보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호()
철도기술연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D / 18RTRP-C113727-03

전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발

최종보고서

2019. 11. .

주관연구기관 / ㈜우진산전
공동연구기관 / ㈜앤츠
㈜아이티베인
한국교통대학교
위탁연구기관 / 한국철도공사

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

‘전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발’ (연구개발 기간 : 2016. 04. 29 ~ 2019. 9. 30) 과제의 최종보고서 요약본을 제출합니다.

2019. 11. .

주관연구기관명 : ㈜우진산전 (대표자) 김 상 용 (인)
공동연구기관명 : ㈜앤츠, ㈜아이티베인, 한국교통대학교
위탁연구기관명 : 한국철도공사

주관연구기관책임자 : 이영호
협동연구기관책임자 : 손기환, 이현우, 김재문
위탁연구기관책임자 : 이휘민

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>18RTRP-C113727-03</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2018.01.01.~ 2019.09.30</td><td>단계구분</td><td>3차년도/ (총 3차년도)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">전기기관차(8200호대) 주변환장치 및
종합제어장치 실용화 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2"></td><td>해당단계
참여연구원 수</td><td>총 : 92명
내부 : 92명
외부 : 명</td><td>해당단계
연구비</td><td>정부 : 1,726,000 천원
민간 : 575,700 천원
정부외 : 천원
상대국 : 천원
계 : 2,301,700 천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여연구원 수</td><td>총 : 137명
내부 : 137명
외부 : 명</td><td>총 연구비</td><td>정부 : 4,596,000 천원
민간 : 1,543,100 천원
정부외 : 천원
상대국 : 천원
계 : 6,130,100 천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">㈜우진산전
기술연구소</td><td colspan="2">참여기업명
㈜앤츠, ㈜아이티베인,
한국교통대학교, 한국철도공사</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="6">※ 국내・외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의 보안등급 및 사유</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

9대 성과 등록・기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설・장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록・기탁 번호	15	5				5					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설・장비 현황

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

요약

- 신형전기기관차(8200호대, 이하 전기기관차)에 탑재된 GTO(Gate Turn Off Thyristor) 타입의 소자를 대용량 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)로 변환한 전기기관차용 주변환 장치 실용화 기술개발
- 전기기관차용 종합제어장치 - 차량네트워크, 중앙제어장치 및 화면표시장치 실용화 기술개발
- 전기기관차용 주변환장치 및 종합제어장치 현차 적용시험을 통한 기술 확보 및 신뢰성 검증

보고서 면수 : 335

요약문

연구의 목적 및 내용	◦ 전기기관차(8200호대)용 추진제어시스템인 주변환장치 실용화 기술 개발 - 1.3MW급 견인전동기를 제어할 수 있는 주변환장치 보완 설계, 제작 - IGBT를 적용한 주변환장치용 모듈(컨버터, 인버터, HEP) 보완 설계 및 제작 - IGBT 소자의 병렬 구동 드라이버 보완 및 제작 - 회생제어 및 토오크 제어를 위한 제어장치(TCU) 보완 및 제작 - 1.3MW 급의 견인전동기와의 철도차량 기술기준에 의한 조합시험 및 완성차 시험 - 주변환장치의 현차 적용 시험을 통한 성능 검증 ◦ 전기기관차(8200호대)용 종합제어장치 실용화 기술 개발 - 전기기관차용 차량네트워크(MVB) 통신 분석 - 자기진단 및 고장기록을 담당하는 중앙제어장치(CCU) 개발 - 전기기관차(8200호대) MVB 통신 인터페이스가 가능한 화면표시기(MMI) 개발 - 개발품의 검증을 위한 전기기관차(8200호대) 전용 MVB 프로토콜 생성기 및 시뮬레이터 개발 ◦ 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치 신뢰성 향상 연구 - 개발된 주변환장치 및 종합제어장치의 신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성 분석 - 주변환장치 및 종합제어장치의 LCC 절감 방안 연구
연구개발성과	◦ 전기기관차(8200호대)용 추진제어시스템인 주변환장치 실용화 기술 ◦ 전기기관차(8200호대)용 종합제어장치 실용화 기술 ◦ 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치 신뢰성 향상
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1) 추진제어 시스템은 고속철도 및 도시철도로 확대가 가능하며, 비용절감으로 유럽 및 해외로의 진출이 가능할 것으로 생각 되며 유사제품에 대한 국산화 기술력 확보를 통해 수입제품에 대한 가격상승 억제 등의 간접적인 효과를 예상할 수 있음. 2) 유지보수 비용의 증가에 따른 소비자 교통비용 상승을 억제 할 뿐만 아니라 국산화 신제품 개발에 따른 철도차량에 대한 신뢰성을 확보할 수 있음. 3) 전기기관차 차량 제어 및 통신장치의 기술 확보로 해외시장 진출 및 저변 확대가 기대됨. 4) 해외(인도, 대만) 전기기관차 신규차량 및 전장품 개량사업 진출기회 획득

국문핵심어 (5개 이내)	전기기관차	주변환장치	종합제어장치	RAMS	수명주기비용
영문핵심어 (5개 이내)	Electric Locomotive	Main Power conversion System	Train control monitoring system	RAMS	Life Cycle Cost

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 5

2. 연구수행내용 및 성과 ····· 14

가. 전기기관차(8200호대)용 추진제어시스템인 주변환장치 실용화 기술개발 ····· 14

나. 전기기관차(8200호대)용 종합제어장치 실용화 기술 개발 ····· 120

다. 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치 신뢰성 향상 연구 ····· 267

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 323

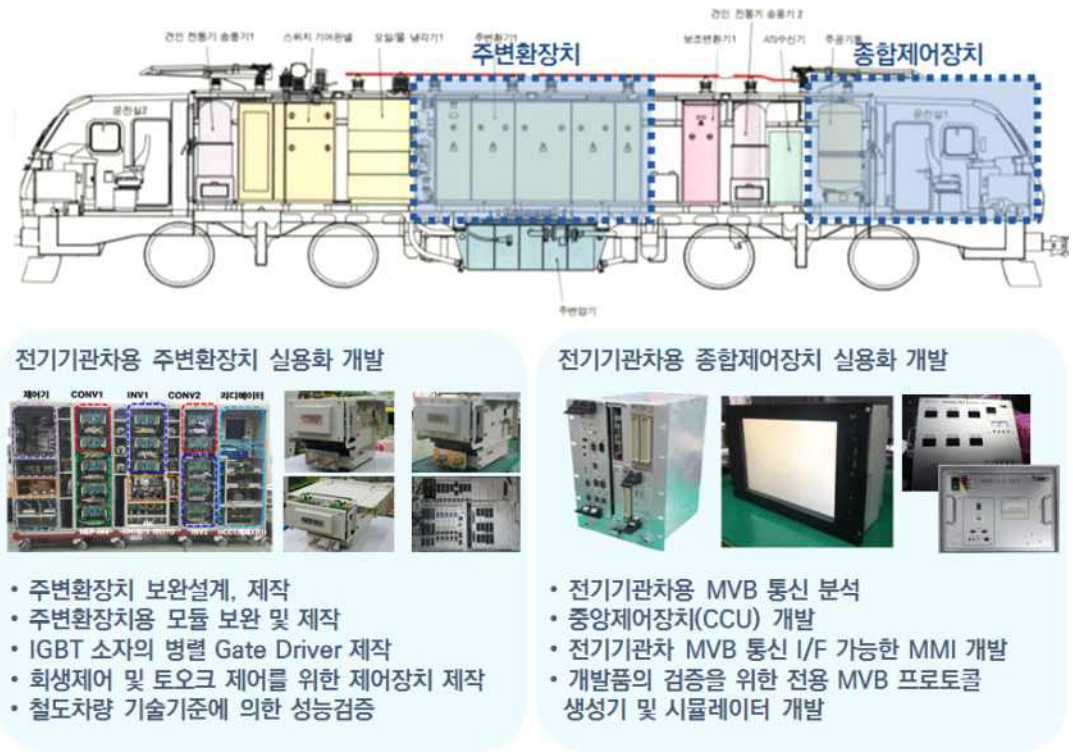
4. 연구개발성과의 활용 계획 등 ····· 330

붙임. 참고 문헌 ····· 334

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적



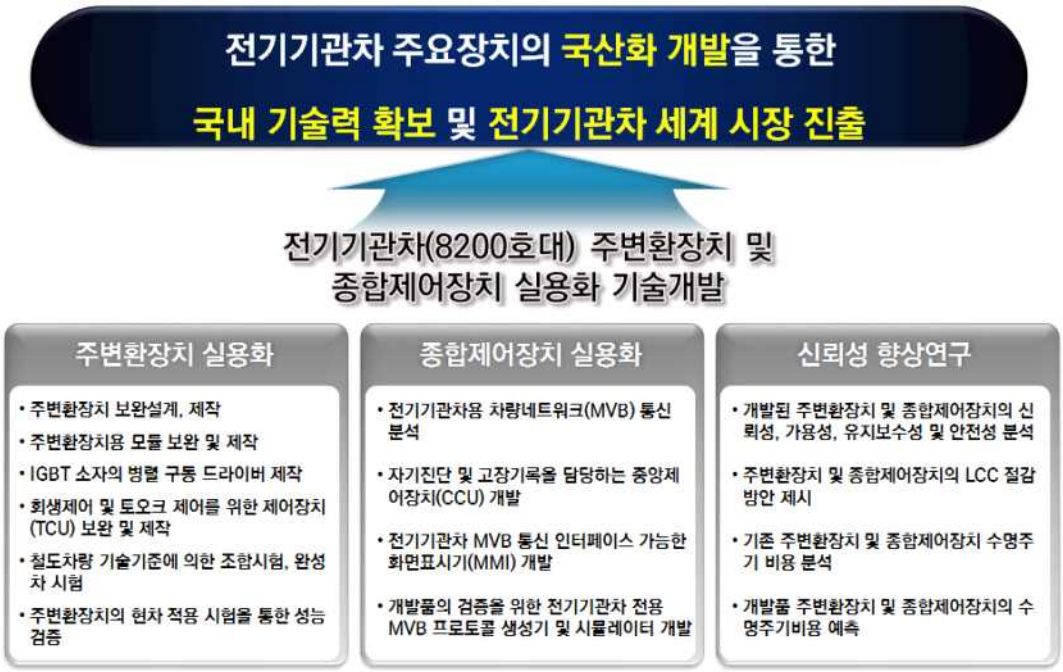
< 그림 1-1. 연구개발 범위 >

○ 견인전동기의 잦은 고장이 문제점에 대한 개선방안으로 도입된 신형전기기관차는 주회로 스위칭 소자로서 GTO(Gate Turn-Off) 사이리스터를 채용하고 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 제어방식에 의한 교류 유도전동기를 구동함으로써 최고속도 150[㎞/h]의 고속운전이 가능하게 되었으며, 신형 전기기관차에는 객차전원공급장치 HEP(Head Electric Power)이 탑재되어 발전차의 도움 없이도 객차에 직접 전원을 공급할 수 있음.

○ 전기기관차 (8200호대)용 모든 장치들은 MVB(Mutifunction Vehicle Bus)와 연결되어 유기적으로 동작하며, MVB BUS는 지맨스와 봄바르디아사가 철도 TCN용으로 설계하고 표준으로 체택된 통신 방식으로 현재 전기기관차 (8200호대)는 모든 장치들이 MVB로 연결되어 있으며 서로 데이터를 주고 받아 차량 모니터 및 제어를 함께 수행하고 있음.

○ 주요 전장품은 지맨스 제품으로 각각의 장비를 국산화하기 위해선 만드시 MVB BUS에 송수신되는 데이터를 분석해야 정확히 국산화가 가능하며 이전 전기기관차에 비해 모든 제어는 디지털 데이터로 하기에 모든 데이터를 분석하는 것은 필수임.

○ 이에 따라 유지보수 관련부서에서는 원천기술 제작사에 장치의 고장원인에 대한 세밀한 분석 및 빠른 고장수리를 요청하고 있으나 제작사의 신속한 대응을 기대하기 어려운 실정이며, 기술독점으로 인하여 제품의 가격이 지속적으로 상승하여 유지보수비용이 급격히 증가하는 추세이므로 원활한 유지보수 및 부품공급, 성능향상 및 비용절감 등을 위해 시급한 국산화 개발 필요성이 대두됨.



< 그림 1-2. 연구개발 최종목표 >

○ 본 과제의 과업 대상 차량인 신형전기기관차(8200호대)는 유로스프린터(Euro Sprinter) ES 64F(도이체반 152계)를 원형으로 현대로템에서 제작·생산된 차량으로 대한민국의 운용환경에 맞추어 조정한 기관차이며, 지멘스의 주력 생산품 중 하나인 VVVF 인버터 계열인 SIBAS32계열 전장품을 사용하며 구형전기기관차의 단점을 보완하기 위하여 주회로 스위칭 소자를 GTO(Gate Turn-Off) 사이리스터를 채용하고 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 제어 방식에 의한 교류 유도전동기를 사용하여 최고속도 150[㎞/h]의 고속운전이 가능하며 여객/화물 열차를 겸용으로 수송하는 고효율의 다목적 전기기관차임.

○ 하지만 도입당시 지멘스로부터 제작 기술을 이전받았으나 원천 설계기술은 보유하지 못한 채 제한된 분야의 기술만이 이전되었고, 이로 인해 주변환장치에 대한 주요 핵심부품의 해외 의존도가 높고 부품 확보에 어려움이 발생되고 있음.

○ 반도체 소자나 컴퓨터 제어기술이 첨단 디지털보다는 아날로그 제어방식에 가까운 형태로 제작되어 부품조달이 국산화시 생산에 제한적인 요인으로 작용되고 있으며, 주변환장치를 구성하는 부품마다 예상내구연한이 존재하는데, 영업운행거리를 근거로 교체해야 될 부품에 대한 사전확보를 하고 있으나, 코레일 주변환장치의 주요부품 교환수량(04년~08년) 근거자료에 의하면 대상 부품에 대한 단종 등으로 인해 보수품 가격이 상승하여 유지보수 비용이 급격히 증가하는 실정임.

○ 기존에 수행되어왔던 국내의 주변환장치에 대한 기술축적을 바탕으로 최신반도체 소자를 이용하여 전기기관차의 주변환장치를 개발하는데 있어 현재 운행되고 있는 전기기관차의 각종 자료를 활용하여 주변환장치 수명주기 비용을 분석하고 개발품에 대한 LCC 예측방안을 수립해야 하며, 이를 바탕으로 주변환장치 개발품의 LCC 절감 요소항목을 도출하고 유지보수비용의 효율성 극대화를 통해 총 소요비용을 절감할 수 있는 방안을 제시할 수 있음.

나. 연구개발의 필요성



< 그림 1-3. 연구개발의 필요성 >

○ 철도는 여객 및 화물을 대량으로 운송하는, 교통수단의 핵심으로 산업 및 경제발전의 근간이 되고 있으나 화석연료 사용에 따른 환경오염과 연료비 상승에 따른 운영비용이 증가하면서 국내 철도분야에 전기를 이용한 전기 동력식 철도차량이 지속적으로 도입되어 전철화율이 증가되고 있음.

○ 국내 중앙선, 영동선, 태백선, 경부선, 호남선 등 국내 산업선에 전철화 정책에 따라 도입된 전기기관차는 해외 제작사(SIMENS)에서 도입하였으며. 해외에서 도입된 철도차량인 경우 원제작사가 해외 기업으로 공개된 기술 자료가 거의 없으며 대부분 기술이전이나 유지보수에 따른 기술적 사항이 제대로 이루어지지 않아 국내 전문가들이 전문적 지식과 철도차량 운영기관들이 운영경험으로 개량화 및 유지보수가 이루어지고 있는 실정임.

○ 국내 산업선에 운행 중인 구형전기기관차의 경우 사이리스터(Thyristor)를 주회로 스위칭 소자로 사용하고 위상제어 정류방식을 사용하여 견인회로를 구성하고 있지만 제어방식의 특성상 입력측의 역률이 매우 낮아 변전소의 부담이 크며 직류전동기를 사용하므로 견인전동기의 잦은 고장이 문제점으로 대두됨.

○ 전력변환장치의 경우 반도체 스택의 잦은 고장과 통신 불량으로 인한 장치의 문제가 되고 있다. 견인전동기의 경우 고효율화, 경량화, 고효율성을 목표로 새로운 형식의 제품이 지속적으로 개발되고 있으나, 국내의 경우 초기 설비투자, 안정성/신뢰성 확보, 기술 축적의 한계로 인해 저용량 견인전동기 210[kW]급 제작에 머무르고 있는 실정이며, HEP 장치의 경우 낮은 스위칭 주파수를 이용한 전력변환 방식으로 인하여 출력전압의 품질이 좋지 않고 적은 인덕턴스 값을 보상하기 위하여 대규모 커패시터를 사용하고 있으나 부하전류의 10배에 이르는 무효전류가 필터에서 사용되고 있어서 불필요한 전력의 낭비뿐만 아니라 필터의 수명이 가속되는 등의 문제가 제기 됨.

○ **기술적 측면**

· 전기기관차량에 적용된 추진제어시스템(전력변환장치, 보조전원장치 및 HEP장치, 견인전동기)에 대한 성능파악을 통하여 현재 운행되고 있는 유지보수 시스템을 국내현실에 맞도록 적용하고, 운용과정에서 발생한 요구조건을 반영하여 운용측면에서의 업무개선 및 제품의 성능향상을 도모 할 수 있음.

· 단종 위기의 소자대신 최신 소자를 적용한 전력변환제어장치를 국산화 개발함으로써 원천제작사의 기술종속에 대응하고, 현재의 유지보수 체계를 합리적으로 개선할 수 있음.

· 반도체 스택의 잦은 고장은 장치의 구조적인 취약성과 용량의 한계에서 오는 문제점으로 보여 지므로 설계변경으로 현재 발생되는 문제를 해결 할 수 있으며, 해외 기술에 의존하던 견인전동기의 핵심기술 확보와 실제 운행시의 신뢰성 확보에 의한 보수유지비의 경감, 동일 기능 부품간의 상호 호환성을 제고하기 위하여 국산화 개발이 절실히 필요함.

· 전기기관차(8200호대)는 중앙제어장치와 하부 장치들간 MVB 통신 라인을 통해 제어, 명령, 상태등의 정보를 송수신하고, 중앙제어장치의 MVB 통신명령에 대해 하부 장치들은 응답을 반드시 해야 함.

· 중앙 제어장치는 정해진 응답을 받지 못할 경우 해당 장치를 고장 또는 통신에러로 해석하고 하부 장치들의 기능을 정지시키며, 원제작사(지멘스)에서 MVB 프로토콜을 오픈하지 않고 있어 각 장치의 국산화개발을 위해서는 반드시 MVB 통신 프로토콜 분석이 필요함.

· 전기기관차(8200호대)에서 MVB통신은 차량의 각종 전장품 간의 동작상태의 감시와 운행명령서에 종속되어 특화된 프로토콜로 정의되어 있고 각 제작사의 보유기술과 노하우로 기술이전이 어려운 상황임.

· 각령 및 제어, 기기의 보수에 대한 데이터 통신 프로토콜을 의미하며, 이러한 통신 프로토콜은 각국 전기기관차의 제작과 운영방송 전장품의 국산화 개발에 있어서 매우 중요한 기능을 하고 있으나 대부분의 국산화 개발을 통해 개발된 전장품이 실제 차량에 실증이 어려운 원인은 통신프로토콜을 맞추지 못하기 있음.

· 본 과제의 공동연구개발 목표인 중앙제어장치와 견인제어장치 외에 MVB통신을 하는 전체 장치의 MVB통신 프로토콜 데이터와 이를 기반으로 한 MVB통신 보드를 개발하는데 목적이 있으며, 운전실 모니터링 장치를 개발하여 기존의 해외제품에 있었던 사용법 문제와 언어 차이에서 기인하는 문제점 및 유지보수에 대한 기간, 비용 문제 해결이 반드시 필요함.

· 전기기관차 핵심 부품 국산화 개발을 위해서 CCU, TCU 및 하부장치들간의 MVB 통신 프로토콜 분석과 하부장치들의 제어명령신호 및 입출력신호에 대한 검토 및 검증이 반드시 요구됨.

○ **경제·산업적 측면**

· 지속적으로 증가하는 전기기관차량 추진제어시스템에 대하여 국산화 대체로 유지보수 비용을 절감하고 운용측면에서는 계획보수에 대한 제고를 통하여 운용의 효율성을 확보할 수 있음.

· 다른 전기기관차의 동일제품에 대한 국산화 기술력 확보를 통해 가격상승 억제 등의 간접적인 효과가 예상됨.

· 국내산업체의 생산활동을 유발하게 함으로써 중소기업 경제 활성화를 유도 할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 철도차량에 대한 전력변환장치의 부품 공급을 통한 중소기업의 지속적인 일자리 창출을 기대함.

○ 사회·문화적 측면

· 유지보수 비용의 증가에 따른 소비자 교통비용 상승을 억제 할 뿐만 아니라 국산화 신제품 개발에 따른 고속철도차량에 대한 신뢰성을 확보할 수 있음.

· 철도차량의 고성능 추진제어 시스템의 구축을 통한 철도기술의 활용의 활성화가 예상되며, 추진제어시스템의 고장에 대한 유지보수 문제를 국내의 전문가가 해결 또는 파악하기에는 기반기술이 취약하여 해외기술에 의존하게 되므로써 경제적·사회적으로 많은 비용을 부담하고 있는 실정임.

· 추진제어시스템의 전력변환장치, 보조전원장치, 객차전원공급장치 및 견인전동기의 상호 적용성을 연구, 검토하여 전기기관차 관련 전문가를 육성하여 동종 업계에 기술적용으로 해외 기술종속으로부터 탈피가 가능함.

다. 국내외 기술 개발 현황

(1) 국내 관련 기술 및 산업동향

(가) 국내 기술개발 동향

○ 국내 철도차량 기술현황은 분야에 따라 상이하지만 선진국 대비하여 대략 70~95% 수준이고 추진제어장치 및 전력변환 및 전원장치에 대해서는 상당부분 국산화가 진행되었거나 진행 중이지만 중·고속 열차의 추진제어장치(C/I)나 고속열차의 추진시스템(Motor Block)의 제어기술이 안정화를 이룩하였다고 보기는 어려우며 보다 많은 기술투자가 이루어져야 할 것으로 예상됨.

○ 본 과제에서 국산화를 하고자 하는 신형전기기관차(8200호대) 의 전력변환장치는 수냉식 구조로 아직 국산화가 진행되지 않았으며, 전량 해외수입에 의존하고 있는 상황이다. 전력변환장치는 기본적인 하드웨어의 구성은 대부분 유사한 부분이 많지만 차량의 종류 및 하부 부하장치의 제어 특성이 종속되므로 신규차량이 제작되는 때에 새롭게 설계되는 경우가 많다. 국내에서 추진제어시스템과 관련된 분야는 현대로템과 ㈜우진산전에서 주도적으로 진행 중이며 ㈜우진산전이 전동차 보조전원장치를 개발하는 등 설계 제작 노하우를 축적하고 있음.

○ 사람의 운송을 목적으로 하는 전기기관차에 있어서 운행의 안정성뿐만 아니라 설계단계에서 안정성 확보를 도모하기 위해서는 차량의 주요 핵심장치인 인버터와 견인전동기를 포함한 추진제어장치 분야의 설계기반 기술 확보가 시급하며, 국산화로 해외 의존을 탈피하고 독자적인 기술을 확보해야 할 것임.

○ 2020년에는 전국 주요도시가 KTX 고속철도망을 통해 1시간 30분대로 연결된다. 현

재 고속철도에 대한 연구 및 개발은 활발하게 진행되고 있는 반면, 도서산간지역을 통과하는데 적합한 디젤/전기기관차에 대한 개발에 대하여 상대적으로 부족한 면이 있음. [*출처: 국가철도 통합무선제어 기술개발 상세기획 연구보고서]

○ 국내의 RAMS 적용은 철도차량기업을 중심으로 차량납품에 필요한 신뢰성 평가위주. 또한 주로 안전성 평가의 일부분으로 수행되었으며, 차량, 신호, 전력, 선로구축물 등이 통합된 종합시스템의 신뢰성 평가는 이루어지지 않고 있는 실정임.

○ 국내에서 운행 중인 도시철도시스템은 계획단계에서부터 신뢰성을 체계적으로 적용한 시스템은 거의 없음. 따라서 고유 신뢰성보다 운영 신뢰성을 높이기 위해서 유지보수 활동에 크게 의존하고 있으며, 철도 운영기관에서는 유지보수 활동과 안전관리를 이용승객의 수, 사용 환경, 시스템 특성을 고려하기보다는 검수주기별 유지보수를 시행하는 방법으로 관리하고 있음.

○ 각 대도시별로 검사주기, 방법, 인력 등이 상이하고 차량정비에 관련된 이력도 2~6년 내에 폐기되는 실정이다. 따라서 신뢰성과 안전성을 향상하기 위해서는 검수설비의 현대화, 정비작업 표준화, 유지보수관리 및 기록의 정보화 등을 추진하고, RCM 기법을 적용한 예방정비시스템의 적용이 시급함.

○ 철도관련 기업은 도시철도 제작 사양서 등에서 제시하고 있는 RAMS의 기준에 적합하도록 기술수준을 개선해 나가고 있다. 예로서 차량 제작사에서 홍콩에 수출한 전동차는 RAMS에 대한 시스템 보증기술을 해외 전문기관의 공동으로 수행하여 적용하였다. 국내서 운행되고 있는 일반 철도의 경우에도 도시철도와 마찬가지로 수명주기에 따른 체계적인 RAM관리 보다는 유지보수 위주의 관리를 하고 있음.

○ 국내의 경우 상대적으로 철도차량에 대한 LCC 도입 및 연구가 활발하게 이루어지지 않고 있는 실정이지만, 해외에서는 IEC 60300-3-3규격을 제정하고 이를 기반으로 다양한 연구활동이 수행되고 있다. 국내의 연구활동을 살펴보면, 박종목 등은 국외 전동차 수명주기비용 연구동향을 소개하고 수요자의 요구와 국제 규격에 대응하기 위한 전략을 제시하였다. 또한 정종덕 등은 입환기관차의 LCC분석을 통해 경제성 분석을 수행하였으며, 전현규 등은 자기부상열차에 대한 LCC 모델 개발을 위한 방법을 제안하였다. 최근에는 국가개발 표준화 사업에서 전동차에 대한 LCC 기초연구를 수행하고 있으며, 전기기관차와 관련된 세부적인 항목에 대한 LCC 연구가 체계적으로 이루어지지 않는 실정임.

(나) 국내 시장동향 및 규모

○ 국내 시장 동향을 살펴보면, 국내 철도차량 시장의 규모는 4억 달러 (05년 기준)으로 세계 철도차량시장 규모인 350억 달러에 비해 매우 작은 규모임.

< 표 1-1. 국내 주요 업체 >

업체명	업체별 능력	비고
현대중공업	유도전동기용 추진제어장치 설계 및 제작기술	
현대로템	주변환장치 설계 및 제작기술	
브이씨텍	컨버터 제어기술, 유도전동기 제어기술	
다원시스	C/I, SIV를 비롯한 전장품 설계, 제작기술	
우진산전	C/I, SIV를 비롯한 전장품 설계, 제작기술	
아이파워컨	전류형 인버터 제어 및 전압형 인버터 제어기술	

○ 국내 철도차량부품 및 관련 장치물 제조업체는 2007년 이후로 2010년까지 지속적으로 사업체 수와 종사자 수가 증가하고 있지만, 주요 철도차량 부품제작 업체를 제외하고 대부분 임직원 수 50인 이하의 중소 영세업체이며, 현대로템(주)은 차량제작사로서 국내 철도차량 시장을 독점하고 있으며, 부품제작업체에 대한 물량배정 방식을 통해 철도차량 부품 시장 지배력을 강화하고 있는 실정임.

○ 철도차량 부품산업은 내수와 해외시장의 글로벌 경쟁력이 갈수록 저하되고, 수출차량에 국내 차량부품이 50% 정도 장착되고 있으나 기술수준과 신뢰성 문제로 답보 상태에 있으며 수출에도 경제성이 낮은 실정으로 2013년 국내 H제작사의 자료를 참고하면, 전기기관차 최근 발주현황은 2009년도 3,186억원, 2010년 1,782억원 및 2011년 53억원으로 집계되고 있는 실정임.

○ 또한, 최근의 국내 철도산업은 전철화, 부품의 국산화, 경량화 및 표준화라는 일련의 연구 개발을 진행하여 다양한 분야에서 성공리에 마무리 되어 왔으나 일부 분야에서는 아직 외국의 기술과 제품을 수입하고 있는 실정이고, 특히, RAMS 분석의 경우 국내에서는 최근 들어 대부분의 용역발주서에 RAMS 요구사항이 명시되는 추세에 있으나 아직까지는 체계적인 수행이 이루어지지 않고 있는 것이 현실임.

(2) 국외 관련 기술 및 산업동향

(가) 국외 기술개발 동향

○ 국외의 철도기술개발 동향을 살펴보면 일반철도인 경우, 고속화를 위해 틸팅시스템을 채택한 기술개발로 이탈리아 ETR460은 최고속도 259km/h로 운행중에 있다. 도시형 철도인 경우 에너지 절감을 위한 하이브리드 시스템 열차, 운영편이성을 향상시킨 듀얼모드 열차, 궤도교통의 접근성을 향상시킨 소형전철 시스템, 수송수요에 적합한 경량전철 시스템 등 다양한 시스템을 개발 중에 있다.

○ 철도차량과 관련된 전장품 기술은 차량제작의 기술적 우위 및 경험이 풍부한 유럽(지멘스, ABB, 알스톰, 봄바르디아 등)의 방식과 아시아권에 집중적으로 진출한 일본(히타치, 미쓰비시, 도시바 등)의 제작사가 주도적으로 상업권을 장악하고 있음.

○ 국내의 철도차량과 관련된 전장품기술이 주로 고속전철과 도시형 전동차에 집중되어 있는 반면 국외에서는 다양한 용량과 형식을 갖는 제품들을 개발하고 생산중임

○ 유럽에서 전기기관차는 사회기간산업의 일부로 계속적인 발전을 해왔고 고성능 마이크로프로세서를 이용한 정밀한 견인전동기 제어기술, PWM 컨버터 제어기술 등 선진기술력을 바탕으로 해외시장에 진출하고 있음.

○ 환경 분석에 있어, 세계철도산업 현황은 해외에서 2010년 세계 철도시장을 SIEMENS, 봄바르디아, 알스톰 외 추가로 진입한 중국의 2개업체(중국남차집단 및 중국북차집단)들이 다수를 점유하고 있는 실정이며, 지속적 연구개발 및 신규시장 거점을 확대하고 있는 것으로 분석됨.

○ 정책동향에 있어, 한국은 철도 제조업 육성 및 기술개발 촉진, 해외 철도시장 진출 확대, 무선통신 시스템 구축을 목표로 정책을 추진 중에 있으며, 미국은 화물철도 성능향상 및 교통시스템 통합 추진 시스템 구축을 목표로 정책을 추진 중에 있다. 일본은 5년~10년 이내에 실용화 할 수 있는 기술, 경쟁력을 좌우할 수 있는 핵심기술 분야를 위주로 정책을 추진 중에 있음.

○ 유럽은 철도화물 수송 활성화, 철도 구성품에 대한 표준화, 철도신호제어 시스템(ERTMS)을 확대하는 방향으로 정책을 추진 중에 있으며, 중국은 석탄 등의 철도 화물운송 능력 증가와 교통 기초시설 강화를 목적으로 한 정책을 추진 중에 있는 것으로 보아, 각국은 철도 산업의 기술 개발을 위한 노력을 기울이고 있으며, 특히 철도 성능 향상을 위한 핵심 기술의 연구개발을 꾀하고 있는 것으로 판단됨.

[*출처: 철도 주요시스템 및 부품 국산화 기술개발 기획보고서]

○ 프랑스에서 도입한 고속전철(KTX)의 경우 신뢰성 목표를 설정하고 있으며 신뢰성중심 유지보수 시스템을 구축하고 있다. 그러나 이 시스템은 유지보수 관리 및 비용 최적화가 주요목적임으로 RAM의 수명주기 관점에서는 미흡함.

[*출처 김종걸외(2010), “철도 신뢰성 관리체계 연구동향”, 2010년 대한안전경영과학회 추계 학술대회]

○ 한편 전 세계적인 불황의 여파로 신규차량의 도입보다 기 도입된 차량의 성능개선을 원하는 이른바 차량 및 시설 개조사업(Overhaul, Refurbishment) 등도 틈새시장(수십만 달러에서 수억 달러 규모)을 형성하고 있으며, 태국, 필리핀, 이란, 브라질 등 세계 각국에서 이러한 목적의 개조사업이 이미 실시중이며 국내의 철도공사와 중국계 기업에서 활발히 참여하고 있음.

○ 1990년대 유럽 연합회 CENELEC에서 실질적 구속력을 가지고 운영되는 철도관련 표준을 제정하였고, 이는 유럽연합 내에서 국가 간의 상이한 신호 보안시스템의 안전성 요건을 공통화 하여 타국의 신호 시스템의 도입을 용이하게 하였으며 유럽연합 고속 철도망의 구축 및 열차 제어 시스템의 개발을 촉진하고 있음.

○ 철도분야의 신뢰성 연구는 150여 년 전부터 철도를 개발하여 운영하고 있는 유럽에서 철도분야의 개발 및 운영에서 특별히 요구되는 RAMS기법을 적용하여 철도 기술개발의 효율성을 높이기 위한 연구가 활발히 추진되고 있다. 이 노력은 철도산업의 상호운용성과 상호 인증 제도를 기반으로 신뢰성, 가용성, 보전성 그리고 안전성의 유럽표준(European Norm)으로 제정하였으며, 지속적으로 수정 보완 진행 중임.

○ 미국의 철도산업은 1987년 이래 안전성 관련분야에서 큰 진보를 이루었고, 현재 주요선로와 장치 유지보수에서 성과를 나타내 새로운 차량 등의 철도 구매에서 안전을 최우선적으로 고려하고 있음.

○ 미국의 FRA(Federal Railroad Administration)의 안전 최우선 요구는 철도 안전성의 증가를 촉진하였으며, 이후 미국에서는 FRA의 규정은 모두가 따라야하는 안전 수준으로 인식하고 있다. 미국에서의 RAMS 표준 적용은 철도 RAMS의 활용을 통한 기술 수준 향상보다는 안전성 확보를 위한 가이드라인의 제시를 통하여 철도 시스템의 기술성장을 도모하고 있음.

○ 일본은 세계에서 가장 먼저 고속철도를 개발 실용화하며 철도 기술을 꾸준히 발전하고 있다. 1970년대부터 안전성과 신뢰성 연구를 시작하여 30여 년 동안 철도분야에서 개발한 제품에 대해 설계에서 폐기까지 안전성과 신뢰성에 대하여 검증한 자료와 노하우를 보유하고 있음.

○ 또한 철도신호 기술의 첨단화에 따라 대학, 철도회사, 산업계 등의 관련 전문가들이 전문가 위원회를 1994년에 구성하여 30여 년 동안 축적된 기술과 경험을 바탕으로 2년간의 조사 및 검토를 실시하였고 신뢰성 관련 국제 규격에 관한 논의가 활발히 이루어지고 있음.

○ 특히 예전부터 일본에서 실시되어온 안전성 평가에 관한 개념과 국제규격인 IEC 62278 도입에 대한 대응 방법에 대해서 검토하고 있으며, 유럽의 경우와는 달리 일본 철도 분야에서는 일반적으로 명확한 문서화, 증명화에 의한 인증 등 형식적인 측면보다는 안전 확인 주행시험 등 실제 주행을 통한 평가에 중점을 두고 있음. 그러나 일본도 국제표준화 추세에 따라 IEC 규격에서 정의하고 있는 평가 및 관리 프로세스를 점증적으로 수용하는 한편 일본의 입장을 적극적으로 반영하는 활동을 할 것으로 판단됨.

○ 해외의 경우 RAMS 목표를 정한 후 이를 달성하기 위한 노력과 기술을 개발하고 있음. 특히 고객의 서비스 품질과 안전을 보장하기 위해서 철도시스템을 구성하는 하위 구성 품까지도 RAMS 관리를 하고 있음.

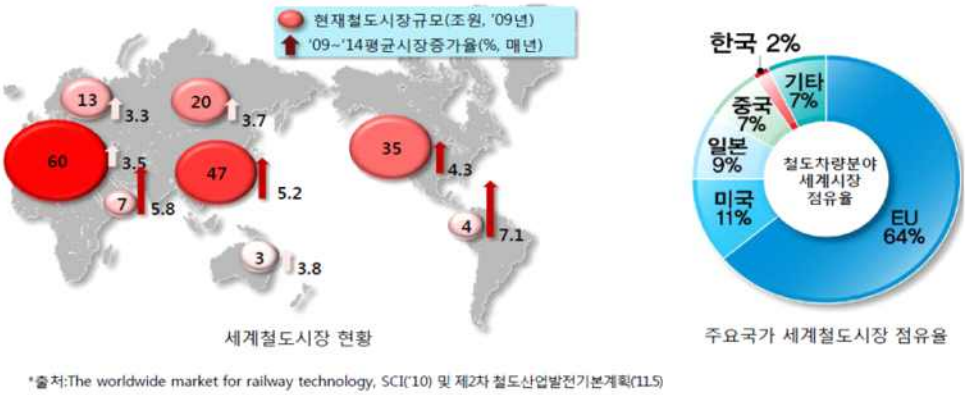
○ UNIFE(Union of European Railway Indusries)는 유럽 전역을 하나의 시장으로 구축하려는 노력하에 AICMR, AFEDEF 및 CELTE를 대표하여 1991년 결성되었으며, 당시 약 60여개의 철도관련회사 회원사가 참여하였으며 현재에는 16개국 약 900여 철도관련회사가 참여하고 있음.

○ UNIFE-LCC 그룹[8]에서는 LCC 요구사항에 대한 수명주기비용을 계산하기 위한 모델을 개발하고 이를 Excel로 프로그램화(UNILIFE, UNIDATA)하여 배포하고 있으며 유럽연합에서는 이를 기준으로 수명주기비용을 계산하고 평가하고 있음.

○ UNIFE의 LCC도 도입비(Investment), 운영비(Yearly cost) 및 유지보수비(Life Support Cost : LSC)의 합으로 계산하고 있어, 국외에서는 LCC 분석을 위한 규격 제정 및 분석 기법 등 많은 연구가 진행되고 있으며, 관련 연구가 철도분야 뿐만 아니라 산업전반에 걸쳐 이루어지고 있음.

(나) 국외 시장동향 및 규모

○ 국외 철도시장 동향을 살펴보면, 철도산업의 세계화 및 시장개방이 진행되고 있으며 더불어 규모도 증가하고 있다. 프랑스 알스톰의 KTX 진출, 일본 컨소시엄의 대만 진출, 시멘스의 중국차량 공급 등 최근에는 대규모의 철도수출 사례가 발생하고 있음.



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

< 그림 1-4. 주요국가 세계철도시장 현황 >

○ 유럽연합인 경우 유럽대륙차원의 고속철도 발전계획을 수립하고 추진하고 있으며, 유럽의 철도차량사업은 Bombardier, Alstom, Simens의 3사가 지배하고 있는데, 아시아 시장에 관심을 표명하고 전략적 제휴를 형성하고 있다. 독일은 상해 푸동공항의 자기부상열차 건설 및 운영상용화를 시켰으며, Simens사는 중국 당산차량과 같이 고속철도사업에 6.7억 유로 규모 차량을 공급계약 하였음.

○ 일본의 경우에는 철도의 화물수송분담율을 증대시키고 환경적 영향을 최소화, 인구고령화 대책 등의 철도 정책을 추진하고 있으며, 해외철도기술협력협회(JARTS)를 통한 해외진출을 모색하고 있음.

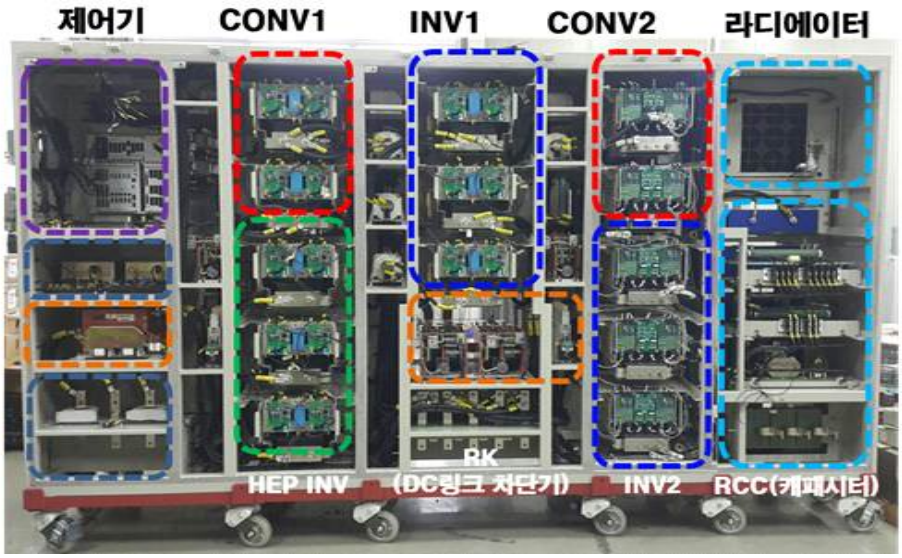
2. 연구수행내용 및 성과

가. 전기기관차(8200호대) 추진제어시스템인 주변환장치 실용화 기술개발

(1) 주변환장치의 개요

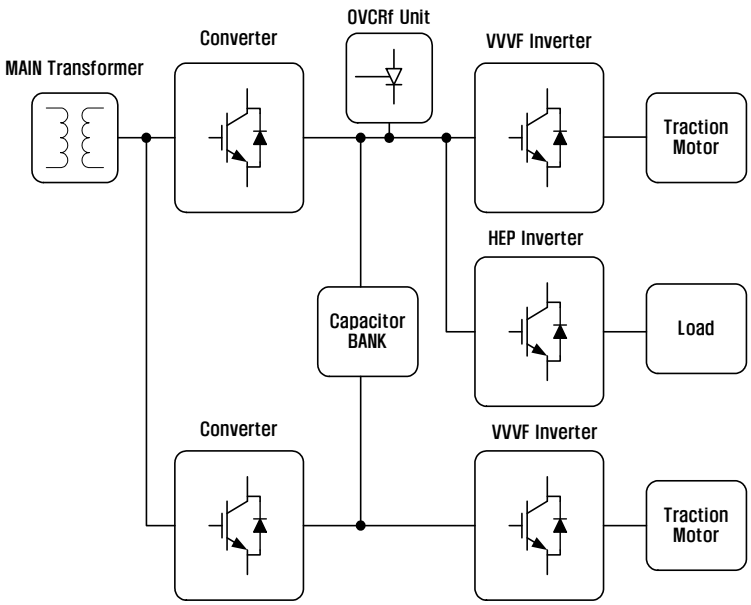
(가) 시스템 구성

8200호대 전기기관차 전력변환장치의 주요 구성품은 아래 그림과 같고, 1대의 전력변환장치는 2set의 Converter/Inverter 장치와 1set의 HEP Inverter로 구성

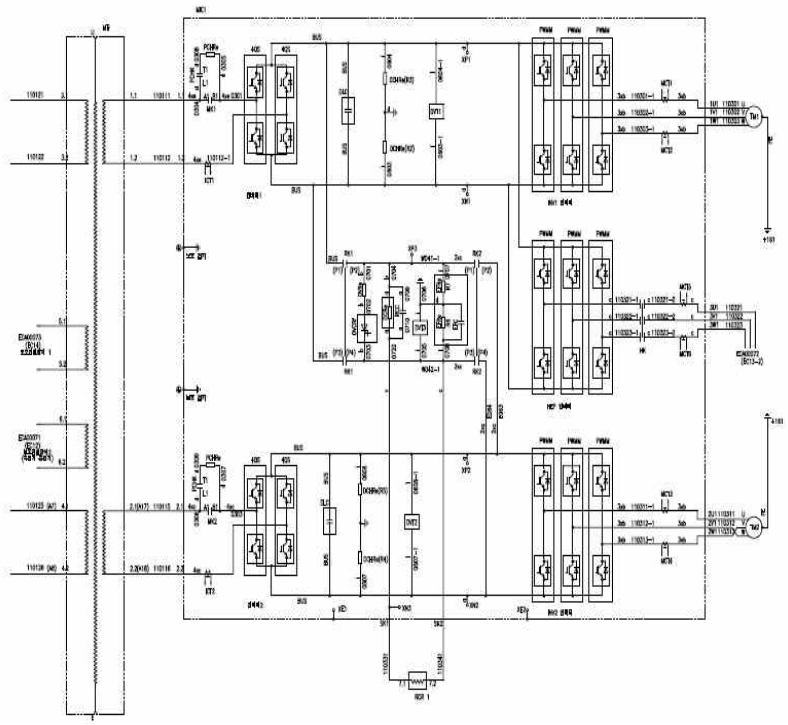


< 그림 2-1. 주변환장치 시스템 개략도 >

주변압기를 통해 입력 전원을 공급 받고, PWM Converter를 통해 AC 전원을 DC 전원으로 변환함. 변환된 DC전원을 인버터를 통해 견인 전동기를 구동하여 차량을 운용하게 된다. 도한 HEP Inverter를 통해 부하에 AC 전원을 공급함.



시스템의 보호를 위해 방전 유닛인 OVCRf Unit이 DC-Link 단에 연결되어 있고 1군과 2군 Converter 사이에는 Capacitor BANK가 위치함.



< 그림 2-3. 주변환장치 시스템 주회로도 >

(나) 주요 구성품 기능

① 견인제어장치(TCU) : 견인/제동 제어 및 설정치 전처리, 공전/활주 제어, 회생제동 제어 및 벡터 제어의 최적화, 모니터링, 보호, 시험 및 진단

② Converter : Main Transformer 2차 측 전압 AC 1,232V를 PWM 제어를 통하여 DC 링크 회로에 직류전압을 공급하고 회생제동시 가선 측으로 전력을 회생

③ Inverter : Converter의 출력 DC 링크 전원을 VVVF 제어로 AC전원으로 변환하여 주 전동기의 회전수 및 Torque를 제어

④ HEP Inverter : PWM 제어에 의한 CVCF 전원을 각 차량의 냉. 난방 장치와 객차 및 기관차 서비스전원의 고정부하에 전원을 공급

⑤ 이중안전 접촉기 : 회로단락이나 접지 고장과 같은 기능 이상일 경우 인버터를 고장 DC 링크 전압부로부터 분리

⑥ DC 링크 전압 부 : 과전압 보호 장치, 접지고장 감시 및 직렬 공진필터 장치로 구성

⑦ 교류접촉기 : 변압기로부터 전력변환장치를 분리

⑧ 충전접촉기 : 충전저항과 직렬로 연결하여 기동시 돌입전류를 제한하여 충전을 완만하게 함

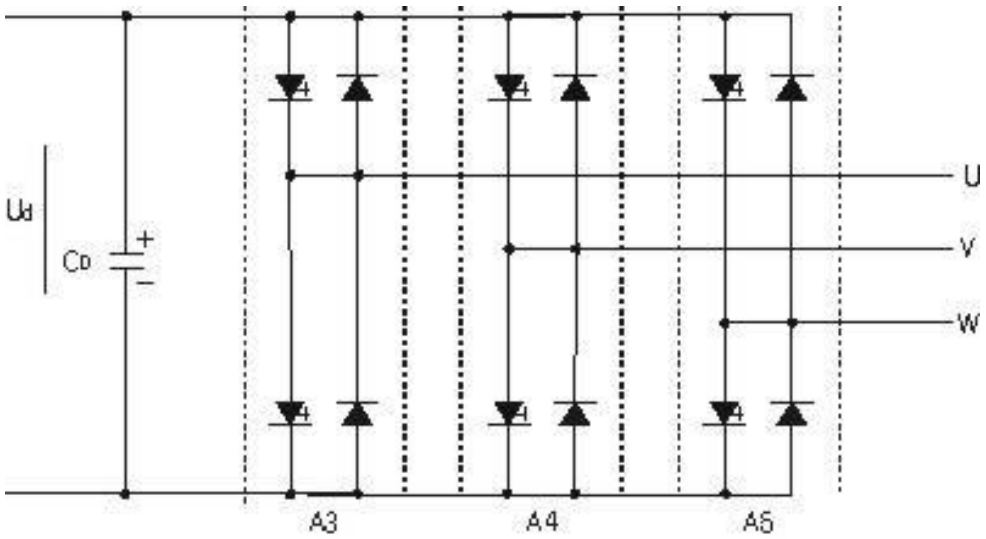
⑨ Filter Capacitor : DC-링크전압을 충전하고 Ripple 성분을 Filtering 하여 DC-링크전압을 안정화하며, 정지 시에는 방전저항을 통하여 방전

(2) 기존 주변환장치 분석

(가) 견인 INVERTER

① 기능

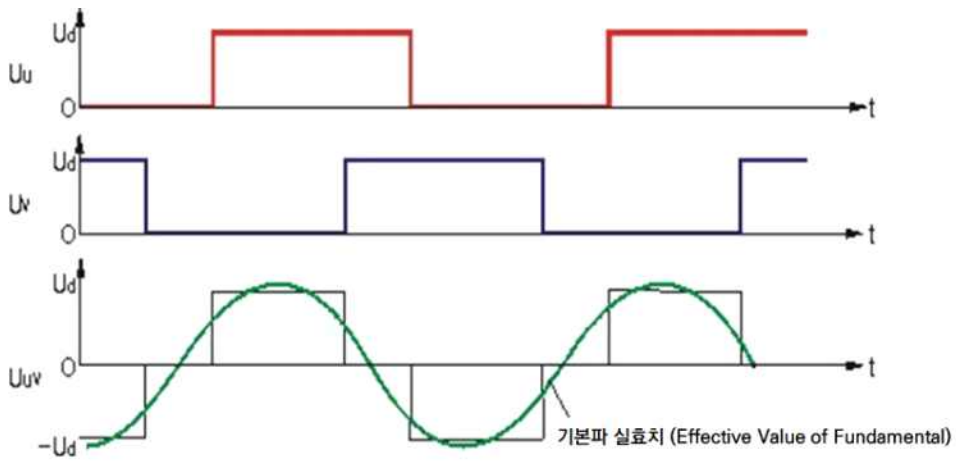
펄스 인버터는 3개의 위상 부품으로 구성된다. 이 인버터는 출력에 연결된 U, V, W에 3상 전압계통의 전원을 공급하고 주파수 및 전압조정을 한다.



< 그림 2-4. 펄스폭 변조 인버터의 회로도 >

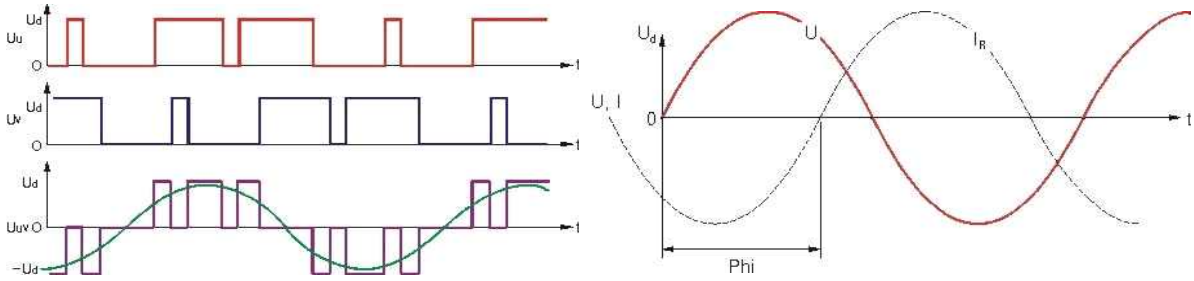
원리적으로 GTO 싸이리스터는 고속 시간 - 펄스비를 갖는 단순한 스위치처럼 설명될 수 있다. 결과적으로 DC 링크 전압회로 CD의 + 또는 −를 임의적으로 출력에 연결된 3개의 U, V, W에 연결을 가능하게 한다.

그러나 스위치 상태는 정현 형상의 경로로 기기에 입력되도록 선택되어야 한다. 두 개의 출력점에 연결된 점들 사이의 전압을 관찰한다. 상호 연결된 출력전압 (Ud)의 가능한 최대 진폭은 DC 링크의 수준에 좌우된다.



< 그림 2-5. 전체 블록 동작에서 펄스폭 변조 인버터 >

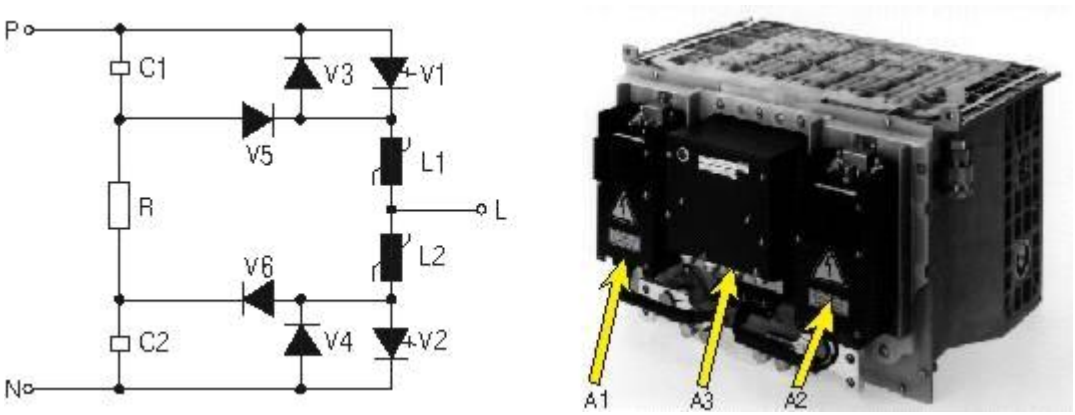
출력의 실효치는 클럭에 의해 감소시킬 수 있다. 이 클럭은 한 개의 기본파 내에 짧은 스위치 차단으로 구성된다. 출력전압이 곡선 형태를 갖는 주파수는 펄스 인버터의 출력 주파수처럼 연속된다.



< 그림 2-6. 클럭 동작시의 펄스 인버터 및 제동 시 전압과 전류의 상 위치 >

제동시 전동기의 순간 방향은 회전의 감도를 향하게 된다. 전압과 전류는 상당한 비위상을 갖는다. 기본파를 정함으로써 펄스 인버터는 전압과 전류간의 상 위치를 조정한다.

GTO-위상 부품으로부터, 3상 인버터 (3부품)와 2상 4QS가 설치될 수 있다. 각 부품은 단상으로 구성된다. 전원부는 P또는 N위의 L에서 전압을 바꿀 수 있는 2GTO 싸이리스터 (V1, V2)로 구성되어 있다. 스너버 회로는 GTO에서 전류와 전압의 증가속도를 허용할 수 있는 값으로 제한한다. 이 부품들은 물과 글리콜의 합성물로 냉각한다.



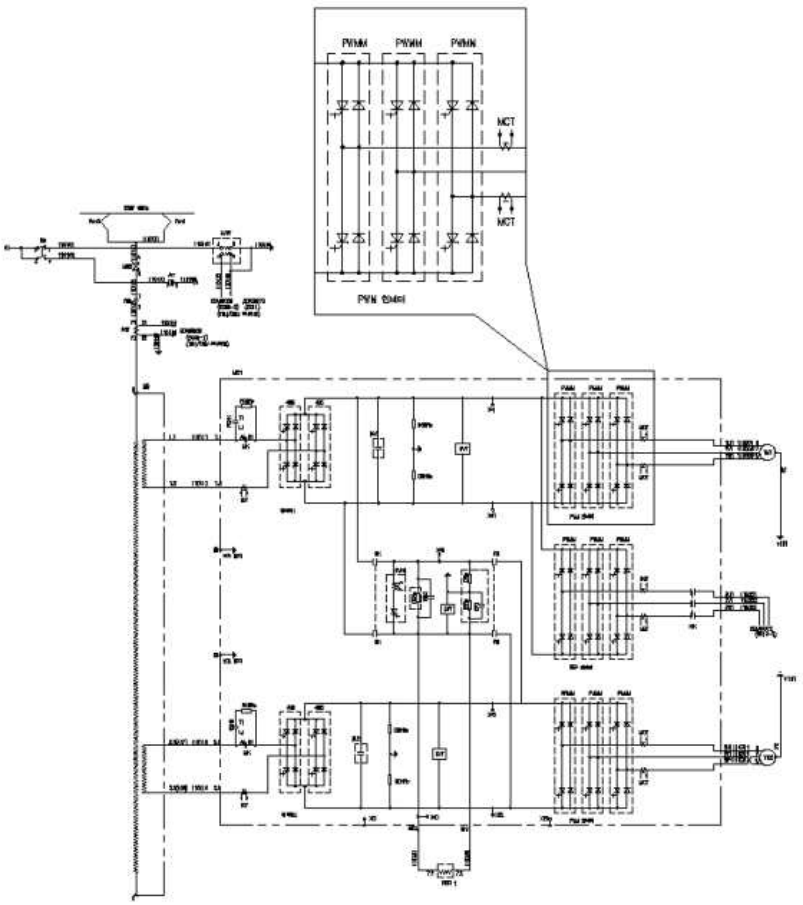
< 그림 2-7. GTO 위상 부품 >

제어는 게이트 유니트로 한다. 이것은 TCU의 제어지령을 해석하고 검사하는 이중 제어 유니트 (A3)과 스위치를 키고 끄는 임펄스로 게이트에 전원을 공급하는 고전압부 (A1, A2)로 구성한다.

② 기본사양

항 목	사 양
제어방식	3상 PWM 인버터 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어
입력전압	DC 2400V ~ DC 2600V
출력전압	3상 0V ~ 2030V (rms)
최대출력	1600 kVA 이상
주파수	0 ~ 134 Hz
전력용 반도체소자	GTO : 4500V - 3000A
구 성	GTO (4500V - 3000A) x 2, Diode Gate Drive 2EA, Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)

③ 주회로도



< 그림 2-8. 기존 견인 INVERTER의 주회로도 >

④ 기존품 모듈 분석

㉮ 기존품 구성

- GTO(Gate-Turn-Off thyristors)
- 프리휠링 다이오드(Freewheeling diodes)
- 스너버 회로 소자(Snubber circuit elements)
- 모듈의 각상을 위한, 스너버 저항과 인덕터를 포함

㉯ 기존품 구조 및 성능

모든 부품은 밀폐된 용기 안에 설치. 이 용기는 지지대와 조임 장치용지지 및 취부 프레임, 열방산 장치로써 제작되었고, 비밀 방수와 먼지 방지 구조로 되어있다. 모든 전력 반도체는 물순환 회로 내에 위치하는 방열판을 통해 직접 냉각된다. GTO와 다이오드(프리휠링 및 스너버 다이오드)는 두 개의 클래핑 장치에 배치되어 있고, 양면 냉각 효과를 내기 위하여 반도체는 방열판 사이에 두 조임장치에 취부되어 있다.

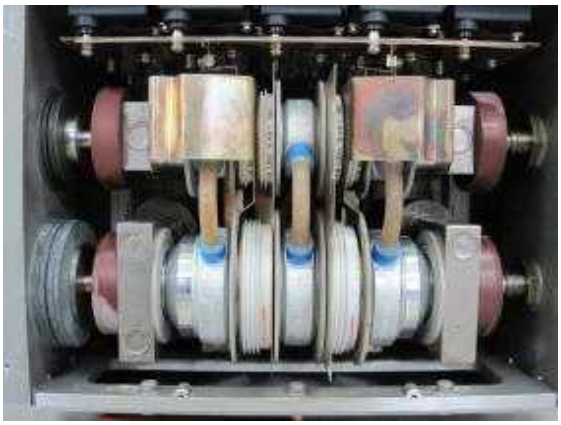
금속 방열판과 전력 반도체 사이는 확실한 전위 분리를 위해 세라믹 절연 디스크가 설치되며, 수냉각기로부터 냉각된 냉각수는 먼저 GTO의 방열기를 통과한 다음 다이오드의 방열기를 통과하여, 구불구불한 형태의 모듈 상부를 흐른 뒤, 스너버 저항을 냉각시킨다.

DC 링크 연결단자 P(+)와 N(-)은 모듈 후부 측에 설치되어 있다. 이들은 평면 접촉으로 구성되어 있으며, 필요한 접촉 압력은 전면부에서 취부할 수 있는 나사에 의해 보증되어진다. 부하 접촉은 모듈 전면부에 위치한다.

< 표 2-1. 기존품 견인 INVERTER의 성능 >

공칭 전압	2800V
최대 전압	3200V
공칭 전류	1300A_{eff}
최대 스위칭 전류	2900A
펄스 주파수	300Hz
치수	500mm × 360mm × 465mm
질량	80kg
보호등급	IP54(내부), IP00(외부)

⑤ 기존품 사진

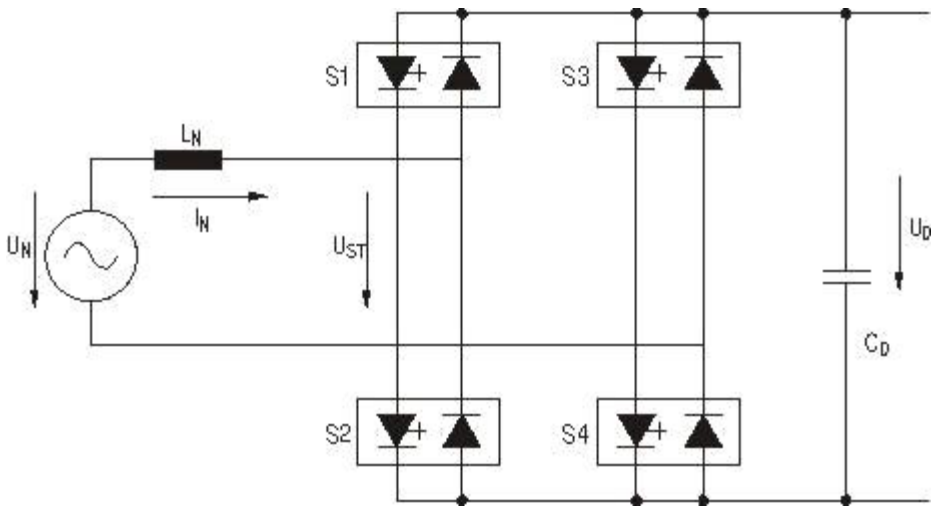
외형사진	내부사진
	

(나) 견인 CONVERTER

① 기능

하나의 4상한 쵸퍼는 두 개가 병렬로 연결된 상모듈로 구성되며, QS의 목적은 변압기의 출력전압(일반적으로 단상 교류)을 DC링크 회로를 위해 직류로 만들기 위함이다.

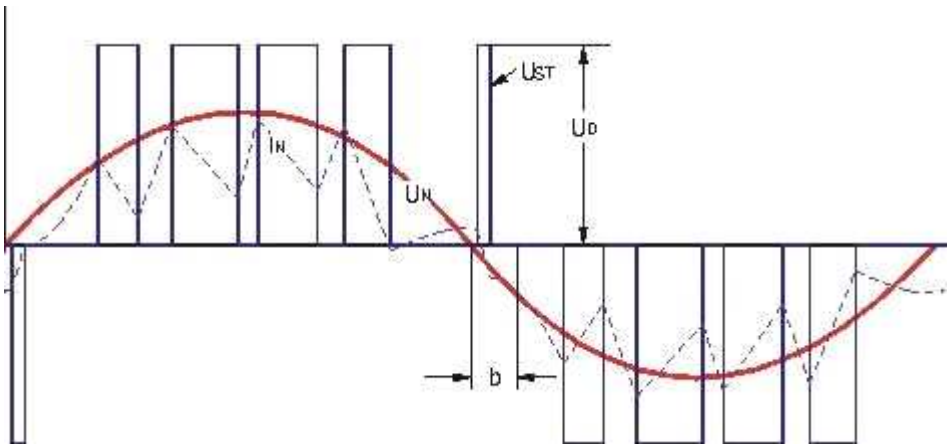
전압과 전류간의 위상위치를 제동시 뿐만 아니라 구동시에 자유롭게 조절할 수 있게 함을 의미한다. 위상위치와 동작모드의 조합에 의해 모든 4상한 동작을 얻을 수 있다.



< 그림 2-9. 4QS의 회로도 >

GTO 싸이리스터는 높은 스위칭 주파수를 갖고 스위치의 임무를 한다. 이 기능은 단속 상태로부터 정류기 기동을 설명한다. 변압기의 자기-인덕턴스에서 전류를 만들기 위해 두개의 GTO S2 또는 S3 (S1은 정 (+) 반파시, S4는 부 (−) 반파시)중 하나가 점호된다.

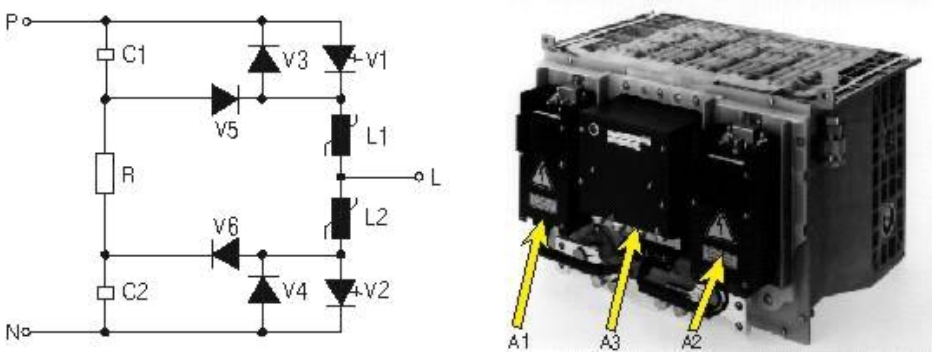
이러는 동안에 변압기의 이차측은 단락된다. 전류가 요구한 값에 이르면 GTO는 이렇게 (UD>UN) 됨으로써 감소한다. 이 과정을 다시 시작한 후, GTO는 동일한 열동부하를 투입하기 위해 교번적으로 사용된다. 전류와 전압의 비 위상은 GTO의 다양한 변조에 의해 얻어질 수 있다.



< 그림 2-10. 4QS에서의 전류/전압 변화도표 >

주 기당 전압 블록수는 일정하고 2회째의 펄스수 (반주기당 5펄스)와 같다. 회로 주파수를 갖는 펄스수의 증가는 GTO 싸이리스터의 샘플 주파수를 생기게 한다.

GTO-위상 부품으로부터, 3상 인버터 (3부품)와 2상 4QS가 설치될 수 있다. 각 부품은 단상으로 구성된다. 전원부는 P또는 N위의 L에서 전압을 바꿀 수 있는 2GTO 싸이리스터 (V1, V2)로 구성되어 있다. 스너버 회로는 GTO에서 전류와 전압의 증가속도를 허용할 수 있는 값으로 제한한다. 이 부품들은 물과 글리콜의 합성물로 냉각한다.



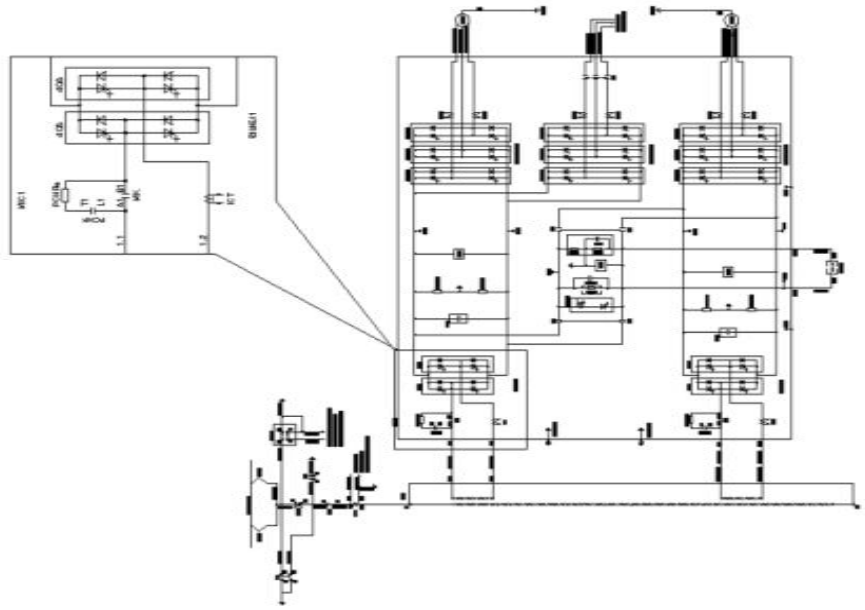
< 그림 2-11. GTO 위상 부품 >

제어는 게이트 유니트로 한다. 이것은 TCU의 제어지령을 해석하고 검사하는 이중 제어 유니트 (A3)과 스위치를 키고 끄는 임펄스로 게이트에 전원을 공급하는 고전압부 (A1, A2)로 구성한다.

② 기본사양

항 목	사 양
제어방식	4상한 쵸퍼 위상 제어
입력전압	AC 1230V × 2회로
출력전압	DC 2400V ~ DC 2600V
최대출력	1500kW 이상
전력용 반도체소자	GTO : 4500V - 3000A
구 성	GTO (4500V - 3000A) x 2, Diode Gate Drive 2EA, Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)

③ 주회로도



< 그림 2-12. 기존 견인 CONVERTER의 주회로도 >

④ 기존품 모듈 분석

㉮ 기존품 구성

- GTO(Gate-Turn-Off thyristors)
- 프리휠링 다이오드(Freewheeling diodes)
- 스너버 회로 소자(Snubber circuit elements)
- 모듈의 각상을 위한, 스너버 저항과 인덕터를 포함

㉯ 기존품 구조 및 성능

모든 부품은 밀폐된 용기 안에 설치. 이 용기는 지지대와 조임 장치용 지지 및 취부프레임으로 구성되며, 열방산 장치로써 제작되었고, 비밀 방수와 먼지 방지 구조로 되어있다. 모든 전력 반도체는 물순환 회로 내에 위치하는 방열판을 통해 직접 냉각된다. GTO와 다이오드(프리휠링 및 스너버 다이오드)는 두 개의 클래핑 장치에 배치되어 있고, 양면 냉각 효과를 내기 위하여 반도체는 방열판 사이에 두 조임장치에 취부되어 있다.

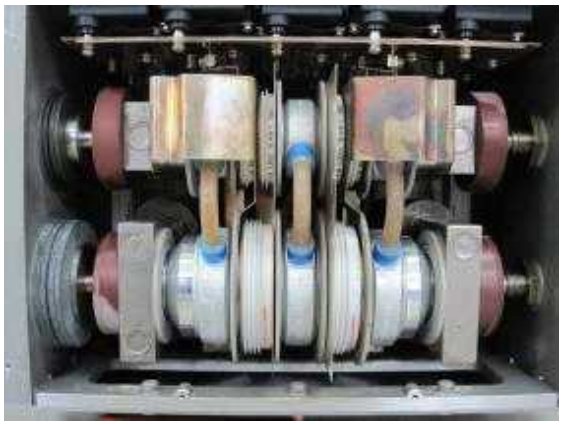
금속 방열판과 전력 반도체 사이는 확실한 전위 분리를 위해 세라믹 절연 디스크가 설치되며, 수냉각기로부터 냉각된 냉각수는 먼저 GTO의 방열기를 통과한 다음 다이오드의 방열기를 통과하여, 구불구불한 형태의 모듈 상부를 흐른 뒤, 스너버 저항을 냉각시킨다.

DC 링크 연결단자 P(+)와 N(-)은 모듈 후부 측에 설치되어 있다. 이들은 평면 접촉으로 구성되어 있으며, 필요한 접촉 압력은 전면부에서 취부할 수 있는 나사에 의해 보증되어진다. 부하 접촉은 모듈 전면부에 위치한다.

< 표 2-2. 기존품 견인 CONVERTER의 성능 >

공칭 전압	2800V
최대 전압	3200V
공칭 전류	1300A_{eff}
최대 스위칭 전류	2900A
펄스 주파수	300Hz
치수	500mm × 360mm × 465mm
질량	80kg
보호등급	IP54(내부), IP00(외부)

⑤ 기존품 사진

외형사진	**내부사진**
	

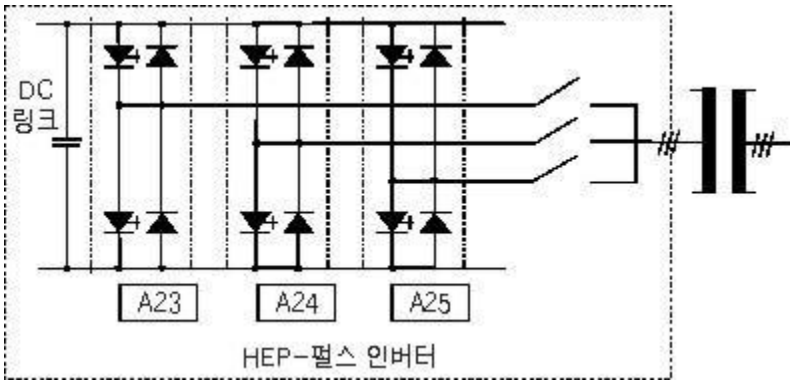
(다) HEP INVERTER

① 기능

컨버터의 객차 전원 공급용은 3상 모듈로 구성된 펄스폭 변조 인버터 (PWM)이다. 출력신호는 고정전압/주파수인 사인파 펄스폭 변조신호와 대응되며, 주파수는 300㎐이다.

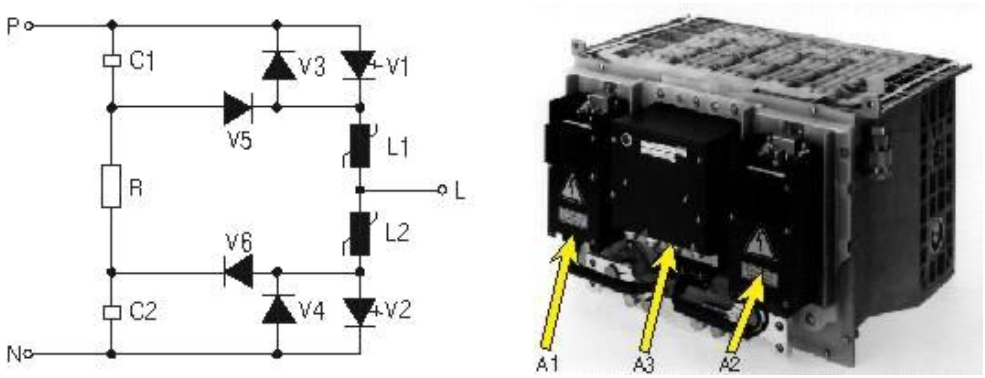
HEP Inverter의 출력전압은 평활화된 사인파 전압이 아니라 DC 링크전압으로부터 HEP Inverter에 의해 발생된 전압블록이다.

HEP PWM의 출력은 3상 분리기를 통해 분리되며, 출력전압은 3상 AC 970V에서 2상 AC 440V로 변압기를 통해 변환되며, 다시 최종 필터링 된다.



< 그림 2-13. HEP 인버터의 회로도 >

GTO-위상 부품으로부터, 3상 인버터 (3부품)와 2상 4QS가 설치될 수 있다. 각 부품은 단상으로 구성된다. 전원부는 P또는 N위의 L에서 전압을 바꿀 수 있는 2GTO 싸이리스터 (V1, V2)로 구성되어 있다. 스너버 회로는 GTO에서 전류와 전압의 증가속도를 허용할 수 있는 값으로 제한한다. 이 부품들은 물과 글리콜의 합성물로 냉각한다.



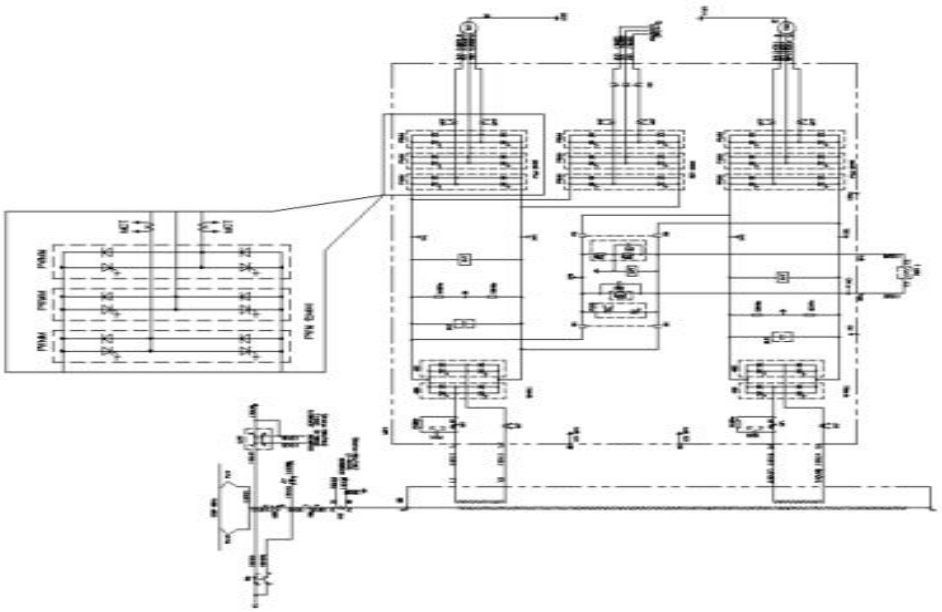
< 그림 2-14. GTO 위상 부품 >

제어는 게이트 유니트로 한다. 이것은 TCU의 제어지령을 해석하고 검사하는 이중 제어 유니트 (A3)과 스위치를 키고 끄는 임펄스로 게이트에 전원을 공급하는 고전압부 (A1, A2)로 구성한다.

② 기본사양

항 목	사 양
제어방식	정전압 제어
입력전압	DC 2400V ~ DC 2600V
출력전압	3AC 970V
출력전류	3AC 310A
주파수	300 Hz
전력용 반도체소자	GTO : 4500V - 3000A
구 성	GTO (4500V - 3000A) x 2, Diode Gate Drive 2EA, Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)

③ 주회로도



< 그림 2-15. 기존 HEP INVERTER의 주회로도 >

④ 기존품 모듈 분석

㉮ 기존품 구성

- GTO(Gate-Turn-Off thyristors)
- 프리휠링 다이오드(Freewheeling diodes)
- 스너버 회로 소자(Snubber circuit elements)
- 모듈의 각상을 위한, 스너버 저항과 인덕터를 포함

㉯ 기존품 구조 및 성능

모든 부품은 밀폐된 용기 안에 설치. 이 용기는 지지대와 조임 장치용지지 및 취

부프레임, 열방산 장치로써 제작되었고, 비밀 방수와 먼지 방지 구조로 되어있다. 모든 전력 반도체는 물순환 회로 내에 위치하는 방열판을 통해 직접 냉각된다. GTO와 다이오드(프리휠링 및 스너버 다이오드)는 두 개의 클래핑 장치에 배치되어 있고, 양면 냉각 효과를 내기 위하여 반도체는 방열판 사이에 두개의 조임장치에 취부되어 있다.

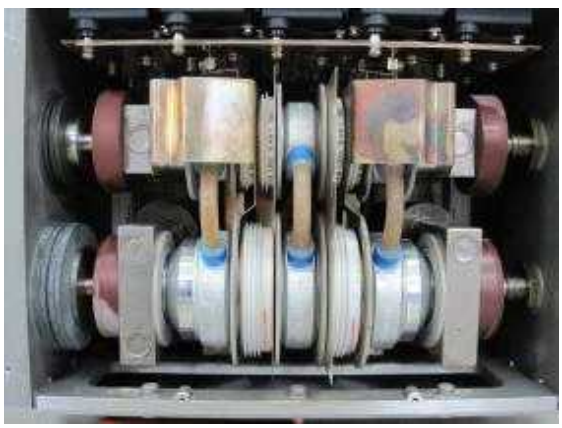
금속 방열판과 전력 반도체 사이는 확실한 전위 분리를 위해 세라믹 절연 디스크가 설치되며, 수냉각기로부터 냉각된 냉각수는 먼저 GTO의 방열기를 통과한 다음 다이오드의 방열기를 통과하여, 구불구불한 형태의 모듈 상부를 흐른 뒤, 스너버 저항을 냉각시킨다.

DC 링크 연결단자 P(+)와 N(-)은 모듈 후부 측에 설치되어 있다. 이들은 평면 접촉으로 구성되어 있으며, 필요한 접촉 압력은 전면부에서 취부할 수 있는 나사에 의해 보증되어진다. 부하 접촉은 모듈 전면부에 위치한다.

< 표 2-3. 기존품 HEP INVERTER의 성능 >

공칭 전압	2800V
최대 전압	3200V
공칭 전류	1300A_{eff}
최대 스위칭 전류	2900A
펄스 주파수	300Hz
치수	500mm × 360mm × 465mm
질량	80kg
보호등급	IP54(내부), IP00(외부)

⑤ 기존품 사진

외형사진	**내부사진**
	

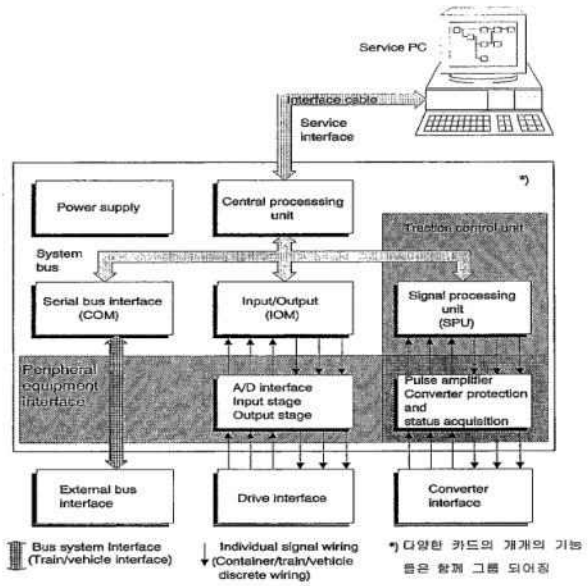
(라) TCU (Traction Control Unit)

① 기능

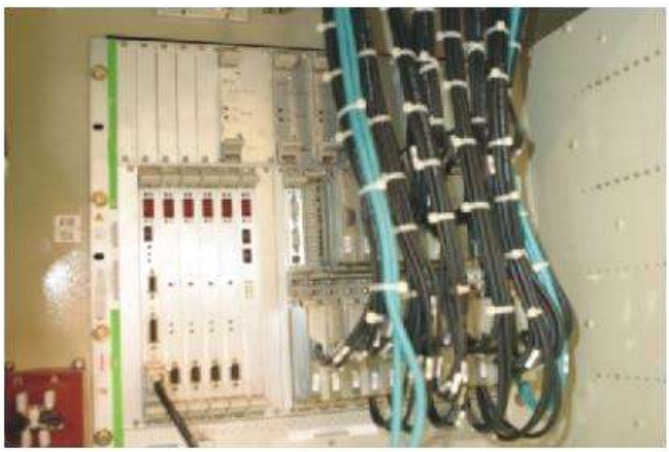
TCU는 SIBAS 32 계열의 마이크로프로세서를 사용한 철도차량용 모듈식 제어장치의 일종으로서 3상 AC구동장치를 제어하며, 견인 및 전기 제동력의 무단 제어 및 감시를 연속적으로 수행하는 기능을 갖고 있다.

㉮ TCU의 필수 기능

- GTO 기술 및 제동쵸퍼, 비동기 전동기의 PWM인버터 제어
- 기관사 요청에 따른 견인 및 전기제동 제어, 져크 한계 제어
- 자동차륜 공전/활주 보호, 회생제동 제어
- 견인 시스템의 구성품 시험 설비(옵션), TCU의 자기 진단 설비
- 견인 시스템의 감시 및 자기진단 설비



< 그림 2-16. TCU의 하드웨어 아키텍쳐 >



< 그림 2-17. TCU 외형 >

② 하드웨어 배치도



< 그림 2-18. TCU 모듈 >

< 표 2-4. 사용된 모듈형식의 개략 >

형 식(주문번호)	모듈이름	약 칭
6FH6035-1A	Blower Subassembly 28SEP 1U	BLOW
6FH9263-3K	Central Processing Unit	CPU
6FH9265-3B	Signal Processing Unit 56002, 27MHz	SPU
6FH9288-3D	Input/Output Module	IOM
6FH9295-3E	Power Start-up Unit 110V	PSU 110V
6FH9305-3D	Input Voltage/Frequency	IVF
6FH9306-3B	Input/Output Analogue	IOA
6FH9338-3A	Synchronzing Unit	SYN
6FH9356-3D	Input Converter Binary 110V	ICBP 110V
6FH9357-3B	Output Pulse Amplifier 40mA	OPA 40MA
6FH9381-3C	Binary Output Contactor Drive 110V	BOCD 110V
6FH9383-3B	Input/Output Analogue	IOA
6FH9405-3A	Inverter Monitoring	INVM
6FH9413-3B	Input Temperature Sensor PT100	ITS
6FH9458-3C	Multifunction Vehicle Bus 32	MVB 32
6FH9481-3A	DC/DC Converter 72～110V/5V 60W	PCS 5V
6FH9484-3A	DC/DC Converter 72～110V/24V 100W	PCS 24V
6FH9485-3A	DC/DC Converter 72～110V±24V 60W	PCS ±24V
6FH9496-3A	DC/DC Converter 72～110V±15V 60W	PCS 15V

(3) 추진제어용 주변환장치 보완 설계 및 제작

(가) 기존 장치의 성능을 파악하기 위한 현차 분석

기존 8200호대용 추진제어용 주변환장치의 성능을 파악하여 이에 상응하는 성능의 주변환장치를 개발하기 위해 실제 최대 전류치와 최대 전압치를 측정하여 주변환장치의 용량설계에 적용하고, 기존 유도전동기에 대한 추진인버터의 운전영역을 파악, 추진 인버터의 제어에 활용하기 위해 현차분석을 실시하였다.

8200호대의 전기기관차는 객차에 사용전원을 공급할 수 있는 장치(HEP 인버터)가 전력변환장치 내부에 장착되어 있다. 객차전원은 사구간의 여부와 관계없이 항상 동작해야 하므로 사구간에서는 발전제동을 하여 발생된 전력을 객차전원용으로 소모한다. 역행동작에서는 2,400Vdc로 제어되는 DC Link 전압이 발전 동작에서는 2,600Vdc로 상승하고 발생된 전력이 HEP 인버터를 통해 소모되는 것으로 확인하였다.

현차의 중량을 약 240ton(기관차 88ton + 객차 35ton*4)으로 계산하였을 때 컨버터 출력(DC Link)은 최대전압 2,600V(오차범위 ±1%), 최대전류 1,100A(오차범위 ±5%) 내외로 측정되었으며 인버터의 출력전류 값은 최대 580A(오차범위 ±5%) 내외로 측정되었다. 측정값은 기존의 전력변환장치의 설계용량을 넘지 않는 수치이므로 기존 설계용량을 기준으로 전력변환장치의 설계가 가능하다고 판단된다.

최고속도시험에 따른 모터의 전류곡선을 측정해 본 결과, 1차와 2차의 최고속도 전류곡선이 유사함을 확인하였고, 또한 특성영역에서의 전류의 감소분은 나타나지 않았다. 약 60km/h의 속도에서 모터전류의 크기가 감소함을 보이다 80km/h 이상의 속도 시 모터의 전류는 더 이상 감소하지 않았고 고속주행 시 모터의 견인력이 150km/h까지 속도를 증가함에 있어서 크게 작아지지 않는다는 결론을 얻었다. 그 이유로 고속주행 시 발생하는 주행저항의 크기가 유도전동기의 토크곡선보다 반비례하게 증가하기 때문으로 판단된다.

(나) 차량 성능 검토

< 표 2-5. 기존 차량시스템의 사양 >

항 목	사 양
공급 전원 방식	오버헤드 카테너리
공급 전압	AC 25kV / 60Hz
공급 전압 범위	19.0kV ~ 27.5kV
성능(출력)	5,200kW (25.0kV ~ 27.5kV 범위 내에서)
연속운행 최고속도	150km/h
최대 출발 견인력	320kN (인장력 : 300kN, 62.4km/h에서)
최대 회생 제동력	216kN (5km/h ~ 87.5km/h 범위 내에서)
제어회로 공급전압	DC 110V (변동범위 : DC 77V ~ DC 138V)
외기 온도	-35℃ ~ +45℃
적설량	30mm 이하
최급 구배	35‰ 이하
견인전동기 정격용량	1,350 kW
I/F 및 통신	MVB

① 차량의 기동 견인력 계산식

$$TE = 1000 \times \mu \times W_m \times \frac{9.81}{1000}$$

μ : 점착계수, W_m : 동력차 중량 [ton]

$\mu = 0.371$ (기동 조건), $\mu = 0.348$ (특성 영역 변곡점), $\mu = 0.25$ (제동 조건)

② 기동 견인력

점착계수 : $\mu = 0.371$ 일 때

$$TE = 1000 \times 0.371 \times 88 \times \frac{9.81}{1000} = 320\,kN$$

중간속도 영역의 역행성능 : 특성 영역 변곡점에서의 점착계수를 고려한 출력

$$TE = 1000 \times 0.348 \times 88 \times \frac{9.81}{1000} = 300\,kN$$

③ 전기 제동력

점착계수 : $\mu = 0.25$ 일 때 전기 제동력

$$TE = 1000 \times 0.25 \times 88 \times \frac{9.81}{1000} = 216\,kN$$

216 kN으로 특성 영역 변곡점 속도까지 일정하고, 그 이상의 속도에서는 특성곡선을 따른다.

(다) 견인 INVERTER 보완 설계 및 제작

① 기능

Converter의 출력 DC 링크 전원을 VVVF 제어로 AC 전원으로 변환하여 주 전동기의 회전수 및 Torque를 제어

② 기본사양

< 표 2-6. 개발품 견인 INVERTER의 사양 >

항 목		사 양
인버터부	입력전압	DC 2400V ~ DC 2600V
	출력전압	3상 0V ~ 2030V(rms)
	최대출력	1600kVA 이상
	주파수	0 ~ 134Hz
	IGBT	4500V, 1500A (24EA)
	Gate Driver	2병렬(12EA)

- VVVF 인버터

· 주요제원 : IGBT 모듈(4500V × 1500A급, 2병렬)

· 제어방식 : 전압형 PWM 제어, VVVF 제어, VECTOR 제어

③ 인버터 용량 검토

인버터 출력용량(P_I)는 전동기 입력용량을 역률로 나눈 값으로 전동기 입력용량은 전동기의 용량과 전동기의 효율을 고려하여 1350kW라고 가정하며, 인버터의 효율(0.97) 및 역률(0.82)을 다음과 같은 수치로 놓고 계산하면,

$$P_I = 1350kW / 0.82 = 1650kW$$

인버터 용량, 전동기 전압(2200V)이 결정되면 인버터 정격 출력전류는,

$$I_M = 1650kW / (\sqrt{3} \times 2200) \fallingdotseq 433A$$

④ 인버터 용량 계산

INVERTER부에 사용하는 IGBT는 4500V, 1500A × 2P를 사용하며 선정이유는 아래와 같다.

㉮ 전압의 결정법

- IGBT 소자로 인가된 전압이 최대로 되는 것은, 가선전압에 의한 보호시이다.
- 인버터 유니트의 최대전압 : 2600V
- IGBT는 2600V 보다 상위의 4500V급을 선정한다.

㉯ 정격 전류 결정

- IGBT 소자 통전전류 최대치는 120% 과부하시의 PEAK치이다.
- IGBT 통전 전류

· 최대 제동시 운전 입력전류 : 1235A

· 견인 운전시 공칭 출력전류 : 640A

- IGBT전류 (PEAK전류치)

· $1235A(\text{정격전류}) \times 1.2(\text{과부하}) \times \sqrt{2}\,(PEAK\text{치}) = 2095[A]$

· 보호동작시의 시간지연을 고려하여 1500A급 × 2P를 사용한다.

· 따라서 IGBT의 정격은 4500V, 1500A × 2P로 된다.

⑤ IGBT 손실계산

INVERTER 사용되어진 소자는 MBN1500FH45F-H이고 사용조건은 다음과 같다.

- Vce = 2,600V, Vce(sat) = 1.8V (Ic = 320A)
- Tr = 0.3usec (rising time, Ic = 320A)
- Tf = 0.7usec (off time, Ic = 320A)

㉮ 스위칭 손실(IGBT on)

$$P_1 = \int_0^{tr} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} I_{C1} \cdot V_{CE1} \cdot t_r \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 0.3 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 41.6\ W$$

㉯ 도통 손실(IGBT)

$$P_2 = \int_0^{ton} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot t_{ON} \cdot f$$

$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot D$$

$$= \frac{320 + 320}{2} \times 1.8 \times 0.7$$

$$= 403.2\ W$$

㉰ 스위칭 손실(IGBT off)

$$P_3 = \int_0^{tf} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 0.7 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 233\ W$$

㉱ 도통 손실(diode)

$$P_{dc} = I_C \times V_F \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 320 \times 1.5 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 24.3\ W$$

㈐ 스위칭 손실(diode)

$$P_{dsw} = \frac{1}{\pi} \times f_{sw} \times W_{off}$$

$$= \frac{1}{\pi} \times 1000 \times 2.8$$

$$= 891.2\,W$$

㈑ IGBT의 총손실

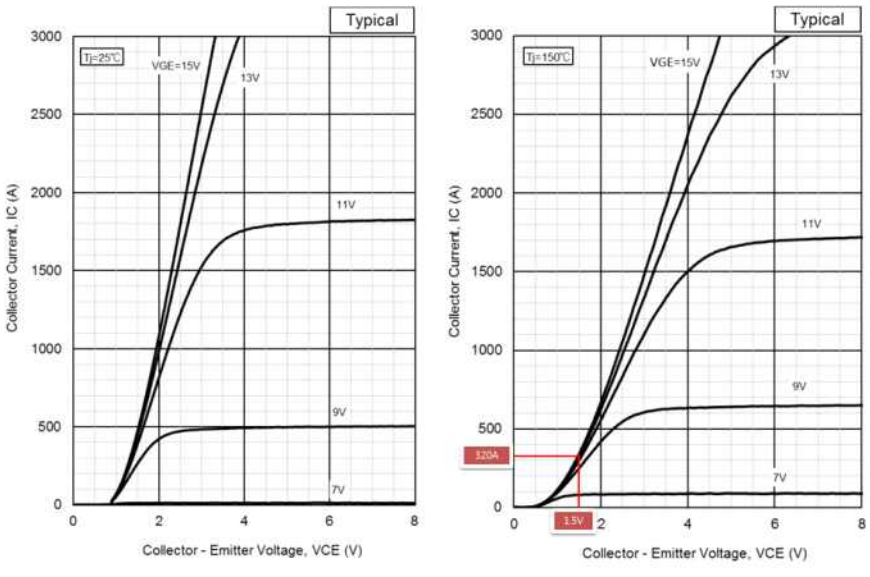
$$P_{loss} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{dc} + Pdsw$$

$$= 41.6 + 403.2 + 233 + 24.3 + 891.2 = 1593.3\,W$$

㈒ IGBT 2개를 사용하므로 INVERTER UNIT 1 ARM의 손실은

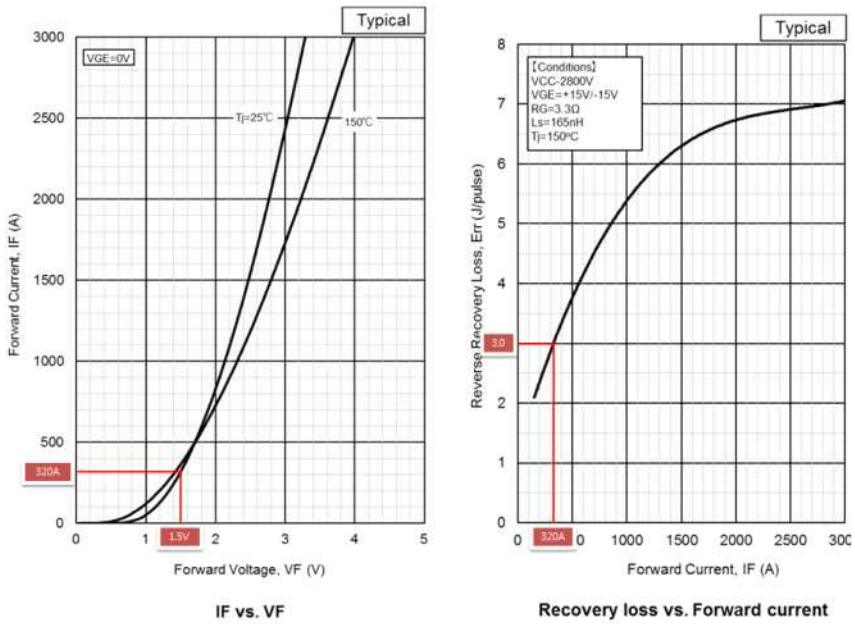
$$= 1593.3 \times 4 = 6373.2\,W$$

Item		Symbol	Unit	Min.	Typ.	Max.	Test Conditions
Collector Emitter Cut-Off Current		I_{CES}	mA	-	-	6	V_{CE}=4,500V, V_{GE}=0V, Tj=25°C
				-	60	180	V_{CE}=4,500V, V_{GE}=0V, Tj=150°C
Gate Emitter Leakage Current		I_{GES}	nA	-500	-	+500	V_{GE}=±20V, V_{CE}=0V, Tj=25°C
Collector Emitter Saturation Voltage		V_{CEsat}	V	-	3.0	3.4	I_C=1500A, V_{GE}=15V, Tj=150°C
Gate Emitter Threshold Voltage		$V_{GE(th)}$	V	6.0	6.5	7.0	V_{CE}=10V, I_C=1500mA, Tj=25°C
Input Capacitance		C_{ies}	nF	-	83	-	V_{CE}=10V, V_{GE}=0V, f=100kHz, Tj=25°C
Internal Gate Resistance		rg	Ω	-	2.6	-	V_{CE}=10V, V_{GE}=0V, f=100kHz, Tj=25°C
Switching Times	Rise Time	t_r	μs	-	0.25	-	V_{CC}=2,800V, Ic=1500A
	Turn On Time	t_{on}		-	0.75	-	Ls=165nH
	Fall Time	t_f		-	2.1	-	R_G=3.3Ω (3)
	Turn Off Time	t_{off}		-	4.9	-	V_{GE}=±15V, Tj=150°C
Peak Forward Voltage Drop		V_F	V	-	2.8	3.2	IF=1500A, V_{GE}=0V, Tj=150°C
Reverse Recovery Time		t_{rr}	μs	-	1.3	-	V_{CC}=2,800V, IF=1500A, Ls=165nH Tj=150°C
Turn On Loss		E_{on}	J/P	-	4.8	-	V_{CC}=2,800V, Ic=1500A, Ls=165nH
Turn Off Loss		E_{off}	J/P	-	8.0	-	R_G=3.3Ω (3)
Reverse Recovery Loss		E_{rr}	J/P	-	6.3	-	V_{GE}=±15V, Tj=150°C
Stray inductance module		L_{SCE}	nH	-	10	-	
Thermal Impedance	IGBT	Rth(j-c)	K/W	-	-	0.0085	Junction to case
	FWD	Rth(j-c)		-	-	0.0115	
Contact Thermal Impedance		Rth(c-f)	K/W	-	0.005	-	Case to fin

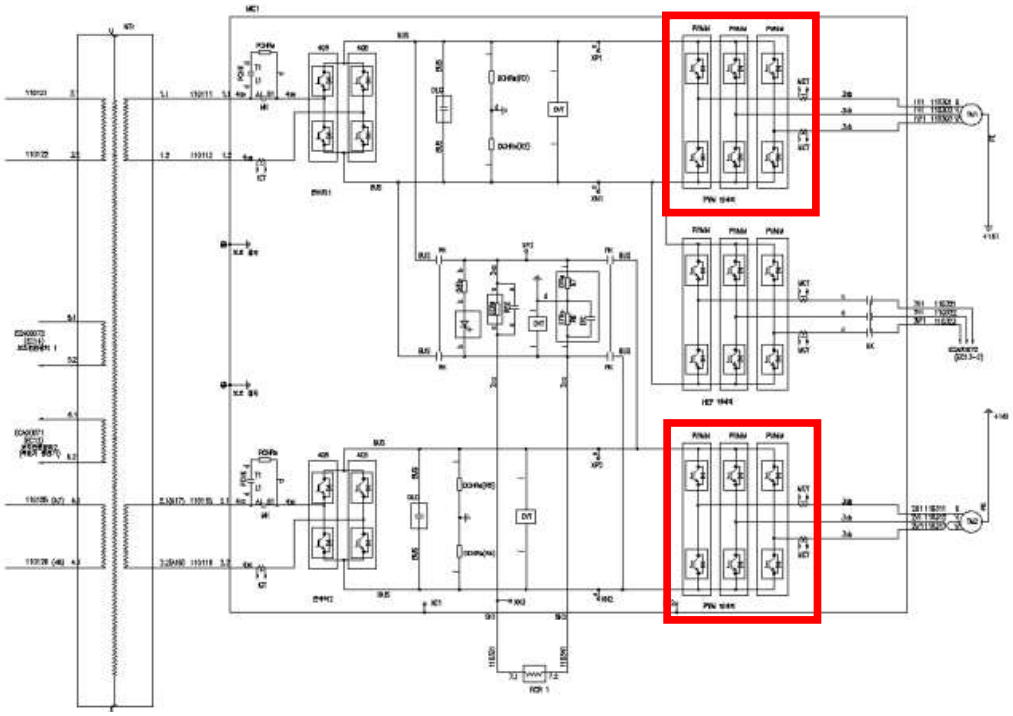


IC vs. VCE (Tj=25°C)

IC vs. VCE(Tj=150°C)



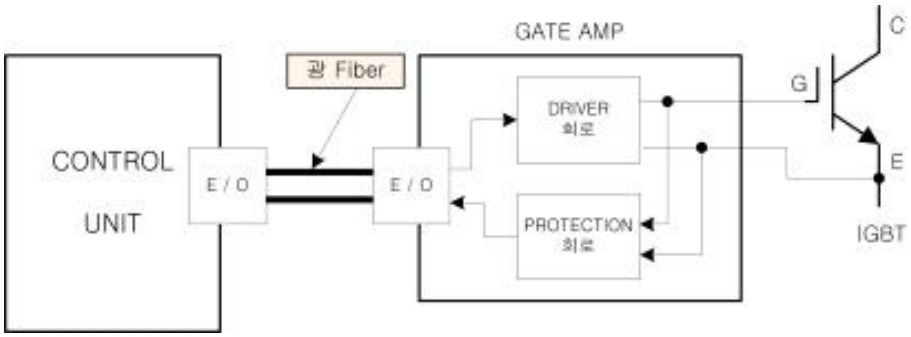
⑥ 주회로도



< 그림 2-19. 인버터 주회로도 >

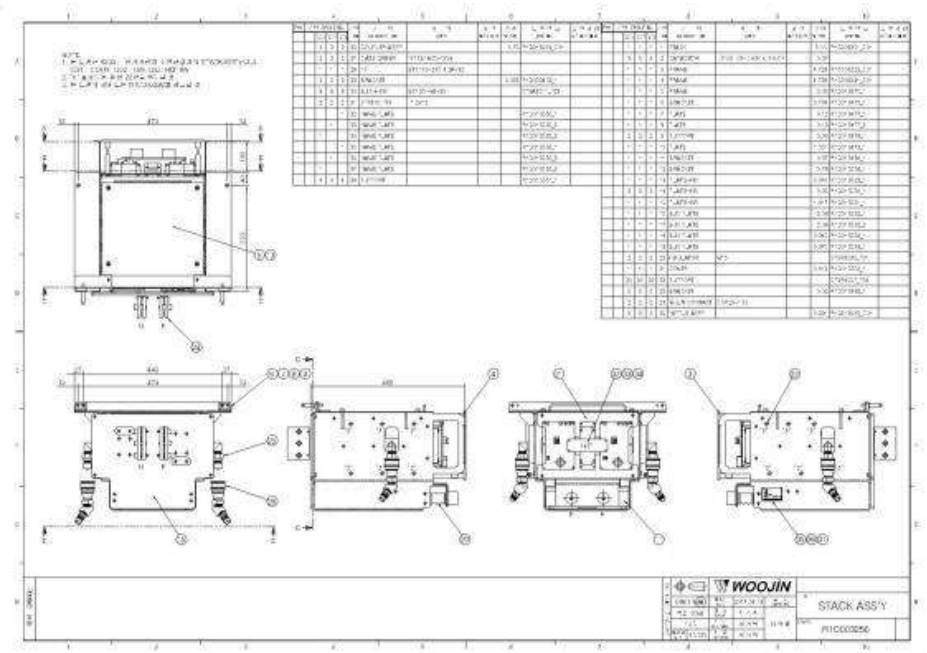
⑦ GATE DRIVER UNIT

Gate Driver Unit는 CONTROL UNIT으로부터의 지령을 받아, IGBT의 GATE에 고속으로 스위칭 전원을 인가하는 장치이다. 본 GDU는 고속 응답을 구현하기 위해, CONTROL UNIT과 GDU의 송수신 LINE을 광 Fiber를 사용하며, IGBT의 오동작 등에 의한 PROTECTION 기능이 포함되어 있다. 하기 BLOCK 도는 개략적인 GDU의 개요 및 CONTROL UNIT 및 IGBT와의 관계를 나타낸다.

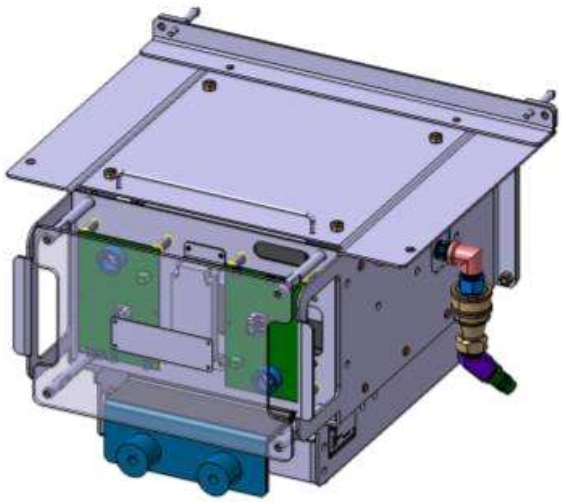


< 그림 2-20. GATE DRIVER의 Block Diagram >

⑧ 개발품 INVERTER 구조

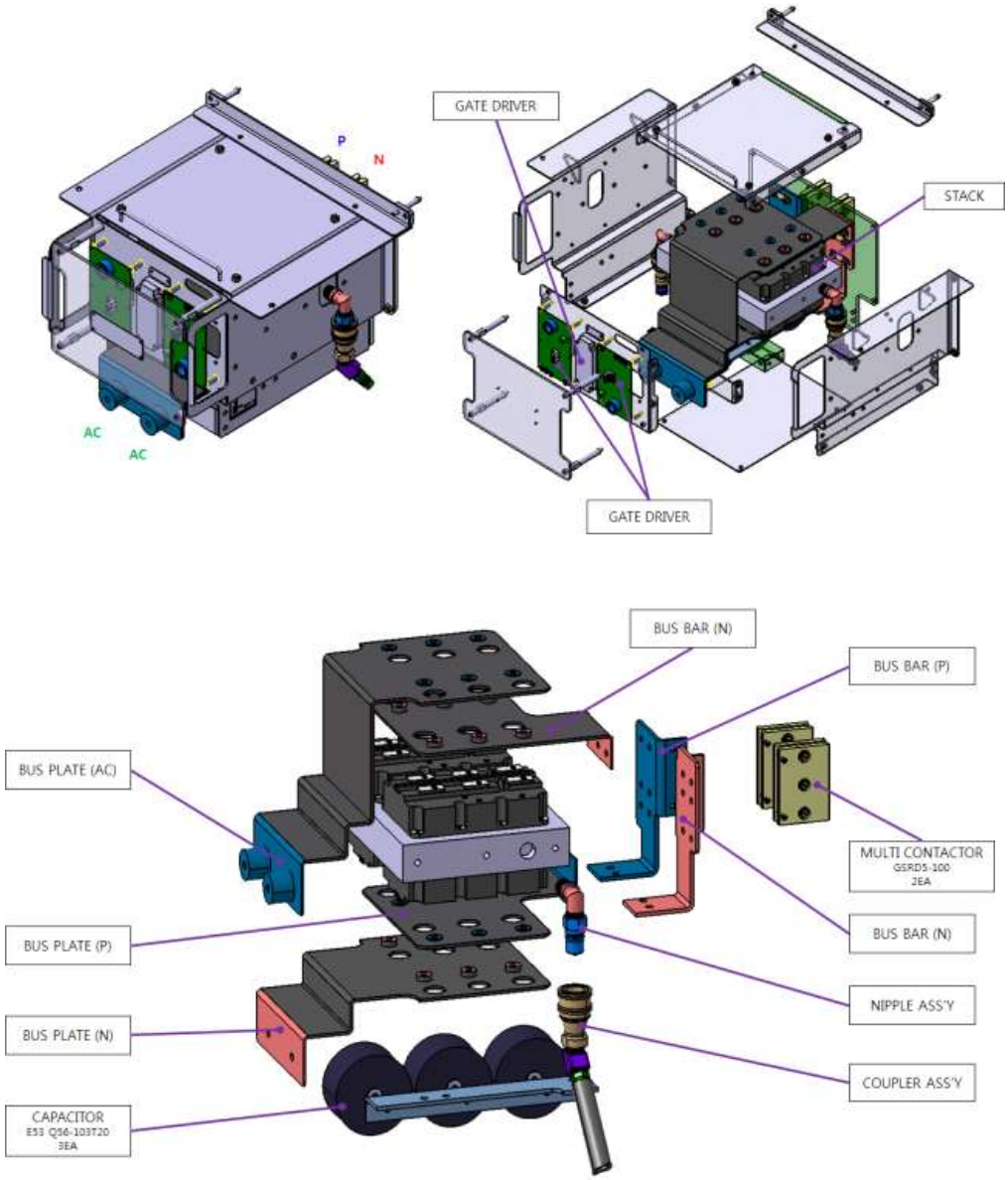


< 그림 2-21. 2D Drawing >



< 그림 2-22. 3D Drawing >

⑨ 개발품 INVERTER 분해도



< 그림 2-23. INVERTER 분해도 >

⑩ 기존장치 대비 개발장치 특성 비교

㉮ 주요 특성비교

< 표 2-7. 기존품 및 개발품 INVERTER의 특성 비교 >

항 목	사 양	
	기존장치	개발장치
제어방식	3상 PWM 인버터 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어	2 Level 3상 전압형 PWM 제어 공전활주 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조 ⇔ 1P MODE
입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)	좌 동
최대출력	1,600 kVA 이상	좌 동
주파수	0 ~ 134 Hz	좌 동
전력용 반도체소자	GTO : 4,500V-3,000A	IGBT : 4,500V-1,500A x 2병렬
구 성	GTO (4,500V-3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor	IGBT (4,500V-1,500A) x 4 Gate Drive 2EA Power Board 1EA Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)	좌 동
사 진		

㉰ GTO와 IGBT 소자 손실비교

기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발장치 IGBT소자는 MBN1500FH45F-H이고 비교분석을 하기 위한 조건은 다음과 같다.

- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- GTO인 경우 Datasheet 상의 Turn-on Time, Turn-off Time 적용
- DIODE의 손실을 제외한, 스위칭 소자만의 손실을 계산

< 표 2-8. 전력반도체소자 손실 비교 >

구분	GTO	IGBT
	INVERTER	INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W	41.6 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W	233 W
도통 손실 (W)	896.0 W	403.2 W
합 계 (W)	11850.7 W	677.8 W

(다) 견인 CONVERTER 보완 설계 및 제작

① 기능

Main Transformer 2차 측 전압 AC 1230V를 PWM 제어를 통하여 DC 링크 회로에 직류전압을 공급하고 회생 제동시 가선 측으로 전력을 회생

② 기본사양

항 목		사 양
컨버터부	입력전압	AC 1230V x 2회로
	출력전압	DC 2400V ~ DC 2600V
	최대출력	1,500kW 이상
	IGBT	4500V, 1500A
	Gate Driver	2병렬

1) PWM 컨버터

- 주요제원 : IGBT 모듈(4500V × 1500A급, 2병렬)
- 제어방식 : PWM 제어

㉱ 컨버터 용량 검토

컨버터 효율을 0.97 이라 가정하고 컨버터 출력용량은 인버터 출력용량에 역률을 곱한 값에 인버터 효율을 나눈 값으로 계산할 수 있다.

$P_C = 1650kW \times 0.82/0.97 = 1394kW$

컨버터 출력전압이 2600V이므로 직류링크단 전류

= 1394kW / 2600V = 536A

변압기 2차측 출력용량은,

$P_{TR} = 1394kW/0.97(\eta_{CON}) = 1437kVA$

< 표 2-9. 변압기 2차측 출력용량 >

항 목	정 격
컨버터 용량	1394 kW
컨버터 입력 전압	1232 V
컨버터 입력 전류	1166 A
변압기 용량	1437 kVA
컨버터 출력 전압	2600 V
컨버터 출력 전류	536 A

㉰ 컨버터 IGBT 용량 계산

CONVERTER부에 사용하는 IGBT는 4500V, 1500A × 2P를 사용하며 선정이유는 아래와 같다.

- 전압의 결정법

· IGBT 소자로 인가된 전압이 최대로 되는 것은, 가선전압 및 DC LINK 전압에 의한 보호시이다.

· CONVERTER UNIT의 최대전압

· 가선전압 = 1451V (가선 최대 입력전압범위)

· DC LINK 전압 = 2400 ~ 2600V

· IGBT는 2600V 보다 상위의 3300V급을 사용하여야 하나 2500V 이상의 스위칭은 불가한 이유로 상위 등급인 4500V급을 선정한다.

- 정격 전류 결정

· IGBT통전 전류: 최대 견인시 운전 입력전류 : 1410A(PEAK)

· IGBT전류 (과부하 120%의 PEAK전류치)

· $1{,}410A$(최대견인시 입력전류) $\times 1.2$(과부하정격) $\times \sqrt{2}$ ($PEAK$치) $= 2{,}392[A]$

· 보호동작시의 시간지연을 고려하여 1500A급 × 2P를 사용한다.

· 따라서 IGBT의 정격은 4500V, 1500A × 2P로 된다.

㈐ IGBT 손실계산

CONVERTER 사용되어진 소자는 MBN1500H45F-H이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2600V

Vce(sat) = 2.5V (Ic = 700A)

Tr = 0.3usec (rising time, Ic = 700A)

Tf = 0.7usec (off time, Ic = 700A)

- 스위칭 손실(IGBT on)

$$P_1 = \int_0^{tr} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} I_{C1} \cdot V_{CE1} \cdot t_r \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} \times 700 \times 2600 \times 0.3 \times 10^{-6} \times 540$$

$$= 49.14\ W$$

- 도통 손실(IGBT)

$$P_2 = \int_0^{ton} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot t_{ON} \cdot f$$

$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot D$$

$$= \frac{700 + 700}{2} \times 2.5 \times 0.6$$

$$= 1050\ W$$

- 스위칭 손실(IGBT off)

$$P_3 = \int_0^{tf} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} \times 700 \times 2600 \times 2.5 \times 10^{-6} \times 540$$

$$= 409.5\ W$$

- 도통 손실(diode)

$$P_{dc} = I_C \times V_F \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 700 \times 2.0 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 71\ W$$

- 스위칭 손실(diode)

$$P_{dsw} = \frac{1}{\pi} \times f_{sw} \times W_{off}$$

$$= \frac{1}{\pi} \times 540 \times 4.0$$

$$= 687.5\ W$$

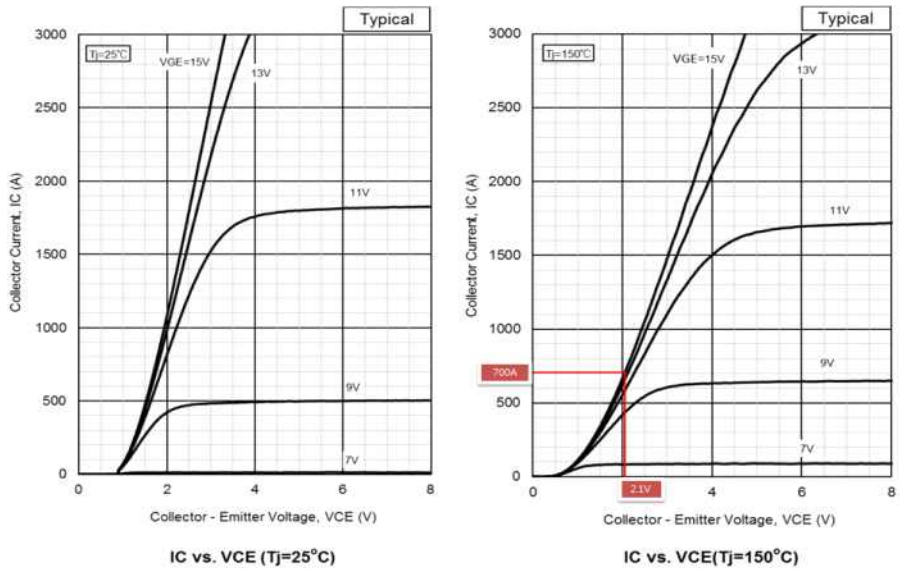
- IGBT의 총손실

$$P_{loss} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{dc} + Pdsw$$

$$= 49.14 + 1050 + 409.5 + 71 + 687.5 = 2267.14\ W$$

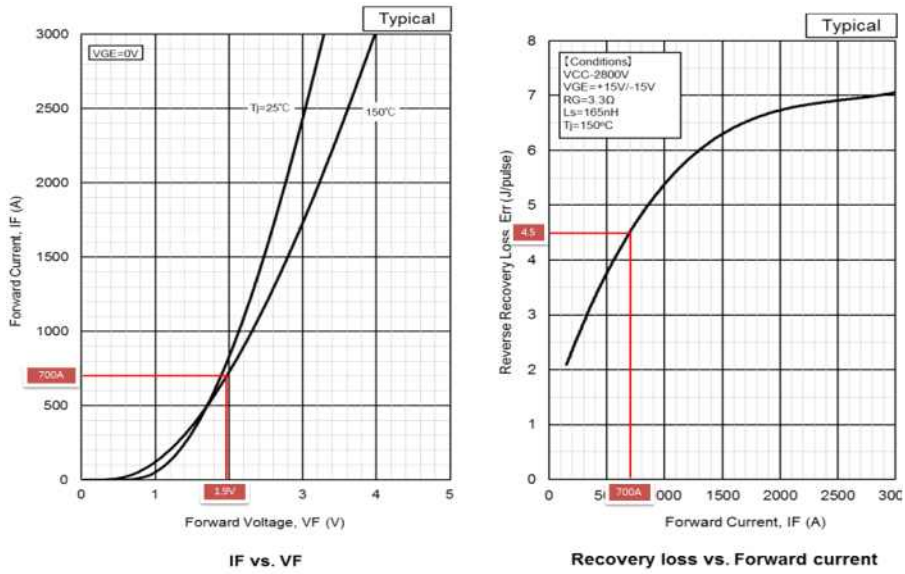
IGBT 2개를 사용하므로 CONVERTER UNIT 1 ARM의 손실은

$$= 2267.14 \times 4 = 9068.56\ W$$

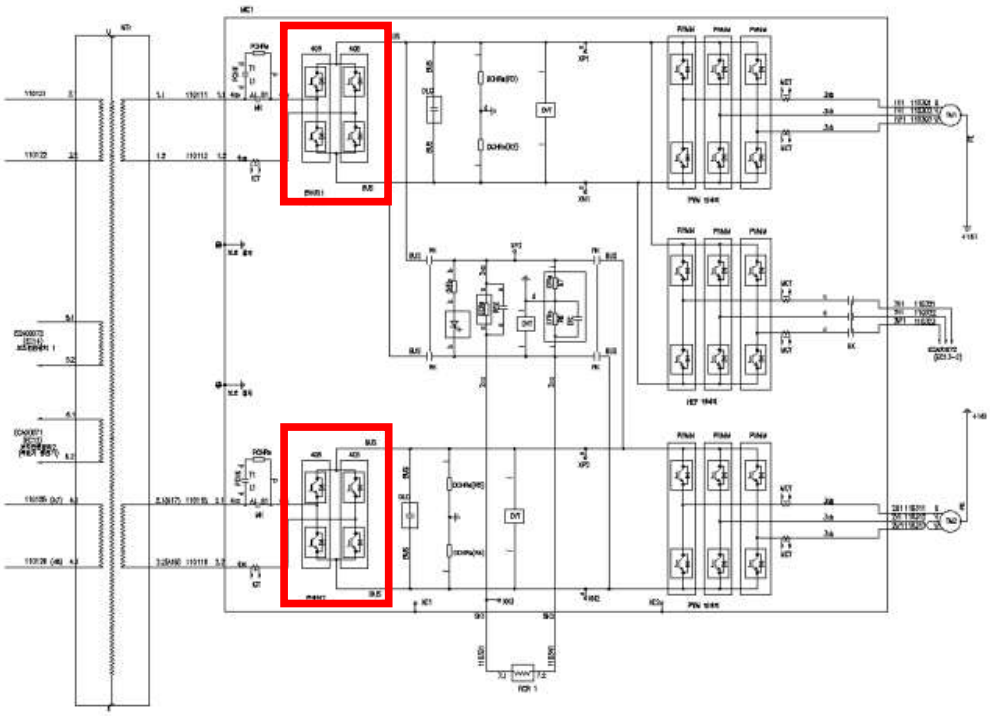


IC vs. VCE (Tj=25°C)

IC vs. VCE(Tj=150°C)



③ 주회로도



< 그림 2-24. 견인 CONVERTER 회로도 >

⑦ 기존장치 대비 개발장치 특성 비교

㉮ 주요 특성비교

< 표 2-10. 기존품 및 개발품 CONVERTER 특성 비교 >

항 목	사 양	
	기존장치	개발장치
제어방식	4상한 쵸퍼 위상 제어	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
입력전압	AC 1,230V × 2회로	좌 동
출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
최대출력	1,500 kW 이상	좌 동
전력용 반도체소자	GTO : 4,500V-3,000A	IGBT : 4,500V-1,500A x 2병렬
구 성	GTO (4,500V-3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor	IGBT (4,500V-1,500A) x 4 Gate Drive 2EA Power Board 1EA Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)	좌 동
사 진		

㉯ GTO와 IGBT 소자 손실비교

기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발장치 IGBT소자는 MBN1500FH45F-H이고 비교분석을 하기 위한 조건은 다음과 같다.

- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- GTO인 경우 Data sheet 상의 Turn-on Time, Turn-off Time 적용
- DIODE의 손실을 제외한, 스위칭 소자만의 손실을 계산

< 표 2-11. 전력반도체소자 손실 비교 >

구분	GTO	IGBT
	CONVERTER	CONVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W	49.14 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W	409.5 W
도통 손실 (W)	896.0 W	1050 W
합 계 (W)	11850.7 W	1508.64 W

(라) HEP INVERTER 보완 설계 및 제작

① 기능

PWM 제어에 의한 CVCF 전원을 각 차량의 냉. 난방 장치와 등 객차 및 기관차 서비스전원의 고정부하에 전원을 공급

② 기본사양

항 목		사 양
인버터부	입력전압	DC 2400V ~ DC 2600V
	출력전압	3AC 970V
	최대출력	3AC 310A
	주파수	300 Hz
	IGBT	4500V, 1500A (12EA)
	Gate Driver	2병렬(6EA)

1) HEP INVERTER

- 주요제원 : IGBT 모듈(4500V × 1500A급, 2병렬)
- 제어방식 : 정전압 제어

㉮ 인버터 용량 검토

인버터 출력용량(P_I)는 전동기 입력용량을 역률로 나눈 값으로 전동기 입력용량은 전동기의 용량과 전동기의 효율을 고려하여 1350kW라고 가정하며, 인버터의 효율(0.97) 및 역률(0.82)을 다음과 같은 수치로 놓고 계산하면,

$$P_I = 1350kW / 0.82 = 1650kW$$

인버터 용량, 전동기 전압(2200V)이 결정되면 인버터 정격 출력전류는,

$$I_M = 1650kW / (\sqrt{3} \times 2200) \fallingdotseq 433A$$

㉰ 인버터 용량 계산

INVERTER부에 사용하는 IGBT는 4500V, 1500A × 2P를 사용하며 선정이유는 아래와 같다.

- 전압의 결정법

· IGBT 소자로 인가된 전압이 최대로 되는 것은, 가선전압에 의한 보호시이다.

· 인버터 유니트의 최대전압 : 2600V

· IGBT는 2600V 보다 상위의 4500V급을 선정한다.

- 정격 전류 결정

· IGBT 소자 통전전류 최대치는 120% 과부하시의 PEAK치이다.

· IGBT 통전 전류

· 최대 제동시 운전 입력전류 : 1235A

· 견인 운전시 공칭 출력전류 : 640A

· IGBT전류 (PEAK전류치)

· $1235A(\text{정격전류}) \times 1.2(\text{과부하}) \times \sqrt{2}\,(PEAK\text{치}) = 2095[A]$

· 보호동작시의 시간지연을 고려하여 1500A급 × 2P를 사용한다.

· 따라서 IGBT의 정격은 4500V, 1500A × 2P로 된다.

㉱ IGBT 손실계산 (견인 INVERTER와 동일)

INVERTER 사용되어진 소자는 MBN1500FH45F-H이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V

Vce(sat) = 1.8V (Ic = 320A)

Tr = 0.3usec (rising time, Ic = 320A)

Tf = 0.7usec (off time, Ic = 320A)

- 스위칭 손실(IGBT on)

$$P_1 = \int_0^{tr} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f = \frac{1}{6} I_{C1} \cdot V_{CE1} \cdot t_r \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 0.3 \times 10^{-6} \times 1000 = 41.6\ W$$

- 도통 손실(IGBT)

$$P_2 = \int_0^{ton} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f = \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot t_{ON} \cdot f$$

$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot D = \frac{320 + 320}{2} \times 1.8 \times 0.7 = 403.2\ W$$

- 스위칭 손실(IGBT off)

$$P_3 = \int_0^{tf} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f = \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 0.7 \times 10^{-6} \times 1000 = 233\ W$$

- 도통 손실(diode)

$$P_{dc} = I_C \times V_F \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi}) = 320 \times 1.5 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 24.3\ W$$

- 스위칭 손실(diode)

$$P_{dsw} = \frac{1}{\pi} \times f_{sw} \times W_{off} = \frac{1}{\pi} \times 1000 \times 2.8 = 891.2\ W$$

- IGBT의 총손실

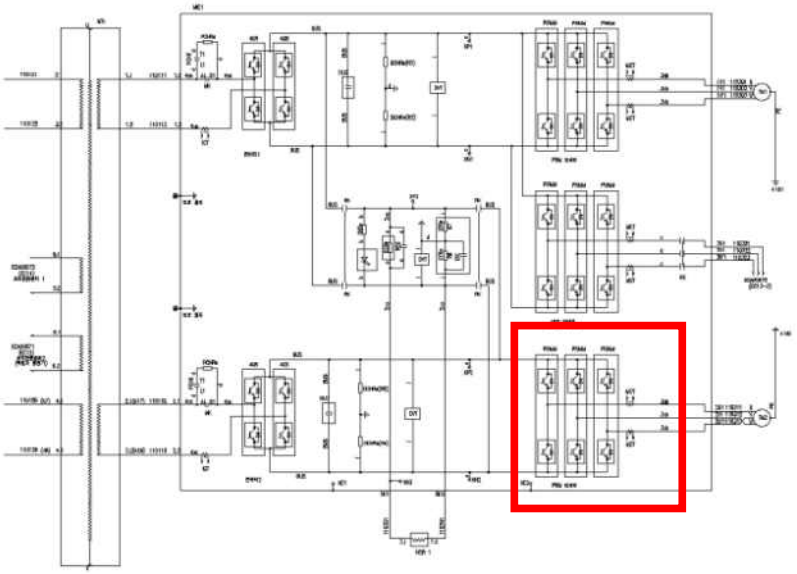
$$P_{loss} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{dc} + Pdsw$$

$$= 41.6 + 403.2 + 233 + 24.3 + 891.2 = 1593.3\ W$$

IGBT 2개를 사용하므로 INVERTER UNIT 1 ARM의 손실은

$$= 1593.3 \times 4 = 6373.2\ W$$

③ 주회로도



< 그림 2-29. HEP INVERTER 회로도 >

⑥ 기존장치 대비 개발장치 특성 비교

㉮ 주요 특성비교

< 표 2-12. 기존품 및 개발품 HEP INVERTER 특성 비교 >

항 목	사 양	
	기존장치	개발장치
제어방식	3상 PWM 인버터 제어	3상 PWM 인버터 제어 정전압 제어
입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
출력전압	3AC 970V	좌 동
최대출력	3AC 310A	좌 동
주파수	300 Hz	좌 동
전력용 반도체소자	GTO : 4,500V-3,000A	IGBT : 4500V-1500A x 2병렬
구 성	GTO (4,500V-3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor	IGBT (4500V-1500A) x 4 Gate Drive 2EA Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)	좌 동
중 량	80 kg	62 kg
사 진		

㈏ GTO와 IGBT 소자 손실비교

기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발장치 IGBT소자는 MBN1500FH45F-H이고 비교분석을 하기 위한 조건은 다음과 같다.

- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- GTO인 경우 Data sheet 상의 Turn-on Time, Turn-off Time 적용
- DIODE의 손실을 제외한, 스위칭 소자만의 손실을 계산

< 표 2-13. 전력반도체소자 손실 비교 >

구분	GTO	IGBT
	HEP INVERTER	HEP INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W	41.6 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W	233 W
도통 손실 (W)	896.0 W	403.2 W
합 계 (W)	11850.7 W	677.8 W

(마) 제어장치(TCU) 보완설계 및 제작

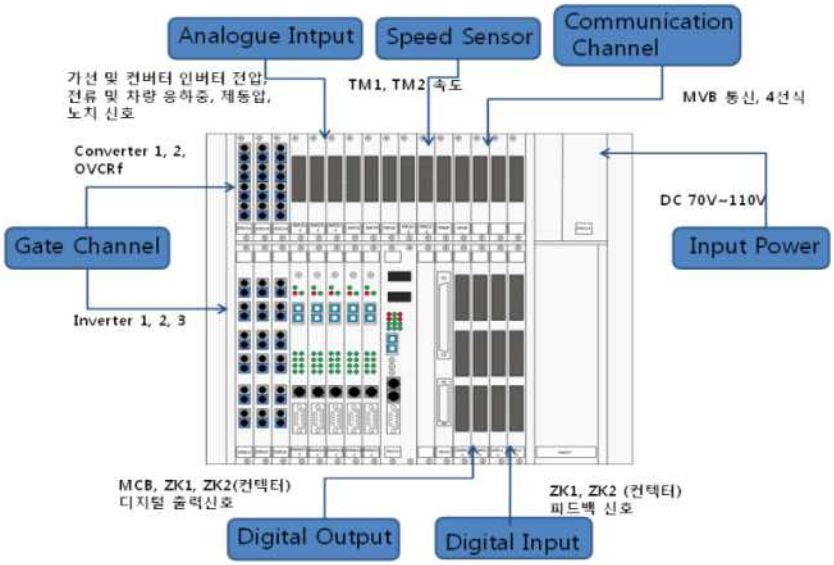
① 제어장치 설계

㈎ 개요

제어기는 파워 서플라이를 포함하여 총 15종의 보드와 마더 보드로 이루어진다. 3U의 제어기들은 전압, 전류, 온도, 속도 신호등을 입력받으며 필터회로와 ISOLATION AMP.를 통하여 절연시킨 후 아래쪽의 PWM27 보드와 PUZ22 보드 (6U)에 입력시킨다. 디지털 입력 보드(DIP13)는 내부에 큰 저항이 들어가기 때문에 9U의 큰 보드로 설계되어 있다.

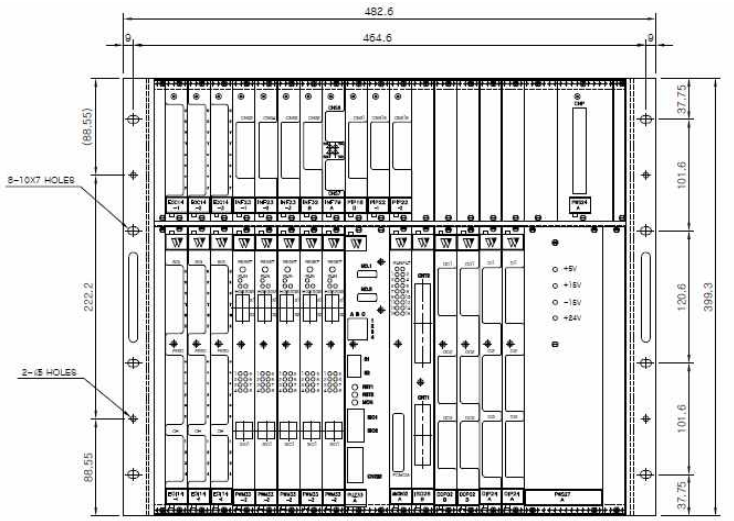
㈏ 주요기능

- 기관사 요청에 따른 견인 및 전기제동 제어
- 져크 한계 제어
- 자동차륜 공전/활주 보호
- 회생제동 제어
- 견인 시스템의 구성품 시험 설비(옵션)
- TCU의 자기 진단 설비
- 견인 시스템의 감시 및 자기진단 설비



< 그림 2-34. 제어장치의 구성 >

㉰ 배치도(Specification)



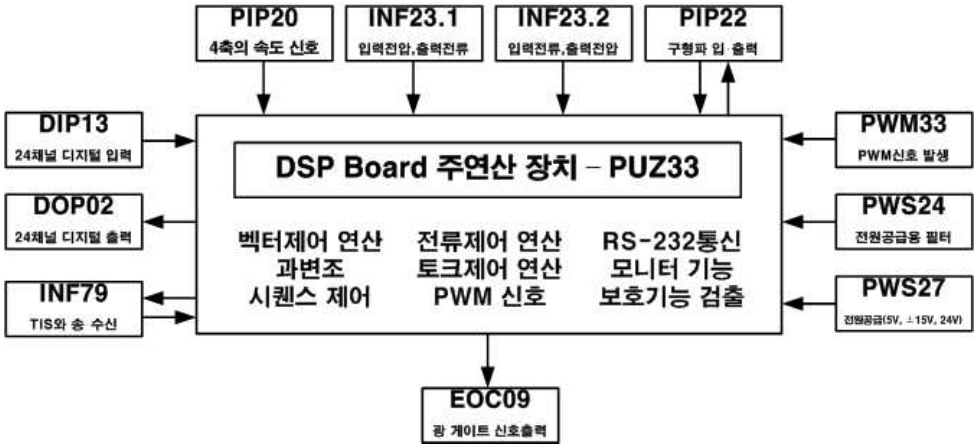
< 그림 2-35. 제어장치의 배치도 >

㉱ 제어장치 외형



< 그림 2-36. 제어장치의 외형 >

② PCB 구성 및 기능



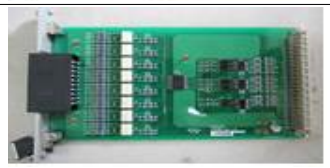
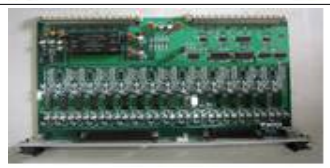
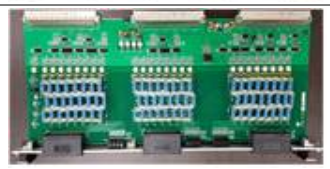
< 그림 2-37. 제어장치의 기능 블록도 >

주변환장치의 제어장치는 전압형 PWM 컨버터의 인버터의 가변전압 가변주파수 제어 방식으로 역행 및 제동시 정토크, 정출력, 정전압 제어를 하며, 차량의 점착성능 및 에너지 효율의 극대화를 발휘하도록 되어있다.

견인력 및 제동력은 주간제어기의 역행/제동 핸들이나 TCMS에 의해 제어되고, 필요한 견인력 및 제동력을 낼 수 있도록 펄스폭 변조신호를 제어한다.

< 표 2-14. PCB 구성 및 기능 >

보 드 명	기 능	크기	수량	외형
INF23-1,2,3	전압, 전류 아날로그 입력	3U	3	
INF32	가선 동기 전원 입력	3U	1	
INF79	통신보드	3U	1	
PIP18	속도 입력 보드	3U	1	
PIP22-1,2	노치, 응하중, 브레이크 지령 입력	3U	2	

보 드 명	기 능	크기	수량	외형
MVB	통신 인터페이스	3U	1	
EOCI	광 PWM출력	3U	3	
TEMP 보드	온도 센싱	3U	1	
ISO	광 PWM출력	6U	3	
PWM33 -I1,I2,I3,C1,C2	컨버터/인버터 제어 및 PWM	6U	5	
PUZ33	모니터, 통신, 시퀀스, 고장 감시	6U	1	
DOP02-1,2	디지털 출력	6U	2	
DIP24-1,2	디지털 입력	6U	2	
PWS24	제어 전원 필터	3U	1	
PWS27	전원공급	6U	1	

- INF23 보드

INF23 보드는 전압, 전류등의 아날로그 데이터를 센싱받는 보드이다. 각 채널은A/D 컨버팅을 위해 필터회로를 거쳐 PWM33과 PUZ33 보드에 입력된다. 각각의 데이터들

은 최대 값 검출 회로를 거쳐 하드웨어 보호동작을 위해 사용된다.

- INF32 보드

INF32 보드는 AC가선전압을 ACPT를 통해 입력 받는다. 입력 받은 AC 전원의정보는 컨버터를 제어하기 위한 동기전원으로 사용되며, 최대값 검출 회로를 통해 보호동작의 수행에도 사용된다.

- INF79 보드

INF23 보드는 전압, 전류등의 아날로그 데이터를 센싱받는 보드이다. 각 채널은A/D 컨버팅을 위해 필터회로를 거쳐 PWM33과 PUZ33 보드에 입력된다. 각각의 데이터들은 최대값 검출 회로를 거쳐 하드웨어 보호동작을 위해 사용된다.

- PIP18 보드

PIP18보드는 전동기 속도를 입력받을 수 있으며, 속도 입력은 사인파 PG 신호와 구형파 신호를 모두 받을 수 있으나 이때에는 취부되는 부품들을 바꿔야 한다.

이 보드는 입력된 속도 신호를 필터와 포토 커플러를 거쳐 5V 레벨로 변환한 뒤 인버터 제어보드에 입력한다.

- PIP22 보드

PIP22 보드는 PWM 노치 신호, 응하중, 브레이크 지령치 신호를 입력받아 인버터 제어보드에 입력하며 전동기 전류 실효치(IA), 브레이크 피드백 신호(BFCP)를 ANALOG 값으로 출력한다.

- MVB 보드

MVB 보드를 통해 차량과 통신을 수행하여 전력변환 장치의 상태를 전송하는 기능을 가지고 있다.

- TEMP 보드

TEMP 보드는 수냉각기와 각 주요 장치의 온도를 센싱하는 역할을 수행한다.

- PWM 33보드

PWM 보드는 인버터와 컨버터를 제어하는 보드이다. 이 보드는 내부에TMS320C33의 DSP가 내장되어 있고 인버터(또는 컨버터)의 PWM 신호를 만들어 EOC/I 보드로 출력한다.

또한 내부에는 제어를 위한 8채널의 A/D 컨버터를 내장하고 있다. 보드의 이상유무는 WDT(Watch Dog Timer) 신호를 PUZ 보드로 보내줌으로서 항상 감시를 하고 PWM 출력을 위한 신호는 HGON, HGOFF신호를 PUZ 보드로부터 받아 판단한다.

- PUZ 보드

PUZ 보드는 시스템 전체의 시퀀스 제어(디지털 입력, 디지털 출력)와 고장 검출 을 담당하여 PWM ON 신호를 PWM보드에 출력한다.

또한 내부에 8채널 x 3개의A/D 컨버터를 가지고 있으며 이 신호를 모니터를 위해 고장 검출 시 내부에서 저장하고, RS232 포트로 PC로부터 고장기록을 다운로드할 수 있다. 또한 통신기능을 담당하며 전체 시스템의 메인 보드 역할을 한다.

- DOP 보드

DOP02 보드는 디지털 신호를 출력한다. 출력되는 디지털 신호는 PUZ33 보드로부터 데이터 버스를 통하여 입력되며 내부에 버퍼와 랫치를 통해 디지털 신호를 출력한다.

- DIP 보드

DIP13 보드는 디지털 신호를 입력받는다. 입력되는 신호는 포토커플러를 통해 절연된 후, 5V 레벨의 신호로 변환되어 PUZ33 보드로 입력된다.

- PWS24 보드

PWS24 보드는 이 보드는 DC 100V의 제어기 전원을 입력받아 노이즈 필터, L-C 필터 회로를 거쳐 PWS27로 DC 100V 전원을 출력해준다.

- PWS27

PWS27 보드는 DC 100V의 전원을 PWS24로부터 입력받아 DC 5V, DC ±15V, DC 12V를 출력하며 IGBT C/I 제어기의 제어전원으로 사용한다.

- EOCI 보드

이 보드는 PWM33보드로부터 5V 레벨의 PWM 신호를 입력받아 광신호로 변환하여 게이트 드라이브에 광신호를 출력하여 IGBT를 턴 온, 오프한다.

EOC 보드의 내부에는 자체적으로 게이트 드라이브로부터 피드백된 PWM신호를 입력받아 신호의 이상여부를 판별하여 고장신호(CFD)를 출력하도록 되어있다.

- ISO 보드

ISO 보드는 내부에 D/A 컨버터를 내장하고 있어 PUZ로부터 데이터를 입력받아 아날로그 신호를 CNT1, CNT2 커넥터로 출력한다.

외부로 출력되는 아날로그 신호는 모두 별도의 전원을 사용하고 ISOLATION AMP를 통하여 신호를 절연시킨 후 출력된다.

③ 기존장치와 PCB 비교



< 그림 2-38. 기존 견인제어장치(TCU)의 모듈 >

< 표 2-14. 기존품 보드 구성 >

형 식	모듈 이름	약 칭
6FH6035-1A	Blower Subassembly 28SEP 1U	BLOW
6FH9263-3K	Central Processing Unit	CPU
6FH9265-3B	Signal Processing Unit 56002, 27MHz	SPU
6FH9288-3D	Input/Output Module	IOM
6FH9295-3E	Power Start-up Unit 110V	PSU 110V
6FH9305-3D	Input Voltage/Frequency	IVF
6FH9306-3B	Input/Output Analogue	IOA
6FH9338-3A	Synchronzing Unit	SYN
6FH9356-3D	Input Converter Binary 110V	ICBP 110V
6FH9357-3B	Output Pulse Amplifier 40mA	OPA 40MA
6FH9381-3C	Binary Output Contactor Drive 110V	BOCD 110V
6FH9383-3B	Input/Output Analogue	IOA
6FH9405-3A	Inverter Monitoring	INVM
6FH9413-3B	Input Temperature Sensor PT100	ITS
6FH9458-3C	Multifunction Vehicle Bus 32	MVB 32
6FH9481-3A	DC/DC Converter 72～110V/5V 60W	PCS 5V
6FH9484-3A	DC/DC Converter 72～110V/24V 100W	PCS 24V
6FH9485-3A	DC/DC Converter 72～110V±24V 60W	PCS ±24V
6FH9496-3A	DC/DC Converter 72～110V±15V 60W	PCS 15V

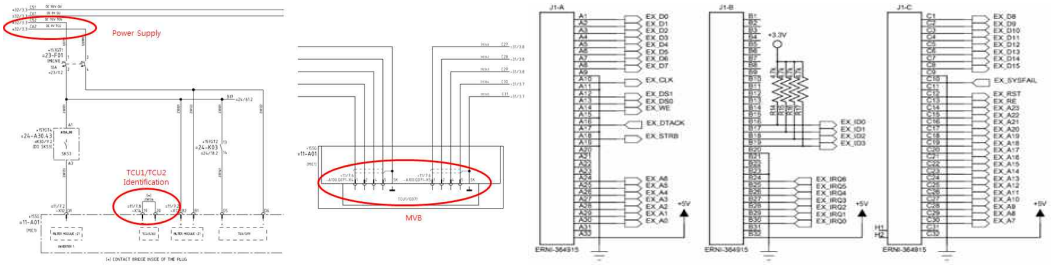
< 표 2-15. 기존품 보드와의 기능별 비교 >

보드 구성		기 능
보드명 (기존품)	보드명 (개발품)	
OPA	EOC14-1,2,3	광 PWM출력
OPA	EOI14-1,2,3	광 PWM출력
IOA, ITS,	INF23-1,2,3	전압, 전류 아날로그 입력
SYN	INF32	가선 동기 전원 입력
-	INF79	통신보드
IOM	PIP18	속도 입력 보드
IVF	PIP22-1, 2	노치, 응하중, 브레이크 지령 입력
MVB	MVB	통신 인터페이스
CPU	PWM33-I1,I2,I3,C1,C2	컨버터/인버터, HEP 제어
SPU	PUZ33	모니터, 통신, 시퀀스, 고장 감시
IVNM	AMON32	모니터 및 고장 기록
BOCD 100V	DOP02-1, 2	디지털 출력
ICBP 110V	DIP24-1, 2	디지털 입력
PSU 110V	PWS24	제어 전원 필터
PCS 5V,24V,±24V,15V	PWMS-27	전원공급

④ MVB 통신 카드

㉮ 기능 및 자료분석 및 정리

- 전기도면 및 기능 확인

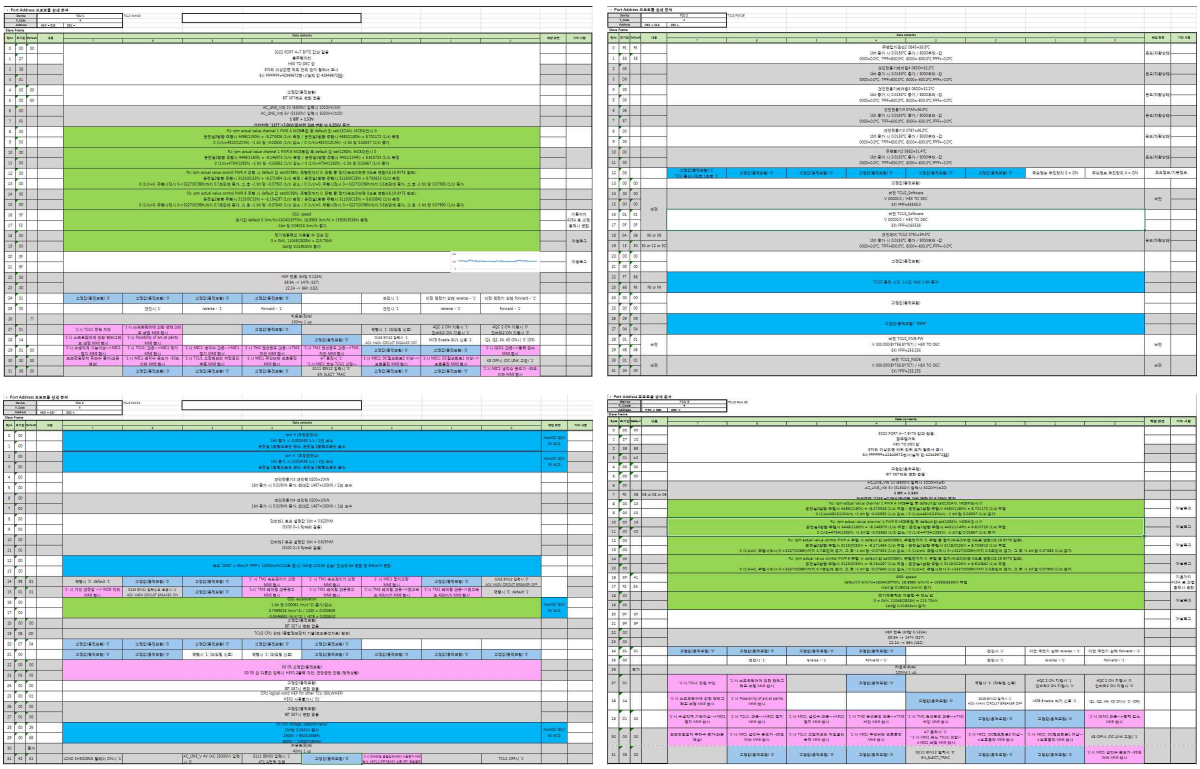


< 그림 2-39. 전기도면 결선 및 커넥터 정보 확인 >

- 핀 맵 확인 및 프로토콜 분석

Pin	Function	Pin	Function	Pin	Function
1	NC	1	TXD	1	TXD
2	NC	2	NC	2	NC
3	NC	3	NC	3	NC
4	FRXD	4	GND	4	GND
5	NC	1	TXD	1	TXD
6	NC	2	NC	2	NC
7	NC	3	NC	3	NC
8	FRXD	4	GND	4	GND
9	NC	1	TXD	1	TXD
10	NC	2	NC	2	NC
11	NC	3	NC	3	NC
12	FRXD	4	GND	4	GND
13	NC	1	TXD	1	TXD
14	NC	2	NC	2	NC
15	NC	3	NC	3	NC
16	FRXD	4	GND	4	GND

< 그림 2-40. Back Plane Connector >



< 그림 2-41. TCU MVB 프로토콜 분석 >

㉰ 내부프로토콜 및 Interface 정의

TCU와 MVB 통신 Card 간의 interface(안)는 RS-485로 한다.

< 표 2-16. RS-485 통신 규격 >

No.	내용	설명
1	Baud 38400 bps	비트/초
2	Stop bit 1bit	정지 비트
3	Data bit 8bit	데이터 비트
4	Parity bit None	패리티

· 최대 패킷의 길이는 86 Byte (38400 bps에서 23ms 이내)

· 모든 Device는 Master가 요청을 수신 후부터 3ms ~ 50ms 이내 응답해야 함

· 3회 이상 연속 미 응답 시 장치 고장으로 판단

< 표 2-17. RS-485 ID 규격 >

No.	ID	설명
1	0x11	TCU1 제어보드
2	0x12	TCU2 제어보드
3	0x13	CCU 제어보드
4	0x03	MVB 통신보드

· TCU1 제어보드 (Master) <=> MVB 통신보드 (Slave)

· TCU2 제어보드 (Master) <=> MVB 통신보드 (Slave)

· CCU 제어보드 (Master) <=> MVB 통신보드 (Slave)

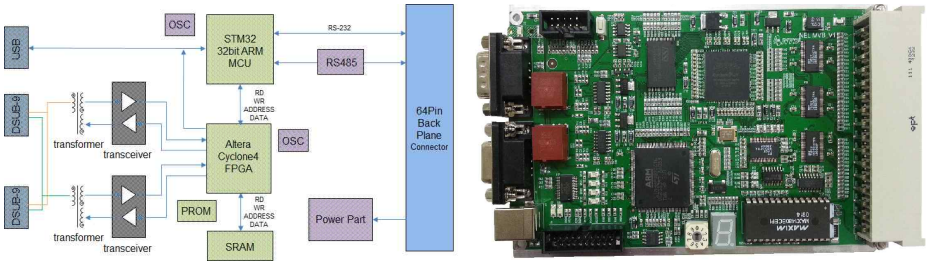
· Basic Format, Command Code, CRC16 등 상세데이터→ 부록참조

㉱ 시작품 개발

< 표 2-18. TCU MVB 통신 CARD 시작품 사양 >

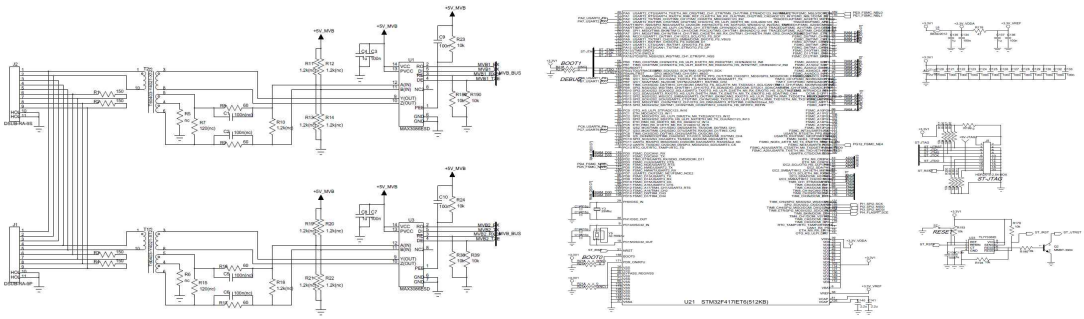
구 분	기존품	TCU MVB 통신 CARD
MVB CONN.	D-SUB(9pin) x 2 Port	좌동
Front CONN.	LEMO(7pin) x 1 Port	USB-B type CONN.
Back CONN.	DIN 41612 / ept 111-40064	ERNI-364915
MVB Interface	Baud rate : 1.5Mbps, EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver	좌동
MVB Controller	Siemens MVBCS1	Altera Cyclone 4
MCU	SAF-C165 / 20MHz clock frequency / 16bit data bus / 24bit address bus	STM32 (168MHz clock frequency, 32bit ARM MCU)
Memory	RAM(512KB) / Traffic Memory(72KB) / DPRAM(64KB) / Flash EPROM(1MB)	IS61WV102416BLL-10TLI (2MB SRAM)
Temperature	-40 ~ 80 ℃	좌동
Power	DC 5V	좌동
Dimension (WxDxH)	160mm x 100mm x 16mm	좌동

- 제품구성

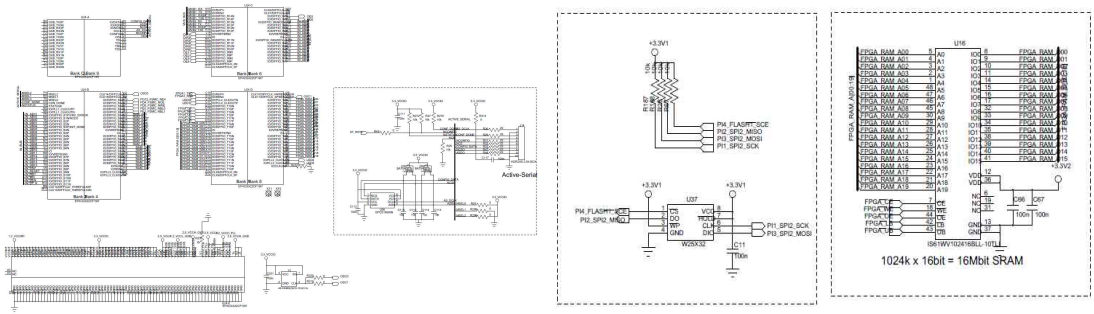


< 그림 2-42. TCU용 MVB 통신 CARD 구성 및 시제품 >

· 주요회로



< 그림 2-43. MVB Interface 및 STM32 MCU >



< 그림 2-44. FPGA 및 Traffic Memory >

< 표 2-19. LED 상태정보 >

Ref. No	Symbol	Remark
D1	MVB_TX_LED	MVB 통신 TX Data 송신시 점멸
D2	Tx LED#	RS-232 통신 Tx Data 송신시 점멸
D3	MVB_RX_LED	MVB 통신 RX Data 수신시 점멸
D5	+3.3V1	점등
D6	+3.3V1	점등
D7	+3.3V1	점등
D8	+3.3V1	점등
D10	Rx LED#	RS-232 통신 Rx Data 수신시 점멸
D13	ST_LED0	Processer 상태 확인용
D14	ST_LED1	Processer 상태 확인용
D15	ST_LED2	Processer 상태 확인용
D16	ST_LED3	Processer 상태 확인용
D17	+3.3V1	점등

㉮ 설계보완

- 주요 변경사항

· MCU 탈거

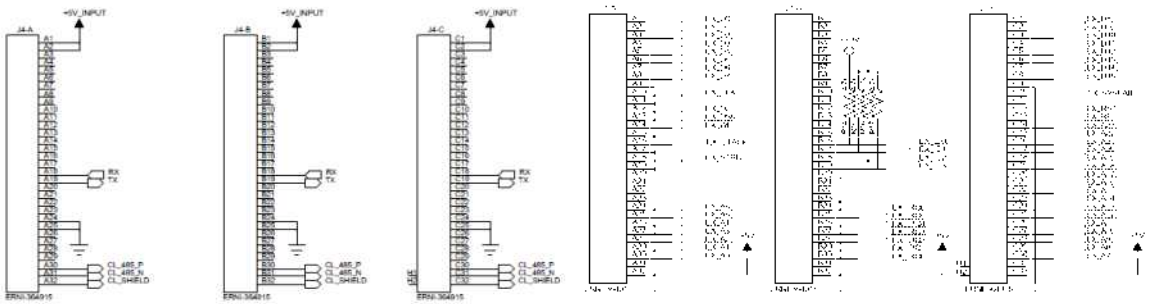
CCU와 TCU 내부에 탑재된 CPU Card를 통해 MVB 통신이 제어되는 형태로 변경됨에 따라 MVB Card 내부에서 제어기능 제거, MCU 탈거함에 따라 주변회로 또한 제거되었음

· 최적화 설계

MCU 및 주변회로 제거, 상태표시 LED 감소, FND, 수동소자, 직렬통신 소자 제거를 통해 최적단가 도출 및 회로의 간소화, CCU, TCU와의 인터페이스 기능을 FPGA 내부 Logic을 통해 구현함으로써 MCU 기능을 일부 대체, 따라서 FPGA는 MVB 통신 제어, Traffic Memory 관리, MVB CPU 모듈과의 인터페이스를 담당함

· Back connector 변경

통신방식이 직렬통신 RS-485에서 병렬통신 TTL로 변경되어 핀 맵 변경이 있으며 주관기관에서 선정한 커넥터로 변경



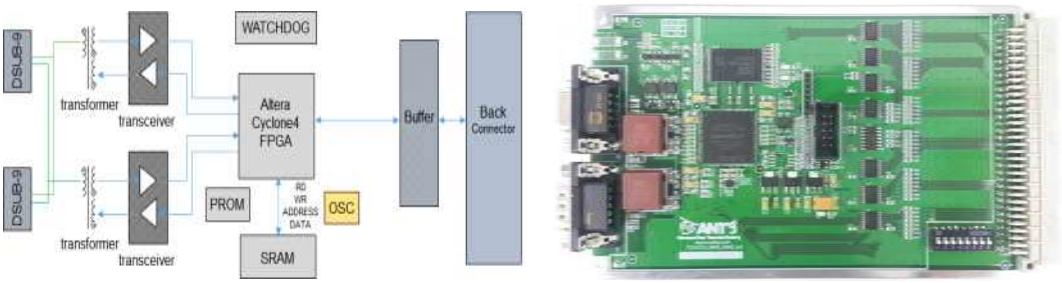
< 그림 2-45. 변경 전 및 변경 후 >

㉯ 시제품 개발

< 표 2-20. TCU MVB 통신 CARD 시제품 사양 >

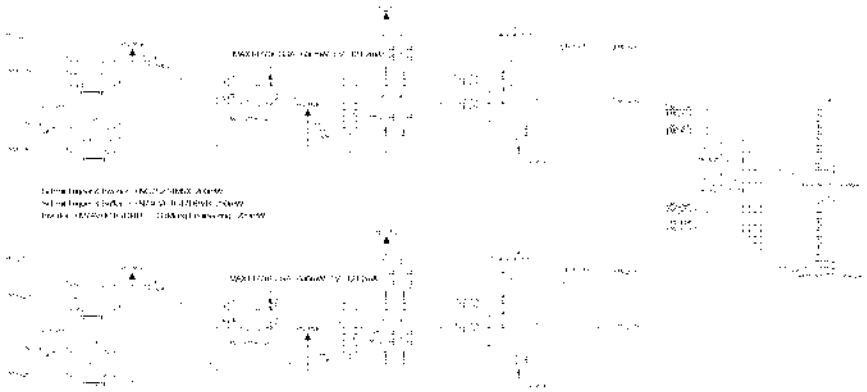
구 분	기존품	TCU MVB 통신 CARD
MVB CONN.	D-SUB(9pin) x 2 Port	좌동
Front CONN.	LEMO(7pin) x 1 Port	상태 LED
Back CONN.	DIN 41612 / ept 111-40064	ERNI-364915
MVB Interface	Baud rate : 1.5Mbps, EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver	좌동
MVB Controller	Siemens MVBCS1	Altera Cyclone 4
MCU	SAF-C165 / 20MHz clock frequency / 16bit data bus / 24bit address bus	미사용
Memory	RAM(512KB) / Traffic Memory(72KB) / DPRAM(64KB) / Flash EPROM(1MB)	IS64WV102416BLL-10TLI / (2,048KB)
Temperature	-40 ~ 80 ℃	좌동
Power	DC 5V	좌동
Dimension (WxDxH)	160 mm X 100 mm X 16 mm	좌동

- 제품구성

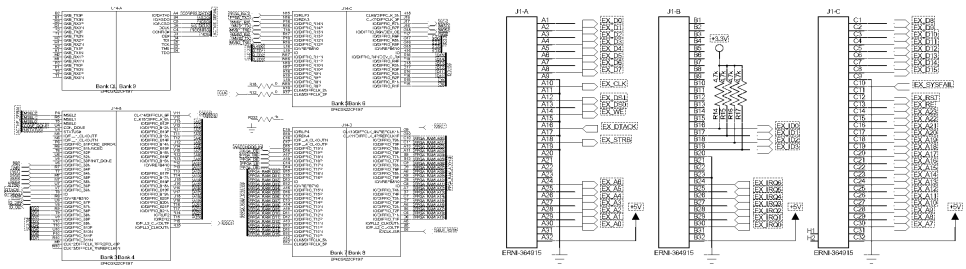


< 그림 2-46. TCU MVB 통신 CARD 구성 및 시제품 >

· 주요회로



< 그림 2-47. MVB Interface >



< 그림 2-48. FPGA 및 Back Connector >

< 표 2-21. LED 상태정보 >

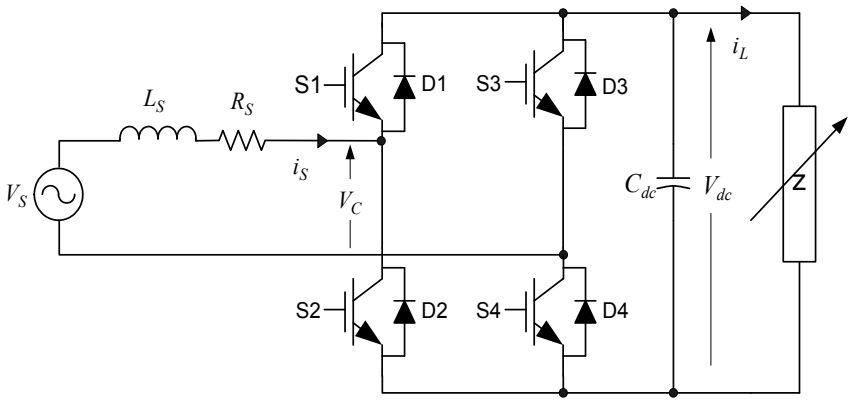
Ref. No	Symbol	Remark
D1	TX	DEBUG_TX
D3	RX	DEBUG_RX
D2	LED0	RUN - 점멸
D6	LED1	MF (Master Mode : 점등, Slave Mode : 소등)
D4	LED2	Line A 점유 시 점등
D5	LED3	Line B 점유 시 점등
D7	+5V	점등

(바) 차량 제어 알고리즘

① 컨버터, 인버터 제어 알고리즘

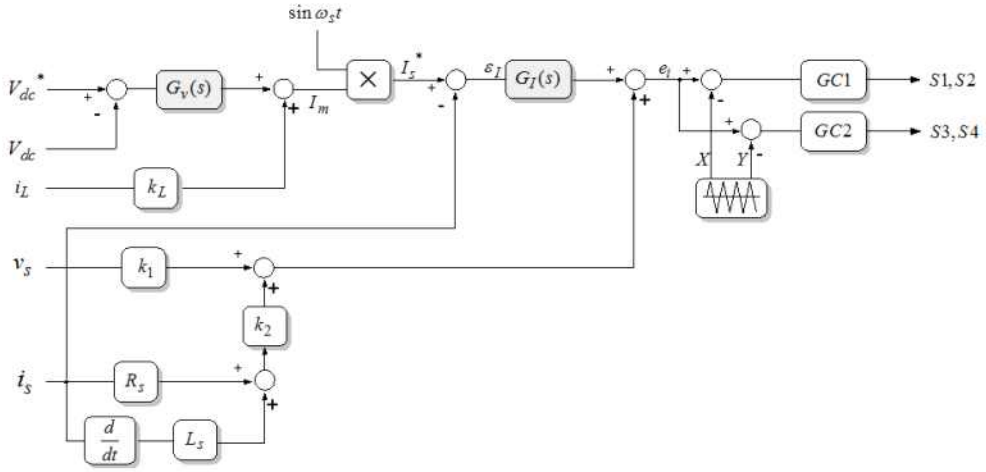
㉮ 단상 PWM 컨버터 제어

AC/DC 단상 PWM 컨버터는 PLL을 통해 단위 역률제어를 하며, 출력 전압 제어를 통해 일정한 DC 전원을 인버터에 공급한다.



< 그림 2-49. 단상 PWM 컨버터 회로도 >

AC/DC 컨버터는 S1, S2, S3, S4 4개의 IGBT로 구성되며 각각의 IGBT에는 역병렬 다이오드가 연결되어 있다. V_s는 변압기 2차측 전원 즉, 컨버터의 입력 전원이고, L_s와 R_s는 입력측 승압용 교류 인덕터와 직렬 등가 저항을 나타낸다. C_{dc}는 DC측 평활 커패시터이며 이는 VVVF 인버터의 전원으로 사용된다.



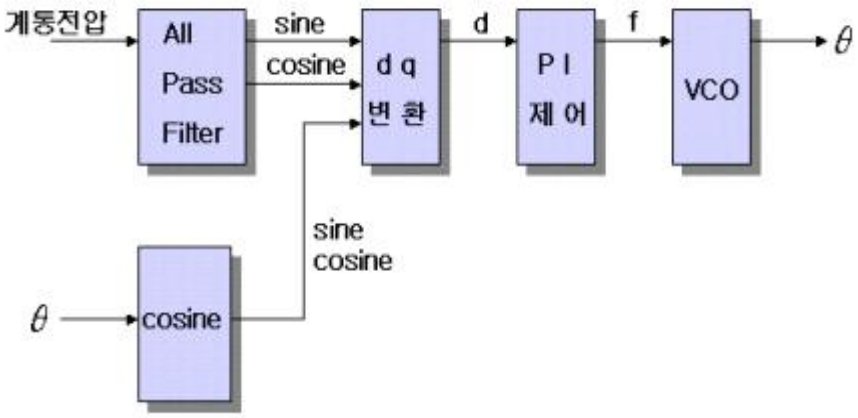
< 그림 2-50. 단상 PWM 컨버터 제어기 블록 다이어그램 >

출력하고자 하는 직류 전압의 지령치 V_{dc}^*와 실제 출력 전압인 V_{dc}의 편차를 전압 제어기 $G_v(s)$에 입력하고 적분 및 비례 제어를 수행한다. 전압제어기 $G_v(s)$의 출력은 부하 전류 급변에 대한 전향 보상항(정수 k_L과 부하전류 i_L의 곱)을 더하여 입력 전류의 지령치의 크기를 만들어내고, 전원전압에 동기한 $\sin(\omega t)$와의 곱으로 입

력 전류 지령치인 i_s^*를 생성한다. 전압제어기를 거쳐 생성된 전류 지령치 i_s^*와 실제 전류 i_s와의 편차는 전류 제어기 $G_i(s)$의 입력이 된다. 또한, 입력 전류 i_s에 임피던스 $R_s + L_s\frac{d}{dt}$와 정수 k_2를 곱하고, 정수 k_1과 입력 전압 v_s의 곱을 더한 값을 전류제어기 $G_i(s)$의 출력에 더하여 회로 임피던스에 의한 입력 전류 파형의 왜형을 보상한다. 이렇게 전압 제어기와 전류제어기를 통해 얻어진 최종 출력은 2개의 스위칭 캐리어를 통해 Unipolar 스위칭을 한다.

- 단상 컨버터 PLL 기법

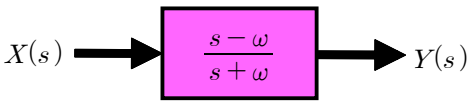
단상 PWM 컨버터의 단위 역률 제어를 위한 PLL기법은 All Pass Filter를 사용한다. 가선 전압에 All Pass Filter를 적용하여 90° 쉬프트된 전압을 d-q변환을 통해 위상 동기화된 θ를 구하여 제어기의 레퍼런스로 한다.



< 그림 2-51. 단상 PWM 컨버터의 PLL 블록도 >

- 디지털 All Pass Filter 구현

디지털 프로세스를 이용하여 All pass Filter를 구현하기 위해서 먼저 All Pass Filter의 전달함수를 아래와 같이 구한다.



$$Y(s) = \left(\frac{s-\omega}{s+\omega}\right) \cdot X(s)$$

Bilinear Transform을 이용하여 Z변환하면 아래의 수식과 같다.

$$\left(\frac{2}{T_s}\right)\left(\frac{1-Z^{-1}}{1+Z^{-1}}\right) \cdot y(z) + \omega \cdot y(z) = \left(\frac{2}{T_s}\right)\left(\frac{1-Z^{-1}}{1+Z^{-1}}\right) \cdot x(z) - \omega \cdot x(z)$$

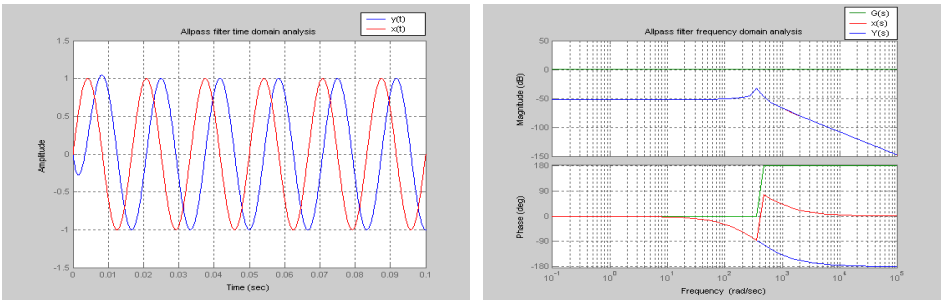
➜ $2[y(n)-y(n-1)] + T_s\omega[y(n)+y(n-1)] = 2[x(n)-x(n-1)] - T_s\omega[x(n)+x(n-1)]$

➜ $y(n) = \left(\frac{2-T_s\omega}{2+T_s\omega}\right) \cdot y(n-1) + \left(\frac{2-T_s\omega}{2+T_s\omega}\right) \cdot x(n) - \left(\frac{2+T_s\omega}{2+T_s\omega}\right) \cdot x(n-1)$

$$\therefore\ y(n) = A_a\,[y(n-1) + x(n)] - A_b\,x(n-1)$$

$$\text{여기에서} \begin{cases} A_a = \dfrac{2 - T_s\omega}{2 + T_s\omega} \\ A_b = \dfrac{2 + T_s\omega}{2 + T_s\omega} = 1 \end{cases}$$

All Pass Filter를 적용하여 응답을 확인 하면 아래와 같다.

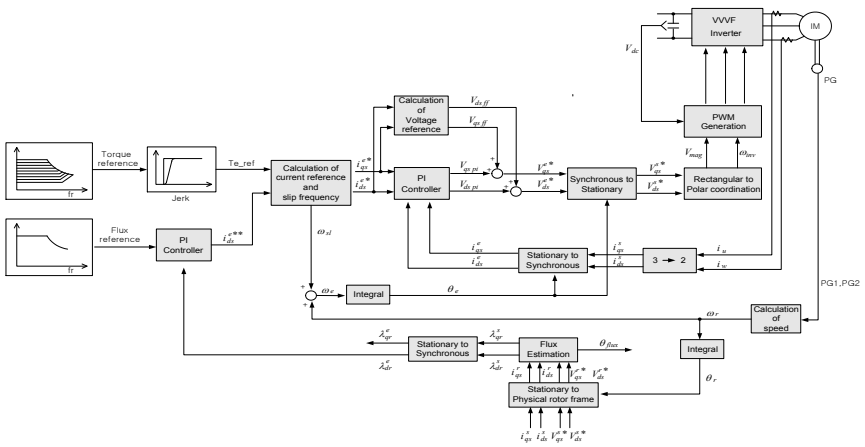


< 그림 2-52. ALL Pass Filter의 응답 특성 >

- VVVF 인버터 제어 알고리즘

유도 전동기는 자속을 발생시키는 전류와 토크를 발생시키는 전류 모두를 전동기 고정자에 공급해야 하므로 자속과 전류의 공간각과 그 크기의 독립적인 제어를 수행해야 한다.

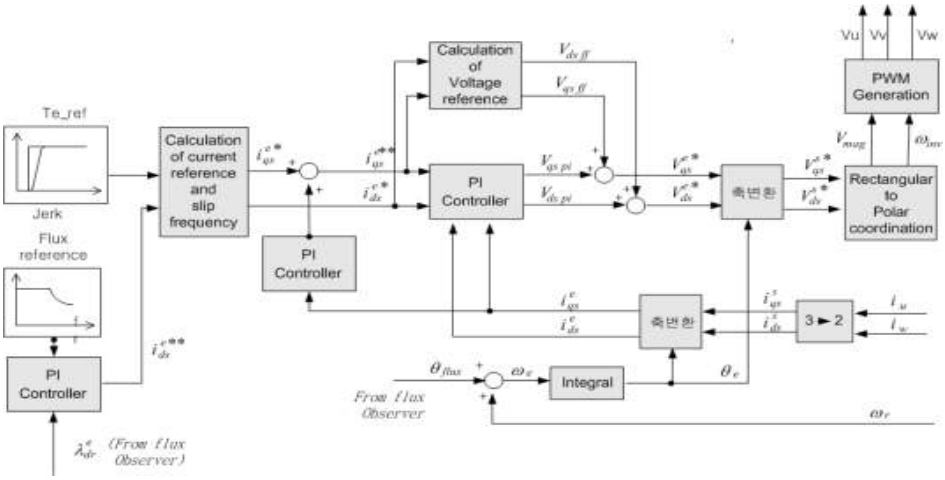
순시토크 제어를 위해서는 고정자 전류를 공간상에서 90° 위상차를 갖는 자속 발생 전류와 토크 발생 전류의 2개 성분으로 분리해서 독립적으로 제어한다. 따라서 uvw 3상 물리량을 직교좌표계인 d-q변환을 통해 d축은 자속 성분 전류 q축은 토크 성분 전류로 하여 각각의 제어에 사용된다. 아래의 그림은 유도 전동기 벡터 제어의 전체 블록 다이어 램이다.



< 그림 2-53. 유도전동기 벡터 제어 블록 다이어그램 >

견인전동기의 넓은 속도영역 운전을 위해 출력전압의 선형제어가 가능한 저속 영역에서는 정밀한 순시 토크제어를 위하여 벡터제어를 적용하였고, 고속 영역에서는 토크 지령치로부터 직접 전압 지령치를 구하고, 여기에 실제 토크분 전류를 피드백하여 보상해 주는 방법을 사용하였다. 다음 그림은 저속영역에서의 벡터제어 블록

도이다. 벡터제어는 회전자의 자속각을 추정하여 제어하는 직접벡터제어를 사용하였다. 전류모델과 전압모델을 결합한 자속추정방법을 사용하였다.



< 그림 2-54. 저속 영역에서의 제어 블록 다이어그램 >

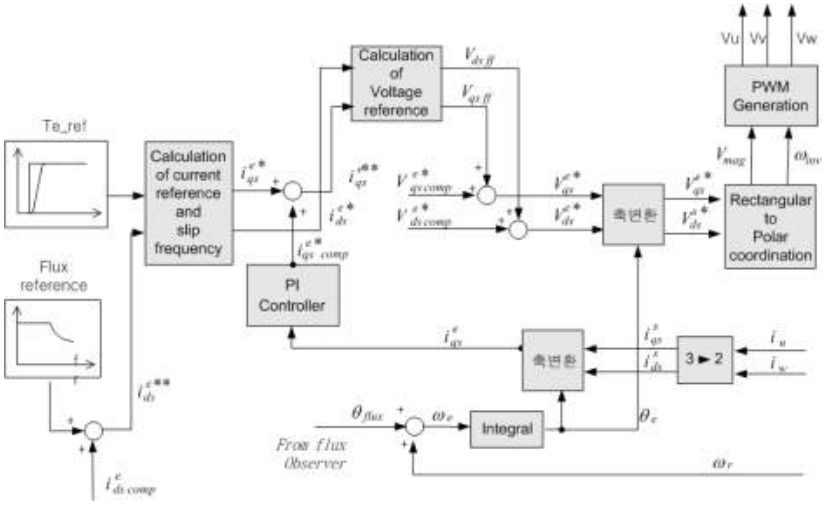
토크 지령치(Te_ref)와 자속 지령치는 유도전동기의 특성과 견인전동기의 운전특성을 고려하여 각 속도에 따라 미리 주어진 패턴으로부터 계산된다. 저속영역에서의 벡터제어에서는 이 계산된 토크분 전류와 자속분 전류 지령치로부터 동기좌표계상의 PI 전류제어기를 통하여 원하는 전압 지령치를 얻는다.

과변조 모드와 1 펄스 모드 운전이 필요한 고속영역에서는 벡터제어기의 PI 제어기를 사용하지 않고 전향 보상값을 출력 전압의 지령치로 사용한다. 이 값은 유도전동기의 전압방정식으로부터 얻었으므로 견인 전동기의 상수가 정확하다면 고속에서 비교적 전류 지령치를 잘 추종하게 된다. 그러나 위의 전향 보상항만을 사용하여 제어한다면 실제 전류의 피드백 제어가 되지 않으므로 정확한 토크의 제어를 기대할 수 없다.

이를 극복하기 위해 q축 토크분 전류를 궤환하여 이를 PI 제어하여 그 값을 전압의 지령치에 보상하게 하였다. 고속영역에서 q축 전류 지령치의 보상값에 많은 리플이 존재하게 되면 원활한 토크제어가 되지 않으므로 제어기의 응답속도는 크지 않도록 해야 한다. 주변환장치는 역행과 회생동작을 수시로 반복하기 때문에 전동기의 속도는 증가와 감속을 반복하게 된다. 따라서 저속영역에서 고속으로, 또한 고속에서 저속으로 수시로 변환되므로 부드러운 제어의 절환이 필요하다.

저속영역에서 고속영역 운전으로 제어 모드를 절환하는 경우에는 저속운전을 위한 제어기의 출력전압과 고속 운전을 위한 제어기의 출력 전압간의 갑작스런 변동을 막기 위하여, 모드 절환시 전류제어기의 출력값을 고속 운전시 출력전압의 초기값으로 설정해 주어야 한다. 또한 저속영역에서 자속제어기에 의해 출력되는 d축 자속분 전류의 연속성을 위해 자속제어기의 출력값을 d축 전류 지령치에 보상해 주어야 한다.

고속영역에서 저속영역으로 절환하는 경우에는 고속영역에서의 q축 전류 지령치의 보상값을 이용해 전향보상 전압을 계산하여 그 값을 PI 전류제어기의 적분제어기의 초기값으로 설정해준다. 이와 같이 고속과 저속간의 모드 절환 시에 초기값을 설정함으로써 전압과 전류의 연속성을 유지할 수 있다.



< 그림 2-55. 고속 영역에서의 제어 블록다이어그램 >

전동차의 구동시스템은 주어진 가선전압을 최대한 사용하기 위해 고속운전영역에서는 1펄스 모드를 사용한다. 속도가 낮은 저속영역에서는 일반적인 비동기 PWM 기법을 이용하여 전동기를 구동할 수 있으나, 속도가 증가하여 최대전압을 출력해야 할 때는 1 펄스 모드로 진입하게 된다. 비동기 PWM 기법에서 1펄스 모드로 진입하는 과정에서 필연적으로 과변조가 필요하게 된다.

PWM 변조방식으로 공간 전압 벡터 PWM(SVPWM) 기법을 사용하는데, 그 구현이 간단하고 기존 PWM 변조방식의 통합적인 구현이 가능한 옵셋전압을 이용한 전압 변조방식으로 구현한다. 또한 과변조 기법으로서는 폴전압에 보상전압을 더하여 새로운 폴전압을 이용한 과변조 기법을 사용하여 1 펄스 모드로의 전환을 가능하게 한다.

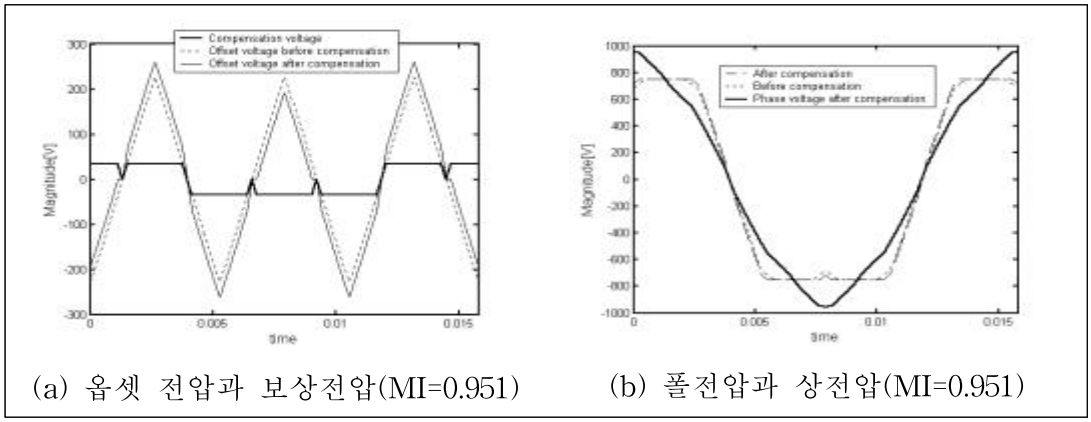
V_1을 인버터 출력 상전압(line to neutral)의 기본파 크기라고 하면 변조지수 MI(Modulation Index)는 다음과 같이 정의한다.

$$MI = \frac{V_1}{2V_{dc}/\pi}$$

SVPWM 기법을 사용하여 선형적으로 전압을 출력할 수 있는 영역은 MI가 “0.907”까지 이다. “0.907” 이상의 MI에 대해서 원하는 출력전압을 얻기 위해 과변조 기법이 사용되며 MI가 “1”이 되면 1 펄스 모드가 시작된다. 과변조 영역에서는 영역 1과 영역 2의 두가지 영역으로 나누어지며, 원하는 출력 전압의 기본파를 얻기 위해 보상전압을 인가한 방법을 사용하였는데, 각 영역에서 보상하는 방법이 다르다.

과변조 영역 I (0.906≤ MI ≤ 0.956)에서는 원하는 기본파 출력전압을 얻기 위해 구형파의 보상전압(V_{comp})을 인가하여 새로운 폴전압을 만들고 이로부터 각 상의 스위칭 패턴을 직접 얻는다. 다음 그림은 변조지수 MI = 0.951에서 과변조 기법을 보여준다. 그림에서 (a)는 보상전압과 보상전의 옵셋전압, 그리고 보상후의 옵셋전압을 보여준다. 보상전압의 크기는 MI에 따라 달라지며 미리 만들어진 테이블로부

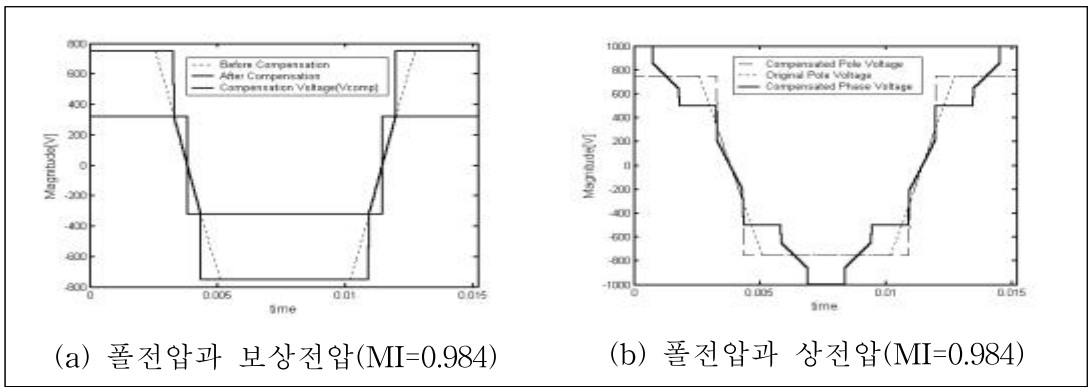
터 읽어낸다. 그림의 (b)는 보상된 옵셋전압을 인가했을 때의 폴전압과 그에 따른 상전압을 보여준다.



(a) 옵셋 전압과 보상전압(MI=0.951)　　(b) 폴전압과 상전압(MI=0.951)

< 그림 2-56. 과변조영역 I 옵셋 전압, 보상전압과 풀전압과 상전압 >

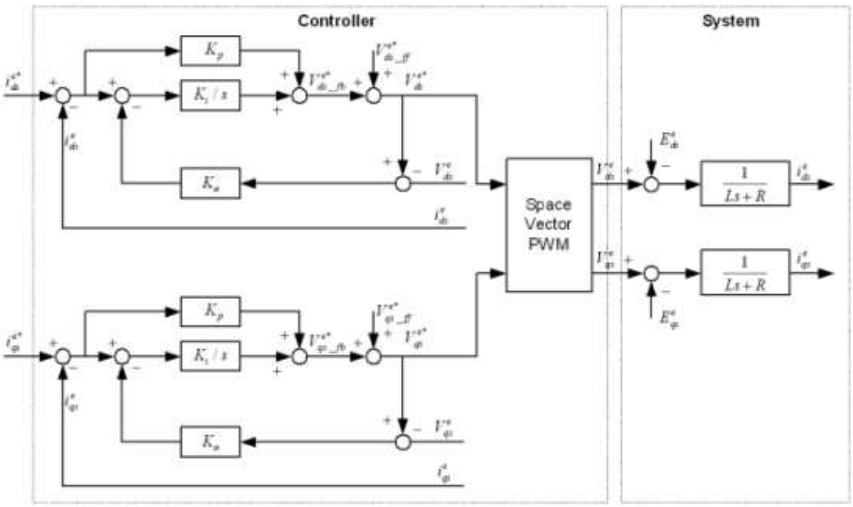
과변조 영역 II(0.956≤ MI ≤ 1.0)에서는 다음 그림의 (a)와 같은 패턴으로서 보상전압을 만들어준다. 이 방법은 보상전의 폴전압의 크기에 좌우대칭으로 직접 $\pm V_{dc}/2$를 더하여 폴전압을 보상하는 방법이다. 즉, (a)에서와 같이, 폴전압의 크기가 보상전압보다 큰 구간에서는 $+V_{dc}/2$를 인가하고, 보상전압 보다 작은 구간에서는 $-V_{dc}/2$를 좌우대칭으로 인가하여 폴전압을 보상하는 것이다. 그림 (b)는 보상전의 폴전압과 보상후의 폴전압, 그리고 보상후의 상전압의 모양을 나타낸다.



(a) 폴전압과 보상전압(MI=0.984)　　(b) 폴전압과 상전압(MI=0.984)

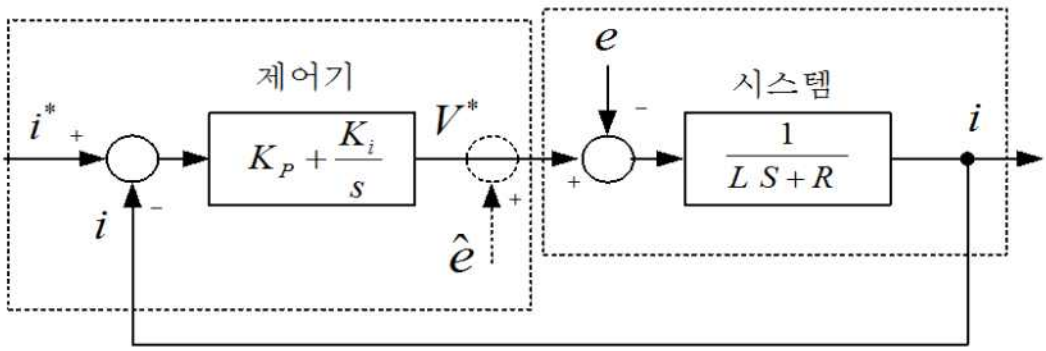
< 그림 2-57. 과변조영역 II 옵셋 전압, 보상전압과 풀전압과 상전압 >

- 유도 전동기 전류 제어



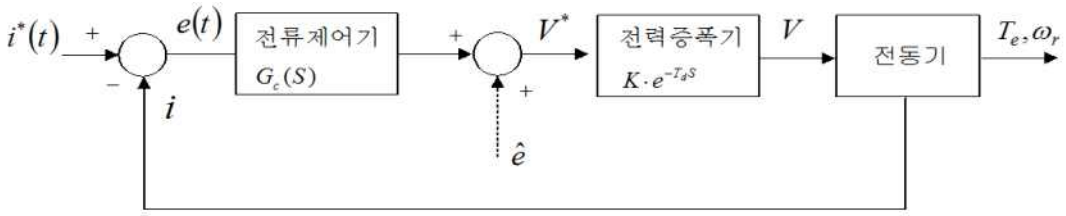
< 그림 2-58. 유도전동기 전류 제어기 블록 다이어그램 >

전류 명령과 실제 전류의 차이로부터 전압을 생성하는 PI 제어기를 사용한다. 이 제어기는 전류 오차에 비례하여 전압 출력을 생성하는 항과 전류 오차의 적분으로부터 전압을 생성하는 항으로 구성되어 있다. 전류가 제어되더라도 d-q축 간에는 속도와 관련된 상호 간섭 성분이 존재한다. 실제 전류를 피드백하여 제어하더라도 이러한 간섭성분이 왜란으로 작용하여 제어성능을 악화시키게 된다. 특히 고속의 경우 왜란 성분이 커지므로 저속시에 비해 진동이 크게 발생한다. 이러한 상호 간섭성분을 왜란으로 취급하여 보상하여 이를 제거하는 방법을 역기전력 전향 보상이라 한다. 동기 좌표계 PI 제어기 출력 전압 $v^e_{ds\_fb}$, $v^e_{qs\_fb}$ 에 역기전력을 전향 보상하면 d-q축 간섭이 없는 $R-L$ 선형회로의 전류제어 문제로 단순화하여 제어성능을 향상시킬 수 있다.



< 그림 2-59. 간략화된 전류 제어기 블록 다이어그램 >

- Anti-Windup

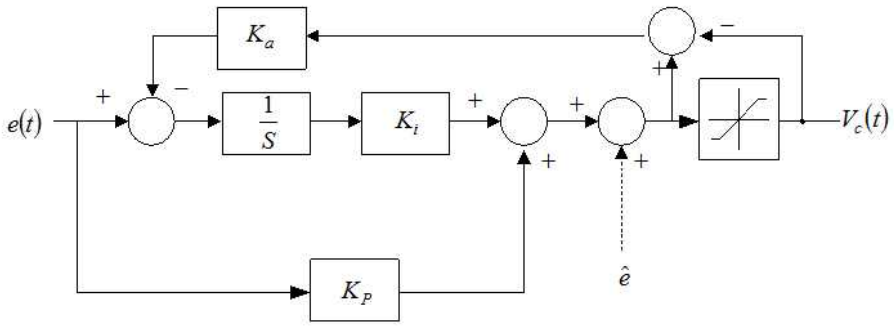


< 그림 2-60. Anti-Windup 블록 다이어그램 >

입력 교류전압 또는 직류전압에 의해 출력할 수 있는 전력 증폭기의 전압이 제한되므로 전류 제어기의 출력을 이에 따라 적절히 제한할 필요가 있다. 따라서 제한기(Limiter)를 이용 하여 제한을 해준다. 하지만 제어기 출력을 제한기만 사용하여 제한할 경우 적분기의 적분 값은 제한되지 않고 제어기의 제한폭을 넘어 쌓이게 된다. (Wind-up) 오차의 부호가 반전될 경우에도 쌓여있는 적분기의 내부 적분 값으로 인하여 제어기 출력이 입력에 대해 제대로 반응하지 않거나 그 응답이 느려지는 현상이 발생한다. 이를 방지 하기 위해 적분기 내부의 값을 제어기 출력의 제한 값에 따라 적절히 제한(Anti-Windup)할 필요가 있다.

➜ Anti-Windup 제어기 이득 : $K_a = \frac{1}{K_p}$ 으로 선정

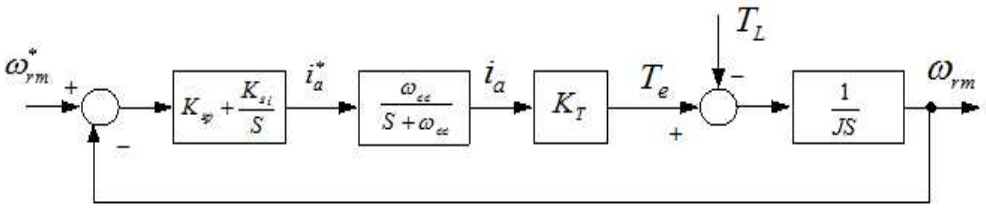
(제어 특성을 고려하여 $\frac{1}{3}\frac{1}{K_p} < K_a < \frac{3}{K_p}$ 정도에서 가변)



< 그림 2-61. Anti-Windup 제어기 이득 블록 다이어그램 >

- 속도 제어기

전동기를 속도 제어할 때 전류제어 루프를 내부(inner)루프로 하는 직렬(cascade) 구성의 제어기가 통상적으로 많이 사용되고 있다. 이와 같이 직렬접속 제어계를 구성하면 내부 루프의 응답을 바깥측(outer)루프의 응답보다 충분히 빠르게 설계함으로써 바깥측 루프의 응답성이나 안정성을 향상시킬 수 있다는 이점이 있다. 속도 제어기의 출력은 전류 제어기의 입력이 된다.



< 그림 2-62. 유도전동기 속도 제어기 블록 다이어그램 >

관성, 마찰계수를 무시(부하토크에 포함된 것으로 간주하고, 전류 제어기는 1차 시지연요소로 간주한다.

PI 속도제어기의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_{pi}(s) = K_{sp} + \frac{K_{si}}{s}$$ (여기서, K_{sp}, K_{si} : 비례이득, 적분 이득)

속도 제어계의 개루프(open loop) 전달함수는 다음과 같다.

$$G_{sc}^{o}(s) = (K_{sp} + \frac{K_{si}}{s}) \cdot \frac{\omega_{cc}}{s+\omega_{cc}} \cdot \frac{K_T}{Js}$$

전류 제어계의 교차각 주파수 ω_{cc} >> PI 속도 제어계의 교차각 주파수 ω_{sc} 의 경우 ω_{sc} 부근의 각주파수에서 전류 제어계의 폐루프 전달함수 :

$$G_{cc}^{c}(s) = \frac{\omega_{cc}}{s+\omega_{cc}} \approx 1$$

PI 절점 주파수(cut-off frequency) $\omega_{pi}(=\frac{K_{si}}{K_{sp}})$ << ω_{sc}의 경우 ω_{sc} 부근의 각 주파수에서 PI 제어기의 전달함수 :

$$G_{pi}(s) = K_{sp} + \frac{K_{si}}{s} \approx K_{sp}$$

$\therefore$ ω_{sc} 부근에서 PI 속도제어계의 개루프 전달함수 ➜ $G_{sc}^{o}(s) \approx K_{sp}\frac{K_T}{Js}$

$|G_{sc}^{c}(j\omega_{sc})| = 1$ 이 되도록 하면 속도제어기의 주파수 대역폭은 ω_{sc}이 된다.

비례이득 : $K_{ps} = \frac{J\omega_{sc}}{K_T}$

적분이득 K_{is} 는 통상 PI 절점 주파수 $\omega_{pi} = \frac{K_{si}}{K_{sp}} \le \frac{\omega_{sc}}{5}$ 가 되도록 선정한다.

즉, $K_{si} \cong K_{sp}\frac{\omega_{sc}}{5}$ ➜ $K_{si} = \frac{J\omega_{sc}^2}{5K_T}$

속도 제어계의 폐루프 전달함수 (전류제어기의 전달함수가 1이라 가정)

$$\frac{G_{sc}^{o}(s)}{1+G_{sc}^{o}(s)} = \frac{\frac{K_T K_{sp}}{J} s + \frac{K_T K_{si}}{J}}{S^2 + \frac{K_T K_{sp}}{J} s + \frac{K_T K_{si}}{J}}$$

분모를 $s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$의 형태로 나타내면 속도제어기의 댐핑계수는 $\zeta = \frac{\sqrt{5}}{2}$이 된다. 전달함수에서 보이는 영점의 영향에 의하여, 시스템이 오버댐핑으로 설계되어 있다고 하더라도, 계단적인 속도지령이 인가된 경우에는 진동적인 응답이 나타난다.

고속운전을 위한 약계자 운전 또는 최적효율 제어 등을 하기 위해서는 자속을 제어해야한다. 자속 제어기를 설계하기 위해서는 먼저 자속과 d축 전류와의 관계를 알아야한다.

- 벡터제어시 동기 좌표계 회전자 d축 전압방정식

$$r_r i_{dr}^e + p\lambda_{dr}^e - (\omega_e - \omega_r)\lambda_{qr}^e = r_r i_{dr}^e + p\lambda_{dr}^e = 0$$

- 회전자 d축 쇄교자속식을 이용하여 d축 회전자 전류 제거

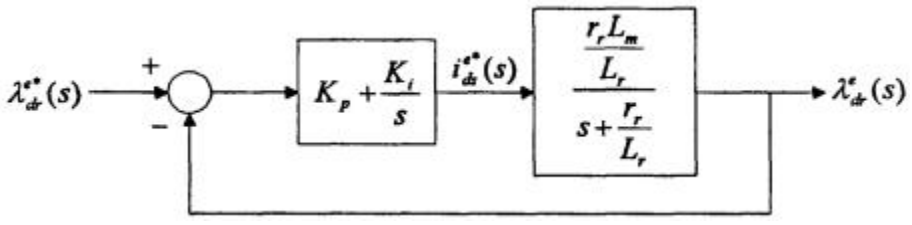
$$\lambda_{dr}^e = L_r i_{dr}^e + L_m i_{ds}^e \quad (\rightarrow i_{dr}^e = \frac{\lambda_{dr}^e - L_m i_{ds}^e}{L_r})$$

- 동기 좌표계 d축 회전자 전류와 자속에 관한 식

$$\lambda_{dr}^e = \frac{r_r L_m}{r_r + L_r p} i_{ds}^e = \frac{L_m}{1 + T_r p} i_{ds}^e$$

➜ $$\frac{d\lambda_{dr}^e}{dt} = -\frac{r_r}{L_r}\lambda_{dr}^e + r_r \frac{L_m}{L_r} i_{ds}^e$$

동기 회전 좌표계의 고정자 d축 전류로써 동기 회전좌표계의 회전자 d축 자속을제어할 수 있으므로 PI 제어기의 출력을 회전 좌표계 고정자 d축 전류로 선정할 수 있다.



< 그림 2-63. 유도전동기 자속 제어기 블록 다이어그램

전류제어기의 교차각 주파수는 자속 제어기의 교차각 주파수보다 훨씬 크게 설계하기 때문에 전류제어계의 특성이 자속 제어계에 미치는 영향 무시한다고 가정한다.

㉰ 차량 인터페이스 제어

TCU는 CCU와 같이 동일한 SIBAS 32 인터페이스 모듈을 통해 MVB에 연결된다. 운영을 위해 필요한 모든 신호들은 MVB를 통해 TCU로 전송된다. CCU에서 평가되는 신호 및 KLIP Station에 의해서 검지되는 신호는 운전명령, 제동명령, 비상제동 명령 및 견인/제동(디지털화된 아날로그 값)에 대한 참조 값, 전후진 진행명령, 기계적인 Holding 제동이 완해되지 않았을 때의 출발 금지 등이다.

IBP 에서의 실제 부하 값(디지털화된 아날로그 값), 또한 TCU는 다른 구성품으로도 데이터를 전송한다. 전기 제동력의 실제 값을 IBP로 전송, 전동기 전류, 가선 전압등의 상태와 고장메시지를 CCU와 화면표시기로 전송한다.

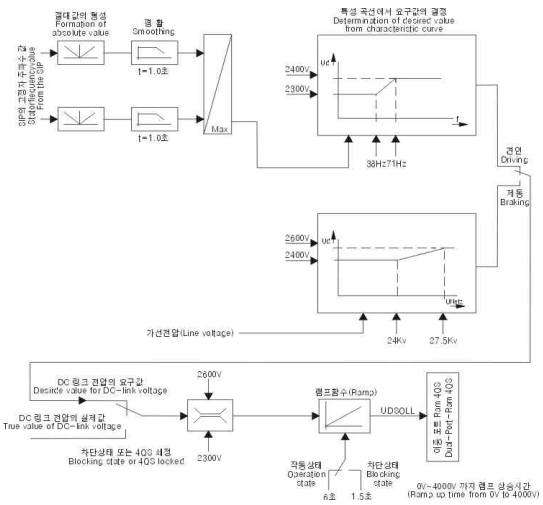
부가적으로 TCU는 시운전 및 유지보수를 쉽게 하기 위하여 검측(Observer-function) 기능을 모니터로 제공한다. 서비스 포트로 연결되는 PC를 통해서 적절한 값이 실시간에 기록된다. 부가적으로 SIBAS 32 운영 시스템은 순환 기록저장을 위한 메모리 용량이 제공된다. PC로 전송되는 데이터는 막대 그래프 또는 라인 그래프, 숫자 등으로 화면상에 표시된다.

- 설정 값 처리

· DC 링크 회로 전압 제어

견인시에 DC 링크 회로상에 전압을 설정하여야만 하며, 어것은 주 인버터가 약계자 포인트에 요구되는 전동기 전압을 이끌어내기 위한 1의 제어-인자의 설정(Full-Block 변조)을 허용하는 데 충분히 높은 전압이어야 한다. 반면에 그 목적은 가능한 낮게 DC 링크 회로 전압을 유지함에 의해 GTO 모듈상에 부하를 줄이는 데 있다.

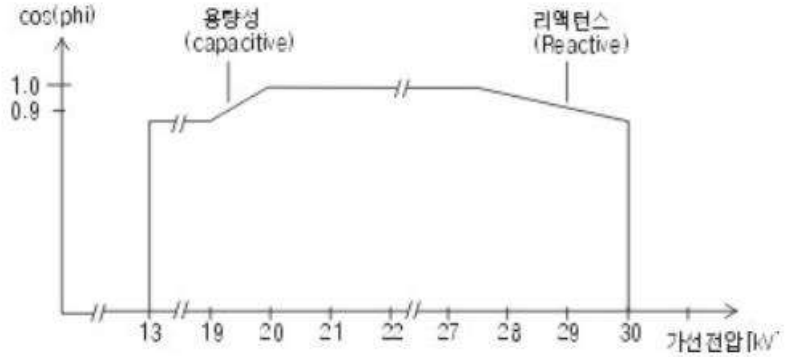
이런 이유로 견인 중에 시스템은 요구된 지정 토오크 뿐만 아니라 견인 전동기의 고정자 전압에 의한 DC링크 회로 전압 (UDSOLL)을 관리한다. 지정 토오크는 최대값 (MSFMX)의 50% 이상임을 가정하면, RPM 속도에 의해 38Hz의 고정자 주파수에서 시스템은 연속적으로 2300V에서 71Hz의 고정자 주파수, 2400V로 UDSOLL이 올라간다.



< 그림 2-64. DC 링크 회로 전압의 제어 >

· 전력 반환 제어(Reactive-Power Control)

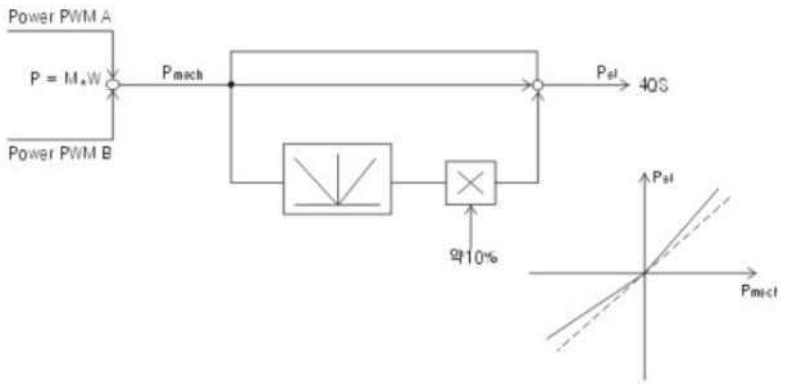
전력 반환 제어는 지정 각으로 4QS 제어를 통해 주 전압에 따라 실행된다. 만약 20kV로 전압이 떨어지면 시스템은 견인에 있어 변위 인자 및 제동에 있어서 주 전압으로 상승되기 위해 19kV에서 cos (phi) = 0.9 (용량성 : Capacitive)로 연속적으로 줄인다. 만약 27.5kV로 전압이 상승하면 시스템은 견인에 있어 변위 인자 및 제동에 있어서 주전압으로 제한하기 위해 30kV에서 cos (phi) = 0.9 (유도성 : Inductive)로 연속적으로 줄인다.



< 그림 2-65. 주전압에 대한 전력 제어 >

· 전력 전제어

빠른 부하변동의 허용을 위해 4QS 제어는 견인 전동기의 전기적으로 설정된 전원에 의해 전 제어된다. 중앙 컴퓨터 모듈은 지정 토크 및 실제 RPM 속도에서 대차의 양 견인 전동기에 대한 지정 전원으로 근접한다. 시스템은 주공급과 운전 모터의 샤프트 사이에서 전체 기계적 힘의 10%가 손실된다.



< 그림 2-66. 4QS 제어의 전력 전제어 >

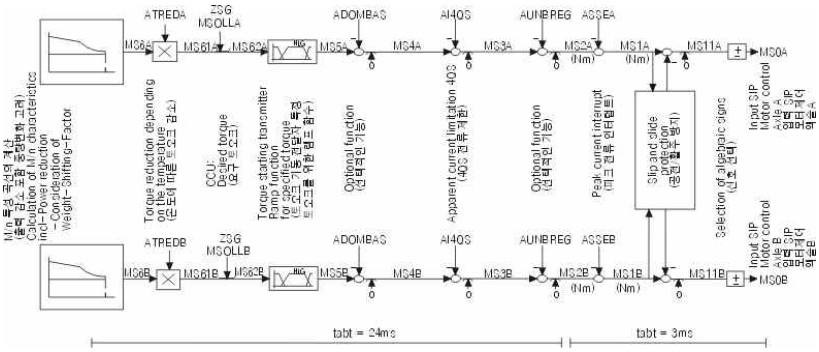
· 지정 토오크 채널

시스템은 각각의 펄스-제어 인버터에 대해 분리되는 지정 토오크 채널을 계산한다. 이것은 다음 기능으로 구성된다.

- ▸ 견인 및 제동에 대한 M/n 특성 커브, 전력 감소, 중량 변화 인자의 고려
- ▸ 온도-의존성 토오크 감소, CCU에서 견인 설정치 처리

▸ 램프 함수 발진기에 의한 하강률 제한, 4QS의 전류 제한

▸ 피크 전류시 토오크 감소, 공전 및 과속시 보호 (GSS), 신호 형성

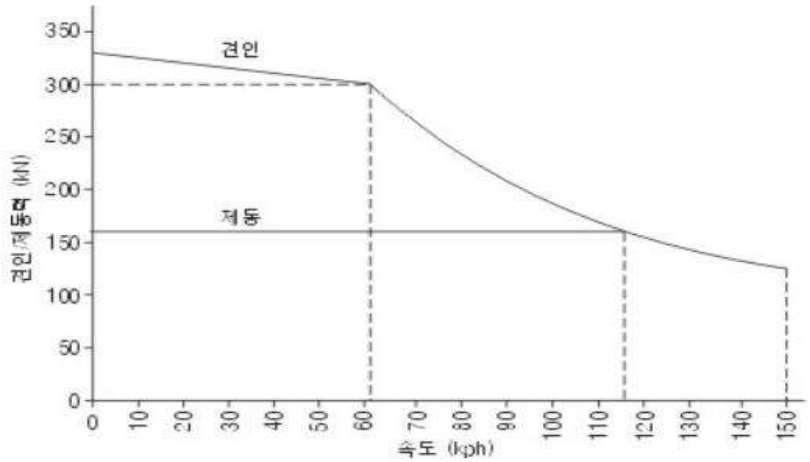


< 그림 2-67. 지정 토오크 처리 절차의 개요 >

· 견인 및 제동시 M/n 특성 커브

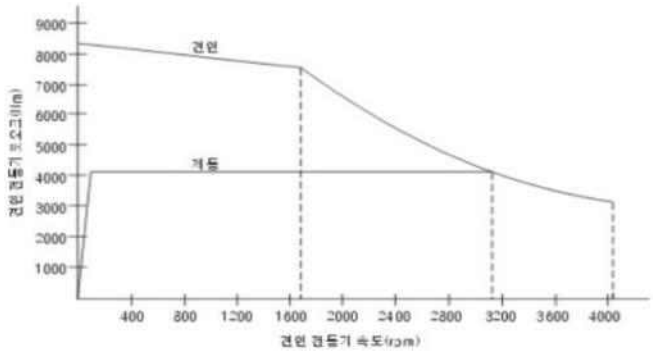
전기 기관차에 대한 특성은 아래와 같다.

구분	특성
출발 견인력	330kN
일정 Power 영역의 견인력	300kN
제동력	160kN
휠 접촉점에서 기계적 힘	최고 속도
최고 속도	150kph
기어비	1: 6.294 = 17 / 107
기어효율	0.98
휠 직경	1250 / 1170㎜



< 그림 2-68. 기관차의 견인 및 제동력 곡선 >

구분	견 인			제 동		
zv [㎞/h]	0	62.4	150	0	62.4	150
n [rpm]	0	1667	4007	0	1667	4007
F [kN]	330	300	125	0	160	125
M [Nm]	8360	7600	3166	0	4053	3166



< 그림 2-69. 견인 전동기의 견인 및 제어 시 M/n 곡선 >

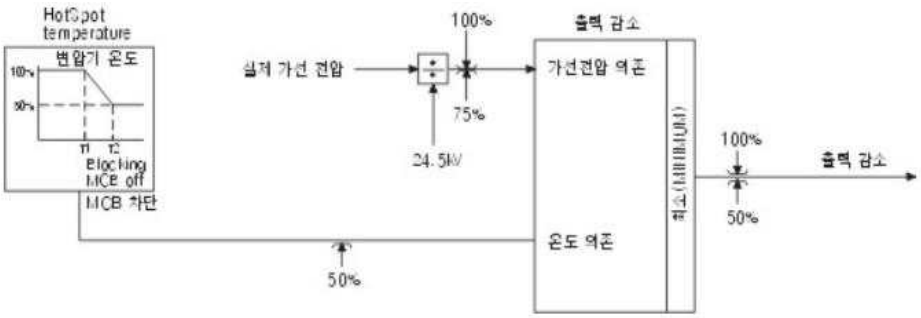
· 견인 출력의 감소

견인 출력은 가선 전압과 변압기의 오일 온도에 따라 감소된다.

만약 주 전압이 24.5kV 이하로 떨어지면, 시스템은 최대 견인 출력을 - 19kV 전압에서 - 100%에서 75%로 직선적으로 감소한다.

만약 오일 온도가 제한값 (T1)을 넘으면, 시스템은 최대 견인 출력을 －제한 값 T2로 - 100%에서 75%로 직선적으로 감소한다.

시스템은 개개의 감소 및 낮은 RPM 속도로 일정 출력 지점을 M/n 특성커브에서 최소 값을 결정한다.



< 그림 2-70. 출력 감소의 개략도 >

· 중량변화

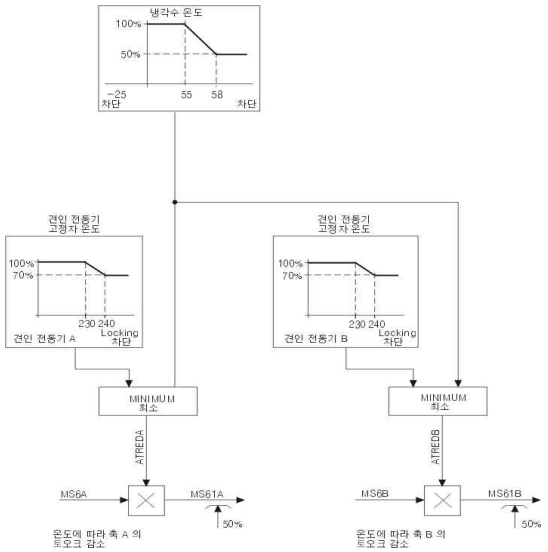
중앙제어장치 (CCU)의 지정된 견인 또는 제동력에는 중량 변화가 반영되어 있다. 중량 변화는 일정한 힘의 지점에서 완료되며, 즉 전동기의 가능한 정격 최대 출력을 적용한다. 일정한 힘의 지점이 출력 감소를 위해 낮은 RPM 방향으로 이동하고 CCU는 RPM 속도 제한을 인식하지 못하기 때문에 시스템은 추가적으로 M/n 특성 속선에서 지정된 토오크를 계산할 때 중량 변화를 고려하여 계산한다. 이를 위해서 양축의 동일한 인자 (Factor)를 사용한다.

견인시 허용 중량 변화 최대 17.9%, 제동시 허용 중량 변화 최대 17.9%

· 지정 토오크의 온도에 따른 감소

온도에 따른 토오크의 감소는 아래와 같은 온도 평가 항목에 의거한다.

▸ 전동기 온도, 냉각수 온도, 전자 장치의 온도



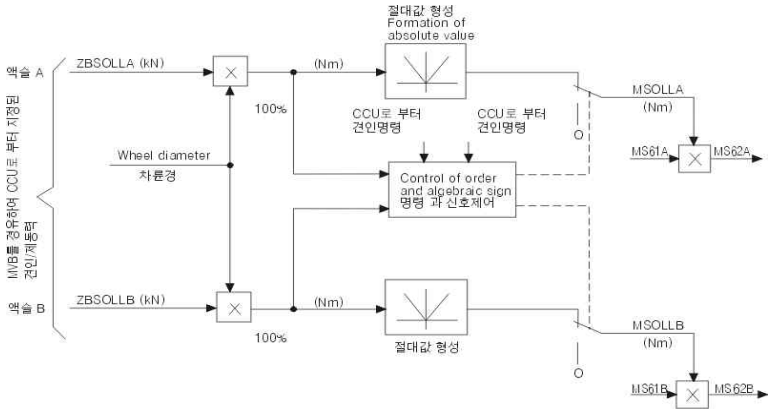
< 그림 2-71. 지정 토오크의 온도에 따른 감소 >

· 지정된 견인/제동력 처리 절차

CCU는 TCU에게 차량 버스를 통해 4개의 축 각각에 지정 견인력 및 제동력을 준다. 견인에 대한 지정값은 양 (+)의 값으로 표기되며, 제동에 대해서는 음(-)의 값으로 표기된다. 벡터계 제어 (Field-Orinted Control)는 전동기의 축에서 토오크를 설정한다.

이것은 중앙 컴퓨터가 차륜 직경을 고려한 CCU의 지정 값을 변환하는 것을 의미한다. 이후 지정 토오크의 처리를 위해 시스템은 절대 값을 사용한다. 지정 토오크에 대한 표기 형식은 벡터 제어계로 변환되어, 견인시 차량의 지정된 방향 및 제동시 실제방향에 근거하여 실행된다.

중앙 컴퓨터는 CCU에서 지정 토오크의 값의 표기가 견인 제동 명령과 맞는지 검사한다. 만약 맞지 않으면 시스템은 지정 토오크를 차단한다.



< 그림 2-72. 제동/견인력을 지정된 토오크로 변환 >

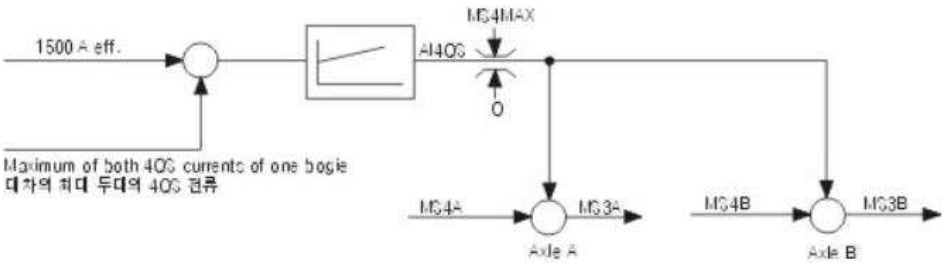
· 지정 토오크의 기울기 (Steepness) 제한

TCU의 지정 값 채널에서 램프 함수 발생기는 지정 토오크가 신뢰성 있는 차량의 운전을 보장하기 위해 지정된 최대 기울기를 변환할 수 있도록 한다. 이것은 설정 값 변화에 따른 과전압 및 과전류가 항상 무효화 되도록 한다. TCU에

서의 기울기 제한은 순수한 보호 기능이다. 차량의 관성에 적절한 지정 토오크의 기울기 제한은 CCU에서 실행된다.

· 4QS 전류 제한

4상한 장치의 입력 전류가 r.m.s 1500A를 넘으며, 시스템은 양쪽 전동기에 대한 지정 토오크를 줄인다.



< 그림 2-73. 4QS 전류의 제한 >

· 피크 (Peak) 전류

주 인버터의 피크 전류가 제한 값을 넘으면, 시스템은 이 전류를 흐르게 하는 밸브를 막으며 단락 회로기의 트리거링과 함께 전체가 차단되는 것을 막기위해 전류를 감소시킨다. 이런 형태의 피크 (Peak) 전류의 경우 지정 토오크는 임시적으로 30% 감소된다. 벡터 제어는 실제 자속 대신에 지정 자속을 사용하여 계산을 실행한다. 3초 후에 지정 토오크는 지정 값까지 상승한다.

· 공전 및 과속 보호

공전 및 과속보호 (GSS)의 기능은 별도의 자료에 기술되어 있다. GSS의 출력 값은 지정 토오크에서 공제된다.

· 지정 토오크의 표기

견인시 시스템은 차량의 선택된 방향 즉 견인 전동기의 선택된 회전 방향의 표식을 지정 토오크에 준다. 이것은 가속 토오크가 항상 발생함을 의미한다. 후진시 차량은 먼저 제동이 걸리고 그 후 지정 방향으로 가속된다.

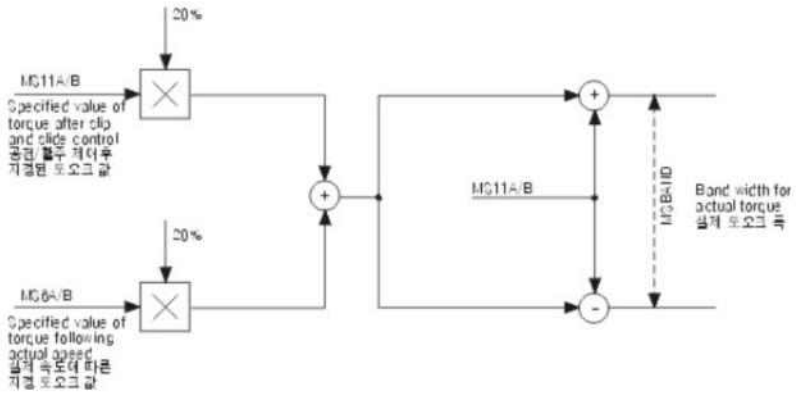
제동시 시스템은 차량의 실제 방향 즉 견인 전동기의 실제 회전 방향의 표식을 지정 토오크에 준다. 이것은 시스템이 항상 움직이는 실제 방향과 반대로 제동 토오크를 발생함을 그리고 만약 후진시 조차 차량에 정지하도록 함을 의미한다.

운전실 1의 방향에서 차량의 움직임은 전진으로 표시된다. 이 경우 지정 토오크의 표기는 견인 전동기의 회전 방향은 양의 값이다.

· 실제 토오크의 감시

중앙 컴퓨터는 벡터 제어계에 의해 계산된 실 토오크를 감시한다. 만약 실제값이 지정 시간동안 공차의 범위를 벗어나면 지정 토오크는 '0'으로 된다. 이후 시

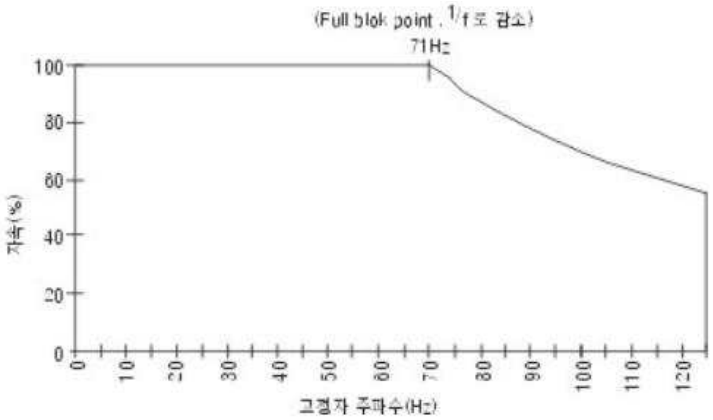
스템은 영향을 입은 PWM을 차단한다.



< 그림 2-74. 실 토오크에 대한 공차의 범위 계산 >

· 자속 제어

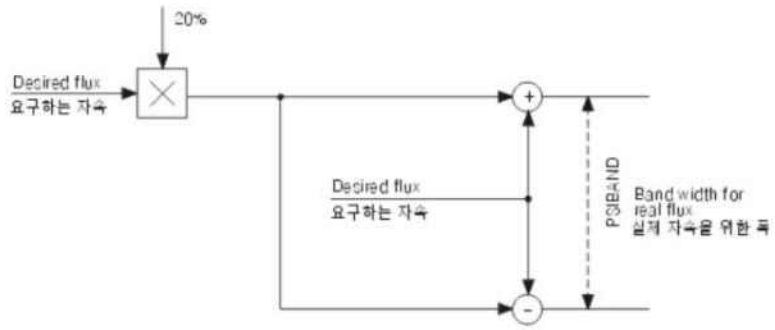
71Hz의 고정자 주파수에서 시작되는 약계자까지 견인 전동기는 공칭 자속 약 71Hz에서 여자되며 이것은 고정자 주파수로 비례적으로 감소한다.



< 그림 2-75. 견인 전동기의 기동 >

· 실제 자속의 감지

지정 자속에 관련하여 시스템은 실제 자속에 대한 상한 및 하한을 계산한다. 만약 실제 자속이 정의된 시간동안 공차의 범위를 벗어나면 지정 토오크는 램프 상에 되돌려지며 시스템은 PWM을 막는다.



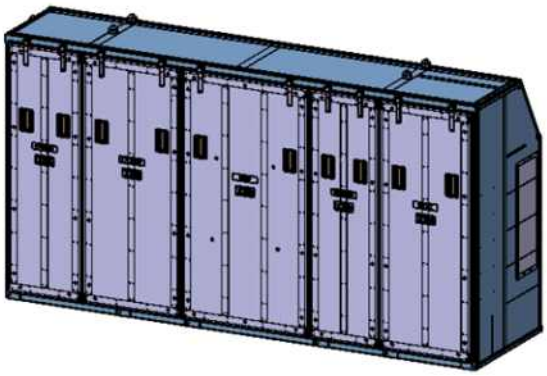
< 그림 2-76. 실제 자속의 공차범위 계산 >

(사) 외함 및 캐패시터 보완설계 및 제작

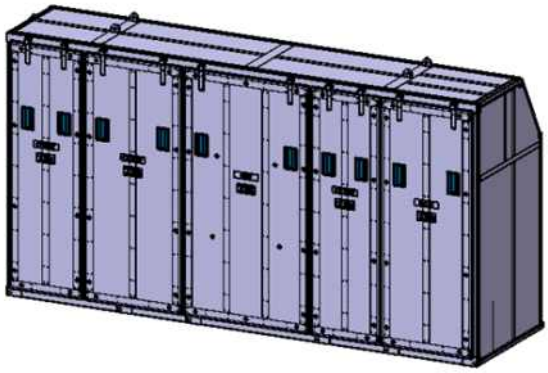
① 외함 보완설계(3,800mm × 2,050mm × 1,070mm , 중량 3,100kg 이내)

기본재질은 SS400이며, 커버는 알루미늄화 하여 취급시 경량화(총 중량은 3,100kg 이내)하였고 크기는 3,800mm(W) × 1,070mm(D) × 2,050mm(H) 이다.

외함은 최초 개발품의 용접시 뒤틀림을 방지하고 구조적으로 강화시키기 위하여 용접구조를 하기의 그림과 같이 변경하여 외함의 구조적 강성을 향상시켰다.

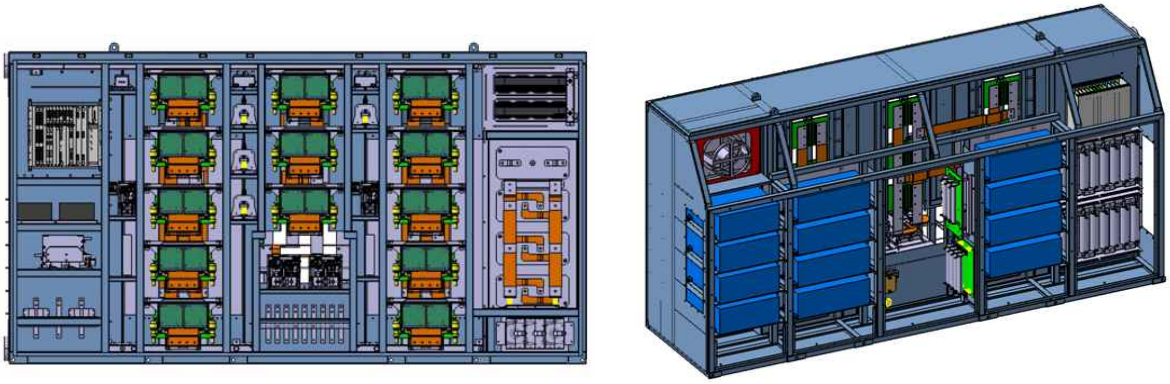


< 그림 2-77. 1차 개발품 외형 >

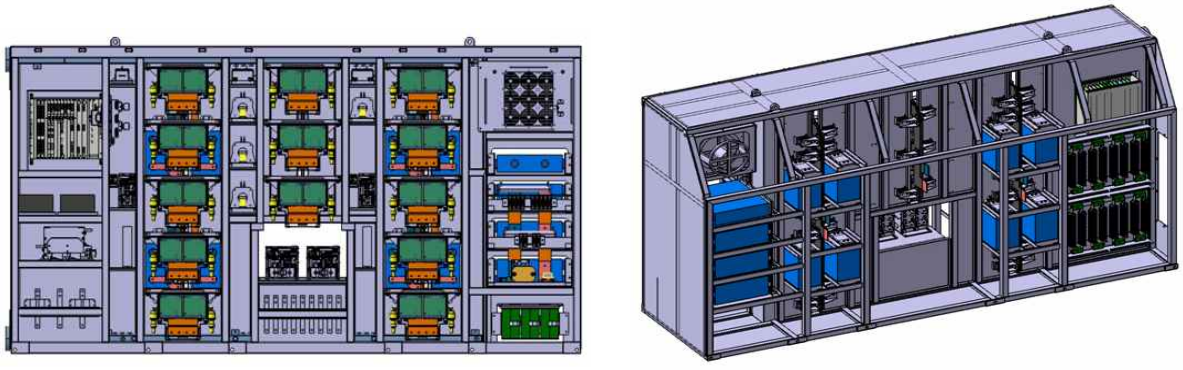


< 그림 2-78. 보완 설계품 외형 >

내부구조는 기존장치와 동일한 위치에 각 유니트를 배치 시켰으며, 향후 유지보수의 편이성을 향상시키기 위하여 모든 중요부품을 전면에서 교환 가능하도록 설계하였다.

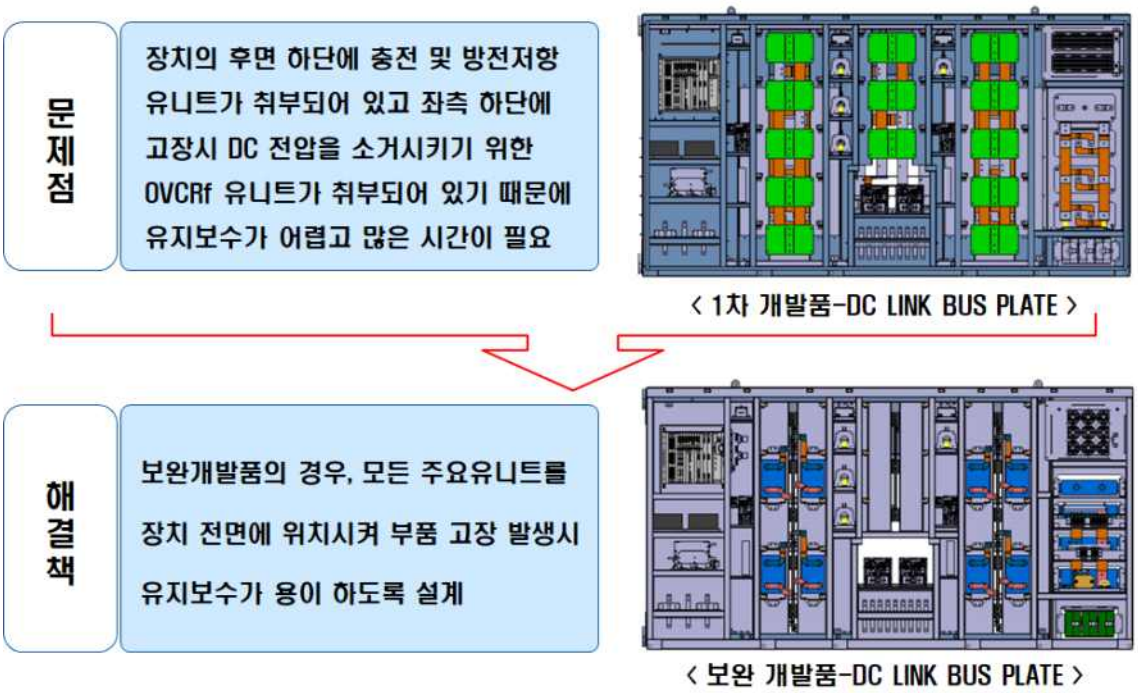


< 그림 2-79. 1차 개발품 부품 배치도(전면 및 후면) >

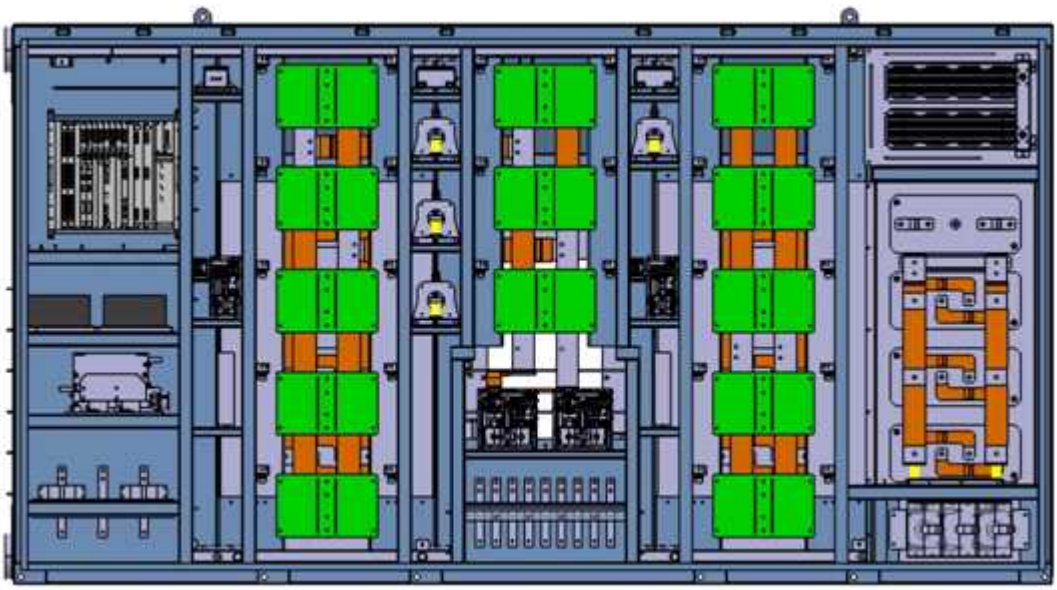


< 그림 2-80. 보완 설계품 부품 배치도(전면 및 후면) >

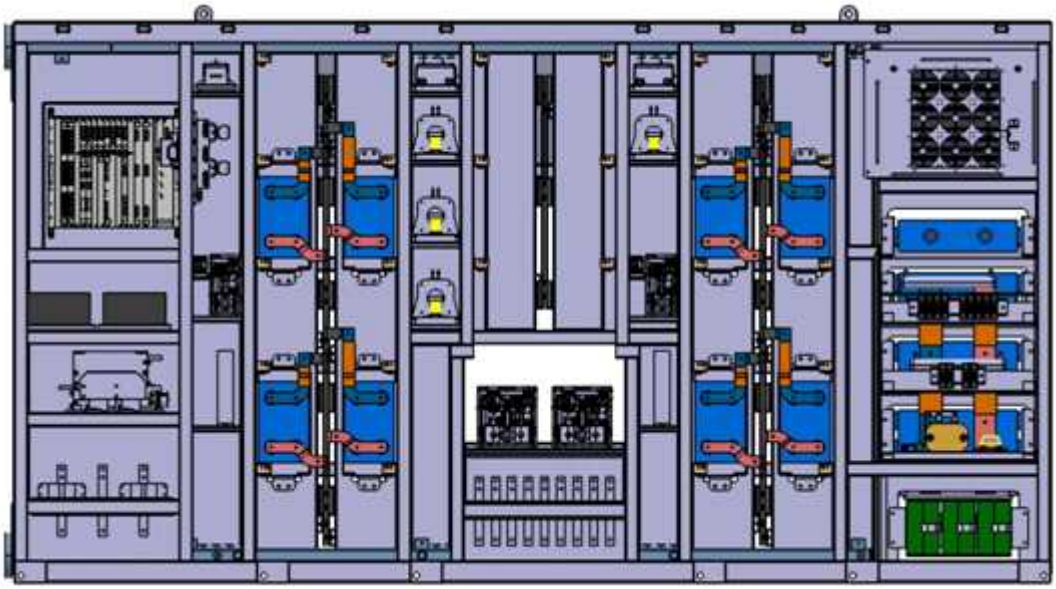
1차 개발품의 DC LINK BUS PLATE의 경우 필터 캐패시터의 교환이 어렵게 구성되어 있으며 내부 점검을 위한 공간이 많이 부족하였으나 보완 설계품의 경우에는 STACK 제거시 간단하게 캐패시터 및 내부 점검이 용이하게 설계되었다.



< 그림 2-81. DC LINK BUS PLATE의 보완 내용 >

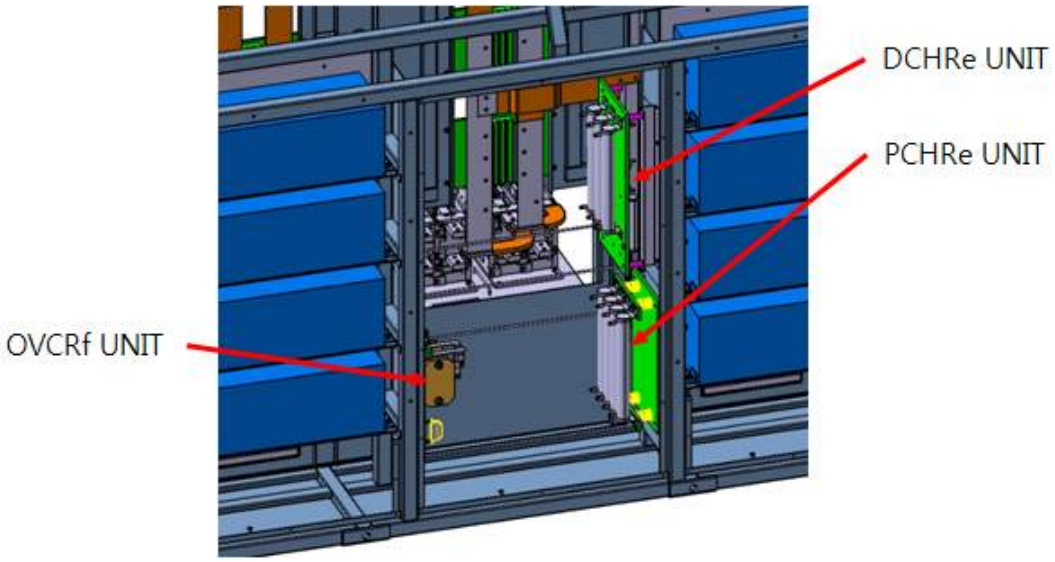


< 그림 2-82. 1차 개발품 부품 배치도(DC LINK BUS PLATE) >



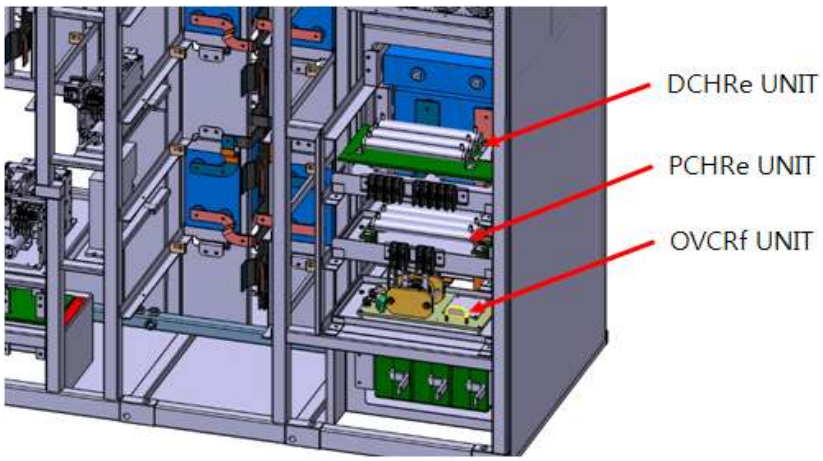
< 그림 2-83. 보완 설계품 부품 배치도(DC LINK BUS PLATE) >

1차 개발품의 경우 장치의 후면 하단에 충전 및 방전저항 유니트가 취부되어 있고 좌측 하단에 고장시 DC 전압을 소거시키기 위한 OVCRf 유니트가 취부되어있다. 그러나 부품의 고장시 유지보수가 어려운 위치에 있어 많은 시간이 필요함.



< 그림 2-84. 1차 개발품 부품 배치도(충전, 방전저항 및 OVCRf 유니트) >

보완설계품의 경우 모든 주요 유니트를 하기의 그림과 같이 장치 전면에 위치하여 부품 고장 발생시 유지보수가 용이 하도록 설계하였다.



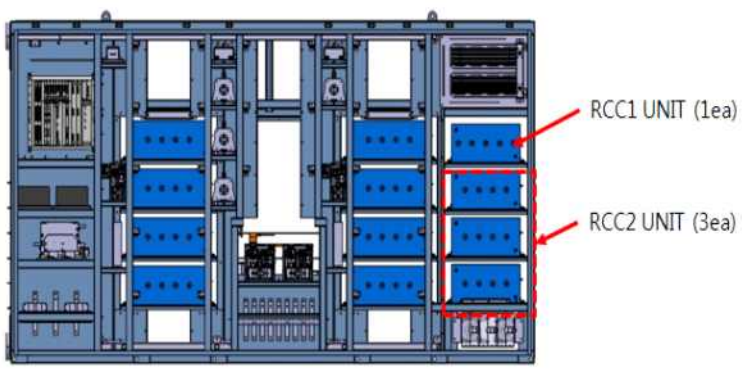
< 그림 2-85. 1차 개발품 부품 배치도(충전, 방전저항 및 OVCRf 유니트) >

② RCC 캐패시터 보완설계

1차 개발품 RCC 캐패시터의 경우 오일타입의 캐패시터를 사용하였다. 오일 캐패시터의 경우에는 건식타입에 비해 부피가 크고 무게가 무거웠다. 보완 설계품의 경우 기존품보다도 하기의 표와 같이 무게가 60%정도로 감소하였다.

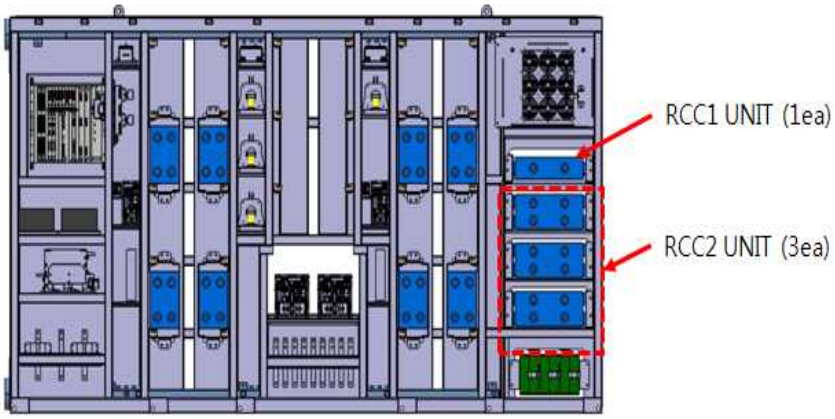
< 표 2-22. RCC 커패시터 사양 비교 >

구분	기존품(RCC)	개발품(RCC)
Capacitance	1,888uF	1,880uF
정격전압	3,200VDC	3200VDC
리플전류	200Arms	200Arms
내전압	4,800VDC	4,800VDC
	10,000VAC(60Hz,1min)	10,000VAC(60Hz,1min)
사용온도	--	- 40℃ ~ 70℃
크기	340 X 175 X 755	465 X 115 X 510
무게	58kg	31kg



< 그림 2-86. 1차 개발품 RCC 배치도 >

보완 설계품의 경우 RCC 캐패시터의 단자 구조를 변경하여 주회로 연결하는 BUS PLATE를 쉽고 간단하게 취부할 수 있도록 설계하였다.



< 그림 2-87. 보완 설계품 RCC 배치도 >



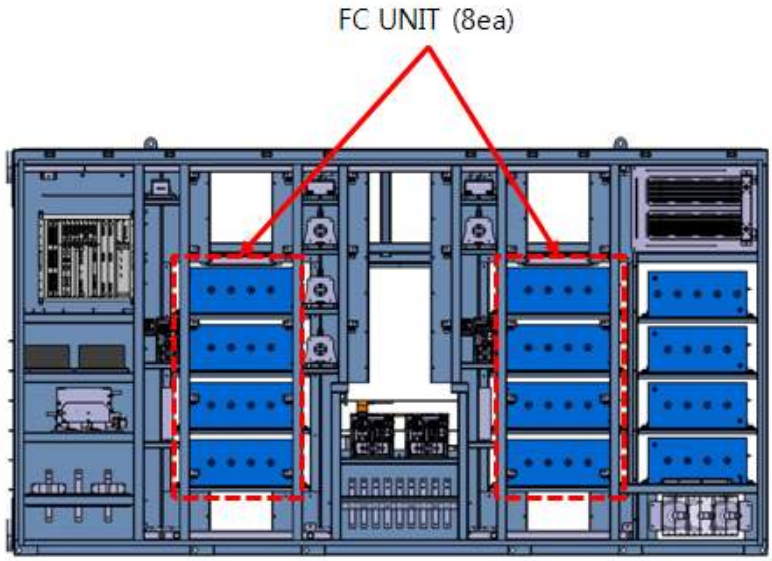
< 그림 2-88. RCC 캐패시터 시작품 >

③ FC 캐패시터 보완설계

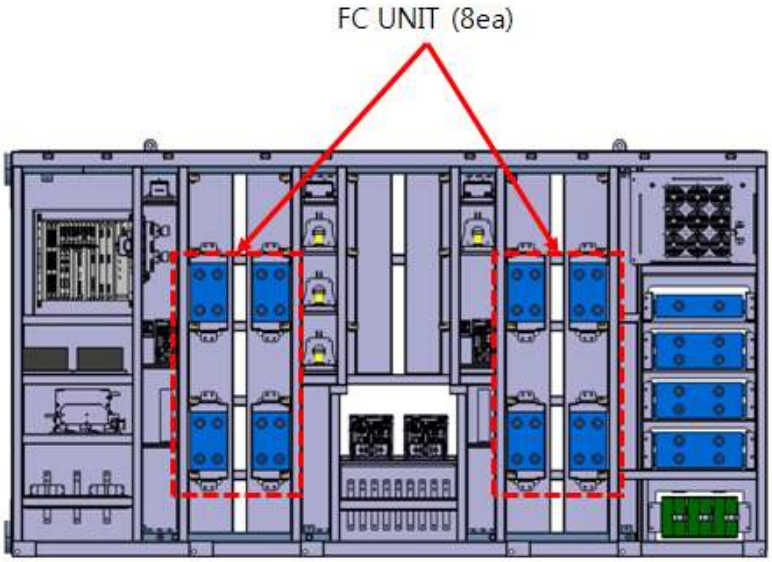
1차 개발품 FC 캐패시터의 경우도 RCC 캐패시터와 동일하게 오일타입의 캐패시터를 사용하였다. 보완 설계품의 경우 기존품보다도 하기의 표와 같이 무게가 60%정도로 감소하였다.

< 표 2-23. FC 커패시터 사양 비교 >

구분	기존품(FC)	개발품(FC)
Capacitance	1,035uF	2*518uF
정격전압	2,530VDC	2,600VDC
리플전류	180Arms	180Arms
내전압	4,400VDC	3,200VDC
	10,000VAC(60Hz,1min)	6,200VAC(60Hz,1min)
사용온도	--	- 40℃ ~ 70℃
크기	340 X 165 X 505	390 X 185 X 260
무게	38kg	22kg



< 그림 2-89. 1차 개발품 FC 배치도 >



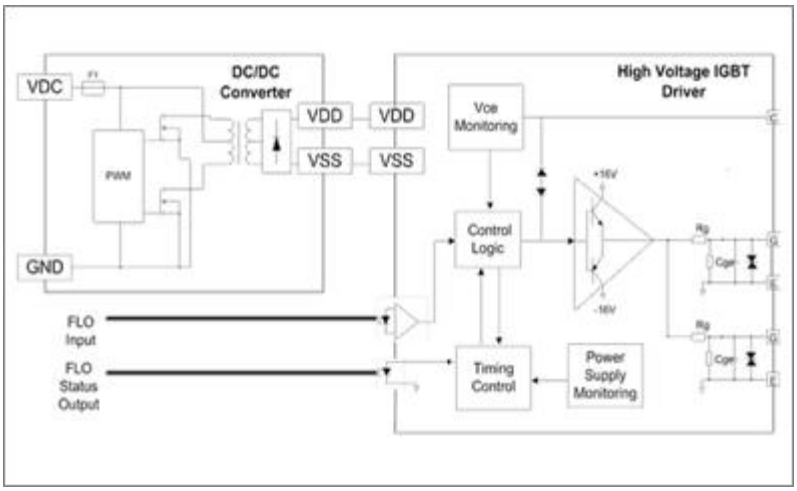
< 그림 2-90. 보완 설계품 FC 배치도 >



< 그림 2-91. FC 캐패시터 시작품 >

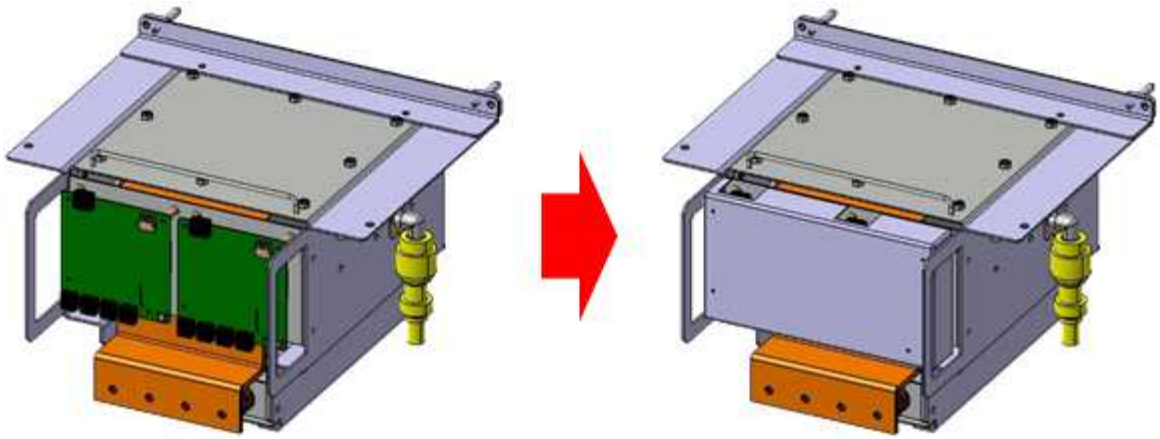
④ Gate Driver Unit 보완 설계

CONTROL UNIT으로부터의 지령을 받아, IGBT의 GATE에 고속으로 스위칭 전원을 인가하는 장치이며, IGBT Turn-off 시 높은 Collector 전류 또 는 단락 시 보호하는 기능을 포함한다.



< 그림 2-92. Gate Driver Unit 기능 블록도 >

광 Fiber를 이용한 인터페이스, Vce 모니터링, GATE POWER 저전압 보호기능을 통해 절연성 향상 및 전력 소자의 스위칭 동작에 대한 안정성을 확보하였다. 외부로부터의 노이즈에 견딜 수 있도록 Gate Driver 및 파워 유니트를 알루미늄 차폐 케이싱하여 전자파 내성을 강화하였다.

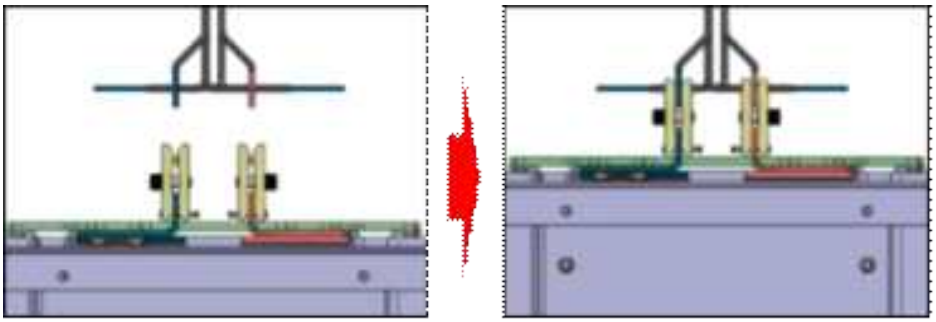


< 그림 2-93. Gate Driver Unit 보완설계 >

(아) 추진제어용 주변환장치 시제품 제작

① 주변환장치 Inverter Stack / Converter Stack / HEP Inverter Stack 조립

Stack Unit의 조립방식은 전면부에서 슬라이딩으로 밀어 넣어 조립하는 방식이다.



< 그림 2-94. STACK UNIT의 조립방식 >

Stack Unit 조립 방식은 슬라이딩 형식 적용으로 전면부에서 취급이 가능하다. Inverter Stack / Converter Stack / HEP Inverter Stack 혼합하여 사용 가능하다.



< 그림 2-95. STACK UNIT의 조립방식 >



< 그림 2-96. INV/CONV/HEP INV STACK 시제품 >

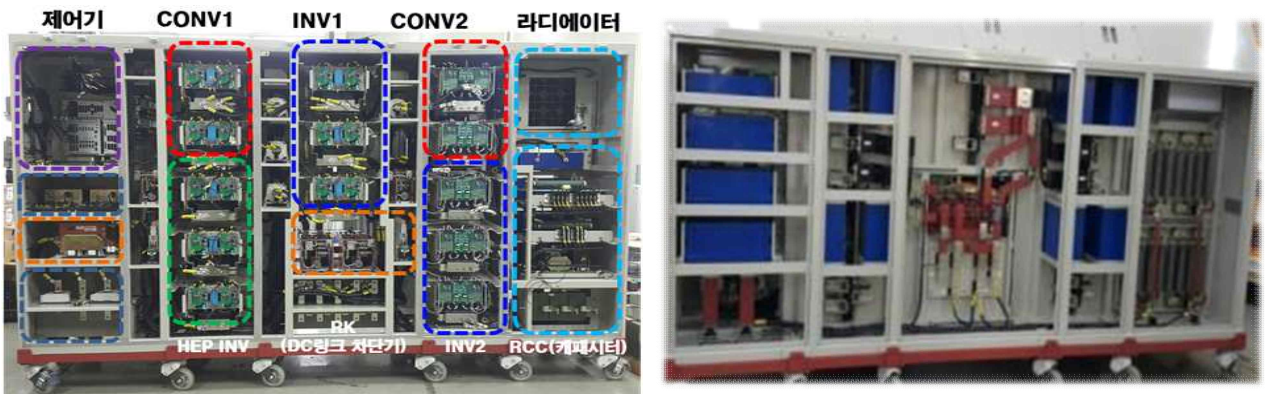
② 추진제어용 주변환장치 시제품 조립 및 제작

㉮ 주변환장치 주요 구성품 별 사양

< 표 2-24. 주변환장치 시제품 사양 >

항 목		사 양
		IGBT 전력변환장치
제어방식	컨버터	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
	인버터	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조⇔ 1P MODE
제어전압		DC 110V (77V ~ 138V)
컨버터부	입력전압	AC 1,230V × 2회로
	출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	최대출력	1,500 kW 이상
	반도체소자	IGBT : 4,500V-1,200A × 2병렬
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)
	최대출력	1,600 kVA 이상
	반도체소자	IGBT : 4,500V-1,200A × 2병렬
HEP 인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 970V
	최대출력	3상 310A
	반도체소자	IGBT : 4,500V-1,200A × 2병렬
냉각방식		수냉식
I/F 및 통신		MVB
제어장치		32 bit Microprocessor

㉯ 주변환장치 시제품 제작



< 그림 2-97. 주변환장치 시제품 전면부 및 후면부 >

(4) 추진제어용 주변환장치 성능평가

(가) 추진제어용 주변환장치 구성품시험

① 시험 개요

전기기관차(8200호대) 추진제어용 주변환장치의 전기적 성능과 제품의 품질 및 안전성을 보증하기 위하여 철도차량 기술기준 Part 46에 의거하여 아래의 표와 같이 시험 및 검사항목으로 나누어 제3자 철도차량 전문시험기관 입회하에 구성품 시험을 실시하였다.

< 표 2-25. 주변환장치 구성품시험 항목 >

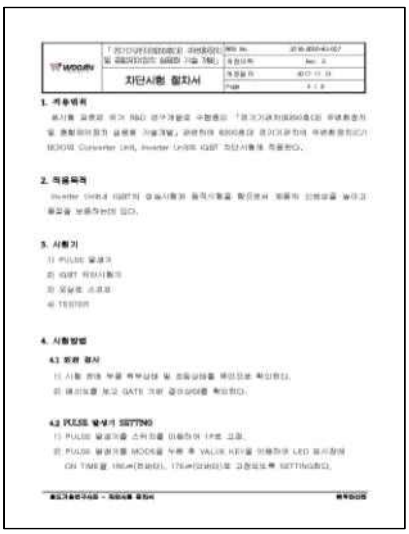
시험 항목	실시 방안		비고
	형식시험	전수시험	
외관구조검사	◎	◎	
측정 시험	◎	◎	
절연저항시험	◎	◎	
내전압시험	◎	◎	
보호검출 기능시험	◎	◎	
제어기능시험	◎	◎	
냉각시험	◎	◎	
경부하시험	◎	◎	
소음시험	◎		조합시험
온도상승시험	◎		조합시험
효율시험	◎		조합시험
공급 과전압과 과도 에너지시험	◎		조합시험
안전요구시험	◎		
진동시험	◎		공인기관
전자파적합성시험	◎		공인기관

② 주변환장치 차단시험

㉮ 주변환장치 차단시험 절차서 작성


차단시험 절차서


- 목 차 -



㉰ 주변환장치 차단시험 결과

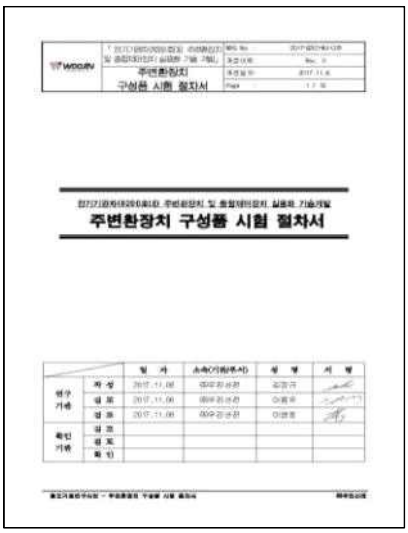
- 인버터 스택 IGBT UNIT 차단시험

<table>
<tr><th colspan="6">IGBT UNIT 차단시험</th></tr>
<tr><td>조건</td><td colspan="3">전원전압 : 2,000V, 차단전류 : 800A, ON TIME : 100㎲</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>파형</td><td colspan="3">① IG 500A/div, ② VD 500V/div</td><td>시간</td><td>100㎲</td></tr>
<tr><td colspan="2">  
< U상 > < V상 ></td><td colspan="2">  
< U상 > < V상 ></td><td colspan="2">  
< U상 > < V상 ></td></tr>
<tr><td colspan="2">INV1-1</td><td colspan="2">INV1-2</td><td colspan="2">CONV1-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">  
< U상 > < V상 ></td><td colspan="2">  
< U상 > < V상 ></td><td colspan="2">  
< U상 > < V상 ></td></tr>
<tr><td colspan="2">CONV1-2</td><td colspan="2">HEP1-1</td><td colspan="2">HEP1-2</td></tr>
</table>

③ 주변환장치 구성품시험(입회시험)

㉮ 주변환장치 구성품시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 구성품시험 절차서를 작성하였다.


주변환장치
구성품 시험 절차서


주변환장치
구성품 시험 절차서
목 차

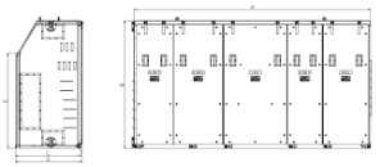

주변환장치
구성품 시험 절차서

㉰ 주변환장치 구성품시험(입회시험) 결과

- 외관검사

기준치	측정치	비고
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것	양 호	
기기 취부 상태가 승인도면과 일치하는지 확인	양 호	
색상 및 도장 상태 등을 확인하여 이상이 없을 것	양 호	

- 측정검사

항목	기준치	측정치	결과	비고
A	3,800 ± 10.0	3803	양 호	
B	2,045 ± 5.0	2044	양 호	
C	1,050 ± 5.0	1052	양 호	
D	1,073 ± 5.0	1077	양 호	
E	1,525 ± 5.0	1525	양 호	
중량	3,100kg 이내	-	양 호	

- 절연저항시험

시험방법		CONV 1군 HEP INV	CONV 2군 INV 2군	INV 1군	비고
주회로-접지 (1000V MEGA)	100MΩ 이상 내전압 전	2,000	1,500	1,200	
	100MΩ 이상 내전압 후	1,400	1,300	1,000	
제어회로-접지 (500V MEGA)	30MΩ 이상 내전압 전	1,000			
	30MΩ 이상 내전압 후	1,500			

- 내전압시험

시험방법		CONV 1군, HEP INV	CONV 2군, INV 2군	INV 1군
주회로-접지 (1000V MEGA)	6,700V에서 1분간 견딜 것	 견 딤 (81.8 mA)	 견 딤 (73.2 mA)	 견 딤 (42.8 mA)
제어회로-접지 (500V MEGA)	1,220V에서 1분간 견딜 것			견 딤 (28.0 mA)

- 보호검출 기능시험

NO	고장의 종류	고장명	검출기	검사기준		측정치	비고
1	가선 고전압	VSOV	ACPT	30kV 이상	120V±5%	120.1	
2	가선 저전압	VSLV	ACPT	17.3kV 이하	69.2V±5%	69.3	
3	1군 3차측 입력 과전류	IOCA	ICT1	1,800A 이상	8V±5%	8.0	
	2군 3차측 입력 과전류	IOCB	ICT2			8.1	
4	1군 FC 과전압	VOV1	DVT1	2800V 이상	6.7V±5%	6.7	
	2군 FC 과전압	VOV2	DVT2			6.7	
5	1군 FC 저전압	VLV1	DVT1	1800V 이하	4.3V±5%	4.2	
	2군 FC 저전압	VLV2	DVT2			4.3	
6	1군 ARM 단락 CFD	CFD1	GATE AMP	광신호 Open		양 호	
	2군 ARM 단락 CFD	CFD2				양 호	
7	1군 견인전동기 과전류	MOCA	CTU1	1,800A 이상	8V±5%	8.0	
			CTW1			8.0	
	2군 견인전동기 과전류	MOCB	CTU2	1,800A 이상	8V±5%	8.0	
			CTW2			8.1	

- 제어기능시험

· 광량측정 시험

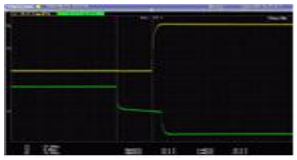
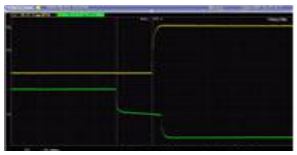
구분	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량(dBm)	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량(dBm)
1군	CONV1-1	-24dBm 이상	-19.7	-18.3	INV1-2	-24dBm 이상	-19.4	-18.6
	CONV1-2	-24dBm 이상	-19.9	-19.5	INV2-1	-24dBm 이상	-19.9	-19.2
	CONV2-1	-24dBm 이상	-19.7	-19.5	INV2-2	-24dBm 이상	-18.4	-18.4
	CONV2-2	-24dBm 이상	-19.5	-17.7	INV3-1	-24dBm 이상	-19.4	-19.3
	INV1-1	-24dBm 이상	-20.0	-17.2	INV3-2	-24dBm 이상	-19.4	-19.2

구분	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량(dBm)	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량(dBm)
2군	CONV1-1	-24dBm 이상	-20.3	-20.1	INV1-2	-24dBm 이상	-19.9	-20.0
	CONV1-2	-24dBm 이상	-19.5	-21.4	INV2-1	-24dBm 이상	-20.0	-18.3
	CONV2-1	-24dBm 이상	-20.4	-18.5	INV2-2	-24dBm 이상	-20.0	-18.1
	CONV2-2	-24dBm 이상	-20.2	-19.4	INV3-1	-24dBm 이상	-19.9	-18.2
	INV1-1	-24dBm 이상	-20.1	-19.8	INV3-2	-24dBm 이상	-20.1	-19.2

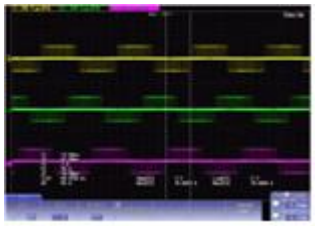
· IGBT 게이트 전원특성시험

항목	기준치	측정치				비 고
		1군		2군		
Gate Power 1	입력 : DC 24V 출력 : 15V ±10%	CONV1	110.0	CONV1	110.0	
			24.04		24.00	
		CONV2	110.0	CONV2	110.0	
			24.07		24.01	
Gate Power 2	입력 : DC 24V 출력 : 15V ±10%	INV1	110.0	INV1	110.0	
			24.03		24.02	
		INV2	110.0	INV2	110.0	
			24.01		24.04	
		INV3	110.0	INV3	110.0	
			24.05		24.06	

· IGBT 게이트 특성시험

항 목		측 정 치					비 고
		Gate ON 전압(V) (+15V±2.2V)		Gate OFF 전압(V) (-15V±2.2V)		DEAD IME(μs) (12μs ±2μs)	
1군	CONV1	14.5	14.8	-14.9	-15.0	12.60	
	CONV2	14.4	14.8	-14.8	-14.9	12.60	
	INV1	14.4	14.9	-14.8	-15.0	12.60	
	INV2	14.3	14.8	-14.8	-14.9	12.60	
	INV3	14.4	14.8	-14.8	-15.0	12.60	
2군	CONV1	14.4	14.8	-14.8	-14.9	12.60	
	CONV2	14.4	14.9	-14.9	-15.0	12.60	
	INV1	14.4	14.8	-14.9	-14.9	12.60	
	INV2	14.4	14.9	-14.9	-15.2	12.60	
	INV3	14.4	14.9	-15.0	-14.9	12.60	

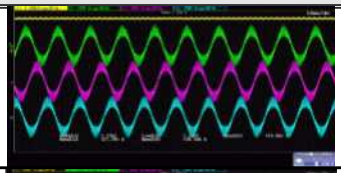
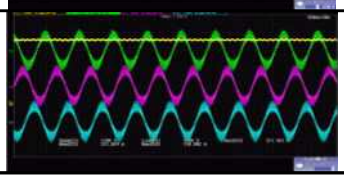
· 주회로 동작 시험

항 목	기 준 치	측 정 치				비 고
		1군		2군		
주회로 동작 시험	기동시 게이트 출력이 정상 일 것	양 호		양 호		
	U, V, W 상의 순서로 120° ± 2% 씩의 위상차 지연 되는지 확인	U-V	120.00	U-V	120.48	
		V-W	120.00	V-W	120.48	
		W-U	120.00	W-U	119.75	

- 냉각시험

항 목	시험 기준	측 정 치	결 과	비 고
냉각장치시험	1분간, 2.6Bar±10%	2.6	양 호	

- 경부하시험

항 목		기 준 치	측 정 치	비 고
1 군	U상 (Arms)	120 A ± 5 %	119.0 A	
	V상 (Arms)		121.7 A	
	W상 (Arms)		118.1 A	
2 군	U상 (Arms)	120 A ± 5 %	121.8 A	
	V상 (Arms)		118.9 A	
	W상 (Arms)		121.1 A	

㈐ 주변환장치 구성품시험(입회시험) 사진






㉲ 주변환장치 구성품시험(입회시험) 기록서



시 험 기 록 서

과 제 명	전기기술자(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 설계용 기술 개발	구 분	형 식 시 험
시 험 명	전력변환장치 구성품시험	확 인 자	최 우 석
제품번호	# 2	시 험 자	㈜우진산전 선임 윤정규
시험장소	㈜우진산전 본사		
시 험 일	2019. 3. 8. ~ 9., 6.19. 2019. 9.26. ~ 3. 6.	제 작 사	㈜ 우진산전
시험환경	특기사항 참조	담 당	이 서 이 명 호

1. 외관구조검사

구분	항 목 및 판 정 기 준	검사결과
1	육안으로 모의 사용에 무해한 흠 등이 없을 것	적 합
2	기기 회주 상태가 승인도면과 일치하는지 확인	적 합
3	배상 및 도장 상태 흠을 확인하여 이상이 없을 것	적 합

2. 측정검사



구분	기 준 값 (mm)	측 정 값 (mm)	구분	기 준 값 (mm)	측 정 값 (mm)
A	3,800 ± 10.0	3 7 9 4	D	1,673 ± 5.0	1 6 7 5
B	2,845 ± 5.0	2 8 4 2	E	1,525 ± 5.0	1 5 2 7
C	1,850 ± 5.0	1 8 5 0	중량	3,100 kg 이내	2 9 3 0

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

3. 절연저항시험

구분	시험방법	기 준 값		측 정 값		
				CONV 1군 HEP INV	INV 1군	CONV 2군 INV 2군
1	주회로 - 접지 (1000V MEGA)	10MΩ 이상	내전압 전	∞	500	∞
			내전압 후	∞	500	∞
2	제어회로 - 접지 (500V MEGA)	30MΩ 이상	내전압 전	∞		
			내전압 후	∞		

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

4. 내전압시험

구분	시험방법	기 준 값		시 험 결 과
1	주회로 - 접지	6700 VAC 1분간 견딜 것	CONV1군& HEP INV	견 딤 (70.6)
			INV1군	견 딤 (49.3)
			CONV2군& INV2군	견 딤 (70.9)
2	제어회로 - 접지	1220 VAC 1분간 견딜 것		견 딤 (13.8)

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

5. 보호검출 기능시험

구분	항 목	고장명	검출기	기준값 및 판정기준		측정값
1	과전 고전압	VGOV	ACPT	38 kV 이상	120 V ± 5 %	129.6
2	과전 저전압	VSLV	ACPT	17.3 kV 이하	83.2 V ± 5 %	80.2
3	1군 2차측 입력과전류	IOCA	ICT1	1800 A 이상	5 V ± 5 %	8.6
	2군 2차측 입력과전류	IOCB	ICT2	1800 A 이상	5 V ± 5 %	8.6
4	1군 FC 과전압	VOV1	DVT1	2800 V 이상	6.7 V ± 5 %	6.7
	2군 FC 과전압	VOV2	DVT2	2800 V 이상	6.7 V ± 5 %	6.7
5	1군 FC 저전압	VLV1	DVT1	1800 V 이하	4.3 V ± 5 %	4.2
	2군 FC 저전압	VLV2	DVT2	1800 V 이하	4.3 V ± 5 %	4.3
6	1군 ARM 단락 CFD	CFD1	GATE AMP	정신호 Open 시 보호동작		보호동작 함
	2군 ARM 단락 CFD	CFD2	GATE AMP	정신호 Open 시 보호동작		보호동작 함
7	1군 관성정동기 과전류	MOCA	CTU1	1800 A 이상	8 V ± 5 %	8.1
			CTW1	1800 A 이상	8 V ± 5 %	8.1
	2군 관성정동기 과전류	MOCB	CTU2	1800 A 이상	8 V ± 5 %	8.1
			CTW2	1800 A 이상	8 V ± 5 %	8.1

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

6. 제어기능시험

1) 광량측정시험

구분	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량 (dBm)	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량 (dBm)
1군	CONV1-1	-24dBm 이상	-14.2	-14.8	INV1-2	-24dBm 이상	-15.7	-14.1
	CONV1-2	-24dBm 이상	-14.5	-14.1	INV2-1	-24dBm 이상	-17.5	-13.4
	CONV2-1	-24dBm 이상	-14.8	-13.5	INV2-2	-24dBm 이상	-15.8	-13.7
	CONV2-2	-24dBm 이상	-15.8	-13.5	INV3-1	-24dBm 이상	-15.6	-15.3
	INV1-1	-24dBm 이상	-15.8	-14.8	INV3-2	-24dBm 이상	-15.7	-14.9



구분	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량 (dBm)	광케이블	기준값	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량 (dBm)
2군	CONV1-1	-24dBm 이상	-15.7	-15.0	INV1-2	-24dBm 이상	-15.8	-14.6
	CONV1-2	-24dBm 이상	-15.5	-14.6	INV2-1	-24dBm 이상	-16.2	-13.9
	CONV2-1	-24dBm 이상	-17.1	-15.2	INV2-2	-24dBm 이상	-16.5	-14.8
	CONV2-2	-24dBm 이상	-16.6	-14.6	INV3-1	-24dBm 이상	-16.0	-14.0
	INV1-1	-24dBm 이상	-16.7	-14.1	INV3-2	-24dBm 이상	-16.3	-14.5

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

2) IGBT 게이트 전원특성시험

구분	항 목	기 준 값	측 정 값			
1	Gate Power 1	입력 : 110 V 출력 : 24 V ±10 %	CONV1	108.5 24.04	CONV1	108.5 24.03
			CONV2	108.5 24.02	CONV2	108.5 24.03
2	Gate Power 2	입력 : 110 V 출력 : 24 V ±10 %	INV1	108.5 23.97	INV1	108.5 24.05
			INV2	108.5 24.00	INV2	108.5 24.03
			INV3	108.5 24.07	INV3	108.5 23.99

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

④ 공인기관 인증시험

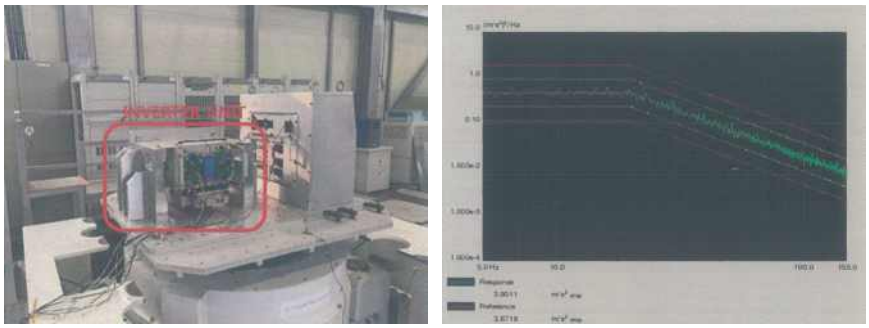
㉮ 진동시험

- 적용규격

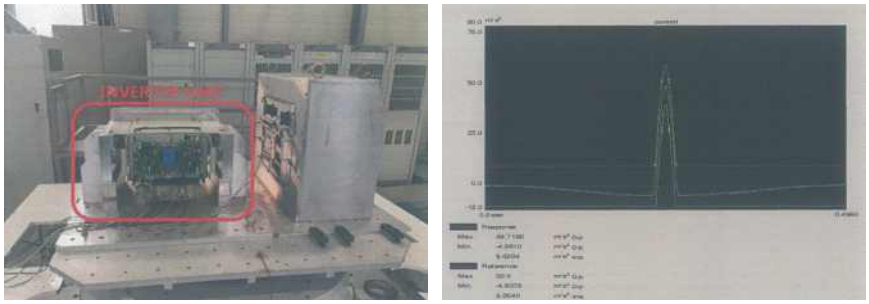
시험항목	적용규격	비 고
모의 장기 수명 시험	IEC 61373 : 2010	
충격 시험		
기능 랜덤 시험		

- 시험사진

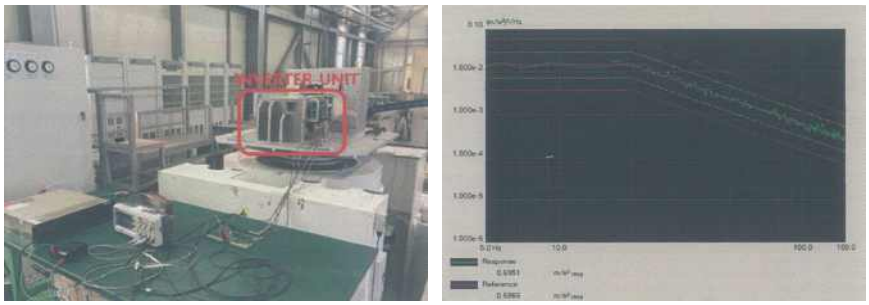
· INVERTER UNIT



< 그림 2-98. 모의 장기 수명 시험 결과 >

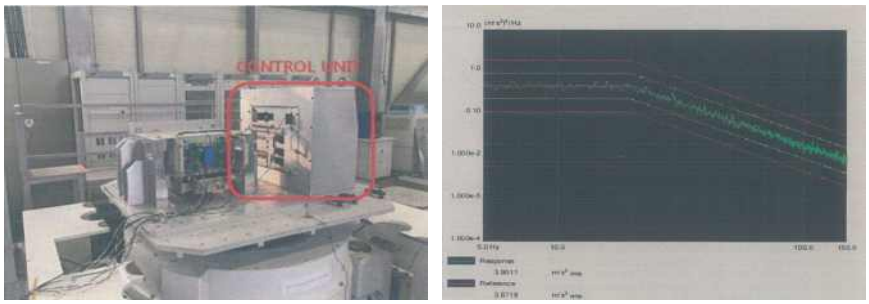


< 그림 2-99. 충격 시험 결과 >

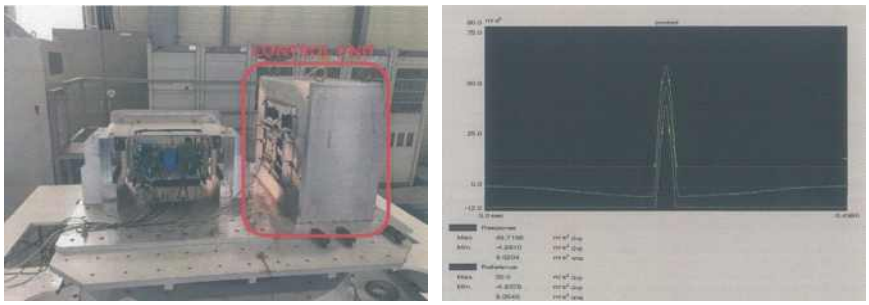


< 그림 2-100. 기능 랜덤 시험 결과 >

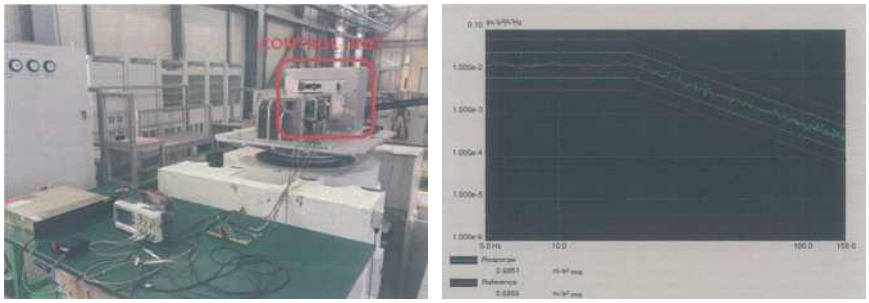
· CONTROL UNIT



< 그림 2-101. 모의 장기 수명 시험 결과 >



< 그림 2-102. 충격 시험 결과 >



< 그림 2-103. 기능 랜덤 시험 결과 >

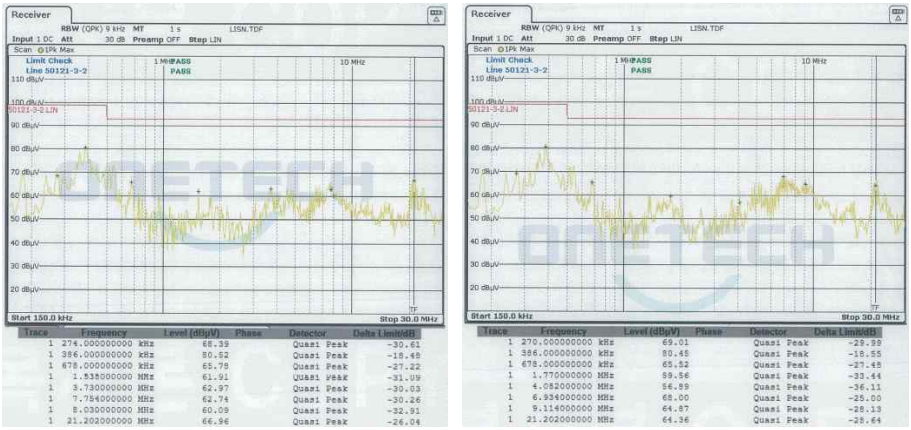
㉰ 전자파적합성 시험

- 적용규격

시험항목	적용규격	비 고
전도시험	IEC 62236-3-2 : 2008	
방사시험	IEC 62236-3-2 : 2008	
정전기방전내성시험	IEC 61000-4-2 : 2008	
전기자기 방사내성시험	IEC 61000-4-3 : 2010	
전기적빠른과도현상내성시험	IEC 61000-4-4 : 2012	
서지내성시험	IEC 61000-4-5 : 2014	
전기자기 전도내성시험	IEC 61000-4-6 : 2013	

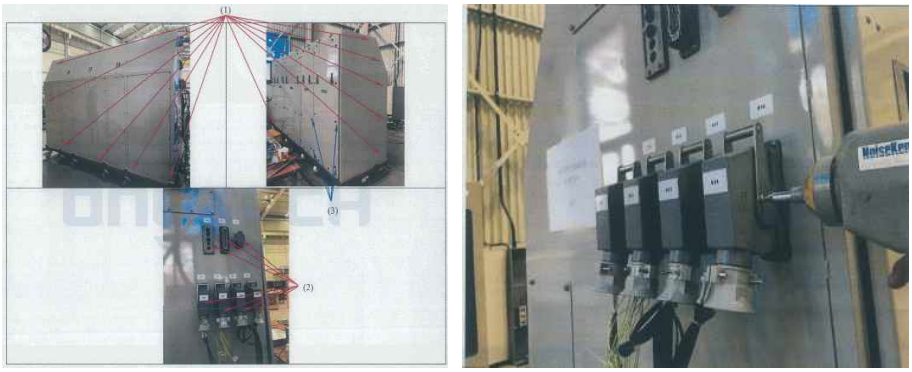
- 시험결과

· 전자파장해 시험 (전자파 전도시험)



< 그림 2-104. 전자파 전도시험 결과 >

· 전자기내성 시험 (정전기방전내성시험)



< 그림 2-105. 정전기방전내성시험 결과 >

· 전자기내성 시험 (전기자기 방사내성시험/전기적빠른과도현상내성시험)



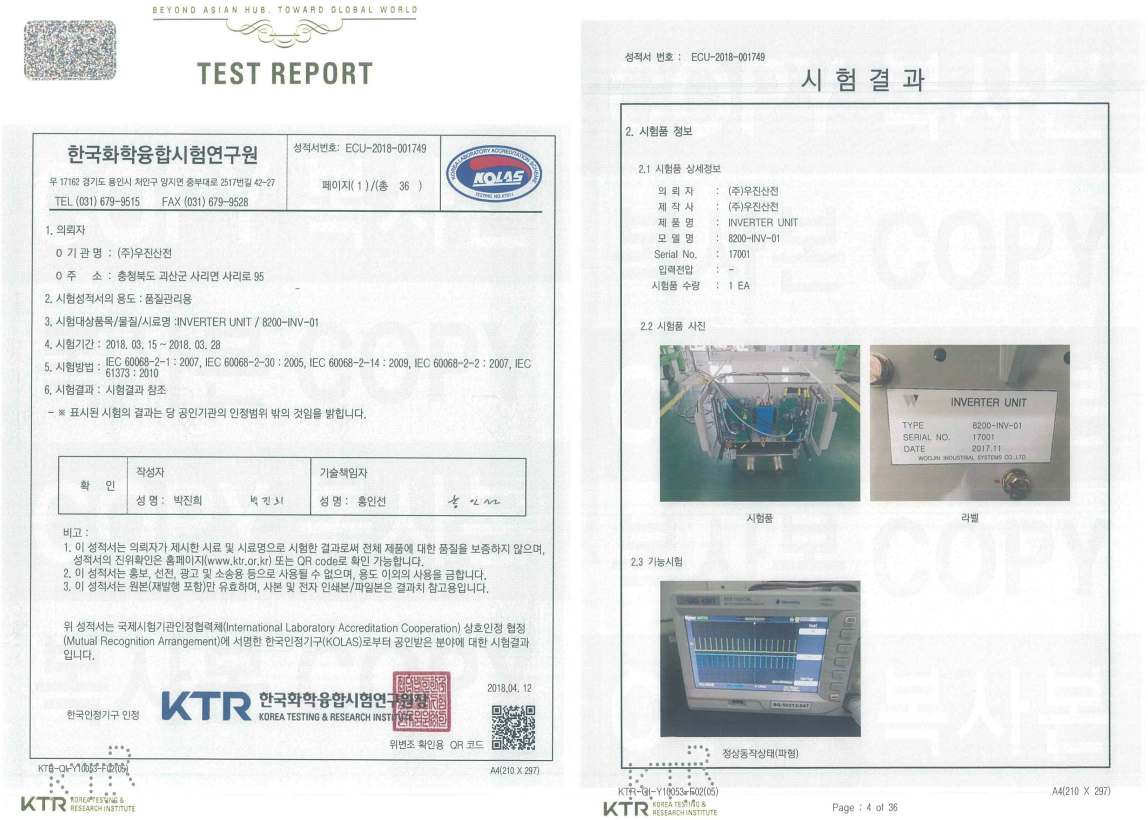
< 그림 2-106. 전기자기 방사내성시험, 전기적빠른과도현상내성시험 결과 >

· 전자기내성 시험 (서지내성시험/전자기장전도내성시험)



< 그림 2-107. 서지내성시험, 전자기장전도내성시험 결과 >

㉰ 시험성적서



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

한국화학융합시험연구원

우 17162 경기도 용인시 처인구 양지면 중부대로 2517번길 42-27
TEL (031) 679-9515 FAX (031) 679-9528

성적서번호: ECU-2018-001749
페이지(1)/(총 36)

1. 의뢰자
 0 기 관 명 : (주)우진산전
 0 주 소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용
3. 시험대상품목/물질/시료명 :INVERTER UNIT / 8200-INV-01
4. 시험기간 : 2018. 03. 15 ~ 2018. 03. 28
5. 시험방법 : IEC 60068-2-1 : 2007, IEC 60068-2-30 : 2005, IEC 60068-2-14 : 2009, IEC 60068-2-2 : 2007, IEC 61373 : 2010
6. 시험결과 : 시험결과 참조
 - ※ 표시된 시험의 결과는 당 공인기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 박진희	성 명 : 홍인선

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

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

한국인정기구 인정 KTR 한국화학융합시험연구원장 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE 2018. 04. 12

위변조 확인용 QR 코드

KTR-QI-Y1(00)5-F02(05)

A4(210 X 297)

성적서 번호 : ECU-2018-001749

시 험 결 과

2. 시험품 정보

2.1 시험품 상세정보

의 뢰 자	: (주)우진산전
제 작 사	: (주)우진산전
제 품 명	: INVERTER UNIT
모 델 명	: 8200-INV-01
Serial No.	: 17001
입력전압	: -
시험품 수량	: 1 EA

2.2 시험품 사진

시험품 라벨

2.3 기능시험

정상동작상태(파형)

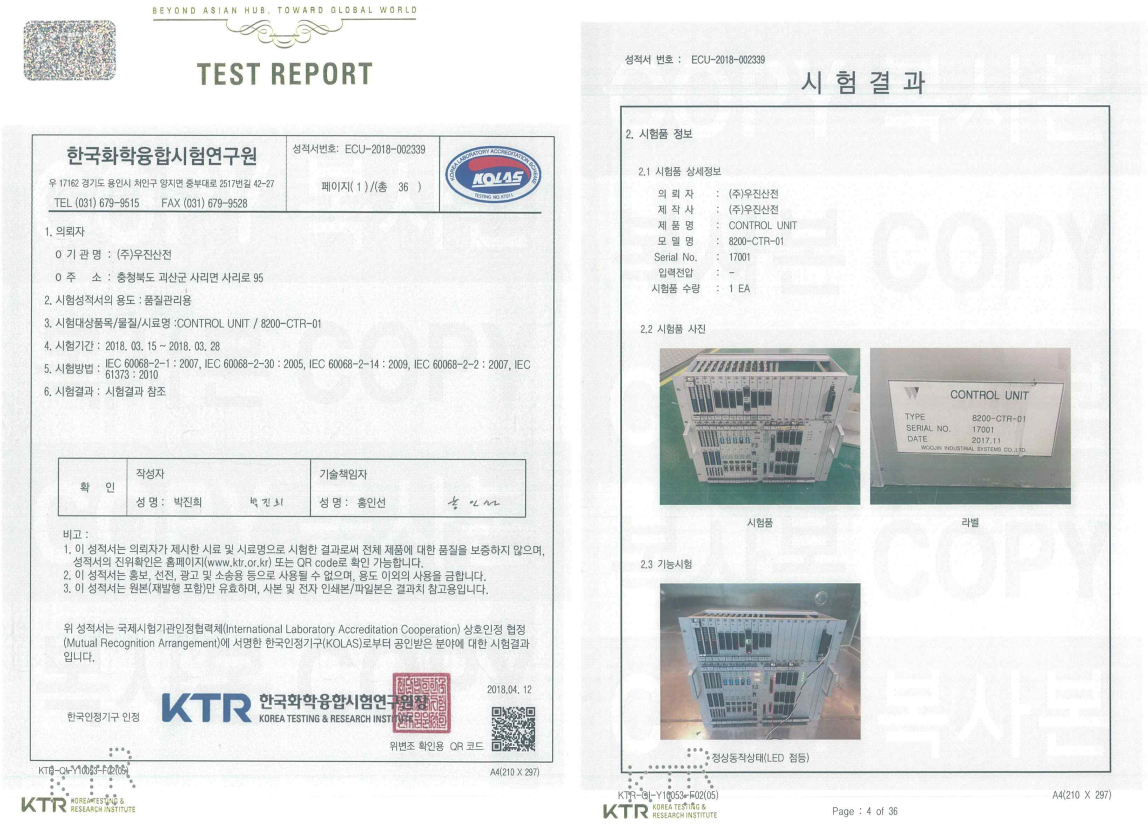
KTR-QI-Y1(00)5-F02(05)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

Page : 4 of 36

A4(210 X 297)

< 그림 2-108. 진동시험 성적서(INV) >



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

한국화학융합시험연구원

우 17162 경기도 용인시 처인구 양지면 중부대로 2517번길 42-27
TEL (031) 679-9515 FAX (031) 679-9528

성적서번호: ECU-2018-002339

페이지(1)/(총 36)

1. 의뢰자
○ 기 관 명 : (주)우진산전
○ 주 소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용
3. 시험대상품목/물질/시료명 :CONTROL UNIT / 8200-CTR-01
4. 시험기간 : 2018. 03. 15 ~ 2018. 03. 28
5. 시험방법 : IEC 60068-2-1 : 2007, IEC 60068-2-30 : 2005, IEC 60068-2-14 : 2009, IEC 60068-2-2 : 2007, IEC 61373 : 2010
6. 시험결과 : 시험결과 참조

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 박진희	성 명 : 홍인선

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

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

한국인정기구 인정 KTR 한국화학융합시험연구원 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE 2018. 04. 12

위변조 확인용 QR 코드

KTR-QI-Y10037-F02(05)

A4(210 X 297)

성적서 번호 : ECU-2018-002339

시 험 결 과

2. 시험품 정보

2.1 시험품 상세정보

의 뢰 자	:	(주)우진산전
제 작 사	:	(주)우진산전
제 품 명	:	CONTROL UNIT
모 델 명	:	8200-CTR-01
Serial No.	:	17001
입력전압	:	-
시험품 수량	:	1 EA

2.2 시험품 사진

시험품 라벨

2.3 기능시험

정상동작상태(LED 점등)

KTR-QI-Y10053-F02(05)

Page : 4 of 36

A4(210 X 297)

< 그림 2-109. 진동시험 성적서(CONT) >



ONETECH

시험성적서
(TEST REPORT)

성적서 번호(Report No.): OT-193-REK-001
페이지(Page of): (1)/(총 34)

1. 의뢰자 (Client)
○ 기 관 명 (Name) : (주)우진산전
○ 주 소 (Address) : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95
○ 계약번호 (AGR No.) : A19ZA-157

2. 시험성적서의 용도 (Use of Test Report): 제출용 (제출처: 한국철도차량엔지니어링)

3. 시험대상품목 (Product)
○ 기기명 (Description) : 8200호대 IGBT 주변환장치
○ 모델명 (Model Name) : IGBT 주변환장치
○ 제조번호 (Serial No.) : #2

4. 의뢰일자 (Date of Receipt) : 2019년 02월 26일

5. 시험기간 (Date of Test) : 2019년 02월 26일 ~ 2019년 02월 28일

6. 시험방법 (Test Method Used) : IEC 62236-3-2:2018

7. 시험결과 (Test Results) : 적합

위 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에만 한정됩니다.
The results shown in this test report refer only to the sample(s) tested unless otherwise stated.

확 인 (Affirmation)	시험자 (Tested by)	승인자(Approved by) / 기술책임자(Technical Manager)
	성 명 (Name): 박 세 진	성 명 (Name): 김 동 한
	서 명 (Signature)	서 명 (Signature)

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인 받은 분야에 대한 시험결과입니다.
The above testing certificate is the accredited test result by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.

2019년 03월 11일

한국인정기구 인정 (주)원텍 대표이사
Accredited by KOLAS, Republic of KOREA (The president of ONETECH Corp.)

경기도 광주시 초월읍 진새골길 43-34 (TEL:031-799-9500 FAX:031-799-9599)
ONETECH Corp. 43-34, Jinsaegol-gil, Chowol-eup, Gwangju-si, Gyeonggi-do 12797 Korea
(TEL:+82-31-799-9500 FAX:+82-31-799-9599)

OTC-기111-02(Rev. 13)

ONETECH 성적서번호: OT-193-REK-003

2. 제조자 정보
- 회사명 : (주)우진산전
- 주 소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95

3. 시험 요약

3.1 적용 기준
- IEC 62236-3-2:2018

3.2 시험항목 및 결과

시험 항목	기본 규격	시 험 결 과
전도시험	IEC 62236-3-2:2008	■ 적합 □ 부적합
방사시험	IEC 62236-3-2:2008	N/A (Note.1)
정전기방전내성시험	IEC 61000-4-2: 2008	■ 적합 □ 부적합
전기자기 방사내성시험	IEC 61000-4-3: 2010	■ 적합 □ 부적합
전기적빠른과도현상내성시험	IEC 61000-4-4: 2012	■ 적합 □ 부적합
서지 내성시험	IEC 61000-4-5: 2014	■ 적합 □ 부적합
전기자기 전도내성시험	IEC 61000-4-6: 2013	■ 적합 □ 부적합

- 상기 시험 항목은 신청인의 요청에 따른 시험 항목임.
Note. 1 SPD/VA를 넣는 관련 연결기 및 보조 변환기는 장착이 필수 및 현상자료에서의 전자파적합성 기준에 따라 적합하지 않습니다.

3.3 수검기기의 보완내용
- 해당없음.

Page: 6 of 34

EMC-007(Rev. 2)

본 시험성적서는 ONETECH의 서면 동의 없이 무단전재 및 복사를 할 수 없습니다.
경기도 광주시 초월읍 진새골길 43-34 (우: 12797) TEL:031-799-9500 FAX:031-799-9599

< 그림 2-110. 주변환장치 전자파시험 성적서 >

(나) 추진제어용 주변환장치 조합시험

① 시험 개요

전기기관차(8200호대) 추진제어용 주변환장치의 설계적합성 및 형식동등성을 입증하기 위하여 아래의 표와 같이 시험 및 검사항목으로 나누어 조합 시험을 실시한다.

< 표 2-26. 주변환장치 조합시험 항목 >

시험 항목	형식승인	실시방안	비고
냉각시험	◎	◎	주1)
경부하시험	◎	◎	주1)
소음시험	◎	◎	주1)
온도상승시험	◎	◎	주1)
효율시험	◎	◎	주1)
공급과전압과 과도 에너지 시험	◎	◎	주1)
안전요구시험	◎	◎	주1)
특성시험	◎	◎	
보호시스템 시험	◎	◎	
환경 시험	◎	◎	주2)
유도장애시험	◎	◎	주2)
신뢰성 시험	◎	◎	주3)

주1) 구성품시험 항목으로써, 조합시험에서 실시함

주2) 공인시험기관성적서 제출

주3) 주행시험으로 대체

② 시험 조건

㉮ 차량에 설치되는 견인전동기, 추진제어장치, 주변압기등 기기를 조합하여 시험한다.

㉯ 조합시험의 각 구성품은 실제 운영시와 유사한 조건으로 냉각 시킨다.

㉰ 성능

항 목		사 양
		IGBT 주변환장치
제어방식	컨버터	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
	인버터	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조⇔ 1P MODE
제어전압		DC 110V (77V ~ 138V)

컨버터부	입력전압	AC 1,230V × 2회로
	출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	최대출력	1,500 kW 이상
	반도체소자	IGBT : 4,500V-1,500A × 2병렬 (8조)
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)
	최대출력	1,600 kVA 이상
	반도체소자	IGBT : 4,500V-1,500A × 2병렬 (12조)
HEP 인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 970V
	최대출력	3상 310A
	반도체소자	IGBT : 4,500V-1,500A × 2병렬 (6조)
냉각방식		수냉식
I/F 및 통신		MVB
제어장치		32 bit Microprocessor

㉮ 조합시험 LAYOUT 구성

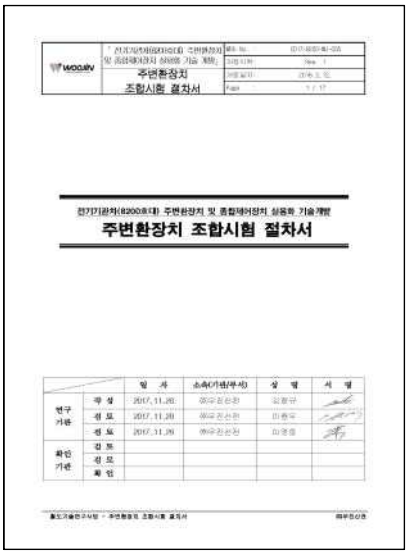


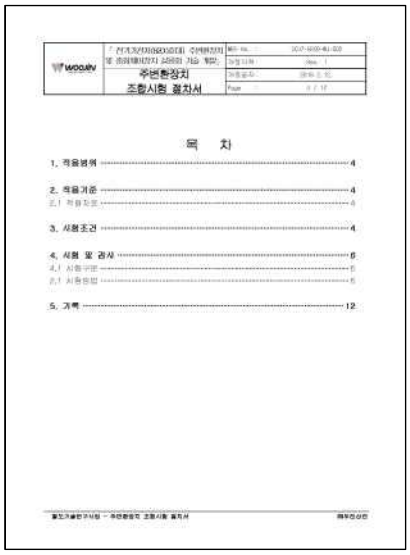
< 그림 2-111. 주변환장치 조합시험 LAYOUT >

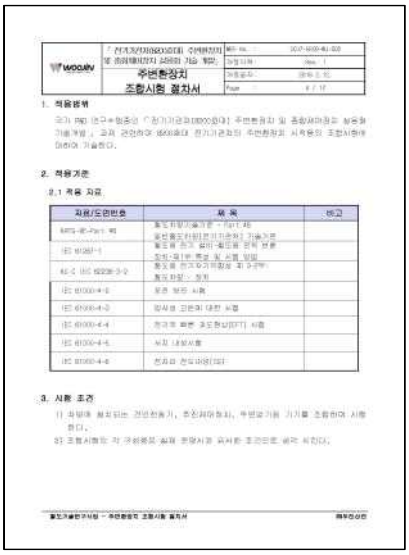
③ 주변환장치 조합시험

㉮ 주변환장치 조합시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 조합시험 절차서를 작성하였다.


주변환장치
조합시험 절차서


목 차

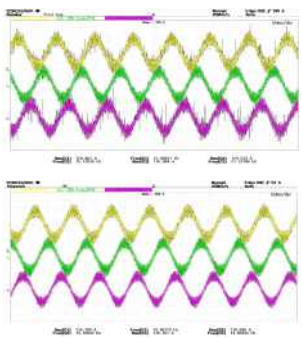

주변환장치
조합시험 절차서

㉯ 주변환장치 조합시험(입회시험) 결과

- 냉각 시험

시험방법	기준값	측정값	결과
냉각수의 유압을 1분간 측정	2.6Bar ± 10%	2.6	적합

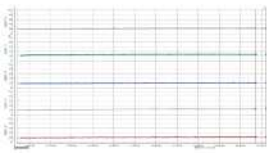
- 경부하시험

시험방법	기준값	측정값	결과	비고
1군 U(Arms)	120A ± 5% 이상	120.8	적합	
1군 V(Arms)		119.5		
1군 W(Arms)		116.0		
2군 U(Arms)		116.7		
2군 V(Arms)		118.6		
2군 W(Arms)		116.1		

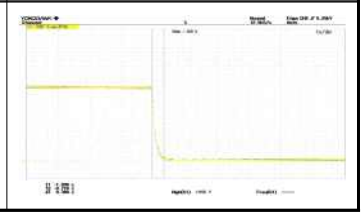
- 소음 시험

검사항목	판정기준	측정값				결과
		구분	실측값	암소음	보정값	
IEC 60551 A-Scale 입력전압: 정격 부하:100% 대상품과의 거리:1 m	6개소 평균값 85dB 이하	1	73.0	72.5	70.0	적합
		2	74.2	73.0	71.2	
		3	73.1	72.3	70.1	
		4	74.9	74.2	71.9	
		5	75.1	72.1	72.1	
		6	74.2	73.5	71.2	
		평균치	74.1	72.9	71.1	

- 온도상승 시험

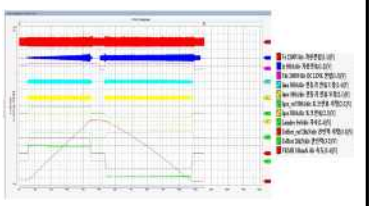
측정조건	측정위치	기준치	측정치	결과	비고
입력전압: 정격 부하조건: 100%	주위온도	-35℃<T<45℃	T: 23℃	적합	
	히트파이프 표면온도	⊿T<50K	T: 3.7℃		
	캐패시터 표면온도	⊿T<65K	T: 1.7℃		
	제어기 상면온도	⊿T<30K	T: 2.8℃		
	입력 부스바 표면온도	⊿T<65K	T: 1.4℃		

- 안전요구시험

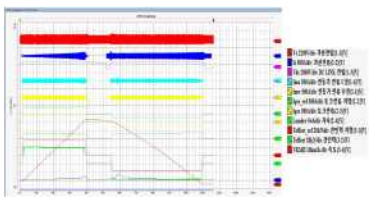
시 험 방 법	판정 기준	결과	비고
필터캐패시터 방전시간	1분이내 50V 이하 방전	적합	

- 특성 시험

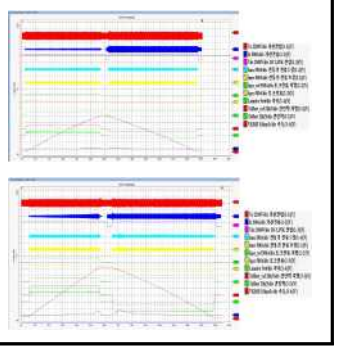
· 견인전동기 발열상태의 견인력특성

역행/회생	측정점(속도)	토크기준(Nm)	토크측정치	결과	비고
역행	40 km/h	37 kN 이상	37.5 kN	적합	
	62.4km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
	80 km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
회생	40 km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
	62.4km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
	80 km/h	37 kN 이상	37.5 kN		

· 견인전동기 냉각상태의 견인력특성

역행/회생	측정점(속도)	토크기준(Nm)	토크측정치	결과	비고
역행	40 km/h	37 kN 이상	37.5 kN	적합	
	62.4km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
	80 km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
회생	40 km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
	62.4km/h	37 kN 이상	37.5 kN		
	80 km/h	37 kN 이상	37.5 kN		

· 전 견인력영역에서 속도시험

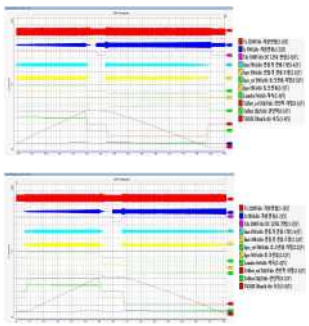
운전패턴	판정기준	결과	비고
P1(60km/h) → Notch off → B1	견인력 특성이 양호할 것.	적합	
P2(60km/h) → Notch off → B3			
P3(80km/h) → Notch off → B5			
P4(80km/h) → Notch off → B7			

· 효율특성시험

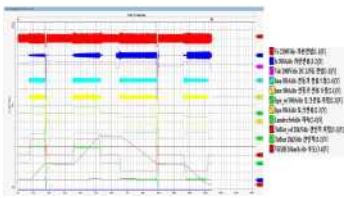
측정점(속도)	기준치	측정항목	측정치	결과	비고
60km/h	90% 이상	입력전력	98 KW	적합	
		출력전력	93 KW		
		효율(%)	94.8		

- 보호시스템시험

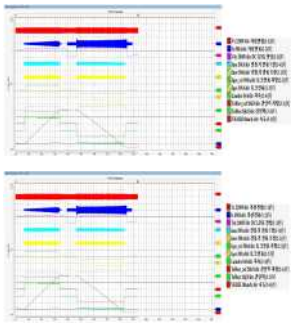
· 제어장치 전원변동시험

제어전원	운전패턴	판정 기준	결과	비고
DC 77V	P4(60km/h) → Notch off → B7	견인력 특성이 양호할 것.	적합	
DC 138V	P4(60km/h) → Notch off → B7			

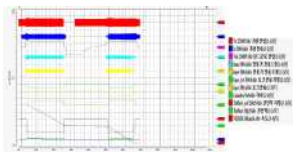
· 제어장치 전원중단 시험

운전패턴	판정 기준	결과	비고
P4(60km/h) 역행 중에 제어전원차단 → Notch off → B7 제동 중에 제어전원차단	자동 재기동할 것.	적합	

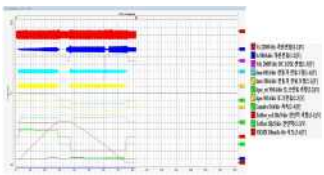
· 입력전압 변동시험

가선전압	운전패턴	판정 기준	결과	비고
AC 935V	P4(60km/h)→ Notch off→B7	견인력 특성이 양호할 것.	적합	
AC 1,230V	P4(60km/h)→ Notch off→B7			
AC 1,450V	P4(60km/h)→ Notch off→B7			
AC 1,230V → AC 1,170V → AC 1,230V	P2(80km/h)→Notch off →B3(역행)			
AC 1,230V → AC 1,300V →AC 1,230V	P2(80km/h)→Notch off →B3(역행)			

· 정전시험

운전패턴	판정 기준	결과	비고
P4(60km/h) 역행 중에 가선전원차단 → Notch off → B7 제동 중에 가선전원차단	보호동작 및 재기동할 것. 견인력 특성이 양호할 것.	적합	

· 회생부하시험

운전패턴	판정 기준	결과	비고
P4(60km/h) → Notch off → B7 제동 중에 회생부하차단	회생제한 또는 과전압 보호동작 할 것. 견인력 특성이 양호할 것.	적합	

- 유도장애시험

시험 조건	판정 기준	결과	비고
고조파측정	주변환장치를 정지 상태에서 최대속도까지 역행 및 제동모드로 운전 시 전도성 노이즈에 의한 간섭이 없을 것.	적합	공인시험기관 성적서 제출

㉰ 주변환장치 조합시험(입회시험) 사진



㉱ 주변환장치 조합시험(입회시험) 기록서



시 험 기 록 서

과 제 명	전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술 개발	구 분	형 식 시 험
시 험 명	전력변환장치 조합시험	확 인 자	최 우 [illegible]
제품번호	# 2	시 험 자	㈜우진산전 선임 전형환
시험장소	㈜우진산전 본사		
시 험 일	2019. 4.16.~17. / 5. 8.~10.	제 작 사	㈜ 우진산전
시험환경	특기사항 참조	담 당	이사 이 영 호

1. 냉각시험

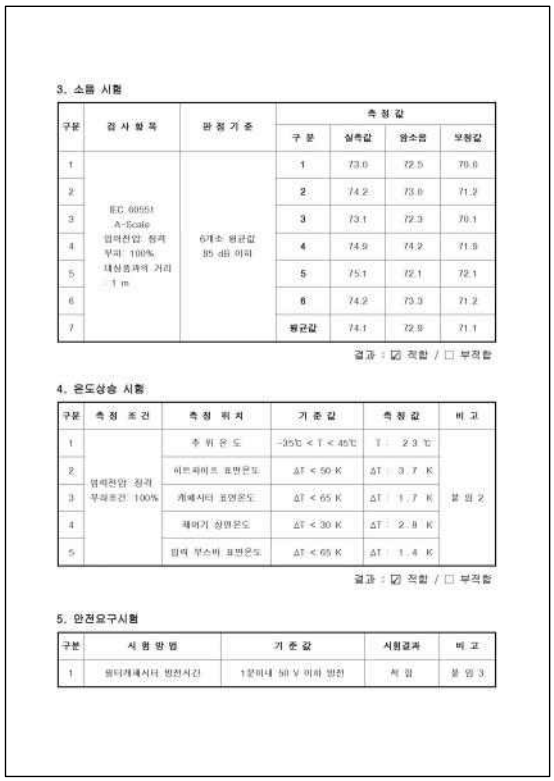
구분	시 험 방 법	기 준 값	측 정 값
1	냉각수의 유압을 1분간 측정	2.6 Bar ± 10 %	2 . 6

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

2. 경부하시험

구분	시 험 방 법	기 준 값	측 정 값	비 고
1	1군 U (A_{rms})	120 A ± 5% 이 상	120 . 8	붙 임 1-1
2	1군 V (A_{rms})		119 . 5	
3	1군 W (A_{rms})		116 . 0	
4	2군 U (A_{rms})		118 . 7	붙 임 1-2
5	2군 V (A_{rms})		118 . 8	
6	2군 W (A_{rms})		116 . 1	

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합



3. 소음 시험

구분	검 사 항 목	판 정 기 준	측 정 값			
			구 분	실측값	암소음	보정값
1	EC 60551 A-Scale 입력전압: 정격 부하: 100% 대상품과의 거리 : 1 m	6개소 평균값 85 dB 이하	1	73.0	72.5	70.8
2			2	74.2	73.0	71.2
3			3	73.1	72.3	70.1
4			4	74.9	74.2	71.9
5			5	75.1	72.1	72.1
6			6	74.2	73.3	71.2
7			평균값	74.1	72.9	71.1

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

4. 온도상승 시험

구분	측 정 조 건	측 정 위 치	기 준 값	측 정 값	비 고
1	입력전압: 정격 부하조건: 100%	주 위 온 도	-35℃ < T < 45℃	T : 23 ℃	붙 임 2
2		히트싱크 표면온도	ΔT < 50 K	ΔT : 37 K	
3		케패시터 표면온도	ΔT < 65 K	ΔT : 17 K	
4		제어기 장착온도	ΔT < 30 K	ΔT : 2.8 K	
5		입력 부스바 표면온도	ΔT < 65 K	ΔT : 1.4 K	

결과 : ☑ 적합 / ☐ 부적합

5. 안전요구시험

구분	시 험 방 법	기 준 값	시험결과	비 고
1	방전시간	1분이내 50 V 이하 방전	적 합	붙 임 3

④ 공인기관 인증시험

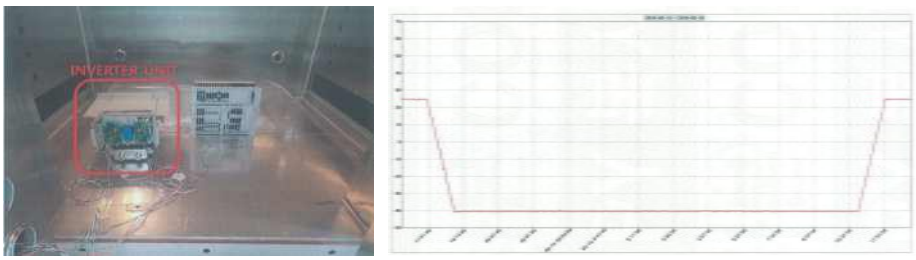
㉮ 환경시험

- 적용규격

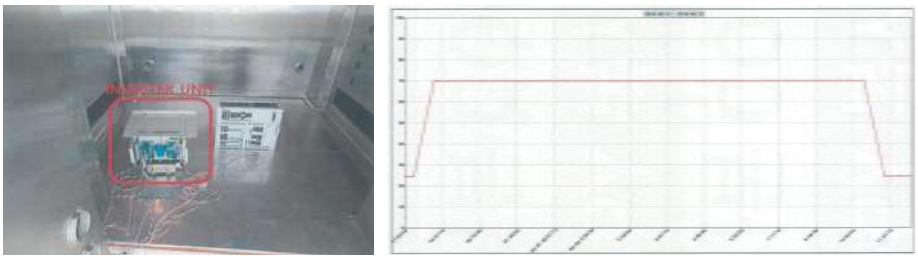
시험항목	적용규격	비 고
저온 시험	IEC 60068-2-1 : 2007	
고온/고습 시험	IEC 60068-2-30 : 2005	
온도사이클 시험	IEC 60068-2-14 : 2009	
고온 시험	IEC 60068-2-2 : 2007	

- 시험사진

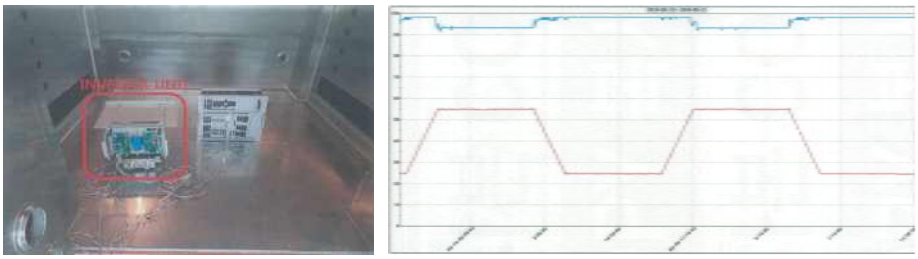
· INVERTER UNIT



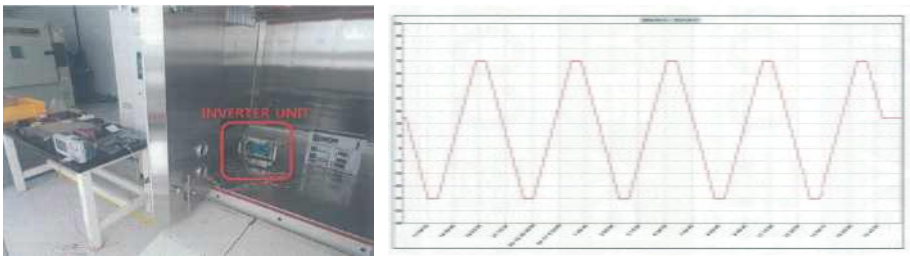
< 그림 2-112. 저온 시험 결과 >



< 그림 2-113. 고온 시험 결과 >

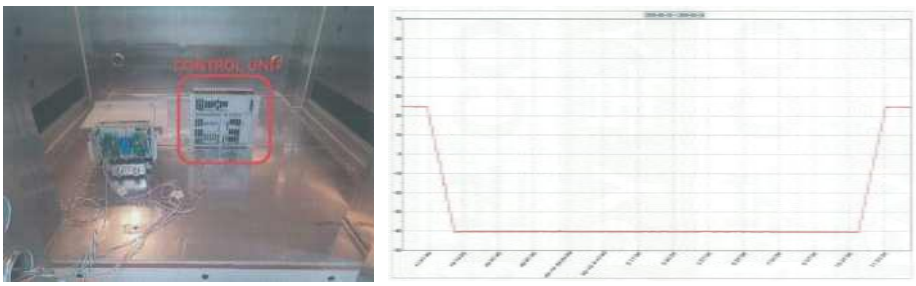


< 그림 2-114. 고온/고습 시험 결과 >

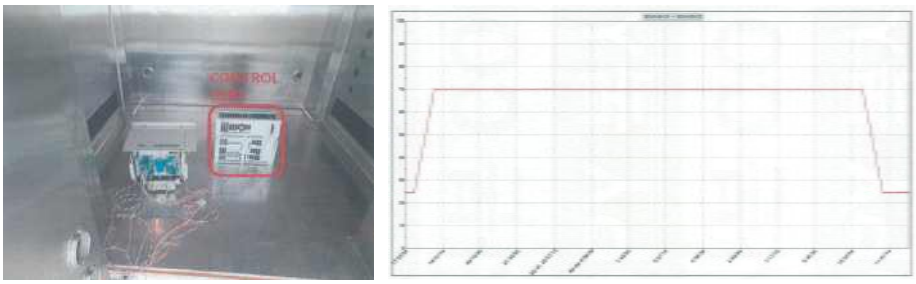


< 그림 2-115. 온도사이클 시험 결과 >

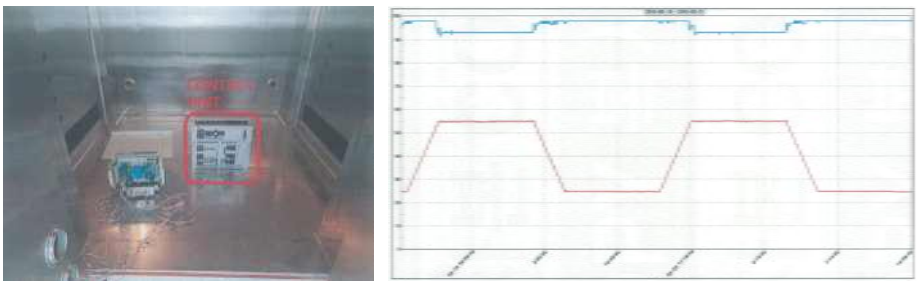
· CONTROL UNIT



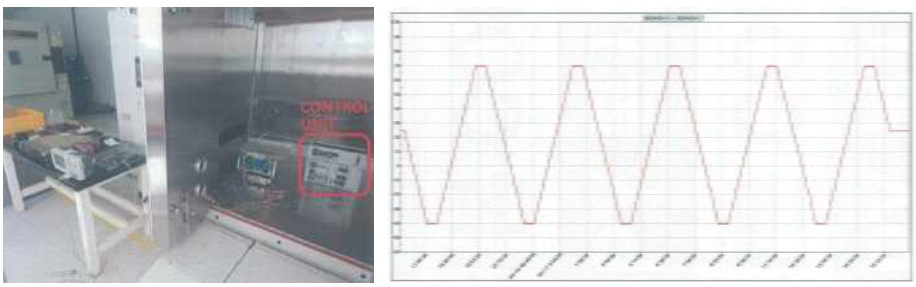
< 그림 2-116. 저온 시험 결과 >



< 그림 2-117. 고온 시험 결과 >



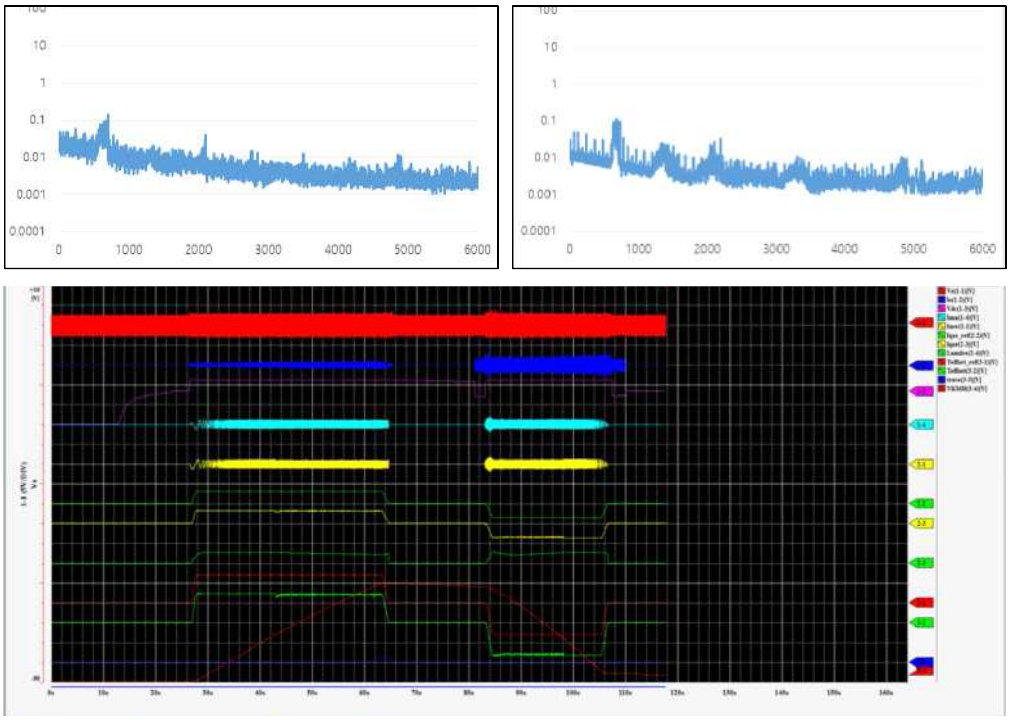
< 그림 2-118. 고온/고습 시험 결과 >



< 그림 2-119. 온도사이클 시험 결과 >

㉰ 유도장애시험

- 시험결과



< 그림 2-120. 역행 및 제동 파형 결과 >

㉱ 시험성적서


BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

한국화학융합시험연구원

우 17162 경기도 용인시 처인구 양지면 중부대로 2517번길 42-27
TEL (031) 679-9515 FAX (031) 679-9528

성적서번호: ECU-2018-001749

페이지(1)/(총 36)

1. 의뢰자
 0 기 관 명 : (주)우진산전
 0 주 소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용
3. 시험대상품목/물질/시료명 :INVERTER UNIT / 8200-INV-01
4. 시험기간 : 2018. 03. 15 ~ 2018. 03. 28
5. 시험방법 : IEC 60068-2-1 : 2007, IEC 60068-2-30 : 2005, IEC 60068-2-14 : 2009, IEC 60068-2-2 : 2007, IEC 61373 : 2010
6. 시험결과 : 시험결과 참조
- ※ 표시된 시험의 결과는 당 공인기관의 인정범위 밖의 것임을 밝힙니다.

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 박진희	성 명 : 홍인선

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

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

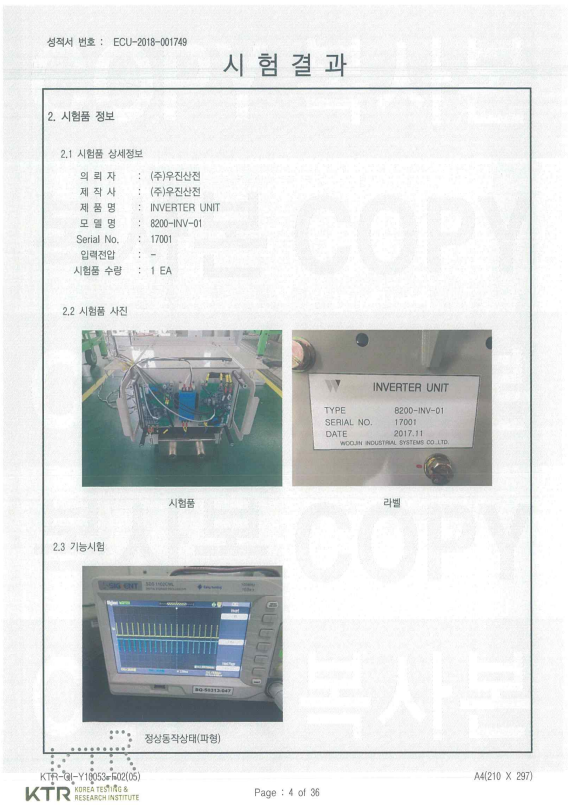
한국인정기구 인정

KTR 한국화학융합시험연구원 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

2018. 04. 12

위변조 확인용 QR 코드

A4(210 X 297)


성적서 번호 : ECU-2018-001749

시 험 결 과

2. 시험품 정보

2.1 시험품 상세정보

의 뢰 자	: (주)우진산전
제 작 사	: (주)우진산전
제 품 명	: INVERTER UNIT
모 델 명	: 8200-INV-01
Serial No.	: 17001
입력전압	: -
시험품 수량	: 1 EA

2.2 시험품 사진

시험품 라벨

2.3 기능시험

정상동작상태(파형)

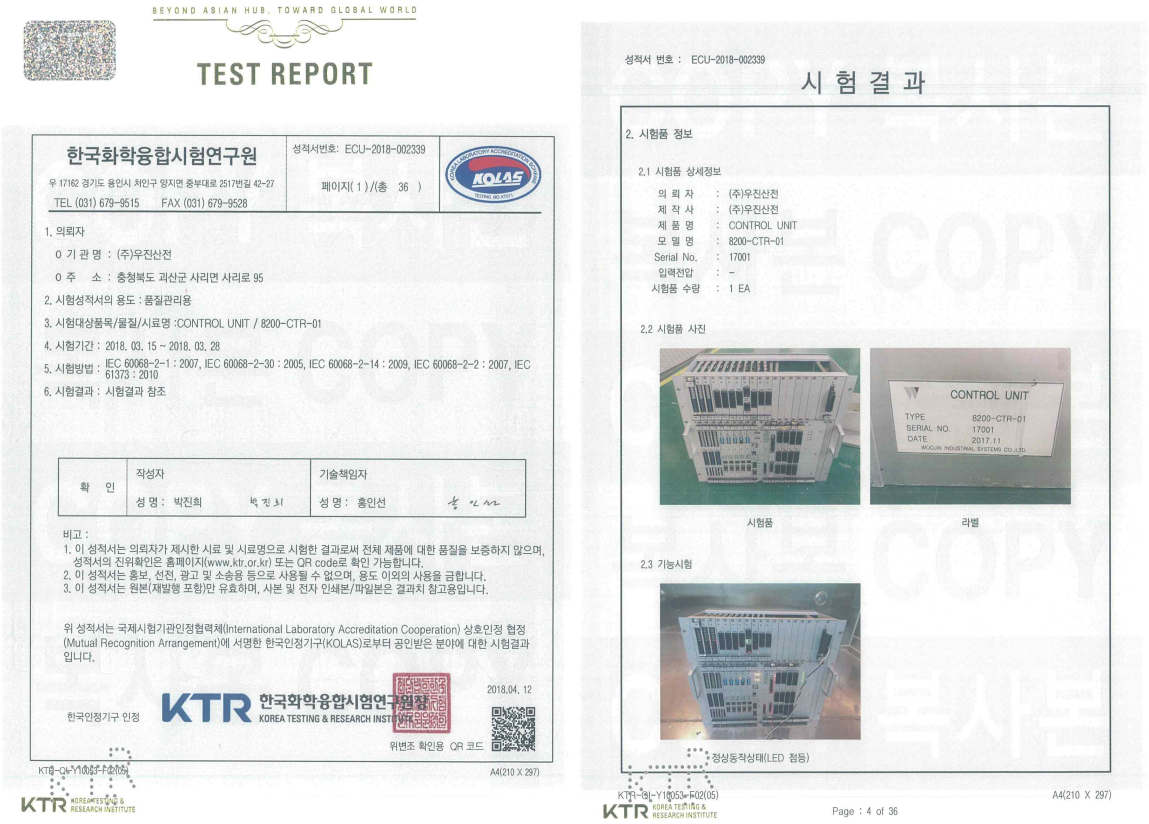
KTR-08-Y18053-R02(05)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

Page : 4 of 36

A4(210 X 297)

< 그림 2-121. 환경시험 성적서(INV) >



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

한국화학융합시험연구원

우 17162 경기도 용인시 처인구 양지면 중부대로 2517번길 42-27
TEL (031) 679-9515 FAX (031) 679-9528

성적서번호: ECU-2018-002339

페이지(1)/(총 36)

1. 의뢰자
0 기 관 명 : (주)우진산전
0 주 소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리용
3. 시험대상품목/물질/시료명 :CONTROL UNIT / 8200-CTR-01
4. 시험기간 : 2018. 03. 15 ~ 2018. 03. 28
5. 시험방법 : IEC 60068-2-1 : 2007, IEC 60068-2-30 : 2005, IEC 60068-2-14 : 2009, IEC 60068-2-2 : 2007, IEC 61373 : 2010
6. 시험결과 : 시험결과 참조

확 인	작성자	기술책임자
	성 명 : 박진희	성 명 : 홍인선

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

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

한국인정기구 인정 KTR 한국화학융합시험연구원장 2018. 04. 12

위변조 확인용 QR 코드

KTR-QI-Y10053-F-02(05)

A4(210 X 297)

성적서 번호 : ECU-2018-002339

시 험 결 과

2. 시험품 정보

2.1 시험품 상세정보

의 뢰 자	: (주)우진산전
제 작 사	: (주)우진산전
제 품 명	: CONTROL UNIT
모 델 명	: 8200-CTR-01
Serial No.	: 17001
입력전압	: -
시험품 수량	: 1 EA

2.2 시험품 사진

시험품 라벨

2.3 기능시험

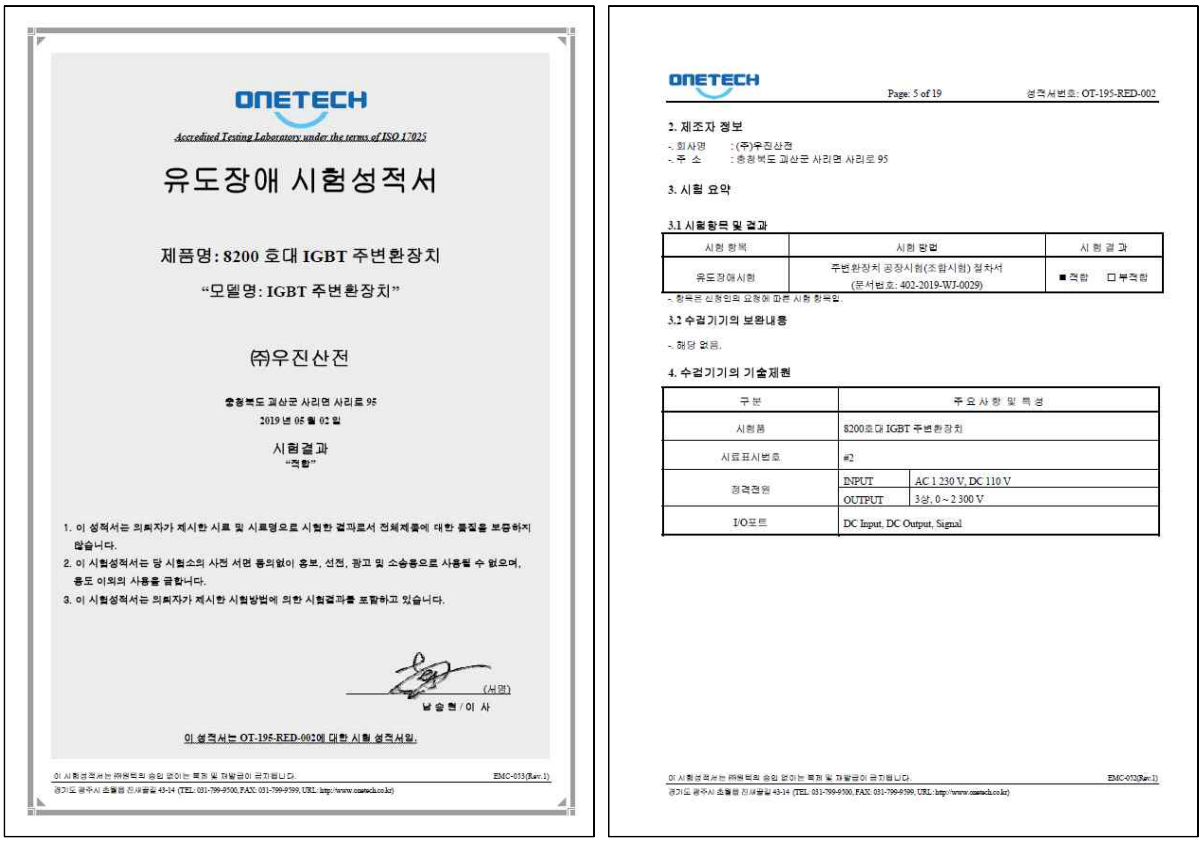
* 정상동작상태(LED 점등)

KTR-QI-Y10053-F-02(05)

Page : 4 of 36

A4(210 X 297)

< 그림 2-122. 환경시험 성적서(CONT) >



ONETECH

Accredited Testing Laboratory under the terms of ISO 17025

유도장애 시험성적서

제품명: 8200 호대 IGBT 주변환장치

"모델명: IGBT 주변환장치"

㈜우진산전

충청북도 괴산군 사리면 사리로 95

2019 년 05 월 02 일

시험결과
"적합"

1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지 않습니다.
2. 이 시험성적서는 당 시험소의 사전 서면 동의없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시험방법에 의한 시험결과를 포함하고 있습니다.

(서명)
남 승 현 / 이 사

이 성적서는 OT-195-RED-002에 대한 시험 성적서임.

EMC-033(Rev.1)

경기도 광주시 초월읍 진새골길 43-14 (TEL: 031-799-9500, FAX: 031-799-9599, URL: http://www.cosmech.co.kr)

ONETECH

Page: 5 of 19 성적서번호: OT-195-RED-002

2. 제조자 정보

-. 회사명 : (주)우진산전
-. 주 소 : 충청북도 괴산군 사리면 사리로 95

3. 시험 요약

3.1 시험항목 및 결과

시험항목	시험 방법	시험결과
유도장애시험	주변환장치 공장시험(조합시험) 절차서 (문서번호: 402-2019-WJ-0029)	■적합 □부적합

-. 항목은 신청인의 요청에 따른 시험 항목임.

3.2 수검기기의 보완내용

-. 해당 없음.

4. 수검기기의 기술제원

구 분	주 요 사 항 및 특 성	
시험품	8200호대 IGBT 주변환장치	
시료표시번호	#2	
정격전원	INPUT	AC 1 230 V, DC 110 V
	OUTPUT	3상, 0 ~ 2 300 V
I/O포트	DC Input, DC Output, Signal	

이 시험성적서는 서면동의 없이는 복제 및 자발급이 금지됩니다. EMC-033(Rev.1)

경기도 광주시 초월읍 진새골길 43-14 (TEL: 031-799-9500, FAX: 031-799-9599, URL: http://www.cosmech.co.kr)

< 그림 2-123. 주변환장치 유도장애시험 성적서 >



사단법인 한국철도차량엔지니어링
KOREA ROLLING STOCK TECHNICAL CORPORATION

본 사
전 화 : (031) 269-5452
팩 스 : (031) 269-5453

기술연구소
전 화 : (031) 269-2077
팩 스 : (031) 269-2047

검 사 증 명 서

발행번호 : RTC-19-032 발행일자 : 2019. 6. 18.

전 문 기 관	:	국토교통과학기술진흥원
주 관 기 관	:	㈜ 우진산전
연 구 기 관	:	㈜ 우진산전
제 작 자	:	㈜ 우진산전
연구과제 번호	:	18RTRP-C113726-03
검 사 장 소	:	㈜ 우진산전
검 사 기 간	:	2017. 12. 13. ~ 2019. 06. 17.

품명 및 규격	국가R&D '전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발' 과제 주변환장치 및 종합제어장치 승인절차서
수 량	주변환장치 2 EA, 종합제어장치 1 EA
비 고	제품 NO. : 주변환장치: #1 , #2 종합제어장치: 18001

Inspections are carried out to the best of our knowledge and ability and our responsibility is limited to the exercise of reasonable care.

검 사 사 항

1. 주변환장치 시험
1) 구성품시험
가. 외 관 구 조 검 사 : 적 합
나. 측 정 검 사 : 적 합
다. 절 연 저 항 시 험 : 적 합
라. 내 전 압 시 험 : 적 합
마. 보호검출기능시험 : 적 합
바. 제 어 기 능 시 험 : 적 합
사. 진 동 시 험 : 적 합
아. 전 자 파 적 합 성 : 적 합
자. 환 경 시 험 : 적 합

2) 조합시험
가. 냉 각 시 험 : 적 합
나. 경 부 하 시 험 : 적 합
다. 소 음 시 험 : 적 합
라. 온 도 상 승 시 험 : 적 합
마. 안 전 요 구 시 험 : 적 합
바. 특 성 시 험 : 적 합
사. 보호시스템시험 : 적 합
아. 유 도 장 애 시 험 : 적 합

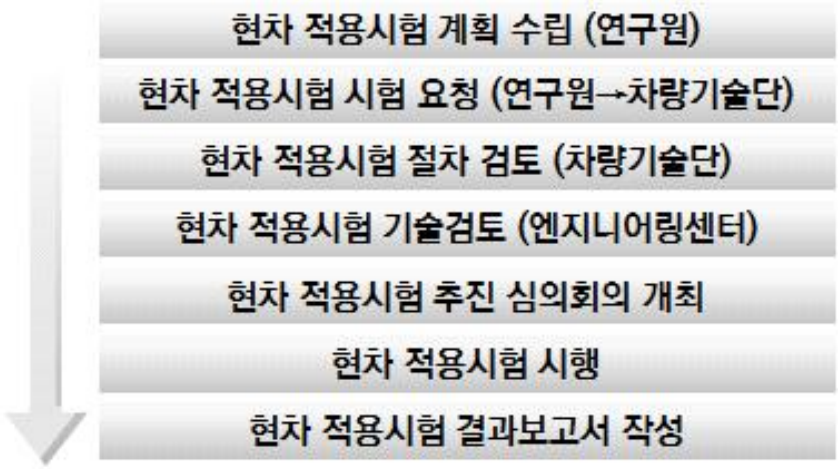
2. 종합제어장치
가. 외 관 구 조 검 사 : 적 합
나. 측 정 검 사 : 적 합
다. 절 연 저 항 시 험 : 적 합
라. 내 전 압 시 험 : 적 합
마. 전 압 변 동 시 험 : 적 합
바. 동 작 시 험 : 적 합
사. 환 경 시 험 : 적 합
아. 전 자 파 적 합 성 : 적 합
자. 진 동 및 충 격 시 험 : 적 합

사단법인 한국철도차량엔지니어링 이사장

< 그림 2-124. 제3자 철도차량 전문시험기관 검사증명서 >

(다) 추진제어용 주변환장치 현차탑재시험

① 현차탑재시험을 위한 한국철도공사 기술검토 및 안전성검증



< 그림 2-125. 철도차량 부품국산화 업무관리절차 >

< 표 2-27. 전기기관차 8200호대 주변환장치 기술검토서류 목록 >

구분	제출목록	문서번호	비고
1	현차시험 계획서	402-2019-0013	
2	현차시험 검토서	402-2019-0014	
3	검사 및 시험계획(Inspection and Test Plan)	402-2019-0015	
4	공장시험(구성품시험) 절차서	402-2019-0016	
	공장시험(구성품시험) 기록서	402-2019-0028	
	공장시험(조합시험) 절차서	402-2019-0029	
	공장시험(조합시험) 기록서	402-2019-0031	
5	정적시험 절차서	402-2019-0017	
6	정적시험 보고서(양식)	402-2019-0018	
7	동적시험 절차서	402-2019-0019	
8	동적시험 보고서(양식)	402-2019-0020	
9	정기검사 및 기능시험	402-2019-0021	
10	설계 자료	402-2019-0022	
11	제품 기술사양서	402-2019-0023	
12	부품 용량계산서	402-2019-0024	
13	주요부품 List 및 Datasheet	402-2019-0025	
14	정비 지침서(시험기간, 정비목적)	402-2019-0030	
15	회로설계/기구설계 도면	402-2019-0027	
16	공인기관시험성적서(인버터 환경시험 및 진동시험)	ECU-2018-001749	
	공인기관시험성적서(제어기 환경시험 및 진동시험)	ECU-2018-002339	
	공인기관시험성적서(전자파 적합성시험)	OT-193-REK-003	
	공인기관시험성적서(유도장애시험)	OT-195-RED-002	
	공인기관시험성적서(검사증명서)	RTC-19-032	
17	검교정리스트 및 성적서	-	

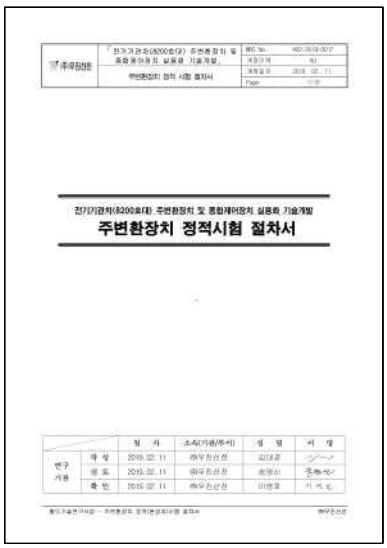
< 표 2-28. 전기기관차 8200호대 주변환장치 안전성 검증서류 목록 >

구분	제출목록	비고
1	법령, 사규 등에서 요구한 사항의 준수	
2	위험도 분석 및 안전성 평가	
3	업무절차 및 협의사항	
4	동종/유사 사고예방	
5	열차운행안전 및 안전관리 계획서	
6	산업안전 및 품질안전 확보	
7	안전성검증 체크리스트	
8	작업방법(상례, 차단, 단전)의 적정성	

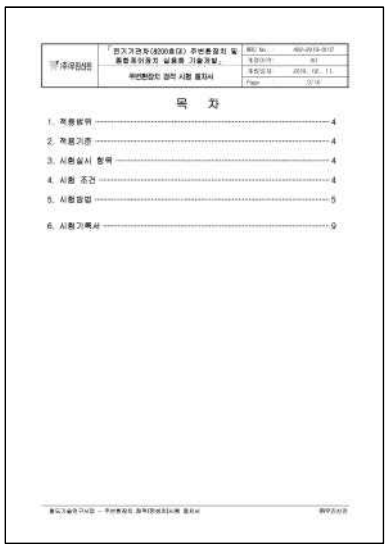
③ 주변환장치 정적시험

㉮ 추진제어용 주변환장치 정적시험 절차서 작성

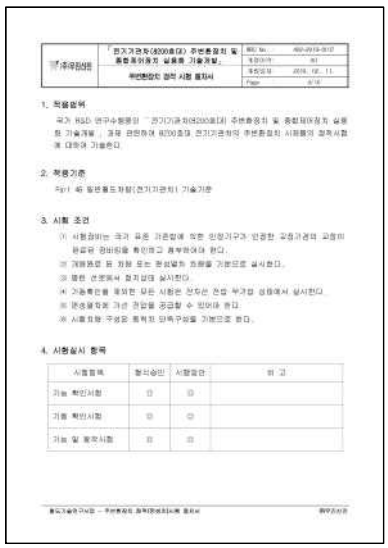
철도차량 기술기준에 의거하여 정적시험 절차서를 작성하였다.


전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발

주변환장치 정적시험 절차서


목 차

1. 적용범위 ····· 4
2. 적용기준 ····· 4
3. 시험실시 항목 ····· 4
4. 시험 조건 ····· 4
5. 시험방법 ····· 5
6. 시험기록서 ····· 9


1. 적용범위

2. 적용기준

3. 시험 조건

4. 시험실시 항목

㉯ 시험실시 항목

시험항목	형식승인	전수시험	비 고
절연저항 측정 및 내전압시험	◎	◎	내전압시험은 구성품시험의 절연 내력시험으로 대체함
기능 확인시험	◎	◎	
기동 확인시험	◎	◎	

㈐ 시험 방법

- 절연저항 측정 및 내전압시험

내전압 시험 직후 1,000V 또는 500V 메가로 각부 절연 저항을 측정하였을 때 아래의 기준치를 만족하여야 한다.

· 주회로 - 접지 : 20㏁ 이상 (1000V 메가로 측정)

· 주회로 - 제어회로 : 5㏁ 이상 (1000V 메가로 측정)

· 제어회로 - 접지 : 10㏁ 이상 (500V 메가로 측정)

단, 이 시험은 다음의 조건하에서 실시한다.

· 전력용 반도체의 단자는 각각 분리한다.

· 전기적으로 연결된 부분들은 단락한다.

· 충전부는 단락한다.

· 제어 유니트, 제어 전원 유니트 등의 저압회로 컨넥터를 분리한다.

- 기능 확인 시험

· 제어전원 ON/OFF

제어전원(DC100V)을 ON/OFF할 때 제어기가 정상적으로 ON/OFF 되는지 확인하고, 이 때 보호동작이 발생되지 않아야 하며, 게이트 신호는 출력되지 않아야 한다.

· IGBT 게이트 전원특성시험

입력특성 : 입력전압 DC70V ~ 110V일 때 교류출력이 DC 24V ±3% 이내 일 것

· IGBT 게이트 출력 파형 측정

비상제동(EB) 해제, 전진 또는 후진 선택 후 역행 및 제동 지령시 각 Inverter의 Gate 출력 파형을 측정한다.

▸ INVERTER 파형

Gate ON = +15V±2.2V, Gate OFF = -15V±2.2V, Dead Time = 12㎲±2㎲

최소 ON 펄스폭 = 20㎲ 이상

▸ TCMS상의 추진 제어장치 자동검사 시험

주변환장치의 자동검사 실시는 TCMS에서 요구할 때 제어장치(TCU)에 의해 수행되어야 한다. 판정기준은 시험완료후 TCMS상에서 결과를 확인한다.

- 기동 확인 시험

전차선 전압을 인가 한 후 시험절차에 따라 시험을 수행하면서 다음의 항목을 기록한다.

NO	채널명	측정명	설명	변환비
1	CH1	ESI	가선전압	1000V/div
2	CH2	VDC	FC전압	1000V/div
3	CH3	IMU	U상 출력전류	2000A/div
4	CH4	IMW	W상 출력전류	2000A/div
5	CH5	Iq_ref	q축 전류지령치	200A/div
6	CH6	Iq	q축 전류	200A/div
7	CH9	LAMDRE	추종자속	2Wb/div
8	CH10	MI	변조율	100%/div
9	CH11	TE_ref	토크지령치	1000N·m/div
10	CH14	VKMH	차량속도	10km/h/div
11	CH15	JERK	가·감속도	1.195m/s2/div

· 견인전동기 회전방향 확인 시험

운전실 데스크에서 판토 상승 후 역전기를 전진방향으로 하고 역행 신호(P1)를 5초간 인가하여 견인전동기의 회전방향이 전진방향인지 확인한다. 2축의 차륜이 전진방향으로 회진하여야 한다.

· 역행 및 제동 시험

▸ 시험 조건

결로 결빙이 없는 선로 조건에서 시험한다.

차량은 주행에 필요한 최소 또는 운영시의 편성열차로 구성한다.

편성된 차량이 주행 가능한 시험선로에서 실시한다.

시험시 운전대를 교환하여 양방향 운전이 가능하여야 한다.

전차선에 전원을 인가할 수 있어야 한다.

▸ 시험 준비

각 차량 제동배관의 코크 핸들이 정상 운전상태에 위치하는지 확인한다.

각 차량의 운전실 및 배전반 기기가 정상 운전상태에 위치하는지 확인한다.

각 차량의 공기호스 및 점퍼연결기는 정상적으로 연결되어 있는지 확인한다.

차량의 주회로 박스들의 결선상태를 확인한다.

주 전동기의 결선이 정상적으로 연결되어 있는지 확인한다.

상하기기의 덮개는 전부 제자리에 취부되어 있는지 확인한다.

제어전원을 투입하여 운전대의 TCMS 초기화를 확인한다.

판토 상승 스위치를 눌러 판토그라프가 상승됨을 확인하고, 운전실 모니터 장치의 가선전압 상태를 확인한다.

판토그라프가 상승된 후 SIV 기동상태를 확인한다.

주공기 압력이 정상인지 운전실 계기판의 게이지를 통해 확인한다.

제동 동작시 각 운전대의 압력계 지시값을 확인한다.

▸ 시험 항목

차량이 정지상태에서 가속중 주간제어기의 노치를 변경하면서 차량의 가속상태 및 제동상태를 확인한다.

다음의 항목에 대하여 시험을 실시하여 시험측정 항목에 대하여 기록한다.

시험	운전조건
역행시험	P1 - 10km/h - B1
	P2 - 20km/h - B2
	P3 - 30km/h - B3
	P4 - 35km/h - B2
	P4 - 40km/h - B4
	P4 - 구내최고속도 - B5
	P4 - 구내최고속도 - B6
	P4 - 구내최고속도 - B7
추가노치시험	P1-10km/h-P2-30km/h-P3-50km/h-P4 -구내최고속도-B7
재역행 시험	P2-20km/h-N(3초)-P2-30km/h-N(3초)-B5
	P3-30km/h-N(3초)-P3-50km/h-N(3초)-P3 -구내최고속도-N(3초)-B5
	P4-30km/h-N(3초)-P4-50km/h-N(3초)-P4 -구내최고속도-N(3초)-B5
후진시험	P1-10km/h-N(3초)-B1
	P2-20km/h-N(3초)-B5
가속도시험	P4 - 구내최고속도 - N(3초) - B7

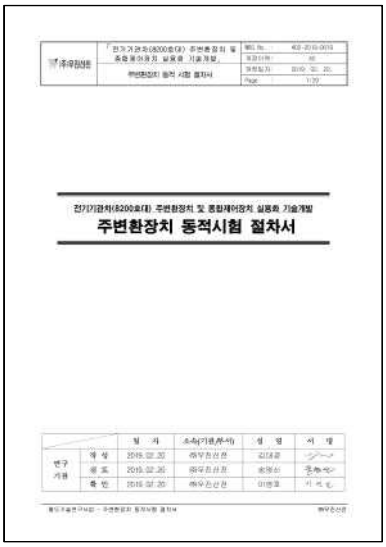
▸ 판정기준

차량이 정지상태에서 가속중 주간제어기의 노치를 변경하였을 때 가속상태 제동상태 이상이 없어야 한다.

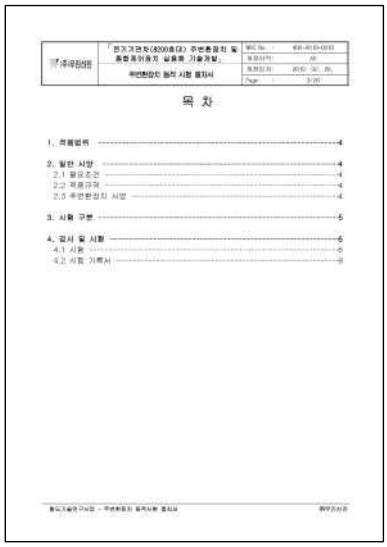
④ 주변환장치 동적시험

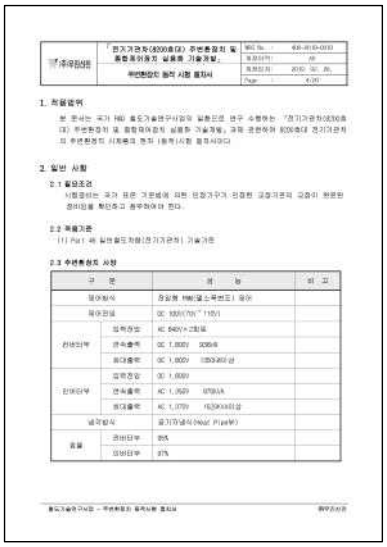
㉮ 추진제어용 주변환장치 동적시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 동적시험 절차서를 작성하였다.


전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발

주변환장치 동적시험 절차서


목 차



㉯ 시험실시 항목

구 분	시 험 항 목	기술기준	시행방안	비 고
1	역행 시험	◎	◎	
2	제동 시험	◎	○	상용제동만 실시
3	최고속도 시험	◎	◎	
4	집전 시험	◎	-	
5	유도장애 시험	◎	-	조합시험으로 대체
6	보호장치 동작확인 시험	◎	◎	
7	소음 시험	◎	-	
8	진동 시험	◎	-	
9	승차감 시험	◎	-	
10	주행저항 시험	◎	-	
11	공력특성 시험	◎	-	
12	냉난방 환기 시험	◎	-	
13	지상설비 연계 동작 시험	◎	◎	
14	주요기기 온도 및 상태시험	◎	◎	
15	주행 안전성 시험	◎	-	
16	중련운전 시험	◎	◎	

㈐ 시험 상세 내용

- 역행 시험

시험항목	기술기준	시행방안	비고
기동시험	◎	◎	
추가노치시험	◎	◎	
재역행시험	◎	◎	
점착성능시험	◎	◎	
구배기동시험	◎	◎	
가속도시험	◎	◎	

- 제동 시험

시험항목	기술기준	시행방안	비고
제동성능시험(상용제동시험)	◎	◎	
제동성능시험(비상제동시험)	◎	-	
제동성능시험 (전체제동시스템 3/4 제동시험)	◎	-	
제동력 블렌딩 동작시험	◎	-	
활주방지장치시험(차륜활주보정)	◎	-	
고장열차 구원운전시험	◎	-	

- 보호장치 동작확인 시험

시험항목	기술기준	시행방안	비고
과부하시험	◎	◎	
순간정전시험	◎	◎	
전압변동시험	◎	◎	

- 지상설비 연계 동작 시험

시험항목	기술기준	시행방안	비고
신호장치 시험	◎	◎	
열차무선장치 지상연계 시험	◎	◎	
차운전안내장치 지상연계 시험	◎	◎	
열차운행정보전송장치 지상연계 시험	◎	◎	

- 주요기기 온도 및 상태시험

시험항목	기술기준	시행방안	비고
온도시험	◎	◎	
상태시험	◎	◎	

- 중련운전 시험

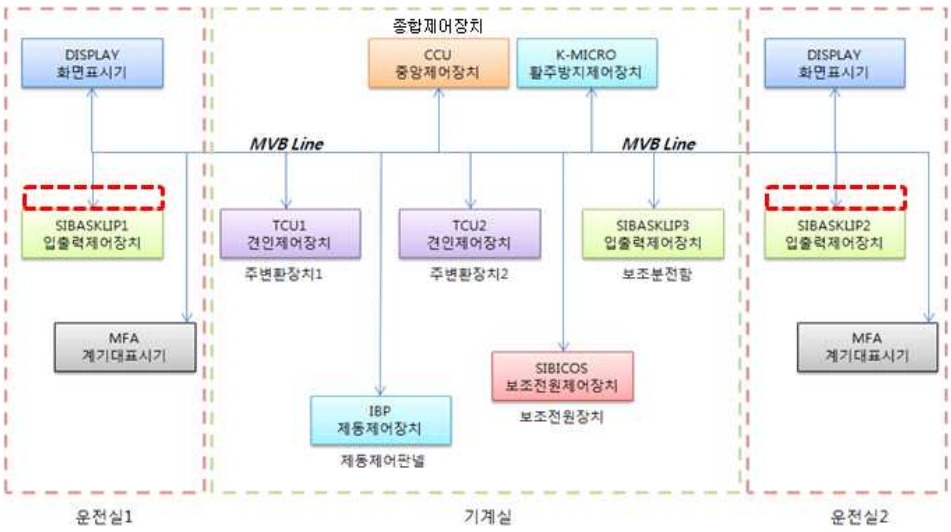
시험항목	기술기준	시행방안	비고
중련운전시험	◎	◎	
연결/분리 및 축전지 취소 기능 확인	◎	-	

나. 전기기관차(8200호대)용 종합제어장치 실용화 기술 개발

(1) 종합제어장치(CCU) 개요

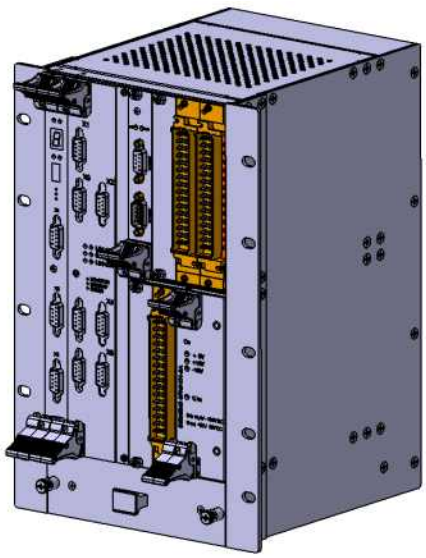
(가) 종합제어장치(CCU) 구성

CCU(Central Control Unit)는 열차 상태 및 정보 제공하고 감시 및 필수적인 진단 기능을 실행한다.



< 그림 2-126. 종합제어장치(CCU) 구성 및 MVB 통신 Line >

종합제어장치(CCU)는 차량의 변환장치의 범주에 있는 차량구동, 보호 ,감시 및 제어를 한다. 차량의 진단 및 시스템을 총괄하며 시운전 및 유지보수 기능을 제공한다.



< 그림 2-125. 종합제어장치(CCU) >

< 표 2-29. CCU의 Module 별 구성 >

Module 이름	약 칭
TCN 게이트웨이	TCN GW
송풍기 모듈(Blower Subassembly)	
전원공급 어댑터 모듈	
전원공급모듈 14.4~154V/5V±15V	PCS 5V ± 15V
이진입출력 모듈 110V	IOM
주전류 감시 모듈	PCM
다기능차량버스 모듈(MVB)	MVB 32
중앙처리 모듈	CPU

(나) 종합제어장치(CCU) 사양

< 표 2-30. 종합제어장치(CCU) 사양 >

항목	사양	
종합제어장치 사양	신호비	1.5 M bit/sec
	전송매체	Shield Twisted Pair
	프레임 크기	16, 32, 64, 128, 256 bits
	전송주기	1ms.....1024ms
종합제어장치 기능	- 직렬데이터 통신관리	
	- 차량제어 기능 (보조기기제어, 제어신호처리, 내외부 표시등 처리등)	
	- 진단 설비, 고장기록	
	- 구성시스템의 자동시험	
화면표시기	보호등급	IP 65 (전면부) IP 30 (장비)
	표식	10.4인치, LC-TFT 표시기 SVGA, 640*480(256컬러)
	인터페이스	PC/104를 통한 MVB 키패드 (KeyPad) MF11

(다) 종합제어장치(CCU) 기능

다음 기능은 CCU에 의해 실행된다.



< 그림 2-126. 종합제어장치(CCU)의 기능 >

① 직렬데이터 통신의 관리

CCU는 다음 직렬 데이터 Bus(Serial data bus) 시스템들과 통신한다.

㉮ MVB (Multi-function Vehicle Bus)

CCU 내의 MVB 인터페이스 모듈은 MVB로 연결 접속되는 구성품 간의 데이터 교환의 통제를 위한 차내 통신망(MVB)관리를 할 수 있다. MVB 데이터는 CCU로 전송되어 처리된다. 처리된 데이터는 MVB를 통해 접속된 장치로 전송된다.

㉯ Train/Vehicle 제어기능

데이터 Bus에 의해 수집된 데이터는 제어 기능을 실행하기 위하여 출력과 기관사에게 보내는 지시등을 CCU의 중앙 컴퓨터에 의해 처리한다. 이런 목적으로 자동처리되도록 프로그램 되었다. 차량 및 열차제어를 운영하기 위한 필수 로직은 CCU에 의해서 실행되므로 전통적인 전자/기계 로직 모듈(계전기, 접촉 대부분의 기기)의 수는 차량의 신뢰성 증대를 위하여 그 수를 축소시킬 수 있다.

다음은 CCU에 의해 실행되는 기능이다.

- 운전실 점유의 검지 및 다른 운전실의 제어요소 인터록 제어
- 보조기기 제어
- 제어신호의 처리
- 내외부 표시등 처리
- 고장 실패의 경우 일부 구성품의 switch off

표시램프는 중요한 운영상태의 표시를 위해 CCU에 의해 제어 된다. 운영상태 및 고장 메시지는 차내 통신 Bus를 통해 CCU에서 화면표시기로 전송된다.

㉰ 열차의 자동 출고준비 및 구성품 시험

열차의 필수 기능들은 CCU에 의해 자동적으로 초기화 되고 준비될 수 있다.보조전원 공급, 공기압력 공급 등은 열차 준비 중에 자동적으로 활성화 될 것이다. 안전루프, 공기압력 공급 및 추진 시스템 등 차량의 필수 구성품은 요구에 따라 자동적으로 시험된다.

㉱ 진단 설비, 고장 기록

유지보수를 목적으로 열차의 유용성 증대를 위해 발생되는 모든 고장은 중앙처리장치의 RAM에 고장 시 환경과 함께 저장되며, 현재의 고장은 기관사에게 화면표시기를 통해 현시한다. 고장 기록이 소거된 이후 발생된 모든 고장의 발생 및 소멸 시간 및 날짜 등은 유지보수 요원들에게는 유용하게 이용된다. 고장 기록의 평가는 PC 상에서 평가 가능하다.

② 열차 정보 시스템의 기능

다음은 CCU에 의해 실행되는 기능이다.



< 그림 2-127. CCU 실행 기능 >

열차 정보 시스템 내에서 CCU는 구성품 및 부속 시스템의 고장 및 상태 메시지를 처리한다. 데이터는 유지보수를 지원하기 위해 저장되고, 화면표시기를 통하여 기관사에게 표시된다. CCU는 고장진단 능력을 제공한다. CCU에 의해 평가된 데이터는 MVB를 통해 전송된다. 열차 정보 시스템 내에서 구성품 및 부속 시스템은 CCU와는 독립적이므로 이 장치에 의해 처리 및 제어될 수 없다.

㉮ CCU의 자가진단 설비

CCU의 활성화 후에 자가진단은 다음 기능을 갖고 실행된다.

- 프로그램에 의한 Test Sum의 산출 및 표준 Check Sum과의 비교
- 사용자 메모리 RAM의 Read/Write 능력시험
- 중앙 처리 장치(CPU)의 배터리 RAM에 대한 배터리 전압 시험
- 프로그램 실행 시간의 시험
- Watch Dog-Triggering

(2) 종합제어장치(CCU) 인터페이스 검토 및 요구사항 도출

(가) 종합제어장치(CCU) 하드웨어 인터페이스 검토

전기기관차 종합제어장치(CCU)는 전자제어함의 구성품으로 개발품의 기존 차량의 설치를 위하여 다음의 조건을 만족하여야 한다.

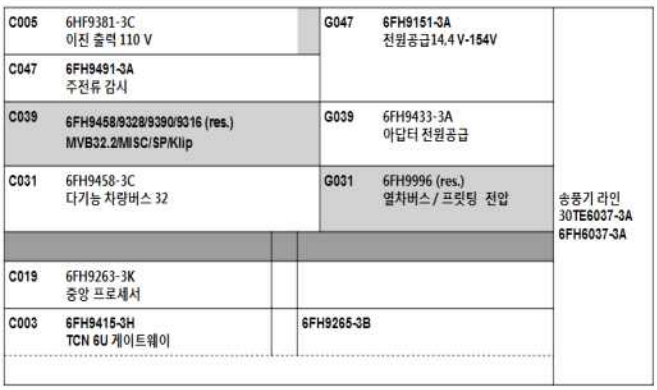


< 그림 2-128. 전기기관차 종합제어장치(CCU) >

< 표 2-31. 종합제어장치 조립체(CCU Assembly) 하드웨어 인터페이스 >

구분	요구사양	비고
하드웨어 인터페이스	외함 설계 및 치수: 기존품과 동일	
	커넥터 설치 및 연결: 기존품과 동일	
버스 인터페이스	다기능 차량버스 MVB(Multi-functional Vehicle Bus)	
	인통버스 WTB(Wired Train Bus)	

종합제어장치(CCU)는 다음의 각 모듈로 구성된다.



< 그림 2-129. 종합제어장치의 모듈 구성 >

< 표 2-32. 종합제어장치(CCU)의 모듈별 형식 및 기능 >

구분	명칭	형식	기능
이진출력	C005	6HF9381-3C	제어신호 출력
주전류감시(PCM)	C047	6FH9491-3A	변압기 보호모듈
다기능 차량버스	C031	6FH9458-3C	TCN 통신프로토콜용 보조컴퓨터
중앙프로세서	C019	6FH9263-3K	SIBAS 32 제어 및 고장 기록
TCN 6U 게이트웨이(TCN GW)	C003	6FH9415-3H	WTB와 MVB 게이트웨이 기능
전원공급14.4V~154V (PCS 5V±15V)	G047	6FH9151-3A	SIBAS 보조랙 전원 공급
아답터 전원공급	G039	6FH9433-3A	
송풍기라인 (BLOW)		6FH6037-3A 30TE6037-3A	SIBAS 32 보조랙 환기

종합제어장치(CCU) 각 모듈은 기존 차량과 연결을 위해 다음의 조건을 만족하여야 한다.

< 표 2-33. 종합제어장치(CCU)의 모듈별 하드웨어 인터페이스 >

구분	용도	커넥터	규격
송풍기모듈	뒷판 커넥터	X1	32-pin SUB-MIN-D 플러그 커넥터 혼합접속기
	입력전압	X1	$14.7V \leq U_{\in} \leq 15.6V$
	출력장치	X1	1개 송풍기 모니터링 출력
	출력전압	X1	2개 배터리 전압 출력
전원공급모듈 (PCS 5V±15V)	뒷판 커넥터	X1	고전류 플러그 커넥터, H15 to DIN 41612 Pin 24 leading
	전면패널		4LEDs
TCN 6U 게이트웨이 (TCN GW)	뒷판 커넥터	X1, X2	64-pin plug connector to DIN41612
	전면패널 커넥터	X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9	9-pin SUB-MIN-D connector(male) 9-pin SUB-MIN-D connector(female) 9-pin SUB-MIN-D connector(female) 9-pin SUB-MIN-D connector(male) 9-pin SUB-MIN-D connector(female) 9-pin SUB-MIN-D connector(male) 9-pin SUB-MIN-D connector(female)
전류모니터링 (PCM)	뒷판 커넥터	X1	64-pin plug connector to DIN41612
	전면패널 커넥터	X2	32-pin plug connector to DIN41612
MVB 버스모듈	전면패널 커넥터	X4	MVB Connector
	전면패널 커넥터	X5	MVB Connector
중앙프로세서 모듈	전면패널 커넥터	X3	Diagnostic Connector
이진출력모듈	전면패널 커넥터	X2	32-pin plug connector to DIN41612

(나) 종합제어장치(CCU) 소프트웨어 인터페이스 검토

① 소프트웨어 인터페이스

종합제어장치(CCU)는 차량 내·외부 통신 시스템(MVB, WTB)과 완벽히 호환되어야 하며, 이를 통해 기존 장치와 동등한 성능의 제어, 진단 및 기록을 제공하여야 한다. 특히 종합제어장치는 MVB 차내 통신 시스템을 기반으로 다수의 보조처리장치 시스템(Co- processor System)의 감시 및 제어를 담당하고 있어, 각 보조시스템(견인, 제동, 보조전원 등)의 성능 확보를 위해서는 각 시스템과의 완벽한 통신 호환성을 만족하여야 한다.

이를 위해서는 기존 차량의 종합제어장치 뿐만 아니라 보조처리장치 시스템의 통신 프로토콜(Protocol) 데이터 수집 및 현차 조사가 선행 되어야 할 것이며, 이에 대한 분석과 충분한 검증을 위하여 개발품의 통신 프로토콜을 장기적으로 수집/저장하고, 기존품과 비교·분석 할 수 있는 통신 프로토콜 분석장치의 개발이 필요할 것이다.

이와 별도로 종합제어장치(개발품)의 유지보수 및 관리를 위하여, 진단 및 기록을 위한 모니터 프로그램과 데이터 평가 프로그램의 개발이 병행 되어야 할 것으로 보여진다.

② 차량제어 인터페이스

종합제어장치(CCU)는 차량의 제어를 위해 다음의 주요기능을 충족하여야 한다.

· 견인제어(TCU)및 제동제어(IBP) 등 차상장치에 대한 설정 및 명령

· 보조기기 및 장치의 제어, 데이터 및 통신관리

· 차량진단 및 고장기록

이를 위해 종합제어장치는 표4)의 각 기능별 요구사항에 대한 처리기준을 마련하고, 제어 로직을 도식화하여야 하며, 이에 대한 기능 설명을 문서화(기능설명서) 하여야 한다. 또한 작성된 제어로직은 개발품 현차 적용을 위해 시스템적으로 구현되어야 하고, 검증되어야 한다.

이를 위하여 개발품과 기존품의 비교 시험 및 검증을 위한 시험기(Simulator) 제작이 요구되며, 시험기를 활용한 제어로직의 구현 및 시스템 검증은 현차 적용 시험의 안전성을 높일 수 있을 것으로 보여진다.

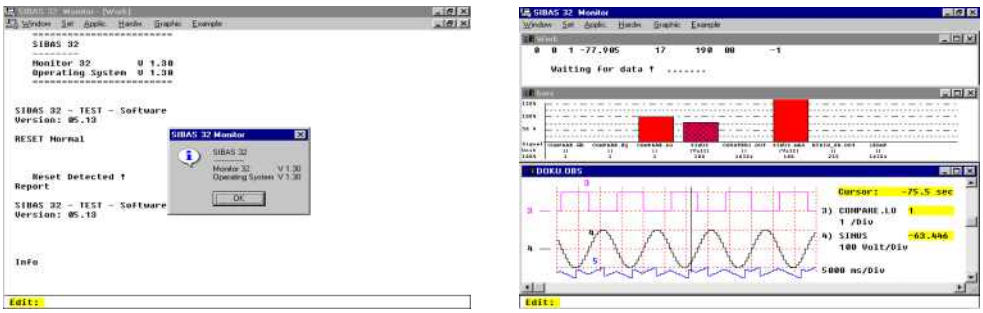
< 표 2-34. 종합제어장치(CCU) 시스템 요구사항 >

구분	요구사양	비고
제어기능	주전류/전압의 감시 및 방호, 제어전류의 제어 및 차단	기능별 로직도 및 기능설명서 작성
	소프트웨어 인터페이스(차량신호, 통신) 및 제어	
	견인/제동 제어 및 차단, 공기제동 활주보호	
	보조장치와 객차전원장치 제어 및 차단	
	충전장치 및 축전기 제어	
	냉각장치 및 압축공기공급장치의 제어	
	보조전원공급 상태 감시 및 제어(연장급전 포함)	
	검지 및 자동화 (보호전류 감시 및 알림)	
	안전장치(SIFA) 감시 및 작동, 비상제동 루프의 동작 및 감시	

	보안장치(ATS/ATP), 방호장치 및 열차무선 장치의 감시	
	객차전원의 감시 및 제어, 절연구간 제어	
	주행거리와 속도 계산 및 기록, 구성품 시험(단계별)	
	등구류 제어, 공기조화 장치의 감시 및 제어	
	운전설비의 전열, 보조기기의 감시 및 제어	
	축전지 방전 방지, 실패 및 고장의 관리	
진단 기록	진단 및 기록을 위한 모니터 프로그램	
	데이터 평가 프로그램	

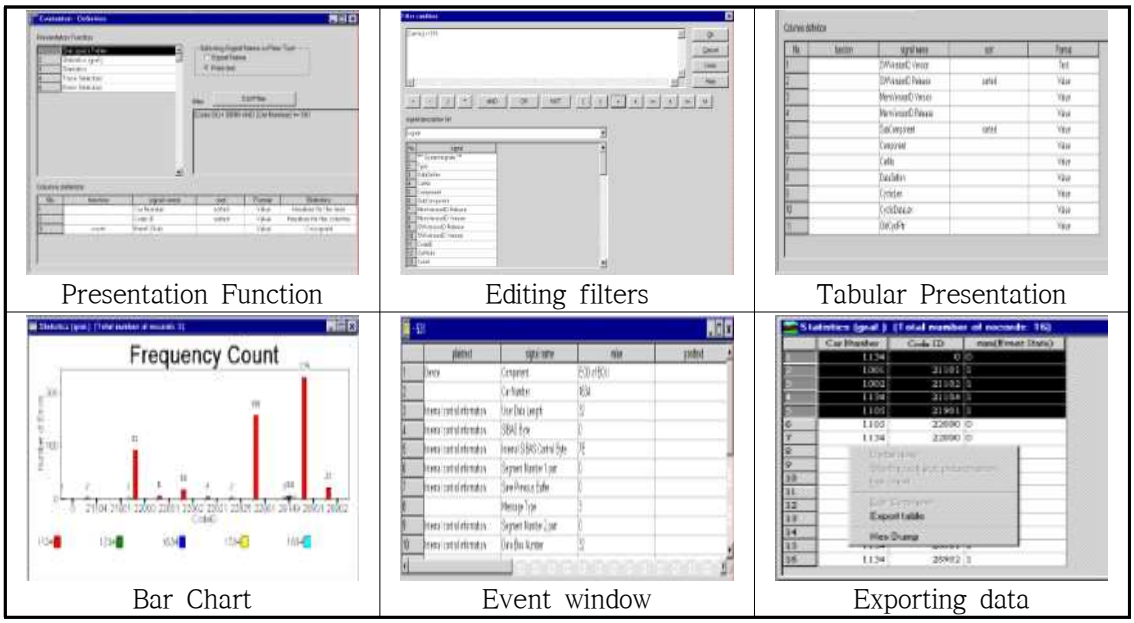
㉮ 전기기관차 진단 및 기록시스템

전기기관차는 차량의 진단 및 기록을 위해. SIBAS32의 모니터 프로그램 SIBAS moni와 SIBAS 진단 데이터를 위한 평가 프로그램 SIBAS Expert 프로그램을 제공하고 있다. SIBAS 32의 모니터 프로그램은 PC상에서 운용되고 SIBAS 32 제어장치에 기능들을 모니터링 하며, 또한 운영자 검수를 지원하는 소프트웨어 및 SIBAS 32 프로세서 모듈에 대한 시스템 소프트웨어를 설치하는데 사용된다.



< 그림 2-130. 모니터 프로그램(SIBAS32 moni) >

SIBAS Expert 프로그램의 주요 기능은 다음과 같다.



Presentation Function | Editing filters | Tabular Presentation

Bar Chart | Event window | Exporting data

< 그림 2-131. 데이터 평가 프로그램(SIBAS Expert) >

㉯ 유지보수 현황

종합제어장치(CCU)는 아래와 같이 주행거리 및 운행일수를 기준으로 정비되고 있다.

(경정비3, 40,000km/4개월) CCU 데이터 다운로드 및 분석, 조치

(중수선3, 480,000km/42개월) CCU 송풍유니트 및 퓨즈 점검, 리튬전지 교환

(중수선6, 960,000km/7년) CCU 각 카드류 취거 청소

또한, 전기기관차에는 열차운행정보 전송장치(RTD)가 설치되어 있어 MVB 통신을 통해 수집된 열차운행 관련 자료를 지상장치의 서버에 수신 저장하고, 열차운행정보를 지상의 사용자가 수시로 검색 및 출력 할 수 있도록 한다.

< 표 2-35. 종합제어장치의 유지보수 현황 >

종류	유지보수				요구사항
	거리(km)	회기	유지보수 내용	관련사진	
경정비3	40,000	4개월	고장기록 다운로드 및 분석 * 고장기록 다운로드(현황) 열차정보무선정보장치(RTD)에 의한 차상컴퓨터 데이터 자동 전송		열차정보무선정보장치(RTD)와 연동 검토 <표5-1 참고>
중정비3	480,000	42개월	송풍유니트 분해청소 /리튬전지 교환		-
중정비6	960,000	7년	각 카드류 청소		IP65 규격 준용

(다) 화면표시기(MMI: Man Machine Interface) 인터페이스 검토

① 기능 및 구성

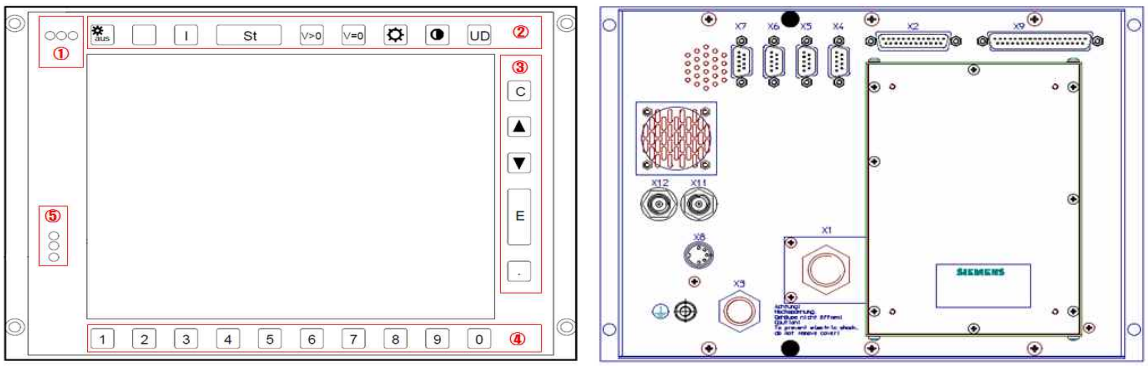
전기기관차 화면표시기는 운전실 데스크에 설치되어 있는 디스플레이로 운전 및 유지보수요원에게 기계와 사람 간 시청각적 인터페이스 기능을 제공한다. 디스플레이는 MVB를 통해서 기관차의 제어장치(CCU)와 연결되며, 운전 및 진단 데이터에 대한 정보를 그림이나 텍스트로 나타내고, 특별한 경우 기관사에게 음향신호로 경고를 한다.



< 그림 2-132. 화면표시기(MMI)의 외형 >

② 화면표시기(MMI)의 하드웨어 인터페이스

㉮ 하드웨어 구성



< 그림 2-133. 화면표시기(MMI)의 하드웨어 구성 >

< 표 2-36. 화면표시기 하드웨어 인터페이스 >

커넥터	용도	커넥터 타입
X1	전원공급	Air-LB,5-pole,male,large type
X3	Slot coding / Loudspeaker connector	Air-LB,7-pole,female,small type
X4	Port For the PC/104 interface card	Sub-Min D, 9-pole
X5	Port For the PC/104 interface card	Sub-Min D, 9-pole
X6	COM4: RS232 interface	Sub-Min D, 9-pole, male
X7	COM4: RS232 interface	Sub-Min D, 9-pole, male
X11	Ethernet 10Base2	TNC
X12	Ethernet 10Base2	TNC

< 표 2-37. 전면패널 기능키 >

구분	구성 및 기능	
상태표시등(LEDs)		
상부키(Hard Key)	aus	Switches the background lighting of the display off.
		Button for the switch over between English and Korean.
	I	Information-key - calls up additional information (if any is available).
	St	St-key- always leads to an overview of malfunctions
	V>0	Remedial measures for the currently present malfunction at a speed > 0.
	V=0	Remedial measures for the currently present malfunction at a speed = 0.
		Opens the brightness dialog box.

		Manual switch-over between the brightness for day and night.
		Switches the maintenance mode off or on in connection with the St-key.
우측키(Hard Key)		Unless the meaning of this key is described otherwise by a field on the display, it will lead one step back in the hierarchy of images.
		Scroll keys
		Enter-key/Return: Ends input
하부키(Soft key)		Number keys: so-called soft keys.
화면밝기센서		

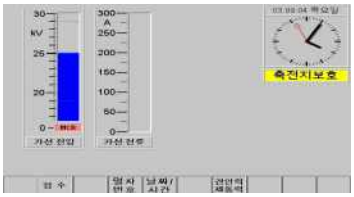
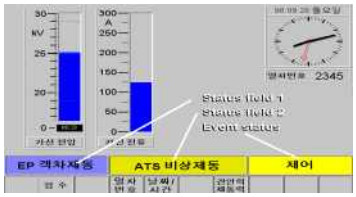
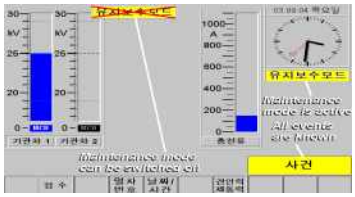
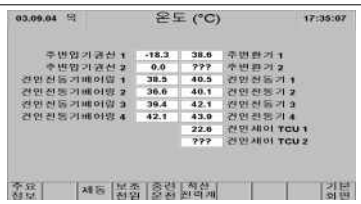
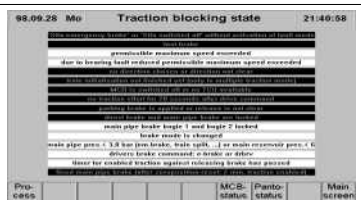
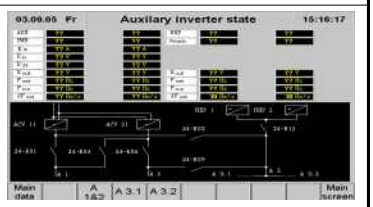
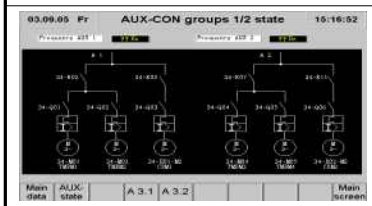
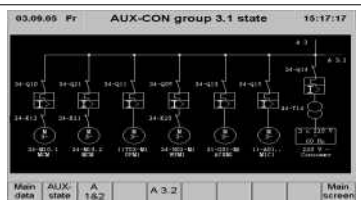
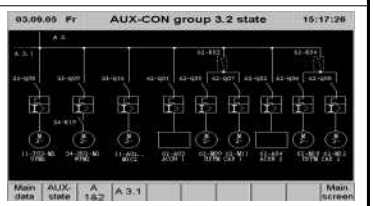
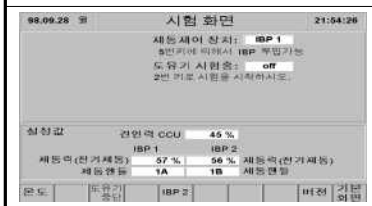
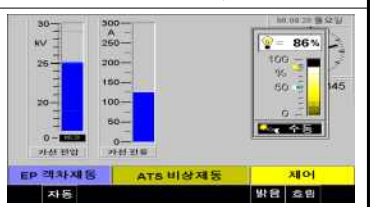
< 표 2-38. 화면표시기 하드웨어 사양 >

구분	사양
Dimensions (w x h x d)	Front panel: 300 mm x 214 mm Unit: 280 mm x 211 mm x 95 mm (136.5 mm)
Weight	Approx. 5.5 kg
Degree of protection	Front panel: IP65, Unit: IP30
Nominal voltage (UNOM)	24 V DC through 110 V DC
24 V DC through 110 V DC	X Static: -30 % to +25 % Dynamic: ±40 % (< 0.1 s)
Power input	Max. 50 W
Current consumption when unit Off	Typically 2.5 mA
Industry-standard PC	AMD ELAN520, 133 MHz, 32 or 64 Mbyte RAM
Mass storage unit	'Standard': hard disk = 10 Gbytes 'Touch' / 'Flash': flash drive = 128 Mbytes
TFT-LCD module Resolution Colors, Contrast Brightness, Viewing angle	640 x 480 pixels, Max. colors: 262,144 (dep. on operating system) Typically 250:1, 4 to 250 cd/m2 Typically ±45° (right/left), 20° (top), 30° (bottom)
Mechanical strength	In compliance with EN 50155
EMC	In compliance with EN 50121-3-2
Enclosure	Aluminum, yellow-passivized, front black
Operating temperature range	-25 ℃ to +55 ℃
Storage temperature range	-25 ℃ to +70 ℃
MTBF, excel. fan, LCD backlighting and PC/104 card	'Standard': 64000h, 'Touch': 64342h, 'Flash': 64000h
Fire load	'Standard': 17264 kJ, 'Touch': 16914 kJ, 'Flash': 16646 kJ

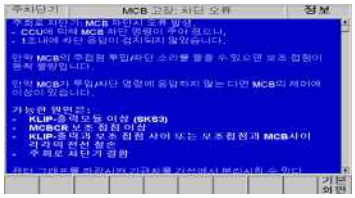
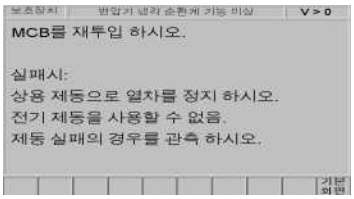
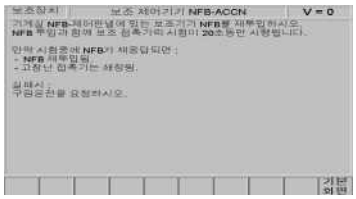
③ 화면표시기(MMI)의 소프트웨어 인터페이스

화면표시기는 다음과 같은 소프트웨어 구성을 통해 운전 및 진단데이터에 대한 정보를 운전자 또는 유지보수 요원에게 시각적으로 전달하고, 음향신호를 통해 경고한다.

< 표 2-39. 화면표시기(MMI)의 기본화면 >

		
기본화면(단독편성)	기본화면(Warming-up Mode)	기본화면(중련편성)
		
주요정보(Main Data)	주요정보(Process Data)	주요정보(Energy Meter)
		
주요정보(DSK)	상태정보(견인차단)	상태정보(주회로차단기)
		
상태정보(팬터그래프)	상태정보(제동)	상태정보(보조전원)
		
상태정보(보조전원 1,2)	상태정보(보조전원 3.1)	상태정보(보조전원 3.2)
		
시험화면	기관차 버전	중련상태
		
날짜/시간 입력	열차정보 입력	날짜/시간 입력

< 표 2-40. 사건기록 및 조치, 소프트웨어 설치 >

<table>
<tr>
<td> 
사건목록(현재사건)</td>
<td> 
사건목록(모든사건)</td>
<td> 
사건 코멘트</td>
</tr>
<tr>
<td> 
조치사항(V>0)</td>
<td> 
조치사항(V=0)</td>
<td> 
소프트웨어 설치</td>
</tr>
</table>

< 표 2-41. 화면표시기 소프트웨어 인터페이스(디스플레이) >

구분		시스템 요구사양	비고
Display - images	Basic images	Single traction, Multiple traction, Maintenance Mode, Warming-up Mode, Tractive Power (tractive motor single traction), Teactive Power (multiple traction)	
	Other images	Main data / 주요정보, Process data / 온도, Process data / 적산전력계, DSK / 기록장치, State / 견인차단, State / MCB release condition, State / 팬터그래프, Brake / 제동, State / Auxiliaries converter, State / Aux group 1,2, State / Aux group 3.1, State / Aux group 3.2, Test / BCD Switch-over, lubrication, traction/braking effort, Driver Brake Handle position, Multiple operation versions	
	Input masks	Setting of time, Input of train number, Control of brightness	
Diagnosis		Overview of malfuntions, Overview of malfuntions (codes are displayed and via time), Overview of malfuntions (remedied malfuctions display, since display start) Remedial measure, Comment on a malfunction Remedial measure for a malfunction at v>0 Remedial measure for a malfunction at v=0	
Display-Sofeware		Program Update & Download (USB 2.0)	

< 표 2-42. 화면표시기 소프트웨어 인터페이스(Speech output) >

구분	Issued text	Frequency	비고
Speech output	ATS emergency	continuously	
	Parking	3 times	
	Sifa	continuously	
	Protection radio occurance	3 times	
	Sifa rapid brake	continuously	
	Backside monitoring device detected train separation	continuously	
	Neutral section detected	3 times	
	Protection radio received emergency brake	continuously	
	Protection radio received emergency situation	continuously	
	Regeneration brakw failure	3 times	
	Dead section detected	3 times	
	event	3 times and after 30s	

(라) 요구사항 및 차량 인터페이스 도출

① 종합제어장치(CCU)

< 표 2-43. 하드웨어 >

구분	요구사양	비고
외함 치수	기존품과 동일	
커넥터 연결	기존품과 동일	
버스 인터페이스	다기능 차량버스 MVB(Multifunctional Vehicle Bus)	
	인통버스 WTB(Wired Train Bus)	
데이터 인출	(무선) 열차정보무선전송장치와 연동	
	(유선) USB 인터페이스	
시스템 백업	CCU 이중화 설계	
보호규격	IP65, IP30	
EMC	EN 50121-3-2	
동작온도	-35℃ to +70℃ 이내	

< 표 2-44. 소프트웨어 >

구분	요구사양	비고
통신	차량 내·외부 통신 시스템(MVB, WTB) 호환성	
제어	기존 장치와 동등한 성능의 차량제어 기능	
	통신 프로토콜 분석장치 개발	
	제어 로직은 도식화, 기능 설명서 작성	
	비교 시험을 위한 시험기(Simulator) 제작	
내부기능	CCU의 감시, MVB 포트의 감시, WTB 포트의 감시	
진단 및 기록	기존 고장코드 및 진단 목록 유지 모니터 프로그램과 데이터 평가 프로그램의 개발	

② 화면표시기(MMI)

< 표 2-45. 하드웨어 >

구분	시스템 요구사양	비고
치수	Front panel: 300 mm x 214 mm Unit: 280 mm x 211 mm x 95 mm (136.5 mm)	
Connection	기존 제품과 동일	
중량	Approx. 5.5 kg (이하 경량화)	
동작전압(UNOM)	24 V DC through 110 V DC 이내	
동작온도	-35℃ to +70℃ 이내	
저장공간	Standard': hard disk = 10 Gbytes 이상	
MTBF	Touch': 64342 h 이상, Flash': 64000 h 이상	
EMC	In compliance with EN 50121-3-2	
보호등급	Front panel: IP65 Unit: IP30	
기계적 강도	In compliance with EN 50155	
LCD 표시기	표시형식 10.4' TFT LCD 이상 해상도 800 ×600 이상, 광도 400cd 이상 자동밝기 조정, 시야각 (-)80~80° (H),(-)65~60° (V) 이상	
Touch Interface	4-wire USB Touh Panel Controller	
Interface (USB)	Program Update & Download (USB 2.0)	

< 표 2-46. 소프트웨어 >

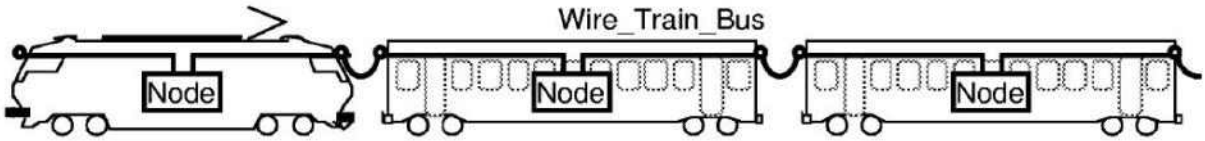
구분		시스템 요구사양	비고
Display-images	Basic images	기존 구성과 동일하게 구현	
	Other images		
	Input masks		
Diagnosis		사건코멘트 수정 S/W(Tool Book) 개발	
Display-Sofeware		Program Update & Download (USB 2.0)	
Speech output		기존 구성과 동일하게 구현	

(3) MVB 통신 프로토콜 분석 및 검증

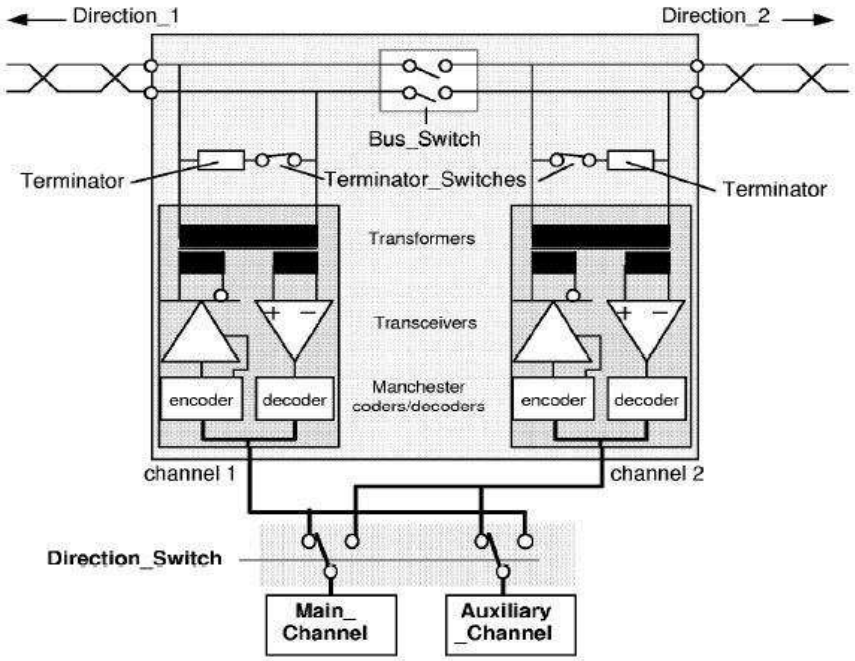
(가) WTB 프로토콜 분석 및 검증

① WTB 통신 분석 장치 구성

WTB(Wired Train Bus)는 Serial Data 통신을 통해 차량 간 서로 연결하여 통신한다. WTB는 국제적인 UIC 556의 요구사항을 이행하도록 한다.



< 그림 2-134. WTB 주요 구성 >

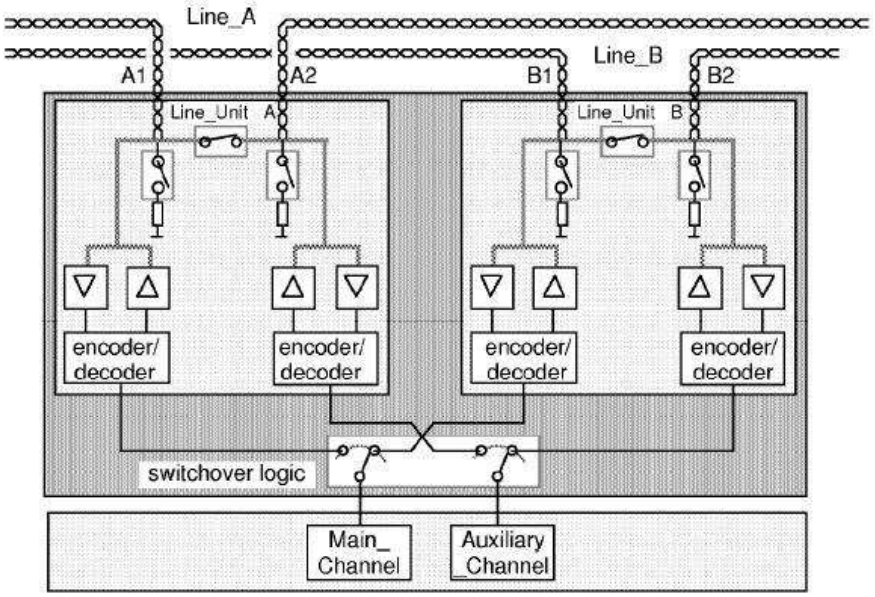


< 그림 2-135. 전송 매체 단위(종단 노드의 스위치) >

노드에는 각 방향마다 1개씩인 2개의 송신기를 가진다. 송신기는 Transformer에 의해 선으로부터 절연되어진다. 송신기(Transceivers)는 맨체스터 encoder/decoder에 부착된다. 각각의 송신기가 프레임을 송신(Main_Channel)/수신(Auxiliary_Channel) 할 수 있는 한 채널에 부착된다.

상단에 버스 스위치는 열려 있을 때, 버스 섹션을 연결이 되지 않도록 한다. 단말기 스위치는 닫혔을 때, 단말기로 삽입되어진다. 방향 스위치(Direction_Switch)는 Main_Channel과 Auxiliary_Channel을 선택하여 연결한다.

위 스위치 설정은 노드의 역할에 따라 다르다. 열차 중간에 중간 노드(Intermediate_Node)는 버스 섹션을 연결하고 단말기를 제거한다. 이 때, 중간 노드는 Main_Channel(송신)만 사용하고 Auxiliary_Channel(수신)은 사용하지 않는다.

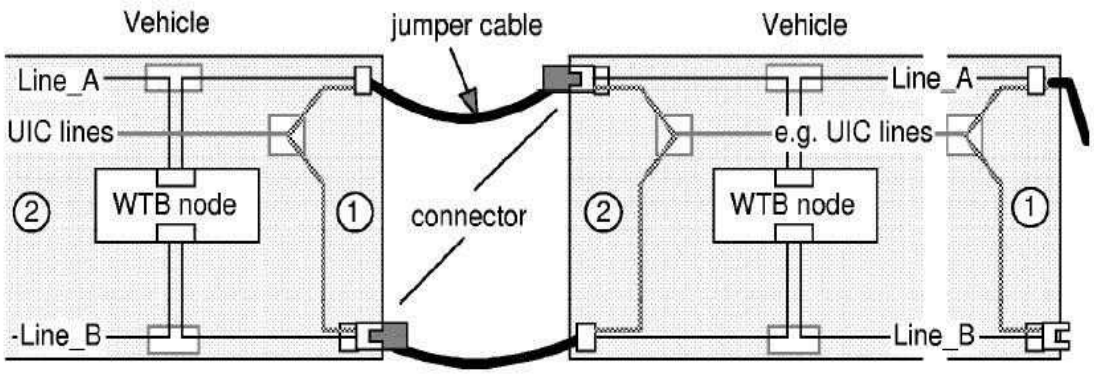


< 그림 2-136. WTB 이중 라인 UNIT >

노드에 꽂히는 두 개의 선을 Line A, B를 2개 채널이라 한다.

- Bus Switch : Open시 bus section은 연결 안됨.
- Main Channel : Sending Frame
- Auxiliary Channel : Receiving Frame

Train_Bus에 운반된 정보가 비록 직접적인 안전성과 관련이 없더라도 Train_Bus 고장은 열차의 고장의 원인이 될 수 있다. WTB는 Medium duplication scheme을 제공한다. 노드는 항상 두 라인 상으로 송신한다. 각 노드는 한 라인으로부터 수신한다.



< 그림 2-137. WTB 선 배열(Top View) >

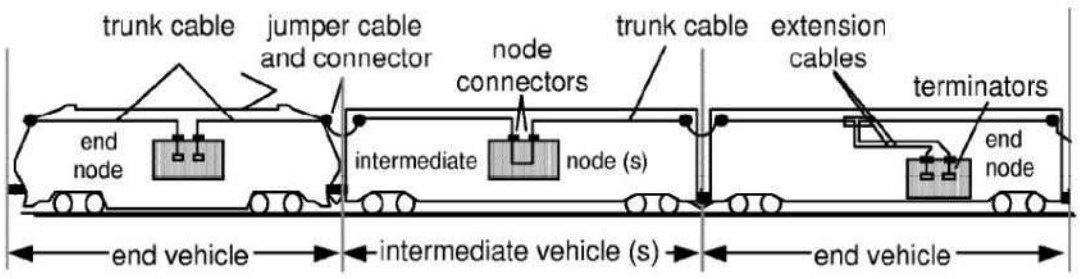
WTB는 Shield된 꼬인 선 쌍으로 동작한다. 이 전송 매체는 높은 기계적 안전성을 나타낸다. WTB 케이블은 두 개의 병렬 커넥터를 통해 실행되도록 분할 될 수 없다. 그러므로 양쪽에 Jumper 선이 플러그로 되어져 있다. 그러나 각각의 데이터가 다른 WTB 데이터로 운반되어진다.

< 표 2-47. WTB 사양 >

분류	설명
Topography	버스를 형성하는 케이블 섹션 체인
전송매체	차폐 된 꼬인 전선 쌍 120
길이	860m, 32 노드 (최대 62 노드까지 가능)
물리적 Redundancy	더블 라인 물리적 매체
신호(Encoding)	Manchester encoding (Preamble을 16bit~32bit 가짐)
신호 전달 속도	1 Mbit/s
주소 체계	single cast : (Inauguration에 의해 할당된 6 bit 위치 주소)
Frame 사이즈	사용 가능 데이터 : HDLC Frame당 4~132 octets(byte)
Integrity(완전성)	Frame당 16 bit FCS(Frame_Check_Sequence), Frame 사이즈 관리
매체 할당	한 개의 Master에 의해서 할당
트래픽	Process_Data에 관해 주기적임 (25ms 주기) Message_Data와 Supervisory Data에 관해 비주기적임
Mastership(Master 통제)	각 노드는 Inauguration에 의해 Master가 될 수 있음.
Master Redundancy	Master통제는 Inauguration을 통해 또 다른 노드에 이식
Link_Layer 서비스	Process_Data : 송신 주소 변수의 브로드 캐스트 Message_Data : 데이터그램 Supervisory_Data : 버스 관리
Layer 관리	Link 관리 인터페이스
옵션	커넥터 세척을 위한 라인 fritting 회로

㉮ WTB 형상

WTB(Wired Train Bus)는 쉴드 되고 꼬여진 전선 쌍 상에서 데이터 속도(1Mbit/s)로 동작한다. WTB는 최대 860m까지의 거리에 32개 노드까지 상호 연결 할 수 있다. 더 긴 거리와 더 많은 노드 수 (최대 62개 까지) 달성 할 수 있다. WTB 전달 매체는 다른 차량에 의해 운반된 선 섹션의 체인에 의해 형성된다.



< 그림 2-138. WTB 형상 >

노드는 trunk cable 또는 extension cables를 통해 직접적으로 연결된다. 케이블이 tap 되지 않기 때문에 이 선은 stub들이 없이 제공한다. 규칙적인 동작으로 각 노드는 Trunk cable로 삽입되어지고 두 가지 버스 영역으로 연결된다.

버스의 중간에 위치한 노드, 또는 중간 노드(Intermediate_Node)는 그들과 연결된 두 버스 섹션과 연결된다. 그 중간 노드는 그들의 단말기(Terminator)가 제거되도록 한다. 버스의 끝에 위치한 노드, 또는 종단 노드(End_Node)의 두 선 섹션과 연결하지 않는다. 종단 노드는 종단노드와 단말기가 연결된 두 버스 섹션을 전기적으로 한정한다.

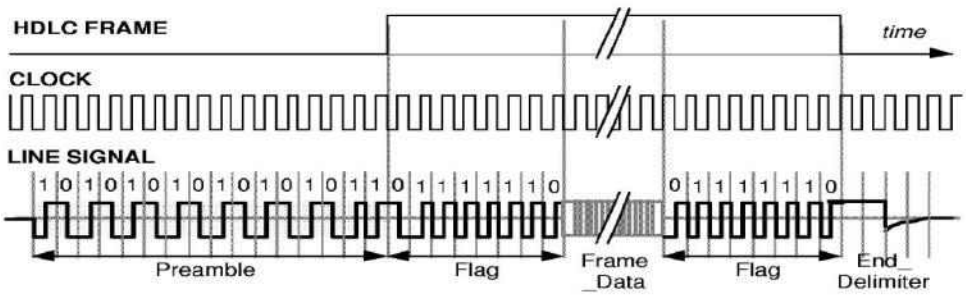
WTB는 주어진 시간에 한 싱글 Master에 의해 조절된다. Master 통제 하에, WTB는 주기적으로 Process_Data를 Broadcast 한다. 요구에 따라서, Message_Data를 또한 송신한다. Mastership은 노드 고장 또는 구성품 변화에 대응하여 Master가 이식되어질 수 있다.

차량 구성이 변할 때, WTB는 스스로 자동적으로 노드 주소 및 모든 노드에 새로운 형상을 분배하고 재배열한다. 이러한 영향으로, Master는 선 섹션을 연결하기 위해 노드가 중간 위치에 있도록 지시하거나 종단 노드가 종단에 단말기에 삽입되도록 명령한다. 이러한 절차를 개시(Inauguration)라 부른다. 여기서, 개시는 각 노드에 주소와 Master 측면에서의 방향을 재설정한다. 그래서 열차방향과 관계없이 모든 노드는 같은 정방향으로 인식한다.

WTB에서는 한 노드가 Master와 Slave로 동시에 될 수 있다. 비록 오직 한 개의 Master가 있더라도 여러 노드가 Master가 될 수 있는 능력이 있다. 이것은 Master 손실의 경우에 대비하여 redundancy를 제공한다.

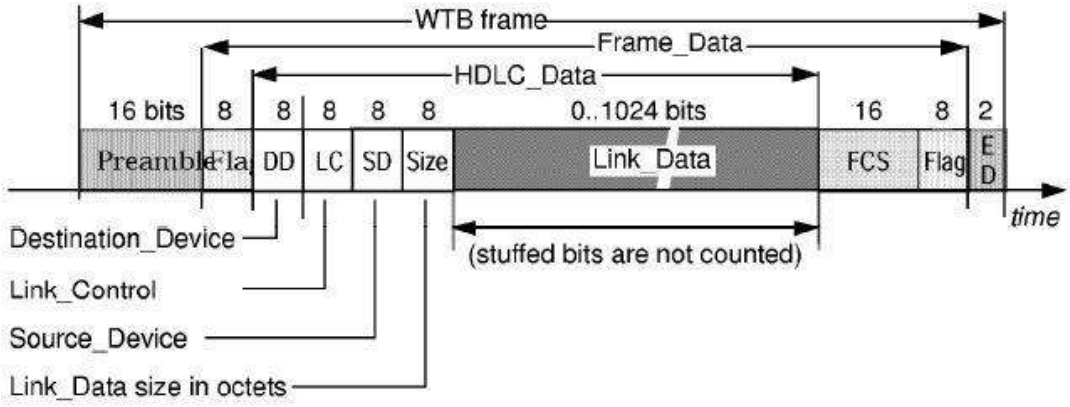
㉰ WTB 신호

송신된 데이터는 Manchester code로 Encoding 된다. 디코더의 정확한 동기를 확실히 하기 위해 각 프레임에는 16bit, 32bit의 Preamble이 추가된다. Frame Data 뒤의 Flag 다음으로 End Delimiter가 따라온다.



< 그림 2-139. WTB 신호(맨체스터 Encoding) >

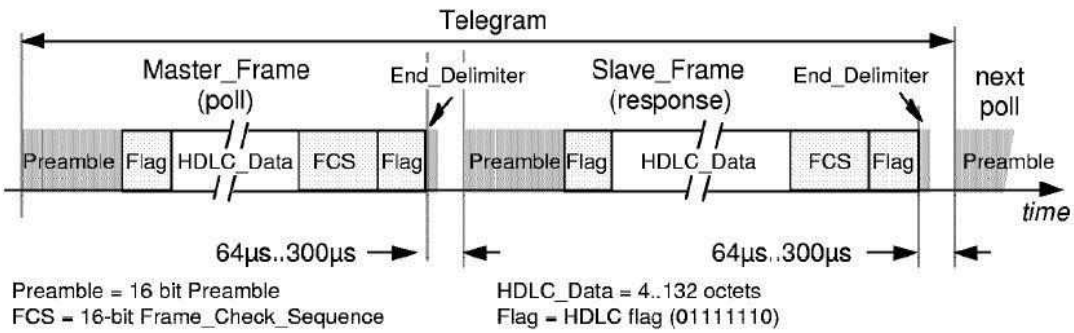
㉰ WTB 프레임 포맷



< 그림 2-140. Frame 포맷 >

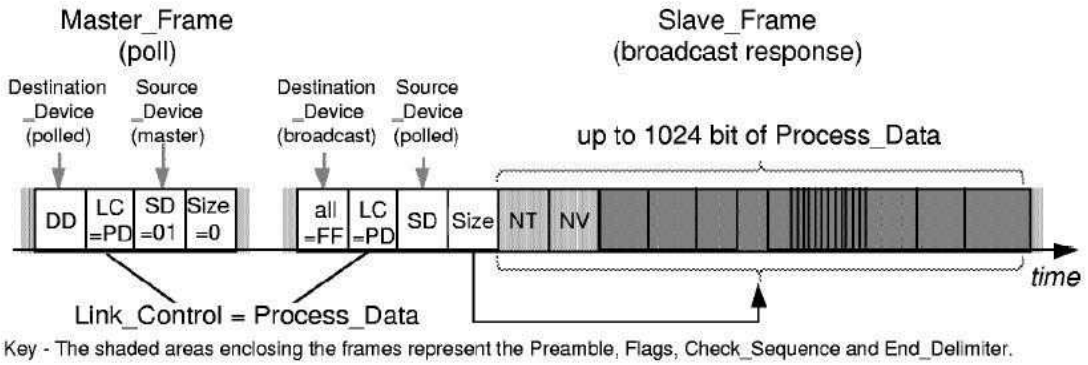
HDLC 토대로 Frame Format은 동일하다. Frame의 시작인 Preamble은 Manchester 인코더에 의해 발생되어지고 Manchester 디코더에 의해 제거된다. Preamble은 Frame_Data는 아니고 길이는 16bit~32bit 사이이다. Frame_Data는 범위를 8bit Flag에 의해 정해진다. 목적지 노드 주소인 Destination_Device의 8bit의 주소로 시작한다. 그리고 8bit Link_Control와 8bit Source Node의 주소인 Source Device에 관한 데이터가 있다. Size는 Link Data의 총 바이트 수를 나타낸다. Frame_Data는 134바이트 또는 1073비트를 운반한다.

다음으로 Link Data는 16bit FCS(Frame_Check_Sequence)를 따른다. FCS 다음으로 Flag는 End_Delimiter를 따른다. Frame Check Sequence는 CRC(Cyclic Redundancy Check)로 정의된다. 비트 반전에 대항하는 4개의 해밍 거리를 제안하는 HDLC 에러 검출은 향상된다.



< 그림 2-141. WTB 텔레그램 >

WTB 텔레그램으로 Master는 송신 Slave와 한 개 또는 여러 Slave와 통신한다. Master가 Master Frame을 Broadcast로 송신한다. 선택된 Slave는 Slave Frame으로 Broadcast로 답한다. 모든 노드에 Master나 Slave가 Broadcast이다.



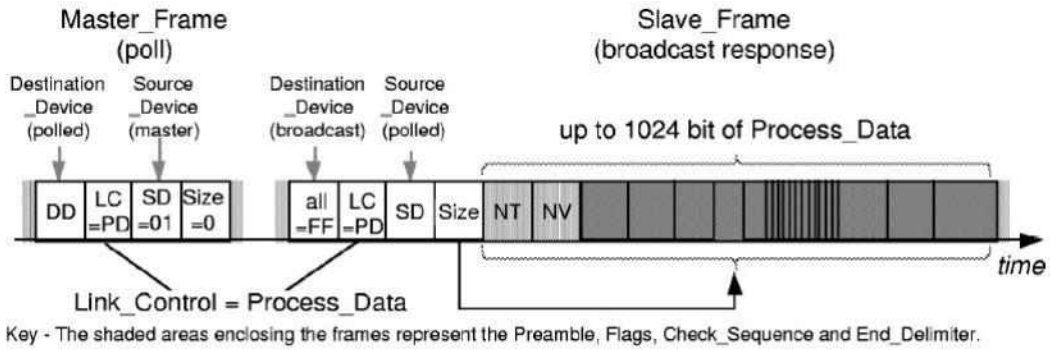
< 그림 2-142. WTB Process Data 텔레그램 >

Master로부터 수신 받았을 때, Slave는 같은 타입의 Frame으로 대답한다.

텔레그램의 세 가지 타입

- Process Data

  · Master가 한 노드에게 Process Data로 Poll할 때, Poll된 노드(Slave)는 Slave Frame으로 Broadcast한다.



< 그림 2-143. Process_Data 텔레그램 >

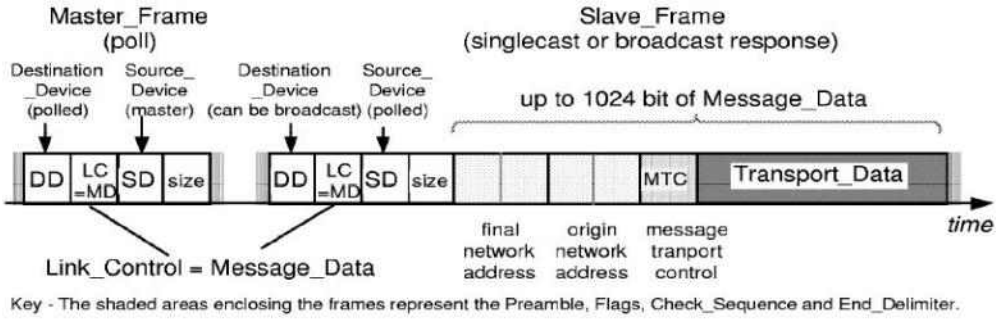
  · Master Frame이나 Slave Frame은 둘 다 Broadcast하고 Process_Data를 주기적으로 보내게 되고 sink되는 상태로서 모든 다른 노드들에 의해 수신된다.

  · 고정된 포맷의 Process_Data Frame에 반응하는 노드는 각 시간의 구성 요소가 변하게 된다. 구성요소 변하는 동안 완전성을 높이기 위해 첫째 Process Data의 2Byte는 프레임의 내용물을 식별하도록 미리 넣어진다. [NT : Node_Type (8bit), NV : Node_Version (8bit)].

  · Master가 Process_Data 보낼 때, 처음에 Poll Frame을 보내고 나서 같은 타이밍에 Slave_Frame은 Slave였던 것처럼 self-polling을 할 수 있다.

- Message Data

  · Master가 Message Data로 Poll할 때, 메시지 패킷을 포함하는 노드는 Slave Frame에 반응한다.



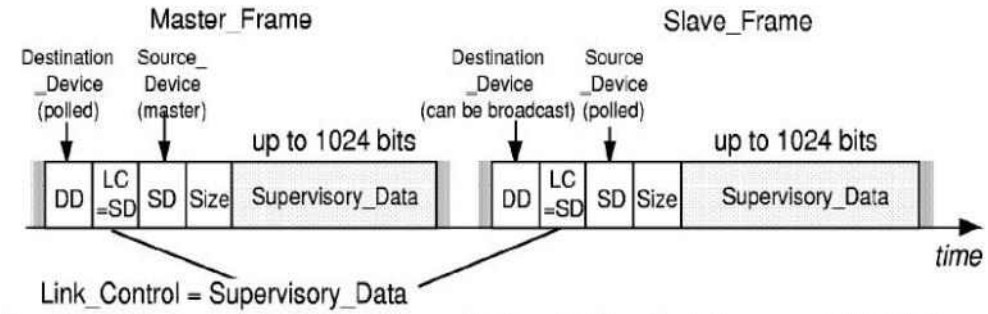
< 그림 2-144. Message_Data 텔레그램 >

· 서로 동기화된 한 목적지에 의해 수신된다.(Multicast 프로토콜 아님) Slave Frame은 처음 4바이트 형태는 링크 헤더이다. 그 메시지 Slave Frame은 또한 a Message Transport_Control field 및 Transport_Data, 4Byte 네트워크 헤더(Final network address, Origin network address)를 포함한다.

· 이러한 필드는 링크 레이어와 관련 있지 않다. 그러한 형식은 모두 WTB 프레임에 관해 동일하다. Message_Data는 Process_Data와 달리 Message_Data 길이는 가변적이다. Poll된 노드가 송신 할 Message_Data를 가지고 있지 않을 때 size=0 피해야 한다.

- Supervisory Data

· Process_Data 및 Message_Data외 추가적으로, Inauguration 및 Configuration을 위해서 WTB는 다음으로 Supervisory_Data를 송신한다.



< 그림 2-145. Supervisory 데이터 텔레그램 >

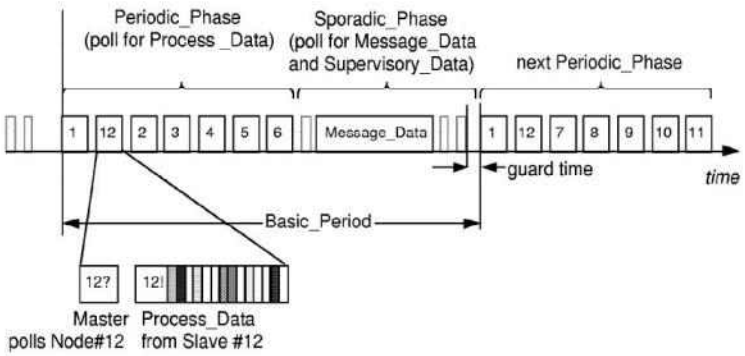
· Master Frame 및 Slave Frame 둘 다 정보를 송신한다. Supervisory Master_Frame은 Broadcast 목적지 주소(DD)를 가질 수 있다. 이런 경우 Slave_Frame은 없지만 Master는 Slave_Frame이 기대되는 것과 같이 시간이 흐르는 타임아웃 동안 기다린다.

< 표 3-10. Supervisory 프레임의 파라미터 >

Parameter	Size	Meaning
LC	8 bits	Link_Control, specifically:
	-	Topography_Request / Topography_Response
	-	Detect_Request / Detect_Response
	-	Naming_Request / Naming_Response
	-	SetEnd_Request / SetEnd_Response
	-	SetInt_Request / SetInt_Response
	-	Presence_Request/Presence_Response
	-	Status_Request/Status_Response
	-	Unname_Request
BN	8 bits	Bottom_Node (address of bottom Node)
DD	8 bits	Destination_Device
MR	8 bits	Master_Report
MT	12 bits	Master_Topo
ND	32 bits	Node_Descriptor(= NF + NP + NT + NV)
NK	16 bits	Node_Key (Node_Type + Node_Version)
NR	8 bits	Node_Report
NF	8 bits	Node_Frame_Size
NT	8 bits	Node_Type
NP	8 bits	Node_Period
NV	8 bits	Node_Version
Topography	variable	Topography (32 + n x 16 bits)
res	8 bits	reserved octet, set to 0
RS	8 bits	Remote_Strength
SD	8 bits	Source_Device
YA	8 bits	Your_Address
YP	4 bits	Your_Period
YS	8 bits	Your Strength

- WTB medium access

· Master는 중간 접근을 담당한다. 모든 다른 노드들은 Master에 의해 Poll할 때 반응하는 Slave이다. 규칙 동작 동안 Master는 주기적으로 동작한다. 버스 활동을 주기적인 Phase, 비주기적인 Phase로 기본 주기를 나눈다.



< 그림 2-146. WTB 주기적 및 비주기적 송신 >

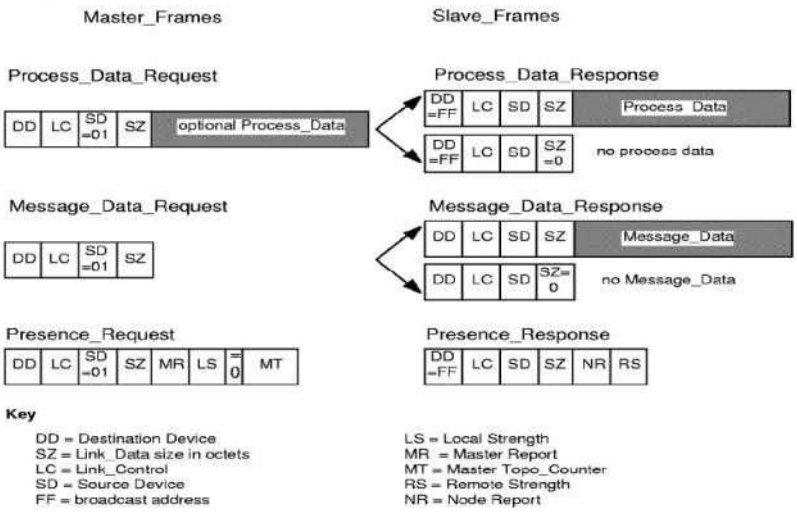
· Periodic_Phase 기간 : Process_Data동안 Poll할 때이다.

· Sporadic_Phase 기간 : Message_Data와 Supervisory_Data동안 Poll 할 때이다.

· inauguration과 configuration으로 control하니까 산발적(비주기)이게 된다.

㉮ WTB의 동작

Master 프레임과 Slave 프레임은 규칙적인 동작을 한다.



< 그림 2-147. 주기적 동작의 Master 프레임과 Slave 프레임의 동작 >

Process_Data에서 Master Frame이나 Slave Frame의 Process_Data는 선택적이다. 또한, Message_Data에서 Master Frame에는 없고 Slave에는 선택적이다.

- WTB Inauguration

· Master 바뀌고 composition 변할 때, 차량이 coupled 또는 uncoupled되는 특별한 각 시간에, Master는 버스를 배열한다. 이 절차는 Inauguration이라 한다.

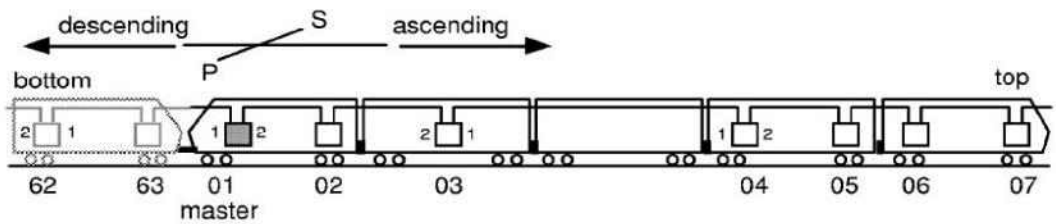
- Inauguration 절차

· 맨 끝에서 Terminator를 가진 한 싱글 segment를 형성하기 위해 노드들은 전기적으로 그들의 케이블 부분과 연결한다.

· 각 노드는 노드 위치를 식별할 수 있는 유일한 주소를 받는다. 그리고 Master 측면에서 그것의 바라는 독립적인 기간에 대한 Master에게 방향성 및 노드 설명어 Master에게 알린다.

· 각 노드는 주소, 위치 및 다른 노드의 설명어를 표시하는 토포그래피라 불리는 설명어를 받는다.

· 노드 주소 배정 : 이 개통 절차는 각 노드의 위치 주소를 할당한다.



< 그림 2-148. 노드 주소 할당 기법 >

· Master 62노드까지 되고 이름 없는 노드는 Unnamed 주소로 표기한다. Inauguration의 결과로 각 노드는 위치 변화를 인지하고 상승하거나 내려가는 순

서로 이름이 지어지게 된다. 주소, 위치, 모든 노드 타입을 표시하는 토포그래피이다. 이 Scheme은 모든 차량이 적절하게 선으로 연결되어진 것으로 요구한다.

- WTB 노드 설정

· 이 WTB는 Master가 한 노드로 임명해야 한다. 이 노드는 Strong_node 및 Master로 부른다. 다른 Strong_Node가 없으면 Master는 버스를 조절한다. 이 구성에 다른 Strong_Node는 없다. 설계된 Master 없이 WTB가 동작하도록 허용하기 위해, 이 WTB는 여러개 노드가 Master가 되도록 허용해야 한다.

· 처음에는 전부 Master(Weak_Node) 특정 시간에 Weak_Node는 버스 활동 없이 검출한다. 한 Weak_Master가 되고 이웃 노드에 이름 붙여지게 한다. Master로서 활동하는 노드는 WTB 조절 하에 변할 것이다. 예를 들면 되돌릴 수 있는 (밀고 당기기) 트램은 종점에서 방향을 바꾼다.

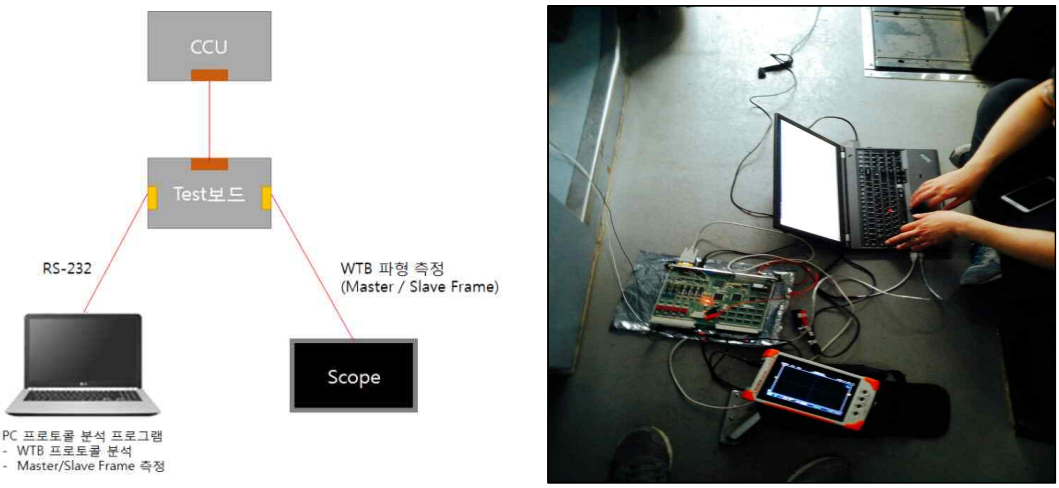
· 운전사는 운전석로부터 열쇠를 제거하고, 열차 반대 끝으로 걷고 반대편 운전석에 열쇠를 꽂는다. 방향 전환하면 Master가 또 바뀐다. 열쇠가 제거될 때, Master는 이전인 Weak_Master로 돌아간다. 그건 단지 강등되어진 것을 모든 노드에게 알린다. 예를 들면 불능상태로 견인과 같이 버스는 선택적으로 남지만 그 기능은 변화 세기에 알려지고 활동한다.

· 다른 노드에 기관사의 열쇠를 삽입하는 것은 그것을 강력한 노드로 증진시킨다. 열쇠 꽂는 쪽이 강력한 노드 Master가 된다. 그 약한 Master는 그 노드 중 하나를 증진되도록 검출한다. 그것은 그것이 제어 및 은퇴하고 Slave의 상태로 된 모든 노드에게 이름 짓지 않는다.

· 한 노드를 Master 임명하고 나머지 임명하기에는 시간 걸리므로 Master를 바꾸고 나머지는 유지한다. 또한 weak_Node로 버스 전체를 동작하는 것은 가능하다. 약한 노드 메커니즘은 Master 고장을 극복하는데 또한 사용된다.

② WTB 통신 프로토콜 측정

㉮ 프로토콜 측정 구성 및 방법



< 그림 2-149. 시험 구성 및 프로토콜 측정 >

< 표 2-48. 현차 프로토콜 측정 시 구성 장치 >

No.	장치명	수량	비고
1	현차 CCU	1	
2	오실로스코프	1	
3	Test 통신보드	1	
4	프로토콜 분석용 PC	1	

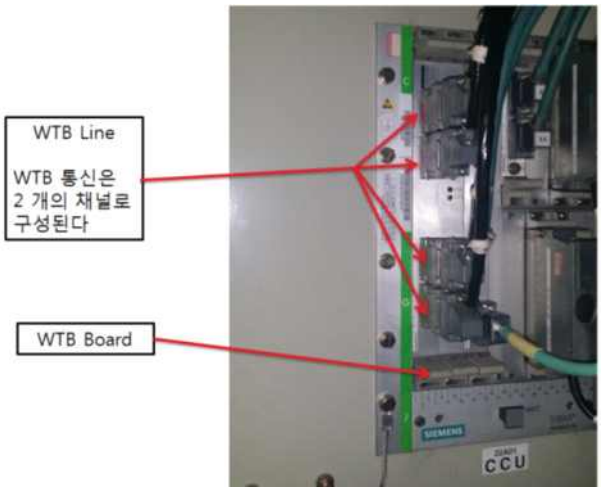
㉯ WTB 프로토콜 측정 방법

- CCU RACK

· 전기기관차 8200호대의 CCU RACK에서 파형 측정을 위해 기존 현차에 탑재된 CCU에 대한 커넥터별 기능은 아래와 같다.

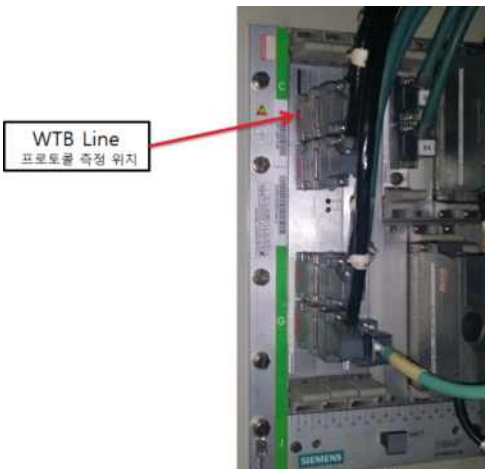
- WTB Board

· CCU RACK 상단에 4개의 WTB Line이 있으며, WTB 통신은 2채널로 구성된다. 사진 상 CCU의 좌측에 있는 보드가 WTB보드이다.



- WTB 프로토콜 측정 LINE

· 중련 시, WTB 프로토콜 측정을 위한 커넥터는 상단 그림과 같이 WTB Line 쪽에서 프로토콜을 측정하였다.



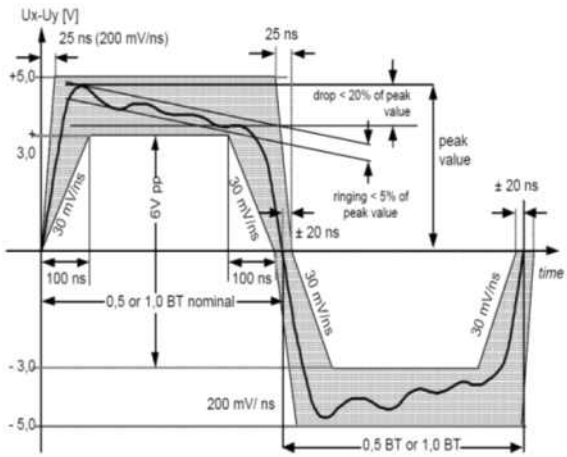
- WTB Test 보드

· 테스트 보드를 통해 전기기관차 8200호대에 탑재된 WTB보드에 대한 WTB신호를 분석하여 프로토콜에 파형을 측정하였다.



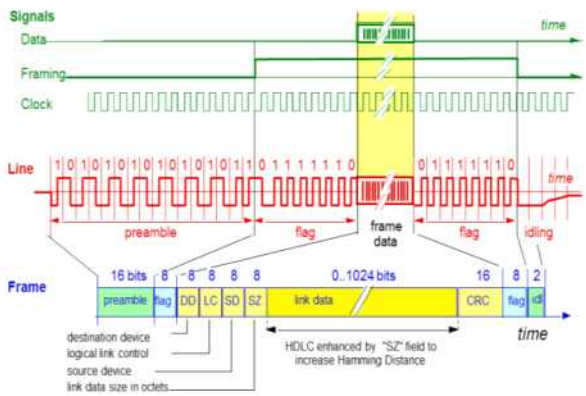
< 그림 2-150. WTB 프로토콜 측정용 테스트 보드 >

· WTB 신호에 대한 데이터 시트에서 송신기 상의 펄스파형 형태는 아래와 같다.



< 그림 2-151. WTB 신호 데이터 시트>

· WTB 신호에 대한 Frame의 subframe에 대한 포맷이다. 보내는 데이터를 clock과 동기 타이밍을 맞추어서 Framing 시 데이터의 부호화(엔코딩)가 각 subframe별 되는지 확인한다.



< 그림 2-152. WTB 신호 부호화 데이터 시트>

· WTB 신호에 대한 Frame의 subframe에서 동기를 맞추기 위한 16bit의 Preamble을 보여주며, 종단 구분문자 시퀀스인 delimiter는 Frame Data 뒤에 붙여져서 데이터의 boundary를 명시한다.

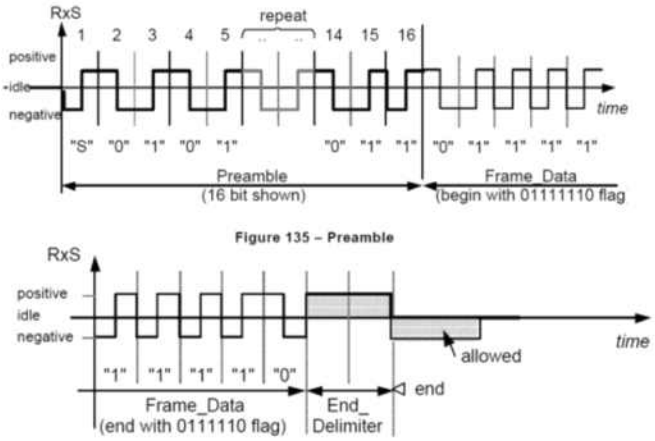


Figure 135 – Preamble

㉮ WTB 신호에 대한 프로토콜 측정 결과

- WTB 통신 파형 측정 (Master Frame)

· WTB 신호를 오실로스코프를 이용하여 파형 측정은 다음과 같다.



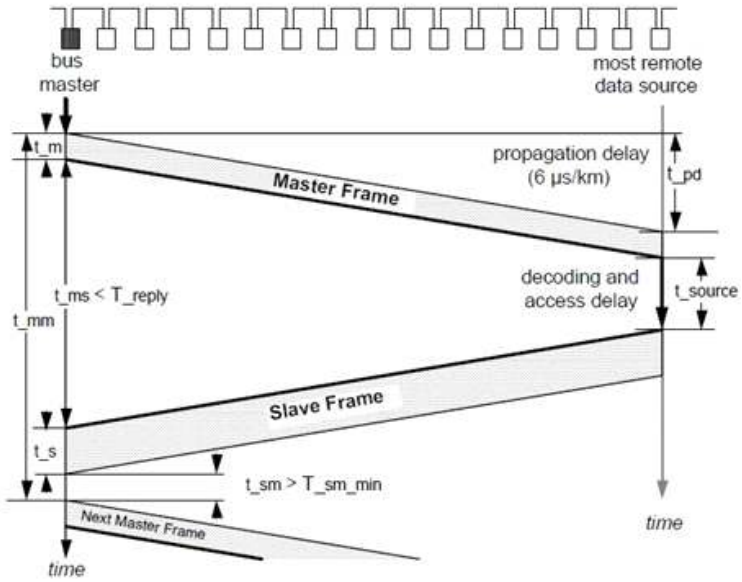
< 그림 2-153. Master Frame 통신 파형 >



< 그림 2-154. Master Frame 통신 주기 약 23msec >

- WTB 통신 파형 측정 (Slave Frame)

· 현재 Slave 장치가 연결되지 않아 Slave Frame이 존재하지 않음. Master Frame 프로토콜만 측정됨.



< 그림 2-155. Interframe Spacing >

- WTB 통신 프로토콜 측정 (Master Frame)

· 테스트 보드 1번 채널로 WTB Master Frame이 측정됨.

· 마지막 3Byte

· 03 : End Protocol

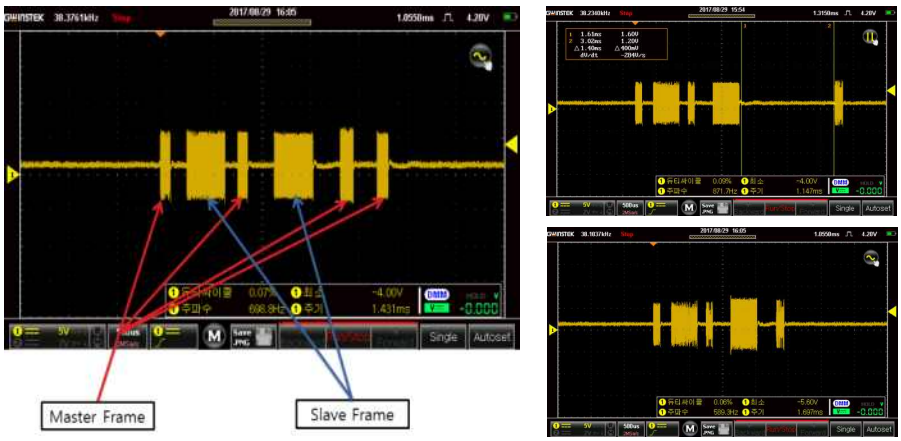
· EF 2B : CRC(CCITT)

· 약 23msec 주기로 Master Frame이 전달됨

· 현 시험은 테스트 보드로 1Mbps의 WTB통신의 프로토콜이 측정되는지 확인한 사항이다.

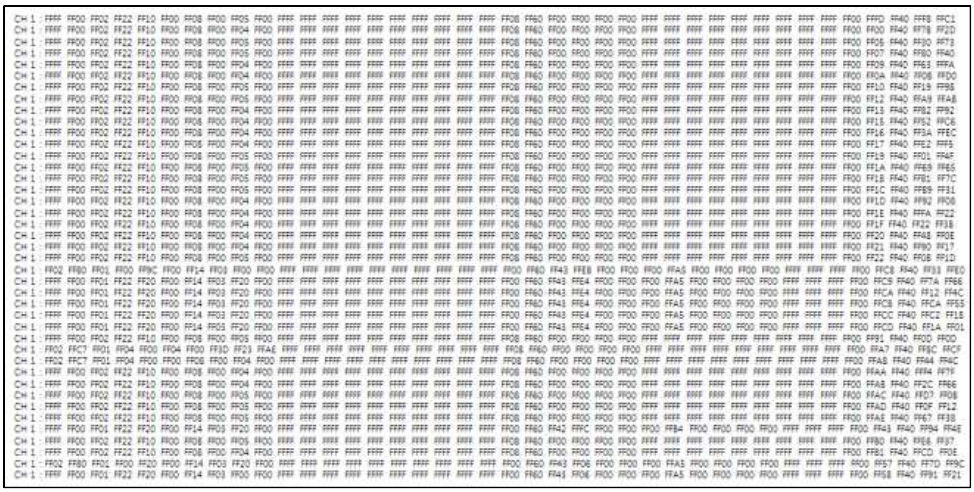
- WTB 통신 프로토콜 측정 (Master Frame / Slave Frame)

· 차량 간 중련을 통해 Master Frame 및 Slave Frame이 전달되는 것을 프로토콜 측정을 통해 확인 할 수 있다.



- 중련 시 WTB 통신 프로토콜 측정 (Slave Frame)

· 아래와 같이 WTB Slave Frame 프로토콜이 측정되었다.



< 표 2-49. Process response 배열 >

Index	Type	항목	설명
0	DEC	DD	목적지
1	DEC	LC	Link control
2	DEC	SD	출발지
3	DEC	SZ	사이즈
4	BIT0…BIT7		0x20 : 제동 체결, 가선전압 3.9kV 그 이외의 값은 : 제동완해, 가선전압 0V
5		Not used	
6	BIT0…BIT2		
	BIT3		[7].1 & [7].0에 영향을 준다.
	BIT4		0 : 제동완해 (가선전압이 0으로 되지 않고 정상적으로 출력됨) 1 : 제동체결 (가선전압이 0으로 되지 않고 정상적으로 출력됨)
	BIT5…BIT7		
7	BIT0		주차단기(MCB) : [6]번 BIT3비트의 영향을 받는다. [6].3 & [7].1 & [7].0 000 : 분홍색, OFF 001 : 분홍색, OFF 010 : 검은색, ON 011 : 검은색, ON 100 : 분홍색, OFF 101 : 분홍색, OFF 110 : 노란색, OFF 111 : 노란색, OFF
	BIT1		
	BIT2…BIT7		
8…21		Not used	
22	DEC	가선전압	[22][23] / 658 = 값에서 소수점 둘째짜리를 반올림한 값
23	DEC		
24	DEC	견인역, 제동력	[24][25] / 50 = 값
25	DEC		
26	DEC	가선전류	[26][27] / 32 = 값
27	DEC		
28	DEC	견인력, 제동력설정값	[28][29] / 50 = 값
29	DEC		

Index	Type	항목	설명
30	BIT0		기관차2 HEP1 사용불가
	BIT1		기관차2 HEP2 사용불가
	BIT2		기관차2 HEP 차단
	BIT3		LOCO2 기관차 제동모드 오류
	BIT4		_Defaulttext_Meldung_8
	BIT5		_Defaulttext_Meldung_8
	BIT6		_Defaulttext_Meldung_8
	BIT7		_Defaulttext_Meldung_8
31	BIT0		TMC 기관차 2 : 변압기 보호 -> MCB 개방
	BIT1		TMC 기관차 2 : 배터리 충전 오류
	BIT2		TMC 기관차 2 : TM 베어링 과온
	BIT3		TMC 기관차 2 : TM 과온
	BIT4		TMC 기관차 2 : 전기제동 고장
	BIT5		TMC 기관차 2 : TM 송풍기 고장
	BIT6		TMC 기관차 2 : MCB 투입이 잠김
	BIT7		TMC 기관차 2 : 최고 허용속도 추가
32…35		Not used	
36	DEC		응답할 때 마다 카운터를 하나씩 올린다.
37	BIT0…BIT5	Not used	
	BIT6		BIT6, 7 00 : 제동완해, 가선전압 0V 01 : 제동체결([4].5 = 1인 경우만 해당) 10 : 제동체결([4].5 = 1인 경우만 해당) 11 : 제동완해, 가선전압 0V
	BIT7		

(나) 장치별 MVB 프로토콜 분석 및 검증

① Potable MVB Analyzer 설계 및 제작

㉮ 개발목적

휴대 가능한 MVB 분석장치를 통해 차량 내부, 실험실 등 다양한 환경에서 통신을 분석할 수 있도록 “COMPACT”하고 분석대상의 MVB 통신 뿐 아니라 다른 외부 통신 분석하기 위하여 “Multiple” 한 인터페이스를 구축한 분석장치를 개발하였다.

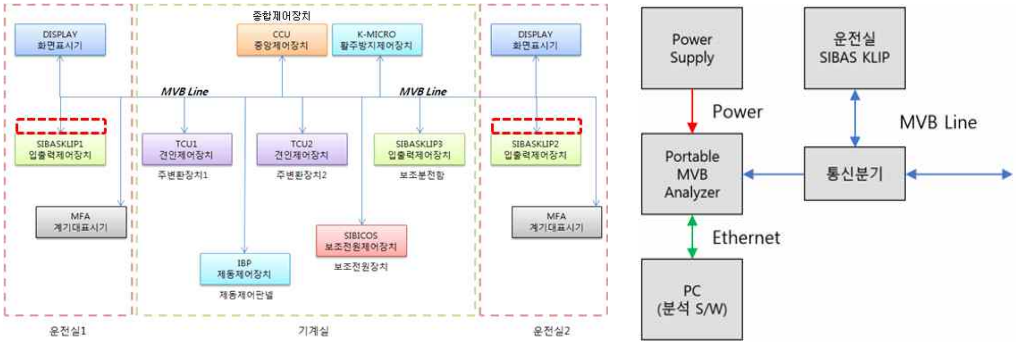
㉯ 개발조건 및 활용

- 개발조건

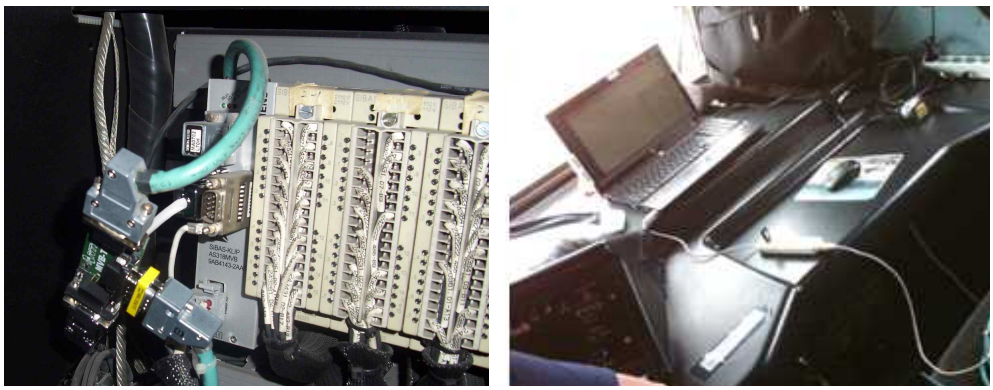
· Portable MVB 분석장치는 휴대가 용이하도록 무게와 크기를 줄이고, MVB 통신 뿐만 아니라 하부장치 간의 통신 분석이 용이하도록 Digital, Analog I/O 를 동시 송・수신하고 그 시간을 기록하여 입력과 출력의 시퀀스를 분석할 수 있도록 개발하였다.

- 분석장치 활용

· 현차 분석

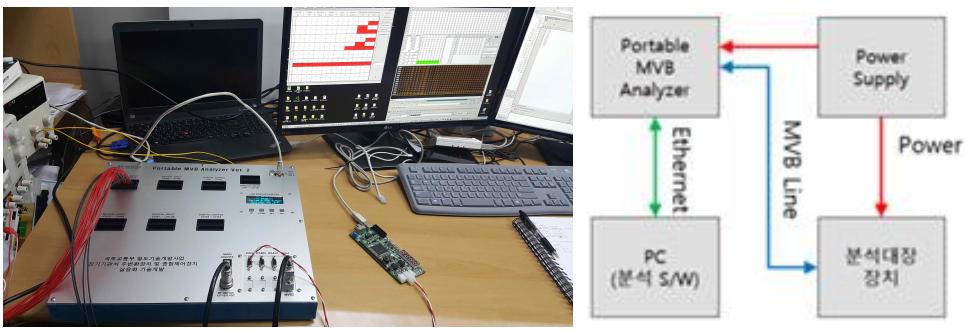


< 그림 2-156. MVB 통신프로토콜 측정위치 및 현차분석 시 장치 구성 >



< 그림 2-157. MVB 통신 분기 및 현차분석 >

· 연구실 분석



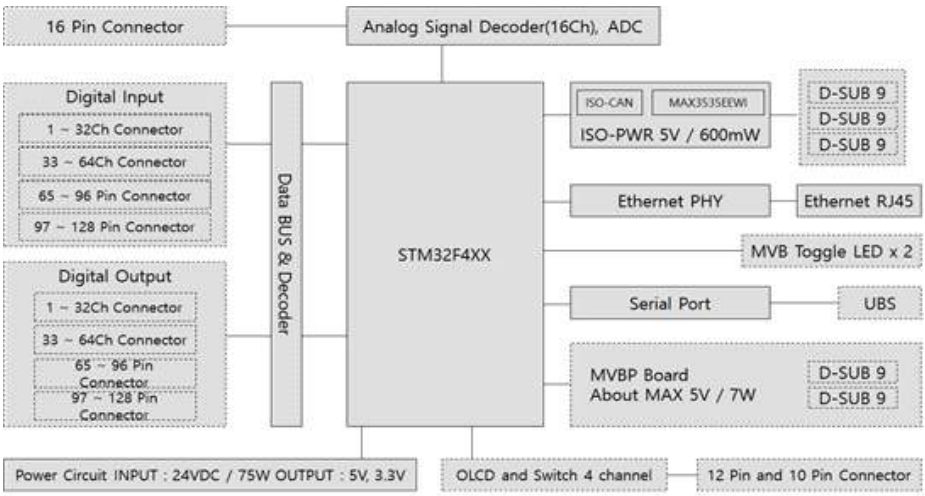
< 그림 2-158. 연구실 분석 및 현차분석 시 장치 구성 >

· 분석대상

전기기관차(8200호대)의 중앙제어장치(CCU: Central Control Unit), 추진제어장치(TCU: Traction Control Unit), 운전실화면장치(MMI: Man-Machine Interface), 제동제어장치(IBP), SIBAS KLIP 1, 2, 3, MFA, 활주방지 제어장치(K-Micro)

· 제품상세

Portable MVB 분석장치는 개발목적과 같이 다양한 환경에서 MVB와 Digital, Analog I/O를 분석대상의 동작 시퀀스를 동시에 분석하기 위한 장치이다.



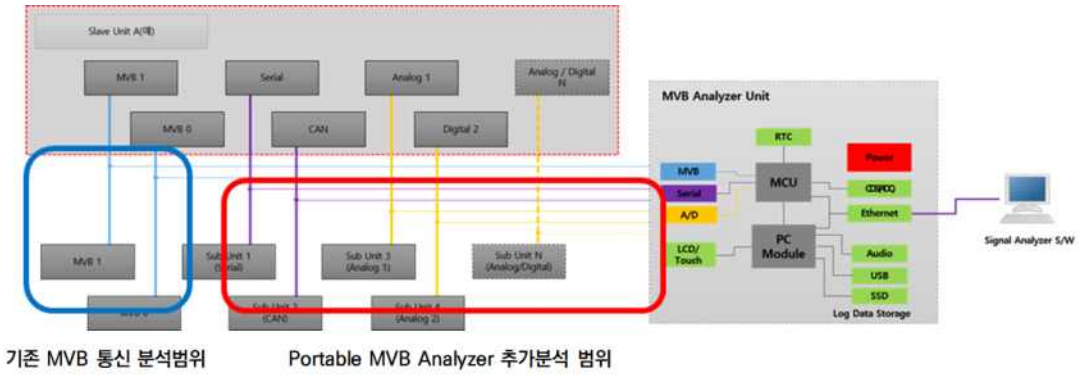
< 그림 2-159. Portable MVB Analyzer 구성 >

< 표 2-50. Portable MVB Analyzer 보드별 기능 >

Unit	Board	Qty	Function
Portable MVB Analyzer	Main Board	1	Main Control, Power Supply
	Digital Input Board	4	Digital Input Connect
	ADC Board	1	Analog to Digital Converting
	MVBP Board	1	MVB to PC/104 Converting
Software for Portable MVB Analyzer		1	GUI Based Analysis Program
			Logging Data Program

< 표 2-51. Portable MVB Analyzer 사양 >

항목	기존품	Portable MVB Analyzer
Core	ARM® Cortex®-M4 32 bit / 168 MHz / 512KB	좌동
RAM	192K x 8	좌동
I/O	-	Digital Input : 1 ~ 128 Port
	-	Digital Output : 1 ~ 64 Port
	-	ADC : 16 Channel
	-	CAN : 3 Port
	Ethernet : 1 Port(UDP)	좌동
	USB to Serial : 1 Port	좌동
	MVB : 2 Port	좌동
Power	DC 12V	DC 24V
Dimension (WxDxH)	183 mm X 216 mm X 17 mm	377 mm X 259 mm X 17 mm



< 그림 2-160. 기존품과 개발품의 분석 범위 비교 >

< 표 2-52. 기존품과 개발품의 기능 비교 >

시작품 분석프로그램 UI	시제품 분석프로그램 UI
* MVB 통신 Data 분석	* MVB 통신 Data 분석 * Digital In/Out Data 분석 * ADC Data 분석 * CAN Data 분석 ↓ 분석프로그램 내 설정 창을 불러옴
① MVB 통신 Port의 설정부분	① MVB 통신 Master OP Code(F code + Address) 설정화면 → 상세설정
② 가로열 기준으로 좌측 Port에 해당하는 MVB Data를 육안으로 확인 할 수 있으며, 클릭 시 숨김 기능	② Slave Data의 Byte의미 ③ 해당 Byte의 Bits 설정화면

· MVB 분석프로그램

GUI 기반의 분석프로그램과 데이터를 저장하는 저장프로그램으로 구분한다. 이때, Portable MVB Analyzer 장치로부터의 데이터 전송은 Ethernet 방식에 UDP 통신을 사용하며, 장치 Firmware 영역에 속하고 내용은 아래와 같다.

장치	Receive Port	Send Port
Portable MVB Analyzer Board → SW	20001	20002
SW → Portable MVB Analyzer Board	20002	20001

분석프로그램과 장치간의 제어명령은 아래와 같다.

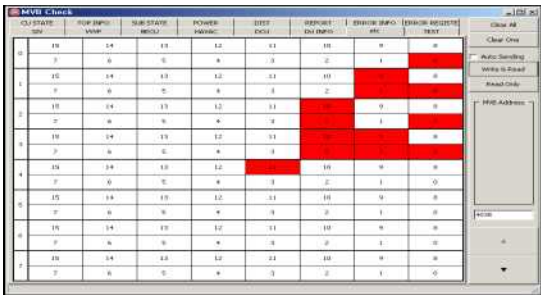
장치 ID, DATA Frame Format, 응답, 전송 등과 같은 상세데이터→ 부록참조

Portable MVB Analyzer로부터 수신한 데이터를 실제 사람이 분석하기 위해 GUI로 화면에 데이터변화를 현시하고 TEXT 파일형태로 저장하는 PC 프로그램으로 구현

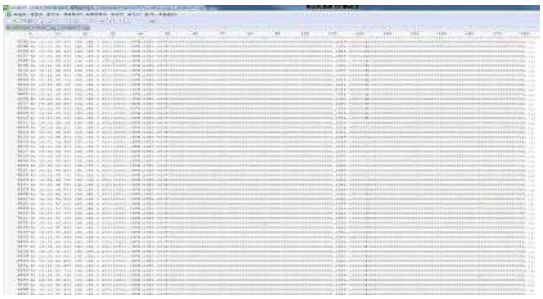
자체 통신 분석프로그램인 Ya~G 기반으로 Plug형태로 개발되었으며, 운용환경은 Windows, 사용언어는 DELPHI임

< 표 2-53. 분석프로그램과 장치간의 제어명령 >

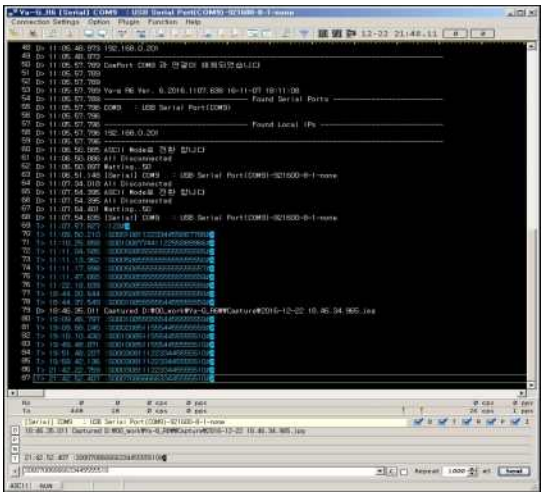
명령	송신	수신	설명
0x01	SW	Board	MVB Port List 요청
0x02	Board	SW	MVB Port List 요청 응답
0x03	SW	Board	MVB Port List 설정
0x04	Board	SW	MVB Port List 설정 응답
0x05	SW	Board	CAN ID List 요청
0x06	Board	SW	CAN ID List 요청 응답
0x07	SW	Board	CAN ID List 설정
0x08	Board	SW	CAN ID List 설정 응답
0x09	SW	Board	통신 제어
0x0a	Board	SW	통신 제어 응답
0x0b	SW	Board	Digital Output 설정
0x0c	Board	SW	Digital Out 설정 응답
0xB1	Board	SW	MVB 데이터 전송
0xB2	Board	SW	상태 데이터 전송



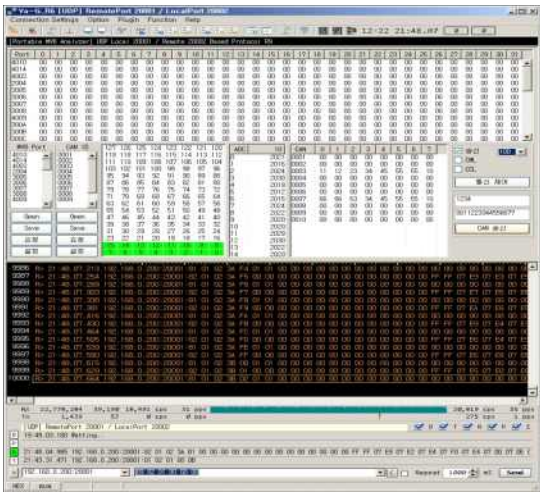
MVB Port 및 Read Bits 설정화면



Logging DATA.TXT(예)



Ya~G Plug In
(화면현시 검증을 위한 패킷 전송UI)



Ya~G Plug In(화면현시기능)

< 그림 2-161. MVB 분석프로그램 UI 구성 >

② MVB 프로토콜 분석 및 인터페이스 정의

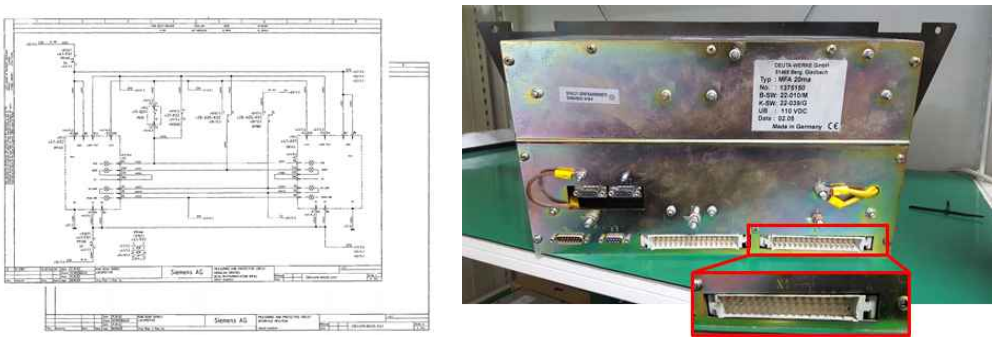
㉮ 분석대상

< 표 2-54. 분석대상 및 활동 >

No	분석대상	구분	분석활동	비고
1	중앙제어장치(CCU)	신규	기술자료 검토 파형분석 포트검색 프로토콜 분석	
2	추진제어장치(TCU)	계속		
3	운전실화면표시기(MMI)	신규		
4	SIBAS KLIP 1, 2, 3	신규		
5	제동제어장치(IBP)	신규		
6	활주방지 제어장치(K-Micro)	신규		

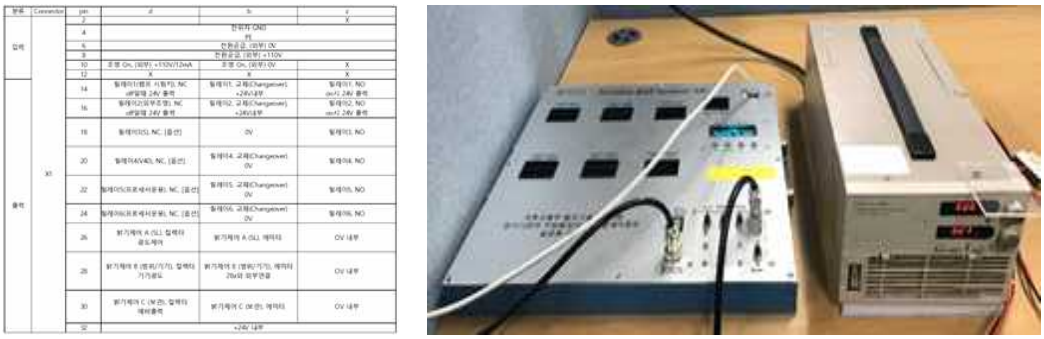
㉯ 분석절차

- 분석대상의 차량 결선과 미결선 커넥터의 정보 확인 및 검증



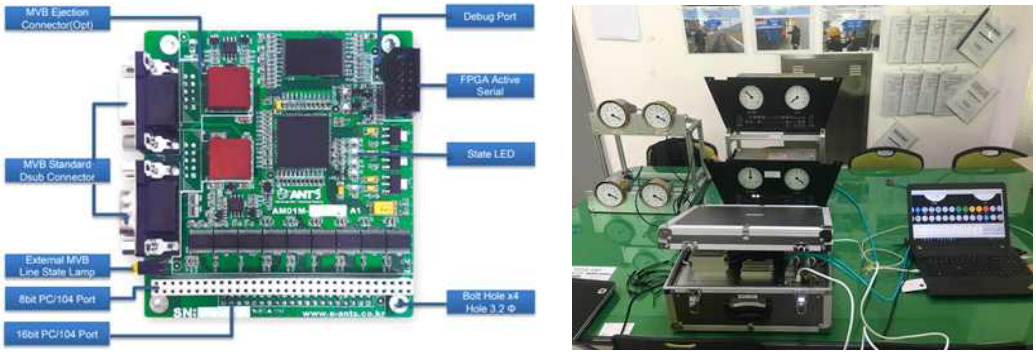
< 그림 2-162. 전기도면 결선 확인 및 커넥터 정보 확인 >

- 핀 맵 확인 후 기능분석(프로토콜)



< 그림 2-163. 핀 맵 확인(ex: MFA X1 커넥터) 및 프로토콜 분석 >

- 하부장치 MVB 통신 Card 개발 및 시험기 개발

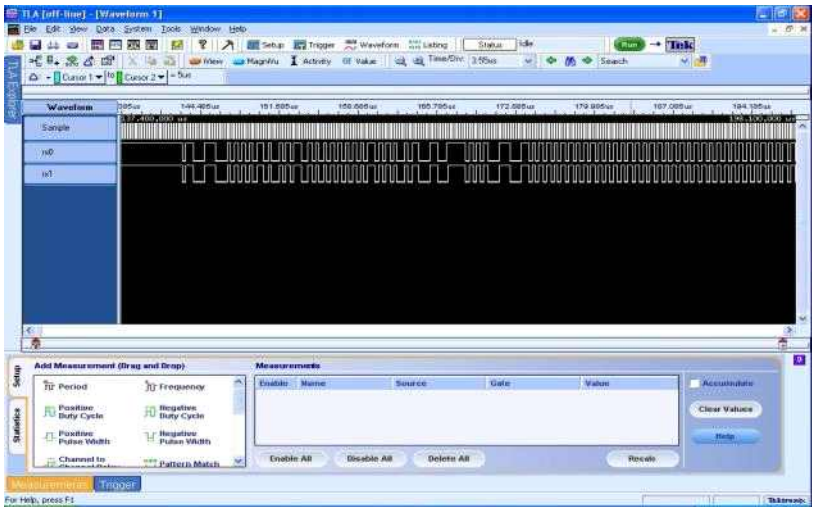


< 그림 2-164. 하부장치 MVB 통신 Card 및 시험기 개발(ex: MFA 시험기) >

㈐ 분석내용

- MVB Data Frame 분석

· 전기기관차(8200호대)의 MVB 통신이 표준에 적합한지 여부를 분석하고 Portable MVB Analyzer의 트랜스포머 및 입력회로의 호환성을 확인하였다.



< 그림 2-165. 로직 아날라이저로 취득한 MVB Data Frame >

- MVB 규격 이력 검토

· 전기기관차(8200호대)는 2003년부터 2006까지 총 55량이 도입 되었으며, 이후 2008년에 28량이 추가로 도입 당시 적용된 MVB 통신 규격은 IEC 61375이었으며, 최초 도입버전은 1.0으로 추정되며, 2008년 도입 분은 2.0으로 다를 수 있음을 확인하였다.

< 표 2-55. MVB 규격 이력 >

No	규격번호	Version	비고
1	IEC 61375 (TCN)	1.0	1999년 9월 제정
2	IEC 61375 (TCN)	2.0	2007년 4월 개정
3	IEC 61375 (TCN)	3.0	2012년 6월 개정

< 표 2-56. 8200호대 도입과 IEC 61375 개정 이력 >

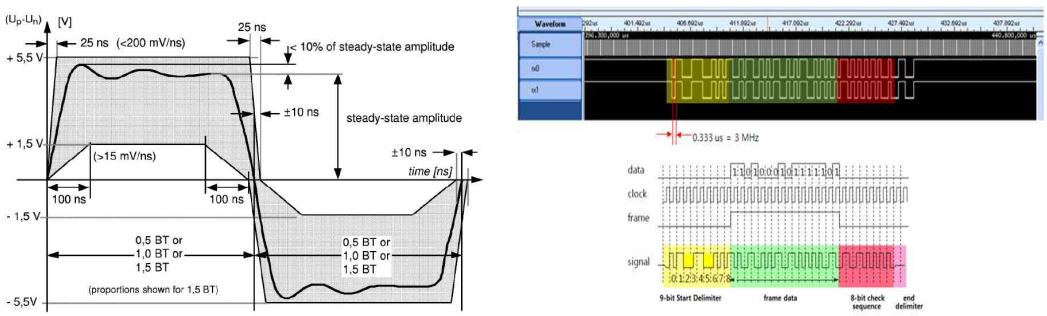
구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
8200호대	도입 1차					2차				
IEC61375	Ver 1.0					2.0				3.0

- 타이밍 분석

· 현차시험에서 취득한 파형을 MVB 표준 IEC 61375와 비교 분석하였다.

· 취득한 파형은 Line A와 Line B로 이중화되어 있고 이중화된 라인은 지연 없이 동일하게 동작하며, 트래스포머와 입력회로가 정상동작을 하였고 표준에서 정의된 파형으로 분석되었다.

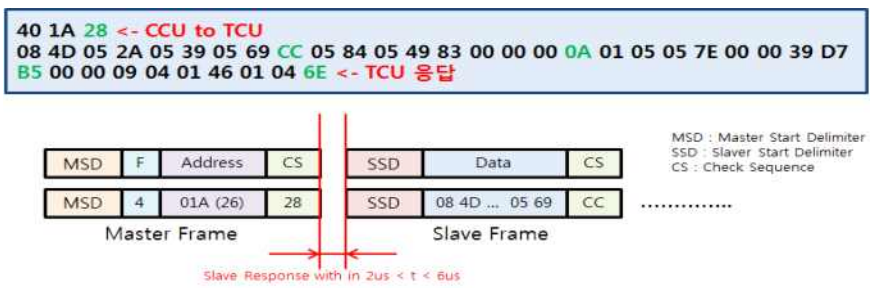
· 취득하여 분석된 파형은 MVB 신호 모델링하여 시뮬레이션에 사용되며, 시뮬레이션은 모델심을 사용하였고 파형은 Testbench로 작성하였다.



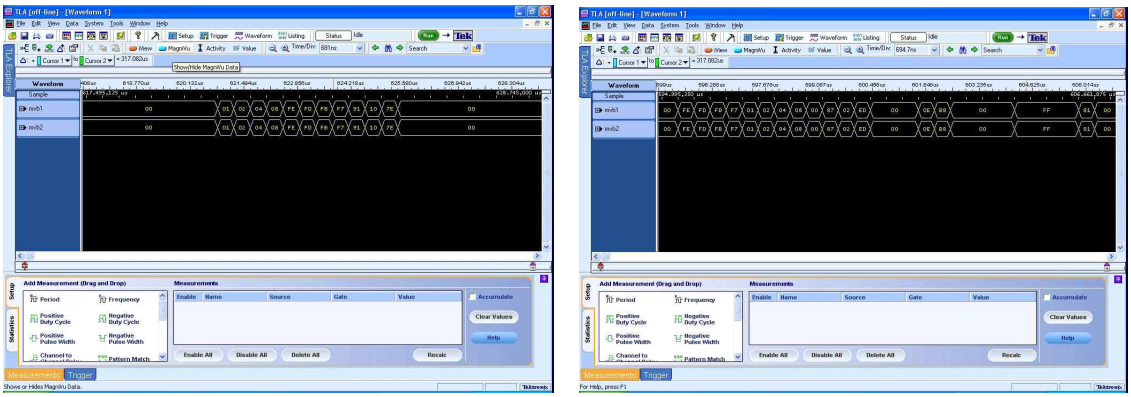
< 그림 2-166. 표준 MVB EMD 파형 및 MVB 타이밍 데이터 비교분석 >

- 데이터 분석

· 현차시험에서 MVB 통신 분석보드를 통해 Manchester Decoding 후 데이터를 분석하였으며, 타이밍 데이터 분석에서 분석된 MSD와 SSD를 제외하고 유효데이터를 분석하고 로그파일로 저장. 표준 프로토콜의 F-code(OP)와 Address, Check Sequence, Data를 비교 분석하여 정상동작하는 것을 확인하였다.



< 그림 2-167. MVB Data Frame에 의한 데이터 분석 >

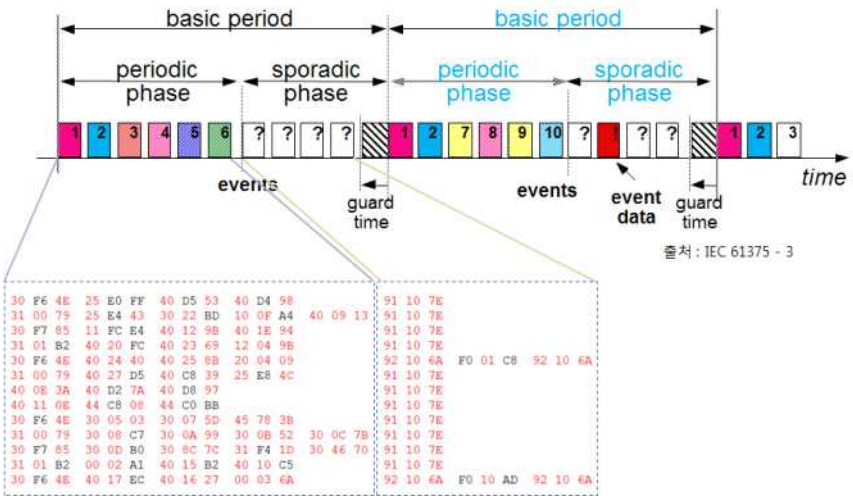


< 그림 2-168. MVB Master 데이터 및 MVB Slave 데이터 >

- Master List 주기 분석

· 현차시험을 통해 MVB 데이터를 로그로 저장하여 분석한 결과 MVB Master 패킷은 주기성을 가지며, 표준에 정의되어 있는 1ms 내에 basic Period이 존재하고 내부에는 periodic phase와 sporadic phase가 존재한다.

· 1ms의 주기가 1,024개 존재하고 1,024s가 반복되는 주기성을 가지며, 이 주기성은 표준과 동일하게 구성되어 있다.



< 그림 2-169. MVB Master 데이터의 주기성 >

- MVB Port 검색

· 전기기관차의 제어를 위한 지령을 주는 중앙처리장치는 CCU에 의해 동작하고 있다. MVB 표준에서는 최대 4,096개의 Port를 가능하도록 정의하고 있으며, 실제 전기기관차(8200호대)의 사용하는 Port를 검색하고 각 장치별로 할당된 Port를 분석하여 장치별 통신프로토콜에 따른 기능을 분석하는데 활용한다.

- MVB Port 검색 구성

· 전기기관차(8200호대)의 MVB 장치는 13개이고 적용된 포트를 검색하여 찾아야 함

· 검색 대상 장치의 전원을 투입 후 MVB Port 검색 보드에서 MVB 통신의 모든

포트의 Master 패킷을 송신

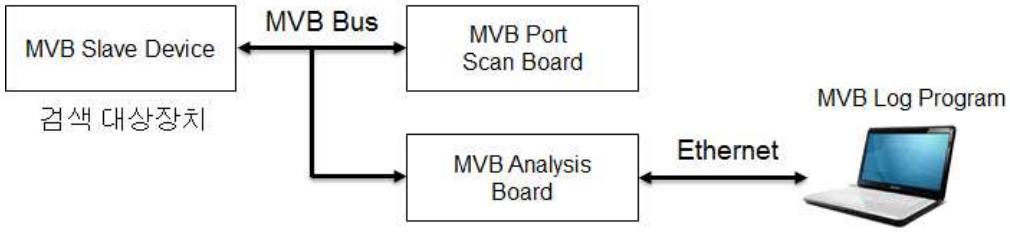
· 검색 대상 장치는 Master 패킷이 입력되면 Response Port이면 표준에 정의된 방법으로 Slave 패킷을 응답

· MVB 분석보드에서 Master와 Slave 패킷을 로그 파일로 저장하고 파일을 분석하여 대상 장치의 Port를 확인

· 장치 단독으로 전원이 투입되는 경우에는 시험실에서 검색을 할 수 있었음

· 단독전원이 투입되지 않는 경우에는 현차에서 축전지 전원 투입 후 대상 장치의 차량 MVB 케이블 제거하고 MVB 검색 보드에 연결된 MVB 케이블을 연결하여 검색할 수 있었음

· 장치별 MVB 케이블 연결은 전기도면을 통해 포인트를 찾고 현차에서 시행



< 그림 2-170. MVB 통신포트 검색 구성 >

- MVB Port 검색 Logic

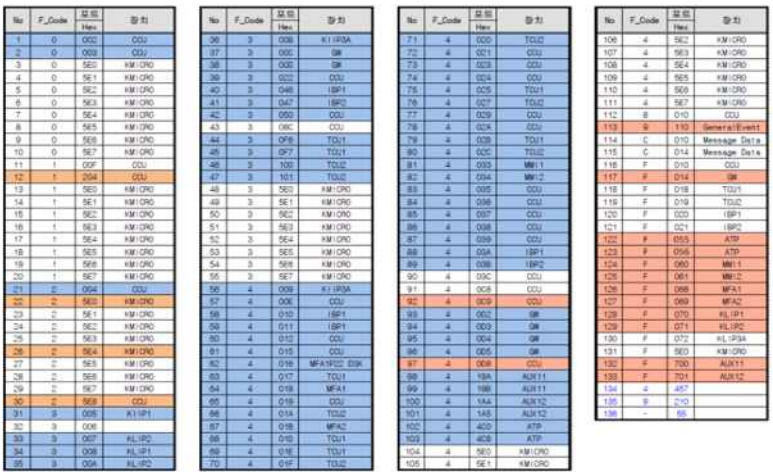
· MVB Port 검색은 MVB 통신 분석보드를 이용하여 FPGA 로직만 변경하여 구현 가능

· MVB Master 패킷 생성기를 통해 F-code와 Port를 생성하게 된다. Master Controller는 Master 송신기로 생성 데이터를 전송

· MVB Master 패킷에 맞추어 Slave가 응답 패킷을 입력 받으면 Master 패킷은 Slave가 수신되는 동안 전송을 중단

· Master 송신기는 Check Sequence를 전송하고 Slave 수신기는 Check Sequence를 확인하도록 구성된다. 일치 않으면 Error를 발생

· 보드에 전원을 투입하면 FPGA 로직이 MVB Port 검색



< 그림 2-171. MVB Port 검색결과 >

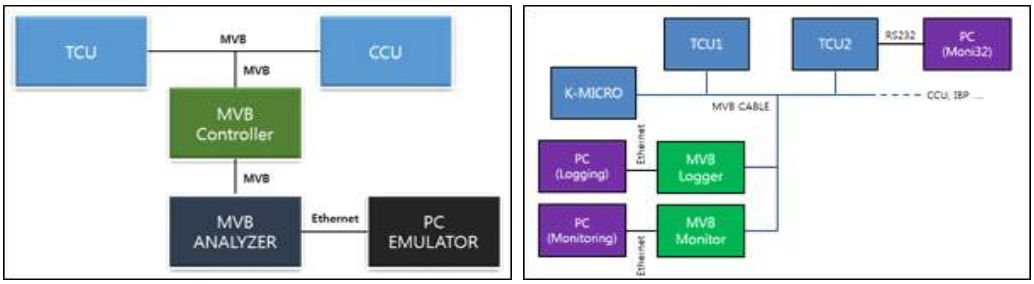
- 장치별 상태 분석

· MVB Port 검색 중 Master 패킷의 F code에 Slave 패킷이 응답하면 장치상태에 대한 정보, 장치 당 1 Port 응답을 하게 되고 비트별로 장치상태에 대한 의미를 가지며, 전체 장치에 대해 검색하여 분석하였다.

Device	CCU	GW	TCU1,2	IBP1,2	ATP1,2	MMI1,2	MFA1,2	KLIP1,2,3	KMICRO	AUX1,2
Class	4	5	2	1	2	2	1	2	1	1
기능	**Bus Admin** Process Message Status	**Gateway** Process Message Status	Process Message Status	Process Status	Process Message Status	Process Message Status	Process Status	Process Message Status	Process Status	Process Status

< 그림 2-172. 장치별 상태 분석 결과 >

- MVB 현차 통신분석 요약



< 그림 2-173. MVB 통신분석 시험 Layout >

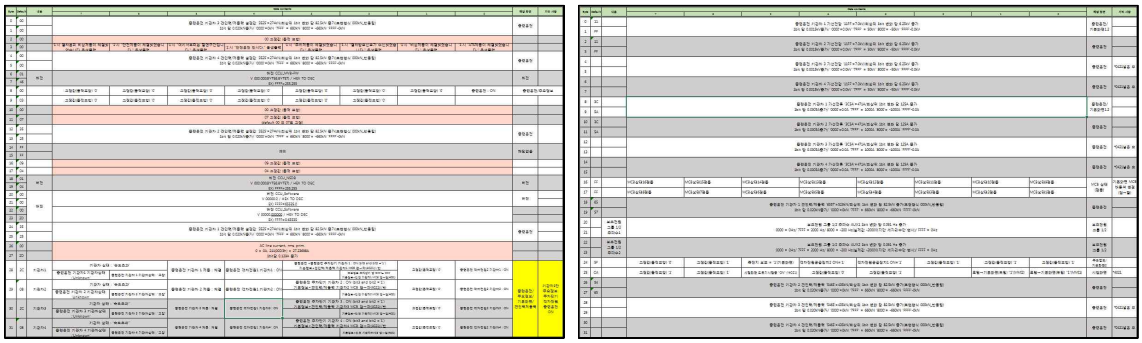
< 표 2-57. MVB 통신분석 현차시험 요약 >

시험요약	장소	비고
· 입출력 신호변화에 따른 MVB DATA변화 분석 · 아날로그 입력에 따른 MVB 변화 분석	대전차량 정비단	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동
· 정비단 시험기를 이용한 MVB DATA 분석 시험	대전차량 정비단	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동
· 차량 기동상태에서의 단계별로 조작하여 LOG 수집 · Moni 32 프로그램을 통해 Signal Name 별 LOG수집	제천차량 사업소	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동
· MVB Controller를 통해 임의데이터 별 LOG 변화 분석 · 동적상태에서의 각 상황별MVB LOG를 수집 · PORT : 400E, 4012, 4019, 4021, 3022, 4023, 4024, 4035, 4038, 403C, 3050, 25E8	동해차량 사업소	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동
· MVB Controller를 통해 임의데이터 별 LOG 변화 분석 · 동적상태에서의 각 상황별MVB LOG를 수집 · PORT : 0002, 0003, 2004, 4015, 4029, 402A, 1204, 4036, 4037, 4039, F010	동해차량 사업소	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동
· MVB Controller를 통해 임의데이터 별 LOG 변화 분석 · 동적상태에서의 각 상황별MVB LOG를 수집 · PORT : 4017, 401D, 401E, 4025, 402B, 30F6, 30F7, F018	익산차량 사업소	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동
· MVB Controller를 통해 임의데이터 별 LOG 변화 분석 · 동적상태에서의 각 상황별MVB LOG를 수집 · PORT : 401A, 401F, 4020, 4027, 402C, 3100, 3101, F019	익산차량 사업소	㈜우진산전, ㈜앤츠, 한국철도공사 공동

㉮ 분석결과

- MVB 프로토콜 분석결과 중 일부를 발췌하였다.

· CCU MVB 프로토콜 분석



< 그림 2-174. CCU PORT 4038/4035 >

· TCU MVB 프로토콜 분석



< 그림 2-175. CCU PORT 401D/401F >

· SIBAS KLIP 1/2/3 MVB 프로토콜 분석

Device : KLIP1 (Class 2 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 070 DEC = 112									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" SpecialDevice"1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : KLIP2 (Class 2 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 071 DEC = 113									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" SpecialDevice"1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : KLIP3 (Class 2 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 072 DEC = 114									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" SpecialDevice "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

· K-MICRO MVB 프토토콜 분석

Device : KMICRO (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 5E0 DEC = 1504									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

· AUX11 MVB 프토토콜 분석

Device : AUX11 (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 700 DEC = 1792									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : AUX12 (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 701 DEC = 1793									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

· IBP 1/2 MVB 프토토콜 분석

Device : IBP1 (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 020 DEC = 32									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : IBP2 (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 021 DEC = 33									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

· MMI MVB 프토토콜 분석

Device : MMI1 (Class 2 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 060 DEC = 96									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	90	Device Status and Process Data "0" SpecialDevice"1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : MMI2 (Class 2 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 061 DEC = 97									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	90	Device Status and Process Data "0" SpecialDevice"1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

· MFA 1/2 MVB 프토토콜 분석

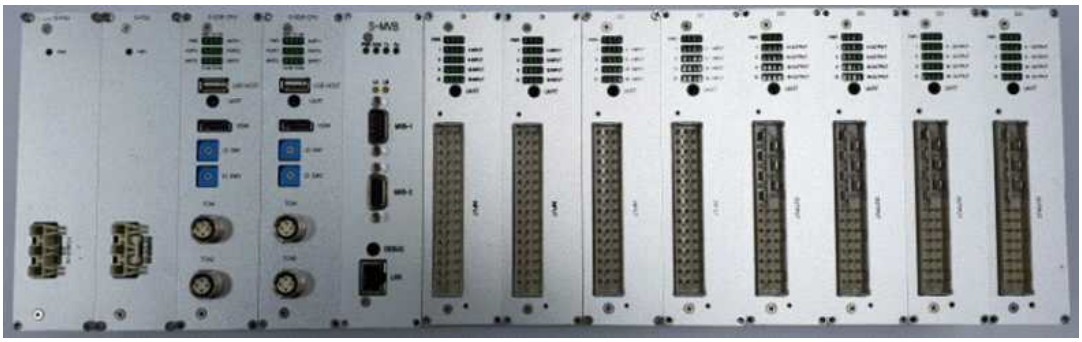
Device : MFA1 (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 068 DEC = 104									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : MFA2 (Class 1 Device)									
F_Code : F									
Address : HEX = 069 DEC = 105									
Slave Frame									
Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

(4) 전기기관차 전용 MVB 프로토콜 생성기 개발

< 표 2-58. MVB 프로토콜 생성기 사양 >

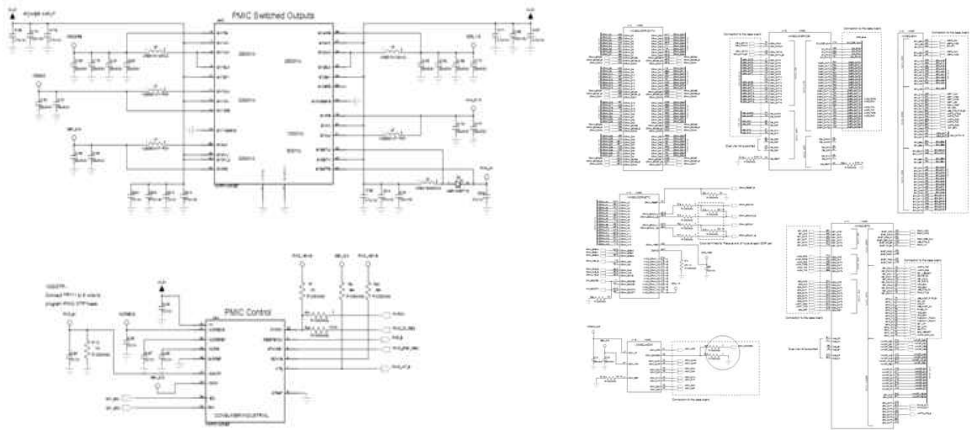
구 분	MVB 프로토콜 생성기	
Processor	i.MX6 DualLite - Operates at speeds of up to 800 MHz - 32 Kbyte L1 Instruction Cache - 32 Kbyte L1 Data Cache - Parallel 24-bit display, LVDS, HDMI 1.4 - MMC/SD/SDIO card - USB 2.0 (480 Mbps) host	
Memory	DDR	4Gb x16 DDR3L SDRAM
	Serial Flash	16Mb SPI Serial Flash
	NAND Flash	128Gb NAND Flash
Ethernet	KSZ9021RN Gigabit Ethernet Transceiver / M12 2Port	
RS-485	ISL8491 RS-485 Transceiver / 2Port	
USB	USB Host 1Port / 1A	
OS	Linux 4.1.15	
Power	DC24V / 15W(max)	
Temperature	-40℃ ~ +85℃	



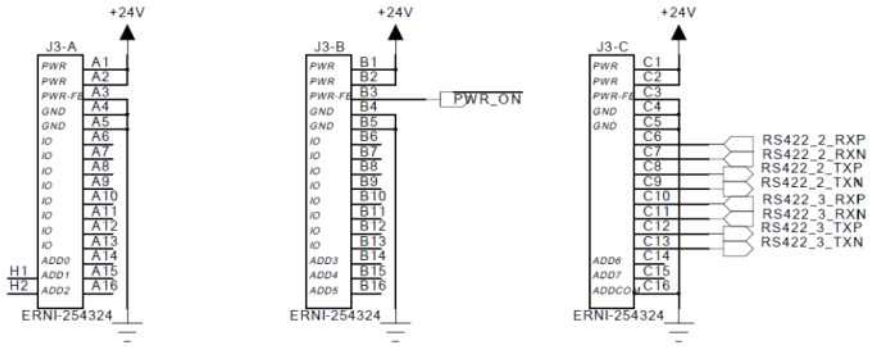
PSU1	PSU2	CPU1	CPU2	MVB	DI1	DI2	DI3	DI4	DO1	DO2	DO3	DO4

< 그림 2-176. MVB 프로토콜 생성기 구성 >

① 주요회로



< 그림 2-177. Core Power 및 Processor >



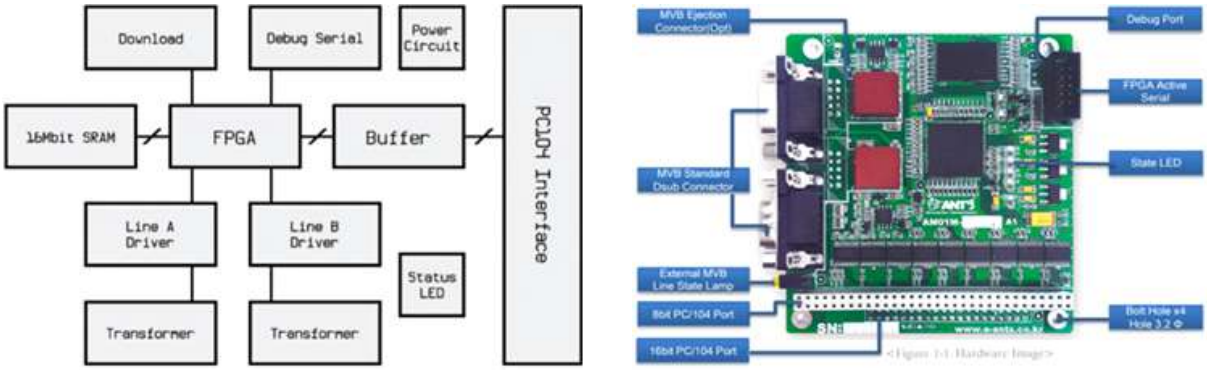
< 그림 2-178. External I/F >

(5) SIBASKLIP1, 2, 3(입출력제어장치), MFA(계기대표시기), IBP(제동제어장치), K-Micro(활주방지제어장치) MVB 통신카드 설계 및 제작

< 표 2-59. 하부장치 MVB 통신 Card 사양 >

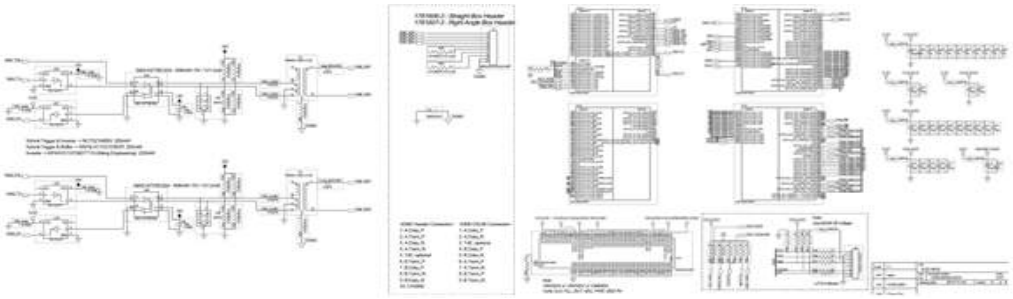
구 분	하부장치 MVB 통신 Card
FPGA	Up to 16K Logic / Up to 54Kb Memory / Embedded Flash
Traffic Memory	1M x 16bit SRAM, 10ns Speed
MVB Interface	EMD - Transformer isolation
MVB Function	Class 1, 2, 3 (Optional 4)
MVB Connector	D-sub 9pin Male / Female or 2.54mm Header 10pin
Host Interface	PC/104, SRAM Communication
Dimension	90 x 96 x 25mm, PC/104 Formfactor
Operation Temperature	-40 ~ +85℃
Power	5VDC ± 0.25V, 5V

(가) 제품구성

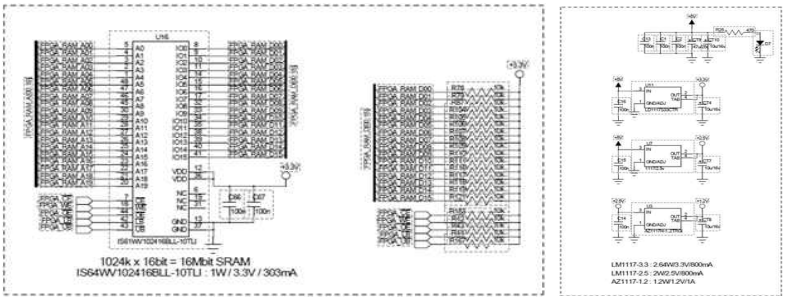


< 그림 2-179. 하부장치 MVB 통신 CARD 구성 및 시제품>

① 주요회로

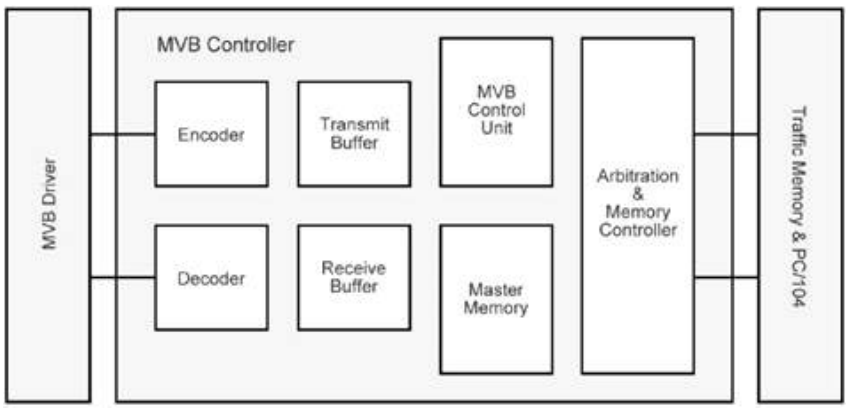


< 그림 2-180. MVB Interface 및 FPGA 및 주변회로 >



< 그림 2-181. Traffic Memory 및 전원회로 >

② Logic 설계



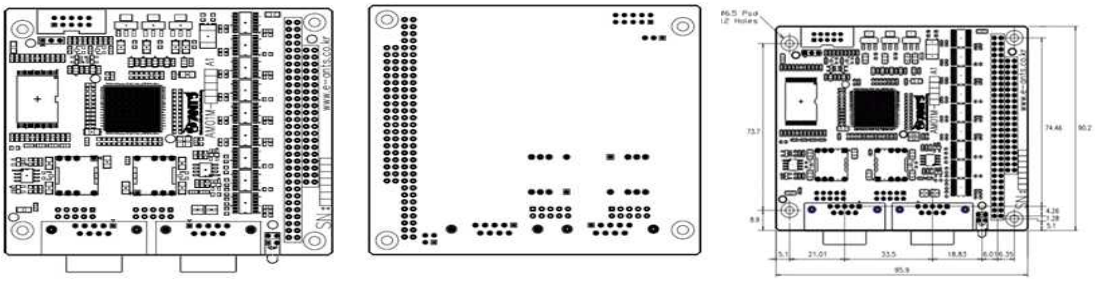
< 그림 2-182. Logic 구조>

㉮ Logic 기능

< 표 2-60. Card Logic 기능 >

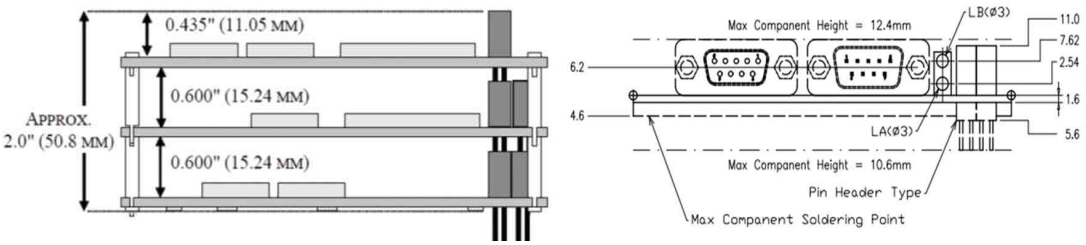
항목	기능
Encoder/Decoder	MSD/SSD/ED 생성, Data Encoding/Decoding, Check Sequence 계산
Transmit Buffer	전송할 Data Buffer
Receive Buffer	수신된 Data Buffer
MVB Control Unit	Switchover, Mastership Transfer, Master/Slave 전송, 수신
Master Memory	Master 기능 실행할 경우 Master List 저장
Arbitration & Memory Controller	PC/104와 Master Memory, Traffic Memory 간 Interface 중재

㉯ Component Layout & Dimensional Data



< 그림 2-183. Component Layout & Dimensional Data >

㉰ Max Connection Data & PC/104 Module Stack Configuration

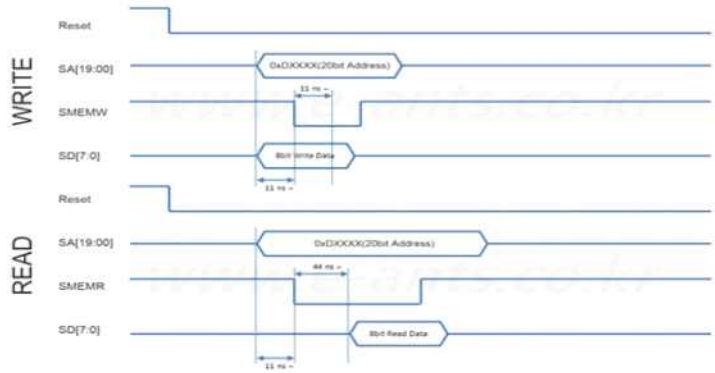


< 그림 2-184. Max Connection Data 및 Stack Configuration >

㉱ State LED

Ref. No	Symbol	Remark
D1	Txd	Debug Serial Tx 송신 시 점멸
D2	Master	Class 4에서 Master 설정 시 점등
D3	Rxd	Debug Serial Rx 수신 시 점멸
D4	Class	Class 1~3 Lamp 소등, Class 4 Lamp 점등
D5	FPGA	FPGA 동작 시 점멸
D6	Start	Start 설정 시 점등
D7	Power	전원 투입 시 점등
D8	Line A/B	MVB Line A 또는 B 점유 시 점등

㈐ PC/104 Timing Diagram



< 그림 2-185. PC/104 Timing Diagram >

㈑ Power Up and Reset Sequence

- 전원투입 시 FPGA 및 Traffic Memory 설정에 2초 정도 소요되고 이후 PC/104를 통해 사용할 수 있음

(6) SIBASKLIP1, 2, 3(입출력제어장치), MFA(계기대표시기), IBP(제동제어장치), K-Micro(활주방지제어장치) 검증용 시험기 설계 및 제작

(가) SIBAS KLIP 시험기

① 제품일반

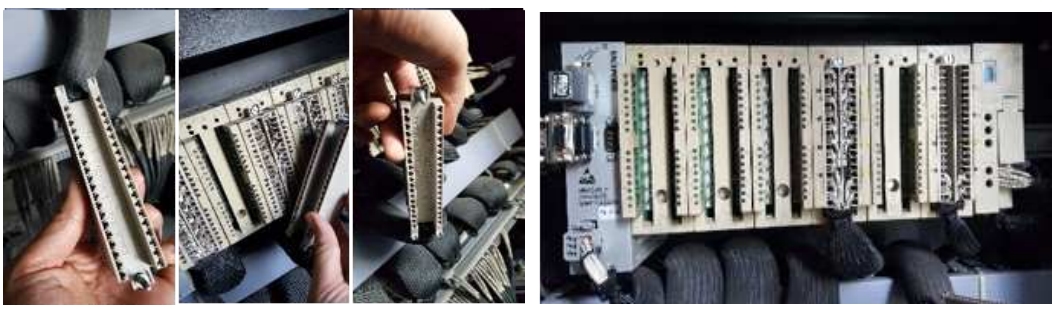
SIBAS KLIP은 CCU로부터 MVB DATA를 수신 받아 KLIP 하부장치의 전원을 공급, 입출력상태를 MVB DATA로 CCU에 송신하는 역할을 담당하며, 시험기는 SIBAS KLIP 장치에 대한 정상여부를 확인 할 수 있는 시험기이다.

㉮ 송・수신 MVB Port

- 수신 MVB Port : 3005, 3007, 4009
- 송신 MVB Port : 0002, 0003, 2004

㉯ 입출력 Port 개수

- Klip 1 : Input 64 Port, Output 16 Port
- Klip 2 : Input 64 Port, Output 16 Port
- Klip 3 : Input 144 Port, Output 56 Port



< 그림 2-186. SIBAS KLIP 입출력 커넥터 및 외형>



< 그림 2-187. SIBAS KLIP 시험기 전면 Panel 및 시험기 외형>

(나) IBP 시험기

① 제품일반

IBP는 전면 커넥터를 통해 신호 및 MVB DATA를 입력 받아 제동 제어 관련 장치를 제어하는 역할을 하며, IBP 시험기는 IBP 장치에 대한 정상여부를 확인 할 수 있는 시험기이다.

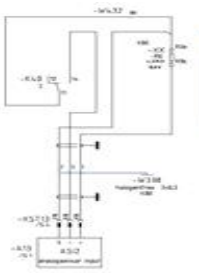
㉮ 송신 MVB Port

- 3046, 3047, 4010, 4011, 403A, 403B

< 표 2-61. 입출력 신호분석 >

기능	Card	Pin	측정 값
Frequency Output	EB01B-A12	D4	110V
		Z4	110V / 1.67Hz
Frequency Input	EB01B-A12	Z20	110V / 1.1Hz
Analogsensor Input	MB03B-A14	D14	24.4V
		Z14	10.4V
f-sensor Input	MB03B-A14	D20	24.4V
		Z20	1.4V
Power Output PWM	MB03B-A14	D8	24.4V / 2.5Hz 300us 펄스

㉯ Analog sensor input 회로 및 기능분석

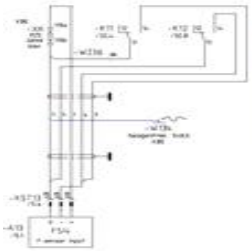


Card	Pin	기능
MB03B-A13	D16	24.4V Output
	B16	0V Output
	Z16	Analogsensor input 1.4V (0~24V)

- Pressure Sensor in Brake Pipe, Towing
- Pressure Senor in Main Reservoir Pipe

- Analog Converterl Pressure Sensor
- Cut Out Cock Direct Brake, Cut Out Cock Sanding
- Temperature Switch of Compressor
- Aux. Contact of contactor of Air Compressor

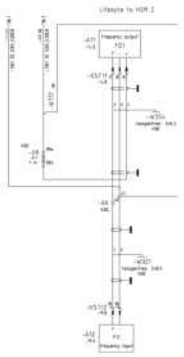
㉰ f-sensor input 회로 및 기능분석



Card	Pin	기능
MB03B-A13	D20	24.4V Output
	B20	0V Output
	Z20	f-sensor input 1.4V (0~24V)

- ATS Emergency Contactor
- Parking Brake Pressure Switch 1, 2
- ATS UEB, Cut out Cock Distributor Valve
- Cut out Cock Bogie 1, 2

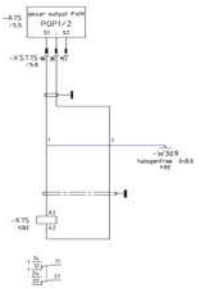
㉱ frequency output / input 회로 및 기능분석



Card	Pin	기능
EB01B-A11	D4	24.4V Output
	B4	0V Output
	Z4	Analogsensor input 1.4V (0~24V)
EB01B-A12	B16	0V Output
	Z16	frequency input 110V / 1.67Hz

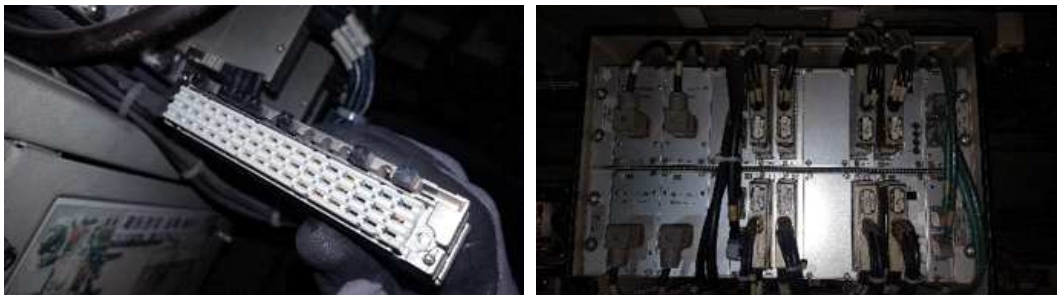
- Life Byte to HSM

㉲ Power output PWM 회로 및 기능분석



Card	Pin	기능
MB04B-A15	D8	PWM output 24.4V / 2.5Hz 300us 펄스
	B8	0V input
	Z8	

- EAE Magnet Valve
- Magnet valve for Disabling the pneum. Brake of Bogie 1, 2
- Analog Converter 2 Charging Valve, Venting Valve
- Direct Brake Braking Relay
- Cut out Magnet Valve
- High Brake Power Magnet Valve



< 그림 2-188. IBP 입출력 커넥터 및 외형>



< 그림 2-189. IBP 시험기 전면 Panel 및 시험기 외형>

(다) K-Micro 시험기

① 제품일반

K-Micro는 전면 커넥터를 통해 펄스발생기 신호 및 MVB DATA를 입력 받아 활주방지 밸브를 조작 및 MVB DATA를 송신하는 역할을 담당하며, 시험기는 K-Micro 장치에 대한 정상여부를 확인 할 수 있는 시험기이다.

㉮ 송신 MVB Port

- 25E0, 25E4

㉯ 분석 진행 현황

- 전면 입출력 신호 파악
- 전용 시험기를 통한 신호 입력 시 MVB DATA 변화 파악
- 송신 MVB DATA 분석 완료



< 그림 2-190. K-Micro 입출력 커넥터 및 외형 >



< 그림 2-191. K-Micro 시험기 전면 Panel >

(라) MFA 시험기

① 제품일반

MFA는 CCU로부터 MVB DATA를 수신 받아 견인/제동력, 속도, 신호램프 등을 현시하고 상태 값을 MVB DATA로 CCU에 송신하며, RS-422 Interface를 통해 DSK에 MVB DATA를 전달하는 역할을 담당한다. 시험기는 MFA 장치에 대한 정상여부를 확인 할 수 있는 시험기이다.

㉮ 송・수신 MVB Port

- 수신 MVB PORT : 4015
- 송신 MVB PORT : 4018, 401B
- DSK 수신 MVB PORT : 4009, 4015, 4019, 4021
- DSK 송신 MVB PORT : 4016

㉯ 현시정보

- 토오크메타 : 견인력, 제동력
- 속도계 : 속도
- 신호램프 : HEP 출력, 피더1고장, 피더2고장, 경계장치, 속도(G,YG,YY,R), EP확인, 회생실패, MVB 활성화, ATS비상, 방호작동, 방호해제, 후부감시, 도어열림



< 그림 2-192. MFA 입출력 커넥터 및 외형 >



< 그림 2-193. MFA 시험기 전면 Panel 및 시험기 외형 >

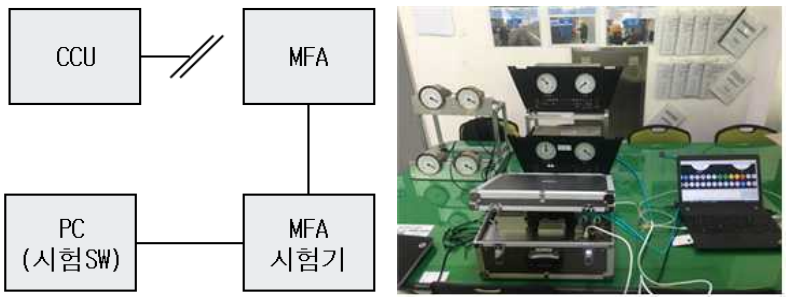
(7) 검증용 시험기를 이용한 각 장치 검증시험

하부장치 별 시험기는 실제 장치와 연동하여 정상 기능 동작 및 MVB 통신 프로토콜에 대한 검증을 위해 개발하였으며, 임대가 가능한 품목이면서 실험실 환경에서 구동이 가능한 장치에 대하여 실험실 시험을 실시하였다.

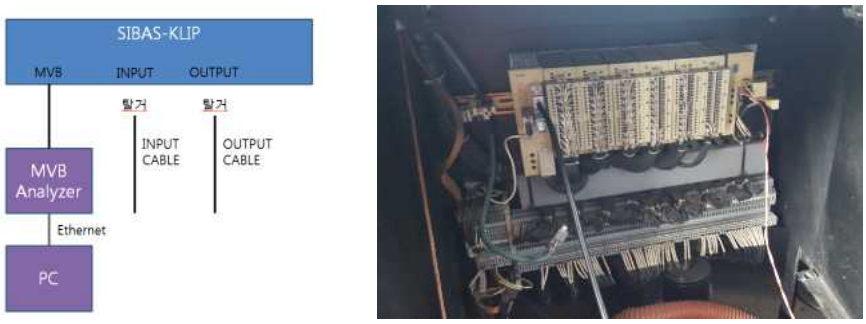
(가) 시험구성

시험기의 실험실 환경시험의 구성은 대상장치와 그 제어를 위한 시험기, 시험SW를 탑재한 PC로 구성되며, 대상장치와 시험기 간의 연결은 기본적으로 MVB이고 장치에 따라 Serial I/F, Digital I/O, ADC, CAN 등에 대한 연결이 별도 필요할 수 있다. 시험기와 시험용 PC 간 Ethernet으로 물리적 연결하였다.

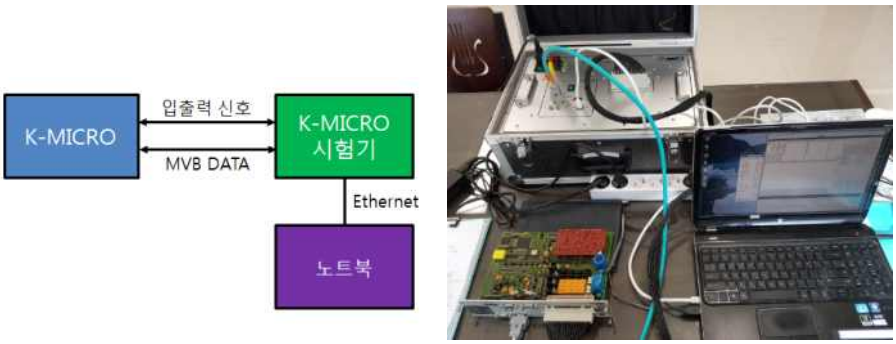
구성품	필요수량	비고
시험대상	1	SIBAS KLIP, MFA, IBP, K-Micro
대상시험기	1	KLIP 시험기, MFA 시험기, IBP 시험기, K-Micro 시험기
PC	1	Windows기반, Ethernet I/F
시험SW	1	Ya~G, 장치전용 Plug in
전원공급기	1	대상장치의 전원공급용



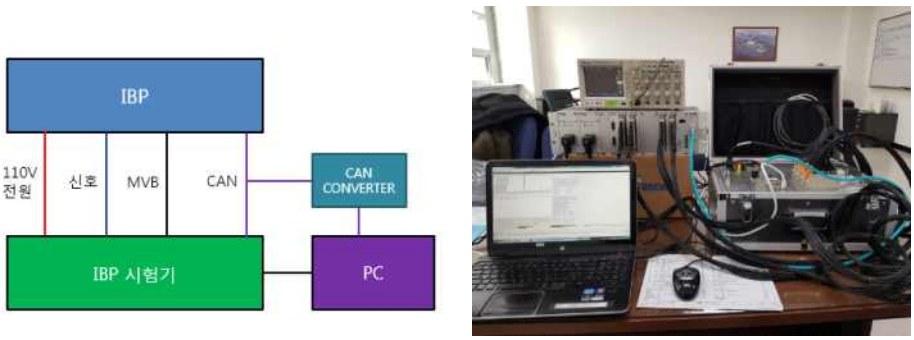
< 그림 2-194. 시험구성(MFA) 및 실제구성 >



< 그림 2-195. 시험구성(KLIP) 및 실제구성 >



< 그림 2-196. 시험구성(K-Micro) 및 실제구성 >



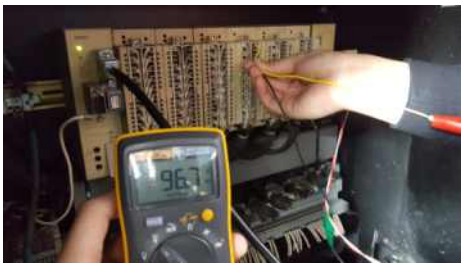
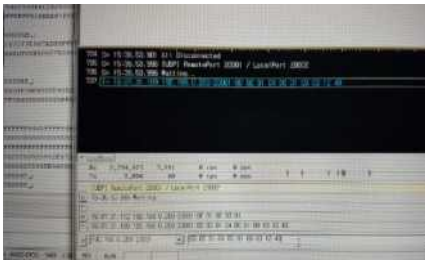
< 그림 2-197. 시험구성(IBP) 및 실제구성 >

(나) 실험실 환경에서의 시험

실험실 환경에서의 시험은 앤츠 부설연구소, 한국철도공사 대전철도차량정비단 전기차량부에서 진행하였다.



< 그림 2-198. MFA 토오크메타/속도계 및 LED 제어시험 >

< 그림 2-199. KLIP 입출력 제어 시험 >




< 그림 2-200. K-Micro 동작 시험 >




< 그림 2-201. IBP 입출력 제어 시험 >

(다) 시험 결과

① 기능시험 결과

시험항목	시험내용		시험결과
토오크메타	시험SW 토오크메타 설정 	MFA 토오크메타 결과 	양호
속도계	시험SW 속도계 설정 	MFA 속도계 결과 	양호
LED 제어	시험SW LED 설정 	MFA LED 결과 	양호

(8) TCU(견인제어장치) 검증용 시험기 설계 및 제작

(가) TCU 시험기

① 제품일반

TCU는 CCU로부터 MVB DATA를 수신 받아 견인에 관련된 입출력 신호를 제어하는 역할을 담당하며, 시험기는 TCU 장치에 입출력 신호를 입력하여 정상여부를 확인 할 수 있는 시험기이다.

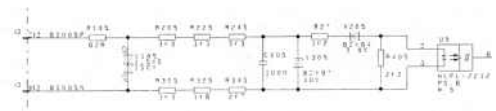
㉮ 송신 MVB Port

- 송신 MVB Port : 30F6,30F7,4017,401D,401E,4025,402B
  3100,3101,401A,401F,4020,4027,402C

㉯ 입출력 Port 개수

- Digital Input 24 Port, Digital Output 24 Port
- Analog Input 19 Port, Frequency Input 34 Port, Frequency Output 27 Port

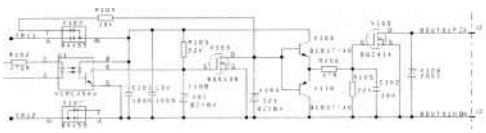
㉰ Digital input 회로 및 기능 분석



Card	기능
ICBP G111,G119	110V Input

- Ack main circuit breaker on/off
- Enable MCB
- Disable pneumatic brake

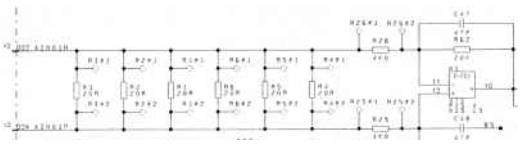
㉱ Digital Output 회로 및 기능 분석



Card	기능
BOCD G127,G135,G143	110V Input

- Relay Contactor On/Off
- Control main circuit breaker
- Control pneumatic brake disable

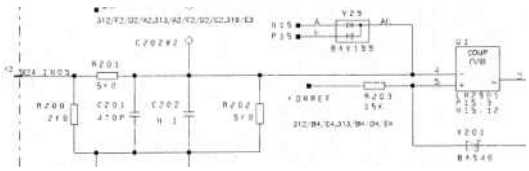
㈐ Analog input 회로 및 기능 분석

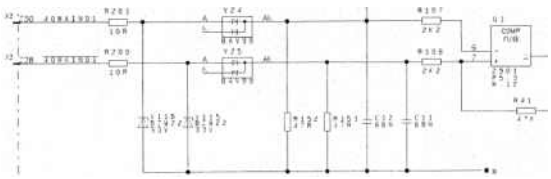


Card	기능
IVF L071,L079, L087,L095	Analog Input ±10V
IOA L111	Analog Input ≤+24V

- Motor current
- 4QC current
- DC link voltage
- Line voltage
- Water pressure inlet

㈑ Frequency input 회로 및 기능 분석

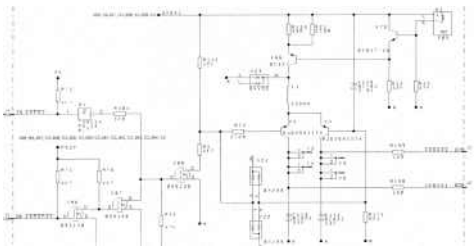




Card	기능
IOA L103	Frequency Input +15V
OPA L127,L135, L143,L151	Frequency Input +24V

- Speed sensor
- PWI, Phase U Input
- PWI, Phase V Input
- PWI, Phase W Input

㈒ Frequency Output 회로 및 기능 분석



Card	기능
OPA L127,L135, L143,L151	Frequency Output +24V

- PWI, Phase U Output
- PWI, Phase V Output
- PWI, Phase W Output



< 그림 2-202. TCU 입출력 커넥터 및 외형>

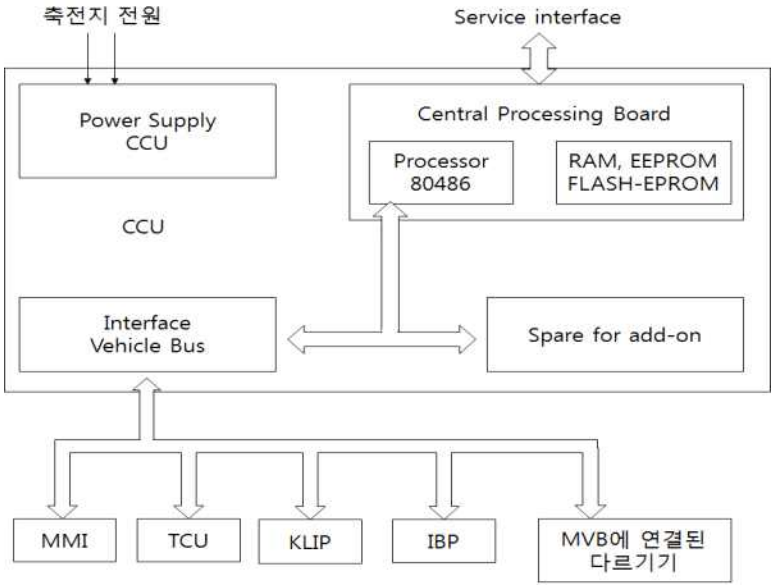


< 그림 2-203. TCU 시험기 전면 Panel 및 시험기 외형>

(9) 중앙제어장치(CCU) 보완 설계 및 제작

(가) 종합제어장치(CCU)의 구조

다음과 같은 하드웨어 구조가 요구된다.



< 그림 2-204. 종합제어장치의 하드웨어 구성도 >

① 종합제어장치의 구성



< 그림 2-205. 종합제어장치의 구성 >

㉮ 종합제어장치는 다음과 같이 구성되어 있다.

- 이중 크기 또는 단일 크기 Euro형식의 슬롯이 있는 30TE 보조랙
- 프린트 회로 보드 후면 (WRAP은 불가능)
- TCN 게이트웨이와 CPU로 제어되는 백업 배터리가 있는 송풍기
- 차량 전원 시스템의 전면 연결에 사용되는 어댑터 변환기(어댑터 컨버터)
- 5V±15V 변환기에 사용되는 전압범위가 넓은 전원공급장치 (14.4V ~ 154V)
- 다양한 방법으로 확장이 가능한 CCU 이용
- CPU와 같이 조작 또는 TCN 게이트웨이가 독립모드일 때, 중복되는 제어 시스템
- MVB의 단계별 구조 (2개의 MVB 인터페이스를 가짐)
- CPU 모듈 없이, TCN TGW을 통해, BOCD 모듈의 어드레스를 지정하기 위한 독립형 TCN 게이트웨이
- ICBP 양방향 입력 신호는 TCN 게이트웨이 소프트웨어를 통해 읽을 수 있다.

㉯ 표준 CCU의 모듈 구성

랙, $2\frac{1}{3}$라이너, 코드화 슬롯	출력 유닛
주전류 감시	MVB
CPU board	Gateway
전원공급기	어댑터 전원 공급기
냉각유닛	

② 종합제어장치의 변환기 모듈

여러 개가 결합된 변환기 모듈(극 세 개 : 5V, ±15V)는 제어장치에서 사용된다. 이러한 변환기는 확장된 입력 전압 범위에서, 전압 범위가 넓은 전원공급장치(14.4V~154V)로 사용된다.

차량 전원시스템과 어댑터 변환기의 전면 판넬 연결장치의 접점을 이용하여, 차량 전원시스템과 연결된다. EN55011 규격에 의거하여, 변환기는 과전압 보호, 출력 스파이크 필터, 입력 무선 방해 제거 기능을 수행한다.

세 개의 극이 있는 변환기는 다음과 같다. (V_{out} / I_{out} max)

+5V 5300㎃, +15V 700㎃, 15V 700㎃

변환기 모듈의 변환기 채널은 독립적으로 작동된다. 과부하 상태에서, 변환기 채널은 열이 발생하면서 차단되고, 냉각기를 거친 후에 다시 연결된다. 시간 상수는 상온 조건에 영향을 받는다. 제어장치에 재 연결되는 것을 막을 수 없다.

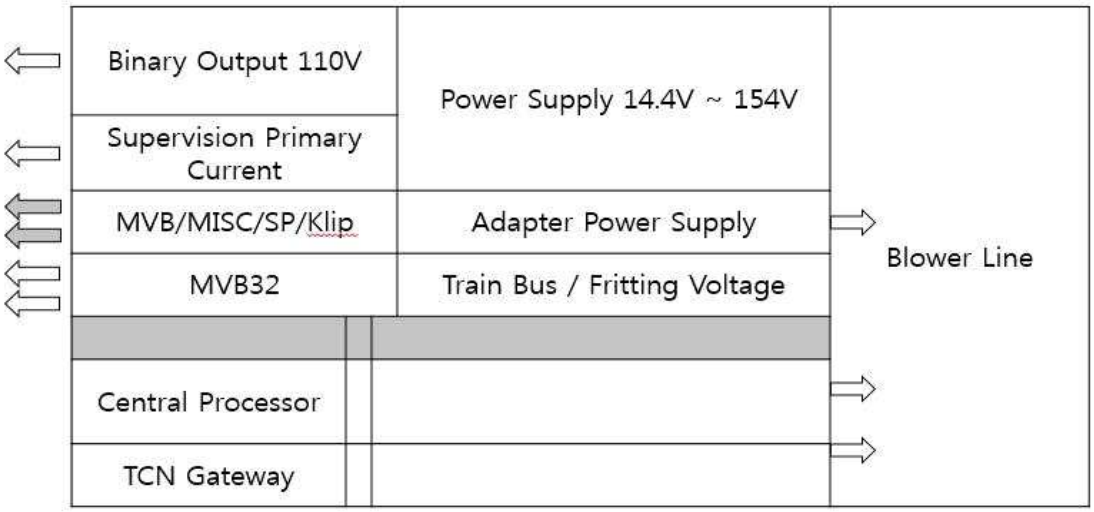
세 개의 극을 갖는 변환기에서 하나의 변환기 채널에 결함이 있으면, 관련 전압 레벨

에 결함이 발생하며, 이는 전면 LED로 검출될 수 있다. 이러한 결함은 제어장치에서는 진단할 수 없으며, 영향만을 평가할 수 있다. +5V의 전원 공급에 결함이 있으면, 제어장치 기능이 작동되지 않는다. (전원공급 차단 포함)

±15V 전원 공급이 안되면, TCN 게이트웨이를 통한 통신에 문제가 발생한다. -15V 전원 공급에 문제가 생기면, 송풍기가 작동되지 않는다. CPU 및 TCN 게이트웨이가 상태 신호를 감지하는 송풍기 모니터링은 송풍장치에 포함된다. 송풍기가 작동되지 않더라도, 종합제어장치는 계속 작동되지만 장치의 수명은 단축된다.

+15V 전원 공급에 문제가 생기면, BOCD 모듈이 작동되지 않으며, 모든 BOCD 출력 채널도 차단된다. 차량에 선간 전압을 적용하여 제어장치의 전원을 켠다.

모 듈	+5V	+15V	-15V
TCN 게이트웨이	1500mA	260mA	240mA
CPU	900mA	-	-
MVB 32	700mA	-	-
MEM	120mA	-	-
RS485	750mA	-	-
ICBA	90mA	-	-
BOCD	75mA	100mA	-
SBI	220mA	-	-
프릿 전압원	1200mA	-	-
송풍기	-	-	130mA



< 그림 2-206. CCU 배치 >

② 종합제어장치의 기능 정보

㉮ 전원공급장치

프린트 기판의 전원 공급은

- 입력 필터 DC 24V/110V, 100W : 축전지 전압의 과도현상을 견디기 위해
- DC/DC 컨버터 24V, 110V/+5V : 프린트 기판에 절연 전원공급
- DC/DC 컨버터 24V, 110V/+15V : 프린트 기판에 절연 전원공급

㉯ 중앙 처리 보드

CCU의 중앙처리 보드는 6U 높이의 프린트 기판 하나로 구성된다.

- CCU의 운영을 위한 32bit 프로세서 (TCN 관리 통제는 제외)
- 저장 설비 (운영설비, 프로그램, 진단 메모리)
- RS232 서비스 인터페이스

중앙처리보드의 기술적인 데이터는 다음과 같다.

구 분	명 칭	규격	비고
메모리	Processing RAM Battery RAM Flash EPROM	0.5Mbyte 0.5Mbyte 4Mbyte	20ns 85ns 90ns
구성품	Micro Processor(CPU) Real Time Clock Serial Service Interface	80386 DP8570	25MHz
축전지	Lithium-Battery	3.6V(전압 검지)	

㉰ 전면 판넬 커넥터

제어장치 프로젝터는 어댑터 변환기의 전면 판넬 커넥터에서 점퍼를 사용하는 랙을 부호화 할 수 있다. 이러한 코드 정보는 CPU 및 TCN 게이트웨이에서 사용할 수 있으며, 소프트웨어를 통해 측정된다.

메모리 모듈이 사용되면, 배터리 백업을 설치할 수 있다. 이때, 송풍장치의 리튬 배터리를 이용하여, 중앙에서 설치하거나, 모듈 배터리를 이용하여 부분적으로 설치할 수도 있다. 송풍기에 백업이 설치된 경우, 전면 판넬 커넥터에 점퍼가 필요하다.

㉱ 메모리의 외부 백업

메모리 모듈의 RAM 이 송풍기의 배터리에 의해 백업된 경우, 어댑터 변환기의 연결 장치에 점퍼를 끼워 넣어야 한다. 어댑터 변환기의 채널은 부호화 될 수 있는데, 이를 부호화 하려면, 점퍼 세팅이 필요하다.

전면 판넬 커넥터의 4개의 Faston 접점의 경로는 병렬로 연결된 CPU 및 TCN 게이트웨이의 양방향 입력쪽으로 되어 있다. 따라서 TCN 게이트웨이 또는 CPU 소프트웨어에 의해 측정된다.

㉮ 차량 내 통신 연결 (MVB)

종합제어장치의 기본 구성에서 MVB32 모듈은 CCU를 차량 버스에 연결하는데 사용한다.

㉯ WTB(Wired Train Bus)

WTB는 동력차와 객차를 연결하는 역할을 한다. 따라서 WTB 네트워크는 차량위치 확인 및 자동 방향 확인을 기능을 갖게 된다. (출입문 제어 시, 오른쪽 및 왼쪽 구분, 차량 운행의 전방/후방 구분)

㉰ 트레인 버스 연결 확장(TCN 게이트웨이)

트레인 버스는 TCN 게이트웨이를 이용하여 연결된다.

㉱ 데이터 기록 기능 확장

2M byte의 RAM이 있는 메모리 모듈은 기록 기능을 담당한다. 데이터는 모듈에 있는 두 개 의 백업 배터리나 송풍 장치의 백업 배터리를 사용하여, 백업된다.

(나) 종합제어장치(CCU) 보완설계

① 종합제어장치 PCB 보드 사양

PCB 종류	사 양
CPU	메모리 및 주변기기 모듈 통합 - 차량 시스템의 제어 및 상태감시를 담당 - 견인제어 및 제동제어에 대한 설정 및 명령 - 보조기기 및 장치의 제어 - 데이터 및 통신관리 - 차량진단
MVB	차내 다중접속 통신망으로 차내의 지능형 전자 장치를 제공되며, 다음 제어 구성품이 MVB를 통해 연결 - DSUB-9pin Connector (male x2, female x2) - EMD (Electrical Medium Distance) - Double Line MVB Transceiver
TCN GW	- Signalling: Manchester II + delimiters - Gross data rate: 1,0 Mbit/s - Response Time: typical 100 μs - Address space: 6 bits - Frame size (useful data): 1024 bits (variable)
PCM	- 변압기 보호 모듈, 각 전류 제한 - 정격 개폐 용량 50W - 최대허용 출력 전류 - 억제형 다이오드의 전압 286V
PWR	- 입력 14.4~154V 출력 5V, ±15V

② PCB 보완 설계 및 제작

㉮ CCU-CPU-A0 보드

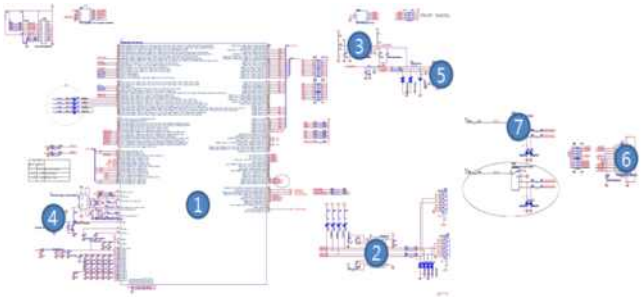
- 보드 및 회로도 설계

CPU 모듈은 시스템의 제어 프로세서 모듈이다. ST사의 STM32 마이크로 컨트롤러를 이용해서 제어로직 및 다양한 메모리 등을 통합하여 설계하였다.

· MCU

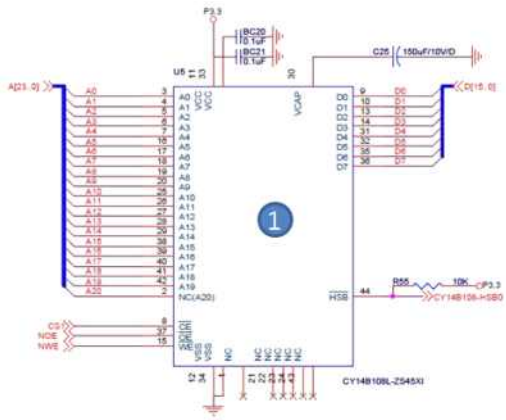
ST사의 STM32 마이크로 컨트롤러를 이용해서 제품 개발을 간소화할 수 있도록 하였다.

32비트 STM32F는 소자는 초저전력 고성능 소자로서 LCD 터치스크린, 조이스틱, MEMS 가속도계, 마이크로폰, 라우드스피커와 잭, 마이크로 SD 카드 커넥터 등 여러 설계에 사용되며, EvoPrimer는 또한 CircleOS 운영 체제를 통합해서 설계시 많은 장점을 가지고 있다.



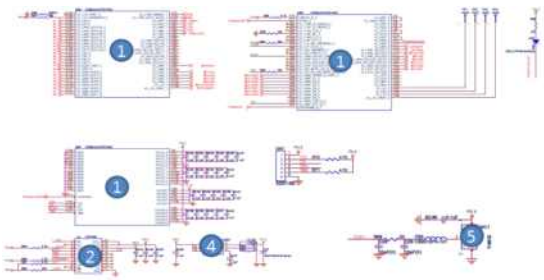
NO	항목	부품명	기능
1	MCU	STM32F407IG-T6/176LQFP)	보드 동작 제어
2	Transceiver	SP3232ECN	RS232를 위한 통신용 드라이버
3	Regulator	MIC29150-3.3BU	5V전원을 3.3V로 변경
4	LPVD	STM1061-N-21-WX-6	저전압검지용
5	Connector	DS1095	USB TYPE A용
6	Card Connector	FPS009-4200-0	SD카드 및 MMC 리더용 몰록
7	Switch	ELUM-DA-TH-Q-2-C12	Latching Push button용

· MEMORY



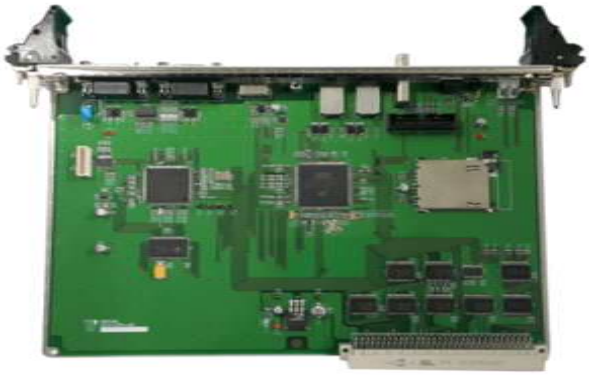
NO	항목	부품명	기능
1	NVSRAM	CY14B108L-ZS45XI	OS의 설정 및 필요한 데이터를 저장

· DECODER



NO	항목	부품명	기능
1	CPLD	XC6SLX4-3TQ144C	어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
2	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
3	Regulator	TPS79301D8V	Low Dropout방지용
4	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
5	X-TAL	CS-146(7pF,20ppm,-40~85C,32.768KHz)	CPLD 클럭 제공용

- 보드 외형

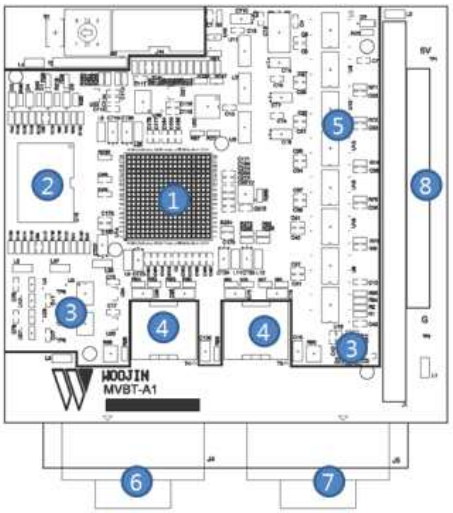


< 그림 2-207. CPU 보드 외형 >

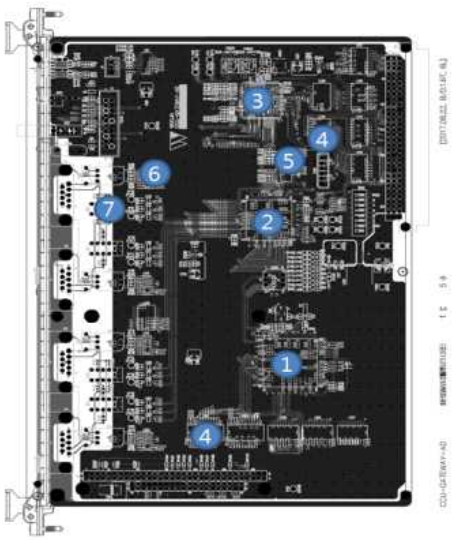
㉮ CCU-GATEWAY-A0 보드

- 보드 및 회로도 설계

TCN GW 모듈은 TCN에 프로토콜 통신을 위한 기능을 가지고 있으며, WTB와 MVB 사이의 게이트웨이 기능을 한다.



NO	부품명	부품 사양	기능
1	FPGA	EP4CGX22CF19I7	MVB 통신 컨트롤러
2	SRAM	IS61WV102416BLL	MVB 데이터 메모리
3	Transceiver	MAX14770EGSA	MVB 송수신 칩
4	Transformer	T60403-Y4021-X123	MVB 트랜스포머
5	buffer	74LVC4245APW	PC104 송수신 버퍼
6	Connector	DSUB-RA-9S	MVB 커넥터
7	Connector	DSUB-RA-9P	MVB 커넥터
8	Connector	962-60322-12	PC104 커넥터

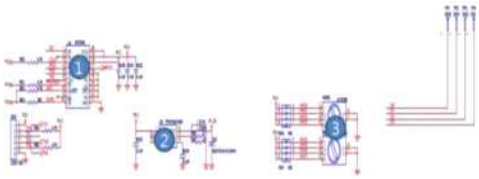


NO	부품명	부품 사양	기능
1	MCU	STM32F407IG-T6(176LQFP)	보드의 동작을 제어
2	CPLD	XC6SLX4-3TQ144C	어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
3	CPLD	XC6SLX9-2FT(G)256I	어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
4	Buffer	74LVC244AD	송수신 라인을 버퍼
5	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
6	Transceiver	MAX3292	RS485/RS422 송수신칩
7	Relay	G6K-2P-RF	PCB terminal용

· MCU 회로도

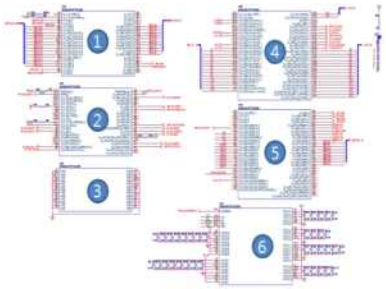


NO	항목	부품명	기능
1	CPLD	XC6SLX4-3TQ144C	어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
2	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
3	Regulator	TPS79301DBV	Low Dropout방지용
4	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
5	X-TAL	CS-146(7pF,20ppm,-40~85C,32.768KHz)	CPLD 클럭 제공용



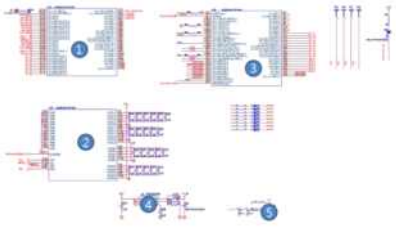
NO	항목	부품명	기능
1	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
2	Regulator	TPS79301DBV	Low Dropout방지용
3	Switch	S-70708	모드별 설정 스위치용

· CPLD 회로도



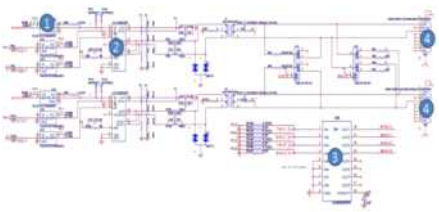
NO	항목	부품명	기능
1	CPLD	XC6SLX9-2FT(G)256I	입출력 어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
2			PC104 Bus의 인터페이스 어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
3			Ground 용
4			아날로그 입력/디지털 출력/ PC104 어드레스 Decoder용
5			핵사스위치 모드별 입출력 어드레스 Decoder용
6			시간 클럭 및 전압용

· WTB 회로도



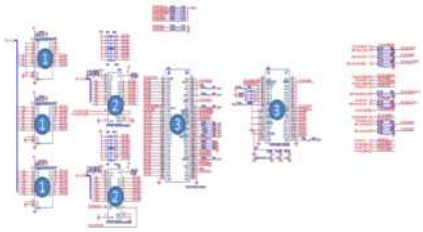
NO	항목	부품명	기능
1	CPLD	XC6SLX4-3TQ144C	WTB 송수신 어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
2			전원 입력용 및 PROM다운로딩 연동용
3			아날로그 신호 어드레스 및 입출력 신호 어드레스 Decoder용
4	Regulator	TPS79301DBV	Low Dropout방지용
5	Osilator	SCO-103 32MHz	CPLD 클럭 제공용

· DRIVER 회로도



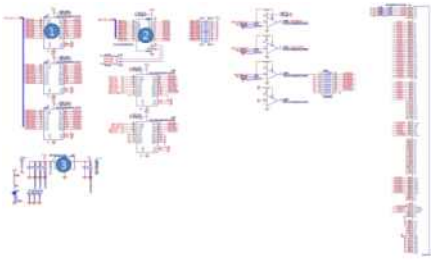
NO	항목	부품명	기능
1	Buffer	74LVC1G17GW	송수신 라인용 버퍼
2	Transceiver	MAX3292	RS485/RS422 송수신칩
3	Driver	ULN2803AFW	스위칭하는 유도 부하에 클램핑 다이오드용
4	Connector	09681535611(DSUB9)	RS485 커넥터용

· PC104 회로도



NO	항목	부품명	기능
1	Buffer	74LVC1G17GW	송수신 라인을 버퍼
2	Buffer	74LVC4245A-PG	VME BUS라인 및 PC104 버퍼
3	Connector	HIF3H-64DA-2.54DSA	아날로그 신호 및 디지털 신호 연동한 커넥터

· CONNECTOR 회로도



NO	항목	부품명	기능
1	Buffer	74LVC244	송수신 라인을 버퍼
2	Buffer	74LVC245	송수신 라인을 버퍼
3	Regulator	MIC29150-3.3BU	5V전원을 3.3V로 변경

- 보드 외형

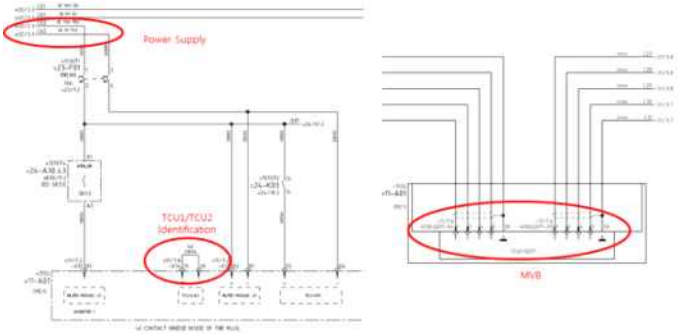


< 그림 2-208. GATEWAY 보드 외형 >

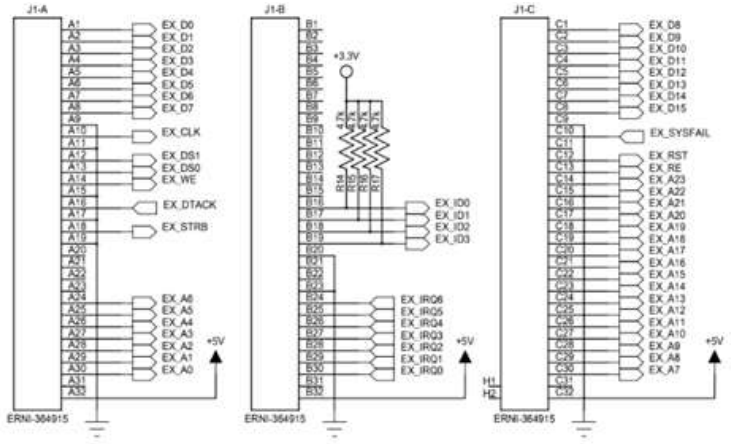
㉰ CCU-MVB-A0 보드 (Multi-function Vehicle Bus)

- 기능 및 자료분석 및 정리

· 전기도면 및 기능 확인



< 그림 2-209. 전기도면 결선 확인 >

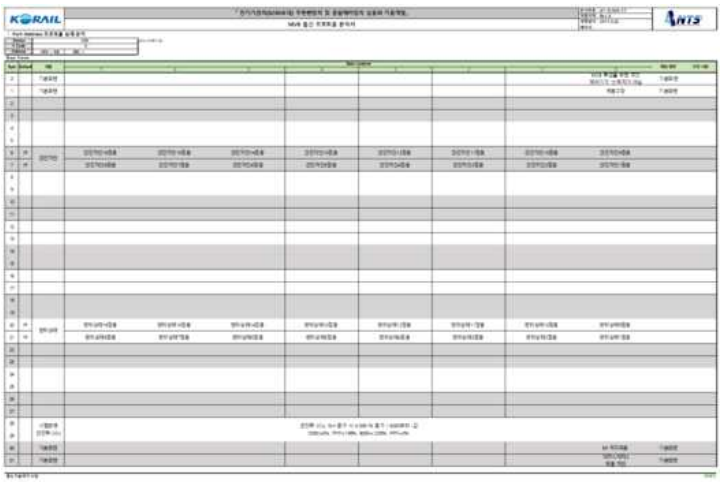


< 그림 2-210. 커넥터 정보 확인 >

· 핀 맵 확인 및 프로토콜 분석

Pin	Function	Pin	Function	Pin	Function
1	NC	1	TXD	1	TXD
2	NC	2	NC	2	NC
3	NC	3	NC	3	NC
4	RXD	4	GND	4	GND
5	NC	1	TXD	1	TXD
6	NC	2	NC	2	NC
7	NC	3	NC	3	NC
8	RXD	4	GND	4	GND
9	NC	1	TXD	1	TXD
10	NC	2	NC	2	NC
11	NC	3	NC	3	NC
12	RXD	4	GND	4	GND
13	NC	1	TXD	1	TXD
14	NC	2	NC	2	NC
15	NC	3	NC	3	NC
16	RXD	4	GND	4	GND

< 그림 2-211. Back Plane Connector(MVB ↔ CCU) >



< 그림 2-212. MVB 프로토콜 분석(Port 403C) >

- 내부프로토콜 및 Interface 정의

TCU와 MVB 통신 Card 간의 interface(안)는 RS-485로 한다.

· RS-485 통신 규격

No.	내용	설명
1	Baud 38400 bps	비트/초
2	Stop bit 1bit	정지 비트
3	Data bit 8bit	데이터 비트
4	Parity bit None	패리티

▸ 최대 패킷의 길이는 86 Byte (38400 bps에서 23ms 이내)

▸ 모든 Device는 Master가 요청을 수신 후부터 3ms ~ 50ms 이내 응답해야 함

▸ 3회 이상 연속 미 응답 시 장치 고장으로 판단

· RS-485 ID 규격

No.	ID	설명
1	0x11	TCU1 제어보드
2	0x12	TCU2 제어보드
3	0x13	CCU 제어보드
5	0x03	MVB 통신보드

▸ TCU1 제어보드 (Master) <=> MVB 통신보드 (Slave)

▸ TCU2 제어보드 (Master) <=> MVB 통신보드 (Slave)

▸ CCU 제어보드 (Master) <=> MVB 통신보드 (Slave)

▸ Basic Format, Command Code, CRC16 등 상세데이터→ 부록참조

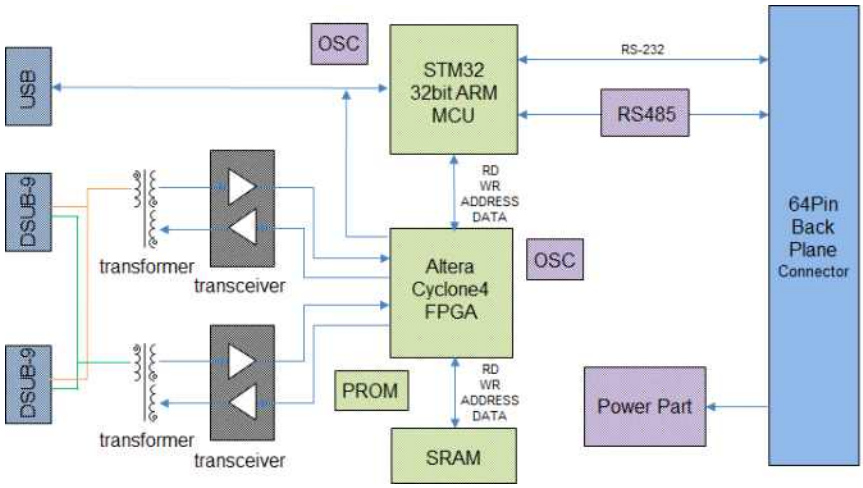
- 시작품 개발

· 제품사양

구 분	기존품	CCU MVB 통신 CARD
MVB CONN.	D-SUB(9pin) x 2 Port	좌동
Front CONN.	LEMO(7pin) x 1 Port	USB-B type CONN.
Back CONN.	DIN 41612 / ept 111-40064	ERNI-364915

MVB Interface	Baud rate : 1.5Mbps, EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver	좌동
MVB Controller	Siemens MVBCS1	Altera Cyclone 4
MCU	SAF-C165 / 20MHz clock frequency / 16bit data bus / 24bit address bus	STM32 (168MHz clock frequency, 32bit ARM MCU)
Memory	RAM(512KB) / Traffic Memory(72KB) / DPRAM(64KB) / Flash EPROM(1MB)	IS61WV102416BLL-10TLI (2MB SRAM)
Temperature	-40 ~ 80 ℃	좌동
Power	DC 5V	좌동
Dimension (WxDxH)	160 mm X 100 mm X 16 mm	좌동

· 제품구성

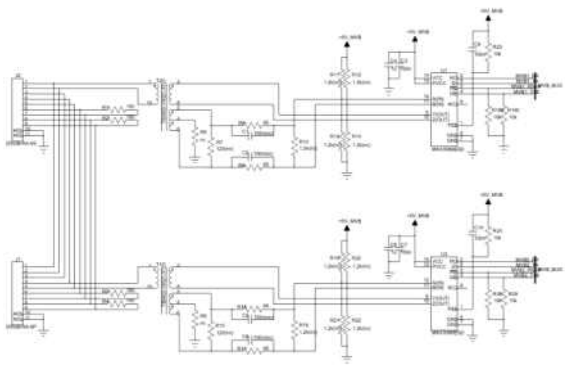


< 그림 2-213. CCU용 MVB 통신 CARD 구성 >

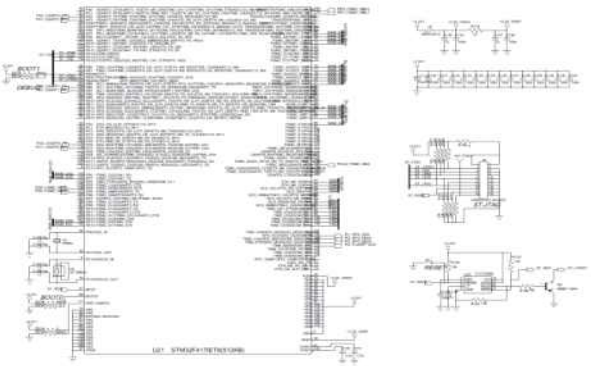


< 그림 2-214. CCU용 MVB Card 시작품 >

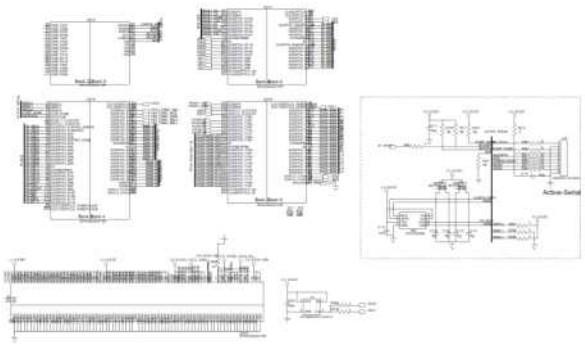
· 주요회로



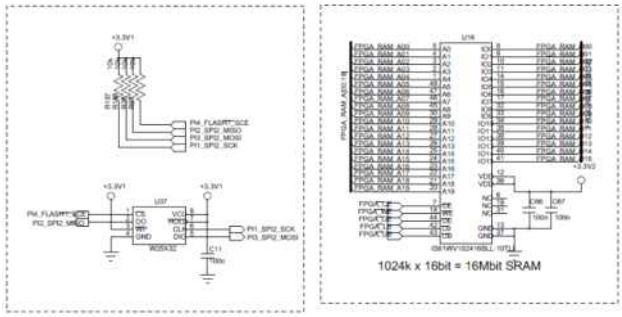
< 그림 2-215. MVB Interface >



< 그림 2-216. STM32 MCU >



< 그림 2-217. FPGA >



< 그림 2-218. Traffic Memory >

· LED 상태정보

Ref. No	Symbol	Remark
D1	MVB_TX_LED	MVB 통신 TX Data 송신시 점멸
D2	Tx LED#	RS-232 통신 Tx Data 송신시 점멸
D3	MVB_RX_LED	MVB 통신 RX Data 수신시 점멸
D5	+3.3V1	점등
D6	+3.3V1	점등
D7	+3.3V1	점등
D8	+3.3V1	점등
D10	Rx LED#	RS-232 통신 Rx Data 수신시 점멸
D13	ST_LED0	Processer 상태 확인용
D14	ST_LED1	Processer 상태 확인용
D15	ST_LED2	Processer 상태 확인용
D16	ST_LED3	Processer 상태 확인용
D17	+3.3V1	점등

- 설계보완 (주요 변경사항)

· MCU 탈거

▸ CCU와 TCU 내부에 탑재된 CPU Card를 통해 MVB 통신이 제어되는 형태로 변경됨에 따라 MVB Card 내부에서 제어기능 제거

▸ MCU 탈거함에 따라 주변회로 또한 제거되었음

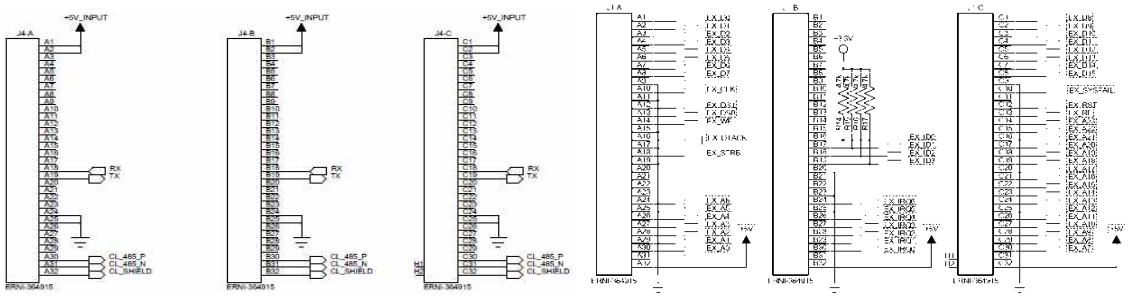
· 최적화 설계

▸ MCU 및 주변회로 제거, 상태표시 LED 감소, FND, 수동소자, 직렬통신 소자 제거를 통해 최적단가 도출 및 회로의 간소화

▸ CCU, TCU와의 인터페이스 기능을 FPGA 내부 Logic을 통해 구현함으로써 MCU 기능을 일부 대체, 따라서 FPGA는 MVB 통신 제어, Traffic Memory 관리, MVB CPU 모듈과의 인터페이스를 담당함

· Back connector 변경

▸ 통신방식이 직렬통신 RS-485에서 병렬통신 TTL로 변경되어 핀 맵 변경이 있으며 주관기관에서 선정한 커넥터로 변경



< 그림 2-219. 변경 전 Back connector 및 변경 후 Back connector >

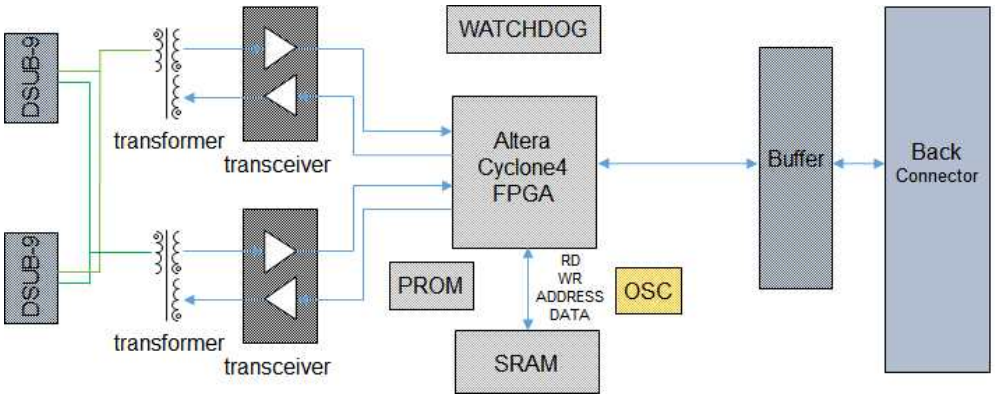
- 시제품 개발

· 제품사양

구 분	기존품	CCU MVB 통신 CARD
MVB CONN.	D-SUB(9pin) x 2 Port	좌동
Front CONN.	LEMO(7pin) x 1 Port	상태 LED
Back CONN.	DIN 41612 / ept 111-40064	ERNI-364915
MVB Interface	Baud rate : 1.5Mbps, EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver	좌동
MVB Controller	Siemens MVBCS1	Altera Cyclone 4
MCU	SAF-C165 / 20MHz clock frequency / 16bit data bus / 24bit address bus	미사용

Memory	RAM(512KB) / Traffic Memory(72KB) / DPRAM(64KB) / Flash EPROM(1MB)	IS64WV102416BLL-10TLI / (2,048KB)
Temperature	-40 ~ 80 ℃	좌동
Power	DC 5V	좌동
Dimension (WxDxH)	160 mm X 100 mm X 16 mm	좌동

· 제품구성

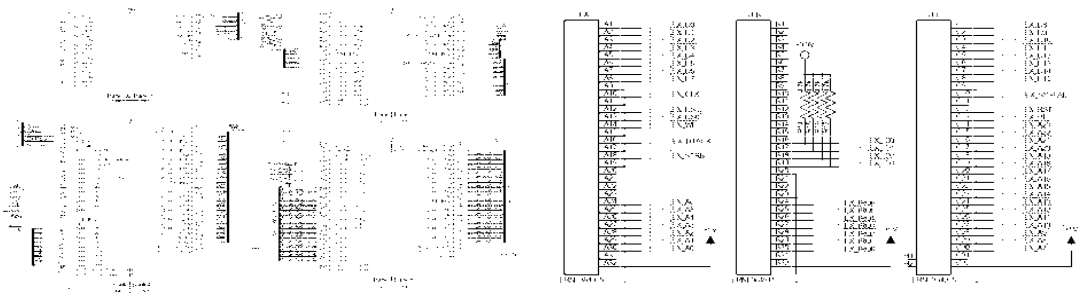


< 그림 2-220. CCU MVB 통신 CARD 구성 >



< 그림 2-221. CCU용 MVB Card 시제품 >

· 주요회로



< 그림 2-222. FPGA 및 Back Connector>

· LED 상태정보

Ref. No	Symbol	Remark
D1	TX	DEBUG_TX
D3	RX	DEBUG_RX
D2	LED0	RUN - 점멸
D6	LED1	MF (Master Mode : 점등, Slave Mode : 소등)
D4	LED2	Line A 점유 시 점등
D5	LED3	Line B 점유 시 점등
D7	+5V	점등

㉱ CCU-PCM-A0 보드 (Pulse Current Monitor)

- 보드 및 회로도 설계

PCM 모듈은 전류 모니터링 보드로서 LC라인 필터 전류, 선전류, 역전류용 측정 입력등의 기능을 한다. 전류 모니터링에서 변압기 보호모듈로 사용되며, 주요 특성은 다음과 같다:

· 한 개 모듈에서 동일한 두 개 회로

· LC 라인 필터전류, 선전류 그리고 역전류용 측정입력

· 전압과 같은 다양한 측정 입력 (로드는 모듈 외부에 있음)

· LC라인 필터전류와 선전류의 완곡한 고레벨과 정류

· 12 비트 분할 A/D 컨버터 (ADC)를 통한 다양한 입력

· 모니터링 제한을 위한 선전류의 완곡한 저레벨과 정류

· 차이 값을 구하기 위해, 선전류에서 역전류 빼기

· 모니터링 제한을 위해, 이 전류차의 완곡한 저레벨과 정류

· 소프트웨어 (다중화장치)를 사용하여, 공제기 (Subtractor)에 선전류 재설정

· 역전류는 위에 언급한 전류차에 대한 설명과 같은 방법으로 다루어짐.

· 소프트웨어를 사용하여 한계 규정, 아날로그값으로 변환

· 고속 회로차단기의 트리거링 작동을 위한 스위치 접속

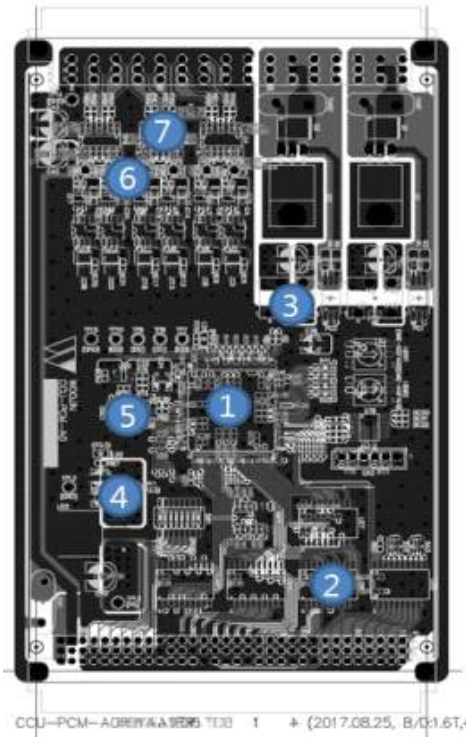
· 소프트웨어를 사용하여 고속회로차단기의 트리거링

· 한계를 초과할 때, 고속 회로차단기의 비활성

· 작은 SIBAS 버스를 통한 통신

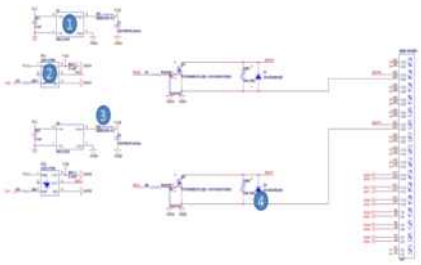
· 32-pole 전면패널 커넥터

· 64-pole 뒷판 커넥터



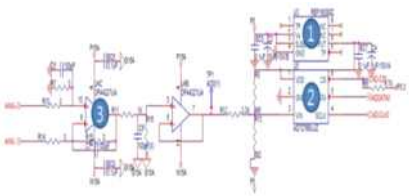
NO	부품명	부품 사양	기능
1	CPLD	XC6SLX4-3TQ144C	어드레스를 DECODER하는 PROGRAMMABLE LOGIC DEVICE.
2	Buffer	74LVC244AD	송수신 라인을 버퍼
3	DC-DC Converter	RN-3.315S	3.3V전원을 15V로 변경
4	Regulator	MIC29150-3.3BU	5V전원을 3.3V로 변경
5	Osilator	SCO-103 32MHz	CPU에 클럭 공급용
6	Regulator	REF193	Low Dropout 방지용
7	Amplifier	OPA4227UA	출력 정전압 유지용

- DO 회로도



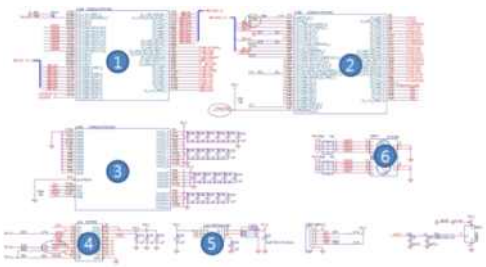
NO	항목	부품명	기능
1	DC-DC Converter	RN-3.315S	3.3V전원을 15V로 변경
2	Coupler	ACPL-P340	디지털 입력을 로직 전원과 절연
3	BEED	CB2012PK121K	아날로그용 5V 출력 노이즈 제거 입력 노이즈 제거용
4	Diode	VS-4ESH02-M3	입력 역전압 방지

- ADC 회로도

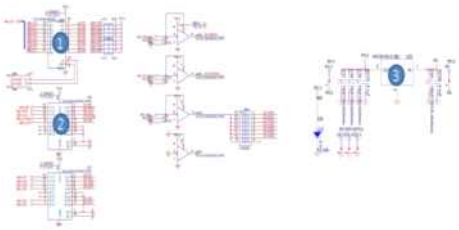


NO	항목	부품명	기능
1	Regulator	REF193GSZ	Low Dropout 방지용
2	A/D Converter	AD7276BUJZ	아날로그 입력 신호를 디지털 신호로 변환
3	Amplifier	OPA4227UA	출력 정전압 유지용

- FPGA 회로도



NO	항목	부품명	기능
1	CPLD	XC6SLX4-3TQ144C	핵사스위치에 따른 모드 설정 및 입출력 어드레스 디코딩용
2			입출력 신호 및 디지털출력 어드레스 디코딩용
3			전원 입력용 및 다운로딩
4	PROM	XCF04S	프로그램 저장하는 메모리
5	Regulator	TPS79301DBV	Low Dropout방지용
6	Switch	S-70708	핵사스위치에 따른 모드 설정



NO	항목	부품명	기능
1	Buffer	74LVC244	송수신 라인을 버퍼 (TTL소자)
2	Buffer	74LVC245	송수신 라인을 버퍼 (TTL소자)
3	Regulator	MIC29150-3.38U	5V전원을 3.3V로 변경

- 보드 외형



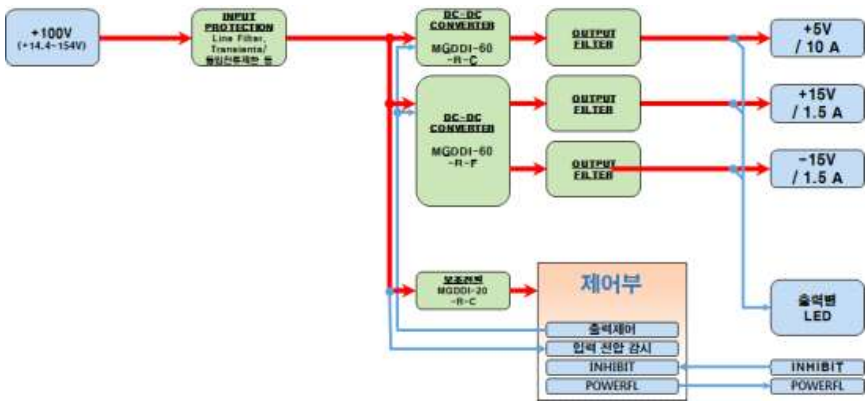
< 그림 2-223. PCM 보드 외형

㉮ CCU-PWR-A0 보드

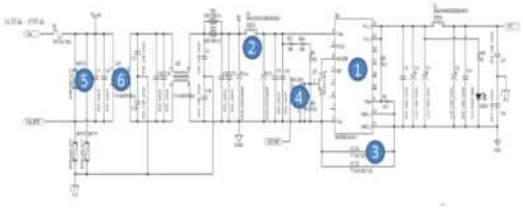
- 보드 및 회로도 설계

Power변환기 모듈은 서브랙에 전원을 공급하기 위해 사용되며, DC5V, DC15V의 출력 한다. 출력 용량은 각각 50W이고 입력 전압은 14.4V~154V이다.

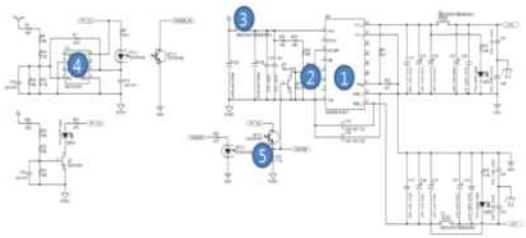
CCU용 파워는 +14.4V~+154V 범위의 전원을 입력 받아 +5V, +15V, -15V 의 전원으로 변환하여 안정적으로 공급한다.



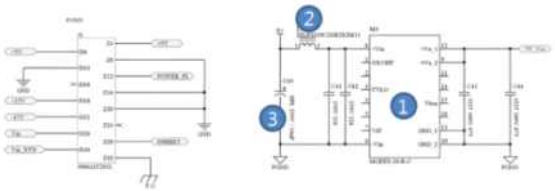
< 그림 2-224. Power 보드 블록 다이어그램 >



NO	항목	부품명	기능
1	DC-DC	MGDDI-60R-C	DC-DC 컨버터
2	BEED	IHLP2020CZER2R2 M11	입력 노이즈 제거용
3	Capacitor	3225 2kV 222	출력 전압 리플 제거
4	Transistor	KRC102S	DC-DC 출력 ON/OFF 제어를 위한 트랜지스터
5	Varistor	INR14D-471	입력 서지 제거
6	LINE FILTER	CV430035SKA	입력 전원 노이즈 제거



NO	항목	부품명	기능
1	DC-DC	MGDDI-60R-F	DC-DC 컨버터
2	Transistor	KRC102S	DC-DC 출력 ON/OFF 제어를 위한 트랜지스터
3	BEED	IHLP2020CZER2R2 M11	입력 노이즈 제거용
4	Voltage Monitor	MC33161D	전압 모니터링용
5	Photocoupler	TLP185GB	디지털 입력을 로직 전원과 절연



NO	항목	부품명	기능
1	DC-DC	MGDDI-20R-C	DC-DC 컨버터
2	BEED	IHLP2020CZER2R2 M11	입력 노이즈 제거용
3	탄탈커패시터	NFL 2.50V/10uF	레귤레이터 입력 탄탈 캐패시터 입력전원 안정화

- 보드 외형



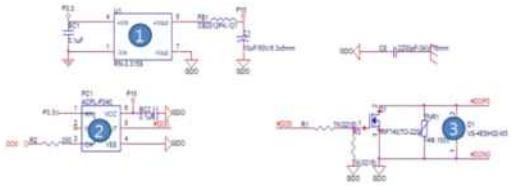
< 그림 2-225. PWR 보드 외형 >

㉮ CCU-DO-A0 보드

- 보드 및 회로도 설계

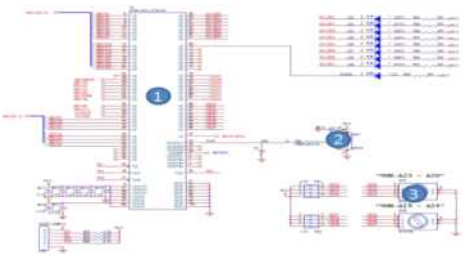
CCU의 디지털 출력 모듈인 DO보드에서는 각 디지털 입력 신호에 대해 CPLD소자를 이용하여 디코딩하여 각 어드레스별 입력에 대한 출력(8채널)을 내보낸다.

- DO 회로도

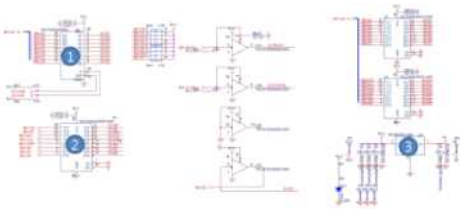


NO	항목	부품명	기능
1	DC-DC Converter	RN-3.315S	3.3V전원을 15V로 변경
2	ACPL-P340	ACPL-P340	디지털 입력을 로직 전원과 절연
3	Diode	VS-4ESH02-M3	입력 역전압 방지

- CPLD 회로도



NO	항목	부품명	기능
1	CPLD	XC95144XL-10TQ100I	어드레스를 Decoder하는 Programmable Logic Device
2	Osilator	SCO-103 40MHz	CPLD 클럭 공급용
3	Switch	S-7070B	헥사스위치에 따른 모드 설정



NO	항목	부품명	기능
1	Buffer	74LVC245	송수신 라인을 버퍼 (TTL소자)
2	Buffer	74LVC244	송수신 라인을 버퍼 (TTL소자)
3	Regulator	MIC29150-3.3BU	5V전원을 3.3V로 변경

- 보드 외형



< 그림 2-226. DO보드 외형 >

㉮ CCU-MB-A0 보드

- 보드 및 회로도 설계

CCU의 각 보드와 보드간을 연결하는 마더보드 역할을 하는 보드이다.

- 보드 외형



< 그림 2-227. MB 보드 외형 >

㉯ CCU-EXT-A0 보드

- 보드 및 회로도 설계

CCU내의 보드간 연결을 위한 용도로 사용하는 Extention Board로 사용한다.

- 보드 외형



< 그림 2-228. EXT 보드 외형 >

(다) 종합제어장치(CCU) 시제품 제작

RACK은 A5052 이며, 알루미늄으로 제작하여 경량화 및 유지보수를 고려하여 제작

기존 장치와 동일한 외관 및 보드 형태로 개발하여 호환성 확보 (6U)

유지보수성을 고려하여 단종 소자를 제외하고, 향후 수급이 원활한 소자를 활용하여 제작

이중 크기 또는 단일 크기 Euro형식의 슬롯이 있는 30TE 보조랙

프린트 회로 보드 후면 (WRAP은 불가능)

TCN 게이트웨이와 CPU로 제어되는 백업 배터리가 있는 송풍기

차량 전원 시스템의 전면 연결에 사용되는 어댑터 변환기(어댑터 컨버터)

5V±15V 변환기에 사용되는 전압범위가 넓은 전원공급장치 (14.4V ~ 154V)

다양한 방법으로 확장이 가능한 CCU 이용

CPU와 같이 조작 또는 TCN 게이트웨이가 독립모드일 때, 중복되는 제어 시스템

MVB의 단계별 구조 (2개의 MVB 인터페이스를 가짐)

TCN TGW을 통해, BOCD 모듈의 어드레스를 지정하기 위한 독립형 TCN 게이트웨이

(라) MVB 통신 Card 전용 프로그램 개발

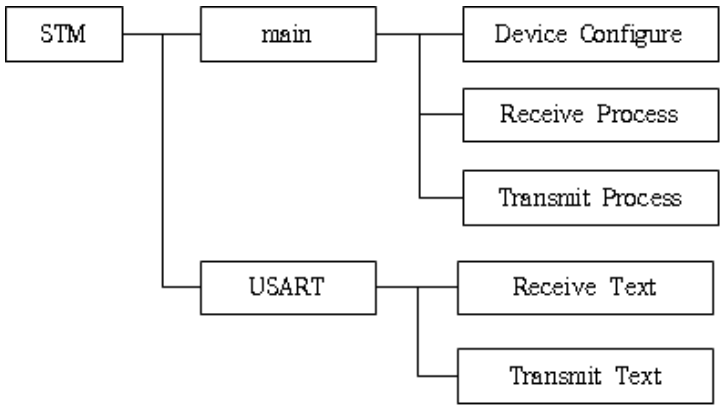
① MVB 통신 Card Firmware 개발개요

개발품 장치 내 운영체계(OS)가 별도로 설치되는 형태를 가지지 않는 구조로 설계되어 운용 소프트웨어는 개발이 요구되지 않는다. Firmware는 시작품에 적용되었으며, 시제품에서는 일부기능 제어, 이전되어 Logic으로 대체된다.

㉮ Firmware 운용환경

장치 내부 프로토콜 및 Interface 정의 된 내용에 따라 개발되었으며, 개발된 Firmware는 시작품 내 MCU(STM32 Series)에 적용됨. 개발언어는 C 언어를 사용한다.

장치와 CPU 모듈과의 통신은 RS-485이며, Slave 모드로 동작하고 Master 장치인 CPU 모듈로부터 수신된 프로토콜에 따라 동작한다.



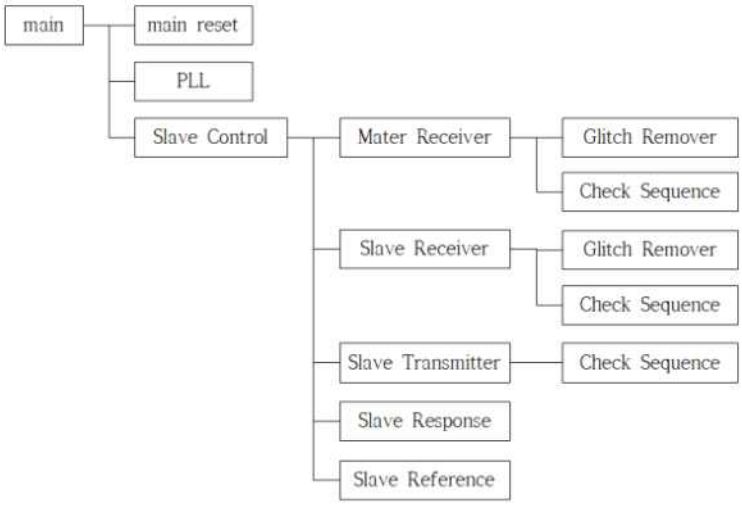
< 그림 2-229. 프로그램 구성 >

② MVB 통신 Card Logic 개발개요

MVB 통신 로직 설계는 VHDL 언어를 사용하였으며, FPGA에 적용하였다.

㉮ 시작품

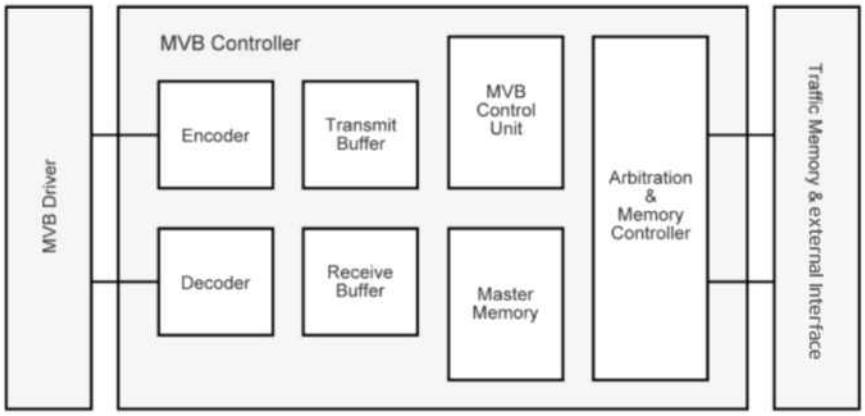
- 대상장치는 Slave 동작하며, 외부 포트 설정에 따라 응답하도록 구현
- 참고하고자 하는 포트를 설정하면 포트의 내용을 기억하도록 되어있음



< 그림 2-230. MVB 통신 카드 Logic 구성 >

㉰ 시제품

- MVB 통신 구성



< 그림 2-231. MVB 통신 구성 >

- MVB 통신 구성별 기능

< 표 2-62. MVB 통신 구성별 기능>

No	항목	기능
1	Encoder/Decoder	MSD/SSD/ED 생성, Data Encoding/Decoding, Check Sequence 계산
2	Transmit Buffer	전송할 Data Buffer
3	Receive Buffer	수신된 Data Buffer
4	MVB Control Unit	Switchover, Mastership Transfer, Master/Slave 전송, 수신
5	Master Memory	Master 기능 실행할 경우 Master List 저장
6	Arbitration & Memory Controller	Extarnal Interface 와 Master Memory, Traffic Memory 간 Interface 중재

(10) 중앙제어장치(CCU) 성능평가

(가) 종합제어장치(CCU) 구성품시험

① 시험 개요

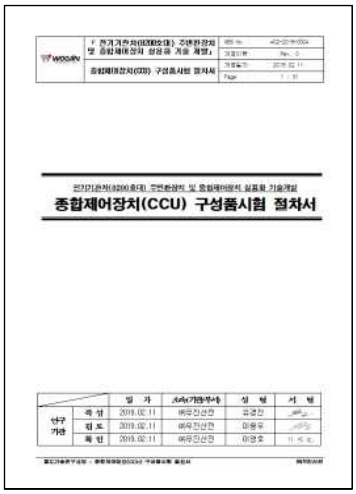
전기기관차(8200호대) 종합제어장치의 전기적 성능과 제품의 품질 및 안전성을 보증하기 위하여 철도차량 기술기준 Part 46에 의거하여 아래의 표와 같이 시험 및 검사항목으로 나누어 제3자 철도차량 전문시험기관 입회하에 구성품 시험을 실시하였다.

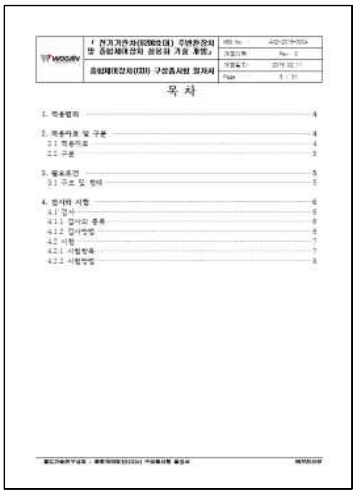
시험 항목		시험구분		적용규격
		형식시험	전수시험	
구조 및 절연 시험	외관 구조 및 치수 검사	◎	◎	검사 및 시험기준서
	절연저항 시험	◎	◎	IEC60571
	내전압 시험	◎	◎	ICE60571
전원변동 및 동작시험	전원변동시험	◎	◎	IEC60571
	동작시험	◎	◎	검사 및 시험기준서
온/습도 시험	저온시험	◎	—	IEC60068-2-1
	고온시험	◎	—	IEC60068-2-2
	고온/고습 시험	◎	—	IEC60068-2-30
	온도 사이클링 시험	◎	—	IEC60068-2-14
전자파 적합성시험	서지 내성시험	◎	—	IEC61000-4-5
	정전기 방전 내성시험	◎	—	IEC61000-4-2
	빠른 과도현상 내성시험	◎	—	IEC61000-4-4
	전자파 방사 내성시험	◎	—	IEC61000-4-3
	전자파 전도 내성시험	◎	—	IEC61000-4-6
	전도 장해 시험	◎	—	EN55011
	방사 장해 시험	◎	—	EN55011
진동 및 충격시험	진동 기능 시험	◎	—	KSC IEC61373
	진동 내구 시험	◎	—	KSC IEC61373
	충격 시험	◎	—	KSC IEC61373

② 종합제어장치(CCU) 구성품시험(입회시험)

㉮ 종합제어장치(CCU) 구성품시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 구성품시험 절차서를 작성하였다.


종합제어장치(CCU) 구성품시험 절차서


목 차



㉯ 종합제어장치(CCU) 구성품시험(입회시험) 결과

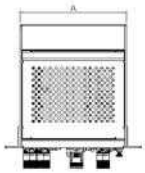
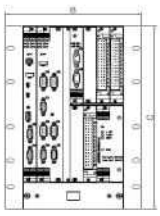
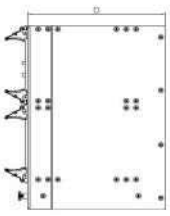
- 구조 및 절연 시험

· 외관검사 및 치수검사

▸ 외관구조검사

항 목 및 판 정 기 준	결과
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것	양호
기기 취부 상태가 승인도면과 일치하는지 확인	양호

▸ 측정검사

구분	기준값(mm)	측정값(mm)	결과	비고
A	162 ±3	162	적합	
B	208 ± 3	208	적합	
C	311 ± 3	311	적합	
D	210 ± 3	210	적합	

· 절연저항시험

시험 방법	기 준 값		측 정 값	결과
DC 500V 절연 저항 측정기로 절연저항을 측정하여 20MΩ이상 일 것.	20MΩ 이상	내전압 전	∞	적합
		내전압 후	∞	적합

· 내전압시험

시 험 방 법	기 준 값	결과
AC 1000V 60Hz를 1분간 견딜 것.	1000V	적합

· 전압변동 시험

시 험 방 법	기 준 값	결과
상온에서 정격 전원 전압 70V~130V까지 변화시키면서 인가하여 전원 공급 보드의 LED 상태가 이상이 없을 것.	70V	적합
	100V	적합
	130V	적합

· 동작 시험

▸ 통신시험

시 험 방 법		시 험 결 과
정격 전원을 인가하여 통신에 이상이 없을 것.	MVB	양호
	WTB	양호

▸ 디지털 출력 시험

시 험 방 법	시 험 결 과
정격 전원을 인가하여 디지털 출력을 일정한 간격으로 출력하여 확인 한다.	양호

· 환경시험

항 목	시험방법 및 판정기준	결과	비 고
저온시험	IEC 60068-2- 1, 이상이 없을 것	적합	공인시험 기관성적서
고온시험	IEC 60068-2- 2, 이상이 없을 것	적합	
온도사이클 시험	IEC 60068-2-14, 이상이 없을 것	적합	
고온고습 시험	IEC 60068-2-30, 이상이 없을 것	적합	

· 전자파 적합성 시험

항 목	시험방법 및 판정기준	결과	비 고
정전기방전내성(ESD)	IEC 61000-4-2, Criterion B	적합	공인시험 기관성적서
전기자기방사내성(RS)	IEC 61000-4-3, Criterion A	적합	
전기적빠른과도현상내성 (EFT/Burst)	IEC 61000-4-4, Criterion A	적합	
서지내성(Surge)	IEC 61000-4-5, Criterion B	적합	
전자기장전도내성(CS)	IEC 61000-4-6, Criterion A	적합	
전도 장해(RE)	EN55011 Criterion A	적합	
방사 장해(CE)	EN55011 Criterion A	적합	

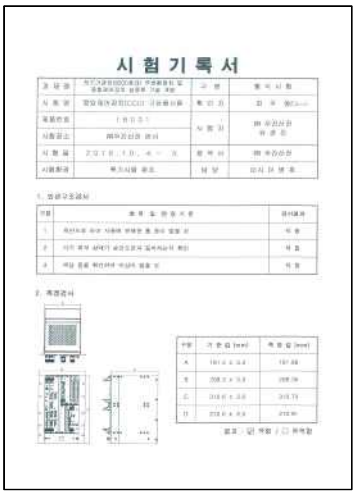
· 진동시험

항 목	판정기준	결과	비 고
기능 랜덤 시험	IEC 61373 1종 B로 실시하여 이상이 없을 것	적합	공인시험 기관성적서
모의 장기 수명 시험		적합	
충격 시험		적합	

㈐ 구성품시험 (입회시험) 사진



㈑ 종합제어장치(CCU) 구성품시험 (입회시험) 기록서







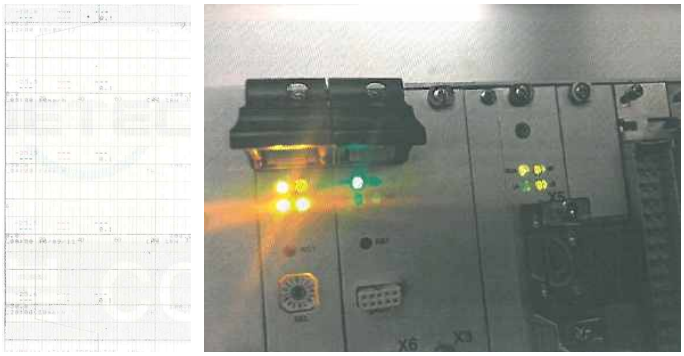
㈒ 종합제어장치(CCU) 공인기관 인증시험

- 환경시험

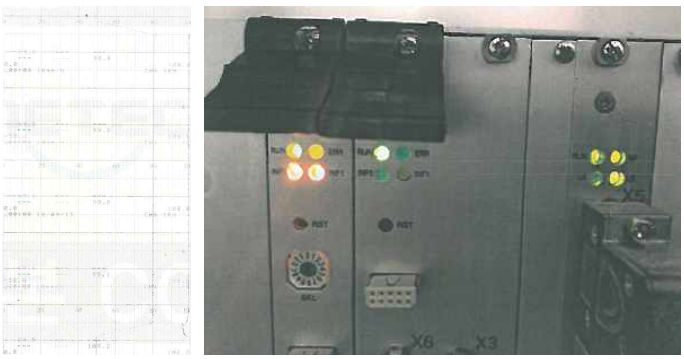
· 시험 요약

항 목	적용규격	결과
내한성시험	IEC 60068-2-1:2007	이상없음
내열성시험	IEC 60068-2-2:2007	이상없음
온도변화시험	IEC 60068-2-14:2009	이상없음
내습사이클시험	IEC 60068-2-30:2005	이상없음

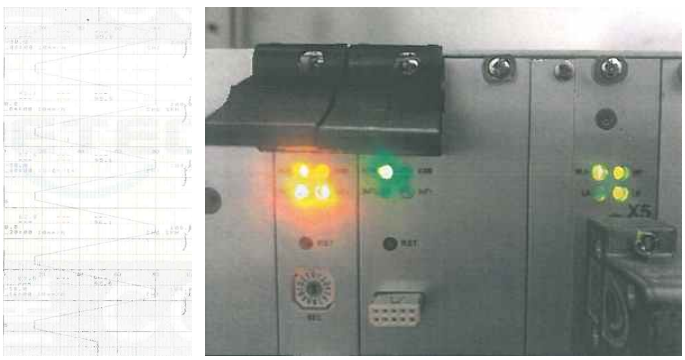
· 시험 결과



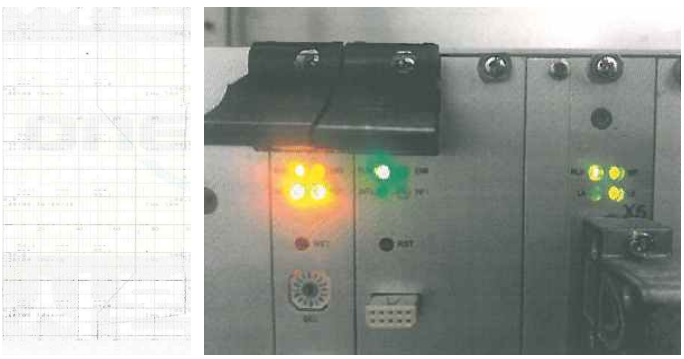
< 그림 2-232. 내한성시험 결과 DATA >



< 그림 2-233. 내열성시험 결과 DATA >



< 그림 2-234. 온도변화시험 결과 DATA >



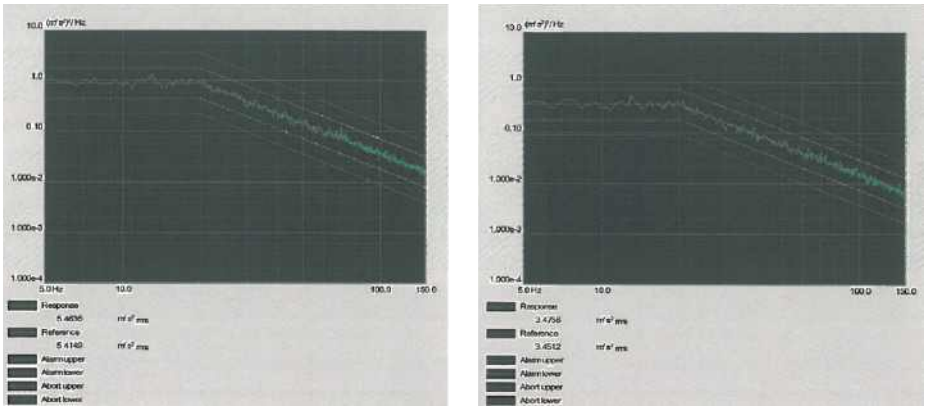
< 그림 2-235. 내습사이클시험 결과 DATA >

- 진동시험

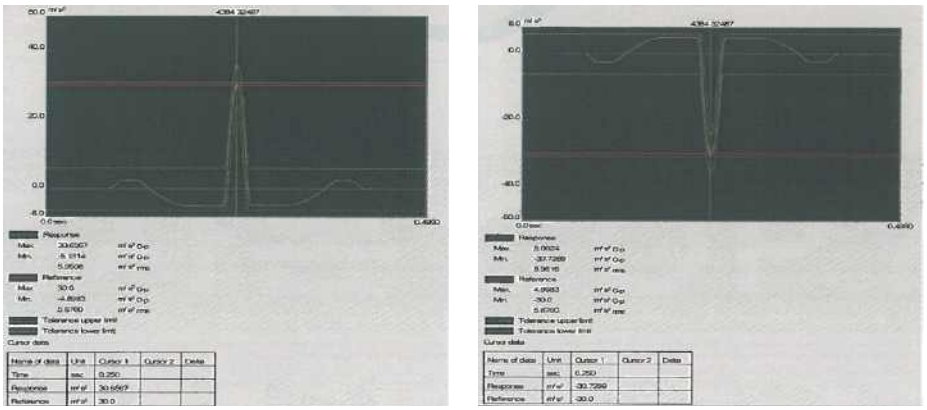
· 시험 요약

항 목	적용규격	결과
모의장기수명시험	KS C IEC 61373:2002 (1종 B종)	이상없음
충격시험		이상없음
기능랜덤시험		이상없음

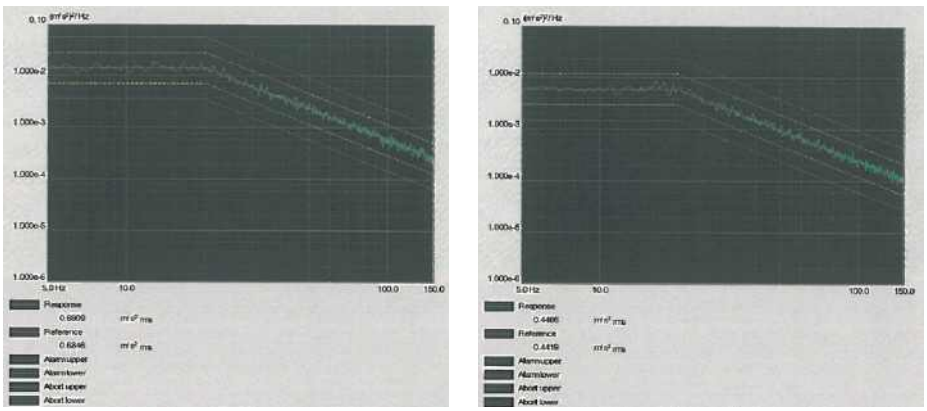
· 시험 결과



< 그림 2-236. 모의장기수명시험 결과 DATA >



< 그림 2-237. 충격시험 결과 DATA >



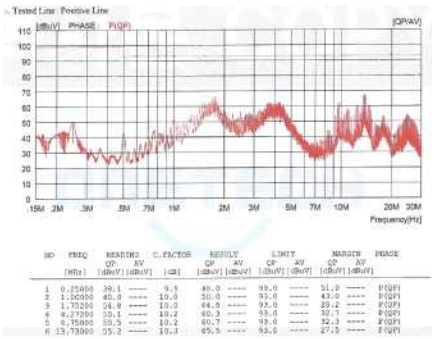
< 그림 2-238. 기능랜덤시험 결과 DATA >

- 전자파시험

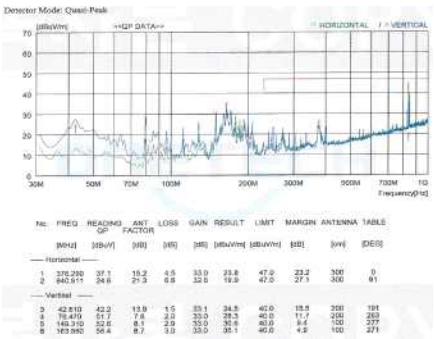
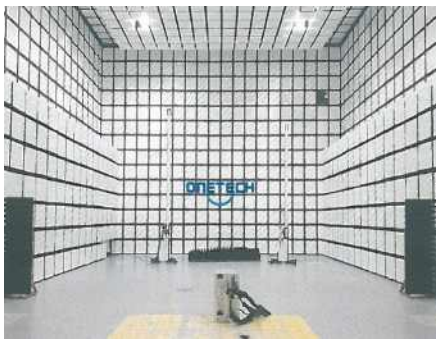
· 시험 요약

항 목	적용규격	결과
전도시험	EN 55011:2015	적합
방사시험	EN 55011:2015	적합
정전기방전내성시험	EN 61000-4-2:2008	적합
전기자기 방사내성시험	EN 61000-4-3:2010	적합
전기적빠른과도현상내성시험	EN 61000-4-4:2012	적합
서지내성시험	EN 61000-4-5:2014	적합
전기자기 전도내성시험	EN 61000-4-6:2013	적합

· 시험 결과



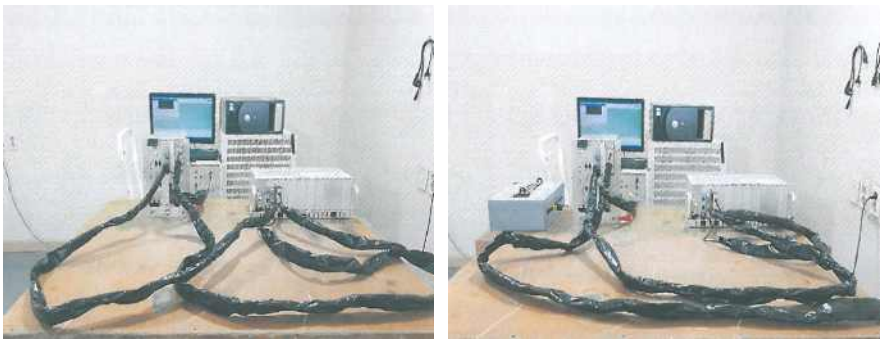

< 그림 2-239. 전도시험 결과 DATA >

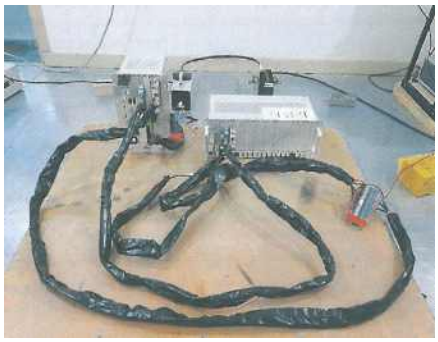
< 그림 2-240. 방사시험 결과 DATA >




< 그림 2-241. 정전기방전내성시험/전기자기 방사내성시험 결과 DATA >



< 그림 2-242. 전기적빠른과도현상내성시험/서지내성시험 결과 DATA >



< 그림 2-243. 전기자기 전도내성시험 결과 DATA >

- 공인기관 시험성적서











(나) 종합제어장치(CCU) 통신조합시험

① 시험 개요

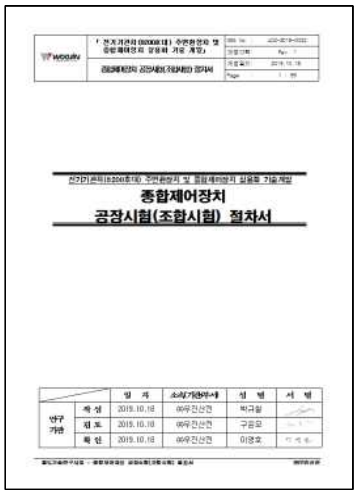
전기기관차(8200호대) 종합제어장치의 전기적 성능과 제품의 품질 및 안전성을 보증하기 위하여 아래의 표와 같이 기능시험 항목으로 나누어 운영사 및 3자 공인인증시험기관 입회하에 통신조합시험을 실시하였다.

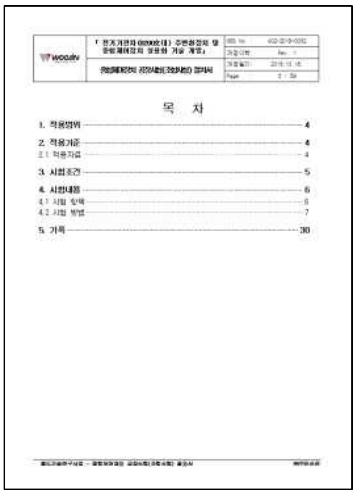
구분	시험 항목	조합시험	비고
1	CCU Ports 화면 시험	◎	
2	Port 2..27 화면 시험	◎	
3	Ports 29..52 화면 시험	◎	
4	Ports 53… 화면 시험	◎	
5	기본화면1 시험	◎	
6	기본화면2 시험	◎	
7	MCB 상태 화면 시험	◎	
8	견인력/제동력 화면 시험	◎	
9	견인차단 화면 시험	◎	
10	날짜/시간 입력 화면 시험	◎	
11	로고화면 시험	◎	
12	보조전원 상태 화면 시험	◎	
13	보조전원 그룹 1/2 화면 시험	◎	
14	시험 화면 시험	◎	
15	열차번호/기관사번호 화면 시험	◎	
16	적산전력계 화면 시험	◎	
17	주요정보 화면 시험	◎	
18	팬터상태 화면 시험	◎	
19	중련운전 화면 시험	◎	
20	기본화면 시험 - 중련운전	◎	
21	견인력/제동력 화면 시험 - 중련운전	◎	
22	사건(이벤트) 화면 시험	◎	

② 종합제어장치(CCU) 통신조합시험(입회시험)

㉮ 종합제어장치(CCU) 통신조합시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 조합시험 절차서를 작성하였다.


종합제어장치
공장시험(조합시험) 절차서


목 차



㉮ 종합제어장치(CCU) 통신조합시험(입회시험) 결과

- CCU Ports 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
CCU Port2, 3, 4, 14, 18, 21, 25, 33, 34, 35, 36, 41, 42, 53, 54, 55, 56, 60, 80, 1512 전체 데이터 Hex Code 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	

- Port 2..27 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
CCU Port 2, 3, 4, 14, 18, 21, 25 전체 데이터 Hex Code 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	

- Ports 29..52 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
CCU Port 33, 34, 35, 36, 41, 42, Own Disp S 전체 데이터 Hex Code 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	

- Ports 53… 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
CCU Port 53, 54, 55, 56, 60, 80, P1512 전체 데이터 Hex Code 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	

- 기본화면1 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
견인 전동기 1, 2, 3, 4 활성화 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
가선전류, 전압 현시 시험		적합	
객차전원 1, 2 상태 현시 시험		적합	
날짜 현시 시험		적합	
MCB 투입 상태 현시 시험		적합	
속도 현시 시험		적합	
“MCB 투입을 위한 주간 제어기가 “0” 위치가 아님” 현시 시험		적합	
⋮		적합	
상태 메시지1 - “Bit 7“ 현시 시험		적합	

- 기본화면2 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
열차 번호 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
MCB 투입 상태 현시 시험		적합	
가선전류 현시 시험		적합	
가선전압 현시 시험		적합	
유지보수모드 현시 시험		적합	
축전지 보호 모드 현시 시험		적합	

- MCB 상태 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
주차단기 상태 메시지 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	

- 견인력/제동력 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
열차 번호 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
유지보수모드 현시 시험		적합	
축전지 보호 모드 현시 시험		적합	
견인전동기1 활성화 현시 시험		적합	
견인전동기2 활성화 현시 시험		적합	
견인전동기3 활성화 현시 시험		적합	

- 견인차단 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
견인 차단 상태 메시지 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	

- 날짜/시간 입력 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
날짜 시간 설정 시험	날짜 시간 설정	적합	

- 로고화면 시험 [기능 시험]

시험항목	시험조건	결과	비고
운전실 점유 시험	운전실 키로 운전실 점유	적합	

- 보조전원 상태 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
AUX1 dFset 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
AUX1 Fset 현시 시험		적합	
AUX1 상태 “ON“ 현시 시험		적합	
AUX1 PWR 상태 “ON“ 현시 시험		적합	
AUX2 dFset 현시 시험		적합	
AUX2 Fset 현시 시험		적합	
AUX2 상태 “ON“ 현시 시험		적합	

- 보조전원 그룹 1/2 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
AUX1 주파수 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
AUX2 주파수 현시 시험		적합	

- 시험 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
버전 버튼 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
도유기 시험 버튼 현시 시험		적합	
도유기 시험 중 상태 현시 시험		적합	
견인력 CCU 현시 시험		적합	

- 열차번호/기관사번호 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
열차번호 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
차량번호 현시 시험		적합	

- 적산전력계 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
총전력 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
입력 전력 현시 시험		적합	
회생 전력 현시 시험		적합	
회생 전력 재설정 시험		적합	
입력 전력 재설정 시험		적합	

- 주요정보화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
총 주행거리 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
속도 현시 시험		적합	
운전실 1점유 현시 시험		적합	
운전실 2점유 현시 시험		적합	
팬터그래프1 상승 현시 시험		적합	
팬터그래프2 상승 현시 시험		적합	
⋮		적합	
보조전원 1.2 상태 현시 시험		적합	

- 팬터상태 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
팬터그래프 상태 메시지 현시 화면	해당 데이터 입력	적합	

- 중련운전 화면 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
중련운전 전환 및 기관차 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
기관차1 가선전압 현시 시험		적합	
기관차1 가선전류 현시 시험		적합	
기관차1 견인력/제동력 현시 시험		적합	
기관차2 가선전압 현시 시험		적합	
기관차2 가선전류 현시 시험		적합	
⋮		적합	
기관차4 견인력/제동력 설정 값 현시 시험		적합	

- 기본화면 시험 - 중련운전

시험항목	시험조건	결과	비고
중련운전 전환 및 기관차 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	
유지보수모드 현시 시험		적합	
축전지 보호 모드 현시 시험		적합	
총 전류 현시 시험		적합	
기관차 1, 2, 3, 4 가선전압 현시 시험		적합	
기관차 1, 2, 3, 4 MCB 투입 상태 현시 시험		적합	

- 견인력/제동력 화면 시험 - 중련운전

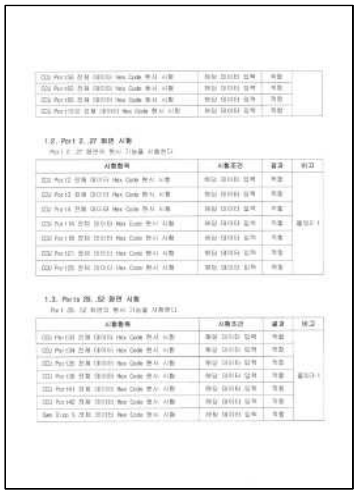
시험항목	시험조건	결과	비고
중련운전 전환 및 기관차 현시 시험	해당 데이터 입력	적합	 
속도 현시 시험		적합	
유지보수모드 현시 시험		적합	
축전지 보호 모드 현시 시험		적합	
총 전류 현시 시험		적합	
객차 전원 1, 2 상태 현시 시험		적합	
기관차 1, 2, 3, 4 견인력 그래프 현시 시험		적합	
기관차 1, 2, 3, 4 MCB 투입 상태 현시 시험		적합	
기관차 1, 2, 3, 4 견인력 지시계 현시 시험		적합	

- 사건(이벤트) 화면 시험

시험항목		결과	비고
0001	주제어전원 NFB: MCN 차단	적합	 
0002	보조공기압축기 NFB: ACMN 차단	적합	
0003	소프트웨어에 의한 팬터그래프 쇄정	적합	
0004	팬터 차단콕크 차단됨	적합	
0005	비점유 운전실: 팬터 비상하강	적합	
0006	가선전압 상승 -->MCB 차단	적합	
0007	가선전압 상승 -->MCB 1시간 잠김	적합	
⋮	⋮	적합	
0740	두 대의 주공기압축기 과온	적합	

㉰ 종합제어장치(CCU) 통신조합시험 기록서


시 험 기 록 서





㉱ 종합제어장치(CCU) 통신조합시험 공인기관시험 성적서


시 험 성 적 서





(다) 종합제어장치(CCU) 현차탑재시험

① 현차탑재시험을 위한 한국철도공사 기술검토 및 안전성검증

㉮ 전기기관차 8200호대 종합제어장치(CCU) 기술검토서류 목록

구분	제출목록	문서번호	비고
1	현차시험 계획서	402-2019-0001	
2	현차시험 검토서	402-2019-0002	
3	검사 및 시험계획(Inspection and Test Plan)	402-2019-0003	
4	공장시험(구성품시험) 절차서	402-2019-0004	
	공장시험(구성품시험) 기록서	-	
	공장시험(조합시험) 절차서	402-2019-0032	
	공장시험(조합시험) 기록서	-	
5	정적시험 절차서	402-2019-0005	
6	정적시험 보고서(양식)	402-2019-0027	
7	동적시험 절차서	402-2019-0006	
8	동적시험 보고서(양식)	402-2019-0028	
9	정기검사 및 기능시험	402-2019-0007	
10	설계 자료	402-2019-0008	
11	제품 기술사양서	402-2019-0009	
12	부품 용량계산서	402-2019-0010	
13	주요부품 List 및 Datasheet	402-2019-0011	
14	정비 지침서(시험기간, 정비목적)	402-2019-0012	
15	기구설계 및 회로설계 도면	402-2019-0033	
16	공인기관시험성적서(환경시험)	OT-18O-RRK-019	
	공인기관시험성적서(진동 및 충격시험)	OT-18O-RRK-018	
	공인기관시험성적서(전자파 적합성시험)	OT-18O-REK-006	
	공인기관시험성적서(조합시험)	KES-RE-19T0377	
	공인기관시험성적서(검사증명서)	RTC-19-032	
17	검교정리스트 및 성적서	-	

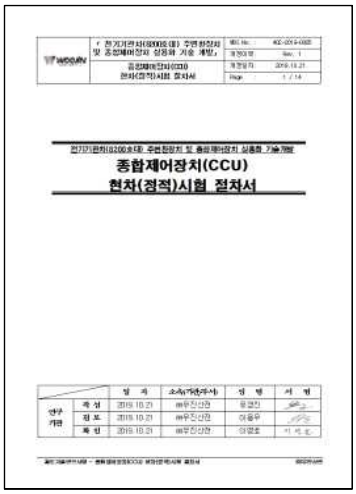
㉯ 전기기관차 8200호대 종합제어장치(CCU) 안전성 검증서류 목록

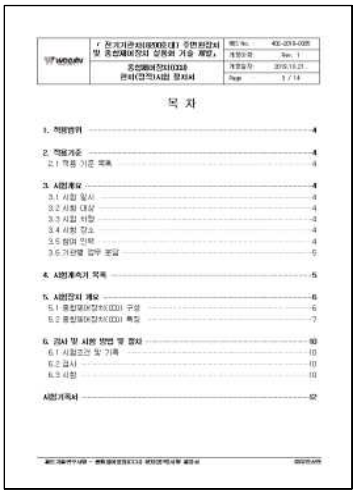
구분	제출목록	비고
1	법령, 사규 등에서 요구한 사항의 준수	
2	위험도 분석 및 안전성 평가	
3	업무절차 및 협의사항	
4	동종/유사 사고예방	
5	열차운행안전 및 안전관리 계획서	
6	산업안전 및 품질안전 확보	
7	안전성검증 체크리스트	
8	작업방법(상례, 차단, 단전)의 적정성	

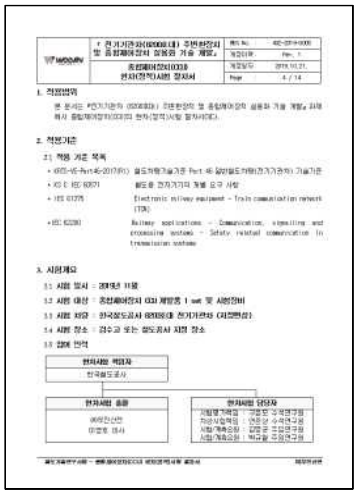
② 종합제어장치(CCU) 정적시험

㉮ 종합제어장치(CCU) 정적시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 정적시험 절차서를 작성하였다.


종합제어장치(CCU)
현차(정적)시험 절차서


목 차



㉯ 시험실시 항목

구분	시험항목		비 고
검사	외관검사		
시험	기능 확인 시험	제어 전원 전압	
		On/Off 시험	
		MVB 통신 시험	
	기동 확인시험	고압 인가 및 MCB 투입	
		CCU 데이터 현시 확인	

㉰ 시험 결과

- 기능 확인

· 제어전압 전원

시험 항목	판정 기준	비고
차량 밧테리 전압 인가시 제어용 출력전압 5V LED가 정상인지 확인	입력 전압	
	LED 점등 확인	

· 종합제어장치 CCU ON/OFF 시험

시험 항목	판정 기준	비고
차량 밧테리 전압 인기시 전면 CPU LED가 점멸하는지 확인, MMI 화면 정상 기동 확인	LED 점등 확인	
	MMI 화면 정상 기동 확인	

· MVB 통신 시험

시험 항목	판정 기준	비고
MMI 화면에서 MVB 프로토콜 확인 Port 65번 데이터 확인 6,7 번째 바이트 MVB 펌웨어 표시 18,19 번째 바이트 NSDB 펌웨어 표시	6,7번째 현시	
	18,19번째 현시	

- 기동 시험

· 고압 인가 및 MCB 투입

시험 항목	판정 기준	비고
종합제어장치가 정상 기동하고 CPU보드 LED 점멸 확인 MMI화면에 종합제어장치 통신 에러 표시 없는지 확인	CPU LED 점멸 확인	
	MMI 화면에 종합제어장치 통신 없는지 확인	

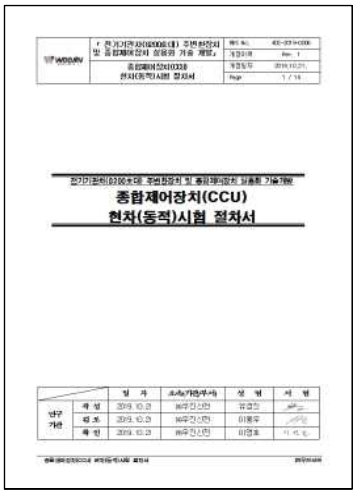
· MMI 화면에 CCU 데이터 현시 확인

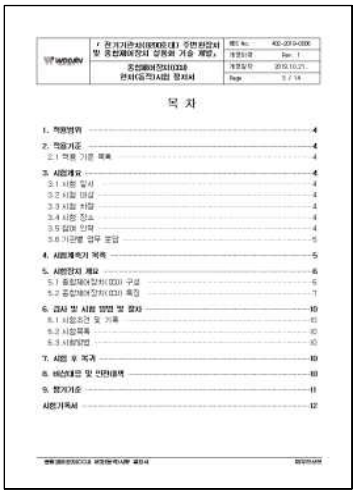
시험 항목	판정 기준	비고
CCU Ports 화면 시험	현시	
Port 2..27 화면 시험	현시	
Ports 29..52 화면 시험	현시	
Ports 53… 화면 시험	현시	
기본화면1 시험	현시	
기본화면2 시험	현시	
MCB 상태 화면 시험	현시	
견인력/제동력 화면 시험	현시	
견인차단 화면 시험	현시	
날짜/시간 입력 화면 시험	현시	
로고화면 시험	현시	
보조전원 상태 화면 시험	현시	
보조전원 그룹 1/2 화면 시험	현시	
시험 화면 시험	현시	
열차번호/기관사번호 화면 시험	현시	
적산전력계 화면 시험	현시	
주요정보 화면 시험	현시	
팬터상태 화면 시험	현시	
중련운전 화면 시험	현시	
기본화면 시험 - 중련운전	현시	
견인력/제동력 화면 시험 - 중련운전	현시	
사건(이벤트) 화면 시험	현시	

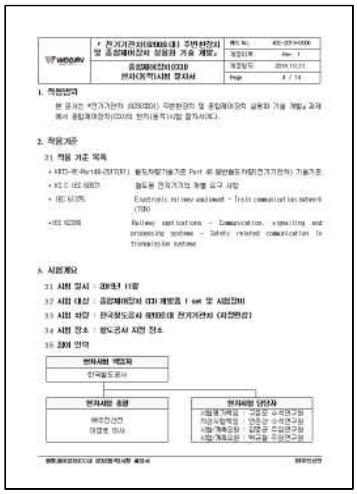
③ 종합제어장치(CCU) 동적시험

㉮ 종합제어장치(CCU) 동적시험 절차서 작성

철도차량 기술기준에 의거하여 동적시험 절차서를 작성하였다.


종합제어장치(CCU)
현차(동적)시험 절차서


목 차



㉯ 시험실시 항목

구분	시험항목		비고
검사	외관검사		
시험	기능 확인 시험	제어 전원 전압	
		On/Off 시험	
		MVB 통신 시험	
	기동 확인 시험	고압 인가 및 MCB 투입	
		CCU 데이터 현시 확인	
	구내시운전 시험	기본화면 (MVB 연결), 가선전압, 전류, 견인전동기, 속도등 현시	
		주요정보, 열차번호, 날짜시간, 견인력/제동력 화면	
		차량상태(온도화면), DSK기록장치, 견인차단, MCB상태 화면(주차단기)	
		제동, 보조전원 A1 & A2 & HEP, 보조전원 A2 & HEP (A1차단), 보조전원 A1 & HEP (A2차단) 화면	
		적산전력계, 버전, 입력 설정, 회생설정 화면	
	본선시운전 시험	기본화면 (MVB 연결), 가선전압, 전류, 견인전동기, 속도등 현시	
		주요정보, 열차번호, 날짜시간, 견인력/제동력 화면	
		차량상태(온도화면), DSK기록장치, 견인차단, MCB상태 화면(주차단기)	
		제동, 보조전원 A1 & A2 & HEP, 보조전원 A2 & HEP (A1차단), 보조전원 A1 & HEP (A2차단) 화면	
		적산전력계, 버전, 입력 설정, 회생설정 화면	

㉰ 시험 결과

- 기능 확인

· 제어전압 전원

시험 항목	판정 기준	비고
차량 밧테리 전압 인가시 제어용 출력전압 5V LED가 정상인지 확인	입력 전압	
	LED 점등 확인	

· 종합제어장치 CCU ON/OFF 시험

시험 항목	판정 기준	비고
차량 밧테리 전압 인기시 전면 CPU LED가 점멸하는지 확인, MMI 화면 정상 기동 확인	LED 점등 확인	
	MMI 화면 정상 기동 확인	

· MVB 통신 시험

시험 항목	판정 기준	비고
MMI 화면에서 MVB 프로토콜 확인 Port 65번 데이터 확인 6,7 번째 바이트 MVB 펌웨어 표시	6,7번째 현시	
18,19 번째 바이트 NSDB 펌웨어 표시	18,19번째 현시	

- 기동 시험

· 고압 인가 및 MCB 투입

시험 항목	판정 기준	비고
종합제어장치가 정상 기동하고 CPU보드 LED 점멸 확인 MMI화면에 종합제어장치 통신 에러 표시 없는지 확인	CPU LED 점멸 확인	
	MMI 화면에 종합제어장치 통신 없는지 확인	

· MMI 화면에 CCU 데이터 현시 확인

시험 항목	판정 기준	비고
CCU Ports 화면 시험	현시	
Port 2..53 화면 시험	현시	
기본화면1,2 시험	현시	
MCB 상태 화면 시험	현시	
견인력/제동력 화면 시험	현시	
견인차단, 날짜/시간 입력 화면 시험	현시	
로고화면, 보조전원 상태 화면 시험	현시	
보조전원 그룹 1/2, 시험 화면 시험	현시	
열차번호/기관사번호, 적산전력계 화면 시험	현시	
주요정보, 팬터상태, 중련운전 화면 시험	현시	
기본화면, 견인력/제동력 시험 - 중련운전	현시	
사건(이벤트) 화면 시험	현시	

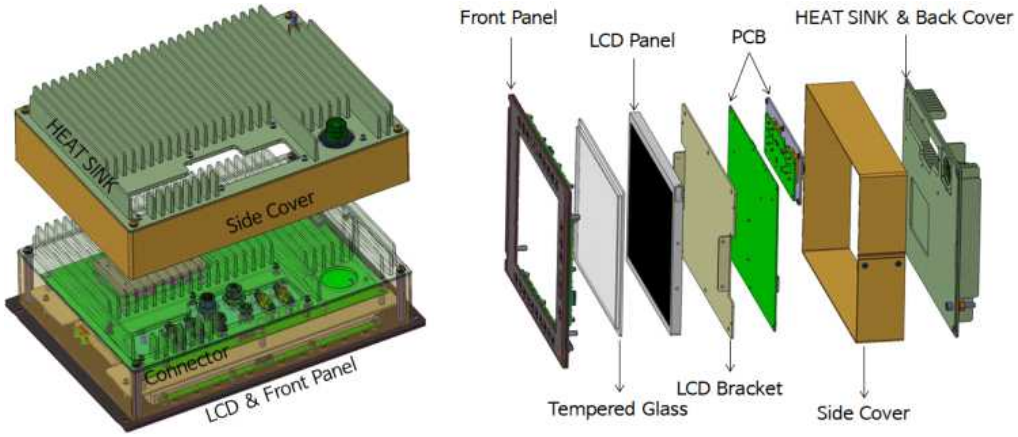
- 구내시운전/본선시운전 시험

순번	시험기준	판정기준	비고
1	기본화면(MVB 연결) - 가선전압, 전류, 견인전동기, 속도등 현시	동일기능	
2	주요정보 화면	동일기능	
3	열차번호 화면	동일기능	
4	날짜시간 화면	동일기능	
5	견인력/제동력 화면	동일기능	
6	차량상태 화면(온도화면)	동일기능	
7	DSK기록장치 화면	동일기능	
8	견인차단 화면	동일기능	
9	MCB상태 화면(주차단기)	동일기능	
10	제동 화면	동일기능	
11	보조전원 A1 & A2 & HEP 화면	동일기능	
12	보조전원 A2 & HEP (A1차단) 화면	동일기능	
13	보조전원 A1 & HEP (A2차단) 화면	동일기능	
14	적산전력계 화면	동일기능	
15	버전 화면	동일기능	
16	입력설정 화면	동일기능	
17	회생설정 화면	동일기능	

(11) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 설계 및 제작

(가) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 분석

① 기존품 3D Modeling 설계



< 그림 2-244. 기존품 MMI 외형 및 구성 >

② 구조정의

㉮ 기본단위 구조

구분	내용	비고
Front Panel 부	- Front Panel 후면에 강화유리가 먼저 취부되고 뒤에 LCD Panel이 올라가서 LCD 패널을 보호하는 형태 - LCD Panel은 LCD Barcket을 통해 고정하게 되며, 그 위로 Main PCB가 취부되는 구조 - 측면으로는 전면스위치와 연결되는 Switch PCB가 볼트로 채결되며, Front Panel 전면에는 Membrane Switch를 놓은 상태에서 전면스티커로 고정되도록 붙여짐	
Side Cover	- Side Cover는 단품으로 구성되어 있으며, MMI 측면을 감싸는 구조	
BACK Cover 부 (HEAT SINK)	- Back Cover는 MMI 후면을 덮는 구조이며, HEAT SINK와 결합되어 있음 - 외부 인터페이스를 위한 Connector PCB가 BACK Cover에 결합되는 구조 - Main PCB에 탑재된 전원회로의 열방사를 위한 Thermal pad가 붙여져 있음	

㉯ 보드단위 구조

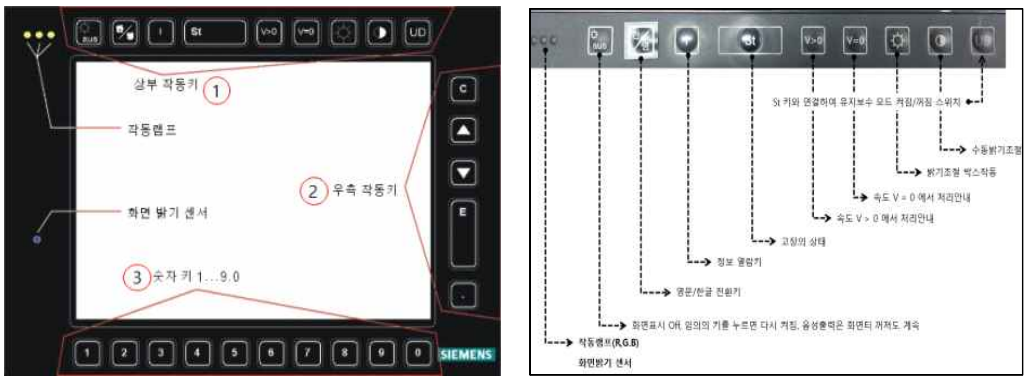
구분	기능
Main PCB	- PC 모듈 주변회로, LCD Panel, 인터페이스, 전원 제어를 위한 회로와 내부온도 제어를 위한 회로 등 주변회로를 포함
Connector PCB	- Main PCB의 외부 인터페이스를 위한 회로를 물리적으로 연결하기 위한 Connector를 포함하고 있는 PCB
Keypad PCB	- Membrane Switch, 밝기, LED 제어 신호를 Main PCB와 통신하기 위한 용도

③ 제품분석

㉮ 일반사항

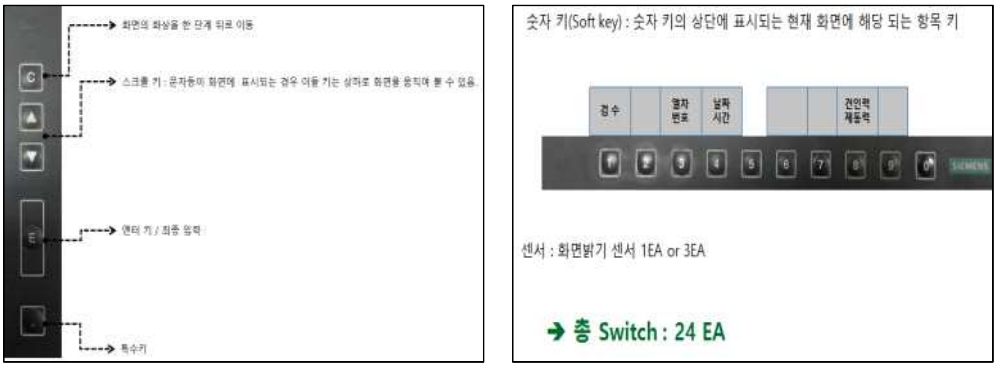
검토항목	내용
Display	250cd/m2, 10.4 “ LCD-TFT SGVA, 640 x 480 pixel, 256 color
Operating System	Windows 3.1 for Embedded MS-DOS for Embedded
PC Module	Embedded PC Module : Conga-ELX Pentium 100Mhz, 16 ~ 64Mbyte Memory
Memory	CF Memory 512 MB
Operating Temperature	-5℃ ~ +50℃ (Without limitation), -25℃ ~ +55℃ (10 minutes after heating), Up to +55℃
Supply Voltage	DC 110V, Isolation
Dimension	300mm x 214mm x 82mm

㉰ 전면 및 상부 작동키 기능



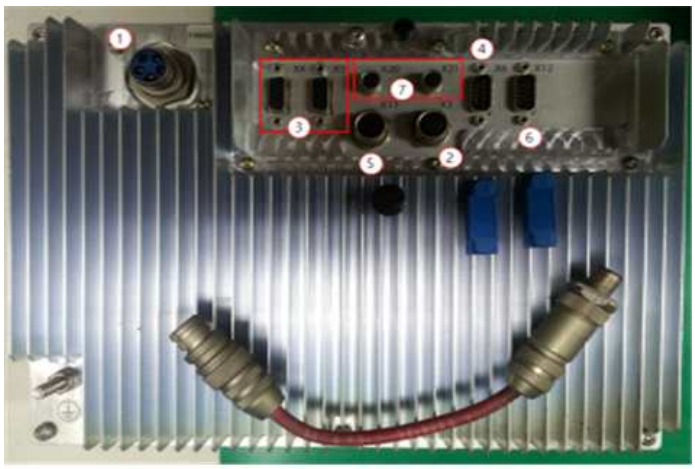
< 그림 2-245. 기존품 MMI 전면 및 상부작동키 기능 >

㉰ 전면 우측 작동키, 숫자키 기능



< 그림 2-246. 우측 작동키 및 전면 숫자키 기능 >

㉱ 후면 커넥터 기능



< 그림 2-247. 기존품 MMI 후면 >

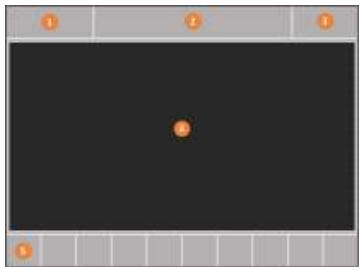
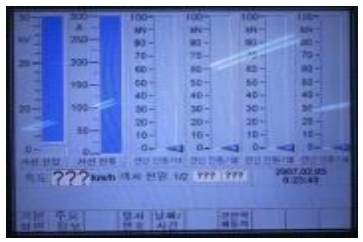
㉲ 화면분석

- 화면의 구성

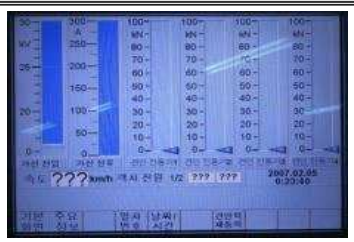
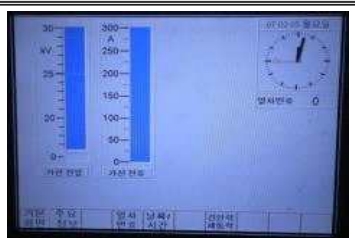
· CCU MMI 화면간의 계측 구조는 다음과 같음. 초기부팅 시 기본화면이 현시되며, 사용자의 조작에 따라 주요 정보, 열차 정보, 날짜/시간, 견인 제동력 화면으로 변경되며, 총 4개의 계층으로 이루어짐

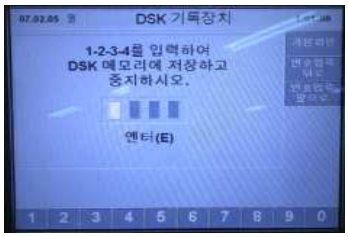
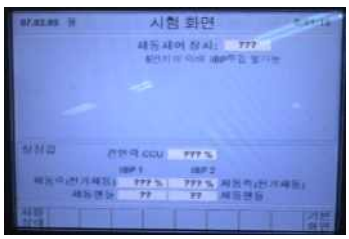


< 그림 2-248. 화면구성 >

화면영역	화면 영역 설명	비고
초기화면	- CCU MMI가 부팅 될 시 현시되는 초기 화면 - 화면은 현시 정보에 따라 5개의 영역으로 구분 · 날짜/요일 영역 : YY.MM.DD □(요일) · 제목영역 · 부팅 경과 시간 영역 : H:MM:SS · 주 화면 영역 : 내용 현시 창 · 버튼 영역 : 10개의 선택 버튼 / 숫자 입력 버튼	
기본화면 정보	- 로고 화면 이후 CCU와 통신 연결 후 현시되는 화면 - 기본화면 창에서 버튼 1[기본 화면] 선택 시 현시되는 화면 · 프로토콜 변화에 따른 화면변화 · 가선전압, 가선전류, 견인전동기 1/2/3/4 · 속도, 4015 29-28 견인력 1/27-26 견인력 2 · 객차전원 1/2	

- 기능 및 계층 구조별 화면 분석

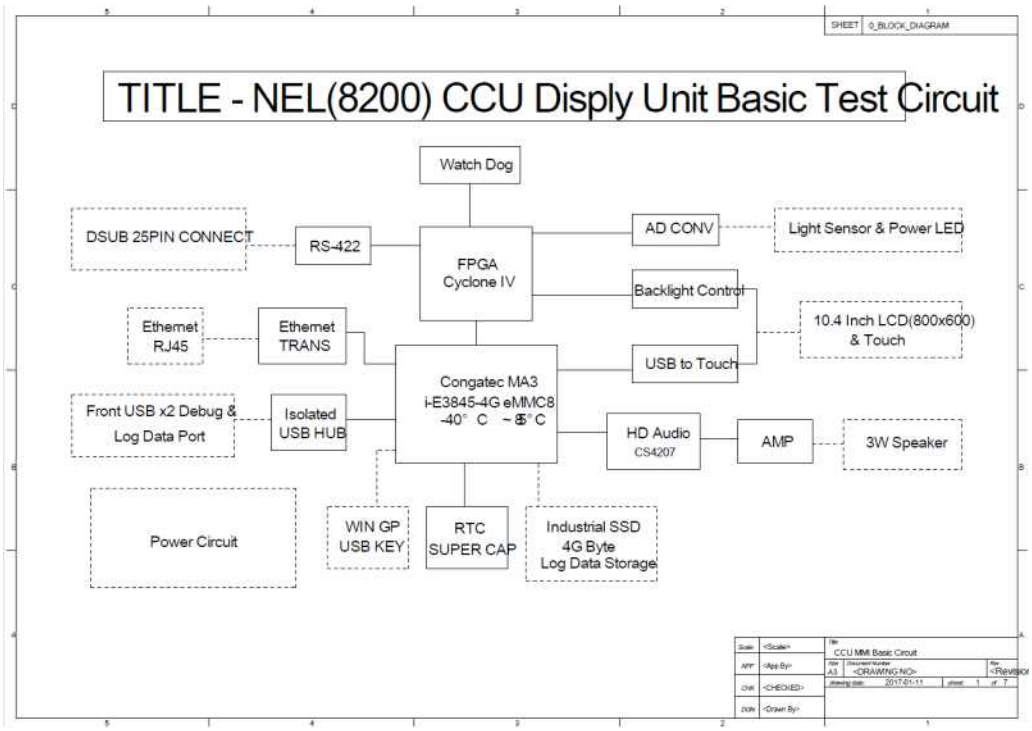
주요정보	열차번호/기관사번호	날짜/시간 입력
		
속도, 총주행거리, 팬터그래프 1/2, 주차단기, 중련 운전, 추진장치 1/2/3/4, 보조전원 1.1/1.2, 객차전원공급장치 1/2, 객차전원 1/2, 열차번호	특별한 입력 요청이 깜박임으로 나타남	숫자가 깜박이는 상태로 들어가야 하며 오류 없이 입력이 완결 될 때, 엔터키를 눌러 시간이 중앙제어장치(CCU)로 전송 될 수 있음
견인력/제동력	**중련운전**	**적산전력계**
		
견인전동기 1/2/3/4	중련운전, 기관차 상태, 주차단기, 객차전원 1/2, 제동, 가선전압, 가선전류, 견인력/제동력, 설정값, 견인력/제동력	총 전력, 입력 전력, 회생 전력

DSK 기록장치	견인차단	MCB 상태
		
자금 / 투입 단시간 메모리	총 전력, 입력 전력, 회생전력	
팬터상태	**시험화면**	**적산전력계**
		도유기 중단(시험 차륜지 도유) 차륜지 도유 종료 다른 제동제어장치(BCD)로 전환

(나) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 시작품 제작

① 전자회로 설계

㉮ 제품구성



< 그림 2-249. 제품 구성 >

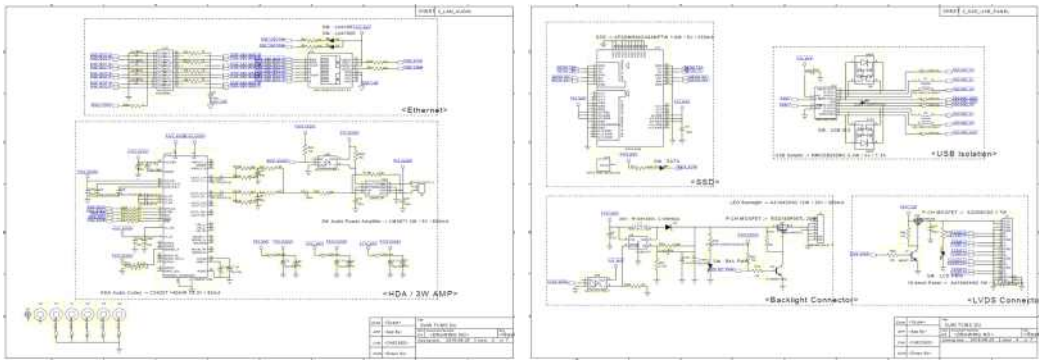
㉯ 제품사양

항목	사양
Conga Board	- CONGA MA3-ie3845-4G eMMC8 - Operating temperature : -40℃ ~ +85℃ - Supply Voltage : 4.75 to 20V(wide) - Onboard Memory 8GB eMMC flash - COM Express Module with intel® Atom E3845 quad core processor with 1.91GHz, 2MB L2 cache, 4GB 1333MT/s DDR3L
FPGA	- EP4CE6E2217N(Logic IC) - Operating temperature : -40℃ ~ +85℃ - Supply Voltage : 1.15V ~1.25V - I/O : 91 - Max Operating Frequency : 200MHz
Power	- Vicor : V110C24T100BL - Operating temperature : -40℃ ~ +85℃ - Supply Voltage : 66 ~ 110V - Output Power : 24V 100W - Isolation Volage : 3000Vrms(in to out)

㉰ 설계기준

부품	구분	검토내용	설계기준
MAIN Board	전원부	▶ 공급 전원 - POWER 보드에서 24V 전원 공급 - 상시 전원 파트 와 콩가 전원 파트 구분하여 전원 시퀀스화 함 - 최대 22W 사용 VICOR 100W 제품 선정 ▶ 정전원 공급 및 노이즈 방지 대책 - 입력 필터용 커패시터 적용 (입력: 100uF/50V) - 출력 필터용 커패시터 적용 (출력: 100uF/25V,10uF/16V) - 바이패스용 커패시터(100nF) 사용	스위칭 레귤레이터와 LDO 등을 분배 하여 사용 최대 22W 를 사용 전원 설계 기준 2~3배 필터용 캡 및 탄탈 콘덴서 적용하여 전원 안정화
	통신모듈	▶ RS422 통신 적용(Main 통신) -TVS 및 비드, DCDC 컨버터 적용하여 전원 분리 ▶ 1000Base Ethernet 적용 (Debug 용) -표준 Trans 회로 적용 isolation 처리 ▶ USB 통신 -Debug Port x2 isolation -WinGP연결용 Port 전용 Coil 및 보호소자 적용	케이스 외부 출력 회로 보호소자 적용 TVS, Coil, isolation, Bead, Damping Resistor
	기타회로	-전자파 대응 오실레이터 회로 -레벨 시프트 회로 적용 -전자파 대응 LCD 출력 Damping Resistor -터치 출력 TVS 적용	OSC RC 회로 적용 회로 레벨 시프트 적용 LCD 출력 Damping적용 PESD5V0S1BA 적용

㉲ 주요회로



< 그림 2-250. PC Module 주변회로 및 SSD, USB HUB, LCD 및 Backlight 출력회로 >

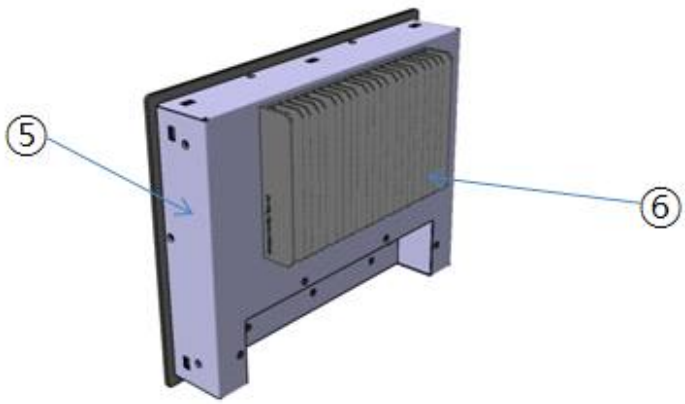
② 기구설계

㉮ 외함 명칭 및 기능



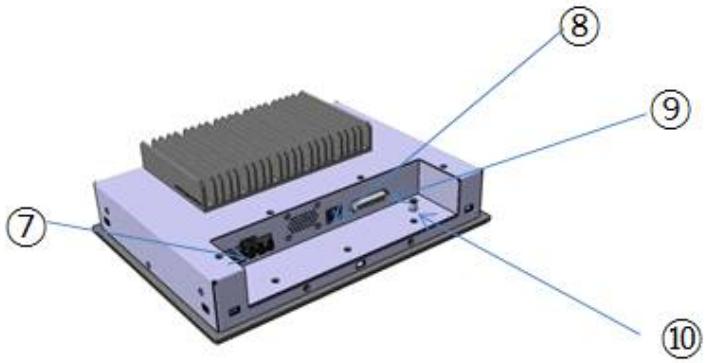
< 그림 2-251. 전면부 >

- FRONT PANEL : LCD, TOUCH, PCB BRACKET등을 고정, 제품 설치용 볼트홀
- 전원LED, LIGHT SENSOR : 전원상태 표시, 주변 밝기에 따라 화면밝기를 조절, 광센서
- USB PORT COVER : 먼지 등의 이물질로부터 USB PORT 보호
- TOUCH SCREEN, LCD PANEL : DISPLAY, 장갑 착용시 등에도 사용 가능한 감압식 터치스크린



< 그림 2-252. 측면부 >

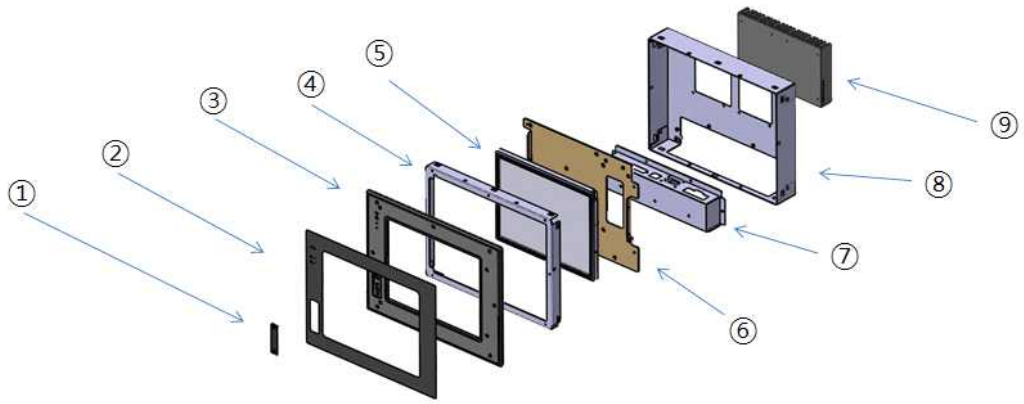
- REAR COVER : 알루미늄 방열판 고정
- HEAT SINK : 방열효과를 위한 알루미늄 방열판



< 그림 2-253. 후면부 >

- 전원커넥터: 전원 공급용 콘넥터
- 통신 커넥터 : Ethernet, 통신용 컨넥터
- 통신 커넥터 : RS422/485 통신용 컨넥터
- 접지단자 : M4x10L

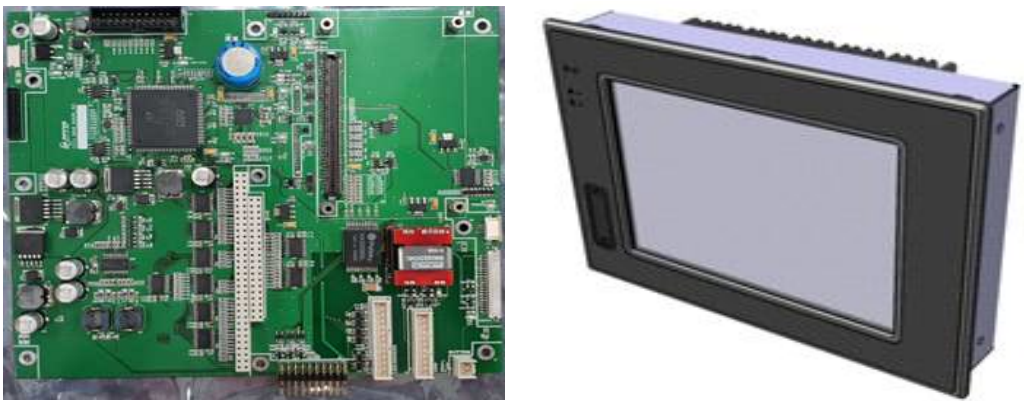
㉰ 분리도



No	부품명	기능
1	USB PORT COVER	15 x 59 x 2T, 알루미늄 재질
2	DECO STICKER	304.4 x 230.4, 전원 LED 및 LIGHT SENSOR 보호
3	FRONT PANEL	317 x 243 x 6T, 어셈블리 브라켓, LCD브라켓 등 부품 고정, 알루미늄 재질
4	ASSEMBLY BRACKET	FRONT PANEL및 REAR CASE에 고정, SUS304 재질
5	LCD PANEL, TOUCH SCREEN	10.4" 산업용 LCD PANEL, 10.4" 감압식TOUCH SCREEN → USB Key 입력변경고려
6	LCD BRACKET	LCD PANEL 및 POWER BOARD, MAIN BOARD 등 고정, 알루미늄재질
7	CONNECTOR COVER	커넥터 덮개, 알루미늄 재질
8	REAR COVER	301 x227 x 48.8, 방열판 고정, 알루미늄 재질
9	HEATSINK	알루미늄 방열판

③ 종합제어장치 화면표시기(CCU MMI) 시작품

㉮ Main Board 및 장치외관



< 그림 2-254. Main Board 및 장치외관 >

(다) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 보완설계

① 시작품 기능 및 성능시험

㉮ 기능 및 성능시험 결과

상온에서 정상 기능을 수행하는데 문제는 없었으나 성능시험 중 온도시험 시 기능에 문제가 있었으며, 성능조건을 만족하기 위해 총 19차에 걸친 온도시험 실시

㉯ 회차별 온도시험

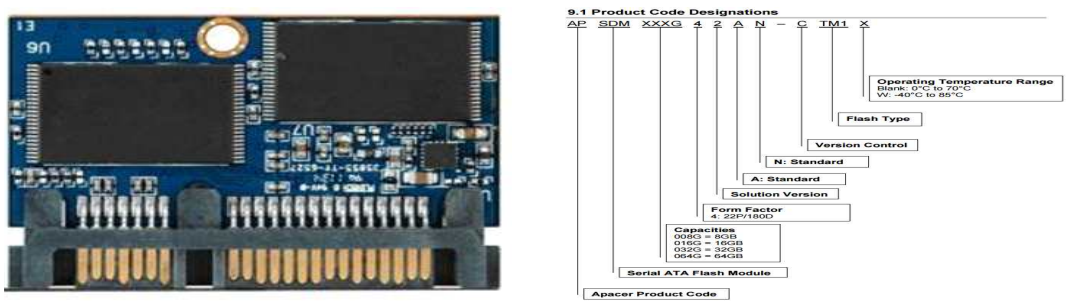
- 온도시험 구성품

SSD, PC Module(Conga-MA3/i-E3845-4G eMMC8), 전원케이블, 온도챔버, 오실로스코프, 온도계, EVM, ATX Power, 모니터, USB 연장케이블, USB 메모리, USB Hub, 키보드, 파워서플라이

- 1차 시험-SSD 시험

· 확인사항 : Conga Evolution Module board에 MA3와 SSD 16G 부착 후 온도시험을 진행하니 저온에서 SSD가 인식불량임을 확인

· 조치사항 : SSD불량으로 온도사양(-40~ 85℃)에 맞는 산업용 SSD 확인 및 교체 (APSDM016G42AN-CM1W)

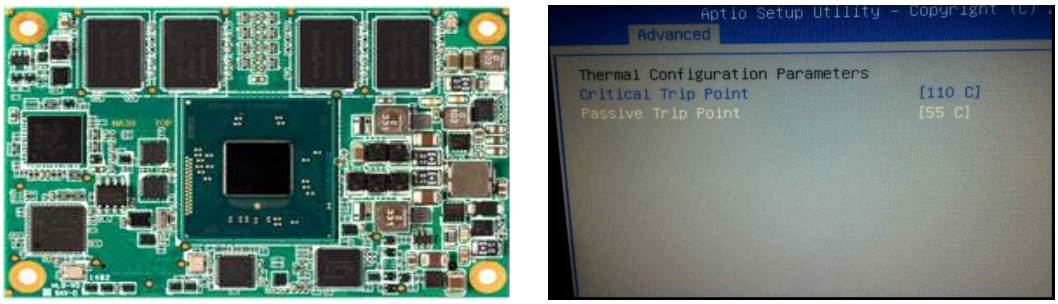


< 그림 2-255. PCB Type SSD 및 Part numbering >

- 2차 시험-PC Module 시험

· 확인사항 : CCU MMI 시작품으로 온도시험 진행 시 고온에서 재부팅되는 현상 확인

· 조치사항 : PC Module 공급사인 EnM에 문의, Bios Critical trip point 최고온도가 90℃로 문제가 되는 것을 전달받고 온도시험 중 bios를 변경하기 어려워 EnM에 제공받은 최신 Bios로 사내에서 업데이트 진행

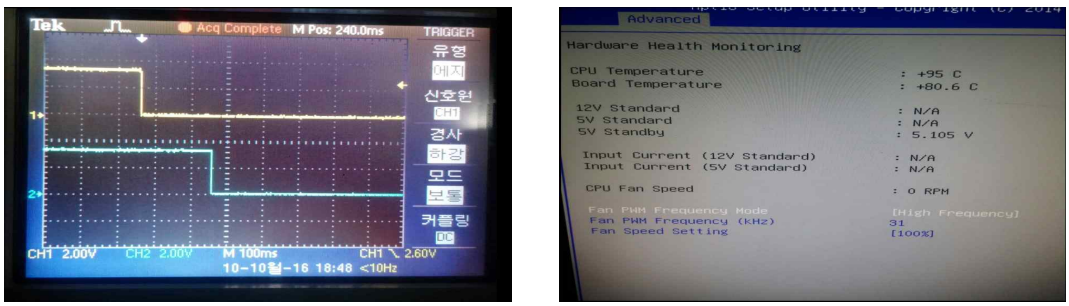


< 그림 2-256. conga-MA3 및 Bios 업데이트 >

- 3차 시험-PC Module 시험

· 확인사항 : CCU MMI 시작품에 최신 바이오스를 반영하여 고온시험을 진행하였으나 재부팅되는 것을 확인

· 조치사항 : Conga에서 파워시퀀스 PS_ON, PWR_OK와 FPGA 부분에 WATCH DOG 파형 확인결과 Conga-MA3에서 PS_ON이 떨어지는 것을 알 수 있음. EnM에 문의하니 95~96℃에서 수초 사이에 10℃가 급격하게 증가될 수 있음. 내부 온도로 인한 재부팅이 의심되어 Conga-MA3 및 VICOR(전원모듈)의 HEAT SINK 사이즈 증가 및 CCU 시작품 장치 Back Panel 수정



< 그림 2-257. 파형측정 및 Bios >

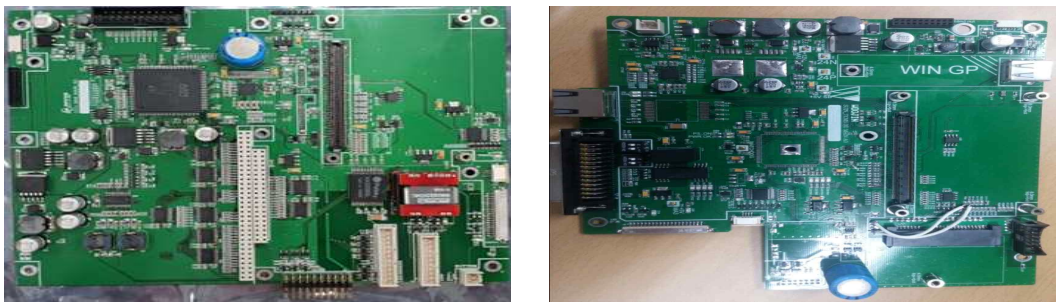
· 3차 시험 장치구성 별 온도측정 값

온도 측정부	온도 측정값[℃]	온도 측정부	온도 측정값[℃]
콩가 CPU	96	콩가 방열 블럭	91
콩가 스프레드	94	리어 방열판 콩가 방면	89
바이코 모듈	96	바이코 방열 블럭	91
DU 내기온도	93	리어방열판 바이코 방면	88

- 4차 시험

· 확인사항 : 시작품에 Conga-MA3 및 VICOR의 HEAT SINK 크기 증가 및 Back Panel 수정본을 반영하여 고온시험 시 재부팅되는 것을 확인

· 조치사항 : Conga Evolution module board로 시험 진행, Conga Evolution module board로 고온시험 진행시 3h 30m정도 정상작동, EVM과 유사한 조건으로 Back Panel 탈거 후 고온시험 진행 시 재부팅, 자사 타제품 Main board로 시험 진행, 전원리플 및 꺼짐 증상 이상없음 확인, 파워보드 탈착 후 24볼트 직결 후 고온 진행하니 재부팅 확인, 레규레이터 제거 5V_SB, 12V_MA3, 5V_MA3, FPGA_3.3V ATX POWER를 케이블 연장해서 진행 재부팅진행, 파워시퀀스에 붙어있는 버퍼 제거 후 고온 진행하니 재부팅 확인, LVDS, 인버터 CABLE 미삽입 후 이상 없음, 예비보드 장착 인버터 외부전원 추가 후 고온 진행하니 재부팅 확인, 인버터 CABLE 빼고 진행 재부팅 없음, 인버터 부분에 있는 MOSFET 제거 후 Vicor 전원(24V)을 인버터 커넥터에 연결 후 고온 진행하니 재부팅 확인, 인버터 CABLE 미삽입 후 고온 진행하니 이상 없음을 확인, 인버터 커넥터에 연결된 Vicor 전원을 제거 및 인버터 CABLE 연결, 인버터 전원 ATX POWER로 인가하여 진행, 1시간 후 강제 전원 오프, 메인회로 탈착 및 메인회로 제거 후 시험, SSD, FPGA, 오디오, 레규레이터, USB ISOLATION, 트랜스 및 시리얼, LVDS 및 인버터 CABLE, 인버터 MOSFET



< 그림 2-258. 시작품 Main board 및 자사 타제품 Main board >

- 5차 시험

· 확인사항 : 온도시험 고온 진행시 CPU 온도 90~95℃ Main board 온도 80℃에서 계속 꺼짐

· 조치사항 : 온도센싱부 EnM에 문의

시작품 온도시험 고온 시 장치온도[℃]	
콩가온도	95
히트스프래드	94.9
방열블럭	93.8
리어방열판내부	88.3
리어방열판외부	84.5

- 6차 시험

· 확인사항 : 4차 보드 Conga-MA3 하부(보드면)에 써멀패드 부착(8T), Conga-MA3 상하부(HSP면) 써멀패드 부착(6T)

· 조치사항 : 고온유지 30분 전원 꺼지는 현상이 1시간으로 지연됨을 확인, 2시간으로 지연

- 7차 시험

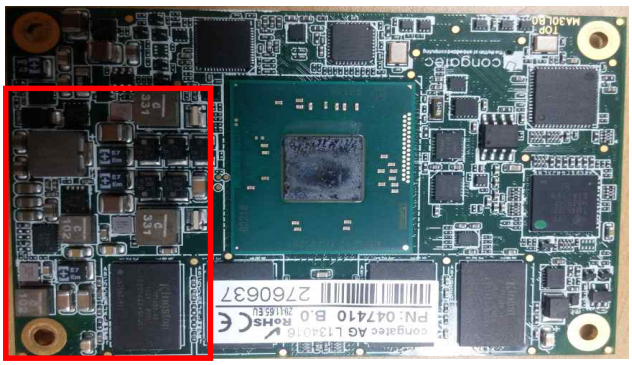
· 조치사항 : 기능테스트 진행 - 고온 85℃에서 사운드 및 터치패널 시험

HSP	CSP
HSP+콩가모듈 상 써멀(2T*3)+케이스타공-2시간 유지	CSP+콩가모듈 상 써멀+케이스X -2시간 유지
HSP+콩가모듈 상 써멀(2T*3) +케이스타공x-2시간 유지	CSP+콩가모듈 변경 및 상 써멀+케이스X (콩가변경)-전원꺼짐 확인
HSP+콩가모듈 상 써멀(2T*3)+케이스 타공X(콩가변경)-2시간 유지	CSP+콩가모듈 변경 및 상 써멀+케이스X (보드교체)-전원꺼짐 확인
HSP+콩가모듈 상 써멀+케이스타공X (HSP변경)-2시간 유지	CSP+콩가모듈 변경 및 상 써멀+케이스X (콩가모듈 하부 써멀패드 2T*4 추가)-2시간 유지
HSP+콩가모듈 상 써멀+케이스타공X (보드변경)-2시간 유지	

- 8차 시험

· 확인사항 : 온도센서 위치는 CPU 좌측에 있다는 것을 EnM에서 확인

· 조치사항 : CPU 좌측 써멀패드 부분적으로 부착 - 온도시험 시 좌측아래에 있음을 확인



< 그림 2-259. Conga-MA3 온도센서 위치 >

- 9차 시험

· 확인사항 : 터치 및 사운드 WIN GP 확인, ATP MMI 4Ω 4W용 AS04004PO-R로 대체(온도스펙 → -40~80℃)

· 조치사항 : 4차 보드 온도시험 진행, 스피커 소리 작은부분 스피커 대체품 확인

- 10차 시험

· 확인사항 : 모듈과 HSP가 정확히 붙어있지 않아 고온에서 30분 진행 후 전원 꺼짐 확인, DU 전원 2시간 유지 확인 - Conga-MA3 상단에 써멀패드를 전체로 부착했으나 USB 작동 불능 확인

· 조치사항 : 4차 보드 써멀패드 1.5W 4, 8T 입고 5T로 부분적 고온 온도시험 진행, 써멀패드 5T+1T 추가 고온 온도시험 진행

- 11차 시험

· 확인사항 : 상온에서 기능시험 터치패널, 사운드 100회 구동확인 및 422통신, LAN 에이징 진행

· 조치사항 : 4차 보드 상온에서 전원 On/Off 100회 진행

- 12차 시험

· 확인사항 : 8차 보드 고온 85℃에서 재부팅시 5V_MA3 전원 비작동과 동시에 부팅이 안됨 85℃에서 80℃로 챔버온도가 낮아지면 자동으로 부팅됨을 확인, WIN GP 탈착 후 USB 비작동 “POWER SURGE ON HUB PORT” 오른쪽 하단에 에러창이 뜨고 USB 작동불능

- 13차 시험

· 확인사항 : 30 ~ 40분 후에 “POWER SURGE ON HUB PORT” 라는 경고화면 확인, 30~40분 후에도 “POWER SURGE ON HUB PORT” 확인 전면 USB는 정상

· 조치사항 : (1) 4차 보드 Conga-MA3 OC#1, 3(B44, B38)에 10K옴을 풀다운하고 진행, 전면 USB는 불규칙적으로 정상적으로 작동하거나 작동 불능상태로 진행, Conga-MA3 OC#1~4(B44,B38,A44,A38)에 10K옴을 풀다운으로 진행

- 14차 시험

· 확인사항 : 재부팅 비동작(5V_MA3가 비동작하여 LVDS 비작동)

· 조치사항 : 4차 보드에 LM2596-5V 입력단 220uF 63V 강제 재부팅, Lm2596-5V 입력단 470uF 50V 강제 재부팅, LM2596-5V 입력단 220uF 63V, 470uF 50V 강제 재부팅, FPGA를 강제 턴온 진행

- 15차 시험

· 확인사항 : 재부팅 동작(5V_MA3가 동작하여 LVDS 작동 확인), 30~40분 후에 “POWER SURGE ON HUB PORT” 라는 경고화면 확인, 30~40분 후에 “POWER SURGE ON HUB PORT” 라는 경고화면 확인 후 전원 오프, 30~40분 후에 “POWER SURGE ON HUB PORT” 라는 경고화면 확인, 재부팅 비동작, 30~40분 후에 “POWER SURGE ON HUB PORT” 라는 경고화면 확인, 재부팅 동작, USB 경고화면 1시간경과시 미출력 전면 USB 정상적으로 작동함을 확인

· 조치사항 : 4차보드 LM2596-5V(5V_MA3)교체 + 220uF 63V, 470uF 50V 제거 후 고온 시험 진행, 인덕터 330(33uH)=> 680(68uH)로 교체하여 전면 USB 확인, OC#1~4 제거 후 USB 확인, 인덕터680(68uH)=>330(33uH)로 교체 + LM2596-5V 입력단에 220uF 부착, LM2596-5V 입력단에 220uF 제거, 4차 불량보드(사운드, 터치 불량) USB ISOlATION(무라타)제거

- 16차 시험

· 조치사항 : 4차보드 저온 온도시험 진행, 4차보드 고온 온도시험 진행, WIN GP 구버전 진행

· 확인사항 : 전면 USB, 터치패널, 사운드 LAN, RS422통신 정상 작동, WIN GP 켜진 상태에서 YA-G로 RS422통신을 BOAD RATE 115200로 진행할시 포트가 비접촉으로 인식이 되지만 WIN GP를 끄고 진행하면 정상적으로 진행, WIN GP 첫부팅 시 Trial 버전 나오는 현상 발생 재부팅한 뒤로는 미발생, 전면 USB, 터치패널, 사운드 LAN, RS422통신 정상 작동, WIN GP 켜진 상태에서 YA-G로 RS422통신을 BOAD RATE 115200로 진행할시 포트가 비접촉으로 인식이 되지만 WIN GP를 끄고 진행하면 정상적으로 진행, WIN GP 첫부팅시 Trial 버전 나오는 현상 발생 재부팅한 뒤로는 미발생, 저온에서 15분가량 전원 오프해서 사용 트라이얼 버전 미출력

- 17차 시험

· 조치사항 : Conga-MA3 내부 써멀패드 부분적으로 부착 2시간 유지 및 재부팅 확인, Conga-MA3 내부 써멀패드 부분적으로 부착 2시간 유지 및 재부팅 확인

· 확인사항 : 1시간 유지 및 재부팅 실패, 1시간 유지 및 재부팅 확인



< 그림 2-260. 패드 부착부분 >

- 18차 시험

· 조치사항 : Conga-MA3 내부 써멀패드 부분 추가, Conga-MA3 내부 써멀패드 부분적으로 부착 2시간 유지 및 재부팅 확인

· 확인사항 : 1시간 유지 및 재부팅 실패, 1시간 유지 및 재부팅 확인



< 그림 2-261. 패드 부착부분 >

- 19차 시험

· 조치사항 : Conga-MA3 내부 써멀패드(4T+2T) 샘플 재부팅 확인

· 확인사항 : 2시간 유지 및 재부팅 확인

㉰ 시작품 온도시험 결과

- 이슈사항

· 온도챔버 고온 85℃에서 Conga-MA3가 CPU trip temperature 110℃로 설정되지 않아 재부팅 및 전원이 꺼짐 현상 발생 -> 최신 바이오스로 진행

· 고온에서 LCD Backlight가 스팩보다 많은 전류를 받아 LCD 내부 열이 발생하여 Conga-MA3 재부팅 및 전원 꺼짐 현상 발생 -> Backlight 전력 수정(fpga에서 pwm_control을 수정)

· CDS센싱 설정

```
constant SENSOR_SAMPLE  : std_logic_vector(7 downto 0):=conv_std_logic_vector(20 , 8);
```

· Backlight pwm 설정

```
if   sensor_value = 0 then pwm_out <= pwm0;
else                       pwm_out <= pwm4;
end if;
```

· 고온 시 재부팅 및 꺼짐 현상 -> Conga-MA3 내부에 써멀패드 삽입

· 고온2시간 유지한 이후 power surge on hub port 경고창이 우측 하단에 뜨며 전면 usb 고온 30분 뒤 작동 안함 확인 -> wingp 라이선스 키(앤츠용) 교체이후 경고창 안뜸

- 결론

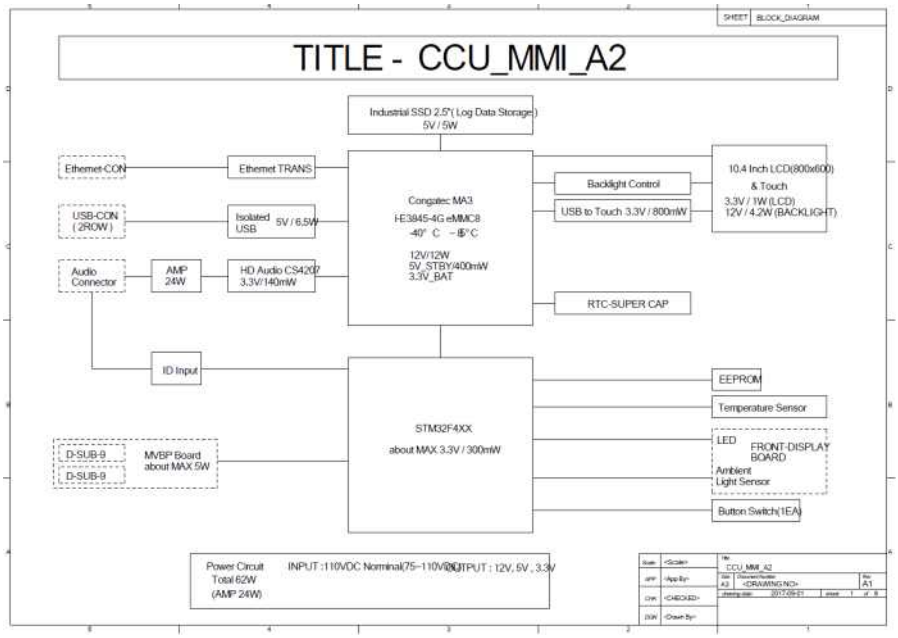
· Conga 재부팅 건으로는 Conga 내부에 있는 온도센서 및 주변소자가 85℃를 못 버티는 것과 LCD 패널 Backlight가 사양보다 웃도는 것과 동시에 열을 많이 방출하여 Conga-MA3 내부에 영향을 미쳐 재부팅 및 전원 오프되는 것을 확인하였음

· 이번 온도시험에서 검증한 것은 새로 장착된 FPGA EP4CE6E22I7N과 Conga-MA3/i -E3845-4G eMMC8 정상작동 됨을 확인하였음

(라) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 시제품 제작

① 전자회로 설계

㉮ 제품구성

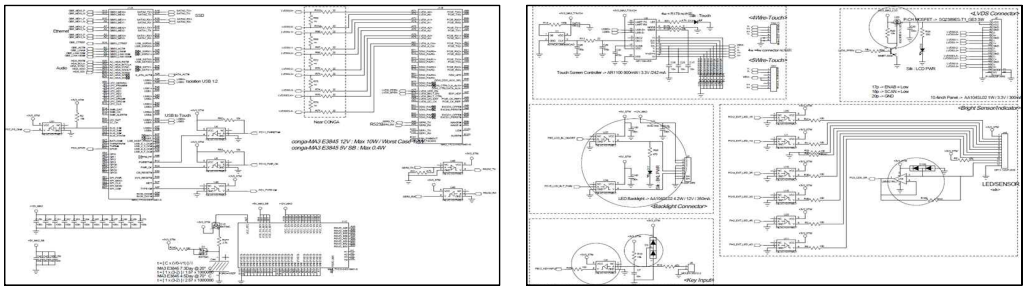


< 그림 2-262. 제품 구성 >

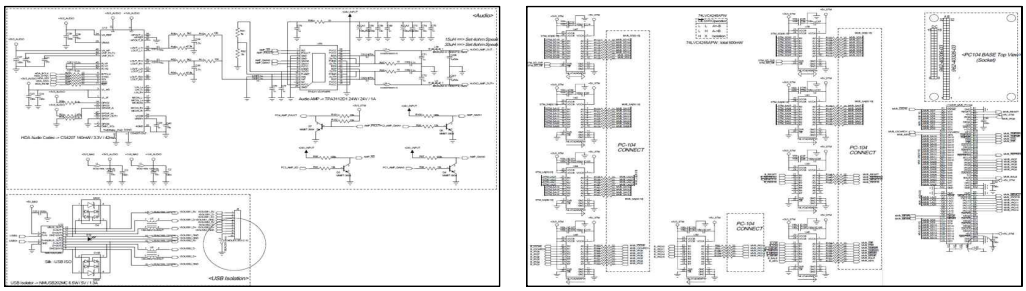
㉯ 제품사양

항목	사양	비고
외형 SIZE (W x H x D)	전면부 : 300 x 214 mm 장치부 : 280 x 204 x 106 mm	
케이스 재질	알루미늄 크롬 도금	
중량	4.5kg	
보호등급	전면부:IP65, 장치부:IP30	
산업용 PC	Conga-MA3, 1.91GHz	
Micro Processor	ARM Cortex®-M4 32Bit/168MHz Interface : Ethernet, USBx2, MVBx2	
MVB	MAX 10	자체개발
디스플레이	800 x 600, 16.7M(8Bit/Color)	
동작온도	-40℃ ~ 85℃	
저장온도	-40℃ ~ 85℃	
입력 및 선택 S/W	Touch Panel and Button	ST Button
Speaker 출력	Audio Connector	
Interface	Ethernet - 1Port, USB - 2Port EMD Type MVB - 2Port	
동작전압범위	77 ~ 143VDC	
입력전력	최대 100W	

㈐ 주요회로



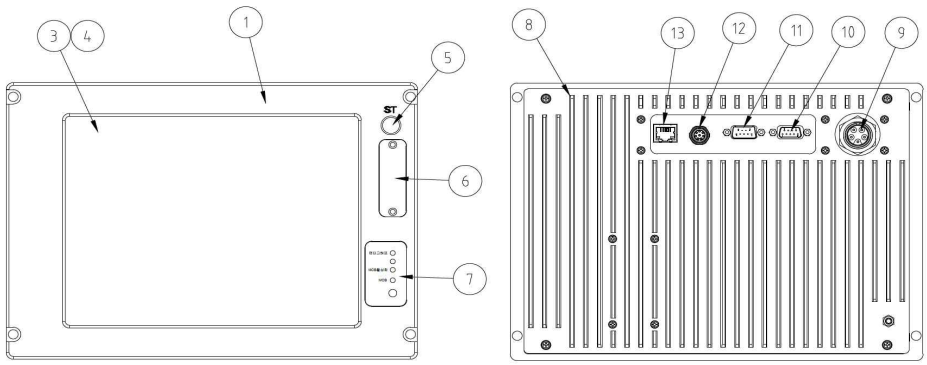
< 그림 2-263. Conga-MA3, Touch, ST Button I/F, LVDS >



< 그림 2-264. Audio, USB Isolation, MVB to PC/104 I/F >

② 기구설계

㉮ 외함 명칭 및 기능



< 그림 2-265. 전면부 및 후면부 >

No	부품명	요약	No	부품명	요약
1	FRONT PANEL	300 x 214 x 8 AL	9	Power Connector	전원 공급 DC 110V
3	Touch Screen	FTAS00-104A5	10	D-SUB 9P Female	MVB 인터페이스
4	LCD	AA104SL02	11	D-SUB 9P Male	MVB 인터페이스
5	ST Button	ILP3FAD	12	Audio Connector	Audio Output
6	USB Cover	USB 2 Port	13	LAN Connector	Firmware Update prot
7	LED & Bright Sensor	상태표시 LED 및 조도센서			

③ CCU MMI 시제품 장치외관

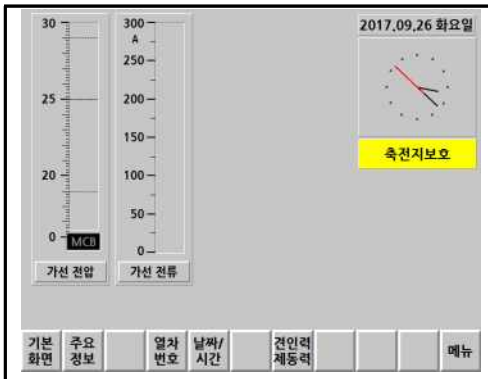


< 그림 2-266. 전면 I/F 및 LCD 부, 후면 커넥터 부 >

④ 전용 소프트웨어 개발

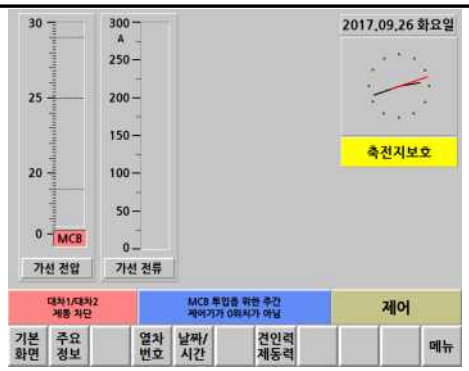
㉮ CCU Man-Machine Interface

- 기본화면 단독운전 화면표시 및 고장표시(축전기보호 모드)



[단독 운전시 기본화면의 동작상태]

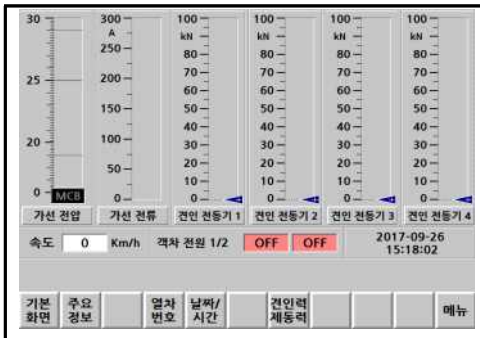
전압과 전류가 입력되면 동작상태가 청색으로 현시됨



[고장/상태 알림]

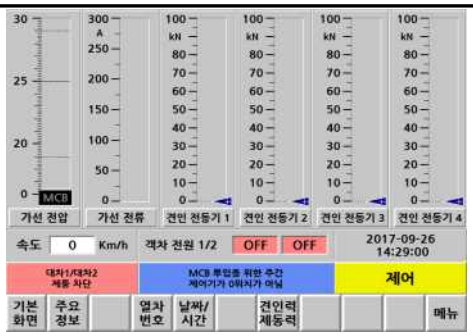
화면표시기에 제어관련 고장을 현시하고, 고장경보를 발생시킴

- 기본화면 화면표시 동작 및 고장표시



[기본화면의 동작상태]

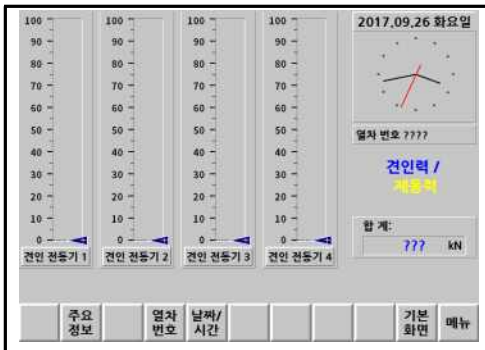
기동처리 및 소프트웨어 초기화 후에 표시기가 작동됨. 중앙제어장치(CCU)에 의해 초기화됨.



[제어 관련 임의고장 발생]

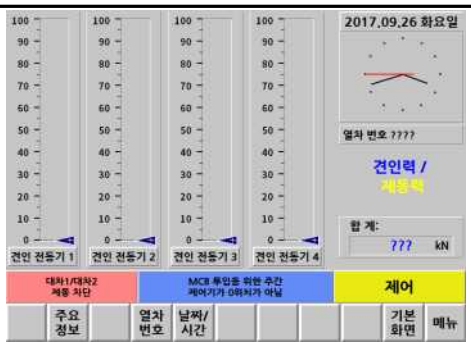
화면표시기에 제어관련 고장을 현시하고, 고장경보를 발생시킴

- 견인력 제동력 화면표시 동작 및 고장표시



[견인력 제동력 화면표시화면의 동작 상태]

정상동작시 견인력은 파란색, 제동력은 노란색으로 동작표시. 견인전동기 견인력의 설정 값은 파란색 색상의 포인터로 나타남.



[제어 관련 임의고장 발생]

화면표시기에 제어관련 고장을 현시하고, 고장경보를 발생시킴.

- 날짜/시간 화면표시 동작, 열차번호 화면표시 동작 및 고장표시 동작



[날짜/시간 화면표시화면의 동작상태]

날짜 및 시간 표시화면은 다음과 같이 현시되고, 번호입력을 통하여 셋팅 할 수 있음



[열차번호/차량번호/기관사번호 화면표시의 동작상태]

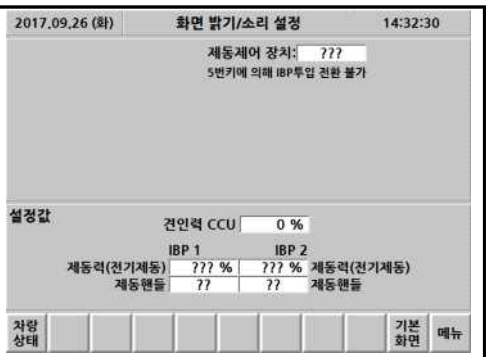
열차번호, 차량번호 및 기관사번호가 현시되고, 번호입력을 통해서 값을 입력할 수 있음

- 주요정보 화면표시 동작 및 고장표시 동작, 시험화면 화면표시 동작 및 고장표시 동작



[주요정보 화면표시의 동작상태]

열차의 속도, 총 주행거리등의 주요정보 현시함



[시험화면 화면표시의 동작상태]

제동핸들을 움직이면 제동핸들에 어떤 수치가 나타남

- 팬터그래프상태 화면표시 동작 및 고장표시 동작, MCB상태(주차단기) 화면표시 동작



[팬터그래프 상태 화면표시의 동작상태]

상기 팬터그래프 상태 조건들이 비활성화 되면 상기와 같이 현시됨.(검정색바탕에 흰색글씨)



[MCB(주차단기) 화면표시의 동작상태]

주차단기 상태를 현시함. 주차단기 상태가 활성화되면 흰색바탕에 검정색 글씨로 현시됨

- 견인차단 화면표시 동작, 차량상태 화면표시의 동작상태



[견인차단 화면표시의 동작상태]

견인차단상태의 조건들이 비활성화이면 검정색 바탕의 흰색글씨로 현시됨



[차량상태 화면표시의 동작상태]

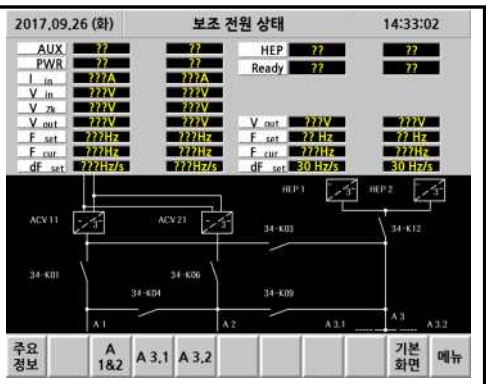
차량의 주요 장치 및 부품에 대한 온도상태를 현시함

- 적산전력계 화면표시 동작, 보조전원상태 및 장치의 화면표시 동작



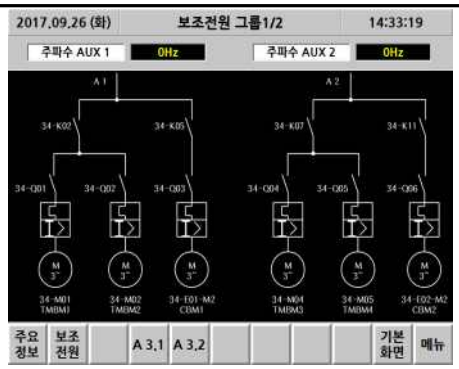
[적산전력계 화면표시의 동작상태]

차량의 적산전력계에 대한 상태를 현시함



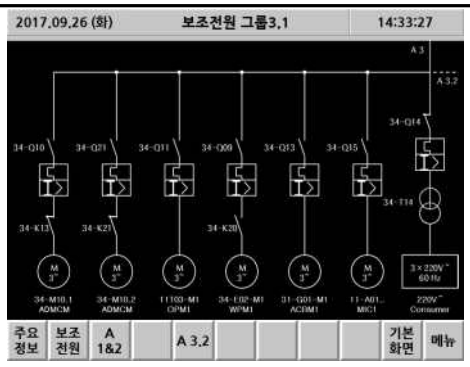
[보조전원 화면표시의 동작상태]

보조전원장치 상태를 현시함



[보조전원 화면표시의 동작상태]

보조전원장치 A1 과 A2의 상태를 현시함



[보조전원 화면표시의 동작상태]

보조전원장치 A3의 A3.1 상태를 현시함

- 제동화면 화면표시 동작 및 화면표시기 밝기 및 소리 화면표시 동작



[제동화면 화면표시의 동작상태]

제동장치 IBP의 상태를 현시함



[밝기 및 소리 화면표시의 동작상태]

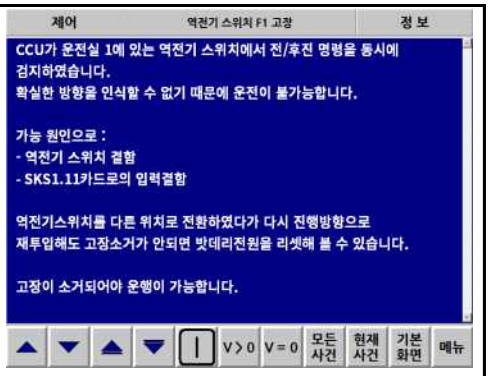
수동 밝기 조절 및 소리 테스트 화면을 현시함

- 진단기능 화면표시 동작



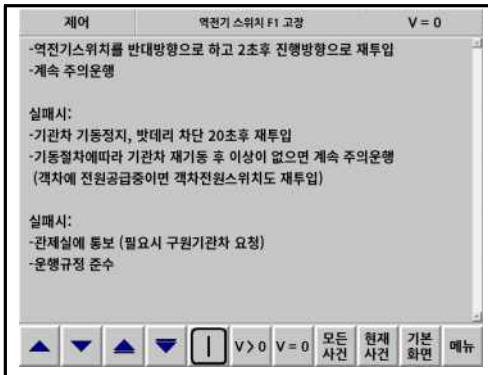
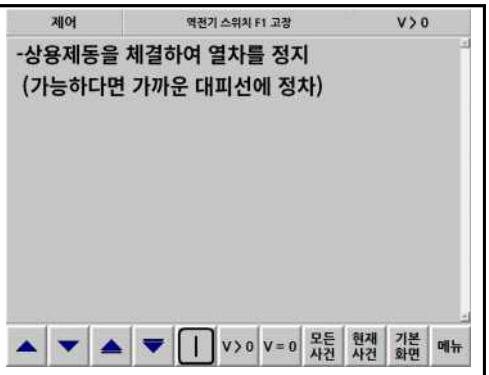
[고장발생시 “ST” 버튼 활성화시 화면표시의 동작상태]

사건목록을 선택하여 “I” 버튼을 터치.

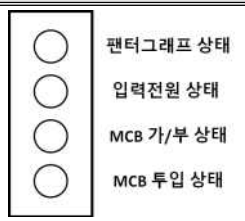
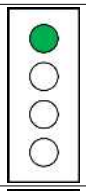
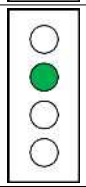
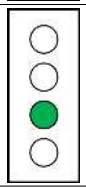
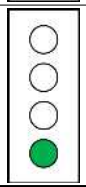


[고장발생시 “ST” 버튼 활성화시 화면표시의 동작상태]

사건목록을 선택하여 “V=0” 버튼을 터치

	
[고장발생시 “ST” 버튼 활성화시 화면표시의 동작상태] 열차 정지상태의 조치사항을 현시함	[고장발생시 “ST” 버튼 활성화시 화면표시의 동작상태] 열차 운행 중 조치사항을 현시함.

- Front Panel LED 상태 기능 표시 동작

예상결과	화면현시
- Front Panel LED 동작상태	
- 팬터그래프 상태 LED 동작 · 팬터그래프 상승시 초록색으로 LED ON · 팬터그래프 하강시 LED OFF	
- 입력전원 상태 LED 동작 · 입력 전원 인가시 초록색으로 LED ON · 입력 전원 차단 시 LED OFF	
- MCB 가능/불가능 상태 LED 동작 · MCB 투입 가능시 초록색으로 LED ON · MCB 투입 불가능시 LED OFF	
- MCB 투입 상태 LED 동작 · MCB 투입시 초록색으로 LED ON · MCB 차단 시 LED OFF	

⑤ 외부 인터페이스 사양

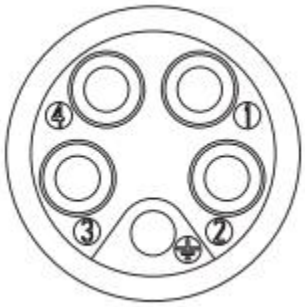
㉮ 전원공급(X1)

인터페이스 X1은 CCU 화면표시기 전원공급 커넥터이다.

항목	CCU 화면표시기	비고
허용 공칭 전압 범위	110V	
최대 허용 전압 범위	77V ... 143V	
Power Input	max. 100W	

- Plug type: on PCB - Amphenol Circular connector, 5-pin, ECTA 133 series
  on cable - Amphenol Circular connector, 5-pin, ECTA 133 series

- X1 커넥터 핀 사양

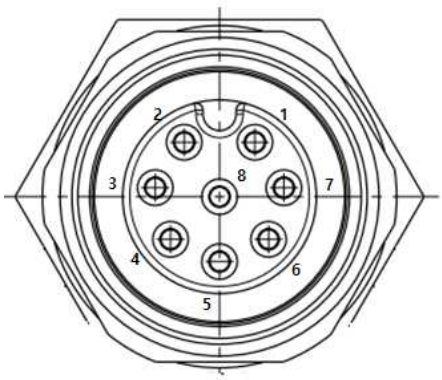


Pin	Assignment	Designation
1	PWR_IN+	Battery voltage positive
2	PWR_IN-	Battery voltage negative
3	FGND	Frame Ground
4		
GND		

· Cable: 주위환경에 따라 단일 가닥 또는 쉴드 된 케이블 사용

㉯ Audio 출력 및 코딩(X3)

- 인터페이스 X3은 오디오 출력 및 화면표시기 코딩을 한다.
- 코딩은 연결플러그에 점퍼를 통해 규정된다. 0V(Pin5)로 연결되지 않은 터미널 코딩 입력은 논리적으로 1로 읽고, 반면에 0V로 연결된 입력은 논리적으로 0으로 읽는다.
- Plug type: on PCB - AMP/TE Circular connector, 8-pin, RA
  on cable - AMP/TE Circular connector, 8-pin

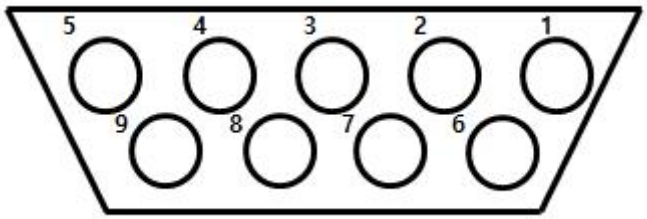


Pin	Assignment	Designation
1	AUDIO-	Audio 신호
2	AUDIO+	Audio 신호
3	na	not assigned
4	na	not assigned
5	GND	0V
6	TM_CODING_G	Bit2
7	TM_CODING_F	Bit1
8	TM_CODING_E	Bit0

㉰ MVB 통신(X4)

- MVB 인터페이스 X090//x091은 중앙제어장치와 마스터 컨트롤러 사이의 데이터를 상호 교환하는 역할을 수행한다.
- MVB 인터페이스는 TCN 표준을 만족해야한다.
- 일반사항: 표준: IEC 61375(TCN 표준), Baud rate: 1.5Mbaud
- HW 인터페이스 : Altera Cyclone4, 버스라인 절연, 채널 A, B 이중계
- Plug type: on PCB - 2x sub-D socket connector, 9-pin, casing shielded
  on cable - 2x sub-D plug connector, 9-pin, MS series
  from inotec with crimp flange and screw-type lock

- X4 커넥터 핀 사양



Pin	Assignment	Designation
1	LATX+	Bus line A+
2	LATX-	Bus line A-
3	na	not assigned
4	LBTX+	Bus line B+
5	LBTX-	Bus line B-
6	na	not assigned
7	na	not assigned
8	na	not assigned
9	na	not assigned

· LAxx = Channel A, LBxx = Channel B

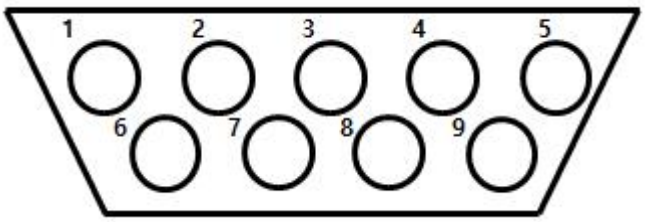
- 버스 시스템의 첫 번째 또는 마지막 노드 할당
  · 두 커넥터 중 하나에서 핀 1과 2는 채널 A에 지정되고, 핀 4와 5는 채널 B에 할당된다. 다른 커넥터에서 종단 저항은 점퍼를 사용하여 핀 1과 6, 2와 7, 4와 8 및 5와 9 사이에 상호 연결한다.
  · 모든 이진출력들은 서로 절연되어있다. 케이블이 없는 커넥터가 있는데 종단에 사용한다. 케이블 개구부는 통신에러를 방지하기 위해서 밀봉 부품으로 밀봉되어야한다.
  · 두 커넥터 모두에서 MVB 채널 A는 핀 1과 핀 2를 연결하고, 채널 B는 핀 4와 핀 5를 연결한다.
- Cable: MVB 전용 케이블
- Cable type: Siemens MVB cable

㉱ MVB 통신(X5)

- MVB 인터페이스 X090//x091은 중앙제어장치와 마스터 컨트롤러 사이의 데이터를 상호 교환하는 역할을 수행한다.
- MVB 인터페이스는 TCN 표준을 만족해야한다.

- 일반사항: 표준: IEC 61375(TCN 표준), Baud rate: 1.5Mbaud
- HW 인터페이스: Altera Cyclone4, 버스라인 절연, 채널 A, B 이중계
- Plug type: on PCB - 2x sub-D socket connector, 9-pin, casing shielded
  on cable - 2x sub-D plug connector, 9-pin, MS series
  from inotec with crimp flange and screw-type lock

- X4 커넥터 핀 사양



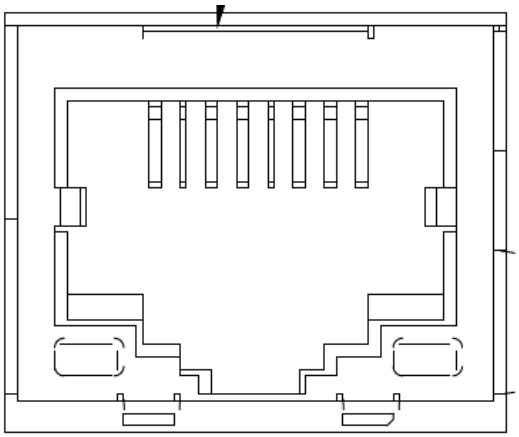
Pin	Assignment	Designation
1	LATX+	Bus line A+
2	LATX-	Bus line A-
3	na	not assigned
4	LBTX+	Bus line B+
5	LBTX-	Bus line B-
6	na	not assigned
7	na	not assigned
8	na	not assigned
9	na	not assigned

· LAxx = Channel A, LBxx = Channel B

- 버스 시스템의 첫 번째 또는 마지막 노드 할당
  · 두 커넥터 중 하나에서 핀 1과 2는 채널 A에 지정되고, 핀 4와 5는 채널 B에 할당된다. 다른 커넥터에서 종단 저항은 점퍼를 사용하여 핀 1과 6, 2와 7, 4와 8 및 5와 9 사이에 상호 연결한다. 모든 이진출력들은 서로 절연되어있다.
  · 케이블이 없는 커넥터가 있는데 종단에 사용한다. 케이블 개구부는 통신에러를 방지하기 위해서 밀봉 부품으로 밀봉되어야한다.
  · 두 커넥터 모두에서 MVB 채널 A는 핀 1과 핀 2를 연결하고, 채널 B는 핀 4와 핀 5를 연결한다.
- Cable: MVB 전용 케이블
- Cable type: Siemens MVB cable

㉮ LAN Port

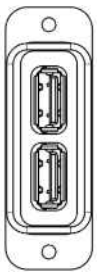
- LAN port는 화면표시기의 Firmware를 Update 할 때 이용된다.
- Plug type: On PCB - RJ45 connector
  On cable - LAN cable
- LAN 커넥터 핀 사양



Pin	Assignment	Designation
1	GBE_MDI0_P	GBE_MDI0_P
2	GBE_MDI0_N	GBE_MDI0_N
3	GBE_MDI1_P	GBE_MDI1_P
4	GBE_MDI1_N	GBE_MDI1_N
5	GBE_MDI2_P	GBE_MDI2_P
6	GBE_MDI2_N	GBE_MDI2_N
7	GBE_MDI3_P	GBE_MDI3_P
8	GBE_MDI3_N	GBE_MDI3_N
9	LEDG-	GBE_LINK#
10	LEDG+	3.3V
11	LEDY-	GEB_ACT#
12	LEDY+	3.3V
13	GND	GND
14	GND	GND

㈐ USB

- 화면표시기 전면에 위치하며, USB 2.0이다.
- Plug type: on PCB - USB connector
- LAN 커넥터 핀 사양



Pin	Assignment	Designation
1	5V	VCC
2	D-	DATA-
3	D+	DATA+
4	GND	GND

(12) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 성능평가

(가) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 구성품시험

① 시험의 종류

구분	시험명	적용 규격
구조 및 동작시험	외관구조 및 치수검사	검사 및 시험기준서
	전원변동시험, 동작시험	IEC60571
절연시험	절연시험	IEC60571
	내압시험	검사 및 시험기준서
온/습도 시험	저온시험	IEC60068-2-1
	고온시험	IEC60068-2-2
	고온/고습시험	IEC60068-2-30
	온도 사이클 시험	IEC60068-2-14
전자파 적합성 시험	과전압 시험	IEC60571
	전압급변 및 정전시험	IEC60571
	서지 내성시험	IEC61000-4-5
	정전기 방전 내성시험	IEC61000-4-2
	빠른과도현상 내성시험	IEC61000-4-4
	전자파방사 내성시험	IEC61000-4-3
	전자파전도 내성시험	IEC61000-4-6
	전도 장해시험	CISPR11(EN55011)
	방사 장해시험	CISPR11(EN55011)
진동 및 충격시험	진동 기능/내구, 충격시험	IEC61373

② 시험준비 및 정상동작 확인방법

㉮ 시험 전 준비사항

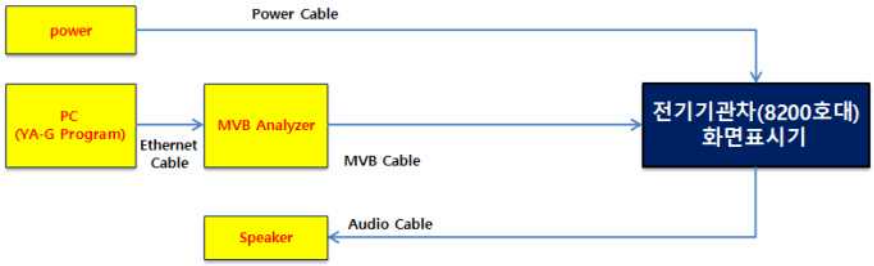
- 시험 시작 전 시험항목 및 기준에 대해 명기된 절차서 및 기록서를 준비
- 각 시험에 사용될 계측기의 검교정 성적서를 준비
- 시험 전 준비 사항에 대한 확인이 있은 후 시험을 실시

㉯ 시험품 정상동작 확인방법

- 시험 전 및 후에 시험품의 정상독작 상태에 따라 시험품의 시험 통과를 결정하며, 시험품의 정상동작 판단은 아래와 같음.
- 아래의 방법으로 정상동작을 확인하는 것은 “온/습도 시험(동작온도시험 포함)”, “전자파 시험” 및 “진동/충격 시험” 중 동작 상태를 확인하기 위한 것임

㉰ 전기기관차(8200호대) 화면표시기 동작확인

- 시험 전 및 후의 동작 상태를 체크하기 위한 장치의 연결
- 그림에서 시험품의 정상 동작 상태를 유지하기 위해 DC 110V 전원을 인가하고, MVB 프로토콜을 입력하기 위한 MVB Analyzer와 시험품을 MVB Cable 연결.
- 전기기관차의 음성출력을 확인하기 위하여 시험품과 Speaker를 연결
- 프로토콜 생성을 위해 Ya~G(소프트웨어)를 PC에 실행 후 MVB Analyzer와 연결



< 그림 2-267. 전기기관차 화면표시기 동작 확인을 위한 연결도 >

㉱ 시험품의 정상동작 확인여부는 하기 절차로 확인

- 전원 및 MVB 통신 확인

· 110V Power 입력 및 Ya~G 소프트웨어로 프로토콜 전송 후 표시되는 화면이 그림과 같으면 전원 및 MVB 통신 정상으로 판단

- 터치버튼 확인

· 기본화면[전원 및 MVB 통신 화면]을 터치하여 그림과 같이 현시되면 Touch 기능이 정상으로 동작한다고 판단 (화면을 직접 터치하지 못하는 환경이면 화면 터치는 생략)

- 화면터치 확인 및 음량/밝기 확인 준비

· 터치버튼 확인 화면에서 [메뉴]를 터치하였을 때 그림과 같이 현시되면, Touch 기능이 정상 동작한다고 판단하고 해당화면은 음량 및 밝기 기능이 정상 동작하는지 시험할 수 있음 화면이다. (화면을 직접 터치하지 못하는 환경이면 화면 터치는 생략)

- 밝기 시험 확인

· 위 그림에서 [밝기 시험]의 위쪽 밝은/흐림을 터치하면 밝기가 변화되는 것을 눈으로 확인되면 정상동작으로 판단한다.(화면을 직접 터치하지 못하는 환경이면 화면 터치는 생략)

- 음량 시험 확인

· 위 그림에서 [음량 시험]의 위쪽 크게/작게를 터치한 후 테스트를 터치하면 외부 Speaker에서 음량이 변화되는 것을 청취할 수 있으면 판단한다.

③ 시험결과

공장시험은 2회 진행하였으며, 로테코, 한국철도공사 입회하에 각 1회 진행하였다.

㉮ 구조 및 동작시험

- 육안검사

시험항목	결과	비고
육안으로 확인하여 사용에 유해한 흠집 또는 물리적 결함 등이 없을 것	양호	
표면처리 확인	양호	
Touch Screen, LCD Panel 및 외부 커넥터가 정확히 결합되었는지 확인	양호	

- 치수 및 허용오차

검사항목	가준치(mm)	측정치(mm)	결과	비고
가로(A)	290 ±3	290	양호	
가로(B)	300 ±3	300	양호	
세로(C)	184 ±3	184	양호	
세로(D)	214 ±3	214	양호	
깊이(F)	106 ±3	106	양호	

- 중량 측정

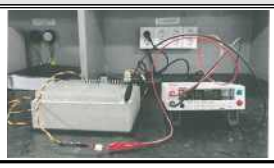
검사항목	가준치(mm)	측정치(mm)	결과	비고
무제	5kg 이하	4.5	양호	

- 표시 검사

구분	검사내용	결과	비고
CCU MMI 명판	제작사표시, 장치명(Type), DWG/N, S/N, 제조년월, 중량	양호	

㉯ 절연시험

- 절연저항 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
절연저항시험	IEC 60571:2012	양호	

- 절연 내전압 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
절연 내전압 시험	IEC 60571:2012	양호	
공칭전압	직류 72V ~ 125V (교류 50V ~ 90V)		
시험전압	직류 1000V (교류 50V ~ 90V)		

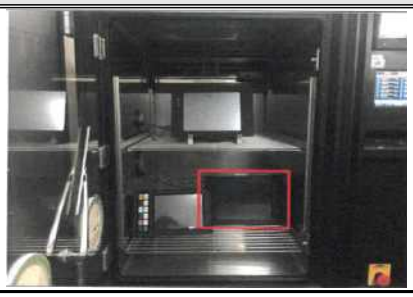
- 전압변동 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
전압변동시험	IEC 60571:2012	양호	
기준치: 입력전원을 77V 및 143V로 인가하였을 때 정상 동작 확인			

㈐ 온/습도 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
저온 시험	IEC 60068-2-1:2007	양호	
고온 시험	IEC 60068-2-2:2007	양호	
온도 사이클 시험	IEC 60068-2-14:2009	양호	
내습 사이클 시험	IEC 60068-2-30:2005	양호	

- 저온 시험

저온시험	동작확인
	

- 고온 시험

고온시험	동작확인
	

- 온도 사이클 시험

온도 사이클 시험	동작확인
	

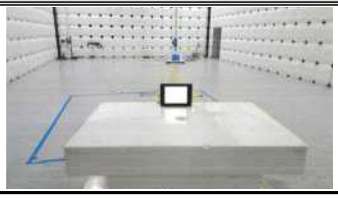
- 내습 사이클 시험

내습 사이클 시험	동작확인
	

㉮ 전자파 적합성 시험

시험항목	시험조건	결과	비고
전자파 방사/전도 방해 시험	CISPR11:2015	양호	
정전기 방전 내성 시험	IEC 61000-4-2:2008	양호	
전자파 방사 내성 시험	IEC 61000-4-3:2006+A2:2010	양호	
과도 버스트 내성 시험	IEC 61000-4-4:2012	양호	
서지내성 시험	IEC 61000-4-5:2014	양호	
전자파 전도 내성 시험	IEC 61000-4-6:2013	양호	

- 전자파 방사 방해시험

시험기준	시험결과	비고
주파수 대역 30MHz~230MHz, 230MHz~1000MHz, 시험 중 정상동작을 확인하고 허용기준을 준수함을 확인	양호	

- 전자파 전도 방해시험

시험기준	시험결과	비고
주파수 대역 0.15MHz~0.5MHz, 0.5MHz~30MHz, 시험 중 정상동작을 확인하고 허용기준을 준수함을 확인	양호	

- 정전기 방전 내성시험

인가방식	인가부위	방전방법	기준	결과	비고
간접인가	수평결합면	접촉방전	B	A	
	수직결합면	접촉방전	B	A	
직접인가	커버	접촉방전	B	A	
	나사	접촉방전	B	B	
	LCD	기중방전	B	A	
	LCD	기중방전	B	A	
	버튼	기중방전	B	A	

- 전자파 방사 내성시험

시험레벨	시험장소	시험주파수 대역	시험방향	전자파방향
3	전자파 무반사실	80M~1GHz(20 V/m)	전/후 좌/우	수평 및 수직
		1.4G~2.1GHz(10 V/m)	전/후 좌/우	수평 및 수직
		2.1G~2.5GHz(5 V/m)	전/후 좌/우	수평 및 수직

기준치: 정상 동작 확인, 등급 A 만족 확인

결과: ■ 양호 □ 불량



- 과도 버스트 내성시험

개방 회로 출력 시험 전압(±10%)과 임펄스 반복률(±20%)			
전원선(시험레벨 3)		I/O 및 토인포트(시험레벨 4)	
최고전압	반복률	최고전압	반복률
2kV	5kHz	2kV	5kHz

기준치: 정상 동작 확인, 등급 B 만족 확인

결과: ■ 양호 □ 불량



- 서지 내성시험

시험 파형	전압레벨	시간간격(최대)	시간간격(최대)	직렬저항
	2.0kV (허용오차±3%)	1.2μs	50μs (허용오차±20%)	2Ω (허용오차±10%)
측정 위치	+전원단 전지간		결과	■ 양호 □ 불량
	-전원단 전지간			■ 양호 □ 불량
	+/- 전원간			■ 양호 □ 불량

적용부분	기준	성능평가결과		비고
		(+)서지	(-)서지	
(+) - (-)	B	A	A	
(+) - PE		A	A	
(-) - PE		A	A	

- 전자파 전도 내성시험

· 입력 직류전원 단자 시험결과

인가부위	인가방법	기준	성능평가결과
(+) - (-) - PE	M3	A	A

· 신호선 및 통신단자 시험결과

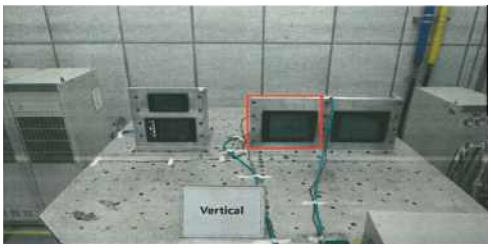
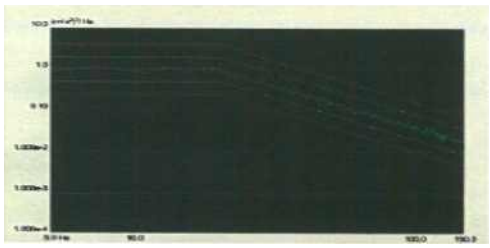
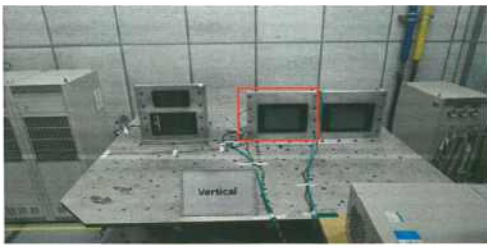
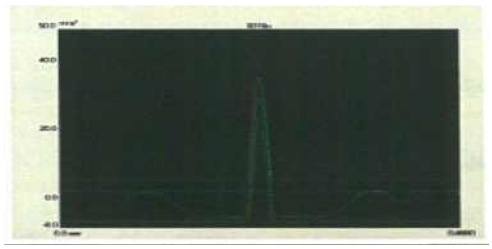
인가부위	인가방법	기준	성능평가결과
Audio	F-120-9A	A	A
MVB	F-120-9A	A	A

80 MHz to 1000 MHz	1400 MHz to 2500 MHz
	

㈐ 진동 및 충격시험

- 모의장기수명 및 충격 시험

구분	적용규격	시험종류	시험기준	시험결과		비고
모의장기 수명시험	IEC 61373 :2010	1종 B등급	최종 측정 시 성능시험 및 외관, 기계적 보전상태가 이상이 없을 것	상하 방향	양호	
				상하 방향	양호	
				상하 방향	양호	
충격시험	IEC 61373 :2010	1종 B등급		상하 방향	양호	
				상하 방향	양호	
				상하 방향	양호	
기능 랜덤시험	IEC 61373 :2010	1종 B등급		상하 방향	양호	
				상하 방향	양호	
				상하 방향	양호	

모의장기수명 시험	모의장기수명 시험결과
	
충격 시험	**충격 시험결과**
	

㈑ ON/OFF 시험

시험항목	기준화면	결과	비고
ON: 전원인가	화면표시기 LCD가 “ON” 되면서 CCU 통신두절 문구 현시됨	양호	통신포트 분리
OFF: 전원단락	화면표시기 LCD OFF	양호	

㈒ 프로토콜 통신 시험

시험항목	기준화면	결과	비고
ON: Main전원 입력 통신연결	가선전압, 가선전류와 같은 항목이 포함된 기본화면 현시됨	양호	통신정상 상태

㉮ 화면 전환 시험

시험항목	기준화면	결과	비고
[기본화면]에서 하단의 “견인력/제동력” 버튼을 터치	기본화면을 현시하다가 “견인력/제동력” 화면 현시됨	양호	

㉯ 기능 변화 시험

시험항목	기준화면	결과	비고
전원투입 후 보조전원장치와 관련된 프로토콜 전송	보조전원상태 화면에서 AUX1, 2 및 HEP의 수치가 변화하면서 현시됨	양호	

㉰ 음성 출력 시험

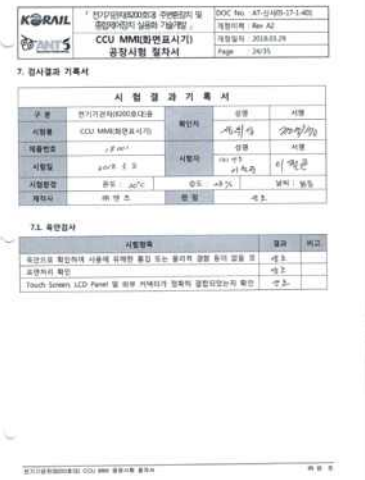
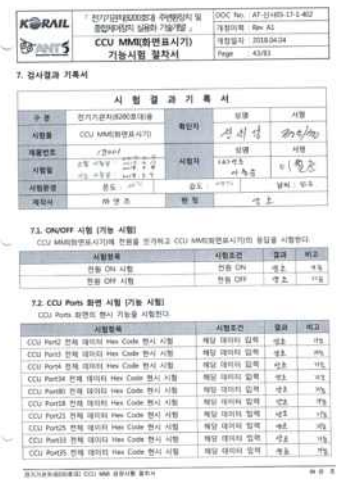
시험항목	기준화면	결과	비고
화면 밝기 / 소리 설정화면으로 이동하여 음량의 크게/작게 설정 후 테스트 버튼을 터치 기본화면으로 이동	Speaker에서 소리가 출력됨	양호	

㉱ 고장/조치 항목 출력 시험

시험항목	기준화면	결과	비고
[고장목록] 버튼 터치	고장목록 화면이 현시됨	양호	
고장목록 항목 터치 후 하단의 “I” 버튼 터치	고장목록에 해당되는 정보 현시됨	양호	
하단의 “V=0” 버튼 터치	정지 시 고장에 대한 조치사항 현시됨	양호	
하단의 “V>0” 버튼 터치	운행 시 고장에 대한 조치사항 현시됨	양호	

④ 입회시험 성적서

전자파시험 성적서	온도시험 성적서
	

진동시험 성적서	절연저항, 내전압시험 성적서
	
전압변동시험 성적서	입회(공장)시험 결과-한국철도공사
	
입회(기능)시험 보고서-한국철도공사	입회(공장)시험 증명서-로테코
	

(나) 종합제어장치 화면표시기(MMI) 현차탑재시험(영업운전)

① 현차시험 기술검토 절차 (성능평가 포함)

No	절차	비고
1	기술검토 요청 (요청 공문 및 기술문서 17종 사전 발송)	한국철도공사 기술연구처
2	기술검토 PT발표(기술문서 17종 제출)	공인시험 진행
3	입회시험	한국철도공사, 로테코 각각 시험
4	기술검토회의	약 2~3회
5	검토결과에 따른 보완서류 제출	문서 버전 갱신
6	정적/동적시험(본선시운전)	정적 1회, 동적 2회 실시
7	영업운전	2018년 10월 03일 ~ 2019년 4월 02일 (6개월)

② 기술검토-한국철도공사

㉮ 검토 요청

- CCU MMI에 대한 검증(협차탑재: 영업운전)을 위한 기술검토 요청
- 한국철도공사 기술연구처(이하: 기술처)를 수신처로 기술검토 요청 공문 및 기술문서 17종 발송
- 개발품 CCU MMI의 기술사양 및 기능 등 전반적인 사항에 대하여 기술처 입회하에 제품설명 진행
- 기술처 내부 검토 결과에 따른 17종 문서 보완 및 제출

③ 정적시험 결과

시험구분	정적시험
제품구분	전기기관차(8200호대) CCU용 화면표시기
제조번호/차호	8003,8004,8231
시험일시	2018.08.07
시험환경	온도: 28.4℃, 습도: 71.8%, 날씨: 소나기
계측장비	폭스렌치, 드라이버
시험결과	■ PASSED □ FAILED

④ 동적시험(본선시운전) 결과

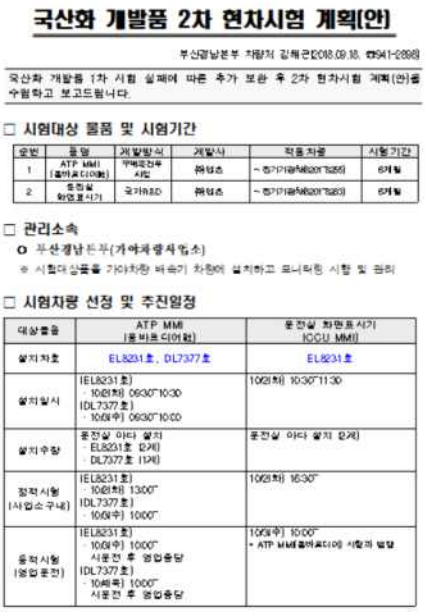
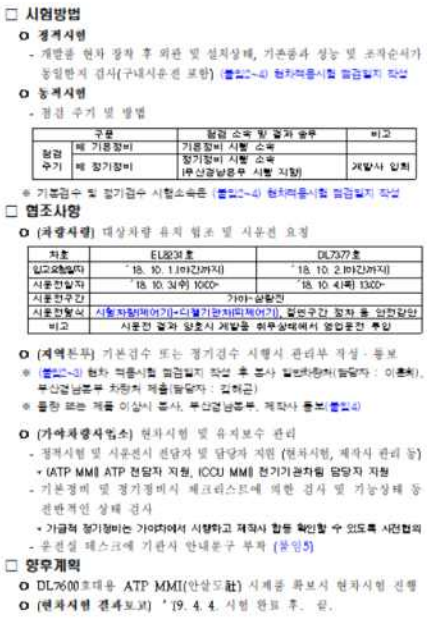
시험구분	동적시험
제품구분	전기기관차(8200호대) CCU용 화면표시기
제조번호/차호	8003, 8249
시험일시	2018.08.24
시험환경	온도: 25℃, 습도: 87.9%, 날씨: 비
계측장비	디지털 카메라(사진 및 동영상 촬영)
시험결과	■ PASSED □ FAILED

(다) 영업시운전 시험

① 일반사항

정적시험/동적시험을 통해 기능 상 성능상의 문제없음을 확인하였으며, 영업운전 6개월을 통해 실제 검증.

사전 현차시험 완료 후 영업시운전 실시(6개월간)

영업운전을 위한 현차시험 계획	시험 방법 및 내용
	

국산화 개발품 2차 현차시험 계획(안)

부산경남본부 차량처 김해근(2018.09.10. 전화41-2888)

국산화 개발품 1차 시험 실패에 따른 추가 보완 후 2차 현차시험 계획(안)을 수립하고 보고드립니다.

□ 시험대상 품목 및 시험기간

순번	품명	개발방식	개발사	적용차량	시험기간
1	ATP MMI (홈바코디어)	구매조건부 사전	유영조	~ 전기기관차(8201~8285)	6개월
2	운전실 화면표시기	국가R&D	유영조	~ 전기기관차(8201~8283)	6개월

□ 관리소속

○ 부산경남본부(가야차량사업소)

※ 시험대상품을 가야차량 바욕기 차량에 설치하고 모니터링 시험 및 점검

□ 시험차량 선정 및 추진일정

대상품목	ATP MMI (홈바코디어)	운전실 화면표시기 (CCU MMI)
설치차호	EL8231호, DL7377호	EL8231호
설치일시	(EL8231호) · 10(8차) 09:30~10:30 (DL7377호) · 10(6수) 09:30~10:00	10(8차) 10:30~11:30
설치수량	운전실 아다 설치 · EL8231호 2개 · DL7377호 1개	운전실 아다 설치 2개
정적시험 (사업소 구내)	(EL8231호) · 10(8차) 13:00~ (DL7377호) · 10(6수) 10:00~	10(8차) 16:30~
동적시험 (영업운전)	(EL8231호) · 10(6수) 10:00~ 시운전 후 영업송당 (DL7377호) · 10(목목) 10:00~ 시운전 후 영업송당	10(6수) 10:00~ * ATP MMI홈바코디어 시험과 병행

□ 시험방법

○ 정적시험

- 개발품 현차 장착 후 외관 및 설치상태, 기존품과 성능 및 조작순서가 동일한지 검사(구내시운전 포함) (별첨2-4) 현차적용시험 점검일지 작성

○ 동적시험

- 점검 주기 및 방법

구분		점검 소속 및 점검 방법	비고
점검 주기	매 기공정비	기관정비 시행 소속	개발사 입회
	매 정기정비	정기정비 시행 소속 (부산경남본부 시행 지원)	

※ 기본검수 및 정기검수 시험소속은 (별첨2-4) 현차적용시험 점검일지 작성

□ 협조사항

○ (차량사령) 대상차량 유지 협조 및 시운전 요청

차호	EL8231호	DL7377호
입고예정일자	'18. 10. 1.(1마간까지)	'18. 10. 2.(1마간까지)
시운전일자	'18. 10. 3.(수) 10:00~	'18. 10. 4.(목) 13:00~
시운전구간	가야~삼랑진	
시운전방식	시험차량제어기+디젤기관차(피제어기), 김해구간 정차 등 안전감안	
비고	시운전 결과 양호시 계발품 허무상태에서 영업운전 투입	

○ (계약본부) 기본검수 또는 정기검수 시행시 관리부 작성 · 통보

※ (별첨2-3) 현차 적용시험 점검일지 작성 후 검사 입회자정차(담당자 : 이춘희), 부산경남본부 차량처 제출(담당자 : 김해근)

※ 품질 또는 제품 이상시 즉시, 부산경남본부, 제작사 통보(별첨4)

○ (가야차량사업소) 현차시험 및 유지보수 관리

- 정적시험 및 시운전시 전담자 및 담당자 지원 (현차시험, 제작사 관리 등)
  - (ATP MMI) ATP 전담자 지원, (CCU MMI) 전기기관차팀 담당자 지원
- 기본정비 및 정기정비시 메크리스트에 의한 검사 및 기능상태 등 전반적인 상태 검사
  - 가급적 정기정비는 가야차에서 시행하고 제작사 합동 확인할 수 있도록 사전협의
- 운전실 매스크에 기관사 안내문구 부착 (붙임5)

□ 향후계획

○ DL7600호대용 ATP MMI(안상도社) 시제품 품보시 현차시험 선행

○ (현차시험 결과보고) '19. 4. 4. 시험 완료 후, 끝.

② 영업시운전 내용요약

개발한 전기기관차(8200호대)의 종합제어장치(CCU) 화면표시기(MMI)는 영업시운전 종료 시까지 고장과 같은 이슈 없이 적용을 완료

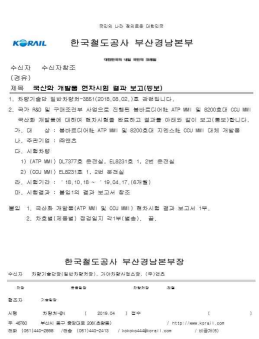
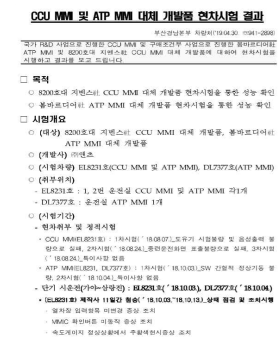
종료시점에 수요처 개발완료 보고 후 개발품의 탈거 진행

수요처 검토결과를 아래와 같이 요약하여 기술

< 표 2-63. 영업(시)운전 내용요약 >

시험차량		전기기관차 8231호
첨승	첨승기간	2018.10. 3. ~ 2018.10.13. (11일간)
	첨승기간 중 이슈사항	고장 내역 없음
증상화면		-
정기검사		2018.11.13. 검사결과 이상 없음
시험기간		2018.10.18. ~ 2019. 4.02. (6개월)
주행거리		100,074.5 Km (2019. 3.27기준)

③ 시험결과보고

영업시운전 완료보고(앤츠)	영업시운전 결과보고(한국철도공사)
  	 

㉮ 영업 (시)운전 기간 수요처 점검 기록

- 차단승인 현황

EL8231호	열차번호 | 운행일자 | 동력화호 | 승인종류 | 승인구간 | 작성소속 | 작성자 | 수행역 | 수행자 | 승인번호 | 승인일자 | 처리시각 | 협조자 | 처리상태 | 보수자 | 검사자 | 차단사유 | 지시내용 | 참증역 | 통보자 * 차단승인 없음

- 수선실적

EL8231호

소속명	등록일	편성/차호	열번	입고사유	불량내역	관련오더	확인자
수색차량사업소	2019-04-13	8231	1402	[정비중]결고장수리(T1)	#1 운전실 관제기적 불량	100005034775	SEAIADMIN01
수색차량사업소	2019-04-06	8231	1232	[정비중]결함수리(TS)	#1운전실압축기 투입불량	100005028575	이현선
영주차량사업소	2019-03-20	8231	1601	[정비중]결고장수리(T1)	MFA1 설제속도 표시 이상	100005013822	박정교
청량리차량사업소	2019-03-08	8231	1634	[정비중]결고장수리(T1)	1번 운전실 MFA 불량	100005003380	이문학
청량리차량사업소	2019-03-01	8231	1640	[정비중]결고장수리(T1)	#1운전실 기사측 창닦이 불량 #2운전실 밀폐스 계전기 불량	100004997652	이문학
청량리차량사업소	2019-02-22	8231	1622	[정비중]결고장수리(T1)	운행중 단독제동 체결	100004991508	김재경
청량리차량사업소	2019-02-17	8231	1642	[정비중]결고장수리(T1)	안변제동이 자동으로 체결	100004989691	이문학
제천차량사업소	2019-02-16	8231	1627	[정비중]결함수리(TS)	Cab#2 기관사측 출입문 안 열림	100004986547	권기현
영주차량사업소	2019-01-23	8231		[정비중]결고장수리(T1)	운행중 이유없이 제동체결(1.5k) 비상제동체결됨(IBP#1,2고장코드 42T1현시)	100004966348	박주일
동해차량사업소	2018-12-09	8231	j1639	[예방정비]긴급작업(수선)	모래부족	100004927149	남동석
대전차량사업소	2018-12-06	8231	D1716	[예방정비]긴급작업(수선)	음절수배물	100004924549	고종수
대전차량사업소	2018-12-01	8231	D1315	[예방정비]긴급작업(수선)	음절수배물	100004920782	이은홍
가야차량사업소	2018-11-29	8231	1217	[정비중]결고장수리(T1)	기계실 등 소음	100004919190	박용배
가야차량사업소	2018-11-23	8231		[예방정비]부품교환작업	연구원 앰버 현차점검 시험	100004913461	김대호

* 동기간 14건의 수선실적 중 CCU MMI 및 ATP MMI 관련 수선실적 없음

- 운전상황표

EL8231호

번호	차량형식	열차번호	계통명	입력일자	이력내역	기관사	조치내역	조치일자	조치자
1	8231	1516	운전실장제어장치	20181022	2운전실 제동핸들 본동		수리	20190124	이대호
2	8231	1218	운전실장제어장치	20181031	#1운전실 전조등 반짐스위치불량	신진섭	1#전조등스위치기능시험확인양호	20181031	이현선
3	8231	1207	운전실장제어장치	20181101	#2 운전실 전기제동 핸들 본동 수리 요청	방재웅		0	
4	8231	1224	운전실장제어장치	20181102	1운전실 전조등 반짐불량		정주부 확인양호 시험양호	20181103	김한수
5	8231	1214	주행장치	20181109	#1 운전실측 차륜 절삭 심함		#1 마세복리 사용가	20181109	강동희
6	8231	1514	차체일차내외설비	20181119	#1 운전실 전조등 반짐 불량			0	
7	8231	1514	운전실장제어장치	20181120	1운전실 전조등 반짐불량		#1 운전실 전조등 반짐상태 확인 사용가	20181120	임형규
8	8231	1217	차체일차내외설비	20181129	기계실등 소등	기용현	램프를 전체기 교환시험	20181129	박병희외1명
9	8231	1708	운전실장제어장치	20181206	ATP확인보턴터치스위치 불량등	김성배	ATP MMI 리치 수리 본체 시험 양호	20181207	이대호
10	8231	/1639	운전실장제어장치	20181209	ATP화면속도와화면시기속도차1~3키표차이남	박경산	차륜경중인입차량부품등 기능시험양호 지속적으로시험예정	20181209	남동석외1명
11	8231	/1635	차상신호장치	20181210	ATP MMI 속도 유동 심함	성재웅	차륜경 측정및 타코제너 확인 기능검사 양호	20181210	박순천
12	8231	1832	차상신호장치	20181212	1번운전실 제어대 지령지로시등 가끔 점등됨. 인계시 비상정차1회, 응책상 정영주D 통고후 비상정차없음확인. 재부팅도 됨.	오재균	제어대확인 양호, 일시적 오류현상으로 루틴됨. 기능시험 수회확인 이상무	20181212	김병석
13	8231	1638	주행장치	20181223	STM 접지라인불량 속력센개발학과에 확인시 제어대 8호1회정동	동거원여전,함고미승룡	입고시 할적 불량확인및 해부수리 ATP 기능시험합 확인양호	20181223	이수호
14	8231	1604	제동장치	20190211	운행중 단변제동이 주기적으로 체결, 원해동 반복됨	조근호	K-15, K-16제한기 배선 상태 및 조조연동 등장 확인 양호 / 단독제동해동 전자변 상태 점검 및 분해청소 시행	20190213	김재경
15	8231	1627	운전실장제어장치	20190216	Cab#2 기관사측 출입문 안 열림	장태군	Cab#2 기관사측 출입문 도어록의 분해청소 및 록크장치 수리	20190217	이수근, 이동석, 김병기
16	8231	1602	차체일차내외설비	20190220	#2운전기 핸드레이크 손상 불량	명기 김현식	입고시 부전기 기능점검 - 손수신 양호	20190220	최유석
17	8231	1602	제동장치	20190220	#1번 운행중 계약하다 경고가 자주 있음. 단변 체결 있는경우 자주 있음	재기 김기봉	IBP 카드 #2번을 #1번으로 전환후 운행(비운전실)	20190220	이윤학
18	8231	1626	운전실장제어장치	20190224	#1 운행제동 핸들 손잡이 탈락	창고 김태규	손잡이 재부착 수리	20190224	이수호
19	8231	1640	차체일차내외설비	20190301	#1운전실 기사측 창닦이 불량	창고 남경원	청담이 브레이드 고장수리	20190301	이수호
20	8231	1838	차상신호장치	20190304	입고 - 지하전 5Kb(h/h) 속도론 타력운행을 hep-1회 차단	창고 이동준	입고시 MFF 로킹 차단 수회 실태확인 양호	20190304	이수호
21	8231	1627	차상신호장치	20190310	발라스 시스템 오동	김차	대이지 다운로드 본선 및 정보 점검(No)기능검사 양호	20190310	원일석
22	8231	1626	차체일차내외설비	20190313	CCS41건(기계식모듈) 속도계이상 발생	창고 정종명	입고시 방대의 드로빌 기능상태 확인 양호No	20190314	이수호
23	8231	1714	운전실장제어장치	20190401	ATS확인버튼 불량 발견-수석 상당내, ATS모듈학으로 변심함적	대기 김홍섭	확인 버튼 탄력 기능점사 양호	20190402	정노무
24	8231	1406	운전실장제어장치	20190404	#1운전실 승하반등 이동 배합	김정남	수리 완	20190405	김경모
25	8231	1232	제동장치	20190405	#1번 전공기압축기 고장하시	이상호	압축기압축기 상태확인 및 수리 기능시험 양호, 리셋후 상태확인양호	20190406	김용남선전한
26	8231	1502	제동장치	20190408	여수 하행시 운행중 간헐적 파단되며, 단변이 걸적 걸린다 풀리는 현상 다수 발생	녹덕철	간헐회로 점검 양호, 간단시험 양호	20190408	이대호
27	8231	1404	차체일차내외설비	20190410	1운전실 운전기적 불량	전병진	분석을 정구로 #2운전실 출입문(조기개방로)상태로 불량 내용 분석함	20190410	이원균 박한수
28	8231	1402	차체일차내외설비	20190411	#1 운전실 전조등 자동이 반짐보자 불량		램프 반경 양호	20190413	조진호
29	8231	1502	보조전원장치	20190415	여차 접지선 오류발생(0378)	김종철	인코초치무 기능시험양호	20190415	이병호

* 동기간 29건의 운전상황표 기록내용 중 ATP MMI관련 기록내용 2건 발생하였으나 일시적 오동작 또는 취급미숙으로 사료됨.
  - ′ 18.12.06. ATS 확인 보턴터치 스위치 소거 불규칙(입고시 터치 수회 반복 시험결과 양호)
  - ′ 19.04.01. ATS 확인 버튼 불량(입고시 기능검사 양호)

- 유지보수 실적

EL8231호

편성번호	내역	입고일자	출고일자	오더번호	오더참조일	유지소속내역	총주행키로(910)
8231	ES(기본정비)	20190415	20190415	100005036248	20190415	수색차량사업소	2318279.3
8231	ES(기본정비)	20190408	20190408	100005030051	20190408	수색차량사업소	2313217.3
8231	ES(기본정비)	20190331	20190331	100005022975	20190331	대전차량사업소	2308058.1
8231	ES(기본정비)	20190322	20190322	100005015655	20190322	대전차량사업소	2303431.1
8231	ES(기본정비)	20190309	20190309	100005004091	20190309	영주차량사업소	2297736.8
8231	ES(기본정비)	20190301	20190301	100004997402	20190305	청량리차량사업소	2292612.8
8231	ES(기본정비)	20190221	20190221	100004990640	20190221	청량리차량사업소	2287722.4
8231	ES(기본정비)	20190213	20190213	100004983672	20190213	청량리차량사업소	2282982.4
8231	ES(기본정비)	20190204	20190204	100004976361	20190204	영주차량사업소	2278338.8
8231	ES(기본정비)	20190123	20190123	100004966127	20190123	영주차량사업소	2273582
8231	ES(기본정비)	20190110	20190110	100004955125	20190110	영주차량사업소	2268428.8
8231	ES(기본정비)	20181228	20181228	100004944044	20181228	영주차량사업소	2263636.8
8231	ES(기본정비)	20181214	20181214	100004932354	20181214	청량리차량사업소	2255873.4
8231	ES(기본정비)	20181207	20181207	100004926237	20181210	가야차량사업소	2250671.1
8231	ES(기본정비)	20181130	20181130	100004920108	20181201	가야차량사업소	2245721.3
8231	ES(기본정비)	20181121	20181121	100004911929	20181121	수색차량사업소	2241034.8
8231	ES(기본정비)	20181115	20181115	100004906635	20181115	수색차량사업소	2235693.8
8231	ES(기본정비)	20181108	20181108	100004900446	20181108	수색차량사업소	2230387.6
8231	ES(기본정비)	20181101	20181101	100004894614	20181101	수색차량사업소	2225309
8231	ES(기본정비)	20181024	20181024	100004887403	20181024	대구차량사업소	2219941.8
8231	LI-03(제한정비)	20190312	20190313	100005006517	20190313	청량리차량사업소	2298929.8
8231	LI-03(제한정비)	20181219	20181220	100004936187	20181220	청량리차량사업소	2258531

* ES(20회), LI-3(2회) 시행_CCU MMI 및 ATP MMI관련 기록내용 없음

다. 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치 신뢰성 향상 연구

(1) 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치 RAMS 분석

(가) 개요

전기기관차 8200호대 주변환장치 및 종합제어장치에 대한 RAMS 분석에 대한 보고서로서, 주변환장치 및 종합제어장치에 대한 RAMS 분석 활동에 따른 결과를 기술하는데 목적이 있다.

RAMS 분석을 수행하기 위해 각 시스템별 계층구조를 분류하고, 각 부품에 대한 고장률 예측결과를 기초로 시스템 신뢰도와 보전 그리고 위험 분석을 통해 향후 RAMS 요구사항에 충족되는 시스템 개발을 위한 기초 자료로 활용할 예정이다. 전기기관차 주변환장치 및 종합제어장치에 대한 RAMS 분석으로 다음과 같은 내용을 포함한다.

· 계층구조 및 기능 분석(Product Breakdown Structure, PBS)

· 각 부품에 대한 고장률 예측

· 신뢰성 블록도(Reliability Block Diagram)와 고장수목분석(Fault Tree Analysis)

· 고장유형, 영향 및 치명도 분석(Failure Mode, Effect and Criticality Analysis)

· 사후 유지보수 분석(Corrective Maintenance Analysis)

· 예방 유지보수 분석(Preventive Maintenance Analysis)

· 위험 분석(Hazard Analysis)

(나) 시스템 설명

① 주변환장치

주변환장치(Main Power Supply Unit)는 외부의 주변압기를 통해 전력을 공급받아 견인전동기(교류전동기) 및 HEP(객차전원공급) 장치로 전원을 공급하는 장치이다.



< 그림 2-268. 주변환장치 구성 >

8200호대 전기기관차를 제어하기 위한 컨버터와 인버터의 결합시스템으로서 단상 컨버터를 이용하여 DC링크의 전압 및 컨버터 입력단의 역률을 제어하고, 컨버터와 DC링크단을 공유한 인버터로 전기기관차의 동력을 제공하는 유도전동기를 제어하도록

구성된다.

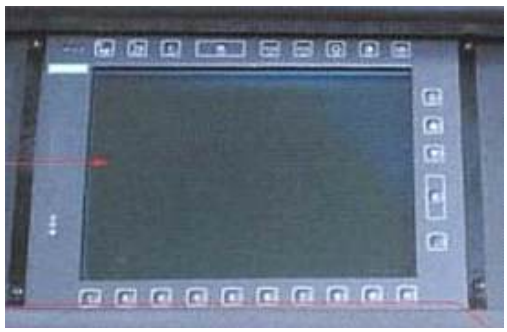
주변환장치는 견인제어장치(Train Control Unit, TCU), 게이트 전원장치(Gate Power Supply Unit), Converter ASS’Y, Inverter ASS’Y, HEP Inverter ASS’Y, 그리고 방열기(Cooler)로 구성되어 있다.

② 종합제어장치

종합제어장치(Central Control Unit, CCU)는 자가진단 및 고장기록을 담당하는 장치로서, 직렬데이터 통신관리, 차량제어 기능(보조기기 제어, 제어신호 처리, 내외부 표시등 처리 등), 진단설비, 고장기록, 구성시스템의 자동 시험 등의 기능을 수행한다.

MVB BUS는 차량내에서 모든 장치들이 연결되어 동작하며 진단, 모니터, 제어 등의 기능을 담당하게 되며, 대부분 한량 내에서 케이블이 연결되어 있으며 각 장치에서 데이터를 송수신한다.

종합제어장치는 1대의 중앙처리장치 모듈(CPU), 이진입출력 모듈(IOM), 주전류 감시모듈(PCM), 전원공급 모듈(PCS), Extension Board(EXT), 다기능차량버스 모듈(MVB32), TCN 6U 게이트 웨이(TCN GW), MOTHER Board 그리고 MMI(화면표시기)로 구성되며, MMI는 종합제어장치와 MVB 통신으로 정보를 송수신할 수 있는 하부장치들의 상태를 감시하는 장치로 Front Panel, Main Board, PWR Board로 구성된다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>CPU 카드</td><td>TCN 게이트
웨이 카드</td><td>PCM 카드</td><td>PCS
전원카드</td><td>MVB 카드</td><td>IOM 카드</td></tr>
<tr><td colspan="3">  </td><td colspan="3">  </td></tr>
<tr><td colspan="3">CCU 구성</td><td colspan="3">화면표시기</td></tr>
</table>

< 그림 2-269. 종합제어장치(CCU) 구성 >

(다) RAMS 분석

① 계측구조 및 기능 분석

주변환장치와 종합제어장치의 RAMS 분석을 위해 먼저 각 시스템을 구성하고 있는 부품을 LRU(Line Replacement Unit) 단위로 계층적으로 분류한 후 각 부품의 기능을 정리한 계층구조 및 기능 분석(Product Breakdown Structure, 이하 PBS라 지칭함)을 산출한다.

상기와 같은 방식으로 주변환장치 및 종합제어장치에 대한 PBS를 작성하였으며, 결과의 일부를 정리하면 다음과 같다.

아이디 ID		장치명 Item Description	수량 Q'ty	기능 Function
10000	1	주변환장치	1	
11000	1	ACPT	1	DC 100V로 변환된 가선전압을 DC 5V로 변환 후 견인제어장치로 전달
12000	1	게이트 전원장치	2	차량의 축전지로부터 입력전압 DC 100V를 입력받아 컨버터, 인버터, HEP 인버터에 전원 공급
13000	1	견인제어장치(TCU)	1	견인/제동 제어 및 설정치 전처리, 공전/활주 제어, 회생제동 제어 및 벡터 제어의 최적화, 모니터링, 보호, 시험 및 진단
13100	1	EOC14 BOARD ASS'Y	3	PWM33 보드로부터 입력받은 PWM 신호를 광신호로 출력하여 컨버터의 게이트 드라이브 On/Off 를 제어
13200	1	EOI14 BOARD ASS'Y	3	PWM33 보드로부터 입력받은 PWM 신호를 광신호로 출력하여 인버터와 HEP 인버터의 게이트 드라이브 On/Off 를 제어
13300	1	PIP18 BOARD ASS'Y	1	전동기 속도 신호를 입력받아 신호를 변환한 후 인버터 제어보드로 전달
13400	1	INF32 BOARD ASS'Y	1	ACPT를 통해 컨버터를 제어하기 위한 AC가선전압을 입력받음
13500	1	INF23 BOARD ASS'Y	3	하드웨어 보호동작을 위한 전압, 전류등의 아날로그 데이터를 입력받음
13600	1	AMON32 BOARD ASS'Y	1	아날로그 데이터를 수집하여 처리
13700	1	ISO26 BOARD ASS'Y	1	모니터링용 보드

< 그림 2-270. 주변환장치에 대한 PBS 예 >

② 고장률 예측

신뢰성 분석 대상품의 고장률(Failre Rate, $\lambda(t)$)는 실제로 현장에서 운용되는 동안 고장이 발생한 이력자료를 기반으로 통계적으로 추정할 수 있지만, 기존에 운용 고장이력이 없는 신규 개발 시스템에 대해서는 고장자료를 획득하기가 어려운 경우가 많으므로, 이와 같은 경우에 전자 부품 및 기계 부품의 고장률은 Telcordia, MIL-HDBK-217F, NSWC 등과 같은 기준서와 EPRD, NPRD와 같은 데이터북 그리고 제조사에서 제공하는 수명자료를 적용하여 예측할 수 있다.

주변환장치 및 종합제어장치를 구성하는 부품에 대한 고장률 예측을 위해 계층구조를 기초로 각 부품에 대한 상세 부품 명세서를 수집, 정리하고, 동작 환경, 온도, 품질수준, 전기적 특성, 기계적 특성 및 기술적인 특성을 파악한 후 기준서 및 데이터북을 적용한다.

주변환장치 및 종합제어장치 내 전자 부품의 명세서 확인이 가능한 경우는 MIL-HDBK-217F 기준서와 제조사 수명자료를 적용하였고, 명세서 확인이 불가능한 경우는 EPRD를 적용하였으며, 기계 부품의 명세서 확인이 가능한 경우는 제조사 자료를

적용하였고, 불가능한 경우는 NPRD를 적용하여 각 구성품의 고장률을 예측한다.

주변환장치 및 종합제어장치 보드내 전자 부품에 MIL-HDBK-217F 기준서를 적용하여 고장률을 산출하기 위해서는 각 인자별로 특성에 적합한 다음과 같은 조건으로 설정하여 고장률을 예측한다.

· 사용온도 : 30도

· 전류, 전압, 전원 스트레스 : 50%

· 품질조건

- Capacitors : Class P
- Discrete Semicons : JanTX
- Resistors : Class P
- Micro-Electronics(Microcircuits): Class B
- Coils : Mil Spec
- Relays RY : Class M
- Relays SS : Mil Spec
- Saw Device : High Quality Port
- Others : Mil Spec

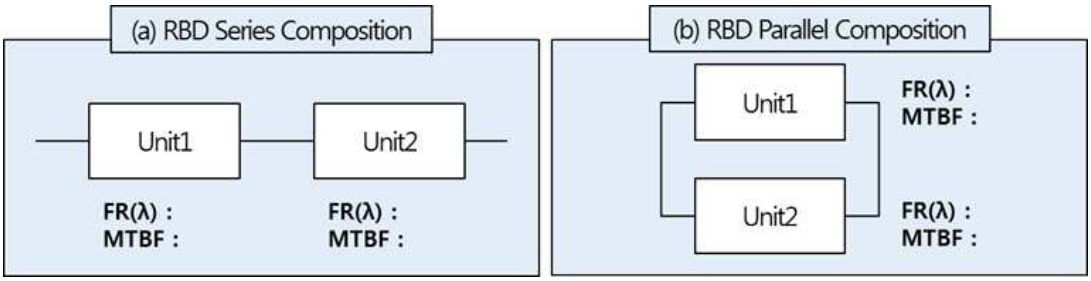
상기와 같은 방식으로 주변환장치 및 종합제어장치에 대한 고장률을 예측하였고, 결과의 일부의 예를 정리하면 다음과 같다.

아이디 ID		장치명 Item Description	수량 Q'ty	고장률 (failure/ hour)	평균 수명 MTBF (hour)	고장데이터 산출근거 (Data Source)
10000	1	주변환장치	1			
11000	1	ACPT	1	7.5815E-07	1,319,000	EPRD-2014
12000	1	게이트 전원장치	2	7.1493E-07	1,398,738	NPRD-2016
13000	1	견인제어장치(TCU)	1			
13100	1	EOC14 BOARD ASS'Y	3	3.4744E-06	287,819	Manufacturer Data, Similar Product Data, MIL-HDBK-217F
13200	1	EOI14 BOARD ASS'Y	3	5.0032E-06	199,872	Manufacturer Data, Similar Product Data, MIL-HDBK-217F, EPRD-2014
13300	1	PIP18 BOARD ASS'Y	1	3.4686E-06	288,301	Manufacturer Data, Similar Product Data, MIL-HDBK-217F, EPRD-2014
13400	1	INF32 BOARD ASS'Y	1	1.5004E-06	666,489	Manufacturer Data, Similar Product Data, MIL-HDBK-217F
13500	1	INF23 BOARD ASS'Y	3	2.6259E-06	380,822	Manufacturer Data, Similar Product Data, MIL-HDBK-217F
13600	1	AMON32 BOARD ASS'Y	1	5.2727E-06	189,656	Manufacturer Data, Similar Product Data, MIL-HDBK-217F, EPRD-2014

< 그림 2-271. 주변환장치에 대한 고장률 예측 예 >

③ 신뢰성 블록도 및 고장수목분석

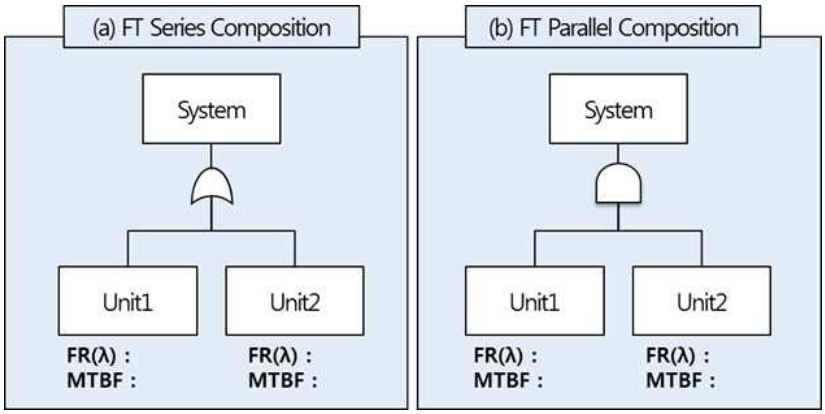
신뢰성 블록도(Reliability Block Diagram, 이하 RBD로 지칭함)는 아이템이 주어진 기능을 수행하기 위하여 정상적으로 동작하여야 하는 하드웨어 블록의 연결 관계도를 나타내며, n개의 독립된 부품들로 구성된 시스템에 대한 신뢰도, 평균 수명(MTBF) 등과 같은 신뢰도 척도들을 산출할 수 있다.



< 그림 2-272. 직렬 및 병렬구조의 RBD >

고장수목분석(FTA: Fault Tree Analysis, 이하 FTA로 지칭함)은 시스템 고장을 유발하는 원인들과의 관계를 논리 기호(AND, OR 등)를 이용하여 나뭇가지 모양의 그림으로 나타낸 FT(Fault Tree)를 활용하여 분석 시스템을 모델링한다.

이 모델을 기초로 분석 시스템의 고장사건을 기본 사상(Basic Event) 발생확률로부터 중간(Middle Event) 및 정상 사상(Top Event)에 대한 확률을 차례로 계산할 수 있으므로 시스템 고장에 취약한 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰도를 개선하는데 적용할 수 있는 분석 방법이다.



< 그림 2-273. 직렬 및 병렬구조의 FT >

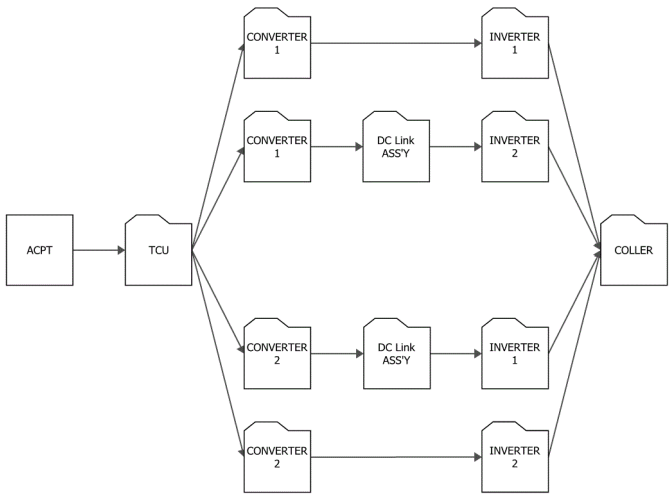
주변환장치와 종합제어장치 내 각 부품별로 예측한 고장률 결과를 이용하여 각 하위 시스템 및 전체 시스템에 대한 RBD와 FT를 구성하여 신뢰성 척도인 고장률(Failure Rate)과 평균 수명(MTBF)를 추정하며, 신뢰성 분석 시 차량의 연간 평균 운행거리는 600,000km, 일일 평균 운행시간은 16시간, 차량의 평균 운행속도는 102.7km/h라고 가정하여 분석을 수행한다.

㉮ 주변환장치

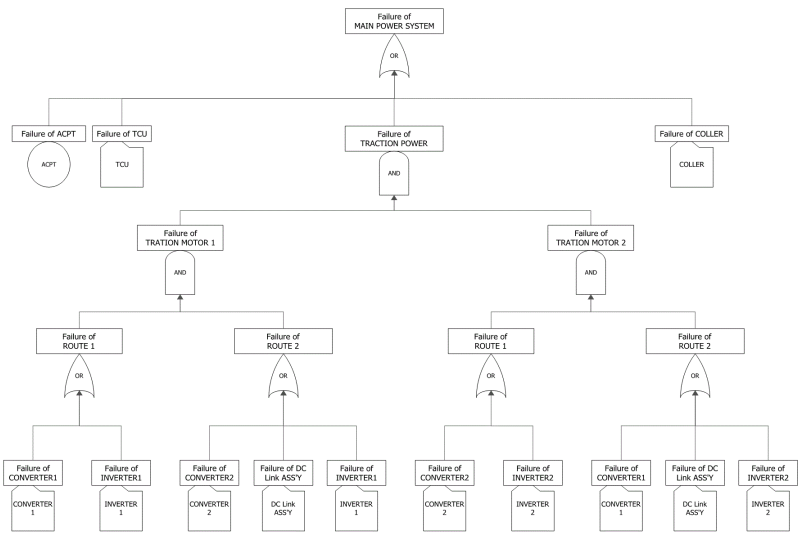
주변환장치(Main Power System)는 ACPT, 견인제어장치(TCU), Converter ASS’Y, Inverter ASS’Y, HEP Inverter ASS’Y, Converter Circuit, Inverter Circuit, DC Link ASS’Y, HK, MCT, Cooler로 구성된다.

견인전동기(Traction Motor)는 한 축에 2개가 설치되며, 2개 중 1개 이상의 견인전동기 가동이 가능하다면 견인 기능(Traction Power)을 수행할 수 있는 병렬 구조이며, 1개의 견인전동기가 정상적으로 작동하기 위해서는 주변환장치 내 Converter Circuit와 Inverter Circuit가 동시에 작동하는 직렬 구조로 구성되어 있으며, 해당 견인전동기의 Converter Circuit에서 고장 발생시 DC Link ASS’Y를 통해 다른 견인전동기의 Converter Circuit으로 보상이 가능한 구조이다.

상기와 같은 주변환장치의 구조 및 기능을 반영하여 주변환장치에 대한 RBD와 FT를 모델링한 결과는 다음과 같다.



< 그림 2-274. 주변환장치에 대한 RBD >



< 그림 2-275. 주변환장치에 대한 FT>

주변환장치의 각 구성품별로 예측한 고장률 결과를 적용하여 RBD와 FT를 분석한 결과, 주변환장치에 대한 고장률(Failure Rate)은 1.3074E-4이며, 평균수명(MTBF)는 7,649시간으로 하루 16시간 365일동안 운행할 경우(1년동안 5,840시간 운행) 약 1.3년으로 추정된다.

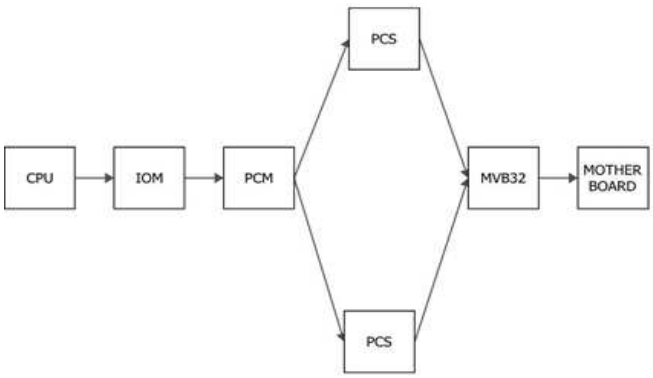
< 표 2-64. 주변환장치에 대한 신뢰도 분석 결과 >

주변환장치	
Failure Rate(failures/hr)	MTBF(hours)
1.3074×10-4	7,649

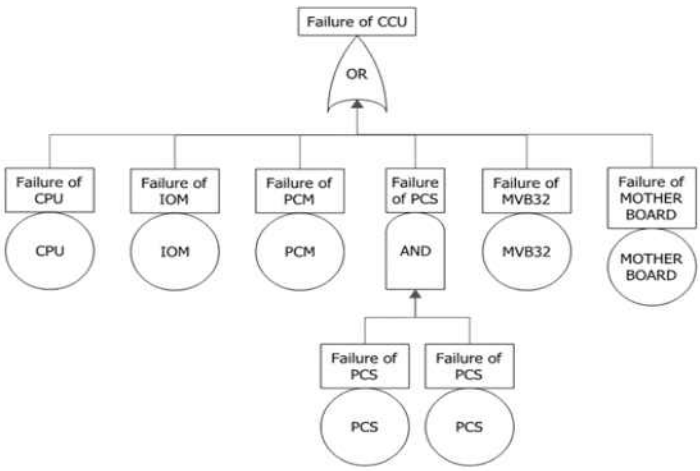
㉯ 종합제어장치

종합제어장치(CCU)는 CPU, IOM, PCM, 2개의 PCS, MVB32 및 MOTHER BOARD, MMI로 구성되며, PCS는 2개 모두 고장이 발생한 경우에만 전원공급 기능을 수행할 수 없게 되므로 병렬 구조(AND gate)로 모델링할 수 있으며, 나머지 부품들은 모두 작동해야 종합제어장치의 기능을 수행할 수 있으므로 직렬 구조로 구성할 수 있다.

상기와 같은 종합제어장치의 구조 및 기능을 반영하여 종합제어장치에 대한 RBD와 FT를 모델링한 결과는 다음과 같다.



< 그림 2-276. MMI를 제외한 종합제어장치(CCU)에 대한 RBD >



< 그림 2-277. MMI를 제외한 종합제어장치(CCU)에 대한 FT >

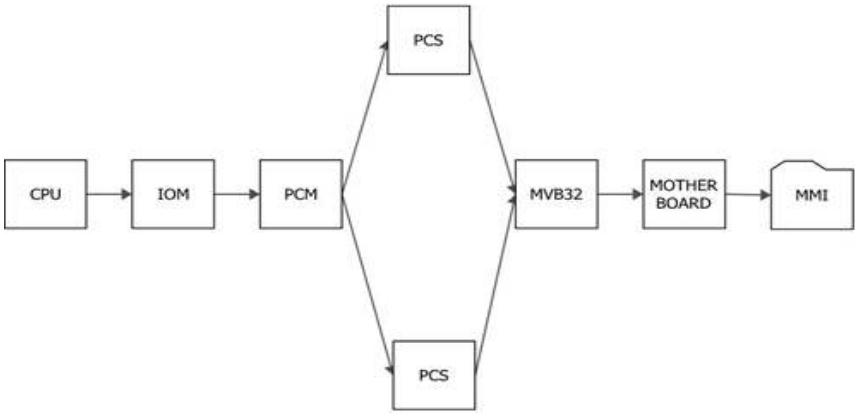
MMI는 종합제어장치의 상태를 화면에 표시해주는 기능으로 해당 장치가 고장이 발생하더라도 종합제어장치(CCU) 작동에 영향을 미치지 않으므로 MMI 장치를 제외한 종합제어장치(CCU)의 각 구성품별로 예측한 고장률 결과를 적용하여 RBD와 FT를 분석한 결과, 고장률은 1.8780E-5이며, 평균수명(MTBF)는 53,249시간으로 하루 16시간 365일동안 운행할 경우(1년동안 5,840시간 운행) 약 9.1년으로 추정된다.

< 표 2-65. MMI를 제외한 종합제어장치(CCU)에 대한 신뢰도 분석 결과 >

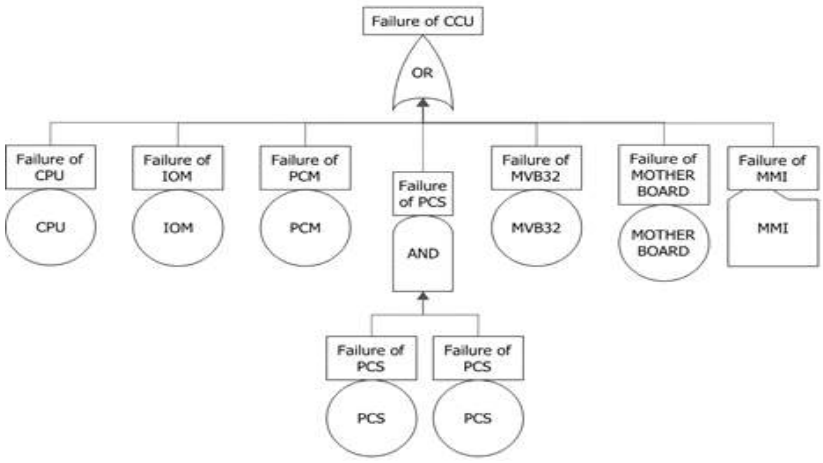
MMI를 제외한 종합제어장치(CCU)	
Failure Rate(failures/hr)	MTBF(hours)
1.8780×10-5	53,249

MMI 고장시 종합제어장치(CCU) 기능에는 영향은 없으나 이 기능이 수행되지 않으면 운전자가 상태를 알 수 없어 사고로 이어질 수 있는 가능성을 고려하여 MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)에 대한 신뢰도를 보수적으로 분석 수행한다.

MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)에 대한 RBD와 FT를 모델링한 결과는 다음 그림과 같다.



< 그림 2-278. MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)에 대한 RBD >



< 그림 2-279. MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)에 대한 FT >

MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)의 각 구성품별로 예측한 고장률 결과를 적용하여 RBD와 FT를 분석한 결과, 고장률은 3.3567E-5이며, 평균수명(MTBF)는 29,791시간으로 하루 16시간 365일동안 운행할 경우(1년동안 5,840시간 운행) 약 5.1년으로 추정된다.

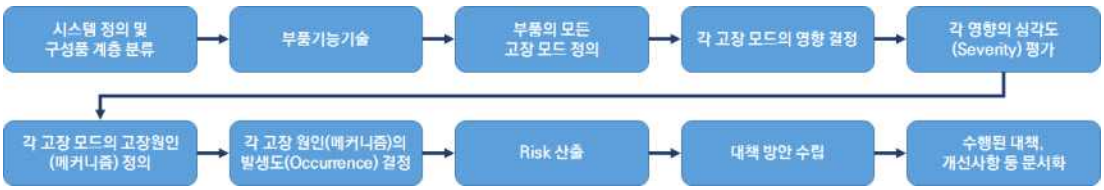
< 표 2-66. MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)에 대한 신뢰도 분석 결과 >

MMI를 포함한 종합제어장치(CCU)	
Failure Rate(failures/hr)	MTBF(hours)
3.3567×10-5	29,791

④ 고장유형, 영향 및 치명도 분석(FMEACA)

고장모드 및 영향 분석(Failure Mode and Effects Analysis: 이하 FMEA라 지칭함)는 시스템이나 기기의 잠재적인 고장유형을 찾아내고, 시스템이나 기기의 가동 중에 이와 같은 고장이 발생하였을 경우 임무수행에 미치는 영향을 조사 및 평가하여 영향이 큰 고장유형에 대하여는 적절한 대책을 수립하는 구조공학분석 방법이다.

고장모드, 영향 및 치명도 분석(Failure Mode, Effects and Criticality Analysis: 이하 FMECA라 지칭함)은 FMEA를 실시한 결과에 의해 고장 등급이 높은 고장모드를 중심으로 시스템이나 기기의 고장에 어느 정도 기여하는가를 정량적으로 해석하여 평가하는 방법으로 FMECA의 분석절차는 다음과 같다.



< 그림 2-280. FMECA 분석 절차 >

· 시스템 정의, 구성품 계층 분류, 기능 정의

- 설계 목적 정의(운용 형태, 임무 및 환경 프로파일 등 포함)
- LRU 단위의 부품을 단계별로 PBS 구성

· 고장모드(Failure Mode)

- 부품, 모듈, 하위 시스템 또는 시스템이 설계 목표, 수행 요구사항 또는 고객 기대 만족에 실패할 수 있는 방식

· 고장영향(Failure Effect)

- 인접해 있는 부품들과 더 높은 수준의 시스템 기능에 대한 고장모드의 영향
- 고장모드는 여러 개의 고장영향을 가질 수 있음
- 고장영향은 심각도(Severity)에 의하여 평가됨
- 주변환장치와 종합제어장치에 대한 FMECA 분석에서는 기존 코레일 과제에서 적용한 심각도 기준을 적용함.

< 표 2-67. 심각도 기준 >

Consequence Category	Consequence Description	정의(서비스 지연)
C1	Negligible(무시할만한)	10분 이하
C2	Minor(경미한)	10분 이상 20분 미만
C3	Major(주요한)	20분 이상 2시간 미만
C4	Critical(중대한)	2시간 이상 8시간 미만
C5	Catastrophic(치명적인)	8시간 이상 1일 미만
C6	Disastrous (재난이 발생가능한)	1일 이상

· 고장원인(Failure Cause)

- FTA 및 RBD 단계에서 분석된 결과를 활용
- 설계 결점의 징후이며, 이로 인해 발생되는 결과는 고장 모드
- 고장 모드는 여러 고장 메커니즘의 결과
- “부정확한 부품의 선택“, “재료의 오용“, “부적합한 설치“, “overstressing“, “피로(fatigue)“, “부식(corrosion)“ 등
- 확인된 고장원인은 각각의 발생도(Occurrence) 값에 의해 할당
- 주변환장치와 종합제어장치에 대한 FMECA 분석에서는 기존 코레일 과제에서 적용한 발생도 기준을 적용함.

< 표 2-68. 발생도 기준 >

Ranking	Category	Description
F1	Improbable(희박한)	Less than once every 100 years (100년 1회미만)
F2	Remote(아주 적은)	Once every 10 to 100 years (10년 1회미만 100년 1회이상)
F3	Occasional(때때로)	Once every 1 to 10 years (1년 1회미만 10년 1회이상)
F4	Probable(있음직한)	Once to 10 times per year (연간 1회이상 10회미만)
F5	Frequent(빈번한)	10 to 100 times per year (연간 10회이상 100회미만)
F6	Very likely(매주 자주발생하는)	More than 100 times per year (연간 100회 이상)

· 고장발견방법

- 고장모드와 고장원인을 예방하고 검출하는 방법

- 예방 기준 및 방법

▸ 발생으로부터 고장원인, 고장모드, 고장영향을 제거하거나 발생률을 감소시키는 것

▸ 예방 방법은 가능할 때마다 사용되어질 수 있어야 함

▸ 설계 단계에서 예방 관리하에 고장원인의 초기 발생 순위는 낮을 수 있음

· Risk 평가

- 각 부품별 고장모드 발생시 시스템에 미치는 심각도와 발생도를 기초로 Risk 산출함

▸ Risk = 심각도(Severity) × 발생도(Occurrence)

- 주변환장치와 종합제어장치에 대한 FMECA 분석에서는 기존 코레일 과제에서 적용한 심각도 기준을 적용함.

Ranking 등급		C1	C2	C3	C4	C5	C6
		neglisible 무시할만한	minor 경미한	major 주요한	Critical 중대한	Catastrophic 치명적인	Disastrous 재난이 발생가능한
F6	Very likely 매주 자주 발생하는	B	A	A	A	A	A
F5	Frequent 빈번한	B	B	A	A	A	A
F4	Probable 있음직한	B	B	B	A	A	A
F3	Occasional 때때로	C	B	B	B	A	A
F2	Remote 아주 적은	C	C	B	B	B	A
F1	Improbable 희박한	C	C	C	B	B	B

< 그림 2-281. Risk 기준 >

Ranking	설명
A	All steps should be taken to further control the hazard or the activity must cease, in extraordinary circumstances (본 등급에 해당하는 위험원은 반드시 제거되어야 함)
B	Risk is generally regarded as tolerable but should be further reduced if a significant net benefit in doing so can be demonstrated and/or there is an additional control measure which is recognized as good practice in other relevant railways (본 등급에 해당하는 위험원은 운영기관의 동의하에 허용이 가능함)
C	Level of risk is broadly acceptable and should be subject to continuous monitoring (본 등급에 해당하는 위험원은 운영기관의 동의없이도 허용이 가능함)

· 설계 대책 수립

- 설계 변경, 재료 업그레이드 그리고 시험 계획의 수정
- 설계 변경은 고장 영향의 심각도와 고장원인의 발생도를 감소시킬 수 있음
- 시험 계획의 수정은 검출법의 성능을 증가시킴

상기의 FMECA 작성 절차에 기초하여 주변환장치 내 각 부품의 고장모드로 인해 열차에 미치는 심각도와 발생도를 기초로 주변환장치 및 종합제어장치의 FMECA를 분석하였고, 이에 대한 결과의 일부 정리한 예는 다음과 같다.

아이디 ID		장치명 Item Description	수량 Q'ty	기능 Function	고장 모드 (Failure Mode)	고장 원인 (Causes) of Failure)	고장 발견 방법 (Failure Detection Method)	고장영향 / 결과 (Failure Effects / Consequences)		치명도 (Criticality)				설계 예방책 (Proposed Tasks /Design Safeguards)
								서브시스템(로컬) 영향 (Subsystem)	시스템 영향 (System)	장치별 고장모드 발생률 (Failure Rate of Occurrence of Effect Per item)	발생도 (Frequency)	심각도 (Severity)	위험도 (Risk)	
10000	1	주변환장치	1											
11000	1	ACPT	1	가선전압을 저전압으로 변환	전압 변환 불가	과전류/과전압	육안 검사/ 기능 점검/	주변압기에서 출력되는 가선전압을 저전압으로 변환할 수 없음	1. 객차 내 전원 공급 및 견인전동기 가동이 불가함 2. 열차를 운행할 수 없음	7.5815E-07	F1	C2	C	1. 성능 및 환경시험을 통과한 제품을 사용 2. 과전류/과전압 보호회로 구성 3. ACPT 의 정기적인 점검
12000	1	게이트 전원장치	2	차량의 축전지로부터 입력전압 DC 110V 를 입력받아 DC 14V 를 게이트 유니트(컨버터, 인버터, HEP 인버터)에 공급	전원 공급 불가	과전류/과전압	육안 검사/ 기능 점검/	컨버터, 인버터, HEP 인버터에 전원을 공급할 수 없음	1. 객차 내 전원 공급 및 견인전동기 가동이 불가함 2. 열차를 운행할 수 없음	1.4299E-06	F1	C2	C	1. 성능 및 환경시험을 통과한 제품을 사용 2. 과전류/과전압 보호회로 구성 3. 게이트 전원장치의 정기적인 점검
13000	1	견인제어장치 (TCU)	1	견인/제동 제어 및 설정치 전차력 공전/활주 제어, 회생제동 제어 및 배터 제어의 최적화, 모니터링, 보호, 시험 및 진단										
13100	1	BOI14 BOARD ASS'Y	3	PWM33 보드로부터 입력받은 PWM 신호를 광신호로 출력하여 컨버터의 게이트 드라이브 On/Off 를 제어	신호 입출력 불가	과전류/과전압	육안 검사/ 기능 점검/ CCU 의 MMI	1. 컨버터 게이트 드라이브를 작동할 수 없음 2.TCU 기능을 수행할 수 없음	1. 객차 내 전원 공급 및 견인전동기 가동이 불가함 2.열차를 운행할 수 없음	1.0423E-05	P2	C2	C	1. 성능 및 환경시험을 통과한 제품을 사용 2. 과전류/과전압 보호회로 구성 3. BOI14 BOARD 의 정기적인 점검
13200	1	BOI14 BOARD ASS'Y	3	PWM33 보드로부터 입력받은 PWM 신호를 광신호로 출력하여 인버터와 HEP 인버터의 게이트 드라이브 On/Off 를 제어	신호 입출력 불가	과전류/과전압	육안 검사/ 기능 점검/ CCU 의 MMI	1. 인버터 및 HEP 인버터의 게이트 드라이브를 작동할 수 없음 2. TCU 기능을 수행할 수 없음	1. 객차 내 전원 공급 및 견인전동기 가동이 불가함 2.열차를 운행할 수 없음	1.5010E-05	P2	C2	C	1. 성능 및 환경시험을 통과한 제품을 사용 2. 과전류/과전압 보호회로 구성 3. BOI14 BOARD 의 정기적인 점검
13300	1	PIP18 BOARD ASS'Y	1	전동기 속도 신호를 입력받아 신호를 변환한 후 인버터 제어보드로 전달	정보 송수신 불가	과전류/과전압	육안 검사/ 기능 점검/ CCU 의 MMI	1. 견인전동기 속도를 제어할 수 없음 2. TCU 기능을 수행할 수 없음	1. 견인전동기 가동이 불가함 2. 열차를 운행할 수 없음	3.4636E-06	P2	C2	C	1. 성능 및 환경시험을 통과한 제품을 사용 2. 과전류/과전압 보호회로 구성 3. PIP18 BOARD 의 정기적인 점검

< 그림 2-282. 주변환장치에 대한 FMECA 결과 예 >

주변환장치 및 종합제어장치의 FMECA 분석 결과, Risk는 대부분은 “C“등급으로 평가되었으며 PWM33 BOARD ASS’Y는 “B” 등급으로 평가되었다.

⑤ 보전 분석(Maintenance Analysis)

보전(Maintenance)는 장비의 고장이 발생했을 경우 일정기간 내에 장비를 규정된 상태로 복귀시키기 위한 활동이며, 장비를 규정된 상태로 복구시킨다는 것은 유지보수에 의한 수리 혹은 교환을 의미하며, 보전은 사후 유지보수(Corrective Maintenance)와 예방 유지보수(Preventive Maintenance)로 구분할 수 있다.

㉮ 사후 유지보수 분석(Corrective Maintenance Analysis)

고장이 발생하였을 때 수리 및 교환 등의 유지보수 업무를 수행하는 활동을 사후 유지보수(Corrective Maintenance)라고 지칭하며, 사후 유지보수를 수행한 작업시간들의 평균을 구한 평균 수리(복구)시간(Mean Time To Repair/Restoration, MTTR)을 보전성의 주요 척도로 산출한다.

· 사후 유지보수 포함내용

- 각 부품에서 발생 가능한 고장모드 발생률
- 각 고장모드 발생시 사후 유지보수 작업내용
- 사후 유지보수시 소요되는 예비품, 특수 공구 및 장비, 작업자수, 작업시간

주변환장치 및 종합제어장치에 대한 각 부품별 고장모드 형태로 고장이 발생한 경우 수행하는 유지보수활동, 사후 유지보수시 소요되는 작업시간, 작업인원, 장비등에 관한 사후 유지보수분석을 수행하였고 이에 대한 결과의 일부를 정리한 예는 다음과 같다.

아이디 ID		장치명 Item Description	고장 모드 (Failure Mode)	장치별 고장모드 발생률 (Failure Rate of Occurrence of Effect Per item)	사후보전 장비 작업 (Maintenance Task)	예비품 (Spare Parts)	특수 공구 및 장비 (Special Tools or Equipment)	정비 작업자 수 (Personnel)	유지보수 작업 시간 Maintenance Time (hour)	유지 보수 공수 (Man hours)
10000	1	**주변환장치**								
11000	1	**ACPT**	전압 변환 불가	7.5815E-07	ACPT 교체	ACPT	육각렌치	1	0.50	0.50
12000	1	**게이트 전원장치**	전원 공급 불가	1.4299E-06	게이트 전원장치 교체	게이트 전원장치	육각렌치	1	0.50	0.50
13000	1	**견인제어장치 (TCU)**								
13100	1	EOC14 BOARD ASS'Y	신호 입출력 불가	1.0423E-05	EOC14 BOARD ASS'Y교체	EOC14 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13200	1	EOI14 BOARD ASS'Y	신호 입출력 불가	1.5010E-05	EOI14 BOARD ASS'Y교체	EOI14 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13300	1	PIP18 BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	3.4686E-06	PIP18 BOARD ASS'Y교체	PIP18 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13400	1	INF32 BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	1.5004E-06	INF32 BOARD ASS'Y교체	INF32 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13500	1	INF23 BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	7.8777E-06	INF23 BOARD ASS'Y교체	INF23 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13600	1	AMON32 BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	5.2727E-06	AMON32 BOARD ASS'Y 교체	AMON32 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13700	1	ISO26 BOARD ASS'Y	모니터링 불가	3.8806E-06	ISO26 BOARD ASS'Y교체	ISO26 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13800	1	PIP22 BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	4.5978E-06	PIP22 BOARD ASS'Y교체	PIP22 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33
13900	1	MVB BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	3.6471E-06	MVB BOARD ASS'Y교체	MVB BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.50	0.50
13A00	1	DIP24 BOARD ASS'Y	정보 송수신 불가	1.4821E-05	DIP24 BOARD ASS'Y교체	DIP24 BOARD ASS'Y	육각렌치	1	0.33	0.33

< 그림 2-283. 주변환장치에 대한 사후 유지보수 분석 결과 예 >

주변환장치와 종합제어장치에 대한 사후 유지보수와 예방 유지보수 분석을 수행하였으며, 각 장치별 사후 유지보수 분석을 통해 산출된 평균 수리(복구)시간은 0.3564시간과 0.6896시간으로 추정된다.

< 표 2-69. 주변환장치와 종합제어장치에 대한 평균 수리(복구)시간 결과 >

장치명	MTTR(시간)
주변환장치(Main Power System)	0.3564
종합제어장치(CCU)	0.6896

㉰ 예방 유지보수 분석(Preventive Maintenance Analysis)

고장이 발생하지 않았더라도 운용적인 필요성에 의해 주기적인 유지보수 활동을 수행하게 되는데 이 활동시 투입되는 작업인원, 작업시간, 공구 등을 관리하는 활동이 예방 유지보수(Preventive Maintenance) 활동이며 다음과 같은 항목들이 포함된다.

· 예방 유지보수 작업내용

- 고장의 징후 및 결점을 찾아내기 위한 시험·검사
- 주유, 청소, 조정
- 불량부품의 교환수리
- 정기교환

· 예방 유지보수 주기

· 예방 유지보수시 소요되는 특수 공구 및 장비, 정비 작업자수, 작업시간

주변환장치 및 종합제어장치에 대한 각 부품별 고장이 발생하기 이전에 정기적인 주기에 수행하는 유지보수 활동, 예방 유지보수시 소요되는 작업시간, 작업인원, 장비등에 대한 예방 유지보수 분석을 수행하였고, 이에 대한 분석 결과의 일부를 정리한 예는 다음과 같다.

아이디 ID	장치명 Item Description	예방보전 정비 작업 (Maintenance Task)	특수 공구 및 장비 (Special tools or equipments)	예방정비 주기 (Maintenance Interval)	정비작업자 수 (Personnel)	유지보수 작업 시간 Maintenance Time(hour)	유지보수 공수 (Man hours)
10000	주변환장치						
11000	ACPT	ACPT 외관 점검 - ACPT 체결 상태 확인 - ACPT 연결부 확인	육각렌치	1 Year	1	0.17	0.17
		ACPT 청결상태 확인 및 청소	BW-100,DR-747	6 Month	1	0.17	0.17
		ACPT 기능 점검 - 출력전압 측정 및 조정	Digital Multi-Meter	6 Month	1	0.33	0.33
12000	게이트 전원장치	게이트 전원장치 외관 점검 - 게이트 전원장치 체결 상태 확인 - 게이트 전원장치 연결부 확인	육각렌치	1 Year	1	0.17	0.17
		게이트 전원장치 청결상태 확인 및 청소	BW-100, DR-747	6 Month	1	0.17	0.17
		게이트 전원장치 기능 점검 - 출력전압 측정 및 조정	Digital Multi-Meter	6 Month	1	0.33	0.33
13000	견인제어장치(TCU)						
13100	ECO14 BOARD ASS'Y	ECO14 BOARD 외관 점검 - ECO14 BOARD 체결 상태 확인 - ECO14 BOARD 연결부 확인	육각렌치	1 Year	1	0.17	0.17
		ECO14 BOARD 청결상태 확인 및 청소	BW-100, DR-747	6 Month	1	0.17	0.17
		ECO14 BOARD 기능 점검 - 출력전압 측정 및 조정	Digital Multi-Meter	6 Month	1	0.33	0.33

< 그림 2-284. 주변환장치에 대한 예방 유지보수 분석 결과 예 >

⑥ 위험 분석(Hazard Analysis)

위험원(Hazard)은 시스템의 상태 또는 조건으로서 주변의 기타 조건들과 함께 불가피하게 사고로 귀결될 상태 또는 일련의 조건을 의미하며, 위험도(Risk)는 위험한 사건의 결과(Consequence)와 발생빈도(Frequency)의 조합으로 정의할 수 있으며, 위험원 분석(Hazard Analysis)은 위험원 규명, 위험원의 원인이 되는 요인들의 규명과 평가, 취험도 평가 기능으로 나누어진다.

위험도(Risk) 산출 시 FMECA와 동일하게 분석에서는 기존 코레일 과제에서 적용한 심각도 기준을 적용하며, 위험한 사건의 결과(Consequence)의 기준은 다음과 같이 적용하였다.

< 표 2-70. 위험 분석 시 심각도 기준 >

Consequence (Safety) Category	Consequence Description	Fetality (사망)	Major Injury (경상)	Minor Injury (경상)
C1	Negligible(무시할만한)	0	0	0
C2	Minor(경미한)	0	0	>1
C3	Major(주요한)	0	>1	
C4	Critical(중대한)	1		
C5	Catastrophic(치명적인)	2-10		
C6	Disastrous(재난이 발생가능한)	>10		

위험 요인이 규명된 이후에는 각각의 위험한 조건 및 상황에 관련된 원인과 영향을 분석해야 하며, 특정 시스템의 설계특성이 개발단계에서 고려되기 때문에 위험 요인은 더욱 상세하게 분석될 수 있으며, 위험 요인의 발생 원인에 관한 정보는 위험 요인들을 허용할만한 수준으로 관리하고 최소화하는데 필요한 설계의 고려사항과 안전성 요구사항을 구체적으로 언급할 수 있게 도움을 줄 수 있다.

위험은 먼저 위험특성을 고려하여 규명하는데, 기능상실에 위협이 되는 잠재적 요인과 시스템 운영에 영향을 미치는 환경적 요소를 함께 고려하며, 이 과정은 수명주기 동안 전반적으로 이루어지며, 위험 규명 과정의 결과는 시스템 안전성 요건 개발, 성능 및 설계 명세 개발, 시험 계획 준비, 운영 지침서 준비, 관리 계획을 세울 때 사용될 수 있으며, 그 결과는 향후 분석을 위한 기준과 안전성 관리 및 기술적인 책임 수행을 확인하기 위한 점검표로 사용된다.

위험원 규명은 일반적으로 Hazard Log라고 하며, 다음과 같은 정보를 포함한다.

< 표 2-71. Hazard Log 정보 >

No	Designation	Explanation
1	No.	해당 위험요소에 대한 식별 번호
2	System(시스템 명)	해당 위험요서가 발생되는 시스템의 이름
3	Subsystem (서브 시스템 명)	해당 위험요서가 발생되는 하위 서브시스템의 이름
4	Hazard Description (위험 설명)	분석되는 위험상황에 대한 설명
5	Operation Mode (운행 모드)	분석되는 위험상황이 발생되는 운행 모드 (비상, 정상, 긴급, All, 기타)
6	Potential Cause (위험 발생 원인)	분석되는 위험상황을 일으킬 수 있는 잠재적인 원인을 기술
7	Effects/Consequence (위험 발생 결과)	분석되는 위험상황의 결과로 야기될 수 있는 위험발생 결과를 기술 (최악의 상황을 고려)
8	Original Risk (초기 위험도)	해당 위험상황이 발생되었을 때의 위험분석 결과 - 빈도: 위험 저감대책을 적용하기 전의 초기 위험 발생 빈도 - 심각도: 위험 저감대책을 적용하기 전의 초기 위험 심각도 - 위험도: 빈도와 심각도의 조합

No	Designation	Explanation
9	Proposed Safeguard (위험 저감 대책)	위험성을 제거하거나 저감할 수 있는 대책을 기술
10	Residual Risk (잔존 위험도)	해당 위험상황에 대하여 위험 저감 대책을 반영한 후의 위험분석 결과 - 빈도: 위험 저감 대책을 적용한 후의 잔존 위험 발생 빈도 - 심각도: 위험 저감 대책을 적용한 후의 잔존 위험 심각도 - 위험도: 빈도와 심각도의 조합
11	Type of Hazard (위험분석의 종류)	수행한 위험 분석의 종류 - 시스템 위험분석(SHA), 서브시스템 위험분석(SSHA), 인터페이스 위험분석(IHA), 운영 및 지원 위험분석(O&SHA)
12	Tracking System (추적 시스템)	다음과 같은 위험성 제거(또는 저감)의 근거 및 증거를 제공 - 책임자: 해당 위험 저감 대책을 수행해야 할 책임을 지고 있는 사람 (예, 철도공사, 장치 공급자) - 검증 방법: 위험 저감 대책을 검증하는 단계(설계, 형식시험, 유지보수 매뉴얼, 완성차 시험)에서 이를 검증할 수 있는 분석 문서 및 문서 번호

주변환장치 및 종합제어장치에서 발생되는 위험에 관하여 위험 발생 원인, 위험 발생 결과, 위험 저감책 등에 관한 위험 분석을 수행하였고, 이에 대한 결과의 일부 예를 정리하면 다음과 같다.

No.	System	Subsystem	Hazard Description	Operation Mode	Potential Cause	Effect/Consequence	Proposed Safeguard	Type of Hazard	Tracking System	
									Responsibility	Verification Method
1	주변환장치	게이트 전원장치, ACPT, TCU	견인전동기 속도 제어 불가	Emrg	게이트 전원장치 고장, ACPT 고장, TCU고장	- 운행 중이던 열차가 역에 정차하기전 선로 위에서 멈출 수 있음 - 운행노선 위에 정차된 해당 열차의 상태를 외부로 알릴 수 없거나 이를 다른 열차에서 감지할 수 없을 경우 충돌할 수 있음 - 비상상황 발생 시 승객이 대피할 수 없음	1. 온도 및 정능 시험을 통과한 부품 사용 2. 과전압/과전류 보호회로 구성 3. 운행 전 기능 확인 4. 정기적 검사 및 유지보수 실시	SSHA	1. 우진산전 2. 우진산전 3. 철도공사 4. 우진산전 & 철도공사	1. 시험성적서 2. 설계도면 3. 유지보수 매뉴얼 4. 유지보수 매뉴얼
2	주변환장치	게이트 전원장치, ACPT, TCU	열차 제동 제어 불가	Emrg	게이트 전원장치 고장, ACPT 고장, TCU고장	- 운행 중이던 열차가 역에 정차하기전 선로 위에서 멈출 수 있음 - 운행노선 위에 정차된 해당 열차의 상태를 외부로 알릴 수 없거나 이를 다른 열차에서 감지할 수 없을 경우 충돌할 수 있음 - 비상상황 발생 시 승객이 대피할 수 없음	1. 온도 및 정능 시험을 통과한 부품 사용 2. 과전압/과전류 보호회로 구성 3. 운행 전 기능 확인 4. 정기적 검사 및 유지보수 실시	SSHA	1. 우진산전 2. 우진산전 3. 철도공사 4. 우진산전 & 철도공사	1. 시험성적서 2. 설계도면 3. 유지보수 매뉴얼 4. 유지보수 매뉴얼
3	주변환장치	게이트 전원장치, ACPT, TCU, InputCircuit, ConverterASS'Y, DCLink ASS'Y, Inverter ASS'Y, MCT (Inverter-용)	견인전동기 가동 불가	Emrg	게이트 전원장치 고장, ACPT 고장, TCU고장, Input Circuit 고장, Converter ASS'Y 고장, DCLink ASS'Y 고장, Inverter ASS'Y 고장, MCT(Inverter-용) 고장	- 운행 중이던 열차가 역에 정차하기전 선로 위에서 멈출 수 있음 - 운행노선 위에 정차된 해당 열차의 상태를 외부로 알릴 수 없거나 이를 다른 열차에서 감지할 수 없을 경우 충돌할 수 있음 - 비상상황 발생 시 승객이 대피할 수 없음	1. 온도 및 정능 시험을 통과한 부품 사용 2. 과전압/과전류 보호회로 구성 3. 견인전동기 이중화 설계 4. 운행 전 기능 확인 5. 정기적 검사 및 유지보수 실시	SSHA	1. 우진산전 2. 우진산전 3. 우진산전 4. 철도공사 5. 우진산전 & 철도공사	1. 시험성적서 2. 설계도면 3. 설계도면 4. 유지보수 매뉴얼 5. 유지보수 매뉴얼
4	주변환장치	방열기	주변환장치 내부 화재 발생	Emrg	방열기 고장	- 주변환장치 내부에서 재실로 화재가 번질 수 있음 - 승객이 화상을 입을 수 있음	1. 온도 및 정능 시험을 통과한 부품 사용 2. 운행 전 기능 확인 3. 정기적 검사 및 유지보수 실시	SSHA	1. 우진산전 2. 철도공사 3. 우진산전 & 철도공사	1. 시험성적서 2. 유지보수 매뉴얼 3. 유지보수 매뉴얼

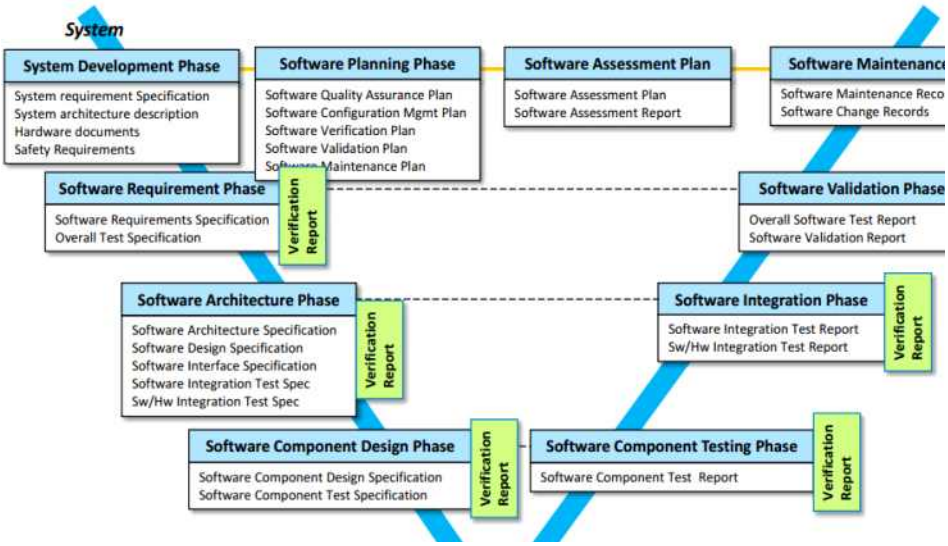
< 그림 2-285. 주변환장치에 대한 Hazard Log 결과 >

주변환장치의 위험 분석 결과, 대부분의 위험은 위험도 “C” 등급으로 평가되었으며, Top2의 위험도 “B” 등급으로 평가되었으며, 종합제어장치의 위험 분석 결과, 위험도는 “C” 등급으로 평가된다.

(나) SW 개발 산출물 작성 및 V&V

① 소프트웨어 개발 프로세스 수립

철도 산업에서의 소프트웨어 개발 프로세스는 대체적으로 국제규격인 EN 50128의 요구에 따라 그림과 같은 V-Model에 따라 수행된다.



< 그림 2-286. V-Model >

V-Model에 따른 단계별 주요 산출물은 다음과 같다.

< 표 2-72. 소프트웨어 생명주기별 주요 산출물 >

단계	산출물
Planning	Software Quality Assurance Plan
	Software Quality Assurance Verification Report
	Software Configuration Management Plan
	Software Validation Plan
	Software Verification Plan
Software Requirements	Software Requirements Specification
	Overall Software Test Specification
	Software Requirements Verification Report
Architecture and design	Software Architecture Specification
	Software Design Specification
	Software Interface Specifications
	Software Integration Test Plan
	Software/Hardware Integration Test Plan
	Software Architecture and Design Verification Report
Component Design	Software Component Design Specification
	Software Component Test Specification
	Software Component Design Verification Report
Component implementation and testing	Software Source code and supporting documentation
	Software Source Code Verification Report
	Software Component Test Report

Integration	Software Integration Test Report
	Software/Hardware Integration Test Report
	Software Integration Verification Report
Overall software testing / Final validation	Overall Software Test Report
	Software Validation Report
	Tools Validation Report
	Release Note
Software deployment	Software Release and Deployment Plan
	Software Deployment Manual
	Release Notes
	Deployment Records
	Deployment Verification Report
Software maintenance	Software Maintenance Plan
	Software Chang Records
	Software Maintenance Records
	Software Maintenance Verification Report
Software assessment	Software Assessment Plan
	Software Assessment Report

국제규격인 EN 50128에 의거 작성된 V-Model에 따른 수명주기 단계별 활동, 산출물, 역할 및 절차는 다음과 같다.

㉮ Planning

전체 시스템의 구성요소인 특정 소프트웨어 시스템을 개발하기 위하여 관련 계획을 수립하며, 계획 수립 단계의 주요 활동과 출력물은 다음과 같다.

< 표 2-73. 계획단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 소프트웨어 프로젝트 계획 수립 프로젝트관리자는 파악된 기술적,환경적 요구사 을 바탕으로 필요시 소프트웨어 프로젝트 수행계획서를 작성한다.	IEEE 1058
	2. 소프트웨어 품질보증 계획서 작성 프로젝트관리자 혹은 개발품질보증관리자는 TS, PTS, 제안서, Compliance Matrix 등을 참조하여 품질 목표, 제약사항 등의 품질보증활동 요구사항을 식별하고, 소프트웨어품질보증계획서를 작성한다.	IEEE 730
	3. 소프트웨어 형상관리 계획서 작성 프로젝트 관리자 혹은 소프트웨어 형상관리자는 프로젝트 수행계획, 품질보증계획 등을 참조하여 프로젝트 라이프사이클 동안 관리할 형상항목을 식별하고 소프트웨어 형상관리 계획서를 작성한다.	IEEE 828
	4. 소프트웨어 확인 및 검증 계획서 작성 프로젝트 관리자 혹은 소프트웨어 검증 및 확인 담당자는 프로젝트 수행계획, 소프트웨어 품질보증계획 등을 참조하여 프로젝트 라이프사이클 동안 수행할 소프트웨어 검증 및 확인 활동을 정의하고, 소프트웨어 확인 및 검증 계획서를 작성한다.	IEEE 1012
산출물	소프트웨어 프로젝트 관리 계획서, 소프트웨어 품질 보증 계획서	
	소프트웨어 형상관리 계획서, 소프트웨어 확인 및 검증 계획서	

㉯ Software Requirements 단계

Software Requirements 단계는 시스템에서 분리된 소프트웨어의 요구사항을 분석하여 정의하고, 요구사항에 대한 전반적인 시험 계획을 수립하는 단계이다.

< 표 2-74. 요건단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 소프트웨어 요구사항 정의 소프트웨어 요구사항을 명확히 하기 위하여 각종 규격서, 제안서, 이해관계자 인터뷰등을 토대로 하여 요구사항을 식별한다. 요구사항은 기능뿐만 아니라, 하드웨어 인터페이스, 소프트웨어 인터페이스, 사용자 인터페이스, 통신 인터페이스, 성능, 데이터 정의, 사용자 문서, 설치 및 승인, 운전 및 유지보수 등에 대하여 종합적으로 파악하여 식별하여야 한다. 식별된 요구사항들은 소프트웨어 요구사항 명세서(SRS)에 문서화하여 정의한다.	IEEE 830
	2. 소프트웨어 시험 계획 수립 소프트웨어의 요구사항에 따른 기능, 성능, 인터페이스, 제약사항 등에 대한 시험을 수행하기 위한 시험 계획을 작성한다.	IEEE 829
	3. 요건단계 확인 및 검증 활동 요건단계의 산출물에 대하여 관련 기술 규격 및 기술표준에서 요구하고 있는 사항에 부합하게 작성되었는지 검토를 수행하고, 그 결과를 소프트웨어 확인 및 검증 보고서에 기록한다. 확인 및 검증 과정에 발생한 이상상태(Anomaly)에 대하여는 별도의 보고서를 발행하여 이상상태를 관리하고, 모든 이상상태가 해소되었을 때 다음 단계 공정으로 진행한다.	IEEE 1012
산출물	소프트웨어 요구사항 명세서, 소프트웨어 시험 계획서	
	요건단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서, 이상상태 보고서	

㉰ Architecture and Design 단계

이 단계에서는 소프트웨어의 구조인 아키텍처와 상위단계의 설계를 수행하는 단계이며, 소프트웨어의 구조적인 설계와 함께 하드웨어, 소프트웨어, 통신, 사용자 등의 외부 인터페이스에 대한 설계를 수행하고 각종 통합 시험 계획을 수립한다.

< 표 2-75. 아키텍처 설계 단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 상위 수준의 소프트웨어 설계 소프트웨어의 기초가 되는 각종 구성 요소들과 각 요소들의 구성 및 배치, 구성 요소들 간의 인터페이스를 정의한다. 소프트웨어 아키텍처가 완성되면 아키텍처에 맞춰 각종 구성 요소들과 인터페이스에 대한 상위단계의 설계를 수행하여 소프트웨어 설계 명세서를 작성한다.	IEEE 1016
	2. 소프트웨어 통합 시험 계획 수립 상위 수준의 소프트웨어 설계를 이용하여 소프트웨어 통합 시험과 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획을 수립한다. 시험계획에는 소프트웨어 통합 대상, 시험 방법, 절차, 환경, 조직, 역할, 일정 등에 대하여 기술한다.	IEEE 829
	3. 아키텍처 설계단계 소프트웨어 확인 및 검증 아키텍처 설계단계의 산출물에 대하여 관련 요구사항에 부합하게 작성되었는지 검토를 수행하고, 그 결과를 소프트웨어 확인 및 검증 보고서에 기록한다. 확인 및 검증 과정에 발생한 이상상태(Anomaly)에 대하여는 별도의 보고서를 발행하여 이상상태를 관리하고, 모든 이상상태가 해소되었을 때 다음 단계 공정으로 진행한다.	IEEE 1012
산출물	소프트웨어 아키텍처 설계 명세서, 소프트웨어 설계 명세서	
	소프트웨어 인터페이스 명세서, 소프트웨어 통합 시험 계획서	
	소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획서	
	아키텍처 단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서, 이상상태 보고서	

㉮ Component Design 단계

이 단계에서는 상위 수준의 설계를 기반으로 컴포넌트 수준의 상세 설계를 수행하는 단계이이며, 각 컴포넌트의 입력, 출력, 흐름, 예외처리, 인터페이스에 대하여 상세한 설계를 수행하고, 컴포넌트에 대한 시험 계획을 수립한다.

< 표 2-76. 컴포넌트 설계 단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 상세 설계 상위 수준의 설계를 기반으로 각 컴포넌트의 입력, 출력, 처리 흐름, 예외처리, 인터페이스, 알고리즘 등에 대하여 상세한 설계를 수행한다.	IEEE 1016
	2. 컴포넌트 시험 계획 수립 상세 설계를 이용하여 소프트웨어 컴포넌트 시험 계획을 수립한다. 시험계획에는 소프트웨어 통합 대상, 절차, 환경, 조직, 역할, 일정 등에 대하여 기술한다.	IEEE 829
	3. 컴포넌트 설계단계 소프트웨어 확인 및 검증 설계단계의 산출물에 대하여 관련 요구사항에 부합하게 작성되었는지 검토를 수행하고, 그 결과를 소프트웨어 확인 및 검증 보고서에 기록한다. 확인 및 검증 과정에 발생한 이상상태(Anomaly)에 대하여는 별도의 보고서를 발행하여 이상상태를 관리하고, 모든 이상상태가 해소되었을 때 다음 단계 공정으로 진행한다.	IEEE 1012
산출물	소프트웨어 컴포넌트 설계 명세서, 소프트웨어 컴포넌트 시험 계획서	
	컴포넌트 설계 단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서, 이상상태 보고서	

㉯ Component Implementation and testing 단계

이 단계는 설계를 이용하여 소프트웨어 코드를 작성하고 컴포넌트에 대한 시험을 수행하는 단계이다.

< 표 2-77. 컴포넌트 구현 및 시험단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 코드 작성 설계에 따라 컴포넌트의 코드를 작성한다. 코드는 요구되는 코딩 표준에 따라 작성해야 한다. 소스코드와 함께 각종 지원 문서도 작성해야 한다.	MISRA C MISRA C++
	2. 컴포넌트 시험 제작된 컴포넌트의 코드를 소프트웨어 컴포넌트 시험 계획에 의하여 수행한다. 컴포넌트에 대한 시험은 코드에 대한 품질 지표 확인을 위한 정적 분석과 코드 커버리지 확인을 위한 동적 시험(단위 시험)을 수행한다. 시험결과가 목표한 품질 지표를 달성하지 못한 경우 코드를 수정하여 다시 시험을 수행하여야 한다.	IEEE 1008
	3. 구현단계 소프트웨어 확인 및 검증 구현단계의 산출물에 대하여 관련 요구 표준에 부합하게 작성되었는지 검토를 수행하고, 구현단계 산출물이 요구사항을 만족시키고 있는지 확인하여 그 결과를 소프트웨어 확인 및 검증 보고서에 기록한다. 확인 및 검증 과정에 발생한 이상상태(Anomaly)에 대하여는 별도의 보고서를 발행하여 이상상태를 관리하고, 모든 이상상태가 해소되었을 때 다음 단계 공정으로 진행한다.	IEEE 1012
산출물	소프트웨어 소스코드 및 지원 문서, 소프트웨어 컴포넌트 시험 보고서	
	구현단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서, 이상상태 보고서	

㉮ Integration 단계

구현된 소프트웨어를 통합하여 소프트웨어 통합 시험을 수행하고, 소프트웨어와 하드웨어를 통합하여 소프트웨어/하드웨어 통합 시험을 수행하는 단계이다.

< 표 2-78. 통합단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 소프트웨어 통합 구현된 소프트웨어 컴포넌트를 결합하여 소프트웨어를 통합한다.	
	2. 소프트웨어 통합 시험 수행 통합된 소프트웨어를 대상으로 소프트웨어 통합 시험 계획에 의하여 시험을 수행한다.	
	3. 소프트웨어/하드웨어 통합 구현된 소프트웨어를 하드웨어에 설치한다. 설치는 대상 하드웨어에 따라 적절한 방법을 이용하여 수행한다. 소프트웨어/하드웨어가 이상없이 통합되었는지 소프트웨어/하드웨어 통합 시험을 통하여 입증한다.	
	4. 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 수행 통합된 소프트웨어와 하드웨어를 대상으로 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획에 의하여 시험을 수행한다.	
	5. 통합단계 소프트웨어 확인 및 검증 통합단계의 산출물이 관련 요구 표준에 부합하게 작성되었는지 검토를 수행하고, 각종 통합 시험 결과가 요구사항을 만족시키고 있는지 확인하여 그 결과를 소프트웨어 확인 및 검증 보고서에 기록한다. 확인 및 검증 과정에 발생한 이상상태(Anomaly)에 대하여는 별도의 보고서를 발행하여 이상상태를 관리하고, 모든 이상상태가 해소되었을 때 다음 단계 공정으로 진행한다.	IEEE 1012
산출물	소프트웨어 통합 시험 보고서, 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 보고서	
	통합단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서, 이상상태 보고서	

㉯ Overall Software Testing/Final Validation 단계

이 단계는 구현된 소프트웨어(시스템)에 대한 최종 시험을 수행하고 구현이 요구사항을 만족시키고 있는지 확인하는 단계이다.

< 표 2-79. 통합단계 활동 및 산출물 >

구분	설명	관련표준
활동	1. 시스템 시험 수행 소프트웨어와 결합된 하드웨어를 대상으로 기능, 성능, 인터페이스, 사용자 편의성, 운영, 유지 및 관리 등의 요구사항에 대한 만족 여부를 시험한다.	
	2. 툴 검증 개발 및 검증에 사용된 각종 도구에 대한 검증 보고서를 작성한다.	
	3. 릴리즈노트 작성 소프트웨어가 포함한 각종 제약사항에 대하여 기술한다. 기술할 제약사항은 다음과 같다. - 발견된 오류, 표준에 부합하지 않는 사항들, 요구사항의 실현 정도	
	4. 시험단계 소프트웨어 확인 및 검증 시험단계의 산출물이 관련 요구 표준에 부합하게 작성되었는지 검토를 수행하고, 각종 시험 결과가 요구사항을 만족시키고 있는지 확인하여 그 결과를 소프트웨어 확인 및 검증 보고서에 기록한다. 확인 및 검증 과정에 발생한 이상상태(Anomaly)에 대하여는 별도의 보고서를 발행하여 이상상태를 관리하고, 모든 이상상태가 해소되었을 때 다음 단계 공정으로 진행한다.	
산출물	시스템 시험 보고서, 툴 검증 보고서, 이상상태 보고서	
	시험단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서, 릴리즈 노트	

② 소프트웨어 생명주기별 활동 수행 및 V&V

㉮ Planning 단계 산출물 및 V&V

이 단계는 전체 시스템의 구성요소인 특정 소프트웨어 시스템을 개발하기 위하여 관련 계획을 수립하는 단계로 소프트웨어 품질보증 계획서, 소프트웨어 형상관리 계획서, 소프트웨어 확인 및 검증 계획서가 작성된다.

- 소프트웨어 품질보증 계획서

· 소프트웨어 품질보증 계획서는 『전기기관차(8200호대 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발』 연구과제에서 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어 개발 활동을 위한 소프트웨어 품질보증 계획을 제공한다.

· 본 계획서는 소프트웨어 생명주기 단계에 따른 품질보증 활동 및 그 요구사항들을 명시하여 품질을 보증하고 향상시키고, 중앙제어장치(CCU, Central Control Unit)와 화면표시기(MMI, Man Machine Interface), 견인제어장치(TCU, Traction Control Unit)로 구성되며 생산된 설계 결과물에 대하여 품질보증 요구사항에 적합한지를 관리감독하고, 프로젝트 품질보증활동 전반에 대하여 책임 및 업무분장, 활동 절차 및 방법 등을 제공한다.

- 소프트웨어 형상관리 계획서

· 소프트웨어 형상관리 계획서는 「전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술개발」과제의 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어 형상관리 계획을 통해 그에 대응하는 산출물을 관리하고 변경 내용을 조절하는데 사용될 수 있는 수단을 제공한다.

· 중앙제어장치(CCU, Central Control Unit)와 화면표시기(MMI, Man Machine Interface), 견인제어장치(TCU, Traction Control Unit)로 구성되며, 각각의 소프트웨어 형상 식별, 형상 기준선 설정, 각 형상 항목의 개벌을 위한 검토, 승인, 통제, 연계성의 확인, 그리고 변경상태를 기록 및 추적하기 위한 형상관리 업무를 기술한다.

- 소프트웨어 확인 및 검증 계획서

· 소프트웨어 확인 및 검증 계획서는 「전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술 개발」과제의 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어 개발과 관련하여 생명주기에 따른 소프트웨어 확인 및 검증을 수행하고 생명주기 산출물의 품질을 높이기 위한 계획을 제공한다.

· 주변환장치 및 종합제어장치 소프트웨어 개발에 적용하고, 소프트웨어 확인 및 검증 계획서는 소프트웨어 수명주기 프로세스를 지원하는 확인 및 검증 절차, 활동, 입력과 출력을 정의하고 개발 프로세스에 대한 소프트웨어 검증 및 확인 계획의 내용을 정의한다.

㉯ Software Requirements 단계 산출물

Software Requirements 단계는 시스템에서 분리된 소프트웨어의 요구사항을 분석하여 정의하고, 요구사항에 대한 전반적인 시험 계획을 수립하는 단계이다.

- 소프트웨어 요구사항 명세서

· 요구사항 명세서는 「전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술 개발」 과제의 종합제어장치와 주변환장치 소프트웨어에 대한 요구사항을 기술하고 관련 응용 프로그램을 개발하기 위한 목적으로 사용되고, 중앙제어장치(CCU, Central Control Unit)와 화면표시기(MMI, Man Machine Interface), 견인제어장치(TCU, Traction Control Unit)로 구성된다.

· 기존품(원제작사 Siemens)의 소프트웨어 사양을 분석하여 소프트웨어 요구사항에 대하여 정의한다. 기능 및 성능 요구사항을 만족하기 위한 소프트웨어의 구조, 통신, 연계 등에 대한 제반 요구사항을 포함하고 있다.

- 시스템 시험 계획서

· 시스템 시험 계획서는 「전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술 개발」과제의 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어 개발과 관련하여 시스템 시험 계획에 대하여 기술한다.

· 시스템 시험은 단위 시험 및 통합 시험이 완료된 각 모듈들을 설계요건서 및 설계사양서에 명시된 구성으로 조합하여 시스템의 기능과 성능이 기술 규격서에서 요구되는 사양에 적합하게 제작되었는지 시험하고, 시스템 시험 계획서에는 시험 대상 및 시험 항목, 시험 방법 및 통화 기준, 시험 조직과 업무, 시험 일정, 시험 도구와 시험 환경의 내용 등이 기술된다.

- 요구분석단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서

· 요구분석단계 소프트웨어 확인 및 검증 보고서는 「전기기관차(8200호대) 주변환장치 및 종합제어장치 실용화 기술 개발」과제의 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어 개발과 관련하여 소프트웨어 생명주기 중 요구분석단계의 산출물에 대한 소프트웨어 확인 및 검증 활동 수행 결과를 기술한다.

㉮ Architecture and Design 단계 산출물

Software Requirements 단계는 시스템에서 분리된 소프트웨어의 요구사항을 분석하여 정의명세서, 소프트웨어 설계 명세서, 요구사항에 대한 전반적인 시험 계획을 수립하는 단계로 소프트웨어 아키텍처 설계 소프트웨어 통합 시험 계획서, 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획서가 작성된다.

- 소프트웨어 아키텍처 설계 명세서

· 소프트웨어 아키텍쳐 설계 명세서는 종합제어장치와 주변환장치 소프트웨어의 기능, 성능, 품질속성등의 요구사항을 만족시키기 위한 설계 구성 요소들과 각 요소들의 구성 및 배치, 구성 요소들 간의 인터페이스를 정의한 문서이다.

- 소프트웨어 설계 명세서

· 소프트웨어 설계 명세서는 종합제어장치와 주변환장치 소프트웨어를 구조적으로 분할하고, 분할된 설계 요소에 대한 알고리즘, 처리 흐름, 사용자 인터페이스, 외부 인터페이스, 데이터베이스 설계, 데이터 구조 설계등에 대하여 기술하는 문서이다.

- 소프트웨어 통합 시험 계획서

· 소프트웨어 통합 시험 계획서는 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어 개발과 관련하여 시스템 통합 시험 계획에 대하여 기술한다.

· 시스템 통합 시험은 단위 시험이 완료된 각 모듈들을 설계요건서 및 설계사양서에 명시된 구성으로 조합하여 소프트웨어와 외부 인터페이스 요소간의 연계에 초점을 두고 시험을 수행하고, 소프트웨어 통합 시험 계획서에는 시험 대상 및 시험 항목, 시험 방법 및 통화 기준, 시험 조직과 업무, 시험 일정, 시험 도구와 시험 환경의 내용 등이 기술된다.

- 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획서

· 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획서는 주변환장치 및 종합제어장치의 소프트웨어와 하드웨어를 결합하여 수행하는 시험이다.

· 통합 시험이 완료된 소프트웨어를 하드웨어에 탑재하여 하드웨어와 소프트웨어와의 연계와 기능수행이 적절한지 시험하며, 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 계획서에는 시험 대상 및 시험 항목, 시험 방법 및 통화 기준, 시험 조직과 업무, 시험 일정, 시험 도구와 시험 환경의 내용 등이 기술된다.

㉮ Component Design 단계 산출물 및 V&V

Component Design 단계는 상위 수준의 설계를 기반으로 컴포넌트 수준의 상세 설계를 수행하는 단계이다. 각 컴포넌트의 입력, 출력, 흐름, 예외처리, 인터페이스에 대하여 상세한 설계를 수행하고, 컴포넌트에 대한 시험 계획을 수립한다.

- 소프트웨어 컴포넌트 설계 명세서

· 소프트웨어 컴포넌트 설계 명세서는 소프트웨어 설계를 기반으로 기능 및 성능 요구사항을 만족시키기 위한 소프트웨어 컴포넌트의 구조, 통신, 연계, 처리 흐름, 예외처리, 인터페이스, 알고리즘 등에 대한 설계 내용을 기술한다.

- 소프트웨어 컴포넌트 시험 계획서

· 소프트웨어 컴포넌트 설계 명세서는 소프트웨어 설계를 기반으로 기능 및 성능 요구사항을 만족시키기 위한 소프트웨어 컴포넌트의 구조, 통신, 연계, 처리 흐름, 예외처리, 인터페이스, 알고리즘 등에 대한 설계 내용을 기술한다.

- 소프트웨어 컴포넌트 시험 계획서

· 소프트웨어 컴포넌트 시험은 소프트웨어 통합 시험 단계에서 발생할 수 있는 결함을 사전에 방지하고 결함 발생 시 신속하게 조치하기 위한 시험이다.

· 소프트웨어 컴포넌트 시험 계획서는 효과적인 소프트웨어 컴포넌트 시험을 수행할 수 있도록 적절한 시험자원, 시험일정, 시험 대상 기능, 시험방법 및 시험절차 등을 계획하여 업무 수행 시 발생될 수 있는 문제를 최소화하기 위한 문서이다.

㉯ Component Implementation and testing 단계 산출물 및 V&V

이 단계는 설계를 이용하여 소프트웨어 코드를 작성하고 컴포넌트에 대한 시험을

수행하는 단계이다.

- 소프트웨어 컴포넌트 시험 보고서

  · 소프트웨어 컴포넌트 시험은 소프트웨어 통합 시험 단계에서 발생할 수 있는 결함을 사전에 방지하고 결함 발생 시 신속하게 조치하기 위한 시험이다. 소프트웨어 컴포넌트 시험 보고서는 시험 계획서에 따라 수행한 시험 결과, 이상 상태, 문제 해결 및 조치 결과 등을 기록한 문서이다.

㉮ Integration 단계 산출물 및 V&V

구현된 소프트웨어를 통합하여 소프트웨어 통합 시험을 수행하고, 소프트웨어와 하드웨어를 통합하여 소프트웨어/하드웨어 통합 시험을 수행하는 단계이다.

- 소프트웨어 통합 시험 보고서

  · 소프트웨어 통합 시험 보고서는 시험 계획서에 따라 수행한 소프트웨어 통합 시험 결과, 이상 상태, 문제 해결 및 조치 결과 등을 기록한 문서이다.

- 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 보고서

  · 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 보고서는 시험 계획서에 따라 수행한 소프트웨어/하드웨어 통합 시험 결과, 이상 상태, 문제 해결 및 조치 결과 등을 기록한 문서이다.

㉯ Overall Software Testing/Final Validation 단계 산출물 및 V&V

이 단계는 구현된 소프트웨어(시스템)에 대한 최종 시험을 수행하고 구현이 요구사항을 만족시키고 있는지 확인하는 단계이다.

- 시스템 시험 보고서

  · 시스템 통합 시험 보고서는 시험 계획서에 따라 수행한 시스템 시험 결과, 이상 상태, 문제 해결 및 조치 결과 등을 기록한 문서이다.

(2) 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석

(가) 기존품 및 개발품 LCC 분석 방법

① 수명주기비용

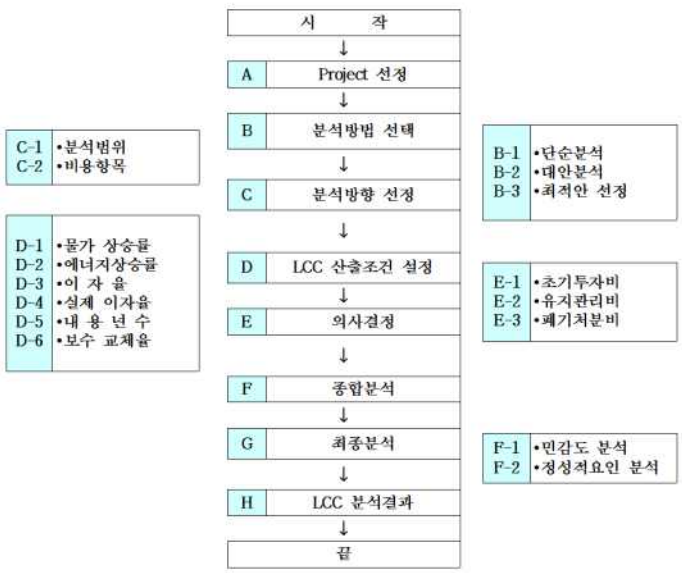
㉮ 수명주기비용 개념

수명주기(Life Cycle)란 제품의 계획에서부터 철거까지에 이르는 전 과정을 나타내는 용어로 일반적으로 계획단계, 설계단계, 입찰 및 계약단계, 시공단계, 인도관계, 유지관리단계, 해체, 폐기단계 등 모든 단계를 포함한다. 따라서 철도차량의 수명주기비용(Life Cycle Cost, LCC)은 철도차량의 수명주기 동안 발생하는 모든 비용 즉 계획, 설계, 시공, 유지관리, 해체, 폐기 등에 소요되는 전체 비용을 의미한다.

㉯ LCC 수행방법

설계단계에서 LCC 분석은 기존 시스템 대한 다른 대안을 적용하기 때문에 이에 따른 인식부족과 많은 시간이 소요되며, 또한 철도차량의 교체주기, 유지관리비용에 관한 정확한 데이터가 부족으로 LCC 분석이 제대로 이루어지지 못한다. 다음은 LCC 분석을 위한 데이터 기준을 정리한 것이다.

- LCC 분석의 기초자료인 가치변동률을 장기간에 걸쳐서 예측할 수 있는 금융관련 자료의 데이터베이스 구축
- 수시로 변화하는 물가상승률에 대하여 장기적으로 예측할 수 있는 데이터베이스 구축
- 일반 물가상승율과 분석의 대상이 되는 특정 물가의 가격변동률을 예측할 수 있는 데이터 구축
- LCC 분석의 대상이 되는 각종 시설물 또는 설비의 정확한 사용연한, 고장률, 에너지 효율 등에 관한 데이터베이스 구축
- 일반적인 다른 물가와는 달리 에너지 가격의 변동은 매우 불규칙하고, 변동폭이 크므로 에너지의 가격변동률에 대한 장기적인 예측이 가능하도록 관련 자료의 분석을 통한 데이터베이스의 구축



< 그림 2-287. LCC 수행방법 >

㈐ LCC 규격

- KS C IEC 60300-3-3

수명주기비용에 대한 국내(국외)규격은 KS C IEC 60300-3-3(IEC 60300-3-3)이 있으며, 제품의 수명주기 단계를 개념 및 정의, 설계 및 개발, 제조, 설치의 획득비용과, 운영 및 유지보수의 소유비용, 폐기의 6단계로 정의하고 있다.

$$LCC = Cost_{acquisition} + Cost_{ownership} + Cost_{disposal}$$

- KS C IEC 62278

이 규격은 철도분야에 관련된 국제 규격으로 철도 시스템의 수명 주기에 근거하여 RAMS을 관리하기 위한 절차를 정의하고 있다.

- UNIFE LCC

이 규격은 TRS(Total Railway System)의 LCC 모델링 절차와 적용방안을 제시하고 있으며, 특히 가용성 성능지수(FOM : Figures Of Merit)를 이용하여 TRS내의 RAMS 및 LCC을 설명하고 있다.

- SAE ARP 4293

이 규격은 방어시스템에 관련된 장비의 획득 과정 동안에 LCC 기술과 응용에 대한 개요를 기술하고 있으며, 특히 미래 기술 비용의 예측 및 우주산업에 대한 불확실성을 추정하기 위하여 맞춤형 LCC 모델을 사용하고 있다.

② 주변환장치 및 종합제어장치 PBS 도출

㈎ PBS

제품의 PBS(Product Breakdown Structure)는 LCC 모델링 및 분석에 있어 핵심 요소이며, 또한 유지보수 활동에도 많은 영향을 미치는 요소이다. 일반적인 PBS는 제품의 수리나 조립과정을 중심으로 각각의 품목을 TOP DOWN 형식으로 Level을 정의하는 계층적 구조를 갖고 있다. 이때 조합된 모체를 모품목(Parent Part)이라 하고 이를 구성하는 각각 품목 혹은 부품을 자품목(Component Part 또는 Child Part)이라 분류하고 이를 상하 Level로써 분류하는 구조를 가지고 있다.

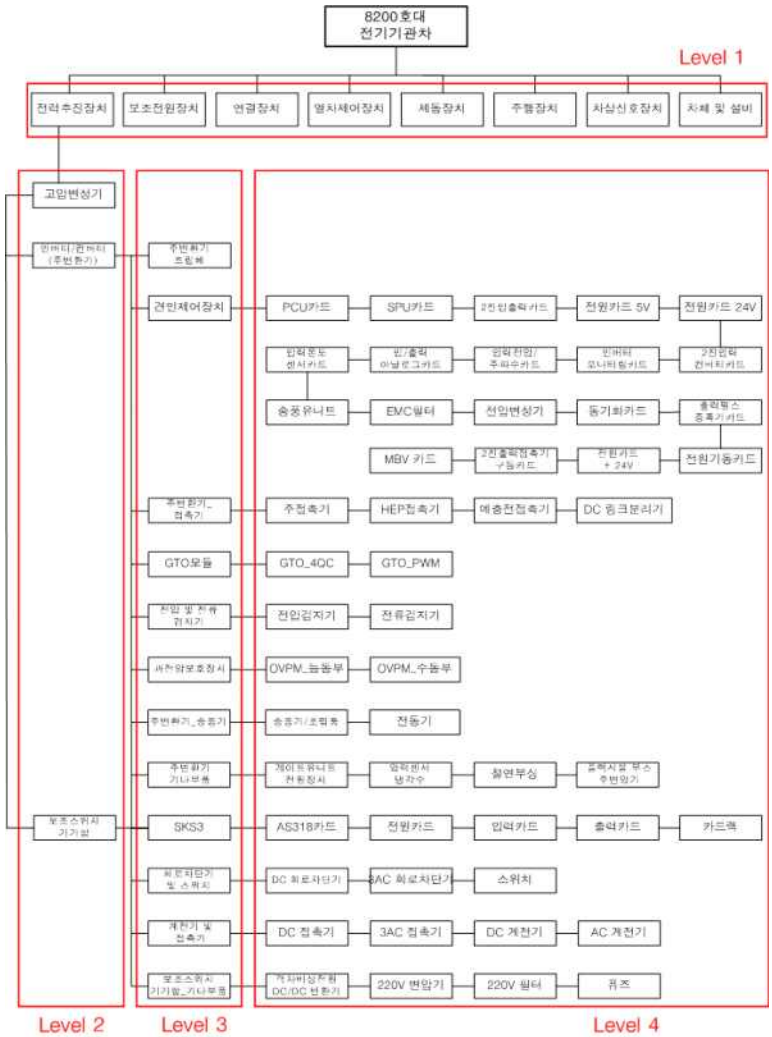
전기기관차의 PBS는 각 장치의 기능을 중심적으로 고려되어야 하며, 추가적으로 기능을 수행하는 구성품이 장착되는 공간을 고려하여 구축하는 기능적/공간적 PBS가 타당할 것이며, 이를 기반으로 유지보수 활동을 정의하고, 비용 발생의 범주와 요인을 정의하는 것이 바람직하다. 또한 LCC 모델 및 분석, 유지보수 활동을 고려하기 위해서는 전기기관차의 부품 수준의 상세한 분류 체계가 필요하며, 이를 기반으로 한 비용 요소의 정의가 필요하다.

㈏ 주변환장치 및 종합제어장치의 PBS 분석

본 연구에서는 전기기관차의 주변환장치 및 종합제어장치의 수명주기비용 모델을

개발하고, 전기기관차의 수명주기 동안의 유지보수 활동에 기인한 비용요소 부분을 분석하기 위하여 기능적/공간적 PBS를 제안하여 사용한다.

전기기관차의 PBS를 분류하기 위하여 1차적으로 기능적 분류를 적용하여 차체 및 설비, 주행장치, 제동장치, 전력추진장치, 보조전원장치, 차상신호장치, 열차제어장치, 연결장치로 분류하였다. 보조전원장치는 Level-2에서 다시 기능적 분류를 통해 충전장치, 축전지, 보조전원용 인버터, HEP함으로 분류하였다. Level-3~5에서는 장치별 구성요소 혹인 부품수준으로 분류하였다.



< 그림 2-288. 전기기관차 PBS >

이런 분류에 기초하여 전기기관차의 각각의 장치 혹은 부품은 더욱 세분화 되어 분류된다. 그림 2는 전기기관차의 PBS를 나타내고 있으며, 제품 세부내역 구조(PBS)는 특정 목적의 업무를 수행하기 위한 기능적 구조를 기반으로 Level-1의 대분류를 정의하였다.

Level-2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중분류 하였으며, Level-3~5는 Level-2의 장치 별 구성요소 혹은 부품 단위 위주로 소분류 하였으며, PBS의 각 Level은 계층적 구조로 구성되어 있다. Level-3~5는 전기기관차의 형식에 따라 달라질 수 있다. LCC 원가계산에 사용되는 PBS는 Level-3~5의 범주 안에서 비용요소를 계산한다.

③ 주변환장치 및 종합제어장치 CBS 도출

㉮ CBS

전기기관차의 CBS로 수명주기비용을 예측하기 위해 LCC를 비용 구성 요소로 분류할 필요가 있으며, 이러한 비용요소들은 명확하게 정의되거나 예측될 수 있도록 개별적으로 확인해야 한다.

획득비용은 제품의 도입단계에서 어느 정도 정확히 예측되는 부분으로, 도입되는 지역의 운행 특성, 예상 수송인원, 운영방식 등을 충분히 검토하여 결정할 수 있다.

현재 국내 운영기관의 차량발주 사양을 보면, 차량 도입에 필요한 비용 외에 시운전 비용 등이 포함되고 있으며, 철도안전법과 도시철도법에 의한 검사 등을 시스템 획득비용에 포함하고 있다.

< 표 2-80. 전기기관차의 CBS >

비용요소			내 용
획득비용	전기기관차 구입비		추진제어장치 도입 비용
	초기 유지보수장비 구입비		추진제어장치 유지보수에 필요 장비 구입비
	교육훈련비		차량 운영에 필요인원 교육에 소요되는 비용
	문서화비		차량 도입 및 운영에 필요한 문서 생성비용
	예비품비		초기 도입되는 예비품 및 소모품 비용
	시운전비	전력비 예방정비비 고장정비비 검수 인력비	신차 도입 시 차량의 안정화를 위해 필요한 시운전비
	검사비	제작검사	철도안전법에서 정한 차량 제작/성능 검사비
		성능검사	
소유비용	운영비	전력비	차량 운행에 소비되는 전력사용
		차량기지운영비	운영과 유지보수 이원화에 따른 기지 운영비
	예방정비비		가용상태 유지를 위한 유지 보수비
	고장정비비		가용상태로 회복을 위한 유지 보수비
	개량비용		차량 성능을 개선하기 위해 소요되는 비용

㉯ 비용평가모델 개발

주변환장치 및 종합제어장치에 대한 도면, 유지보수 매뉴얼, 각종 자료를 수집하여 PBS (Product Breakdown Structure)분류를 재정립하였으며, 추진제어장치의 CBS (Cost Breakdown Structure)기준을 설정하여 검토한 결과 기본적으로 아래와 같이 IEC 60300-3-3의 평가모델을 적용하는 것이 타당하다.

다만, 각 요소별 비용 산출를 위한 자료가 충분히 확보되어 있지 않아 수집된 자료를 근거로 산출하기 위한 비용평가모델을 제시할 필요가 있다.

$$LCC = Cost_{acquisition} + Cost_{ownership} + Cost_{disposal}$$

④ 주변환장치 및 종합제어장치 주요부품 고장이력 분석

㉮ 최근 5년간 고장현황 및 분석

< 표 2-81. 전기기관차 고장현황 >

구 분	최근 5년 고장현황						
	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	계	5년평균
고장건수[건]	27	24	26	27	18	122	24
주행거리[백만km]	22.05	22.02	23.45	23.76	24.19	-	23.09
고 장 률	1.225	1.090	1.109	1.136	0.744	-	1.061

㉯ 월별 발생추이 분석

< 표 2-82. 전기기관차 월별 고장현황 >

구분	건수	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
'11년	27	2	1	-	-	5	3	2	4	3	1	3	3
'12년	24	3	4	1	1	2	5	1	-	2	1	1	3
'13년	26	4	-	2	2	2	3	4	2	2	-	2	3
'14년	27	3	2	1	3	2	2	2	2	2	2	2	4
'15년	18	-	-	-	1	4	3	-	4	-	2	3	1
계	122	12	7	4	7	15	16	9	12	9	6	11	14

㉰ 계통별 고장현황 및 분석

< 표 2-83. 전기기관차 개통별 고장현황 >

구 분	계	전력변환	전기계통	공기제동	차체주행	기타
'11년	27	5	8	5	8	1
'12년	24	2	9	2	11	-
'13년	26	5	12	2	3	4
'14년	27	9	9	1	5	3
'15년	18	3	10	1	4	-
소계	122	24	48	11	31	8
년 평균	24.1	4.8	9.6	2.2	6.2	1.6

⑤ 주변환장치 및 종합제어장치 수명주기비용 분석

㉮ 전기기관차 유지보수 체계

유지보수 체계는 정비 범위 및 종류에 따라 4단계의 예방 작업 수준으로 구성된 하나의 사이클로 구성된다.

구 분	예방작업
Level 1	정기 운행 중 검사로 특수공구를 사용하지 않고 일반적인 기능 인력이 운행 동안 발생하는 운행안전에 영향을 줄 수 있는 불규칙하고 우발적인 고장을 찾아내는 검수단계
Level 2	전문 인력이 예정된 검수 주기와 동일이상 범위까지 운행 서비스를 달성 할 수 있도록 사전에 정의된 신뢰성 수준을 보장하기 위한 철도차량 또는 부품의 정기 주기검수
Level 3	교체검수 동안뿐만 아니라 정기 예방 유지보수(부품이 예정된 사용수명에 도달하였을 때) 또는 임시 예방 유지보수 작업(검사로 교정 유지보수 작업이 한계에 도달했다는 것을 보여주는 경우)을 실행하는 동안에 착수하는 부품 교환검수
Level 4	분해된 조립체 또는 부품과 구조적인 장치(차체)에 대한 유지보수 작업으로 동일한 가동조건 및 승차감을 유지하도록 신품과 같은 기능을 제공하도록 해당 조립체 또는 부품의 개조작업을 실행하는 수단

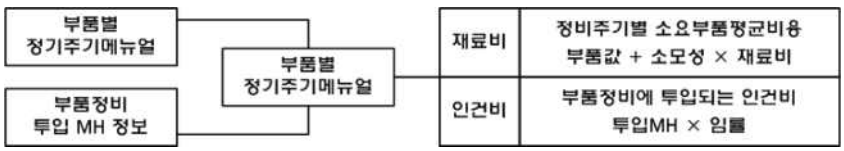
㉯ 정비 주기

< 표 2-84. 전기기관차 정비 주기 >

정비종류	약호	주기 및 회기		비고
		주행거리(km)	회기한도	
반복정비	RS	-	2일1회	
기본정비	ES	5,000	-	
경정비	LI-3	40,000	4개월	
	LI-8	240,000	22개월	
중정비	GI-3	480,000	42개월	
	GI-6	960,000	7년	
	GI-9	1,920,000	14년	
	GI-10	2,880,000	22년	

㉰ 검수항목

전기기관차 검수항목은 한국철도공사 8200호대 전기기관차 유지보수 기준을 참조하여 설비별로 나누어서 검수종별로 분류하여 정리하였다. 전기기관차 검수항목 조사의 목적은 부품별 정기검수 주기와 예방정비 정보를 통해 각 검수종별의 검수비율을 파악하기 위함이다.



< 그림 2-289. 전기기관차 LCC 분석방법 >

⑥ 전기기관차 LCC 분석 모델

㉮ LCC 분석을 위한 기본 가정

- 전기기관차 주변환장치 및 종합제어장치의 수명주기 비용을 산출하기 위하여 한국철도공사 직원평균보수를 이용하여 품목별로 LCC 분석을 수행
- 전기기관차 주변환장치 및 종합제어장치의 수명주기 비용 산출은 1편성 기준으로 분석
- 신인성의 자료는 운영기관의 RCM관리, 이력관리, 또는 장비 제작업체에서 RAMS 자료가 부족하여 이와 관련한 비용은 반영되지 않음
- 환경비용의 대부분은 해체, 폐기 시 비용이 발생되고 또한 폐기처리비의 산정이 매우복잡하고 국내에서는 기준정립 단계이므로 환경비용은 반영되지 않음
- 전기기관차 주변환장치 및 종합제어장치의 LCC 분석을 3-Level 품목별로 비교하여 분석
- 프로젝트 대안의 LCC 분석에서 확실하게 차이를 들어낼 수 있을 만큼 많은 비용이 지출되는 항목에 대하여 분석의 대상에 포함하고 단순분석으로 LCC를 분석
- LCC 비용항목 : 초기투자비 및 해체 폐기비를 제외한 유지관리 비용을 의미하며 미래에 발생되는 비용(운영, 유지관리, 고장정비, 교체비)으로 구분하여 분석
- 할인율 : 이자율 1.9% 물가상승률 0.9% 자료를 통해 할인율 1%를 적용

  · 할인율 = (1+명목이자율)/(1+물가상승율)-1, 0.01=(1+0.019)/(1+0.009)-1
- 비용가치 환산법 : 현재와 미래의 모든 비용은 현재의 가치(NPV : Net present value)로 환산
- 내용연수 : 한국철도공사 고정자산 회계지침(2009. 9. 11)에 의한 내용년수로 하며, 불분명한 것은 제조사 제품특성을 적용
- 분석기간 : 법인세법에 의한 내용연수를 30년으로 산정하고, 연구대상 품목별로 내용년수가 다르기 때문에 총 분석기간을 30년으로 가정

㉯ 유지관리비 분석

- 비용 산정 방식

< 표 2-85. 구성항목별 비용 산정방식 >

구 분	세부항목	비용 산정방식
유지관리비	운영비	- 편재 인원/설비 투입 MH에 의한 추정 - 차량 유지보수에 소비되는 전력사용 - 유지관리비 투입 MH에 의한 추정
	유지 보수비	- 부품별 정비주기 매뉴얼에 의한 추정 - 정기검수 투입 MH 정보에 의한 추정 - 고장관리정보에 의한 추정 - 부품별 RAMS 정보에 의한 추정 - 내용연수에 따른 교체비
	기타비용	- 기타 운영과 유지보수에 따른 공구비 - 소요 인원/설비 투입 MH에 의한 추정

㈐ 주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석 모델

본 연구에서 LCC 분석 모델은 전기기관차 1편성당의 주변환장치 및 종합제어장치의 부품을 3-Level 수준으로 분류하여 각각 부품별로 LCC를 비교할 수 있는 모델을 제시하였다.

< 표 2-86. 주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석 모델 >

년수	년도	유지관리비												할인율 (1%)		
		예 방 정 비 비									운 영 비		고장 정비비	합계	누적 비용	NPV
											전력비	기타				
…	…										…	…	…		…	…
총 계																

예방정비비를 분석하여보면 점검종별, 점검종목, 점검일수의 곱에 따라 주변환장치 및 종합제어장치의 각 부품별 예방정비비 및 운영비를 산출할 수 있다.

< 표 2-87. 보조전원장치의 예방정비비 분석 모델 >

점검 종별	점검 항목	점검 일수	예 방 정 비 비													
			횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율
LI-3	5	5	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164
LI-8	9	5	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164
GI-3	9	5	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164
GI-6	12	5	1.50	0.0063	0.00	0.0000	1.50	0.0063	0.00	0.0000	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063
GI-9	13	5	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026
GI-10	14	5	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026
교체주기(년)			12.00		10.00		12.00		10.00		6.00		12.00		5.00	
항 목			정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비

- 연간 예방정비비 = 임율 × 점검종별 분석 × 점검항목 비율 × 점검횟수 + 교체비용
- 내용연수에 따른 교체비용 = 각 부품단가 × $1.01^{(\text{내용연수}-1)}$
- 고장정비비 = (도입 이후 부품당 교체 수 / 총 편성 / 사용년도) × 부품단가
- 합계 = 예방정비비 + 운영비 + 고장정비비
- 누적비용 = 도입 이후의 유지관리비의 합

(나) 주변환장치 및 종합제어장치 기존품 LCC 분석

년도별 전기기관차 주변환장치의 LCC를 분석해 보면 6년, 10년, 12년, 18년, 20년, 24년, 30년에서 유지관리비가 증가함을 볼 수 있다. 이는 주변환장치치의 부품들이 내용연수에 따라 교체가 이루어지기 때문이다.

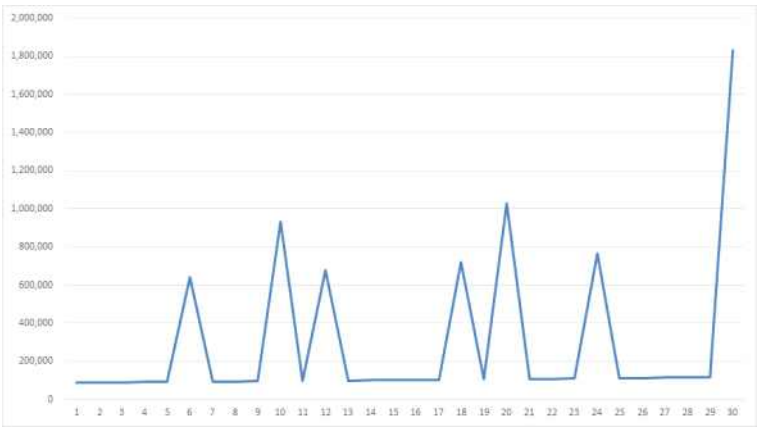
특히 부품단가가 고가인 GTO 모듈의 내용연수가 10년 주기이고 제어장치, 접촉기, 스위치 및 계전기의 내용연수가 6년으로 교체가 이루어지기 때문에 내용연수 주기로 유지관리비가 크게 변화됨을 확인 할 수 있다.

또한, 유지관리비는 주변환장치 사용년수에 따라 증가 추이를 보이고 있는데 이는 보조전원장치의 부품비 물가상승률 및 인건비 상승에 따른 것이다.

(1편성 기준)

년수	유지관리비(천원)												할인율(1%)		
	GTO	제어장치	접촉기	검지기	보호장치	송풍기	SKS3	스위치	계전기	기타	운영비	고장정비비	합계	누적	NPV
	정비비	정비비	정비비	정비비	정비비	정비비	정비비	정비비	정비비	정비비					
1	4,739	4,739	4,739	4,739	4,739	4,739	4,739	4,739	4,739	4,739	1,561	34,594	88,166	88,166	87,250
2	4,777	4,777	4,777	4,777	4,777	4,777	4,777	4,777	4,777	4,777	1,576	34,900	89,048	177,214	174,586
3	4,834	4,834	4,834	4,834	4,834	4,834	4,834	4,834	4,834	4,834	1,592	35,272	89,938	267,152	261,879
4	4,873	4,873	4,873	4,873	4,873	4,873	4,873	4,873	4,873	4,873	1,608	35,602	90,838	357,990	349,173
5	4,921	4,921	4,921	4,921	4,921	4,921	4,921	4,921	4,921	4,921	1,624	35,965	91,746	449,736	436,466
6	4,970	220,273	89,051	15,481	15,481	4,970	27,521	15,481	11,277	38,501	17,595	38,348	540,429	1,090,164	1,059,779
7	5,020	5,020	5,020	5,020	5,020	5,020	5,020	5,020	5,020	5,020	1,857	38,712	93,890	1,183,755	1,137,072
8	5,070	5,070	5,070	5,070	5,070	5,070	5,070	5,070	5,070	5,070	1,873	37,079	94,536	1,278,291	1,214,395
9	5,121	5,121	5,121	5,121	5,121	5,121	5,121	5,121	5,121	5,121	1,890	37,450	95,471	1,373,762	1,301,608
10	748,878	5,172	5,172	5,172	5,172	70,793	5,172	5,172	5,172	5,172	25,987	37,831	930,033	2,303,795	2,143,905
11	5,224	5,224	5,224	5,224	5,224	5,224	5,224	5,224	5,224	5,224	1,724	38,203	97,360	2,401,175	2,230,866
12	5,276	329,977	94,530	16,433	16,433	5,276	61,060	16,433	11,970	38,746	18,677	38,584	679,828	3,081,003	2,834,211
13	5,329	5,329	5,329	5,329	5,329	5,329	5,329	5,329	5,329	5,329	1,759	38,970	99,348	3,180,351	2,921,504
14	5,382	5,382	5,382	5,382	5,382	5,382	5,382	5,382	5,382	5,382	1,776	39,360	100,341	3,280,692	3,005,797
15	5,436	5,436	5,436	5,436	5,436	5,436	5,436	5,436	5,436	5,436	1,794	39,753	101,345	3,382,037	3,090,090
16	5,490	5,490	5,490	5,490	5,490	5,490	5,490	5,490	5,490	5,490	1,812	40,151	102,358	3,484,395	3,174,383
17	5,545	5,545	5,545	5,545	5,545	5,545	5,545	5,545	5,545	5,545	1,830	40,552	103,382	3,587,776	3,258,677
18	5,601	360,896	106,345	17,444	17,444	5,601	64,616	17,444	12,707	41,130	19,828	40,958	721,651	4,309,428	3,875,990
19	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	5,657	1,867	41,368	105,460	4,414,887	3,991,218
20	837,228	5,713	5,713	5,713	5,713	79,200	5,713	5,713	5,713	5,713	58,705	41,781	1,017,335	5,442,222	4,893,239
21	5,771	5,771	5,771	5,771	5,771	5,771	5,771	5,771	5,771	5,771	1,904	42,199	107,579	5,549,802	4,990,533
22	5,828	5,828	5,828	5,828	5,828	5,828	5,828	5,828	5,828	5,828	1,923	42,621	108,605	5,658,407	5,077,519
23	5,887	5,887	5,887	5,887	5,887	5,887	5,887	5,887	5,887	5,887	1,943	43,047	109,742	5,768,148	5,165,159
24	5,945	363,094	106,518	18,517	18,517	5,945	68,504	18,517	13,488	43,660	21,046	43,478	766,047	6,534,196	5,868,422
25	6,005	6,005	6,005	6,005	6,005	6,005	6,005	6,005	6,005	6,005	1,982	43,913	111,945	6,646,140	5,765,715
26	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	6,065	2,001	44,352	113,067	6,759,208	6,843,031
27	6,126	6,126	6,126	6,126	6,126	6,126	6,126	6,126	6,126	6,126	2,021	44,795	114,196	6,872,404	5,920,301
28	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	6,187	2,042	45,243	115,340	6,988,798	6,017,694
29	6,249	6,249	6,249	6,249	6,249	6,249	6,249	6,249	6,249	6,249	2,062	45,695	116,493	7,105,291	6,114,888
30	913,774	409,662	113,671	18,956	18,956	88,351	73,039	18,956	14,318	46,349	51,966	46,152	1,810,334	8,915,624	7,462,854
합계	2,627,188	1,947,300	681,917	223,932	223,932	282,963	461,631	223,932	200,141	542,785	225,222	1,203,001	8,915,624	8,915,624	7,462,854

< 그림 2-290. 주변환장치 LCC 분석 >



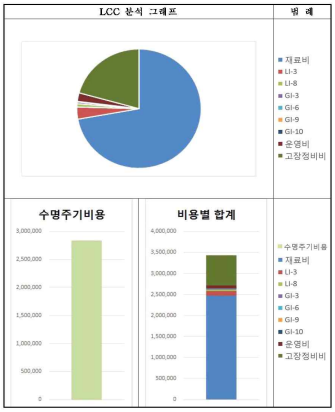
< 그림 2-291. 년도별 주변환장치 LCC분석 >

① 주변환장치 및 종합제어장치 장치별 LCC

㉮ GTO 모듈

년수	유지관리비(천원) GTO 모듈			할인율 (3%)		
	재탕정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	20,400	25,271	25,271	25,021
2	4,777	143	20,604	25,524	50,795	50,042
3	4,824	145	20,810	25,779	76,574	75,063
4	4,873	146	21,018	26,037	102,611	100,084
5	4,921	148	21,228	26,297	128,908	125,104
6	4,970	149	21,441	26,560	155,468	150,125
7	5,020	151	21,655	26,826	182,294	175,146
8	5,070	152	21,872	27,094	209,388	200,167
9	5,121	154	22,090	27,365	236,753	225,188
10	748,878	22,466	22,311	793,656	1,030,409	943,674
11	5,224	157	22,534	27,915	1,058,324	968,695
12	5,276	158	22,760	28,194	1,086,518	993,716
13	5,329	160	22,987	28,476	1,114,994	1,018,737
14	5,382	161	23,217	28,761	1,143,755	1,043,758
15	5,436	163	23,449	29,048	1,172,803	1,068,779
16	5,490	165	23,684	29,339	1,202,142	1,093,800
17	5,545	166	23,921	29,632	1,231,775	1,118,820
18	5,601	168	24,160	29,929	1,261,703	1,143,841
19	5,657	170	24,401	30,228	1,291,931	1,168,862
20	827,228	24,817	24,645	876,690	2,168,621	1,887,348
21	5,771	173	24,892	30,836	2,199,457	1,912,369
22	5,828	175	25,141	31,144	2,230,601	1,937,390
23	5,887	177	25,392	31,455	2,262,056	1,962,411
24	5,945	178	25,646	31,770	2,293,826	1,987,432
25	6,005	180	25,903	32,088	2,325,913	2,012,453
26	6,065	182	26,162	32,408	2,358,322	2,037,474
27	6,126	184	26,423	32,733	2,391,054	2,062,495
28	6,187	186	26,687	33,060	2,424,114	2,087,516
29	6,249	187	26,954	33,390	2,457,505	2,112,536
30	913,774	27,413	27,224	968,411	3,425,916	2,831,023
총 계	2,637,188	79,116	709,612	3,425,916	3,425,916	2,831,023

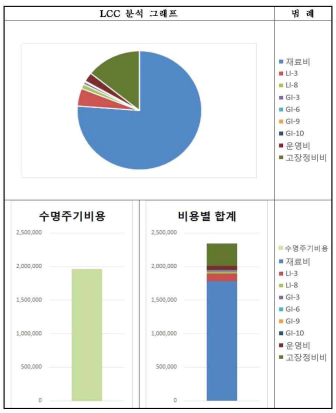
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		GTO 모듈	
1. 제료비	천원	2,472,683	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	79,116	
9. 고장 정비비	천원	709,612	
수명주기비용	천원	2,831,023	



㉯ 견인제어장치

년수	유지관리비(천원) 견인제어장치			할인율 (3%)		
	재탕정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	9,600	14,471	14,471	14,328
2	4,777	143	9,696	14,616	29,087	28,656
3	4,824	145	9,793	14,762	43,849	42,983
4	4,873	146	9,891	14,910	58,758	57,311
5	4,921	148	9,990	15,059	73,817	71,639
6	320,273	9,608	10,090	339,971	413,789	391,908
7	5,020	151	10,191	15,361	429,150	406,235
8	5,070	152	10,292	15,515	444,665	420,563
9	5,121	154	10,395	15,670	460,335	434,891
10	5,172	155	10,499	15,827	476,162	449,219
11	5,224	157	10,604	15,985	492,147	463,547
12	339,977	10,199	10,710	360,886	853,033	783,815
13	5,329	160	10,818	16,306	869,340	796,143
14	5,382	161	10,926	16,469	885,809	812,471
15	5,436	163	11,035	16,634	902,443	828,798
16	5,490	165	11,145	16,800	919,244	841,126
17	5,545	166	11,257	16,969	936,212	855,454
18	360,892	10,827	11,369	383,088	1,319,301	1,175,723
19	5,657	170	11,483	17,310	1,336,610	1,190,050
20	5,713	171	11,598	17,483	1,354,093	1,204,378
21	5,771	173	11,714	17,657	1,371,750	1,218,706
22	5,828	175	11,831	17,834	1,389,584	1,233,034
23	5,887	177	11,949	18,012	1,407,597	1,247,362
24	383,094	11,493	12,069	406,656	1,814,253	1,567,630
25	6,005	180	12,189	18,374	1,832,627	1,581,958
26	6,065	182	12,311	18,558	1,851,185	1,596,286
27	6,126	184	12,434	18,744	1,869,929	1,610,614
28	6,187	186	12,559	18,931	1,888,860	1,624,941
29	6,249	187	12,684	19,121	1,907,981	1,639,269
30	406,662	12,200	12,811	431,673	2,339,654	1,959,538
총 계	1,947,300	58,419	333,935	2,339,654	2,339,654	1,959,538

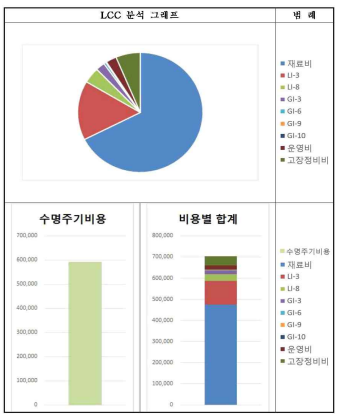
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		견인제어장치	
1. 제료비	천원	1,782,795	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	58,419	
9. 고장 정비비	천원	333,935	
수명주기비용	천원	1,959,538	



㉰ 주변환접촉기

년수	유지관리비(천원) 주변환접촉기			할인율 (3%)		
	재탕정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	1,280	6,151	6,151	6,090
2	4,777	143	1,293	6,213	12,364	12,180
3	4,824	145	1,306	6,275	18,638	18,271
4	4,873	146	1,319	6,337	24,976	24,361
5	4,921	148	1,332	6,401	31,377	30,451
6	69,051	2,072	1,345	93,068	124,445	118,125
7	5,020	151	1,359	6,530	130,974	124,216
8	5,070	152	1,372	6,595	137,569	130,306
9	5,121	154	1,386	6,661	144,230	136,396
10	5,172	155	1,400	6,727	150,957	142,486
11	5,224	157	1,414	6,795	157,752	148,576
12	94,530	2,836	1,428	98,794	256,546	236,251
13	5,329	160	1,442	6,931	263,477	242,341
14	5,382	161	1,457	7,001	270,477	248,431
15	5,436	163	1,471	7,071	277,548	254,521
16	5,490	165	1,486	7,141	284,689	260,611
17	5,545	166	1,501	7,213	291,902	266,702
18	100,345	3,010	1,516	104,871	396,773	354,376
19	5,657	170	1,531	7,358	404,131	360,466
20	5,713	171	1,546	7,431	411,562	366,556
21	5,771	173	1,562	7,506	419,068	372,647
22	5,828	175	1,577	7,581	426,648	378,737
23	5,887	177	1,593	7,656	434,304	384,827
24	106,518	3,196	1,609	111,323	545,628	472,501
25	6,005	180	1,625	7,810	553,438	478,592
26	6,065	182	1,642	7,888	561,326	484,682
27	6,126	184	1,658	7,967	569,294	490,772
28	6,187	186	1,675	8,047	577,340	496,862
29	6,249	187	1,691	8,127	585,468	502,952
30	113,071	3,392	1,708	118,172	703,640	590,627
총 계	639,917	19,198	44,525	703,640	703,640	590,627

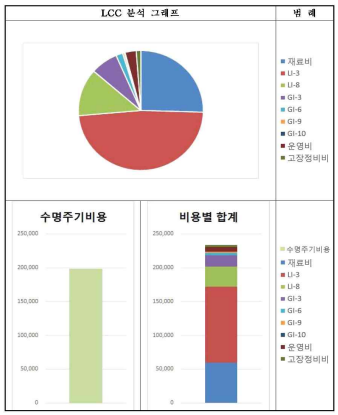
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		주변환접촉기	
1. 제료비	천원	475,412	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	19,198	
9. 고장 정비비	천원	44,525	
수명주기비용	천원	590,627	



㉰ 전압전류검지기

년수	유지관리비 (천원) 전압전류검지기			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	80	4,951	4,951	4,902
2	4,777	143	81	5,001	9,952	9,804
3	4,824	145	82	5,051	15,002	14,706
4	4,873	146	82	5,101	20,103	19,608
5	4,921	148	83	5,152	25,256	24,510
6	15,481	464	84	16,029	41,285	39,610
7	5,020	151	85	5,256	46,540	44,513
8	5,070	152	86	5,308	51,849	49,415
9	5,121	154	87	5,361	57,210	54,317
10	5,172	155	87	5,415	62,625	59,219
11	5,224	157	88	5,469	68,094	64,121
12	16,433	493	89	17,015	85,109	79,221
13	5,329	160	90	5,579	90,688	84,123
14	5,382	161	91	5,635	96,323	89,025
15	5,436	163	92	5,691	102,014	93,927
16	5,490	165	93	5,748	107,762	98,829
17	5,545	166	94	5,806	113,568	103,731
18	17,444	523	95	18,062	131,630	118,831
19	5,657	170	96	5,922	137,552	123,734
20	5,713	171	97	5,981	143,533	128,636
21	5,771	173	98	6,041	149,575	133,538
22	5,828	175	99	6,102	155,676	138,440
23	5,887	177	100	6,163	161,839	143,342
24	18,517	556	101	19,173	181,012	158,442
25	6,005	180	102	6,287	187,299	163,344
26	6,065	182	103	6,349	193,648	168,246
27	6,126	184	104	6,413	200,061	173,148
28	6,187	186	105	6,477	206,538	178,050
29	6,249	187	106	6,542	213,080	182,952
30	19,656	590	107	20,353	233,433	198,052
총 계	223,932	6,718	2,783	233,433	233,433	198,052

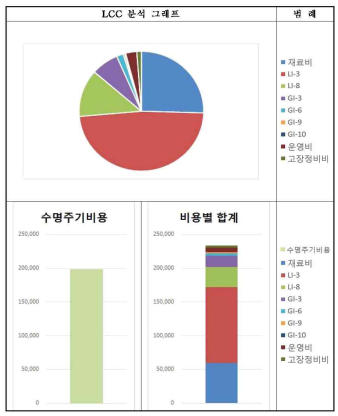
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		전압전류검지기	
1. 제료비	천원	59,426	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	6,718	
9. 고장 정비비	천원	2,783	
수명주기비용	천원	198,052	



㉱ 과전압보호장치

년수	유지관리비 (천원) 과전압보호장치			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	80	4,951	4,951	4,902
2	4,777	143	81	5,001	9,952	9,804
3	4,824	145	82	5,051	15,002	14,706
4	4,873	146	82	5,101	20,103	19,608
5	4,921	148	83	5,152	25,256	24,510
6	15,481	464	84	16,029	41,285	39,610
7	5,020	151	85	5,256	46,540	44,513
8	5,070	152	86	5,308	51,849	49,415
9	5,121	154	87	5,361	57,210	54,317
10	5,172	155	87	5,415	62,625	59,219
11	5,224	157	88	5,469	68,094	64,121
12	16,433	493	89	17,015	85,109	79,221
13	5,329	160	90	5,579	90,688	84,123
14	5,382	161	91	5,635	96,323	89,025
15	5,436	163	92	5,691	102,014	93,927
16	5,490	165	93	5,748	107,762	98,829
17	5,545	166	94	5,806	113,568	103,731
18	17,444	523	95	18,062	131,630	118,831
19	5,657	170	96	5,922	137,552	123,734
20	5,713	171	97	5,981	143,533	128,636
21	5,771	173	98	6,041	149,575	133,538
22	5,828	175	99	6,102	155,676	138,440
23	5,887	177	100	6,163	161,839	143,342
24	18,517	556	101	19,173	181,012	158,442
25	6,005	180	102	6,287	187,299	163,344
26	6,065	182	103	6,349	193,648	168,246
27	6,126	184	104	6,413	200,061	173,148
28	6,187	186	105	6,477	206,538	178,050
29	6,249	187	106	6,542	213,080	182,952
30	19,656	590	107	20,353	233,433	198,052
총 계	223,932	6,718	2,783	233,433	233,433	198,052

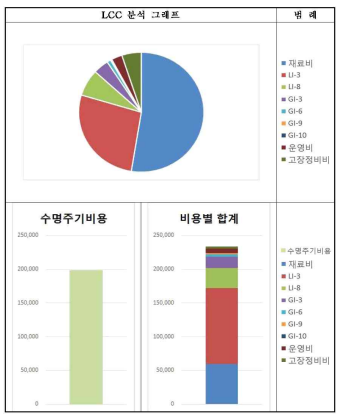
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		과전압보호장치	
1. 제료비	천원	59,426	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	6,718	
9. 고장 정비비	천원	2,783	
수명주기비용	천원	198,052	



㉲ 주변환송풍기

년수	유지관리비 (천원) 주변환송풍기			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	600	5,471	5,471	5,417
2	4,777	143	606	5,526	10,997	10,834
3	4,824	145	612	5,581	16,578	16,251
4	4,873	146	618	5,637	22,215	21,668
5	4,921	148	624	5,693	27,908	27,085
6	4,970	149	631	5,750	33,658	32,502
7	5,020	151	637	5,808	39,466	37,919
8	5,070	152	643	5,866	45,332	43,335
9	5,121	154	650	5,924	51,256	48,752
10	70,793	2,124	656	73,573	124,830	115,357
11	5,224	157	663	6,043	130,873	120,774
12	5,276	158	669	6,104	136,977	126,191
13	5,329	160	676	6,165	143,142	131,608
14	5,382	161	683	6,227	149,369	137,025
15	5,436	163	690	6,289	155,657	142,442
16	5,490	165	697	6,352	162,009	147,859
17	5,545	166	704	6,415	168,425	153,276
18	5,601	168	711	6,479	174,904	158,693
19	5,657	170	718	6,544	181,448	164,110
20	78,200	2,346	725	81,271	262,719	230,715
21	5,771	173	732	6,676	269,395	236,132
22	5,828	175	739	6,743	276,137	241,549
23	5,887	177	747	6,810	282,947	246,966
24	5,945	178	754	6,878	289,825	252,383
25	6,005	180	762	6,947	296,772	257,799
26	6,065	182	769	7,016	303,789	263,216
27	6,126	184	777	7,086	310,875	268,633
28	6,187	186	785	7,157	318,032	274,050
29	6,249	187	793	7,229	325,261	279,467
30	86,381	2,591	801	89,774	415,035	346,072
총 계	382,683	11,481	20,871	415,035	415,035	346,072

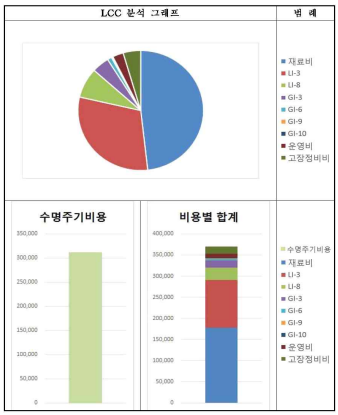
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		주변환송풍기	
1. 제료비	천원	218,178	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	11,481	
9. 고장 정비비	천원	20,871	
수명주기비용	천원	346,072	



㉮ 주변환 기타

년수	유지관리비 (천원) 주변환 기타			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누적	NPV
1	4,729	142	480	5,351	5,351	5,298
2	4,777	143	485	5,405	10,756	10,596
3	4,824	145	490	5,459	16,214	15,894
4	4,873	146	495	5,513	21,728	21,192
5	4,921	148	499	5,568	27,296	26,491
6	36,501	1,095	504	38,100	65,396	62,383
7	5,020	151	510	5,680	71,077	67,681
8	5,070	152	515	5,737	76,814	72,979
9	5,121	154	520	5,794	82,608	78,277
10	5,172	155	525	5,852	88,461	83,575
11	5,224	157	530	5,911	94,371	88,873
12	38,746	1,162	536	40,444	134,816	124,766
13	5,329	160	541	6,030	140,845	130,064
14	5,382	161	546	6,090	146,935	135,362
15	5,436	163	552	6,151	153,086	140,660
16	5,490	165	557	6,212	159,299	145,958
17	5,545	166	563	6,275	165,573	151,256
18	41,130	1,234	568	42,932	208,506	187,148
19	5,657	170	574	6,401	214,907	192,446
20	5,713	171	580	6,465	221,371	197,745
21	5,771	173	586	6,529	227,901	203,043
22	5,828	175	592	6,595	234,495	208,341
23	5,887	177	597	6,661	241,156	213,639
24	43,660	1,310	603	45,574	286,729	249,531
25	6,005	180	609	6,794	293,524	254,829
26	6,065	182	616	6,862	300,386	260,127
27	6,126	184	622	6,931	307,317	265,425
28	6,187	186	628	7,000	314,318	270,724
29	6,249	187	634	7,070	321,388	276,022
30	45,346	1,360	641	48,377	369,765	311,914
후 계	342,785	10,284	16,697	369,765	369,765	311,914

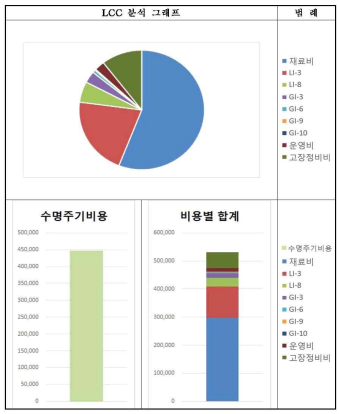
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		주변환 기타	
1. 재료비	천원	178,279	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	10,284	
9. 고장 정비비	천원	16,697	
수명주기비용	천원	311,914	



㉯ SKS3

년수	유지관리비 (천원) SKS3			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누적	NPV
1	4,729	142	1,600	6,471	6,471	6,407
2	4,777	143	1,616	6,536	13,007	12,814
3	4,824	145	1,632	6,601	19,608	19,221
4	4,873	146	1,648	6,667	26,275	25,628
5	4,921	148	1,665	6,734	33,009	32,035
6	57,521	1,726	1,682	60,928	93,937	89,432
7	5,020	151	1,698	6,869	100,807	95,839
8	5,070	152	1,715	6,938	107,744	102,246
9	5,121	154	1,733	7,007	114,752	108,653
10	5,172	155	1,750	7,077	121,829	115,060
11	5,224	157	1,767	7,148	128,977	121,467
12	61,060	1,832	1,785	64,677	193,654	178,865
13	5,329	160	1,803	7,292	200,945	185,272
14	5,382	161	1,821	7,365	208,310	191,679
15	5,436	163	1,839	7,438	215,749	198,086
16	5,490	165	1,858	7,513	223,261	204,493
17	5,545	166	1,876	7,588	230,849	210,900
18	64,816	1,944	1,895	68,655	299,505	208,297
19	5,657	170	1,914	7,740	307,245	274,704
20	5,713	171	1,933	7,818	315,063	281,111
21	5,771	173	1,952	7,896	322,959	287,518
22	5,828	175	1,972	7,975	330,934	293,925
23	5,887	177	1,992	8,055	338,988	300,332
24	68,804	2,064	2,011	72,879	411,867	357,729
25	6,005	180	2,032	8,217	420,084	364,136
26	6,065	182	2,052	8,299	428,383	370,543
27	6,126	184	2,072	8,382	436,765	376,950
28	6,187	186	2,093	8,466	445,230	383,357
29	6,249	187	2,114	8,550	453,780	389,764
30	73,036	2,191	2,135	77,363	531,143	447,161
후 계	491,638	13,849	55,656	531,143	531,143	447,161

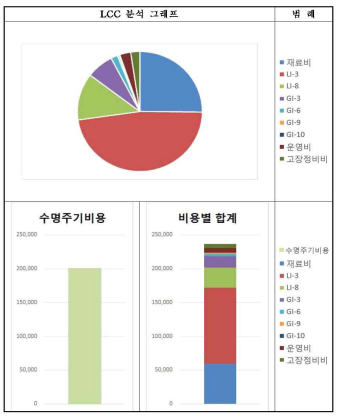
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		SKS3	
1. 재료비	천원	297,132	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	13,849	
9. 고장 정비비	천원	55,656	
수명주기비용	천원	447,161	



㉰ 스위치

년수	유지관리비 (천원) 스위치			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누적	NPV
1	4,729	142	160	5,031	5,031	4,981
2	4,777	143	162	5,081	10,113	9,963
3	4,824	145	163	5,132	15,245	14,944
4	4,873	146	165	5,184	20,428	19,925
5	4,921	148	166	5,235	25,664	24,906
6	15,481	464	168	16,113	41,777	40,086
7	5,020	151	170	5,341	47,117	45,067
8	5,070	152	172	5,394	52,511	50,048
9	5,121	154	173	5,448	57,959	55,030
10	5,172	155	175	5,502	63,462	60,011
11	5,224	157	177	5,557	69,019	64,992
12	16,433	493	179	17,104	86,124	80,171
13	5,329	160	180	5,669	91,793	85,153
14	5,382	161	182	5,726	97,519	90,134
15	5,436	163	184	5,783	103,302	95,115
16	5,490	165	186	5,841	109,143	100,097
17	5,545	166	188	5,899	115,042	105,078
18	17,444	523	189	18,157	133,199	120,257
19	5,657	170	191	6,018	139,217	125,238
20	5,713	171	193	6,078	145,295	130,220
21	5,771	173	195	6,139	151,434	135,201
22	5,828	175	197	6,200	157,634	140,182
23	5,887	177	199	6,262	163,896	145,164
24	18,517	556	201	19,274	183,170	160,343
25	6,005	180	203	6,388	189,558	165,324
26	6,065	182	205	6,452	196,010	170,306
27	6,126	184	207	6,517	202,527	175,287
28	6,187	186	209	6,582	209,109	180,268
29	6,249	187	211	6,648	215,756	185,249
30	19,656	590	214	20,459	236,216	200,429
후 계	223,932	6,718	5,566	236,216	236,216	200,429

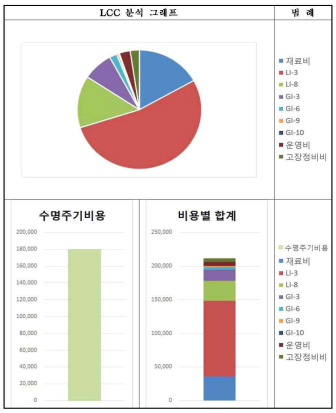
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		스위치	
1. 재료비	천원	59,426	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	6,718	
9. 고장 정비비	천원	5,566	
수명주기비용	천원	200,429	



㉦ 계전기/접촉기

년수	유지관리비 (천원) 계전기/접촉기			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	144	5,015	5,015	4,965
2	4,777	143	145	5,065	10,080	9,931
3	4,824	145	147	5,116	15,196	14,896
4	4,873	146	148	5,167	20,363	19,852
5	4,921	148	150	5,219	25,582	24,827
6	11,277	338	151	11,766	37,348	35,911
7	5,020	151	153	5,324	42,672	40,877
8	5,070	152	154	5,377	48,049	45,842
9	5,121	154	156	5,431	53,479	50,908
10	5,172	155	157	5,485	58,964	55,773
11	5,224	157	159	5,540	64,504	60,739
12	11,970	359	161	12,490	76,994	71,823
13	5,329	160	162	5,651	82,645	76,788
14	5,382	161	164	5,708	88,353	81,754
15	5,436	163	166	5,765	94,118	86,719
16	5,490	165	167	5,822	99,940	91,685
17	5,545	166	169	5,881	105,821	96,650
18	12,707	381	171	13,258	119,079	107,734
19	5,657	170	172	5,999	125,078	112,700
20	5,713	171	174	6,059	131,137	117,665
21	5,771	173	176	6,119	137,256	122,631
22	5,828	175	177	6,181	143,436	127,596
23	5,887	177	179	6,242	149,679	132,562
24	13,488	405	181	14,074	163,753	143,646
25	6,005	180	183	6,368	170,121	148,611
26	6,065	182	185	6,432	176,552	153,577
27	6,126	184	187	6,496	183,048	158,542
28	6,187	186	188	6,561	189,609	163,508
29	6,249	187	190	6,626	196,235	168,473
30	14,318	430	192	14,940	211,175	179,557
총 계	200,161	6,005	5,009	211,175	211,175	179,557

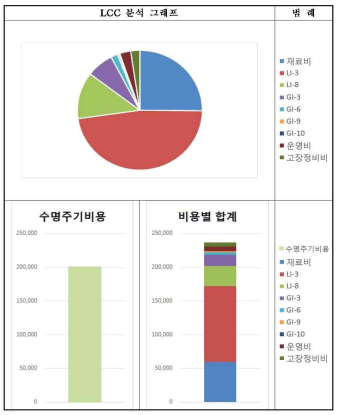
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		계전기/접촉기	
1. 재료비	천원	35,656	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	6,005	
9. 고장 정비비	천원	5,009	
수명주기비용	천원	179,557	



㉧ 기타

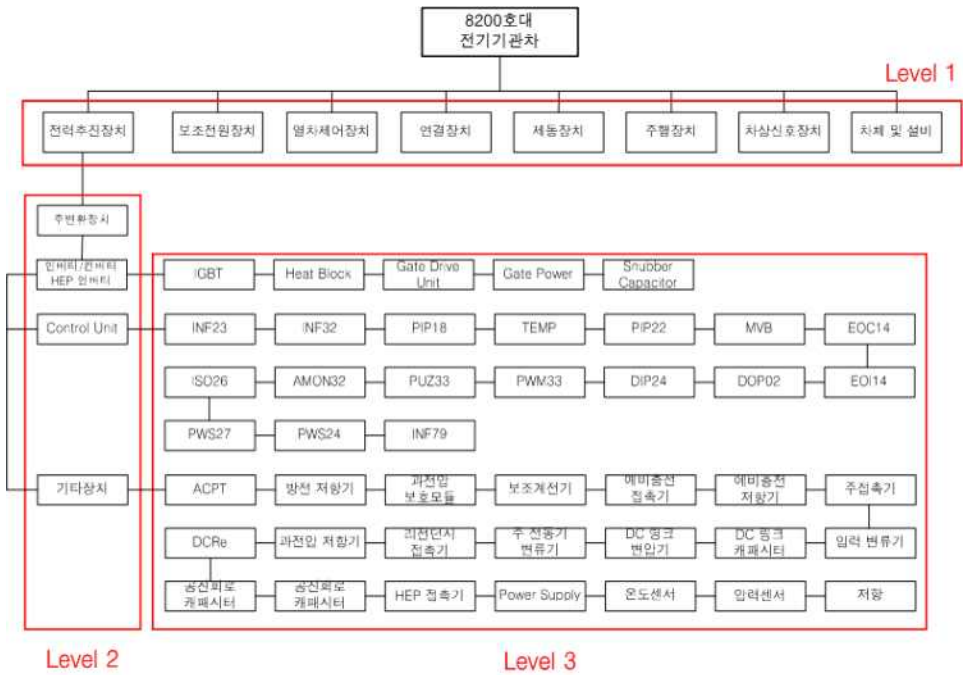
년수	유지관리비 (천원) 기타			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	4,729	142	160	5,031	5,031	4,981
2	4,777	143	162	5,081	10,113	9,963
3	4,824	145	163	5,132	15,245	14,944
4	4,873	146	165	5,184	20,428	19,925
5	4,921	148	166	5,235	25,664	24,906
6	15,481	464	168	16,113	41,777	40,086
7	5,020	151	170	5,341	47,117	45,067
8	5,070	152	172	5,394	52,511	50,048
9	5,121	154	173	5,448	57,959	55,030
10	5,172	155	175	5,502	63,462	60,011
11	5,224	157	177	5,557	69,019	64,992
12	15,433	463	179	17,104	86,124	80,171
13	5,329	160	180	5,669	91,793	85,153
14	5,382	161	182	5,726	97,519	90,134
15	5,436	163	184	5,783	103,302	95,115
16	5,490	165	186	5,841	109,143	100,097
17	5,545	166	188	5,899	115,042	105,078
18	17,444	523	189	18,157	133,199	120,257
19	5,657	170	191	6,018	139,217	125,238
20	5,713	171	193	6,078	145,295	130,220
21	5,771	173	195	6,139	151,434	135,201
22	5,828	175	197	6,200	157,634	140,182
23	5,887	177	199	6,262	163,896	145,164
24	18,517	556	201	19,274	183,170	160,343
25	6,005	180	203	6,388	189,558	165,324
26	6,065	182	205	6,452	196,010	170,306
27	6,126	184	207	6,517	202,527	175,287
28	6,187	186	209	6,582	209,109	180,268
29	6,249	187	211	6,648	215,756	185,249
30	19,656	590	214	20,459	236,216	200,429
총 계	223,932	6,718	5,566	236,216	236,216	200,429

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	6	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		기타	
1. 재료비	천원	59,426	
2. LI-3	천원	112,403	
3. LI-8	천원	29,847	
4. GI-3	천원	16,607	
5. GI-6	천원	4,111	
6. GI-9	천원	1,084	
7. GI-10	천원	453	
8. 운영비	천원	6,718	
9. 고장 정비비	천원	5,566	
수명주기비용	천원	200,429	



(다) 개발품에 대한 LCC 분석

① 주변환장치 및 종합제어장치 개발품 PBS 분석



< 그림 2-292. 전기기관차 개발품 PBS >

이런 분류에 기초하여 전기기관차의 각각의 장치 혹은 부품은 더욱 세분화 되어 분류된다. 그림 2는 전기기관차의 PBS를 나타내고 있으며, 제품 세부내역 구조(PBS)는 특정 목적의 업무를 수행하기 위한 기능적 구조를 기반으로 Level-1의 대분류를 정의하였다.

Level-2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중분류 하였으며, Level-3은 Level-2의 장치 별 구성요소 혹은 부품 단위 위주로 소분류 하였으며, PBS의 각 Level은 계층적 구조로 구성되어 있다. LCC 원가계산에 사용되는 PBS는 Level-3의 범주 안에서 비용요소를 계산한다.

② 주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석 방법 및 모델

㉮ 수명주기비용 분석 방법

수명주기비용 분석 방법에는 할인율이 적용 유무와 비용 합산의 시점에 따라 크게 단순합계법, 현재가치법, 연간비용환산법으로 구분된다. 단순합계법은 모든 분석 시점에서 발생하는 비용을 별도의 할인율을 적용하지 않고 더하는 방법으로 할인율을 무시하여도 무관하거나 전체 시스템의 분석 기간이 짧은 경우에 적용하는 방식이다.

현재가치법은 수명주기에 따라 발생하는 항목별 총 비용을 특정시점에 지불함으로 가정하고 비용을 환산하는 방법이다. 특정시점의 경우 보통 현시점으로 하는 경우가 많으며 화폐의 시간적 가치, 즉 할인율을 적용하여 분석한다.

따라서 명목이자율과 물가상승률 등을 고려하여 타당한 수치의 할인율 적용이 필요하다. 비용에 대한 시간적 가치를 고려하기 때문에 수명주기가 비교적 긴 철도차량 및 전장품에 적용하기에 적합하며, 마지막으로 연간비용환산법은 각 항목별로 지출되는 비용에 할인율을 적용하여 현재의 가치로 환산 후 전체 비용을 매년 같은 금액으로 균등히 지불한다 가정하였을 때 매년 지불하게 될 금액을 산정하는 방식이다.

할인율 적용 후 현재의 가치로 환산하기까지의 과정은 현재가치법과 동일하나, 총 비용을 매년 균등히 지불하기 때문에 한 시스템 내 수명주기비용 분석의 총 기간이 다를 경우 또는 여러 대안의 비교에 있어 기간이 일치하지 않을 경우 적용하기 적합하다.

< 표 2-88. 수명주기비용 산정 기법에 따른 산정식 >

LCC 산정방법	산정식
단순합계법	$LCC = \sum_{t=0}^{P} C_t$ C_t = t년 동안 발생한 모든 항목 비용 N = 총 분석기간
현재가치법	$LCC = \sum_{t=0}^{P} \frac{C_t}{(1+d)^t}$ C_t = t년 동안 발생한 모든 항목 비용 N = 총 분석기간 d = 할인율
연간비용환산법	$LCC = \frac{d \times (1+d)^t}{(1+d)^t - 1} \sum_{t=0}^{P} \frac{C_t}{(1+d)^t}$ C_t = t년 동안 발생한 모든 항목 비용 N = 총 분석기간 d = 할인율

㉰ 주요부품 고장률 및 수명 예측

부품 수명 도래에 따른 교체주기를 산정하기 위해서는 실제 필드 데이터 상의 고장 이력을 기반하여 통계적으로 추정이 가능하지만, 분석하고자 하는 대상이 운용 고장 이력이 없는 신규 개발 부품 및 시스템인 경우 고장자료를 획득하기가 어렵다.

따라서 주변환장치 및 종합제어장치 개발품의 PBS를 기준으로 소프트웨어를 통한 고장률 예측을 통해 평균수명을 산출하였고 이를 통해 부품의 교체 주기를 산정하였다.

아이디 ID	장치명 ItemDescription	수량 Q'ty	고장률 (failure/hour)	평균수명 MTBF(hour)
11000	ACPT	1	7.5815.E-07	1,319,000
12000	게이트견원장치	2	7.1493.E-07	1,398,738
13000	견인제어장치(TCU)			
13100	EOC14 BOARD ASS'Y	3	3.4744.E-06	287,820
13200	EOI14 BOARD ASS'Y	3	5.6367.E-06	177,410
13300	PIP18 BOARD ASS'Y	1	3.4784.E-06	287,490
13400	INF32 BOARD ASS'Y	1	1.5004.E-06	666,490
13500	INF23 BOARD ASS'Y	3	1.7520.E-06	570,790
13600	AMON32 BOARD ASS'Y	1	5.6367.E-06	177,410
13700	ISO26 BOARD ASS'Y	1	3.8805.E-06	257,700
13800	PIP22 BOARD ASS'Y	2	2.3594.E-06	423,840
13900	MVB BOARD ASS'Y	1	4.8952.E-06	204,280
13A00	DIP24 BOARD ASS'Y	2	7.4283.E-06	134,620
13B00	PWM33 BOARD ASS'Y	5	6.0838.E-06	164,370
13C00	PUZ33 BOARD ASS'Y	1	8.5624.E-06	116,790
13D00	DOP02 BOARD ASS'Y	2	5.0347.E-06	198,620
13E00	INF79 BOARD ASS'Y	1	3.2161.E-06	310,940
13F00	PWS24 BOARD ASS'Y	1	4.2724.E-07	2,340,600
13G00	POWER(PWS27)	1	3.3494.E-06	298,560
13H00	MOTHER BOARD	1	3.8430.E-07	2,602,100
14000	Input Circuit			
14100	MK	2	1.2690.E-06	788,000
14200	PCHK	2	1.0167.E-06	983,573
14300	PCHRe	2	3.0147.E-08	33,171,000
14400	ICT	2	7.1644.E-07	1,395,800
15000	Converter ASS'Y			
15100	HEAT BLOCK	1	4.3758.E-08	22,852,964
15200	IGBT	4	1.7533.E-08	57,035,305
15300	GATE DRIVER	2	2.2901.E-07	4,366,641
15400	POWER	1	1.0456.E-07	9,564,070
15500	CAPACITOR	3	9.3700.E-10	1,067,235,859
16000	DC Link ASS'Y			
16100	필터캐퍼시터(DLC)	8	9.3700.E-10	1,067,235,859

아이디 ID	장치명 ItemDescription	수량 Q'ty	고장률 (failure/hour)	평균수명 MTBF(hour)
16200	DCHRe ASS'Y	1	6.1110.E-08	16,364,000
16300	DVT	3	6.9740.E-07	1,433,893
16400	RK	2	1.2690.E-06	788,000
16500	과견압보호장치			
16510	OVCRf UNIT	1	1.8553.E-06	538,990
16520	OVRe	2	1.1413.E-07	8,761,600
16600	공진필터장치			
16610	공진형캐퍼시터(1)(RCC1)	1	9.3700.E-10	1,067,235,859
16620	공진형캐퍼시터(2)(RCC2)	3	9.3700.E-10	1,067,235,859
16630	DCRe	1	1.1413.E-07	8,761,600
16700	접지고장감시장치			
16710	EFC	1	9.3700.E-10	1,067,235,859
16720	EFRe	2	1.1413.E-07	8,761,600
17000	Inverter ASS'Y			
17100	HEAT BLOCK	1	4.3758.E-08	22,852,964
17200	IGBT	4	1.7533.E-08	57,035,305
17300	GATE DRIVER	2	2.2901.E-07	4,366,641
17400	POWER	1	1.0456.E-07	9,564,070
17500	CAPACITOR	3	9.3700.E-10	1,067,235,859
18000	HEP Inverter ASS'Y			
18100	HEAT BLOCK	1	4.3758.E-08	22,852,964
18200	IGBT	4	1.7533.E-08	57,035,305
18300	GATE DRIVER	2	2.2901.E-07	4,366,641
18400	POWER	1	1.0456.E-07	9,564,070
18500	CAPACITOR	3	9.3700.E-10	1,067,235,859
19000	MCT(Inverter용)	4	7.1644.E-07	1,395,800
1A000	MCT(HEPInverter용)	2	7.1644.E-07	1,395,800
1B000	HK	1	1.2690.E-06	788,000
1C000	방열기			
1C100	RADIATOR	1	4.3758.E-08	22,852,964
1C200	FAN	1	1.2500.E-07	8,000,000
1C300	SENSOR	1	2.4120.E-07	4,145,937

< 그림 2-293. 주변환장치 고장률 및 평균수명 예측 결과 >

아이디 ID	장치명 ItemDescription	수량 Q'ty	고장률 (failure/hour)	평균수명 MTBF(hour)
10000	종합제어장치(CCU)	1		
11000	중앙처리장치 모듈(CPU)	1	4.6017E-06	217,311
12000	이진입출력 모듈(IOM)	1	5.8912E-06	169,745
13000	주견류 감시 모듈(PCM)	1	3.7953E-06	263,484
14000	견원공급모듈(PCS)	2	2.0650E-06	484,262
15000	Extension Board(EXT)	1	1.9600E-08	51,020,408
16000	다기능차량버스 모듈(MVB32)	1	3.6471E-06	274,190
17000	TCN 6U 게이트웨이(TCN GW)	1	7.4596E-06	134,055
18000	MOTHER BOARD	1	4.4460E-07	2,249,213
19100	FRONT Panel	1	5.6701E-06	176,364
19200	Main Board	1	8.5682E-06	116,711
19300	PWR Board	1	6.3710E-07	1,569,612

< 그림 2-294. 종합제어장치 고장률 및 평균수명 예측 결과 >

㉰ 수명주기비용 분석 모델

주변환장치 및 종합제어장치 개발품의 LCC 분석 모델은 기존품 분석 모델과 동일하며 전기기관차 1편성당의 주변환장치 및 종합제어장치의 부품을 3-Level 수준으로 분류하여 각각 부품별로 LCC를 비교할 수 있는 모델을 제시하였다.

< 표 2-89. 주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석 모델 >

년수	년도	유지관리비												할인율 (1%)		
		예 방 정 비 비									운 영 비		고장정비비			
											전력비	기타		합계	누적비용	NPV
…	…										…	…	…		…	…
총 계																

< 표 2-90. 보조전원장치의 예방정비비 분석 모델 >

점검종별	점검항목	점검일수	예 방 정 비 비													
			횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율
LI-3	5	5	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164
LI-8	9	5	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164
GI-3	9	5	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164
GI-6	12	5	1.50	0.0063	0.00	0.0000	1.50	0.0063	0.00	0.0000	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063
GI-9	13	5	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026
GI-10	14	5	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026	0.75	0.0026
교체주기(년)			12.00		10.00		12.00		10.00		6.00		12.00		5.00	
항 목			정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비	정비비	운영비

- 연간 예방정비비 = 임율 × 점검종별 분석 × 점검항목 비율 × 점검횟수 + 교체비용
- 내용연수에 따른 교체비용 = 각 부품단가 × $1.01^{(\text{내용연수}-1)}$
- 고장정비비 = (도입 이후 부품당 교체 수 / 총 편성 / 사용년도) × 부품단가
- 합계 = 예방정비비 + 운영비 + 고장정비비
- 누적비용 = 도입 이후의 유지관리비의 합

③ 주변환장치 및 종합제어장치 개발품 수명주기비용 분석

년도별 전기기관차 주변환장치 개발품의 LCC 분석 결과를 보면 초기 도입 비용으로 인한 비용상승과 주요부품 내구연한 도래의 중복으로 인한 30년 구간에서의 급격한 비용 증가가 발생하였다.

그 외 구간에서는 부품별 내구연한 도래에 의한 교체에 의한 비용 상승이 일부 발생하면서 유지보수 비용이 상승했음을 확인할 수 있다. 특히 15년 구간에서는 재료비의 비율이 비교적 높은 견인제어장치의 교체가 이루어지면서 비용 상승폭이 크게 나타났

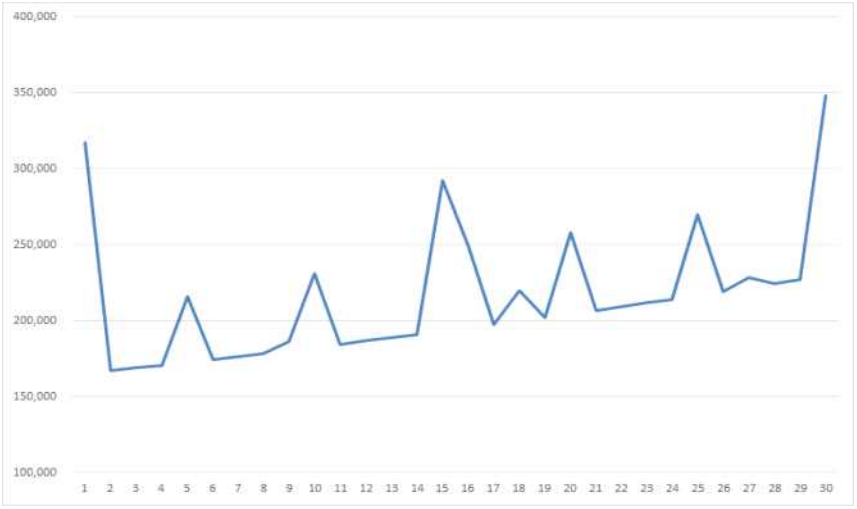
다. 전체적인 그래프로 보았을 때 기존품 대비 개발품의 비용 상승폭이 적었는데 이는 개발품의 재료비 절감 및 부품 수 절감으로 인한 LCC 비용의 절감으로 볼 수 있다.

유지관리비의 증가는 주변환장치 기존품과 동일하게 사용년수에 따라 증가 추이를 보이고 있으며, 앞서 언급하였듯이 보조전원장치의 부품비 물가상승률 및 인건비 상승에 따른 것이다.

(1편성 기준)

년수	유지관리비(천원)												할인율(1%)		
	ACPT 정비비	제어장치 정비비	전원장치 정비비	입력회로 정비비	컨버터 인버터 정비비	DC Link 정비비	HEP 정비비	MCT 정비비	HK 정비비	방열기 정비비	운영비	고장정비비	합계	누적	NPV
1	15,635	55,482	23,392	27,112	39,532	61,443	27,856	18,796	19,522	16,732	9,185	3,030	317,662	317,662	314,537
2	15,587	15,129	15,563	15,786	16,364	16,463	16,364	16,522	14,665	16,564	4,779	3,060	167,145	484,827	476,353
3	15,780	15,299	15,737	15,941	16,545	16,645	16,545	17,006	14,850	16,748	4,832	3,091	169,000	653,827	642,418
4	15,936	15,470	15,913	16,119	16,729	16,830	16,729	17,196	15,017	16,934	4,886	3,122	170,880	824,706	808,631
5	16,115	57,785	16,091	16,299	16,915	17,017	16,915	17,397	15,186	17,122	6,205	3,153	216,194	1,040,901	1,012,332
6	16,295	15,820	16,271	16,482	17,104	17,207	17,104	17,589	15,357	17,313	4,996	3,184	174,714	1,215,615	1,176,920
7	16,479	15,998	16,454	16,667	17,295	17,399	17,295	17,776	15,531	17,506	5,052	3,216	176,669	1,392,284	1,341,702
8	16,664	16,179	16,640	16,854	17,489	17,594	17,489	17,975	15,707	17,702	5,109	3,248	178,849	1,570,933	1,506,662
9	16,852	16,362	16,827	17,044	17,685	17,791	17,685	18,176	21,300	17,900	5,329	3,281	198,233	1,757,166	1,676,962
10	17,043	60,842	17,018	17,236	17,884	17,991	17,884	20,742	16,066	18,454	6,626	3,314	231,140	1,988,306	1,886,210
11	17,236	16,736	17,210	17,432	18,086	18,194	18,086	18,586	16,250	18,305	5,284	3,347	184,750	2,173,055	2,051,835
12	17,431	16,926	17,406	17,629	18,290	18,399	18,290	18,795	16,435	18,511	5,343	3,380	186,836	2,359,893	2,217,614
13	17,630	17,120	17,604	17,830	18,497	18,607	18,497	19,007	16,621	18,720	5,404	3,414	188,954	2,548,847	2,393,641
14	17,831	17,316	17,805	18,033	18,706	18,818	18,706	19,222	16,810	18,932	5,466	3,448	191,099	2,739,945	2,569,889
15	18,035	64,066	27,204	18,238	45,757	19,032	32,336	19,440	17,009	19,147	8,418	3,483	292,420	3,032,365	2,801,765
16	18,241	17,716	18,215	18,447	19,135	71,675	19,135	19,661	17,205	19,365	7,184	3,518	349,478	3,381,843	3,014,525
17	18,451	17,920	18,424	18,659	19,353	19,466	19,353	19,884	17,404	19,586	5,955	3,553	197,710	3,479,553	3,151,467
18	18,663	18,127	18,636	32,516	19,574	19,691	19,574	20,111	23,535	19,809	6,307	3,588	230,126	3,709,679	3,365,496
19	18,879	18,337	18,851	19,091	19,799	19,916	19,799	20,341	17,811	20,036	5,786	3,624	202,270	3,901,948	3,532,922
20	19,097	67,479	19,069	19,311	20,026	20,145	20,026	23,134	18,018	20,269	7,411	3,660	258,117	4,160,065	3,744,461
21	19,318	18,766	19,291	19,535	20,257	20,377	20,257	20,810	18,229	20,499	5,930	3,697	206,957	4,367,022	3,912,392
22	19,543	18,965	19,515	19,761	20,491	20,612	20,491	21,050	18,443	20,735	5,989	3,734	209,350	4,576,372	4,080,583
23	19,771	19,207	19,742	19,991	20,728	20,851	20,728	21,293	18,660	20,975	6,058	3,771	211,776	4,788,148	4,249,036
24	20,002	19,433	19,973	20,225	20,969	21,092	20,969	21,539	18,879	21,218	6,129	3,809	214,237	5,002,385	4,417,764
25	20,236	71,066	20,207	20,461	21,213	21,338	21,213	21,788	19,103	21,465	7,743	3,847	269,700	5,272,085	4,635,066
26	20,474	19,893	20,444	20,701	21,460	21,586	21,460	22,042	19,329	21,715	6,273	3,886	219,264	5,491,349	4,797,350
27	20,715	20,129	20,685	20,944	21,711	21,839	21,711	22,299	26,035	21,968	6,541	3,925	228,502	5,719,851	4,972,016
28	20,960	20,367	20,930	21,191	21,966	22,094	21,966	22,559	19,792	22,226	6,422	3,964	224,436	5,944,287	5,141,879
29	21,208	20,610	21,178	21,442	22,224	22,354	22,224	22,823	20,028	22,487	6,497	4,003	227,076	6,171,365	5,312,035
30	21,753	74,903	32,105	21,696	53,644	22,617	35,065	25,974	20,268	23,215	10,027	4,043	348,315	6,519,680	5,570,461
합계	545,093	659,472	574,401	578,653	655,430	675,090	614,755	599,685	539,054	582,614	225,222	105,395	6,519,680	6,519,680	5,570,461

< 그림 2-295. 주변환장치 개발품 LCC 분석 >



< 그림 2-296. 년도별 주변환장치 개발품 LCC분석 >

(1편성 기준)

년수	유 지 관 리 비 (천원)					할인율(1%)		
	제어카드	전원카드	마더보드	운영비	고장 정비비	합계	누적	NPV
	예방정비비	예방정비비	예방정비비					
1	25,671	21,171	17,171	1,920	1,320	67,252	67,252	66,587
2	15,643	15,643	15,643	1,408	1,333	49,669	116,922	115,277
3	15,817	15,817	15,817	1,424	1,347	50,221	167,143	164,022
4	15,994	15,994	15,994	1,439	1,360	50,781	217,924	212,821
5	16,173	16,173	16,173	1,456	1,374	51,347	269,271	261,676
6	16,354	16,354	16,354	1,472	1,387	51,921	321,192	310,588
7	27,365	22,586	18,342	2,049	1,401	71,746	392,938	377,507
8	16,724	16,724	16,724	1,505	1,415	53,092	446,030	426,536
9	16,912	16,912	16,912	1,522	1,429	53,689	499,718	475,625
10	17,104	17,104	17,104	1,539	1,444	54,294	554,012	524,777
11	17,297	17,297	17,297	1,557	1,458	54,907	608,918	573,991
12	17,494	17,494	17,494	1,574	1,473	55,528	664,446	623,269
13	17,693	17,693	17,693	1,592	1,487	56,157	720,604	672,612
14	29,503	24,381	19,829	2,211	1,502	77,427	798,030	739,971
15	18,099	18,099	18,099	1,629	1,517	57,442	855,473	789,449
16	18,306	18,306	18,306	1,648	1,532	58,098	913,571	838,996
17	18,516	18,516	18,516	1,666	1,545	58,763	972,334	888,614
18	18,729	18,729	18,729	1,686	1,563	59,436	1,031,770	938,304
19	18,945	18,945	18,945	1,705	1,579	60,120	1,091,890	988,067
20	19,164	19,164	19,164	1,725	1,595	60,812	1,152,702	1,037,906
21	31,832	26,341	21,461	2,389	1,611	83,634	1,236,336	1,105,769
22	19,612	19,612	19,612	1,765	1,627	62,227	1,298,563	1,155,762
23	19,840	19,840	19,840	1,786	1,643	62,949	1,361,512	1,205,534
24	20,072	20,072	20,072	1,806	1,659	63,681	1,425,193	1,255,987
25	20,307	20,307	20,307	1,826	1,676	64,424	1,489,617	1,306,223
26	20,545	20,545	20,545	1,849	1,693	65,177	1,554,794	1,356,543
27	20,787	20,787	20,787	1,871	1,710	65,942	1,620,736	1,406,949
28	34,376	28,489	23,256	2,584	1,727	90,432	1,711,168	1,475,391
29	21,281	21,281	21,281	1,915	1,744	67,503	1,778,671	1,525,974
30	21,534	21,534	21,534	1,936	1,762	68,301	1,846,973	1,576,649
합계	607,668	561,912	559,000	235,232	45,916	1,846,973	1,846,973	1,576,649

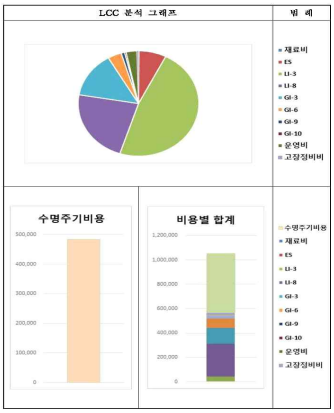
< 그림 2-297. 종합제어장치 개발품 LCC 분석 >

④ 주변환장치 개발품 장치별 LCC

㉮ ACPT

년수	추 지 분 리 비 (천원)			할인율 (1%)		
	ACPT					
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	15,635	469	66	16,170	16,170	16,010
2	15,587	468	67	16,121	32,291	31,813
3	15,760	473	67	16,301	48,591	47,634
4	15,936	478	68	16,482	65,074	63,474
5	16,115	483	69	16,667	81,741	79,332
6	16,295	489	69	16,854	98,595	95,209
7	16,479	494	70	17,043	115,638	111,105
8	16,664	500	71	17,235	132,872	127,021
9	16,852	506	71	17,429	150,302	142,957
10	17,043	511	72	17,626	167,928	158,914
11	17,236	517	73	17,826	185,753	174,891
12	17,431	523	74	18,028	203,781	190,890
13	17,630	529	74	18,233	222,015	206,911
14	17,831	535	75	18,441	240,456	222,954
15	18,288	549	76	18,912	259,368	239,244
16	18,241	547	77	18,865	278,233	255,333
17	18,451	554	77	19,082	297,315	271,445
18	18,663	560	78	19,301	316,616	287,581
19	18,879	566	79	19,524	336,140	303,742
20	19,097	573	80	19,750	355,890	319,928
21	19,318	580	81	19,979	375,868	336,139
22	19,543	586	81	20,211	396,079	352,376
23	19,771	593	82	20,446	416,525	368,640
24	20,002	600	83	20,685	437,210	384,931
25	20,236	607	84	20,927	458,137	401,249
26	20,474	614	85	21,173	479,310	417,595
27	20,715	621	85	21,422	500,732	433,970
28	20,960	629	86	21,675	522,406	450,374
29	21,208	636	87	21,931	544,338	466,808
30	21,753	653	88	22,494	566,831	483,497
총 계	548,093	16,443	2,296	566,831	566,831	483,497

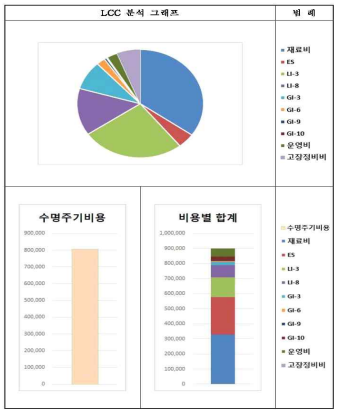
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	15	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		ACPT	
1. 제료비	천원	766	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	269,768	
4. LI-8	천원	128,409	
5. GI-3	천원	79,344	
6. GI-6	천원	20,897	
7. GI-9	천원	5,171	
8. GI-10	천원	2,393	
9. 운영비	천원	16,443	
10. 고장 정비비	천원	2,296	
수명주기비용	천원	483,497	



㉯ 견인제어장치

년수	추 지 분 리 비 (천원)			할인율 (1%)		
	견인제어장치					
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	55,462	1,664	1,620	58,746	58,746	58,165
2	15,129	454	1,636	17,219	75,966	75,045
3	15,299	459	1,653	17,410	93,376	91,943
4	15,470	464	1,669	17,603	110,979	108,859
5	57,788	1,734	1,686	61,208	172,186	167,096
6	15,820	475	1,703	17,997	190,183	184,050
7	15,998	480	1,720	18,198	208,381	201,023
8	16,179	485	1,737	18,401	226,782	218,016
9	16,362	491	1,754	18,607	245,389	235,029
10	60,842	1,825	1,772	64,439	309,828	293,365
11	16,736	502	1,789	19,027	328,855	310,419
12	16,926	508	1,807	19,242	348,097	327,495
13	17,120	514	1,825	19,459	367,555	344,593
14	17,316	519	1,844	19,679	387,234	361,713
15	64,068	1,922	1,862	67,852	455,087	420,158
16	17,716	531	1,881	20,128	475,215	437,323
17	17,920	538	1,900	20,357	495,572	454,512
18	18,127	544	1,919	20,590	516,161	471,726
19	18,337	550	1,938	20,825	536,987	488,963
20	67,479	2,024	1,957	71,460	608,447	547,528
21	18,766	563	1,977	21,306	629,752	564,816
22	18,985	570	1,996	21,551	651,303	582,130
23	19,207	576	2,016	21,800	673,103	599,471
24	19,433	583	2,037	22,052	695,156	616,838
25	71,086	2,133	2,057	75,275	770,431	675,536
26	19,893	597	2,078	22,568	792,998	692,959
27	20,129	604	2,098	22,831	815,829	710,411
28	20,367	611	2,119	23,098	838,927	727,892
29	20,610	618	2,140	23,368	862,295	745,403
30	74,903	2,247	2,162	79,312	941,607	804,246
총 계	859,472	25,784	56,352	941,607	941,607	804,246

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	5	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		견인제어장치	
1. 제료비	천원	327,892	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	247,287	
4. LI-8	천원	132,422	
5. GI-3	천원	81,190	
6. GI-6	천원	21,240	
7. GI-9	천원	5,672	
8. GI-10	천원	2,426	
9. 운영비	천원	25,784	
10. 고장 정비비	천원	56,352	
수명주기비용	천원	804,246	



㉰ 게이트 전원장치

년수	추 지 분 리 비 (천원)			할인율 (1%)		
	게이트 전원장치					
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	23,392	702	96	24,190	24,190	23,950
2	15,563	467	97	16,127	40,317	39,760
3	15,737	472	98	16,307	56,624	55,587
4	15,913	477	99	16,489	73,113	71,433
5	16,091	483	100	16,674	89,787	87,297
6	16,271	488	101	16,860	106,647	103,181
7	16,454	494	102	17,050	123,697	119,083
8	16,640	499	103	17,242	140,939	135,006
9	16,827	505	104	17,436	158,375	150,948
10	17,018	511	105	17,633	176,008	166,911
11	17,210	516	106	17,833	193,841	182,895
12	17,405	522	107	18,035	211,876	198,900
13	17,604	528	108	18,240	230,116	214,927
14	17,805	534	109	18,448	248,564	230,977
15	27,204	816	110	28,131	276,695	255,207
16	18,215	546	111	18,873	295,568	271,302
17	18,424	553	113	19,089	314,657	287,421
18	18,636	559	114	19,309	333,966	303,563
19	18,851	566	115	19,532	353,498	319,730
20	19,069	572	116	19,757	373,255	335,922
21	19,291	579	117	19,986	393,241	352,140
22	19,515	585	118	20,219	413,460	368,384
23	19,742	592	119	20,454	433,914	384,654
24	19,973	599	121	20,693	454,607	400,951
25	20,207	606	122	20,935	475,542	417,275
26	20,444	613	123	21,181	496,723	433,628
27	20,685	621	124	21,430	518,153	450,009
28	20,930	628	126	21,683	539,836	466,420
29	21,178	635	127	21,940	561,776	482,860
30	32,105	963	128	33,196	594,972	507,489
총 계	574,401	17,232	3,339	594,972	594,972	507,489

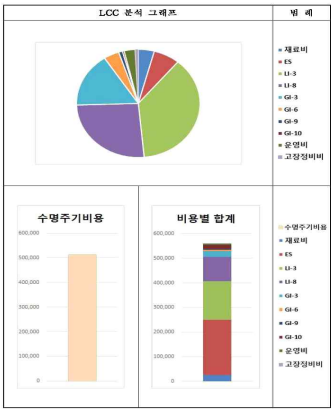
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	15	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		게이트 전원장치	
1. 제료비	천원	27,872	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	247,287	
4. LI-8	천원	140,448	
5. GI-3	천원	86,725	
6. GI-6	천원	22,268	
7. GI-9	천원	5,839	
8. GI-10	천원	2,620	
9. 운영비	천원	17,232	
10. 고장 정비비	천원	3,339	
수명주기비용	천원	507,489	



㉮ 입력회로

년수	유지관리비 (천원) 입력회로			할인율 (5%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	27,112	813	138	28,064	28,064	27,786
2	15,766	473	140	16,378	44,443	43,841
3	15,941	478	141	16,560	61,002	59,915
4	16,119	484	142	16,745	77,747	76,006
5	16,299	489	144	16,932	94,679	92,117
6	16,482	494	145	17,121	111,801	108,246
7	16,667	500	147	17,313	129,114	124,394
8	16,854	506	148	17,508	146,622	140,563
9	17,044	511	150	17,705	164,327	156,751
10	17,236	517	151	17,905	182,232	172,960
11	17,432	523	153	18,107	200,339	189,190
12	17,629	529	154	18,312	218,651	205,441
13	17,830	535	156	18,520	237,171	221,714
14	18,033	541	157	18,731	255,902	238,009
15	18,238	547	159	18,945	274,847	254,327
16	18,447	553	160	19,161	294,008	270,668
17	18,659	560	162	19,381	313,388	287,032
18	32,516	975	164	33,656	347,044	315,169
19	19,091	573	165	19,829	366,873	331,582
20	19,311	579	167	20,057	386,930	348,020
21	19,535	586	169	20,289	407,219	364,483
22	19,761	593	170	20,525	427,744	380,973
23	19,991	600	172	20,763	448,507	397,489
24	20,225	607	174	21,005	469,512	414,032
25	20,461	614	176	21,250	490,763	430,602
26	20,701	621	177	21,499	512,262	447,201
27	20,944	628	179	21,752	534,014	463,828
28	21,191	636	181	22,008	556,022	480,484
29	21,442	643	183	22,268	578,290	497,170
30	21,696	651	184	22,531	600,821	513,887
총 계	578,653	17,360	4,809	600,821	600,821	513,887

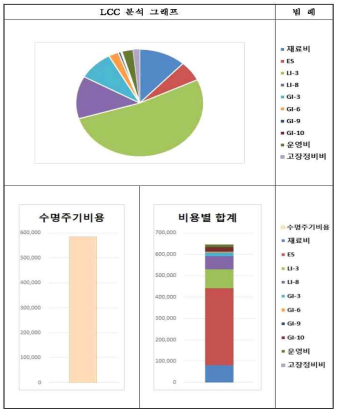
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	18	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		입력회로	
1. 제료비	천원	25,163	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	224,807	
4. LI-8	천원	156,499	
5. GI-3	천원	97,796	
6. GI-6	천원	24,323	
7. GI-9	천원	6,005	
8. GI-10	천원	2,717	
9. 운영비	천원	17,360	
10. 고장 정비비	천원	4,809	
수명주기비용	천원	513,887	



㉯ 컨버터 및 인버터

년수	유지관리비 (천원) 컨버터 및 인버터			할인율 (5%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	39,532	1,186	327	41,045	41,045	40,639
2	16,364	491	330	17,185	58,230	57,485
3	16,545	496	333	17,375	75,605	74,349
4	16,729	502	337	17,568	93,172	91,231
5	16,915	507	340	17,763	110,935	108,132
6	17,104	513	344	17,961	128,896	125,051
7	17,295	519	347	18,161	147,057	141,991
8	17,489	525	350	18,364	165,421	158,949
9	17,685	531	354	18,570	183,991	175,928
10	17,884	537	357	18,778	202,769	192,928
11	18,086	543	361	18,989	221,758	209,948
12	18,290	549	365	19,203	240,961	226,990
13	18,497	555	368	19,420	260,381	244,054
14	18,706	561	372	19,640	280,020	261,139
15	45,757	1,373	376	47,505	327,525	302,058
16	19,135	574	379	20,088	347,614	319,190
17	19,353	581	383	20,317	367,931	336,345
18	19,574	587	387	20,549	388,479	353,524
19	19,799	594	391	20,784	409,263	370,727
20	20,026	601	395	21,022	430,285	387,956
21	20,257	608	399	21,264	451,549	405,210
22	20,491	615	403	21,509	473,058	422,490
23	20,728	622	407	21,757	494,815	439,796
24	20,969	629	411	22,009	516,824	457,130
25	21,213	636	415	22,264	539,088	474,491
26	21,460	644	419	22,523	561,611	491,880
27	21,711	651	423	22,786	584,397	509,296
28	21,966	659	428	23,053	607,450	526,745
29	22,224	667	432	23,323	630,773	544,222
30	53,644	1,609	436	55,690	686,463	585,539
총 계	655,430	19,663	11,370	686,463	686,463	585,539

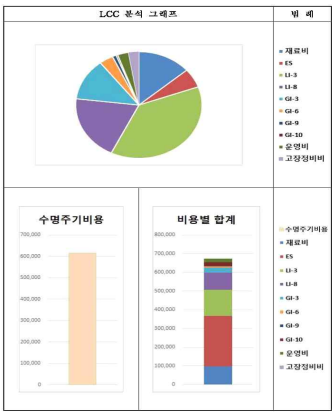
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	15	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		컨버터 및 인버터	
1. 제료비	천원	81,344	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	359,691	
4. LI-8	천원	88,281	
5. GI-3	천원	60,892	
6. GI-6	천원	17,471	
7. GI-9	천원	4,337	
8. GI-10	천원	2,070	
9. 운영비	천원	19,663	
10. 고장 정비비	천원	11,370	
수명주기비용	천원	585,539	



㉰ DC Link 어셈블리

년수	유지관리비 (천원) DC Link 어셈블리			할인율 (5%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	61,443	1,843	542	63,828	63,828	63,196
2	16,463	494	547	17,504	81,332	80,355
3	16,645	499	553	17,697	99,029	97,532
4	16,830	505	558	17,893	116,923	114,727
5	17,017	511	564	18,092	135,014	131,941
6	17,207	516	570	18,293	153,307	149,174
7	17,399	522	575	18,497	171,804	166,426
8	17,594	528	581	18,703	190,507	183,698
9	17,791	534	587	18,912	209,419	200,990
10	17,991	540	593	19,124	228,543	218,302
11	18,194	546	599	19,338	247,881	235,636
12	18,399	552	605	19,556	267,437	252,991
13	18,607	558	611	19,776	287,213	270,367
14	18,818	565	617	19,999	307,213	287,766
15	19,032	571	623	20,226	327,439	305,188
16	71,678	2,150	629	74,457	401,896	368,686
17	19,468	584	635	20,688	422,584	386,154
18	19,691	591	642	20,923	443,507	403,647
19	19,916	597	648	21,162	464,669	421,163
20	20,145	604	655	21,404	486,073	438,705
21	20,377	611	661	21,650	507,722	456,272
22	20,612	618	668	21,898	529,621	473,865
23	20,851	626	675	22,151	551,771	491,484
24	21,092	633	681	22,406	574,178	509,131
25	21,338	640	688	22,666	596,844	526,805
26	21,586	648	695	22,929	619,772	544,507
27	21,839	655	702	23,196	642,968	562,238
28	22,094	663	709	23,466	666,434	579,998
29	22,354	671	716	23,741	690,175	597,788
30	22,617	679	723	24,019	714,194	615,608
총 계	675,090	20,253	18,851	714,194	714,194	615,608

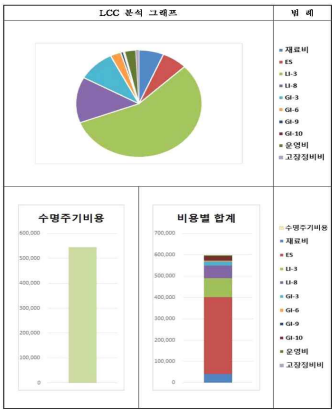
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	16	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		DC Link 어셈블리	
1. 제료비	천원	97,589	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	269,768	
4. LI-8	천원	140,448	
5. GI-3	천원	90,416	
6. GI-6	천원	25,693	
7. GI-9	천원	6,923	
8. GI-10	천원	2,911	
9. 운영비	천원	20,253	
10. 고장 정비비	천원	18,851	
수명주기비용	천원	615,608	



㉮ HEP 인버터

년수	유지관리비(천원) HEP 인버터			할인율 (5%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	27,858	836	140	28,834	28,834	28,549
2	16,364	491	141	16,996	45,830	45,210
3	16,545	496	143	17,184	63,015	61,889
4	16,729	502	144	17,375	80,390	78,586
5	16,915	507	146	17,569	97,958	95,302
6	17,104	513	147	17,764	115,723	112,037
7	17,295	519	149	17,963	133,685	128,791
8	17,489	525	150	18,164	151,849	145,565
9	17,685	531	152	18,367	170,216	162,359
10	17,884	537	153	18,574	188,790	179,173
11	18,086	543	155	18,783	207,573	196,009
12	18,290	549	156	18,995	226,568	212,866
13	18,497	555	158	19,209	245,777	229,744
14	18,705	561	159	19,427	265,204	246,645
15	32,338	970	161	33,469	298,673	275,474
16	19,135	574	163	19,871	318,545	292,420
17	19,353	581	164	20,098	338,642	309,390
18	19,574	587	166	20,327	358,970	326,385
19	19,799	594	168	20,560	379,530	343,403
20	20,026	601	169	20,796	400,327	360,447
21	20,257	608	171	21,036	421,363	377,516
22	20,491	615	173	21,278	442,941	394,611
23	20,728	622	174	21,525	464,166	411,733
24	20,969	629	176	21,774	485,940	428,881
25	21,213	636	178	22,027	507,967	446,057
26	21,460	644	180	22,284	530,251	463,261
27	21,711	651	181	22,544	552,795	480,494
28	21,966	659	183	22,808	575,603	497,756
29	22,224	667	185	23,076	598,679	515,048
30	38,065	1,142	187	39,394	638,073	544,276
총 계	614,758	18,443	4,873	638,073	638,073	544,276

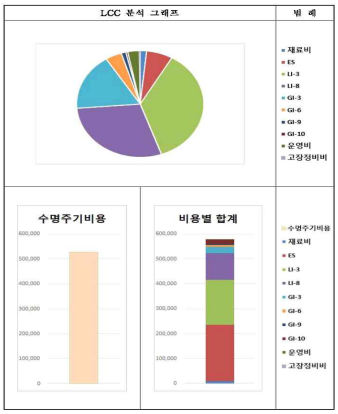
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	15	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		HEP 인버터	
1. 재료비	천원	40,672	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	359,691	
4. LI-8	천원	88,281	
5. GI-3	천원	60,892	
6. GI-6	천원	17,471	
7. GI-9	천원	4,337	
8. GI-10	천원	2,070	
9. 운영비	천원	18,443	
10. 고장 정비비	천원	4,873	
수명주기비용	천원	544,276	



㉯ MCT

년수	유지관리비(천원) MCT			할인율 (5%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	18,796	564	43	19,405	19,405	19,213
2	16,821	505	44	17,370	36,774	36,240
3	17,008	510	44	17,562	54,336	53,285
4	17,196	516	45	17,756	72,093	70,349
5	17,387	522	45	17,954	90,046	87,431
6	17,580	527	45	18,153	108,199	104,532
7	17,776	533	46	18,356	126,555	121,653
8	17,975	539	46	18,560	145,115	138,793
9	18,176	545	47	18,768	163,883	155,953
10	20,742	622	47	21,412	185,295	175,337
11	18,586	558	48	19,192	204,487	192,539
12	18,795	564	48	19,408	223,894	209,762
13	19,007	570	49	19,626	243,521	227,007
14	19,222	577	49	19,848	263,369	244,274
15	19,440	583	50	20,073	283,442	261,564
16	19,661	590	50	20,301	303,742	278,877
17	19,884	597	51	20,532	324,274	296,213
18	20,111	603	51	20,766	345,040	313,574
19	20,341	610	52	21,003	366,043	330,959
20	23,184	696	52	23,931	389,974	350,572
21	20,810	624	53	21,487	411,461	368,007
22	21,050	631	53	21,734	433,196	385,468
23	21,293	639	54	21,985	455,181	402,956
24	21,539	646	54	22,239	477,420	420,471
25	21,788	654	55	22,497	499,917	438,014
26	22,042	661	55	22,758	522,675	455,584
27	22,299	669	56	23,023	545,699	473,183
28	22,559	677	57	23,292	568,991	490,812
29	22,823	685	57	23,565	592,556	508,470
30	25,974	779	58	26,811	619,367	528,361
총 계	599,858	17,996	1,503	619,357	619,367	528,361

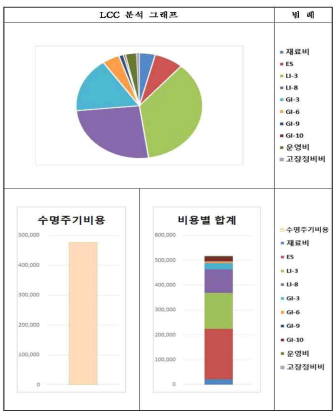
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		MCT	
1. 재료비	천원	10,014	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	224,807	
4. LI-8	천원	180,576	
5. GI-3	천원	107,023	
6. GI-6	천원	25,693	
7. GI-9	천원	7,340	
8. GI-10	천원	3,072	
9. 운영비	천원	17,996	
10. 고장 정비비	천원	1,503	
수명주기비용	천원	528,361	



㉰ HK

년수	유지관리비(천원) HK			할인율 (5%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	19,522	586	110	20,218	20,218	20,018
2	14,685	441	111	15,237	35,455	34,954
3	14,850	445	112	15,407	50,862	49,908
4	15,017	450	113	15,580	66,442	64,881
5	15,186	456	114	15,756	82,198	79,872
6	15,357	461	116	15,933	98,132	96,882
7	15,531	466	117	16,114	114,245	109,911
8	15,707	471	118	16,296	130,541	124,961
9	21,300	639	119	22,058	152,599	145,129
10	16,066	482	120	16,669	169,268	160,219
11	16,250	487	122	16,859	186,126	175,329
12	16,435	493	123	17,051	203,177	190,462
13	16,624	499	124	17,247	220,424	205,615
14	16,815	504	125	17,445	237,868	220,792
15	17,009	510	126	17,645	255,514	235,990
16	17,205	516	128	17,849	273,363	251,212
17	17,404	522	129	18,055	291,418	266,457
18	23,528	706	130	24,364	315,781	286,826
19	17,811	534	132	18,477	334,258	302,120
20	18,018	541	133	18,692	352,950	317,439
21	18,229	547	134	18,910	371,860	332,783
22	18,443	553	136	19,132	390,992	348,153
23	18,660	560	137	19,356	410,348	363,550
24	18,879	566	138	19,584	429,932	378,974
25	19,103	573	140	19,815	449,748	394,425
26	19,329	580	141	20,050	469,797	409,905
27	26,035	781	142	26,958	496,756	430,512
28	19,792	594	144	20,529	517,285	445,049
29	20,028	601	145	20,774	538,059	461,616
30	20,268	608	147	21,023	559,083	477,214
총 계	539,084	16,173	3,826	559,083	559,083	477,214

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	9	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		HK	
1. 재료비	천원	22,812	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	202,326	
4. LI-8	천원	144,460	
5. GI-3	천원	94,105	
6. GI-6	천원	24,666	
7. GI-9	천원	6,589	
8. GI-10	천원	2,781	
9. 운영비	천원	16,173	
10. 고장 정비비	천원	3,826	
수명주기비용	천원	477,214	



㉯ 방열기

년수	유지관리비 (원화)			할인율 (1%)		
	방열기					
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	16,733	502	7	17,242	17,242	17,071
2	16,564	497	7	17,068	34,310	33,803
3	16,748	502	7	17,257	51,567	50,553
4	16,934	508	7	17,449	69,016	67,320
5	17,122	514	7	17,643	86,659	84,107
6	17,313	519	7	17,839	104,498	100,912
7	17,506	525	7	18,039	122,536	117,737
8	17,702	531	8	18,240	140,777	134,582
9	17,900	537	8	18,445	159,221	151,447
10	18,484	555	8	19,046	178,268	168,689
11	18,305	549	8	18,862	197,129	185,595
12	18,511	555	8	19,074	216,204	202,522
13	18,720	562	8	19,290	235,493	219,472
14	18,932	568	8	19,508	255,002	236,443
15	19,147	574	8	19,730	274,731	253,437
16	19,365	581	8	19,954	294,685	270,455
17	19,585	588	8	20,181	314,867	287,495
18	19,809	594	8	20,412	335,279	304,560
19	20,036	601	8	20,646	355,925	321,650
20	20,689	621	8	21,318	377,243	339,121
21	20,499	615	9	21,123	398,366	356,260
22	20,736	622	9	21,366	419,732	373,426
23	20,975	629	9	21,613	441,345	390,618
24	21,218	637	9	21,864	463,210	407,838
25	21,465	644	9	22,118	485,327	425,084
26	21,715	651	9	22,375	507,703	442,359
27	21,968	659	9	22,637	530,339	459,663
28	22,226	667	9	22,902	553,241	476,996
29	22,487	675	9	23,170	576,411	494,358
30	23,218	697	9	23,924	600,335	512,108
총 계	582,614	17,478	243	600,335	600,335	512,108

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
1. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		방열기	
1. 제료비	천원	1,623	
2. LI-3	천원	41,343	
3. LI-3	천원	314,729	
4. LI-8	천원	120,384	
5. GI-3	천원	73,809	
6. GI-6	천원	21,240	
7. GI-9	천원	6,673	
8. GI-10	천원	2,814	
9. 운영비	천원	17,478	
10. 고장 정비비	천원	243	
수명주기비용	천원	512,108	

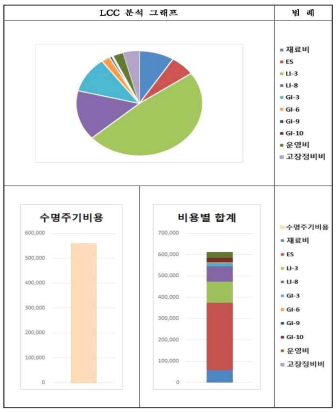


⑤ 종합제어장치 개발품 장치별 LCC

㉮ 제어카드

년수	유지관리비 (원화)			할인율 (1%)		
	제어카드					
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	25,671	770	765	27,206	27,206	26,936
2	15,643	469	773	16,885	44,091	43,488
3	15,817	475	780	17,072	61,163	60,058
4	15,994	480	788	17,262	78,424	76,647
5	16,173	485	796	17,454	95,878	93,253
6	16,354	491	804	17,649	113,527	109,879
7	27,365	821	812	28,998	142,525	136,926
8	16,724	502	820	18,046	160,571	153,591
9	16,912	507	828	18,248	178,819	170,276
10	17,104	513	837	18,453	197,272	186,982
11	17,297	519	845	18,661	215,933	203,708
12	17,494	525	853	18,872	234,805	220,456
13	17,693	531	862	19,085	253,890	237,226
14	29,503	885	871	31,259	285,149	264,419
15	18,099	543	879	19,521	304,670	281,234
16	18,306	549	888	19,743	324,413	298,071
17	18,516	555	897	19,969	344,382	314,932
18	18,729	562	906	20,197	364,579	331,817
19	18,945	568	915	20,429	385,008	348,727
20	19,164	575	924	20,663	405,671	365,662
21	31,832	955	933	33,721	439,392	393,024
22	19,612	588	943	21,143	460,535	410,010
23	19,840	595	952	21,387	481,922	427,022
24	20,072	602	962	21,636	503,558	444,062
25	20,307	609	971	21,887	525,445	461,129
26	20,545	616	981	22,143	547,588	478,224
27	20,787	624	991	22,402	569,989	495,348
28	34,376	1,031	1,001	36,408	606,397	522,903
29	21,281	638	1,011	22,931	629,328	540,085
30	21,534	646	1,021	23,201	652,529	557,299
총 계	607,688	18,231	26,610	652,529	652,529	557,299

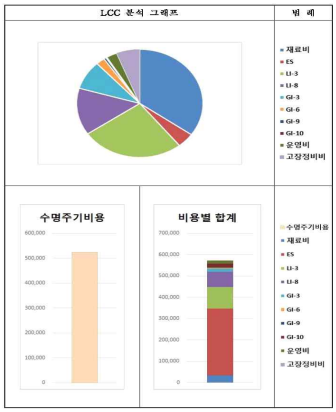
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
1. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	7	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		제어카드	
1. 제료비	천원	58,426	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	314,729	
4. LI-8	천원	100,320	
5. GI-3	천원	71,963	
6. GI-6	천원	14,731	
7. GI-9	천원	4,170	
8. GI-10	천원	2,005	
9. 운영비	천원	18,231	
10. 고장 정비비	천원	26,610	
수명주기비용	천원	557,299	



㉯ 전원카드

년수	유지관리비 (원화)			할인율 (1%)		
	전원카드					
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	21,171	635	428	22,233	22,233	22,013
2	15,643	469	432	16,544	38,777	38,231
3	15,817	475	436	16,728	55,505	54,467
4	15,994	480	440	16,914	72,419	70,721
5	16,173	485	445	17,103	89,522	86,994
6	16,354	491	449	17,294	106,815	103,285
7	22,588	678	454	23,720	130,535	125,409
8	16,724	502	458	17,684	148,219	141,740
9	16,912	507	463	17,883	166,102	158,091
10	17,104	513	468	18,084	184,186	174,462
11	17,297	519	472	18,288	202,474	190,854
12	17,494	525	477	18,495	220,970	207,268
13	17,693	531	482	18,705	239,675	223,703
14	24,381	731	487	25,599	265,274	245,974
15	18,099	543	491	19,133	284,407	262,454
16	18,306	549	496	19,351	303,759	278,957
17	18,516	555	501	19,573	323,332	295,484
18	18,729	562	506	19,797	343,129	312,035
19	18,945	568	511	20,025	363,154	328,611
20	19,164	575	516	20,256	383,409	345,211
21	26,341	790	522	27,653	411,063	367,650
22	19,612	588	527	20,727	431,790	384,302
23	19,840	595	532	20,967	452,757	400,980
24	20,072	602	537	21,211	473,968	417,685
25	20,307	609	543	21,459	495,427	434,418
26	20,545	616	548	21,710	517,137	451,179
27	20,787	624	554	21,964	539,101	467,969
28	28,489	855	559	29,903	569,004	490,601
29	21,281	638	565	22,485	591,489	507,449
30	21,534	646	571	22,750	614,239	524,328
총 계	581,912	17,457	14,871	614,239	614,239	524,328

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
1. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	7	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		전원카드	
1. 제료비	천원	32,650	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	314,729	
4. LI-8	천원	100,320	
5. GI-3	천원	71,963	
6. GI-6	천원	14,731	
7. GI-9	천원	4,170	
8. GI-10	천원	2,005	
9. 운영비	천원	17,457	
10. 고장 정비비	천원	14,871	
수명주기비용	천원	524,328	



㉰ 마더보드



년수	유지보수비용 (원화) 마더보드			할인율 (1%)		
	예방정비비	운영비	고장정비비	합계	누계	NPV
1	17,171	515	128	17,813	17,813	17,637
2	15,643	469	129	16,241	34,054	33,558
3	15,817	475	130	16,422	50,476	49,497
4	15,994	480	131	16,605	67,081	65,454
5	16,173	485	133	16,791	83,871	81,429
6	16,354	491	134	16,979	100,850	97,424
7	18,342	550	135	19,028	119,878	115,171
8	16,724	502	137	17,362	137,240	131,205
9	16,912	507	138	17,558	154,798	147,259
10	17,104	513	139	17,756	172,554	163,333
11	17,297	519	141	17,957	190,511	179,428
12	17,494	525	142	18,161	208,671	195,545
13	17,693	531	144	18,367	227,038	211,683
14	19,829	595	145	20,569	247,607	229,578
15	18,099	543	147	18,788	266,396	245,761
16	18,306	549	148	19,003	285,399	261,967
17	18,516	555	150	19,221	304,620	278,197
18	18,729	562	151	19,442	324,062	294,451
19	18,945	568	153	19,666	343,728	310,730
20	19,164	575	154	19,893	363,621	327,033
21	21,461	644	156	22,260	385,881	345,095
22	19,612	588	157	20,357	406,239	361,450
23	19,840	595	159	20,594	426,833	377,832
24	20,072	602	160	20,834	447,667	394,240
25	20,307	609	162	21,078	468,745	410,676
26	20,545	616	164	21,325	490,070	427,140
27	20,787	624	165	21,576	511,645	443,632
28	23,256	698	167	24,121	535,766	461,888
29	21,281	638	168	22,088	557,855	478,439
30	21,534	646	170	22,350	580,205	495,021
총 계	559,000	16,770	4,435	580,205	580,205	495,021

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개		
2. 내용연수	년	7	
3. 할인율	%	1	
II. 품명		마더보드	
1. 재료비	천원	9,738	
2. ES	천원	41,343	
3. LI-3	천원	314,729	
4. LI-8	천원	100,320	
5. GI-3	천원	71,963	
6. GI-6	천원	14,731	
7. GI-9	천원	4,170	
8. GI-10	천원	2,005	
9. 운영비	천원	16,770	
10. 고장 정비비	천원	4,435	
수명주기비용	천원	495,021	

⑥ LCC 분석에 따른 민감도 분석

㉮ 민감도 분석

본 연구에서 기준으로 사용된 분석변수와 비용산정 기준 등은 과거의 실적치와 모평균을 가지는 데이터를 바탕으로 미래를 예측하는 것이기 때문에 항상 불확실성의 문제가 내포되어 있다. 이러한 문제점들을 보완하기 위하여 예측치의 범위를 예상하고 그 범위 내에서 예측치를 변화시켜 가며 결과의 추이를 보고자 민감도 분석을 수행하는 것이다.

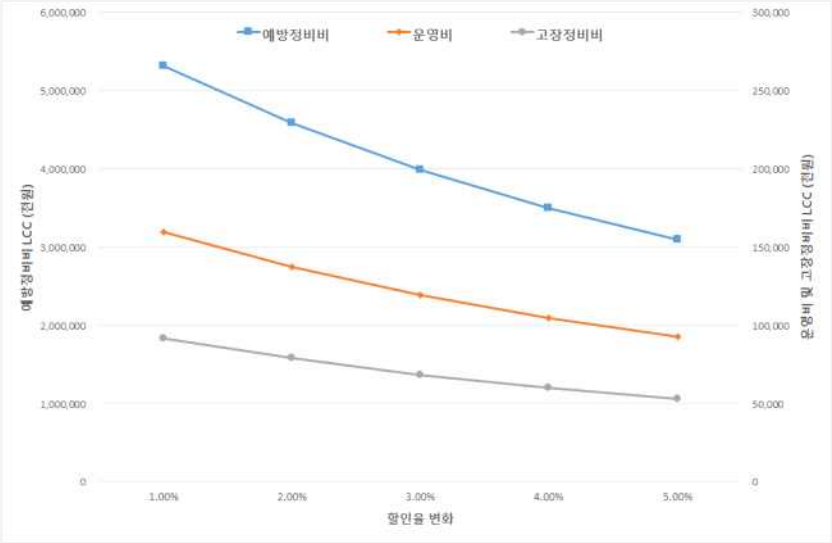
이러한 민감도 분석을 통하여 불가피하게 존재하는 불확실성을 인식하고 이 불확실성에 효과적으로 대응할 수 있는 방안을 생각함으로써 보다 합리적인 의사결정이 가능하며, 결과의 오류를 사전에 예방할 수 있다.

따라서 본 절에서는 할인율 변화에 따른 유지보수비용 수치의 변화와 개발품에 대해 기운영중인 주변환장치 및 종합제어장치의 고장률 정보를 대입하여 전체적인 변화량을 살펴보고자 한다.

㉯ 할인율 변화에 따른 비용별 수명주기비용

단위 : 천원

구 분 \ 할인율	1.00%	2.00%	3.00%	4.00%	5.00%
예방정비비	5,320,838	4,588,221	3,991,914	3,503,039	3,099,349
운 영 비	159,625	137,647	119,757	105,091	92,980
고장정비비	91,762	79,053	68,692	60,183	53,147
합 계	5,572,225	4,804,921	4,180,363	3,668,313	3,245,476



< 그림 2-298. 할인율 변화에 따른 비용별 수명주기비용(LCC) >

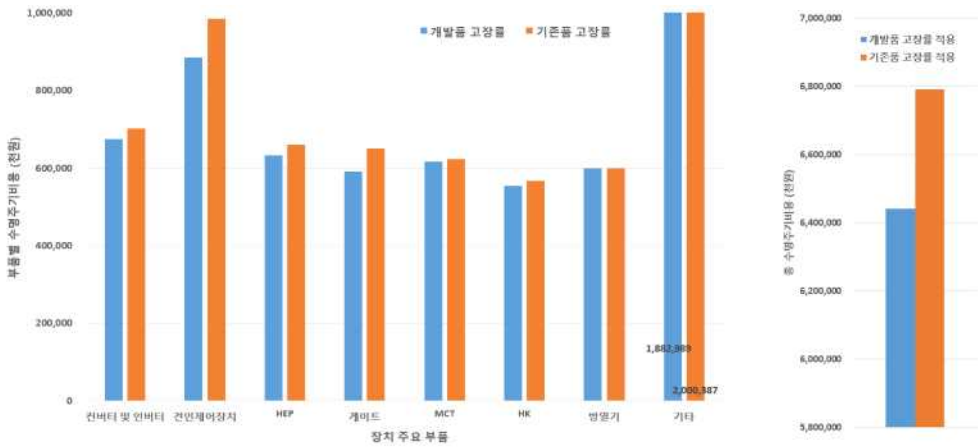
할인율의 변화에 따라 소유비용 대안들의 LCC도 큰 차이없이 비슷한 추세로 변화하는 것으로 나타났으며, 할인율의 변화에도 대안들의 LCC는 큰 변화가 없음을 확인했다.

㉮ 고장률 변화에 따른 수명주기비용

단위 : 천원

부품 / 구분	컨버터 및 인버터	견인 제어장치	HEP 인버터	게이트 전원장치
예방정비비	682,334	862,756	628,210	583,619
운 영 비	20,470	25,383	18,846	17,509

부품 / 구분	MCT	HK	방열기	기타
예방정비비	604,850	550,985	582,614	1,942,123
운 영 비	18,145	16,530	17,478	58,264



< 그림 2-299. 기존품 및 개발품 고장률에 따른 LCC 비교 >

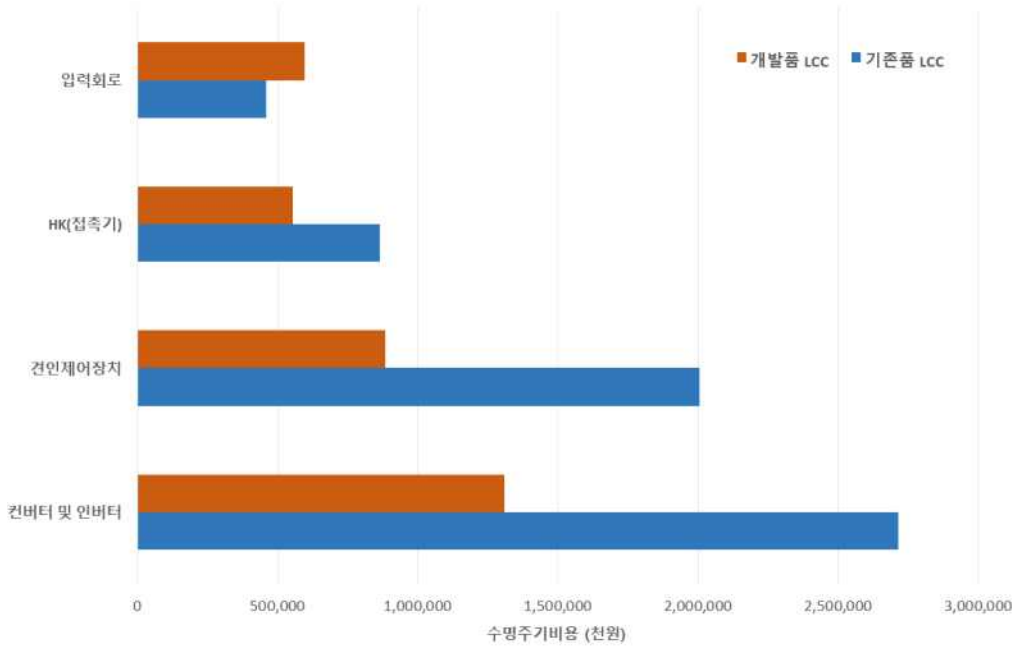
기존품과 개발품의 LCC 분석에 있어 가장 큰 차이점이 고장률에 대한 데이터이므로 고장률 값을 변화함에 따라 수명주기비용 변동에 큰 영향을 미치게 된다. 기존품에 대한 고장률은 현재 운행중인 차량에 대한 고장발생 현황을 분석하여 적용하였으므로 고장률이 가질 수 있는 최대값으로 볼 수 있으며, 개발품에 대한 고장률의 경우 각 부품별 정상상태 고장률의 최저 모평균을 적용하여 계산하기 때문에 최저값으로 볼 수 있다. 따라서 두 수명주기비용 사이의 값 내에 총 수명주기비용이 존재하는 것으로 판단이 가능하다.

비교 시 PBS의 일부 차이를 반영하여 기존품에 없던 부품의 경우 기타로 분류하여 평균 고장률 값을 적용, 비교 분석을 실시하였다.

(라) 기존품 및 개발품 LCC 비교 분석(3차년도)

① 기존품 및 개발품의 LCC 비교분석

기존품과 개발품의 LCC 비교에 있어서 PBS 상 상이한 부분이 있으므로 주요부품 간, 전체 수명주기비용 간의 비교 분석을 실시하였다. 비교 분석의 대상은 PBS 단위에서 일치하는 Level-2 단위의 주요부품을 기준으로 하였으며, 각 부품별 비용 차이를 확인하였다.



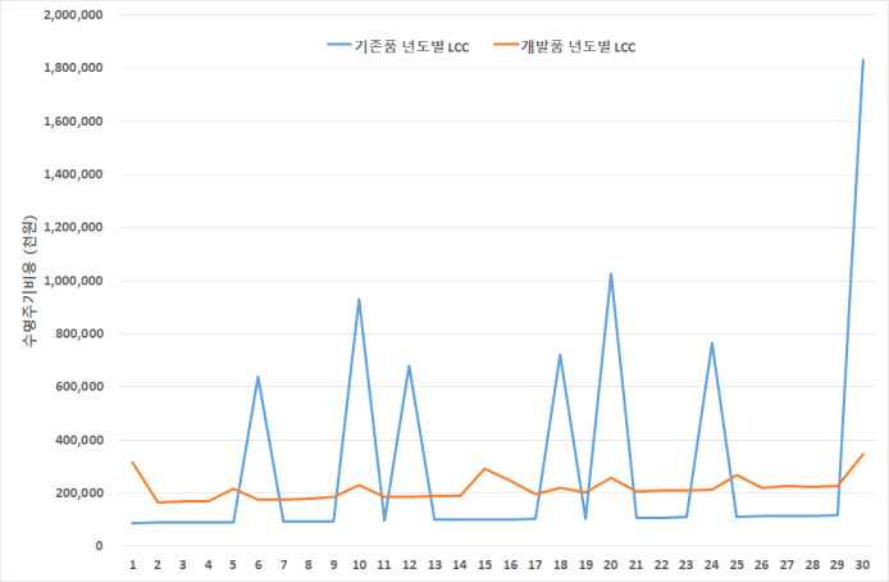
< 그림 2-300. 주요부품 수명주기비용 비교 분석 결과 >

비교 결과 전체적으로 비용이 대폭 감소하였으며, 특히 컨버터와 인버터, 견인제어장치 부분에서는 절반 이상의 비용 절감을 확인하였다.

이는 부품 단종으로 인한 보수품 가격 상승과 수입 의존도가 상당히 높은 기존 부품과는 달리 개발품의 경우 국내 개발의 최신 소자 사용으로 인한 부품 단가 절감과 용이한 보수품 확보, 개발품의 신뢰성 증가에 따른 평균 교체 주기의 증가 등이 주 요인으로 분석되었다.

접촉기 역시 기존품 대비 개발품의 수명주기비용이 절감되었음을 확인하였다. 반면,

입력회로의 경우 개발품 수명주기비용이 더 높게 분석되었는데 이는 개발품에 포함되어 있는 부품 수가 더 많았기 때문이다.



< 그림 2-301. 년도별 수명주기비용 분석 결과 >

년도별 수명주기비용에서는 전체적으로 개발품의 수명주기비용이 낮았으나 도입 비용으로 인한 초기 비용 상승과 부품 교체로 인한 일부 구간에서는 기존품보다 비용이 높았다.

기존품의 경우 앞서 언급하였듯이 부품 교체로 인한 급격한 비용 상승 구간이 있으며, 30년의 경우 주요부품의 교체 시기가 중복되며 다른 년도보다 더욱 급격히 증가하는 그래프를 보이고 있다.



< 그림 2-302. 기존품 및 개발품 수명주기비용 누적 그래프 >

그림 2-302는 기존품 및 개발품의 수명주기비용에 대한 누적 비용을 나타낸 것이다.

기존품은 재료비의 규모가 크기 때문에 구간별로 상승하는 그래프를 나타내고 있는데 개발품의 경우 재료비의 절감이 많이 이루어져 기존품 대비 완만한 그래프를 보이고 있다.

기관차 내구연한으로 설정한 30년 간 운행 시 개발품이 기존품보다 약 34%의 비용을 절감할 수 있으며, 금액으로는 약 18억 가량의 재료비 및 유지보수 비용 절감이 가능하다. 비용 절감의 가장 큰 핵심은 부품 구입비용이며, 교체 주기의 증가 역시 주요 원인 중 하나였다.

② 기존품 및 개발품의 주요부품의 고장률 비교분석

수명주기비용 분석에 있어 선행되어야 하는 작업 중 하나가 바로 고장률 분석으로 그 이유는 고장률을 기반으로 부품의 평균수명을 산출하고 이를 바탕으로 교체 주기를 산정하기 때문이다.

앞서 고장률 변화에 따른 민감도 분석과 동일하게 PBS 상 일치하는 주요부품을 중심으로 고장률을 비교했으며, 단위레벨은 Level-2를 기준으로 실시하였다.

< 표 2-91. 주변환장치 개발품 및 기존품 고장률 비교 >

구분	개발품 고장률	기존품 고장률
컨버터 및 인버터	6.7928E-07	1.14155E-05
견인제어장치	1.2767E-04	1.90259E-05
HEP 인버터	6.7928E-07	1.14155E-05
게이트 전원장치	7.1493E-07	1.14155E-05
MCT	7.1640E-07	1.63079E-05
HK	1.2690E-06	1.90259E-05
방열기	4.0996E-07	7.61035E-06

고장률을 비교하여 본 결과 견인제어장치를 제외한 모든 부품에서 개발품이 기존품보다 낮은 고장률을 나타내었다.

견인제어장치의 경우 개발품의 부품 수가 많아 상대적으로 높은 고장률을 나타내었는데 견인제어장치의 내부 부품 구성이 직렬로 구성되어 있기 때문이다.

보통 부품의 구성에 따라 직렬구조와 병렬구조로 나뉘어지는데 직렬구조의 경우 가장 상위 단계에서 고장률을 계산할 때에는 각 부품별 고장률의 합으로 표현하게 된다.

따라서 최상위 단계에서는 전체 고장률을 합하기 때문에 상대적으로 고장률 값이 높게 나타나게 된다.

(마) LCC 절감 방안

① 기존품 유지관리비 분석

그림 2-302는 기존품 LCC 항목 중 비중을 크게 차지하는 운영비, 고장정비비, 예방정비비에 대하여 분석하였다. 분석 결과 유지관리비 중에 예방정비비가 81.3%로 가장 높은 비중을 차지하였으며 고장정비비 16.3% 운영비 2.4%의 비중을 차지하였다. 따라서 전체 수명주기비용 절감을 위해서는 절대적으로 예방정비비가 핵심이며 비용 절감을 위해서는 부품의 스트레스와 노후화를 고려한 매뉴얼 및 정비 체계가 필요하다.



< 그림 2-302. 기존품 유지관리비 분석 >

유지관리비 측면에서 부품별 비중을 살펴보면, GTO 모듈이 가장 높은 비중을 차지하였으며 견인제어장치, 주변환접촉기, 과전압보호장치 순의 비중을 확인하였다. 따라서 전체적인 수명주기비용을 절감하기 위해서는 GTO모듈과 견인제어장치에 대한 비용 절감이 선행적으로 이루어질 필요가 있다.

② 개발품 유지관리비 분석

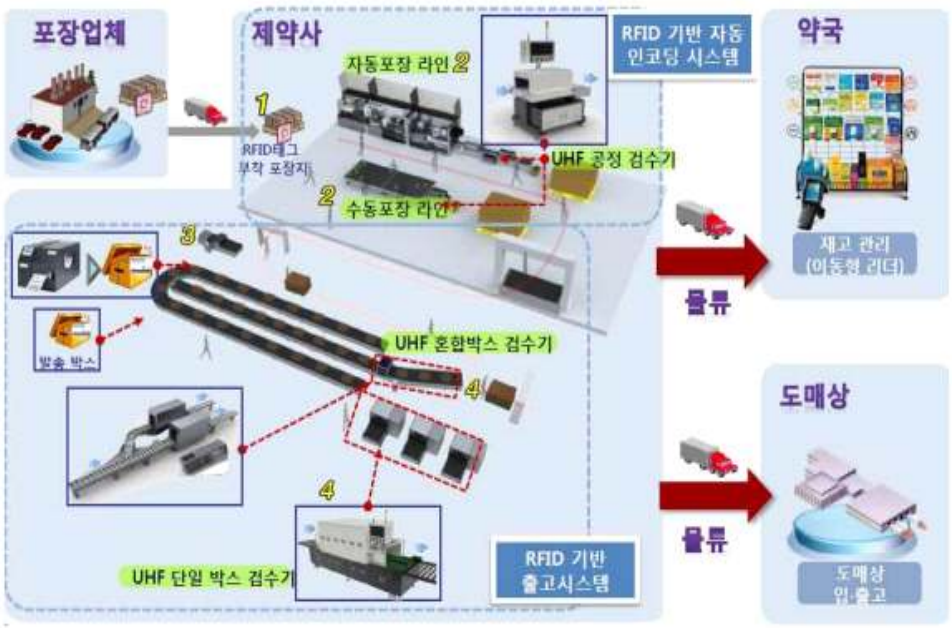
그림 2-303은 주변환장치 개발품에 대한 유지보수비용을 나타낸다. 분석결과 예방정비비 93%로 비중이 가장 높고 고장정비비 4% 운영비 3%의 비중을 차지하였다. 개발품의 경우 예방정비비가 고장정비비와 운영비보다 상당히 높은 것을 확인하였다. 이는 기존품 대비 개발품이 성능이 상승하였고 부품의 효율이 향상된 것으로 판단된다. 따라서 제품 개발 시, 신뢰성 지표를 향상시켜 고장정비비를 비롯한 예방정비비가 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.



< 그림 2-303. 개발품 유지관리비 분석 >

③ RFID 시스템 구축을 통한 비용 절감

LCC 분석 결과를 살펴보면 교체 부품 구매에 따른 재료비에 소요되는 비용이 상당히 큰 것을 알 수 있다. 부품의 고장에 따라 교체가 이루어질 수도 있으나, 예방정비 비용인 부품의 평균수명(내구연한) 도래에 따른 교체 역시 발생할 수 있다. 따라서 보수품 구매에 따라 고정적인 지출이 발생할 수밖에 없는 구조를 가지게 된다. 이러한 비용지출을 절감하기 위해서 RFID 기반의 부품 추적관리가 이루어지게 된다면 효율적인 재고관리가 가능해져 비용 절감에 도움이 된다.



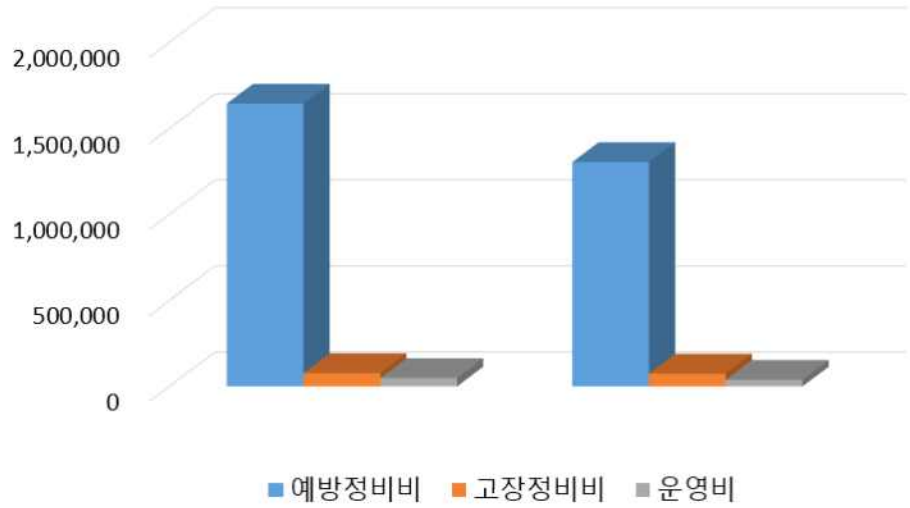
< 그림 2-304. RFID를 적용한 의약품 관리운영 프로세스 일례 >

RFID는 여러 개의 제품을 동시에 자동으로 인식할 수 있어 실시간으로 제품의 재고 및 출고기록 등을 확인할 수 있다. 따라서 교체 부품 사용 이력에 대한 기록을 바탕으로 실시간 부품 재고관리가 가능해져 불필요한 부품 구매를 방지할 수 있고 이는 운영비용 절감으로 연결된다.

실제 국내 제약사 중에서는 생산 및 물류 프로세스에 RFID를 도입하여 적정 재고관리를 통해 매출 대비 2% 수준인 106억 원의 비용 절감 효과를 보고 있다. 또한, 재고량 확인을 위해 기존에는 개개의 제품 체크를 하여 오랜 시간이 소요되었으나, 같은 업무량을 RFID 리더를 이용하여 단시간에 마침으로 업무효율 향상의 효과도 볼 수 있다.

④ CBM(Condition based Maintenance) 기반 유지보수 정비 전환

분석 결과 부품에 대한 평균수명은 기존품 대비 개발품이 향상된 것을 확인할 수 있다. 이는 부품의 성능 향상으로 인한 신뢰성 지표(신뢰도) 증가가 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서 전체적인 유지보수 비용을 절감하기 위해서는 기존품을 기준으로 산정된 정비 주기를 신뢰도가 향상된 개발품에 맞춰 재산정할 필요가 있다. 그림 2-305는 기존품 정비 주기를 적용했을 경우와 평균수명 30% 향상된 만큼 정비 주기를 증가시켰을 때 수명주기비용을 나타낸 것으로 비용이 감소함을 보여준다.



< 그림 2-305. 정비 주기 변경에 따른 개발품 유지관리비 >

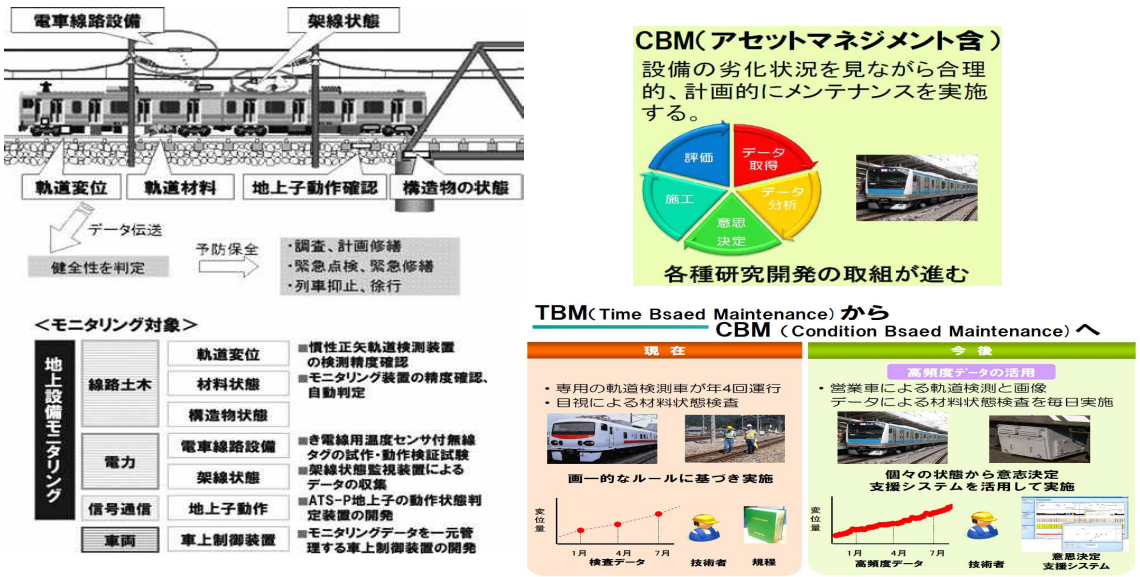
개발품에 맞춰 정비 주기를 변경하게 되면 유지관리비가 감소하게 되며, 세부적으로 살펴보면 예방정비비가 운영비와 고장정비비가 상대적으로 많이 감소하여 전체적으로 비용 절감이 가능하다. 따라서 하기의 일례와 같이 기존 유지보수를 시간 기준 보전(TBM)에서 상태 기준 보전(CBM)으로 유지보수를 전환함으로써 비용 절감(LCC)을 구현할 수 있다.

타 산업 분야에서는 정비 주기 매뉴얼을 탈피하여 지속적인 제품 상태 진단을 통해 그 결과를 근거로 신뢰성을 판단하여 유지보수를 함으로써 LCC 비용 절감을 꾀하고 있다. 기존의 TBM은 일정 주기로 검사 및 유지보수 작업을 시행해야 하는데 보전 계획을 쉽게 세울 수 있다는 장점이 있다. 그러나 단점으로는 돌발적인 문제 나 사고에 대응하지 못하고, 최악의 경우 한도 값을 초과할 위험이 있다. 표 3-50에 상태 기준 보전 (CBM) 과 시간 기준 보전 (TBM) 비교를 나타낸다.

< 표 2-92. TBM과 CBM 장/단점 비교 >

상황	보전방식	개요	장점	단점
미래	상태 기준 보전 (CBM) Condition Based Maintenance	상태를 지속해서 파악하고 보전 작업을 시행	① 고장의 전조 파악이 가능 ② 인력에 의한 정기검사가 불필요(감축)	① 검측 장비의 신설 추가 ② 방대한 데이터의 판정이 필요(IT화 용이)
현재	시간 기준 보전 (TBM) Time Based Maintenance	일정 주기로 검사 및 유지보수 작업을 시행	① 보전 계획의 수립이 용이	① 돌발적인 고장에 대한 대응이 어려움 ② 안전성을 중시할수록 수명 연한 대비 교체, 기간 짧은 검사 필요(비용 증가)

그림 2-306는 철도 분야에 적용 중인 일본 사례를 보여준다. 일본은 기존 시간 기준 유지보수(TBM)에서 상태 기준 유지보수(CBM)로 확대 적용 중이다.



< 그림 2-306. CBM 기반 유지보수 사례(일본, JR) >

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

가. 1차년도

연구목표	연구내용	달성율
○ 주변환장치 보완 설계	■ 1단계 성과물의 주변환장치 보완사항도출 및 보완설계 ■ 실용화 향상을 위한 부품 호환성 검토	100%
○ 주변환장치 구성품 제작	■ 주요 구성품 제작	100%
○ 종합제어장치 자료 조사	■ 기존 자료 분석 및 구현 ■ MVB 통신 알고리즘 분석	100%
○ 종합제어장치(CCU) 상세설계 및 제작	■ 종합제어장치(CCU) 회로 및 구조 설계 ■ 종합제어장치(CCU) 보드 제작	100%
○ MVB 통신 분석 장치 개발	■ MVB 통신 특성 분석 및 유사 제품 등의 자료 조사 ■ 실시간 MVB 신호 채취가 가능한 Portable Type 장치 및 통신 분석 전용 소프트웨어 개발 ■ 장치 분석 및 운용 매뉴얼 작성	100%
○ CCU 및 TCU MVB 통신 Card 개발	■ 전기도면 및 정비지침서 분석을 통한 개발 항목 기능 분석, 정리 및 현차 시험을 통한 신호 분석 ■ 내부 프로토콜, I/F 정의 및 MVB 통신 Card 회로도 설계 ■ 현차시험을 통한 MVB 통신 프로토콜 채취 및 분석	100%
○ CCU용 MMI 개발	■ 기능 및 자료분석 및 프로토콜 분석	100%
○ 하부장치의 MVB 통신 Card 개발	■ 전기도면 및 정비지침서 분석을 통한 개발 항목 기능 분석, 정리 및 현차 시험을 통한 신호 분석 ■ 내부 프로토콜, I/F 정의 및 MVB 통신 Card 회로도 설계 ■ 현차시험을 통한 MVB 통신 프로토콜 채취 및 분석	100%
○ 기존품 LCC 분석	■ LCC 분석을 위한 수명주기비용 분석기법 등 자료 수집 ■ 기존 주요부품의 고장이력 분석, PBS 제시, 비용분류 구조(CBS) 작성 및 기존품 LCC 분석	100%
○ 신뢰성 분석	■ 유사 시스템의 요구사항, RAMS 결과 분석을 통한 RAMS 목표값 설정 ■ BOM, PBS 작성 및 각 항목별 신뢰도 예측	100%
○ SW 확인 및 검증	■ 기술기준에 부합하는 소프트웨어 개발 절차 수립 ■ SW 생명주기에 따른 절차, 활동, 책임 및 산출물 정의	100%
○ 요구사항 및 인터페이스 검토	■ 기존 장치 조사, 고장 분석 및 기술자료 검토 ■ 전기기관차용 국내외 규격/해석 등 관련자료(문헌)조사	100%

나. 2차년도

연구목표	연구내용	달성율
○ 주변환장치 제작 및 공장시험	■ 주변환장치 보완 제작 (2세트) ■ 주변환장치 구성품 시험 절차서 작성 및 시험 ■ 주변환장치 조합시험 절차서 작성 및 LAYOUT 구성	100%
○ 종합제어장치(CCU) 상세설계 및 제작	■ 종합제어장치(CCU) 상세 설계 및 제작	100%
○ 종합제어장치(CCU) 프로토콜 분석 및 시험	■ MVB 통신 데이터 분석 및 소프트웨어 설계 ■ 종합제어장치(CCU) 구성품 시험 절차서 작성 및 시험 ■ 종합제어장치(CCU) 통신 인터페이스 시험절차서 작성	100%
○ CCU/TCU MVB Card 개발, 시험기 회로도 설계	■ TCU/CCU MVB Card 회로도 수정보완 및 시제품 개발 ■ TCU/CCU 제어기와의 통신 소프트웨어 개발 ■ TCU/CCU MVB 통신 Card 검증을 위한 시험기 회로 설계	100%
○ CCU용 MMI(화면표시기) 개발 및 시험기 회로도 설계	■ CCU용 MMI Display(화면표시기)용 보드 제작 ■ 화면표시기 기구 제작 및 자체 검증 시험, 현차적용시험 ■ MVB 프로토콜 검증을 위한 시험기 회로 설계	100%
○ 하부 장치 MVB Card 개발, 시험기 회로도 설계	■ SIBASKLIP, MFA, IBP, K-Micro용 MVB Card 개발 ■ 하부장치의 검증을 위한 각각의 시험기 개발	100%
○ 전기기관차 전용 MVB 프로토콜 생성기 회로 /기구설계	■ MVB 통신 프로토콜 분석 / 프로토콜 생성기 기능 정의 ■ MVB 프로토콜 생성기 회로 및 기구 설계 및 전용 SW 기능 정의	100%
○ 개발품 LCC 분석	■ 주변환장치 및 종합제어장치 개발품의 LCC 예측 · 비용평가 모델 및 관계 개발, LCC profile 개발 · 주변환장치 및 종합제어장치 개발품 PBS 도출 · 민감도 분석 및 최적 가치 대안 선택	100%
○ RAMS 보고서 작성	■ 전반적인 RAMS 수행 활동 및 결과에 대한 보고서 작성 · 시스템, 부품별 고장 정의 및 Fault Tree Analysis 수행 · PBS자료를 바탕으로 RBD구성, PMA/CMA 작성 · 고장 유형, 원인 분류, 고장 영향 및 조치에 대해 평가	100%
○ SW 생명주기 별 활동 수행	■ SW 생명주기에 따른 계획, 요구분석, 설계, 구현, 시험 활동에 따른 산출물 작성	100%
○ 차량 인터페이스 검토 및 성능 시험 지원	■ 차량 운행 시나리오 분석을 통한 차량 인터페이스 검토 ■ 구성품 시험 및 조합 시험 절차서 검토 및 기술 지원 ■ 현차 시험 방안 검토	100%

다. 3차년도

연구목표	연구내용	달성율
○ 추진제어용 주변환장치 외부인증시험, 조합시험 및 현차적용시험	■ 철도차량 기술기준 Part 46에 의거한 외부인증기관 시험, 조합시험 ■ 주변환장치 현차 탑재 및 주변장치와의 인터페이스 확인 및 신뢰성 확보를 위한 현차 적용 시험 (60,000km 이상)	100%
○ 종합제어장치(CCU) 외부인증시험, 인터페이스 시험 및 현차적용시험	■ 철도차량 기술기준 Part 46에 의거한 외부인증기관 시험 ■ MVB 통신 데이터 분석 및 소프트웨어 설계 ■ 종합제어장치(CCU) 인터페이스 시험 ■ 주변장치와의 인터페이스 확인 및 신뢰성 확보를 위한 현차 적용 시험 (60,000km 이상)	100%
○ 하부장치 MVB 통신 Card 개발, 검증용 시험기 개발	■ 하부장치 MVB 통신 Card 개발 ■ MVB 통신 Card 검증용 시험기 개발 및 조합시험	100%
○ TCU/CCU MVB 통신 Card 개발, 검증용 시험기 개발	■ TCU/CCU MVB 통신 Card 개발 ■ MVB 통신 Card 검증용 시험기 개발 및 조합시험	100%
○ 전기기관차 전용 MVB 프로토콜 생성기 개발	■ MVB 통신 프로토콜 생성기 회로 및 기구 개발	100%
○ CCU용 MMI(화면표시기) 조합시험, 현차시험, 본선시운전	■ 전용 소프트웨어 개발 및 MVB 통신 Card의 제어, 통신 검증을 위한 공장시험 및 조합시험 ■ 현차시험(정적, 동적)을 통한 제어 및 통신 성능 검증 ■ 본선시운전을 통한 호환성 시험	100%
○ 변경사항에 대한 RAMS 분석 / SW 확인 및 검증	■ Safety Analysis, 변경 사항에 대한 RAM 분석결과 수정 ■ 최종 보고서 작성 및 개발된 SW에 대한 확인/검증	100%
○ LCC 향상 방안 도출	■ 기존품 및 개발품의 LCC 비교 분석 ■ 개발품 주요부품의 고장율 분석 ■ LCC 절감을 위한 요소항목 제시 및 유지보수비용 절감을 위한 방안 제시	100%
○ 현차 적용 지원 및 시험 지원	■ 완성차시험 및 본선 시운전 시험 절차서 검토 및 기술 지원 ■ 현차 적용, 본선 시운전시 차량과의 인터페이스 항목 검토	100%

3-2. 목표 달성여부

가. 1차년도 성과지표 달성도

	과제명		성과목표		성과지표	검증방법		
						측정 방법	달성율 (%)	가중치 (%)
성과질적목표점검	1	전기기관차용 주변환장치 및 종합제어장치 개발	1-1	주변환장치 보완 설계	보완 도면 및 보완 설계서	보고서	100	7.5
				주변환장치 구성품 제작	주요 구성품 보완 제작	시제품	100	5
			1-2	CCU 자료 조사	MVB 통신 관련 자료 조사	보고서	100	7.5
				CCU 상세 설계	제어보드 및 전원 보드 회로 설계	보고서	100	5
				CCU 보드 제작	CCU 보드 및 RACK 제작	시제품	100	5
	2	전기기관차 MVB 통신 CARD 및 화면표시기 기술개발	2-1	MVB 통신 분석 장치 개발	Portable MVB 분석장치 개발	시제품	100	7.5
					전용 소프트웨어 및 Firmware 개발	시제품	100	7.5
			2-2	CCU/TCU MVB 통신 Card 개발	기능 및 자료 분석 및 정리	보고서	100	5
					내부프로토콜 및 Interface 정의	분석서	100	5
			2-3	CCU용 MMI 개발	기능 및 자료분석 및 프로토콜 분석	보고서	100	5
			2-4	하부장치의 MVB 통신 Card 개발	기능 및 자료분석 및 프로토콜 분석	설계도	100	5
	3	주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석	3-1	기존품 LCC 분석	기존품 LCC 분석	보고서	100	5
	4	주변환장치 및 종합제어장치 RAMS 분석	4-1	신뢰성 분석	자료조사 및 검토	보고서	100	5
					시스템 개념수립	보고서	100	5
					RAMS 목표수립 및 RAMS Plan 작성	보고서	100	5
					PBS 작성 및 예측	보고서	100	5
			4-2	SW 확인 및 검증	SW 개발 프로세스 수립	보고서	100	5
	5	요구사항 도출 및 현차시험지원	5-1	요구사항 및 인터페이스 검토	요구사항 도출 및 차량 인터페이스 분석 검토	기술 검토서	100	5
	종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 ×가중치)							**100**

		목표	목표건수	달성건수	증빙	달성율(%)	가중치 (%)
양적지표점검	사업연계지표	보고서	10	15	성과보고서	100	30
		특허등록/출원	1	1	등록/출원	100	30
		논문(게재/발표)	1	3	논문	100	20
		S/W 등록 건수	-	-	등록	100	20
	종합점수 = Σ (성과별 달성율 ×가중치)						**100**

나. 2차년도 성과지표 달성도

	과제명		성과목표		성과지표	검증방법		
						측정 방법	달성율 (%)	가중치 (%)
성과질적목표점검	1	전기기관차용 주변환장치 및 종합제어장치 개발	1-1	주변환장치 제작 및 공장시험	주변환장치 조립체 제작	시제품	100	5
					추진제어장치 구성품 시험	시험 결과서	100	5
					추진제어장치 조합 시험	시험 결과서	100	5
			1-2	CCU 상세 설계 및 제작	CCU 상세설계	시제품	100	2.5
					CCU 제작	시제품	100	5
			1-3	CCU 프로토콜 분석 및 시험	CCU 통신 프로토콜 분석	보고서	100	5
					CCU 구성품시험	시험 결과서	100	5
	2	전기기관차 MVB 통신 CARD 및 화면표시기 기술개발	2-1	CCU 및 TCU MVB 통신 Card 개발	전자회로 설계	설계도	100	2.5
					설계보완	보고서	100	2.5
					시제품 개발	시제품	100	5
					전용 소프트웨어 및 Firmware 개발	시제품	100	5
			2-2	CCU용 MMI 개발	기능 확인 및 전자/기구 설계	설계도	100	2.5
					설계보완	보고서	100	2.5
					시제품 개발	시제품	100	5
					전용 소프트웨어 및 Firmware 개발	시제품	100	5
			2-3	하부장치의 MVB 통신 Card 개발	전자회로 설계	설계도	100	2.5
					설계보완	보고서	100	2.5
					시제품 개발	시제품	100	5
					전용 소프트웨어 및 Firmware 개발	시제품	100	5
	3	주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석	3-1	개발품 LCC 분석	개발품 LCC 분석	보고서	100	5
	4	주변환장치 및 종합제어장치 RAMS 분석	4-1	신뢰성 분석	고장해석 및 FTA 작성	보고서	100	2.5
					Maintenance Analysis	보고서	100	2.5
					FMEA	보고서	100	2.5
					RAMS 보고서	보고서	100	2.5
			4-2	SW 확인 및 검증	SW 생명주기 별 활동 수행	보고서	100	2.5
	5	요구사항 도출 및 현차시험지원	5-1	인터페이스 및 성능 시험 지원	차량 인터페이스 검토 및 성능 확인 시험 기술 지원	기술 검토서	100	5
	종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 ×가중치)							100

		목표	목표건수	달성건수	증빙	달성율 (%)	가중치 (%)
양적지표점검	사업연계지표	보고서	15	29	성과보고서	100	30
		특허등록/출원	1	1	등록/출원	100	30
		논문(게재/발표)	3	6	논문	100	20
		S/W 등록 건수	3	3	등록	100	20
	종합점수 = Σ (성과별 달성율 ×가중치)						100

다. 3차년도 성과지표 달성도

	과제명		성과목표		성과지표	검증방법		
						측정 방법	달성율 (%)	가중치 (%)
성과질적목표점검	1	전기기관차용 주변환장치 및 종합제어장치 개발	1-1	주변환장치 외부인증시험, 조합시험 및 현차적용시험	외부인증시험	성적서	100	5
					조합시험	시험 결과서	100	5
					현차적용시험	시험 결과서	100	5
					시운전시험 시험	시험 결과서	100	5
			1-2	CCU 외부 인증시험, 인터페이스 시험 및 현차적용시험	외부인증시험	성적서	100	5
					MVB 통신 분석 및 소프트웨어 설계	분석서 시제품	100	5
					인터페이스시험	시험 결과서	100	5
					시뮬레이터 제작	시제품	100	5
					현차적용시험	시험 결과서	100	5
	2	전기기관차 MVB 통신 CARD 및 화면표시기 기술개발	2-1	하부장치의 MVB 통신 시험기 개발	전자/기구 설계 및 보완	설계도	100	5
					시제품 개발	시제품	100	5
					SW 및 F/W개발	시제품	100	2.5
			2-2	전용 MVB 프로토콜 생성기 개발	전자/기구 설계 및 보완	설계도	100	2.5
					시제품 개발	시제품	100	5
					SW 및 F/W개발	시제품	100	5
			2-3	CCU, TCU 및 MMI MVB 통신 시험기 개발	전자/기구 설계 및 보완	설계도	100	2.5
					시제품 개발	시제품	100	5
					SW 및 F/W개발	시제품	100	5
			2-4	조합시험/ 현차적용시험/ 본선시운전	조합시험	보고서	100	2.5
					인증시험	성적서	100	5
					현차적용시험	보고서	100	5
					본선시운전	보고서	100	5
	3	주변환장치 및 종합제어장치 LCC 분석	3-1	LCC 향상 방안 도출	LCC 향상 방안 도출	보고서	100	5
	4	주변환장치 및 종합제어장치 RAMS 분석	4-1	신뢰성 분석	Safety Analysis	보고서	100	5
					변경사항에 대한 분석 조정	보고서	100	5
					최종보고서 작성	보고서	100	5
			4-2	SW 확인 및 검증	개발된 SW에 대한 확인 및 검증	보고서	100	5
	5	요구사항 도출 및 현차시험지원	5-1	현차 시험 지원	현차적용시험 절차기술지원 및 현차시험지원	기술 검토서	100	5
	종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 ×가중치)							**100**

		목표	목표건수	달성건수	증빙	달성율(%)	가중치 (%)
양적지표점검	사업연계지표	보고서	19	32	성과보고서	100	30
		특허등록/출원	2	3	등록/출원	100	30
		논문(게재/발표)	4	6	논문	100	20
		S/W 등록 건수	2	2	등록	100	20
	종합점수 = Σ (성과별 달성율 ×가중치)						**100**

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

본 과제의 최종 연구개발 성과물은 전기기관차(8200호대)용 주변환장치 및 종합제어장치를 기존차량과 호환성을 갖는 시제품을 제작하여 성능시험, 현차탑재시험을 통해 국산화 개발하는 것이 목표이다.

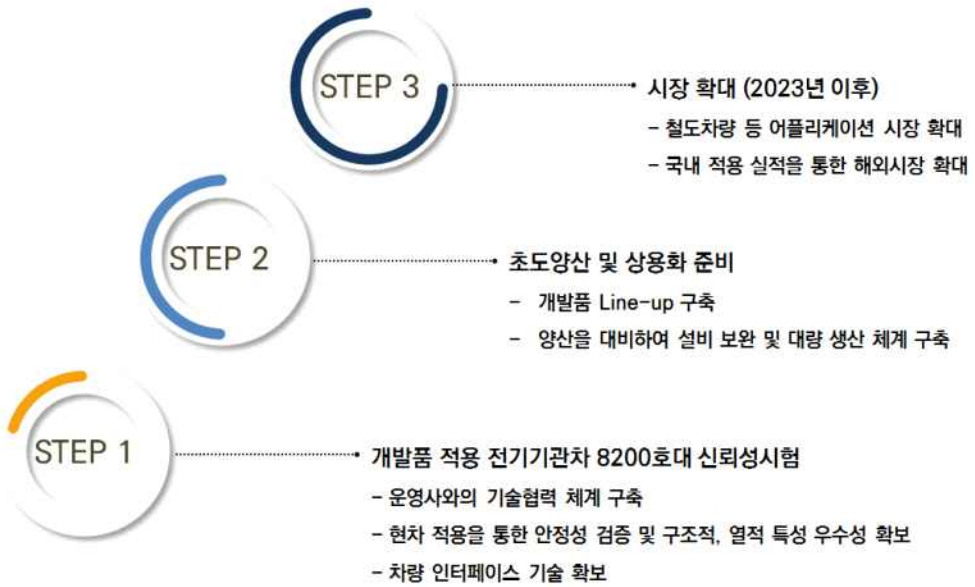
주변환장치는 전기기관차 차량에서 가장 핵심적인 전장품으로 차량의 운행에 연관되어 있으며, 차량 전체의 성능을 구분 지을 수 있는 장치이고, 이러한 주변환장치의 설계, 제작의 기술을 보유한다는 것은 차량 시스템 전체를 제어 할 수 있는 기술력을 의미한다.

8200호대 전기기관차 시스템은 주변환장치, 종합제어장치 및 하부장치 간 MVB 네트워크로 구성되어 있으며, 기존 제작사의 차량 네트워크 프로토콜이 공개되지 않았고, 관련 기술 문서도 전무한 상태이기 때문에 기존 MVB 프로토콜을 분석하는데 많은 시간이 소요되었다.

현재 개발품을 현차탑재하여 정적시험 및 구내시운전을 수행하여 일부 현차검증이 이루어진 상태이며, 전기기관차 8200호대 주변환장치 및 종합제어장치의 실용화를 위해 운영사와 본선시운전시험 및 실용화를 위한 제반활동에 대한 기술협력 양해각서(MOU)를 체결하기 위해 추진중이다.

추후 철도차량 개조신고 절차에 따라 철도차량 검사기관의 운행승인을 득하여 본선시운전 시험을 수행할 예정이며, 기존 연구목표인 60,000km 이상 현차적용시험을 달성하여 현차검증을 통해 국산화 개발 연구 및 실용화를 수행할 예정이다.

또한 단계별 실용화 추진전략을 수립하여 국내 적용 뿐만 아니라 국내외 전시회(BEXCO 부산 국제 철도 기술 산업전, 독일 베를린 철도 전시회 InnoTrans 등)를 통해 제품 홍보 및 해외시장 마케팅 활동을 활발히 수행하여 미국 Washington DC, LA METRO, 필리핀 마닐라 등 지속적인 제안 활동을 통해 아시아시장 및 북미시장 진출을 도모할 예정이다.



< 그림 3-1. 단계별 실용화 전략 >

4. 연구개발성과의 활용계획 등

가. 기술적 활용 계획

○ 전력변환장치는 철도차량에서 가장 핵심적인 전장품으로 차량의 운행에 연관되어 있으며, 차량 전체의 성능을 구분 지을 수 있는 장치이고, 이러한 전력변환장치의 설계, 제작의 기술을 보유한다는 것은 차량 시스템 전체를 제어 할 수 있는 기술력을 의미한다.

○ 철도차량의 유도전동기 구동용 전력변환장치에 대한 설계 및 제작기술의 확보는 전력을 제어하는 모든 산업의 기초적 기술을 제공함으로써, 태양광 및 풍력등의 에너지 생산 산업뿐 아니라, 철도 차량용 변전소를 포함한 일반 산업용 변전소등에 에너지 저장장치의 설치 등 에너지 관련 산업의 기술적 토대가 될 수 있다.

○ 주변환장치 및 종합제어장치 전력스택의 고장은 장치의 구조적인 취약성과 용량의 한계에서 오는 문제점으로 장치가 성공적으로 개발 완료되면 현재 발생되는 문제를 해결할 수 있으며, 원천제작사의 기술종속에 대응하고, 현재의 유지보수 체계를 합리적으로 개선할 수 있다.

○ 전기기관차의 전력변환장치의 기술개발을 통하여 얻은 전력변환기술을 바탕으로 동력집중식 및 동력 분산식 등의 고속화 철도의 추진 제어장치에의 활용이 가능하다.

○ 전기기관차(8200호대)의 제어기는 지멘스 제품으로 철도차량 제어시스템 분야에 있어서 전문기업이다. 이러한 제품의 프로토콜을 분석하여 국산화 개발 할 경우, 열차제어 및 전장품의 기능에 대한 높은 신뢰성을 가지게 되며, 자체적인 철도차량 운영기술력을 확보할 수 있는 계기가 될 것이다. 이와 동시에 국내 국산화 개발을 통해 개발된 제품이 세계시장에서 높은 경제성을 가지게 될 것이다.

○ 열차제어 통신 프로토콜을 분석을 통해 열차의 전기・전자/기계적 기능에 대한 이해가 높아지며, 철도 선진 기업과의 기술적 격차를 줄일 수 있으며, 전기기관차(8200호대) 통신 제어장치의 기술향상 및 성능개선이 이루어 질것으로 판단된다.

○ 국내의 철도차량관련 기술은 도시형전동차, 경량전철, 고속철도차량을 위로 발전되어져 왔으며 사회적/기술적으로 상당한 향상을 이루었으나 전기기관차와 관련된 기술개발은 상대적으로 미흡한 단계이다. 따라서 국산화 개발이 완료되면 전기기관차 제어분야의 핵심기술을 확보할 수 있으며, 국내시장에 유통되고 있는 외국산 장치들과 경쟁이 가능할 것으로 예상된다.

○ RAMS 분석 결과를 바탕으로 신뢰도 높은 시스템 개발 가능하며 실용화가 될 경우 국내 운영기관에 즉시 납품 가능하다.

○ 연구결과를 바탕으로 교류구간에 적용되는 전동차(통근형, 간선형)의 객실전원용 주변환장치 및 종합제어장치에도 적용이 가능하며 기존 철도차량 개량이나 신조차량 도입에 활용될 수 있으며, 또한 신재생 에너지 분야의 풍력발전, 가정용 에너지저장장치 등에 소요되는 전력변환장치에도 활용이 가능하다.

○ 전기기관차용 주변환장치 및 종합제어장치의 기술개발은 파워 일렉트로닉스 및 마이크

로 일렉트로닉스 활용기술 능력을 배양하고, 자체 설계기술 및 제작기술을 보유하게 됨으로서 일반 전자산업 및 방위산업 등에 응용할 수 있다.

나. 경제적 활용 계획

○ 현재 수입에 의존하고 있는 전기기관차용 주변환장치 및 종합제어장치를 국산화함으로서 원활한 유지보수가 가능하여 차량 운용효율을 상승시키고, 주변환장치 및 종합제어장치 및 철도차량 통신시스템에 대한 수입대체 효과로 구매비용 절감을 통한 국제수지 개선 효과가 있으며 승객 및 화물의 수송에 있어 운용의 신뢰성을 우선 확보하고, 외산제품 대체 및 기술경쟁력 확보를 통한 국가산업기술 경쟁력 향상에 기여할 수 있다.

○ 현재 대만을 비롯한 동남아 각국에서 전기기관차의 전력변환장치의 개량을 위한 사업이 진행되고 있거나 관련 계획을 수립하고 있어 세계 각국의 개조·개량 시장에 진출하여 국가경쟁력을 강화 할 수 있는 기반이 될 것으로 사료된다.

○ 전기기관차용 전력변환장치의 개발은 국내뿐 아니라 전기기관차가 운용되는 세계 각국의 전력변환장치 개량 시장에 진출하여 국가경쟁력을 강화 할 수 있는 기술이다. 대만을 비롯한 동남아의 각국에서 전기기관차의 전력변환장치의 개량을 위한 사업의 진행이 활발히 진행되고 있다.

○ 전기기관차용 전력변환장치의 기술개발은 파워 일렉트로닉스 및 마이크로 일렉트로닉스 활용 기술 능력을 배양하고, 자체 설계기술 및 제작기술을 보유하게 됨으로서 일반 산업 전자 및 방위산업 등에 응용할 수 있고 또한, 고속 전철 엔지니어링 기술능력을 배양하여 국가산업 및 국제 기술경쟁력을 강화시키고 수입 대체효과를 획기적으로 증진시켜 국제수지 개선에 이바지 할 것으로 기대된다.

○ 추진제어 시스템은 고속철도 및 도시철도로 확대가 가능하며, 비용절감으로 유럽 및 해외로의 진출이 가능할 것이며, 유사제품에 대한 국산화 기술력 확보를 통해 수입제품에 대한 가격상승 억제 등의 간접적인 효과를 예상할 수 있음. 본 연구개발로 원천기술을 확보하여 국내 전기기관차 MVB통신 및 표시기관련 문제 발생시 자체 기술로 해결함으로써 빠른 유지보수, 비용절감 및 다른 기타 연관된 산업분야에 적용 될 수 있을 것으로 판단된다.

○ 전기기관차(8200호대) 주요부품 국산화를 통한 경제적 기대효과 (연간수요예상)

구 분	예상수요				비고
	2022년	2023년	2024년	2025년	
국내시장규모	1 량	2 량	2 량	2 량	
산출근거	* 국내 운영중인 전기기관차(8200호대) 대상. * 중정비 및 도래 시점 (2020년~, 2003 최초도입:10량) * 매출효과 : 31.78억 (1량/년: 2022년) * 매출효과 : 63.56억 (2량/년: 2023년~)				

○ 전기기관차(8200호대) 주요부품 국산화를 통한 경제적 기대효과 (수입대체효과)

(단위:백만원)

품명	단품가격	수량	총액 ⓐ	개발품 총액 ⓑ	경제적 효과 (ⓐ-ⓑ)	비고
주변환장치	2,236	85량*2	380,120	266,084	114,036	
종합제어장치	70	85량*1	5,950	4,165	1,785	
합계	-		386,070	270,249	115,821	

* 산출근거 ① 국가 : 국비유출방지 약 4,226억원 (85량, '07～' 12년간 부품 구입금액 기준)
② 참여기업 : 매출 약 2,958억원 (국산화시 외자품 가격의 70% 적용)

다. 사회적 활용 계획

○ 추진제어시스템은 고속철도 및 도시철도로 확대가 가능하며, 비용절감으로 유럽 및 해외로의 진출이 가능할 것으로 생각 되며 유사제품에 대한 국산화 기술력 확보를 통해 수입제품에 대한 가격상승 억제 등의 간접적인 효과를 예상할 수 있다..

○ 유지보수 비용의 증가에 따른 소비자 교통비용 상승을 억제 할 뿐만 아니라 국산화 신제품 개발에 따른 철도차량에 대한 신뢰성을 확보할 수 있으며, 전기기관차 차량 제어 및 통신장치의 기술 확보로 해외시장 진출 및 저변 확대가 기대된다.

○ 국내산업체의 생산 활동을 유발하게 함으로써 중소기업 경제 활성화를 유도 할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 철도차량에 대한 전력변환장치의 부품 공급 및 제어 시스템 사업 분야에 대한 진출을 통한 중소기업의 지속적인 일자리 창출을 기대할 수 있다.

○ 기존 전기기관차용 전력변환장치의 전량 손질 의존에서 벗어나, 예비품 및 유지 보수품 손질의 고비용에 대비하고 국내 우수 인력을 활용하여 국내 생산을 통한 원가절감 효과를 기대할 수 있다.

○ 국산화 개발 시 유지 보수품의 원활한 공급 및 기술력 축적을 통한 차량시스템 운영의 안정화에 기여하며, 8200호대 전기기관차의 전력변환장치 노후 및 교체주기에 대비하고, 고장 시 무상 서비스기간 경과에 따른 유지보수 대응에 국내 기술력을 적극 활용 가능하다.

○ 전기기관차용 Converter/Inverter 제어기술을 바탕으로 전기기관차의 완전 국산화 및 수출용 전기기관차에 적극 활용 가능하며, 현재 장착된 8200호대 전기기관차의 CCU용 MMI는 외국업체의 독점으로 발생되는 AS 및 납품 기간의 장기화, 고비용 등의 문제에 직면하고 있으며, 이에 대한 해결책으로 국산화 개발이 지속적으로 요구되어져 왔다.

○ 기존 제품과의 호환이 가능하고 제품의 가격 경쟁력 및 즉각적인 대응이 가능할 수 있도록 자체 기술력을 통한 CCU용 MMI를 개발하여 8200호대 전기기관차 유지보수 및 교체품에 대한 대체품으로 활용할 예정이며, 본 과제 진행 및 성공 후 CCU MMI에 적용된 기술을 바탕으로 8200호대 전기기관차 뿐 아니라 모든 열차에 적용될 수 있는 CCU

용 MMI를 개발하고 이와 연계하여 ATP MMI 등 MVB통신과 연계되는 모든 MMI 개발 및 상용화를 진행할 예정이다.

○ MVB 통신 프로토콜 생성기 개발을 통한 사업화 계획 현재 MVB통신의 원제작사(지멘스)에서 통신프로토콜 및 기술을 오픈하지 않아 CCU와 MVB 통신으로 연결되는 차량내 모든 주요 장치들의 국산화 개발 및 국내 제작업체들의 성능 향상을 위한 개발이 많은 어려움에 놓여 있어 국내 철도차량 부품 제작업체 및 철도차량 운영업체에 MVB 통신 프로토콜 생성기를 공급함으로써 부품 제작업체의 개발이 수월히 이루어질 수 있으며 철도차량 운영업체에서는 고장 진단 및 고장 수리가 용이할 수 있다.

○ 제품 개발 이후 CCU와 연결되는 MMI, SIV, MFA, TCU, IBP, K-MICRO, ATP 등의 국내 제작 업체 및 철도공사 및 각 지하철 공사의 기지창에 공급할 예정이다.

붙임. 참고문헌

1. 철도차량기술기준 (KRTS-VE-Part31-2017(R1)) Part 46 일반철도차량(전기기관차) 기술기준
2. B. K. Bose, 1986, “POWER ELECTRONICS AND DRIVES “
3. 설승기, “전기기기제어론”, BRAIN KOREA, 2002.
4. 한국철도기술연구원, 추진제어시스템 기술동향
5. 김상훈, 배본호, 설승기(1999), “벡터제어를 적용한 전동차 구동 시스템 개발”, 전력전자학회 논문지 제6권 제1호, pp48-51
6. Nakamura (2009) High Voltage IGBT Module Application Manual, Hitachi Power Semiconductor Device, Ltd. Japan 319-1221, pp. 18-19.
7. Hitachi IGBT Module Appliction Manual, Hitachi Ltd. Power & Industrial Systems, pp. 33-35.
8. 최영준, 서민호, 박재현, 철도 제어통신 네트워크 프로토콜에서 마스터권한 전달 기법, 한국철도학회 논문집, pp.88-95, 2007
9. 김훈, 홍구선, 한정수 외, TCN(IEC 61375-1)을 이용한 열차진단제어장치의 실증시험 연구 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp.1407-1421, 2007
10. 전성준, 백진성, 손강호, TCN(Train Communication Network) 통신 시험용 WTB(Wire Train Bus) Analyzer 개발, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.1919-1928, 2008
11. 설재윤, 이상화, 박재현, 철도차량을 위한 MVB 기반의 슬레이브 컨트롤러 구현, 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집(동계), pp.102-103, 2010
12. S.G, Shon, S.M. Yang, Real-time Error Measurement system for MVB Protocol, IJCSI, International Jurnal of Computer Science Issues, pp.38-44, 2010
13. 박민호, 유도기기 “유도전동기의 기본회로”, “유도전동기의 제어”
14. 이승원,이윤종, 전기기기 “전기자 권선과 유기기전력”, “자기회로”
15. 竹內壽太郎,磯部直吉, 전기기기설계 “유도전동기의 설계”
16. 박현준, “전기철도차량용 견인전동기 고정자 권선의 절연열화 및 고장진단” 홍익대학교 박사학위 논문
17. ASTM(미국재료시험학회)
18. IEC 60349-2
19. Paul W. Franklin, “ADVANCED THEORY AND DESIGN OF ROTATING ELECTRICAL MACHINERY “
20. 철도인재개발원, 전기기관차의 구조 및 기능, 삼성종합인쇄, 2006.
21. M. H . RASHID, Power Electronic Circuits, Devices, and Applications (3rd Edition), Prentice Hall, 2004.

22. S. R. Bowes and P. R. Clark, “Simple Microprocessor Implementation of New Regular-Sampled Harmonic Elimination PWM Techniques“, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 28, No.1, pp. 89-95, Feb. 1992.

23. A. Zuckerberger and A. Alexandrovitz, “Determination of Commutation Sequence with a View to Eliminating Harmonics in Microprocessor-Controlled PWM Voltage Inverter“, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-33, No.3, pp. 262-270, Aug. 1986.

24. B. K . Bose, Modern Power Electronics and AC Drives, Prectice Hall PTR, USA, 2002.

25. N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics, Jonh Wiley, New York, 1995

26. H. Stemmler, “High-power industrial drives“, Proceedings of the IEEE, vol.82, pp. 1266-1286, August 1994.

27. D. Finney, The Power Thyristor and its Applications, McGRAW-HILL, UK, 1980.

28. W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Springer, Germany, 1996.

29. P. Vas, Vector Control of AC Machines, CLARENDON PRESS·Oxford, UK, 1990.

30. Martin, J.C., “The pre-history of pulsed power“, , IEE Colloquium on Pulsed Power, pp.1-3,MAR. 1995

31. F.W. MacDougall, J.B. Ennis, R.A.Cooper, J. Bates, K. Seal, “High energy density pulsed power capacitors“, 14th IEEE International Conference in Pulsed power, Vol.1, pp.513-5178, 2003

32. R. Ness, P. Melcher, B. Smith, W. Partlo, and D. Birx,“Performance Characterization for an Excimer Laser Solid State Pulsed Power Module (SSPPM) After 20B Shots“, IEEE Trans. on Plasma Science, Vol. 28 #5, Oct.

33. Weihua Jiang, et al., “Compact solid-State switched pulsed power and its applications“, Proceedings of the IEEE, Vol. 92, Issue 7, pp1180-1196, 2004

34. S. Levy, et al., “Commercial applications for modulators and pulse power technology“, Conf. Record of the 1992 Twentieth Power Modulator Sym., Vol. 1, pp. 8 - 11, Jun 1992

35. A. Welleman and W. Fleischmann, “High Current, High di/dt Semiconductor Devices for Single and Repetitive Pulse Applcations“, PPC-2003, Dallas TX, June 2003.

36. S. Scharnholz, R. Schneider, E.Spahn, “Investigation of IGBT-Devices for Pulsd Power Applications“, PPC-2003, Dallas TX, Jun, 2003.

37.. Bruckmann, M., Fasching, M., Sigg, J., and Sommer, R.: ’Series connection of high voltage IGBT modules’. Industry Applications Conf., 12-15 Oct 1998, Vol. 2, pp. 1067-1072

38. Githiari, A.N., and Palmer, P.R.: ’Analysis of IGBT modules connected in series’, IEE Proc. Circuits Devices Syst., 1998, 145, (5), pp. 354-360

39. Nakatake, H., and Iwata, A.: ’Series connection of IGBTs used multilevel clamp circuit and turn off timing adjustment circuit’. IEEE 34th Annual Power Electronics Specialist Conf., 15-19 June 2003, Vol. 4, pp. 1910-1915

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

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