge 값을 1차적으로 선정하고, IGBT Stack 및 Snubber Capacitor, Snubber Capacitor Busbar를 적용하여 스위칭 시험 및 단락회로 차단시험을 실시하였으며, 이 결과를 가지고 각각의 시정수를 결정하여 한국형 고속열차 차량에 장착하였다.

시정수 결정 외에 수정보완 사항들은 PCB내 단자대 위치 변경, Snubber Busbar 설계 변경 및 GDU Case 구조 변경 등이 이루어졌다.

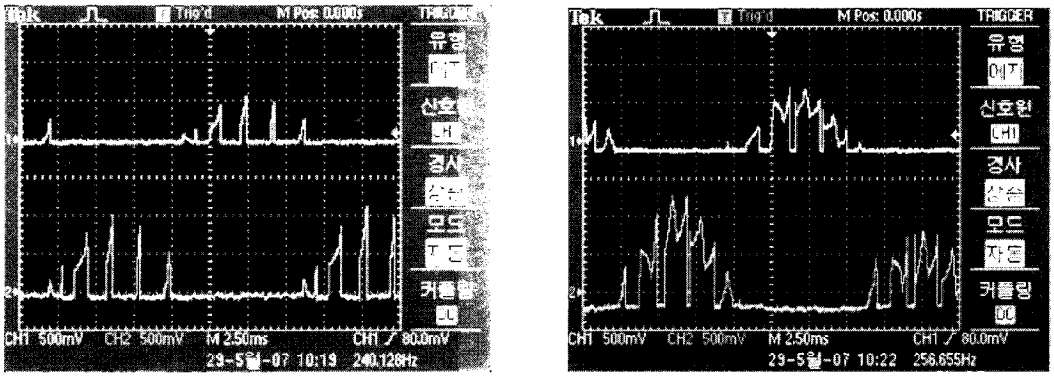
(아) 최종 완제품 현차 적용 신뢰성 시험 및 성능 평가

300km/h 본선시운전을 실시하였으며, 시운전 결과에 따른 시정수의 변동 및 단락전류(과전류) 검지레벨 등을 조정하였다.

본선 시운전중에 시속 300km/h로 증속하는 컨버터/인버터 전(Full) 부하시의 IGBT의 컬렉터 전류 Ic 파형은 3.13.2-14과 같다.

그림 3.13.2-14에서 Ch1은 컨버터 1군 IGBT Ic 전류이며 1000A/div, Ch2는 컨버터 2군 IGBT Ic 전류이며 500A/div으로 측정되었다.

그림 3.13.2-14에서 보면 알 수 있듯이 IGBT의 컬렉터 전류 Ic는 1700Apeak 이내로 측정되었으며, 이 수치는 소자 정격인 2400A이하로 안정 동작 영역(SOA, Safe Operation Area)안에서 운행되고 있음을 확인할 수 있었다.



TPS 2024 - 오전 10:19:00 2007-05-29

TPS 2024 - 오전 10:22:14 2007-05-29

그림 3.13.2-14 본선시운전 300km/h 100% 견인 및 제동시 IGBT 전류 파형

(3) 주전력변환장치 2호기 3호기 IGCT 안정화

(가)IGCT용 절연 Pulse Transformer 재설계/제작

컨버터 동작 중 IGCT 오동작을 방지하기 위해 절연펄스 변압기와 IGCT Cathode 사이를 Shield 로 처리하여 노이즈를 저감하였고 변압기 Winding 커패시터에 의한 전류 문제를 해결 하였다. 적용사항은 다음과 같다.

① 용량증대: 최대 150W, 25~35kHz, Max 40Vrms, 1:1
② 2차측 Shield 선 인출
③ 1,2차 Shield, Core 간 절연내압 10,000Vrms, 1분간 요구
④ 1,2차 Shield 전선 굵기 증대(5A 통전)
⑤ PCB Pattern 굵게
⑥ PCB 상 1,2차 Pattern 간 절연 유지
⑦ PCB 크기 및 지지 홀 호환성 유지
⑧ 2차측 고압 Cable(Shield 선)

(나)IGCT Power Supply 재설계/제작

IGCT를 안정적으로 운용하기 위해서는 IGCT Drive Unit에 공급되는 Power Supply 출력 전압 안정이 필수적이다. 출력 과전압 등 보호동작을 강화하고 반도체 Switching 소자의 용량을 증대하였다. 제어기는 DSP를 적용하여 디지털 제어를 구현하여 성능을 안정화하였고, Man-Machine Interface를 강화하여 실시간 모니터링이 가능하게 하였다. 제어 및 전력회로 시험을 수행하여 성능을 확인하고, 본선시운전에 장착하였다.

(다)리셋저항재설계/제작

기존의 리셋저항의 유도성분은 IGCT On/Off 동작시 리셋회로의 di/dt를 크게 하여 IGCT소자에 스트레스를 가하고, 리셋저항에 열 발생을 증가시키는 등 악영향을 주게 된다. 이를 최소화하기 위해서 리셋저항을 무유도로 재제작하고 리셋저항의 결선을 최단거리로 배선하여 적용하였다.

(라)AnodeReactor 재설계/제작

기존의 Anode Reactor Type은 자속이 상하로 유기되어 상부의 전력용 반도체 소자인 IGCT에 노이즈를 발생시켜 오동작의 가능성이 있으며, 하부의 철판에는 유

기되는 자속으로 열 발생의 직접적인 원인으로 작용하였다. 이로 인해 하절기에 주위온도를 상승시킬 뿐 아니라 리액터 자체에도 열화가 진행되는 것을 확인할 수 있었다.

이를 보완하기 위해 비자속 누설 리액턴스 형태로 재설계/제작하였다. 이 Type은 자속이 코일 내부에서 형성되며 외부로의 누설이 적어 IGCT에 노이즈 유입이 적고, 하부철판을 제거해서 설계하여 Flux 유기로 인한 접촉면의 리액터 열화를 방지하였다.

(마) 클램프 저항 용량 증대 및 취부 구조 변경

초기의 클램프 저항은 유도성분으로 인하여 스위칭시에 리셋회로의 di/dt를 크게 하여 IGCT소자에 스트레스를 가하고, 리셋저항에 열 발생을 증가시키는 등 악영향을 주었다. 이를 개선하여 리셋저항을 무유도로 재제작하고 리셋저항의 결선을 최단거리로 배선하여 적용하였지만 계속적으로 열이 발생되어 용량을 증대하여 새 클램프를 구성하였다.

(바) 주전력변환장치 New IGCT 소자 적용시험

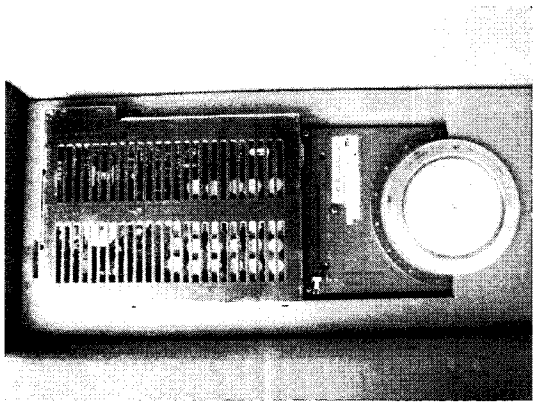
신뢰성 향상을 위해 용량이 증대된 New IGCT 소자를 교체하여 2호기에서 본선 시운전하였다. New IGCT 적용에 따라 다이오드 및 클램프 저항 용량을 함께 증대하여 시험하였다.

그림 3.13.2-15는 용량이 증대된 New IGCT 사진과 IGCT에 Thermal Copper를 도포하고 Zig를 이용하여 소자를 분리하여 교체스택을 조립하기 위해 Torque를 조정하고 있는 사진이다. 그림 3.13.2-16 은 New IGCT가 장착된 2호기 주전력변환장치 사진이다.

새벽 야간시운전시 심한 가선왜곡으로 MB 및 Aux Block이 여러 번 고장으로 동작 정지하였으며, 이 과정에서 MB3은 IGCT소자 단락으로 완전 격리되는 고장이 발생하였다. 또한 이 때 MB2호기는 재기동에 성공하였으나 심한 입력전압의 왜곡에 의해 컨버터 1군의 U, V상의 Clamp Diode가 단락된 것으로 추정하고 있으며 컨버터 1군의 U, V상의 Clamp Diode가 단락된 상태에서 Converter Switching시의 첨두전압(Peak Voltage)에 의해 파급된 고장으로 추정된다.

Clamp Diode 회로가 동작하지 않는 조건에서는 IGCT Switching시 DC_Link전압에 첨두 전압이 발생하며, 또한 Clamp 회로 구성에 따라 500~1,000A의 Peak전류 Turn_off 능력이 저하하게 된다.

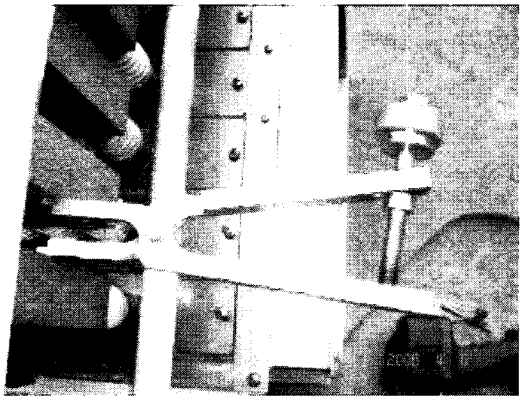
MB2 IGCT소자 고장 대책 방안으로 구조설계 구조물 제작을 하여 MB2의 기존 Clamp Diode를 용량 증대된 새로운 Clamp Diode로 교체하였다. 아울러 판토그라프의 가선이선 추종성의 개선이 동반되어야만 전체 추진시스템의 성능이 향상될 것으로 판단되어 AIO1 보드 수정작업을 통해 가선왜곡에 대한 검지와 고장검지를 보완하였다. 그러나, 본선시운전 결과 New IGCT에서 고장이 발생하여 이전버전으로 소자를 교체하였다.



(a) 용량이 증대된 New IGCT



(b)Thermal Copper 도포



(c) Zig를 이용하여 소자를 분리 교체



(d) 3.2.2-38 규정된 Torque로 Press

그림 3.13.2-15 용량이 증대된 New IGCT 소자 스택교체 사진

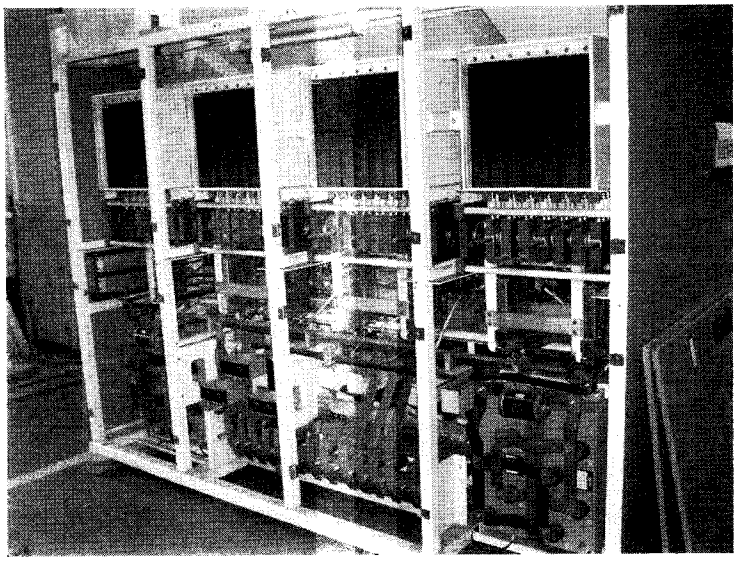


그림 3.13.2-16 New IGCT가 장착된 2호기 주전력변환장치

(사) 2호기 클램프 회로 및 기타 보완 사항

초기부터 GDU 자체 오동작 개선을 위해 회로보완(소자제작사), GDU 광송신부 Noise 개선을 위해 차폐용 Shield Copper 설치, IGCT용 펄스 절연변압기 오동작 개선을 위해 절연변압기와 IGCT Gate 사이에 Shield 배선 설치, IGCT 구동용 Power Supply 설계보완, IGCT di/dt 제한용 리액터 보완 제작, IGCT Clamp 회로에 Reset 저항 재설계 및 보완하여 안정성 신뢰성향상에 주력하였다.

주전력변환장치 2호기에서 ENCO 보드의 4049소자 불량으로 속도를 제대로 인식하지 못하여 인버터 제어를 원활히 하지 못하여 고장이 발생하여 이를 수정하였다. 또한 2호기 클램프 회로 열 발생으로 구조물 손상되어 구조물을 재설계 재제작하여 장착하였고 클램프 저항과 클램프 다이오드를 교체하였다.

그림 3.13.2-17은 주전력변환장치 2호기에서 발생한 열에 의해 손상된 구조물사진과 그림 3.13.2-18은 보완된 구조물사진이다. 이와 같은 연구 활동으로 신뢰성 및 안정성을 더욱 더 향상시켰다.

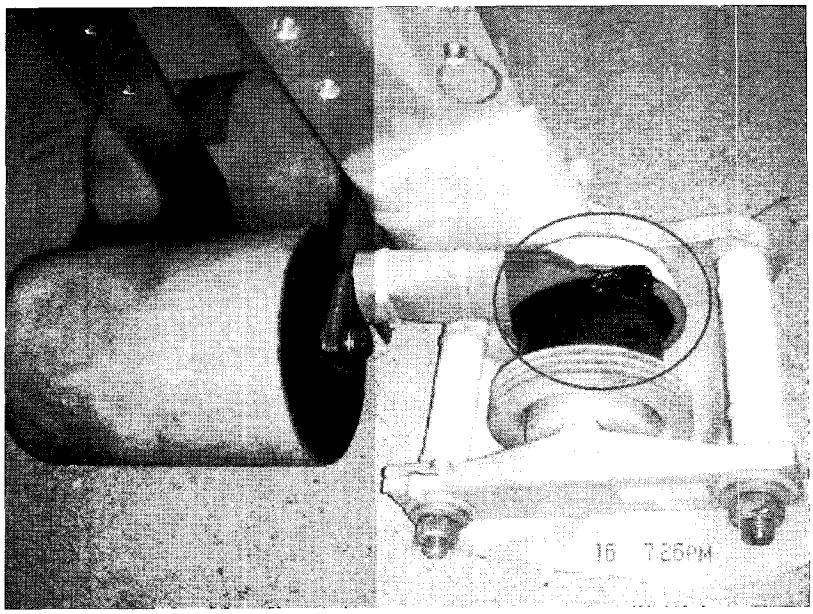


그림 3.13.2-17 2호기 클램프 회로(구조물 손상)

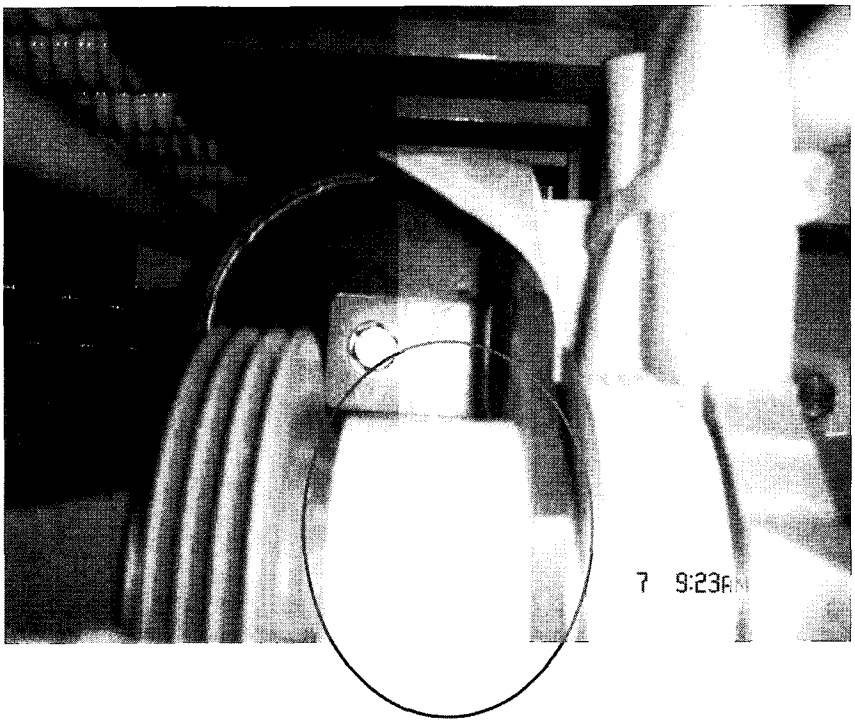


그림 3.13.2-18 2호기 클램프 회로(구조물 변경)

나. 컨버터 제어 알고리즘 고성능 튜닝시험

변전소의 Scott 변압기에 의해 주전력변환장치에 공급되는 25 kV의 교류가선 전압은 여러 가지 요인에 의해 그 크기 및 파형이 매우 복잡하게 변동하는 것으로 알려져 있다. PWM 컨버터는 전원위상 검출을 위해 가선전압을 센싱한 후 소프트웨어 위상 동기화 루프 방식을 채용하고 있다. 적용된 PLL 알고리즘은 센싱된 가선전압에 노이즈 혹은 왜곡 성분이 포함되어 있을 경우, PWM 인터럽트 주기가 그렇지 않을 경우에 비해 상대적으로 크게 변동하기 때문에 입력전류의 위상 및 크기가 변동하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 파형 왜곡의 정도는 동일한 것이 아니라 구간별로 다르기 때문에, PWM 컨버터의 입장에서 볼 때 입력전압의 위상을 안정적으로 검출하기 어려워지는 문제가 발생하게 된다.

또한 부정확한 입력전압의 위상은 PWM 컨버터 제어시 입력 과전류 혹은 출력 전압의 변동 등과 같은 문제점을 발생시킨다.

(1) 위상검출 오류에 의한 컨버터 문제

당사의 PWM 컨버터에서 사용하기 위해 개발된 PLL 방식은 PLL 인터럽트에서 센싱된 입력 전압값이 가선전압 왜곡 형태의 급격한 변화로 인해 이전 주기값에 비해 크게 변화하는 경우, 다음 PLL 인터럽트 발생주기 뿐만 아니라 PWM 주기가 변동하게 된다.

PWM 주기가 변동될 경우, 입력전류의 위상변동 및 컨버터 출력전압의 상승을 초래하는 문제점을 발생시키고 있다. 특히, 당사 PWM 컨버터의 경우에는 전술한 이유로 인해 출력 과전압의 발생 빈도가 높은 경향이 있었다.

이러한 문제를 해결하기 위해 센싱된 가선전압의 필터링에 의한 PLL 안정화 특성 시험을 수행하였으나 적용 전보다 초기 컨버터 기동시 전압리플 및 기동전류 특성이 악화되는 현상이 발생되었다. 특성악화의 원인은 PLL 인터럽트시 필터링된 가선전압 값의 변동이 적용 전에 비해 오히려 증가되기 때문인 것으로 확인되었다.

한편 PLL 특성에 영향을 미치는 PLL 이득변경에 의한 PLL 안정화 시험을 수행하였으나 전압리플 및 기동전류 특성 개선이 미미하여 가선전압 필터링 Cutoff 주파수를 100Hz에서 200Hz로 변경하였다.

(2) 가선전압 왜곡 대책 및 시험

가선전압의 왜곡 성분은 기본파 주파수의 약 18조파에 해당하는 것으로 조사되었다. 필터링 기법을 적용할 경우, 그림 9와 같이 왜곡성분이 매우 크기 때문에 필터의 차단주파수를 기본파 주파수 이하로 낮게 설정하지 않을 경우, 왜곡 성분을 거의 필터링하지 못하게 된다.

이를 위해 36Hz 차단주파수를 갖는 RC형 저역통과필터를 적용하였으며, 크기저감 및 위상지연이 매우 큰 단점이 있지만 소프트웨어를 통한 크기/위상 보정, 안정적인 필터링, 단순한 구조 등의 장점을 지니고 있다.

그림 3.13.2-19와 그림 3.13.2-20 에 하드웨어 필터 적용 전 및 후의 동대구-광명 구간의 주행시험 일부 결과를 각각 나타내었다. 그림과 같이 필터 적용 이후 출력 과전압 발생이 현저하게 감소하였을 뿐만 아니라, 거의 일정한 PWM 주기로 인해 IGCT 전력소자의 스위칭 소음저감 효과 등을 얻을 수 있었다

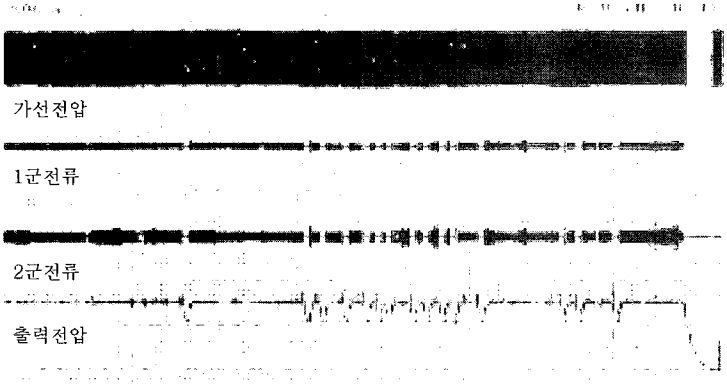


그림 3.13.2-19 RC 필터 사용 전 주행시험 결과

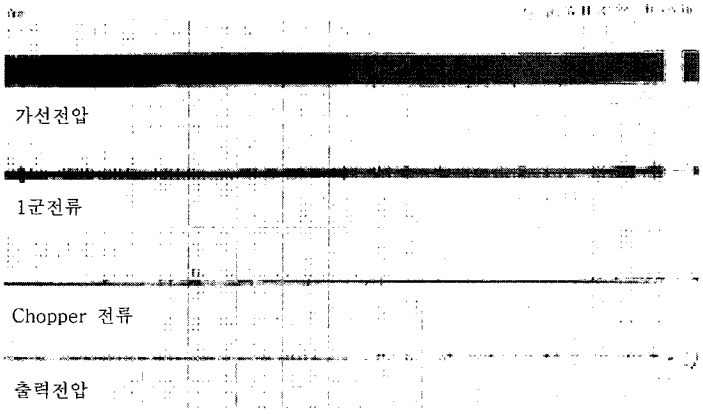


그림 3.13.2-20 RC 필터 적용 후 주행시험 결과

(3) PWM 컨버터 출력전압 신뢰성 향상 튜닝시험

가선왜곡 검지를 빠른 시간에 검지하기 위해 컨버터 입력전압을 하드웨어 필터를 최소화 한 컨버터 입력전압을 센싱하도록 하드웨어를 바꾸고, 신규변수(Vin, Vin_abs, Vin_rms, Vin_SET, Vin_gain, inv_Vin_gain 등)을 새롭게 구성하였으며 입력전압 계산 부분을 추가하였다. Master 프로그램에서는 Sync 및 Vp fail을 경고장 처리하도록 수정하였다.

이와 같이 PWM 컨버터의 출력전압 안정화를 위해 주로 문제시되어왔던 출력과전압의 발생원인 분석을 위해 제어기내에서 직류전압을 센싱한 후 적용한 소프트웨어 필터 계수를 완화하여 급격한 직류전압의 변화를 안정화시킬 수 있도록 하여 과전압 발생빈도를 감소시켰으며, 컨버터 출력전압의 위상각 연산 후 이전 값과의 50% 필터링을 한 값을 실제로 적용하였으나, 이 경우 한 샘플링이 지난 후에 반영이 되기 때문에 필터링을 적용하지 않고 변경된 위상각 phi가 즉시 반영될 수 있도록 소프트웨어를 수정하였다.

(4)가선이선 발생시 출력전압 기능 안정화 대책

고속전철 PWM 컨버터는 25,000V의 교류 가선전압을 Pantagraph(집전장치)와 강압변압기를 통해 공급받도록 구성되어 있기 때문에 이 집전장치의 압상력이 저하된다거나 기타 다른 문제로 인해 가선과 집전장치의 밀착도가 떨어지거나 심할 경우에는 완전히 이선되는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 부분이선 혹은 완전이선이 발생할 경우, PWM 컨버터의 입력전압은 심하게 왜곡되거나 구형파 형태의 전압이 변압기 1차측에 유기되어 정상적인 승압동작이 어려운 상황이 발생하게 되고, 이를 빨리 검지하지 못할 경우에는 PWM 컨버터의 소자가 소손되는 사고가 발생할 수 있다. 이를 위해 가선전압의 전압변화를 검지하여 이 값이 설정된 값을 지정된 시간 안에 3회 이상 발생할 경우 집전장치의 부분이선 혹은 완전이선인 것으로 인식하도록 S/W를 작성하였으며, 가선이선이 되어 가선이 심하게 왜곡되는 상황이 발생할 경우, 빠른 시간 내에 이를 검출하였다.

다. 인버터 출력전류 신뢰성 향상

(1) 인버터 출력전류 상 불평형 발생 억제 대책

인버터의 출력전류의 상 불평형은 A, B, C상의 순시치의 합을 가지고 판단한다. 이상적으로 3상전류의 합은 교류조건에 의하여 0이 되지만 PWM 출력에 의한 3상 출력전류의 합은 0이 아닌 어떠한 옵셋 값을 가진다. 이 옵셋 전류의 값을 가지고 인버터의 출력전류의 상 불평형을 판단한다. 이 값은 경험적으로 설정하며 초기의 값은 높게 설정되어 있었다. 그러나 Ia, Ib, Ic 상의 전류의 합이 2000A 이상 발생되면서 소자가 파손되는 현상이 발생하였다. 그림 3.13.2-21과 같이 견인력 지령치에 대하여 d 축, q 축 전류지령치를 t_0의 시간이 경과한 뒤에 전류지령치를 t_1시간 동안 상승하는 방법을 취하여 제어하는 가운데 t_0의 시간에서 PWM 출력이 발생하는 동안 오동작에 의하여 출력전류가 커다란 값으로 출력되어 발생하는 현상이었다. 이를 제거하기 위하여 그림 3.13.2-22와 같이 견인력 지령치에 대하여 기존의 방법은 t_0의 시간 경과를 두고 전류를 상승시켰지만 개선된 방법은 곧바로 t_0의 시간 동안은 q 축전류 지령치를 상승시키고, t_0+ t_1 시간 동안은 d 축전류 지령치를 상승하여 슬립주파수를 초기에 정격슬립주파수 까지 상승시키는 방법을 취하였다.

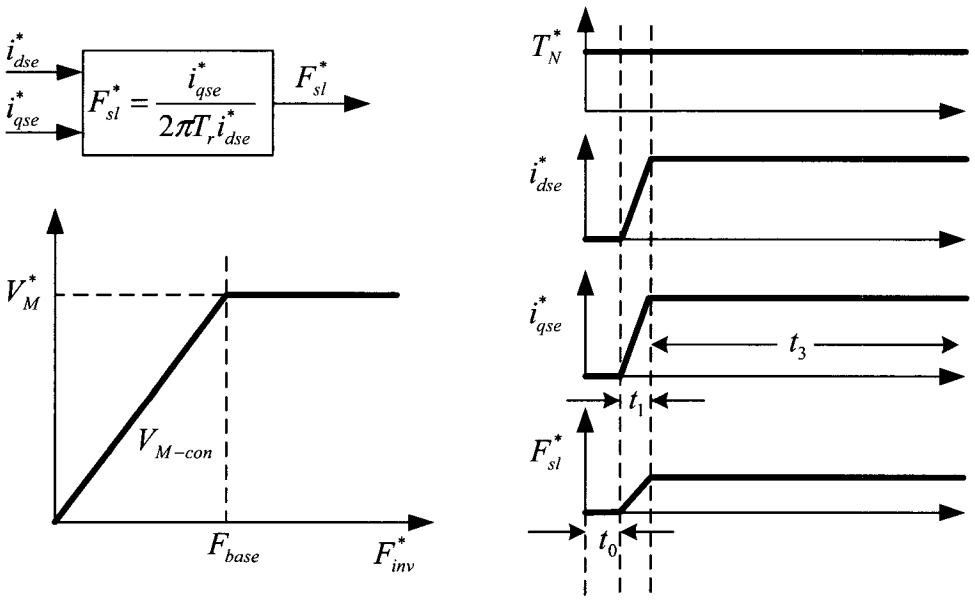


그림 3.13.2-21 기존의 전류상승 방법

이는 초기에 출력전압의 값을 크게 하여 미소전류제어에 의하여 PWM 출력이 잘 못 발생하는 것을 방지하여 해결하였다. 이때 출력전류의 고장 설정치 값을 350A로 다시 설정하였다. 결론적으로 견인력 지령에 대하여 전류 상승 기울기를 즉시 가져가 미소 전류에 의한 PWM 출력 오류 현상을 제거 하였고, 설정치 값을 2000A에서 500A로 설정하여 상 불평형 고장에 의한 소자의 소손문제를 해결하였다.

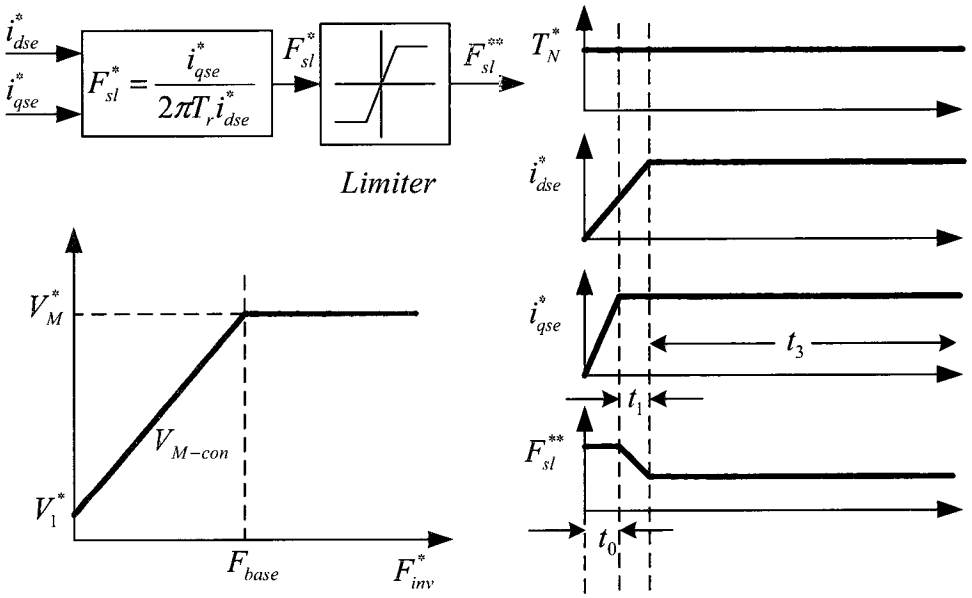


그림 3.13.2-22 수정된 전류상승 방법

(2) Slip/Slide 제어

(가)정의

슬립 슬라이드 제어는 바퀴와 레일 사이의 마찰력이 비와 눈에 의한 습기와 도유기의 기름에 의하여 점착력이 요구 견인력 보다 작아진 경우, 공전을 일으키지 않고 전달 가능한 최대 점착력으로 견인력을 제어하는 것이다.

(나)기존제어방법

최초의 추진제어장치의 견인력 제어는 그림 3.13.2-23과 같이 TCU에서 추진제어장치 MB1의 바퀴의 속도가 MB2의 속도보다 9km/h 이상 빠르게 되면 견인력을 감소하여 제어가 공전이 소멸되도록 하고 바퀴의 속도차가 9km/h 이하가 되면 공전이 제거된 것으로 간주하여 다시 견인력을 지령치의 값으로 상승 하도록 설정되어 있었다.

그러나 이 프로그램의 문제점은 MB1과 MB2 바퀴의 속도차가 9km/h 이상 차이가 발생하도록 기다리면 공전 검지가 늦어져서 실제로 차량의 바퀴에서는 굉음이 발생하였고 공전을 제거하기 위하여 견인력을 빠르게 감소하지 않고 기울기를 둠으로써 견인력을 감소하고도 공전속도가 더 커지는 현상이 발생하였다.

그리고 견인력 지령치의 0%까지 줄여서 견인력을 최대한 발휘하지 못하도록 되어 있었다. 그리고 공전이 해제되고 나서 유지 시간을 1초로 너무 짧게 선정하고 다시 전류를 2초 동안 상승하여 완전한 공전이 제거되지 못한 상태에서 전류를 회복하여 재공전 현상이 계속 발생하여 정확한 재점착제어를 이루지 못하였다.

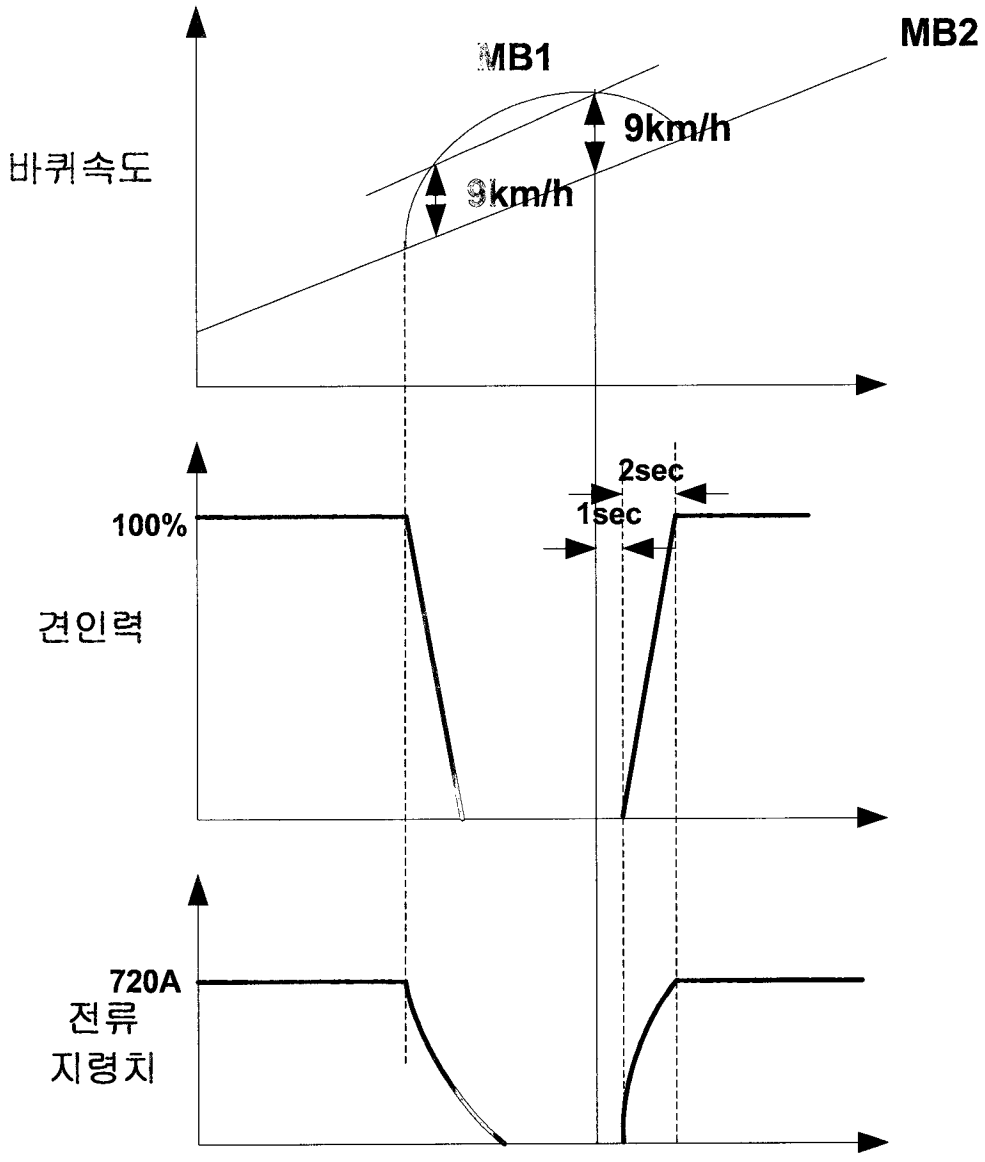


그림 3.13.2-23 기존의 슬립슬라이드 제어 방식

(다)1차수정한방법

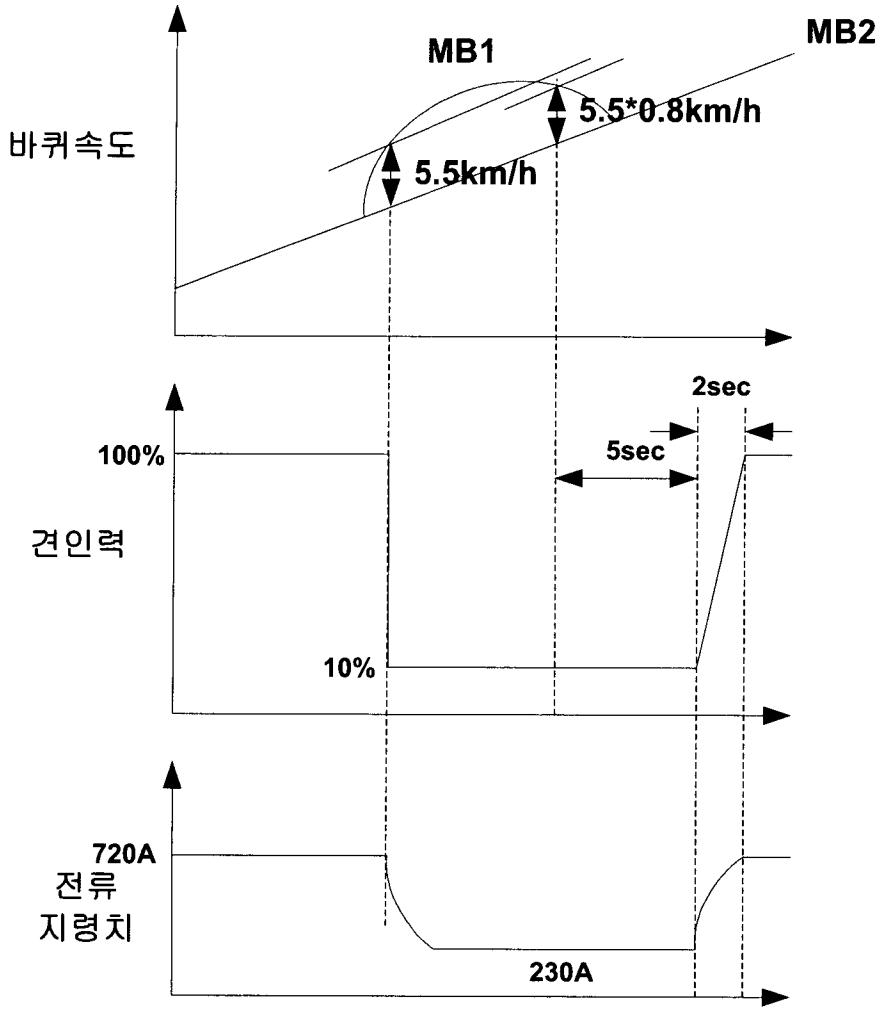


그림 3.13.2-24 1차 수정한 제어 방법

공전속도 검지 방법을 고속과 저속으로 나누어서 검지하였다. 150km/h을 기준으로 저속에서는 5.5km/h에서 검지하고 고속에서는 7.0km/h에서 검지토록 하였다. 속도를 150km/h을 기준으로 하여 150km/h에서는 MB1의 속도와 MB2의 속도 차이를 고려하여 MB1과 MB2의 바퀴가 정확히 같다면 속도 정보가 똑같이 계산이 되겠지만 실질적으로 PG 센서의 오차 측정보드의 오차로 인하여 똑같이 속도는 존재하지 않으므로 정상적인 상태에서 속도차가 약 2~3km/h 차이가 발생하므로 그림 3.13.2-24에서 보듯이 실수시험을 통하여 MB1과 MB2의 바퀴의 속도차가

5.5km/h 이상의 차이가 발생하면 공전이 발생된 것으로 간주하여 공전제어를 실시하였다. 일단 공전이 발생하면 견인력 지령치를 10%로 감소하여 공전 속도량이 커지지 않도록 최대한 빨리 공전이 제거 되도록 하기 위하여 견인력을 수직 하강하여 10%로 감소한다. 여기서 견인력을 0%로 감소도 가능하지만 원래의 견인력 지령치에 대하여 견인력을 하나도 발휘하지 못하므로 견인력을 조금이라도 사용도록 하는 것이 차량의 가속을 위하여 유용합니다. 견인력이 10%로 유지되면 공전현상이 제거되는데 공전 해제를 검지치는 공전검지의 80%(5.5*0.8)로 설정하여 공전이 해제된 것을 인지하도록 합니다. 공전이 해제된 후 원래의 견인력으로 바로 상승을 하면 재공전이 발생하므로 10%의 견인력 유지시간을 처음에는 10초로 설정하였으나 그러면 차량의 가속이 너무 늦어지므로 이 시간을 다시 5초로 설정하여 시험한 결과 적정한 시간으로 사료되어 이 값으로 설정을 하였고, 차량의 승차감과 가속성능을 고려하여 2초 동안 원래의 견인력이 발생되도록 견인력을 상승합니다.

(라)1차수정한방법시험결과

오송과 천안구간에서 MB1 1축에 살수 장치를 설치 한 후 150km/h 이하와 150km/h 이상에서 공전 검지 및 재점착시험이 이루어지는 것에 대한 성능 시험을 실시하였다.

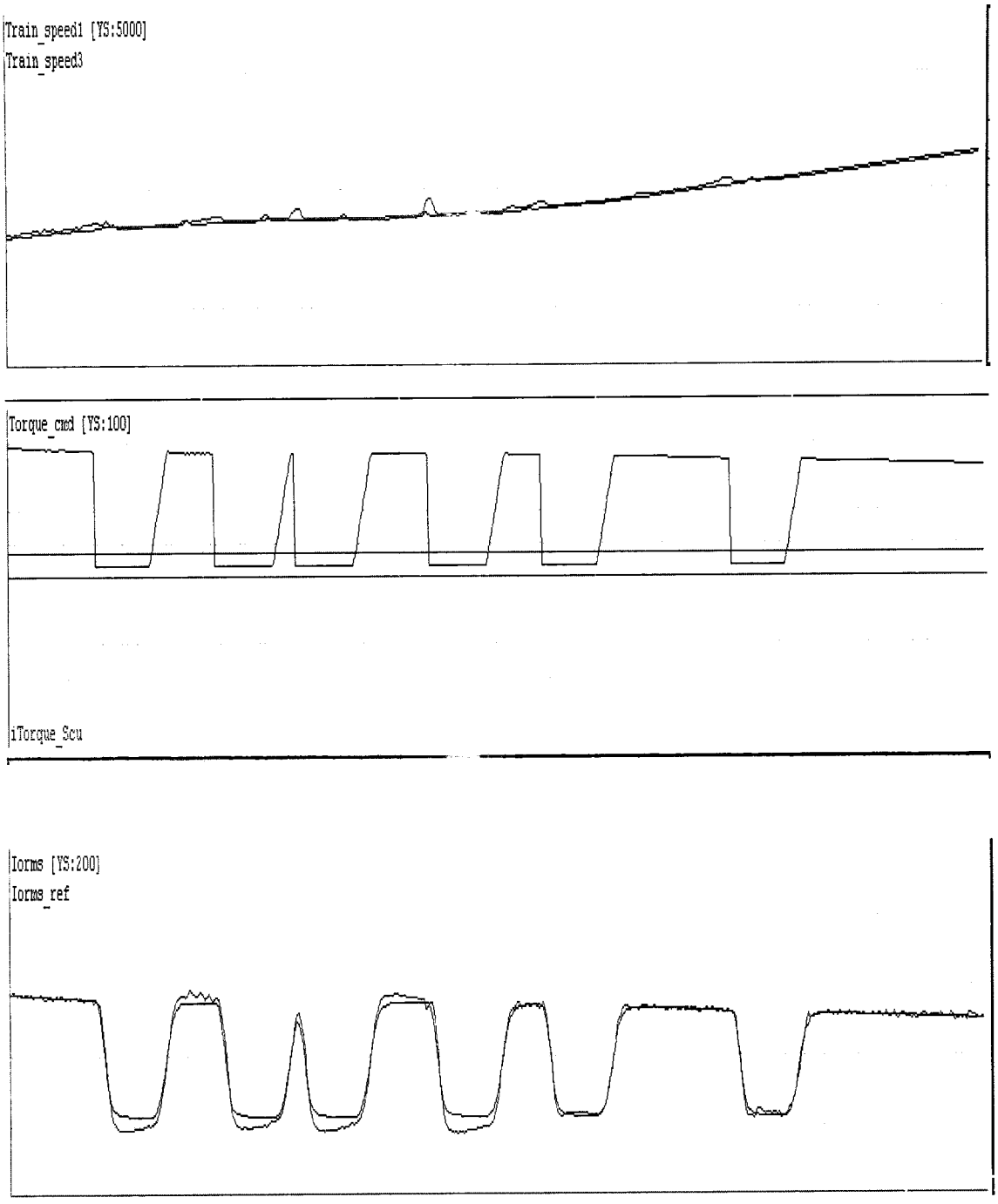
그림 3.13.2-25는 속도 150km/h 이하에서 공전 검지치 5.5km/h 이상에서 공전검지 및 재점착 시험을 확인 하였다. 차량 출발 시 살수를 시작하면서 가속하였다. 차량속도 120km/h에서 공전이 발생하여 인버터의 견인력을 원래지령치의 10%로 감소하여 공전을 해제시키고, 공전이 해제되어 원래의 견인력으로 상승 시 다시 125km/h에서 공전이 발생하였다. 그래서 다시 견인력을 10%로 다시 감소하였다. 이러한 동작이 6번 정도 발생 한 후 살수 종료 시 원래의 견인력을 회복하면서 가속을 계속 할 수 있었다.

그림 3.13.2-26은 속도 150km/h 이상에서 공전 검지치 7.0km/h 이상에서 공전검지 및 재점착 시험을 확인 하였다. 차량이 150km/h 이상에서 살수를 시작하면서 가속하였다.

차량속도 225km/h에서 공전이 발생하여 인버터의 견인력을 원래지령치의 10%로 감소하여 공전을 해제시키고, 공전이 해제되어 원래의 견인력으로 상승 시 다시 230km/h에서 공전이 발생하였다. 그래서 다시 견인력을 10%로 다시 감소하였다.

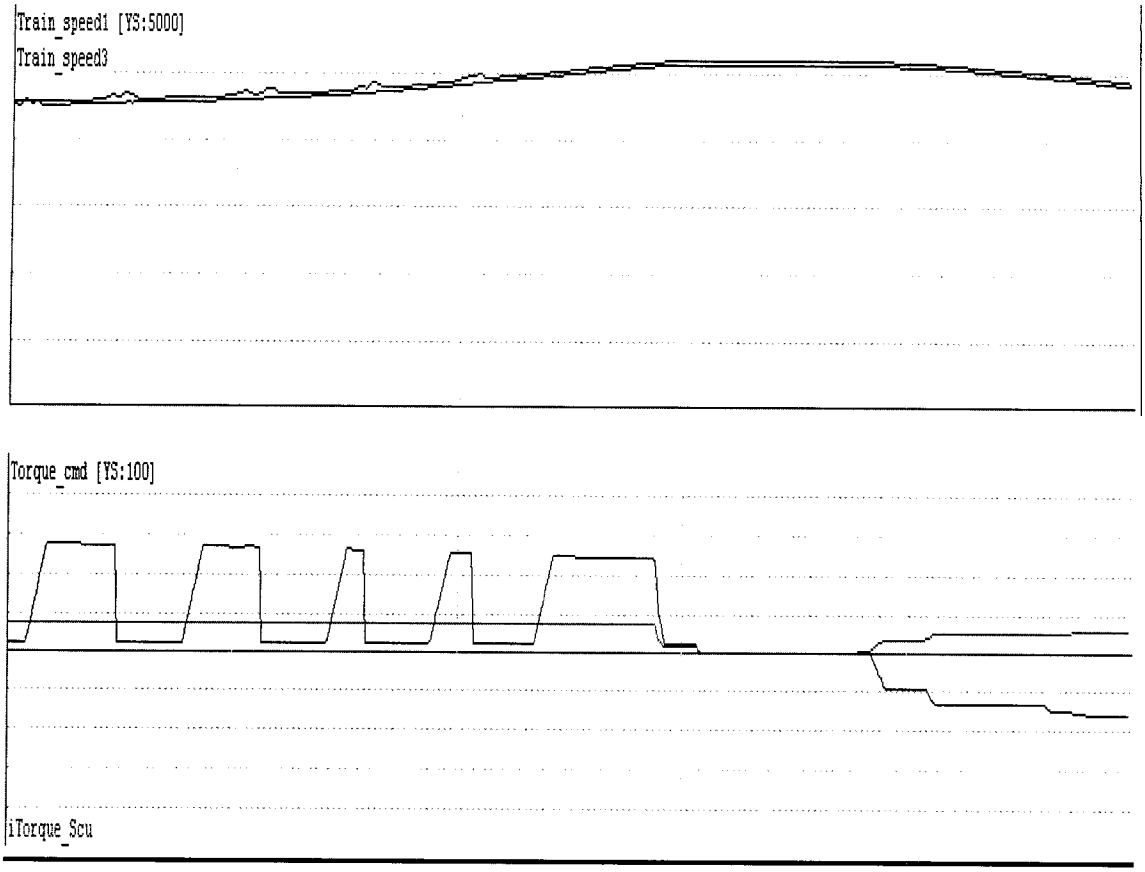
이러한 동작이 4번 정도 발생 한 후 살수 종료 시 원래의 견인력을 회복하면서 가속을 계속 할 수 있었다.

그림 3.13.2-25와 그림 3.13.2-26은 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이상, 이하) 모두 공전 검지치에서 공전제어가 정상적으로 이루어져 제어가 수행되었고 견인력을 10%로 감소시에는 공전이 발생치 않았고, 차량의 속도도 조금씩 증가하므로 견인력 감소치는 적당하다고 판단되며 견인력 감소 유지시간 5초도 적당하다고 판단된다. 견인력 재 상승 시 계속되는 살수 조건에서 재공전이 발생한 것으로 보아 견인력 상승시간도 2초도 적당하다고 판단된다.



Train_speed1 : 살수축 속도(50km/h/div)
Train_speed3 : 기준축 속도(50km/h/div)
Torque_cmd : 인버터 견인력 지령치(10kN/div)
iTorque_Scu : 운전석 견인력 지령치(100%/div)
Iorms_ref : 전류지령치(200A/div) Iorms_ref : 실효치전류(200A/div)

그림 3.13.2-25 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이하)



Train_speed1 : 살수축 속도(50km/h/div)
Train_speed3 : 기준축 속도(50km/h/div)
Torque_cmd : 인버터 견인력 지령치(10kN/div)
iTorque_Scu : 운전석 견인력 지령치(100%/div)
Iorms_ref : 전류지령치(200A/div) Iorms_ref : 실효치전류(200A/div)

그림 3.13.2-26 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이상)

(마)2차개선방법

공전속도 검지 방법을 1차 수정한 방법과 같이 고속과 저속으로 나누어서 검지하였다. 공전 속도 검지치도 동일 시 한다. 공전이 검지되면 견인력을 20%로 감소하고 공전이 해제되면 견인력 20%로 유지하는 2초로 단축하여 견인력 감소 시간을 줄였다. 이와 같이 개선한 방법을 다음 그림 3.13.2-27에 나타내었다.

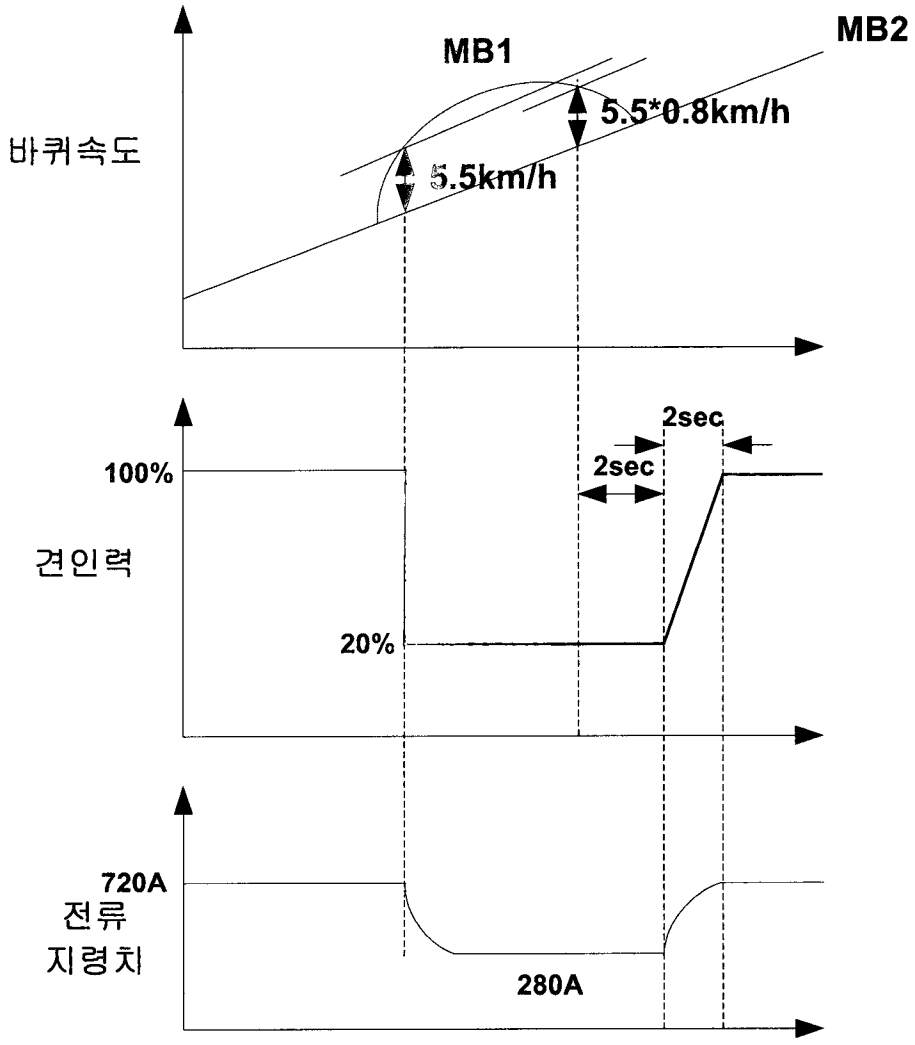
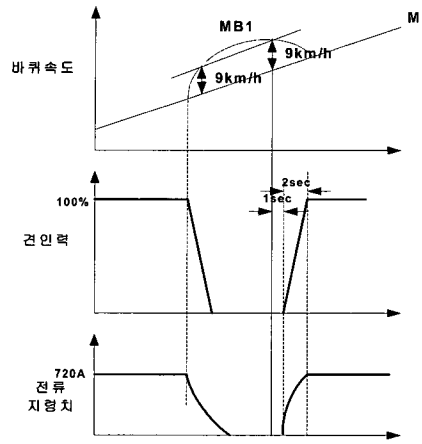
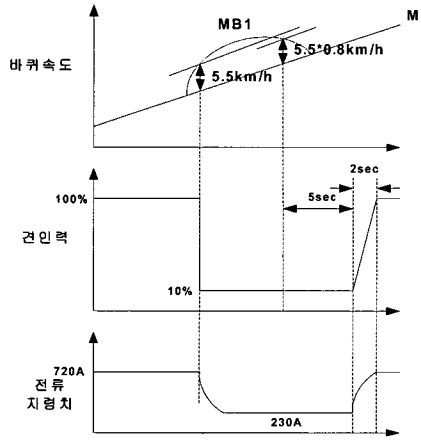
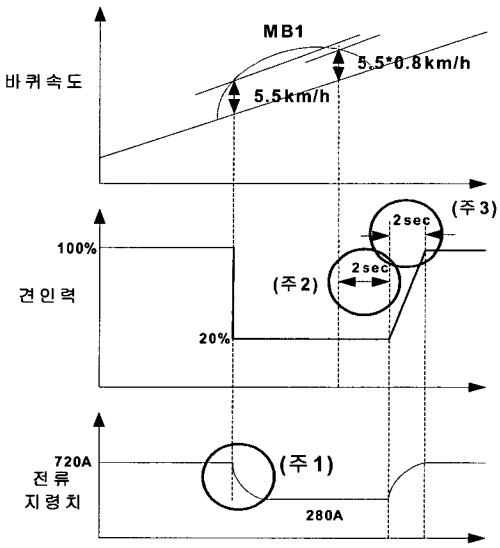


그림 3.13.2-27 2차 개선 방법

(바)기존방법과 수정방법의 장단점 비교

방법	슬립슬라이드 제어 방법	장단점
기존방법		단점: 1. 공전 검지 속도가 크므로 공전 검지가 느려짐 2. 공전검지가 속도가 일률적이라 바퀴반경의 크기에 대응하지 못함 3. 감소 견인력 유지 시간의 감소로 재 공전 발생 빈도 높음 4. 공전 검지시 견인력을 0%로 하므로 견인력 손실 증대
1차 수정방법		장점 : 1. 공전검지의 속도별 차등적용으로 공전 검지가 신속함 2. 공전 검지시 견인력 10% 유지로 견인력을 효율적으로 이용 3. 견인력 10% 유지시간 확보로 재 공전 발생 빈도 감소
2차 개선방법		장점 : 1. 공전검지의 속도별 차등적용으로 공전 검지가 신속함 2. 공전 검지시 견인력 20% 유지로 견인력을 효율적으로 이용 3. 견인력 20% 유지 시간 단축으로 견인력 회복 빠름. 단점 : 1. 견인력 20% 유지시간 단축으로 재 공전이 발생 할 수 있음. ★ 공전검지시, 토크를 20%로 줄이면 전류는 제어기의 게인특성에 비례하여 280A로 감소하게 되므로 (주1)의 시간 설정은 (주2), (주3)처럼 시간설정이 필 요 없다. 따라서 동일제어가 가능하다

(사) 제어 결과 설정치에 따라 작동 여부

2007년 2월 8일 오송과 동대구 구간에서 MB1 1번 축에 살수장치를 설치하고 슬립슬라이드 시험을 하였다.

다음 그림 3.13.2-28의 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이하 : 차량속도 85km/h)은 속도 150km/h 이하에서 공전 검지치 5.5km/h 이상에서 공전검지 및 재점착 시험을 확인하였다.

차량속도 85km/h에서 기준속도와 MB1 살수축의 속도차이가 5.5km/h이상에서 공전을 검지하여 견인력을 20%로 감소하였고 기준속도와 MB1 살수축의 속도차이가 4.0km/h 이하에서 공전이 해제되었다. 공전이 해제되고 2초간 20%로 견인력을 계속 유지되었다. 2초 동안 견인력을 원래의 견인력으로 상승 시 견인력을 회복하면서 가속을 계속 할 수 있었다.

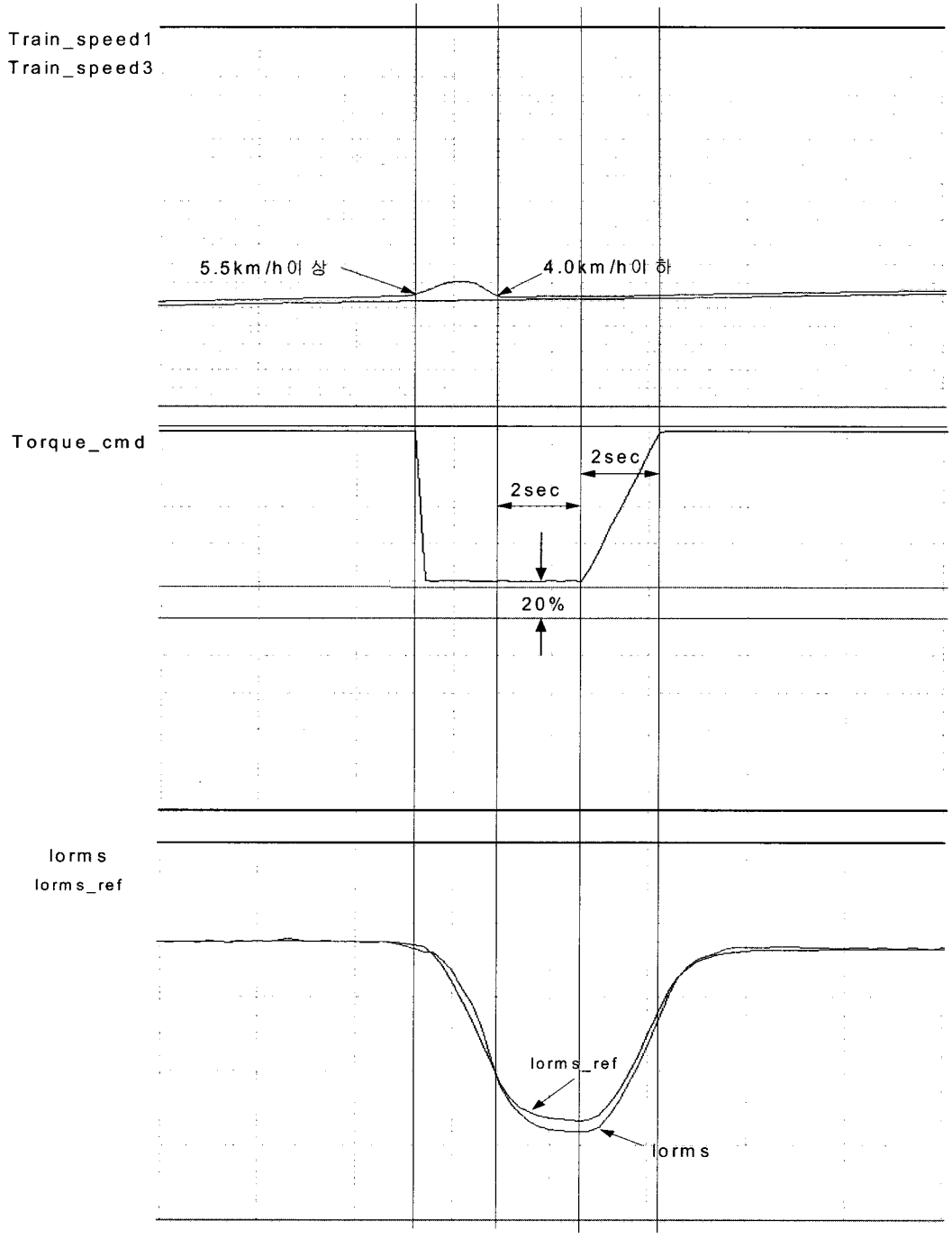
그림 3.13.2-29 슬립슬라이드 시험확대(속도 150km/h 이하 : 차량속도 85km/h) 확는 공전검지와 공전해제 시 견인력이 20%로 감소되는 것에 대한 확대 파형이다.

그림 3.13.2-30은 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이상 : 차량속도 263km/h)은 기준속도 150km/h 이상에서 공전 검지치 7.0km/h 이상에서 공전검지 및 재점착 시험을 확인 하였다.

차량속도 263km/h에서 기준속도와 MB1 살수축의 속도차이가 7.0km/h에서 공전을 검지하여 견인력을 20%로 감소하였고 기준속도와 MB1 살수축의 속도차이가 6.0km/h 이하에서 공전이 해제되었다. 공전이 해제되고 2초간 20%로 견인력을 계속 유지되었다. 2초 동안 견인력을 원래의 견인력으로 상승 시 견인력을 회복하면서 가속을 계속 할 수 있었다.

그림 3.13.2-31은 슬립슬라이드 시험확대(속도 150km/h 이상 : 차량속도 263km/h)는 공전검지와 공전해제 시 견인력이 20%로 감소되는 것에 대한 확대 파형이다.

이상의 결과로 기준속도 150km/h 이하와 150km/h 이상의 속도에서 기준속도와 공전속도와의 차이인 검지속도에서 공전검지와 공전해제가 정상적으로 이루어 졌고, 견인력 감소와 유지도 정상적으로 이루어짐을 확인하였다.



Train_speed1 : 살수축 속도(5km/h/div)
Train_speed3 : 기준축 속도(5km/h/div)
Torque_cmd : 인버터 견인력 지령치(10kN/div)
Iorms_ref : 전류지령치(200A/div)
Iorms : 실효치전류(200A/div)

그림 3.13.2-28 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이하 : 차량속도 85km/h)

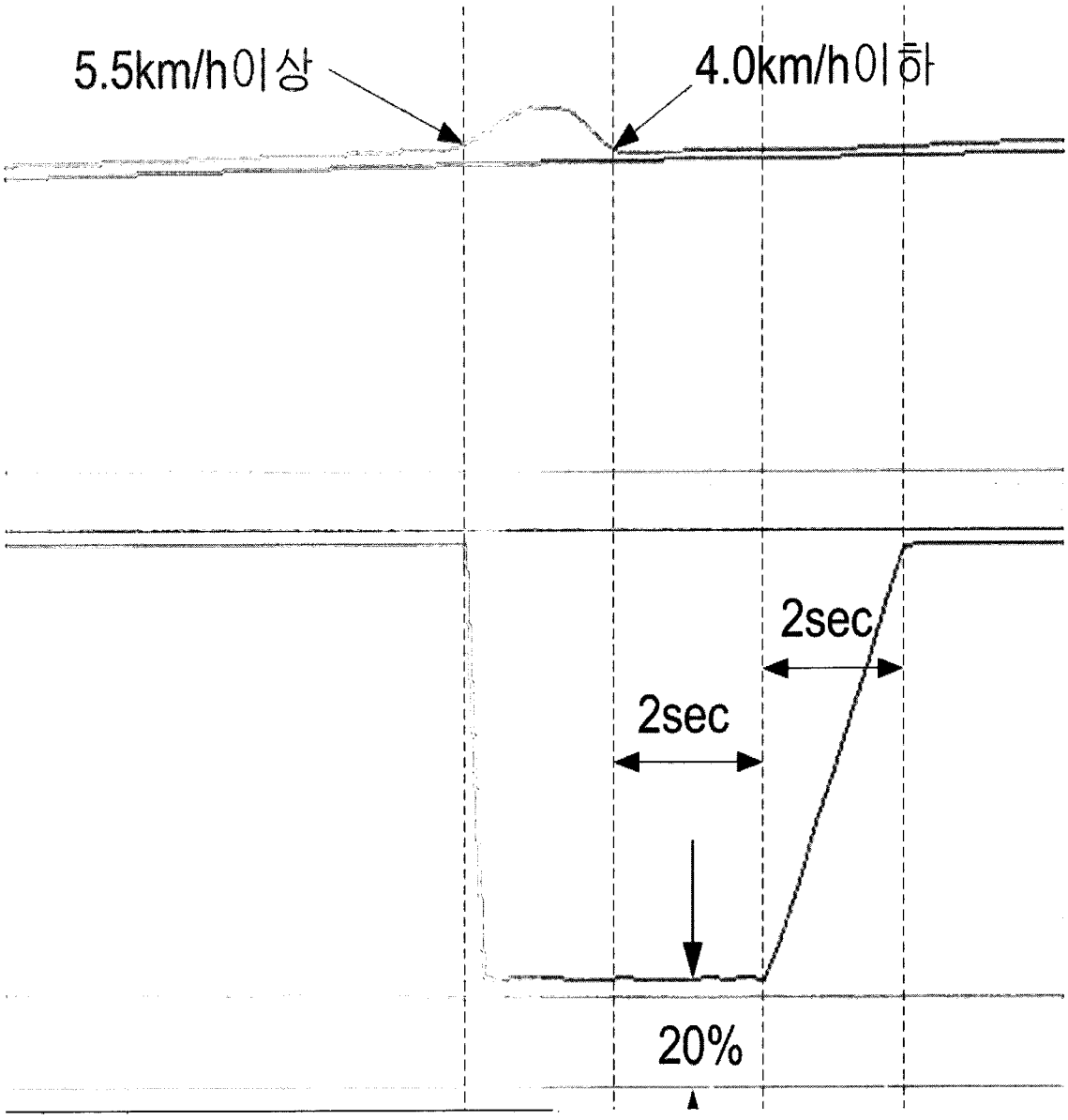
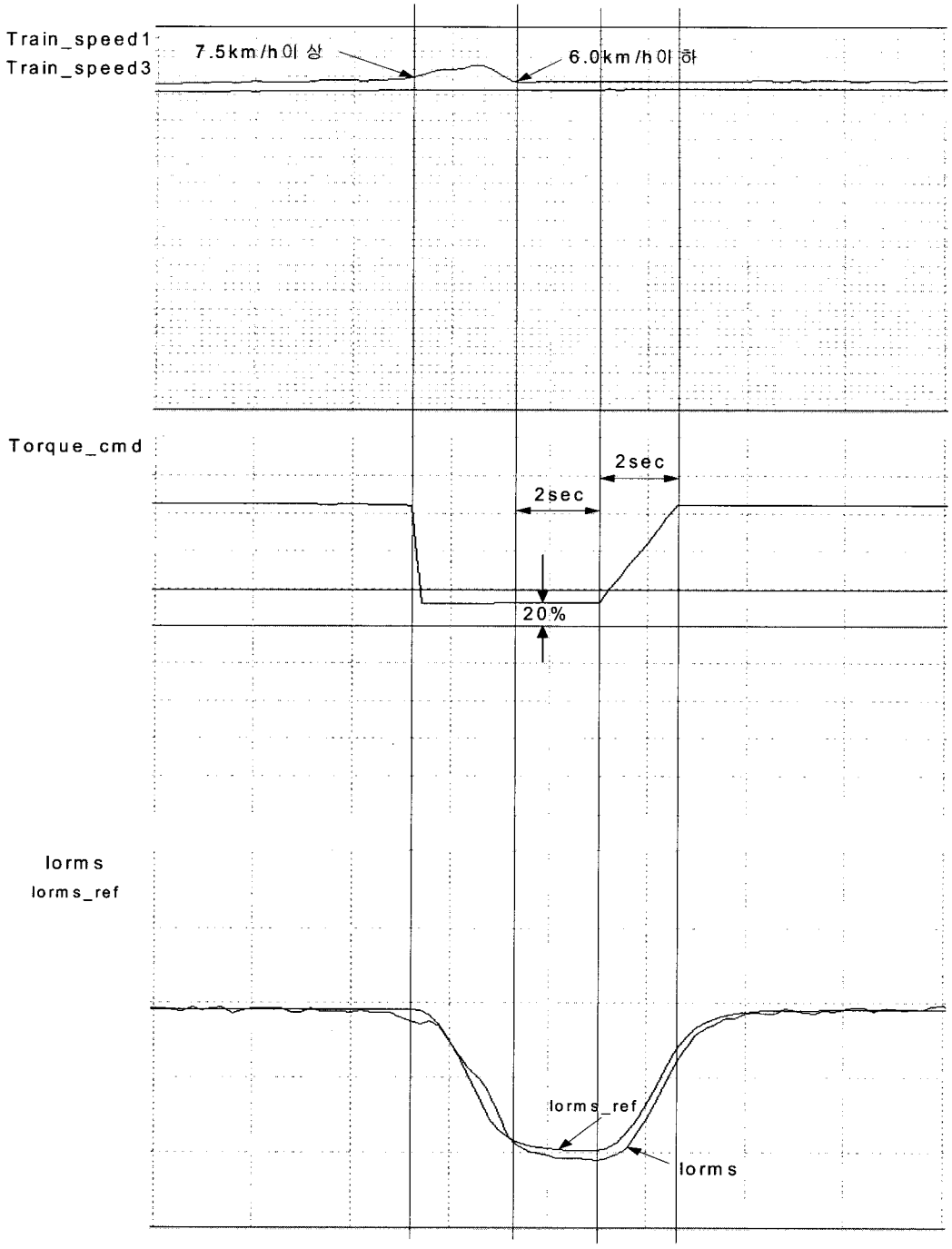


그림 3.13.2-29 슬립슬라이드 시험 확대 (속도 150km/h 이하 : 차량속도 85km/h)



Train_speed1 : 살수축 속도(5km/h/div)
Train_speed3 : 기준축 속도(5km/h/div)
Torque_cmd : 인버터 견인력 지령치(10kN/div)
Iorms_ref : 전류지령치(200A/div)
Iorms : 실효치전류(200A/div)

그림 3.13.2-30 슬립슬라이드 시험(속도 150km/h 이상 : 차량속도 263km/h)

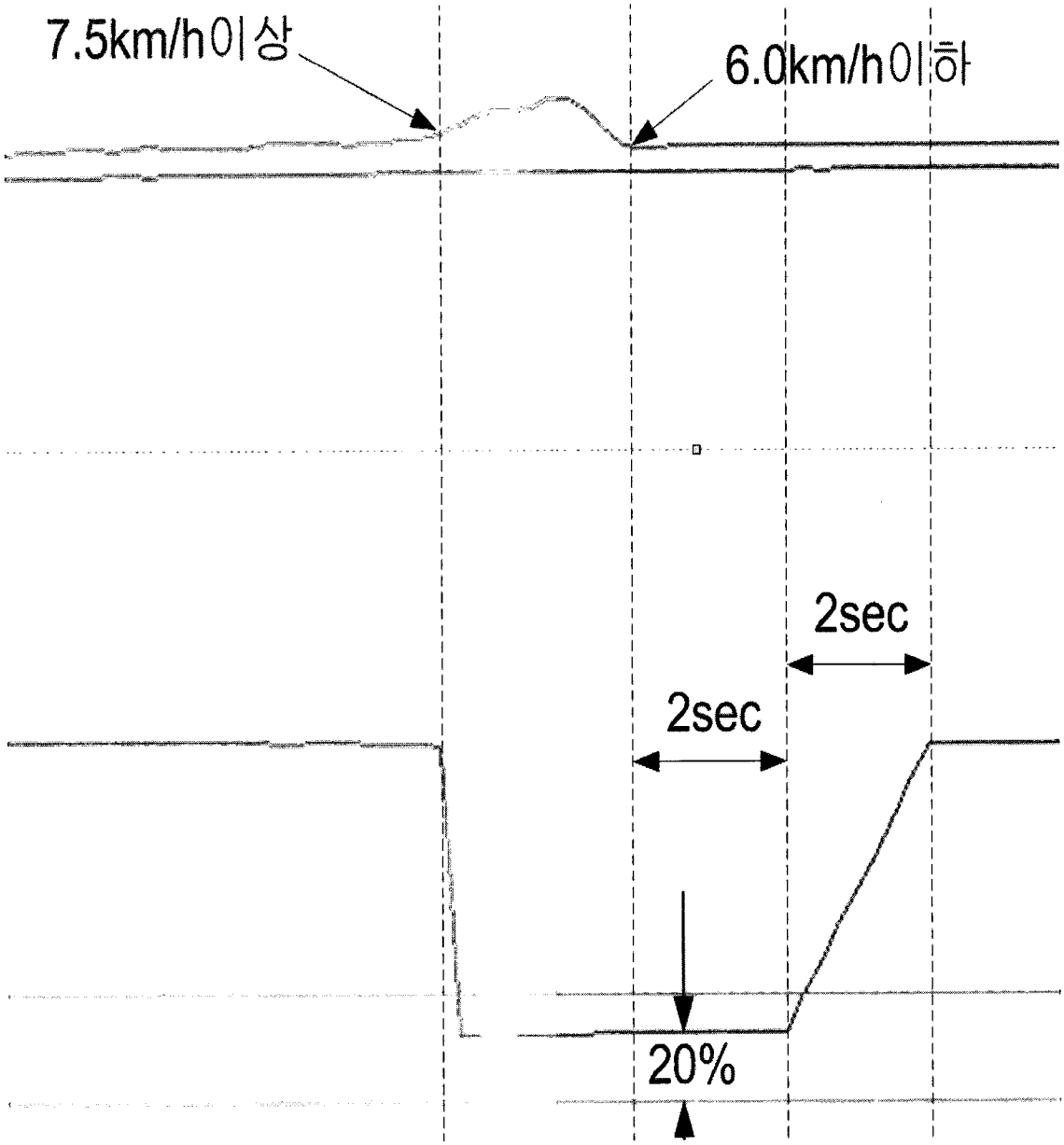


그림 3.13.2-31 슬립슬라이드 시험 확대 (속도 150km/h 이상 : 차량속도 263km/h)

(아) 검지치 설정의 적합 여부

표 3.13.2-1에 바퀴의 반경 차이에 의해서 발생되는 자연적인 속도 차이를 표시하였다. 바퀴직경이 10mm 차이 시 속도 150km/h에서는 1.67km/h의 자연적인 속도차이가 발생되고, 300km/h에서 3.35km/h의 자연적인 속도차이가 발생된다. 이를 다음 그림 3.13.2-32에 나타내었다.

표 3.13.2-1. 바퀴반경에 따른 속도차이

바퀴반경	1km/h 시 rpm	300km/h 시 rpm	920과 속도차이
0.46(920)	11.6	3480	0
0.458(916)	11.6528	3495	1.29km/h
0.455(910)	11.7296	3518	3.35km/h
0.450(900)	11.8599	3557	6.63km/h

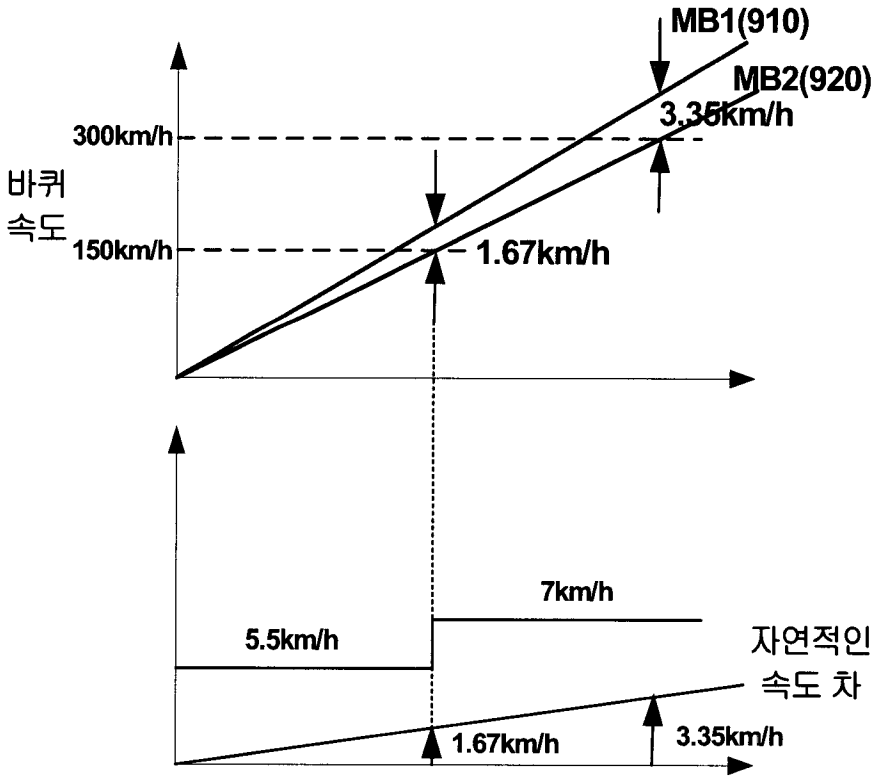


그림 3.13.2-32 바퀴반경차이에 의한 속도차이와 속도에 따른 공전검지 기준치

바퀴 반경의 차이에 의해서 발생되는 자연적인 속도차이와 공전 발생시 발생되는

속도차이를 합하여 공전 검지 속도를 150km/h 이하와 이상에 대하여 각각 5.5km/h, 7.0km/h 로 설정하여 1차 수정 방법과 2차 개선 방법에 대하여 시험한 결과 공전발생시 공전 검지를 원활히 수행하였다. 공전 검지 후 계속적인 공전이 발생되지 않고 견인력을 10%, 20%로 감소 시 공전이 해제되는 것을 확인하였을 뿐 만 아니라 공전검지 속도 9.0km/h에서 신속한 공전검지 및 제어를 확인할 수 있었다.

공전 검지 속도에 대하여 공전해제 속도는 검지속도의 80%인 4.0km/h와 6.0km/h로 설정하여 공전해제를 검지한 결과 공전이 완전히 해제된 후 견인력을 20%로 유지하여 재공전이 발생치 않으므로 공전검지 해제속도도 적합하다고 판단한다.

라. 인버터 제동성능 안정화

고속으로 주행하는 고속열차의 제동력을 확보하는 방법에는 공기제동과 전기제동이 있다. 공기제동은 마찰력을 이용하여 기계적으로 제동력을 발생시키는 것으로 에너지의 손실이 크고 제동 디스크 교체 등 유지보수에 어려움이 있다. 이에 반해 전기제동은 에너지 효율을 증대시킬 수 있고 추가적인 유지보수가 필요 없는 장점을 가지고 있다.

전기제동은 회생제동과 저항제동으로 나눌 수 있으며 회생제동은 전동기에서 발생하는 에너지를 가선으로 회생하여 제동력을 발생시키는 것이다. 저항제동 모드는 가선이 없거나 주회로 차단기가 개방되었을 경우에 체결된다. 저항제동 모드에서는 회생 에너지를 제동 저항을 이용하여 소비시킨다.

(1) 저항제동 기능

한국형 고속 열차의 전원인 교류 가선은 변전 설비의 전력 공급 구간에 따라 필수적으로 절연구간이 존재한다. 절연구간에서는 가선 전압이 공급되지 않으므로 가선으로의 회생이 불가능하다. 이러한 절연구간에서도 전기 제동력을 확보하려면 견인전동기로부터 발생하는 회생에너지를 저항을 이용하여 소비시키는 저항제동 기능이 필요하다.

저항제동 기능을 수행하기 위해 주전력 변환장치는 저항제동 초퍼 회로를 가지고 있다. 저항제동 초퍼 회로는 저항제동과 초퍼 스위치(BCH)로 구성된다.

(2) 저항제동 제어 알고리즘

제동 초퍼 Duty를 결정하는 알고리즘의 블록도는 그림 3.13.2-33과 같다. 컨버터의 동작이 중지된 상태에서 인버터에 의해 제동 토크가 발생하면 DC-link전압은 회생에너지의 크기에 비례하여 상승하게 된다. DC-link전압의 상승을 억제하기 위해 초퍼 동작 기준 전압을 설정하고 실제 전압과의 차이에 따라 초퍼의 duty를 결정한다. 그림 15의 $V_{chopref}$는 저항제동 모드에서 제동 초퍼가 제어하는 DC-link 전압의 기준값이다. 기준전압과 현재 DC-link 전압을 비교하여 V_{dcerr}를 구하고 PI 제어기를 이용하여 제동 쵸퍼의 duty를 결정한다. PI 제어기의 출력은 회생에너지의 크기에 비례하여 제동 초퍼의 duty를 자동으로 결정한다

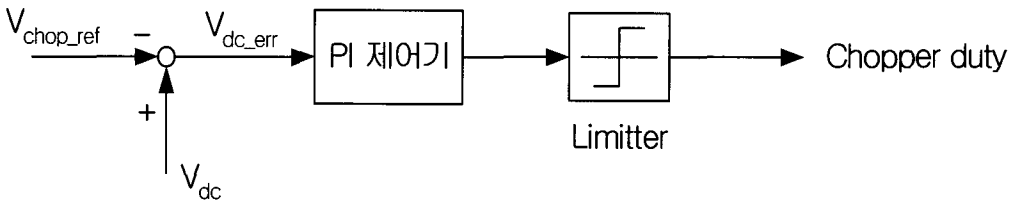


그림 3.13.2-33 저항제동 제어알고리즘 블록도

(3)저항제동시과전압억제대책

절연구간에서 저항제동을 사용하였다. 인버터가 전동기로부터 회생에너지를 직류측에 전달하였으나 쵸퍼의 속응성이 늦어 제동쵸퍼가 동작하기 전에 직류측의 전압이 상승하여 과전압이 검지되었다.

쵸퍼의 응답시간을 빠르게 하도록 쵸퍼제어의 PI Gain을 변경하였다.

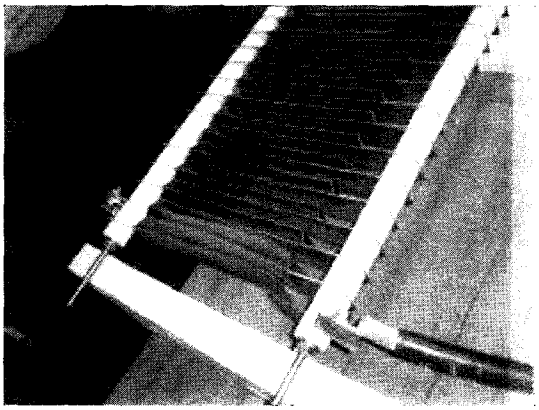
(4)주전력변환장치제동저항변경사항

저항제동은 Dead Section 구간 진입시, 가선전압 2900V 이상시, 비상 저항제동 시험, 제동저항 성능시험에 사용하게 된다. 제동 저항 전기적 사양은 동작 전압이 2850[V], 저항 값 3.9Ω at 25℃, 저항 동작 Duty는 0.5 이다. 2006년 상반기 중점검 중에 제동 저항이 소손된 사항이 확인되어 제동저항의 냉각 방안 및 안정화 방안을 다각적으로 검토하게 되었다.

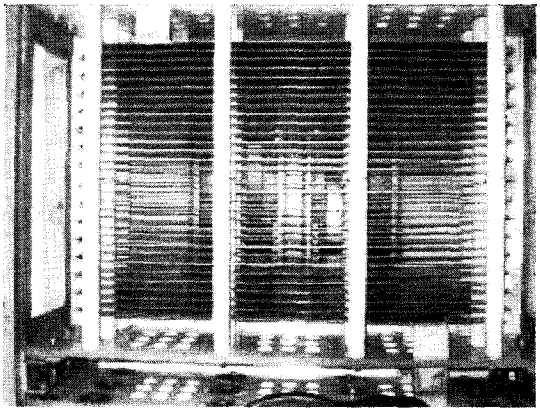
(가)제동저항 보완

2006년 상반기 중점검 중에 제동 저항이 소손된 사항을 확인하였다. 소손된 제동저항의 안정성을 확보하기 위해 제동저항 사이의 이격거리확보 하였고 발열을 보다 효율적으로 하기 위해 제동저항의 통풍 보완을 보완하였다.

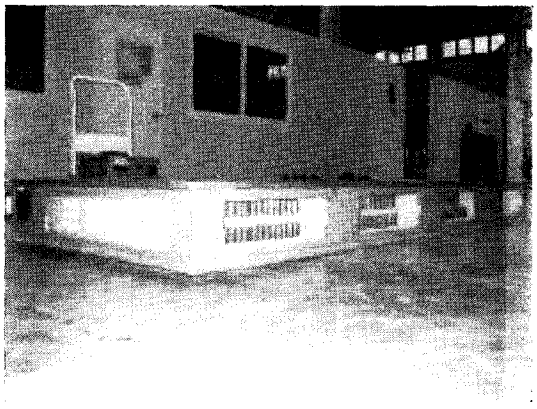
최종 시험된 제동저항을 내압시험을 거쳐 차량에 장착하였다. 그림 3.13.2-34는 제동저항 시험, 제동저항사이의 이격거리 확보, 통풍 보완된 제동저항, 제동 저항 내압 시험 사진이다.



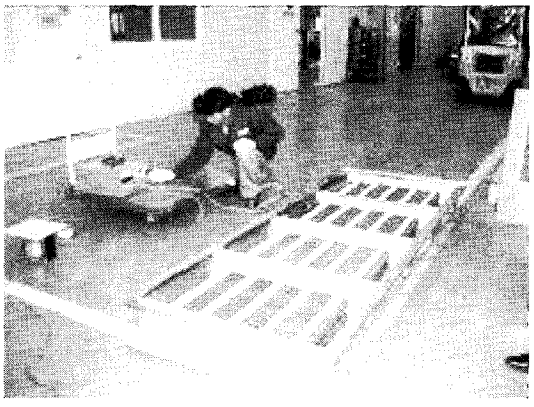
(a)제동저항 시험



(b)보완된 제동저항(이격거리확보)



(c) 보완된 제동저항(통풍 보완)



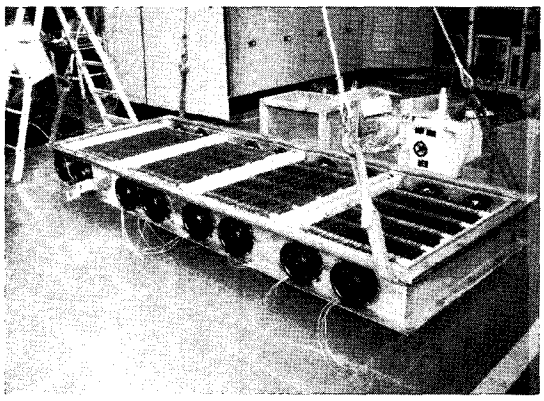
(d) 제동 저항 내압 시험

그림 3.13.2-34 주전력변환장치 2호기 제동저항변경

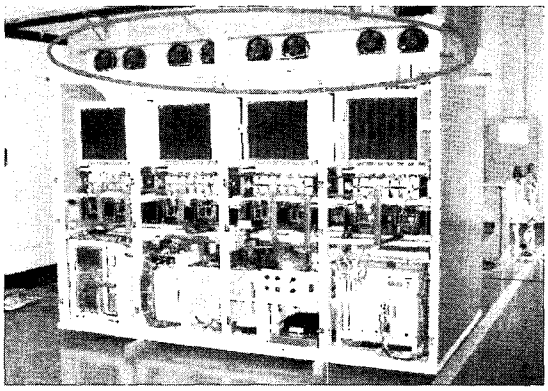
(나) 1호기 추가 수정

IGBT 소자를 교체하기 위해 연구소에 있던 1호기에 2호기에 적용한 방안과 비교하고 성능을 확인하기 위해 제동 저항의 보완이 추가적으로 이루어졌다.

절연구간에서 제동수행중의 제동저항의 온도를 저감하기 위해 배터리 전압을 이용한 팬구동을 고려하게 되었다. 그러나 시험 중에 제동저항에서 발생한 열이 상부로 배출되지 못하고 차량내부에서 순환하는 현상이 발생하여 팬의 동작을 중단하고 있다. 그림 3.13.2-35는 72V용 팬이 장착된 제동저항과 1호기 사진이다.



(a) 72V 팬이 장작된 제동 저항 단품



(b) 1호기에 장착된 제동 저항

그림 3.13.2-35 주전력변환장치 1호기 제동저항 변경

(다) 2호기 추가 수정

2호기에 장착된 제동저항은 주전력변환장치의 기존의 팬동작에 의해 견인 및 회생제동시에 발생한 열이 차량내부를 통해 방출되고, 다시 높아진 공기가 스택으로 유입되는 현상이 발생하여 2006년 6월 고양기지 점검에서 제동저항의 측면 통풍구를 봉인하였다.

(라) 저항 UNIT 절연판 소손 및 교체

그림 3.13.2-36과 같이 2007년 2월 5일 야간시운전시 신탄진~고덕 구간에서 저항제동 Mode에서 저항 UNIT의 Element 및 절연판이 소손되었다.

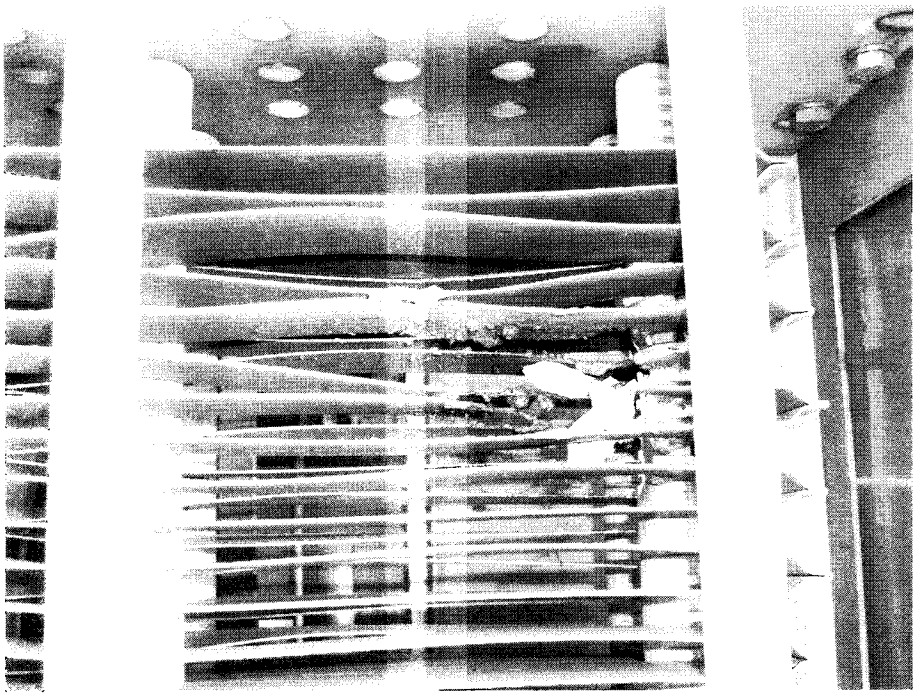


그림 3.13.2-36 소손된 제동 저항

원인으로는 제동력상향 조정한 것이 원인이었다. 상용저항제동을 상용회생제동의 60%에서 70%로, 비상저항제동을 비상회생제동의 50%에서 60%로 증가한 상태에서 타 MB 저항제동 기능이 상실되어 MB #1, 2, 3번만으로 저항제동이 실시되어 저항 Element에 장시간 과부하가 걸렸다. (약 152초)

저항 element와 저항 UNIT 사이의 절연판을 내열용으로 사용해야 하나 자재수급의 애로 사항으로 인하여 내열온도 160℃의 절연물(EZP)이 사용되어 element의 온도를 견디지 못하여 일부 소손되었다.

그래서, 주어진 공간(space)내에서 element의 용량은 최대로 설계되어 있으므로 element의 용량 증대는 불가능하나 내열 절연판 및 element를 교체하여 저항제동 동작시 더욱 안전성을 확보 하였다.

그림 3.13.2-37은 2007년 4월9일에 제동저항 신품제작 교체 및 저항제동 연결Cable 절연보강하고 저항제동 용량 증대되어 장착되어지는 사진이다.

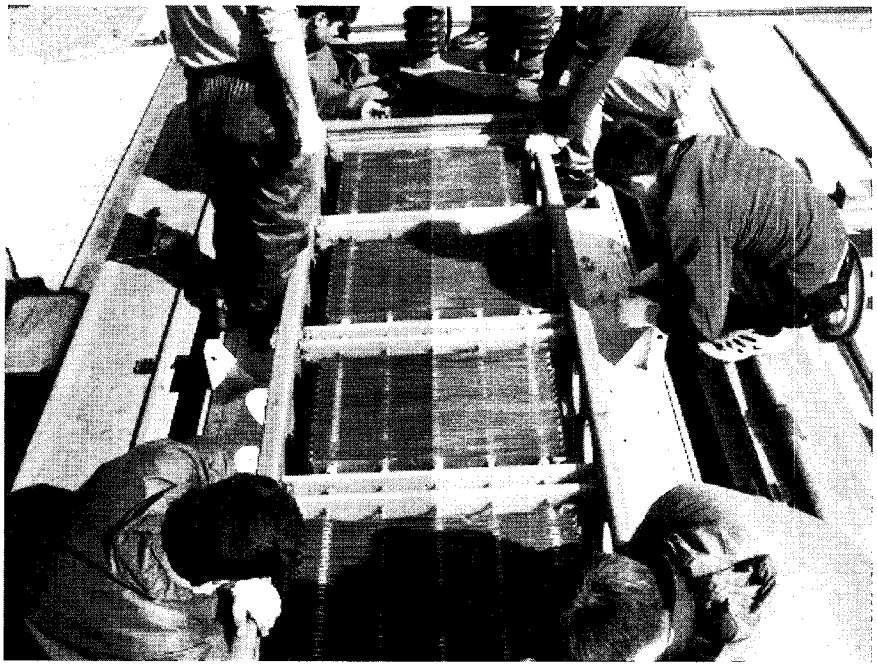


그림 3.13.2-37 제동저항 신품제작 교체

(5)주전력변환장치 전기제동력 상승

한국형 고속열차 전기 제동력을 증대하는 방안으로 상용 전기 제동력을 상승하는 방안과 상용 전기 제동력을 비상 전기제동력과 같게 하는 것에 대한 검토를 수행하였다.

상용 전기 제동력을 비상 전기제동력과 같게 할 경우 비상제동은 가끔 사용하지만 상용제동은 자주 사용하므로 용량 면에서 부담이 증가될 것으로 예상되었다. 상용 전기 제동력을 증가시키는 것 또한 부담이 예상되었다. 냉각 장치의 용량계산시 사용된 소자의 발열 특성은 상용 전기제동력을 견인력의 80% 수준인 최대 40kN으로 설정하였다. 견인시는 물론 제동시에도 설계치 보다 더 큰 용량으로 동작하고 있다. 견인력과 전기제동력을 증가시키는 것은 주전력변환장치의 온도를 상승시키고, 이로 인해 소자가 불안정해져서 견인력이든 제동력이든 현재 운용되고 있는 값에서 상승하는 것이 부담스럽다. 또한 전기제동력 상승시 점착계수가 선로 조건에 따라 낮아지면 빈번한 Skid가 발생할 수 있으며 기타 제동 장치의 빠른 응답이 필요하다.

그러나 차량의 전체적인 향상을 위해서, 상용제동을 비상제동 패턴으로 바꾸고, 제동력을 110%로 하여 제동력을 상승시키고 견인력은 105%로 조정하였다. 한국형

고속열차 전기 제동력을 증대하는 방안으로 상용 전기 제동력을 비상 전기제동력과 같게 하였다.

마. 제어기 안정화 및 문제점 보완

(1)CON보드 Watchdog

증속시험을 앞두고 CON 보드 고장을 기점으로 하여 마스터 제어보드 재기동 및 통신고장이 발생하는 현상이 나타났다. 이를 수정하기 위해 시험 분석결과, 프로그램에서 Watch Dog 리셋 시간이 부족하여 순차적으로 발생하는 현상임을 확인하였다. 프로그램을 수정 보완하였으나, 2호기부터 발생하기 시작한 컨버터 Gate가 중지되는 현상이 1호기 3호기에까지 확산되어 증속에 어려움을 겪었다. 수정 보완한 프로그램에서의 잦은 Watch Dog 리셋으로 EPLD가 오동작하여 발생하는 것으로 확인되어 프로그램을 이전 버전으로 환원하고, EPLD Watch Dog시간을 증가시키는 것으로 적용하여 350km/h 증속을 성공적으로 수행할 수 있었다.

(2) Converter Control 안정화를 위한 아날로그 보드 보완

주전력변환장치의 PWM 컨버터는 전원위상 검출을 위해 가선전압을 센싱한 후 소프트웨어 위상 동기화 루프(Phase Locked Loop, PLL) 방식을 채용하고 있다. 적용된 PLL 알고리즘은 센싱된 가선전압에 노이즈 혹은 왜곡 성분이 포함되어 있을 경우, PWM 인터럽트 주기가 그렇지 않을 경우에 비해 상대적으로 크게 변동하기 때문에 입력전류의 위상 및 크기가 변동하는 문제점을 가지고 있다. 가선전압은 동일 가선을 사용하는 다른 차량의 영향으로 인해 상당량의 전압 Dip 등으로 왜곡되어 있다. 이러한 가선전압 왜곡은 특히 고속선이 아닌 기존선 구간과 절연구간 전후에 특히 심한 경향을 나타내고 있는 것으로 보고 되고 있다. 가선전압 왜곡으로 인해 무부하 운전시 출력 직류전압이 증가하는 현상이 발생한다.

컨버터 입력 아날로그 보드에 하드웨어 필터와 종단저항을 보강하여 기존선 구간에서 입력전압 왜곡 현상에 의한 컨버터 입력과전압, 컨버터출력과전압, 컨버터 출력과전류 검지를 안정화하였다.

그림 3.13.2-38은 시험을 통해 얻은 자료를 반영하여 새로운 입력 아날로그 보드를 제작한 것이다. 기존의 일반 Op-Amp를 사용하여 절연 분리했던 것을 전용 Isolation Amplifier를 사용하였다. 전원 및 신호선과의 노이즈 간섭을 최소화하도록 Artwork 상의 배선과 부품배치를 고려하였고 외부로부터의 노이즈 유입을 저감하기 적절한 필터를 적용하였다. 기초적인 입출력 특성시험과 Offset 컨버터 아날로그 보드의 경우는 가선전압의 필터링 위상지연 및 크기 보상 시험을 마치고 본선적용을 위한 구내 시험 중에 있다.

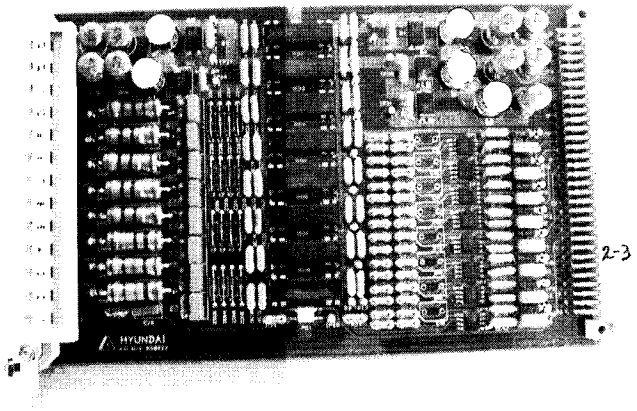


그림 3.13.2-38 설계 제작된 입력 아날로그 Board

(3) 주전력변환장치 AIO 보드 기능점검 및 제어기 점검

제어기의 AIO보드를 보드의 신뢰성과 노이즈에 강인하도록 기존의 OP amp 를 사용하여 절연을 분리했던 것을 전용 Isolation Amplifier를 사용하였다. 전원 및 신호선과의 노이즈 간섭을 최소화하도록 Artwork 상의 배선과 부품배치를 고려하였고, 외부로부터의 노이즈 유입을 저감하기 위하여 기존의 제어 카드에 사용된 필터정수를 측정하여 새롭게 설계된 보드에 반영하였고, 수정을 필요로 하는 부분은 새롭게 필터정수를 수정하였다.

제어기는 백 플레인의 선을 가지런히 정리하였고, 그 동안 시운전에 쌓인 먼지를 제거 하였다. 카드별로 기능을 다시 점검하였고, 제어기 랙에 대한 볼트, 너트의 조

임 상태를 확인하여 다시 점검하였다. 이때 풀어진 볼트를 확인하여 그 동안 3호기 랙에서 빈번하게 발생한 제어전원의 이상동작이 백 플레인 접속이 좋지 않은 상태에서 일어난 것을 확인 할 수 있었다.

그림 3.13.2-39는 기존의 AIO 카드에서 가선전압의 입력과 출력파형을 나타내고 있다. 60Hz의 정현파를 입력하여 측정하였다. 가선전압의 왜곡이 심하므로 2.575ms의 지연을 갖도록 설계되어 있었다.

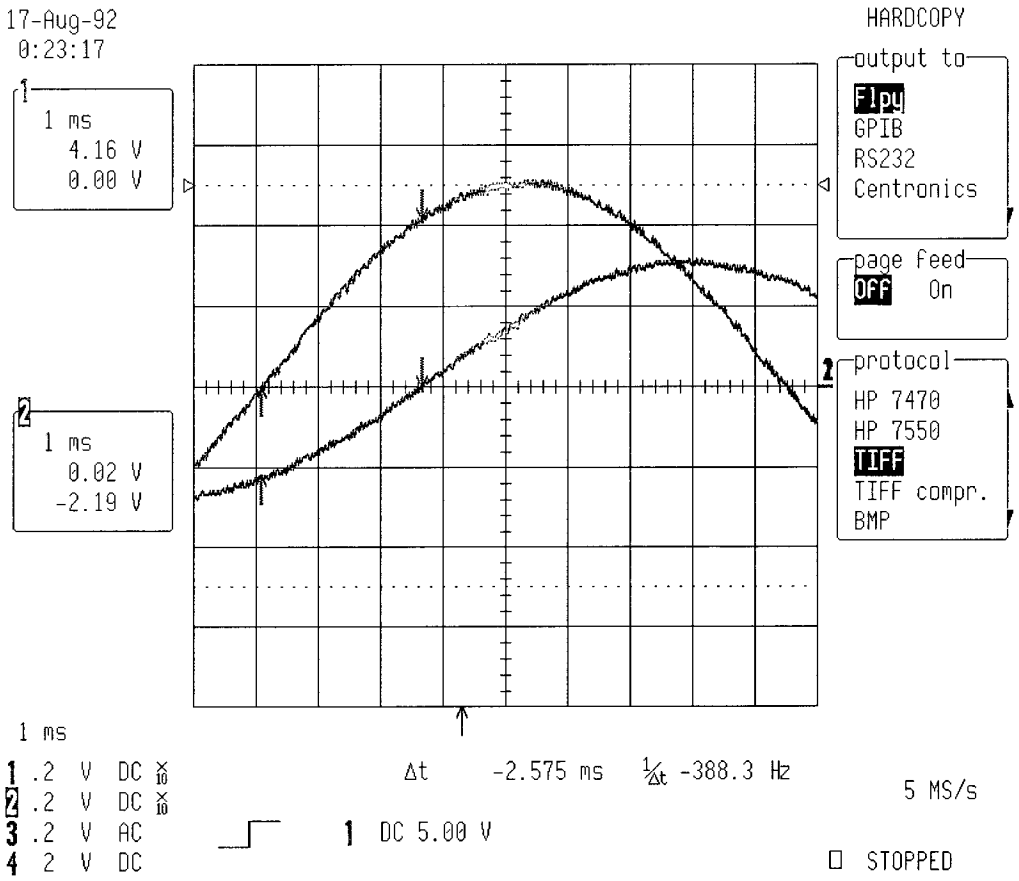


그림 3.13.2-39 기존 AIO카드의 가선전압 입출력파형

(4)팬용인버터 제어기 점검 및 Power Supply 5V 전압변동 억제대책

운행 중 Power Supply 5V 전원에 의한 보호동작을 수행 한 적이 있어 관련 사항을 검토 점검하였다. 전원관련 결선상태와 연결 컨넥터 부위등을 점검한 결과 5V 전압을 조정하는 기존의 가변 저항이 시간이 경과함에 따라 임의로 가변되어 나타나는 현상으로 판단하였다. 그래서 기존의 가변저항을 고정저항으로 교체하여 코팅

과 세척을 보완하였다. 뿐만 아니라 전원라인의 배선을 제거하고 새롭게 결선하였다.

(5) 팬용인버터 제어 전원 안정화

오송-동대구 시운전시 MB1 송풍팬 운전정지가 발생하였다. 원인은 P5V 컨넥타 접촉 불량이었다. 입력DC72V와 Power Supply 출력 5V는 정상적인 출력이 되었으나 팬용 인버터제어보드 컨넥터 접촉 불량으로 불규칙하게 5V가 입력되는 현상이었다. 그래서 그림 3.13.2-40과 같이 Power Supply 출력 컨넥터 부를 납땜 및 팬용 인버터 제어보드 컨넥터 부를 납땝으로 직결 처리하였다.

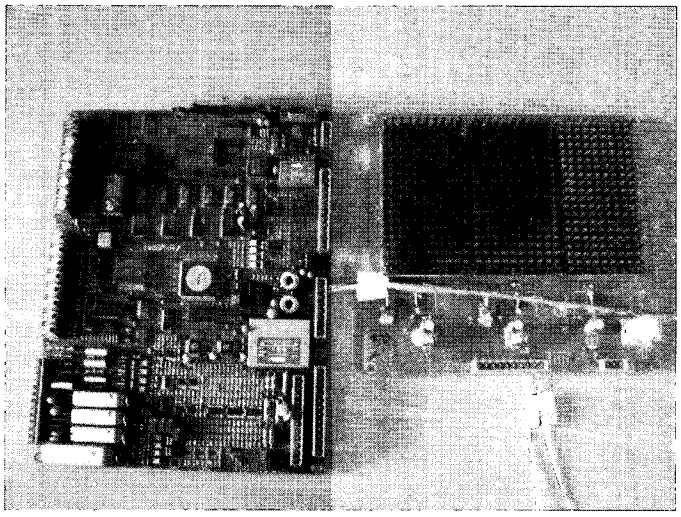


그림 3.13.2-40 Power Supply보드와 팬용인버터 제어보드 사진

(6) 제동신호 미인식

주전력변환장치의 TCU에서 제동신호를 미 인식하는 경우가 발생하여 TCU 인터페이스 보드의 제동 입력부분을 수정하였다. 이와 함께 주요한 신호인 견인과 비상 제동신호도 수정하였다.

P, B, EB 입력 신호측에 현재 보드의 "333" 세라믹 제거 후 224 교체 작업을 하였고, Photo-Coupler 2차회로 저항과 병렬로 103 제거 후 "155" 추가 작업을 하였다. 수신부의 입력전류를 증가하기 위해 저항 값도 수정하였으며 P, B 신호용 IC 교체를 교체하고 5V 전원 Filter 추가하여 해결하였다.

바. TCN Network 안정화

제어기기간의 구성이 복잡해짐에 따라 돌발적인 고장의 발생이 높아졌고 고장원인을 규명하기엔 많은 시간을 요구하며, 때에 따라서는 원인 불명인 채로 그대로 사용하여 동일한 고장을 재발되는 상태에서 운행속도 300km/h 고속으로 차량을 운행한다는 것은 위험요소를 가진 상태에서 운행하는 것이다. 차량의 내부에 탑재된 주전력변환장치의 상태를 진단하고 감시 및 Display 하는 시스템의 필요성은 필수 불가결한 요소이다.

주전력변환장치의 보수와 운행 중에 발생하는 고장에 대해 신속한 조치를 하여 타 차량에 대해 끼치는 영향을 최소화하고, 동작상태의 Monitoring과 기기의 고장발생시에 고장내용 또는 발생상황을 기억하여 발생된 고장정보를 근거로 고장의 원인 및 발생 위치를 신속 정확하게 파악함으로서 차량의 운행적인 측면과 유지보수적인 측면에서 발생하는 효과는 매우 크다. 제어장치의 Data를 주기적으로 읽어들여 이를 비교 분석하여 고장 여부를 판단 및 현시하고, 또 고장 발생시 고장의 원인을 쉽게 분석할 수 있도록 필요한 자료를 제공한다.

주전력변환장치의 상태정보를 Network을 통하여 실시간으로 Monitoring하여 차량이 출발 전 상태나 차량이 운행 중에 발생하는 각종 고장 및 운행상태를 운전석 표시장치에서 즉시 파악할 수 있는 최적의 정보를 제공하여 차량의 안정성 및 신뢰성을 높이고자 하였다.

(1) CPU Heart beat 시험

C/I 제어기, TCU 리셋시 SCU에 정보 data 현시가 잘못되는 경우가 발생하였다. 이를 해결하기 위해 CPU Heartbeat Check를 추가하여 C/I 제어기 혹은 TCU를 리셋하였을 때 SCU에서 참조하도록 하여 오 정보가 현시되지 않도록 하였다. SCU 과제와 협의한 내용에 따라 표 3.13.2-2 주전력변환장치 CPU HEART BEAT 포트와 같이 하부장치 CPU Heart Beat 포트를 설정하였다. 각 장치별 Heart Beat 포트 크기는 16비트이고, F-code는 0값 이다. Heart Beat의 변화 범위는 1 ~ 65535로 하였다. 프로그램과 시험을 거쳐 주전력변환장치 1호기, 2호기, 3호기에 장착하여 운행 중이다.

표 3.13.2-2 주전력변환장치 CPU HEART BEAT 포트 추가

Port	Name	Source	Sink	Per	DTyp	DSiz	DRng	C
980	TCU1_CPU_HEART_BEAT	TCU1	SCU1	128	BITSET 16	16	1 ~ 65535	TCU1_CPU_HEART_BEAT
981	TCU2_CPU_HEART_BEAT	TCU2	SCU1	128	BITSET 16	16	1 ~ 65535	TCU2_CPU_HEART_BEAT
982	TCU3_CPU_HEART_BEAT	TCU3	VCU1	128	BITSET 16	16	1 ~ 65535	TCU3_CPU_HEART_BEAT

(2)주전력변환장치와 SCU 시간 동기화

주전력변환장치는 동작상태 및 고장정보를 운전석 SCU로 전송하고 있다. 전송된 데이터는 운전석 모니터에 현시되어 각 기기의 상태 및 고장분석에 유용하게 사용되고 있다.

그러나 운전석에서 취득한 데이터의 시간과 각 장치에서 기록한 시간이 상이하여 고장분석의 어려움이 있고 신뢰성도 저하시키는 원인이 되고 있다.

주전력변환장치와 SCU와의 시간동기화는 이러한 문제점을 해소하기 위하여 수행되었다.

시간동기화 시험 진행은 한국형 고속열차 시간동기화 협의, Memory Map과 Address 및 RTC 세트 적용 방법 연구, TCU 시간동기화 관련 프로그램, C/I MASTER 시간동기화 관련 프로그램, TCU, C/I MASTER 시간동기화 관련 프로그램 수정보완 및 시험 완료 등과 같은 일정으로 진행하여 시험을 완료하여 운전석 시간과 주전력변환장치에서 시간이 동기화하였다.

주전력변환장치에서 TEST 모드로 스위치를 전환하거나 일정한 시간(10시 10분 10초)이 되면 자동적으로 시간이 동기화되도록 변경하여 주전력변환장치 1, 2, 3호기에 설치하였다.

(6) 역행 운행시 제동체결

주전력변환장치에서 역행 운행 시 제동이 체결되는 현상이 발생하였다.

원인 TCU 프로그램에서 운전석 SCU와 시간동기화를 구현하였을 때, SCU부터

시간정보를 수신할 수 있도록 TCU 프로그램을 수정하였으나, 네트워크를 통해 "비상제동" 신호가 비정상적으로 수신되었다. 견인수행 중에 수신된 "비상제동" 신호에 의하여 제동이 체결된 것으로 네트워크 데이터의 "비상제동" 신호 부분을 삭제하여 설치하여 해결하였다.

아. 본선시운전을 통한 Data 분석

(1) 350km/h 주행시험

대부분 안정성, 신뢰성 검증시험으로 실시하여 한겨울 혹한과 한여름 우기와 무더위를 지나면서 발생하는 문제점을 해결하여 무사히 본선시운전을 실시하였다. 증속시험은 2004년 11월23일(화)에 천안-신탄진 구간에서 340km/h 돌파하였으며 12.16(목) 새벽에 천안-신탄진 구간에서 비행기 이륙속도보다 빠른 352.4km/h 시험운행에 성공하여 주전력변환장치의 우수성을 나타내었다. 350km/h는 국내 지형 여건상 현재의 고속선 구간에서 달릴 수 있는 최고속도로 대한민국 철도역사상 전무후무한 기록이며, 선로여건상 이 속도를 초과 달성하기는 불가능하여 한국 육상교통사상 최고속도로 남게 되었다. 시속 350km/h는 초당 97.2m를 주파하는 속도다. 새벽에 KTX 차량이 기지에 입고된 후 실시된 340km/h, 350km/h 증속시험에서 주전력변환장치가 단 한 차례의 보호동작도 없이 무사히 주파해 냄으로써 제품의 우수성 또한 확인되었다.

2002년 6월 처음 오송 기지로 이송된 후 2003년 8월 300km/h, 2004년 10월 330km/h 11월 340km/h 거쳐 350km/h에 다다랐다. 그림 3.13.2-41 부터 그림 3.13.2-43까지는 350km/h 모니터링 화면과 데이터 파형이다. 2007년 9월에 200,000km를 주행하였다. 본선시운전을 통하여 고역율 PWM 컨버터 및 PWM 인버터의 본선 현차 적용에 있어 시스템의 적합성, 안정성 및 신뢰성을 검증되었고, 이로써 진동 및 환경시험에 견디고 350km/h로 주행할 수 있도록 설계 제작되었음을 확인하였고, 설계 및 해석기술 자립, 제작관련 핵심요소기술을 습득하고, 고속전철 주전력변환장치의 독자설계기술을 확립하였다.

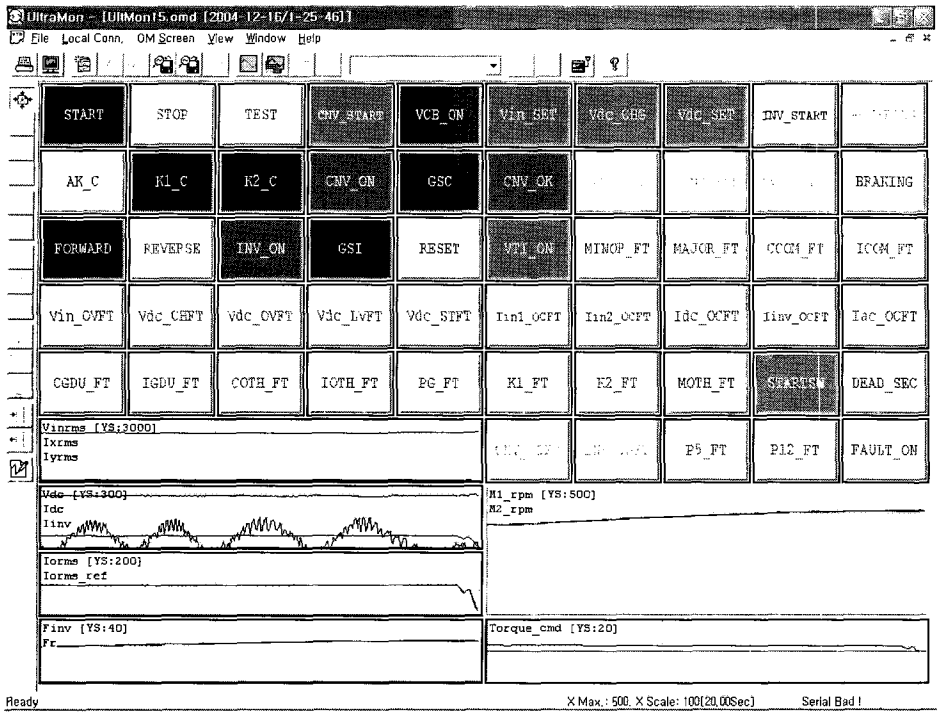


그림 3.13.2-41 352.4km/h 증속시험(광명-시목) 실시간 모니터링 화면(마스터)

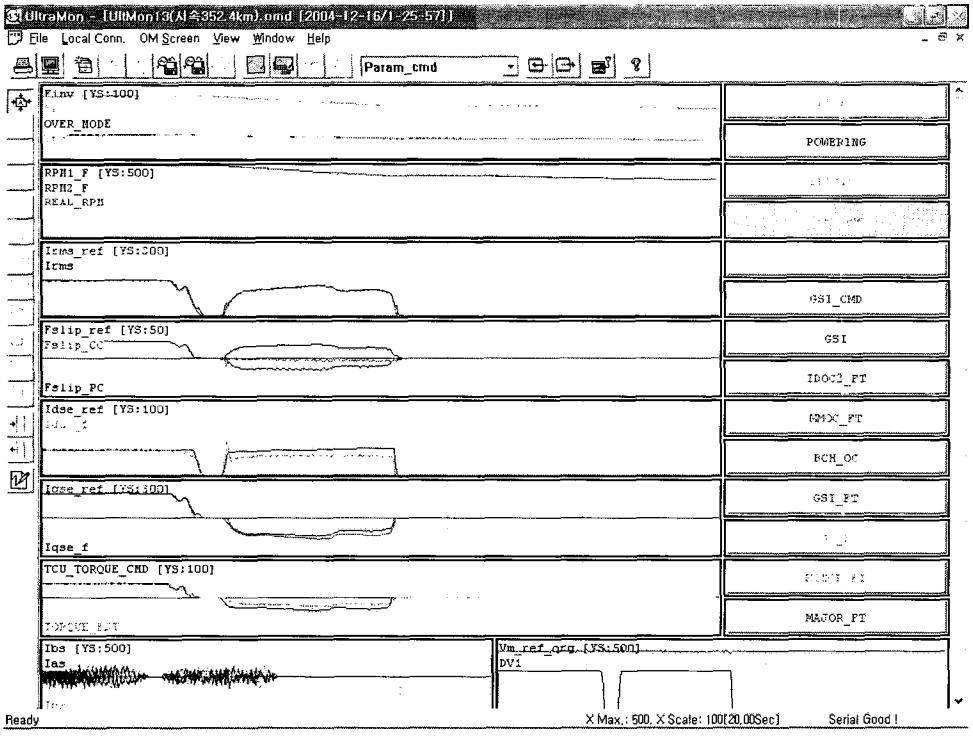


그림 3.13.2-42 352.4km/h 증속시험(광명-시목) 실시간 모니터링 화면(인버터)

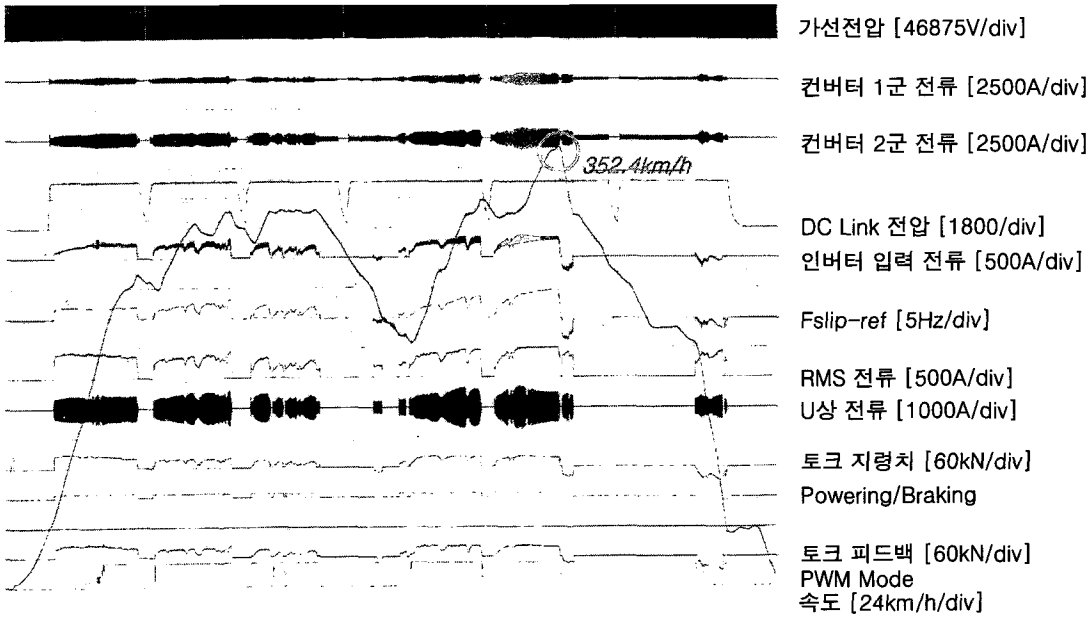


그림 3.13.2-43 352.4km/h 증속시험(광명-시목)

(2) 절연구간 진입시 전류 제한 모드 적용 Programming

(가)개요

절연구간 진입시 전류 제한 모드는 다음과 같은 이유에서 설정하게 된다. 유도전동기는 동기전동기와 달리 외부에서 여자하는 전원을 따로 공급하지 않으므로 추진제어장치의 DC 링크 전압이 확보되어 있지 않으면 절연구간에서 제동 성능을 발휘하지 못하게 된다. 그러므로 전동기의 여자 전원을 확보하기 위하여 절연구간 집입시 전류제한모드제어를 실시한다.

최초의 프로그램에서는 그림 3.13.2-44에서와 같이 VCB OFF신호가 들어오면 SOFT_STOP을 통하여 추진력의 전류를 감소하였다. 그러나 이것의 문제점은 SOFT_STOP시 DC링크 전압이 다 소비되어 절연구간에서 제동시 제동력이 나오지 않고 절연구간이 지난 구간에서 제동 성능이 발휘되므로 절연구간에서 제동력 확보가 되지 않는 것이 문제점으로 제기 된다.

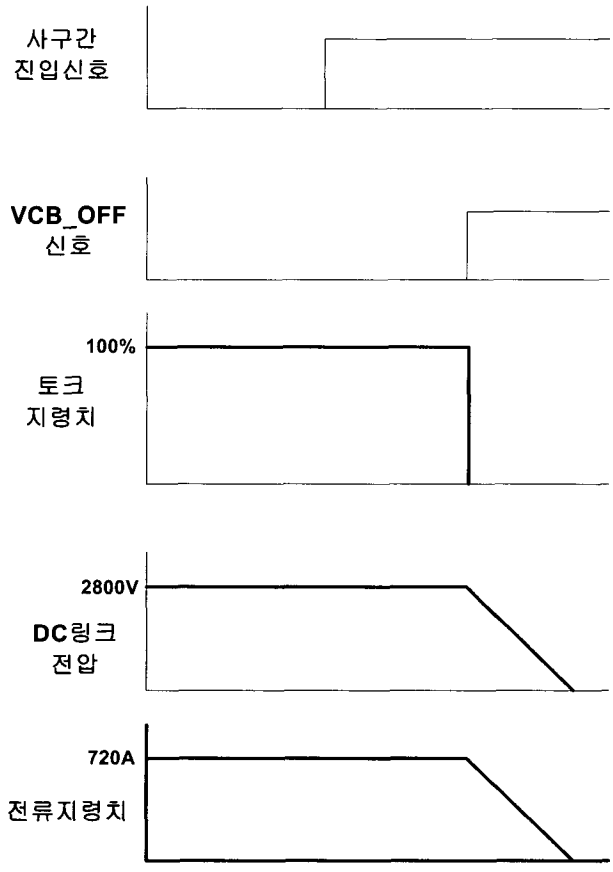


그림 3.13.2-44 VCB_OFF 신호시 SOFT_STOP으로 전류제어시 각부 파형

(나)기존방안

절연구간에서 제동력 확보를 위하여 그림 3.13.2-45와 같이 절연구간 진입신호가 오고 VCB OFF 신호가 오면 추진력의 전류를 바로 OFF시키는 방식을 적용하여 DC링크 전압이 방전되지 않도록 하여 제동력이 확보 되도록 하였습니다. 그러나 이것의 문제점은 전류가 바로 OFF 되므로 차량의 승차감(가속도)에 충격이 발생하는 것이었다.

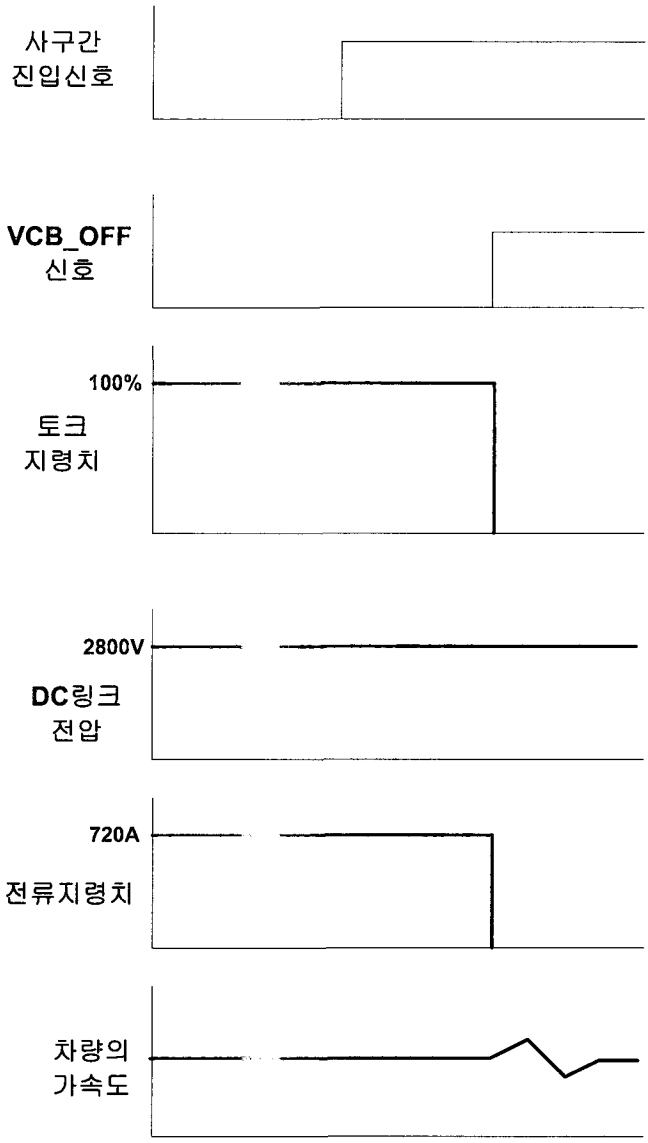


그림 3.13.2-45 VCB_OFF 신호시 토크지령치 100%로 전류제어시 각부 파형

그래서 차량에 충격이 발생하지 않으면서 DC링크 전압이 확보되도록 하는 방안으로 그림 3.13.2-46과 같이 절연구간 진입신호가 오면 토크지령치의 10%로 전류지령치를 감소하여 제어하고 VCB OFF신호가 들어오면 전류를 OFF 하도록 하여 시험한 결과 차량이 충격이 발생치 않아서 전류감소치가 타당한 것으로 사료되어 설정하게 되었다.

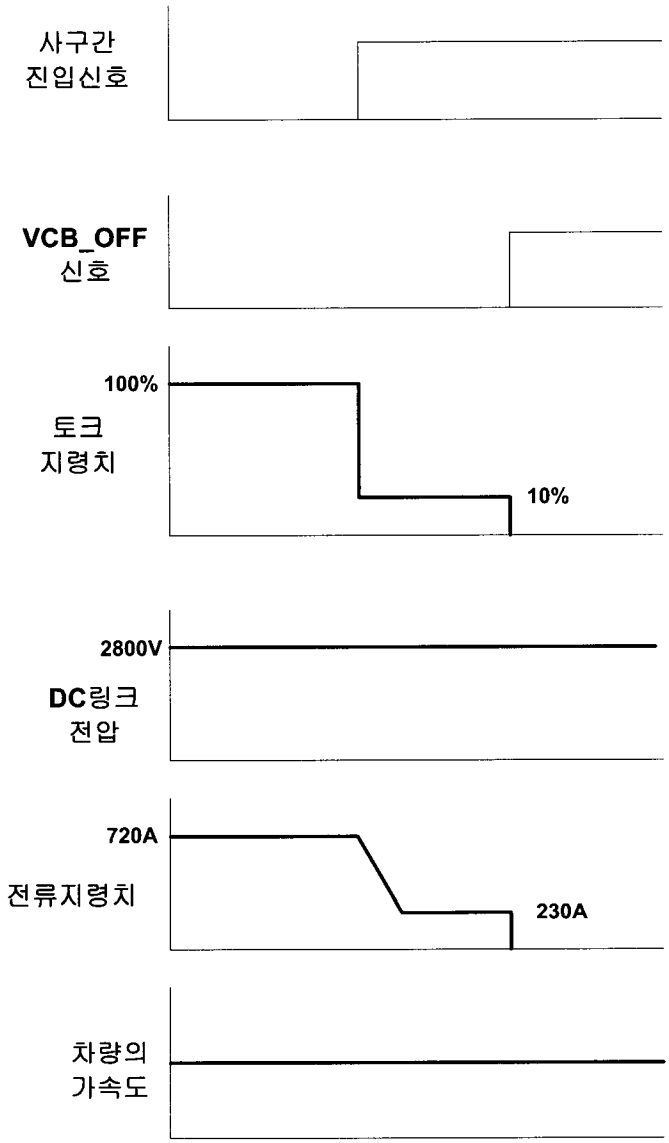


그림 3.13.2-46 절연구간 진입신호시 토크지령치 10%로 전류제어시 각부 파형

(다)개선방안

절연 구간 진입시 차량이 절연구간을 통과하기 위한 방법을 아래와 같이 제안한다.
절연구간 예고 신호를 수신하면 동시에 차량의 현재속도를 계산하고 그 속도를 기준으로 7초 동안 갈 수 있는 거리(견인력 차단지시 신호 시점 계산) M1과 2초 동안 갈 수 있는 거리(견인력 차신지시 신호 2초전 거리 계산) M2를 계산한다.
이후 주전력 변환장치는 VCB 개방시의 승차감 개선을 위해 전류제한 모드를 시작하여 전류를 10%로 줄인 후 VCB Off와 동시에 전류를 차단하게 된다.
전류제한 모드로 전류를 줄이는 시점은 다음과 같이 계산된다.

- 전류 제한모드 시점 = 1000m - (M1m + M2m)

이는 절연구간 진입시 차량의 속도와 관계없이 주전력변환장치에서 적용하는 시퀀스가 일정하여 효율적이다. 또한 원래의 목적인 승차감 확보는 물론 DC 링크의 전압방전을 최소화하는데도 효과적인 방법이다.

- 절연구간 통과하는 시퀀스 제어방법의 일정
- 견인력을 최대한 효율적 이용
- 승차감 개선

변경 내용

절연구간 선로정보를 그림 3.13.2-47에 표시하였다.
- ACCT 신호 입력시점 기준 속도을 기준으로 7초 동안 갈 수 있는 거리계산(M1)
  => 7초 동안 갈 수 있는 거리 (견인력 차단지시 신호 시점 계산)
- ACCT 신호 입력시점 기준 속도를 기준으로 2초 동안 갈 수 있는 거리계산(M2)
  => 2초 동안 갈수 있는 거리 (견인력 차신지시 신호 2초전 거리 계산)
- 전류 제한 모드 동작 시점 계산 (잔여시간 및 주행거리 계산)
  =>전류제한모드시점 = 1000m - (7초동안간 거리(M1) + 2초동안간 거리(M2))

결과적으로 그림 3.13.2-48과 같이 속도와 관련 없이 VCB가 차단되기 2초 전 부터 주전력 변환장치는 최소 견인력 10%로 유지하기 때문에 주전력 변환장치가 VCB

Off와 함께 차단되어도 승차감을 확보할 수 있는 장점이 있다.

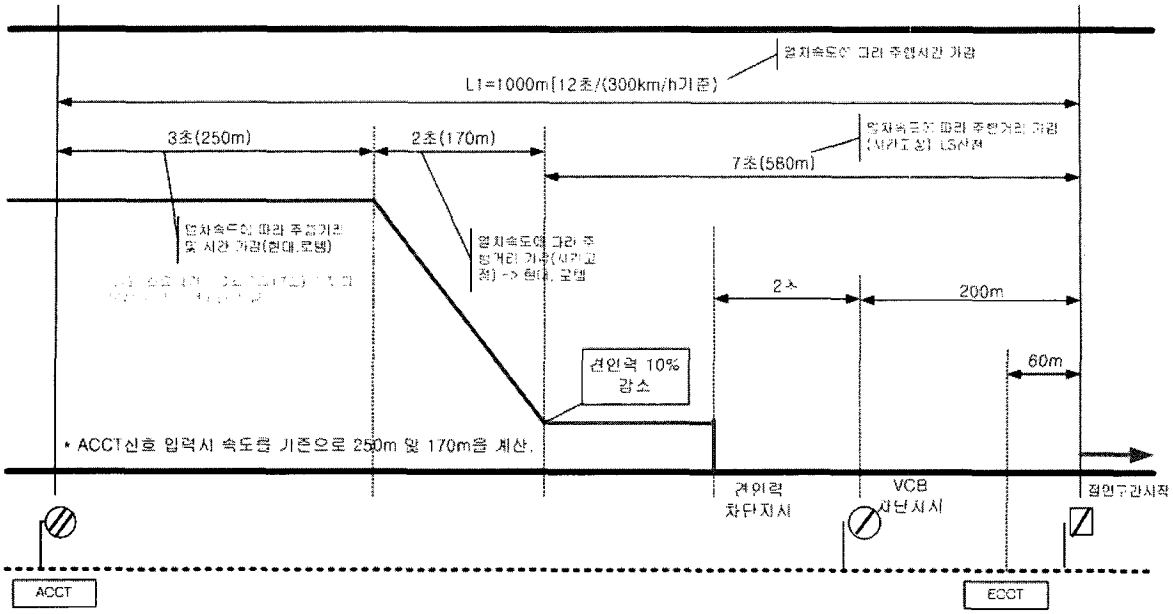


그림 3.13.2-47 절연구간 선로정보 및 제어시퀀스

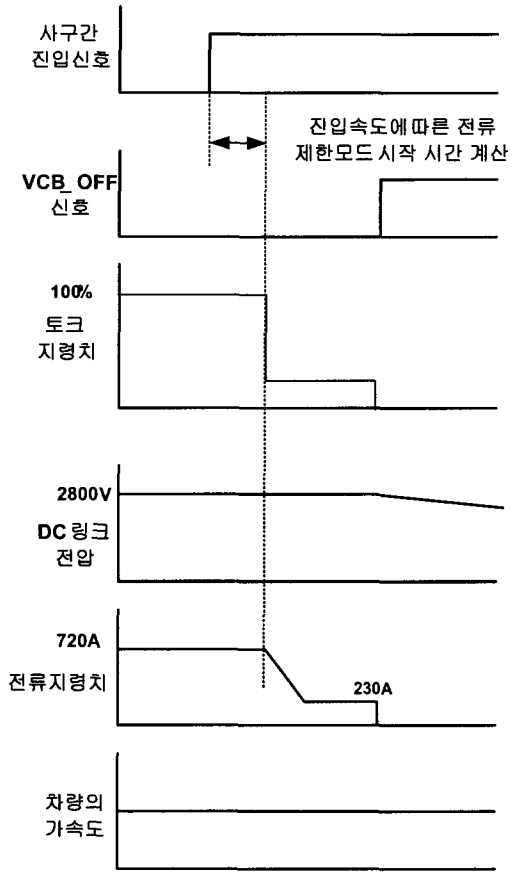


그림 3.13.2-48 절연구간 예고신호 진입시의 주전력 변환장치의 제어 시퀀스

(라)개선방안시험

절연구간에서 전류제한 시험을 실시하였다. 절연구간에서 절연구간 진입 신호시 바로 견인력을 10%로 감소하는 방안을 적용하지 않고 제안한 제어 방법을 이용하여 절연구간에서 견인력을 최대한 이용하도록 하였다. 절연구간예고 신호가 온 상태에서 견인력 감소 시간을 계산한다. 이시간은 T = 1000/(250/3.6) - 9 = 5.4[초]로 계산된다. 그림 6에서 보면 약 5.4초가 견인력을 유지하고 2초간 견인력을 줄이는 것으로 나타난다. 견인력을 10%로 유지하는 시간은 4..2초간 유지되었고, 견인력 차단 지시에 의하여 견인력이 감소되고 VCB off에 의하여 견인력이 차단되었다.

이상의 결과로 절연구간에서 전류제한 시험이 정상적으로 이루어졌음을 판단할 수 있다.

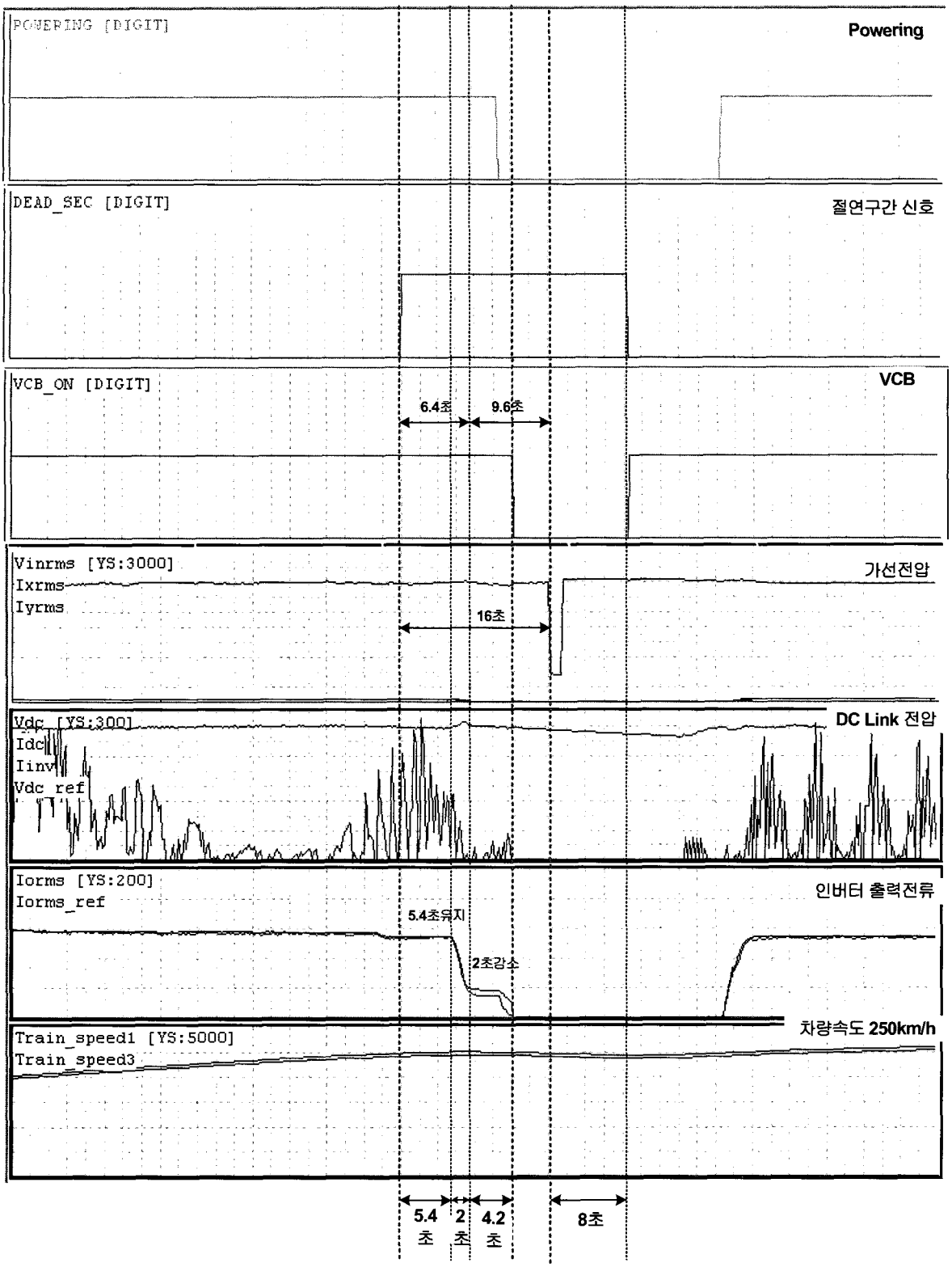


그림 3.13.2-49 절연구간에서 전류제한모드 시험 파형

제 13 절 배터리 충전기

1. 일반

한국형 고속전철의 배터리 충전기장치는 주전력 추진 제어장치 인버터, 보조전원 장치와 같은 전력 변환 장치로서 고속전철차량의 저압 측 부하에 전원을 공급하는 배터리를 충전하고, 부하측에 전원을 공급하는 장치이다. 본 과제에서는 계속적인 시운전을 통하여 배터리 충전기 자체의 신뢰성을 입증하는 것을 목표로 하고 있으며, 시운전 시에 발생되어지는 문제점을 점차적으로 보완하여 배터리 충전기를 안정화시켰다.

가. 당해연도 사업 목표

(1) 제어기 안정화 시험

(2) 전력 회로 보강 시험

(3) TCN Network 연계 시험

나. 당해년도 추진 내용

(1) 프로그램 보완 시험

(가) 입력 전원의 불안정에 대한 프로그램 보완 시험

(나) Soft Start 기능 구현 시험

(2) 제어기 노이즈 인입 억제 보완 시험

(가) 디지털 제어기 및 PWM 제어기의 LC 필터 추가 및 코딩

(3) TCN Network 연계 시험

(가) SCU나 VCU와의 연계 시험

(4) 전력회로의 안정화 및 방열 능력 개선을 위한 노력

(가) 배터리 팩 병렬연결에 대한 과온 대책

(나) 배터리 충전기 외함1과 Power Stack사이의 틈 Shielding 처리

(다) 냉각 성능향상을 위한 Air Flow개선

(라) 객차용 50kW 배터리 충전기의 과온

(마) 충전기 입력측 전원 확인 (보조전원 장치 출력 670Vdc)

(바) 저손실 New IGBT 적용 시험 및 온도 상승 시험

2. 배터리 충전기 안정화 시험

가. 프로그램 보완 시험

(1) 입력전원의 불안정에 대한 프로그램 보완 시험

고압의 직류전원 (DC 670V)을 받아 차량에 필요한 직류전원을 공급하는 충전기는 정차시나 시운전 시에 외부의 고장으로 보조 전원 장치의 입력전원이 불안정해질 경우 배터리 충전기가 오동작을 하는 경우가 있기 때문에 충전기 입력전원 확인, SCU의 기동 신호 확인등 충전기가 기동하기 위한 조건들이 수십초 이상 유지되었을 때 충전기 기동 조건이 안정화 되었다고 판단하여 배터리 충전기의 기동 동작을 정상적으로 진행하도록 프로그램을 보완하였다.

(2) Soft Start 기능 구현 시험

기존에는 배터리 충전기의 초기 기동 시 PWM IC에 의해 Soft Start를 하여 초기 돌입 전류를 제한 할 수 있었으나, 전압 및 전류 기준치에 해당하는 Duty에 도달하는 시간이 수초 내에 이루어져 시운전 중 사구간을 통과하는 과도상태에서 배터리 충전기가 불안정하게 동작되는 경우가 발생하였다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 충전기 기동 시에 전압 및 전류의 기준치를 계단파형으로 인가하던 것을 그림 3.14.2-1과 같이 전압 및 전류 기준치를 Ramp 파형 형태로 인가하도록 하여 사구간을 통과하는 과도상태에서도 배터리 충전기가 안정적으로 동작하도록 만들었다.

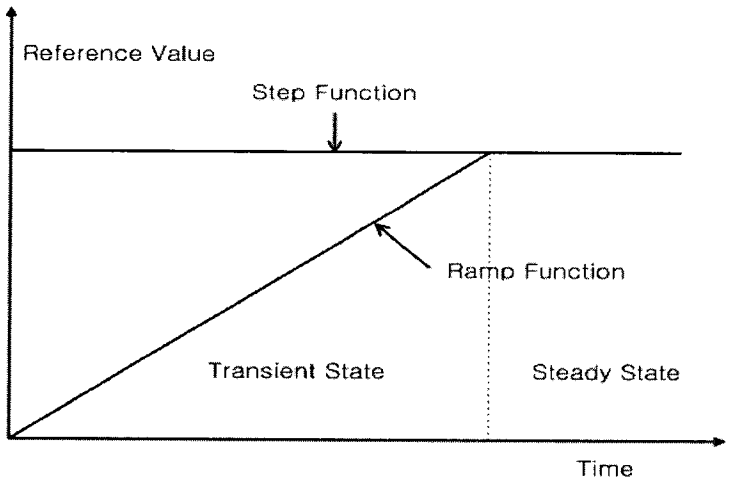


그림 3.14.2-1 전압 및 전류 기준치

그림 3.14.2-1과 같이 과도상태에서 전류 및 전압 기준치가 천천히 증가하기 때문에 기동 초기에서 배터리 팩에서 부하 측에 전원을 Backup하게 된다. 그러나 충전기가 정상 상태가 되면 충전기에서 차량 측 부하 및 배터리의 충전을 담당하게 된다.

나. 제어기 노이즈 인입 억제 보완 시험

(1) 디지털 제어기 및 PWM 제어기의 LC 필터 추가 및 코팅

디지털 제어기는 배터리 충전기에서 차량과의 인터페이스를 관장하고, 각종 제어 기준치를 하위의 PWM제어기로 전달하는 역할을 하며, 또한 배터리 충전기의 시퀀스를 제어하고, RS-232통신으로 노트북과 통신을 하여 충전기의 상태를 모니터링 할 수 있게 한다.

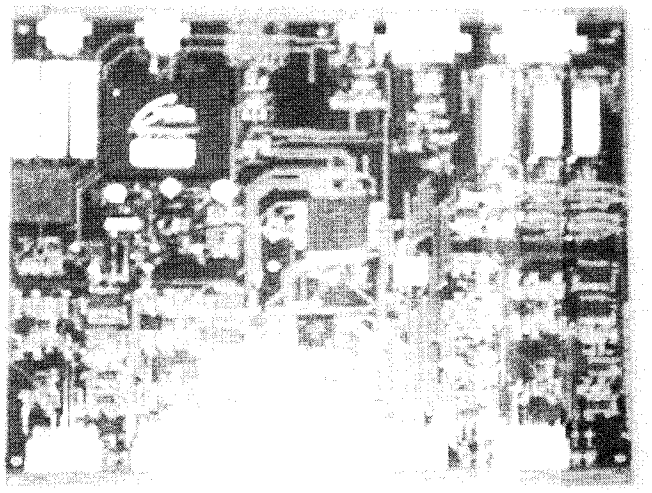


그림 3.14.2.-2 디지털 제어기 전면

이러한 역할을 하는 디지털 제어기의 제어전원은 배터리 충전기의 출력 단에서 받아오고, 이를 디지털 제어기 내부의 제어전원용 DC/DC 컨버터로 배터리 전압 +72V를 +15V로 변환하여 제어 전원으로 쓰고 있다. 배터리 충전기의 특성상 자신의 출력을 다시 받아와서 제어 전원으로 쓰고 있는 디지털 제어기는 배터리의 (-) 부분이 차량 프레임과 COMMON 되어 있는 고속 전철의 구조에서 차량 프레임을 통해 돌아다니는 차량 노이즈가 유입될 수 있는 취약한 구조를 가지고 있다. 또한,

제어보드가 외부에 장기간 노출됨으로써 외기 온도 및 습기, 먼지 그리고, 주행 중에 생성되는 철가루가 제어보드에 쌓이게 됨으로써 제어기의 각종 중요 IC가 오동작을 일으키게 되었다. 그로인해 디지털 제어기가 오동작을 하게 되면 PWM 제어기에 전압 및 전류 기준치가 최대가 되어 순간적으로 배터리 충전기의 파워 스위칭 소자들은 모두 도통하게 되는 경우가 발생하여 IGBT 및 트랜스포머 2차측의 파워 다이오드들이 소손되는 경우가 발생하게 되었다.

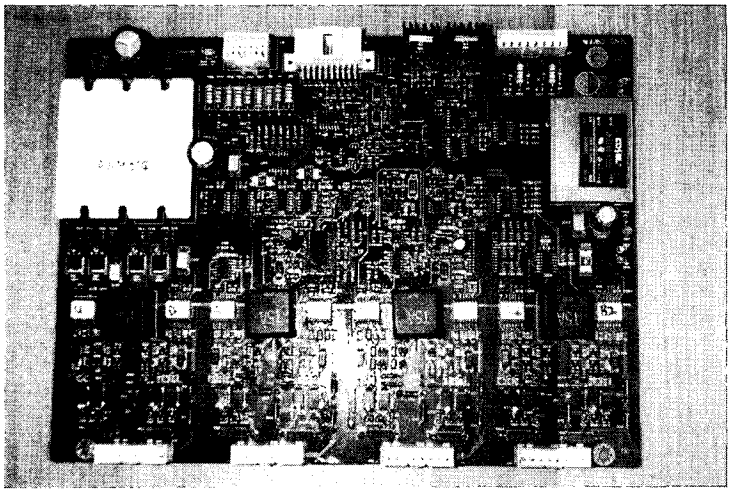


그림 3.14.2-3 PWM 제어기 사진

PWM 제어기는 배터리 충전기에서 파워 소자를 구동 시키는 Drive 회로와 배터리 충전을 위한 전압, 전류 아날로그 제어기를 가지고 있다. 이러한 역할을 하는 PWM제어기의 제어전원을 만들어 주는 DC/DC 컨버터가 한여름 대낮에 70℃까지 올라가는 차체의 내부에 있으면서 DC/DC 컨버터의 외함 온도가 보증 온도보다 더 올라가고 이로 인해 출력 전압이 용량부족으로 불안정하게 됨으로써 오동작이 발생하였다. 이와 같이 제어전원의 불안정과 먼지나 습기와 같은 이물질에 의한 제어기 오동작을 막기 위하여 제어전원 입력 단에 LC필터를 추가 하였으며, 디지털 제어기와 PWM 제어기를 세척 및 코팅 하였다. 또한, 제어전원용 DC/DC 컨버터의 방열을 돕기 위하여 DC/DC 컨버터 외함에 방열판을 취부하였다.

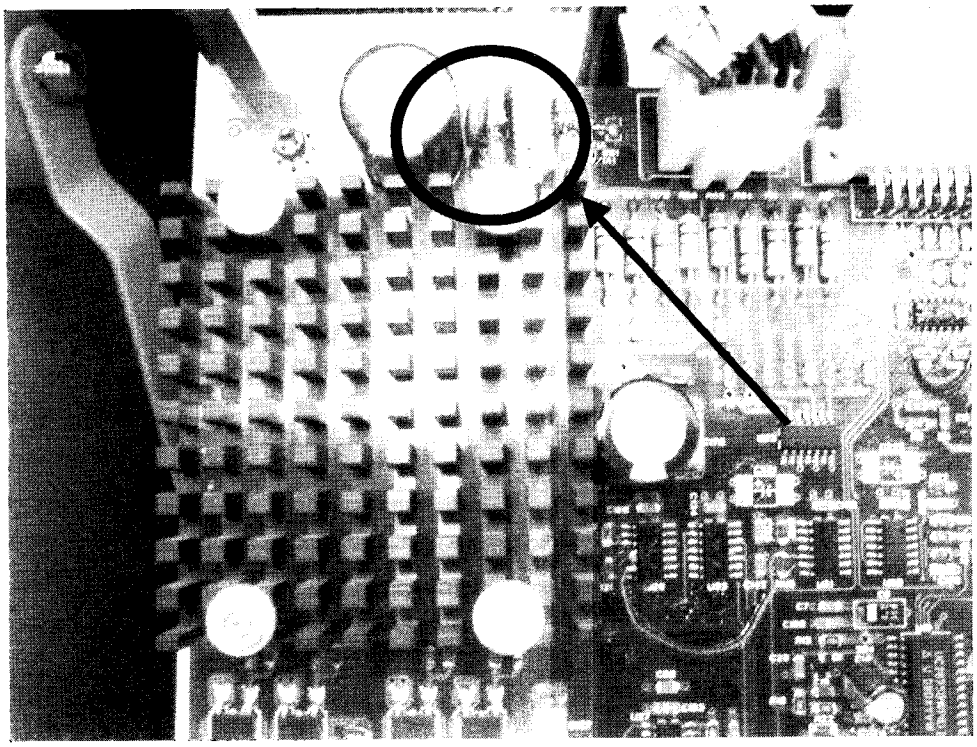


그림 3.14.2-4 PWM 제어기 전원 입력단의 LC필터 취부 모습

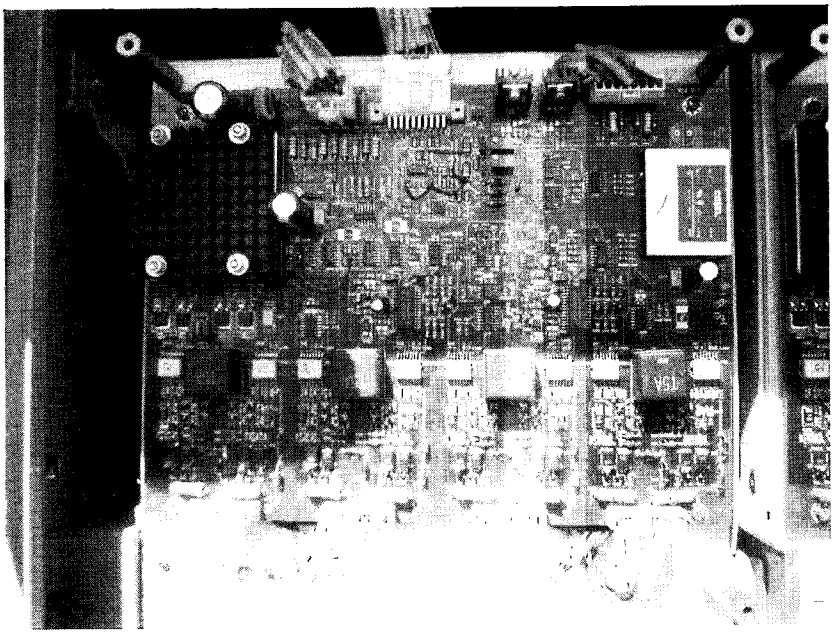


그림 3.14.2-5 PWM제어기가 코팅 되어진 모습

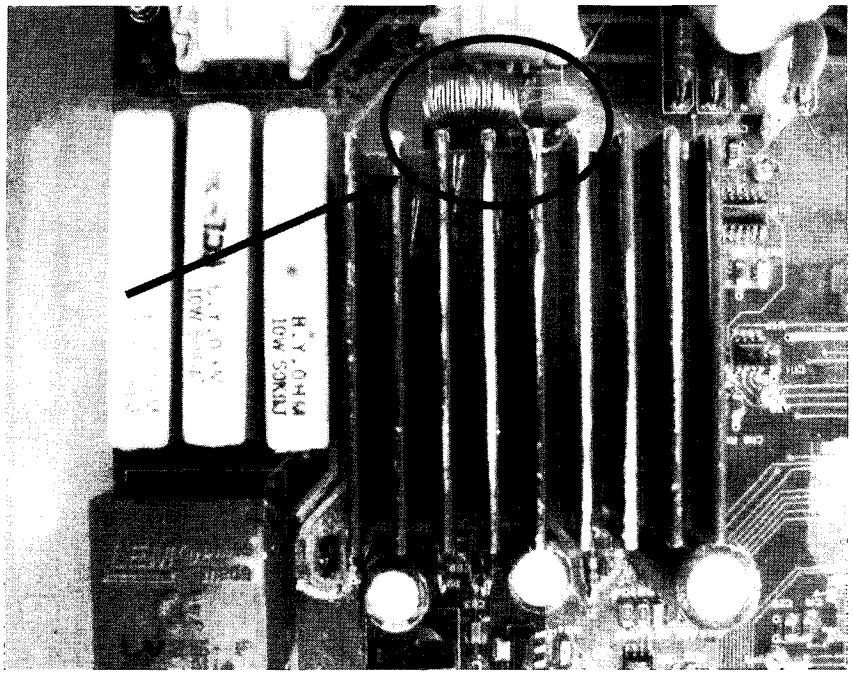


그림 3.14.2-6 디지털제어기 전원 입력단의 LC필터 취부 모습

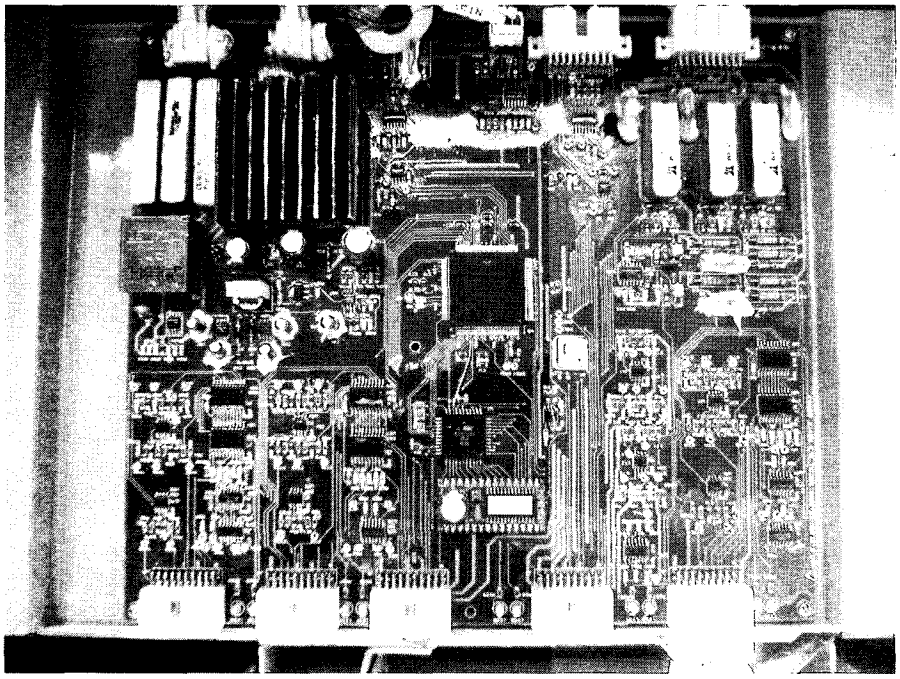


그림 3.14.2-7 디지털 제어기 코팅 되어진 모습

다. TCN Network 연계 시험

(1) SCU나 VCU와의 연계 시험

배터리 충전기는 차량의 SCU나 VCU에서 충전기 기동/정지 신호 및 배터리 과충전 신호를 +72V 접점 신호를 받고, 배터리 충전기의 자체 고장 신호를 SCU나 VCU에게 +72V 접점 신호로 전달하도록 되어 있다. 그림 3.14.2-8은 배터리 충전기와 SCU, VCU간의 신호 정의도이다.

(가) 차량의 SCU나 VCU에서 배터리 충전기로 입력되어지는 신호

① 배터리 충전기 On제어 신호

- Digital Signal (72V, Wire Connection), On 제어 시 "1" for 동력차 10kW 모듈
- Digital Signal (72V, Wire Connection), On 제어 시 "1" for 객차 50kW 모듈

② 배터리 과전류 검지신호

- Digital Signal (72V, Wire Connection), 정상 시 "1" for 동력차 10kW 모듈
- Digital Signal (72V, Wire Connection), 정상 시 "1" for 객차 50kW 모듈

(나) 배터리 충전기에서 SCU나 VCU로 출력되어지는 신호

① 동력차 10kW 모듈 고장 신호

- 5KW소 모듈 No.1 고장 검지 시 "1" 출력
- 5KW소 모듈 No.2 고장 검지 시 "1" 출력

② 객차 50kW 모듈 고장 신호

- 정상 신호 : 5kW소 모듈 10개 또는 9개 동작 시 "1" 출력
- Degrade Mode 신호 : 5kW 소 모듈 8개 또는 7개 동작 시 "1" 출력
- Fault Mode 신호 : 5kW소 모듈 4개 이상 고장 시 "1" 출력

위와 같은 차량의 SCU와 VCU의 연계 시험은 시운전을 하지 않는 평일에 배터리 충전기의 모의 고장을 발생 시켜 SCU나 VCU가 검지하는지 확인하였다.

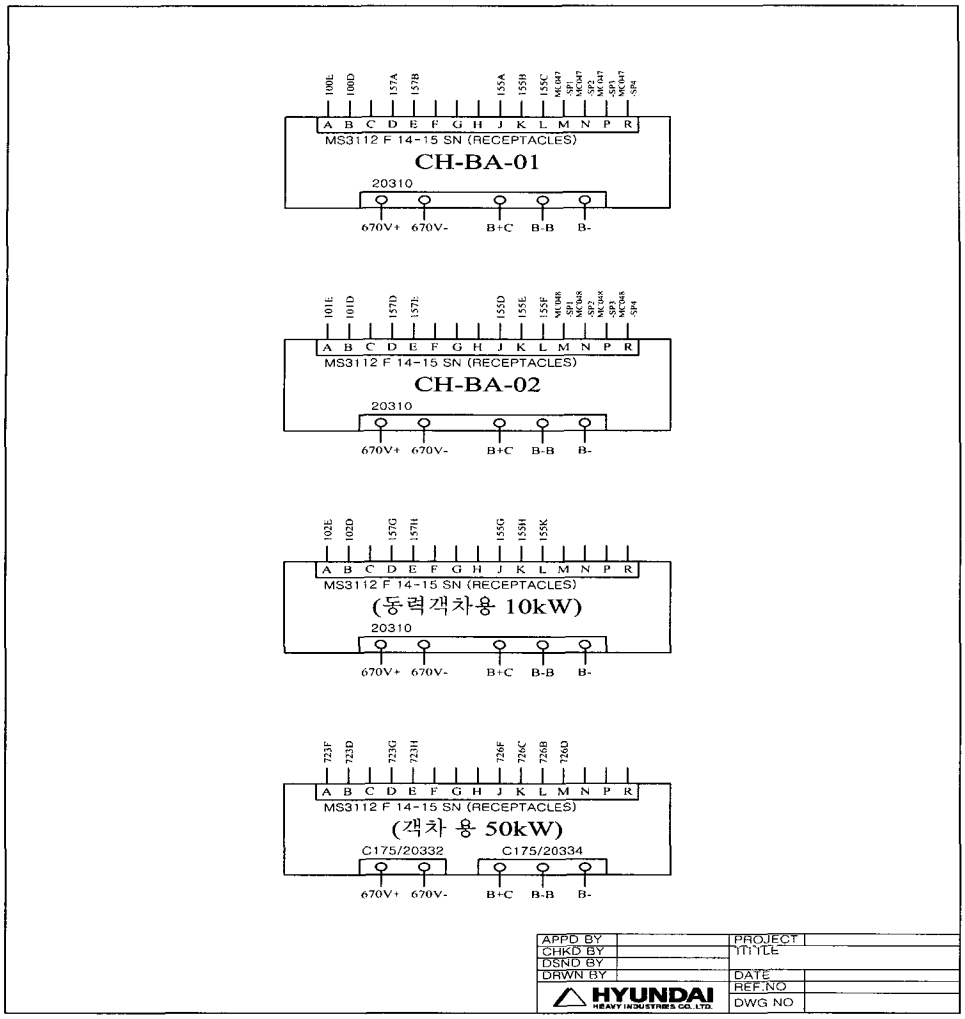


그림 3.14.2-8 객차, 동력차와 SCU, VCU간의 신호 정의도

라. 전력회로의 안정화 및 방열 능력 개선을 위한 노력

(1) 배터리 팩 병렬연결에 대한 과온 대책

기존에는 그림 3.14.2-9과 같이 Power Stack의 온도를 검지하여 80℃이상 과열시는 충전 전류 기준치를 단계적으로 줄여 Stack의 온도를 떨어뜨리고, 60℃이하로 냉각되면 다시 충전 전류 기준치를 단계적으로 올리도록 제어하였다.

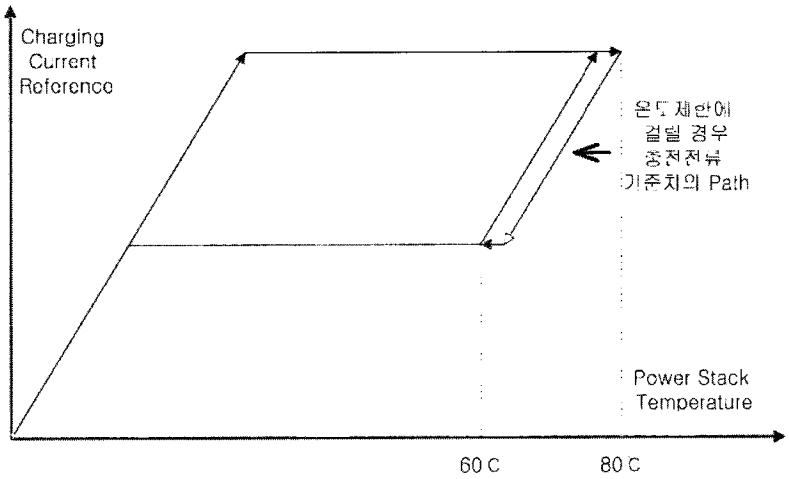


그림 3.14.2-9 온도에 따른 충전 전류 기준치의 변화

그러나 그림 3.14.2-10에서 보는 바와 같이 온도 센서의 위치가 Power Stack의 방열판 중앙에 자리 잡고 있기 때문에 중앙의 온도센서가 80℃일 경우 방열판의 가장자리의 IGBT 내부 온도는 100℃~ 110℃에 이를게 될 것이고. IGBT의 최대 Junction 온도가 125℃인 것을 감안 한다면 배터리 충전기의 보호를 위해서 충전기의 충전 전류를 감소 시켜야만 한다.

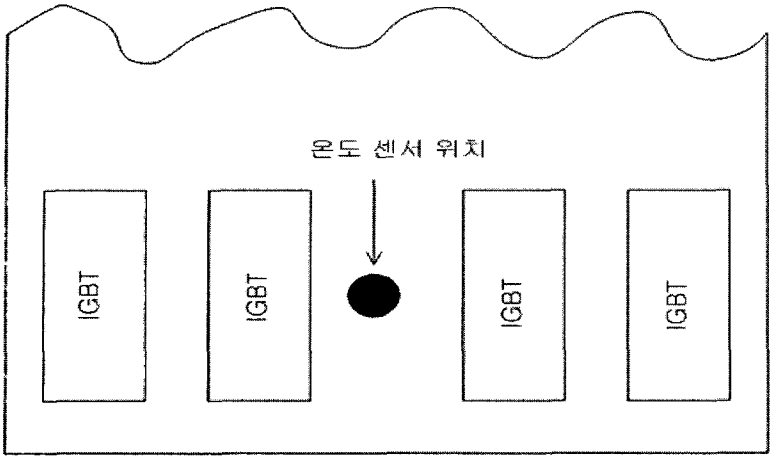


그림 3.14.2-10 온도센서의 위치

더군다나 그림 3.14.2-11과 같이 차량의 배터리 팩을 Common 연결하게 되면 객차 및 동력차, 동력객차의 배터리 충전기는 제어기가 각각 있는 상태에서 병렬 운전을 하게 된다. 단독 운전을 하도록 설계되어 있는 배터리 충전기가 병렬 운전을 하게 되면, 출력 전압이 0.1V라도 높은 배터리 충전기가 전체 차량의 부하 및 충전 전류를 감당하게 된다. 차량 전체의 충전 전류 및 부하 전류를 분담하고 있는 배터리 충전기는 Stack 과온 보호를 위한 알고리즘에 따른 충전 전류 감소가 있더라도 부하 측을 통해 흐르는 전류가 줄어들지 않기 때문에 Stack의 온도는 내려가지 않으며, 이로 인해 IGBT의 소손을 가져오게 된다. 이와 같은 과온으로 인한 IGBT의 소손은 객차 및 동력객차, 동력차의 배터리 충전기 각각에 연쇄적으로 일어나게 되며, 결과적으로 차량 대부분의 배터리 충전기의 소손을 가져올 수도 있게 된다.

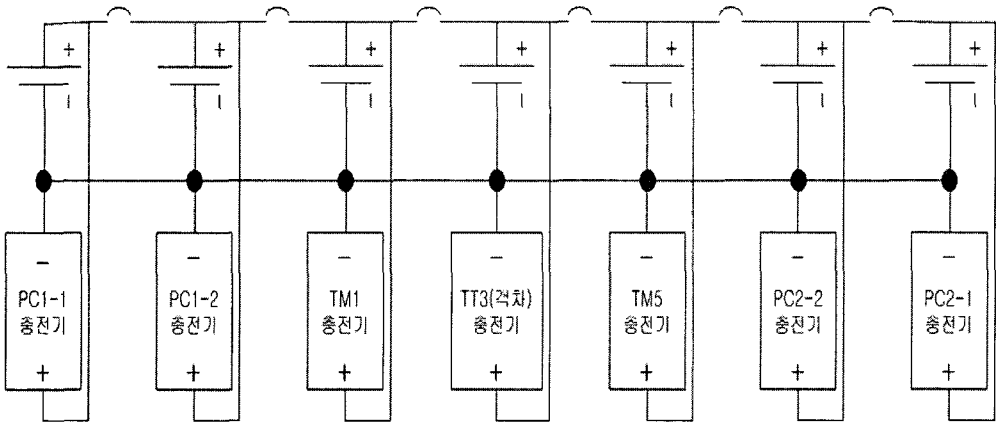


그림 3.14.2-11 차량 전체 배터리 팩이 Common 되어진 상태

병렬 운전을 하기 위해서는 1대의 제어기가 모든 배터리 충전기의 동작을 제어하거나, 제어기가 여러 대인 경우에는 서로 통신을 하여 각각의 배터리 충전기의 출력전압을 공유하여야 한다. 공유되어진 출력전압은 각각의 제어기에서 해당 배터리 충전기의 출력전압을 제어하도록 하여 출력전압을 일정하게 제어되도록 하여야 한다.

위에서 설명되어진 바와 같이 배터리 팩의 Common으로 인한 배터리 충전기들의 소손을 막기 위해서는 전체 차량의 그림 3.14.2-12와 같이 세부분으로 나누어야 한다.

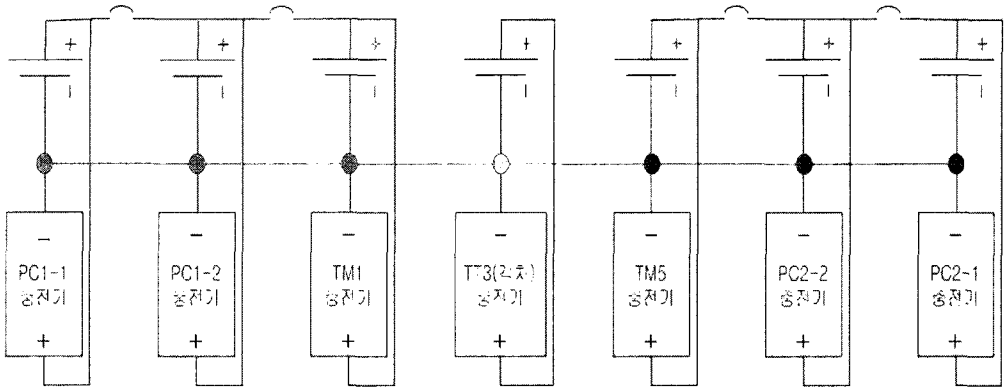


그림 3.14.2-12 차량 전체 배터리 팩을 세부분으로 분리한 상태

세부분으로 나눠진 부분 중 객차의 배터리 충전기는 주위 온도가 높은 여름철에서도 IGBT의 소손 없이 정상 출력을 내고 있다. 그러나 나머지 PC1과 TM1의 배터리 팩 Common상태와 PC2와 TM5의 배터리 팩 Common 상태는 배터리 충전기의 Stack 온도에 따른 충전 전류 기준치 제어 방법이 큰 효력을 발휘하지 못하는 경우가 있었다. 그 이유 역시 위에서 언급되어진 배터리 팩의 Common과 배터리 팩의 노후 상태로 인한 과방전 상태가 각각의 배터리 충전기의 정격 이상의 전류를 부하 측 전원 Path를 통하여 흐르게 함으로써 다시 열로 인한 IGBT의 소손을 가져오게 되었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 현재 (-)측으로 분리되어 있는 충전 전류단자와 부하전류 단자를 배터리 충전기에 있는 전류 센서측 단자로 모두 Common하여 배터리 충전기의 출력 전류를 제한하고, Power Stack의 온도에 따른 충전 전류 제어 방식을 적용하여 배터리 충전기를 안정화 시킬 수가 있었다.

(2) 배터리 충전기 외함과 Power Stack사이의 틈 Shielding 처리

동력차 및 동력 객차 그리고 객차의 외함과 Power Stack사이에는 구조 설계 오차로 인한 약간의 틈이 발생하여 냉각을 위한 팬의 풍속과 풍량을 저하 시키고 있다. 발열원인 IGBT, 고주파변압기, Diode등을 냉각하기 위해서 절대적인 역할을 하는 Fan의 풍량과 풍속의 누설은 효과적인 방열 기능을 떨어뜨리게 된다. 이에 객차의 배터리 충전기의 경우는 5개의 Power Stack 사이마다 Rubber로 Shielding하였으며, 차량 측에서 객차 배터리 충전기로 들어오는 차량 송풍 공기의 누설을 막기 위해 절연 Tape과 스펀지를 이용하여 Packing 처리를 하였다. 그리고, 동력차와 동력 객차의 배터리 충전기의 경우는 외함과 Power Stack 사이의 틈을 절연 Tape으로 Shielding하였다.

(3) 냉각 성능향상을 위한 Air Flow개선

기존의 배터리 충전기는 방열 특성이 부족하여 혹서기에 빈번한 고장을 일으켰다. 하지만, 냉각을 위한 방열판의 재설계 및 보완 그리고, 객차 배터리 충전기의 경우 냉각용 팬을 추가함으로써 2004년도 혹서기 이후에는 냉각 성능 부족으로 인한 고장이 단 한 번도 발생되지 않았으며, 2005년도 혹서기에도 실차 시운전동안 냉각 성능 부족으로 인한 고장이 단 한건도 발생되지 않았다. 그리고 동력차 (PC1, PC2)의 차량 하부에 공기 유입구를 추가적으로 만들어 현재 실차 시운전하고 있다. 그림 3.14.2-13은 Air Flow를 개선하기 위해 만들어진 차량의 공기 유입구를 나타내고 있다.

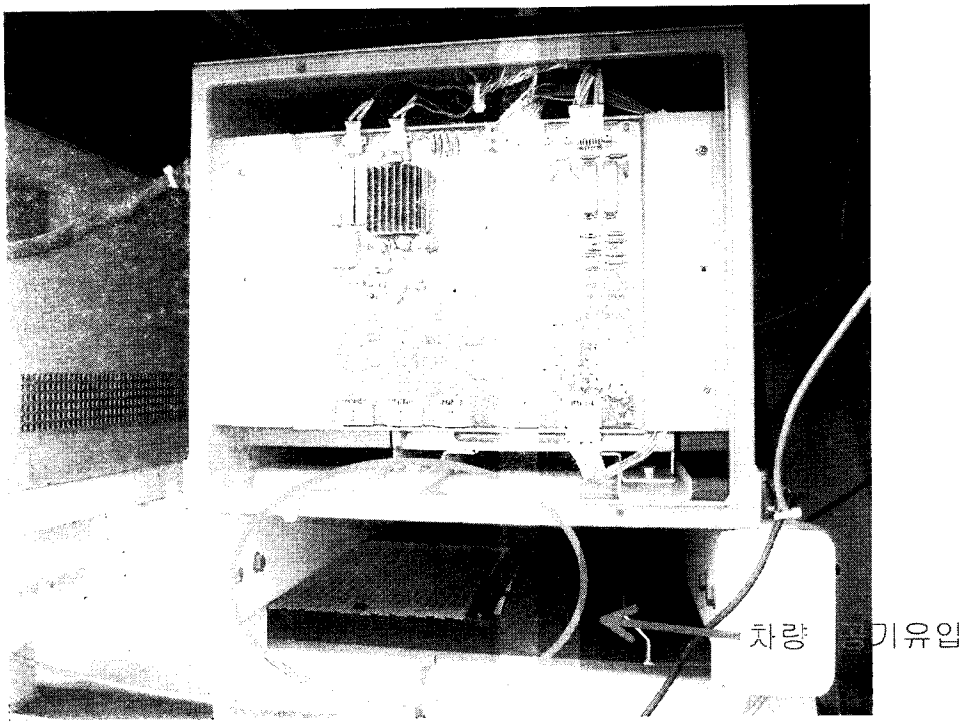


그림 3.14.2-13 Air Flow를 개선하기 위한 공기 유입구 모습(PC2)

(4) 객차용 50kW 배터리 충전기의 과온

객차용 50kW 배터리 충전기는 여타 동력차나 동력객차에 있는 10kW 배터리 충전기처럼 자신의 출력을 받아 Power Stack 냉각용 팬을 구동하는 것과는 달리 차량 측에서 냉각용 공기를 공급받고 있다. 차량 측에서 공급되어지는 공기는 차량에 있는 보조전원 장치인 CVCF에서 전원을 공급받아 차량에 부착되어진 팬을 구동시켜 유입되는데, 이 팬의 풍속이 50kW 배터리 충전기를 냉각시키기에는 풍속이 낮고, 여압장치의 고장으로 인하여 냉각에 필요한 차가운 공기가 유입되는 것이 아니라 외기의 더운 공기를 송풍하기 때문에 냉각을 위한 공기로써의 역할이 부족하였으며, 또한 배터리 충전기의 초기 외함 설계 오차로 인한 구조적 틈으로 인해 팬의 풍량과 풍속에 누설이 생기게 되어 냉각 능력이 현저히 떨어지게 되었다. 이와 같은 악조건에서 외함 설계 오차로 인한 누설부분을 보완하기 위하여 객차 50kW 배터리 충전기의 외함에 그림 3.14.2-14와 같이 팬을 설치하여 필요한 풍량과 풍속이 되도록 하였다.

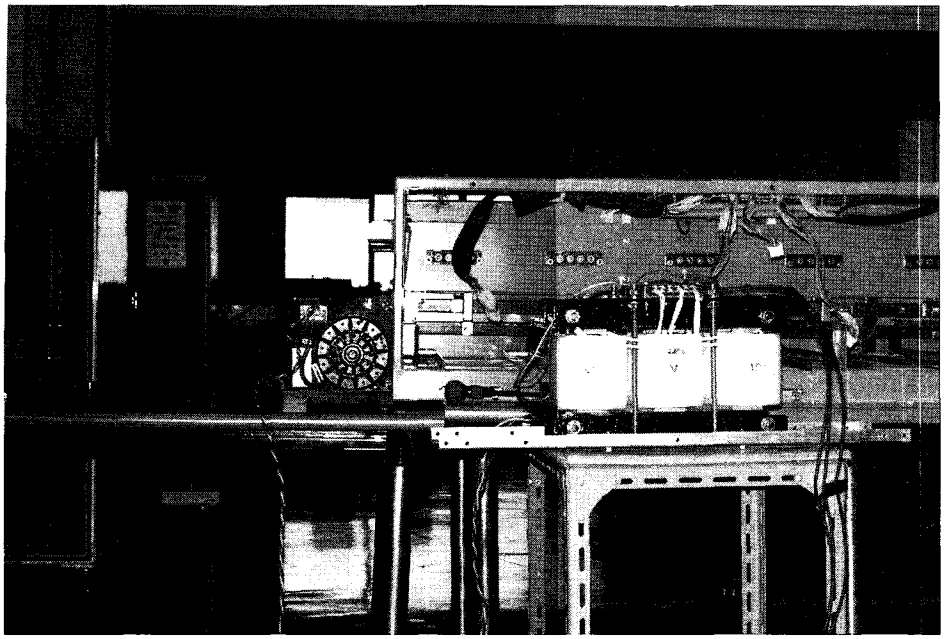


그림 3.14.2-14 객차 배터리 충전기 외함에 설치된 냉각용 팬

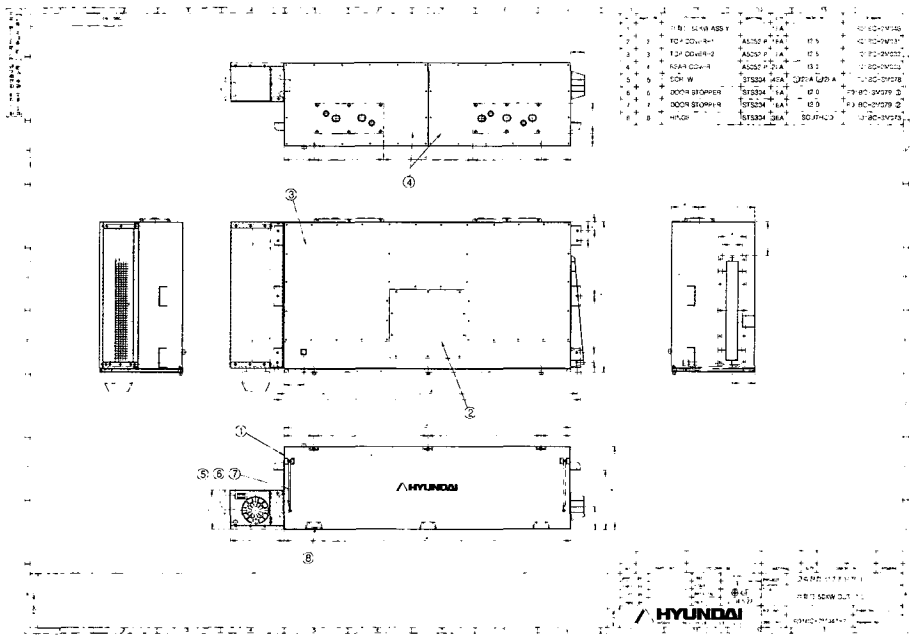


그림 3.14.2-15 객차 냉각용 팬 외함 부착 설계도면

추가로 설치되어진 팬의 전원공급을 위하여 CVCF 출력 전압을 강압 시키는 강압변압기와 PWM 파형을 정현파를 만들기 위한 LC필터를 설계 부착하여 냉각용 팬에 전원을 공급하였고, 그 결과 10kW 모듈 5개중 가장 열에 취약한 스택의 온도

상승치를 10℃이상 줄일 수가 있었고, 출력 전류를 상승 시켰으며, 배터리 충전기의 스택 최고 온도가 80℃를 넘지 않게 되었다.

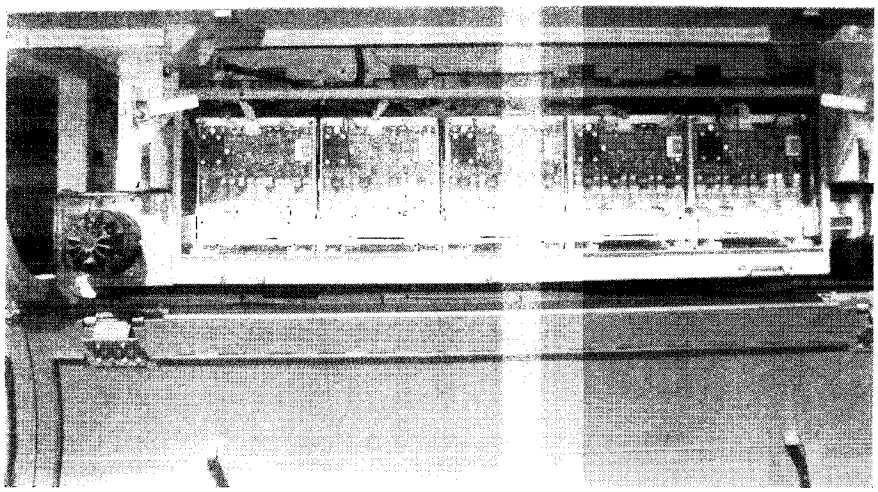


그림 3.14.2-16 냉각용 팬 취부 모습

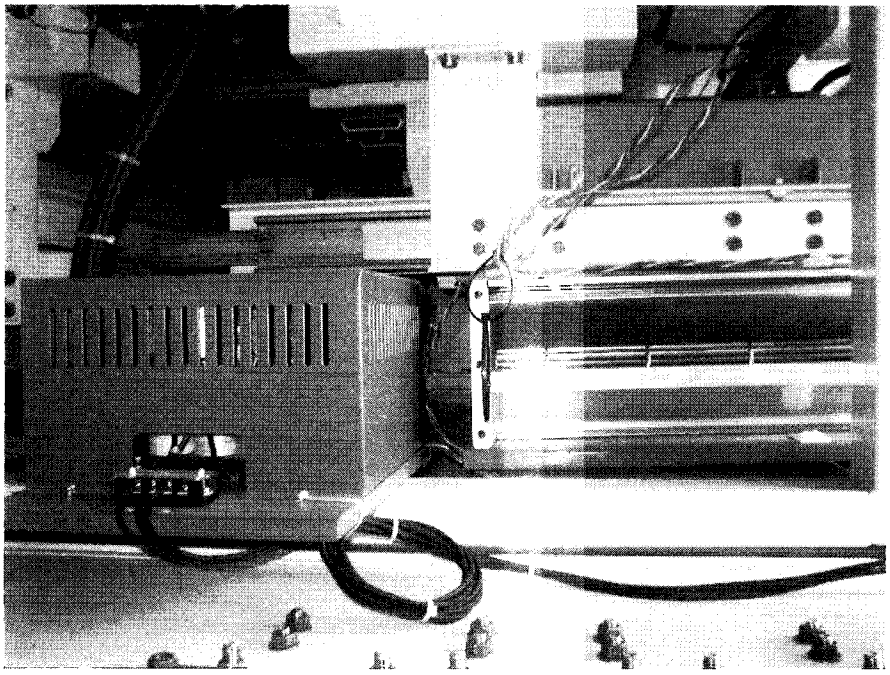


그림 3.14.2-17 냉각용 팬을 위한 LC 필터 박스

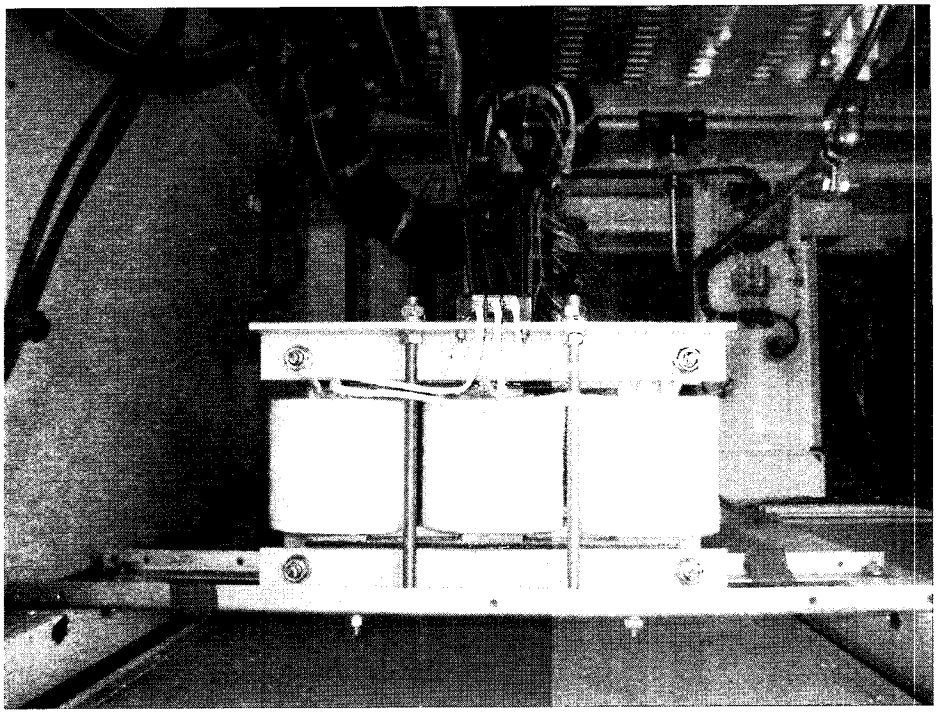


그림 3.14.2-18 냉각용 팬을 위한 강압용 트랜스포머

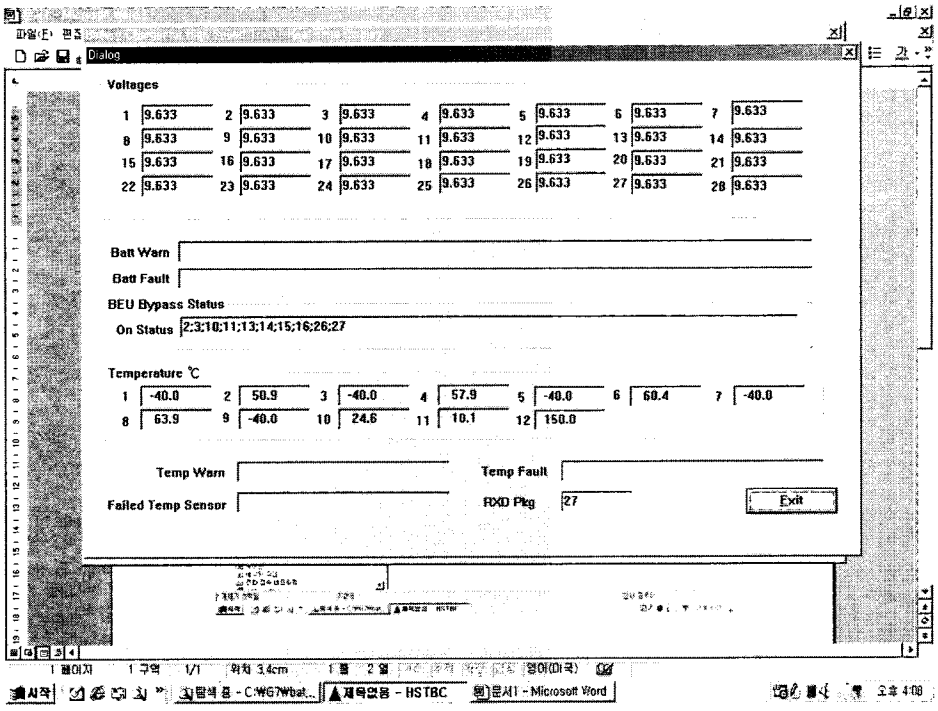


그림 3.14.2-19 객차 50kW 배터리 충전기 스택 온도

그림 3.14.2-19는 각 스택의 온도를 표시하는 모니터링 화면을 나타낸 것으로 최고 온도가 63.9℃임을 나타내고 있다.

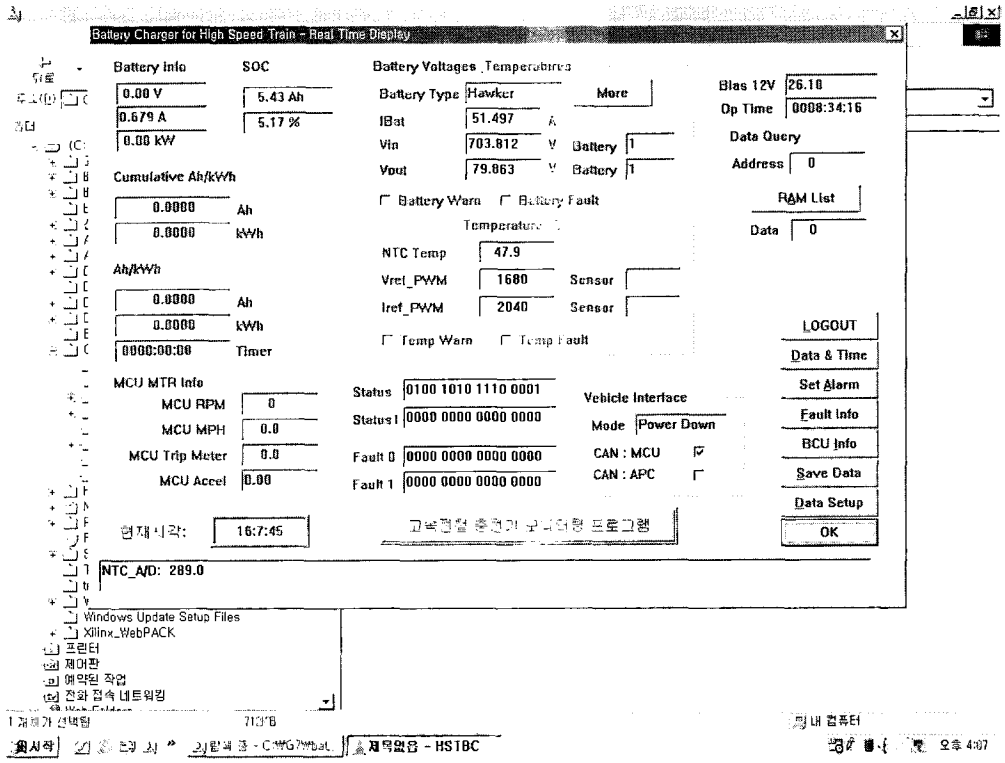


그림 3.14.2-20 객차 50kW 배터리 충전기 모니터링 화면

그림 3.14.2-20은 객차 50kW 배터리 충전기에 냉각용 팬을 설치한 후 출력 전류 기준치를 높여 동작 시킨 화면이다. 화면에 나타내어진 "IBAT" 창에 값은 동력차 기준으로 되어 있어 현시 치에 2배가 실제 배터리 충전기의 출력 전류가 된다. 화면에서는 전압 기준치에 도달되어서 배터리 충전기의 출력 전류가 제한이 되었다. 팬의 설치 후 출력 전류는 200A이상 출력 전류 기준치를 올릴 수가 있었으며, 단계적으로 출력 전류를 더 올릴 수가 있었다.

(5) 충전기 입력측 전원 확인 (보조전원 장치 출력 670VDC)

보조전원 장치에서 670VDC를 받아 72VDC로 변환하는 배터리 충전기는 차량의 모든 제어전원을 공급하고, 차량의 배터리를 충전하는 역할을 한다. 이 배터리 충전기의 입력 전원인 보조전원 장치의 670VDC의 품질은 배터리 충전기의 동작에 큰 영향을 주게 된다. 보조 전원 장치의 출력인 670VDC가 흔들리게 된다면 배터리 충전기가 감당 할 수 있는 입력 범위를 넘어가게 될 것이고, 이로 인해 배터리 충전기 내부의 전력 소자가 소손되는 경우가 발생하게 된다. 그림 3.14.2-21은 보

조 전원장치만이 기동하였을 때 파형으로 그림 3.14.2-22와 비교하였을 때 보조 전원 장치의 출력 전압이 초충전-마그네틱 접촉기 ON- 컨버터링의 순서대로 아주 양호한 것을 알 수가 있다.

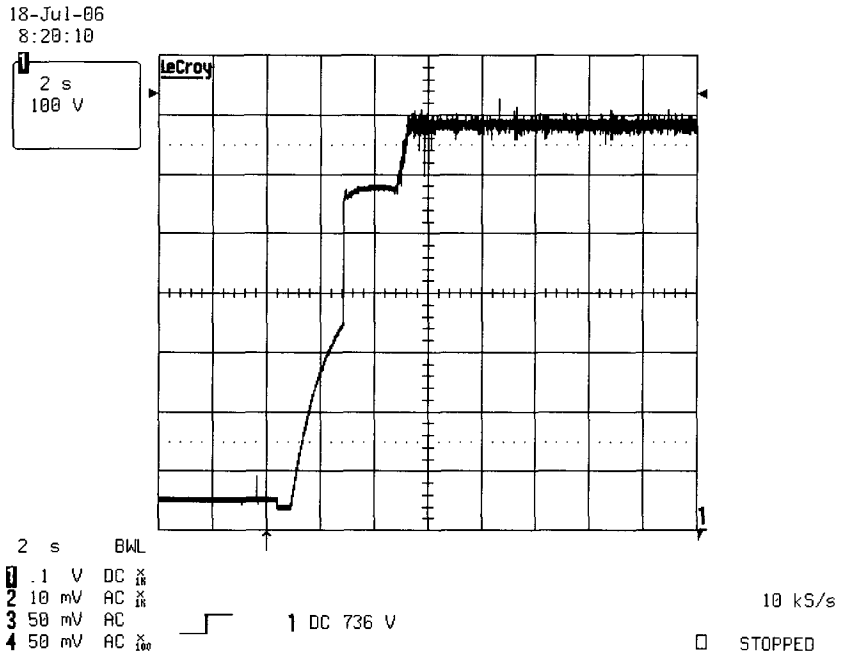


그림 3.14.2-21 보조전원장치의 670VDC라인의 전압파형

그러나 그림 3.14.2-22와 그림 3.14.2-23은 동일 670VDC 라인의 사구간 통과 시 전압 파형으로 배터리 충전기의 입력 전압 범위를 크게 넘어서고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 3.14.2-24는 정상 동작 중에 보조전원 출력인 670VDC 상태가 아주 불안함을 알 수가 있다.

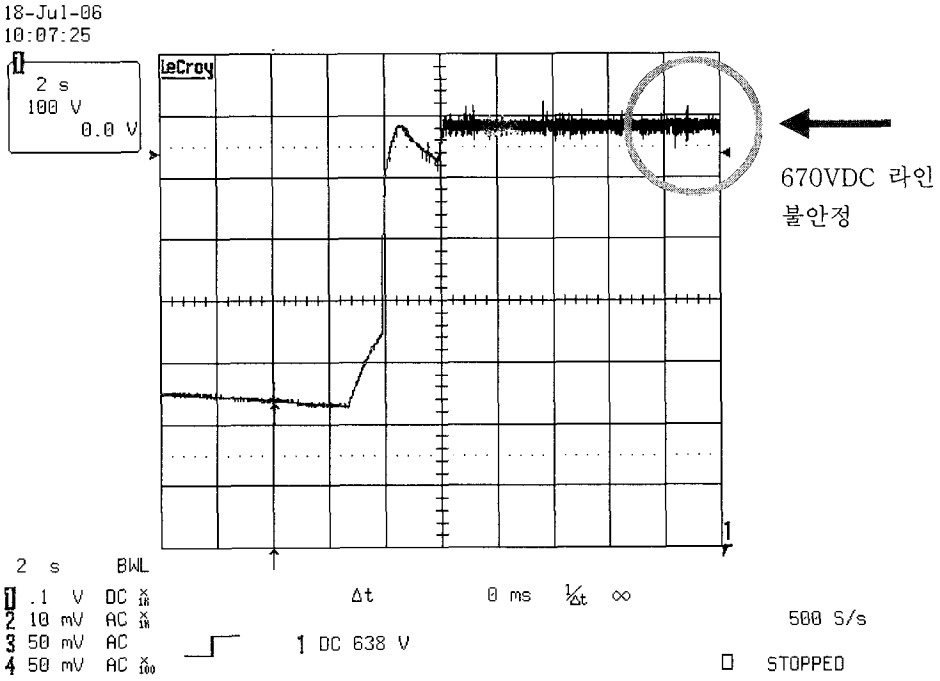


그림 3.14.2-22 사구간 통과 후 670VDC 라인 전압 파형(1)

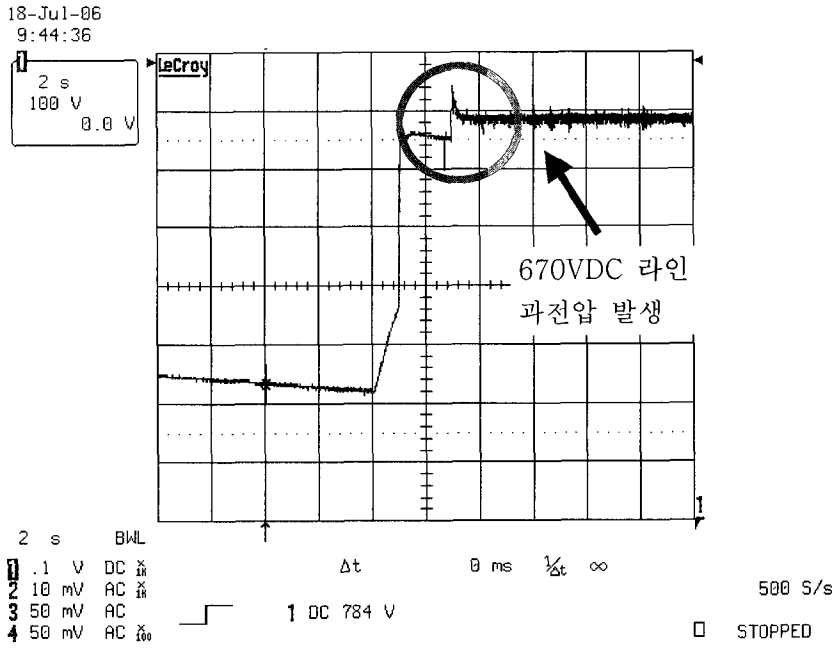


그림 3.14.2-23 사구간 통과 후 670VDC 라인 전압 파형(2)

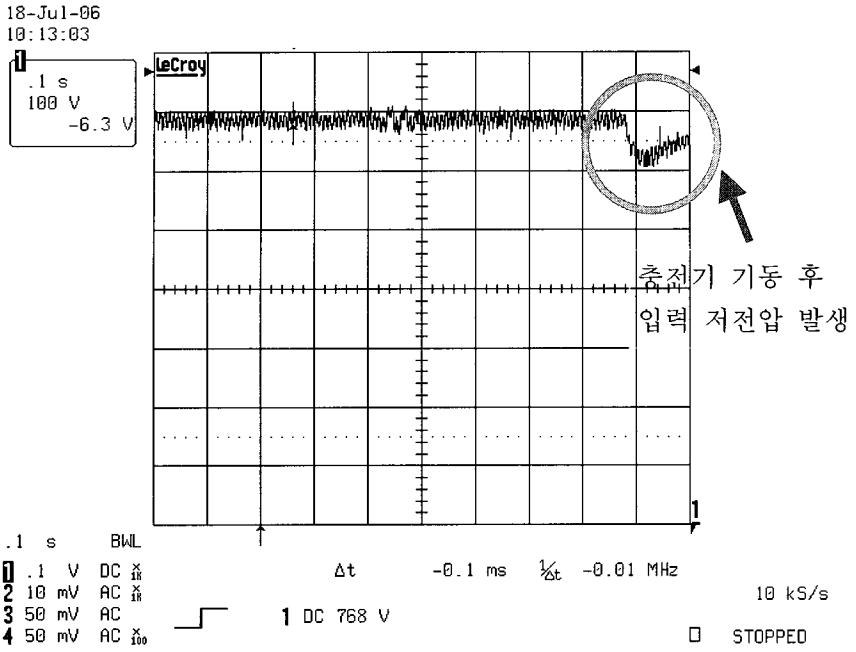


그림 3.14.2-24 시운전 중 670VDC 라인 전압 파형(1)

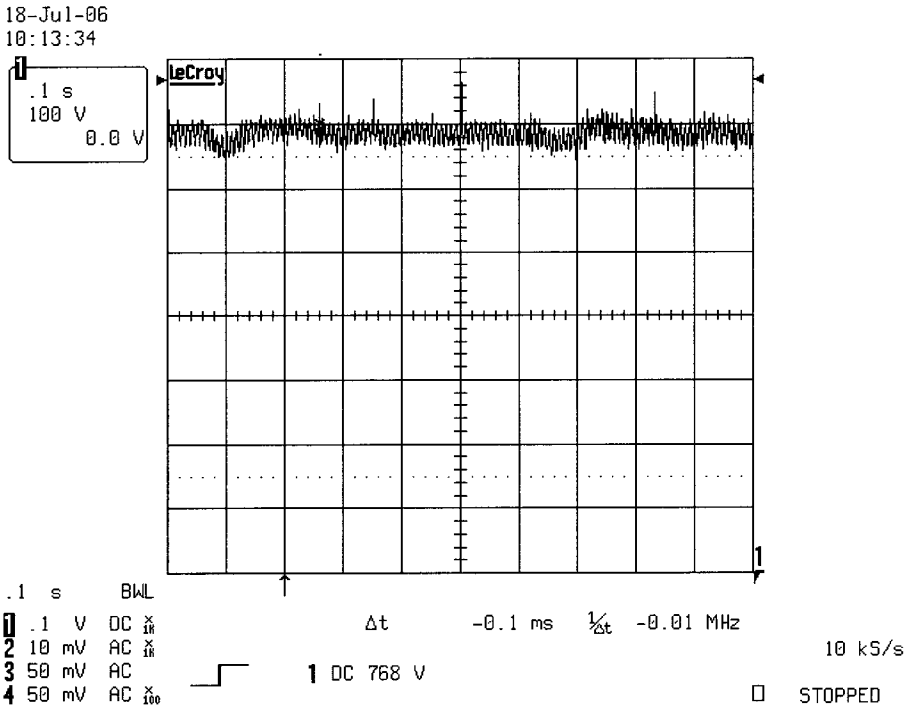


그림 3.14.2-25 시운전 중 670VDC 라인 전압 파형(2)

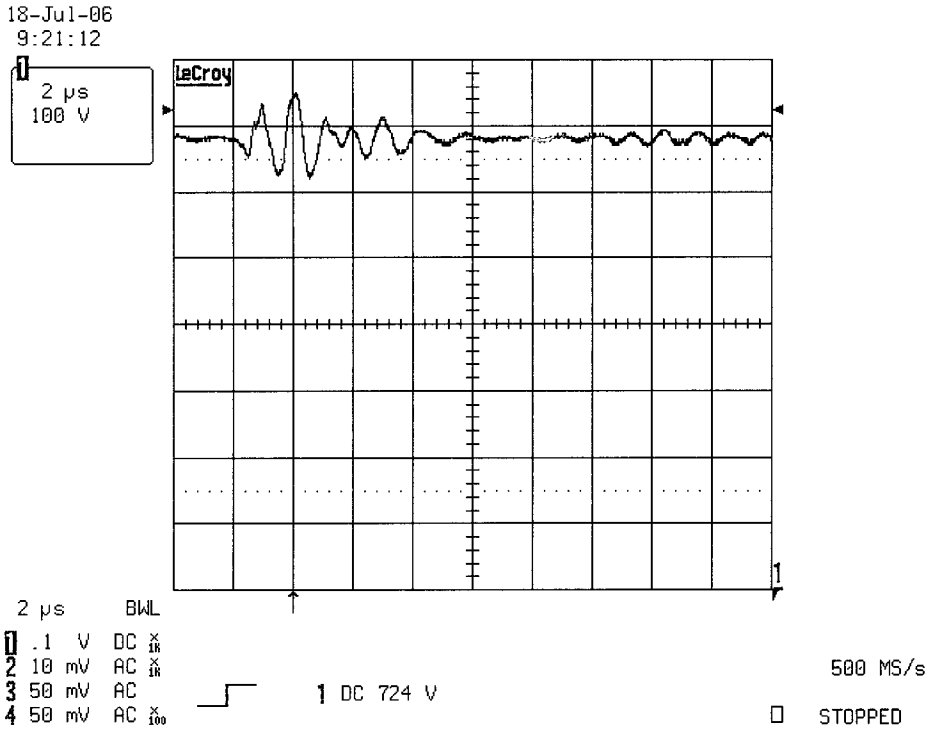


그림 3.14.2-26 그림 3.14.2-25의 확대 파형

그림 3.14.2-24 및 그림 3.14.2-25 그리고 그림 3.14.2-26에 보인 것과 같이 보조 전원 장치 출력인 670VDC 전압이 배터리 충전기 입력 전압 사양을 크게 벗어난 경우가 시운전 중 빈번히 발생되어지는 것을 알 수 있었다. 고속 스위칭을 하고 있는 배터리 충전기에 입장에서 보면 보조 전원장치 출력 전압의 불안정은 충전기 스위칭 소자 및 고주파 변압기, 필터 인덕터등에 악영향을 주게 되고, 더 나아가 스위칭 손실을 줄이기 위하여 공진 스위칭을 하고 있고 있는데, 이 공진 조건이 깨지는 경우가 발생하여 전력소자가 소손되는 경우가 발생되었다. 이러한 불안정한 입력 전압 조건에서 배터리 충전기를 안정화시키기 위하여 Power Stack의 스너버 용량을 증대하였다.

(6) 저손실 New IGBT 적용 시험 및 온도 상승 시험

한국형 고속전철 배터리 충전기의 고속 스위칭으로 인한 전력소자의 스위칭 손실을 줄이기 위하여 기존의 IGBT보다 스위칭 손실 및 도통 손실이 적은 IGBT를 적용하여 그 특성과 온도 상승 시험을 통하여 탁월한 성능을 확인하였으며, 이를 중점검시와 혹서기 때에 전력소자를 전면 교체하였고 현재 시운전하고 있다.

그림 3.14.2-27은 새로운 IGBT를 적용하였을 때 입력 측 전류 파형을 나타내고 있다. 그림 3.14.2-28에 나타내어진 기존 IGBT 적용 시 입력 측 전류 파형과 비교하여 보면 파워링 시에 입력 전류 Peak가 많이 감소되어진 것을 알 수가 있다. 그림 3.14.2-29와 그림 3.14.2-30은 그림 3.14.2-27과 28의 입력 전류 파형을 확대 한 것이다.

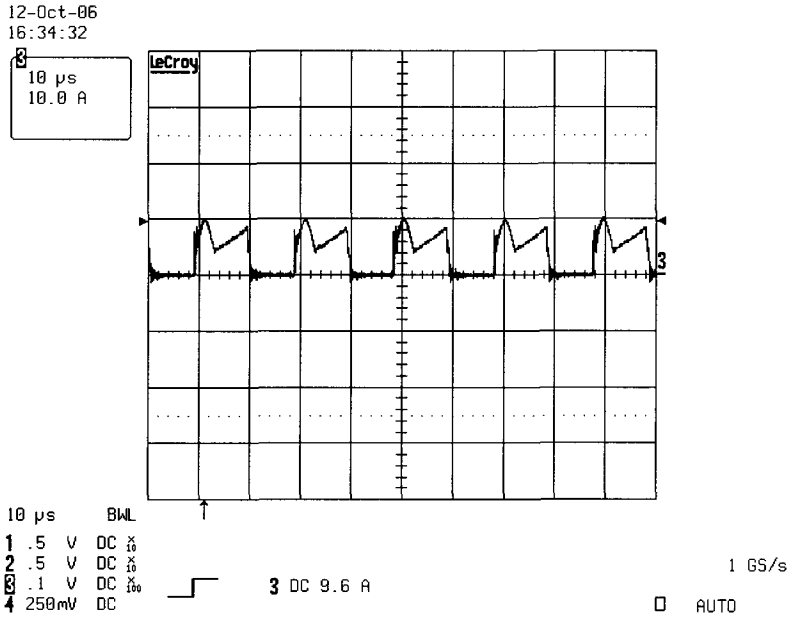


그림 3.14.2-27 New IGBT 적용 입력 전류 파형

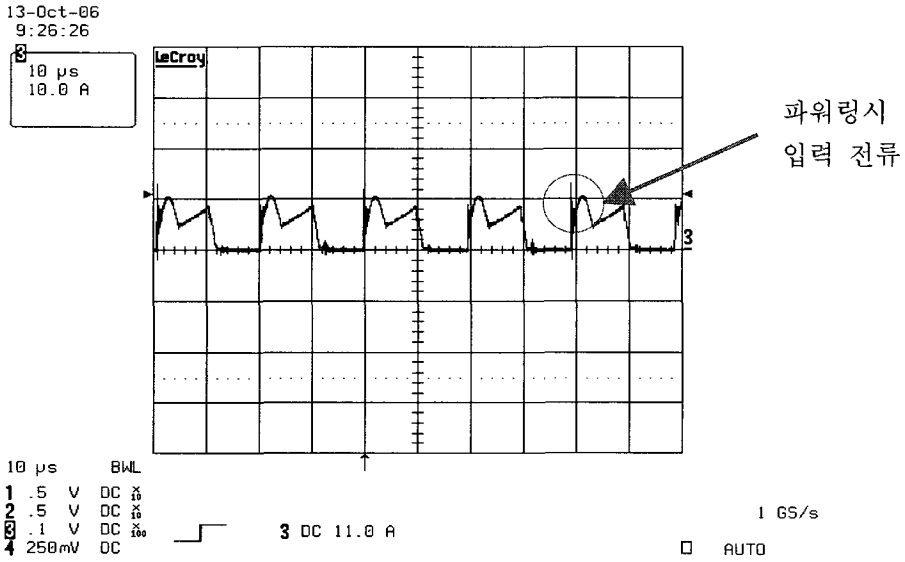


그림 3.14.2-28 기존 IGBT 적용 입력 전류 파형

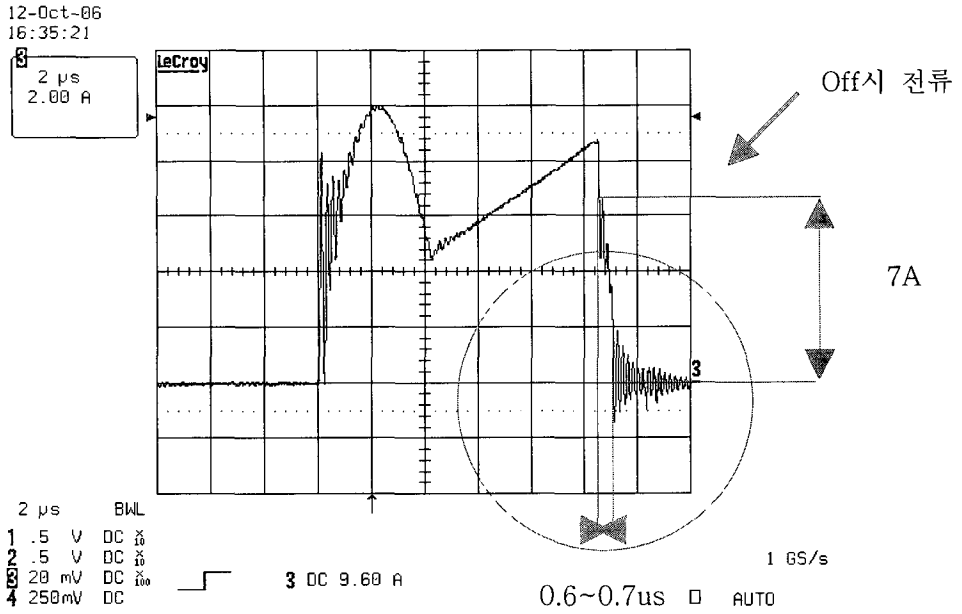


그림 3.14.2-29 New IGBT 적용 입력 파형 확대 모습

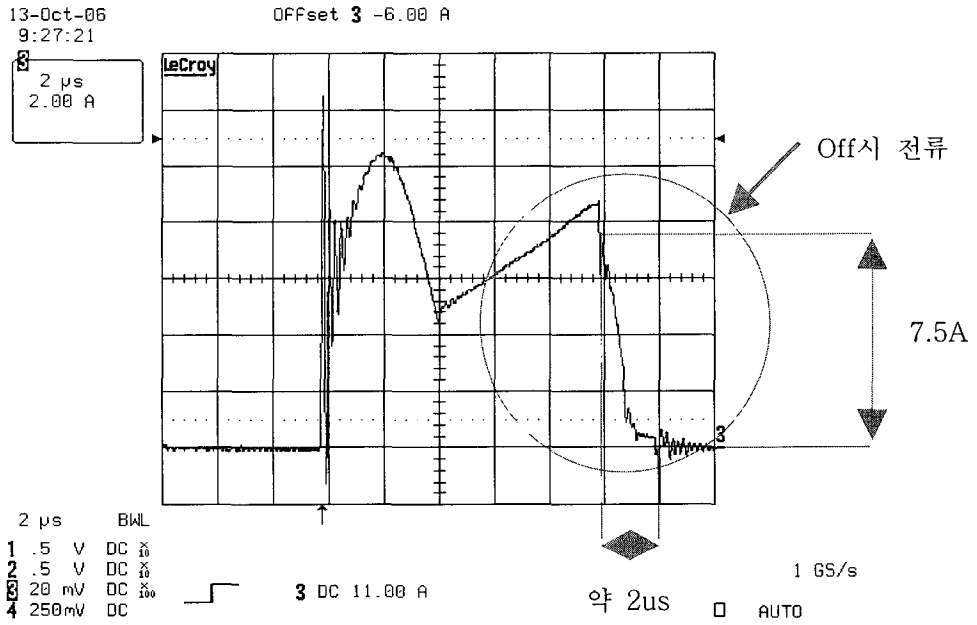


그림 3.14.2-30 기존 IGBT 적용 입력 파형 확대 모습

표 3.14.2-1은 New IGBT와 기존 IGBT를 적용하여 아래와 같은 조건에서 온도 상승 시험을 하였을 때 그림 3.14.2-31에서 측정되어진 온도 데이터를 나타내고 있다.

(가) 온도 상승 시험 조건

① 입력 전압 : 670Vdc

② 입력 전류 : 7Adc

③ 출력 전압 : 78.23Vdc

④ 출력 전류 : 58~59Adc

(나) 온도 상승 시험 결과

표 3.14.2-1 스위칭 소자별 각부 온도 비교표

소자	외기온도	1군 IGBT	2군 IGBT	NTC	△T	비고
기존 IGBT	24.3℃	40.8℃	44.4℃	41.4℃	20.1℃	출력전류 (58~59A)
New IGBT	25.5℃	31.9℃	34.2℃	33℃	8.7℃	출력전류 (58~59A)
방열판 교체 후	22.9℃	48.0℃	55.7℃	-	32.8℃	2003.9.25 시험결과
방열판 교체 전	22.3℃	39.0℃	68.6℃	-	46.3℃	2003.9.2 시험결과

※ △T = (2군 IGBT온도) - (외기온도) 를 나타낸다.

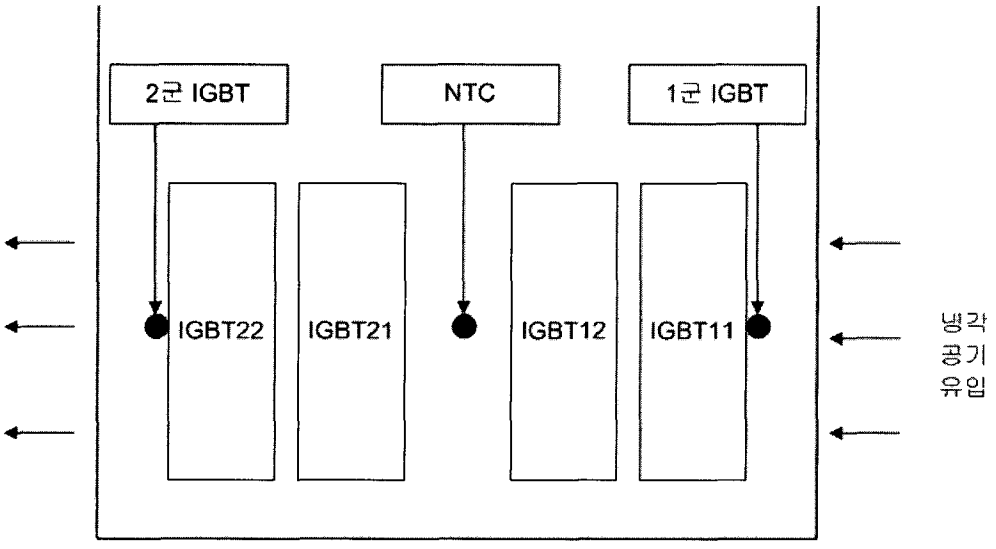


그림 3.14.2-31 온도 센서 부착 위치

표 3.14.2-1에서 보이듯이 2003년도 하절기 이후 충전기 Power Stack의 방열판을 교체하여 13℃를 줄일 수가 있었으며, 2006년도에는 스위칭 소자인 IGBT를 교체함으로써 11℃를 낮출 수가 있었다.

제 14 절 주변압기

1. 일반

고속철 차량이 25kV 급전용 가선으로 부터 전력을 공급받기 위해서는 전력이 주변압기에 공급되어 이 주변압기에서 각각의 부하에 필요한 전압으로 강압시켜 안정적으로 공급해야한다.

이와 같은 역할을 하는 주변압기는 주행하는 고속열차 내부에 설치 운전에 적합 한 특성 가져야 함으로 다음과 같은 특징이 있다.

가. 소형, 경량 이어야 한다.

나. 진동과 충격에 대하여 견고해야 한다.

다. 양호한 운전을 하기위하여 다음의 품질 특성을 구비하여야 한다.

(1) 빈번한 전원투입과 차단시에 발생하는 스윗칭써지, 가선으로부터 유입되는 전력계통의 써지 전압, 각종 전력 반도체의 동작에서 수반되는 고조파 전압 전류 등에 대하여 안정된 절연특성을 가지도록 설계, 제작하였다.

(2) 소형경량의 변압기임으로 효과적인 방열에 의한 냉각시스템을 구현하기 위하여 변압기 코일 내부 직접송유풍냉식(ODAF COOLING)으로 하였다.

2. 주변압기의 안정화

가. 전기적 절연성능의 안정화 조치

차량 탑재시 제품의 크기를 작게 하기위하여 가장효과적인방법은LAYER COIL의 SURGE전압분포를 모델품 제작과 그 시험 결과를 반영하여 코일 제작에 반영하였다.

이와 같은 기술적인 DATA를 얻기 위한 실행 내용은 다음 페이지에 언급한바와 같다.

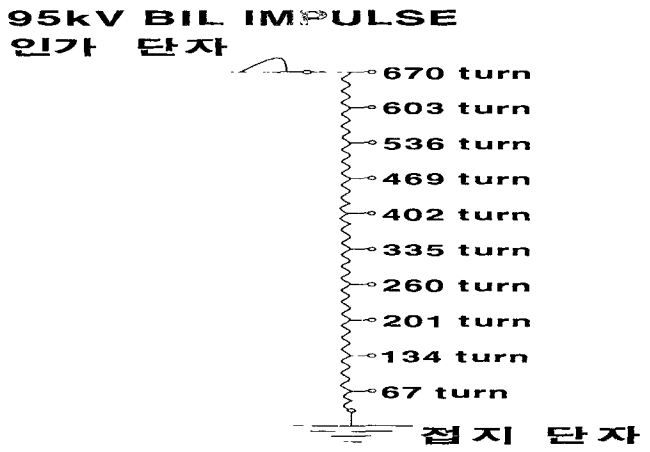
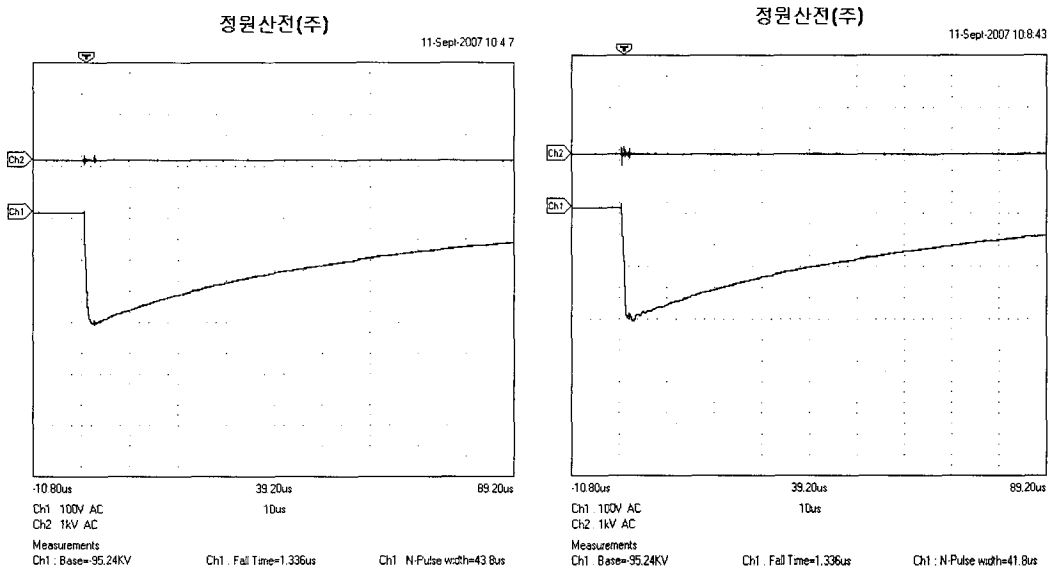


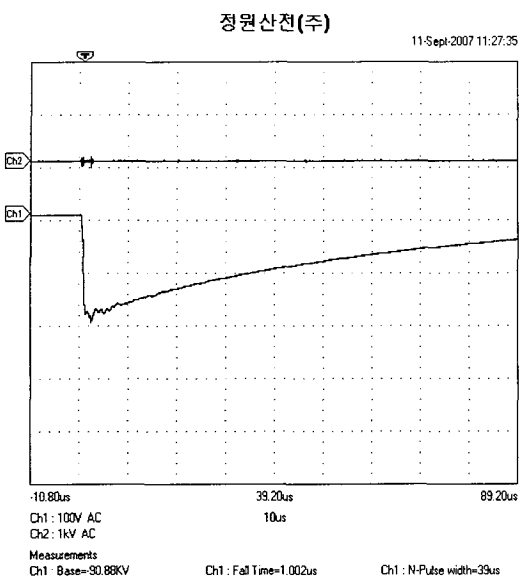
그림 3.15.2-1 모델품 COIL 도면

상기의 모델품 COIL에 95kV BIL의 impulse전압을 인가하여 각각의 권선탭(TAP)에서 실측한 결과는 다음과 같다.

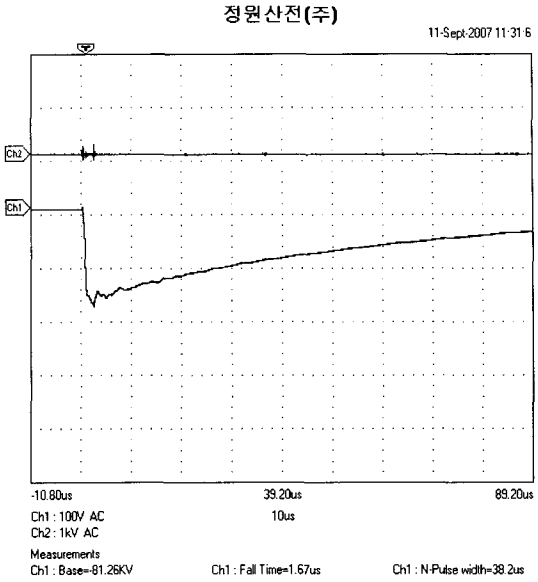
단 권선의 percentage는 접지단을 0%, 선로단을 100%로 표시되었다.



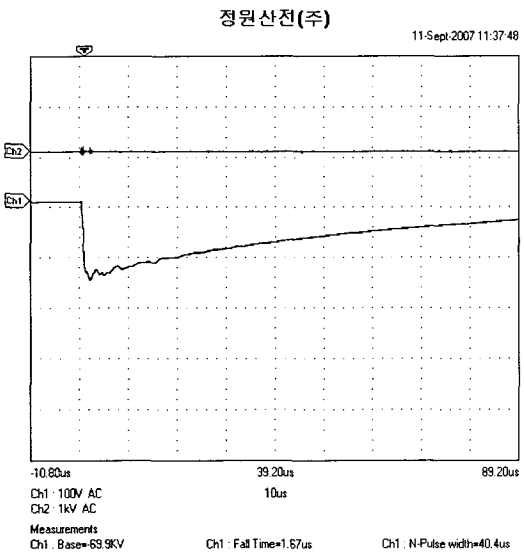
95kV BIL(95.24kV) NO-LOAD IMPULSE VOLTAGE 100% 권선 선로단 (670turn) : 95.24kV



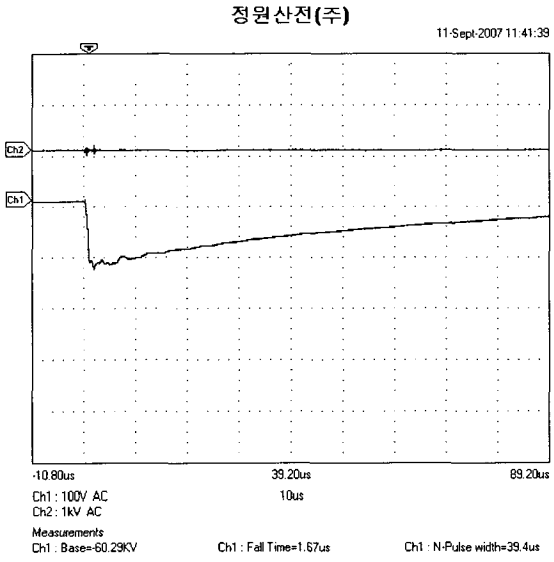
90% 권선탭 (603turn) : 90.88kV



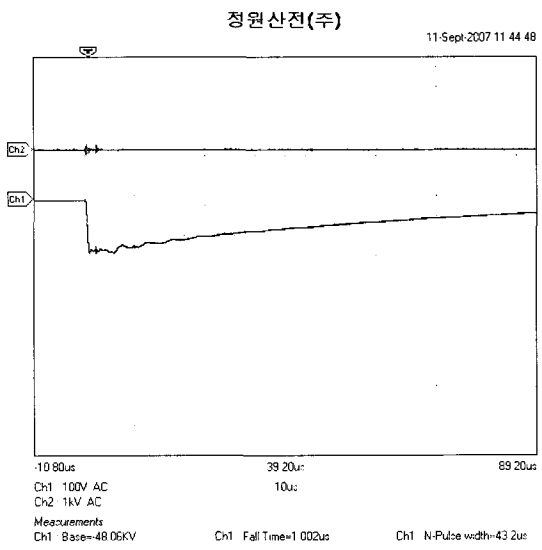
80% 권선탭 (536turn) : 81.26kV



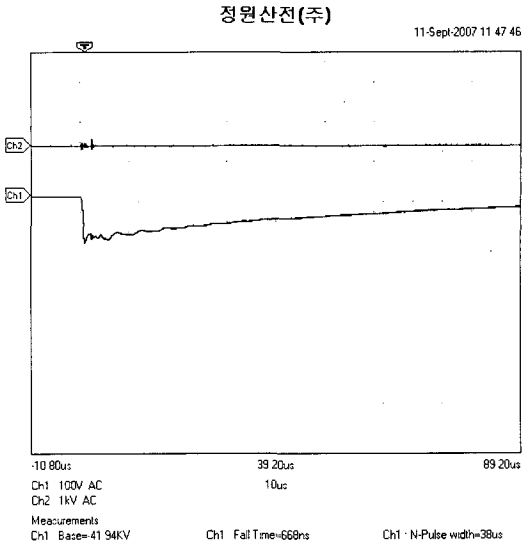
70% 권선탭 (536turn) : 69.90kV



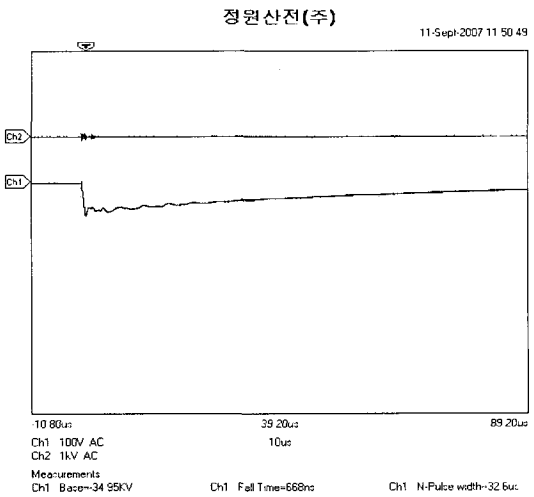
60% 권선탭 (469turn) : 60.29kV



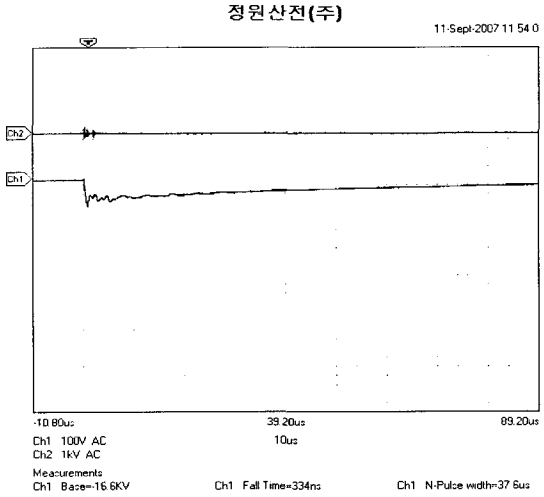
50% 권선탭 (402turn) : 48.06kV



40% 권선탭 (335turn) : 41.94kV



30% 권선탭 (268turn) : 34.94kV



20% 권선탭 (201turn) : 16.60kV

그림 3.15.2.-2 모델품 COIL IMPULSE전압 파형

나. 냉각 성능 보완 개선

송유펌프에서 토출되어 냉각기에서 냉각된 절연유가 효과적으로 COIL속으로 직접 들어가도록 외부 유도를 더욱 세밀하게 막아서 개선하였다.

COIL 내부의 절연유 순환 구조는 다음과 같다.

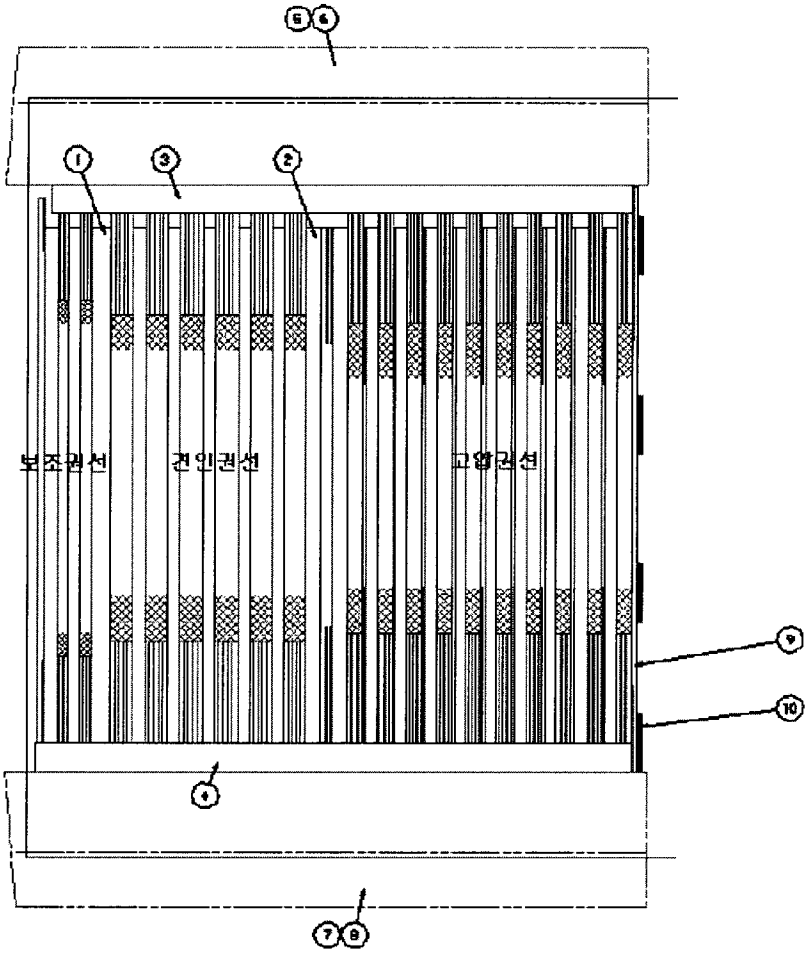


그림 3.15.2-3 동력차용 주변압기 권선구조

1. V스페이서
2. V스페이서
3. block
4. block
5. 권선지지판
6. 권선지지판
7. 권선지지판
8. 권선지지판
9. 실린더
10. 레진테이프

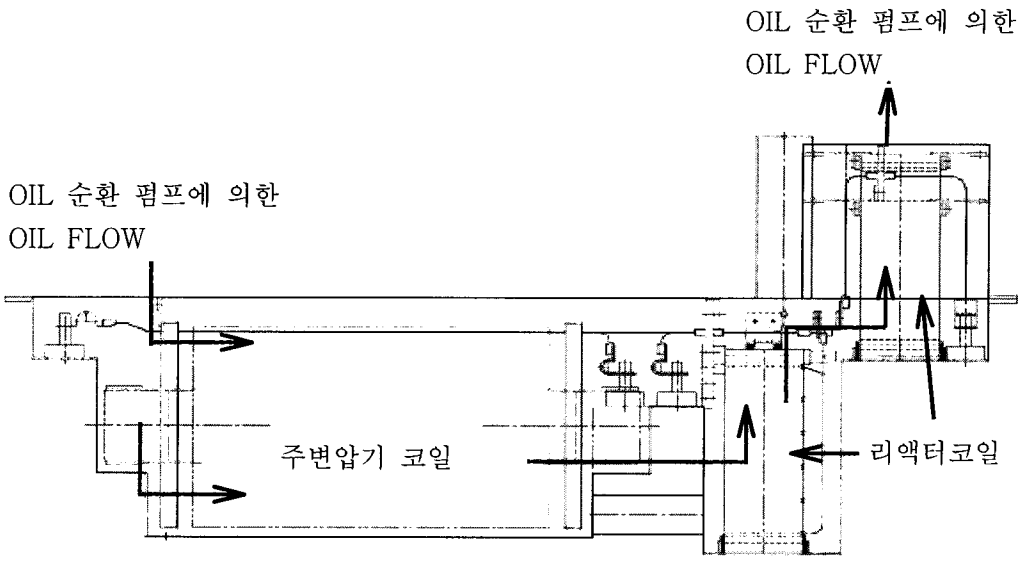


그림 3.15.2-4 효과적인 냉각을 위한 COIL 배치도

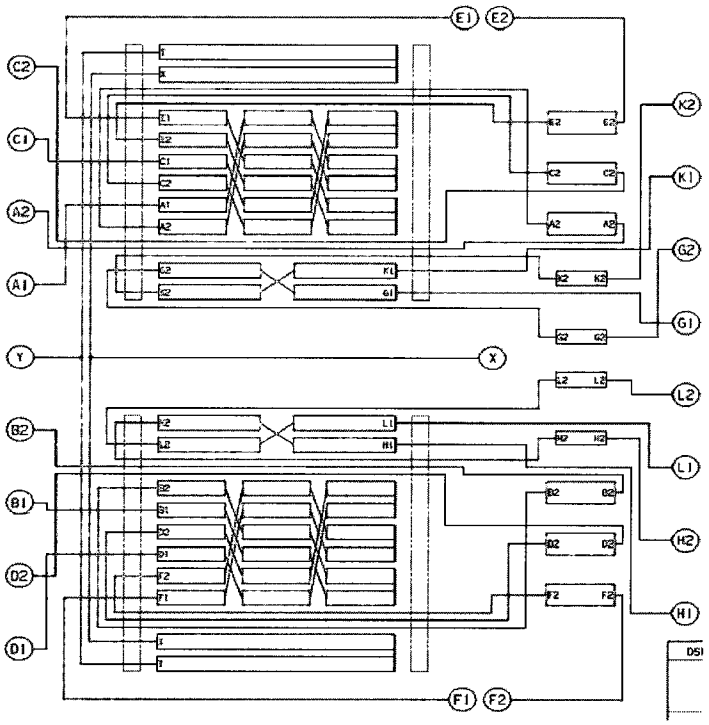


그림 3.15.2-5 동력차용 주변압기 권선 배열

다. 냉각FAN 국산화 개발

고속회전과 고효율 특성을 갖는 냉각 FAN을 국산화하여 성능시험을 실시하였다.

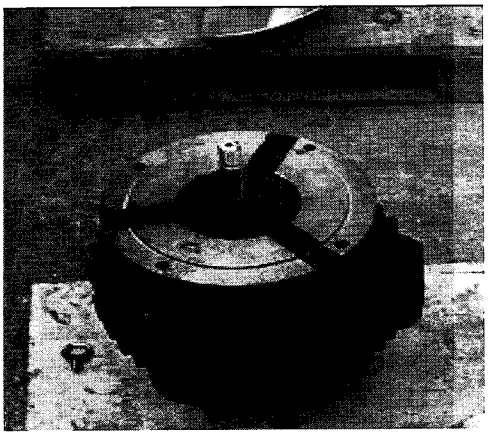


그림 3.15.2-6 구동전동기

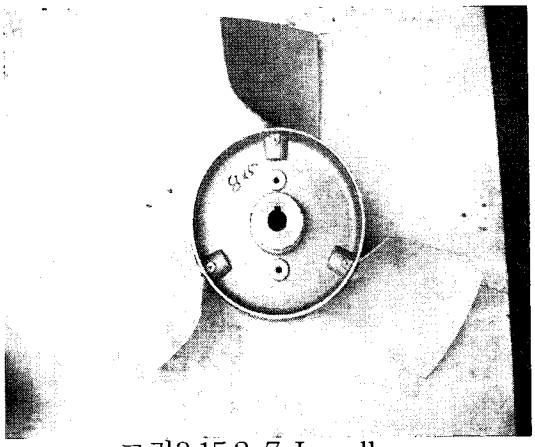


그림3.15.2-7 Impeller

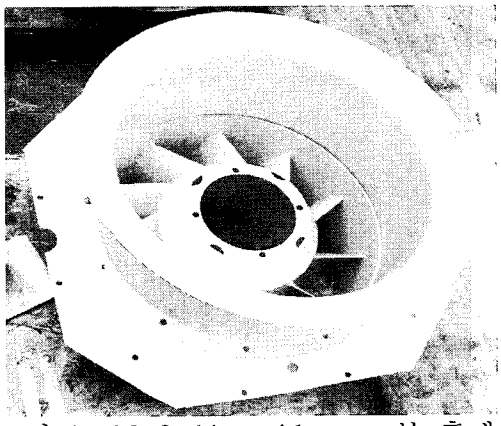


그림 3.15.2-8 Air guide vane부 후레임

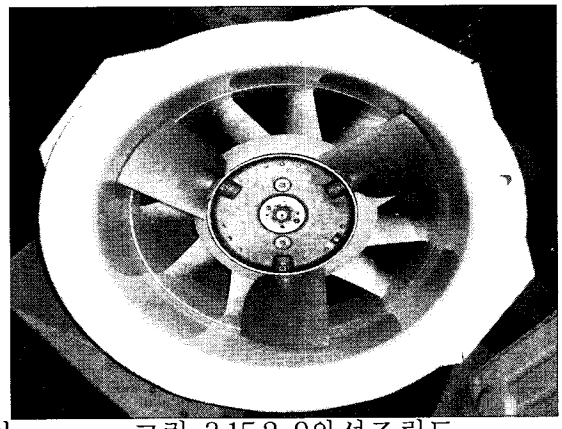


그림 3.15.2-9완성조립도

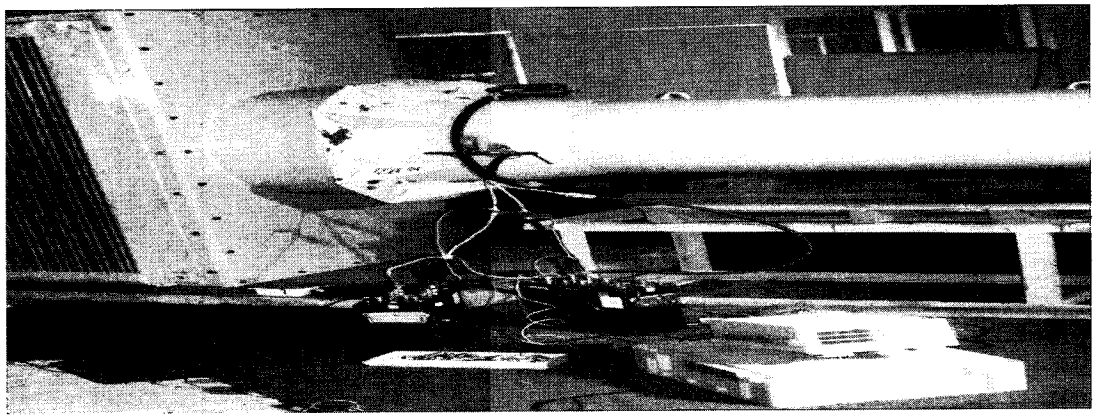


그림 3.15.2-10 냉각 FAN 성능시험

완성품 송풍기의 성능 시험 결과는 다음 표와 같다.

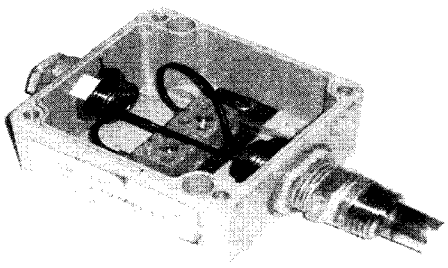
전동기 정격 출력	11kw
전동기 정격 전류	21A
전동기 정격 주파수	60Hz
전동기 극수	2극
전동기 정격 회전수	2940rpm
전동기 정격 전압(20℃)	330Pa
전동기 풍량	**6.6m³/s**

라. 냉각 FAN 전원의 합리화 분리

송유 pump에 의하여 일정한 양의 절연유가 COIL 내부의 열을 흡수 하여 COOLER에 보내진 냉각 시스템에서 변압기가 공급하는 전력과 속도는 상호 일정한 비례관계가 있고 이것은 변압기에서 발생하는 열과 또한 일정한 비례관계에 있음으로 속도 변화에 합리적으로 주파수와 공급전압을 조정하도록 VVVF단독으로 공급하도록 하였다.

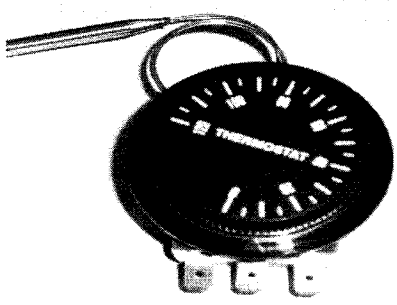
마. 온도 SENSOR 개선

주변압기의 부하의 크기, 운전상황, 변압기 내외부의 보조기구 등의 상태에 따라 온도 상승치는 종속적으로 나타나고 있음으로 이들 조건에 맞도록 온도 설정치를 조정할 필요가 있고 이 목적을 위하여설정온도 가변형으로 Thermostat로 교체하였다.



기존의 온도 고정 Thermostat

그림 3.15.2-11



온도 가변형 Thermostat

그림 3.15.2-12

바. 절연유 교환 및 GAS 분석시험

PC1, PC2,TM5, 주변압기는 성능 개선을 시키기 위하여 절연유의 교체, 보충, 여과를 실시하였다.

절연유의 GAS 분석 DATA는 다음 표와 같다.

NO.	분 석 방 법	ASTM D 3612-02(Method "C")			
	단 위	ppm			
	구 분	판 정 기 준			분석결과치
	가 스 명	요 주 의	이 상	위 험	
1	수소(H2)	400	800	-	-
2	메탄(CH4)	200	400	-	11
3	에틸렌(C2H4)	300	600	-	4
4	에탄(C2H6)	150	300	-	11
5	아세틸렌(C2H2)	검출시	50	100	-
6	일산화탄소(CO)	300	600	-	41
7	가연성가스총량(T.C.G)	1000	2000	3000	79
8	이산화탄소(CO2)	4000	7000	-	614
9	산소(O2)	참 고 용			2485
10	질소(N2)	참 고 용			1892
11	프로판(C3H8)	참 고 용			-
12	가스성분총량	-	-	-	4238

제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제1절 기술개발 결과물 및 목표달성도

1. 목표달성도

(2007.10.30일 기준)

번호	세부연구목표	달성내용	달성도(%)
1	차량 시스템 안정화 시험	주 2~3회 계획된 시운전 저널차에 의해 수행하여 추진성능과 제동성능을 포함한 열차의 전반적인 안정화 및 신뢰성 시험에 치중한 결과, 2007년 10월말 기준으로 총 436회, 약 205,292km의 주행시험을 수행하여 당해년도 연구목표인 200,000km를 달성.	100
2	시험시, 문제점 보완	모터 블럭 소자 소손, 장치간 통신 불량, ECU 고장, AUX 기동불능 등의 장애 현상이 발생하였지만, 한국형고속열차에 설치되어 있는 시운전 계측시스템 및 자체 Trace Data을 사용하여 시험데이터를 신속하게 분석/보완 조치하였음.	100
3	유지보수 체계구축 및 유지보수 시행	차량 중점검 및 시운전 시험을 통해 획득한 데이터를 유지보수 체계 구축용 전산파일에 관리하고 데이터를 분석하여 관련 연구기관에 통보 및 조치 유지 보수 체계 구축 완료함. 시운전 시험에 따른 전반적인 차량 중점검 기간이 도래하여 지난 2007년 4월부터 5월까지 약 1개월간에 걸쳐 전반적인 차량의 중점검을 창원공장에서 수행하였음. 또한 일상점검, 월상점검을 통해 기계적 이완 조정, 오일 교환 및 보충, 절연강화, 튜닝작업, 삭정 등을 체계적으로 관리하였음.	100
4	차량시스템 실용화 변경설계	KTX 민원사항, 기관사 제안사항, 수요처 요구사항 등을 반영한 실용화 변경설계 항목을	97

번호	세부연구목표	달성내용	달성도(%)
		검토하였음. 특히 고속열차 분야별 전문가 정밀 진단실시 결과 총 107건의 지적사항에 대하여 104건을 조치 완료하였고, 잔여 3건에 대해서는 차량 중점검시 수행 예정임.	
5	연결 구조체 및 연결용 부수대차 개발	연결 구조체의 경우 3차년도에 정의된 하중조건에 따라 구조해석을 실시하여 검증하였고, 해석결과에 의한 연결 구조체의 형상과 도면을 작성한 후 제작을 진행하였음. 연결용 부수대차도 구조해석과 제작을 병행 추진하였음. 또한 개발되는 연결 구조체를 차량에 적용하기 위하여 주변장치, 즉 대차 및 차체의 인터페이스 부분을 연결 구조체에 맞도록 개조 설계하고 제작을 추진하였음. 2007년 중점검 기간중에 차량에 취부하여 현차 시험을 진행하였음.	90
6	주요전장품 신뢰성 확보	주전력변환장치, Battery Charger 안정화 시험 및 성능향상을 위해서 새로운 Type의 전력용 반도체 소자 시험(모터블록 #1)하였고, 신뢰성 향상을 위한 New IGCT 소자를 교체(모터블록 #2)하고, 보완된 Analog Board의 기능시험 및 AIO 보드 필터계수를 튜닝하여 모터블록의 신뢰성 향상에 주력하였음. 또한 팬용인버터 제어기의 전원장치, 제동저항 이격거리확보 및 통풍 보완, 클램트 저항 용량 증대 및 취부 구조 변경(저항 연결 부위 구조개선) 등의 신뢰성 향상 업무를 수행 하였음. 열차진단제어장치(SCU/VCU)는 입출력 보드의 보완을 완료하였으며, 전체 CSS 제어 Logic의 61개 항목을 동력차 및 동력객차, 객차에 대해 자체 Logic 및 공장내 확인시험과 정적시험 35개 항목과 동적 30개 항목 확인시험을 완료하였음.	100

번호	세부연구목표	달성내용	달성도(%)
7	교육/훈련 매뉴얼 제작	G7차량 개발(차량, 핵심부품단위별) 기술에 대한 교육 및 훈련 매뉴얼 작성 (국·영문)	100

2. 기술개발 결과물

가. 산업재산권 출원

명칭 : 고속전철의 사구간 진입시 주전력 변환장치 운전방법
출원번호 : 10-2006-0069339
출원일 : 2006. 07. 24
발명자 : 방이석, 김두식, 이광주, 조성준, 김연달

명칭 : 고속전철용 추진제어장치의 대용량 전력소자의 펄스폭변조 제어방법
출원번호 : 10-2006-0076779
출원일 : 2006. 08. 14
발명자 : 정만규, 김두식, 방이석, 이광주, 박건태

명칭 : 고속전철용 추진제어장치의 평지 및 구배에서 기동특성이 개선된 벡터제어방법
출원번호 : 10-2006-0076781
출원일 : 2006. 08. 14
발명자 : 정만규, 이충동, 김두식, 이광주, 조성준

명칭 : 고속전철용 추진제어장치의 저주파 동기 공간벡터 과변조제어방법
출원번호 : 10-2006-0076854
출원일 : 2006. 08. 14
발명자 : 정만규, 이충동, 김두식, 방이석, 이광주

명칭 : 고속전철용 추진제어장치의 대용량 전력소자 과변조시 최소 온타임 제어방법
출원번호 : 10-2006-0076855
출원일 : 2006. 08. 14
발명자 : 정만규, 김두식, 조성준, 김연달

명칭 : 고속전철용 주전력 변환장치의 제동초퍼 듀티 제어방법
출원번호 : 10-2006-0076853
출원일 : 2006. 08. 14
발명자 : 정만규, 김두식, 방이석, 이광주, 조성준

명칭 : 고속철도 자동제어를 위한 데이터 통합장치
출원번호 : 10-2006-003285
출원일 : 2006-01-11
발명자 : 조필성, 김정한, 박동호, 김찬호, 민인규, 최항섭, 손진경

명칭 : 고속철도의 PWM 파형 분석방법과 장치
출원번호 : 10-2006-003286
출원일 : 2006-01-11
발명자 : 조필성, 김정한, 박동호, 김찬호, 민인규, 최항섭, 손진경

명칭 : 고속철도 자동제어를 위한 전류통신장치
출원번호 : 10-2006-003287
출원일 : 2006-01-11
발명자 : 조필성, 김정한, 박동호, 김찬호, 민인규, 최항섭, 손진경

명칭 : 고속철도의 펄스입력신호를 이용한 열차속도 분석장치
출원번호 : 10-2006-003288
출원일 : 2006-01-11
발명자 : 조필성, 김정한, 박동호, 김찬호, 민인규, 최항섭, 손진경

명칭 : 고속전철의 열차속도 제한 제어방법
출원번호 : 10-2006-024404
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 김찬호,김정한, 박진호, 손진경, 조필성

명칭 : 고속전철의 서비스 리텐션 제어방법
출원번호 : 10-2006-024405
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 손진경, 김정한, 박동호, 박진호, 김찬호

명칭 : 고속전철의 에어콘 기능 제어방법
출원번호 : 10-2006-024406
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 김찬호, 김정한, 박진호, 손진경, 최항섭

명칭 : 고속전철의 견인 / 제동력 제어방법
출원번호 : 10-2006-024407
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 손진경, 김정한, 박진호, 김찬호, 민인규

명칭 : 한국형 고속전철의 트라이포트 고장 감지 처리방법
출원번호 : 10-2006-024408
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 김찬호, 김정한, 박동호, 박진호, 최항섭

명칭 : 고속전철의 주변압기 과열 방지 제어방법
출원번호 : 10-2006-024409
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 김찬호, 김정한, 박진호, 손진경, 최항섭

명칭 : 고속전철의 화장실탱크 수위감지 경보방법
출원번호 : 10-2006-024410
출원일 : 2006-03-16
발명자 : 손진경, 김정한, 박진호, 김찬호, 조필성

명칭 : 한국형 고속철도의 진공차단기 투입 제어방법
출원번호 : 10-2006-035137
출원일 : 2006-04-18
발명자 : 손진경, 김정한, 박동호, 박진호, 김찬호

명칭 : 한국형 고속철도의 전원공급 제어방법
출원번호 : 10-2006-035138
출원일 : 2006-04-18
발명자 : 최항섭, 김정한, 김찬호, 민인규, 조필성

명칭 : 한국형 고속철도의 차단스위치 제어방법
출원번호 : 10-2006-035139
출원일 : 2006-04-18
발명자 : 김찬호, 김정한, 박진호, 손진경, 최항섭

나. 논문

최종 보고서 제출시 반영 예정

다. 보고서 및 도면 목록

최종 보고서 제출시 반영 예정

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

고속철도 차량의 실용화를 위해서는 설계, 제작뿐 아니라 완성 차량 시스템에 대한 각종 시험을 통해 대중교통 수단으로서의 내구성과 함께 엄격한 신뢰성 및 안정성의 확보가 요구된다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해 유지보수 체계구축 및 운영기술에 대한 노하우 확보가 가능할 것이다.

이러한 기술개발을 통하여 국내의 고속철도 관련 기술은 한층 성숙될 것이며, 실용화를 위한 많은 시험과 기술개발이 이루어지고, 고속철도뿐만 아니라 다른 철도시스템에도 적극적으로 활용될 수 있을 것이다. 또한 고속철도와 관련하여 성능기준 등이 정립되어 향후 고속철도의 운영에 연구 결과가 적극적으로 활용될 수 있을 것이다.

2. 경제적 · 사회적 측면

고속철도와 같은 종합적이고 첨단적인 기술의 개발은 운영을 통한 단기적인 경제성 보다는 설계기술 및 생산기술 개발을 통한 기술 하부구조와 부품업체 활성화 등을 통한 산업 하부구조 구축 및 관련 연구기관 및 연구 인력의 질적 향상을 기하는 것과 같은 장기적인 경제성을 기대할 수 있다.

고속철도에 관한 기술자립을 바탕으로 국내외 고속철도사업에 진출함으로써 대외의존 기술의 수입대체효과를 기대함과 동시에 수출 전략적 측면도 충분히 기대할 수 있다. 또한 현재 논의되고 있는 남북철도 연계 및 TCR TSR 과의 연계 등을 통한 경제적 · 사회적 효과를 기대할 수 있다.

3. 활용방안

차량시스템 안정화 기술개발을 통하여 습득한 주요 기술은 전라/호남선 고속전철사업인 KTX-II 실용화사업 및 향후 예상되는 국내 · 외 고속전철사업에 적용하여 대외 기술에 의존하지 않는 독자적인 고속철도 차량개발에 적용될 것으로 전망된다. 또한 차량시스템 안정화를 위한 내구성 시험을 통해 차량시스템 및 구성품에 대해 얻어진 각종 데이터는 실용화단계에서 차량의 유지보수 운영에 활용될 수 있으며, 개발기간동안 수행하게 될 유지보수 및 정비를 통해 유지보수 체계를 구축하고 향후 실용화 단계에서 이를 활용함

으로써 보다 경제적이고 효율적인 운영이 가능함은 물론 신규 차량의 설계, 제작시에도 폭넓게 활용함으로써 경부고속전철 이후에 건설되거나 계획되어 있는 고속철도 사업의 기반기술로 활용될 수 있다.

제5장 연구개발결과의 활용계획

1. 기술적 측면

고속철도 차량의 실용화를 위해서는 설계, 제작뿐 아니라 완성 차량 시스템에 대한 각종 시험을 통해 대중 교통 수단으로서의 내구성과 함께 엄격한 신뢰성 및 안정성의 확보가 요구된다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위해 유지보수 체계구축 및 운영기술에 대한 노하우 확보가 요구될 것이다.

이러한 기술개발을 통하여 국내의 고속철도 관련 기술은 한층 성숙될 것이며, 실용화를 위한 많은 시험과 기술개발이 이루어지고, 고속철도뿐만 아니라 다른 철도 시스템에도 적극적으로 활용될 수 있을 것이다.

또한 고속철도와 관련하여 성능기준 등이 정립되어 향후 고속철도의 운영에 연구 결과가 적극적으로 활용될 수 있을 것이다.

2. 경제적·사회적 측면

고속철도와 같은 종합적이고 첨단적인 기술의 개발은 운영을 통한 단기적인 경제성 보다는 설계기술 및 생산기술 개발을 통한 기술 하부구조와 부품업체 활성화 등을 통한 산업 하부구조 구축 및 관련 연구기관 및 연구인력의 질적 향상을 기하는 것과 같은 장기적인 경제성을 기대할 수 있다.

고속철도에 관한 기술자립을 바탕으로 국내외 고속철도사업에 진출함으로써 대외의존 기술의 수입대체효과를 기대함과 동시에 수출 전략적 측면도 충분히 기대할 수 있다.

또한 현재 논의되고 있는 남북철도 연계 및 TCR TSR 과의 연계 등을 통한 경제적·사회적 효과를 기대할 수 있다.

3. 활용방안

개발 완료시 기 추진중인 호남고속전철 사업 또는 계획중인 동서 고속전철 사업 및 향후 예상되는 국내외의 고속전철 사업에 적용시 대외 기술에 의존하지 않고 독자적으로 신뢰성 및 안정성 있는 고속철도 차량의 개발에 적용될 수 있다.

차량시스템 안정화를 위한 내구성 시험을 통해 차량시스템 및 구성품에 대해 얻어진 각종 데이터는 실용화단계에서 차량의 유지보수 및 운영에 활용될 수 있으며,

개발기간동안 수행하게될 유지보수 및 정비를 통해 차량시스템 유지보수 체계를 구축하고 향후 실용화 단계에서 이를 활용함으로써 보다 경제적이고 효율적인 운영이 가능함은 물론 신규 차량의 설계, 제작시에도 폭넓게 활용함으로써 경부고속전철 이후에 건설되거나 계획되어있는 고속철도 사업의 기반기술로 활용될 수 있다.

제6장 연구개발과제에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 연구사례의 조사

1. 외국의 경우

가. 독일

(1) 일반

ICE3는 독일의 3세대 고속전철이다. 쾰른과 프랑크푸르트 같은 고속선 선로에서 최고 운행 속도 330kph로 40‰의 등판 능력을 달성하기 위하여 분산식으로 개발되었다. 또한 중련운행이 가능하도록 제작되었다.

1998년 시험 운행을 시작하여, 1999년 말 DB와 NS에 납품되어 2000년 3월부터 상업 운전을 시작하였다. ICE 1/2는 국내 전용으로 운행이 되지만 ICE3는 국제선에서도 운행이된다. 따라서 다양한 가선전압을 수용할 수 있는 시스템으로 차량이 구성 되어 있다. 즉 국내 전용의 싱글 시스템의 403계열과 국제 운행용인 4개의 멀티 시스템인 406계열이 있다. 표5.1.1-1은 ICE3의 기술적이 데이터를 나타낸 것이다.

표 5.1.1-1 ICE3 차량의 기술적 데이터

Item	TRAIN(403)	TRAIN(406)
length	TOTAL : 200.32 m END CAR : 25.835 m MIDDLE CAR : 24.775 m	
width	2.95 m	
height	3.89 m	
mass (empty)	409 t	435 t
seats (total)	415석	404석
power (cont.)	8000 kW	8000 kW (AC) 4300 kW (DC)
tractive effort	300 kN	
top speed	330 km/h	330 km/h (AC) 220 km/h (DC)
mass/length	2.042 t/m	2.172 t/m
mass/seat	0.986 t/seat	1.077 t/seat
power/mass	19.56 kW/t	18.39 kW/t (AC) 9.89 kW/t (DC)
power/seat	20.46 kW/seat	21.05 kW/seat (AC) 11.32 kW/seat (DC)
Total area	509 m^2	
Passenger area	342.36 m^2	

(2) 외형

8량 1편성 동력 분산식의 ICE3 고속전철은 ICE1/2의 전두부 전면창이 2개의 부품인데 반하여 1개의 부품으로 구성되어 있으며, 차량 폭과 길이는 ICE1/2보다 작아졌다. 또한 선두 차량의 승객은 운전사의 유리창을 통하여 차량전반의 경치를 볼 수 있도록 제작 되었다. 또한 차량이 국제 운행을 위하여 서로 다른 2종의 판토 그래프가 설치되어 있다. 알루미늄 차체로써 상하기기는 G7 차량의 취부 구조 (Slot seat을 이용한 볼팅)와 유사하게 제작되어 있다. 그림5.1.1-1은 ICE3의 전두부 형상을 나타낸 것이다.

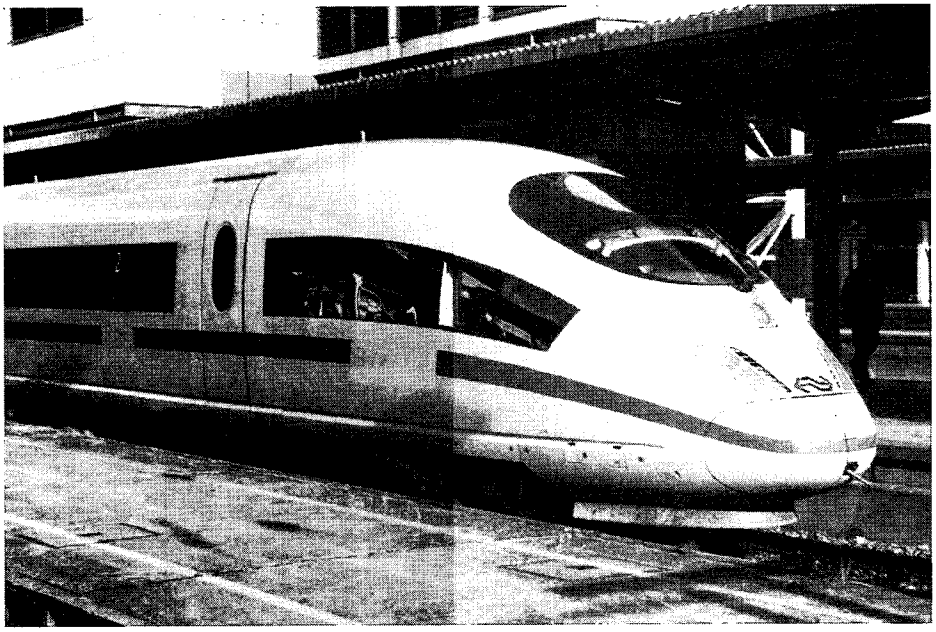


그림 5.1.1-1 ICE3 전두부 형상

(3) ICE3 차량 상하기기 및 냉난방설비

ICE-T는 알루미늄 차체로써 상하기기는 G7 차량의 취부 구조 (Slot seat을 이용한 볼팅) 와 유사하게 제작되어 있다.

KTX와 G7차량의 Underframe Cover는 상하기기를 보호하기위해 별도로 제작되어 취부되어 있으나, ICE-T는 박스구조의 장치 프레임이 Underframe cover 역할을 하고 있다. 단, 제동판넬의 하부등 기기가 박스구조가 아닌것은 별도의 Cover를 제작하여 취부하는 등 혼합하여 사용하고 차체하부 기기 취부용 C-rail에 G7차량과 같은 Bolt-carrier를 넣어서 취부하거나 Tap-sheet를 넣어 밑에서 볼팅하였다.

기기 취부시 C-rail의 벌어짐을 방지하는 U자 형태의 브라켓도 같이 취부되어 있고 일

부 사이드 점검도어는 G7차량과 유사하지만, 고정방법이 양쪽 상부에는 스크류 타입을 이용하여 고정하고 센터에는 안전용 고리걸이를 사용하고 있다.

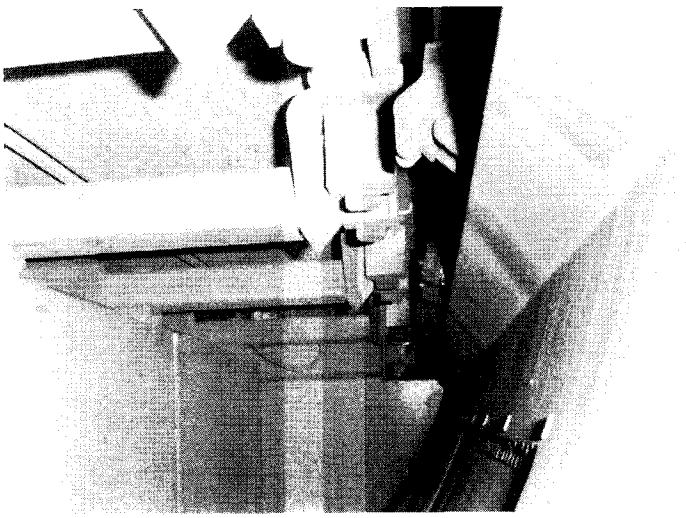


그림 5.1.1-2 ICE-T의 기기 취부구조

G7차량의 전체 사이드 점검도어의 하부 힌지부위는 Bay-frame에 고정되어 있으나 ICE-T는 Frame을 차량에 취부하는 것이 아니라 상하기기의 장치프레임에 직접 힌지 bracket을 용접하여 힌지 고정부로 사용한 곳도 있다.

ICE-T의 사이드 점검도어는 밀폐구조가 아니어서 상하기기에 먼지가 많이 들어갈 수 있는 단점이 있다. Lifting pad는 차체 하부에 볼팅 되어 있으며 Lifting hole은 없고 대차 상부의 커버는 Al-Profile에 끼워지고 Bolting되는 구조이다.

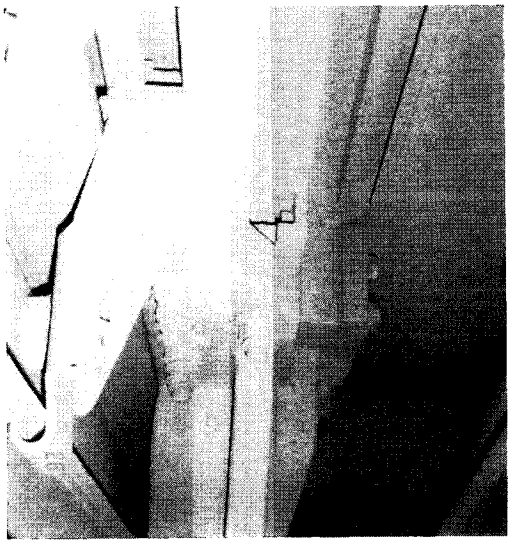


그림 5.1.1-3 ICE-T의 대차커버 취부구조

ICE 차량의 에어컨 설비는 일부는 Roof에 취부되어 있고 일부는 차량 하부에 설치되어 있으며 여압설비가 갖추어져 있어 터널에서도 압력파의 영향없이 외부 신선공기를 차량 내로 계속해서 공급할 수 있는 구조이나 유지 보수 작업이 다소 불편하다.

에어컨을 통과한 냉각공기는 객실의 경우 중천정의 다공판을 통해서 객실로 공급하게 되어 있으며 선반 아래쪽이나 중천정의 다공판을 통해서 에어컨 장치로 재순환되게 되어 있다.

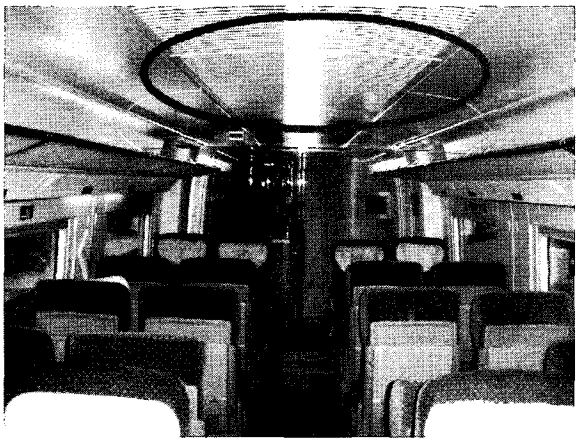


그림 5.1.1-4 객실 공기 공급그릴

화장실은 세면대 아래에 공기 배출구를 설치하였고 좌변기 상부에 공기 흡입구가 설치되어 있다. 그리고, 부속실의 경우에는 승강대 아래에 공기 배출구가 있고 배전반 아래에 흡입그릴이 있다.

(4) 실내 설비

ICE-3의 1등실 의자 배치는 2x1고정식으로 남색 계열의 가죽 커버이다. 의자 피치는 1010mm이며 복도 폭은 680mm이다. 선두 차량의 8석은 운전석을 통하여 전방을 볼 수 있도록 되어 있다. 또한 마주 보기 테이블 좌석을 제외한 모든 좌석에 개별 모니터가 있어 비디오 및 라디오를 시청 할 수 있다. 또한 독일 승객의 경우 하나의 객실을 분리하여 여러 개의 공간으로 나누는 컴파트먼트를 선호하며 ICE3의 경우 더 많은 컴파트먼트가 있다.

2등실의 의자 배치는 2x2 고정식으로 의자는 ICE1/2와 유사하나 단지 해드폰 플러그만 형상이 다르다. 의자 피치는 971mm이며 복도 폭은 554mm이다. 또한 레스토랑 차량이

편성당 1량씩 있으며, 레스토랑 차량 다음 차량에는 가족을 위한 컴파트먼트가 있으며 그 공간에는 테이블이 있는 6개의 좌석과 놀이 공간 및 짐을 보관할 수 있는 공간이 있다. 또한 장애자용 휠체어를 타고 여행 할 수 있는 공간이 있으며 넓은 장애자용 화장실도 설치되어 있다. 그림 5.1.1-5는 ICE 3의 LAY-OUT 도면을 나타낸 것이다.

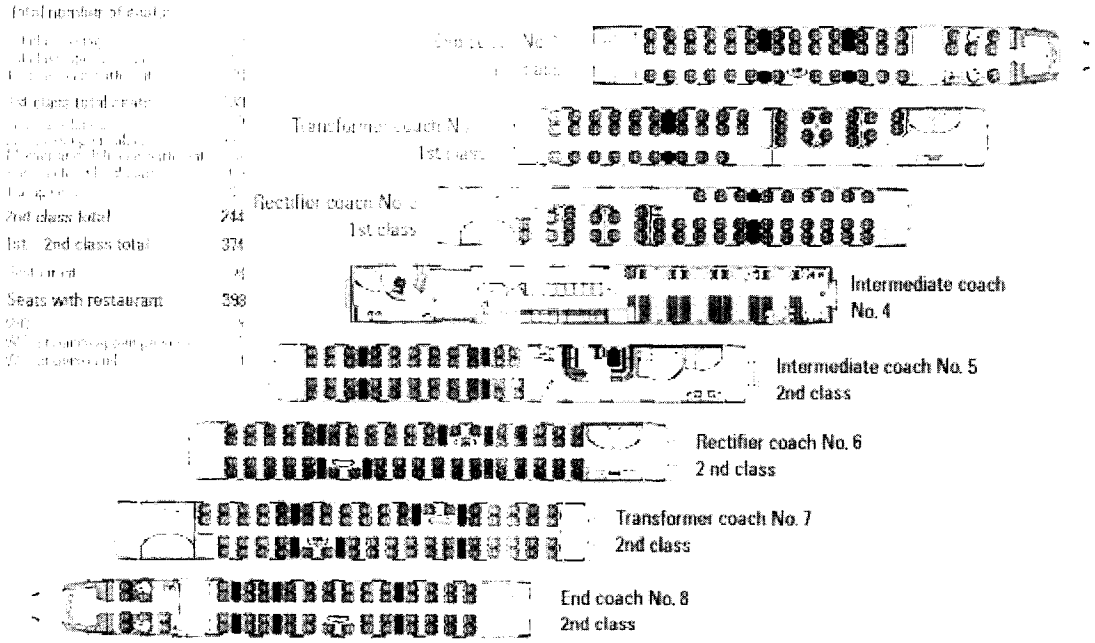


그림 5.1.1-5 ICE3 LAY-OUT

나. 프랑스

(1) 일반

프랑스의 가장 최신의 차량은 TGV 2층 객차(Duplex)이다. 알루미늄 압출재로 제작된 차량으로 폭증하는 수요량에 대응하기 위해 디자인 되었다.

TGV-DUPLEX의 feasibility 연구는 1987년에 완료 되었으며 1988년에 실물크기의 mock-up이 제작 되고, TGV 동남선에서 2층 객차의 무게 중심에 대한 동적 시험 및 실내 설비에 대한 시험이 수행 되었다. 2층객차 8량과 TGV-R의 동력차로 290kph 시험 주행후 1995년 6월에 자체적인 동력차가 제작완료 되어 편성을 이루게 되었다. 기술적 데이터 및 주요 설비 현황은 아래표 5.1.1-2와 같다.

표 5.1.1-2 TGV-DUPLEX-주요 기술 제원

제작 년도	1995-1997년
운행 지역	동남선
최고 속도	300kph
운행 차량수	30편성
공급 전력	25kV 50Hz AC, 1.5kV DC
견인전동기	8개의 3상 동기 AC 견인 전동기, 25kV 가선전압하에서 8800 kW (12000 hp)
편성 구성	1PC+8T+1PC
장점	23 kW/tonne , 0.70 tonnes/seat ,16.15 kW/sea

표 5.1.1-3 TGV-DUPLEX-주요 설비 현황

	PC1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	PC2
등급		1st	1st	1st	Bar	2nd	2nd	2nd	2nd	
좌석수		69	64	64	-	84	84	84	96	(545 total)
화장실수		♿ 2	2	2	-	2	2	2	2	
주기		짐칸설비			승무원실		가족실	기저귀 교환실	짐칸설비	

(2) 외형

TGV-Douplex는 객차 사이의 간격과 전두부 NOSE를 개선하여 1층 TGV보다 운행 최고속도 300kph에서 단지 4% 공기저항을 더 받는다. 또한 객차는 알루미늄으로 제작되어 구체무게의 20% 절감을 가져 왔으며 승객이 증가 했음에도 불구하고 축중의 제한인 17톤을 만족하고 있다. 그림 5.1.1-6은 TGV-Duplex의 전두부 형상을 나타낸 것이다.

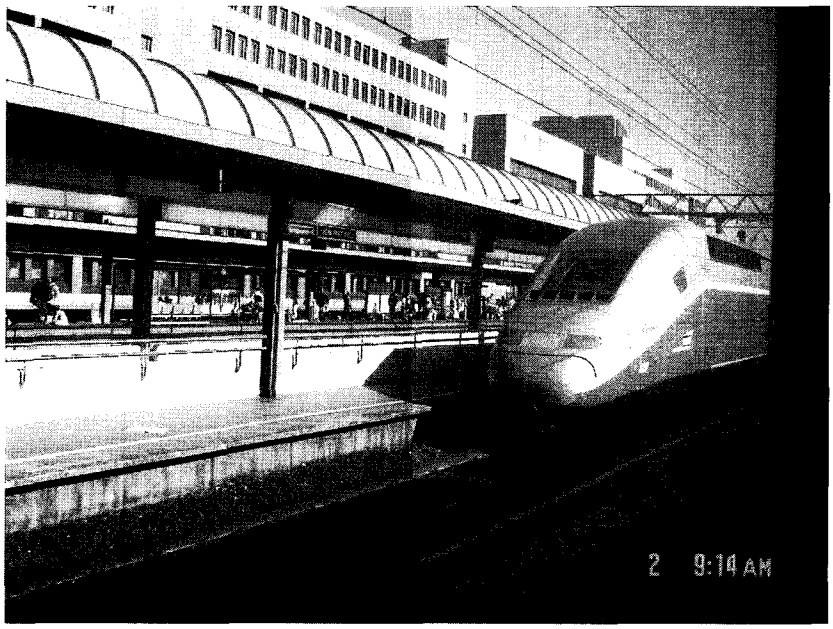


그림 5.1.1-6 TGV-Duplex의 전두부 형상

(3) 상하기기 및 냉난방설비

TGV-Douplex는 2층 객차로써 상하에는 별도의 설비가 없으며 에어컨, 제동판넬등은 차량 단부 화장실등의 부속실 부근에 취부되어 있고, 냉난방 시스템은 KTX와 거의 유사하게 설치되어 있다.

TGV-Douplex의 경우 차량 단부에 상하로 2개가 설치되고 1층과 2층 객실 모두 창문하부 Floor에 설치된 덕트를 통해 에어컨 장치로부터 냉각 공기의 공급을 받아 창문하부 그릴을 통해서 실내로 공급하게 된다. 공기 배출은 1층과 2층 사이에 구체 프레임이 있어 KTX처럼 선반위에 사이드 그릴을 설치하지 않고 창문하부 Floor에 설치된 공급용 덕트의 일부분이 배출용 덕트로 사용된다.

2층계단 측면에는 공기 배출구가 있고, 부속실에 화물칸과 배전반이 있어 각각의 하부에서는 공기 공급이 이루어지고 배전반 상부에서는 공기 배출이 이루어진다. 그리고 계단 반대쪽 객실에도 화물칸이 있고 화물칸 하부에는 객실 공기 배출용 그릴이 설치되어 있다.

화장실 내부는 세면대 아래에서 공기 공급이 이루어지며 세면대 상부에서 공기의 배출이 이루어진다.

객차 외부 측출입문 단부쪽의 상부에는 공기의 배출이, 하부에서는 공기 공급이 이루어지며 객실내부 출입문의 양쪽 파티션에는 그릴이 설치되어 객실의 냉각공기가 승강대로 유입되도록 제작되어 있다.



그림 5.1.1-7 TGV-Douplex의 화장실

(4) 실내 설비

1등실의 의자 배치는 2x1고정식이다. 의자 피치는 950mm이며 복도 폭은 530mm이다. 차량간 이동은 2층에서만 이루어진다. 또한 화장실을 개조하여 수유실이 편성당 1개소가 설치되어 있으며 모든 부속실에는 전화나 대화를 할 수 있는 의자가 구비되어 있다.

2등실의 의자 배치는 2x2 고정식으로 의자는 KTX와 유사하다. 의자 피치는 920mm이며 복도 폭은 430mm이다. 또한 레스토랑 차량이 편성당 1량씩 있으며, 레스토랑 차량 1층은 전장품용 기기실로 꾸며져 있다.

다. ETR500 차량

(1) 일반

1996년에 소개된 ETR500은 13량 1편성으로 590명의 승객을 한번에 수송 할 수 있다. 가족실, BUSINESS실 및 좌석에 식사 제공이 가능하다. 객차의 구체는 알루미늄 압출재로 제작되었고 VVVF 인버터 제어 및 3상 유도 전동기 구동방식으로 주요 차량 제원은 표 5.1.1-4와 같다.

표 5.1.1-4 ETR500 차량 제원

공급 전압	3kV DC/25kV AC
차량 편성	PC1+11Trailers+PC2
정격 연속 출력	8.8MW
최대 중량	627톤
전체 길이	328m
최대 속도	300kph

(2) 외형

13량 1편성 동력 분산식의 ETR500 고속전철의 차량단면은 ETR400시리즈 보다 원형에 가깝게 제작 되었다. 또한 동력실의 기기 배치는 중앙에 복도가 있고 전장품이 양쪽 싸이드에 배치된 형상을 하고 있다. 또한 3kV DC와 25kV AC 가선 전압을 받을 수 있도록 설계 되었다. 그림 5.1.1-8은 ETR500의 차량 형상을 나타낸 것이다.

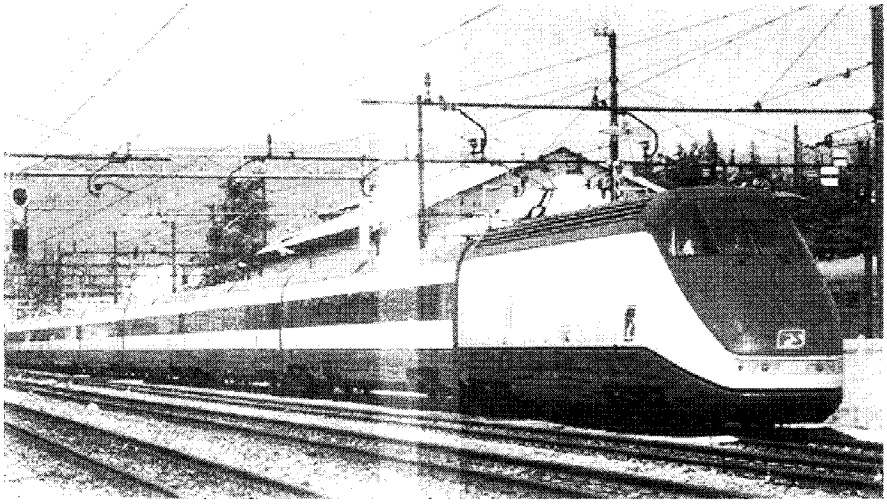


그림 5.1.1-8 ETR500 차량

(3) 상하기기 및 냉난방설비

상하기기 취부 방법은 일반 알루미늄 차량의 기기 취부방법과 유사하게 되어 있으며 에어컨 설비와 전장품이 차량 하부에 취부되어 있다. 단지 화장실설비는 부속실에 위치하여 Underframe 공간이 넓어졌다.

냉난방 시스템은 KTX와 유사한 형태로 제작되어 있다. 그러나 G7차량과 같이 차체가

알루미늄으로 부속실의 공기 배출과 공급용 덕트는 Tube를 이용하여 제작되어 있다.

객실은 KTX와 유사하게 창문하부에서 냉각공기가 공급되고 중천정과 측면천정이 만나는 중간부분의 40mm정도의 틈을 만들어 그 틈으로 냉각공기가 배출된다.

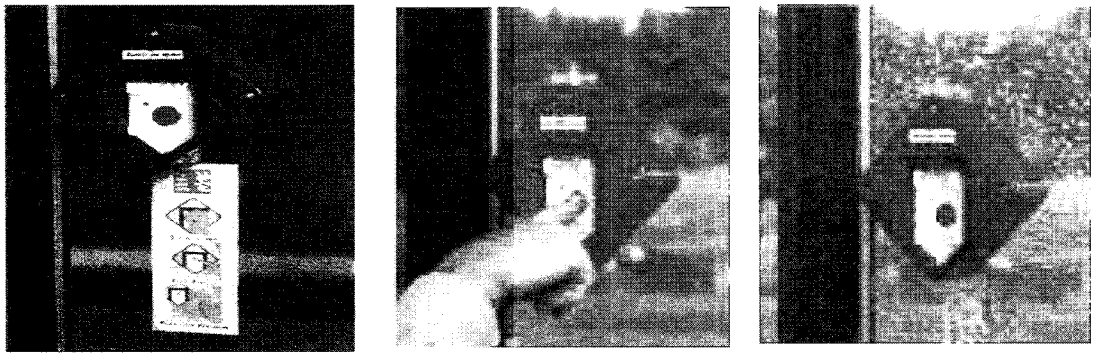
화장실의 공기 공급 덕트는 실내에서 이어진 하부 덕트를 통하고 다시 Flexible Tube를 이용하여 상부로 이동하여 천정에서 공급되고 세면대 하부 쓰레기통 위에서 공기 배출이 이루어진다.

부속실의 공기 공급은 객실과 같이 중천정과 측면천정이 만나는 중간부분의 40mm정도의 틈을 만들어 그 틈으로 냉각공기가 배출된다.

공기 배출구는 승강대 입구 화장실 설비 하부쪽에 그릴과 부속실은 배전반하부 그릴 등을 통해서 차량 하부로 배출된다.

(4) 실내 설비

1등실의 의자 배치는 2x1고정식이다. 의자 피치는 1100mm이며 복도 폭은 650mm이다. 또한 화장실을 모듈화 하였으며, 많은 컴파트먼트로 객실이 구성되어 있다. 또한 비상유리창을 버튼으로 깨뜨릴 수 있는 시스템으로 객차당 2개소에 구비 되어있으며 아래 사진과 같다.



(a) (b) (c)

그림 5.1.1-9 버튼으로 비상유리창 깨트리는 시스템 예

2등실의 의자 배치는 2x2 고정식으로 의자는 2개씩 마주보기로 구성하였다. 의자 피치는 1050mm이며 복도 폭은 480mm이다. 또한 레스토랑 차량이 편성당 1량씩 있다. 아래 그림 5.1.1-10은 2등실을 나타내고 있다.



그림 5.1.1-10 ETR500 2등객실

다. 일본의 경우

일본은 1964년 도카이도 신간선 이래 5개의 정규노선과 2개의 미니 신간선을 기 운행중에 있으며 가장 최근(2004년 3월)에 개통된 규슈신간선에 투입된 신간선 800계의 기술현황을 상세히 분석하고, 신간선 700계는 1997년에 운행을 개시 하여 익히 알려져 있기에 주요제원만 언급하고자 한다.

(1) 신간선 800계

(가) 운행노선

신간선 800계가 투입되어 금년 3월부터 상업운행중인 큐슈신간선은 가고시마와 나가사키의 두가지 노선으로 계획되었다. 가고시마노선은 북부 큐슈에서 남부 큐슈까지 총 257km로 하카다에서부터 산요신간선의 종점인 니시 가고시마 까지이며 이는 일본의 남쪽 국도축을 형성하여 이곳 지역경제 발전의 지대한 공헌을 하리라 사료된다.

가고시마노선은 기 개통 하였으나 2단계인 나가사키 루트는 향후 10년정도 후에나 개통예정이다.

규슈신간선의 특징은 기존 신간선 가운데 선로구배가 35‰으로 가장 크다. 이전의 신간선에서 가장 큰 구배는 1980년에는 15‰~20‰사이였고, 1997년에 개통한 호쿠리쿠 신간선의 경우에는 약 30‰ 이었다. 이러한 가파른 선로구배의 실현은 철도차량의 성능향상에 따른 것이고, 이로 인해 노선선정 범위의 폭이 넓어 졌으며 선로건설 공사비를 감소시킬 수 있었다.

(나) 규슈 신간선의 건설배경

2차 세계대전이후 높은 경제성장으로, 도쿄와 오사카 사이의 일반선로의 수송능력은 수요가 공급을 초과한 상태였다. 최초의 신간선인 이 구간의 도카이도 신간선은 도쿄 올림픽과 때를 맞추어 1964년에 운영을 개시하였고 여객의 수는 운영을 시작한지 15년만에 3배로 증가 하였다. 도카이도 신간선은 일본경제의 성장에 크게 공헌 하였다.

이러한 경험을 바탕으로 국토전체를 신간선으로 연결하는 이른바 신간선 개발법(Nationwide Shinkansen Line Development Law)이 발표되었다. 이 법은 고속철도 수송시스템을 전국으로 확산시킬 목적과 지방과 국가 경제를 함께 균형발전 시킬 목적으로 1970년에 제정되었다. 이 법을 기본으로 하여 1973년에 전국 구석구석을 연결하는 5800km의 철도노선 확장 마스터플랜이 만들어졌고, 5개라인(2,300km)에 집중하여 건설계획이 세워졌다. 규슈신간선 또한 이법에 의해 마련되었고, 신간선에 대한 마스터플랜은 1972년에서 1973년에 건설계획이 수립되었다.

그러나 1973년 규슈 신간선 건설계획이 결정된 때에, 중동전쟁에 의한 오일쇼크 파동으로 규슈신간선은 물론 모든 철도선 건설은 중지되었고 1991년에 와서 재개 되었다.

(다) 차량의 개요

일명 <쯔바메>라고 불리우는 800계 신간선은 일본 히다찌에서 개발 하였으며 6량 한 편성의 총 5편성으로, 신간선 40년의 경험과 700계 신간선 모델을 기본으로 하였으며, 큐슈의 전통적인 디자인과 인테리어를 채택하여 JR큐슈의 여러 가지 특산품 들이 차량의 인테리어에 활용 되었다.

예를들면 구마모도지역의 특산품인 장뇌, 체리나무와 가고시마지역의 특산품으로 인테리어 벽 및 나무 재질의 브라인드 등에 적용 하였다. 700계 신간선에서 큰 인기를 끌지 못했던 오리 주둥이 형상의 전두부 모양을 지양하고 늘씬 하면서 미려한 원형구조를 채택하였다.

표 5.1.1-5 신간선 800계 주요 제원

일반사항	제작년도	2003년
	차체 재질	Aluminium alloy hollow extrusions
	제작사	Hitachi (社)
	편성구성	6M(분산식 6량모두 동력 보유)
성능	가선전원	25 kV 60 Hz AC
	견인전동기	24 per 6-car train
	견인전동기 정격출력	257 kW
	차량 출력	275 kW x 24 sets= 6,600 kW
	최고 속도(설계속도)	260 km/h (285 km/h)
	가속도	2.5 km/h/s
주요치수	차량길이	27,350 mm (end cars)
		25,000 mm (intermediate cars)
	차량폭	3,380 mm
	차량높이(판토 포함)	3,650 mm
	의자배열	2 + 2
Pantograph		single-arm (2 per 6-car train)

800계는 기존에 사용하고 있는 700계 차량을 기초로 만든 차량이기에, 차량의 형태와 내부 구조 등이 700계를 연상하게 하는 부분이 많다. 기본적인 구동기술도 700계에서 기본을 따와 신기술을 넣는 방식이다.

우선 700계와 같은 275kW짜리 3상 유도전동기를 채택하고 있으며, VVVF-IGBT 고효율 제어로 초기 기동가속도가 2.5km/h/s를 기록하는 기동성이 매우 우수한 고성능 차량이다.

700계처럼 T차가 있는 것이 아닌, 6량 편성 전체가 M차(Motor car)이어서 더욱 기동성능이 좋아졌다. 또한 E2계에서 적용하고 있는 저항이 적은 팬터그래프도 아울러 채용하였다.

800계는 700계처럼 285km/h 이상의 속도를 낼 수 있도록 설계되었지만, 큐슈 신칸센 선로의 높낮이 구배가 심하기 때문에 큐슈 신칸센 내부의 운전 최고속도는 260km/h로 고정되어 있다. 대차는 700계와 같은 볼스터리스 대차를 채택했다.

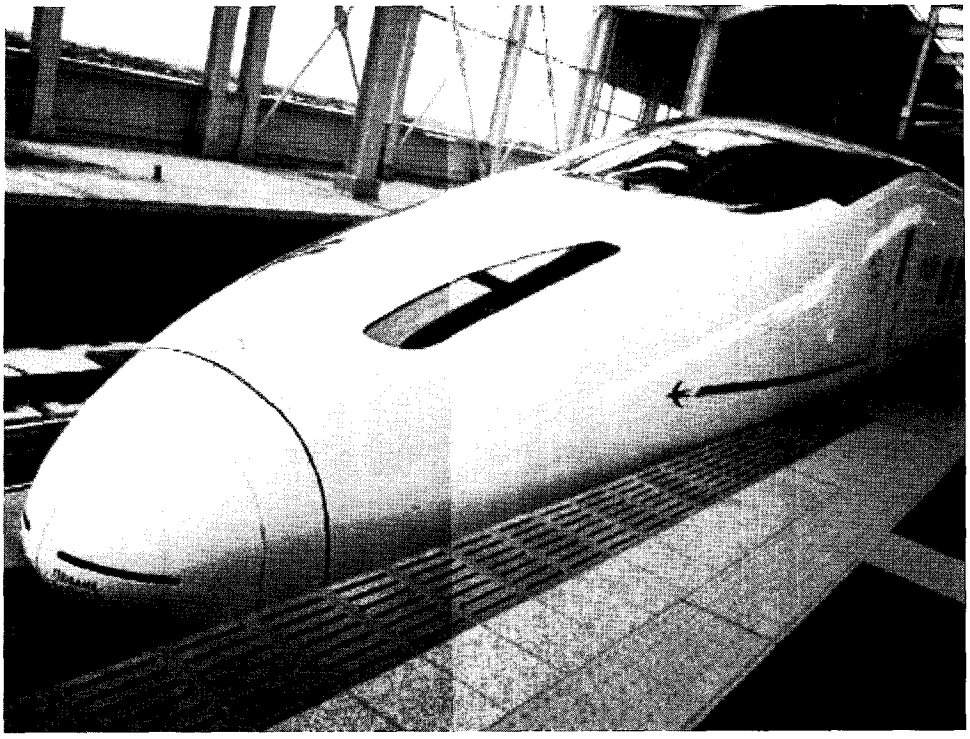


그림 5.1.1-11 신간선 800계의 전두부 형상

(라) 차량의 외부

전체 외관은 흰색을 주로 사용하여 깨끗한 느낌에 빨강색을 가미하여 세련된 분위기를 연출하였으며, 또한 공력 소음을 줄이기 위한 단순한 구조의 싱글 Arm 타입의 저소음용 판토그라프를 채용하였으며, 비관절식 대차임에도 차간 Anti-Roll damper를 차량의 상부에 적용하여 차간 상대운동을 최소화 하였다.

전두부 외형은 알루미늄 성형으로 차체와 용접구조이며 Nose 부분만 FRP 구조이고, 나머지 차체는 알루미늄 중공 압출재로 이루어졌다.

차체사이의 Mud-flap은 차체와 동일 색상이며 차량 중심 방향으로 향하고 있어 고속주행시에도 바깥으로 벌어짐이 없도록 하였다. 차량의 전체 외관이 예각부위가 없이 모두 곡면형상이며 정면에서 바라보면 원형에 가까운 형상으로 이루어져있다. 측출입문은 닫힌 후 실내의 4곳에서 바깥으로 밀어서 기밀을 유지하는 구조이다. 다만 측출입문이 슬라이딩 타입이어서 문을 닫은 후에도 차체 측면의 스트림 라인과 단차가 생겨 고속주행시 공력 소음유발 요인으로 보여 조금 아쉽다.

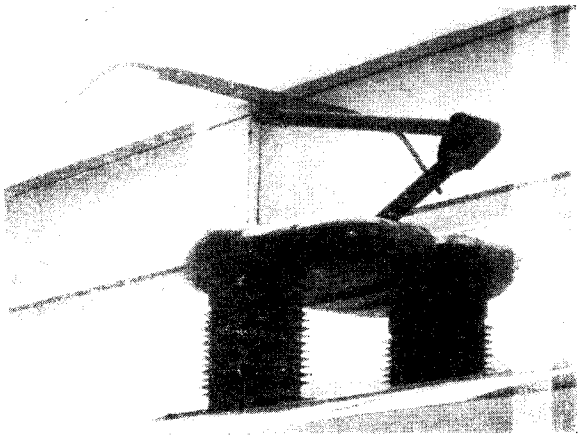


그림 5.1.1-12 싱글암 형식의 판토그라프

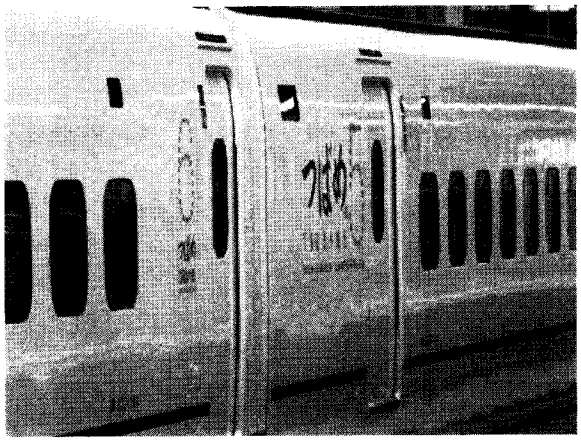


그림 5.1.1-13 출입문의 단차 발생부

(마) 차량의 내부

전통적 신간선의 2 X 3 좌석 배열에서 800계 신간선은 2 X 2 자동 및 수동회전식으로 배열 하였고 장애자용 휠체어의 접근이 용이하도록 평면 마루구조로 마감하였다. 접이식 테이블은 의자의 팔걸이 내부에 보관하였다가 필요시 펼치는 구조이고 비교적 작은 크기이다. 이는 의자의 자동 회전시 간섭을 최소화하기 위함으로 보인다. 또한 실내 출입문 윗 부분에는 안내용 전광판이 설치되어 있으며, 실내 출입문의 재질은 일본산 녹나무로 이루어져 있다. 또한 창문에 드리워지는 블라인드 또한 원목소재로 만들어 기존 700계의 블라인드에 비해 자연과 가까운 느낌을 준다.

800계 신간선 <쯔바메>는 장애인 대응도 철저한데, 우선 1호차의 뒷부분에 휠체어 거치공간을 마련해 놓고 그 옆에 좌석을 1개씩만 배치해 장애인들이 이 자리에 앉을 수 있게 배려하고 있다.

또한 그림 5.1.1-14에서 알 수 있듯이 넓은 장애인용 화장실을 1편성당 2개씩 마련하고, 기저귀를 갈아줄 수 있는 등의 다목적으로 사용할 수 있는 베이비 시트도 갖추고 있으며 어떤 위치에서도 접근할 수 있도록 화장실 전체를 감싸듯 손잡이가 설치되어있다

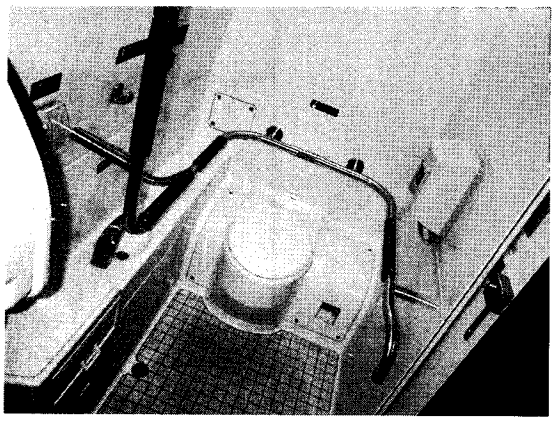


그림 5.1.1-14 장애자용 화장실 전경



그림 5.1.1-15 실내 전경

창문은 기타 신간선과 동일하게 의자당 1개씩 설치되어 창문 옆 좌석에서는 외부로의 시야확보가 가능하지만 복도에서는 항공기처럼 다소 답답함이 있다. 의자의 프레임은 원목을 소재로 제작하여 자연스러움을 연출하였고 바닥재는 타일무늬의 리노륨 계열로 마감하였으며 기타 측면과 천장은 흰색계열로 처리하여 깔끔한 이미지를 풍긴다.

실내공기 조화에 있어서는, 선반아래에서 냉방 공기가 실내로 유입되어서 내부를 냉방시킨후 각각의 의자아래에 위치한 배기덕트를 통하여 외부로 빠져나가는 구조이다. 이는 차가운 공기는 밀도가 높아 위에서 아래로 흐르는 현상을 활용한 것으로 보인다. 의자 하부공간을 활용함으로써 기존차량의 양쪽 측벽하부 전체를 배기덕트로 사용할때의 실내공간 침범을 방지하였다.

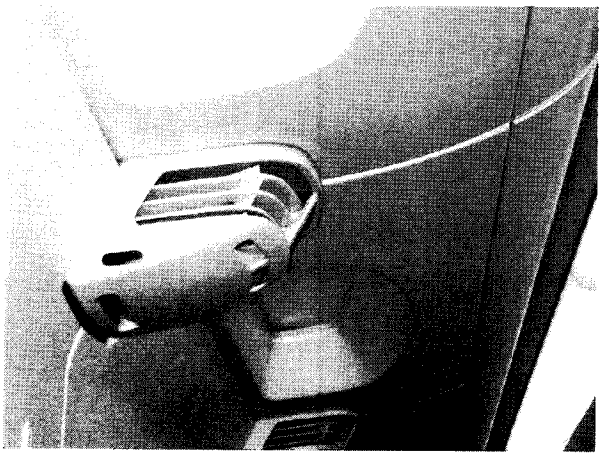


그림 5.1.1-16 냉난방 공기토출구

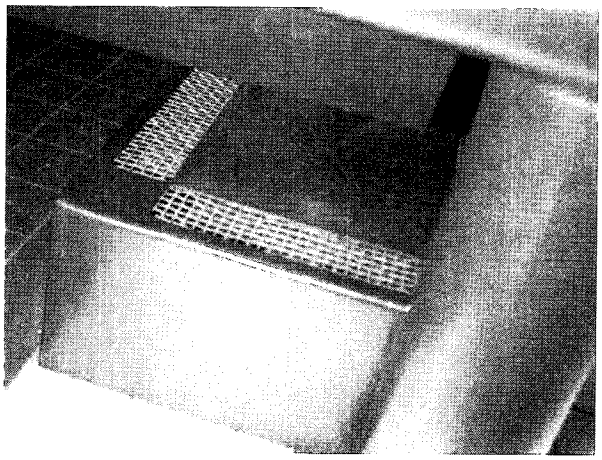


그림 5.1.1-17 의자 아래 배기구

측벽은 창문 하나당 윈도우 마스크 하나씩이며 동시에 측벽 전체를 윈도우 마스크가 감싸는 타입이어서 별도의 마감재가 불필요한 구조이다. 윈도우 마스크 하부에서 별도의 공구없이 손으로 취부가 가능한 플라스틱 머리 볼트이어서 외관도 미려하게 하였다. 윈도우마스크 마다 2개씩의 옷걸이를 비치하였으며 이는 사용하지 않을 때에는 윈도우 마스크면과 나란하고 필요시에만 돌출하는 구조이어서 승객의 안전사고 예방도 고려하였다.

실내 선반은 측벽과 동일 색상으로 감싸고 아래에서 화물의 확인이 가능하도록 의자배열과 동일하게 반투명 유리를 장착하였고 이는 KTX의 민원사항중의 하나인 앞좌석 승객의 비침현상을 없게 하였다.

실내는 넓은 차체폭에 밝은 색상으로 마감하여 전체적으로 깨끗하면서 훨씬 더 넓어보이도록 하였다.

(바) 전동식 의자 회전장치

① 電動式 回轉裝置의 기본원리 및 작동방법

열차가 종착역에 정차후 출발시 까지의 사이에 차내의 정리, 정돈 및 청소를 하고 의자를 전부 반대방향으로 돌리기에는 시간이 부족하여 자동회전식 의자장치를 개발, 적용하였으며. 청소원들이 Table을 모두 접어 넣어 정리를 실시하고 회전시 문제가 없도록 확인 후, 객차와 객차 사이에 있는 Control Panel을 열고 Switch를 조작하여 1량씩 독립적으로 회전을 시킨다. 이때 그림 5.1-18과 같이 홀수열이 먼저 회전을 하고 짝수열이 나중에 회전을 한다. 이는 주어진 공간에서 일괄회전시 앞뒤의자의 충돌을 방지하기 위함이다. 또한 手動式 回轉裝置와 電動式 回轉裝置 공용으로 사용할 수 있게 되어 있으며, 승객은 수동식 회전 장치만 사용할 수 있고, 승무원만 전동식 회전 장치를 작동할 수 있게 되어 있다.

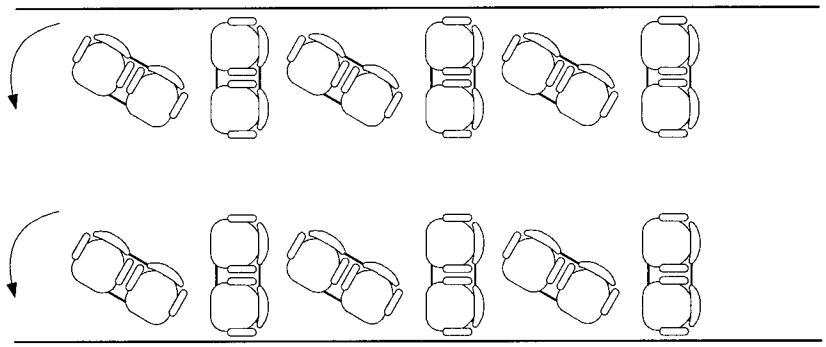


그림 5.1.1-18 자동회전 그림

② 구성품

- 자동 Lever 장치

전동으로 회전하기 위하여 Switch를 넣으면 회전장치의 Stopper를 해제시키는 장치.

- Motor 장치

시트 전동 回轉시 回轉 구동력을 제공하고, 이때 일정한 힘을 유지하기 위해 Torque Motor를 使用한다.

- Motor Controller

이는 구동시 方向(정/역방향)을 조절하고 回轉시 이상발생을 감지하여 Motor의 回傳을 중지시키고, Motor를 보호하는 역할을 한다.

- Condencer

Motor의 정/역방향을 선택할 경우 기동전압을 증가시키는 역할을 한다.

- Gear Head

Motor 회전시 回轉速度를 減速하고, Torque를 增加시킴.

- Bevel Gear 및 Timing Belt

이는 Motor 회전력을 의자에 전달하는 역할을 한다.

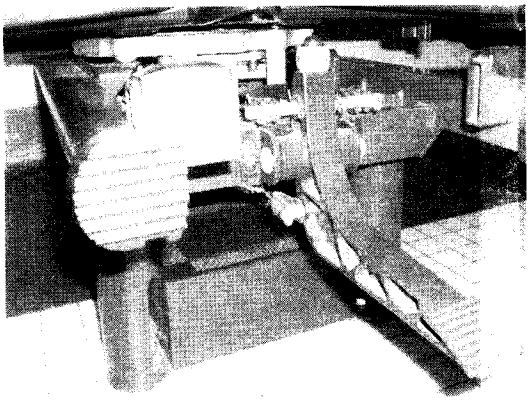


그림 5.1.1-19 전동 회전장치

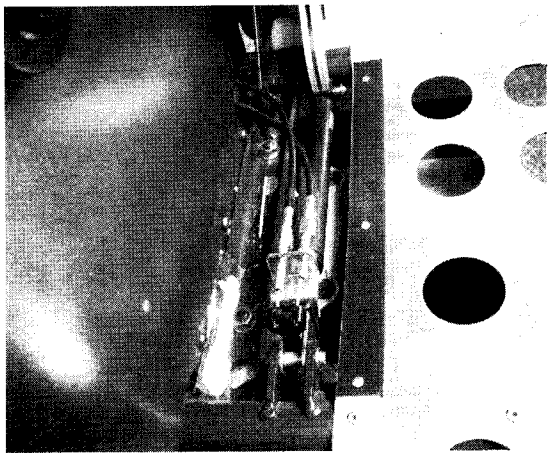


그림 5.1.1-20 Locking 장치

(바) 차량의 부속실 및 통로

차량과 차량사이의 연결 통로 부위에는 2중 겹문을 설치하여 승객의 접근을 감지하면 동시에 여닫는 구조이며 소음의 전달을 차폐한다.

세면실은 여닫이 문 대신에 주렴을 설치하여 장애자도 쉽게 사용할수 있도록 하였다.

장애자용 화장실은 내부에서 휠체어가 충분히 회전할 수있게 공간을 확보하였으며 어린이 보호용 거치대를 설치하여 기저귀 교환 및 보호자 용무가 혼자서도 가능하도록 설비하였고 수세 버튼은 전자 감응식으로 하여 작동에 힘이들지 않도록 배려하였다. 장애자용 손잡이 또한 화장실 전체를 감싸는 듯한 구조로 설치하여 어떰 방향에서도 잡을 수 있도록 한 세심함도 돋보였다. 장애자용 화장실 출입문은 자동 슬라이딩 타입이나 일반화장실은 KTX나 한국형고속열차와 동일한 접이식 수동문이다. KTX 차량의 상업운행시 민원사항 중 하나로, 화장실 내부에서 문의 개방이 용이하지 않아서 불편하고 고장이 다수발생 및 문의 떨림으로 인한 소음도 발생하곤 하였다(이는 한국형고속열차도 동일한 문제임). 신간선 800계에서는 상부 롤러를 수직 및 수평으로 모두 설치하고 롤러와 가이드사이의 공차를 Tight 하게 관리하고 접이문 사이의 휜지를 튼튼하게 함은 물론, 잠금장치를 KTX와달리 고리식으로 단순화 하였다. 그리고 문틈 사이에는 두껍고 부드러운 Rubber Profile을 장착하여 손가락 상해등의 안전사고에도 노력하였다.

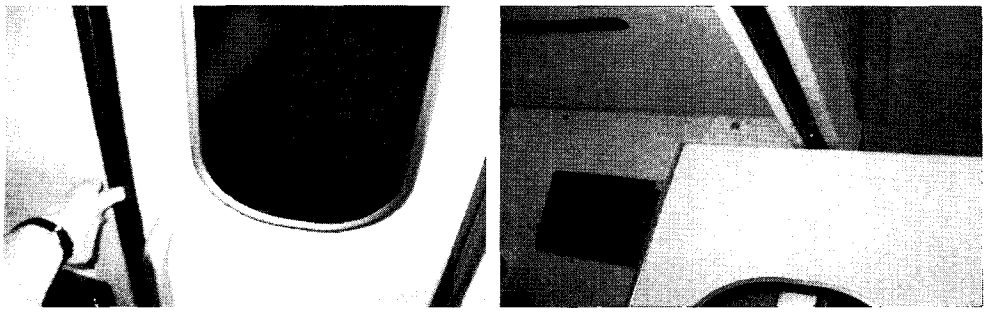


그림 5.1.1-21 손 부상 방지 및 접이식 문의 상부구조

(2) 신간선 700계

신간선 700계는 1997년 처음 투입된 차량이며 정보가 많이 공유 되었기에 제원표 만 언급한다.

표 5.1.1-6 신간선 700계 차량 제원

일반사항	제작년도	1997 - 2004년
	차체재질	Aluminium alloy hollow extrusions
	제작사	Kawasaki, Hitachi, Nippon Sharyo, Kinki Sharyo
	편성구성	12M4T, 6M2T
성능	가선전원	25 kV 60 Hz AC
	견인전동기수	C sets: (AC) TMT6/7 (48 per 16-car train)
		B sets: (AC) WMT205 (48 per 16-car train)
		E sets: (AC) WMT205 (24 per 8-car train)
	전동기당 출력	275 kW
	전체출력	13.2 MW (for 16-car train)
		6.6 MW (for 8-car train)
	최고속도	285 km/h
차량 주요치수	차량길이	27,350 mm (end cars)
		25,000 mm (intermediate cars)
	차량폭	3,380 mm
	높이(판토포함)	3,650 mm
	대차간 거리	17,500 mm
	공차 중량	40 t
	의자 피치	Standard class: 1,040 mm (3+2)
		Green class: 1,160 mm (2+2)
대차	대차 타입	C sets: TDT204 (motored), TTR7002 (trailer)
		B/E sets: WDT205A (motored), WTR7002 (trailer)
	축거	2,500 mm
	Wheel 직경	860 mm
판토그라프		C sets: TPS301 single-arm (2 per 16-car train)
		B/E sets: WPS205 single-arm (2 per train)

2. 국내의 경우

가. KTX 차량

(1) 일반

국내에서 운행하는 KTX 고속전철은 1994년에 프랑스 TGV 시스템 도입을 결정하여 46편성에 대한 차량 계약 체결로 도입되었다. 차량은 프랑스에서 1992년부터 1996년까지 제작된 TGV-R을 기본 모델로 설계되었으며 상업운전은 2004년 경부선 및 호남선 노선에서 시작하였다.

서울~부산간 경부선의 경우, 대구까지 고속전철 전용 신규 노선으로 운행되고, 대구에서 부산까지는 재래선을 전철화 및 개량하여 운행중에 있다. 호남선의 경우, 서울~대전은 KTX 고속전철 전용의 신규 노선으로 운행하고, 서대전~목포 또는 광주 구간은 1999년 12월에 재래선을 전철화 및 개량하여 운행중에 있다.

표 5.1.1-7 KTX의 기술적 제원

총중량	771.2톤(승객 탑승 기준)
좌석	특실 1열당 3석(127석),피치 : 1120
	일반실 1열당 4석(808석), 피치 :930
	총좌석 : 1편성당 935석 (간이좌석 1편성당 30석 별도 설치)
가선전원	25 kV 60 Hz AC
편성	PC1+MT1+16TRAILERS+MT2+PC2
운행 최고 속도	300km/h
견인 동력	13,560KW(18,200마력), 견인전동기 수량 : 12대
가속성능	300km/h까지 6분 5초 소요
차량 길이	387m(동력차 :22.607m, 동력객차: 21.854, 객차 :18.7m)
제동거리	300km/h에서 6,400m(2분 32초)
차량 재질	마일드 스틸
편의 설비	비디오/오디오 시스템, 인터콤, 객실 내 여객정보 설비,
	음료 캔 자판기 10대, 스넥 자판기 3대 구비
장애인 설비	1편성당 장애인용 좌석 2석, 장애인용 화장실 1개, 휠체어 보관소 1곳 구비

(2) 외형

전두부 형상은 공기저항을 줄이기 위하여 고속철도 차량의 앞뒤 동력차 머리 부분을 상어 모양을 본 따 유선형으로 설계하였고, 한국적인 특징까지 가미한 부드러운 곡선으로

처리하였다. 공기저항을 많이 받는 차 밑의 각종 기기들까지도 모두 덮개로 감쌌고, 차량과 차량을 연결하는 틈새, 유리창과 차체표면 간의 작은 턱까지도 최소화하였다.
또한 객차와 객차 사이에 한 개의 대차만을 가지고 있는 관절형 대차 타입이다. 그림 5.1.1-22은 KTX 형상을 나타내고 있다.

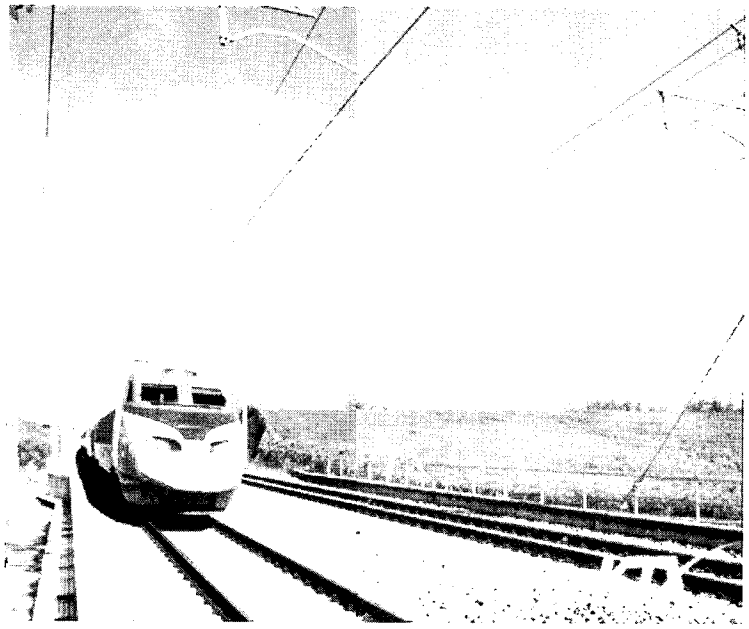


그림 5.1.1-22 KTX 전두부 형상

(3) 상하기기 및 냉난방설비

KTX의 상하기기는 Mild 차량이라 구체에 용접된 Bracket을 이용하여 기기 취부가 이루어져 있으며 상하기기를 보호하기 위해 점검 도어와 하부 커버를 장착하였다.

점검도어는 빗물이나 눈등의 침투를 예방하도록 기밀구조로 제작되어 있고, 냉난방장치는 차량 하부에 장착되며 하부에서 냉각된 공기는 하부 덕트를 통해서 객실로 공급되어진다. 객실로 공급되어진 공기는 차량 측면 하부에 설치된 실내 덕트를 통해서 창문하부와 부속실을 통해서 객실로 공급되게 된다.

객실은 창문하부와 측면하부 덕트에 취부된 그릴을 통해서 공급되며 화장실과 부속실은 객실측면 덕트와 연결되어 냉난방공기가 공급되어 진다.

(4) 실내 설비

KTX의 1등실 의자 배치는 2x1고정식으로 남색 계열의 순모 재질의 커버이며, 의자 피

치는 1120mm이며 복도 폭은 495mm이다. 20량 1편성에 2호, 3호, 4호, 5호 객차가 1등실이며 수동 회전 가능하다. 객실 천장에는 4개의 모니터가 있어 의자에 비디오 및 라디오를 청취 할 수 있는 설비가 있다. 실내 설비의 가장 큰 특징 중의 하나가 화재에 관련하여 NFF16-101 및 NFF16-012의 규격을 모든 실내 설비에 적용 했다는 것이다.

2등실의 의자 배치는 2x2 고정식으로 의자는 해드폰 플러그가 없으며 이는 민원사항 중 하나이다. 의자 피치는 930mm이며 복도 폭은 480mm이다. 또한 도시락과 같은 음식을 보관한 다음 승객에게 제공하는 설비 및 음식물 저장 창고가 차량내에 구비 되어 있으나 현재 음식물 저장 창고만 사용하고 있다. 객실 중앙에는 마주보기 테이블이 구비 되어 있으며 부속실에는 짐을 보관 할 수 있는 설비가 있다. 또한 1등 객차인 2호차에 장애자용 화장실 및 휠체어 보관소, 장애자용 좌석이 2석 설치되어 있다.

그림 5.1.1-23는 KTX 1등실의 형상을 나타내는 객실 사진이다.

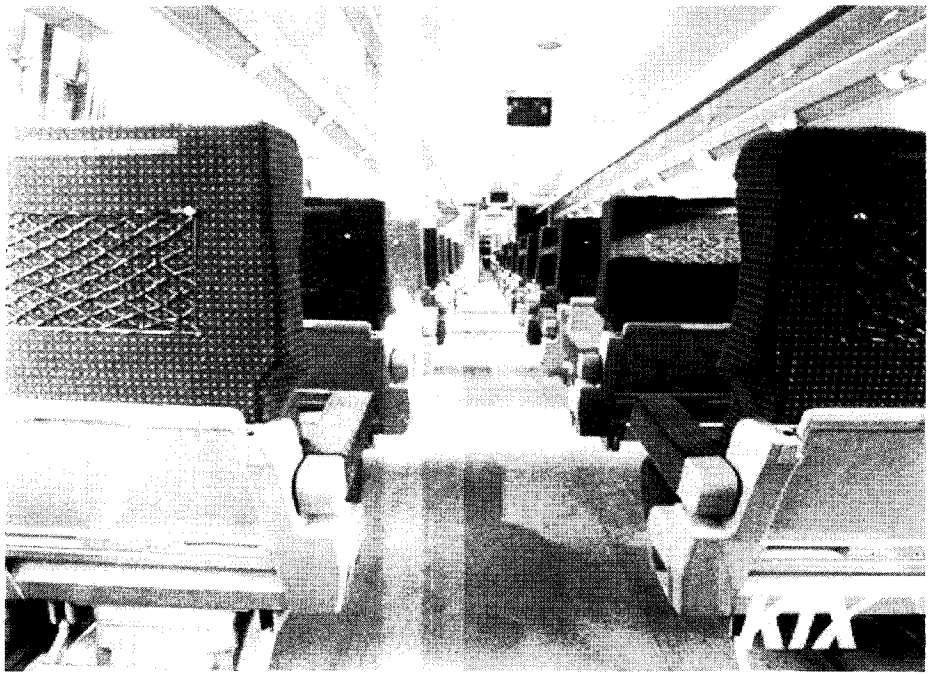


그림 5.1.1-23 KTX 1등실 형상

3. 선진기술 적용 가능 항목검토

해외 선진차량의 현장조사 및 세부기술사항 검토 후 우리의 실정에 맞게 적용 가능한 항목을 다음과 같이 정리하였다.

(가) 유럽의 선진 차량 적용가능성 검토

항목	TGV / ICE / ETR500	G7 현황	향후 설계 적용
부속실 설비	1. 모든 부속실에 쓰레기통, 소화기를 설치하고, 남은 공간에 간이 의자 설치	1. 일부 부속실에 소화기 및 쓰레기통 설치, 접이식 의자나 간이 의자가 없음	1.적용 필요
화장실	1. 각 객실 마다 2개씩 설치, 세면대가 크고, 2. 1개의 틀로 흘러 내린 물이 세면대로 흘러 들어 가는 구조 3. 크기(차폭x길이) : 850X1200	1. 객차 당 1개 (차량 건너마다 설치), 2. 세면대가 너무 작고, 세면대 주위 물이 고여 있는 구조 3. 크기(차폭x길이) : 720X1185	1.적용가능성 검토 필요, 2.세면대는 적용 필요 3.적용 필요
측출입문	1. 문 코너를 라운드 처리하여 구체의 응력 집중을 분산, 문 프레임에서 흡수 2. 스텝 포켓과 구체 사이의 간격이 8~10mm사이 3. 점검커버 높이를 2m이상 하기 위하여 스텝을 3개로	1. 모서리가 각지고, 2. 스텝 포켓과 구체사이 간격이 너무 커서 고무 씰링이 둘러져 있음 3. 점검 커버의 위치가 너무 낮음	1. 적용 필요 2. 적용 필요 3. 적용가능성 검토 필요
음식 설비	1. 각 편성 마다 레스토랑 설비(Thalys의 경우 카페테리아 설비하고 나머지 공간은 객실로. 측출입문은 음식을 싣는 문만 있음)	1. 카페테리아 설비 (공간이 좁음)	1. 필요시 카페테리아 방식으로 하고 크기를 현재의 3배(측출입문 위치 이동 또는 없음) , 나머지는 객실로 이용
유아 설비	1. 화장실을 개조하여 기저귀 교환실 및 수유실로 이용(TGV)하거나 화장실에 기저귀 교환대 설치(ICE: 1개/편성, ETR500 :2개/량) 2.비행기의 유아 보호망	없음	1. 안 확정 필요 및 기저귀 교환대 설치시 수량 확정 필요 2. 적용가능성 검토 필요

항목	TGV / ICE / ETR500	G7 현황	향후 설계 적용
짐칸	1. ICE : 객실 및 부속실에 위치. 부속실의 경우 할인 마트의 카트 열쇠 방식 자물쇠 설치 , THALY: 부속실에 위치 (이용율 낮음) TGV : 객실 / 부속실에 위치(이용율 높음, 국제선 운행 때문)	1. 없음	1. 작은 크기로 부속실에 설치 검토 필요 및 자물쇠 설치
행선지 표시	1. 모든 정차역을 작은 글씨로 한번에 표시, 부속실내에도 차외 설치한 표시기 설치	1. 글씨가 지나가는 타입, 부속실에는 없음	1. 적용 가능성 검토 필요
비상 창문	1. ICE : 비상 망치로 한번에 파괴하는 구조(4개/량) 및 측 대형 출입문 유리창을 한번에 당겨 파괴 , THALY : 스위치로 한번에 파괴하는 구조(2개/량), TGV : 비상 망치로 여러 번 파괴하는 구조	1. 객실에 없으며, 대형 출입문 유리창을 한번에 당겨 파괴	1. ICE 방법으로 적용 필요 예상
객실 정보 현시	1. 차량 끝단에는 차호, 차실 등급이나 화장실 사용유무만 표시 나머지 정보는 내장판 아래 표시	1. 천장 중앙에 모니터 설치로 정보가 가림	1. 적용 필요
객실 색상	1. 유로스타를 제외한 TGV는 색상이 어두워 실내가 좁게 보임	1.흰색 계열임	1. 적용 필요
선반	1. ICE 경우 모듈화 수행(선반 상부에서 점검)	1. 모듈화 미수행(선반 하부에서 수행)	1. 모듈화 및 형상 변경적용 필요

항목	TGV / ICE / ETR500	G7 현황	향후 설계 적용
커튼	1. TGV 구형타입 이외 각국의 고속전철에는 브라인드만 장착, THALY는 전동식(모터 장착 공간 필요로 내장판 상부 형상 상이)	1. 브라인드만 설치	1. 전동식은 가능성 검토 필요(1000만/량)
의자	1. ICE : 복도폭 확보를 위하여 팔걸이폭 축소(50?40), 머리받이 높낮이 조정 가능, THALY / TGV : 특실 의자 전동식	-	1. 적용 가능성 검토 필요
장애자 설비	1. 휠체어 보관소는 없고 ICE/THALYS는 의자가 장애자 이용시 좌판을 들면 휠체어 고정장치 설비가 된 의자로 변경(ICE :1개/편성, THALYS : 2개/편성)?회전식은 적용 불가 예상 2. ICE나 THALYS는 크기가 (폭X길이) :1400X1800이상임	1. 휠체어 보관 설비만 있음 2. 1380X1120	1. 적용 가능성 검토 필요
옷걸이	1. 내장판 안으로 숨김(ICE/THALYS)	1. 내장판 안으로 돌출됨	1. 적용 가능성 검토 필요
동력객차 동력실 개조	1. 작은 객실 및 철도청 직원/경찰을 위한 회의실로 적용-단차 발생으로 계단 설치 및 창문 형태가 객실과 상이, 나머지 공간은 작은 짐칸으로 활용(승객 출입 금지)	-	1. 공기용량 및 순환 방안 확보 필요(THALYS나 구형 TGV의 U/F LAY-OUT ,공기 순환도 확보 필요 2. 회의실 이외의 공간 설치시 단차가 같아야함

항목	TGV / ICE / ETR500	G7 현황	향후 설계 적용
실내 공기 덕트 유지보수	1. 창문 하부그릴로 들어간 이물질 청소을 용이 하기 위하여 바닥 덕트 위 그릴리 없음, 창문 하부 그릴에 철망을 사용한 경우가 있으나 철망 끝단이 망가짐	1. 바닥부 그릴로 막혀 있어 이물질 청소가 난이	1. 철망이외의 방법 적용 필요
에어컨 취부 위치	1. ICE는 Roof 에 취부하여 상하기기의 공간을 확보하고 덕트 설치에 유리함	1. Under-frame하부에 설치되어 있어 유지 보수시 작업공간의 협소로 불편함이 야기됨	1. 현재 차량과 구체형상이 변경되므로 강도와 에어컨 제작 가능성등의 추가 검토 후 적용
부속실의 에어컨용 덕트	1.ETR500의 화장실이나 부속실의 배관간섭등의 문제등으로 덕트 작업이 어려우므로 Flexible duct를 사용하여 문제를 해결함	1. 알루미늄 덕트로 제작시 취부공간 확보가 어려웠으며 추후 유지보수시 어려움이 야기됨	1. 덕트 공간확보가 어려울시 검토 후 적용가능함
상하기기 취부방법	1. ICE에서 C-rail에 기기취부시 C-rail과 기기bracket 사이에 U자 모양의 bracket을 추가하여 쥐부함	1. C-rail에 기기 bracket을 바로 취부함	1. 기기취부의 안정성을 확보하기 위해 적용 필요함
부속실의 공기 덕트 위치	1. 화장실과 부속실의 공기덕트 위치가 공급용은 하부에 배기용은 상부나 휴지통 부근에 설치하여 공기순환이 원활하게 함	1. 화장실은 비슷한 높이에 덕트그릴을 설치함 2. 부속실의 공기 공급량이 부족함	1. 공기순환과 냉난방을 위해 적용 필요함
객실의 배기덕트 취부공간	1. TGV-Douplex의 경우 배기 덕트 취부공간 확보를 위해 공급덕트를 나누어서 배기용으로 사용함	1. 천정 사이드쪽에 배기 그릴을 설치하고 부속실로 내려서 차량하부로 내려감	1. 배기 덕트 공간 확보가 어려울시 적용가능함

(나) 일본의 선진 차량 적용가능성 검토

항목	신간선 현황	차종	G7 현황	향후 설계 적용
전두부 재질	1. 알루미늄 성형품으로 차체와 용접 (Nose 부위 제외)	800계 500계	FRP	1. 적용가능성 검토필요
의자	1. 자동회전식 의자	800계 700계 E2계	-	1. 적용필요 (의자 업체와 공동개발) 좁은 공간에 적용하기위해서는 신간선 3열 회전식 설계를 참고할 필요 있음
Mud-flap	1. 차체와 동일색상, 2. 내부로 향한 형상	800계 500계	1. 검은색, 2. 차체와 나란하게 제작하였으나 주행시 공기 저항으로 외부로 돌출	적용필요
장애자 화장실 설비	1. 손잡이가 좌우 뒤, 수직으로 설치, 2. 수세버튼이 Touch식 전자 감응식, 3. 유아보관용 거치대 설비	800계 700계 E2계	1. 손잡이가 한면에만 설치, 2. 수세버튼이 수동 push button 3. -	적용필요
옷걸이	1. 평상시는 Window mask와 동일 평면, 옷을 걸때만 돌출(부상방지)	800계 700계	1. 항상 돌출형	적용 필요
의자 손잡이	1. Round 형의 고무 재질 손잡이	700계	-	유사타입 적용필요
유아보관용 거치대	1. 화장실에 유아보호용 거치대	800계 700계 E2계	-	유사타입 적용필요

항목	신간선(700계)	차종	G7 현황	당사 적용
Folding door	1. Folding door 작동이 부드러움 - Door leaf 상부에 수평,수직roller 장착 - Door leaf 틈새 부위에 Soft rubber 장착	800계 700계	1. 작동불량으로 민원발생(KTX) - 상부에 고정장치만 있음 - 일부에 Hard rubber 장착	적용 필요
장애자 화장실 출입문	1. Push butten 식의 자동 sliding door	800계 700계	1. 수동 Hinge door(KTX 민원사항)	적용 검토 필요
차체 Side rib	1. 플렛폼 높이로 rib가 위치하여 탑승시 승객안전확보 및 주행 안정성 기여	500계	-	적용가능성 검토필요
차량 편성도	1. 각차량 출입문벽쪽에 승객을 위한모든 설비 시설내용 포함	E2 계 800계 700계	-	적용 필요
의자 팔걸이	1. Round 형으로 자동회전 시 간섭 방지	E2 계	-	유사타입 적용필요
부속실 공간	1. 동일편성의 차량마다 부속실 공간이 상이함 (최대10m), 다양한 활용	E2 계	1. 부속실 공간 협소	적용 검토필요

4. 대차 특허 분석

관절 타입의 철도차량의 주요 부품은 차량과 차량을 연결하는 관절장치인데 그 동안 관절차량에 적용되어온 대표적인 관절장치(연결 구조체)의 타입은 4가지로 구분될 수 있으며, 그 상세한 타입은 아래의 그림 5.1.1-24에 나타내었다.

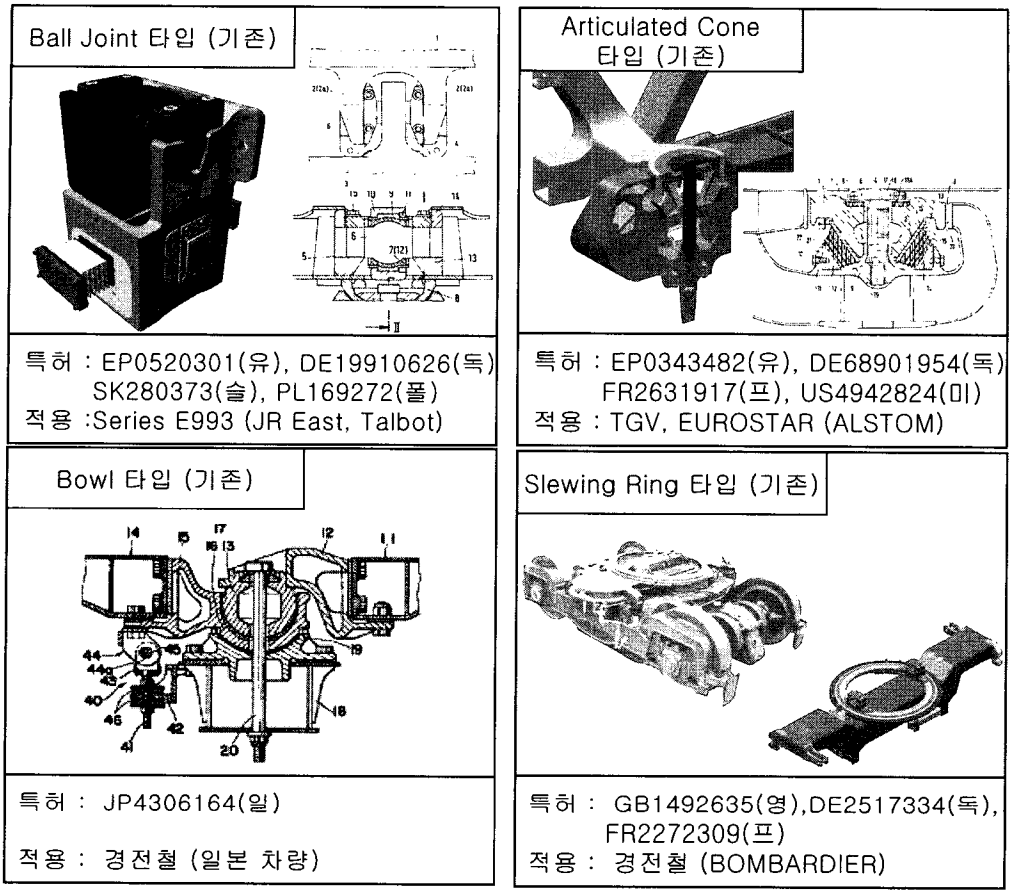


그림 5.1.1-24 대표적인 관절장치 타입

관절장치의 종류는 관절 콘(Articulated cone)을 사용한 관절장치, 볼 조인트(ball Joint)를 사용한 관절장치, Bowl type 및 Slewing ring type등이 있으며, 그 중 Articulated cone을 사용한 관절장치가 현재 한국형 고속전철(G7)에 적용된 타입으로써 알스톰사가 북미/유럽에 특허를 등록한 상태이다.

따라서, 관절차량의 주요 부품인 관절장치의 특허 회피 및 고유 기술력 확보를 위하여 당해연도에 관련 장치의 특허 현황에 대하여 조사를 실시하였으며, 특허 회피를 위한 고유 모델에 대하여 개념안을 도출한 후 특허 저촉여부를 변리사를 통하여 검토하였다.

그림 5.1.1-25는 특허 회피를 위한 고유 모델로서 Resilient joint를 적용한 관절 장치 타

입이다. Resilient Joint 타입은 알스톰사의 특허 등록한 Articulated cone 타입과는 전혀 다른 타입이지만, Ball Joint 타입과는 유사하다. 그러나, 관절 장치의 주요 타입인 Ball Joint 와 Resilient Joint 타입의 차이로 특허의 유사성이 회피된다.

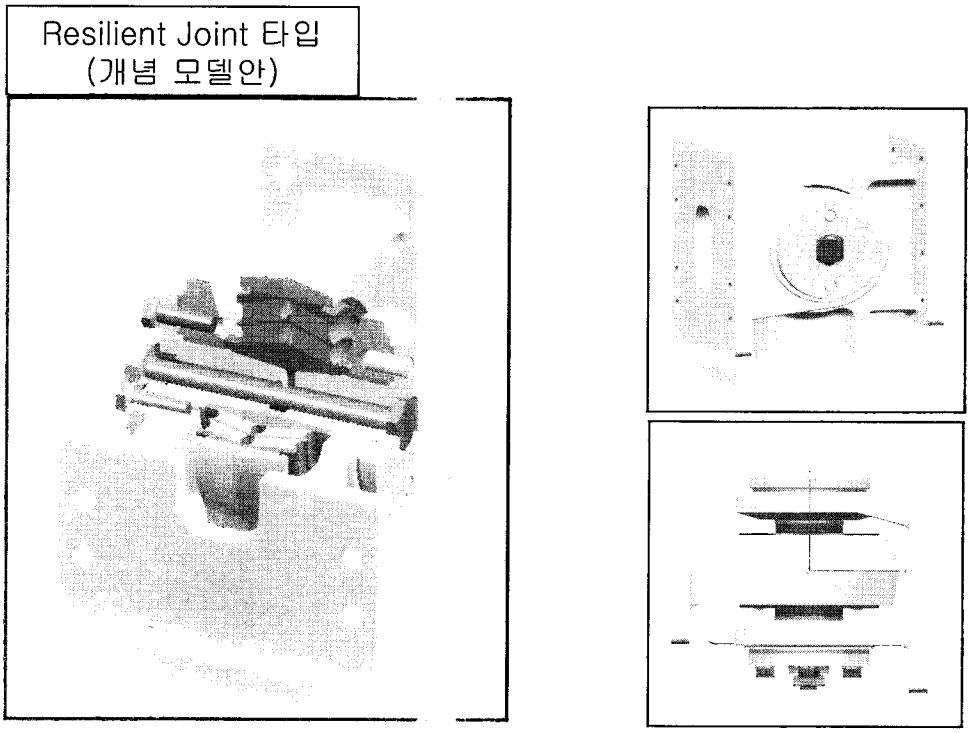


그림 5.1.1-25 특허 회피용 관절장치 고유 모델

아래의 (1)항은 특허 회피를 위한 고유 모델 개념안에 대하여 특허 저촉 여부 검토에 대한 변리사의 검토 감정서를 유첨하였다.

향후 3차년도에는 특허 회피한 고유모델을 더 구체화 하는 기본 및 상세설계를 추진할 계획이며, 4차년도에는 관절장치를 제작하여 현 차량에 적용하여 성능입증 시험을 실시할 계획이다.

제2절 세부기술사항의 검토분석

1. 국내외 기술수준 비교

가. 외국의 기술수준

일본, 프랑스 및 독일 등은 이미 고속전철시스템을 건설하여 운행하고 있다.

따라서 이들 국가의 시스템 기술의 우열이 있을지는 몰라도 이들은 자기들의 시스템 , 즉 신간선, TGV 및 ICE에 걸 맞는 시스템 기술은 보유하고 있음은 자명한 사실이다. 그러나 이들 국가가 자국의 시스템이 아닌 다른 시스템에 대하여도 충분한 기술력을 보유하고 있다고 말할 수 없다. 예를 들면, 전동차 형식의 동력분산방식은 일본 신간선의 독특한 기술이며, 관절형 대차 형식은 프랑스 TGV만이 채택하고 있으며, 공기저항을 최소화한 공력 설계와 컴퓨터 등의 첨단기술을 적용한 대용량 비동기 견인전동기를 사용한 것이 독일 ICE이다.

기타 영국, 이태리, 캐나다 등도 고속전철의 운행에는 실패했다고 볼 수 있으나, 실패의 원인이 새로운 선로의 건설보다는 기존 선로를 이용하고 차량의 성능개선을 통하여 속도 향상을 시도한 점을 고려한다면 이들 국가도 고속전철에 관한 시스템 기술을 보유하고 있다고 생각된다.

다음은 세계 주요국가에서 운행되고 있는 고속철도 차량과 한국형 고속전철(G7)차량과의 기술수준을 비교하기 위한 사양이다.

표 6.2.1-1 추진장치 사양 비교

구분	항목	한국형고속열차	KTX
컨버터부	정 류 부	PWM Converter	Half-controlled SCR bridge
	전력회로 구성	2×PWMConverter	2×Rectifier
	정류기 입력전압	1400Vac	1800Vac
	정류기 용량	2×1300kVA	2×950kVA
	정류기 출력전압	2800Vdc	1500Vdc
	사용소자	IGCT	SCR
	인버터부	VSI(전압형)	CSI(전류형)
	전력회로 구성	1×PWMInverter	2×Inverter

인버터부	인버터출력전압	2183Vac	1246Vac
	인버터 용량	3000kW	2200kW
	출력 주파수	0~143Hz	0~200Hz
	냉각방식	비등냉각(Heat-pipe식)	비등냉각(탱크침적식)
	사용소자	IGCT	SCR
전동기	형식	유도전동기	동기전동기
	극수	4극	6극
	용량	1100kW	1130kW
	회 전 수	4290rpm	4000rpm
	속도	350km/h	300km/h

표 6.2.1-2 추진장치 특징 비교

항목	한국형고속전철	KTX
컨버터 / 인버터	-단상 PWM 컨버터를 병렬로 연결해 사용하므로 고조파 성분을 감소시키고 전력을분담시켜 전력소자 용량도 줄일 수 있다. -컨버터 입력전류가 전원전압과 동상이 되도록 제어함으로써 역률을 거의 1에 가깝게 할 수 있다. -회생전력을 전원으로 되돌릴 수 있는 4상한 운전이 가능하다. - 전압형PWM 인버터방식으로 출력측 고조파를 저감시킨다. -벡터제어방식을 사용하여 우수한 견인력 제어가 가능하다. -견인전동기는유도기를사용한다.	-위상제어정류기를 사용한다. (Phase-Controlled Rectifier) -전류형인버터 -견인전동기로 동기기를 사용하여 유지, 보수측면에서 비용이 증가하므로 현재 유도기로 전환되는 추세이다.
냉각 방식	-Heat pipe에 의한 강제냉각방식으로 유지, 보수 및 냉각능력이 뛰어나다.	-침적식 비등냉각방식을 사용, 유지,보수성이 떨어지고 전체의 기밀유지가 필요하다.

표 6.2.1-3 저항제동 비교

	한국형 고속전철	KTX
사용전동기	유도전동기	동기기
저항제동 조건	1. 사구간 정보 감지시 2. 전차선 전압이 29kV 초과시	1. 전차선전압이 없을 때 2. VCB 개방시 3. 사구간 정보 감지시 4. 전차선 전압이 29kV 초과시
여자 초퍼	유도기의 경우 별도의 여자초퍼가 필요 없으나 고정자를 통해 회전자에 자속을 유기시킬 에너지가 필요	밧데리 전원을 입력 전원으로 공급받음 보조컨버터(570Vdc)로 부터 전원을 공급 받음
최대 제동력	회생제동력의 60%로 제한	회생제동력의 60%로 제한
제동 초퍼	제동력에 따라 DC-link 전압이 일정하게 제어되도록 도통각을 제어	제동력은 제동 초퍼의 도통각을 제어

나. 국내의 기술수준

우리의 고속전철시스템 기술수준은 이제 시작단계로 볼 수 있다. 즉, 고속전철에 대한 기술조사단계에서 외국의 Louis Berger사 등의 외국회사에, 경부선 기종선정을 위한 제의요청서(Request for Proposal) 및 평가기준서의 작성에 있어서는 Bechtel사에 의존하였다. 차량 등의 기종선정에서는 프랑스의 TGV시스템을 선정하여 Alstom사 등의 프랑스 회사로부터 기술도입을 위하여 계약에 의거, 기술이전을 위한 연수를 시작으로 차량 제작 및 조립을 거쳐 완성차 주행시험이 진행 중이다.

2. 주요기술사항 및 기술 수준의 분석평가

가. 외국의 경우

소위 고속전철 선진국이라고 말하는 프랑스, 독일, 일본 등의 경우 차량의 설계/해석/시험평가에 대한 모든 기술이 안정화 단계에 있으며 이를 바탕으로 자국뿐만 아니라 해외시장 개척에 활용하고 있다.

나. 국내의 경우

고속전철에 대한 국내 기술력은 총체적으로 선진국과 커다란 격차를 보이고 있는 것으로 평가되고 있으며, 거의 모든 분야가 기초연구 또는 실용화 초기 단계에 머물고 있는 실정이다. 이를 위한 고속철도기술개발사업 차량시스템 안정화 기술개발단계에서는 해외 전문기관과 협력하여 주행안정성에 대한 검증을 2단계로 구분하여 수행하고 있다.

여백

제7장 참고문헌

1. BS 6853 : 1999 Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying train
2. BS 476 part6 : 1981 Method of test for fire propagation for products
3. BS 476 part7 : 1997 Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products
4. NFPA 130 : 2000 Standard for Fixed Guide-way Transit and Passenger Rail System
5. ASTME 162 : 1990 Standard test method for Surface Flammability of Materials using a Radiant Heat
6. ASTME 662 : 1992 Standard test method for specific Optical Density of smoke Generated by Solid materials
7. NFF 16-101 : 1988 Fire behaviour-Materials choosing
8. NFF 92-507 : 1997 Safety Against Fire-Building Materials-Reaction To Fire-Test Classification
9. NFX 70-100 : 1986 Analysis of pyrolysis and combustion gases tube furnace method
10. KS F 2271 : 1998 건축물의 내장 재료 및 구조의 난연성 시험 방법
11. 동력차 시스템 엔지니어링 기술개발, 2차년도 연차보고서 초록, 1998.9
12. 동력차 개발, 3차년도 연차보고서, 1999.10
13. 고속철도기술개발사업, 차량시스템 안정화 기술개발 1차년도 보고서, 2003.10
14. 해외 선진차량 현차조사 출장보고서, (주)로템, 2004.
15. 고속철도기술개발사업, 차량시스템 안정화 기술개발 1차년도 연차보고서, 2003.1016. 고속철도기술개발사업, 차량시스템 안정화 기술개발 2차년도 연차보고서, 2004.10
17. 고속철도기술개발사업, 차량시스템 안정화 기술개발 3차년도 연차보고서,

2005.10

18. M. Morimot, "New Single-Phase Unity Power Factor PWM Converter-Inverter System", IEEE Power electron Conf.(PESC) Rec., pp. 217-221, 1989.
19. J. Holtz, Adaptive Optimal Pulse-Width Modulation for the Line-Side Converter of Electric Locomotives", IEEE Trans. power electronics., vol. 7, no. 1, pp. 205-211, January. 1992.
20. T. Takeshita, "Current control of Single-Phase PWM Converter without Source Phase Angle and Voltage Detectors", 平成 4年 電氣學會産業応用部門 全國大會, pp. 390-395, 1996.
21. 마북리연구소 전력전자연구실 "고역률정류기 최적제어기술개발" 현대중공업(주) 연구보고서, 1998.
22. MAX+PLUS® II Getting Started, Version 8.1, Altera Corp., 1997.
23. D.W.Novotny and T.A.Lipo, Vector Control and Dynamics of AC Drives, Clarendon Press. Oxford, pp.401-pp.416, 1996
24. D. Casadei, G. Grandi, and G. Serrg, "Study and Implementation of a Simplified and Efficient Digital Vector Controller for Induction Motors", 6th IEEEMD Conference, September 8-10, Oxford, UK. 1993
25. D. Casadei, G. Grandi, and G. Serra, "Rotor Flux Oriented Torque Control of Induction Machines Based on Stator Flux Vector Control," Conf. Proc. of EPE'93, Vol.5, pp.67-pp.72, 1993
26. M. Depenbrock "Direct Self Control (DSC) of Inverter-Fed Induction Machine", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.3, No.4, pp. 420-pp.429, Oct. 1988
27. T. G. Habetler, F. Profumo, M. Pastorelli, and L. M. Tolbert, "Direct Torque Control of Induction Machines Using Space Vector Modulation," IEEE Trans. on IA., Vol.28, No.5, pp.1045-pp.1053, Sept/Oct, 1992
28. I. Takahashi and T. Noguchi, "A New Quick-Response and High-

Efficiency Control Strategy of an Induction Motor," IEEE Trans. on IA, Vol.IA-22, No.5, pp.820-pp.827, 1986

29. X. Xu, R. De Doncker and D.W. Novotny, "Stator Flux Orientation Control of Induction Machines in the Field Weakening Region," IEEE-IAS Annual Meeting Conf. Rec., pp.437-pp.443, 1988

30. S.-H.Kim, S.-K.Sul, and M.-H.Park, "Maximum Torque Control of an Induction Machine in the Field Weakening Region", IEEE IAS Annual Meeting Conf.Rec., pp.401-pp.407, 1993

31. ASME Boiler and Pressure Committee, "ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section Ⅷ, Unfired Pressure Vessel", ASME, New York, 1965.

32. 김철주외, "히트파이트냉각기의 설계 및 성능 평가 기술 확립", 현대중공업 보고서, 1999.10.

33. I. Kataoka. M. Ishii, "Drift flux model for large diameter pipe and new correlation for pool void fraction", Int. J. Heat and Mass Transfer, 1987.

34. Amir Faghri, "Heat pipe science and Technology", Talor & Francis, 1995.

35. M. S. El-Genk, H. H . Saber, "Determination of operation envelopesfor closed, two-phase thermosyphon", Int. J. Heat Mass Transfer, pp.889-903, 1999.

36. 기계전기연구소 전력변환연구실 "주전력변환장치개발" 현대중공업(주) 1단계 완료보고서, 1999.10월

37. 기계전기연구소 전력변환연구실 "주전력변환장치개발" 현대중공업(주) 2단계 완료보고서, 2002.10월

38. 곽수태, "한국형고속전철 제어시스템의 개발성과보고," G7 고속전철 개발사업 2단계 1차년도 연구성과 보고서.,2000년 12월

39. 곽수태, 김기남, 이남진, 정경렬, 이병현, "한국형 고속 전철 제어시스템의 제동제어방식," 대한기계학회 하계학술집. 2000년 7월

40. 전영욱, "제동장치 신뢰성 확보방안 추진결과 보고," 한국형고속열차 시운전단 2006년 12월

41. IEC 61375-1 "Electric Railway Equipment Train Bus Part 1 : Train Communication Ne

twork", 1999

42. Communication-based train control systems, http://www.tsd.org

43. 차상컴퓨터1, 철도경영연수원, 2002

44. 최명호, 윤기중, 박재현, "전동차량용 필드버스 기술 동향", 2003