(뒷면) (옆면)

R&D / 12PRTD-C 051915-04

최신 반도체 소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발 최종보고서

2013

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

Land Transpot and Maritime R&D Report

(앞면)

미래철도기술개발사업 최종보고서

R&D / 12PRTD-C051915-04

최신 반도체 소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발 최종보고서

2013 . 9. 6.

주관연구기관 / 한국철도공사
위탁연구기관 / 한국교통대학교
㈜모아소프트
공동연구기관 / ㈜우진산전
이경산전㈜

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 “최신 반도체 소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 9. 6.

주관연구기관명 : 한국철도공사
주관연구책임자 : 윤차중 (차장)
참 여 연 구 원 : 정연일 (부장)
〃 : 박무운 (처장)
〃 : 임오진 (처장)
〃 : 정진태 (센터장)
〃 : 김종고 (부장)
〃 : 박상운 (주임연구원)
〃 : 박용표 (차장)
〃 : 박영준 (차장)
〃 : 이영엽 (차장)
〃 : 오용석 (차장)
〃 : 소규섭 (차장)
〃 : 김진규 (과장)
〃 : 김대식 (차장)
〃 : 손경소 (차장)
〃 : 정우찬 (차장)
〃 : 김상동 (차장)
〃 : 김상길 (대리)
〃 : 임형춘 (과장)
〃 : 김동규 (차장)
〃 : 윤석채 (차장)
〃 : 조성구 (차장)
〃 : 김준선 (대리)
〃 : 이호심 (차장)
〃 : 조민삼 (차장)
〃 : 박래춘 (대리)
〃 : 정진욱 (과장)
〃 : 김주원 (대리)
〃 : 최대영 (대리)

위탁연구기관명 : 한국교통대학교
위탁연구책임자 : 김재문 (부교수)
참 여 연 구 원 : 김양수 (부교수)
〃 : 장진영 (조교)
〃 : 이만기 (학생)
〃 : 박민석 (학생)

위탁연구기관명 : ㈜모아소프트
위탁연구책임자 : 장주수 (대표)
참 여 연 구 원 : 정한길 (책임)
〃 : 장정훈 (선임)
〃 : 김원준 (선임)
〃 : 이은경 (선임)

공동연구기관명 : ㈜우진산전
공동연구책임자 : 이은규 (전무)
참 여 연 구 원 : 노춘호 (부장)
〃 : 이영호 (부장)
〃 : 이재영 (차장)
〃 : 송영신 (차장)
〃 : 연재균 (차장)
〃 : 정능채 (과장)
〃 : 허성범 (차장)
〃 : 연준상 (차장)
〃 : 조성주 (차장)
〃 : 구윤모 (과장)
〃 : 이용우 (차장)
〃 : 권선범 (과장)
〃 : 유경진 (대리)
〃 : 권경민 (대리)
〃 : 이상훈 (대리)
〃 : 이승우 (대리)
〃 : 서용범 (사원)
〃 : 서석찬 (사원)
〃 : 김장규 (대리)
〃 : 천형환 (대리)
〃 : 김대경 (대리)
〃 : 김혜미 (사원)

공동연구기관명 : 이경산전㈜
공동연구책임자 : 이을재 (대표)
참 여 연 구 원 : 이병호 (차장)
〃 : 박태기 (이사)
〃 : 김성식 (과장)
〃 : 정승수 (대리)
〃 : 김종규 (주임)

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2009.3.31.
~ 2013.6.29.</td><td>단계구분</td><td>최종보고서</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 사 업 명</td><td>중 사 업 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">미래철도기술개발사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>대 과 제 명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">최신 반도체 소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 책 임 자</td><td rowspan="2">윤차중</td><td>해당단계
참 여
연구원수</td><td>총 : 63명
내부 : 29명
외부 : 34명</td><td>해당단계
연 구 비</td><td>정부 : 1,105천원
기업 : 1,105천원
계 : 2,210천원</td></tr>
<tr><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 63명
내부 : 29명
외부 : 34명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 3,634천원
기업 : 1,958천원
계 : 5,592천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도공사 연구원</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">㈜우진산전, 이경산전㈜</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 탁 연 구</td><td colspan="5">연구기관명 : 한국교통대학교 연구책임자 : 김재문</td></tr>
<tr><td colspan="5">연구기관명 : ㈜모아소프트 연구책임자 : 장주수</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">고속철도차량(KTX)에 사용되고 있는 추진제어장치(Motor Block)에 대하여 최신 전력용 반도체 IGBT소자를 이용한 KTX용 추진제어장치 기술개발을 통하여 주요 핵심 부품의 해외 의존도를 낮추고 원천기술 확보를 목표로 하였다.
본 연구과제는 1차년도에는 기존장치 분석 및 기본설계, 2차년도에 상세설계, 3차년도에 시제품 제작 및 단품별 기능시험, 4차년도에는 성능시험 및 검증을 목표로 연구 수행하였다. 시험은 크게 공장시험, 현차시험(정적시험 동적시험) 및 본선시운전을 진행하여 성능 및 기능을 검증하였다. 연구 최종 년도인 4차년도의 주요 연구 성과는 다음과 같다.
- 모터블록 조립체의 시제품 제작 보완 및 조합(공장) 시험 (전문기관 의뢰)
- 큐브류의 현차시험 진행 (정적, 동적시험)
- OBCS와의 I/F 통신시험
- 현차 주행 시험을 통한 신뢰성 입증 및 분석 (1회 왕복: 서울-부산)
- FMEA, FRACAS 운용개념 템플릿 작성 및 보고서 작성
- S/W 요구사항 명세서, S/W 설계 명세서, S/W 시험 계획서, 결과서보고서 작성
- 유지보수 매뉴얼 작성 등</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어</td><td>한 글</td><td colspan="4">고속전철, 추진제어시스템, 주전력변환장치, 동기전동기, 수명주기비용</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Rapid electronic railway, Propulsion control system, Motor Block, Synchronous motor, Life Cycle Cost</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 연구제목 : 최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라에 고속철도교통의 시대가 열린 후 우리나라 국민들에게는 이동수단에 선택의 폭이 넓어졌고 보편적인 반나절 생활권이 실현되었다. 이러한 신 교통시스템을 운용함에 있어서 국가적으로 또는 운영기관 입장에서 고려되어야 할 일 들이 생겨나게 되었다. 그 중에서 국내 고속철도 분야 기술력향상, 고속철도차량 KTX의 운용효율성 증대, 그리고 유지보수비용 절감 등이라 할 수 있다. 이를 위해서 고속철도차량 KTX의 추진제어장치(Motor Block)를 국산화 개발 함으로써 주요 핵심부품의 해외 의존도를 낮추고 원천기술을 확보하여 내재화 하고자 하였다.
국산화 개발함에 있어서 KTX의 기존 추진제어장치에 사용된 사이리스터(Thyristor) 타입의 GTO 소자 대신에 최신 전력용 반도체 IGBT소자를 활용하여 기술개발하고 기존차량 시스템과의 호환성이 이루어 질 수 있도록 연구개발 하였다.

- ○ 최신 반도체소자를 적용한 주전력변환장치 개발
- ○ 냉각성능을 향상시킨 냉각 유닛 개발
- ○ 회생/여자 초퍼 장치 개발
- ○ 고속철도차량 인터페이스를 통한 장치의 호환성 유지
- ○ 최적화된 제어알고리즘을 활용한 제어장치의 성능 향상
- ○ 추진제어장치를 개발 후 현차시험을 통하여 장치의 성능 입증
- ○ 고속철도차량 추진제어장치 국산화 개발에 따른 LCC예측 및 향상방안 연구
- ○ 고속철도차량 추진제어장치 RAMS 적용 연구

< 추진제어장치 성능기준 >

항 목	개 발 사 양
편 성	20량 (4M 16T), 6대/ 편성
최고운행속도	300km/h (설계최고속도 330km/h)
편성 출력	13,560kW (12대)
최대 견인력	382 KN
최대 제동력	300 KN
견인 전동기	1,130kW x 2직렬 /모터블록당, 동기기(6극)
출력주파수	169Hz, 3,400rpm (최대 : 4,000 rpm)
가속도	0.073 (m/s)
기어비	2.189 (차륜경 : 920mm)
제어 방식	위상제어형 컨버터/전류형 인버터 제어
제동방식	회생제동, 발전제동, 마찰제동

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

가. 시스템요구사항 선정 및 기본설계 (1차년도)

- ○ 시스템요구사항 조사 및 선정
- ○ 장치 간 인터페이스 기존장치 분석연구
- ○ 추진제어장치 기본설계 및 검토
- ○ 신뢰성향상연구(LCC)

나. 상세설계 및 단품 제작 (2차년도)

- ○ 통신 인터페이스 사양 정의
- ○ 시스템인터페이스 통합 연구
- ○ 추진제어장치 상세설계 및 검토
- ○ 시작품 제작 및 테스트
- ○ 신뢰성 향상연구(LCC)

다. 시작품 제작 및 성능시험 (3차년도)

- ○ 시작품 제작 및 테스트
- ○ 시험절차서 작성 및 검토
- ○ 통신 및 장치 간 인터페이스 연구
- ○ 제어, 구동 알고리즘 연구
- ○ 추진제어장치 주요단품 현차(정적)시험
- ○ 시험평가를 통한 문제점 도출
- ○ 신뢰성 향상연구(LCC)
- ○ 추진제어장치 RAMS 적용연구

라. 현차시험 및 신뢰성 검증 (4차년도)

- ○ 시제품 제작 및 보완
- ○ 제어 S/W작성 및 테스트
- ○ 추진제어장치 공장시험(제3자 전문기관 시험의뢰)
  - 추진제어장치 주요단품 공장시험 및 환경시험
  - 추진제어장치 조립체 조합시험
- ○ 추진제어장치 주요단품 현차시험(정적, 동적)
- ○ 신뢰성 향상연구(LCC)
- ○ 추진제어장치 RAMS 적용연구

Ⅳ. 연구개발 결과

본 연구는 기존 KTX의 추진제어장치(Motor Block)를 국산화 개발하는 과제로서 최신 반도체 소자를 이용하여 동등 이상의 성능을 갖는 추진제어장치를 개발하는데 목표가 있다.

개발을 위해 1, 2차년도에는 기존자료 분석, 추진제어장치 각 부품의 상세설계 및 검증, 시작품 제작 착수, 기존 추진제어장치의 LCC분석 등을 수행하였고, 3차년도에는 주요 구성품인 큐브류 및 외함에 대한 단품 시험을 진행하여 4차년도 보완사항을 도출하여 시제품에 대한 공장시험, 현차시험을 통하여 기능 및 성능을 확인하였고, 위탁기관을 통하여 LCC 분석 및 하드웨어 / 소프트웨어 관련한 RAMS 활동을 수행하였다. 주관연구기관으로 한국철도공사, 위탁연구기관은 한국철도대학,㈜모아소프트, 공동연구기관으로는 ㈜우진산전, 이경산전㈜가 함께 연구수행 하였다.

○ SE활동

공정관리를 위하여 1차년도에 작성한 WBS 체계를 명확화 하여 장치별, 기능별로 WBS를 구성하여 각 기관에 공유하고 체계적인 연구개발이 될 수 있도록 하였다. 철도운영기관으로서 사용자 요구조건이 적용되도록 조치하였고, 각 종 기술서(단품/조합/현차 시험절차서, 시험성적서, 시험보고서, 유지보수 매뉴얼 등) 검토와 현차시험 시 기술지원을 적극 지원하였다.

○ RAMS 적용 연구

RAMS는 크게 H/W, S/W로 분류되며 H/W RAMS적용을 위해 각 단품별 BOM 데이터를 정리하여 신뢰도 예측모델을 연구하였고 S/W RAMS적용을 위해 소프트웨어 요구사항 명세기준서 작성, 소프트웨어 설계명세서 작성, 소프트웨어 코드표준서 및 소프트웨어 시험계획서, 절차서, 결과서 등을 작성하였다.

○ 추진제어장치의 LCC 분석

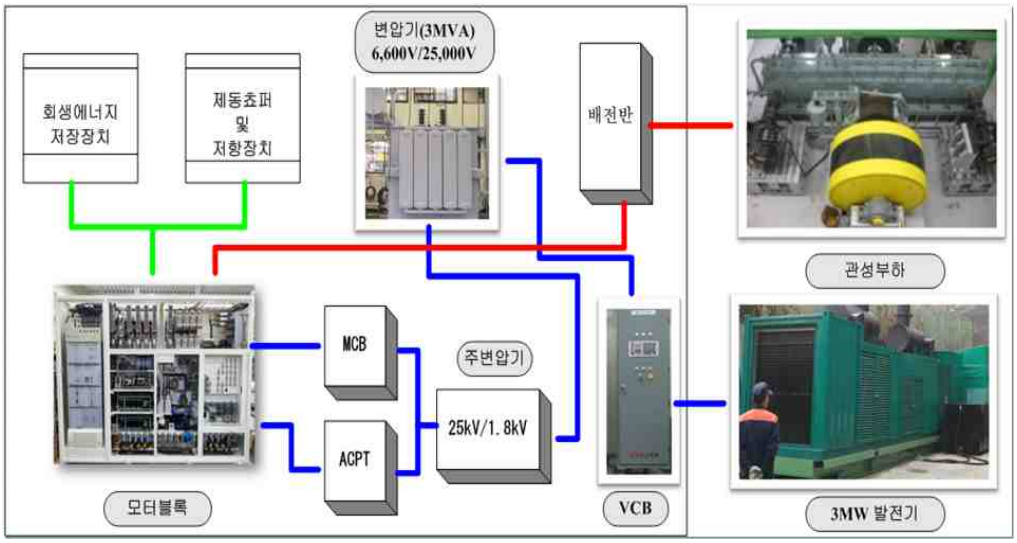
기존품 및 개발품의 KTX 추진제어장치의 LCC분석을 위해 비용평가모델 및 관계개발, LCC profile, 기존 KTX 추진제어장치의 LCC분석, LCC 절감을 위한 요소항목을 분석을 통하여 개발한 추진제어장치의 LCC 분석을 수행하였다.

○ 추진제어장치 큐브류 단품시험

보완된 큐브류 시제품에 대하여 제3자 철도차량전문검사기관 입회하에 단품시험을 진행하였고, 진동 및 환경시험은 외부 인증기관에서 진행하여 이상 없음을 확인하였다. 또한, 성능을 확인하기 위해 현차에 뷰브류 5종 7점(역률개선장치, 인버터 2, 컨버터 2, 여자초퍼, 제동초퍼)를 탑재하여 서울-부산(3,770㎞ 달성)을 주행하여 성능에 이상이 없음을 확인하였다.

○ **추진제어장치 공장(조합)시험**

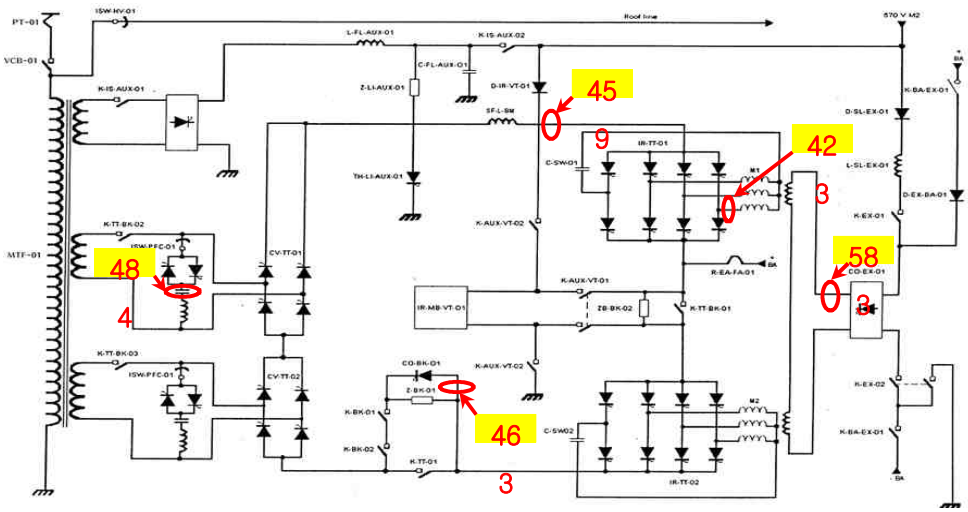
개발된 시제품에 대하여 공장에서 조합시험 설비를 구축하여 시험하였고, 성능을 확인 할 수 있는 시험 항목 및 절차서를 작성하여 철도전문 시험기관을 통하여 조합 시험을 진행하였다.



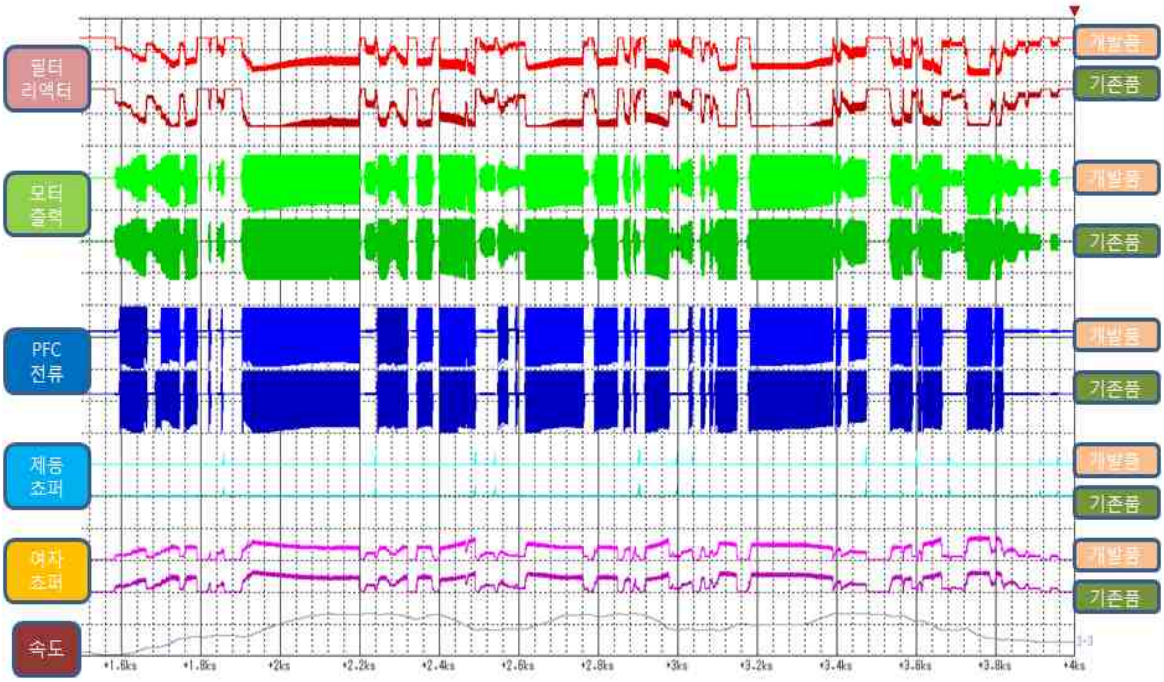
< 공장시험 개념도 >

○ **추진제어장치 현차(정적, 동적)시험**

개발 된 추진제어장치 조립체(제어기 제외)의 현차 시험 준비를 위하여 주요 구성품인 큐브류 5종 7점(역률개선장치, 인버터 2, 컨버터 2, 여자초퍼, 제동초퍼)에 대하여 현차 시험을 통하여 성능을 검증받았으며, 현차 시험은 크게 정적시험, 동적시험(구내시운전, 본선시운전)으로 구분하여 구성품별 성능을 확인하였다. 현차 시험을 통하여 기존품과 개발품의 성능 및 냉각성능을 비교 분석하였다. 시험결과 컨버터와 견인전동기쪽 전류센서의 사양이 틀린 것을 제외하고 성능이 이상 없음을 확인하였고, 센서는 기존품의 특성과 일치할 수 있도록 조치하였다.



< 현차 시험시 측정 개소(기존품과 개발품) >



< 기존품과 개발품의 출력파형 비교 >

(필터리액터, 모터출력, PFC, 여자초퍼, 제동초퍼, 속도)

○ 유지보수매뉴얼 작성

향후, 개발된 추진제어장치가 실용화가 되면 사용 될 유지보수매뉴얼을 작성하여 현차 고장시 응급조치 및 유지보수 지원을 위한 유지보수매뉴얼을 작성하였다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

○ 추진제어장치의 활용 계획

본 과제의 연구개발 대상인 KTX 추진제어장치인 모터블록은 현재 국내에서 운영되고 있는 KTX 46편성에 각 6대가 탑재되어 운용되고 있다. 모터블록의 주요 구성품으로 나누어 보면 다음과 같다.

제어기(Motor Block Unit), 컨버터장치, 인버터장치, 여자초퍼장치, 제동초퍼장치, 역률개선장치, 격자저항기, 송풍전동기, 계전기 류, 계기용 변류기 및 변압기형 센서류, 대전력용 접촉기류, 그 외 커패시터 등 부품류, 그리고 약 3.8톤의 무게를 지탱하면서 진동에 견딜 수 있는 프레임으로 구성되어있다. 본 과제에서 최종 목표는 이러한 모터블록 조립품에 대하여 기존품과의 1 : 1 호환 가능할 수 있도록 개발하는 것을 목표로 하였으나, 운용사인 코레일의 입장에서는 각 구성품 단품별 호완을 요구하였고 이에 맞추어서 개발하게 되었다.

이에 따라 모터블록 구성품 각각에 대하여 모듈별 호환 가능하도록 개발하게 되었다. 향후 운영사에서는 모터블록 조립체뿐만 아니라 각 구성품별 유지보수에 활용 가능할 것으로 사료된다.

프랑스 SNCF에서 모터블록 주요 구성품에 TBO 주기를 제시한 자료가 있고 이에 맞추어서 유지보수에 활용되고, 우리나라 운영환경에 따라 수명주기가 빠르게 도달하는 구성품 대치용으로 활용될 예정이다.



추진제어장치 전면부



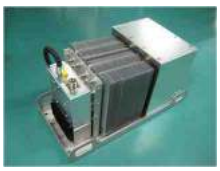
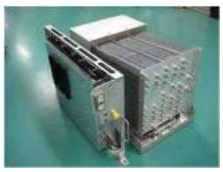
추진제어장치 후면부

○ 큐브류 활용 계획

추진제어장치(모터블록) 국산화개발 연구 과제를 통하여 개발된 추진제어장치의 주요 구성품인 큐브류에 대하여 부품 단위로 현차 시험을 통하여 성능을 확인하였다.

큐브는 크게 인버터 장치, 컨버터 장치, 역률개선장치, 여자초퍼 장치, 제동초퍼 장치로 구성되어

있으며, 큐브류 개발은 단품 호환성을 확보하기 위하여 별도로 공장시험, 조합시험, 고압시험 등을 단계적 검증을 받았으며, 현차 적용을 통하여 성능을 확인하였다.

				
컨버터장치	인버터장치	역률개선장치	여자초퍼장치	제동초퍼장치

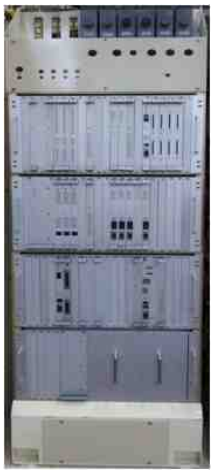
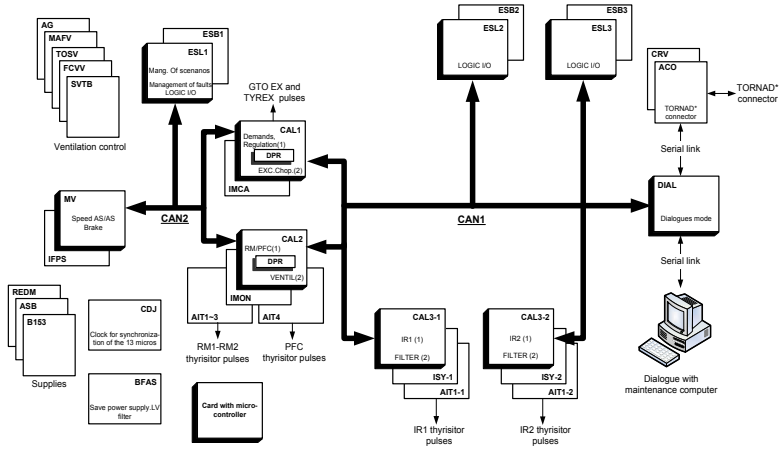
큐브류는 기존 제품 수선 작업을 통하여 운영 및 보수품으로 활용될 가능성이 높으며, 이 번 국산화 개발을 통하여 유지보수 비용의 절감 효과가 클 것으로 기대하고 있다.

○ 제어장치의 활용 계획

추진제어용 제어장치(MBU)는 전류 동기기를 제어, 견인 요구 처리, 전기 제동력의 조절, 공전 활주 방지 제어 기능, 인터페이스를 기능을 수행하는 장치이다.

제어장치 내부 신호 처리 방식은 CAN(Controller Area Network) 통신을 적용하여 프로세서 간 통신의 간략화를 통한 경제적인 설계와 안정적인 네트워크 구현하였다.

또한 제어장치는 기존 제어장치와의 기능 호환을 고려하여 설계, 제작 되어 MBU 단품으로 기존품 대체 가능하다. 공장 시험으로 기존품과 개발품의 기능 비교하는 시험을 수행하여 전류 동기기의 제어 특성을 확인 하였다.

	
제어장치	제어 기능 블럭도

제어장치의 통신인터페이스 확인 및 현차 적용을 통한 기존품과의 기능 호환 검증 절차를 수행 후 신뢰성 검증을 위한 현차 적용시험을 수행할 계획이다.

Summary

Ⅰ. Subject : Propulsion control technical development by using the newest semiconductor element for High Speed Railway vehicle

Ⅱ. Purpose and need of research and development

Since high-speed railway developed, the choice of transport has enlarged for the public. Due to this, there are a number of things to consider from national or operating agency point of view in case of operating new traffic system. It is progress of domestic high-speed railway technology, improvement of the operation of KTX high-speed railway vehicle efficiency and maintenance costs reduction, etc. To this end, as Motor Block of high-speed railway KTX localized, we try to reduce dependence on foreign sources for major core components by securing technology.

In case of development of localization, it has developed by using the latest electricity semiconductor IGBT, instead of Thyristor type GTO which is used existing propulsion control device of KTX and to be compatible with existing rolling stock system.

Ⅳ. Result of Research and Development

For development, it has performed analysis of existing data, detailed design and verification of each component of propulsion control device, prototype and LCC analysis of existing propulsion control device at the first and second year.

The main component of the cube and the assembly plant for the test was conducted at the third year. The performance was confirmed through on-track test, combination test for prototype at the fourth year.

Research managing department is Korea Railroad Corporation, committed research institution is Korea Railroad University, Moasoft and Woojin, E-kyoung is joint research institution.

◦ SE activity

For the process control, WBS has made out, shared to each institution and then, systematic research and development can be possible. As railroad operating institution, we take action to apply user requirement and actively support the review of technology document and on-track test.

◦ RAMS application research

RAMS is largely H/W, S/W and for the application of RAMS, BOM data organized by each separately, it has researched reliability forecasting model. For application of S/W RAMS, software requirement specification standard draws up; software specification makes out, software code standard, software test plan, procedure and result prepared.

◦ LCC analysis of propulsion control device

For LCC analysis of KTX propulsion control device, it has compared LCC analysis of existing motor block and LCC analysis of development product.

◦ propulsion control device cube single component test

Cube is carried out in single component test by railroad specialized inspection institution. Vibration and environment test is confirmed by outside certificate authority that it is in a good condition. Also, after installing to on-track, train has operated from Seoul to Busan (3,770 km achievement) and it has confirmed that it is in a good condition.

◦ propulsion control device plant test

For combination test, the same facility with KTX constructed and carried out combination test by railroad specialized inspection institution.

◦ propulsion control device on-track test

On-track test of propulsion control device assembly (except controller) is largely divided into static test and dynamic test; it has estimated temperature and performance between existing product and development product. As a result, the only difference is that sensor specification between converter and motor sensor are different.

Ⅴ. Utilization of Study Results

Each component of motor block has developed to be compatible with each module. It is expected that operating agency can use it for motor block assembly as well as maintenance for each component. There is data suggesting TBO period to the motor block major component at SNCF in France. It is expected to use for maintenance and substitutions for component which achieve rapidly lifespan by operating environment in Korea

목 차

제 1 장 연구개발 과제의 개요 ····· 1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1

제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 1

제 3 절 연구개발의 범위 ····· 3

1. 연차별 추진계획 ····· 4

2. 연도별 주요 추진 일정 ····· 8

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 9

제 1 절 국내 철도차량 기술개발 현황 ····· 9

1. KTX ····· 9

2. 한국형 고속열차(HSR-350X) ····· 9

3. KTX-산천 ····· 10

4. 차세대고속열차(HEMU-430) ····· 11

제 2 절 국외 철도차량 기술개발 현황 ····· 14

1. 일본 ····· 14

2. 프랑스 ····· 17

3. 독일 ····· 20

4. 스페인 ····· 22

5. 이탈리아 ····· 23

6. 중국 ····· 24

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 36

제 1 절 일반 ····· 36

1. 개요 ····· 36

2. 연구개발비 ····· 36

3. 연구개발 추진체계 ····· 37

4. 연구개발 주요 추진경과 ····· 40

제 2 절 KTX 모터블록 개발 ····· 52

1. KTX 모터블록 일반 ····· 52

가. 주요 요구사항 ····· 52

나. 추진제어장치의 구성 및 기능 ····· 53

다. 주요기기 용어 ····· 55

2. 전력변환장치부 ····· 59
가. 모터블록 ····· 59
나. 인버터 ····· 66
다. 컨버터 ····· 87
라. 역률개선장치 ····· 109
마. 여자초퍼 ····· 130
바. 제동초퍼 ····· 159
사. 기타장치(센서, LEACH 계전기, MORS 계전기, 과전압 & 전류 보호 계전기) ····· 189
3. 모터블록 제어기MBU(Motor Block control Unit)부 ····· 254
가. 모터블록 제어장치 하드웨어 ····· 254
나. 모터블록 제어장치 소프트웨어 ····· 302
제 3 절 시험일반 ····· 593
1. 시험 종류 ····· 593
가. 공장시험 ····· 593
나. 현차시험 ····· 594
2. 공장내 조합시험 ····· 595
가. 전력변환장치 저압시험 ····· 595
나. 전력변환장치 고압시험 (조합시험)-철도차량검사전문기관 입회 ····· 639
다. 제어기(기존품) 조합시험 ····· 662
3. 현차시험 ····· 668
가. 큐브류 5종(7점) 현차시험 ····· 668
나. 전력변환장치(제어기 제외) 현차시험 ····· 676
제 4 절 RAMS 연구 활동 ····· 686
1. RAMS 적용 연구 ····· 686
2. 하드웨어 RAMS 활동 ····· 689
가. 신뢰도 예측 분석 방법 ····· 689
나. 신뢰도 예측 분석 결과 ····· 696
다. 정비도 예측 분석 및 결과 ····· 700
라. 가용성 예측 및 결과 ····· 702
마. FMECA 분석 ····· 702
바. FTA 분석 ····· 719
사. 시스템 Block Diagram ····· 724
아. RAMS 목표치 달성 여부 분석 ····· 727
3. 소프트웨어 RAMS 적용 연구 ····· 728
가. GAP 분석 ····· 728

나. 소프트웨어 요구사항 단계 ····730
다. 소프트웨어 설계 단계 ····732
라. 소프트웨어 구현 단계 ····735
마. 소프트웨어 시험 단계 ····737
바. 소프트웨어 신뢰성 보증 ····741
4. 결론 ····750
제 5 절 LCC 연구 내용 및 결과 ····752
1. KTX 추진제어장치의 수명주기비용 분석 ····752
가. LCC 분석 ····752
나. KTX 추진제어장치의 PBS 분석 ····767
다. 신뢰성 평가 ····770
라. LCC 분석을 위한 비용분류 구조 ····781
2. 기존 KTX 추진제어장치의 LCC분석 ····782
가. 비용평가 모델 및 관계 개발 ····782
나. LCC profile ····789
다. 기존 KTX 추진제어장치 LCC분석 ····806
라. LCC 절감을 위한 요소항목 ····920
3. KTX 추진제어장치 개발품의 LCC분석 ····923
가. KTX 추진제어장치 개발품의 PBS 도출 ····923
나. KTX 추진제어장치 개발품의 LCC예측 ····925
다. 기존품 및 개발품의 LCC 비교 분석 ····1019
라. 유지보수비용 절감 방안 ····1051
제 6 절 연구개발 결과 ····1053

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도 ····1056
제 1 절 연구개발 목표 달성도 ····1056
1. 연차별 연구목표 달성도 ····1056
2. 연차별 성과지표 달성도 ····1060
3. 연차별 연구수행내용 요약 ····1064
제 2 절 관련분야 기여도 ····1065

제 5 장 연구개발결과 활용계획 ····1066
제 1 절 연구개발결과 활용계획 ····1066
1. 전력변환장치부 ····1066

2. 제어장치부 ····· 1067
3. 큐브류(인버터, 컨버터, 역률개선장치, 여자초퍼, 제동초퍼) ····· 1067
제 2 절 기대성과 및 파급효과 ····· 1068

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 1070
제 1 절 동력분산, 동력집중 ····· 1070
1. 동력집중식과 동력분산식의 상세비교 ····· 1070
2. 동력분산식과 동력집중식 장단점 ····· 1084
제 2 절 전류제어, 전압제어 비교 ····· 1085
1. 유도전동기와 동기전동기 ····· 1085
2. 전압형 인버터 제어와 전류형 인버터 제어 ····· 1085

제 7 장 참고문헌 ····· 1089

[부록1]
1. 학술적(논문) 성과자료
2. 기술적(특허) 성과자료
3. 시제품 설계도면
4. 유지보수매뉴얼

[부록2]
1. 사양서 및 시험절차서
2. 단품시험 관련자료
3. 조합시험 관련자료
4. 현차시험 관련자료

[부록3]
1. RAMS 분석자료

표 차례

표 1. 추진제어장치(모터블록) 인터페이스 요구조건 ····52
표 2. 추진제어장치(모터블록) 구성품별 기능 ····53
표 3. 모터블록 주요기기 명칭 ····55
표 4. GTO Type 여자초퍼(기존품) 주요구성품 ····132
표 5. IGBT 여자초퍼 주요구성품 ····133
표 6. 기존품 vs 개발품 외형비교 ····133
표 7. 기존품 vs 개발품 입출력 PIN 비교표 ····134
표 8. 기존품 vs 개발품 특성비교표 ····135
표 9. GTO Type 여자초퍼(기존품)의 과전류 검출포인트 ····139
표 10. IGBT게이트 동작시험 기준파형 ····151
표 11. GTO Type 제동초퍼(기존품) 주요구성품 ····161
표 12. IGBT 제동초퍼 주요구성품 ····162
표 13. 기존품 vs 개발품 외형비교 ····162
표 14. 기존품 vs 개발품 입출력 PIN 비교표 ····163
표 15. 기존품 VS 개발품 특성비교 ····164
표 16. IGBT 제동초퍼 스너버회로 구성소자 정격 ····169
표 17. IGBT게이트 동작시험 기준파형 ····181
표 18. 모터블록 완전 차단 ····403
표 19. 고장률 함수의 계산식 ····691
표 20. 고장원인 및 대책 ····693
표 21. 분석 업무에 따른 기준 ····694
표 22. 품질 수준에 따른 품질 요건 ····696
표 23. MTBF 예측 ····699
표 24. 정비도 예측 결과 ····701
표 25. 심각도 등급의 예 ····703
표 26. 발생 빈도 등급의 예 ····704
표 27. 부품의 고장모드 및 비율 ····712
표 28. 고장모드에 대한 고장률 ····712
표 29. 고장영향확률의 정의 ····712
표 30. 심각도 레벨 ····713
표 31. FMEA/CA의 혼합양식 ····715
표 32. FMEA 고장모드 ····717

표 33. FMECA와 FTA의 차이점 ····722
표 34. End Effect 발생확률 표 ····723
표 35. 기능별 RBD 결과 ····726
표 36. 추진제어장치 기존품과 개발품의 MKBSF 비교 ····727
표 37. 문서 적합 수준 ····729
표 38. 소프트웨어 코딩 규칙 ····735
표 39. 소프트웨어 품질 측정 지표 ····736
표 40. 신뢰도 예측, 신뢰도 추정 단계의 비교 ····744
표 41. 예측 모델(RL-TR-92-52모델) ····745
표 42. 신뢰도 추정 모델 ····746
표 43. 예측모델과 추정모델의 입력과 출력 ····746
표 44. Motor Block 소프트웨어 분석 결과 ····751
표 45. LCC 수행방법 ····754
표 46. UNIFE 비용구조 ····757
표 47. LCC 국내외 규격 비교 ····758
표 48. LCC 규격별 분석 범위 ····759
표 49. 구성항목별 비용 산정방식 ····760
표 50. 구성항목별 비용 산정방식 ····761
표 51. LCC 구성항목 비교표 ····762
표 52. 교량 유지보수 기준표 ····763
표 53. 철도차량 예방정비 비용 ····764
표 54. KTX 차량 추진제어장치 주요부품 분류 ····769
표 55. 주요부품 각 시스템 별 연계현황 분석결과 ····773
표 56. CMB접촉기의 사양 ····773
표 57. 측정항목 및 고장 판정기준 ····775
표 58. CMB 접촉기 가속수명시험 결과 ····775
표 59. 산출된 모수 값 ····777
표 60. 가속수명시험 결과로 추정된 백분위 수명 및 평균수명 ····779
표 61. KTX 추진제어장치 TBO 분석 ····780
표 62. KTX 차량 추진제어장치의 CBS ····781
표 63. 소비자 물가 상승률 ····792
표 64. 유가 인상율 ····793
표 65. 전력비 인상율 ····794
표 66. 시장금리 상승률 ····795
표 67. 할 인 율 ····796

표 68. 법인세법 시행규칙 ·····797
표 69. 법인세법에 의한 내용연수 ·····797
표 70. KTX 추진제어장치 내용연수 ·····798
표 71. KTX 차량 추진제어장치의 CBS ·····807
표 72. 구성항목별 비용 산정방식 ·····821
표 73. 직원 평균 보수 ·····822
표 74. 유지보수지침서의 설비별 점검항목 ·····822
표 75. 추진제어장치 부품별 검수주기 ·····823
표 76. 점검주기 당 점검항목 비율 산정 ·····823
표 77. 점검종별 분석방법 ·····823
표 78. KTX 추진제어장치 부품별 사용량 ·····824
표 79. KTX 추진제어장치 LCC 분석 모델 ·····825
표 80. KTX 추진제어장치의 예방정비비 분석 모델 ·····825
표 81. KTX MB 내용연수 ·····920
표 82. KTX 추진제어장치 LCC ·····921
표 83. 전력변환장치의 고장정비비 ·····922
표 84. TCP접촉기의 고장정비비 ·····922
표 85. KTX MB 내용연수 ·····1049
표 86. KTX 추진제어장치 LCC ·····1050
표 87. 예방정비비 분석 ·····1051
표 88. 고장정비비 분석 ·····1052

그림 차례

그림 1. WBS 구성도 ····38
그림 2. 동력차 구성도 ····52
그림 3. KTX 추진제어 시스템 구성도 ····53
그림 4. 모터블록의 전면부 ····54
그림 5. 모터블록의 후면부 ····54
그림 6. 모터블록 외형 ····59
그림 7. 모터블록 외형(전면부) ····60
그림 8. 모터블록 외형(후면부) ····61
그림 9. 추진제어장치 3D 설계 ····62
그림 10. 추진제어장치 3D 설계(후면) ····62
그림 11. KTX 추진제어장치 3D 설계(정면부) ····63
그림 12. 설계된 추진제어장치 외형도1 ····63
그림 13. 설계된 추진제어장치 외형도2 ····64
그림 14. 설계된 추진제어장치 외형도2 ····65
그림 15. 추진제어장치 외함(전면부) ····66
그림 16. 추진제어장치 외함(후면부) ····66
그림 17. 3D 설계된 인클로저 외형 (IR-TT) ····68
그림 18. 3D 설계된 인클로저 내부 (IR-TT) ····68
그림 19. Thyristor 및 댐핑 회로 ····69
그림 20. turn off시 Thyristor의 전압 전류 ····70
그림 21. MATLAB/SIMULINK를 이용한 시뮬레이션 ····72
그림 22. MATLAB/SIMULINK를 이용한 시뮬레이션 결과 ····72
그림 23. IR-TT 개발품 외형 사진 ····73
그림 24. 개발품 IR-TT 내부 소자 외형 ····74
그림 25. 기존품 IR-TT 내부 소자 외형 ····74
그림 26. 개발품 IR-TT Thyristor ····74
그림 27. 기존품 IR-TT Thyristor ····74
그림 28. 개발품 IR-TT GATE 보드 ····75
그림 29. 기존품 IR-TT GATE 보드 ····75
그림 30. IR-TT 회로도 ····76
그림 31. IR-TT 주회로도 ····76
그림 32. 펄스 시험 회로(IR-TT) ····78

그림 33. GATE 전류 파형(IR-TT) ····79
그림 34. 접지 지속성 시험 회로(IR-TT) ····80
그림 35. 밀봉 시험 구성도(IR-TT) ····81
그림 36. IR-TT 진동 및 환경시험 성적서1 ····84
그림 37. IR-TT 진동 및 환경시험 성적서2 ····85
그림 38. 주회로 및 인크로져 외형 (CV-TT) ····87
그림 39. 3D 설계된 인클로저 외형 (CV-TT) ····88
그림 40. 3D 설계된 인클로저 내부 (CV-TT) ····89
그림 41. Thyristor 및 댐핑 회로 ····90
그림 42. turn off시 Thyristor의 전압 전류 ····91
그림 43. 컨버터부 블럭도 ····93
그림 44. 컨버터의 전압·전류제어기 ····94
그림 45. 컨버터의 전압제어기 ····94
그림 46. 컨버터의 전류제어기 ····94
그림 47. 컨버터의 출력전압, 입력전압, 입력전류 ····95
그림 48. CV-TT 개발품 외형 ····96
그림 49. CV-TT 개발품 내부 ····96
그림 50. CV-TT 기존품 내부 ····96
그림 51. CV-TT 개발품 사이리스터 ····97
그림 52. CV-TT 기존품 사이리스터 ····97
그림 53. CV-TT 개발품 RC 보드 ····97
그림 54. CV-TT 기존품 RC 보드 ····97
그림 55. CV-TT 개발품 GATE 보드 ····98
그림 56. CV-TT 기존품 GATE 보드 ····98
그림 57. CV-TT 주 회로도 ····98
그림 58. 펄스 시험 회로(CV-TT) ····100
그림 59. GATE 전류 파형(CV-TT) ····101
그림 60. 접지 지속성 시험 회로(CV-TT) ····101
그림 61. 밀봉 시험 구성도(CV-TT) ····103
그림 62. CV-TT 진동 및 환경시험 성적서1 ····106
그림 63. CV-TT 진동 및 환경시험 성적서2 ····107
그림 64. 주회로 및 인크로져 외형 (CV-PFC) ····109
그림 65. 3D 설계된 인클로저 외형 (CV-PFC) ····110
그림 66. 3D 설계된 인클로저 내부 (CV-PFC) ····111
그림 67. Thyristor 및 댐핑 회로 ····112

그림 68. turn off시 Thyristor의 전압 전류 ····113
그림 69. IR-TT 개발품 외형 사진 ····116
그림 70. CV-PFC 개발품 내부 ····117
그림 71. CV-PFC 기존품 내부 ····117
그림 72. 개발품 CV-PFC Thyristor ····117
그림 73. 기존품 CV-PFC Thyristor ····117
그림 74. CV-PFC RC 보드 ····118
그림 75. 기존품 CV-PFC RC 보드 ····118
그림 76. 개발품 CV-PFC GATE 보드 ····118
그림 77. 기존품 CV-PFC GATE 보드 ····118
그림 78. CV-PFC큐브의 주회로 ····119
그림 79. 펄스 시험 회로(CV-PFC) ····121
그림 80. GATE 전류 파형(CV-PFC) ····121
그림 81. 접지 지속성 시험 회로(IR-TT) ····122
그림 82. 밀봉 시험 구성도(CV-PFC) ····124
그림 83. CV-PFC 진동 및 환경시험 성적서1 ····127
그림 84. CV-PFC 진동 및 환경시험 성적서2 ····128
그림 85. IGBT Type 여자초퍼장치의 회로구성도 ····130
그림 86. IGBT Type 여자초퍼의 동작모드에 따른 동작소자 및 전류의 흐름 ····130
그림 87. 여자초퍼 IGBT의 스위치 동작 ····131
그림 88. GTO Type 여자초퍼(기존품)의 회로구성 ····131
그림 89. GTO Type 여자초퍼(기존품)의 GTO 및 THY의 스위치 동작 ····131
그림 90. IGBT Type 여자초퍼 열적 등가회로 ····138
그림 91. IGBT Type CO-EX(여자초퍼) 구성도 ····141
그림 92. IGBT Type CO-EX(여자초퍼) ····141
그림 93. IGBT Type 여자초퍼 스택 ····142
그림 94. IGBT Type 여자초퍼제어용 GDCU ····142
그림 95. IGBT Type 여자초퍼 SMPS ····143
그림 96. IGBT Type 여자초퍼 PSC ····143
그림 97. IGBT Type 여자초퍼 DCU ····144
그림 98. IGBT Type 여자초퍼 스택 외형도 ····145
그림 99. IGBT Type 여자초퍼 GDCU 외형도 ····146
그림 100. IGBT Type 여자초퍼 주요소자 배치도 ····147
그림 101. IGBT Type 여자초퍼 회로도 ····148
그림 102. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 01 ····152

그림 103. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 02 ····153
그림 104. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 03 ····154
그림 105. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 04 ····155
그림 106. IGBT Type 제동초퍼장치의 회로도 ····159
그림 107. GTO Type 제동초퍼(기존품)의 회로구성 ····160
그림 108. GTO Type 제동초퍼(기존품)의 GTO 동작파형 ····160
그림 109. IGBT Type 제동초퍼의 등가회로 ····165
그림 110. IGBT Type 제동초퍼 열적 등가회로 ····167
그림 111. IGBT Type CO-BK(제동초퍼) 구성도 ····170
그림 112. IGBT Type CO-BK(제동초퍼) ····170
그림 113. IGBT Type 제동초퍼 스택 ····171
그림 114. IGBT Type 제동초퍼제어용 GDCU ····171
그림 115. IGBT Type 제동초퍼 SMPS ····172
그림 116. IGBT Type 제동초퍼 PSC ····172
그림 117. IGBT Type 제동초퍼 DCU ····173
그림 118. IGBT Type 제동초퍼 스택 외형도 ····174
그림 119. IGBT Type 제동초퍼 GDCU 외형도 ····175
그림 120. IGBT Type 제동초퍼 스택 주요소자 배치도 ····176
그림 121. IGBT Type 제동초퍼 GDCU 주요소자 배치도 ····177
그림 122. IGBT Type 제동초퍼 회로도 ····178
그림 123. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 01 ····182
그림 124. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 02 ····183
그림 125. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 03 ····184
그림 126. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 04 ····185
그림 127. 모터블록 제어장치 구성도 ····255
그림 128. MBU 카드 기능 블럭도 ····256
그림 129. LAYOUT OF THE RECTIFIER CONTROL ····257
그림 130. CAL2 블록 회로도 ····258
그림 131. IMON 블록 회로도 ····261
그림 132. ATI4 블록 회로도 ····263
그림 133. 견인용 블록선도 - INVERTER CONTROL ····265
그림 134. CAL3-1 블록 회로 ····266
그림 135. ISY 블록 회로도 ····268
그림 136. ATI4 블록 회로도 ····270
그림 137. CAL1 블록 회로도 ····273

그림 138. INCA 블록 회로도 ····275
그림 139. IFPS 블록 회로도 ····278
그림 140. 로직 입출력 제어 블럭도 ····280
그림 141. ESB1 블록 회로도 ····281
그림 142. ESL1 블록 회로도 ····283
그림 143. DIAL 블록 회로도 ····285
그림 144. CDJ 블록 회로도 ····287
그림 145. AG 블록 회로도 ····289
그림 146. MAFV 블록 회로도 ····291
그림 147. FCVV 블록 회로도 ····292
그림 148. 모터블록 제어전원 공급장치 구성도 ····294
그림 149. B153 카드 전원 입출력 블럭도 ····295
그림 150. ASB 카드 전원 입출력 블럭도 ····297
그림 151. TMS320VC33 블럭도 ····301
그림 152. 하드웨어 인터페이스 개요 ····350
그림 153. 트리포드 절손 감지 ····393
그림 154. 트리포드 불균형 감지 ····394
그림 155. 보조블록 송풍 차단 ····395
그림 156. 대차 차축고착 고장 확인 ····397
그림 157. 조합시험 파형(속도 10km/h) ····662
그림 158. 조합시험 파형:속도 58km/h, 견인전동기 1대 연결 ····663
그림 159. 조합시험 파형:속도 38km/h, 견인전동기 2대 연결 ····664
그림 160. 조합시험 파형:속도 95km/h, 견인전동기 2대 연결 ····665
그림 161. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 ····673
그림 162. 기존품과 개발품의 출력파형 비교(확대파형) ····673
그림 163. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 ····674
그림 164. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (필터리액터, 모터출력) ····678
그림 165. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (PFC전류, 여자초퍼) ····679
그림 166. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (모터출력, 제동초퍼) ····679
그림 167. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 ····680
그림 168. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (필터리액터, 모터출력) ····680
그림 169. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (PFC전류, 여자초퍼) ····681
그림 170. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (모터출력, 제동초퍼) ····681
그림 171. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 ····682
그림 172. 온도레코더 측정포인트 ····683

그림 173. MB1(개발품)/MB2(기존품) CO-BK 온도그래프 ·····683
그림 174. MB1(개발품)/MB2(기존품) CO-EX 온도그래프 ·····684
그림 175. MB1(개발품)/MB2(기존품) IR-TT 1,2 온도그래프 ·····684
그림 176. MB1(개발품)/MB2(기존품) CV-TT 온도그래프 ·····685
그림 177. MB1(개발품)/MB2(기존품) PFC 온도그래프 ·····685
그림 178. EN 50128의 구성 ·····686
그림 179. EN 50128에서 요구하는 산출물 목록 ·····687
그림 180. 소프트웨어 LifeCycle ·····688
그림 181. 하드웨어 RAMS 절차 ·····690
그림 182. 욕조곡선(Bathtub Curve) ·····692
그림 183. 하드웨어 신뢰도 예측 모델 연구 흐름도 ·····696
그림 184. 신 Motor Block 시스템 트리 형상 ·····697
그림 185. BOM List 개선 항목 ·····697
그림 186. BOM List 개선 ·····698
그림 187. 모터블록의 신뢰도 예측을 위한 시스템 형상 ·····699
그림 188. MIL-STD-1629-Ships FMEA Worksheet ·····705
그림 189. 컴퓨터의 계층 구조 ·····706
그림 190. 치명도 분석의 예-Pareto Diagram of Ratings ·····710
그림 191. FMECA 치명도 행렬 ·····713
그림 192. 치명도 행렬 ·····714
그림 193. Roll Up 개념도 ·····716
그림 194. FMEA 분석 결과 (Criticality Matrix) ·····718
그림 195. FMECA 분석 결과 (Risk Levels) ·····718
그림 196. RAMS 프로세스와 분석기법 ·····721
그림 197. FMECA와 FTA 관계 ·····721
그림 198. End Effect 발생 확률 ·····723
그림 199. 견인요구 지령 처리 ·····724
그림 200. 제동명령소지_전기 및 공기제동 분배 ·····724
그림 201. 전기 제동력 조절 ·····725
그림 202. 견인 모터 소모 전력 제한 ·····725
그림 203. 팬터그래프 이선 처리 ·····725
그림 204. 공전 및 활주 방지 처리 ·····725
그림 205. 차륜직경 보정 ·····726
그림 206. 차축 비 회전 감지 ·····726
그림 207. GAP 분석 체계 ·····728

그림 208. GAP 분석 결과 ····729
그림 209. 소프트웨어 요구사항 기준서 구성 ····732
그림 210. 소프트웨어 요구사항 명세서 구성 ····732
그림 211. 소프트웨어 설계 기준서 구성 ····734
그림 212. 소프트웨어 설계 명세서 구성 ····734
그림 213. 소프트웨어 코드 표준서 구성 ····736
그림 214. 소프트웨어 시험 계획서 구성 ····737
그림 215. 정적분석 수행 과정 ····738
그림 216. 코드 표준 위배사항 검토 리스트 ····738
그림 217. 소프트웨어 품질 측정 검토 리스트 ····739
그림 218. 위험 Data 검토 리스트 ····739
그림 219. 동적 시험 수행 절차 ····740
그림 220. 소프트웨어 시험 결과 ····741
그림 221. 소프트웨어 요구사항 추적표 ····741
그림 222. 소프트웨어 신뢰도 모델의 입력과 출력 ····743
그림 223. 고장률(failure rate)과 시점(time)과의 관계 ····743
그림 224. 소프트웨어 개발 라이프 사이클에서의 신뢰도 예측과 추정 ····744
그림 225. 소프트웨어 신뢰성 평가 프로세스 구성도 ····747
그림 226. 소프트웨어 신뢰성 평가 단계의 입력물, 수행활동 그리고 출력물 ····748
그림 227. 설비의 유지관리와 Life Cycle의 상관관계 ····752
그림 228. LCC에서 프로그램 결정 단계의 영향 ····757
그림 229. 철도차량 LCC 예방정비 비용 ····761
그림 230. KTX 차량 PBS 분류체계 ····768
그림 231. 각 시스템 자료의 기간별 분류 ····770
그림 232. MICS 자료의 예 ····771
그림 233. KOVIS 자료의 예 ····771
그림 234. KTX-RCM 자료의 예 ····772
그림 235. 와이블 확률지 타점 결과 ····776
그림 236. CMB 접촉기의 온도에 대한 수명 스트레스 관계 ····778
그림 237. CMB 접촉기의 온도에 대한 가속계수 스트레스 관계 ····778
그림 238. MTBF (MTTR + MTTF) ····786
그림 239. LCC 분석 모델 순서도 ····789
그림 240. KTX 추진제어장치 PBS ····806
그림 241. 정기검수 주기 ····811
그림 242. KTX LCC 분석방법 ····811

그림 243. KTX MB 년도별 LCC ····· 920
그림 244. 부품별 고장정비비 비율 ····· 922
그림 245. KTX 차량 PBS 분류체계 ····· 923
그림 246. KTX 추진제어장치 개발품의 PBS ····· 924
그림 247. KTX MB 년도별 LCC ····· 1049

CONTENTS

Chapter 1. Abstract of research ····· 1

Purpose 1. Objective of Research ····· 1

Purpose 2. Necessity of Research ····· 1

Purpose 3. Scope of Research ····· 3

Chapter 2. Status of Technical developments at Domestic and Foreign ····· 9

Purpose 1. Domestic technology of railway vehicle ····· 9

Purpose 2. Foreign technology of railway vehicle ····· 14

Chapter 3. Contents and results of research development ····· 36

Purpose 1. General of research development ····· 36

Purpose 2. Research development of KTX motor block ····· 52

1. KTX motor block ····· 52

2. Power-converter part ····· 59

3. Motor block control part ····· 254

Purpose 3. Test of motor block ····· 593

1. Kinds of tests ····· 593

2. Factory test ····· 595

3. Test apply to vehicle ····· 668

Purpose 4. Research and results about RAMS ····· 686

Purpose 5. Research and results about LCC ····· 752

Purpose 6. The results of research and development ····· 1053

Chapter 4. Achievement of the propose & contrition to the related fields ····· 1056

Purpose 1. Achievement of the propose of research ····· 1056

Purpose 2. Contrition to the related fields ····· 1065

Chapter 5. Plan to use the results of research development ····· 1066

Purpose 1. Plan to use the results of research ····· 1066

Purpose 2. Expected results and ripple effect ····· 1068

Chapter 6. Collection of Global Science and Technology Information ····· 1070

Chapter 7. Reference ····· 1089

제 1 장 연구개발 과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

우리나라에 고속철도교통의 시대가 열린 후 우리나라 국민들에게는 이동수단에 선택의 폭이 넓어졌고 보편적인 반나절 생활권이 실현되었다. 이러한 신 교통시스템을 운용함에 있어서 국가적으로 또는 운영기관 입장에서 고려되어야 할 일 들이 생겨나게 되었다. 그 중에서 국내 고속철도 분야 기술력향상, 고속철도차량 KTX의 운용효율성 증대, 그리고 유지보수비용 절감 등이라 할 수 있다. 이를 위해서 고속철도차량 KTX의 추진제어장치(Motor Block)를 국산화 개발하므로 써 주요 핵심부품의 해외 의존도를 낮추고 원천기술을 확보하여 국내 철도산업계와 운영기관에 내재화 하는 것을 목적으로 하였다.

선진철도 기술 추이를 보면 추진제어장치에 GTO 소자를 활용하여 동기전동기를 구동하기 위한 전류제어 방식에서 유지보수성 측면에서 유리한 유도전동기를 사용하기 위해 IGBT 소자를 활용한 전압제어형 추진시스템을 선호하고 있다.

그렇기 때문에 향후에는 KTX 추진시스템에 적용된 기존 부품구입에 어려움이 예상되고, 유지보수에 많은 비용이 소요 될 것으로 예상된다. 따라서 최신반도체소자(대용량 IGBT)를 적용하여 추진제어장치를 개발하는 것이 필연적이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 컨버터/인버터 장치, 이의 냉각을 위한 냉각장치, 가장 효율적인 제어 알고리즘, 장치 간 인터페이스 기능 등 여러 방면에서 다각적인 연구가 추진되어야 한다. 또한 장기간의 고속철도차량(KTX) 운영기간을 고려할 때, 유지보수의 편이성, 비용절감, 국내 고속철도 기술경쟁력 향상, 그리고 세계시장에 진출하기 위해서는 고속철도차량의 추진제어장치(Motor Block)의 원천기술 확보는 중요한 목적이라 할 수 있다.

제 2 절 연구개발의 필요성

국내 철도기술은 1990년대 초까지 해외기술에 의존하며 현상유지에 머무는 형태를 극복하지 못한 채 철도기술이 낙후된 시기를 보내야 했다. 그러나 90년대 초반부터 경부고속철도 건설계획의 확정과 더불어 우리나라 철도기술은 혁신적 발전의 계기를 맞이하였다. 고속철도 건설과 함께 1994년 프랑스 알스톰사의 차량도입이 확정됨으로서 20량 1편성 기준으로 46편성의 고속열차가 도입되었고 이중에서 12편성은 프랑스에서 제작하여 도입되었고, 나머지 34편성은 프랑스로부터 제작기술을 이전받아 국내에서 제작하였으나 원천 설계기술은 보유하지 못한 채 제한된 분야의 기술만이 이전되었다. 이전 자료와 기술을 국내에서 효과적으로 소화 흡수하기 위해 고속철도 시스템을 독자 개발할 수 있는 원천 설계기술을 확보하기 위해 ’96년 12월부터 국토해양부(전, 건설교

통부)를 주관부처로, 유관부처와 협조체제를 구축하여 선도기술 개발사업(G7) 의 하나로 고속전철 기술개발사업을 착수하였다.
그러나 제어방식과 시스템의 호환성을 무시한 채 고속운영의 방식에만 국한된 개발은 국내 고속철도의 운영 체계에 두 종류 고속전철 기술을 태동하게 된다. KTX는 제한된 분야의 기술만이 이전되고 원천 설계기술을 확보하지 못한 채 고속철도차량(KTX)을 운영함에 따라 2004년 고속철도 개통 이후 추진제어장치(Motor Block)에 대한 주요 핵심부품의 해외 의존도가 높고 부품 확보에 어려움이 발생되고 있다. 프랑스 알스톰사의 제작 기술을 이전받은 고속철도차량(KTX)은 견인방식이 동력 집중방식으로 GTO thyristor 반도체 소자를 제어하여 교류 동기 전동기를 구동한다. 현재 세계적 철도기술 연구개발에 비추어 볼 때 이러한 추진제어 방식은 비동기인 유도전동기를 적용하고 있는 독일, 일본 등과 달리 동기 전동기로 적용함에 따른 제어방식이 상이하고 차량연결도 관절형 대차를 사용하기 때문에 대부분 유지보수에 사용되는 핵심 부품이 해외에서 수입되고 있는 실정이다. 반면 반도체 소자나 컴퓨터 제어기술이 첨단 디지털보다는 아날로그 제어방식에 가까운 형태로 제작되어 부품조달이 국산화시 생산에 제한적인 요인으로 작용되는 점이다. 또한 차량의 제어프로그램도 SNCF가 대부분 독자적으로 개량하고 있기 때문에 프로그램의 수정이나 장래 운전방식 등 프로그램 개조의 필요가 있을 때는 SNCF의 자문을 받아야 하는 상황이다.
장기간의 고속철도차량(KTX) 운영기간을 고려할 때, 유지보수의 편이성, 비용절감 및 관련 국내 기술 확보를 위하여 최신 전력용 반도체 소자를 사용하고 이에 따른 최적의 냉각방식을 이용한 주전력변환장치의 개발이 필요한 시점이다.
필요한 기술은 국내에서 기 개발된 고속철도차량의 유사기술과 상이한 점이 많아 개발에 따른 어려움이 있으며, 장기간에 거쳐 개발기간이 소요되고 많은 연구개발비가 예상되므로 운영기관을 비롯한 기업 자체적으로 개발을 추진하기에는 어려움이 있다. 즉 소요기술 및 비용 대비, 수요가 제한적으로 기업자체가 주도적으로 개발을 기피하고 있는 실정이며, 운영기관에서 보면 동기전동기를 견인전동기로 개발한 국내사례가 없을 뿐만 아니라 고속철도차량에 기 탑재된 시스템간 인터페이스가 주요사항으로 개발에 많은 어려움이 뒤따를 것으로 판단되어 개발의 필요성은 인지하고 있지만 개발을 하지 못하고 있는 입장이다. 이러한 상황에서 추진제어장치 개발의 필요성을 살펴보면 다음과 같다

- KTX용 추진제어장치의 원활환 유지보수와 제어시스템의 성능향상을 도모하기 위하여 추진제어장치의 개발과 장치의 성능입증으로 본 장치의 국산화율을 증대하고 유지보수의 편리성 도모가 요구됨.

- KTX의 견인전동기는 대용량 동기전동기로 전류제어 방식이나, 국내 기 개발된 제어기는 전압제어방식의 제어기가 주류를 이루고 있으며 전류제어 방식은 개발한 경험이 없음.

- 국내 기 개발된 인버터는 전압형으로 대용량 동기전동기를 구동하기 위한 인버터는 전류

형 인버터이나 국내에서는 개발한 경험이 없으며, 동기전동기 제어용인 계자 전원장치도 개발 사례 없음.

○ 기존 개발된 국내 고속철도차량(G7, KTX-Ⅱ)은 많은 부분 기술이 상이하며, 장기간에 걸쳐 많은 기술개발비용이 요구되어 기업 자체적으로 개발추진이 어렵고, 기술개발시 수요가 제한적이라 기업자체 개발의지 없음.

○ KTX 운영 잔존기간(약25년) 고려 시 유지보수 편이성, 유지비용 절감 및 관련 국내기술 확보를 위해 대용량 전류제어형 추진제어장치 개발 필요.

제 3 절 연구개발의 범위

○ 통신 인터페이스 및 시스템 간 인터페이스 통합기술연구
○ 보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 방안연구
○ 유지보수 체계기법 연구 및 유지보수 효율성 등 상세설계 검증
○ 서브시스템과 인터페이스 설계 검증
○ 주요부품 상세설계
○ 주요부품 시작품 제작 및 기본시험
○ 주요부품의 제어알고리즘개발(시험에 따른 보완)
○ 제어장치 상세설계 및 제작
○ KTX 추진제어장치 개발품의 LCC 예측 및 LCC향상 방안 도출

1. 연차별 추진계획

가. 1차년도 세부 추진계획 및 방법

일련번호	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간 ㈜	해당기관
1	KTX 기존자료조사와 시스템 요구사항 조사 및 적절한 시스템 요구사항 선정	- 기존자료 조사 및 분석 - 사용자 요구조건 분석 - 고속철도차량에 대한 모터블록 자료 조사 - 고속철도차량에 대한 현차조사 및 인터페이스 자료조사 - 유지보수 개선안 검토 - 성능 측면에서의 요구조건 검토	24	철도공사
2	기존 서브시스템과의 인터페이스 검토 및 방안 연구	- 기존 서브시스템 검토 - 기존 서브시스템과의 인터페이스 방안연구	24	철도공사
3	운용 효율성 등 기본 설계 검증	- 운용 효율성 기본설계 검증	36	철도공사
4	수명주기비용 분석기법 자료 수집 및 조사	- 기존 참고문헌 조사 - PBS를 바탕으로 LCC 모든 요소, 주비용 범주 규명하여 합리적 수준의 비용범주 확립	12	철도대학
5	시스템 요구사항 선정	- 기존제품과 개발품의 호환성 검토 - 냉각장치의 용량 선정 및 사양 선정 - 추진제어장치 서브시스템별 사양 선정 (컨버터, 인버터, MBU 등)	36	우진산전
6	시스템 기본설계	- 호환성 있는 BOX 외함 설계 및 제작 - 대용량 최신 반도체 소자 구동용 구동회로 설계 - 냉각장치의 시제품 설계 - 추진제어장치 서브시스템별 설계(컨버터, 인버터, MBU 등)	28	우진산전
7	인터페이스 설계	- 기존 서브시스템과의 인터페이스 검토 (H/W, S/W, 통신 I/F, MBU 등) - 제어용 인터페이스 및 기동/정지 시퀀스 회로설계	28	우진산전
8	기존장치 회생/여자 초퍼장치 자료조사	- KTX 기술이전 문헌조사 - 시뮬레이션을 통한 기존장치 전기특성 조사 - 기지 내 검수자료 취합/조사 - 운행시 발생한 문제점 취합, 개선방향 조사 - 유지보수 문제 파악, 개선방향 조사	36	이경산전
9	추진제어장치 회생/여자 초퍼장치 기본설계	- 전류형 인버터 회생방안 도출 - 대용량 IGBT 회로 설계 - 회생전류제어를 위한 PWM 방법 도출 - 직렬구성에 의한 여자전류 제어방안 도출 - 여자전류제어를 위한 PWM 방법 도출	36	이경산전
10	인터페이스 자료조사	- 추진제어부 주제어회로와의 연결방법 도출 - ISO-Amp를 이용한 소신호레벨 조사 - 게이트 구동신호 특징파악 - 핸드셰이크 신호 레벨 조사	24	이경산전
11	제어알고리즘 자료조사	- 여자전류제어에 의한 입력역률 제어방안 도출 - 운전영역별 여자전류, 약계자 구간 조사 - 조사 데이터로부터 여자전류 크기 결정을 위한 일반화식 도출	36	이경산전
12	보고서 작성	- 연차보고서 작성	8	

나. 2차년도 세부 추진계획 및 방법

일련번호	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간 (주)	해당기관
1	보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 방안연구	- 보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 검토	36	철도공사
2	유지보수 체계기법 연구 및 유지보수 효율성 등 상세설계 검증	- 유지보수 체계의 효율성 향상을 위한 유지보수 체계기법 연구 - 유지보수 체계의 효율성을 위한 상세설계 검증	24 24	철도공사
3	기존 추진제어장치의 LCC 분석	- LCC 분석에 따른 민감도 분석 및 최적 가치 대안 선택을 통해 LCC 평가 항목과 관련하여 절감을 위한 요소항목 도출 - 운행 중인 KTX의 추진제어장치에 대한 LCC 분석 수행	12	철도대학
4	시스템간 인터페이스 통합기술 연구 및 인터페이스 상세설계	- 시스템 간 인터페이스 검토 - 시스템 간 인터페이스 통합기술 연구 - 통신 인터페이스 검토 - 통신 인터페이스 사양 작성 - 통신 인터페이스 회로 설계 및 기능 구현 - 보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 설계 - 시스템 간 인터페이스 통합 기술 연구 - 주제어 장치와의 동기방식 정의 - 인터페이스 레벨 정의 - 하드웨어부분 설계	36	철도공사 우진산전
5	주요부품 및 제어장치 상세설계	- 주회로 및 제어 회로 설계 - 냉각 장치 및 제어장치 상세 설계 - 보호회로 상세 설계 - 전압/전류 정격을 고려한 구동방안 설계 - IGBT를 적용한 드라이버 회로의 설계 - 과전압/과전류 보호동작 정의 - 스너버회로 상세설계	28	우진산전 이경산전
6	제어알고리즘 설계	- 역률개선을 위한 컨버터제어 알고리즘 설계 - 견인전동기의 인버터제어 알고리즘 설계 - 알고리즘 설계에 따른 프로그램 코딩	28	우진산전
7	시제품 제작	- BOX 외함 제작 완료 - 요소부품 제작 (접촉기, 냉각유닛, 필터회로) - 최신 반도체소자 적용한 컨버터/인버터 장치 제작 - 인터페이스장치 제작	32	우진산전
8	신뢰성 향상 기술연구	- RAM 목표수립 및 Safety 목표수립 - RAM 분석 및 Safety 분석	24	우진산전
9	제어알고리즘 상세설계	- 동기전동기 최적제어를 위한 제어알고리즘 구현 - 제어소프트웨어 설계	24	이경산전
10	회생초퍼장치 상세설계 / 시제품제작 / 시험	- 설계결과를 반영한 시제품의 제작 - 기본시험 진행, 결과분석	36	이경산전
11	여자초퍼장치 상세설계 / 시제품 제작 / 시험	- 설계결과를 반영한 시제품의 제작 - 기본시험 진행, 결과분석	36	이경산전
12	보고서 작성	- 연차보고서 작성	8	

다. 3차년도 세부 추진계획 및 방법

일련번호	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간 ㈜	해당기관
1	시작품 단위부품별 기능시험, 성능시험 및 문제점 도출	- 시작품 단위부품별 기능시험, 성능시험 - 시험 분석 및 문제점 도출	12	우진산전
2	보완 시제품 설계검토 및 제작 (Controller, Unit)	- 현차 측정시험을 통한 Controller 및 Unit의 기능 및 성능조사 - 시작품 성능시험에 따른 시제품 보완 제작	48	철도공사 우진산전
3	단위부품시험, 조합시험, 현차시험 계획서 및 절차서 작성	- 단위부품시험(Controller, Units) 절차서 작성 및 검토 - 조합시험(Motor Block) 절차서 작성 및 검토 - 현차시험(Motor Block) 절차서 작성 및 검토	40	철도공사 우진산전
4	단위부품시험, 조합시험 및 문제점 도출	- 단위부품시험(Controller, Units : 외부기관 신뢰성 인증) - 추진제어장치 조합시험 및 성능 평가 - 시험결과 분석 및 문제점 도출	36	철도공사 우진산전
5	통신 인터페이스 연구 (Controller)	- 통신 인터페이스 회로의 분석 및 코딩	48	우진산전
6	구동 알고리즘 연구(Unit)	- 동기전동기 구동 알고리즘 분석 및 코딩	48	우진산전
7	신뢰성 향상 기술 연구	- 추진제어장치 기존품/개발품 LCC 비교, 검토 및 유지보수비용 절감을 위한 방안 제시	48	철도대학
8	RAMS 분석 및 검증환경 구축	- 하드웨어 신뢰도예측 모델 연구 - 하드웨어 FMEA 프로세스 구축 - 하드웨어 MPA 연구 및 적용방안 연구 - 소프트웨어 요구사항 명세 기준서 작성 - 소프트웨어 설계 명세 기준서 작성 - 소프트웨어 코드 표준서 작성	48	모아 소프트
9	정적시험(구내기동시험)	- 정적시험(구내기동시험) 및 문제점 도출	12	철도공사 우진산전
10	보고서 작성	- 연차보고서 작성	12	

라. 4차년도 세부 추진계획 및 방법

일련번호	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행기간 (주)	해당기관
1	보완시제품 제작 및 조합시험	- 보완시제품 제작 및 조합시험 (공인인증기관 시험의뢰)	24	철도공사 우진산전 이경산전
2	보완시제품 현차시험 (정적, 동적시험)	- 추진제어장치 현차 취부 - 보완시제품 정적, 동적시험 (공인인증기관 시험의뢰) - OBCS와의 I/F 통신시험	24	철도공사 우진산전 이경산전
3	현차 주행시험을 통한 신뢰성 입증	- 현차 주행시험을 통한 신뢰성 입증 (공인인증기관 시험의뢰) (35,000km 이상 또는 6개월 이상 주행시험) - 현차주행시험 결과 분석 및 시험결과에 따른 기능보완	24	철도공사 우진산전 이경산전
4	RAMS 적용연구 및 시험결과 검토	- 신뢰도 예측 BOM 템플릿 - FMEA 자료구조 템플릿 - FRACAS 운용개념 템플릿 - S/W 요구사항 명세서 템플릿 - S/W 설계 명세서 템플릿 - S/W 시험계획서 템플릿 - S/W 시험결과서 템플릿 - 신뢰도 예측 BOM 데이터 - FMEA 자료구조 보고서 - S/W 요구사항 명세서 - S/W 설계 명세서 - S/W 시험계획서 - S/W 시험결과서 - RAMS 분석보고서	36	모아 소프트
5	추진제어장치 유지보수매뉴얼 작성 및 검토	- 유지보수매뉴얼 작성 및 검토	36	철도공사 우진산전 이경산전
6	보고서 작성	- 연차보고서 작성	36	

2. 연도별 주요 추진 일정

연차	연구목표	연구내용	추진일정(월) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	연구비(천원)	비중(%)
1차년도	시스템요구사항 선정 및 기본설계	시스템 요구사항 조사 및 선정	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	106	2
		장치간 인터페이스 기초연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	200	3
		기본설계 및 검토	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	380	7
		신뢰성 향상연구(LCC)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	30	1
2차년도	상세설계 및 시작품제작	통신 인터페이스 사양 정의	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	70	1
		시스템 인터페이스 통합 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	150	3
		상세 설계 및 검토	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	350	5
		시작품 제작 및 테스트							■	■	■	■	■	■	370	6
		신뢰성 향상연구(LCC)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	30	1
3차년도	시제품제작 및 성능시험	시제품 제작 및 시험	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	730	13
		시험 절차서 작성 및 검토	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	120	2
		통신 및 장치간 I/F 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	220	4
		시험평가를 통한 문제점 도출 (공장, 조합, 정적시험)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	270	4
		현차 정적시험 기술지원	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	306	6
		신뢰성 향상연구(LCC)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	20	1
		신뢰성 향상연구(RAMS)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	30	1
4차년도	현차시험 및 신뢰성 검증	S/W제작 및 테스트	■	■	■	■									300	5
		단품시험 및 환경시험	■	■	■	■	■	■	■	■	■				330	6
		조합시험 (공인인증기관 시험의뢰)	■	■	■	■									350	6
		현차시험 (공인인증기관 시험의뢰)					■	■							500	9
		내구주행시험을 통한 신뢰성입증 (공인인증기관 시험의뢰)							■	■	■	■	■	■	600	11
		LCC 예측 및 LCC향상 방안 도출	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	20	1
		추진제어장치 RAMS 적용 연구	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	60	1
		최종보고서 작성											■	■	50	1

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 철도차량 기술개발 현황

1. KTX

2004년 4월 1일 영업운전을 시작한 경부고속열차(KTX)는 프랑스 2세대 고속열차인 TGV-A 차량을 기본으로 한국의 운행여건에 맞게 변형 제작한 차량이다. 열차의 편성은 동력차 2량, 동력객차 2량 및 객차 16량으로 총 20량 1편성으로 구성되어 있으며, 총 46편성이 영업운행 중에 있다. KTX 열차는 고속선 및 기존선을 연계 운행할 수 있는 차량으로 교류 25,000V 전원을 사용하며, 단일 편성으로 운행하며 중련편성은 불가능하다.



< 경부고속철도 KTX >



< 한국형 고속열차 HSR-350X >

2. 한국형 고속열차(HSR-350X)

한국형 고속열차는 G7 고속전철기술개발사업을 통해 개발된 고속전철시스템으로 2004년 4월 1일 영업운행을 개통한 KTX 시스템의 성능을 기반으로 국내기술로 제작된 고속열차이다. 한국형 고속열차는 최고속도 350km/h로 운행 가능한 동력을 갖추고 동력차 2량, 동력객차 4량과 객차 14량의 총 20량을 1편성 또는 11량 중련 편성이 가능하도록 설계되었다. 시제열차는 “동력(운전)차+동력객차+객차3량+동력객차+동력(운전)차” 의 7량 1편성으로 제작되었으며, 20량 또는 11량 편성 단위로 열차의 성능과 특성을 시험할 수 있도록 설계되었다.

< HSR-350X 와 KTX 주요 제원 >

구분	한국형 고속열차	KTX
개통(개발)년도	2002(개발 완료)	2004(개통)
최고운행속도(kph)	300(350)	300
편성(량)	20(2P4M14T) 10(2P8T)	20(2P2M16T)
총길이(m)	393(20량) 200(10량)	388
차량 제원(최대) (길이*폭*높이, m)	22.6x2.97x4.062	22.6x2.90x4.10
총중량(톤)	780(20량), 425(10량)	779
수송용량(명)	871(20량), 370(10량)	935
공급전원	25kV/60Hz	25kV/60Hz
신호시스템	ATC/ATS	ATC/ATS
총 출력(출력)(kW)	17,600-(20량) 8,800-(10량)	13,560
견인전동기 (출력, kW)	유도전동기 (1,100)	동기전동기 (1,130)
인버터/컨버터	IGBT	Thyristor
보조전원장치	IGBT	GTO
제동시스템	회생, 저항, 디스크, 와전류	회생, 저항, 디스크
제동거리(m)	5,520(350km/h) 3,250(300km/h)	3,250
판토그라프(개)	싱글암형(1)	싱글암형(1)
대차 형식	볼스터리스, 일반형, 관절형	볼스터리스, 일반형, 관절형
차축 간 거리(mm)	3,000	3,000
차체 재질	알루미늄 압출재	Mild Steel
객실 소음(dBA)	66	66
열차 편성의 탄력성	20량 고정편성 및 10량 중련편성	고정편성
충돌 특성	- 충돌에너지2.0MJ 흡수	-충돌에너지2.0MJ 흡수

3. KTX-산천

KTX-산천 고속열차는 HSR-350X의 상용화 차량으로 호남선과 전라선에 투입할 목적으로 한국철도공사가 발주하고 국제입찰을 통해 최종적으로 2006년 6월 8일에 현대로템이 수주한 차량이다. 2010년 3월부터 운행을 시작하였으며, 세부적인 사양은 HSR-350X와 유사하므로 주요 시스템 사양만 기술하였다



< KTX-산천 >



< HEMU 430 >

4. 차세대고속열차(HEMU-430)

차세대고속열차는 국내외 고속철도 시장에 능동적으로 대응하고 지속가능한 고속철도기술 경쟁력 확보를 위해 2007년 7월에 시작하여 2011년 말까지 개발하는 최고시속 430km급 동력분산형 고속열차이다. 주요 특징은 편성당 좌석수를 456석으로 KTX 산천 대비 약 16% 증가시켰으며, 능동진동제어로 횡 진동을 약 20% 저감하고 차체 알루미늄 압출재를 최적화하여 KTX산천 대비 5% 경량화와 차음성능을 5dB 향상시켰다. 또한, 300km/h까지 도달시간은 233초로 KTX산천의 301.5초와 비교하여 가속성능을 개선하였으며, 개별좌석 LCD장치의 운행정보, 긴급 상황 및 도착역 알림, 공기청정도 자동감시기능, 승무원 원격 호출 기능 등 최신 IT기술을 적용하였다.

< KTX-산천과 HEMU-430의 특징 비교 >

구 분		KTX-산천	HEMU400X
운영속도 (km/h)		300	370
시험속도 (km/h)		330	430
편 성		2P8T	6M2T(EMU)
축 중		17톤 이하	14톤 이하
신 호		ATS/ATC/ATP	통합형 ATS/ATC/ATP
승객 쾌적성	단면적	L18.7W2.9H3.48	L23.5W3.1H3.5
	현 가	-	(반)능동형
	소 음	-	판토소음 최소설계
		91dB(A) 300km/h	96dB(A) 370km/h
추진시스템		IGBT	IGBT
전동기		유도전동기	유도전동기, 영구자석동기전동기
총출력		8.8 MW	9.84 MW (6M2T)
기계제동		디스크, 답면	디스크, 휠디스크
전기제동		회생, 저항	회생
중량 대비 출력 (Kw/Ton)		20.3	23.7
전두부 형상		단일형상	단일형상

위 표는 차량을 구성하고 있는 주요 시스템 혹은 부품 중심으로 국산화 수준을 평가한 결과이다. 분야 전문가가 주관적으로 평가하였기 때문에 보는 시각에 따라서 다소 차이가 있을 수 있으나, 주요 핵심부품의 경우 판토그라프(60%)를 제외하면 해외기술 수준대비 70~80% 수준이며, 기술이 부족한 이유는 기술개발 경험부족, 내구성 및 신뢰성 부족이 주요 원인인 것으로 파악되었다.

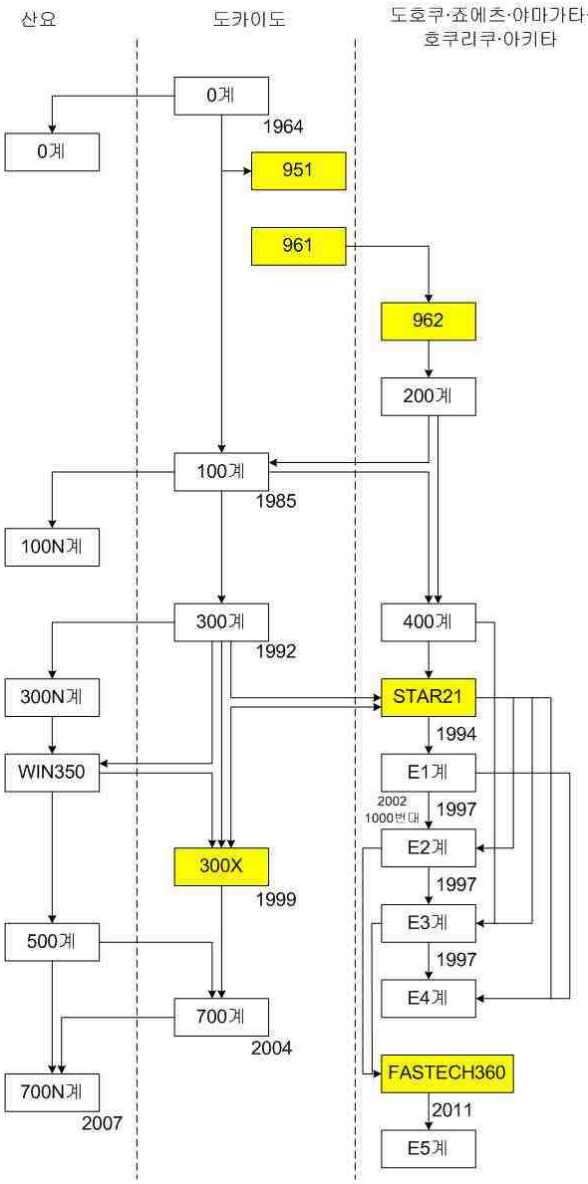
< 국내차량 모터블록 비교 >

종류 및 구분		한국형고속열차 (G7)	KTX 산천	차세대고속철도(HEMU)		기술수준 종합
				M car 용	Mc car 용	
컨버터	용량	2,475kW	1,250kW×2	·4상한 전압형 PWM제어 ·수냉식 강제 냉각 ·1850kW ·IGBT모듈형	·4상한 전압형 PWM제어 ·강제공냉 ·1850kW ·IGBT 모듈 형	·동력집중식 모터블럭의 국산화 개발은 완료되었으나 안정적인 제어기술 미흡 ·동력분산식 컨버터/인버터 개발은 처음으로 시도되는 것으로 기술수준이 미미함 · 해 외 기 술 대 비 60% 수준
	입력	1,400Vac/930A	1,400Vac/928A			
	출력	2,800Vdc/ 884A	2,800Vdc/857A			
	구성	컨버터 2대 병렬운전	좌동			
	소자	4 x IGCT	4 x IGBT Press Type			
	냉각 방식	HEAT PIPE식 HEAT SINK	강제냉각+ Heat Pipe			
	제어 방식	PWM (일정전압/역률제어)	좌동			
	스위칭 주파수	540HZ/효율95%	540Hz			
인버터	용량	연속 2730kVA/최대3000kVA	연속 2,717kVA	·3상 전압형 PWM 제어 VVVF제어 ·수냉식 강제 냉각 ·2,050kVA ·IGBT모듈 형	·3상 전압형 PWM 제어 VVVF제어 ·강제공냉 ·520kVA×4 ·IGBT모듈형	
	입력	2,800VDC/884A	2,800VDC/857A			
	출력	0~2,183Vac/747A/140Hz	0~2,183Vac/718.6A			
	소자	IGCT (4,500V/4,000A)	IGBT Press Type			
	냉각 방식	HEAT PIPE식 HEAT SINK	강제냉각+ Heat Pipe			
	제어 방식	가변전압/가변주파수 가감속제어/회생제어	좌동			
	스위칭 주파수	480Hz/효율 97%	-			

제 2 절 국외 철도차량 기술개발 현황

1964년 일본에서 최초의 고속열차인 신칸센이 200km/h로 영업운행을 시작한 것을 계기로, 1981년부터는 프랑스의 TGV가 그 당시 세계 최고속도인 260km/h로 영업 운행을 개시했다. 이어 이탈리아와 독일, 스페인, 벨기에, 영국에서도 점차 고속열차가 운행을 시작했다. 최근에는 우리나라와 대만, 중국에서 고속철도가 영업을 개시했다. 이들 10개국의 고속열차의 영업 최고속도는 모두 300km/h 이상이다. 2009년에는 터키와 러시아에서 최고속도 250km/h, 네덜란드에서 300km/h의 고속철도가 개통했다.

1. 일본



< 일본 고속철도 차량 개발 역사 >

일본의 고속열차 개발 역사는 세계에서 가장 길고, 개발된 고속열차의 종류가 가장 많다. 일본 고속열차는 각 선로상황과 수송 수요를 고려하여 개발되었다. 1964년에 개통한 도카이도 신칸센은 0시리즈 고속열차로 시작했으며, 운행최고속도는 210km/h였다. 20년 후인 1985년 도호쿠, 조에쓰 신칸센이 개통하였으며, 200시리즈와 100시리즈 고속열차를 공식적으로 운행하였다. 200시리즈의 운행속도는 시험운행 시 210km/h에서 240km/h로 향상되었으며, 100시리즈는 210km/h에서 1986년 0시리즈와 함께 220km/h로 속도향상 되었다.

0, 100, 200 시리즈를 기반으로 1992년 도카이도 신칸센에 300시리즈 열차가 운행을 시작하였으며, 최고운행속도가 270km/h로 크게 향상되었다. 300시리즈 고속열차의 속도향상을 위해 신기술을 도입하였으며 이는 기존 고속열차를 계승 발전시킨 것이었다. 300시리즈에 이어 300N, WIN350 실험형을 거쳐 완성된 차세대 고속열차가 500시리즈이다. 이는 1997년 운행을 시작하였으며 최고속도 300km/h, 실험속도는 350.4km/h(WIN350)에 이른다. 500시리즈 열차는 16량 편성차량이 모두 동력차로, 총 출력이 18,240kW에 달하는 세계에서 출력이 가장 큰 열차 중의 하나다. 300시리즈와 비교하여 열차의 전두부 형태가 더욱 뾰족하고 길며, 기동 저항력과 기동성이 개선되어 경량화 되었으며, 반자동 제어 감진기를 장착하여 차내 소음 및 환경소음을 개선하였다. 700시리즈 고속열차는 500시리즈와 300X 실험형 열차를 토대로 새롭게 개발한 열차이다. 1999년 운행을 시작하여 산요 신칸센과 도카이도 신칸센에서 각각 285km/h와 270km/h의 속도로 영업 운행되었다. 500시리즈의 장점에 추진장치의 스위칭주파수가 더욱 높은 IGBT 모듈을 적용하였다. E4시리즈는 또 다른 유형의 대표적인 일본 고속열차이며, E1형 차량에 의해 발전한 전 2층 차량으로 구성된 신형열차로, 1997년 240km/h의 속도로 영업운전을 시작하였다. 16량(2×4M4T)으로 길게 편성되어 최대정원수가 1,634명에 달한다. 동 차량의 또 다른 특징은 STAR21 실험결과와 고속화에 대한 신기술을 반영하였다는 점이다. STAR21이라는 명칭은 “21세기 철도발전을 지향하는 고급열차”의 의미로 300km/h 운행속도를 목표로 하고 있다. 이를 위해 최소 350km/h속도에서 안정적으로 운행해야하며, 시험최고속도가 400km/h에 도달해야 한다. 동 차량은 1993년 12월 425km/h 속도기록을 세웠다.

이후 JR 동일본은 신칸센 고속화 프로젝트로, 시험차 ‘FASTECH 360’를 고속성, 신뢰성, 환경적합성, 쾌적성 등을 목표로 개발하였다. ‘FASTECH 360S’는 8량 1편성으로 2005년 6월 25일부터, ‘FASTECH 360Z’는 6량 1편성으로 2006년부터 시험을 시작하여 현재 완료 단계에 있다. 신칸센의 각종 요소기술 및 E2계, E3계를 기본으로 차량의 주행안전성, 지상설비, 환경 영향, 쾌적성 등 실제 환경 및 조건에 대한 신칸센 기술의 종합적 평가, 검증을 위해 전용 고속시험차를 개발, 제작 완료한 열차로서 고속 주행시험 등을 실시하였다. JR동일본은 자체 연구개발센터 중심으로 2004년 4월 ’ 신칸센 고속화 추진 프로젝트‘라는 신칸센 고속화 연구개발에 착수, ①지금까지의 기술과제 결과 정리 및 요소기술개발 자료의 데이터 활용, ②상업운행용 신칸센(E2계 1000 및 E3계)을 이용한 고속 주행시험 결과의 활용, ③기존차량 시험결과 수집데이터를 ’ FASTECH 360’ 시험차량의 설계에 참고, 반영하였다. 최근에는 FASTECH 360 시험결

과를 기반으로 하여 영업최고속도 320km/h인 E5계 10량 편성(8M2T)을 제작하여 시험주행을 수행하고 있다. 전두부 형상 설계에 의한 터널 미기압 저감, 대차커버 장착, 차량 간 평활화 및 저소음 판토그라프 채용으로 소음 저감을 꾀하는 한편 전 차량에 능동 현가장치를 적용하여 승차감을 향상시키고 있다. E5계는 2005년도부터 주행시험을 해 온 신칸센 고속시험열차 「FASTECH 360S(E954형식)」의 결과를 기반으로 한 것으로, 영업최고속도 320km/h의 성능을 보유한 것은 물론이고, 환경성능이나 차내 쾌적성도 향상시킨 차량이다. 환경 성능에 관해서는 롱노즈 타입의 전두부 형상으로 터널 미기압 저감, 대차커버 및 저소음 판토그라프 등에 의한 차외 소음저감을 꾀했다. 또한, 차내 쾌적성에 관해서는 전 차량에 풀 액티브 동요방지 제어장치를 설치하여 고속 주행 시 승차감을 향상시키고, 차체경사장치로 곡선 통과 시 승차감을 향상시켰다. 아래 표에서는 500, 700, N700, E2-1000, E5 시리즈의 주요 제원을 정리하였다. 특히 E2-1000계는 대만 고속철도인 700T형의 뒤를 이어 중국에 진출하여 CRH2의 기본 모델이 되었다.

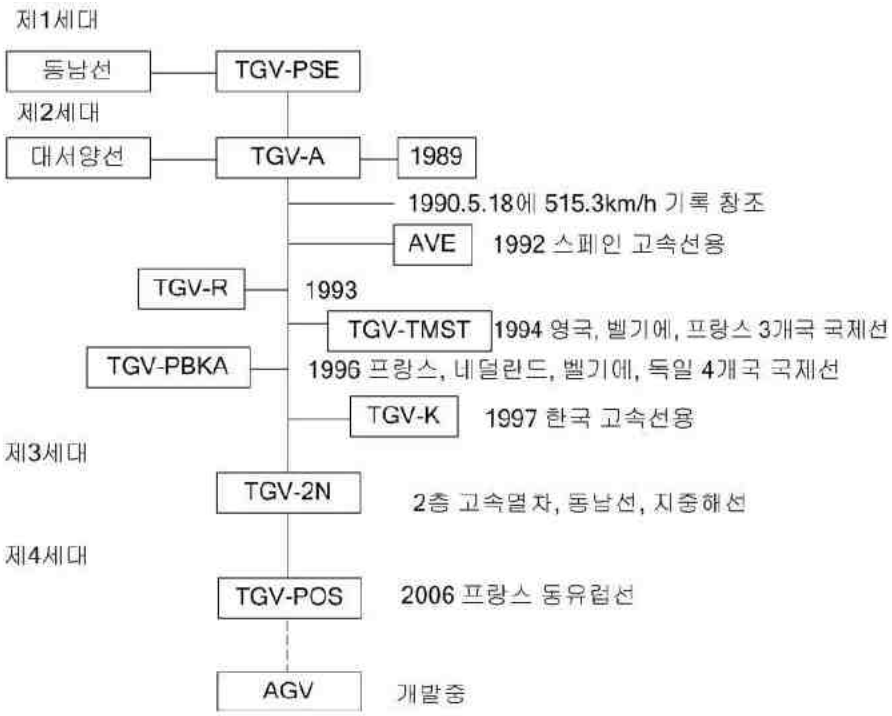
< 일본 고속열차 주요 제원 >

구분		500계	700계	N700계	E2-1000계		E5계
					N	J	
영업 개시	년	1997	1998	2007	1997		2011
영업 최고 속도	km/h	300	285	300	275		320
길이	m	404	405	405	201.4	251.4	253.0
편성	구성	16M	12M4T	12M4T	6M2T	8M2T	8M2T
	동력 배치	분산동력	분산동력	분산동력	분산동력	분산동력	분산동력
특징	연결 방식	비연접	비연접	비연접	비연접	비연접	비연접
	병결 운용	불가	불가	불가	일부 구간 가능		가능
정원	1등차	200	200	200	51	51	
	2등차	1124	1123	1123	579	763	
	합계	1324	1323	1323	630	814	731
차체폭	mm	3380	3380	3360	3380		3350
편성 중량	공차	620	628	-	-		-
	만차	700	708	700	336	440	453.5
축중	톤	11.1	11.4	10.9	10.5	11.0	11.3
전기방식		AC25kV 60Hz	AC25kV 60Hz	AC25kV 60Hz	AC25kV 50/60Hz	AC25kV 50/60Hz	AC25kV 50Hz
편성 출력	kW	18,240	13,200	17,800	7,200	7,600	9,600



< FASTECH 360S >

2. 프랑스



< 프랑스 고속철도 차량개발 역사 >

프랑스는 TGV-A(KTX 모델), Eurostar, TGV-R, TGV-POS, AGV(Automotrice Grande Vitesse)로 이어지는 고속차량을 개발하였다. 가장 최근에는 2001년부터 알스톰과 SNCF가 공동으로 350km/h의 영업속도를 갖는 차세대 고속열차 프로젝트를 착수하여 2008년 2월에 AGV차량을 공개 한 바 있다. 제2세대 차량인 대서양선에 투입된 TGV-A(Atlantique)는 동기전동기를 이용한 경부고속철도 KTX 열차와 같은 형식의 차량이며, 영업 최고속도는 300km/h이다. 같은 세대의 북유럽선에 투입된 TGV-R(Reseau)은 릴과 파리를 거쳐 프랑스의 남동방면으로 운행하고

있다. 이외에도 1994년부터 영불해저터널에서 운영되고 있는 유로스타(Eurostar)는 추진장치에 유도전동기를 사용하였다.

이후 TGV-POS(Paris-Ostfrankreich-Suddeutschland)를 개발하여 프랑스 동유럽선에 최고운영속도 320km/h로 운행 중에 있다. 동 열차는 2×(2M+8T) 총 20량 1편성의 신형 고속열차이다. TGV-POS 차량의 주행장치는 TGV-A, TGV-R, TGV-D와 달리 Eurostar에 채택된 유도전동기를 사용한 IGBT회로로 구성된 모터블록 2기와 1기의 보조블록, 1대의 주변압기로 구성하여 1편성을 제어하는 동력집중식 열차이다. TGV-POS 차량은 모터 1대당 1,160kW의 출력을 가지며, 총 출력 9,260kW의 추진력을 갖는다. TGV-R 차량에 비해 기술적으로 개선된 점은 동력차의 각 견인전동기가 독립되어 있어 일부 전동기의 장애 시에도 장애가 발생한 모터를 임의로 격리하고 정상 상태의 전동기만으로 운행이 가능하도록 만든 것이 특징이다. 유지보수의 용이성 측면에서 보면 Eurostar < POS < AGV의 순으로 정리할 수 있다. 또한, TGV POS 차량은 프랑스의 고속선 및 기존선과 독일지역의 고속선을 통과하기 위해 3가지의 서로 다른 형식의 전원을 공급 받을 수 있도록 개발되었다. 제동장치의 경우 공기압제동, 가변저항의 전기제동, 회생제동, 와전류 제동을 사용하며 공기제동은 KTX열차와 같은 방식을 사용한다. 전기제동은 비상제동 시 사용하며, 각 대차 당 1,900kW의 제동에너지가 공급된다. 반면, 회생제동은 상용제동 시 사용되며, 각 대차 당 2,200kW의 제동파워가 공급된다. 와전류 제동은 독일 기존선 구간에서만 사용할 수 있도록 개발하였다.



< 프랑스 ALSTOM의 초고속 열차 AGV >

현재 프랑스는 기존의 동력집중식과는 다른 동력분산식 차량 AGV를 개발하여 SNCF에서 이를 구입해줄 것을 설득하고 있다. AGV는 기존 TGV처럼 기관차가 필요 없어 좌석수를 늘릴 수 있고, 기관차의 무게를 전체에 분산시킬 수 있어 운전 및 정비에 유리하다. 또한, 최고운전속

도는 기존 TGV의 320km/h에서 360km/h로 40km/h가 빠르다. 차량사이를 연결하는 대차는 관절대차로서, 진동과 소음을 저감할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 관절대차는 탈선이 발생한 경우에 열차가 묶여있는 형태이므로 안전성도 탁월한 것으로 알려져 있다. AGV는 이러한 관절대차의 장점에 동력분산식의 장점을 조합하여 모터 등 동력에 기여하는 장치를 취부 할 공간을 기존열차에 비해 20% 더 확보할 수 있고, 동력장치의 분산으로 인해 좌석 수 증대 및 승객 편의시설 확보의 이점을 가지고 있다. AGV의 또 다른 장점으로는 견인과 제동을 담당하는 영구자석동기전동기를 예로 들 수 있다. 11량 편성에서 6개의 동력대차를 사용하여 기존 경쟁 열차와 비교가 안 될 정도로 큰 톤당 22.6kW의 에너지를 낼 수 있고, 대차에 취부가 편리하도록 작게 설계되었으며, 보수가 편하고 높은 신뢰성을 갖도록 간단한 환기회로가 부착되어 있다. 설계 시 전산설계방법을 이용하여, 시간과 비용의 절감을 이루었고, 소음최소화를 위해 소음차폐재와 대차의 위치, 노우즈 모양 변경 및 대차 커버를 부착하여 300km/h에서 330km/h의 속도향상 시 소음이 두 배로 증가되는 것을 360km/h 운행 시 300km/h~320km/h에서 발생하는 소음 수준으로 낮추었다. 경량화를 통해 경쟁차종 대비(동일 열차길이) 무게를 17% 감소시키고, 에너지 소비를 15% 감소시켰다. 필요에 따라 7, 8, 11, 14량으로 편성가능토록 모듈화 설계/제작하여 편성에 따라 250명에서 650명의 승객이 탑승할 수 있게 하였다.
아래 표에 TGV-R, TGV-D, TGV-POS, AGV의 주요 제원을 정리하였다.

구분		TGV-R	TGV-D	TGV-POS	AGV
영업개시	년	1993	1996	2007	미정
최고속도	km/h	320	320	320	320
길이	m	200	200	200	253
편성	구성	2L8T	2L8T	2L8T	8M2T
	동력배치	양단집중	양단집중	양단집중	분산 동력
특징	연결방식	연접	연접	연접	연접
	병결운용	가능	가능	가능	가능
정원	1등차	120	197	120	103
	2등차	257	348	257	308
	합계	377	545	377	411
차체폭	mm	2904	2896	2904	3350
편성중량	공차	383	380	383	-
	만차	416	424	-	453.5
축중	톤	17	17	17	11.3
전기방식		AC25kV 50Hz AC15kV 16 2/3Hz DC1.5kV	AC25kV 50Hz DC1.5kV	AC25kV 50Hz AC15kV 16 2/3Hz DC1.5kV	AC25kV 50Hz AC15kV 16 2/3Hz DC1.5/3kV
편성출력	kW	8,800	8,800	9,280	8,400

3. 독일

ICE(InterCityExpress)는 독일 및 인접한 이웃국가들의 고속열차 시스템을 의미한다. 철도차량 제작업체인 Bombardier와 Siemens사가 공동으로 제작한 ICE는 독일의 국영철도회사인 Deutsche Bahn의 대표적 브랜드이기도 하다. 독일은 1991년 독일 최초의 고속열차 모형인 ICE1을 개발한 이후, ICE2(1996), ICE3(1999)순으로 3가지 고속열차 모델을 개발하였다. ICE는 단순히 독일 내의 고속철도망만을 의미하는 것은 아니며, 독일 주변 국가들 역시 폭넓게 ICE 노선을 공유하고 있다. 2007년에는 파리-스투트가르트/프랑크푸르트 노선이 개통되었으며, 이들 노선은 Deutsche Bahn과 SNCF가 공동으로 운영하고 있다. ICE1과 ICE2는 전통적인 독일의 고속철도 기술을 발전시킨 형태라 할 수 있으며, 이들 차량은 유럽에서 가장 일반적인 고속철도 편성방식인 push-pull 방식의 동력집중식편성을 채택하고 있다. 이 때문에 유지보수가 편리하고 주행저항 및 에너지 소모가 적은 동력집중식의 장점을 가지고 있는 반면에 운행도중 고장 시 조치가 어려운 단점을 가지고 있다.

승객 안락감은 속도 증가로 인해 차량 제작사에게 요구되는 주된 고려사항으로 전 모델과 같이 ICE3은 승객 고려사항을 만족시키도록 설계되었으며, 중거리 여행 시 철도가 항공기와 경

쟁이 가능하도록 하였다. 운행 요구사항을 만족시키기 위해 동력차 사양에 많은 변화를 가져왔으며, 가장 중요하게 고려된 요구사항은 최고 축중 17톤, 최고속도 330km/h, 40‰구배 등판필요, 승객 안락감을 저해하지 않는 최대 좌석용량과 고정된 열차 전장 200m 또는 중련 편성시 전장 400m이다.



< ICE3 >

Siemens는 미래형 ICE3 성능향상 개발계획을 발표하고, 최고속도 350km/h를 갖는 'Velaro'차량을 개발하였다. 개발된 ' Velaro E Version 고속열차 '는 2001년 7월부터 마드리드-바르셀로나-프랑스 국경에 이르는 625km 노선에 투입되어 소요시간 2시간 30분으로 운행 중에 있다. 이 차량은 동력분산식을 채택하여 최대출력 8,800kW로 350km/h를 주행할 수 있으며, 8량 1편성으로 제작하여 GSM-R에 기초한 유럽 신호표준인 ETCS Level 2를 적용함으로써 전 유럽지역에 적용할 수 있다. 또한, 차량 제어를 위한 신호시스템은 가장 선진화된 2중 안전구조를 갖도록 하였으며, 중련 편성운행에 대한 제어도 가능하도록 설계하였다. 아래 표에 ICE1, ICE2, ICE3, Velaro의 주요 제원을 정리하였다.

구분		ICE1	ICE2	ICE3	Velaro(스페인)
영업개시	년	1991	1997	2000	2007
최고속도	km/h	280	280	380	350
길이	m	358	205	200	200
편성	구성	2L12T	1L7T	4M4T	4M4T
	동력배치	양단집중	편단집중	동력분산	동력분산
특징	연결방식	비연접	비연접	비연접	비연접
	병결운용	불가능	가능	가능	가능
정원	1등차	144	105	141	-
	2등차	501	265	250	-
	합계	645	370	391	404
차체폭	mm	3020	3020	2950	2950
편성중량	공차	798	418	409	425
	만차	845	453	440	455
축중	톤	15.1	14.2	13.8	17
전기방식		AC15kV 16 2/3Hz	AC15kV 16 2/3Hz	AC15kV 16 2/3Hz	AC25kV 50Hz
편성출력	kW	9600	4800	8000	8800

4. 스페인

스페인어로 새를 의미하는 AVE(Alta Velocidad Espanola)는 전용노선에서 300km/h이상으로 운영되는 고속열차이다. 전통적인 스페인의 철도시스템은 광궤 노선을 쓰고 있는 반면, 스페인 AVE 네트워크는 인접 국가들과의 네트워크 구성을 위해 표준궤를 사용하고 있다. 스페인은 기복이 심한 지형여건으로 인해 대형기관차가 필요하였고, 역사적으로 타국으로부터의 침략을 피하기 위한 군사상 요구도 있어 타국과 다른 광궤를 사용하였다. 이 때문에 스페인과 프랑스를 연결하는 국제열차는 궤간이 변경되는 것으로 국경역에서 차체를 올려, 대차 또는 차륜을 교환하는 방식으로 대응하게 되었다.

스페인은 1992년 아메리카 신대륙 발견 500주년 역사를 기념하기 위해 국제박람회를 세비아에서 개최하고 올림픽 경기를 바르셀로나에서 개최하였다. 1992년 4월 세빌리아에서 국제박람회가 개최되면서 마드리드와 세빌리아를 연결한 472km의 고속철도 선로에 영업최고속도 250km/h의 AVE가 영업을 개시함으로써, 두 도시를 2시간 45분으로 연결하였다. 같은 해 10월 마드리드와 톨레도, 마드리드와 과달라하라 노선이 개통됨으로서 스페인의 본격적인 고속철도 시대가 개막되었다. 1993년 기존선과 전용선 혼용노선으로 마드리드와 말라가를 잇는 구간에 Talgo 200이 서비스를 시작했으며, 같은 해 4월 시험주행에서 AVE 최고속도인 356.8km/h를 달성하였다. 1994년에는 마드리드와 세비야 노선이 기존의 250km/h에서 300km/h로 운행속도를

향상시키며 여행시간을 40분 단축시켰다. 2007년에는 마드리드-말라가 노선의 마지막 구간이 완성되었다. 2001년 7월 스페인국철(RENFE)은 마드리드-바르셀로나-프랑스 국경 구간에 투입될 새로운 열차 Velaro E를 Siemens사로부터 구매하였다. 동 구간에서 운행될 Velaro E는 독일의 ICE3를 기본으로 발전시킨 형태로서, 현재 세계에서 가장 빠른 상업열차 대열에 속해 있다.



< AVE >



< Velaro E >

5. 이탈리아

이탈리아는 국토의 대부분이 산악지형으로서 직선화된 고속철도의 건설이 부적합하다고 판단되어 곡선이 많은 기존선을 활용하여 운행시간을 단축하는 연구 및 정책이 진행되었으며, 교통수단의 성능향상과 편리성 증진을 위하여 고속 신선망 구축계획을 수립하여 진행하고 있다. 고속 신선망 구축은 국철에서 기획하고, 별도의 추진 주체(TAV)는 국철 45% 및 9개 시중은행 참여로 설립되었으며, 건설과 운영을 분리하고 있다. 1978년 로마와 피렌체를 연결하는 고속철도 노선은 최고속도 250km/h, 평균속도 200km/h로 두 도시를 연결하고 있다. 펜돌리노(Pendolino)라고도 불리는 ETR 450은 이탈리아 최초의 틸팅 열차이다. 1989년 로마-밀란 구간에서 서비스를 시작했으며, 편성당 9량으로 구성되어 있다. 스위스와 이탈리아의 합작철도에 의해 운영되고 있는 ETR 470은 편성 당 9량의 동력분산식 틸팅차량이다. 이탈리아 고속신선 전용으로 사용될 ETR 500차량은 기존의 펜돌리노 차량과 달리 동력집중식으로 틸팅기능을 적용하지 않았으며, 차량 최고속도는 300km/h이다.



< ETR 460 >



< ETR 500 >

6. 중국

가. 동차조(動車組, 고정편성차량을 의미함) 개발현황

중국 최초의 동차조는 1988년에 장춘객차장, 주주전력기차연구소, 중국철도과학연구원에서 공동으로 141km/h까지 시험한 동력분산식 「KDZ1」형이다. 그 후 1998년에 스웨덴 국철과 공동연구로 스웨덴 틸팅 열차인 X2000을 수입하여 「신시속」이란 명칭으로 운영속도 200km/h로 영업운전을 하였다. 동력분산식의 계보는 「춘성」,「중원지성」,「선봉」,「장백산」에서 마무리된다. 각 열차의 주요 제원은 아래 표에 정리하였다.

< 동력분산식 열차제원 >

항목	춘성	중원지성	선봉
모델명	DZFIA	DJFI	DJF
열차 외형			
제조년	1999	2001	2001
용도	시교(市郊), 중거리객운	간선중거리객운	고속객운전선
전기방식	AC25kV, 50Hz	AC25kV, 50Hz	AC25kV, 50Hz
열차편성	3(1M+1T)+1T	4(2M+1T)+2T	2(2M+1T)
전동기제어방식	위상제어 4단 브릿지	VVVF	VVVF
윤경(mm)	915	915	915
치차비	76:23=3.30	89:21=4.238	73:23=3.174
최고속도(km/h)	120	160	200
연속 정격출력(kW)	3×720=2160	3200(6400)	4800
동축출력(kW)	180	200	300
축중(t)	16.5	16	15
연속동륜주인장력(kN)	160	250	211
기동동륜주인장력(kN)	240	430	420
전기브레이크방식	발전저항브레이크	전력회생브레이크	전력회생브레이크
전기브레이크출력(kW)	3150	7200	4800
브레이크방식	전+공협조	전+공협조	전+공협조
보조전원계통	정지역변기계통	정지역변기계통	정지역변기계통
정원	600 (3M3T)	548 (4M2T)	424 (4M2T)
급전방식	DC600V 집중급전	DC600V 집중급전	DC600V 집중급전
기동가속도(m/s^2)	0.03	0.4 (0~52.5km/h)	0.42 (0~100km/h)
출력비(kW/t)	6.67	8.47	13.95
제조	장춘 객차청	사방객차차량창 등	남경보진 차량창

동력집중식의 개발 현황을 살펴보면, 200km/h 등급의 「대백사」,「남전」,「중화지성」을 중

국 자체기술로 개발하였으며, 자세한 사양은 아래 표와 같다. 「남전」은 중국 국내에서 개발하여 대량 생산한 유일한 모델이다. 「중화지성」은 「남전」을 기반으로 개발하였고 2002년 주행시험에서 321km/h의 중국최고속도를 기록하였으나, 알려지지 않은 이유로 대량생산되지 못하였다.

< 동력집중식 열차제원 >

항목	대백사	남전	중화지성
모델명		DJJ1	DJJ2
열차외형			
제조첫해(年)	1999	2000	2002
편성	1M6T	1M6T	2M9T
열차정원(人)	489	456	774
최고속도(km/h)	200	210	270
열차출력(kW)	4000	4800	4800×2
전동기제어방식	교-직	교-직-교	교-직-교
전동기방식	직류전동기	유도전동기	-
전기브레이크방식	발전저항브레이크	회생브레이크	회생브레이크+ 공기브레이크
축중	≦21(동력차) ≦15.5(부수차)	≦19.5(동력차) ≦15.5(부수차)	≦19.5(동력차) ≦15.5(부수차)
제조	주주전력기차창	주주전력기차창 장춘객차창 등	장춘객차창 사방객차차량창 등

2005년부터 여객 수송에 투입되었으나 160km/h의 속도로 운영되었다. 이후 철도고속화 계획에서 CRH가 선정되면서 존재가치가 쇠퇴하였으며 2007년 이후로 사용하지 않고 있다.
위에서 설명한 바와 같이 중국은 재래선의 고속화를 통하여 철도수송능력 강화, 수송시장에서의 철도 지위향상을 꾀하였다. 이를 위해 최고시험속도 300km/h 이상의 「중화지성」을 개발하는 것에 성공하였으나, 시험운전에서 많은 해결과제가 발견되어 양산을 보류하고 국외 기술을 도입하여 재래선 고속화 및 기술수준 향상을 계획했던 것으로 판단된다.

나. CRH 현황

1) CRH1

CRH1 고속열차는 중국 철도부가 제6차 재래선 고속화를 위해 독일의 봄바르디아 트랜스포테이션사(캐나다에 본거지를 두고 있는 봄바르디아 그룹의 철도 부문, BST)와 기술 제휴해 도입한 고속열차이다.

CRH1A, B의 원형은 Regina C2008형이며, CRH1E는 Zefiro 250km/h 설계를 기반으로, CRH380C/CL은 Zefiro 380km/h 설계를 근간으로 하고 있다. CRH1A 고속열차는 2007년 2월 1일부터 광심선(광저우~선전)에서 영업 운전을 개시했고, CRH1B는 2009년 4월 상해~난징 구간과 상해~항주 구간에서, CRH1E는 2009년 4월에 북경~상해구간에서 첫 운행을 시작했다. CRH1 계열의 차량 형상 및 주요제원은 아래와 같다.

< CRH1 고속열차 주요 제원 >

항목	CRH1A	CRH1B	CRH1E	CRH380C	CRH380CL
편성형태	5M3T	10M6T	10M6T	8량	16량
편성/차량수	40+40편성(640량)	20편성(320량)	20편성(320량)	20편성(160량)	60편성(960량)
원형 모델	Bombardier Regina		Bombardier Zefiro 250	Bombardier Zefiro 380	
제작사	Bombardier Sifang Transportation Ltd.(Qingdao)_BST				
운영 개시연도	2007	2009	2009	-	-
운영구간	광주-심천	북경-상해	북경-상해	-	-
최고속도(km/h)	220(초기40편성), 250(후기40편성)	250	250	380	380
수송인원(명)	668/611/645	1,299	618(침대차)	-	-
편성길이(m)	213.5	426.3	429		
중량(톤)	CRH1A:420.4	-	-	-	-
가속도(m/s^2)	0.6	-	-	-	-
감속도(m/s^2)	비상:1.2 상용:0.8	-	-	-	-
차체폭(mm)	3,328	-	-	-	-
차체높이(mm)	4,040	-	-	-	-
승강장 높이(mm)	500~1200	-	-	-	-
추진시스템	IGBT VVVF 인버터제어	-	-	-	-
견인출력(MW)	5.3	11	11	10	20
전력변환	교-직-교				
전차선 전압	AC 25kV				
제동	회생, 공기				
궤간(mm)	1,435				



< CRH1 A >



< CRH1 E >



< CRH380C >

중국 철도부는 2009년 6월에 시속 350km인 고속 동차유닛 구매 낙찰을 진행하였고, 2009년 9월 28일에 BST와 상해철도국은 8량 1편성 20편성과, 16량 1편성 60편성에 대한 차량 구매 계약을 체결하였다. 차량은 봄바르디아 Zefiro 380 동차유닛을 기술 플랫폼으로 하고, 지속가능 최고속도 350km/h로, 최고운영속도 380km/h, 최고시험속도 420km/h이다. 이중 8편성 동차유닛은 CRH380C로 명명하고, 16편성 동차유닛은 CRH380CL로 명명했다. CRH380C 동차유닛은 2012년 7월에서 2014년 9월 사이에 납품될 예정이다. 2010년 9월에 개최한 Innotrans 2010에서 봄바르디아는 처음으로 최신 Zefiro 380 동차유닛 견인차량의 1:1 모형을 전시한 바 있다.

2) CRH2

CRH2 고속열차는 중국 철도부가 제6차 재래선 고속화를 위해서 일본 차량 제조사인 가와사키 중공업으로부터 구입한 고속철도차량이다. CRH2 고속열차 차량 형상 및 주요제원은 아래와 같다.

< CRH2 고속열차 주요제원 >

항목	CRH2A	CRH2B	CRH2C	CRH2E
편성형태	4M4T	8M8T	6M2T	8M8T
편성/차량수	60+20편성(640량)	20편성(320량)	30편성(240량) 20편성(160량)	20편성(320량)
원형 모델	신칸센 E2-1000	신칸센 E2-1000	중국설계	신칸센 E2-1000
제작사	Kawasaki Heavy Industries Sifang locomotive and Rolling Stock			
운영년도	2007	2008	2008	2008
운영구간	북경~광주 등	합비-남경 등 다수	상해~남경 등	북경~하얼빈 등
최고속도(km/h)	250	250	350	250
수송인원(명)	588/610	1230	610	630
편성길이(m)	201.4	401.4	201.4	401.4
차체폭(mm)	3380	-	-	-
차체높이(mm)	3700	-	-	-
승강장 높이 (mm)	1200	-	-	-
추진시스템	IGBT VVVF 인버터제어	-	-	-
견인출력(MW)	4.8	9.6	7.2/8.76	9.6
전력변환	교-직-교			
전차선전압	AC 25kV			
제동	회생, 공기			
궤간(mm)	1,435			



< CRH2 >



< CRH 380A >

CRH2 고속열차는 일본의 E2계 1000번대 신칸센 열차가 기반이다. 신칸센 차량의 국외로의 수출은, 대만고속철도 700T형 다음으로 두 번째로, 애칭은 자탄두(자탄=탄환이라는 뜻)이다. CRH2와 신칸센 E2의 가장 큰 차이점은 전동차(M)과 부수차(T)의 구성(MT)비이다. CRH2A 견인전동기는 E2계 1000번대와 동일하지만 4M4T이기 때문에, 영업운전 최고속도는 E2계 1000번대(8M2T)의 최고속도 275km/h(설계최고속도 315km/h)보다 낮은 250km/h로 되었다.

CRH2의 파생형인 CRH2C는 총 60편성이 발주되었으며, 30편성은 최고속도 300km/h, 30편성은 최고속도 350km/h를 목표로 했다. 350km/h 고속열차 연구개발을 위해 철도부는

CRH2-300 프로젝트를 2006년부터 시작하여 거액의 개발비를 투입하였고, 50개의 대학, 150,000명의 기술진, 600개 기업이 프로젝트에 참여하였다. 1단계에서 최고운영속도 300km/h의 CRH2 변형모델을 위해 두 개의 중간객차를 동력객차로 대체하였으며, 알루미늄 차체를 통한 경량화, 고속 대차 및 판토그라프, 광섬유를 사용한 통합제어시스템 등 첨단기술을 적용하였다. 2007년 12월 22일에 최초 편성이 제작되었으며, 2008년 4월 22일 시험운행을 통해 베이징～천진 구간에서 370km/h를 기록하였다. 2009년 12월 11일 정주～시안구간 시험운행에서 394.2km/h를 달성하였다. CRH2C 1단계 고속열차는 CRH3C 고속열차와 함께 2008년 8월 1일에 베이징～천진 구간에서 영업운행을 시작하였다.

CRH2C 2단계 고속열차는 CRH2 모델을 기본으로 새롭게 설계한 것으로, 알루미늄 차체, 소음 감소기술 등 주요기술은 CRH3C를 따르고 있다. 세부적인 내용을 살펴보면, 고속 주행 시 열차 진동을 최소화하기 위해 축중을 14톤에서 15톤으로 증가시키고, 치차비를 3.036에서 2.379로 감소시켰다. 이를 통하여 임계속도는 550km/h로 향상되었으며, 대차의 온도용량을 증가시켜 350km/h 속도대에서의 지속운행을 가능케 했다. 또한, YQ-365형 교류견인전동기(총 출력 8,760kW)를 사용하여 최고운행속도까지 추진을 가능하게 하였다. 차체 강성을 높여 소음과 진동을 억제했고, 차체와 창문 설계를 최적화하여 기밀성(압력보호시스템 추가 등)을 확보하였다. 옥상 안테나, 창문 등에 대한 최적화 설계를 통하여 주행저항을 낮추었다. CRH2C 2단계 고속열차의 최초편성은 2010년 1월에 제작되었으며 2010년 2월부터 정주～시안구간에서 운행을 시작하였다. CRH2E는 CRH2B모델의 변형이며, 2008년 12월 21일부터 베이징～상해 구간에서 250km/h 속도로 운영하고 있다.

2008년부터는 CRH2-350 프로젝트를 시작하였으며, 목표는 최고운영속도 380km/h의 고속열차를 개발하는 것이다. 이를 위하여 2009년 9월 28일 무한철도국과 사방기차차량은 북경에서 140편성의 지속가능 최고속도 350km/h인 동차유닛 구매계약을 체결하였다. 이는 CRH2 모델을 기반으로 운영속도를 올린 고속열차로 CRH380A로 명명되었다. 이 중 100편성은 1편성이 16량인 장편성(CRH380AL), 40편성은 1편성이 8량인 단편성(CRH380A)으로 지속가능 최고속도는 350km/h, 최고 운영속도는 380km/h이며 최고시험속도는 400km/h이상이다. CRH380A는 호항 여객전용선에서 시험을 진행하였고, 2010년 9월 28일에 최고속도 416.6km/h에 도달하였으며, 2010년 12월 3일에는 베이징～상해 구간에서 최고속도 486.1km/h를 달성한 바 있다. 2010년 10월 26일부터 CRH380A는 정식으로 호항 여객전용선에서 운영을 시작하고 있다. CRH2 고속열차 차량의 주요 제원을 정리하면 아래와 같다.

< CRH380A 주요 제원>

구분	내용
편성구조	6M2T
좌석 배치	1등석: 2+2, 2등: 2+3
지속가능 최고운영속도(km/h)	350
최고운영속도(km/h)	380
실험속도(km/h)	≫400
궤간(mm)	1435
승강장 높이(mm)	1200
차체 재질	알루미늄 합금 중공형재
기밀성	내부압력 4kPa->1kPa 하강 시, 필요시간 50초 초과
선두차 길이(mm)	25,700
중간차량 길이(mm)	25,000
차량 폭(mm)	3380
차량 높이(mm)	3700
대차	SWMB-400, SWTB-400 H형 CRH2C 사용대차 재 설계 볼스터리스 대차, 공기스프링 대차
1차 현가장치	압력 감진기
2차 현가장치	공기스프링+고무패드
축중(t)	≪17
고정 축간거리(mm)	2,500
추진시스템	미쯔비시/남차 풍냉 VVVF
견인전동기	YQ-365형 교류전동기(365kW)
견인출력	8,800kW(16량 20,440kW)
전압/주파수	AC 25kV/50Hz
제동방식	재생제동+전기제어제동

3) CRH3

CRH3 고속열차는 중국 철도부가 제6차 재래선 고속화를 위해서 독일 지멘스사의 기술공여에 의하여 중국의 차량메이커가 제조한 고속철도 차량이다. CRH3차량의 원형모델은 ICE3 Velaro이다. CRH3와 ICE3 Velaro의 차이점은 아래와 같다.

- 차폭이 30cm확장되어 신칸센과 마찬가지로 일렬에 최대 5석(2+3) 배치
- 대부분의 좌석에 신칸센 E2계 및 CRH2(신칸센 E2-1000 기반)와 거의 같은 형상과 외관의 회전식 크로스시트 설치
- 최고운영속도 350km/h
- SF500 대차 성능개량

< CRH3 고속열차 주요제원 >

항목	CRH3C	CRH380B	CRH380BL
편성형태	4M4T	4M4T	8M8T
편성/차량수	80편성(640량)	40편성(320량)	138편성(2208량)
원형 모델	Siemens Velaro		
제작사	Siemens, Tangshan Railway Vehicle, Changchun Railway Vehicle		
운영년도	2008	시험 중	
운영구간	북경~천진	-	-
최고속도(km/h)	350	380	380
수송인원(명)	556	-	1009~1060
편성길이(m)	200	200	400
중량(톤)	447	-	-
차체폭(mm)	3265	-	-
차체높이(mm)	3890	-	-
승강장 높이(mm)	1250	-	-
추진시스템	IGBT VVVF 인버터제어	-	-
견인출력(MW)	8.8	9.2	18.4
전력변환	교-직-교		
전차선전압	AC 25kV		
제동	회생, 공기		
궤간(mm)	1,435		



< CRH3 >



< CRH380B >

CRH3C 고속열차는 2008년 6월 24일 베이징~천진구간에서 394.3km/h 기록하였고, 2009년 12월 9일에 중련편성으로 정주~시안구간에서 394.2km/h를 달성한 바 있다. 2009년 3월 중국 철도부와 지멘스, 중국북차집단 산하의 당산궤도 객차공사와 장춘객차 주식유한공사 및 중국 철도과학연구원은 일련의 차량구매 계약을 체결하여 100편성의 16량 동차유닛을 합작 생산하기로 하고, 이를 CRH380B로 명명했다. CRH3C와 비교할 때 최고 운영속도는 350km/h에서 380km/h로 제고되었고, 최고시험속도는 400km/h이다. 견인출력을 제고하고, 치차비를 감소시키며 동차유닛의 주행저항을 감소시킨 것이 성능 최적화의 주요 내용이다. 열차 쾌적성을 향

상시키기 위해 진동, 소음, 기압변화를 최적화하였다.
16량 편성의 동차유닛은 VIP 1량 , 1등석 4량, 2등석 10량, 식당차 1량으로 구성되고 정원은 1009명이다. 2010년 5월 27일에 CRH380B 시제차량을 제작 완료하였고, 2011년 경호 고속철도에 투입 예정이다. 180편성을 생산할 예정이며, 현재까지 최고시험속도 457km/h를 달성했다. CRH380BL의 주요 제원은 아래와 같다.

< CRH380BL 주요 제원 >

구분	내용
편성구조	8M8T
정원	1009명
최고운영속도(km/h)	380
실험속도(km/h)	≫400
차체 재질	알루미늄 합금 중공형재
기밀성	내부압력 4kPa->1kPa 하강시 필요시간 50초 초과
대차	H형 대차, 공기스프링 대차
축중(t)	≪17
견인전동기	교류전동기(550kW)
견인출력	18,400kW
전압/주파수	AC25kV, 50Hz
제동방식	재생제동+직통식 EP제동
보조전원	3상 440V 80Hz, DC100V

4) CRH5

CRH5 고속열차는 중국철도부가 제5차 재래선 고속화를 위해서 프랑스의 TGV를 제조한 알스톰사와 제휴하여 도입한 고속철도 차량이다. 틸팅열차인 ETR600 고속열차를 기반으로 한 동력분산식 고속열차이며, 틸팅 기능은 없다. 최고설계속도는 300km/h이며, 현재 250km/h로 운영하고 있다. CRH5와 ETR600의 차이점은 차폭을 확장하여 신칸센, CRH1, 2, 3형과 마찬가지로 일렬에 최대 5석을 설치할 수 있다. 단, 좌석의 방향은 CRH1과 같은 고정식으로 CRH2, 3형과 같이 방향을 회전할 수 없다.
특히, 2007년 4월 2일에 중국철도과학연구원(China Academy of Railway Sciences)는 CRH5를 기반으로 한 고속 시험열차를 주문했다. 이 열차는 궤도조건, 휠 레일 작용력, 전차선, 통신 및 신호시스템을 모니터링 하는 장치를 장착한 것으로 공식 명칭은 Code Zero Comprehensive Testing Train이다. 이 열차 외관은 노란색과 흰색으로 도장을 하여2007년 7월 1일부터 시험운행을 시작하고 있다.

중국은 북경-상해 고속열차를 운행시간 4시간으로 운영하기 위해 북경-천진 고속열차 운영경험과 CRH2-300형과 CRH3형 고속열차 설계내용을 토대로 북경~상해 고속열차 최적화 기술지표를 도출하였다.

< CRH5 주요 제원 >



항목	내용
편성형태	5M3T
편성/차량수	90편성(720량)
원형 모델	Alstom Pendolino
제작사	Alstom, 장춘차량제작사
운영년도	2007
운영구간	북경-하얼빈 등
최고속도(km/h)	250
수송인원(명)	622
편성길이(m)	211.5
중량(톤)	17
가속도(m/s^2)	≥0.5(출발시), 0.11(200km/h), 0.05(250km/h)
차체폭(mm)	3200
차체높이(mm)	4270
승강장 높이(mm)	500~1200
추진시스템	IGBT VVVF 인버터제어
견인출력(MW)	5.5
전력변환	교-직-교
전차선전압	AC 25kV
제동	회생, 공기
궤간(mm)	1,435

< 북경~상해 고속열차 최적화 기술지표 >

구분		목표값	HEMU-400X
속도지표	지속 운영속도	350 km/h	
	최고 운영속도	380 km/h	370
	시험 속도	≥ 400 km/h	430
편성 및 수송인원	편성	16량	8량
	수송인원	〉 1000	912(16량 가정)
견인능력 지표	0~200km/h 평균가속도	≥0.40 m/s^2	0.475 m/s^2
	300km/h 잉여가속도	≥0.05 m/s^2	0.04 m/s^2
	350km/h 잉여가속도	≥0.01 m/s^2	0.02 m/s^2
안정성 지표	대차임계속도	≥550 km/h	
	탈선계수	〈 0.8	
	윤중 감소율	〈 0.8	
	비상제동거리	속도 350km/h로 6,500m이하 속도 380km/h로 8,500m이하	5182m 7949m(400km/h)
종합적인 쾌적성 및 환경지표	쾌적성지표	N≤2	
	운행 평온성 지표	W≤2.5	
	운행 품질	차체 횡, 수직 가속도 2.5m/s^2 이하	
	기밀성	객실기압 4kPa에서 1kPa로 인하 시간 50s이상, 객실기압 변화폭 200Pa/s 이하	
	350km/h목표치 차내소음 dB(A)	모든 객실≤68, 운전실≤76, 역사통과≤78	

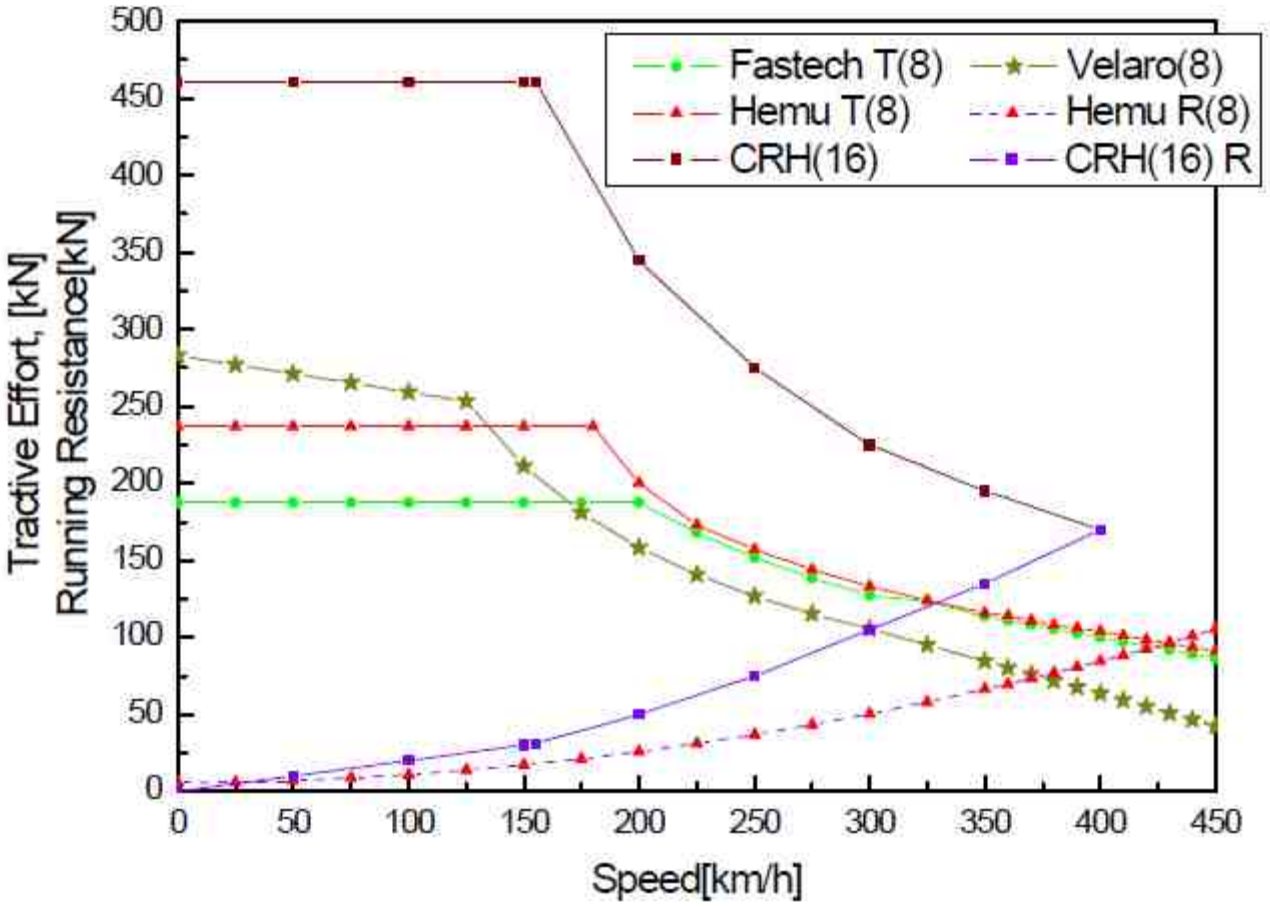
북경~상해 최적화 기술지표를 HEMU-400X차량 성능과 비교해 보면, 우선 우리에게는 없는 지속 운영속도라는 개념이 독특하며, 북경~상해 목표 수송인원이 우리의 HEMU차량을 중련 편성했을 때보다 크며, 향후 HEMU 차량 상용화 시 이를 참고해 볼 만하다. 또한, 북경~상해 목표치의 300km/h 속도대에서의 잉여 가속도가 커서, 고속영역에서의 안정적인 운행이 가능할 것으로 판단되며, 제동거리는 HEMU보다 길다. CRH2-350형과 CRH3-350형 고속열차의 최적화 설계 내용은 아래와 같다.

< CRH2-350 고속열차 최적화 설계 내용 >

구분		최적화 내용
견인 성능	견인출력	8200㎾(8량) -> 20440㎾(16량)
	견인전동기 출력	342㎾ -> 365㎾
	전동비	3.03 -> 2.37
	견인변압기 용량	3515㎸·A -> 3855㎸·A 견인권선출력전압 1650V 상향 조정됨
	전력변환장치	컨버터 1513㎸·A -> 1617㎸·A 인버터 1670㎸·A -> 1785㎸·A
제동 성능	비상제동거리	6500m이하(350km/h에서) 8500m이하(380km/h에서)
	제동디스크 열용량	최대제동에너지 40MJ
차체 성능	차체	차체 구조 변경
	기밀 강도	기준 ±4kPa -> ±6kPa
	차체 공력	보기차, 바람막이 등 구조 개선
집전성능	판토그라프 구조 및 성능	판토그라프 형상 및 파라미터 개선, 동적 추종성능 향상
	집전판	집전판 재질 개선

< CRH3-350 고속열차 최적화 설계 내용 >

구분		최적화 내용
견인 성능	견인출력	8800㎾(8량) -> 18400㎾(16량)
	견인전동기 출력	562㎾ -> 576㎾
	전력변환장치	2383kW -> 2480kW
	견인변압기	5640kVA -> 5920kVA
	전동비	2.79 -> 2.43
제동 성능	제동거리	혼합제동 4335m(350km/h) 공기제동 5670m(350km/h)
	회생제동	회생제동 최저속도 80km/h -> 10km/h
차체 성능	차체 공기압 외형 최적화	대차, 차간연결부 스커트 설치 판토그라프, 에어콘 등 돌출 부품 구조개선



< 차량 견인 및 주행저항 특성 곡선 >

위 그림은 우리나라를 포함한 세계 각국 고속철도 차량의 견인력과 차량 주행저항 특성으로, HEMU, FASTECH, CRH의 견인력 곡선 형태는 유사한 경향을 보인다. 즉, 초기 기동가속도에 영향을 미치는 정토오크영역에서 일정한 출력을 보이며, 이 후 최고속도까지의 정출력 영역에서 점착계수에 따라 감소하는 형태이다. 견인력 곡선으로 판단할 때, FASTECH, CRH의 균형속도는 400km/h이며, HEMU의 균형속도는 430km/h이다. Velaro E 고속열차의 견인력 곡선은 초기 기동 시 최대출력을 발휘함에 따라 정토오크영역 끝단 속도가 상대적으로 작으며 이후 정 출력 영역은 점착계수에 따라 감소하는 형태이다. 비록 속도대역에서 차이는 있으나, FASTECH 차량의 경우 경량화를 통한 견인력 감소를 꾀하여 주행 시 차량 소모 에너지를 작게 할 수 있는 특징이 있다. 이는 차량의 주행 저항을 감소시키기 위한 다양한 노력으로 가능하였을 것으로 판단된다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 일반

1. 개요

○ 과 제 명 : 최신 반도체 소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발

○ 목　　표 : 기존 KTX 모터블록과 1:1 호환 가능한 장치개발

○ 총연구기간 : '09.03.31 ~ '13.06.30(4년 3개월)

○ 연 구 비 : 5,592백만 원 (4차년도 : 2,210백만 원)

○ 참여기관

- 주관연구기관

☞ 한국철도공사(연구책임자 : 윤차중)

- 공동연구기관

☞ ㈜우진산전(연구책임자 : 이은규), 이경산전㈜(연구책임자 : 이을재)

- 위탁연구기관

☞ 한국교통대학교(연구책임자 : 김재문), ㈜모아소프트(연구책임자 : 장주수)

2. 연구개발비

항목	비목 \ 연도		1차년도 (2009.3.31.)		2차년도 (2010.3.31.)		3차년도 (2011.3.31.)		4차년도 (2012.6.31.)		합계		비고
			금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
인건비	미지급용		220,030	-	215,450	-	239,406	-	267,155	-	942,041	-	
	내부인건비 지급용	현금											
		현물	94,186	13	127,589	13	187,485	11	149,406	7	558,666	10	
	외부인건비	현금	34,188	5	35,880	4	70,080	4	70,600	3	210,748	4	
		현물											
	소계		128,374	18	163,469	17	257,565	15	220,006	10	769,414	14	
직접비	연구장비 재료비	현금	349,976	49	505,628	52	994,267	58	987,262	44	2,837,133	51	
		현물	68,768	10	89,718	9	191,983	11	812,594	37	1,163,063	21	
	연구활동비	현금	96,429	13	143,344	15	165,988	10	115,368	5	521,129	9	
	연구수당		14,253	2	14,834	2	12,000	1	12,000	1	53,087	1	
	소계		529,426	74	753,524	78	1,364,238	80	1,927,224	87	4,574,412	82	
위탁연구개발비			30,000	4	30,000	3	50,000	3	50,000	2	160,000	3	
간접비			28,200	4	22,632	2	24,572	2	12,770	1	88,174	1	
연구개발비총액		현금	553,046	77	752,318	78	1,316,907	78	1,248,000	57	3,870,271	69	
		현물	162,954	23	217,307	22	379,468	22	962,000	43	1,721,729	31	
		총액	716,000	100	969,625	100	1,696,375	100	2,210,000	100	5,592,000	100	

3. 연구개발 추진체계

가. 연구수행 체계



나. WBS 관리 체계

WBS 관리체계는 기존 문서나 도면이 존재할 경우 WBS번호의 첫 블럭의 K611에서 K를 MB로 교체하여 1:1 교환형식으로 작성한다(예 : MB611) 기존 문서나 도면이 존재하지 않을 경우에도 MB611로하되 하위 블록에서 구분할 수 있게 순차를 맞춘다.

1) 일반사항

가) WBS(Work Breakdown Structure)의 정의

사업을 수행하는 데 발생하는 모든 활동 (activity)을 일정한 구성도 (family tree)로 상세히 구분하여 관리할 수 있는 수단.

- activity : 문서, 도면, 생산제품, 업무목표, service 등
  - 기본적으로 PBS (Product Breakdown Structure)에 의하여 생성
  - 상위 level에서 하위 level로 전개
  - 각 activity에 따른 목표(task)를 code화
  - 사업시작과 동시 하나의 WBS체계로 관리
  - 모든 관리목표에 총체적으로 적용
  - 업무협조, 관리 및 수단으로 활용

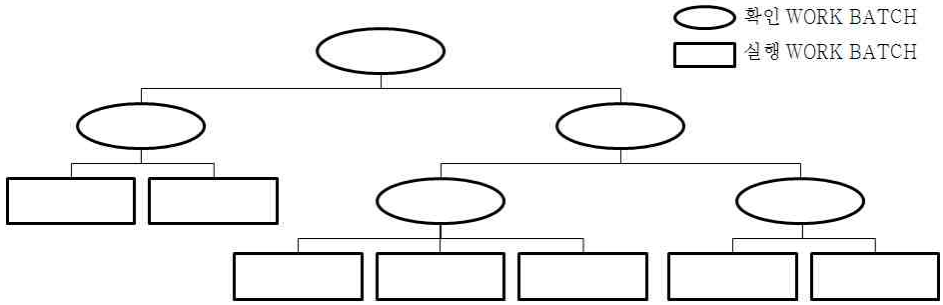


그림 1. WBS 구성도

- work batch : 구성도 각각의 요소
- work batch의 성격 : 책임소재 명확, 타 work batch와 간섭이 없음, 지정된 일을 수행, 예산자료로 활용, 공정계획의 요소
- WBS는 순차적으로 생성

나) 활용범위

- 사업을 수행하는 데 관련된 모든 활동의 책임소재 설정
- 사전 준비작업 및 철저한 계획관리
- 문서관리 및 추적성 통제관리
- work batch에 의한 예산관리에 활용

2) WBS 기본원리

가) level

각 단계별로 순차적으로 전개

PBS 또는 기능에 따라서 상세히 구성

나) WBS는 최소한 3 level로 구성

1 level : 주로 계약 schedule 목표 (대외용)

2 level : 콘소시움 member에 의해 수행되는 주요 목표

3 level : PM 결정에 의한 목표 (사업장 또는 부서단위 목표)

참조 : Overall Management Plan (KR-0M2130-GL+D-001)

다) Work Batch의 특성

모든 사업목표는 group목표와 work batch로서 집합된다.

- 사업조직으로 정의된 책임 및 권한 보유
- 타 WBS와 미간섭

- WBS 구성도내에서 정의된 업무 수행
- 필요한 단위로서 예산관리 기능
- PERT/GANTT 계획 작성시 필수요소

라) Group Task
차하위 level WB의 총합

3) WBS 번호 부여 방법

L000 - 000000000 - L0000 - 0000 + L - 000 Rev L

Block 1 2 3 4 5 6 7

L : 영문 대문자, 0 : 숫자 또는 영문

Block 1 : Project 단위 (K610(RS) : K-TGV PROJECT) (MB10)
기존 K00관련 문서와 상호 색인을 검색하기 쉽게 하기 위해 문서번호는 같게하고 K(K-TGV)대신에 M(Motor Block)을 사용한다.

Block 2 : 생산단위 (PBS : Product Breakdown Structure) (1)
기본 : 기존자료가 있다면 기존자료와 동일
0(CS), 1(RS), 2(CAT), 3(TCS), 31(ATC)

Block 3 : 유형별 업무 및 목표 정의 (E)
기본 : 기존자료가 있다면 기존자료와 동일
A(구매), C(시운전), E(엔지니어링), F(훈련), N(유지보수), P(제작), I(인터페이스), Q(품질), U(매뉴얼), W(기술지원)…

Block 4 : 업무 수행 주체(제작사 등) 및 책임소재의 정의 (KR)
RA(프랑스 에트레), RB(프랑스 벨포), RP(프랑스 따브), SZ(벨기에 샤를르와), HC(현대 창원), …

Block 5 : 문서의 종류 (D)
D(관리관련 문서), P(계획문서), T(기술관련 문서) O(기타)

Block 6 : 일련번호 (001)
도면 또는 문서에 적용되는 번호로서 번호체계의 일관성을 유기지하기 위해 각 연

구기관에서는 작성된 문서와 도면의 번호를 순차적으로 부여하여 이를 체계적으로 관리하여야 한다.

Block 7 : 개정번호 (A)

문서가 승인되면 1문자 사용, 승인전에는 1숫자+1문자로 기입한다.

Rev A1(최초작성), Rev A2(검토수정), Rev A(승인 및 배포), Rev B1(배포후 1차 수정), Rev B(승인)

4. 연구개발 주요 추진경과

가. 1차년도

1) 신규과제 협약체결

- 일자/장소 : 2009. 3. 31. / 한국건설교통기술평가원
- 내용 : 2009년도 미래철도기술개발사업 신규과제 협약 체결

2) 신규과제 착수보고회

- 일자/장소 : 2009. 4. 27. / 한국철도공사 서울사옥 1층 대강당
- 내용 : 2009년도 국가R&D사업 추진현황 및 신규 3개 과제 소개

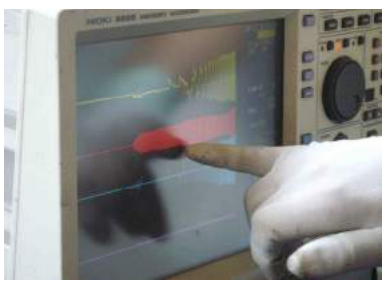
3) 시스템 요구조건 작성

- 일자/장소 : 2009. 4. 1. ~ 2010. 2. 28. / 한국철도공사
- 내용 : 시스템 요구조건 작성, 검토회의 및 회람을 통한 정립

4) 현차조사 시험

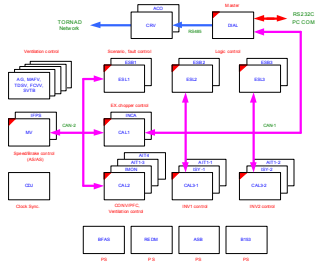
- 일자/장소 : 2009. 5. 26. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 내용 : 정적 및 동적시험을 통해 운행 중의 모터블록 주요장치의 실제 전류치 측정





5) 모터블록 컨트롤러 조사 분석

- 일자/장소 : 2009. 8. 19. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 내용 : 모터블록 컨트롤러 구조, 원리 및 제어알고리즘 조사





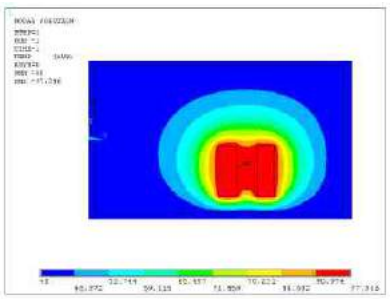
6) 공정회의를 통한 기술검토

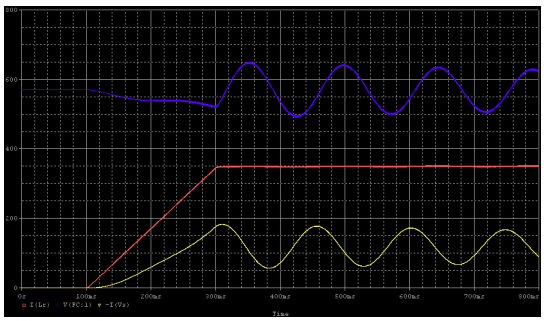
- 월례공정회의를 통한 기술검토
  - ✓ KTX 모터블록(냉각방식, 주회로 소자 비교)
  - ✓ KTX 고속전철 IGBT 여자초퍼장치의 기본설계 검토
  - ✓ KTX 모터블록 CUBE의 냉각성능 및 외형 검토서
  - ✓ KTX 고속전철 IGBT 제동초퍼장치의 기본설계 검토 등





<냉각 방식 비교 검토>





<시뮬레이션을 통한 검증>

7) 1차년도 워크숍 개최

- 일자/장소 : 2009. 11. 18. / 대둔산
- 내용 : 1차년도 연구성과 공유와 2차년도 연구사업을 위한 토론의장 마련

8) 한국철도학회 추계학술대회 논문 발표

- 일자/장소 : 2009. 11. 19. / 제주도 해비치 호텔
- 발표논문
  - ✓ 고속철도(KTX) 차량용 추진제어장치의 전력변환장치 연구(우진)
  - ✓ KTX 고속전철 추진제어시스템의 여자초퍼장치 개발(이경)
  - ✓ 고속철도차량 LCC 평가를 위한 분석기법 연구(철도대)

9) 중간평가

- 일자/장소 : 2010. 2. 22. / 한국건설교통기술평가원
- 내용 : 1차년도 연구개발내용 평가 (평가결과 77.25점으로 계속지원)

나. 2차년도

1) 2차년도 착수보고회

- 일자/장소 : 2010. 4. 21. / 한국철도공사 본사
- 내용 : 참여기관 연구결과 발표 및 2차년도 연구계획 발표





2) 유지보수 체계연구

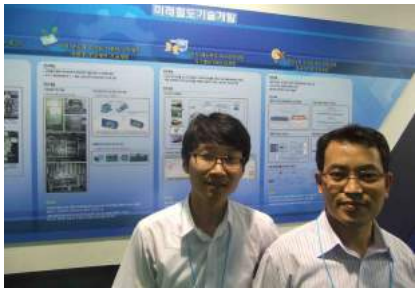
- 일자/장소 : 2010. 4. 1. ~ 2011. 2. 28. / 한국철도공사
- 내용 : 국내·외 유지보수체계 조사, 비교 연구보고서 작성

3) 한국철도학회 춘계학술대회 논문 발표

- 일자/장소 : 2010. 6. 10. / 창원 컨벤션센터
- 논제 : 고속철도차량 전류제어형 추진제어장치 개발을 위한 조사분석

4) 2010 국토해양기술대전 참가

- 일자/장소 : 2009. 5. 26. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 내용 : 과제포스터 부착 및 과제 홍보




5) 모터블록 컨트롤러 현품 조사 및 검토

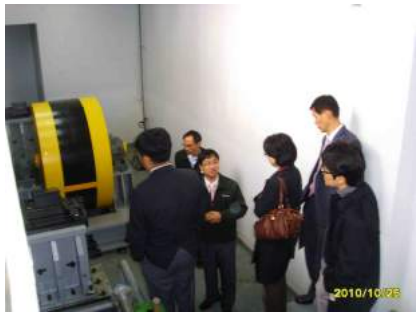
- 일자/장소 : 2010. 8. 20. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 내용 : 모터블록 컨트롤러 현품을 통한 하드웨어 실측 및 통신알고리즘 측정을 위한 포인트 점검

6) 기술검토회의

- 일자/장소 : 2010. 9. 9. / 한국철도공사
- 내용
  - ✓ 기본설계 완료 건에 대한 검증 (유지보수 실무자)
  - ✓ 모터블록 WBS 체계 정립 및 관리방법 등 연구추진 방향 공유
  - ✓ 모터블록 통신 알고리즘 분석을 위한 시험 방법, 조건 등 협의

7) 확대공정회의 및 현장점검

- 일자/장소 : 2010. 10. 26. / ㈜우진산전 괴산공장
- 10월 공정회의 및 시제품, 장비, 재료 확인

8) 모터블록 제어장치(MBU) 통신알고리즘 분석 현차시험

- 일자/장소 : 2010. 11. 15. ~ 17. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 내용
  - ✓ 본선시운전 시험을 통해 주회로의 전류 측정 (고양⇔부산)
  - ✓ 모터블록 MBU ⇔ OBCS간 통신 알고리즘 측정



9) 2차년도 워크숍 개최

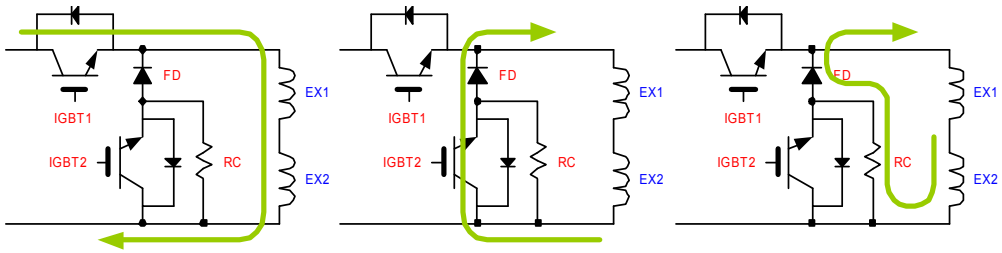
- 일자/장소 : 2010. 11. 24. / 대둔산
- 내용
  - ✓ RAMS 및 위험도 분석 추가 연구 필요
  - ✓ 시제품의 시험장비 제작 필요





10) 유지보수 측면에서의 상세설계 완료자료 검토

- 일자/장소 : 2010. 2. 22. / 한국건설교통기술평가원
- 내용 : 회생/여자초퍼 상세설계, 파워보드, 센서류 설계 검토



(a) 초퍼동작 (b) 환류동작 (c) 탈자화동작

<여자초퍼의 동작모드에 따른 동작소자 및 전류의 흐름>

11) 중간평가

- 일자/장소 : 2011. 2. 24. / 한국건설교통기술평가원
- 내용 : 2차년도 연구개발내용 평가 (평가결과 74.44점으로 계속지원)

다. 3차년도

1) 3차년도 착수보고회

- 일자/장소 : 2011. 4. 20. / 한국철도공사 본사
- 내용 : 참여기관 연구결과 발표 및 3차년도 연구계획 발표

2) 공정회의 및 기술검토회의

- 연구개발일정 점검 및 3차년도 연구개발품에 대한 평가 시행 협의
- 기존품의 개선사항 검토 및 개발품에 적용 토의
- 모터블록 제어장치 개선사항 검토
- 설계검토자료 참여연구원의 기술검토의견 수렴
- 제어장치관련 6건, 소자발열량계산 1건

3) 설명서 작성 및 검토

- 일자/장소 : 2011. 8. 2. / 한국철도공사 본사
- 내용 : 여자초퍼, 제동초퍼, 격자저항기, 송풍기, 인버터, 컨버터, 역률개선장치, 송풍기 인버터, 외함 및 기타장치 설명서

4) 통신인터페이스 확인을 위한 현차시험

- 일자/장소 : 2011. 10. 4. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 내용 : 모터블록과 OBCS간의 고장코드 임의 발생을 통한 통신인터페이스 확인

5) 2011년 기술혁신 페스티벌 참가

- 일자/장소 : 2011. 10. 19. / 한국철도공사 본사
- 내용 : 과제 홍보 및 기술교류





6) 1차 큐브류 고압시험

- 2011.12.12 : 기술개발문서 작성협의 및 고압시험 준비회의
- 2011.12.13 : 1차 큐브류 고압시험
- 큐브류 3종(인버터, 컨버터, 역률개선장치)에 대한 고압시험

7) 2차 큐브류 고압시험

- 일자/장소 : 2012. 1. 20. / ㈜우진산전
- 큐브류 2종(인버터, 컨버터)에 대한 고압시험

8) 시제품 제작현황 점검

- 일자/장소 : 2011. 12. 27. ~ 28. / ㈜우진산전, 이경산전㈜
- 공동연구기관의 시제품 제작현황 확인





9) 중간평가

- 일자/장소 : 2012. 3. 14. / 한국건설교통기술평가원
- 내용 : 3차년도 연구개발내용 평가 (평가결과 74.67점으로 계속지원)

라. 4차년도

1) KTX추진제어 및 제동장치기술개발 설명회 개최

- 일자/장소 : 2012. 8. 9. / 한국철도공사 본사
- 내용 : 국가 R&D 추진제어 기술개발과제 현황보고 및 현안사항 토의




2) 국가R&D 개발품(KTX 모터블록) 현차시험을 위한 기술검토회의 개최

- 일자/장소 : 2012. 12. 13. / 한국철도공사
- 내용 : 큐브류 5종 7ea에 대한 현차시험차량지원 협의

3) 2012년 기술혁신 페스티벌 참가

- 일자/장소 : 2010. 11. 28. / 한국철도공사 본사
- 내용 : 모터블록 개발품 전시 및 홍보





4) 참여기관 현장점검 실시

- 일자/장소 : 2013. 2. 20. ~ 22. / ㈜우진산전, 이경산전㈜, ㈜모아소프트
- 내용 : 참여기관 연구독려 및 연구개발 추진현황, 연구비 관리실태 등 점검

5) 큐브류 5종 7ea 단품시험 완료

- 일자/장소 : 2012. 12. 13. / ㈜우진산전
- 내용 : 제 3자 공인기관 참여 및 진동 환경시험 포함하여 큐브류 단품시험 완료





6) 모터블록 조립체 공장 내 조합시험

- 일자/장소 : 2013. 3. 12. ~ 4. 11. / ㈜우진산전 괴산공장
- 조합시험 내용 및 결과

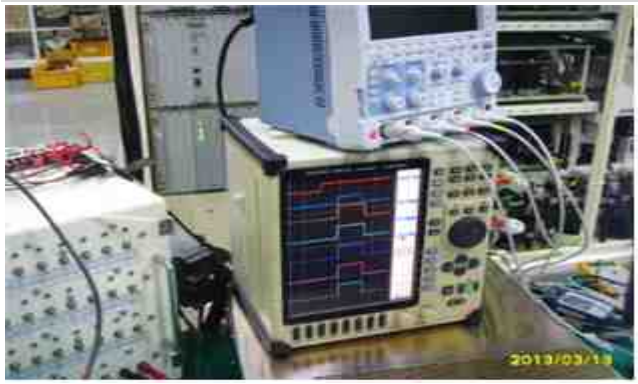
순번	시험항목	시험일자	시험내용	결과	비고
1	외관검사	'13.3.12	배선, 부품체결 등 검사	양호	
2	치수검사	'13.3.12	모터블록 프레임 치수 측정	양호	기존품과 호환성관련
3	중량검사	'13.4.10	모터블록 중량측정	양호	3,530㎏
4	절연시험	'13.3.12	고압회로부와 프레임 간 절연저항	양호	
5	내전압시험	'13.3.12	통전부와 프레임 간 절연파괴 유무	양호	
6	시퀀스시험	'13.3.13	견인, 제동제어 시 접촉기 동작상태	양호	접촉 타이밍 확인
7	고압기동시험	'13.3.14	제어기 및 가선 전원 변동 시험 등	양호	출력파형으로 확인
8	보호동작시험	'13.3.19	모터블록 고장코드 15건 임의시험	양호	130여건 추후 재시험
9	발전제동시험	'13.3.21	가선전압 차단 시 발전제동 확인	양호	시험항목 추가 됨
10	토크특성시험	'13.4.10	견인, 제동 시 토크측정	양호	설비사양 300㎞/h 확인 불가
11	온도상승시험	'13.3.14	견인, 제동 반복(1시간) 주요부품 온도	양호	최고 19.5℃
12	소음측정시험	'13.3.14	모터블록 1.5m 거리에서 소음	양호	최고 78.5dB

- 조합시험 관련 사진

○ 치수검사



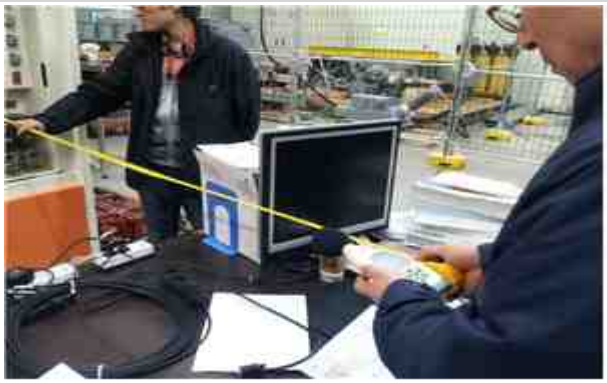
○ 시퀀스시험



○ 내전압시험



○ 소음 시험



○ 보호 동작 시험



○ 발전제동시험



○ 토오크 특성 시험



○ 중량 측정



7) 1차 큐브류 5종 7ea 구내 현차시험

- 일자/장소 : 2012. 12. 20. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 구내 정적시험 및 동적시험

8) 2차 큐브류 2종 2ea 구내 현차시험

- 일자/장소 : 2013. 1. 22. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 모터블록 주요장치 중 여자/회생초퍼 구내 정적시험 및 동적시험

9) 3차 큐브류 5종 7ea 구내 현차시험

- 일자/장소 : 2013. 4. 3. / 한국철도공사 수도권철도차량정비단
- 모터블록 큐브류 5종 7ea에 대한 기지 내 정적/동적 시험을 통한 성능검증





10) 모터블록 조립체 현차시험(본선시운전포함)

- 일자/장소 : 2013. 6. 17. ~ 20. / 한국철도공사 부산철도차량정비단
- 연구개발품의 성능확인 및 기존품과 개발품의 주요장치의 출력 값 등 비교
- 시험일정

구 분	시 험 내 용	비고
'13.6.17(월)	모터블록 개발품 1 set 교환 취부 및 정상 확인 **(MBU는 기존품 취부)**	
'13.6.18(화)	정적시험 및 부산정비단 **가야기지 ↔ 부산역** 간 동적시험 **※ 동적시험 3회 왕복운행 후 이상 없을 시 본선 시운전 추진**	
'13.6.19(수)	**고속본선 시운전 (부산 ↔ 서울)**	
'13.6.20(목)	모터블록 기존품 교환 취부 및 정상 확인	

※ 현차시험 보증보험 가입 완료 (보상액: 재물손해 50억, 지연보상 10억)

- 시험결과

✓ 제어기를 제외한 모터블록 개발품의 고속선 시험이 '13. 6. 19. 추진되었고 부산역 → 서울역 주행 시 컨버터 과전류 등 3건의 모터블록 자동차단이 발생 되었으나 서울역 → 부산역 주행 시 견인력부족 알람 1건 발생하고 정상 주행함

☞ 차단원인 : 개발품의 센서들은 기존품의 단종 등의 원인으로 동일사양의 최근 출시품으로 제작하였으나 입출력단의 저항 값이 차이가 확인되었고 그로인한 검출량의 오차가 발생되어 차단의 된 것으로 파악됨

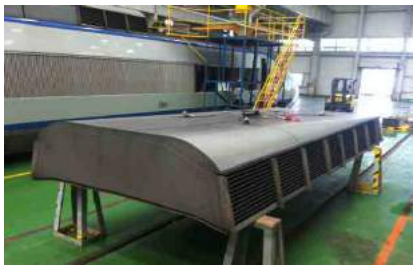
✓ 향후 기존품과 개발품의 전체부품의 세부사양 비교 및 확인하여 조치하고 추가 현차시험이 필요함

- 시험관련 사진

❍ 시험 사전 회의



❍ KTX PC2 지붕 취거



❍ 고압선 해체



❍ 기존 모터블록 취거



❍ 취거 후 배선 상태 확인



❍ 기존 제어기 장착



❍ 모터블록 개발품 취부



❍ KTX PC2 지붕 취부



❍ Auto Test



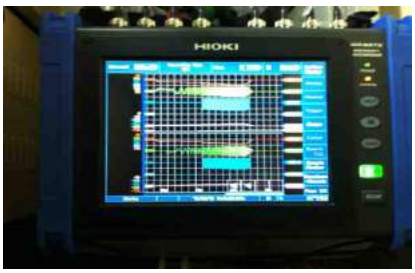
❍ 센서 장착 및 케이블 정리



❍ 시운전 시작



❍ 주요장치 전류 데이터 취득



제 2 절 KTX 모터블록 개발

1. KTX 모터블록 일반

편성 중에 동력차는 2대 있으며, 각 동력차는 2sets의 Motor block을 지니고, 동력객차의 1set Motor block과 함께 1/2 편성의 견인 및 전기 제동을 담당한다. Auxiliary block은 각 동력차에 설치되며, 정상 조건시 1/2 편성의 보조전원을 Aux block 1대 고장 시 전체편성의 보조전원을 공급한다.

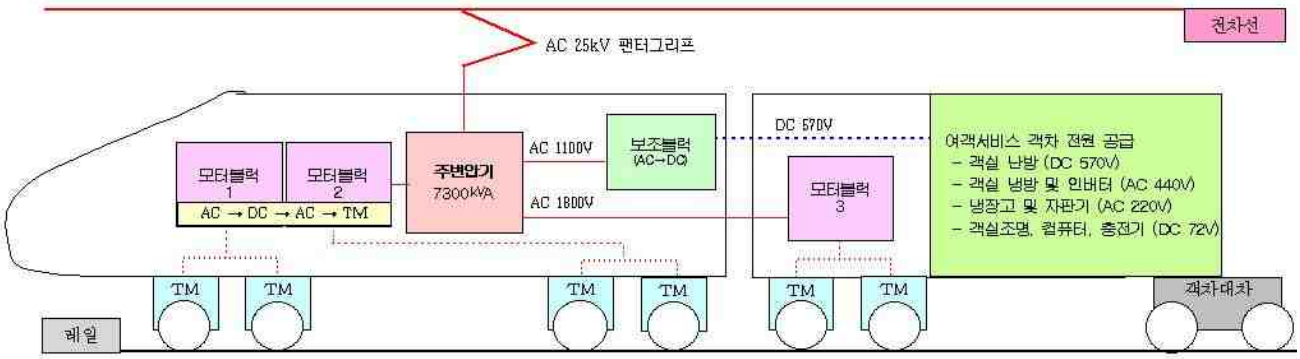


그림 2. 동력차 구성도

가. 주요 요구사항

표 1. 추진제어장치(모터블록) 인터페이스 요구조건

구분	항 목			주 요 시 방
운행구간	서울 – 천안 – 대전 – 대구 – 경주 – 부산 현장 : 0.0 91.4 152.7 274.7 338.3 411.0			
일반성능	속 도		최고 설계속도	차량 330km/h, 선로 350km/h
			최고 운행속도	300km/h
	편 성		계	20량 (2P+2M+16T)
	동 력		견 인 동 력	13,560kW
			최대견인력(모터 12대)	382kN
			최대견인제동력	300kN
	전차선 정격			단상 AC25kv, 60Hz
	견인 전동기		형 식	동기전동기(SM47)
			정 격	1,130kW
			최고 회전수	4,000rpm
			냉 각 방 식	강제통풍
			중 량	1,525kg
			절 연 등 급	Class 200함침
			최대 견인력	382kN/열차
	제 동 장 치	제동거리	비상시	300kPH – 3,300m
			상용시	300kPH – 6,600m
			제 동 방 식	마찰/회생/저항 제동

나. 추진제어장치의 구성 및 기능

표 2. 추진제어장치(모터블록) 구성품별 기능

구성품	기 능	하부부품
Converter	교류를 정류함과 동시에 양을 조절	역률개선장치
Inverter	직류를 고정자권선에 배분하여 3상 교류 생성	smoothing reactor
Chopper	회전자의 직류의 양을 조절	초기충전회로, 보호회로
Controller	각종 장치 신호제어 및 전원 공급	보드(제어,통신,전원,인터페이스)
Cooler	모터블록 냉각	송풍장치, 송풍인버터
Body	모터블록 프레임 및 인터페이스 적용 부	회함, 센서, 릴레이 및 차단기

2개의 주변압기 2차 권선으로부터 수전한 전력을 변환하며, 2대 견인전동기의 주파수와 Torque를 제어한다.

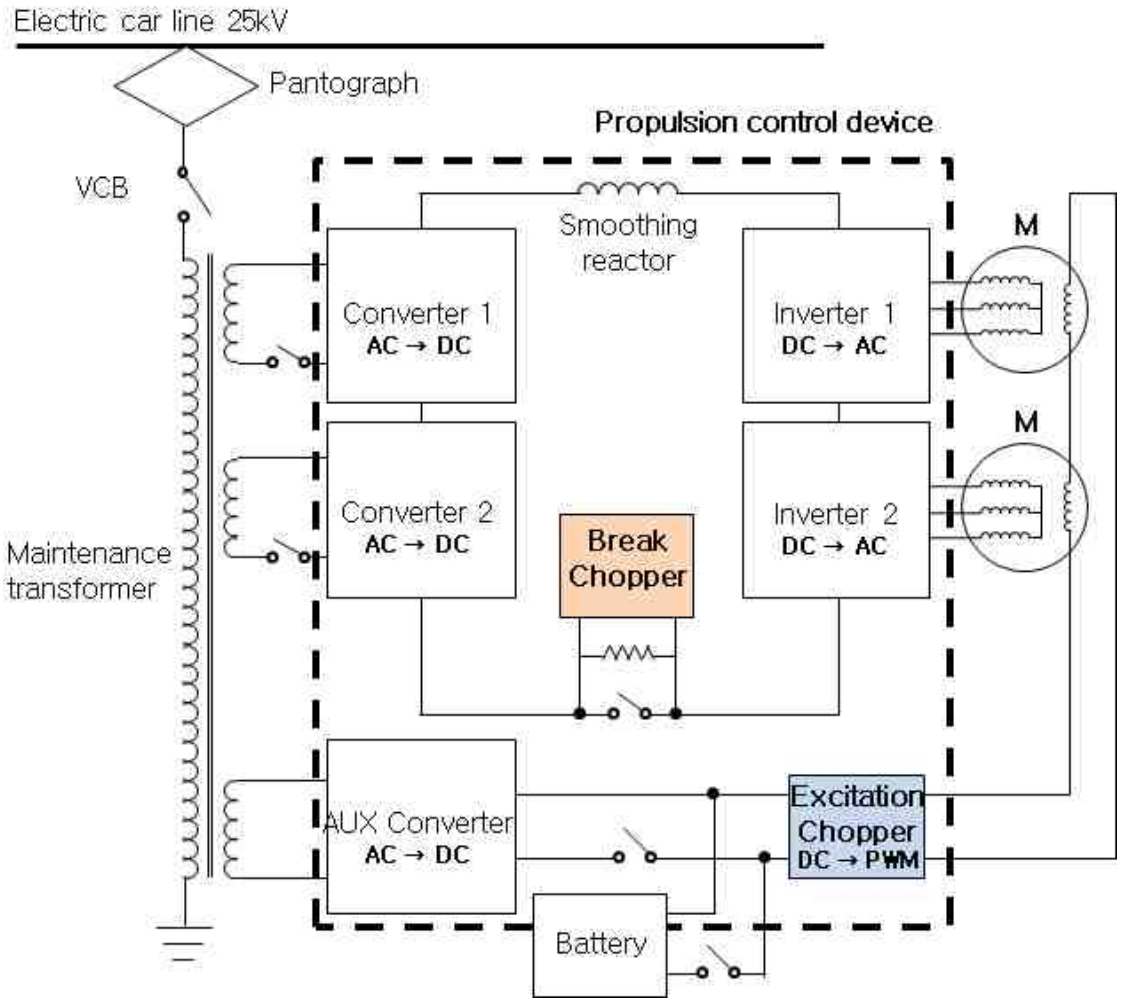


그림 3. KTX 추진제어 시스템 구성도

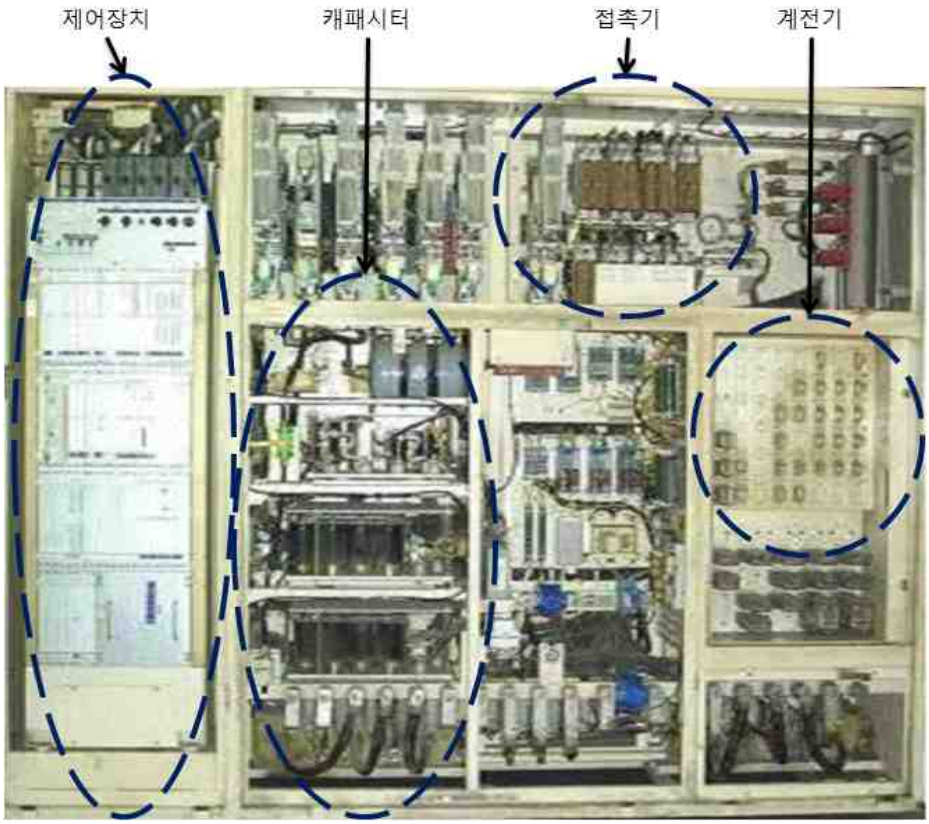


그림 4. 모터블록의 전면부

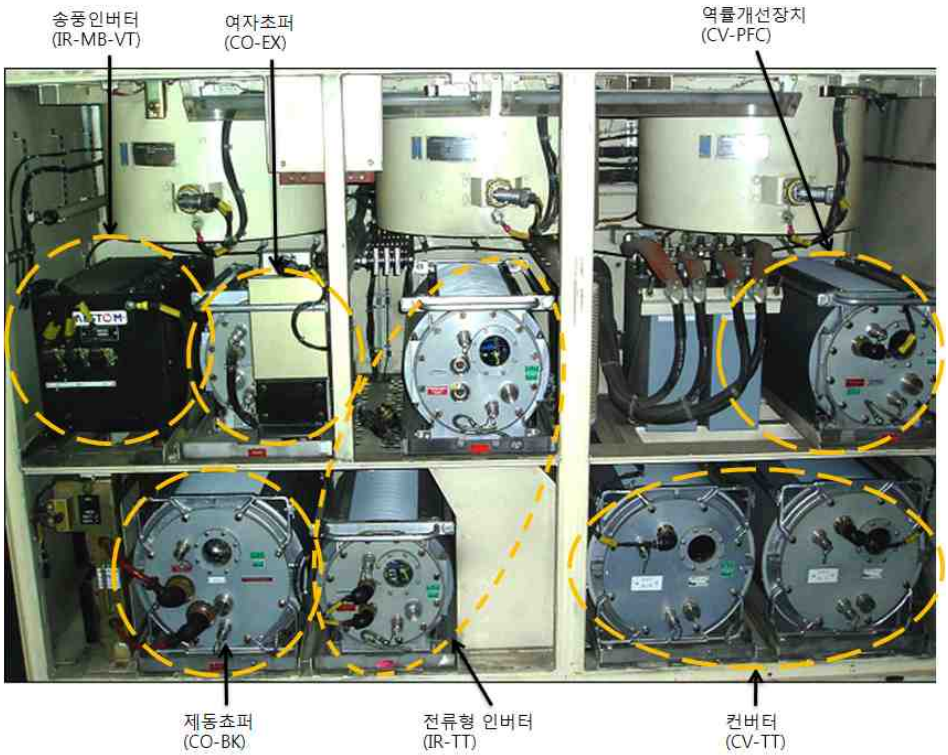


그림 5. 모터블록의 후면부

다. 주요기기 용어

표 3. 모터블록 주요기기 명칭

번호	기 기 명	설 명	번호	기 기 명	설 명
1	C-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION CAPACITOR 02	31	ISW-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION ISOLATING SWITCH 01
2	C-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION CAPACITOR 01	32	IR-TT-02	INVERTER TRACTION 02
3	C-FL-EX-02	FILTER EXCITATION CAPACITOR 02	33	IR-TT-01	INVERTER TRACTION 01
4	C-FL-EX-01	FILTER EXCITATION CAPACITOR 01	34	IR-MB-VT-01	INVERTER MOTOR BLOCK VENTILATION 01
5	C-EA-FA-01	EARTHING FAILURE CAPACITOR 01	35	FU-SL-EX-01	SUPPLY EXCITATION FUSE 01
6	C-DI-FL-01	DISCHARGE FILTERING CAPACITOR 01	36	FU-IR-VT-01	INVERTER VENTILATION FUSE 01
7	D-CH-BA-01	BATTERY CHARGER DIODE 01	37	L-LI-TG-02	LIMITATION G.T.O INDUCTOR 02
8	CV-TT-02	TRACTION CONVERTER 02	38	L-LI-TG-01	LIMITATION G.T.O INDUCTOR 01
9	CV-TT-01	TRACTION CONVERTER 01	39	K-TT-BK-03	TRACTION BRAKING CONTACTOR 03
10	CV-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION CONVERTER01	40	K-TT-BK-02	TRACTION BRAKING CONTACTOR 02
11	CS-TT-01	TRACTION CURRENT SENSOR 01	41	K-TT-BK-01	TRACTION BRAKING CONTACTOR 01
12	CS-EX-01	EXCITATION CURRENT SENSOR 01	42	K-TT-01	TRACTION CONTACTOR 01
13	CO-EX-01	EXCITATION CHOPPER 01	43	K-MB-BA-01	BATTERY MOTOR BLOCK CONTACTOR 01
14	CO-BK-01	BREAKING CHOPPER 01	44	K-FL-VT-02	FILTERING VENTILATION CONTACTOR 02
15	C-TH-PFC-02	THYRISTOR POWER FACTOR CORRECTION CAPACITOR 02	45	K-FL-VT-01	FILTERING VENTILATION CONTACTOR 01
16	C-TH-PFC-01	THYRISTOR POWER FACTOR CORRECTION CAPACITOR 01	46	LS-PFC-08	POWER FACTOR CORRECTION LAMP-SIGNALLING 08
17	C-SW-02	SWITCHING CAPACITOR 02	47	LS-PFC-07	POWER FACTOR CORRECTION LAMP-SIGNALLING 07
18	C-SW-01	SWITCHING CAPACITOR 01	48	MF-MB-03	MOTOR BLOCK MOTOR FAN 03
19	FU-CH-BA-01	CHARGE BATTERY FUSE 01	49	MF-MB-02	MOTOR BLOCK MOTOR FAN 02
20	D-SL-EX-01	SUPPLY EXCITATION DIODE 01	50	MF-MB-01	MOTOR BLOCK MOTOR FAN 01
21	D-IR-VT-01	VENTILATION INVERTER DIODE 01	51	R-EX-CU-01	EXCITATION CURRENT RELAY 01
22	D-FL-VT-01	FILTERING VENTILATION DIODE 01	52	R-EA-FA-02	EARTHING FAILURE RELAY 02
23	D-FL-EX-02	FILTERING EXCITATION DIODE 02	53	R-EA-FA-01	EARTHING FAILURE RELAY 01
24	D-FL-EX-01	FILTERING EXCITATION DIODE 01	54	R-DN-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 02
25	K-EX-02	EXCITATION CONTACTOR 02	55	R-DN-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 01
26	K-EX-01	EXCITATION CONTACTOR 01	56	R-DN-OY-02	OVER INTENSITY DETECTION RELAY 02
27	K-BK-02	BRAKING CONTACTOR 02	57	R-DN-OY-01	OVER INTENSITY DETECTION RELAY 01
28	K-BK-01	BRAKING CONTACTOR 01	58	R-BK-SG-01	BRAKING SURGE RELAY 01
29	K-BA-EX-01	BATTERY EXCITATION CONTACTOR 01	59	R-BK-CU-01	BRAKING CURRENT RELAY 01
30	K-AUX-VT-02	AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 01	60	R-AUX-VT-01	AUXILIARY VENTILATION RELAY 01

번호	기 기 명	설 명	번호	기 기 명	설 명
61	T-DN-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION TRANSFORMER 02	91	VS-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION VOLTAGE SENSOR 02
62	T-DN-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION TRANSFORMER 01	92	VS-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION VOLTAGE SENSOR 01
63	R-VT-FA-01	VENTILATION FAILURE RELAY 01	93	VS-MT-02	MAIN TRANSFORMER VOLTAGE SENSOR 02
64	R-SG-VT-02	SURGE VENTILATION RELAY 02	94	VS-MT-01	MAIN TRANSFORMER VOLTAGE SENSOR 01
65	R-SG-VT-01	SURGE VENTILATION RELAY 01	95	VS-IR-TT-04	TRACTION INVERTER VOLTAGE SENSOR 04
66	T-MO-06	MOTOR TRANSFORMER 06	96	VS-IR-TT-03	TRACTION INVERTER VOLTAGE SENSOR 03
67	T-MO-05	MOTOR TRANSFORMER 05	97	VS-IR-TT-02	TRACTION INVERTER VOLTAGE SENSOR 02
68	T-MO-04	MOTOR TRANSFORMER 04	98	VS-IR-TT-01	TRACTION INVERTER VOLTAGE SENSOR 01
69	T-MO-03	MOTOR TRANSFORMER 03	99	VS-EX-04	EXCITATION VOLTAGE SENSOR 04
70	T-MO-02	MOTOR TRANSFORMER 02	100	VS-EX-03	EXCITATION VOLTAGE SENSOR 03
71	T-MO-01	MOTOR TRANSFORMER 01	101	VS-EX-02	EXCITATION VOLTAGE SENSOR 02
72	T-IR-CU-06	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 06	102	VS-EX-01	EXCITATION VOLTAGE SENSOR 01
73	T-IR-CU-05	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 05	103	TH-SW-02	SWITCH THYRISTOR 02
74	T-IR-CU-04	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 04	104	Z-DI-EX-03	DISCHARGE EXCITATION RESISTANCE 03
75	T-IR-CU-03	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 03	105	Z-DI-EX-1	DISCHARGE EXCITATION RESISTANCE 01
76	T-IR-CU-02	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 02	106	Z-BA-EX-01	EXCITATION BATTERY RESISTANCE 01
77	T-IR-CU-01	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 01	107	VS-TT-02	TRACTION VOLTAGE SENSOR 02
78	TH-SW-01	SWITCH THYRISTOR 01	108	VS-TT-01	TRACTION VOLTAGE SENSOR 01
79	TH-IR-TT-06	TRACTION INVERTER THYRISTOR 06	109	VS-SW-04	SWITCHING VOLTAGE SENSOR 04
80	TH-IR-TT-05	TRACTION INVERTER THYRISTOR 05	110	VS-SW-03	SWITCHING VOLTAGE SENSOR 03
81	TH-IR-TT-04	TRACTION INVERTER THYRISTOR 04	111	VS-SW-02	SWITCHING VOLTAGE SENSOR 02
82	TH-IR-TT-03	TRACTION INVERTER THYRISTOR 03	112	VS-SW-01	SWITCHING VOLTAGE SENSOR 01
83	TH-IR-TT-02	TRACTION INVERTER THYRISTOR 02	113	Z-FL-VT-01	FILTERING VENTILATION RESISTANCE 01
84	TH-IR-TT-01	TRACTION INVERTER THYRISTOR 01	114	Z-FL-EX-01	FILTERING EXCITATION RESISTANCE 01
85	TH-CV-TT-04	TRACTION CONVERTER THYRISTOR 04	115	Z-FL-01	FILTERING RESISTANCE 01
86	TH-CV-TT-03	TRACTION CONVERTER THYRISTOR 03	116	Z-EN-EX-01	ENERGISE EXCITATION RESISTANCE 01
87	TH-CV-TT-02	TRACTION CONVERTER THYRISTOR 02	117	Z-EA-FA-01	EARTHING FAILURE RESISTANCE 01
88	TH-CV-TT-01	TRACTION CONVERTER THYRISTOR 01	118	Z-DN-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RESISTANCE 02
89	VS-PFC-04	POWER FACTOR CORRECTION VOLTAGE SENSOR 04	119	Z-DN-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RESISTANCE 01
90	VS-PFC-03	POWER FACTOR CORRECTION VOLTAGE SENSOR 03	120	Z-DN-OY-02	OVER INTENSITY DETECTION RESISTANCE 02

번호	기 기 명	설 명	번호	기 기 명	설 명
121	Z-DN-OY-01	OVER INTENSITY DETECTION RESISTANCE 01	151	DE-EM-CO-01	EMERGENCY CONTROL TIME DELAY 01
122	Z-DI-PFC-04	POWER FACTOR CORRECTION DISCHARGE RESISTANCE 04	152	DE-FL-VT-01	FILTER VENTILATION TIME DELAY 01
123	Z-DI-PFC-03	POWER FACTOR CORRECTION DISCHARGE RESISTANCE 03	153	DE-MB-BA-01	MOTOR BLOCK BATTERY TIME DELAY 01
124	Z-DI-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION DISCHARGE RESISTANCE 02	154	DE-SW-MB-01	SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY 01
125	Z-DI-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION DISCHARGE RESISTANCE 01	155	DE-SW-MB-02	SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY 02
126	ZB-BK-02	BRAKING RHEOSTAT 02	156	D-MB-FA-01	MOTOR BLOCK FAILURE DIODE 01
127	ZB-BK-01	BRAKING RHEOSTAT 01	157	D-MB-FA-02	MOTOR BLOCK FAILURE DIODE 02
128	Z-TH-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION THYRISTOR RESISTANCE 02	158	D-ME-FA-01	BLOCKING DIODE MECANICAL FAULT
129	Z-TH-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION THYRISTOR RESISTANCE 01	159	D-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION DIODE 01
130	Z-LI-TG-02	LIMITATION G.T.O RESISTANCE 02	160	D-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION DIODE 02
131	Z-LI-TG-01	LIMITATION G.T.O RESISTANCE 01	161	D-TT-01	TRACTION DIODE 01
132	Z-IR-CU-06	INVERTER CURRENT RESISTANCE 06	162	ISW-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION ISOLATING SWITCH 01
133	Z-IR-CU-05	INVERTER CURRENT RESISTANCE 05	163	K-AUX-VT-01	AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 01
134	Z-IR-CU-04	INVERTER CURRENT RESISTANCE 04	164	K-AUX-VT-02	AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 02
135	Z-IR-CU-03	INVERTER CURRENT RESISTANCE 03	165	K-BA-EX-01	EXCITATION BATTERY CONTACTOR 01
136	Z-IR-CU-02	INVERTER CURRENT RESISTANCE 02	166	K-BK-01	BRAKE CONTACTOR 01
137	Z-IR-CU-01	INVERTER CURRENT RESISTANCE 01	167	K-BK-02	BRAKE CONTACTOR 02
138	Z-FL-VT-02	FILTERING VENTILATION RESISTANCE 02	168	K-EX-01	EXCITATION CONTACTOR 01
139	CB-CS-VCB-01	CLOSING VCB MINIATURE CIRCUIT BREAKER 01	169	K-EX-02	EXCITATION CONTACTOR 02
140	CB-SI-DIS-01	SIGNALLING BRAKE PIPE DISCRIPENCY CIRCUIT BREAKER	170	K-FL-VT-01	FILTER VENTILATION CONTACTOR 01
141	CB-SL-MB-04	SUPPLY MOTOR BLOCK MINIATURE CIRCUIT BREAKER 04	171	K-FL-VT-02	FILTER VENTILATION CONTACTOR 02
142	CB-SL-MB-05	SUPPLY MOTOR BLOCK MINIATURE CIRCUIT BREAKER 05	172	K-MB-BA-01	MOTOR BLOCK BATTERY CONTACTOR 01
143	CB-SL-MB-06	SUPPLY MOTOR BLOCK MINIATURE CIRCUIT BREAKER 06	173	K-MB-BA-02	MOTOR BLOCK BATTERY CONTACTOR 02
144	CV-LH-MB-01	MOTOR BLOCK LIGHTING CONVERTER 01	174	K-TT-01	TRACTION CONTACTOR 01
145	CV-LH-MB-02	MOTOR BLOCK LIGHTING CONVERTER 02	175	K-TT-BK-01	TRACTION BRAKE CONTACTOR 01
146	D-BB-01	BRAKE BLENDING DIODE 01	176	K-TT-BK-02	TRACTION BRAKE CONTACTOR 02
147	D-BK-FA-01	BRAKE FAILURE DIODE 01	177	K-TT-BK-03	TRACTION BRAKE CONTACTOR 03
148	D-BK-FA-02	BRAKE FAILURE DIODE 02	178	LF-MB-01	MOTOR BLOCK FLUORESCENT LAMP 01
149	D-EB-CO-01	CONTROL ELECTRIC BRAKE DIODE 01	179	LF-MB-02	MOTOR BLOCK FLUORESCENT LAMP 02
150	D-EB-CO-02	CONTROL ELECTRIC BRAKE DIODE 02	180	LF-MB-03	MOTOR BLOCK FLUORESCENT LAMP 03

번호	기 기 명	설 명	번호	기 기 명	설 명
181	LF-MB-04	MOTOR BLOCK FLUORESCENT LAMP 04	211	R-MB-FA-01	MOTOR BLOCK FAILURE RELAY 01
182	L-SB-MB-01	SWITCHING MOTOR BLOCK 01	212	R-MB-OK-01	MOTOR BLOCK RELAY 01
183	MF-01	MOTOR FAN 01	213	R-OP-PFC-01	OPENNING POWER FACTOR CORRECTION RELAY 01
184	PB-RS-BK-01	RESETING AIR BRAKE PUSH BUTTON 01	214	R-PFC-FA-01	POWER FACTOR CORRECTION FAILURE RELAY 01
185	PB-RS-MB-01	RESETING MOTOR BLOCK PUSH BUTTON 01	215	RR-AUX-VT-01	AUXILIARY VENTILATION REPETITION RELAY 02
186	PB-RS-PFC-01	RESETING POWER FACTOR CORRECTION PUSH BUTTON 01	216	RR-DN-OY-01	OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 01
187	R-AUX-VT-01	VENTILATION AUXILIARY RELAY 01	217	RR-DN-OY-02	OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 02
188	R-AX-FA-01	AXLES FAILURE RELAY 01	218	RR-EA-FA-01	EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01
189	R-BK-CU-01	CURRENT BRAKE RELAY 01	219	RR-FR-DIS-01	FORWARD-REVERSE DISCRIPENCY REPETITION RELAY 01
190	R-KB-FA-01	BRAKE FAILURE RELAY 01	220	RR-PFC-FA-01	POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 0
191	R-BK-SG-01	BRAKE SURGE RELAY 01	221	RR-VT-FA-01	VENTILATION FAILURE REPETITION RELAY 01
192	R-BP-DP-01	BRAKE PIPE DEPRESSION RELAY 01	222	R-SG-VT-02	SURGE VENTILATION RELAY 02
193	R-BP-DP-02	BRAKE PIPE DEPRESSION RELAY 02	223	R-SI-DIS-01	PRESSURE DISCRIPENCY RELAY 01
194	R-CN-TT-01	CANCELLATION OFF TRACTION RELAY 01	224	R-SL-FA-01	POWER SUPPLY FAILURE RELAY 01
195	R-CS-VCB-01	CLOSING CIRCUIT BREAKER RELAY 01	225	R-SP-MB-01	SPEED MOTOR BLOCK RELAY 01
196	RD-EM-CO-01	EMERGENCY CONTROL TIME DELAY REALY 01	226	R-SP-MB-02	SPEED MOTOR BLOCK RELAY 02
197	R-DN-OY-01	OVER INTENSITY DETECTION 01	227	R-SP-MB-03	SPEED MOTOR BLOCK RELAY 03
198	R-DN-OY-02	OVER INTENSITY DETECTION 02	228	R-SW-MB-01	SWITCHING MOTOR BLOCK RELAY 01
199	R-DN-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 01	229	R-TT-BK-01	TRACTION BRAKING RELAY 01
200	R-DN-PFC-02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 02	230	R-TT-BK-02	TRACTION BRAKING RELAY 02
201	RD-SW-MB-01	SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY RELAY 01	231	R-VT-FA-01	VENTILATION FAILURE RELAY 01
202	RD-SW-MB-02	SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY RELAY 02	232	SG-BA-01	BATTERY SPARK GAP 01
203	RD-VT-CO-01	VENTILATION CONTROL TIME DELAY 01	233	S-LH-MB-01	MOTOR BLOCK LIGHTING SWITCH
204	R-EA-FA-01	EARTHING FAILURE RELAY 01	234	SW-IS-MB-01	ISOLATING MOTOR BLOCK SWITCH 01
205	R-EB-CO-01	ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 01	235	SW-IS-PFC-01	ISOLATING POWER FACTOR CORRECTION SWITCH 01
206	R-EB-CO-02	ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 02	236	T-SE-HV-01	SENSING HIGH VOLTAGE TRANSFORMER 01
207	R-EB-CO-03	ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 03	237	Z-CO-VT-01	CONTROL VENTILATION RESISTOR 01
208	R-EB-CO-04	ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 04	238	Z-EM-BK-01	EMERGENCY BRAKING RESISTOR 01
209	R-EX-CU-01	CURRENT EXCITATION RELAY 01	239	Z-EM-CO-01	EMERGENCY CONTROL RESISTOR 01
210	R-IS-MB-01	ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01			

2. 전력변환장치부

가. 모터블록

1) 모터블록의 외형 분석

모터블록의 외형은 다음과 같고 기기배치는 전/후로 구성되어 있으며, 전면부에는 제어장치와 제어전원 및 보조전원 의장 배선용 캐논, 커패시터부, 계전기부와 상단부에 접촉기, 하단부에는 주회로용 의장 배선용 단자대가 배치되었다.

또한 후면 하단부에는 5종의 CUBE(CO-BK, CO-EX, IR-TT, CV-TT, PFC), PFC용 필터 커패시터, 후면의 중간부에는 송풍기(3세트), 상단부에는 격자저항기가 각각 배치되었다.

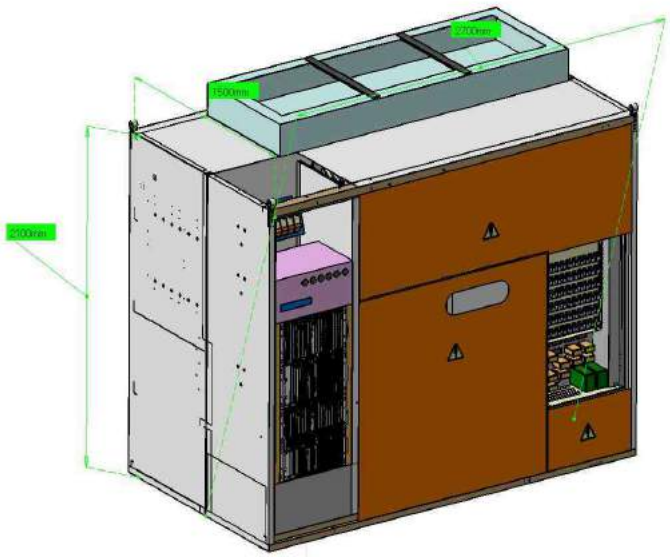


그림 6. 모터블록 외형

항 목	치 수	비고
높 이	2,100 mm	격자저항기 199mm 제외
깊 이	1,500 mm	
폭	2,700 mm	
중 량	3,780 Kg	

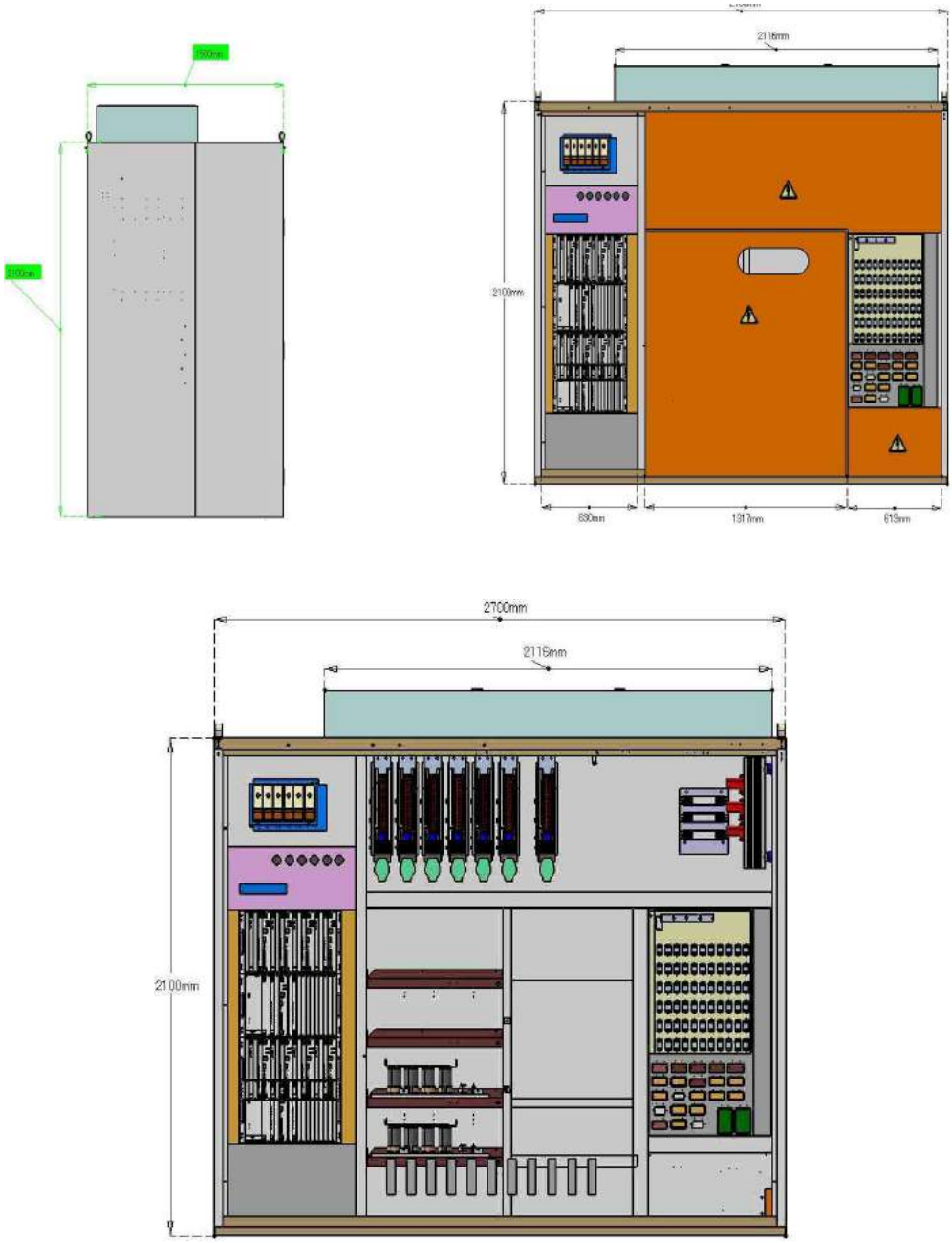


그림 7. 모터블록 외형(전면부)

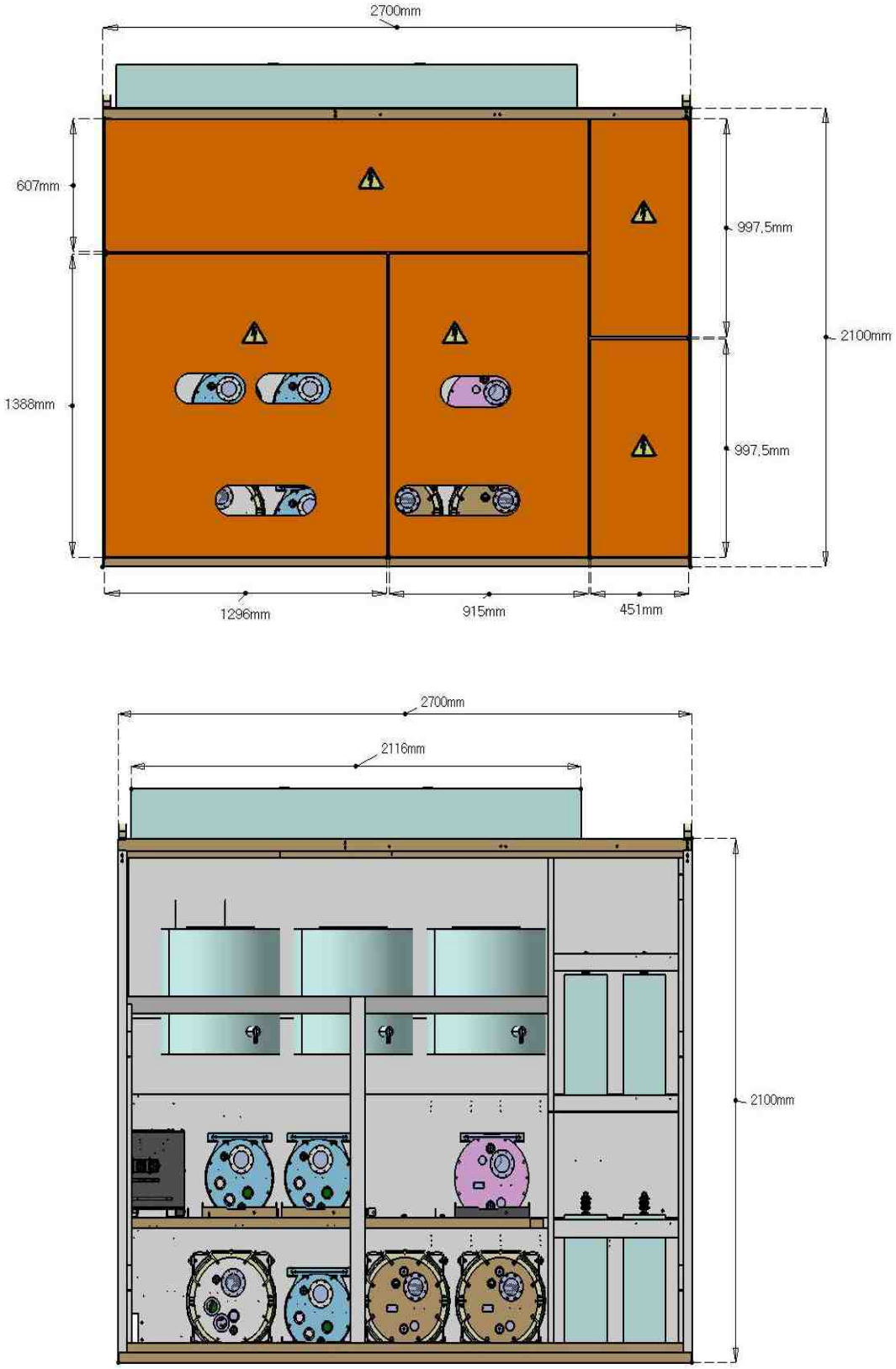


그림 8. 모터블록 외형(후면부)

2) 검토 내용

기존 모터블록 장치에서 제어, 보조전원, 주회로용 의장 배선 경로는 동일하게 구성되어야 하며, 상단부의 격자 저항기 및 송풍기용 팬의 위치는 변경하기 곤란하며 공간적인 제한이 많다.

그래서 CUBE 및 제어장치 간략화, 필터 커패시터, 공압회로, 계전기부, 접촉기부의 간단화를 도모하는 검토하여야 한다.

- 제어장치는 전체적으로 4단의 랙으로 구성되어 있으나, 기능적으로는 간략화를 할 수 있으나 제어기능의 현차 시험 호환성을 고려하면 최소한 랙 단위의 호환성을 유지하여 개발하는 것이 마땅하다고 검토된다.
- 5종의 CUBE는 부분적으로 IGBT를 사용하여 히트파이프/히트싱크를 사용하여 구현가능하나 공간적인 측면을 고려되어야 하며, Thyristor나 GTO를 사용하는 큐브류는 냉각성능이 뛰어나고 최소공간 활용이 가능한 침적식 방식으로 구현되어야 하는 것으로 검토된다.
- 또한 공압 회로를 최소화 하는 방법은 공압식 접촉기 보다는 전기식 접촉기 사용을 검토 될 수 있으나 화재경보 알림을 위해서는 부분적으로 공압 회로 적용이 불가피한 경우이다.

3) 추진제어장치의 외함 설계

기존의 추진제어장치와 호환성을 고려하여 아래의 그림과 같이 기기배치는 전/후로 구성되어 있으며, 전면부에는 제어장치와 제어전원 및 보조전원 의장 배선용 캐논, 커패시터부, 계전기부와 상단부에 접촉기, 하단부에는 주회로용 의장 배선용 단자대가 배치되어있고, 후면 하단부에는 5종의 CUBE(CO-BK, CO-EK, IR-TT, CV-TT, CV-PFC), PFC용 필터 커패시터, 중간부에는 송풍기, 상단부에는 격자 저항기가 각각 배치되도록 설계하였다.

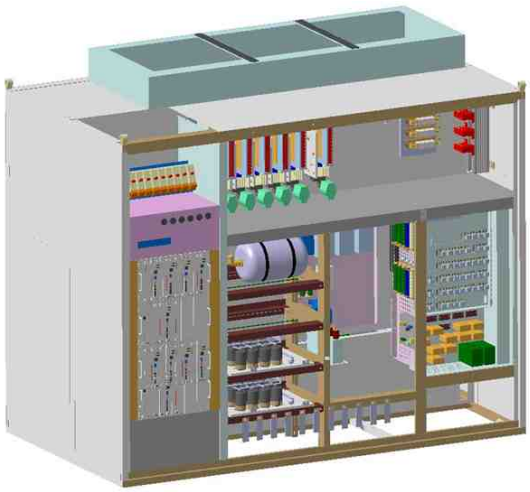


그림 9. 추진제어장치 3D 설계

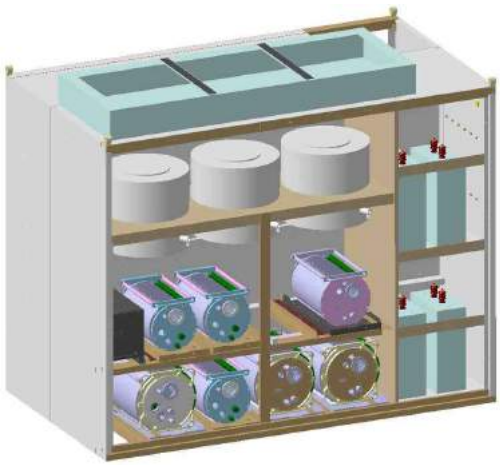


그림 10. 추진제어장치 3D 설계(후면)

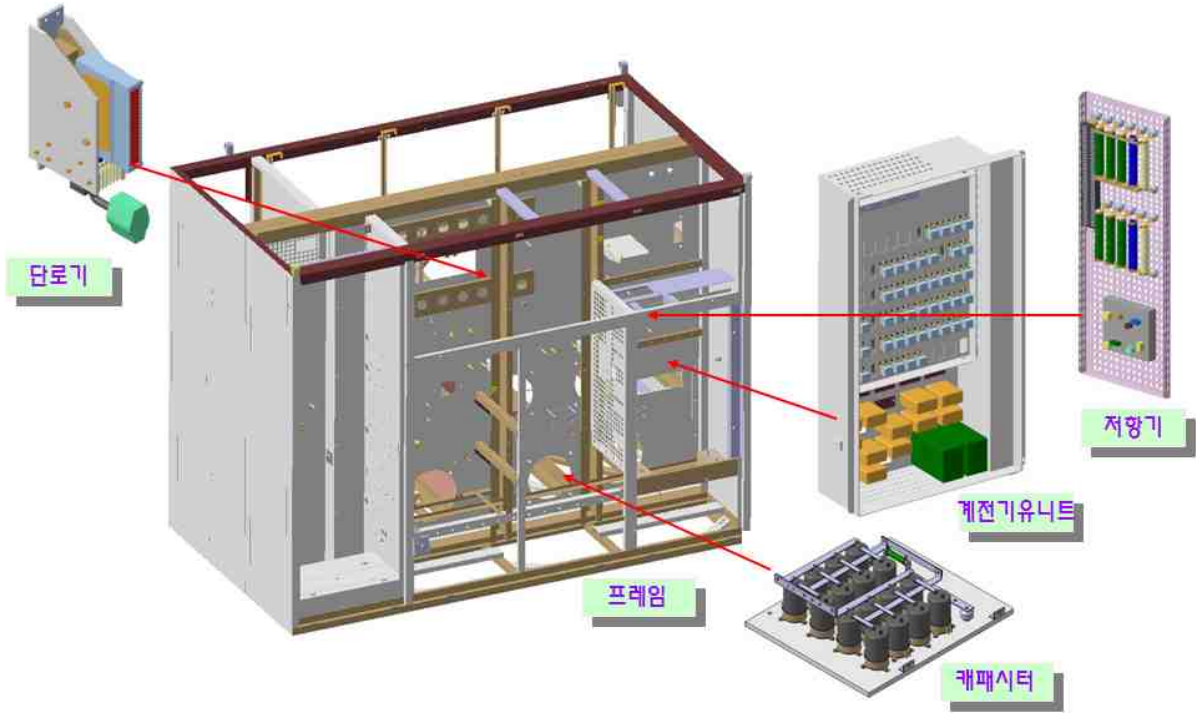


그림 11. KTX 추진제어장치 3D 설계(정면부)

아래의 그림과 같이 CATIA를 이용한 3D 설계된 추진제어장치 외형도를 도면화 하였다.

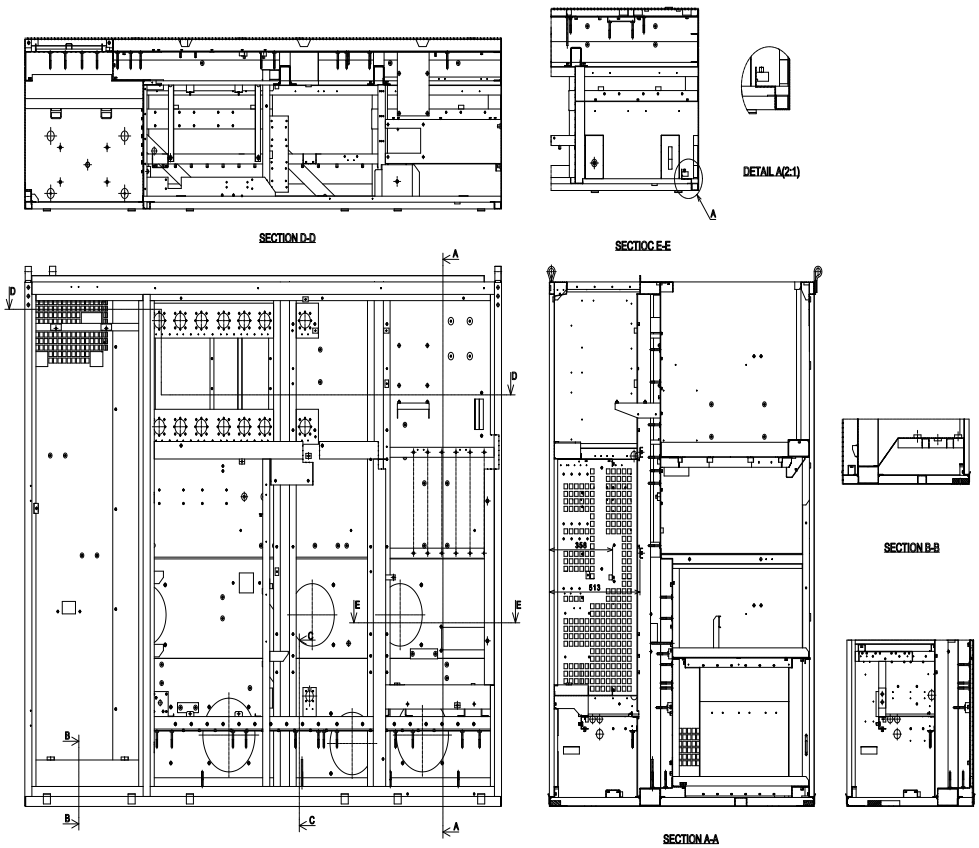


그림 12. 설계된 추진제어장치 외형도1

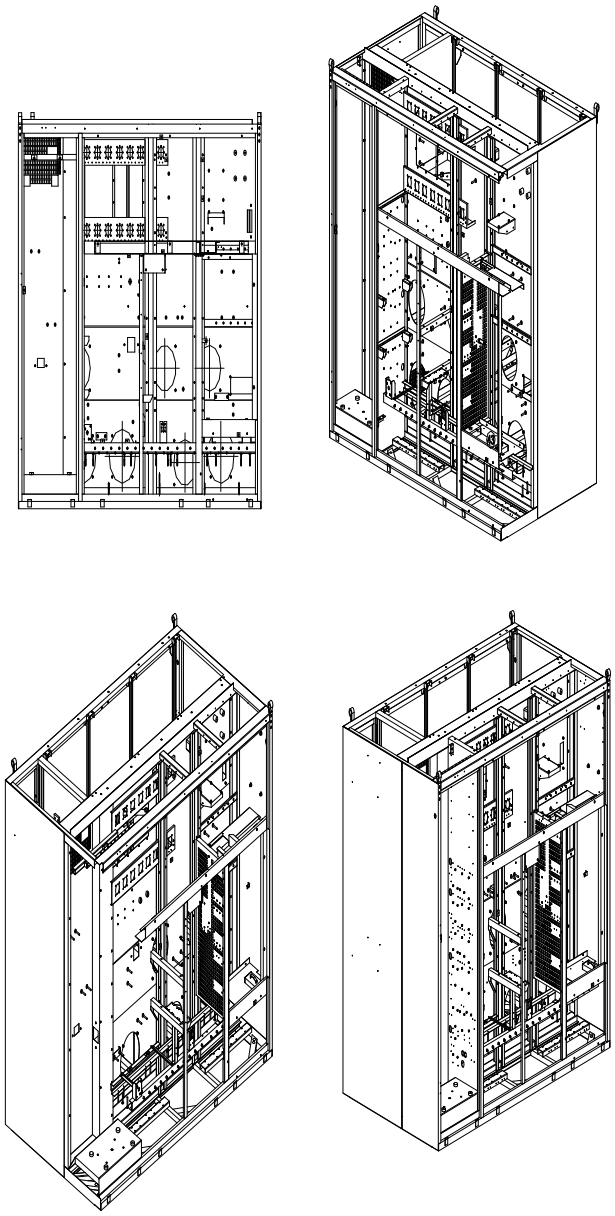


그림 13. 설계된 추진제어장치 외형도2

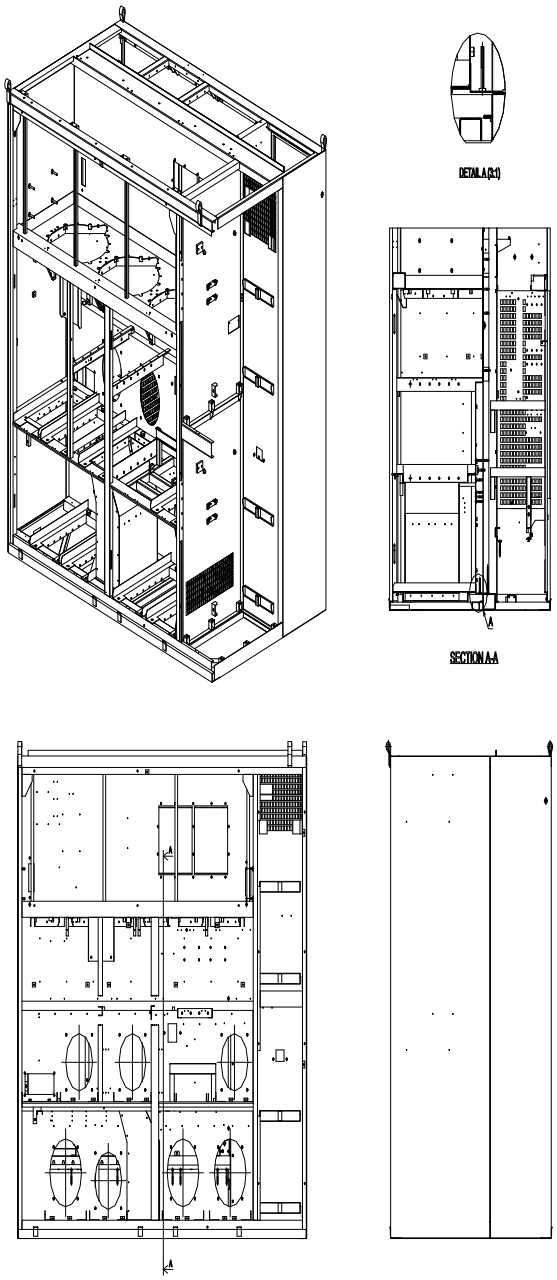


그림 14. 설계된 추진제어장치 외형도2

4) 추진제어장치의 외함 제작

설계된 도면을 이용하여 아래의 그림과 같이 추진제어장치를 제작하였다.

기존의 추진제어장치와 호환성이 가능하도록 제작하였다.



그림 15. 추진제어장치 외함(전면부)

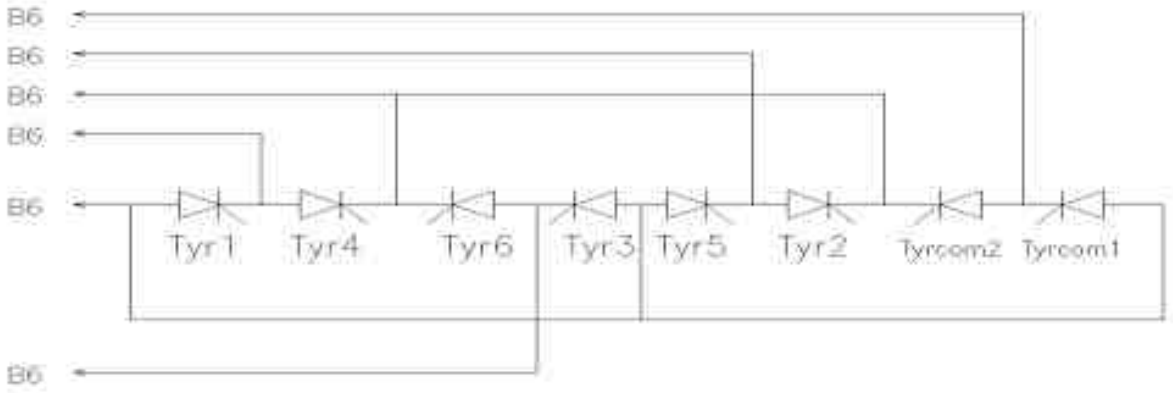


그림 16. 추진제어장치 외함(후면부)

나. 인버터

1) 개요

전류형 인버터(IR-TT)는 컨버터에서 공급되는 견인전류를 견인전동기의 고정자권선에 공급하여 3상 교류전원을 만들어 낸다. 인버터의 제어방식은 속도에 따라 2가지가 있는데, 120km/h 이하의 저속에서는 전환회로(전환콘덴서, 전환 사이리스터)를 이용하여 사이리스터를 소호하는 강제전환방식으로 제어하며, 120 km/h 이상의 속도에서는 견인 전동기의 역기전력을 이용하여 인버터의 사이리스터를 자동으로 소호하는 자연전환 방식으로 제어한다. 인버터는 모터블록 당 2개가 직렬로 연결되어 있으며, 각 인버터에는 견인전동기 1개가 연결되어 있다. 회생제동 모드에서의 인버터는 견인전동기로부터 발생되는 교류를 직류로 변환해주는 인버터로서의 역할을 한다.



2) 설계검토

가) IR-TT 사양비교

내용	구분	기존품	개발품
방식	주회로방식	사이리스터 & 다이오드를 이용한 정류 회로	좌동
	제어방식	위상제어정류	좌동
	냉각방식	밀폐 TANK를 이용한 냉매침적 방식	좌동
입력	정격전압	AC 1800V, 60Hz	좌동
출력	정격용량	1130KW	좌동
	최대전류	1200A	좌동
사용환경		-	-

나) 전력소자(Thyristor) 특성 비교

특 성	기존품	개발품
VRRM/VDRM	3200V	좌동
IT(RMS)	1200A	좌동
di/dt(A/us)	150	좌동
VGT(V)	3.0	좌동
IGT(mA)	300	좌동
제작사	DYNEX	ABB 또는 DYNEX

다) CATIA를 이용한 3D설계

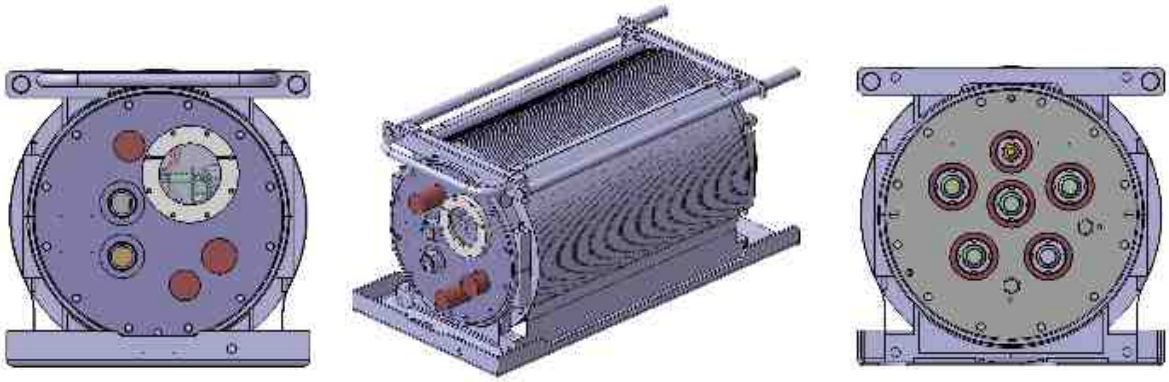


그림 17. 3D 설계된 인클로저 외형 (IR-TT)

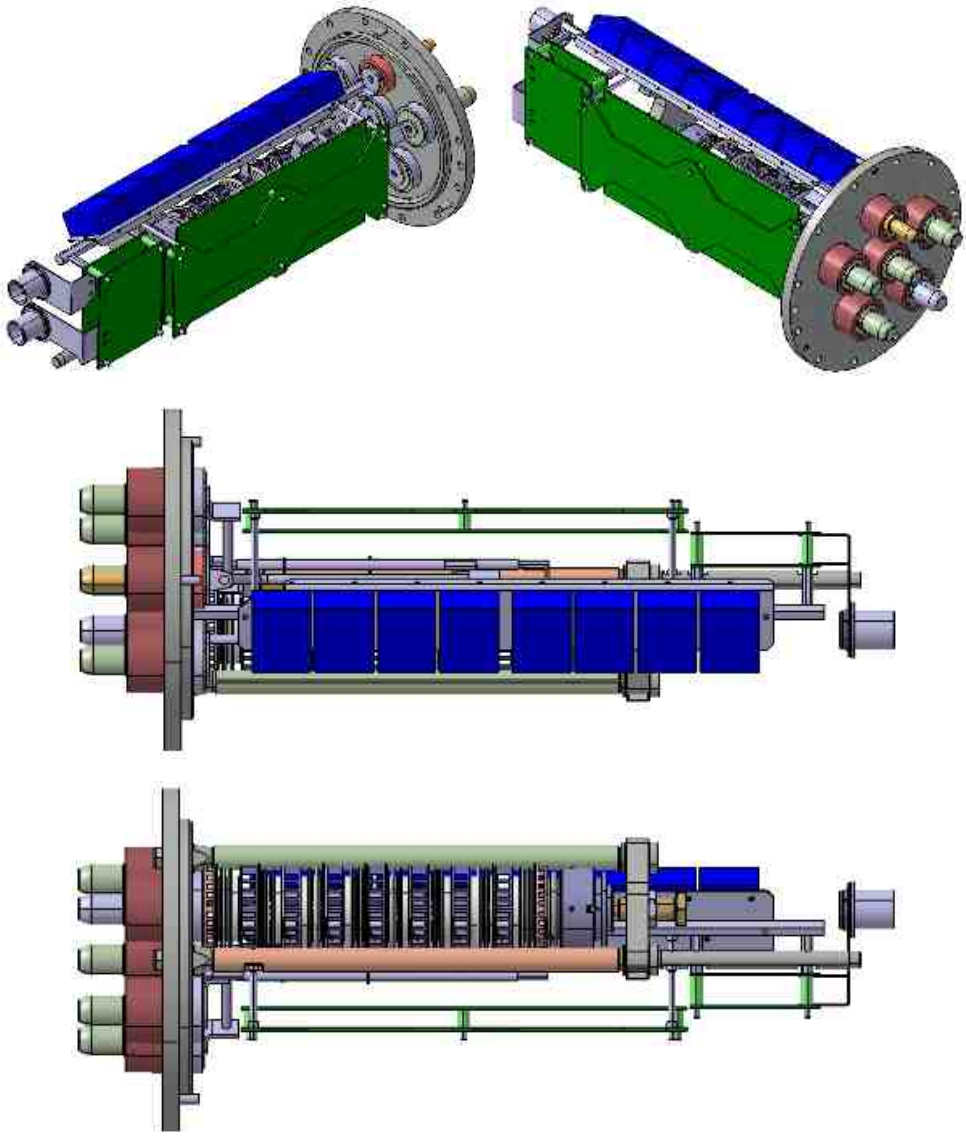


그림 18. 3D 설계된 인클로저 내부 (IR-TT)

3) 해석 및 시뮬레이션

가) Thyristor 큐비클 손실 구성요소

Thyristor의 큐비클의 손실은 Thyristor 회로에서 보는 것과 같이 Thyristor의 손실과 댐핑 회로에 의한 손실분에 의해 계산되어 진다.

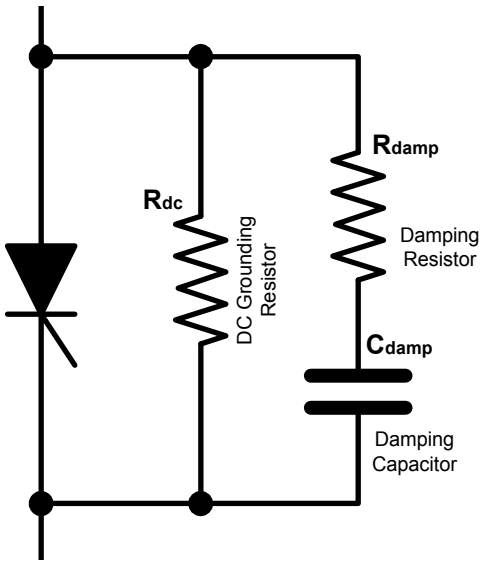


그림 19. Thyristor 및 댐핑 회로

나) Thyristor 큐비클 손실 계산식

Thyristor의 손실은 스위칭 on, off시 스위칭 손실과 도통손실, 그리고 spreading손실과 leakage손실 등으로 구성된다. 여기에서 도통손실과, turn off손실이 대부분의 손실로 작용하며, 나머지 손실의 합계는 10[%]미만으로 작용하여, 일반적으로 무시한다.

(1) 도통 손실 : $P_{T(AV)}$

Thyristor의 도통 손실은 식(1)에 의해 계산되어진다.

$$P_{T(AV)} = V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T I_{T(S)} \qquad (1)$$

$$= V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T (I_{T(AV)} F)^2$$

여기서,

$V_{T(TO)}$: Thyristor의 Threshold 전압 (datasheet 참조)

r_T : Thyristor의 on상태 slope 저항 (datasheet 참조)

$I_{T(AV)}$: Thyristor의 평균 도통 전류

$I_{T(RMS)}$: Thyristor의 도통 실효 전류

F : 실효치를 평균치 환산계수 ($\pi/2 \simeq 1.57$)

(2) Thyristor turn off손실 : P_{RQ}

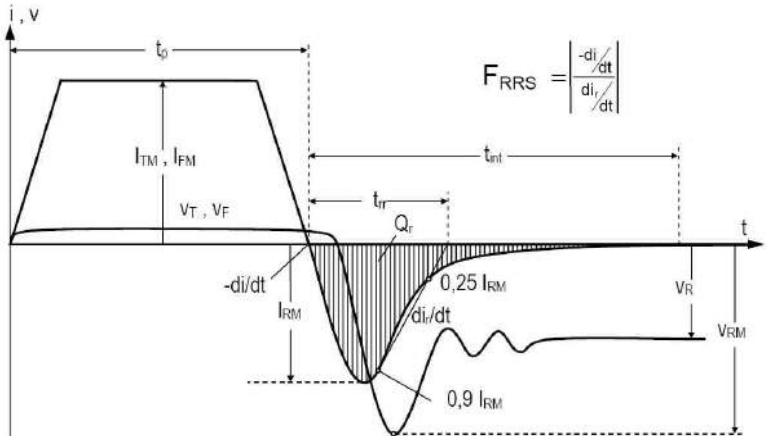


그림 20. turn off시 Thyristor의 전압 전류

Thyristor의 캐리어의 저장 효과로 인해 발생되는 손실로 아래의 계산식에 의해 계산되어 진다.

$$P_{RQ} = E_{RQ} f = \frac{1}{t_{int}} \int_0^{t_{int}} i_R(t) v_R(t) dt \qquad (2)$$

식(2)를 근사화 하여 계산하면 식(3)과 같이 계산 할 수 있다.

$$P_{RQ} = \frac{1}{2} Q_{rr} V_R f \qquad (3)$$

여기서,

Q_{rr} : Thyristor의 Threshold 전압 (datasheet 참조)

V_R : 선간 정류전압

f : 시스템 주파수

(3) Damping 회로 손실

댐핑 회로의 손실은 댐핑저항 및 커패시터에 의한 손실과 DC전압에 의한 손실이 있다. 이중 댐핑 저항과 DC 전압에 의한 손실(R_{dc}손실)은 거의 없고, 대부분 댐핑 커패시터에 의해 발생된다. 댐핑 커패시터에 의한 손실은 아래의 식(4)와 같이 계산된다.

$$P_{damp} = \frac{7}{4} f C_{damp} V_R^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha + \mu)] \qquad (4)$$

α : Thyristor의 점호각(firing angle)

μ : Thyristor의 정류부의 overlap angle ($\mu = \frac{\pi}{6}$)

다) IR-TT 큐비클 손실 계산

IR-TT의 큐비클 내부는 8개의 Thyristor로 구성되어지며, 이에 따른 손실은 다음과 같이 계산된다.

(1) Thyristor 손실

Thyristor 손실은 도통 손실($P_{T(AV)}$)과 turn off손실(P_{RQ})을 합산한 것으로 식(1), (2)에의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{T(AV)} = V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T (I_{T(AV)} F)^2$$

$$= (1.0 \times 500) + (0.59 \times 10^{-3})(500 \times 1.57)^2$$

$$= 863.57[W]$$

$$P_{RQ} = \frac{1}{2} Q_{rr} V_R f$$

$$= \frac{1}{2} \times (1800 \times 10^{-6}) \times 2545 \times 60$$

$$= 137.43[W]$$

(2) Damping 회로 손실

댐핑회로의 손실은 식(4)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{damp} = \frac{7}{4} f C_{damp} V_R^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha + \mu)]$$

$$= \frac{7}{4} \times 60 \times (0.25 \times 10^{-6}) \times 2545^2 \times [1 + 0.5]$$

$$= 255.03[W]$$

(여기서, 점호각은 $\pi/2$에서 최대 손실을 가진다.)

(3) IR-TT 큐비클 총 손실

IR-TT 큐비클의 총 손실의 큐비클 내부의 Thyristor와 댐핑회로의 손실을 계산하면 다음과 같다.

$$P_{cuve} = n(P_{T(AV)} + P_{RQ} + P_{damp})$$

$$= 4 \times (863.57 + 137.43 + 255.03)$$

$$= 5.024[kW]$$

라) 인버터 시뮬레이션

아래의 그림은 MATLAB/SIMULINK를 이용한 3상 인버터의 시뮬레이션 블럭도를 보여준다. 여기에는 3상 인버터 블록과 입력전원, 역기전력을 고려한 3상 전원, 인버터 위상제어를 위한 게이트펄스 발생기 등으로 구성되어 있다.

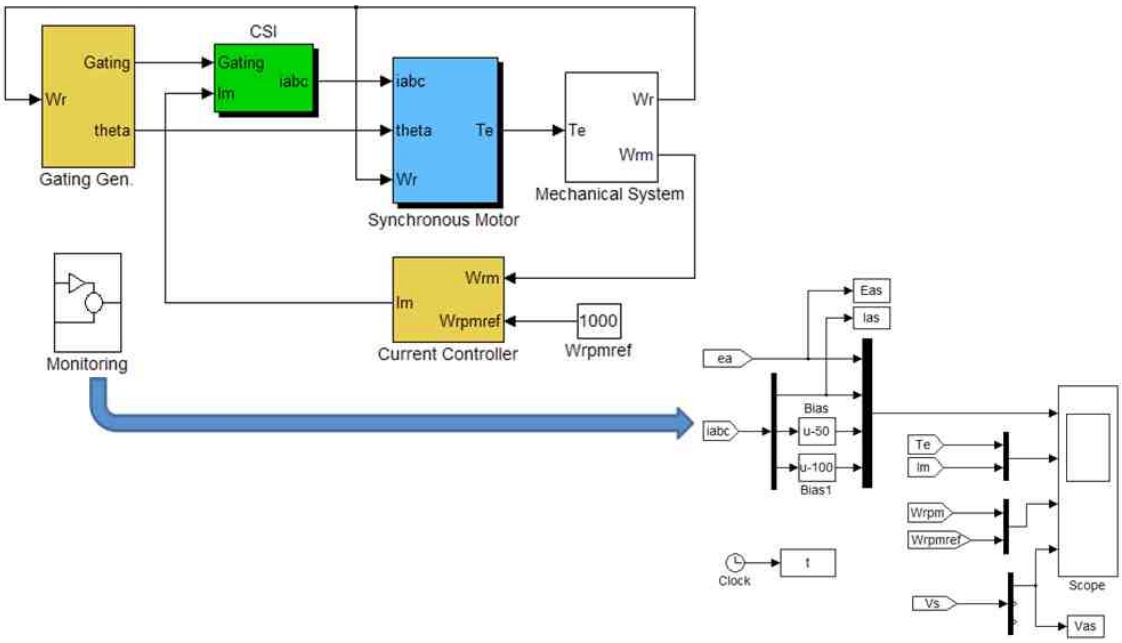


그림 21. MATLAB/SIMULINK를 이용한 시뮬레이션

아래의 그림은 상기 시뮬레이션의 결과로서 출력전압, 상전압, 선전압, 출력전류 등의 시뮬레이션 값을 보여준다.

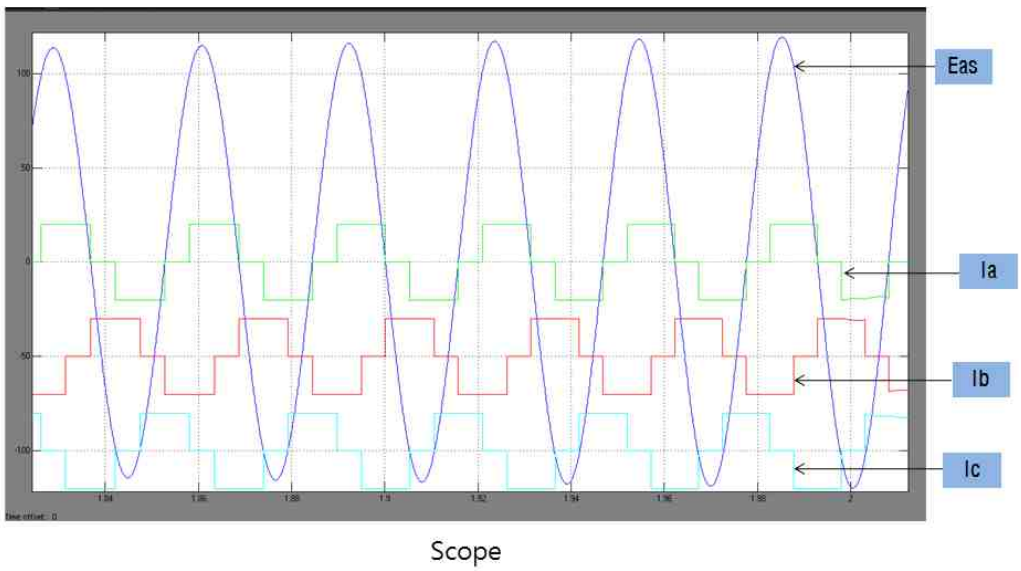


그림 22. MATLAB/SIMULINK를 이용한 시뮬레이션 결과

4) 시제품 제작

가) IR-TT의 외관



그림 23. IR-TT 개발품 외형 사진

나) IR-TT 내부



그림 24. 개발품 IR-TT 내부 소자 외형



그림 25. 기존품 IR-TT 내부 소자 외형

(1) Thyristor

DC전압을 AC전압으로 변환시켜주는 역할을 하는데 점호각을 점호시키는 방식으로 출력 AC전압의 평균값을 조절할 수 있다. 4쌍의 정류소자, 총 8개의 사이리스터로 풀브리지 정류회로를 구성하였다.

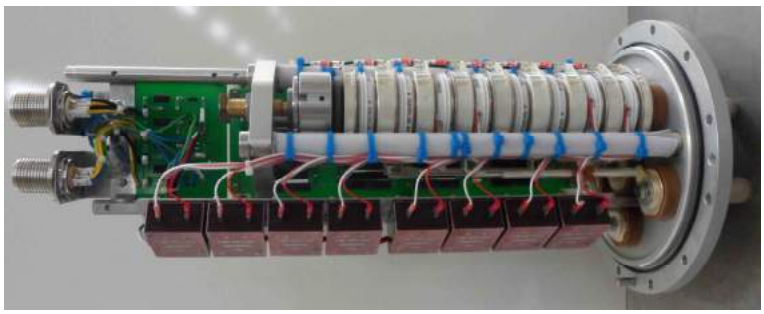


그림 26. 개발품 IR-TT Thyristor

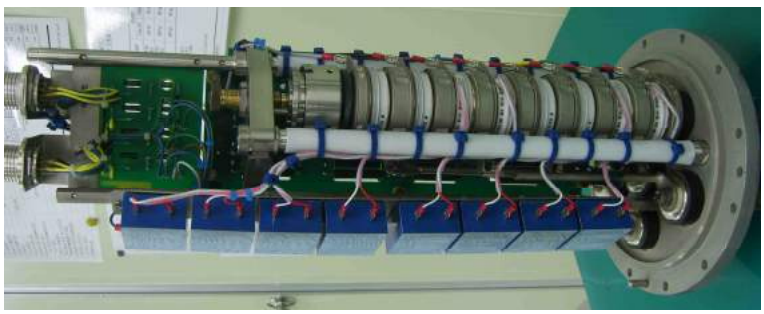


그림 27. 기존품 IR-TT Thyristor

(2) RC보드

RC보드는 사이리스터 양단에 스너버 회로를 구성하여 소자의 온-오프 시 발생하는 스위칭노이즈를 감소시키고 소자의 스위칭 스트레스를 줄인다. RC스너버 회로는 사이리스터의 애노드와 캐소드 양단에 위치하여 4개의 똑같은 회로로 RC보드를 구성하고 있다.

(3) GATE 보드

GATE보드는 사이리스터의 게이트를 점호시키는 회로로 구성되어 있는데 게이트 구동회로와 고압회로와 절연시키는 트랜스포머를 포함하고 있다. GATE보드는 한 쌍에 위치하여 있는 두 개의 사이리스터를 동시에 온-오프 시킨다.

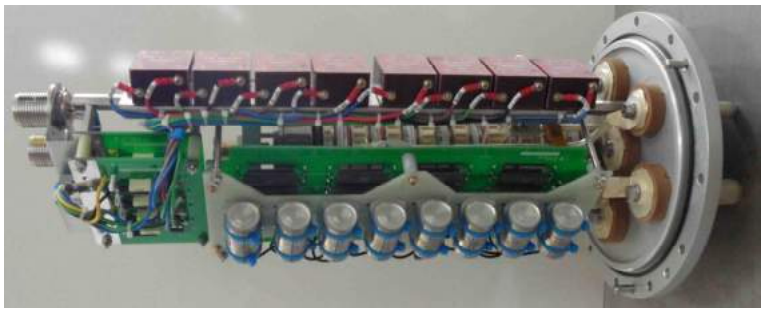


그림 28. 개발품 IR-TT GATE 보드



그림 29. 기존품 IR-TT GATE 보드

다) 주회로 구성

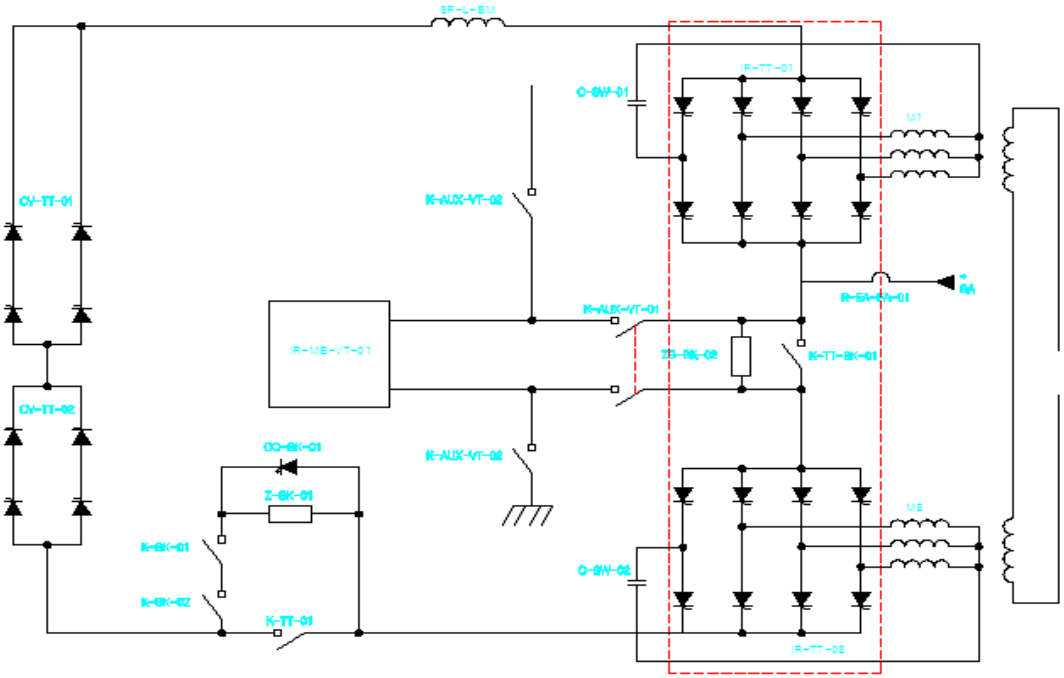


그림 30. IR-TT 회로도

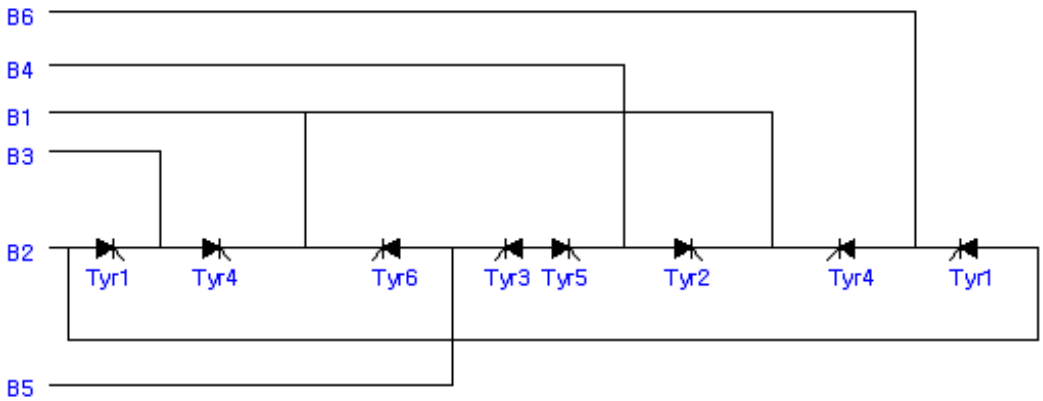


그림 31. IR-TT 주회로도

5) 기능설명

컨버터장치에서 전원을 공급받아 1개의 견인전동기 고정자 권선에 3상 교류전원을 공급한다. 회생제동시에는 견인전동기로부터 발생되는 교류를 직류로 변환하는 컨버터 모드로 동작한다. 원통형 냉각통에 3200V 1200A급의 사이리스터 정류 소자 8개가 일렬로 압접되어 삽입되어있는 형태이다. 일반적인 정류 브리지는 4개의 소자로 구성되어지지만 본기기는 2개의 정류 소자가 직렬로 한 쌍이 되어 총 8개의 정류소자로 브리지를 이룬다. 이것은 정류소자의 전압 용량을 증대시키는 효과가 있다.

후면의 고압단자핀은 4개이며 교류입력 2개와 직류출력 2개이다.

또한 한 쌍의 정류소자 양단에는 스너버 역할을 하는 RC회로기판이 연결되어 있어 소자의 ON/OFF시 발생하는 서지전압으로부터 소자를 보호한다.

전면에는 냉매를 주입하고 배출할 수 있도록 원터치 밸브가 2개 있으며 냉각통안의 압력이 높아질 경우를 대비해 안전밸브도 부착되어있다.

IR-TT는 주변압기 2차측을 통해 입력되어지는 DC 1500V를 브리지를 통해 위상 정류하여 모터를 구동하기 위한 전압을 생성시키는 인버터 모듈의 입력전압인 AC 1350V를 제공하는 역할을 한다.

6) 단품시험

가) 시험항목 및 시험 기준치

IR-TT 조립체 (K611-1114343-E1332-RT+T-001)

(1) 외관검사

- 기준치 : 육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것.
- 시험결과 :

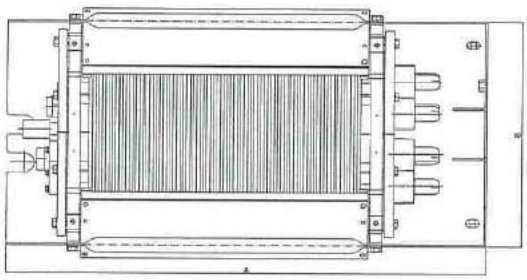
기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것.	없음	없음	양호	

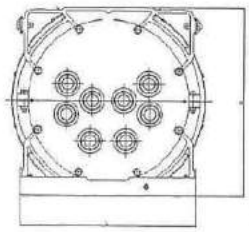
(2) 치수검사

- 장치의 외관치수를 측정함.
- 검사항목 및 기준치 :

검사항목	기준치
A	714mm±2mm
B	342mm±2mm
C	342mm±2mm
D	336mm±2mm

- 시험결과 :





검사항목	기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
		12001	12002		
A	714㎜ ± 2㎜	714	714	양호	
B	342㎜ ± 2㎜	342	342	양호	
C	342㎜ ± 2㎜	342	342	양호	
D	336㎜ ± 2㎜	336	336	양호	

(3) 펄스 회로 시험

본 시험의 목적은 인클로저 연결기와 사이리스터(반도체 소자) 게이트 지점 간의 사이리스터 게이트 신호 전환을 검증하기 위함이다.

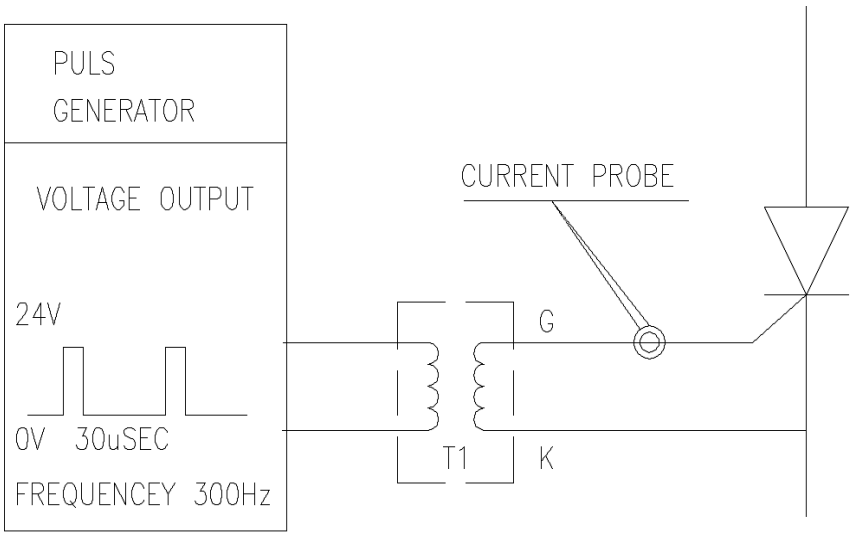


그림 32. 펄스 시험 회로(IR-TT)

- 펄스 시험 절차

펄스 시험 회로는 측정 블럭도와 같이 펄스 발생기 (pulse generator)에 연결 되어야 한다.

① 회로는 펄스 발생기를 통해 가압(加壓)된다.

② 전류 메타는 사이리스터의 게이트 전류에 연결되고, 오실로스코프(Oscilloscope)에서 얻어진 신호는 다음과 같다.

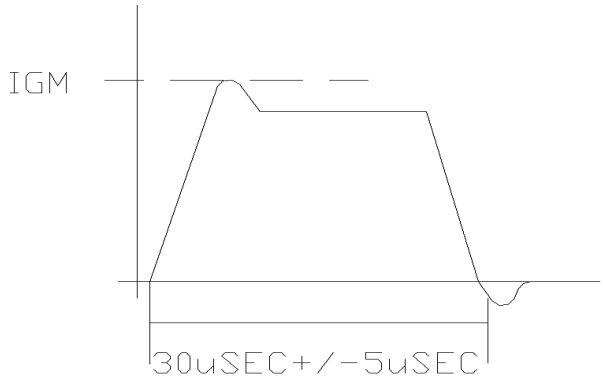


그림 33. GATE 전류 파형(IR-TT)

- 시험결과 :

기 준 치				측 정(값)		결 과
게이트전류측정	펄스폭 측정	소 자	항 목	12001	12002	
게이트 전류 IGM이 0.4A~3.5A 안에 있을 것	펄스폭이 30㎲±5㎲ 일 것	THYR1	게이트전류	2.34	2.38	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR2	게이트전류	2.40	2.38	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR3	게이트전류	2.36	2.38	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR4	게이트전류	2.38	2.36	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR5	게이트전류	2.46	2.36	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR6	게이트전류	2.42	2.36	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR -COM1	게이트전류	2.40	2.36	양호
			펄스폭	31.2	31.2	
		THYR -COM2	게이트전류	2.40	2.38	양호
			펄스폭	31.2	31.2	

(4) 접지 지속성 시험

본 시험의 목적은 모든 금속 부분이 인클로저의 접지 전류에 정확하게 연결되어 있는지를 검증하기 위함이다.

- 기준치 :

① 튜브와 전부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.

② 튜브와 후부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.

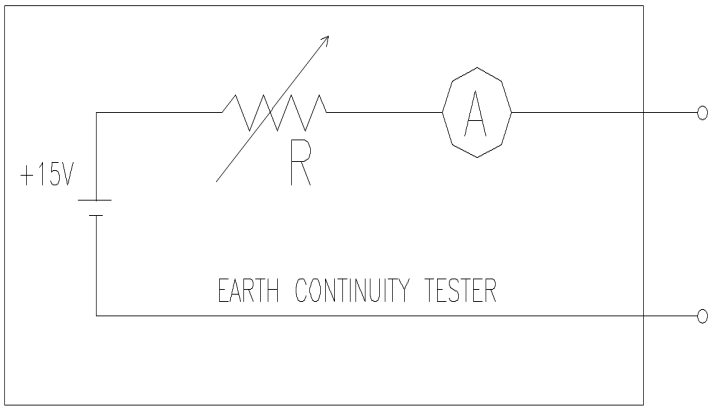


그림 34. 접지 지속성 시험 회로(IR-TT)

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	1001	1002		
튜브와 전부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.	98.5	98.5	양호	
튜브와 후부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.	98.6	98.6	양호	

(5) 절연저항 시험

본 시험의 목적은 접지와 관련하여 carriage, 튜브, 플레이트로 구성된 모든 배선의 정확한 절연 강도를 검사하는 것이다. 절연저항 시험은 내전압 시험 전·후에 실시해야 한다.

- 기준치 :

① 1,000V 절연저항계로 저압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.

② 1,000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)		결 과	비 고
		1001	1002		
1000V 절연저항계로 저압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.	내전압전	2000	2000	양호	
	내전압후	2000	2000	양호	
1000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.	내전압전	2000	2000	양호	
	내전압후	2000	2000	양호	

(6) 내전압 시험

본 시험의 목적은 접지와 관련하여 carriage, 튜브, 플레이트로 구성된 모든 배선의 정확한 절연 강도를 검사하는 것이다.

- 기준치 :

① 저압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 AC 1500V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.

② 고압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 AC 5750V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)		결 과	비 고
		12001	12002		
저압회로	저압 통전부와 프레임 간에 AC 1500V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.	견딤	견딤	양호	
고압회로	고압 통전부와 프레임 간에 AC 5750V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.	견딤	견딤	양호	

(7) 인클로저 밀봉시험

- 기준치 : FC72로 채워지지 않은 기밀된 탱크에 헬륨을 사용하여 진공 봉합 시험과 압력 봉합 시험을 실행한다. 헬륨 스프레이 건으로 헬륨을 조사하고 검지기를 통해 계측된 헬륨 비율 값이 최대 $2\times10^{-6}ATM{\cdot}cm^3/S$와 같거나 낮아야 한다.

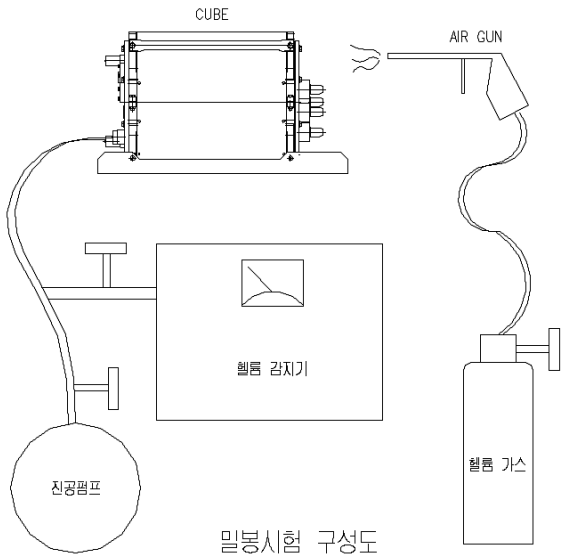


그림 35. 밀봉 시험 구성도(IR-TT)

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
진공상태에서 헬륨가스로 봉합 시험 시 헬륨비율 측정값이 2 X 10^{-6}ATM.㎤/s와 같거나 낮을 것.	6.0×10^{-6}	6.0×10^{-6}	양호	

(8) 레벨 시험

- 기준치 : 주위 온도가 20±5℃에서 FC72 충진된 레벨 (sight glass 에 표시)검사한다.
- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
FC72 레벨이 sight glass ±2㎜ 표시 내에 있을 것.	/	/	양호	

(9) Degassing 시험

- 기준치 : 탱크에 FC72를 주입한 후 주위온도 및 내부압력을 측정한다. 10시간이 지난 후 주외온도와 내부압력을 다시 한 번 측정하여 그 압력차이가 50mbars 이내이어야 한다. 단, 주위온도의 변화가 있을 경우에는 온도보정을 한다.
- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
FC72충전 10시간 경과후의 압력 변화가 +50mbars 이내 일 것.	16°	24°	양호	

(10) 절연 시험

본 시험의 목적은 FC72로 채워진 탱크의 절연을 측정하여 품질 확인과 정확한 인크로져 충전을 확인하기 위함이다.

- 기준치 :
  - ① 저압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 DC 1500V를 인가하여 누설 전류값이 2.5㎂이하 일 것.
  - ② 고압회로 : 고압통전부와 프레임 간에 DC 5000V를 인가하여 누설 전류값이 5㎂이하 일 것.
- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)		결 과	비 고
		12001	12002		
저압회로	저압 통전부와 프레임 간에 DC 1500V를 인가하여 누설 전류값이 2.5㎂이하 일 것.	0.2	0.4	양호	
고압회로	고압 통전부와 프레임 간에 DC 5000V를 인가하여 누설 전류값이 5㎂이하 일 것.	0.2	0.2		

(11) 진동시험(외부기관 성적서 포함)

- 기준치 : KS-R-9144(제2종 B종)에 의거 시험 실시한 후 육안검사를 하여 제품에 이상이 없을 것.
- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	-	12002		
KS-R-9144(제2종 B종)의거 시험 실시한 후 육안검사를 하여 제품에 이상이 없을 것.	-	이상없음	양호	

(12) 환경시험(외부기관 성적서 포함)

- 기준치 : KS-R-9156(제2종 B종)에 의거 시험 실시한 후 시험 직후 기능 확인은 게이트 턴온, 턴오프 시험을 실시하여 이상이 없을 것.

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	-	[illegible]		
KS-R-9156(제2종 B종)의거 시험 실시한 후 시험직후 기능확인은 게이트 턴온, 턴오프 시험을 실시하여 이상이 없을 것.	-	이상없음	양호	

나) 진동·환경시험 성적서

시 험 성 적 서

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME KOLAS TESTING NO. 122

발 행 번 호	:	SGS-R12-1151
의 뢰 기 관	:	(사)한국철도차량엔지니어링
의 뢰 자	:	(사)한국철도차량엔지니어링
회 사 주 소	:	경기도 수원시 장안구 천천동 558-3 번지
제 품 명	:	모터블럭
모 델 명	:	IR-TT
환 경 조 건	:	(22 ± 8) ℃, (32 ± 7) % R.H.
시 험 일 자	:	2012년 12월 6일 ~ 2012년 12월 13일
시험규격/방법	:	KS R 9144: 1992 (철도 차량 부품의 진동 시험 방법) KS R 9156: 2002 (철도 차량용 전자기기의 시험 통칙)
시 험 결 과	:	성적서 참조
측정 불확도	:	N/A
용 도	:	품질 평가용

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

확 인	시험자 성 명 : 장 동 열 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명)

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

2012. 12. 18

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

그림 36. IR-TT 진동 및 환경시험 성적서1

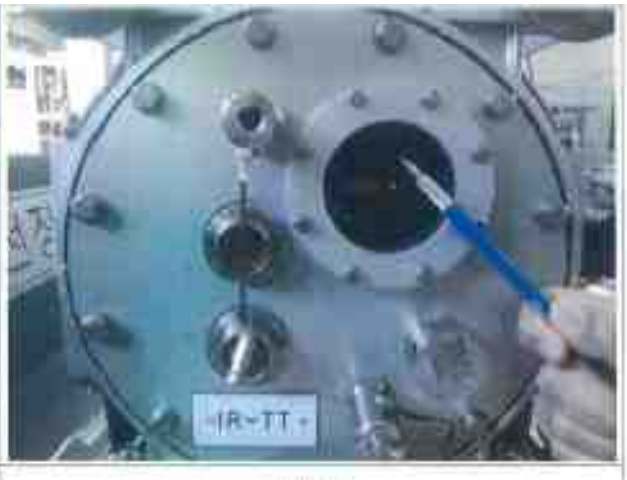
시험 결과 요약

모터블럭 / IR-TT	
시험 항목	시험 결과
공진 및 진동 기능 시험	이상 없음.
내구성 시험	이상 없음.
저온 동작 시험	이상 없음.
고온 동작 시험	이상 없음.
온도 사이클 시험	이상 없음.
습도 시험	이상 없음.

KOLAS KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME TESTING NO. 122

ROTECO H.S.BAE

그림 37. IR-TT 진동 및 환경시험 성적서2

	
주위온도 및 습도	리발시험
	
Degassing 시험(초기시험)	Degassing 시험 (10시간 경과 후)
	
절연시험	절연시험

다. 컨버터

1) 개요

각 모터블록에 직렬로 연결된 2개의 컨버터(CV-TT : 완전브리지)는 주 변압기 2차권선의 AC 1800V를 정류함과 동시에 인버터로 공급되는 견인전류(출력전류)를 조절한다. 컨버터는 제어되는 도통각에 따라 출력이 달라진다. 낮은 전압을 위해서는 컨버터 1의 도통만을 필요로 한다. 이 컨버터가 최대 도통을 하는 시점에서 컨버터 2에 대해 견인력이 더해진다. 견인모드에서는 견인회로의 환류(Free Wheel)회로 구성을 위해 혼합 브리지처럼 작용하고, 회생제동 모드에서는 직류를 교류료 변환하기 위해 완전브리지로 작동한다. 즉, 회생제동모드에서의 컨버터는 인버터로서의 역할을 한다. 컨버터 큐브는 모터블록 당 2개씩 있다.

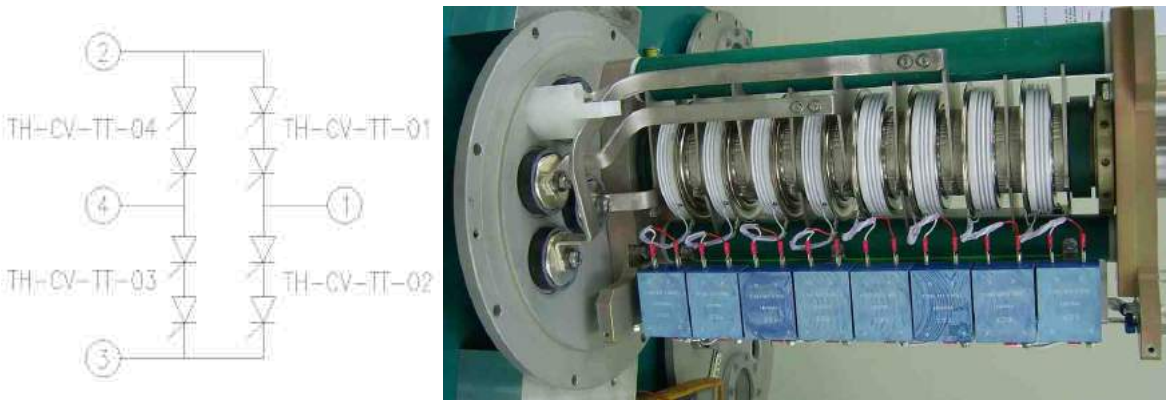


그림 38. 주회로 및 인크로져 외형 (CV-TT)

2) 설계검토

가) CV-TT 사양비교

내용	구분	기존품	개발품
방식	주회로방식	사이리스터 & 다이오드를 이용한 정류 회로	좌동
	제어방식	위상제어정류	좌동
	냉각방식	밀폐 TANK를 이용한 냉매침적 방식	좌동
입력	정격전압	AC 1800V, 60Hz	좌동
출력	정격용량	1130KW	좌동
	최대전류	1200A	좌동
사용환경		-	-

나) 전력소자(Thyristor) 특성 비교

특 성	기존품	개발품
VRRM/VDRM	4200V	좌동
IT(RMS)	2536A	좌동
di/dt(A/us)	150	좌동
VGT(V)	3.0	좌동
IGT(mA)	300	좌동
제작사	DYNEX	ABB 또는 DYNEX

다) CATIA를 이용한 3D설계

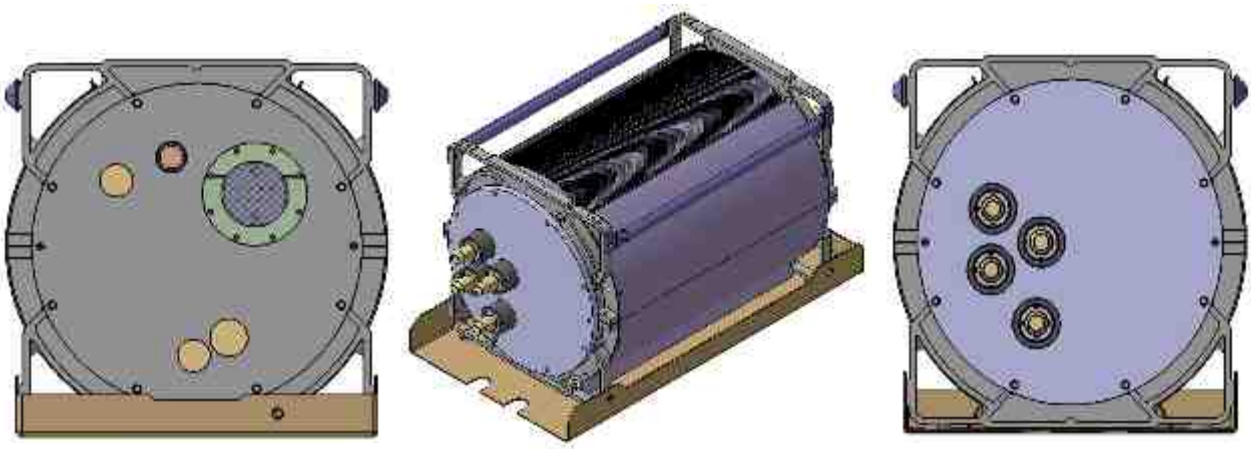


그림 39. 3D 설계된 인클로저 외형 (CV-TT)

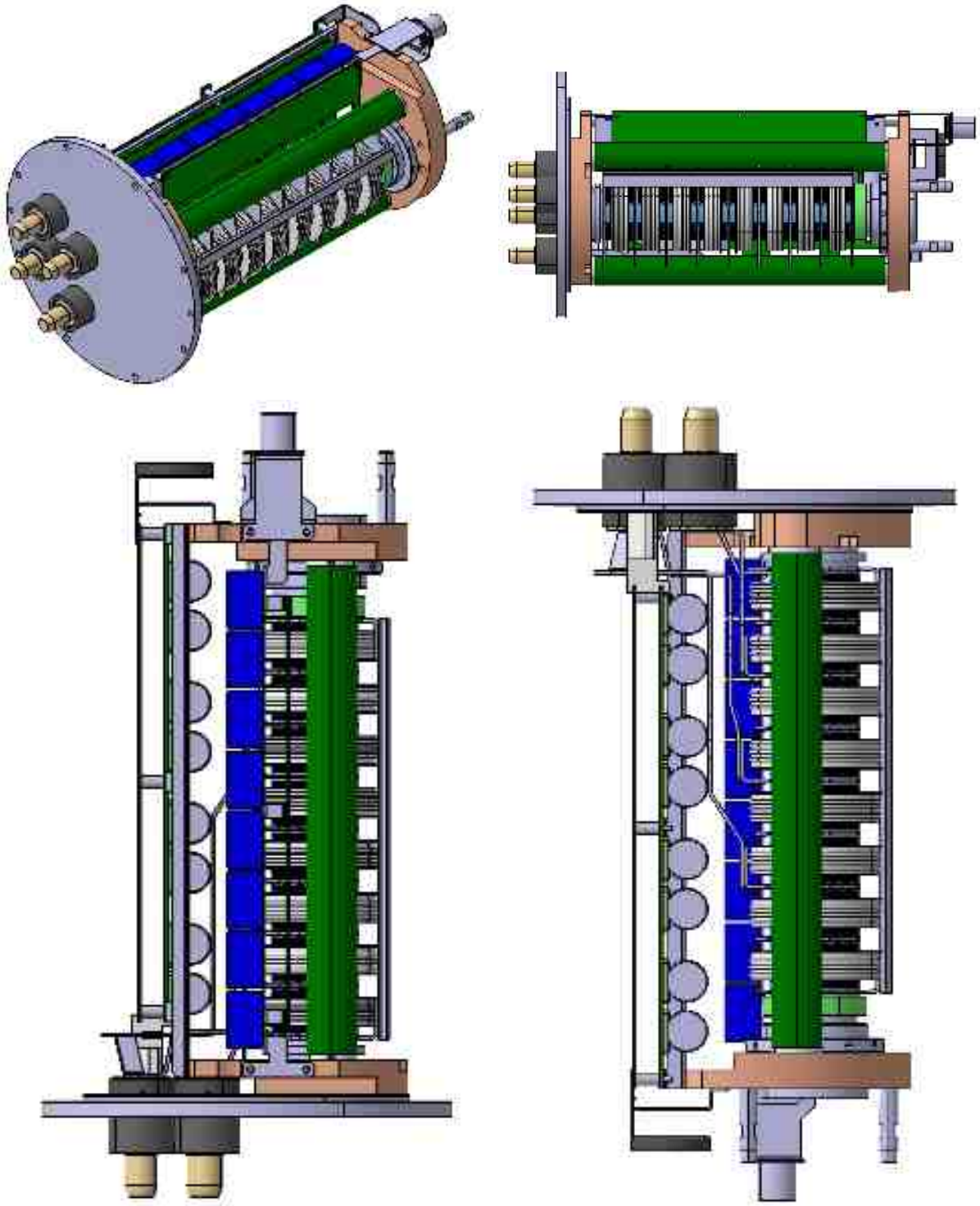


그림 40. 3D 설계된 인클로저 내부 (CV-TT)

3) 해석 및 시뮬레이션

가) Thyristor 큐비클 손실 구성요소

Thyristor의 큐비클의 손실은 Thyristor 회로에서 보는 것과 같이 Thyristor의 손실과 댐핑 회로에 의한 손실분에 의해 계산되어 진다.

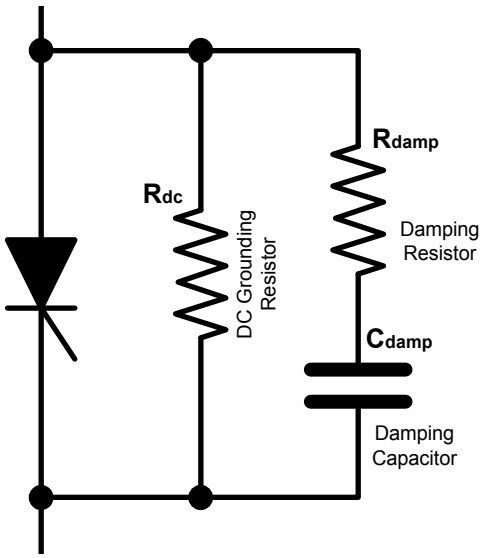


그림 41. Thyristor 및 댐핑 회로

나) Thyristor 큐비클 손실 계산식

Thyristor의 손실은 스위칭 on, off시 스위칭 손실과 도통손실, 그리고 spreading손실과 leakage손실 등으로 구성된다. 여기에서 도통손실과, turn off손실이 대부분의 손실로 작용하며, 나머지 손실의 합계는 10[%]미만으로 작용하여, 일반적으로 무시한다.

(1) 도통 손실 : $P_{T(AV)}$

Thyristor의 도통 손실은 식(1)에 의해 계산되어진다.

$$P_{T(AV)} = V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T I_{T(S)} \qquad (1)$$

$$= V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T (I_{T(AV)} F)^2$$

여기서,

$V_{T(TO)}$: Thyristor의 Threshold 전압 (datasheet 참조)

r_T : Thyristor의 on상태 slope 저항 (datasheet 참조)

$I_{T(AV)}$: Thyristor의 평균 도통 전류

$I_{T(RMS)}$: Thyristor의 도통 실효 전류

F : 실효치를 평균치 환산계수 ($\pi/2 \simeq 1.57$)

(2) Thyristor turn off손실 : P_{RQ}

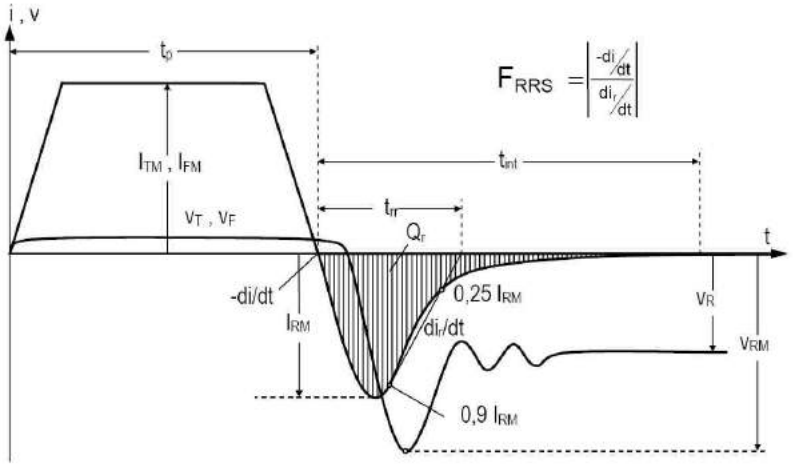


그림 42. turn off시 Thyristor의 전압 전류

Thyristor의 캐리어의 저장 효과로 인해 발생되는 손실로 아래의 계산식에 의해 계산되어진다.

$$P_{RQ} = E_{RQ} f = \frac{1}{t_{int}} \int_0^{t_{int}} i_R(t) v_R(t) dt \qquad (2)$$

식(2)를 근사화 하여 계산하면 식(3)과 같이 계산 할 수 있다.

$$P_{RQ} = \frac{1}{2} Q_{rr} V_R f \qquad (3)$$

여기서,

Q_{rr} : Thyristor의 Threshold 전압 (datasheet 참조)

V_R : 선간 정류전압

f : 시스템 주파수

(3) Damping 회로 손실

댐핑 회로의 손실은 댐핑저항 및 커패시터에 의한 손실과 DC전압에 의한 손실이 있다. 이중 댐핑 저항과 DC 전압에 의한 손실(R_{dc}손실)은 거의 없고, 대부분 댐핑 커패시터에 의해 발생된다. 댐핑 커패시터에 의한 손실은 아래의 식(4)와 같이 계산된다.

$$P_{damp} = \frac{7}{4} f C_{damp} V_R^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha + \mu)] \qquad (4)$$

V_R : 선간 정류전압

f : 시스템 주파수

α : Thyristor의 점호각(firing angle)

μ : Thyristor의 정류부의 overlap angle ($\mu = \frac{\pi}{6}$)

다) CV-TT 큐비클 손실 계산

CV-TT의 큐비클 내부는 8개의 Thyristor로 구성되어지며, 이에 따른 손실은 다음과 같이 계산된다.

(1) Thyristor 손실 [DCR1575SY]

Thyristor 손실은 도통 손실($P_{T(AV)}$)과 turn off손실(P_{RQ})을 합산한 것으로 식(1), (2)에의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{T(AV)} = V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T (I_{T(AV)} F)^2$$

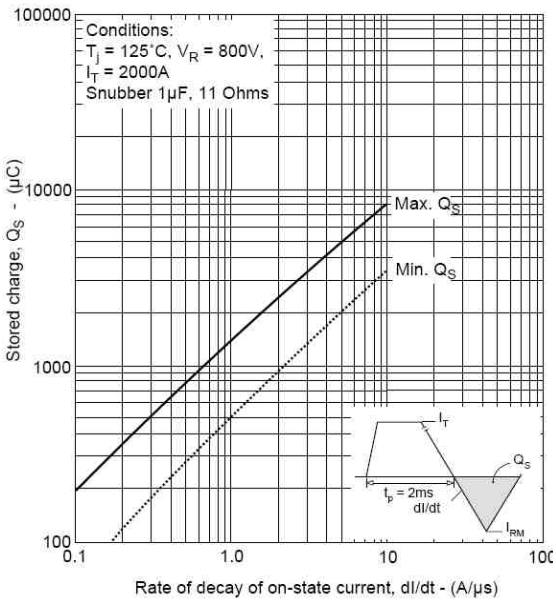
$$= (0.94 \times 789) + (0.24 \times 10^{-3})(789 \times 1.57)^2$$

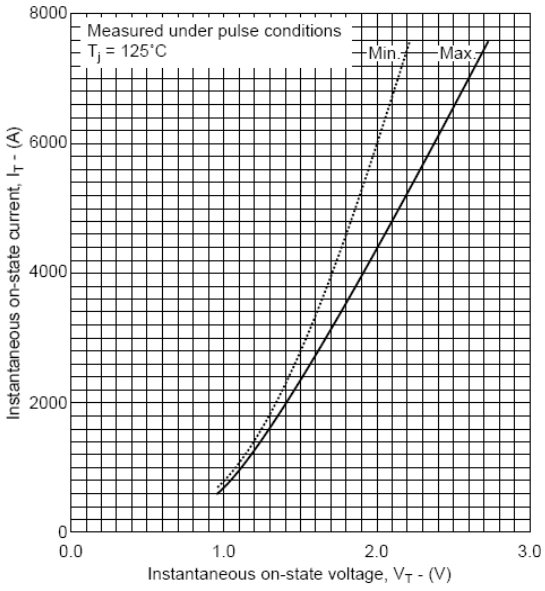
$$= 1648.65[W]$$

$$P_{RQ} = \frac{1}{2} Q_{rr} V_R f$$

$$= \frac{1}{2} \times (4000 \times 10^{-6}) \times 2545 \times 60$$

$$= 305.4[W]$$





(2) Damping 회로 손실

댐핑회로의 손실은 식(4)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{damp} = \frac{7}{4} f C_{damp} V_R^2 \left[\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha+\mu)\right]$$

$$= \frac{7}{4} \times 60 \times (0.68 \times 10^{-6}) \times 2540^2 \times [1+0.5]$$

$$= 690.97[W]$$

(여기서, 점호각은 $\pi/2$에서 최대 손실을 가진다.)

(3) CV-TT 큐비클 총 손실

CV-TT 큐비클의 총 손실의 큐비클 내부의 Thyristor와 댐핑회로의 손실을 계산하면 다음과 같다.

$$P_{cuve} = n\left(P_{T(AV)} + P_{RQ} + P_{damp}\right)$$

$$= 4 \times (1648.65 + 305.4 + 690.97)$$

$$= 10.58[kW]$$

라) PWM 컨버터 시뮬레이션

PWM 컨버터 시뮬레이션은 MATLAB/SIMULINK를 사용하였다.

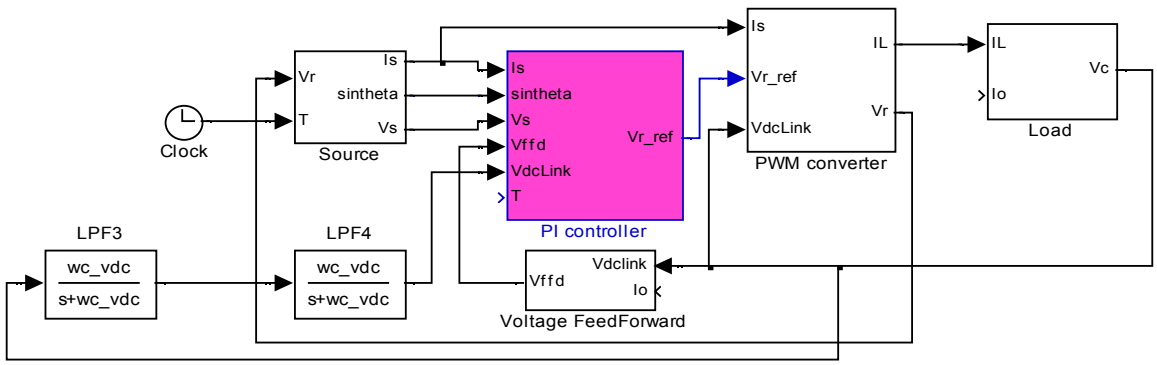


그림 43. 컨버터부 블럭도

위 그림은 PWM 컨버터부의 블럭도를 보여준다. PWM 컨버터는 단상이며 전원전압과 입력전류를 단위 역률로 제어하는 역률제어기능과 전류를 정현파로 추종시키는 전류파형 제어능력을 수행하여야한다. 컨버터의 기준전압과 출력전압의 오차는 전압제어기의 입력으로 사용되며 전압제어기의 출력은 전원전압의 위상정보를 갖는 정현파와 곱해져 컨버터 입력

전류 기준값을 생성한다. 부하변동에 빠른 속응성을 전류 제어기에 Feedforward를 추가하였다. 아래 그림은 컨버터의 전압전류제어기의 블럭도를 보여준다.

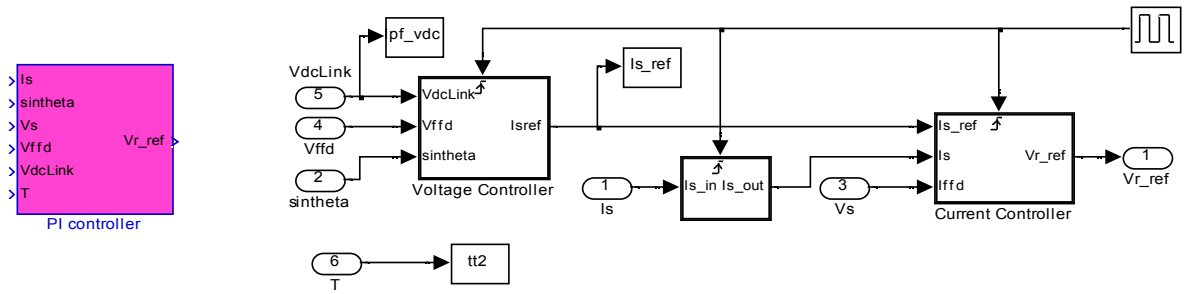


그림 44. 컨버터의 전압·전류제어기

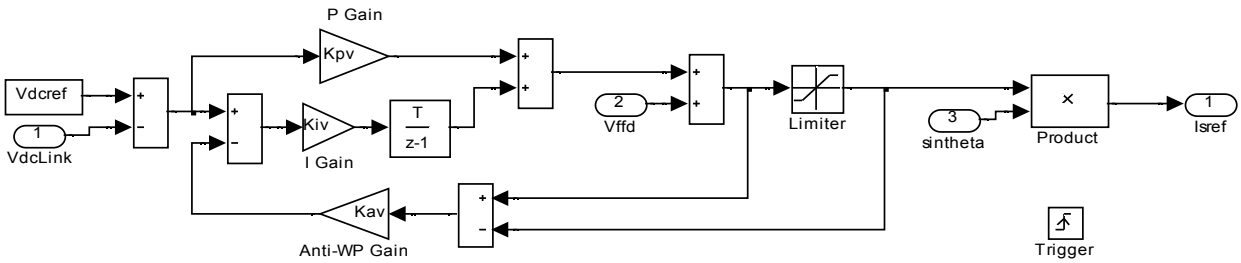


그림 45. 컨버터의 전압제어기

위 그림은 컨버터의 전압제어기 블럭도를 보여준다. 컨버터의 출력전압과 기준전압을 비교하여 PI 제어기, Feedforward, Anti-windup을 이용하여 나온 값에 전원전압의 위상정보를 갖는 정현파를 곱하여 전류제어기의 입력전류의 기준값을 생성한다.

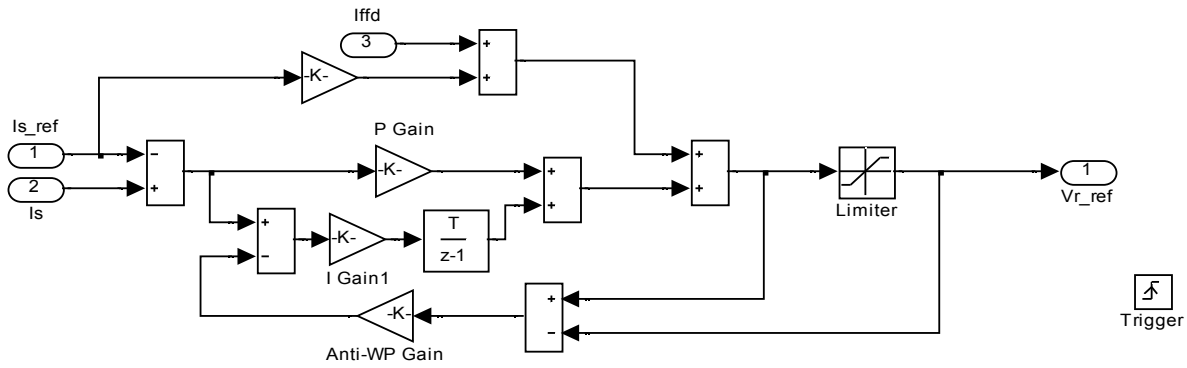


그림 46. 컨버터의 전류제어기

위의 그림은 컨버터의 전류제어기 블럭도를 보여준다. 전압제어기에서 나온 기준전류와 실제 입력 전류의 차를 PI제어기, Feedforward, Anti-windup을 이용하여 PWM에 사용될 기

준 전압을 생성한다.

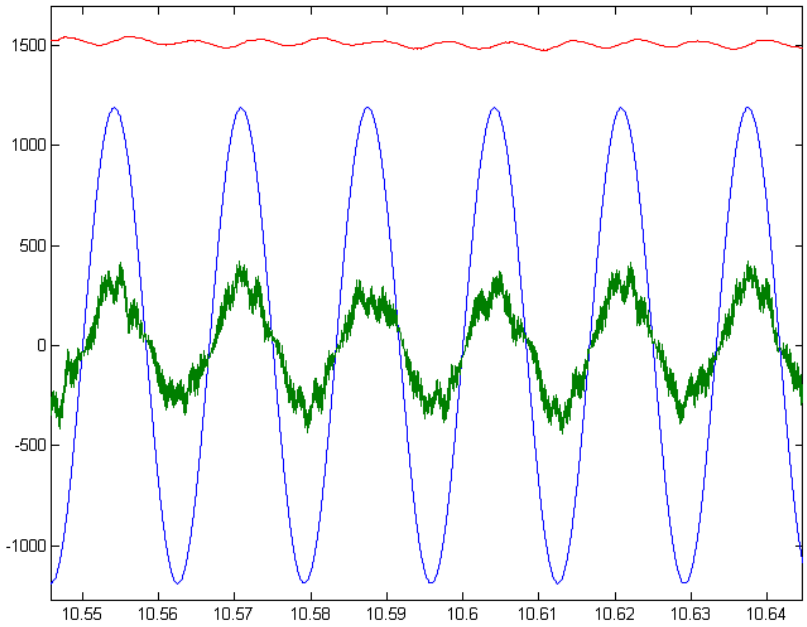


그림 47. 컨버터의 출력전압, 입력전압, 입력전류

4) 시제품 제작

가) CV-TT의 외관





그림 48. CV-TT 개발품 외형

나) CV-TT 내부

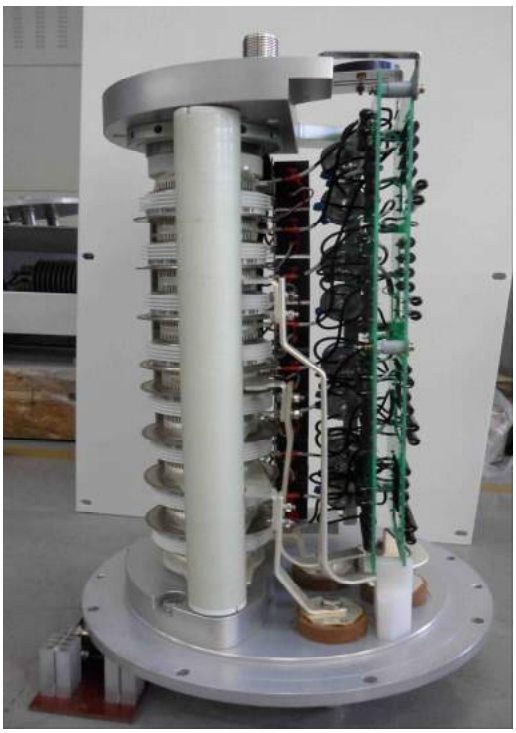


그림 49. CV-TT 개발품 내부



그림 50. CV-TT 기존품 내부

(1) Thyristor

AC전압을 DC전압으로 변환시켜주는 역할을 하는데 점호각을 점호시키는 방식으로 출력 DC전압의 평균값을 조절할 수 있다. 4쌍의 정류소자, 총 8개의 사이리스터로 풀브리지 정류회로를 구성하였다.

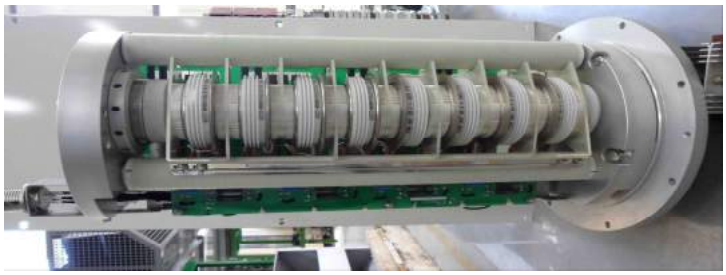


그림 51. CV-TT 개발품 사이리스터



그림 52. CV-TT 기존품 사이리스터

(2) RC보드

RC보드는 사이리스터 양단에 스너버 회로를 구성하여 소자의 온-오프 시 발생하는 스위칭노이즈를 감소시키고 소자의 스위칭 스트레스를 줄인다. RC스너버 회로는 사이리스터의 애노드와 캐소드 양단에 위치하여 4개의 똑같은 회로로 RC보드를 구성하고 있다.



그림 53. CV-TT 개발품 RC 보드

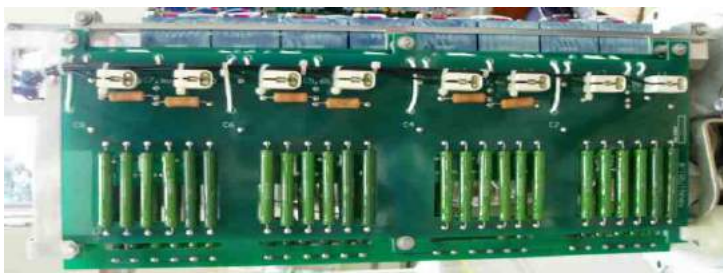


그림 54. CV-TT 기존품 RC 보드

(3) GATE 보드

GATE보드는 사이리스터의 게이트를 점호시키는 회로로 구성되어 있는데 게이트 구동 회로와 고압회로와 절연시키는 트랜스포머를 포함하고 있다. GATE보드는 한쌍에 위치하여 있는 두 개의 사이리스터를 동시에 온-오프 시킨다.



그림 55. CV-TT 개발품 GATE 보드

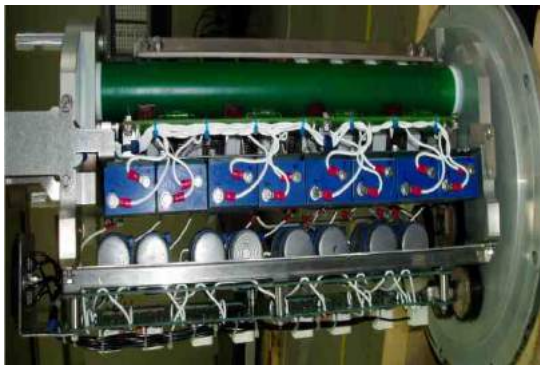


그림 56. CV-TT 기존품 GATE 보드

다) 주회로 구성

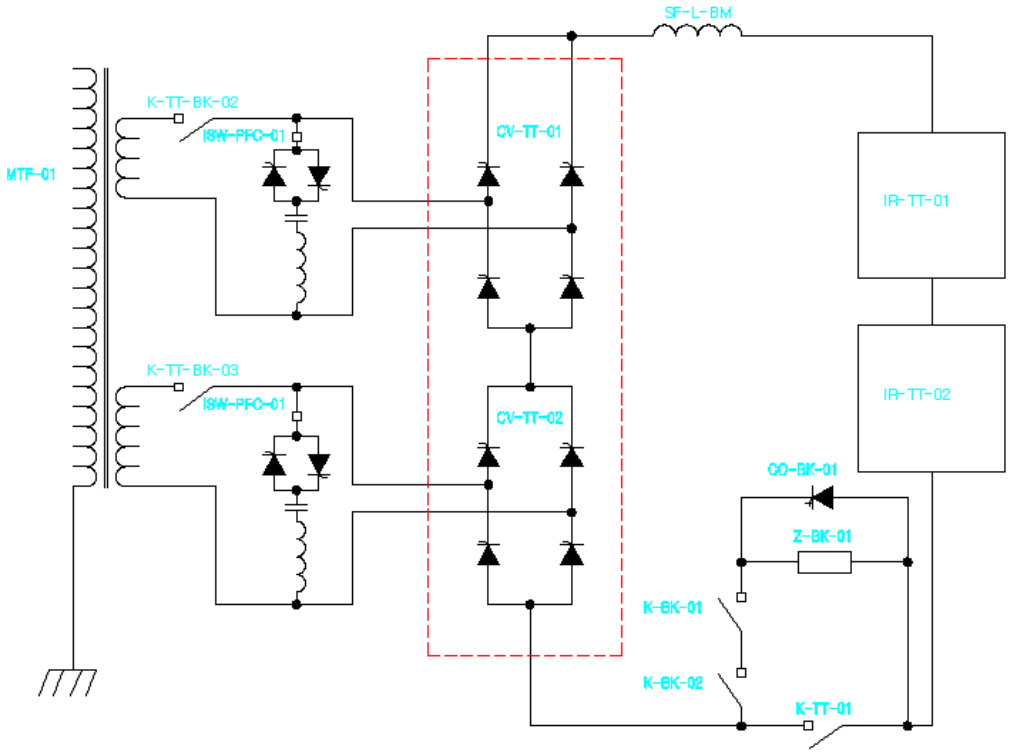


그림 57. CV-TT 주 회로도

5) 기능설명

원통형 냉각통에 4200V 2500A급의 사이리스터 정류 소자 8개가 일렬로 압접되어 삽입되어 있는 형태이다. 일반적인 정류 브리지는 4개의 소자로 구성되어지지만 본기기는 2개의 정류소자가 직렬로 한 쌍이 되어 총 8개의 정류소자로 브리지를 이룬다. 이것은 정류소자의 전압용량을 증대시키는 효과가 있다. 후면의 고압단자핀은 4개이며 교류입력 2개와 직류출력 2개이다. 또한 한 쌍의 정류소자 양단에는 스너버 역할을 하는 RC회로기판이 연결되어 있어 소자의 ON/OFF시 발생하는 서지전압으로부터 소자를 보호한다. 전면에는 냉매를 주입하고 배출할 수 있도록 원터치 밸브가 2개 있으며 냉각통안의 압력이 높아질 경우를 대비해 안전밸브도 부착되어있다.

CV-TT는 주변압기 2차측을 통해 입력되어지는 AC 1,800V를 브리지를 통해 위상정류하여 모터를 구동하기위한 전압을 생성시키는 인버터 모듈의 입력전류를 제어하는 역할을 한다. 회생제동시에는 인버터장치에서 나오는 전류를 전차선 전압과 같은 상으로 조절하여 전차선으로 되돌려 주기 위하여 인버터 모드로 동작한다.

6) 단품시험

가) 시험항목 및 시험 기준치

CV-TT 조립체 (K611-1114342-E1332-RT-T-002)

(1) 외관검사

- 기준치 : 육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것.
- 시험결과 :

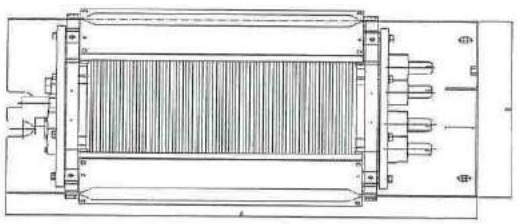
기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것.	없음	없음	양호	

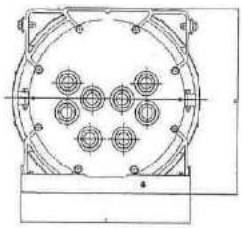
(2) 치수검사

- 장치의 외관치수를 측정함.
- 검사항목 및 기준치 :

검사항목	기준치
A	714mm±2mm
B	380mm±2mm
C	380mm±2mm
D	403mm±2mm

- 시험결과 :





검사항목	기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
		1001	1002		
A	714㎜ ± 2㎜	714	715	양호	
B	380㎜ ± 2㎜	380	380	양호	
C	380㎜ ± 2㎜	381	380	양호	
D	403㎜ ± 2㎜	403	403	양호	

(3) 펄스 회로 시험

- 본 시험의 목적은 인클로저 연결기와 사이리스터(반도체 소자) 게이트 지점 간의 사이리스터 게이트 신호 전환을 검증하기 위함이다.

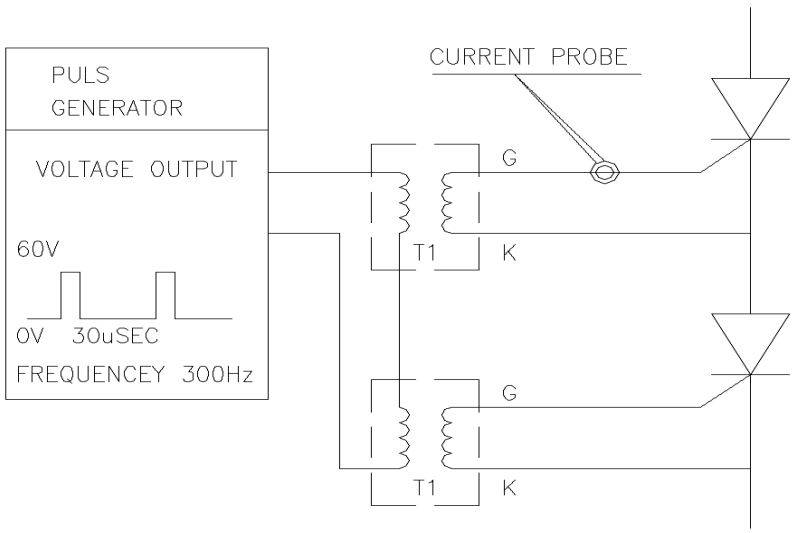


그림 58. 펄스 시험 회로(CV-TT)

- 펄스 시험 절차

펄스 시험 회로는 측정 블럭도와 같이 펄스 발생기 (pulse generator)에 연결 되어야 한다.

① 회로는 펄스 발생기를 통해 가압(加壓)된다.

② 전류 메타는 사이리스터의 게이트 전류에 연결되고, 오실로스코프(Oscilloscope)에서 얻어진 신호는 다음과 같다.

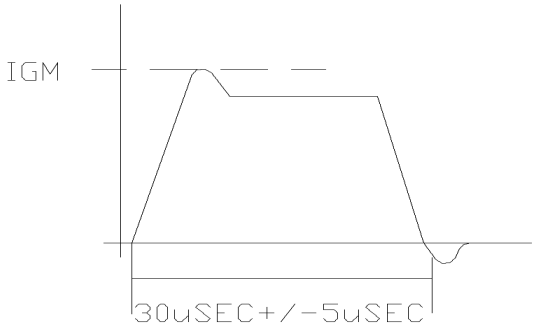


그림 59. GATE 전류 파형(CV-TT)

- 시험결과 :

기 준 치				측정(값)		결 과
게이트전류측정	펄스폭 측정	소 자	항 목	12001	12002	
게이트 전류 IGM이 0.4A~3.5A 안에 있을 것	펄스폭이 30㎲±5㎲ 일 것	TH-CV-TT-01 THYR1	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	30.9	
		TH-CV-TT-01 THYR2	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	30.9	
		TH-CV-TT-02 THYR3	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	30.9	
		TH-CV-TT-02 THYR4	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	31.2	
		TH-CV-TT-03 THYR5	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	31.2	
		TH-CV-TT-03 THYR6	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	31.2	
		TH-CV-TT-04 THYR7	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	31.2	
		TH-CV-TT-04 THYR8	게이트전류	1.52	1.52	양호
			펄스폭	30.9	31.2	

(4) 접지 지속성 시험

본 시험의 목적은 모든 금속 부분이 인클로저의 접지 전류에 정확하게 연결되어 있는지를 검증하기 위함이다.

- 기준치 :

① 튜브와 전부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.

② 튜브와 후부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.

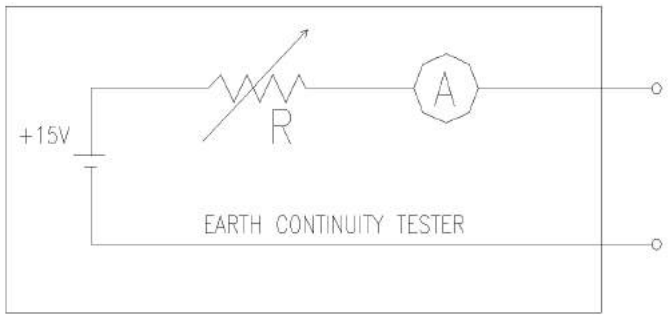


그림 60. 접지 지속성 시험 회로(CV-TT)

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
튜브와 전부 플레이트 사이의 전류값이 98㎃ 이상일 것.	98.9	98.9	양호	
튜브와 후부 플레이트 사이의 전류값이 98㎃ 이상일 것.	98.9	99.6	양호	

(5) 절연저항 시험

본 시험의 목적은 접지와 관련하여 carriage, 튜브, 플레이트로 구성된 모든 배선의 정확한 절연 강도를 검사하는 것이다. 절연저항 시험은 내전압 시험 전·후에 실시해야 한다.

- 기준치 :

① 1,000V 절연저항계로 저압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.

② 1,000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)		결 과	비 고
		12001	12002		
1000V 절연저항계로 저압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.	내전압전	2000	2000	양호	
	내전압후	2000	2000	양호	
1000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.	내전압전	2000	2000	양호	
	내전압후	2000	2000	양호	

(6) 내전압 시험

본 시험의 목적은 접지와 관련하여 carriage, 튜브, 플레이트로 구성된 모든 배선의 정확한 절연 강도를 검사하는 것이다.

- 기준치 :

① 저압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 AC 1500V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.

② 고압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 AC 6790V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)		결 과	비 고
		12001	12002		
저압회로	저압 통전부와 프레임 간에 AC 1500V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.	견딤	견딤	양호	
고압회로	고압 통전부와 프레임 간에 AC 6790V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.	견딤	견딤	양호	

(7) 인클로저 밀봉시험

- 기준치 : FC72로 채워지지 않은 기밀된 탱크에 헬륨을 사용하여 진공 봉합 시험과 압력 봉합 시험을 실행한다. 헬륨 스프레이 건으로 헬륨을 조사하고 검지기를 통해 계측된 헬륨 비율 값이 최대 $2\times10^{-6}ATM.cm^3/S$와 같거나 낮아야 한다.

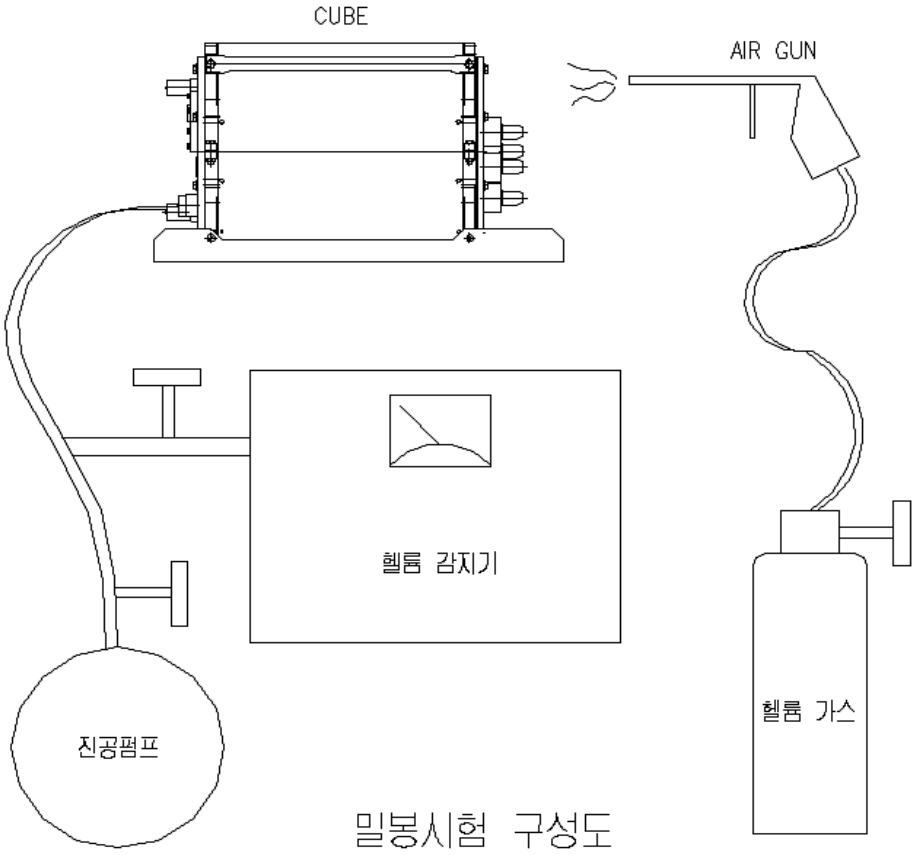


그림 61. 밀봉 시험 구성도(CV-TT)

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
진공상태에서 헬륨가스로 봉합 시험 시 헬륨비율 측정값이 2 X 10^{-6}ATM.㎤/s와 같거나 낮을 것.	0.0×10^{-6}	0.0×10^{-6}	양호	

(8) 레벨 시험

- 기준치 : 주위 온도가 20±5℃에서 FC72 충진된 레벨 (sight glass 에 표시)검사한다.

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
FC72 레벨이 sight glass ±2㎜ 표시 내에 있을 것.	/	/	양호	

(9) Degassing 시험

- 기준치 : 탱크에 FC72를 주입한 후 주위온도 및 내부압력을 측정한다. 10시간이 지난 후 주외온도와 내부압력을 다시 한 번 측정하여 그 압력차이가 50mbars 이내이어야 한다. 단, 주위온도의 변화가 있을 경우에는 온도보정을 한다.

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	12002		
FC72충전 10시간 경과후의 압력 변화가 +50mbars 이내 일 것.	4.0	5.3	양호	

(10) 절연 시험

본 시험의 목적은 FC72로 채워진 탱크의 절연을 측정하여 품질 확인과 정확한 인크로져 충전을 확인하기 위함이다.

- 기준치 :

① 저압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 DC 1500V를 인가하여 누설 전류 값이 2.5㎂ 이하 일 것.

② 고압회로 : 고압통전부와 프레임 간에 DC 5000V를 인가하여 누설 전류 값이 5㎂이하 일 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)		결 과	비 고
		12001	12002		
저압회로	저압 통전부와 프레임 간에 DC 1500V를 인가하여 누설 전류값이 2.5㎂이하 일 것.	0.2	0.2	양호	
고압회로	고압 통전부와 프레임 간에 DC 5000V를 인가하여 누설 전류값이 5㎂이하 일 것.	0.2	0.2	양호	

(11) 진동시험(외부기관 성적서 포함)

- 기준치 : KS-R-9144(제2종 B종)에 의거 시험 실시한 후 육안 검사하여 제품에 이상이 없을 것.

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	-		
KS-R-9144(제2종 B종)의거 시험 실시한 후 육안검사를 하여 제품에 이상이 없을 것.	이상없음	-	양호	

(12) 환경시험(외부기관 성적서 포함)

- 기준치 : KS-R-9156(제2종 B종)에 의거 시험 실시한 후 시험 직후 기능 확인은 게이트 턴온, 턴오프 시험을 실시하여 이상이 없을 것.

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	1201	-		
KS-R-9156(제2종 B종)의거 시험 실시한 후 시험직후 기능확인은 게이트 턴온, 턴오프 시험을 실시하여 이상이 없을 것.	이상없음	-	양호	

나) 진동·환경시험 성적서

시 험 성 적 서

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME KOLAS TESTING NO. 122

발 행 번 호	:	SGS-R12-1150
의 뢰 기 관	:	(사)한국철도차량엔지니어링
의 뢰 자	:	(사)한국철도차량엔지니어링
회 사 주 소	:	경기도 수원시 장안구 천천동 558-3 번지
제 품 명	:	모터블럭
모 델 명	:	CV-TT
환 경 조 건	:	(22 ± 8) ℃, (32 ± 7) % R.H.
시 험 일 자	:	2012년 12월 6일 ~ 2012년 12월 13일
시험규격/방법	:	KS R 9144: 1992 (철도 차량 부품의 진동 시험 방법) KS R 9156: 2002 (철도 차량용 전자기기의 시험 통칙)
시 험 결 과	:	성적서 참조
측정 불확도	:	N/A
용 도	:	품질 평가용

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

확 인	시험자 성 명 : 장 동 열 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명)

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

2012. 12. 18

ROTECO H. PAE

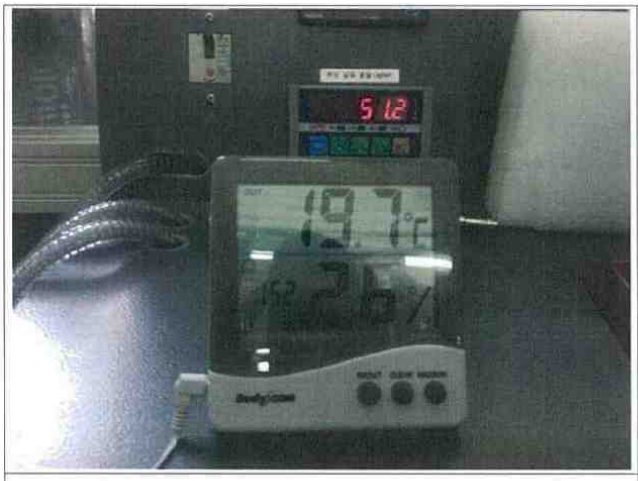
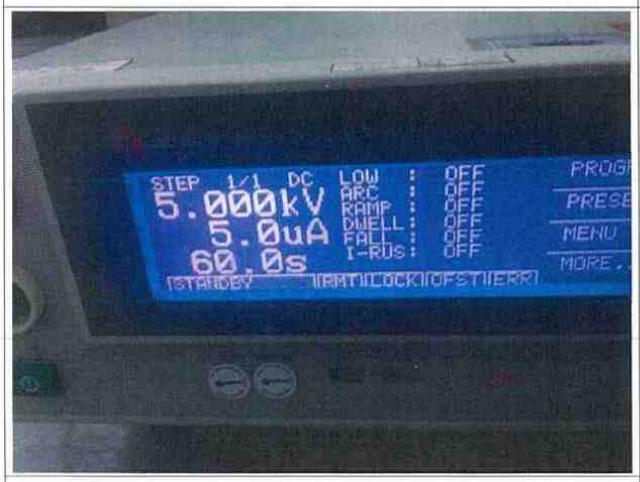
한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

그림 62. CV-TT 진동 및 환경시험 성적서1

시험 결과 요약

모터블럭 / CV-TT	
시험 항목	시험 결과
공진 및 진동 기능 시험	이상 없음.
내구성 시험	이상 없음.
저온 동작 시험	이상 없음.
고온 동작 시험	이상 없음.
온도 사이클 시험	이상 없음.
습도 시험	이상 없음.

그림 63. CV-TT 진동 및 환경시험 성적서2

	
주위온도 및 습도	레벨시험
	
Degassing 시험(초기시험)	Degassing 시험 (10시간 경과 후)
	
절연시험	절연시험

라. 역률개선장치

1) 개요

역률개선장치(CV-PFC : PFC - Power Factor Correction System)는 주변압기 2차권선에 유도된 전원의 고주파 전류 및 전류와 전압의 위상차를 개선시키고, 60Hz의 제 3고주파인 180Hz를 필터링하여 사인파에 가까운 파형을 견인컨버터에 공급한다.

정상적인 조건에서 역률개선장치의 차단접촉기(ISW-PFC-01)는 닫혀 있어 파워요인을 최적화 할 수 있도록 되어 있다.

각 모터블록 당 2개 (견인컨버터 당 1개)의 역률 개선장치는 요구된 견인전동기의 전류 및 열차의 속도에 따라 작동범위가 정해진다. 역률개선장치 큐브(Cube, 파워유닛, 냉각통)인 CV-PFC-01은 모터블록당 1개가 있다.

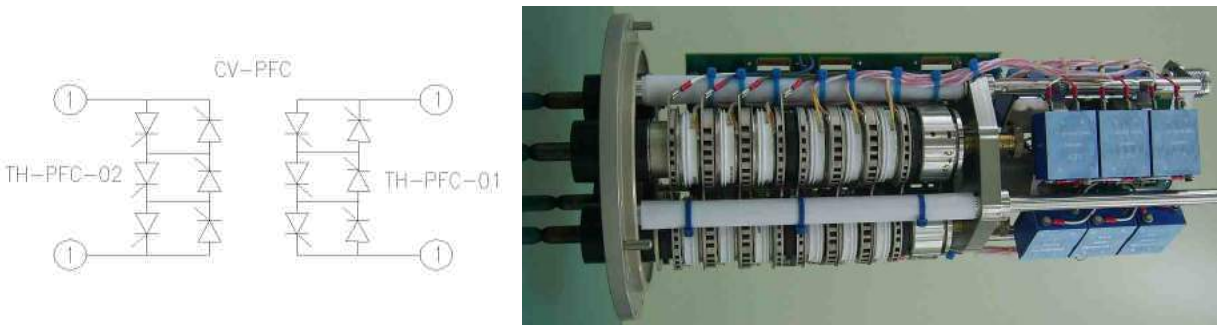


그림 64. 주회로 및 인크로져 외형 (CV-PFC)

2) 설계검토

가) CV-PFC 사양비교

내용	구분	기존품	개발품
방식	주회로방식	사이리스터 회로	좌동
	제어방식	점호각 조절제어	좌동
	냉각방식	밀폐 TANK를 이용한 냉매침적 방식	좌동
입력	정격전압	AC 1800V, 60Hz	좌동
출력	정격용량	1130KW	좌동
	최대전류	1200A	좌동
사용환경		-	-

나) 전력소자(Thyristor) 특성 비교

특 성	기존품	적용품
VRRM/VDRM	4200V	좌동
IT(RMS)	1800A	좌동
di/dt(A/us)	100	좌동
VGT(V)	2.6	좌동
IGT(mA)	400	좌동
제작사	ABB 또는 DYNEX	ABB 또는 DYNEX

다) CATIA를 이용한 3D 설계

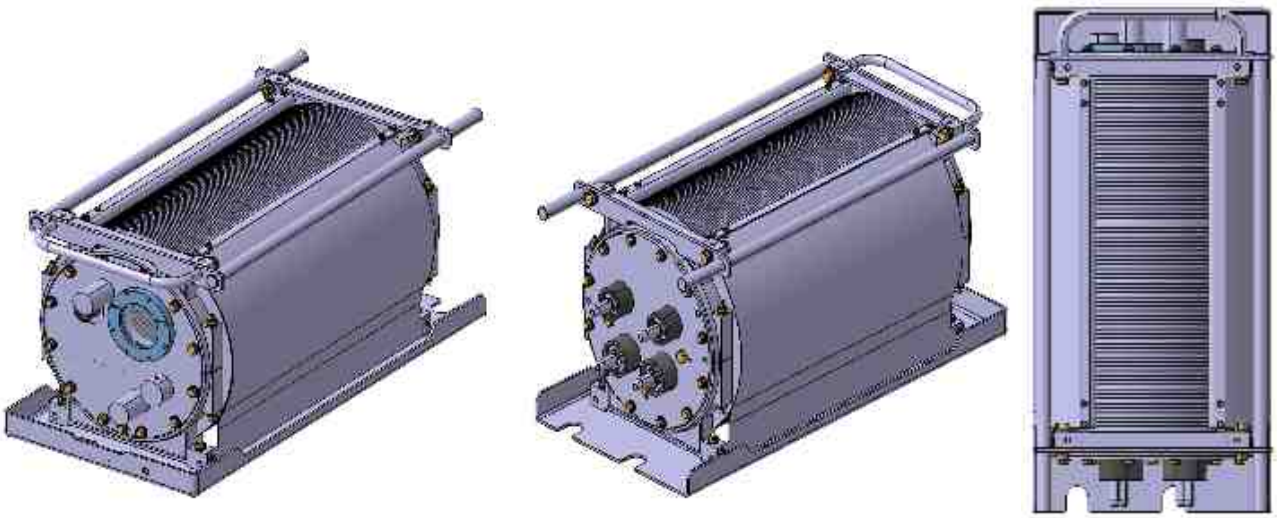


그림 65. 3D 설계된 인클로저 외형 (CV-PFC)

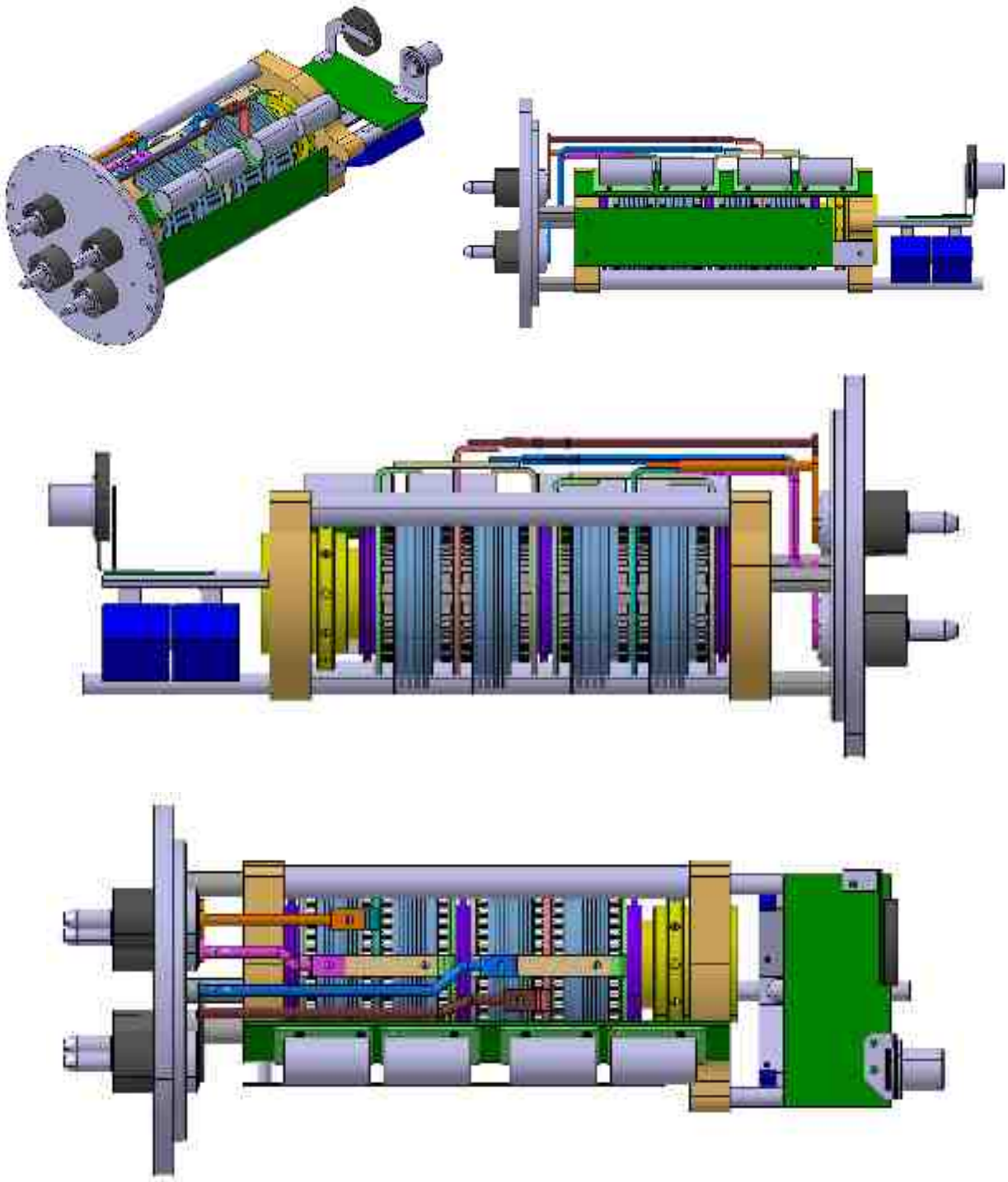


그림 66. 3D 설계된 인클로저 내부 (CV-PFC)

3) 해석 및 시뮬레이션

가) Thyristor 큐비클 손실 구성요소

Thyristor의 큐비클의 손실은 Thyristor 회로에서 보는 것과 같이 Thyristor의 손실과 댐핑 회로에 의한 손실분에 의해 계산되어 진다.

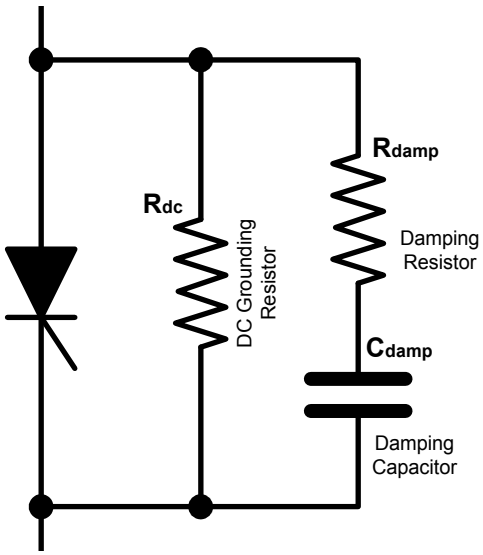


그림 67. Thyristor 및 댐핑 회로

나) Thyristor 큐비클 손실 계산식

Thyristor의 손실은 스위칭 on, off시 스위칭 손실과 도통손실, 그리고 spreading손실과 leakage손실 등으로 구성된다. 여기에서 도통손실과, turn off손실이 대부분의 손실로 작용하며, 나머지 손실의 합계는 10[%]미만으로 작용하여, 일반적으로 무시한다.

(1) 도통 손실 : $P_{T(AV)}$

Thyristor의 도통 손실은 식(1)에 의해 계산되어진다.

$$P_{T(AV)} = V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T I_{T(S)} \qquad (1)$$

$$= V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T (I_{T(AV)} F)^2$$

여기서,

$V_{T(TO)}$: Thyristor의 Threshold 전압 (datasheet 참조)

r_T : Thyristor의 on상태 slope 저항 (datasheet 참조)

$I_{T(AV)}$: Thyristor의 평균 도통 전류

$I_{T(RMS)}$: Thyristor의 도통 실효 전류

F : 실효치를 평균치 환산계수 ($\pi/2 \simeq 1.57$)

(2) Thyristor turn off손실 : P_{RQ}

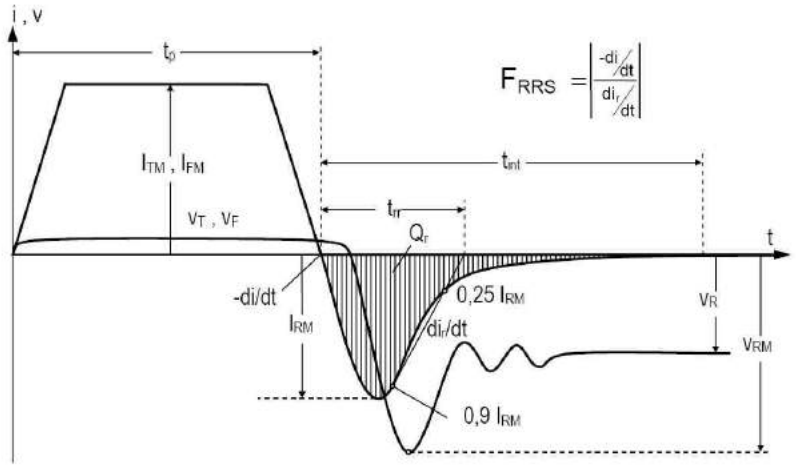


그림 68. turn off시 Thyristor의 전압 전류

Thyristor의 캐리어의 저장 효과로 인해 발생되는 손실로 아래의 계산식에 의해 계산되어진다.

$$P_{RQ} = E_{RQ} f = \frac{1}{t_{int}} \int_0^{t_{int}} i_R(t) v_R(t) dt \qquad (2)$$

식(2)를 근사화 하여 계산하면 식(3)과 같이 계산 할 수 있다.

$$P_{RQ} = \frac{1}{2} Q_{rr} V_R f \qquad (3)$$

여기서,

Q_{rr} : Thyristor의 Threshold 전압 (datasheet 참조)

V_R : 선간 정류전압

f : 시스템 주파수

(3) Damping 회로 손실

댐핑 회로의 손실은 댐핑저항 및 커패시터에 의한 손실과 DC전압에 의한 손실이 있다. 이중 댐핑 저항과 DC 전압에 의한 손실(R_{dc}손실)은 거의 없고, 대부분 댐핑 커패시터에 의해 발생된다. 댐핑 커패시터에 의한 손실은 아래의 식(4)와 같이 계산된다.

$$P_{damp} = \frac{7}{4} f C_{damp} V_R^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha+\mu)] \qquad (4)$$

V_R : 선간 정류전압

f : 시스템 주파수

α : Thyristor의 점호각(firing angle)

μ : Thyristor의 정류부의 overlap angle ($\mu = \frac{\pi}{6}$)

다) CV-PFC 큐비클 손실 계산

CV-PFC의 큐비클 내부는 12개의 Thyristor로 구성되어지며, 이에 따른 손실은 다음과 같이 계산된다.

(1) Thyristor 손실 [5STP12F4200]

Thyristor 손실은 도통 손실($P_{T(AV)}$)과 turn off손실(P_{RQ})을 합산한 것으로 식(1), (2)에의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{T(AV)} = V_{T(TO)} I_{T(AV)} + r_T (I_{T(AV)} F)^2$$

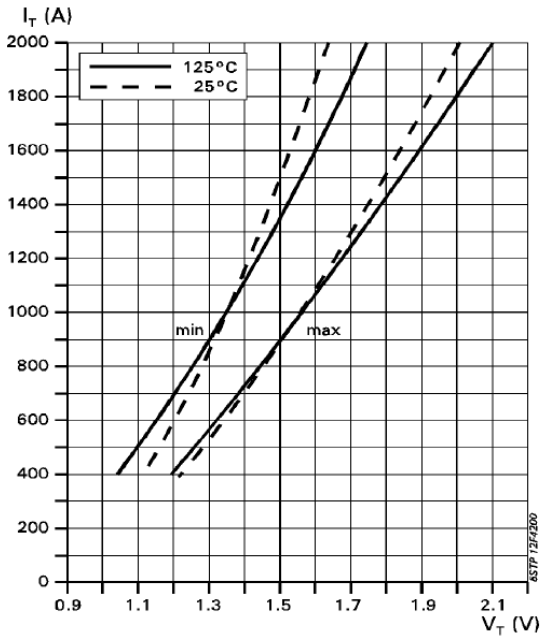
$$= (0.95 \times 696) + (0.575 \times 10^{-3})(696 \times 1.57)^2$$

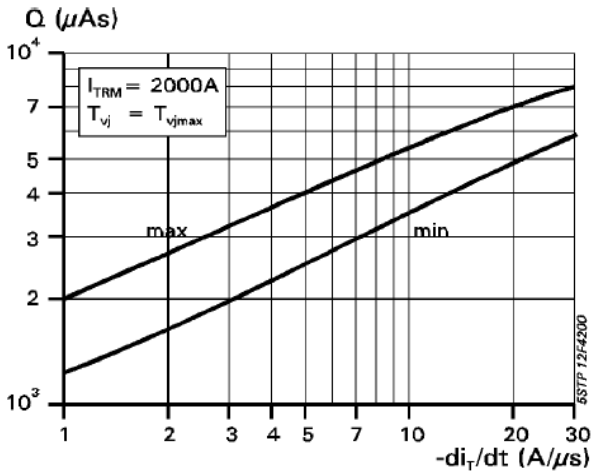
$$= 1347.77[W]$$

$$P_{RQ} = \frac{1}{2} Q_{rr} V_R f$$

$$= \frac{1}{2} \times (4000 \times 10^{-6}) \times 2545 \times 60$$

$$= 305.4[W]$$





$di/dt = 5A/\mu s$ 일때의 Qrr

(2) Damping 회로 손실

댐핑회로의 손실은 식(4)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$P_{damp} = \frac{7}{4} f C_{damp} V_R^2 [\sin^2\alpha + \sin^2(\alpha+\mu)]$$

$$= \frac{7}{4} \times 60 \times (0.47 \times 10^{-6}) \times 2545^2 \times [1+0.5]$$

$$= 479.46[W]$$

(여기서, 점호각은 $\pi/2$에서 최대 손실을 가진다.)

(3) CV-PFC 큐비클 총 손실

CV-PFC 큐비클의 총 손실의 큐비클 내부의 Thyristor와 댐핑회로의 손실을 계산하면 다음과 같다.

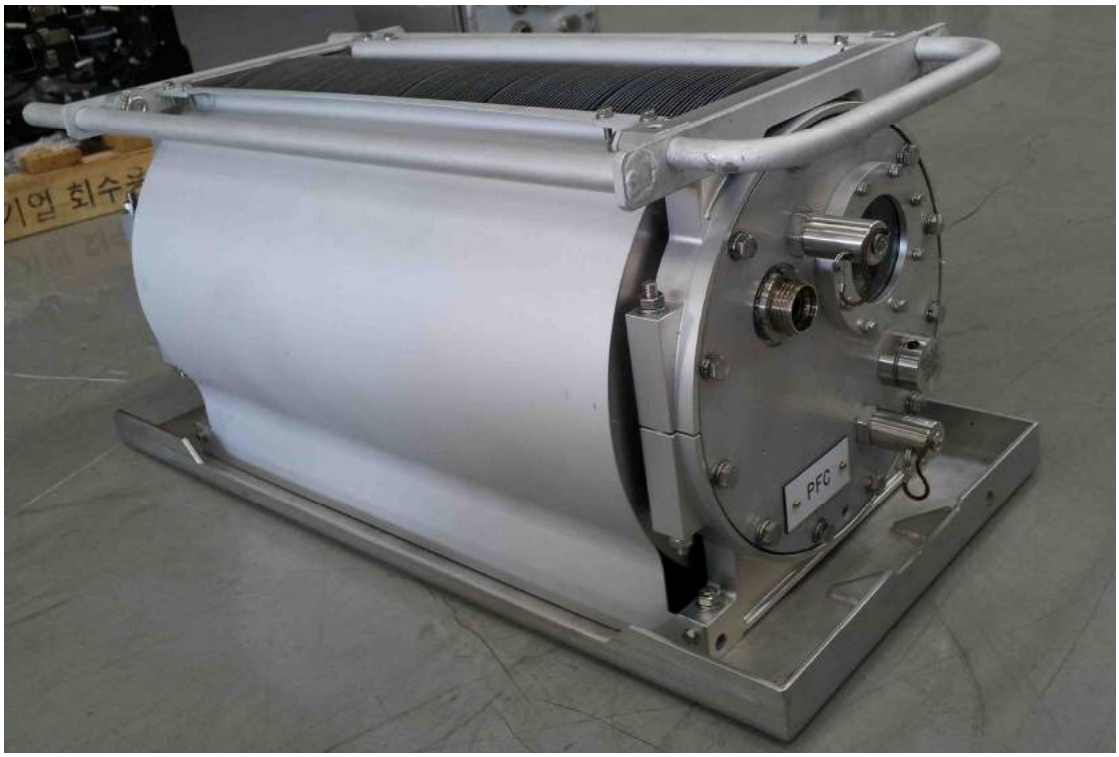
$$P_{cuve} = n(P_{T(AV)} + P_{RQ} + P_{damp})$$

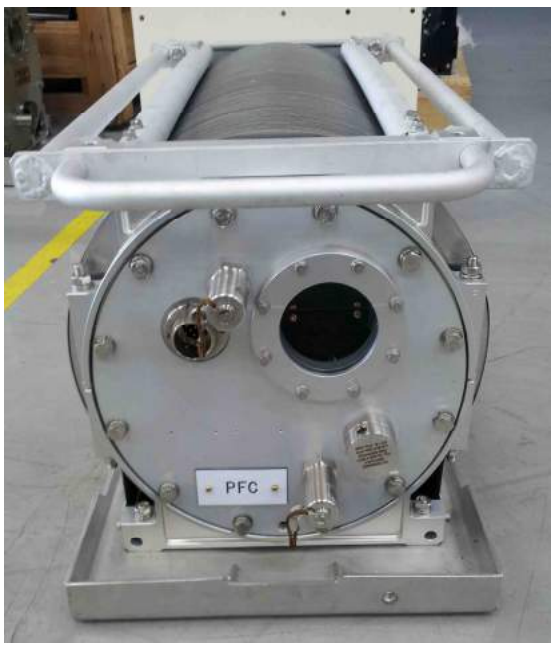
$$= 3 \times (1347.77 + 305.4 + 479.46)$$

$$= 6.398[kW]$$

4) 시제품 제작

가) CV-PFC의 외관





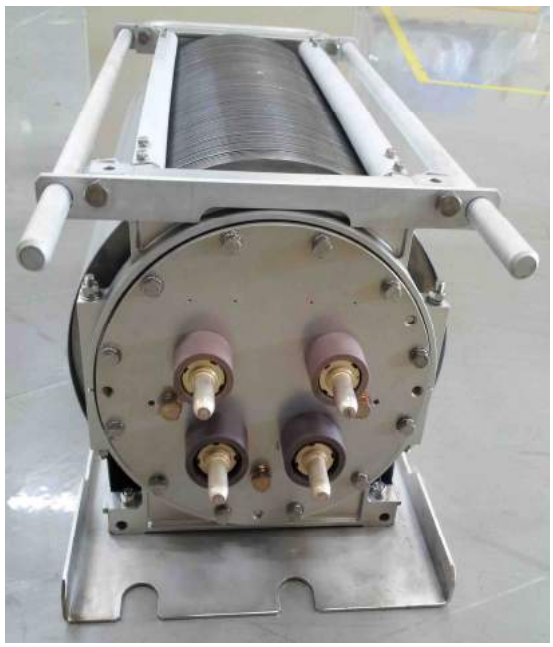


그림 69. IR-TT 개발품 외형 사진

나) CV-FC 내부

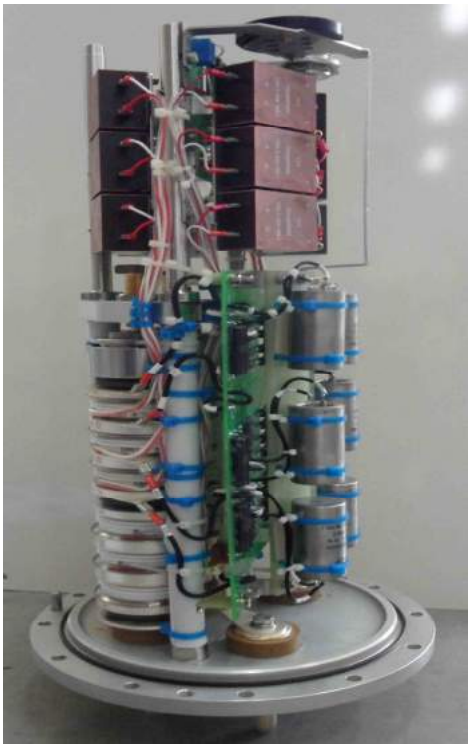


그림 70. CV-PFC 개발품 내부

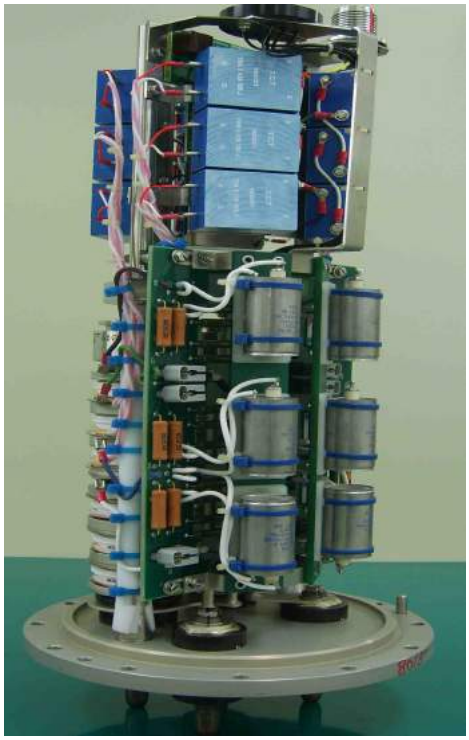


그림 71. CV-PFC 기존품 내부

(1) Thyristor



그림 72. 개발품 CV-PFC Thyristor

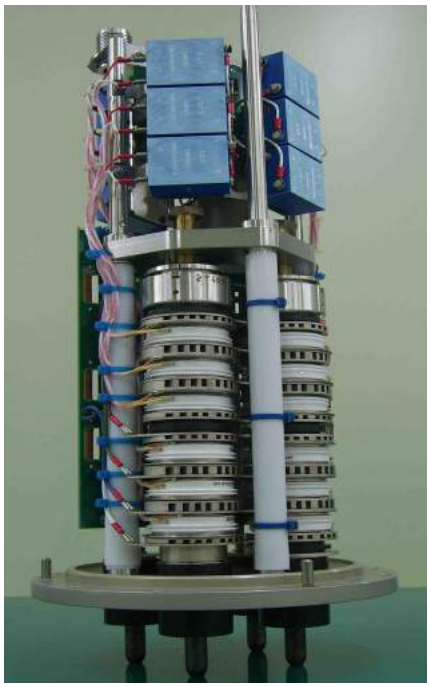


그림 73. 기존품 CV-PFC Thyristor

(2) RC보드

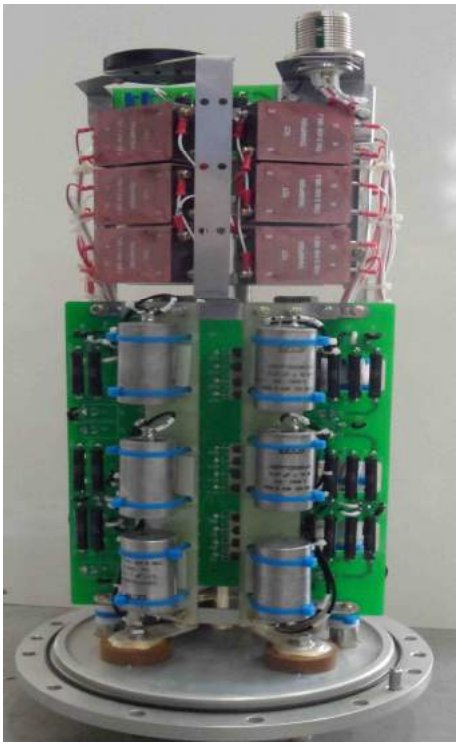


그림 74. CV-PFC RC 보드



그림 75. 기존품 CV-PFC RC 보드

(3) GATE 보드



그림 76. 개발품 CV-PFC GATE 보드



그림 77. 기존품 CV-PFC GATE 보드

다) 주회로 구성

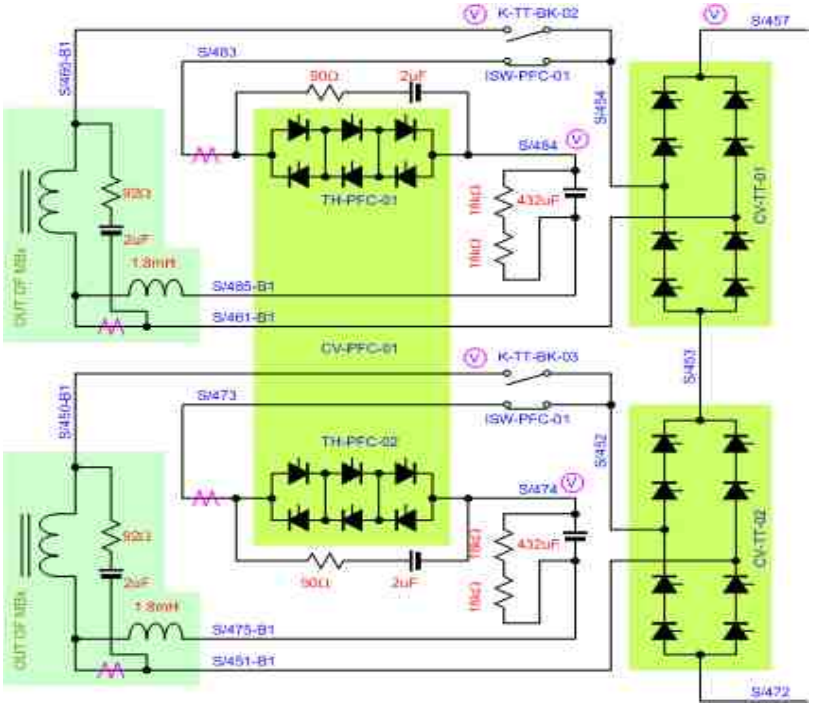


그림 78. CV-PFC큐브의 주회로

5) 기능설명

트랩터(Trap Filter)의 구조를 사용하고 있으며 필요한 시점에 온/오프를 하기 위한 양방향 사이리스터 회로가 추가된 형태이다. 컨버터회로는 4상한 사이리스터회로로 구성되어 있으며 두 대의 컨버터(CV-TT-01,CV-TT-02)가 직렬로 연결되어 부하전력의 크기에 따라 전압의 크기를 제어한다. 차량의 변압기회로와 컨버터입력 사이에는 병렬로 역률제어장치(TH-PFC-01, TH-PFC-02)가 연결되어 있다.

CSI(Current Source Inverter)를 이용한 동기 전동기 구동시스템에서 인버터의 직류 입력 전류 크기를 조절하기 위해 단상의 Rectifier Bridge가 사용된다. 통상 이러한 Rectifier Bridge의 입력 전류 즉, 전원측 전류는 스위칭 소자의 비선형적인 동작으로 인해 순수 정현파가 아닌 왜곡된 파형이 된다. 따라서 Rectifier Bridge의 입력 측에 2개의 Thyristor와 L-C Filter로 구성된 PFC회로를 사용하여 입력전류의 고조파와 역률을 개선한다.

- L-C Filter

· Rectifier에서 발생하는 고조파 중 그 크기가 가장 큰 3차 고조파의 성분을 효과적으로 제거한다.

6) 단품시험

가) 시험항목 및 시험 기준치

CV-PFC 조립체 (K611-1114341-E1332-RT-T-001)

(1) 외관검사

- 기준치 : 육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것.
- 시험결과 :

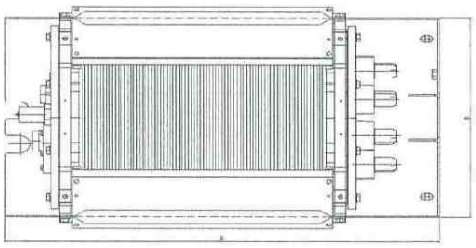
기 준 치	측 정(값)		결 과	비 고
	12001	-		
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것.	이상없음		양호	

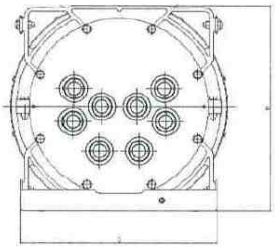
(2) 치수검사

- 장치의 외관치수를 측정함.
- 검사항목 및 기준치 :

검사항목	기준치
A	714mm±2mm
B	342mm±2mm
C	342mm±2mm
D	336mm±2mm

- 시험결과 :





검사항목	기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
		12001		
A	714mm ± 2mm	714	양호	
B	342mm ± 2mm	342	양호	
C	342mm ± 2mm	342	양호	
D	336mm ± 2mm	336	양호	

(3) 펄스 회로 시험

본 시험의 목적은 인클로저 연결기와 사이리스터(반도체 소자) 게이트 지점 간의 사이리스터 게이트 신호 전환을 검증하기 위함이다.

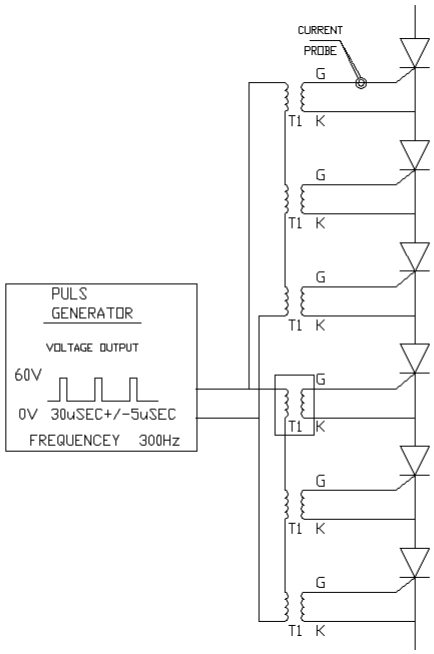


그림 79. 펄스 시험 회로(CV-PFC)

- 펄스 시험 절차

펄스 시험 회로는 측정 블럭도와 같이 펄스 발생기 (pulse generator)에 연결 되어야 한다.

① 회로는 펄스 발생기를 통해 가압(加壓)된다.

② 전류 메타는 사이리스터의 게이트 전류에 연결되고, 오실로스코프(Oscilloscope)에서 얻어진 신호는 다음과 같다.

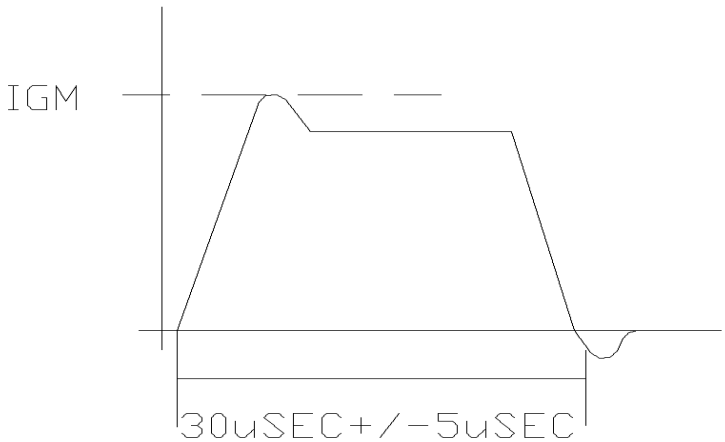


그림 80. GATE 전류 파형(CV-PFC)

- 시험결과 :

기 준 치				측 정(값)	결 과	비 고
게이트전류측정	펄스폭 측정	소 자	항 목	12001		
게이트 전류 IGM이 0.4A~3.5A 안에 있을 것	펄스폭이 30㎲±5㎲ 일 것	THYR 1-1	게이트전류	1.90	양호	불량 1
			펄스폭	31.2		
		THYR 1-2	게이트전류	1.90	양호	불량 1
			펄스폭	31.2		
		THYR 1-3	게이트전류	1.90	양호	불량 1
			펄스폭	31.2		
		THYR 1-4	게이트전류	1.90	양호	불량 1
			펄스폭	31.2		
		THYR 1-5	게이트전류	1.90	양호	불량 1
			펄스폭	31.2		
		THYR 1-6	게이트전류	1.90	양호	불량 1
			펄스폭	31.2		
		THYR 2-1	게이트전류	1.90	양호	불량 2
			펄스폭	31.2		
		THYR 2-2	게이트전류	1.90	양호	불량 2
			펄스폭	31.2		
		THYR 2-3	게이트전류	1.90	양호	불량 2
			펄스폭	31.2		
		THYR 2-4	게이트전류	1.90	양호	불량 2
			펄스폭	31.2		
		THYR 2-5	게이트전류	1.90	양호	불량 2
			펄스폭	31.2		
		THYR 2-6	게이트전류	1.90	양호	불량 2
			펄스폭	31.2		

(4) 접지 지속성 시험

본 시험의 목적은 모든 금속 부분이 인클로저의 접지 전류에 정확하게 연결되어 있는지를 검증하기 위함이다.

- 기준치 :

① 튜브와 전부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.

② 튜브와 후부 플레이트 사이의 전류값이 98mA 이상일 것.

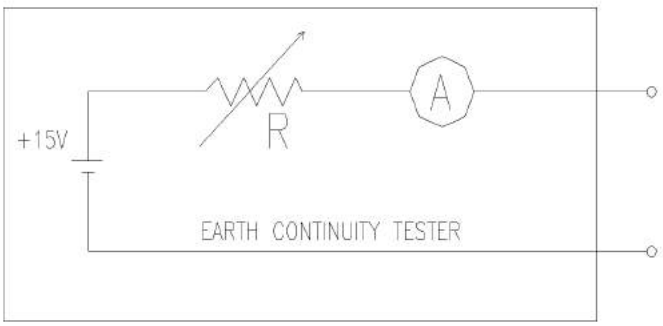


그림 81. 접지 지속성 시험 회로(IR-TT)

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
	1250		
튜브와 전부 플레이트 사이의 전류값이 98㎃ 이상일 것.	98.5	양호	
튜브와 후부 플레이트 사이의 전류값이 98㎃ 이상일 것.	99.9	양호	

(5) 절연저항 시험

본 시험의 목적은 접지와 관련하여 carriage, 튜브, 플레이트로 구성된 모든 배선의 정확한 절연 강도를 검사하는 것이다. 절연저항 시험은 내전압 시험 전·후에 실시해야 한다.

- 기준치 :

① 1,000V 절연저항계로 저압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.

② 1,000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측정 (값)	결과	비고
		1200		
1000V 절연저항계로 저압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.	내전압전	2000	양호	
	내전압후	2000	양호	
1000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30MΩ 이상일 것.	내전압전	2000	양호	
	내전압후	2000	양호	

(6) 내전압 시험

본 시험의 목적은 접지와 관련하여 carriage, 튜브, 플레이트로 구성된 모든 배선의 정확한 절연 강도를 검사하는 것이다.

- 기준치 :

① 저압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 AC 1500V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.

② 고압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 AC 6790V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.

- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)	결 과	비 고
		1250		
저압회로	저압 통전부와 프레임 간에 AC 1500V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.	견딤	양호	
고압회로	고압 통전부와 프레임 간에 AC 6790V 60Hz를 1분간 인가하여 견딜 것.	견딤	양호	

(7) 인클로저 밀봉시험

- 기준치 : FC72로 채워지지 않은 기밀된 탱크에 헬륨을 사용하여 진공 봉합 시험과 압력 봉합 시험을 실행한다. 헬륨 스프레이 건으로 헬륨을 조사하고 검지기를 통해 계측된 헬륨 비율 값이 최대 $2\times10^{-6}ATM{\cdot}cm^3/S$와 같거나 낮아야 한다.

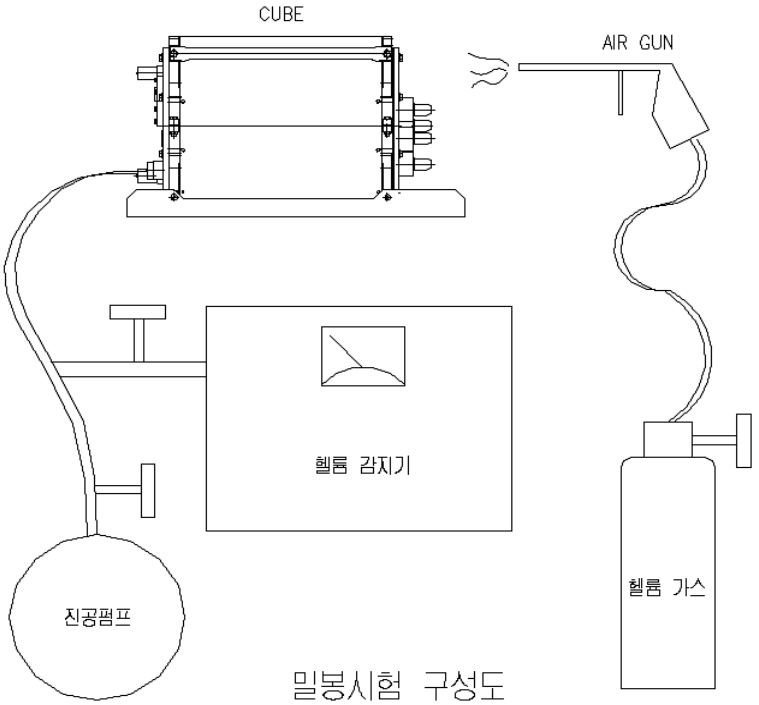


그림 82. 밀봉 시험 구성도(CV-PFC)

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
	1회차		
진공상태에서 헬륨가스로 봉합 시험 시 헬륨비율 측정 값이 2 X 10^{-6}ATM.㎤/s와 같거나 낮을 것.	$0.^{0}\times10^{-6}$	양호	

(8) 레벨 시험

- 기준치 : 주위 온도가 20±5℃에서 FC72 충진된 레벨 (sight glass 에 표시)검사한다.
- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
	1회차		
FC72 레벨이 sight glass ±2㎜ 표시 내에 있을 것.	/	양호	

(9) Degassing 시험

- 기준치 : 탱크에 FC72를 주입한 후 주위온도 및 내부압력을 측정한다. 10시간이 지난 후 주외온도와 내부압력을 다시 한 번 측정하여 그 압력차이가 50mbars 이내이어야 한다. 단, 주위온도의 변화가 있을 경우에는 온도보정을 한다.
- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
	12001		
FC72충전 10시간 경과후의 압력 변화가 +50mbars 이내 일 것.	1.34	양호	

(10) 절연 시험

본 시험의 목적은 FC72로 채워진 탱크의 절연을 측정하여 품질 확인과 정확한 인크로져 충전을 확인하기 위함이다.

- 기준치 :
  - ① 저압회로 : 저압통전부와 프레임 간에 DC 1500V를 인가하여 누설 전류값이 2.5㎂ 이하 일 것.
  - ② 고압회로 : 고압통전부와 프레임 간에 DC 5000V를 인가하여 누설 전류값이 5㎂이하 일 것.
- 시험결과 :

기 준 치		측 정(값)	결 과	비 고
		12001		
저압회로	저압 통전부와 프레임 간에 DC 1500V를 인가하여 누설 전류값이 2.5㎂이하 일 것.	0.2	양호	
고압회로	고압 통전부와 프레임 간에 DC 5000V를 인가하여 누설 전류값이 5㎂이하 일 것.	0.2	양호	

(11) 진동시험(외부기관 성적서 포함)

- 기준치 : KS-R-9144(제2종 B종)에 의거 시험 실시한 후 육안 검사하여 제품에 이상이 없을 것.
- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
	1200		
KS-R-9144(제2종 B종)의거 시험 실시한 후 육안검사를 하여 제품에 이상이 없을 것.	이상없음	양호	

(12) 환경시험(외부기관 성적서 포함)

- 기준치 : KS-R-9156(제2종 B종)에 의거 시험 실시한 후 시험 직후 기능 확인은 게이트 턴온, 턴오프 시험을 실시하여 이상이 없을 것.

- 시험결과 :

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
	1200		
KS-R-9156(제2종 B종)의거 시험 실시한 후 시험직후 기능확인은 게이트 턴온, 턴오프 시험을 실시하여 이상이 없을 것.	이상없음	양호	

나) 진동·환경시험 성적서

시 험 성 적 서

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME KOLAS TESTING NO. 122

발 행 번 호	:	SGS-R12-1152
의 뢰 기 관	:	(사)한국철도차량엔지니어링
의 뢰 자	:	(사)한국철도차량엔지니어링
회 사 주 소	:	경기도 수원시 장안구 천천동 558-3 번지
제 품 명	:	모터블럭
모 델 명	:	PFC
환 경 조 건	:	(22 ± 8) ℃, (32 ± 7) % R.H.
시 험 일 자	:	2012년 12월 6일 ~ 2012년 12월 13일
시험규격/방법	:	KS R 9144: 1992 (철도 차량 부품의 진동 시험 방법) KS R 9156: 2002 (철도 차량용 전자기기의 시험 통칙)
시 험 결 과	:	성적서 참조
측정 불확도	:	N/A
용 도	:	품질 평가용

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

확 인	시험자 성 명 : 장 동 열 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명)

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

2012. 12. 18

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

ROTECO H.S.BAE

그림 83. CV-PFC 진동 및 환경시험 성적서1

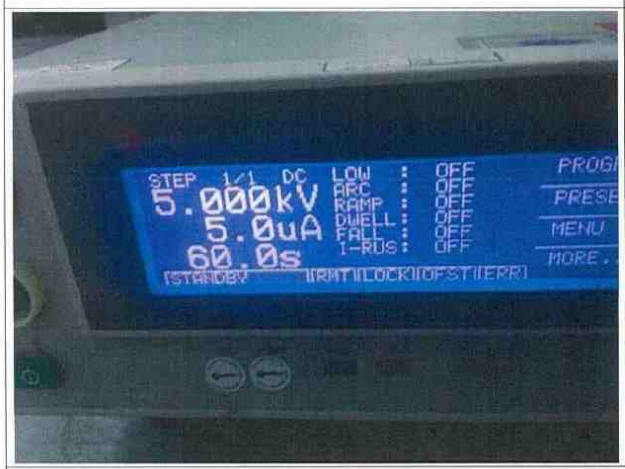
시험 결과 요약

모터블럭 / PFC	
시험 항목	시험 결과
공진 및 진동 기능 시험	이상 없음.
내구성 시험	이상 없음.
저온 동작 시험	이상 없음.
고온 동작 시험	이상 없음.
온도 사이클 시험	이상 없음.
습도 시험	이상 없음.

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SYSTEM KOLAS TESTING NO. 122

ROTECO H.S.BAE

그림 84. CV-PFC 진동 및 환경시험 성적서2

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>주위온도 및 습도</td><td>레벨시험</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>Degassing 시험(초기시험)</td><td>Degassing 시험 (10시간 경과 후)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>절연시험</td><td>절연시험</td></tr>
</table>

마. 여자초퍼

1) 개요

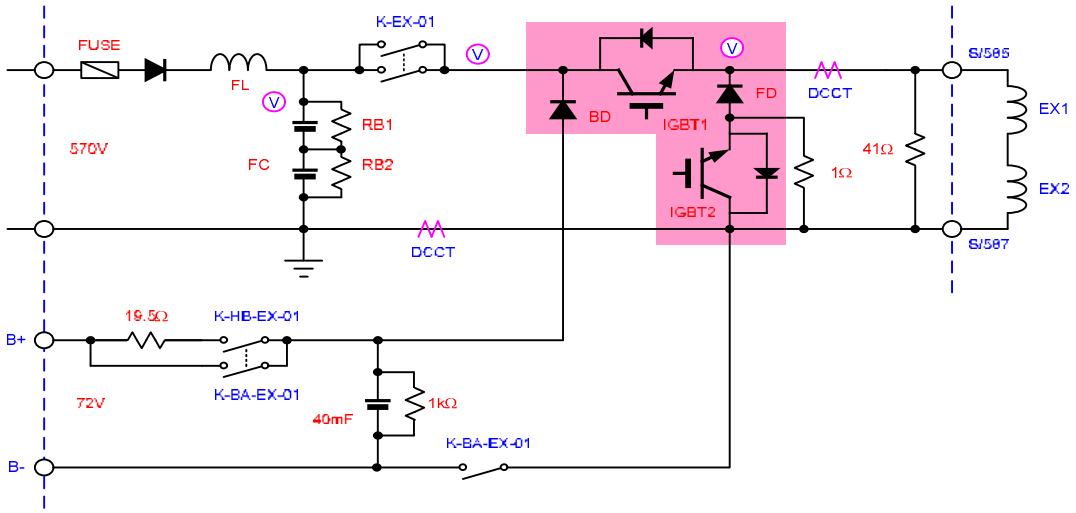


그림 85. IGBT Type 여자초퍼장치의 회로구성도

IGBT Type 여자초퍼장치는 동작방법에 따라 초퍼동작과 탈자화동작으로 분리된다. 먼저 초퍼동작을 살펴보면 주 스위치 IGBT1에 의하여 초핑동작이 이루어지고 여자회로를 통해 환류되는 전류는 IGBT2와 다이오드 FD를 통과한다. 전류의 방향에 따라서 IGBT2는 IGBT1에 대하여 역 접속으로 연결되어야 하는데 이 경우 IGBT 내부의 역방향 다이오드에 의하여 단락회로가 구성되므로 역극성 저지를 위하여 다이오드 FD를 직렬로 연결하였다. 한편 탈자화동작 시에는 IGBT1과 IGBT2가 정지하고 여자회로에 축적된 에너지를 급속히 방전하기 위하여 방전저항 RC가 사용되어야 하는데 이때에 환류전류 역시 FD를 통하여 방전된다. IGBT2의 스위칭방법은 기존장치에서처럼 IGBT1과 교번하여 동작시킬 수도 있으나 초퍼가 동작하고 있는 동안 계속하여 통전시키는 것이 데드타임 구간동안 발생하는 급격한 dv/dt를 제한할 수 있어서 노이즈 감소에도 유리하고 불필요한 스위칭 손실도 저감시킬 수 있다.

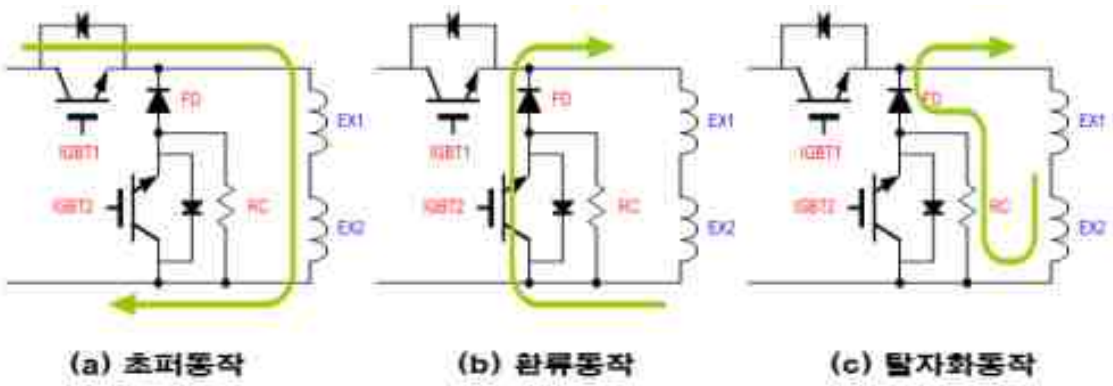


그림 86. IGBT Type 여자초퍼의 동작모드에 따른 동작소자 및 전류의 흐름

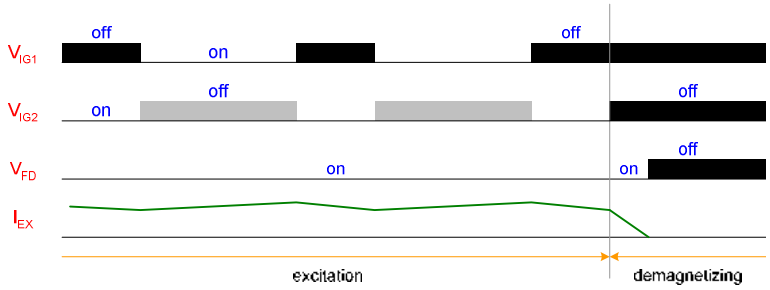


그림 87. 여자초퍼 IGBT의 스위치 동작

2) 설계검토

가) GTO Type 여자초퍼(기존품)의 전력회로 구조 및 동작

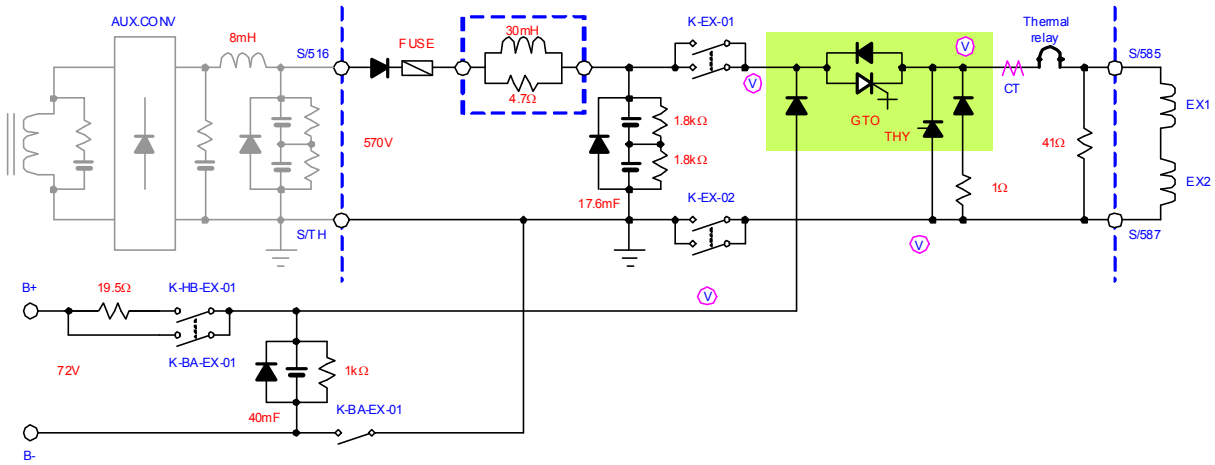


그림 88. GTO Type 여자초퍼(기존품)의 회로구성

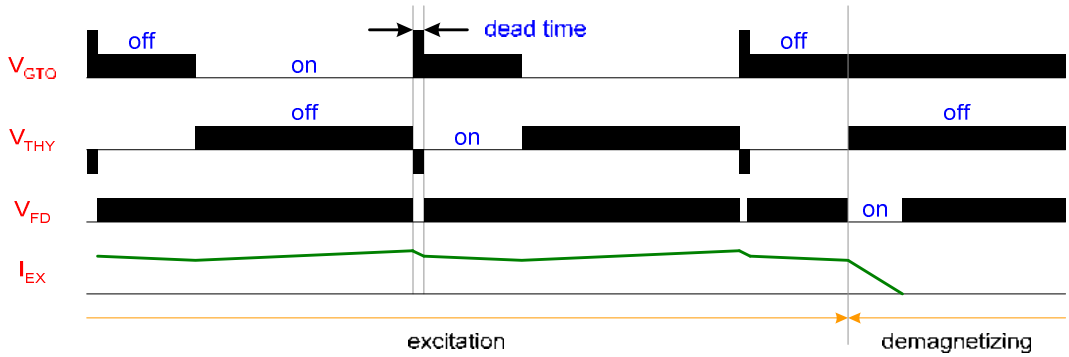


그림 89. GTO Type 여자초퍼(기존품)의 GTO 및 THY의 스위치 동작

GTO Type 여자초퍼(기존품)의 전원입력단은 2중구조로 되어 있으며 정상동작 시에는 차량 내 보조컨버터의 출력인 570V 직류전압을 사용하고 발전제동이나 절연구간 동작에서처럼 가선으로부터 전원을 공급받지 못하는 경우에는 축전지전압 DC72V를 사용하여 직렬로 연결된 두 대의 동기전동기 여자회로(EX1, EX2)에 전류를 공급한다. 주회로는 언급한 바와

같이 GTO 소자와 Thyristor의 조합으로 구성된 강압초퍼회로로 되어 있으며 여기에 여자회로에 축적된 자속을 급격히 방출하기 위한 탈자화용 방전 다이오드와 축전지 전압으로 역류를 방지하기 위한 블로킹 다이오드가 하나의 냉각시스템 내에 구성되어 있다.

특이한 사항으로는 GTO의 스위칭 동작 후에 환류회로가 Thyristor를 통해 이루어지는 점이다. 즉 GTO와 Thyristor가 교번하여 스위칭 동작을 하며 전동력을 사용할 필요가 없거나 회생이 완료되면 Thyristor를 점호시키지 않음으로써 여자회로에 축적된 자화에너지는 환류다이오드와 방전저항을 통해 급속히 방전된다. 기존회로에서는 Thyristor의 점호에 하나의 펄스만 사용하며 GTO 동작 후에 정확한 시점에 점호를 시도하지 않으며 자속의 약화로 인한 토크의 맥동 우려가 존재한다. 이와 함께 GTO의 동작 후 Thyristor의 동작시점까지 데드타임이 존재하는데 이때에 순간적으로 환류전류가 다이오드 측으로 흐르면서 저항양단에 전압강하가 발생하며 이 전압은 GTO와 Thyristor 양단에 급격한 dv/dt를 상승시키고 노이즈처럼 동작한다.

한편 DC570V 필터회로는 30mH 와 17.6mF 으로 구성된 차단주파수가 매우 낮은 저역통과회로로 구성되어 있다.

나) 기존품 vs 개발품 주요 구성품 비교

표 4. GTO Type 여자초퍼(기존품) 주요구성품

품 명		특 성	비 고
사이리스터		1,800V-1,400A	
GTO		4,500V-1,000A	
다이오드		2,500V-1,050A	
다이오드		2,000V-1,050A	
냉 매		FC72	
스너버회로	저항	5W, 47Ω	
	저항	5W, 54kΩ	
	커패시터	1200V-0.25uF	
트랜스포머		절연트랜스	

표 5. IGBT 여자초퍼 주요구성품

품 명		특 성	비 고
IGBT1		1,700V-1,200A	초퍼동작용
IGBT2		1,700V-1,200A	환류동작용
FD		1,700V-1,200A	환류동작용
BD		1,700V-1,200A	축전지전원 블로킹용
스너버회로	저항	50W, 30Ω	
	저항	50W, 30Ω	
	커패시터	1,250V-0.1uF	
CT		600A	

다) 기존품 vs 개발품 외형 비교 및 호환성

(1) 기존품 vs 개발품 외형 비교

방열방식은 히트파이프를 이용한 강제풍랭방식이다. 따라서 기존품 전면부에서 보았을 때 원형의 형상을 갖는다면 개발품은 사각형의 모양을 갖게 된다.

스택의 사이즈는 기존 인크루저의 바닥면 크기 및 고정포인트를 동일하게 제작하였다.

표 6. 기존품 vs 개발품 외형비교

항목	기존품	개발품
외형 및 형태		
		

(2) 기존품 vs 개발품 동작 호환성

기존품에서는 GTO와 THY를 스위치 소자로 사용하였으나 개발품에서는 IGBT만 사용한다. GTO 소자는 On 구간 동안 연속하여 Gate signal이 발생되므로 이 신호를 변환하여 IGBT1용 게이트 신호를 발생시키면 된다. 하지만 THY는 On 구간 동안 단 한번의 Gate signal이 발생되므로 이를 IGBT2용 신호로 변환하기 위해서는 논리적 신호의 합성이 요구된다.

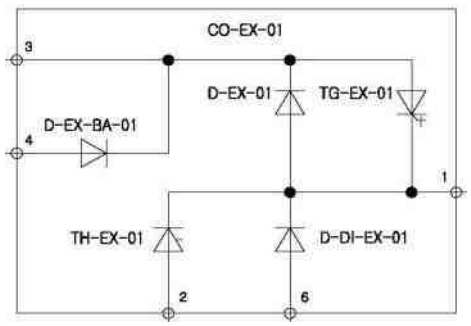
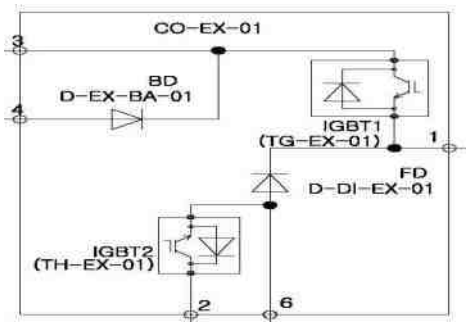
IGBT2의 게이트 신호는 논리회로를 사용하여 발생시킨다. 즉, GTO의 게이트 신호가 Off이면서 THY의 신호가 입력된다면 그때부터 IGBT2의 게이트 신호가 발생된다. 반대로 Off를 위해서는 GTO의 게이트 신호가 On이면 무조건 IGBT2의 게이트를 Off로 하면 된다.

IGBT2의 또 다른 스위치 방법은 GTO가 Off된 순간 무조건 IGBT2를 On시키는 것이다. 이 상태에서 THY 신호를 검사하여 THY 신호가 존재하면 다음 번 GTO On 순간까지 게이트 신호를 유지시키고 THY가 없으면 수십 us 후에 IGBT2를 Off한다. 만일 GTO가 On되지 않을 것을 대비하여 직전의 GTO Off 시간을 기억하고 있다가 이 시간이 초과되면 IGBT2를 Off 시킨다.

초퍼동작에서 IGBT2의 Off 신호의 지연은 문제가 되지 않는다. 왜냐하면 IGBT1이 On 되면 전류의 흐름에 따라 IGBT2로는 더 이상 전류가 흐르지 않기 때문이다.

(3) 기존품 vs 개발품 입출력 비교

표 7. 기존품 vs 개발품 입출력 PIN 비교표

항목	기존품	개발품
입출력 호환성		

라) 기존품 vs 개발품 특성 비교

표 8. 기존품 vs 개발품 특성비교표

항 목	기존품	개발품	특 징
입력전압-1	직류 570V	좌동	
입력전압-2	배터리 72v	좌동	
출력전류범위	0 - 600A	좌동	
최대출력	350KW	좌동	
회로방식	GTO + Thyristor	강압초퍼+역병렬스위치	데드타임으로 인한 급격한 dv/dt 문제점 해결
전력반도체소자	GTO	IGBT	
냉각방식	액체침전 냉각	강제공랭식	
최대동작주파수	600Hz	2 KHz	고주파수 사용으로 출력전류 리플성분 감소
제어 전원	AC 60 V	좌동	
사용조건(습도)	-25 ℃~55 ℃ (30%~90%)	좌동	
유지보수성	주요 소자교환 어려움	주요 소자교환 쉬움	

3) 해석 및 시뮬레이션

가) IGBT Type CO-EX 열손실 계산

(1) 손실계산 조건 및 항목

반도체 접합부의 온도 Tj=125° C를 초과하지 않도록 설계한다.

스위치 동작시 발생하는 손실은 다음의 조건으로 제한한다.

㈎ 정적 손실 (Static losses)

- On-state 손실 : Pfw

㈏ 스위칭 손실 (Switching losses)

- Turn-on 손실 : Pon
- Turn-off 손실 : Poff

㈐ IGBT 총 손실 : Ptot_IG=Pfw+Pon+Poff

㈑ Diode 총 손실 : Ptot_D=Pfw+Poff

㈒ 모듈 총 손실 : Ptot_M= Ptot_IG + Ptot_D

(2) 손실계산 해석조건

동기전동기 2대의 여자전류제어를 위한 초퍼의 최대출력전력이 300kW라고 가정하면 손실을 무시한 입력전류는 300kW/570V=526A가 된다.

위의 식으로부터 2대의 전동기 코일에 포함된 저항 값을 추정하면 DC570V / 526A / 2 = 0.54ohm이 된다. 이 값은 손실을 무시한 상태에서 초퍼가 100% 연속 동작했을 때 얻어지게 된다.

환류용 다이오드는 초퍼 IGBT와 상보로 동작한다. 환류용 IGBT는 탈자화모드가 아닌 동안 항상 온-상태이다. 초퍼가 동작하면 환류를 위한 전류가 단속적으로(초퍼가 Off 동안) 흐른다.

손실의 계산은 IGBT가 실제조건(데이터 시트는 최대조건)으로 동작함을 가정하여 계산한다.

㈎ 도통손실

① IGBT1(초퍼회로) 손실 :

$$P_{fw} = \frac{1}{T}\int_{0}^{t1} i_C(t) \cdot V_{CE}(t) \cdot dt = I_{C(avg)} \times V_{CE(sat)} \times D$$, 단 D=t1/T

동작특성상 D는 1로부터 0 사이에서 임의의 값이 될 수 있으므로 평균 듀티를 0.5로 가정하면 IGBT의 도통손실은 아래와 같다.

$$P_{fw(IGBT1)} = 526 \times 1.7 \times 0.5 = 447(W)$$

② IGBT2(환류회로) 손실 :

초퍼 IGBT가 Off인 동안 환류가 발생하므로 D=1-초퍼 On -> 0.5가 된다.

$$P_{fw(IGBT2)} = 526 \times 1.7 \times (1-0.5) = 447(W)$$

③ 환류 DIODE 손실 :

다이오드는 환류용 IGBT가 동작하는 동안 직렬로 전류를 순환시켜야 하므로 평균듀티는 환류용 IGBT와 동일하다.

$$P_{fw(Diode)} = 526 \times 1.8 \times (1-0.5) = 473.4(W)$$

㈏ 스위칭손실 (@=at 1kHz)

① IGBT1(초퍼회로) 턴-온 손실 :

턴-온시 IGBT 양단의 전압은 소자의 강압전압을 무시하면 DC570V 입력전압과 같다. 따라서 IGBT의 턴-온 손실을 구하면 아래와 같다.

$$P_{ON(IGBT1)} = E_{ON} \cdot f_S = \frac{1}{2} \times 526A \times 570V \times 0.8\mu s \times 1000Hz = 120(W)$$

② IGBT2(환류회로) 턴-온 손실 :

환류회로는 스위칭 동작이 없으므로 턴-온 손실은 없다.

$$P_{ON(IGBT2)} = 0(W)$$

③ IGBT1(초퍼회로) 턴-오프 손실 :

$$P_{OFF(IGBT)} = E_{OFF} \cdot f_S = \frac{1}{2} \times 526A \times 570V \times 1.0\mu s \times 1000Hz = 150(W)$$

④ 환류 Diode 역회복 손실 :

$$P_{rr(Diode)} = E_{rr} \cdot f_S = 120mJ \times 1000Hz = 120(W)$$

㈐ 총 손실

스너버회로를 제외한 IGBT 모듈의 시간평균적인 총 손실은 아래와 같다.

$$P_{TOT} = P_{fw(IGBT)} + P_{ON(IGBT)} + P_{OFF(IGBT)} + P_{rr(Diode)} = 1757.4(W)$$

(3) IGBT Type 여자초퍼의 열저항 계산

㈎ 열적 등가회로

IGBT Type 여자초퍼에 사용될 적절한 방열기구의 설계를 수행하기 위해서는 IGBT 모듈 접합부의 온도를 계산하는 것이 필요하다. 아래 그림은 IGBT Type 여자초퍼에 적용된 열적 등가회로를 나타낸 것이다.

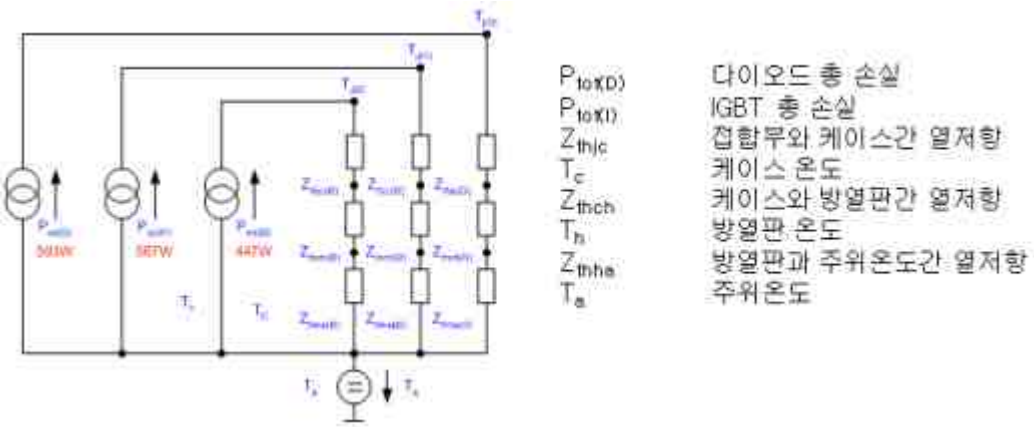


그림 90. IGBT Type 여자초퍼 열적 등가회로

㈏ Junction 온도 유지조건

주변온도를 최대 45° C로 가정하고 모듈내부의 IGBT Junction 온도를 110° C(혹은 125° C) 이하로 유지하기 위한 방열판의 열저항 계수 Zthha를 구하면 다음과 같다.

$$T_{j(1)} = T_a + Z_{thha} \times (P_{tot(1)} + P_{tot(2)} + P_{tot(D)})$$

$$+ Z_{thch} \times (P_{tot(1)} + P_{tot(1)} + P_{tot(D)}) + Z_{thjc(1)} \times (P_{tot(1)} + P_{tot(1)} + P_{tot(D)})$$

110° C = 45° C + (Zthha x 1757W) + (0.014 x 1757W) + (0.018 x 1757W)

= 45° C + (Zthha x 1757W) + 24.6 + 31.6

Zthha = (110 - 45 - 24.6 - 31.6) / 1757 = 0.005 K/W, @110° C

Zthha = (125 - 45 - 24.6 - 31.6) / 1757 = 0.0135 K/W, @125° C

위에서 살펴본 바와 같이 모듈의 Junction 온도를 125° C 이하로 유지하기 위해서는 방열판의 열저항 계수가 0.0135 K/W 이하의 값으로 되도록 물리적인 냉각구조를 설계하여야 한다.

(4) IGBT Type CO-EX 주요소자 용량 계산

㈎ IGBT1(초퍼동작용)의 정격용량 계산

초퍼의 입력전압은 보조컨버터에서 발생하는 570V직류전압으로 이 전압은 보조컨버터의 사양서 상에서 보면 어떠한 경우에도 DC650V 이하로 제어되므로 IGBT의 동작전압은 1.5배의 마진을 갖는다고 하여도 1,000V 이하이다. 이에 따라 IGBT의 전압 클래스는 1,200V급이면 충분하다.

한편 GTO Type 여자초퍼(기존품)의 과전류 검출전류는 최대 700A로 정상동작에서 여자초퍼는 항상 이보다 적은 범위에서 동작한다. 아래 표는 기존시스템에서 정한 여자초퍼의 동작범위이다.

표 9. GTO Type 여자초퍼(기존품)의 과전류 검출포인트

모터블록 동작 모드	과전류 검출전류(A)
견인	700
회생제동	619
저항제동	400

장치의 최대 허용전류가 700A이하이므로 IGBT는 이보다 1.5배 이상의 마진을 갖는 1,050A이상의 제품을 사용한다.

700A * 1.5 = 1,050A

그러므로 위 설계용량 결과에 따라 동등 성능 이상의 전압/전류를 갖는 1,700V/1,200A 급 IGBT를 사용한다.

㈏ IGBT2(환류용)의 정격용량 계산

IGBT2는 IGBT1이 Off되었을 때 여자코일에 축적된 전류를 환류 시키기 위하여 사용된다. 강압초퍼의 구조를 고려하면 환류되는 전류의 최댓값은 초퍼가 On 되었을 때의 최댓값보다 더 클 수 없으므로 IGBT2는 언제나 IGBT1의 용량보다 작은 크기가 된다. 본 설계에서는 수급의 편의를 위하여 IGBT1과 동일한 1,700V/1,200A급 IGBT를 사용하도록 한다.

㈐ FD(환류용 다이오드)의 정격용량 계산

탈자화동작을 수행하기 위하여 IGBT2가 Off되면 여자전류는 FD와 1ohm의 저항을 통하여 흐른다. 이에 따라 다이오드의 전류는 단시간 IGBT2와 동일한 전류가 흐르지만 전류가 저항에서 소모되므로 곧 전류는 0A가 되게 된다. 다이오드의 동작전압은 초퍼의 동작전압인 DC570V이므로 IGBT2와 동일한 1,200V 클래스면 만족되고 전류는 단시간 최대전류가 700A 이상이면 만족된다.

㈑ BD(축전지전원 블로킹용 다이오드)의 정격용량 계산

BD는 차량의 배터리에 연결되어 있고 가선의 공급전압이 없거나 발전제동인 경우에만 동작한다. 동작전압은 DC72V 배터리 전압이므로 2배의 전압마진을 고려하여도 200V 이하이면 충분하지만 전류의 크기는 표. 9에서처럼 400A 정도로 높으므로 1.5배의 마진을 고려하면 600A 이상이 되어야 한다.

4) 시제품 제작

가) 장치구성

IGBT Type 여자초퍼는 IGBT Type 여자초퍼 스택과 초퍼제어용 GDCU(Gate Drive Control Unit)로 이루어져 있으며, 외부에서 여자초퍼장치의 기본정보를 확인할 수 있는 Display용 LED가 부착되어 있다.

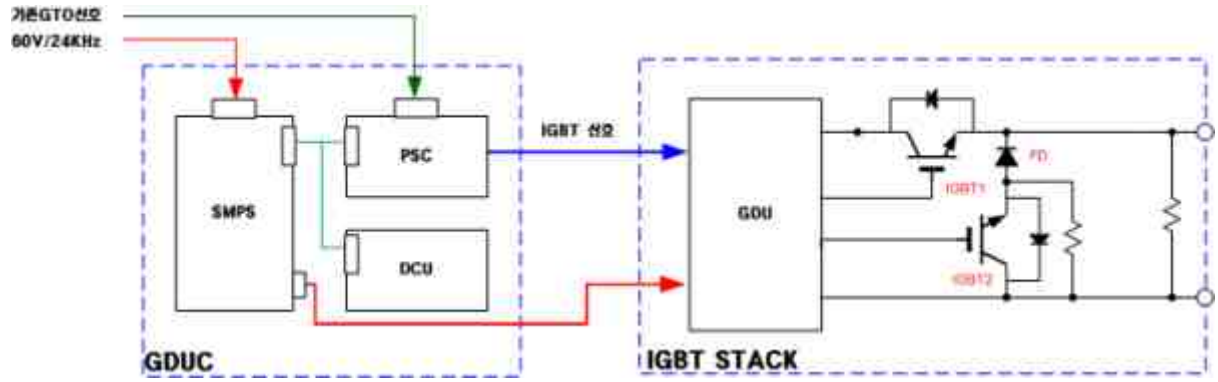


그림 91. IGBT Type CO-EX(여자초퍼) 구성도

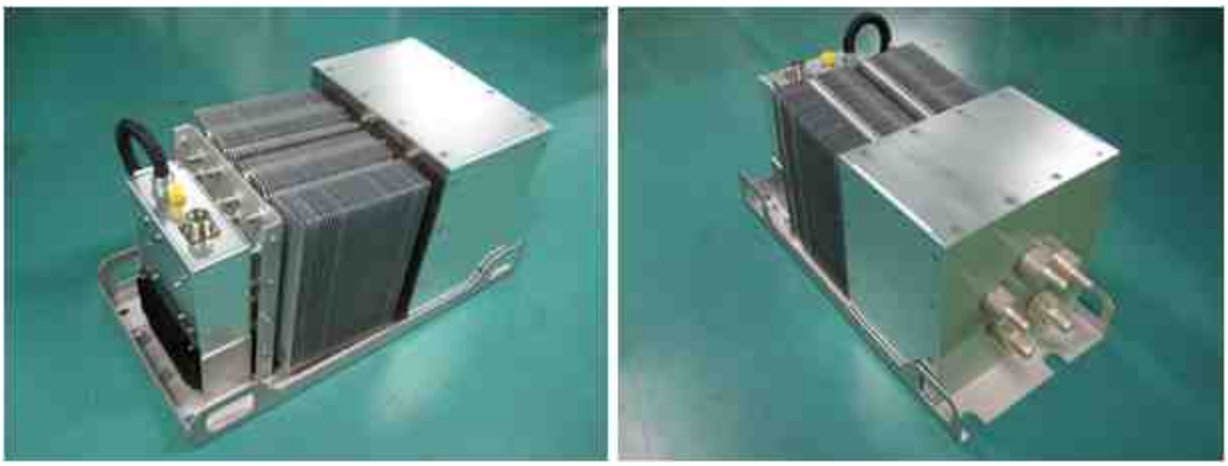


그림 92. IGBT Type CO-EX(여자초퍼)

나) IGBT Type 여자초퍼 스택

IGBT Type 여자초퍼 스택의 주회로는 IGBT, GDU(Gate Drive Unit), 필터용 커패시터, 스너버회로, CT(Current Transducers), Heat Pipe Radiators 등으로 구성되어 있다. IGBT Type 여자초퍼 스택의 각 소자들은 취부 및 조립이 용이하도록 배치하였으며, 외함은 적절한 보강재를 사용하여 추후에 변형이 발생하지 않는 구조이며 외부로부터 습기나 먼지의 침입이 발생하지 않도록 방진, 방습 구조로 제작되었다. 주요 구성품은 아래와 같다.

품명	특징	수량	제작사
IGBT	1,700V / 1,200A	2	mitsubishi
CT	600A(펄스 ±1,800A)	1	LEM
Filter Capacitor	2.5uF / 1,250VDC	2	ALCON
Heat Pipe Radiators	2.5KW급	1	ANMING
GDU	- 입력전원 : DC 24V - 광 PWM 신호에 의한 게이팅 - IGBT 고장감지 회로 탑재 - IGBT 일체형으로 불필요한 배선 제거	1	EKYOUNG

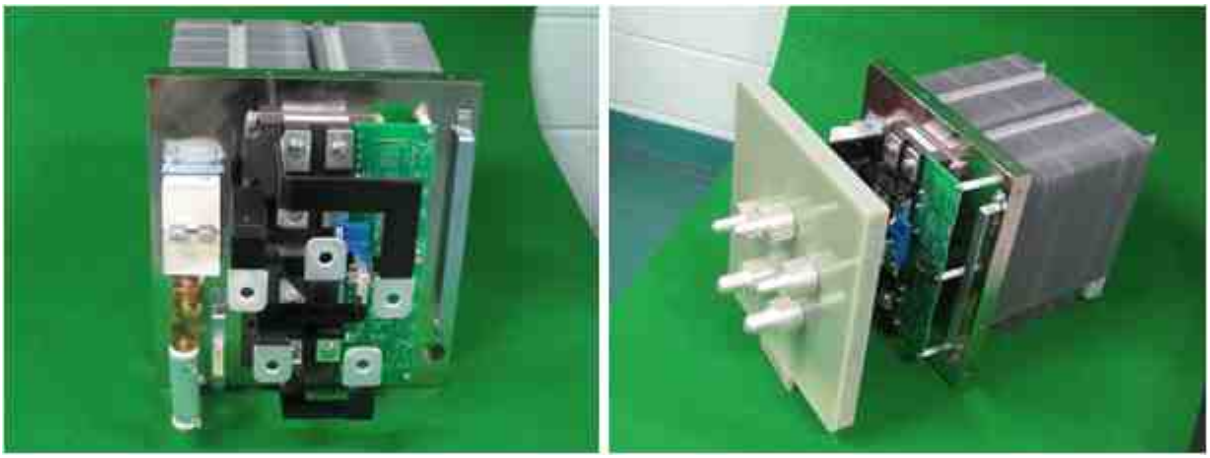


그림 93. IGBT Type 여자초퍼 스택

다) IGBT Type 여자초퍼제어용 GDCU

IGBT Type 여자초퍼제어용 GDCU(Gate Drive Control Unit)는 여자초퍼 제어전원 공급용 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 GTO 및 THY 신호를 IGBT 신호로 변환해주는 PSC(PWM Signal Converter), 여자초퍼장치의 상태정보 수집 및 Display를 위한 DCU(Display Control Unit)로 구성된다.



그림 94. IGBT Type 여자초퍼제어용 GDCU

(1) SMPS(전원공급 장치)

IGBT Type 여자초퍼장치 내부의 제어전원을 공급하기 위한 장치로 기본사양은 아래와 같다.

㈎ 입력전원 : AC 60V/24KHz

㈏ 출력전원 : DC 24V, DC ±15V, DC 5V

㈐ 정격출력 : 20W(최대)

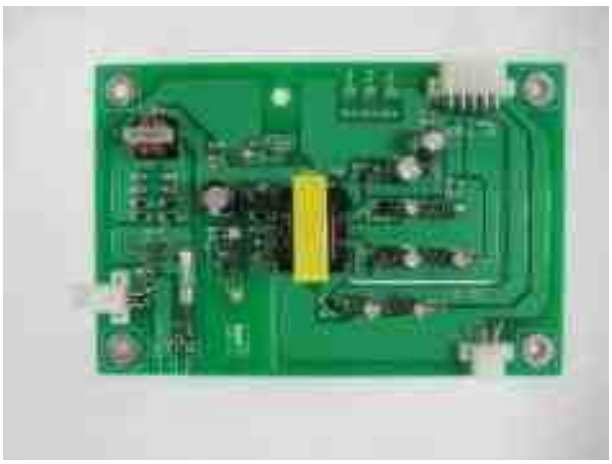


그림 95. IGBT Type 여자초퍼 SMPS

(2) PSC(PWM 신호 변환기)

기존의 GTO 및 THY의 Gate 신호를 입력받아 IGBT 제어용 PWM신호로 변환해주는 장치로 기본사양은 아래와 같다.

항목	특 성
입력	GTO 및 THY Gate Pulse (Wire 결선방식)
출력	IGBT PWM (광케이블-2채널)
구동전원	제어전원 - DC 5V, Gate 전원 - DC 24V
고장정보	- IGBT Fault 신호 처리(광케이블 - 2채널) - 전원장치 고장 검출 회로 내장



그림 96. IGBT Type 여자초퍼 PSC

(3) DCU(모니터링 제어장치)

㈎ 32bit DSP를 사용한 일체형 PCB(Printed Circuit Board)구조로 이루어져 있다.

㈏ 모니터용 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter : 범용 비동기화 송수신기) 통신포트 및 고속통신을 위한 CAN(Controller Area Network : 계측 제어기 통신망) 통신포트 내장

㈐ 4채널, 10bit 이상의 ADC(Analog to Digital Converter : 아날로그 디지털 변환기) 회로 내장

㈑ 절연된 디지털 입출력 포트 내장(입력 : 4채널, 출력 : 2채널)

㈒ 초퍼장치의 기본정보 및 고장정보 확인을 위한 디스플레이 장치

㈓ 동작상태 및 고장상황에 대한 기록을 위해 NVRAM(Nonvolatile Random Access Memory : 불활성 메모리) 내장



그림 97. IGBT Type 여자초퍼 DCU

라) 설계도면

(1) 외형도

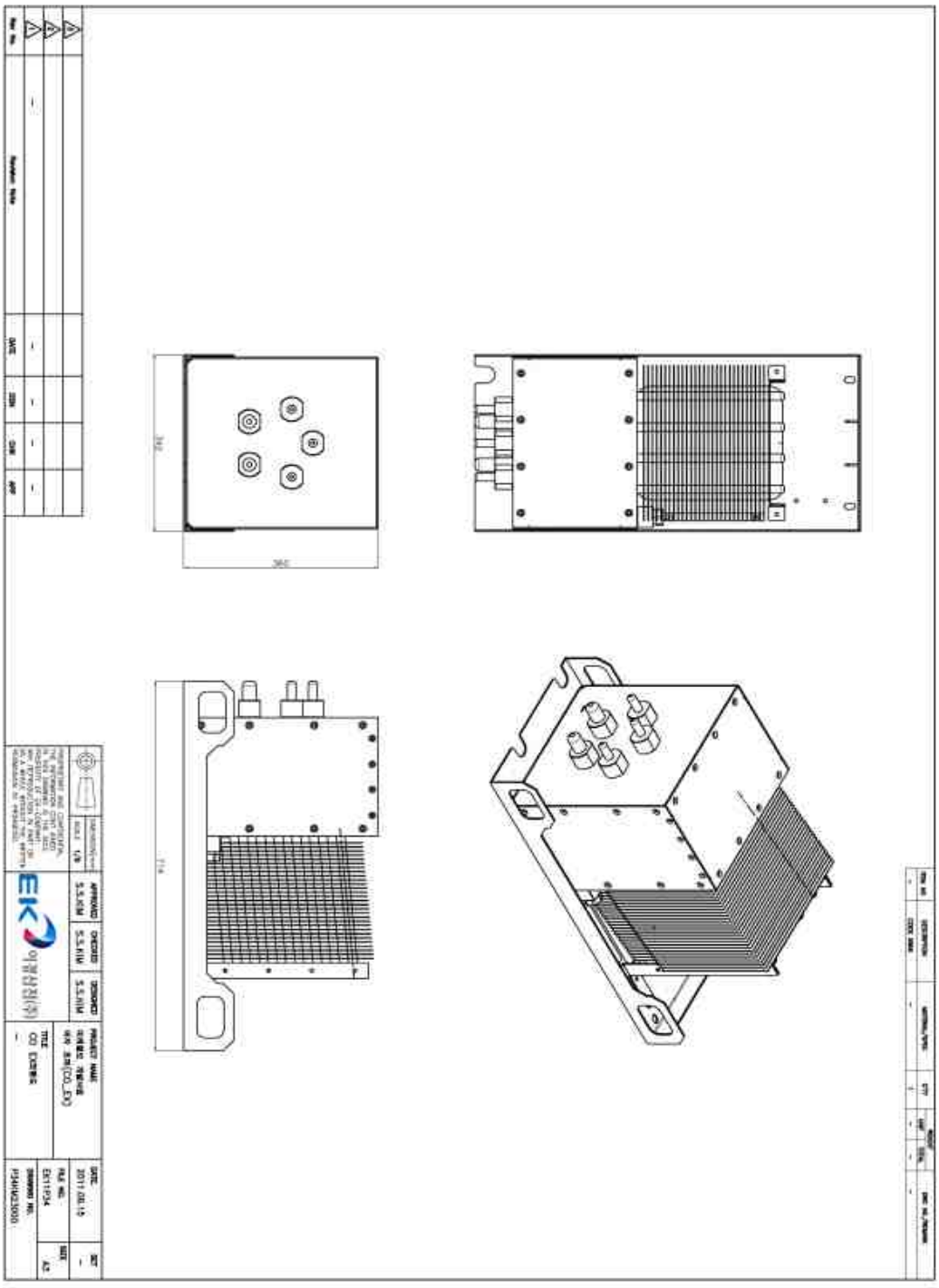


그림 98. IGBT Type 여자초퍼 스택 외형도

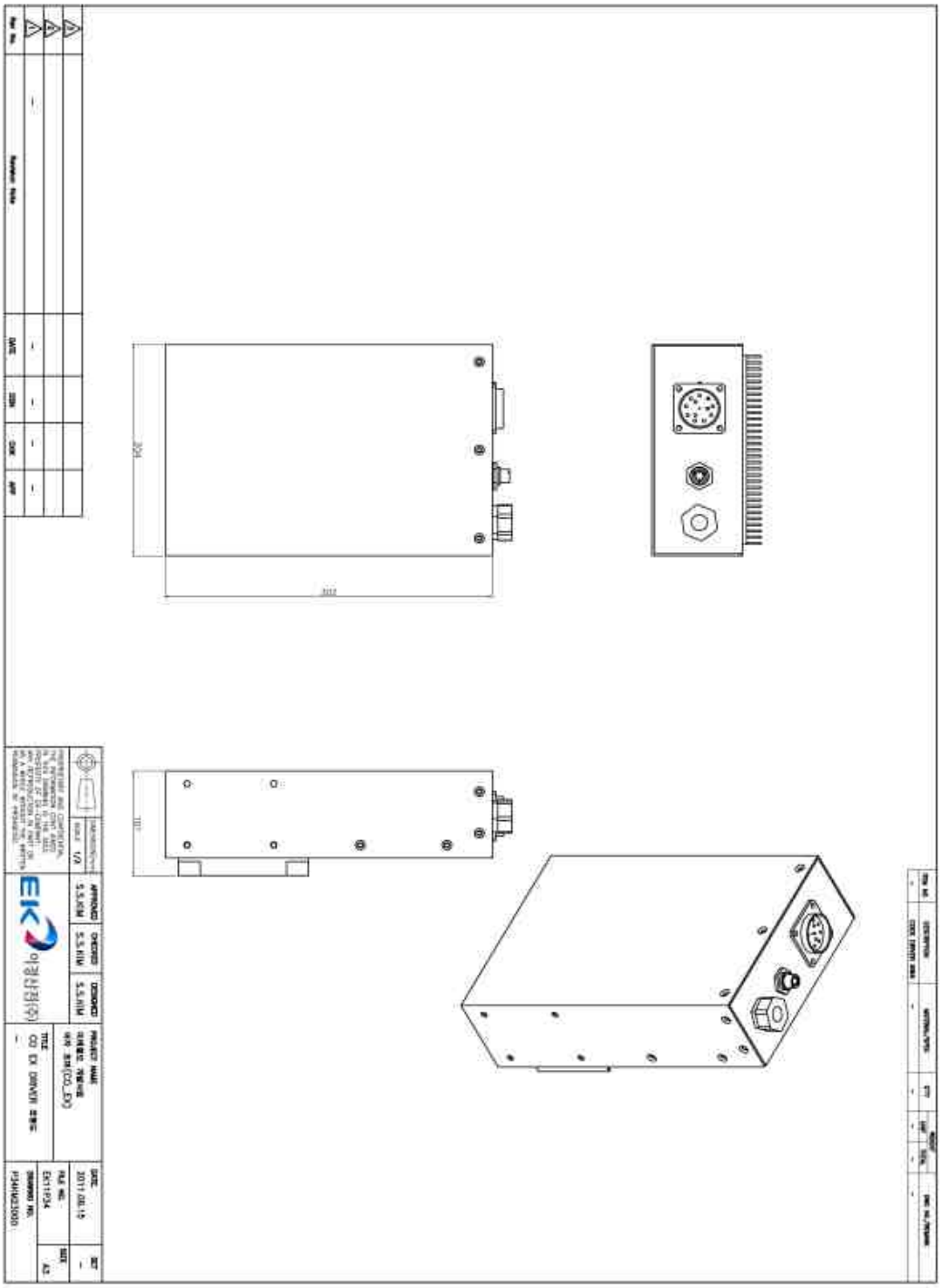


그림 99. IGBT Type 여자조퍼 GDCU 외형도

(2) 배치도

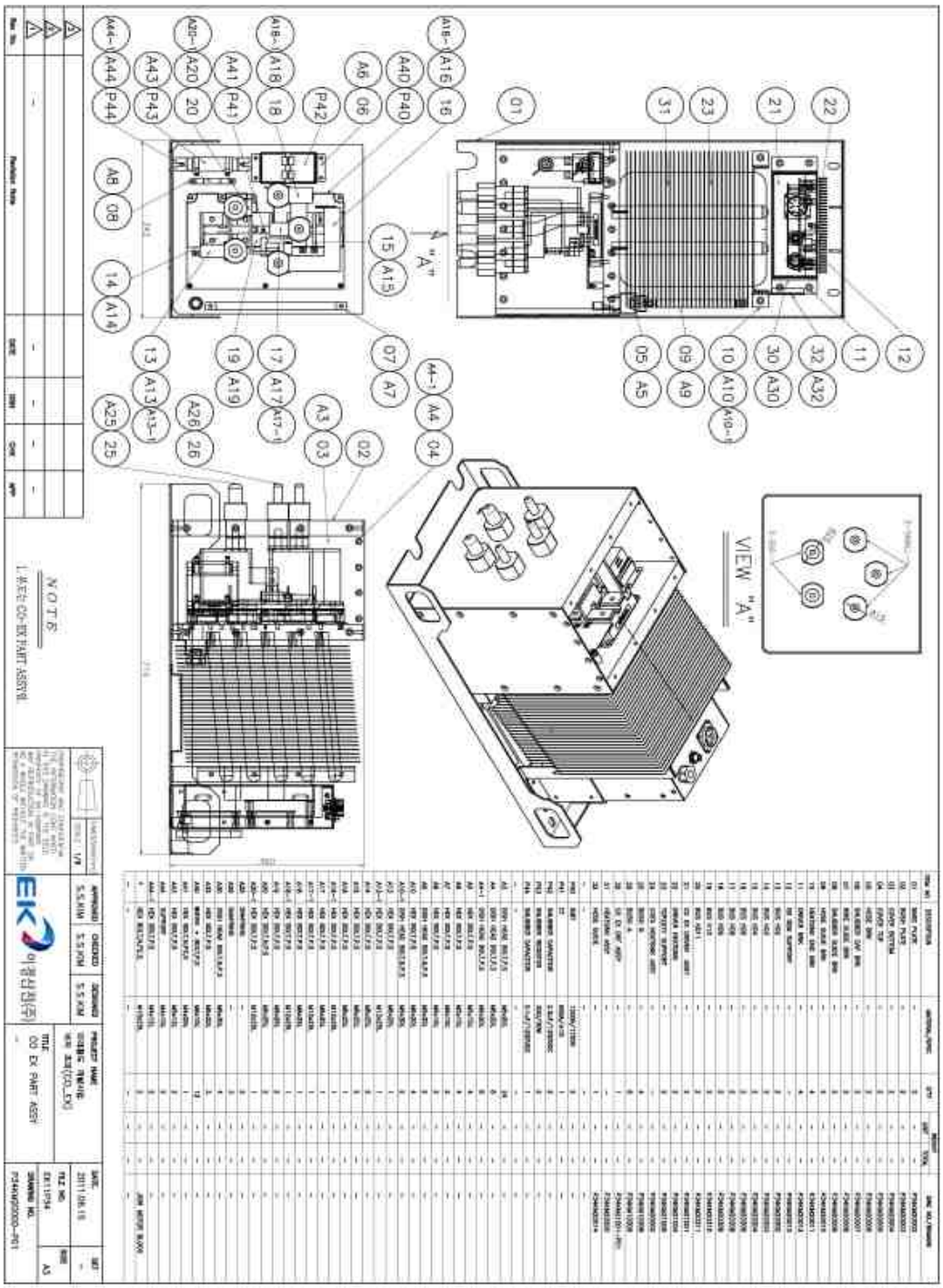


그림 100. IGBT Type 여자초퍼 주요소자 배치도

(3) 회로도

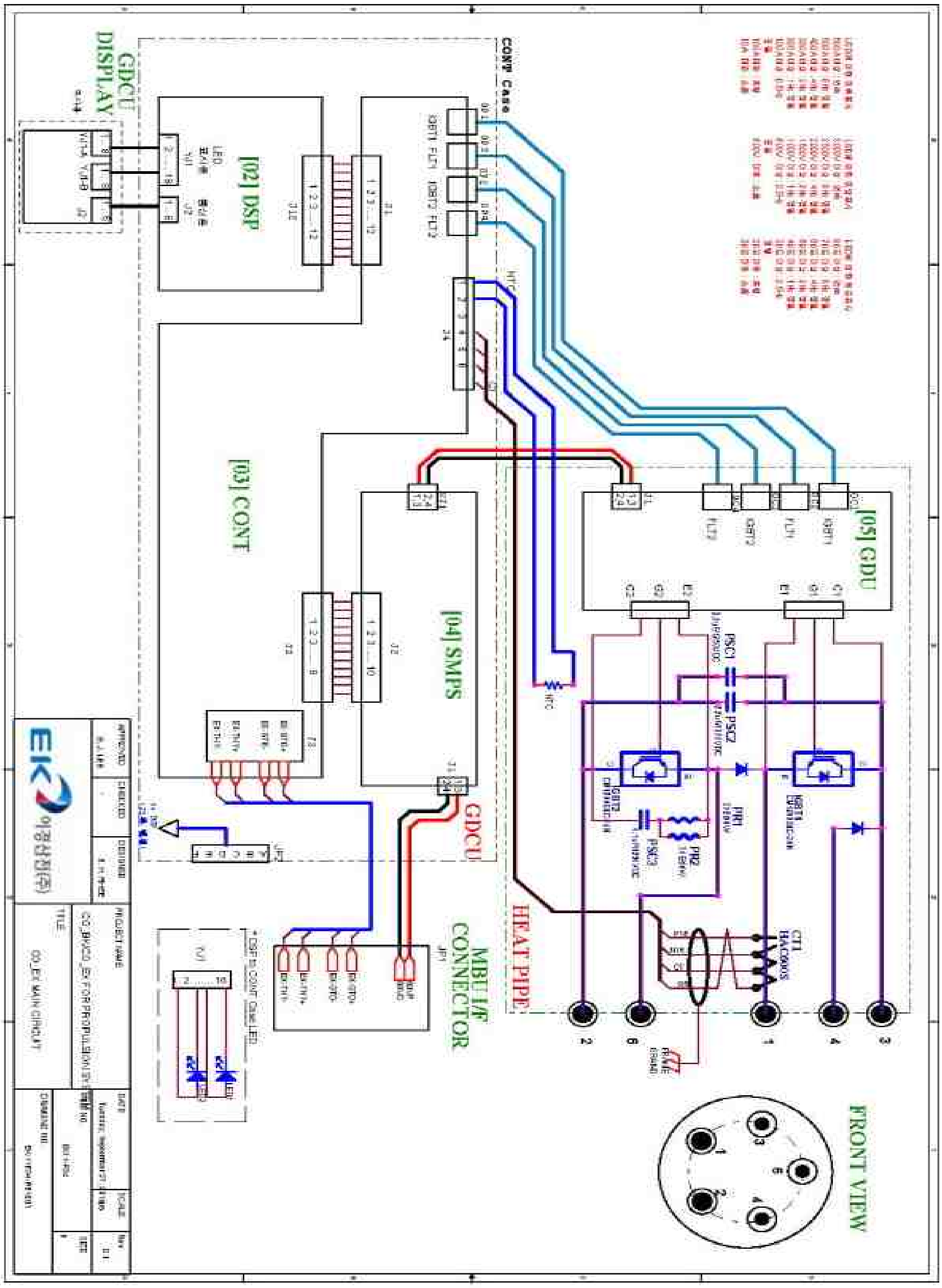


그림 101. IGBT Type 여자초퍼 회로도

5) 단품시험

가) 개요

IGBT Type 여자초퍼 장치의 단품시험은 CO-EX단품시험절차서 (WBS No. : K611-1114345-P4200-EK+T-005-KMB-N001)에 따라 실시한다,

나) 시험내용

(1) 시험항목

구분	시험항목	측정위치	비 고
검사	외관 검사	CO-EX 외함	
	치수 검사	CO-EX 외함	
시험	HV회로 절연측정 시험	고압회로 - 프레임 간	
	LV회로 절연측정 시험	저압회로 - 프레임 간	
	HV회로 내전압 시험	고압회로 - 프레임 간	
	LV회로 내전압 시험	저압회로 - 프레임 간	
	IGBT 게이트 동작시험	GDU 펄스 입력부	
	진동시험	CO-EX	
	환경시험	CO-EX	

(2) 시험방법 및 평가기준

㈎ 외관검사

차량의 진동이나 외부요인 등으로부터 변형 또는 물리적 결함 없이 소정의 성능을 발휘할 수 있는지의 여부를 확인한다. 특히 장치의 커버는 가장자리에 먼지, 습기 등의 흡입을 방지할 수 있는 구조로 되어 있는가를 확인한다.

㈏ 치수검사

장치의 치수가 도면과 일치하는지 검사 확인한다.

㈐ HV회로 절연측정시험

DC 1000[V] 절연저항계로 고압 회로부와 프레임접지의 절연저항을 측정하여 절연 저항값이 30㏁이상이면 합격이고, 미만이면 불합격이다.

㈑ LV회로 절연측정시험

DC 1000[V] 절연저항계로 저압 회로부와 프레임접지의 절연저항을 측정하여 절연 저항값이 30㏁이상이면 합격이고, 미만이면 불합격이다.

㈐ HV회로 내전압 시험

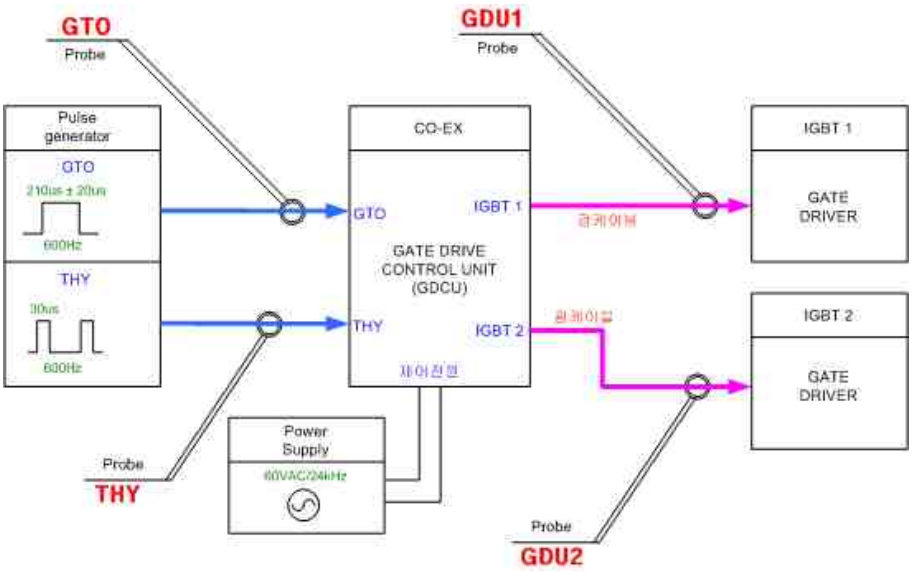
시험 중 LV회로(차폐(screening)포함)를 접지시킨다. 시험은 HV회로와 접지사이에서 실시하며 RMS전압 2500V ± 100V, 50Hz 또는 60Hz의 AC전압을 고압회로부와 프레임접지에 1분 동안 인가하여 이상이 없어야 한다.

㈑ LV회로 내전압 시험

시험 중 HV회로(차폐(screening)포함)를 접지시킨다. 시험은 LV회로와 접지사이에서 실시하며 RMS전압 1500V, 50Hz 또는 60Hz의 AC전압을 저압회로부와 프레임접지에 1분 동안 인가하여 이상이 없어야 한다.

㈒ IGBT게이트 동작시험

① 시험구성도

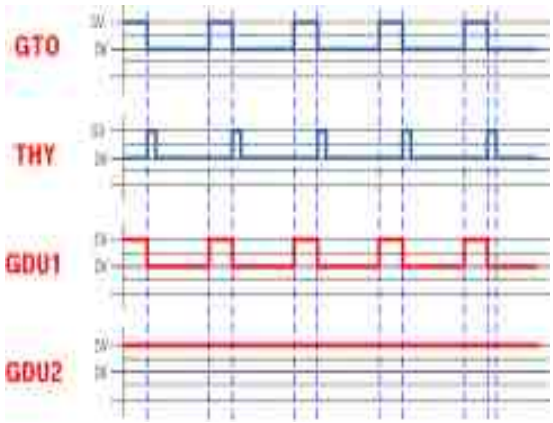
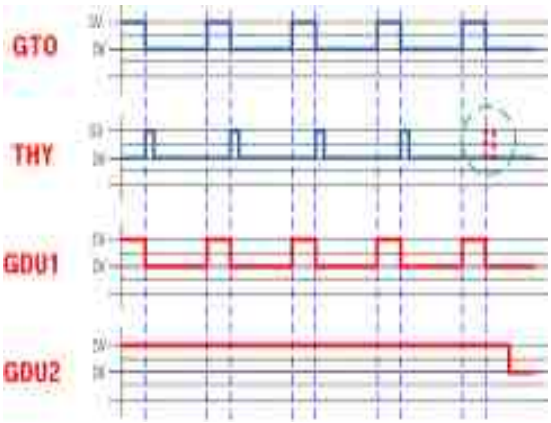


위 그림과 같이 여자초퍼 GDCU(Gate Drive Control Unit)커넥터에 펄스발생기(Pulse generator) 및 제어전원공급용 Power Supply를 연결하고, 장치를 기동하여 출력되는 IGBT 게이트 신호를 오실로스코프(Oscilloscope)를 사용하여 측정한다.

② 시험기준

IGBT게이트 동작시험은 초퍼동작과 환류동작 두 가지 모드를 측정하며, 기준파형은 아래와 같다.

표 10. IGBT게이트 동작시험 기준파형

		
IGBT게이트 초퍼동작시험 기준파형		IGBT게이트 환류동작시험 기준파형

㈋ 진동시험

진동시험은 KS R 9144(제2종 B종)에 의거하여 공인된 기관에서 시험하여야 하며, 시험 직후 육안 검사를 하여 제품에 이상이 없어야 한다.

㈌ 환경시험

환경시험은 진동시험 이후에 실시하여야 하며, KS R 9156(제2종 B종)에 의거하여 공인된 기관에서 저온시험, 고온시험, 고온고습시험, 온도 사이클 시험을 진행하여야 하며, 시험 직후 IGBT게이트 동작시험으로 기능을 확인하여 이상이 없어야 한다.

다) 단품시험 성적서



단 품 시 험 성 적 서

□ 개 요

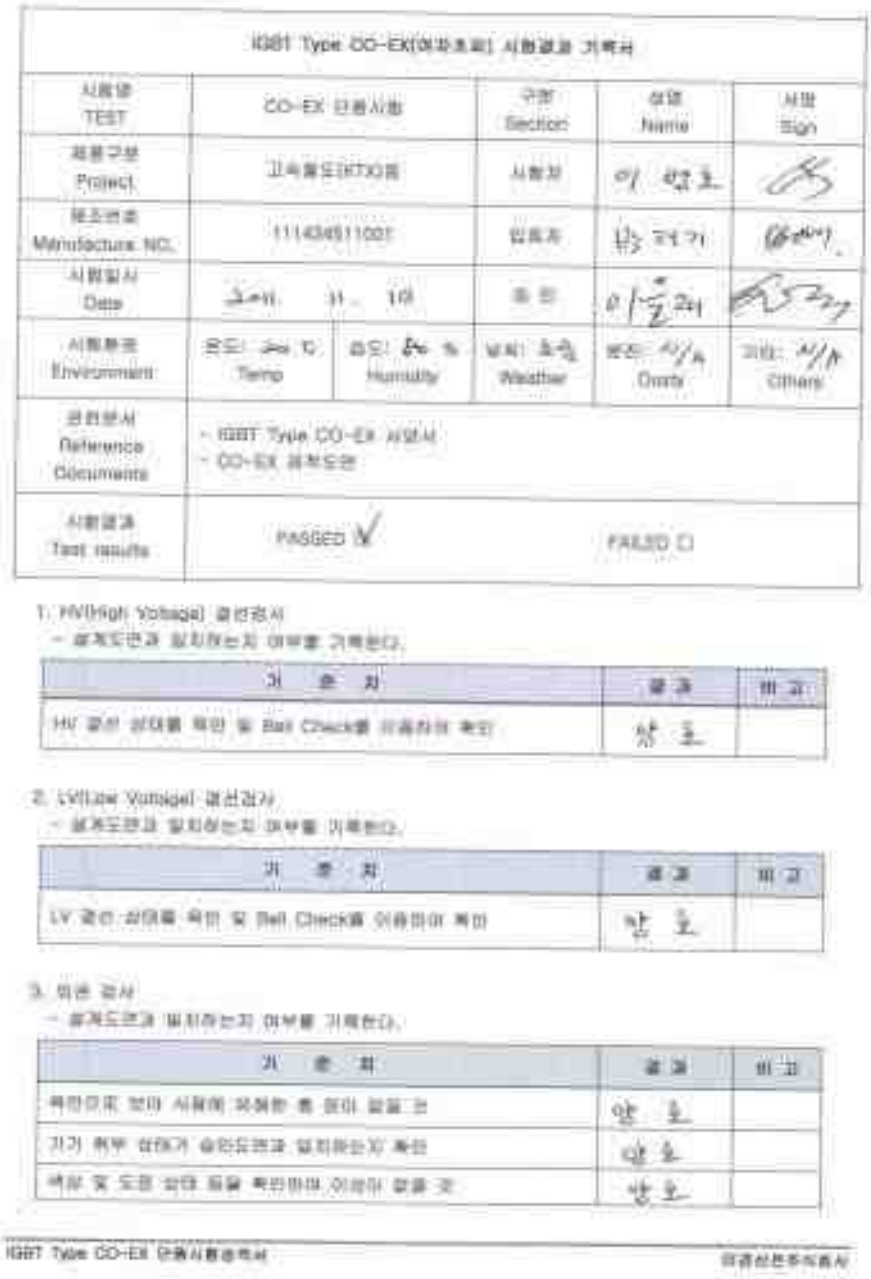
번호	품 명	규 격	수 량
I11434511001	여자초퍼장치	IGBT Type CO-EX(여자초퍼)	1 SET

□ 시험 일자 : 2011년 11월 10일

□ 시 험 자 : 전력개발팀 이병호

이 경 산 전 (주)

IGBT Type CO-EX 단품시험성적서



IGBT Type CO-EX(에코프로) 시험결과 기록서

시험명 TEST	CO-EX 단품시험	구분 Section	성명 Name	서명 Sign
제품구분 Project	고속철도(KTX)용	시험자	이 영호	
제조번호 Manufacture NO.	1114345511001	입회자	박 경기	
시험일시 Date	2021. 11. 10	승인	이 동과	
시험환경 Environment	온도: 24.5 ℃ Temp	습도: 54 % Humidity	날씨: 흐림 Weather	분진: N/A Dusts	기타: N/A Others
관련문서 Reference Documents	- IGBT Type CO-EX 사양서 - CO-EX 설계도면				
시험결과 Test results	PASSED ☑		FAILED ☐		

1. HV(High Voltage) 결선검사
- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

검 사 항	결 과	비 고
HV 결선 상태를 육안 및 Bell Check를 이용하여 확인	양 호	

2. LV(Low Voltage) 결선검사
- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

검 사 항	결 과	비 고
LV 결선 상태를 육안 및 Bell Check를 이용하여 확인	양 호	

3. 외관 검사
- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

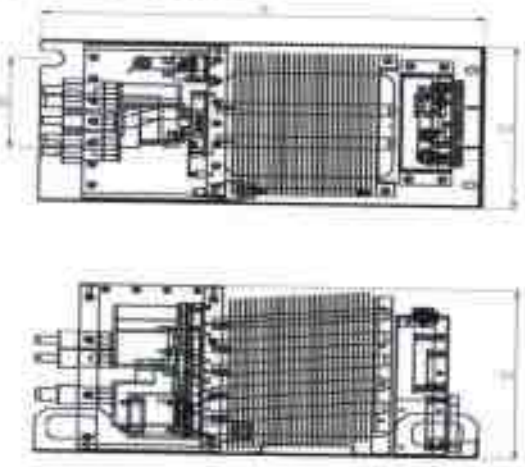
검 사 항	결 과	비 고
육안으로 보아 시험에 지장을 줄 정도 결함	양 호	
기기 취부 상태가 승인도면과 일치하는지 확인	양 호	
배선 및 도장 상태 등을 육안하여 이상이 없을 것	양 호	

IGBT Type CO-EX 단품시험성적서

이큐산업주식회사

그림 103. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 02

4. 치수 검사



항 목	기준치(mm)	측정치(mm)	결 과	비 고
A	214 ±1.0	214	양 호	
B	189 ±1.0	189	양 호	
C	342 ±1.0	342	양 호	
D	360 ±1.0	360	양 호	

5. 절연측정시험

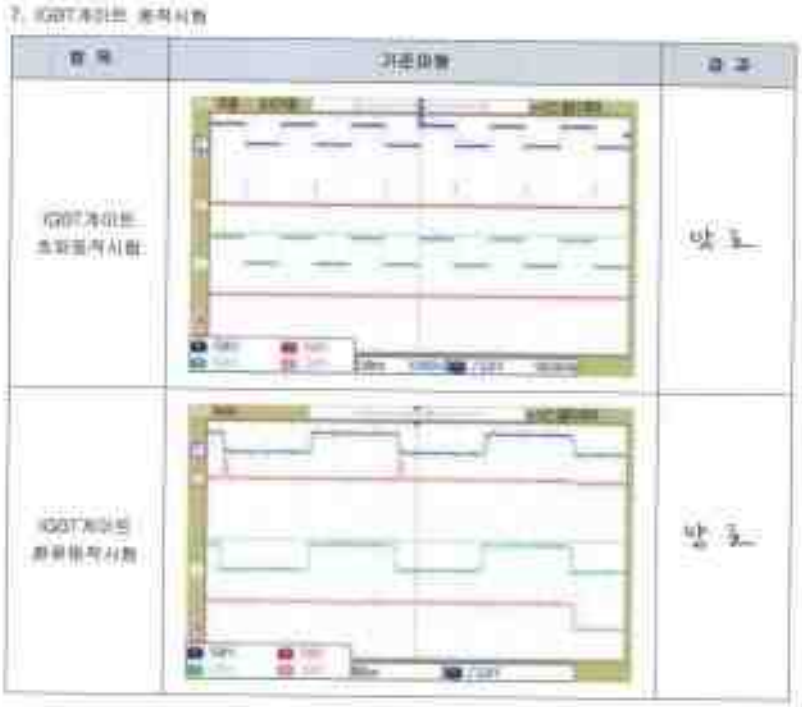
항 목	기준치	측정치	결 과
고압회로	1000V MEGGER 30MΩ 이상	2 MΩ	양 호
저압회로	1000V MEGGER 30MΩ 이상	2 MΩ	양 호

6. 내압시험

항 목	기준치	측정치	결 과
고압회로	AC2500V 1분간 견딤	견 딤	양 호
저압회로	AC1500V 1분간 견딤	견 딤	양 호

IGBT Type CO-EX 공장시험성적서

그림 104. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 03



IGBT Type CO-EX

그림 105. IGBT Type CO-EX 공장시험성적서 04

시 험 성 적 서

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME KOLAS TESTING NO. 122

발 행 번 호	:	SGS-R12-1002
의 뢰 기 관	:	(사)한국철도차량엔지니어링
의 뢰 자	:	(사)한국철도차량엔지니어링
회 사 주 소	:	경기도 수원시 장안구 천천동 558-3 번지
제 품 명	:	모터블록
모 델 명	:	CO-EX
환 경 조 건	:	(25 ± 5) ℃, (40 ± 15) % R.H.
시 험 일 자	:	2012년 10월 18일 ~ 2012년 10월 31일
시험규격/방법	:	KS R 9156: 2002 / 2종 B종 (철도 차량용 전자기기의 시험 통칙) KS R 9144: 1992 / 2종 B종 (철도 차량 부품의 진동 시험 방법)
시 험 결 과	:	성적서 참조
측정 불확도	:	N/A
용 도	:	품질 평가용

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

확 인	시험자 성 명 : 장 동 열 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 관 (서명)

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

2012. 11. 5

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

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

SGS Korea Co.,Ltd. | 398-1, Gomae-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea t +82 (0)31 240 6600 f +82 (0)31 240 6629 www.kr.sgs.com
Member of SGS Group(Societe Generale de Surveillance)

시험 결과 요약

모터블록 / CO-EX	
시험 항목	시험 결과
저온 동작 시험	이상없음
고온 동작 시험	이상없음
습도 시험	이상없음
온도 사이클 시험	이상없음
공진 및 진동 기능시험	이상없음
진동 내구 시험	이상없음

SGS Korea Co.,Ltd. 396-1, Gonae-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea t +82 (0)31 240 8808 f +82 (0)31 240 8828 www.kr.sgs.com www.lucas21.com
Member of SGS Group(Société Générale de Surveillance)

라) 관련사진

관 련 사 진



외관 검사



치수 검사



HV/LV 결선 검사



절연측정 시험



내전압 시험



Gate 동작시험

바. 제동초퍼

1) 개요

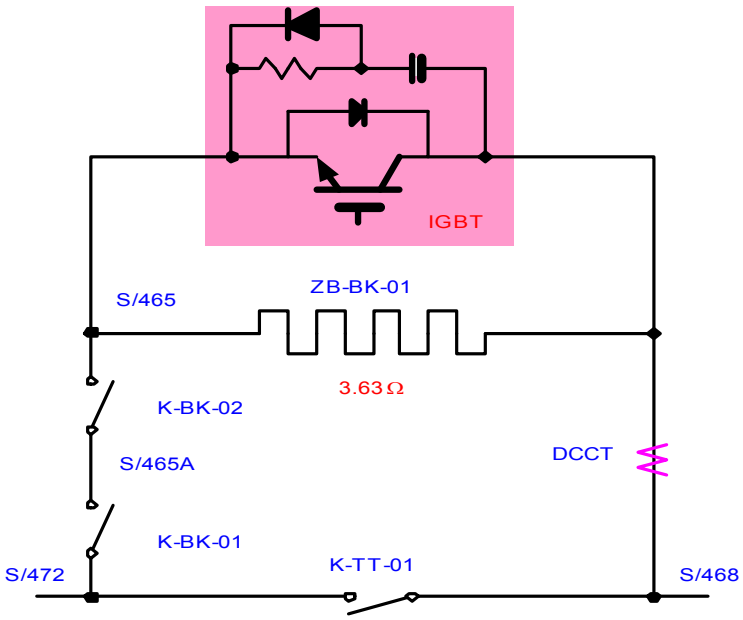


그림 106. IGBT Type 제동초퍼장치의 회로도

KTX의 추진제어장치는 철도차량에서 일반적으로 사용되는 전압원형 컨버터/인버터를 사용한 방식이 아니라 대 전력용 Thyristor 계열을 사용한 전류원형 컨버터/인버터 방식이 운용된다. 전류원형 전력회로를 사용하는 경우 전동기에 공급되는 에너지원은 직류인덕터가 담당하며 역행시에는 컨버터로부터 공급된 에너지가 직류인덕터에 축적되고 반대로 회생시에는 전동기로부터 발생된 에너지가 직류인덕터에 중첩되므로 컨버터는 인버터 동작을 통해 축적된 전류에너지를 전차선 측으로 되돌리는 것이 가능하다. KTX 추진제어 시스템에서는 축적된 에너지를 크게 세 가지 방식으로 사용한다. 최상위 동작으로 컨버터를 사용하여 전차선으로 전력을 회생하며 차상위 동작에서는 내부의 송풍용 인버터의 공급전원으로 전력을 사용한다. 마지막으로 열차가 절연구간을 지나거나 공급전압이 높아서 전차선으로의 회생이 불가피한 경우에는 제동용 저항을 사용하여 열에너지로 발산시킴으로써 축적된 전력을 소모한다. 이 모든 동작에는 시스템 내부의 직렬루프에서 전류의 흐름을 제어하기 위한 전류원형 초퍼시스템이 사용되며 이것이 KTX의 제동초퍼(Brake chopper) 장치이다. KTX 고속철도의 제동초퍼 시스템은 일반적인 초퍼시스템이 전압원형으로 구성되고 부하가 초퍼에 직렬로 연결되어 강압 또는 승압된 전압이 공급되는 것과는 다르게 전류원형으로 구성되어 있으며 부하가 초퍼와 병렬로 연결된 것이 특이하다. 즉 초퍼와 부하에 흐르는 전류의 도통비율을 제어함으로써 전체 직렬시스템에서의 평균 전류의 크기를 감소 제어하는 방식을 취하고 있다. 따라서 초퍼의 양단에 가해지는 전압의 크기는 상시 변동이며 고정된 부하에 대하여 도통비율을 변경하여 제어한다.

2) 설계검토

가) GTO Type 제동초퍼(기존품)의 전력회로 구조 및 동작

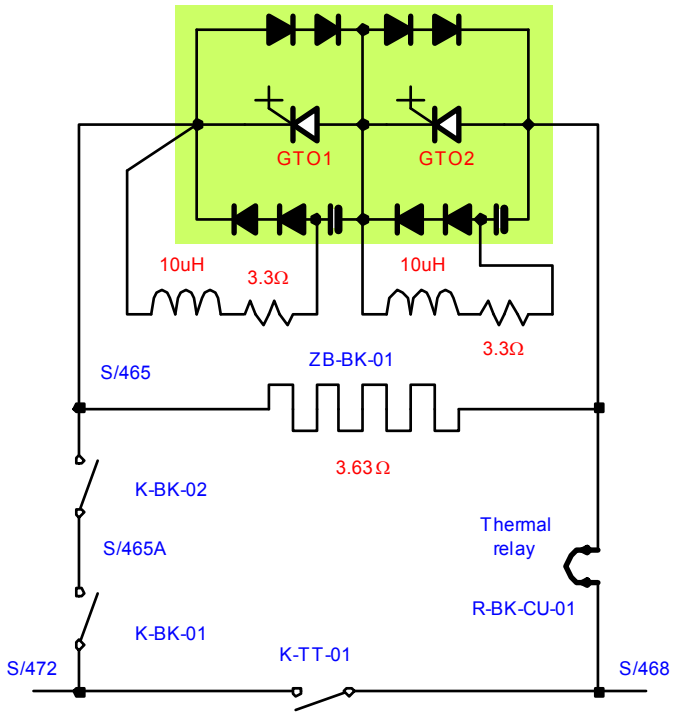


그림 107. GTO Type 제동초퍼(기존품)의 회로구성

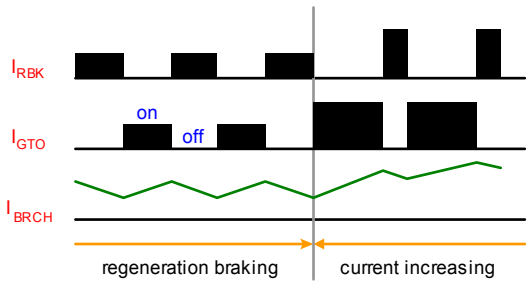


그림 108. GTO Type 제동초퍼(기존품)의
GTO 동작파형

위 그림은 현재 운용 중인 KTX 고속철도차량의 추진제어시스템 중에서 회생전력의 제어 및 열차의 제동제어에 사용되는 GTO Type 제동초퍼의 구조를 나타낸 것이다. 초퍼의 입출력 단자와 부하저항이 병렬로 연결되어 있음을 볼 수 있다. GTO Type 제동초퍼는 평상시에는 주접촉기(K-TT-01)가 닫혀 있고 제동접촉기(K-BK-01, K-BK-02)가 열려 있어서 전류회로에서 분리되어 있지만 제동 시에는 반대의 동작을 통하여 전류회로에 직렬로 투입된다. 이때에 제동초퍼가 오프되어 있으면 제동저항(ZB-BK-01)이 직렬로 연결된 형태가 되고 추진제어회로에 흐르는 모든 전류가 저항을 통과하게 되어서 전동기에서 발생된 대부분의 회

생에너지가 저항을 통하여 발산하게 된다. 이 경우 차량은 급속한 속도의 저하가 발생하게 되므로 사고의 위험이 존재하며 이를 보완하기 위해서는 반드시 제동초퍼를 사용하여야 한다. 즉 제동초퍼의 도통비율을 연속적으로 제어하면 제동저항과 초퍼장치가 마치 가변피상저항처럼 보이게 되므로 필요한 제동량을 제어할 수 있게 되는 것이다. 한편 전차선측으로의 회생동작에서도 제동초퍼는 중요한 기능을 수행한다. 회생전류는 입력컨버터의 역동작에 의하여 가선측으로 되돌려지게 되는데 컨버터의 제어속도가 60Hz로 고정되어 있어서 사실상 빠른 동특성은 얻어질 수 없다. 이에 따라 추진제어시스템 내에서는 기본적인 회생제어는 입력컨버터가 담당하고 원활한 제어성능은 제동초퍼가 제공하는 복합적인 제어구조가 사용되고 있다.

스너버회로는 GTO 스위치에 많이 사용되는 L-R-C-D로 구성된 2쌍의 off스너버가 각각의 GTO에 접속되어 있다. 스너버 다이오드와 고속커패시터는 액체냉각용 인크루저(Inclusor) 내부에 침적되어 있으며 부피가 큰 인덕터와 저항은 배선을 이용하여 외부에 장착되어 있다. 인크루저의 내부에는 전부 10개의 소자와 직병렬로 구성된 2조의 커패시터가 내장되어 있으나 구조가 매우 복잡하고 발열이 많아서 유지보수의 관점에서 볼 때에 개선의 여지가 많다.

나) 기존품 vs 개발품 주요 구성품 비교

표 11. GTO Type 제동초퍼(기존품) 주요구성품

품 명		특 성	비 고
GTO		4,500V-3,000A	
다이오드		2,500V-365A	
냉 매		FC72	
커패시터		4,000V-4㎌	
스너버회로	저항	5W, 22㏀	
	저항	5W, 6.8㏀	
	저항	5W, 6.8Ω	
	커패시터	2,100V-0.25㎌	

표 12. IGBT 제동초퍼 주요구성품

품 명		특 성	비 고
IGBT		4,500V / 600A	2 병렬 사용
스너버회로	다이오드	1,700V / 330A	2 병렬 사용
	저항	100W / 600Ω	6 병렬 사용
	커패시터	3500V / 0.75uF	2 병렬 사용

다) 기존품 vs 개발품 외형 비교 및 호환성

(1) 기존품 vs 개발품 외형 비교

㈎ 방열방식은 히트파이프를 이용한 강제풍랭방식이다. 따라서 기존품 전면부에서 보았을 때 원형의 형상을 갖는다면 개발품은 사각형의 모양을 갖게 된다.

㈏ 스택의 사이즈는 기존 인크루저의 바닥면 크기 및 고정포인트를 동일하게 제작하였다.

표 13. 기존품 vs 개발품 외형비교

항목	기존품	개발품
외형 및 형태		
		

(2) 기존품 vs 개발품 동작 호환성

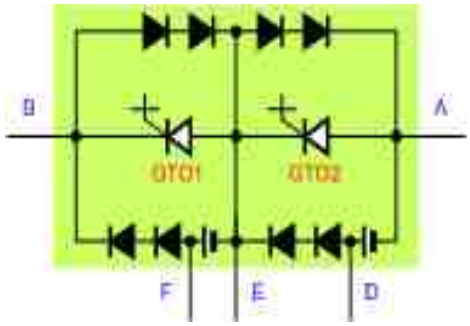
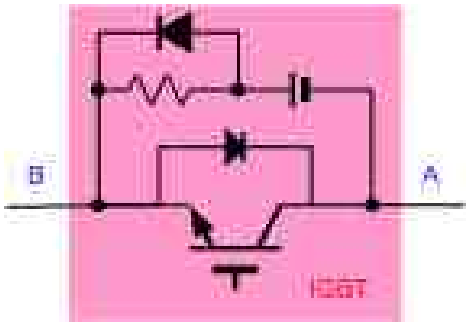
㈎ 기존품에서는 GTO를 스위치 소자로 사용하였으나 개발품에서는 IGBT만 사용한다. GTO 소자는 On 구간 동안 연속하여 Gate signal이 발생되므로 이 신호를 변환하여 IGBT용 게이트 신호를 발생시키면 된다. 하지만 GTO용 게이트 신호는 24kHz, 60VAC의 교류가 전원 겸용으로 입력되므로 IGBT는 이 신호를 직접 사용할 수 가 없다.

㈏ 기존품과 1대1로 호환하기 위해서는 24kHz의 게이트 신호를 IGBT용 게이트 신호로 변환하기 위한 변환장치가 필요하다. 기존품은 별도의 전원공급회로가 없고 이 교류신호를 정류하여 GTO용 전원으로 사용하고 진폭변조된 신호는 게이트 트리거 신호로 사용한다. 따라서 IGBT 게이트 제어장치도 이와 유사하게 전원과 게이트 신호로 분리하는 신호변환기를 제작하여 기존장치와 호환을 유지할 수 있다.

㈐ 개발품에서는 GDU 및 제어기에 반드시 별도의 전원장치가 공급되어야 한다. 이를 위하여 제어전원을 공급받는 전원장치를 설계/제작하여 새 장치와 인터페이스를 유지한다.

(3) 기존품 vs 개발품 입출력 비교

표 14. 기존품 vs 개발품 입출력 PIN 비교표

항목	기존품	개발품
입출력 호환성		

(4) 기존품 vs 개발품 특성 비교

표 15. 기존품 VS 개발품 특성비교

항 목	기존품	개발품	특 징
입력전압	0 ~ 3,000VDC	좌동	
출력전류범위	0 - 800A[펄스]	좌동	
최대출력	2.2MW[펄스파워]	좌동	
회로방식	부하병렬 전류형 초퍼 [2 GTO + 2 FWD]	부하병렬 전류형 초퍼 [2 IGBT]	데드타임으로 인한 급격한 dv/dt 문제점 해결
스너버회로	L-C-R-D Turn-off 방식	R-C-D Turn-off 방식	
전력반도체소자	GTO	IGBT	
냉각방식	액체침전 냉각	강제공랭식	
최대동작주파수	600Hz	1KHz	고주파수 사용으로 제동[환류] 전류 리플성분 감소
사용조건(습도)	-25 ℃~55 ℃ (30%~90%)	좌동	
유지보수성	주요 소자교환 어려움	주요 소자교환 쉬움	

3) 해석 및 시뮬레이션

가) IGBT Type CO-BK 열손실 계산

(1) 손실계산 조건 및 항목

반도체 접합부의 온도 Tj=125° C를 초과하지 않도록 설계한다.

스위치 동작시 발생하는 손실은 다음의 조건으로 제한한다.

㈎ 정적 손실 (Static losses)

- On-state 손실 : Pfw

㈏ 스위칭 손실 (Switching losses)

- Turn-on 손실 : Pon
- Turn-off 손실 : Poff

㈐ IGBT 총 손실 : Ptot_IG=Pfw+Pon+Poff

㈑ Diode 총 손실 : Ptot_D=Pfw+Poff

㈒ 모듈 총 손실 : Ptot_M= Ptot_IG + Ptot_D

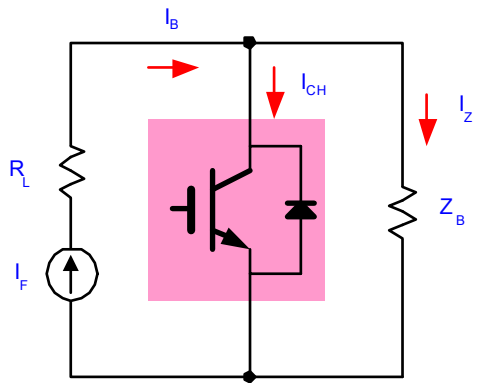


그림 109. IGBT Type 제동초퍼의 등가회로

(2) 손실계산 해석조건

전압원이 아닌 전류원에 연결된 초퍼회로로 해석한다.

전류원 IF는 필터리액터에 흐르는 직류전류이고 부하 RL은 2대의 전동기부하를 나타낸다.

초퍼회로는 모터블록의 제동 및 회생 시에만 연결되고 그 외에는 분리된 회로로 가정한다.

부하전류 IB는 초퍼전류 ICH와 제동저항전류 IZ의 합으로 나타난다.

$$I_B(T) = I_{CH}(t) + I_Z(T-t)$$

전압원형 강압초퍼가 부하전류 0에서부터 임의의 범위로 제어할 수 있는 것과는 다르게 제동초퍼에서 부하전류는 언제나 제동저항전류 IZ보다 큰 범위에서만 제어가 가능하다.

초퍼가 동작하여 전류 ICH가 흐르면 제동저항전류 IZ=0 이 된다.

초퍼 IGBT 양단전압 VCE는 다음과 같다.

$V_{CE} = I_Z \cdot Z_B = I_B \cdot Z_B$, 단 IGBT가 off 상태일 때

$$V_{CE} \cong 800A_{max} \cdot 3.63\Omega \le 2900V$$

(3) IGBT Type 제동초퍼의 손실계산서

㈎ 도통손실

① IGBT 손실 :

$$P_{fw} = \frac{1}{T}\int_0^{t1} i_C(t) \cdot V_{CE}(t) \cdot dt = I_{C(avg)} \times V_{CE(sat)} \times D$$, 단 D=t1/T

동작특성상 D는 1로부터 점차 감소하면서 0으로 근접하므로 평균듀티를 0.5로 가정하면 IGBT의 도통손실은 아래와 같다.

$$P_{fw(IGBT)} = 680 \times 2.8 \times 0.5 = 952(W)$$

② DIODE 손실:

제동회로 조건의 특성상 다이오드측으로 환류되는 전류는 발생하지 않으므로 다이오드의 도통손실은 무시한다.

$$P_{fw(Diode)} = 0(W)$$

㈏ 스위칭손실 (@=at 500Hz)

① 턴-온 손실 :

턴-온시 IGBT 양단의 전압은 제동저항 양단의 전압과 같다. 따라서 IGBT의 턴-온 손실을 구하면 아래와 같다.

$$P_{ON(IGBT)} = E_{ON} \cdot f_S = \frac{1}{2} \times 680A \times 2400V \times 2.0\mu s \times 500Hz = 816(W)$$

② 턴-오프 손실 :

$$P_{OFF(IGBT)} = E_{OFF} \cdot f_S = \frac{1}{2} \times 680A \times 2400V \times 3.0\mu s \times 500Hz = 1224(W)$$

③ Diode 역회복 손실 :

$$P_{rr(Diode)} = E_{rr} \cdot f_S = \frac{1}{2} \times 680A \times 2400V \times 0.8\mu s \times 500Hz = 326.4(W)$$

㈐ 총 손실

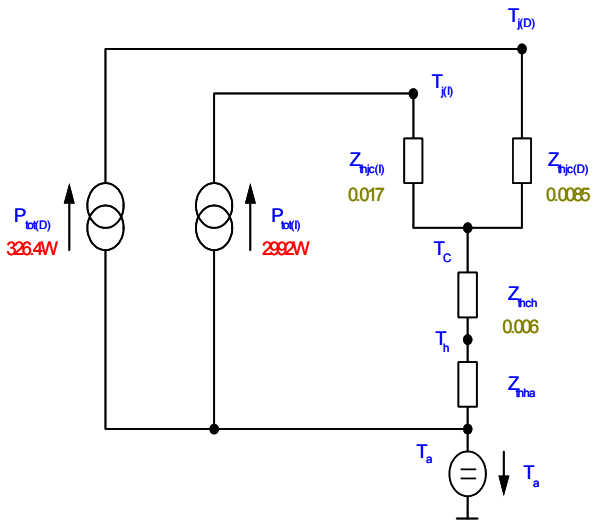
스너버회로를 제외한 IGBT 모듈의 시간평균적인 총손실은 아래와 같다.

$$P_{TOT} = P_{fw(IGBT)} + P_{ON(IGBT)} + P_{OFF(IGBT)} + P_{rr(Diode)} = 3318.4(W)$$

(4) IGBT Type 제동초퍼의 열저항 계산

㈎ 열적 등가회로

초퍼장치에 사용될 적절한 방열기구의 설계를 수행하기 위해서는 IGBT 모듈접합부의 온도를 계산하는 것이 필요하다. 아래그림은 초퍼장치에 적용된 열적 등가회로를 나타낸 것이다.



$P_{tot(D)}$	다이오드 총 손실
$P_{tot(I)}$	IGBT 총 손실
Z_{thjc}	접합부와 케이스간 열저항
T_c	케이스 온도
Z_{thch}	케이스와 방열판간 열저항
T_h	방열판 온도
Z_{thha}	방열판과 주위온도간 열저항
T_a	주위온도

그림 110. IGBT Type 제동초퍼 열적 등가회로

㈏ Junction 온도 유지조건

주변온도를 최대 45° C로 가정하고 모듈내부의 IGBT Junction 온도를 110° C(혹은 125° C) 이하로 유지하기 위한 방열판의 열저항 계수 Zthha를 구하면 다음과 같다.

$$T_{j(I)} = T_a + Z_{thha} \times P_{tot(I)} + Z_{thch} \times (P_{tot(I)} + P_{tot(D)}) + Z_{thjc(I)} \times P_{tot(I)}$$

110° C = 45° C + (Zthha x 2992W) + (0.006 x 3318.4W) + (0.0085 x 2992W)

= 45° C + (Zthha x 2992W) + 19.91 + 25.43

Zthha = (110 - 45 - 19.91 - 25.43) / 2992 = 0.00657 K/W, @110° C

Zthha = (125 - 45 - 19.91 - 25.43) / 2992 = 0.01158 K/W, @125° C

위에서 살펴본 바와 같이 모듈의 Junction 온도를 125° C 이하로 유지하기 위해서는 방열판의 열저항 계수가 0.01158 K/W 이하의 값으로 되도록 물리적인 냉각구조를 설계하여야 한다.

나) IGBT Type CO-BK 주요소자 용량 계산

(1) IGBT의 정격용량 계산

IGBT Type 제동초퍼는 전동기 구동을 위한 직류전류 루프 내에서 동작하는 초퍼장치이다. 제동요구 요청시 병렬로 연결된 저항장치와 함께 피상저항으로 동작함으로써 회로에 흐르는 직류전류를 제한하는 역할을 수행하며 제한된 전류는 열저항으로 소모된다. 따라서 일반적인 전압형 초퍼시스템과는 달리 전류형 초퍼로 동작하므로 초퍼의 입력전압에 대한 일정 크기가 존재하지 않는다. 부하전류의 크기에 따라 초퍼 양단의 전압 크기가 변동되므로 회로에 흐르는 전류의 최대 크기를 고려하여 소자의 내압을 결정하여야 한다.

㈎ 정격전압 계산

KTX에 관련된 문서에서 직류전류회로에 대한 최대전류는 언급된 내용을 찾기가 쉽지 않다. 이에 따라 이미 결정된 회로의 파라미터로부터 직류회로에 흐르는 최대 전류를 유추한다. 먼저 추진제어장치가 발전제동모드로 동작할 때에 투입되는 송풍용 보조인버터를 위한 전원공급용 저항(ZB-BK-02)의 크기가 0.882ohm이고 보조인버터의 입력동작전압의 범위가 DC680V 이내로 제한되므로 직류회로에 흐르는 최대 전류의 크기는,

680V/0.882ohm=771A

이하로 제한된다. 한편 제동초퍼와 병렬로 연결된 제동저항의 크기는 3.63ohm이므로 최대전류를 고려하면 제동초퍼용 스위치 소자 양단에 인가되는 최대전압의 크기는,

771A*3.63ohm=2,799V

로 가정할 수 있다. 최대전압 범위를 초과하여 시판중인 IGBT의 전압클래스는 3.3kV, 4.5kV 및 6.5kV가 가능하다. 이 중에서 3.3kV는 전압의 마진이 118% 정도로 충분하지 않으

므로 제외한다. 6.5kV급 IGBT는 전압 마진이 2배 이상이지만 콜렉터-에미터 간의 포화전압이 4.5V나 되어서 도통손실이 과대하므로 사용하기 어렵다. 4.5kV급 IGBT의 경우 전압마진이 1.6배 정도이므로 스너버회로를 충실히 설계하면 사용에 무리가 없을 것으로 판단한다.

㈏ 정격전류 계산

IGBT Type 제동초퍼에 흐르는 최대전류의 한계치는 771A이므로 안전을 위한 마진을 150% 이상으로 가정하면 1,156A 정도가 된다.

㈐ IGBT 소자 선정

IGBT의 전압 클래스는 4.5kV로 하고 전류용량은 소자의 방열을 고려하여 600A급을 2병렬로 사용한다.

(2) 스너버회로의 정격용량 계산

스너버회로의 설계를 참조하면 스너버 다이오드, 스너버 커패시터 및 스너버 저항의 용량은 아래와 같다.

표 16. IGBT 제동초퍼 스너버회로 구성소자 정격

항 목	정 격	비 고
스너버 다이오드	1,700V/330A	2 병렬 사용
스너버 커패시터	0.75uF/3,500VDC	2 병렬 사용
스너버 저항	600Ω/100W	6 병렬 사용

4) 시제품 제작

가) 장치구성

IGBT Type 제동초퍼는 IGBT Type 제동초퍼 스택과 초퍼제어용 GDCU(Gate Drive Control Unit)로 이루어져 있으며, 외부에서 제동초퍼장치의 기본정보를 확인할 수 있는 Display용 LED가 부착되어 있다.

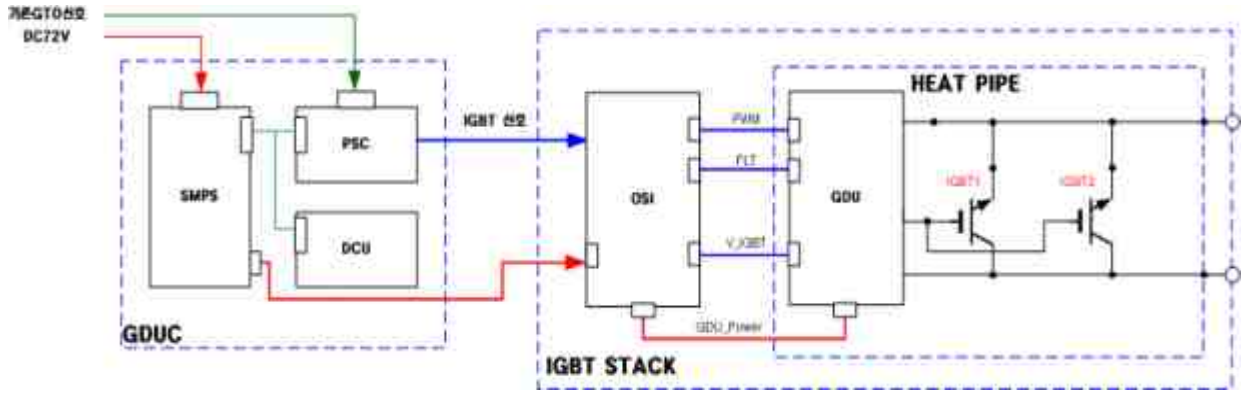


그림 111. IGBT Type CO-BK(제동초퍼) 구성도



그림 112. IGBT Type CO-BK(제동초퍼)

나) IGBT Type 제동초퍼 스택

IGBT Type 제동초퍼 스택의 주회로는 IGBT, GDU(Gate Drive Unit), 스너버회로, OSI(Optical Signal Interface), Heat Pipe Radiators 등으로 구성되어 있다. IGBT Type 제동초퍼 스택의 각 소자들은 취부 및 조립이 용이하도록 배치하였으며, 외함은 적절한 보강재를 사용하여 추후에 변형이 발생하지 않는 구조이며 외부로부터 습기나 먼지의 침입이 발생하지 않도록 방진, 방습 구조로 제작되었다. 주요 구성품은 아래와 같다.

품명		특징	수량	제작사
IGBT		4,500V / 600A	2	mitsubishi
Heat Pipe Radiators		4.5KW급	1	ANMING
스너버 회로	다이오드	6,500V / 1200A	1	Dynex
	저항	250W / 50Ω	6	3RLAB
	커패시터	3300VDC / 2.5uF	2	NCL
GDU		- 입력전원 : DC 24V - 광 PWM 신호에 의한 게이팅 - IGBT 고장감지 회로 탑재 - IGBT 일체형으로 불필요한 배선 제거	1	EKYOUNG
OSI		- Optical Signal Converter 내장 (입력 2채널, 출력 2채널(예비 1채널 포함)	1	EKYOUNG

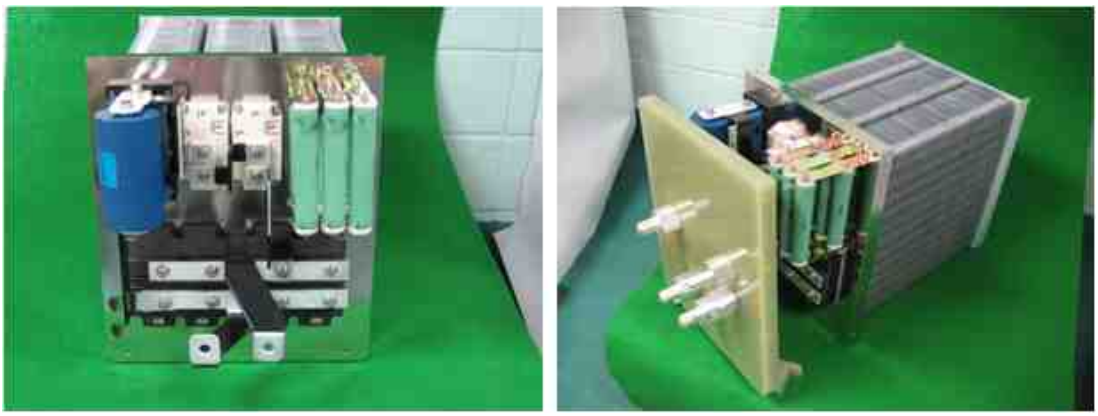


그림 113. IGBT Type 제동초퍼 스택

다) IGBT Type 제동초퍼제어용 GDCU

IGBT Type 제동초퍼제어용 GDCU(Gate Drive Control Unit)는 제동초퍼 제어전원 공급용 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 GTO 신호를 IGBT 신호로 변환해주는 PSC(PWM Signal Converter), 제동초퍼장치의 상태정보 수집 및 Display를 위한 DCU(Display Control Unit)로 구성된다.



그림 114. IGBT Type 제동초퍼제어용 GDCU

(1) SMPS(전원공급 장치)

IGBT Type 제동초퍼장치 내부의 제어전원을 공급하기 위한 장치로 기본사양은 아래와 같다.

㈎ 입력전원 : DC 72V

㈏ 출력전원 : DC 24V, DC ±15V, DC 5V

㈐ 정격출력 : 20W(최대)

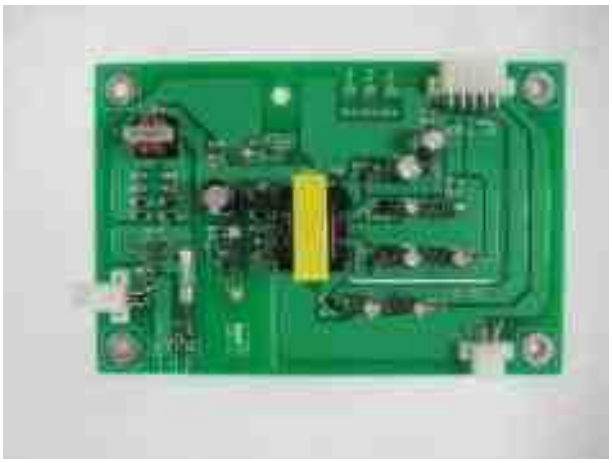


그림 115. IGBT Type 제동초퍼 SMPS

(2) PSC(PWM 신호 변환기)

기존의 GTO Gate 신호를 입력받아 IGBT 제어용 PWM신호로 변환해주는 장치로 기본사양은 아래와 같다.

항목	특 성
입력	GTO Gate Pulse (Wire 결선방식)
출력	IGBT PWM (광케이블-2채널)
구동전원	제어전원 - DC 5V, Gate 전원 - DC 24V
고장정보	- IGBT Fault 신호 처리(광케이블 - 2채널) - 전원장치 고장 검출 회로 내장

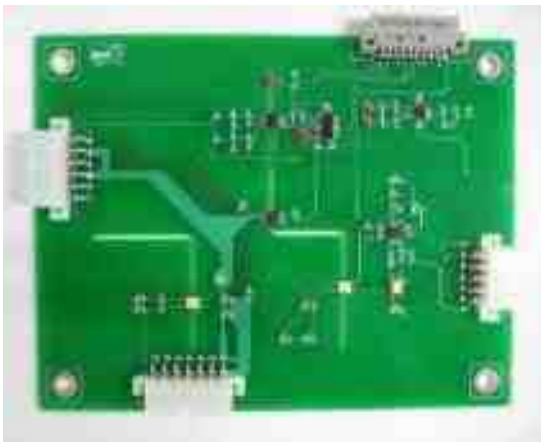


그림 116. IGBT Type 제동초퍼 PSC

(3) DCU(모니터링 제어장치)

㈎ 32bit DSP를 사용한 일체형 PCB(Printed Circuit Board)구조로 이루어져 있다.

㈏ 모니터용 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter : 범용 비동기화 송수신기) 통신포트 및 고속통신을 위한 CAN(Controller Area Network : 계측 제어기 통신망) 통신포트 내장

㈐ 4채널, 10bit 이상의 ADC(Analog to Digital Converter : 아날로그 디지털 변환기) 회로 내장

㈑ 절연된 디지털 입출력 포트 내장(입력 : 4채널, 출력 : 2채널)

㈒ 초퍼장치의 기본정보 및 고장정보 확인을 위한 디스플레이 장치

㈓ 동작상태 및 고장상황에 대한 기록을 위해 NVRAM(Nonvolatile Random Access Memory : 불활성 메모리) 내장



그림 117. IGBT Type 제동초퍼 DCU

라) 관련도면

(1) 외형도

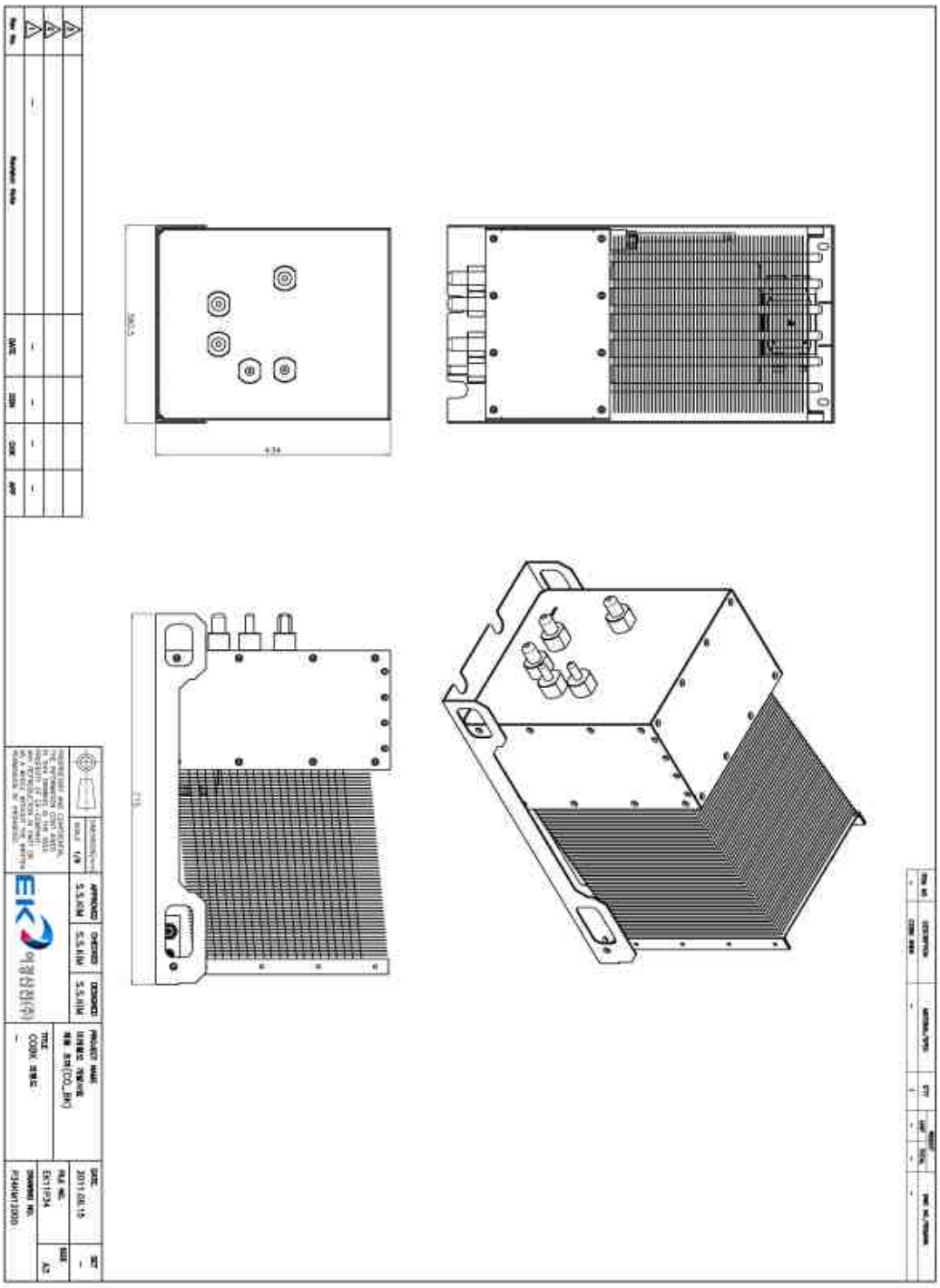


그림 118. IGBT Type 제동초퍼 스택 외형도

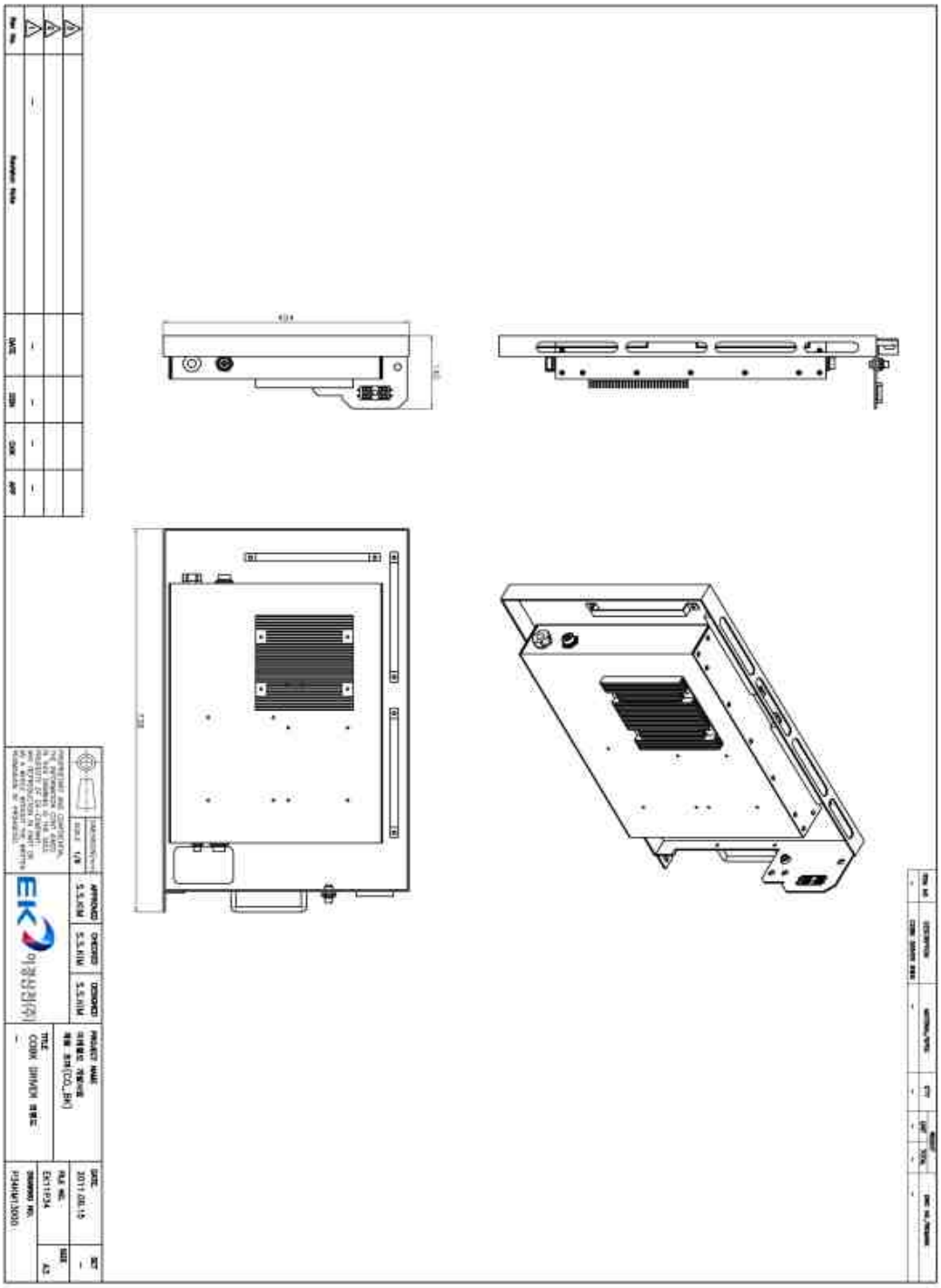


그림 119. IGBT Type 제동초퍼 GDCU 외형도

(2) 배치도

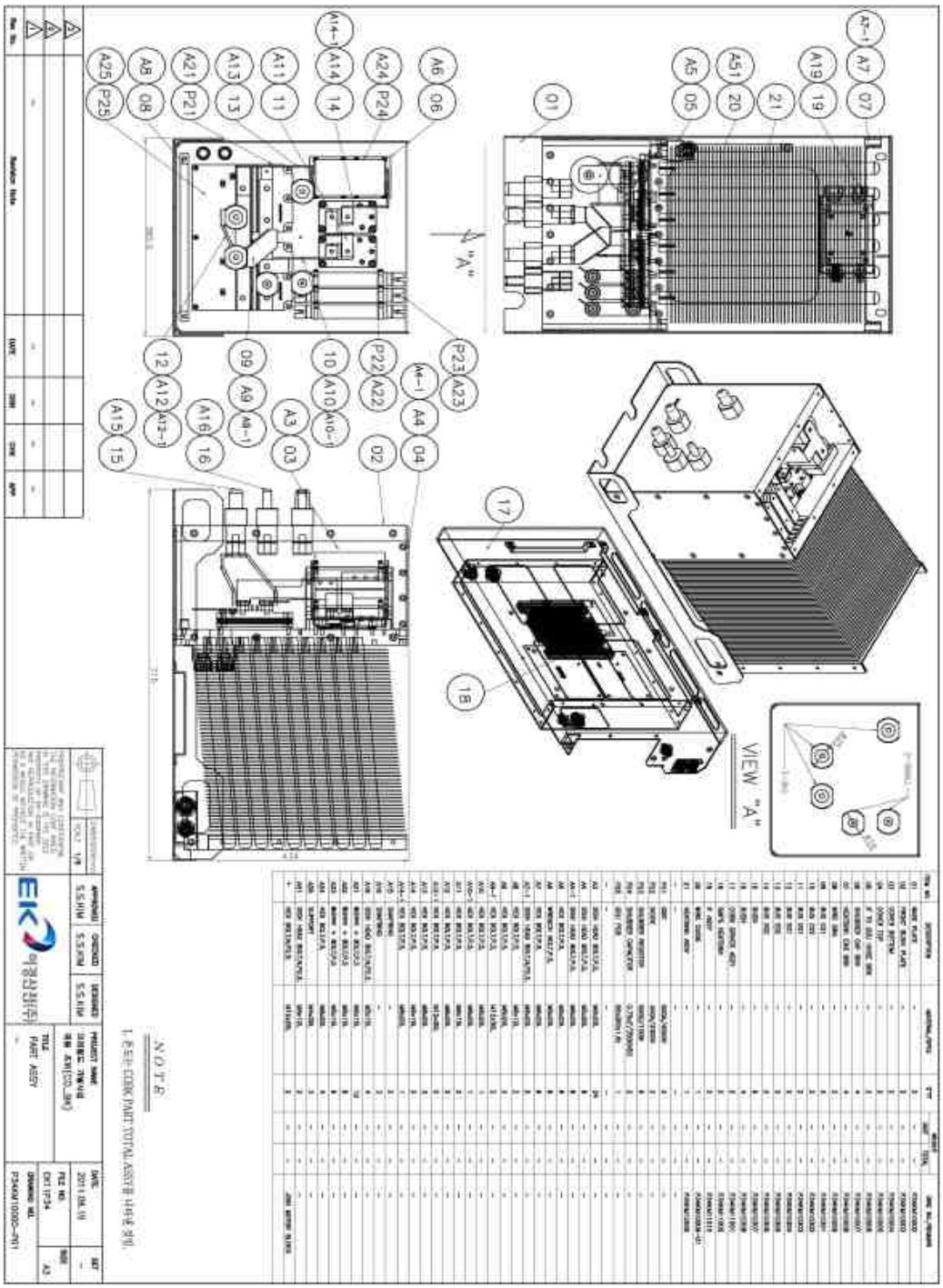


그림 120. IGBT Type 제동초퍼 스택 주요소자 배치도

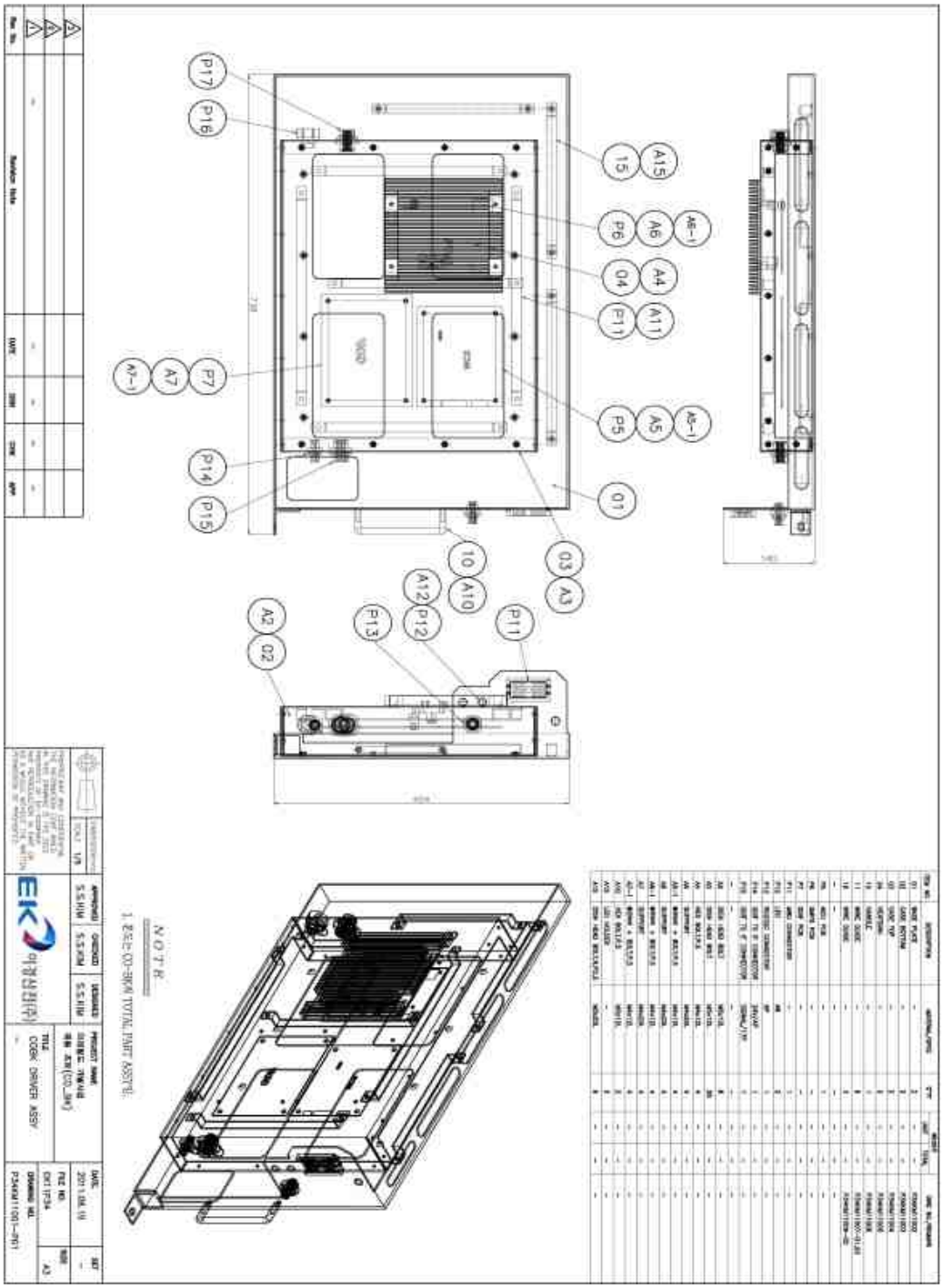


그림 121. IGBT Type 제동초퍼 GDCU 주요소자 배치도

(3) 회로도

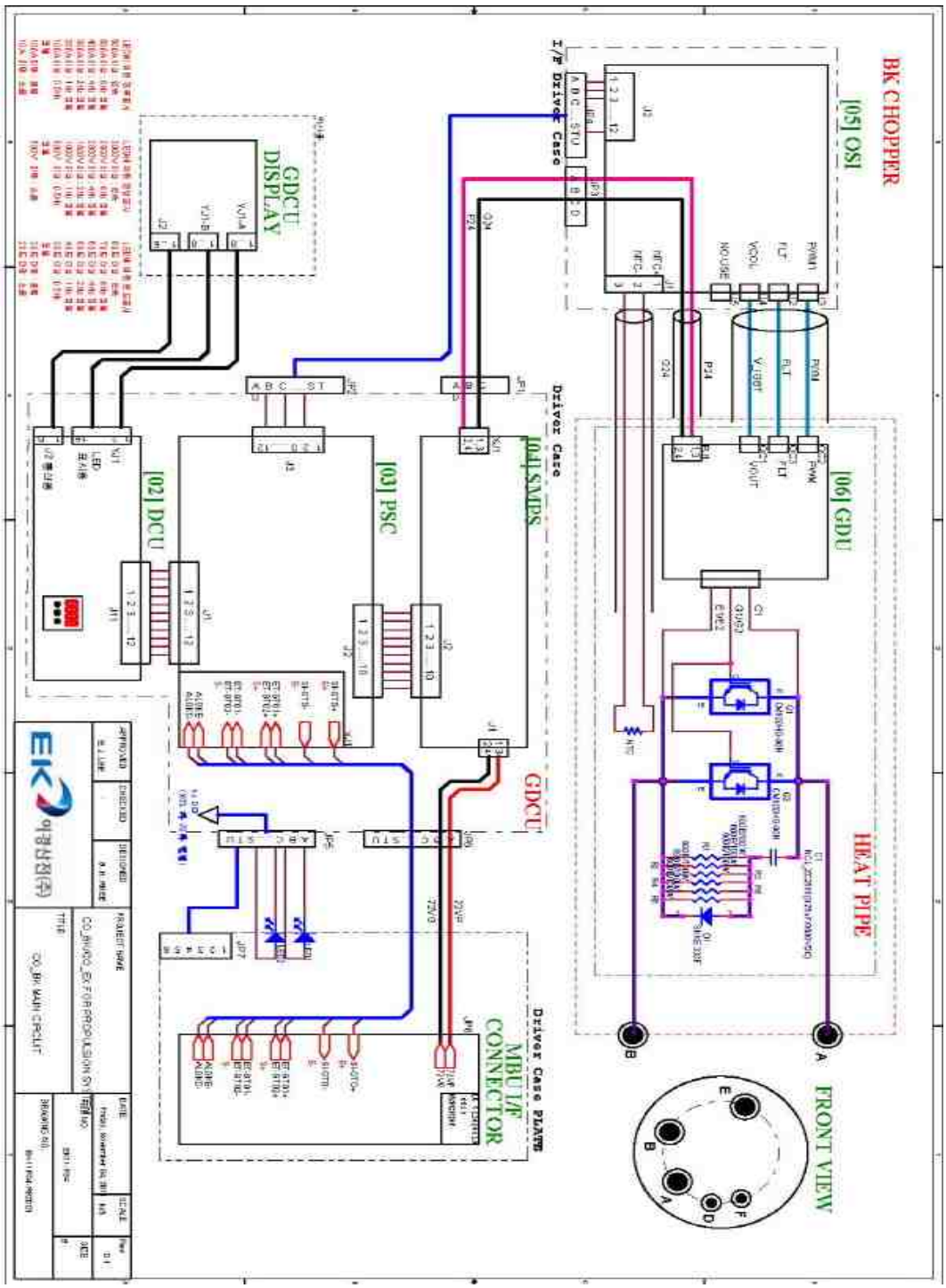


그림 122. IGBT Type 제동초퍼 회로도

5) 단품시험

가) 개요

IGBT Type 제동초퍼 장치의 단품시험은 CO-BK단품시험절차서 (WBS No. : K611-1114344-P4200-EK+t-006-KMB-N001)에 따라 실시한다,

나) 시험내용

(1) 시험항목

구분	시험항목	측정위치	비 고
검사	외관 검사	CO-BK 외함	
	치수 검사	CO-BK외함	
시험	HV회로 절연측정 시험	고압회로 - 프레임 간	
	LV회로 절연측정 시험	저압회로 - 프레임 간	
	HV회로 내전압 시험	고압회로 - 프레임 간	
	LV회로 내전압 시험	저압회로 - 프레임 간	
	IGBT 게이트 동작시험	GDU 펄스 입력부	
	진동시험	CO-BK	
	환경시험	CO-BK	

(2) 시험방법 및 평가기준

㈎ 외관검사

차량의 진동이나 외부요인 등으로부터 변형 또는 물리적 결함 없이 소정의 성능을 발휘할 수 있는지의 여부를 확인한다. 특히 장치의 커버는 가장자리에 먼지, 습기 등의 흡입을 방지할 수 있는 구조로 되어 있는가를 확인한다.

㈏ 치수검사

장치의 치수가 도면과 일치하는지 검사 확인한다.

㈐ HV회로 절연측정시험

DC 1000[V] 절연저항계로 고압 회로부와 프레임접지의 절연저항을 측정하여 절연 저항 값이 30㏁이상이면 합격이고, 미만이면 불합격이다.

㈑ LV회로 절연측정시험

DC 1000[V] 절연저항계로 저압 회로부와 프레임접지의 절연저항을 측정하여 절연 저항 값이 30㏁이상이면 합격이고, 미만이면 불합격이다.

㈐ HV회로 내전압 시험

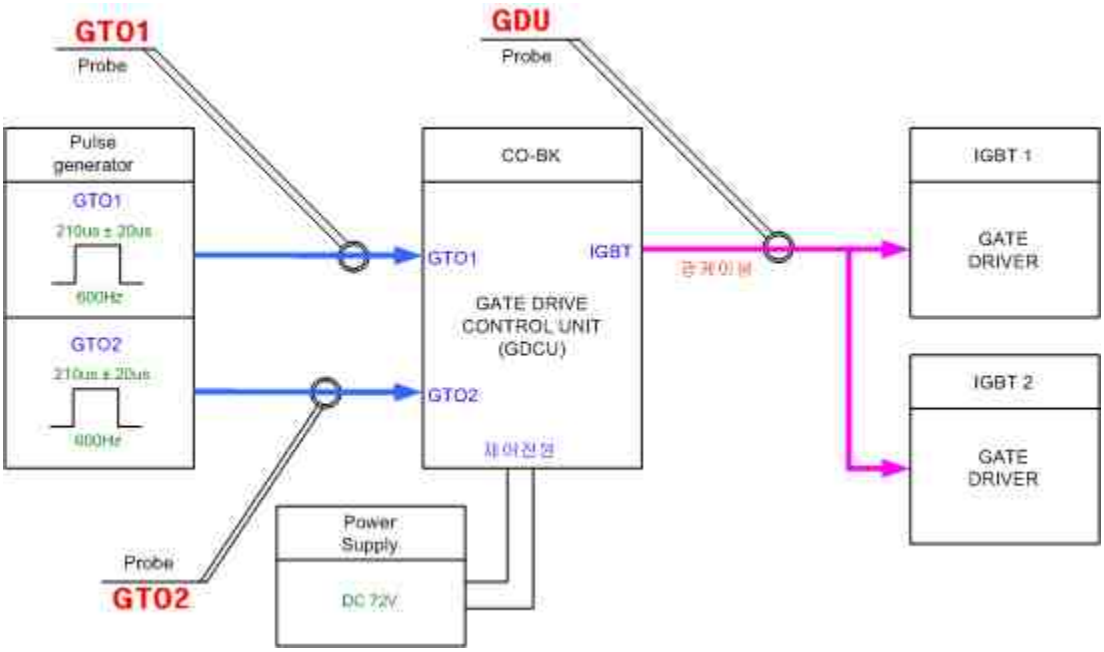
시험 중 LV회로(차폐(screening)포함)를 접지시킨다. 시험은 HV회로와 접지사이에서 실시하며 RMS전압 6600V ± 100V, 50Hz 또는 60Hz의 AC전압을 고압회로부와 프레임접지에 1분 동안 인가하여 이상이 없어야 한다.

㈑ LV회로 내전압 시험

시험 중 HV회로(차폐(screening)포함)를 접지시킨다. 시험은 LV회로와 접지사이에서 실시하며 RMS전압 1500V0Hz 또는 60Hz의 AC전압을 저압회로부와 프레임접지에 1분 동안 인가하여 이상이 없어야 한다.

㈒ IGBT게이트 동작시험

① 시험구성도

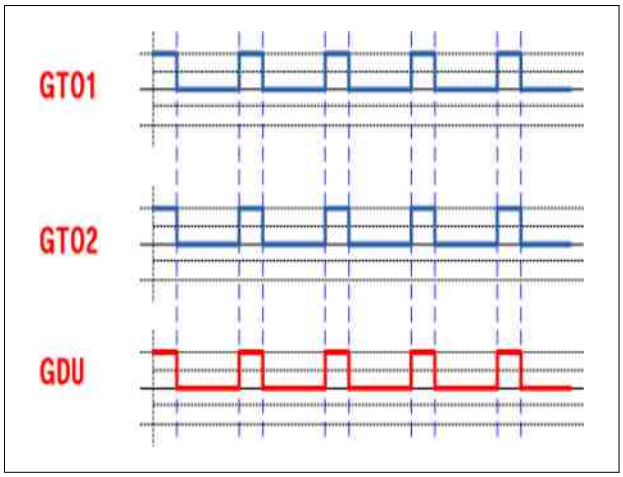


위 그림과 같이 제동초퍼 GDCU(Gate Drive Control Unit)커넥터에 펄스발생기(Pulse generator) 및 제어전원공급용 Power Supply를 연결하고, 장치를 기동하여 출력되는 IGBT 게이트 신호를 오실로스코프(Oscilloscope)를 사용하여 측정한다.

② 시험기준

IGBT게이트 동작시험의 기준파형은 아래와 같다.

표 17. IGBT게이트 동작시험 기준파형



㈋ 진동시험

진동시험은 KS R 9144(제2종 B종)에 의거하여 공인된 기관에서 시험하여야 하며, 시험 직후 육안 검사를 하여 제품에 이상이 없어야 한다.

㈌ 환경시험

환경시험은 진동시험 이후에 실시하여야 하며, KS R 9156(제2종 B종)에 의거하여 공인된 기관에서 저온시험, 고온시험, 고온고습시험, 온도 사이클 시험을 진행하여야 하며, 시험 직후 IGBT게이트 동작시험으로 기능을 확인하여 이상이 없어야 한다.

다) 단품시험 성적서

단 품 시 험 성 적 서

□ 개 요

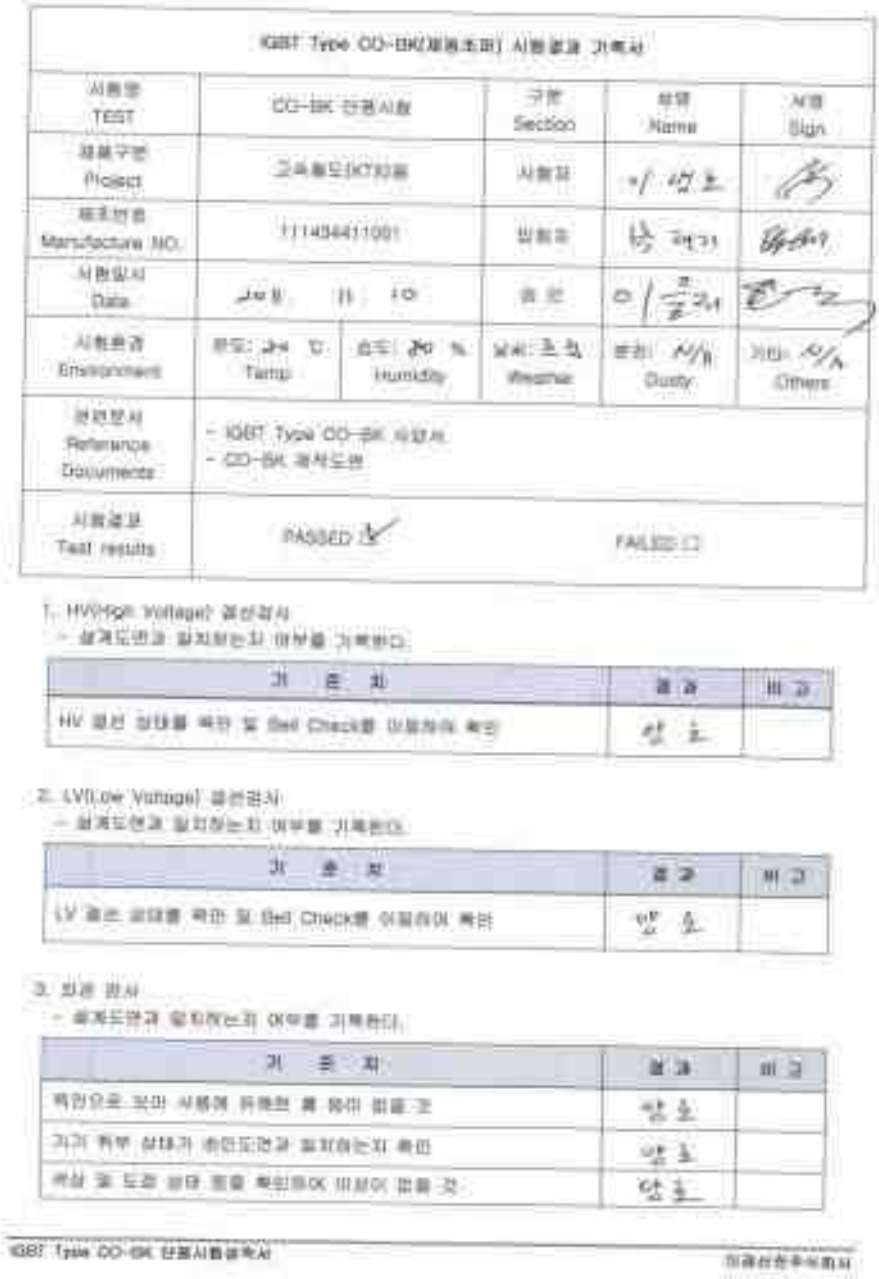
번호	품 명	규 격	수 량
111434411001	제동초퍼장치	IGBT Type CO-BK(제동초퍼)	1 SET

□ 시험 일자 : 2011년 11월 10일

□ 시 험 자 : 전력개발팀 이병호

이 경 산 전 (주)

그림 123. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 01



IGBT Type CO-BK 단품시험 시험결과 기록서

시험명 TEST	CO-BK 단품시험		구분 Section	성명 Name	서명 Sign
제품구분 Project	고속철도IGBT제품		시험자	이 상 호	
제조번호 Manufacture NO.	11143441001		입회자	박 태 기	
시험일시 Date	2018 11 10		검 인	이 / 홍 재	
시험환경 Environment	온도: 24 ℃ Temp	습도: 30 % Humidity	날씨: 흐림 Weather	분진: N/A Dusty	기타: N/A Others
관련문서 Reference Documents	- IGBT Type CO-BK 시방서 - CO-BK 제작도면				
시험결과 Test results	PASSED ☑		FAILED ☐		

1. HV(High Voltage) 절연검사
- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

검 증 차	결 과	비 고
HV 절연 상태를 육안 및 Bell Check를 이용하여 확인	양 호	

2. LV(Low Voltage) 절연검사
- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

검 증 차	결 과	비 고
LV 절연 상태를 육안 및 Bell Check를 이용하여 확인	양 호	

3. 외관 검사
- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

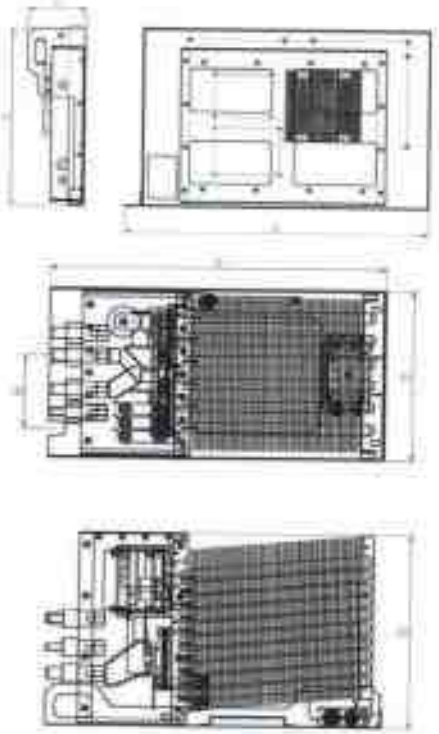
검 증 차	결 과	비 고
육안으로 보아 사용에 위해적 흠 등이 없을 것	양 호	
각각 취부 상태가 승인도면과 일치하는지 확인	양 호	
외상 및 도장 상태 등을 확인하여 이상이 없을 것	양 호	

IGBT Type CO-BK 단품시험성적서

그림 124. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 02

4. 치수 검사

- 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.



항 목	기준치(mm)	측정치(mm)	결 과	비 고
A	715 ±1.0	715	양 호	
B	164 ±1.0	164	양 호	
C	380 ±1.0	380	양 호	
D	434 ±1.0	434	양호	
E	140 ±1.0	140	양호	
F	451 ±1.0	451	양호	
G	738 ±1.0	738	양호	

그림 125. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 03



5.

항 목	기준치	측정치	결 과
고압회로	1000V MEGGER 30MΩ 이상	1000 MΩ	양호
저압회로	1000V MEGGER 30MΩ 이상	200 MΩ	양호

6.

항 목	기준치	측정치	결 과
고압회로	AC6600V 1분간 견딜	견 딜	양호
저압회로	AC1500V 1분간 견딜	견 딜	양호

7.

항 목	기준파형	결 과
IGBT게이트 동작시험	GTD1 GTD2 GD0	양호

IGBT Type CO-BK 단품시험성적서

이경산전주식회사

그림 126. IGBT Type CO-BK 공장시험성적서 04

시 험 성 적 서

KOREA LABORATORY ACCREDITATION SCHEME KOLAS TESTING NO. 122

발 행 번 호	:	SGS-R12-1001
의 뢰 기 관	:	(사)한국철도차량엔지니어링
의 뢰 자	:	(사)한국철도차량엔지니어링
회 사 주 소	:	경기도 수원시 장안구 천천동 558-3 번지
제 품 명	:	모터블록
모 델 명	:	CO-BK
환 경 조 건	:	(25 ± 5) ℃, (40 ± 15) % R.H.
시 험 일 자	:	2012년 10월 18일 ~ 2012년 10월 31일
시험규격/방법	:	KS R 9156: 2002 / 2종 B종 (철도 차량용 전자기기의 시험 통칙) KS R 9144: 1992 / 2종 B종 (철도 차량 부품의 진동 시험 방법)
시 험 결 과	:	성적서 참조
측정 불확도	:	N/A
용 도	:	품질 평가용

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

확 인	시험자 성 명 : 장 동 열 (서명)	승인자 직 위 : 기술책임자 성 명 : 김 동 균 (서명)

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

2012. 11. 5

한국인정기구 인정 한국에스지에스(주) 기흥시험소 (인)

This document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at www.sgs.com/terms_and_conditions.htm. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested and such sample(s) are retained for 60 days only.

SGS Korea Co.,Ltd. | 396-1, Gomae-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea t +82 (0)31 240 6600 f +82 (0)31 240 6629 www.kr.sgs.com
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

시험 결과 요약

모터블록 / CO-BK	
시험 항목	시험 결과
습도 시험	이상없음
온도 사이클 시험	이상없음
저온 동작 시험	이상없음
고온 동작 시험	이상없음
공진 및 진동 기능시험	이상없음
진동 내구 시험	이상없음

SGS Korea Co.,Ltd. 338-1, Gosaek-dong, Gwonseon-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea t +82 (0)31 240 0800 f +82 (0)31 240 0829 www.kr.sgs.com www.issec21.com
Member of SGS Group (Société Générale de Surveillance)

라) 관련사진

관 련 사 진



외관 검사



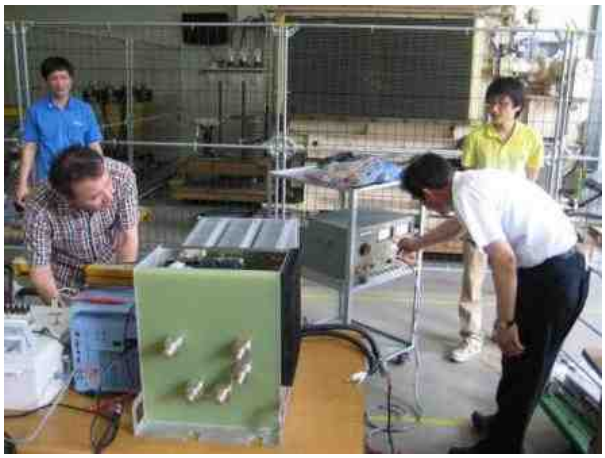
치수 검사



HV/LV 결선 검사



절연측정 시험



내전압 시험



Gate 동작시험

사. 기타장치(센서, LEACH 계전기, MORS 계전기, 과전압 & 전류 보호 계전기)

1) 센서의 종류 및 기능 설명

번호	적용기기명	규격	수량	검출대상	비고
1	CS-TT-01 CS-EX-01	LT-1005T	2	전류	. CV-TT-01 및 CO-EX-01의 출력전류값 모니터링
2	T-MO-01~06	TGLS 300 156 1400V/200HZ	1	전압	. 모터 1~6의 전압값 모니터링
3	T-IR-CU-01~06 T-DN-PFC-01,02	TRK 860 3176 500A/0.5A	8	전류	. 인버터 출력 전류값 모니터링 (선간전류) . CV-PFC의 입력 전류값 모니터링
4	VS-EX-01,02 VS-EX-03,04	TRK 760 840 500V	1	전압	. CO-EX의 출력전압 모니터링
5	VS-IR-TT-01-03, VS-IR-TT-02-04, VS-MT-01-02, VS-SW-02-04, VS-PFC-01-03, VS-PFC-02-04)	TRK 760 6243 3000V	6	전압	. IR-TT의 출력전압값 모니터링 . 변압기 2차측 전압값 모니터링 . 스위칭 전압값 모니터링 . CV-PFC의 출력전압값 모니터링

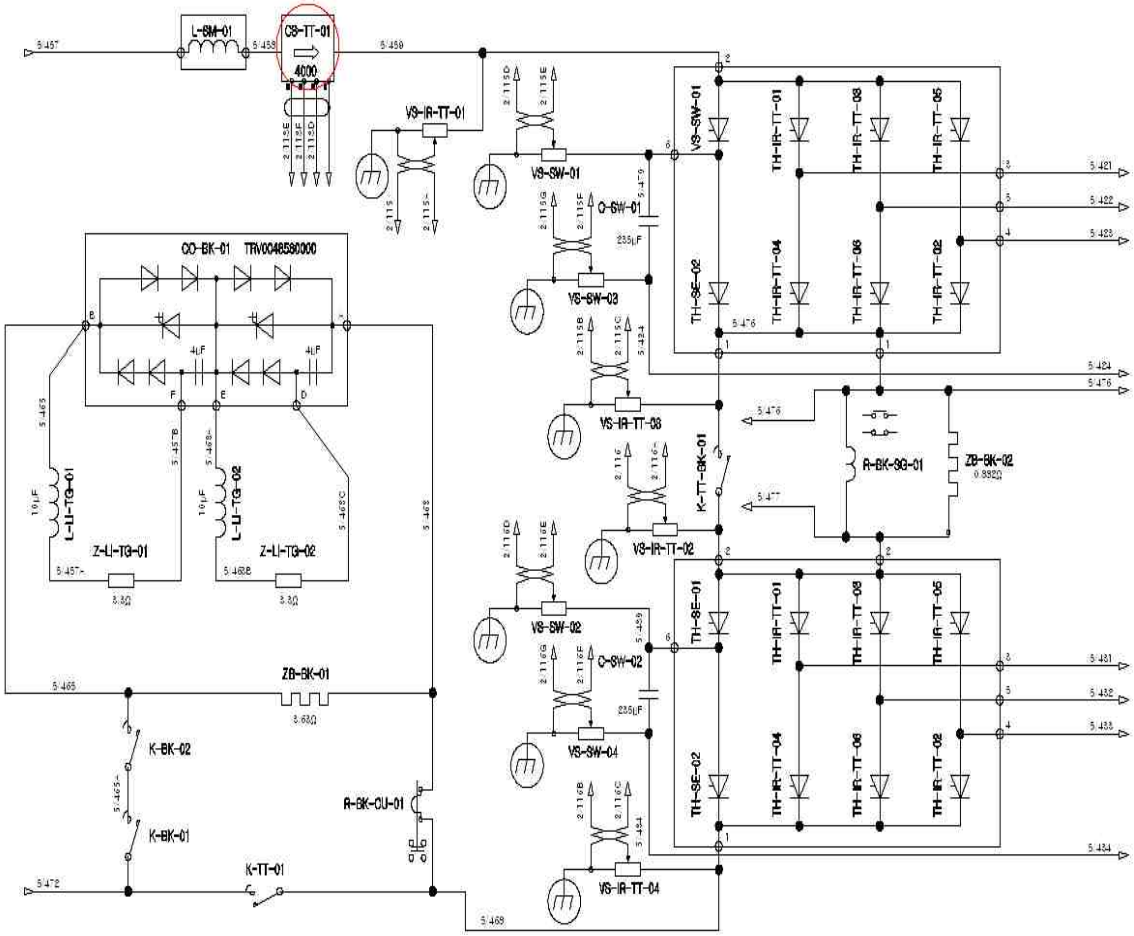
가) 전류센서 LT-1005T (CS-TT-01,CS-EX-01))

LEM사 제품으로 CV-TT-01, CS-EX-01의 DC출력 전류 값을 모니터링 하기위해 사용되었다. 전류 검출을 위해 별도의 전원이 필요한 센서이며 내부에는 OP AMP등 전자회로가 내장되어 대치품 및 개발품의 제작 시에는 기존 장치와의 호환이 원활하지 않아서 원품을 그대로 사용하기로 하였다.

(1) 주요사양

	구 분	규 격
1	형 식	전류형
2	전원 전압	15V 또는 24V
3	변환비	1:5000
4	출력 전류	200mA
5	절연정격	12KV
6	주위온도	-35~85℃

(2) 관련도면


L-BM-01
CB-TT-01
4000
VS-IR-TT-01
VS-SW-01
VS-SW-03
VS-IR-TT-03
VS-SW-02
VS-SW-04
VS-IR-TT-04
VS-SW-01
TH-SE-02
TH-IR-TT-01
TH-IR-TT-03
TH-IR-TT-05
TH-IR-TT-04
TH-IR-TT-06
TH-IR-TT-02
TH-SE-01
C-SW-01
C-SW-02
235μF
CC-BK-01
TRV00486580000
4μF
L-LI-TG-01
L-LI-TG-02
Z-LI-TG-01
Z-LI-TG-02
10μF
3.8Ω
ZB-BK-01
8.68Ω
K-BK-02
K-BK-01
K-TT-01
K-TT-BK-01
R-BK-CU-01
R-BK-SG-01
ZB-BK-02
0.882Ω
5.457
5.458
5.459
5.465
5.466
5.467
5.468
5.469
5.472
5.476
5.477
5.481
5.482
5.483
5.484

(3) 카달로그

LEM

Current Transducer LT 1005-T

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

0626

I_{PN} = 1000 A



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms				1000			A
I_{PM}	Primary current, measuring range				0 .. ± 2000			A
R_M	Measuring resistance @		T_A = 70°C		T_A = 85°C			
			$R_{M\,min}$	$R_{M\,max}$	$R_{M\,min}$	$R_{M\,max}$		
	with ± 15 V	@ ± 1000 A_{max}	0	22.5	0	18.5		Ω
		@ ± 1200 A_{max}	0	11	0	8		Ω
	with ± 24 V	@ ± 1000 A_{max}	0	65	0	62		Ω
		@ ± 2000 A_{max}	0	10	0	7		Ω
I_{SN}	Secondary nominal current rms				200			mA
K_N	Conversion ratio				1 : 5000			
V_C	Supply voltage (± 5 %)				± 15 .. 24			V
I_C	Current consumption				30 (@ ± 24V) + I_S			mA

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall accuracy @ I_{PN}, T_A = 25°C		± 0.4		%
ε_L	Linearity error		< 0.1		%
			Typ	Max	
I_O	Offset current @ I_P = 0, T_A = 25°C			± 0.4	mA
I_{OM}	Magnetic offset current @ I_P = 0, and specified R_M, after an overload of 3 x I_{PN}			± 0.2	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O	- 10°C .. + 85°C	± 0.3	± 0.5	mA
t_r	Response time[1] to 90 % of I_{PN} step		< 1		µs
di/dt	di/dt accurately followed		> 50		A/µs
BW	Frequency bandwidth (- 1 dB)		DC .. 150		kHz

General data

T_A	Ambient operating temperature		- 10 .. + 85	°C
T_S	Ambient storage temperature		- 25 .. + 100	°C
R_S	Secondary coil resistance @	T_A = 70°C	43	Ω
		T_A = 85°C	46	Ω
m	Mass		1.27	kg
	Standards		EN 50178: 1997	

Note: [1] With a di/dt of 100 A/µs.

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

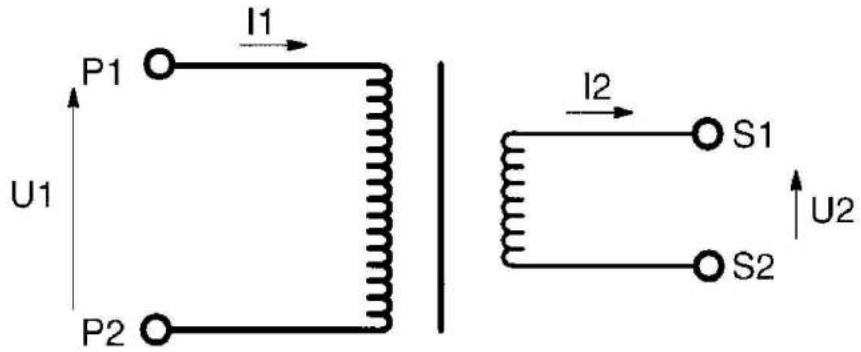
- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Application Domain

- Industrial.

나) 전압센서 T-MO (T-MO-01~06)

알스톰사 제품으로 모터출력 1~6의 전압 값을 모니터링하며 제어장치의 제어 값에 이용된다. 에폭시 몰드 내부에 트랜스포머가 내장된 형태이며 1차측의 높은 전압을 낮은 2차 전압으로 변환하여 제어기에 공급된다. 1차측과 2차측의 변환 비율 및 특성을 파악하여 동일한 특성으로 국산화 개발이 가능하다.



(1) 주요사양

1	형 식	전압형
2	입출력변환비	1400V / 70V
3	정격전력	0.25VA
4	1-2차간 절연 정격	12KV

(2) 전압 및 주파수별 무부하 전류 분석

전압 / 주파수	100V	150V	200V	250V	300V	400V	500V
50Hz							9mA
40Hz						10mA	
30Hz					10mA		
20Hz			10mA	13mA			
10Hz	10mA						

(3) 직류 저항(DCR)

NO	구 분	실측치	허용 오차(규격)
1	1차(PRI)	2520 [Ω]	≤6300 [Ω]
2	2차(SEC)	6.90 [Ω]	≤ 26 [Ω]

(4) 제작 사양

코아(CORE) : 0.3T Z8H CUT-CORE, 치수:115X63X H25mm

COIL 선경 : (PRI) 0.08∅, (SEC) 0.25∅.

다) 전류센서 CT (T-IR-CU-01~06, T-DN-PFC-01,02)

알스톰사 제품으로 모터출력 1~6의 전류 값 및 PFC 입력 전류 값을 모니터링하며 제어장치의 제어 값에 이용된다. 에폭시 몰드 내부에 센싱코일이 내장되어 전선의 변화하는 자기장에 의해 유도된 전압 값을 읽어 전류의 양을 센싱한다. 센싱코일의 변환 비율 및 특성을 파악하여 동일한 특성으로 국산화 개발이 가능하다.

(1) 주요사양

	구 분	규 격
1	형 식	전류형
3	변환비	1:1000
4	정격전력	30VA
5	절연정격	10KV
6	주위온도	-35~85℃

(2) DCR 측정.

S1-S2 : 6.0 [Ω] at 25℃.

T1-T2 : NON CONNECTED

(3) INDUCTANCE

S1-S2 : 2.2H

(4) 특성 CHECK.

입력 전류(A)	출력 전류(A)	용량(VA)	권선비율(입력:출력)
250	0.25	30	1000 : 1
500	0.5	30	1000 : 1
1000	1	30	1000 : 1

(5) CORE 분석.

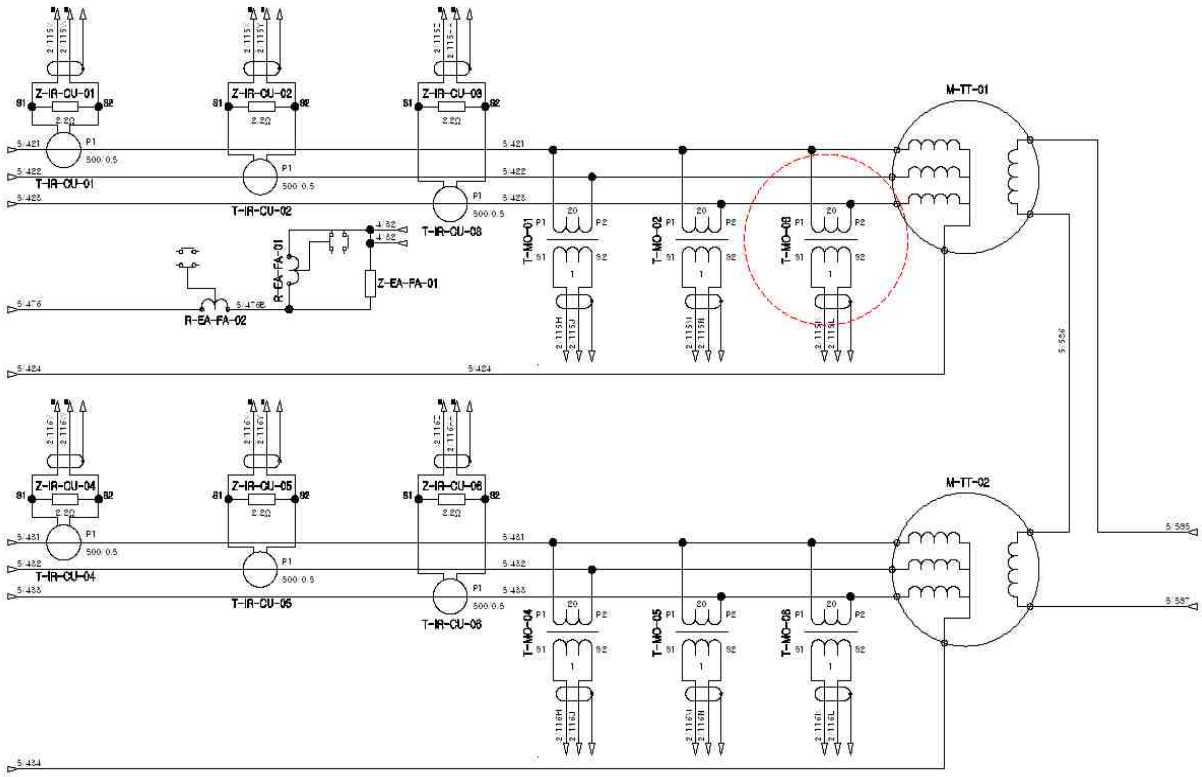
재질 : 0.3T, Z-8H　　치수 : 114 X 78 X H30mm

(6) COIL의 선종 및 굵기

1PEW 0.70∅

(7) TURNS : 1000T

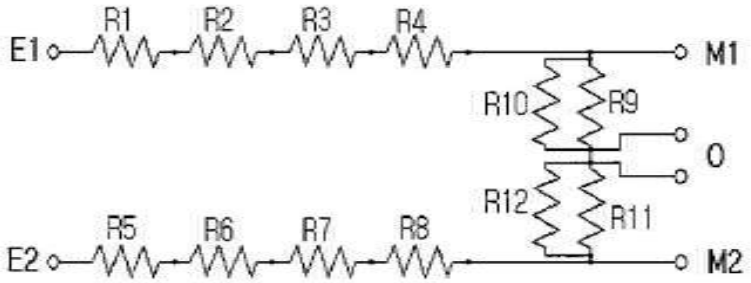
(8) 관련도면



라) 전압센서 (VS-EX-01,02 VS-EX-03,04)

알스톰사 제품으로 CO-EX의 출력 전압 값을 모니터링하며 제어장치의 제어 값에 이용된다. 직/병렬 저항을 이용한 전압 분배 방식으로 출력단의 전압을 조절하며 에폭시 몰딩으로 단단히 고정되어 있는 형태이다. 특성 파악 후 국산화 개발이 가능하며 동일한 형식의 센서를 보조블록 개발 시 제작한 실적이 있다.

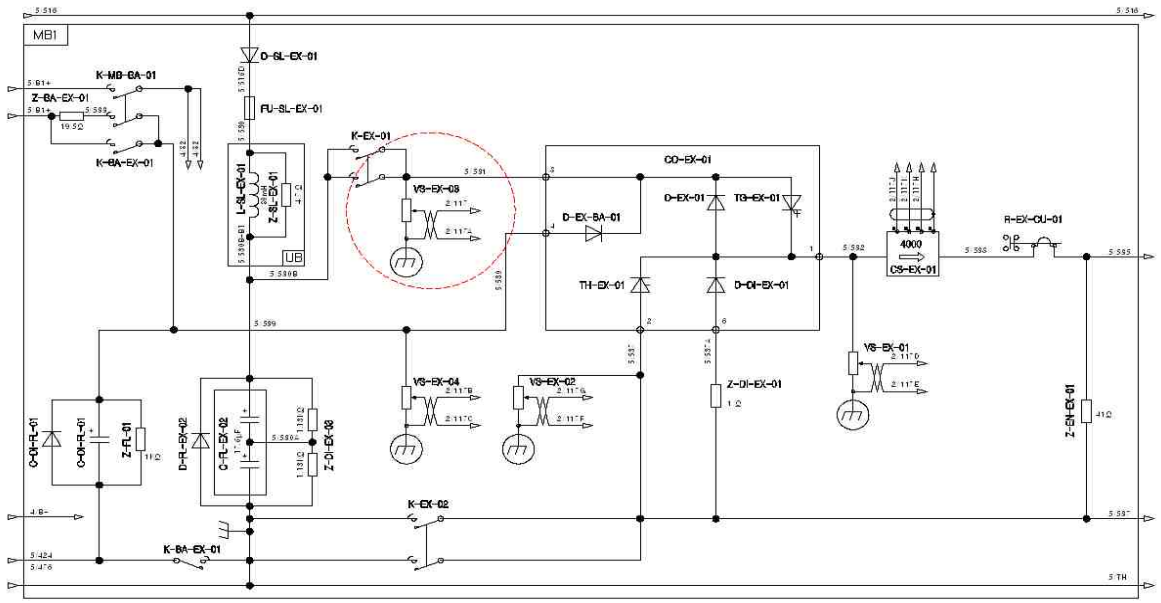
(1) 회로구성



(2) 주요사양

	구 분	규 격
1	형 식	전압형
2	입력 정격	500V
3	정격 전류	5mA
4	절연 정격	5400V

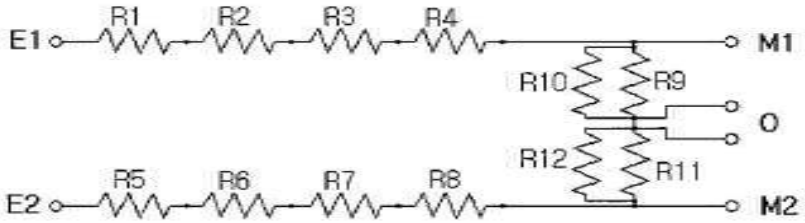
(3) 관련도면



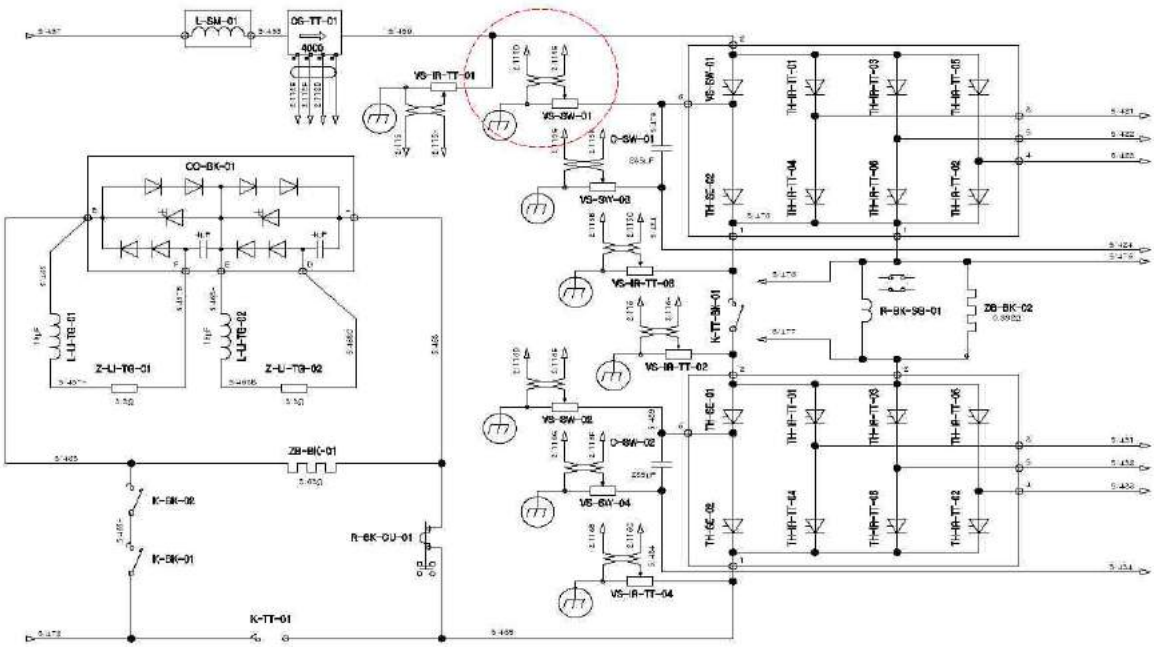
마) 전압센서(VS-IR-TT-01,03:02,04 VS-MT-01-02:02,04 VS-SW-02-04 VS-PFC-01-03:02,04)

직/병렬 저항을 이용한 전압 분배 방식으로 출력단의 전압을 조절하며 에폭시 몰딩으로 단단히 고정되어 있는 형태이다.

(1) 회로구성



(2) 관련도면



바) 센서 검토 결과

회로 및 센서의 특성을 파악한 결과 다음과 같이 전원 전압을 별도로 필요로 하는 센서를 제외 하고는 나머지 센서들에 대해서 국산화 개발이 가능하다고 판단되어 이를 적용키로 하였다.

번호	적용기기명	규격	수량	검출대상	비 고
1	CS-TT-01 CS-EX-01	LT-1005T	2	전류	. 기존품과 동일제품 사용
2	T-MO-01~06	TGLS 300 156 1400V/200HZ	1	전압	. 개발품 적용
3	T-IR-CU-01~06 T-DN-PFC-01,02	TRK 860 3176 500A/0.5A	8	전류	. 개발품 적용
4	VS-EX-01,02 VS-EX-03,04	TRK 760 840 500V	1	전압	. 개발품 적용
5	VS-IR-TT-01-03, VS-IR-TT-02-04, VS-MT-01-02, VS-SW-02-04, VS-PFC-01-03, VS-PFC-02-04)	TRK 760 6243 3000V	6	전압	. 개발품 적용

2) LEACH 계전기 검토

현재 운영 중인 KTX 추진제어장치 조립체와 경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업에 의해 개발 진행 중인 국산화 추진제어장치 조립체의 계전기 검토서이며, 장치 및 신뢰성 시험 사양 등 LEACH사 와 STPI 사의 계전기 모델과 그 외 다른 회사의 계전기 모델을 비교하여 추진제어장치 조립체가 현차에 적용이 가능한지에 대하여 검토한다.

가) 계전기 비교 자료

(1) 모터블록용 계전기

번호	형 식	적 용	수량	코 일 전 압	보조접점 구성	보조접점 용량	기 능
1	H 400-72-WZY (F470S1)	R-SI-DIS-01, RR-AUX-DT-01	2	DC 72V	2C 1A	1A	
2	H 400-72-WZX (F470S1)	R-SP-MB-03, RD-FL-VT-01, RD-MB-BA-01, RD-DT-CD-01	4	DC 72V	4C	1A	
3	H 400-72-WUU (SF400-1F)	R-TT-BK-02, R-SP-MB-02, R-PFC-FA-01, R-BP-DP-01, R-MB-OK-01	5	DC 72V	4C	1A	
4	H 400-72-WVU (SF400-1F)	R-OP-PFC-01, RP-SW-MB-02, R-SL-FA-01, R-CS-PFC-01, R-CN-TT-01, R-BP-DP-02, R-BK-FA-01	7	DC 72V	4C	1A	
5	H 400+72-WWU (SF400-1F)	R-SW-MB-01	1	DC 72V	4C	1A	
6	THLOR-72-ZWY (SF402-1F)	DE-SW-MB-01, DE-EM-CO-01	2	DC 72V	1B	10mA to 250mA	
7	THLAO-72-YWY (SF402-1F)	DE-SW-MB-02, DE-MB-BA-01, DE-FL-VT-01	3	DC 72V	1B	10mA to 250mA	

(2) 철도차량용 계전기

번호	형 식	코 일 전 압	보조접점 구성	보조접점 용량	제작사
1	KH-103형 (힌지형 전자 계전기)	DC 24V	4C	3A	Koino
2	IRA	DC 20V	1C	0.5A	ILOSAM
3	IRJ	DC 30V	1C	3A	ILOSAM
4	Frl-236	DC 50V	3C	0.7A	Fujitsu
5	G2R-24	DC 30V	2C	5A	OMRON
6	GB	DC 28V	2C	10A	KOE
7	JS-RELAYS	DC 100V	1C	5A	NAIS
8	HC LEATCHING RELAYS	DC 100V	2C	3A	PANASONIC

나) 계전기 정격 및 구성

(1) 모터블록용 계전기 정격 및 구성

㈎ H 400-72 시리즈 (WZY, WZX)



Polarized, non latching, hermetically sealed relay

Contact arrangement	**1 PDT-DB-DM + 2PDT**
Coil supply	**Direct current**

PRINCIPLE TECHNICAL CHARACTERISTICS

Contact rating (1 PDT-DB-DM)	**72 Vdc / 3 Amps**
Contact rating (2 PDT)	**72 Vdc / 1 Amp**
Weight	**< 80 grams**
Dimensions of can without hardware	**26mm x 25.7mm x 26mm max**

Balanced-force design.

Tin plated, hermetically sealed metal can.

Non-overlapping contact arrangement, see note 5 page 4.

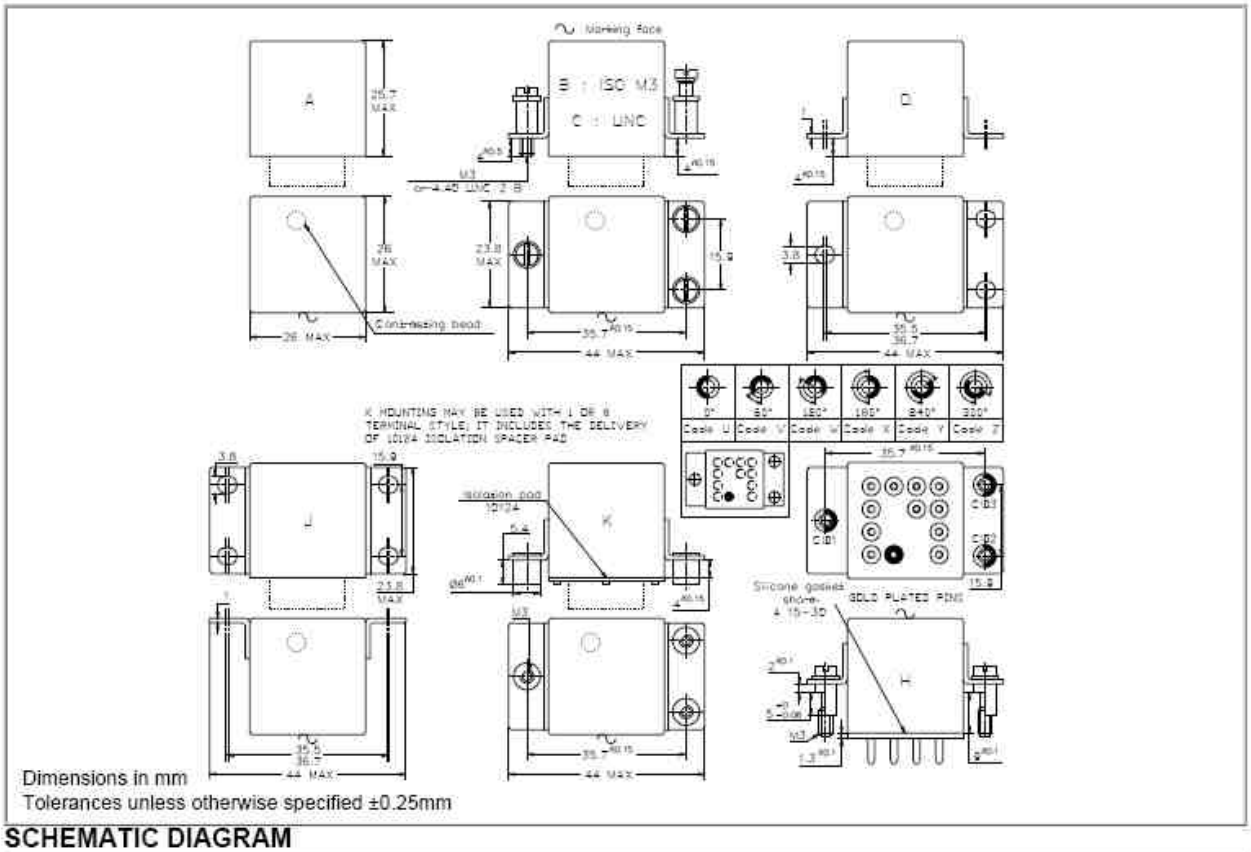
CONTACT ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Nominal contact voltage (Vdc)	Contact rating in Amps				Level	Minimum operating cycles
	Simple break		Double break			
	resistive load	inductive load (L/R=30ms)	resistive load	inductive load (L/R=30ms)		
72 V	1	0.6	3	1.2	High level	1,000,000 cycles
5 ≤ U ≤ 90 V	1 to 20mA	-	-	-		2,000,000 cycles
15 ≤ U ≤ 35 V	-	10 mA to 1.50 Amps	-	10 mA to 2.50 Amps	Low level	2,000,000 cycles
35 < U ≤ 90 V	-	10 mA to 0.50 Amps	-	10 mA to 1.00 Amps	High level	2,000,000 cycles
90 < U ≤ 140 V		10 mA to 0.35 Amps		10 mA to 0.70 Amps	High level	

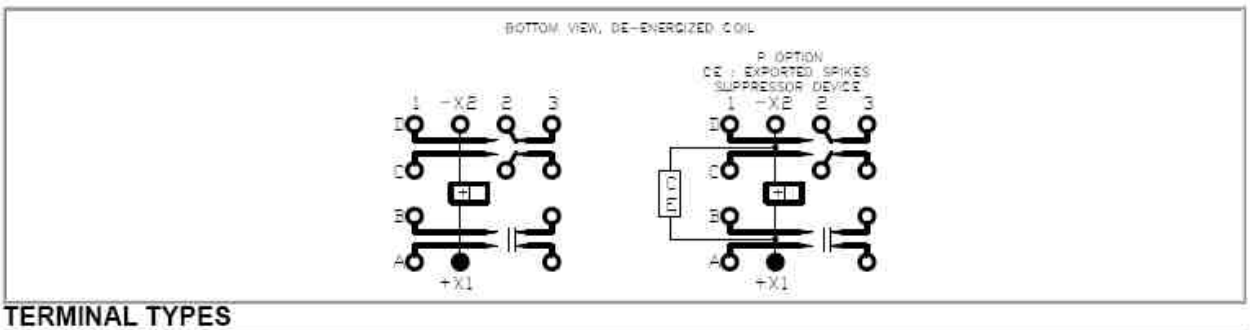
Life expectancy for DC loads other than 72Vdc: See application note n°003 and n°004

MOUNTING STYLES

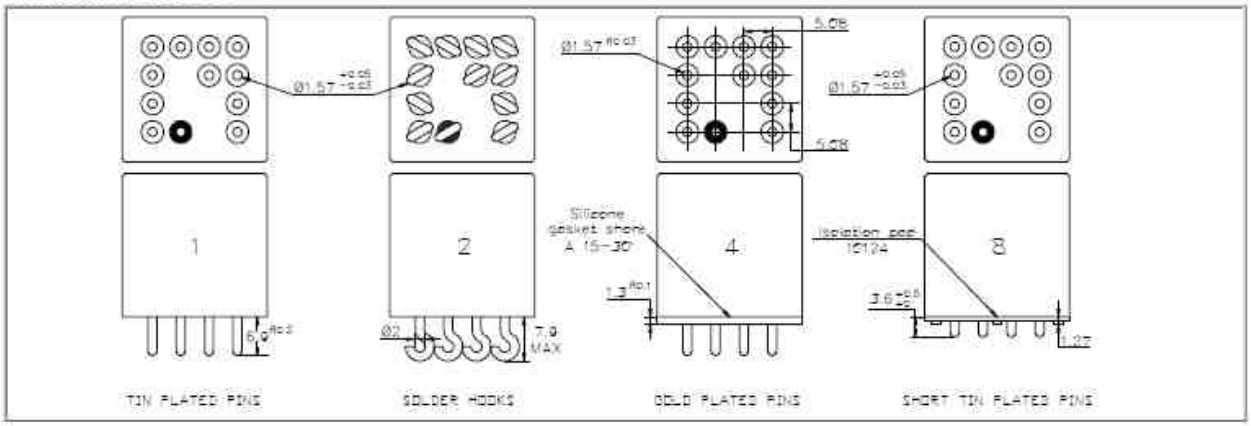
SERIES F470S1



SCHEMATIC DIAGRAM



TERMINAL TYPES



CODING CHART FOR H MOUNTING WITHOUT COIL SUPPRESSION (5)

Type of contact operation			Nominal load voltage				
pole	low level	high level	24 volts	48 volts	72 volts	110 volts	36 volts
C		X	UZX	VZX	WZX	XZX	YZX
D		X					
C	X		UZY	VZY	WZY	XZY	YZY
D		X					
C	X		UZZ	VZZ	WZZ	XZZ	YZZ
D	X						

㈏ H 400-72 시리즈 (WUU, WVU, WWU)



Polarized, non latching, hermetically sealed relay

Contact arrangement	**4 PDT**
Coil supply	**Direct current**
Meets the requiements of	**MIL-R-6106** **CEECC16101-019** **NF F 62-002-2 FP n°9**

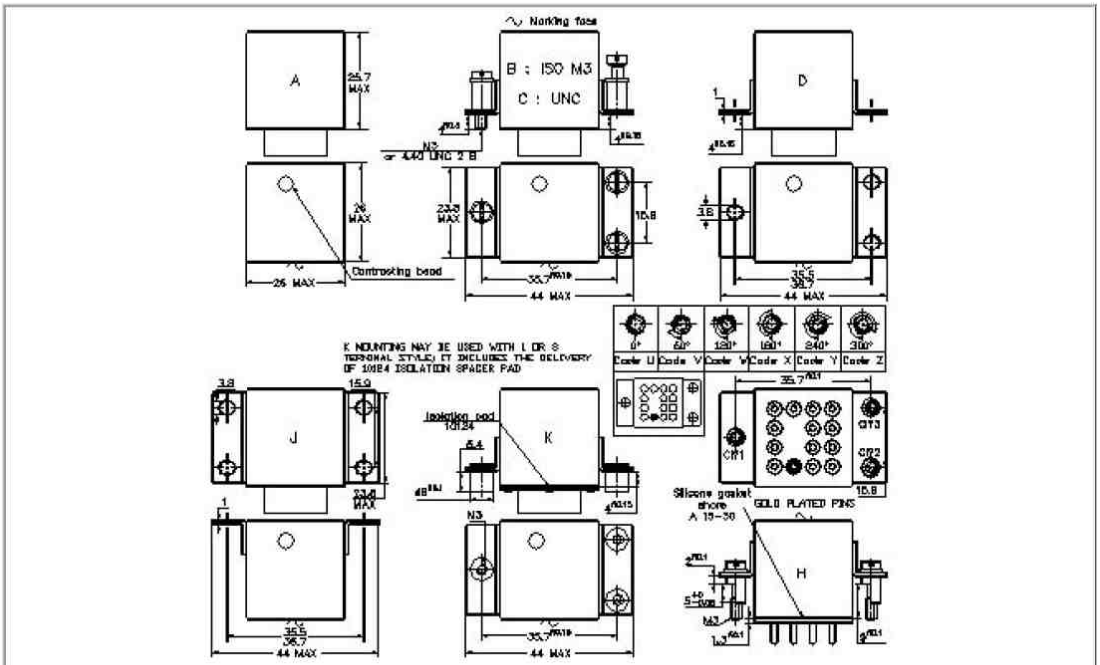
PRINCIPLE TECHNICAL CHARACTERISTICS

Contact rating	**72 Vdc / 1 Amp**
Weight	**< 80 grams**
Dimensions of can without	**26mm x 25.7mm x 26mm max**

CONTACT ELECTRICAL CHARACTERISTICS

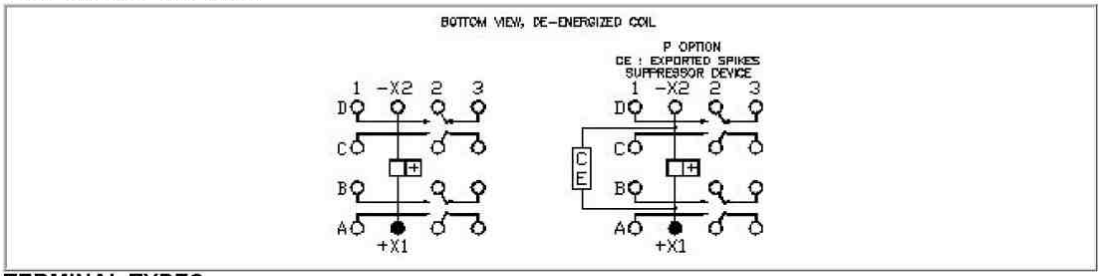
Nominal contact voltage (Vdc)	Contact rating in Amps		Level	Minimum operating cycles
	resistive load	inductive load (L/R=30ms)		
72 V	1	0.6	High level	1,000,000 cycles
5 ≤ U ≤ 90 V	1 to 20mA	-	Low level	2,000,000 cycles
15 ≤ U ≤ 35 V	-	10 mA to 1.50 Amps	High level	2,000,000 cycles
35 < U ≤ 90 V	-	10 mA to 0.50 Amps	High level	2,000,000 cycles
90 < U ≤ 140 V	-	10 mA to 0.35 Amps	High level	2,000,000 cycles

Life expectancy for DC loads other than 72Vdc: See application note n°003

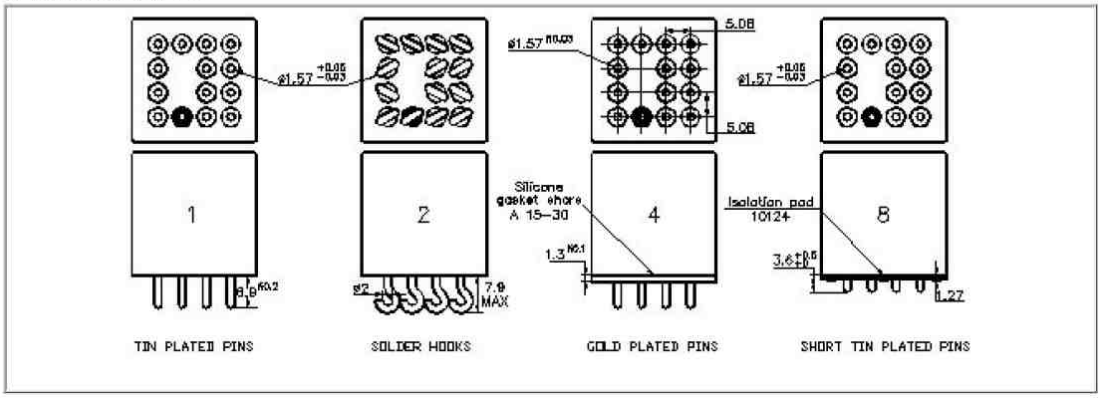


Dimensions in mm
Tolerances unless otherwise specified ±0.25mm

SCHEMATIC DIAGRAM



TERMINAL TYPES



CODING CHART FOR H MOUNTING WITHOUT COIL SUPPRESSION (5)

Type of contact operation			Nominal load voltage				
pole	low level	high level	24 volts	48 volts	72 volts	110 volts	36 volts
A		X	UUU	VUU	WUU	XUU	YUU
B		X					
C		X					
D		X					
A	X		UVU	VVU	WVU	XVU	YVU
B		X					
C		X					
D		X					
A	X		UWU	VWU	WWU	XWU	YWU
B	X						
C		X					
D		X					
A	X		UXU	VXU	WXU	XXU	YXU
B	X						
C	X						
D		X					
A	X		UYU	VYU	WYU	XYU	YYU
B	X						
C	X						
D	X						

㈐ THLOR-72-ZWY



Time delay on release in a hermetically sealed package

Time delay programmable by wiring

Output characteristics	**1 solid state output**
Supply	**Direct current**

PRINCIPLE TECHNICAL CHARACTERISTICS

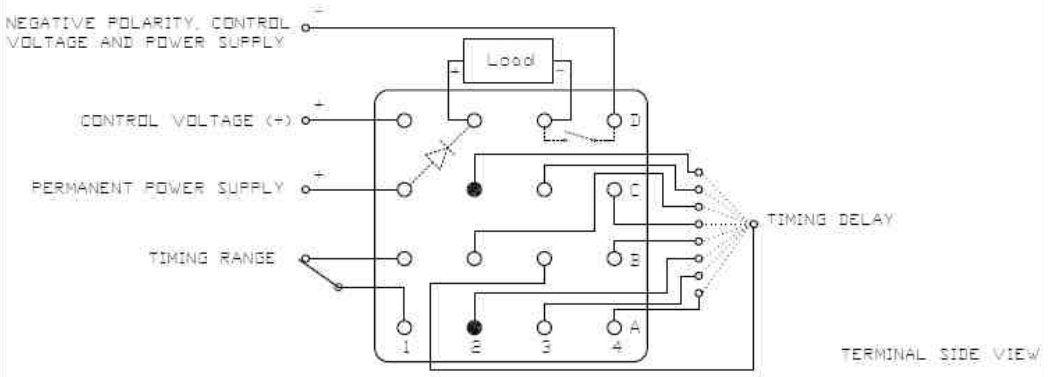
Contact rating	**0.01 to 0.25 Amp at nominal voltage**
Weight	**< 80 grams**
Dimensions of can without hardware	**26mm x 25.7mm x 26mm max**

Tin plated, hermetically sealed metal can.

GENERAL CHARACTERISTICS

Operating temperature	-25°C to +70°C
Dielectric strength at sea level	
All terminals to ground	1500 Vrms / 50 Hz
Initial insulation resistance at 500 Vdc	>1000 MΩ
Sinusoidal vibration	10 G / 10 to 2000 Hz
Shock	30 G / 11 ± 1 ms
Timing accuracy over termperature range	± 10%
Protection against reverse polarity	yes

SCHEMATIC DIAGRAM

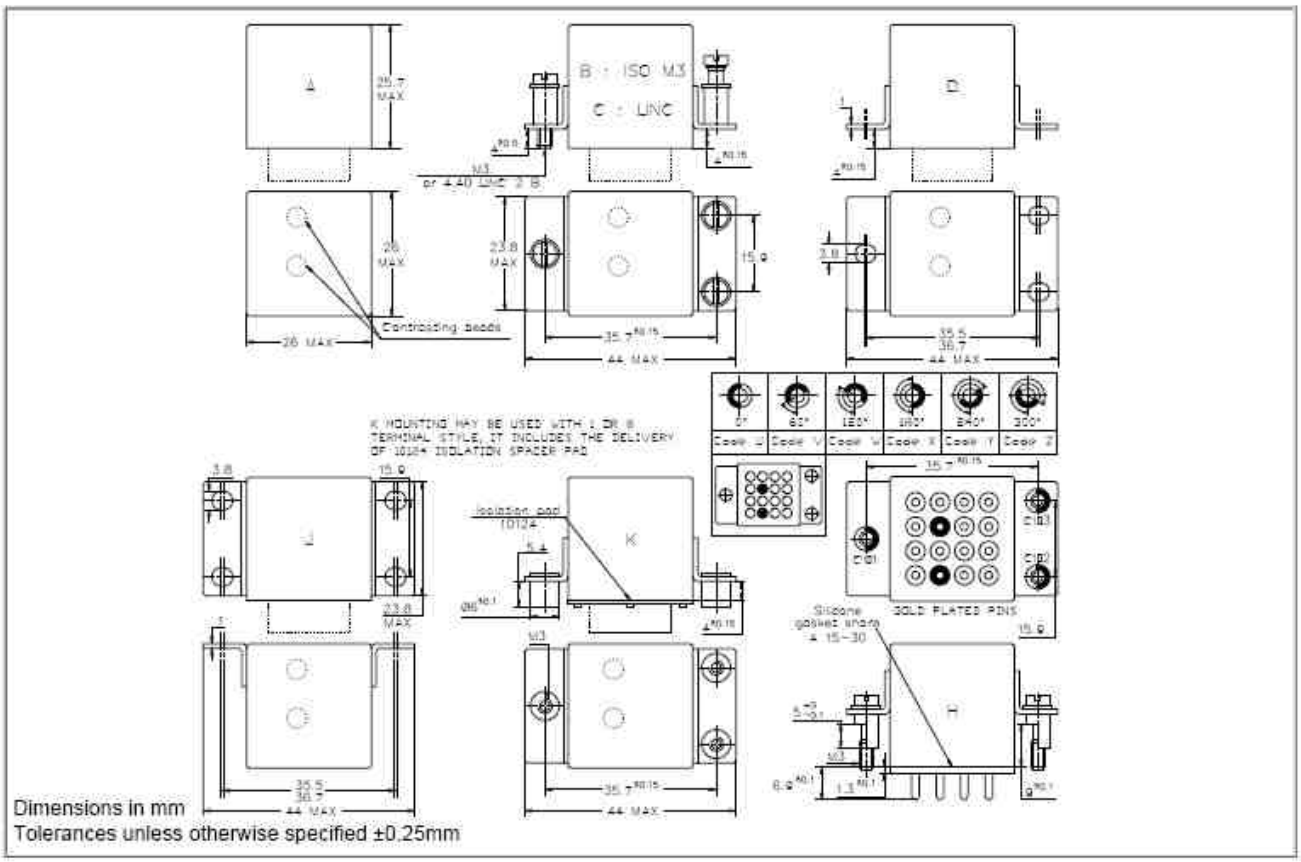


Dimensions in mm
Tolerances unless otherwise specified ±0.25mm

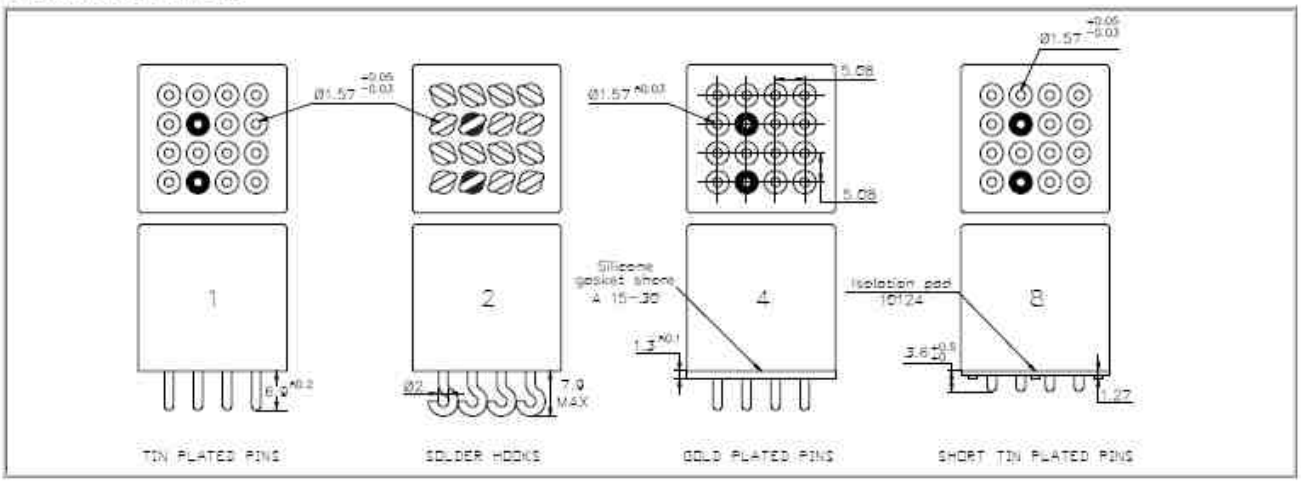
Nominal operating voltage (Un)	24 Vdc	48 Vdc	72 Vdc	110 Vdc
Minimum operating voltage	16.8 Vdc	40 Vdc	50 Vdc	77 Vdc
Maximum operating voltage	33 Vdc	60 Vdc	90 Vdc	137 Vdc
Maximum current draw at Un	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA

MOUNTING STYLES

SERIES THLOR



TERMINAL TYPES



TIMING PROGRAMMATION

Timing range	Terminals to connect	Timing delay	Timing range	Terminals to connect	Timing delay
1 a1-b1 connected	b3-a2 b3-a3 b3-a4 b3-b4 b3-c4 b3-c3 b3-c2 b3-b2	0.25 s 0.5 s 1 s 2 s 4 s 8 s 16 s 32 s	2 a1-b1 non connected	b3-a2 b3-a3 b3-a4 b3-b4 b3-c4 b3-c3 b3-c2 b3-b2	0.25 mn 0.5 mn 1 mn 2 mn 4 mn 8 mn 16 mn 32 mn
	Time delay options from 0.25 to 63.75 seconds			Time delay options from 0.25 to 63.75 seconds	

Intermediate time delay may be obtained by multiple wiring.
Example: for 12 s = 8 s + 4 s, connect C3 and C4 to B3.

㈑ THLAO-72-YWY



Time delay on operate in a hermetically sealed package

Time delay programmable by wiring

Output characteristics **1 solid state output**

Supply **Direct current**

PRINCIPLE TECHNICAL CHARACTERISTICS

Contact rating **0.01 to 0.25 Amp at nominal voltage**

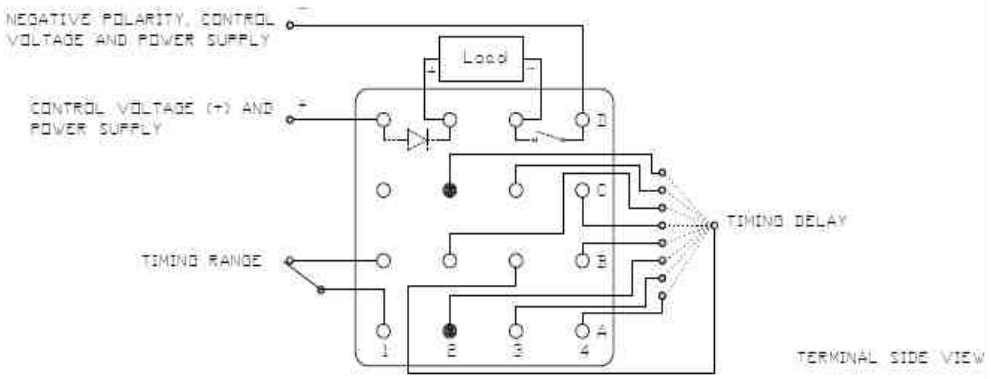
Weight **< 80 grams**

Dimensions of can without hardware **26mm x 25.7mm x 26mm max**

Tin plated, hermetically sealed metal can.

GENERAL CHARACTERISTICS

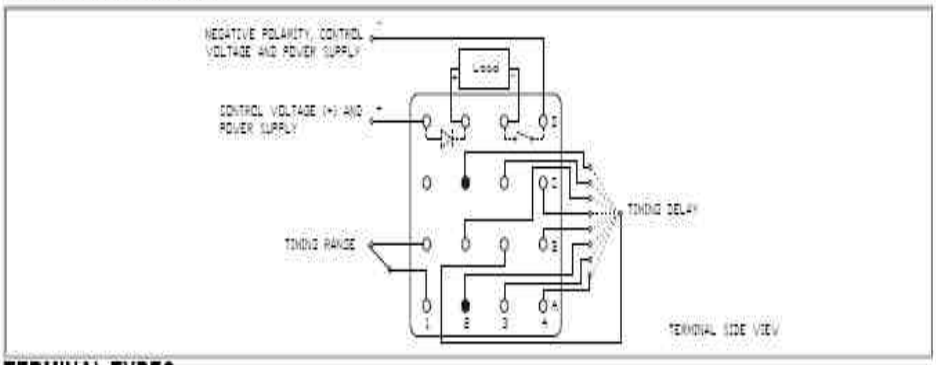
Operating temperature	-25°C to +70°C
Dielectric strength at sea level	
All terminals to ground	1500 Vrms / 50 Hz
Initial insulation resistance at 500 Vdc	>1000 M Ω
Sinusoidal vibration	10 G / 10 to 2000 Hz
Shock	30 G / 11 ± 1 ms
Timing accuracy over termperature range	± 10%
Protection against reverse polarity	yes



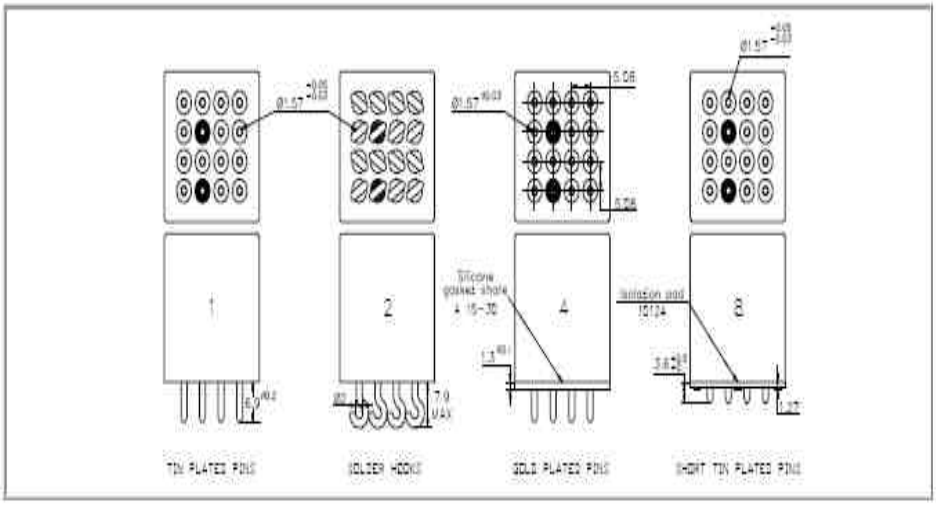
Dimensions in mm
Tolerances unless otherwise specified ±0.25mm

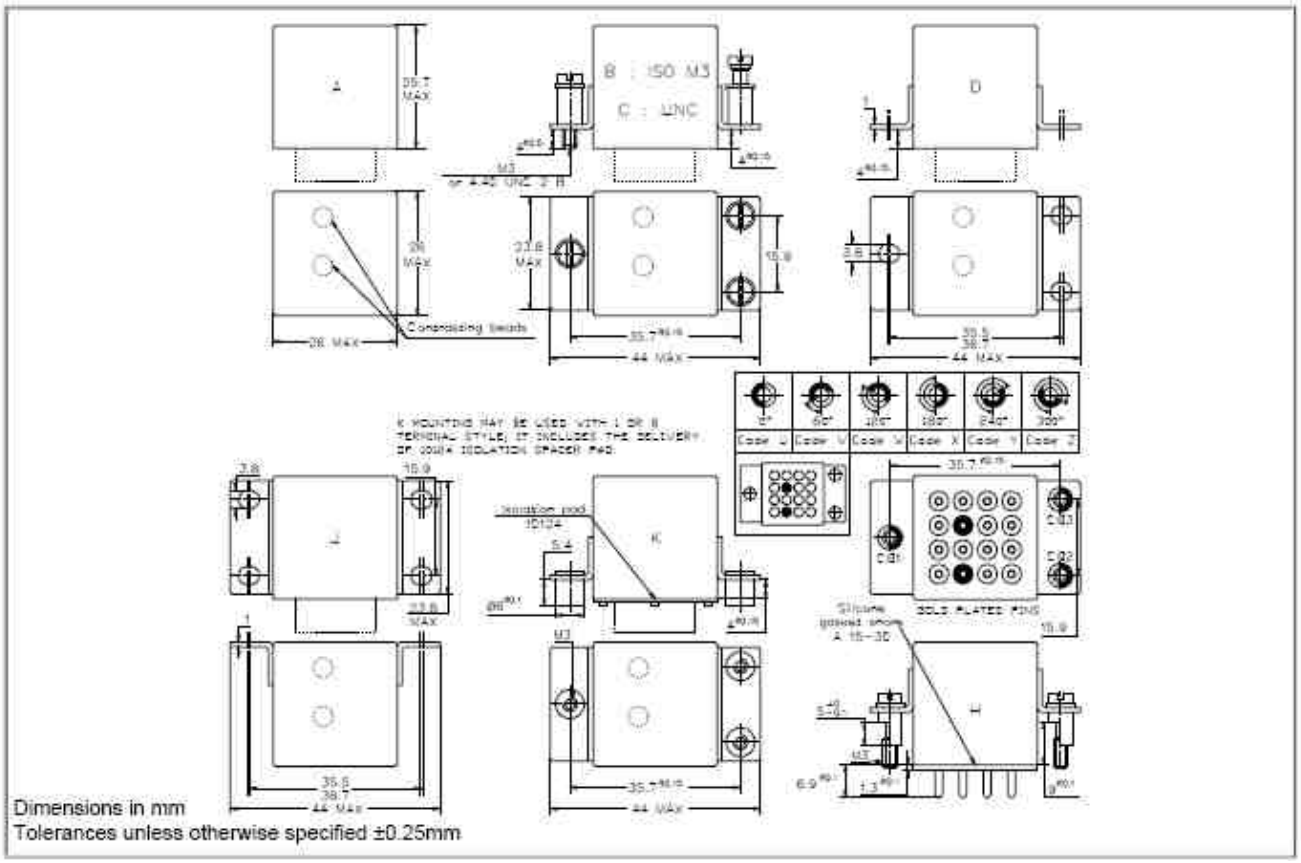
Nominal operating voltage (Un)	24 Vdc	48 Vdc	72 Vdc	110 Vdc
Minimum operating voltage	16.8 Vdc	40 Vdc	50 Vdc	77 Vdc
Maximum operating voltage	33 Vdc	60 Vdc	90 Vdc	137 Vdc
Maximum current draw at Un	20 mA	20 mA	20 mA	20 mA

SCHEMATIC DIAGRAM



TERMINAL TYPES





TIMING PROGRAMMATION

Timing range	Terminals to connect	Timing delay	Timing range	Terminals to connect	Timing delay
1 a1-b1 connected	b3-a2 b3-a3 b3-a4 b3-b4 b3-c4 b3-c3 b3-c2 b3-b2	0.25 s 0.5 s 1 s 2 s 4 s 8 s 16 s 32 s	2 a1-b1 non connected	b3-a2 b3-a3 b3-a4 b3-b4 b3-c4 b3-c3 b3-c2 b3-b2	0.25 mn 0.5 mn 1 mn 2 mn 4 mn 8 mn 16 mn 32 mn
	Time delay options from 0.25 to 63.75 seconds			Time delay options from 0.25 to 63.75 seconds	

Intermediate time delay may be obtained by multiple wiring.
Example: for 12 s = 8 s + 4 s, connect C3 and C4 to B3.

(2) 철도차량용 계전기 정격 및 구성

㈎ KH-103형 MINIATURE POWER RELAY(힌지형 전자 계전기) : Konio제품

KH-103-4C



KH-103-4CP



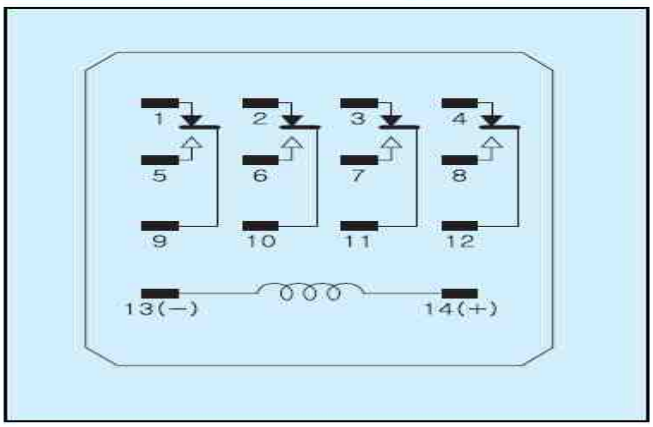
특 징(特 徵)

- KH-103-4C, 4CP : 4극형
- KH-103-4CL, 4CPL : 4극형 LED타입
- 소비전력(消費電力)이 적으며 고감도(高感度) 및 응답속도(應答速度)가 예민(銳敏)합니다.
- UL 승인(承認) 품목입니다.

동작 코일 정격(COIL定格)

정격전압(V) (定格電壓) \ 구분(區分)		정격전류(定格電流)± 15%, 20℃에서 (mA)		코일저항(Ω)± 10% 20℃에서	최대연속인가전압 (最大連續印加電壓)	최소동작전압 (最小動作電壓)	복 귀 전 압 (復歸電壓)
		50Hz	60Hz				
AC	6	238	200	9.6	110%	80%이하	30%이상
	12	118	100	40.5			
	24	59.7	50	156.7			
	50	28.3	24	706			
	110	14.2	12	3,390			
	220	7.2	6	13,920			
	230	7.2	6	13,930			
	240	6.6	5.5	15,210			
DC	6	150		40	110%	80%이하	15%이상
	12	75		160			
	24	36.9		650			
	48	18.5		2,600			
	110	9.1		12,100			

내부결선도(內部結線圖)



정격 및 성능(定格/性能)

접 촉 저 항(接 觸 抵 抗)	50㎃ 이하(초기치)
동 작 시 간(動 作 時 間)	20mSec 이하
복 귀 시 간(復 歸 時 間)	20mSec 이하
절 연 저 항(絶 緣 抵 杭)	100㏁ 이상 (DC500V 절연저항계)
소 비 전 력(消 費 電 力)	AC : 약 1.4VA(50㎐) / AC : 약 1.2VA(60㎐) DC : 약 0.9W
내 전 압(耐 電 壓)	충전부(充電部)와 비충전부(非充電部)간 1,500VAC 1분간 접점회로(接点回路)와 조작(操作)COIL간 1,000VAC 1분간 접점회로(接点回路)간 1,000VAC 1분간 (단, a-b 접점간은 7
개 폐 빈 도(開 閉 頻 度)	1,800회 / 시간
온 도 상 승(溫 度 上 昇)	코일 : 85℃이하 , 접점(接点) : 65℃이하
내 진 동(耐 震 動)	0 ~ 6 G 최대진동수(最大振動數) 55㎐
내 충 격(耐 衝 擊)	약 20G(200 ㎨)

접점정격(接点定格)

부하(負荷) / 구분(區分)	저항부하(抵杭負荷) (COS ϕ = 1)	유도부하(誘導負荷)	
		COS ϕ = 0.3,	L/R = 7 ㎳
정격부하(定格負荷)	220VAC, 3A 24VDC, 3A	110VAC, 1.5A 220VAC, 0.8A	24VDC, 1A
정 격 통 전 전 류 (定 格 通 電 電 流)	3A		
접점전력의 최대치 (接点電力의 最大値)	AC : 660VA DC : 72W	AC : 176VA DC : 24W	
접점전류의 최대치 (接点電流의 最大値)	3A		

㈏ IRA : ILOSAM제품

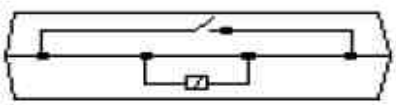


Contact

Arrangement		1 Form A
Rating(R-load) Nominal Switching Capacity		0.5A 20VDC
Max. Switching Current		0.5A
Max. Switching Voltage		20VDC
Max. Switching Power		10W
Contact Resistance		150mΩ Max
Life-Expectance	Mechanical	1×107 ops. Min
	Electrical	1×106 ops. Min (30VDC 0.1A)
Contact Material		Ag - Au - Alloy

Coil Data (DC)

Nominal voltage VDC	Pick-up voltage VDC(Max)	Drop-out voltage VDC(MIN)	Nominal current mA(±10%)	Coil Resistance Ω(±10%)	Power consumption (mW)	Max.allowable voltage (VDC)
5	3.75	0.5	10	500	50	110%
9	6.75	0.9	12.9	700	116	110%
12	9	1.2	12	1,000	144	110%



SHEMAIC
(Bottom View)

㈐ IRJ : ILOSAM제품



Contact			
Arrangement		1 Form A	1 Form C
Rating(R-load) Nominal Switching Capacity		10A 125VAC 5A 250VAC 30VDC 3A 250VAC 30VDC	3A 250VAC 30VDC
Max. Switching Current		10A	3A
Max. Switching Voltage		250VAC , 30VDC	
Max. Switching Power		1250VA, 150W	750VA ,90W
Contact Resistance		100mΩ Max	
Life-Expectance	Mechanical	1×107 ops. Min	
	Electrical	1×105 ops. Min	
Contact Material		Ag - Alloy	

Coil Data (DC)

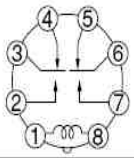
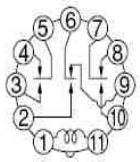
Nominal voltage VDC	Pick-up voltage VDC(Max)	Drop-out voltage VDC(MIN)	Nominal current mA(±10%)	Coil Resistance Ω(±10%)	Power consumption (mW)	Max.allowable voltage (VDC)
5	3.75	0.25	40	125	200	130%
12	9	0.6	16.7	720	200	130%
24	18	1.2	16.7	720	200	130%



SHEMATIC
(Bottom View)

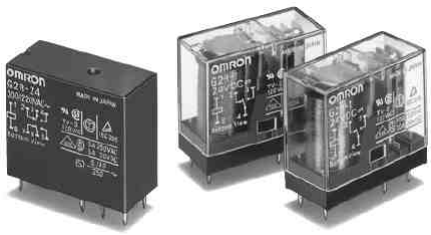
㈑ Frl-236 : Fujitus 제품



接点構成	内部接続図 （端子側から見た図）
2 トランスファー	
3 トランスファー	

JR様品番	オーダー形格	コイル定格電圧	コイル抵抗	感動電圧			開放電圧 20℃	コイル定格電流	定格消費電力
				20℃ コールドスタート	20℃ ホットスタート	60℃ ホットスタート			
RL782F-1	236ND100/3WR18/782F-1	100VDC	3,600Ω	49.0VDC	60.5VDC	70VDC	12VDC	28mA	約2.8W
RL782F-2	236ND050/3WR18/782F-2	50VDC	1,000Ω	24.5VDC	30.2VDC	35VDC	6VDC	50mA	約2.5W
RL782F-3	236ND024/3WR18/782F-3	24VDC	230Ω	11.8VDC	14.6VDC	16.88VDC	2.88VDC	104mA	約2.5W
RL782F-4	236ND012/3WR18/782F-4	12VDC	54Ω	5.9VDC	7.3VDC	8.4VDC	1.44VDC	222mA	約2.7W
RL644F-1	236ND100/3WR1/644F-1	100VDC	3,600Ω	56.0VDC	75VDC	86.8VDC	12VDC	28mA	約2.8W
RL644F-2	236ND050/3WR1/644F-2	50VDC	1,000Ω	28.0VDC	37.5VDC	43.4VDC	6VDC	50mA	約2.5W
RL644F-3	236ND024/3WR1/644F-3	24VDC	230Ω	13.4VDC	18VDC	20.8VDC	2.88VDC	104mA	約2.5W
RL644F-4	236ND012/3WR1/644F-4	12VDC	54Ω	6.7VDC	9VDC	10.4VDC	1.44VDC	222mA	約2.7W
RL633F-1	236ND100/2WR15/633F-1	100VDC	6,000Ω	75VDC	92VDC	106.5VDC	12VDC	17mA	約1.7W
RL633F-2	236ND050/2WR15/633F-2	50VDC	1,500Ω	37.5VDC	46.0VDC	53.2VDC	6VDC	29mA	約1.7W
RL633F-3	236ND024/2WR15/633F-3	24VDC	350Ω	18VDC	22VDC	25.6VDC	2.88VDC	42mA	約1.7W
RL633F-4	236ND012/2WR15/633F-4	12VDC	90Ω	9VDC	11VDC	12.7VDC	1.44VDC	109mA	約1.6W

㈜ G2R-24 : OMROM 제품



■성능

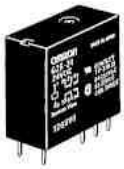
표준 릴레이

항목	극수	1극	2극
접촉저항 *1		30mΩ이하 *2	50mΩ이하
동작시간 *3		15ms이하	
복귀시간 *3		AC10ms이하 DC5ms이하	
최대개폐빈도	기계적	18,000회/h	
	정격부하	1,800회/h	
절연저항 *4		1,000MΩ이상	
내전압		코일과 접점간 AC5,000V 50/60Hz 1min 동극접점간 AC1,000V 50/60Hz 1min	코일과 접점간 AC5,000V 50/60Hz 1min 이극접점간 AC3,000V 50/60Hz 1min 동극접점간 AC1,000V 50/60Hz 1min
진동	내구	10~55~10Hz 편진폭 0.75㎜(복진폭 1.5㎜)	
	오동작	10~55~10Hz 편진폭 0.75㎜(복진폭 1.5㎜)	
충격	내구	1,000m/s²	
	오동작	여자 : 200m/s², 무여자 : 100m/s²	
내구성	기계적	AC1,000만회 이상, DC2,000만회 이상(개폐빈도 18,000회/h)	
	전기적	10만회 이상(정격부하 개폐빈도 1,800회/h)	
사용주위온도		-40~+70℃ (단, 결빙 및 결로되지 않을 것)	
사용주위습도		5~85%RH	
질량		약 17g (약 20g *5)	

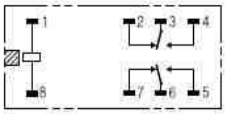
●프린트기판용 단자형

분류	보호구조	극수 접점구성	1극 코일정격전압	1극 형식	2극 코일정격전압	2극 형식
표준형	내플럭스형	a접점	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-1A	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-2A
			AC200/(220)V		AC200/(220)V	
			DC5, 6, 12, 24, 48V		DC5, 6, 12, 24, 48V	
			DC100V		DC100V	
		c접점	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-1	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-2
			AC200/(220)V		AC200/(220)V	
			DC5, 6, 12, 24, 48V		DC5, 6, 12, 24, 48V	
			DC100V		DC100V	
	플라스틱 밀폐형	a접점	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-1A4	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-2A4
			AC200/(220)V		AC200/(220)V	
			DC5, 6, 12, 24, 48V		DC5, 6, 12, 24, 48V	
			DC100V		DC100V	
		c접점	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-14	AC12, 24, 100/(110)V	G2R-24
			AC200/(220)V		AC200/(220)V	
			DC5, 6, 12, 24, 48V		DC5, 6, 12, 24, 48V	
			DC100V		DC100V	

프린트기판용 단자형
(2c접점)
G2R-24(-Z) (-U)



단자배치/내부접속도
(BOTTOM VIEW)



(코일 극성은 없습니다.)

2극형

형식	극수	조작코일정격	접점정격	시험횟수
G2R-2A	2a	3~110V DC 3~240V AC	5A 250V AC(General Use)	6,000회
G2R-2A4				
G2R-2A-H			5A 30V DC(Resistive)	
G2R-2	2c			
G2R-24			TV-3(N. O. only)	25,000회
G2R-24-H				

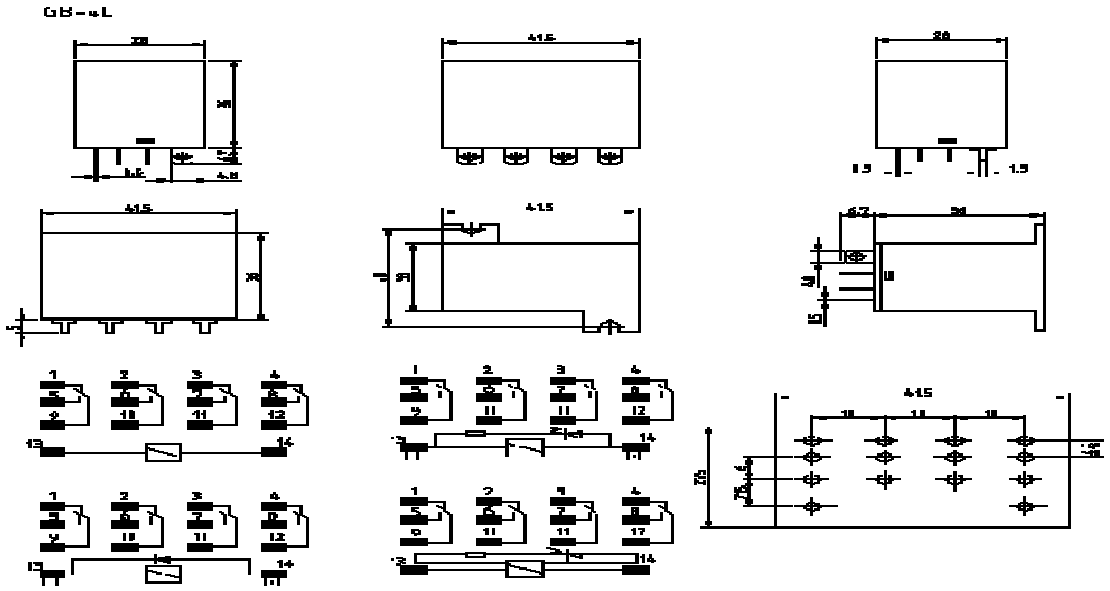
㈜ GB : KOE(코리아기전) 제품



Product properties

Contact Form		1C	2C	3C	4C
Contact Material		Ag alloy			
Contact Ratings		16A 250VAC / 28VDC	10A 250VAC / 28VDC		
Max Switching Voltage		4,000VA / 450W	2,500VA / 280W		
Contact Resistance		50mΩ Max. at 6VDC			
Life Expectancy	Electrical	100,000 Operations (at 30 Operations / minute)			
	Mechanical	10,000,000 Operations			
Insulation Resistance		1000MΩ Min. at 500VDC			
Dielectric Strength Between	**Open Contacts**	1,200VAC(for one minute) (Leak current : 1mA)			
	Contact poles	1,200VAC(for one minute) (Leak current : 1mA)			
	Contacts and coil	2,000VAC(for one minute) (Leak current : 1mA)			
Pick-up voltage (At 25 ℃)		DC : ≤ 75 % Un., AC : ≤ 80 % Un.			
Drop-out voltage (At 25 ℃)		DC : ≥10 % Un., AC : ≥ 30 % Un.			
Temperature Range		-25℃ ~ +75℃			
Humidity		35% ~ 85%RH			
Atmospheric		86~106KPa			
Nominal coil power	**DC(W)**	0.9		1.4	1.5
	AC(VA)	1.2		2	2.5
Humidity		35% ~ 85%RH			
Atmospheric		86~106KPa			
Shock resistance		10G (Malfunction)			
Vibration resistance		10-55Hz, 1.0mm			
Weight		35g		50g	65g
UL Safety Standard		UL E197546			

GB-3C				GB-4C			
Coil Voiltage (VDC)	Coil Resistance Ω (±10%)	AC Coil Voltage (VAC)	Coil Resistance Ω (±10%)	Coil Voiltage (VDC)	Coil Resistance Ω (±10%)	AC Coil Voltage (VAC)	Coil Resistance Ω (±10%)
6	25	6	6.5	6	24	6	5
9	56	12	25.5	9	54	12	24
12	100	24	102	12	96	24	80
24	400	36	230	24	350	36	180
36	900	48	410	36	865	48	320
48	1,600	110	2,300	48	1,540	100/110	1,680
110	8,400	120	2,700	110	6,800	120	2,000
		220	8,500			200/220	6,700
220	33,000	240	10,000	220	29,000	240	8,000
		380	27,500			380	29,000



㈜ JS-RELAYS : NAIS 제품



SPECIFICATIONS

Contact

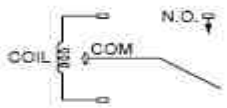
Arrangement		1 Form A, 1 Form C
Initial contact resistance, max. (By voltage drop 6 V DC 1 A)		100 mΩ
Contact material		Silver alloy
Rating (resistive load)	Nominal switching capacity	10 A 125 V AC 6 A 277 V AC
	Max. switching power	1,662 VA
	Max. switching voltage	250 V AC, 100 V DC
	Max. switching current	10 A (AC), 5 A (DC)
Expected life (min.ope.)	Mechanical (at 180 cpm)	10^7
	Electrical at 10 A 125 V AC, 6 A 277 V AC resistive (at 20 cpm)	10^5

Characteristics

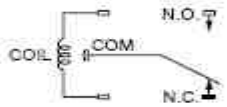
Max. operating speed		20 cpm
Initial insulation resistance		Min. 100 MΩ (at 500 V DC)
Initial breakdown voltage*1	Between open contacts	750 Vrms for 1 min.
	Between contacts and coil	1,500 Vrms for 1 min.
Operate time*2 (at nominal voltage)		Approx. 10 ms
Release time(without diode)*2 (at nominal voltage)		Approx. 10 ms
Temperature rise (at nominal voltage)		Max. 35°C
Shock resistance	Functional*3	Min. 98 m/s² {10 G}
	Destructive*4	Min. 980 m/s² {100 G}
Vibration resistance	Functional*5	Approx. 98 m/s² {10 G}, 10 to 55 Hz at double amplitude of 1.6 mm
	Destructive	Approx. 117.6 m/s² {12 G}, 10 to 55 Hz at double amplitude of 2 mm
Conditions for operation, transport and storage*6 (Not freezing and condensing at low temperature)	Ambient temp.	–40°C to +70°C –40°F to +158°F
	Humidity	5 to 85% R.H.
Unit weight		Approx.12 g .423 oz

Schematic (Bottom view)

1a

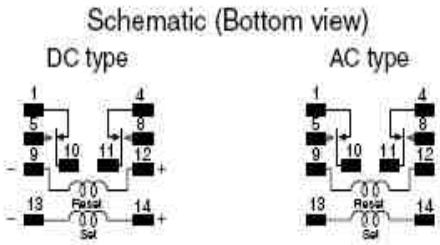


1c



㈋ HC LATCHING : PANASONIC 제품





HC LATCHING (KEEP)

2) DC coils

Contact arrangement	Nominal coil voltage	Set voltage (at 20°C 68°F)	Reset voltage (at 20°C 68°F)	Nominal operating current [±10%] (at 20°C 68°F)		Coil resistance [±10%] (at 20°C 68°F)		Nominal operating power		Max. allowable voltage (at 50°C 122°F)
				Set coil	Reset coil	Set coil	Reset coil	Set coil	Reset coil	
2 Form C	6V DC	80%V or less of nominal voltage (Initial)	80%V or less of nominal voltage (Initial)	207mA	107mA	29Ω	56Ω	1.24W	0.64W	110%V of nominal voltage
	12V DC			100mA	52.2mA	120Ω	230Ω	1.20W	0.63W	
	24V DC			51.1mA	25.5mA	470Ω	941Ω	1.23W	0.61W	
	48V DC			25.3mA	13.7mA	1,897Ω	3,504Ω	1.21W	0.66W	
	100V DC			15.6mA	5.8mA	6,410Ω	17,241Ω	1.56W	0.58W	

2. Specifications

Characteristics	Item		Specifications
Contact	Contact pressure		Approx. 0.098N{10gf}
	Initial contact resistance, max		Max. 50 mΩ (By voltage drop 6 V DC 1A)
Rating	Nominal switching capacity (resistive load)		3A 250V AC
	Max. switching power (resistive load)		750VA
	Max. switching current		3A
	Nominal operating power		Set coil: 1.20VA to 1.33VA; Reset coil: 0.51VA to 0.88VA
	Min. switching capacity (Reference value)*1		100μA 100mV DC
Electrical characteristics	Breakdown voltage (Initial)	Between contact and coil	1,500 Vrms for 1min. (initial)
	Temperature rise		Set coil: Max. 80°C; Reset coil: Max. 50°C (at nominal voltage)
	Set time/Reset time (at 20°C 68°F)		Approx. 20ms/30ms (at nominal voltage)
Mechanical characteristics	Shock resistance	Functional	Min. 98m/s² (Half-wave pulse of sine wave: 11 ms; detection time: 10μs.)
Expected life	Mechanical		Min. 10^7 (at 180 cpm)
	Electrical		Min. 2×10^5 rated load (at 20 cpm)
Conditions	Ambient temperature		−40°C to +50°C −40°F to +122°F (Not freezing and condensing at low temperature)

다) 검토결과

경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업에 의하여 개발 중인 추진제어장치 조립체 중 기존 KTX 추진제어장치의 적용하고 있는 계전기와 국산화 개발품으로 기존 계전기를 사용 하지 않고 다른 대체품으로 사용 할 수 있는 계전기가 있는지 확인해 보았다.

기존 KTX 추진제어장치의 적용 하고 있는 계전기는 보조블록에서도 사용 하고 있는 LEACH사 와 STPI사의 계전기를 사용 하고 있다.

이 위에 나열한 회사(LEACH, STPI,) 들의 계전기는 기존 KTX의 배터리 전압인 72V의 전압을 사용하여 동작하고 있는데 현재 나와 있는 다른 계전기에는 72V의 전압 값으로 동작을 하는 계전기가 없고 전압 레벨의 범위와 접점 구성들이 각 회사 마다 틀려 사용하기가 어렵고 복잡한 구조로 되어 있다.

또한 이번 경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업을 통하여 개발 될 추진제어장치는 기존 입력 및 출력 사양 및 보조제어회로가 기존 KTX 와 동일하게 설계되어 전체 적으로 기능적 호환을 유지 하며 일부 부품(계전기)들은 기존 제품과 성능을 호환되도록 설계를 해야 평상시 유지 보수 시에도 편리하다.

3) MORS 계전기

KTX 추진제어장치 조립체와 경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업에 의해 개발 진행 중인 국산화 추진제어장치 조립체의 계전기 검토서이며, 장치 및 신뢰성 시험 사양 등 MORS 사의 계전기 모델과 그 외 다른 회사의 계전기 모델을 비교하여 추진제어장치 조립체가 현차에 적용이 가능한지에 대하여 검토한다.

가) 계전기 비교 자료

(1) 모터블록용 계전기

번호	형 식	적 용	수량	코 일 전 압	보조접점 구성	보조접점 용량	기 능
1	B 400-72 VDC	RR-VT-FA-01, RD-EM-CO-01 R-AX-FA-01	3	DC 72V	4C	12A	
2	C054-72-BDS	R-MB-FA-01, RR-EA-FA-01	2	DC 72V	4A 5B	8A	
3	C027-72-11BS	R-EB-CO-02, R-EB-CO-03, R-EB-CO-04	3	DC 72V	7A 2B	8A	
4	C009-72-15S	RD-SN-MB-01	1	DC 72V	9A	8A	
5	C045-72-69S	RR-FR-DIS-01, RR-DN-OY-02, RR-PFC-FA-01, RR-DN-OY-01, R-EB-CO-01, R-SP-MB-01	6	DC 72V	5A 4B	8A	
6	310-S 72V-9R9T	R-TT-BK-01, R-IS-MB-01	2	DC 72V	9A 9B	8A	

(2) 철도차량용 계전기

번호	형 식	코 일 전 압	보조접점 구성	보조접점 용량	제작사
1	WRAX-L440A	100V	4A 4B	3A	(주)우진산전
2	SAFETY RELAYS	30V	4A 2B	6A	Panasonic
3	HR710L	24V	4C	10A	한국릴레이

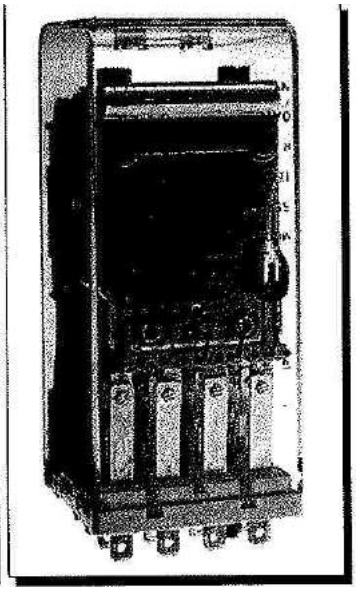
나) 계전기 정격 및 구성

(1) 모터블록용 계전기 정격 및 구성

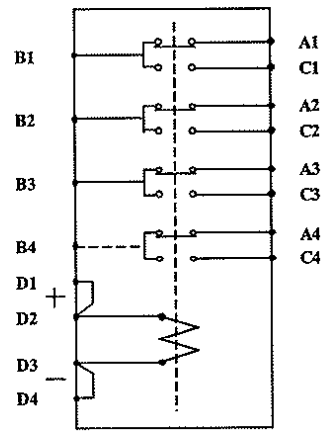
㈎ B 400-72 BGS

FEATURES:

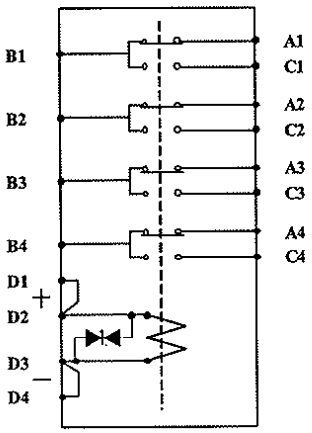
- **Conforms with French Railway Standard CF 62-002 and NFF 62-002.**
- **Compact space saving package size.**
- **Plug-in design with secure locking feature for maximum ease of maintenance - i. e. - no wires need to be disconnected or other hardware removed for relay inspection or replacement.**
- **Resistance to impact and vibration conform to standards in force for Railway Transported Equipment.**
- **Positive mechanical keying of relay to socket is accomplished by keystuds supplied for relay and socket.**
- **Weld no transfer safety contacts are standard.**



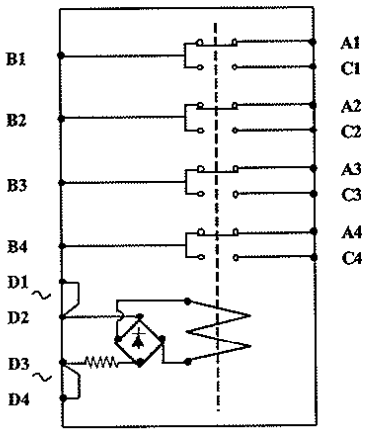
SCHEMATICS AND RELAY PIN CORRESPONDENCE



VDC Models
(no Transil protection)

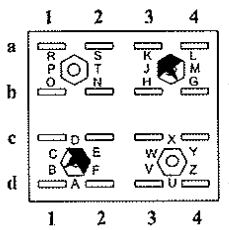


VDC Models
(with Transil protection)



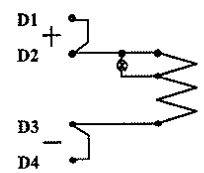
VAC Models

Relay pin correspondence
(rear view of relay shown)
Example: BG keying



N.B.1: On 500VDC and 700VDC relays, coil is connected only to D1 and D4. D2 and D3 are not wired and transil or diode protections are not available.
N.B.2: Transil not needed on VAC coil relays.

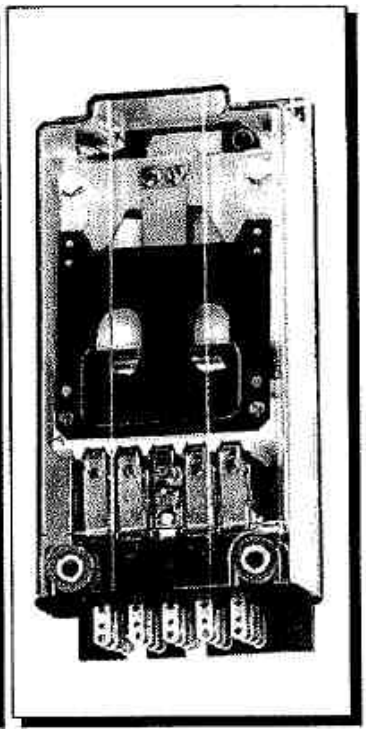
Led (V) option
(respect polarity)



㈏ C 시리즈 (C054-72-BDS, C027-72-11BS, C009-72-15S, C045-72-69S)

FEATURES:

- Conforms with French Railway Standard CF 62 - 002.
- Ultra-compact space saving package size.
- Plug-in design with secure locking feature for maximum ease of maintenance - i. e. - no wires need to be disconnected or hardware removed for relay inspection or replacement.
- Resistance to impact and vibration conform to standards in force for Railway Transported Equipment.
- Positive mechanical keying of relay to socket.
- For safe installation or replacement, key combination is different according to voltage or function (instantaneous, latching, timer...).
- Terminal identifications are clearly marked on identification plate that is permanently attached to the relay.
- Weld no transfer safety contacts are standard.



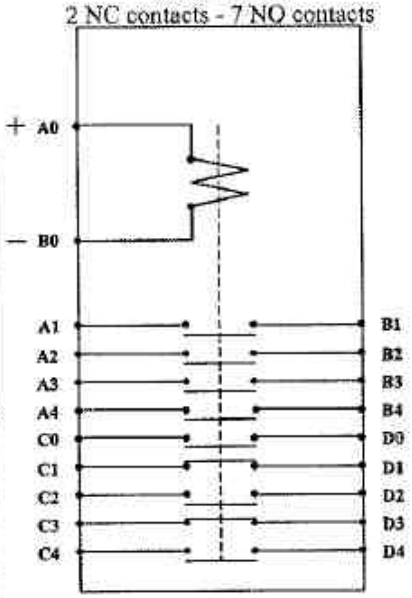
COIL DATA & CONTACT DATA

COIL DATA	NOMINAL VOLTAGE	24 VDC	36 VDC	48 VDC	72 VDC	110 VDC	220 VAC
	OP. VOLTAGE RANGE	16/33	25/45	33./60	48/90	77/138	176/242
	NOMINAL POWER	4.8 Watts	4.8 Watts	4.6 Watts	5.2 Watts	5 Watts	4 VA
	HOLD SPECIFIED	13.5 VDC	21 VDC	28.5 VDC	40.5 VDC	60 VDC	129 VDC
	DROPOUT SPECIFIED	2.5 VDC	3.5 VDC	4.5 VDC	6.5 VDC	11.5 VDC	21 VDC
	RESISTANCE (OHMS)†	120	270	500	1000	2400	12000
	TIME CONSTANT (L/R)‡	25 ms	25 ms	25 ms	25 ms	25 ms	25 ms
CONTACT DATA	NOMINAL CURRENT	8 Amps (Resistive)					
	SPECIFIED BREAKING CAPACITY & LIFE	2.4 Amps at 72 VDC		Time constant: 0 ms		Electrical life: 5,000,000 operations	
		0.8 Amps at 72 VDC		Time constant: 30 ms		Electrical life: 2,000,000 operations	
		2.4 Amps at 220 VAC, 50 Hz.		Power factor=1		Electrical life: 2,500,000 operations	
		Lamp filament circuit: 160 watts at 72 VDC				Electrical life: 500,000 operations	
	CONTACT CLOSURE TIME CONTACT OPENING TIME	Pick-up NO: less than 45 ms. NC: less than 30 ms			Drop-out* NC: less than 35 ms NO: less than 8 ms		
	MINIMUM CONTACT CONTINUITY	20 milliamps at 24 VDC					
	NO. OF CONTACTS	9 double break contacts (Form X & Y)					
	CONTACT MATERIAL	Hard silver overlay laminated to copper					

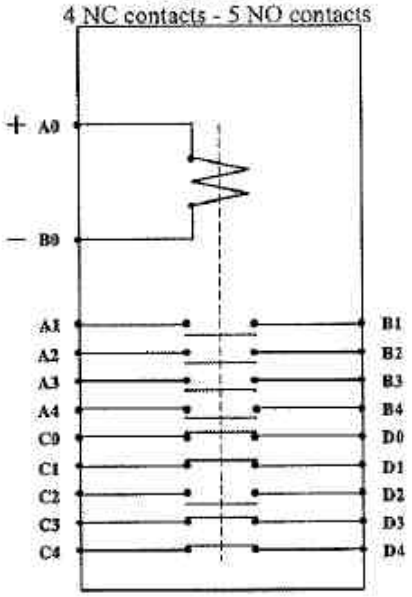
* = with P option less than 70 ms † = Coil resistance tol.: ± 8% at 20° C ‡ = valid for closed relay

SCHEMATICS AND RELAY PIN CORRESPONDENCE

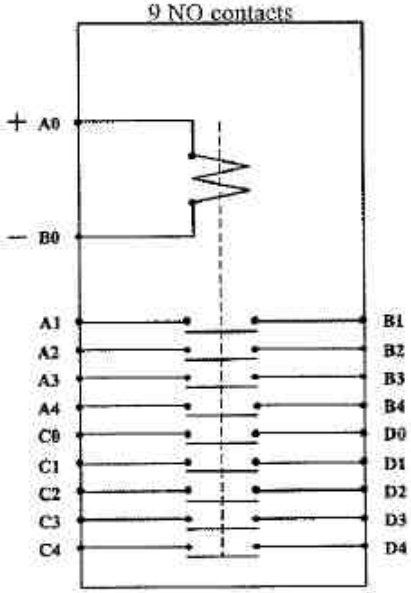
Schematic #1
2 NC contacts - 7 NO contacts



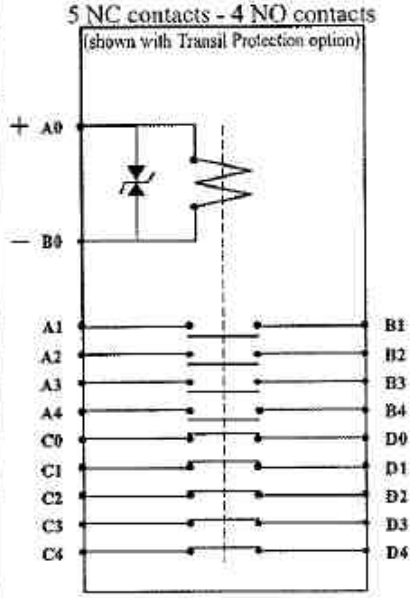
Schematic #2
4 NC contacts - 5 NO contacts



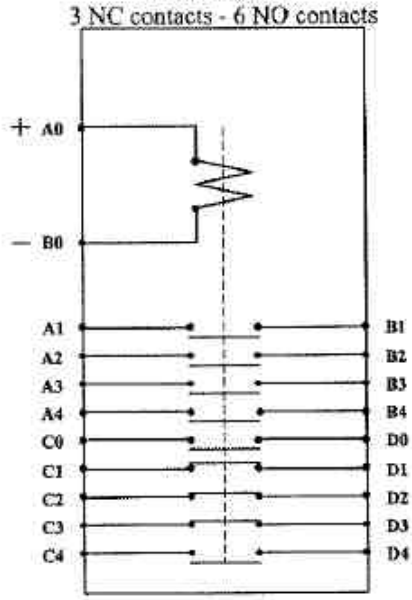
Schematic #3
9 NO contacts



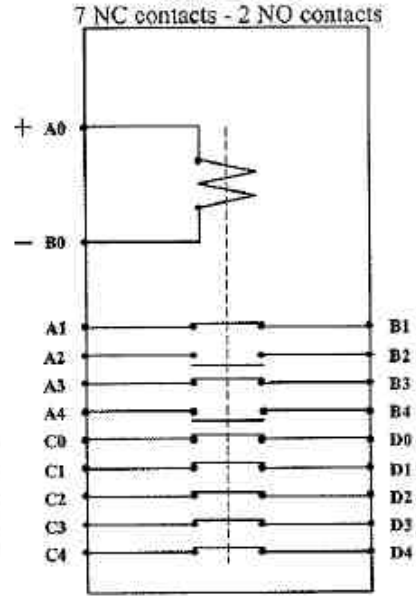
Schematic #4
5 NC contacts - 4 NO contacts
(shown with Transil Protection option)



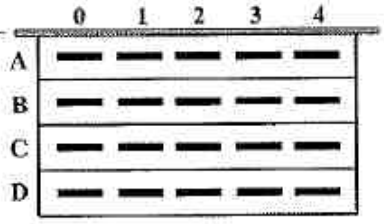
Schematic #5
3 NC contacts - 6 NO contacts



Schematic #6
7 NC contacts - 2 NO contacts



Keying Plate



Relay pin correspondence
(rear view of relay shown)

MODEL C - RELAY ORDER GUIDE

Nom. Voltage	Schematic #1	Schematic #2	Schematic #3	Schematic #4	Schematic #5	Schematic #6
24 VDC	C 027 24 47	C 045 24 45	C 009 24 3D	C 054 24 49	C 036 24 811	C 072 24 68
36 VDC	C 027 36 16	C 045 36 35	C 009 36 46	C 054 36 48	----	C 072 36 511
48 VDC	C 027 48 89	C 045 48 19	C 009 48 6C	C 054 48 711	C 036 48 410	----
72 VDC	C 027 72 11B	C 045 72 69	C 009 72 15	C 054 72 8D	C 036 72 2E	C 072 72 1F
110 VDC	C 027 110 4F	C 045 110 38	C 009 110 1J	C 054 110 14	----	C 072 110 7F
220 VAC	C 027 220 1011	C 045 220 4C	C 009 220 5C	C 054 220 611	C 036 220 4E	----

Explanation of relay basic part number:

C 0 2 7 2 4 4 7

- C — Model
- 0 — No. of Changeover Contacts
- 2 — No. of NC Contacts
- 7 — No. of NO Contacts
- 2 4 — Nom. Voltage
- 4 7 — Keying code

㈐ 310-S 72V-9R9T

FEATURES:

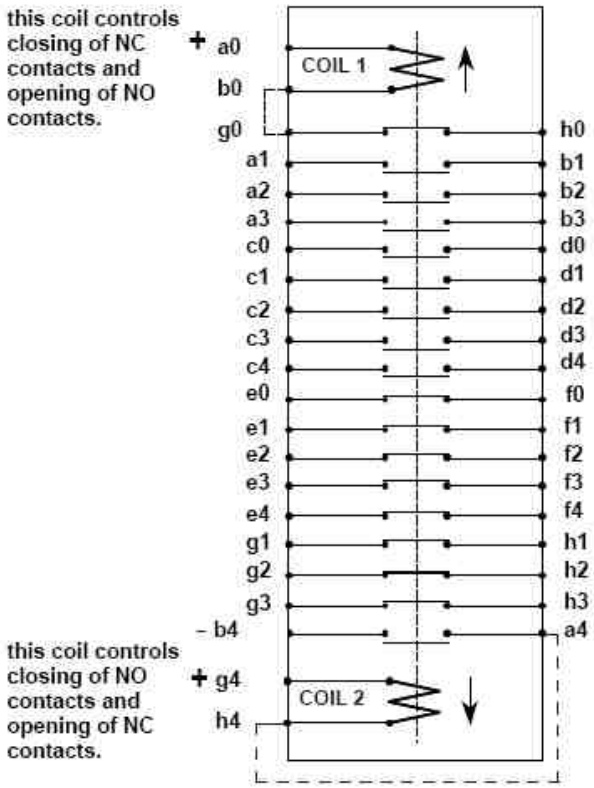
- **Plug-in design with secure locking feature for maximum ease of maintenance - i. e. - no wires need to be disconnected or hardware removed for relay inspection or replacement.**
- **Relay has 18 double break contacts in all NO and NC combinations.**
- **Resistance to impact and vibration conform to standards in force for Railway Transported Equipment.**
- **Positive mechanical keying of relay to socket is built into relay and socket during manufacture.**
- **Terminal identifications are clearly marked on identification plate that is permanently attached to the relay.**



COIL DATA & CONTACT DATA				
COIL DATA	NOMINAL VOLTAGE	36 VDC	72 VDC	110 VDC
	OP. VOLTAGE RANGE	25/45	48/90	77/138
	NOMINAL POWER	5.2 Watts	5.2 Watts	5.2 Watts
	RESISTANCE (OHMS)†	250	1000	2400
	TIME CONSTANT (L/R)‡	25 ms	025 ms	25 ms
CONTACT DATA	NOMINAL CURRENT	8 Amps (Resistive)		
	NOMINAL BREAKING CAPACITY & LIFE	2.4 Amps at 72 VDC Time constant: 0 ms Electrical life: 5,000,000 operations		
	CONTACT CLOSURE PICKUP TIME	Less than 60 milliseconds		
	CONTACT OPENING DROPOUT TIME	Less than 60 milliseconds		
	MINIMUM CONTACT CONTINUITY	20 milliamps at 24 VDC		
	NO. OF CONTACTS	18 double break contacts (Forms X & Y)		
	CONTACT MATERIAL	Hard silver overlay laminated to copper		

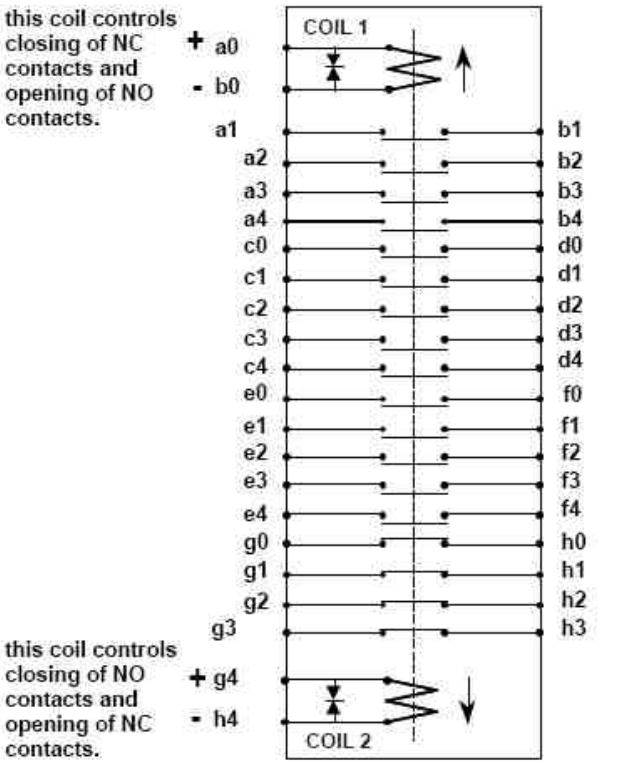
† - Coil resistance tol.: ± 8% at 20° C ‡ - valid for closed relay

SCHEMATICS AND RELAY PIN CORRESPONDENCE



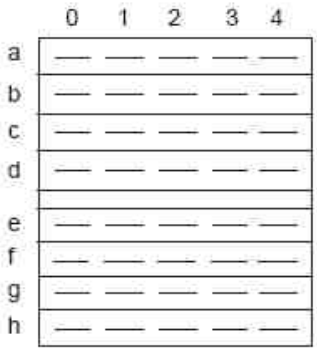
Contact arrangement
9 NC and 9 NO

SCHEMATIC #1



Contact arrangement
4 NC and 14 NO
(shown with optional Transil protection)
SCHEMATIC #2

Relay pin correspondence
Rear view of relay
(or wiring side of socket) shown



MODEL 310 - RELAY ORDER GUIDE

Nom. Volt.	Schematic #1	Schematic #2
36VDC	310 **0 3 13 36**	310 **0 4 14 36**
72VDC	310 **0 8 8 72**	310 **0 9 9 72**
110VDC	310 **0 8 8 110**	310 **0 9 9 110**

Explanation of relay basic part number

0 9 9 72

- 0 — No. of changeover Contacts
- 9 — No. of NC Contacts*
- 9 — No. of NO Contacts
- 72 — Nom. Voltage
- Keying code

** excluding self monitoring contacts*

(2) 철도차량용 계전기 정격 및 구성

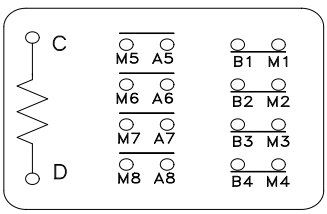
㈎ WRAX-L440A : (주)우진산전 제품



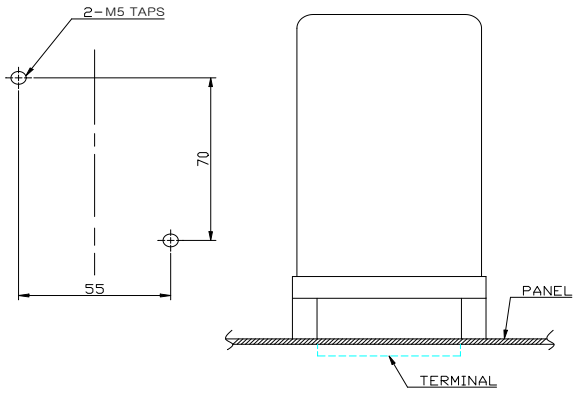
순번	명칭	정격 전압 (DC/V)	접점			코일저항치 (20℃/Ω) ±5%
			간 격	WIPE (O/T)	용 량	
1	WRAX-L440A	100	2.3±0.5 mm	0.7mm 이상	DC100V 3A (300W)	1600
2	WRAX-L440B	50				400
3	WRAX-L440D	24				100
4	WRAX-L440E	67				880
5	WRAX-L440F	33.5				220

- 주요 사양

순번	항 목	성 능	비 고
1	접점 구성	4 a 4 b	
2	접촉 압력	18 - 28g	
3	접촉 저항	50mΩ이하	초기치 기준
4	연속 통전 허용치	DC100V 5A MAX	
5	최대 차단 용량	DC100V 5A(L/R 50mS)	
6	사용 전압	정격전압의 70 ~ 110%	
7	사용 온도	-20 ~ 40℃	
8	동작 속도	30mS 이하	무부하 여자속도
9	석방 속도	15mS 이하	무부하 소자속도
10	속도 편차	1mS 이하	4a 및 4b 각 접점간
11	최소 동작 전압	정격전압의 70%이하	40℃(HOT START)
12	석방 전압	정격전압의 10%이상	20℃
13	전기적 수명	50만회 이상	3A DC100V 실부하
14	기계적 수명	100만회 이상	무부하



결 선 도



㈏ SF RELAYS : Panasonic 제품



RATING

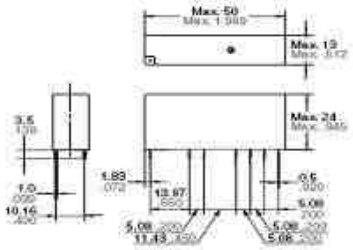
1. Coil data

Contact arrangement		Nominal voltage	Pick-up voltage (at 20°C 68°F)	Drop-out voltage (at 20°C 68°F)	Nominal operating current [±10%] (at 20°C 68°F)	Coil resistance [±10%] (at 20°C 68°F)	Nominal operating power (at 20°C 68°F)	Max. allowable voltage (at 20°C 68°F)
4-poles	2 Form A 2 Form B	12V DC	75%V or less of nominal voltage (Initial)	10%V or more of nominal voltage (Initial)	30mA	400Ω	Approx. 360mW	110%V of nominal voltage
		24V DC			15mA	1,600Ω		
		48V DC			7.5mA	6,400Ω		
	3 Form A 1 Form B	12V DC			30mA	400Ω		
		24V DC			15mA	1,600Ω		
		48V DC			7.5mA	6,400Ω		
6-poles	4 Form A 2 Form B	12V DC			41.7mA	288Ω	Approx. 500mW	
		24V DC			20.8mA	1,152Ω		
		48V DC			10.4mA	4,608Ω		
	5 Form A 1 Form B	12V DC			41.7mA	288Ω		
		24V DC			20.8mA	1,152Ω		
		48V DC			10.4mA	4,608Ω		
	3 Form A 3 Form B	12V DC			41.7mA	288Ω		
		24V DC			20.8mA	1,152Ω		
		48V DC			10.4mA	4,608Ω		

2. 6-pole (4 Form A 2 Form B, 5 Form A 1 Form B, 3 Form A 3 Form B)

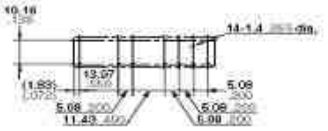


External dimensions



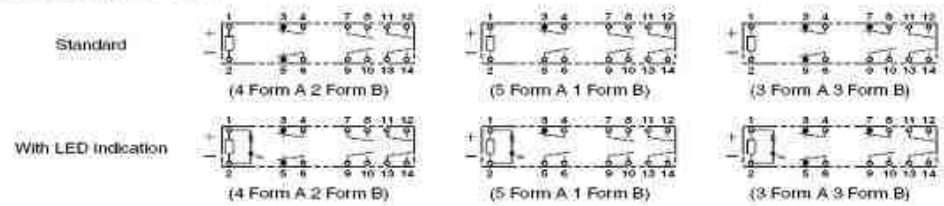
General tolerance: ±0.3

PC board pattern (Bottom view)



Tolerance: ±0.1

Schematic (Bottom view)



2. Specifications (relay)

Characteristics	Item		Specifications				
			4-pole		6-pole		
Contact	Contact arrangement		2 Form A 2 Form B	3 Form A 1 Form B	4 Form A 2 Form B	5 Form A 1 Form B	3 Form A 3 Form B
	Initial contact resistance, max		Max. 100 mΩ (By voltage drop 6 V DC 1A)				
	Contact material		Au flashed $AgSnO_2$ type				
Rating	Nominal switching capacity (resistive load)		6A 250V AC, 6A 30V DC				
	Max. switching power (resistive load)		1,500VA, 180W				
	Max. switching voltage		250V AC, 30V DC				
	Max. switching current		6 A (Reduce by 0.1 A/°C for temperatures 70 to 85°C.)				
	Min. switching capacity (Reference value)*1		1mA 5V DC				
	Nominal operating power		360mW		500mW		
Electrical characteristics	Insulation resistance (Initial)		Min. 1,000MΩ (at 500V DC) Measurement at same location as "Initial breakdown voltage" section.				
	Breakdown voltage (Initial)	Between open contacts	1,500 Vrms for 1 min. (Detection current: 10mA.)				
		Between contact sets	2,500 Vrms for 1 min. (Detection current: 10mA.); 7-8/9-10 between open contacts		2,500 Vrms for 1 min. (Detection current: 10mA.); 7-8/11-12 between open contacts 9-10/13-14 between open contacts 11-12/13-14 between open contacts		
			4,000 Vrms for 1 min. (Detection current: 10mA.); 3-4/5-6 between open contacts 3-4/7-8 between open contacts 5-6/9-10 between open contacts		4,000 Vrms for 1 min. (Detection current: 10mA.); 3-4/5-6 between open contacts 3-4/7-8 between open contacts 5-6/9-10 between open contacts 7-8/9-10 between open contacts		
		Between contact and coil	4,000 Vrms for 1min (Detection current: 10mA.)				
	Operate time (at 20°C 68°F)		Max. 20ms (Nominal voltage applied to the coil, excluding contact bounce time.)				
	Response time (at 20°C 68°F)*2		Max. 8ms (Nominal voltage applied to the coil, excluding contact bounce time.) (without diode)				
	Release time (at 20°C 68°F)		Max. 20ms (Nominal voltage applied to the coil, excluding contact bounce time.) (without diode)				
Mechanical characteristics	Shock resistance	Functional	Min. 200 m/s² (Half-wave pulse of sine wave: 11 ms; detection time: 10μs.)				
		Destructive	Min. 1,000 m/s² (Half-wave pulse of sine wave: 6 ms.)				
	Vibration resistance	Functional	10 to 55 Hz at double amplitude of 1.5 mm (Detection time: 10μs.)				
		Destructive	10 to 55 Hz at double amplitude of 1.5 mm				
Expected life	Mechanical		Min. 10^7 (at 180 cpm)				
	Electrical		250 V AC 6 A resistive load: Min. 10^5 (at 20 cpm)				
			30 V DC 6 A resistive load: Min. 10^5 (at 20 cpm)				
			250 V AC 1 A resistive load: Min. 5×10^5 (at 30 cpm)				
			30 V DC 1 A resistive load: Min. 5×10^5 (at 30 cpm)				
			[AC 15] 240 V AC 2 A inductive load: Min. 10^5 (at 20 cpm, cosφ = 0.3)				
			[DC 13] 24 V DC 1 A inductive load: Min. 10^5 (at 20 cpm, L/R = 48 ms)				
Conditions	Conditions for operation, transport and storage*3		Ambient temperature: –40°C to +85°C –40°F to +185°F Humidity: 5 to 85% R.H. (Not freezing and condensing at low temperature)				
	Max. Operating speed		20 cpm (at max. rating)				
Unit weight			Approx. 20 g .71 oz		Approx. 23 g .81 oz		

㈐ HR710-40 : 한국릴레이 제품

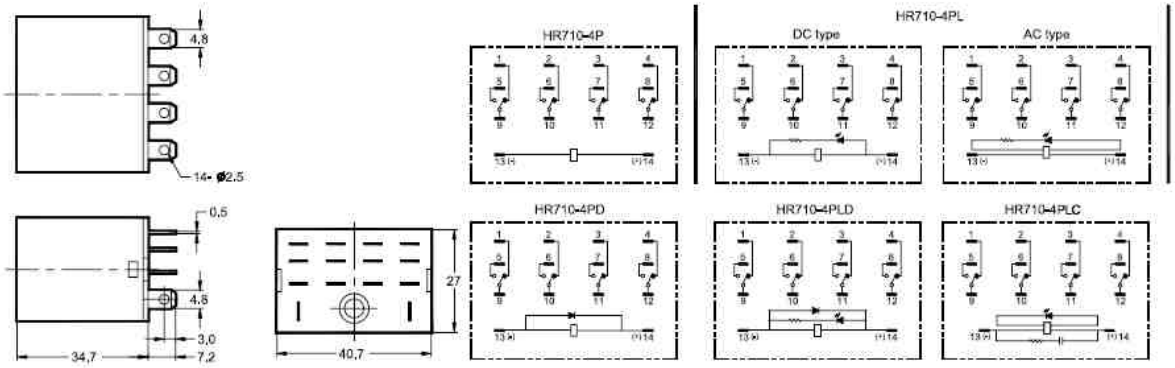


Contact data

Arrangement		1 Form C (SPDT) to 4 Form C (4PDT)	
Contact material		Ag Alloy	
Initial contact resistance		50mΩ max.	
Rated load, resistive		1 Form C	2,3,4 Form C
		15A 24VDC 15A 110VAC	10A 24VDC 10A 110VAC
Maximum carry current		15A	10A
Maximum switching capacity	with DC voltage: with AC voltage:	360W 1,650VA	240W 1,100VA
Maximum switching voltage		125VDC 250VAC	
Minimum switching rating[1]		100mA 5VDC	

HR710-4P and variations

Base view



다) 계전기 검토 결과

경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업에 의하여 개발 중인 추진제어장치 조립체 중 기존 KTX 추진제어장치의 적용하고 있는 계전기와 국산화 개발품으로 기존 계전기를 사용 하지 않고 다른 대체품으로 사용 할 수 있는 계전기가 있는지 확인해 보았다.

기존 KTX 추진제어장치에 적용하고 있는 계전기는 보조블록에서도 사용하고 있는 MORS 사의 계전기를 사용 하고 있다.

이 위에 MORS사 들의 계전기는 기존 KTX의 배터리 전압인 72V의 전압을 사용하여 동작하고 있는데 현재 나와 있는 다른 계전기에는 72V의 전압 값으로 동작을 하는 계전기가 없고 전압 레벨의 범위와 접점 구성들이 각 회사 마다 틀려 사용하기가 어렵고 복잡한 구조로 되어 있다.

또한 이번 경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업을 통하여 개발 될 추진제어장치는 기존 입력 및 출력 사양이 기존 KTX 제품과 동일하게 설계, 제작 되어야 전체 적으로 기능적 호환을 유지 하며 일부 부품(계전기)들은 기존 제품과 성능을 호환되도록 설계를 해야 평상시 유지 보수 시에도 편리하다.

4) 과전압 & 전류 보호 계전기

현재 KTX 고속철도 차량 편성중에 동력차량에 2set 동력객차 차량의 1set 의 모터블록에 적용 되는 계전기로서 현재 운영중인 KTX 추진제어장치 조립체와 경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업에 의해 개발 진행 중인 국산화 추진제어장치 조립체의 계전기의 장치 및 신뢰성 시험 사양 등 MORS 사의 계전기 모델 성능과 주요기능을 확인 하였다.

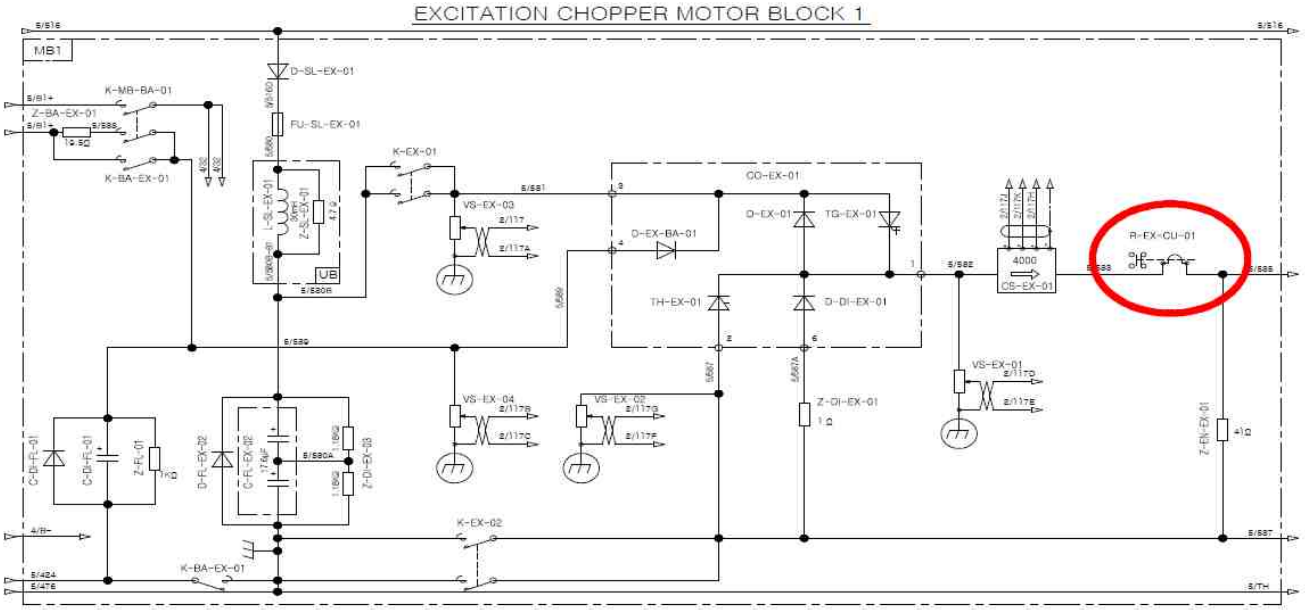
가) 모터블록용 계전기 자료

번호	형 식	적 용	수량	코일 전압	기 능
1	1378 ST	R-EX-CU-01	1	DC 72V	Excitation Current Relay
2	1264 ST	R-BK-CU-01	1	DC 72V	Braking Current Relay
3	1488 ST	R-DN-OY-01, R-DN-OY-02	2	DC 72V	Over Intensity Detection Relay
4	1319 ST	R-DN-PFC-01	1	DC 72V	Power Factor Correction Detection Relay
5	1313 ST	R-DN-PFC-02	1	DC 72V	Power Factor Correction Detection Relay
6	1263 ST	R-SG-VT-02	1	DC 72V	Surge Ventilation Relay
7	1270 ST	R-AUX-VT-01	1	DC 72V	Auxiliary Ventilation Relay
8	1389 ST	R-BK-SG-01	1	DC 72V	Braking Surge Relay
9	1305 ST	R-VT-FA-01	1	DC 72V	Ventilation Failure Relay
10	1385 ST	R-EA-FA-01	1	DC 72V	Earthing Failure Relay
11	1474 ST	R-EA-FA-02	1	DC 72V	Earthing Failure Relay

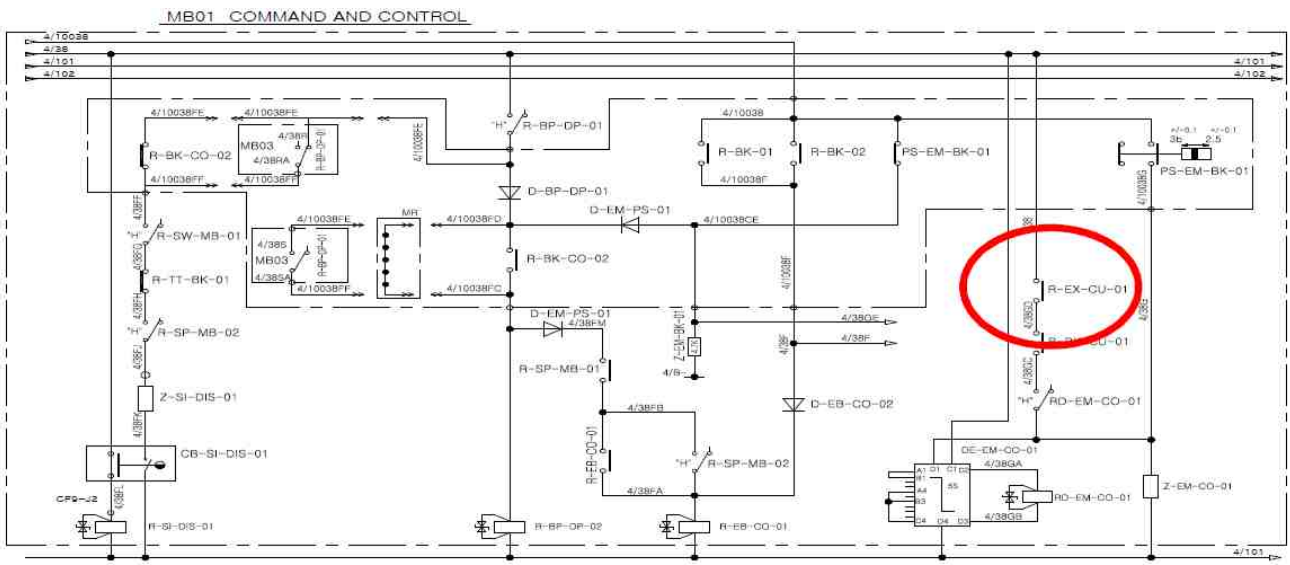
나) 계전기 정격 및 구성

(1) 모터블록용 계전기 정격 및 구성

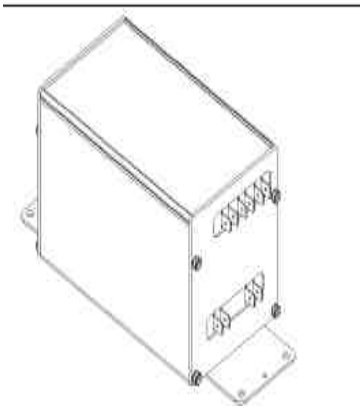
㈎ 1378 ST - R-EX-CU-01 (P05B)(B15G)



1378 ST는 Excitation Current Relay 로서 CO-EX-01 이 동작 하면 그 신호를 받아 R-EX-CU-01이 0.7초 후에 여자되어 R-EX-CU-01 의 A접점이 B접점으로 바뀜.



1378 ST



CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

CIRCUIT PRIMAIRE

Tension nominale	50 VDC mini / 90 VDC maxi
Enclenchement	< 45 VDC
Déclenchement	à la coupure
Temps de déclenchement	0.6 s mini / 0.8 s maxi @ U = 80 VDC

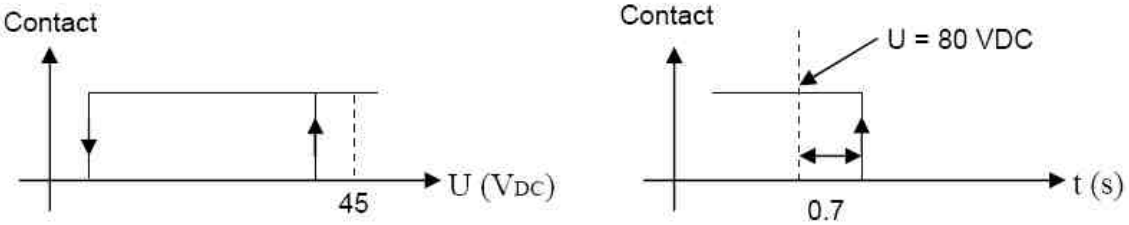
CONTACTS (sans recouvrement)

Contacts	1 NC (MR-R) et 1 NO (MT-T)
Tension nominale	72 VDC (50 VDC mini / 90 VDC maxi)
Pouvoir de coupure	90 VDC - 0.1 A - L/R = 30 ms
Nombre de manœuvres	10^6 opérations
Résistance de contact	< 20 mΩ

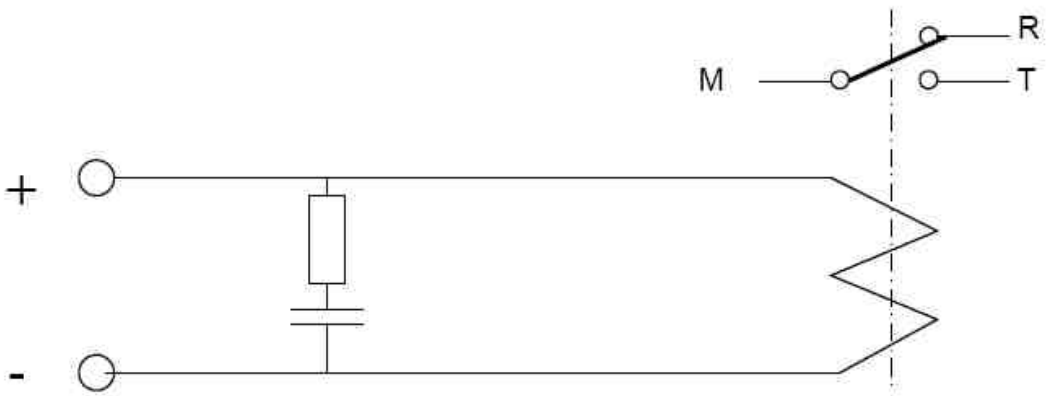
TEST DIELECTRIQUE ENTRE

Circuit de mesure et [contacts + masse]	1.5 kV - 50 Hz - 1 min
Toutes les bornes et la masse	1.5 kV - 50 Hz - 1 min
Contacts NO et NC	1.5 kV - 50 Hz - 1 min

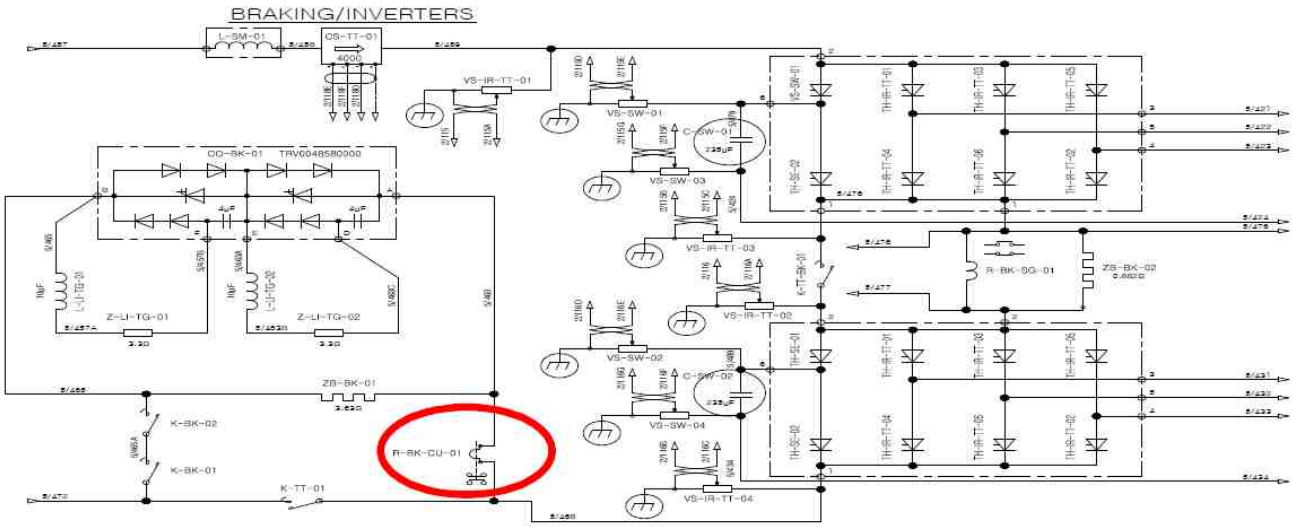
SCHEMA FONCTIONNEL



SCHEMA

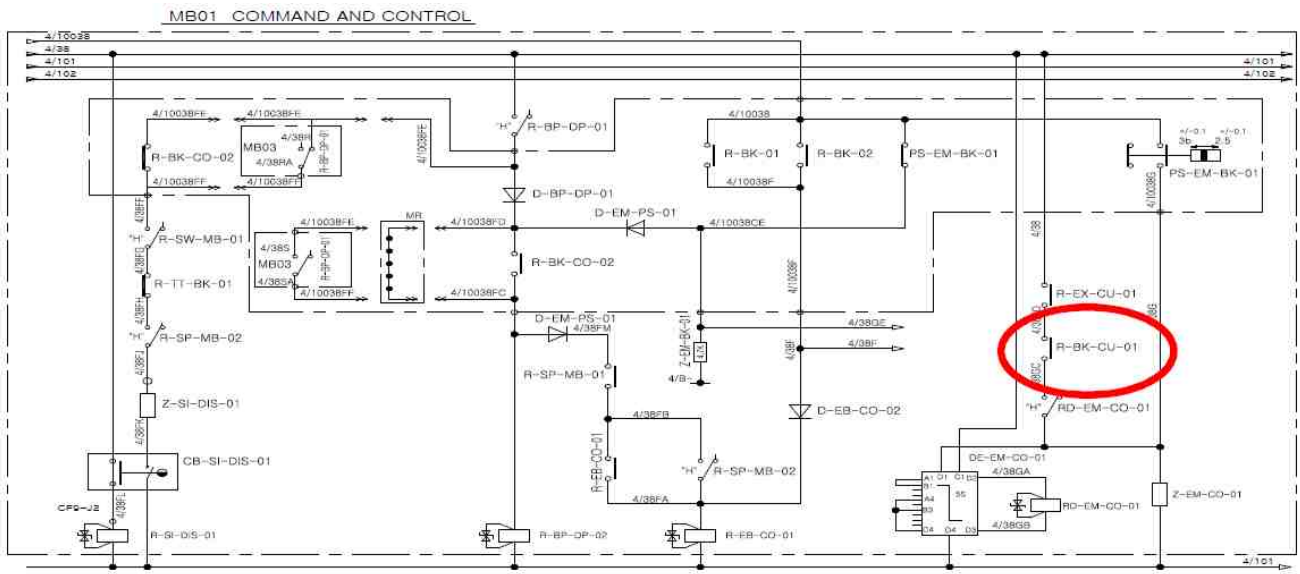


㈏ 1264 ST - R-BK-CU-01 (P02B)(B15G)



1264 ST Braking Current Relay로서 추진제어시스템의 제동력제어와 전차선 측으로 전류를 되돌리는 회생모드에서 동작하는 제동초퍼 장치의 구조로서 제동 및 회생에 2개의 제동컨택터 (K-BK-01,K-BK-02)가 직렬로 연결되며 동시에 여자/소자가 되고 제동저항이 필요 없는 경우 역행컨텍터(K-TT-01)가 여자되어 제동저항을 bypass시킴.

제동 및 회생시에 과전류 보호를 위한 열동형 계전기 (R-BK-CU-01)이 사용 되었다. 이때 과전류가 생기면 R-BK-CU-01이 여자되어 R-BK-CU-01 의 A접점이 B접점으로 바뀜.



1264 ST

DESCRIPTION

Le relais 1264 ST est composé de 3 relais sécuritaires de détection de coupure de phase ou de défaut d'isolement d'une phase pour réseau triphasé 400 V - 50 Hz. En cas d'anomalie sur une des phases, le contrôleur ouvre la boucle de surveillance afin d'interrompre l'alimentation de marche du CVS.

The 1264 ST relay is made of 3 security relays used to detect phase cut or insulation fault in a 3-phases 400 V - 50 Hz network.

CIRCUIT PRIMAIRE / PRIMARY CIRCUIT

Tension nominale / Nominal voltage	400 Veff- 50 Hz
Enclenchement / Pick up	Défaut d'isolement / Insulation fault
	Coupure de phase / Phase cut
Temps d'enclenchement / Pick up time	voir note / see note
Réarmement / Reset	Par bouton poussoir / Push button

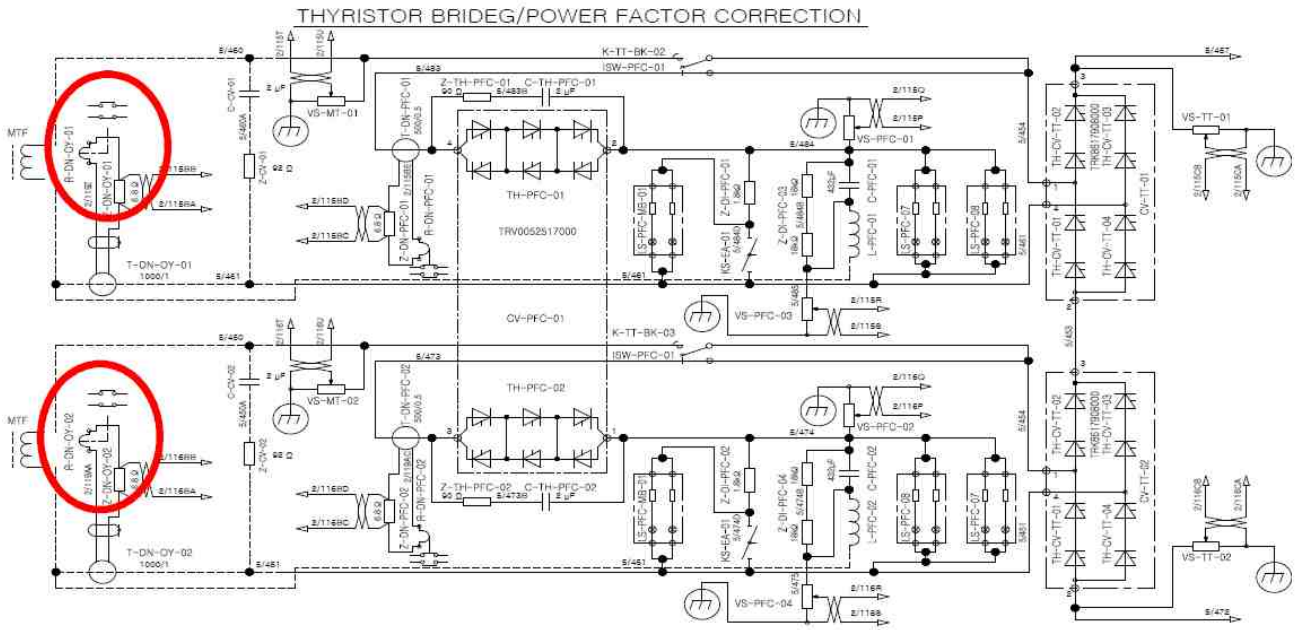
CIRCUIT AUXILIARE / AUXILIARY SUPLLY (réarmement / Reset)

Tension nominale / Nominal voltage	72 VDC (50 VDC mini / 90 VDC maxi)

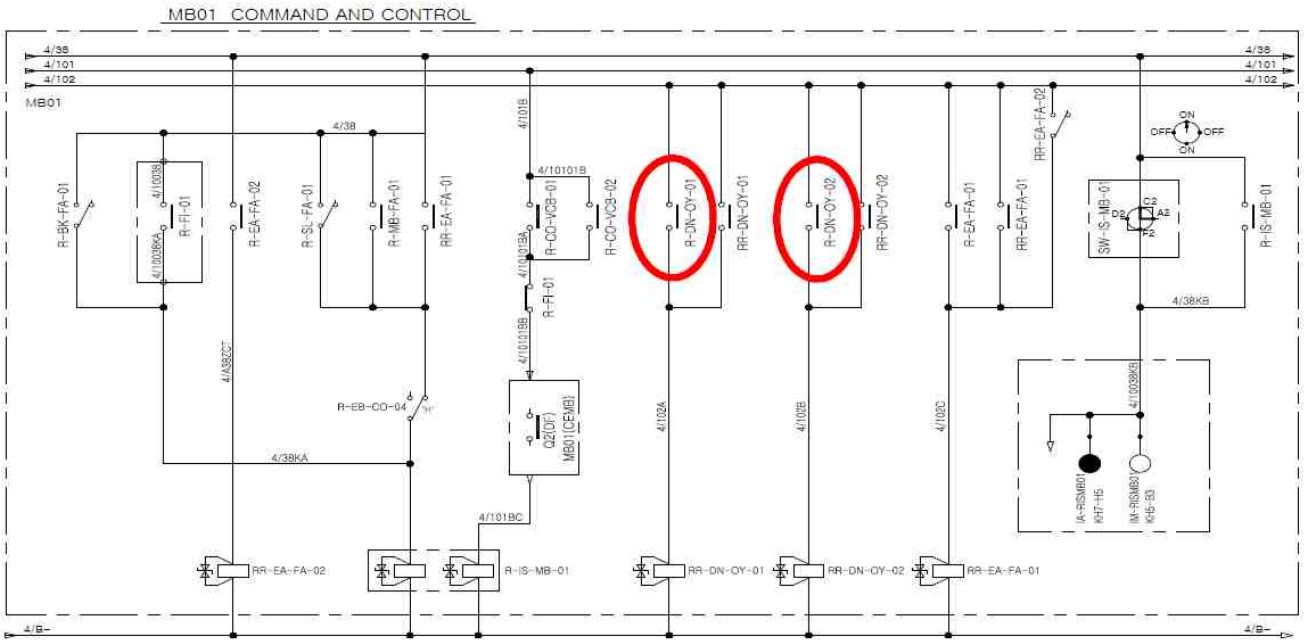
CONTACTS

Nominal voltage	72 VDC (50 VDC mini / 90 VDC maxi)
Contacts ratings	90 VDC - 0.3 ADC - L/R = 20 ms
Electrical lifetime	10^6 operations
Contact resistance	< 20 mΩ

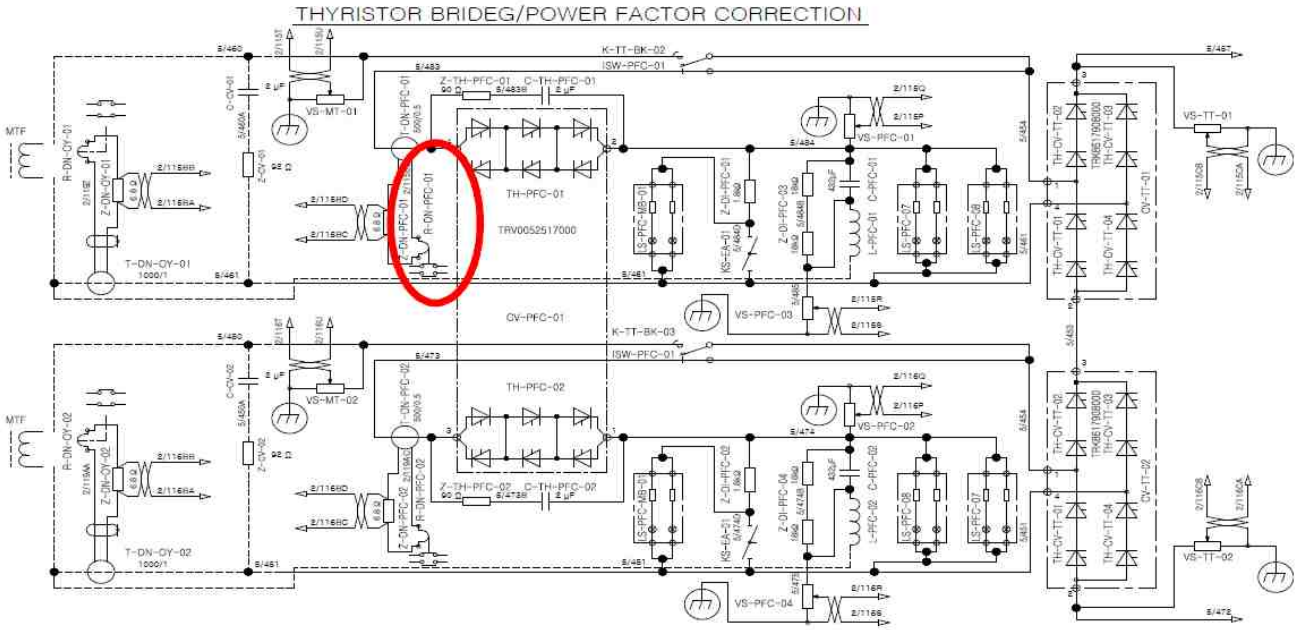
㈐ 1488 ST - R-DN-OY-01 / R-DN-OY-02 (P02A)(B15M)



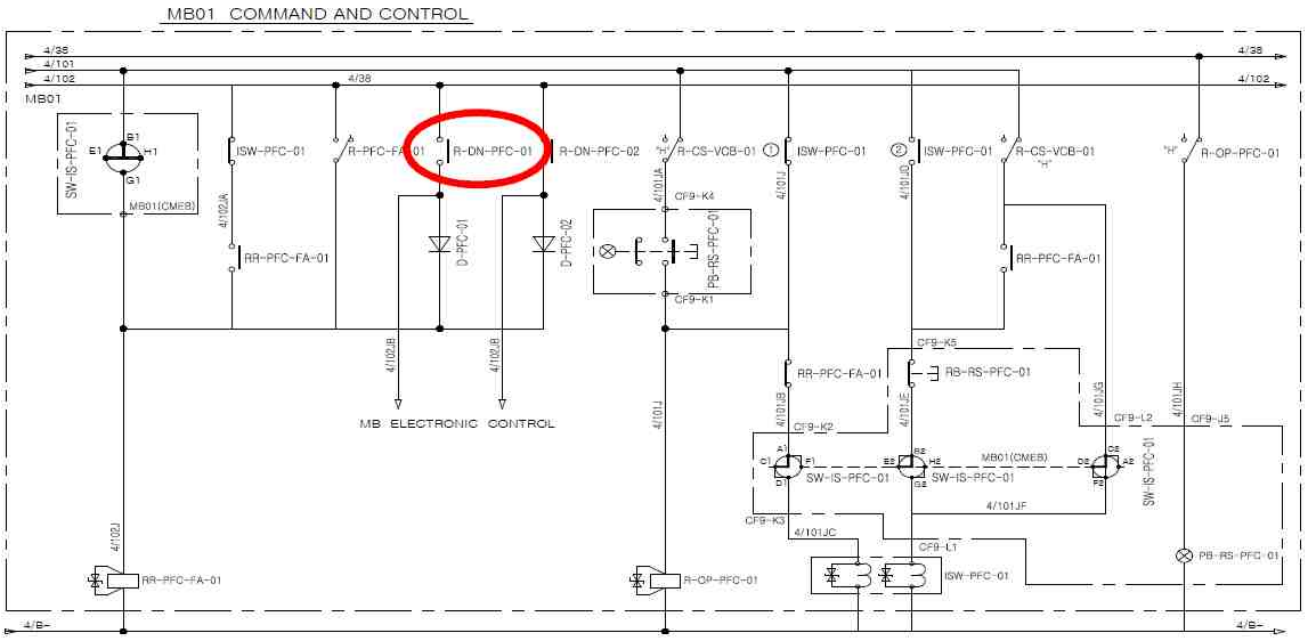
1488 ST는 Over Intensity Detection Relay로서 역률개선장치(CV-PFC-01)의 주변압기 2차 권선에 유도된 전원의 고조파 전류 및 전류와 전압의 위상차를 개선시키고, 60Hz의 제3고조파인 180Hz를 필터링 하여 사인파에 가까운 파형을 컨버터(CV-TT)에 공급함에 있어 전류의 이상이 있을 시에 동작 하여 R-DN-OY-01/02 의 A접점이 B접점으로 바뀜.



㈑ 1319 ST - R-DN-PFC-01 (P02A)(B16J)



1319 ST는 Power Factor Correction Detection Relay로서 역률개선장치(TH-PFC-01)의 전원의 고조파 전류 및 전류와 전압의 위상차를 개선시키고, 60Hz의 제 3고조파인 180Hz를 필터링 하여 사인파에 가까운 파형을 컨버터(TH-CV-TT)에 공급함에 있어 전류의 이상이 있을시 에 동작 하여 R-DN-PFC-01 의 A접점이 B접점으로 바뀜.



CARACTERISTIQUES GENERALES

Encombrement suivant plan N° 1319E3

Isolement diélectrique

entre primaire et contacts : 8KV – 50Hz – 1min

entre contacts et masse : Néant (Produit moulé)

entre contacts 0 et F : 1,5 KV – 50 Hz – 1 min

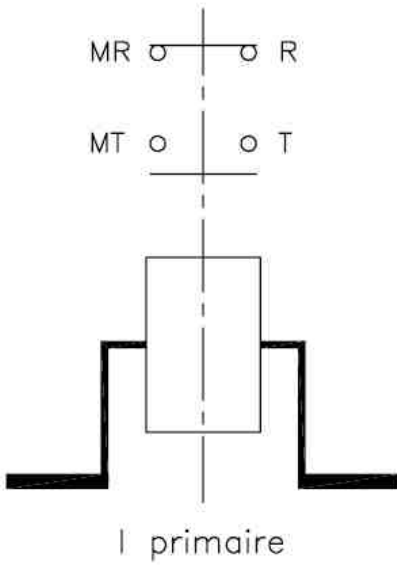
Tension de service = 2300V

Courant maximum = 2600A / 100ms

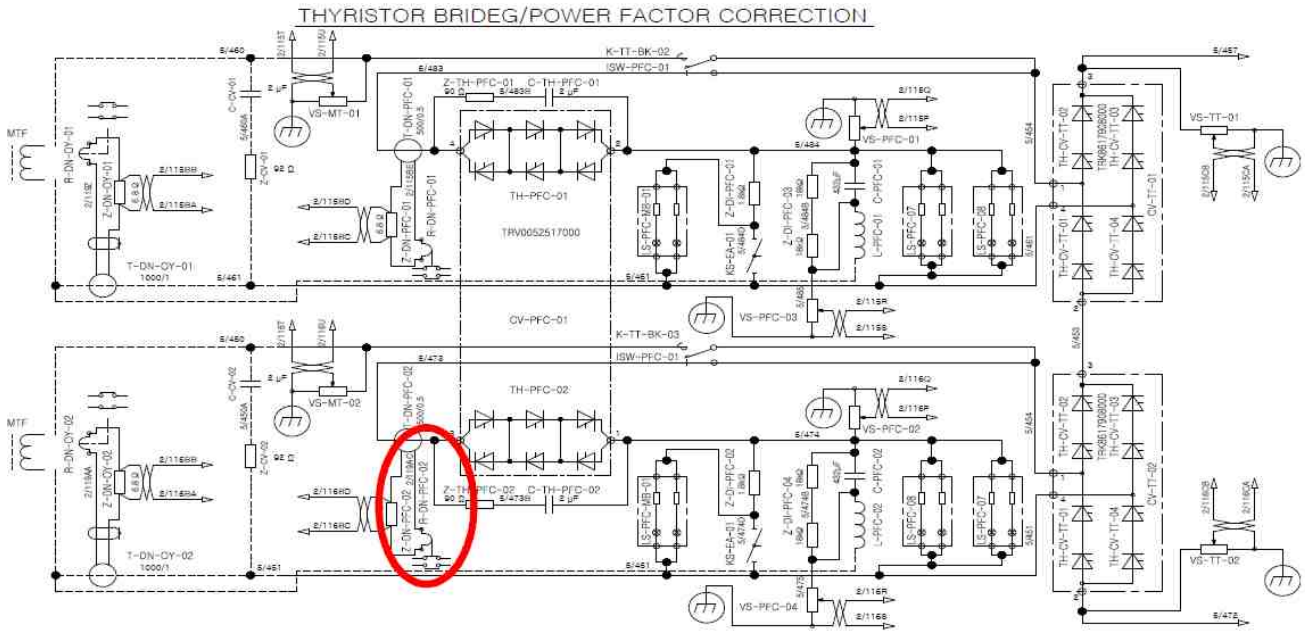
Enclenchement = 15A +/– 1A

Déclenchement à la coupure du courant

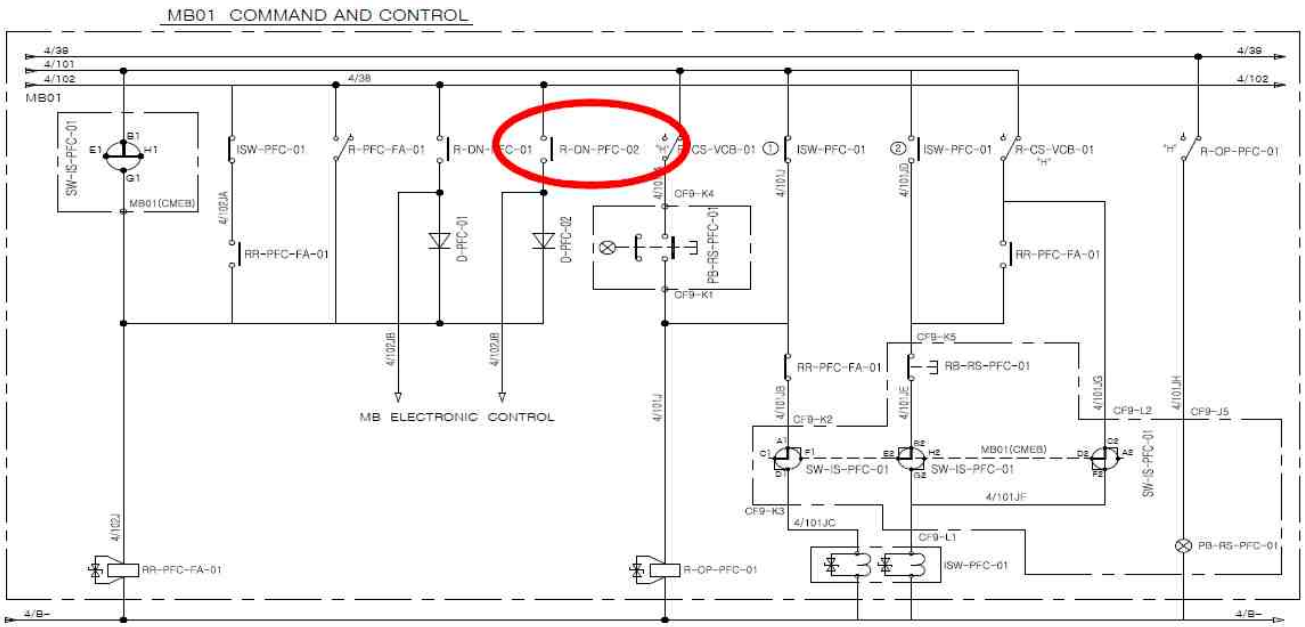
SCHEMA



㈐ 1313 ST - R-DN-PFC-02 (P02A)(B16J)



1313 ST는 Power Factor Correction Detection Relay로서 역률개선장치(TH-PFC-02)의 전원의 고조파 전류 및 전류와 전압의 위상차를 개선시키고, 60Hz의 제 3고조파인 180Hz를 필터링 하여 사인파에 가까운 파형을 컨버터(TH-CV-TT)에 공급함에 있어 전류의 이상이 있을시 에 동작 하여 R-DN-PFC-02 의 A접점이 B접점으로 바뀜



Isolement diélectrique

entre primaire et contacts : 8KV – 50Hz – 1min
entre contacts et masse : Néant (Produit moulé)
entre contacts 0 et F : 1,5 KV – 50 Hz – 1 min

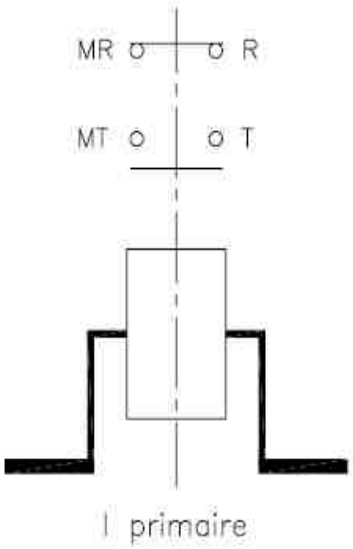
Tension de service = 2300V

Courant maximum = 2600A / 100ms

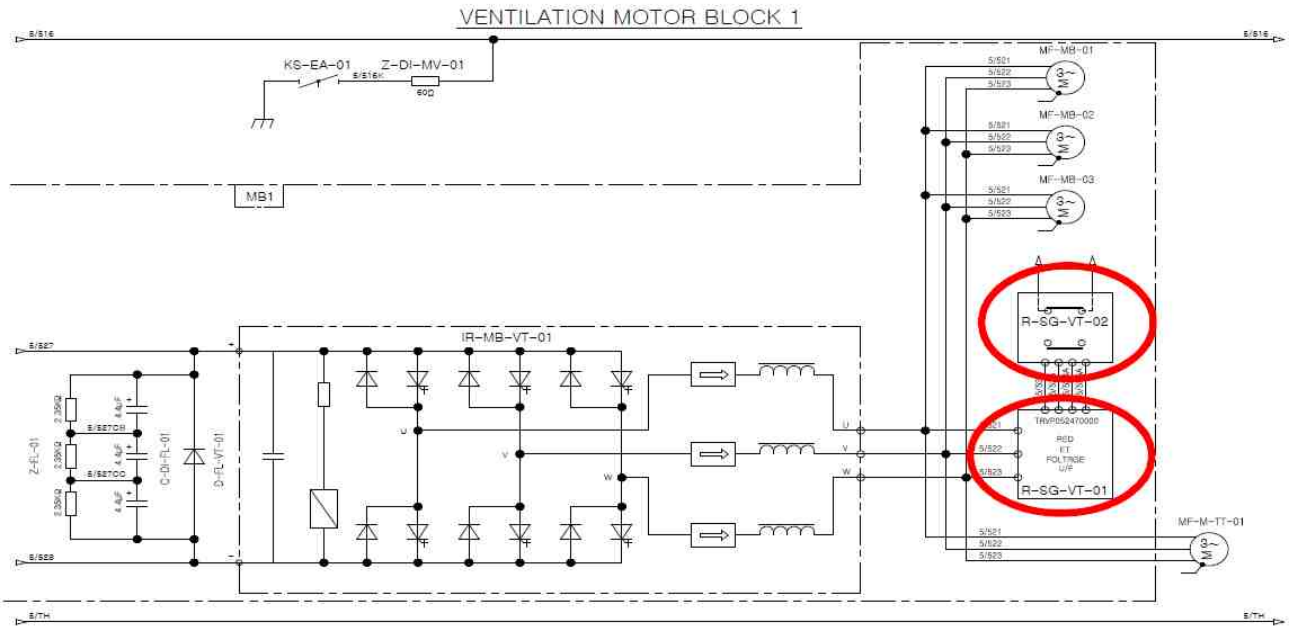
Enclenchement = 15A +/– 1A
Déclenchement à la coupure du courant

Pouvoir de coupure des contacts du relais = 0,3A – 110Vcc – L/R = 50ms

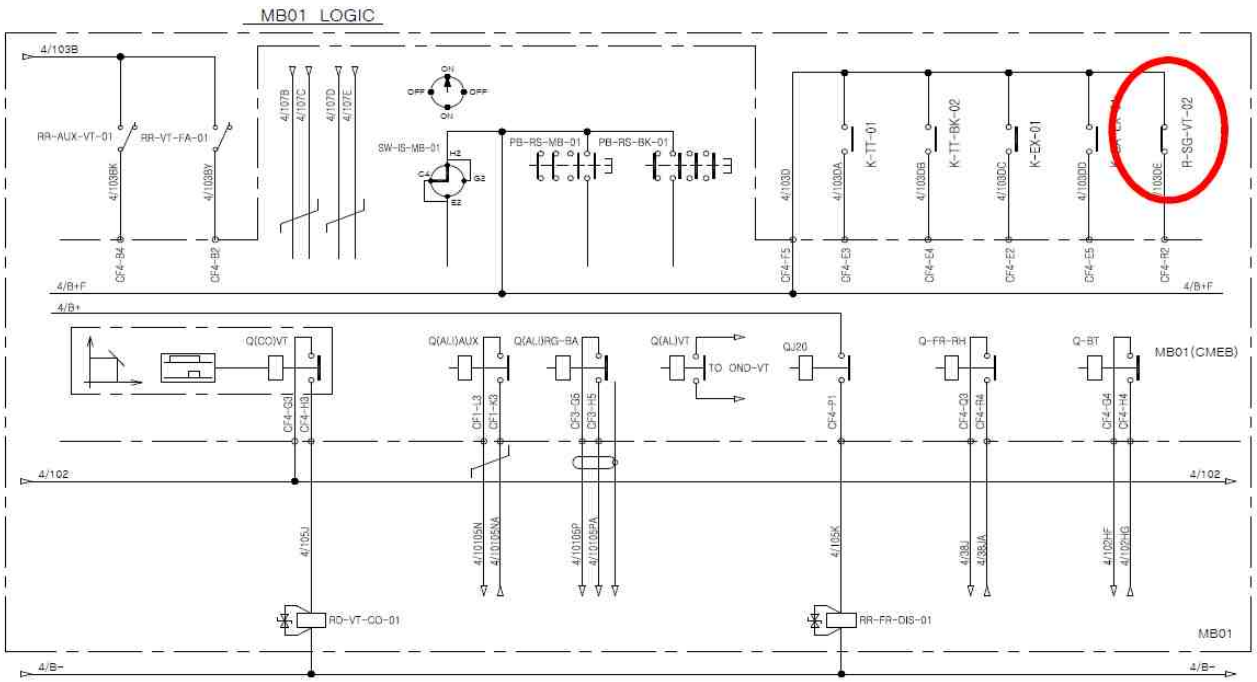
SCHEMA



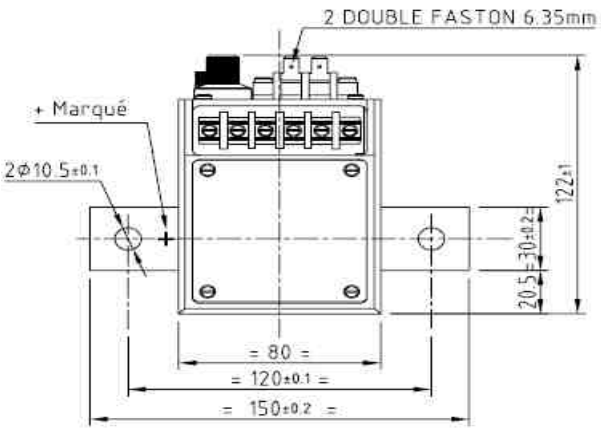
㈅ 1263 ST - R-SG-VT-02 (P04B)(B17G)



1263 ST는 Surge Ventilation Relay로서 주변압기 모터 환풍기를 감시 하는 R-SG-VT-01 의 신호를 받아 동작 하며 R-SG-VT-02 의 B접점이 A접점으로 바뀜.



1263 ST



REGLAGES DES SEUILS DU RELAIS

Alimentation auxiliaire: 48Vcc ±10%

Enclenchement du relais par action sur le bouton poussoir extérieur

Déclenchement réglable de 250Acc à 500Acc par le potentiomètre

Echelle d'utilisation du potentiomètre: 0(250Acc) à 10(500Acc)

Réarmement par action sur le bouton poussoir extérieur

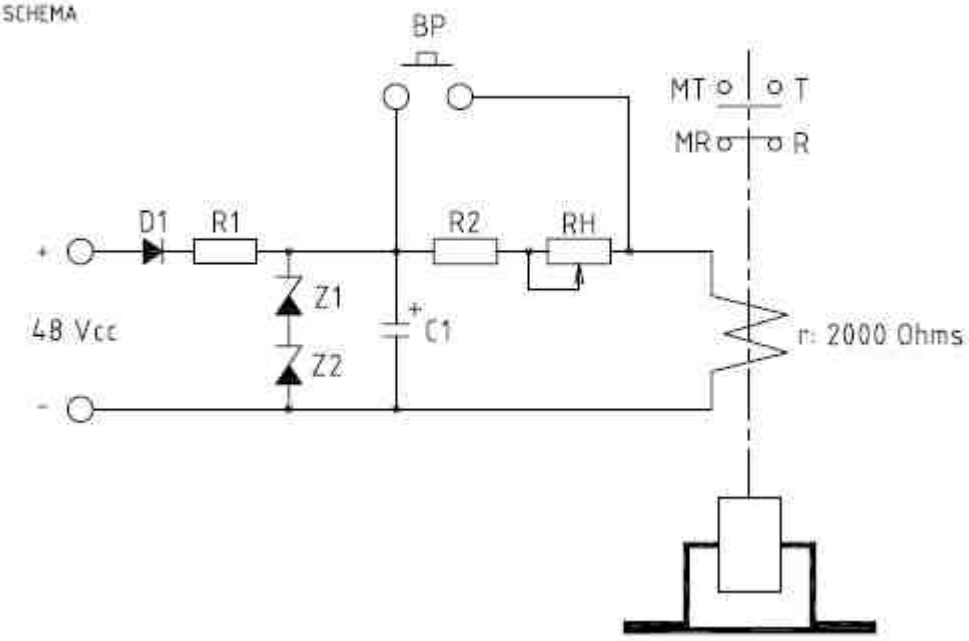
Relais équipé d'un contact NO et d'un contact NF isolés

Pouvoir de coupure : 2A – 220Vac

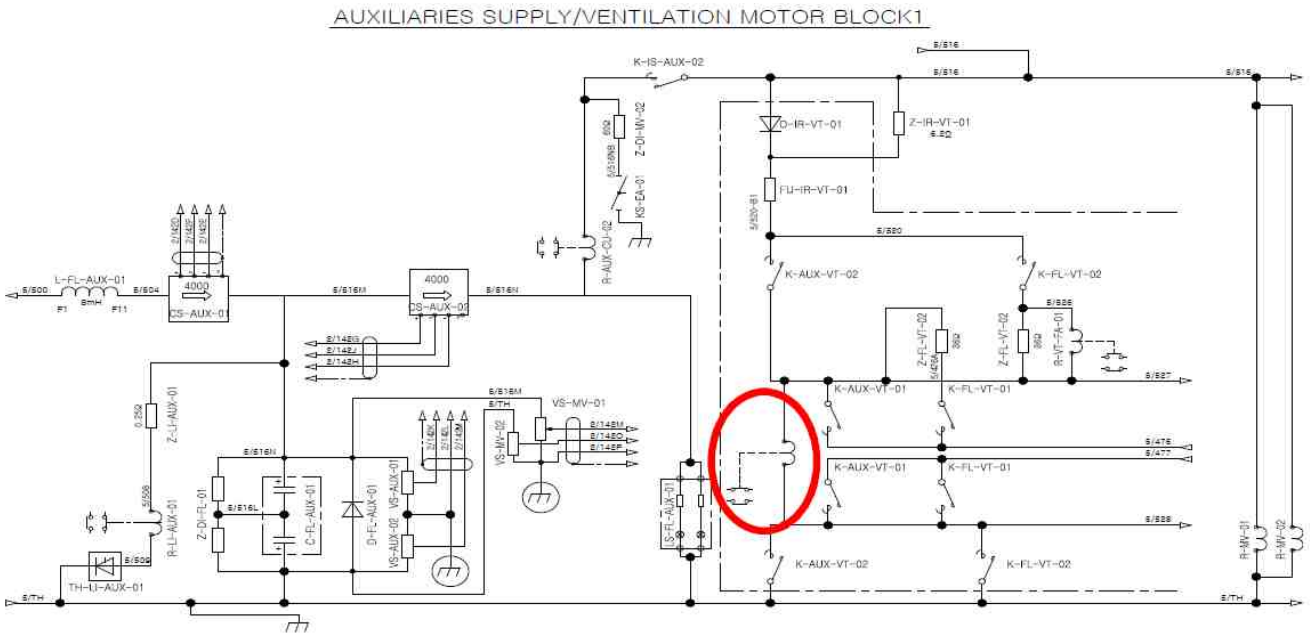
NOTA : Le relais est en position travail en cas de non défaut

Le relais est en position repos en cas de Imax ou de coupure de l'alimentation auxiliaire

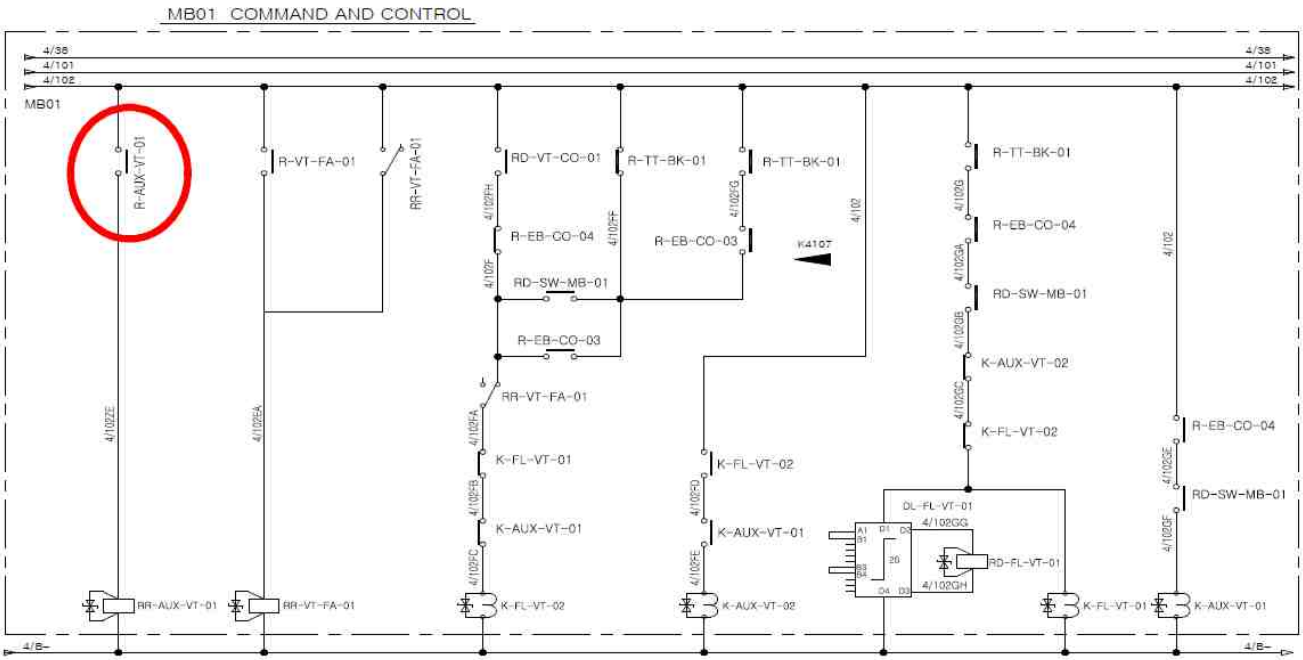
SCHEMA



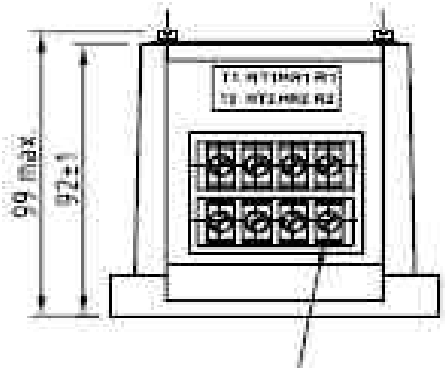
㈏ 1270 ST - R-AUX-VT-01 (P04A)(B16A)



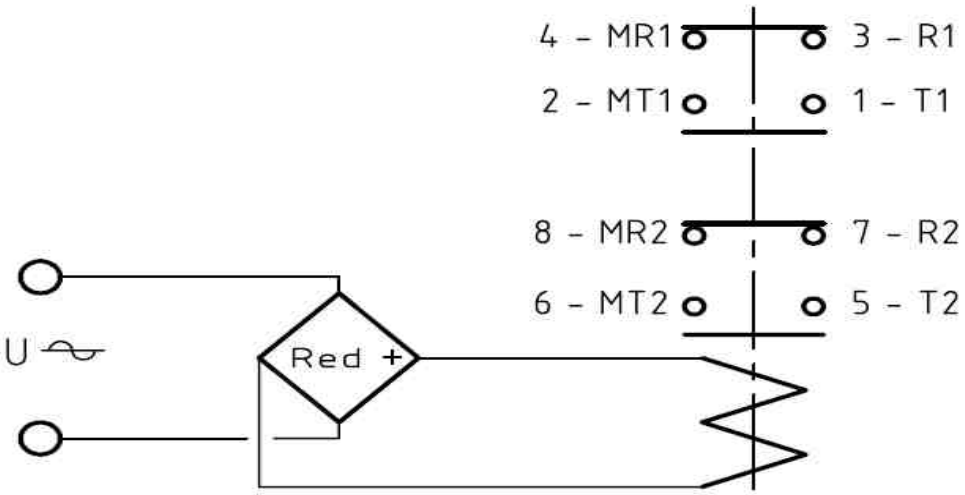
1270 ST는 Auxiliary Ventilation Relay로서 K-AUX-VT-02(Auxiliary Ventilation Contactor)의 A접점이 B접점으로 동작 하면 여자 되어 R-AUX-VT-01의 A접점이 B접점으로 동작 하여 RR-AUX-VT-01(Auxiliary Ventilation Repetition Relay)를 여자 시킨다.



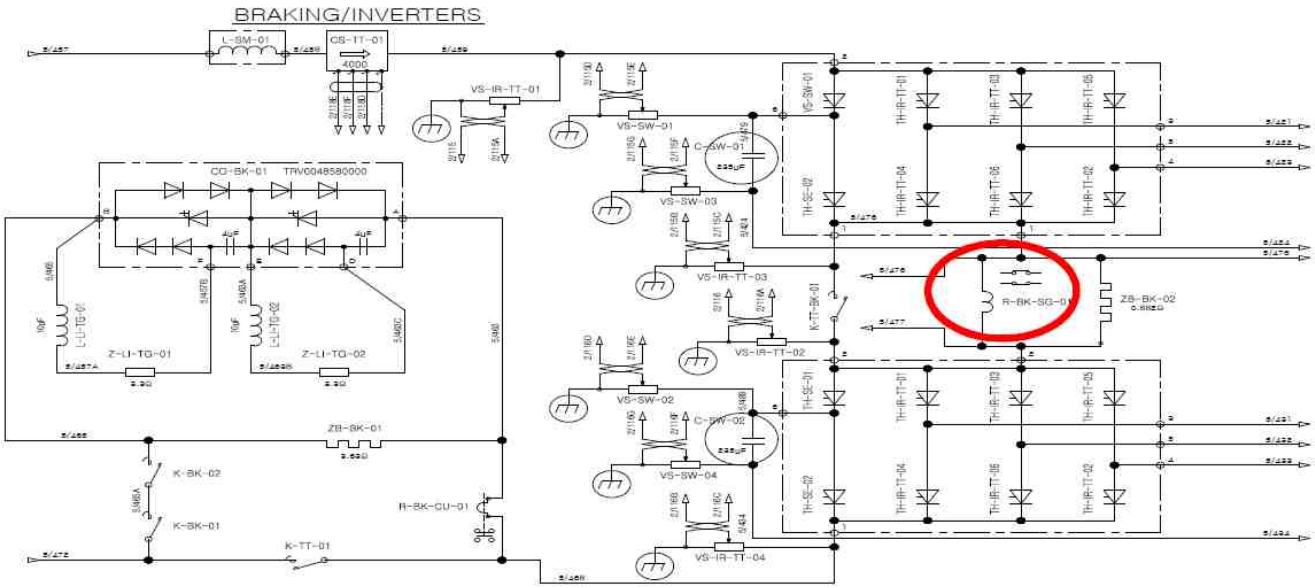
1270 ST



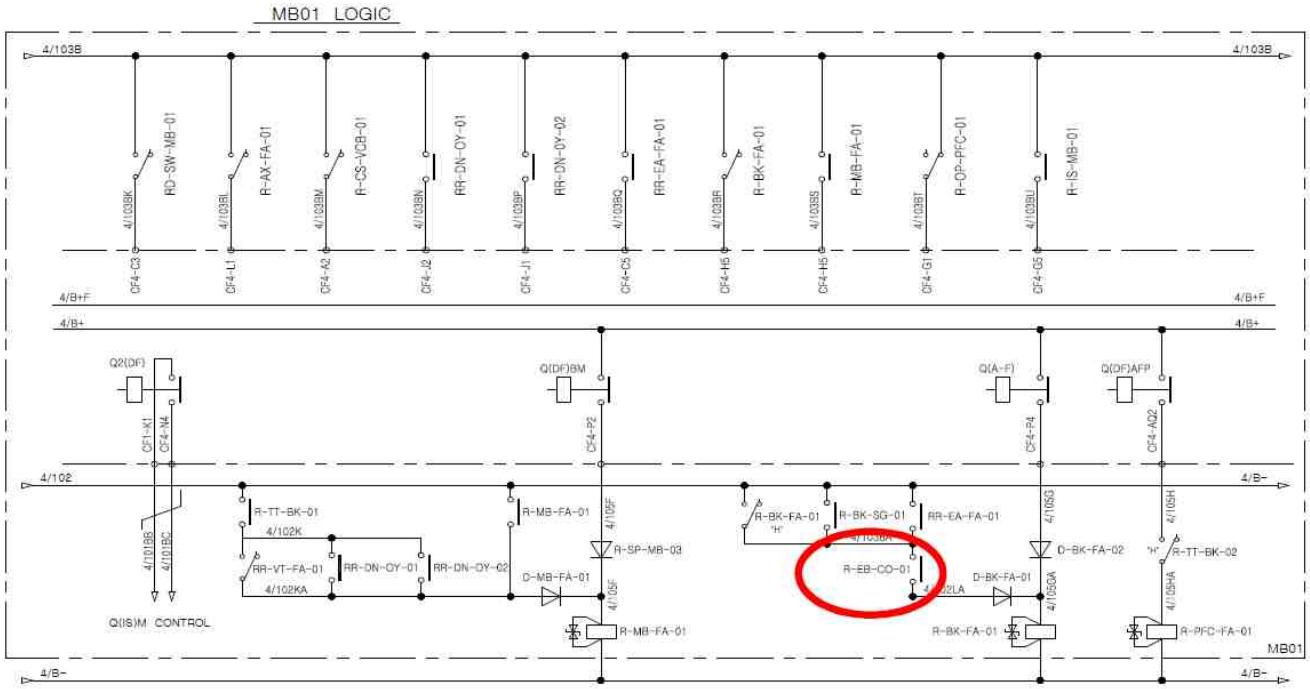
SCHEMA



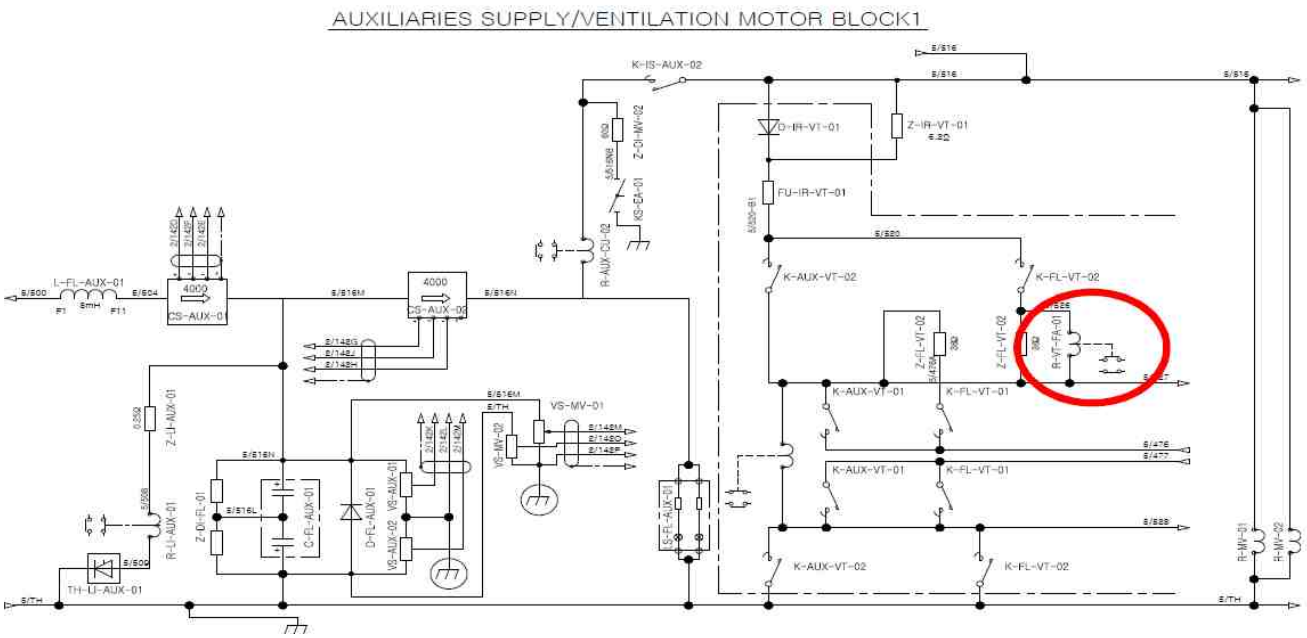
㈎ 1389 ST - R-BK-SG-01 (P02B)(B17D)



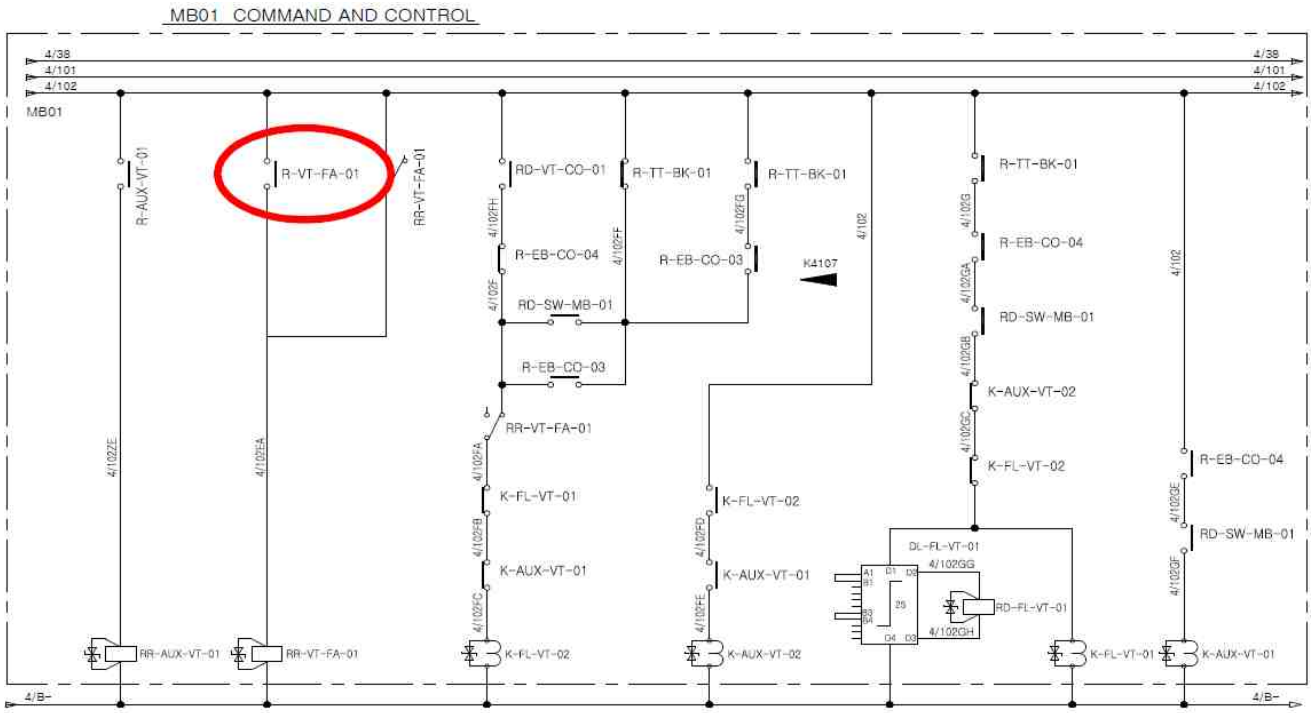
1389 ST는 Braking Surge Relay 로서 IR-TT-01/02의 전류를 감시 하여 허용범위 이상의 전류가 도통 되었을 시에 R-BK-SG-01가 여자 되어 R-BK-SG-01의 A접점이 B접점으로 동작 한다.

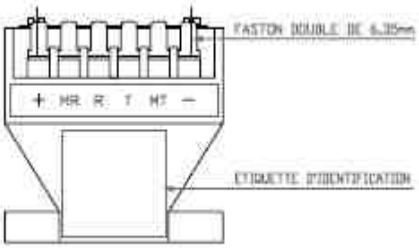


㈜ 1305 ST - R-VT-FA-01 (P04A)(B16A)



1305 ST는 Ventilation Failure Relay 로서 환풍기 고장 접점인 K-FL-VT-02이 B 접점으로 옮겨지면 R-VT-FA-01이 여자 되어R-VT-FA-01이 A접점에서 B접점으로 동작 한다.





CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES

Isolement diélectrique

entre Ct principal et contacts : 2KV - 50Hz - 1min

entre contact repos et contact travail : 1,5KV - 50Hz - 1min

U max. = 90 Vcc

Enclenchement = 80 Vcc +/- 1 Vcc

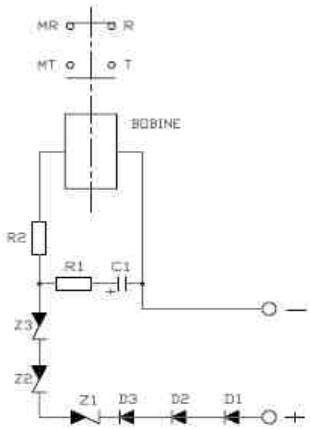
Déclenchement = 72 Vcc +/- 1 Vcc

Temporisation à la retombée de 0,3 à 0,5s

Pouvoir de coupure des contacts du relais

0,3A - 90Vcc - L/R = 20ms

SCHEMA



COMPOSANTS

Bobine : 9000 spires - 1060 Ohms

R1 : RB59 - 330 Ohms

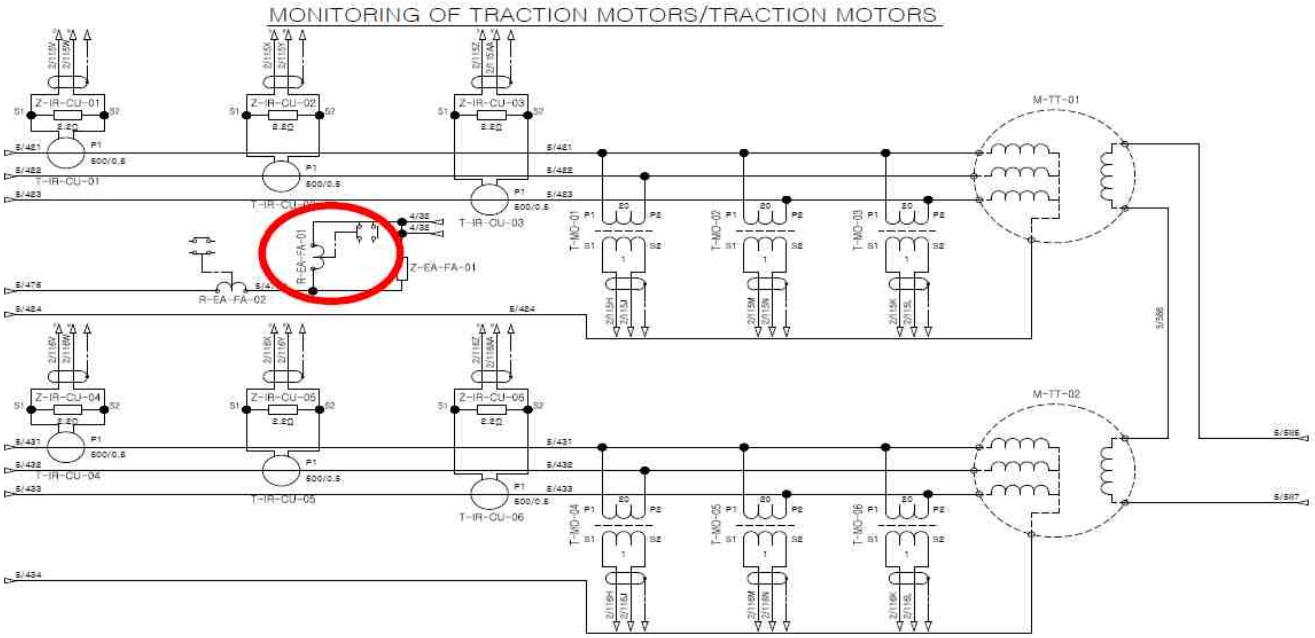
R2 : RB59 - 1500 Ohms

C1 : C033 - 680 microF 63/76V

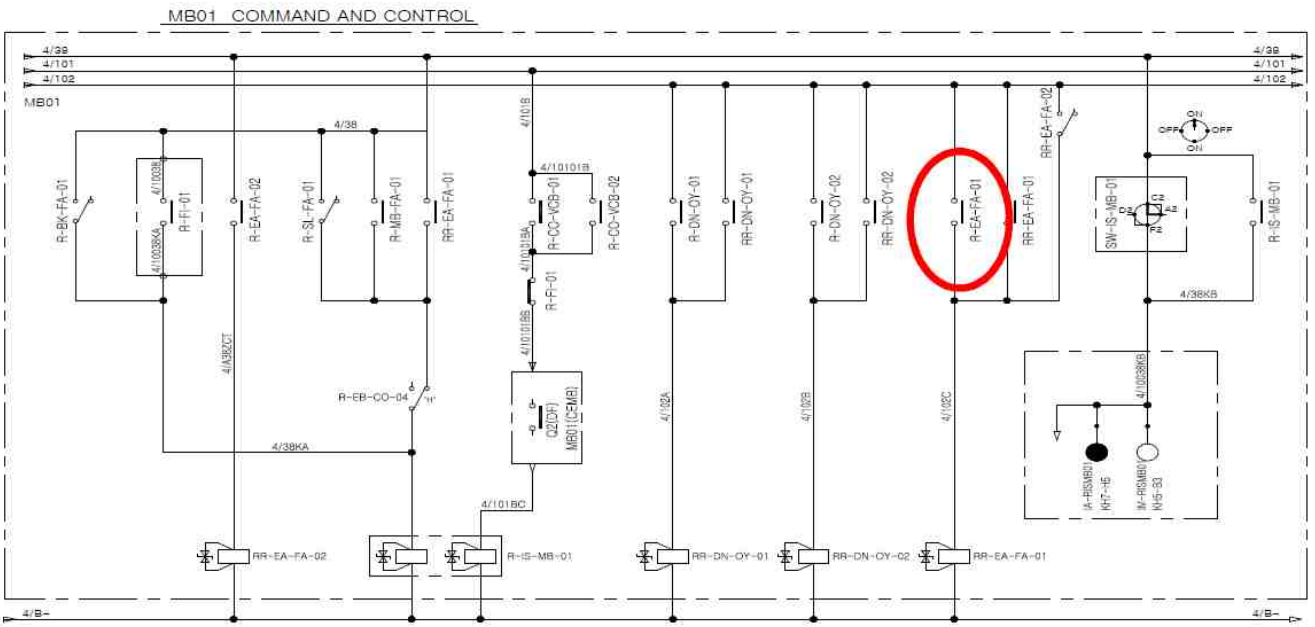
D1, D2, D3: 3x 1N4007GP

Z1, Z2, Z3: 3 x BZX85C - 15V

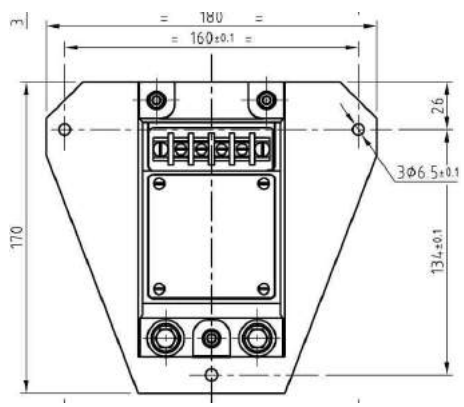
㈐ 1385 ST - R-EA-FA-01 (P02C)(B15N)



1385 ST는 Earthing Failure Relay 로서 차량과의 접지 이상이 있을 시에 R-EA-FA-01이 여자 되어 R-EA-FA-01이 A접점에서 B접점으로 동작 하여 RR-EA-FA-01(Earthing Failure Repetition Relay) 여자 시킨다.



1385 ST



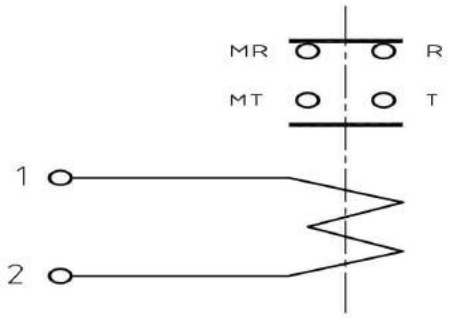
CARACTERISTIQUES GENERALES

Isolement diélectrique entre bobine et contacts + masse : 10KVeff - 50Hz - 1min
Isolement diélectrique entre contacts et masse : 1,5KVeff - 50Hz - 1min
Isolement diélectrique entre contacts Repos et Travail : 1,5KVeff - 50Hz - 1min

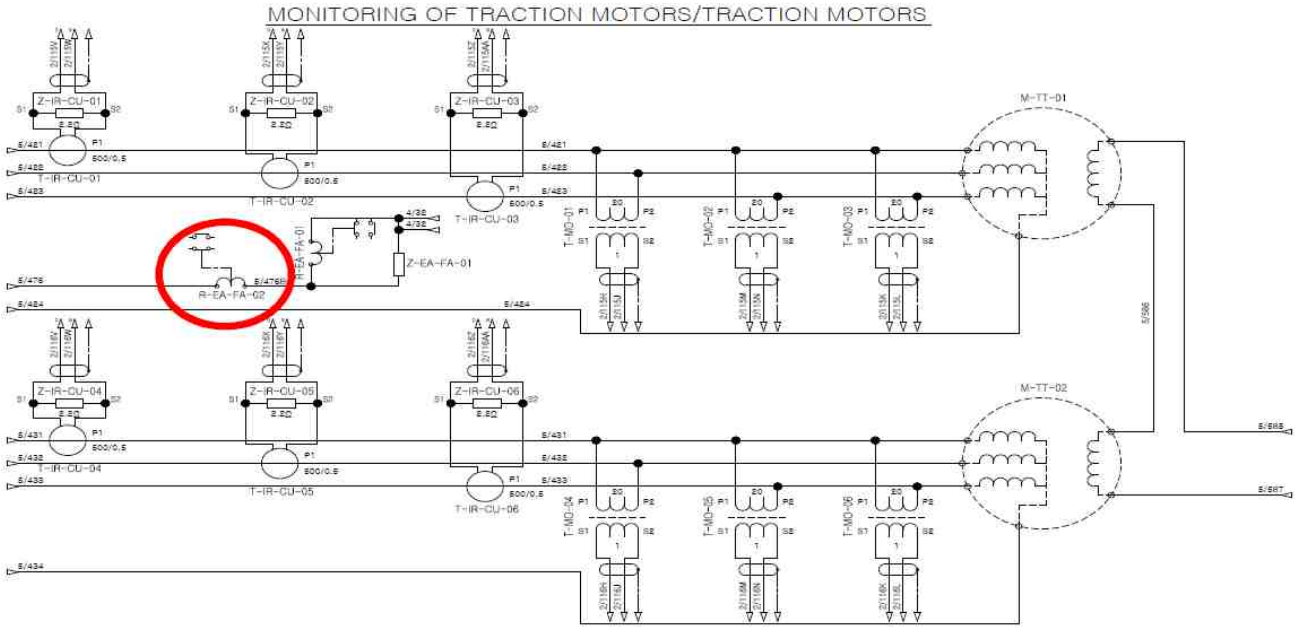
Tension maximale en cas de défaut = 6800 Vdc

Réglage des seuils du relais
Enclenchement : 38 Vdc ±2Vdc
Temps d'enclenchement <100ms pour U=48Vdc
Déclenchement : >0
Masse : 2 kg
Pouvoir de coupure des contacts du relais : 0.1A - 90 Vdc - L/R = 50ms 10^6 manoeuvres

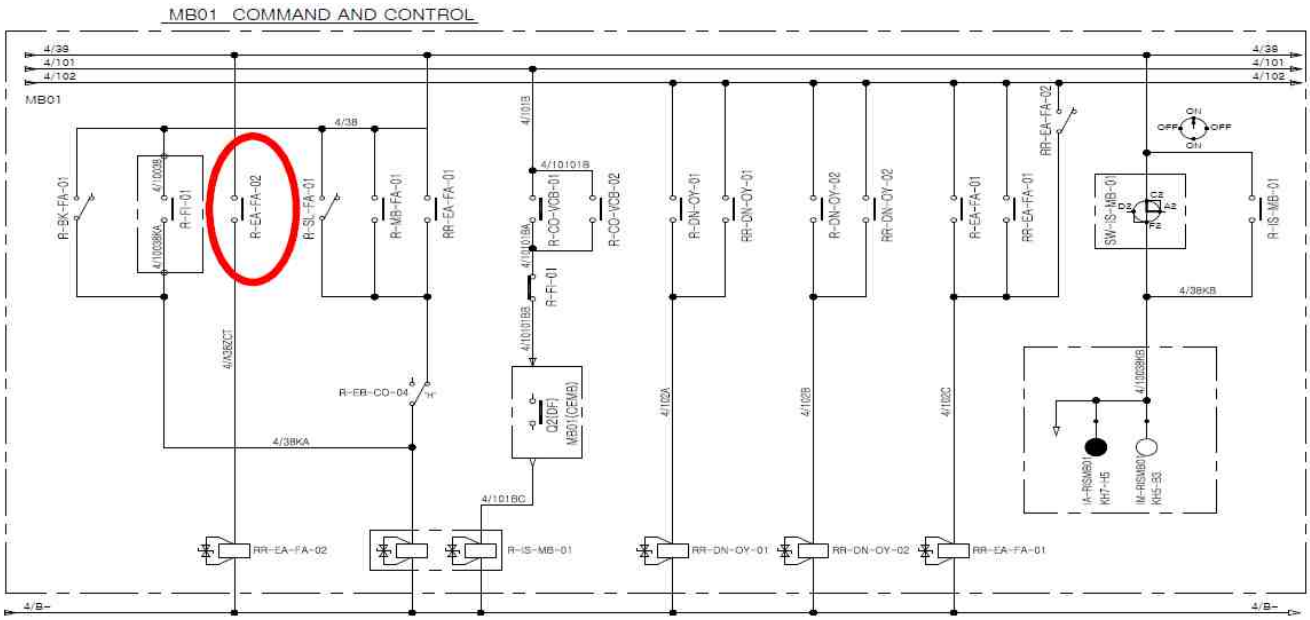
SCHEMA



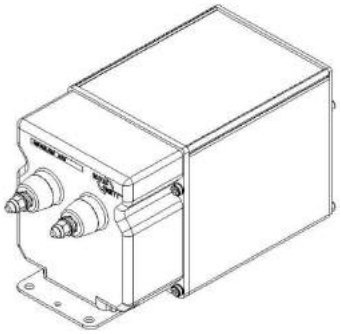
㈐ 1474 ST - R-EA-FA-02 (P02C)(B15N)



1474 ST는 Earthing Failure Relay 로서 차량과의 접지 이상이 있을 시에 R-EA-FA-02 이 여자 되어 R-EA-FA-02이 A접점에서 B접점으로 동작 하여 RR-EA-FA-02(Earthing Failure Repetition Relay) 여자 시킨다.



1474 ST



CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES / ELECTRICAL CHARACTERISTICS

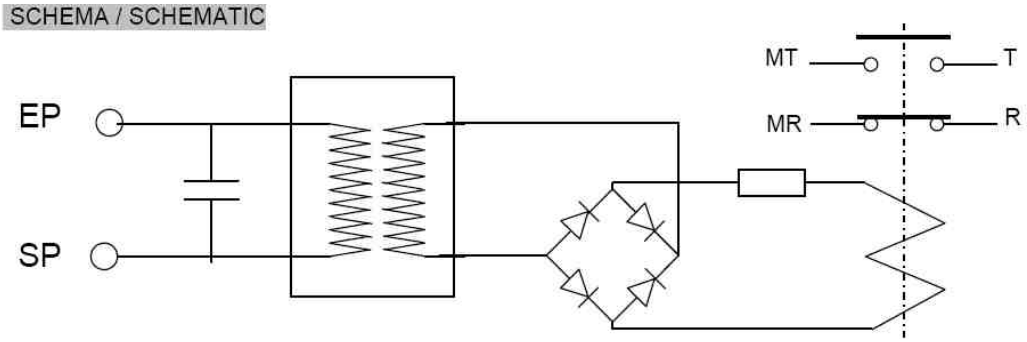
CIRCUIT PRIMAIRE / PRIMARY CIRCUIT

Courant efficace permanent / Permanent current 0
Courant maxi en cas de défaut / Max. current ..... 5 Aeff
Enclenchement / Pick up ..... 332 mAeff mini / 368 mAeff maxi - 50 / 60 Hz
..... > 1.2 Aeff - 300 Hz
Déclenchement / Drop out ..... > 170 mAeff - 50 / 60 Hz
Temps d'enclenchement / Pick up time ..... < 30 ms @ I = 420 mAeff

CONTACTS

Contacts ..... 1 NC (MR-R) et 1 NO (MT-T)
Tension nominale / Nominal voltage ..... 72 VDC (mini 50 VDC / maxi 90 VDC)
Pouvoir de coupure / Contact rating ..... 0.3 ADC - 90 VDC - L/R = 20 ms
Nombre de manœuvres / Electrical lifetime ..... 10^6 opérations
Résistance de contact / Contact resistance ..... < 20 mΩ

SCHEMA / SCHEMATIC



다) 검토결과

경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업에 의하여 개발 중인 추진제어장치 조립체 중 기존 KTX 추진제어장치의 적용하고 있는 특수 계전기의 기능과 신뢰성 등을 검토해 보았다.

기존 KTX 추진제어장치의 적용 하고 있는 계전기는 MORS사의 계전기를 사용 하고 있는데, 이는 프랑스 알스톰(Alstorm)사에서 MORS사에 제작을 요구하여 만든 특수 계전기이다.

국산화 개발품으로 기존 계전기를 사용 하지 않고 다른 대체품으로 사용 할 수 있는 계전기가 있는지 확인해 보았으나, MORS사 들의 계전기는 기존 KTX의 배터리 전압인 72V의 전압을 사용하여 동작하고 있는데 현재 나와 있는 다른 계전기에는 72V의 전압 값으로 동작 하는 계전기가 없고 전압 레벨의 범위와 접점 구성들이 각 회사 마다 틀려 사용하기가 어렵고 복잡한 구조로 되어 있다.

현재 국내 및 국외에서는 동일 구조와 기능 등을 개발한 사례가 없을 뿐만 아니라 이 고속 철도 차량용 특수 계전기를 개발을 한다 해도 고속철도 차량에 탑재된 시스템간의 인터페이스가 주요사항으로 개발에 많은 어려움이 있고, 기술개발에 성공했어도 수요가 제한적이라 기업 차체의 개발 어려움이 있을 것으로 판단하고 있다.

또한 이번 경부고속철도용 추진제어장치 기술개발 사업을 통하여 개발 될 추진제어장치는 기존 입력 및 출력 사양이 기존 KTX 제품과 동일하게 설계, 제작 되어야 전체 적으로 기능적 호환을 유지 하며 일부 부품(계전기)들은 기존 제품과 성능을 호환되도록 설계를 해야 평상시 유지 보수 편이성, 유지비용 절감에도 유리하다.

3. 모터블록 제어기MBU(Motor Block control Unit)부

가. 모터블록 제어장치 하드웨어

1) 모터블록 제어기 개요

가) 모터블록 제어장치 개요

모터블록 제어장치(MBU : Motor Block Processing Unit)는 열차의 모터블록에 각각 설치 되어있다.

각 종 CUBE 장치를 제외하고 OBCS와 인터페이스를 통하여 차량 상태 및 속도제어의 정보를 기관사에 정보를 전달함으로써 운영 및 검수 용이성을 제공하는 기능을 갖고 있다.

MBU의 차량 운행의 주요 기능

- 견인요구 지령을 처리.
- 제동명령을 가지고 전기 및 공기제동을 분배.
- 전기 제동력을 조절.
- 견인모터의 소모 전력을 제한.
- 팬터그래프 이선을 처리.
- 공전 및 활주 방지를 처리.
- 차륜직경 보정.
- 차축 비회전을 감지.

나) 모터블록 제어장치 구성

(1) MBU의 배치

모터블록용 제어장치인 MBU는 6U x 84HP의 4단으로 구성되어 있고, 각 각의 보드는 표준형 6U(233mm x 220mm x t1.6)로 크기로 구성되었다. 제어기능을 갖는 보드는 4HP 크기로 설계되었다.

각단 분리 형태이며, 보드별로 분리되는 구조로 설치되어 있다.

(2) MBU 제어카드별 위치

1단 : BFAS, ESB1, ESB2, ESB3, ESL1, ESL2, ESL3, MV, IFPS, CAL1, IMON, AIT1, AIT14

2단 : CAL3, ISY-1, AIT1, ISY-2, AIT1, CAL1, INCA, ISO, CDJ, B153

3단 : CRVB, ACOB, AG1820W, TDSV, PUZ33

4단 : REDM, ASB

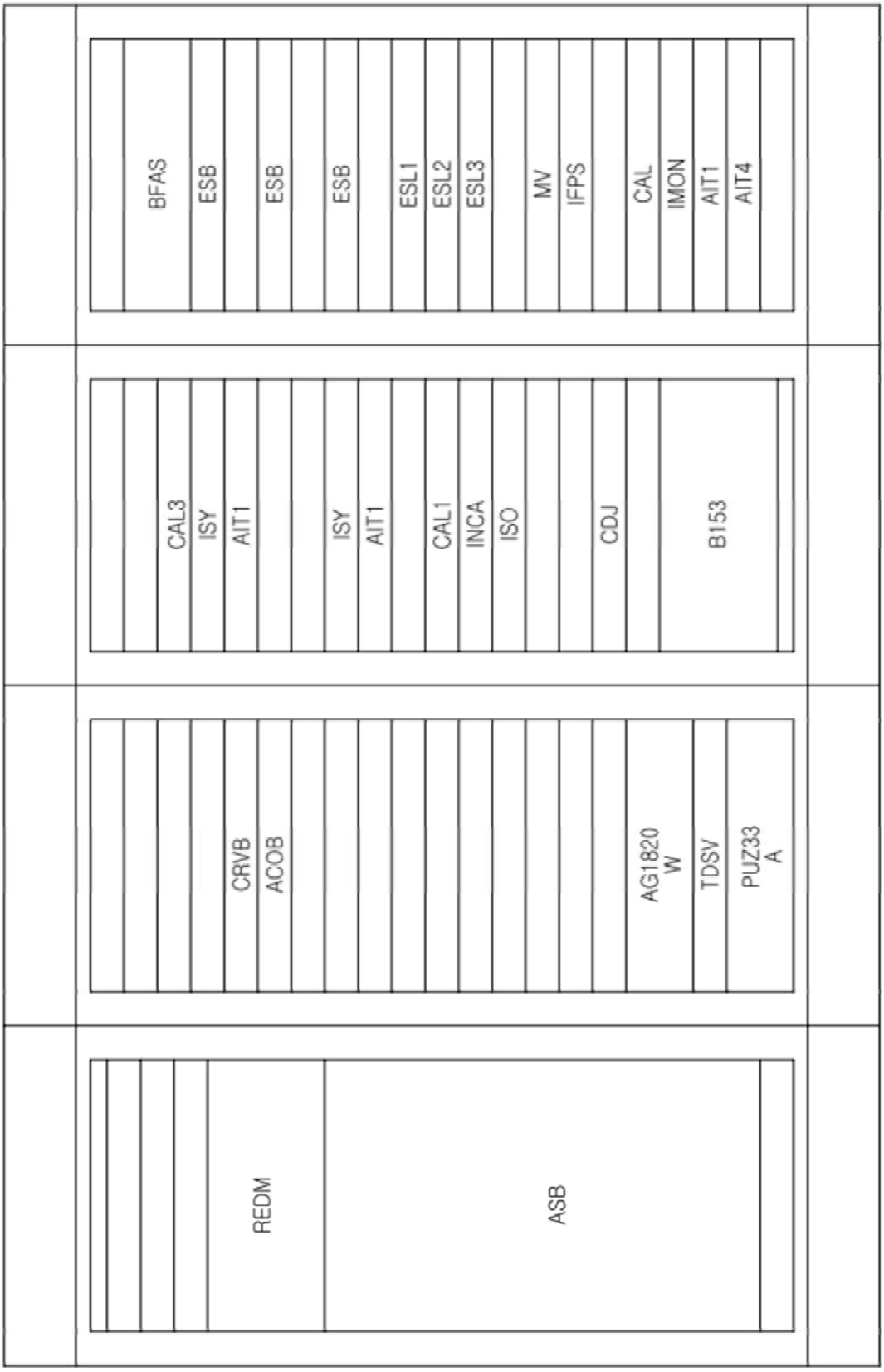


그림 127. 모터블록 제어장치 구성도

(3) 카드별 기능적 구성

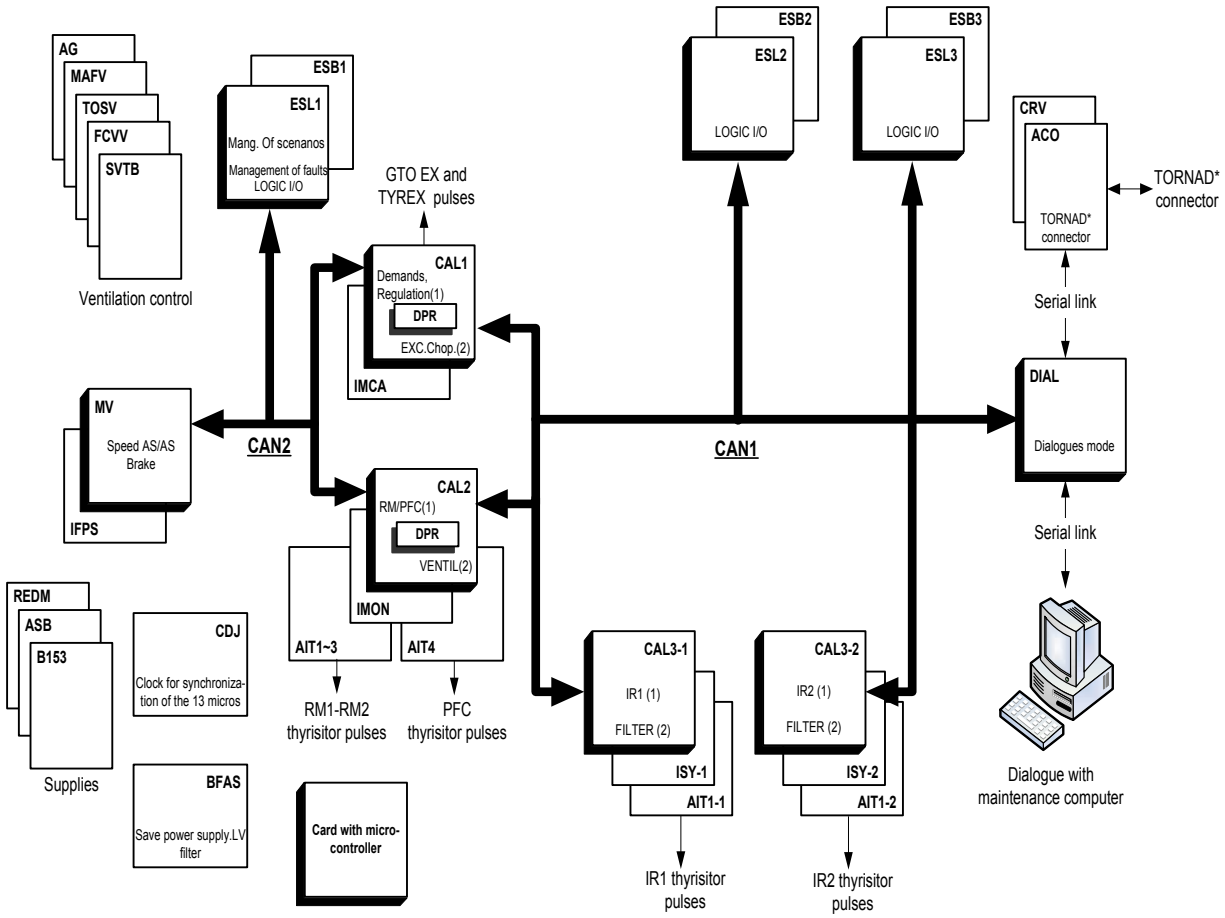


그림 128. MBU 카드 기능 블럭도

2) 모터블록 제어장치(MBU) 기능

MBU는 크게 4가지의 중요한 기능으로 구성되어 있다.

- 컨버터 제어 및 역률개선장치 제어
- 인버터 제어
- 여자초퍼 제어
- 제동초퍼 제어

각각의 기능은 32bit 프로세서인 TI의 DSP인 TMS320VC33을 사용하여 독립적으로 처리되며 MBU 내부의 정보는 CAN1,2 통신을 활용하여 각각의 정보를 공유하는 형태로 구성된다.

MBU 외부와의 연결은 ACO와 CRV를 이용하여 TORNAD NETWORK와 연결되며 ACO와 CRV와는 DIAL과 485 UART 통신을 통해 연결된다.

주된 4 가지 기능 외에도 제동, 통신, 네트워크 연결, 냉각 및 송풍, 파워 관리 등의 기능을

수행하도록 되어 있다.

가) 컨버터 제어 및 역률개선 제어 기능

각 모터블록에 직렬로 연결된 2개의 컨버터(CV-TT : 완전브리지)는 주 변압기 2차권선의 AC 1800V를 정류함과 동시에 인버터로 공급되는 견인전류(출력전류)를 조절한다. 컨버터는 제어되는 도통각에 따라 출력이 달라진다. 낮은 전압을 위해서는 컨버터 1의 도통만을 필요로 한다. 이 컨버터가 최대 도통을 하는 시점에서 컨버터 2에 대해 견인력이 더해진다. 견인모드에서는 견인회로의 환류(Free Wheel)회로 구성을 위해 혼합 브리지처럼 작용하고, 회생제동 모드에서는 직류를 교류료 변환하기 위해 완전브리지로 작동한다. 즉, 회생제동모드에서의 컨버터는 인버터로서의 역할을 한다. 컨버터 큐브는 모터블록 당 2개씩 있다.

PFC 회로는 VREFI 모터 전류 와 대차의 차축 평균 속도중 하나를 선택하여 제어된다. L_VAFP1 혹은 L_VAFP2가 작동된다면 전류 및 속도를 기준으로 PFC가 동작되며 VS-MT-01, VS-PFC-01 및 VS-MT-02, VS-PFC-02센서 간의 차이점을 산출하고 이 값들을 LPF를 통과 시켜 전압 값을 얻고 이 전압이 0일 경우 PFC는 동작을 준비한다.

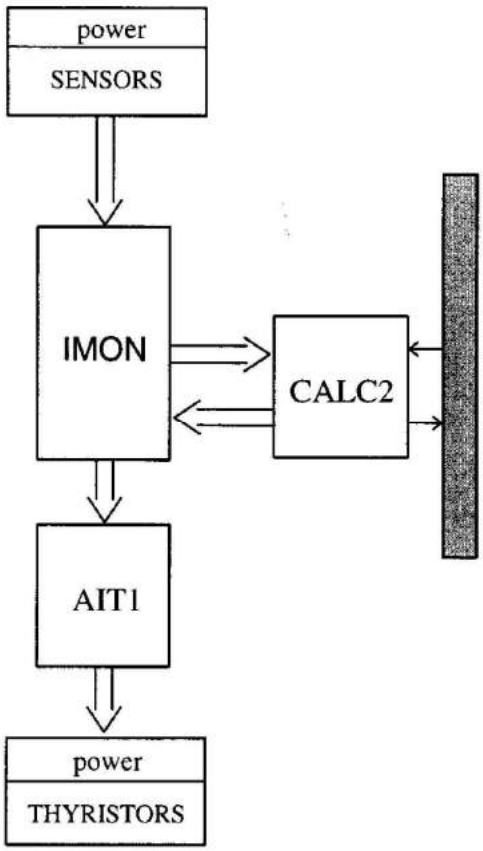


그림 129. LAYOUT OF THE RECTIFIER CONTROL

(1) CAL2 보드

CALC2은 Com 전력 요구량에서 각 정류 브리지의 개방 율을 계산하고, 두 HSO 산출물들에 대한 제어 허용 한계를 프로그램화 한다

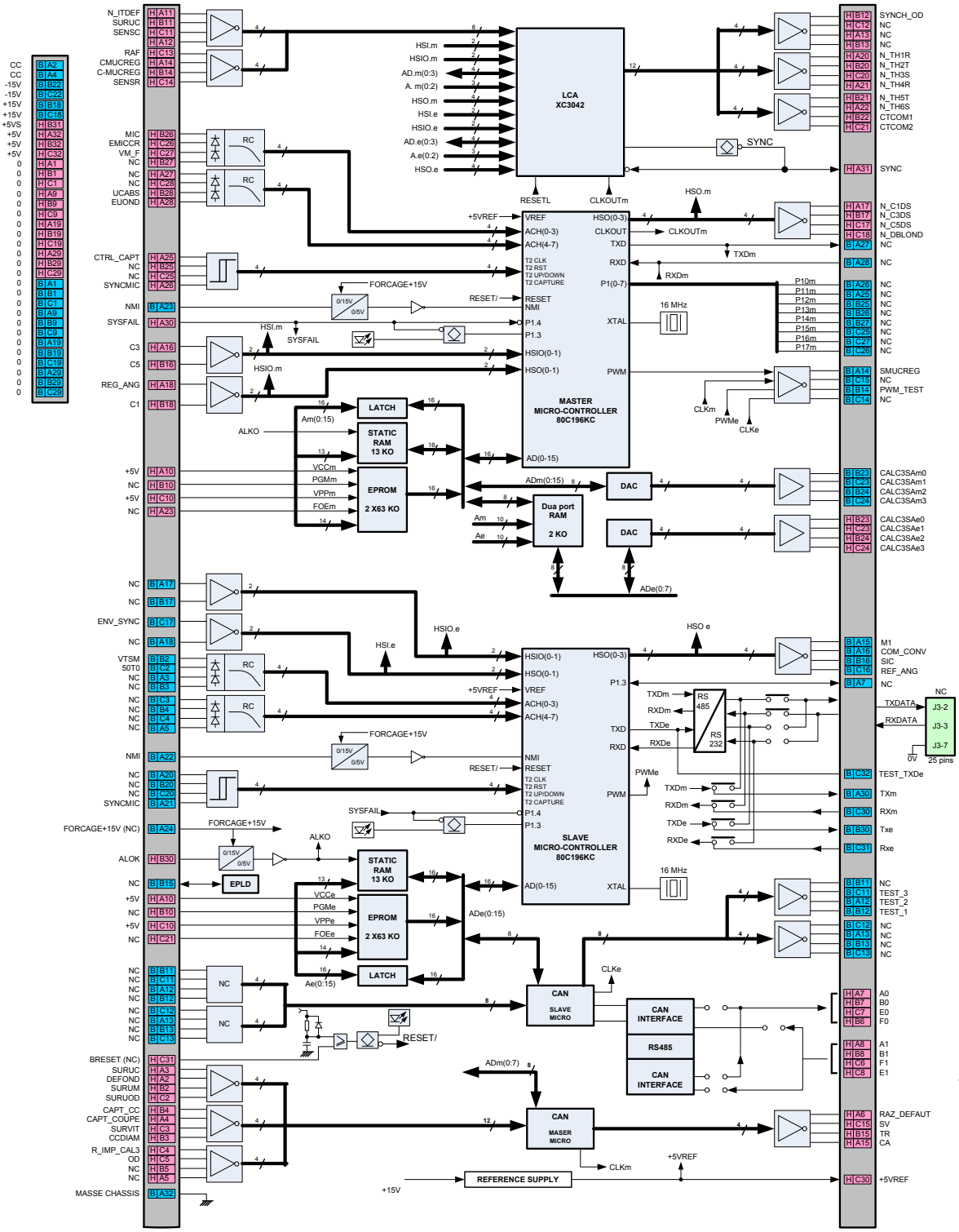


그림 130. CAL2 블록 회로도



CAL2 개발품



CAL2 기존품

이 보드는 두 개의 동일한 TI TMS320VC33 제어기로 구성되어 있다. 이 장치들은 이중 포트 RAM (DRAM)을 통해서 데이터를 서로 주고받는다.

CAL2 보드에서는 인버터에서 요구하는 견인 전류를 공급하기 위한 컨버터의 개방율을 계산하여 컨버터의 출력 전류 제어를 수행한다. 또한 MBU의 다른 보드들 간의 상호 통신을 위한 CAN 통신 인터페이스와 UART 통신 인터페이스를 통한 DATA 송/수신 기능을 수행한다.

(2) IMON 보드

전압 전류 정보와 CAL 보드간 인터페이스를 한다.

C

S1TFV

USEC_A+ (N

USEC_B_(N



IMON 개발품



IMON 기존품

전차선 전압과 PFC 전압, 인버터 전류를 측정할 수 있는 인터페이스를 가지고 있어 정류기 브리지 및 PFC 제어의 역할을 수행한다. 각각의 아날로그 측정 데이터의 노이즈 저감을 위한 Low-pass Filter의 기능도 수행한다. IMON 보드에서 측정되어 필터를 적용한 신호는 CAL1, CAL2 보드로 전송한다.

또한 IMON 보드는 고장 탐지 및 처리, 표시, 자체 시험의 기능을 수행한다. 전체적인 브리지의 제어는 CPLD 소자에 의하여 제어 되며 이 CPLD는 IMON의 입출력 인터페이스 회로에 의하여 입출력 신호를 주고받으며 적절한 펄스를 생성 하도록 되어 있다

(3) AIT1-3, AIT4 보드

사이리스터 펄스 증폭

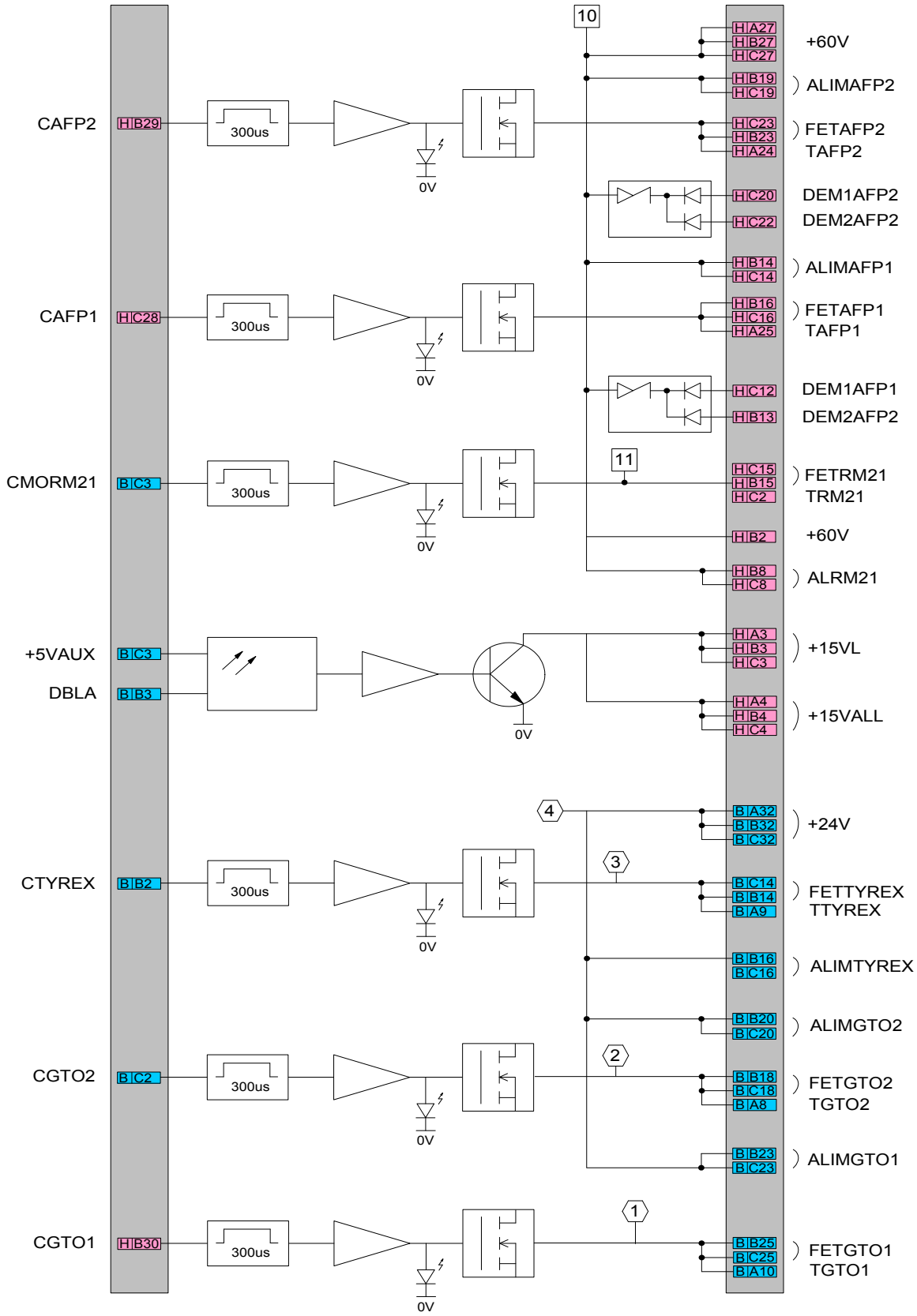


그림 132. AIT4 블록 회로도



AIT1 개발품



AIT1 기존품

이 보드는 IMON과 CLA 보드로부터 출력 파형을 입력 받아 사이리스터나 GTO에 전달하는 역할을 한다. 사이리스터나 GTO점호를 위한 펄스 증폭 역할을 수행하며 일정 시간동안 출력 펄스폭을 유지 시켜 준다. 또한, 제어 회로의 보호 기능을 수행하여 제어기를 보호한다.

나) 인버터 제어 기능

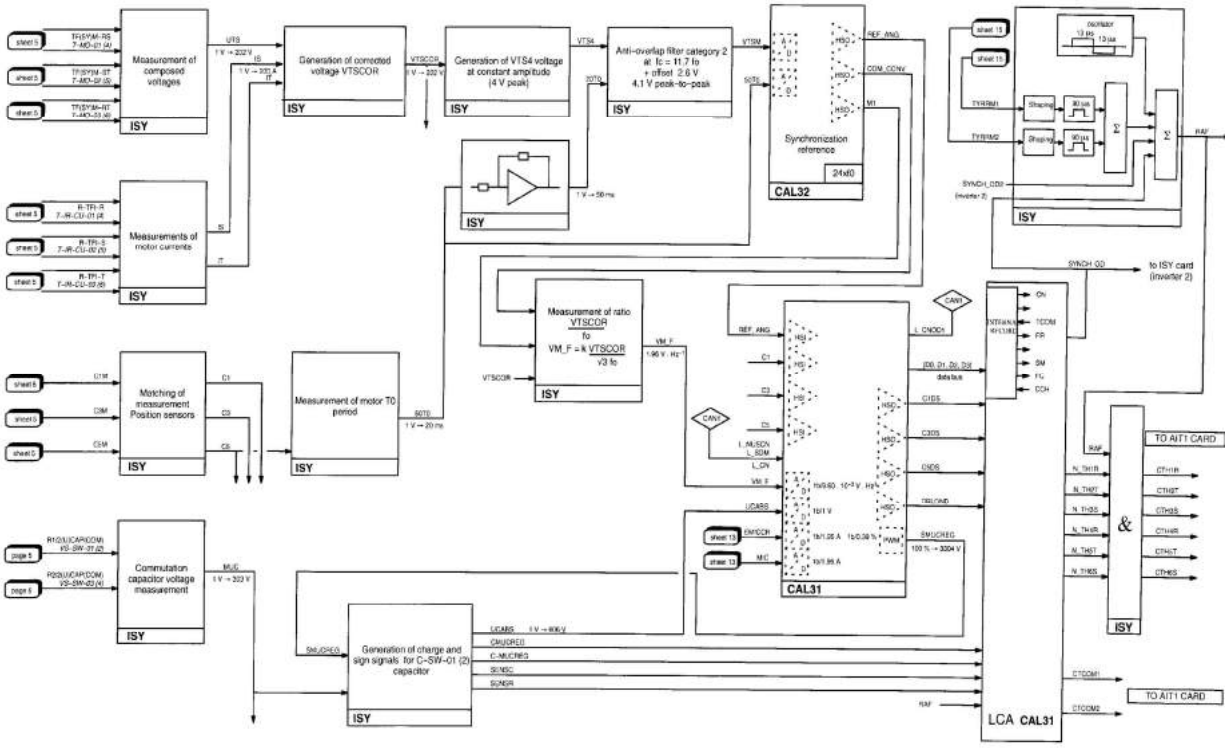


그림 133. 견인용 블록선도 - INVERTER CONTROL

전류형 인버터(IR-TT)는 컨버터에서 공급되는 견인전류를 견인전동기의 고정자권선에 공급하여 3상 교류전원을 만들어 낸다. 인버터의 제어방식은 속도에 따라 2가지가 있는데, 120km/h 이하의 저속에서는 전환회로(전환컨덴서, 전환 사이리스터)를 이용하여 사이리스터를 소호하는 강제전환방식으로 제어하며, 120 km/h 이상의 속도에서는 견인 전동기의 역기전력을 이용하여 인버터의 사이리스터를 자동으로 소호하는 자연전환 방식으로 제어한다. 인버터는 모터블록 당 2개가 직렬로 연결되어 있으며, 각 인버터에는 견인전동기 1개가 연결되어 있다. 회생제동 모드에서의 인버터는 견인전동기로부터 발생되는 교류를 직류로 변환해주는 인버터로서의 역할을 한다.

(1) CAL3-1,2 보드

인버터 제어 및 연산 처리

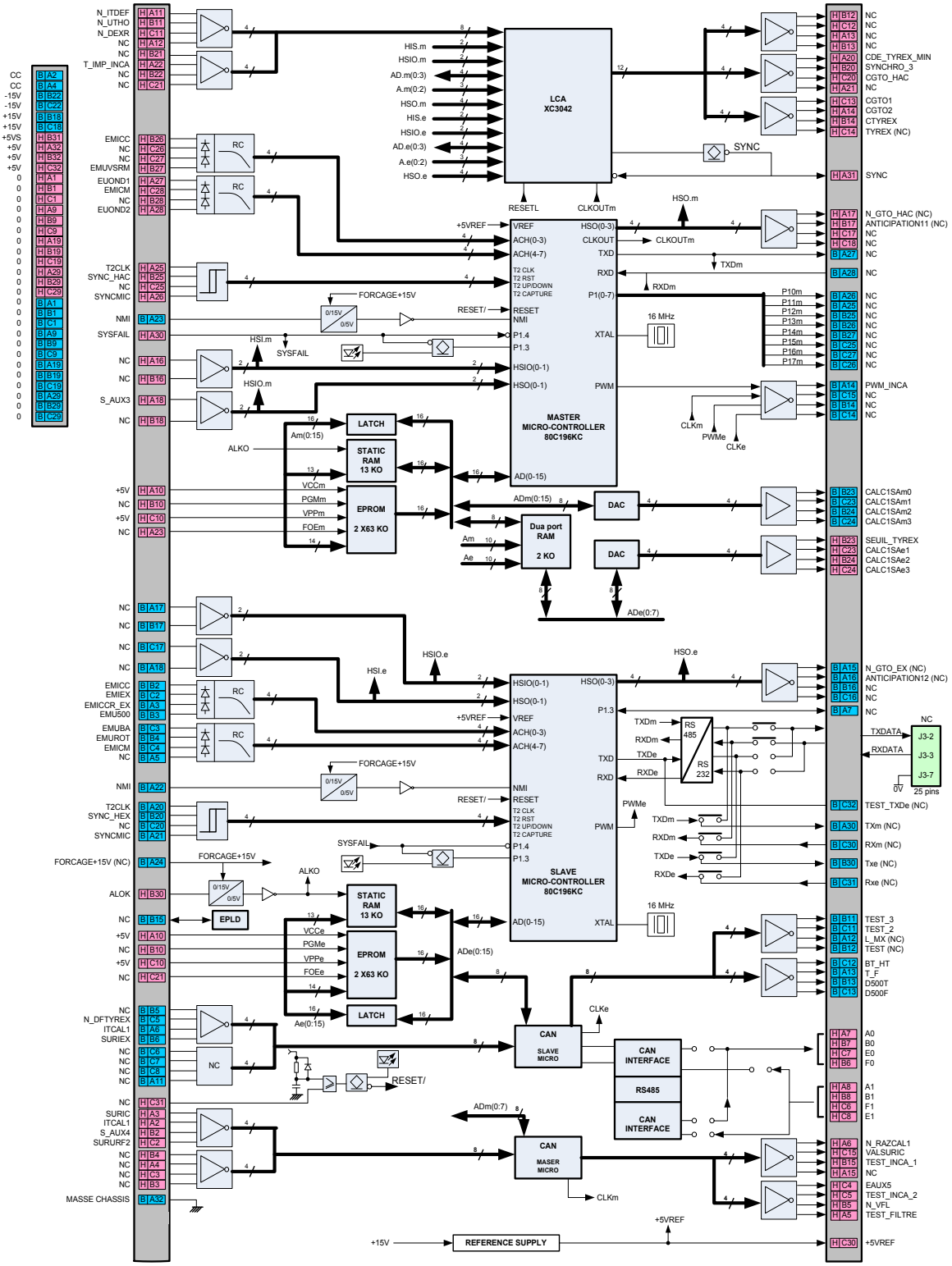


그림 134. CAL3-1 블록 회로



CAL 개발품



CAL 기존품

ISY 보드에서 아날로그 신호를 CAL32보드에서 입력받아 REF_ANG을 CAL31 보드로 전송하여 펄스 신호를 AIT 보드로 전송하는 기능을 수행한다. 또한 ISY보드와 상호 인터페이스를 통해 위치 정보를 확인하여 인버터를 제어하고 제어에 필요한 동기 신호를 구성한다. 인버터 제어 시에는 속도에 따라 Forced Commutation과 Natural Commutation을 수행한다.

(2) ISY-1,2 보드

아날로그 인터페이스

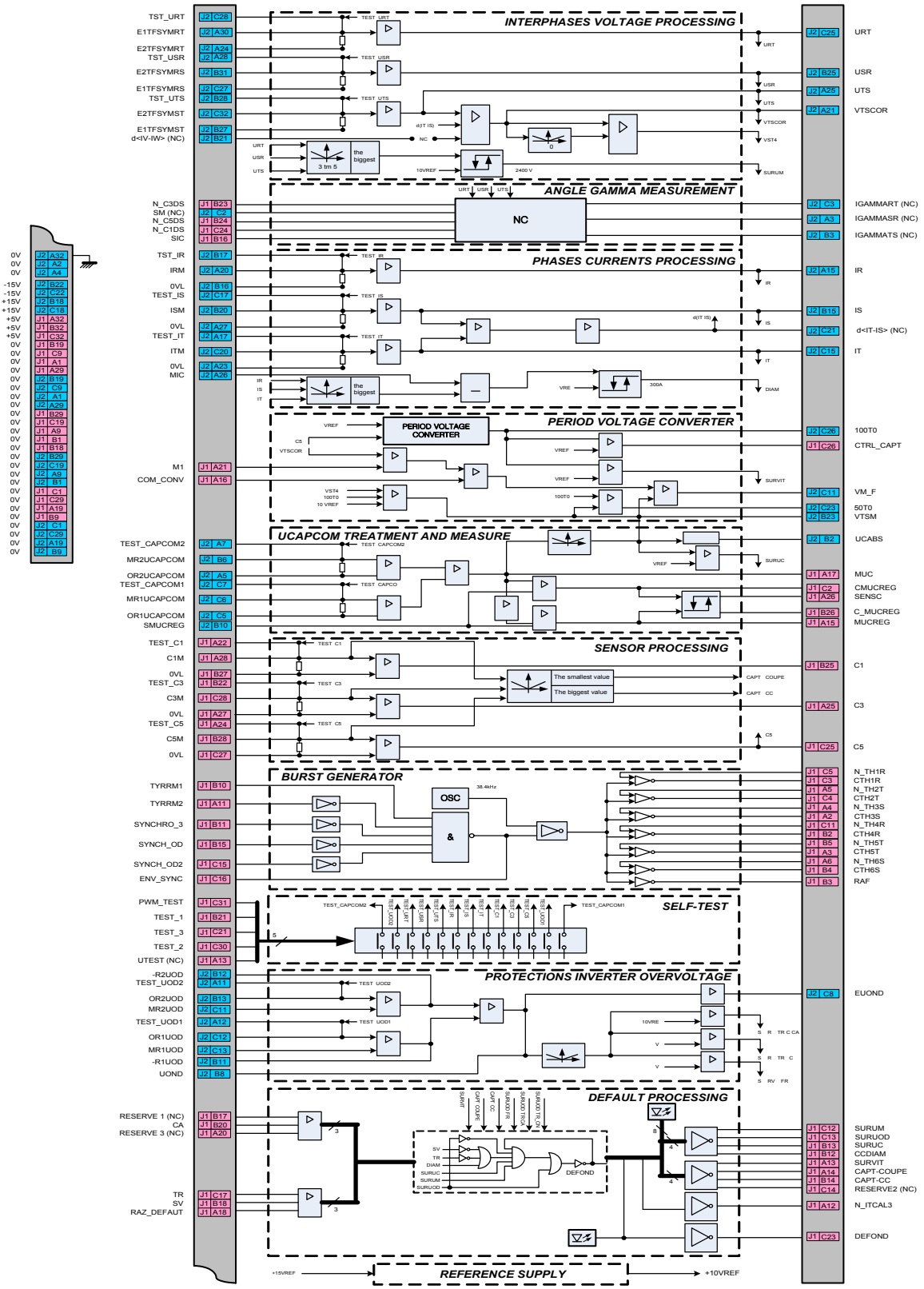


그림 135. ISY 블록 회로도



ISY 개발품



ISY 기존품

Commutation을 위한 사이리스터의 전압을 측정하여 지령치를 CAL31 보드로 전송하여 Commutation 절체 동작을 수행하게 하고 모터의 위치 센서의 신호와 모터 전류 등의 인버터 제어에 필요한 아날로그 데이터를 측정하여 필터를 거친 후 CAL3 보드로 전송한다.

(3) AIT-1,2 보드

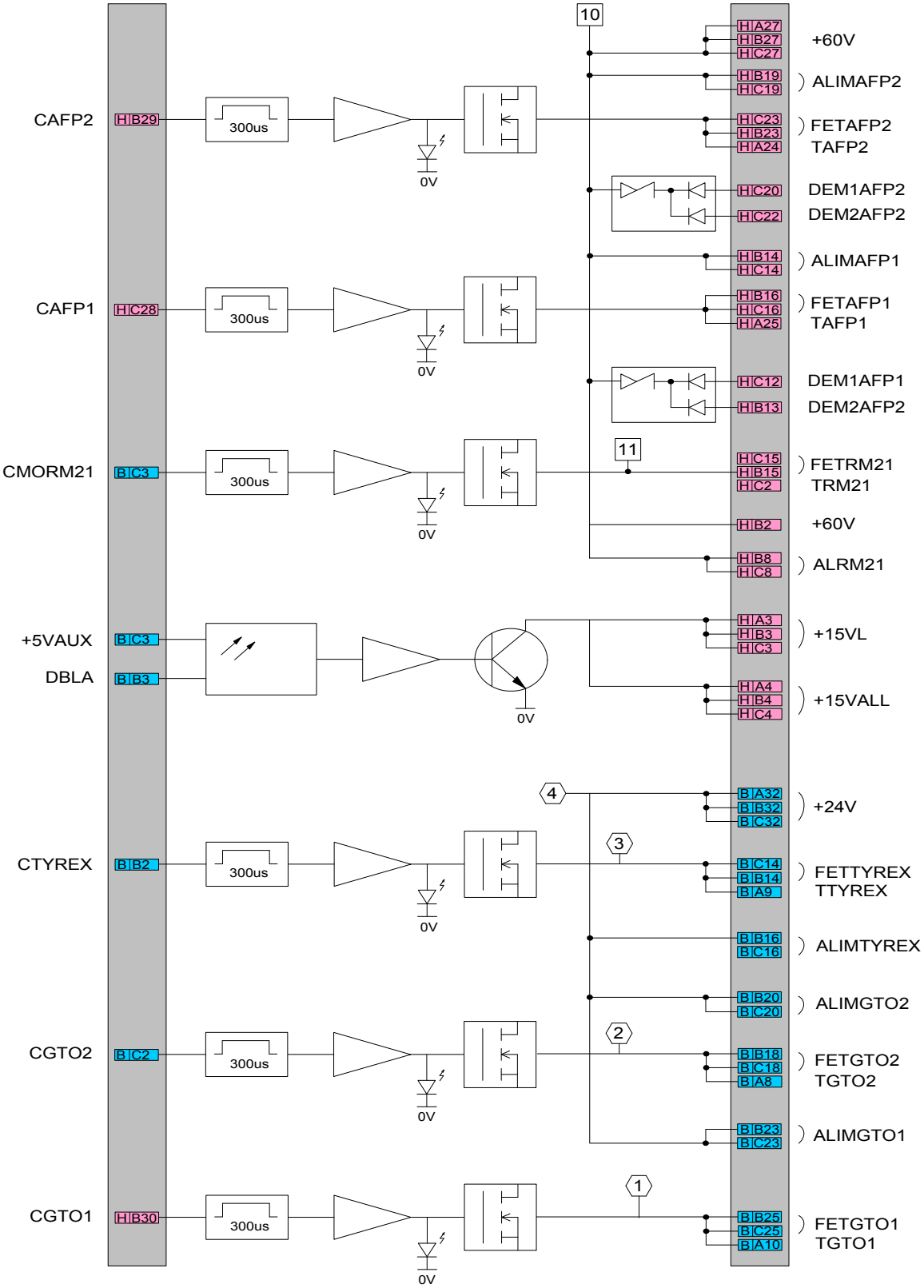
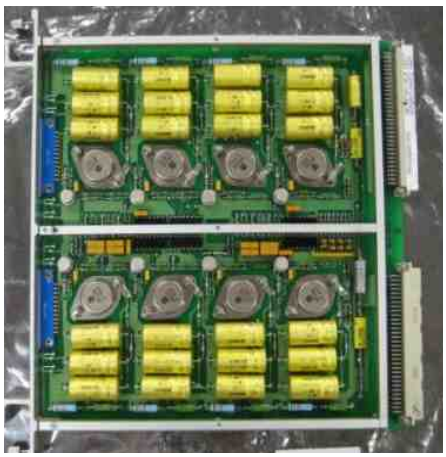


그림 136. ATI4 블록 회로도



ATI4 개발품



ATI4 기존품

이 보드는 IMON과 CLA 보드로부터 출력 파형을 입력 받아 사이리스터나 GTO에 전달하는 역할을 한다. 사이리스터나 GTO점호를 위한 펄스 증폭 역할을 수행하며 일정 시간동안 출력 펄스폭을 유지 시켜 준다. 또한, 제어 회로의 보호 기능을 수행하여 제어기를 보호한다.

다) 초퍼의 조절 및 제어기능

견인 또는 회생제동 모드에서, 여자초퍼(CO-EX)는 보조컨버터(혼합브리지)로부터 DC 570V 전원을 공급받아 직류 출력전원을 조절하여 브러시를 통해 직렬로 연결된 2개의 견인전동기 회전자 권선에 공급한다. 발전제동 모드에서는 배터리 전압을 입력전원으로 이용할 수 있다. 여자초퍼 전류의 결정은 모터블록 전자제어장치에 의해 이루어진다.

회생제동 모드에서, 견인전동기는 전류 발전기처럼 작용하고, 두 개의 인버터는 '정류모드(rectifier)'로 제어된다. 이 전류는 제동저항(ZB-BK-01)과 병렬로 연결된 제동초퍼(CO-BK)로 보내지고, 제동초퍼는 최대 도통율로 이 전류를 통과시킨다. 견인컨버터는 인버터(정류기)로부터 오는 전류를 조절하기 위하여 제어되고, 이 전류가 전차선으로 보내진다. 이때의 견인컨버터는 직류를 교류로 변환하는 인버터로서의 역할을 한다.

(1) CAL1 보드

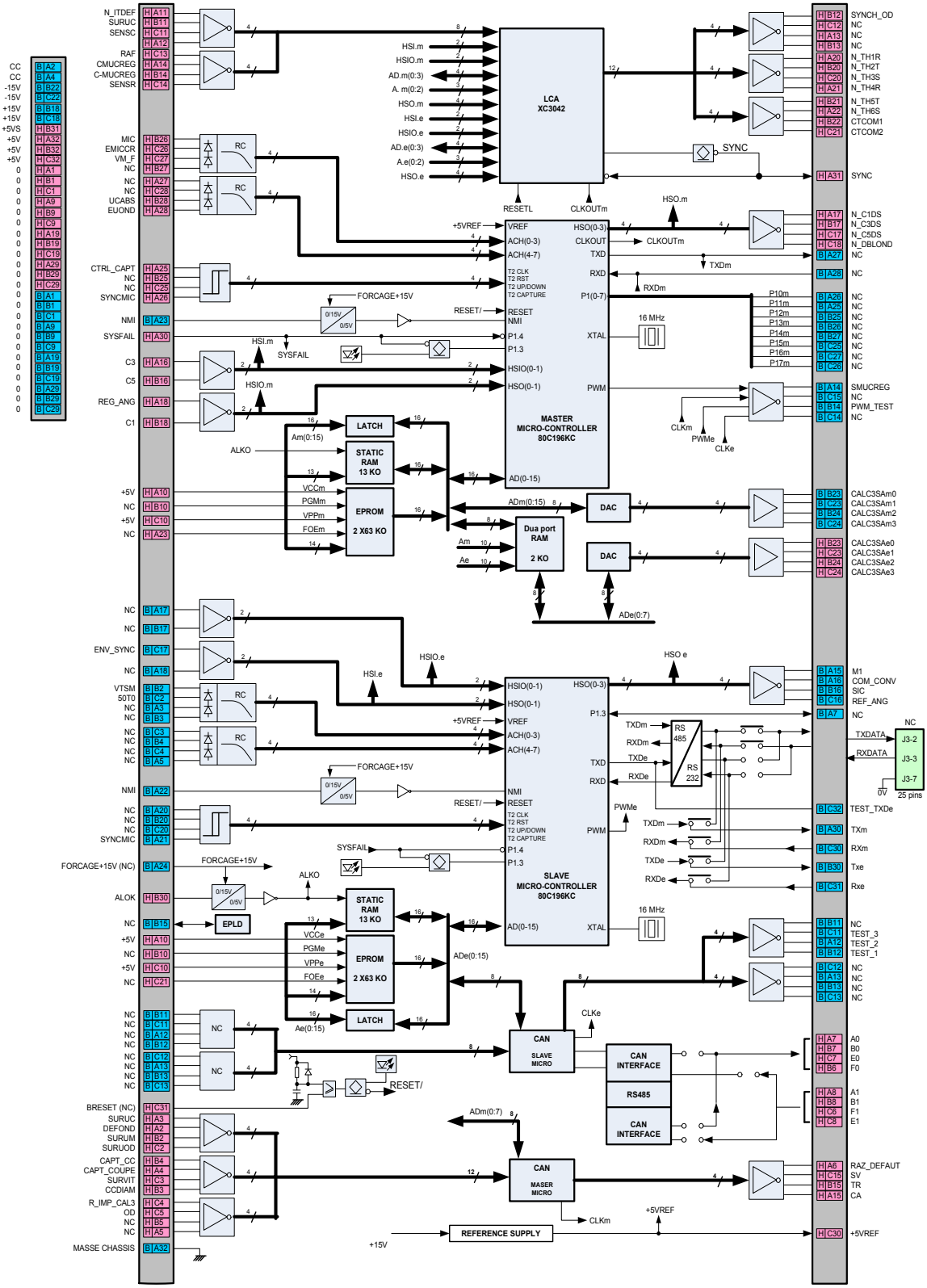


그림 137. CAL1 블록 회로도



CAL 개발품



CAL 기존품

INCA 보드에서 여자 전류의 정보를 전송받아 아날로그 DATA를 Digital로 변환 한 후 PI 제어기를 거친 후 여자 초퍼의 제어를 수행한다. 또한 운전자의 지령과 모터의 온도를 측정하여 브레이크 유닛으로 정보를 전송하여 제동초퍼의 동작을 제어하고 인버터 전류의 지령치를 계산하여 CAN 통신을 통해 CAL2 보드로 전송하여 준다. IMON 보드에서 정류기의 전류를 전송받아 PI 제어기를 거친 후 정류기의 전류 지령치를 생성하여 제어에 활용한다.

(2) INCA 보드

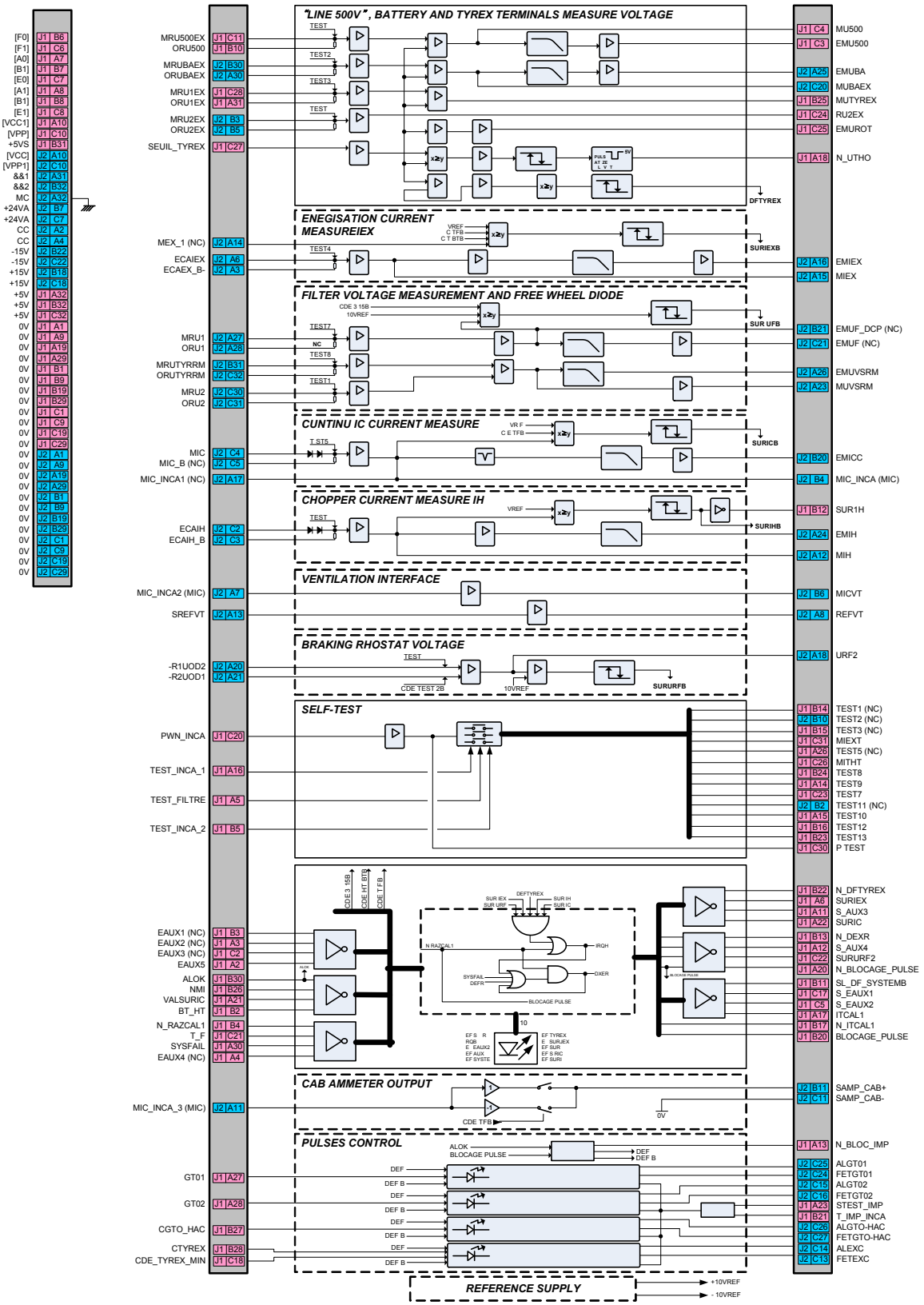


그림 138. INCA 블록 회로도



INCA 개발품



INCA 기존품

회생 제동 시에 여자 전류 제어를 위한 여자초퍼 전류와 전압을 측정하여 필터를 거친 후 DATA를 CAL1 보드로 전송한다. 환기용 FAN의 동작 지령을 전송한다. 인버터 전류를 IMON 보드로부터 전송받아 300Hz의 성분을 제거하는 필터를 제공하고 CAL1 보드로 전송한다.

라) 속도, 제동 지시값 활주 및 공전 방지(MV,IFPS)

슬립 방지 장치는 두 모터블록 차축 중 하나에서 슬립 감지시 견인 모터 전류 요구치를 보정하기 위함이다.

(1) MV 보드



MV 개발품



MV 기존품

속도센서에서 주파수 입력을 받아 실제 속도로 반환 한다. 이러한 계산과정 중 속도값의 미분값을 계산하여 가속도를 계산 한다.

활주 및 공전의 제어와 재동의 기준값을 제공하며 차축 비회전과 같은 고장을 검지하고 제동시 살사를 제어 하도록 되어 있다.

IFPS 보드와 인터페이스를 통하여 자기진단 TEST를 수행하도록 되어 있다.

각종 정보들은 CAN네트워크를 통하여 MBU의 다른 BOARD 들과 정보를 교환 한다.

(2) IFPS 보드

이 보드는 MV 보드와 공기 제동 제어와 관련된 장치간 인터페이스를 형성 한다.

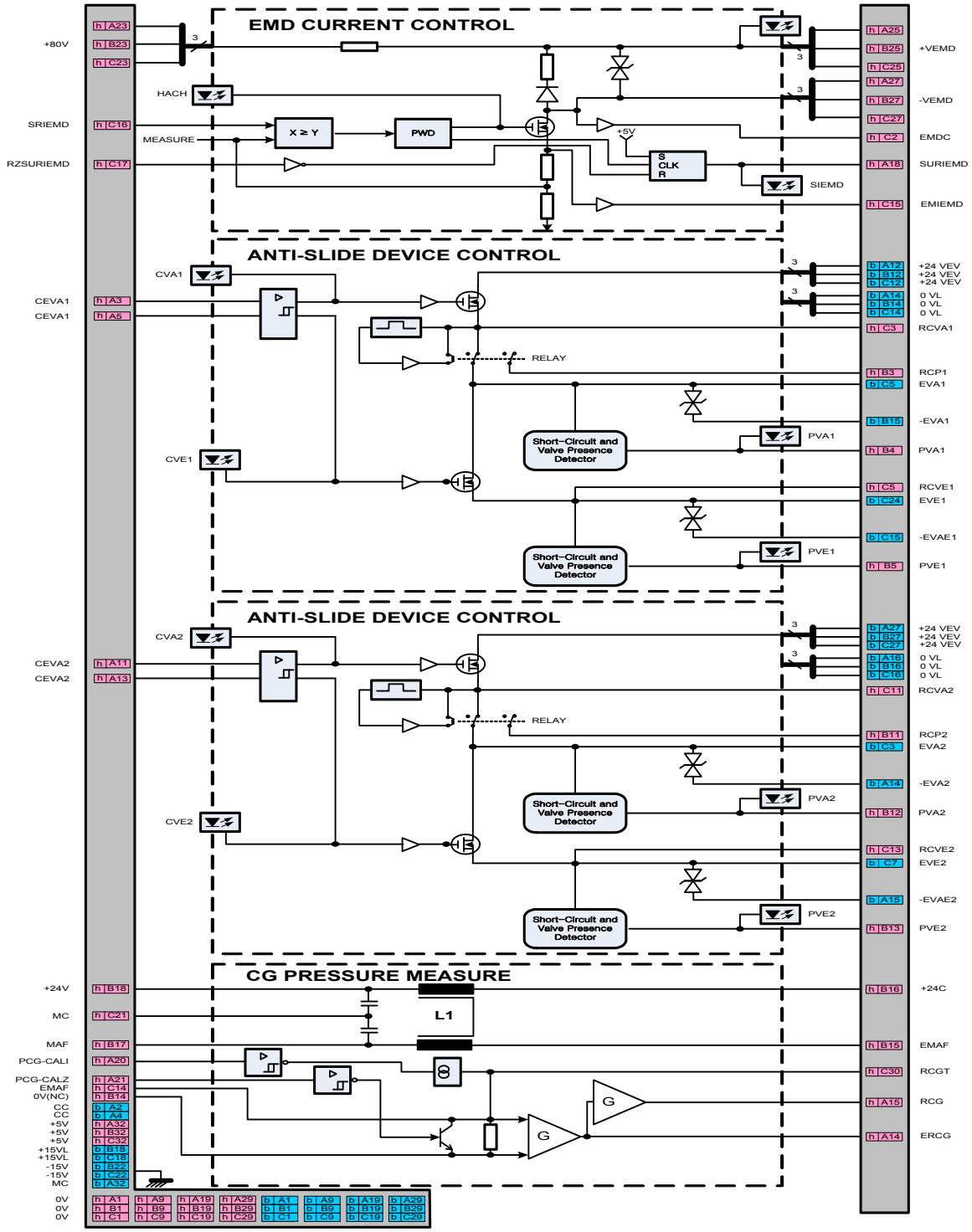


그림 139. IFPS 블록 회로도



IFPS 개발품



IFPS 기존품

EMD 컨트롤과 활주방지 전자변 컨트롤, 블록킹 된 차축 전자변 컨트롤, 제동관 압력 센서 인터페이스 기능을 수행하고 MV 보드와 작동하여 자기진단 TEST를 수행한다.

마) 입출력기능(ESL, ESB)

각종 아날로그 값과 디지털 입력값을 제어기각 인식할 수 있는 값으로 변환 해주며 제어기 쪽과 입출력 간의 절연 및 보호 회로 동을 수행한다.

(1) ESB 보드

배터리 와 ESL간 인터페이스 회로이며 배터리 입출력과 입력 보호 기능을 가진다.

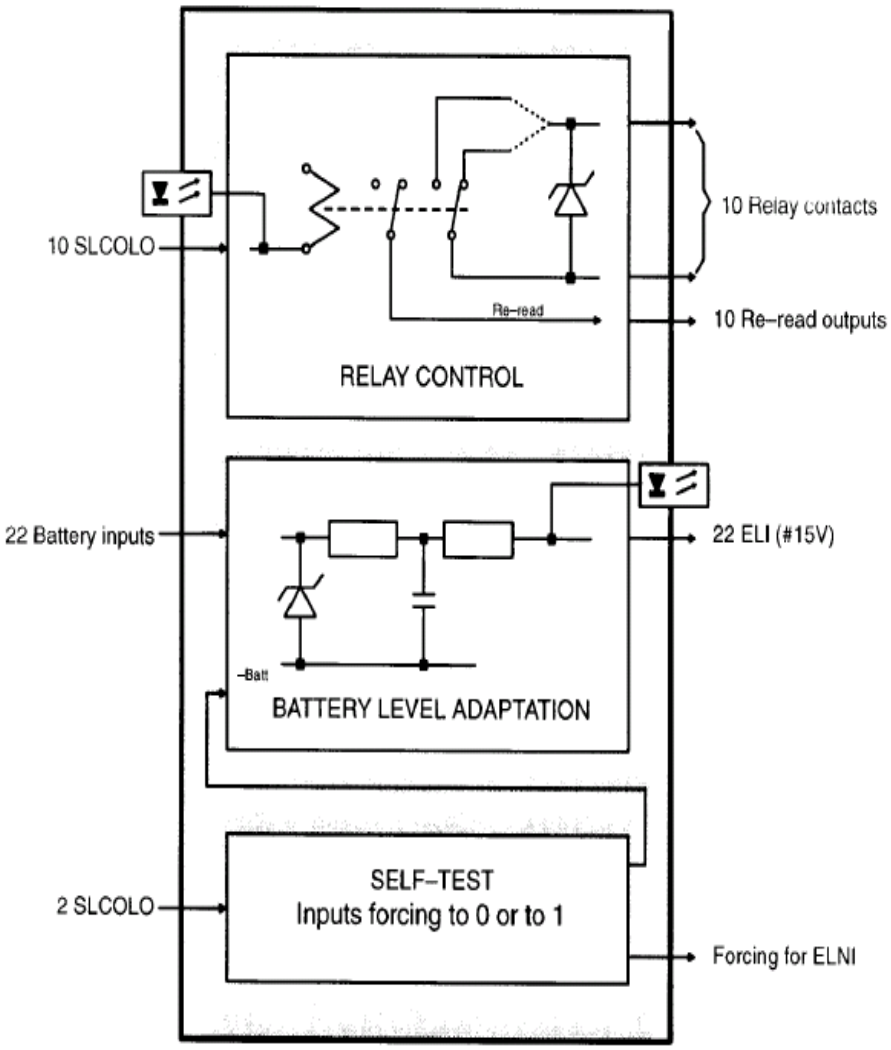


그림 140. 로직 입출력 제어 블럭도

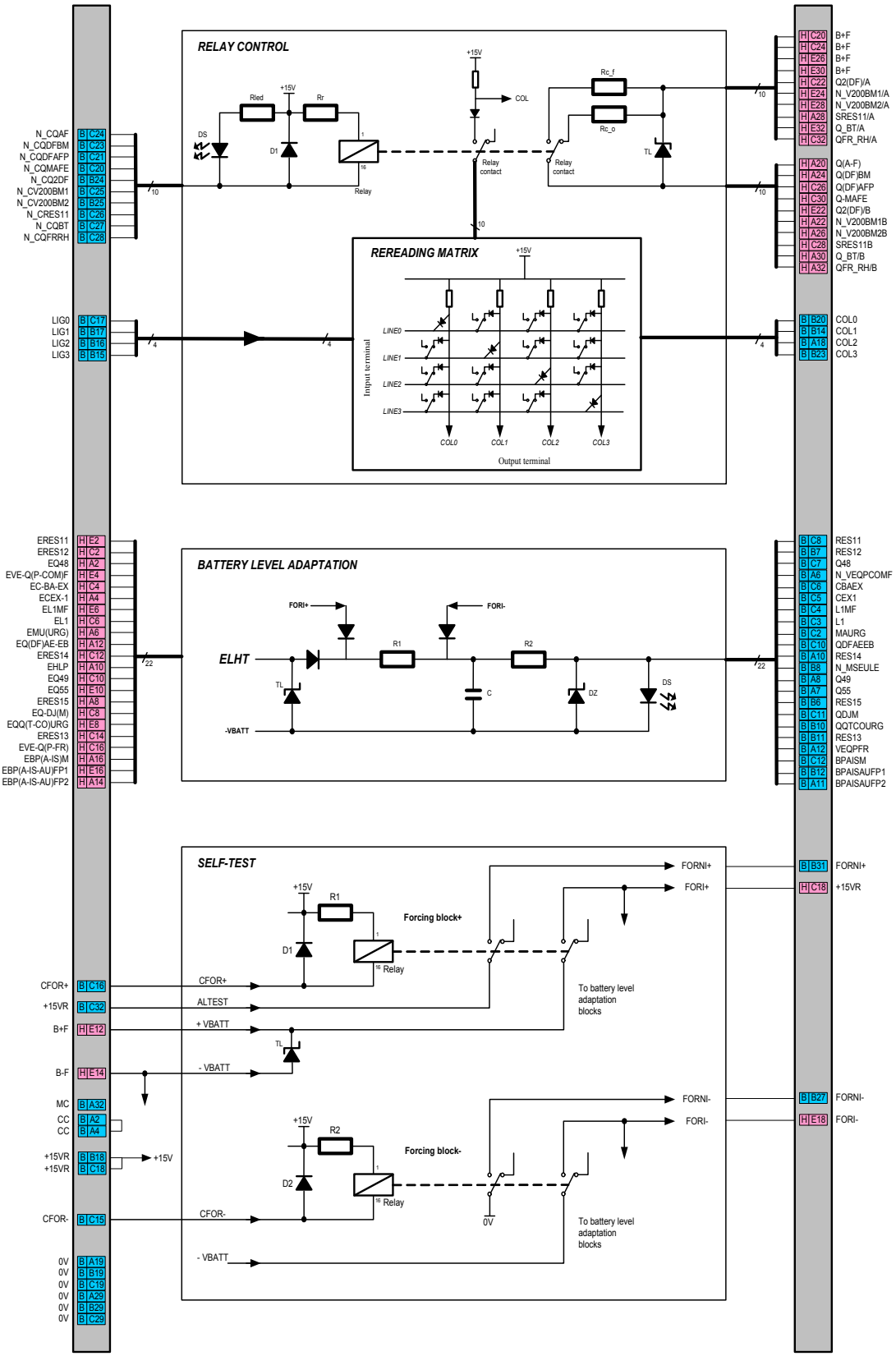


그림 141. ESB1 블록 회로도



ESB 개발품



ESB 기존품

저전압 릴레이를 10EA를 제어 하며 이 접점은 A/B 접점 선택이 가능하다
배터리 전압을 제어기가 인식가능한 수준인 15V 로 변환 하여 ESL보드와 인터페이스를 맞춰 준다.
자기 진단 기능을 가지고 있으며 해당 신호를 강제적으로 입력하여 ESL에서 사용된다.

(2) ESL 보드

논리 로직 입출력 및 CAN 통신 인터페이스이다.

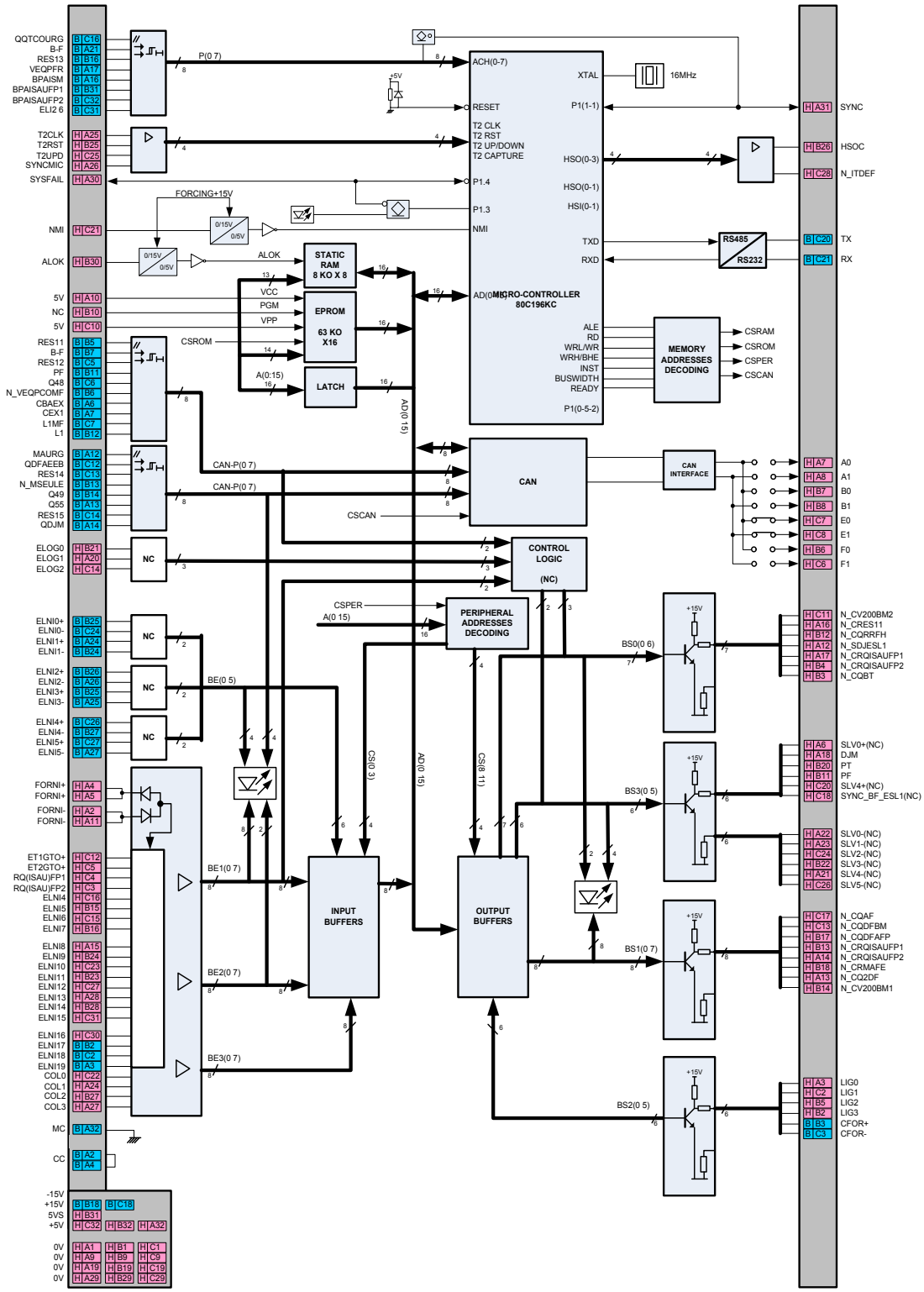


그림 142. ESL1 블록 회로도



ESL 개발품



ESL 기존품

절연된 논리 입력 처리가 가능하며 ESB 로부터 받은 배터리 전압을 절연을 통하여 입력 받으며 5V 로 변환 된다.

입력받은 신호를 기준으로 내부의 CPU가 판단하여 주변의 장치들을 제어 하며 해당하는 정보들을 CAN NETWORK를 통하여 전송한다.

바) 대화 및 자기진단 네트워크연결(DIAL,TORNAD)

이 장치들은 열차내의 통신 인터페이스와 MBU간 연결을 수행하며 외부 컴퓨터와 연결하여 각종 정보를 전달한다.

(1) DIAL 보드

시리얼 링크 제공 외부와 통신

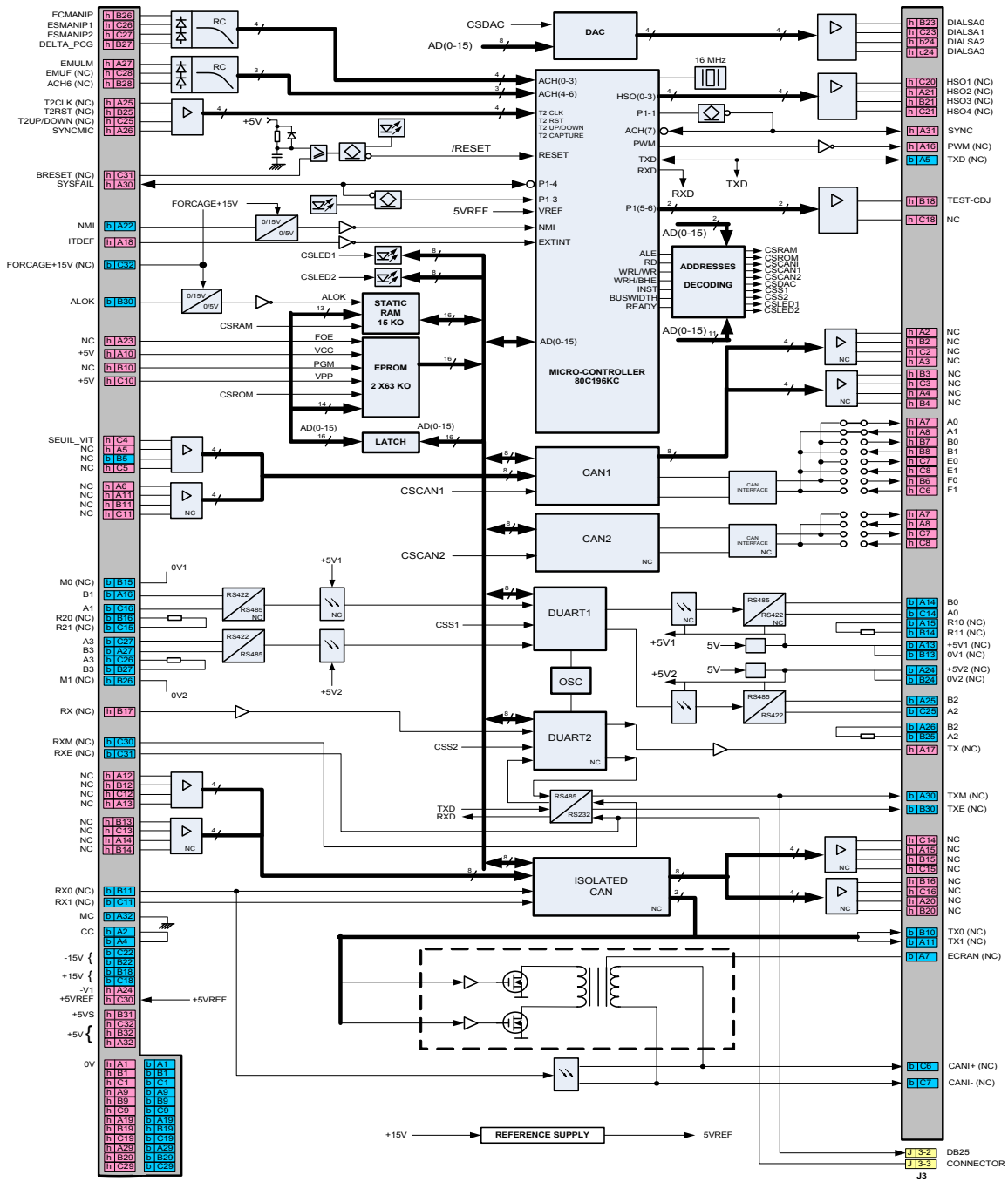


그림 143. DIAL 블록 회로도



DIAL 개발품



DIAL 기존품

사) 회로 차단기 제어

(1) CDJ 보드

차단기 제어 및 동기화 신호를 생성한다.

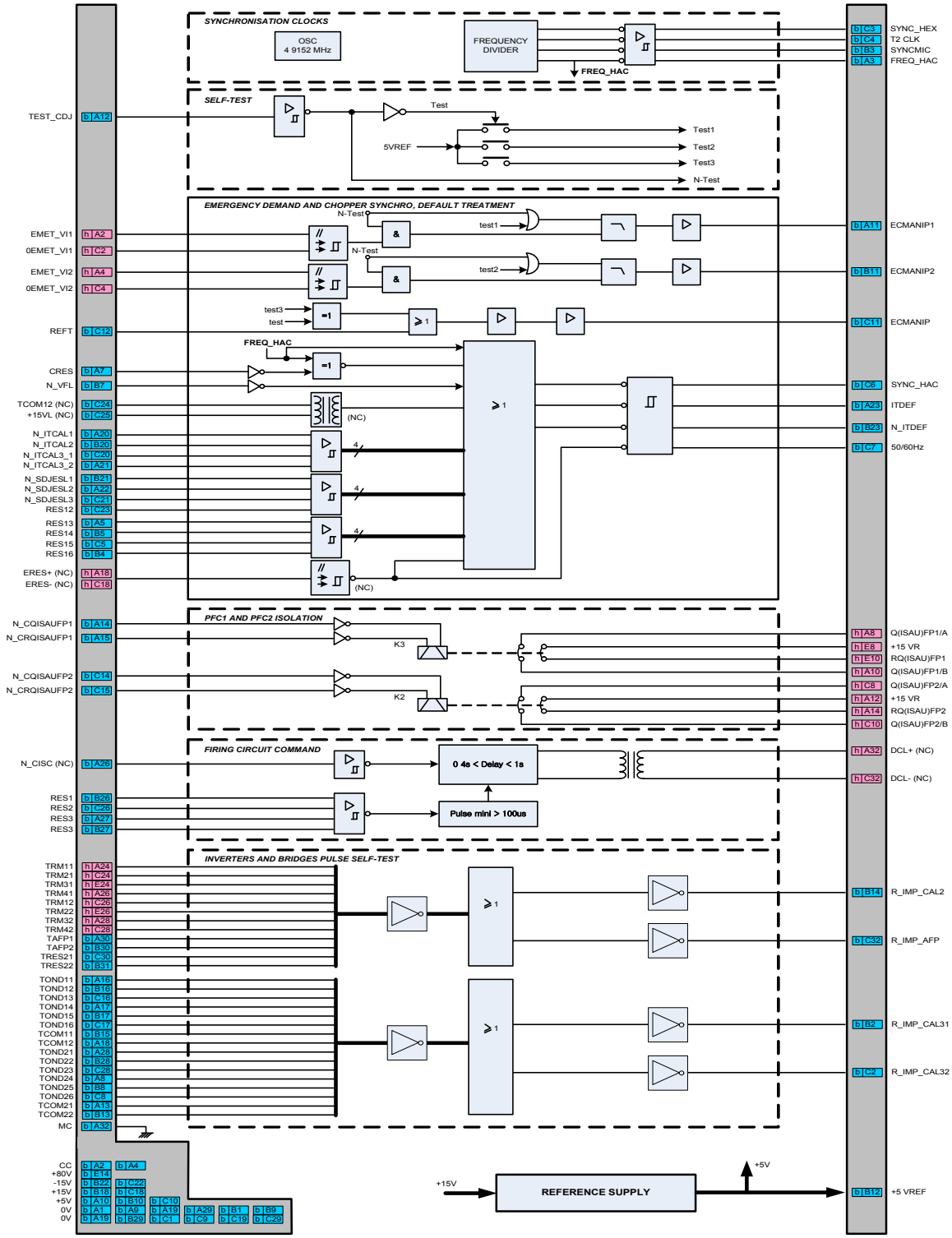


그림 144. CDJ 블록 회로도



CDJ 개발품



CDJ 기존품

아) 냉각 및 송풍 제어(AG, MAFV, SVTB ,TDSV, FCVV)

냉각 및 송풍기 제어를 수행한다.

(1) AG 보드

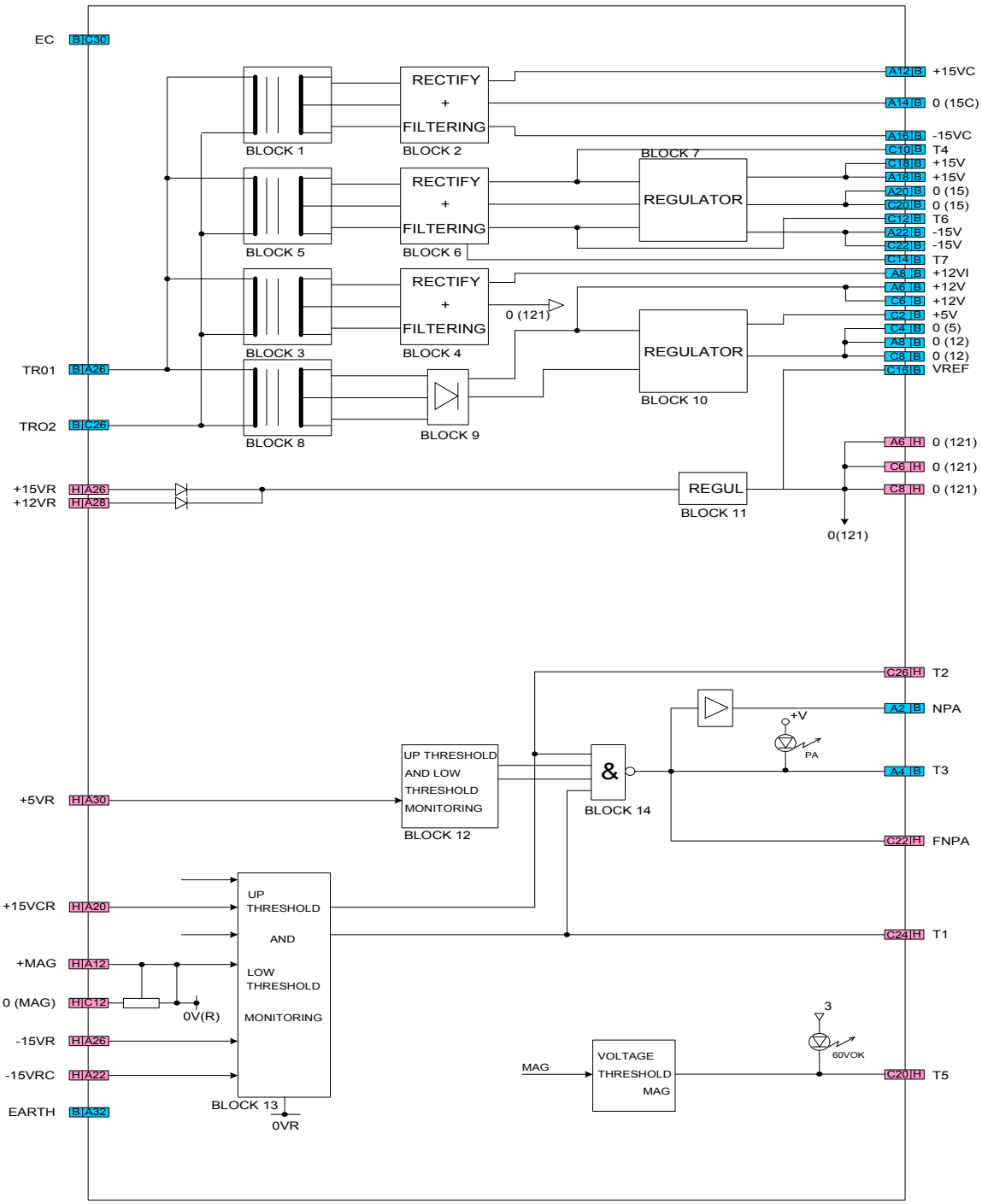


그림 145. AG 블록 회로도



AG 개발품



AG 기존품

냉각 및 송풍기의 제어 전원 공급 및 입력 전압 모니터링을 수행한다.

(2) SVTB

평균 출력 전류 감시하여 고장 발생 시 고장 신호를 생성하고 장시간 금지 및 전체 금지 설정을 수행한다. 고장 발생 시에 펄스를 차단한다.

(3) TDSV

제어 및 재설정 신호에 필요한 클럭 생성하고 첨두 출력 전류 감시한다. 입력 전압의 상하한 지점을 감시한다.



TDSV 개발품



TDSV 기존품

(4) MAFV 보드

3상 파형을 생성한다. 최대 전압 지점에서 금지 시간 지연 기능을 수행하고 펄스를 증폭하는 기능을 수행한다.

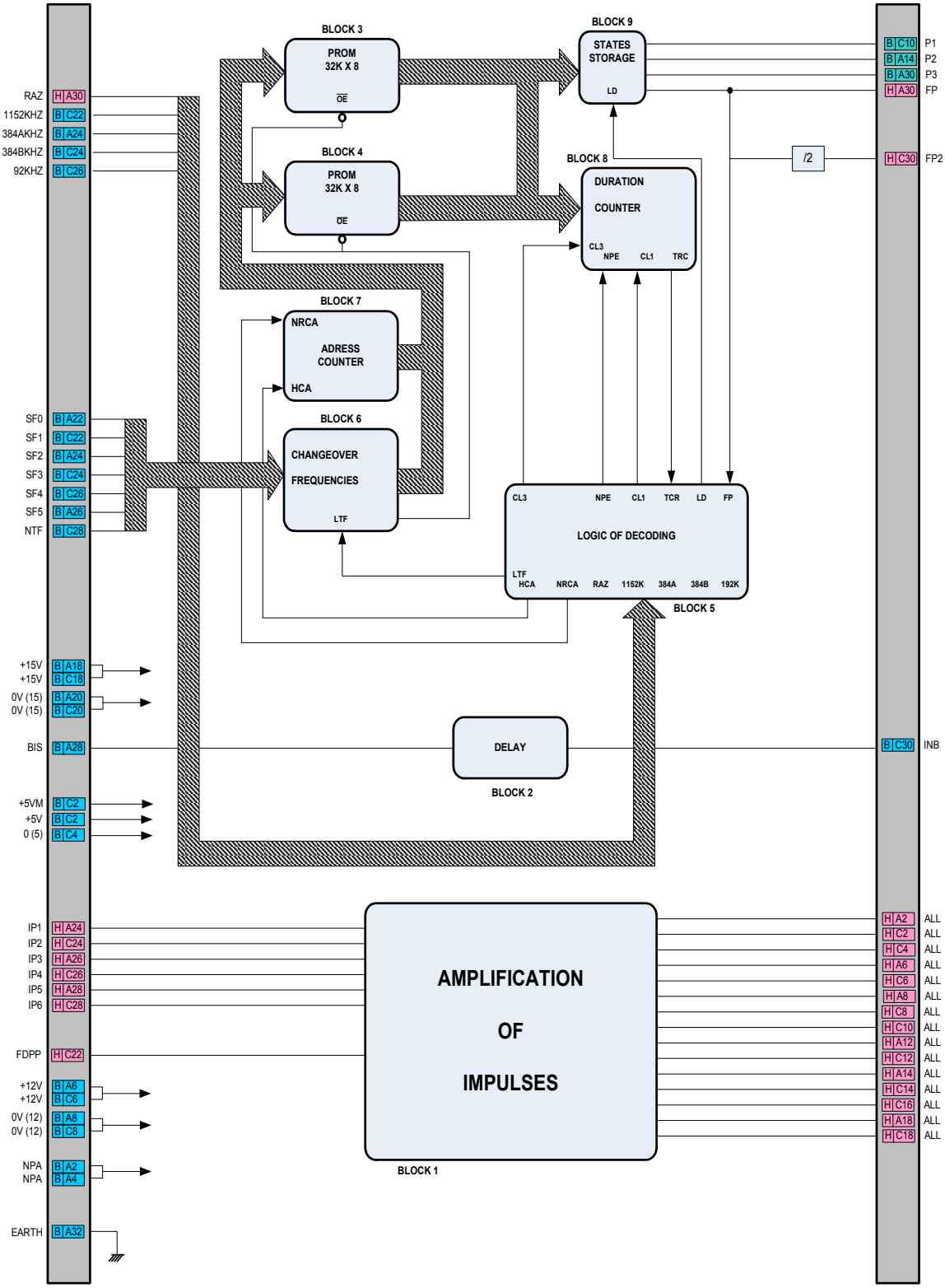


그림 146. MAFV 블록 회로도

5) FCVV 보드

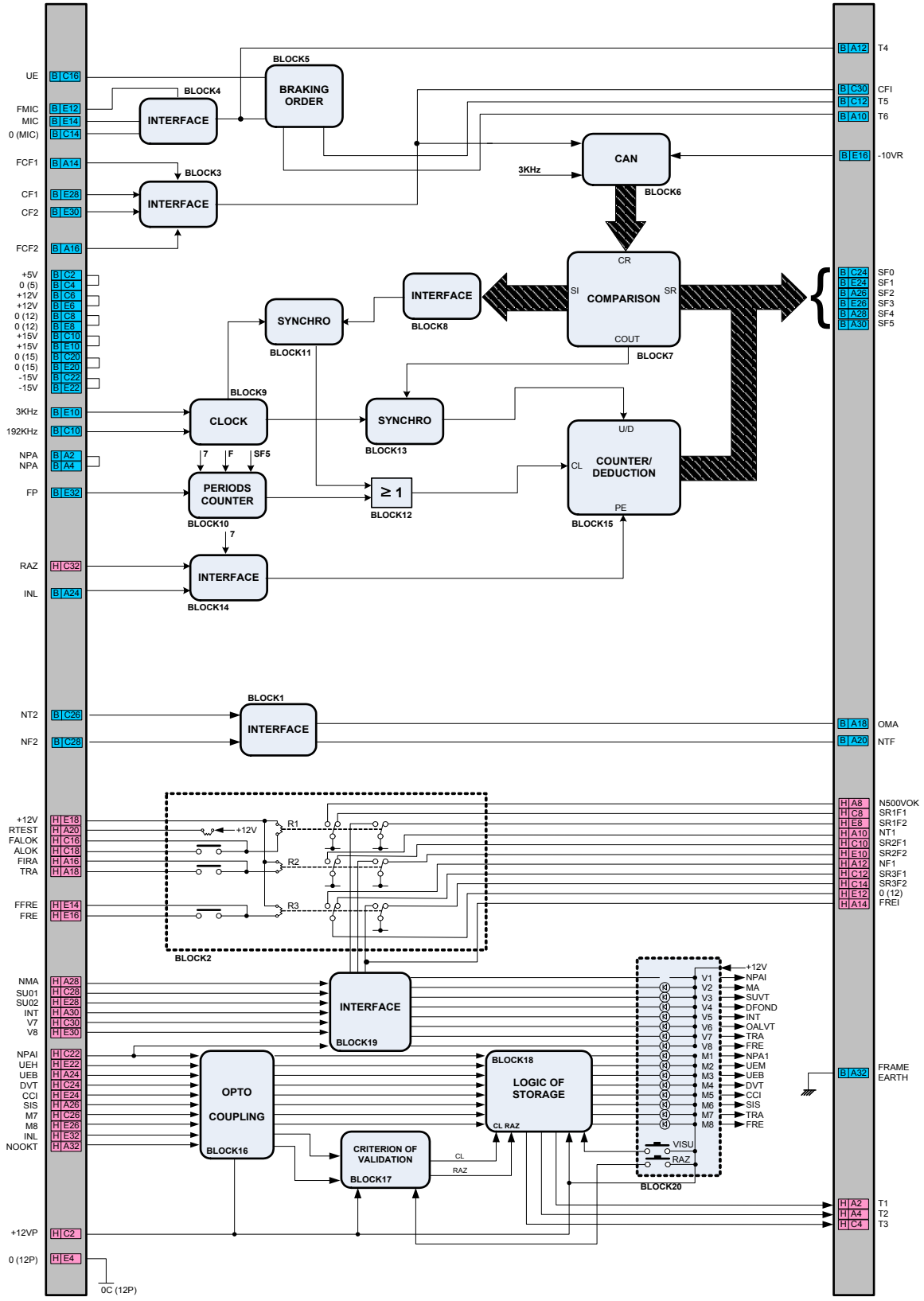


그림 147. FCVV 블록 회로도



FCVV 기존품



MAFV 기존품



SVTB 기존품





PUZ33 개발품

자) 전원 공급(ASB,REMD,B153)

각 장치에 필요한 제어전원 공급한다.

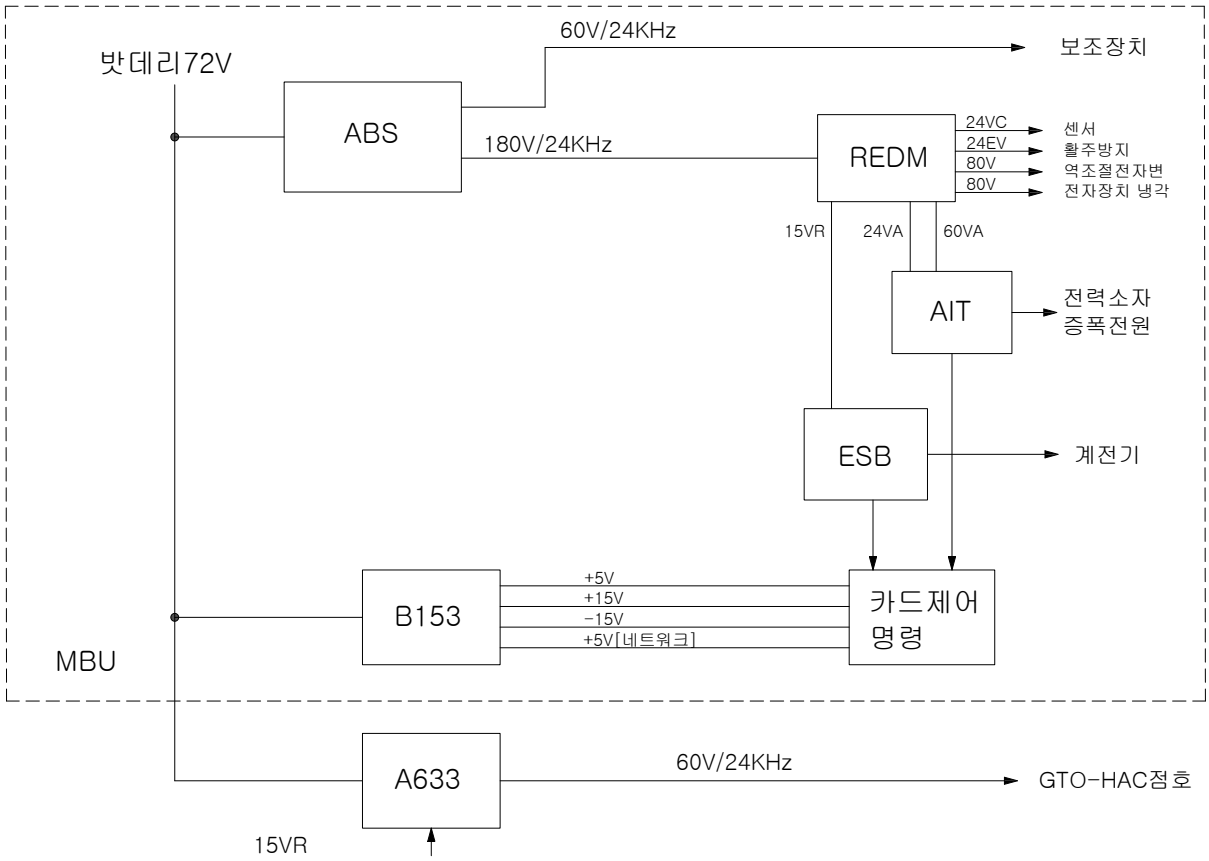


그림 148. 모터블록 제어전원 공급장치 구성도

(1) A633

차량 배터리 전원을 이용하여 60V-24kHz을 공급한다.

출력 전원 감시

(2) B153

MBU의 제어 카드들에 전원을 공급한다(±15V,5V)

해당하는 전원들은 전원 차단 시 1mS동안 유지 된다

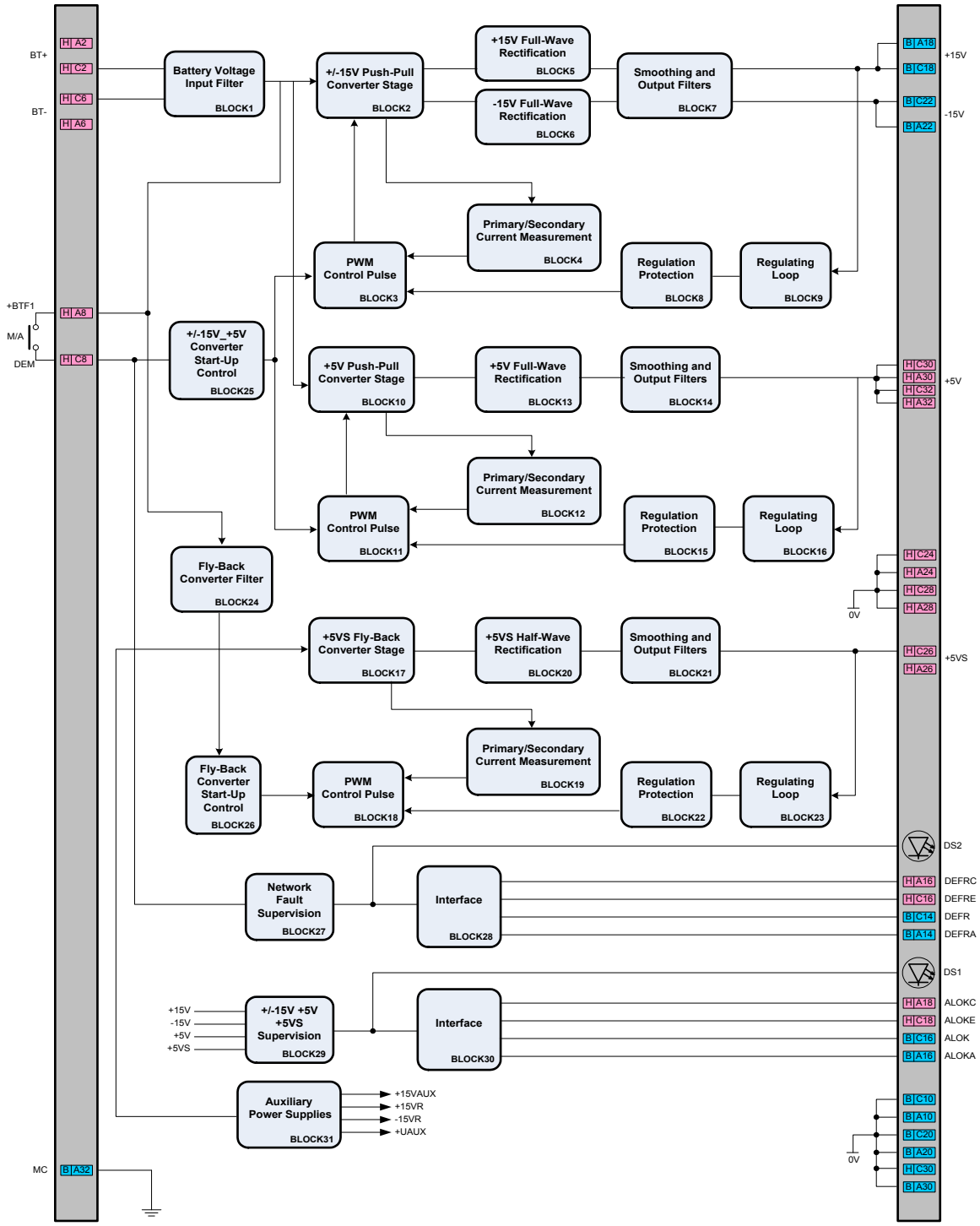


그림 149. B153 카드 전원 입출력 블럭도



B153 개발품



B153 기존품

(3) REMD

각종 펄스 증폭시 필요한 전압을 공급한다.

80V : MBU 냉강팬 전원

15VR : ESB 릴레이 출력전원

24VC : 센서 전원

24VE : 슬립 슬라이딩 방지변 전원

60VA : AIT 카드 컨버터 사이리스터 제어 전원용

24VA : AIT 카드 인버터 사이리스터 제어전원



REMD 개발품



REMD 기존품

(4) ASB

ASB는 보드가 아니라 하나의 랙으로써 REMD 보드에 180V 24KHz 전원을 공급 하며 베터리 충전기 보조 인버터 송풍인버터 여자초퍼 의 보조장치 제어전원을 공급한다.

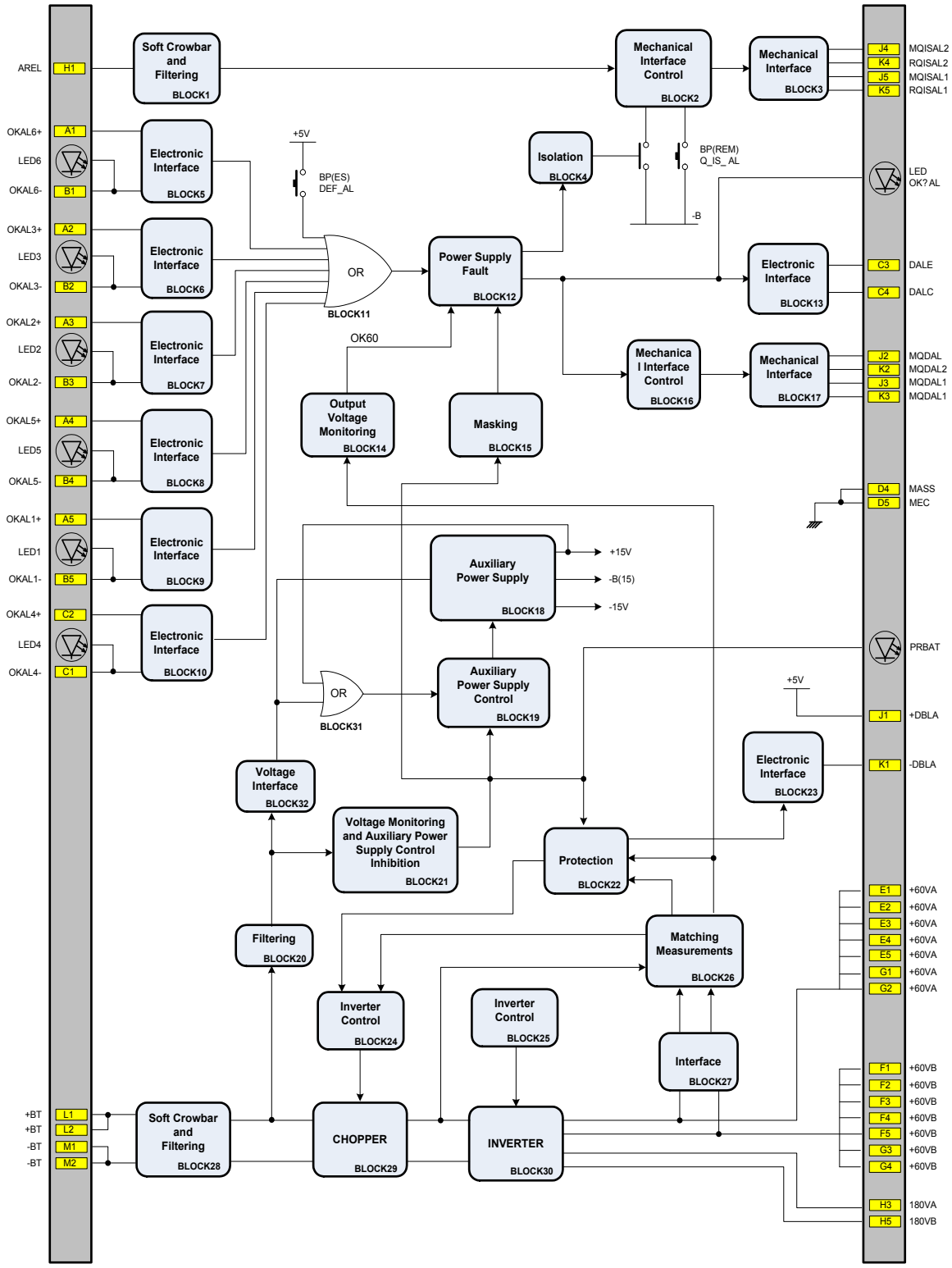


그림 150. ASB 카드 전원 입출력 블럭도



ASB 개발품



ASB 기존품

3) 기존품 vs 개발품 특성비교

가) MBU 사양 비교

내용	구분	기존품	개발품
컨버터	IMON	인터페이스 및 펄스 발생	동일
	CLA2	컨버터 제어	동일
	ATI4	펄스 증폭	동일
인버터	ISY	인터페이스	동일
	CAL3	인버터 제어	동일
	ATI1	펄스증폭	동일
초퍼	INCA	초퍼 인터페이스	동일
	CLA1	초퍼 제어	동일
인터페이스	ESB	배터리 인터페이스	동일
	ESL	인터페이스 처리	동일
전원	A633	60V-24KHZ 공급	동일
	B153	제어기 전원 공급용	동일
	REDM	스위칭 소자 펄스 증폭 및 냉각용 팬	동일
	ASB	60V24KHz 출력	동일

나) 제어용 CPU 특성

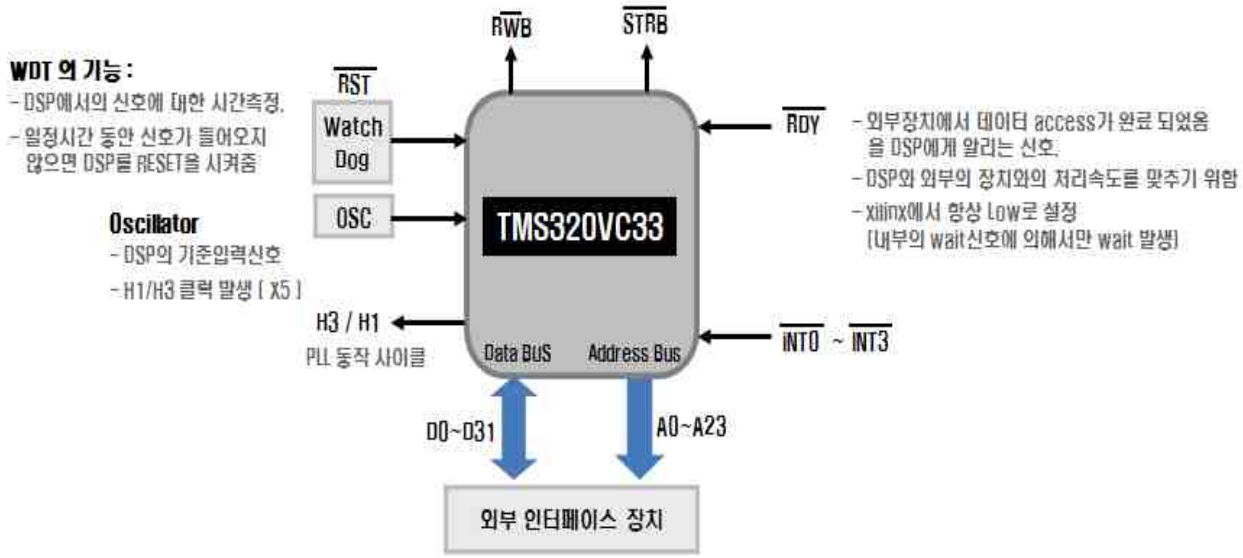
구분	기존품 (C196KC 계열)	개발품 (TMS320VC33)	비 고
특성	- 24 Kbytes의 1회 프로그램 가능 읽기 전용 기억 장치 - 고속의 프로세스 배열 : 캡쳐/비교 6채널 : 비교 2채널 : 16비트 소프트웨어 타이머 2채널 - 강화된 양방향 동시 전송 방식과 동시다연속적인 I/O 포트	80C1- 고성능의 디지털 프로세서 : 13ns 처리능력 : 150MHz 클럭으로 동작 - 34K × 32비트 고성능 CPU - 16/32비트 정수와 32/40비트 유동 소수점 연산96KC	

(1) TMS320VC33(DSP)

TMS320VC33은 TMS320C31과 비슷한 구조를 가지며, 내부 SRAM 용량이 확대 되었고, 더욱 고속 처리가 가능하다. 150MHz 클럭으로 동작하여 내부에서 2분주 클럭(H1,H3)으로 1명령 처리가 가능하므로 75MIPS(13nsec)의 처리 능력을 갖는다.

클럭은 보통 내부의 PLL클럭 회로를 사용하여 주파수를 5배 증가시켜 사용한다. 외부에 12MHz 발진자를 사용하면 12 x 5 = 60 MIPS로 동작한다. (10MHz 의 경우 10 x 5 = 50MIPS로 동작)

TMS320VC33은 내부에 0 웨이트로 동작이 가능한 34K x 32 비트의 용량의 SRAM을 가지고 있어 외부 FLASH에서 내부 SRAM으로 프로그램을 부트시켜 0웨이트로 동작시킬 수 있다.



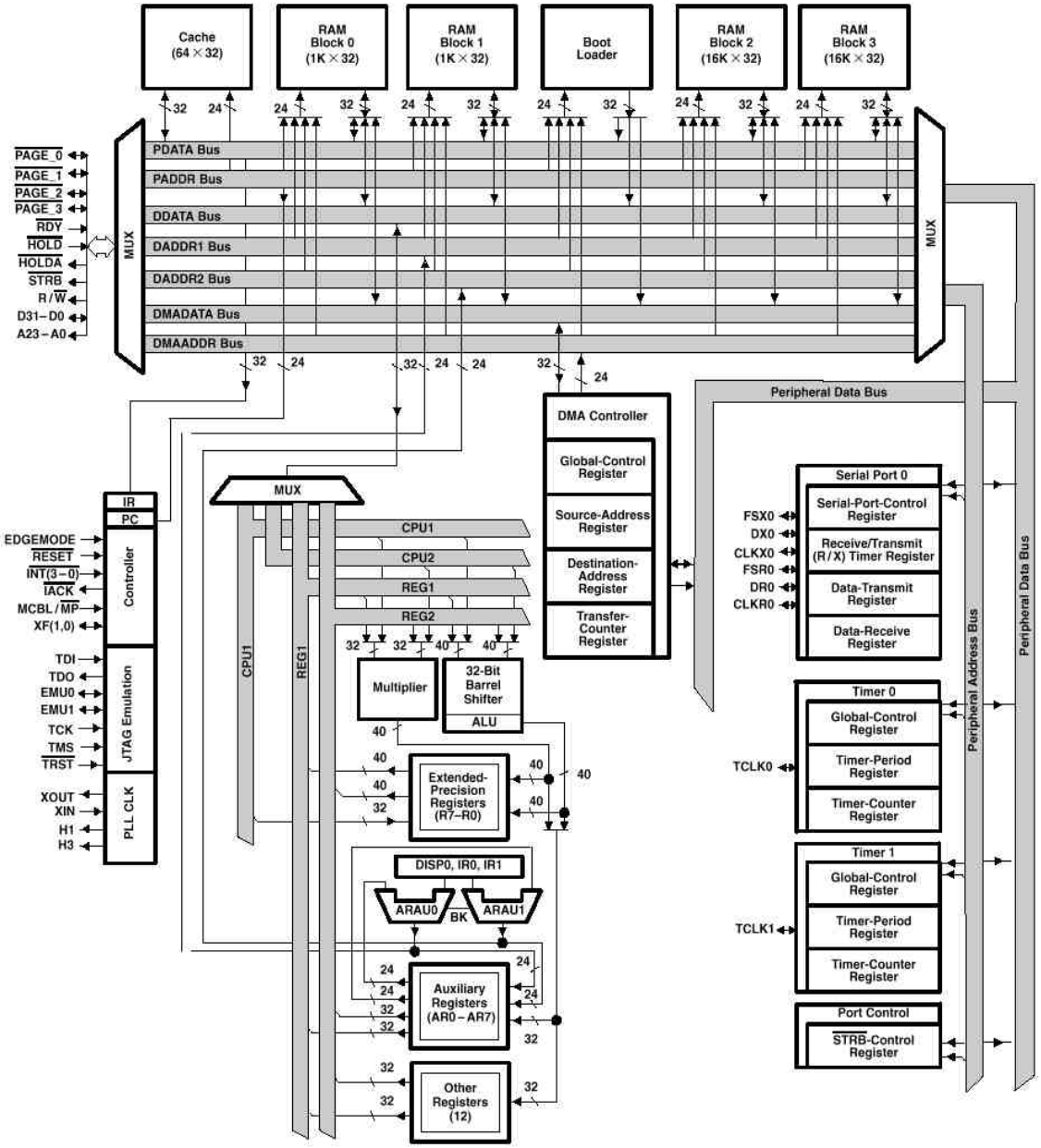


그림 151. TMS320VC33 블럭도

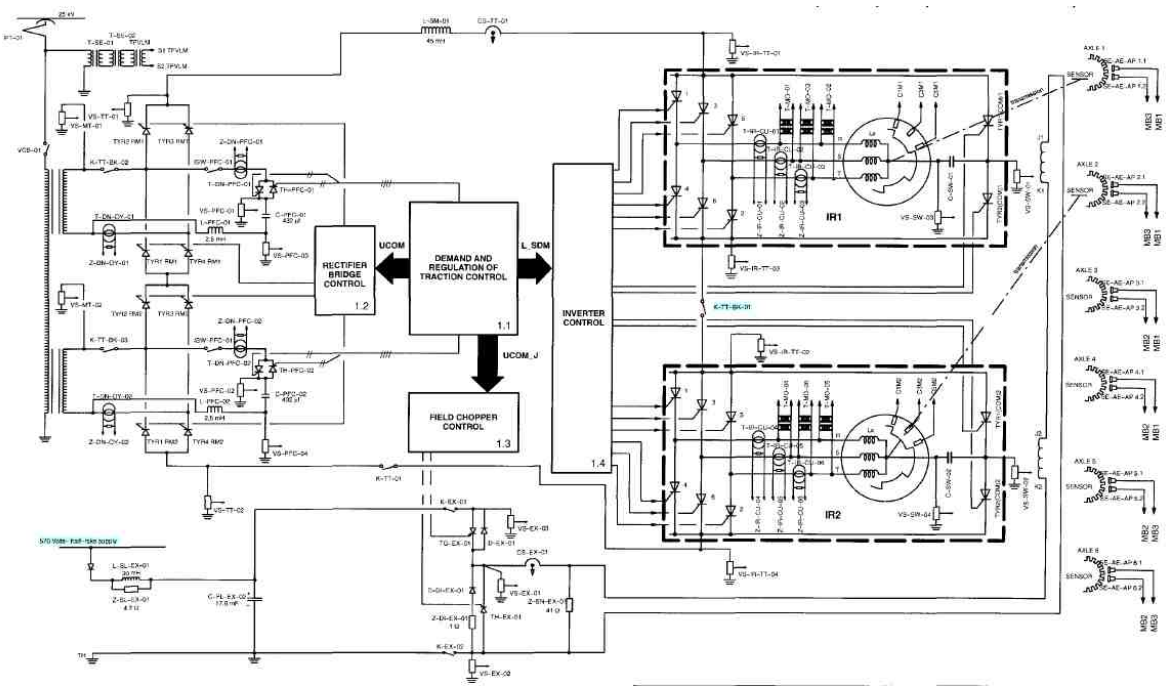
나. 모터블록 제어장치 소프트웨어

1) 모터블록 제어알고리즘

가) 견인 제어(Traction Control)

(1) 견인시 KTX의 동력 시스템의 구성

- 주변압기 : 23.5kV의 가선 전압을 1800Vrms로 낮춤.
- 직렬로 연결된 Thyristor 정류기 2대
  : 변압기의 2차측 전압을 정류하며, 인버터 전류를 제어하는 역할을 함.
  변압기 T-SE-01로 전압을 측정함.
- Smoothing Inductor
- 인버터(Inverter) 2대
- 3상 동기전동기 2대
- 여자 초퍼 (GTO type)
  : 570V 전압을 공급받아 동기전동기의 여자전류를 공급함.
  : 고장 발생시에 동기전동기 여자 권선의 에너지를 1Ω의 저항기를 통해 소비하도록 하는 de-excitation 회로가 있음.
- 역률 보상(Power Factor Correction, PFC) 회로
  : 주 변압기의 2차 권선(2개 정류기 입력측)에 병렬로 연결됨.
  : 인덕턴스 및 커패시터로 구성. (공진 주파수 180Hz)



(2) 인버터의 동작 모드

인버터의 Thyristor들을 turn-off 하는 방법에 따라 두 가지 동작 모드가 있다.

㈎ 강제 전류 모드(Forced commutation mode)

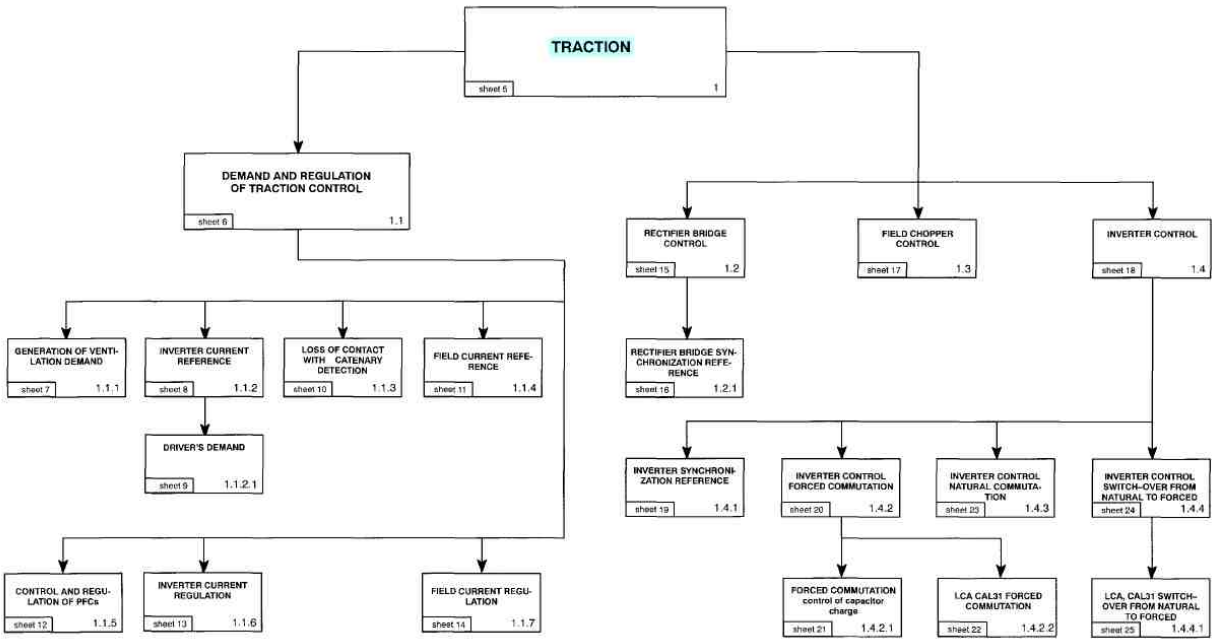
120km/h 이하의 속도에서는 추가적인 commutation 커패시터 C-SW와 Thyristor TH-SW를 사용한 강제 전류 모드로 동작한다.

㈏ 자연 전류 모드 (Natural commutation mode)

120km/h 이상의 속도에서는 전동기의 역기전력 전압에 의해 Thyristor가 자연적으로 turn-off 되는 자연 전류 모드로 동작한다.

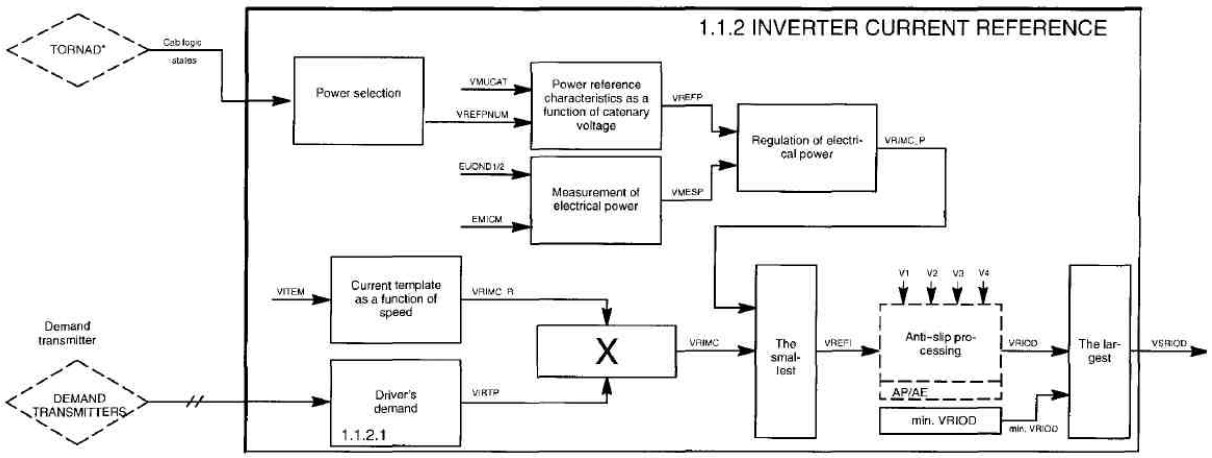
인버터의 제어의 기준 신호로 극저속의 경우에는 모터의 위치 센서 정보를 사용하지만, 30km/h 이상에서는 측정된 선간전압을 사용한다.
2개의 자성 센서를 사용하여 전류 template과 Anti-slide시 필요한 속도를 측정한다.

(3) 견인 제어 알고리즘의 구성

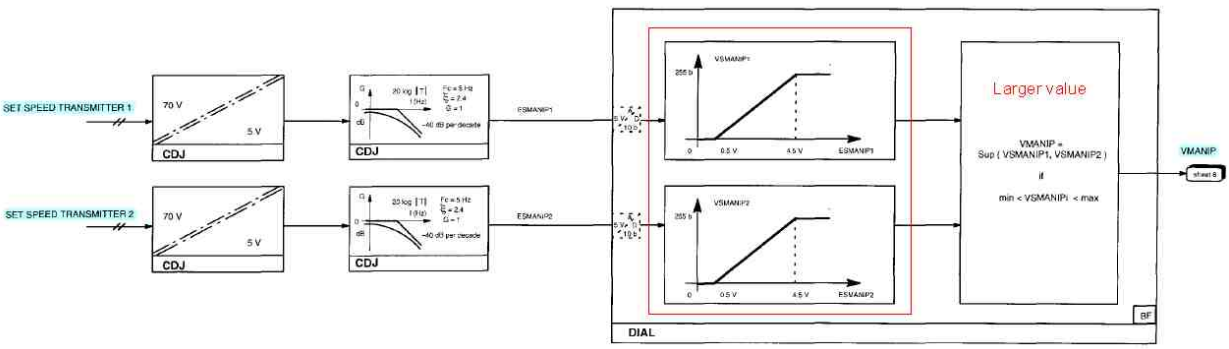


(4) 인버터의 지령 전류 발생

인버터의 지령 전류 발생 과정이 아래 그림에 보인다.

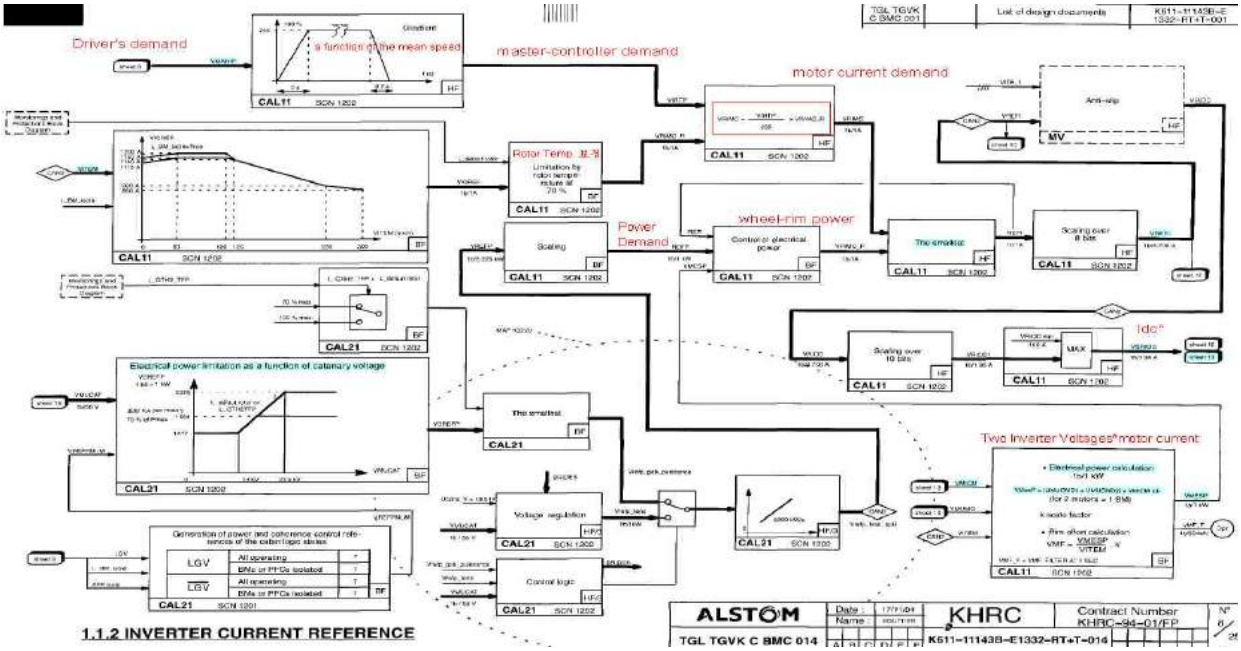


기관사(driver)에 의한 동력 요청(effort demand) 신호는 아래 그림과 같이 2개의 속도 전달 장치 세트로부터 전송된다. 이들 2개 신호는 5V 신호로 전환되어 필터링 후, 큰 것이 선택되어(Vmanip) 인버터 지령 전류를 생성하는데 사용된다.



이 지령 Vmanip는 다음 그림에서 보이듯이 동력이 급격하게 인가되는 것을 방지하기 위해 증가시간 2s, 감소시간 0.7s로 제한을 거친 후 master-controller demand, VIRTP로 변환되며, 여기에 다음 식과 같이 대차 2개 차축의 평균 속도의 함수로 주어지는 전류 template VRIMC_R이 곱해져 VRIMC가 발생된다.

$$VRIMC = \frac{VIRTP}{255} \times VRIMC\_R$$



이 전류 template의 크기는 회전자의 과열 고장이 발생 시에는 30% 감소된다.
VRIMC 전류 지령은 또한 wheel-rim power regulation system(Control of electric power block)에서 출력되는 VRIMC_P값에 의해 제한된 후 REFI가 되고, 다시 8bit로 scale되어 VREFI가 된다.

- VRIMC_P의 설정

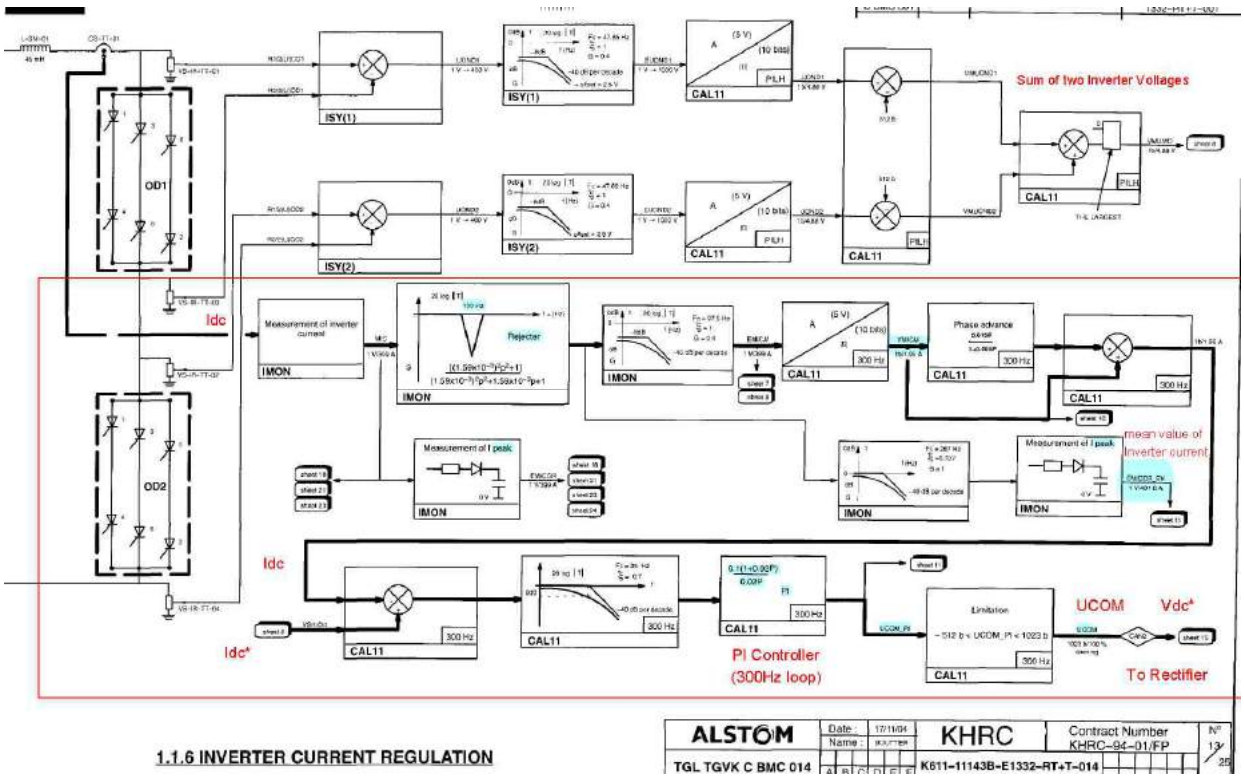
Control of Electric Power block에서 모터의 Electric Power VMESP와 가선 전압(Catenary voltage)에 따른 Electrical Power limitation 값 REFP를 비교하여 Electric Power demand의 제한 값 VRIMC_P를 발생한다.
회전자 과열 고장(L_default_rotor)의 경우 또는 주 변압기 과열의 경우에는 가선 전압에 따라서 최대 동력의 70% 까지 Electric Power demand를 감소함.

- 모터의 Electric power VMESP 계산

VMESP = 모터 전류(VMICM) × 2개 인버터 전압의 합 × scale factor K
(인버터 전압은 센서 VS-IR-TT-01와 VS-IR-TT-03 및 VS-IR-TT-02와 VS-IR-TT-04간의 차동 전압으로 얻음)

또한 VREFI 전류 지령은 Anti-slip Correction과 Scaling을 거친 후에 최종적인 전류 지령인 VSRIOD가 생성된다.
인버터 전류 제어

인버터의 전류는 비례 적분(PI) 제어기를 사용하여 제어된다. 그 전체 제어 과정이 다음 그림에 보인다.



1.1.6 INVERTER CURRENT REGULATION

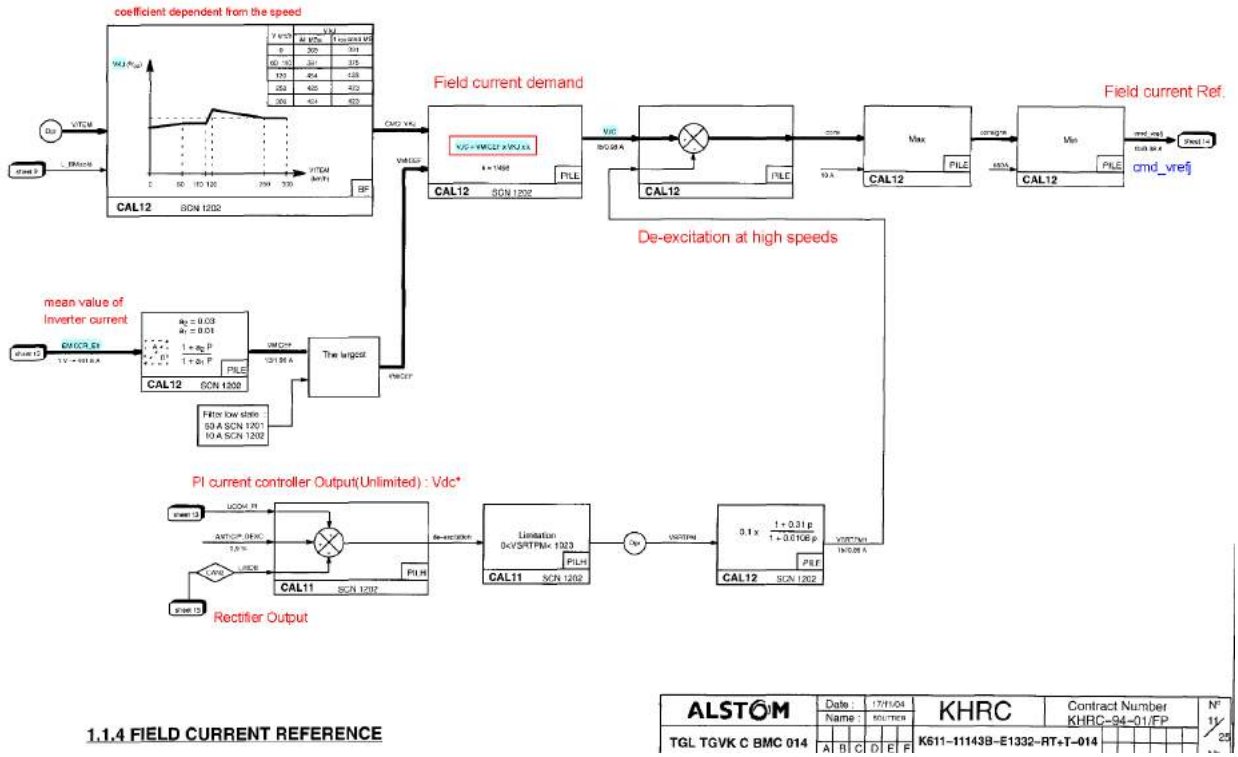
인버터 전류(모터 전류)는 CS-TT-01 센서에 의하여 측정된다. 이 측정 신호는 정류기의 리플을 제거하기 위해 120Hz rejector와 Anti-overlap Low-Pass Filter를 거쳐 EMICM이 된다. 이 아날로그 신호는 디지털 값 VMICM으로 변환된다.

비례 적분(PI) 제어를 위해 인버터 전류 지령 VSRIOD와 실제 전류 VMICM의 차로부터 전류 오차를 구한다. 모터 전류의 고조파를 제거하기 위해 이 전류 오차를 2차 low-pass filter를 거친다.

비례 적분 제어기는 이 전류 오차로부터 정류기의 출력 전압 지령(voltage demand) UCOM을 발생한다. 인버터의 전류 제어는 300Hz로 수행된다.

(5) 여자 전류 지령(Field Current Demand) 발생

여자 권선의 전류 지령(demand)은 CS-TT-01 센서로부터 측정된 인버터 전류로부터 다음 그림에서 보이는 과정으로 결정된다.



이 경우 사용되는 인버터 전류는 mean value of inverter current인 EMICCR_EX를 사용한다. 이 인버터 전류는 Phase Advance Filter를 거친 후(VMICEF) 다음과 같이 속도(VITEM) 함수로 주어진 VJK templater과 곱해져서 여자 전류 지령(Field Current Demand) VJC이 생성된다.

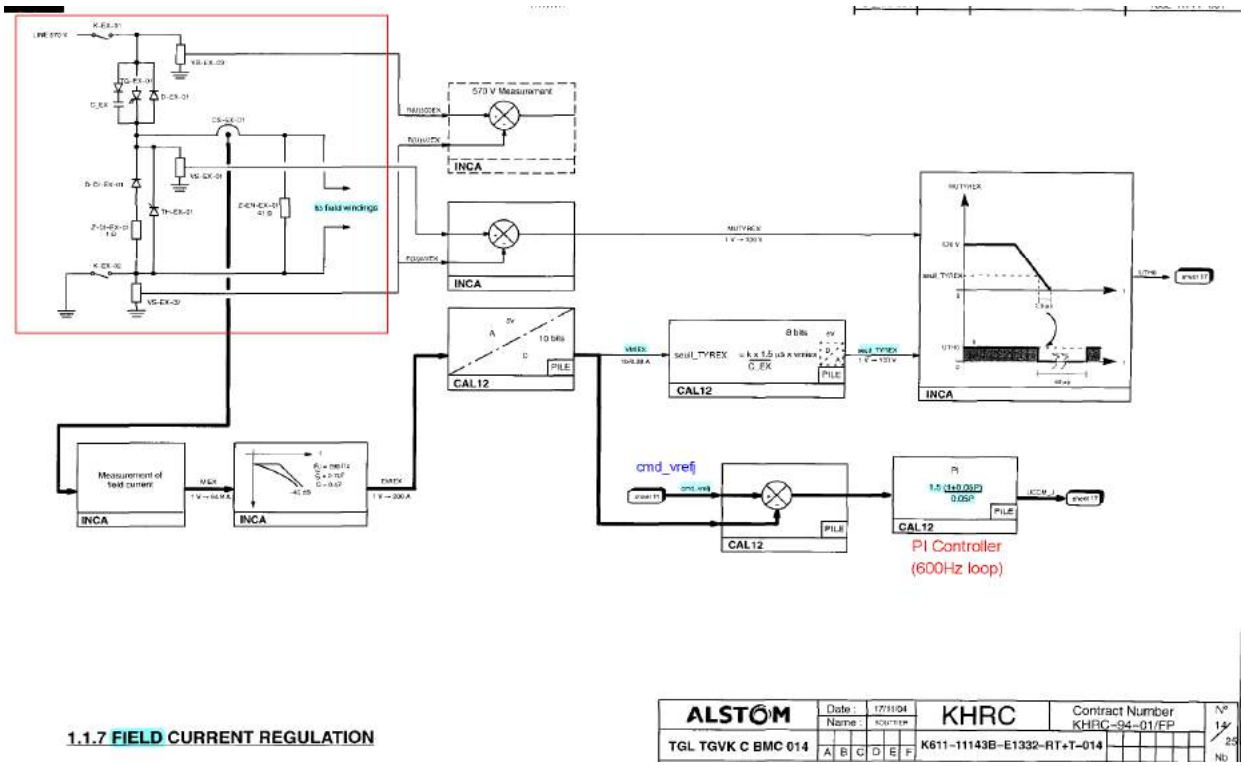
VJC = 인버터 전류(VMICEF) × VJK × K (K=1/498)

고속에서 인버터 전류 제어기의 출력인 UCOM_PI가 정류기가 공급할 수 있는 최대 전압 UMOB를 초과할 경우에 발생되는 de-excitation 요구시에 이 VJC 여자 전류 지령값은 UCOM_PI와 UMOB간의 차에 의해 결정되는 VSRTPM1 값만큼 감소되고, 최종적으로 여자 전류 지령은 cmd_vrefj가 된다.

(6) 여자 전류 제어(Field Current Control)

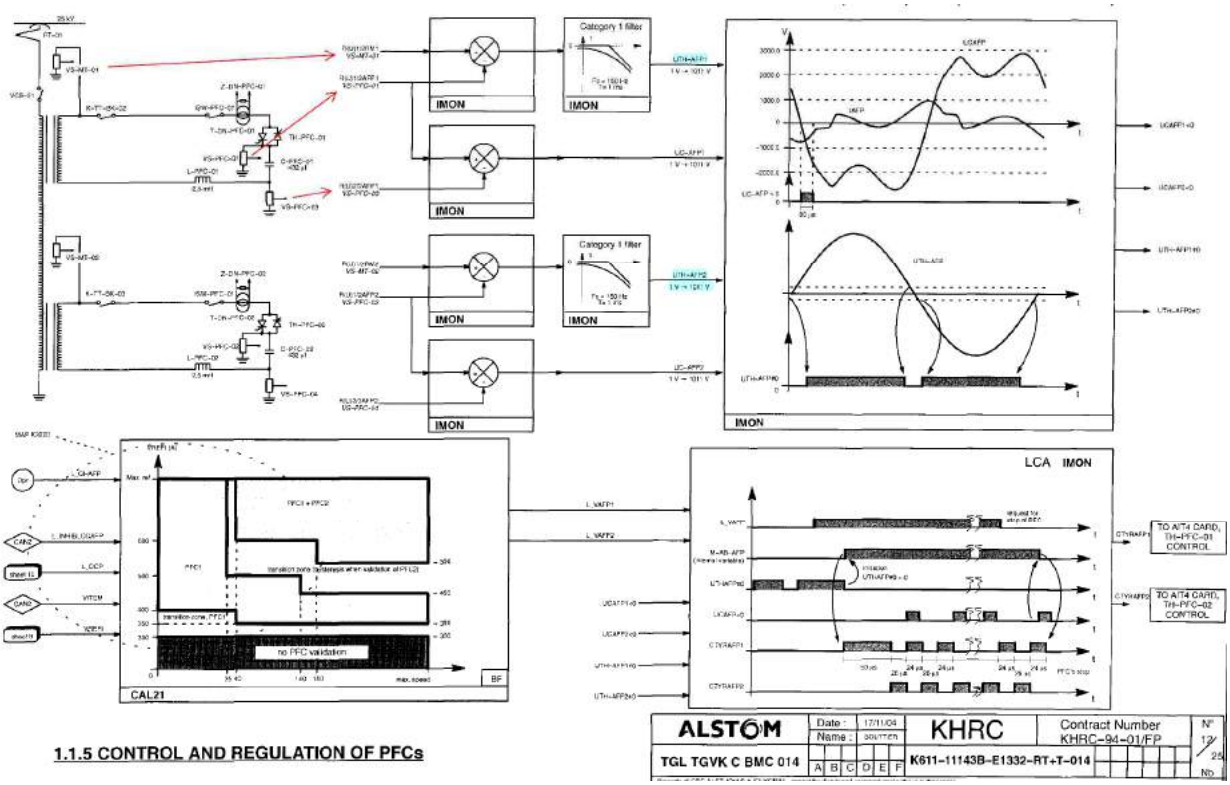
여자 전류의 제어는 비례 적분(PI) 제어기를 통해 이루어진다. 아래 그림에 보이듯이 앞서 얻어진 여자 전류의 지령 cmd_vrefj와 측정된 여자 전류 VMIEX와의 오차로부터 비례 적분(PI) 제어기는 여자 초퍼의 지령 전압 UCOM_J를 발생시킨다.

실제 여자 전류는 여자 권선에 직렬 연결된 CS-EX-01 홀 센서에 의해 측정되고 Anti-overlap 필터를 거쳐 디지털 값 VMIEX로 변환된다. 여자 전류의 제어는 600Hz로 실행된다.



(7) 역률 보상(PFC) 회로의 제어

역률 보상(PFC) 회로를 제어할 것인지 아닌지는 모터 전류 지령 VREFI 및 대차 2개 차축의 평균 속도에 기초한 법칙에 따라 결정된다.



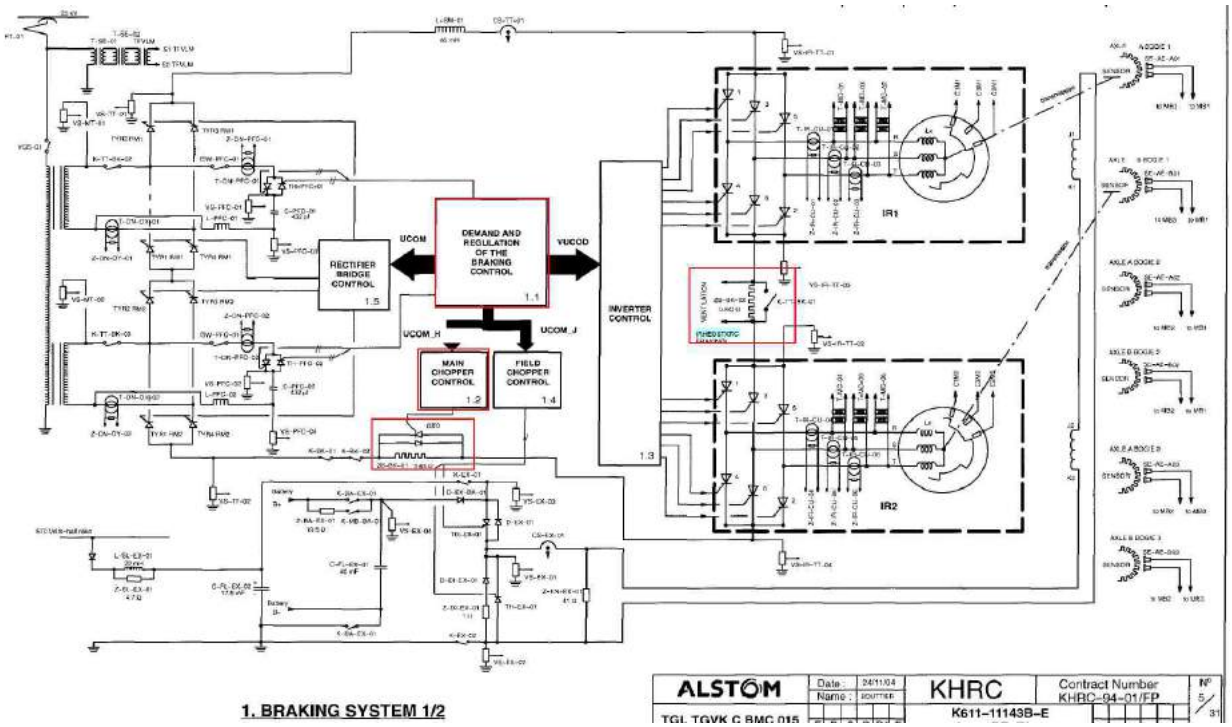
L_VAFP1 또는 L_VAFP2 표시기가 작동된 경우, 전류 및 속도에 따라 PFC 회로의 전압이 0을 통과할 때 PFC 동작이 승인된다. 이 PFC 회로의 전압은 센서 VS-MT-01과 VS-PFC-01 사이의 전압차 및 VS-MT-02와 VS-PFC-02 사이의 전압차를 150Hz의 1차 Low-pass Filter를 거친 후 얻어진다.

나) 제동 제어(Braking Control)

제동 회로와 공압 시스템 제어 (Braking Power Circuit and on Pneumatic System)

아래 그림에서 보이듯이 제동시 동력 시스템은 앞서 설명한 견인 시스템의 구성이외에 다음과 같은 추가 회로를 가진다.

- 2개의 저항기(Rheostat) : RF1(ZB-BK-01) 3.63Ω, RF2(ZB-BK-02) 0.88Ω
- Main GTO type Chopper



제동시 인버터는 정류기로 동작하는데, 모터의 역기전력에 의한 자연 전류 모드로 동작한다. 견인 제어시와 동일하게 30km/h 이상에서는 선간 전압을 기준으로 인버터를 제어하며, 30km/h 이하에서는 위치 센서 신호로 제어한다.
제동 동작은 다음과 같이 회생 제동 모드와 발전 제동 모드가 있다.

(1) 회생 제동 모드

회생 제동시에는 저항기(Rheostat) RF1(ZB-BK-01)과 RF2(ZB-BK-02)는 사용하지 않는다. 차단기 L2(K-TT-BK-01)를 단락시켜 저항기 RF2(ZB-BK-02)는 사용하지 않도록 하며, Main 초퍼의 GTO를 최대의 도통 상태를 유지하여 RF1(ZB-BK-01)을 사용하지 않게 한다.

제동 시의 요구되는 모터 전류는 정류기로 제어한다. 즉, 정류기의 출력 전압과 인버터 전압(모터의 역기전력)과의 차를 제어하여 필요한 제동력을 발생시키기 위해 요구되는 모터 전류를 제어한다.

여자 권선의 전류는 570V 전압에 연결된 GTO 초퍼에 의해 공급된다.

역률 보상 회로는 견인 시와 같이 주 변압기의 2차 권선에 병렬로 연결되어 있다.

(2) 발전 제동 모드

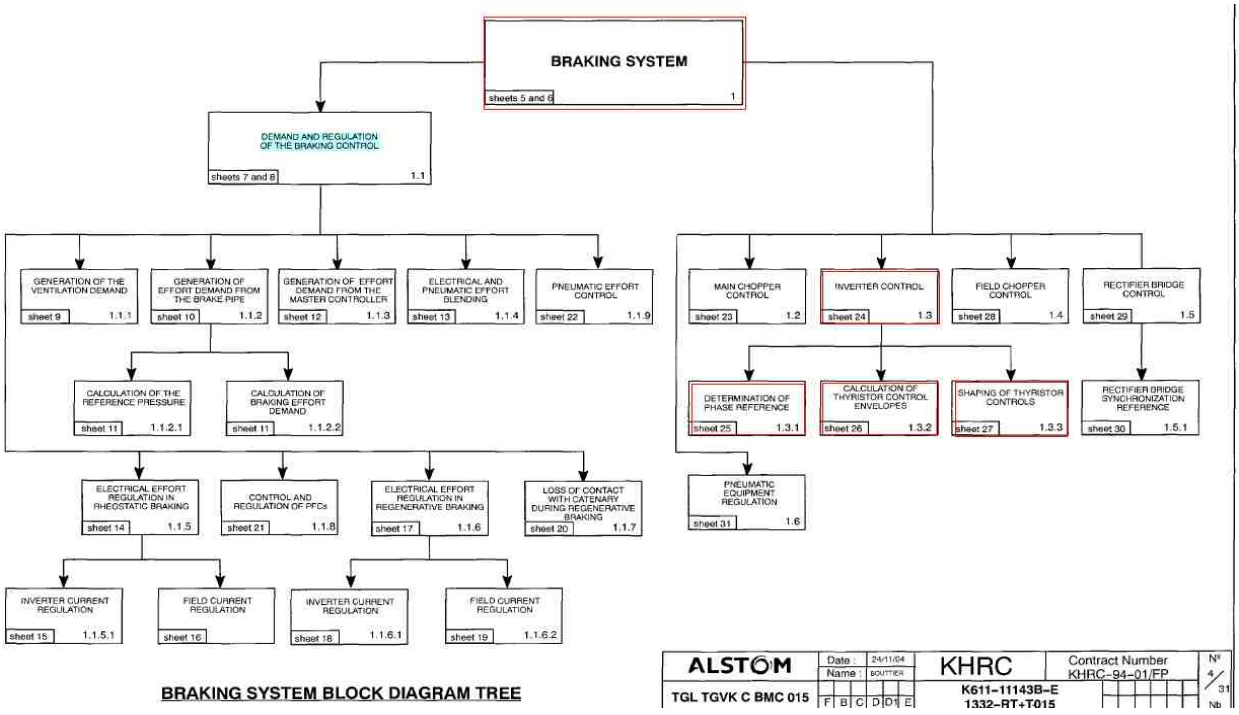
발전 제동시에는 저항기 RF1(ZB-BK-01)과 RF2(ZB-BK-02)를 사용하며, Main 초퍼를 사용하여 모터 전류를 제어한다. 이 경우 정류기는 Free-wheeling 모드로 동작시킨다.

차단기 L2(K-TT-BK-01)를 개방시켜 저항기 RF2(ZB-BK-02)를 통해 인버터 전류가 흐르게 되므로 모터의 에너지가 RF2를 통해 소비된다.

Main 초퍼의 GTO의 도통율(즉, On/Off 시간)을 변화시켜 RF1(ZB-BK-01) 저항기의 임피던스를 변화시킨다. 임피던스의 변화를 통해 모터 전류가 제어된다.

모터 블록과 견인 전동기의 송풍 인버터는 RF2(ZB-BK-02)로부터 에너지를 이끌어낸다.

제동시의 운전 알고리즘의 구성은 다음 그림과 같다.



BRAKING SYSTEM BLOCK DIAGRAM TREE

기관사에 의해 생성된 제동력 요청(Effort demand) 값은 전기적으로 발생되거나 공압으로 발생된다. 전기적 제동력은 여자 전류, 모터 전류, 또는 Main 초퍼의 도통율 제어를 통해 얻어진다.

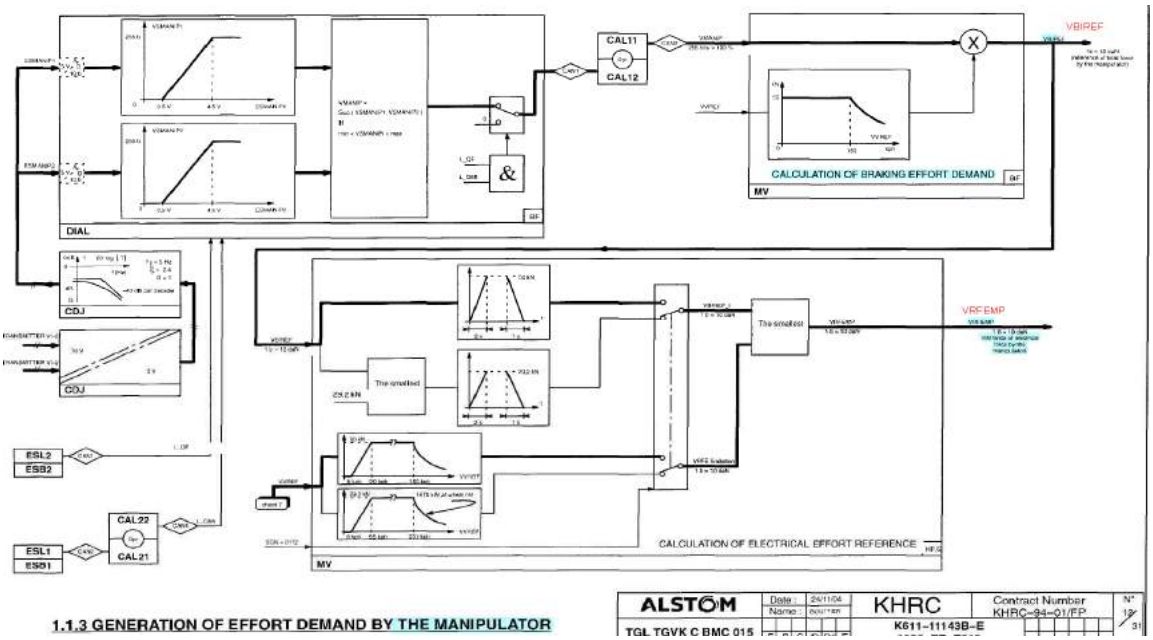
회생제동시에는 Main 초퍼의 도통율은 최대로 유지하고 정류기와 여자 전류를 제어하여 전기적 제동력을 제어한다. 반면에 발전 제동시에는 Main 초퍼의 도통율을 제어하여 전기적 제동력을 제어한다.

모터 전류가 너무 커서 정류기를 통해서 제어할 수 없을 경우에는 인버터 점호각의 위상을 제어하여 인버터 전압을 감소시킨다.

공압 제동은 회생 제동 동작이 없는 비상 제동시에만 작동된다.

(3) 마스터 컨트롤러 제동력 요청값 발생 (Generation of Manipulator Effort Demand)

마스터 컨트롤러의 제동력 요청값 발생 과정이 다음 그림에 보인다. 두 개의 송신기 VI를 통해 마스터 컨트롤러(기관사)에서 발생한 제동력 요청 값이 전송된다. 이 요청 값은 저역통과 필터를 거친 후 디지털 값으로 변환된다. 두 요청값 중 큰 값이 활성화되어 VMANIP가 되며, 이 값은 속도에 따른 제동력 VVREF과 곱해져 VBIREF가 된다. 최종적으로 값 변화의 증감율을 제한시킨 후, 마스터 컨트롤러에서 생성된 전기 제동력 요청값인 VRFEMP가 생성된다.



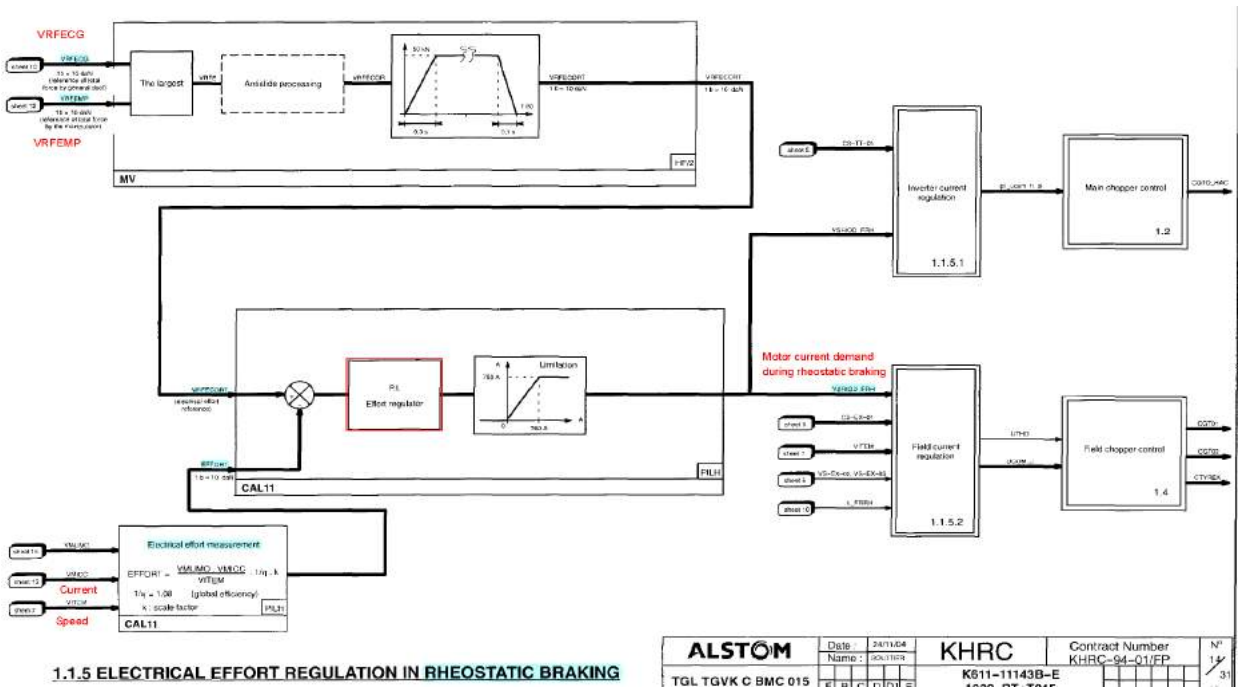
(4) 발전 제동시(Rheostatic Braking) 전기 제동력의 제어

전기 제동력 요청값 VRFE는 Brake Pipe에서 발생한 요청값 VRFECG와 마스터 컨트롤러에서 발생한 요청값 VRFEMP 중에서 큰 값을 취한다. 이 값은 Anti-slide 과정에서 수정될 수 있다. 전기 제동력이 급격하게 인가되는 것을 방지하기 위해 이 값은 증가시간 0.3s, 감소시간 0.1s로 제한되고 제동력 지령(Electrical Effort Reference) VRFECORT이 된다.
이 지령 제동력 VRFECORT와 현재 발생중인 전기제동력의 측정값을 비교한다.
현재 발생중인 전기 제동력 EFFORT의 계산은 다음과 같이 한다.

$$VMEFEF = \frac{\sum UODi \times VMICC}{VITEM} \times 1/\eta$$

(블럭도에서의 식 : $EFFORT = \frac{VMUMO \cdot VMICC}{VITEM} \cdot 1/\eta \cdot k$, $1/\eta$ =1.08, k : scale factor)

여기서, 인버터 전류 VMICC, 두 인버터 전압의 합 UODi(VMUMO), 속도 VITEM, 전체 효율 η 이다.
제동력 지령과 실제 발생된 제동력의 차로부터 비례 적분(PI) 제어기는 인버터 전류 지령 VSRIOD_FRH를 발생시킨다. 이 지령 값은 Main 초퍼에 의해 제어된다. 여자전류는 인버터 전류에 비례하므로 이 지령 값은 여자 전류 지령 VREFJM에 영향을 준다.

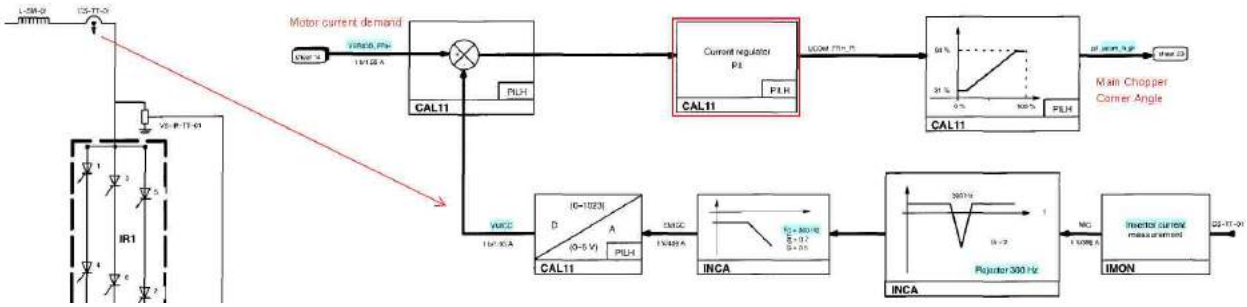


1.1.5 ELECTRICAL EFFORT REGULATION IN RHEOSTATIC BRAKING

㈎ 발전 제동시 인버터 전류 제어

앞에서 발생된 인버터(모터) 전류 지령 VSRIOD_FRH는 Main 초퍼에 의해 제어된다.

인버터의 실제 전류는 아래 그림에서 보이듯이 Hall 센서 CAIC(CS_TT_01)에 의해 측정된다. 센싱된 전류는 300Hz reject 필터를 통해 Main 초퍼에 의한 고조파를 제거한 후, Anti-overlap 필터를 거쳐 최종적으로 디지털 값 VMICC로 변환된다.

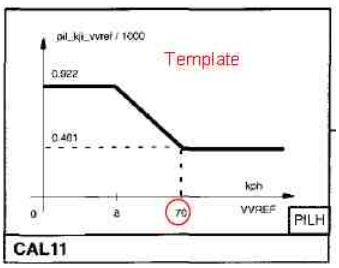


지령 전류 VSRIOD-FRH와 측정전류 VMICC의 오차는 비례 적분(PI) 제어기를 통해 Main 초퍼의 개방각 UCOM_H를 조절하는데 사용된다.

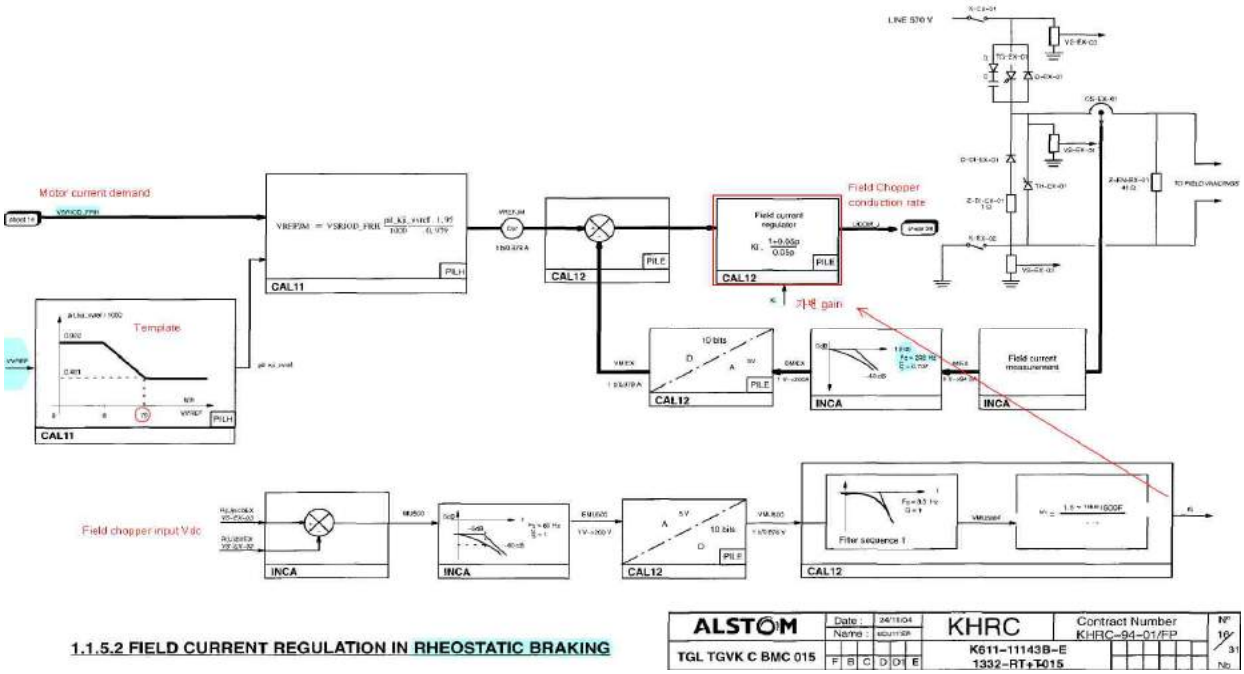
㈏ 발전 제동시 여자 전류 제어

여자 전류는 인버터 전류에 비례한다. 발전 제동시 여자 전류 지령 VREFJM은 전기 제동력 발생을 위한 인버터 전류 지령 VSRIOD_FRH에 다음과 같이 VVREF의 함수로 주어진 Template, pil_kji_vvref가 곱해져 생성된다. 이 template은 저속시 여자 전류가 많이 흐르도록 되어있다.

$$VREFJM = VSRIOD\_FRH \frac{pil\_kji\_vvref \cdot 1.95}{1000 \quad .0.979}$$



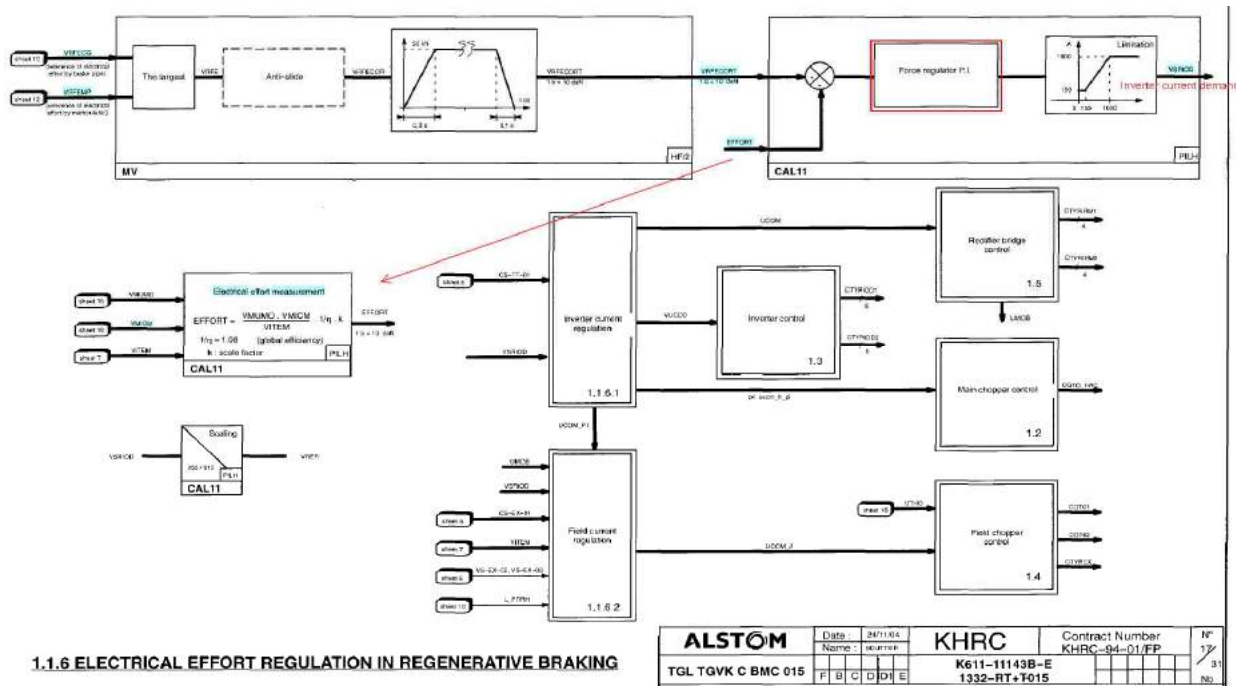
이 VREFJM 지령은 실제 여자 전류의 측정치와 비교되어, 비례 적분(PI) 제어기를 통해 제어된다. 실제 여자 전류는 Hall 센서 CS_EX_01을 통해 측정된다. 이 값은 298Hz의 Anti-overlap Low pass 필터를 거쳐 최종적으로 디지털 값 VMIEX로 변환된다.



1.1.5.2 FIELD CURRENT REGULATION IN RHEOSTATIC BRAKING

비례 적분(PI) 제어기의 출력은 여자 초퍼의 도통각 UCOM_J이다. 제어기의 적분 이득 Ki는 여자 초퍼 입력 전압에 따라 달라진다.

㈐ 회생 제동시(Regenerative Braking) 전기 제동력의 제어



1.1.6 ELECTRICAL EFFORT REGULATION IN REGENERATIVE BRAKING

발전 제동시처럼, 전기 제동력 요청값 VRFE는 Brake pipe에서 발생한 요청값 VRFECG와 마스터 컨트롤러에서 발생한 요청값 VRFEMP 중에서 큰 값을 취한다. 이 값은

Anti-slide 과정에서 수정될 수 있다. 전기 제동력이 급격하게 인가되는 것을 방지하기 위해 이 값은 증가시간 0.3s, 감소시간 0.1s로 제한되고 제동력 지령(electrical effort reference) VRFECORT가 된다.

이 제동력 지령 VRFECORT와 현재 발생중인 전기 제동력의 측정값을 비교한다.

현재 발생된 전기 제동력 EFFORT의 계산은 다음과 같이 한다.

$$VMEFEF = \frac{\sum UODi \times VMICM}{VITEM} \times 1/\eta$$

(블럭도에서의 식 : $EFFORT = \frac{VMUMO \cdot VMICM}{VITEM} \cdot 1/\eta \cdot k$, $1/\eta$ =1.08, k : scale factor)

여기서, 인버터 전류 VMICM, 두 인버터 전압의 합 UODi(VMUMO), 속도 VITEM, 전체 효율 η이다. 이 작용력을 계산할 때에는 발전 제동시 사용한 VMICC 전류 대신 회생 제동시 (또는 견인시)에 구한 VMICM 전류를 사용한다. 사용된 필터가 다른 것이 이 전류의 차이이다.

제동력 지령 VRFECORT와 현재 발생된 제동력 EFFORT의 차로부터 비례 적분(PI) 제어기는 인버터 전류 지령 VSRIOD를 발생한다. 여자 전류는 인버터 전류에 비례하므로 이 지령 값은 여자 전류 지령 VREFJM에 영향을 준다.

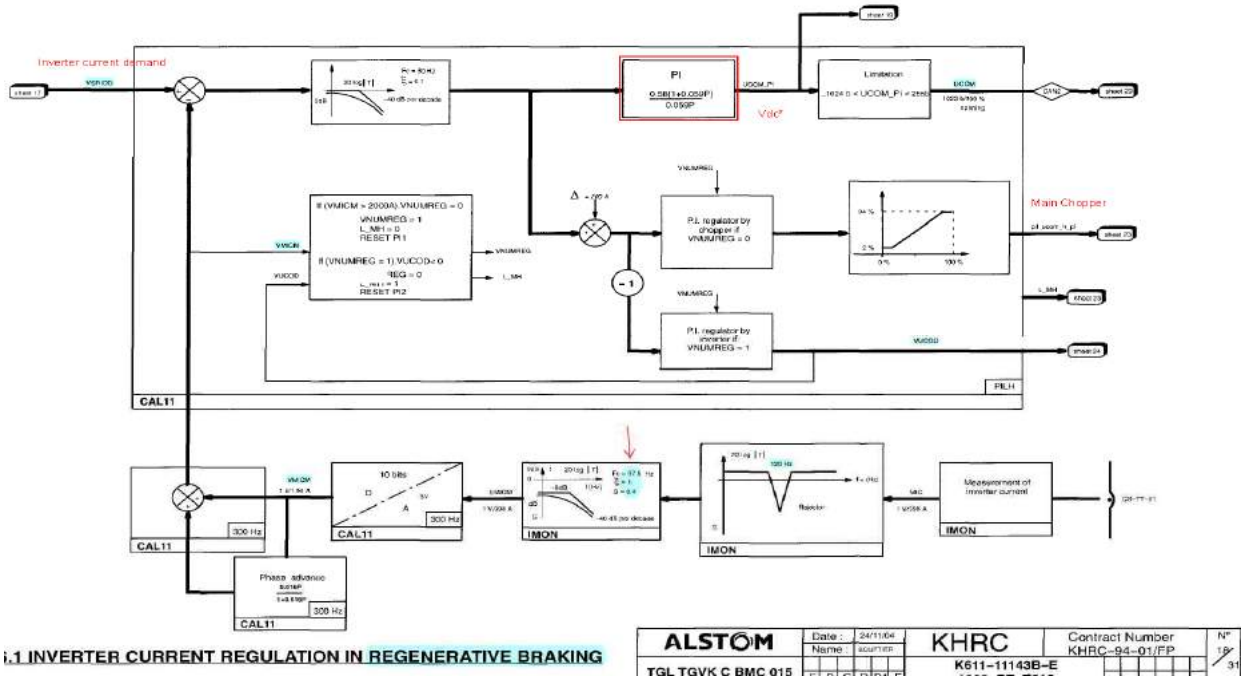
㈑ 회생 제동시 인버터 전류 제어

앞 절에서 발생된 회생 제동시의 인버터(모터) 전류 지령 VSRIOD는 3가지 방법으로 제어된다.

우선 이 전류는 정류기에 의해 제어된다. 제어를 위한 실제 인버터 전류는 아래 그림에서 보이듯이 Hall 센서 CS_TT_01에 의해 측정된다. 센싱된 전류는 120Hz reject 필터를 통해 정류기에 의해 발생된 고조파를 제거한 후, 97.5Hz의 Anti-overlap 필터를 거쳐 최종적으로 디지털 값 VMICM으로 변환된다.

VRSIOD 지령과 실제 전류 측정치 VMICM과의 차를 구해 25Hz의 Anti-overlap Low pass 필터를 통과시킨 후 비례 적분(PI) 제어기로 입력시킨다. PI 제어기에서는 정류기의 지령 전압 UCOM_PI를 출력하며, 이 값이 제한을 거치면 UCOM이 된다.

다음으로 정류기에 의해 인버터 전류의 제어가 불가능할 때에는 Main 초퍼로 제어된다. 이 경우 지령 전류와 실제 전류 측정치 VMICM과의 차이는 Main 초퍼의 도통율 pil_ucom_h_pi를 조정하는데 사용된다. Main 초퍼의 도통율을 감소시켜 유효 저항을 증가함으로 모터 전류를 제한시킨다.



.1 INVERTER CURRENT REGULATION IN REGENERATIVE BRAKING

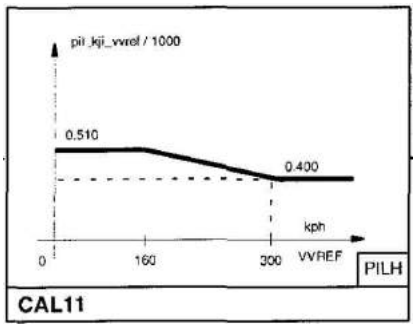
다음으로 Main 초퍼로도 모터 전류를 특정 값 이하로 제한하지 못하는 경우 Main 초퍼는 차단되고 지령 VUCOD를 통해 인버터의 점호각을 조절하여 인버터 전압을 제한시킨다.

회생 제동시 인버터 전류 제어 과정을 정리하면, 우선적으로 모터 전류의 제어는 지령 전압 UCOM으로 정류기의 출력 전압을 조절함으로서 이루어진다. 정류기가 모터 전류를 제어하지 못하게 되면, 최대 도통율로 도통하고 있는 Main 초퍼의 도통율을 감소시켜 모터 전류를 제어한다. Main 초퍼로도 제어가 불가능한 경우 VUCOD의 지령으로 인버터의 전압을 감소시켜 모터 전류를 제어한다.

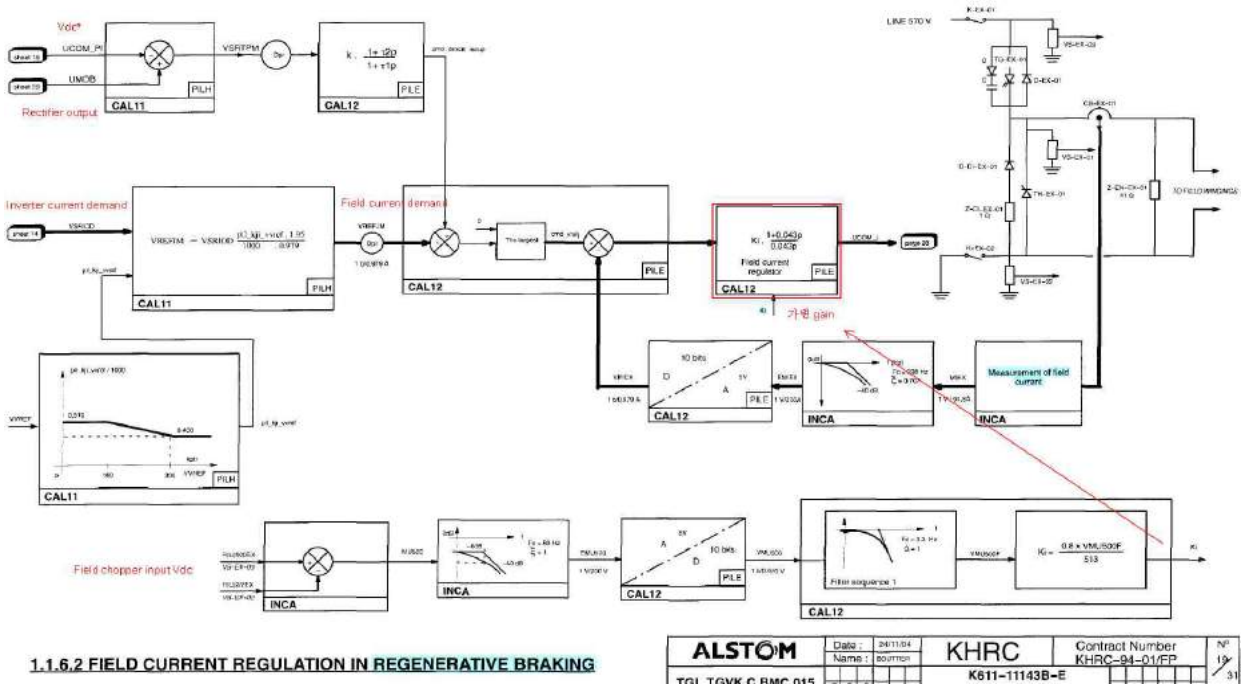
㈐ 회생 제동시 여자 전류 조절

회생 제동시 여자 전류의 지령 VREFJM은 전기 제동력 발생을 위해 요구되는 인버터 전류 지령 VSRIOD에 다음과 같이 VVREF에 따라 주어진 template, pil_kji_vvref가 곱해져 생성된다.

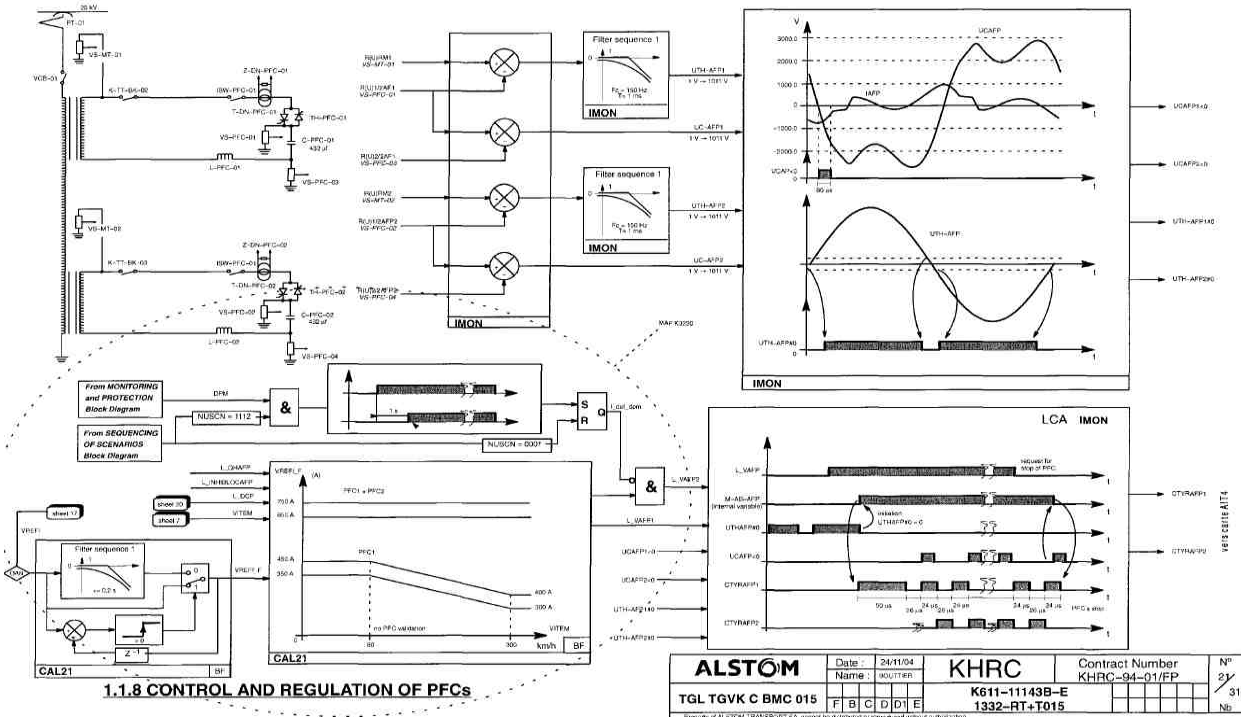
$$VREFJM = VSRIOD \frac{pil\_kji\_vvref \,.\, 1.95}{1000 \quad .0.979}$$



이 여자 전류 지령 VREFJM은 정류기의 지령 전압 UCOM_PI와 실제 정류기 출력전압 UMOB간의 차이인 VSRTPM만큼 감해져서 cmd_vrefj로 된다.
이 여자 전류 지령 cmd_vrefj와 측정된 여자 전류 VMIEX의 차이로부터 비례 적분(PI) 제어기는 여자 초퍼의 도통각 UCOM_J을 조절한다. 제어기의 적분 이득 Ki는 여자 초퍼 입력 전압에 따라 달라진다. 전류 측정 과정은 발전 제동시와 동일하다.



㈜ PFC 회로의 제어



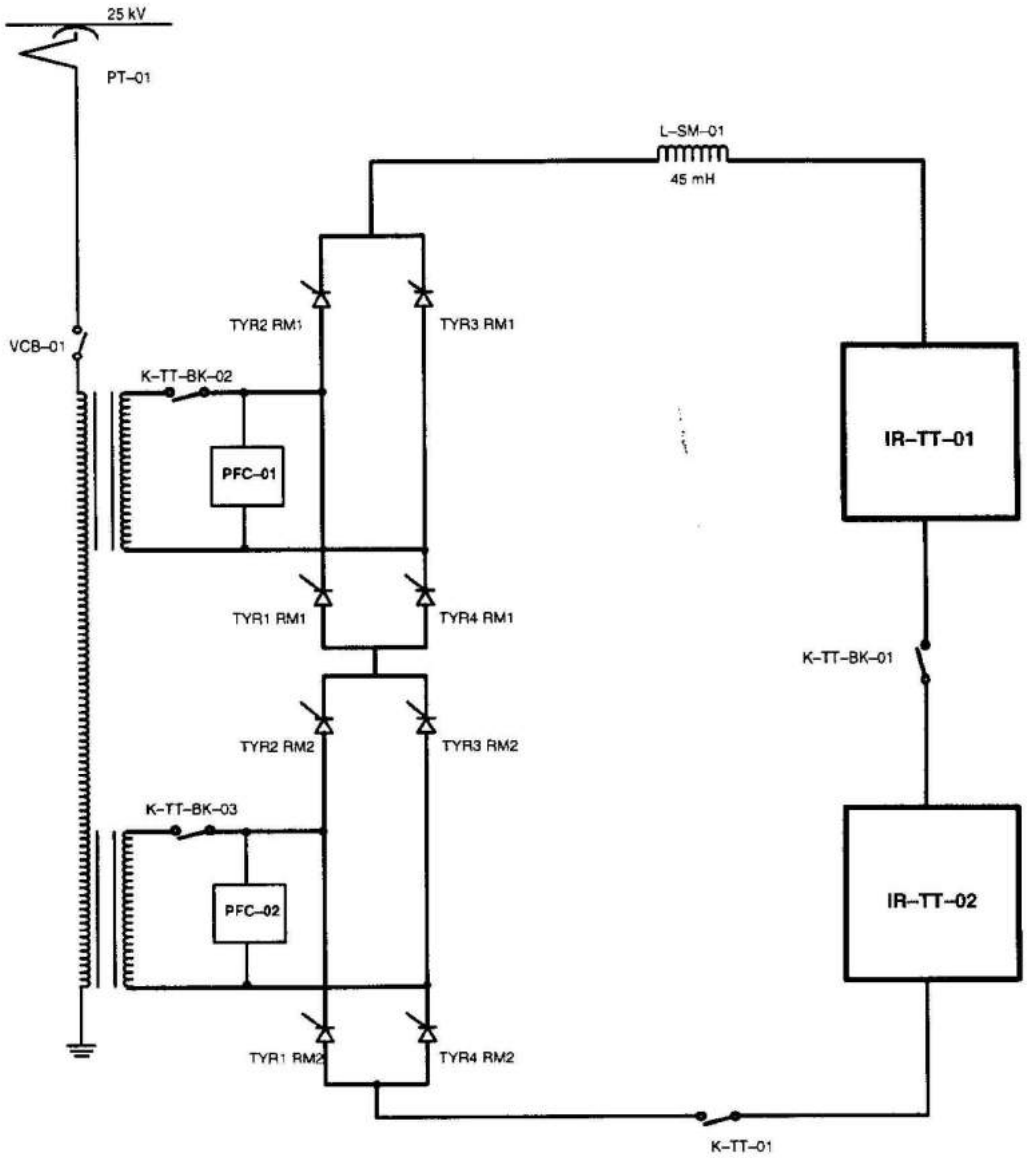
제동시 역률 보상(PFC) 회로를 제어 여부를 결정하는 법칙은 견인시와 동일하다. 견인시와 제동시의 차이점은 단지 사용된 template에 있다.

다) 정류기 제어(Rectifier Control)

(1) 정류 회로

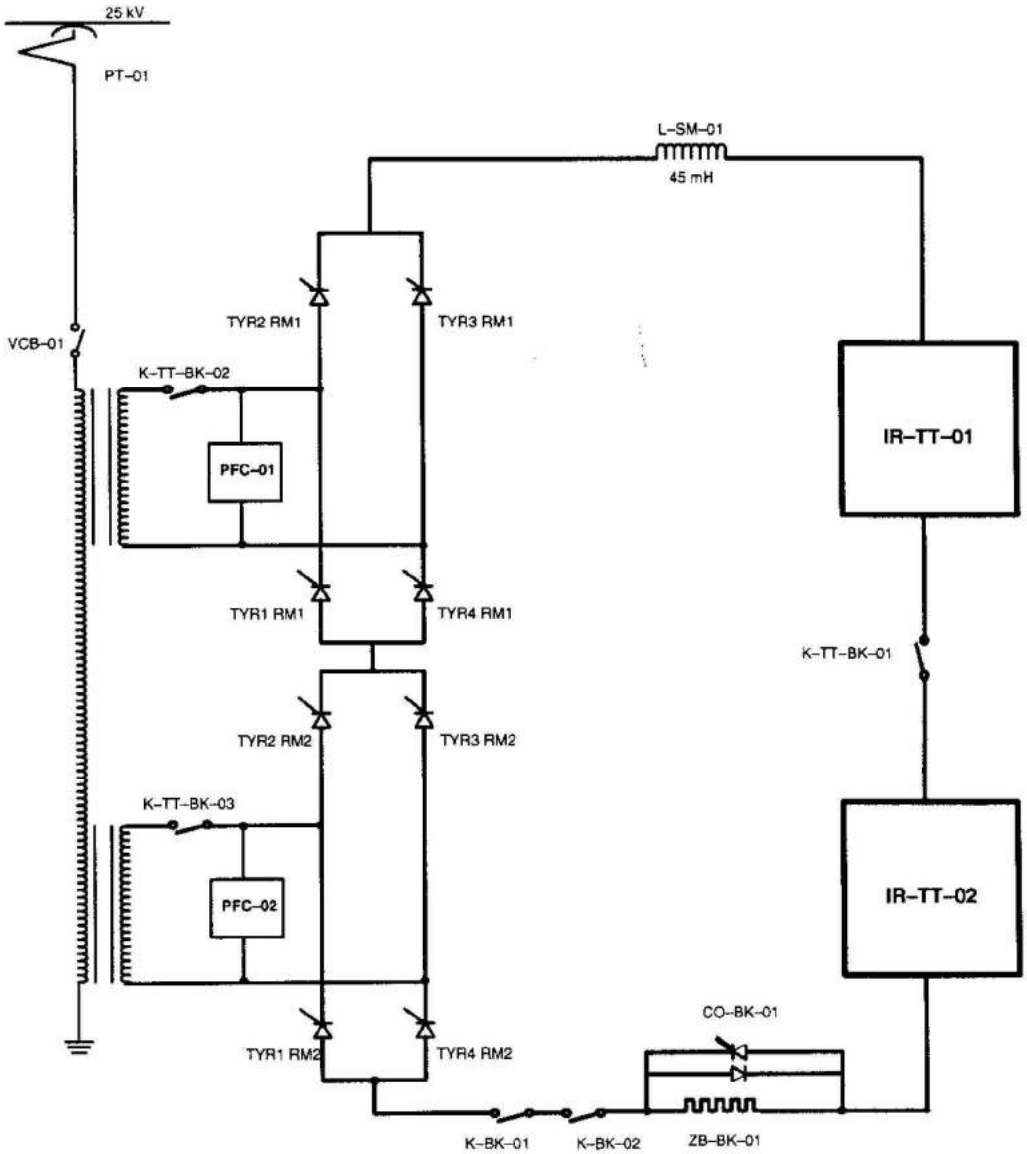
㈎ 견인시

아래 그림과 같이 가선 전압을 25kV에서 1800Vrms로 낮추어주는 주 변압기의 2차 권선에 사이리스터(thyristor)형 정류기 2대가 연결되어 있다. 두 정류기는 직렬로 연결되어 인버터에 직류 전력을 공급한다. 정류기 브리지의 각 사이리스터 암(Arm)은 실제로는 직렬로 연결된 두 개의 사이리스터로 구성되어 있다. 모터 전류의 고조파는 인덕턴스 L-SM-01에 의해 제한된다.



㈏ 제동시(회생)

회생 제동시에는 아래 그림에 보이듯이 앞서 살펴본 견인시 회로에 추가로 가변 저항기 ZB-BK-01이 시스템에 연결된다. 이 가변 저항기는 정상운전 시에는 Main 초퍼의 CO-BK-01 GTO에 의해 단락된다.

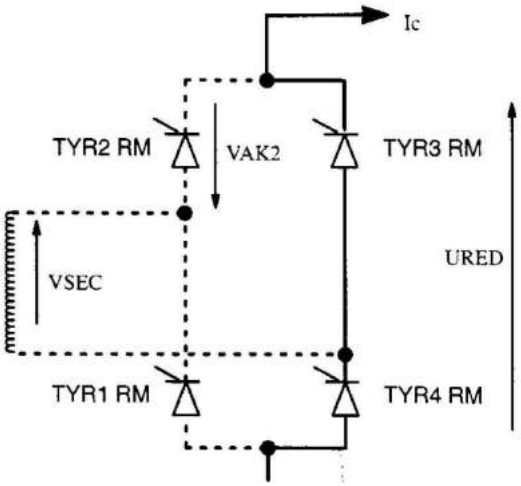


(2) 정류기 동작

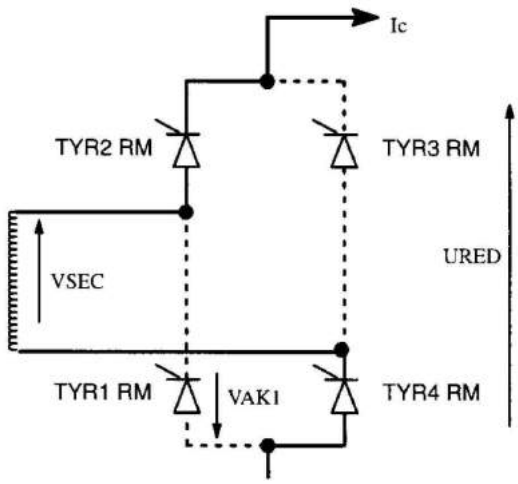
㈎ 견인시

① 모터 전류가 연속인 경우

초기에 예제 1에 보이듯이 사이리스터 TYR3-RM과, TYR4-RM을 통해 Free-Wheeling 전류 Ic가 흐르고 있다고 가정한다. 변압기의 2차 전압 Vsec이 양인 구간, 즉 TYR2-RM의 전압이 양이 되는 구간에서 원하는 순간(예로서 예제 3에서 t1 순간)에 TYR2-RM을 트리거하면 turn-on 되어 TYR3-RM은 꺼지고 예제 2와 같이 정류동작이 시작되어 출력전압 URED=Vsec가 된다.

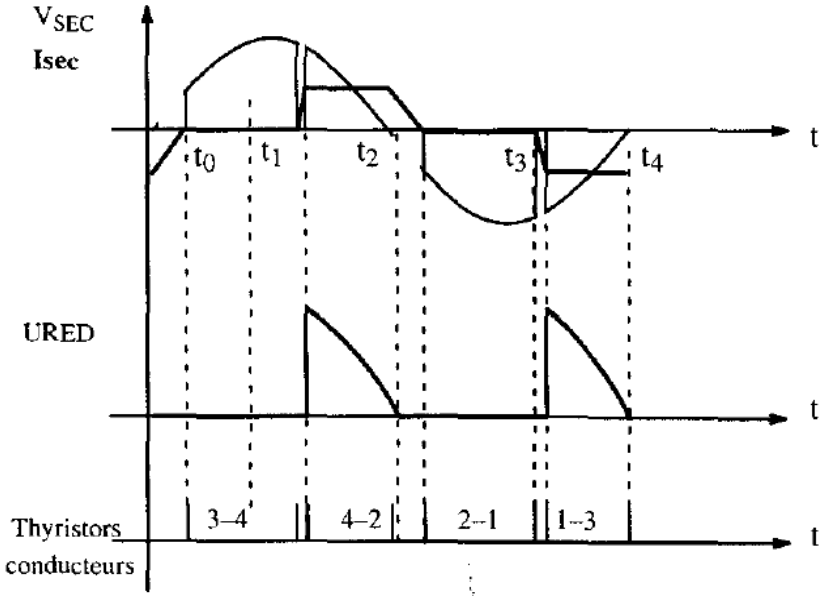


예제 1

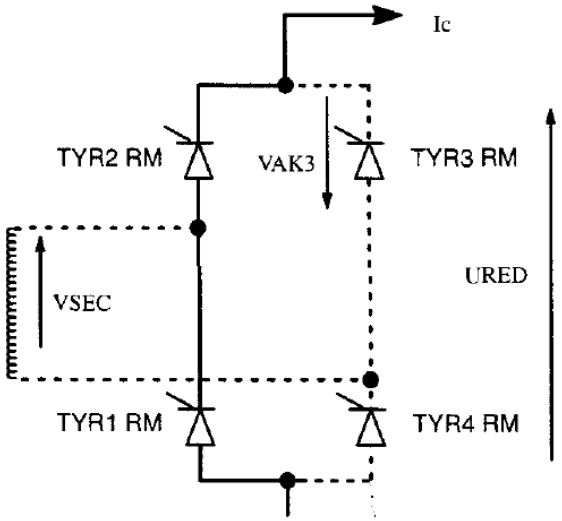


예제 2

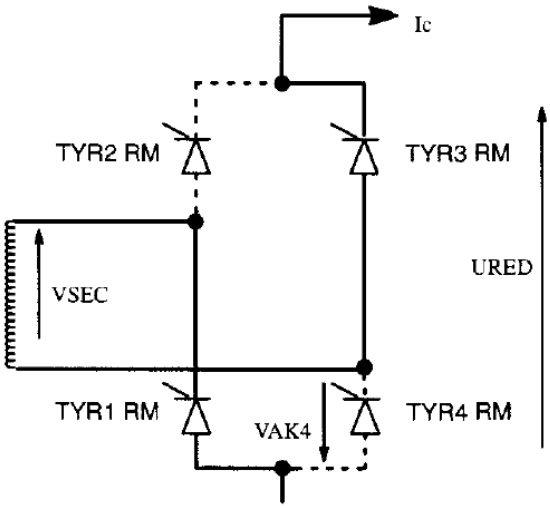
정류기는 역률을 좋게 하기 위하여 free-wheeling 동작을 하도록 제어된다. 이를 위해 TYR1-RM의 전압이 양이 되는 순간, 즉 변압기 2차 전압 Vsec가 음이 되는 t2의 시점에서 TYR1-RM을 트리거하여 TYR4-RM을 꺼지게 만든다. 그 결과 예제 4와 같이 TYR2와 TYR1을 통해 free-wheeling 전류가 흐르게 되며 출력 전압은 0이 된다.



예제 3



예제 4



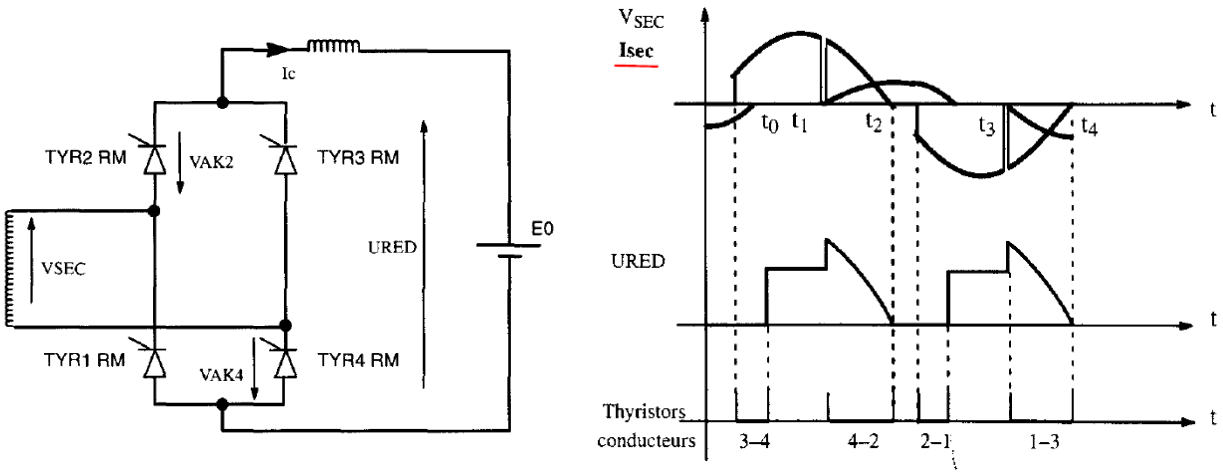
예제 5

다음 반주기에서의 동작 방식도 앞에서와 유사하다. 변압기의 2차 전압 Vsec이 음인 구간에서 원하는 순간(예로서 예제 3에서 t3 순간)에 TYR3-RM을 트리거하면 turn-on 되어 TYR2-RM은 꺼지고 예제 5와 같이 정류 동작이 시작되어 출력전압 URED=-Vsec가 된다.

또한 free-wheeling 동작을 위해 TYR4-RM의 전압이 양이 되는 순간, 즉 변압기 2차 전압 Vsec가 양이 되는 t4의 시점에서 TYR4-RM을 트리거하여 TYR1-RM을 꺼지게 만든다. 그 결과 그예제 1과 같이 TYR3과 TYR4를 통해 free-wheeling 전류가 흐르게 되며 출력전압은 0이 된다.

② 모터 전류가 불연속인 경우

불연속 모터 전류로 인해 정류기 회로에 전류가 흐르지 않으면 사이리스터 TYR2와 TYR4(또는 TYR1과 TYR3)는 아래 그림에 보이듯이 전압 Vsec가 정류기의 출력에 있는 모터(인버터)의 역기전력 Eo보다 클 때에만 도통 상태가 될 수 있다(즉, Vsec - Eo > VAK2 + VAK4의 경우). 정류기 회로에 전류가 흐르지 않으면 URED=Eo이다.

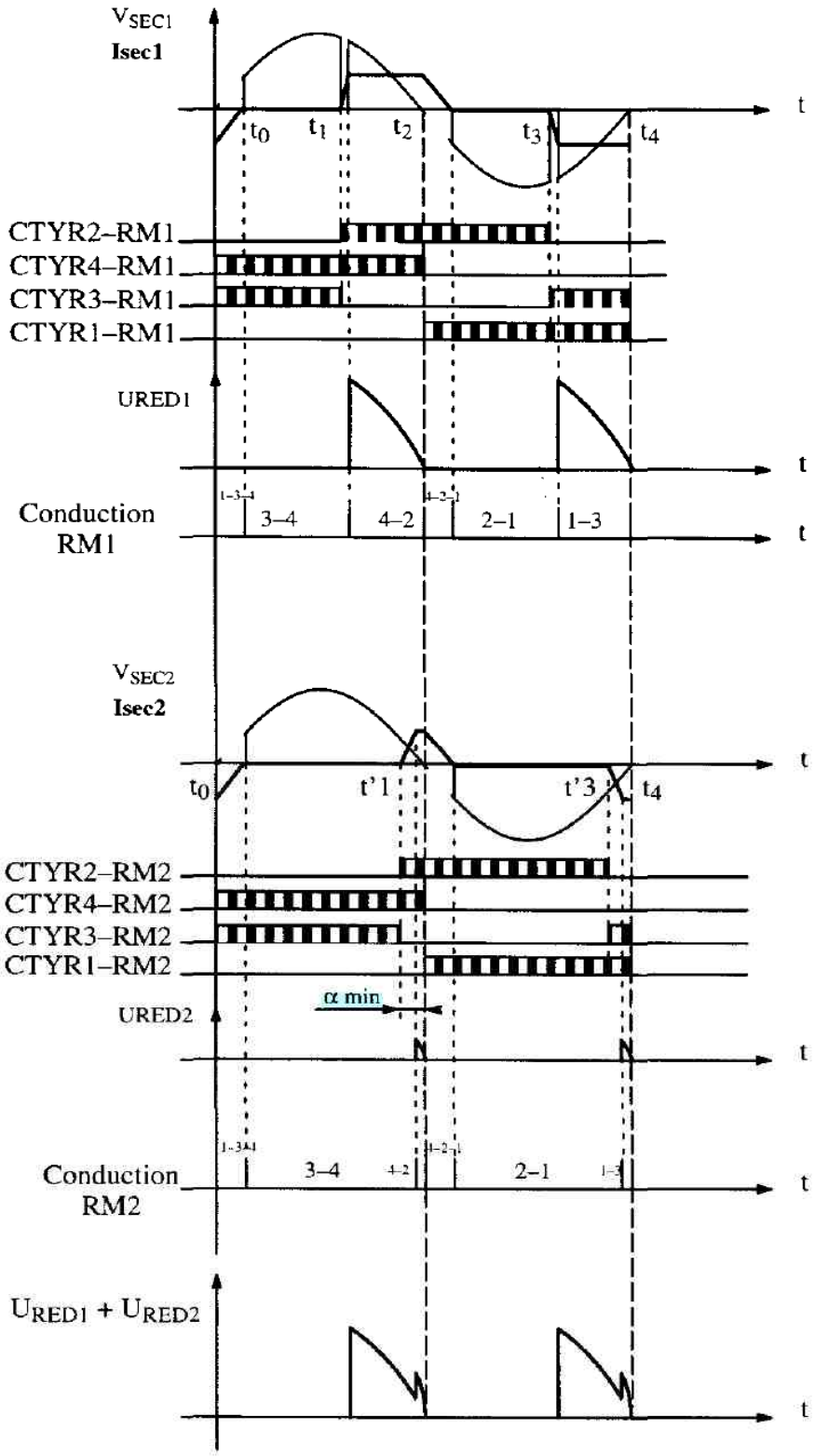


③ 직렬 연결된 2대의 정류 브리지 제어

정류기의 출력 전압 지령이 증가함에 따라, 정류기 2는 최소 도통율을 유지하며, 정류기 1은 최소 도통율에서부터 최대 도통율까지 제어된다. 정류기 1이 최대 도통율이 되면, 정류기 2의 도통율이 제어된다. 전체 정류 전압은 다음과 같이 두 정류기 출력 전압의 합이다.

Ured = Ured1 + Ured2

다음 그림에 정류기 1은 1/2 도통율로 제어되고 정류기 2는 최소 도통율로 제어될 때 각 정류기의 사이리스터에 대한 제어가 보인다.



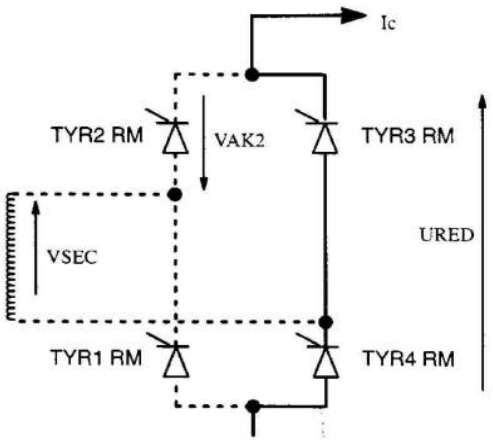
Rectifier Control in Traction Mode

㈏ 제동시

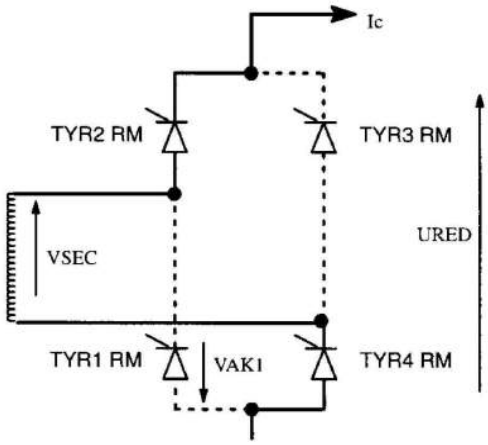
① 모터 전류가 연속인 경우

초기에 예제 6과 같이 t < t1에 TYR3-RM과 TYR4-RM을 통해 free-wheeling 전류 Ic가 흐른다고 가정하자. 변압기 2차 전압 Vsec>0 구간에서는 사이리스터 TYR2-RM의 전압은 양이므로, t1 시점에서 TYR2-RM을 트리거하면 예제 7과 같이 TYR2-RM은 turn-on 되고, TYR3-RM은 꺼져 정류 동작이 시작된다. 정류된 출력전압이 다음 예제 8에 보인다.

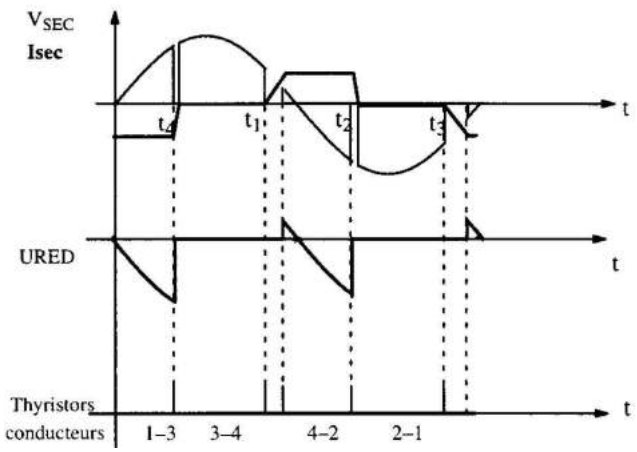
변압기 2차 권선의 전류가 Ic까지 흘러야 비로서 TYR3-RM의 전류는 0이 되어 꺼지게 된다. 따라서, t1 시점은 변압기 2차 권선에 Ic 전류가 흐른 후에 최소한 사이리스터의 turn-off 시간인 tq 동안 TYR3-RM 사이리스터에 역전압이 인가될 수 있도록 충분히 크게 선정되어야 한다.



예제 6

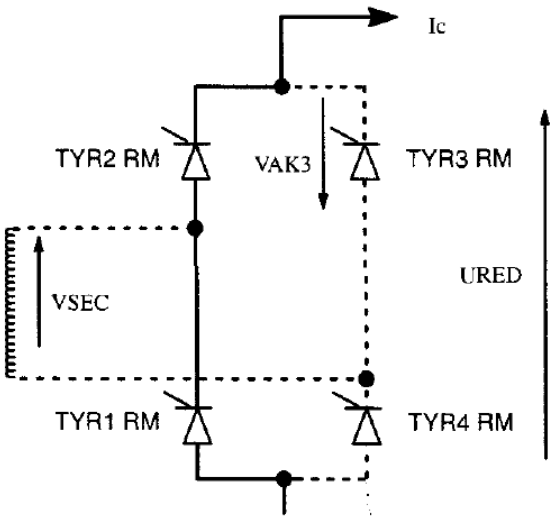


예제 7

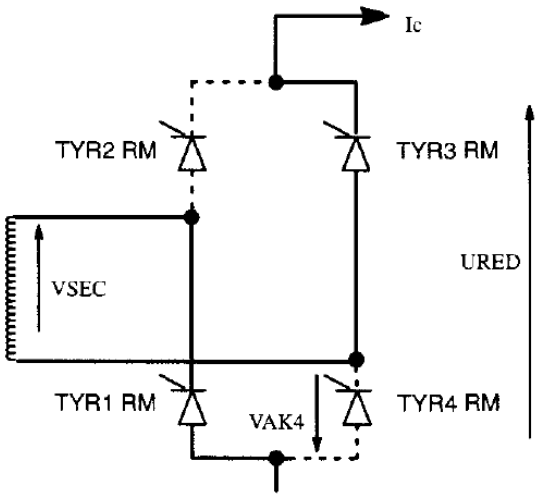


예제 8

t2 시점에서 TYR1-RM의 전압은 양이기 때문에 TYR1-RM을 트리거하면 예제9와 같이 쉽게 free-wheeling 동작이 이루어진다.



예제 9

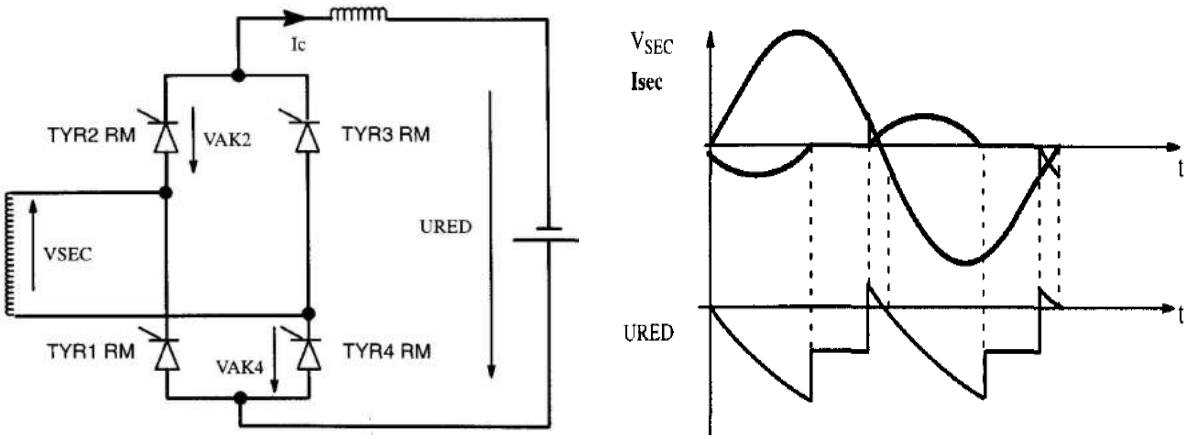


예제 10

다음 반주기 동작인 t3 시점에서 사이리스터 TYR3-CM의 트리거는 t1 시점의 TYR2-TM의 트리거 시와 같은 제한 조건을 고려해야한다. 즉, t3 시점은 변압기 2차 권선의 전류가 흐르고 나서, 최소한 사이리스터의 turn-off 시간 tq 동안 사이리스터 TYR2-RM에 역전압이 인가되도록 충분히 크게 선정되어야 한다.

② 모터 전류가 불연속인 경우

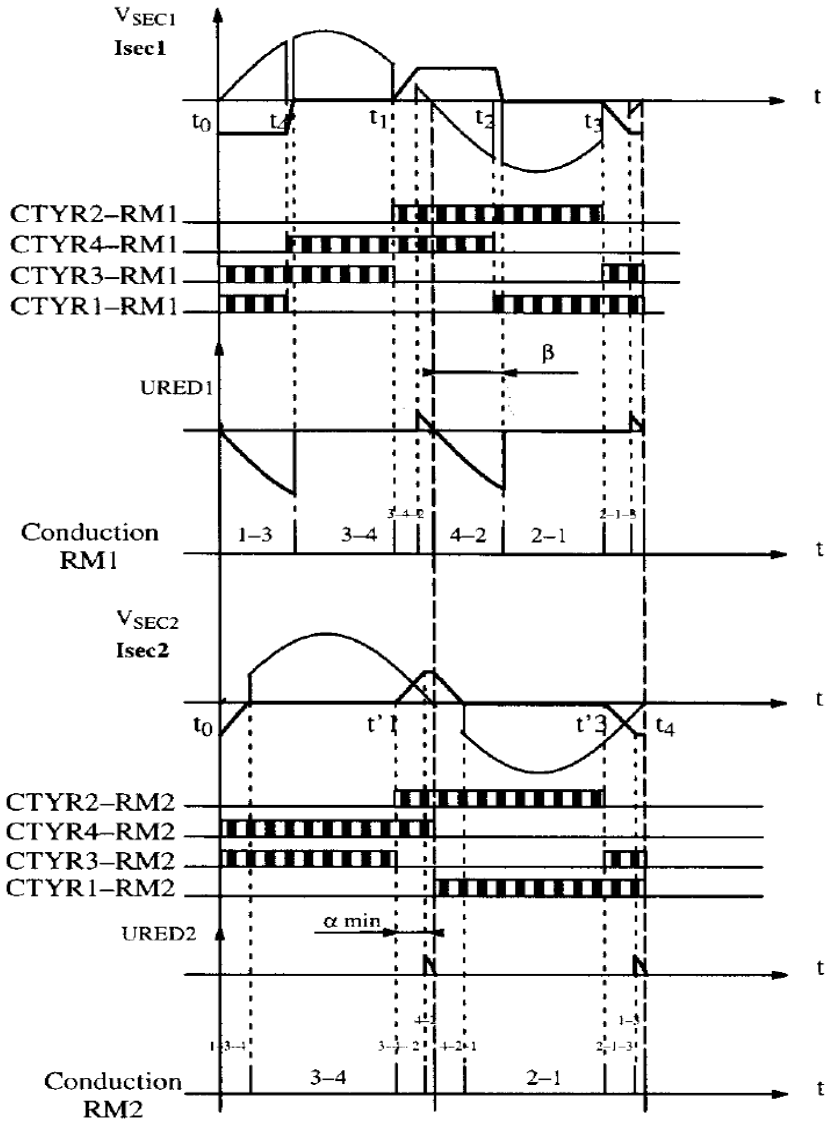
이 경우 정류 동작의 원리는 앞에서 설명한 것과 유사하다. 정류된 출력전압이 다음 그림에 보인다.



③ 직렬 연결된 2대의 정류 브리지 제어

견인시와 마찬가지로 정류기의 출력 전압 지령이 증가함에 따라, 정류기 2는 최소 도통율을 유지하며, 정류기 1은 최소 도통율에서부터 최대 도통율까지 제어된다. 정류기 1이 최대 도통율로 동작하면 정류기 2의 도통율이 제어된다. 전체 정류 전압은 각 정류기 출력 전압의 합이다.

다음 그림에 정류기 1은 1/2 도통율로 제어되고 정류기 2는 최소 도통율로 제어될 때 각 정류기의 사이리스터에 대한 제어가 보인다.



Rectifier Control in Braking Mode

(3) 정류기 제어

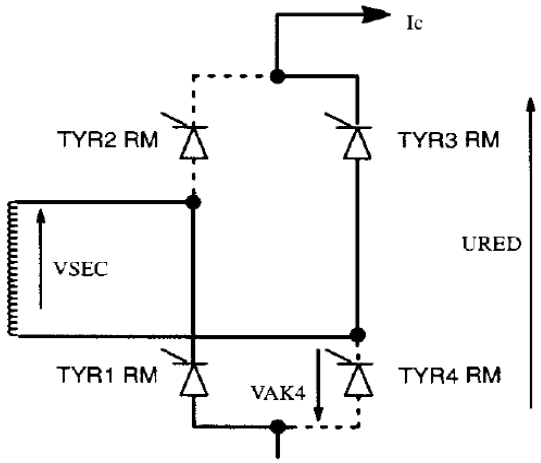
㈎ 견인 시

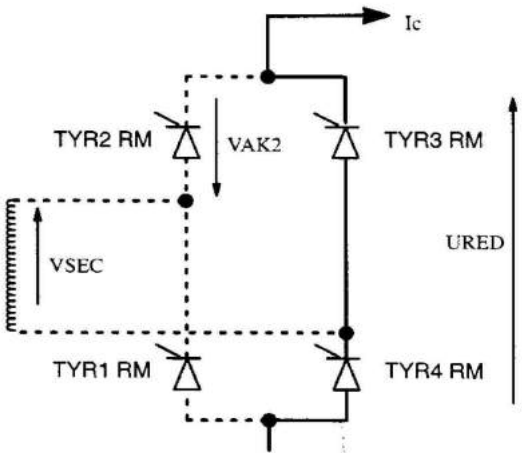
① 정류기의 최소 점호각

정류기 제어에 있어서 최소 점호각은 변압기 2차 권선에 Ic 전류가 흐르고 나서, 적어도 tq 시간 동안 사이리스터에 역전압이 인가될 수 있도록 선택되어야 한다. 최소 점호각 "α mini"는 가선 전압의 크기와 모터 전류의 함수로 계산된다.

② 정류기의 최대 점호각

TYR1-RM → TYR4-RM 또는 TYR4-RM → THR1-RM의 스위칭 동안에는 변압기 2차 권선은 단락된다. 이 구간 동안 정류기를 다른 사이리스터를 트리거하는 것은 가능하지 않다. 예를 들어 t<to에서는 TYR2-RM을 트리거 시키지 못한다. 따라서 t=to가 최대 점호각이 된다. 이 최대 점호각은 변압기의 2차 전류가 0 값에 이르는 순간(즉, Free-Wheeling 동작의 시작 순간)으로 선정한다. 이 순간을 정류기의 "moving stop" 이라고 부른다.





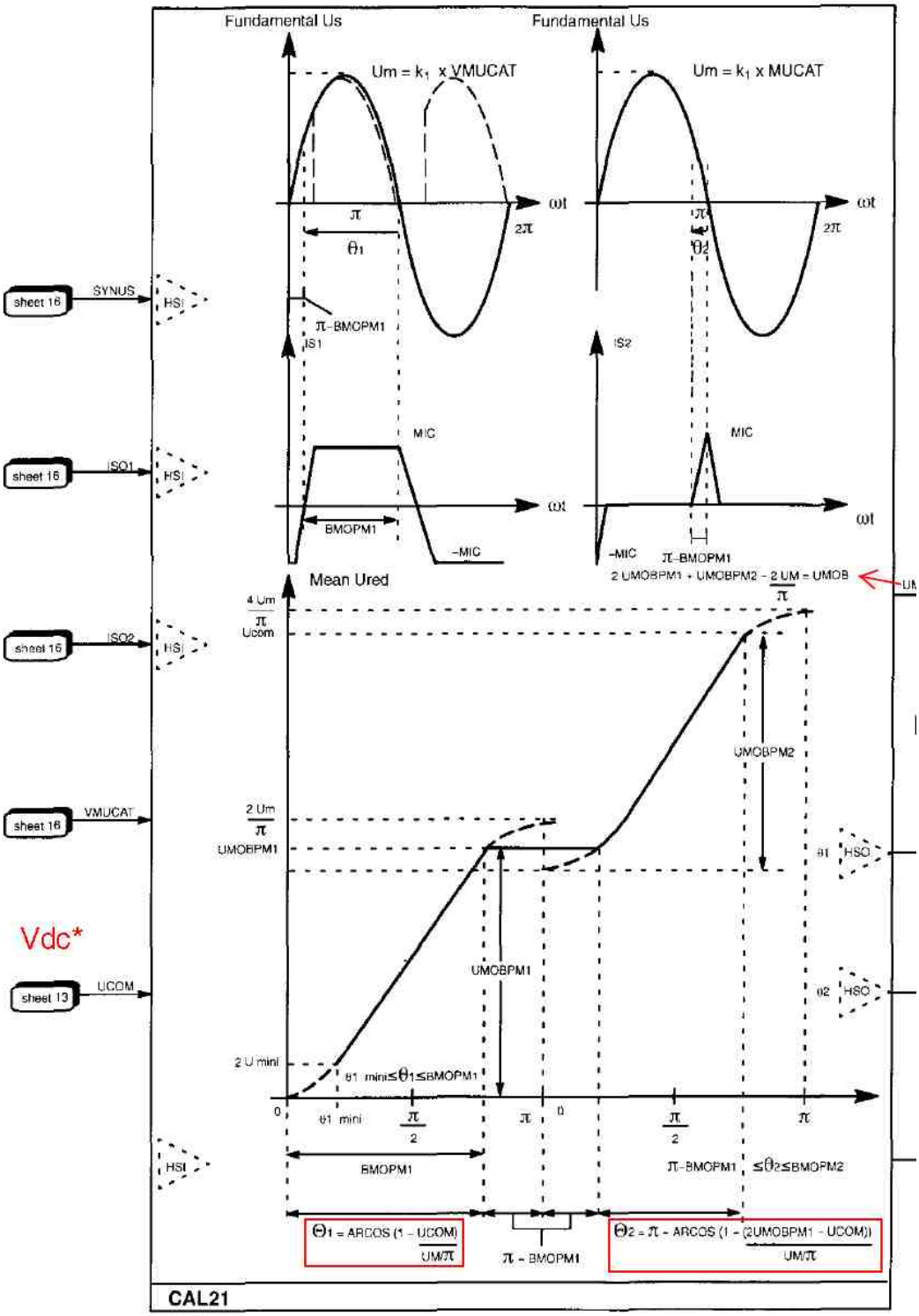
③ 제어 법칙

정류기의 출력 전압 지령치는 Ucom이다. 단일 정류기에 있어서 이 출력 전압 지령에 대한 점호각 α 은 다음과 같이 구한다.

$$\alpha = Arccos\left(1 - \frac{Ucom x \pi}{Um}\right) \qquad \left(\leftarrow \; V_o = \frac{\sqrt{2}\, U_m}{\pi}(1+\cos\alpha)\right)$$

여기서, Um은 변압기 2차 전압과 Ucom은 전압 지령이다.

정류기 1과 2에서 각각의 점호각 αi에 따른 Ucom의 분포가 다음 그림에 보인다.



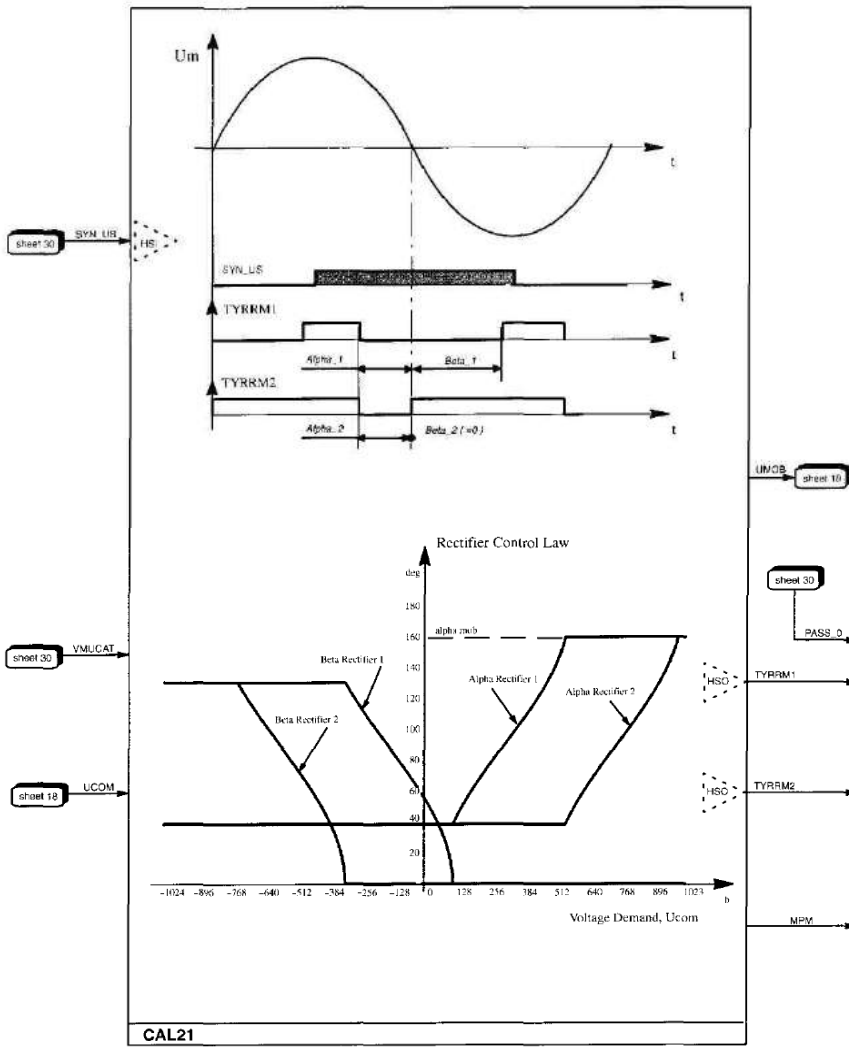
㈏ 제동시

① 정류기의 최소 점호각

최소 점호각 ‘ α mini ‘는 견인시와 동일하다.

② 정류기의 최대 점호각

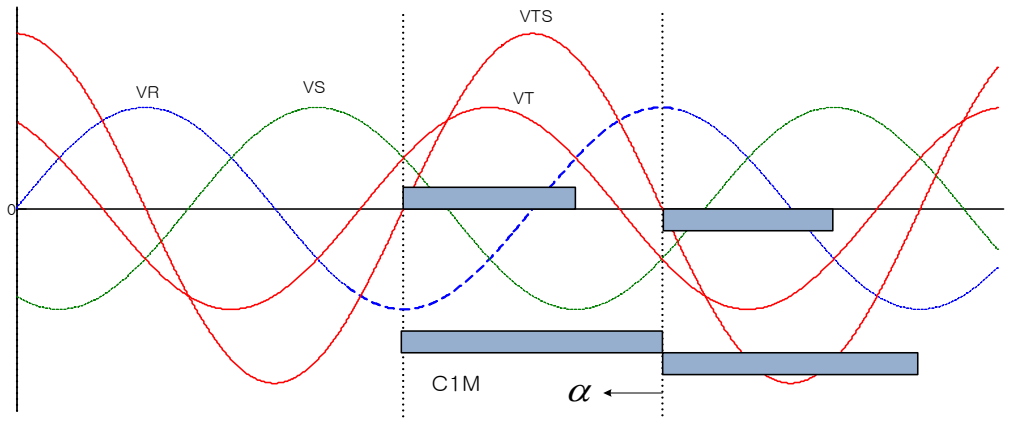
제동시의 점호각 β는 β=0에서 β=βmaxi까지 변하는데, 모터 전류의 크기와 가선 전압의 크기의 함수로서 계산된다. 견인 운전시의 “moving stops“ 계산은 제동 시에는 필요없다. 전압 요구치 Ucom에 따라 정류기의 점호각 βi를 결정한다. βi는 Ucom의 Arccos 함수이다.



정류기 제어시 동기를 위한 기준전압은 25kV 전압을 100Vrms로 낮추는 T-SE-01 변압기로부터 얻는다.

라) 인버터 제어(Inverter Control)

TGV에는 3상 Y결선 동기 전동기가 장착되어 있다. 고정자에는 3상 권선 R.S.T와 중성점이 있다. 각 상마다 전류 센서가 있고 각 상간에는 전압 센서가 있다. 회전자의 위치는 전기적으로 120° 떨어진 세 개의 위치 센서 C1M, C3M, C5M으로 알 수 있다. 이 센서들은 C1M이 T상과 S상의 선간 전압인 VTS와 동위상이 되도록 위치해 있다. 이것은 아래 그림에 보이듯이 T상 전압 VT를 기준으로 한다고 볼 수 있다.



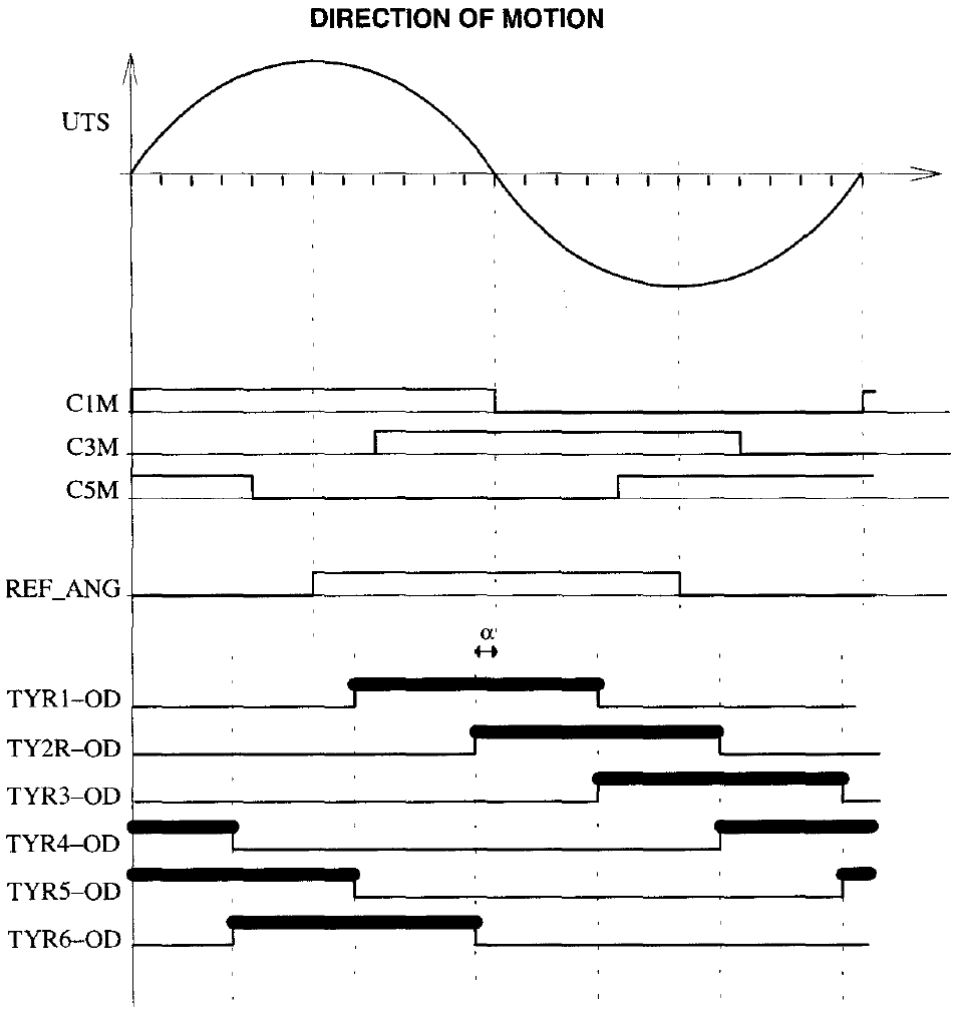
각 모터 블록은 직렬 연결된 2개의 견인용 인버터를 가지고 있다. 견인용 인버터는 다음과 같은 8개의 사이리스터로 구성되어 있다.

- 모터의 3상 전류를 양방향으로 흐르게 하는 6개 사이리스터 TYR-OD
- 강제 전류시 사용하는 2개 사이리스터 TYR(COM)

인버터의 동작 모드는 3 종류로서 다음과 같다.

- 강제 전류의 견인 모드 : 보조 커패시터를 이용하여 사이리스터를 turn-off한다.
- 자연 전류의 견인 모드 : 모터의 역기전력을 이용하여 사이리스터를 turn-off한다.
- 제동 모드 : 인버터는 3상 정류기로 동작한다.

다음 그림은 T상과 S상간의 전압 UTS와 3개의 센서 신호 C1M, C3M, C5M을 보여준다.
α는 위치센서 값의 변동 시점에 대한 인버터의 사이리스터의 turn-on 시점이다. 센서보다 turn-on 시점이 앞서면 α가 양이 된다. 30Km/h 이상에서는 제어 기준으로 센서 신호를 사용되지 않고 UTS가 사용된다. 양의 UTS는 C1M=1, 음의 UTS는 C1M=0에 해당한다. 실제 제어에 사용되는 REF-ANG 신호는 UTS보다 90° 지연된다.



인버터의 제어를 위해 두 개의 80C196 마이크로 제어기 C31과 C32가 사용된다.

C32는 T상과 S상간의 전압을 인버터 제어 기준으로 쓰이는 Ref_ang 신호로 변환하는 역할을 한다.

C31의 목적은 인버터를 제어하는 것으로, C32에서 생성된 Ref_ang 신호를 사용하여 인버터 6개 사이리스터의 게이팅 신호를 만들 수 있도록 하는 C1ADS, C3ADS, C5ADS의 3가지 신호를 만들어 낸다.

마이크로 제어기 LCA는 C1ADS, C3ADS, C5ADS 신호를 인버터의 작동 모드에 따라 2개의 전류 사이리스터 TYR(COM)와 6개의 TYR-OD 사이리스터의 게이팅 신호를 생성하며, 열차의 진행 방향에 따라서 인버터의 구동 방향을 관리한다.

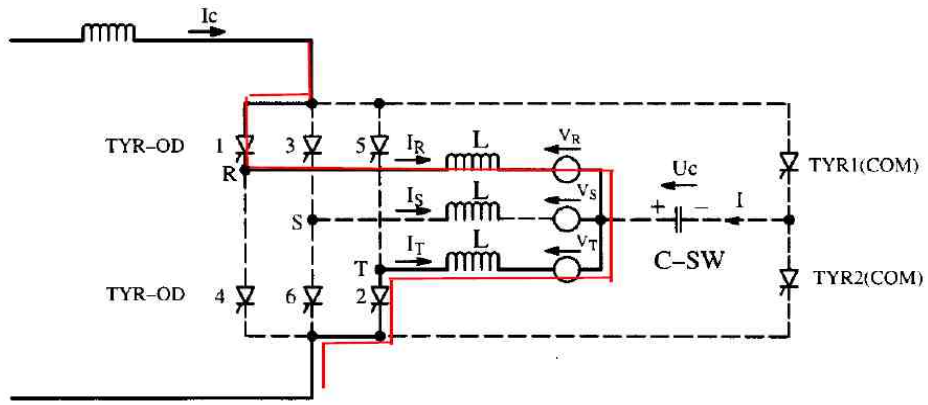
(1) 강제 전류(Forced Commutation)시 인버터 동작

사이리스터 1에서 사이리스터 3로의 강제 전류(Commutation) 동작 예로 알아보겠다.

현재 사이리스터 1과 2를 통해 전류 Ic가 흐른다고 가정한다. 즉, IR = +IC , IT = -IC이다. 초기에 C-SW Commutation 커패시터는 양의 UC 값으로 충전되어있고, 전동기의 역기전력은 UC에 비해 작다고 가정한다.

㈎ 상태 1

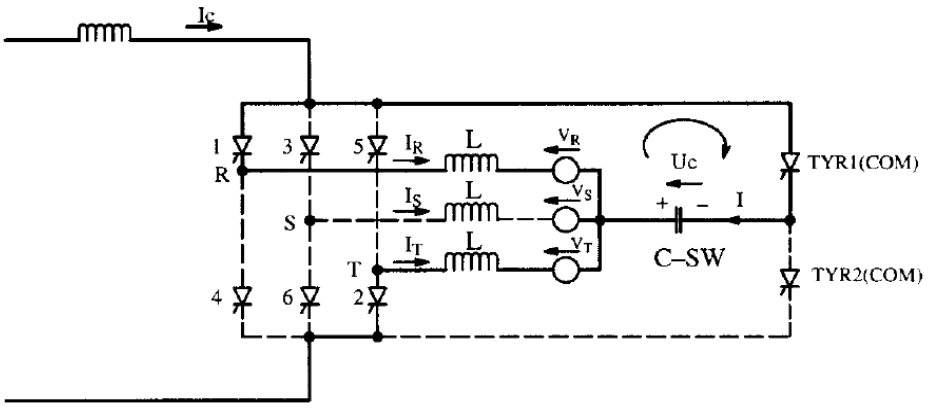
사이리스터 TYR1(COM)의 전압 VAK=UC+VR > 0 이므로, 사이리스터 1을 turn off하기위해 TYR1(COM)에 트리거 펄스를 인가하여 turn on시킨다, Commutation 커패시터 전압이 인가되어 사이리스터 1이 turn off 되기 시작한다.



Forced commutation, step 1

㈏ 상태 2

사이리스터 1의 전류는 0으로 감소함과 동시에, 커패시터 C-SW 전류 I는 Ic까지 증가한다. 따라서 3개의 사이리스터 1, 2, TYR1(COM)이 도통 상태가 된다.

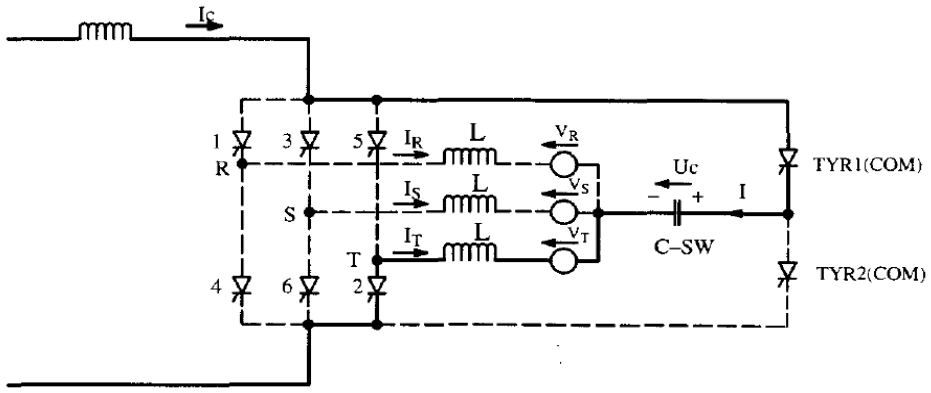


Forced commutation, step 2

커패시터 C-SW는 전류가 흐름에 따라 방전되어 그 극성이 바뀌게 된다.

㈐ 상태 3

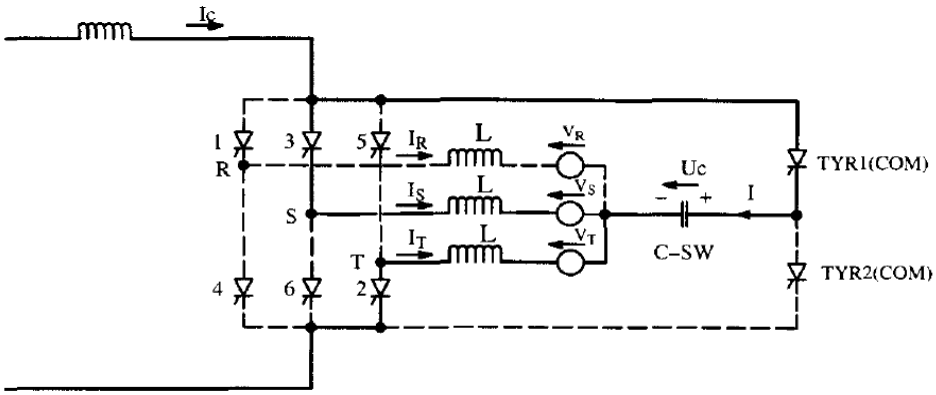
사이리스터 1의 전류가 0이 되어 turn off 되면 TYR1(COM)과 사이리스터 2가 도통 상태가 된다. 커패시터는 일정 전류 I=Ic로 정해진 한도까지 역극성으로 충전된다.



Forced commutation, step 3

㈑ 상태 4

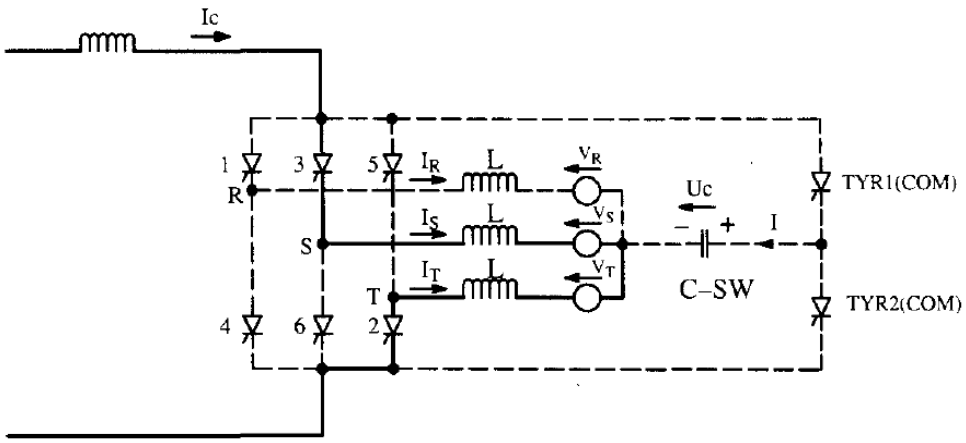
커패시터가 정해진 한도까지 충전되면, 사이리스터 3에 트리거 펄스를 인가하여 turn on 시킨다. 그러면 TYR1(COM)에 -UC 전압이 인가되어 turn-off 되기 시작하여 전류 I가 감소하며, 사이리스터 3을 통해 S상으로 전류 ls = lc -I가 흐른다.



Forced commutation, step 4

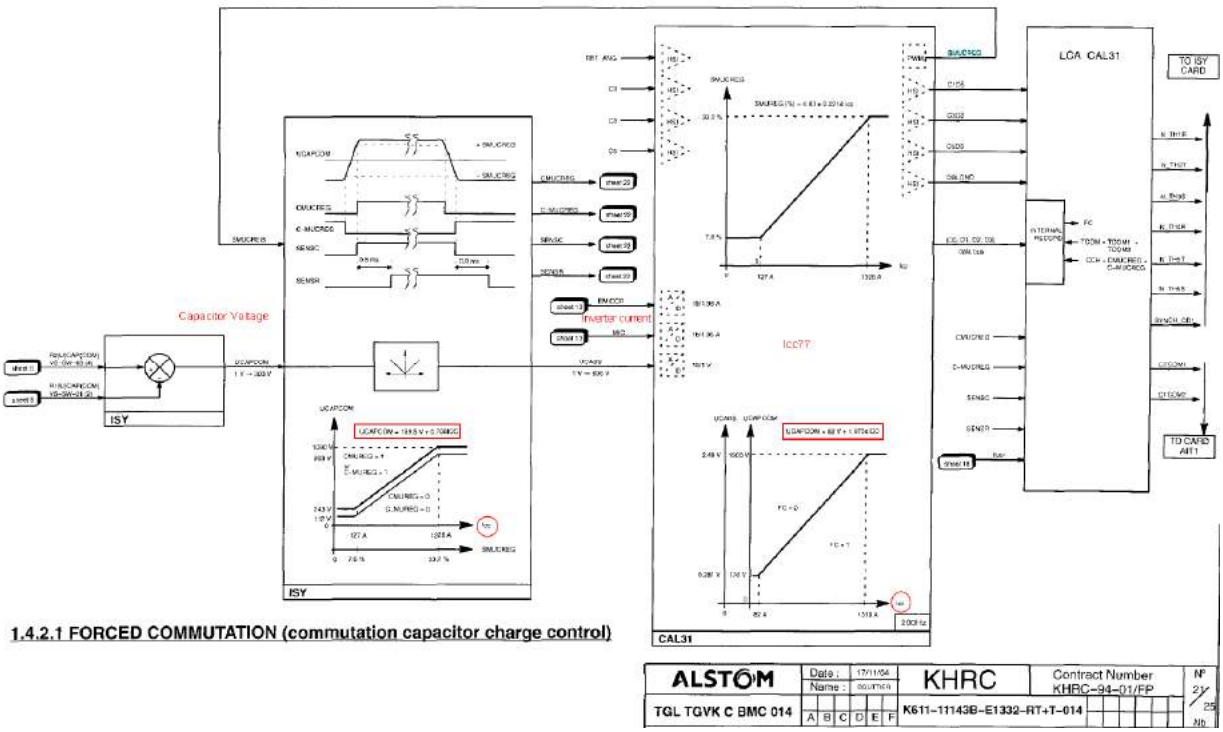
㈒ 상태 5

TYR1(COM)의 전류가 0이 되어 turn off 되면 사이리스터 3의 전류가 Ic로 되어 사이리스터 1에서 3으로의 Commutation 과정이 끝나게 된다. 이 때 커패시터의 충전 전압에 의해 사이리스터 TYR2(COM)는 (+)양극성이 되어, 사이리스터 2에서 사이리스터 4로의 Commutation을 수행될 수 있게 된다.



Forced commutation, step 5

Commutation 커패시터 충전 전압 제어 방법이 다음 그림에 보인다. 커패시터 충전 전압 UCAPCOM은 센서 VS-SW-01과 VS-SW-02로부터 측정된다. 확실한 Commutation 동작을 위해 필요한 커패시터 충전 전압의 크기는 Commutation시의 인버터 전류에 따라 달라진다.

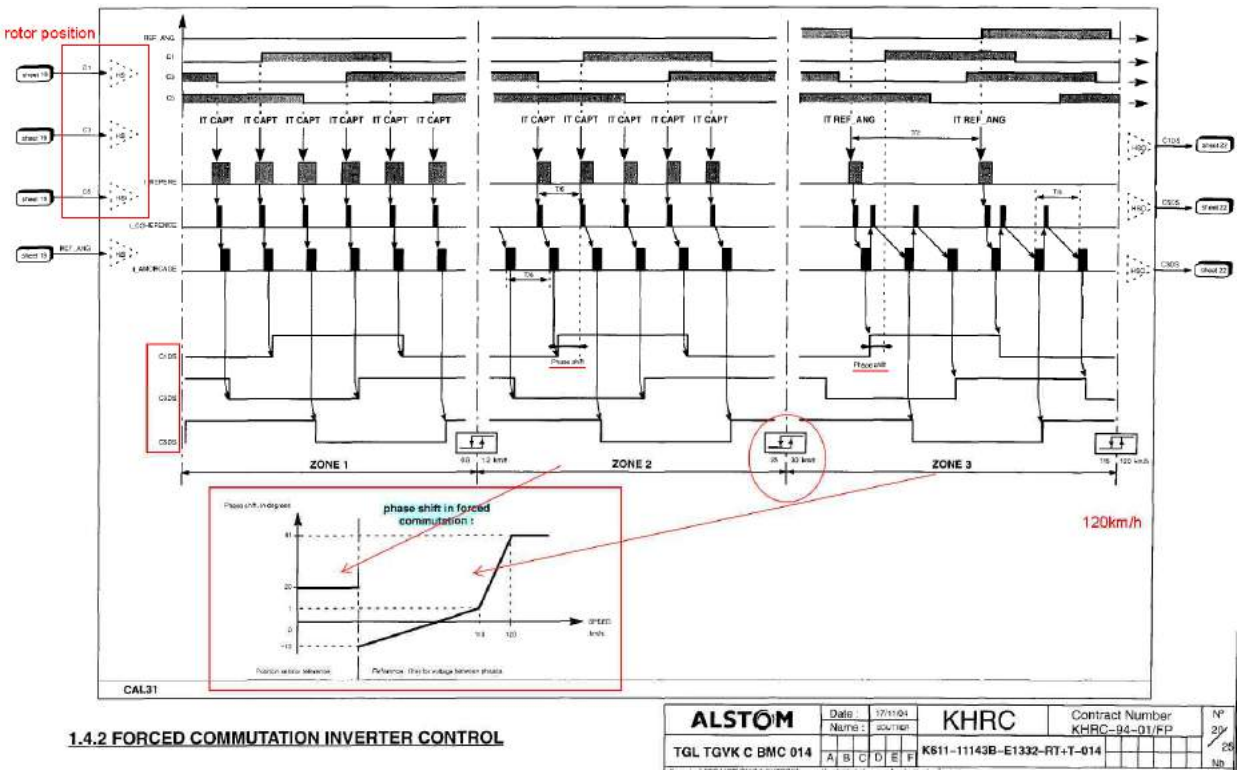


1.4.2.1 FORCED COMMUTATION (commutation capacitor charge control)

(2) 강제 전류시 인버터의 제어 방법

모터에서 최대 출력을 얻기 위해서는 모터의 COSϕ가 최대가 되도록 제어해야 한다. 따라서 ϕ를 조정할 필요가 있다. 여기서 phase shift ϕ는 위치 센서(고속에서는 ref_ang 신호)신호를 기준으로 한 사이리스터의 게이팅 시점이다

다음 그림에 견인시 속도에 따른 phase shift ϕ의 template이 보인다. phase shift ϕ는 열차 속도에 따라 크게 세구간으로 나뉘어 다르게 제어된다.



1.4.2 FORCED COMMUTATION INVERTER CONTROL

ALSTOM	Date / Name :	KHRC	Contract Number KHRC-94-01/FP	N°
TGL TGVK C BMC 014	A B C D E F	K611-11143B-E1332-RT+T-014		

- ZONE 1 : 저속(1.2km/h까지)
  phase shift의 조작이 금지됨
- ZONE 2 : 1.2~30km/h 사이
  phase shift는 20° 로 일정
- ZONE 3 : 30km/h~120km/h 사이

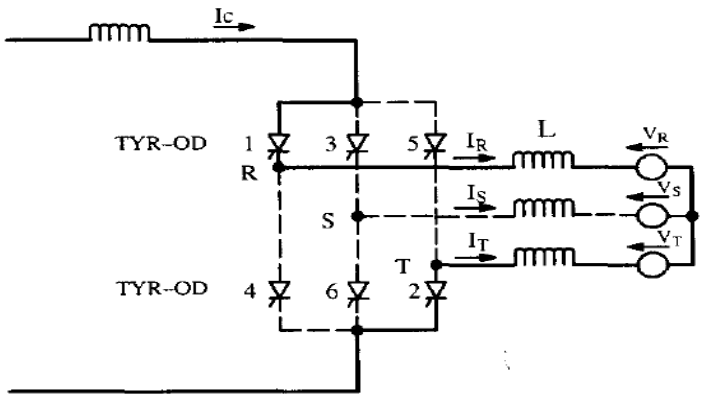
30km/h 이상은 제어 기준 신호로 위치센서 대신 ref_ang 신호(UTS 전압)이 사용된다. 최대 전류에서 일정한 토크를 발생시키기 위하여 phase shift는 -9° 로 전환한다. 110~120km/h에는 강제 정류에서 자연 정류로 바뀔 때 토크가 일정하게 유지될 수 있도록 phase shift를 증가시켜 모터의 토크를 감소시킨다.

(3) 자연 전류(Natural Commutation)시 인버터 동작

120Km/h 이상에서 전동기의 역기전력은 C-SW 커패시터 없이도 Commutation이 가능할 수 있을 만큼 충분히 크기 때문에 역기전력을 이용하여 사이리스터를 turn-off 한다.
사이리스터 1에서 사이리스터 3로의 자연 전류(Natural Commutation) 동작 예로 알아보겠다. 초기에 사이리스터 1과 2가 도통 상태라고 가정한다.

㈎ 상태 1

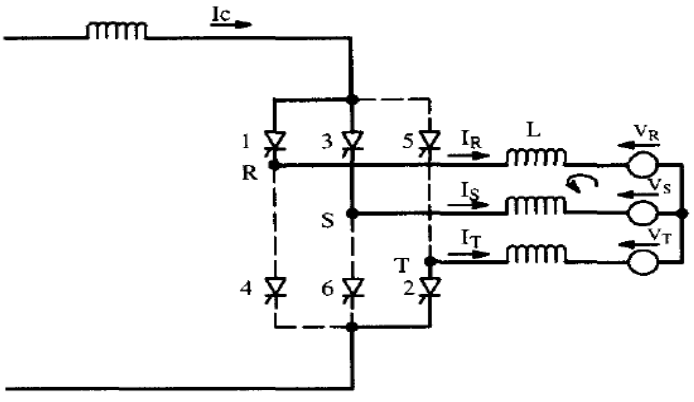
전류 Ic가 사이리스터 1과 2를 통해 흐른다. 사이리스터 3은 인가전압(VAKTH3 = VR - VS = URS)이 양이 될 때까지 turn-on 될 수 없다.



Natural commutation, step 1

㈏ 상태 2

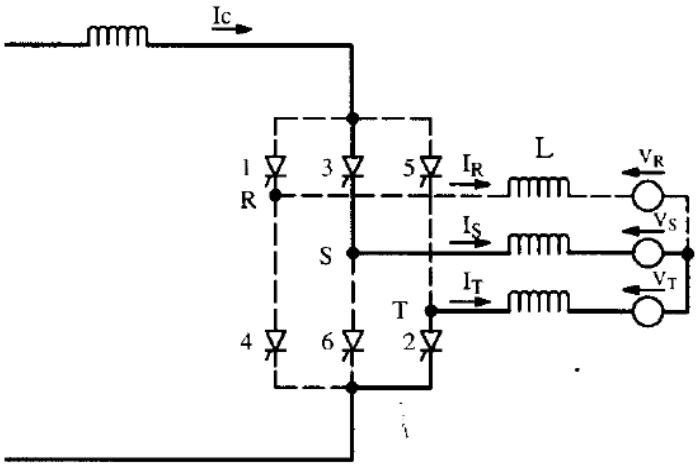
순방향 전압 상태인 사이리스터 3을 트리거하면 turn-on되고, S상을 통해 전류가 흐르기 시작한다. 이 경우 사이리스터 1에는 역전압이 인가되어 turn-off되기 시작하여 전류가 감소한다. 사이리스터 1과 3 전류의 증가/감소 기울기는 동기 전동기의 두 상 리액턴스 값에 의해 제한된다. 즉, 2 Ldi/dt = URS이기 때문이다. 이 상태에서는 사이리스터 1과 3이 모두 도통하므로 R상과 S상은 단락상태가 된다.



Natural commutation, step 2

㈐ 상태 3

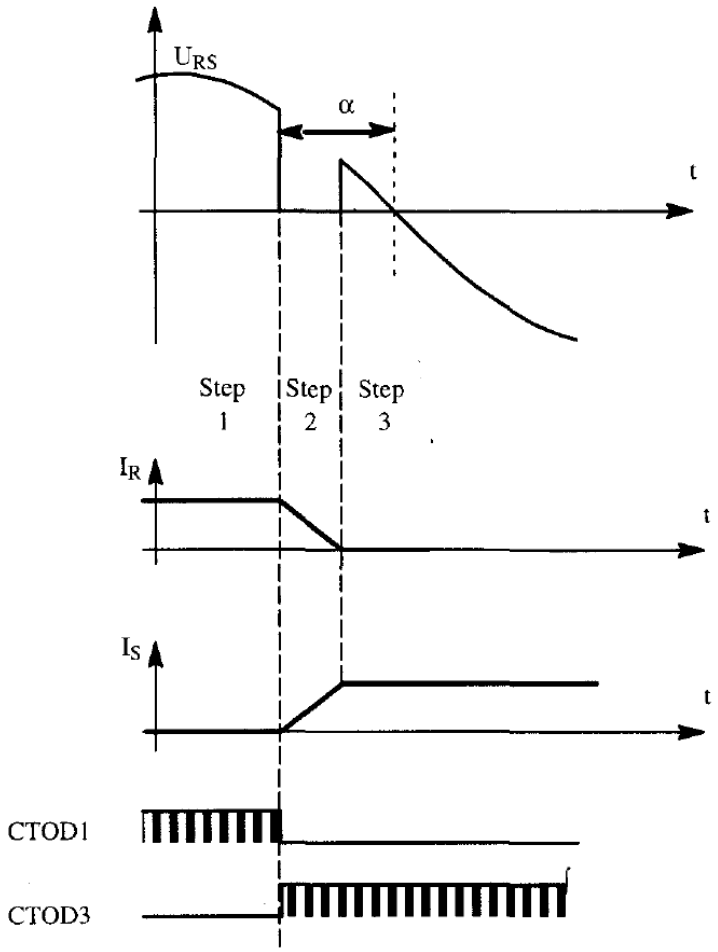
사이리스터 1은 그 전류가 0으로 감소한 후 꺼진다. 그 후 적어도 tq 시간동안 사이리스터 1에는 양의 전압이 다시 걸리지 않아야 된다. 사이리스터 1의 전압 VAKTH1 = VS - VR = USR이다.



Natural commutation, step 3

(4) 자연 전류시 인버터의 제어 방법

다음 그림은 자연 전류시 각 상태에서 모터의 전압과 전류 특성을 보인다.



자연 전류 모드에서, Commutation은 스위칭될 상들 사이의 전압에 의해 수행된다. 그러므로 Commutation은 이들 전압의 극성이 바뀌기 전에 완료되어야 한다. 만일 그렇지 않으면 사이리스터에 다시 순방향 전압이 인가되어 다시 turn-on 될 수 있다. 따라서 충분히 크게 α를 선정해야 한다. Commutation에 필요한 시간은 Commutation될 전류(Current) 값에 따라 달라진다.

이에 비해 모터의 토크는 α가 감소할수록 증가한다. 모터 토크를 최적으로 사용하기 위해서는 가능한 α를 작게 선정하는 것이 필요하다.

따라서 확실하게 Commutation을 수행하면서 최대 토크를 얻기 위한 최적의 α로 제어할 필요가 있다. 이를 위해 다음과 같이 α를 계산하여 사용한다.

$$\alpha = \arccos[\text{ond} - \text{equa} - \frac{\text{X0}}{\text{X1}}]$$

여기서 ond-equa =min(0.9613; k3 - k2 f0)

$$X_0 = k_0 \times \frac{(\text{MICCR} + \text{MIC})}{2} \times \frac{f_0}{V_m}$$

X1 = max (X0, k1)

k0 = -1,36. 10-3

k1 = 0.25

k2 = 1.58 . 10-4

k3 = 0.9711

MIC : Instantaneous value of motor current

MICCR : Peak value of motor current

f0 : Frequency of machine voltage

V : Rms value of machine voltage

α의 계산은 모터 전류의 순시 값을 이용한다. 그러나 다음 Commutation 시점의 전류 값을 얻기 위해서 순시 전류값 대신 최대값으로 계산된 α값인 αC를 계산한다.

㈎ Commutation 모드의 전환

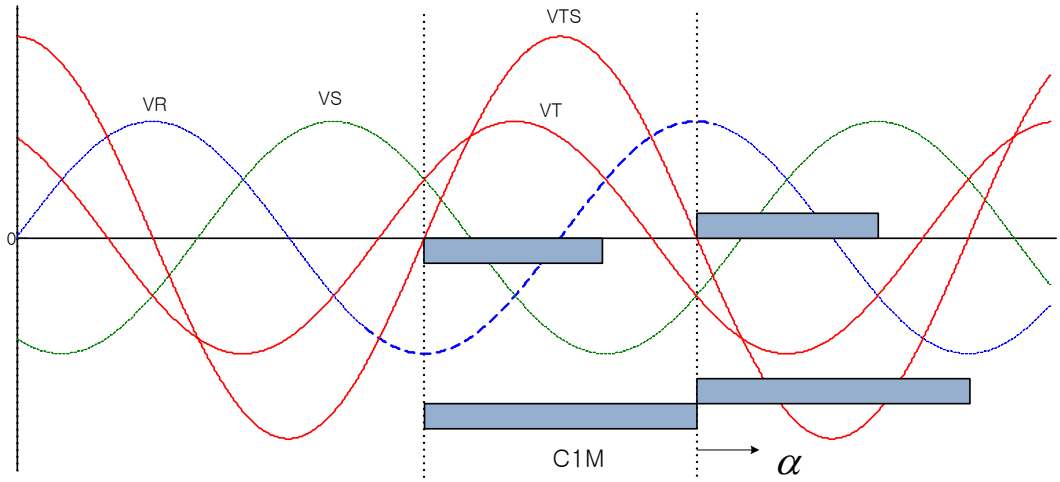
강제 전류에서 자연 전류로의 전환은 특별한 조치없이 수행된다. 그러나 자연 전류에서 강제 전류로 변경할 때에는 약간의 작업이 필요하다. 이것은 강제 전류 동작을 위해서는 Commutation 커패시터가 적절한 전압으로 충전되어 있어야하기 때문이다. 이를 위해 강제 전류 모드로 변경할 때에는 자연 전류 운전의 600μs전에 C-SW 커패시터를 충전하기 위하여 모터 전류의 일부를 TYR(COM)을 통해 흐르게 한다. 이것은 DBLOND 신호에 의하여 수행된다.

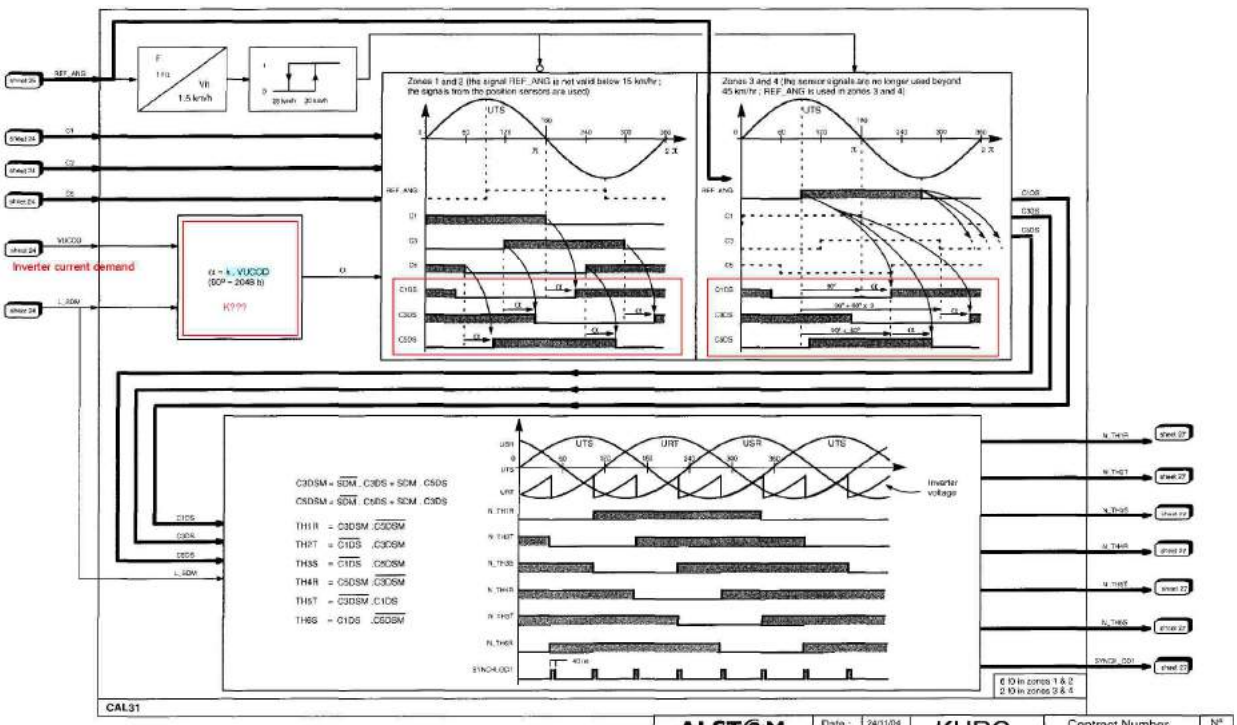
(5) 제동 모드에서의 인버터 동작

제동 중에 인버터는 정류기로서 동작한다. 인버터의 동작은 자연 전류 모드에서와 동일하며, 유일한 차이는 각 α이다. 회생 제동시의 인버터 전류 지령 VUCOD으로부터 α는 다음과 같이 결정된다.

α = K · VUCOD

제동 중에는 다음 그림에 보이듯이 C1ADS가 UTS 전압(저속에서는 C1M 센서)에 180° 지연될 때 최대 토크가 얻어진다. 이 α가 통상 사용되는 값이다. 그러나 α를 증가시킴으로서 인버터의 전압을 조정하는 것이 가능하다. 예로서 Main 초퍼가 더 이상 제동 전류를 제어할 수 없을 때 α를 증가시킴으로서 인버터의 전압을 감소시킨다.





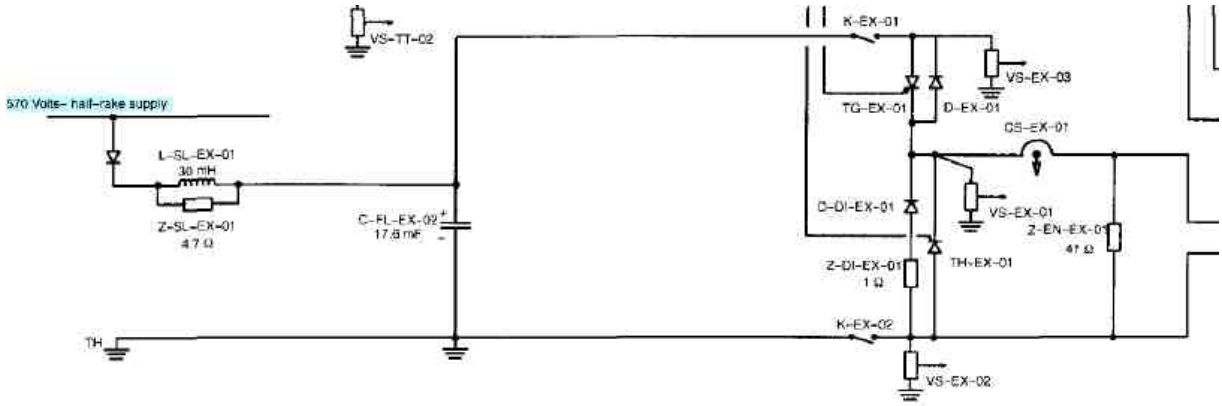
1.3.2 CALCULATION OF THYRISTOR CONTROL ENVELOPES

ALSTOM | Date : 24/11/04 | Name : GOUTTIER | KHRC | Contract Number KHRC-94-01/FP | N° 85/31 | TGL TGVK C BMC 015 | K611-11143B-E

마) 여자 초퍼 제어(Excitation Chopper Control)

여자 초퍼의 역할은 동기 전동기의 여자 권선의 전류를 제어하는 것이다.

여자 초퍼의 구성은 다음 그림과 같다. GTO 사이리스터 THYR-GTO-EX(TG-EX-01)는 스위치 기능을 하며, 사이리스터 THYR-EX(TH-EX-01)는 free-wheeling 다이오드 기능을 수행한다. 스위치 전류를 평활하게 하는 인덕터로는 여자 권선 인덕턴스를 사용한다.



여자 초퍼의 입력 전원으로 견인 모드에서는 580V의 보조전원을 사용한다. 반면에 제동 모드에서는 두 가지 전원을 사용한다. 고전압 제동(HV)의 경우 초퍼의 입력 전원은 580V의 보조전원이고, 저전압 제동(LV)의 경우 전원은 72V 배터리로부터 공급되는데 이 경우 가선 전압이 분리되어 있을 때도 전기적 제동이 가능하다.

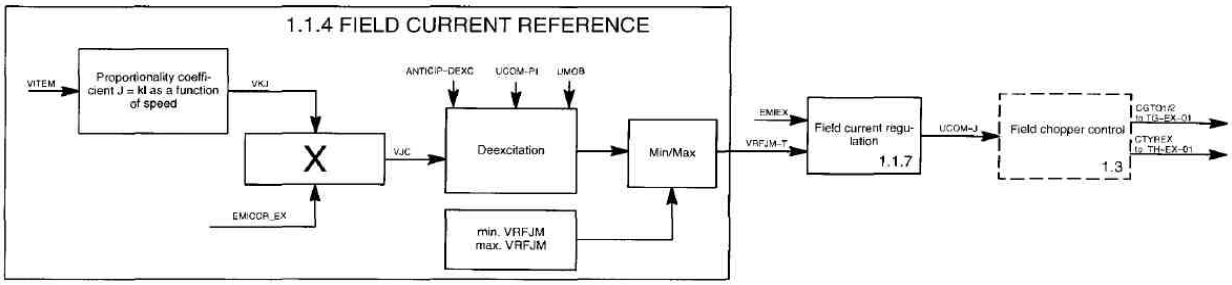
이 여자 초퍼는 신속하게 여자 권선의 전류를 감소(de-excitation)하도록 하는 회로를 가지고 있다. 견인 모드나 제동 모드에서 전원에 문제가 감지되면 power system을 전원으로부터 신속히 차단하여야 한다. 회전하고 있는 동기 전동기는 여자가 되어 있는 한 역기전력이 발생한다. 사고 발생시 열차의 관성 때문에 회전자가 빠르게 정지할 수 없으므로 신속하게 여자를 제거해야 동기 전동기의 역기전력을 제거할 수 있다.

신속한 여자 제거는 D-DIV-EX-01 다이오드에 직렬 연결된 Z-010EX-01 저항에 의해 수행된다. 여자 권선에 저장된 에너지가 이 저항기에서 소비되므로 빠르게 여자 권선의 전류가 감소할 수 있다.

정상 운전시에는 이 여자 제거 회로는 사이리스터 THYR-EX로 단락시켜 사용하지 않는다. 그러므로 사이리스터 THYR-EX는 free-wheeling 다이오드처럼 동작한다.

(1) 여자 전류의 제어

여자 전류의 지령(Field current reference)은 속도와 인버터 전류에 따라 결정된다. 지령 전류의 결정 과정이 아래 그림에 보인다. 이 지령 전류는 비례 적분(PI) 제어기를 통해 제어된다.



㈎ 견인 모드에서의 지령 전류 계산

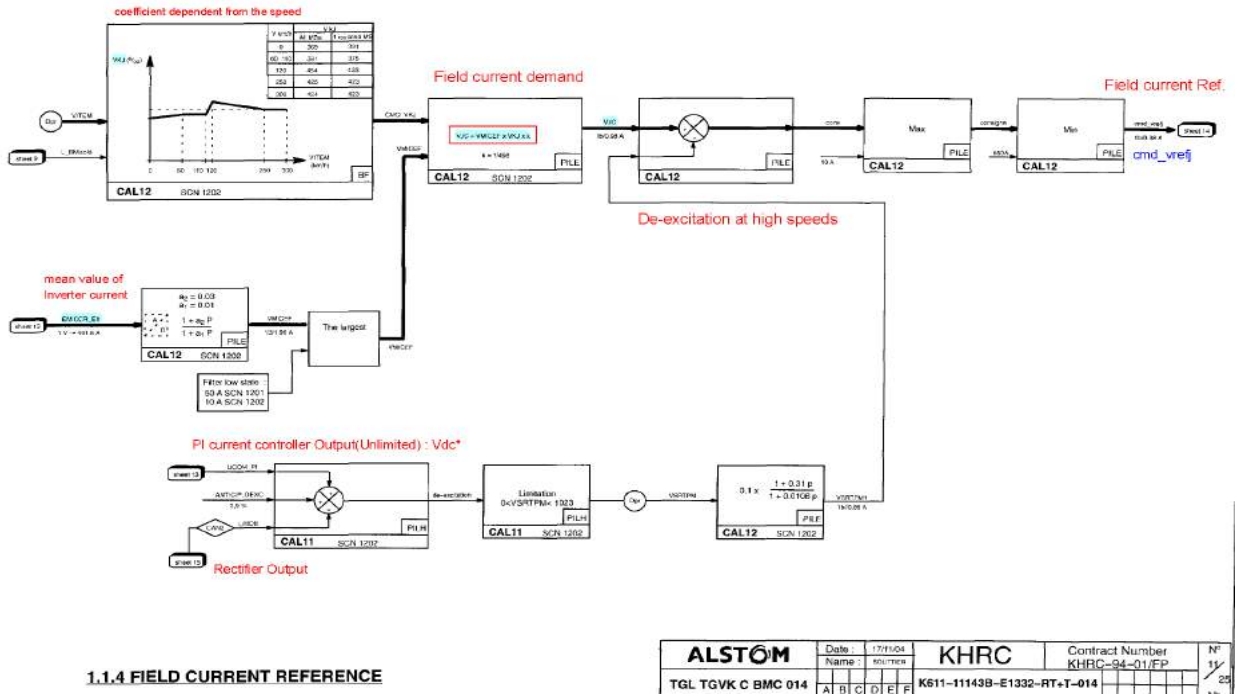
주어진 속도에서 여자 전류 지령 VJC는 다음과 같이 실제 측정된 인버터 전류에 비례해서 주어진다.

VJC = VMICEF x VKJ x K

여기서, VMICEF는 인버터 전류, K는 상수이다. VKJ는 속도 종속 계수로서 다음 그림에 보이듯이 열차 속도의 함수인 Template으로부터 주어진다. 이 값은 100ms 마다 다시 계산된다. Template은 모터 블록이 정지될 때 수정된다.

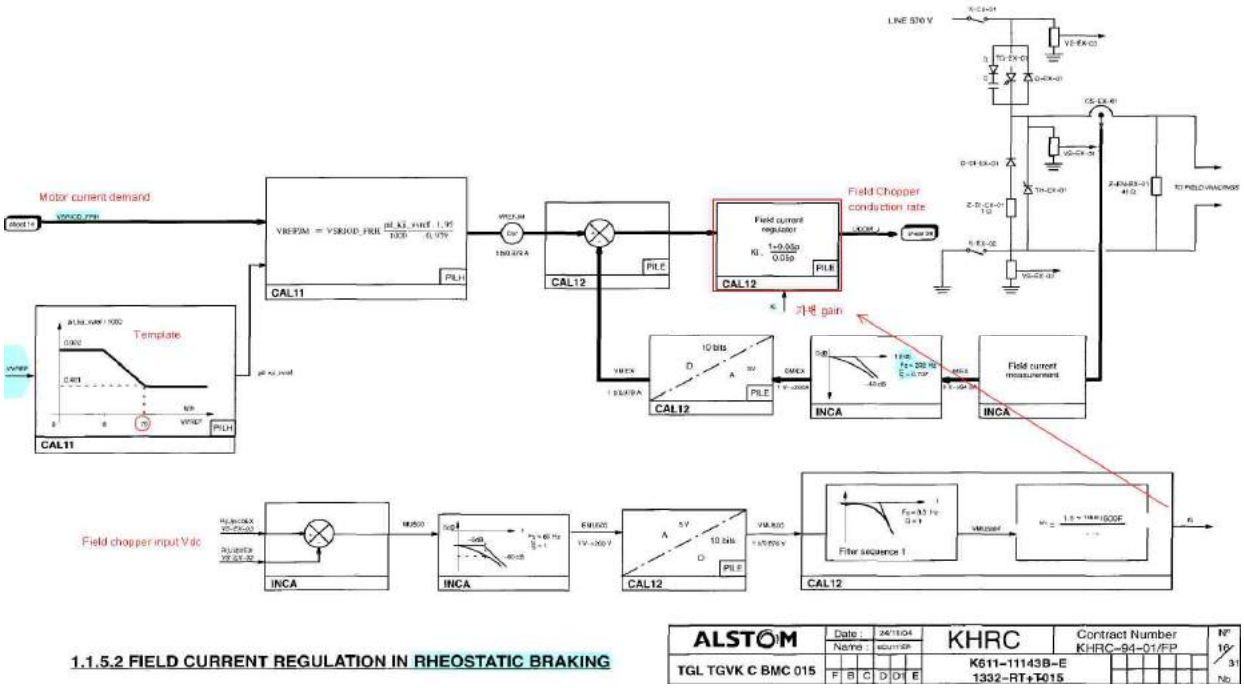
이렇게 구해진 VJC는 1차적으로 주어진 지령값이다. 이 값에서 de-excitation 요구값 VSRTRM1이 차감된다. 이 de-excitation의 목적은 고속 운전 영역에서 인버터 전류를 흘릴 수 있도록 모터의 역기전력을 줄이는 것이다. 인버터 전류 제어기의 출력인 UCOM_PI가 정류기가 공급할 수 있는 최대 전압 UMOB를 초과할 경우에 de-excitation의 요구가 발생된다.

이렇게 얻어진 여자 전류 지령은 두 극한값(10A, 550A)으로 제한되고, 최종적으로 여자 전류의 지령은 cmd_vrefj가 된다.



1.1.4 FIELD CURRENT REFERENCE

(나) 제동 모드에서의 지령 전류 계산

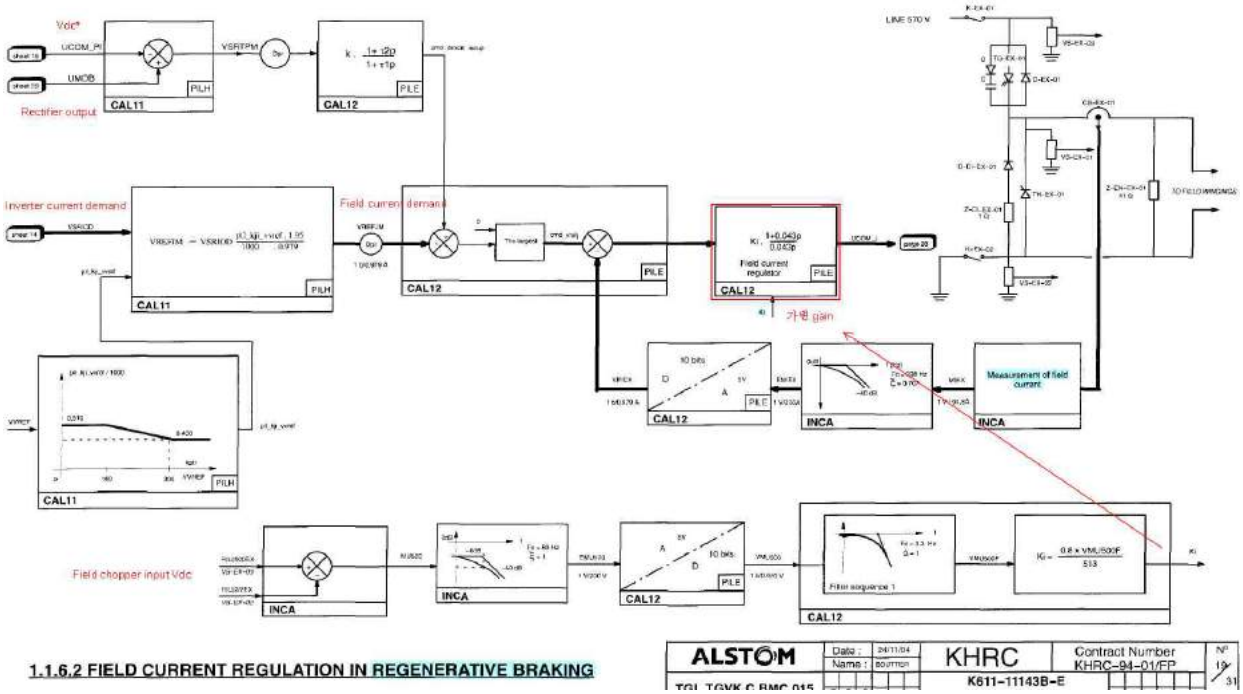


1.1.5.2 FIELD CURRENT REGULATION IN RHEOSTATIC BRAKING

제동 모드에서 여자 전류 지령은 견인시와 달리 인버터 전류 지령치로부터 계산된다. 발전 제동(Rheostatic braking) 모드에서 인버터 전류 지령값과 여자 전류 지령값과의 비

율은 다음 그림에서 보이듯이 열차 속도의 함수로 주어지는 Template으로부터 얻는다. 안정적인 제어를 위해 저속에서 여자 전류를 증가한다.

회생 제동(Regenerative braking) 모드에서 여자 전류 지령 VREFJM은 전 속도범위에서 인버터 전류의 지령에 직접적으로 비례한다. 그러나 다음 그림에서 보이듯이 VRFJM에서 de-excitation의 요구값 VSRTPM을 차감해야 하는 것이 발전제동에서와 다른 점이다.



1.1.6.2 FIELD CURRENT REGULATION IN REGENERATIVE BRAKING

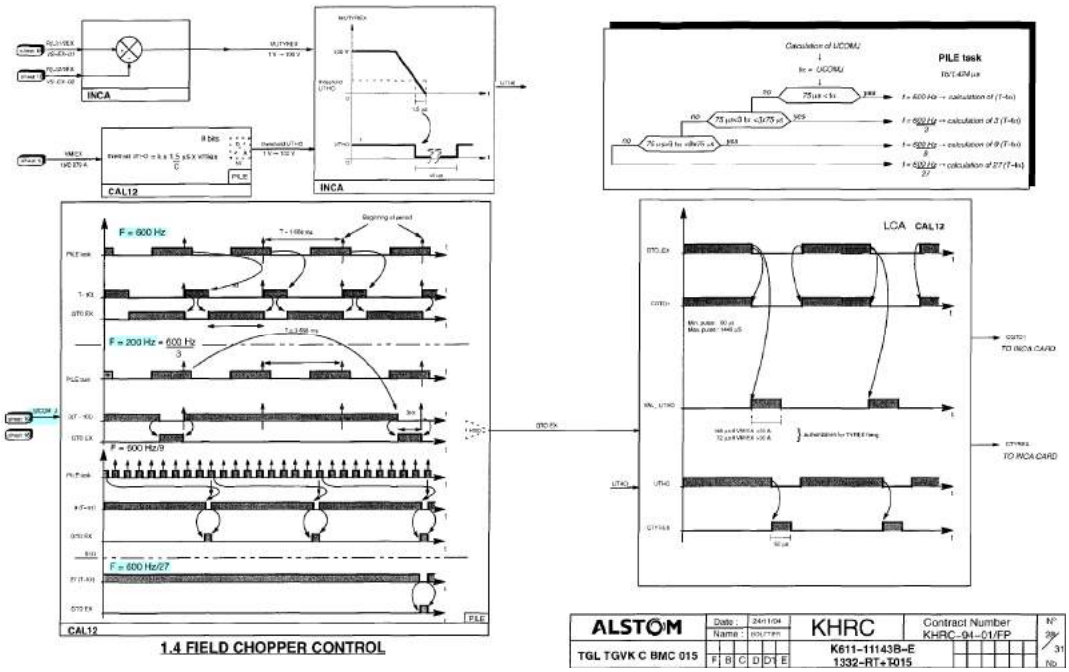
고속 운전 영역에서 모터의 역기전력 전압은 정류기의 최대 출력 전압보다 크게 될 수 있다. 이 경우 인버터의 전류를 제한하기 위해서는 여자 전류를 감소시켜 즉, de-excitation을 통해 역기전력 전압을 줄여주어야 한다.

견인 모드와 제동 모드 모두 주어진 여자 전류 지령은 비례 적분(PI) 제어기를 통해 제어된다. 이 제어기의 출력은 여자 초퍼의 개방율(duty ratio)에 대응하는 UCOM-J로 주어진다.

비례 적분 제어기의 출력 UCOM-J를 토대로 여자 초퍼는 다음과 같은 두 개의 반도체 스위치를 사용하여 제어된다.

(2) GTO THYR-GTO-EX 제어

제어기의 출력 UCOM-J로부터 GTO THYR-GTO-EX의 개방율이 다음 그림에 보이듯이 계산된다. 초퍼는 기본적으로 600Hz 제어 주파수로 동작한다. 그러나 여자 전류가 작은 경우 이 주파수는 3, 9, 또는 27 비율로 낮추어 사용된다. GTO는 최소 도통 시간(74 μs)이 있으므로, 작은 여자 전류를 흘리기 위해 duty ratio를 작게 하기위해서는 제어 주파수를 낮출 필요가 있기 때문이다.



1.4 FIELD CHOPPER CONTROL

(3) 사이리스터 THYR-EX의 제어

여자 전류를 제어하는 정상 동작 중에 있는 여자 초퍼의 사이리스터 THYR-EX는 Free-wheeling 다이오드처럼 동작해야 한다. 이는 사이리스터의 캐소드 전압이 음이 되면 즉시 도통 상태가 되어야 함을 의미한다. 이를 위해 사이리스터의 캐소드 측에 연결된 센서 VS-EX-01 전압을 0과 비교하고, 이 전압이 음이 되자마자 사이리스터를 트리거하면 된다. 그러나 실제로는 0값을 통과하는 순간과 사이리스터가 실제로 활성화되는 순간과는 약 1.5 μs의 시간 지연이 있다. 이 지연을 피하기 위하여, 전압이 0값을 통과하는 시점을 예측하여 사이리스터 THYR-EX를 제어하는데, 실제 THYR-EX 제어는 VS-EX-01 전압이 “Seuil-TYREX“ 한계값에 도달하면 시작된다.

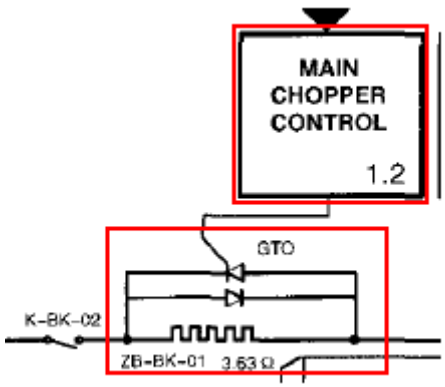
de-excitation시에는 GTO THYR-GTO-EX를 신속히 차단하고 여자 권선의 에너지를 소비하기 위하여 여자 전류를 Z-DI-EX-01 저항으로 흐르도록 한다.

바) 주 초퍼 제어(Main Chopper Control)

주(Main) 초퍼인 가변 저항기형(Rheostatic chopper) 초퍼의 역할은 전기적 제동시 인버터 전류를 제어하는 것이다. 전기적 제동 중에 견인 모터는 교류 발전기로서 작동되고, 열차의 운동 에너지는 전기 에너지로 변환된다. 제동력은 인버터 전류를 제어함으로써 조정된다. 제동시 인버터 전류는 두 가지 방법으로 제어된다.

- 회생 제동 모드에서는 정류기의 출력 전압을 모터의 역기전력과 반대 방향으로 제어하여 모터 전류를 제어한다.
- 인버터 회로와 직렬로 연결되어 있는 초퍼와 가변 저항기로 구성된 장치 즉, Main 초퍼로 가변 저항기의 임피던스를 조절하여 모터 전류를 제어한다.

가변 저항기형 초퍼의 구조가 아래 그림에 보인다. 제동 저항 ZB-BK-01(3.63Ω)과 GTO 초퍼로 구성된 이 회로는 제동 모드에서만 인버터 회로에 연결된다.



Main 초퍼는 가변 저항기의 임피던스를 바꿀 수 있는데, 초퍼의 스위치를 동작시켜 제동 저항을 통해 인버터 전류의 일부를 흐르도록 함으로써 가변 저항기의 유효 임피던스가 가변되도록 할 수 있다.

초퍼의 스위치가 최대 도통율을 가질 때 대부분의 전류는 GTO로 흐르게 되므로 임피던스는 낮아진다. 반면에 초퍼가 최소 도통율을 가질 때 대부분의 전류는 저항으로 흘러 임피던스는 최대가 되고 그 값은 ZB-BK-01의 공칭값, 즉 3.63Ω에 근접한다.

(1) 제어 방법

㈎ 회생 제동

회생 제동의 목표는 에너지를 최대로 가선 측으로 돌려보내는 것이므로, 회생 제동 모드에서 Main 초퍼는 최대 도통율 94%로 작동한다. 따라서 모터 전류는 전체 시간의 6% 동안만 가변 저항을 통해 흐른다.

제동력은 모터(인버터) 전류를 변동시켜 조정한다. 제동력 발생에 요구되는 인버터 전류 지령 VSRIOD은 우선적으로 비례 적분 제어기를 통해 정류기의 출력 전압 지령 UCOM으로 변환된다. 정류기를 제어하여 모터 전류를 충분히 조정할 수 있으면 초퍼의 도통율은 그 최대값으로 유지된다. 즉, UCOM-H =95%, 그러나 정류기가 더 이상 전류를 조정하지 못하면, 모터 전류는 증가하게 되고 이 값이 VSRIOD+Δ를 초과 할 때, 초퍼의 도통율이 감소되기 시작된다. 도통율 UCOM-H는 2%와 94% 사이에서 조절된다.

모터 전류가 초퍼에 의해서 제어될 수 있는 최고치에 근접하는 높은 수치가 되면, 초퍼는 L-MH indicator에 의하여 차단된다. 초퍼 차단의 목적은 GTO 소자를 보호하고, 계속적으로 제동 저항기를 통하여 전류가 흐르도록 함으로써 가능한 한 모터 전류를 최대로 제한하기 위함이다. 이와 동시에 인버터 점호각 제어를 통해 모터의 역기전력을 감소시켜서 전류를 감소하게 한다.

㈏ 발전 제동

가선이나 집전기(pantograph)에 문제가 있는 경우 회생 제동이 불가능하다. 이 경우 열차의 운동 에너지는 동력차량 자체 내에서 자동적으로 처리되어야 하므로 발전 제동 모드로 운전된다. 모든 제동 에너지는 ZB-BK-01과 ZB-BK-02 저항기에서 열로 소비된다. 이 경우 정류기는 Free-wheeling 한다.

회생 제동 시처럼 제동력은 모터 전류의 크기로써 조절된다. 이 경우 인버터 전류 지령은 VSRIOD-FRH이다. 전류 제어를 위해 비례 적분 제어기를 사용하지만 발전 제동의 경우 제어기의 출력은 제동 초퍼의 도통율이 된다. 이 출력은 21%와 94% 이내로 제한된다.

2) OBCS 인터페이스

- 정의와 약어

ACOB : 모터블록 코드화 적용 블록

CRVB : 모터블록에서 특정 TORNAD 커플러 블록

MB : 모터블록

MOPUMB01 : 모듈 프로세서 유닛 모터블록 01

SIE : 차량 정보 시스템

TPU : 견인에 따른 TPU 01 또는 TPU 02

가) 하드웨어 인터페이스

SIE는 공급전압 (-15V, +5V, +15V)과 RS485 시리얼 라인을 매개로 모터 블록과의 인터페이스를 허용하는 MOPUMB01[참조 3] 모듈을 허용한다. 아래 그림은 하드웨어 인터페이스 개요를 제공한다.

모터블록은 모터블록 명령이라는 명령과 커플러를 허용한다. 이 문서는 이 두 부분의 인터페이스를 설명한다. (커플러는 SIE에 속한다)

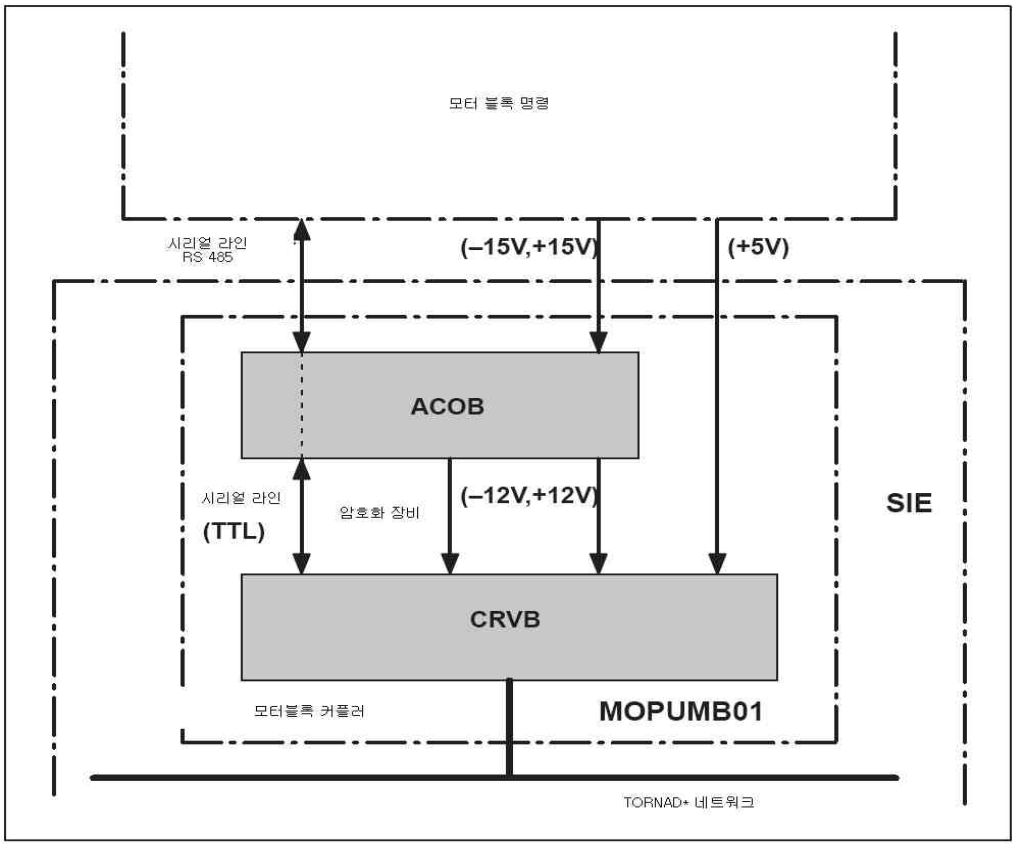


그림 152. 하드웨어 인터페이스 개요

시리얼 라인 RS 485는 모터블록과 차량 정보 시스템 사이의 모든 정보 교환을 지원한다.

CRVB 블록은 모터블록 커플러에 관해서, RS485 라인에 대해 통신을 제어한다.
SIE의 MOPUMB01은 모터블록 명령에 의핸 전압 공급이 된다.
ACOB 블록은 2개의 명확한 기능을 실현한다.
- RS 485 라인과 TTL 시리얼 라인 사이의 전기적 적응
- 도달지점이 TORNAD* CRVB 블록 커플러인, 모터블록 명령으로부터 나오는 (-15V,+15V) 에서 (-12V, +12V) 로의 전환

나) 프로토콜

SIE와 모터블록 사이의 라인상 통신은 LS 프로토콜을 따른다. 이 프로토콜은 다음 특성을 가진다.

- 전이중
- 다음과 같이 코드화된 시리얼 라인상 교환된 문자
  - 1 시작 비트
  - 7 비트의 데이터
  - 1 패리티 비트
  - 1 정지 비트

프로토콜은 9600 bauds의 전송 속도로 사용된다.
이 라인은 다음 통신 모드에 따라 정보를 교환하도록 허용한다.
- TORNAD*에 연결된 모드에서 전송된 메시지를 위해 사용된 승인 모드
- TORNAD*에 프로그램 된 모드에서 전송된 메시지를 위해 사용된 비승인 모드

다) 시리얼 라인상 정보 교환

SIE-모터블록상 교환된 프레임은 프로토콜 LS와 유용한 데이터에 관한 데이터로 구성된다. 메시지는 LS 프레임의 “Data ASCII“ 챕터에 포함된 유용한 전체 데이터에 의해 정의된다.

이 문서에서 설명된 메시지 데이터는 16진법으로 표현된다. 이 메시지는 시리얼 라인에 전송되기 전에 ASCII로 코드화된다. 이런 이유로, 시리얼 라인에 실제로 교환된 메시지 길이는 본 문서에 나와 있는 것보다 크다. 시리얼 라인상 교환된 메시지 전체를 설명하기 위해서, 이 챕터는 다음을 정의한다.

- 메시지 표제 구조
- 이 메시지 목록
- 모터블록 명령에 의해 전송되고 수신된 메시지의 유용한 데이터 구조

(1) 메시지 표제 구조

각 메시지는 3 바이트의 적용 포제와 메시지의 유용한 정보로 구성된다.

적용 표제는 다음 방법으로 구조화된다.

ID_APPLI_E	ID_PAR_E	ID_APPLI_R

각 바이트는 다음과 같은 의미를 갖는다.

- ID_APPLI_E : 송신기 기능별 형식 식별
- ID_PAR_E : 관련 파라미터
- ID_APPLI_R : 수신기의 유형과 기능 식별

㈎ ID_APPLI_E와 ID_APPLI_R의 설명

ID_APPLI_E와 ID_APPLI_R 적용 로직 이름은 다음 방법으로 구성된다.

ID_EQT	ID_PT_APPLI

ID_EQT는 계산기 위에 구현된 소프트웨어에서 특정한 적용 이름을 식별하고 ID_PT_APPLI는 정확한 방법으로 메시지를 사용하는 적용 기능을 명시한다.

ID_EQT는 협약에 의해 다음의 상이한 값을 취한다.

- ID_UTR은 트레일러에 관한 (TPU01과 TPU02) 로직 이름을 명시하고 0000에서 0001까지 변한다.
- ID_UTM은 모터블록에 관한 로직 이름을 식별하고 0010에서 0011까지 변한다.
- ID_UTP는 MPU01에 관한 로직 이름을 식별하고 0100에서 0101, 1101에서 1110까지 변화한다.
- ID_UTA는 APU01에 관한 로직 이름을 식별하고 0110 값을 갖는다.
- ID_UTPA는 MPU01과 APU01에 관한 이름을 식별하고 0111 값을 갖는다.
- ID_UTPR은 MPU01과 TPU에 관한 로직 이름을 식별하고 1000에서 1001까지 변화한다.
- ID_UTAR은 APU01과 TPU에 관한 로직 이름을 식별하고 1010에서 1011까지 변화한다.
- ID_UTPAR은 MPU01과 APU01에 관한 로직 이름을 식별하고 1100값을 갖는다.

ID_PT_APPLI 챕터는 0000에서 1111까지 변한다. 그것은 ID_EQT에 관계되고, 이는 열차 어플리케이션의 가운데에서 유익한 적용 로직 이름을 형성하기 위함이다. 적용 로직 이름은 16진법으로 다음의 값을 취할 수 있다.

- ID_EQT=ID_UTR에 대해서, 적용 로직 이름은 00에서 1F까지 변한다.
- ID_EQT=ID_UTM에 대해서, 적용 로직 이름은 20에서 3F까지 변한다.
- ID_EQT=ID_UTP에 대해서, 적용 로직 이름은 40에서 5F, D0에서 EF까지 변한다.
- ID_EQT=ID_UTA에 대해서, 적용 로직 이름은 60에서 6F까지 변한다.
- ID_EQT=ID_UTPA에 대해서, 적용 로직 이름은 70에서 7F까지 변한다.
- ID_EQT=ID_UTPR에 대해서, 적용 로직 이름은 80에서 9F까지 변한다.
- ID_EQT=ID_UTAR에 대해서, 적용 로직 이름은 A0에서 BF까지 변한다.
- ID_EQT-ID_UTPAR에 대해서, 적용 로직 이름은 C0에서 CF까지 변한다.

㈏ ID_PAR_E 설명

ID_PAR_E 파라미터는 다음 방법으로 구성된다.

ID_MAIT	ID-MR	ID_UTPAM	ID_RAME	ID_MOT	ID_RESERV

- ID_MAIT : 주 기관차 식별 (7 비트)

차량이 서비스 중일 때, 주 기관차는 01비트를 1로 놓으면서 식별된다. 다른 경우에는 0으로 된다.

- ID_MR : 기관사 / 트레일러 식별 (6 비트)

이 비트는 기관차에서 또는 트레일러에서 전송된 메시지를 차별화하도록 허용한다:

- 트레일러 : 0
- 기관차 : 1

- ID_UTPAM : 기관차 계산기 식별 (비트 5와 4). 사용된 코드는 다음과 같다. :

- MPU01 : 0
- APU01 : 1
- TPU01 : 2
- TPU02 : 3

- ID_RAME : 전송 Subnet 식별 (비트 3)
  - Subnet 1 : 0
  - Subnet 2 : 1

- ID_MOT : 기관차 식별 (비트2). 어느 기관차가 전송 컴퓨터에 속하는지 지시
  - 기관차 M1 : 0
  - 기관차 M2 : 1

- ID_RESERV : 잠정적 진전을 위한 유보 영역 (비트 1과 비트 0)
  이 영역은 00값으로 코드화된다.

(2) 시리얼 라인상 교환되는 메시지 목록

이 목록은 비승인 모드와 승인 모드에서 교환되는 메시지를 포함한다.

시리얼 라인상 교환된 메시지 명칭의 일반적 형식은 다음과 같다.

Mr_E_R_<식별_내용> :

Mr 차량 메시지 지시

E 메시지 전송 컴퓨터를 지시

이 영역에 의해 취해진 상이한 값은 다음과 같다 :

p 어떤 MPU01에서 나온 메시지에 대해

a 어떤 APU01에서 나온 메시지에 대해

m 어떤 BM 명령에서 나온 메시지에 대해

R 메시지 수신 컴퓨터 지시

이 영역에 의해 취해진 상이한 값은 다음과 같다 :

p 어떤 MPU01에 의해 수신된 메시지에 대해

a 어떤 APU01에 의해 수신된 메시지에 대해

c MPU01과 APU01 그룹에 의해 수신된 메시지에 대해

m 어떤 BM 명령에 의해 수신된 메시지에 대해

<식별_내용> 메시지 안에 전송된 정보와 관계된 특정 기억 영역을 제공

이 영역의 정의는 각 메시지의 상세설명이 주어진다.

㈎ 비승인 모드에서 교환된 메시지

기억 영역	ID_APPLI_E(1)	ID_APPLI_R(2)	기간	의미
Mr_p_m_teta	41H	31H	100ms	MPU01 주 운전실 상태
Mr_a_m_teta	61H	33H	100ms	APU01 주 운전실 상태
Mr_p_m_tetah	42H	32H	10mn	MPU01 주 운전실 상태 + 참조 시간
Mr_p_m_synch	40H	30H	10mn	참조 시간
Mr_m_c_teta	2EH	70H	1s	BM 상태
Mr_m_p_acqh	20H	40H	10mn	승인 시간
Mr_m_c_tetah	2FH	71H	10mn	BM 상태 + 승인 시간

* ID_APPLI_E : 전송 컴퓨터 유형과 기능 식별

* ID_APPLI_R : 수신 컴퓨터 유형과 기능 식별

㈏ 승인 모드에서 교환된 메시지

기억 영역	ID_APPLI_E (1)	ID_APPLI_R (2)	의미
Mr_p_m_testae	44H	34H	고장 방지 시험 요청
Mr_p_m_testfr	45H	35H	제동 시험 요청
Mr_m_p_testae	24H	44H	고장 방지 시험 반응
Mr_m_p_testfr	25H	45H	제동 시험 반응
Mr_p_m_defctx	47H	37H	내용있는 고장 읽기 요청
Mr_p_m_defsctx	48H	38H	내용없는 고장 읽기 요청
Mr_p_m_defdmc	49H	39H	DM/DMC 고장 읽기 요청
Mr_p_m_defsuit	4AH	3AH	고장 읽기 후 요청
Mr_m_p_defctx	27H	47H	내용있는 고장 읽기
Mr_m_p_defsctx	28H	48H	내용없는 고장 읽기
Mr_m_p_defdmc	29H	49H	DM/DMC 고장 읽기
Mr_p_m_me	42H	32H	이벤트 기록계 읽기 요청
Mr_p_m_defeff	4CH	3CH	고장 삭제 요청
Mr_p_m_definh	4DH	3DH	고장 확인/금지
Mr_p_m_defauto	4EH	3EH	DM/DMC 고장 자동읽기 요청
Mr_m_p_me	22H	42H	이벤트 기록계 읽기
Mr_m_p_defeff	2CH	4CH	고장 삭제 승인
Mr_m_p_defauto	2EH	4EH	DM/DMC 고장 자동 읽기

* ID_APLLI_E : 전송 컴퓨터 유형과 기능의 식별

* ID_APPLI_R : 수신 컴퓨터 유형과 기능의 식별

(3) BM 명령에 의해 수신된 메시지

㈎ 비승인 모드에서 수신된 메시지

비승인 모드에서 수신된 메시지는 2개의 임무를 가진다.

- 운전실 상태 제공
- 운전실 시간 제공

컴퓨터중 적어도 1개가 1개의 메시지를 보내는 운전실을 주 운전실이라고 한다.
참조 시간을 전송하는 컴퓨터는 시간 참조 컴퓨터라고 한다.
시간 전송은 주기적으로 10분마다 이루어진다. 시간은 1개의 주 운전실이 있을 때 상태 메시지 안에 전송되고, 그렇지 않으면 Mr_p_m_synch 시간의 동기화 메시지 안으로 전송된다.

① Mr_p_m_teta 또는 Mr_a_m_teta 운전실 로직 상태표

교환 메커니즘 :

7 바이트의 이 메시지는 100 밀리세컨드마다 전송된다. 그 메시지는 주 운전실의 APU01과 MPU01 컴퓨터의 datagram 모드에 수신도니 마지막 표에 들어있는 정보를 (OU의 로직 작업을 통해) 종합한다.

포맷 :

한쌍(ID_APPLI_E, ID_APPLI_R)은 (41H, 31H) 또는 (61H, 33H)의 가치를 지니는데, 이는 상태의 마지막 메시지가 주 운전실의 MPU01 또는 APU01에서 나온 것에 따른 것이다.

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E							
2	ID_PAR_E							
3	ID_APPLI_R							
4	0	1	RHEBATC	QCODP	MDP	CONBL	PERBL	PREBL
5	0	1	(res)	(res)	LGV	(res)	(res)	(res)
6	0	1	PBSACN	PBSA	QTT	QF	BMIS	AFPIS
7	0	1	(res)					

주의 : 메시지에 포함된 정보 각각에 대해, 아래에는 네트워크상의 이름, 시리얼 라인상

이름 그리고 그 의미가 나와있다.

다음 정보는 1로 될 때 유효하다. :

.T_RHEBATC RHEBATC : 구분시 가변저항기 모드로 이행
.T_BKRS QCODP : 비작동의 일반 운행 하강 조종기
.T_MDP MDP : 성능 결함시의 모터블록 지시사항
.T_CONBL CONBL : 열차내 스위치 박스 마찰 현존
.T_PERBL PERBL : 기차내 스위치 박스 손실 신호
.T_LSB PREBL : 전송 기관차에서 잠금장치 풀린 스위치 박스
.T_LGV LGV : 새로운 라인상의 열차
.T_SACN PBSACN : 살사 금지 요청
.T_SA PBSA : 수동 살사 요청
.T_QTT QTT : 견인 명령
.T_QF QF : 제동 명령
.T_BMISO BMIS : 열차상 절연된 모터블록이 적어도 하나 존재
.T_AFPIS AFPIS : 열차상 절연된 AFT (동력 향상)가 적어도 하나 존재
.(res) 유보

② Mr_p_m_synch 시간의 동기화 메시지

교환 메커니즘 :

7 바이트의 이 메시지는 적용 가능한 비승인에 대해 최대 5번의 반복(재사용)을 통해 10 분마다 전송된다. 시간 정보는 시간 참조 컴퓨터에서 수신된 마지막 시간이다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E = 40H	
2	ID_PAR_E	
3	ID_APPLI_R=30H	
4	시간_날짜 (5 비트)	시간_달(3 비트 무거운 무게)
5	시간_시간(4 비트 무거운 무게)	시간_분 (4비트 무거운 무게)
6	시간_시간 (4비트 무거운 무게)	시간_분 (4비트 무거운 무게)
7	시간_분 (8비트 가벼운 무게)	

.시간_날

- 의미 : 1에서 31의 날짜 코드화
- 길이 : 5 비트
- 코드화 : 1비트가 있는 전체 = 1일

.시간_달

- 의미 : 1~12달 코드화
- 길이 : 4비트
- 코드화 : 1비트가 있는 전체 = 1달

.시간_시간

- 의미 : 시간을 분으로의 코드화
- 길이 : 11 비트
- 코드화 : 1비트가 있는 전체 = 1분

.시간_분 :

- 의미 : 초의 1/10 로 분을 코드화
- 길이 : 12 비트
- 코드화 : 1 비트가 있는 전체 = 0.1초

③ Mr_p_m_tetah 상태표와 시간의 동기화 메시지

교환 메시지 :

10 바이트의 이 메시지는 운전실 상태표 정보와 이전에 정의된 동기화 시간을 하나의 메시지로 재편성한다. 이 메시지 전송은, 모터블록의 커플러가 TORNAD* 상 datagram 모드에서 주 운전실에서 나온 시간의 동기화와 상태표 메시지를 수신할 때 시작된다. 이 메시지는 10분마다 전송된다.

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=42H							
2	ID_PAR_E							
3	ID_APPLI_R=32H							
4	0	1	RHEBATC	QCODP	MDP	CONBL	PERBL	PREBL
5	0	1	(res)	(res)	LGV	(res)	(res)	(res)
6	0	1	PBSACN	PBSA	QTT	QF	BMIS	AFPIS
7	0	1	(res)					
8	시간_날짜(5비트)				시간_달(3비트 무거운 무게)			
9	시간_달(1비트 무거운 무게)				시간_시간(7비트 무거운 무게)			
10	시간_시간(4비트 가벼운 무게)				시간_분(4비트 무거운 무게)			
11	시간_분 (8비트 가벼운 무게)							

㈏ 승인모드에서 전송된 메시지

① Mr_p_m_testae 고장 방지 시험 요청 메시지

교환 메커니즘 :
3 바이트의 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속모드에서 주 운전실에서 나온 고장 방지 시험 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E = 44H
2	ID_PAR_E
3	‘ID_APPLI_R=34H

② Mr_p_m_testfr 제동 시험 요청 메시지
교환 메커니즘 :
3바이트의 이 메시지는 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속모드에서, 주 운전실에서 나온 제동 시험의 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=45H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=35H

③ Mr_p_m_defctx 내용있는 고장읽기 요청 메시지
교환 메커니즘 :
3 바이트의 메시지는 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속 모드에서, 이 모터블록에 관한 내용과 함께 고장 읽기 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=47H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=37H

④ Mr_p_m_defsctx 내용없는 고장 읽기 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3 바이트의 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속 모드에서 이 모터블록에 관한 내용없이 고장 읽기 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=48H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=38H

⑤ Mr_p_m_defdmc 내용없이 콘 또는 중간 보충적 고장 읽기 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3바이트의 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속 모드에서 이 모터블록에 관한 큰 또는 중간 보충적 고장 읽기 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=49H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=39H

⑥ Mr_p_m_defsuit 고장 읽기 후 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는, 접속모드에서 이 모터블록에 관한 고장읽기 이후 요청 메시지를 모터블록의 TORNAD* 커플러가 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=4AH
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=3AH

⑦ Mr_p_m_me 이벤트 기록계의 읽기 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속 모드에서 이벤트 기록계 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=42H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=32H

⑧ Mr_p_m_defauto DM/DMC 고장 자동 읽기 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속 모드에서 큰 고장 & 중간 고장의 자동 읽기 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=4EH
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=3EH

⑨ Mr_p_m_defeff 모터블록 고장 완전 삭제 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속모드에서 이 모터블록에 관한 고장 완전 삭제 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=4CH
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=3CH

⑩ Mr_p_m_definh 모터블록 고장 기록 기능 확인/금지 메시지
교환 메커니즘 :

4 바이트의 이 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속모드에서 이 모터블록에 관한 고장 기록 기능의 확인/금지 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=4DH
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=3DH

.VALENR : 확인 요청시 1, 금지 요청시 0

(4) BM 명령에 의해 전송된 메시지

㈎ 비승인 모드에서 전송된 메시지

① Mr_m_c_teta 모터블록 상태표

교환 메커니즘 :

전압을 공급받은 이 모터블록은 매초마다 10 바이트의 메시지를 전송한다.

이 메시지는 모터블록에 의해 로직 & 아날로그 정보를 재편성한다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=2EH							
2	ID_PAR_E							
3	ID_APPLI_R=70H							
4	0	1	DFMEC	LSDFND	(res)	DFTRAI	ZISM	QISM
5	0	1	(res)	QTH2TFP	HAFP	(res)	BCQEB	LSDFF
6	0	1	Q2DF	QATT	ETENDF	DEFENR	EFFR	COTR_ATESS
7	0	1	Q55	(res)	DELTAP	VMFOK	MODE1	MODE0
8	VMF 1 비트 역학 측정 = 50daN							
9	CG 하강 = 25mbars							
10	0	1	(res)	(res)	BMURG	EFRC_ATESS	EFRH_ATESS	0
11	0	1	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)
12	0	1	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)

주의 : 메시지 안에 포함된 정보에 대해, 아래에는 네트워크상의 이름, 시리얼 라인상의 이름, 그리고 그 의미가 나타나 있다.

다음 정보는 1로 될 때 유효하다 :

.T_MEFA DFMEC : 트리포드 불균형

.T_LSBRFA LSDFND : 라인상 램프 밝기 요청

.T_TRIFAI DFTRAI : 트리포드 손상

.T_ZISM ZISM : SW-IS-MB-01 에 의해 모터블록의 수동 차단

.T_QISM QISM : R_IS_MB_01에 의해 자동 차단

.T_QTH2TFP QTH2TFP : 변압기 온도 고장, 기름 펌프 고장 (동력 감소를 가져옴)

.T_BHAFP HAFP : 차단된 (절연된) AFP 고장

.T_BCQEB BCQEB : 차단된 축 고장

.T_REBCO02 LSDFF : 제동 고장시 램프 밝기 요청

.T_Q2DF Q2DF : 모터블록의 명백한 차단 신호

.T_RCNTT QATT : 모터블록에서 금지된 견인 회복 정보

.T_ETENDF ETENDF : 고장기록 기능상태 (1 유효, 0 금지). 이 정보를 주 운전실에서 나온 모터블록 고장기록 확인/금지 메시지를 승인하는데 사용된다.

.T_DEFENR DEFENR : 모터블록에 기억된 DM 또는 DMC 고장 현존

.T_EFFR EFFR : 5kN 문턱전압 이상의 제동력 (제동시 성능 결함의 운전실 감시를 위해)

.T_COTR COTR_ATESS : 문턱전압보다 낮은 제동시 전류 (ATESS 모듈용)

.T_Q55 Q55 : 제동의 Q55 계전기 포지션

.T_DELTAP DELTAP : 일반운행시 하강 현존

.T_VMFOK VMFOK : VMF 측정이 유효함을 지시 (시속 5km을 넘고 바퀴 헛돌기 감지가 되지 않는 경우)

.T_MODE0 MODE0,

T_MODE1 MODE1 : 모터운행모드의 2 비트에 관한 암호화. 제동시 운행은 2, 견인시 운행은 1, 진항속도상 진행시 0 (*진항속도 : 속력을 내고 난 뒤 저절로 나가는 것)

.T_VMF VMF : 항력 측정 (속도가 시속 5km가 넘을 때 보내지는 이 정보는 VMF OK=1 일 때 유효하게 된다 : 더 나아가 이 측정은, 속도가 시속 40km 이하이면, 성능결함 감지를 위해 사용되어서는 안된다.)

.T_DP 하강_CG : 하강 CG(1 unit = 25 mbars)

.T_EFRH EFRH_ATESS : 미리 정해진 문턱전압 이상의 가변저항기 제동시 전류

.T_EFRC EFRC_ATESS : 미리 정해진 문턱전압보다 높은 회복에 의한 제동시 전류

.T_BMURG BMURG : 긴급시 죄기 (죈 상태)

.(res) : 유보

② Mr_m_c_tetah 시간 동기화 승인이 있는 모터블록 상태표

교환 메커니즘 :
10 바이트의 이 메시지는 시간 수신이 잘 되었다는 적용 승인과 이전에 설명된 모터블록 상태표 정보를 포함한다. 그 메시지는 수신된 Mr_p_m_tetah 메시지를 승인하기 위해서 모터블록 상태표를 대체한다. 이 메시지 전송 기간은 10분이다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=2FH							
2	ID_PAR_E							
3	ID_APPLI_R=71H							
4	0	1	DFMEC	LSDFND	(res)	DFTRAI	ZISM	QISM
5	0	1	(res)	QTH2TFP	HAFP	(res)	BCQEB	LSDFF
6	0	1	Q2DF	QATT	ETENDF	DEFENR	EFFR	COTR_ATESS
7	0	1	Q55	(res)	DELTAP	VMFOK	MODE1	MODE0
8	VMF 1 비트 역학 측정 = 50daN							
9	CG 하강 = 25mbars							
10	0	1	(res)	(res)	BMURG	EFRC_ATESS	EFRH_ATESS	0
11	0	1	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)
12	0	1	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)	(res)

주의 : 메시지 안에 포함된 각 정보에 대해, 아래에는 네트워크상 이름, 시리얼 라인상 이름 그리고 그 의미가 적혀있다.

다음과 함께 모터블록의 상태 메시지 정보를 발견할 수 있다. :

.T_ACQSYNC　ACQSYNC : 동기화 시간 수신이 잘 되었음.

③ Mr_m_p_acqh 시간 동기화 승인

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는 주 운전실에서 나온 시간의 동기화 메시지에 대한 반응으로 (운전실 상태표 없이) 전송된다. 그리고 이 메시지는 모터블록의 시간 세팅의 적용 승인을 허용한다.

포맷 :

비트 7　　비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=20H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=40H

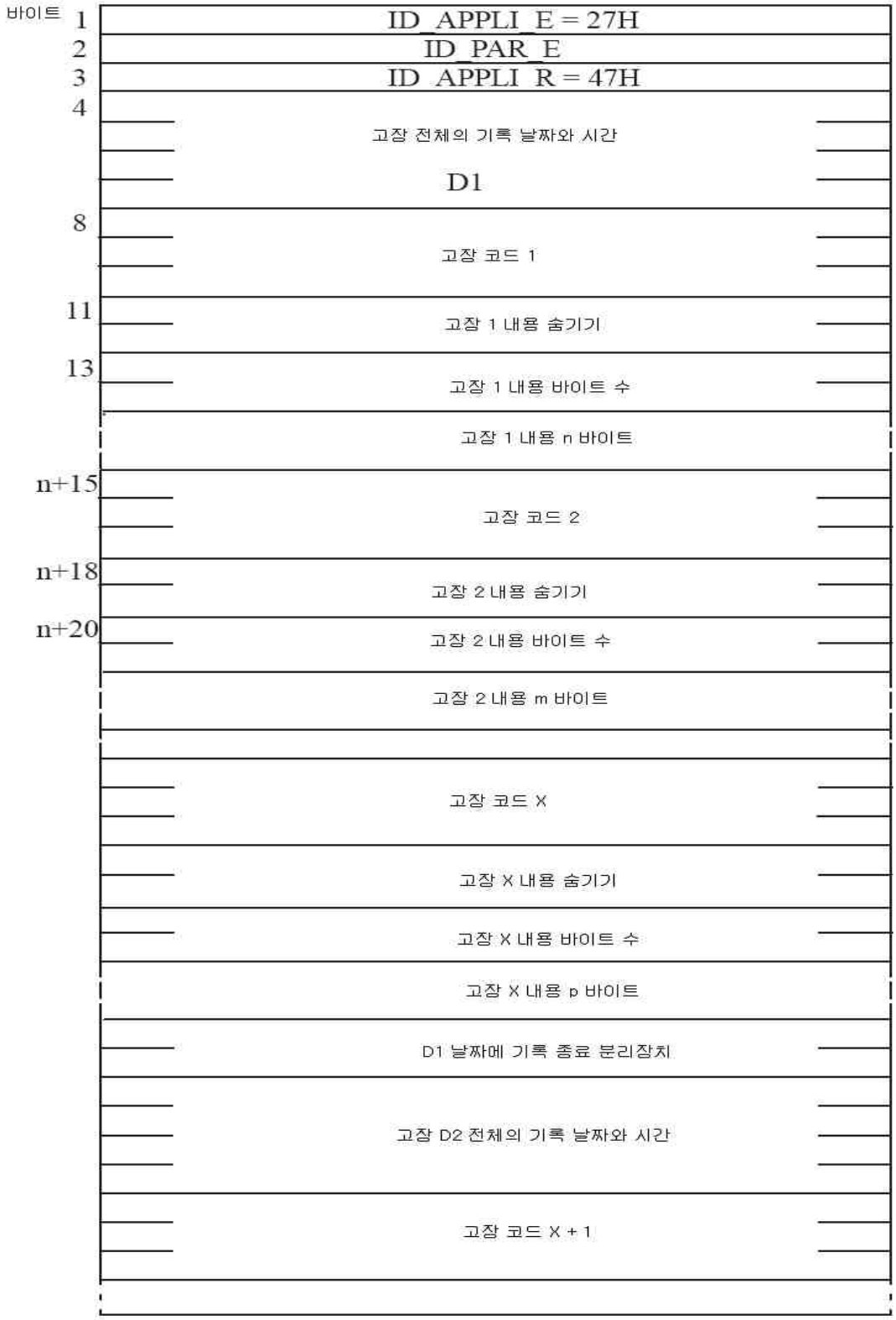
㈏ 승인모드에서 전송된 메시지

① Mr_m_p_defctx 내용있는 고장 읽기 메시지

교환 메커니즘 :

내용있는 고장 읽기 요청에 대해, 모터블록은 연속적으로 그것이 103 바이트 길이의 메시지 형태로 가지고 있는 고장을 전송한다. 다음의 각 메시지는 요청 메시지 수신에 대해 전송된다. 고장 읽기가 유용한 데이터 100 바이트의 여러 그룹을 필요로 하며, 다음에 설명되는 구조 중 단절이 교체에 개입할 수 있다. 정지 기준은, SIE에 관해서, 길이가 103 바이트 이하인 프레임의 수신이 된다.

포맷 :


바이트
1
ID_APPLI_E = 27H
2
ID_PAR_E
3
ID_APPLI_R = 47H
4
고장 전체의 기록 날짜와 시간
D1
8
고장 코드 1
11
고장 1 내용 숨기기
13
고장 1 내용 바이트 수
고장 1 내용 n 바이트
n+15
고장 코드 2
n+18
고장 2 내용 숨기기
n+20
고장 2 내용 바이트 수
고장 2 내용 m 바이트
고장 코드 X
고장 X 내용 숨기기
고장 X 내용 바이트 수
고장 X 내용 p 바이트
D1 날짜에 기록 종료 분리장치
고장 D2 전체의 기록 날짜와 시간
고장 코드 X + 1

고장 전체의 기록 날짜와 시간은 이 영역과 기록 분리 장치 사이에 포함된 고장 목록과 관계된다. 기록날짜와 시간은 이전에 설명된 시간 동기화 메시지와 동일한 포맷과 함께 4 바이트에 대해서 코드화된다.
고장 코드는 3 바이트를 차지하고, 기록된 고장 코드값을 결정한다.
내용 감추기는 2 바이트를 차지한다. 이진법 감추기는 고장의 국제적 내용에서 포함된 단일한 내용 목록을 지시한다. n번째 비트 (1과 16사이에 포함도니 n)는 국제적 내용이 단일한 내용 n을 포함할 때 1의 값을 갖는다. 내용이 비면, 감추기는 0000H의 값을 갖는다.
내용 바이트 수는 2 바이트로 코드화되고, 내용이 비어있지 않을 때만 현존한다.
기록된 고장 내용은 이 내용이 비어있지 않으면, 이미 정의된 내용의 바이트수에 대해 암호화된다.
주어진 날짜에 기록 종료한 분리 장치는 0~2 바이트로 주어진다. 그것은 시간에 연관된 고장 기록 종료를 정한다.

위에 설명된 6개 영역에 의해 구성된 부분은 상이한 기록 시간과 연관된 고장이 있는 한 복사된다.

② Mr_m_p_defsctx 내용 없는 고장 읽기 메시지
교환 메커니즘 :

이 메시지는 내용없는 고장 읽기 요청 메시지에 대한 반응으로 전송된다. 최대 크기와 이 메시지 교환 메커니즘은 내용있는 고장 읽기 메시지의 그것과 동일하다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=28H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=48H
	고장 코드 1 (바이트1)
	고장 코드 1 (바이트2)
	고장 코드 1 (바이트3)
	고장 코드 2 (바이트1)
	고장 코드 2 (바이트2)
	고장 코드 2 (바이트3)
	고장 코드 N (바이트1)
	고장 코드 N (바이트2)
	고장 코드 N (바이트3)

③ Mr_m_p_defdmc 큰 & 중간 고장 읽기 메시지

교환 메커니즘 :

이 메시지는 큰 또는 중간 고장 요청 메시지에 대한 응답으로 전송된다. 최대 크기와 이 메시지 교환의 메커니즘은 내용있는 고장 읽기 메시지의 그것과 동일하다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=29H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=49H
	고장 코드 1 (바이트1)
	고장 코드 1 (바이트2)
	고장 코드 1 (바이트3)
	고장 코드 2 (바이트1)
	고장 코드 2 (바이트2)
	고장 코드 2 (바이트3)
	고장 코드 N (바이트1)
	고장 코드 N (바이트2)
	고장 코드 N (바이트3)

④ Mr_m_p_me 이벤트 기록계 읽기 메시지

교환 메커니즘 :

이 메시지는 이벤트 기록계 읽기 요청 메시지에 대한 응답으로 전송된다. 최대크기와 이 메시지 교환 메커니즘은 내용없는 고장 읽기 메시지의 그것과 동일하다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=22H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=42H

⑤ DM/DMC Mr_m_p_defauto 고장 자동 읽기 메시지

교환 메커니즘 :

이 메시지는 큰 또는 중간 고장 자동 읽기 요청 메시지에 대한 응답으로 전송된다. 최대 크기와 이 메시지의 교환 메시지는 내용없는 고장 읽기 메시지의 그것과 동일하다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=2EH
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=4EH

⑥ Mr_m_p_defeff 모터 블록 고장 완전 삭제 승인

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는 모터 블록 고장 완전 삭제 요청에 대한 승인으로써 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=2CH
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=4CH

⑦ Mr_m_p_testae 고장 방지 시험 요청 결과 메시지

교환 메커니즘 :

4 바이트의 이 메시지는 고장 방지 요청에 대한 응답으로써 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=24H							
2	ID_PAR_E							
3	ID_APPLI_R=44H							
4	0	1	0	0	0	0	TSTEB	TSTAE

TSTEB :

- 의미 : 고장 방지 시험 요청에 따른 폐색(장치) 방지 시험 결과 상태
- 길이 : 1 비트
- 코드화 : 고장 없으면 1, 고장 있으면 0

TSTAE :

- 의미 : 고장 방지 시험 요청에 따른 고장 방지 시험 결과 상태
- 길이 : 1 비트
- 코드화 : 고장없으면 1, 고장 있으면 0

⑧ Mr_m_p_testfr 제동 시험 요청 결과 메시지

교환 메커니즘 :

4 바이트의 이 메시지는 제동 시험 요청에 대한 응답으로 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=25H							
2	ID_PAR_E							
3	ID_APPLI_R=45H							
4	0	1	0	0	0	0	FRSERRE	FRDESSERRE

FRSERRE :

- 의미 : 제동 시험 요청에 따른 제동 죄기 시험 결과 상태
- 크기 : 1 비트
- 코드화 : 시험이 정상적이면 1, 고장이 있으면 0

FRDESSERRE :

- 의미 : 제동 상태
- 크기 : 1 비트
- 코드화 : 제동이 풀리면 1, 제동이 풀리지 않으면 0

라) 하강 모드

하강 모드는 모터 블록과 운전실 사이의 통신 채널 전체에 대해서만 고려된다. 이런 이유로 이 통신에서 실행되는 장비 전체를 고려해야 한다. 즉, MPU01, APU01, 모터블록 커플러 MOPUMB01 그리고 모터 블록 명령이다.
단순한 고장일 경우, 다음의 시나리오가 고려된다. :

(1) MPU01 고장

비승인 모드에서의 통신은 다음 2가지 이유로 작동된다. :

- 비승인 모드 메시지는 APU01과 교환된다. (정보중복)
- 모터블록 커플러의 CRVB 블록은, 2개의 주 운전실 컴퓨터에 의해 승인되지 않은 모드에서 전송된 메시지 정보의 로직 OU를 실행한다.

반대로, 고장난 MPU01 컴퓨터는 승인모드에서 어떤 교환에도 참여할 수 없다.

(2) APU01 고장

비승인모드에서 통신은 다음 2가지 이유로 작동된다.

- 비승인 모드 메시지는 MPU01과 교환된다. (정보 중복)
- 모터블록 커플러의 CRVB 블록은, 2개의 주 운전실 컴퓨터에 의해 비승인 모드에서 전송된 메시지 정보의 로직 OU를 실행한다.

(3) 모터블록 커플러 고장

어떤 통신도 관련된 모터 블록 명령으로는 가능하지 않다.

(4) 모터블록 명령 고장

어떤 통신도 관련된 모터 블록 명령으로는 가능하지 않다.

마) 부록

(1) 승인 모드에서 교환된 메시지

기억	ID_APPLI_E (1)	ID_APPLI_R (2)	의미
Mr_p_m_ce	41H	31H	이벤트 코드 읽기 요청
Mr_m_p_ce	21H	41H	이벤트 코드 읽기

㈎ Mr_p_m_ce 이벤트 코드 읽기 요청 메시지

교환 메커니즘 :

3 바이트의 이 메시지는, 모터블록의 TORNAD* 커플러가 접속 모드에서 이벤트 코드 요청 메시지를 수신할 때 전송된다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=41H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=31H

㈏ Mr_m_p_ce 이벤트 코드 읽기 메시지

교환 메커니즘 :

이 메시지는 이벤트 코드 읽기 요청 메시지에 대한 응답으로 전송된다.

최대 크기와 이 메시지 교환 메커니즘은 내용있는 고장 읽기 메시지의 그것과 동일하다.

포맷 :

비트 7 비트 0

바이트 1	ID_APPLI_E=21H
2	ID_PAR_E
3	ID_APPLI_R=41H

3) 슬립/슬라이드 제어

가) 슬립 제어

(1) 일반 사항

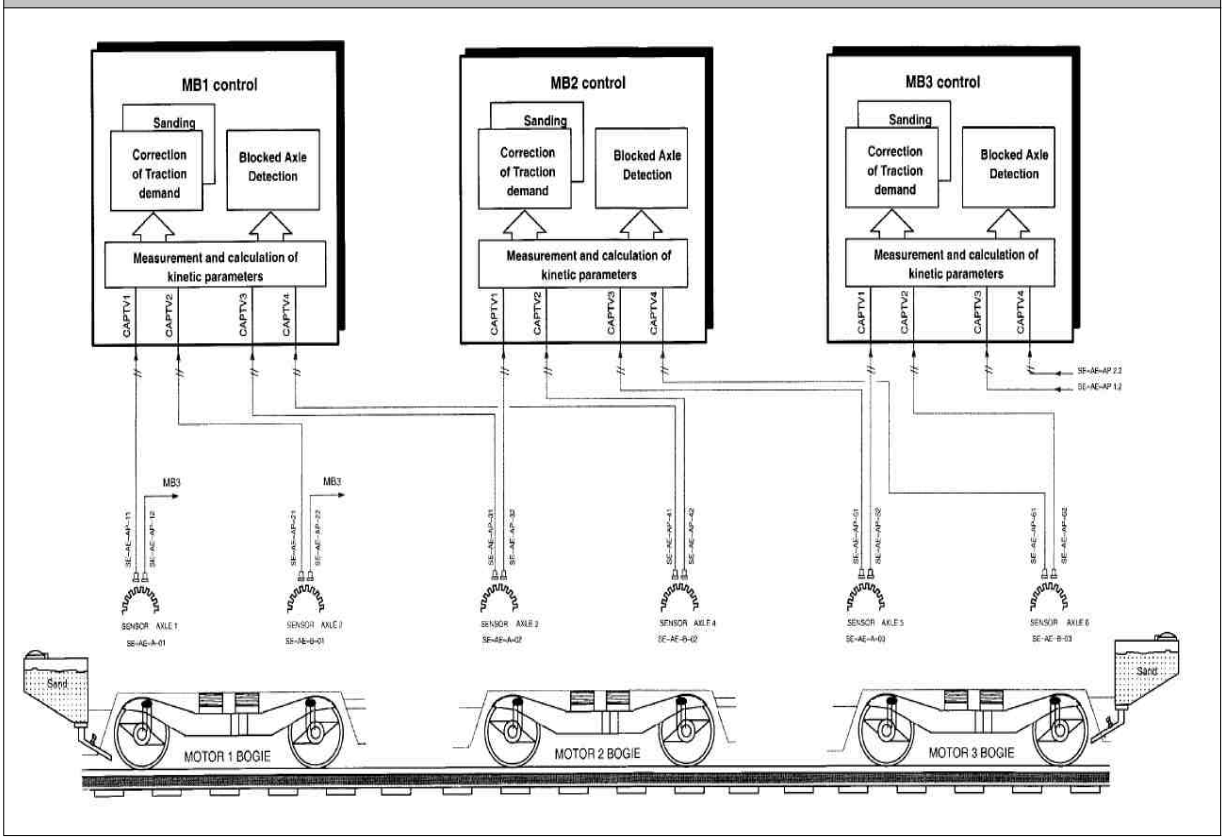
슬립 방지 장치의 목적은 두 개의 모터 블록 차축 중 한 개의 슬립이 감지된 경우 견인 모터 전류의 요구치를 보정하기 위한 것이다. 또한 모터 블록은 견인 중 인접한 모터 블록 차축의비회전을 감지하기도 한다.

슬립 방지 장치 블록선도는 견인 모드에서 다음과 같은 운전 시 필요한 기능들을 설명하고 있다.

- 동역학 파라미터의 측정 및 계산
- 견인 수요 보정
- 살사
- 차축의 비 회전 감지

㈎ 일반 체계

슬립 방지 일반적인 설계 블록 다이어그램



슬립을 감지하기 위해, 각 모터 블록은 네 개 차축의 속도 측정치를 사용한다: 블록의 차축 각 한 개, 모터 블록과 <인접한> 차축 각 한 개이다. 이 네 곳의 속도 측정

치가 <참조> 속도를 계산하기 위하여 사용된다. 모터 블록의 속도와 비교하여 두 개 중 한 개의 모터 차축이 슬립 되는지를 확인할 수 있다. 슬립이 감지되면, 모터 전류 요구치가 감소되며(블록의 양쪽 차축의 견인력 감소) 살사 요청이 이루어진다.

모터 블록의 전자 제어장치는 또한 인접한 모터 블록의 고착 차축을 감지한다.

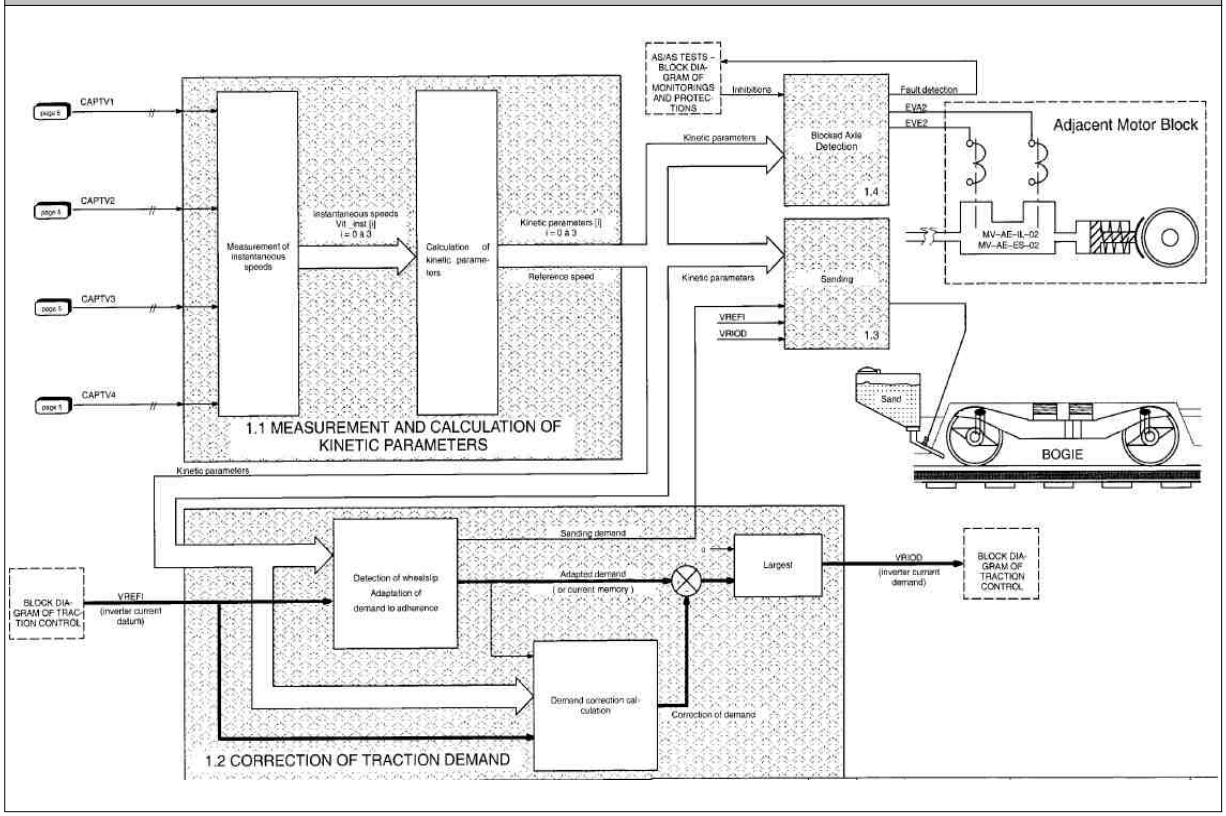
모터 블록 1은 모터 블록 2 차축의 비 회전을 감지한다.

모터 블록 2는 모터 블록 3 차축의 비 회전을 감지한다.

모터 블록 3은 모터 블록 1 차축의 비 회전을 감지한다.

㈏ 슬립 방지 장치

슬립 방지 시스템 블록 다이어그램



네 개의 순간 속도 측정 (CAPTVi, i=1~4)은 본 문서의 2절에 명시된 동역학 파라미터를 계산하는데 사용 된다.

본 동역학 파라미터는 VREFI 모터 전류 요구치를 VRIOD 요구치로 보정하는데 사용된다.

VREFI는 마이너스 보정을 하여 점착으로 조정된다. 더 상세한 설명은 본 문서 3절에 나와 있다.

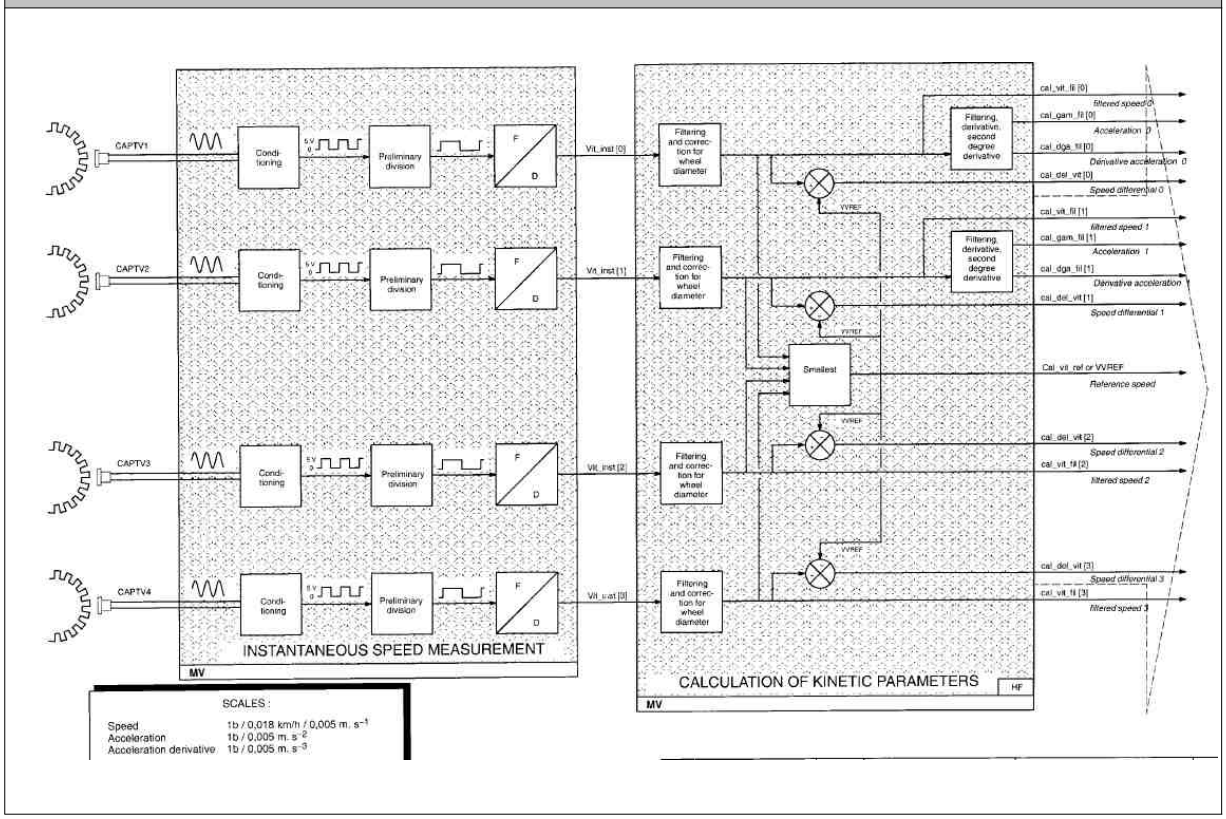
점착력 수용을 위한 조정 요구치 감소 중, 모터 블록은 동력차 또는 동력 객차의 살사 마그네트 밸브를 직접 조작하여 운전 지시에 따라 자동 살사를 요청한다. 살사 기능에 관

한 추가 상세 설명은 본 문서 4절에 나와 있다.

고착 차축 기능은 인접한 모터 블록의 차축의 비 회전을 감지한다. 감지 기능이 작동되면, 공기흡입구, 출입구 마그네트 밸브(MV-AE-IL-02, MV-AE-ES-02)를 작동하여 인접한 대차 제동 실린더의 배기를 제어한다. R-EB-CO-02 계전기를 사용하여 전기적인 제동기능을 차단하고, 인접한 모터 블록의 공기 차단을 하며, 운전실 내 지시등을 점등하게 된다

(2) 동역학 파라미터의 측정 및 계산

동역학 파라미터의 측정 및 계산 블록 다이어그램



동역학 파라미터 계산법은 다음과 같다:

- 속도 센서의 신호를 사용하여 순간속도 측정, Vit_inst(i) (i=0~3)
- 순간속도를 이용하여 동역학 파라미터 계산,

• 네 개 차축의 여과 속도

• 참조 속도, cal_vit_ref 또는 VVREF,

• 네 개 차축의 속도차이, cal_del_vit(i) (i=0~3),

• 동력 대차 차축 가속도, cal_gam_fil(i) (i=0~1),

• 동력 대차 차축 가속도 미분계수, cal_dga_fil(i) (i=0~1)

㈎ 순간 속도 측정

속도 센서의 신호는 로직 수준의 신호를 송신하기 위하여 MV 카드의 측정 인터페이스로 생성되며 그 신호의 주파수는 속도에 비례하며 마이크로컨트롤러의 H.S.I. 입력으로 다시 읽혀진다.

디지털 속도 값은 HSI 신호 주기 이상의 클록 스트로보(clock strobes)의 수 (마이크로컨트롤러의 타이머 1 주파수: 1MHz)를 계산하여 얻어진다.

클록 스트로보 카운터 포화 및 부정확성 방지를 위해 인터페이스 출력의 각 로직 신호의 주파수가 H.S.I.가 인지하기 전에 미리 분리된다.

㈏ 동역학 파라미터 계산

순간 속도 Vit_inst(i) (i=0 ~ 3)이 차륜 지름 보정계수에 따라 여과되어 보정된다.

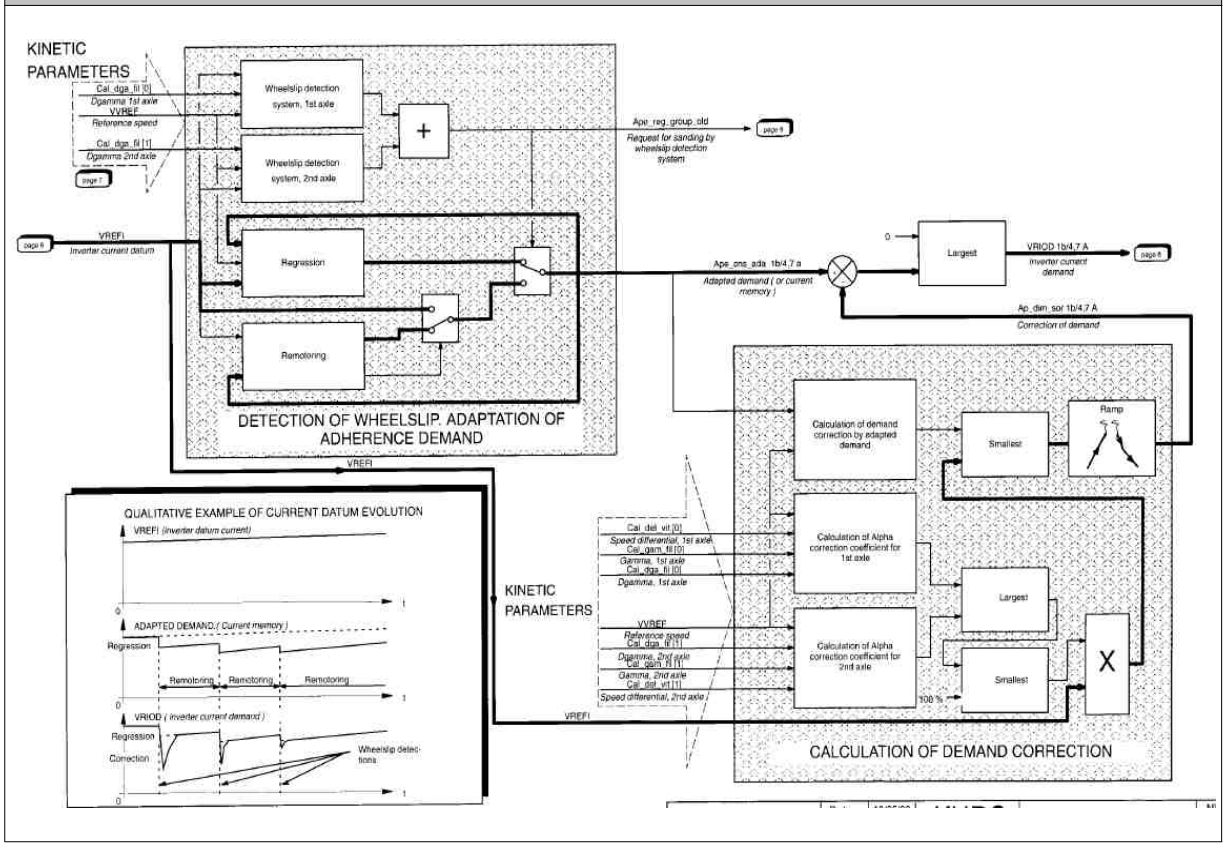
얻어진 값은 계산된 다른 동역학 파라미터를 통한 속도 cal_vit_fil(i) (i=0 에서 3)로 여과된다.

- 참조 속도, cal_vit_ref 또는 VVREF: 최소 여과 속도로 계산.
- 속도 편차, cal_del_vit(i) (i=0 에서 3): 여과 속도 및 참고 속도간의 편차 계산.
- 가속도, cal_gam_fil(i) (i=0 에서 1): 여과 속도의 미분계수로 계산. 저크 계산 및 요 구치 보정시 오직 양수의 값만을 감안한다.
- 가속도 미분계수, cal_dga)fil(i) (i=0에서 1): 가속도 미분계수로 계산. 요구치 보정 시 오직 양수의 값만을 감안한다.

  계산 시간은 10ms (H.F.)이다.

(3) 견인 수요 보정

견인 수요 보정 블록 다이어그램



이 기능은 슬립을 감지하고, 점착 Ape_cns_ada를 적용하기 위한 요구치를 계산하며, 인버터 전류 요구치 VRIOD 를 제공하기 위하여 적용된 요구치를 보정한다.

㈎ 슬립 감지, 점착에 따른 요구치 적용

슬립은 모터 블록 차축(Ape_reg_group_old)의 2개 가속도 미분계수 cal_dga_fil(i) (i=0 또는 1) 각각을 사용하여 감지한다. 이 감지로서 픽업 후 4절에 명시된 조건의 기능으로 살사 요청뿐 아니라 적용 요구치의 감소가 이루어진다.

감소는 일회의 프로세싱 시간 즉, 10ms(HF) 동안만 지속된다. 픽업은 일정한 기울기로서 적용 요구치가 입력 요구치 VREFI 미만인 경우에 한 하여 이루어진다. 픽업 상태 중 슬립이 재차 감지되는 경우, 새로운 픽업 후 새로운 감소 상태가 발생한다.

㈏ 요구치 보정 계산

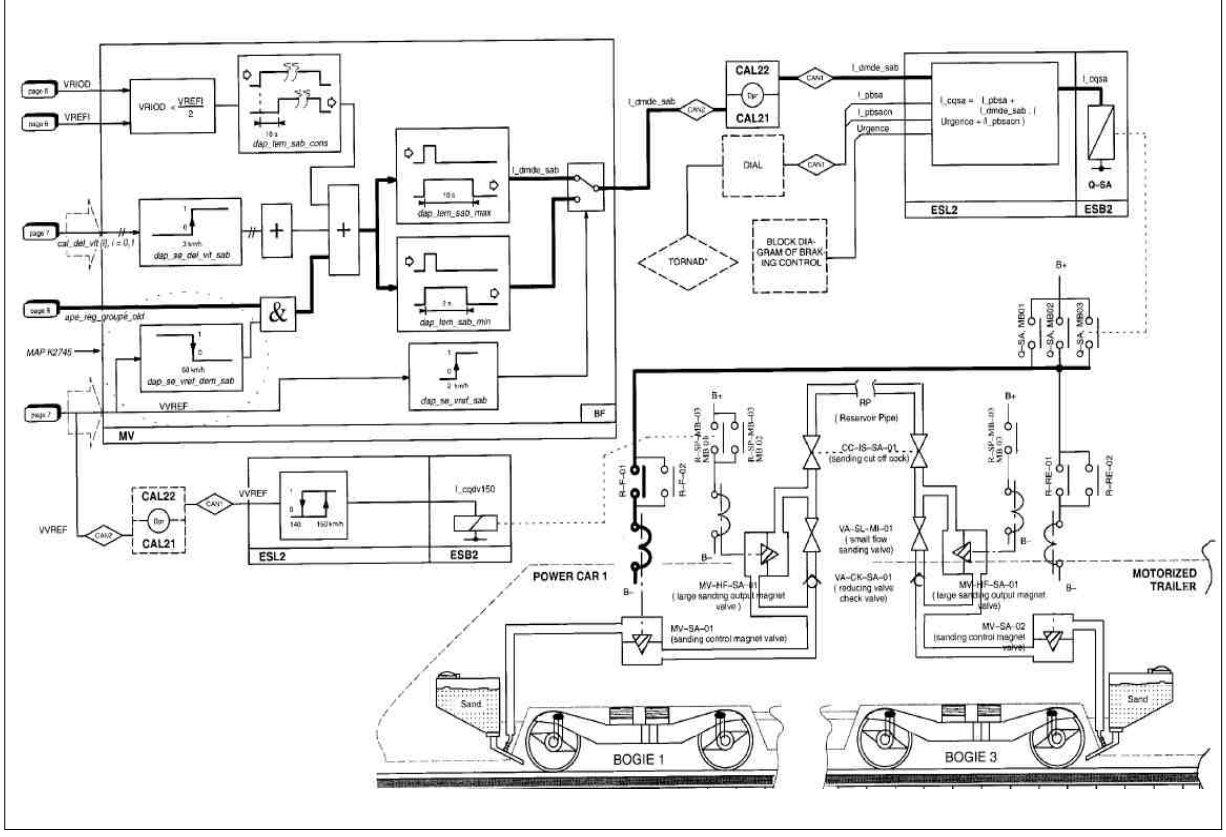
보정계수인 Alpha는 각각의 모터 대차 차축의 각각에 대해 계산된다. 2개의 계수 중에서 가장 큰 계수가 입력 요구치 VREFi에 100%로 적용된다. 따라서 얻어진 보정계수는 적용된 요구치로 제한되며 적용된 요구치에서 공제되기 전 경사 리미터가 뒤따르게 된다. Alpha 계수는 다음으로 결정 된다.

- 참조 속도 및 차축의 속도 편차, Cal_del_vit(i) (i=0,1)
- 차축 가속도, Cal_gam_fil(i) (i=0,1)
- 차축 가속도 미분계수, Cal_dga_fil(i) (i=0,1)

  블록선도 8시트 하단 왼쪽에 보정의 예시가 나와 있다
- 첫 번째 곡선은 보정 전 인버터 전류 요청 VREFI를 나타낸다
- 두 번째 곡선은 적용 요구치다. 감소 및 픽업으로 구성된다.
- 세 번째 곡선은 보정 후(VRIOD) 모터의 전류 요구치이다. 이것은 수정을 공제한 적용된 요구치와 동일하다.

(4) 살사 (sanding)

살사 블록 다이어그램



모터 블록 제어장치는 ESB2카드의 Q-SA계전기를 작동하여 살사 마그네트 밸브를 관리한다. 마그네트 밸브는 운행 방향에 따라 LV 제어시스템에 의해 선택 된다 (선두동력차 또는 동력 객차).

열차후부 모터 블록 중 한 곳에서 살사를 요청하면 살사가 이루어진다.

제어 장치는 또한 ESB2카드 계전기를 사용하는 R-SP-MB-0i (i=0,3) 계전기를 작동하여 참조속도에 따라 살사율을 감시한다.

견인 중 살사는 다음과 같은 경우에 작동 된다:

- 기관사가 수동 요청 시, 편성 네트워크를 통해 송신된 정보 시스템 I_pbsa으로 보고된 경우
- 자동 요청 (I_dmde_sab)

• 장시간 지속되거나 과도한 수정(VRIOD<VREFI/최소 10초동안 2번) 시
• 한 쪽 모터 축이 심하게 슬립된 경우(cal_del_vit>3km/h)
• 10km/h 이상의 속도에서 슬립 감지 시(ape_reg_group_old)

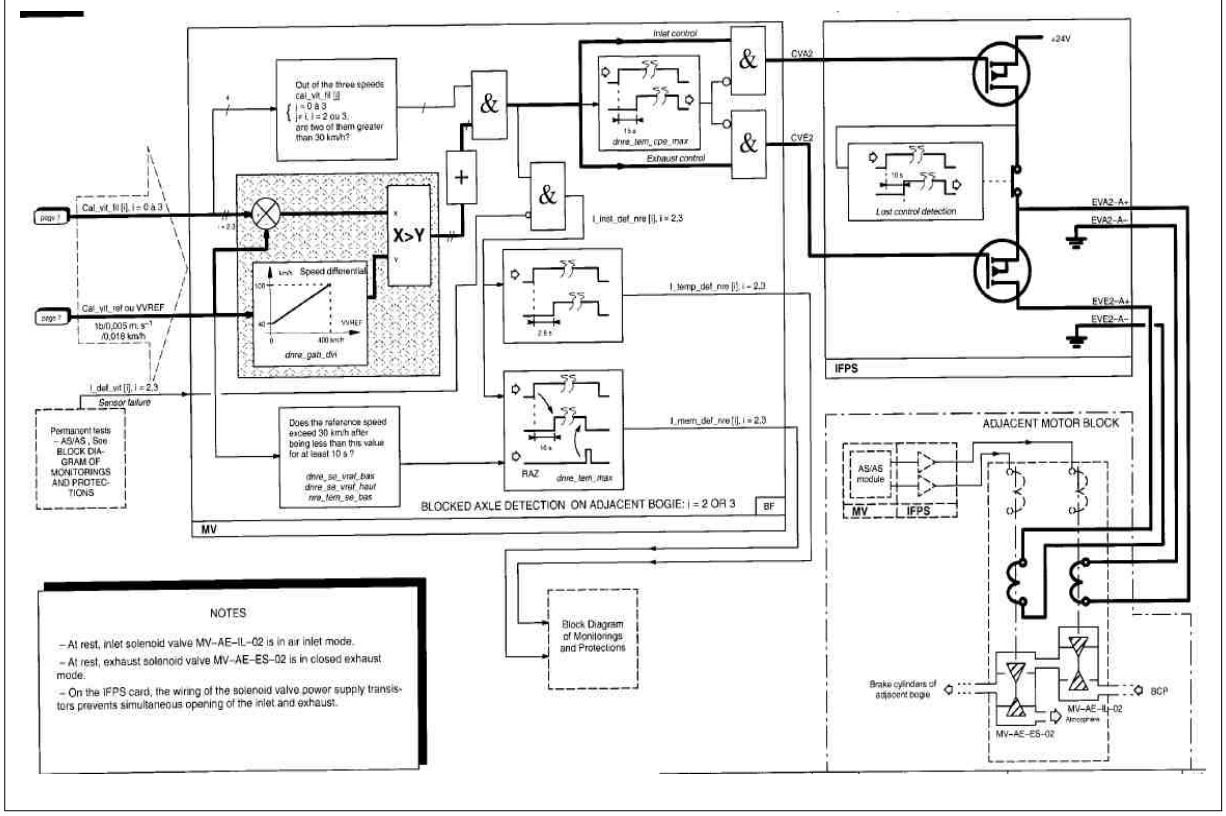
다음과 같은 자동 살사 요청 시, 유효 살사 시간은

- 속도가 2km/h미만 일 때 2초
- 속도가 한계 속도 이상일 때 10초

자동 살사는 기관사 조작으로 수동으로 제어 가능하다. 정보(I-[pbsacn)는 편성 네트워크를 통해 송신된다.

(5) 고착 차축 감지

고착 차축 감지 블록 다이어그램



모터 블록은 감시하는 인접 블록의 고착된 차축을 감지한다. 이 기능은 BF(샘플링 주파수 100ms)로 영구히 작동된다.

이는 고장 난 대차의 전기 및 공기제동 기능을 차단한다.

㈎ 감지

다음을 비교하여 감시가 이루어진다.

- 감시 차축 속도(i=2와 3) 및 참고 속도 간 편차
- 참조 속도로 계산한 포락선

측정 편차 값이 인접한 대차의 차축 2와 3의 포락선으로 측정된 값을 초과하는 경우, 비 회전차축이 감지된다. 감시 차축 속도 이외의 차축 속도 중 두 곳의 속도가 30km/h 이상인 경우, 감지로 인정된다.

감지 기능은 IFPS 카드의 두 개 트랜지스터를 제어하여 인접한 대차의 MV-AE-IL-02 흡입구 및 MV-AE-ES-02 출구 마그네트 밸브를 작동시킨다.

트랜지스터 제어 시간은 MV 카드 소프트웨어에 의해 최대 15초로 제한된다.

흡입구의 마그네트 밸브가 10초 이상 작동될 때(흡입구가 차단됨) IFPS 카드에서 제어 손실이 감지된다. 마그네트 밸브는 이 기능과 연계되는 하드웨어 제어를 차단함으로써 비활성화 된다.

㈏ 비 회전 차축 기능 관련 감시

이 감시 기능은 차축 2 와 3의 속도 센서에 고장이 없는 경우 작동 된다 (고장 표시장치 I_def_vit(i) (i=2와 3).

두 개의 고장 표시장치가 작동 된다:

- 일시 고장 I_temp_def_nre(i) (i=2 또는 3): 이 표시장치는 차축의 비회전이 2.8초 이상 계속될 때 작동한다. 비 회전이 더 이상 감지되지 않을 때 작동을 멈춘다.
- 기억 고장 I_mem_def_nre(i) (i=2 또는 3): 이 표시장치는 차축의 비회전이 10초 이상 계속될 때 작동한다. 기억 고장은 참조 속도가 30km/h를 초과할 때 작동을 멈춘다.

본 표시장치 작동은 감시 및 보호 블록선도에 설명되어 있다. 일시 고장으로 전기 브레이크 제동 및 인접한 대차 브레이크의 제동 브렌딩이 억제된다. 기억된 고장으로 운전실 내 지시등이 점등된다.

나) 슬라이드 제어

(1) 일반 사항

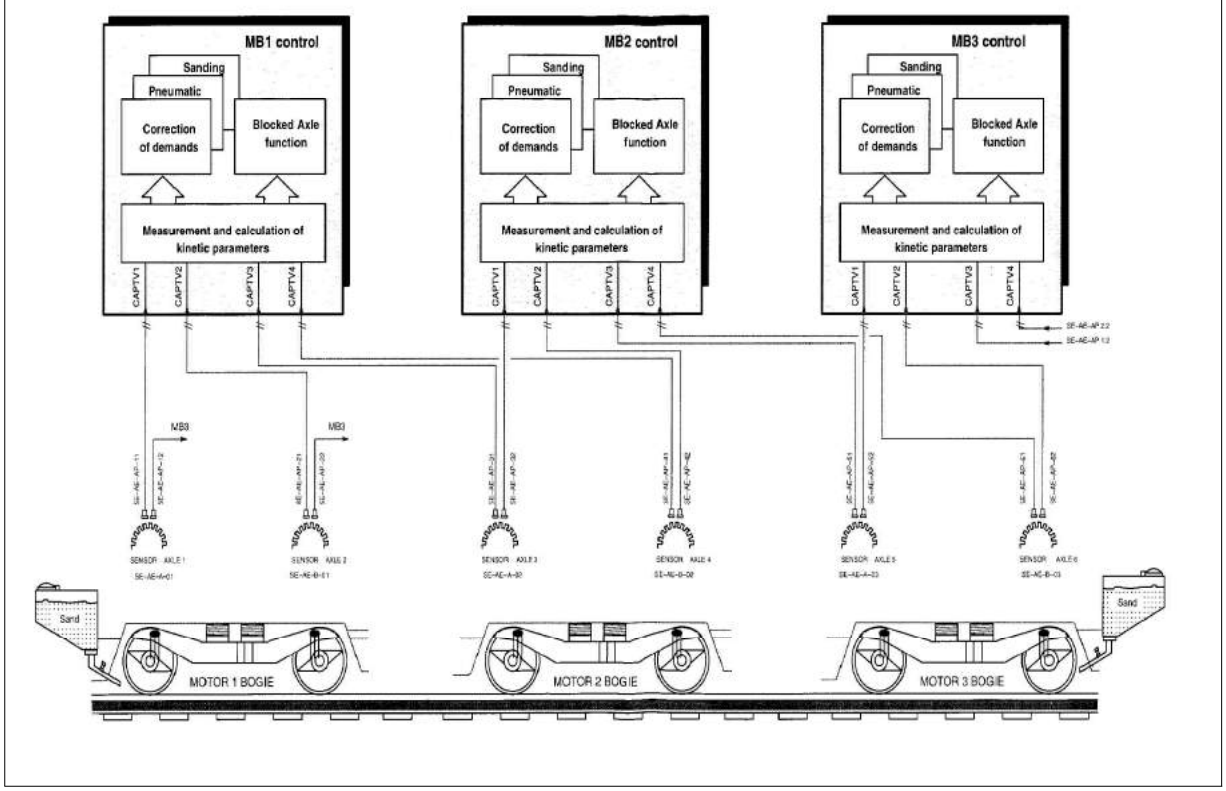
슬라이드 제어의 목적은 공기 및 전기 제동력 요구치를 보정하고 필요한 경우 두 개의 모터 블록 차축 중 한 개에서 중대한 활주가 감지된 경우 제동 실린더의 공기 출구 및 흡입구의 전자밸브를 제어하기 위한 것이다. 또한 모터 블록은 인접한 모터 블럭 차축의 비 회전을 감지하고 살사를 제어하기도 한다.

활주 방지 블록선도는 제동 모드에서 다음과 같은 운전에서 필요한 기능들을 설명하고 있다.

- 동역학 파라미터의 측정 및 계산
- 요구치 보정
- 공기 작용
- 차축의 비 회전 감지
- 살사

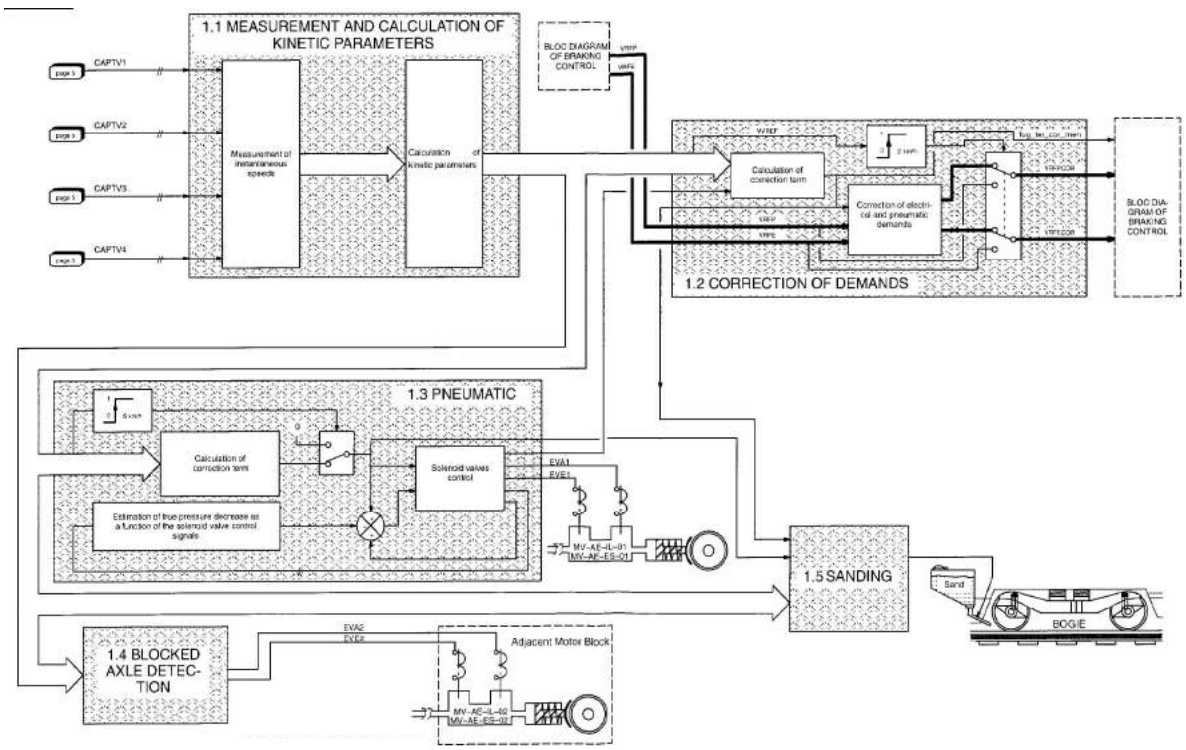
㈎ 일반 체계

슬라이드 방지 일반적인 설계 블록 다이어그램



㈏ 활주 방지 장치

슬라이드 방지 시스템 블록 다이어그램



네 개의 순간 속도 측정치(CAPTVi, i=1~4)는 본 문서의 2절에 명시된 동역학 파라미터를 계산하는데 사용된다.

본 동역학 파라미터는 편성열차의 속도가 2kph 이상일 때 VRFP 공기 및 VRFE 전기 제동력 요구치 각각을 VRFPCOR 및 VRFECOR로 보정하는데 사용된다. 제동 요구치 보정에 관한 추가적인 상세 설명은 본 문서의 3절에 나와 있다.

본 동역학 파라미터는 또한 편성 열차의 속도가 5kph 이상일 때 대차 제동 실린더의 전자밸브를 차단하는 MV-AE-IL-01 공기 흡입구 및 MV-AE-ES-01 공기 출구의 제어 조건을 규정하는데 사용된다. 공기작용에 관한 추가적인 상세 설명은 본 문서의 4절에 나와 있다.

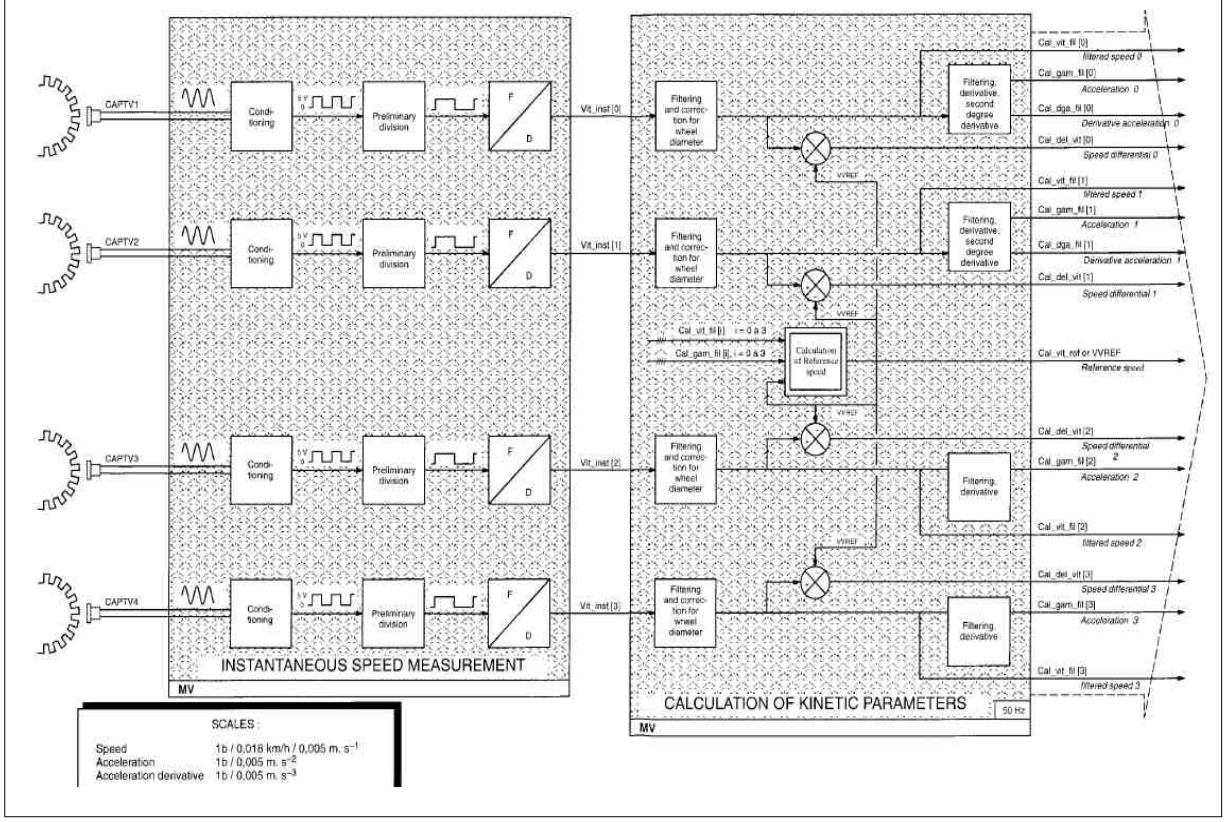
고착 차축 기능은 인접한 모터 블록의 차축의 비 회전을 감지한다. 감지 기능이 작동되면, 공기 흡입구, 출입구 전자 밸브(MV-AE-IL-02, MV-AE-ES-02)를 작동하여 인접한 대차 제동 실린더의 배기를 제어한다. 이는 R-EB-CO-02 계전기를 통해 전기 브레이크를 차단하고 인접

한 모터 블록의 공기 차단을 하며, 운전실 내 지시등을 점등하게 된다.

제동 요구치 보정 또는 전자밸브를 통한 보정 중, 모터 블록은 선두 동력차의 살사 전자밸브를 직접 조작함으로써 비상 제동 시 자동 살사를 유도한다.

(2) 동역학 파라미터의 측정 및 계산

동역학 파라미터 측정 및 계산 블록 다이어그램



동역학 파라미터 계산법은 다음과 같다:

- 속도 센서의 신호를 사용하여 순간속도 측정, Vit_inst(i) (i=0~3)
- 순간속도를 이용하여 동역학 파라미터 계산:

* 네 개 차축의 여과 속도. cal_vit_fil(i) (i=0~3)
* 참조 속도, cal_vit_ref 또는 VVREF
* 네 개 차축의 속도편차, cal_del_vit(i) (i=0~3).
* 동력 대차 차축 가속도, cal_gam_fil(i) (i=0~1)
* 동력 대차 차축 가속도 미분계수, cal_dga_fil(i) (i=0~1)

㈎ 순간 속도 측정

속도 센서의 신호는 로직 수준의 신호를 송신하기 위하여 MV 카드의 측정 인터페이스로 생성되며 그 신호의 주파수는 속도에 비례하며 마이크로컨트롤러의 H.S.I. 입력으로 다시 읽혀진다.

디지털 속도 값은 HSI 신호 주기 이상의 클록 스트로보(clock strobes)의 수 (마이크로컨트롤러의 타이머 1 주파수: 1MHz)를 계산하여 얻어진다.

저속도에서 클록 스트로보 카운터 포화 및 부정확성 방지를 위해 인터페이스 출력의 각

로직 신호의 주파수가 H.S.I.가 인지하기 전에 미리 분리된다.

㈏ 동역학 파라미터 계산

순간 속도 Vit_inst(i) (i=0~3)이 차륜 직경 보정계수에 따라 여과되어 보정된다.

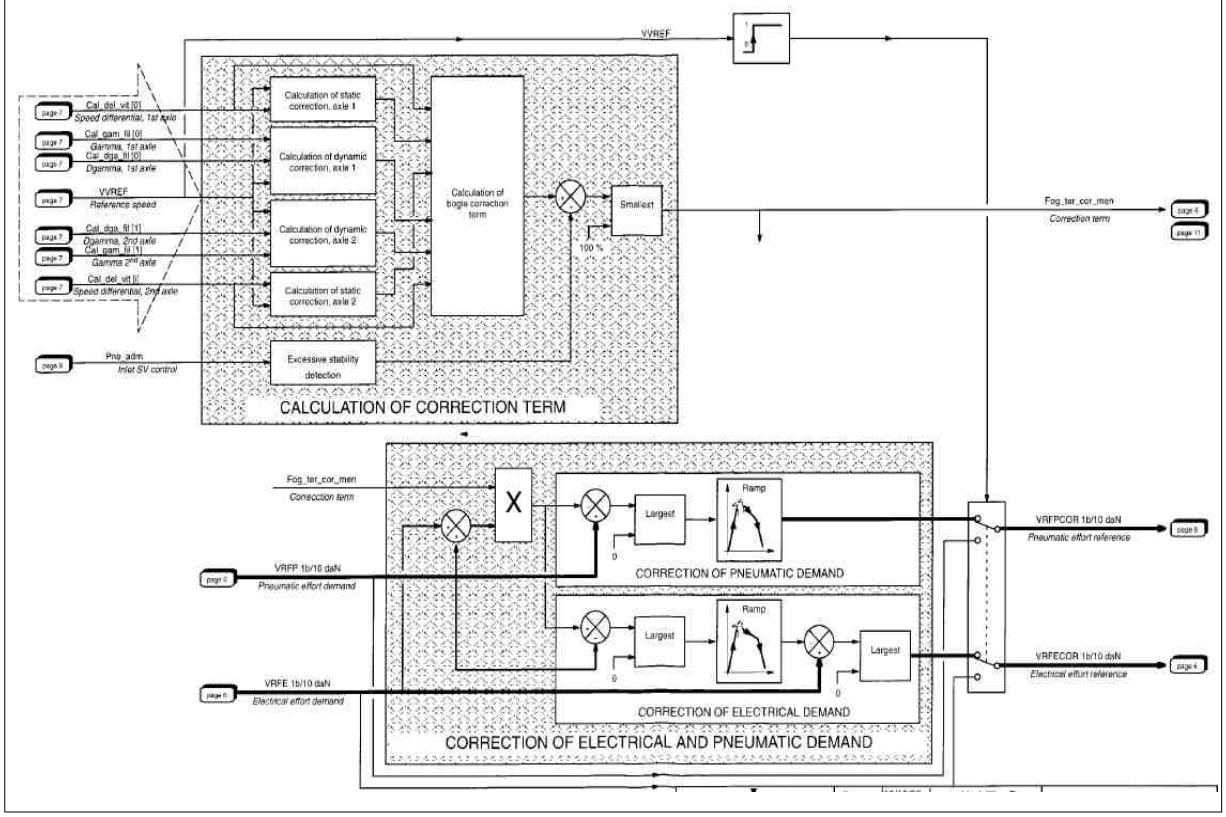
얻어진 값은 계산된 다른 동역학 파라미터를 통한 속도 cal_vit_fil(i) (i=0~3)로 여과된다:

- 참조 속도, cal_vit_ref 또는 VVREF: 최고 여과 속도로 계산.
- 속도 차이, cal_del_vit(i) (i=0에서 3): 여과 속도 및 참조 속도간의 편차로 계산.
- 가속도, cal_gam_fil(i) (i=0에서 1): 여과 속도의 미분계수로 계산.
- 가속도 미분계수, cal_dga)fil(i) (i=0에서 1): 가속도 미분계수로 계산.

계산 시간은 20ms (H.F./2)이다.

(3) 요구치 보정

요구치 보정 블록 다이어그램



활주 방지 기능의 목적은 전자 및 공기 제동력이 높아질 때 차륜 활주를 제어할 수 있도록 전기 및 공기 제동력을 제한하는데 있다.

이 기능은 다음 용어를 사용하여 VRFPCOR 공기 및 VRFECOR 전기 제동력 참조치를 계산한다:

- 공기 제동력 요구치 VRFP
- 전기 제동력 요구치 VRFE
- 동역학 파라미터를 사용하여 생성되는 보정용어, Fog_ter_cor_mem.

편성열차 속도가 2kph 미만인 경우, 참조치는 보정되지 않는다:

VRFPCOR = VRFP 및 VRFECOR = VRFE

㈎ 보정 조건 계산

보정 조건 fog_ter_cor_mem 은 다음 계산으로 산출된다:

- 각 제어 차축의 동적 정적 보정 계수의 합계. 이렇게 얻어진 계수는 저속 편차 Cal_del_vit(i) (i=0에서 1)만 감안한다. 이상의 값에서 계수는 100%로 설정된다.
- 흡입구의 전자 밸브 제어가 과도하게 안정적인 경우의 계수 추가.
- 100%로 제한.

㈏ 전기 및 공기 요구치 보정

전기 VRFE 제동 요구치 및 공기 VRFP 제동 요구치의 합인 전체 제동력에 보정 조건 fog_ter_cor_mem을 곱하여 전체 하중 보정값을 산출한다.

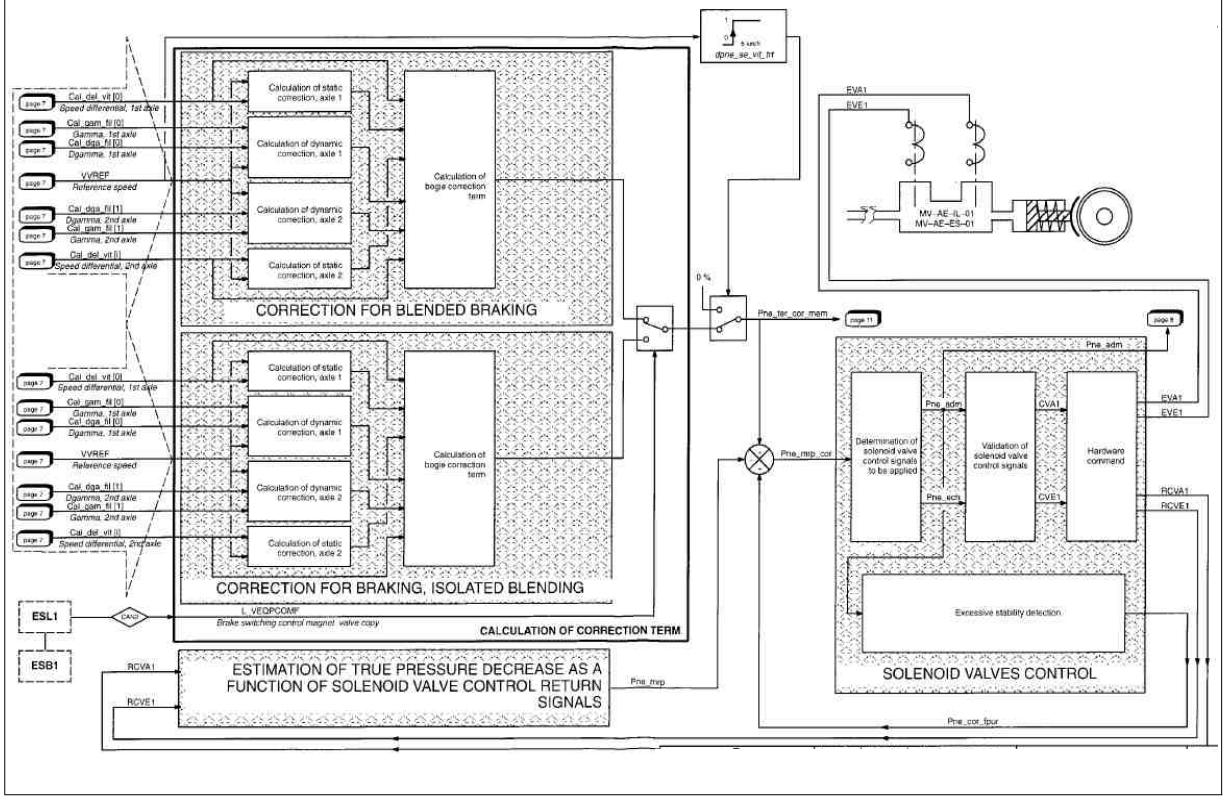
우선적으로, 전체 하중의 보정은 공기 제동 요구치에 영향을 준다. 이러한 방식으로 얻은 결과를 0에 걸어 공기 제동 요구치가 보정 이후 음수가 되지 않도록 한다. 결과치는 경사 리미터로 감시하며 보정된 VRFPCOR 공기 제동 요구치가 된다.

VRFE 전기 제동 요구치는 양수일 때 ((Fog_ter_cor_mem x (VRFP + VRFE) - VRFP)>0), 전체 제동력 보정과 공기 제동 요구치 간의 차이로 보정되며 경사 리미터를 거친다.

결과치는 보정된 전기 제동력 요구치 VRFECOR가 된다.

(4) 공기 작용

공기 작용 블록 다이어그램



공기 작용은 공기 계수 Pne_mrp_cor의 작용으로 MV-AE-IL-01 흡입구 전자밸브 및 MV-AE-ES-01 출구 전자밸브(재공급, 제동 실린더의 수준설정 및 배기)를 제어한다.

이 계수는 보정 조건인 Pne_ter_cor_mem을 사용하여 계산되며, % Pne_mrp로 표시되는 감압 예측량을 제하고 흡입구의 전자 밸브 제어가 과도하게 안정적인 경우 조건 Pne_cor_fpur로 완료된다.

보정 조건 Pne_ter_cor_mem 계산은 진행 중인 제동 형태(혼합 제동 또는 혼합 차단)의 작용에 따라 달라진다. 이 조건은 속도가 5kph 미만일 때 0으로 설정된다.

㈎ 혼합 제동 보정

보정 시간은 다음 계산으로 산출 된다:

- 각 제어 차축의 동적 정적 보정계수의 합계. 이렇게 얻어진 계수는 저속 편차 Cal_del_vit(i) (i=0에서 1)만 감안한다. 이상의 값에서 계수는 100%로 설정된다.
- 100%로 제한.

㈏ 분리 혼합 제동 보정

원리는 혼합 제동 보정과 동일하다.

㈐ 실제 감압 예측

조건 Pne_mrp는 출구 또는 흡입구의 차단 명령에 따라 제동 실린더의 감압을 %로 예측한다. 이 조건은 RCVA1(흡입구) 및 RCVE1(출구)의 전자밸브 제어 복귀 신호를 사용하여 계산한다.

감압은 첫 번째 오더 필터로 가상 실험 한다.

㈑ 전자밸브 제어

공기 조건치 Pne_mrp_cor의 기능으로, 제동 실린더는 재공급되어(일반 운전, 활주없음) 일정한 압력(설정 압력 수준)으로 유지되거나 배기한다.

이러한 작동은 CVA1 출구 및 CVE1 전자밸브의 다양한 제어 신호 상태에 따라 이루어진다.

휴지 설정 시(전자 밸브 차단), 제동 실린더가 공급된다.

또한 다양한 작동 모드에서 제어 신호의 상태는 다음과 같다:

- 재공급: CVA1 = 0 및 CVE1 = 0
- 수준 설정: CVA1 = 1 및 CVE1 = 0
- 배기: CVA1 = 1 및 CVE1 = 1
- 과도한 안정성 감지

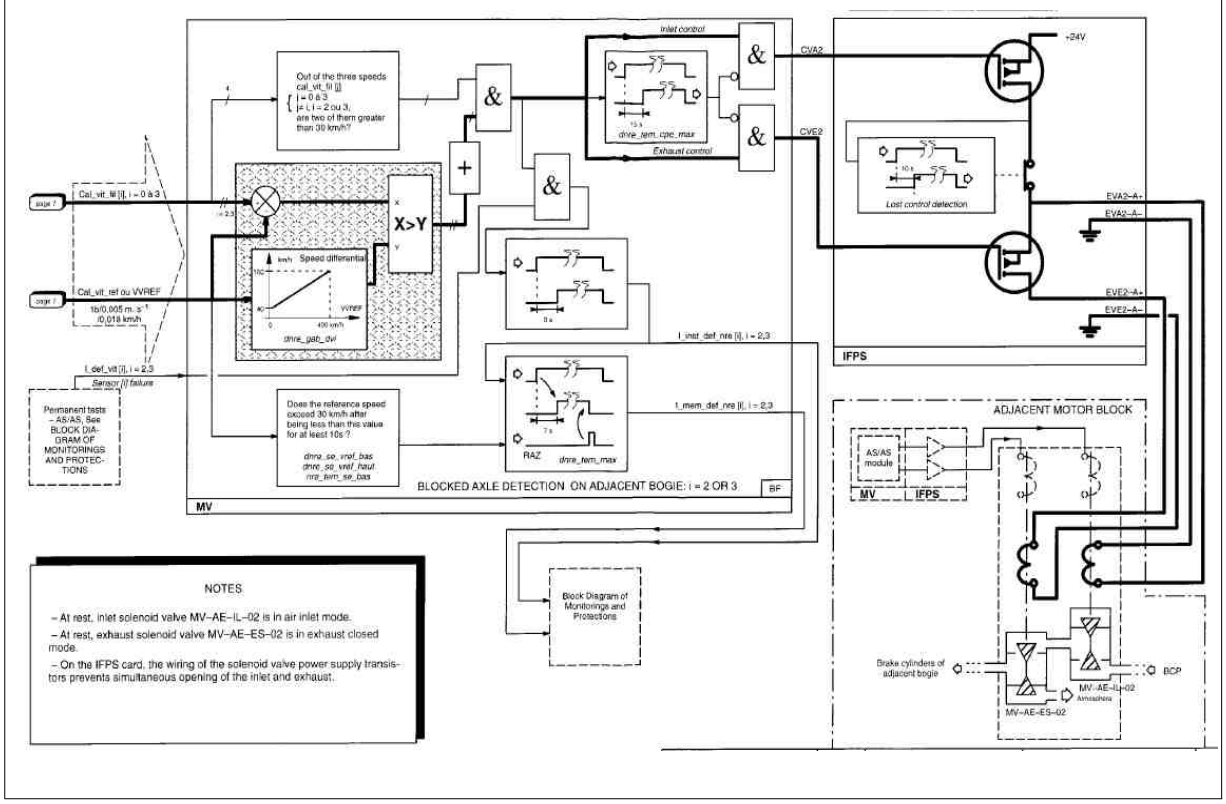
과도한 안정성은 공기 흡입구 차단 제어 신호 Pne_adm가 과도하게 오랜 시간동안 활성화 되어 있는 경우에 감지된다. 공기 조건 Pne_mrp_cor은 이후에 완료된다.

- 하드웨어 명령

전자 밸브는 IFPS 카드에 위치한 두 개의 MOSFET 트랜지스터로 제어한다.

(5) 고착 차축 감지

고착 차축 감지 블록 다이어그램



모터 블록은 감시하는 인접 블록에서 고착된 차축을 감지한다. 이 기능은 BF(샘플링 주파수 100ms)로 영구히 작동된다.

㈎ 감지

다음을 비교하여 감시가 이루어진다.

- 감시 차축 속도(i=2와 3) 및 참조 속도 간 편차,
- 참조 속도로 계산한 영역.

측정된 편차값이 인접한 대차의 차축 2와 3의 영역으로 주어진 값을 초과하는 경우, 비회전 차축이 감지된다. 감시 차축 속도 이외의 차축 중 두 곳의 속도가 30km/h 이상인 경우, 감지로 인지된다.

감지 기능은 IFPS 카드의 두 개 트랜지스터를 제어함으로써 인접한 대차의 MV-AE-IL-02 흡입구 전자 밸브 및 MV-AE-ES-02 출구 전자 밸브를 작동시킨다.

트랜지스터 제어 시간은 MV 카드 소프트웨어에 의해 최대 15초로 제한된다.

흡입구의 전자 밸브가 10초 동안 작동될 때(흡입구가 차단됨) IFPS 카드에서 제어 손실이 감지된다. 이후 전자 밸브는 이 기능과 연계되는 하드웨어 제어를 차단함으로써 비활성화된다.

㈏ 비 회전 차축 기능 관련 감시

이 감시 기능은 차축 2 와 3의 속도 센서에 고장이 없는 경우 작동 된다 (고장 표시장치 I_def_vit(i) (i=2와 3).

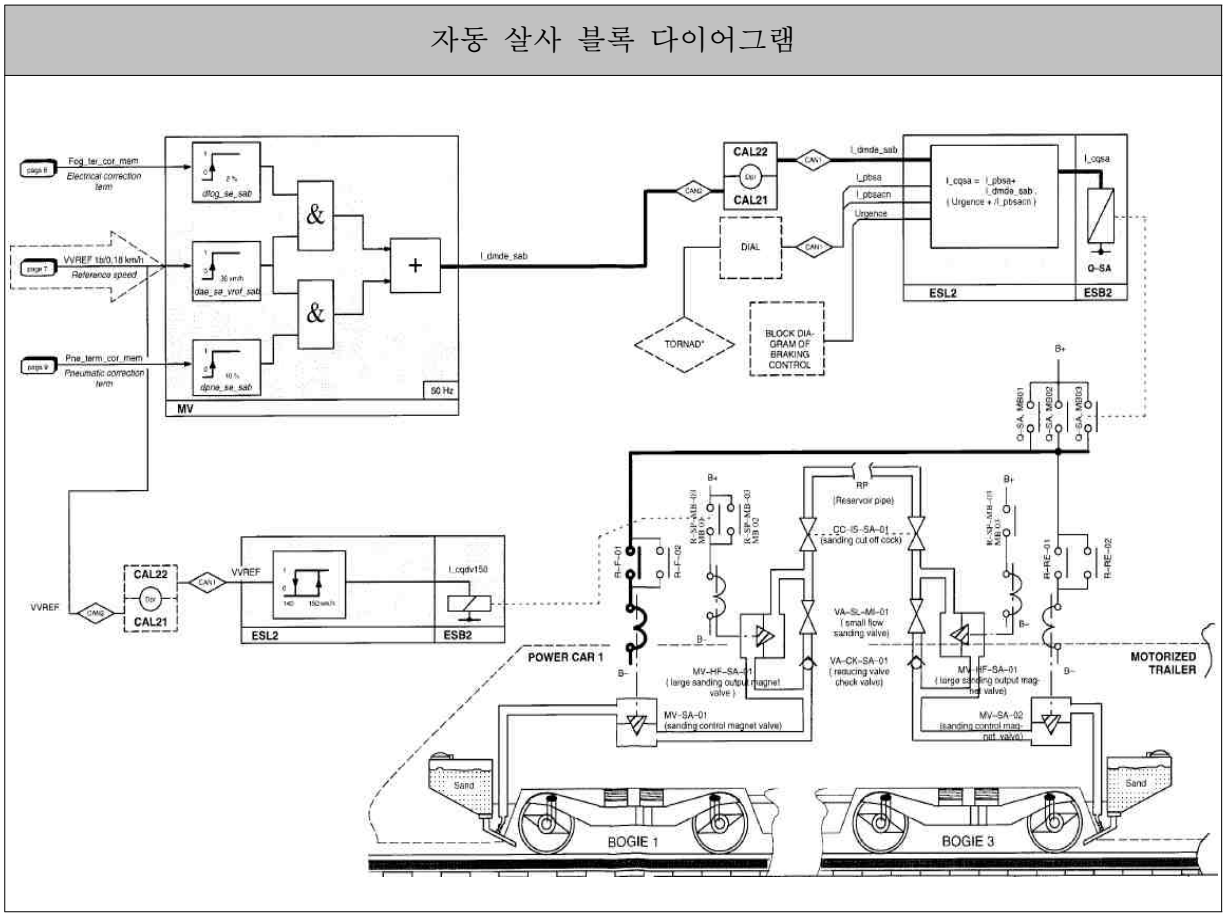
두 개의 고장 표시장치가 작동 된다:

- 일시 고장 I_temp_def_nre(i) (i=2 또는 3): 이 표시장치는 차축의 비회전이 2.8초 이상 계속될 때 작동된다. 비회전이 더 이상 감지되지 않을 때 작동을 멈춘다.
- 기억 고장 I_mem_def_nre(i) (i=2 또는 3): 이 표시장치는 차축의 비회전이 10초 이상 계속될 때 작동된다. 기억 고장은 참조 속도가 30km/h를 초과할 때 작동을 멈춘다.

본 표시장치 작동은 감시 및 보호 블록선도에 설명되어 있다. 일시 고장으로 전기 브레이크 제동 및 인접한 대차 브레이크의 혼합 제동이 억제된다. 기억 고장 시 운전실 내 지시등이 점등된다.

(6) 자동 살사

자동 살사 블록 다이어그램



모터 블록 제어장치는 ESB2카드의 Q-SA계전기를 작동하여 살사 전자 밸브를 관리한다. 전자 밸브는 운전 방향에 대한 기능이 있는 LV 제어시스템에 의해 전자 밸브가 선택 된다 (선두 동력차 또는 동력 객차). 열차 후부 모터 블록 중 한 곳에서 살사를 요청하면 살사가 이루어진다.

제어 장치는 또한 ESB2카드 계전기를 이용하는 R-SP-MB-0i (i=0,3) 계전기를 사용하여 참조 속도감안하여 살사율을 관리한다.

제동 중 살사는 다음과 같은 경우에 작동 된다.

- 운전자가 수동 요청 시, 편성열차 네트워크를 통해 송신된 정보 시스템 I_pbsa으로 보고된 경우,
- 모터 블록이 편성 열차의 전면(편성 열차 네트워크에 의해 송신된 신호 I_bl)에 위치하며, 비상 제동 중 자동 요청 (I_dmde_sab) 시:

• 30kph 이상의 속도에서 2% 이상 Fog_ter_cor_mem 공기 제동 요구치 보정이 이루어진 경우.

• 30kph 이상의 속도에서 10% 이상 Pne_ter_cor_mem 공기 제동 요구치 보정이 이루어진 경우.

4) 보호동작모드(고장코드)

가) 주요 고장 코드

모터블록이 차단되는 주요고장코드는 아래표의 4가지이다.

순번	고장코드	코드명	비 고
1	C2-1B-01	트리포드 절손 감지	
2	C2-1B-02	트리포드 불균형 감지	
3	C5-74-01	보조블록 송풍 차단	
4	C3-17-13	옆 (동력)대차 차축고착 고장 확인	

(1) C2-1B-01 : 트리포드 절손 감지

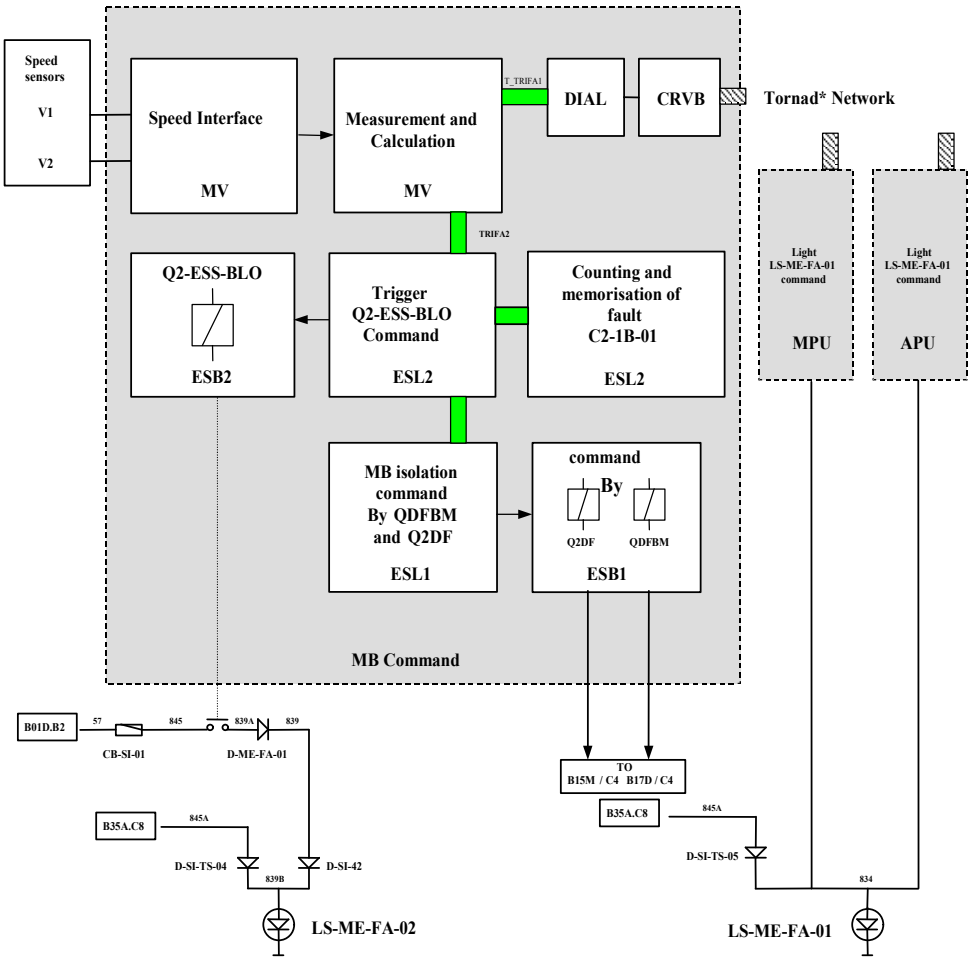


그림 153. 트리포드 절손 감지

- 감지 원칙

동일한 대차의 차축 A과 B의 속도는 MBU에 의해 측정되고 비교된다. 트리포드 절손 감지는 다음의 두 조건이 충족되었을 때 실행된다.

· 감시되는 대차의 속도센서 자기진단테스트가 정상이고,

· 감시되는 대차의 차축속도 1과 2의 초과되는 속도차이가 $\Delta V > 50$ km/h으로 15s 이상 지속될 때

* 주의: 두 센서 중 하나가 고장인 것으로 판명되면, 다른 대차의 차축 중에 더 높은 차축 속도를 이용하여 고장이 나지 않은 쪽의 차축의 트리포드 절손 감지기능을 수행한다.

(2) C2-1B-02 : 트리포드 불균형 감지

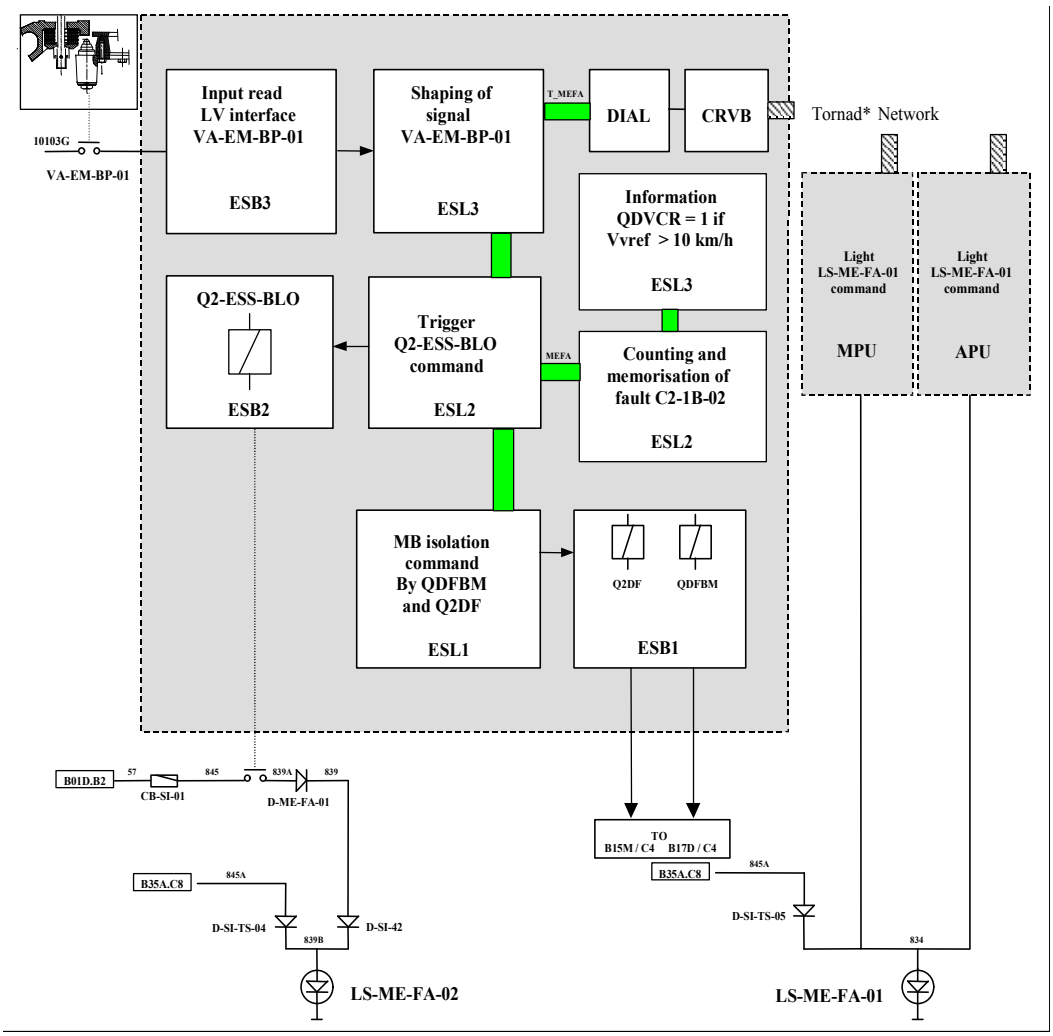
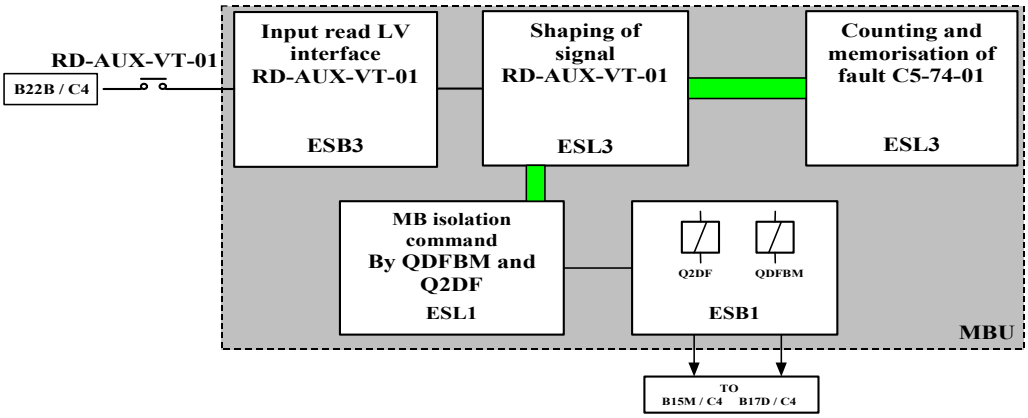


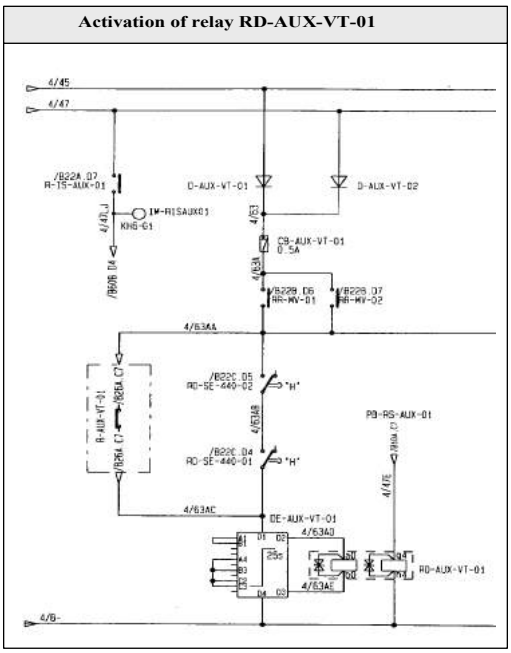
그림 154. 트리포드 불균형 감지

- 감지 원칙

견인력의 동력전달과정에서 비정상적인 어떤 힘이 가해지면, 차축기어 감속기 장치에 연결된 리액션 암은 제동명령 스톱퍼를 치게된다. 주 제동관에서의 배기는 열차의 비상제동이 체결되도록 한다. 트리포드 불균형 고장은 변수 VA-EM-BP-01의 입력 상태가 1로 되었을 때, MBU에 의해 감지된다. 그러나, 입력으로부터 100ms의 시간이 경과되고 속도가 10 km/h 이상일 때, 6번의 연속적인 발생 후에만 고장으로 결정된다.

(3) C5-74-01 : 보조블록 송풍 차단





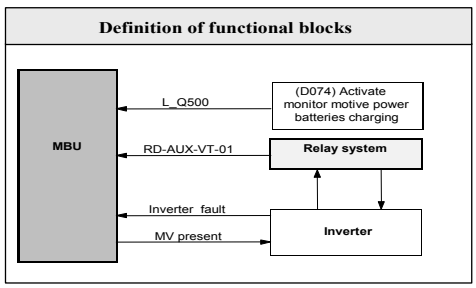


그림 155. 보조블록 송풍 차단

- 감지 원칙

보조블록 냉각송풍전동기가 25s 동안 전원공급을 받지 못하면, RD-AUX-VT- 01의 차단코일에 전원이 공급된다. 보조블록 냉각송풍전동기에 전원공급이 안된다는 것은 계전기 RD-SE-440-01 및 RD-SE-440-02의 여자 또는 R-AUX-VT- 01의 소자에 의해 감지된다.

계전기 RD-SE-440-01의 동작은 IR-AUX-01 출력단에서의 전압이 없을 때 동작되고, 계전기 RD-SE-440-02의 동작은 IR-AUX-02 출력단에서의 전압이 없을 때, 동작된다.

또한, MF-VT-AUX-01 단자에서의 전압은 IR-AUX-01의 고장 시, IR-AUX-02로의 전환이 안되는 경우에, 냉각송풍전동기 단자에서의 전압이 없는 것을 감지하는 T-VT-AUX-01에 의해 읽어진다. DCC 카드는 이 전압을 감시하고, DE-AUX-VT-01의 차단코일 여자회로에 있는 R-AUX-VT-01의 “b“ 접점을 비활성화 시킨다.
이 감지는 계전기 RR-MV-01 또는 RR-MV-02에 의해 확인된 570V 전압이 존재할 때, 승인된다.

MBU(매 100 ms 마다 읽음)에서 200 ms 동안 보조블록 냉각송풍의 차단이 보여지면, 고장의 저장을 유발한다.

(4) C3-17-13 : 옆(동력)대차 차축고착 고장 확인

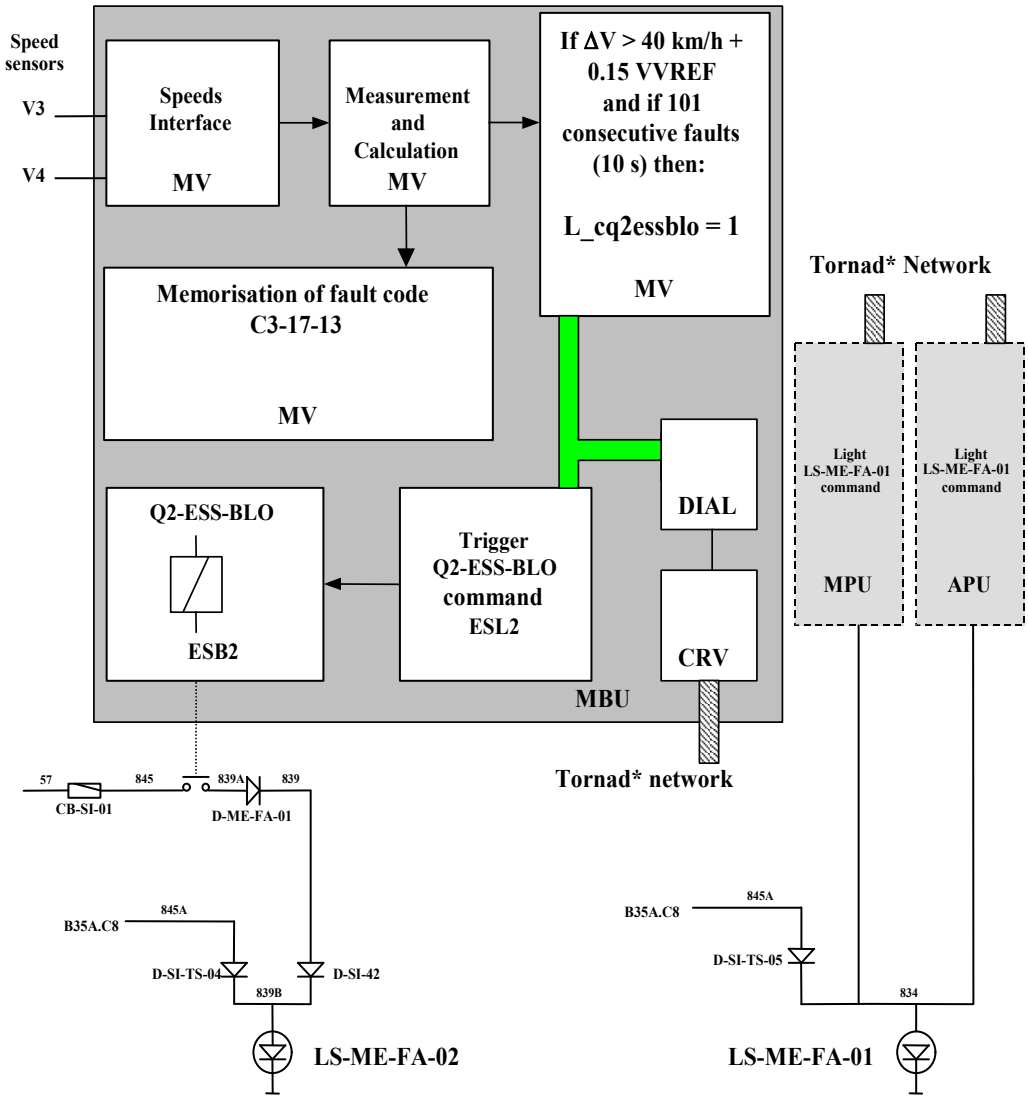


그림 156. 대차 차축고착 고장 확인

- 감지 원칙

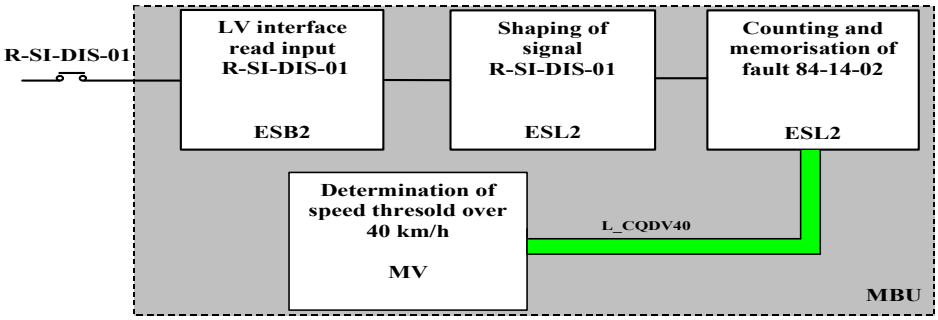
옆 대차의 차축속도(V3 및 V4)는 로컬 MBU의 차축 비회전 감지기능에 의해 감시된다. 차축속도 3 및 4의 속도와 기준속도(VVREF)와의 차이가 28s 동안 40 km/h＊0.15 VVREF 이상이면, 옆 대차의 차축 고착 고장으로 저장된다.(이것은 옆 대차 차축의 비회전 고착 고장 43-17-14의 감지 후에 뒤따르는 고장이다.)

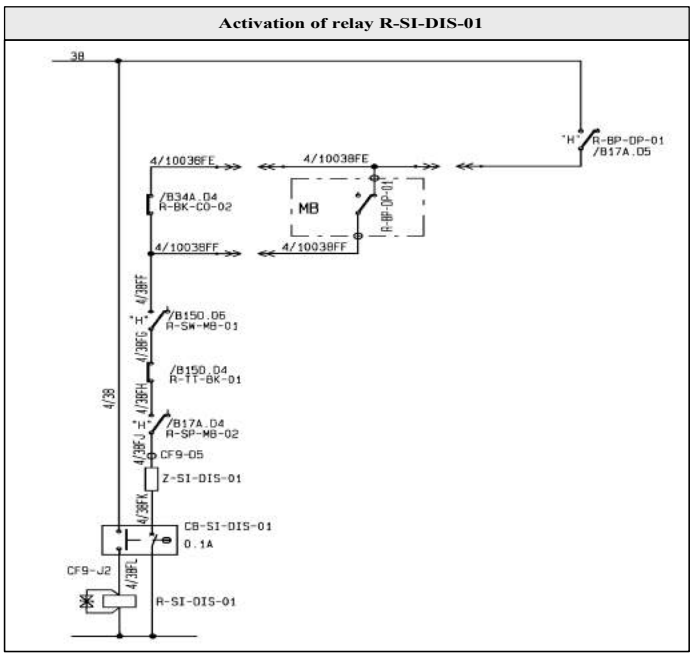
나) 보완적 주요 고장 코드

모터블록이 차단되는 보완적 주요 고장 코드는 아래표의 22가지 이다.

순번	고장코드	코드명	비 고
1	84-14-02	로컬 마이크로회로차단기 CB-SI-DIS-01의 감시	
2	84-14-04	채널 1 지시값(SETPOINT) 고장	
3	84-14-05	채널 2 지시값(SETPOINT) 고장	
4	84-14-0D	모터블록 완전 차단	
5	83-15-03	역조절 전자변(GVI-CO-BK-01) 전류 확인	
6	84-17-09	속도센서 1 고장	
7	84-17-0A	속도센서 2 고장	
8	84-17-0B	속도센서 3 고장	
9	84-17-0C	속도센서 4 고장	
10	84-19-01	비 활성화된 PFC1(AFP1)에서의 전류 감시	
11	84-19-02	비 활성화된 PFC2(AFP2)에서의 전류 감시	
12	84-19-03	PFC1 과전류(CLOSING OF R-DN-PFC-01)	
13	84-19-04	PFC2 과전류(CLOSING OF R-DN-PFC-02)	
14	84-19-05	PFC1 과전류	
15	84-19-06	PFC2 과전류	
16	84-19-07	작동 중 PFC1 컨덴서 과전압(CAPACITOR OVERVOLTAGE ON CLOSING)	
17	84-19-08	작동 중 PFC2 컨덴서 과전압(CAPACITOR OVERVOLTAGE ON CLOSING)	
18	84-19-09	미 작동 중 PFC1 컨덴서 과전압(WITHOUT CLOSING)	
19	84-19-0A	미 작동 중 PFC2 컨덴서 과전압(WITHOUT CLOSING)	
20	83-53-01	옆 대차 제동 체결 고장(ADJACENT BOGIE BRAKE APPLIED FAULT)	
21	83-53-02	운행 중 옆 MB 비완해 고장(ON-LINE NON-RELEASE FAULT)	
22	85-74-02	보조 인버터 고장	

(1) 84-14-02: 로컬 마이크로회로차단기 CB-SI-DIS-01의 감시





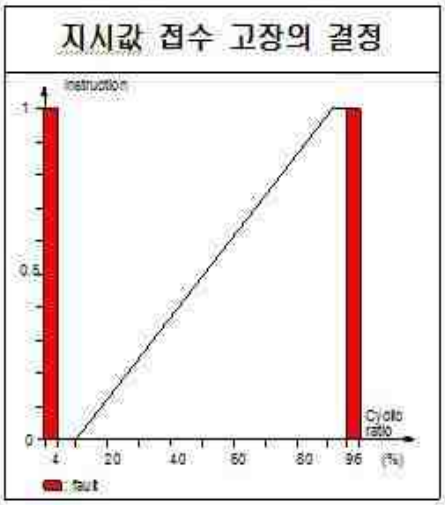
- 감지 원칙

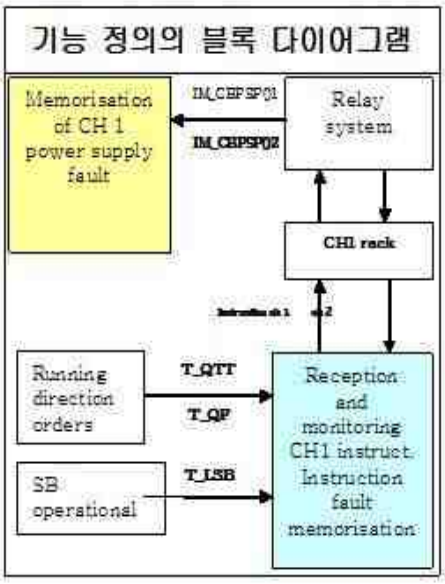
모터블록이 제동관에서의 감압(Δp > 250 mbar)을 감지하면, 그 모터블록에서 계전기 R-BP-DP-01이 여자된다. 옆 모터블록에서의 계전기 R-BP-DP-01이 여자되지 못하거나 MPU-APU에서 계전기 R-BK-CO-02를 동작시키지 못하면, 이것은 로컬 MB에서 계전기 R-IS-DIS-01의 결함이 동작되었음을 의미한다.

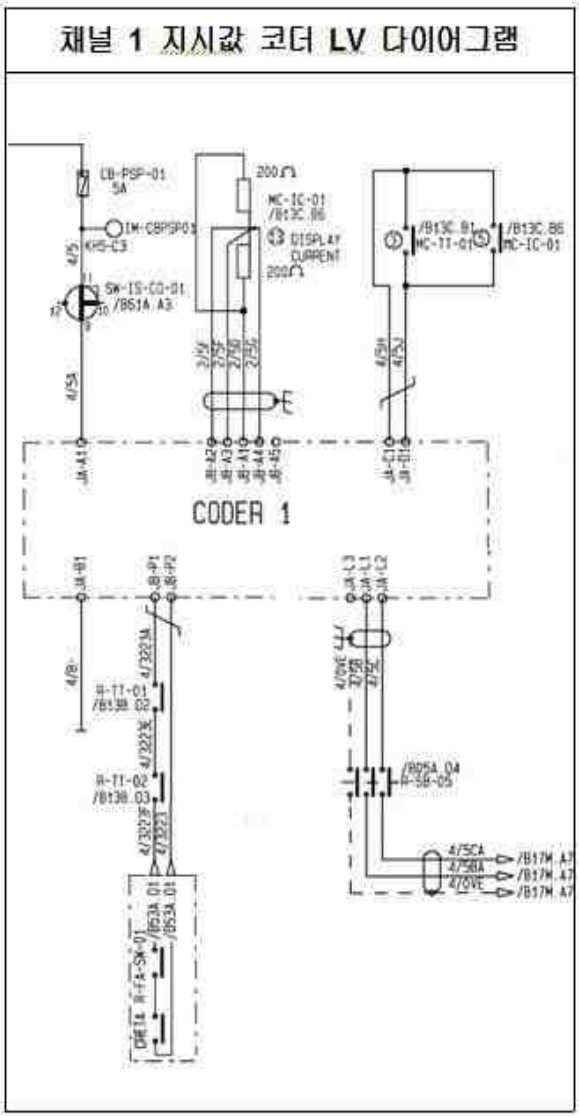
이 불일치 감지는 열차속도가 40 km/h(R-SP-MB-02 여자) 이상이고, 계전기 R-TT-BK-01가 "견인(T)" 위치로 구성되어 있으며, 계전기 R-SW-MB-01이 여자된 상태일 때, 활성화된다. 불일치의 동작은 마이크로 회로차단기 CB-SI-DIS-01의 트립(열림)을 유발시켜 계전기 R-SI-DIS-01의 여자회로를 차단하여 이 계전기를 소자시킨다.

MBU에 의해 3s(4번의 연속적인 고장) 동안 R-SI-DIS-01의 읽음이 있으면, 고장코드를 저장한다.

(2) 84-14-04: 채널 1 지시값(SETPOINT) 고장





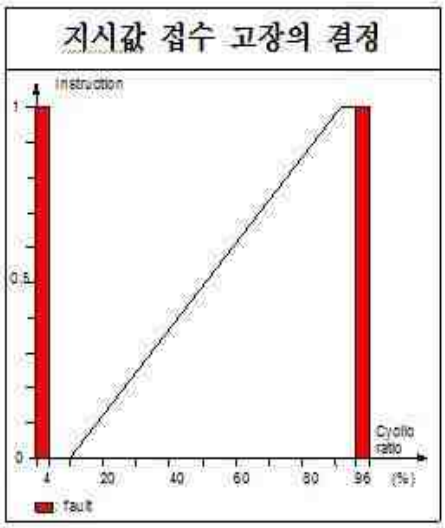


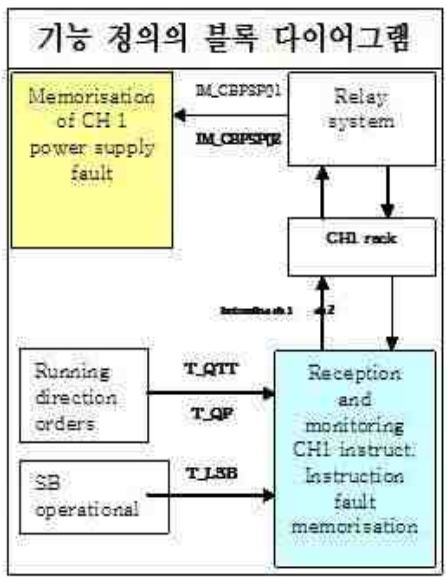
- 감지 원칙

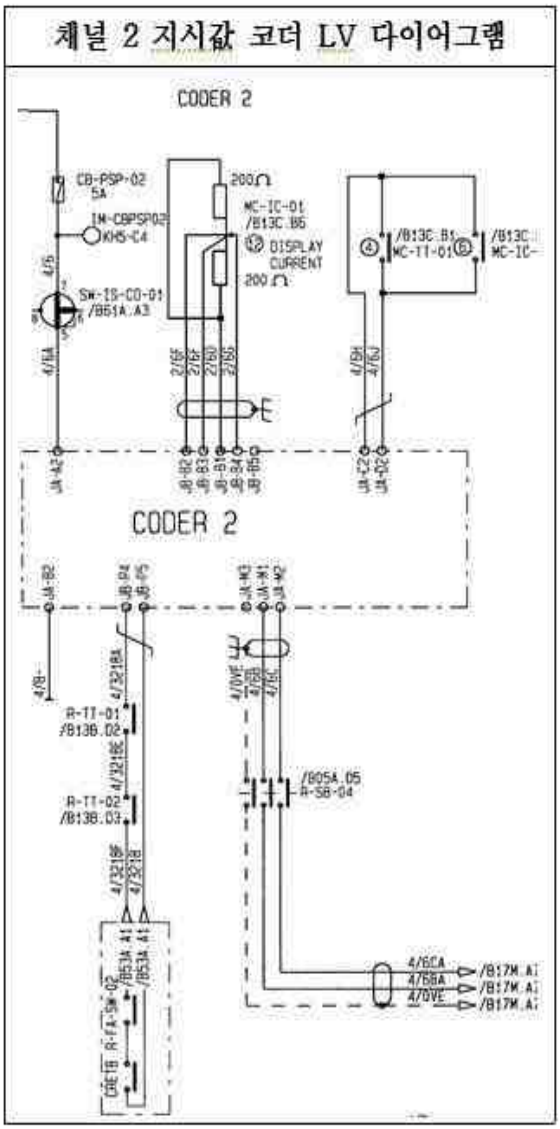
한 운전실에서 스위치 박스(키)가 풀렸을 때(ON), 운전실의 지시값은 변화하는 주기적 시간비율 사각파 시그널 메시지로 전송된다.

MBU에 의해 접수된 지시값의 주기적 시간비율이 1초 동안(100 ms 마다 테스트 함) 4% ~ 96% 사이에 있지 않고, 제어 동력차에서 모터블록이 T_QTT 또는 T_QF 정보가 1 상태이면, 지시값 고장이 저장된다.

(3) 84-14-05: 채널 2 지시값(SETPOINT) 고장





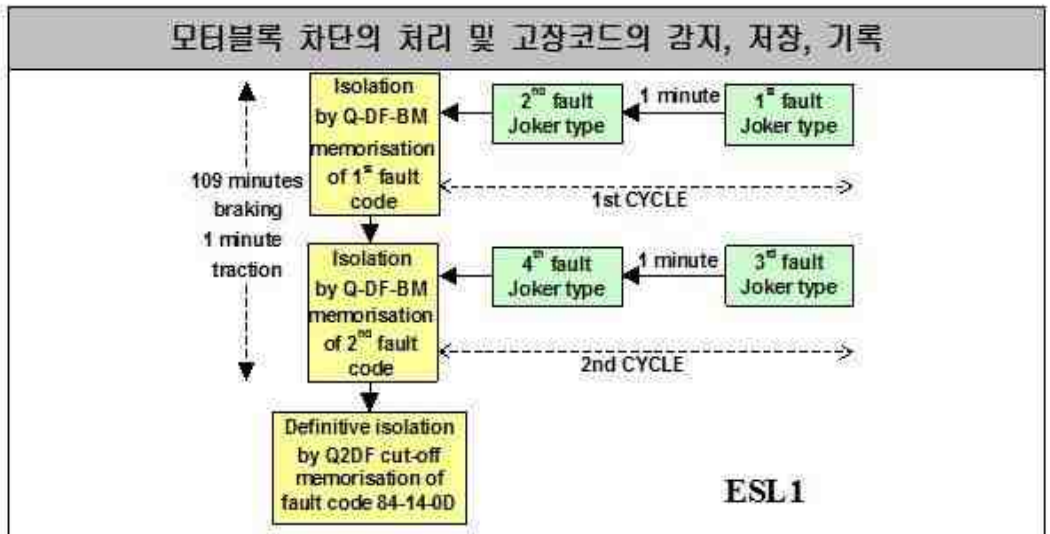


- 감지 원칙

한 운전실에서 스위치 박스(키)가 풀렸을 때(ON), 운전실의 지시값은 변화하는 주기적 시간비율 사각파 시그널 메시지로 전송된다.

MBU에 의해 접수된 지시값의 주기적 시간비율이 1초 동안(100 ms 마다 테스트 함) 4% ~ 96% 사이에 있지 않고, 제어 동력차에서 모터블록이 T_QTT 또는 T_QF 정보가 1 상태이면, 지시값 고장이 저장된다.

(4) 84-14-0D: 모터블록 완전 차단



모터블록 보호

	FAULT CATEGORY		
Scenario	1	2	3
Traction	Q(DF)MB	Q(DF)MB	Q(DF)MB
Regenerative braking	Q(DF)MB	Q(DF)MB	Q(DF)MB
Rheostatic braking	Q(A-F)	Q(A-F)	Q(A-F) and Q(DF)MB
Coasting		Q(A-F) and Q(DF)MB	Q(A-F) and Q(DF)MB

- 감지 원칙

모터블록 완전차단 지시기는 감시된다. 이 차단 정보는 RAM에 백업되어 저장되고, 전원이 투입될 때마다 이 정보는 완전차단을 확인하기 위하여 업데이트되고, 계전기 Q2DF의 전원을 차단한다.

고장의 카테고리(1 또는 2 또는 3)에 따라 모터블록 전자제어장치의« 차단(cut-out) / 차단(isolation) / 저장(memorisation) » 또는 « 조커 처리 » 동작을 결정하는 것이 달라진다. 모터블록의 완전차단은 연속적인 고장이 카운팅되는 경우이다.

표 18. 모터블록 완전 차단

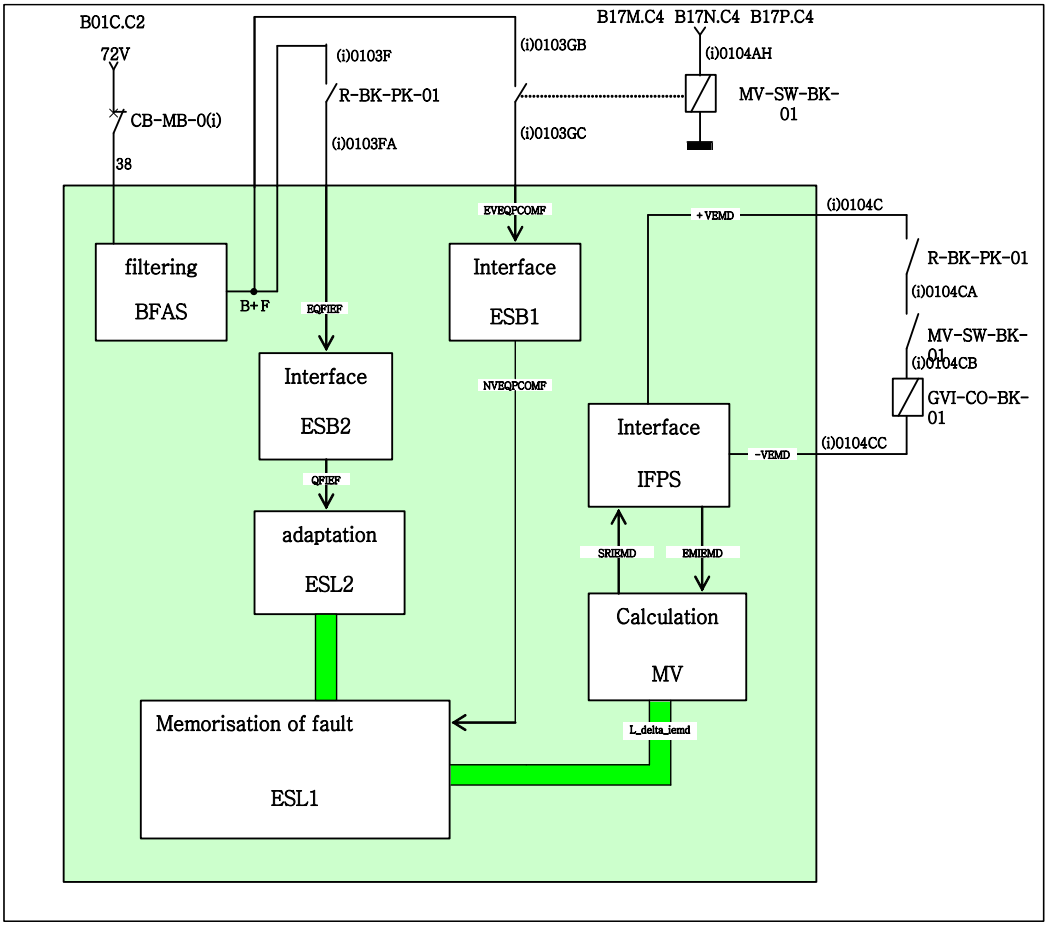
Fault code category table

A: fault category B: number of temporary isolation

code	DESCRIPTION	A	B	C
44-14-01	Running direction fault	1	1	2
44-14-12	External isolation	1	1	2
44-14-13	Fault without signalling	2	1	2
44-14-14	Regenerative braking fault	1	1	2
44-16-04	Inverter 1 overvoltage	1	1	2
44-16-05	Inverter 2 overvoltage	1	1	2
44-16-07	Complete axle imbalance	1	1	2
44-16-08	Complete axle 1 overcurrent	1	1	1
44-16-09	Complete axle 2 overcurrent	1	1	1
44-16-0A	CAPCOM1 overvoltage	1	2	2
44-16-0B	CAPCOM2 overvoltage	1	2	2
44-16-0C	Motor 1 overvoltage	1	2	2
44-16-0D	Motor 2 overvoltage	1	2	2
44-16-0E	Inverter 1 overvoltage	1	2	2
44-16-0F	Inverter 2 overvoltage	1	2	2
44-16-10	Inverter 1 diametral short-circuit	1	2	2
44-16-11	Inverter 2 diametral short-circuit	1	2	2
44-16-12	Energisation chopper overcurrent	1	2	2
44-16-13	De-energisatoin thyristor fault	1	2	2
44-16-14	Speed sensor 1 overspeed	1	1	2
44-16-15	Speed sensor 2 overspeed	1	1	2
44-16-1A	Position sensor MT1 overspeed	1	2	2
44-16-1C	Position sensor MT2 overspeed	1	2	2
44-16-1B	Earthing fault	1	1	2
44-16-1D	Braking rheostat overcurrent	1	2	2
44-16-1E	Braking rheostat overvoltage	1	2	2
44-16-1F	Braking chopper fault	1	1	1
44-16-27	T2RST clock	3	1	1
44-16-43	Energisation fuse breakage fault	2	1	1
44-16-45	Motor overcurrent	1	2	2
44-16-46	Energisation chopper breakage monitoring	1	1	1
45-18-01	MB ventilation fault	2	1	2
45-18-02	Ventilation inverter precharge fault	1	1	2
45-72-02	Battery charger fault	2	1	1

C: number of temporary isolation before definitive isolation

(5) 83-15-03 : 역조절 전자변(GVI-CO-BK-01) 전류 확인

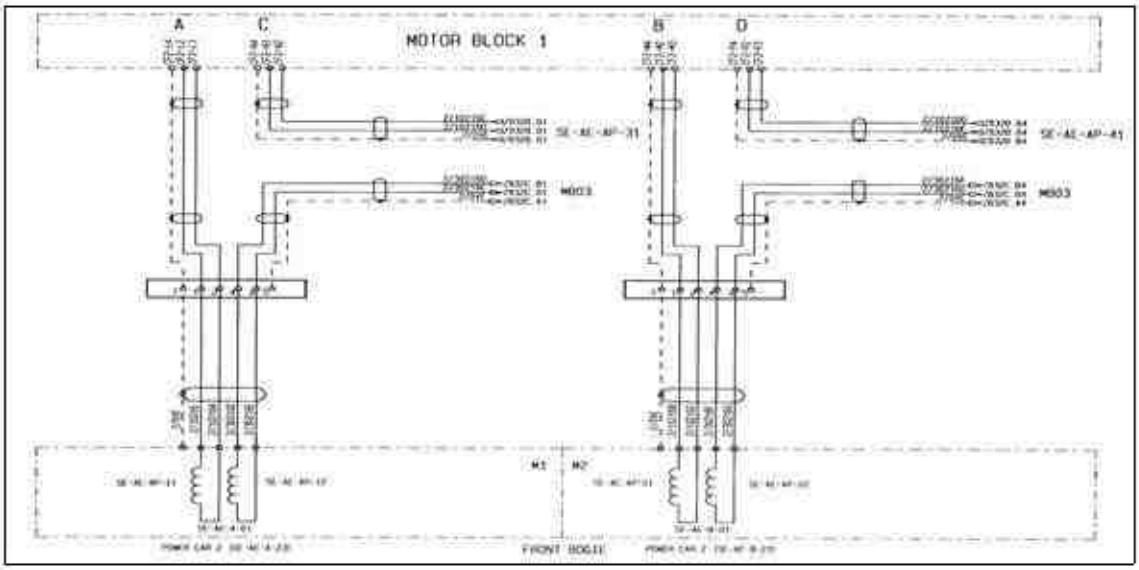


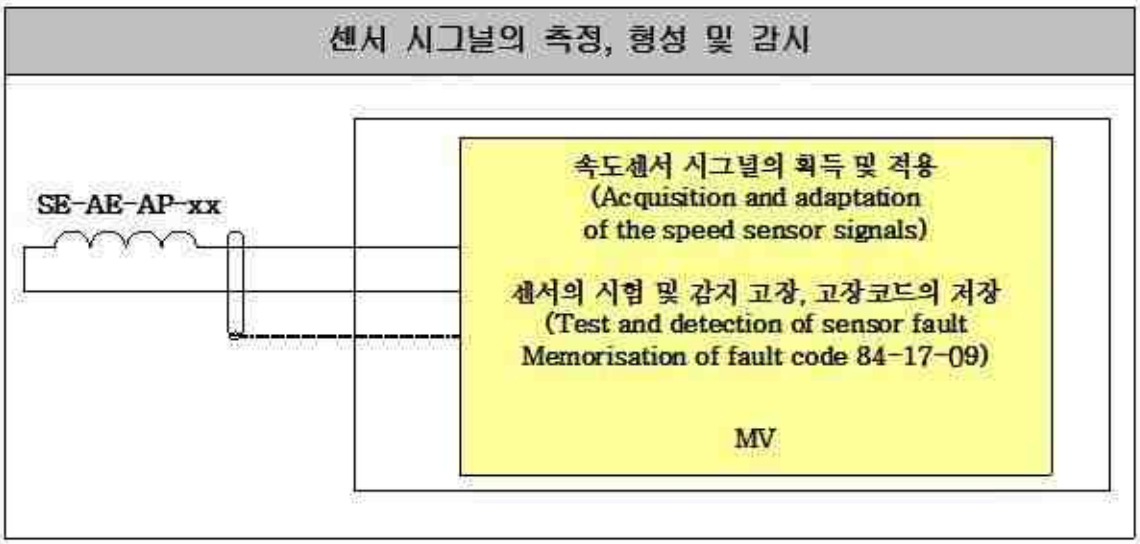
- 감지 원칙

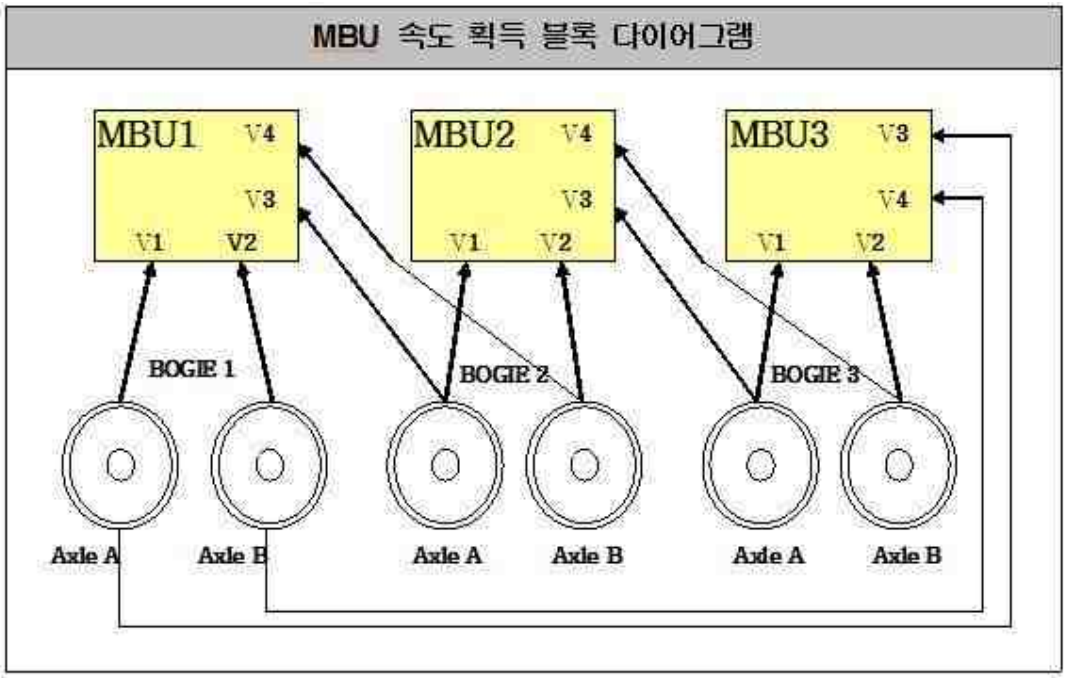
역조절 전자변에서의 전류 확인은 혼합제동 전자변이 차단되지 않았고, 주차제동 계전기가 여자되지 않은 상태이며, 제동감시가 승인된 조건에서, MBU 전자제어장치에 의해 이루어진다.

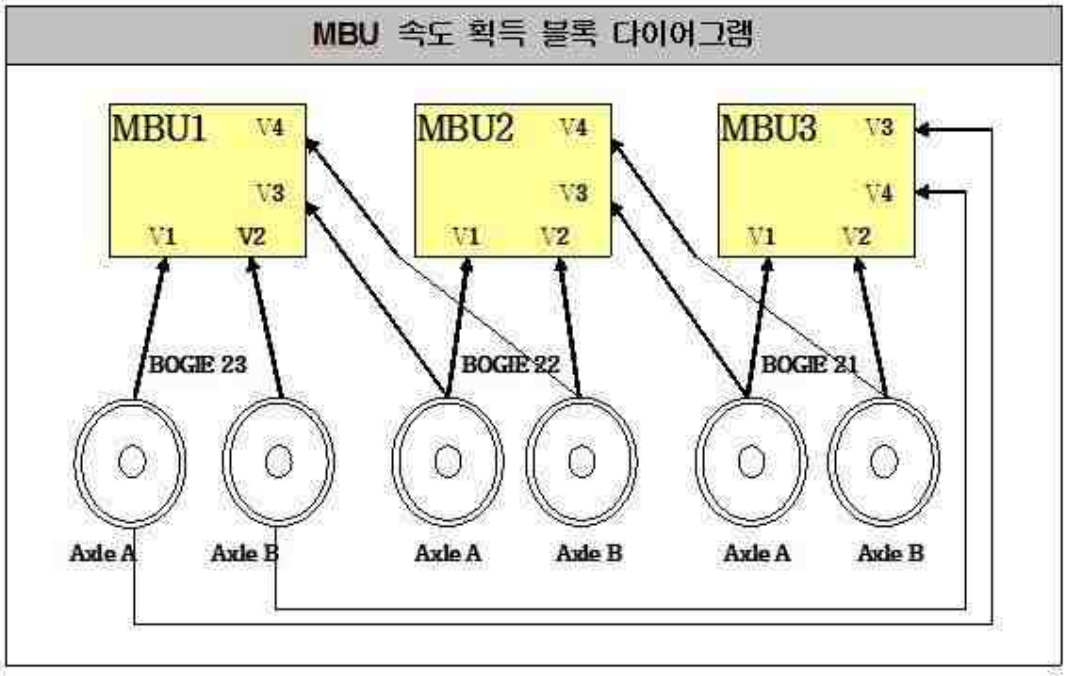
기준전류와 측정전류와의 차이(Δ = SRIEMD EMIEMD)가 9s 동안 50 mA를 초과하면, 비정상 카운터가 증가되고 전류차이가 있는 것으로 결정된다. 10번의 연속적인 비정상의 시험결과가 나오면 고장코드가 저장된다.

(6) 84-17-09 : 속도센서 1 고장





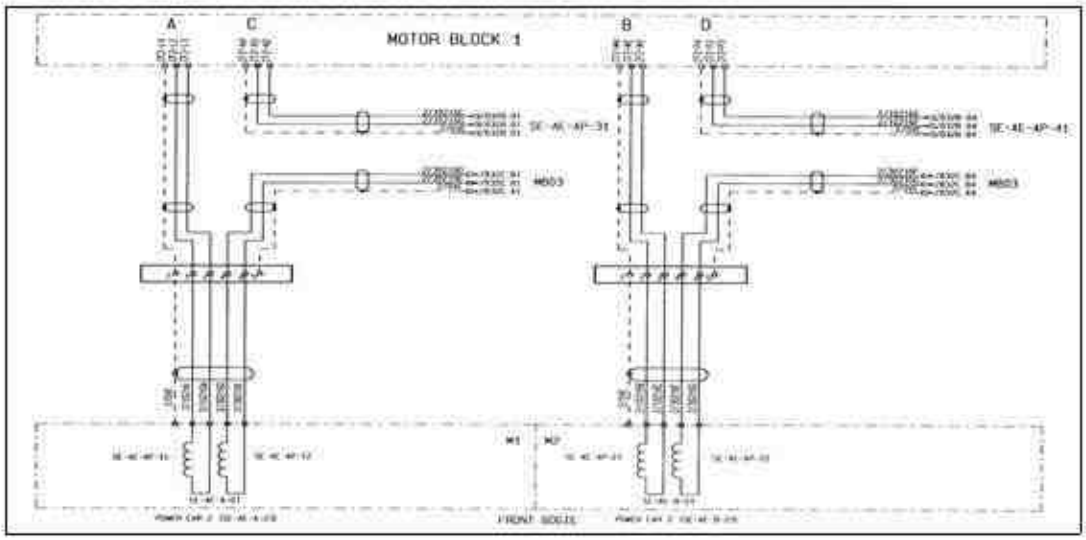


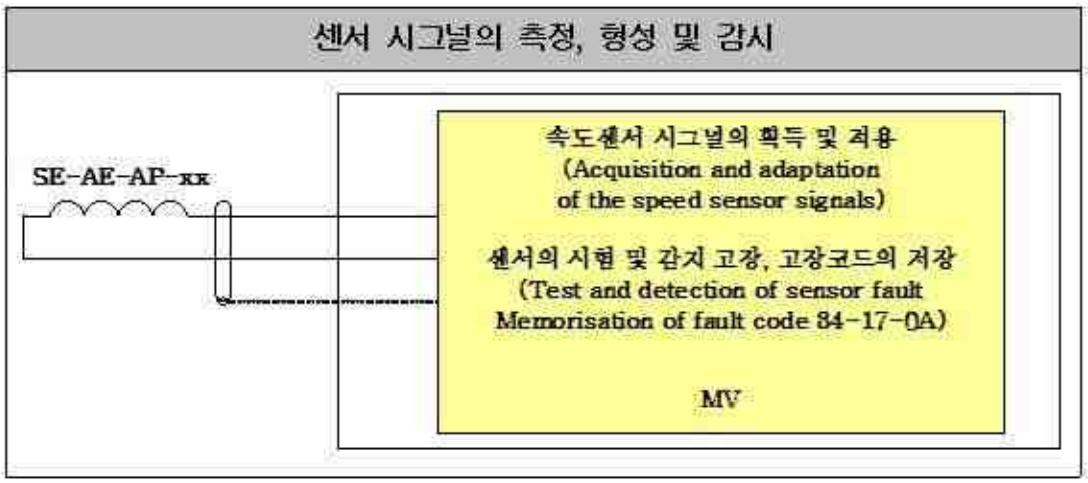


- 감지 원칙

속도센서 코일의 임피던스를 측정하는 것이다. 시험을 통하여 속도센서 획득 회로에서 파손이나 단락을 감지할 수 있다. 이것은 400 ms 마다 이루어지는 계속적인 형식의 시험이다. 코일의 임피던스가 5 번의 연속적인 시험동안 감시 범위안에 있지 않으면, 그 MBU 전자제어장치에 의해 고장코드가 저장된다. 속도센서들은 로컬 MB의 속도 1 또는 2 중의 한 개와 옆 MB의 속도 3 또는 4 중 한 개로 구성된 두 개의 코일이 있다.

(7) 84-17-0A : 속도센서 2 고장



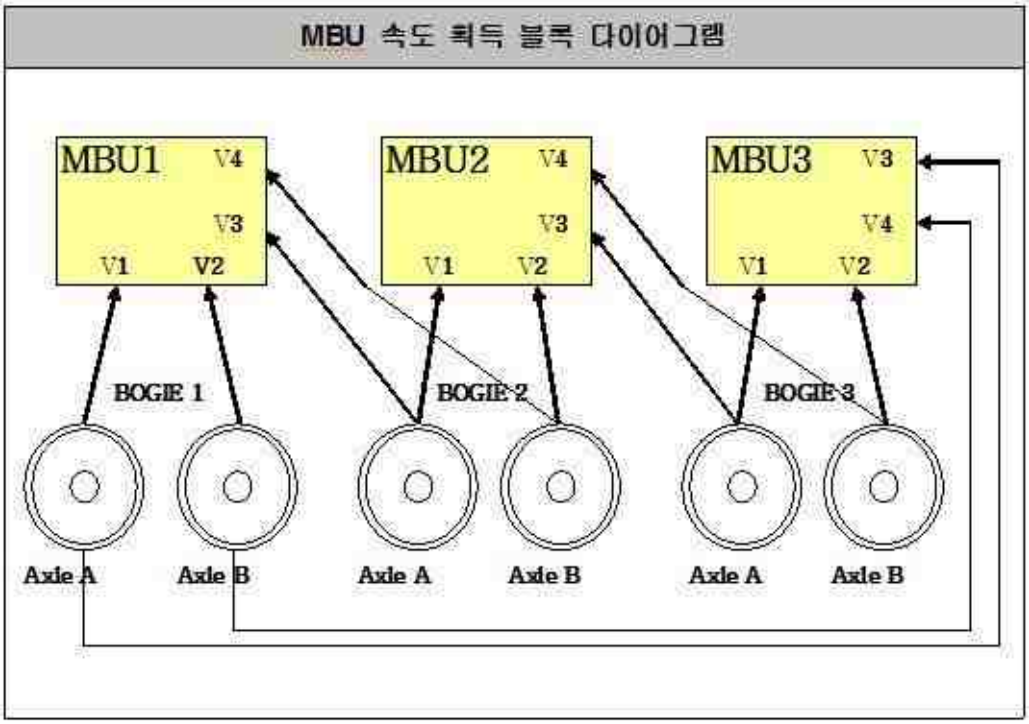


- 감지 원칙

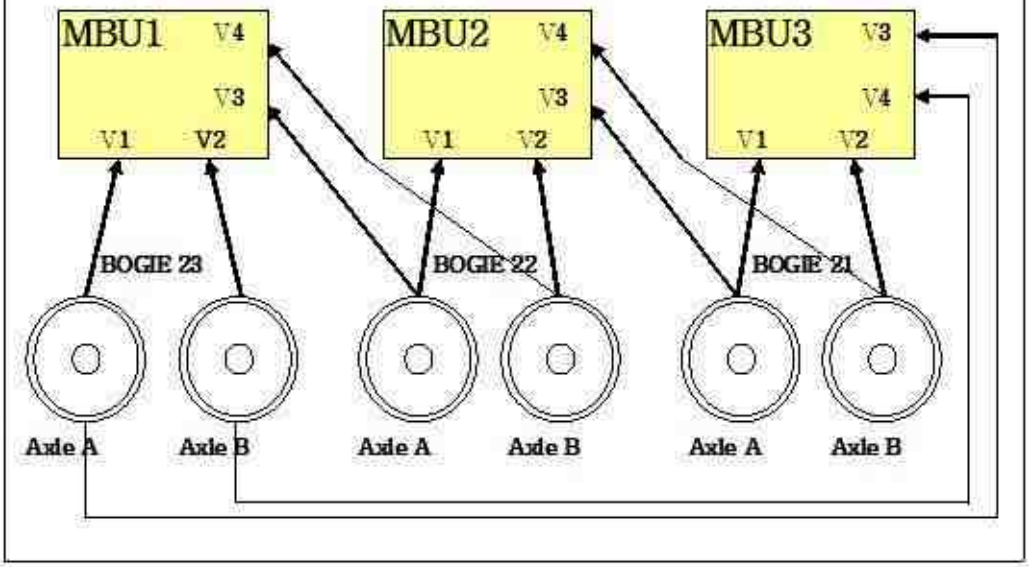
속도센서 코일의 임피던스를 측정하는 것이다. 시험을 통하여 속도센서 획득 회로에서 파손이나 단락을 감지할 수 있다. 이것은 400 ms 마다 이루어지는 계속적인 형식의 시험이다. 코일의 임피던스가 5 번의 연속적인 시험동안 감시 범위안에 있지 않으면, 그 MBU 전자제어장치에 의해 고장코드가 저장된다.

속도센서들은 로컬 MB의 속도 1 또는 2 중의 한 개와 옆 MB의 속도 3 또는 4 중 한 개로 구성된 두 개의 코일이 있다.

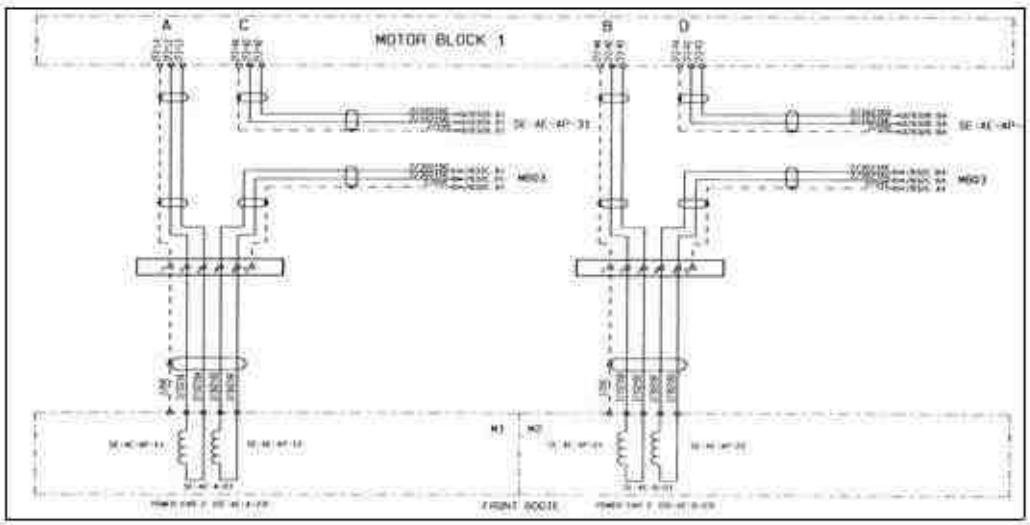
MBU 속도 획득 블록 다이어그램

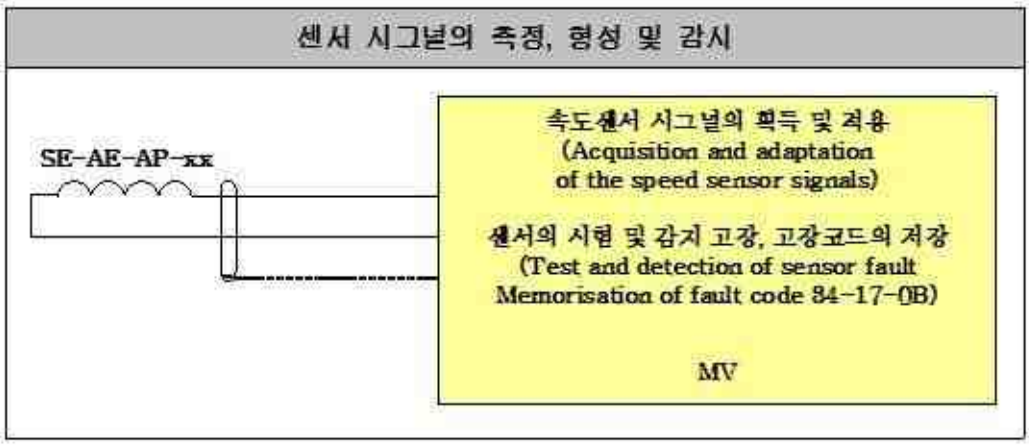


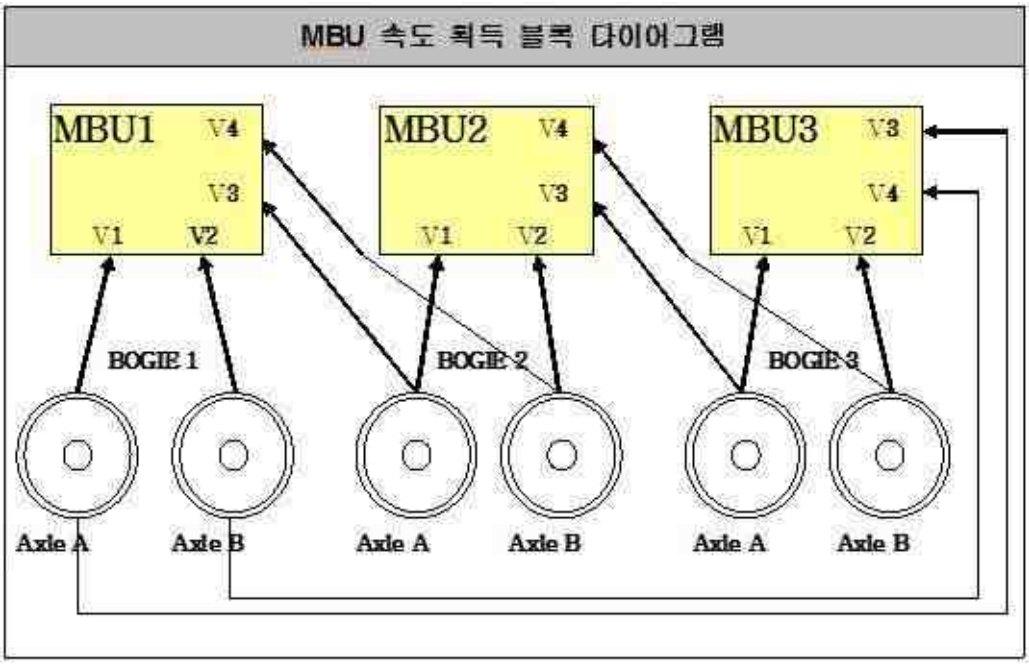
MBU 속도 획득 블록 다이어그램

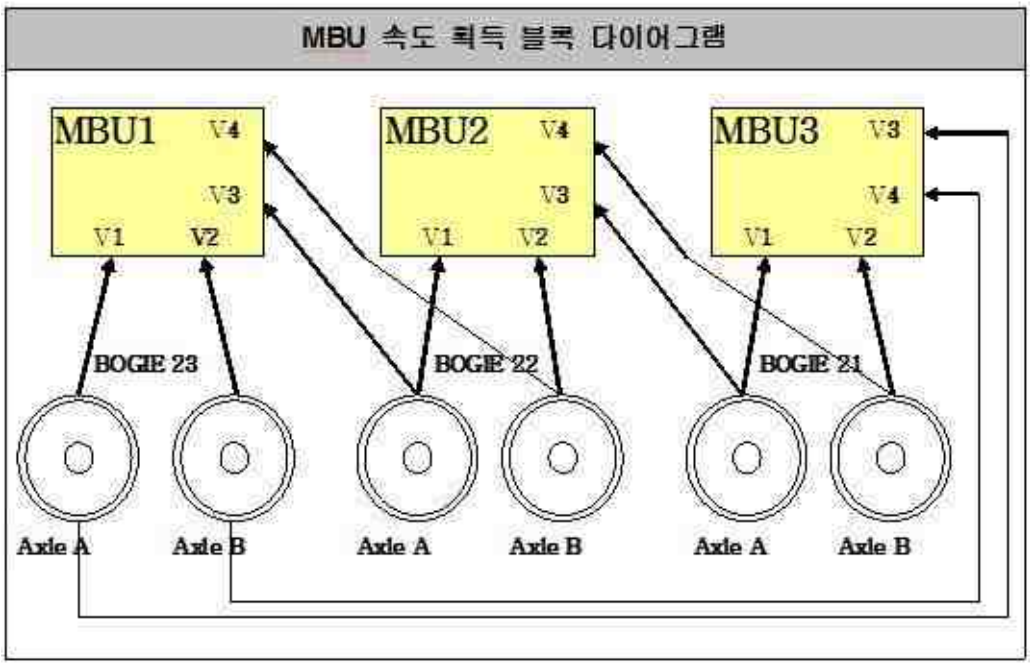


(8) 84-17-0B : 속도센서 3 고장







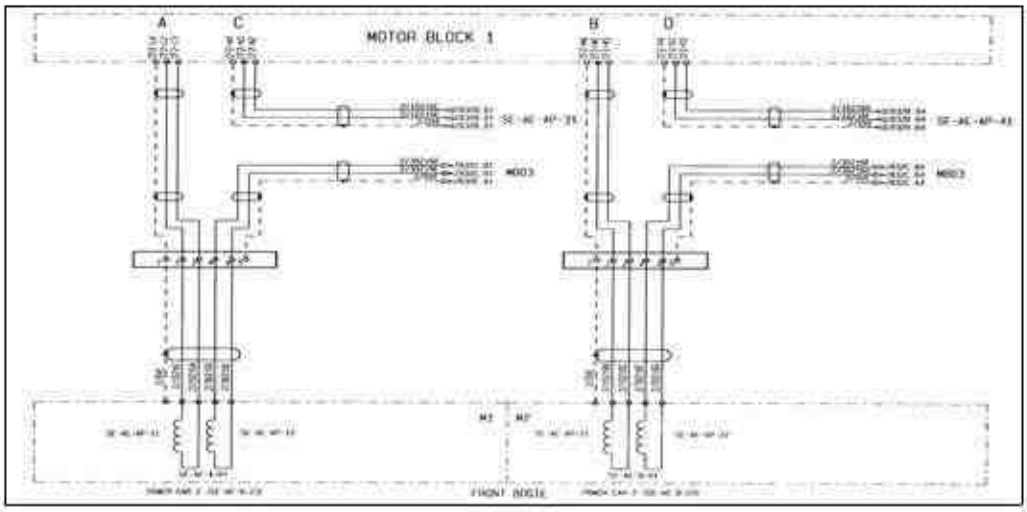


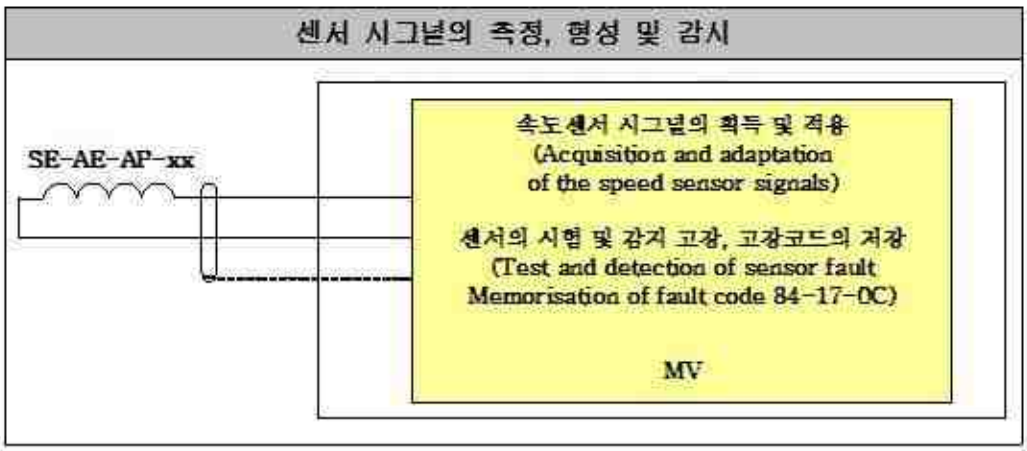
- 감지 원칙

속도센서 코일의 임피던스를 측정하는 것이다. 시험을 통하여 속도센서 획득 회로에서 파손이나 단락을 감지할 수 있다. 이것은 400 ms 마다 이루어지는 계속적인 형식의 시험이다. 코일의 임피던스가 5 번의 연속적인 시험동안 감시 범위안에 있지 않으면, 그 MBU 전자제어장치에 의해 고장코드가 저장된다.

속도센서들은 로컬 MB의 속도 1 또는 2 중의 한 개와 옆 MB의 속도 3 또는 4 중 한 개로 구성된 두 개의 코일이 있다.

(9) 84-17-0B : 84-17-0C : 속도센서 4 고장

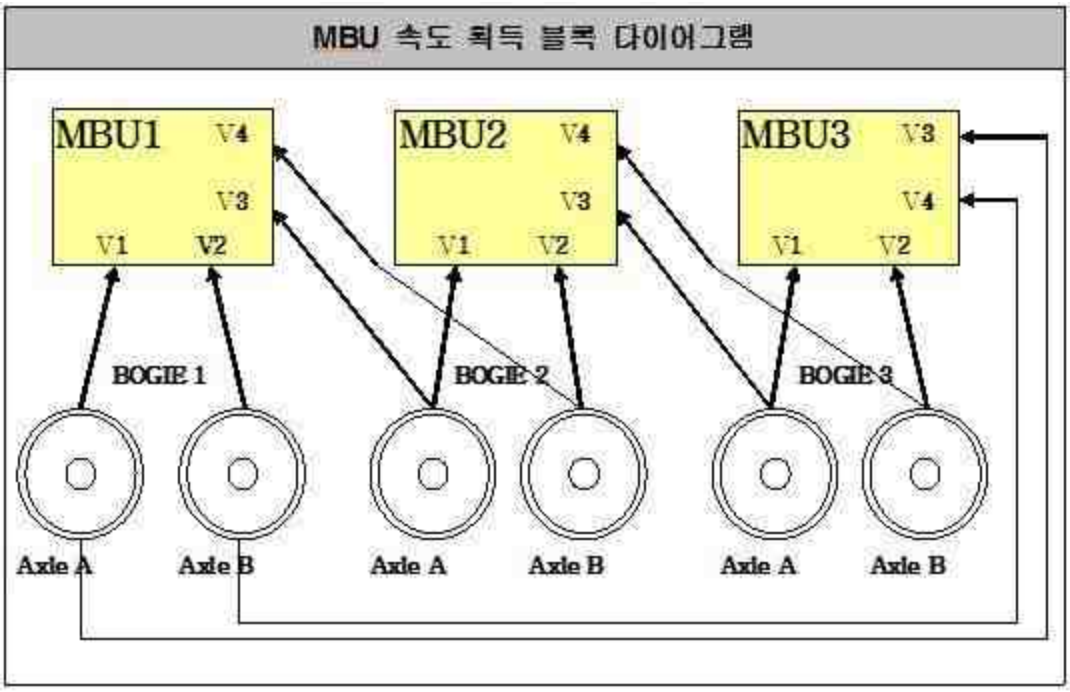


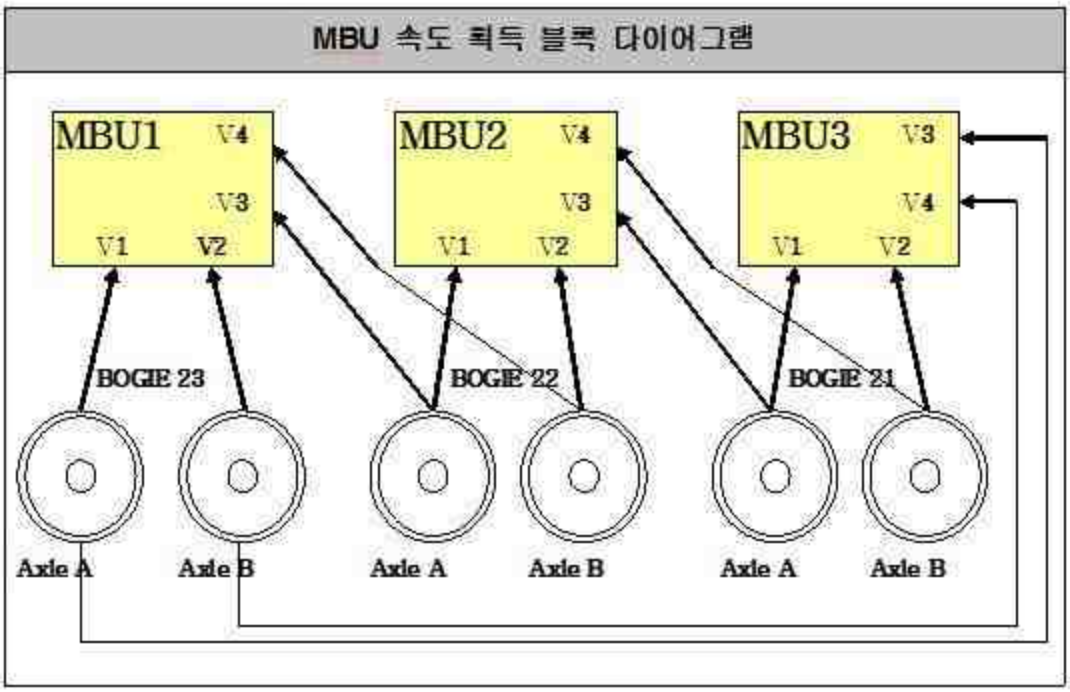


- 감지 원칙

속도센서 코일의 임피던스를 측정하는 것이다. 시험을 통하여 속도센서 획득 회로에서 파손이나 단락을 감지할 수 있다. 이것은 400 ms 마다 이루어지는 계속적인 형식의 시험이다. 코일의 임피던스가 5 번의 연속적인 시험동안 감시 범위안에 있지 않으면, 그 MBU 전자제어장치에 의해 고장코드가 저장된다.

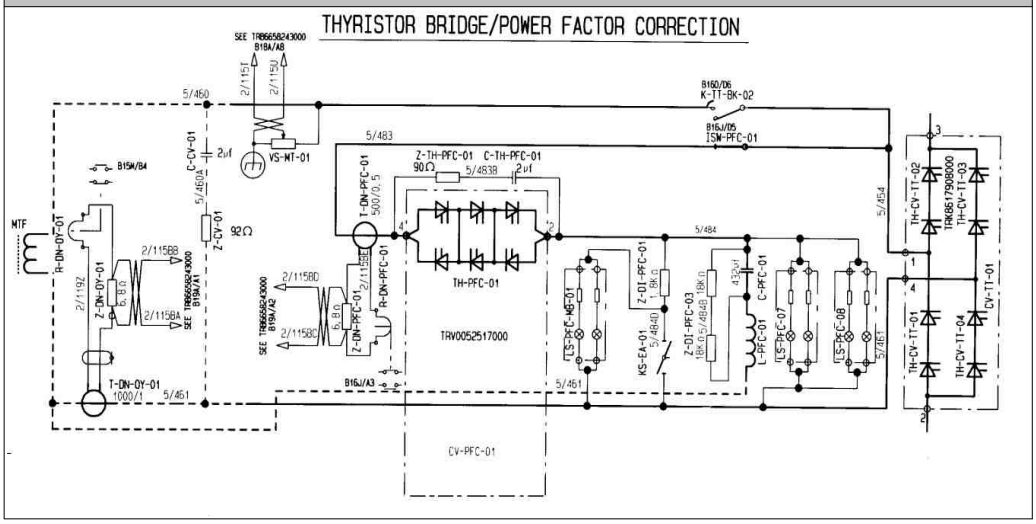
속도센서들은 로컬 MB의 속도 1 또는 2 중의 한 개와 옆 MB의 속도 3 또는 4 중 한 개로 구성된 두 개의 코일이 있다.


MBU 속도 획득 블록 다이어그램
MBU1
V4
V3
V1
V2
MBU2
V4
V3
V1
V2
MBU3
V3
V4
V1
V2
BOGIE 1
BOGIE 2
BOGIE 3
Axle A
Axle B
Axle A
Axle B
Axle A
Axle B

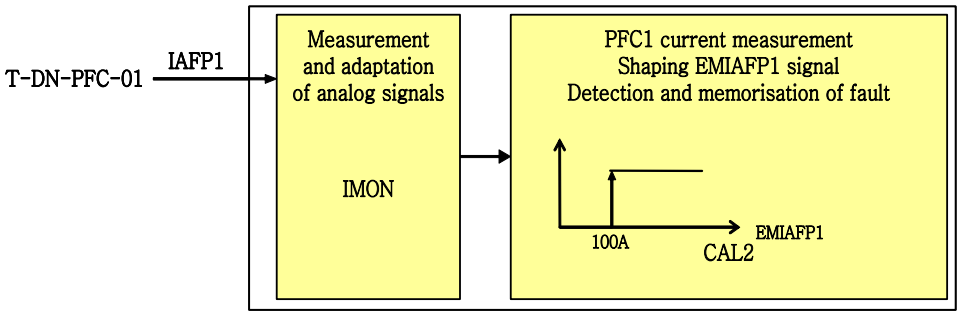

MBU 속도 획득 블록 다이어그램
MBU1
V4
V3
V1
V2
MBU2
V4
V3
V1
V2
MBU3
V3
V4
V1
V2
BOGIE 23
BOGIE 22
BOGIE 21
Axle A
Axle B
Axle A
Axle B
Axle A
Axle B

(10) 84-19-01 : 비 활성화된 PFC1(AFP1)에서의 전류 감시

PFC1 동력회로



PFC1 전류의 측정, 형성 및 감시

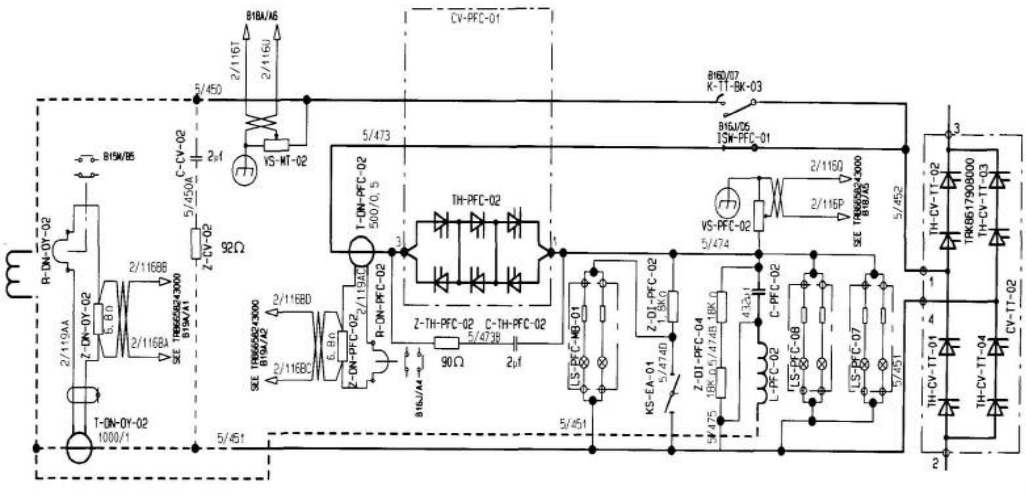


- 감지 원칙

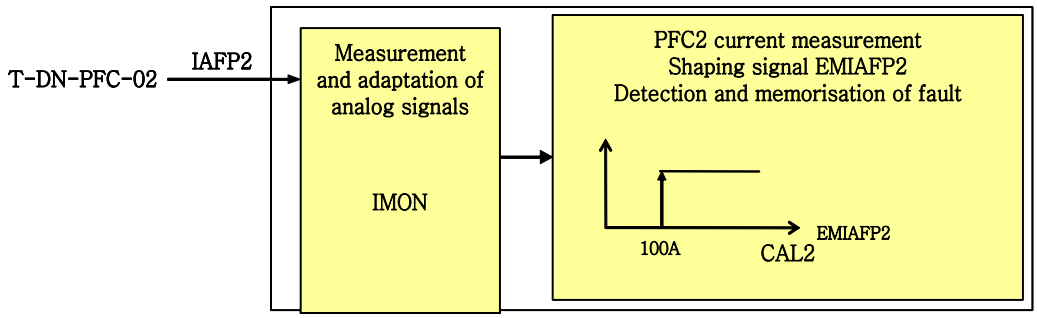
PFC1에서의 전류측정은 매 100 ms 마다 이루어진다. PFC1이 동작하고 있지 않은데, 전류가 2번의 연속적인 측정동안 100A를 초과하면, 그 MBU에 의해 고장이 저장된다. 역률개선 장치 CV-PFC-01에 단락이 있는 것으로 간주된다.

(11) 84-19-02 : 비 활성화된 PFC2(AFP2)에서의 전류 감시

PFC2 동력회로



PFC2 전류의 측정, 형성 및 감시

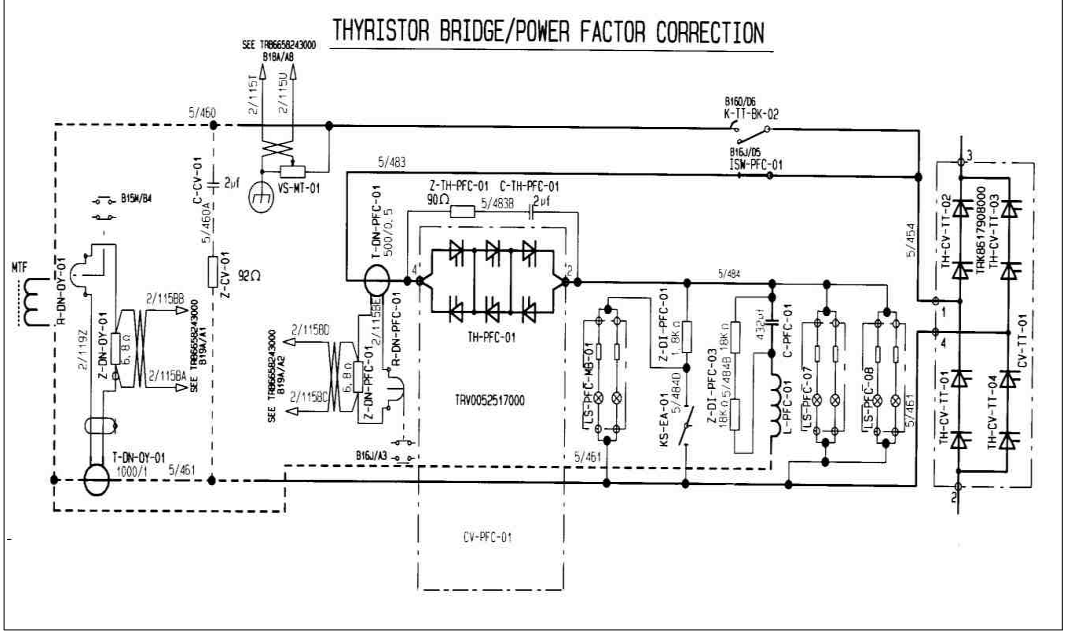


- 감지 원칙

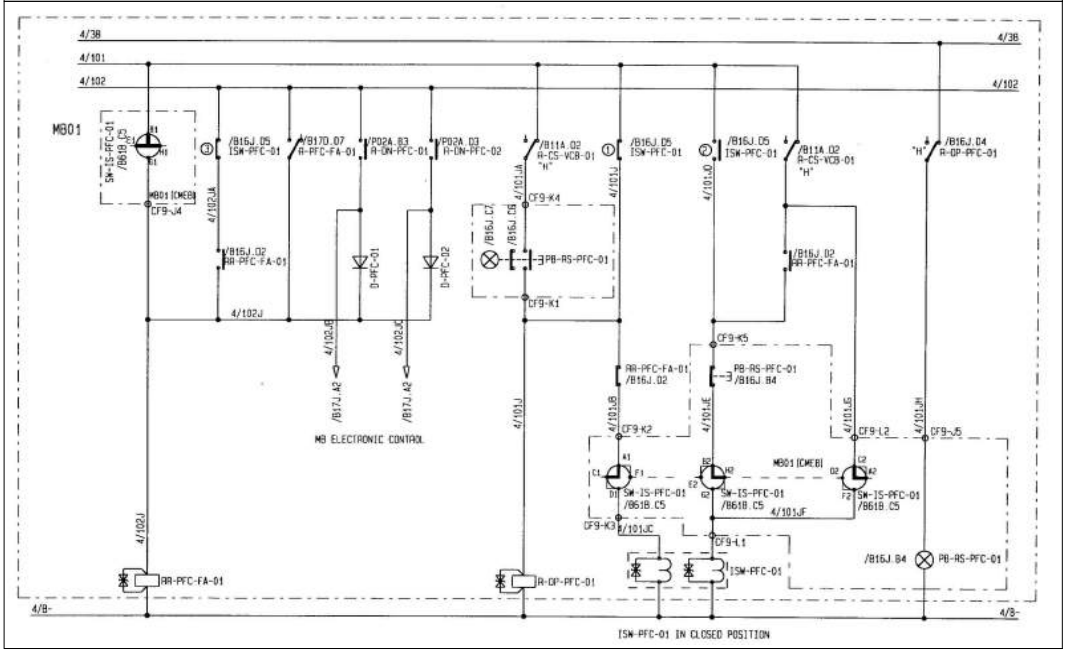
PFC2에서의 전류측정은 매 100 ms 마다 이루어진다. PFC1이 동작하고 있지 않은데, 전류가 2번의 연속적인 측정동안 100A를 초과하면, 그 MBU에 의해 고장이 저장된다. 역률개선장치 CV-PFC-01에 단락이 있는 것으로 간주된다.

(12) 84-19-03 : PFC1 과전류(CLOSING OF R-DN-PFC-01)

PFC1 동력회로



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로

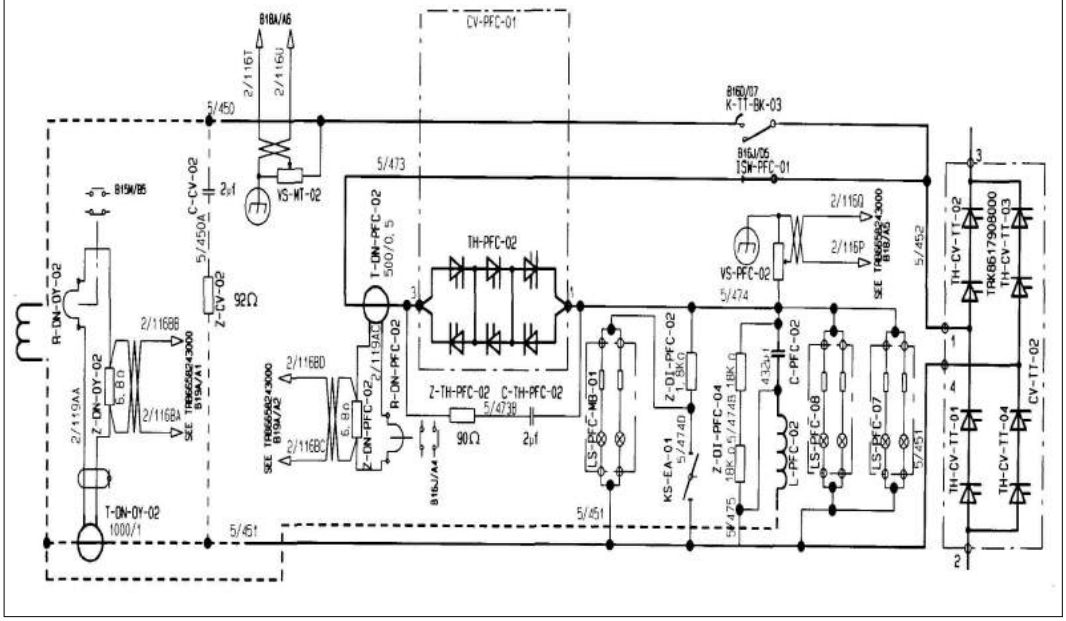


- 감지 원칙

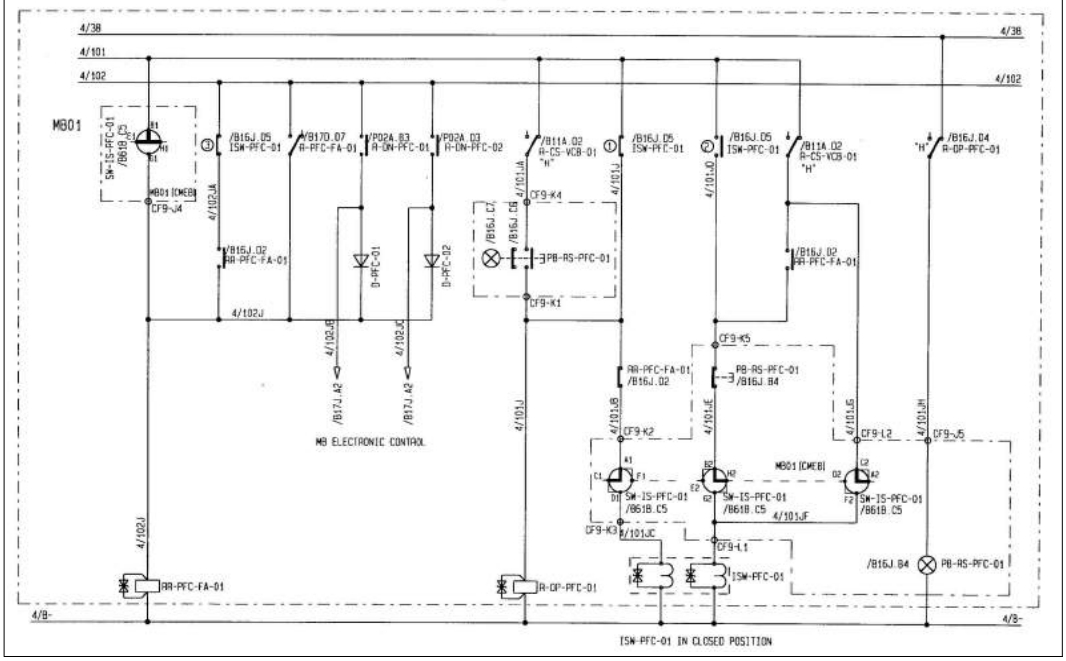
PFC에서의 과전류 감시는 바(bar)에 설치되어 700A(rms)를 초과하면 여자 되는(닫히는) 계전기에 의해 이루어진다. 이 계전기의 상태는 매 100ms 마다 확인되며, 2번의 연속적인 측정 동안 과전류가 감지되면 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(13) 84-19-04 : PFC2 과전류(CLOSING OF R-DN-PFC-02)

PFC2 동력회로



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로

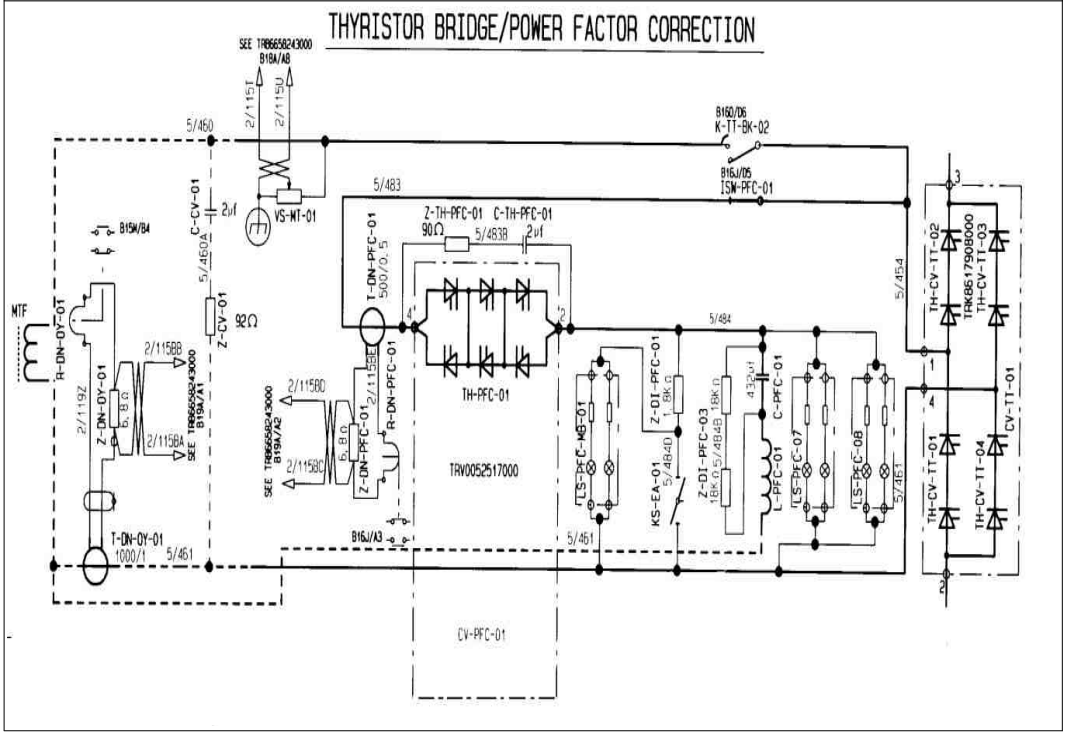


- 감지 원칙

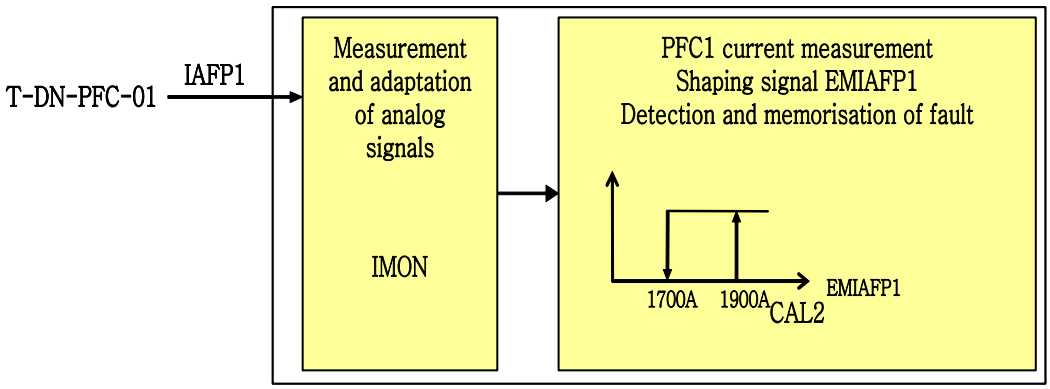
PFC에서의 과전류 감시는 바(bar)에 설치되어 700A(rms)를 초과하면 여자 되는(닫히는) 계전기에 의해 이루어진다. 이 계전기의 상태는 매 100ms 마다 확인되며, 2번의 연속적인 측정 동안 과전류가 감지되면 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(14) 84-19-05 : PFC1 과전류

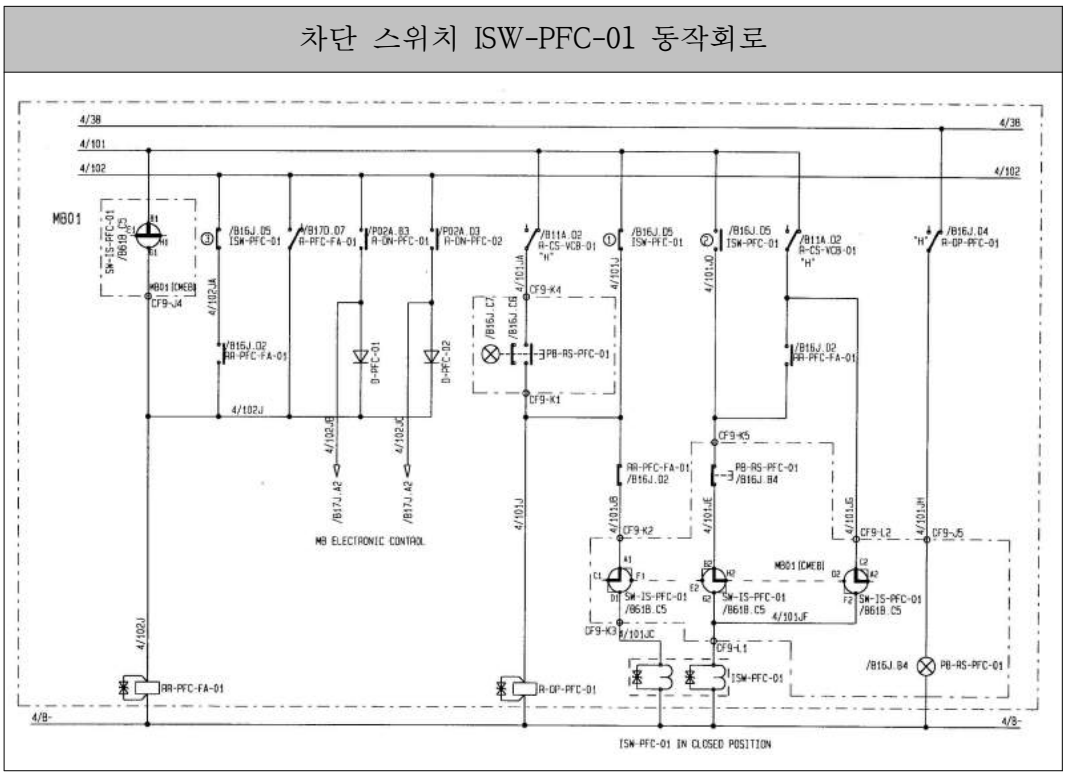
PFC1 동력회로

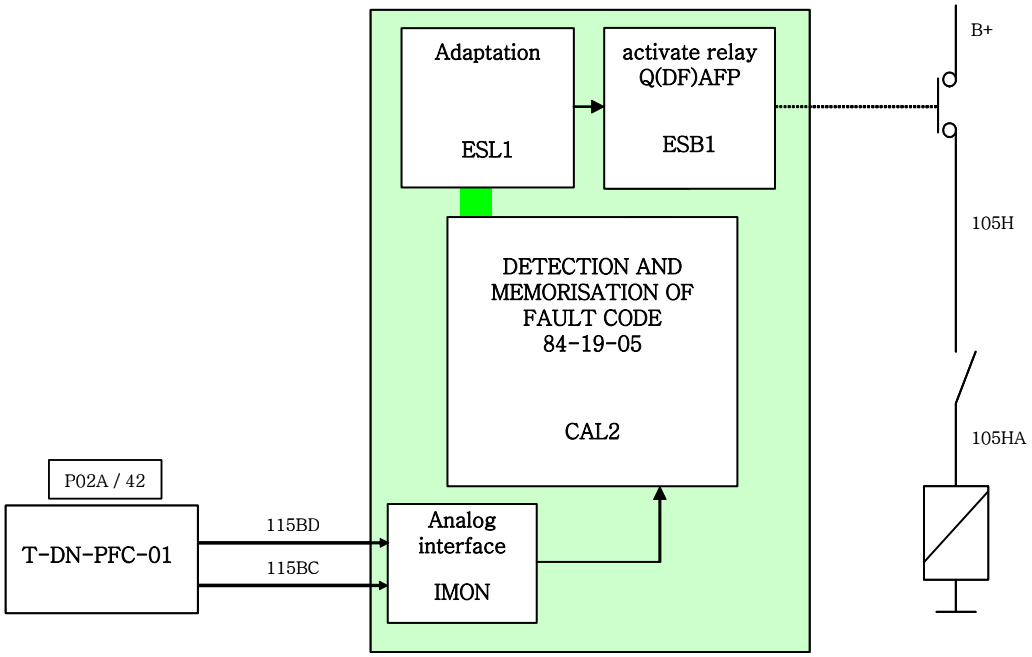


PFC1 전류의 측정, 형성 및 감시



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로



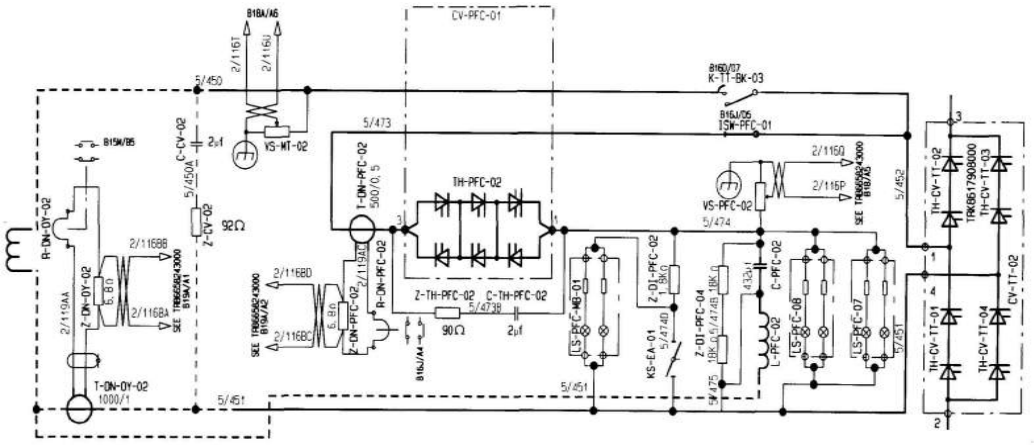


- 감지 원칙

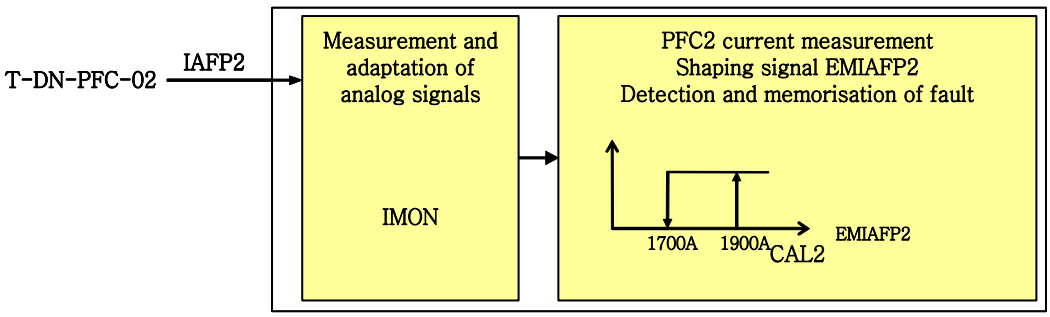
PFC에서의 과전류 감시는 바(bar)에 설치되어 700A(rms)를 초과하면 여자되는 (닫히는) 계전기에 의해 이루어진다(고장코드 84-19-03 및 84-19-04 참조). 또한T-DN-PFC-01에 의해 매 100ms 마다 직접 측정된다. 이 전류가 2번의 연속적인 측정 동안 1900A 를 초과하면 과전류로 감지하여 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(15) 84-19-06 : PFC2 과전류

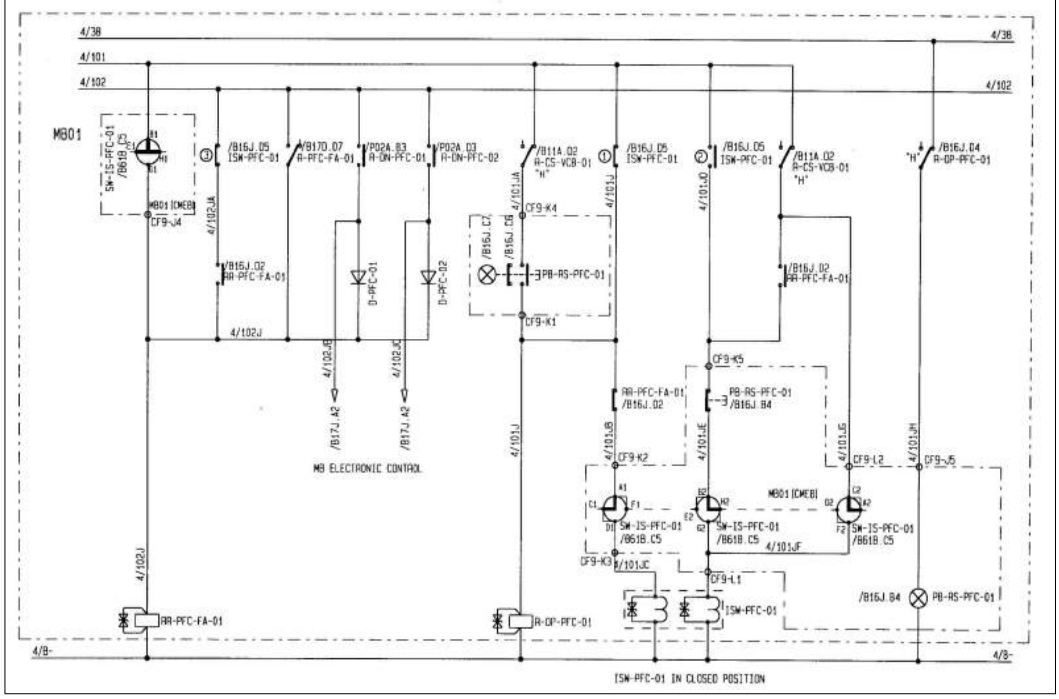
PFC2 동력회로

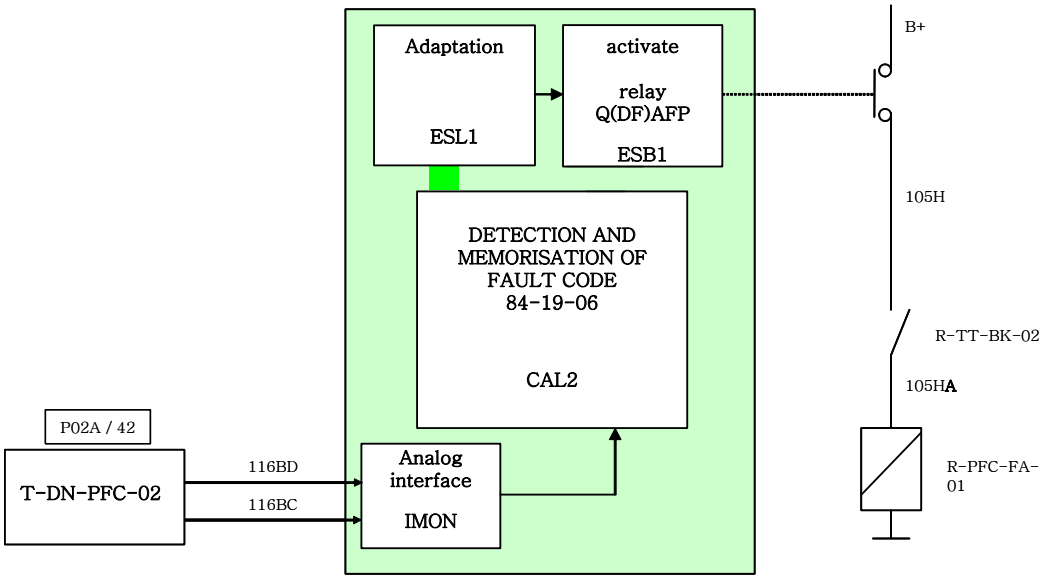


PFC2 전류의 측정, 형성 및 감시



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로



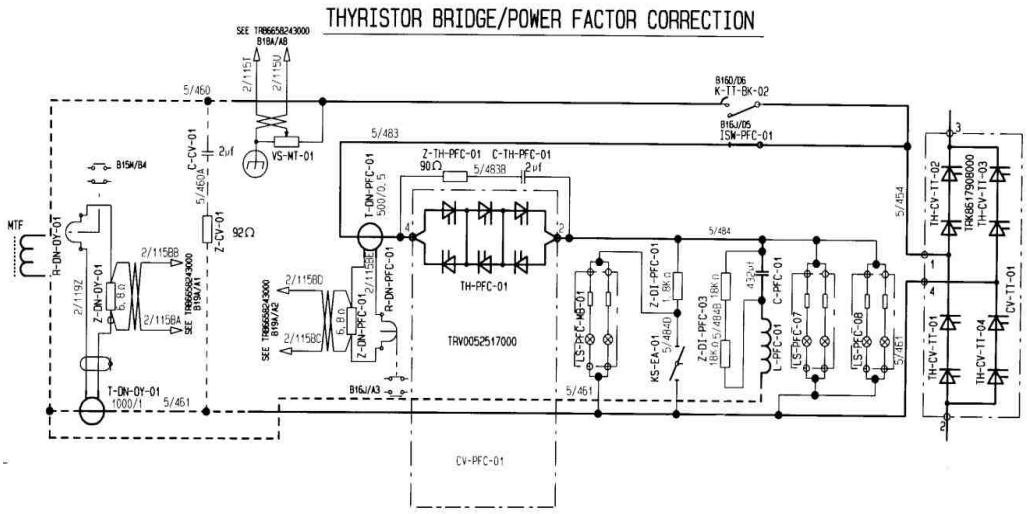


- 감지 원칙

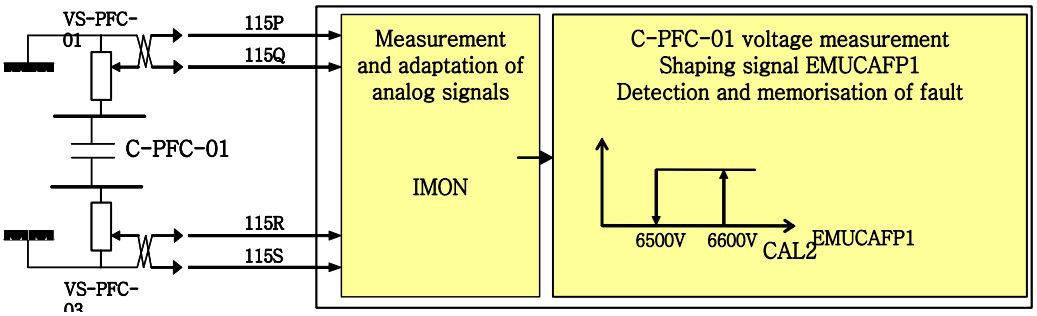
PFC에서의 과전류 감시는 바(bar)에 설치되어 700A(rms)를 초과하면 여자되는 (닫히는) 계전기에 의해 이루어진다(고장코드 84-19-03 및 84-19-04 참조). 또한 T-DN-PFC-02에 의해 매 100ms 마다 직접 측정된다. 이 전류가 2번의 연속적인 측정 동안 1900A 를 초과하면 과전류로 감지하여 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(16) 84-19-07 : 작동 중 PFC1 컨덴서 과전압(CAPACITOR OVERVOLTAGE ON CLOSING)

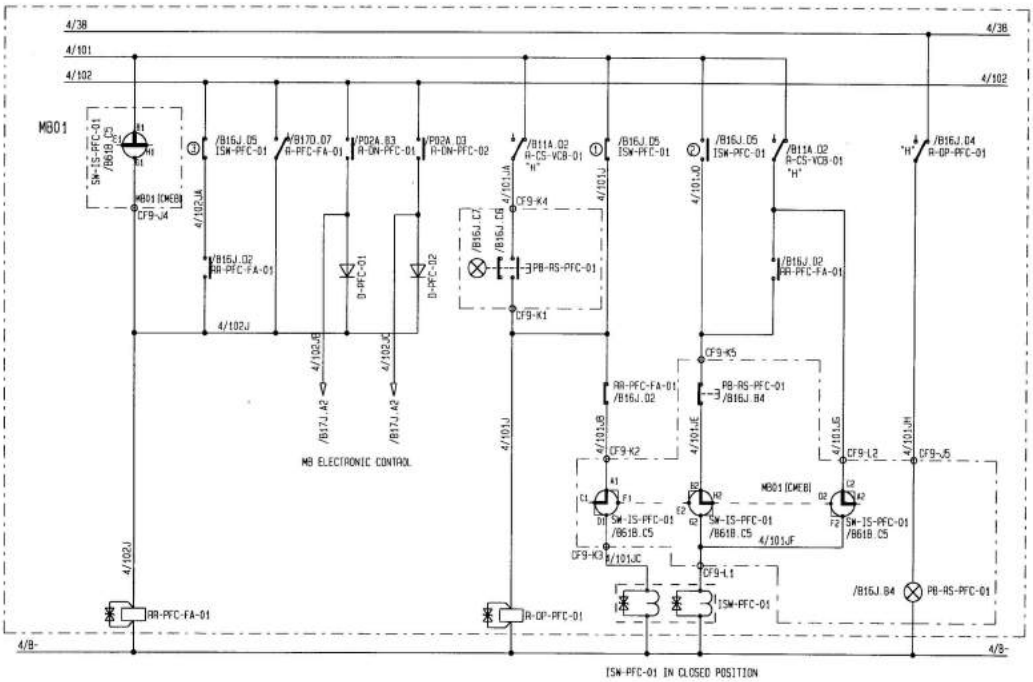
PFC1 동력회로

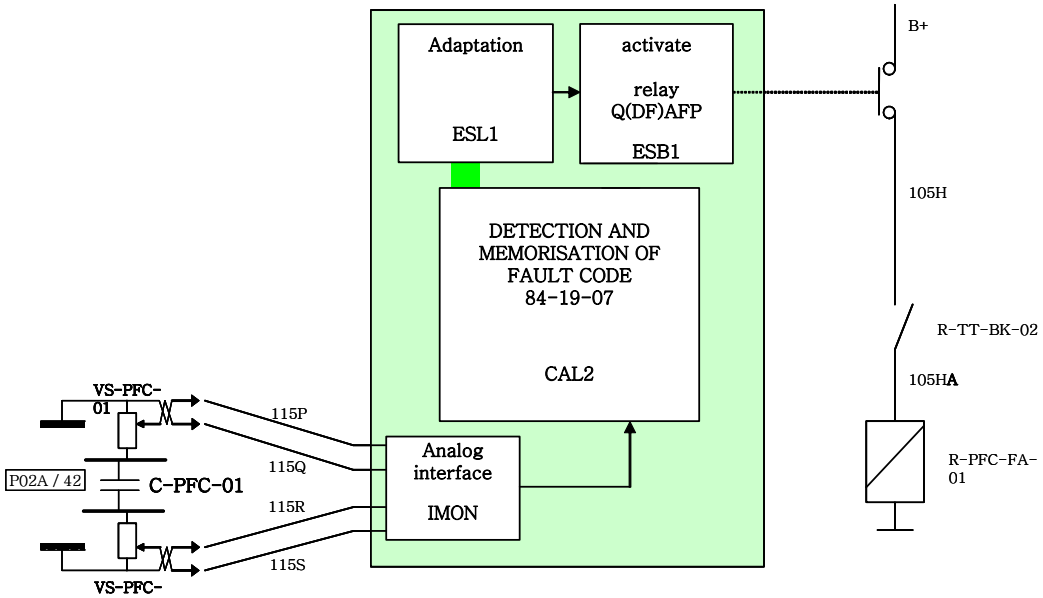


PFC1 전류의 측정, 형성 및 감시



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로



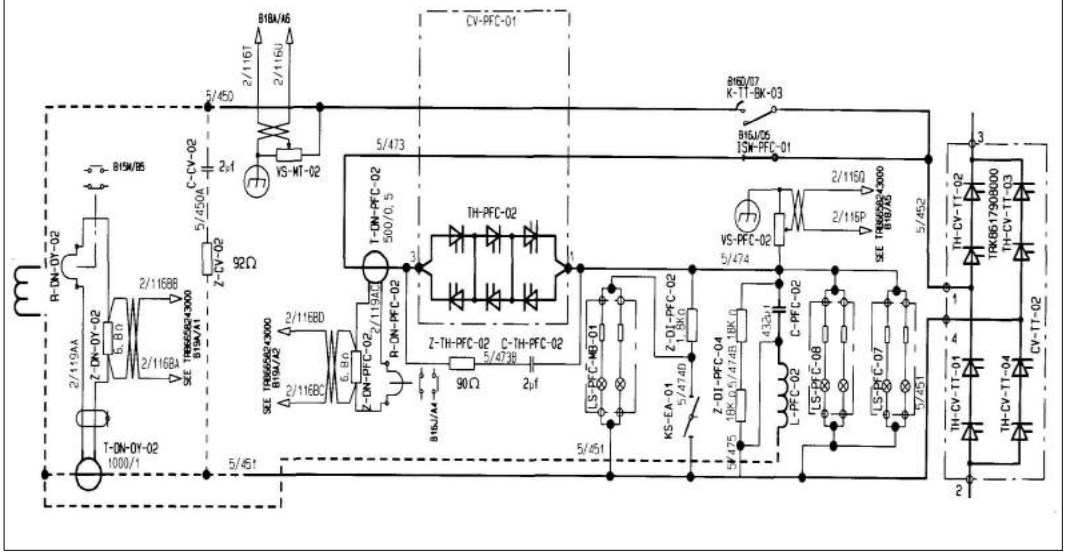


- 감지 원칙

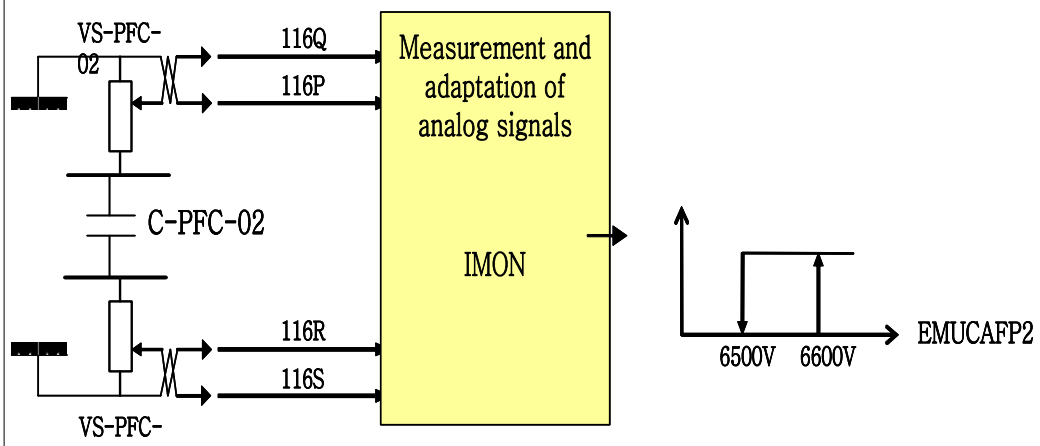
PFC에서의 과전압 감시는 컨덴서 C-PFC-01의 단자 전압을 측정하는 전압센서 (저항 브리지)에 의해 이루어진다. 이 전압이 2번의 연속적인 측정동안 6600V를 초과하면, 과전압으로 감지하여 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(17) 84-19-08 : 작동 중 PFC2 컨덴서 과전압(CAPACITOR OVERVOLTAGE ON CLOSING)

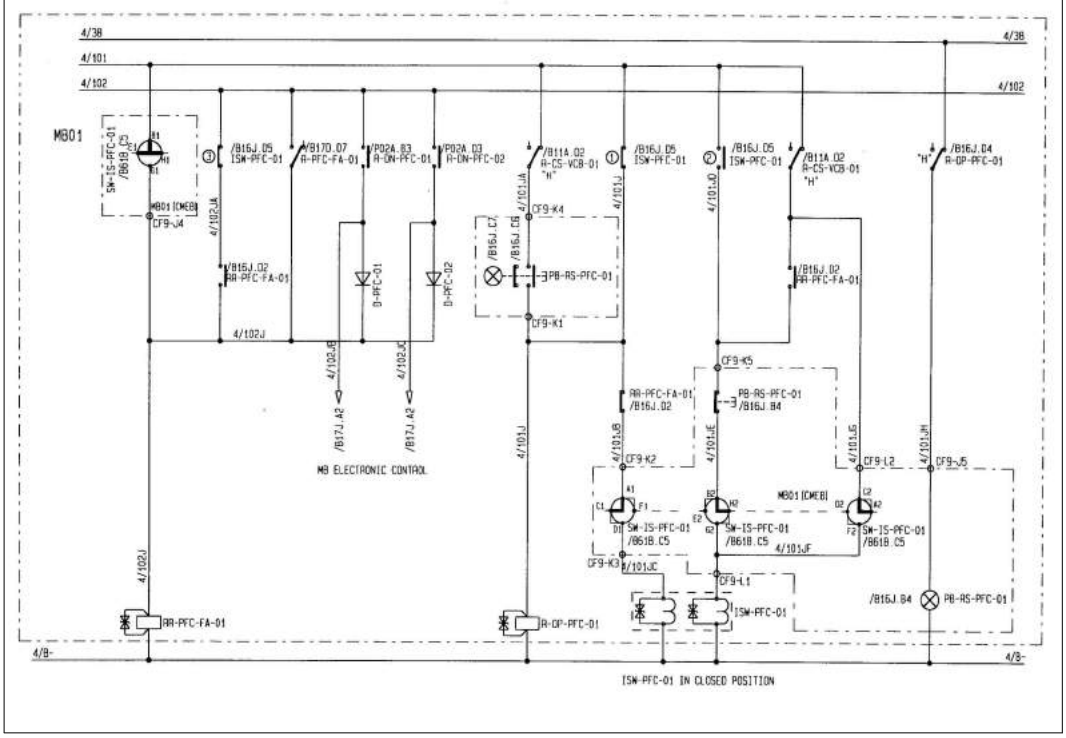
PFC2 동력회로

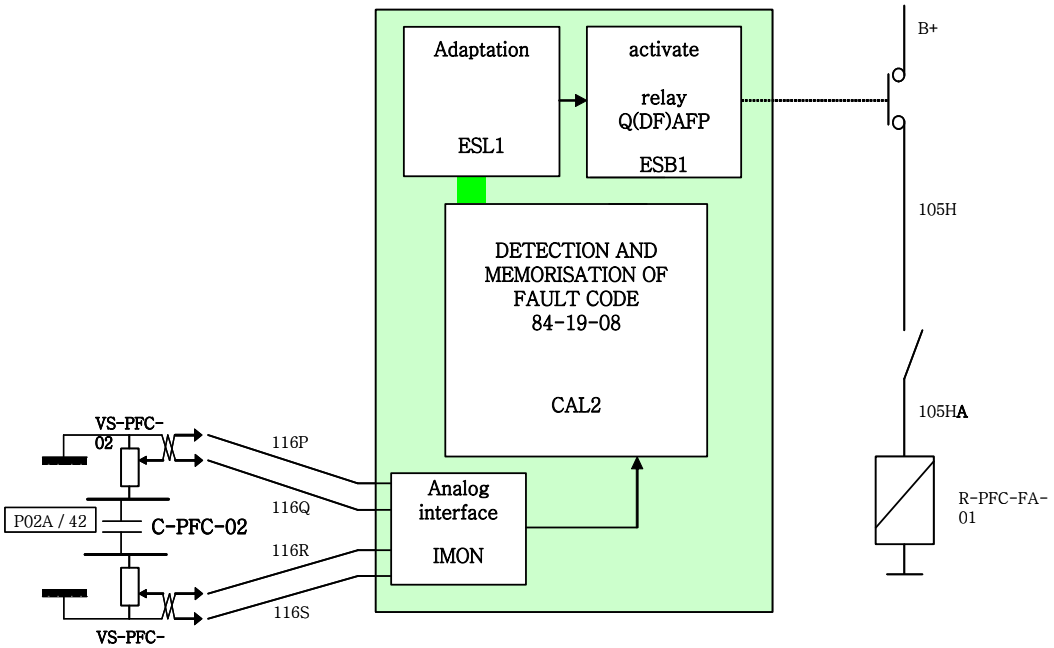


PFC2 전류의 측정, 형성 및 감시



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로



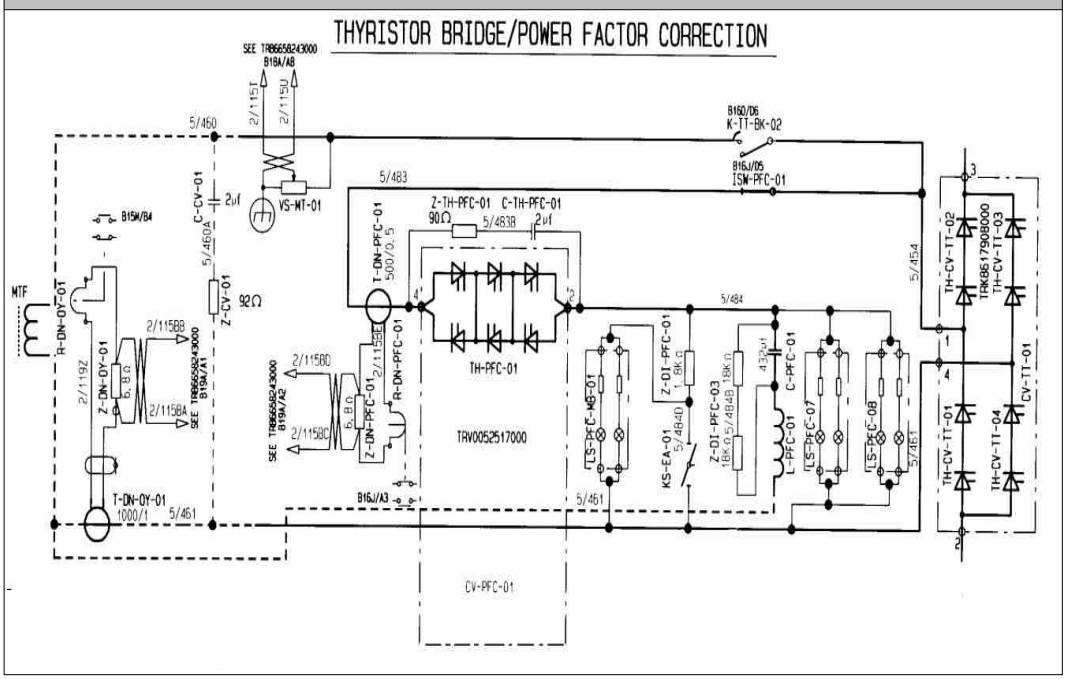


- 감지 원칙

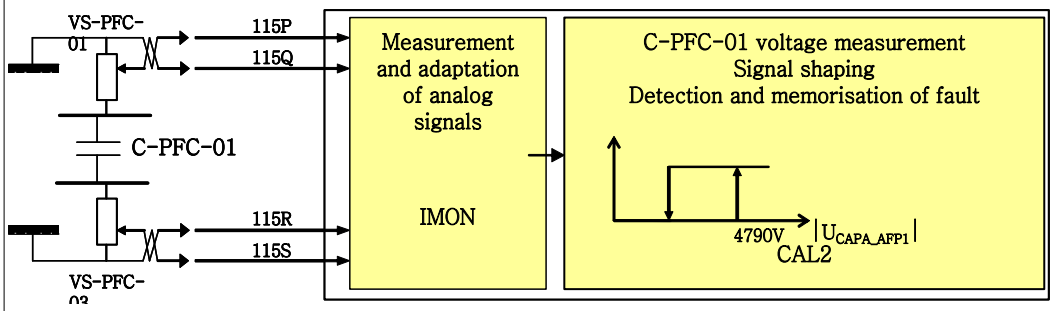
PFC에서의 과전압 감시는 컨덴서 C-PFC-02의 단자 전압을 측정하는 전압센서 (저항 브리지)에 의해 이루어진다. 이 전압이 2번의 연속적인 측정동안 6600V를 초과하면, 과전압으로 감지하여 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(18) 84-19-09 : 미 작동 중 PFC1 컨덴서 과전압(WITHOUT CLOSING)

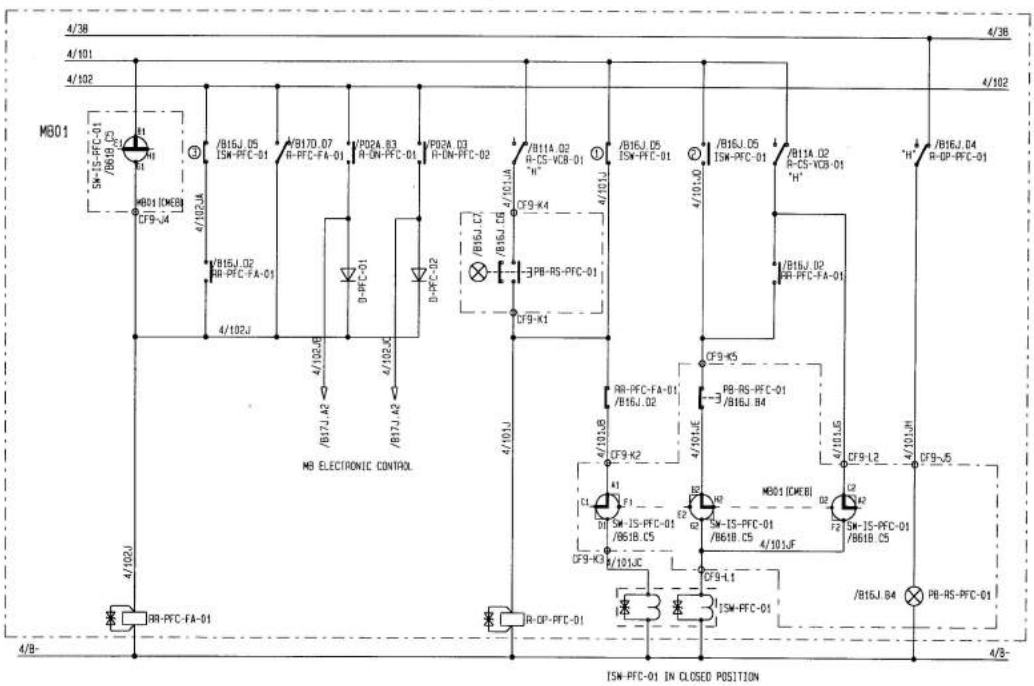
PFC1 동력회로

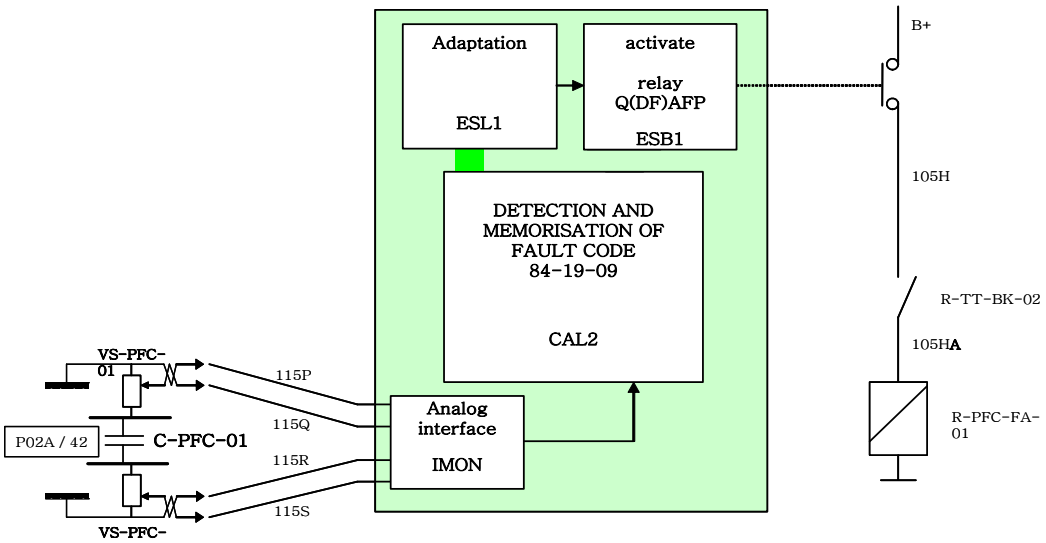


PFC1 전류의 측정, 형성 및 감시



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로



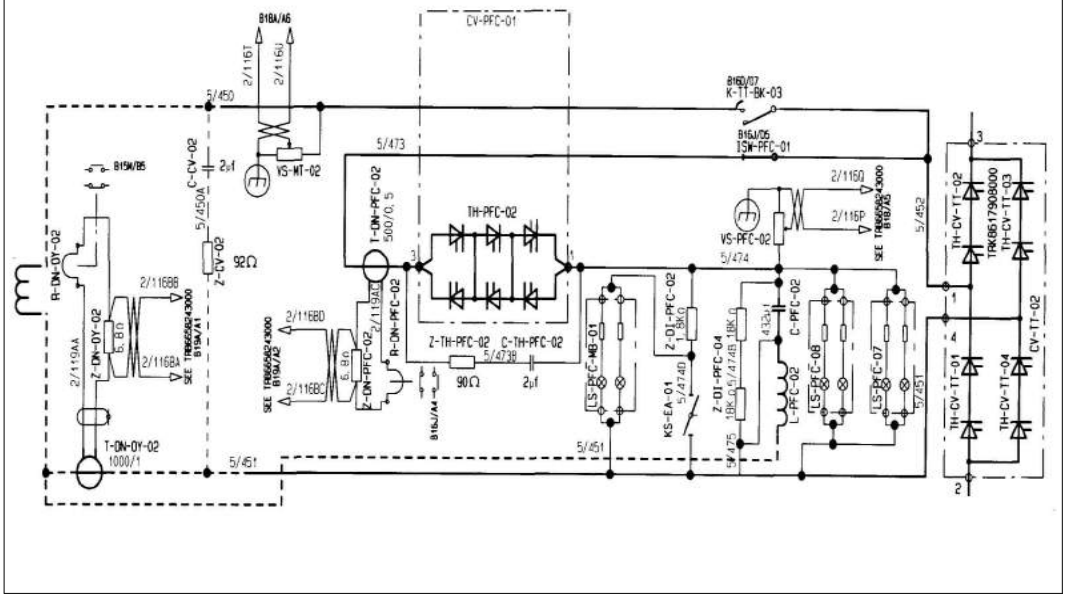


- 감지 원칙

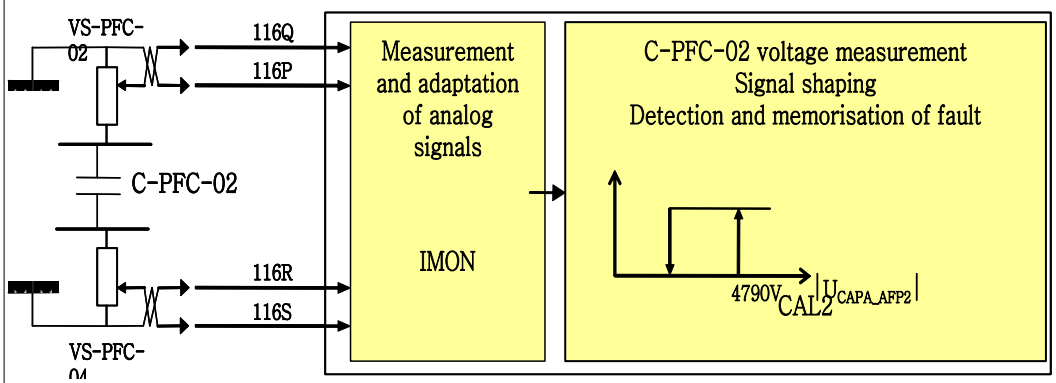
PFC에서의 과전압 감시는 컨덴서 C-PFC-01의 단자 전압을 측정하는 전압센서 (저항 브리지)에 의해 이루어진다. PFC1이 동작하지 않는 조건에서, 이 전압이 2번의 연속적인 측정동안 4790V를 초과하면, 과전압으로 감지하여 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(19) 84-19-0A : 미 작동 중 PFC2 컨덴서 과전압(WITHOUT CLOSING)

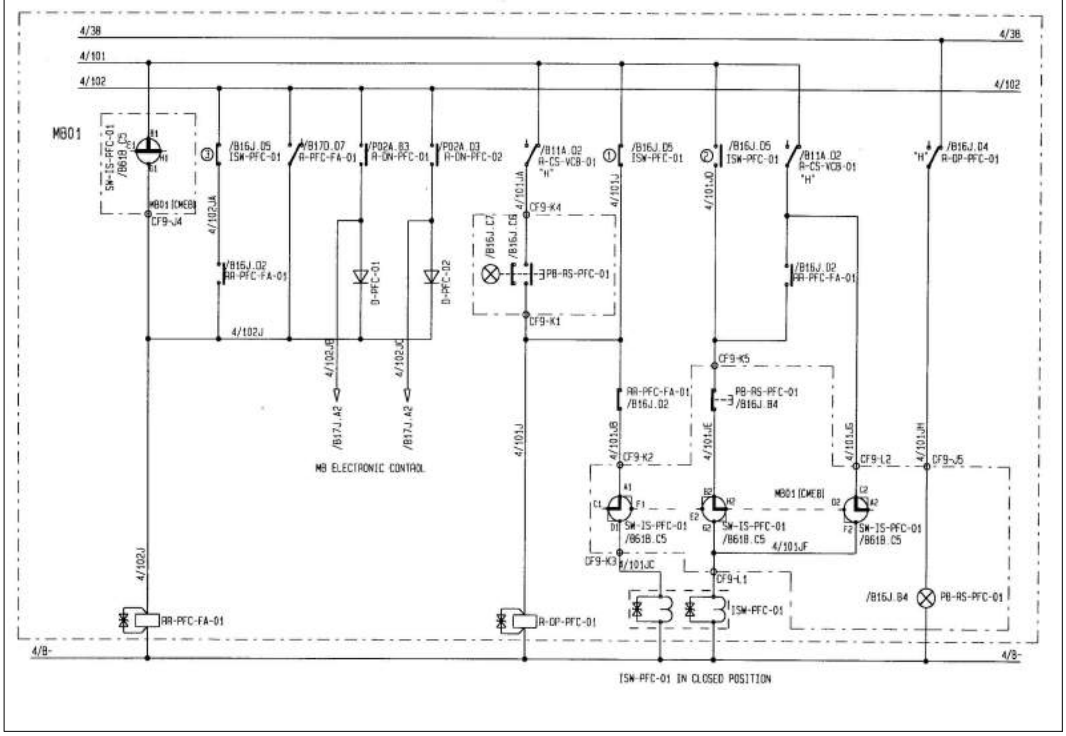
PFC2 동력회로

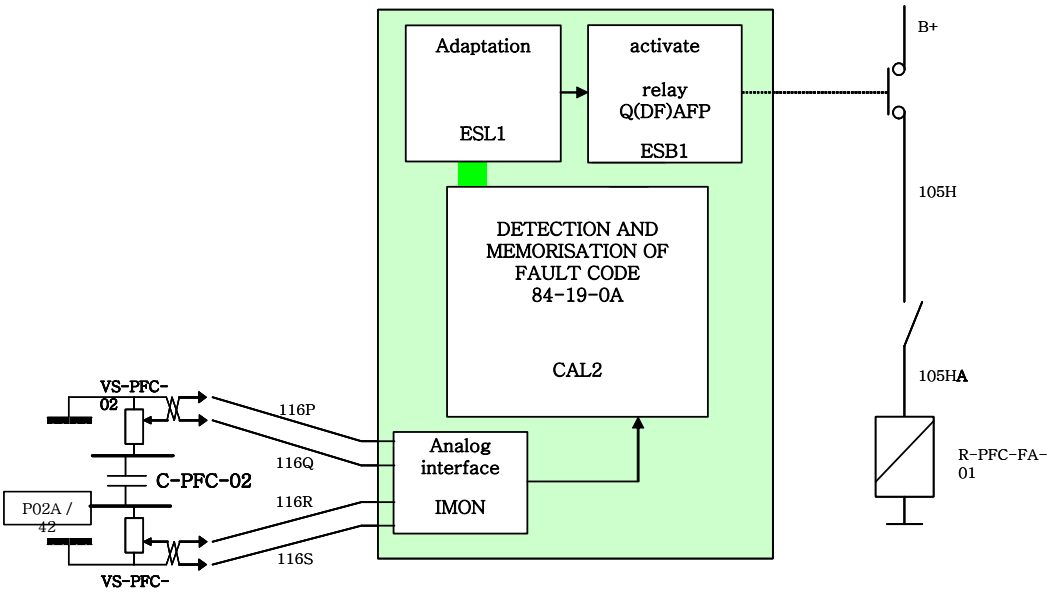


PFC2 전류의 측정, 형성 및 감시



차단 스위치 ISW-PFC-01 동작회로

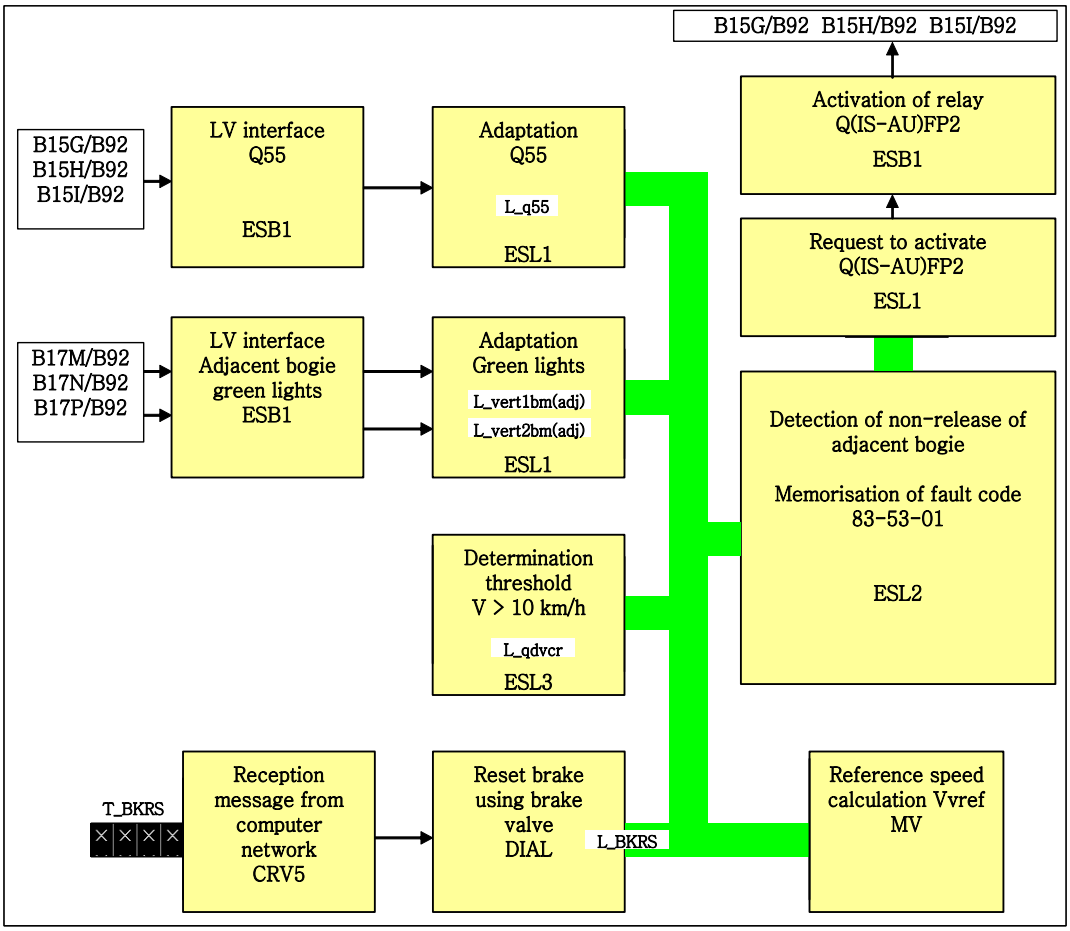




- 감지 원칙

PFC에서의 과전압 감시는 컨덴서 C-PFC-02의 단자 전압을 측정하는 전압센서 (저항 브리지)에 의해 이루어진다. PFC2가 동작하지 않는 조건에서, 이 전압이 2번의 연속적인 측정동안 4790V를 초과하면, 과전압으로 감지하여 그 MBU에 의해 고장코드가 저장된다.

(20) 83-53-01: 옆 대차 제동 체결 고장(ADJACENT BOGIE BRAKE APPLIED FAULT)



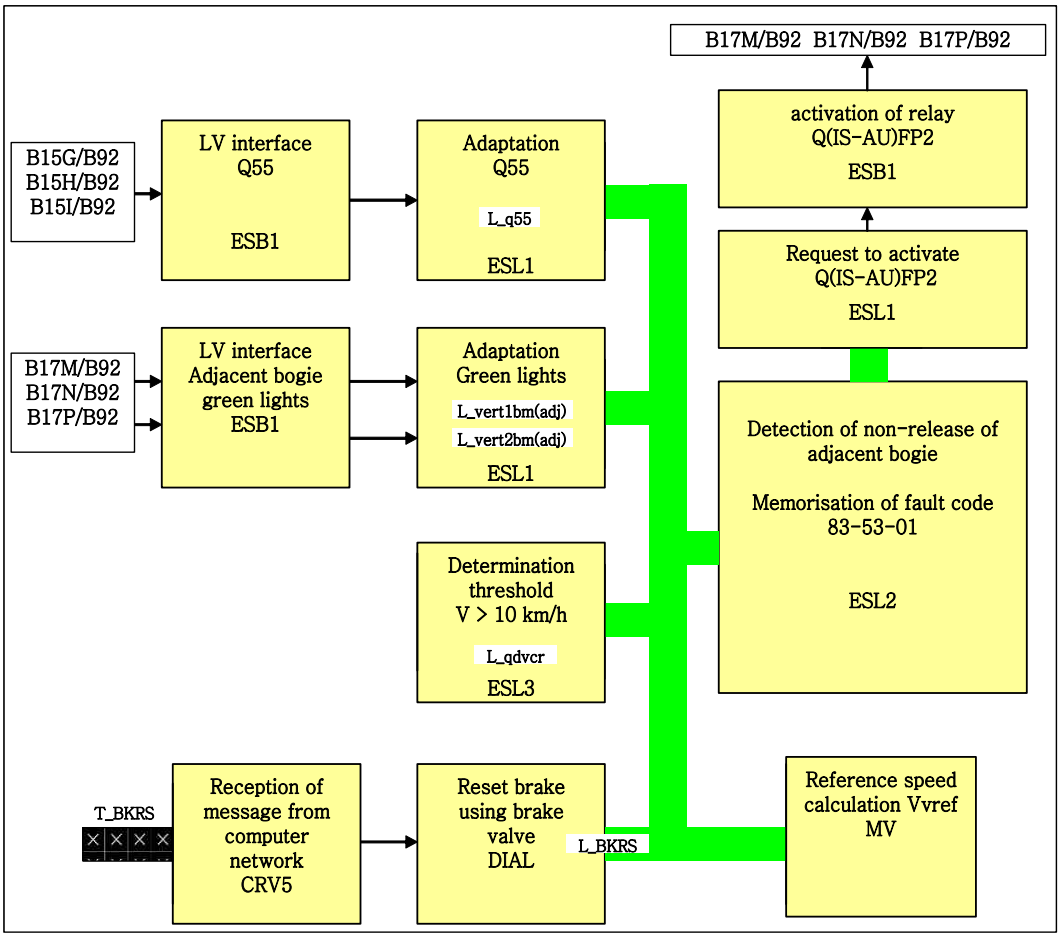
- 감지 원칙

제동변을 이용한 메카닉(mechanic)에 의해 제동완해 요구가 있을 때, 옆 대차의 완해 시험이 수행된다. 옆 대차 녹색등(완해표시) 감시는 MBU 전자제어장치가 모터블록 공기제동 완해고장을 판단하도록 해 준다.

이 고장을 감지하기 위해서는, 제동완해가 mechanic(T_BKRS)에 의해 이루어 져야 하는데 로컬 기준속도가 70 km/h 이상이어야 하고, 계전기 R-EB-CO-01에 의한 제동요구 없이 열차속도가 10 km/h(Q(DV)CR) 이상이고, 제동 표시등의 최소한 1개가 녹색으로 읽히지 않아야 한다.

이 시험은 매 10s 마다 이루어지고, 5번의 연속적인 감지(40s)후, 고장코드 83-53-01이 저장된다.

(21) 83-53-02 : 운행 중 옆 MB 비완해 고장(ON-LINE NON-RELEASE FAULT)

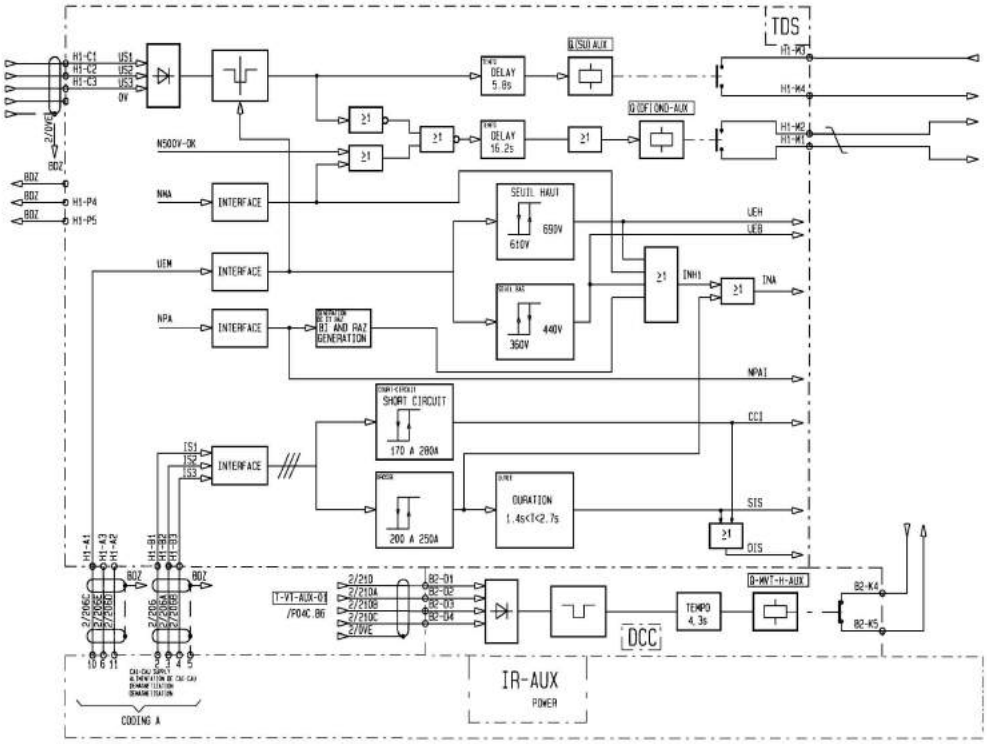


- 감지 원칙

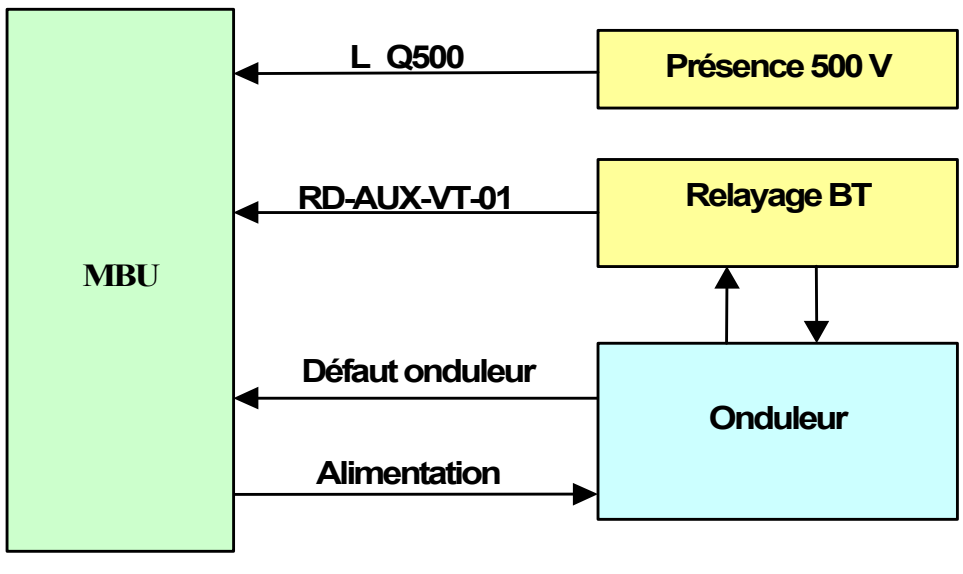
이 고장코드는 항상 고장코드 83-53-02와 함께 발생한다. 83-53-02(옆 대차 혼합제동의 차단)가 처리되고 83-53-0110s 후에 옆 대차가 여전히 비완해 된 것으로 나타나면, 제동에 고장이 있는 것으로 간주한다. 고장코드 83-53-02는 6번의 연속적인 감지(50s)후에 저장된다.

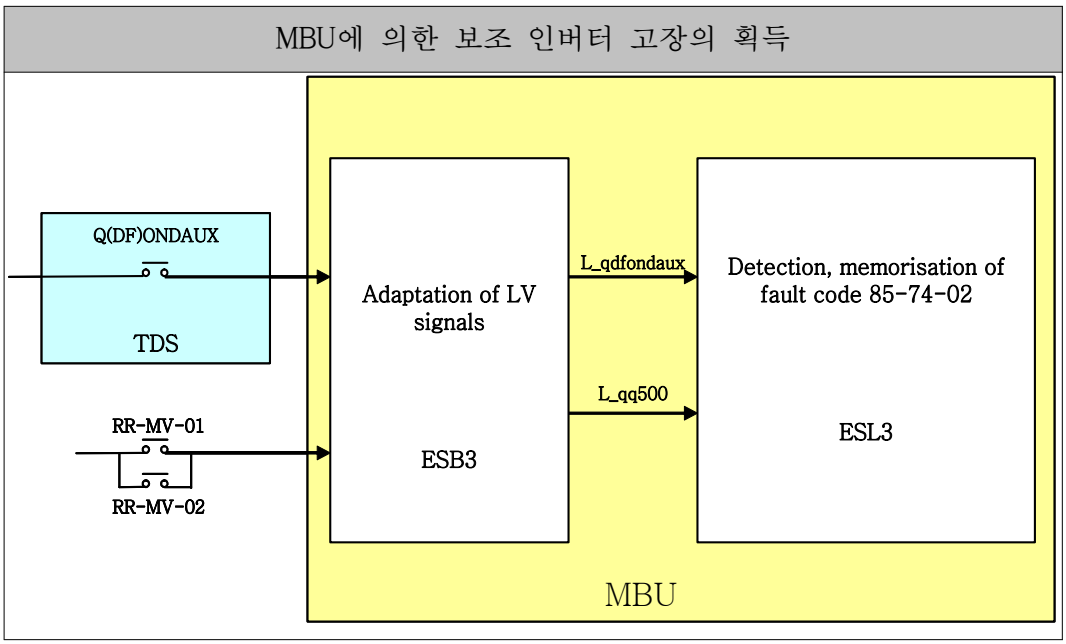
(22) 85-74-02 : 보조 인버터 고장

TDS 카드 블록 다이어그램(고장 처리)



기능적 정의 블록 다이어그램





- 감지 원칙

보조인버터들은 모터블록 1과 2에 의해 감시된다. IR-AUX-01 또는 IR-AUX-02의 고장 계전기(Q(DF)ONDAUX)는 TDS 카드가 다음 사항을 감지했을 때, 소자 된다.

· T-IR-AUX-0(i) (I = 1 또는 2)에 의한 380V 380V 읽기 고장 감지
· MBU (N500V-OK)에서, 570V 존재 고장
· 동작명령 루프 고장(NMA)

보조회로 전압이 존재(L_qq500)하고, 변수 L_qdfondaux가 6s(1초당 한번 읽음) 동안 활성화된 상태이면, 보조인버터고장이 저장된다.

다) 기타 고장 코드

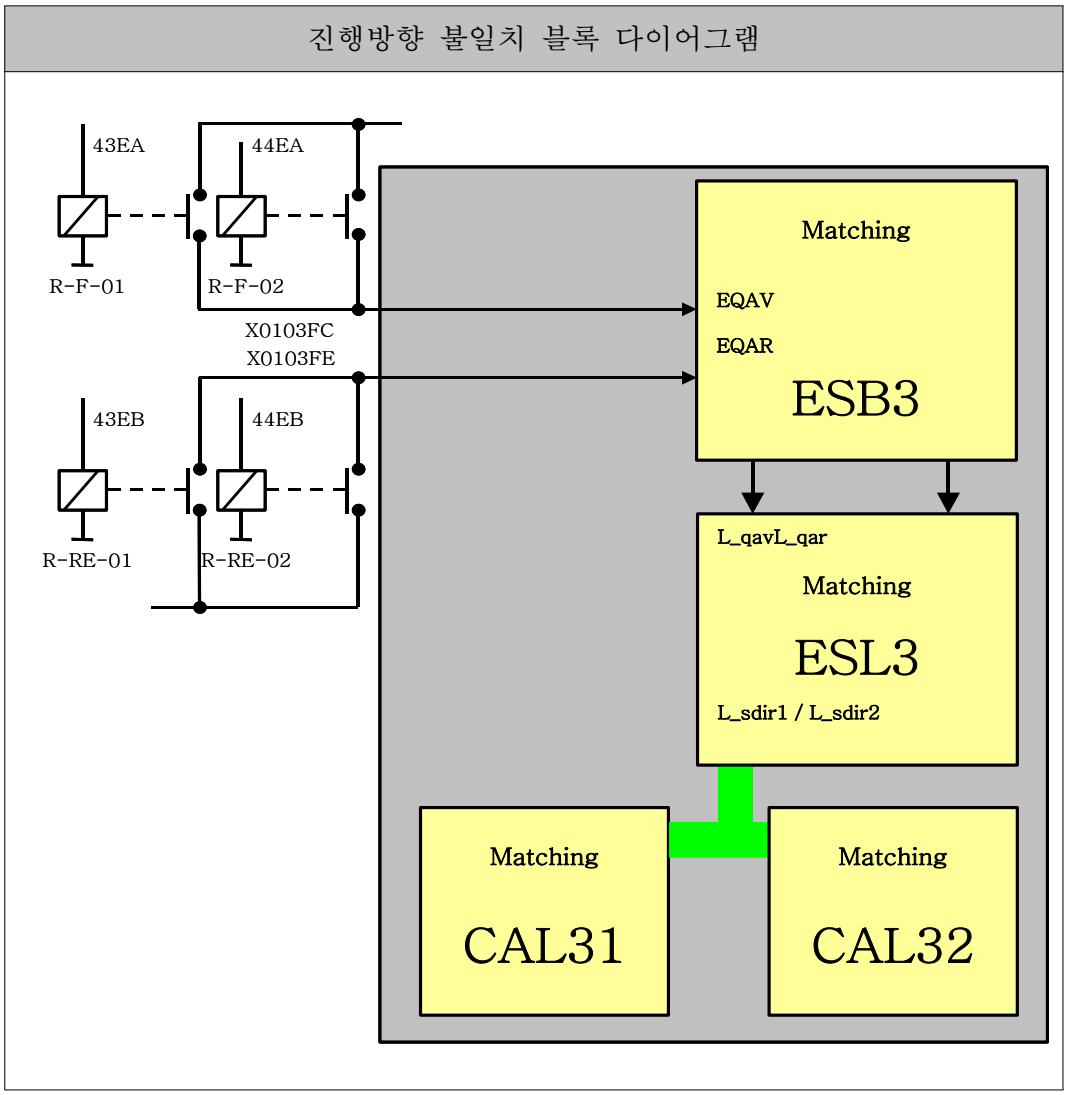
모터블록이 차단되는 보완적 주요 고장 코드는 아래표의 99가지이다.

순번	고장코드	코드명	비 고
1	44-14-01	진행방향 불일치	
2	44-14-0E	제동 고장 표시등 LS-MB-FA 점등	
3	44-14-0F	감시되는 영구(계속적) 고장 존재	
4	44-14-10	관리 시스템의 완전 고장	
5	44-14-11	MPU 및 APU가 본 수행력 부족	
6	44-14-12	제어에 의해 승인되지 않은 차단고장 감지	
7	44-14-13	표시(알림)가 없는 차단	
8	44-14-14	회생제동 고장	
9	44-15-01	(최소값에 의한) 제동관 압력센서 감시	
10	44-15-02	PCG 측정과 비상제동 압력스위치 PS-EM-BK-01(MA-URG) 정보 사이의 불일치 감시	
11	44-15-04	비상제동 시, 전기제동력 수행력 부족 감시	
12	44-15-05	최대값에 의한 제동관 압력센서 감시	
13	44-15-06	SB-01 동작 시, 계전기 RD-EM-CO-01의 감시	
14	44-16-01	T2RST 클럭 감시	
15	44-16-02	견인전동기 회전자 온도 감시	
16	44-16-03	너무 긴 공전 감지	
17	44-16-04	IR-TT-01 전압 감시	
18	44-16-05	IR-TT-02 전압 감시	
19	44-16-06	저전압 불일치 감시	
20	44-16-07	견인 컨버터(완전 브리지) 불균형	
21	44-16-08	견인 컨버터 1 과전류(RR-DN-0Y-01)	
22	44-16-09	견인 컨버터 2 과전류(RR-DN-0Y-02)	
23	44-16-0A	전환 컨덴서 C-SW-01 과전압	
24	44-16-0B	SWITCHING CAPACITOR C-SW-02 OVERVOLTAGE	
25	44-16-0C	견인전동기 1 과전압	
26	44-16-0D	견인전동기 2 과전압	
27	44-16-0E	IR-TT-01 과전압	
28	44-16-0F	IR-TT-02 과전압	
29	44-16-10	IR-TT-01 암 단락(DIAMETRAL SHORT CIRCUIT)	
30	44-16-11	IR-TT-02 암 단락(DIAMETRAL SHORT CIRCUIT)	
31	44-16-12	여자(EXCITATION) 과전류	
32	44-16-13	견인전동기 회전자 탈자화(DEEXCITATION) 사이리스터 고장	
33	44-16-14	센서 1 과속	
34	44-16-15	센서 2 과속	
35	44-16-16	인버터 IR-TT-01 위치센서 차단; 단선(CUT OFF) 고장	
36	44-16-17	인버터 IR-TT-02 위치센서 차단; 단선(CUT OFF) 고장	
37	44-16-18	인버터 IR-TT-01 위치센서 단락 고장	
38	44-16-19	인버터 IR-TT-02 위치센서 단락 고장	
39	44-16-1A	견인전동기 1 과속 고장	
40	44-16-1B	RR-EA-FA-01 동력회로 접지 고장	

순번	고장코드	코드명	비 고
41	44-16-1C	견인전동기 2 과속 고장	
42	44-16-1D	발전제동 과전류	
43	44-16-1E	제동 저항 과전압	
44	44-16-1F	발전제동 주초퍼(제동초퍼) 고장	
45	44-16-23	DIAL 카드 자기진단테스트	
46	44-16-24	ESL1 카드 자기진단테스트	
47	44-16-25	ESL2 카드 자기진단테스트	
48	44-16-26	ESL3 카드 자기진단테스트	
49	44-16-27	인버터 동기화 자기진단테스트	
50	44-16-28	CAL1 카드 자기진단테스트	
51	44-16-29	CAL2 카드 자기진단테스트	
52	44-16-2A	CAL3.1 카드 자기진단테스트	
53	44-16-2B	CAL3.2 카드 자기진단테스트	
54	44-16-2C	MV 카드 자기진단테스트	
55	44-16-2F	DIAL-CDJ 카드 자기진단테스트	
56	44-16-30	ESL1 / ESB1 카드 자기진단테스트	
57	44-16-31	ESL1 / CDJ 카드 자기진단테스트	
58	44-16-32	ESL2 / ESB2 카드 자기진단테스트	
59	44-16-33	ESL3 / ESB3 카드 자기진단테스트	
60	44-16-34	CAL3.1 / ISY1 / CDJ / AIT1_1 카드 자기진단테스트	
61	44-16-35	CAL3.2 / ISY2 / CDJ / AIT1_2 카드 자기진단테스트	
62	44-16-36	CAL3.1 / ISY1 카드 자기진단테스트	
63	44-16-37	CAL3.2 / ISY2 카드 자기진단테스트	
64	44-16-38	CAL3.1- IMON 카드 자기진단테스트	
65	44-16-39	CAL3.2- IMON 카드 자기진단테스트	
66	44-16-3A	CAL3.1-ISY1-CAL2-IMON 카드 자기진단테스트	
67	44-16-3C	CAL32-ISY2-CAL2-IMON 카드 자기진단테스트	
68	44-16-3D	CAL1-INCA 카드 자기진단테스트	
69	44-16-3E	CAL1- IMON 카드 자기진단테스트	
70	44-16-3F	CAL2-IMON 카드 자기진단테스트	
71	44-16-41	CAL2-IMON-CDJ-AIT1_3 카드 자기진단테스트	
72	44-16-42	CAL2-IMON-CDJ-AIT4 카드 자기진단테스트	
73	44-16-44	MV-IFPS 카드 자기진단테스트	
74	44-16-45	견인 및 회생제동 모드에서의 견인전동기 과전류	
75	44-16-46	시나리오 0102에서 감지된 GTO, TG-EX-01 파손 고장	
76	44-16-48	상호감시 고장	
77	44-16-49	동기화 고장	
78	44-16-4A	여자회로 퓨즈 파손 고장	

순번	고장코드	코드명	비 고
79	44-17-01	측정 채널 1 고장	
80	44-17-02	측정 채널 2 고장	
81	44-17-03	측정 채널 3 고장	
82	44-17-04	측정 채널 4 고장	
83	43-17-05	적용 고장	
84	43-17-06	제동완해 고장	
85	43-17-07	AE HARD 시간종료(NON-PRESETTING) 제어 고장	
86	43-17-08	NRE HARD 시간종료(NON-PRESETTING) 제어 고장	
87	43-17-0D	AE 전자변 고장	
88	43-17-0E	NRE 전자변 고장	
89	43-17-0F	AE 전자변 제어 고장	
90	43-17-10	NRE 전자변 제어 고장	
91	43-17-11	AE NON-PRESETTING CONTROL TRIGGERING	
92	43-17-12	NRE NON-PRESETTING CONTROL TRIGGERING	
93	43-17-14	옆 대차 차축 고착 고장 감시	
94	45-18-01	모터블록 냉각송풍 고장	
95	45-18-02	송풍필터 예비충전 고장	
96	43-51-03	속도/반 압력 한계 불일치 감시	
97	45-72-02	축전지 충전기 고장 > 10 MIN	

(1) 44-14-01: 진행방향 불일치

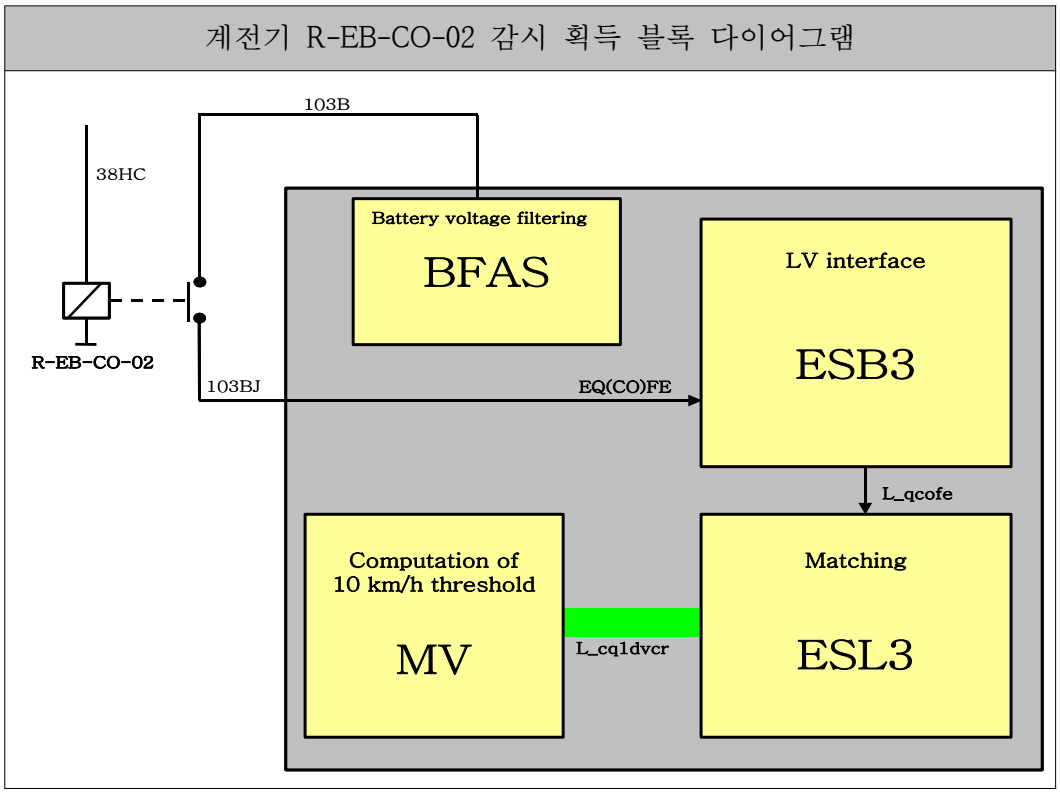


- 감지 원칙

진행방향 불일치 시험은 기관사에 의해 선택된 진행방향 계전기(R-F-01 및 R-F-02 또는 R-RE-01 및 R-RE-02)와 CAL31 및 CAL32 카드에 의해 결정된 인버터 IR-TT-01 및 IR-TT-02(sdir1 또는 sdir2) 제어명령과의 비교를 통하여 이루어진다.

이 시험은 10 km/h 이상의 속도에서 승인되고, 11번의 연속적인 고장(1s)후에 저장된다.

(2) 44-14-0E : 제동 고장 표시등 LS-MB-FA 점등

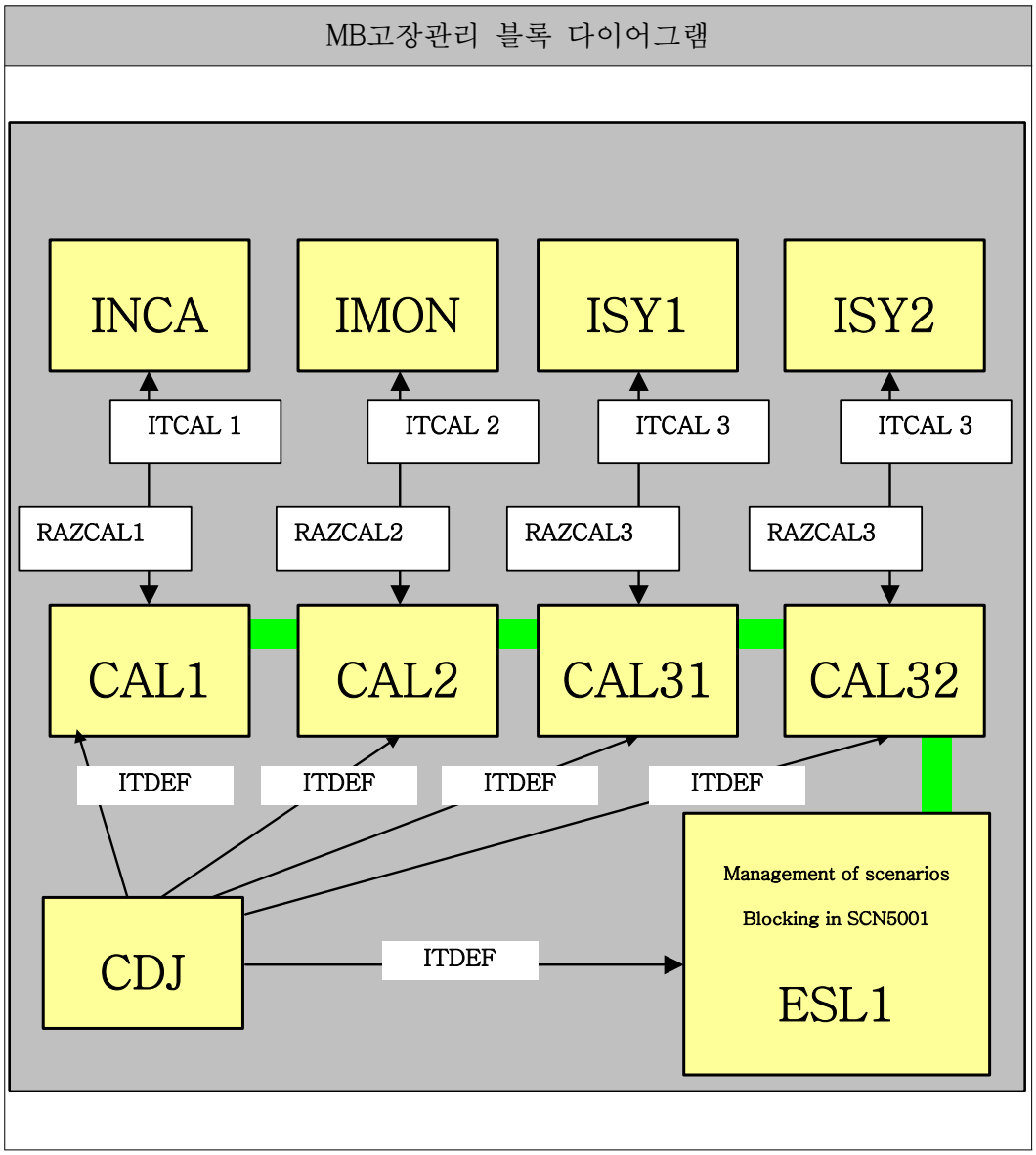


- 감지 원칙

계전기 R-EB-CO-02는 제동이 적용(체결)될 때, 차축 보호장치의 올바른 동작을 감시한다. 이 계전기는 MBU내부계전기 Q1-ESS-BLO(옆 MB의 차축 비회전 감지계전기 01; 차축 비회전이 감지되면 접점이 열림)가 무여자 상태이고, Q(DF)ESS-BLO(옆 MB의 차축 비회전 감지기능 고장계전기; 감지기능이 정상이면 접점이 닫힘) 또는 Q(DF)AE(AE 기능 고장계전기; 감지기능이 정상이면 접점이 닫힘)가 여자되었을 때, 여자된다.

옆 MB에서 차축비회전 감지기능 고장이 감지되거나(Q(DF)ESS-BLO 접점이 열림), 로컬 MB에서 활주방지장치 기능고장(Q(DF)AE 접점이 열림) 또는 옆 MB의 차축 비회전 고장(차축 비회전이 감지; Q1-ESS-BLO 접점이 열림)이 나타나면 R-EB-CO-02의 여자회로가 차단되어 소자된다.

(3) 44-14-0F : 감시되는 영구(계속적) 고장 존재

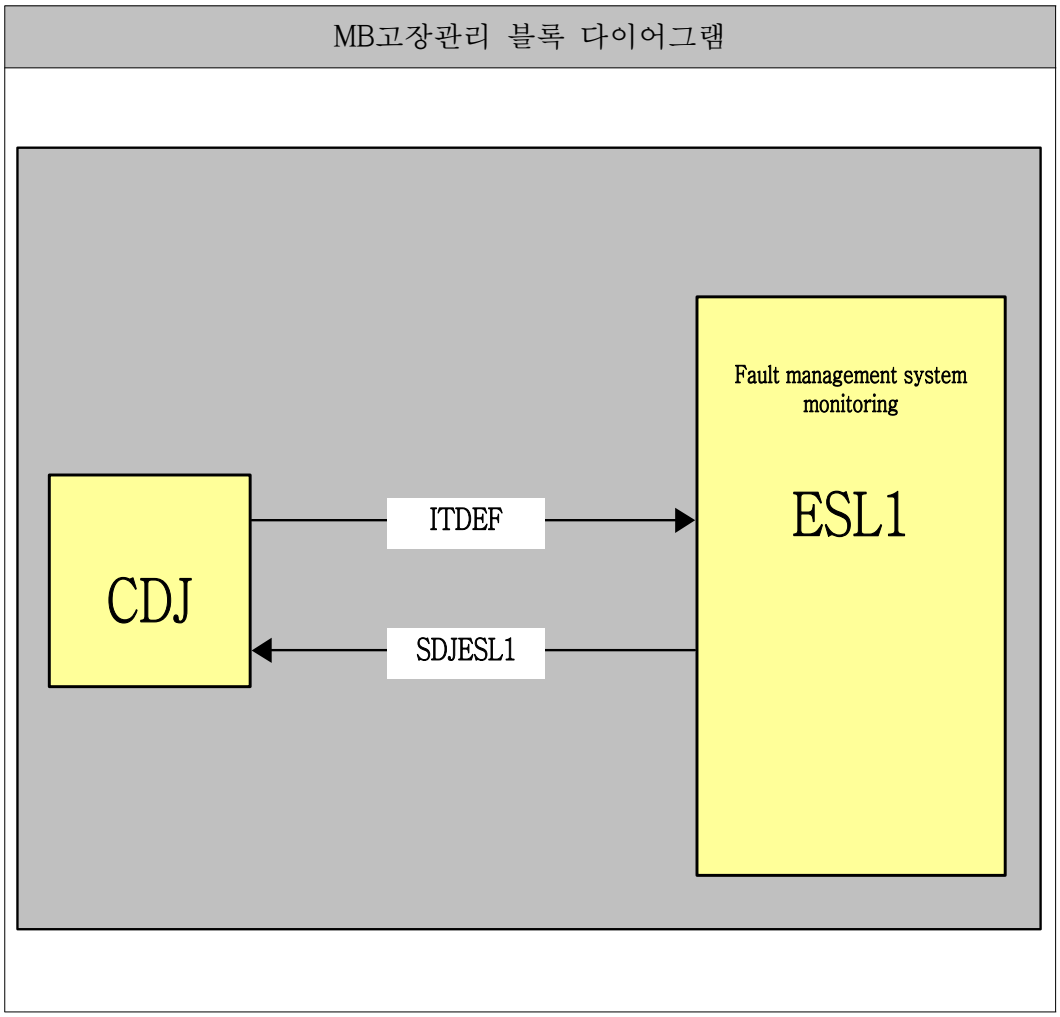


- 감지 원칙

CAL1, CAL2 또는 CAL3 카드에 의해 고장이 감지될 때마다 모든 카드들에 의한 고장처리를 승인하도록 하나의 인터럽트(금지 시그널) 요구(ITCAL 1, ITCAL 2 또는 ITCAL 3)가 생성된다. 인터럽트 요구가 일단 처리되면, RAZCALx(컴퓨터의 리셋 CALx = 1, 2 또는 3)의 활성화를 통하여 인터럽트 요구는 '0'로 리셋된다.

리셋이 일어나지 않거나 애초의 인터럽트가 10 s 동안 존재하면, 그 고장을 저장한다.

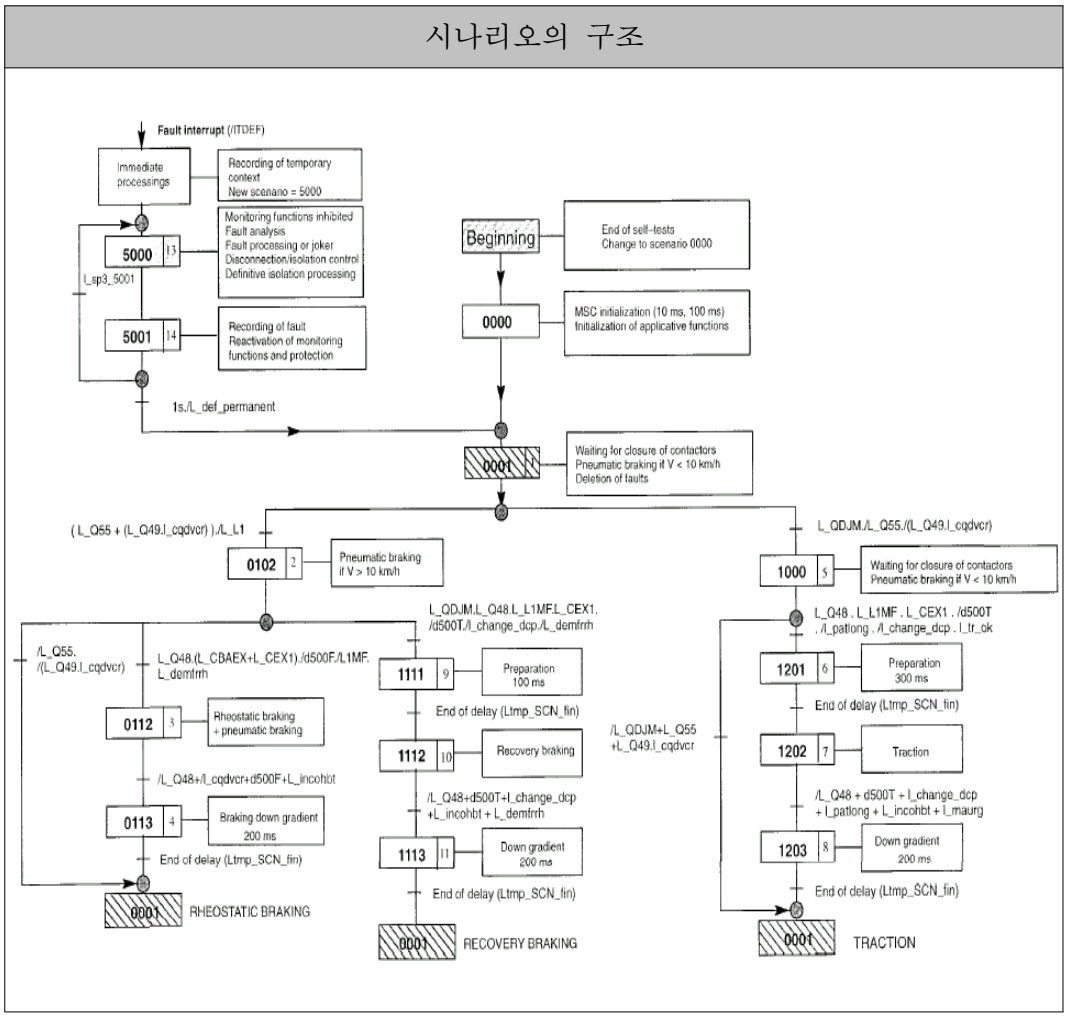
(4) 44-14-10 : 관리 시스템의 완전 고장



- 감지 원칙

ESL1 카드가 CDJ 카드로 보내는 인터럽트 요구를 생성할 때, CDJ 카드에서 ESL1 카드로 보내는 ITDEF 시그널의 전송감시가 활성화된다. 100 ms 후, CDJ 카드가 접수인지를 전송하지 않았으면, 전자제어장치 감시 시스템은 완전고장으로 결정된다.

(5) 44-14-11 : MPU 및 APU가 본 수행력 부족



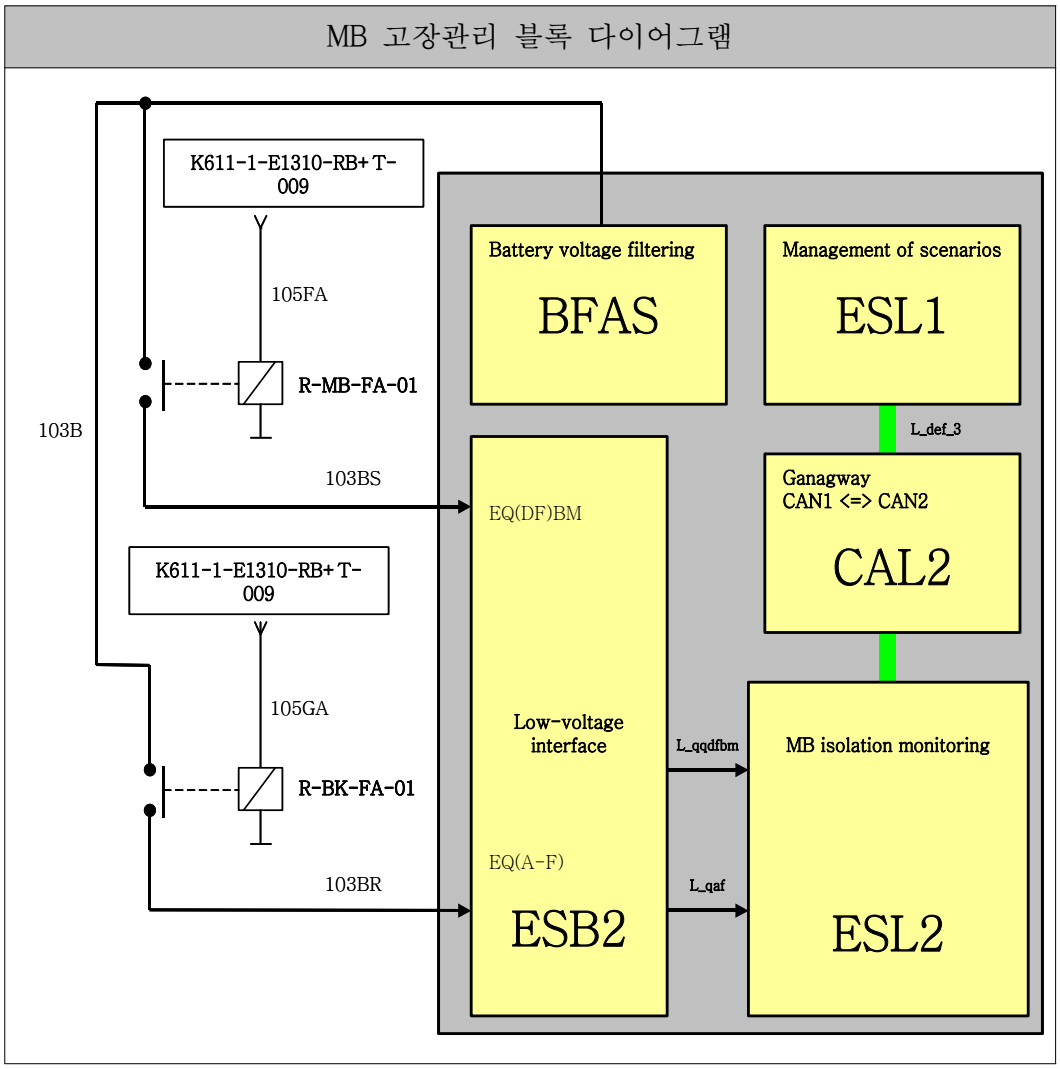
- 감지 원칙

각 MBs은 자기가 실현하는 전기적 힘의 값(VMF)을 MPU 및 APU로 보낸다. MPU 및 APU는 각 모터블록으로부터 받아들인 전기적 힘의 평균값을 만들어 이 값을 각 MB의 전기적 힘과 비교한다. 어느 MB이 충분한 힘을 발휘하지 못하면, MPU 및 APU는 6개의 모든 MBs에서 고장코드 44-14-11을 저장하도록 제어한다. 결합된 컨텍스트는 비교를 통하여 고장의 결정을 허용하도록 6개의 모든 MBUs에 의해 저장된다.

모터블록 수행력(성능) 부족은 다음의 원인에 의해 유발될 수 있다.

· 시나리오 전환 고장(e.g.: 112 또는 1201 또는 1111); 이것은 모터블록이 요구된 명령을 수행하지 못하게 한다.
· 모터블록으로 전송되는 정보 또는 내부 메시지의 상호수신 통신고장

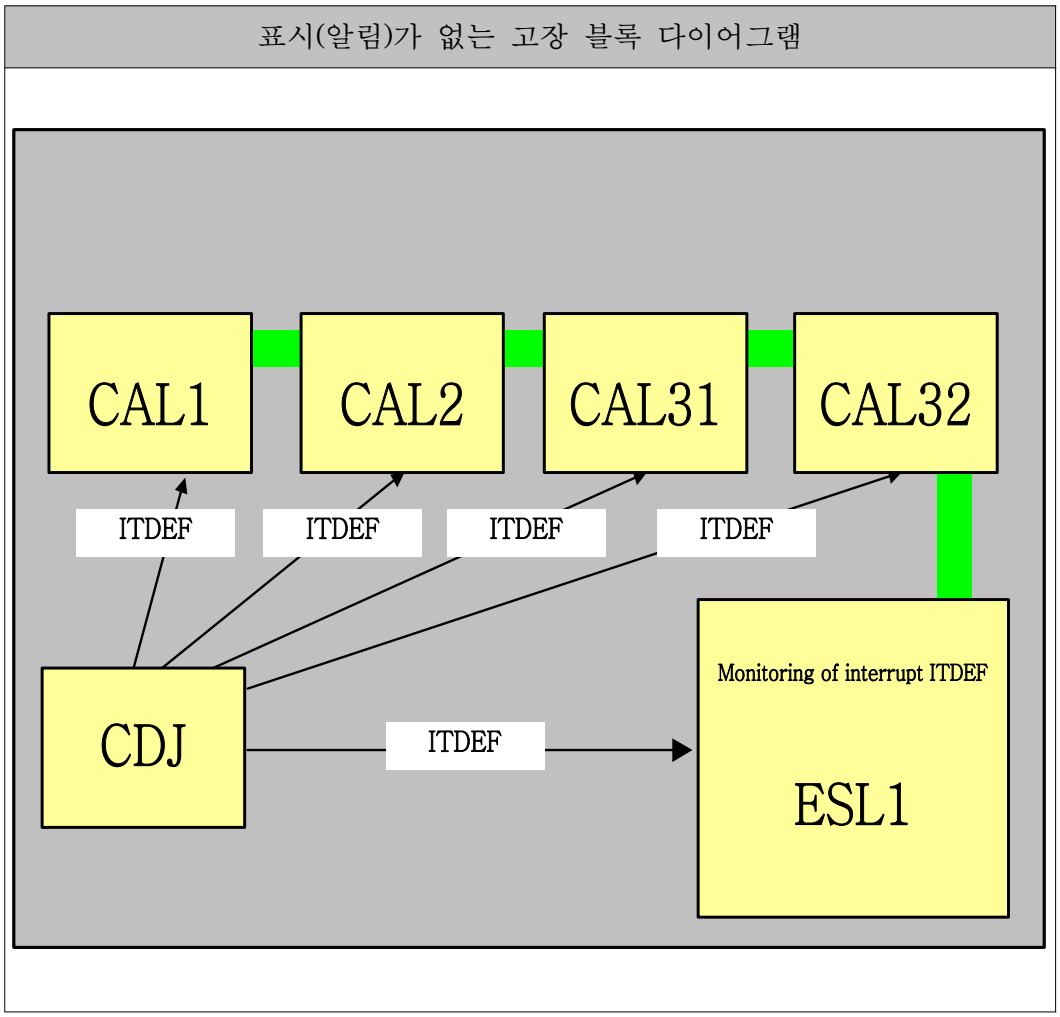
(6) 44-14-12 : 제어에 의해 승인되지 않은 차단고장 감지



- 감지 원칙

어떤 고장이 LV(저전압) 계전기회로(R-BK-FA-01 = 1 또는 R-MB-FA-01 = 1)에 의해 감지되고, 모터블록 전자제어장치가 아무런 고장관리 요구를 진행하지 못할 때(L_cqaf 또는 L_cqdfbm의 다시읽기가 없고, 고장 시나리오 5000으로 전환되지 못하면), MB가 부하상태에서 차단되는 것을 피하기 위해 하나의 ITDEF 변수가 생성되어 지시값(set point)을 감소시키고 전류의 소스(컨버터)를 블록킹한다.

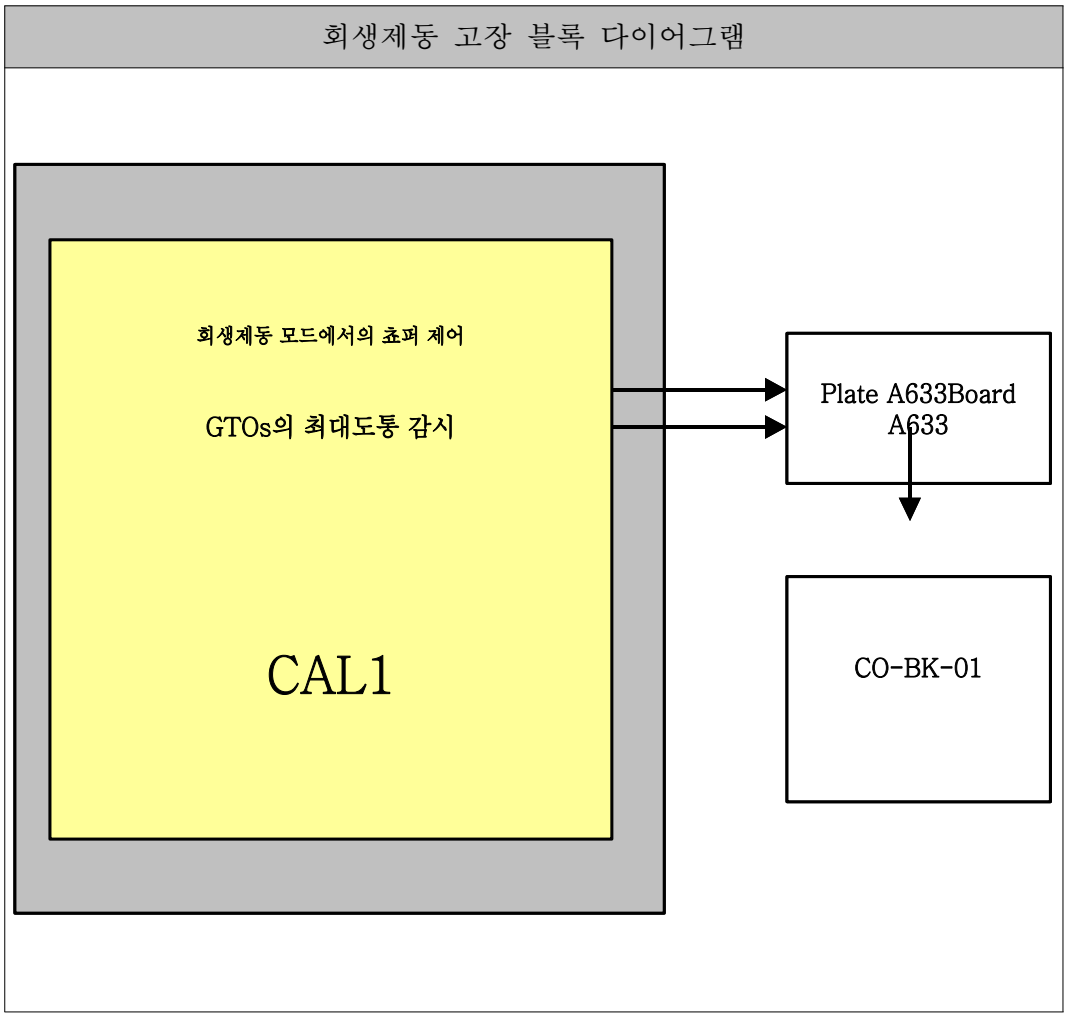
(7) 44-14-13 : 표시(알림)가 없는 차단



- 감지 원칙

시그널 ITDEF가 나타날 때마다, ESL1 카드는 인터럽트가 일어난 마이크로컨트롤러로부터 정보를 받아들인다. 30 ms 후에 ESL1 카드가 고장의 근원을 알지 못하면, L_sp37_3의 상태를 “1“로 하여 이벤트 인지없이 고장으로 결정한다.

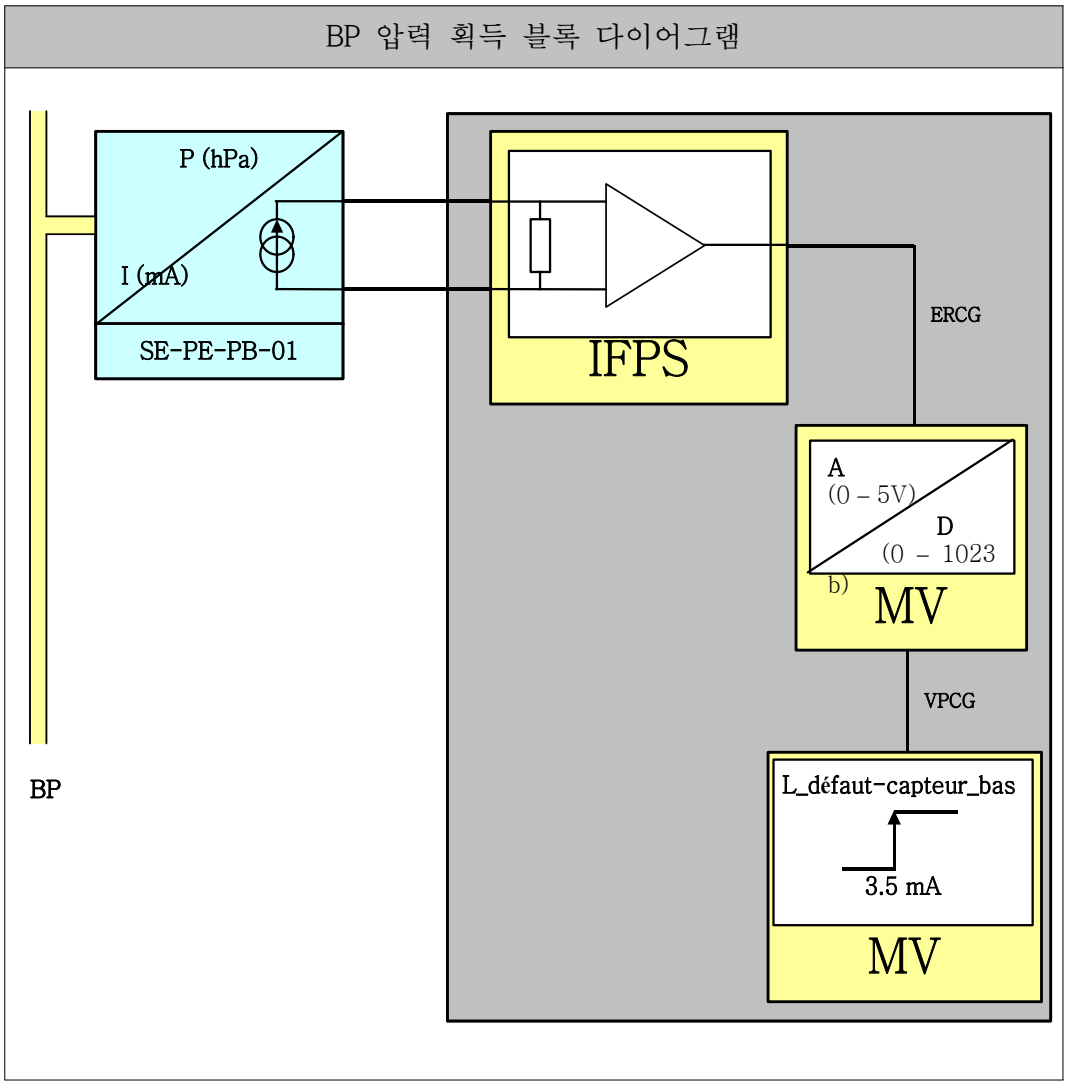
(8) 44-14-14 : 회생제동 고장



- 감지 원칙

회생제동 모드에서, 제동초퍼(CO-BK-01)는 견인전동기에 의해 생성된 동력(발전전류)의 전환을 하게 한다. MB의 전자제어장치는 제동초퍼의 GTOs가 최대 도통을 하도록 제어하여 제동저항 ZB-BK-01이 션트되도록 한다. 제동초퍼 최대도통의 감시는 시나리오 1112(회생제동)에서 활성화(L_totale) 된다. 1 s 동안 초퍼의 제어가 최대도통이 아닐 때, 회생제동 고장(L_def_recup)으로 간주한다.

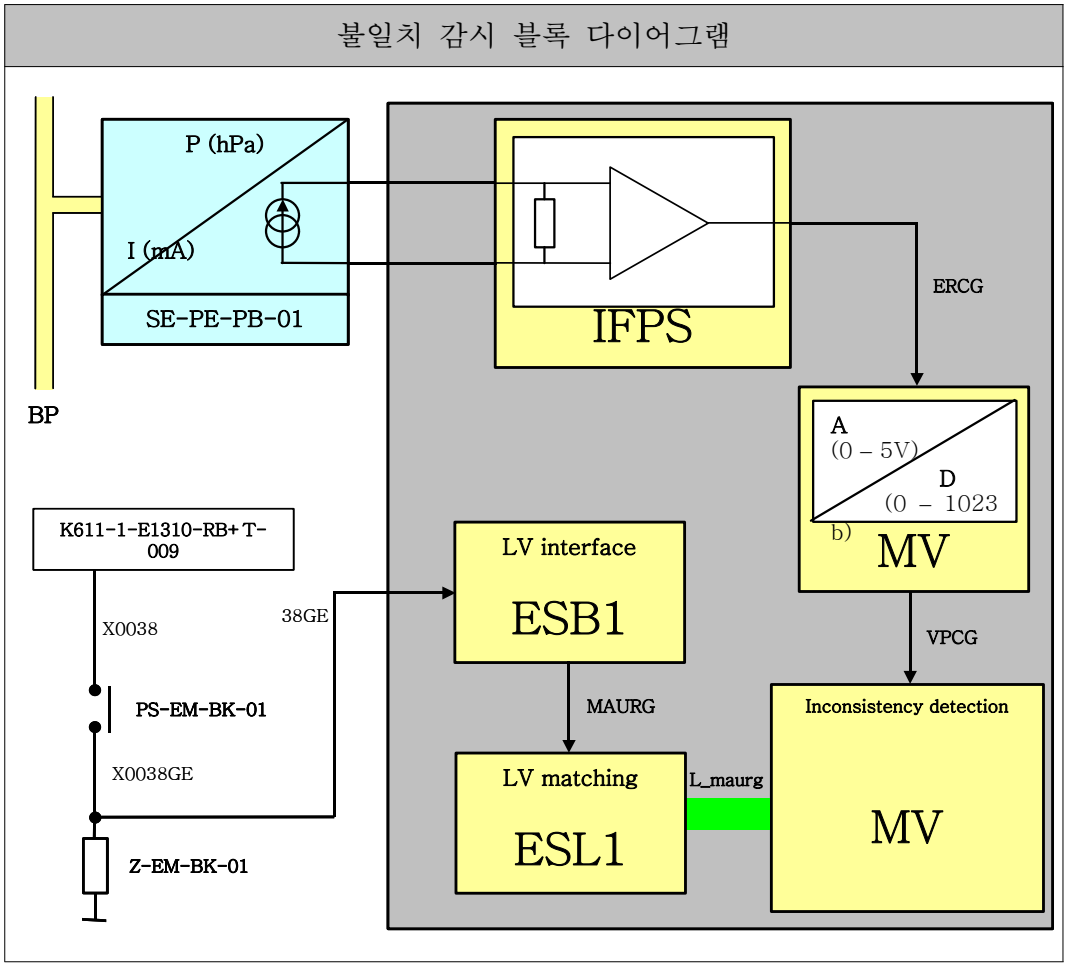
(9) 44-15-01 : (최소값에 의한) 제동관 압력센서 감시



- 감지 원칙

각 모터블록은 운전실 제동조작기의 작용을 지시하는 적용(제동) 또는 완해를 감지하도록 제동관 BP와 연결되어 있다. 압력센서 SE-PE-PB-01은 4-20mA의 범위안에서 압력/전류의 전환을 하게 하여 MB 전자제어장치에 의한 정보의 처리를 가능하도록 한다. MV 카드는 이 압력센서의 올바른 작동을 감시하여 최소값이 3.5 mA에 도달하면 고장으로 판단한다.

(10) 44-15-02 : PCG 측정과 비상제동 압력스위치 PS-EM-BK-01(MA-URG) 정보 사이의 불일치 감시

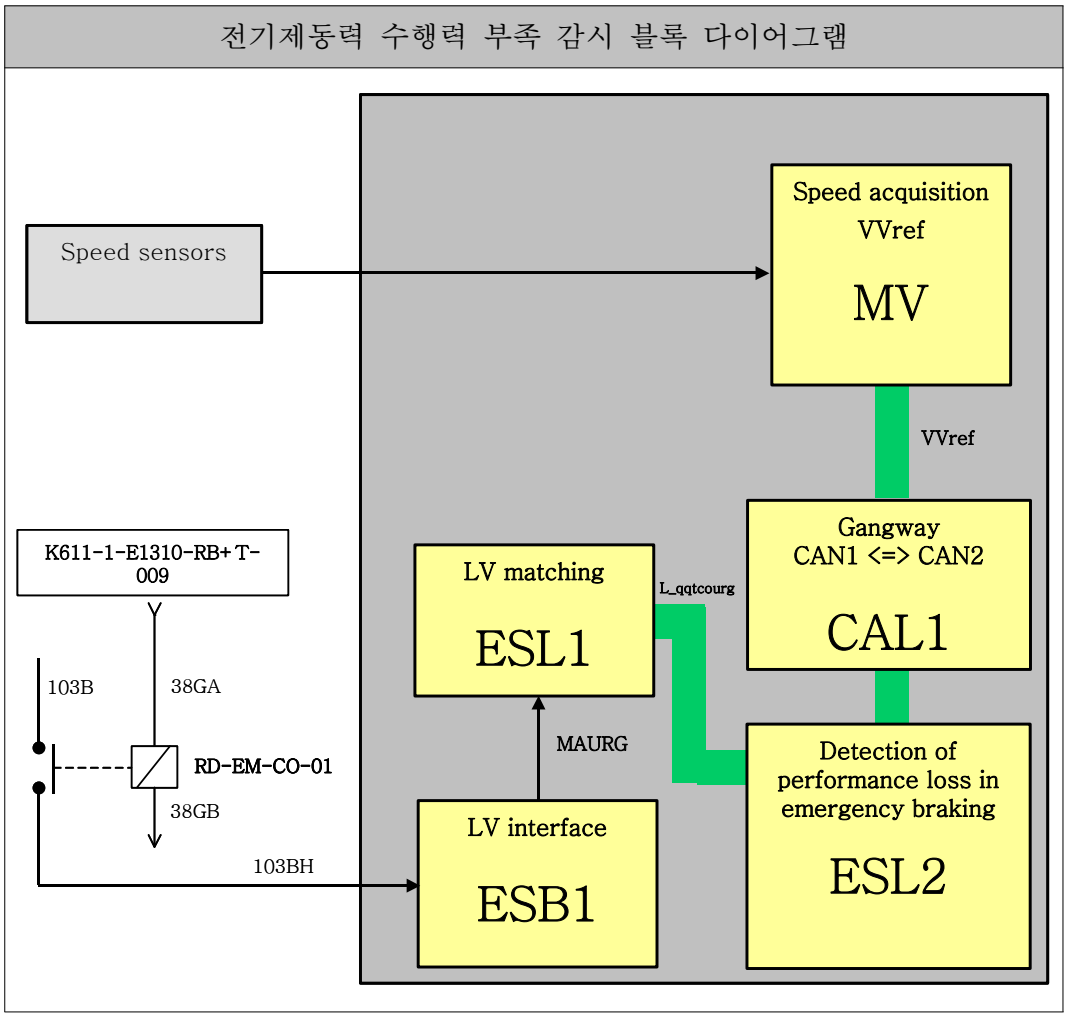


- 감지 원칙

각 모터블록은 MB에서의 제동관 압력에 연결되어 운전실에서 제동변 (제동조작기)의 작용을 나타내는 어떤 제동 체결 및 완해가 있는지 감지하도록 한다. MB에서의 제동관 압력 ≤3 b이면, MB 전자제어장치는 시그널 L_maurg = 1을 통하여 비상제동 압력스위치 PS-EM-BK-01의 위치를 다시읽어야 한다.

다음 조건이면, 변수 L_maurg와 압력 다시읽기 시그널 Vmes_pcg 사이의 불일치로 결정된다.

(11) 44-15-04 : 비상제동 시, 전기제동력 수행력 부족 감시

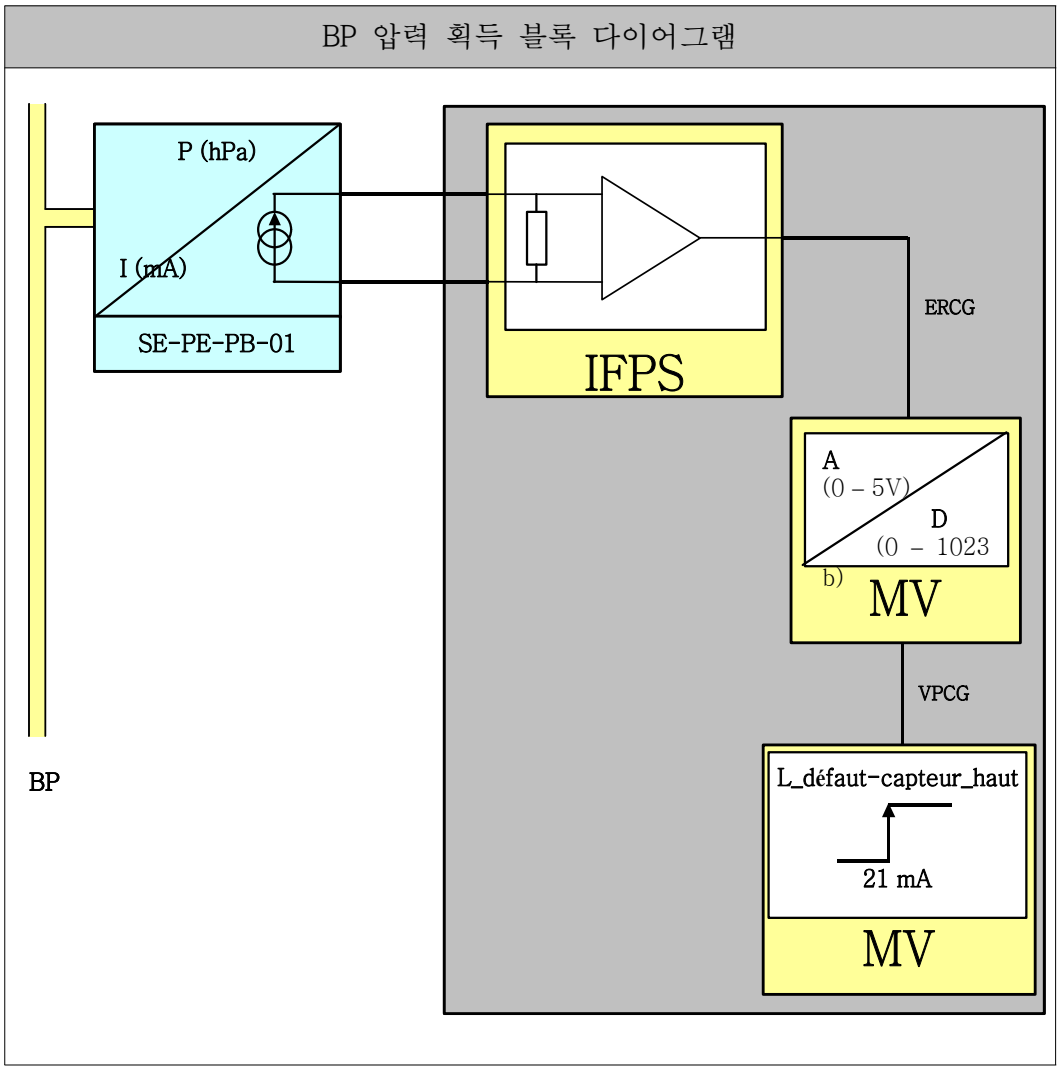


- 감지 원칙

비상 제동 모드에서(PS-EM-BK-01=1), 모터블록 전자제어장치는 계전기 RD-EM-CO-01이 여자상태인지 감시한다.

계전기 RD-EM-CO-01은 계전기 R-EX-CU-01(견인전동기 회전자 여자회로의 전류 > 230 A임을 확인하는 계전기) 및 R-BK-CU-01(견인전동기 고정자회로의 전류 > 500 A임을 확인하는 계전기)의 다시읽기 접점을 통하여 전원공급을 받는다. 비상 제동 모드에서, 계전기 RD-EM-CO-01이 여자되지 못하는 것은 견인전동기 회전자 여자회로 또는 고정자 전원공급회로에서의 전류흐름 고장을 나타낸다.

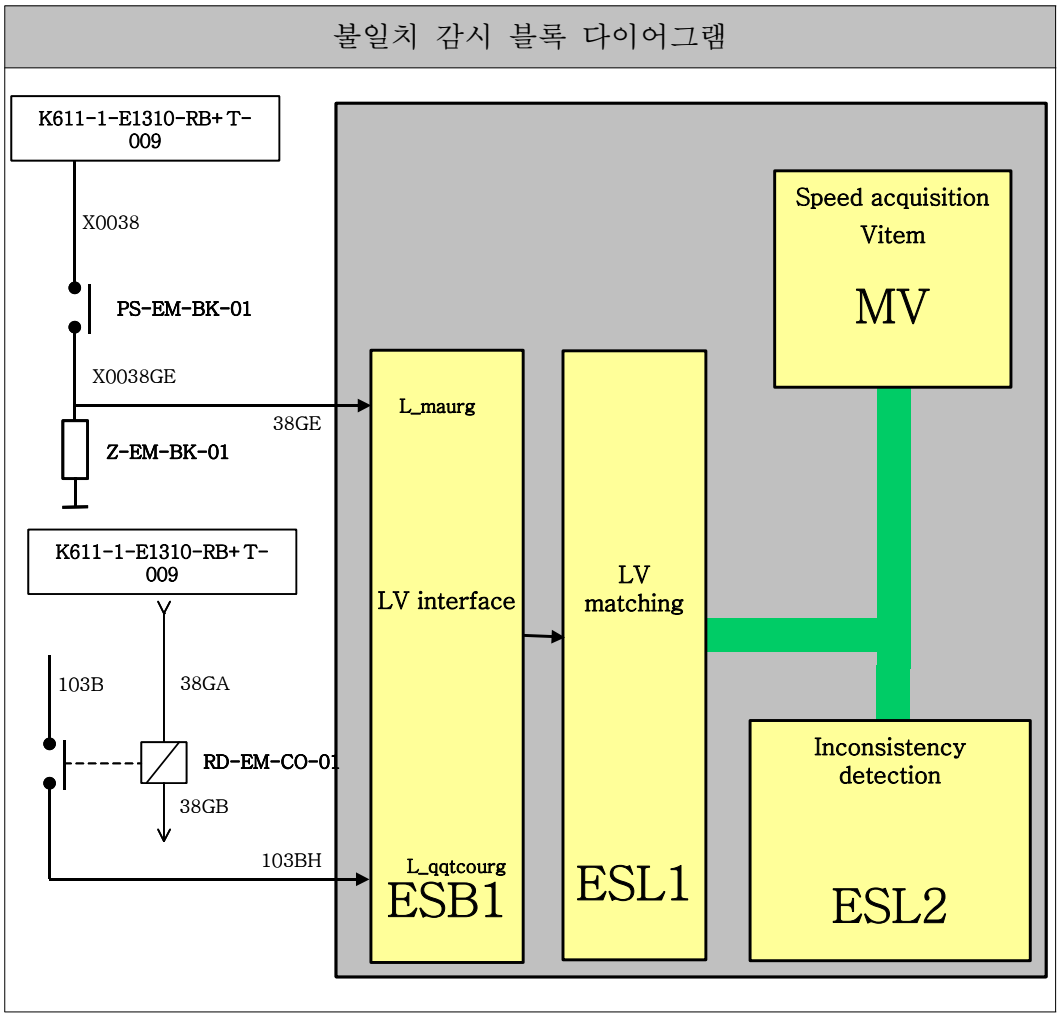
(12) 44-15-05 : 최대값에 의한 제동관 압력센서 감시



- 감지 원칙

각 모터블록은 제동관 BP에 연결되어 운전실에서의 제동제어기(제동밸브)의 작동에 의한 제동 체결 및 완해가 있는지 감지하도록 해준다. 제동관 압력센서 SE-PE-PB-01은 4~20mA 범위 안에서 압력/전류의 전환을 하게 하여 MB 전자제어장치에 의한 정보의 처리를 할 수 있도록 한다. MV 카드는 이 센서의 올바른 동작을 감시하여 최대값이 21 mA가 되면 고장으로 결정한다.

(13) 44-15-06 : SB-01 동작 시, 계전기 RD-EM-CO-01의 감시



- 감지 원칙

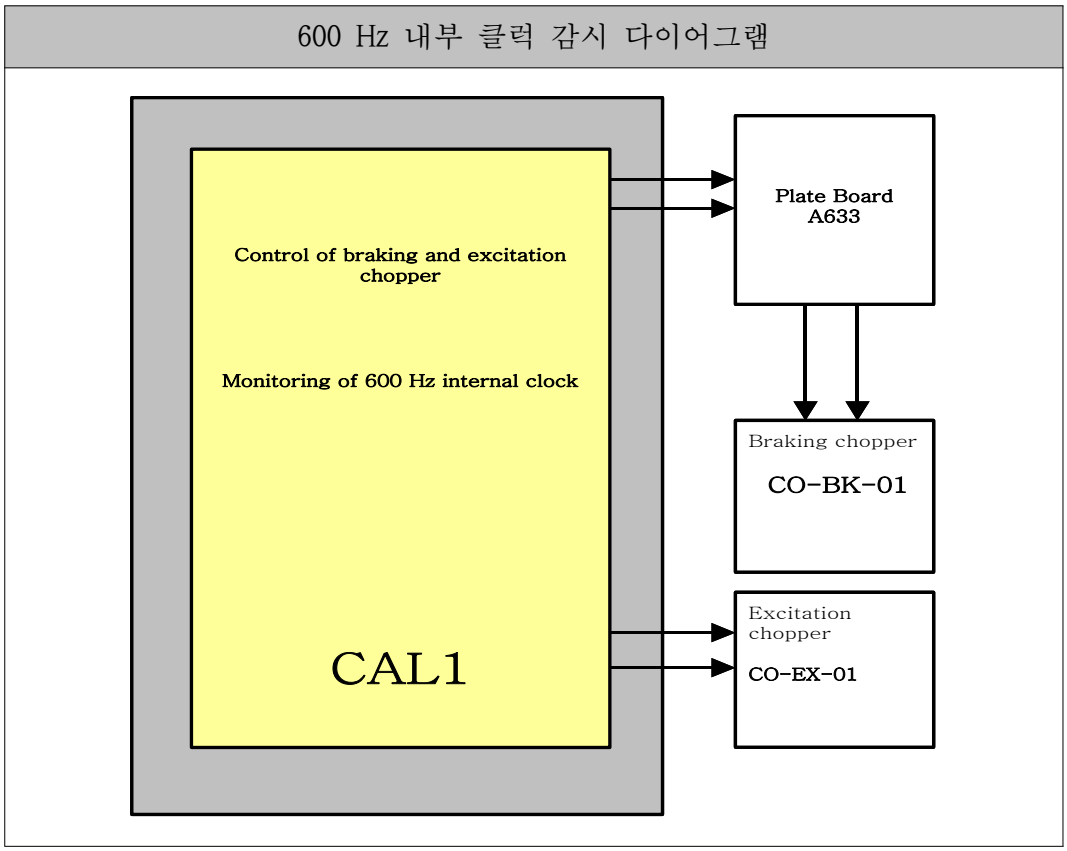
SB-01을 "ON" 위치로 동작할 때마다, 제동관 압력은 BP ≤ 2.5 bar(URG=1)이다. 계전기 RD-EM-CO-01은 제동 감시 계전기 R-BK-CU-01 및 R-EX-CU-01이 여자되지 않았으므로 전원공급을 받지 못한다.

제동관 압력이 압력 스위치 PS-EM-BK-01의 접점이 동작하는 한계 값(> 3 bar)보다 클 때, 계전기 RD-EM-CO-01 = 1이 된다.

계전기 RD-EM-CO-01 및 변수 L_maurg의 상태가 같으면(L_qqtcourg = L_maurg), URG 및 RD-EM-CO-01 사이의 불일치가 있는 것으로 결정된다.

이 일치시험은 차축의 평균속도 < 5 km/h일 때, 각 모터블록전자제어장치에 전원이 투입될 때마다(자기진단 테스트가 완료된 후 6 s 동안) 수행된다.

(14) 44-16-01 : T2RST 클럭 감시

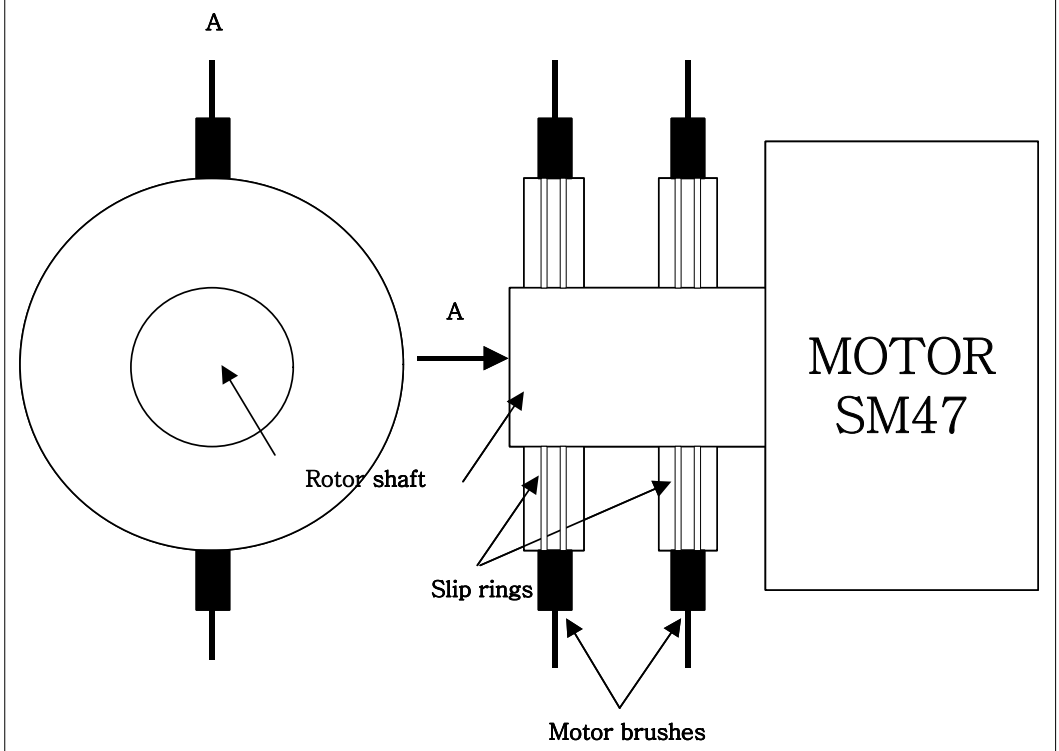


- 감지 원칙

모터블록전자제어장치(CAL1 카드)는 이 카드의 600 Hz 클럭의 올바른 작동을 감시한다. 600 Hz 클럭은 여자초퍼 및 제동초퍼의 제어 주파수를 정의하기 위한 것이다.

(15) 44-16-02 : 견인전동기 회전자 온도 감시

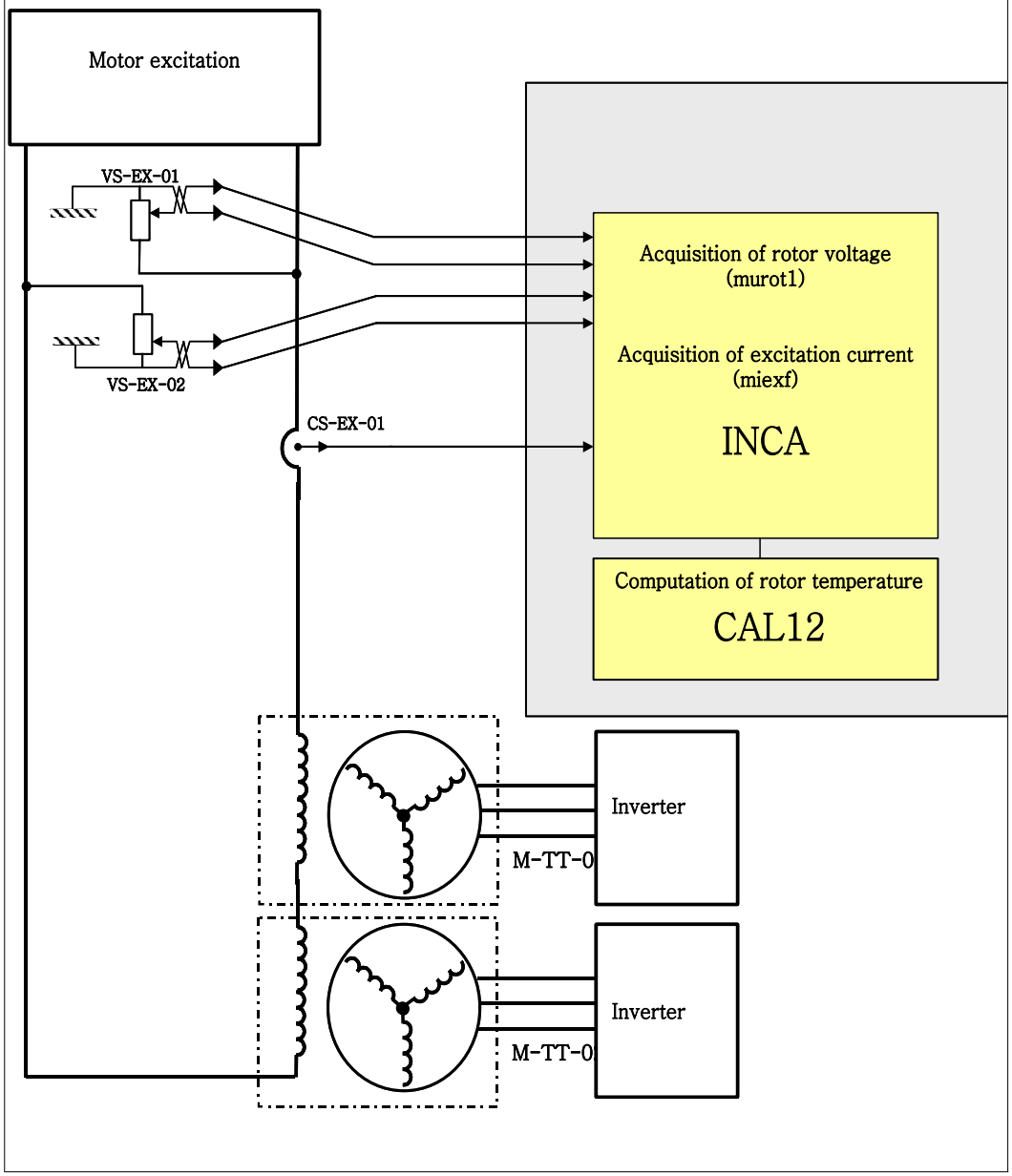
견인전동기 회전자 온도감시 블록 다이어그램



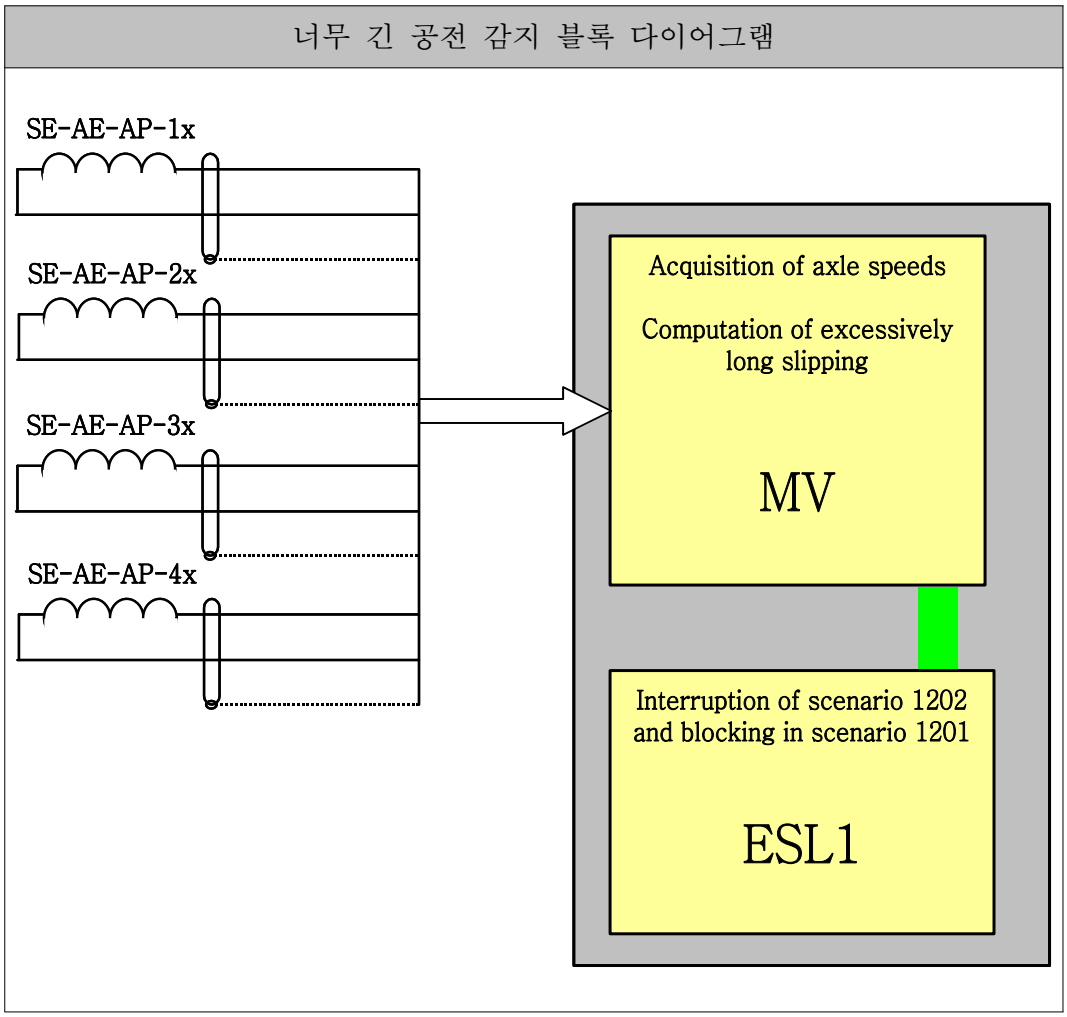
- 감지 원칙

견인전동기 회전자는 전류조절이 가능한 여자초퍼에 의해 전원 공급을 받는다. 이 전류는 부러쉬가 미끄럼 접촉되는 2개의 슬립 링을 통하여 견인전동기에 공급된다. 견인전동기 회전자 저항(R)은 회전자 양 단 전압(murot1)과 여자전류(miexf) 사이의 비율(R=V/I)을 만들어 계산된다. 견인전동기 회전자 저항이 30 s 동안 155 mΩ 보다 크면, 고장이 저장된다. 이 시험은 miexf > 204A인 조건에서 승인되며 연속적이다.

견인전동기 회전자 온도감시 블록 다이어그램



(16) 44-16-03 : 너무 긴 공전 감지



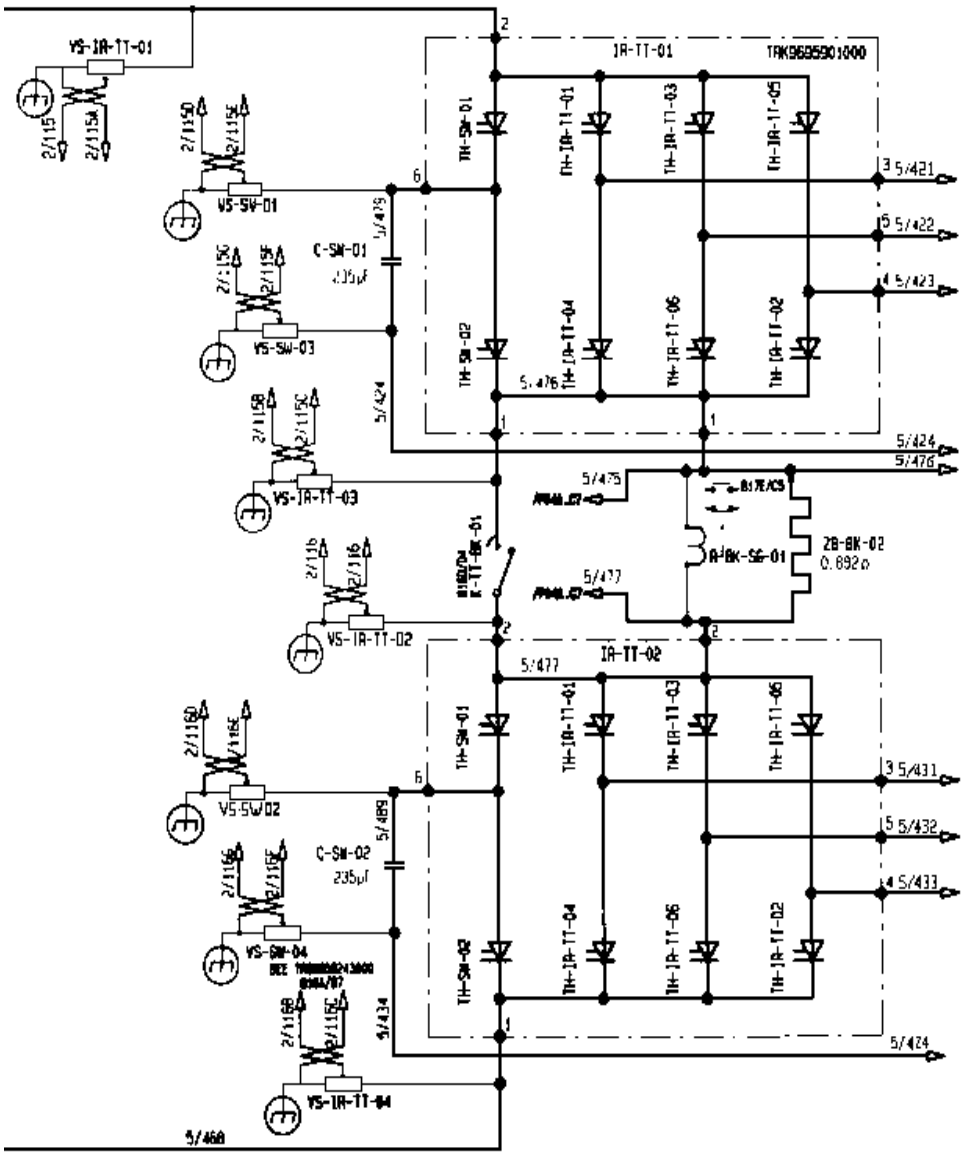
- 감지 원칙

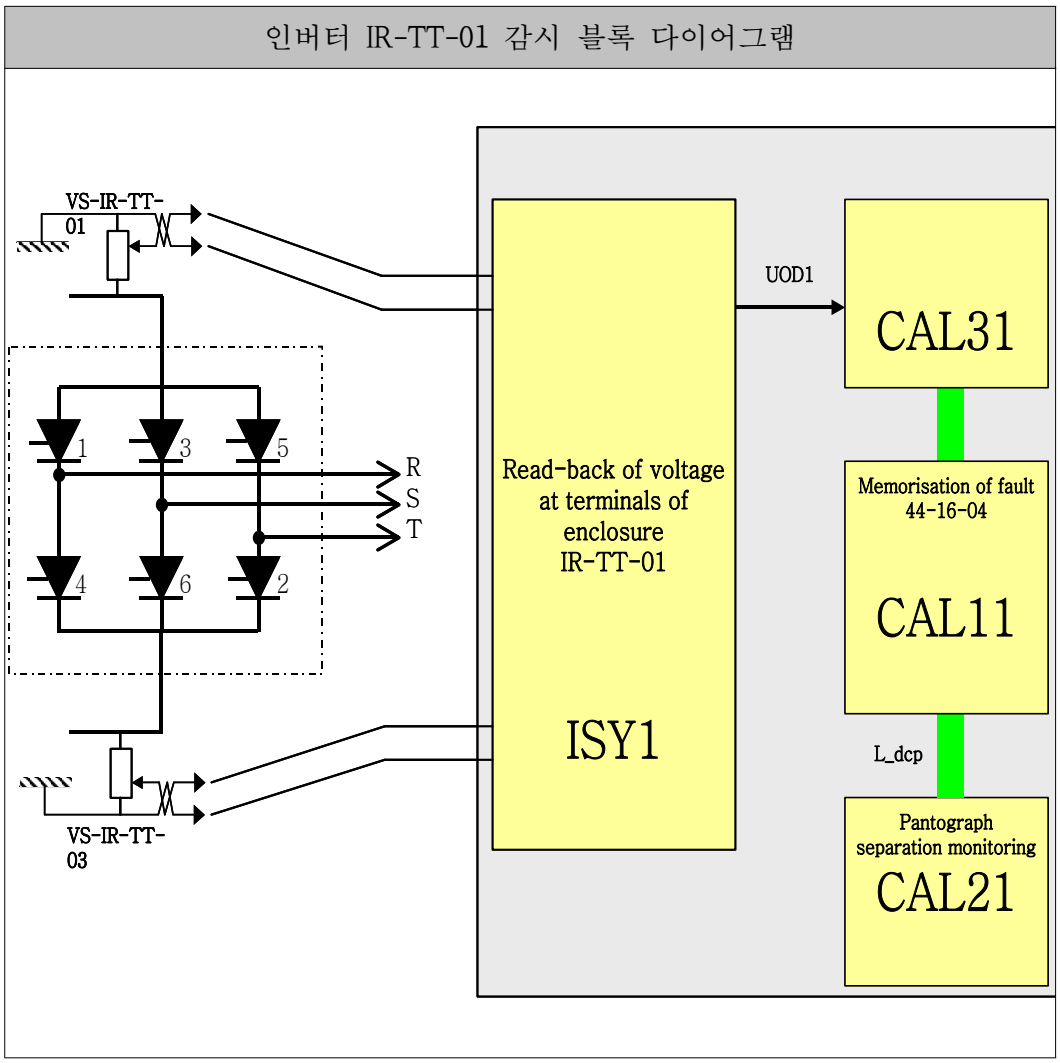
견인 모드에서, 모터블록 전자제어장치(MV 카드)는 4개의 차축속도 중 가장 낮은 속도와 차축속도 1(V1) 또는 차축속도 2(V2)의 값을 비교하여, 이 두 속도의 차이가 10 s 동안 10 km/h 이상 나는지 감시한다.

공전 > 10 s 이면, 모터블록 전자제어장치는 공전방지 장치 교정(L_patlong = 1)을 결정한다. 이 고장은 4개의 차축속도 중 가장 낮은 속도에 비해 차축속도 1(V1)과 차축속도 2(V2)의 속도 차이가 모두10 s 동안 8 km/h 미만으로 될 때, 리셋(L_pat_long = 0)된다.

(17) 44-16-04 : IR-TT-01 전압 감시

동력회로

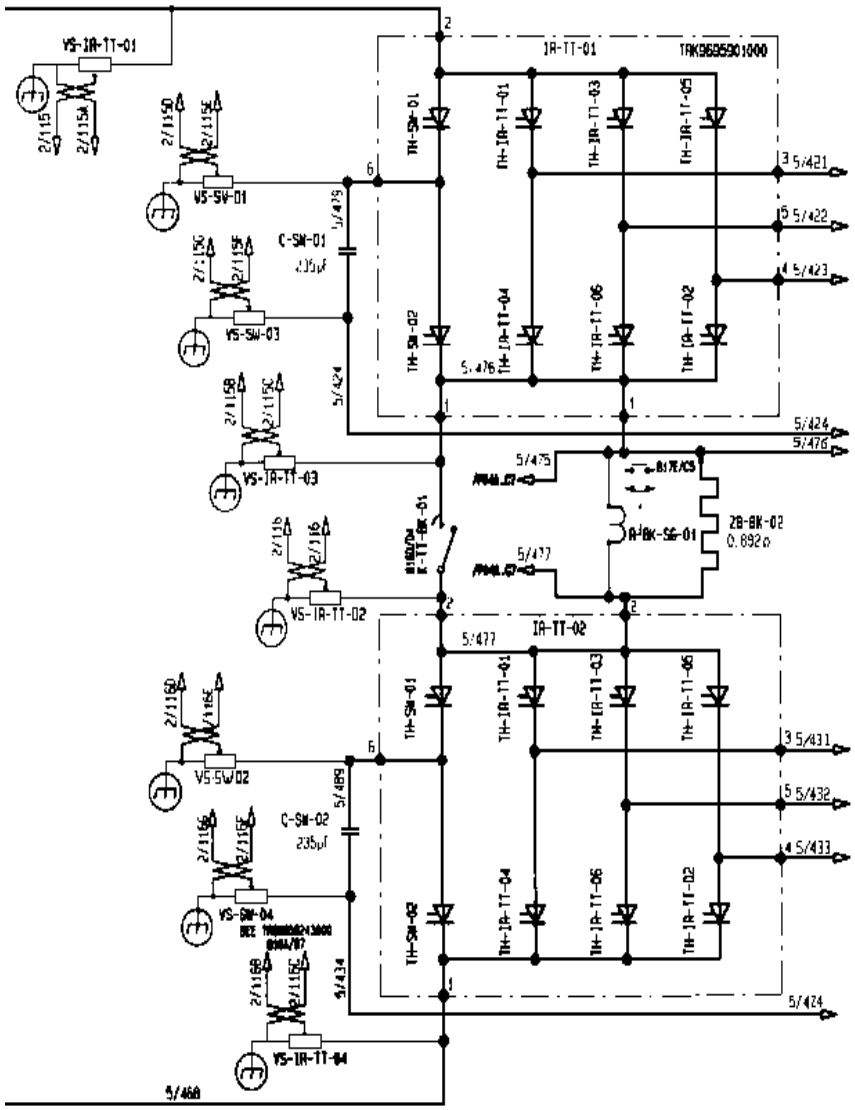


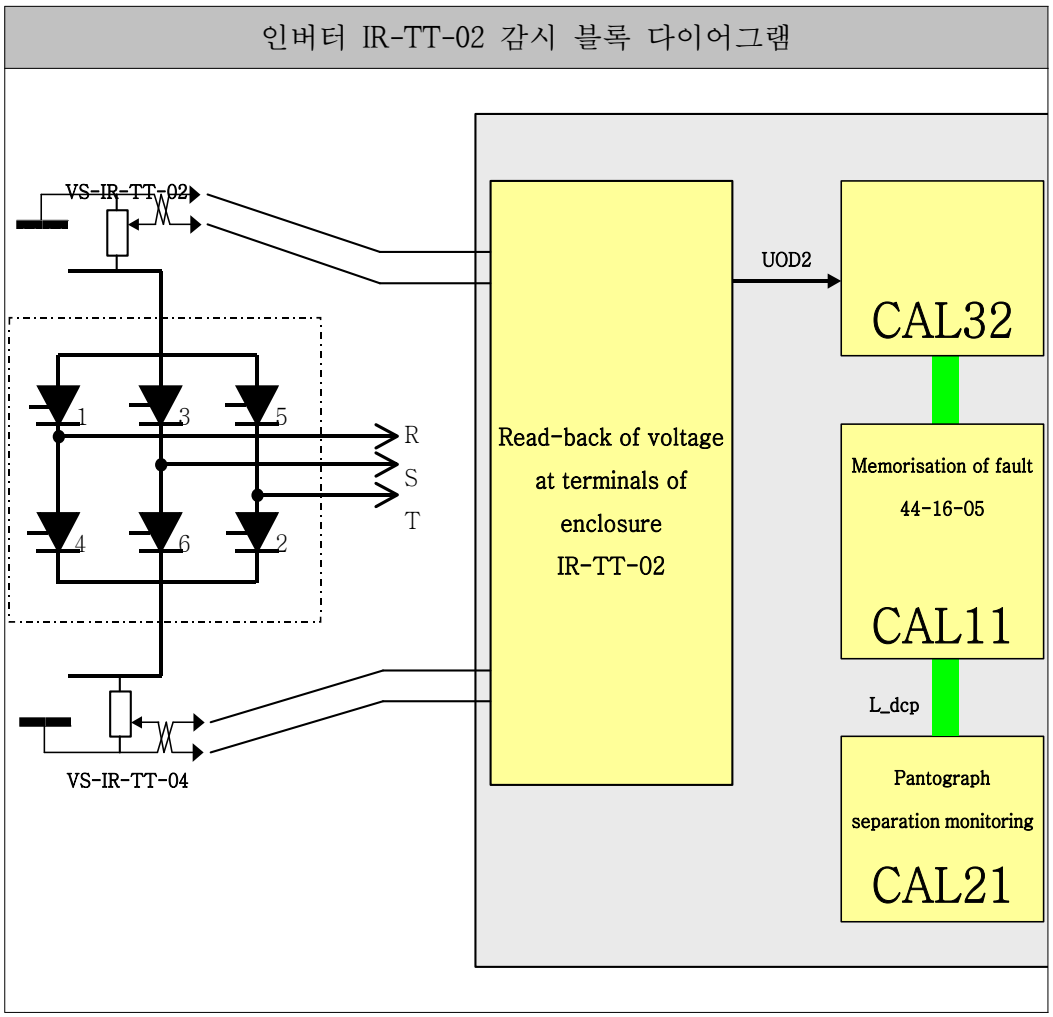


- 감지 원칙

모터블록의 부하 고장(차륜공전, 활주방지 교정)은 인버터 단자에서의 갑작스런 견인전동기 전압(machine voltage) 변동을 유발한다. 견인전동기 1 및 2 사이의 부하 차이를 피하고, 전기장치의 손상을 피하기 위하여 인버터 단자에서의 전압을 감시한다. 전압 Vmuond1_F가 Vmuond_coef보다 낮거나 Vmuond1_F가
100 V보다 낮으면 테스트가 승인되고(test validated = 1), 고장으로 인식된다. 이 고장코드는 10ms 이내에 21번의 감지 후(2 s), 승인된다.

(18) 44-16-05 : IR-TT-02 전압 감시

동력회로


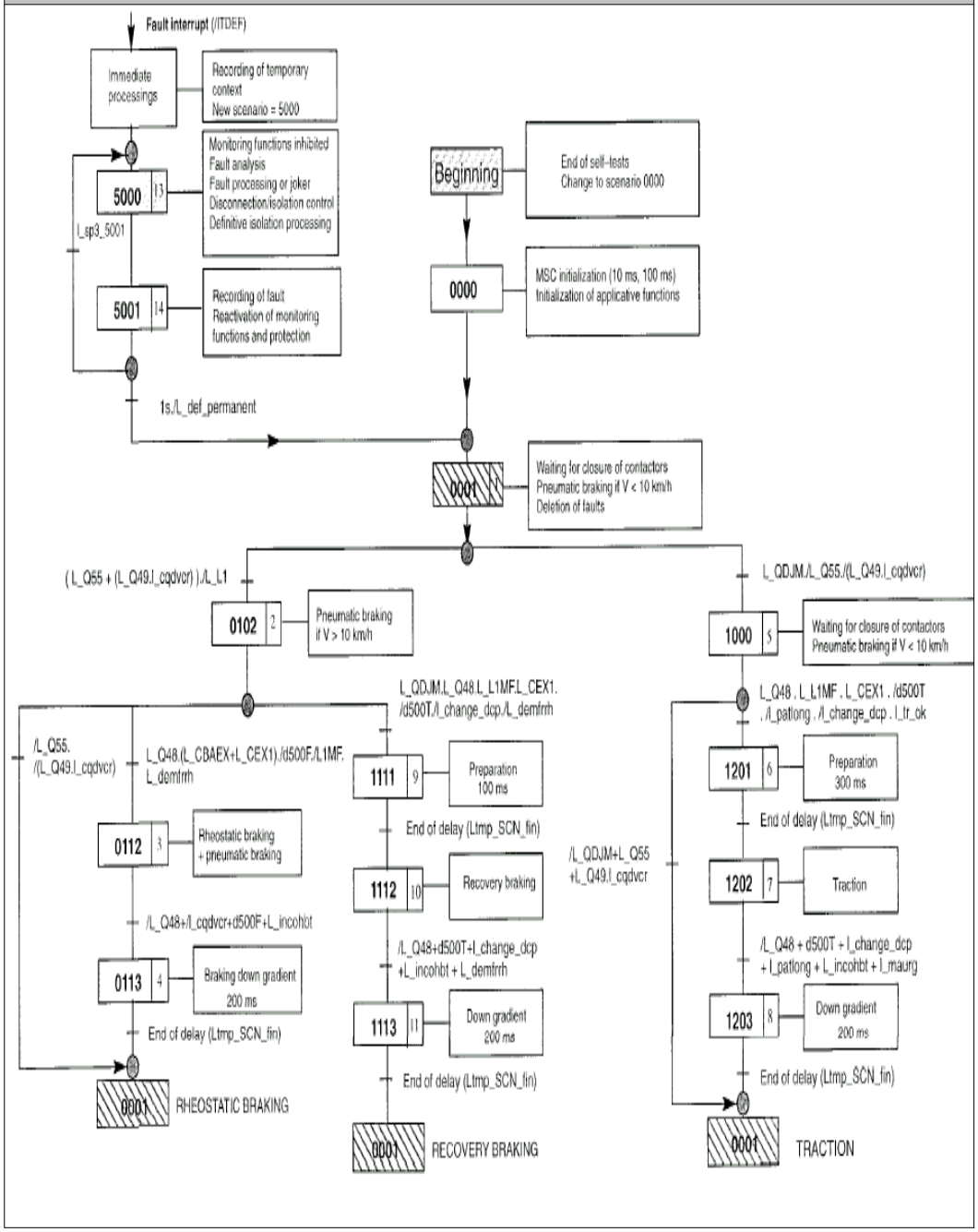


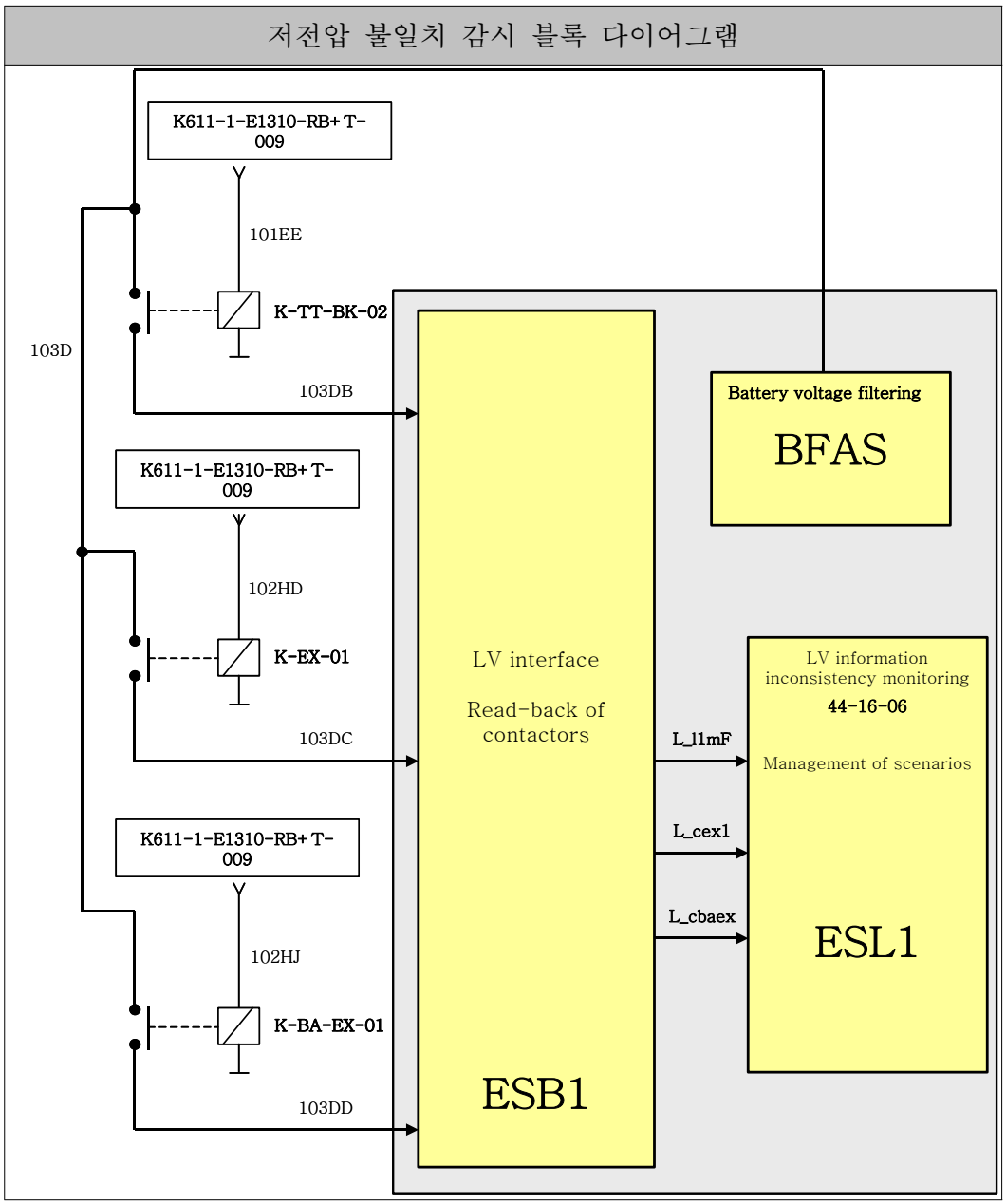
- 감지 원칙

모터블록의 부하 고장(차륜공전, 활주방지 교정)은 인버터 단자에서의 갑작스런 견인전동기 전압(machine voltage) 변동을 유발한다. 견인전동기 1 및 2 사이의 부하 차이를 피하고, 전기장치의 손상을 피하기 위하여 인버터 단자에서의 전압을 감시한다. 전압 Vmuond2_F가 Vmuond_coef보다 낮거나 Vmuond2_F가
100 V보다 낮으면 테스트가 승인되고(test validated = 1), 고장으로 인식된다. 이 고장코드는 10ms 이내에 21번의 감지 후(2 s), 승인된다.

(19) 44-16-06 : 저전압 불일치 감시

시나리오 연결구성도





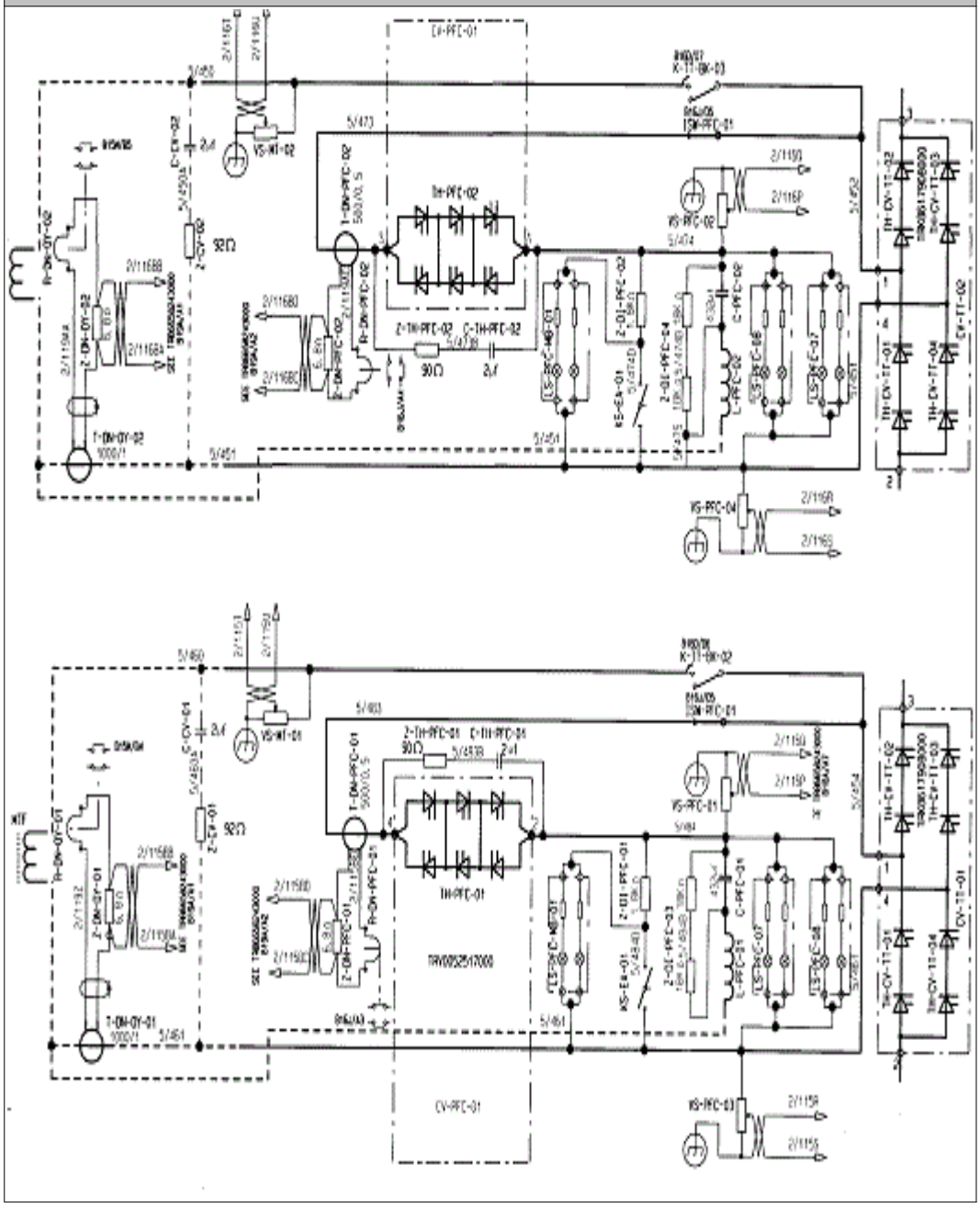
- 감지 원칙

모터블록 동력회로 구성의 일치는 모터블록 전자제어장치에 의해 감시된다. 견인 시나리오(1202) 및 회생제

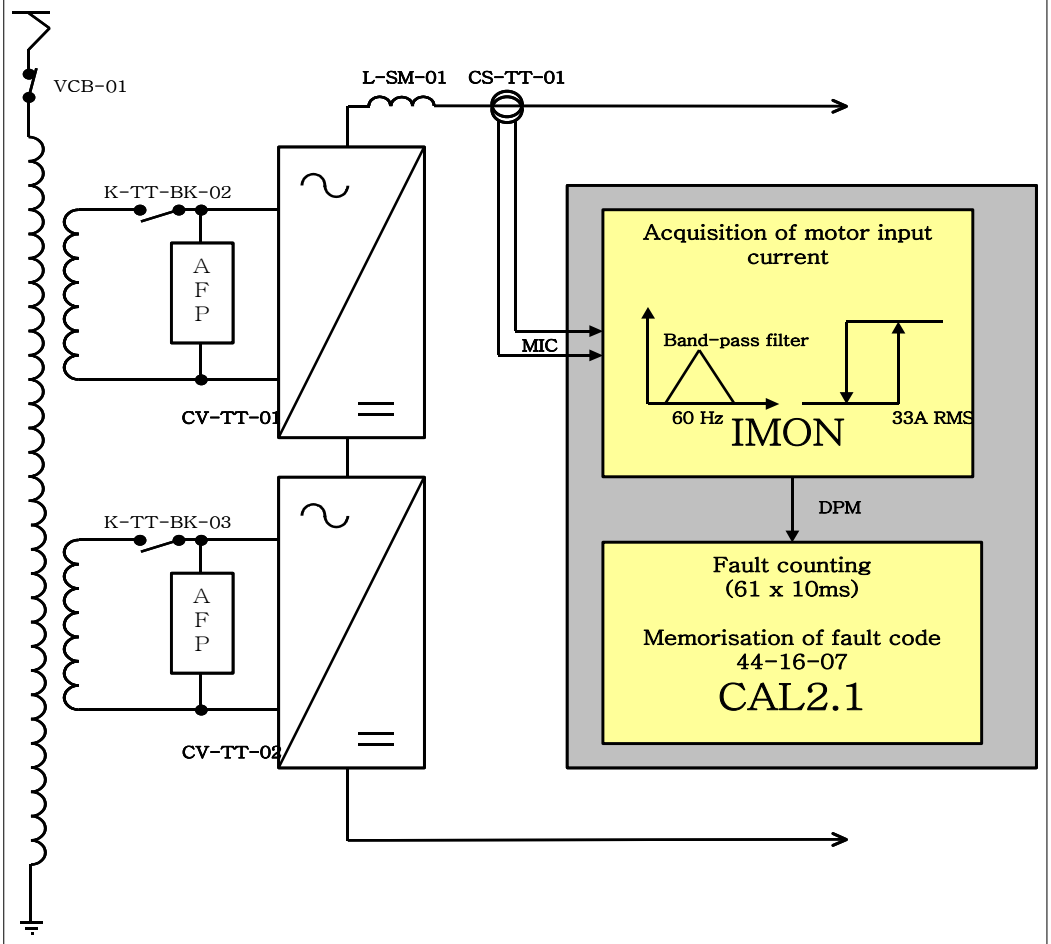
동 시나리오(1112)에서, 동력접촉기 K-TT-BK-02 및 K-EX-01의 다시읽기 상태가 “1“ 이어야 한다. 발전 제동 시나리오(112)에서는 동력접촉기 K-BA-EX-01 및 K-EX-01의 다시읽기 상태가 “1“ 이어야 한다. LV(저전압) 불일치 고장 (L_def_incohbt)은 진행중인 시나리오에 대하여 어느 동력접촉기의 상태가 200 ms 동안 불일치 상태이면 고장으로 결정된다.

(20) 44-16-07 : 견인 컨버터(완전 브리지) 불균형

모터블록 동력회로



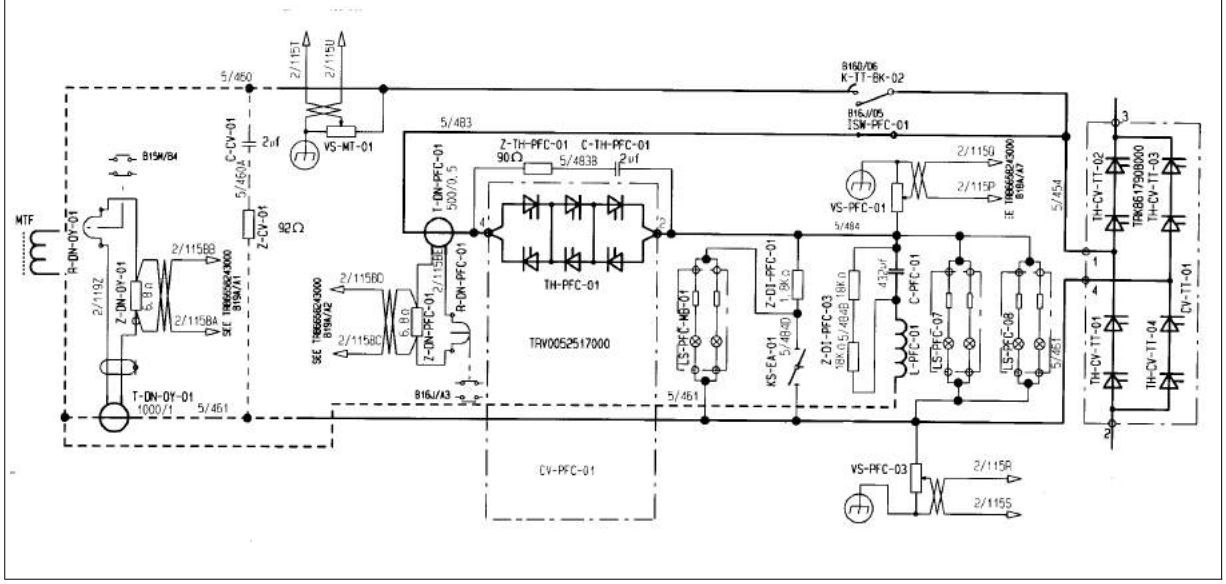
견인 컨버터(완전 브리지) 불균형 감시 블록 다이어그램



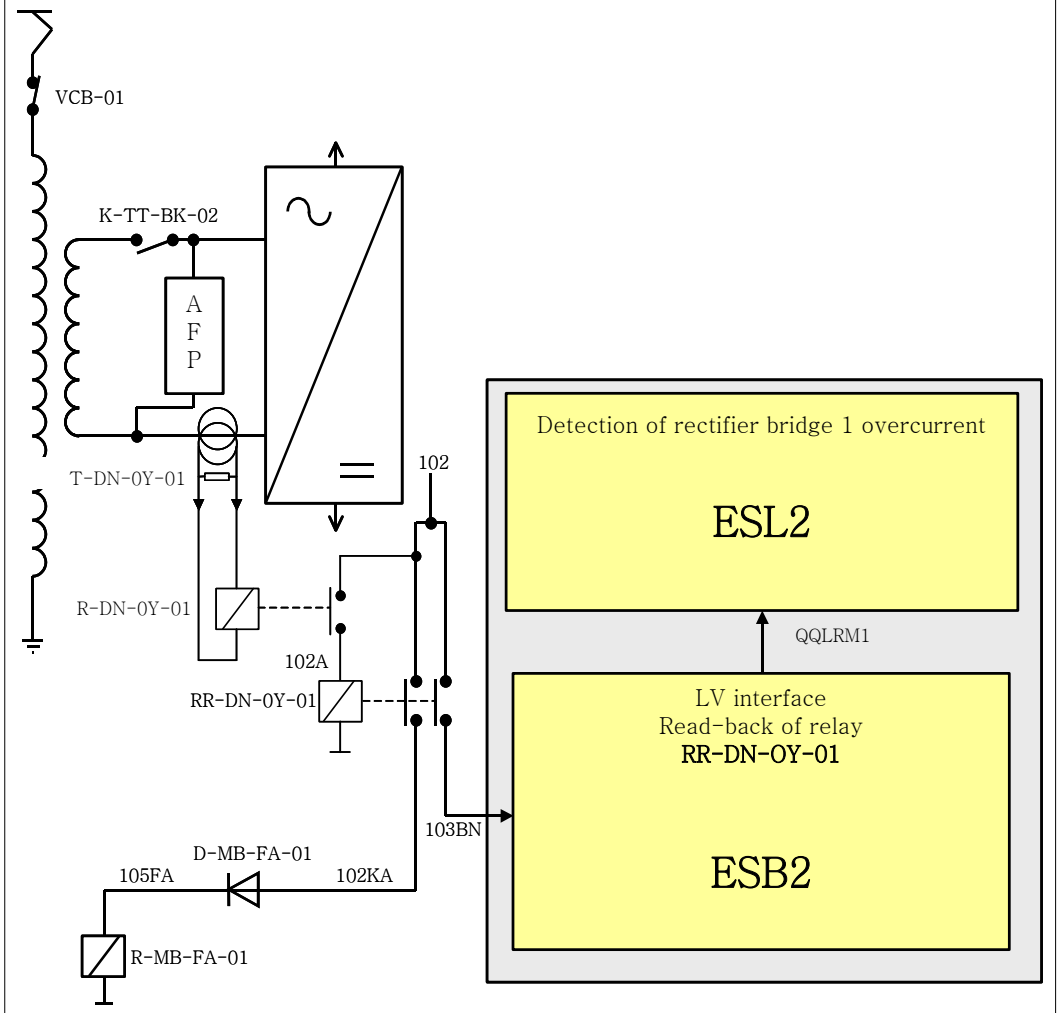
- 감지 원칙

견인 및 회생제동 모드에서, 견인전동기 전류(부하전류; MIC)는 사이리스터 브리지(견인 컨버터)에 의해 정류되고, 인덕터 L-SM-01에 의해 필터링된다. 견인 컨버터 불균형은 정류 브리지 사이리스터의 미점호(제어고장 또는 사이리스터 고장)에 의해 유발된다. 이것은 IMON 카드가 필터링된 모터전류 MICF에서 33 A RMS 증폭치로 구성되는 60 Hz 고조파를 6 s 동안(매 10 ms마다 61 테스트) 센서 CS-TT-01을 통하여 감지했을 때 나타난다.

(21) 44-16-08 : 견인 컨버터 1 과전류(RR-DN-OY-01)

모터블록 동력회로


컨버터(정류 브리지 완전 브리지) 과전류 블록 다이어그램

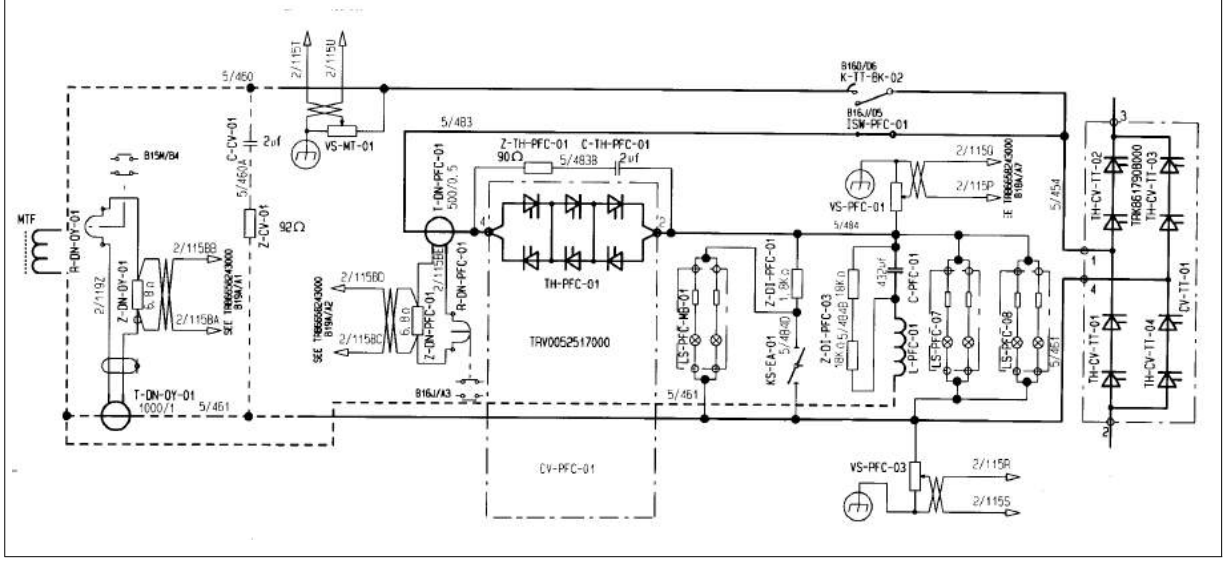


- 감지 원칙

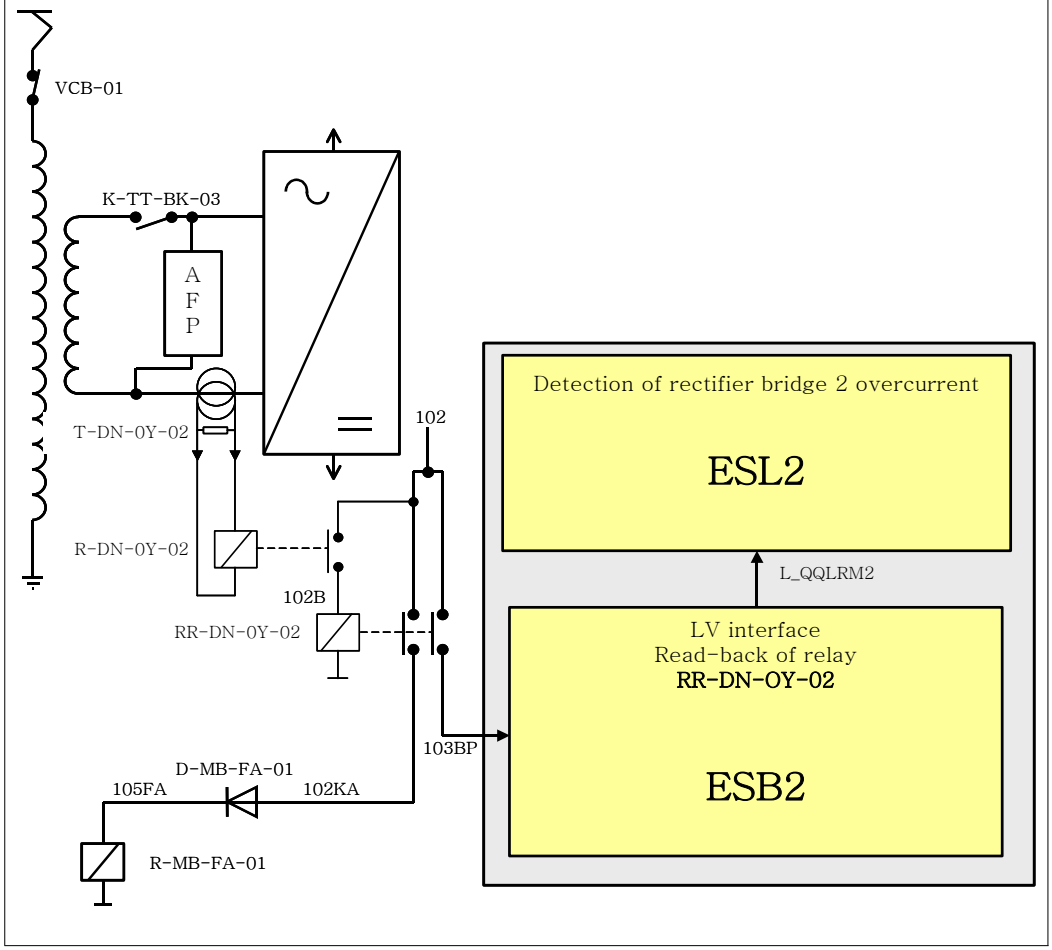
주변압기의 견인 2차 권선들은 bar-mounted 계전기인 R-DN-OY-01 및 R-DN-OY-02에 의해 보호된다.

계전기 R-DN-OY-01 또는 R-DN-OY-02는 완전 브리지(컨버터) 제어의 오동작 또는 브리지 회로의 단락에 따른 소모전류(1400A)를 초과했을 때 동작된다.

(22) 44-16-09 : 견인 컨버터 2 과전류(RR-DN-OY-02)

모터블록 동력회로


컨버터(정류 브리지 완전 브리지) 과전류 블록 다이어그램

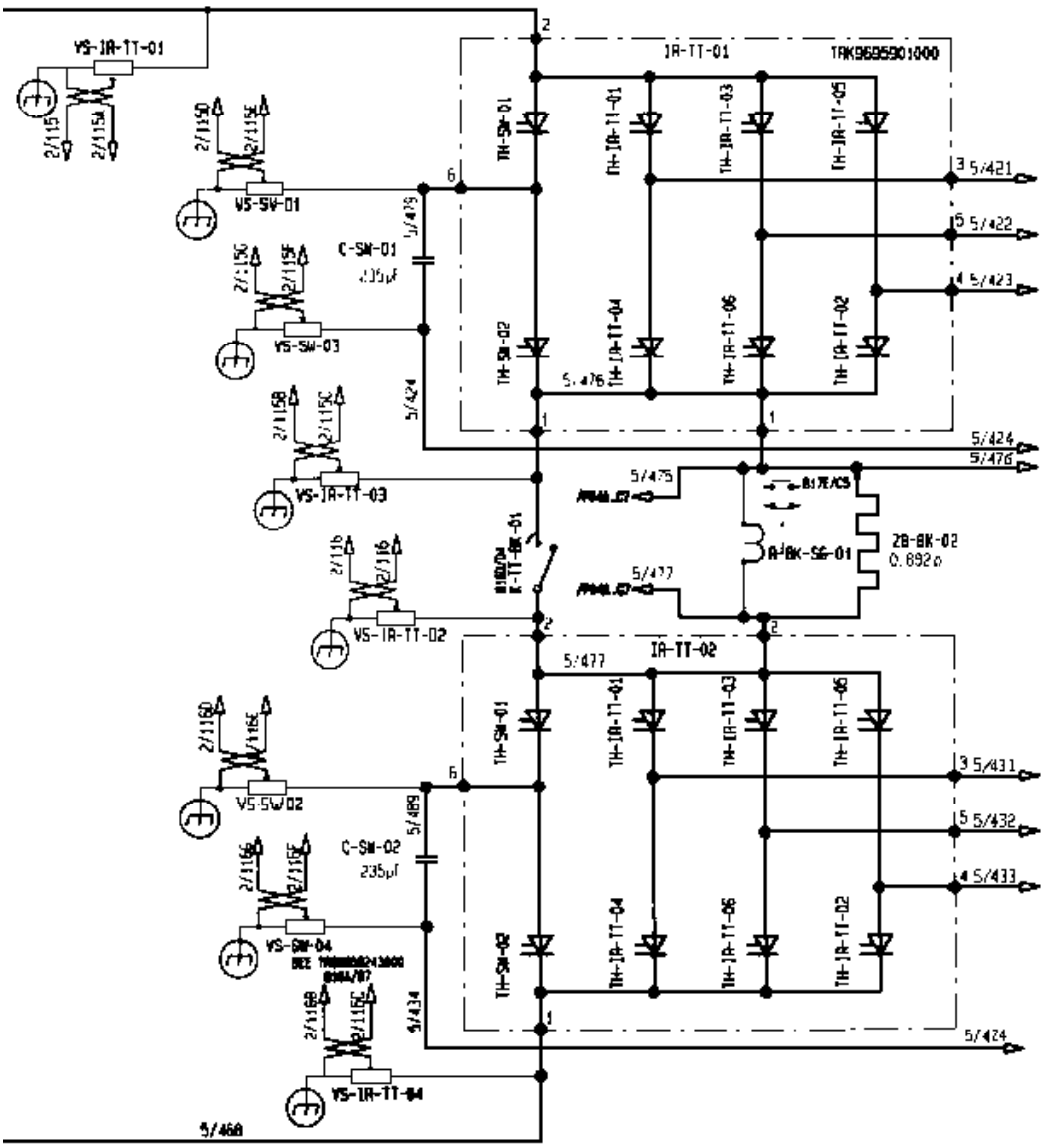


- 감지 원칙

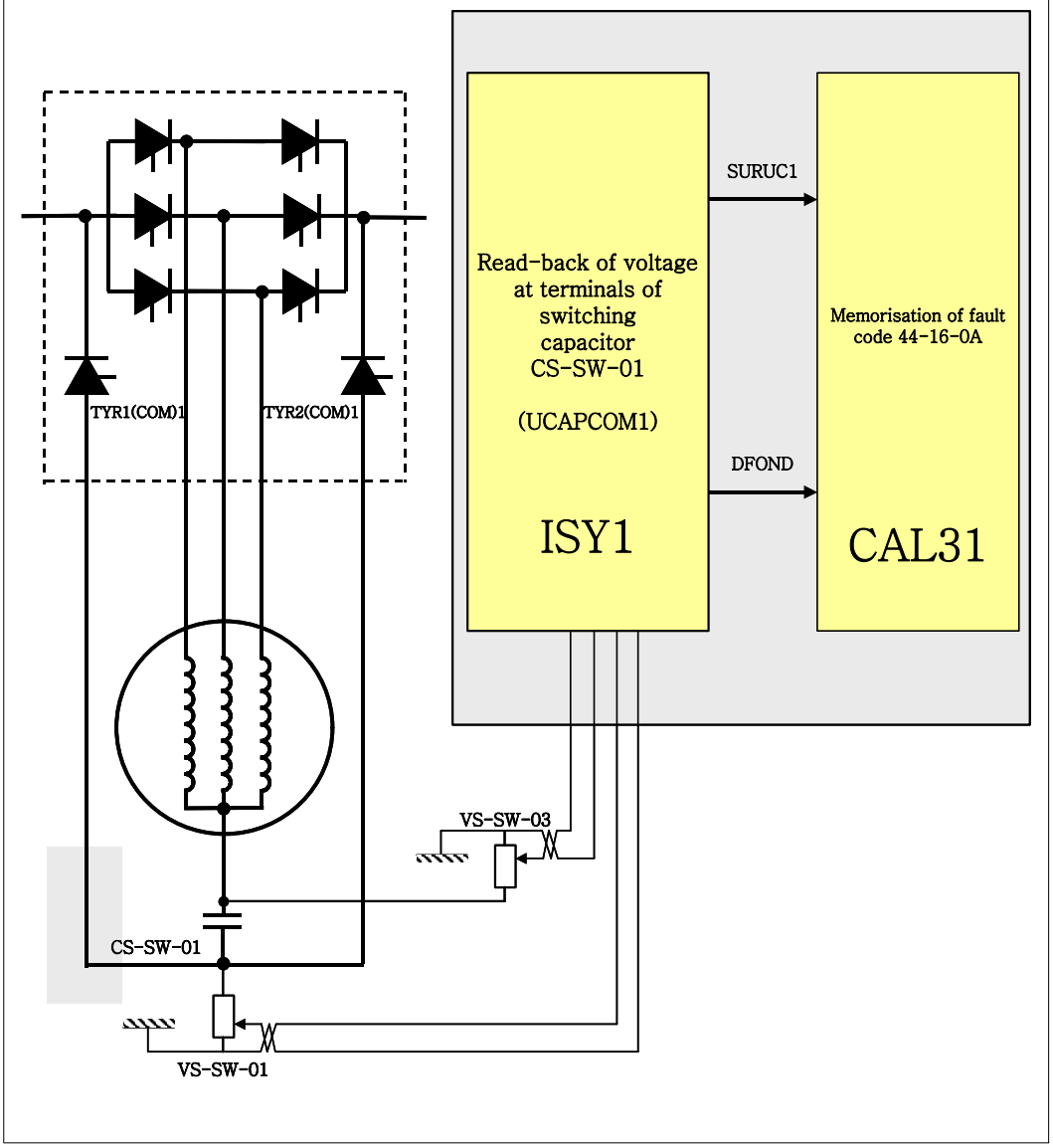
주변압기의 견인 2차 권선들은 bar-mounted 계전기인 R-DN-OY-01 및 R-DN-OY-02에 의해 보호된다. 계전기 R-DN-OY-01 또는 R-DN-OY-02는 완전 브리지(컨버터) 제어의 오동작 또는 브리지 회로의 단락에 따른 소모전류 (1400A)를 초과했을 때 동작된다.

(23) 44-16-0A : 전환 컨덴서 C-SW-01 과전압

동력회로



컨덴서 C-SW-01 전압 감시 블록 다이어그램

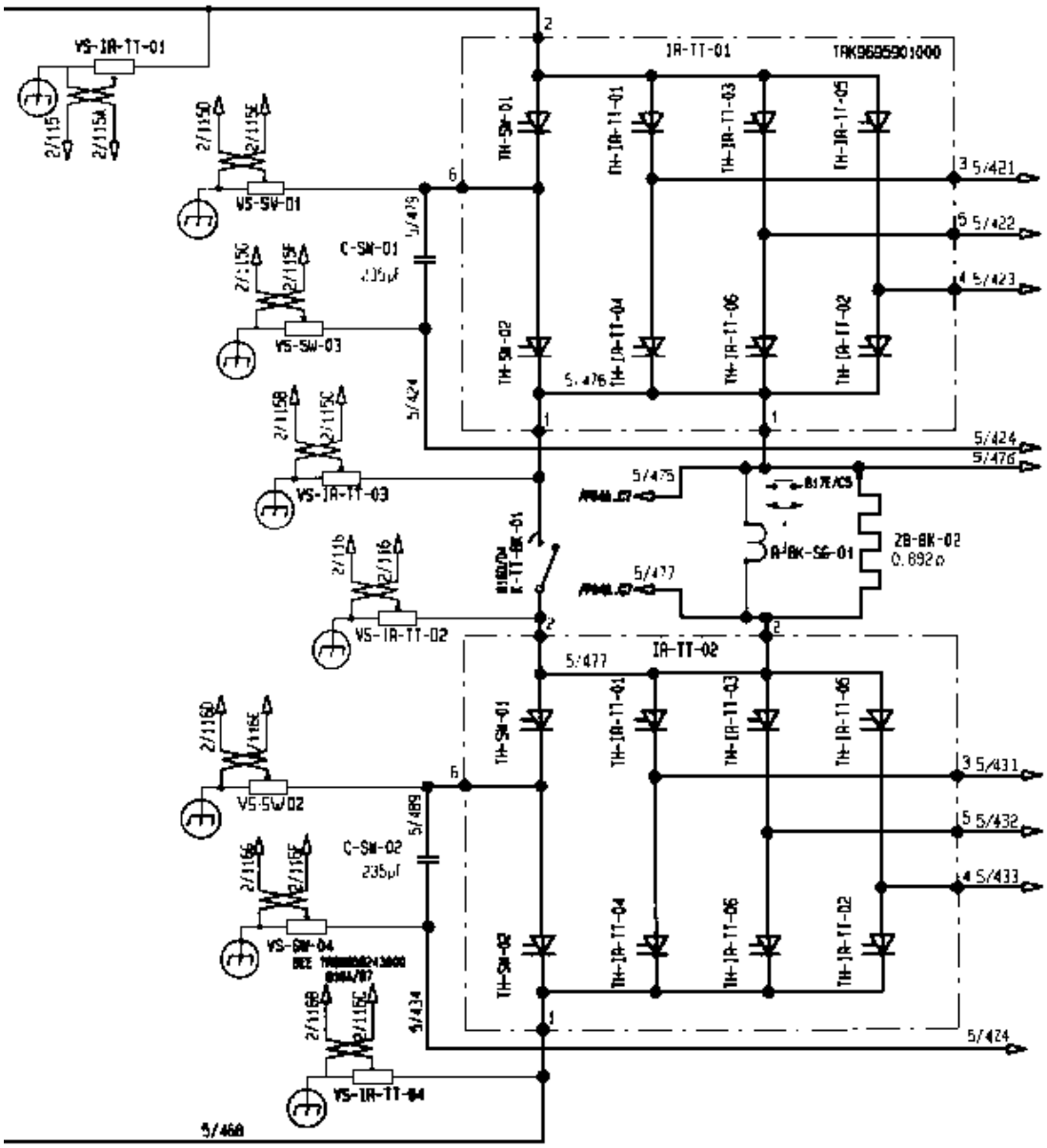


- 감지 원칙

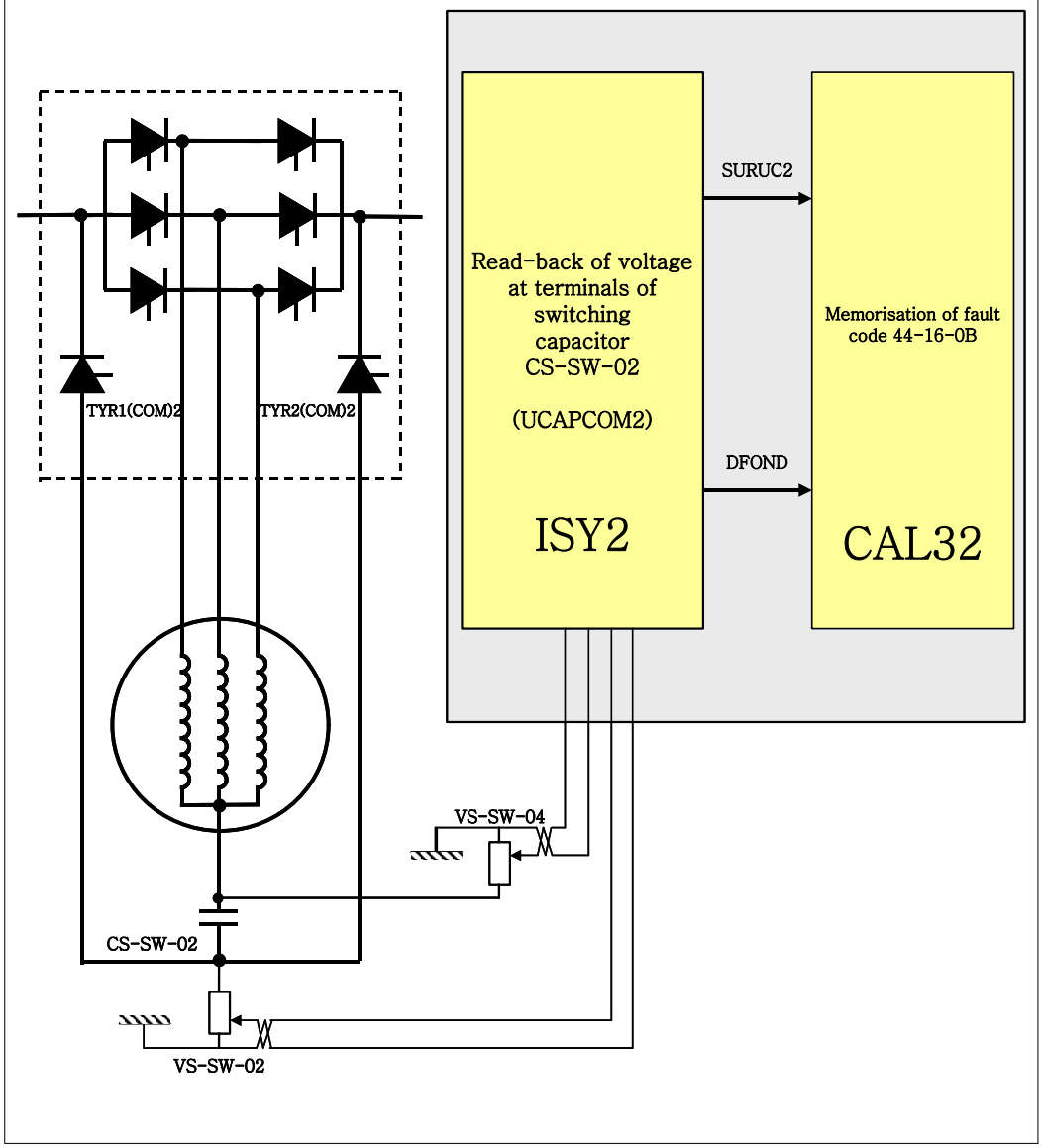
과전압은 전압센서 VS-SW-01 및 VS-SW-03에 의한 인버터 단자 전압의 다시 읽기 및 2060 V보다 더 높은 전압 고장의 활성화를 통하여 감지된다.

(24) 44-16-0B : SWITCHING CAPACITOR C-SW-02 OVERVOLTAGE

동력회로



컨덴서 C-SW-02 전압 감시 블록 다이어그램

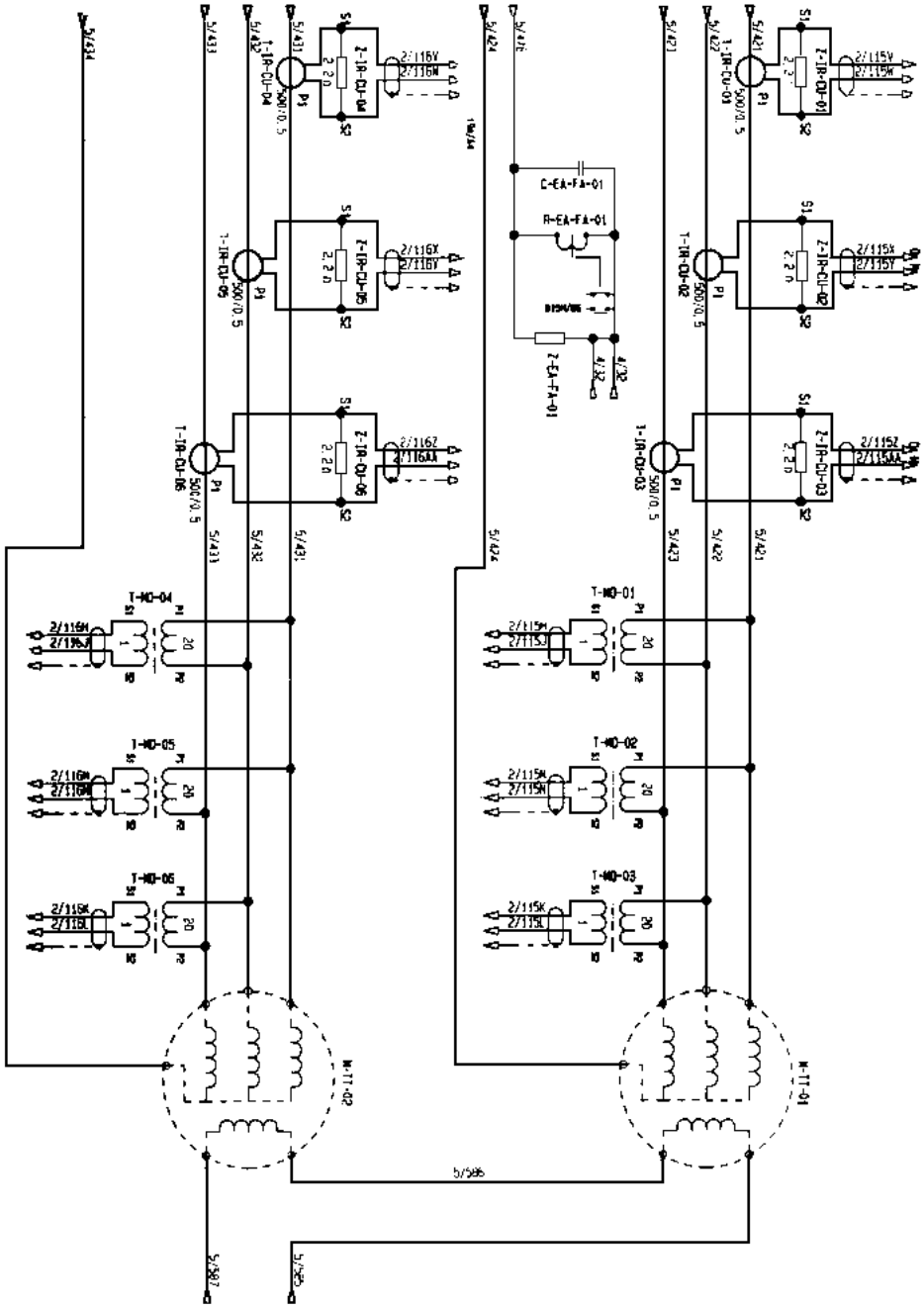


- 감지 원칙

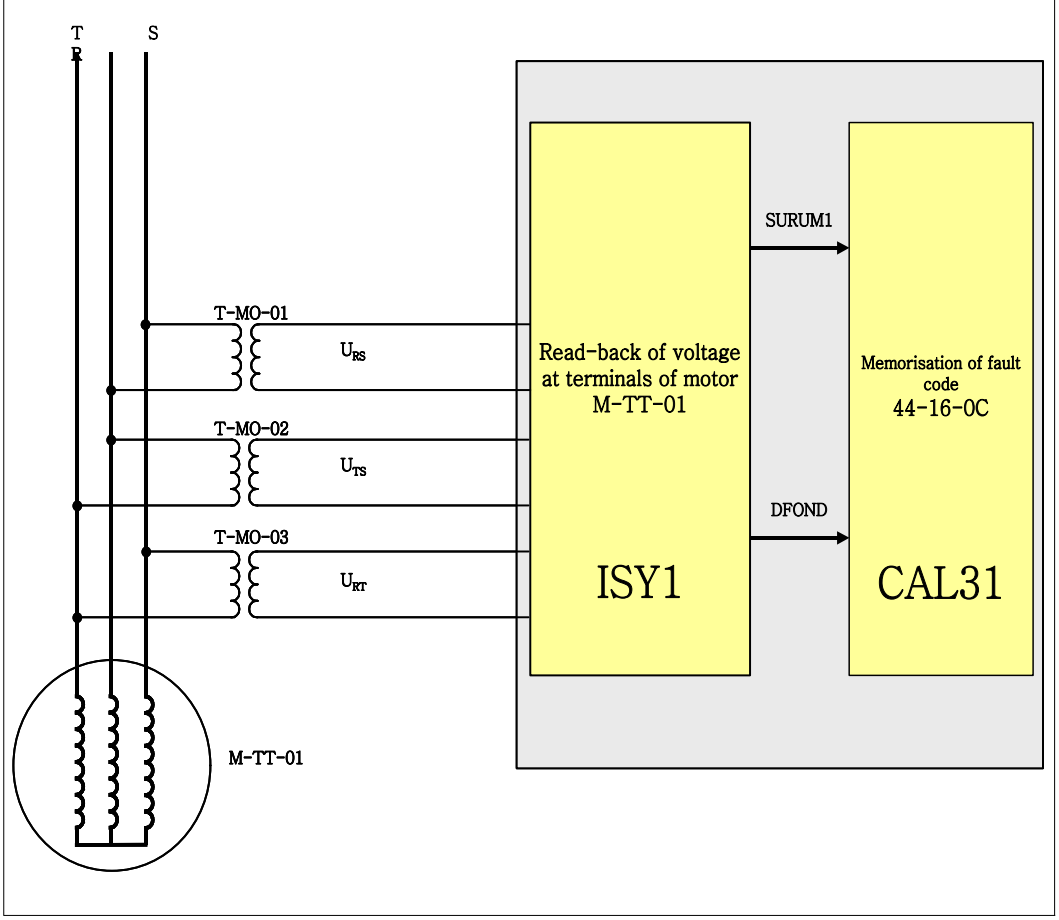
과전압은 전압센서 VS-SW-02 및 VS-SW-04에 의한 인버터 단자 전압의 다시 읽기 및 2060 V보다 더 높은 전압 고장의 활성화를 통하여 감지된다.

(25) 44-16-0C : 견인전동기 1 과전압

동력회로



견인전동기 1 과전압 감시 블록 다이어그램

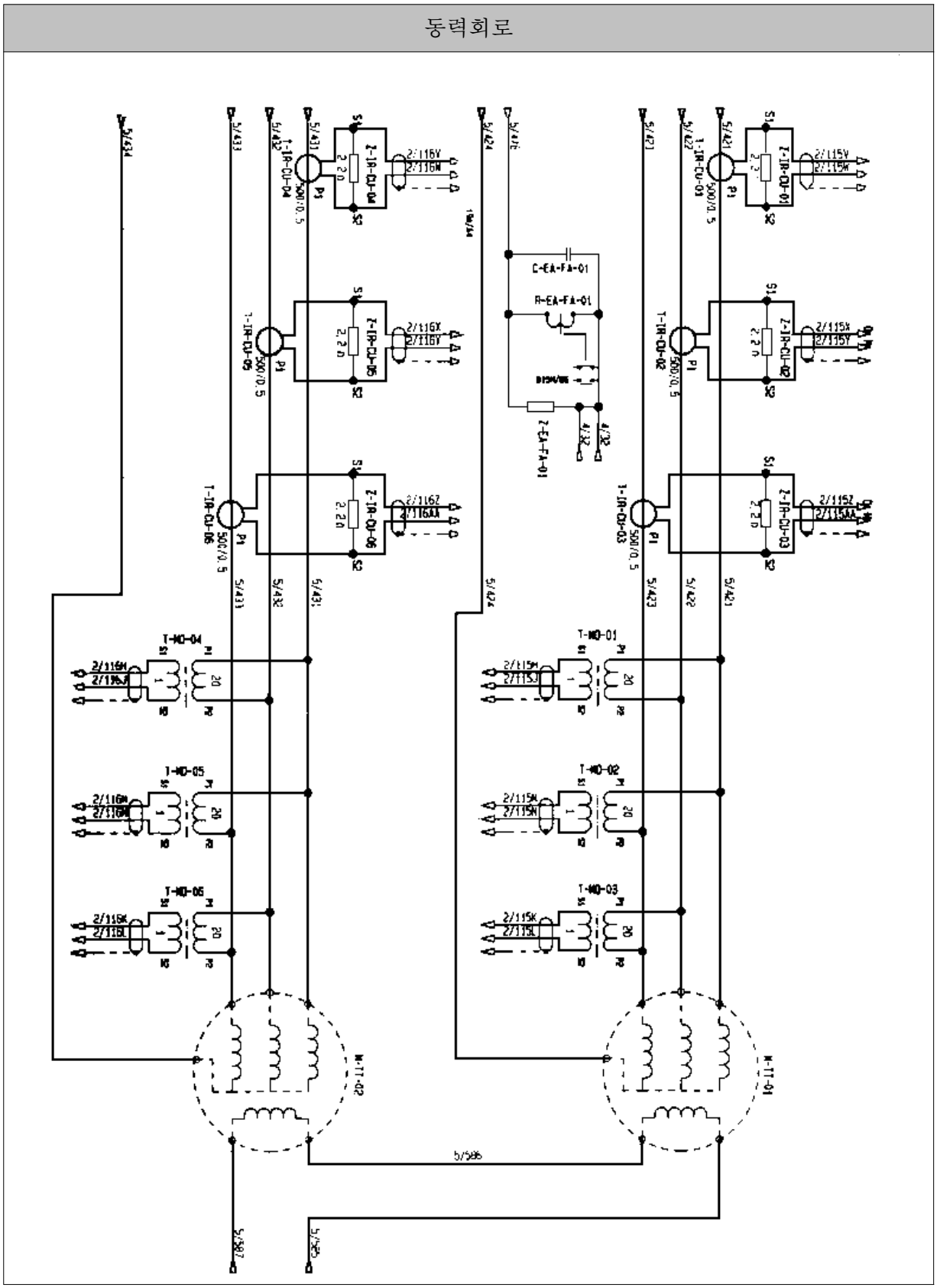


- 감지 원칙

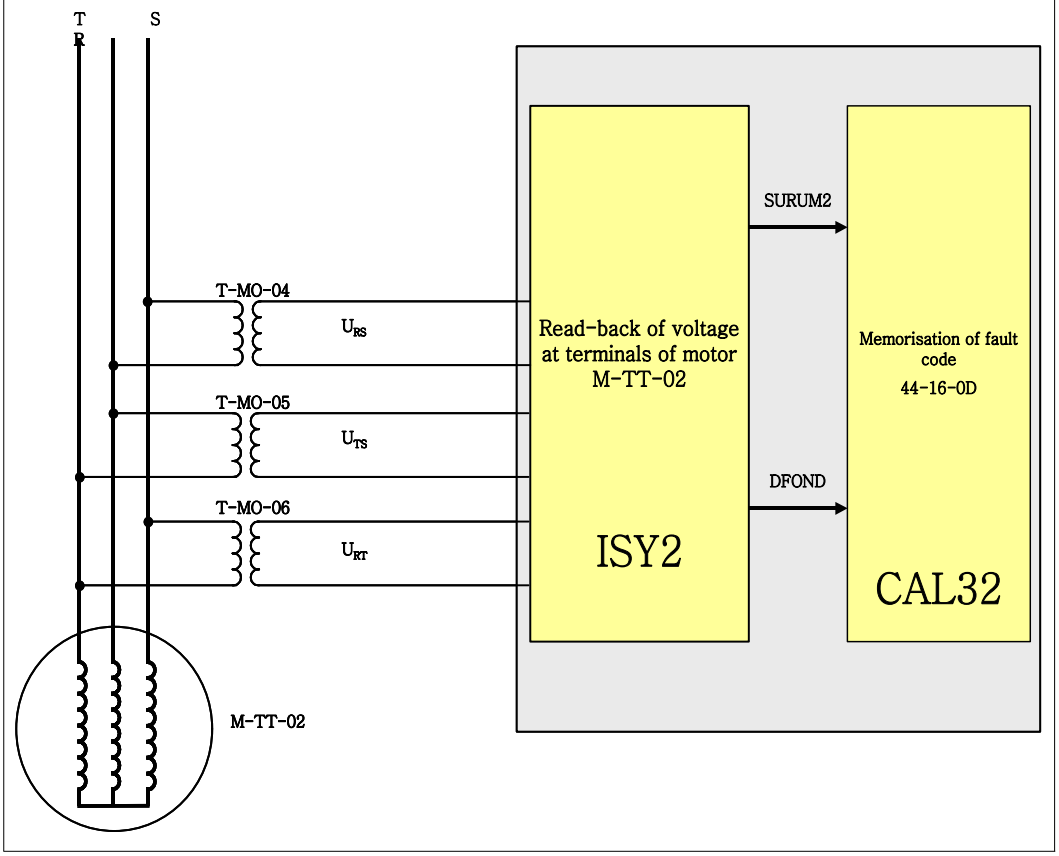
과전압은 전압센서 T-MO-01, T-MO-02, T-MO-03에 의한 견인전동기 상 단자(phase terminals)에서의 전압의 다시 읽기 및 2400 V보다 더 높은 전압 고장의 활성화를 통하여 감지된다.

(26) 44-16-0D : 견인전동기 2 과전압

동력회로



견인전동기 2 과전압 감시 블록 다이어그램

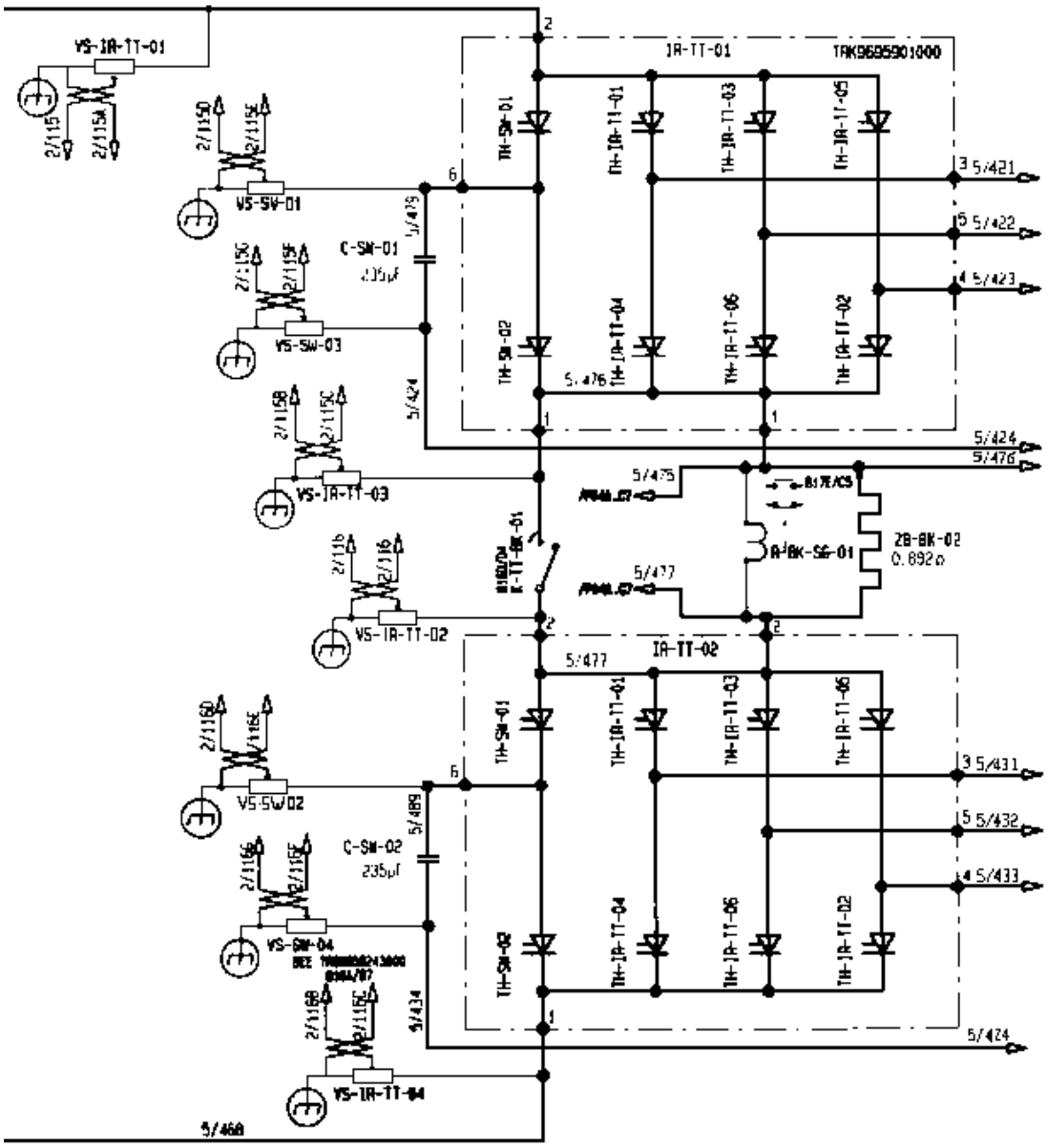


- 감지 원칙

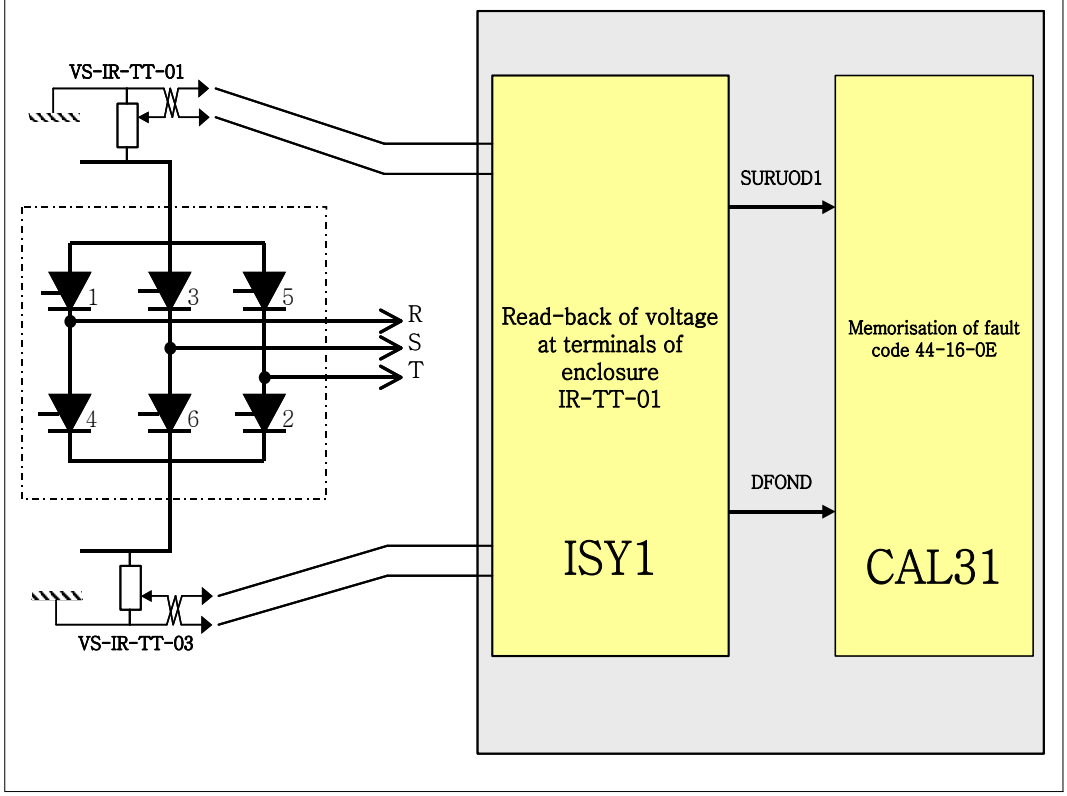
과전압은 전압센서 T-MO-04, T-MO-05, T-MO-06에 의한 견인전동기 상 단자(phase terminals)에서의 전압의 다시 읽기 및 2400 V보다 더 높은 전압 고장의 활성화를 통하여 감지된다.

(27) 44-16-0E : IR-TT-01 과전압

동력회로



UOD1 전압 감시 블록 다이어그램

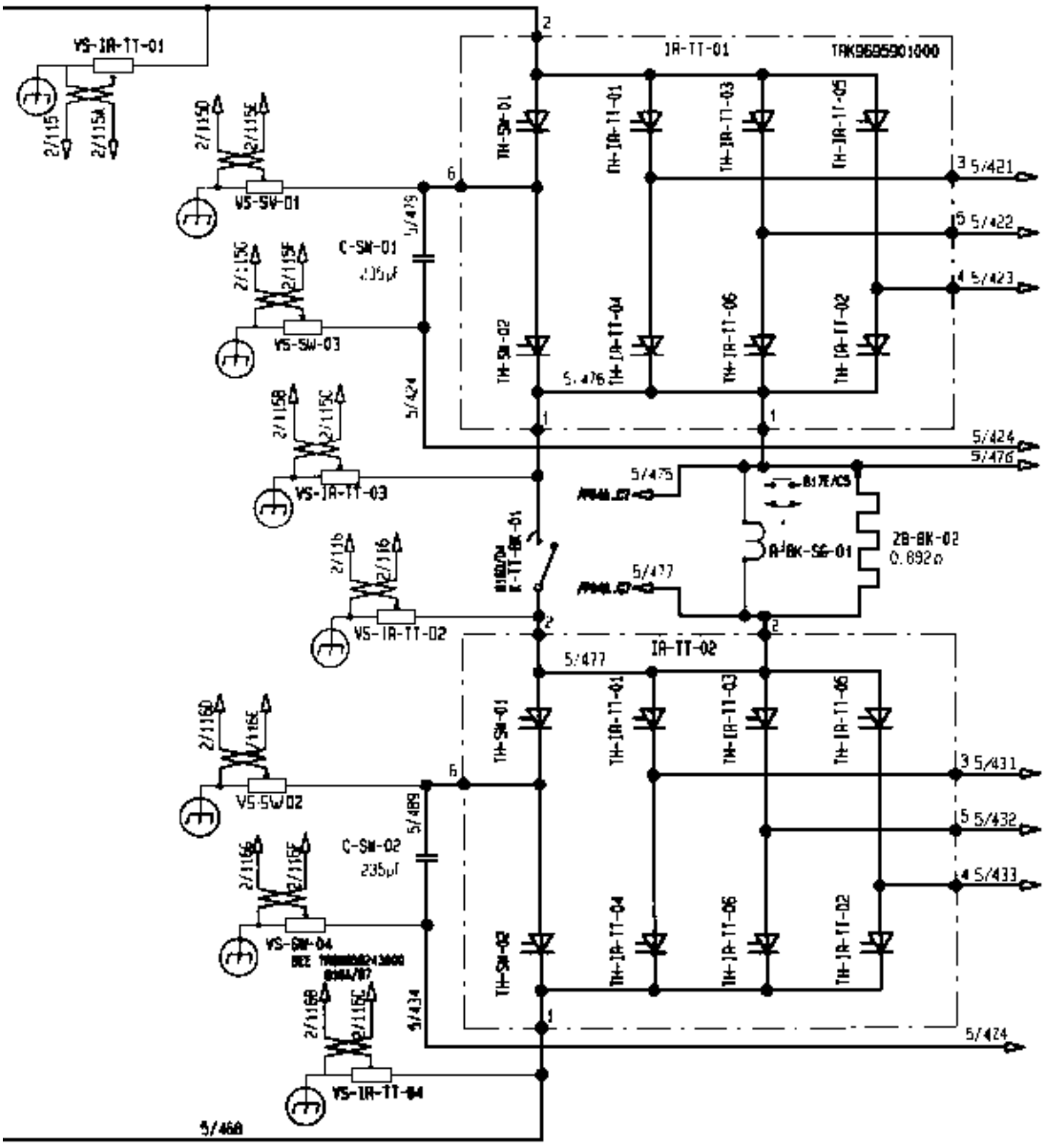


- 감지 원칙

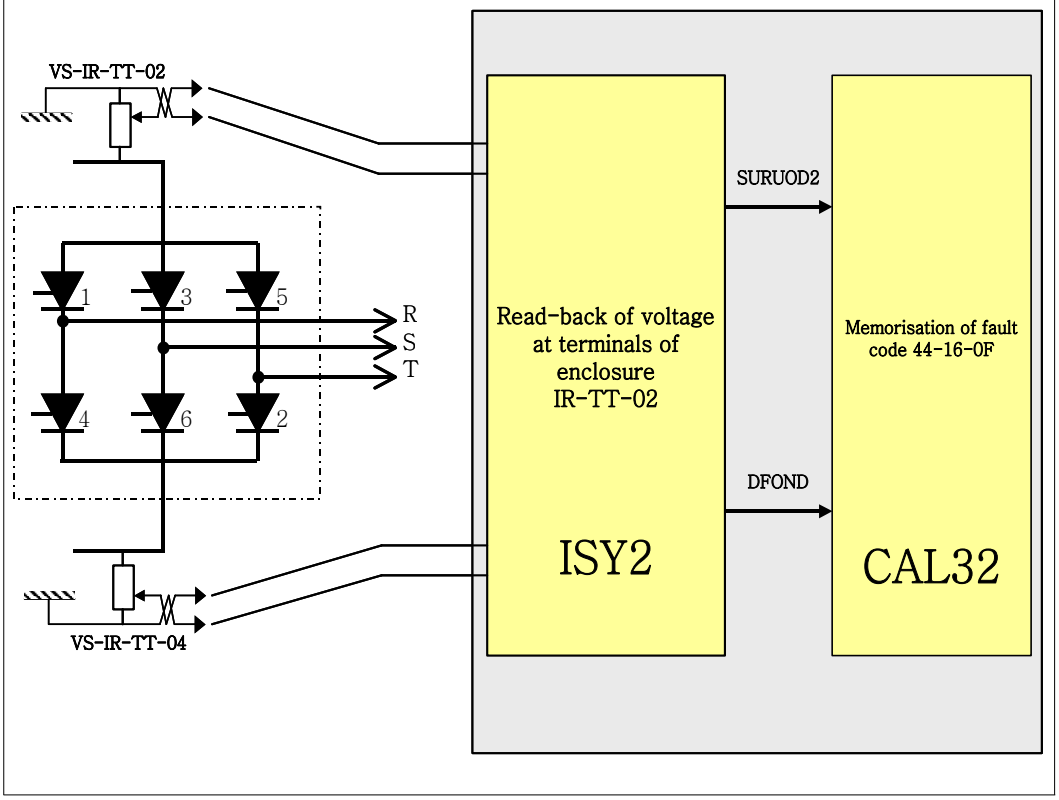
과전압은 전압센서 VS-IR-TT-01 및 VS-IR-TT-03에 의한 인버터 단자 전압의 다시 읽기 및 2600 V보다 더 높은 전압 고장의 활성화를 통하여 감지된다.

(28) 44-16-0F : IR-TT-02 과전압

동력회로



UOD2 전압 감시 블록 다이어그램

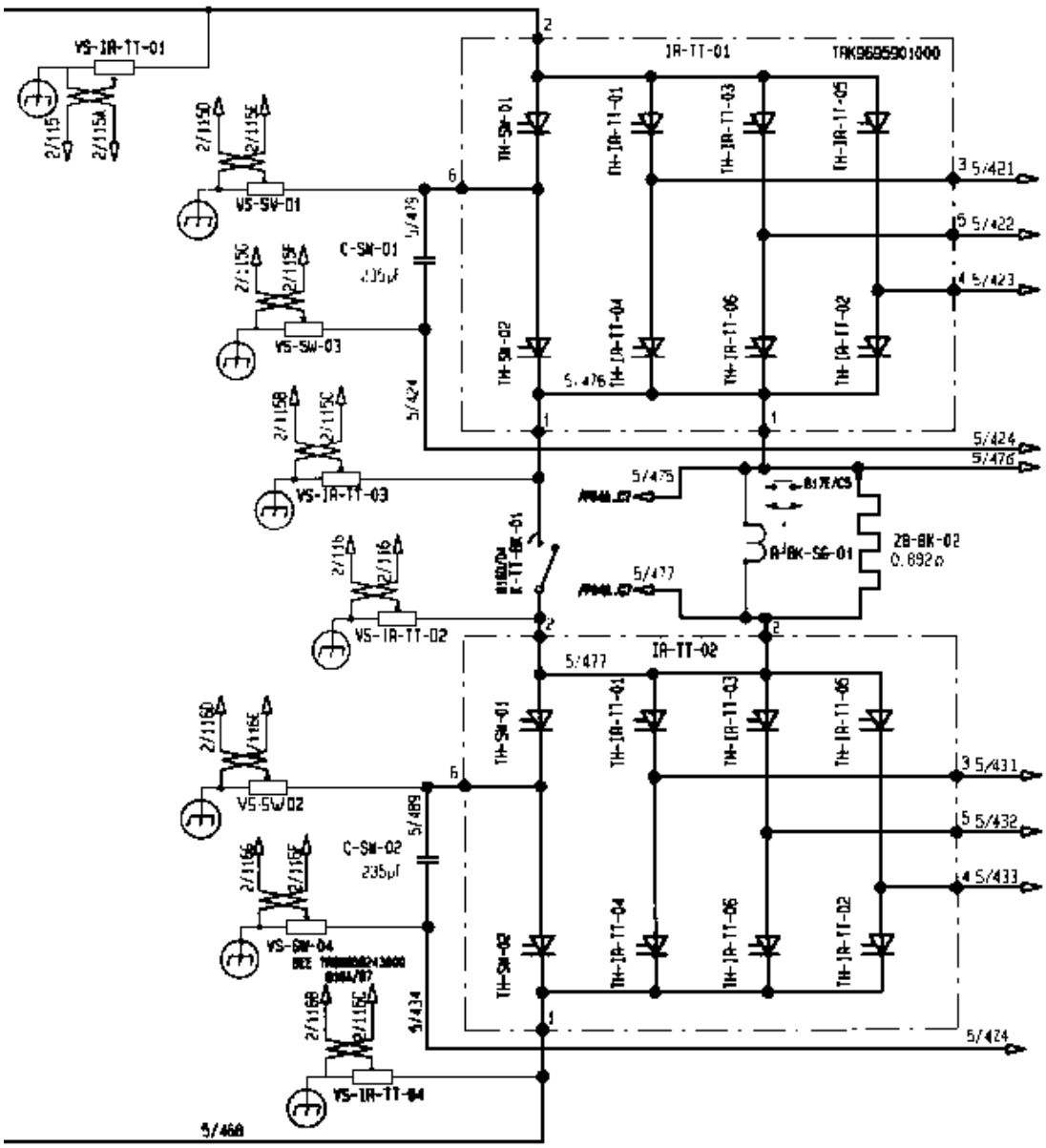


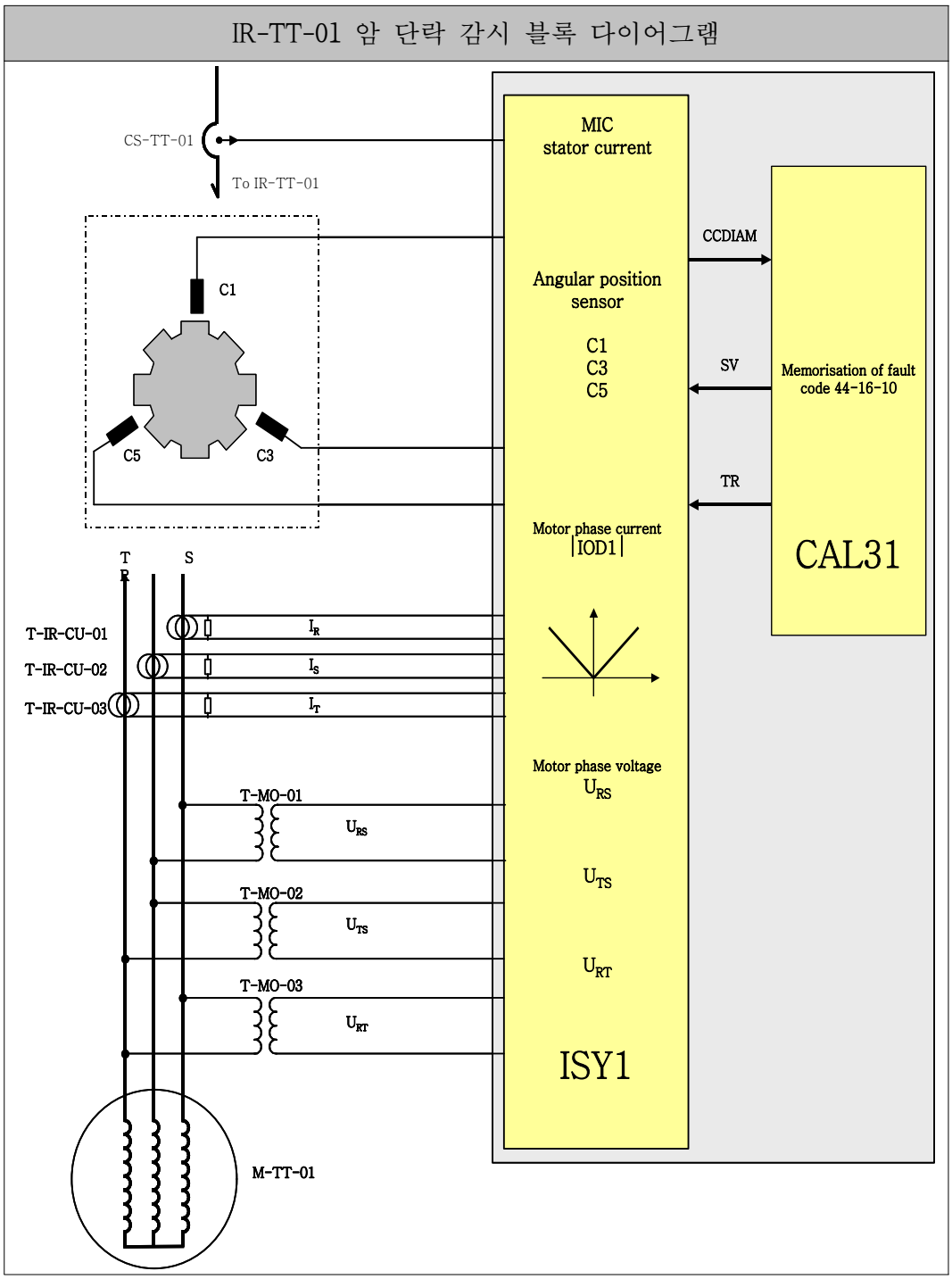
- 감지 원칙

과전압은 전압센서 VS-IR-TT-02 및 VS-IR-TT-04에 의한 인버터 단자 전압의 다시 읽기 및 2600 V보다 더 높은 전압 고장의 활성화를 통하여 감지된다.

(29) 44-16-10 : IR-TT-01 암 단락(DIAMETRAL SHORT CIRCUIT)

동력회로





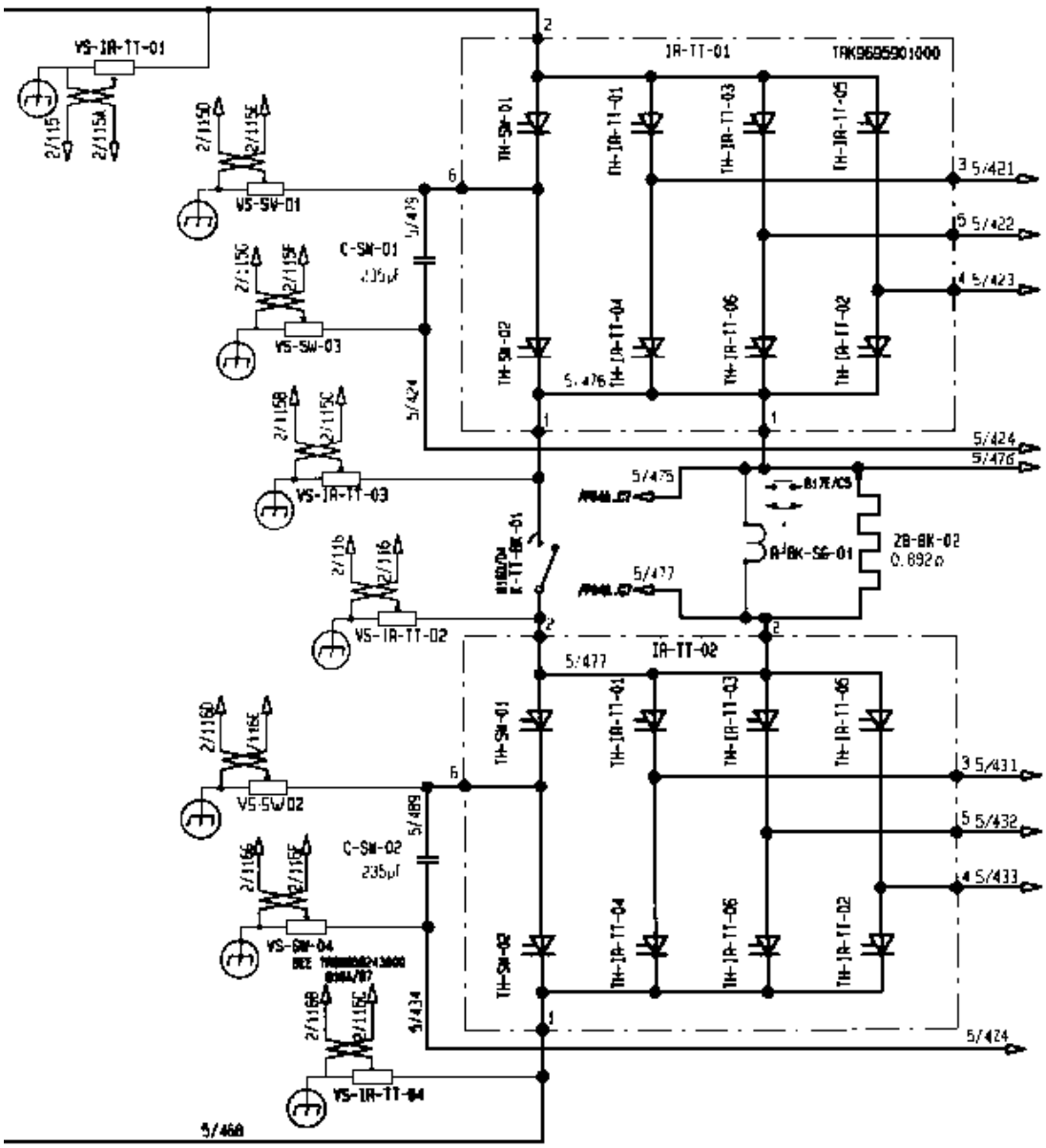
- 감지 원칙

암 단락(diametral short circuit)은 인버터 입력단에서의 전류(MIC)와 견인전동기 각 상에 흐르는 전류(IR 또는 IS 또는 IT) 사이의 비교를 통하여 감지된다.

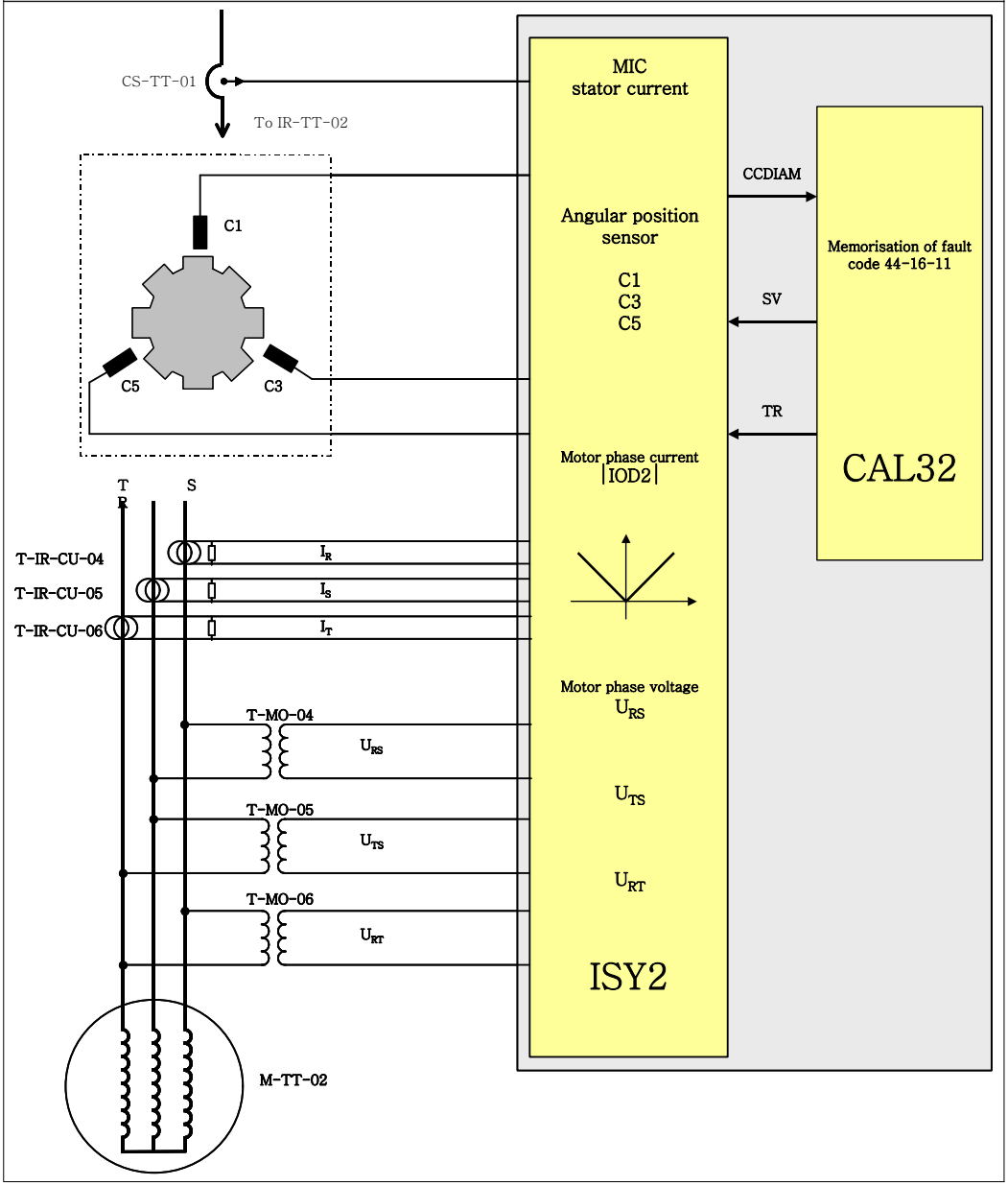
두 전류 사이의 다시 읽기 차이가 300 A 이면 견인전동기 고장자에서의 단락을 의미한다.

(30) 44-16-11 : IR-TT-02 암 단락(DIAMETRAL SHORT CIRCUIT)

동력회로



IR-TT-02 암 단락감시 블록 다이어그램



- 감지 원칙

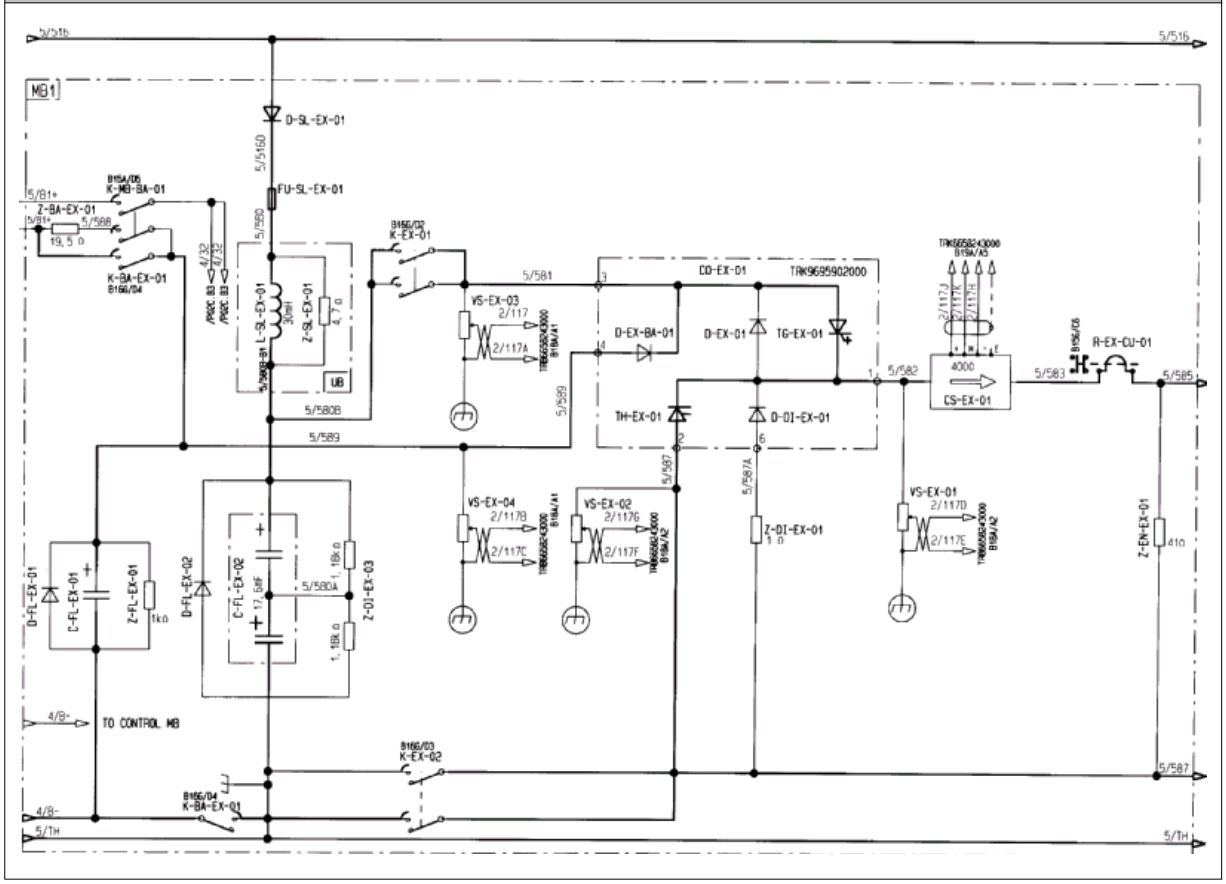
암 단락(diametral short circuit)은 인버터 입력단에서의 전류(MIC)와 견인전동기 각 상에 흐르는 전류(IR 또는 IS 또는 IT) 사이의 비교를 통하여 감지된다.

두 전류 사이의 다시 읽기 차이가 300 A 이면 견인전동기 고장자에서의 단락을 의미한다.

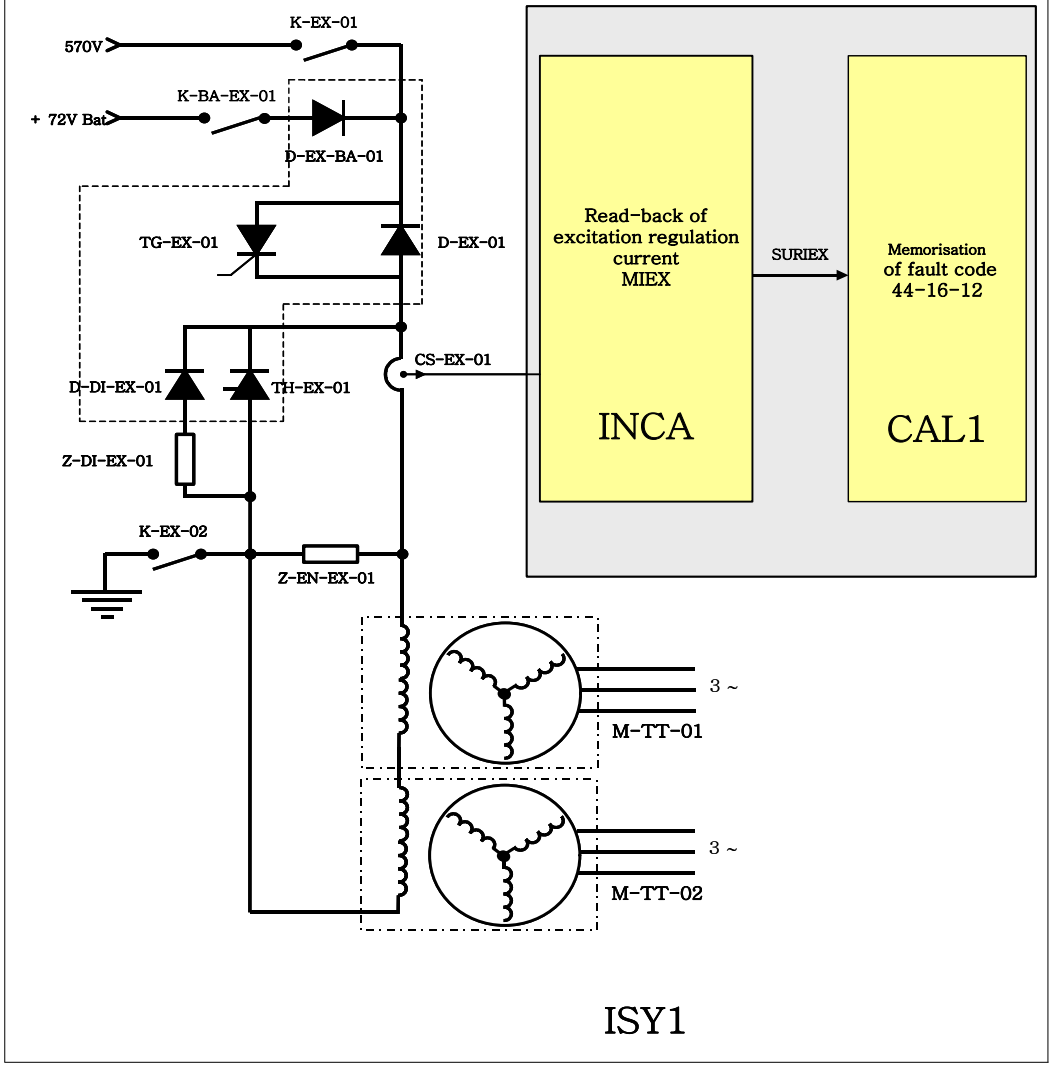
다음 조건이면, 변수 L_maurg와 압력 다시읽기 시그널 Vmes_pcg 사이의 불일치로 결정된다.

(31) 44-16-12 : 여자(EXCITATION) 과전류

동력회로



견인전동기 여자전류 감시 블록 다이어그램



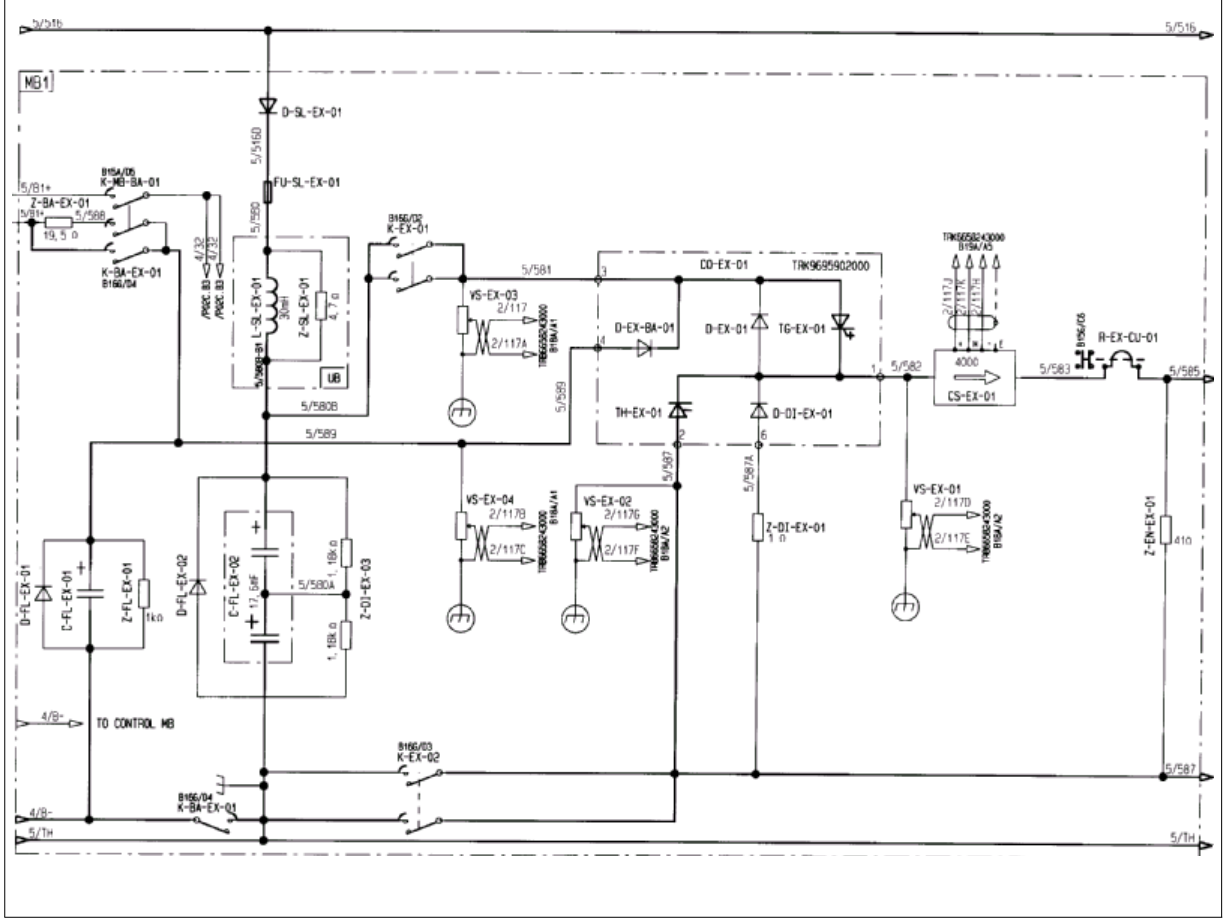
- 감지 원칙

동기전동기 SM47은 열차속도에 따라 조절되는 DC 전원이 회전자에 공급되어야 한다. 여자전류는 GTO 초퍼에 의해 조절된다. 견인전동기 회전자에 흐르는 전류는 센서 CS-EX-01에 의해 다시 읽어진다. 여자전류 조절 고장, GTO 고장 또는 회전자 회로 소모 고장(단락, 차단; isolation 고장)이 발생했을 때, 모터블록 전자 제어장치는 모터블록의 차단을 유발한다.

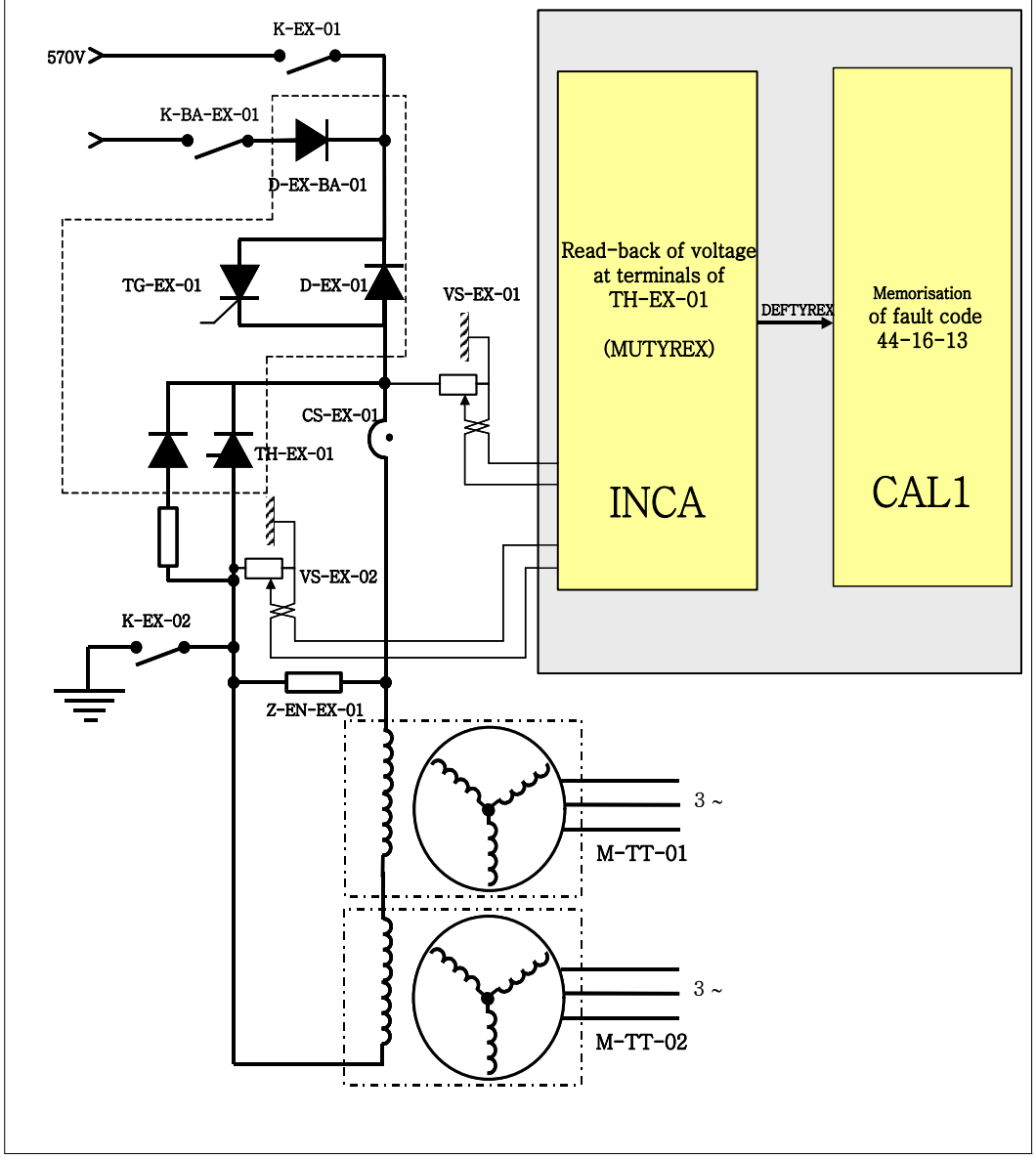
이 고장은 전력전자 및 전기장치에 손상을 주는 위험을 동반한다.

과전류는 여자전류의 조절 방식(견인 모드, HV 제동 모드 또는 LV 제동 모드)에 따라 센서 CS-EX-01 회로에 흐르는 전류의 다시 읽기를 통하여 감지된다.

(32) 44-16-13 : 견인전동기 회전자 탈자화(DEEXCITATION) 사이리스터 고장

동력회로


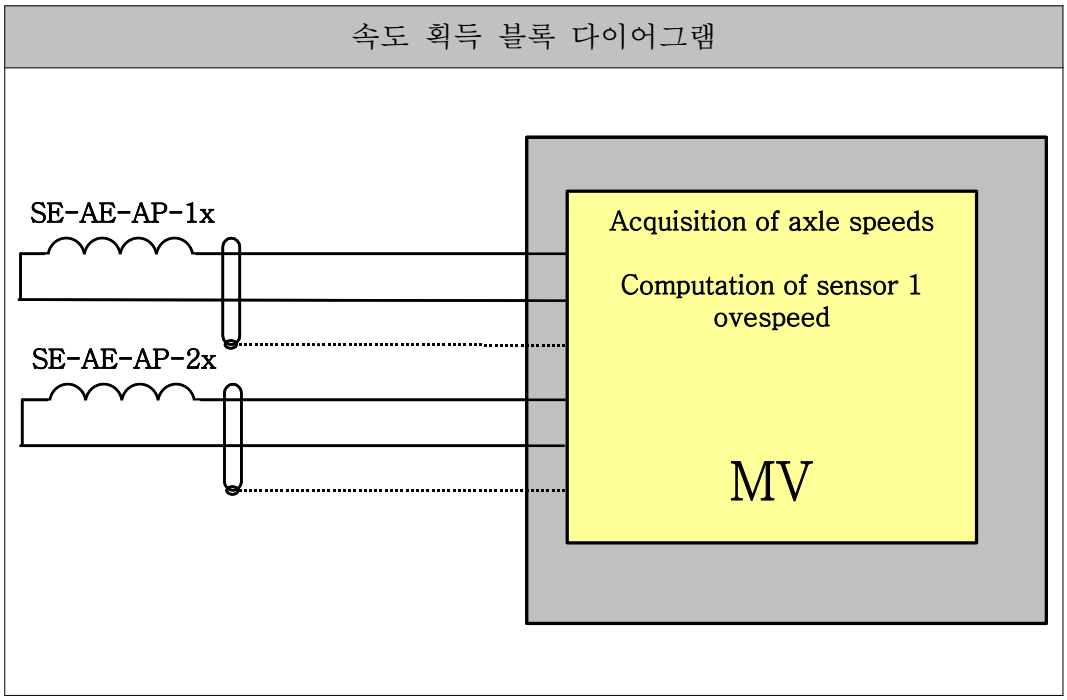
견인전동기 여자전류 감시 블록 다이어그램



- 감지 원칙

견인전동기 회전자의 탈자화 고장은 전압 센서 VS-EX-01 및 VS-EX-02를 통한 사이리스터 TH-EX-01 양 단 전압의 다시 읽기를 통하여 감지한다. 이 전압이 < - 50 V에 달하면, 고장코드가 저장된다.

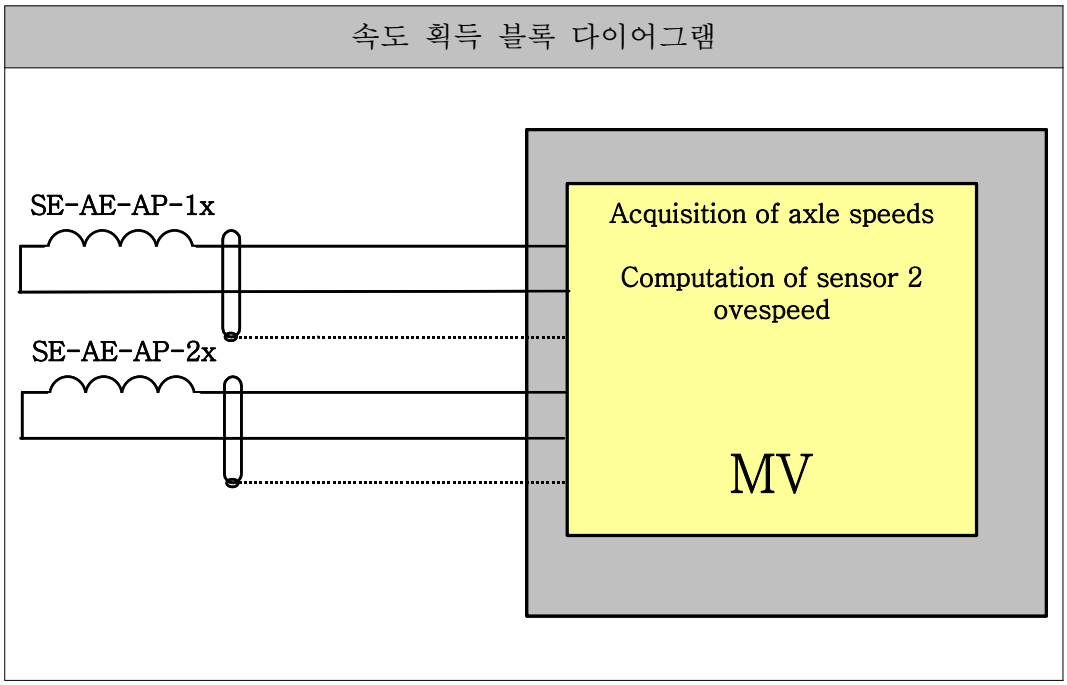
(33) 44-16-14 : 센서 1 과속



- 감지 원칙

각 동력대차의 차축 A의 속도는 센서 1에 의해 읽혀진 속도가 2 s 동안 350 km/h보다 크지 않은지를 감지하기 위하여 각 모터블록의 전자제어장치에 의해 감시된다. 이 감시는 확인되어야 할 속도센서의 올바른 작용을 가능하도록 해준다.

(34) 44-16-15 : 센서 2 과속

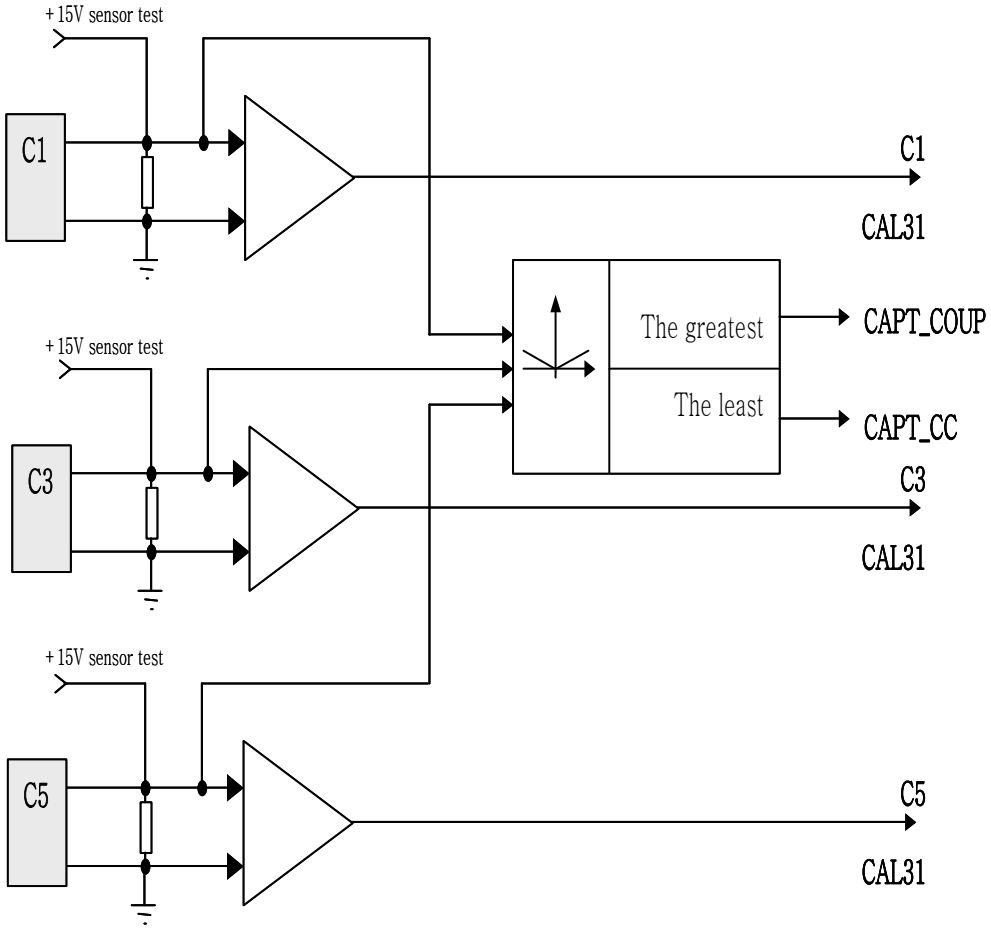


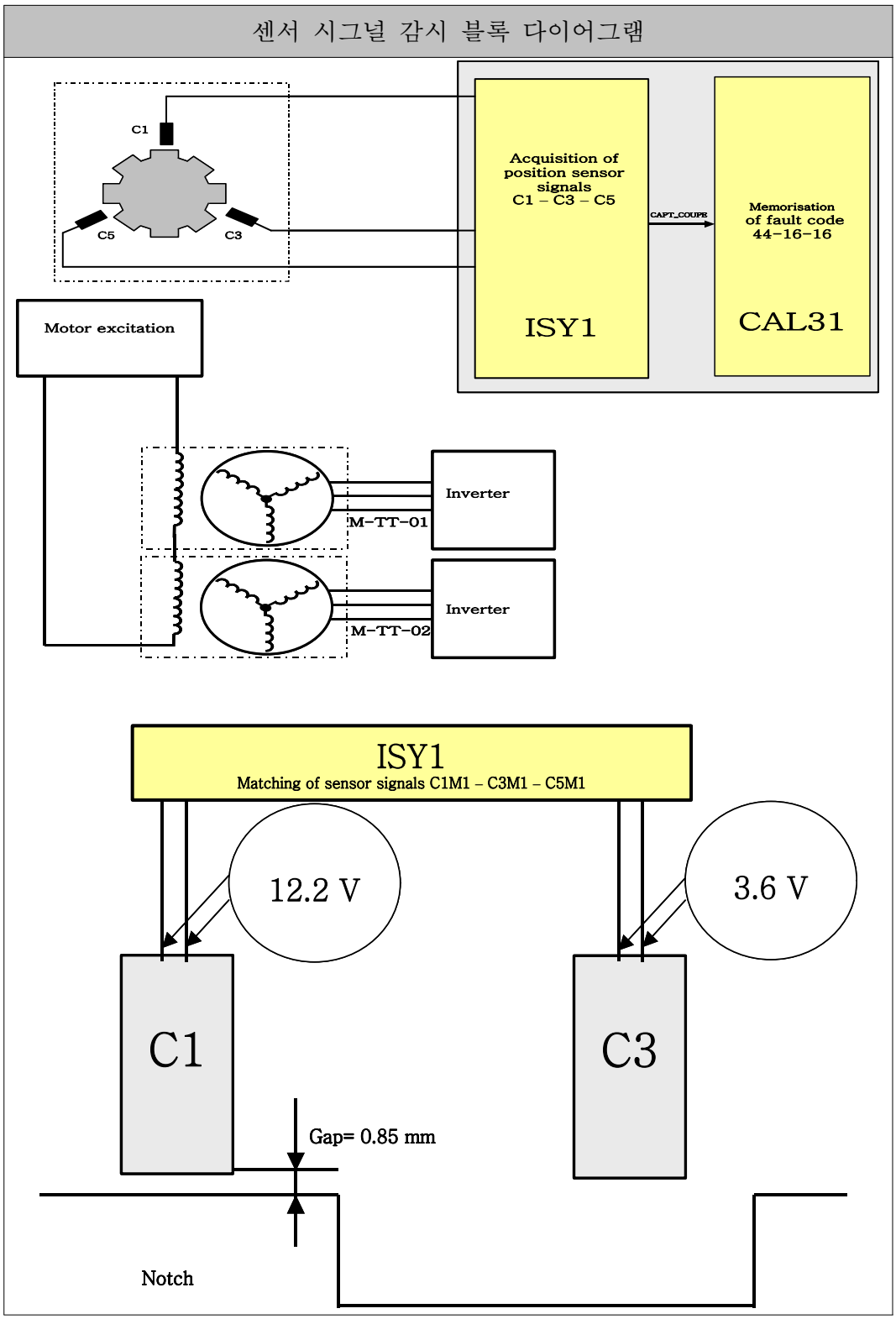
- 감지 원칙

각 동력대차의 차축 B의 속도는 센서 2에 의해 읽혀진 속도가 2 s 동안 350 km/h보다 크지 않은지를 감지하기 위하여 각 모터블록의 전자제어장치에 의해 감시된다. 이 감시는 확인되어야 할 속도센서의 올바른 작용을 가능하도록 해준다.

(35) 44-16-16 : 인버터 IR-TT-01 위치센서 차단; 단선(CUT OFF) 고장

위치 센서 시험 블록 다이어그램



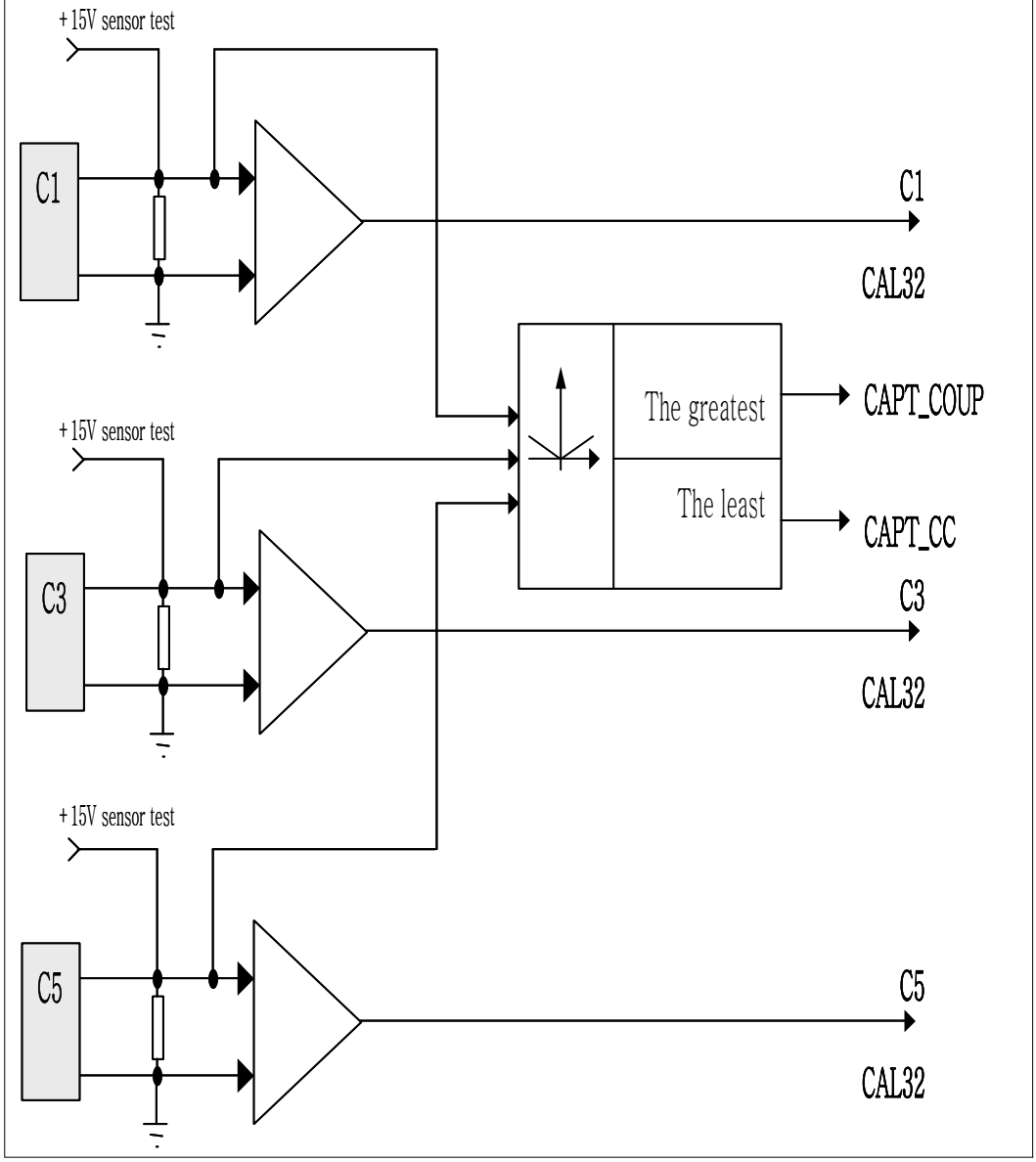


- 감지 원칙

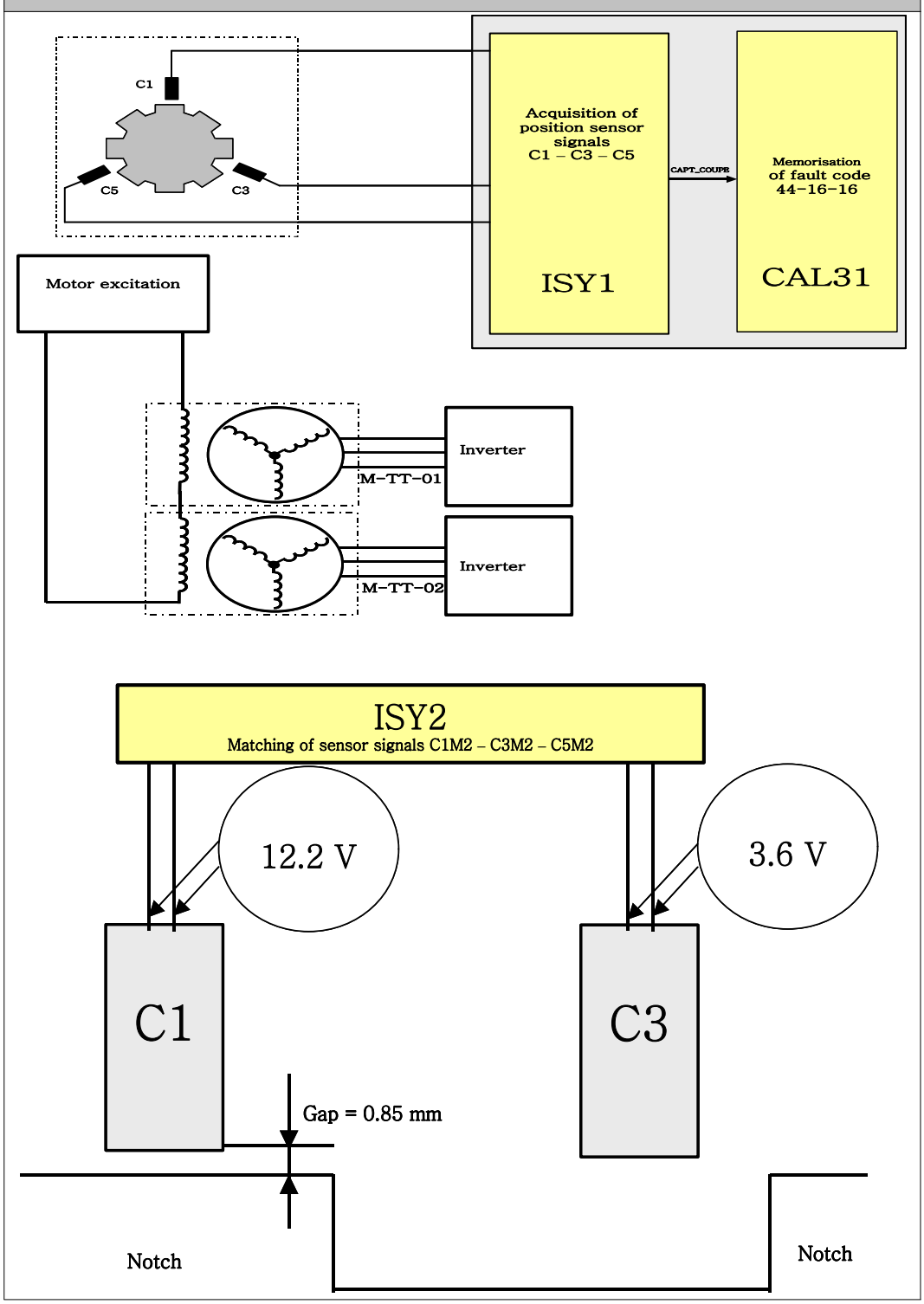
슬롯형 디스크(phonic wheel notches)의 위치에 따라 변화하는 견인전동기 위치센서의 3개의 가변 자기저항(variable-reluctance)에 의해 감지된다.

(36) 44-16-17 : 인버터 IR-TT-02 위치센서 차단; 단선(CUT OFF) 고장

위치센서 시험 블록 다이어그램



센서 시그널 감시 블록 다이어그램

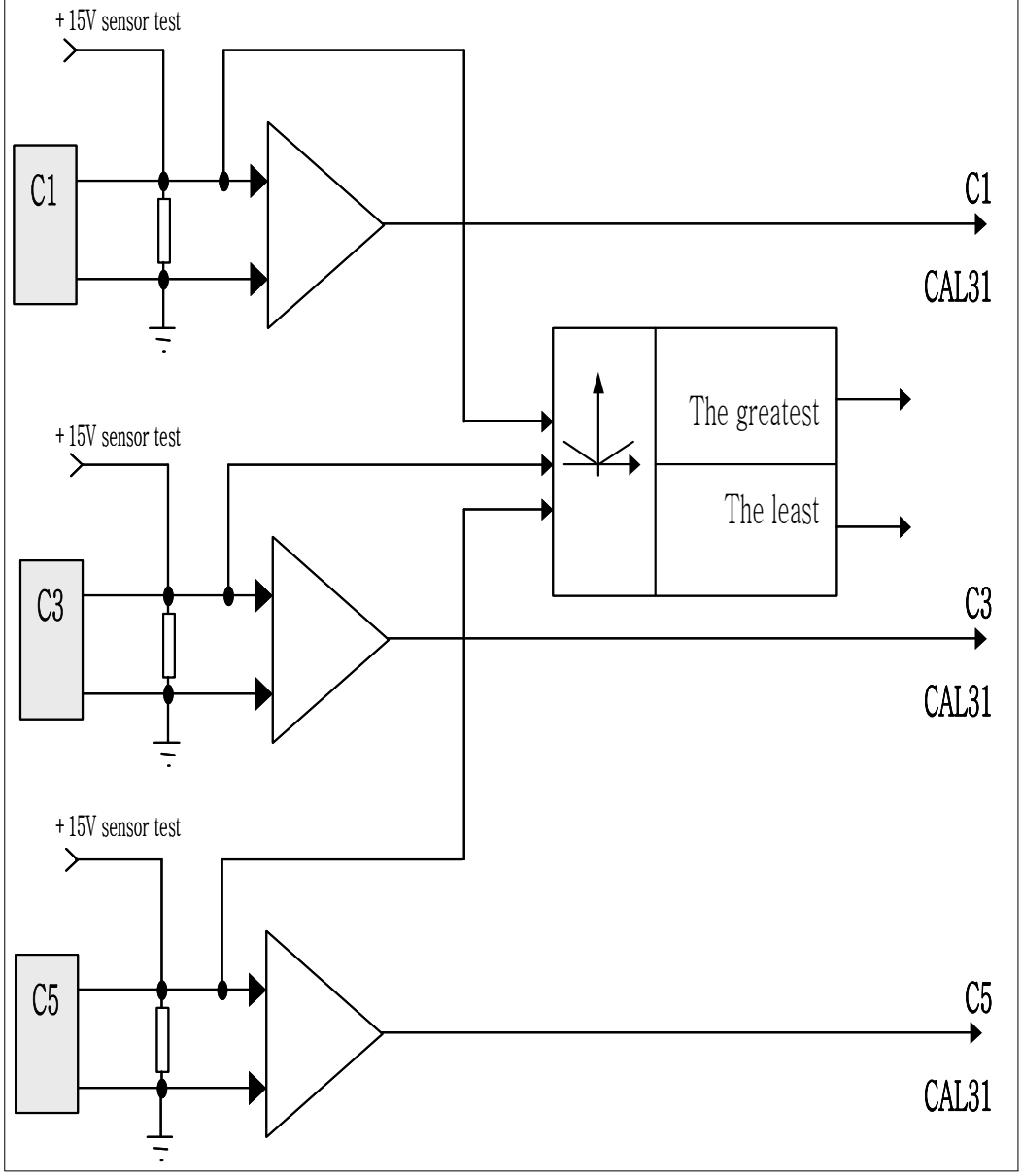


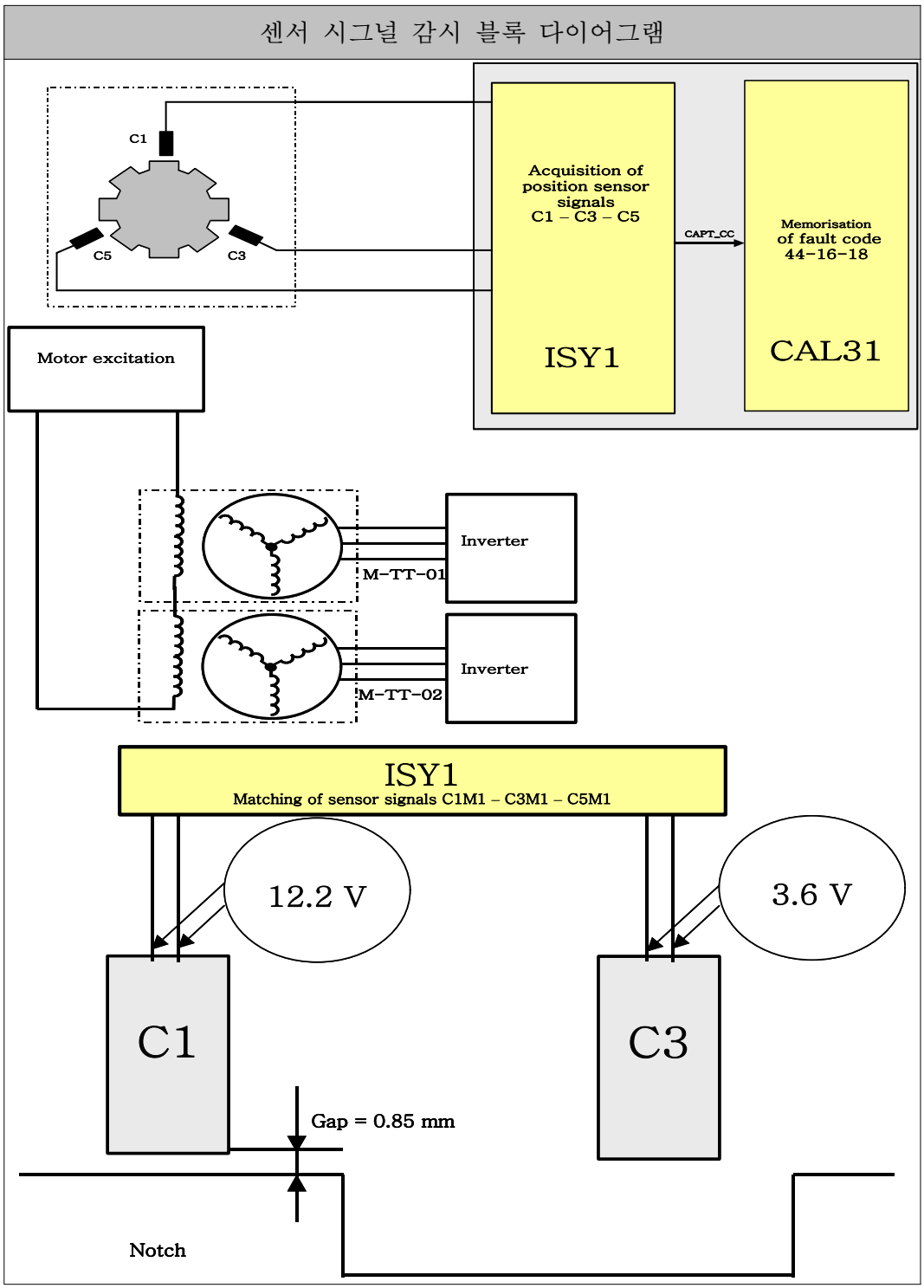
- 감지 원칙

슬롯형 디스크(phonic wheel notches)의 위치에 따라 변화하는 견인전동기 위치센서의 3개의 가변 자기저항(variable-reluctance)에 의해 감지된다.

(37) 44-16-18 : 인버터 IR-TT-01 위치센서 단락 고장

위치센서 시험 블록 다이어그램



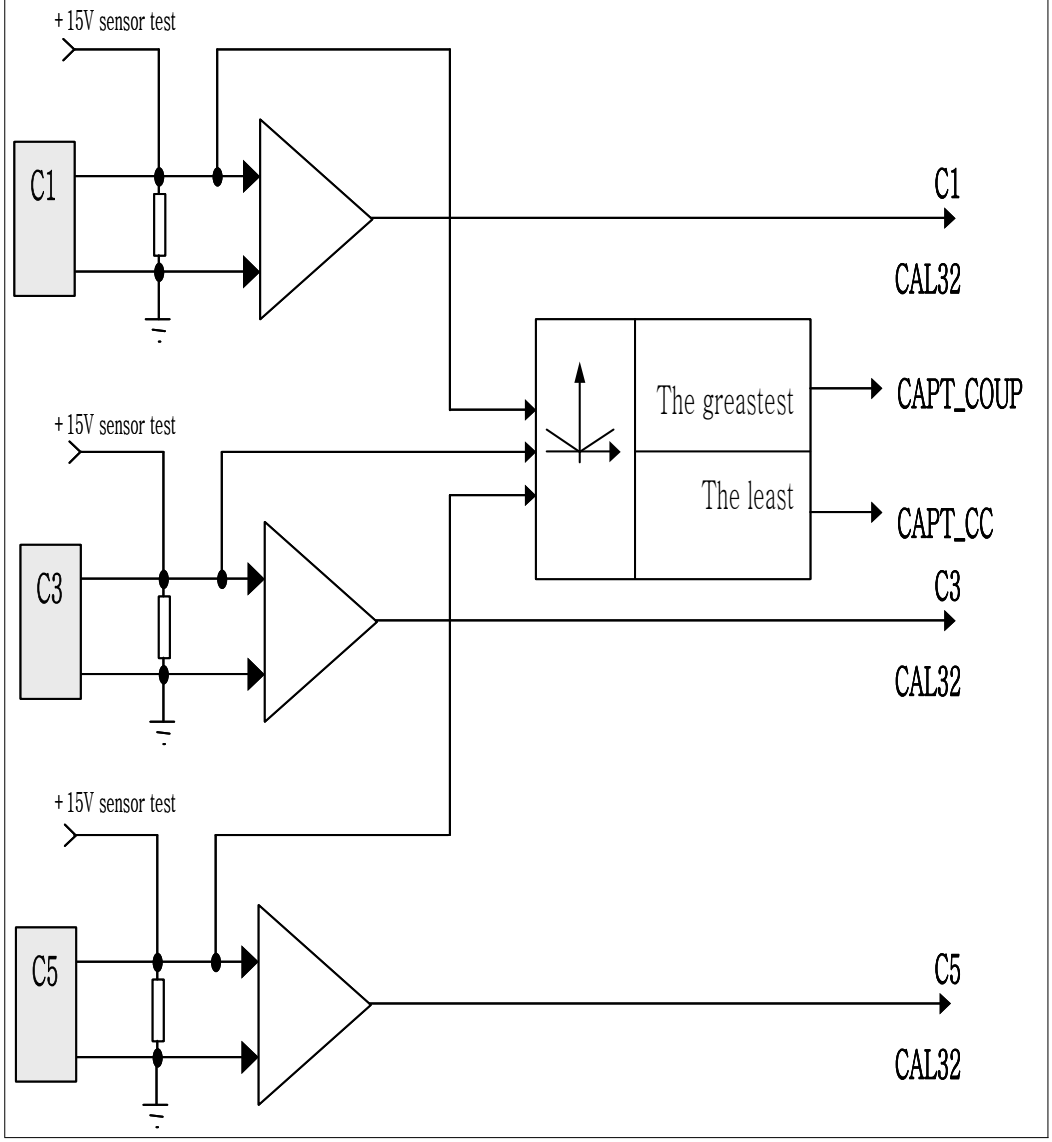


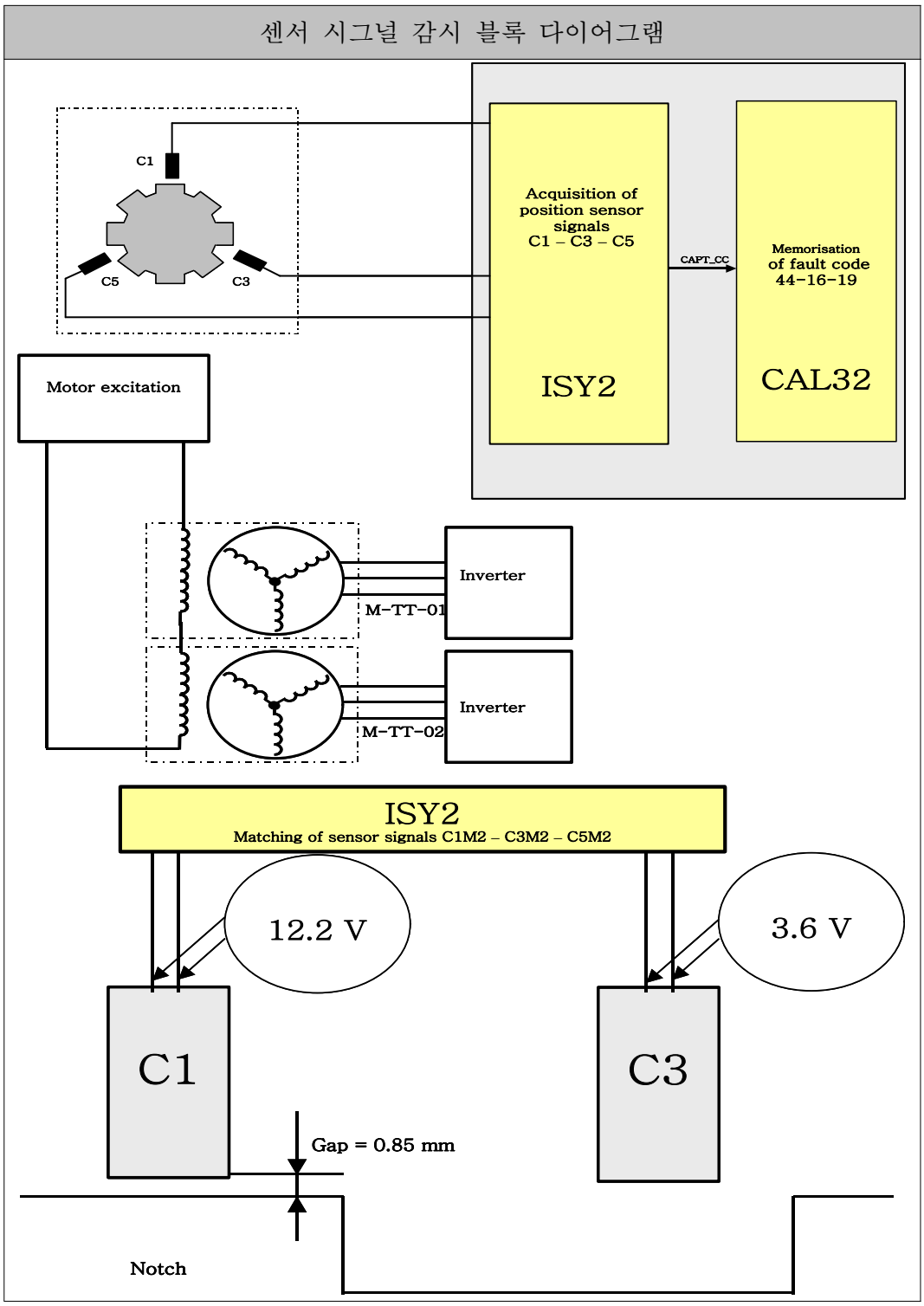
- 감지 원칙

슬롯형 디스크(phonic wheel notches)의 위치에 따라 변화하는 견인전동기 위치센서의 3개의 가변 자기저항(variable-reluctance)에 의해 감지된다.

(38) 44-16-19 : 인버터 IR-TT-02 위치센서 단락 고장

위치센서 시험 블록 다이어그램



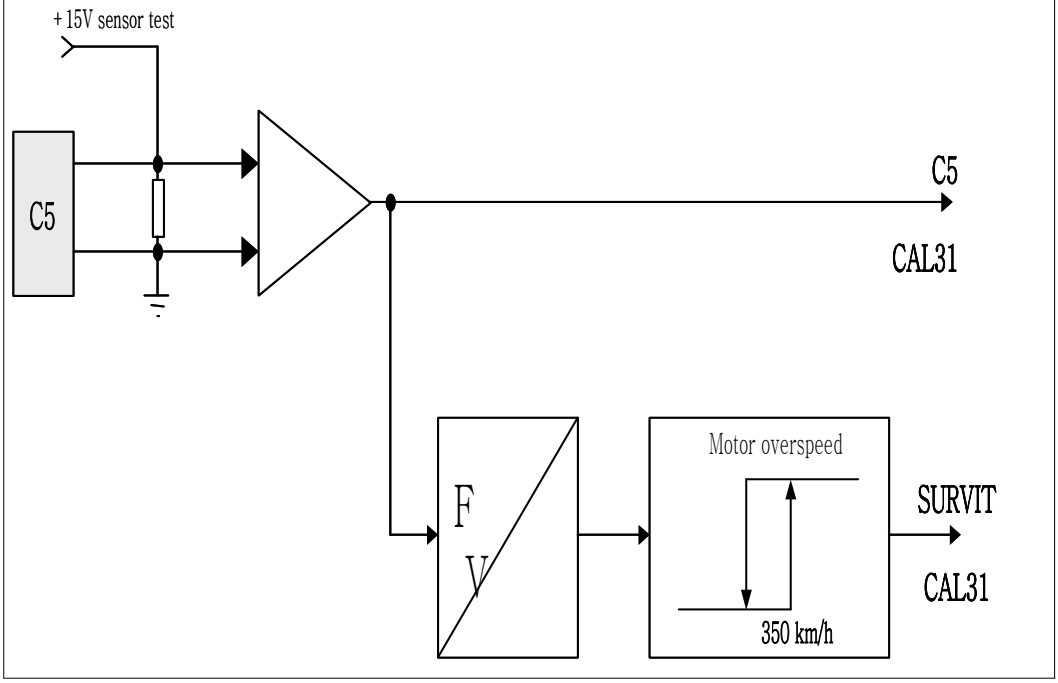


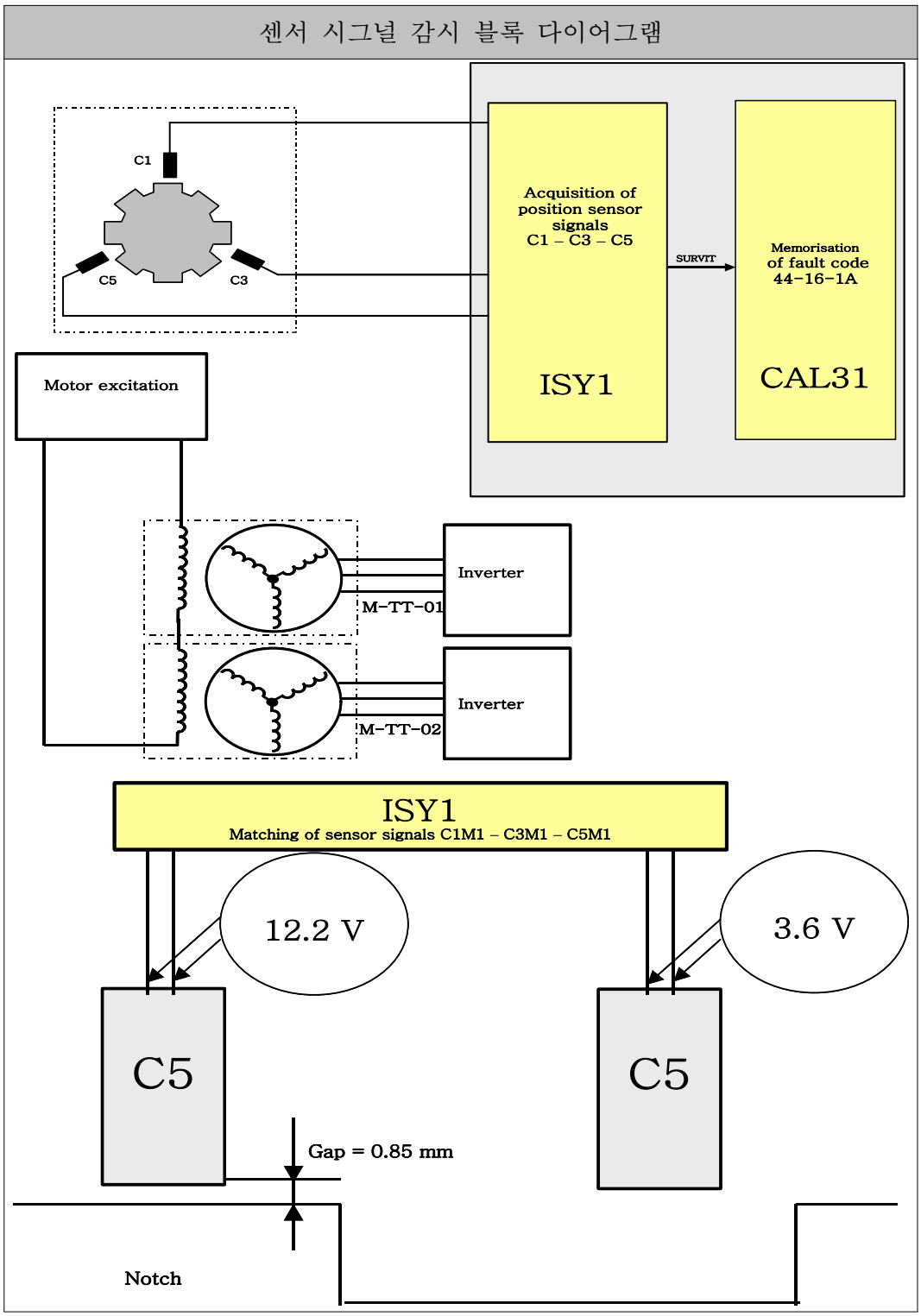
- 감지 원칙

슬롯형 디스크(phonic wheel notches)의 위치에 따라 변화하는 견인전동기 위치센서의 3개의 가변 자기저항(variable-reluctance)에 의해 감지된다.

(39) 44-16-1A : 견인전동기 1 과속 고장

견인전동기 1 과속 감시 블록 다이어그램

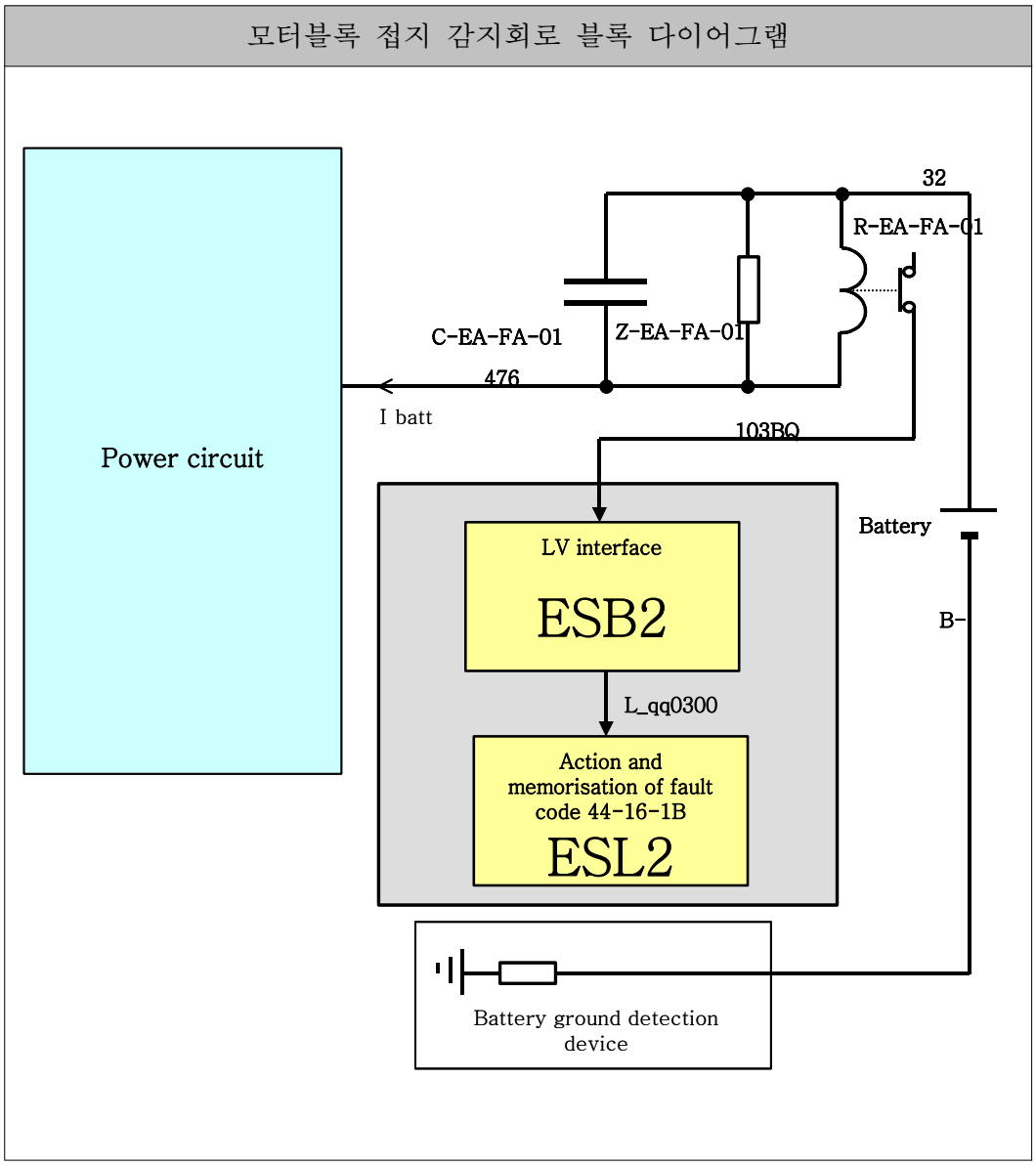




- 감지 원칙

견인전동기가 갑자기 가속될 때(motor runaway), 이 보호기능은 견인전동기의 파손위험을 피하기 위해 그 MB를 차단하는 데 이용된다. 견인전동기 과속의 감지한계는 350 km/h 이다.

(40) 44-16-1B : RR-EA-FA-01 동력회로 접지 고장



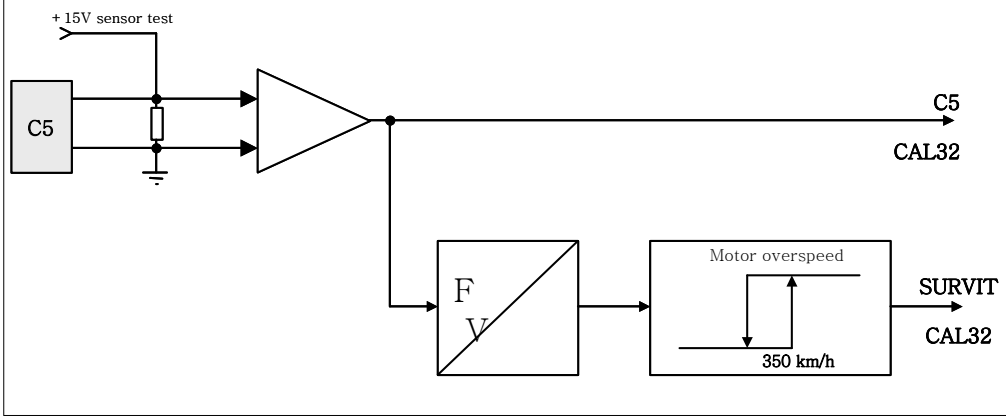
- 감지 원칙

동력회로에 있는 접지 감지 계전기 R-EA-FA-01의 한 쪽 단자는 축전지 전압 +72V에 의해 계속적으로 연결되어 있다. 이 계전기의 다른 쪽 단자는 MB의 동력회로에 연결되어 있어 접지 현상이 있는 동안 B-에 연결되도록 한다. 이 계전기에서의 전류 흐름은 이 계전기를 동작하게 한다.

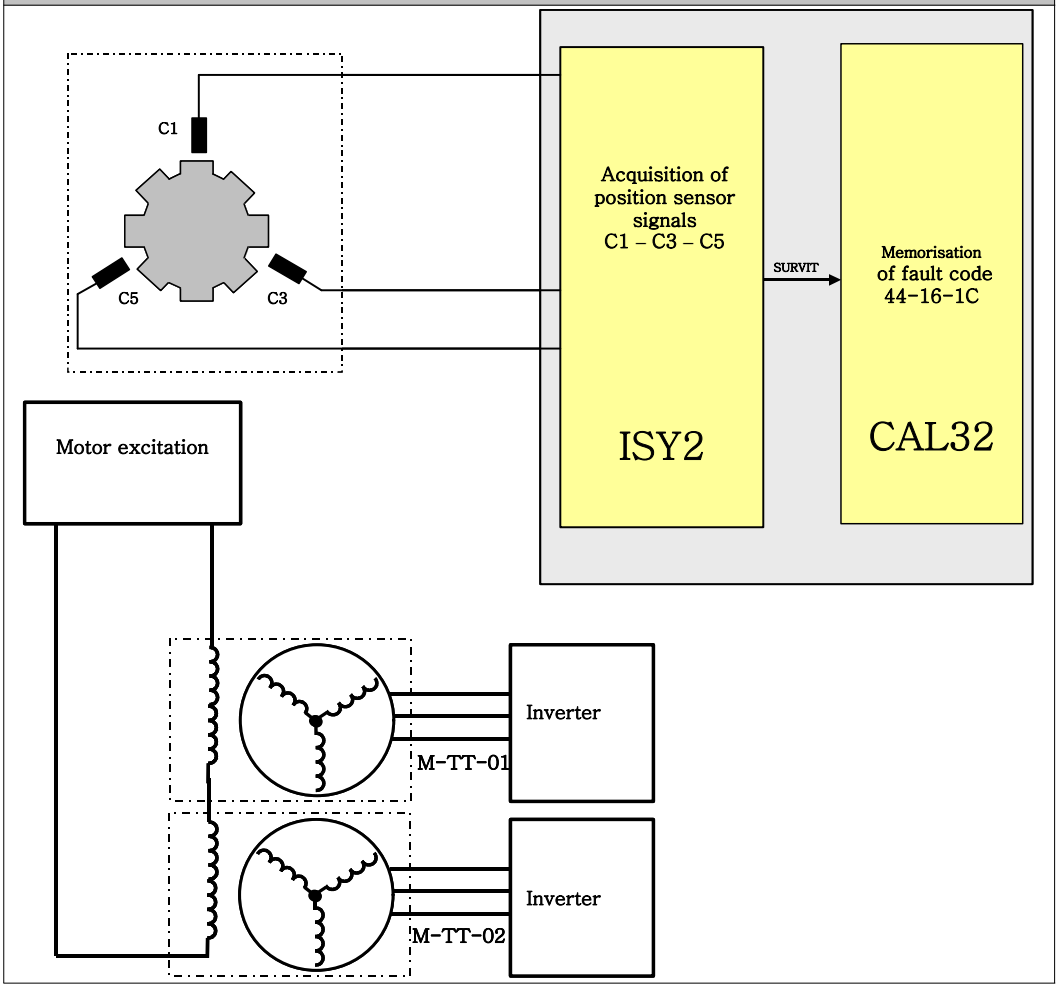
계전기 R-EA-FA-01이 여자되었을 때, 견인 또는 제동 모드에서 동력회로가 접지와 연결됐다는 것을 표시하도록 동작된다.

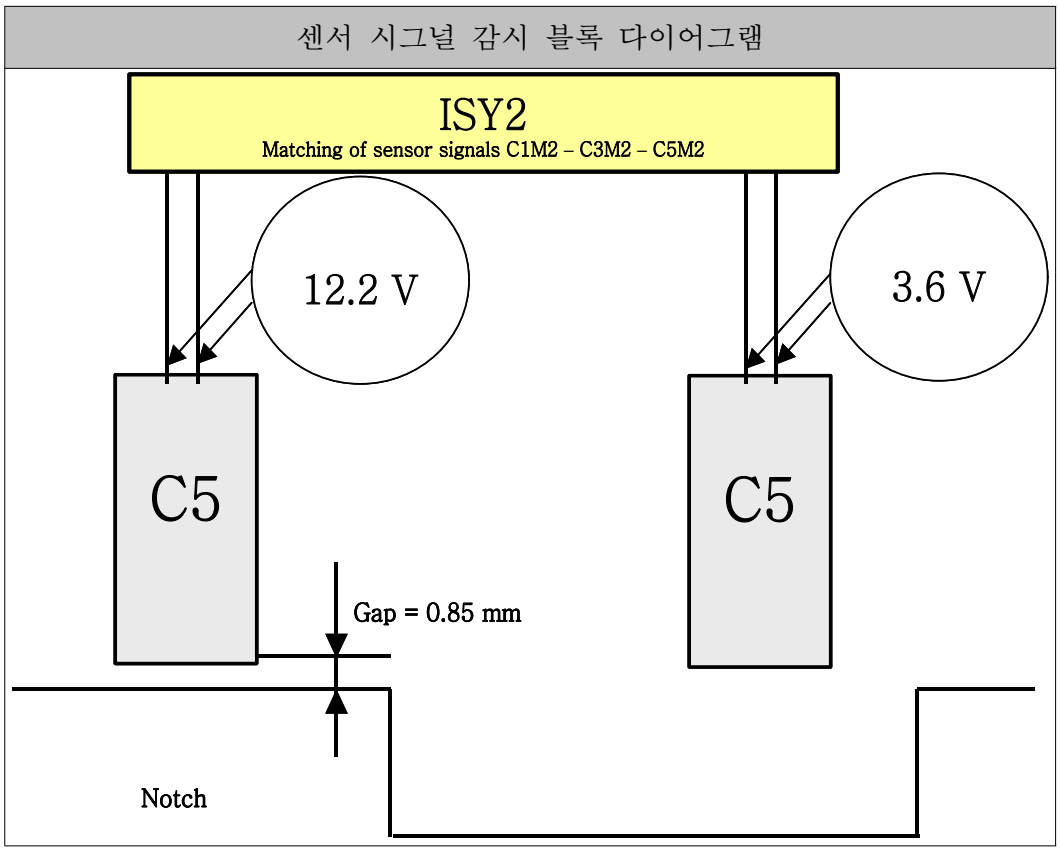
(41) 44-16-1C : 견인전동기 2 과속 고장

견인전동기 2 과속 감시 블록 다이어그램



센서 시그널 감시 블록 다이어그램

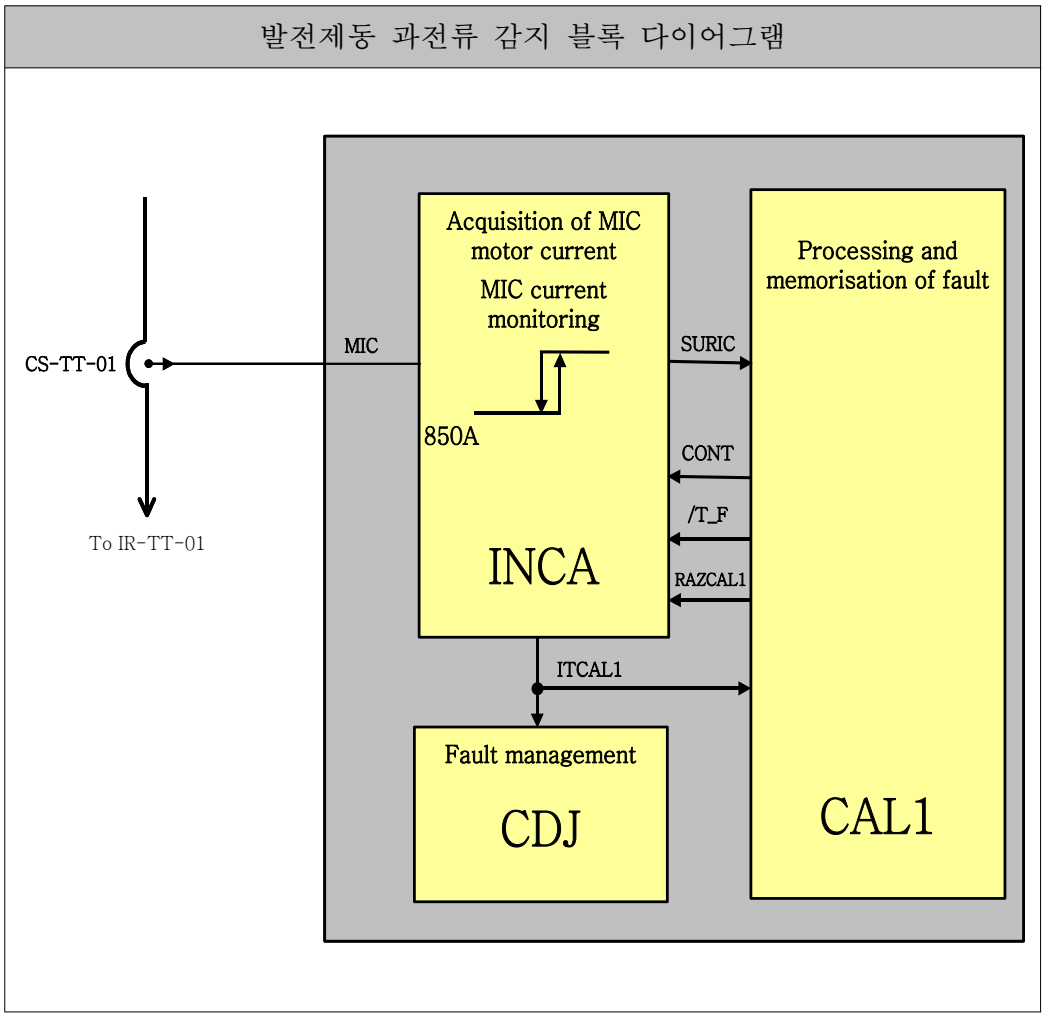




- 감지 원칙

견인전동기가 갑자기 가속될 때(motor runaway), 이 보호기능은 견인전동기의 파손위험을 피하기 위해 그 MB를 차단하는 데 이용된다. 견인전동기 과속의 감지한계는 350 km/h 이다.

(42) 44-16-1D : 발전제동 과전류

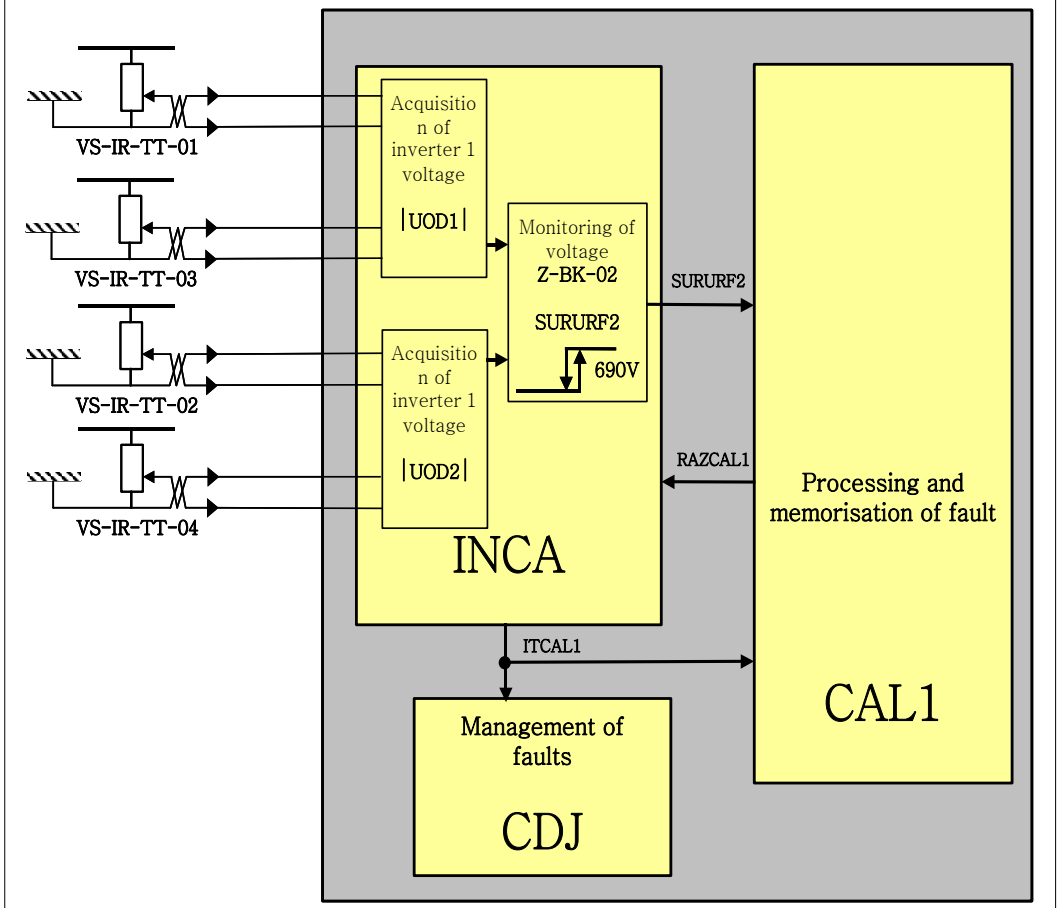


- 감지 원칙

발전제동 모드에서, 견인전동기 전류는 제동저항에서 소모된다. MIC 전류는 제동초퍼의 제어를 통하여 조절된다. 센서 CS-TT-01은 제동회로에 흐르는 전류를 측정하여 어떤 과전류가 있는지 감지한다. 제동 모드(/T_F) 및 시나리오 112(CONT)에서 MIC 전류 > 850 A 이면, 제동 과전류로 감지한다.

(43) 44-16-1E : 제동 저항 과전압

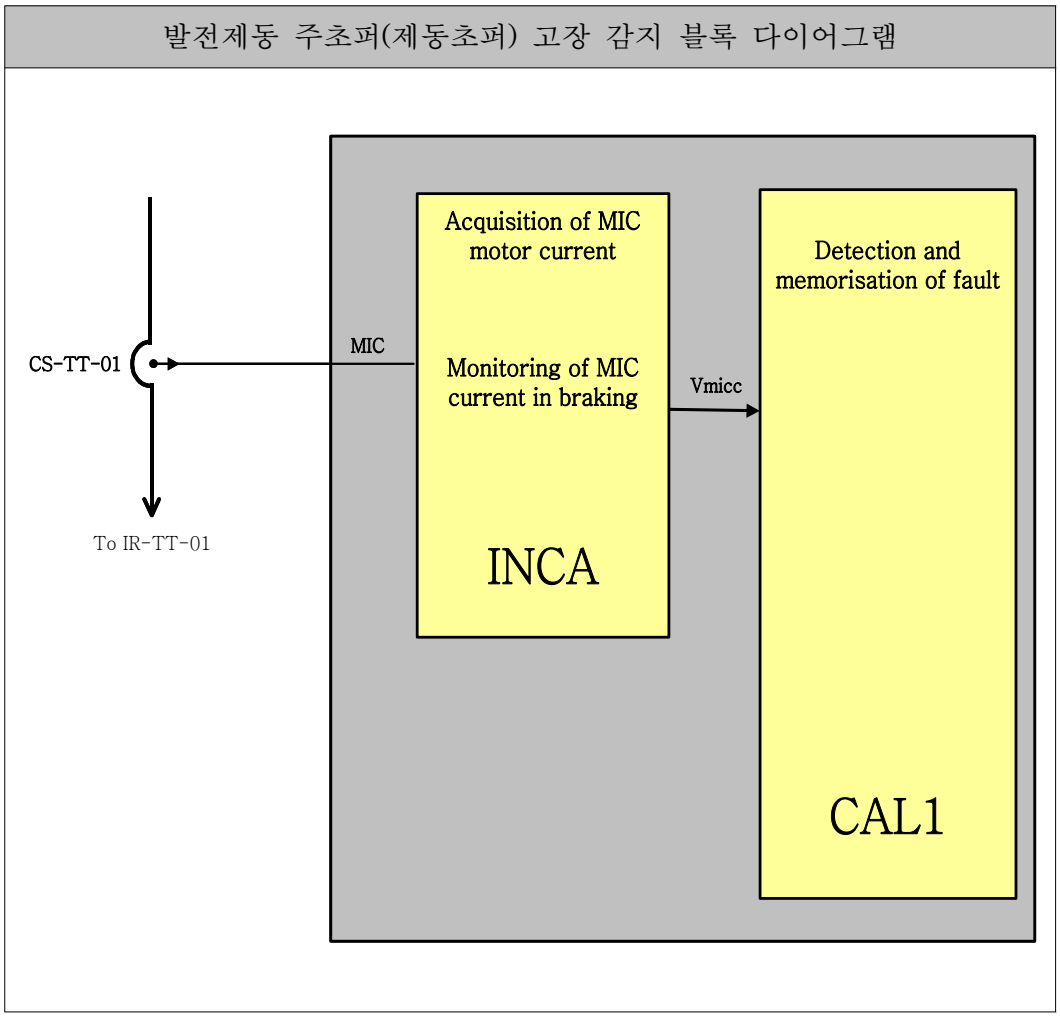
제동 저항 과전압 감지 블록 다이어그램



- 감지 원칙

발전제동 모드에서, 견인전동기 전류는 제동저항에서 소모된다. MIC 전류는 제동초퍼의 제어를 통하여 조절된다. 제동초퍼(CO-BK-01) GTOs의 도통 및 블록킹은 제동 저항의 저항 값을 변화시킬 수 있도록 한다. 제동 저항 ZB-BK-02 양 단에서 측정된 전압은 인버터 전압센서 VS-IR-TT-01, VS-IR-TT-02, VS-IR-TT-03 및 VS-IR-TT-04에 의해 얻어진다. 제동저항(ZB-BK-01 또는 ZB-BK-02)의 단선 또는 부하장치의 고장, 제동초퍼가 블록킹되는 경우, 이 전압이 갑자기 증가하여 고장감지 한계값인 690 V를 초과할 것이다. INCA 카드는 제동저항 과전압에 대한 감지 한계값을 감시하여 나타낸다.

(44) 44-16-1F : 발전제동 주초퍼(제동초퍼) 고장



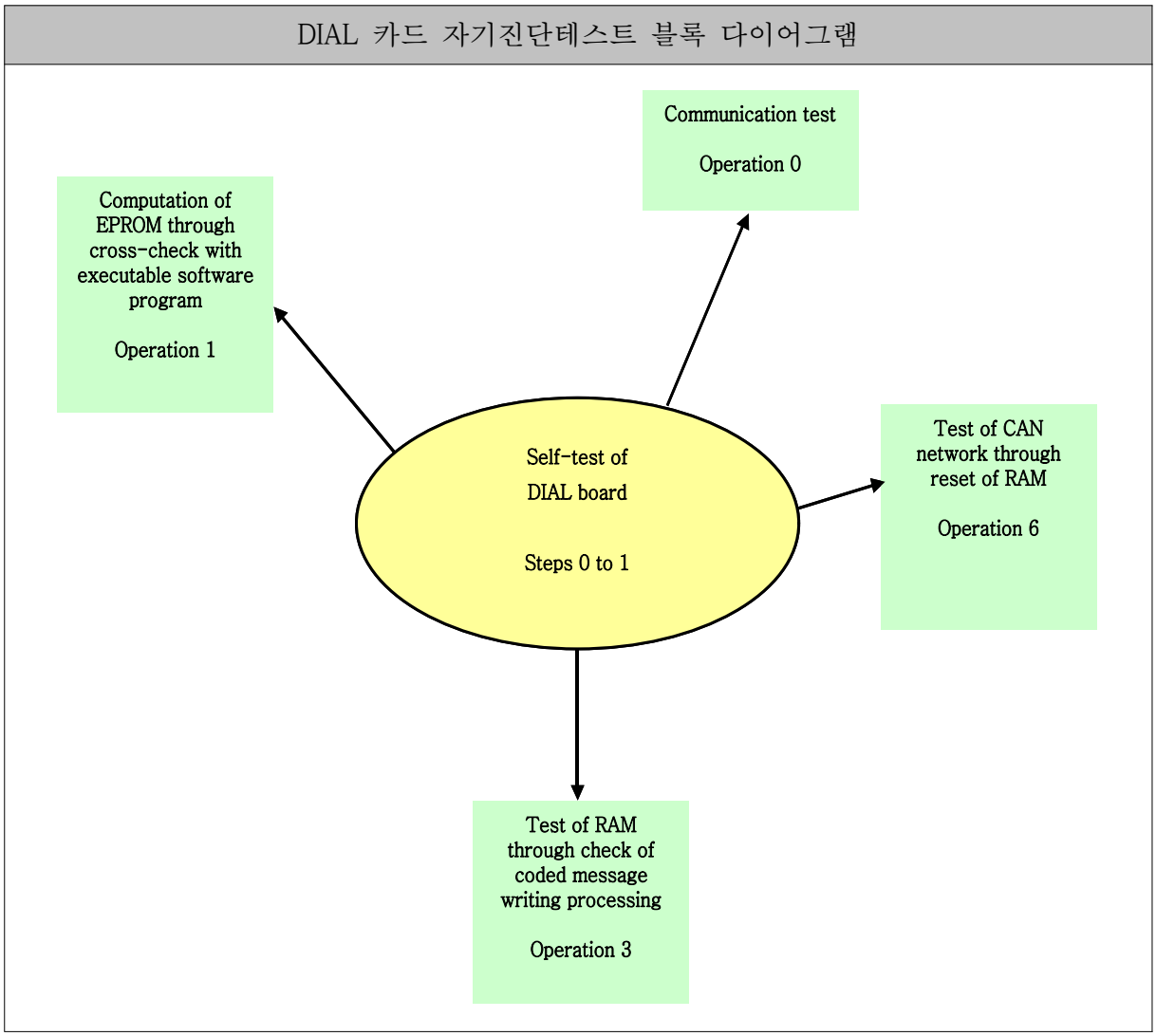
- 감지 원칙

발전제동 모드에서, 견인전동기 전류는 제동저항에서 소모된다. MIC 전류는 제동초퍼의 제어를 통하여 조절된다. 제동초퍼(CO-BK-01) GTOs의 도통 및 블록킹은 제동 저항의 저항 값을 변화시킬 수 있도록 한다.

고장에 의한 중지시그널 ITDEF가 발생될 때, MIC 전류에 대한 두 개의 획득값은 3.3 ms 사이에서 얻어질 수 있다. 마지막에 얻어진 값(dft_vmicc(1))이 처음에 얻어진 값(dft_vmicc(0))에 비해 80 A 더 크게 나오면 GTOs가 단락된 것으로 고려된다.

(45) 44-16-23 : DIAL 카드 자기진단테스트

DIAL 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램

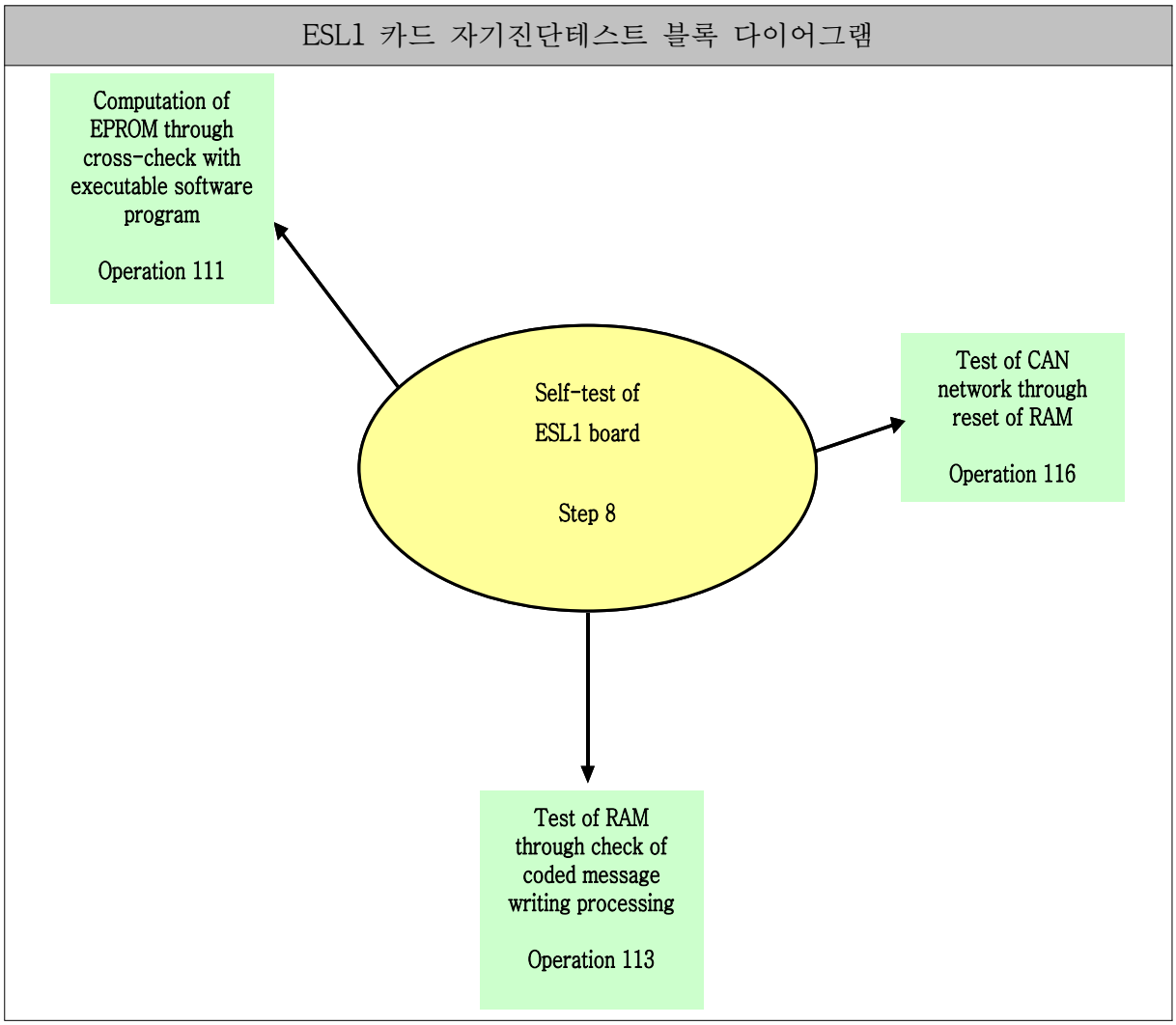


- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. DIAL 카드의 테스트(단계 0 ~ 1)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크
· 카드 통신(communication)

(46) 44-16-24 : ESL1 카드 자기진단테스트

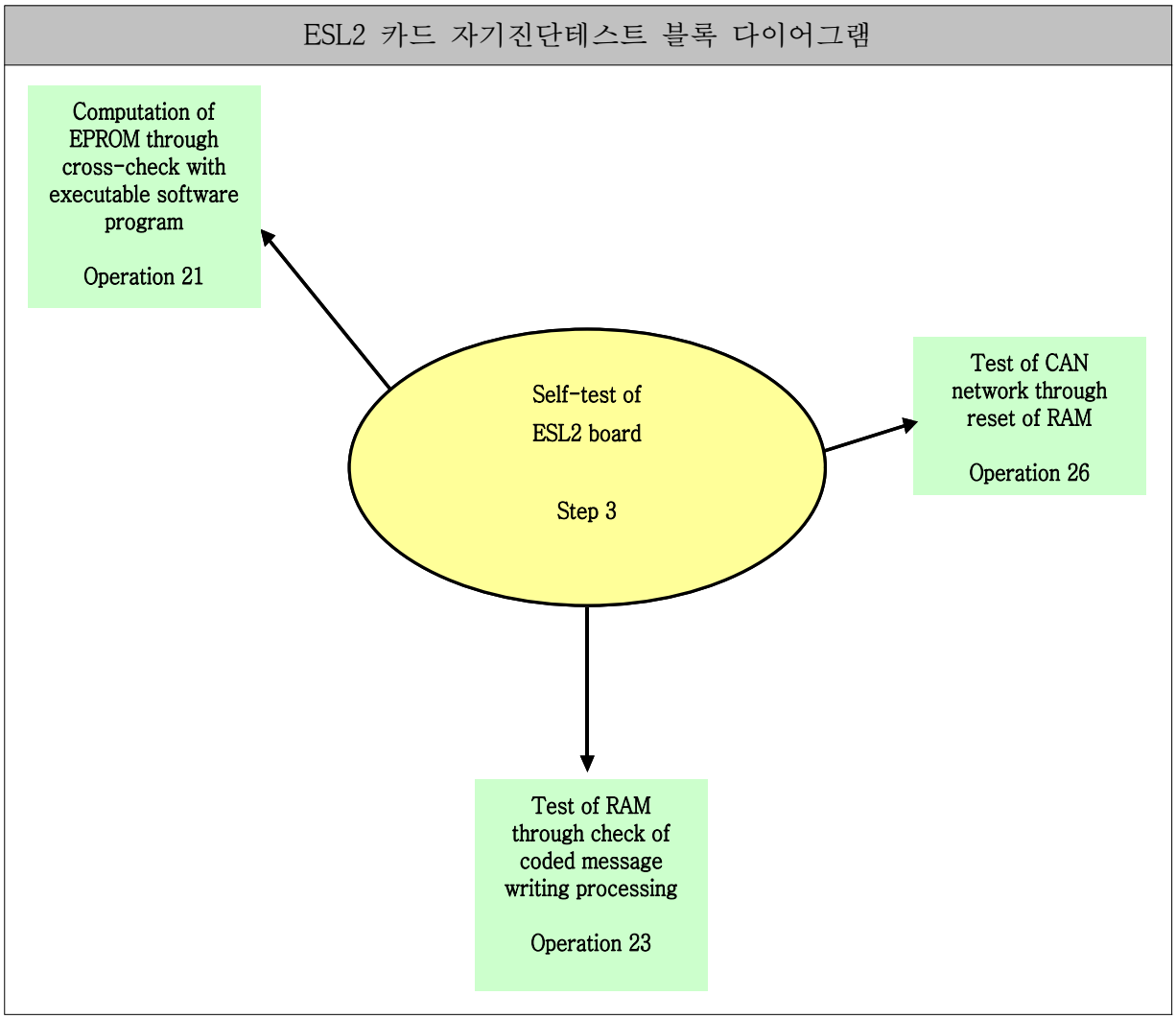


- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESL1 카드의 테스트(단계 8)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

(47) 44-16-25: ESL2 카드 자기진단테스트

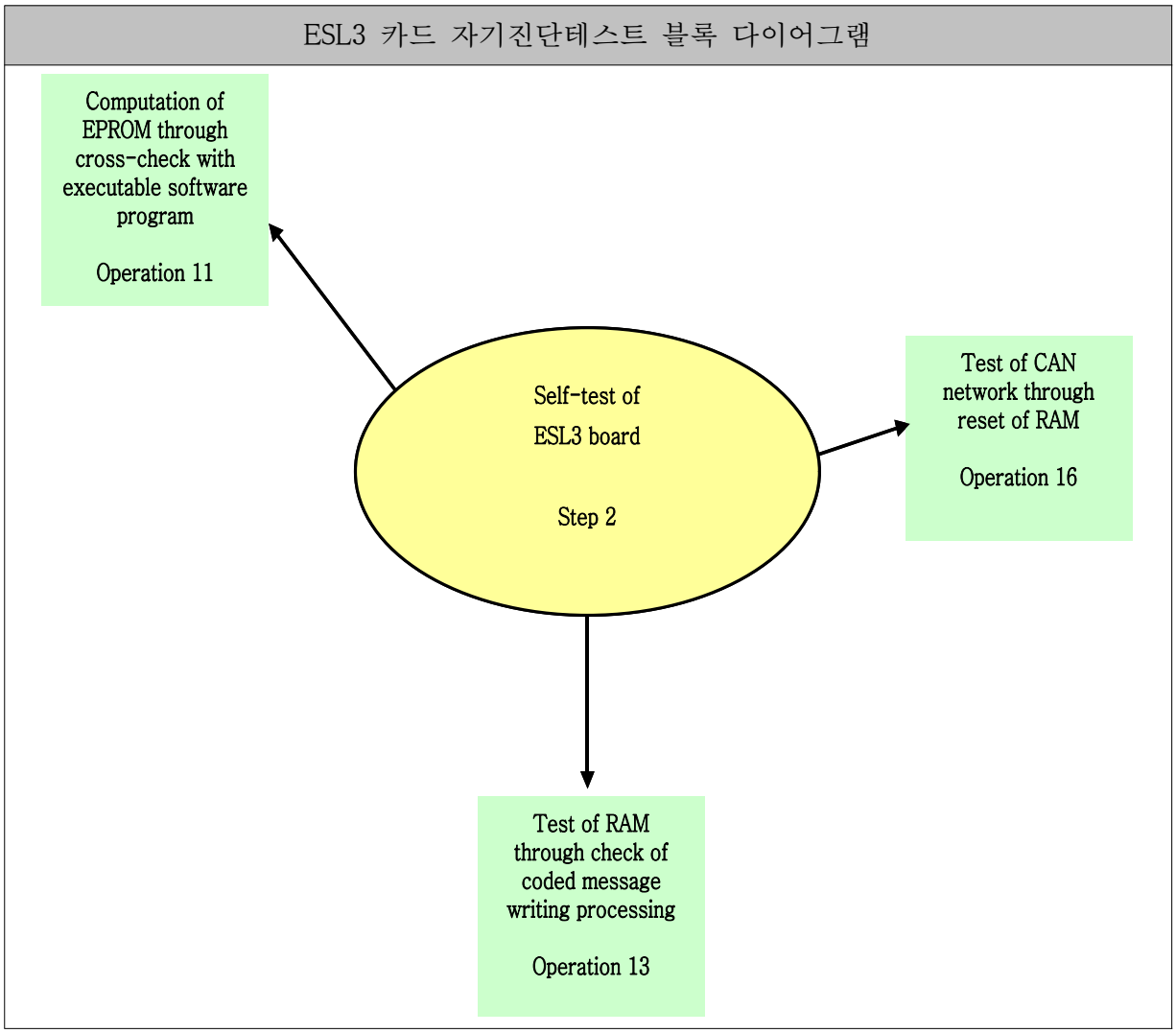


- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESL2 카드의 테스트(단계 3)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

(48) 44-16-26 : ESL3 카드 자기진단테스트



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESL3 카드의 테스트(단계 2)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

(49) 44-16-27 : 인버터 동기화 자기진단테스트

CAL1, CAL2, CAL3_1 CAL3_2, ISY1, ISY2, IMON 카드 자기진단테스트 동작 설명

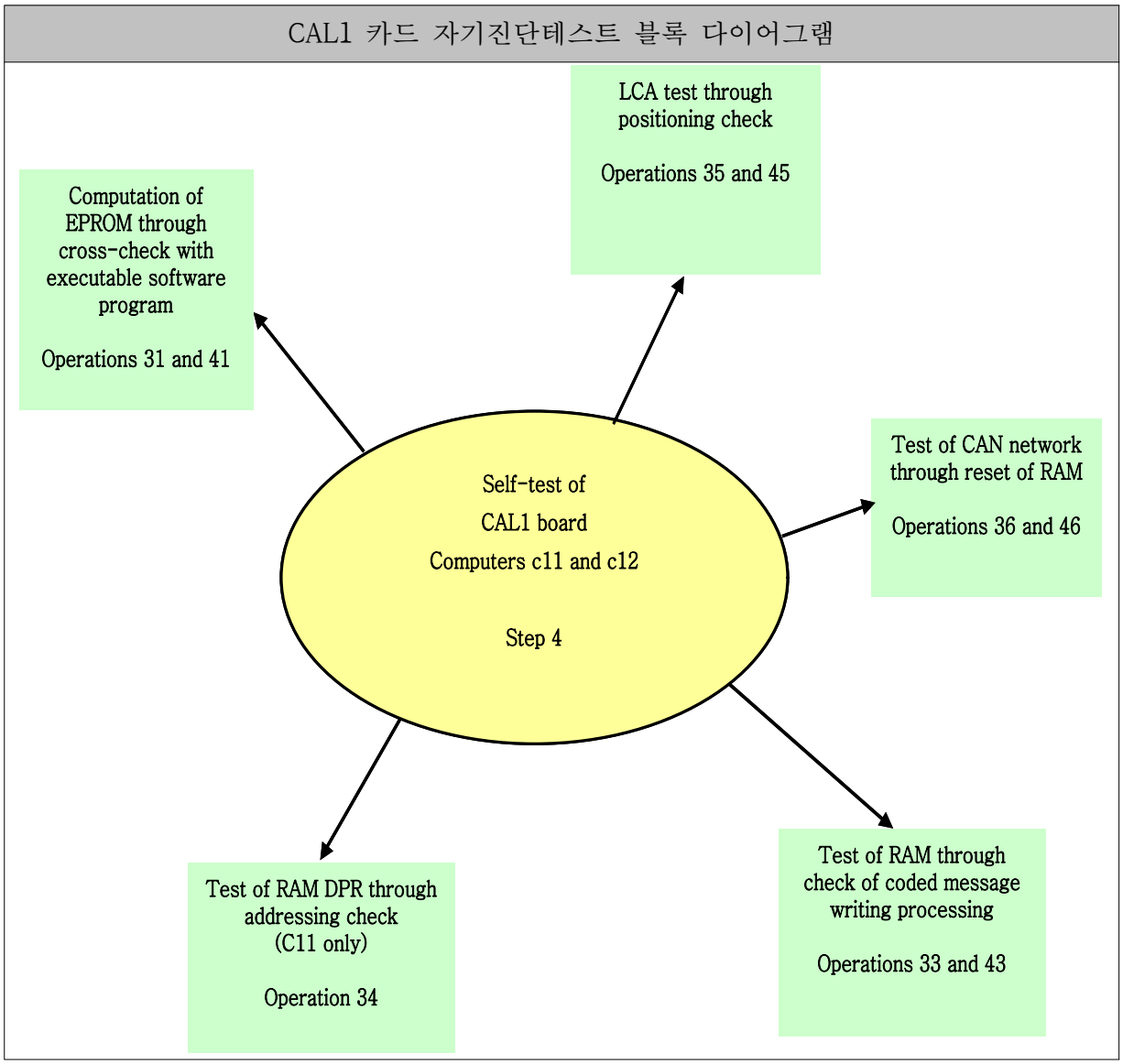
Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing CAL1	Forcing CAL3-x		Wait time (ms)	Result	Remarks
		TYRRM1	TYRRM2	SYNCHRO-3	SYNC-OD1	SYNC-OD2		logic	
251	ENV_SYNC_1						20	FALSE	
252	ENV_SYNC_2								
253	ENV_SYNC_1				✓		20	TRUE	
254	ENV_SYNC_2								
255	ENV_SYNC_1					✓	20		
256	ENV_SYNC_2								
257	ENV_SYNC_1	40ms					10		
258	ENV_SYNC_2	40ms							
259	ENV_SYNC_1		40ms				10		
260	ENV_SYNC_2		40ms						
261	ENV_SYNC_1			40ms			10		
262	ENV_SYNC_2			40ms					

- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL1, CAL2, CAL3.1, CAL3.2, ISY1, ISY2 및 IMON 카드의 테스트(단계 37)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 인버터 1과 2 및 완전브리지(견인컨버터) 사이의 동기화 시그널

(50) 44-16-28 : CAL1 카드 자기진단테스트



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL1 카드의 테스트(단계 4)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 컴퓨터 c11에 대하여:

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산

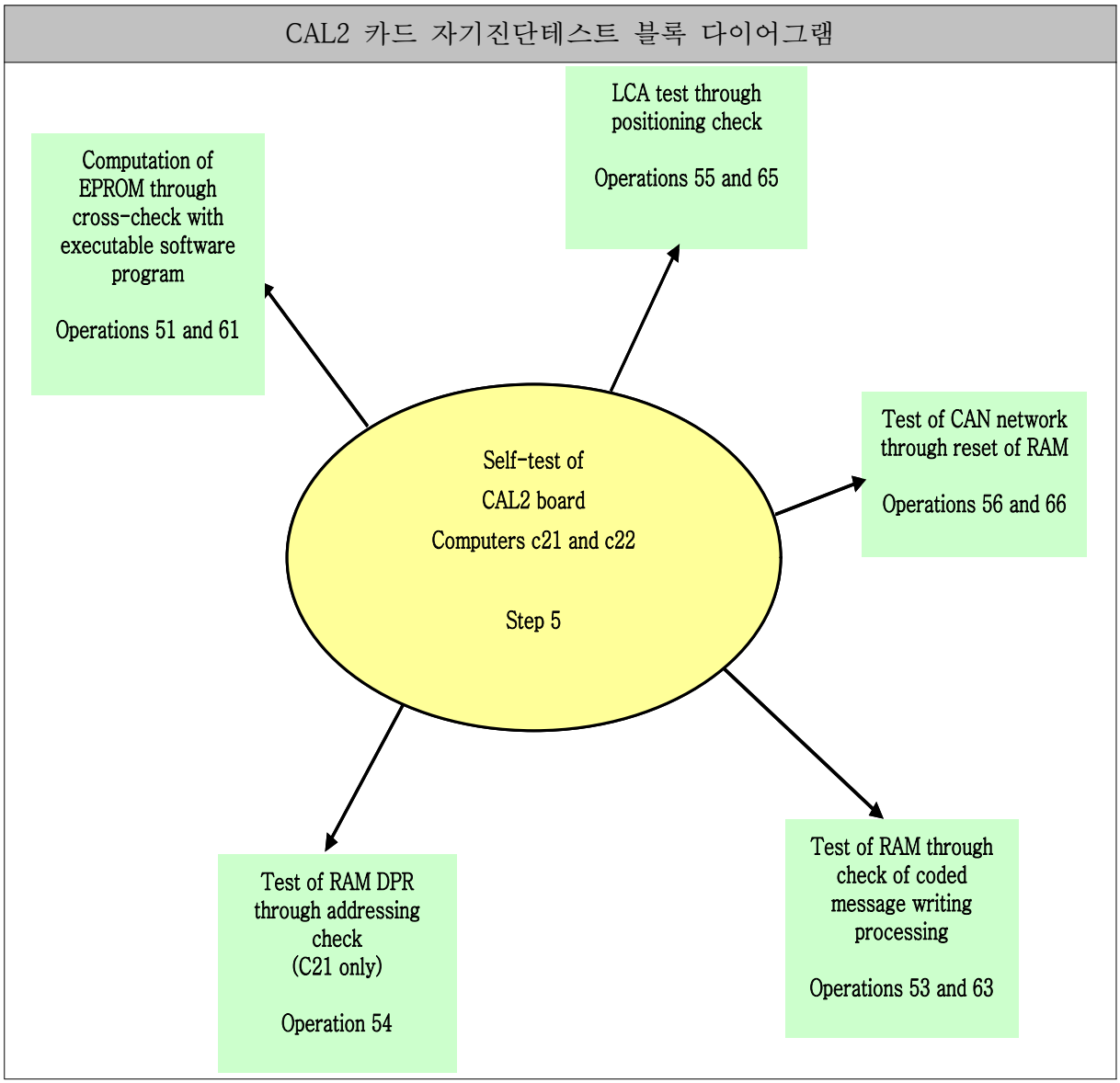
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM

· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA
· 메시지 주소부여 확인을 통한 DPR RAM

* 컴퓨터 c12에 대하여:
· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크
· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA

(51) 44-16-29 : CAL2 카드 자기진단테스트



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL2 카드의 테스트(단계 5)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 컴퓨터 c21에 대하여:

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산

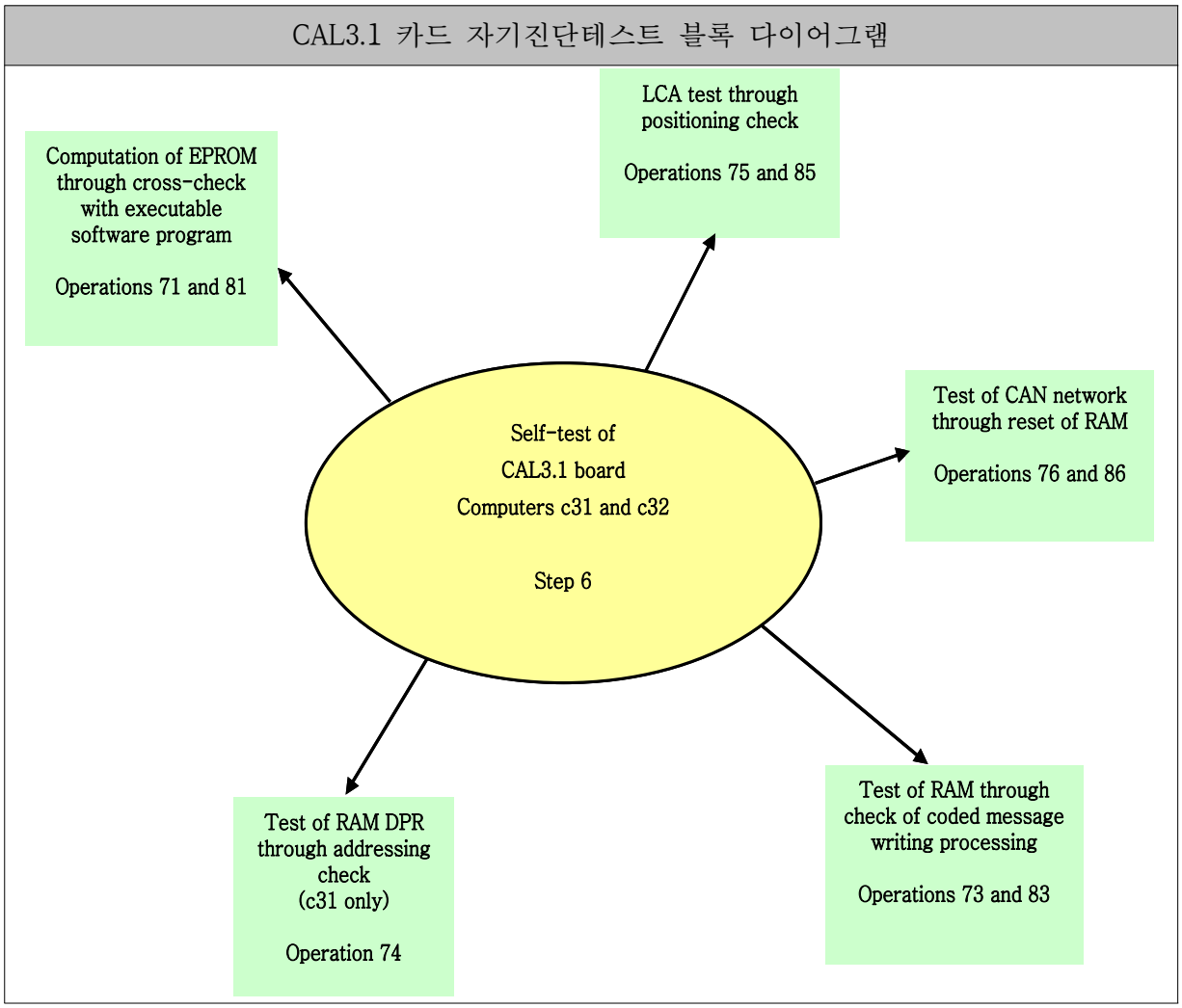
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM

· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA
· 메시지 주소부여 확인을 통한 DPR RAM

* 컴퓨터 c22에 대하여:
· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크
· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA

(52) 44-16-2A: CAL3.1 카드 자기진단테스트



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3.1 카드의 테스트(단계 6)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 컴퓨터 c31에 대하여:

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크
· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA
· 메시지 주소부여 확인을 통한 DPR RAM

* 컴퓨터 c32에 대하여:

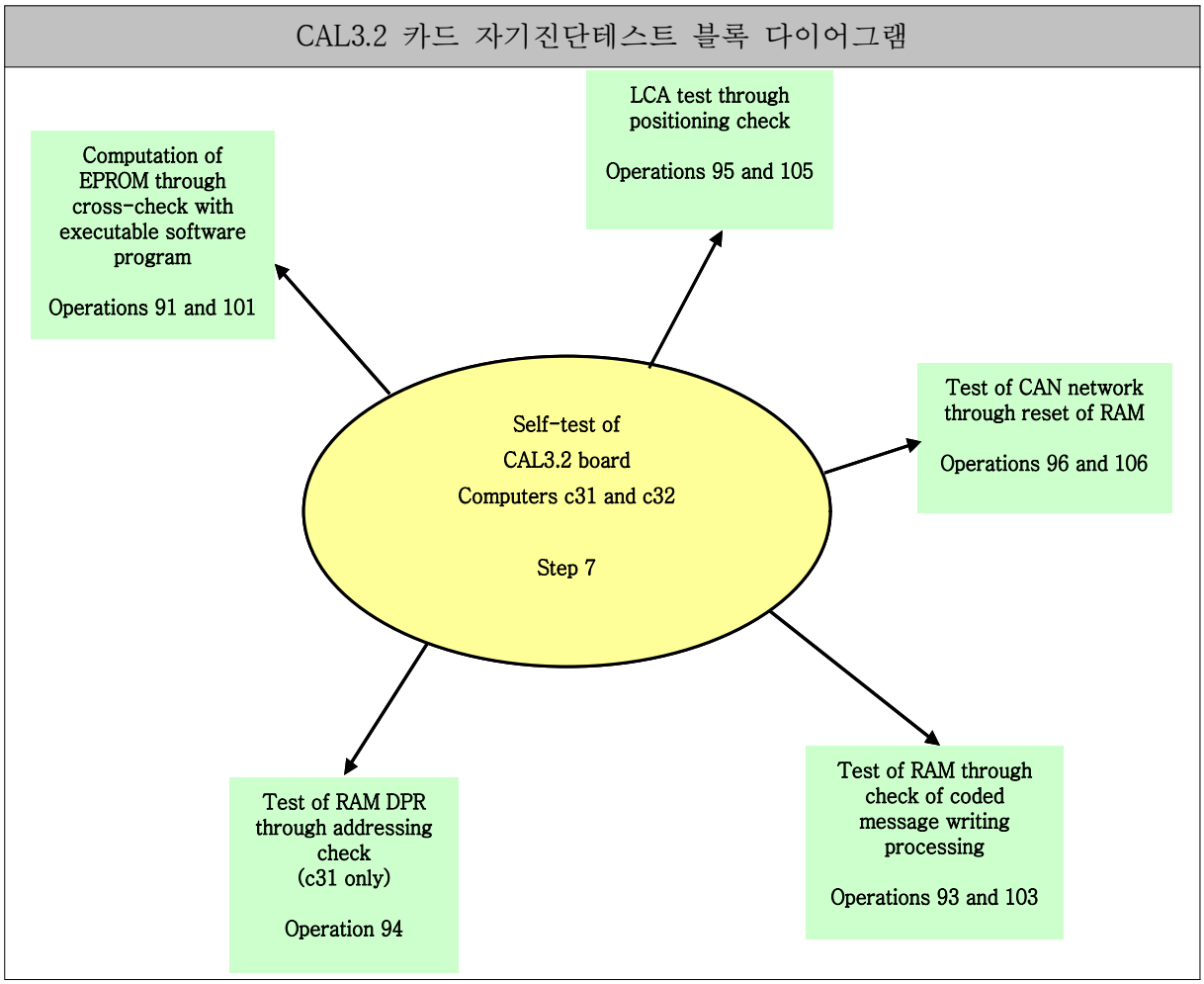
· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산

· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM

· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA

(53) 44-16-2B : CAL3.2 카드 자기진단테스트



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3.2 카드의 테스트(단계 7)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 컴퓨터 c31에 대하여:

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크
· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA
· 메시지 주소부여 확인을 통한 DPR RAM

* 컴퓨터 c32에 대하여:

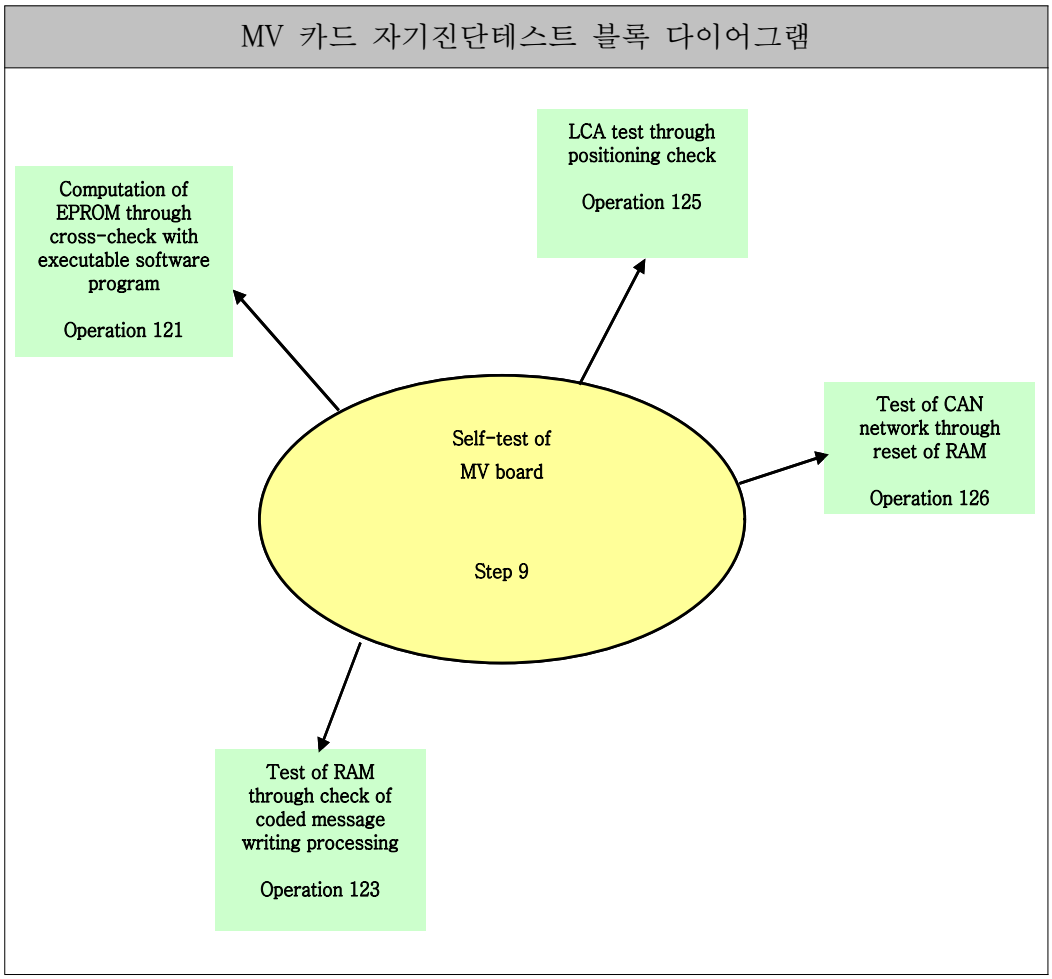
· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산

· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM

· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크

· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA

(54) 44-16-2C : MV 카드 자기진단테스트



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. MV 카드의 테스트(단계 9)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 실행할 수 있는 소프트웨어 프로그램에 의한 교차확인(cross-check)을 통한 EPROM 계산
· 코딩화된 메시지의 쓰기 진행테스트를 통한 RAM
· 내부 RAM의 리셋 및 기능적 테스트를 통한 CAN 네트워크
· 올바른 위치잡기 확인을 통한 LCA
· 메시지 주소부여 확인을 통한 DPR RAM

(55) 44-16-2F : DIAL-CDJ 카드 자기진단테스트

DIAL-CDJ 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램

Opera -tion	Signal	Forcing (MV)		Wait time (ms)	Expected value			Remark
		PCG-CALZ	PCG-CALI		Type	Min	Max	
624	ERCG	✓		50	ana	0 mV	200 mV	
625	ERCG	✓	✓	50	ana	2000 mV	3000 mV	

- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. DIAL-CDJ 카드의 테스트(단계 35)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 주간제어기에 의해 EMCO 랙에 전달된 견인/제동 지시값의 획득 인터페이스

(56) 44-16-30 : ESL1 / ESB1 카드 자기진단테스트

ESL1 / ESB1 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램

Signal (ESLx)	Tested inputs Type	Pin	Operation Forcing to 1	Forcing to 0
Q48	ELI	J2-70	300	319
VEQPCOMF	ELI	J2-38	301	320
CBAEX	ELI	J2-6	302	321
CEX1	ELI	J2-7	303	322
L1MF	ELI	J2-71	305	324
MAURG	ELI	J2-12	306	325
QDFAEEB	ELI	J2-76	307	326
RES14	ELI	J2-77	308	327
N_MSEULE	ELI	J2-45	309	328
Q49	ELI	J2-46	310	329
Q55	ELI	J2-13	311	330
RES15	ELI	J2-78	312	331
QDJM	ELI	J2-14	313	332
QQTCOURG	ELI	J2-80	314	333
VEQPFR	ELI	J2-17	315	334
BPAISM	ELI	J2-16	316	335
BPAISAUFP1	ELI	J2-63	317	336
BPAISAUFP2	ELI	J2-96	318	337

Name of signal	Pin ESL1	ESB1	Operation
CQAF	J1-81	J2-C24	338
CQDFBM	J1-77	JJ2-C23	339
CQDFAFP	J1-49	J2-C21	340
CQMAFE	J1-50	J2-C20	341
CQ2DF	J1-13	J2-B24	342
CV200BM1	J1-46	J2-C25	343
CV200BM2	J1-75	J2-B25	344

- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESB1 / ESL1 카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

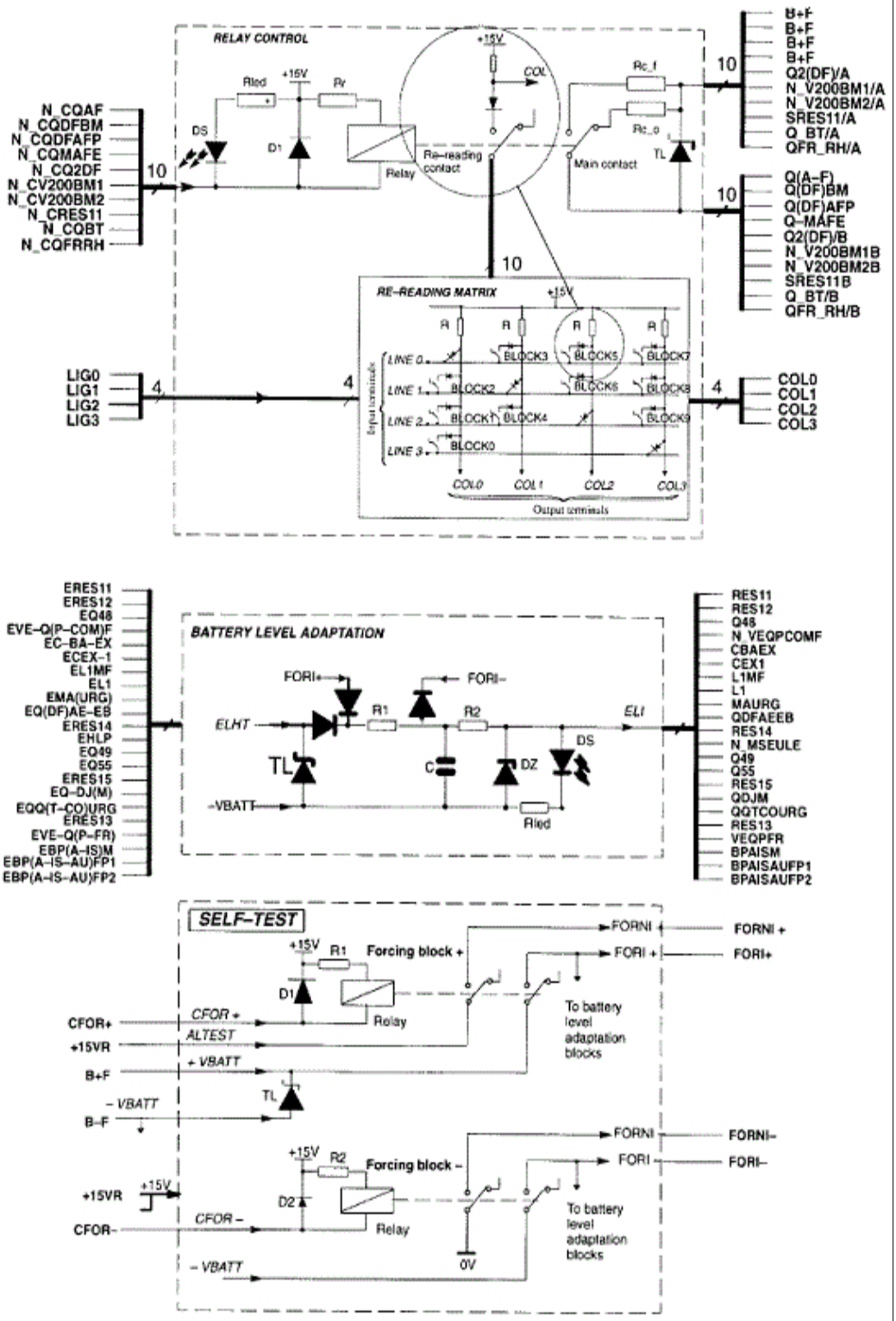
* 단계 11

· 40 ms 후, ESL1카드에 의한 ESB1 카드의 다시 읽기에 대한 입력을 강제하는 것. ESB1 카드의 입력은 시그널 CFOR+(+BATT) 및 CFOR-(-BATT)의 활성화를 통하여 상태 "1" 에서 "0"으로 된다.

* 단계 12

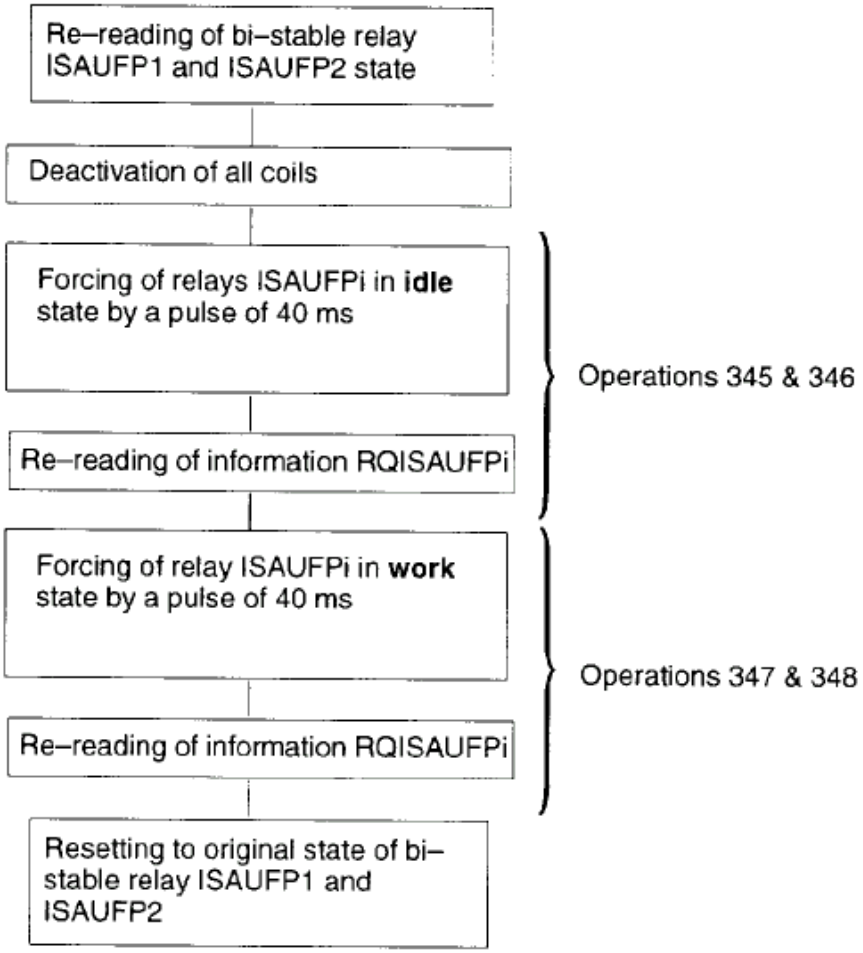
· ESL1카드에 의한 그들의 다시 읽기 및 ESB1 카드의 계전기 출력 제어

ESL1 / ESB1 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



(57) 44-16-31 : ESL1 / CDJ 카드 자기진단테스트

ESL1 / CDJ 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESL1 / CDJ 카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 단계 12

· 공기제동 계전기(RQISAUFPi)의 제어 감시

(58) 44-16-32 : ESL2 / ESB2 카드 자기진단테스트

ESL2 / ESB2 카드 자기진단테스트 작용 설명

Signal (ESLx)	Tested inputs Type	Pin	Operation Forcing to 1	Forcing to 0
QAF	ELI	J2-37	360	378
QDFBM	ELI	J2-69	361	379
QISM	ELI	J2-70	362	380
RES23	ELI	J2-38	363	381
QDFRGBA	ELI	J2-6	364	382
RES24	ELI	J2-7	365	383
QTH2TFP	ELI	J2-71	366	384
ZISM	ELI	J2-44	367	385
QDJSIMAFE	ELI	J2-12	368	386
QHAFP	ELI	J2-76	369	387
Q1FIEF	ELI	J2-77	370	388
RES25	ELI	J2-45	371	389
RES26	ELI	J2-46	372	390
QQ0300	ELI	J2-13	373	391
QSUVT	ELI	J2-78	374	392
QCOFE	ELI	J2-14	375	393
QQLRM1	ELI	J2-80	376	394
QQLRM2	ELI	J2-48	377	395

Name of signal	Pin ESL2	ESB2	Operation
CQDFAE	J1-81	J2-C24	396
CQDFESSBLO	J1-77	J2-C23	397
CQTCOVT	J1-49	J2-C21	398
RES21	J1-45	J2-C20	399
CQSA	J1-14	J2-B24	400
CQDV150	J1-50	J2-C25	401
CQ1ESSBLO	J1-16	J2-C28	402
CQ2ESSBLO	J1-13	J2-B25	403

- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESB2 / ESL2카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

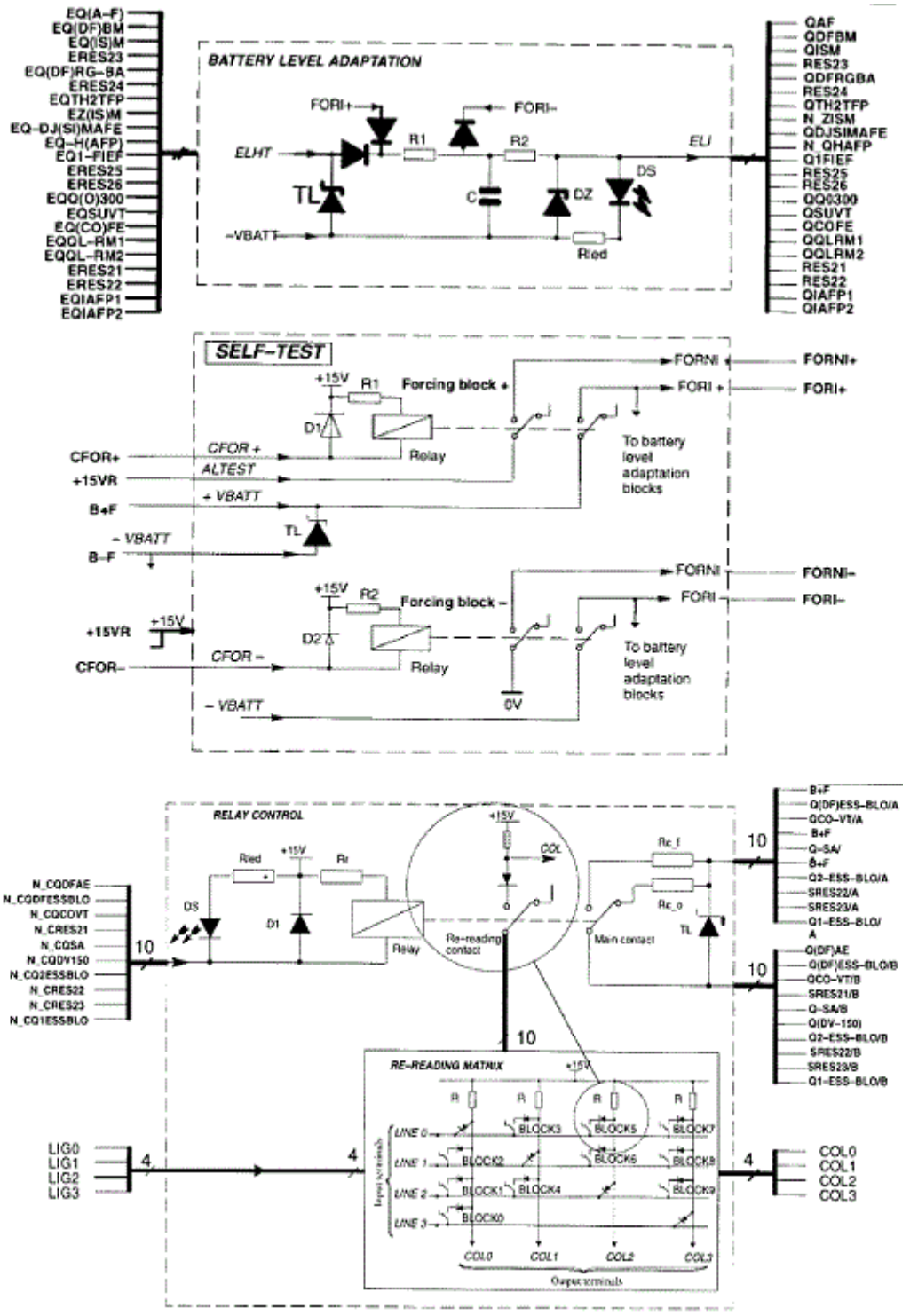
* 단계 13

· 40 ms 후, ESL2카드에 의한 ESB2 카드의 다시 읽기에 대한 입력을 강제하는 것. ESB2 카드의 입력은 시그널 CFOR+(+BATT) 및 CFOR-(-BATT)의 활성화를 통하여 상태 "1" 에서 "0"으로 된다.

* 단계 14

· ESL2카드에 의한 그들의 다시 읽기 및 ESB2 카드의 계전기 출력 제어

ESL2 / ESB2 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



(59) 44-16-33 : ESL3 / ESB3 카드 자기진단테스트

ESL3 / ESB3 카드 자기진단테스트 작용 설명

Signal (ESLx)	Tested inputs Type	Pin	Operation Forcing 1	Forcing 0
Q45	ELI	J2-69	420	441
QTT	ELI	J2-70	421	442
QF	ELI	J2-38	422	443
VVDFMECA	ELI	J2-6	423	444
VERT1BM1	ELI	J2-7	424	445
VERT1BM2	ELI	J2-71	425	446
VERT2BM1	ELI	J2-44	426	447
VERT2BM2	ELI	J2-12	427	448
QDFONDVT	ELI	J2-76	428	449
QDFONDAUX	ELI	J2-76	429	450
QISMVTHAUX	ELI	J2-77	430	451
QTHTFP	ELI	J2-46	431	452
QAR	ELI	J2-13	432	453
QAV	ELI	J2-78	433	454
QQ500	ELI	J2-14	434	455
QQT43	ELI	J2-80	435	456
QQT48	ELI	J2-48	436	457
QQTAUXVT	ELI	J2-17	437	458
ROUGE1BM1	ELI	J2-16	438	459
ROUGE2BM1	ELI	J2-63	439	460

Name of signal	Pin ESL2	ESB2	Operation
CQALIONDAUX	J1-81	J2-C24	463
CQALIRGBA	J1-77	J2-C23	464
CQALIVT	J1-49	J2-C21	465
CQDV40	J1-45	J2-C20	466
RES23	J1-14	J2-B24	467
CQDVCR	J1-50	J2-C25	468
CQJ20	J1-16	J2-C28	469

- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. ESB3 / ESL3카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

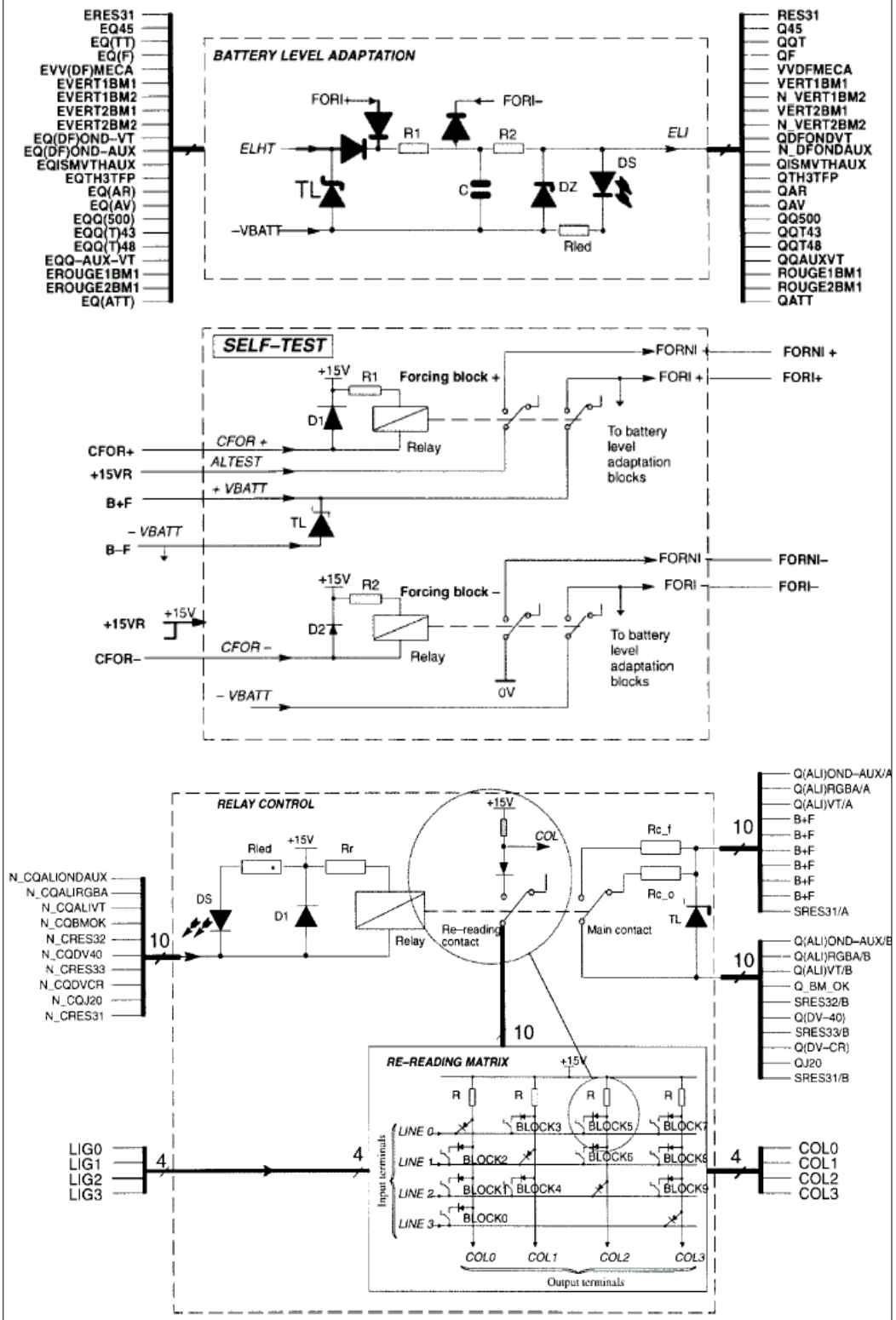
* 단계 13

· 40 ms 후, ESL3카드에 의한 ESB3 카드의 다시 읽기에 대한 입력을 강제하는 것. ESB3 카드의 입력은 시그널 CFOR+(+BATT) 및 CFOR-(-BATT)의 활성화를 통하여 상태 "1" 에서 "0"으로 된다.

* 단계 14

· ESL3카드에 의한 그들의 다시 읽기 및 ESB3 카드의 계전기 출력 제어

ESL3 / ESB3 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



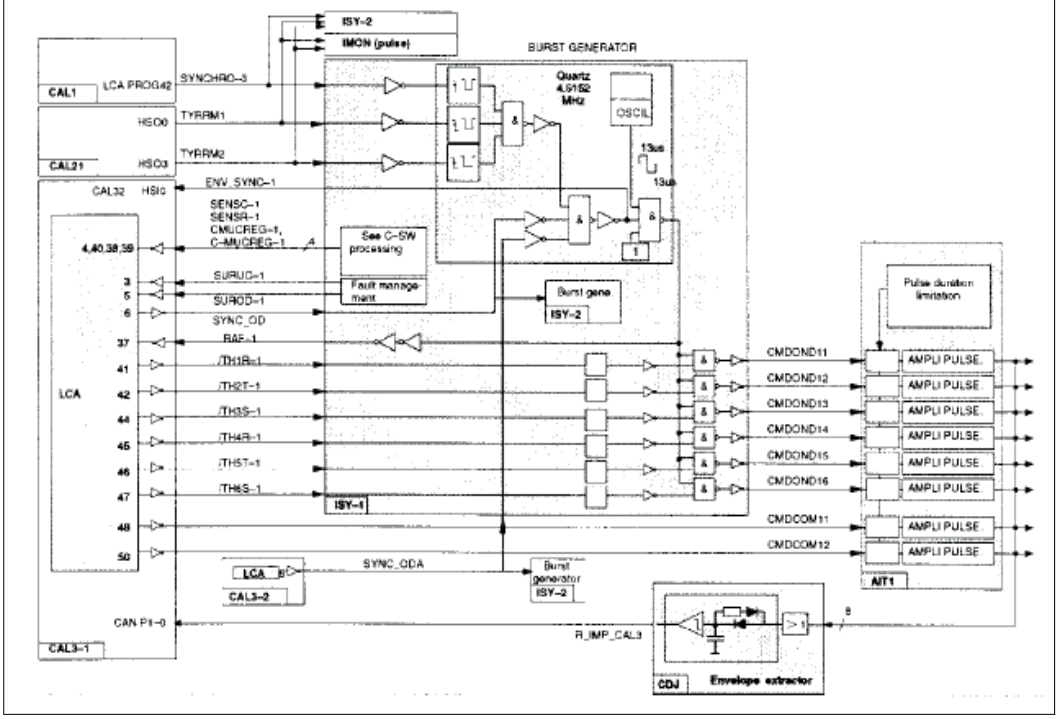
(60) 44-16-34 : CAL3.1 / ISY1 / CDJ / AIT1_1 카드 자기진단테스트

CAL3.1 / ISY1 / CDJ / AIT1_1 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera -tion	Forcing (LCA CAL31-1)									Wait time (ms)	Expected value	Remarks
	Synchro_OD	TH1R-1	TH2S-1	TH3T-1	TH4R-1	TH5S-1	TH6T-1	CTCOM1	CTCOM2		R_IMP_CAL3	
541	✓									20	FALSE	No pulse test
542	✓	✓								20	TRUE	Thyristor 1 R
543	✓		✓							20	TRUE	Thyristor 2 S
544	✓			✓						20	TRUE	Thyristor 3 T
545	✓				✓					20	TRUE	Thyristor 4 R
546	✓					✓				20	TRUE	Thyristor 5 S
547	✓						✓			20	TRUE	Thyristor 6 T
548	✓							✓		20	TRUE	TH-SW-01
549	✓								✓	20	TRUE	TH-SW-02

Opera -tion	Forcing (CAL32-1)	Wait time (ms)	Expected value (CAL31-1)	Remarks
	REF_ANG		REF_ANG	
550	TRUE	20	TRUE	Validity of inverter monitoring reference
551	FALSE	20	FALSE	

CAL3.1 / ISY1 / CDJ / AIT1_1 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_1 / ISY1 / CDJ / AIT1_1카드의 테스트(단계 23)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 인버터 IR-TT-01, 사이리스터 펄스제어 및 인버터 기준 시그널 감시(REF_ANG)

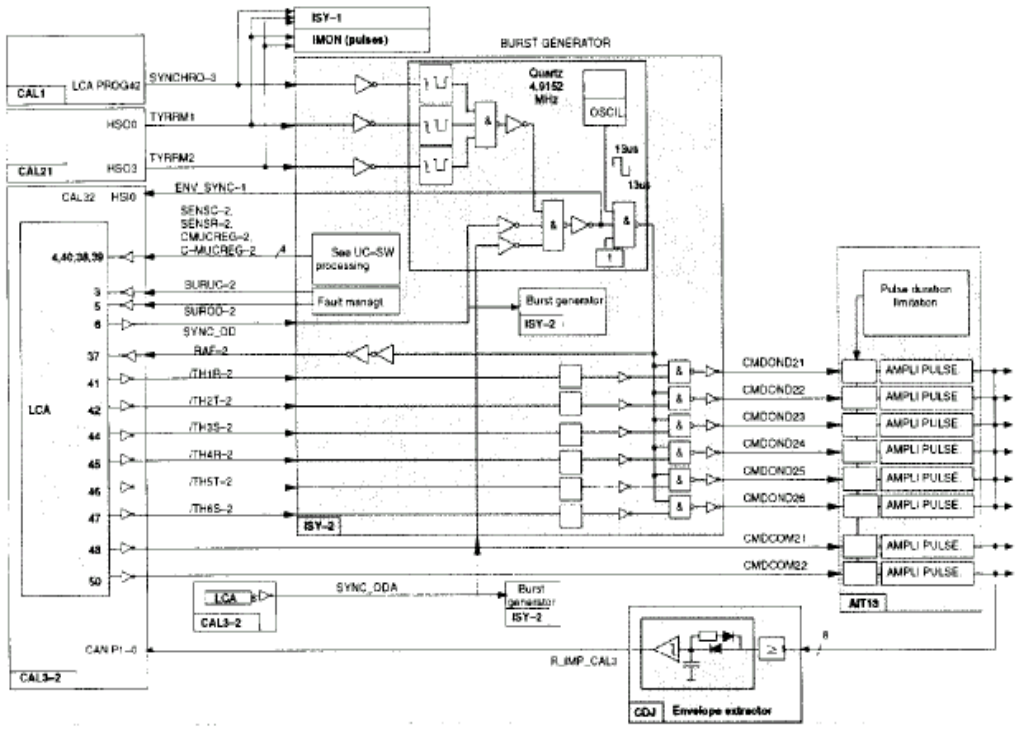
(61) 44-16-35 : CAL3.2 / ISY2 / CDJ / AIT1_2 카드 자기진단테스트

CAL3.2 / ISY2 / CDJ / AIT1_2 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera -tion	Forcing (LCA CAL31–2)									Wait time (ms)	Expected value	Remarks
	Synchro_OD	TH1R–2	TH2S–2	TH3T–2	TH4R–2	TH5S–2	TH6T–2	CTCOM1	CTCOM2		R_IMP_CAL3	
613	✓									20	FALSE	Test without pulse
614	✓	✓								20	TRUE	Thyristor 1 R
615	✓		✓							20	TRUE	Thyristor 2 S
616	✓			✓						20	TRUE	Thyristor 3 T
617	✓				✓					20	TRUE	Thyristor 4 R
618	✓					✓				20	TRUE	Thyristor 5 S
619	✓						✓			20	TRUE	Thyristor 6 T
620	✓							✓		20	TRUE	TH–SW–01
621	✓								✓	20	TRUE	TH–SW–02

Opera –tion	Forcing (CAL32–2)	Wait time (ms)	Expected value (CAL31–2)	Remarks
	REF_ANG		REF_ANG	
622	TRUE	20	TRUE	Validity of the inverter monitoring reference value
623	FALSE	20	FALSE	

CAL3.2 / ISY2 / CDJ / AIT1_2 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_2 / ISY2 / CDJ / AIT1_2카드의 테스트(단계 28)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 인버터 IR-TT-02, 사이리스터 펄스제어 및 인버터 기준 시그널 감시 (REF_ANG)

(62) 44-16-36 : CAL3.1 / ISY1 카드 자기진단테스트

CAL3.1 / ISY1 카드 자기진단테스트 작용 설명

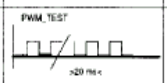
Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-1)				Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		Test1	Test2	Test3	Stimuli		Type	Min	Max	
480	SURUM RT	✓			6000 mV	30	log	TRUE		No fault detected
481	SURUM RT	✓			9600 mV	30	log	FALSE		Positive alternation detected
482	SURUM RT	✓			-9600 mV	30	log	FALSE		Negative alternation detected
483	SURUM TS		✓		6000 mV	30	log	TRUE		No fault detected
484	SURUM TS		✓		9600 mV	30	log	FALSE		Positive alternation detected
485	SURUM TS		✓		- 9600 mV	30	log	FALSE		Negative alternation detected
486	SURUM SR			✓	6000 mV	30	log	TRUE		No fault detected
487	SURUM SR			✓	9600 mV	30	log	FALSE		Positive alternation detected
488	SURUM SR			✓	-9600 mV	30	log	FALSE		Negative alternation detected
489	VTSM TS		✓		0	100	ana	1700 mV	2800 mV	
490	VTSM TS		✓		5000 mV	450	ana	900 mV	1500 mV	
491	VTSM TS		✓		-5000 mV	50	ana	3120 mV	4680 mV	

Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-1)			Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		M1	ComConv	Stimuli		Type	Min	Max	
492	VM-F	✓		5000 mV	20	ana	4000 mV	6000 mV	
493	VM-F			0 mV	20	ana	0 mV	500 mV	
		Test 2 to 1 during operations 492 and 493.							

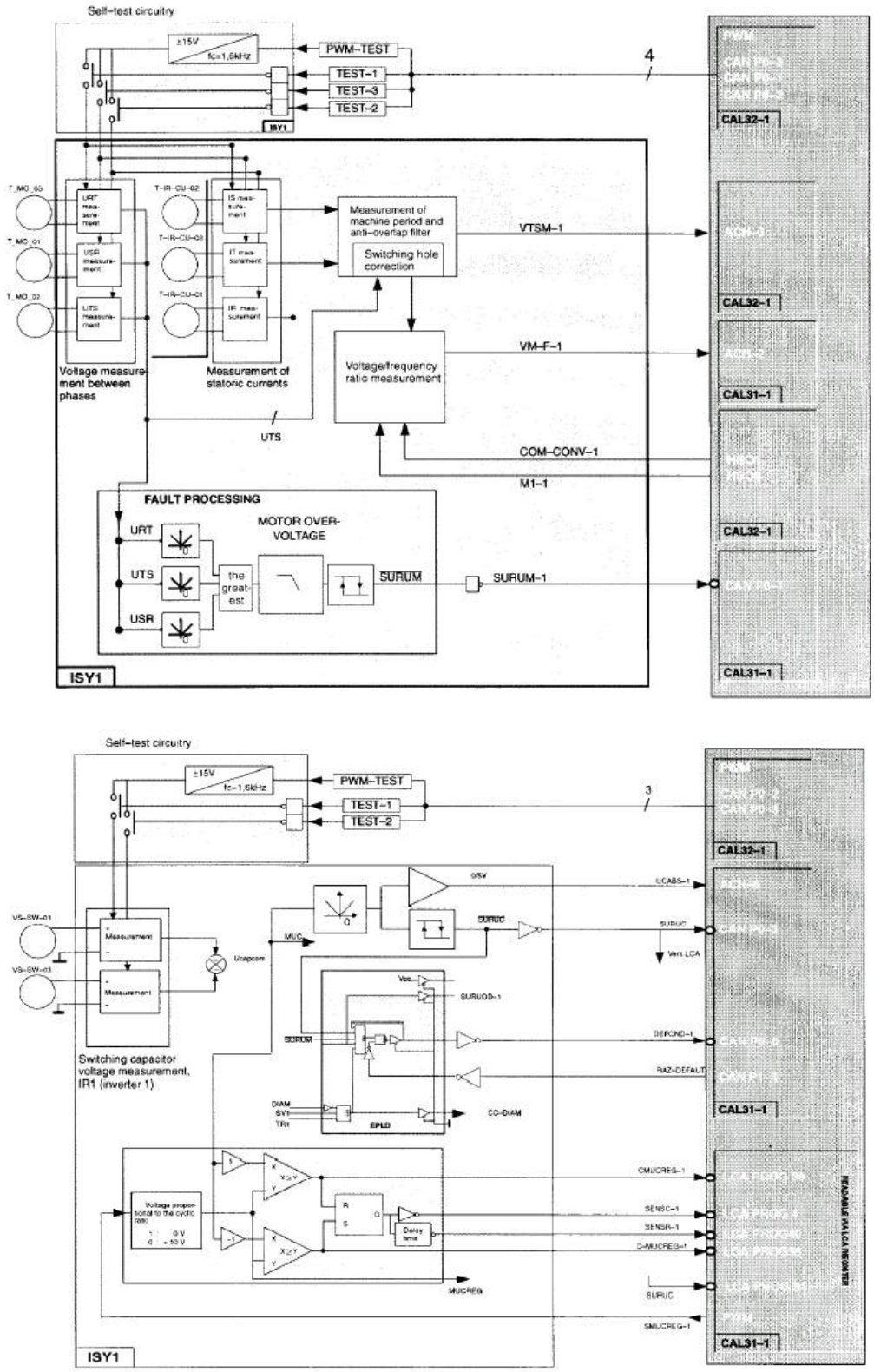
Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-1)					Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		RAZ	Test1	Test2	SMUCREG	Pwm Test		Type	Min	Max	
Initial conditions		1	0	1	-9990 mV	1500 mV	20				
494	UCABS-1							ana	3200 mV	4800 mV	Voltage UCABS-1
495	CMUCREG							log	FALSE		Capacitor high threshold
496	C-MUCREG							log	TRUE		Capacitor low threshold
497	SENSC-1							log	TRUE		Memo. polarity
498	SENSR-1							log	FALSE		Memo. polarity
499	SURUC-1 (LCA)							log	FALSE		Capacitor overV detect.
500	SURUC-1							log	FALSE		Capacitor overV detect.
501	DEFOND-1							log	TRUE		No inverter fault
Initial conditions		0	0	1	-9990 mV	1500 mV	20				
502	DEFOND-1							log	FALSE		Inverter fault
Initial conditions		0	0	1	-9990 mV	**-1000 mV**	20				
503	UCABS-1							ana	2400 mV	3000 mV	Voltage UCABS-1
504	CMUCREG							log	TRUE		Capacitor high threshold
505	C-MUCREG							log	FALSE		Capacitor low threshold
506	SENSC-1							log	TRUE		Memo. polarity
507	SENSR-1							log	TRUE		Memo. polarity
508	SURUC-1 (LCA)							log	TRUE		No capa. overV detect.
509	SURUC-1							log	TRUE		No capa. overV detect.
Initial conditions		0	**1**	**0**	**5000 mV**	-1000 mV	20				
510	UCABS-1							ana	2400 mV	3000 mV	Voltage UCAB-1
511	CMUCREG							log	TRUE		Capacitor high threshold
512	C-MUCREG							log	TRUE		Capacitor low threshold
Final state		0	**0**	0	5000 mV	-1000 mV					

Opera-tion	Signal	Forcing (CAL32-1)				Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		RazDef	Test1	Test2	Stimuli		Type	Min	Max	
513	EUOND-1			✓	1300 mV	20	ana	3600 mV	5400 mV	
514	EUOND-1		✓				ana	350 mV	1000 mV	
515	$\overline{\text{SURUOD-1}}$	0		✓	2000 mV	20	log	FALSE		Fault detected
516	$\overline{\text{SURUOD}}$ (LCA)			✓			log	FALSE		Fault detected (LCA)
517	$\overline{\text{SURUOD-1}}$			✓	-2000 mV	20	log	FALSE		Fault detected
518	$\overline{\text{SURUOD}}$ (LCA)			✓			log	FALSE		Fault detected (LCA)
519	$\overline{\text{SURUOD-1}}$			✓	1300 mV	20	log	TRUE		No fault
520	$\overline{\text{SURUOD}}$ (LCA)			✓			log	TRUE		No fault (LCA)

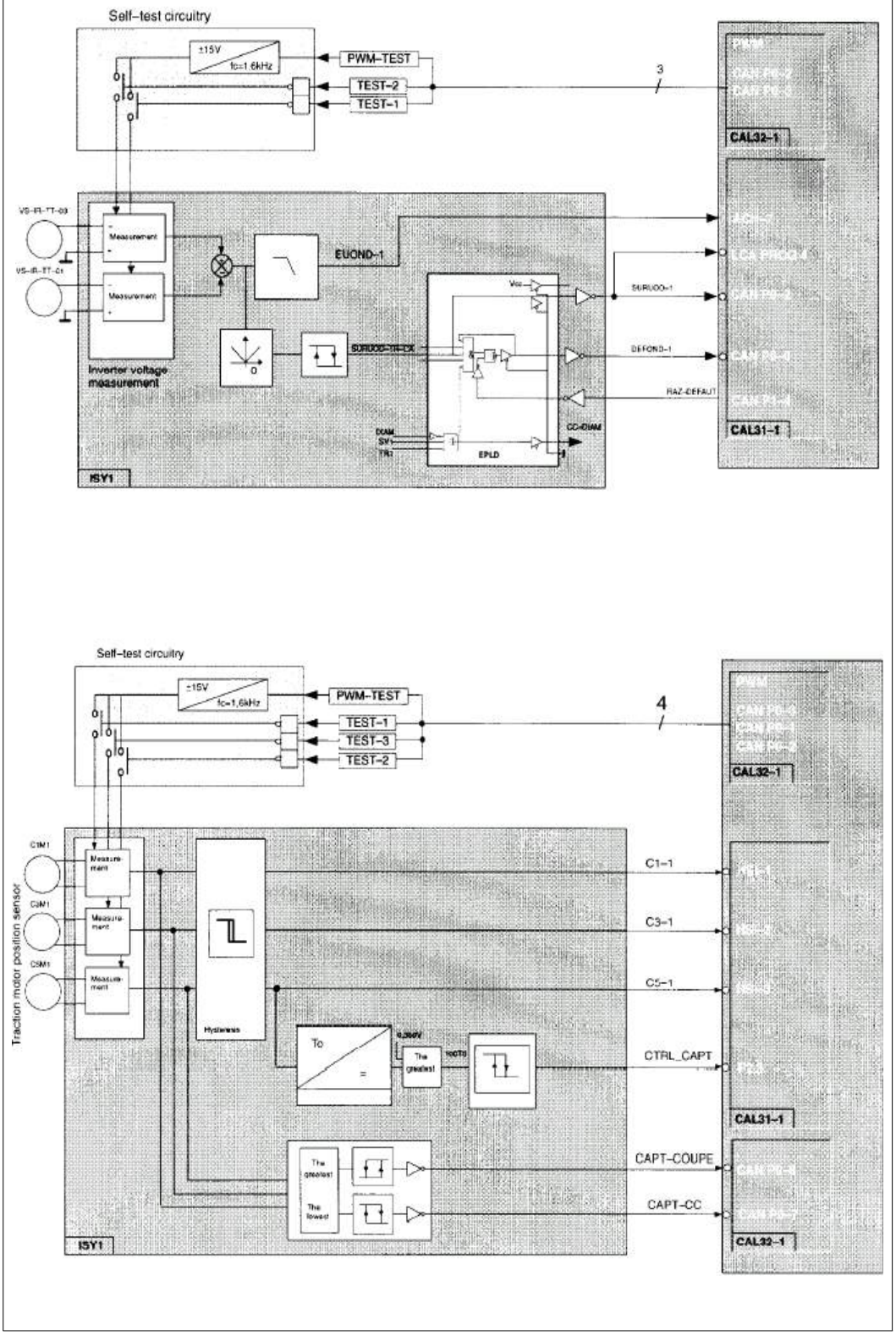
Opera-tion	Signal	Forcing (CAL32-1)					Wait time (ms)	Expected value	Remarks
		RazDef	Test1	Test2	Test3	Stimuli		logic	
521	$\overline{\text{C1-1}}$	0	✓			0 mV	20	FALSE	Sensor 1 active
522	$\overline{\text{CAPT\_COUPE-1}}$		✓					TRUE	
523	$\overline{\text{CAPT\_CC-1}}$		✓					FALSE	Sensor 1 short-circuited
524	$\overline{\text{C1-1}}$		✓			9990 mV	20	TRUE	Sensor 1 inactive
525	$\overline{\text{CAPT\_COUPE-1}}$		✓					FALSE	Sensor 1 cut off
526	$\overline{\text{CAPT\_CC-1}}$		✓					TRUE	
527	$\overline{\text{C3-1}}$			✓		0 mV	20	FALSE	Sensor 3 active
528	$\overline{\text{CAPT\_COUPE-1}}$			✓				TRUE	
529	$\overline{\text{CAPT\_CC-1}}$			✓				FALSE	Sensor 3 short-circuited
530	$\overline{\text{C3-1}}$			✓		9990 mV	20	TRUE	Sensor 3 inactive
531	$\overline{\text{CAPT\_COUPE-1}}$			✓				FALSE	Sensor 3 cut off
532	$\overline{\text{CAPT\_CC-1}}$			✓				TRUE	
533	$\overline{\text{C5-1}}$				✓	0 mV	20	FALSE	Sensor 5 active
534	$\overline{\text{CAPT\_COUPE-1}}$				✓			TRUE	
535	CAPT_CC-1				✓			FALSE	Sensor 5 short-circuited
536	$\overline{\text{C5-1}}$				✓	9990 mV	20	TRUE	Sensor 5 inactive
537	$\overline{\text{CAPT\_COUPE-1}}$				✓			FALSE	Sensor 5 cut off
538	$\overline{\text{CAPT\_CC-1}}$				✓			TRUE	
539	$\overline{\text{CTRL\_CAPT}}$				✓			FALSE	

Opera-tion	Signal	Forcing (CAL32-1)				Expected value	Remarks
		Test1	Test2	Test3	Stimuli	logic	
540	$\overline{\text{CTRL\_CAPT}}$			✓		TRUE	Stimuli under the form of a square signal with a period of 20 ms and an amplitude of 9,990 mV

CAL3.1 / ISY1 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



CAL3.1 / ISY1 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_1 / ISY1 카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 단계 20

· 전동기 전압측정 연결회로 및 보호처리 연결회로

* 단계 21

· 컨덴서 CS-SW-01 양 단에서의 전압측정 연결회로 및 보호처리 연결회로

* 단계 22

· 인버터 IR-TT-01의 전압측정 연결회로 및 보호처리 연결회로

* 단계 24

· 견인전동기 1 위치센서 획득 및 감시 연결회로

(63) 44-16-37 : CAL3.2 / ISY2 카드 자기진단테스트

CAL3.2 / ISY2 카드 자기진단테스트 작용 설명

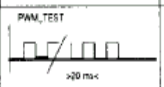
Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-2)				Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		Test1	Test2	Test3	Stimuli		Type	Min	Max	
552	SURUM RT	✓			6000 mV	30	log	TRUE		No fault detected
553	SURUM RT	✓			9600 mV	30	log	FALSE		Positive alternation detected
554	SURUM RT	✓			-9600 mV	30	log	FALSE		Negative alternation detected
555	SURUM TS		✓		6000 mV	30	log	TRUE		No fault detected
556	SURUM TS		✓		9600 mV	30	log	FALSE		Positive alternation detected
557	SURUM TS		✓		- 9600 mV	30	log	FALSE		Negative alternation detected
558	SURUM SR			✓	6000 mV	30	log	TRUE		No fault detected
559	SURUM SR			✓	9600 mV	30	log	FALSE		Positive alternation detected
560	SURUM SR			✓	-9600 mV	30	log	FALSE		Negative alternation detected
561	VTSM TS		✓		0	100	ana	1700 mV	2800 mV	
562	VTSM TS		✓		5000 mV	450	ana	900 mV	1500 mV	
563	VTSM TS		✓		-5000 mV	50	ana	3120 mV	4680 mV	

Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-2)			Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		M1	ComConv	Stimuli		Type	Min	Max	
564	VM-F	✓		5000 mV	20	ana	4000 mV	6000 mV	
565	VM-F			0 mV	20	ana	0 mV	500 mV	
		Test 2 to 1 during operations 564 and 565							

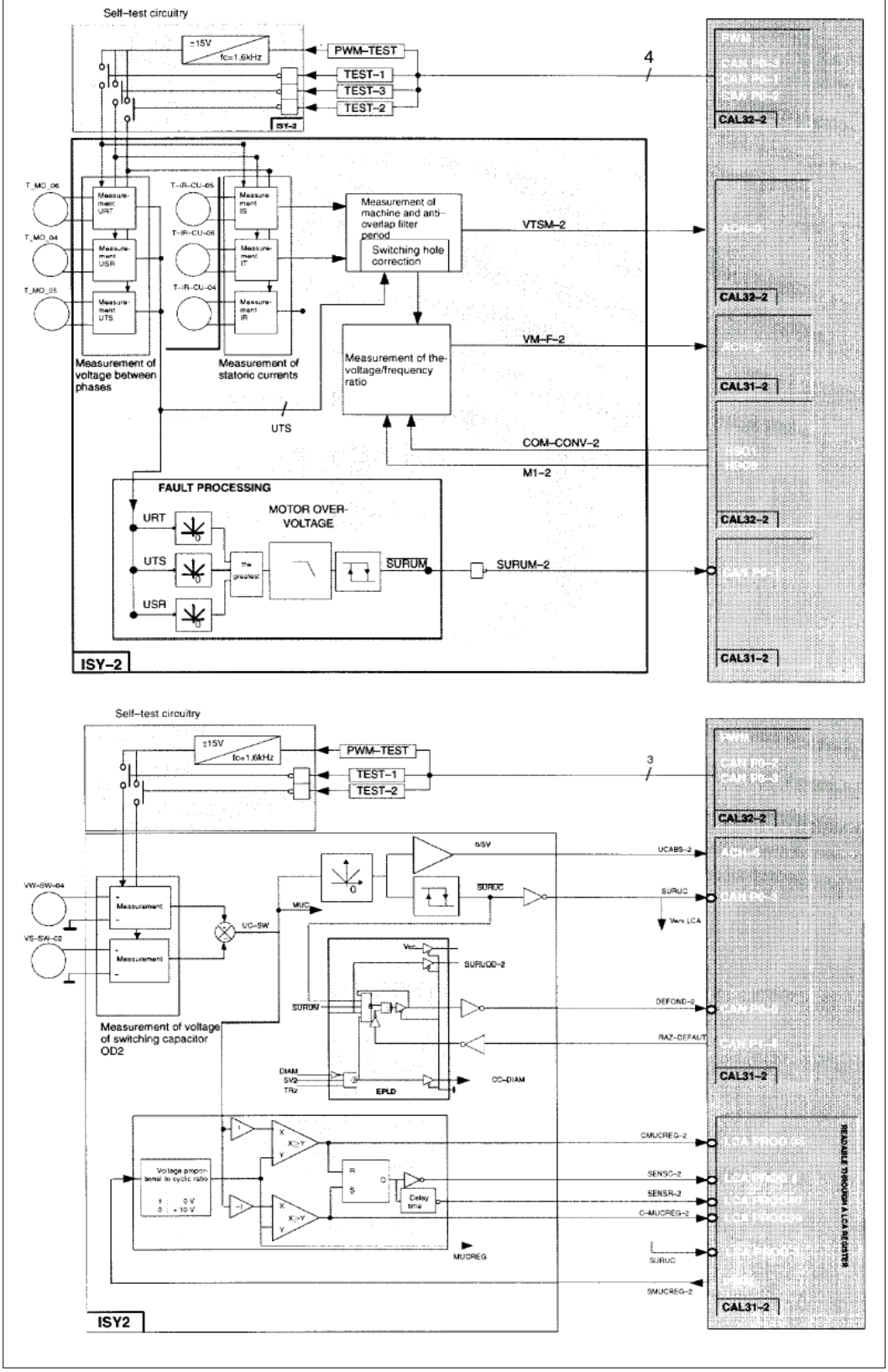
Opera-tion	Signal	Forcing (CAL32-2)					Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		RAZ	Test1	Test2	SMUCREG	Pwm Test		Type	Min	Max	
Initial conditions		1	0	1	-9990 mV	1500 mV	20				
566	UCABS-2							ana	3200 mV	4800 mV	Voltage UCABS-2
567	CMUCREG							log	FALSE		Capa high thresh-old
568	C-MUCREG							log	TRUE		Capa low thresh-old
569	SENSC-2							log	TRUE		Memo. polarity
570	SENSR-2							log	FALSE		Memo. polarity
571	SURUC-1 (LCA)							log	FALSE		Capa. overV detect.
572	SURUC-2							log	FALSE		Capa. overV detect.
573	DEFOND-2							log	TRUE		No inverter fault
Initial conditions		0	0	1	-9990 mV	1500 mV	20				
574	DEFOND-2							log	FALSE		Inverter fault
Initial conditions			0	1	-9990 mV	**-1000 mV**	20				
575	UCABS-2							ana	2400 mV	3000 mV	Voltage UCABS-2
576	CMUCREG							log	TRUE		Capa high thresh-old
577	C-MUCREG							log	FALSE		Capa low thresh-old
578	SENSC-2							log	TRUE		Memo. polarity
579	SENSR-2							log	TRUE		Memo. polarity
580	SURUC-2 (LCA)							log	TRUE		No capa. overV detect.
581	SURUC-2							log	TRUE		No capa. overV detect.
Initial conditions			**1**	**0**	**5000 mV**	-1000 mV	20				
582	UCABS-2							ana	2400 mV	3000 mV	Voltage UCABS-2
583	CMUCREG							log	TRUE		Capa high thresh-old
584	C-MUCREG							log	TRUE		Capa low thresh-old
Final state			**0**	0	5000 mV	-1000 mV					

Opera-tion	Signal	Forcing (CAL32-2)				Wait time (ms)	Exepted value			Remarks
		RazDef	Test1	Test2	Stimuli		Type	Min	Max	
585	EUOND-2			✓	1300 mV	20	ana	3600 mV	5400 mV	
586	EUOND-2		✓				ana	350 mV	1000 mV	
587	SURUOD-2	0		✓	2000 mV	20	log	FALSE		Fault detected
588	SURUOD (LCA)			✓			log	FALSE		Fault detected (LCA)
589	SURUOD-2			✓	-2000 mV	20	log	FALSE		Fault detected
590	SURUOD (LCA)			✓			log	FALSE		Fault detected (LCA)
591	SURUOD-2			✓	1300 mV	20	log	TRUE		No fault
592	SURUOD (LCA)			✓			log	TRUE		No fault (LCA)

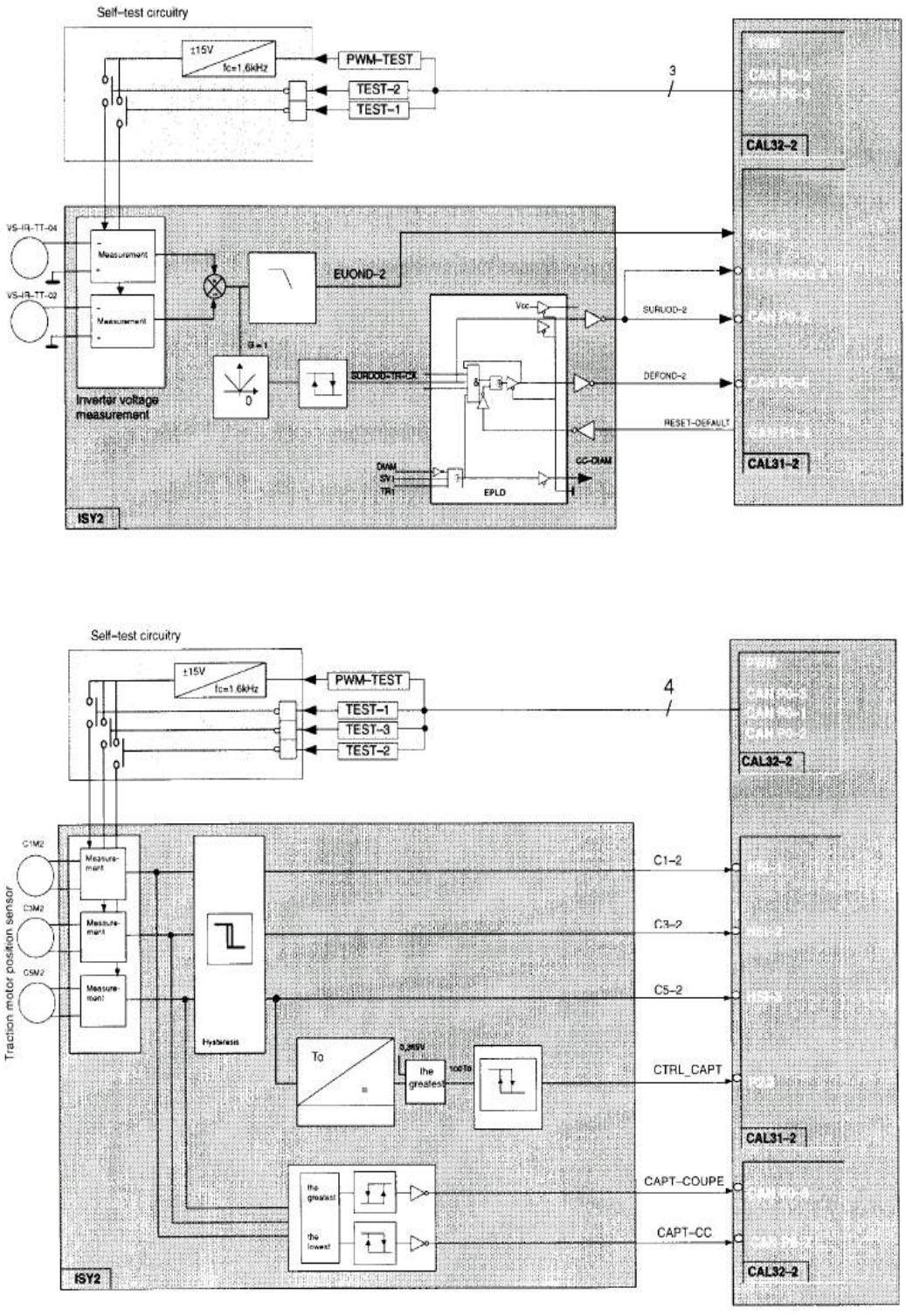
Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-2)					Wait time (ms)	Expected value	Remarks
		RazDef	Test1	Test2	Test3	Stimuli		logic	
593	C1-2	0	✓			0 mV	20	FALSE	Sensor 1 active
594	CAPT_COUPE-2		✓					TRUE	
595	CAPT_CC-2		✓					FALSE	Sensor 1 short-circuited
596	C1-2		✓			9990 mV	20	TRUE	Sensor 1 inactive
597	CAPT_COUPE-2		✓					FALSE	Sensor 1 cut off
598	CAPT_CC-2		✓					TRUE	
599	C3-2			✓		0 mV	20	FALSE	Sensor 3 active
600	CAPT_COUPE-2			✓				TRUE	
601	CAPT_CC-2			✓				FALSE	Sensor 3 short-circuited
602	C3-2			✓		9990 mV	20	TRUE	Sensor 3 inactive
603	CAPT_COUPE-2			✓				FALSE	Sensor 3 cut off
604	CAPT_CC-2			✓				TRUE	
605	C5-2				✓	0 mV	20	FALSE	Sensor 5 active
606	CAPT_COUPE-2				✓			TRUE	
607	CAPT_CC-2				✓			FALSE	Sensor 5 short-circuited
608	C5-2				✓	9990 mV	20	TRUE	Sensor 5 inactive
609	CAPT_COUPE-2				✓			FALSE	Sensor 5 cut off
610	CAPT_CC-2				✓			TRUE	
611	CTRL_CAPT-2				✓			FALSE	

Opera -tion	Signal	Forcing (CAL32-2)				Expected value	Remarks
		Test1	Test2	Test3	Stimuli	logic	
612	CTRL_CAPT-2			✓		TRUE	Stimuli under the form of a square signal with a period of 20 ms and an amplitude of 9,990 mV

CAL3.2 / ISY2 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



CAL3.2 / ISY2 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_2 / ISY2 카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

* 단계 25

· 전동기 전압측정 연결회로 및 보호처리 연결회로

* 단계 26

· 컨덴서 CS-SW-02 양 단에서의 전압측정 연결회로 및 보호처리 연결회로

* 단계 27

· 인버터 IR-TT-02의 전압측정 연결회로 및 보호처리 연결회로

* 단계 28

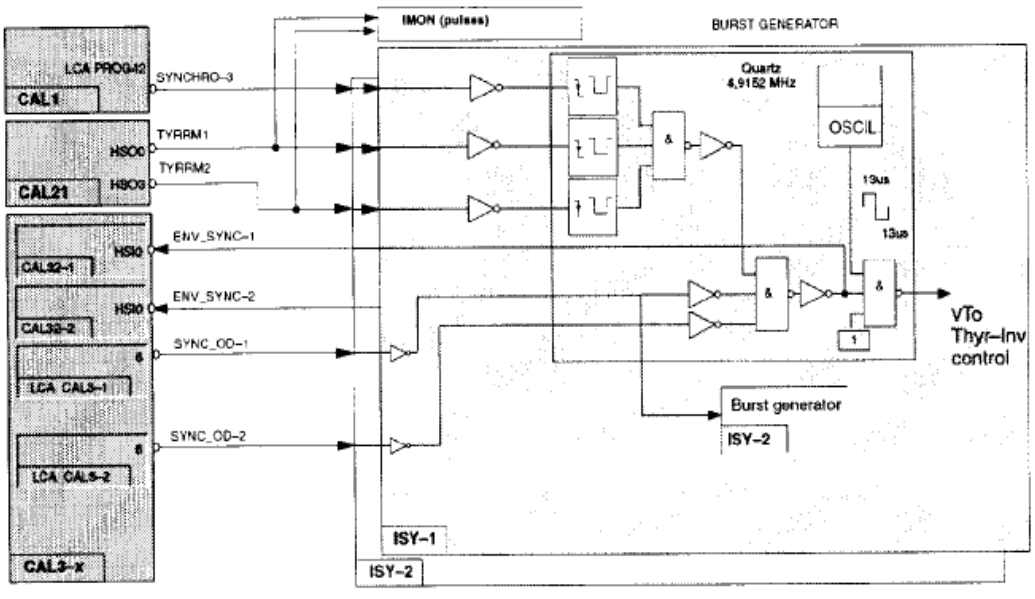
· 견인전동기 2 위치센서 획득 및 감시 연결회로

(64) 44-16-38 : CAL3.1- IMON 카드 자기진단테스트

CAL3.1 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing CAL1	Forcing CAL3-x		Wait time (ms)	Result	Remarks
		TYRRM1	TYRRM2	SYNCHRO-3	SYNC-OD1	SYNC-OD2		logic	
251	ENV_SYNC_1						20	FALSE	
252	ENV_SYNC_2								
253	ENV_SYNC_1				✓		20	TRUE	
254	ENV_SYNC_2								
255	ENV_SYNC_1					✓	20		
256	ENV_SYNC_2								
257	ENV_SYNC_1	40ms					10		
258	ENV_SYNC_2	40ms							
259	ENV_SYNC_1		40ms				10		
260	ENV_SYNC_2		40ms						
261	ENV_SYNC_1			40ms			10		
262	ENV_SYNC_2			40ms					

CAL3.1 / IMON 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_1 / IMON 카드의 테스트(단계 37)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

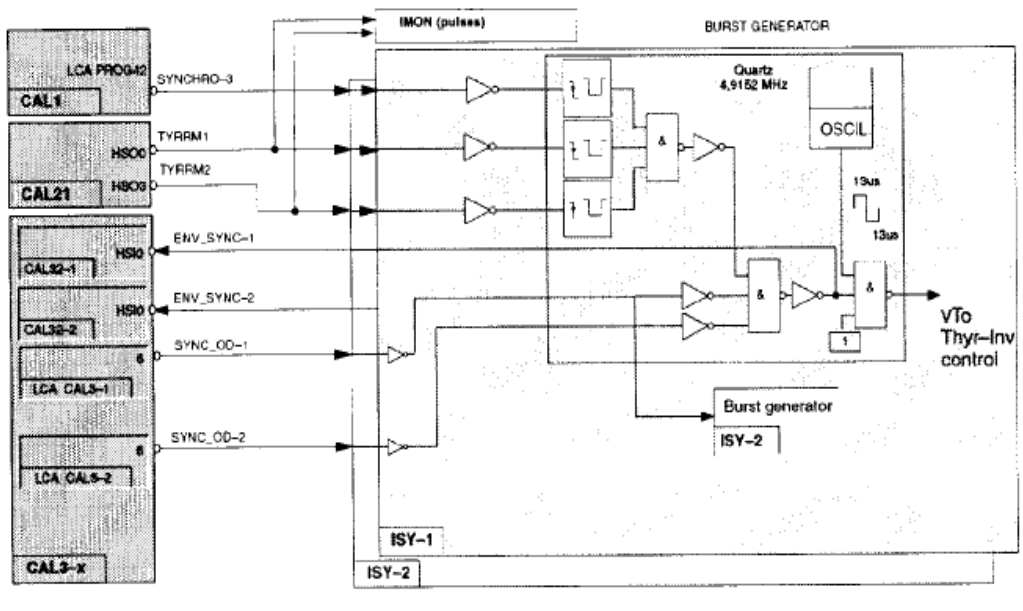
· 인버터 1, 2 및 완전 브리지(컨버터) 사이의 동기화 시그널의 유효성

(65) 44-16-39 : CAL3.2- IMON 카드 자기진단테스트

CAL3.2 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing CAL1	Forcing CAL3-x		Wait time (ms)	Result	Remarks
		TYRRM1	TYRRM2	SYNCHRO-3	SYNC-OD1	SYNC-OD2		logic	
251	ENV_SYNC_1						20	FALSE	
252	ENV_SYNC_2								
253	ENV_SYNC_1				✓		20	TRUE	
254	ENV_SYNC_2								
255	ENV_SYNC_1					✓	20		
256	ENV_SYNC_2								
257	ENV_SYNC_1	40ms					10		
258	ENV_SYNC_2	40ms							
259	ENV_SYNC_1		40ms				10		
260	ENV_SYNC_2		40ms						
261	ENV_SYNC_1			40ms			10		
262	ENV_SYNC_2			40ms					

CAL3.2 / IMON 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_2 / IMON 카드의 테스트(단계 37)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

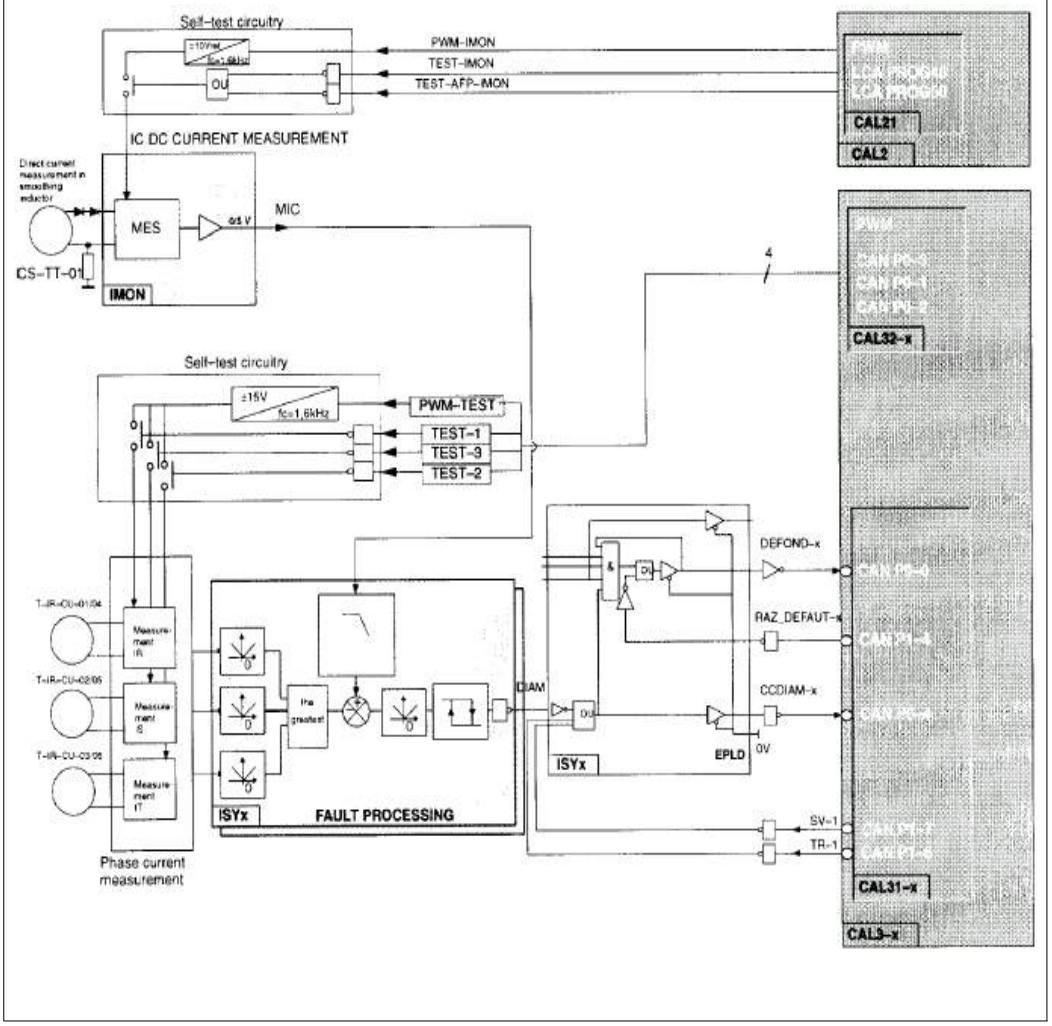
· 인버터 1, 2 및 완전 브리지(컨버터) 사이의 동기화 시그널의 유효성

(66) 44-16-3A : CAL3.1-ISY1-CAL2-IMON 카드 자기진단테스트

CAL3.1 / ISY1 / CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing (CAL32–x) (note: Forcing is considered for CAL32–1 and 2 simultaneously)							Wait time (ms)	Result	Remarks
		T. Imon	Stimuli	RazDef	Test1	Test2	Test3	TR–x	SV–x	Stimuli		logic	
629	CCDIAM–1	✓	1600 mV	0		✓		✓	✓	2500 mV	20	FALSE	No fault detected
630	CCDIAM–2												
631	CCDIAM–1									–2500 mV	20	FALSE	
632	CCDIAM–2												
633	CCDIAM–1									5000 mV	20	TRUE	Fault detected
634	CCDIAM–2												
635	CCDIAM–1										20	FALSE	No fault detected
636	CCDIAM–2												
637	CCDIAM–1								✓		20		
638	CCDIAM–2												
639	CCDIAM–1				✓			✓		2500 mV	20		
640	CCDIAM–2												
641	CCDIAM–1									–2500 mV	20		
642	CCDIAM–2												
643	CCDIAM–1						✓			2500 mV	20		
644	CCDIAM–2												
645	CCDIAM–1									–2500 mV	20		
646	CCDIAM–2												

CAL3.1 / ISY1 / CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_1 / ISY1 / IMON / CAL2 카드의 테스트(단계 36)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

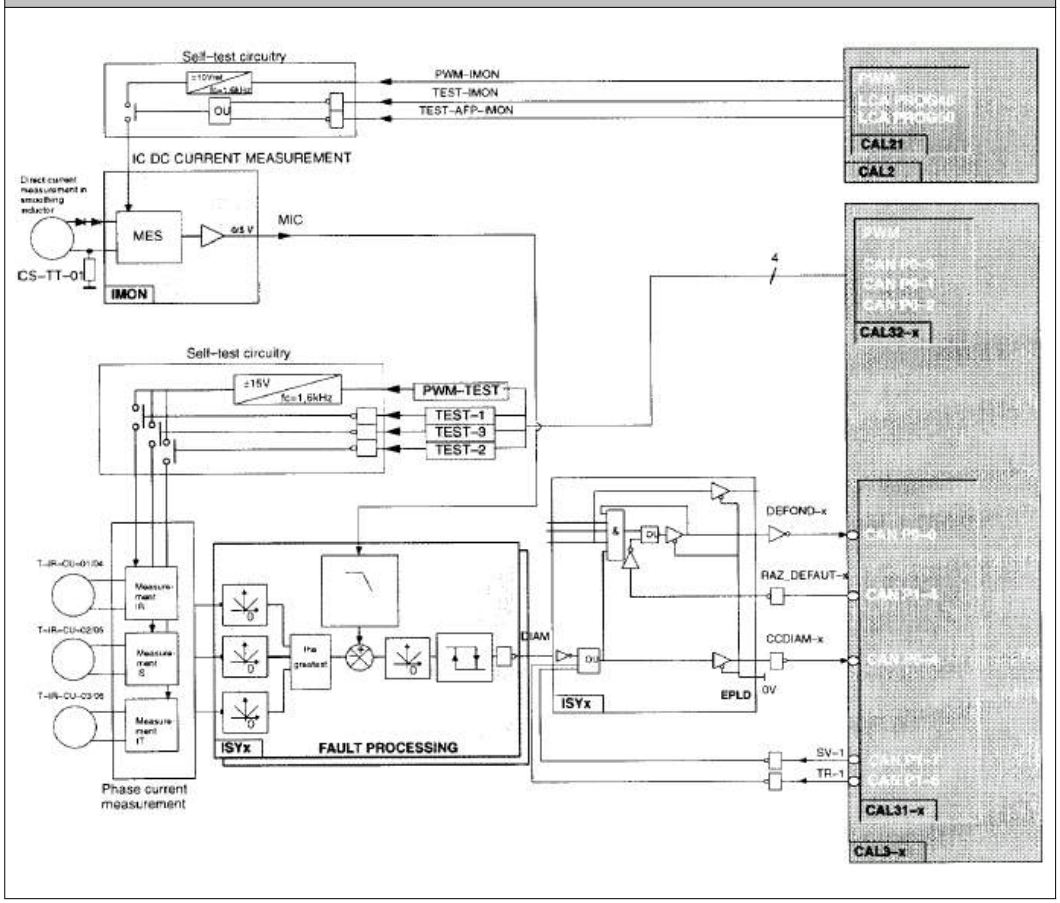
· IR-TT-01 암 단락 회로 감시 및 감지 장치

(67) 44-16-3C : CAL32-ISY2-CAL2-IMON 카드 자기진단테스트

CAL3.2 / ISY2 / CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing (CAL32-x) (note: Forcing is considered for CAL32-1 and 2 simultaneously)							Wait time (ms)	Result	Remarks
		T. Imon	Stimuli	RazDef	Test1	Test2	Test3	TR-x	SV-x	Stimuli		logic	
629	CCDIAM-1	✓	1600 mV	0		✓		✓	✓	2500 mV	20	FALSE	No fault detected
630	CCDIAM-2												
631	CCDIAM-1									-2500 mV	20	FALSE	
632	CCDIAM-2												
633	CCDIAM-1									5000 mV	20	TRUE	Fault detected
634	CCDIAM-2												
635	CCDIAM-1										20	FALSE	No fault detected
636	CCDIAM-2												
637	CCDIAM-1								✓		20		
638	CCDIAM-2												
639	CCDIAM-1				✓			✓		2500 mV	20		
640	CCDIAM-2												
641	CCDIAM-1									-2500 mV	20		
642	CCDIAM-2												
643	CCDIAM-1						✓			2500 mV	20		
644	CCDIAM-2												
645	CCDIAM-1									-2500 mV	20		
646	CCDIAM-2												

CAL3.2 / ISY2 / CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL3_2 / ISY2 / IMON / CAL2 카드의 테스트(단계 36)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· IR-TT-02 암 단락 회로 감시 및 감지 장치

(68) 44-16-3D : CAL1-INCA 카드 자기진단테스트

CAL1 / INCA 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera -tion	Signal	Forcing (CAL11)					Stimuli	Wait time (ms)	Expected value			Remarks
		Forcing			Test INCA				Type	Min	Max	
		Raz Cal	L_T/F	L_BT_HT	-1	-2						
703	EMIEX	1	✓	✓	✓		3000 mV	40	ana	1104 mV	1656 mV	
704	SURIEX								log	FALSE		
705	EMIEX						5000 mV	40	ana	1840 mV	2760 mV	
706	SURIEX								log	TRUE		
707	IT_CAL11	0						40	log	TRUE		
708	IT_CAL12								log	TRUE		
709	SURIEX	1						40	log	FALSE		
710	SURIEX						7500 mV	40	log	TRUE		
711	SURIEX			✓			6000 mV	40	log	FALSE		
712	SURIEX						8500 mV	40	log	TRUE		
713	SURIEX						6000 mV	40	log	FALSE		
714	SURIEX						8500 mV	40	log	TRUE		
731	EMU500	1			✓		0 mV 5000 mV	50 50	ana	800 mV	1200 mV	Channel +
732	EMUBA						0 mV 1450 mV	50 50	ana	1600 mV	2400 mV	Channel +
733	EMUROT						0 mV 9900 mV	500 100	ana	1000 mV	2000 mV	Channel +
734	EMU500					✓	0 mV -5000 mV	50 50	ana	800 mV	1200 mV	Channel -
735	EMUBA						0 mV -1450 mV	50 50	ana	1600 mV	2400 mV	Channel -
736	EMUROT						0 mV -9900 mV	500 100	ana	1000 mV	2000 mV	Channel -

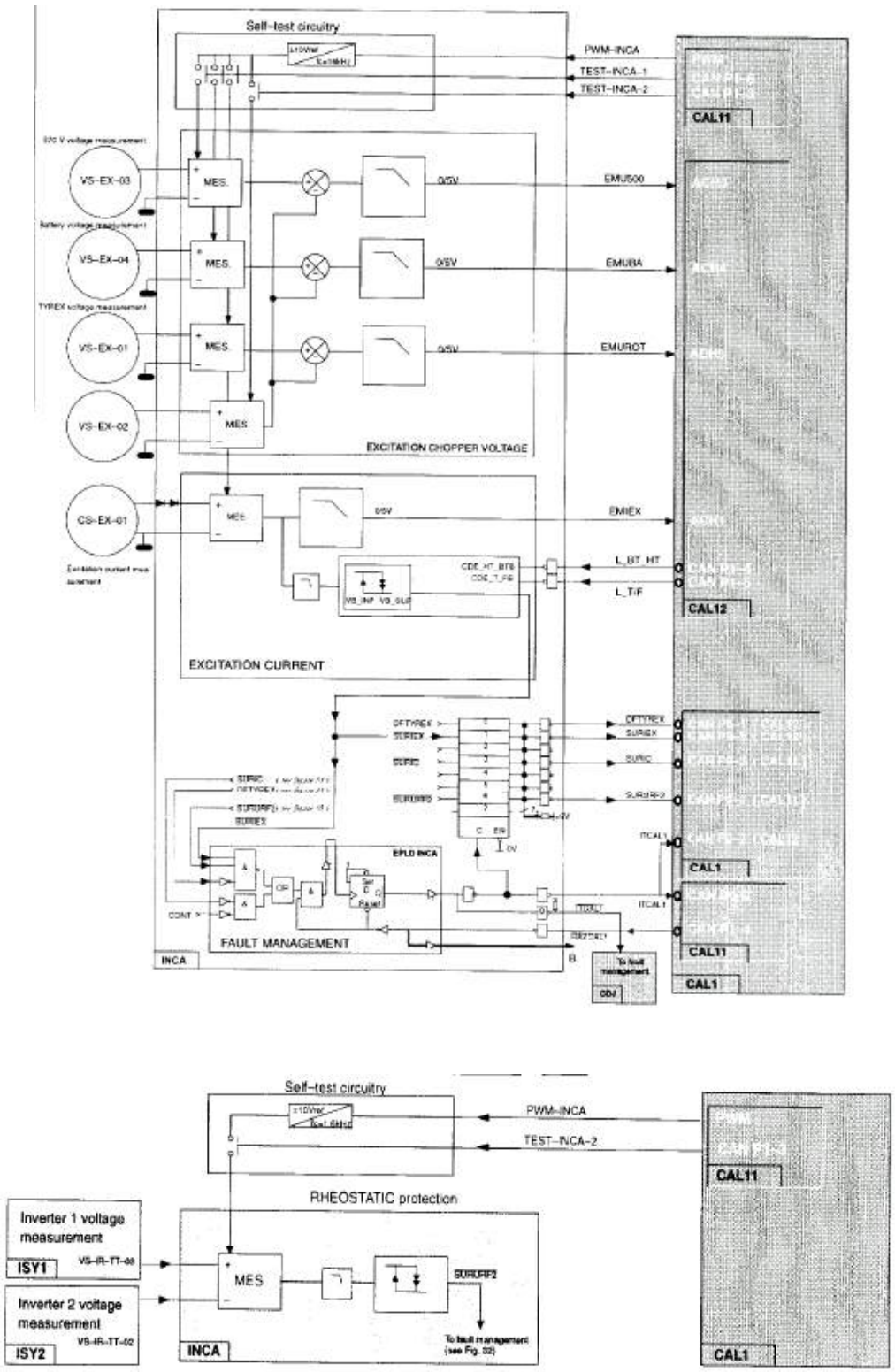
Opera-tion	Signal	Forcing (CAL11)				Wait time (ms)	Expected value				Remarks
		RazCal1	L_T/F	Test INCA-1	Stimuli		Type	board	Min	Max	
719	EMICC	✓	✓	✓	3000 mV	20	ana	C11	1200 mV	1800 mV	
720	EMICC						ana	C12	1200 mV	1800 mV	
721	SURIC						log		FALSE		No fault
722	EMICC				5000 mV	20	ana	C11	2000 mV	3000 mV	
723	SURIC						log		TRUE		Fault detected
724	SURIC				5600 mV	20	log		FALSE		No fault
725	SURIC				8400 mV	20	log		TRUE		Fault detected

Opera-tion	Signal	Forcing (CAL11)				Wait time (ms)	Expected value			Remarks
			Test INCA		Stimuli		Type	Min	Max	
		Raz Cal	-1	-2						
		1	✓		-2000 mV	300 ↘				*To cancel the negative edge memorisation on UTHO*
726	DEFTYREX					300 ↘	log	TRUE		Fault detected
727	LCA_UTH0_MEM				2000 mV	500	log	FALSE		No step stored
728	LCA_UTH0						ana	FALSE		No detection
729	DEFTYREX						log	FALSE		No fault
730	LCA_UTH0_MEM				-2000 mV	30	log	TRUE		Step stored

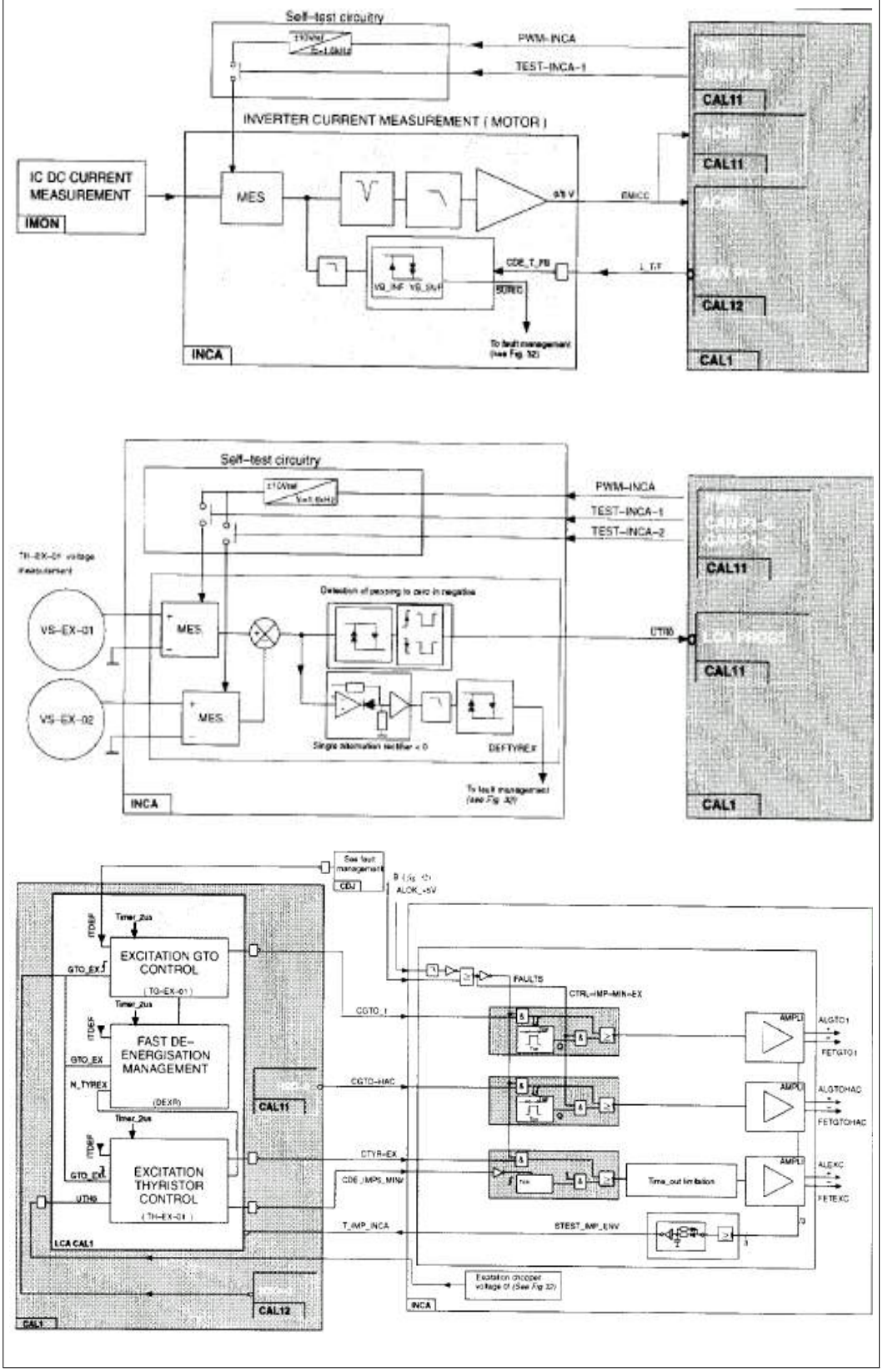
Opera-tion	Signal	Forcing (CAL11)			Wait time (ms)	Expected value		Remarks
		RazCal1	Test INCA-2	Stimuli		Type		
737	SURURF2	✓	✓	800 mV	20	log	FALSE	No fault
738	SURURF2			1400 mV	20	log	TRUE	Fault detected

Opera tion	Signal	Forcing CAL1 (LCA)					Wait time (ms)	Result	Remarks
		RAF_ON	CGTO1	CTYREX	CDE_IMP5_MIN	CGTO_HAC		logic	
739	T_IMP_INCA	✓			0		20	TRUE	No pulse
740			✓				20	FALSE	Excitation GTO pulse
742				✓			20	FALSE	Excitation thyristor pulse
742						✓	20	FALSE	Chopper GTO pulse

CAL1 / INCA 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



CAL1 / INCA 카드 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL1 / INCA 카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

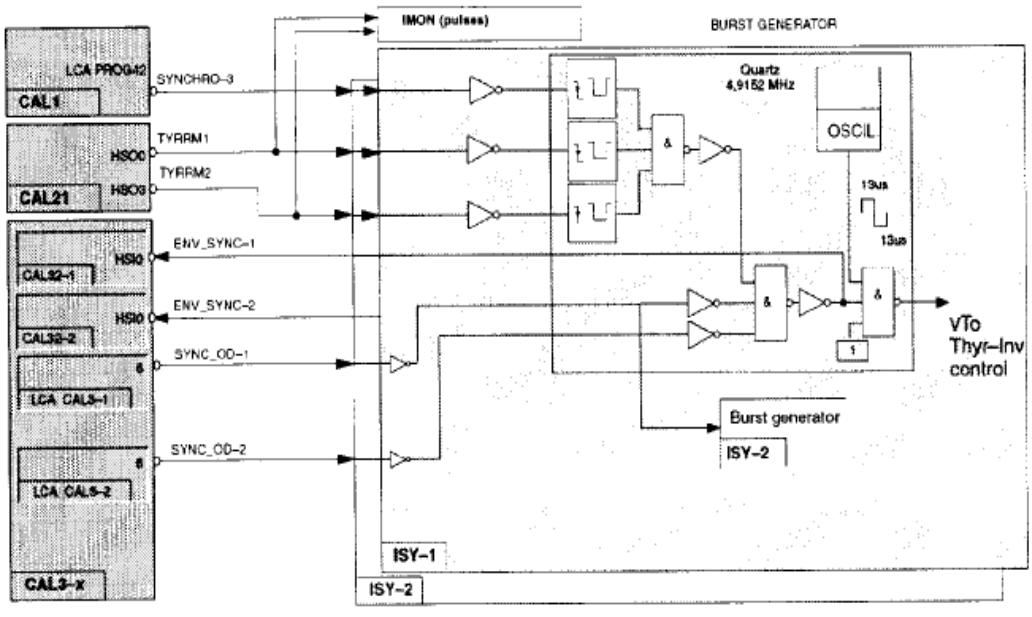
· 단계 49: 여자초퍼 전압측정 연결회로, 초퍼 전류, 밧데리 전압, 570 V 전압, 견인전동기 회전자 전압 및 견인전동기 여자 과전류 보호 시스템
· 단계 51: 발전제동 모드에서의 인버터 전류측정 연결회로 및 인버터 과전류 보호
· 단계 52: 여자 사이리스터 측정 및 보호 연결회로
· 단계 53:제동저항 과전압 보호 연결회로
· 단계 54: INCA 카드에 의해 생성된 초퍼 펄스

(69) 44-16-3E : CAL1- IMON 카드 자기진단테스트

CAL1 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing CAL1	Forcing CAL3-x		Wait time (ms)	Result	Remarks
		TYRRM1	TYRRM2	SYNCHRO-3	SYNC-OD1	SYNC-OD2		logic	
251	ENV_SYNC_1						20	FALSE	
252	ENV_SYNC_2								
253	ENV_SYNC_1				✓		20	TRUE	
254	ENV_SYNC_2								
255	ENV_SYNC_1					✓	20		
256	ENV_SYNC_2								
257	ENV_SYNC_1	40ms					10		
258	ENV_SYNC_2	40ms							
259	ENV_SYNC_1		40ms				10		
260	ENV_SYNC_2		40ms						
261	ENV_SYNC_1			40ms			10		
262	ENV_SYNC_2			40ms					

CAL1 / IMON 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL1 / IMON 카드의 테스트(단계 37)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 인버터 1, 2 및 완전 브리지(컨버터) 사이의 동기화 시그널의 유효성

(70) 44-16-3F : CAL2-IMON 카드 자기진단테스트

CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera-tion	Signal	Forcing (CAL21)			Wait time (ms)	Expected value	Remark
		TEST_IMON	TEST_AFP_IM ON	Stimuli		logic	
659	$\overline{IOS1}$	✓		2500 mV	20	FALSE	
660	$\overline{IOS2}$						
661	$\overline{IOS1}$			500 mV	20	TRUE	
662	$\overline{IOS2}$						
663	$\overline{IOS1}$			-500 mV	20	TRUE	
664	$\overline{IOS2}$						
665	$\overline{IOS1}$			-2500 mV	20	FALSE	
666	$\overline{IOS2}$						

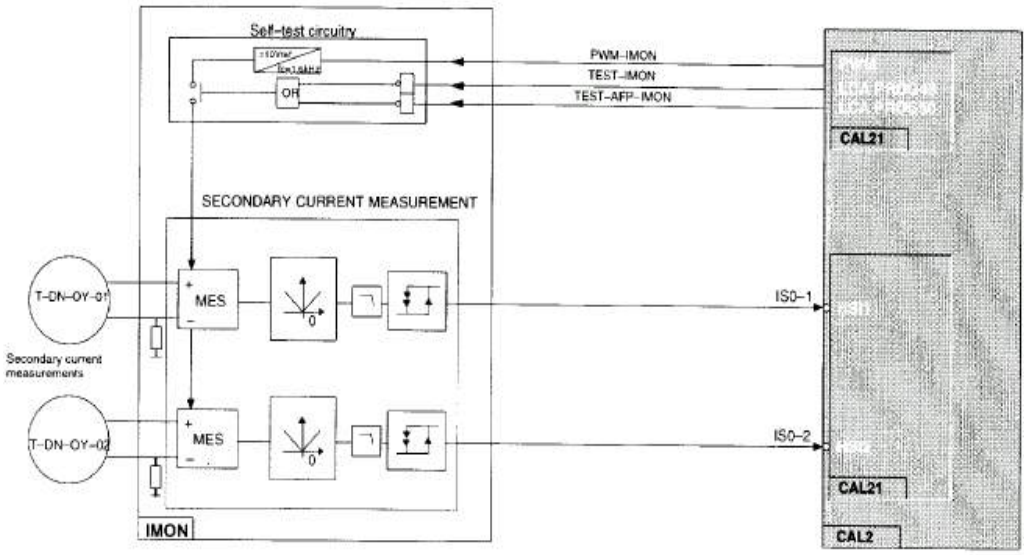
Opera -tion	Signal	Forcing (CAL21)				Wait time (ms)	Expected value	Remarks
		RAZ_CAL	TEST_IMON	TEST_AFP_IM ON	Stimuli		logic	
234	$\overline{SURMONO}$	0	✓		3600 mV	20	TRUE	
234	$\overline{SURMONO}$				6000 mV	20	FALSE	
234	IT_CAL21	1					FALSE	

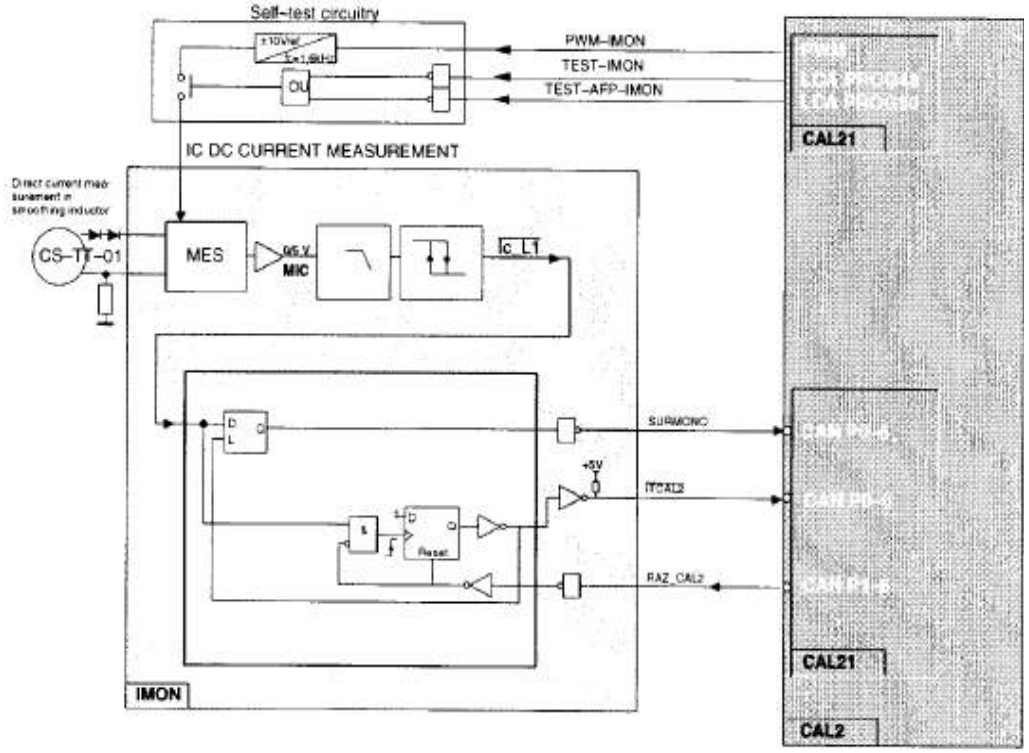
CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera -tion	Signal	Forcing (CAL21)			Wait time (ms)	Expected value		Remarks
		TEST_IMON	TEST_AFP_IM ON	Stimuli		Min	Max	
678	EMIAFP1		✓	-5000 mV	300	3000 mV	4500 mV	
679	EMIAFP2					3000 mV	4500 mV	
680	EMIAFP1			5000 mV	300	3000 mV	4500 mV	
681	EMIAFP2					3000 mV	4500 mV	
682	EMUCAFP1					3200 mV	4800 mV	
683	EMUCAFP2					3200 mV	4800 mV	
684	EMUCAFP1	✓			30	3200 mV	4800 mV	
685	EMUCAFP2					3200 mV	4800 mV	

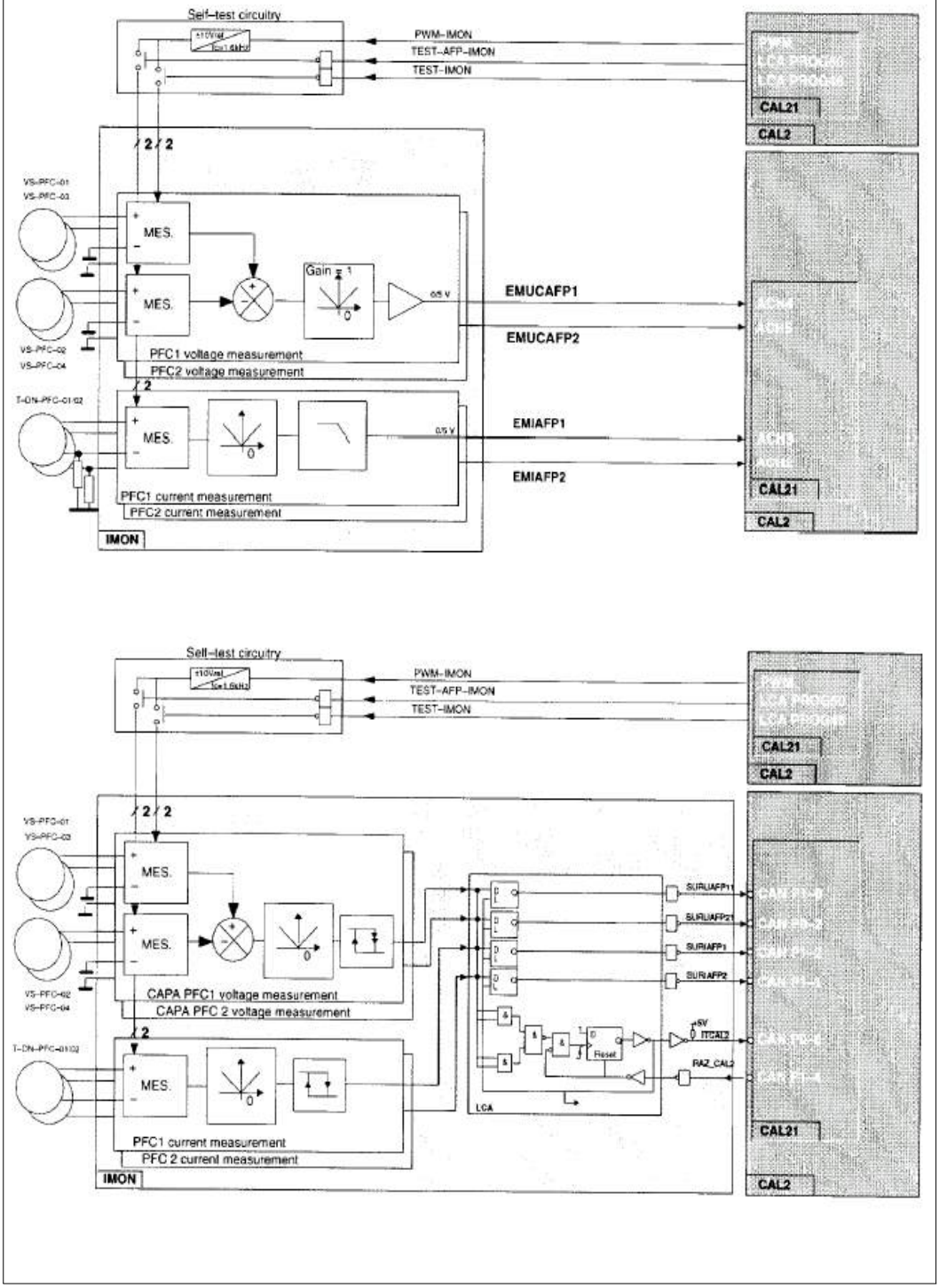
Opera -tion	Signal	Forcing (CAL21)				Wait time (ms)	Expected value	Remarks
		RAZ_CAL	TEST	TEST_AFP	Stimuli		logic	
694	SURUAFP1	0		✓	3300 mV	20	FALSE	No fault
695	SURUAFP2							
696	SURUAFP1				5000 mV	20	TRUE	Fault detected
697	SURUAFP2							
698	IT_CAL2	1					FALSE	
699	SURIAFP1	0			5000 mV	20	FALSE	No fault
700	SURIAFP2							
701	SURIAFP1				7400 mV	20	TRUE	Fault detected
702	SURIAFP2							

CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 작용 설명





CAL2 / IMON 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL1 / INCA 카드의 테스트는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 단계 43: 센서 T-DN-OY-01 및 T-DN-OY-02에 의한 주변압기 2차 전류 측정 연결회로
· 단계 45: 견인전동기 전류 과전류 보호 연결회로
· 단계 46: PFC 전류 및 전압 측정 연결회로
· 단계 48: PFC 과전류 및 과전압 보호 연결회로

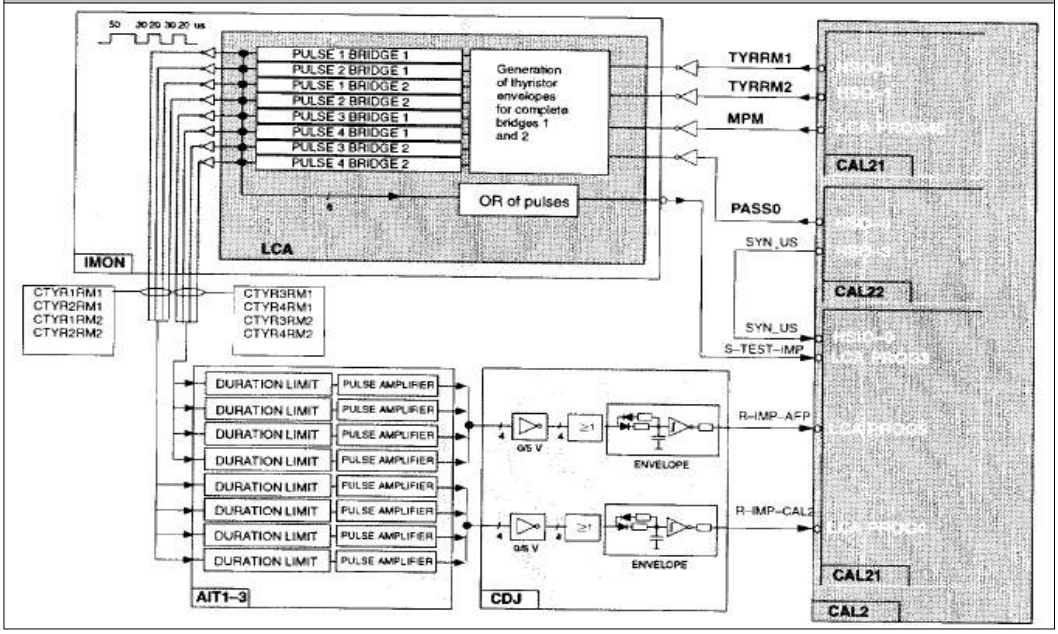
(71) 44-16-41 : CAL2-IMON-CDJ-AIT1_3 카드 자기진단테스트

CAL2-IMON-CDJ-AIT1_3 카드 자기진단테스트 작용 설명

Operation	Signal	Forcing CAL22	Result	Remark
		SYN_US	logic	
667	SYN_US	0	FALSE	Signal SYN_US issued from C22 digital filter
668	SYN_US	1	TRUE	

Operation	Signal	Forcing CAL21		Forcing CAL22	Wait time (ms)	Result	Remarks
		TYRRM1	TYRRM2	PASS0		logic	
Original conditions: L_VAPF1 to False L_VAPF2 to False MPM to False (Rectifier bridge operation authorisation) TYRRMi to False							
669	R_IMP_CAL2	0	0	↓	0	TRUE	No pulse detected
	R_IMP_CAL2	↓	0	1	10	FALSE	THYR 2 pulse test
	R_IMP_CAL2	TYRRM2 TYRRM1 PASS0			10	FALSE	THYR 1 pulse test
	R_IMP_AFP	TYRRM2 TYRRM1 PASS0			10	FALSE	THYR 3 pulse test
	R_IMP_AFP	↑↓	1	1	10	FALSE	THYR 4 pulse test
	R_IMP_CAL2	TYRRM2 TYRRM1 PASS0			10	FALSE	THYR 2 pulse test
	R_IMP_CAL2	TYRRM2 TYRRM1 PASS0			10	FALSE	THYR 1 pulse test
	R_IMP_AFP	TYRRM2 TYRRM1 PASS0			10	FALSE	THYR 3 pulse test
	R_IMP_AFP	0	↑↓	1	10	FALSE	THYR 4 pulse test

CAL2-IMON-CDJ-AIT1_3 카드 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL2-IMON-CDJ-AIT1_3 카드의 테스트(단계 44)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

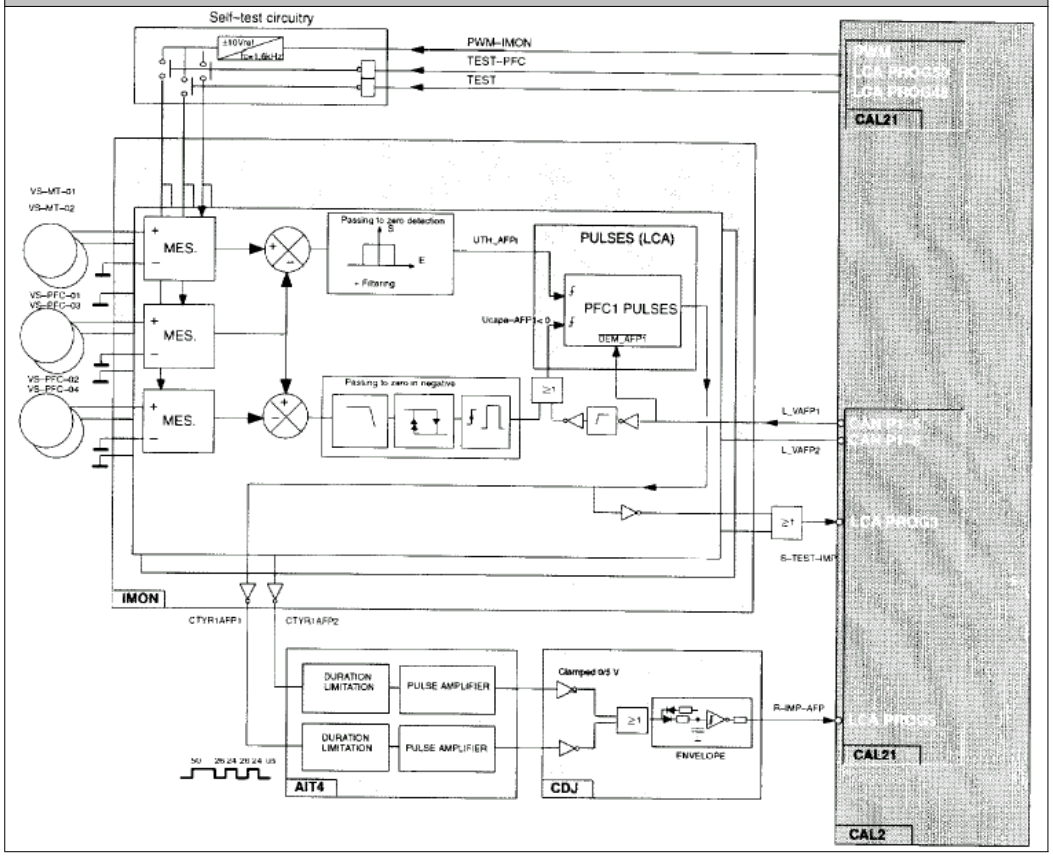
· 완전 브리지(컨버터) 제어펄스의 다양한 생성 연결회로

(72) 44-16-42 : CAL2-IMON-CDJ-AIT4 카드 자기진단테스트

CAL2-IMON-CDJ-AIT4 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera -tion	Signal	Forcing (CAL21) L_VAPF1	L_VAPF2	TEST	TEST_AFP	Stimuli	Wait time (ms)	Result Logic	Remarks
Prerequisite:	*Inhibition of pulses on bridges 1 and 2 by the positioning of signals (thyristor 1 and 2 turning on)– TYRRM1 & 2, MPM, L_VAPF 1 & 2 PASS0 (See fig. 27) so as to avoid an interaction of bridges and PFC pulses (The re–reading of bridges and PFC pulses envelope is common).*								
686	R–IMP–AFP	✓			✓	5000 mV	30	FALSE	No stimuli
687						5000 mV / –5000 mV	20 ms	TRUE	Pulse triggering by generating a passing to zero by UTH_AFP_0_1 (Sensor VS–MT–01)
688						Valeur prec.	40	FALSE	Pulse blocking on time–out
689		✓		✓		5000 mV / –5000 mV	20 ms	TRUE	Pulse triggering by generating a passing to zero by UTH_AFP_0_1 (Sensor VS–PFC–02)
690			✓		✓	Valeur prec.	20	FALSE	No stimuli
691						5000 mV / –5000 mV	20 ms	TRUE	Pulse triggering by generating a passing to zero by UTH_AFP_0_2 (Sensor VS–MT–02)
692						Valeur prec.	40	FALSE	Pulse blocking on time–out
693			✓	✓		5000 mV / –5000 mV	20 ms	TRUE	Pulse triggering by generating a passing to zero by UTH_AFP_0_2 (Sensor VS–PFC–03)
Final conditions : Change of RM thyristor position : back to original state, by turning on thyristors 3 and 4.									

CAL2-IMON-CDJ-AIT4 카드 자기진단테스트 블록 다이어그램



- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. CAL2-IMON-CDJ-AIT4 카드의 테스트(단계 47)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

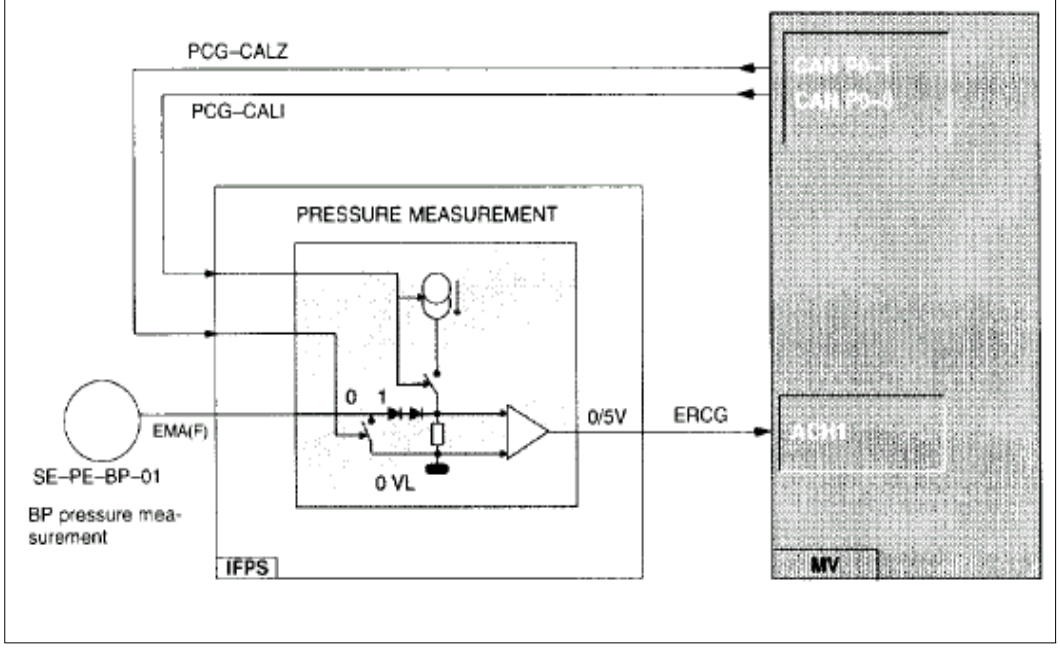
· 완전 브리지(컨버터)인 CV-PFC-01제어펄스의 다양한 생성 연결회로

(73) 44-16-44 : MV-IFPS 카드 자기진단테스트

MV-IFPS 카드 자기진단테스트 작용 설명

Opera -tion	Signal	Forcing (MV)		Wait time (ms)	Expected value			Remark
		PCG-CALZ	PCG-CALI		Type	Min	Max	
624	ERCG	✓		50	ana	0 mV	200 mV	
625	ERCG	✓	✓	50	ana	2000 mV	3000 mV	

MV-IFPS 카드 블록 다이어그램



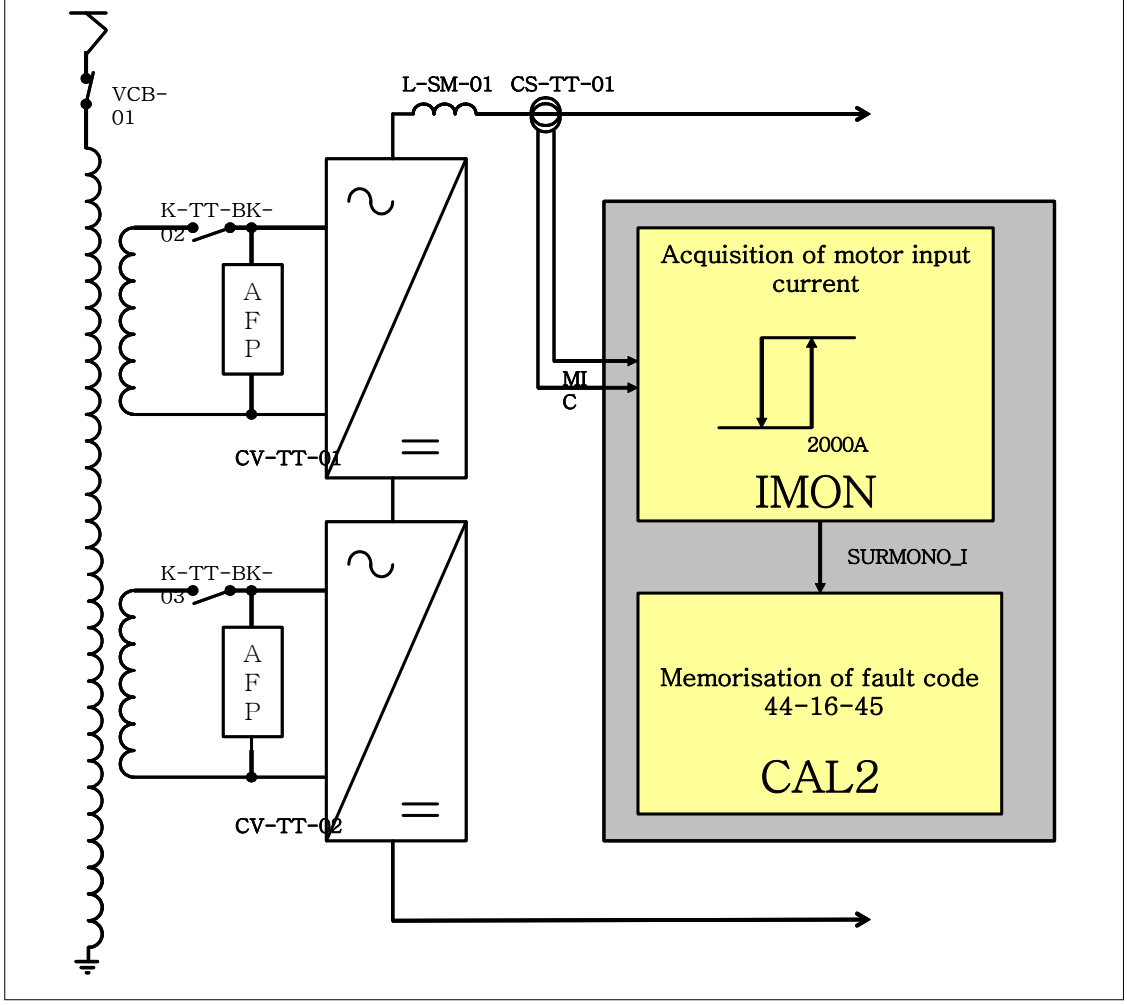
- 감지 원칙

MB 전자제어장치에 전원을 투입할 때마다, 각 마이크로컨트롤러 카드의 소프트웨어는 그 카드 주변장치의 초기화테스트를 수행한다. 자기진단테스트는 연속적인 단계로 수행된다. MV-IFPS 카드의 테스트(단계 34)는 다음 사항을 확인하는 것으로 이루어진다.

· 주어진 압력으로 강제하는 것에 의한 압력센서 SE-PE-BP-01

(74) 44-16-45 : 견인 및 회생제동 모드에서의 견인전동기 과전류

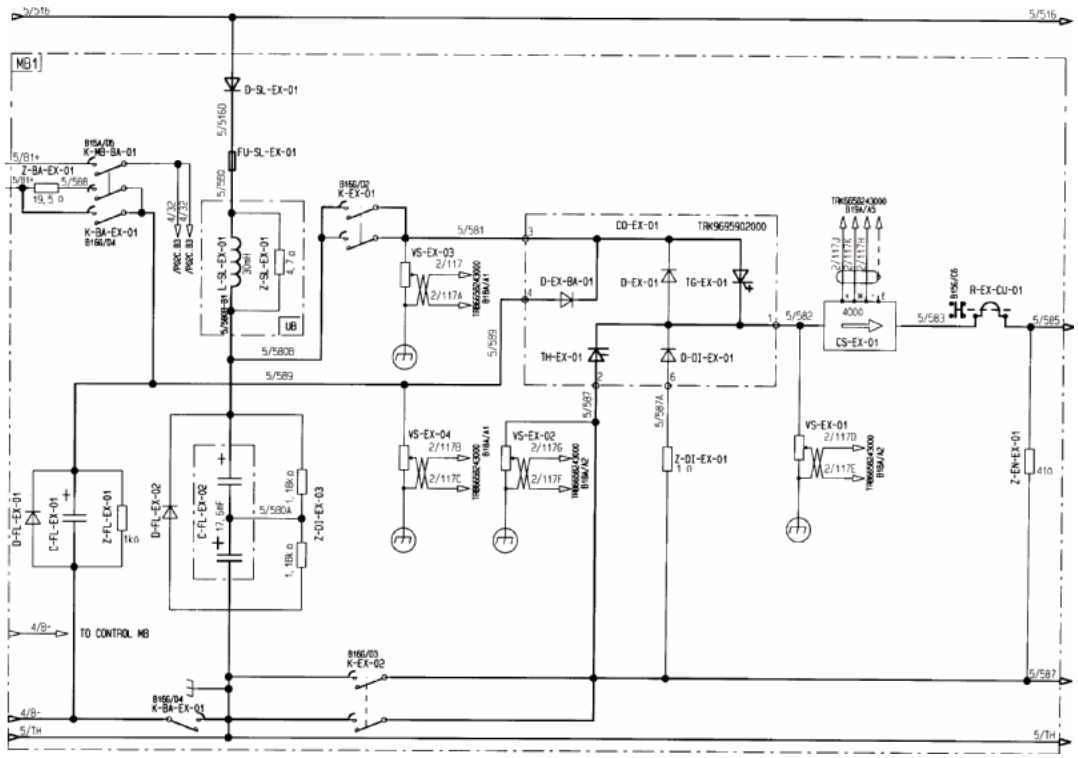
견인전동기 과전류 감시 블록 다이어그램



- 감지 원칙

견인 및 회생제동 모드에서, 견인전동기 전류(MIC)는 사이리스터 브리지 (컨버터)에 의해 정류 및 조절되고, 인덕터 L-SM-01에 의해 필터링된다. 견인전동기 전류 MIC의 과전류는 정류기(컨버터)에 의한 전류 조절의 고장 또는 견인 또는 제동 회로에서 단락된 장치(부품)에 의한 전류의 과소모로부터 유발된다. 이 전류는 IMON 및 CAL2 카드에 의해 감시된다.

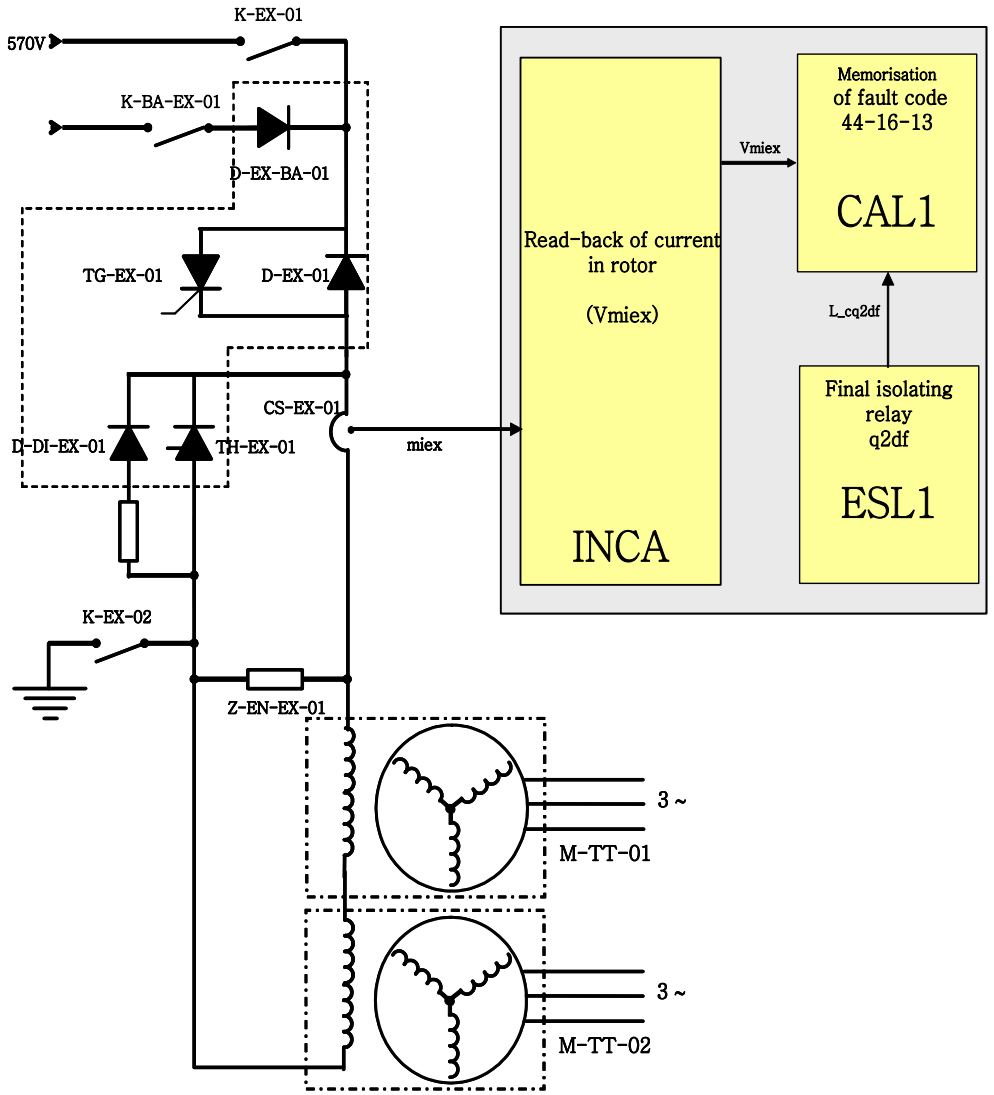
(75) 44-16-46 : 시나리오 0102에서 감지된 GTO, TG-EX-01 파손 고장

동력회로


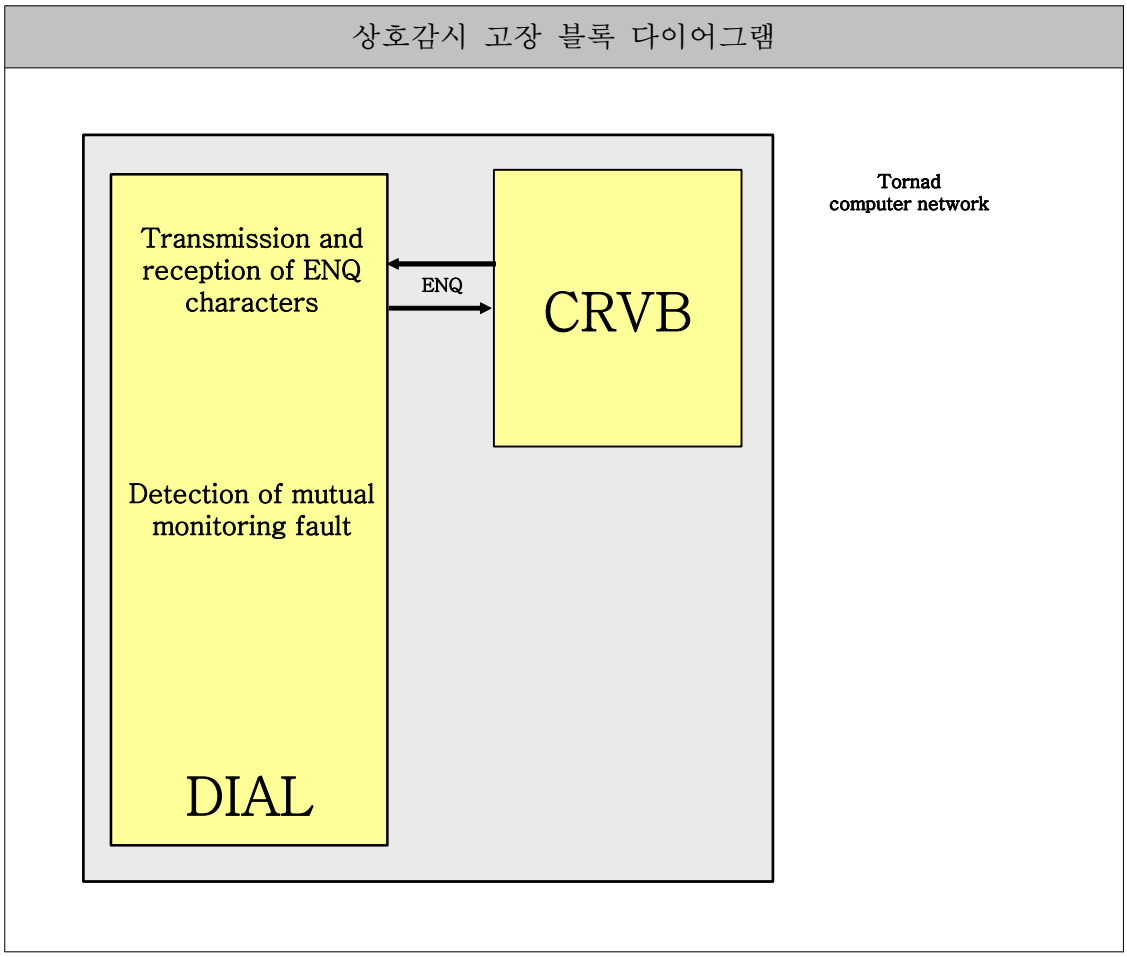
- 감지 원칙

견인전동기 회전자 회로에서 흐르는 전류는 여자초퍼(CO-EX-01)에 의해 조절된다. 부하기(consumer) 고장(단락), 초퍼 후단의 회로 또는 GTO 제어 고장이 나타날 때, 이 회로에 의해 흡수된 전류는 급격히 증가되어 GTO의 파손을 초래할 것이다. 초퍼가 더 이상 제어되지 않더라도(Q2DF에 의한 MB 차단) 이 회로에서의 다시 읽기전류가 MIEX > 250 A 이면 감지된다. 이 감시는 시나리오 0102에서 활성화되어 상위 시나리오로 전환되는 것을 피하고, 초퍼가 단락된 것으로 고려되더라도 제동회로가 활성화된다.

견인전동기 여자전류 감시 블록 다이어그램



(76) 44-16-48 : 상호감시 고장

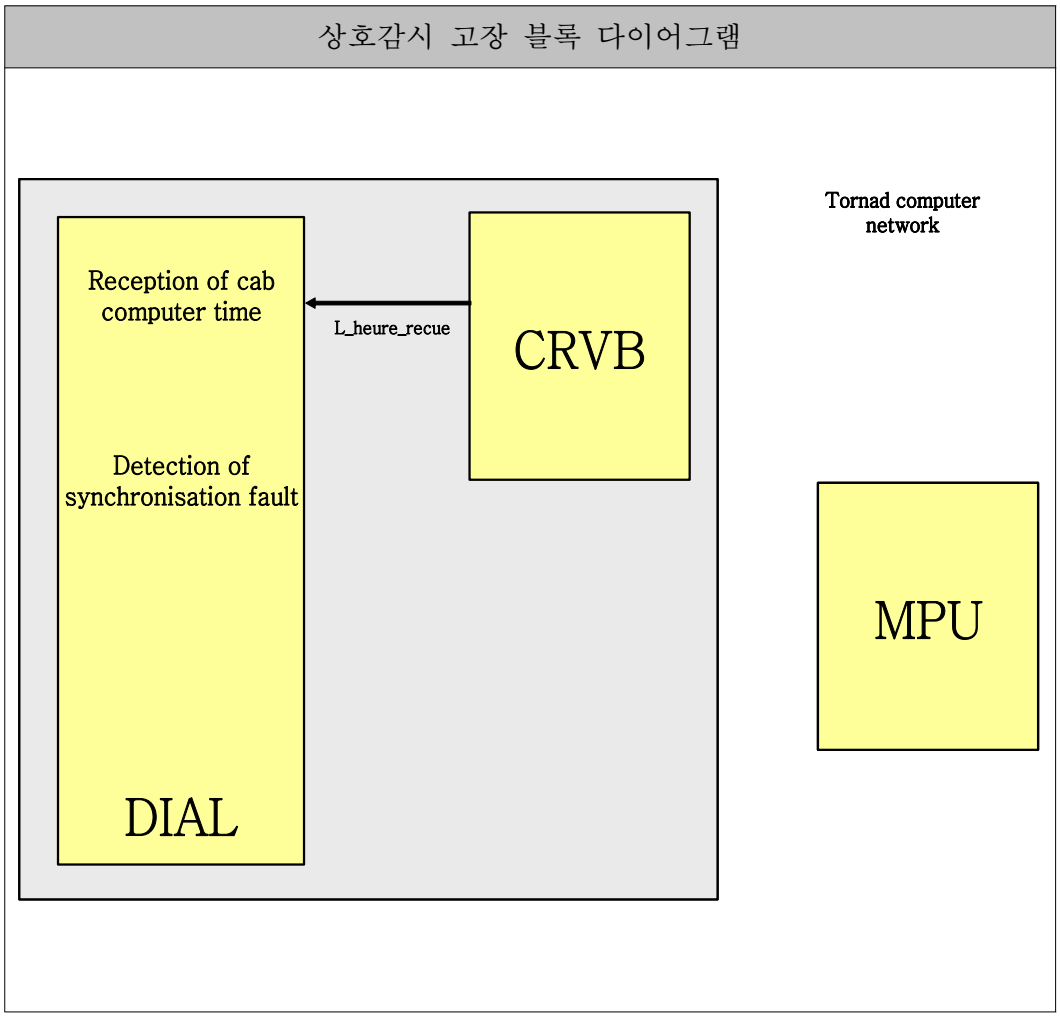


- 감지 원칙

DIAL 카드는 매 200 ms 마다 ENQ 특성을 CRVB 카드쪽으로 전송한다. 이 상호감시 고장은 다음의 조건에서 저장된다.

· MB이 초기화될 때, DIAL 카드와 CRVB 카드 사이의 대화가 15 s(76 번의 고장) 동안 이루어지지 않을 때
· 고장으로 인한 IULS 프로토콜의 리셋팅 후에, DIAL 카드와 CRVB 카드 사이의 대화가 15 s(76 번의 고장) 동안 이루어지지 않을 때
· 상호 감시 교정 작용이 있을 때, ENQ 특성들이 DIAL 카드와 CRVB 카드 사이의 대화가 1 s(6 번의 고장) 동안 교환되지 않을 때

(77) 44-16-49: 동기화 고장

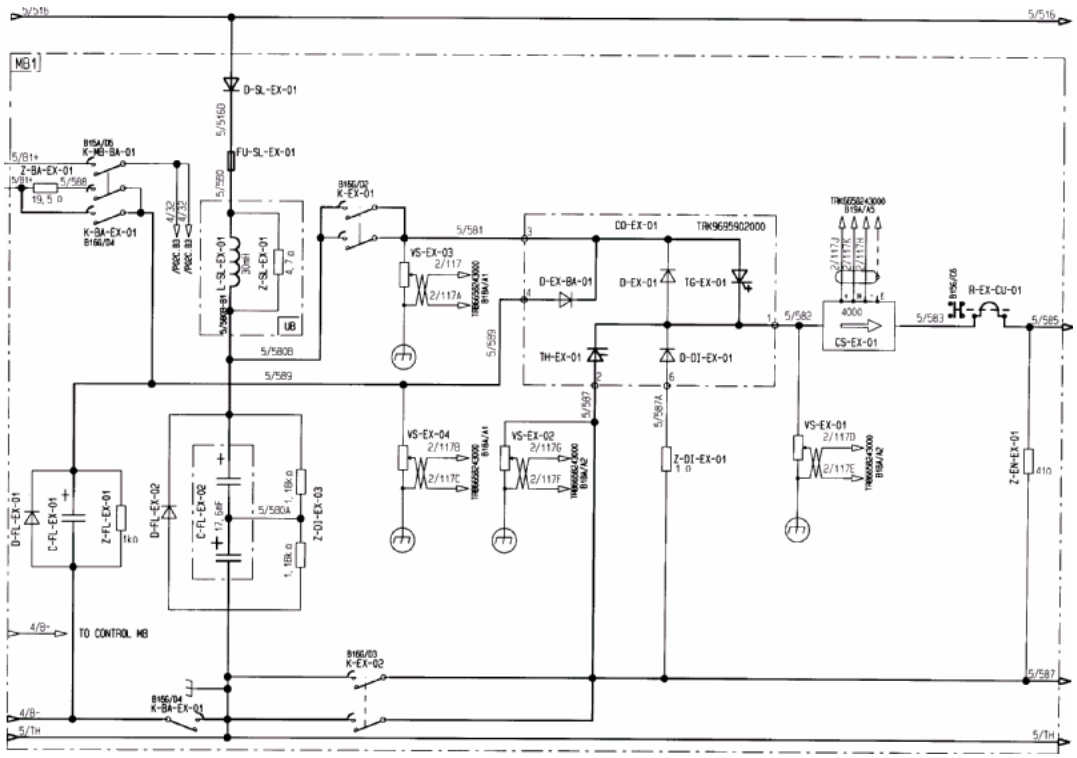


- 감지 원칙

운전실 컴퓨터(MPU)는 매 100 ms 마다 장치의 시간기준으로 구성된 메시지를 차상컴퓨터 네트워크에 전송한다. DIAL 카드는 이 메시지의 접수를 확인한다. 동기화 고장코드는 이 메시지가 60 s 동안 없을 때 저장된다.

(78) 44-16-4A : 여자회로 퓨즈 파손 고장

동력회로

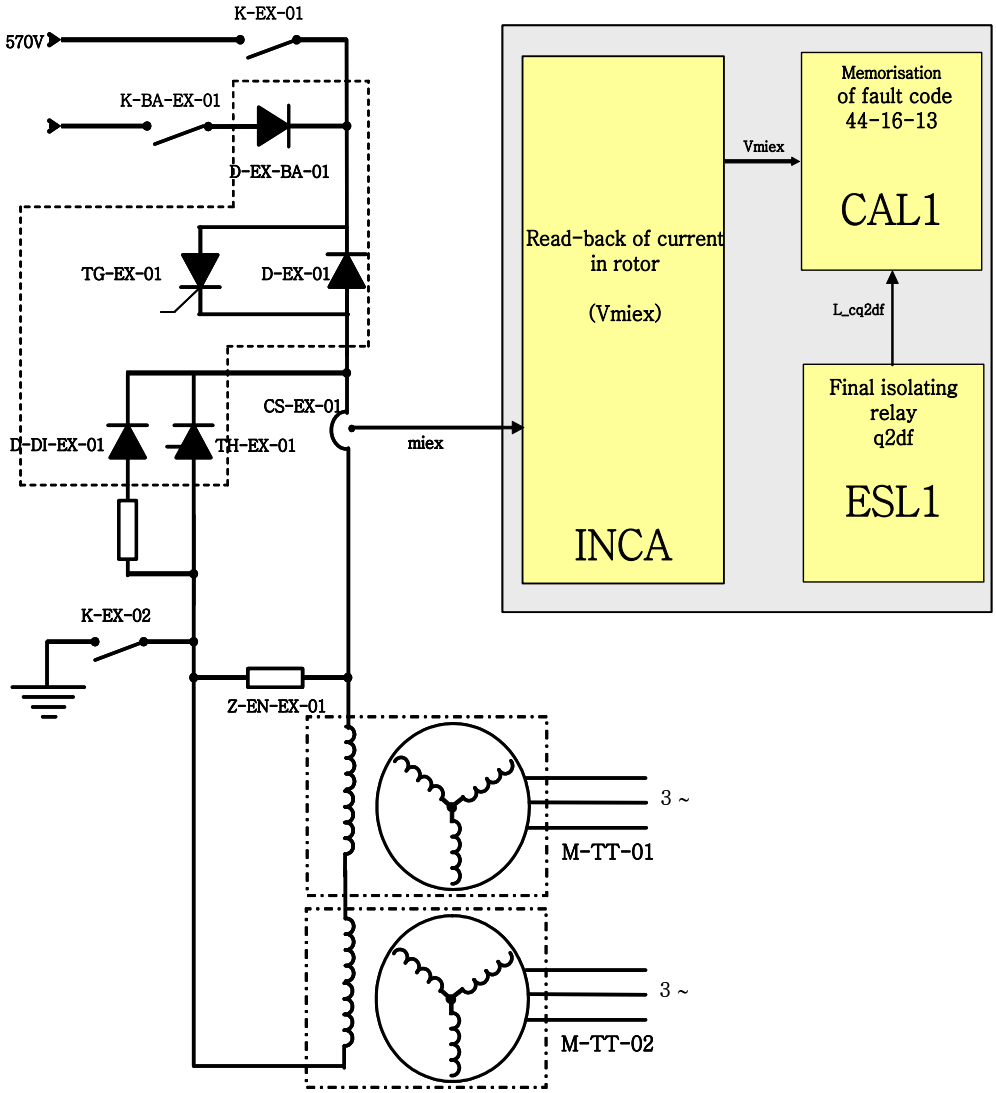


- 감지 원칙

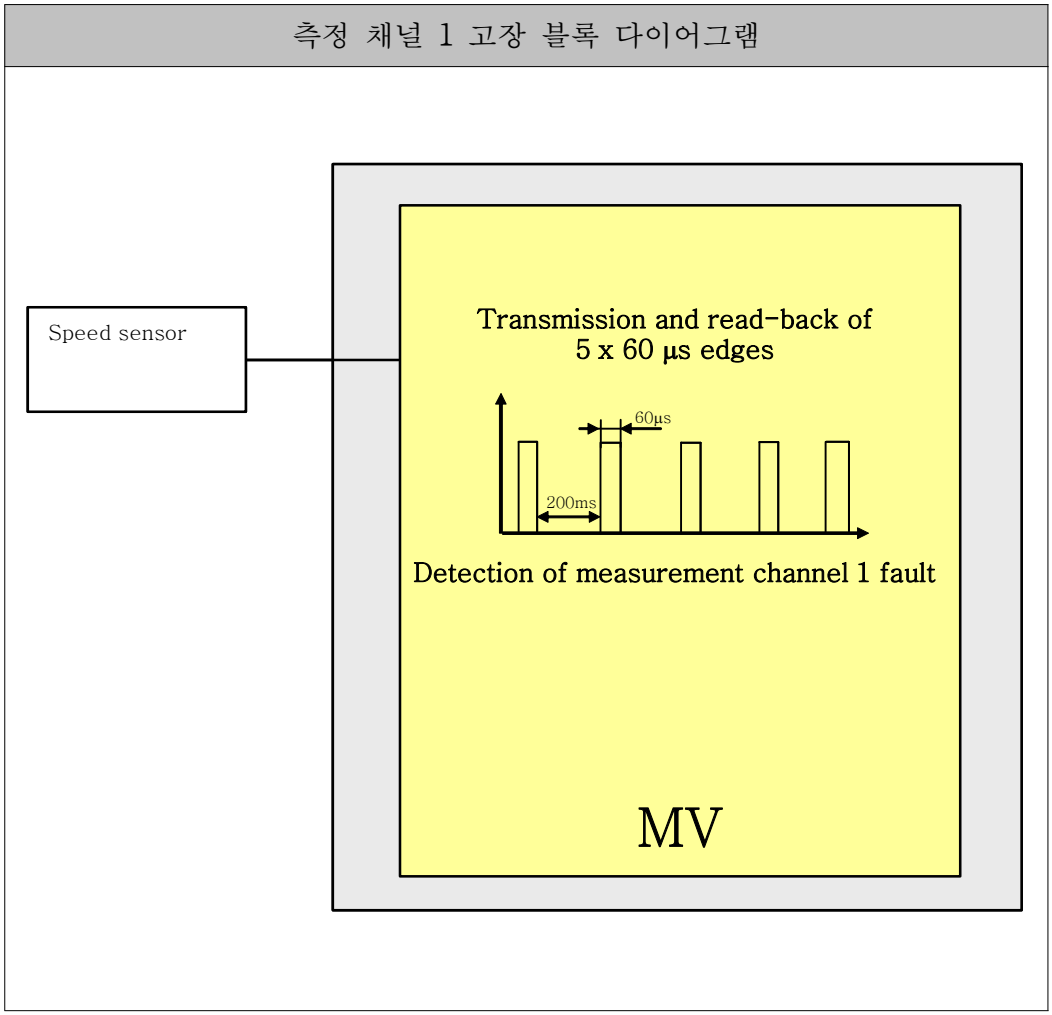
견인전동기 회전자 회로에서의 전류흐름은 여자초퍼(CO-EX-01)에 의해 조절된다. 여자회로 입력퓨즈(FU-SL-EX-01)는 과전류에 대해 장치를 보호한다. 이 퓨즈의 하위 회로 부하기(CO-EX-01, 견인전동기 권선, 저항 Z-EN-EX-01, 배선 등등)에 고장이 있는 경우, 이 퓨즈가 차단되어 모터블록 견인전동기 회전자 회로의 570 V 전원공급을 방지한다.

이 고장은 570 V 전원이 회로에 존재(L_q500)하고, 그 MB가 시나리오 1201, 1111 또는 0112로 전환하는 견인 또는 제동 모드(K-EX-01 여자)인 조건에서,회로에서의 전압 < 300 V(D300)의 다시 읽기를 통하여 감지된다.

여자회로 퓨즈 감시 블록 다이어그램



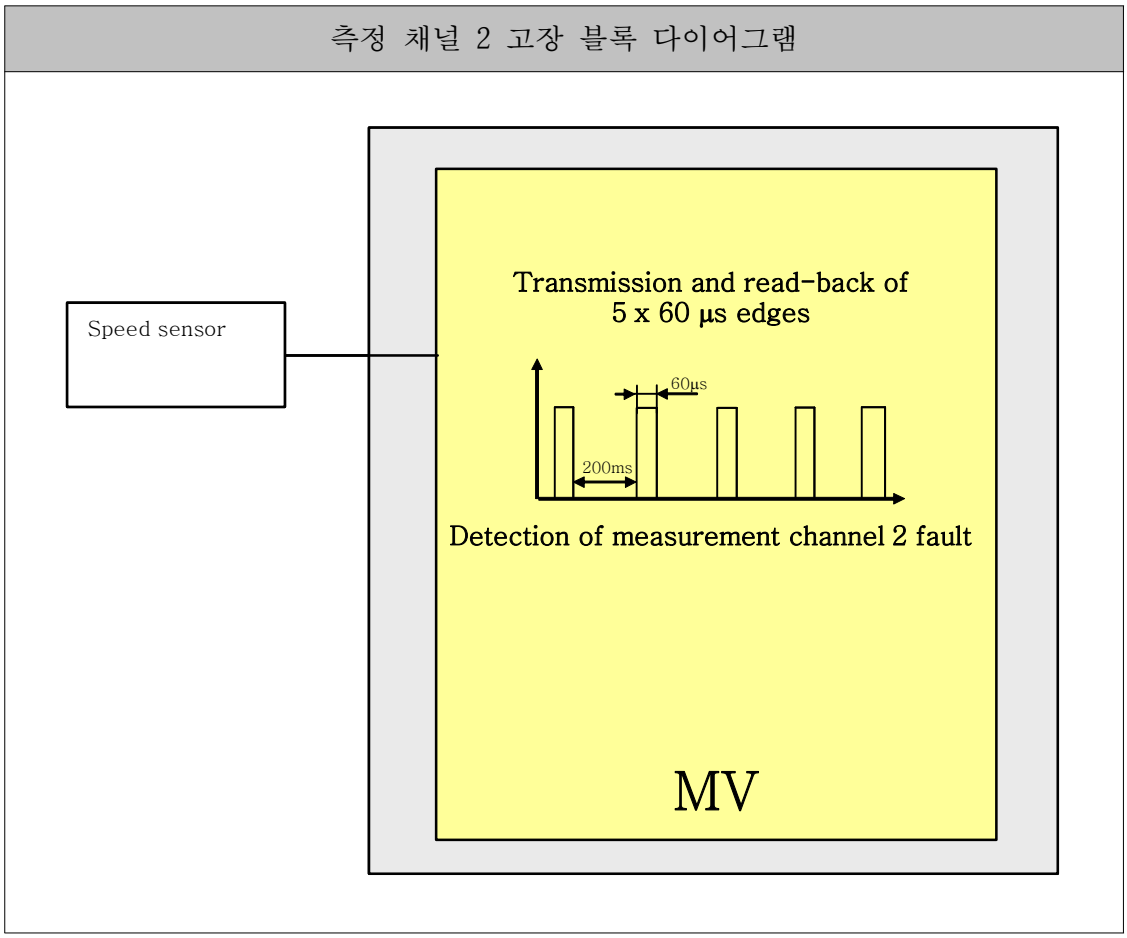
(79) 44-17-01: 측정 채널 1 고장



- 감지 원칙

MV 카드는 자기의 측정 루프 1에서의 5 x 60 μs edges의 전송을 통하여, 차축속도 획득에 대한 자기의 측정채널을 감시한다. 이 카드가 아무런 edge도 접수하지 못했으면, 측정채널 1은 고장인 것으로 간주된다. 이 측정채널은 PC_MNT 프로그램을 사용하여 요구된 테스트인, ≪자기진단테스트≫ 기능이 초기화 될 때, 확인된다.

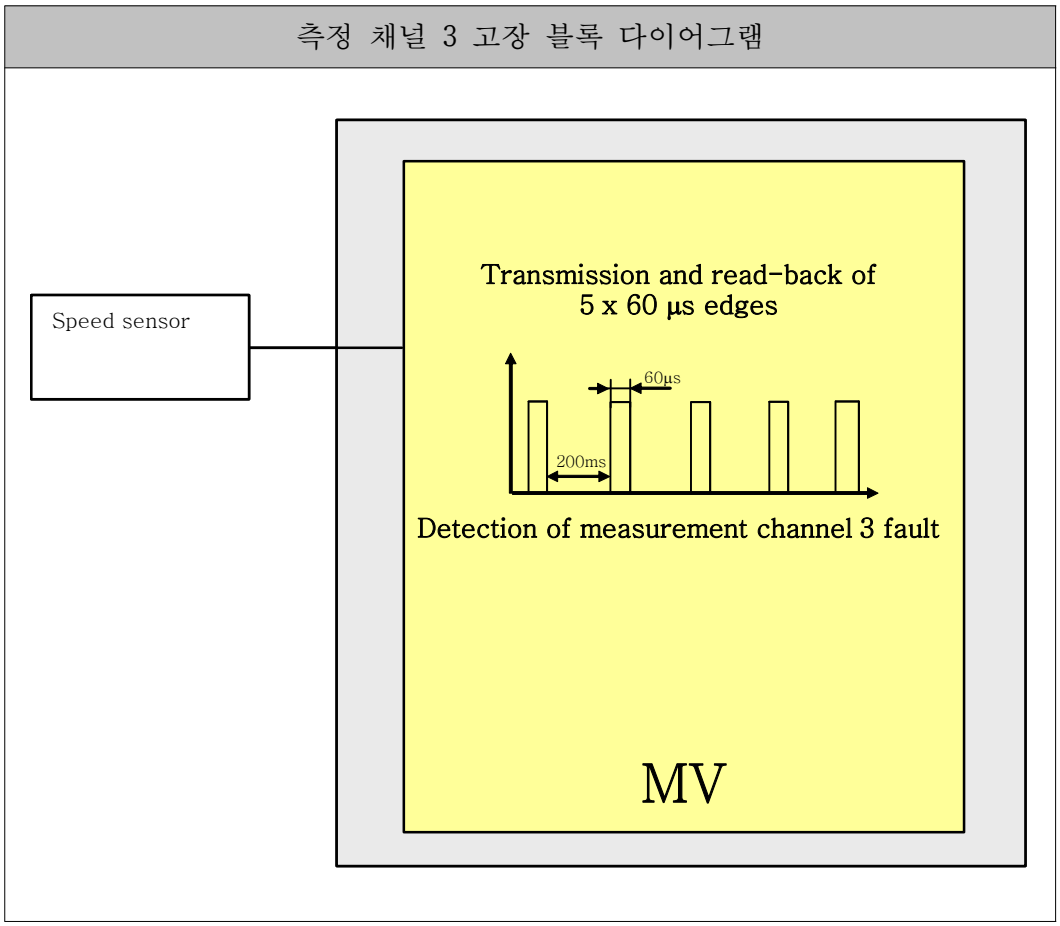
(80) 44-17-02 : 측정 채널 2 고장



- 감지 원칙

MV 카드는 자기의 측정 루프 2에서의 5 x 60 ∗s edges의 전송을 통하여, 차축속도 획득에 대한 자기의 측정채널을 감시한다. 이 카드가 아무런 edge도 접수하지 못했으면, 측정채널 2는 고장인 것으로 간주된다. 이 측정채널은 PC_MNT 프로그램을 사용하여 요구된 테스트인, ≪자기진단테스트≫ 기능이 초기화 될 때, 확인된다.

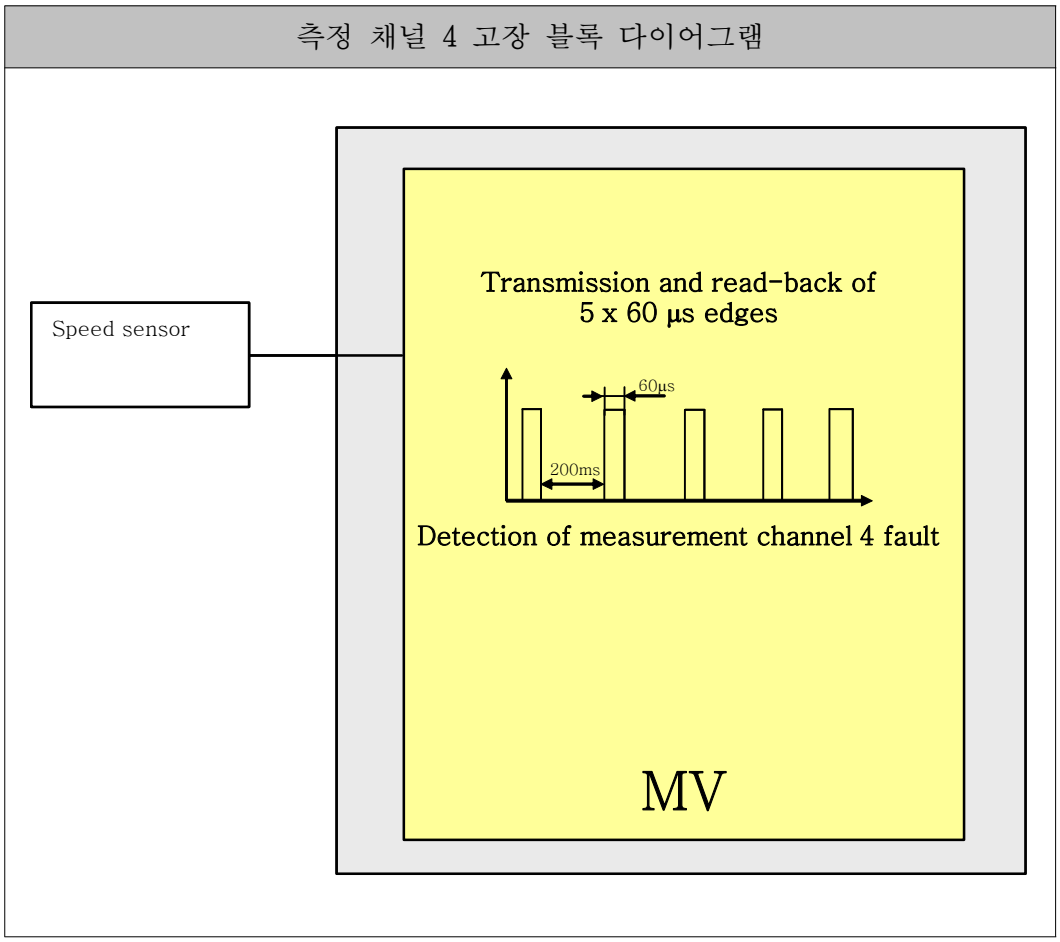
(81) 44-17-03 : 측정 채널 3 고장



- 감지 원칙

MV 카드는 자기의 측정 루프 3에서의 5 x 60 μs edges의 전송을 통하여, 차축속도 획득에 대한 자기의 측정채널을 감시한다. 이 카드가 아무런 edge도 접수하지 못했으면, 측정채널 3은 고장인 것으로 간주된다. 이 측정채널은 PC_MNT 프로그램을 사용하여 요구된 테스트인, ≪자기진단테스트≫ 기능이 초기화 될 때, 확인된다.

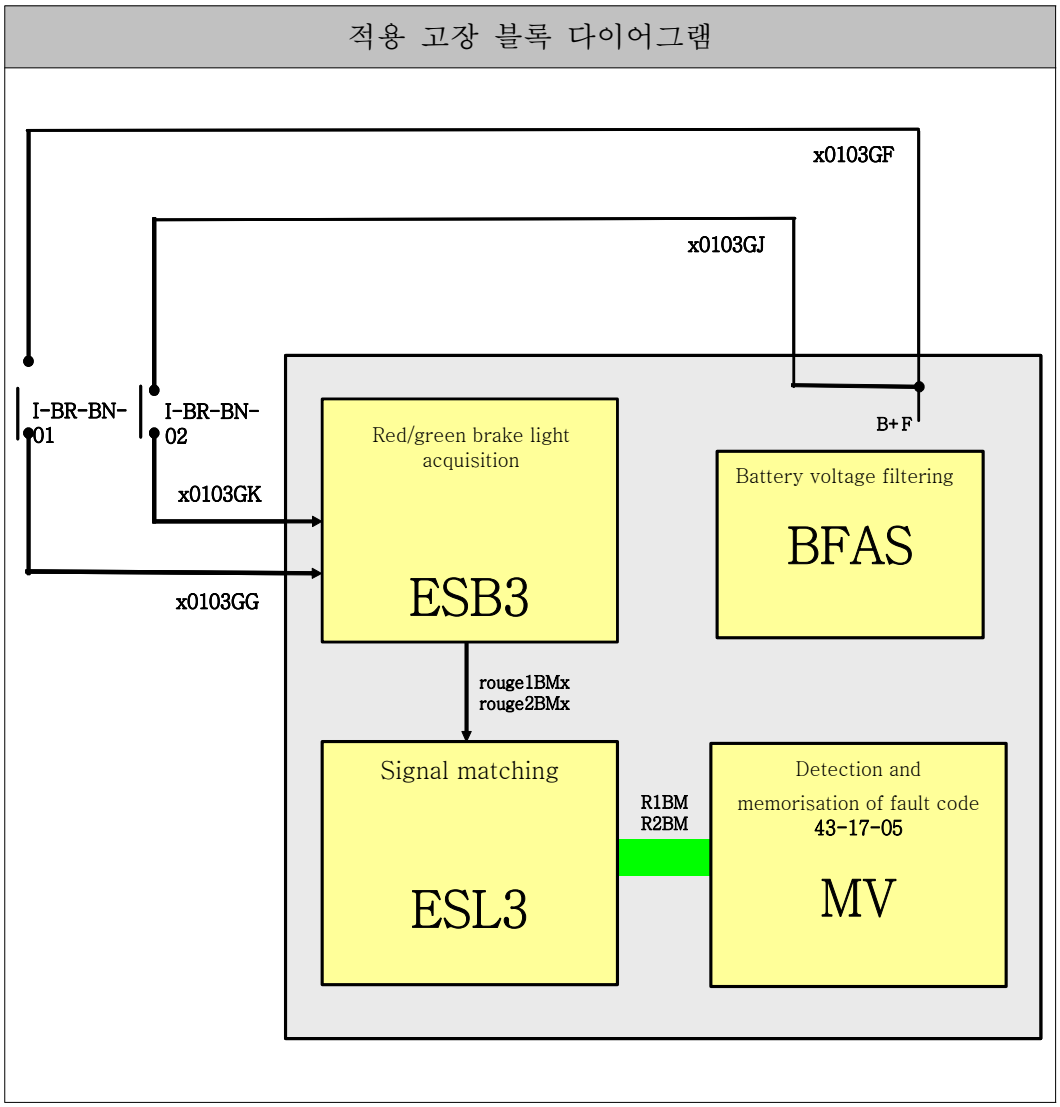
(82) 44-17-04 : 측정 채널 4 고장



- 감지 원칙

MV 카드는 자기의 측정 루프 4에서의 5 x 60 μs edges의 전송을 통하여, 차축속도 획득에 대한 자기의 측정채널을 감시한다. 이 카드가 아무런 edge도 접수하지 못했으면, 측정채널 4는 고장인 것으로 간주된다. 이 측정채널은 PC_MNT 프로그램을 사용하여 요구된 테스트인, ≪자기진단테스트≫ 기능이 초기화 될 때, 확인된다.

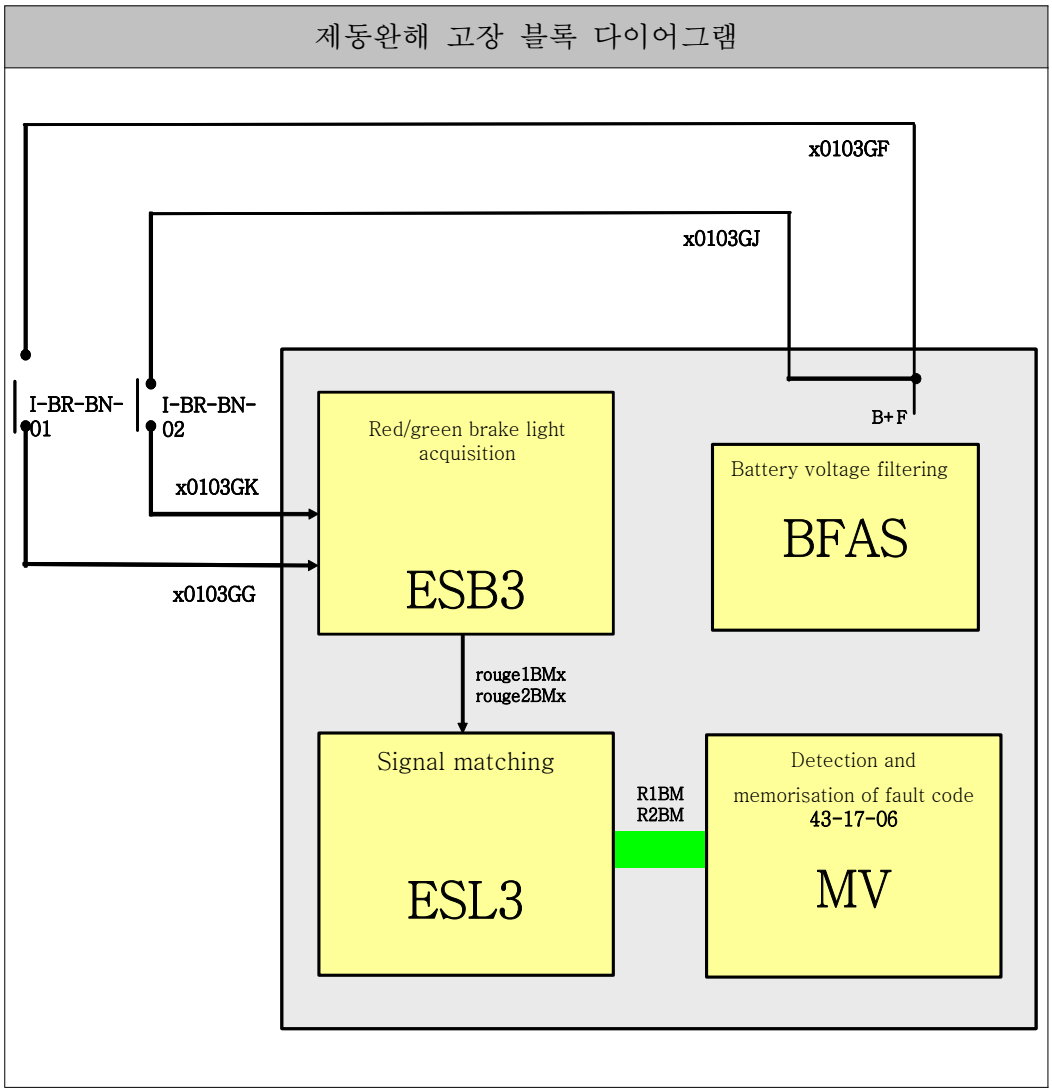
(83) 43-17-05: 적용 고장



- 감지 원칙

모터블록 MB 제동 적색 표시기의 일치성은 요구된 테스트의 초기화가 이루어질 때 확인된다. 제동이 적용(체결)될 때 마다, R1BM = 0(대차 1 적색 위치 다시 읽기가 0, I-BR-BN-01) 또는 R2BM = 0(대차 2 적색 위치 다시 읽기가 0, I-BR-BN-02) 이면, 압력센서 SE-PE-PB-01에 의해 관찰된 제동적용(체결) 상태와 적색 표시등 다시 읽기 사이의 불일치가 저장된다.

(84) 43-17-06: 제동완해 고장

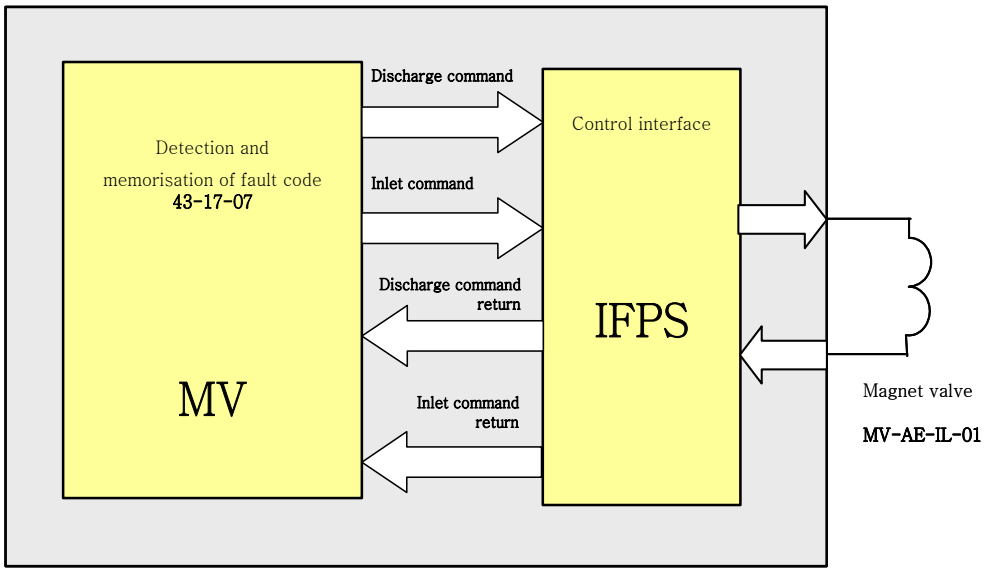


- 감지 원칙

모터블록 MB 제동 녹색 표시기의 일치성은 요구된 테스트의 초기화가 이루어질 때 확인된다. 제동이 완해될 때 마다, R1BM = 1(대차 1 적색 위치 다시 읽기가 1, I-BR-BN-01) 또는 R2BM = 1(대차 2 적색 위치 다시 읽기가 1, I-BR-BN-02) 이면, 압력센서 SE-PE-PB-01에 의해 관찰된 제동완해 상태와 적색 표시등 다시 읽기 사이의 불일치가 저장된다.

(85) 43-17-07 : AE HARD 시간종료(NON-PRESETTING) 제어 고장

AE hard 시간종료(non-presetting) 제어 고장 블록 다이어그램

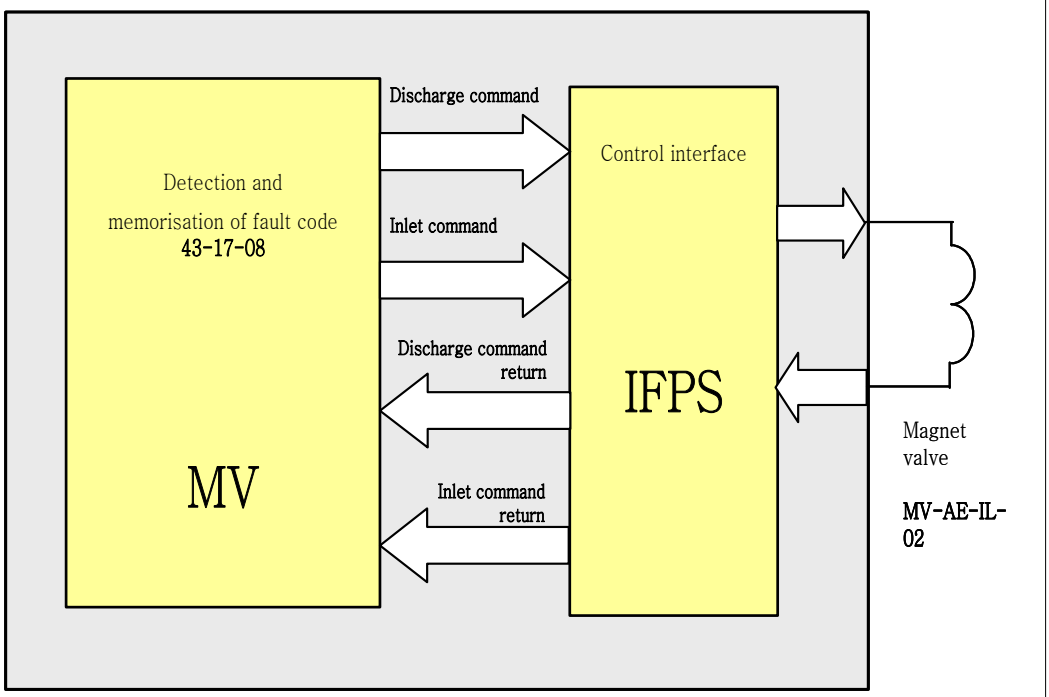


- 감지 원칙

AE 전자변들은 요구된 시험의 실행 제어가 될 때마다, AE hard non-presetting 제어가 동작(triggering)될 때까지 배기 또는 단계모드로 전원공급을 받는다 (여자된다). AE hard non-presetting 제어의 동작은 차축회전 감시장치의 어떤 오동작을 방지하기 위하여 제동통에 배기 또는 충기작용을 취소한다. 이 시스템은 AE 전자변의 제어로부터 주어진 교정시간(5 s ≥ t ≥ 15 s) 안에 non-presetting 제어 동작이 일어나는지를 감시한다.

(86) 43-17-08 : NRE HARD 시간종료(NON-PRESETTING) 제어 고장

NRE hard 시간종료(non-presetting) 제어 고장 블록 다이어그램



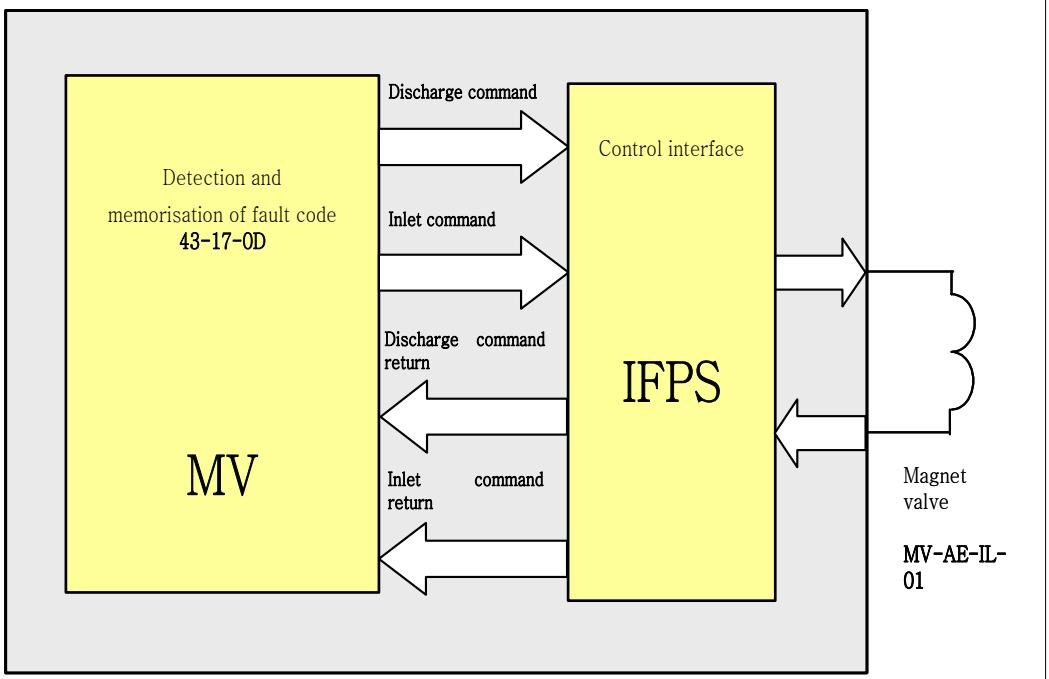
- 감지 원칙

NRE 전자변들은 요구된 시험의 실행 제어가 될 때마다, NRE hard non-presetting 제어가 동작(triggering)될 때까지 배기 또는 단계모드로 전원공급을 받는다(여자된다). NRE hard non-presetting 제어의 동작은 차축회전 감시장치의 어떤 오동작을 방지하기 위하여 제동통에 배기 또는 충기작용을 취소한다.

이 시스템은 NRE 전자변의 제어로부터 주어진 교정시간(5 s ≥ t ≥ 15 s) 안에 non-presetting 제어 동작이 일어나는지를 감시한다.

(87) 43-17-0D : AE 전자변 고장

AE 전자변 고장 블록 다이어그램



- 감지 원칙

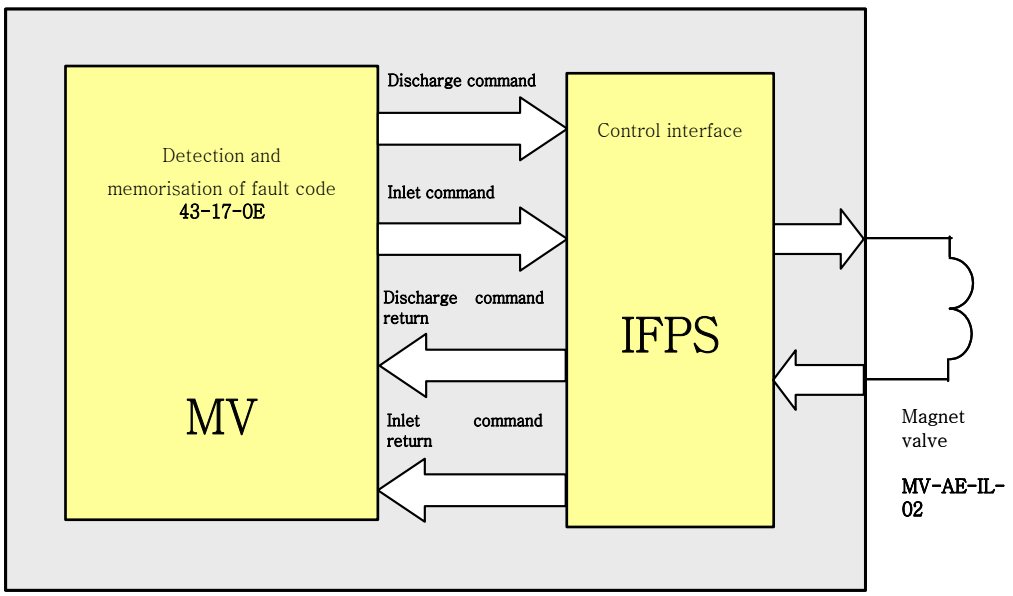
AE 전자변들은 전자변에 적용된 제어 및 제어리턴과 밸브(전자변) 존재정보 사이의 계속적인 일치성 시험의 실행을 통하여 감시된다. 충기 및 배기 밸브(전자변)들은 동시에 테스트된다.

5 x 40 ms(200 ms)의 시험결과가 불만족 상태이면, 전자변들은 500 ms 동안 여자되어 5번의 재시험이 완료된 후, 결과가 불만족상태이면 고장으로 결정된다.

CEVA1 제어	RCA1 제어리턴 시그널	PVA1 전자변 리턴 시그널
1	1	0
CEVE1 제어	RCE1 제어리턴 시그널	PVE1 전자변 리턴 시그널
1	1	0

(88) 43-17-0E : NRE 전자변 고장

NRE 전자변 고장 블록 다이어그램



- 감지 원칙

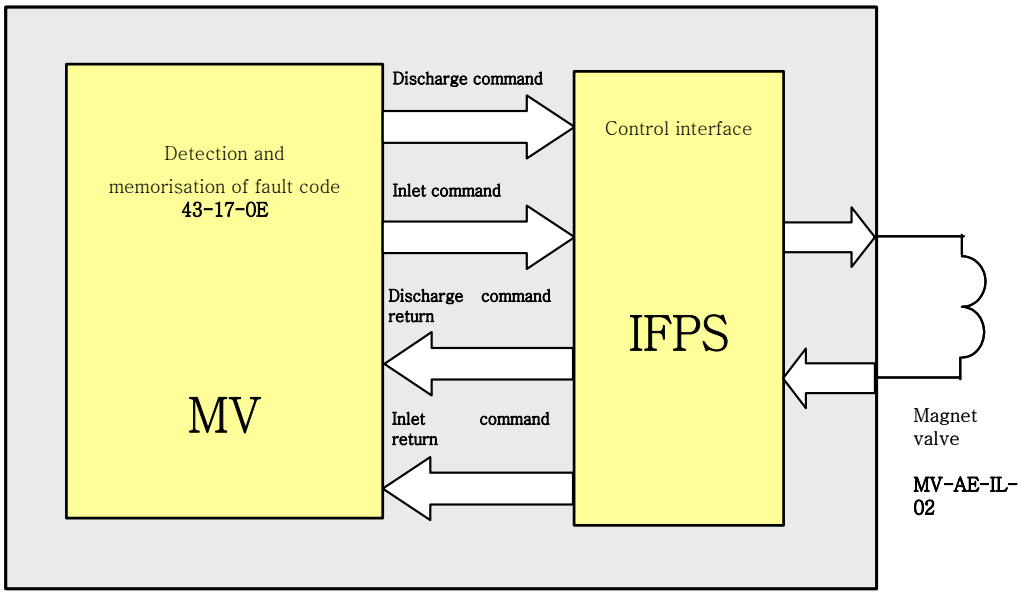
AE 전자변들은 전자변에 적용된 제어 및 제어리턴과 밸브(전자변) 존재정보 사이의 계속적인 일치성 시험의 실행을 통하여 감시된다. 충기 및 배기 밸브(전자변)들은 동시에 테스트된다.

5 x 40 ms(200 ms)의 시험결과가 불만족 상태이면, 전자변들은 500 ms 동안 여자되어 5번의 재시험이 완료된 후, 결과가 불만족상태이면 고장으로 결정된다.

CEVA2 제어	RCA2 제어리턴 시그널	PVA2 전자변 리턴 시그널
1	1	0
CEVE2 제어	RCE2 제어리턴 시그널	PVE2 전자변 리턴 시그널
1	1	0

(89) 43-17-0F : AE 전자변 제어 고장

AE 전자변 제어 고장 블록 다이어그램



- 감지 원칙

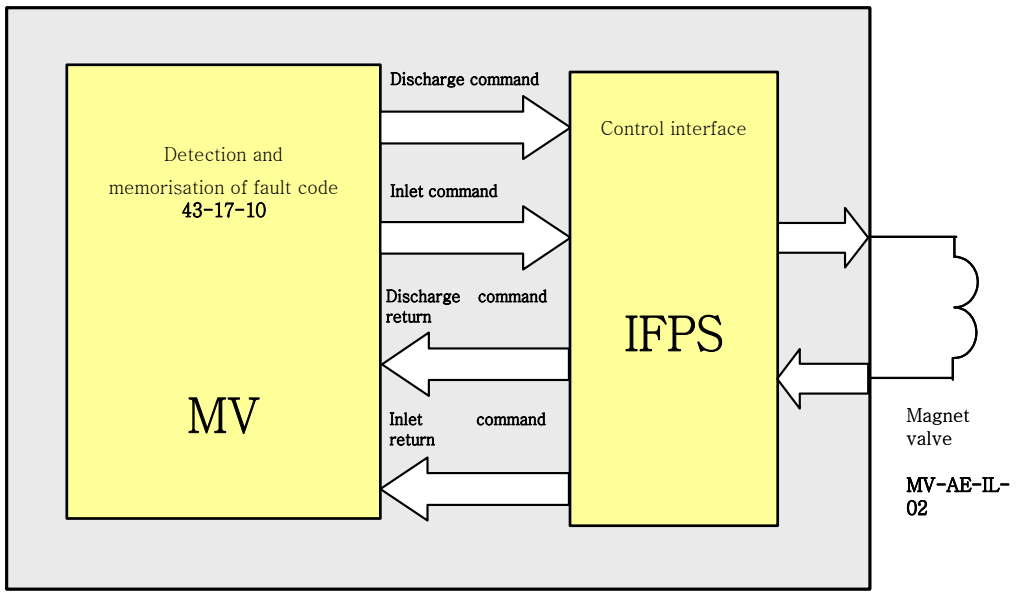
AE 전자변들은 전자변에 적용된 제어 및 제어리턴과 밸브(전자변) 존재정보 사이의 계속적인 일치성 시험의 실행을 통하여 감시된다. 충기 및 배기 밸브(전자변)들은 동시에 테스트된다.

5 x 40 ms(200 ms)의 시험결과가 불만족 상태이면, 전자변들은 500 ms 동안 여자되어 5번의 재시험이 완료된 후, 결과가 불만족상태이면 고장으로 결정된다.

CEVA1 제어	RCA1 제어리턴 시그널	PVA1 전자변 리턴 시그널
0	0	1
0	1	0 또는 1
1	0	0 또는 1
CEVE1 제어	RCE1 제어리턴 시그널	PVE1 전자변 리턴 시그널
0	0	1
0	1	0 또는 1
1	0	0 또는 1

(90) 43-17-10 : NRE 전자변 제어 고장

NRE 전자변 제어 고장 블록 다이어그램



- 감지 원칙

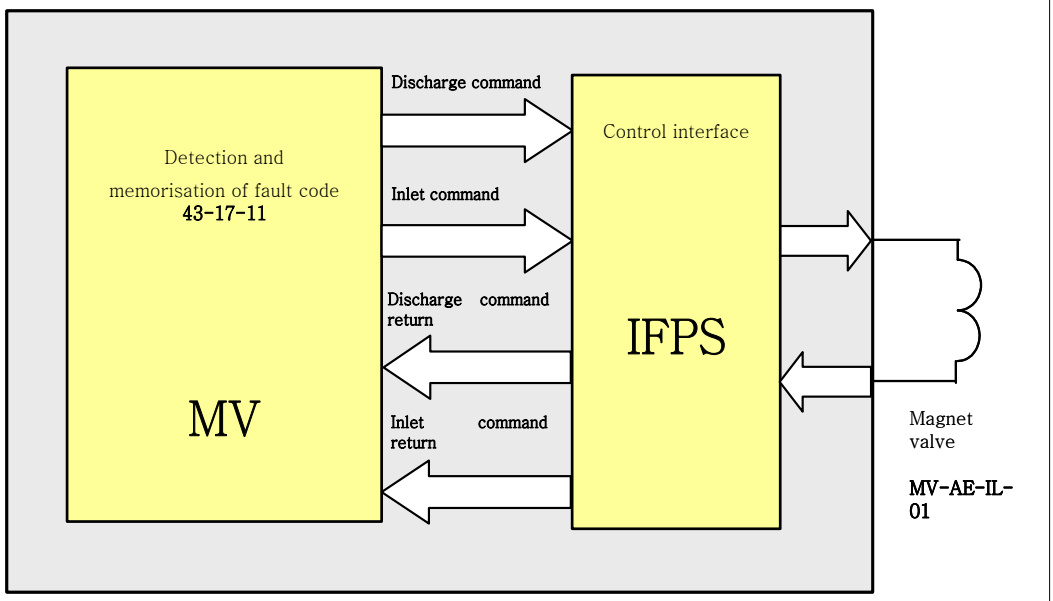
NRE 전자변들은 전자변에 적용된 제어 및 제어리턴과 밸브(전자변) 존재정보 사이의 계속적인 일치성 시험의 실행을 통하여 감시된다. 충기 및 배기 밸브(전자변)들은 동시에 테스트된다.

5 x 40 ms(200 ms)의 시험결과가 불만족 상태이면, 전자변들은 500 ms 동안 여자되어 5번의 재시험이 완료된 후, 결과가 불만족상태이면 고장으로 결정된다.

CEVA2 제어	RCA2 제어리턴 시그널	PVA2 전자변 리턴 시그널
0	0	1
0	1	0 또는 1
1	0	0 또는 1
CEVE2 제어	RCE2 제어리턴 시그널	PVE2 전자변 리턴 시그널
0	0	1
0	1	0 또는 1
1	0	0 또는 1

(91) 43-17-11 : AE NON-PRESETTING CONTROL TRIGGERING

AE non-presetting control triggering 블록 다이어그램



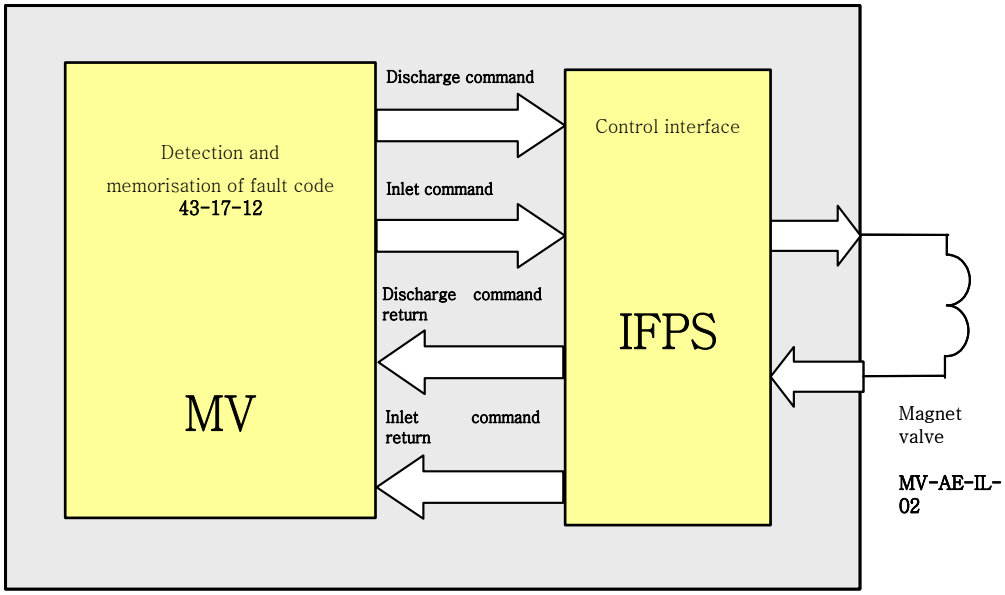
- 감지 원칙

AE 장치의 올바른 작용은 ≪ non-presetting control ≫ 기능에 의해 감시된다. non-presetting 제어는 non-presetting 제어 시그널과 전자변 시그널, 전자변 리턴 시그널 사이의 불일치가 있는 경우 동작한다. 이 고장은 25 번의 연속적인 테스트(1s) 후, 다음과 같은 상태이면 저장된다.

RCPAE	PVAAE	Cde_valve_adm	Cde_valve_ech
0	0	1	1
0	0	1	0

(92) 43-17-12 : NRE NON-PRESETTING CONTROL TRIGGERING

NRE non-presetting control triggering 블록 다이어그램



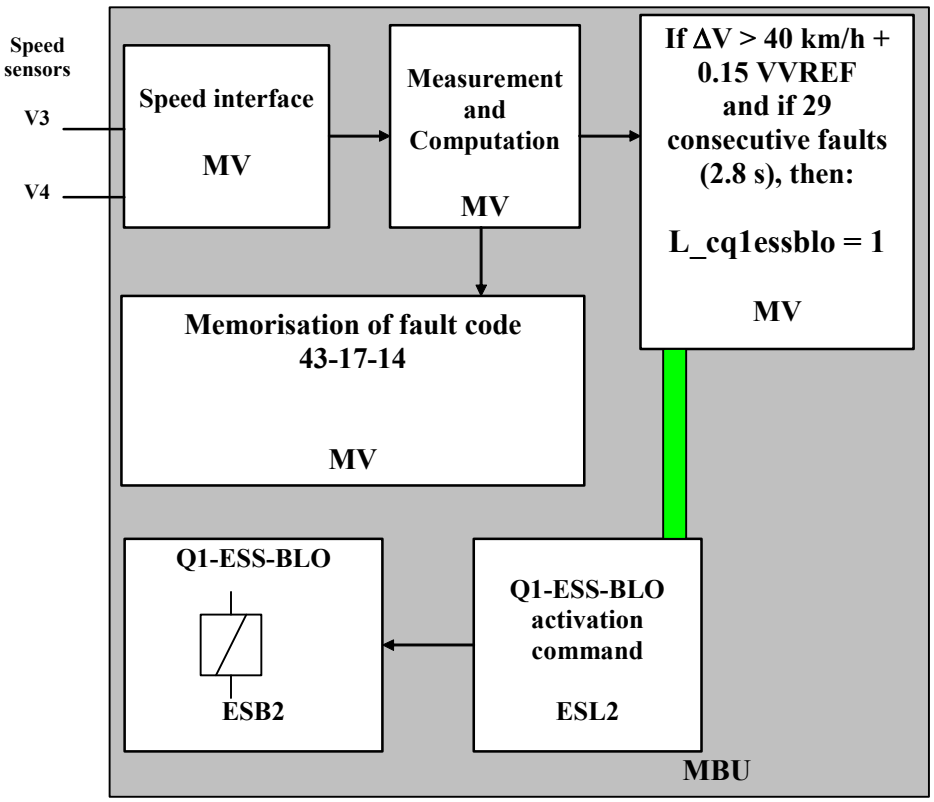
- 감지 원칙

NRE 장치의 올바른 작용은 ≪ non-presetting control ≫ 기능에 의해 감시된다. non-presetting 제어는 non-presetting 제어 시그널과 전자변 시그널, 전자변 리턴 시그널 사이의 불일치가 있는 경우 동작한다. 이 고장은 25 번의 연속적인 테스트(1s) 후, 다음과 같은 상태이면 저장된다.

RCPEB	PVAEB	Cde_valve_adm	Cde_valve_ech
0	0	1	1
0	0	1	0

(93) 43-17-14: 옆 대차 차축 고착 고장 감시

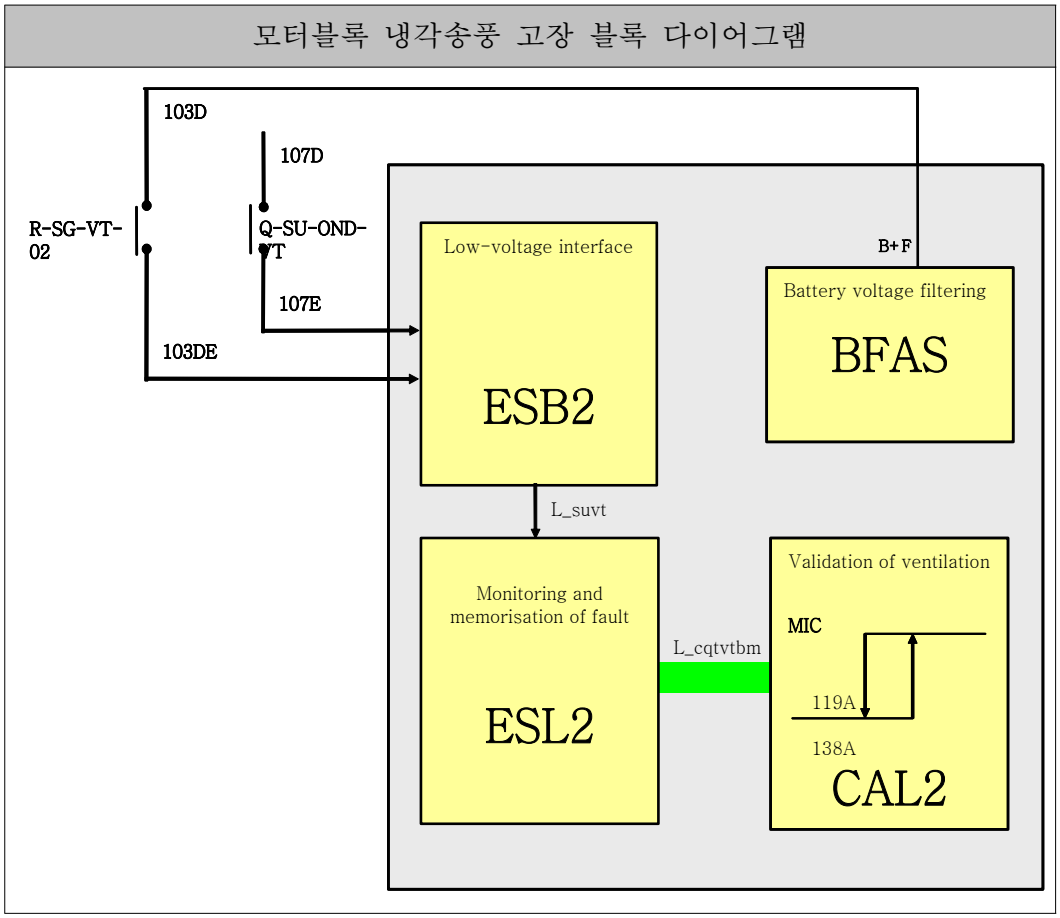
옆 대차 차축 고착 고장 감시 블록 다이어그램



- 감지 원칙

옆 대차의 차축속도(V3 및 V4)는 로컬 MBU의 차축 비회전 감지장치(NRE) 기능에 의해 감시된다. 차축3과 4의 속도와 기준속도(VVREF)와의 차이가 2.8 s 동안 > 40 km/h＊0.15 VVREF 이면, 옆 대차 차축의 고착(비회전)고장으로 저장된다.

(94) 45-18-01 : 모터블록 냉각송풍 고장



① 감지 원칙

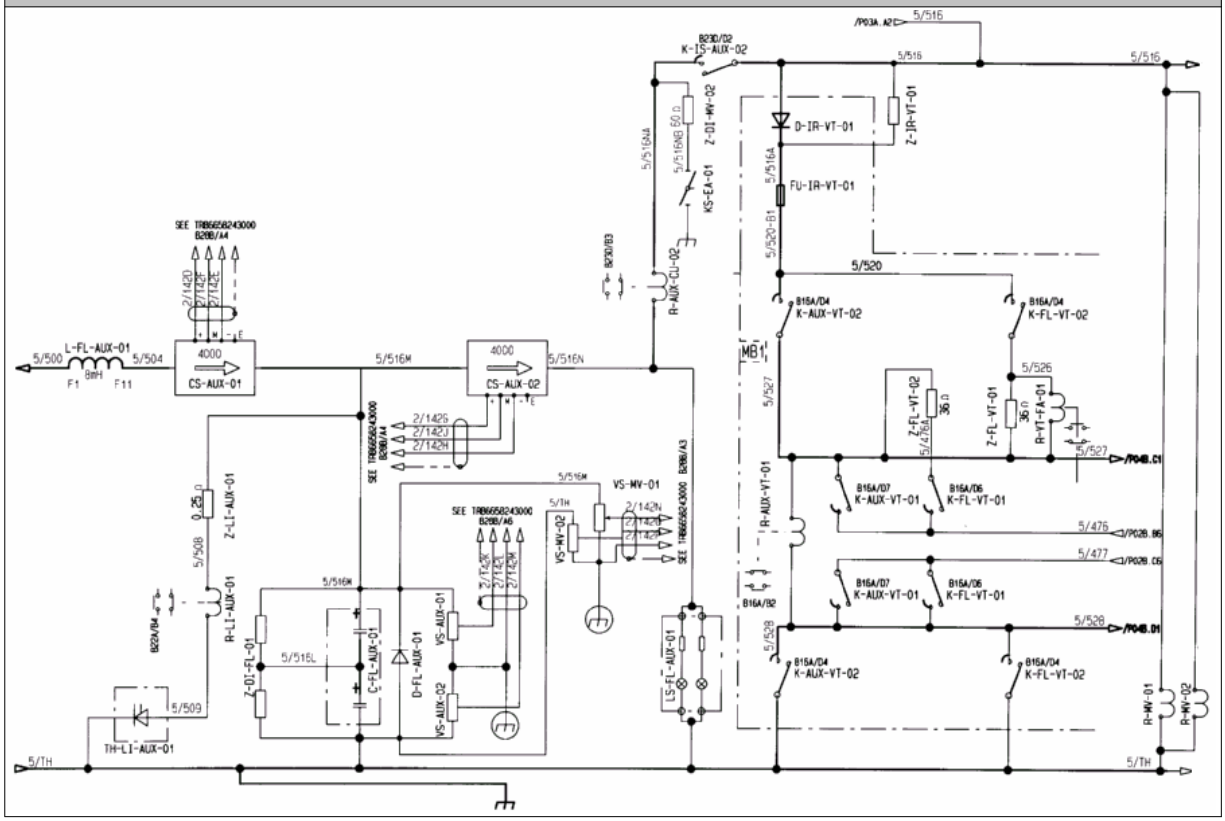
MB 송풍장치는 다음과 같이 각 MB의 각 장치 냉각을 하기위한 4 개의 송풍전동기 팬으로 구성되어 있다.

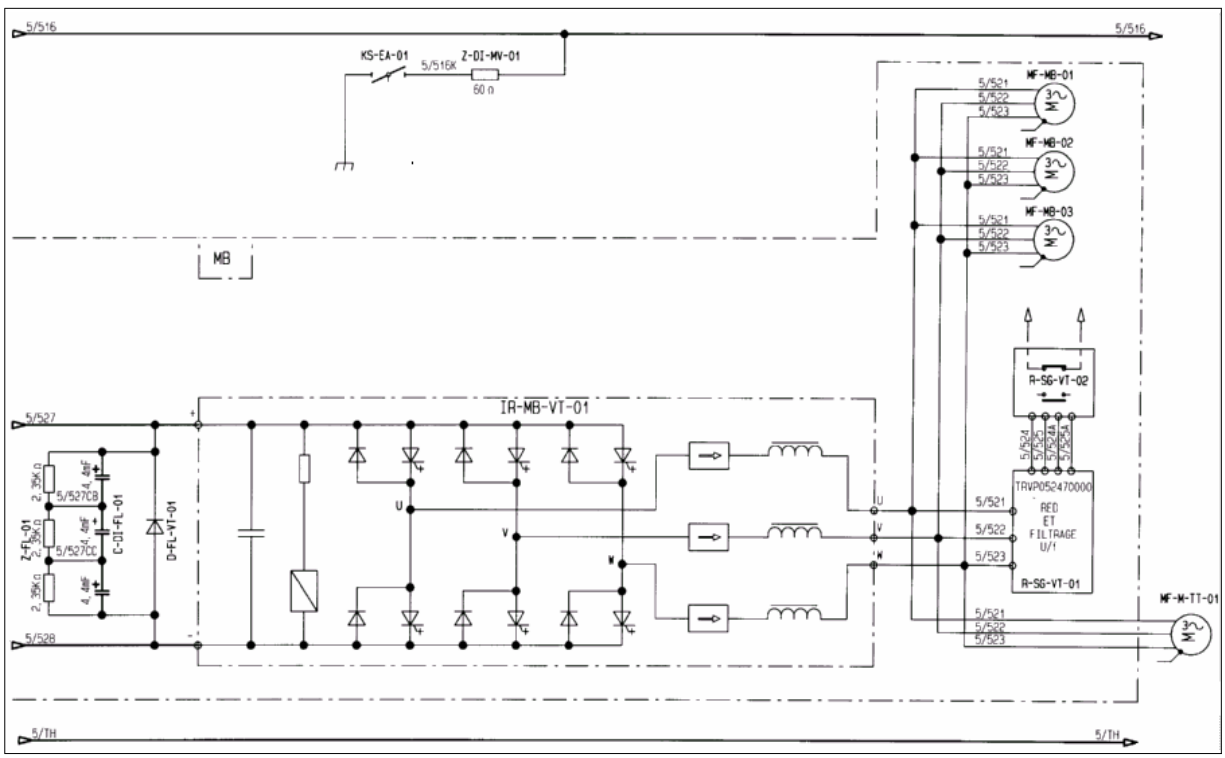
- 파워 유니트(냉각통) 및 제동 저항의 냉각을 위해 MB의 윗부분에 위치해 있는 3개의 모터블록 냉각송풍전동기 팬(MF-MB-01, MF-MB-02 및 MF-MB-03)
- 동력대차에 있는 2개의 견인전동기 냉각을 위한 1 개의 냉각송풍 전동기 팬 (MF-M-TT-01)

냉각송풍전동기들의 회전주파수는 30 kVA 송풍인버터(IR-MB-VT-01)를 통하여 MB 전자제어장치에 의해 결정된다. 송풍인버터는 견인 및 회생제동 모드에서는 570 V 전원에 의해 작동되고, 발전제동 모드에서는 제동저항 ZB-BK-02 양 단에서의 전압에 의해 작동된다.
MB의 냉각송풍은 MB 전자제어장치 및 일정한 U/F 비율 장치에 의해 감시된다. 송풍인버터 전원공급회로의 구성은 모터블록의 동작모드(견인 또는 제동 모드)에 따라 달라진다.
냉각송풍 고장은 변수 L_suvt = 1(모터블록 전자제어장치에 의해 감지된 고장 또는 플레이트 R-SG-VT-01을 통해 계전기 R-SG-VT-02에 의한 고장) 및 L_cqtvtBM = 1(냉각송풍전동

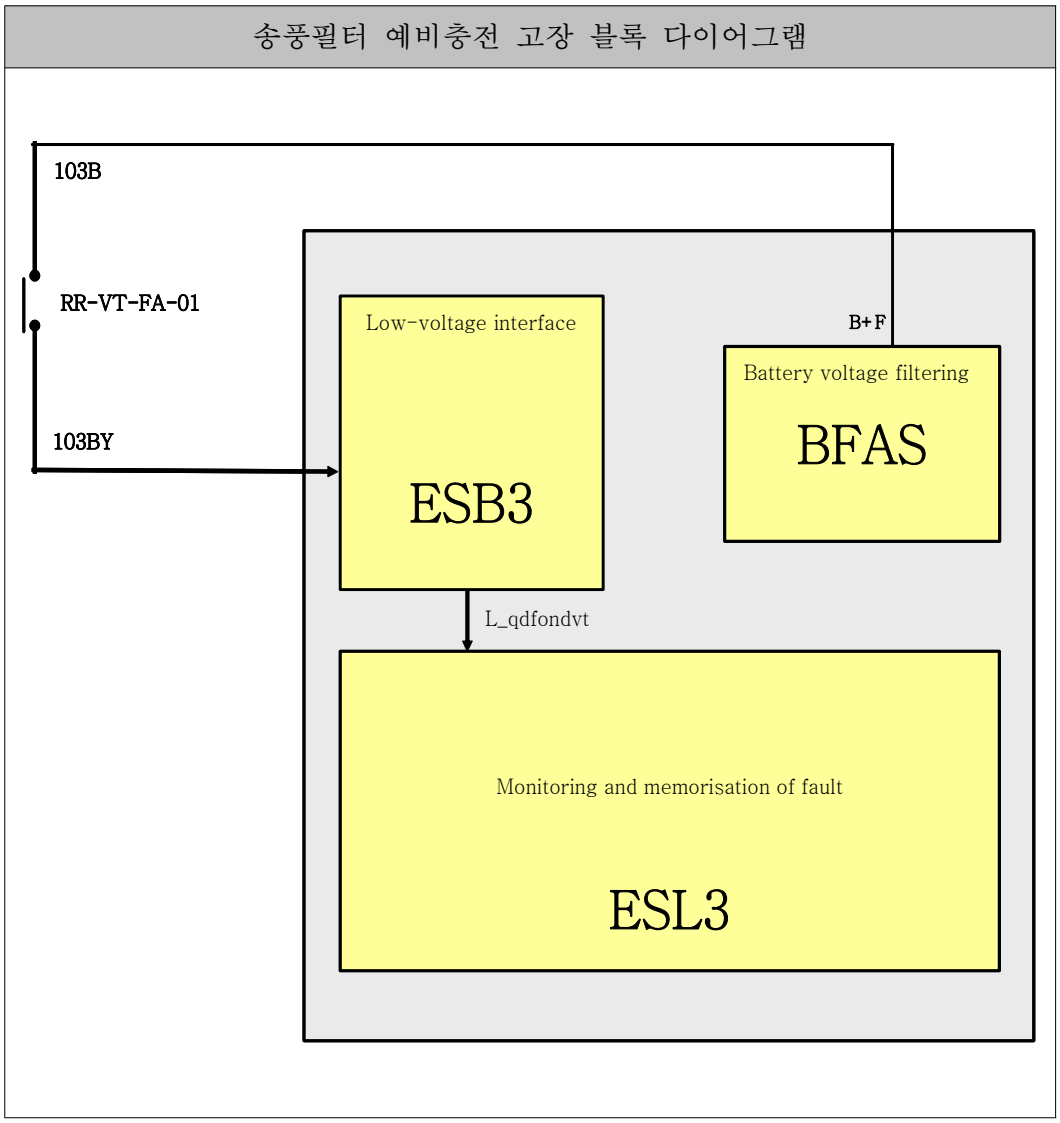
기 전류 > 138A) 및 MB가 Q2DF 또는 R-MB-FA-01에 의해 차단되지 않은 조건)일 때, 저장된다.

모터블록 냉각송풍 고장 블록 다이어그램





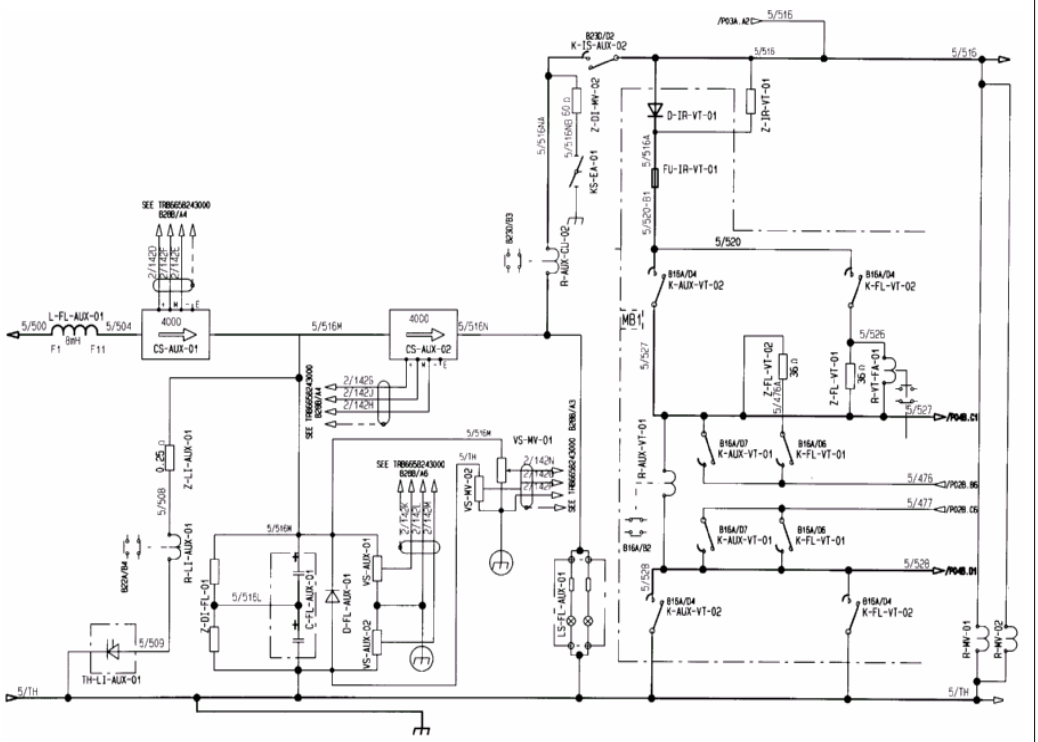
(95) 45-18-02 : 송풍필터 예비충전 고장

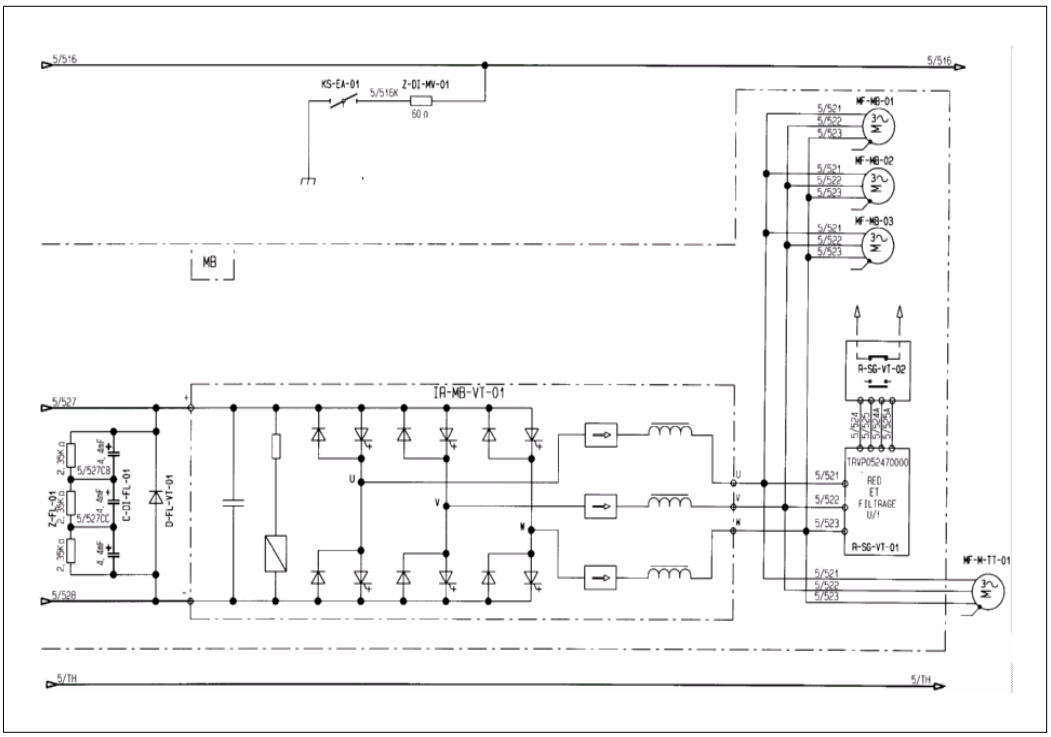


- 감지 원칙

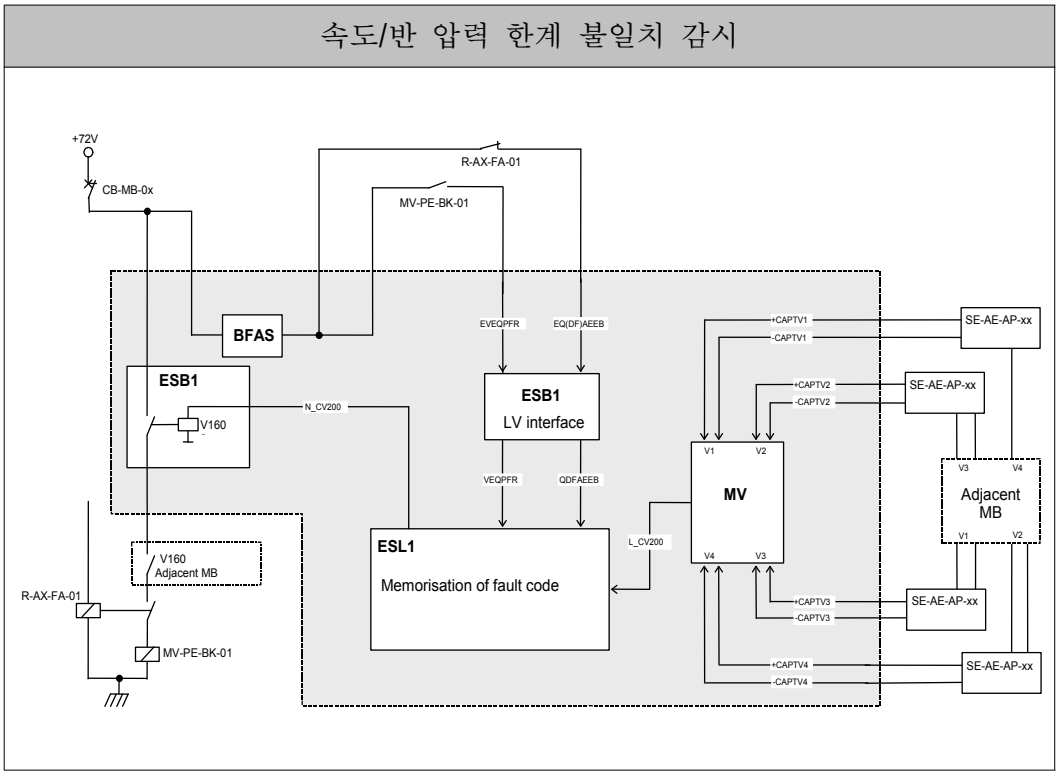
송풍 필터는 컨덴서 C-FL-VT-01로 구성되어 있다. 필터 예비충전은 회로에서, 저항(Z-FL-VT-01 또는 Z-FL-VT-02)을 삽입함으로써 컨덴서 부하전류를 제한하도록 해 준다. 예비충전이 완료 된 후, 접촉기 K-AUX-VT-01 및 K-AUX-VT-02는 장치를 금지하여(예비충전회로의 차단) 회로에 (저항없이) 동작전압을 공급한다. 계전기 RR-VT-FA-01은 계전기 R-VT-FA-01의 전압이 예비충전이 시작된 후 500 ms 이상 지속되면 동작된다.

모터블록 송풍고장


5/516
5/516
5/516
K-LS-AUX-02
D-IR-VT-01
Z-IR-VT-01
Z-DI-MV-02
KS-EA-01
FU-IR-VT-01
5/520
R-AUX-CU-02
B15A/D4
K-AUX-VT-02
B15A/D4
K-FL-VT-02
MB1
5/527
5/526
Z-FL-VT-02
Z-FL-VT-01
R-VT-FA-01
L-FL-AUX-01
5/500
5/504
CS-AUX-01
CS-AUX-02
5/516M
5/516N
B15A/D7
K-AUX-VT-01
B15A/D6
K-FL-VT-01
IR-AUX-VT-01
5/475
5/477
5/528
B16A/B2
LS-FL-AUX-01
R-MV-01
R-MV-02
VS-MV-01
VS-MV-02
R-LI-AUX-01
Z-LI-AUX-01
Z-DI-FL-01
C-FL-AUX-01
D-FL-AUX-01
VS-AUX-01
VS-AUX-02
5/509
TH-LI-AUX-01
5/TH
5/TH


5/516
5/516
KS-EA-01
Z-DI-MV-01
5/516K
50 Ω
MB
MF-MB-01
MF-MB-02
MF-MB-03
5/521
5/522
5/523
R-SG-VT-02
IA-MB-VT-01
5/527
5/528
Z-FL-01
C-DI-FL-01
D-FL-VT-01
5/527CB
5/527CC
TRW052470000
RED
ET
FILTRAGE
U/I
R-SG-VT-01
MF-M-TT-01
5/TH
5/TH

(96) 43-51-03 : 속도/반 압력 한계 불일치 감시

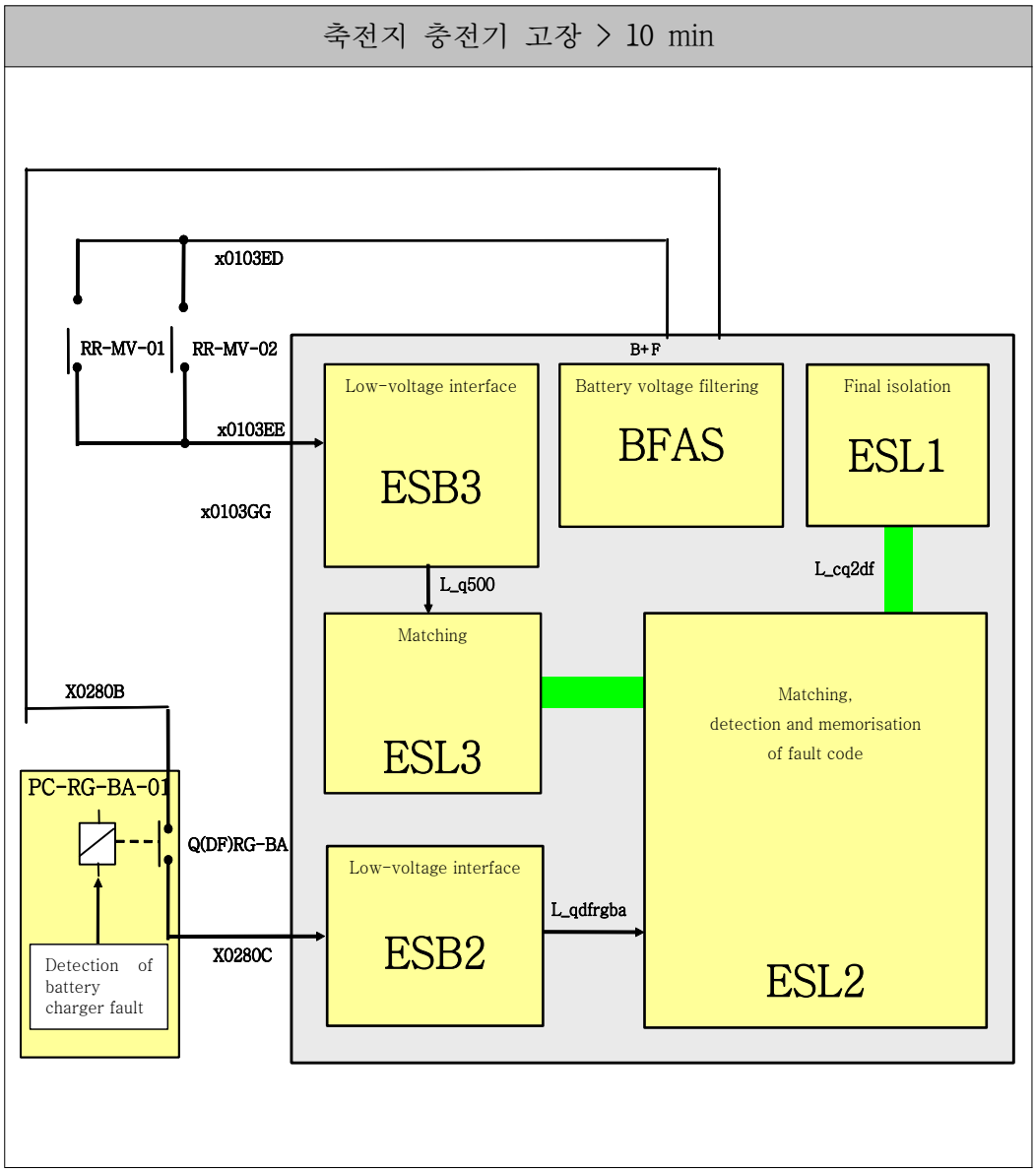


- 감지 원칙

열차속도가 156 km/h보다 낮을 때, 제동 시린더(제동통)에 적용되는 압력은 최대로 된다. 160 km/h 이상의 속도에서, MB 전자제어장치는 반압력으로의 전환을 제어한다.

이 시스템(모터블록 전자제어장치)은 열차속도가 210 km/h 이상일 때, Vvref > 10 km/h 이고 활주방지장치 기능 및 차축비회전감지장치 기능의 완전고장이 없는 조건에서 100 km/h 이하일 때만 이 정보의 일치성을 감시한다.

(97) 45-72-02 : 축전지 충전기 고장 > 10 MIN



- 감지 원칙

동력차의 축전지 충전기의 전자제어장치는 축전지 충전장치의 내부 동작을 감시한다. PC-RG-BA-01에 의해 고장이 감지되면, 계전기 Q(DF)RGBA가 활성화되어 해당 MB 전자제어장치에 축전지 충전기에 고장이 있음을 알려준다. MB가 시나리오 1000에 있고 570 V가 존재하며 그 MB가 완전 차단되지 않았으면, 601번의 테스트(10 min) 후에, 그 MB는 계전기 Q2DF의 비활성화를 통하여 완전 차단된다.

제 3 절 시험일반

1. 시험 종류

가. 공장시험

1) 전력변환장치 저압시험

전력변환장치의 저압시험 내용은 다음과 같다.

① VCB LOCAL CONTROL

② COMMAND AND CONTROL 1 ~ 10

③ MOTOR BLOCK LOGIC 1 ~ 5

④ MOTOR BLOCK VENTILATION, LIGHTING AND SANDING

2) 전력변환장치 고압시험

전력변환장치의 고압시험 내용은 다음과 같다.

① 검사 :

- 외관 및 치수감사
- 중량측정

② 절연저항 및 내전압 시험

③ 시퀀스 시험

- 역행 시퀀스 시험
- 회생 제동 시퀀스 시험
- 발전 제동 시퀀스 시험

④ 고압 및 기동 시험

- 제어장치 전원변동 시험
- 제어장치 전원중단 시험
- 가선 입력전압 변동 시험
- 가선 입력전압 정전 시험

⑤ 보호 동작 시험

- 임의 고장 시험

⑥ 토크 특성 시험

- 역행 토크 시험
- 제동 토크 시험

⑦ 발전 제동 시험

⑧ 온도 상승 시험

⑨ 소음 측정 시험

⑩ 제어기(기존품) 조합시험

나. 현차시험

1) 큐브류 5종(7점) 현차시험

모터블록내 CUBE류의 연결과 전압 및 전류의 측정에 대한 접속은 다음과 같으며 측정은 절연된 전압/전류 센서를 사용하여 측정한다. 시험내용은 다음과 같다.

① 필터 리액터 출력 전류 : 전동기에 공급되는 토크성분의 전류를 계산가능
② 역률제어장치(PFC) 전류 : 역률제어장치의 기동/정지 시점에 대한 조사, 최대 허용전류의 크기 등을 조사하기 위함
③ 인버터 1 출력 전류 : 인버터 출력 전류 형태 파악
④ 제동초퍼 전류 : 제동시 제동초퍼에 흐르는 전류 파악
⑤ 여자초퍼 전류 : 견인모터 여자코일에 흐르는 전류 파악
⑥ 큐브 온도 측정 : 컨버터, 인버터, 역률개선장치, 여자초퍼, 제동초퍼용 큐브 외함 온도 조사

2) 전력변환장치(제어기제외) 현차시험

KTX 고속차량 모터블록에 적용될 국산화 모터블록(MBU 제외)의 신뢰성 확보를 위하여 현자시험을 실시한다. 시험내용은 다음과 같다.

① 검사 :
- 외관 및 설치 상태 검사

① 시험 :
- 정적시험(검수고) 및 동적시험(구내 및 본선 시운전)

2. 공장내 조합시험

가. 전력변환장치 저압시험

1) 개요

가) 적용범위

국가 R&D 미래철도기술개발사업『최신 반도체 소자를 이용한 고속철도차량용 추진제어 기술개발』연구과제에서 개발하는 KTX용 추진제어장치(이하 “모터블록”이라 한다) 조립체의 전기적 저압회로 확인을 위한 저압시험에 대하여 적용한다.

나) 관련자료

자료/도면번호	제 목	개정번호	개정일자
K611-11143-E1332-RT-098	LOW VOLTAGE WIRING DIAGRAM MOTOR BLOCK		

다) 용어의 정의

번호	기 기 명	용 어 설 명
1	CB-CS-VCB-01	CLOSING VCB MINIATURE CIRCUIT BREAKER 01
2	CB-SI-DIS-01	SIGNALLING BRAKE PIPE DISCRIPENCY CIRCUIT BREAKER
3	CB-SL-MB-04~06	SUPPLY MOTOR BLOCK MINIATURE CIRCUIT BREAKER 04~06
4	CC-IS-MB-01	MOTOR BLOCK CUT OFF COCK
5	C-DI-FL-01	DISCHARGE FILTERING CAPACITOR 01
6	C-EA-FA-01	EARTHING FAILURE CAPACITOR 01
7	C-FL-EX-01,02	FILTER EXCITATION CAPACITOR 01,02
8	CHK-SL-MB-03	MOTOR BLOCK 3 OUTPUT LIM APERTURE
9	CHK-SY-FI-02	FIRE DETECTION OUTPUT LIM CHOKE
10	CHK-SY-FI-02	FIRE DETECTION OUTPUT LIM CHOKE
11	CO-BK-01	BREAKING CHOPPER 01
12	CO-EX-01	EXCITATION CHOPPER 01
13	C-PFC-01,2	POWER FACTOR CORRECTION CAPACITOR 01,02
14	CS-EX-01	EXCITATION CURRENT SENSOR 01
15	CS-TT-01	TRACTION (CONVERTER) CURRENT SENSOR 01
16	C-SW-01,02	SWITCHING CAPACITOR 01,02
17	C-TH-PFC-01,02	THYRISTOR POWER FACTOR CORRECTION CAPACITOR 01,02
18	CV-LH-MB-01,02	MOTOR BLOCK LIGHTING CONVERTER 01,02
19	CV-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION CONVERTER 01
20	CV-TT-01,02	TRACTION CONVERTER 01,02
21	D-BB-01	BRAKE BLENDING DIODE 01
22	D-BK-FA-01,02	BRAKE FAILURE DIODE 01,20

번호	기 기 명	용 어 설 명
23	D-CH-BA-01	BATTERY CHARGER DIODE 01
24	D-EB-CO-01,02	CONTROL ELECTRIC BRAKE DIODE 01,02
25	DE-EM-CO-01	EMERGENCY CONTROL TIME DELAY 01
26	DE-FL-VT-01	FILTER VENTILATION TIME DELAY 01
27	DE-MB-BA-01	MOTOR BLOCK BATTERY TIME DELAY 01
28	DE-SW-MB-01,02	SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY 01,02
29	D-FL-EX-01,02	FILTERING EXCITATION DIODE 01,02
30	D-FL-VT-01	FILTERING VENTILATION DIODE 01
31	D-IR-VT-01	VENTILATION INVERTER DIODE 01
32	D-MB-FA-01,02	MOTOR BLOCK FAILURE DIODE 01,20
33	D-PFC-01,02	POWER FACTOR CORRECTION DIODE 01,02
34	D-SL-EX-01	SUPPLY EXCITATION DIODE 01
35	D-TT-01	TRACTION DIODE 01
36	FU-CH-BA-01	CHARGE BATTERY FUSE 01
37	FU-IR-VT-01	INVERTER VENTILATION FUSE 01
38	FU-SL-EX-01	SUPPLY EXCITATION FUSE 01
39	FX-SL-MB-03	MOTOR BLOCK 3 SUPPLY HOSE
40	IR-MB-VT-01	INVERTER MOTOR BLOCK VENTILATION 01
41	IR-TT-01,02	INVERTER TRACTION 01,02
42	ISW-PFC-01	POWER FACTOR CORRECTION ISOLATING SWITCH 01
43	K-AUX-VT-01,02	AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 01,20
44	K-BA-EX-01	BATTERY EXCITATION CONTACTOR 01
45	K-BK-01,02	BRAKING CONTACTOR 01,02
46	K-EX-01,02	EXCITATION CONTACTOR 01,02
47	K-FL-VT-01,02	FILTERING VENTILATION CONTACTOR 01,02
48	K-MB-BA-01,02	MOTOR BLOCK BATTERY CONTACTOR 01,02
49	K-TT-01	TRACTION CONTACTOR 01
50	K-TT-BK-01~03	TRACTION BRAKE CONTACTOR 01~03
51	LF-MB-01~04	MOTOR BLOCK FLUORESCENT LAMP 01~04
52	L-LI-TG-01,02	LIMITATION G.T.O INDUCTOR 01,02
53	L-SB-MB-01	SWITCHING MOTOR BLOCK 01
54	MF-01	MOTOR FAN 01
55	MF-MB-01,02,03	MOTOR BLOCK MOTOR FAN 01,20,03
56	PB-RS-BK-01	RESETING AIR BRAKE PUSH BUTTON 01
57	PB-RS-MB-01	RESETING MOTOR BLOCK PUSH BUTTON 01
58	PB-RS-PFC-01	RESETING POWER FACTOR CORRECTION PUSH BUTTON 01
59	PS-FI-02	PRESSURE SWITCH
60	R-AUX-VT-01	AUXILIARY VENTILATION RELAY 01
61	R-AX-FA-01	AXLES FAILURE RELAY 01
62	R-BK-CU-01	BRAKING CURRENT RELAY 01
63	R-BK-SG-01	BRAKING SURGE RELAY 01
64	R-BP-DP-01,02	BRAKE PIPE DEPRESSION RELAY 01,02

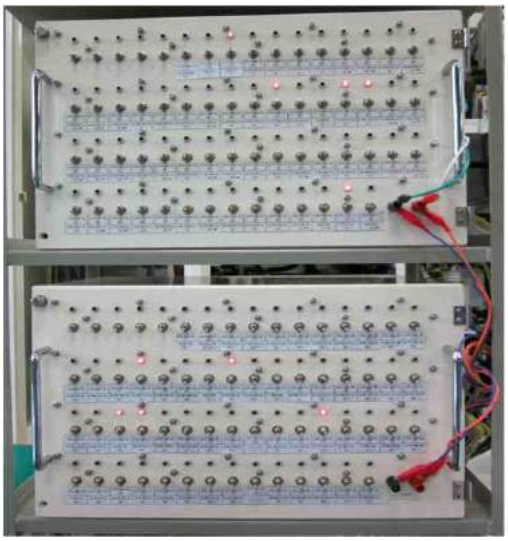
번호	기 기 명	용 어 설 명
65	R-CN-TT-01	CANCELLATION OFF TRACTION RELAY 01
66	R-CS-VCB-01	CLOSING CIRCUIT BREAKER RELAY 01
67	RD-EM-CO-01	EMERGENCY CONTROL TIME DELAY REALY 01
68	R-DN-OY-01,02	OVER INTENSITY DETECTION RELAY 01,02
69	R-DN-PFC-01,02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 01,02
70	RD-SW-MB-01,02	SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY RELAY 01,02
71	RD-VT-CO-01	VENTILATION CONTROL TIME DELAY 01
72	R-EA-FA-01,02	EARTHING FAILURE RELAY 01,02
73	R-EB-CO-01~04	ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 01~04
74	R-EX-CU-01	EXCITATION CURRENT RELAY 01
75	R-IS-MB-01	ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01
76	R-KB-FA-01	BRAKE FAILURE RELAY 01
77	R-MB-FA-01	MOTOR BLOCK FAILURE RELAY 01
78	R-MB-OK-01	MOTOR BLOCK RELAY 01
79	R-OP-PFC-01	OPENNING POWER FACTOR CORRECTION RELAY 01
80	R-PFC-FA-01	POWER FACTOR CORRECTION FAILURE RELAY 01
81	RR-AUX-VT-01	AUXILIARY VENTILATION REPETITION RELAY 02
82	RR-DN-OY-01,02	OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 01,02
83	RR-EA-FA-01	EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01
84	RR-FR-DIS-01	FORWARD-REVERSE DISCRIPENCY REPETITION RELAY 01
85	RR-PFC-FA-01	POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01
86	RR-VT-FA-01	VENTILATION FAILURE REPETITION RELAY 01
87	R-SG-VT-01,02	SURGE VENTILATION RELAY 01,20
88	R-SI-DIS-01	PRESSURE DISCRIPENCY RELAY 01
89	R-SL-FA-01	POWER SUPPLY FAILURE RELAY 01
90	R-SP-MB-01~03	SPEED MOTOR BLOCK RELAY 01~03
91	R-SW-MB-01	SWITCHING MOTOR BLOCK RELAY 01
92	R-TT-BK-01,02	TRACTION BRAKING RELAY 01,02
93	RV-MB-01	MOTOR BLOC RESERVOIR
94	R-VT-FA-01	VENTILATION FAILURE RELAY 01
95	SG-BA-01	BATTERY SPARK GAP 01
96	S-LH-MB-01	MOTOR BLOCK LIGHTING SWITCH
97	SW-IS-MB-01	ISOLATING MOTOR BLOCK SWITCH 01
98	SW-IS-PFC-01	ISOLATING POWER FACTOR CORRECTION SWITCH 01
99	T-DN-PFC-01,02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION TRANSFORMER 01,20
100	TH-CV-TT-01~04	TRACTION CONVERTER THYRISTOR 01~04
101	TH-IR-TT-01~06	TRACTION INVERTER THYRISTOR 01~06
102	TH-SW-01,02	SWITCH THYRISTOR 01,02
103	T-IR-CU-01~06	INVERTER CURRENT TRANSFORMER 01~06
104	T-MO-01~06	MOTOR TRANSFORMER 01~06
105	T-SE-HV-01	SENSING HIGH VOLTAGE TRANSFORMER 01
106	VA-CK-MB-01	MOTOR BLOC SUPPLY CHECK VALVE

번호	기 기 명	용 어 설 명
107	VS-EX-01~04	EXCITATION VOLTAGE SENSOR 01~04
108	VS-IR-TT-01~04	TRACTION INVERTER VOLTAGE SENSOR 01~04
109	VS-MT-01,02	MAIN TRANSFORMER VOLTAGE SENSOR 01,20
110	VS-PFC-01~04	POWER FACTOR CORRECTION VOLTAGE SENSOR 01~04
111	VS-SW-01~04	SWITCHING VOLTAGE SENSOR 01~04
112	VS-TT-01,02	TRACTION VOLTAGE SENSOR 01,20
113	Z-BA-EX-01	EXCITATION BATTERY RESISTANCE 01
114	ZB-BK-01,02	BRAKING RHEOSTAT 01,02
115	Z-CO-VT-01	CONTROL VENTILATION RESISTOR 01
116	Z-DI-EX-02,03	DISCHARGE EXCITATION RESISTANCE 01,03
117	Z-DI-PFC-01~04	POWER FACTOR CORRECTION DISCHARGE RESISTANCE 01~04
118	Z-DN-OY-01,02	OVER INTENSITY DETECTION RESISTANCE 01,20
119	Z-DN-PFC-01,02	POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RESISTANCE 01,02
120	Z-EA-FA-01	EARTHING FAILURE RESISTANCE 01
121	Z-EM-BK-01	EMERGENCY BRAKING RESISTOR 01
122	Z-EM-CO-01	EMERGENCY CONTROL RESISTOR 01
123	Z-EN-EX-01	ENERGISE EXCITATION RESISTANCE 01
124	Z-FL-01	FILTERING RESISTANCE 01
125	Z-FL-EX-01	FILTERING EXCITATION RESISTANCE 01
126	Z-FL-VT-01,02	FILTERING VENTILATION RESISTANCE 01,02
127	Z-IR-CU-01~06	INVERTER CURRENT RESISTANCE 01~06
128	Z-LI-TG-01,02	LIMITATION G.T.O RESISTANCE 01,20
129	Z-SI-DIS-01	BRAKE PIPE DISCRIPENCY RESISTOR 01
130	Z-SW-BK-01	SWITCHING BRAKE RESISTOR 01
131	Z-TH-PFC-01,02	POWER FACTOR CORRECTION THYRISTOR RESISTANCE 01,02

2) 시험항목

구분	시험항목	측정위치	비 고
검사	VCB LOCAL CONTROL	각 시험대상 계전기	
	COMMAND AND CONTROL 1 ~ 10	각 시험대상 계전기	
	MOTOR BLOCK LOGIC 1 ~ 5	각 시험대상 계전기	
	MOTOR BLOCK VENTILATION, LIGHTING AND SANDING	각 시험대상 계전기	

3) 측정장비



모터블록 저압회로 전용시험기



모터블록 저압회로 시험

구분	장비명	장비사양	용도	수량	보유기관
시험	저압 회로 시험기		회로검사	1	㈜우진산전
	DIGITAL MULTIMETER	FLUKE177	전압 측정용	1	㈜우진산전

4) 시험조건

가) 온도 조건

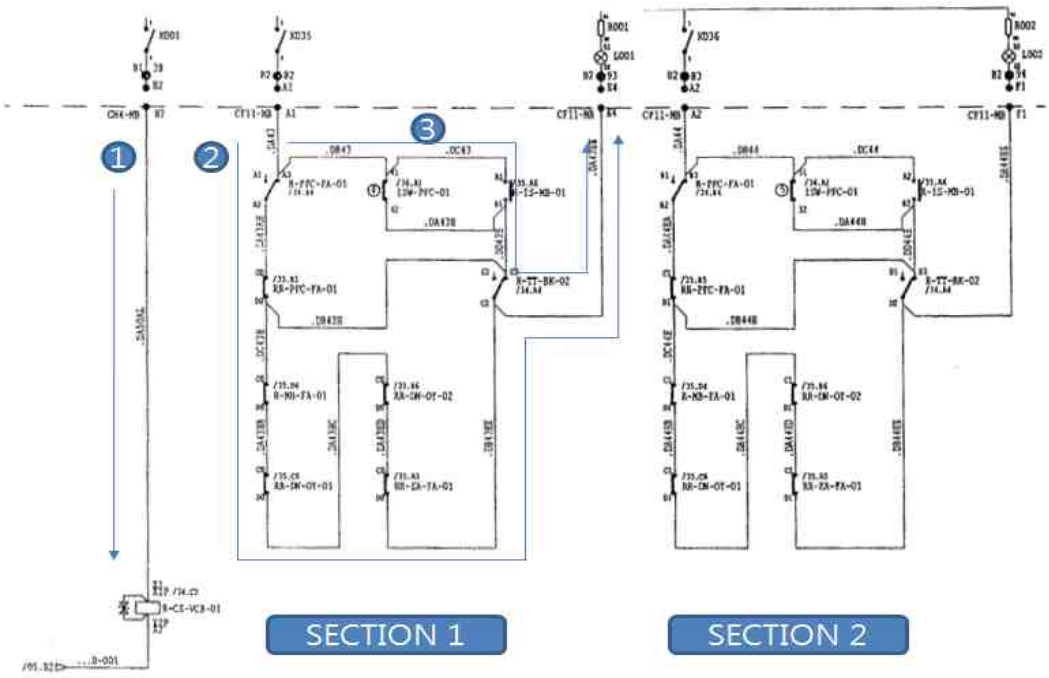
시험장소의 온도가 15℃~30℃ 범위 내에서 시행한다.

나) 시험 중지 조건(Stop Condition)

아래 시험방법 및 평가기준에서 수행하는 모든 시험에 대해 합격기준에 도달하지 않았거나, 시험도중 고장 또는 사고가 발생된 경우 시험을 중지한다.

5) 저압시험 내용 및 평가기준

가) VCB LOCAL CONTROL



(1) 시험 1.

시험기의 CM4-MB-H2 SW를 ON시키고 R-CS-VCB-01(CLOSING CIRCUIT BREAKER RELAY 01) LED의 동작을 확인한다.

(2) 시험 2.(SECTION1,2 동시진행)

시험기의 CF11-MB-A1 과 CF11-MB-A2 의 SW를 ON 시키고 시험기의 CF11-MB-E4와 CF11-MB-F1의 SW를 ON 시켜 LED의 동작을 확인 한다.

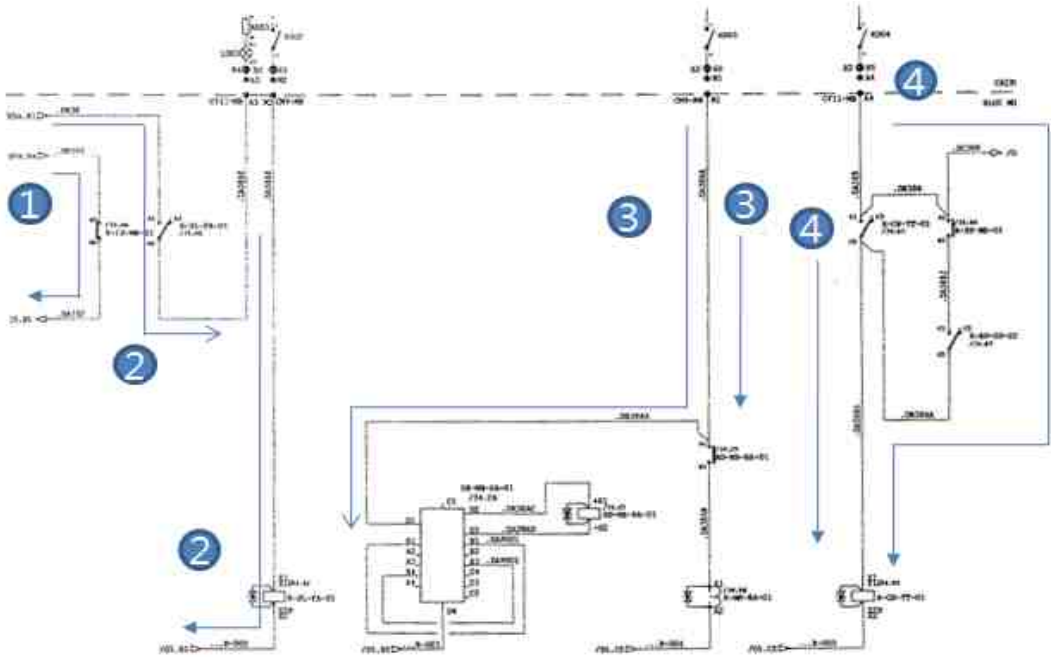
(3) 시험 3.(SECTION1,2 동시진행)

시험기의 CF11-MB-A1 과 CF11-MB-A2 의 SW를 ON 시키고 COMMAND AND CONTROL_9의 시험1을 적용하여 RR-PFC-FA-01 의 C0-D0간과 C1-D1간 점점을 “a“ 접점으로 동작 확인을 하고, MOTOR BLOCK LOGIC_2의 시험 8을 적용하여 R-MB-FA-01의 C0-D0간 과 C1-D1간 점점을 “a“ 접점으로 동작 시키고, COMMAND AND CONTROL_10의 시험 1-1을 적용 SW-PFC-01의 41-42간 과 31-32간 점점을 “a“접점으로 동작을 확인한다. 그 후 COMMAND AND CONTROL 4.의 시험 4-1을 적용해서 R-IS-MB-01의 A1-B1간 과 A2-B2간 점점을 “b“ 접점으로 동작 확인을 하고 CF11-MB-E4 와 CF11-MB-F1의 SW를 ON 시켜 LED의 동작을 확인 한다.

(4) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	R-CS-VCB-01 동작 확인	육안	
2	CF11-MB-E4 LED의 동작 확인 CF11-MB-F1 LED의 동작 확인	육안	
3	RR-PFC-FA-01 "a" 접점 확인 R-MB-FA-01 "a" 접점 확인 ISW-PFC-01 "a" 접점 확인 R-IS-MB-01 "b" 접점 확인 후 CF11-MB-E4 / CF11-MB-F1 LED의 동작 확인	테스터 육안	

나) COMMAND AND CONTROL 1.



(1) 시험 1.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON시 이때 R-IS-MB-01의 C0-M0간 “b“접점이 도통되는지 확인 한다

(2) 시험 2.

시험기의 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON하고, 시험기 CM9-MB-M2 SW를 ON시 R-SL-FA-01(POWER SUPPLY FAILURE RELAY 01)의 동작을 확인 후 시험기 CF11-MB-A3 SW를 ON시 시험기의 CF11-MB-A3 LED가 점등되는지 확인한다.

(3) 시험 3.

시험기의 CM9-MB-M1 SW를 ON시 DE-MB-BA-01(MOTOR BLOCK BATTERY TIME DELAY 01) 동작을 LED로 확인 2초후 RD-MB-BA-01 (MOTORBLOCK BATTERY TIME DELAY RELAY 01)이 동작하는지 LED로 확인하며 K-MB-BA-01(MOTOR BLOCK BATTERY CONTACTOR 01)이 동작하는지 확인한다.

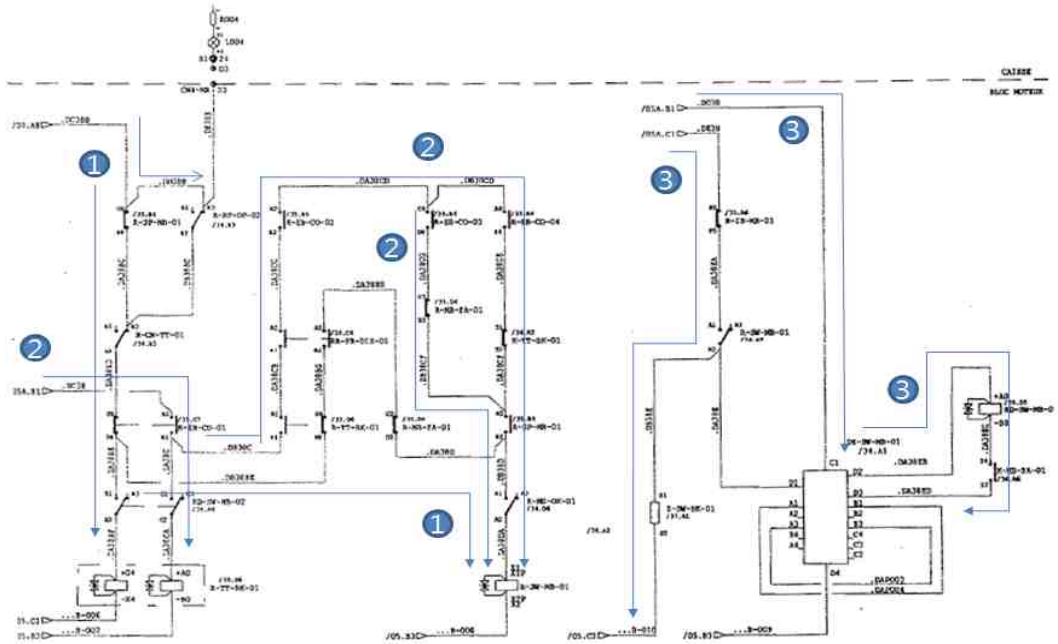
(4) 시험 4.

시험기의 CM11-MB-A4, CM4-MB-N4, CF11-MB-J2 SW를 ON시 R-CN-TT-01 (CANCELLATION OFF TRACTION RELAY 01) 동작을 LED로 확인 후 CM4-MB-N4, CF11-MB-J2 SW를 OFF시에도 R-CN-TT-01 LED가 ON 되어 있는지 확 인한다.

(5) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	R-IS-MB-01의 C0-M0간 "b"접점 도통확인	육안	
2	R-SI-FA-01 RELAY LED 동작확인 R-SI-FA-01 A1-A2 “b"접점 동작확인	육안	
3	DE-MB-BA-01 RELAY LED 동작확인 DE-MB-BA-01 RELAY LED 동작확인 KE-MB-BA-01 CONTACTOR 동작확인	육안	
4	R-CN-TT-01 RELAY LED 동작확인 R-CN-TT-01 RELAY 자기유지동작확인	테스터 육안	

다) COMMAND AND CONTROL 2.



(1) 시험 1.

① 시험기의 CF11-MB-A4(+전원) SW를 ON시키고, CM4-MB-D3의 스위치 ON시 LED가 동작 하는지 확인한다.

② ①의 시험 확인 후 RD-SW-MB-02 (CF10-MB A1 SW ON)가 동작 하여 B1-B2간 “b” 접점으로 동작 시킨 후 R-TT-BK-01 (G4+전원)이 동작하는지 확인한다.

③ ②의 시험 확인 후 RR-FR-DIS-01(CM4-MB P1)의 SW ON 시 으로 A2-B2간 “b” 접점 으로 동작 시킨 후, R-MB-OK-01(CM4-MB A1)의 SW ON 시 A1-A2간 “b” 접점 으로 동작 R-SW-MB-O1의 동작을 확인 한다.

(2) 시험 2.

① 모든 동작을 원상태로 복귀 후 시험기의 CF10-MB A1에 SW ON 하고, R-EB-CO-01(CF11-MB B3)의 전원을 투입 하여 a접점에서 b접점으로 바뀌는 지 확인 하고, RD-SW-MB-02(CF10-MB A1에 전원을 인가 하면 상시 동작)이 동작하여 C1-C2간 “b” 접점 으로 R-TT-BK-01 (A0+전원)이 동작하는지 확인한다.

② 모든 동작을 원상 복귀 후 시험기의 CF10-MB A1 SW ON 하고 R-EB-CO-02 (CF10-MB E4) SW를 먼저 투입 시켜준다. (시퀜스 상 RR-FR-DIS-01이 먼저 동작 하면 시험 진행이 안됨.)

그 후 R-EB-CO-01(CF11-MB B3)에 전원을 투입 하여 A1-B1간 “b” 접점 으로 동작 시킨 후 R-TT-BK-01 (A0+전원)이 동작 하여 A1-B1간 “b” 접점 으로 동작,

RR-FR-DIS-01(CM4-MB P1)에 SW ON 시 A1-B1간 “b” 접점 으로 동작 확인, R-EB-CO-04(CM4-MB R4) SW ON 시 A4-B4간 “b” 접점 으로 동작 확인, R-SP-MB-01(CM4-MB N4)의 SW ON 시 A2-B2간 “b” 접점 으로 동작확인. R-MB-OK-01 (CM4-MB A1)에 SW ON 시 A2-B2간 “b” 접점 으로 동작 확인 후에 R-SW-MB-01의 동작을 확인한다.

③ 모든 동작 원상 복귀 후 CF10-MB A1에 전원을 투입 하고 R-EB-CO-02의 전원을 먼저 투입 시켜준다. (시퀜스 상 RR-FR-DIS-01이 먼저 동작 하면 시험 진행이 안됨.)
그 후 R-EB-CO-01(CF11-MB B3)에 SW ON 시 A2-B2간 “b” 접점 으로 동작 확인하고 R-TT-BK-01 (A0+전원)이 동작 하여 a접점에서 b접점으로 바뀌고, RR-FR-DIS-01(CM4-MB P1) SW ON 시 A1-B1간 b” 접점으로 동작 확인, R-EB-CO-03는 동작하여 접점이 바뀐 상태 이므로, (시퀜스상 R-EB-CO-01 이 동작하여 R-EB-CO-03도 같이 동작함. COMMAND AND CONTROL 4에서 확인) R-SP-MB-01(CM4-MB N4)의 SW ON 시 A2-B2간 “b” 접점 으로 동작 확인, R-MB-OK-01 (CM4-MB A1)에 SW ON 시 A2-B2간 “b” 접점 으로 동작 확인 후에 R-SW-MB-01의 동작을 확인한다.

다) 시험 3.

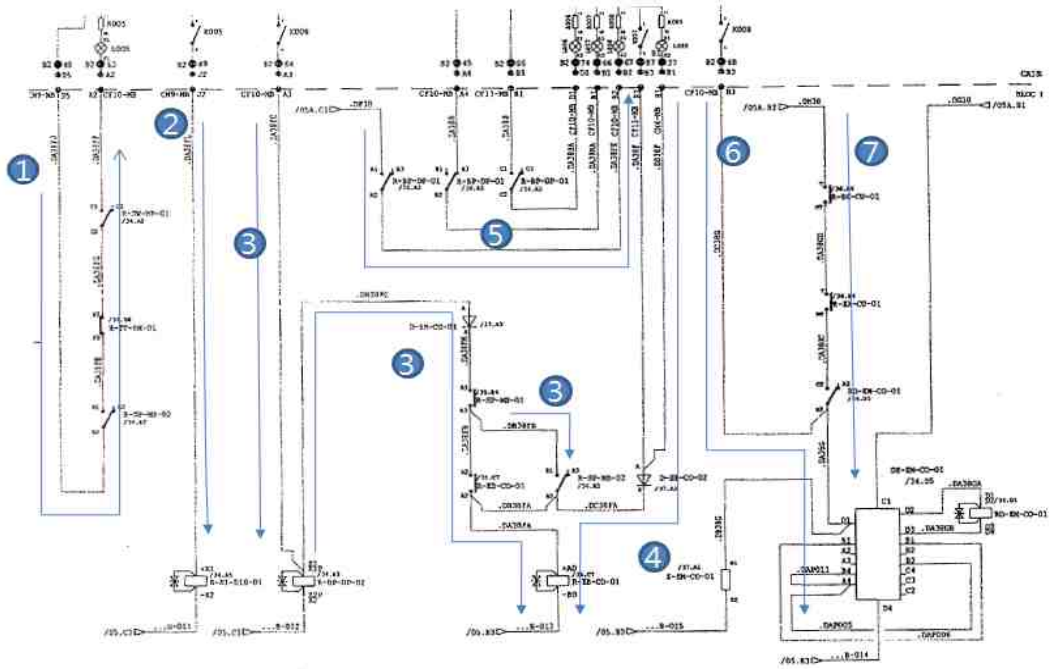
① CF10-MB A1에 전원을 투입 하고, R-IS-MB-01 “b” 접점 E0-FO간 동작 확인. 시험 1의 ③시험을 하여 R-SW-MB-01의 전원을 투입. Z-SW-BK-01 과 DE-SW-MB-01에 C1,D1에 전원이 인가 되었는지 확인 한다. 그 후 K-MB-BA-01(CM9-MB M1)에 전원을 투입 RD-SW-MB-01이 동작 하는지 확인한다.

② DE-SW-MB-01과 RD-SW-MB-01 의 동작 확인 후 모든 전원 차단.

(3) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	CM4-MB-D3의 스위치 ON시 LED 동작 확인 R-TT-BK-01 RELAY (G4+전원) LED 동작확인 R-SW-MB-O1 RELAY LED 동작확인	육안	
2	R-TT-BK-01 RELAY (A0+전원) LED 동작확인 R-SW-MB-01 RELAY LED 동작확인	육안	
3	RD-SW-MB-01 RELAY LED 동작확인	육안	

라) COMMAND AND CONTROL 3.



(1) 시험 1.

CM9-MB D5에 전원을 투입 후 R-SP-MB-02(CM4-MB N5)의 SW ON 시 A1-B1간 “b” 접점 으로 동작 확인. COMMAND AND CONTROL 2 시험 1의 3)의 시험을 다시 진행하여 시험기 CF10-MB A2 SW ON 시 LED가 점등 되는지 확인한다.

(2) 시험 2.

CM9-MB J2에 SW ON 시 하여 R-SI-DIS-01에 LED가 점등 되는지 확인한다.

(3) 시험 3.

① CF10-MB A3에 SW ON 시 R-BP-DP-02에 LED가 점등 되는지 확인한다.

② ①번 확인 후 R-SP-MB-01(CM4-MB N4)에 SW ON 시 A3-B3간 “b” 접점 으로 동작 확인. R-SP-MB-02(CM4-MB N5)에 SW ON 시 A3-B3간 “ b” 접점 으로 동작 확인 후 R-EB-CO-01에 동작 하는지 확인 한다.

③ ②시험 확인후 R-SP-MB-02(CM4-MB N5)에 전원을 차단 하여도 R-EB-CO-01 이 자기 유지 되는지 확인 한다.

(4) 시험 4.

CF11-MB B3에 SW ON 시 시험기 CM4-MB H1 SW를 ON시킨 후 LED가 동작 되는지 확인 하고, R-EB-CO-01에 동작 되는지 확인한다.

(5) 시험 5.

① R-BP-DP-01(CM4-MB Q4)에 SW를 ON CF10-MB A1에 SW를 ON시킨 후 CF10-MB B2의 SW를 동작 시키면 LED가 동작 되는지 확인 한다.

② R-BP-DP-01(CM4-MB Q4)에 SW ON CF10-MB A4에 SW를 ON시킨 후 CF10-MB B1의 SW를 동작 시키면 LED가 동작 되는지 확인 한다.

③ R-BP-DP-01(CM4-MB Q4)에 SW ON CF11-MB B1에 SW를 ON시킨 후 CF10-MB D1의 SW를 동작 시키면 LED가 동작 되는지 확인 한다.

(6) 시험 6.

CF10-MB B3에 SW ON Z-EM-CO-01에 전원 확인, DE-EM-CO-01이 동작 하는지 확인 한다.

(7) 시험 7.

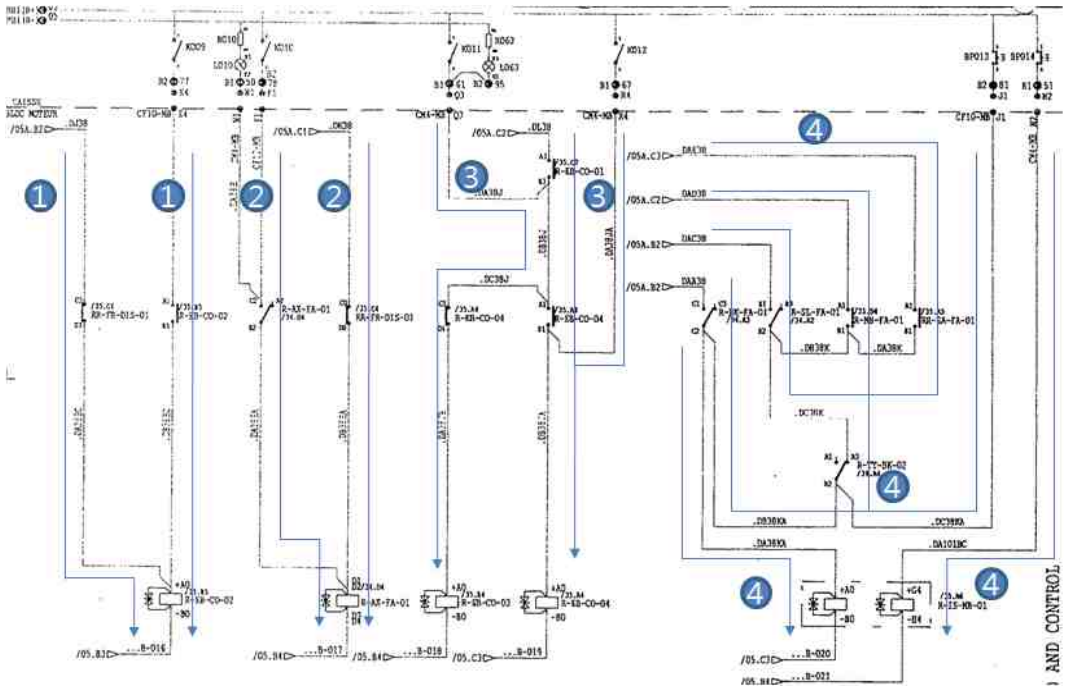
① 시험 6의 시험 확인 후 CF10-MB A1 SW ON시켜 DE-EM-CO-01과 RD-EM-CO-01이 동작 하고 RD-EM-CO-01의 B2-C2간 "b" 접점 으로 동작 확인 한다.

② ①의 시험 확인 후 CF10-MB A1에 SW ON CF10-MB B3에 SW OFF, R-BK-CU-01(BRAKING CURRENT RELAY 01) T-MT 간의 점퍼, R-EX-CU-01(EXCITATION CURRENT RELAY 01) T-MT간 점퍼를 시켜 도통후에 동작 상태를 확인한다.

(8) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	CM9-MB D5 라인에서 CF10-MB A2 라인으로 LED 동작확인	육안	
2	R-SI-DIS-01 RELAY LED 동작확인	육안	
3	R-BP-DP-02 RELAY LED 동작확인 R-EB-CO-01 RELAY LED 동작확인 R-EB-CO-01 RELAY가 자기유지 동작확인	육안	
4	R-EB-CO-01 RELAY LED 동작확인	육안	
5	R-BP-DP-01(CM4-MB Q4) 라인에서 CF10-MB B2의 라인으로 LED 동작확인 CF10-MB A4 라인에서 CF10-MB B1 라인으로 LED 동작확인 CF11-MB B1 라인에서 CF10-MB D1 라인으로 LED 동작확인	육안	
6	DE-EM-CO-01 RELAY LED 동작확인	육안	
7	DE-EM-CO-01과 RD-EM-CO-01 RELAY LED 동작확인	육안	

마) COMMAND AND CONTROL 4.



(1) 시험 1.

① 시험기의 CF10-MB-E4,CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON시 R-EB-CO-02 (ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 02)가 동작하는지 LED로 확인한다.
시험기의 CF10-MB-A1(+전원) SW를 OFF하여도 R-EB-CO-02 LED가 ON되어 자기유지가 되는지 확인 후 시험기 CF10-MB-E4 SW를 OFF 하였을 때 R-EB-CO-02 LED가 OFF되는지 확인한다.

② 시험기의 CF1-MB-A1(+전원)을 ON시켜 R-EB-CO-02가 동작하는지 LED로 확인한다.
이 상태에서 시험기의 CM4-MB-P1을 동작시켜 ON시 R-EB-CO-02 LED가 OFF되는지 확인한다.

(2) 시험 2.

① 시험기의 CF10-MB-F1,CM4-MB-N1 SW를 ON시 시험기 CM4-MB-N1 LED가 ON 되는지 확인한다.
시험기 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON DC 72V가 투입되면 R-AX-FA-01 LED가 점등되는지 확인한다.
다시 CF10-MB-A1(+전원) SW를 OFF시키면 R-AX-FA-01 LED가 점등된 상태로 자기유지를 하는지 확인한다.

② 시험기 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON DC 72V가 투입되면 R-AX-FA-01 LED가 점등되는지 확인한다.

다시 시험기 CM4-MB-P1 SW를 ON시키면 R-AX-FA-01 LED가 OFF되는지 확인한다.

(3) 시험 3.

① 시험기의 CM4-MB-R4 SW를 ON시 R-EB-CO-04(ELECTRICBRAKE CONTROL RELAY 04) LED가 ON되는지 확인한다.

② ①의 시험 완료상태에서 시험기 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON DC 72V가 투입되고 시험기의 CF11-MB-B3 SW를 ON시킨후 시험기의 CM4-MB-R4 SW를 OFF 시켜도 R-EB-CO-04 LED가 ON되어 자기유지 를 하는지 확인한다.

③ 시험기의 CM4-MB-Q3을 ON시키고 R-EB-CO-03(ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 03) LED가 ON되는지 확인한다.

시험기의 CM4-MB-R4 SW를 ON시 R-EB-CO-03 LED가 OFF되는지 확인한다.

(4) 시험 4.

① 시험기 CF10-MB-A1(+전원), CM4-MB-P4 SW를 ON시 R-IS-MB-01 (ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01) LED가 점등되는지 확인한다.(시험완료 후에는 시험기 CM4-MB-N2 SW를 ON하여 LATCH를 해제시켜 주어야 한다.)

② 시험기 CF10-MB-A1(+전원), CM9-MB-M2 SW를 ON시 R-IS-MB-01 (ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01) LED가 점등되는지 확인한다.(시험완료 후에는 시험기 CM4-MB-N2 SW를 ON하여 LATCH를 해제시켜 주어야 한다.)

③ 시험기 CF10-MB-A1(+전원), CM4-MB-P2 SW를 ON시 R-IS-MB-01 (ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01) LED가 점등되는지 확인한다.(시험완료 후에는 시험기 CM4-MB-N2 SW를 ON하여 LATCH를 해제시켜 주어야 한다.)

④ 시험기 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON, RR-EA-FA-01 A0, B0에 DC72V를 투입하여(참고도면 11쪽 시퀜스 시험) R-IS-MB-01 (ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01) LED가 점등되는지 확인한다.(시험완료 후에는 시험기 CM4-MB-N2 SW를 ON하여 LATCH를 해제시켜 주어야 한다.)

LED가 점등되는지 확인한다.(시험완료 후에는 시험기 CM4-MB-N2 SW를 ON하여 LATCH를 해제시켜 주어야 한다.)

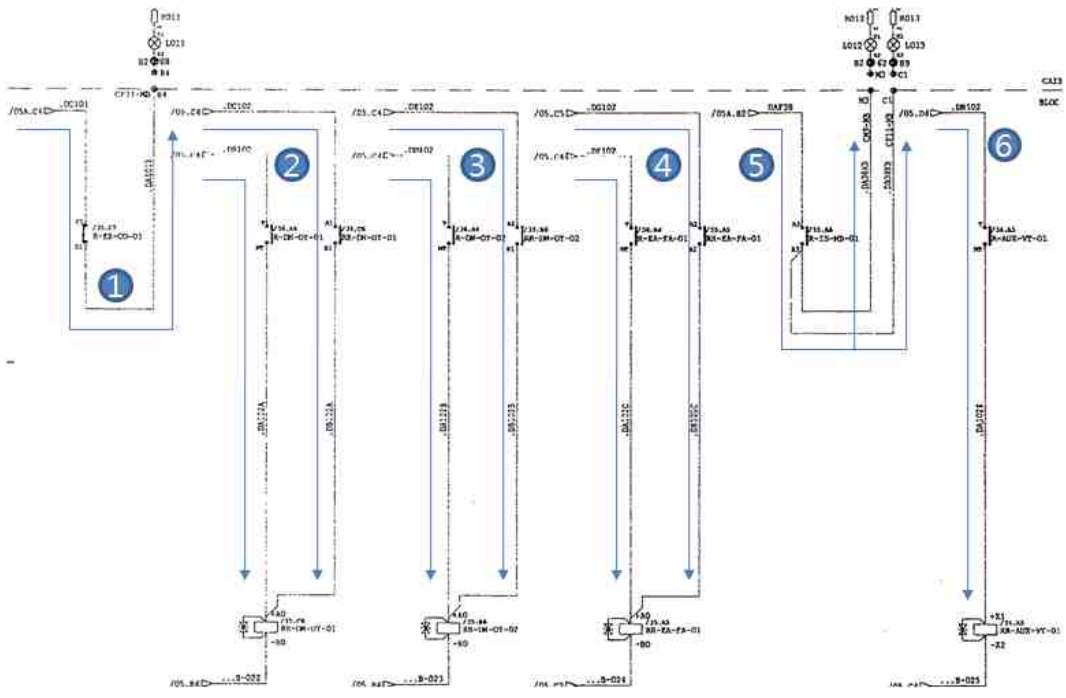
⑤ R-TT-KK-02 X1,X2에 DC72V를 투입하여(참고도면 13쪽 시퀜스 시험) R-TT-KK-02 LED가 동작하는지 확인후 시험④를 재실시 R-IS-MB-01 LED가 OFF되어 있는지 확인한다.

⑥ 시험기 CF10-MB-J1 SW 동작시 R-IS-MB-01 LED가 동작하는지 확인한다. (시험완료 후에는 시험기 CM4-MB-N2 SW를 ON하여 LATCH를 해제시켜 주어야 한다.)

(5) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	R-EB-CO-02 LED 동작확인 R-EB-CO-02 RELAY 자기유지 확인 R-EB-CO-02 A1-A2 "b"접점 동작확인	육안	
2	CM4-MB-N1 LED 동작확인 R-AX-FA-01 LED 동작확인 R-AX-FA-01 RELAY 자기유지 확인 R-AX-FA-01 A1-A2 "b"접점 동작확인	육안	
3	R-EB-CO-04 LED 동작확인 R-EB-CO-04 RELAY 자기유지 확인 R-EB-CO-03 LED 동작확인	육안	
4	R-BK-FA-01 동작시 R-IS-MB-01 LED 동작확인 R-LI-FA-01 동작시 R-IS-MB-01 LED 동작확인 R-MB-FA-01 동작시 R-IS-MB-01 LED 동작확인 RR-EA-FA-01 동작시 R-IS-MB-01 LED 동작확인 R-TT-KK-02 동작시 A2-A3 "a"접점 동작확인 CF10-MB-J1 SW 동작시 R-IS-MB-01 LED 동작확인 R-IS-MB-01 LACH 해제 동작확인	육안	

바) COMMAND AND CONTROL 5.



(1) 시험 1.

시험기의 CF9-MB-J3(+전원),CF11-MB-B4 SW를 ON시 CF11-MB-B4 LED가 ON되는지 확인한다. 이 상태에서 시험기의 CF11-MB-B3 SW를 ON R-EB-CO-01 C1-D1간 “a“ 접점을 동작 시켜 시험기 CF11-MB-B4 LED가 OFF 되는지 확인한다.

(2) 시험 2.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON시 R-DN-시키고 R-DN- OY-01 T-MT간 점퍼를 이용하여 Short 시키면 “b“접점이 동작하여 RR-DN-OY-01(OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 01) LED가 ON되는지 확인한다.

② 위의 상태에서 R-DN-OY-01 T-MT간 점퍼를 제거하여도 RR-DN -OY-01의 A1-B “a“ 접점은 자기유지에 의하여 RR-DN-OY-01 LED는 점등되는지 확인 한다.

③ 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 OFF시키면 RR-DN-OY-01 LED는 OFF 되는지 확인 한다. (R-DN-OY-01(OVER INTENSITY DETECTION RELAY 01)의 동작전원은 고압부와 연결되어 고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

(3) 시험 3.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON시 R-DN-OY-02 T-MT간 점퍼를 이용하여 Short 시키면 “b“접점이 동작 하여 RR-DN-OY-02 (OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 01) LED가 ON되는지 확인한다.

② 위의 상태에서 T-MT간 점퍼를 제거하여도 RR-DN-OY-02의 A1-B1 “a“ 접점은 자기유지에 의하여 RR-DN-OY-02 LED는 점등되는지 확인 한다.

③ 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 OFF시키면 RR-DN-OY-01 LED는 OFF 되는지 확인 한다.(R-DN-OY-02(OVER INTENSITY DETECTION RELAY 02)의 동작 전원은 고압부와 연결되어 고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

(4) 시험 4.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON시킨후 R-EA-FA-01 T-MT간 “b“접점을 점퍼를 이용하여 Short시키면 RR-EA-FA-01(EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01) LED가 동작하는지 확인한다.

② R-EA-FA-01 T-MT간 “b“접점을 점퍼를 제거하여도 RR-EA-FA-01 A1-B1 “a“ 접점은 자기유지에 의하여 RR-EA-FA-01 LED는 점등되어있어야 한다.

③ 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 OFF시키면 RR-DN-OY-01 LED는 OFF 되어야 한다. (R-EA-FA-01(EARTHING FAILURE RELAY 01)의 동작전원은 고압부와 연결되어

고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

(5) 시험 5.

시험기의 CM10-MB-A1(+전원),CM4-MB-N2 SW를 ON R-IS-MB-01 A3-B3간 “b“접점을 동작시킨후 CM9-MB-N3, CF11-MB-C2 SW를 ON시 CM9-MB-N3,CF11-MB-C2 LED가 동작하는지 확인한다.

(6) 시험 6.

시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON시킨후 R-AUX-VT-01 T-MT간 “b“접점을 점퍼를 이용하여 Short시키면 RR-AUX-VT-01(AUXILIARY VENTILATION REPETITION RELAY 01) LED가 동작하는지 확인 한다.

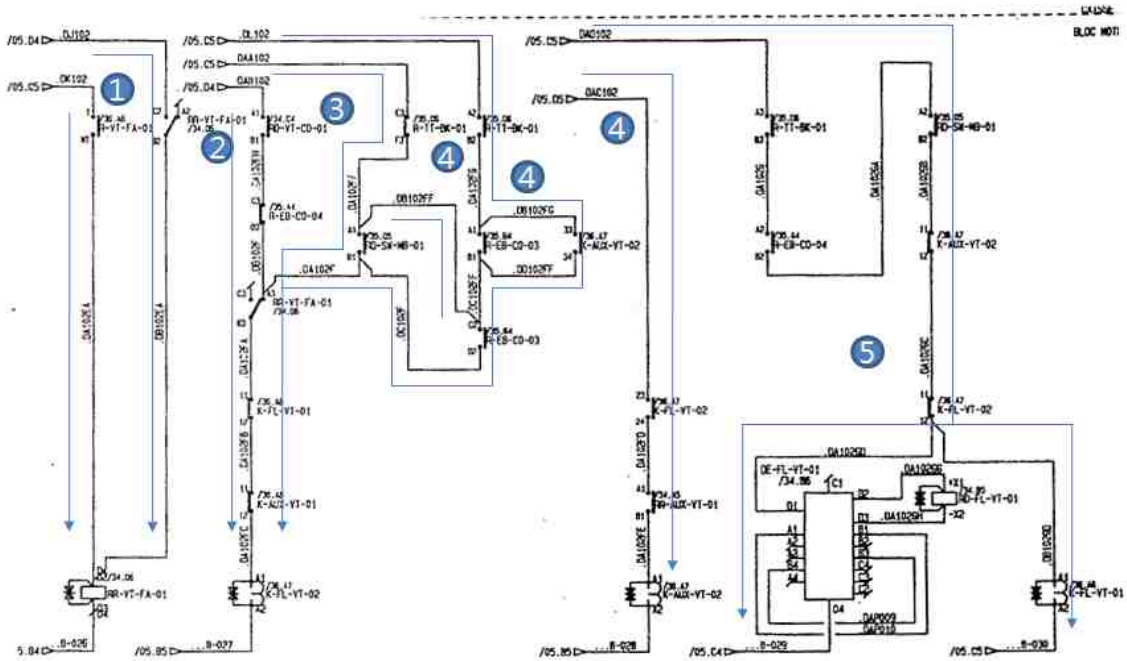
- (R-AUX-VT-01(AUXILIARY VENTILATION RELAY 01)의 동작전원은 고압부와 연결되어 고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

- (RR-AUX-VT-01(AUXILIARY VENTILATION REPETITION RELAY 01)의 동작 전원은 K-AUX-VT-01 CONTACTOR 고압부와 연결되어 고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

(7) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	CF11-MB-B4 LED 동작확인	육안	
2	RR-DN-OY-01 LED 동작확인 RR-DN-OY-01 자기유지 확인	육안	
3	RR-DN-OY-02 LED 동작확인 RR-DN-OY-02 자기유지 확인	육안	
4	RR-EA-FA-01 LED 동작확인 RR-EA-FA-01 자기유지 확인	육안	
5	CM9-MB-N3 LED 동작확인 CF11-MB-C2 LED 동작확인	육안	
6	RR-AUX-VT-01 LED 동작확인	육안	

사) COMMAND AND CONTROL 6.



(1) 시험 1.

시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON시키고 R-VT-FA-01 T-MT간 “b“접점을 점퍼를 이용하여 Short시키면 RR-VT-FA-01 (VENTILATION FAILURE REPETITION RELAY 01) LED가 동작하는지 확인한다.

위의 상태에서 R-VT-FA-01 T-MT간 “b“접점을 점퍼를 제거시에도 RR-VT-FA-01 LED가 자기유지를 하는지 확인한다. (R-VT-FA-01 (VENTILATION FAILURE RELAY01)의 동작전원은 고압부와 연결되어 고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

(2) 시험 2.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원),CM4-MB-H3 SW를 ON시키면 RD-VT-CO-01 A1-B1 간 “b“접점이 동작하여 K-FL-VT-02(FILTERING VENTILATION CONTACTOR 02) CONTACTOR가 동작하는지 확인한다.

② ①의 시험완료 상태에서 시험기 CM4-MB-R4 SW를 동작시켜 R-EB-CO-01 C3-D3 간 “a“접점을 OFF시 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 OFF 되는지 확인한다.

③ ②의 시험완료 상태에서 시험 1을 진행하여 RR-VT-FA-01 C3-B3간 “a” 접점을 OFF 시켜 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 OFF 되는지 확인한다.

K-FL-VT-01 11-12간 “a“접점 동작시험은 시험 5에서 실시함(K-FL-VT-01,02 시퀀스

는 연동됨) K-AUX-VT-01 11-12간 “a“접점 동작시험은 시험 5에서 실시함 (K-FL-VT-01,02 시퀜스는 연동됨)

(3) 시험 3.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON 후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험3의 ①번 시험을 실시 RD-SW-MD-01 LED 및 A1-B1간 “b“접점이 ON되었는지 확인 후 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 ON 되는지 확인 한다.

② 위의 시험 완료 상태에서 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험2의 ①번 시험을 진행하여 R-TT-BK-01 E3-F3간 “a“접점이 OFF되어 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 OFF되는지 확인한다.(시험 완료 후에는 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험1의 ②번 시험을 진행하여 R-TT-BK-01 LATCH를 해제시켜야 한다.)

(4) 시험 4.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON 후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험2의 ①번 시험을 진행하여 R-TT-BK-01 A2-B2간 “b“접점이 ON되고 시험기의 CM4-MB-Q3 SW를 ON시 R-EB-CO-03 A1-B1간,C2-D2간 “b“접점이 동작되었는지 확인 후 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 ON 되는지 확인한다.

② 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON ①번 시험 완료상태(K-FL-VT-02 CONTACTOR ON유지)에서 COMMAND AND CONTROL_5의 시험 6을 진행 하여 K-AUX-VT-02(AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 02)를 동작 시킨다.

③ ①번 시험 완료상태(K-FL-VT-02 CONTACTOR ON유지) R-AUX -VT-01 T-MT간 SHORT RR-AUX-VT-01 LED가 동작하였는지 확인 후 COMMAND AND C ONTROL 2.의 시험3의 ①번 시험을 실시 RD-SW-MD-01 LED 및 A1-B1간 “b“접점이 ON되었는지 확인 후 시험기의 CM4-MB-Q3 SW를 OFF시켜도 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 ON상태를 유지하는지 확인한다 이시험은 LINE DB102FF 검사를 위한 시험이다. (시험 완료후에는 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험1의 ②번 시험을 진행하여 R-TT-BK-01 LATCH를 해제시켜야 한다.)

(5) 시험 5.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON시킨후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험 2-1의 시험을 진행하여 R-TT-BK-01 A3-B3간 “b“접점이 ON되고 시험기의 CM4-MB-R4 SW를 동작시켜 R-EB-CO-04 A2-B2간 “b“접점이 ON되는지 확인후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험3-2의 시험을 진행하면 RD-SW-MB-01의 A2-B2간 “b“접점이 동작시 DE-FL-VT-01(FILTER VENTILATION TIME DELAY

② ① LED가 동작 2S후 RD-FL-VT-01(FILTER VENTILATION TIME DELAY RELAY

01)LED가 ON되는지 확인한다. 또한 K-FL-VT-01 (FILTERING VENTILATION CONTACTOR 01) CONTACTOR가 동작하는지 확인한다.

③ ①번 시험 완료상태에서(K-FL-VT-01 CONTACTOR ON 유지상태)에서 시험3의 ① 시험을 실시하여 K-FL-VT-02 CONTACTOR가 동작시 K-FL-VT-01 CONTACTOR가 OFF되는지 확인한다.

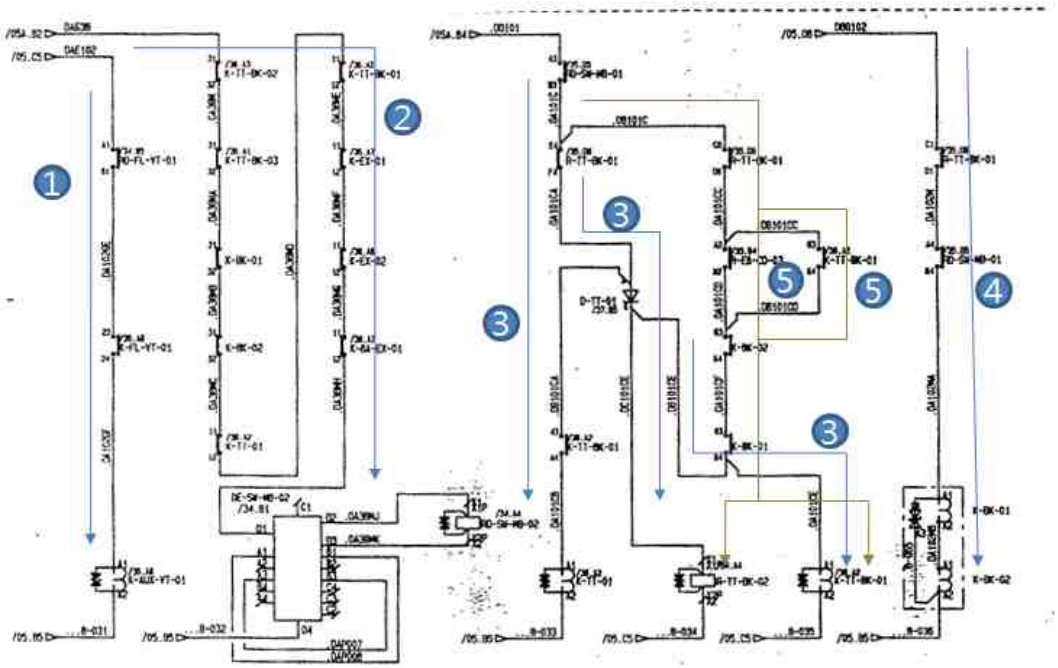
④ ①번 시험 완료상태에서(K-FL-VT-01 CONTACTOR ON 유지상태)에서 AUX-VT-02 A1-A2간 DC72V를 투입하여 K-AUX-VT-02 11-12간 "a" 접점이 OFF시 K-FL-VT-01 CONTACTOR가 OFF되는지 확인한다.

(K-FL-VT-02 와 K-AUX-VT-02가 동시동작 조건임으로 위의 시험은 K-AUX-VT-02에 강제전원을 투입하여 LINE DA102GC배선을 확인하기 위함이다.)

(6) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	RR-VT-FA-01 LED 동작확인 RR-VT-FA-01 자기유지 확인	육안	
2	K-FL-VT-02 CONTACTOR 동작확인 R-EB-CO-01 C3-D3간 "a"접점 동작확인 RR-VT-FA-01 C3-B3간 "a" 접점 동작확인	육안	
3	RD-SW-MD-01 LED 및 A1-B1간 "b"접점 동작확인 K-FL-VT-02 CONTACTOR 동작확인	육안	
4	R-TT-BK-01 A2-B2간 "b"접점 동작확인 K-VT-AUX-02 CONTACTOR 동작확인 R-EB-CO-03 A1-B1간,C2-D2간 "b"접점 동작확인 LINE DB102FF 도통확인	육안	
5	R-TT-BK-01 A3-B3간 "b"접점 동작확인 R-EB-CO-04 A2-B2간 "b"접점 동작확인 RD-SW-MB-01의 A2-B2간 "b"접점 동작확인 DE-FL-VT-01 LED 동작확인 RD-FL-VT-01 LED 동작확인 K-FL-VT-01 LED 동작확인	육안	
6	RR-AUX-VT-01 LED 동작확인	육안	

아) COMMAND AND CONTROL 7.



(1) 시험 1.

시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON 시킨후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험2-1의 시험을 진행하여 R-TT-BK-01 A3-B3간 “b“접점이 ON되고 시험기의 CM4-MB-R4 SW를 동작시켜 R-EB-CO-04 A2-B2간 “b“접점이 ON되는지 확인 후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험3-1의 시험을 진행하면 RD-SW-MB-01의 A2-B2간 “b“접점이 동작시 DE-FL-VT-01(FILTER VENTILATION TIME DELAY 01)LED가 동작 2S후 RD-FL-VT-01(FILTER VENTILATION TIME DELAY RELAY 01)LED가 ON되는지 확인하고, K-FL-VT-01 (FILTERING VENTILATION CONTACTOR 01) CONTACTOR가 동작하는지 확인한다. (즉, COMMAND AND CONTROL 6.의 시험5의 1번 시험 재 진행) K-AUX-VT-01 (AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 01)이 동작하는지 확인 한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON 시킨 후 각 점점들이 “b“ 접점으로 되어 있어 DE-SW-MB-02(SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY 02) LED가 ON 되며 동작하고 0.5S후 RD-SW-MB-02 (SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY RELAY 02)LED가 ON 되며 동작하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

시험기의 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON 시킨 후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험

3-1을 진행 하여 RD-SW-MB-01의 A3-B3간 “b“접점이 동작하는지 확인 한다. 그 후 D-TT-01 (TRACTION DIODE 01)을 통과하여 K-TT-BK-01 (TRACTION BRAKE CONTACTOR 01) 과 R-TT-BK-02 (TRACTION BRAKING RELAY 02)이 동작 후 K-TT-BK-01 의 43-44간의 b“접점으로 동작 후 K-TT-O1 (TRACTION CONTACTOR 01) 동작 하는지 확인 한다.

(4) 시험 4.

시험기의 CM4-MB-G3(+전원) SW를 ON 시킨후 COMMAND AND CONTROL 2.의 시험2의 3번 시험을 진행 하고 시험기 K-MB-BA-01 (CM9-MB M1) SW을 ON 시켜 RD-SW-MB-01 의 A4-B4간 “b“접점으로 동작 후 K-BK-01/K-BK-02 (BRAKING CONTACTOR 01,02) 동작 되는지 확인 한다.

(5) 시험 5.

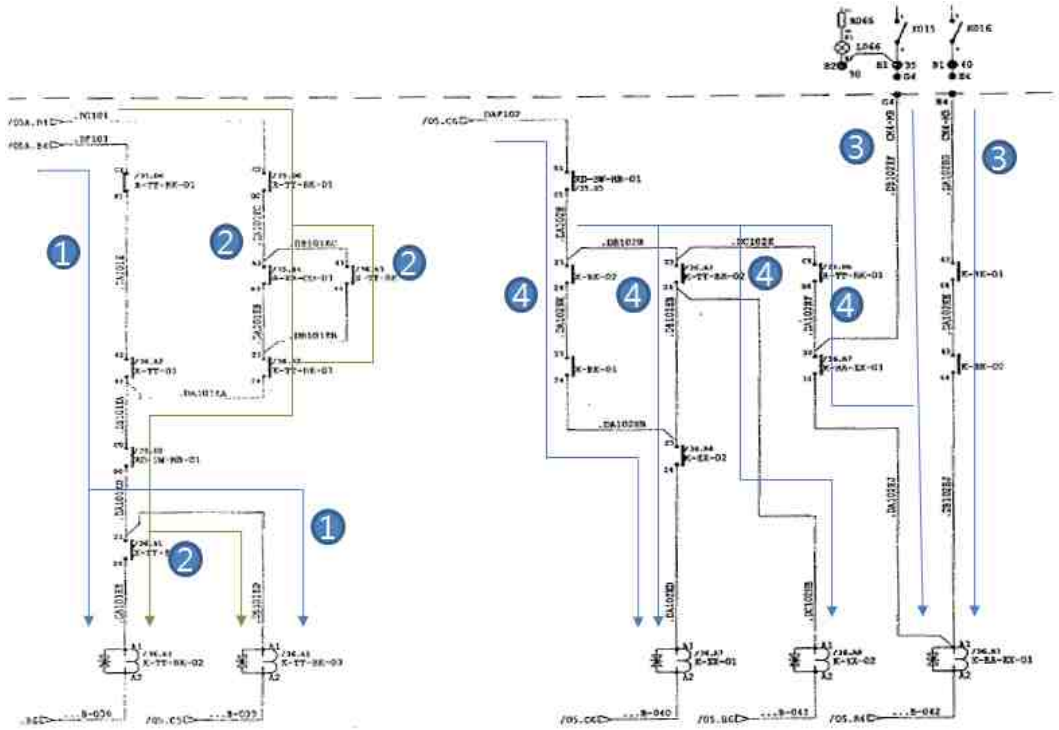
① 시험 4.의 진행과 동시에 K-TT-BK-01(TRACTION BRAKE CONTACTOR 01) 과 R-TT-BK-02 (TRACTION BRAKING RELAY 02)이 동작 하고 K-TT-01 (TRACTION CONTACTOR 01)이 동작 안하는지 확인 한다.

② 그 후 R-EB-CO-03 의 A2-B2간의 전원을 강제로 차단 (COMMAND AND CONTROL 2.의 시험시퀜스 때문에 시험 진행이 안됨)하여도 K-TT-BK-01(TRACTION BRAKE CONTACTOR 01) 과 R-TT-BK-02 (TRACTION BRAKING RELAY 02)이 계속 동작 하는지 확인한다.

(6) 평가기준

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	K-AUX-VT-01 CONTACTOR 동작확인	육안	
2	DE-SW-MB-02 LED 동작확인 RD-SW-MB-02 LED 동작확인	육안	
3	K-TT-BK-01 CONTACTOR 동작확인 R-TT-BK-02 LED 동작확인 K-TT-BK-01 43-44 간 “b"접점 동작확인 후 K-TT-01 CONTACTOR 동작확인	육안	
4	K-BK-01 CONTACTOR 동작확인 K-BK-02 CONTACTOR 동작확인	육안	
5	K-TT-BK-01 CONTACTOR 동작확인 R-TT-BK-02 LED 동작확인	육안	

자) COMMAND AND CONTROL 8.



(1) 시험 1.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON 시킨후 COMMAND AND CONTROL 7.의 시험3의 시험을 진행하여 K-TT-BK-03 (TRACTION BRAKE CONTACTOR 03)이 동작 하여 K-TT-BK-03 23-24간 “b“접점으로 동작 하고 K-TT-BK-02 ((TRACTION BRAKE CONTACTOR 02)가 동작 하는지 확인한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON 시킨후 COMMAND AND CONTROL 7.의 시험5의 시험을 진행하여 K-TT-BK-03 (TRACTION BRAKE CONTACTOR 03)이 동작하여 K-TT-BK-03 23-24간 “b“접점으로 동작하고 K-TT-BK-02 (TRACTION BRAKE CONTACTOR 02)가 동작 하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

시험기의 CM4-MB-H4 SW를 ON 시키고 COMMAND AND CONTROL 7의 시험 4를 진행 K-BA-EX-01(BATTERY EXCITATION CONTACTOR 01) 동작 되는지 확인 후 시험기의 CM4-MB-G4 SW를 ON 시키고 시험기의 CM4-MB-H4 SW를 OFF 시켜도 K-BA-EX-01의 33-34간의 “b“접점으로 인해 K-BA-EX-01이 계속 동작 하는지 확인 한다.

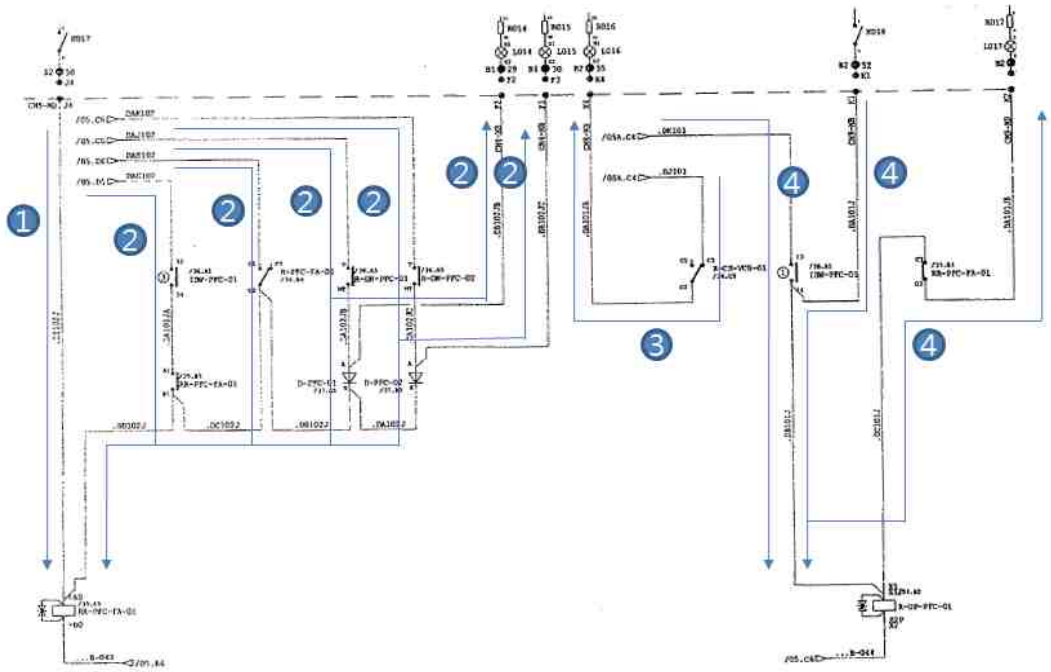
(4) 시험 4.

시험기의 CM4-MB-B5(+전원) SW를 ON 시킨후 COMMAND AND CONTROL 8.의 시험2를 진행시켜 K-EX-01(EXCITATION CONTACTOR ① 과 EX-02(EXCITA TIONCONTACTOR ②동작을 확인후 K-BA-EX-01 (BATTERY EXCITATION CONTACTOR 01)이 동작을 하는지 확인 후 COMMAND AND CONTROL 8.의 시험 3을 진행한다.

(5) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	K-TT-BK-02 CONTACTOR 동작확인 K-TT-BK-03 CONTACTOR 동작확인	육안	
2	1의 시험 진행 후 R-EB-CO-03 차단. K-TT-BK-02 CONTACTOR 동작확인 K-TT-BK-03 CONTACTOR 동작확인	육안	
3	K-BA-EX-01 CONTACTOR 동작확인	육안	
4	K-EX-01 CONTACTOR 동작확인 K-EX-02 CONTACTOR 동작확인	육안	

차) COMMAND AND CONTROL 9.



(1) 시험 1.

시험기의 CM9-MB-J4 SW를 ON 시킨 후 RR-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

(2) 시험 2.

① 시험기의 CM4-MB-B5 SW ON 시킨 후 시험기 CM9-MB-K3 SW를 ON 시키고 (COMMAND AND CONTROL 10참고) CM9-MB-J4 SW를 ON 시켜 RR-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01)을 동작 시켜 A1-B1간 “b“접점으로 동작 확인 후 CM9-MB-J4 SW를 OFF 시켜도 자기 유지 되는지 확인한다.

② 시험기의 CM4-MB-B5 SW와 CM4-MB-Q2 SW를 ON 시킨 후 COMMAND AND CONTROL 7의 시험3을 진행시켜 R-TT-BK-02의 B1-B2간 “b“접점으로 동작 하면 R-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE RELAY 01)를 동작 하여 (COMMAND AND CONTROL 13 참고) C1-C2간 ”b “접점으로 동작 하고 RR-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01)이 동작 하는지 확인 한다.

③ 시험기의 CM4-MB-B5 SW를 ON 시킨 후 R-DN-PFC-01(POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 01) 동작 시켜 CM4-MB-F2 SW를 ON 시킨 후 LED 동작을 확인 하고 D-PFC-01 (POWER FACTOR CORRECTION DIODE 01)를 통

하여, RR-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01) 이 동작하는지 확인 한다.

④ 시험기의 CM4-MB-B5 SW를 ON 시킨 후 R-DN-PFC-02(POWER FACTOR CORRECTION DETECTION RELAY 02) 동작 시키고 CM4-MB-F3 SW를 ON 시킨 후 LED 동작을 확인 하고 D-PFC-02 (POWER FACTOR CORRECTION DIODE 02)를 통하여, RR-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01) 이 동작하는지 확인 한다.

(3) 시험 3.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON 시킨 후 CM4-MB-H2 SW를 ON 시키고 R-CS-VCB-01 (CLOSING CIRCUIT BREAKER RELAY 01)를 동작시켜(VCB LOCAL CONTROL 참고) C1-C2간 "b" 접점 으로 동작 되고, 시험기의 CM9-MB-K4의 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 4.

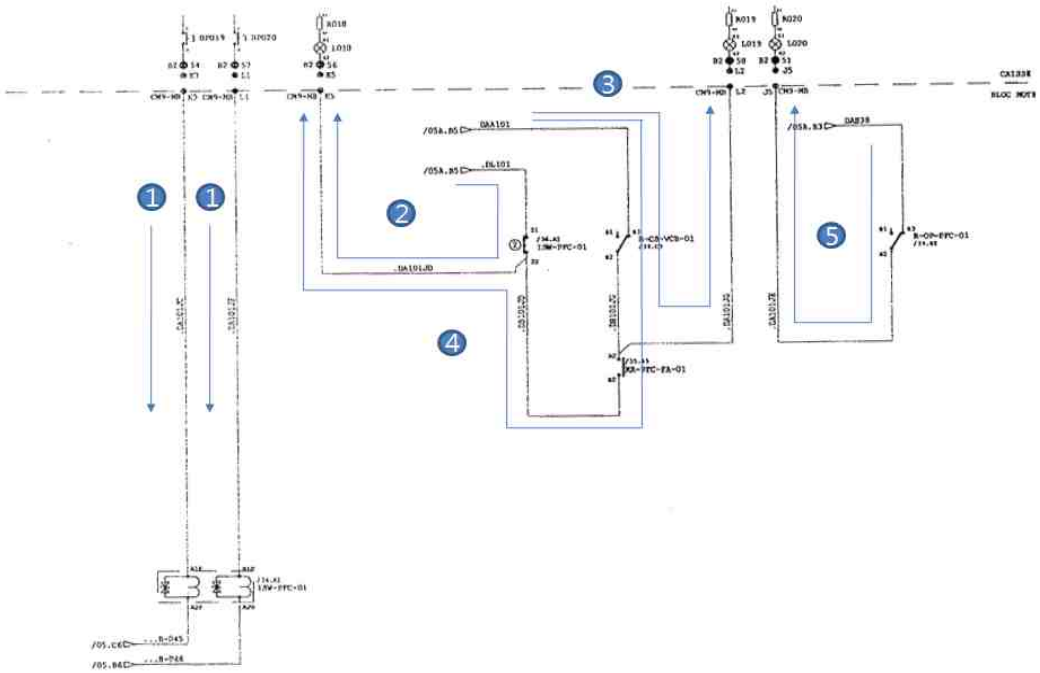
① 시험기의 CM9-MB-K1 SW를 ON 시킨 후 R-OP-PFC-01(OPENNING POWER FACTOR CORRECTION RELAY 01)이 동작 하는지 확인 후 시험기의 CM9-MB-K2 SW를 ON시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON 시킨 후 CM9-MB-K3 SW를 ON 시키고 (COMMAND AND CONTROL 10참고) ISW-PFC-01의 13-14간의 "b"접점 동작 확 인 후 R-OP-PFC-01 (OPENNING POWER FACTOR CORRECTION RELAY 01) 이 동작하는지 확인 후 시험기의 CM9-MB-K2 SW를 ON시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(5) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	RR-PFC-FA-01 동작확인	육안	
2	1의 시험 진행 RR-PFC-FA-01가 자기 유지 되는 지 확인. R-PFC-FA-01 "b" 동작 후 RR-PFC-FA-01 동작확인 R-DN-PFC-01 동작 후 CM4-MB-F2 LED 점등 및 RR-PFC-FA-01 동작확인 R-DN-PFC-02 동작 후 CM4-MB-F3 LED 점등 및 RR-PFC-FA-01 동작확인	육안	
3	CM9-MB-K4의 LED 점등 확인	육안	
4	P-OP-PFC-01 동작 확인 과 CM9-MB-K2의 LED 점등 확인 ISW-PFC-01 동작 후 P-OP-PFC-01 동작 확인 과 CM9-MB-K2의 LED 점등 확인	육안	

카) COMMAND AND CONTROL 10.



(1) 시험 1.

시험기의 CM9-MB-K3(+전원)의 SW를 ON시켜 ISW-PFC-01(POWER FACTOR CORRECTION ISOLATING SWITCH 01)의 A1F-A2F간 접점이 ON되는지 확인한다.

시험기의 CM9-MB-K3를 OFF시킨 상태에서 CM9-MB-L1(+전원)의 SW를 ON시켜 ISW-PFC-01의 A10-A20간 접점이 ON되는지 확인한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON시키고 CM9-MB-K5를 ON시켜 CM9-MB-K5의 LED가 동작하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON시키고 CM9-MB-L2를 ON시켜 CM9-MB-L2의 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 4.

시험기의 CM9-MB-J3(+전원) SW를 ON시킨다.

COMMAND AND CONTROL 9의 시험 1을 다시 진행하여 RR-PFC-FA-01(POWER FACTOR CORRECTION FAILURE REPETITION RELAY 01)의 a접점이 붙고 LED가 점등되는지 확인한다.

CM9-MB-K5의 SW를 ON시켜 CM9-MB-K5의 LED가 동작하는지 확인한다.

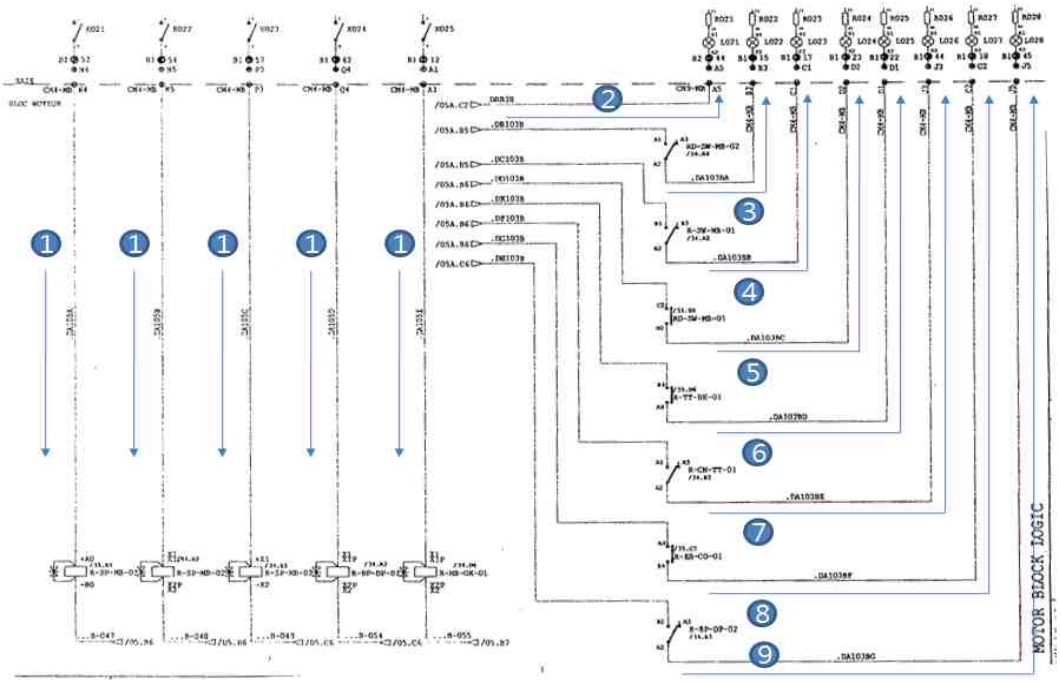
(5) 시험 5.

시험기의 CF10-MB-A1(+전원) SW를 ON시킨 뒤 CM9-MB-J5를 ON시켜 CM9-MB-J5 의 LED가 동작하는지 확인한다.

(6) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	ISW-PFC-01 A1F-A2F간 접점 동작확인 ISW-PFC-01 A10-A20간 접점 동작확인	육안	
2	CM9-MB-K5의 LED 동작 확인	육안	
3	CM9-MB-L2의 LED 동작 확인	육안	
4	RR-PFC-FA-01의 LED 동작 확인 CM9-MB-K5의 LED 동작 확인	육안	
5	CM9-MB-J5의 LED가 동작 확인	육안	

타) MOTOR BLOCK LOGIC_1.



(1) 시험 1.

① 시험기의 CM4-MB-N4(+전원)의 SW를 ON시켜 R-SP-MB-01(SPEED MOTOR BLOCK RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

② 시험기의 CM4-MB-N5(+전원)의 SW를 ON시켜 R-SP-MB-02(SPEED MOTOR BLOCK RELAY 02)의 동작을 확인 한다.

③ 시험기의 CM4-MB-P3(+전원)의 SW를 ON시켜 R-SP-MB-03(SPEED MOTOR BLOCK RELAY 03)의 동작을 확인 한다.

④ 시험기의 CM4-MB-Q4(+전원)의 SW를 ON시켜 R-BP-DP-01(BREAK PIPE DEPRESSION RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

⑤ 시험기의 CM4-MB-A1(+전원)의 SW를 ON시켜 R-MB-OK-01 (MOTOR BLOCK RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CF10-MB-A2(+전원)의 SW를 ON시키고 CM9-MB-A5를 ON시켜 CM9-MB-A5의 LED가 동작하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

① 시험기의 CF10-MB-A2(+전원)의 SW를 ON시켜 RD-SW-MB-02 (SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY RELAY 02)가 동작하여 LED가 동작 하는지 확인한다.

② ①이 완료된 상태에서 CM4-MB-C1을 ON시켜 CM4-MB-B3의 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 4.

① COMMAND AND CONTROL 2의 시험1을 진행하여 R-SW-MB-01 (SWITCHING MOTOR BLOCK RELAY 01)을 동작시킨다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-C1을 ON시켜 CM4-MB-C1의 LED가 동작하는지 확인한다. 시험 5를 위해 R-SW-MB-01의 동작을 유지시킨다.

(5) 시험 5.

① COMMAND AND CONTROL 2의 시험3을 진행하여 RD-SW-MB-01 (SWITCHING MOTOR BLOCK TIME DELAY RELAY 01)을 동작시킨다.

② 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-D2을 ON시켜 CM4-MB-D2의 LED가 동작하는지 확인한다.

(6) 시험 6.

① COMMAND AND CONTROL 2의 시험1의 2)를 진행하여 R-TT-BK-01 (TRACTION BRAKING RELAY 01)을 동작시킨다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-D1을 ON시켜 CM4-MB-D1의 LED가 동작하는지 확인한다.

(7) 시험 7.

① COMMAND AND CONTROL 1의 시험4를 진행하여 R-CN-TT-01 (CANCELLATION OFF TRACTION RELAY 01)을 동작시킨다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-J3을 ON시켜 CM4-MB-J3의 LED가 동작하는지 확인한다.

(8) 시험 8.

① 시험기의 CF11-MB-B3의 SW를 ON시켜 R-EB-CO-01(ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 01)이 동작 하는지 확인 한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-C2을 ON시켜 CM4-MB-C2의 LED가 동작하는지 확인한다.

(9) 시험 9.

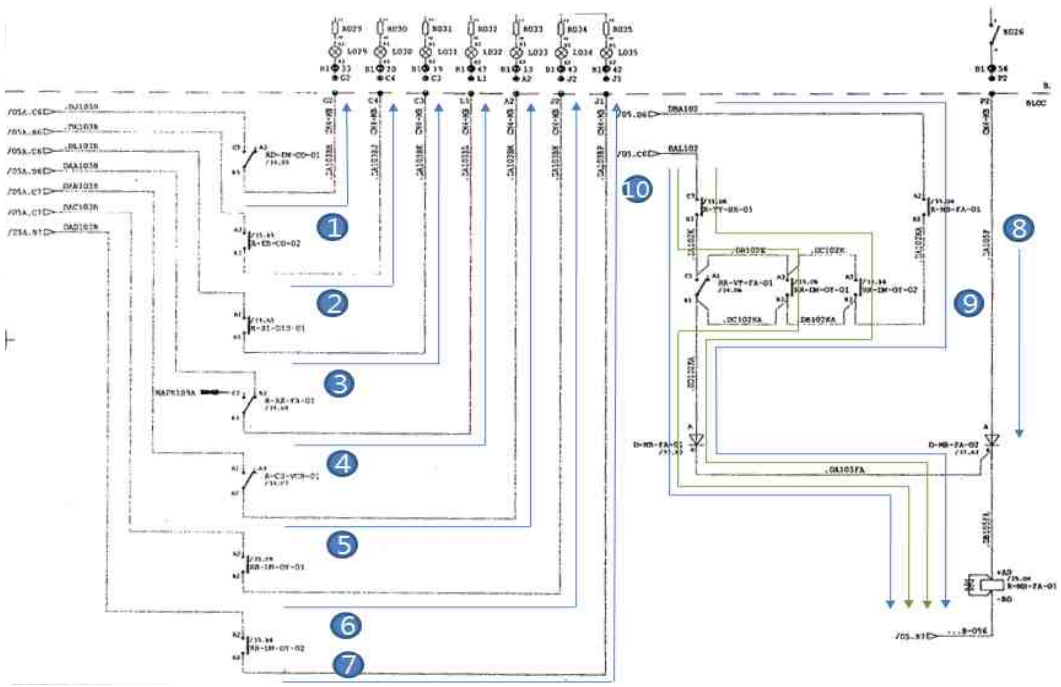
① 시험기의 CF10-MB-A3 SW를 ON시켜 R-BP-DP-02를 동작시켜 R-BP-DP-02(BRAKE PIPE DEPRESSION RELAY 02)의 LED를 점등시킨다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-J5를 ON시켜 CM4-MB-J5의 LED가 동작하는지 확인한다.

(10) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	R-SP-MB-01의 LED 동작 확인 R-SP-MB-02의 LED 동작 확인 R-SP-MB-03의 LED 동작 확인 R-BP-DP-01의 LED 동작 확인 R-MB-OK-01의 LED 동작 확인	육안	
2	CM9-MB-A5의 LED 동작 확인	육안	
3	RD-SW-MB-02의 LED 동작 확인 CM4-MB-B3의 LED 동작 확인	육안	
4	R-SW-MB-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-C1의 LED 동작 확인	육안	
5	RD-SW-MB-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-D2의 LED 동작 확인	육안	
6	R-TT-BK-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-D1의 LED 동작 확인	육안	
7	R-CN-TT-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-J3의 LED 동작 확인	육안	
8	R-EB-CO-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-C2의 LED 동작 확인	육안	
9	R-BP-DP-02의 LED 동작 확인 CM4-MB-J5의 LED 동작 확인	육안	

파) MOTOR BLOCK LOGIC_2.



(1) 시험 1.

① 시험기의 CF10-MB-A1(+전원),CF10-MB-B3(+전원)의 SW를 ON시켜 RD-EM-CO-01 (EMERGENCY CONTROL TIME DELAY RELAY 01)을 동작시켜 RD-EM-CO-01가 동작 하는지 확인 한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-G2를 ON시켜 CM4-MB-G2의 LED가 동작하는지 확인한다.

(2) 시험 2.

① 시험기의 CF10-MB-A1(+전원)의 SW를 ON시켜 R-EB-CO-02 (ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 02)이 동작 하는지 확인 한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-C4를 ON시켜 CM4-MB-C4의 LED가 동작하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

① 시험기의 CF9-MB-J2(+전원)의 SW를 ON시켜 R-SI-DIS-01(PRESSURE DISC RIPENCY RELAY 01)이 동작 하는지 확인 한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-C3를 ON시켜 CM4-MB-C3의 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 4.

시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-L1을 ON시켜 CM4-MB-L1의 LED가 동작하는지 확인한다.

(5) 시험 5.

① 시험기의 CF4-MB-H2(+전원)의 SW를 ON시켜 R-CS-VCB-01 (CLOSING CIRCUIT BREAKER RELAY 01)이 동작 하는지 확인 한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-A2를 ON시켜 CM4-MB-A2의 LED가 동작하는지 확인한다.

(6) 시험 6.

① COMMAND AND CONTROL 5의 시험1의 2)를 진행하여 RR-DN-OY-01(OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 01)의 “a” 접점을 동작시켜 RR-DN-OY-01이 동작 하는지 확인한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-J2를 ON시켜 CM4-MB-J2의 LED가 동작하는지 확인한다.

(7) 시험 7.

① COMMAND AND CONTROL 5의 시험1의 3)을 진행하여 RR-DN-OY-02(OVER INTENSITY DETECTION REPETITION RELAY 02)의 “a” 접점을 동작시켜 RR-DN-OY-02이 동작 하는지 확인한다.

② ①이 완료된 상태에서 시험기의 CM4-MB-B5(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM 4-MB-J1를 ON시켜 CM4-MB-J1의 LED가 동작하는지 확인한다.

(8) 시험 8.

시험기의 CF4-MB-P2의 SW를 ON시켜 R-MB-FA-01(MOTOR BLOCK FAILURE RELAY 01)이 동작 하는지 확인 한다.

(9) 시험 9.

시험 8이 완료되어 R-MB-FA-01의 LED가 켜진 상태에서 CF4-MB-G3(+전원)의 SW를 ON시키면 R-MB-FA-01의 A2-B2간 접점이 붙기 때문에 자기유지를 한다. 이때 CF4-MB-P2(+전원)을 OFF하여 R-MB-FA-01의 LED가 점등상태를 유지하는지 확인한다.

(10) 시험 10.

① 시험기의 CM4-MB-G3의 SW를 ON시킨 뒤 CF10-MB-A1,CF11-MB-3의 SW를 ON 시켜

R-TT-BK-01이 동작 하는지 확인 한다.

② ①이 완료된 상태에서 COMMAND AND CONTROL_6의 시험1의 ①을 진행하여 RR-VT-FA-01 (VENTILATION FAILURE REPETITION RELAY 01) LED가 동작하는지 확인한다. 그리고 R-MB-FA-01 동작 하는지 확인 한다.

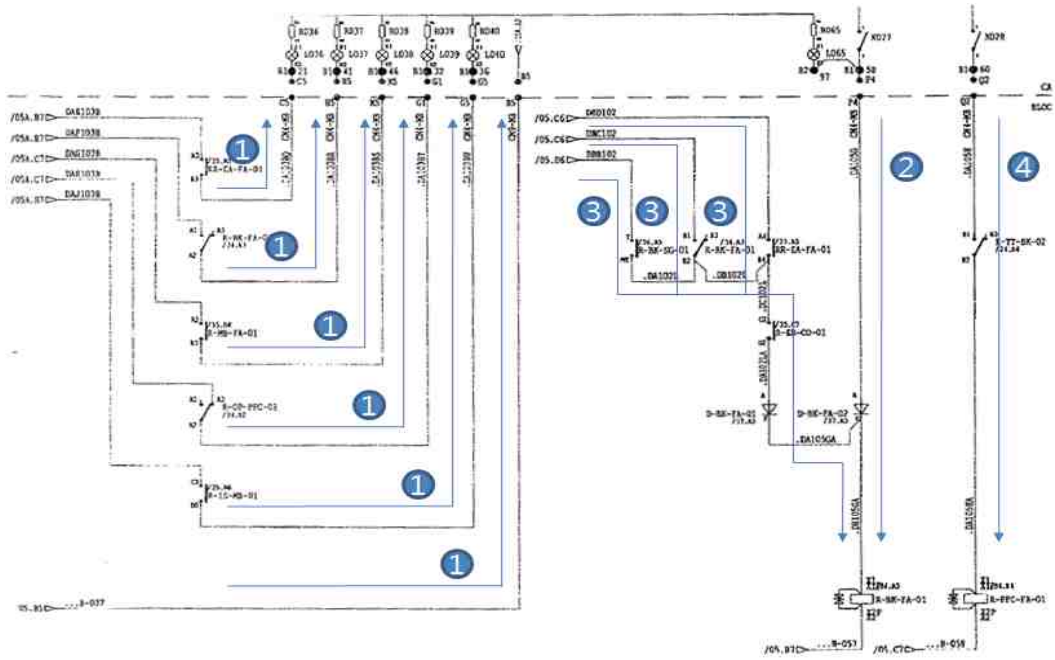
③ ①을 다시 진행하고 완료된 상태에서 COMMAND AND CONTROL 5의 시험1의 ②를 진행하여 RR-DN-OY-01가 동작하는지 확인한다. 그리고 R-MB-FA-01의 LED가 동작하는지 확인한다.

④ ①을 다시 진행하고 완료된 상태에서 COMMAND AND CONTROL 5의 시험1의 ③을 진행하여 RR-DN-OY-02가 LED가 동작하는지 확인한다. 그리고 R-MB-FA-01가 동작하는지 확인한다.

(11) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	RD-EM-CO-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-G2의 LED 동작 확인	육안	
2	R-EB-CO-02의 LED 동작 확인 CM4-MB-C4의 LED 동작 확인	육안	
3	R-SI-DIS-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-C3의 LED 동작 확인	육안	
4	CM4-MB-L1의 LED 동작 확인	육안	
5	R-CS-VCB-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-A2의 LED 동작 확인	육안	
6	RR-DN-OY-01의 LED 동작 확인 CM4-MB-J2의 LED 동작 확인	육안	
7	RR-DN-OY-02의 LED 동작 확인 CM4-MB-J1의 LED 동작 확인	육안	
8	R-MB-FA-01의 LED 동작 확인	육안	
9	R-MB-FA-01의 LED 동작 확인 R-MB-FA-01의 자기유지 동작 확인	육안	
10	R-TT-BK-01의 LED 동작 확인 RR-VT-FA-01의 LED 동작 확인 RR-DN-OY-01의 LED 동작 확인 RR-DN-OY-02의 LED 동작 확인	육안	

하) MOTOR BLOCK LOGIC_3.



(1) 시험 1.

시험 시작 전 시험기의 CM4-MB-B5의 SW를 ON 시킨다.

① COMMAND AND CONTROL_5. 시험 4를 진행 하여 RR-EA-FA-01 (EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01)의 A3-B3을 “b“ 접점으로 동작 확인 후 CM4-MB-C5의 SW를 ON 시킨 후 LED가 동작하는지 확인한다.

② MOTOR BLOCK LOGIC_3 시험 2를 진행 하여 R-BK-FA-01 (EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01) A1-A2을 “b“ 접점으로 동작 확인 후 CM4-MB-H5의 SW를 ON 시킨 후 LED가 동작하는지 확인한다.

③ MOTOR BLOCK LOGIC_2 시험 8를 진행 하여 R-MB-FA-01(MOTOR BLOCK FAILURE RELAY 01)의 A3-B3을 “b“ 접점으로 동작 확인 후 CM4-MB-K5의 SW를 ON 시킨 후 LED 동작을 확인 한다.

④ COMMAND AND CONTROL_5. 시험 4를 진행 하여 R-OP-PFC-01 (OPENNING POWER FACTOR CORRECTION RELAY 01)의 A1-A2을 “b“접점으로 동작 확인 후 CM4-MB-G1의 SW를 ON 시킨 후 LED 동작 확인 한다.

⑤ COMMAND AND CONTROL_4. 시험 4) ~ 6)을 진행 하여 R-IS-MB-01(ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01)의 C0-DO을 “b“ 접점으로 동작 확인 후 CM4-MB-G5의 SW를 ON 시킨 후 LED가 동작하는지 확인한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CM4-MB-P4의 SW를 ON 시켜 진행 하여 R-BK-FA-01 (EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

(3) 시험 3.

① 시험기의 CM4-MB-G3(+전원)의 SW를 ON 시키고 R-BK-SG-01 (BRAKING SURGE RELAY 01)의 T-MT간 점퍼를 시킨다. 그 후 R-EB-CO-01(ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 01)의 C2-D2간 을 “b” 접점으로 동작 확인. (COMMAND AND CONTROL 3. 시험 4 참고) R-BK-FA-01 (EARTHING FAILURE REPETITI ON RELAY 01)의 동작을 확인 한다. (R-BK-SG-01(BRAKING SURGE RELAY 01)의 동작전원은 고압부와 연결되어 고압시험시 동작을 확인해야하며 저압시험시에는 접점을 강제 Short에 의해 시험에 임한다.)

② 시험기의 CM4-MB-G3(+전원)의 SW를 ON 시키고 MOTOR BLOCK LOGIC_3의 시험 2의 시험 한다. 그 후 R-BK-FA-01(EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01) B1-B2을 “b“ 접점으로 동작 확인 후 R-EB-CO-01(ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 01)의 C2-D2간을 “b” 접점으로 동작 확인.(COMMAND AND CONTROL 3. 시험 4 참고) R-BK-FA-01(EARTHING FAILUREREPETITION RELAY 01)의 동작을 확인 한다

③ 시험기의 CM4-MB-G3(+전원)의 SW를 ON 시키고 MOTOR BLOCK LOGIC_3의 시험 1-1의 시험 한다. 그 후 RR-EA-FA-01(EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01)의 A4-B4을 “b“ 접점으로 동작 확인 후 R-EB-CO-01(ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY 01)의 C2-D2간을 “b” 접점으로 동작 확인.
(COMMAND AND CONTROL 3. 시험 4 참고) R-BK-FA-01(EARTHING FAILURE REPETITION RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

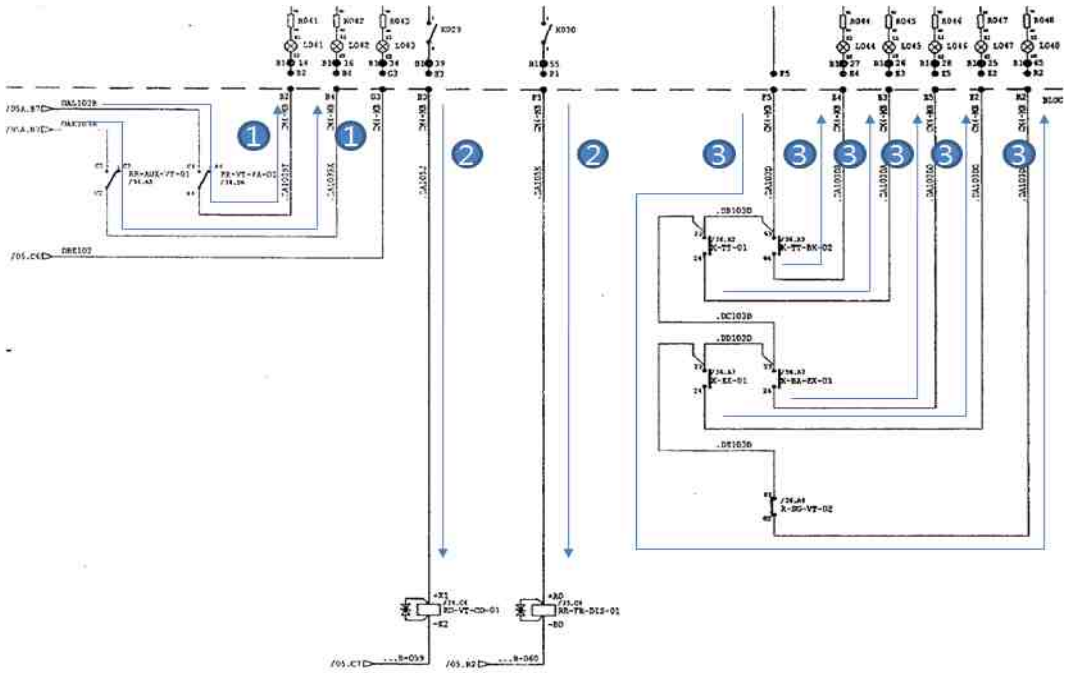
(4) 시험 4.

시험기의 CM4-MB-Q2의 SW를 ON 시키고 COMMAND AND CONTROL 7. 시험 3 진행하여, R-TT-BK-02(TRACTION BRAKING RELAY 02) B1-B2간 “b” 접점으로 동작 확인하여 R-PFC-FA-01 (POWER FACTOR CORRECTION FAILURE RELAY 01)의 동작을 확인 한다.

(5) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	CM4-MB-C5의 LED 동작 확인 CM4-MB-H5의 LED 동작 확인 CM4-MB-K5의 LED 동작 확인 CM4-MB-G1의 LED 동작 확인 CM4-MB-G5의 LED 동작 확인	육안	
2	R-BK-FA-01의 동작 확인	육안	
3	R-BK-SG-01의 "b"접점 동작 확인 후 R-BK-FA-01의 동작 확인 R-BK-FA-01의 "b"접점 동작 확인 후 R-BK-FA-01의 동작 확인 RR-EA-FA-01의 "b"접점 동작 확인 후 R-BK-FA-01의 동작 확인	육안	
4	R-PFC-FA-01의 동작 확인	육안	

거) MOTOR BLOCK LOGIC_4



(1) 시험 1.

① 시험기의 CM4-MB-B5(+전원) SW를 ON 시키고, COMMAND AND CONTROL_6. 시험1을 진행 하여 RR-VT-FA-01(VENTILATION FAILURE REPETITION RELAY 01)의 C4-B4간의 “b” 접점 연결 후 시험기 CM4-MB-B2의 스위치를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CM4-MB-B5(+전원) SW를 ON 시키고, COMMAND AND CONTROL_5. 시험6을 진행 하여 RR-AUX-FA-01(AUXILIARY VENTILATION REPETITION RELAY 01)의 C1-C2간의 “b” 접점 연결 후 시험기 CM4-MB-B4의 스위치를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(2) 시험 2.

① 시험기의 CM4-MB-H3 SW를 ON 시켜 RD-VT-CO-01 (VENTILATION CONTROL TIME DELAY 01)의 동작을 확인 한다.

② 시험기의 CM4-MB-P1 SW를 ON시켜 RR-FR-DIS-01(FORWARD-REVERSE DISCRIPENCY REPETITION RELAY 01)의 동작을 확인한다.

(3) 시험 3.

① 시험기의 CM4-MB-F5 SW를 ON 시켜 R-SG-VT-02(SURGE VENTILATION RELAY 02)의 01-02간 “b” 통하여 CM4-MB-R2의 LED 동작가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CM4-MB-F5 SW를 ON 시켜고 COMMAND AND CONTROL_8. 시험1 을 진행 후 K-TT-O1(TRACTION CONTACTOR 01)과 K-TT-BK-02 ((TRACTION BRAKE CONTACTOR 02) 동작 하여 K-TT-O1의 23-24간 과 K-TT-BK-02의 63-64간의 접점이 “b” 접점으로 동작 확인 후 시험기의 CM4-MB-E4와 CM4-MB-E3의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

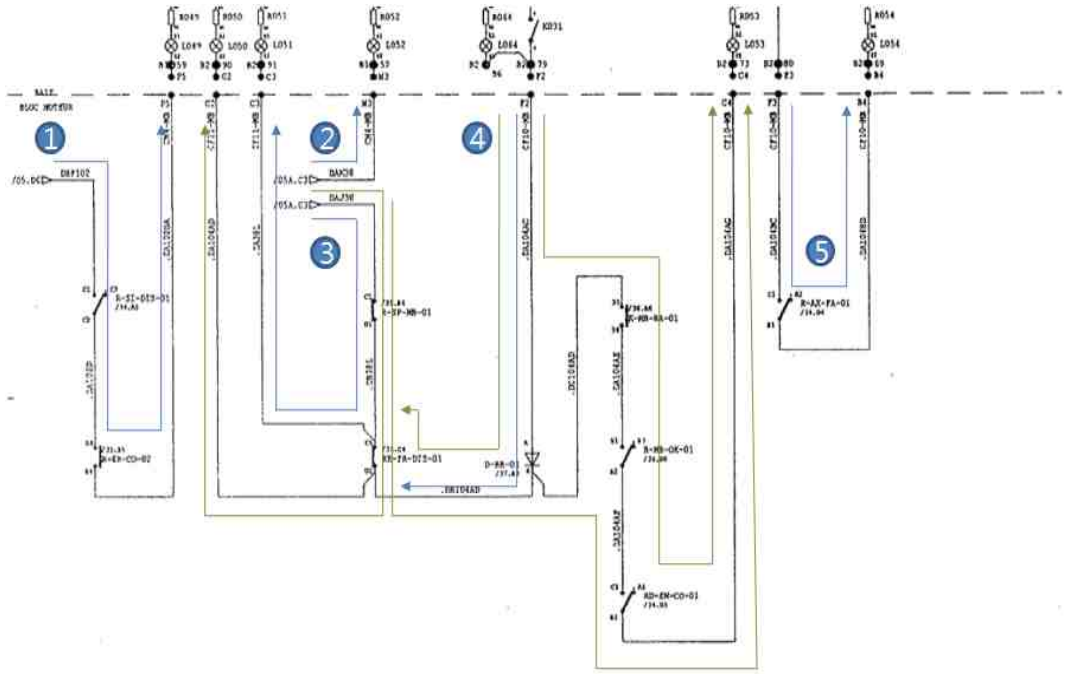
③ 시험기의 CM4-MB-F5 SW를 ON 시켜고 COMMAND AND CONTROL_8. 시험4를 진행 후 K-EX-01(EXCITATION CONTACTOR 01)의 22-24간의 접점이 “b” 접점으로 확인 후 시험기의 CM4-MB-E2의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

④ 시험기의 CM4-MB-F5 SW를 ON 시켜고 COMMAND AND CONTROL_8. 시험3을 진행 후 K-BA-EX-01 (BATTERY EXCITATION CONTACTOR 01)의 23-24간 접점이 “b” 접점으로 확인 후 시험기의 CM4-MB-E5의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	CM4-MB-B2 LED 동작 확인 CM4-MB-B4 LED 동작 확인	육안	
2	RD-VT-CO-01 LED 동작 확인 RR-FR-DIS-01 LED 동작 확인	육안	
3	CM4-MB-E2 LED 동작 확인 CM4-MB-E3 LED 동작 확인 CM4-MB-E4 LED 동작 확인 CM4-MB-E5 LED 동작 확인 CM4-MB-R2 LED 동작 확인	육안	

너) MOTOR BLOCK LOGIC_5.



(1) 시험 1.

시험기의 CM4-MB-G3(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM9-MB-J2를 ON시켜 R-SI-DIS-01의 LED가 동작하는 것을 확인한다. CF10-MB-A1의 SW를 ON시켜 릴레이 R-EB-CO-02가 동작하는지 확인한다. CM4-MB-P5를 ON시켜 CM4-MB-P5의 LED가 동작하는지 확인한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CF10-MB-A1(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CM4-MB-N3을 ON시켜 CM4-MB-N3의 LED가 동작하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

① 시험기의 CF10-MB-A1(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CF11-MB-C3을 ON시켜 CF11-MB-C3의 LED가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CF10-MB-A1(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CF11-MB-C2을 ON시켜 CF11-MB-C2의 LED가 동작하는지 확인한다.

③ 시험기의 CM9-MB-M1의 SW를 ON시켜 컨텍터 K-MB-BA-01가 동작하여 a접점이 붙는 것을 확인한다. CM4-MB-A1을 ON시켜 릴레이 R-MB-OK-01의 LED가 동작하는 것을 확인한다. CF10-MB-B3, CF10-MB-A1을 ON시켜 RD-EM-CO-01의 LED가 점등되는지 확인한다.

④ ③의 시험이 완료된 상태에서 CF10-MB-A1(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CF10-MB-C4를 ON시켜 CF10-MB-C4의 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 4.

① 시험기의 CF10-MB-F2(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CF11-MB-C3을 ON시켜 CF11-MB-C3의 LED가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CF10-MB-F2(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CF11-MB-C2을 ON시켜 CF11-MB-C2의 LED가 동작하는지 확인한다.

③ 시험 3의 ③을 진행한 다음 CF10-MB-F2(+전원)의 SW를 ON시키고 CF10-MB-C4를 ON시켜 CF10-MB-C4의 LED가 동작하는지 확인한다.

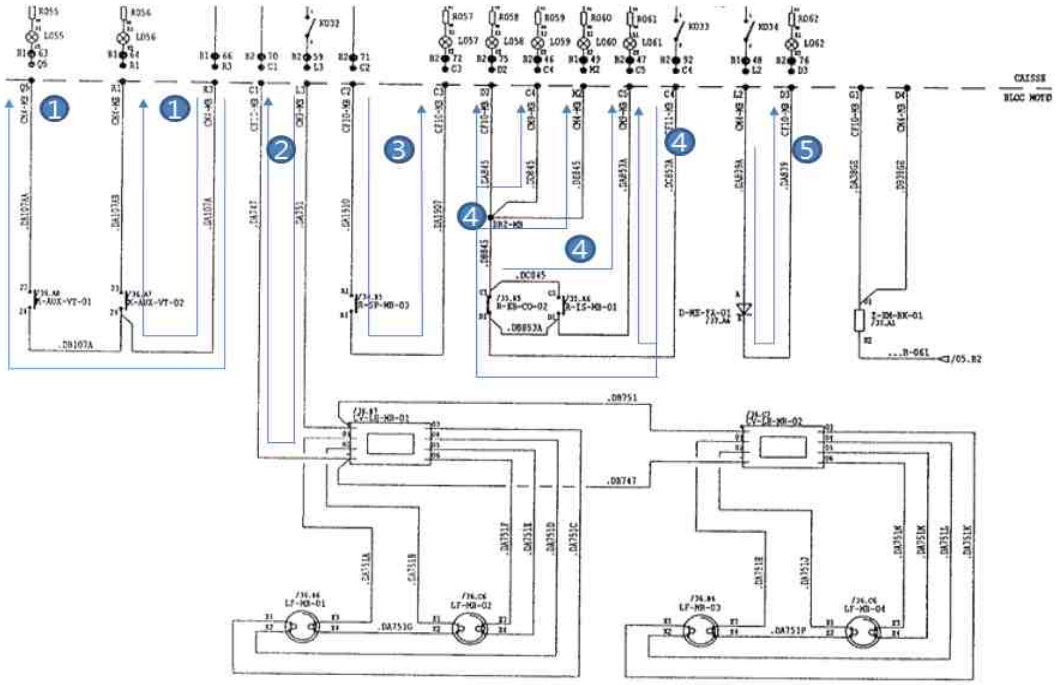
(5) 시험 5.

시험기의 CF10-MB-F3(+전원)의 SW를 ON시킨 뒤 CF10-MB-A1을ON시켜 릴레이 R-AX-FA-01가 동작하여 LED가 점등되는지 확인한다. CF10-MB-B4를 ON시켜 CF10-MB-B4의 LED가 동작하는지 확인한다.

바)시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	R-SI-DIS-01의 LED 동작 확인 R-EB-CO-02의 LED 동작 확인	육안	
2	CM4-MB-N3의 LED 동작 확인	육안	
3	CF11-MB-C3의 LED 동작 확인 CF11-MB-C2의 LED 동작 확인 K-MB-BA-01의 동작 확인 R-MB-OK-01의 LED 동작 확인 RD-EM-CO-01의 LED 동작 확인 CF10-MB-C4의 LED 동작 확인	육안	
4	CF11-MB-C3의 LED 동작 확인 CF11-MB-C2의 LED 동작 확인 K-MB-BA-01의 동작 확인 R-MB-OK-01의 LED 동작 확인 RD-EM-CO-01의 LED 동작 확인 CF10-MB-C4의 LED 동작 확인		
5	R-AX-FA-01의 LED 동작 확인 CF10-MB-B4의 LED 동작 확인		

더) MOTOR BLOCK VENTILATION, LIGHTING AND SANDING



(1) 시험 1.

① 시험기의 CM4-MB-R3의 SW를 ON시킨 뒤 COMMAND AND CONTROL_7의 시험 1을 진행 하여 K-AUX-VT-01(AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 01)의 23-24간 “b” 접점 동작 후 시험기의 CM4-MB-Q5의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CM4-MB-R3의 SW를 ON시킨 뒤 COMMAND AND CONTROL_6의 시험 4의 ②를 진행 하여 K-AUX-VT-02(AUXILIARY VENTILATION CONTACTOR 02)의 23-24간 “b” 접점 동작 후 시험기의 CM4-MB-R1의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(2) 시험 2.

시험기의 CM4-MB-L3의 SW를 ON시킨 뒤 시험기의 CF10-MB-C1의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(3) 시험 3.

시험기의 CF10-MB-C2의 SW를 ON시킨 뒤 MOTOR BLOCK LOGIC_1의 시험 3)을 진행하여 R-SP-MB-03(SPEED MOTOR BLOCK RELAY 03)의 A1-B1간의 “b” 접점 동작 후 CF10-MB-C3의 LED가 동작하는지 확인한다.

(4) 시험 4.

① 시험기의 CF11-MB-C4의 SW를 ON 시키고 시험기의 CM9-MB-C5 / CF10-MB-D2 / CM9-MB-C4 / CM4-MB-M2 의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

② 시험기의 CF11-MB-C4의 SW를 ON 시키고 COMMAND AND CONTROL 4의 시험1을 진행 하여 R-EB-CO-02(ELECTRIC BRAKE CONTROL RELAY02) C1-D1간 “a” 접점으로 동작 시켜 시험기의 CF10-MB-D2 / CM9-MB-C4 / CM4-MB-M2 LED가 OFF 된 것을 확인 후 COMMAND AND CONTROL 4의 시험4의 1)번 시험을 진행 R-IS-MB-01(ISOLATING MOTOR BLOCK RELAY 01)의 C1-D1간의 “b” 접점 동작 확인 후 CF10-MB-D2 / CM9-MB-C4 / CM4-MB-M2 의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(5) 시험 5.

시험기의 CF4-MB-L2의 SW를 ON 시키고 D-ME-FA-01(BLOCKING DIODE MECANICAL FAULT 01)를 통과 하여, 시험기의 CF10-MB-D3의 SW를 ON 시켜 LED가 동작하는지 확인한다.

(6) 시험 결과

시험번호	기준치	측정방법	비 고
1	CM4-MB-R1의 LED 동작 확인 CM4-MB-Q5의 LED 동작 확인	육안	
2	CF10-MB-C1의 LED 동작 확인	육안	
3	CM9-MB-C5의 LED 동작 확인 CF10-MB-D2의 LED 동작 확인 CM9-MB-C4의 LED 동작 확인 CM4-MB-M2의 LED 동작 확인	육안	
4	CF10-MB-D3의 LED 동작 확인	육안	

나. 전력변환장치 고압시험 (조합시험)-철도차량검사전문기관 입회

1) 개요

가) 적용범위

본 문서는 국가 R&D 미래철도기술개발사업『최신 반도체 소자를 이용한 고속철도차량용 추진제어 기술개발』연구과제에서 개발하는 KTX용 추진제어장치(이하 “모터블록”이라 한다) 조립체의 성능 및 안정성 확보를 위한 공장 조합시험(고압시험) 방법 및 기준에 대하여 규정한다.

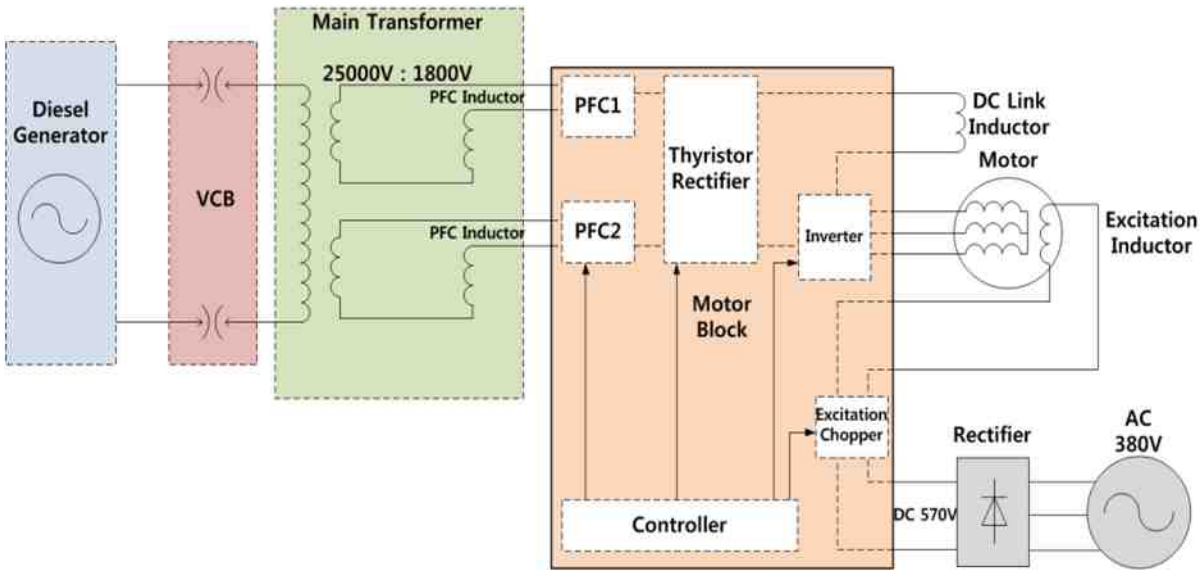
나) 적용규격

구 분	제 목	개정일자
KS R 9156	철도차량용 전자기기의 시험통칙	2002.10.19.
KS R 9144	철도차량 부품의 진동 시험방법	1992.12.31.
KS C 0704	제어 기기의 절연 거리 · 절연 저항 및 내전압	1997.10.31.
KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법	1996.12.31.
KS C IEC 60077-1	철도차량용 전기설비 (일반요구사항)	2002. 6.29.
KS C IEC 60077-2	철도차량용 전기설비 (전기부품의 일반요구사항)	2002. 6.29.
IEC 61287	POWER CONVERTOR INSTALLED ON BOARD ROLLING STOCK	2003. 6.30.
KII-11143-E1350-T-002	KTX-산천 고속차량 100량 주전력변환장치 조합시험 검사 및 시험 기준서	2008. 2.19.
K611-11143-P4200-RT+T-001	Factory Test Procedure Motor Block	1996. 7. 9.
K611-1-E1331-RT+T-021	Software Specification Braking Control Logic	1997. 3. 5.
K611-1-E1331-RT+T-011	REDUCTION OF TRAINSET PERFORMANCE WITH PANTOGRAPH VOLTAGE	1997. 7.30.
K611-1-E1110-RB+T-016	CALCULATION NOTES FOR THE KHST TRAINSET BRAKING SYSTEM'S PERFORMANCES	1998. 7.15.
K611-11143B-E1332-RT+T-014	SYNOPTIQUE TRACTION BLOCK DIAGRAM of TRACTION CONTROL	2005. 2.28.
K611-11143B-E1332-RT+T-015	SYNOPTIQUE BRAKING SYSTEM BLOCK DIAGRAM	2005. 4.14.

다) 조합 기기

순번	품 명	형식/사양	수 량	비 고
1	모터블록 (Motor Block)	시제품	1	-
2	발전기	3MW	1	-
3	주전력변환장치	용량	1	-
4	견인전동기	1130kW	1	KTX 차량용
5	관성부하설비	11 ton x 2	1	-
6	주간제어기	Simulator	1	-
7	차량용 주변압기	MTF	1	KTX 차량용
8	차량용 주회로 차단기	VCB	1	KTX 차량용
9	차량용 전압변환기	ACPT	1	KTX 차량용

라) 구성도



마) 측정장비

구분	장 비 명	모델명(사양)	용 도	수량	비고
검사	줄자	3m	치수 측정	1	
	스틸자	300mm	치수 측정	1	
시험	OSCILLOSCOPE	DL1540	파형 측정용	1	
	DIGITAL MULTIMETER	FLUKE177	전압 측정용	1	
	CLAMP ON PROBE	Oct-32	전류 측정용	2	
	DIFFERENTIAL PROBE	AP031	절연 AMP용	2	
	MEMORY HICODER	8826	DATA 기록용	1	
	INSULATION TESTER	3213A	절연저항	1	
	DC SOURCE	7651	제어전원	1	
	FUNCTION GENERATOR	FG120	펄스 발생기	1	
	내압시험기	HPT-50100	절연내력	1	
	저압회로 시험기	-	인터페이스	1	
	LOAD CELL	-	중량측정	1	

바) 시험 항목

구분	시 험 항 목		비고
1	검사	외관검사	
		치수검사	
		중량측정	
2	절연저항 및 내전압 시험		
3	시퀀스 시험	역행 시퀀스 시험	
		회생 제동 시퀀스 시험	
		발전 제동 시퀀스 시험	
4	고압 기동 시험	제어장치 전원변동 시험	
		제어장치 전원중단 시험	
		가선 입력전압 변동 시험	
		가선 입력전압 정전 시험	
5	보호 동작 시험	임의 고장 시험	
6	토크 특성 시험	역행 토크 시험	
		제동 토크 시험	
7	발전 제동 시험		
8	온도 상승 시험		
9	소음 측정 시험		

2) 검사 및 시험

가) 검사

(1) 외관검사

① 모터블록의 고압결선부의 볼트 체결에 문제가 없는지 확인한다.

② 제어전원 결선상태가 문제가 없는지 확인한다.

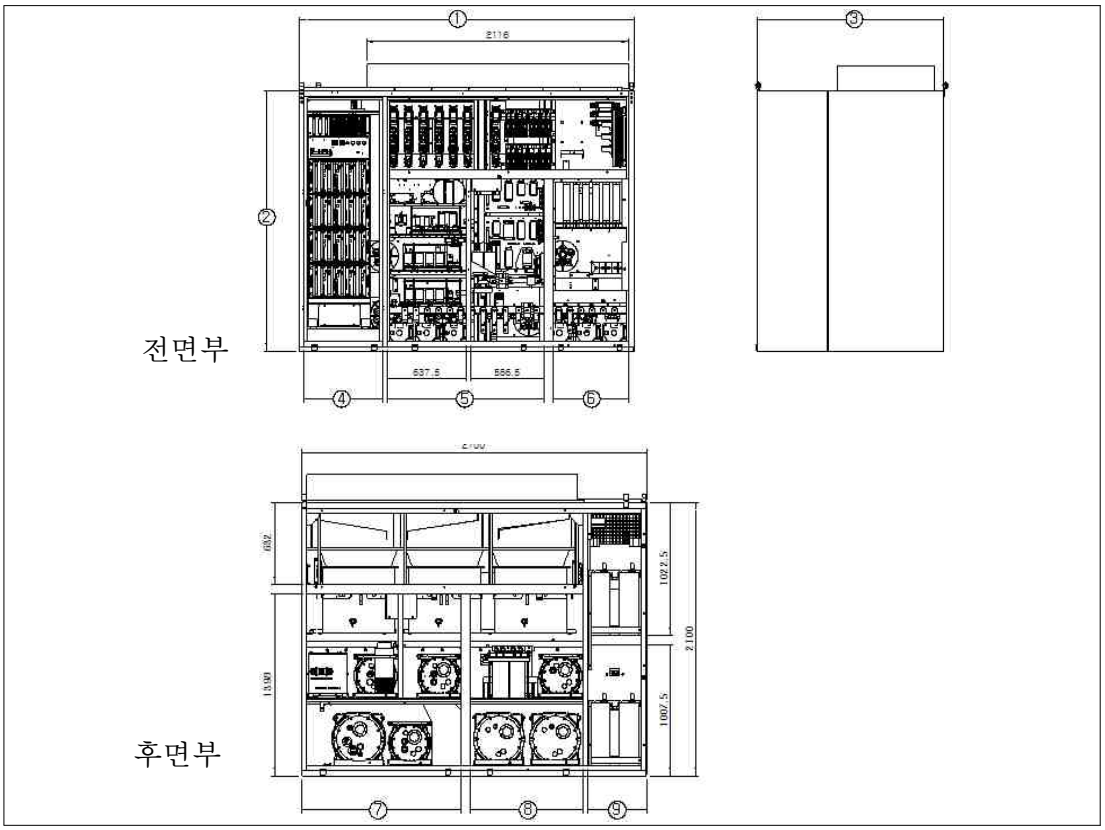
③ 고압 케이블 배선상태가 문제가 없는지 확인한다.

- 시험결과

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
고압배선 및 볼트 체결 확인	양호	양호	
제어전원 결선상태 확인	양호	양호	
고압 케이블 배선상태 확인	양호	양호	

(2) 치수검사

프레임 및 취부위치의 치수가 일치하는지 확인한다.



- 시험결과

검사항목	기 준 치 (mm)	측 정(값)	결 과	비 고
1	2,700 ± 5	2701	양호	
2	2,100 ± 5	2102	양호	
3	1,500 ± 3	1501	양호	
4	630 ± 3	630	양호	
5	1,264 ± 3	1262	양호	
6	616 ± 3	616	양호	
7	1,246 ± 5	1247	양호	
8	884 ± 3	884	양호	
9	460 ± 3	460	양호	

(3) 중량 검사

측정장비(Load Cell)를 이용하여 모터블록의 중량을 측정한다.

- 시험결과

기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
모터블록 중량은 3,780kg이하 일 것	3530	양호	

나) 시험

(1) 조합시험 사전준비

① 조합기기(모터블록, 주변압기 등) 고압결선부의 결선에 문제가 없는지 확인한다.

② 모터블록과 시뮬레이터와의 결선상태가 문제가 없는지 확인한다.

③ 외부에서 공기 압력 (7Bar ± 2Bar)을 모터블록에 인가한다.

(2) 절연 및 내전압시험

㈎ 절연시험

KS C 0704 시험에 준하여 진행한다.

고압회로 공통과 케이스 접지 간, 보조회로 공통과 케이스 접지 간, 제어회로 공통과 케이스 접지 간을 DC 1,000V, 500V MEGGER로 측정 한다.

단, 시험시 반도체 소자의 각 단자를 모두 단락시키고 제어기 및 캐논 타입 플러그를 모두 분리시킨다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)	결 과	비 고
고압 회로	1,000V 절연저항계로 고압회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 30㏁이상일 것	2000	양호	
보조 회로	1,000V 절연저항계로 보조회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 10㏁이상일 것	2000	양호	
제어 회로	500V 절연저항계로 제어회로부와 프레임 간에 절연저항을 측정하여 10㏁이상일 것	1000	양호	

㈏ 내전압시험

KS R 9158 시험에 준하여 진행한다.

고압회로 공통과 케이스 접지 간, 보조회로 공통과 케이스 접지 간, 제어회로 공통과 케이스 간 내전압을 측정한다.

고압회로는 AC 5,760V/60Hz 에서 1분간, 보조회로는 AC 2,950V/60Hz , 제어회로는 1분간 제어회로는 AC 1,270V/60Hz에서 1분간 절연파괴가 없어야 한다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)	결 과	비 고
고압 회로	통전부와 프레임 간에 AC 5,760V 60Hz를 1분간 인가하여 절연파괴가 없을 것.	파괴없음	양호	
보조 회로	통전부와 프레임 간에 AC 2,950V 60Hz를 1분간 인가하여 절연파괴가 없을 것.	파괴없음	양호	
제어 회로	통전부와 프레임 간에 AC 1,270V 60Hz를 1분간 인가하여 절연파괴가 없을 것.	파괴없음	양호	

㈐ 시퀜스시험

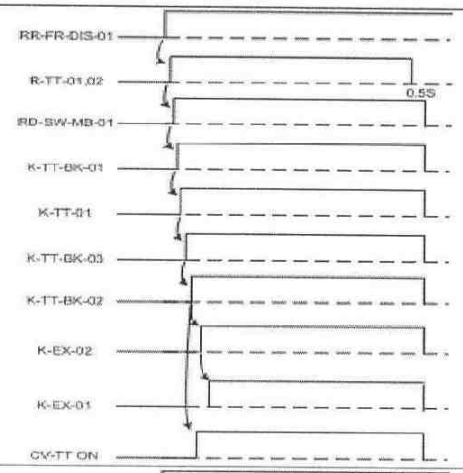
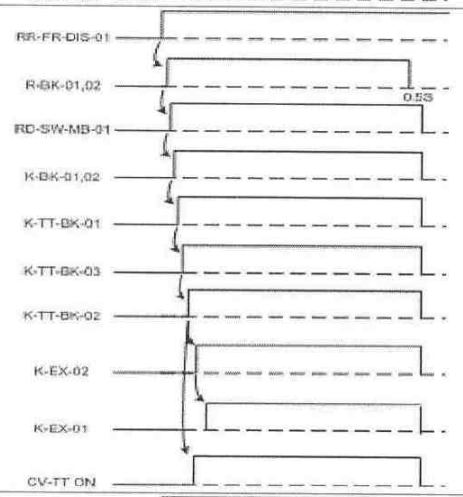
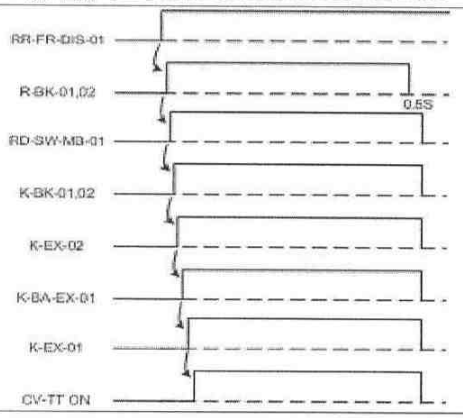
가선모의 전압 및 제어전원을 인가하여 견인모드, 회생제동 시, 발전제동 시 동력접촉기가 동작 되는지 레코더를 이용하여 확인한다.

① 견인모드 시 : K-TT-BK-01, K-TT-01, K-TT-BK-03, K-TT-BK-02, K-EX-02, K-EX-01

② 회생제동 시 : K-BK-01, K-BK-02, K-TT-BK-01, K-TT-BK-03, K-TT-BK-02, K-EX-02, K-EX-01

③ 발전제동 시 : K-BK-01, K-BK-02, K-EX-02, K-BA-EX-01, K-EX-01

- 시험결과

검사항목	기 준 치	측 정(값)	결 과	비 고
견인 시퀜스		양호	양호	첨부1
회생제동 시퀜스		양호	양호	첨부2
발전제동 시퀜스		양호	양호	첨부3

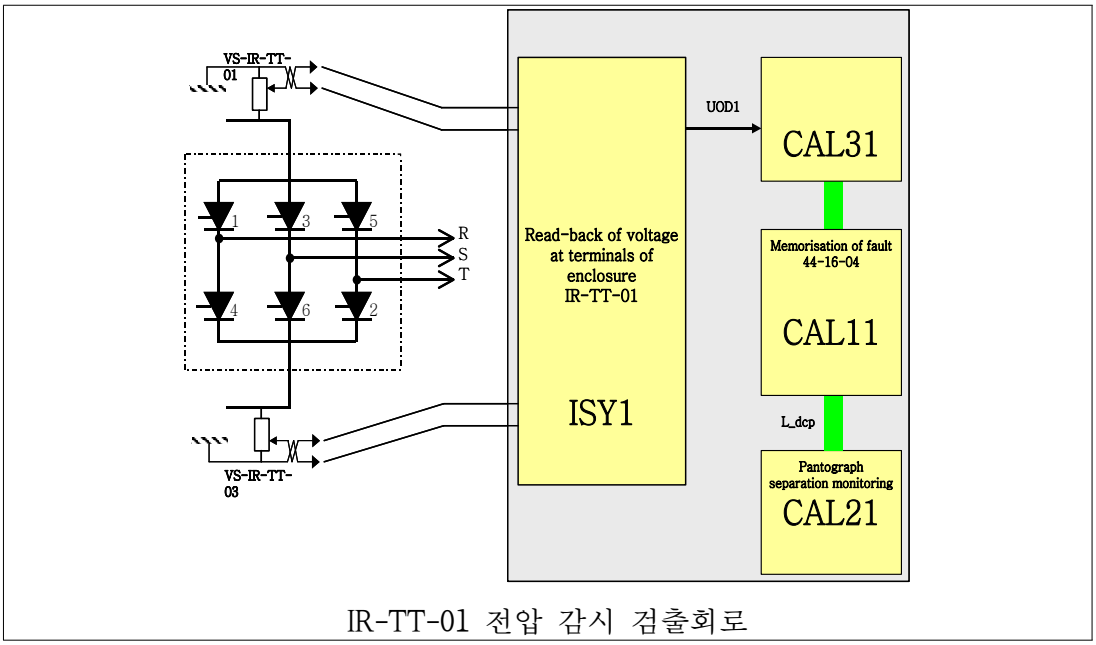
㈑ 보호동작시험

모터블록이 차단되는 주요고장시험을 위해 아래표의 15가지 고장을 임의로 발생시켜 보호동작 확인한다.

- 시험결과

검출 동작			측정(값)	결 과	비 고
고장 종류	검출기	세트치			
IR-TT-01 전압감시	VS-IR-TT-01	100V -5%	99	양호	
견인 컨버터1과전류	R-DN-0Y-01	1,400A ±5%	1390	양호	
전환 콘덴서1과전압	VS-SW-01	2,060V ±5%	2010	양호	
견인전동기1과전압	T-M0-01	2,400V ±5%	2420	양호	
견인전동기2과전압	T-M0-02	2,400V ±5%	2420	양호	
견인전동기3과전압	T-M0-03	2,400V ±5%	2410	양호	
IR-TT-01 과전압	VS-IR-TT-01	2,600V 이상	2640	양호	
IR-TT-01 암단락	T-IR-CU-01	300A +5%	310	양호	
IR-TT-02 암단락	T-IR-CU-02	300A +5%	310	양호	
IR-TT-03 암단락	T-IR-CU-03	300A +5%	310	양호	
센서 1 과속	SE-AE-AP-1X	350㎞/H ±5%	353	양호	
속도센서1고장	SE-AE-AP-XX	동작확인	정상동작	양호	
PFC1과전류	T-DN-PFC-01	1,900A ±5%	1890	양호	
작동중 PFC1 컨덴서 과전압	VS-PFC-XX	6,600V ±5%	6640	양호	
동력대차 차축 고장 확인	SPEED SENSOR	동작확인	정상동작	양호	

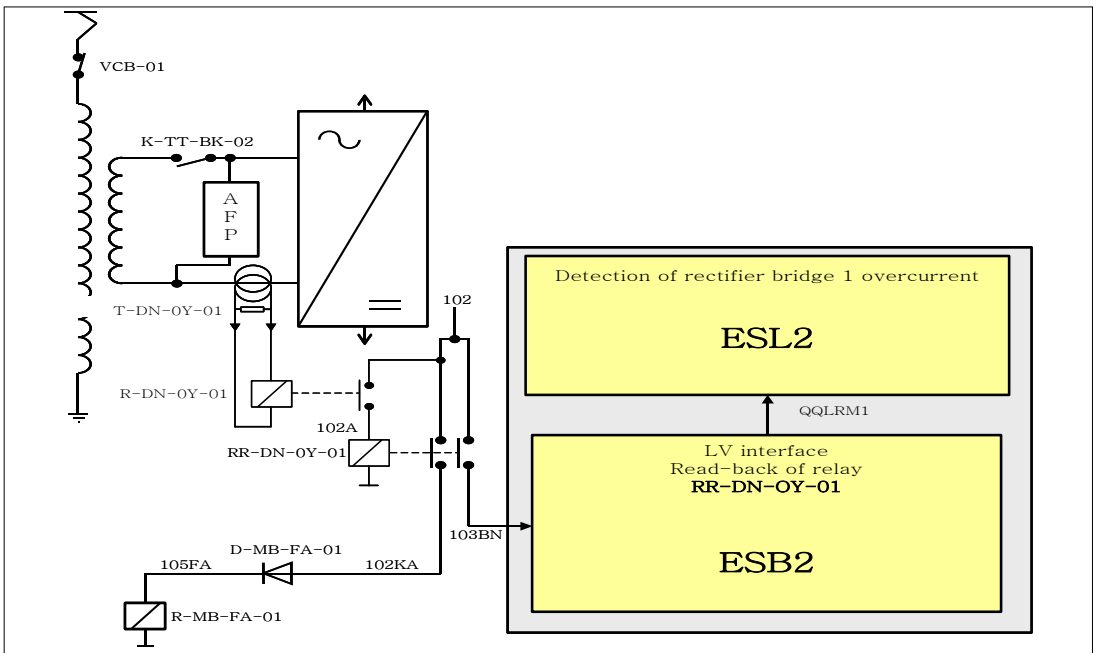
① 44-16-04 : IR-TT-01 전압 감시



IR-TT-01 전압 감시 검출회로

모터블록 제어랙에서 견인 및 제동시 전압센서(VS-TR-TT-01,03)의 2차측 전압 100V - 5%에서 고장을 인식 보호회로 동작하여 모터블록 차단 확인 한다. (입출력 전압비 1000V: 1V)

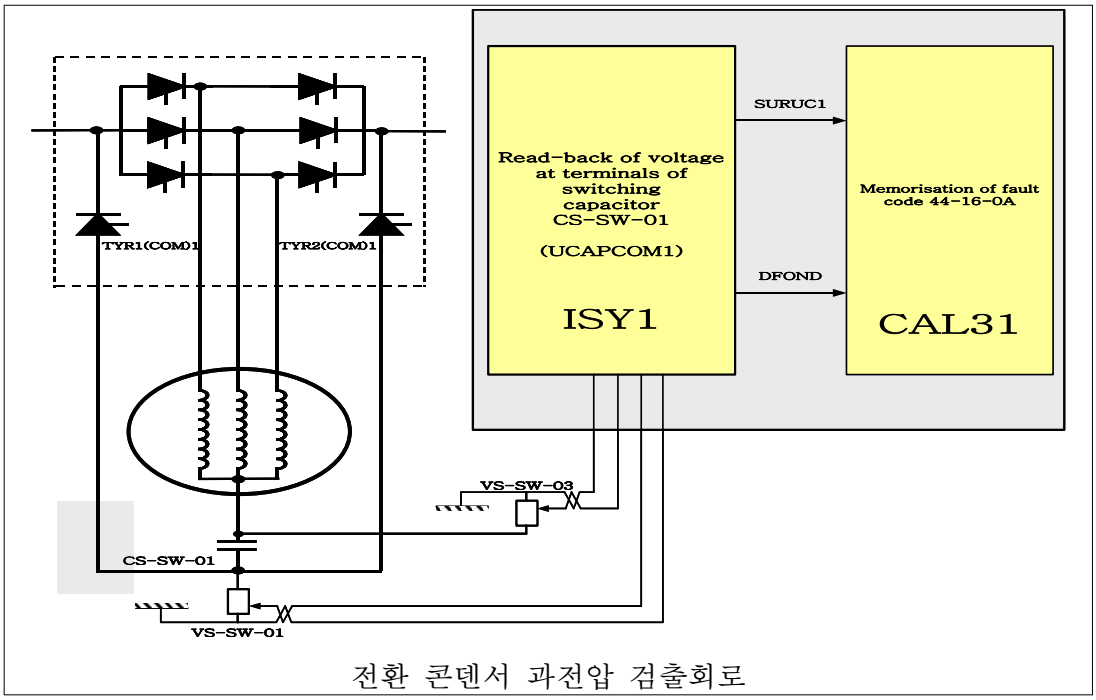
② 44-16-08 : 견인 컨버터 과전류



컨버터 과전류 감시 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 컨버터 전류 (R-DN-OY-01)를 임의 (1,400A시 여자)로 여자시켜 모터블록이 차단되는지 확인한다. (입출력 전류비 1000A: 1A)

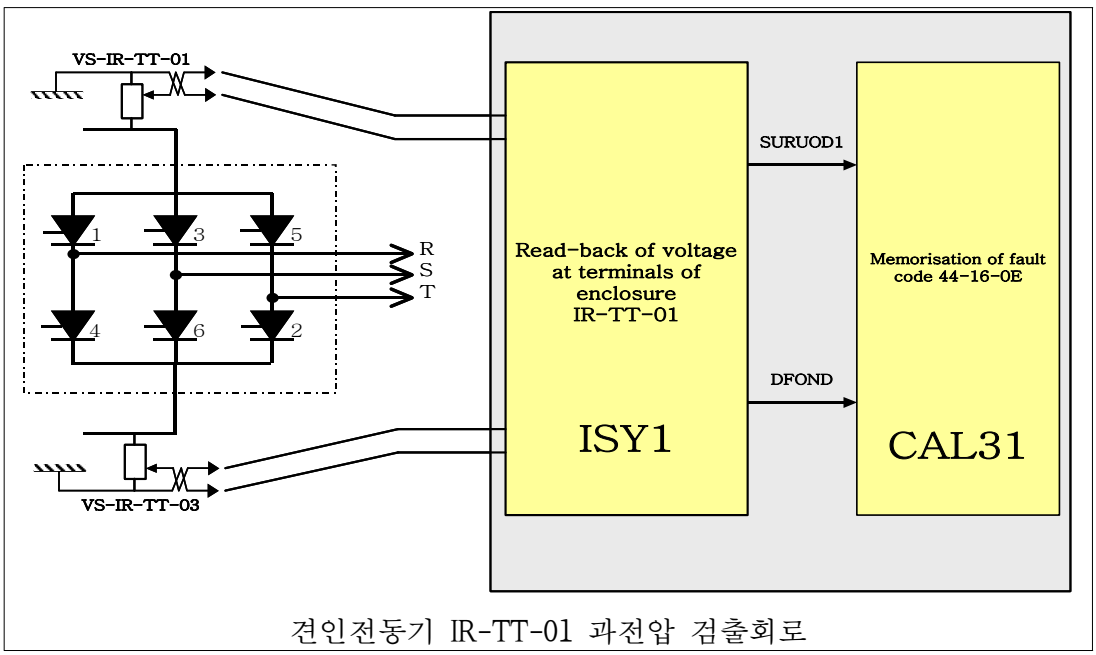
② 44-16-08 : 견인 컨버터 과전류



전환 콘덴서 과전압 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 전환커패시터 전압센서 (VS-SW-01)의 2차측에 모의전압(2,060V 이상)을 인가 시 모터블록이 차단되는지 확인한다.(입출력 전압비 1000V: 1V)

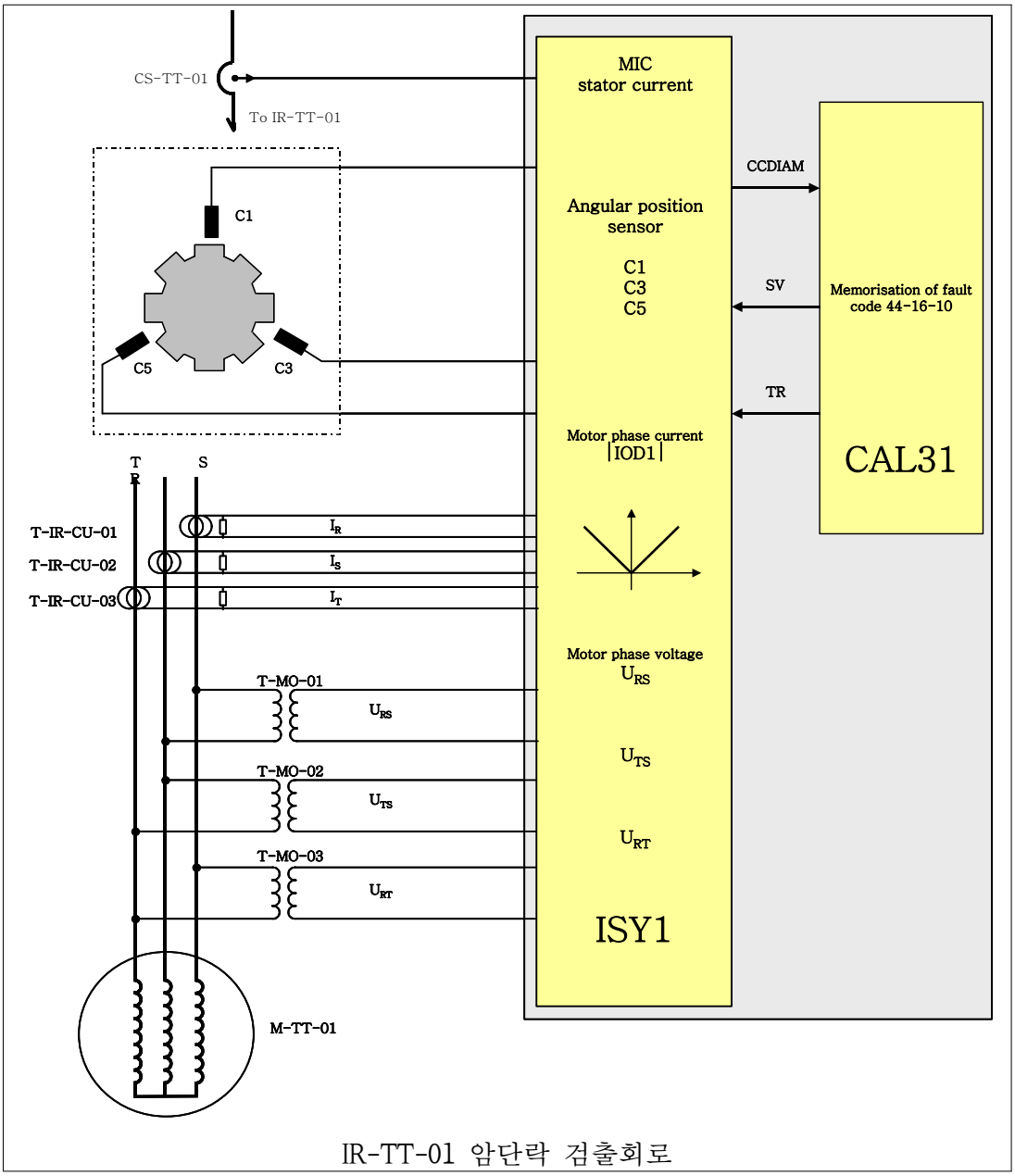
③ 44-16-0E IR-TT-01 과전압



견인전동기 IR-TT-01 과전압 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 전동기 전압센서 (VS-IR-TT-01, 03) 2차측에 모의 전압(2,600V±5%)을 인가 시 모터블록이 차단되는지 확인한다.(입출력 전압비 1000V: 1V)

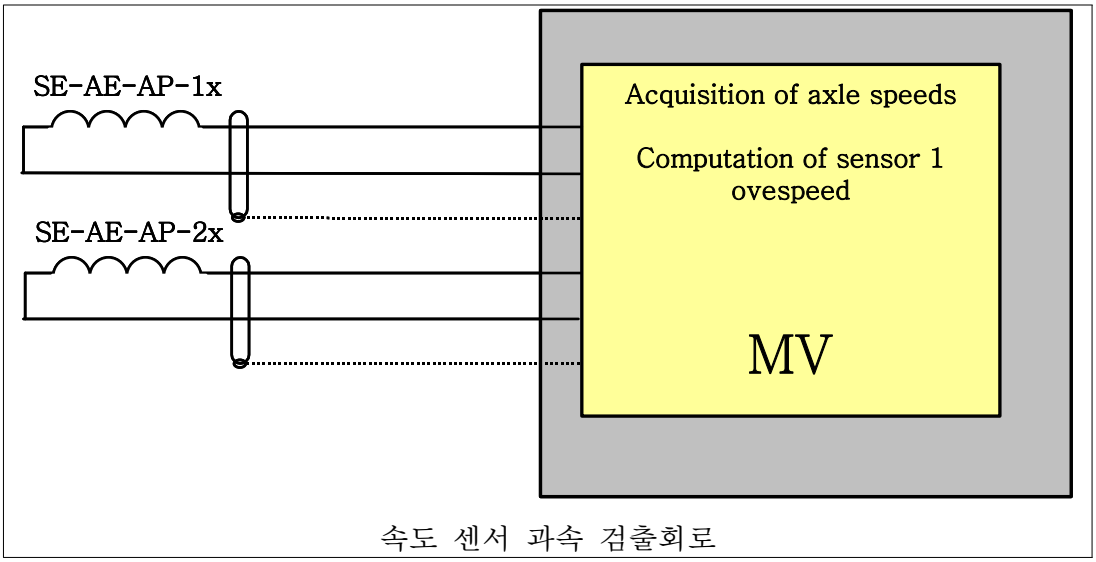
④ 44-16-10 IR-TT-01 암단락



IR-TT-01 암단락 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 전동기 전류센서 (T-MO-01,02,03)측에 2차측에 모의 전압을 전류의 차이(300A)가 인가 시 모터블록이 차단되는지 확인한다.(입출력 전류비 1000A: 1A)

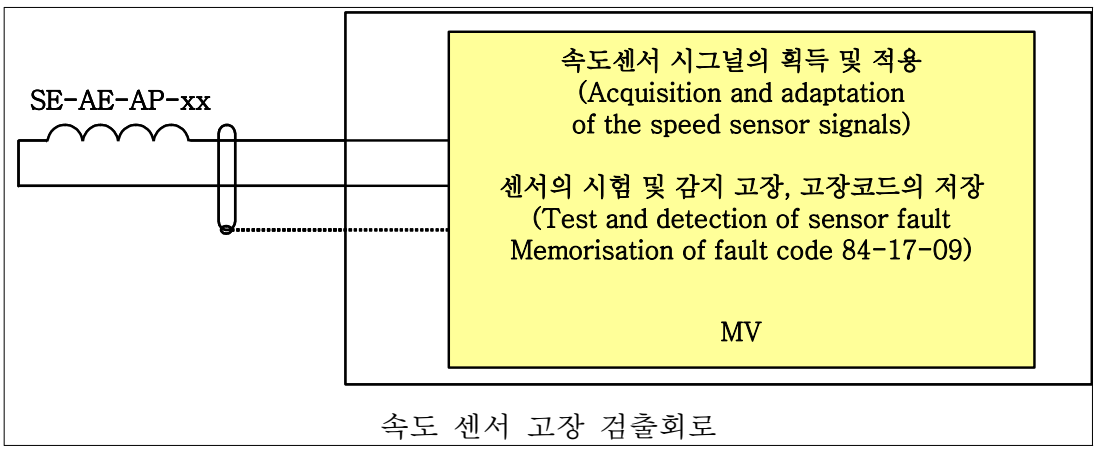
⑤ 44-16-14 : 속도센서1 과속



속도 센서 과속 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 전동기 속도센서 (SE-AE-AP-XX_)측에 2차측에 모의 과속도(350㎞/h)주파수를 인가 시 모터블록이 차단되는지 확인한다.

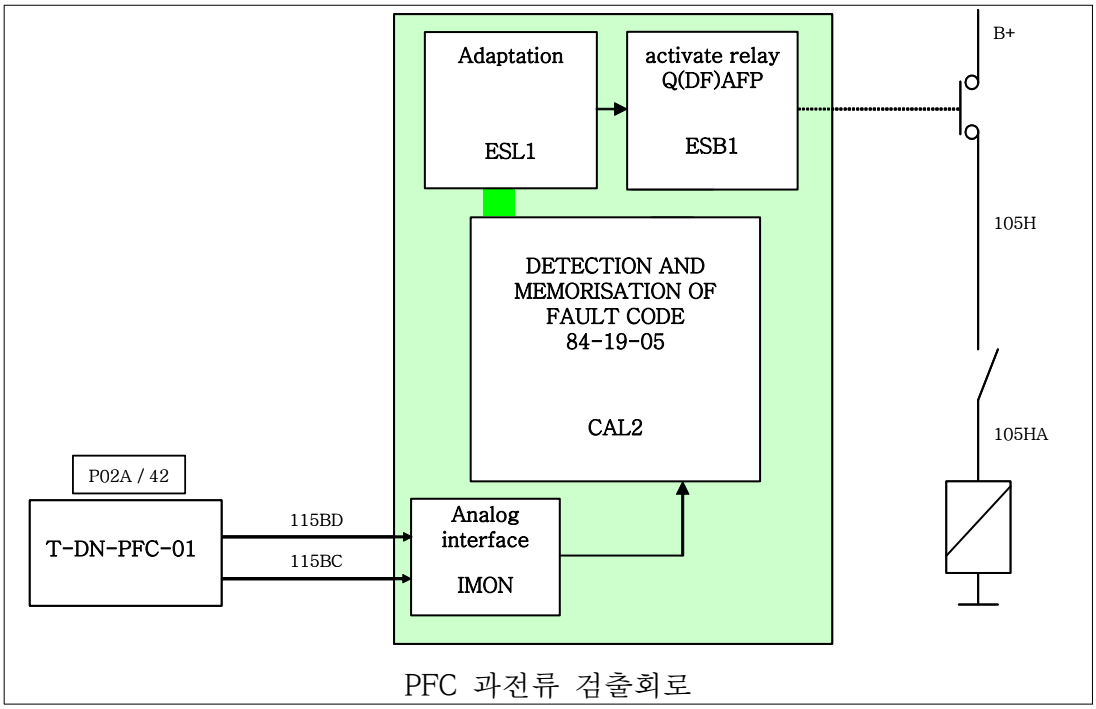
⑥ 84-17-09 : 속도 센서 고장



속도 센서 고장 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 전동기 속도센서 (SE-AE-AP-XX_)측에 2차측을 단선시 속도센서 고장을 검지하고 차축고착 감지 계전기(R-AX-FA-01)가 소자되는지 확인한다.

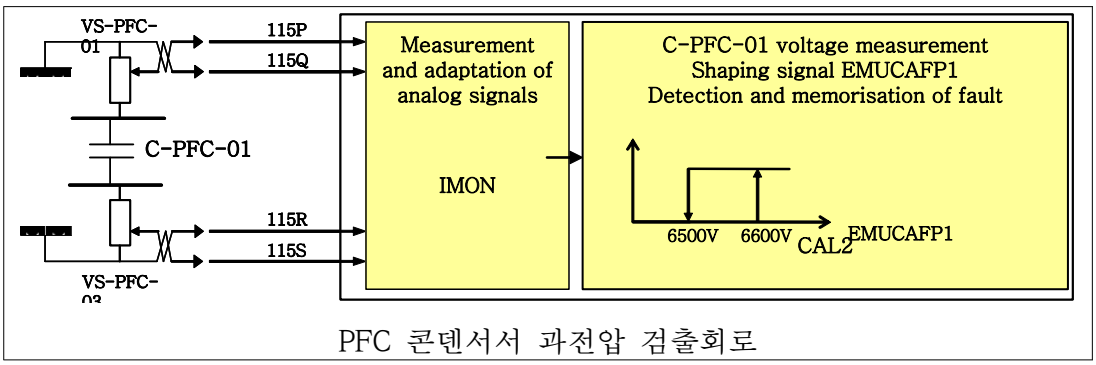
⑦ 84-19-05 : PFC1 과전류



PFC 과전류 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 PFC 전류 검출용 계전기(T-DN-PFC-01)를 임의(1,900A 여자)로 여자시 고장검지하여 “ISW-PFC-01“ 접촉기가 차단위치로 전환되고 ” PB-RS-PFC-01“ 표시등이 점등되는지 확인한다.(입출력 전류비 1000A: 1A)

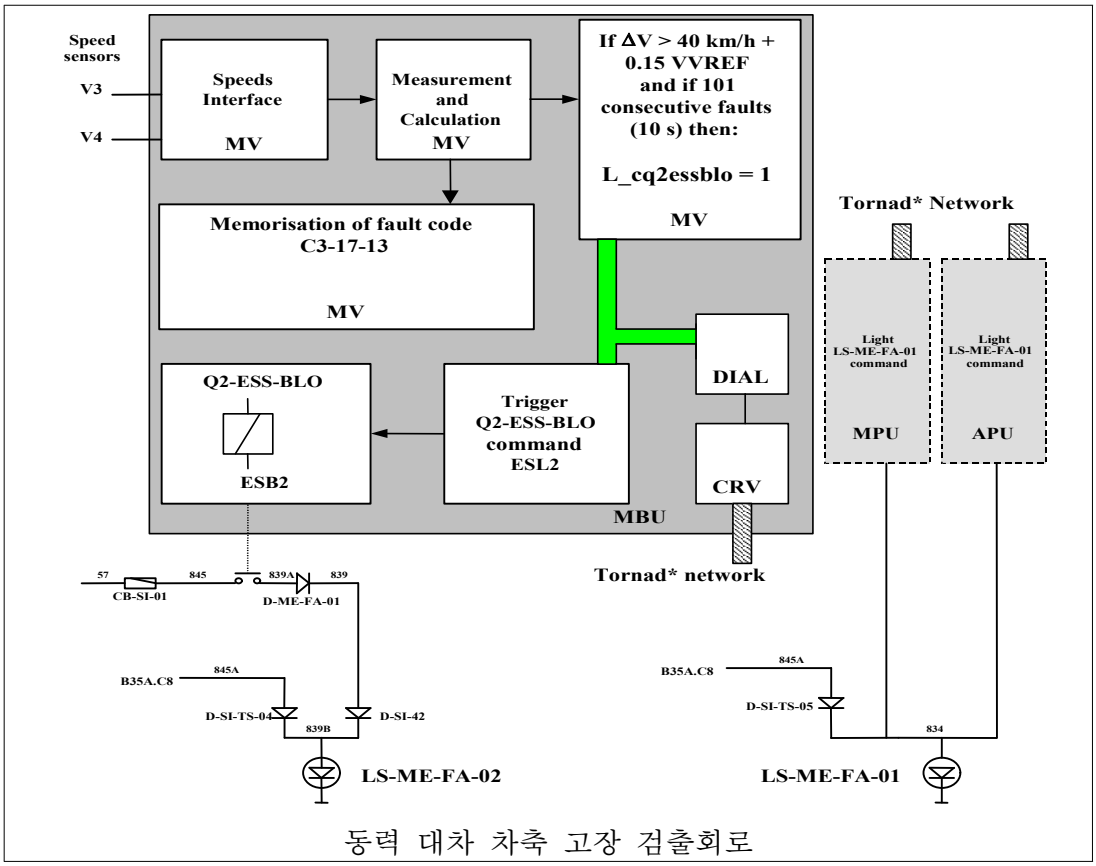
⑧ 84-19-07 : PFC1 콘덴서 과전압



PFC 콘덴서서 과전압 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 PFC 전압센서 (VS-PFC-01, 03) 2차 측에 임의전압(6,600V 이상)을 인가 시 고장검지하여 “ISW-PFC-01“ 접촉기가 차단위치로 전환되고 ” PB-RS-PFC-01“ 표시등이 점등되는지 확인한다.(입출력 전압비 1000V: 1V)

⑨ C3-17-13 : 동력대차 차축 고장 확인



동력 대차 차축 고장 검출회로

정격 제어전원(DC 72V)을 인가 후 정상동작 상태에서 옆 대차의 차축속도(V3 또는 V4)가 기준속도(V1 또는 V2)와 차이가 (△V〉 40Km/h+0.15*기준속도) 발생 시 동력대차 차축 고장을 검지하고 ESB2 보드의 Q2-ESS-BLO 계전기를 여자시키는지 확인한다.

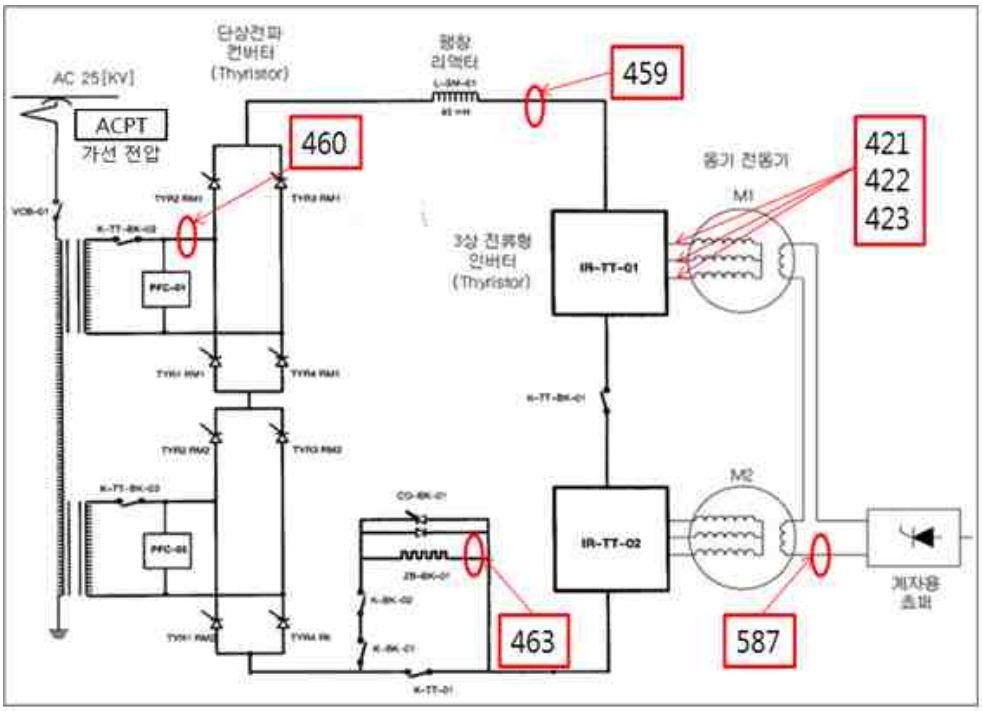
속도(km)	검지속도	속도차
100km	45km±5%	55km
200km	130km±5%	70km
300km	215km±5%	85km

㈐ 고압기동시험

고압 기동 시험 시 측정 개소는 다음과 같다.

- 가선전압 (ACPT 2차측)
- 컨버터 입력전류 (선번호: 460)
- 컨버터 출력(리액터 출력측)전류 (선번호: 459)
- 인버터 선간(견인전동기 입력 3상)전류 (선번호: 421, 422, 423)
- 여자초퍼 전류 (선번호: 587)
- 제동초퍼 전류 (선번호: 463)
- 견인전동기 속도신호

(속도 신호는 견인 전동기의 위치 센서를 사용하여 차량속도(Km/h)로 변환 한다.)



① 제어장치 전원변동 시험

제어전원을 DC 54V, 72V, 90V에서 보호동작 없이 역행 및 회생동작을 정상적으로 기동되는지 확인한다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)		결 과	비 고
54V	역행 및 회생 시 정상 파형 확인	역행	정상파형	양호	첨부4
		회생	정상파형	양호	첨부5
72V	역행 및 회생 시 정상 파형 확인	역행	정상파형	양호	첨부6
		회생	정상파형	양호	첨부7
90V	역행 및 회생 시 정상 파형 확인	역행	정상파형	양호	첨부8
		회생	정상파형	양호	첨부9

② 제어장치 전원중단 시험

제어전원을 DC 72V로 기동 후 제어전원을 OFF시 정지되는지 확인하고, 다시 전원을 인가하여 정상적으로 기동이 되는지 확인한다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)		결 과	비 고
72V	인버터 정지 상태에서 제어전원 재인가 시 Sequence에 따라 정상 재 기동 하는지 확인	역행	정상재기동	양호	첨부10
		회생	정상재기동	양호	첨부11

③ 가선 입력전압 변동 시험

제어전원을 DC 72V에서 가선전압을 20kV, 29kV에서 정상적으로 동작되는지 확인하고, 다시 가선전압 25kV을 인가하여 정상적으로 기동이 되는지 확인한다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)		결 과	비 고
20kV (ACPT 1,440V 상당)	역행 및 회생 시 정상 파형 확인	역행	정상파형	양호	첨부12
		회생	정상파형	양호	첨부13
29kV (ACPT 2,088V 상당)	역행 및 회생 시 정상 파형 확인	역행	정상파형	양호	첨부14
		회생	정상파형	양호	첨부15

④ 가선 입력전압 정전 시험

제어전원 DC 72V, 가선전압 25kV에서 역행 기동 후 가선전압을 차단 후 약 5초 후에 재가압시켜 정상 기동되는지 확인한다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)	결 과	비 고
제어전원 : 72V 가선전압 : 25kV	가선전압 차단 후 재가압시 정상 기동 확인. 보호동작으로 인버터 정지한 후, 가선전압이 복귀 후 Reset 지령을 받아 Reset 후 재 역행 동작을 개시할 것.	정상동작	양호	첨부16

㈅ 발전 제동 시험

가선 전압 25kV를 인가 하여 견인 동작 시킨 후 가선 전압 차단 후 제동시에 발전 제동으로 변환 하여 정상 동작 하는지 확인 한다.

- 시험결과

기 준 치		측정(값)	결 과	비 고
모터블록 주회로 입력전압	가선 전압 차단 후 발전 제동으로 변환 후 정상동작 확인.	정상동작	양호	첨부 19

㈆ 토크특성시험

① 역행토크시험

가선 25kV를 입력시킨 후 견인모드 시에서 낼 수 있는 속력의 최댓값 도달할 때 까지 가속시키면서 측정한다. (최대견인요구 시와 70% 요구 시)

단, 역행 토크 시험은 시험 설비를 고려하여 견인 전동기 1대당 요구치에 50%를 기준으로 한다.

㉠ 주행속도 100㎞/h 시 견인토크가 15.334N±5%, 10.74kN±5% 이내인지 확인한다.

㉡ 주행속도 120㎞/h 시 견인토크가 11.57kN±5%, 8.10kN±5% 이내인지 확인한다.

㉢ 주행속도 180㎞/h 시 견인토크가 10.03kN±5%, 7.02kN±5% 이내인지 확인한다.

㉣ 주행속도 200㎞/h 이상시 견인토크가 9.52kN±5%, 6.66kN±5% 이내인지 확인한다.

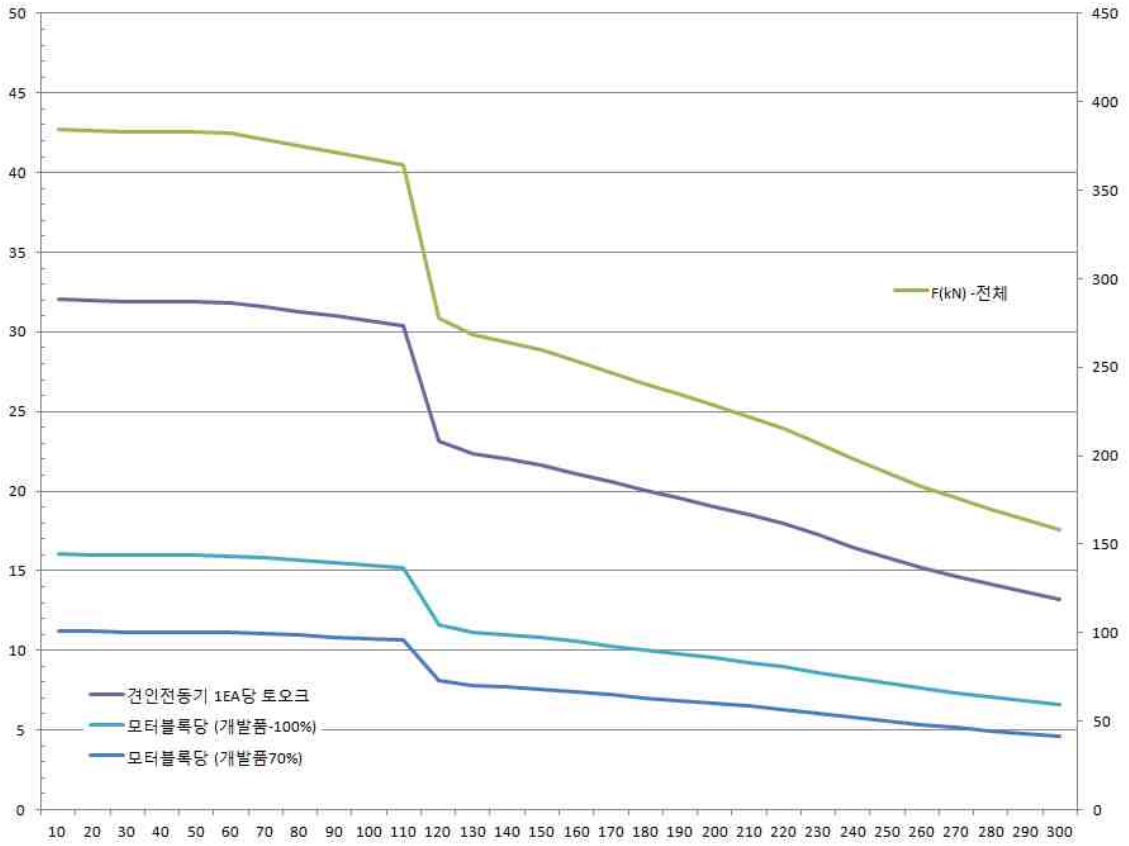
단, 시험의 안전을 위해 관성부하장치 사양의 최고 속도까지 시험한다.

- 시험결과

측정위치	측정항목	기준치	측정값	결 과	비 고
모터블록 (최대출력 100%)	100㎞/h	15.34kN ± 5%	15.8	양호	첨부 20
	120㎞/h	11.57kN ± 5%	11.4	양호	첨부 21
	180㎞/h	10.03kN ± 5%	10.2	양호	첨부 22
	200㎞/h	9.52kN ± 5%	9.8	양호	첨부 23
모터블록 (최대출력 70%)	100㎞/h	10.74kN ± 5%	11.2	양호	첨부 24
	120㎞/h	8.10kN ± 5%	8.0	양호	첨부 25
	180㎞/h	7.02kN ± 5%	7.0	양호	첨부 26
	200㎞/h	6.66kN ± 5%	6.8	양호	첨부 27

< 견인 측정 기준표 >

V(km/h)	F(kN) -전체	견인전동기 1EA당 토오크	모터블록당 (개발품-100%)	모터블록당 (개발품-70%)
10	384.6	32.05	16.03	11.22
20	384	32.00	16.00	11.20
30	383	31.92	15.96	11.17
40	383	31.92	15.96	11.17
50	382.7	31.89	15.95	11.16
60	382.2	31.85	15.93	11.15
70	378.9	31.58	15.79	11.05
80	375.4	31.28	15.64	10.95
90	371.8	30.98	15.49	10.84
100	368.1	30.68	15.34	10.74
110	364.6	30.38	15.19	10.63
120	277.6	23.13	11.57	8.10
130	268.1	22.34	11.17	7.82
140	263.9	21.99	11.00	7.70
150	259.5	21.63	10.81	7.57
160	253.2	21.10	10.55	7.39
170	247	20.58	10.29	7.20
180	240.7	20.06	10.03	7.02
190	234.6	19.55	9.78	6.84
200	228.4	19.03	9.52	6.66
210	222.1	18.51	9.25	6.48
220	215.8	17.98	8.99	6.29
230	206.7	17.23	8.61	6.03
240	198	16.50	8.25	5.78
250	190.1	15.84	7.92	5.54
260	182.7	15.23	7.61	5.33
270	176	14.67	7.33	5.13
280	169.7	14.14	7.07	4.95
290	163.9	13.66	6.83	4.78
300	158.4	13.20	6.60	4.62



② 제동토크시험

제동 모드 시에서 낼 수 있는 속력의 최댓값에 도달할 때 까지 가속시키면서 측정한다. (최대제동요구 시와 50% 요구 시)

㉠ 주행속도 160㎞/h 시 제동토크가 25.00kN±5%, 12.50kN±5%이내인지 확인한다.

㉡ 주행속도 180㎞/h 시 제도토크가 22.06kN±5%, 11.03kN±5% 이내인지 확인한다.

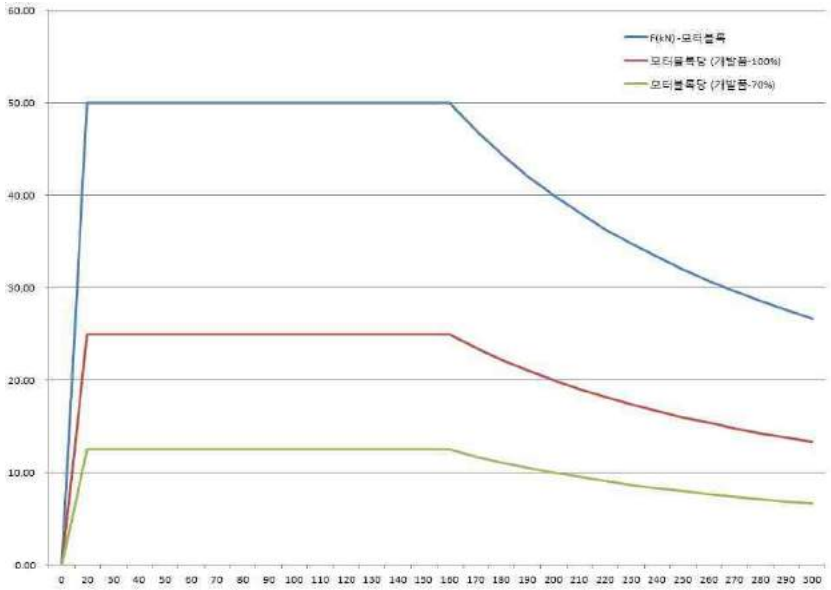
㉢ 주행속도 200㎞/h 이상시 제동토크가 19.74kN±5%, 9.87kN±5% 이내인지 확인한다. 단, 시험의 안전을 위해 관성부하장치 사양의 최고 속도까지 시험한다.

- 시험결과

측정위치	측정항목	기준치	측정값	결과	비 고
모터블록 (최대출력 100%)	160㎞/h	25.00kN ± 5%	50.0	양호	첨부 28
	180㎞/h	20.83kN ± 5%	21.2	양호	첨부 29
	200㎞/h	18.75kN ± 5%	18.8	양호	첨부 30
모터블록 (최대출력 50%)	160㎞/h	11.72kN ± 5%	12.2	양호	첨부 31
	180㎞/h	10.42kN ± 5%	11.0	양호	첨부 32
	200㎞/h	9.38kN ± 5%	9.4	양호	첨부 33

< 제동 측정 기준표 >

V(km/h)	F(kN) -전체	모터블록당 (개발품-100%)	모터블록당 (개발품-50%)
0	0.00	0.00	0.00
20	50.00	25.00	12.50
30	50.00	25.00	12.50
40	50.00	25.00	12.50
50	50.00	25.00	12.50
60	50.00	25.00	12.50
70	50.00	25.00	12.50
80	50.00	25.00	12.50
90	50.00	25.00	12.50
100	50.00	25.00	12.50
110	50.00	25.00	12.50
120	50.00	25.00	12.50
130	50.00	25.00	12.50
140	50.00	25.00	12.50
150	50.00	25.00	12.50
160	50.00	25.00	12.50
170	46.88	23.44	11.72
180	44.12	22.06	11.03
190	41.67	20.83	10.42
200	39.47	19.74	9.87
210	37.5	18.75	9.38
220	35.71	17.86	8.93
230	34.09	17.05	8.52
240	32.61	16.3	8.15
250	31.25	15.63	7.81
260	30	15	7.5
270	28.85	14.42	7.21
280	27.78	13.89	6.94
290	26.79	13.39	6.7
300	25.86	12.93	6.47



㈋ 온도상승시험

모터 블록과 견인전동기 또는 RL 부하를 조합하여 1시간 동작 상태에서 각부의 온도를 측정하여 기준 값 이내여야 한다.

(영업 운행 패턴을 모의하여 역행, 제동모드로 교번하여 시험한다.)

(역행 80sec → 정지 20sec → 제동 50sec → 정지 20sec → 반복)



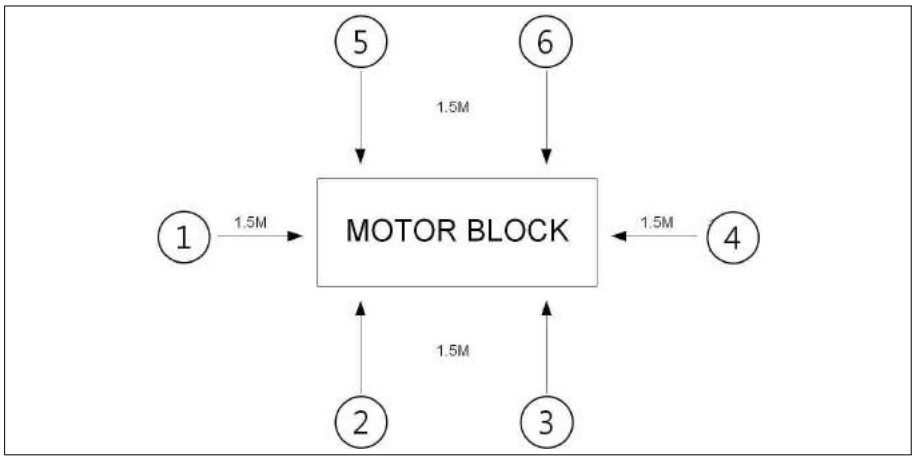
온도 측정 위치

- 시험결과

측정위치	측정항목	기준치(절대온도)	측정값	결 과	비 고
컨버터 장치 1 외함(CV-TT-01)	온도상승 시험	70℃이하	18.0	양호	참부17
컨버터 장치 2 외함(CV-TT-02)		70℃이하	19.5	양호	
역률개선장치 외함(PFC)		70℃이하	4.5	양호	
인버터장치 1외함(IR-TT-01)		70℃이하	7.5	양호	
인버터장치 2 외함(IR-TT-02)		70℃이하	6.0	양호	
여자 초퍼 외함(CO-EX)		70℃이하	3.0	양호	
제동 초퍼 외함 (CO-BK)		70℃이하	2.5	양호	
제어장치 상측(MBU)		40℃	6.0	양호	
외기온도		-	19.5	양호	
각 필터 커패시터(PFC용)		80℃이하	6.5	양호	

㈜ 소음측정시험

정격부하에서 동작시킨 상태에서 1.5m의 거리에서 소음을 측정하여 85dB(A) 이하인지 확인한다.



- 시험결과

측정위치	측정항목	기준치	측정값	결 과	비 고
1	좌측	85dB(A) 이하	77.5	양호	
2	전면 좌측		77.9	양호	
3	전면 우측		78.5	양호	
4	우측		78.4	양호	
5	후면 좌측		77.9	양호	
6	후면 우측		77.3	양호	

KTX모터블럭 중간검사 확인서

1. 단품 시험

품명	기준서	시험항목	결과	시험기간
CO-BK	K611-1114344-P4200-EK +T-005-KMB-N001	HV (Hight Voltage) 결선검사 외 6항목	양호	2012년 7월 24일 ~ 2012년 12년 20일
CO-EX	K611-1114345-P4200-EK +T-006-KMB-N001	HV (Hight Voltage) 결선검사 외 6항목	양호	
CV-TT	11001K611-1114342-E0000-WJ +T-000-KMB-N001	외관검사 외 11항목	양호	
IR-TT	K611-1114343-E0000-WJ +T-000-KMB-N001	외관검사 외 11항목	양호	
CV-PFC	K611-1114344-P4200-EK +T-006-KMB-N001	외관검사 외 11항목	양호	

2. 모터블럭 조합 시험(공장시험)

품명	기준서	시험항목	결과	시험기간
모터 블럭	K611-11143-E0000-WJ +T-000-KMB-N001	외관검사 외 8항목	양호	2013년 3월 12일 ~ 2013년 4년 11일

상기 시험에 대한 이상 없음을 확인 함

2013. 04. 19 .

(사)한국철도차량엔지니어링 배 한 섭

(사)한국철도차량엔지니어링 부장 김 재 영

다. 제어기(기존품) 조합시험

1) 개요

2013년 5월16일~5월20일, 5월28일~5월30일, 그리고 6월05일~6월11일의 기간동안 기존 KTX 고속차량의 MB(Motor Block)의 제어장치인 MBU를 차용하여 개발된 모터블록에 설치해 조합시험을 실시하였다.

2) 조합시험 결과

가) 1차 시험(5월 16일~5월 20일)

조합시험을 위하여 견인전동기 1대를 더 차용하여 총 2대의 견인전동기를 관성체에 연결하여 시험하였다. 그러나 인버터1과 인버터2의 견인전동기는 반대방향으로 회전하지만 관성체에 같은 방향으로 설치를 하여 아래의 그림에서와 같이 약 10km/h부근까지만 시험이 가능하였다.

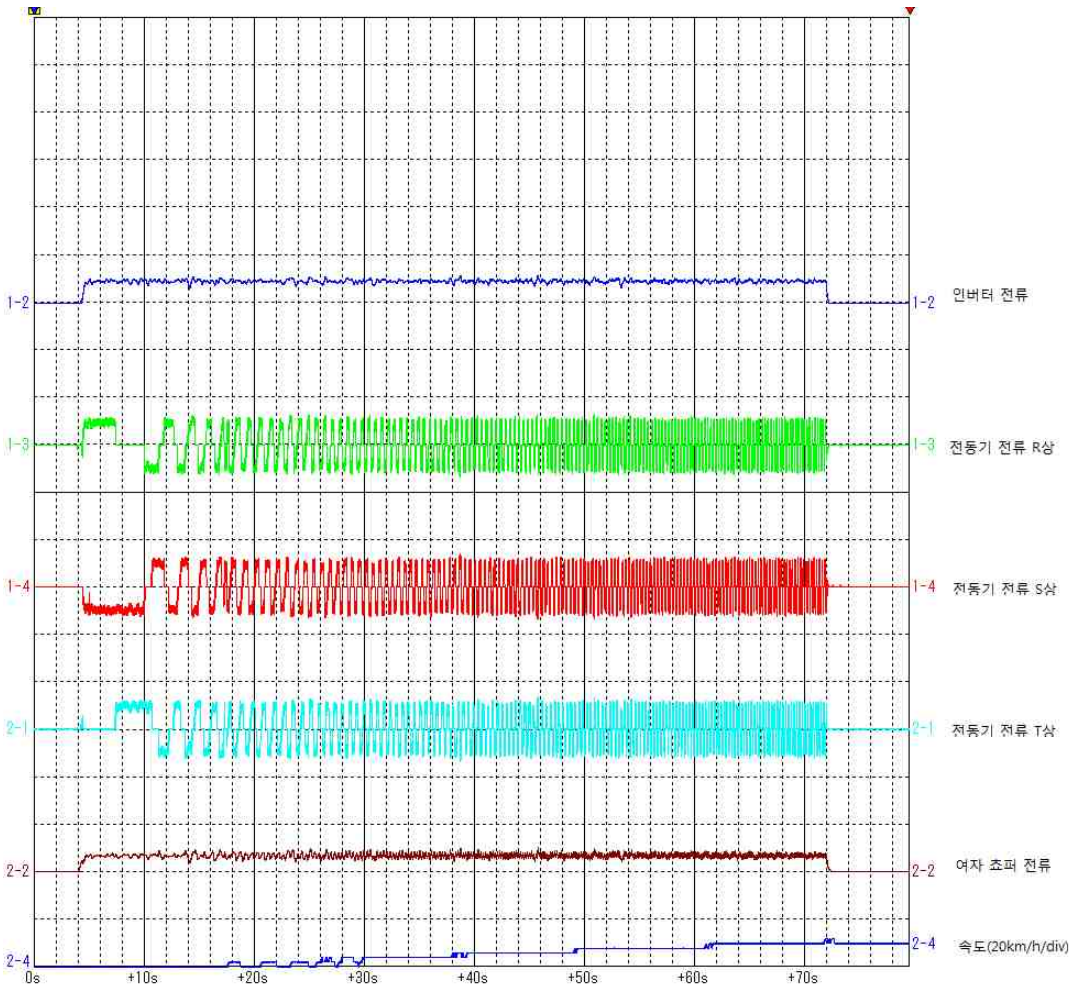


그림 157. 조합시험 파형(속도 10km/h)

견인전동기의 회전방향이 서로 상이하여 속도를 증가시킬수 없어 회로를 수정하여 견인전동기 1대만 설치한 후 시험을 진행했다.

그 결과 아래의 그림과 같이 약 58km/h의 속도까지 증가했으나 그 이후로는 계속적으로 스위칭이 멈추는 현상이 발생하였다.

이것은 모터블록이 원래 2개의 인버터를 동작시켜 2개의 견인전동기를 구동시키나 1대만 구동시킴으로 인하여 인버터 전압의 상이함(고장코드:44-16-04 또는 44-16-05)이 발생한 것으로 추정된다.

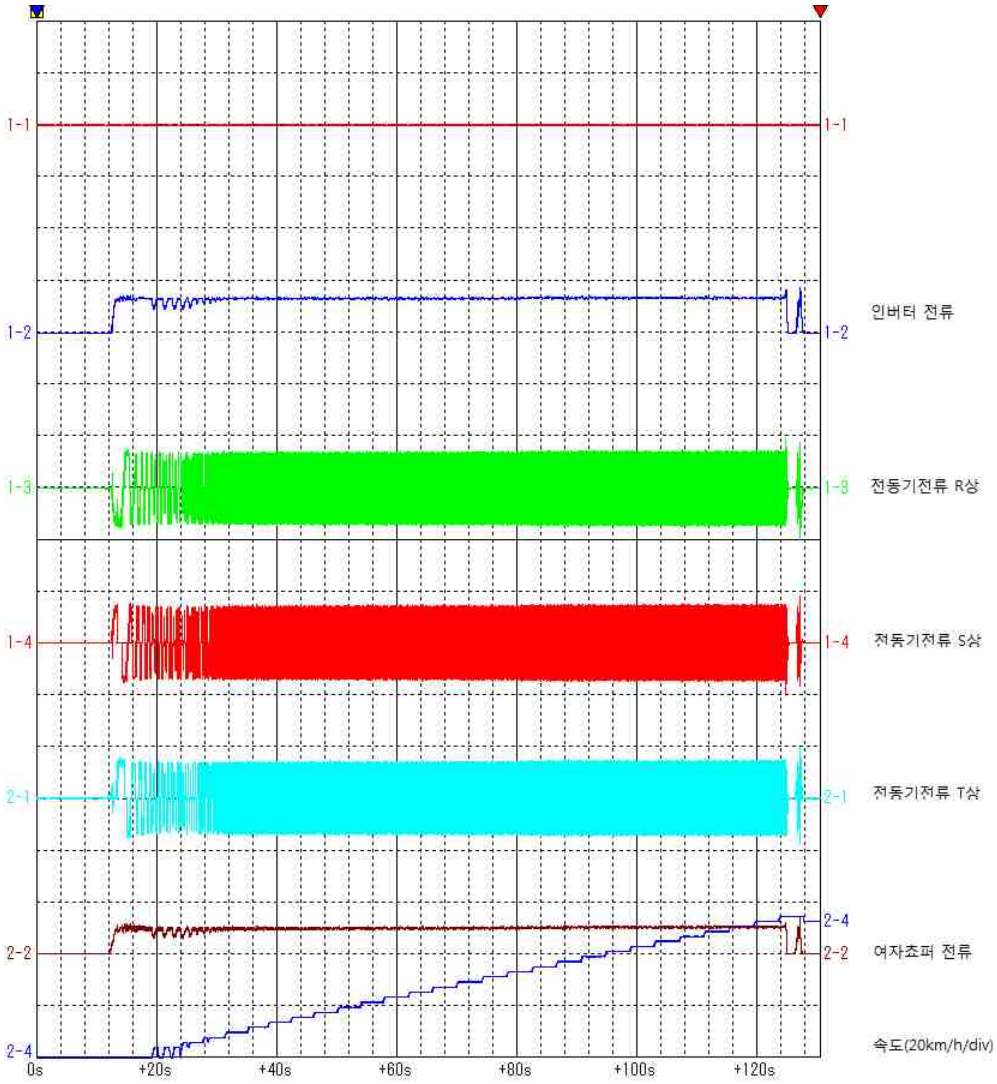


그림 158. 조합시험 파형:속도 58km/h, 견인전동기 1대 연결

나) 2차 시험(5월 28일~5월 30일)

지난 1차시험에서 견인전동기의 위치를 같은 방향으로 설치하여 문제가 된 것을 보완하여 각각의 견인전동기를 역방향으로 위치하도록 재설치하여 시험을 진행하였다.

아래의 그림은 견인전동기 2대를 연결후 시험한 결과를 보여준다. 시험결과 약 38km/h의 속도까지 상승했으나 그림과 같이 인버터 1의 스위칭이 멈추었다.

스위칭이 멈추는 원인은 확실치 않으나 속도센서의 상이함(시험시 51개의 치차에 연결된 속도센서로부터 입력됨)으로 인해 견인력의 요구치와 계산된 견인력의 불일치가 일어난 것으로 추정된다.

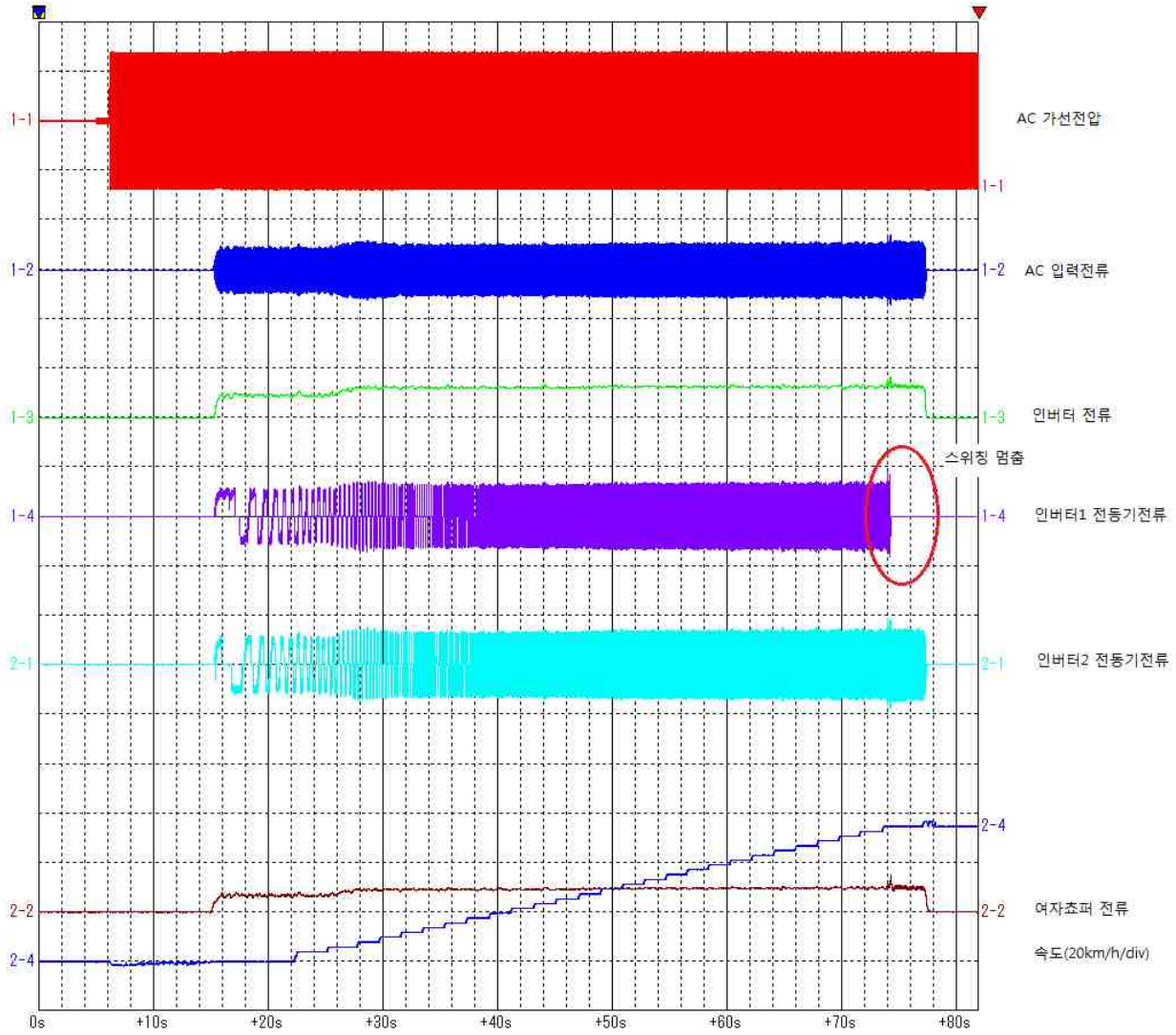


그림 159. 조합시험 파형:속도 38km/h, 견인전동기 2대 연결

다) 3차 시험(6월 5일~6월 11일)

지난 2차시험의 결과 속도센서의 상이함으로 인해 견인이 안되는 것으로 판단하여 속도센서의 치차비를 조정하였다.(감속기어의 기어비를 고려하여 51펄스→28펄스로 변경함)

아래의 그림에서 조합시험 파형을 보여준다. 약 90km/h까지 모터블록의 이상없이 견인동작이 이루어졌다. (발전기의 출력인 AC 입력전압이 떨림)

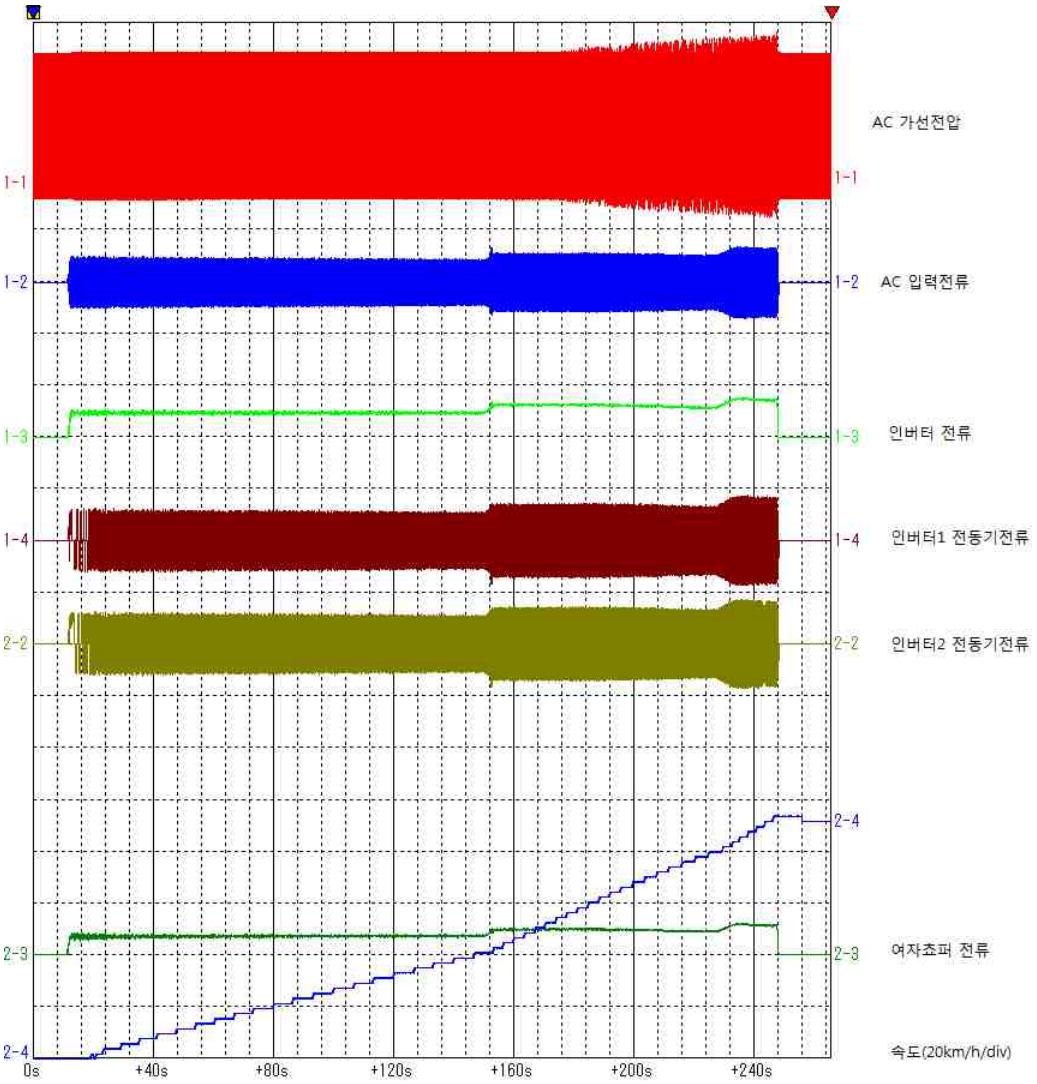
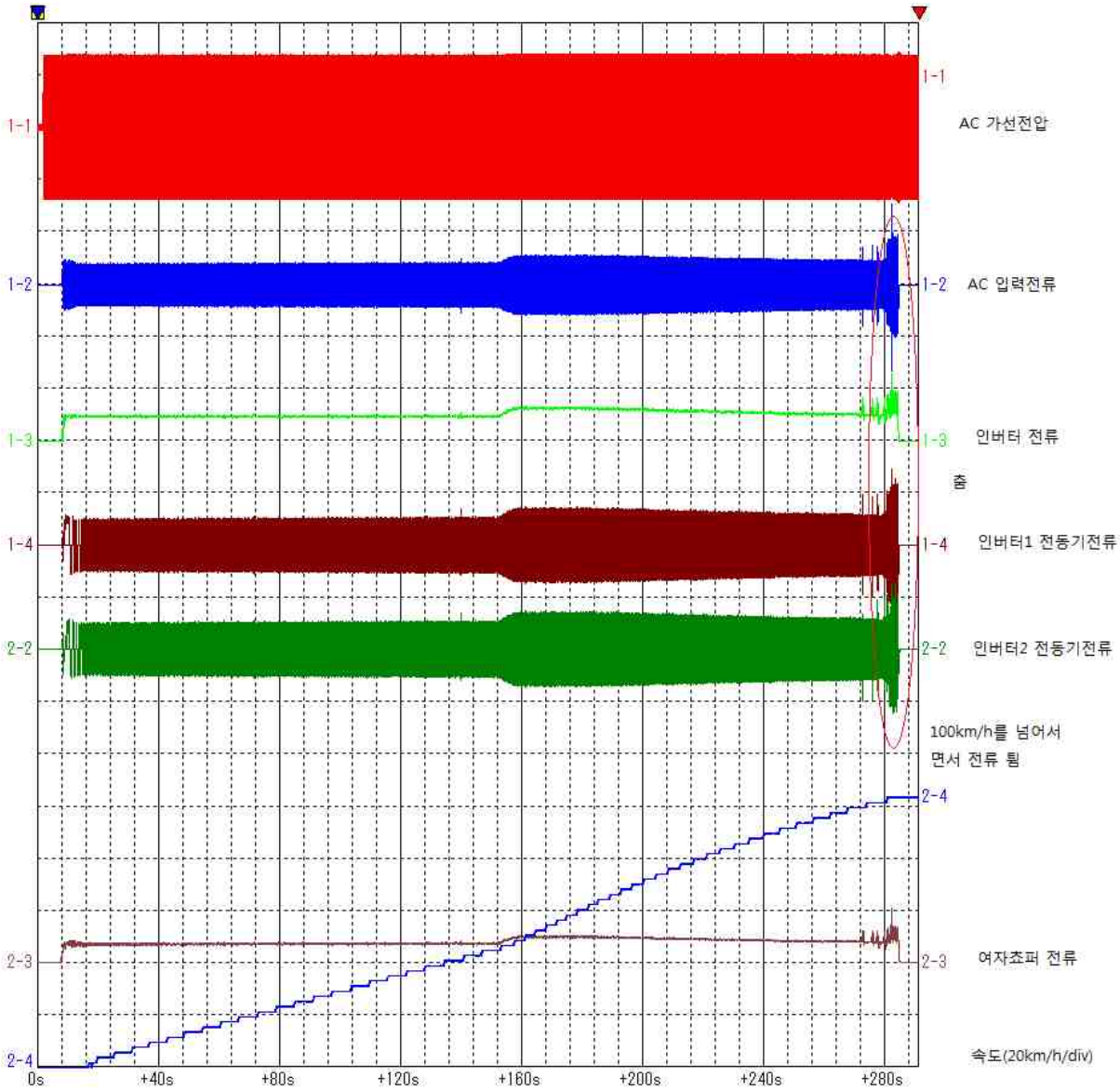


그림 160. 조합시험 파형:속도 95km/h, 견인전동기 2대 연결

제동압력등의 인터페이스와 다른 MB와의 인터페이스가 불가능하여 조합시험에서 제동시험은 실시하지 않았다.

참고파형

- 100km/h 이상에서 전류 튐(고장차단은 아니며 정지시킴)

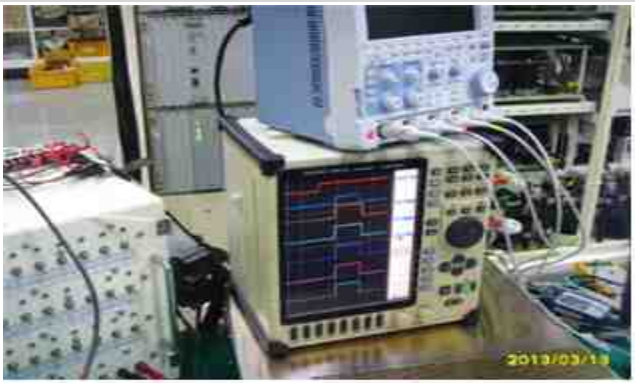


라) KTX 모터블록 조합시험 관련사진

○ 치수검사



○ 시퀀스시험



○ 내전압시험



○ 소음 시험



○ 보호 동작 시험



○ 발전제동시험



○ 토오크 특성 시험



○ 중량 측정



3. 현차시험

가. 큐브류 5종(7점) 현차시험

1) 개요

KTX 고속차량 모터블록에 적용될 국산화 큐브류(IR-TT, CV-TT, CV-PFC, CO-EX, CO-BK)의 품질 보증 및 신뢰성 확보를 위한 큐브류 현차시험 절차서이다.

2) 시험대상 및 장비 설치도

가) 시험대상



< IR-TT >



< CV-TT >



< CV-PFC >

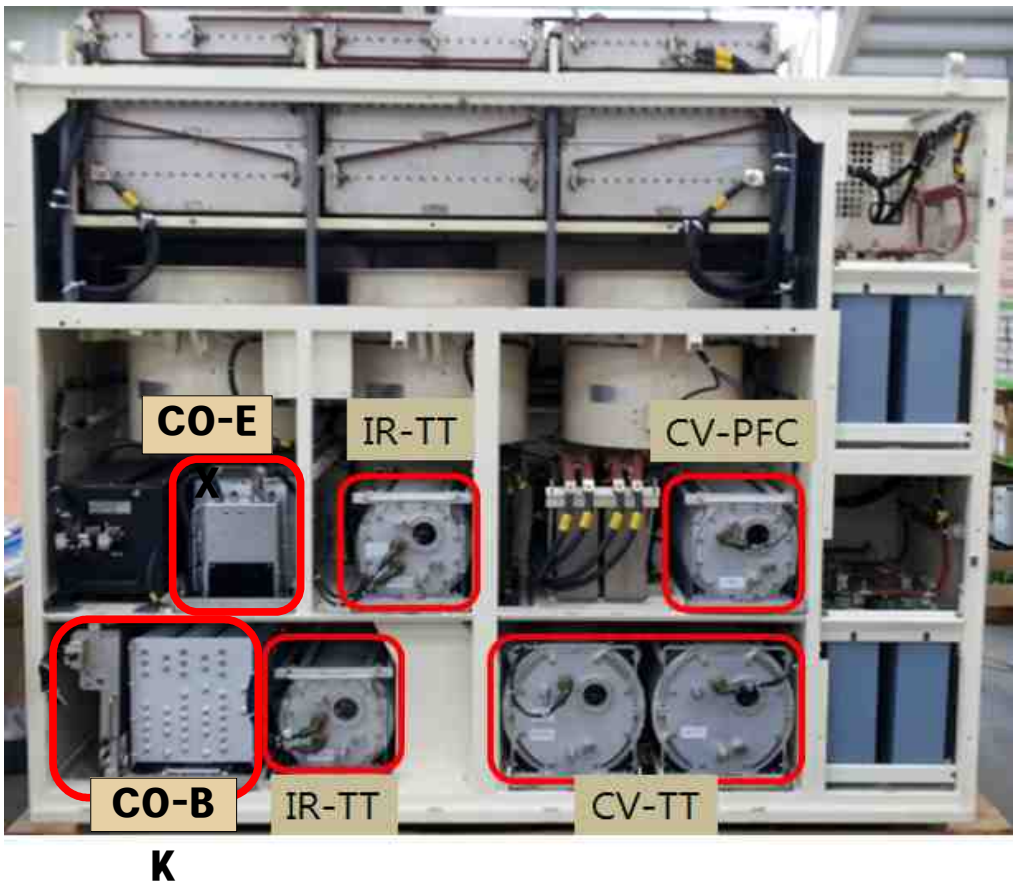


< CO-EX >



< CO-BK >

나) 장비설치도

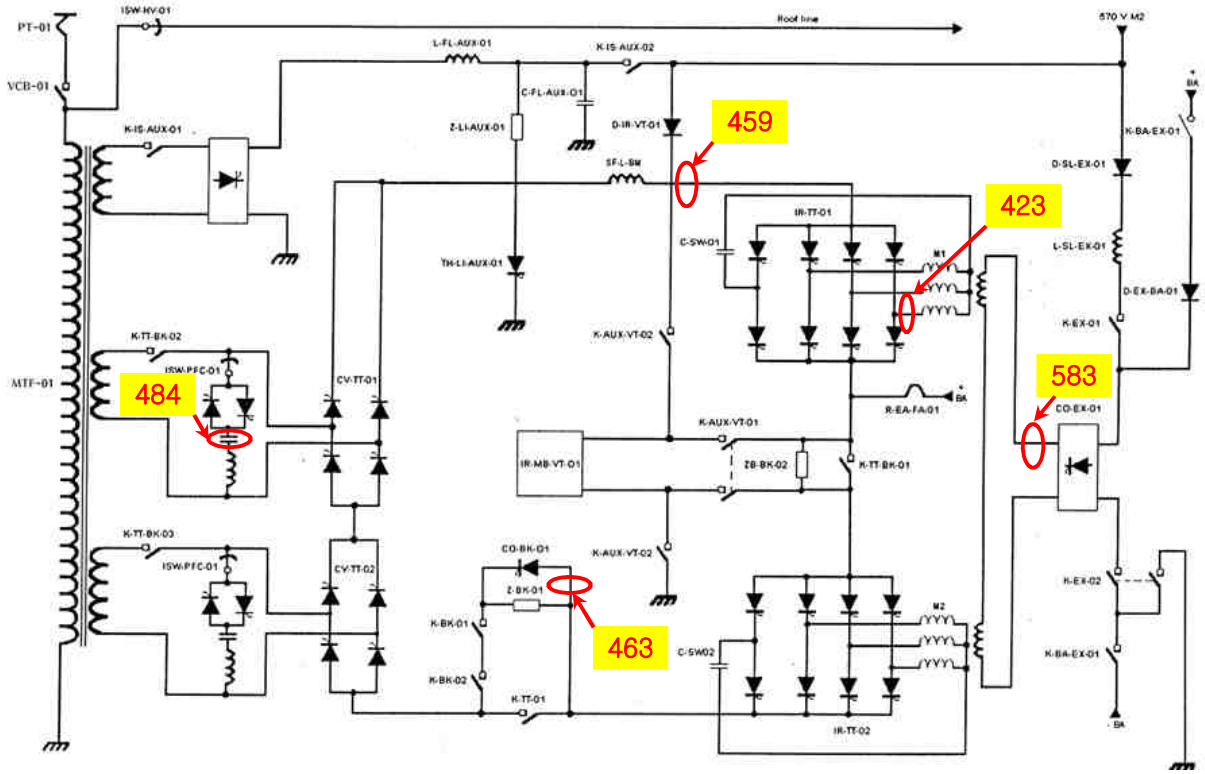


다) 측정장비

구분	장비명	장비사양	용도	수량	보유기관
검사	육안	-	외관 및 설치상태 검사		-
시험	MEMORY HICODER	8842	파형 측정용	1	우진산전
	DIGITAL MULTIMETER	FLUKE177	전압 측정용	2	우진산전 이경산전
	CLAMP ON DC/DC TESTER(2000A)	3285	전류 측정용	10	우진산전 이경산전
	온도측정기	TR-7	큐브온도 측정용	10	우진산전

라) 측정위치

모터블록내 CUBE류의 연결과 전압 및 전류의 측정에 대한 접속은 다음과 같으며 측정은 절연된 전압/전류 센서를 사용하여 측정한다.



No	위 치	선번호	측정개소의 의미
1	필터 리액터 출력 전류	459	전동기에 공급되는 토크성분의 전류를 계산가능
2	역률제어장치(PFC) 전류	484	역률제어장치의 기동/정지 시점에 대한 조사, 최대 허용전류의 크기 등을 조사하기 위함
3	인버터 1 출력 전류	423	인버터 출력 전류 형태 파악
4	제동초퍼 전류	463	제동시 제동초퍼에 흐르는 전류 파악
5	여자초퍼 전류	583	견인모터 여자코일에 흐르는 전류 파악
6	큐브 온도 측정	-	컨버터, 인버터, 역률개선장치, 여자초퍼, 제동초퍼용 큐브 외함 온도 조사

마) 측정 내용

- 실측내용: 기존품과 개발품의 출력전압 또는 출력전류, 방열판의 온도
- 모니터링 내용: 고장내용

바) 사용 공구 및 시험 계측기

(1) 사용 공구

기존의 CUBE 장치를 Motor Block에서 분리하고 개발품을 취부하기 위한 공구는 다음과 같다.

No.	설 비 명	제조회사	MODEL	비 고
1	폭스렌치	-	SET	CUBE류 장치 고정볼트 분리용
2	커버열쇠	-	사각키	모터블록 보호커버의 잠금장치 해제

(2) 측정 장비

실제 전압과 전류의 측정하기위하여 사용되는 장치는 아래와 같으며 절연 센서는 절연내압 2500V 이상의 것을 사용한다.

No.	장 비 명	제조회사	MODEL	용도	비고
1	MEMORY HICODER	HIOKI	8842	파형 측정용	
2	DIGITAL MULTIMETER	FLUKE	FLUKE177	전압 측정용	
3	CLAMP ON DC/DC TESTER(2000A)	HIOKI	3285	전류 측정용	
4	온도측정기	온도 센서	TR-7	큐브온도 측정용	

3) 시험 절차

CUBE류의 현차 시험은 MB1에 취부된 기존품과 MB2에 취부된 개발품을 동일한 상태에서 시험 측정을 실시하고 그 파형을 기록한 후 기존품과 개발품의 측정 결과 값을 비교 분석하는 형태로 이루어 져야 한다.

가) CUBE의 분리 및 장착

(1) CUBE의 분리

CUBE 장치를 분리하는 경우에는, 다음 조작을 행한다.

① 차량이 기동을 정지하였는지 확인한다.

② 팬토그래프가 하강되어있고 안전스위치가 안전위치로 되어있는지 확인한다.
③ 보조블록장치의 BVR 스위치가 접지 위치인지 확인한다.
④ 모터블록의 커버를 열고 시험 대상에 해당되는 CUBE 장치에 연결된 제어 컨넥터를 분리하고 취부용 볼트를 취거한 후 CUBE를 모터블록에서 분리한다.

(2) CUBE의 장착

CUBE의 장착은 다음의 순서에 따른다.

① CUBE를 모터블록에 탑재한다
② 제어용 커넥터를 연결한다
③ 장착된 상태와 컨넥터의 연결상태 등이 이상이 없는지 확인한다
④ 기동순서에 의거하여 차량을 기동한다.

나) 본선시운전 시험

(1) 구내 시운전

정적시험을 마친 상태에서 현차운행 조건과 동일하게 기지내 시험 구간을 3회 왕복하면서 정적시험과 같은 위치의 전압 및 전류 파형, 히트블록의 온도, 차량 속도를 관찰·기록하고 기존 장치와 비교하여 동등 또는 그 이상의 성능으로 정상동작 되는지 여부를 확인한다.

① MB1에는 기존품을 장착하여 위와 같은 방법으로 시험을 하고 시험성적서에 기록한다.
② MB2에는 개발품을 장착하여 위와 같은 방법으로 시험을 하고 시험성적서에 기록한다.

(2) 본선 시운전

구내시험을 마친 상태에서 현차운행 조건과 동일하게 전압 및 전류 파형, 히트블록의 온도, 차량 속도를 관찰·기록하고 기존 장치와 비교하여 동등 또는 그 이상의 성능으로 정상동작 되는지 여부를 확인한다.

① MB1에는 기존품을 장착하여 위와 같은 방법으로 시험을 하고 시험성적서에 기록한다.
② MB2에는 개발품을 장착하여 위와 같은 방법으로 시험을 하고 시험성적서에 기록한다.

4) 시험 결과

가) 1차 구내시운전(초퍼 2종 취부) 측정파형

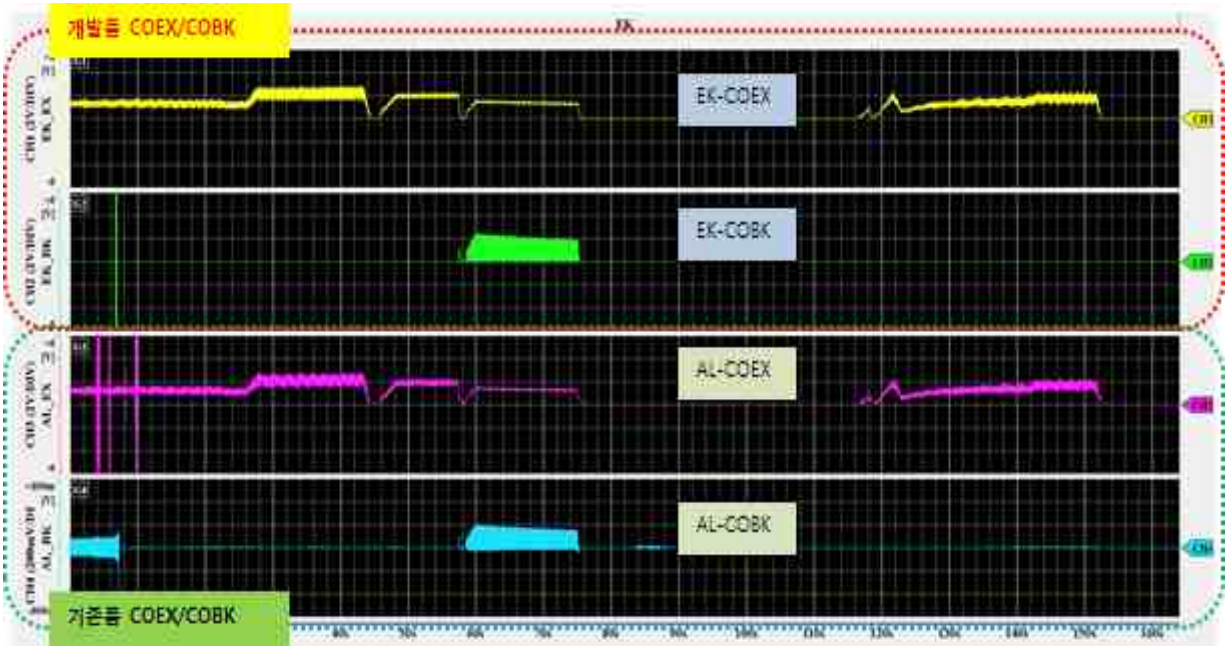


그림 161. 기존품과 개발품의 출력파형 비교

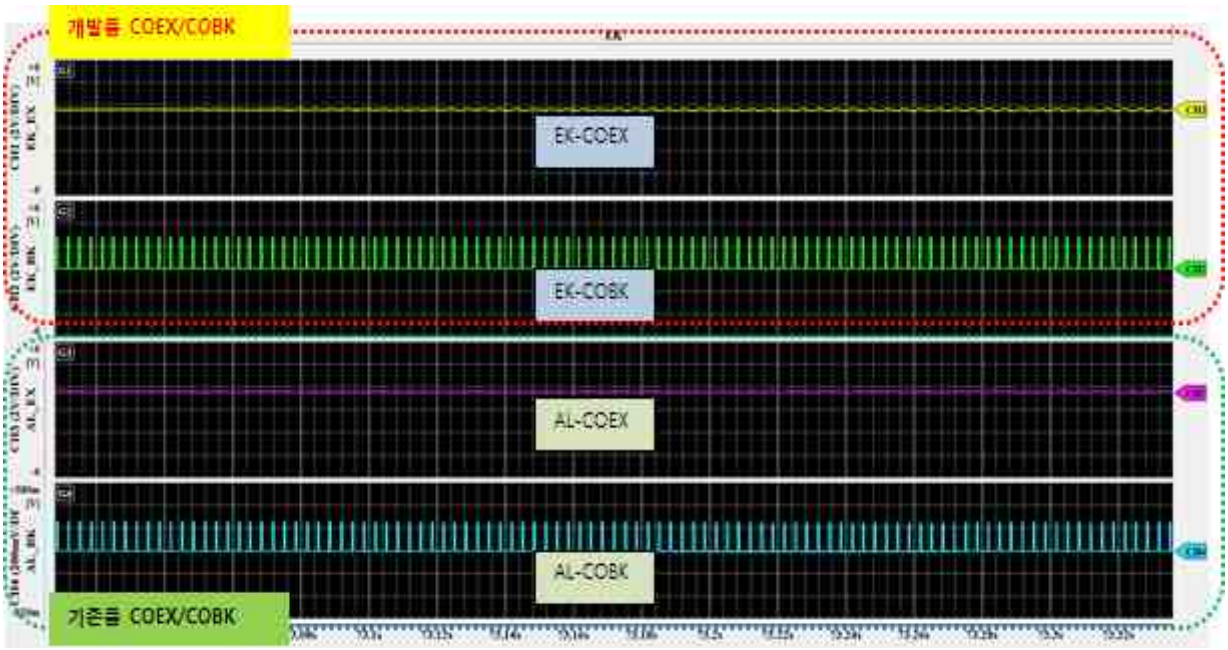


그림 162. 기존품과 개발품의 출력파형 비교(확대파형)

나) 2차 구내시운전(큐브류 5종 7ea 취부) 측정파형

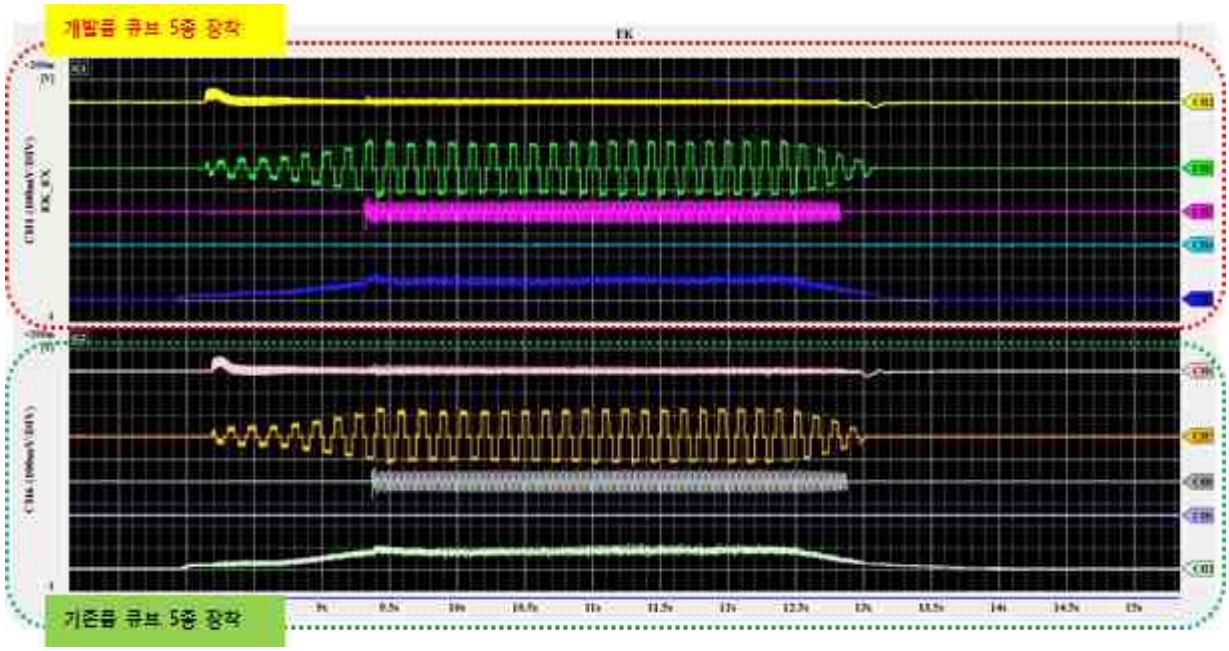


그림 163. 기존품과 개발품의 출력파형 비교

다) 결론

1차와 2차 구내시운전 각 3회 왕복하며 현차시험을 수행한 결과 특이사항은 발생하지 않았으며, 모터블록(MB1, MB2)간의 파형비교 분석을 통해 기존장치와 동일한 파형이 얻어짐을 확인하였습니다. 또한 계측된 전류 최대값은 여자초퍼의 경우 약 550A, 제동초퍼의 경우 약 590A로 측정되었으며, 이는 기존장치와도 동일한 것으로 확인하였습니다.

< KTX 모터블록 단품 현차시험 관련사진 >



시험차량 KTX17호



개발품 취부 01



개발품 취부 02



개발품 취부 03



개발품 취부 04



개발품 취부 05



계측기 설치 01



계측기 설치 02



계측기 설치 03



정적시험(구속시험)



동적시험(구내시운전)



동적시험(구내시운전)

나. 전력변환장치(제어기 제외) 현차시험

1) 개요

KTX 고속차량 모터블록에 적용될 국산화 모터블록(MBU 제외)의 신뢰성 확보를 위한 현차시험 결과이다.

구 분	내 용	비 고
시험일시	2013년 6월 17일 ~ 20일(4일간)	
시험대상	KTX 모터블록 (1 set)	
시험차량	KTX 고속차량 (44호차 PC2 MB1)	모터블록(MBU제외) 1대 교환
시험구간	부산 수도권차량사업단 검수고	
참여인력	철도공사, ㈜우진산전, 이경산전㈜	

2) 시험내용 및 방법

구분	시험항목	측정위치	비 고
검사	외관 및 설치 상태 검사	동력차 모터블록	
시험	정적시험 (검수고) 및 동적시험 (구내 및 본선 시운전)	동력차 모터블록	

가) 시험대상

개발된 모터블록 1set : MBU 제외

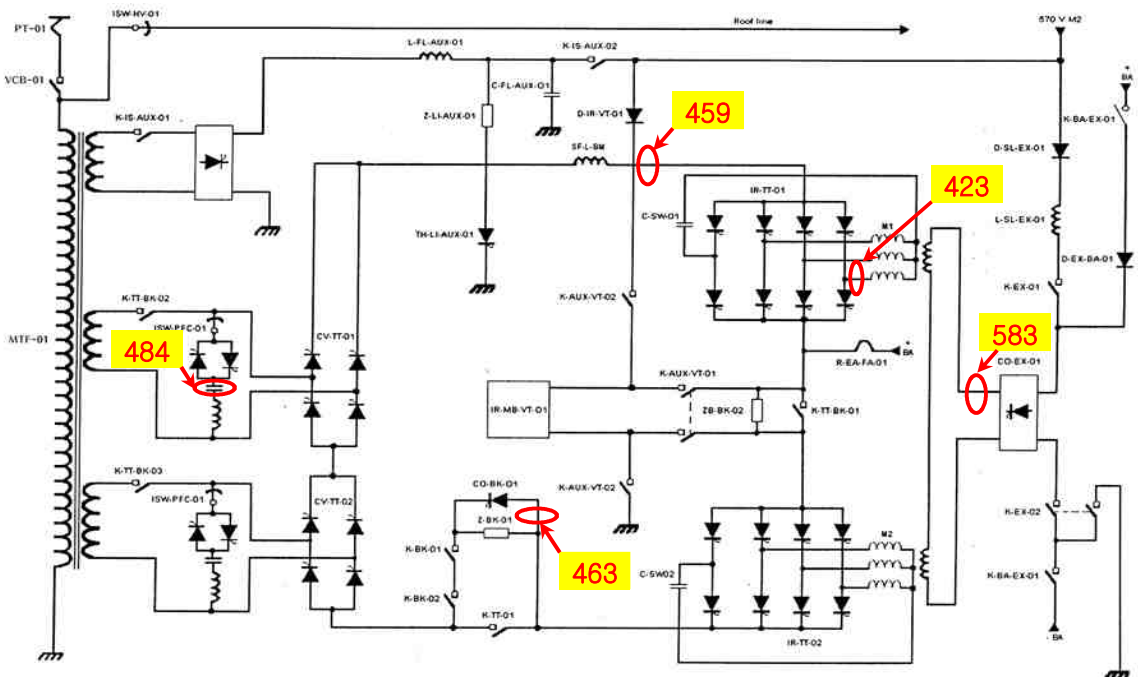


나) 측정장비

구분	장비명	장비사양	용도	수량	보유기관
검사	육안	-	외관 및 설치상태 검사		-
	PC-MNT	노트북	고장코드 검사	1	KORAIL
시험	MEMORY HICODER	8826	파형 측정용	1	우진산전
	DIGITAL MULTIMETER	FLUKE177	전압 측정용	2	우진산전 이경산전
	CLAMP ON DC/DC TESTER(2000A)	3285	전류 측정용	10	우진산전 이경산전
	온도측정기	TR-7	큐브온도 측정용	10	우진산전

다) 측정위치

기존품과 개발품의 주요 장치인(CV-TT, IR-TT, CV-PFC, CO-BK, CO-EX)의 파형 측정은 아래의 그림과 같은 지점에 기존품과 개발품에 동일하게 계측기를 설치하여 파형을 측정한다. (기존품 vs 개발품 비교 시험)



No	위 치	선번호	측정개소의 의미
1	필터 리액터 출력 전류	459	전동기에 공급되는 토크성분의 전류를 계산가능
2	역률제어장치(PFC) 전류	484	역률제어장치의 기동/정지 시점에 대한 조사, 최대 허용전류의 크기 등을 조사하기 위함
3	인버터 1 출력 전류	423	인버터 출력 전류 형태 파악
4	제동초퍼 전류	463	제동시 제동초퍼에 흐르는 전류 파악
5	여자초퍼 전류	583	견인모터 여자코일에 흐르는 전류 파악
6	큐브 온도 측정	-	큐브 외함 온도 조사

3) 시험결과

가) 구내시운전 측정파형

2013년 6월 18일 가야기지 - 부산역 2회 왕복실시

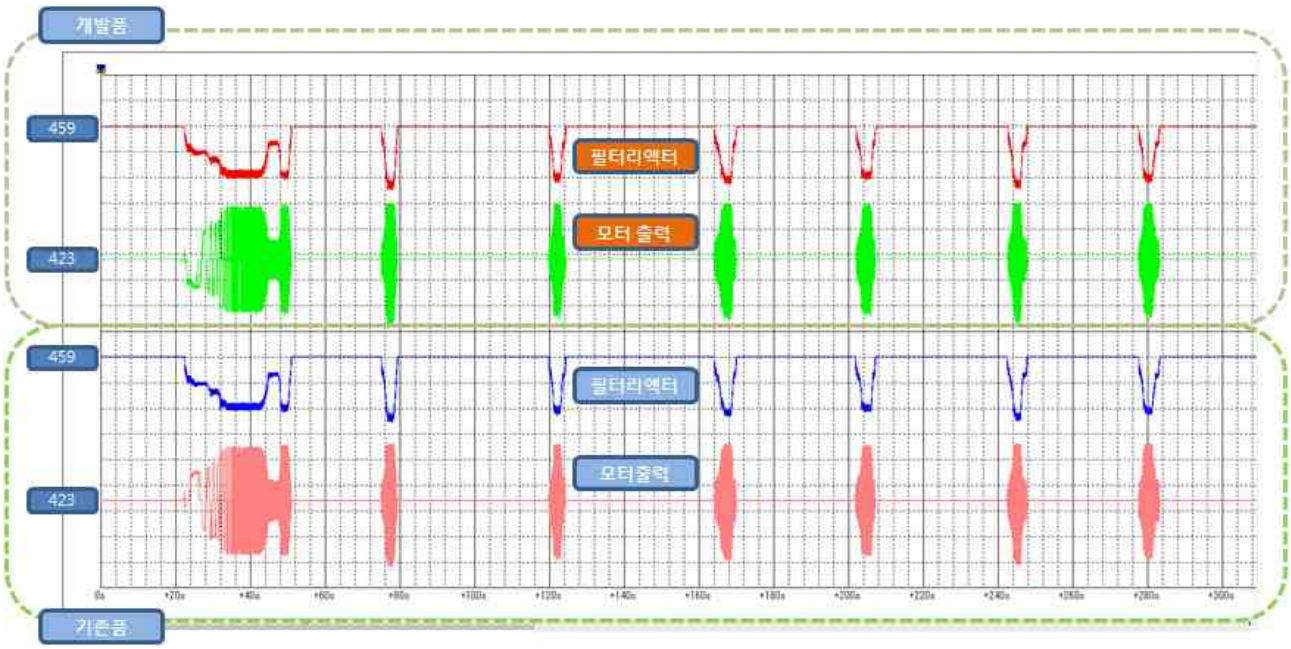


그림 164. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (필터리액터, 모터출력)

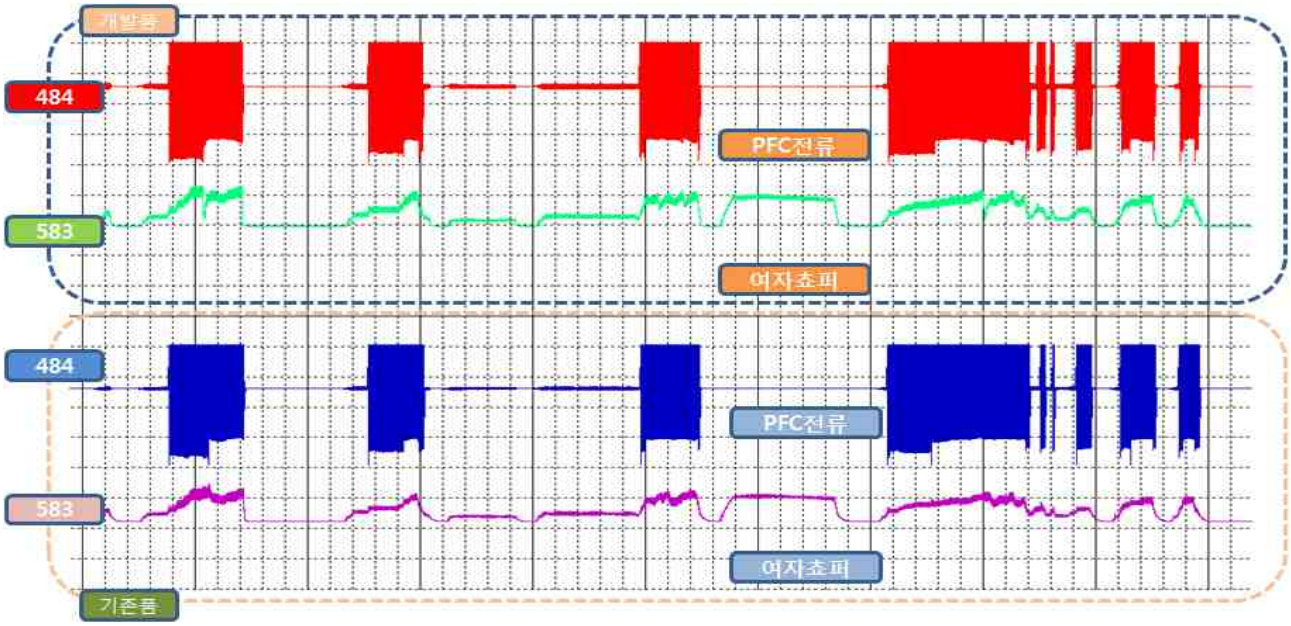


그림 165. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (PFC전류, 여자초퍼)

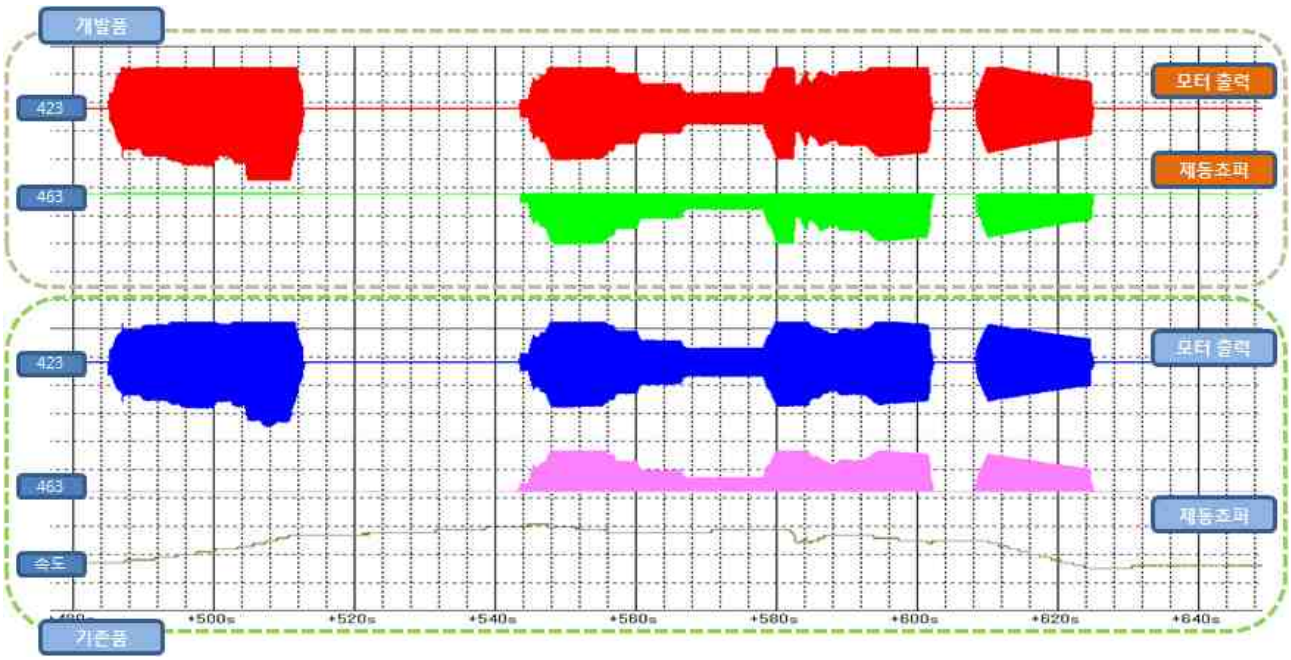


그림 166. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (모터출력, 제동초퍼)

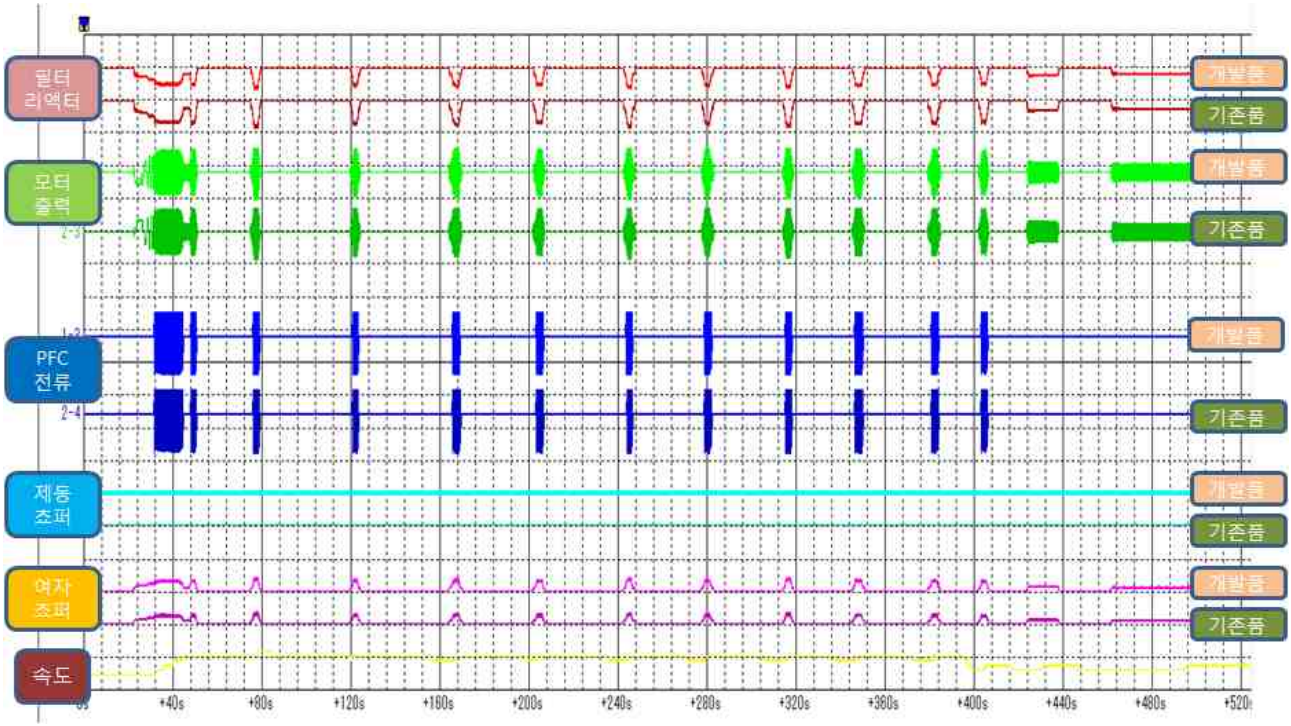


그림 167. 기존품과 개발품의 출력파형 비교
(필터리액터, 모터출력, PFC, 여자초퍼, 제동초퍼, 속도)

(나) 본선시운전 측정파형

2013년 6월 19일 부산역 - 서울역 1회 왕복실시

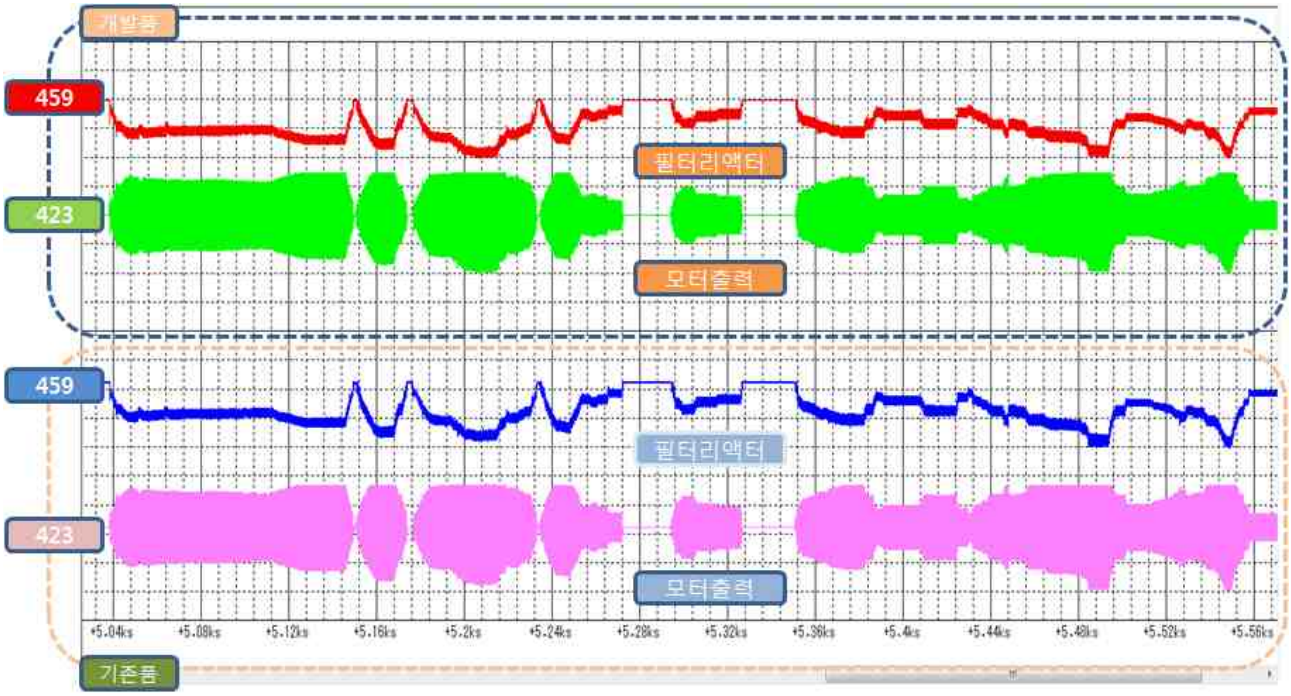


그림 168. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (필터리액터, 모터출력)

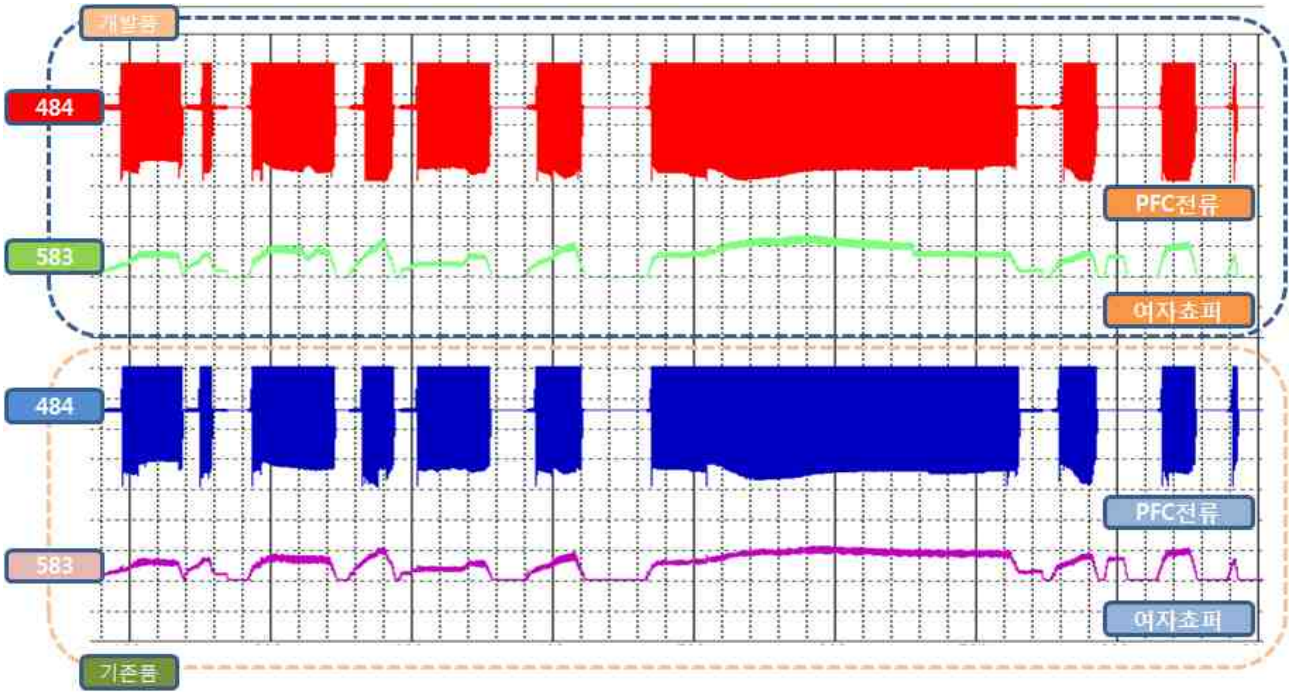


그림 169. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (PFC전류, 여자초퍼)

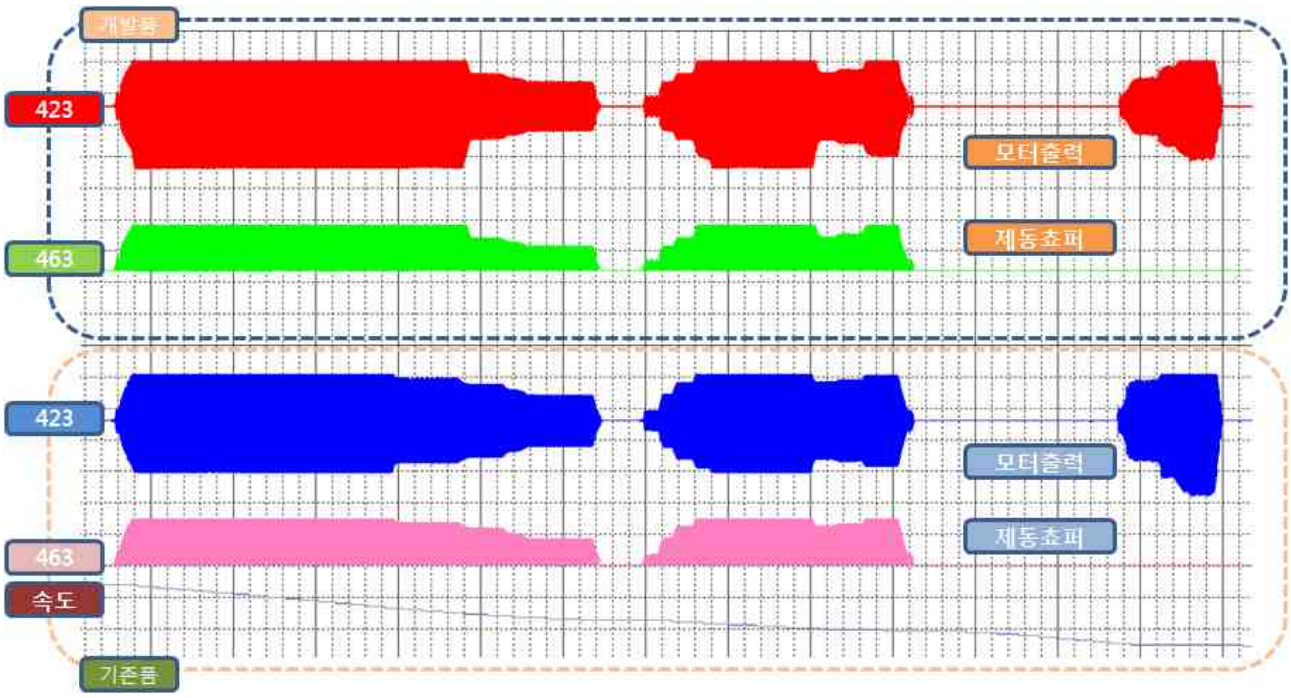


그림 170. 기존품과 개발품의 출력파형 비교 (모터출력, 제동초퍼)

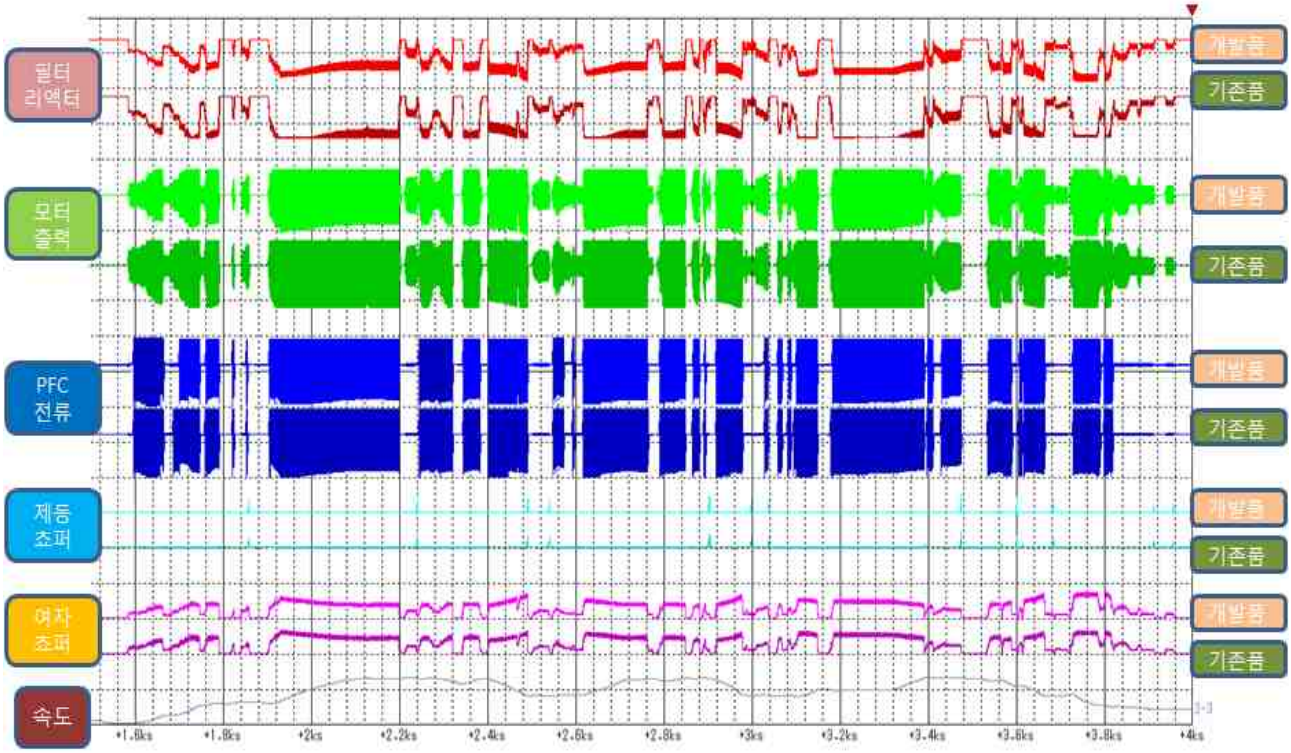


그림 171. 기존품과 개발품의 출력파형 비교

(필터리액터, 모터출력, PFC, 여자초퍼, 제동초퍼, 속도)

나) 본선시운전 온도파형

2013년 6월 19일 부산역 - 서울역 1회 왕복실시

(1) 측정포인트

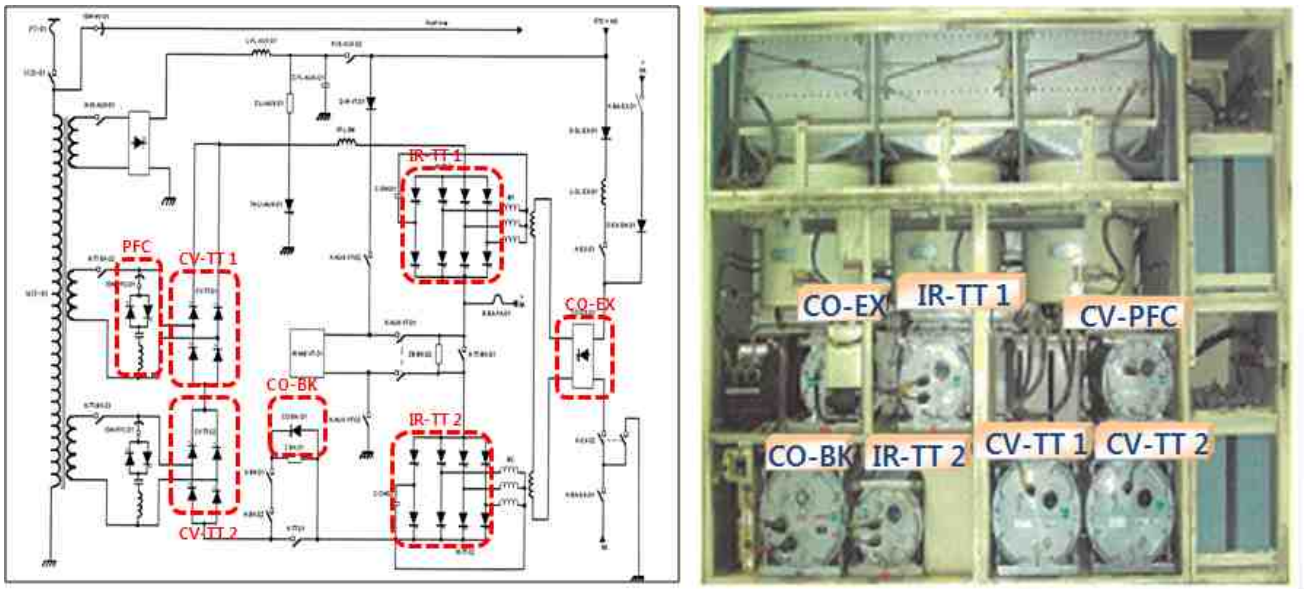


그림 172. 온도레코더 측정포인트

(2) 온도측정 파형

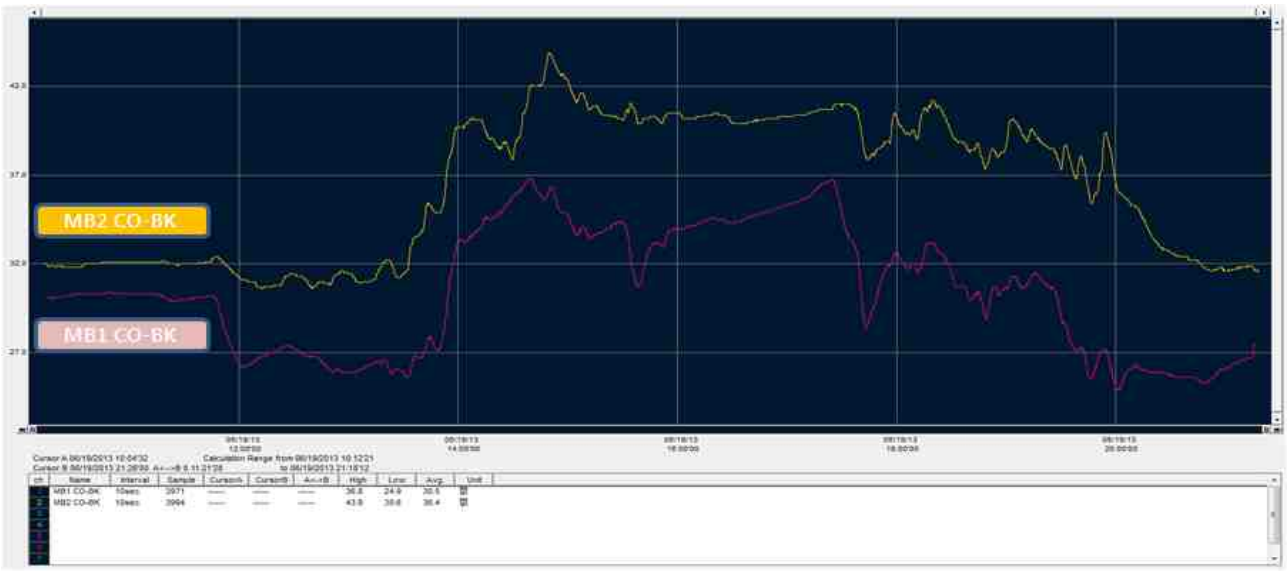


그림 173. MB1(개발품)/MB2(기존품) CO-BK 온도그래프

CO-BK	최고값 (℃)	최저값 (℃)	평균값 (℃)	비고
개발품 MB1	36.8	24.9	30.5	
기존품 MB2	43.9	30.6	36.4	

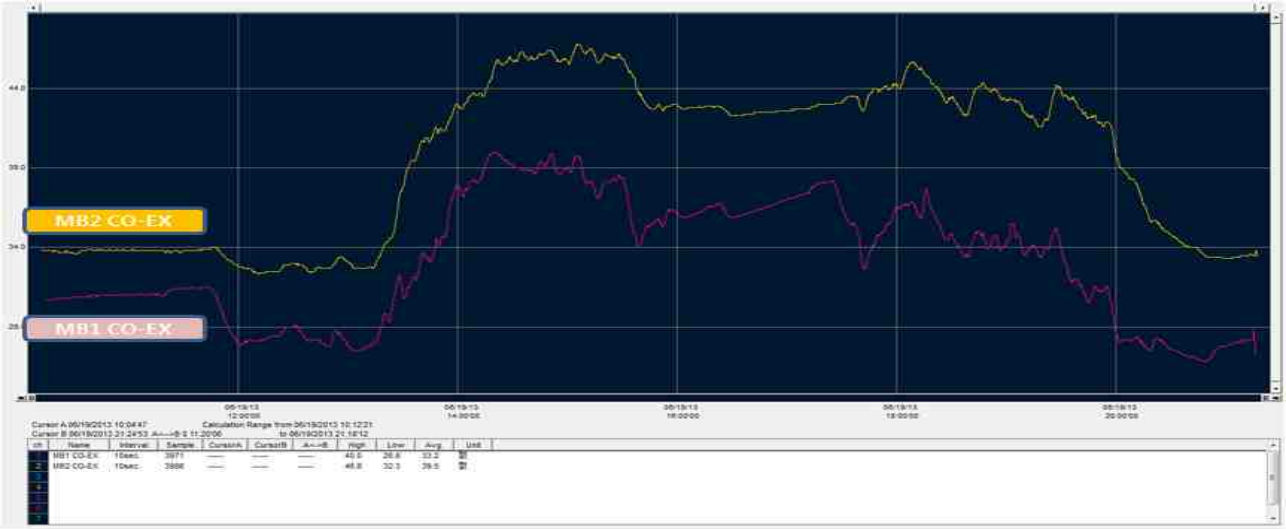


그림 174. MB1(개발품)/MB2(기존품) CO-EX 온도그래프

CO-EX	최고값 (℃)	최저값 (℃)	평균값 (℃)	비고
개발품 MB1	40.0	26.8	33.2	
기존품 MB2	46.8	32.3	39.5	



그림 175. MB1(개발품)/MB2(기존품) IR-TT 1,2 온도그래프

IR-TT		최고값 (℃)	최저값 (℃)	평균값 (℃)	비고
개발품 MB1	1	45.1	26.7	35.0	
	2	48.1	29.1	37.5	
기존품 MB2	1	44.0	28.7	36.1	
	2	43.5	30.3	37.1	

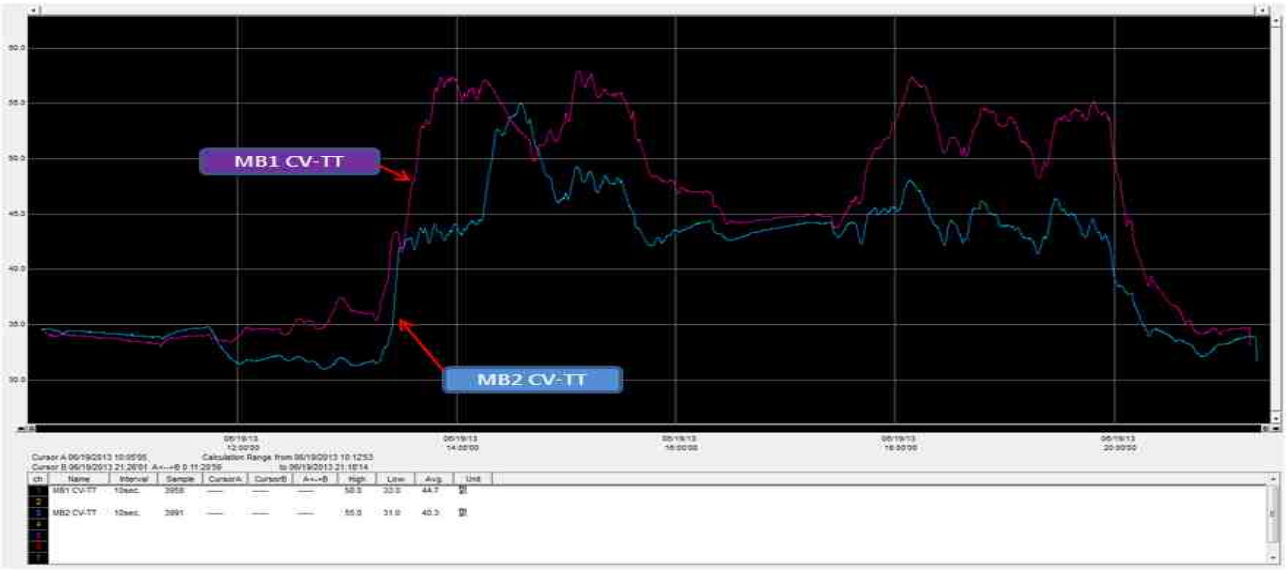


그림 176. MB1(개발품)/MB2(기존품) CV-TT 온도그래프

CV-TT	최고값 (℃)	최저값 (℃)	평균값 (℃)	비고
개발품 MB1	58.0	33.0	44.7	
기존품 MB2	55.0	31.0	40.3	

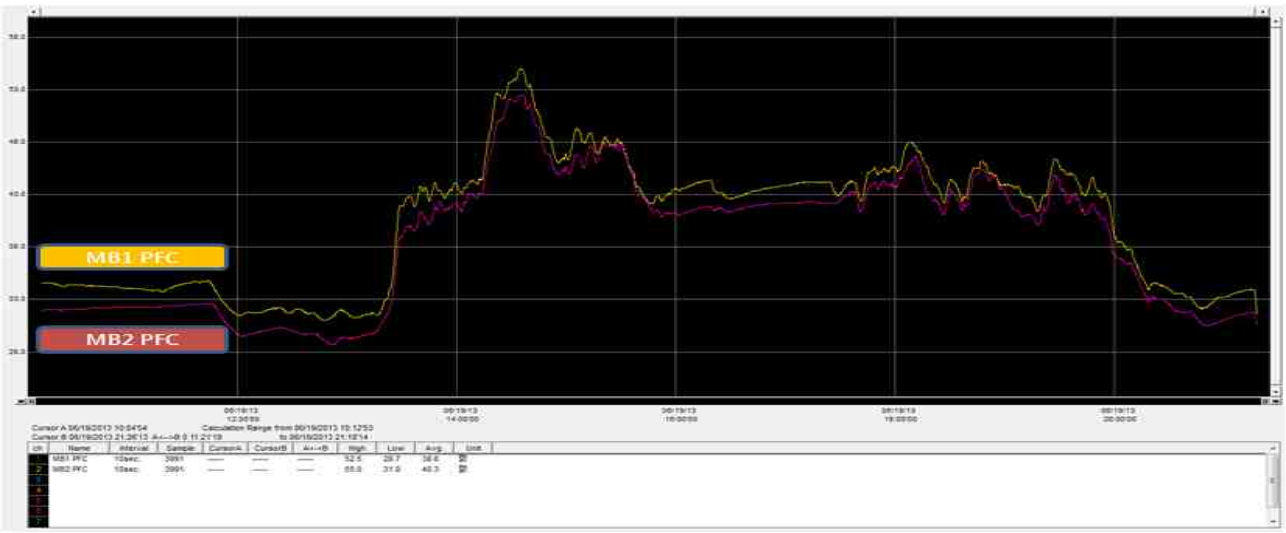


그림 177. MB1(개발품)/MB2(기존품) PFC 온도그래프

제 4 절 RAMS 연구 활동

1. RAMS 적용 연구

가. 개요

최근 철도 서비스의 품질 및 효율을 평가하는 중요 성능 지수로서 RAMS 지표가 사용되고 있다. 철도 시스템 품질에 대한 기대 및 요구 수준이 높아짐에 따라 운영 및 유지보수 단계에서도 RAMS 목표의 설정 및 지속적인 달성이 필요하다. 또한 철도차량에서 RAMS의 구현은 승객의 안전 및 시스템 사용자들의 원활한 동작을 위해서 필수 불가결한 요소이다.

따라서 시스템의 설계단계에서부터 제작, 그리고 시스템을 설치하고 운용하기까지 철저한 검증 작업을 통해 설계자와 사용자가 원하는 동작과 안전성을 갖고 있는지를 확인하는 것이 중요하며 이러한 검증 작업을 통해 시스템을 신뢰할 수 있게 된다.

시스템의 신뢰도를 검증하고 분석하는 방법은 그 목적에 따라 다르며 방법 또한 다양하다. 특히 다수의 부품으로 구성된 시스템의 경우 그 구성 요소에 대한 개별적인 정보를 정확하게 파악하는 것은 어려운 일이며 많은 시간이 요구되는 경우가 대부분이다. 이런 이유로 시스템의 신뢰도를 평가하는 작업은 현재의 분석 대상인 시스템의 과거 이력자료 또는 경험 제원을 이용하는 방법이 있으며 이러한 자료의 활용이 불가능한 경우에는 표준화된 모델을 적용하여 분석하는 방법을 사용한다.

본 연구에서는 Motor Block이 개발단계의 시스템이며, 시스템의 과거 이력자료 확보에 대한 어려움으로 인해 표준화된 모델을 적용하여 분석하였다.

1) EN 50128 구성

EN 50128 규격 문서의 구성에서 SW 개발의 요건은 Clause 7~17에 정의되어 있으며, 각 Clause는 objectives, input and output documents, requirements 를 포함하고 있다.

Clause 7~13 에서는 SW 개발 라이프 사이클 및 Verification/Validation 을 규정하고 있으며, Clause 14~17 에서는 평가 및 품질보증, 유지보수 등에 대한 요건을 정의하고 있다.

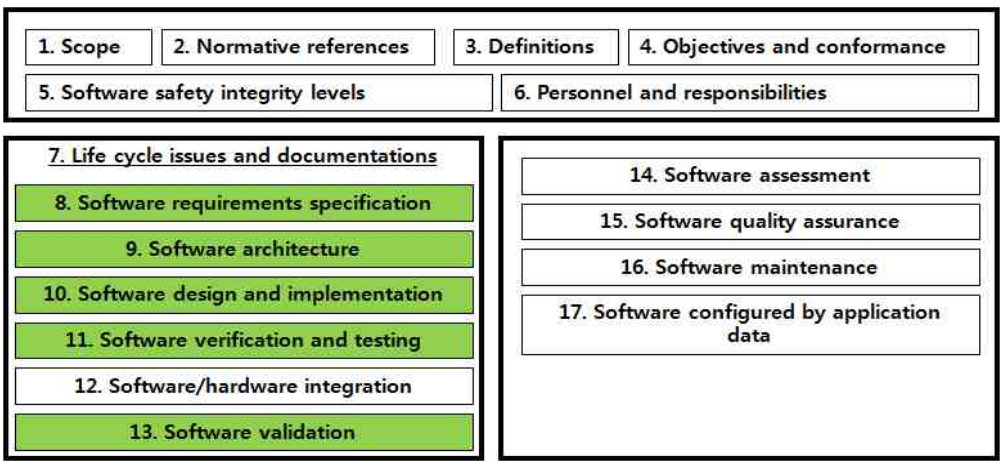


그림 178. EN 50128의 구성

2) EN 50128에서의 산출물

철도 규격 문서인 EN 50128에서는 소프트웨어 개발 단계 별 검증 활동을 수행하고 산출물을 작성할 것을 요구하고 있다. 이러한 산출물 목록은 아래의 항목과 같으며, 해당 산출물 목록을 기준으로 고속철도 차량용 추진제어장치 개발 업체의 현 상태를 검토 하는 자료로 활용한다.

Phase	Documents
System Inputs	System Requirements Specification
	System Safety Requirements Specification
	System Architecture Description
	System Safety Plan
SW Planning	SW Quality Assurance Plan
	SW Configuration Management Plan
	SW Verification Plan
	SW Integration Test Plan
	SW/HW Integration Test Plan
	SW Validation Plan
	SW Maintenance Plan
	Data Preparation Plan
	Data Test Plan
SW Requirements	SW Requirements Specification
	Application Requirements Specification
	SW Requirements Test Plan
	SW Requirements Verification Report

Phase	Documents
SW Design	SW Architecture Specification
	SW Design Specification
	SW Architecture and Design Verification Report
SW Module Design	SW Module Design Specification
	SW Module Test Specification
	SW Module Verification Report
Code	SW Source Code
	SW Source Code Verification Report
Module Testing	SW Module Test Report
SW Integration	SW Integration Test Report
	Data Test Report
SW/HW Integration	SW/HW Integration Test Report
Validation	SW Validation Report
Assessment	SW Assessment Report
Maintenance	SW Change Records
	SW Maintenance Records

그림 179. EN 50128에서 요구하는 산출물 목록

3) RAMS 절차

소프트웨어는 개발하는 단계, 절차, 방법, 표준, 활동 및 소프트웨어 개발 목적을 달성하기 위한 활동으로 정의한다. 전체 개발 생명주기를 단계(프로세스)로 구분하고, 각 단계에 대하여 활동 및 활동 간의 순서, 상호관계, 착수 및 종료 조건, 참여자의 역할 및 책임, 사용 도구, HW 프로세스와의 상호 관계 등을 정의한다.

소프트웨어 생명주기는 다음과 같은 단계와 프로세스로 구분한다.

소프트웨어 계획 단계

소프트웨어 개발 단계

소프트웨어 테스트 단계

소프트웨어 신뢰성보증 단계

이러한 프로세스 간의 상호 관계를 도식화 하면 다음과 같다.

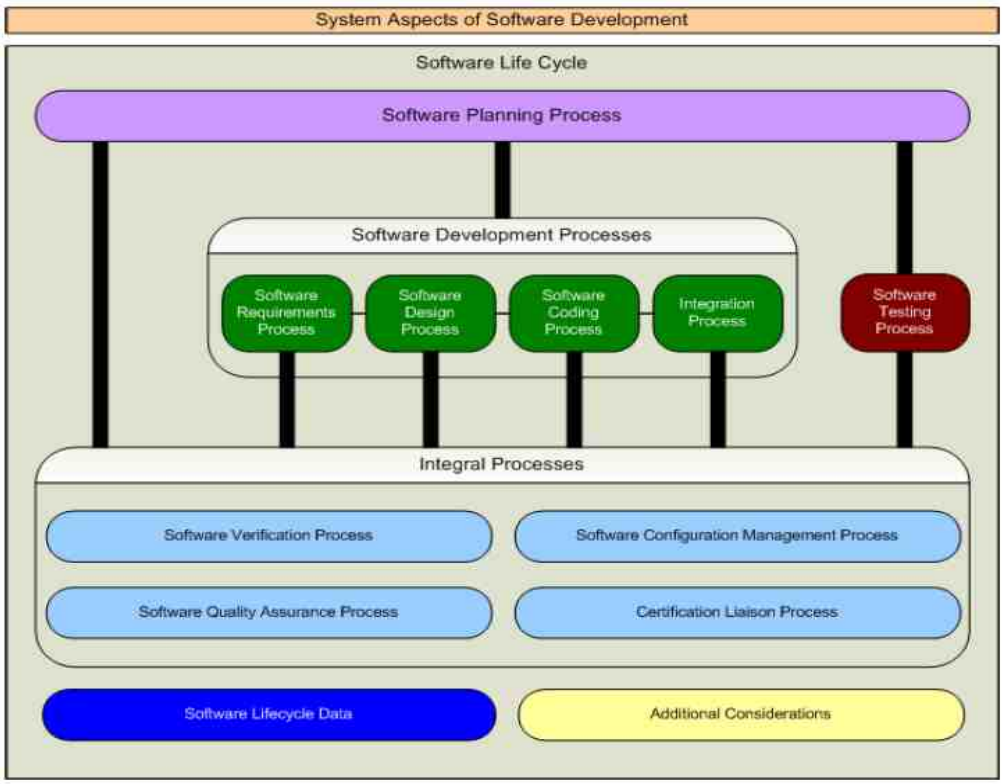


그림 180. 소프트웨어 LifeCycle

철도 RAMS는 전체 철도시스템의 많은 측면 중의 하나이며, 철도 RAMS는 전체 철도시스템의 모든 양상을 다루는 통합 철도관리 방식의 한 구성요소이다.

철도기관이 사용하는 철도시스템의 허용 가능한 안전 위험도는 국가적인 안전기관이 정한 기준에 따른다. 위험을 평가하고 관리하고 최소화하는 것에 대한 일차적인 책임은 철도기관에 있다.

여기에 전형적인 철도 프로젝트에서 책임과 관련하여 일반적인 지침은 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

- 요구사항은 고객이나 합법기관에 의해 작성된다.
- 승인과 수용은 고객과 합법기관에 의해 유사한 과정으로 수행된다.
- 해결책 및 이의 결과와 증명은 정상적으로 계약자에 의해 개발되고 수행된다. 검증은 정상적으로 함께 수행된다.

나. 목적

시스템 신뢰도란 모든 하드웨어가 하나의 시스템으로 정해진 환경에서, 정해진 기간 중 요구되는 기능을 정상적으로 수행하는 능력으로서 시스템 신뢰도 예측은 시스템의 제공자 또는 구매자가 원하는 장비를 선택하는 과정에서 매우 중요한 요소이다.

이는 시스템 생명 주기 내에서 시스템의 수행을 위해 필요한 유지보수 활동이나 예비 부품의 수량을 평가하는 데에 유용하게 사용되는데 시스템의 수명 주기 비용(Life Cycle Cost) 연

구를 통해 제품의 전체 수명 주기 동안에 대한 비용을 결정할 수 있으며 이에 대한 정보를 시스템의 고장률 등에서 얻을 수 있다.

이를 통해 여러 종류의 제품들 중에서 어떤 제품을 구매하는 것이 좋은지에 대한 척도를 제공하며, 신뢰도 예측이 일반적인 제품 구매 활동에 필수적이라는 것을 알 수 있다.

다. 범위

신뢰도 예측은 정상 상태일 때를 고려하여 운영 시간 당 시스템의 고장 빈도, 연간 예상되는 비 작동시간, 시스템의 가용도 등에 대한 값들을 예측하기 위해 사용한다.

2. 하드웨어 RAMS 활동

가. 신뢰도 예측 분석 방법

1) 신뢰도 예측

가) 신뢰도 개요

신뢰도는 특정 조건하에서 주어진 시간 동안 해당 항목이 요구되는 기능을 수행할 수 있는 확률을 의미한다. 시스템에 대한 신뢰도는 일반적으로 고장 간 평균시간(MTBF)로 정의되며, 시스템에 대한 고유 고장률을 이용하여 아래와 같이 도출이 가능하다.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \text{ or } R(t) = e^{-\lambda(t)}$$: 기본 신뢰도 함수 (λ=constant)

$\lambda(t)$= 고장률, $\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}$ or $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

• R(t) = 신뢰도 함수, • F(t) = 고장률 함수

나) 신뢰도 예측 모델

신뢰도 예측 모델 규격인 MIL-HDBK-217은 미국 국방성(Department of Defense)에서 1965년부터 제정하였으며, 1995년에 F버전 Notice2가 발간되었다. 이 모델은 전기전자 부품의 신뢰성 평가 척도와 계산 방식을 보유하고 있으며, 근래의 모든 최신 전자 기술에 대한 신뢰도 평가 방법을 수록하고 있지 않지만 세계적으로 가장 광범위하게 활용되는 모델이다. 본 연구에서는 신뢰도 예측을 위해 MIL-HDBK-217F Notice2 계산 모델을 적용하였다.

다) 신뢰도 계산식

신뢰도 성능에 대한 보다 정확한 예측을 위하여 상향식 접근법을 적용하였다. 여기서 차량의 시스템 차원 신뢰도를 예측하기 위해서는 몇 가지 가정을 수반해야 한다.

• 가정-1 : 모든 부품은 통계적으로 독립이며 서브시스템 또는 시스템 수준에서의 신뢰

도 모델링을 고려하지 않는다.

- 가정-2 : 시스템에 포함된 모든 부품들은 직렬구조로 연결되어 있다.

이러한 가정들을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\lambda_{SYS} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_p$$

- λ_{SYS} = 시스템의 고장률
- λ_p = 각 부품의 고장률
- n = 시스템의 총 부품 수

2) 하드웨어 신뢰도 예측

Motor Block의 RAMS 분석을 위한 신뢰도 예측, FMEA[1], FTA[2]의 기초를 닦아놓는 것은 매우 중요한 기반이 되는 요소이다. 따라서 Motor Block의 RAMS 분석 진행을 위해, 또한 추진제어장치의 특성 및 추진제어장치의 신뢰도를 높이기 위해서는 하드웨어의 신뢰도 예측 모델연구의 선행은 불가피하다. 다음 그림은 하드웨어 RAMS 절차를 나타낸 블럭도이다.

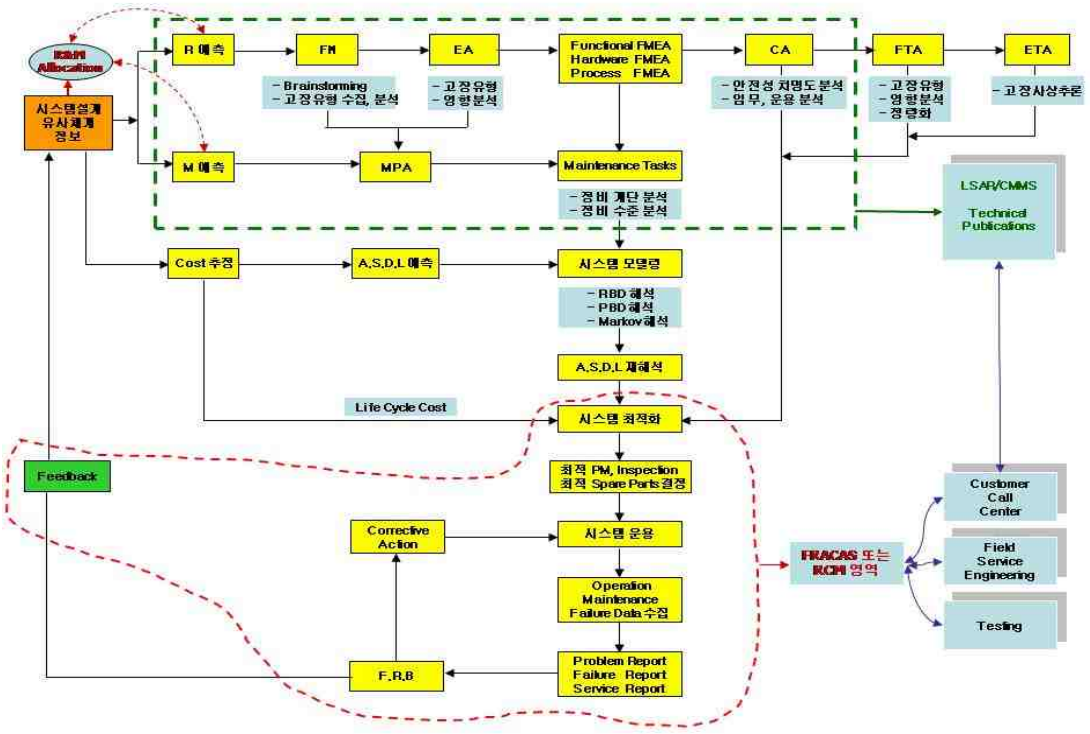


그림 181. 하드웨어 RAMS 절차

1) Failure Mode Effect Analysis
2) Fault Tree Analysis

가) 설계단계 RAMS

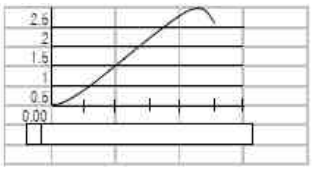
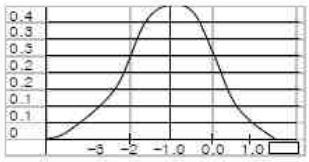
하드웨어의 설계단계 RAMS 절차는 대상이 되는 물리적인 시스템의 신뢰도 및 정비도를 산출하는 것으로부터 출발한다.

나) 신뢰도예측 모델에 대한 적용방안 연구

신뢰도는 부품, 장치 혹은 시스템이 주어진 조건 하에서 특정한 기간 동안 의도된 기능을 수행할 수 있는 능력을 말하는 것으로, 최근 모든 산업제품의 품질척도로 적용되고 있고, 이러한 기법을 사용하여 생산된 제품들은 품질과 성능 면에서 소비자의 욕구를 충족시키고 있다. 특히 기계시스템 및 구조물은 구성되는 부품의 기능이 서로 연관되어 전체의 기능을 발휘하게 되는 시스템으로, 시스템을 구성하는 각 부품의 신뢰도가 곧 전체 시스템의 신뢰도를 결정하게 된다.

MTBF[3]는 고장 발생 시 수리 가능한 설비의 고장에서부터 다음 고장까지의 동작 시간의 평균치이다. 정확한 의미는 "고장 시점까지의 평균시간"이 된다. 즉 MTTF[4]의 개념이 되는데, 수리가 가능한 경우를 MTBF라 하고 불가능한 경우를 MTTF라 한다. 본 연구에서는 MTBF를 예측하기로 한다. 아래 표를 보면 이에 대한 식을 알 수 있다.

표 19. 고장률 함수의 계산식

고장률함수 H(t)=f(t)/R(t)	시간 t에서의 순간 고장률을 나타내는 함수	
MTTF	수리 불가능한 제품의 평균 고장 시간 $MTTF = \int_0^{\bigcirc} t \cdot f(t)dt = \int_0^{\bigcirc} R(t)dt$	
MTBF	수리 가능 시스템의 평균 고장 시간 $MTBF = \frac{T(t)}{r}$, $T(t)$: 총 사용시간 r = 고장의 수	고장률이 일정하면, $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

이러한 개념을 토대로 미래철도 기술개발 사업의 고속철도 차량용 Motor Block 시스템의 BOM 데이터를 입력하여 Relex 소프트웨어를 구동, 신뢰도 분석 및 평가 데이터를 얻을 수 있다.

3) Mean Time Between Failure
4) Mean Time to Failure

다) FMEA를 통한 MPA[5] 방안 연구

앞서 재 운행 중인 고속철도차량의 운행이력이 입수되면 추진제어장치 주요부품의 고장이력이 진행된다. 고장이력은 통해 각개 임무가 분석되면 Life Cycle Cost 분석을 위한 신뢰성 평가가 수행된다.

시스템의 신뢰도예측 방법은 규격화된 모델과 고장률 라이브러리를 이용한 방법을 사용하는 방법이다. 규격화된 모델과 라이브러리의 경우 전기전자, 기계류, S/W 등으로 구분하여 적용된다. 라이브러리의 경우에는 전기전자 및 기계류에 일반적으로 사용되고 있는 EPRD[6]/NPRD[7]을 사용하여 진행된다.

설계 단계의 FMEA는 CM[8] 및 PM[9]을 구분하는 주요 분석 자료이며, 이를 통해 Maintenance Planning을 분석할 수 있으며, Life Cycle Cost 구조와 연동하여 RAMS 관점에서 시스템을 최적화할 수 있는 근거를 찾을 수 있다.

3) 시스템 신뢰도 예측 절차

신뢰도 예측 절차는 고장률을 예측하는 데에 중점을 둔다. 따라서 비 작동시간, 가용성, 그리고 고장의 영향과 같은 신뢰성의 다른 측면에 직접적으로 관여하지는 않는다. 한편 고장률은 전자 장비의 수명 주기에 걸쳐 지속되는 것은 아니다. 일반적으로 전자 장비의 고장률은 욕조곡선을 따른다.

아래 그림과 같이, 욕조곡선은 세 부분으로 나누어져 있다.

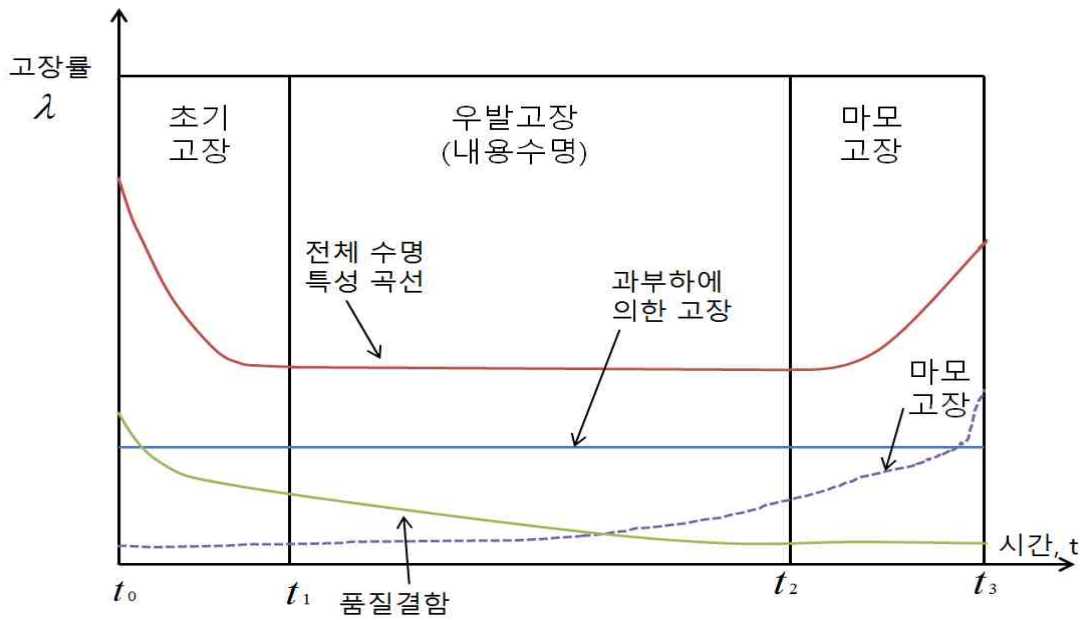


그림 182. 욕조곡선(Bathtub Curve)

5) Maintenance Planning Analysis
6) Electronic Parts Reliability Data
7) Non-electronic Parts Reliability Data
8) Corrective Maintenance
9) Preventive Maintenance

표 20. 고장원인 및 대책

	초기고장	우발고장	마모고장
원인	품질관리 문제 불충분한 번인(Burn-in) 불충분한 디버깅 미숙련 작업 불량 부품/오염 부적절한 조업	예상보다 높은 부하 설명할 수 없는 결함 오용/부적절한 사용 불충문한 안전계수 우연한 원인	Aging 마모 부식 피로 크립 Migration
대책	SPC/번인(Burn-in)	안전계수, Derating	예방정비

- 초기수명(Early Life or Infant Mortality): 고장률은 높지만 급격히 감소한다. 고장 시간은 와이블 분포를 모델로 한다. (동작 초기단계로 가정)

- 정상상태(Steady-State): 고장이 일정한 비율로 발생하며 정상상태 고장률이라고도 한다. 고장시간은 지수 분포를 따른다. 고장률이 항상 일정한 MIL-217F와 같은 모델로 가정하기도 한다. (동작 초기단계 이후로 가정)

- 마모상태(Wear out): 고장률이 급격하게 증가한다. 보통 마모상태는 전자 장비의 수명 간 발생하지 않는다(약 20년). 이런 이유로 마모상태 기간은 신뢰도 예측 절차에서 고려하지 않는다.

가) 신뢰도 예측 모델

국내에서 주로 사용하는 신뢰도예측 모델은 MIL-HDBK-217F N2이며 NPRD95, EPRD97의 데이터 북을 사용한다. 전기전자 부품의 경우 개별 부품의 신뢰도를 예측할 수 있는 여러 모델링 규격이 있으나, 기계류의 경우엔 제한적이다.

따라서 기계류의 개별부품 수준의 고장률 예측은 NPRD2011을 통해 예측하고, 개별부품의 조합이라 할 수 있는 Motor Block의 시스템 수준에서는 MIL-HDBK-217F Notice2 모델을 적용하여 Motor Block의 외적 요인, 즉 환경적 운용조건 등을 고려한 고장률 재조정 과정을 거치도록 한다.

이 외에도 다음 표를 보면 분석 업무에 따른 모델을 알 수 있다.

표 21. 분석 업무에 따른 기준

분석	기준	
RAMS 분석 업무 절차	EN 50126	
신뢰도(Reliability) 분석	전기전자	MIL-HDBK-217F
	기계류	RiAC[10]의 NPRD2011
	두 가지 모델을 가지고 고장률 산출이 어려운 경우	IEC-TR-62380
		SIEMENS-SN-29500
정비도(Maintainability) 분석	MIL-HDBK-470,472	
고장유형 및 영향, 치명도 분석(FMECA)	MIL-STD-1629	
	AIAG(Automotive Industry Action Group)	
FTA (Fault Tree Analysis)	FMECA 결과	
	SAE-ARP-5580 문서	

나) MIL-HDBK-217F N2 모델을 이용한 Motor Block 시스템 고장률

일반적으로 고장률은 작동 조건 및 제품 품질에 따라 다양하게 산출된다. 그러므로 생산 또는 설계 단계의 품질을 지정하면, 다양한 값과 다양한 레벨의 고장률로 조절할 수 있다.
본 연구에서는 각 부품에 대해 다양한 수준을 사용하였으나 NPRD는 모든 부품의 품질 수준을 커버하지 않으므로 일정한 고장률을 지정하여 사용한다.

이 경우 일반적인 고장률로 Merged 고장률 값을 사용한다.

$$\lambda_{merged} = \left(\prod_{p=1}^{n} \lambda_P \right)^{1/n} \times Total\ hours\ percentage$$

여기서,
n은 고장률을 제공하는 레코드의 수,
λ_p는 각 부품의 고장률이다.

10) The Reliability Information Analysis Center

4) 고장률에 영향을 미치는 요소

가) 전기적 스트레스

스트레스는 정격전압(전력)에 대한 인가전압(전력)의 백분율을 의미하며, 스트레스가 10%에서 90%까지 변할 경우 0.1에서 10.6까지의 값을 가진다. 스트레스를 명확히 분석하기 힘들 경우, 스트레스를 50%로 가정하고, 이것은 모든 부품에 대해 스트레스 요소가 1임을 의미한다.

나) 동작 온도

부품의 동작 온도는 부품이 위치하고 있는 어셈블리의 동작온도를 의미한다. 주위 온도가 시간이 지남에 따라 변화가 클 경우, 예측은 각각의 온도 값에 대하여 모두 실시하여야 한다. 적어도, 이러한 각각의 온도 값들은 최대, 최소, 및 평균값들이 모두 포함되어 있어야 한다.

본 문서는 온도 요소를 사용하여 고장률에 대한 온도의 영향을 모델링하고 있다.

이 요소의 값은 온도와 장치의 종류에 기초로 하여 온도기 30~60도 까지 변한다면, 요소는 0.4~6.4까지 변하도록 되어있다. 본 문서에서는 온도는 40도, 모든 파트의 온도 요소 값을 1로 분석했다.

※ 동작온도는 어셈블리 위(또는 그 사이)에서 온도 프로브(Probe)를 ½인치 가량 떨어뜨리고 측정하도록 한다.

다) 환경 조건

고장률에 영향을 미치는 조건의 정량적 표현으로 5단계의 환경 요소를 적용한다. 시스템이 노출될 수 있는 각 환경 조건마다 개별적인 예측을 수행하여야 한다.

이 요소는 1(for a ground-based, fixed, controlled environment such as a central office) ~ 15(for a space-based commercial environment suchas a commercial communication satellite)로 분류된다. Motor Block의 환경 조건은 GM(Ground Mobile)을 적용한다.

라) 품질 요소

부품 고장률은 부품의 품질을 유지하기 위한 공급자들의 노력으로 향상될 수 있다. 고장률 예측을 위해, 공급업체에 대한 4단계의 품질 레벨을 제공한다. 각 레벨은 품질 요소 값을 π_Q로 표현되며, 이것은 기본 고장률에 대한 곱셈 인자로 활용된다. 품질 요소는 품질 레벨 Ⅲ(가장 높은 레벨) ~ 품질 레벨 0(가장 낮은 레벨)으로 사용한다. 다음 표를 보면 품질 계수에 대해 알 수 있다.

표 22. 품질 수준에 따른 품질 요건

품질 수준	π_Q	품질 요건
Level 0	6	적합한 관리 없이 재생산이나 재활용되는 정도이지만 부품이 설계에 적합한지 여부가 확인되는 품질 수준
Level Ⅰ	3	설계나 제조 공정에 있어서 적합한 절차를 취했고, 문제점에 대해 확인하고 적절한 조치가 취해지는 품질 수준
Level Ⅱ	1	Level Ⅰ의 요건에 로트 단위의 품질 관리, 부품의 중요 특성 확인, 수명/내구성 시험 및 지속적인 관리 등을 하는 품질 수준
Level Ⅲ	0.9	Level Ⅰ과 Ⅱ의 요건에 주기적인 품질 검사와 100% 스크리닝 (온도 사이클과 burn-in 시험) 등을 수행하는 품질 수준

(1) Duty-Cycle

Duty-Cycle은 어떤 주어진 기간 중의 일정한 반복 부하의 패턴을 말하며, 그 사이클 기간에 대한 운전 시간의 비율로 나타낸다. 간략히 시스템의 활성화 상태 유지시간이라 할 수 있다.

Motor Block의 경우에는 KTX의 점검 및 선로 유지보수 시간이 23:00~5:00이기 때문에 24시간 중 이를 제외한 시간에 운영된다. 즉, 총 Duty-Cycle은 75% 수준이 된다.

나. 신뢰도 예측 분석 결과

1) 하드웨어 신뢰도 예측 모델 연구를 위한 시스템별 분석 작업

시스템의 신뢰도 예측은 시스템의 고장 모드 및 영향을 분석하는 데에 영향을 주며 이는 시스템의 수명 주기 비용을 산출하여 비용 분석을 가능하게 한다.

아래 그림은 하드웨어 신뢰도 예측 모델 연구에 대한 흐름도이다.

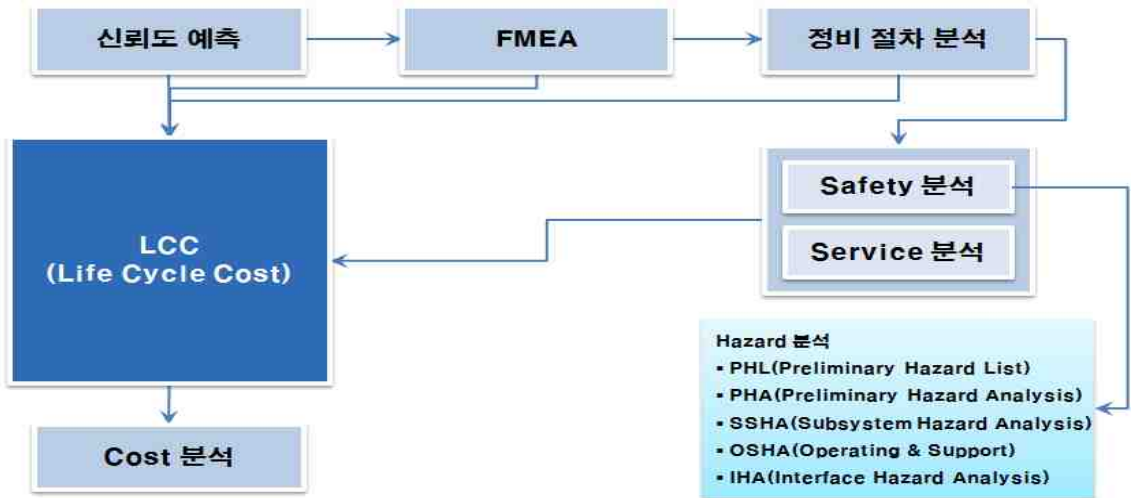


그림 183. 하드웨어 신뢰도 예측 모델 연구 흐름도

2) 하드웨어 신 모터블록 시스템 트리 형상 작성

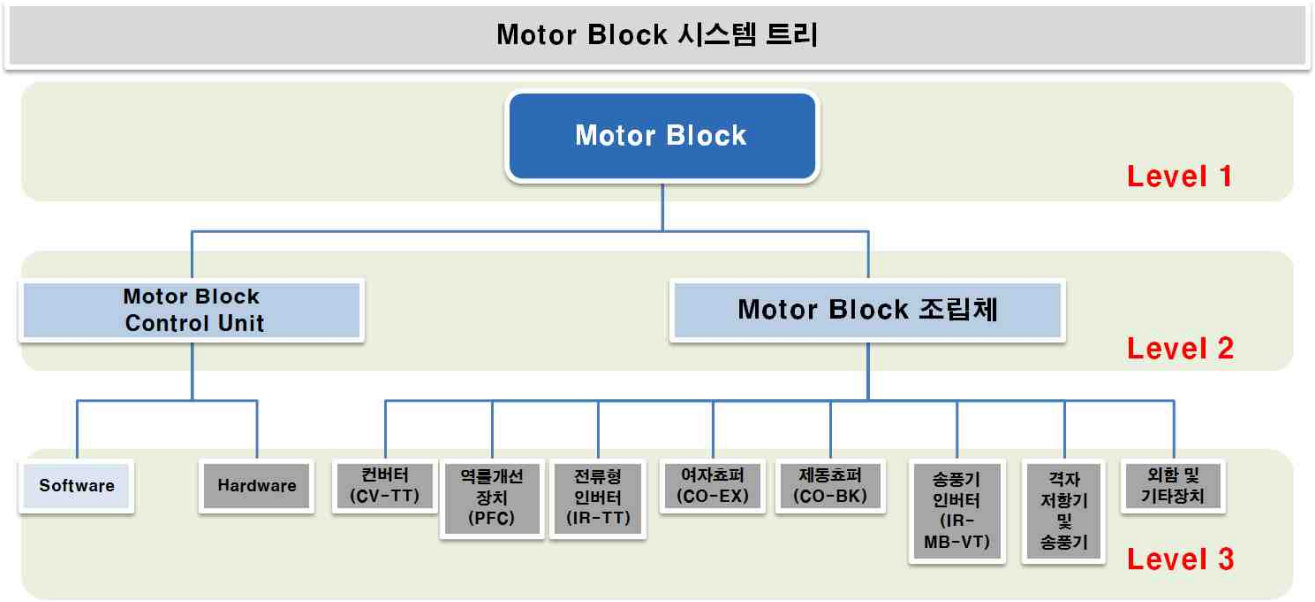


그림 184. 신 Motor Block 시스템 트리 형상

현재 FMEA Tree도 동일한 현상으로 구성되어 있으며, 개발사인 우진산전에서 제공한 시스템 형상을 토대로 작성했다.

우진산전과 협의한 내용을 바탕으로 하드웨어 신뢰도 예측 모델 분석 실시를 위한 BOM List 개선

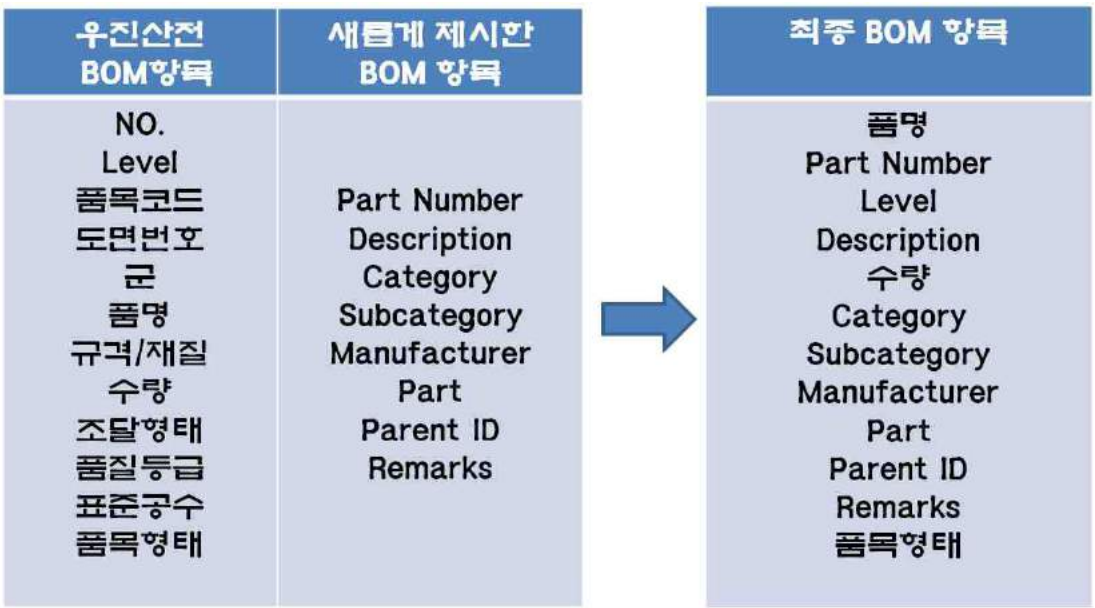


그림 185. BOM List 개선 항목



BOM LIST

BOM 번호: 10003921-01 [10003921][R1D1141-15194(a)][] POWER CAR AUXILIARY INVERTER(1/4)

BOM 설명: KTX보조전원장치

No	LEVEL	품목코드	도면번호	군	품 명	규격/재질	수량	조달형태	품질등급	구매L/T 외산/개발	표준 공수	품목형태
1	1	10003922	R1D1141-15195(b)		POWER CAR AUXILIARY INVERT	ASS'Y/ASS'Y	1	내작	C	0 / 0	0	보조전원장치
							1					
2	1	10003923	R1D1141-15196		POWER CAR AUXILIARY INVERT	ASS'Y/ASS'Y	1	내작	C	0 / 0	0	보조전원장치

Name	PartNumber	Description	Category	Subcategory	Manufacturer	Quantity	Part	Level	ParentID	Remarks	품목형태
Pentium Pro	PN-000					1	0	1			
74LS00	PN-001		Integrated Circuit	Logic, CGA or ASIC		1	1	2	Pentium Pro		
Motherboard	PN-002					1	0	2	Pentium Pro		
Pentium Pro	PN-003		Integrated Circuit	Microprocessor		1	1	3	Motherboard		
4008A	PN-004		Integrated Circuit	Logic, CGA or ASIC		1	1	3	Motherboard		
741C	PN-005	Operational Amplifier	Integrated Circuit	Linear		2	1	3	Motherboard		
Cap	PN-006		Capacitor	General Ceramic (CK, CKR)		4	1	3	Motherboard		
Res	PN-007		Resistor	Composition (RC, RCR)		5	1	3	Motherboard		
Built-in-Memory	PN-008					1	0	3	Motherboard		
MCM6709B	PN-009	64K x 4 Bit SRAM	Integrated Circuit	Memory		1	1	4	Built-in-Memory		
XC4002	PN-010	Programmable Logic D	Integrated Circuit	PAL, PLA		1	1	4	Built-in-Memory		
Network Card	PN-011					1	0	2	Pentium Pro		
HD74LS00P	PN-012		Integrated Circuit	Logic, CGA or ASIC		1	1	3	Network Card		
Memory Board	PN-013					2	0	2	Pentium Pro		
2147	PN-014		Integrated Circuit	Memory		1	1	3	Memory Board		

그림 186. BOM List 개선

3) MTBF 산출 결과

아래 표는 BOM List를 적용하여 서브시스템(Level 3)의 MTBF를 예측하였다. 경험적 판단과 다른 시스템의 분석 방법을 토대로 고장률에 영향을 미치지 않는 부품을 삭제하여 재분석 작업을 수행하여 예측된 결과이다.

표 23. MTBF 예측

서브 시스템명	고장률 (Failure Rate/ Hours)	MTBF (Hours)
MBU	679.637898	1,471
컨버터(CV-TT)	11.851085	84,380
역률개선장치(PFC)	8.699289	114,952
전류형인버터(IR-TT)	6.724199	148,717
여자초퍼(CO-EX)	9.959114	100,411
제동초퍼(CO-BK)	10.320719	96,892
송풍기인버터(IR-MB-VT)	464.339674	2,154
격자저항기 및 송풍기	34.502302	28,984
외함 및 기타장치	59.079766	16,926

⇒ 총 시스템의 고장률은 모든 서브시스템 고장률의 합인 1285.114047/10^6과 같다.
이를 MTBF로 환산하면 약 778시간이다.

다음 그림은 Motor Block의 신뢰도 예측을 위함 시스템 형상이다.

System Tree

Filter

Name	Part Number	System Tree Ident...	Failure Rate,...	MTBF, ...	Quantity	Level	Reliability, Predicted
Motor Block	WM	System	225.600478	4433	1	1	0.977693
PFC CUBE ASS'Y	WMBB	System786	4.838476	206677	1	2	0.999516
CUBE PFC STACK ASS'Y	WMBBA	System787	3.200176	312483	1	3	0.999680
WINDOW PANEL ASS'Y	WMBBB	System838	1.125700	888336	1	3	0.999887
FRAME	WMBBC	System847	0.512600	2e+006	1	3	0.999949
IR-TT UNIT	WMBC	System476	2.630111	380212	1	2	0.999737
SC ASSEMBLY	WMBCA	System477	2.630111	380212	1	3	0.999737
CO_EX	WMBD	System856	1.295356	771988	1	2	0.999870
IGBT STACK	WMBDA	System857	1.033851	967257	1	3	0.999897
GDCU	WMBDB	System915	0.261505	4e+006	1	3	0.999974
CO_BK	WMBE	System960	1.086818	920117	1	2	0.999891
IGBT STACK	WMBEA	System961	0.821014	1e+006	1	3	0.999918
GDCU	WMBEB	System1033	0.265804	4e+006	1	3	0.999973
송풍기 인버터	WMBF	System2	86.453828	11567	1	2	0.991392
POWER CAR AUXILIARY INVERTE...	WMBFD	System6	86.453828	11567	1	3	0.991392
격자저항기 및 송풍기	WMBG	System319	38.101315	26246	1	2	0.996197
격자저항기	WMBGA	System320	37.538315	26639	1	3	0.996253
송풍기	WMBGB	System377	0.563000	2e+006	1	3	0.999944
KTX MOTOR BLOCK FRAME ASS'Y(1...	WMBH	System1077	49.756955	20098	1	2	0.995037
MBU	WMAB	System1299	41.437619	24133	1	2	0.995865
BFAS BOARD ASS'Y	WMABA	System1300	0.057279	2e+007	1	3	0.999994
CDJ BOARD ASS'Y	WMABB	System1308	4.466354	223896	1	3	0.999553
ESB BOARD ASS'Y	WMABC	System1412	3.203561	312153	3	3	0.999680
ISY BOARD ASS'Y	WMABD	System1431	5.059851	197634	2	3	0.999494
IMON BOARD ASS'Y	WMABE	System1538	3.038767	329081	1	3	0.999696
AIT1 BOARD ASS'Y	WMABEA	System1640	1.594981	626967	3	3	0.999841
AIT4 BOARD ASS'Y	WMABEB	System1672	0.618384	2e+006	1	3	0.999938
ESL BOARD ASS'Y	WMABF	System1718	8.701463	114923	3	3	0.999130
CAL BOARD ASS'Y	WMABG	System1793	9.632856	103811	4	3	0.999037
AG1820 BOARD ASS'Y	WMABH	System1854	0.357623	3e+006	1	3	0.999964
TDS BOARD ASS'Y	WMABI	System1928	2.107414	474515	1	3	0.999789
PUZ33 BOARD ASS'Y	WMABJ	System1998	2.599085	384751	1	3	0.999740
CV-TT		System562	0.000000	0	1	2	1.000000

그림 187. 모터블록의 신뢰도 예측을 위한 시스템 형상

Motor Block 시스템의 MTBF 산출 데이터는 [부록1]Motor Block_Reliability Prediction에 첨부한다.

다. 정비도 예측 분석 및 결과

1) 정비도 예측

정비도란 “어떤 장비가 고장이 발생했을 때 규정된 자원(기술요원, 정비시설 등) 및 절차(정비교범)에 따라 정비를 실시할 경우 일정기간 내에 장비를 수리하여 그 성능을 규정된 상태로 원상 복구시킬 수 있는 확률”로 정의할 수 있으며, 주로 시스템 설계단계에서 산출하는 척도이다.

정비도는 정비의 용이성, 즉 정비 업무량에 관계되는 요소로 시스템의 설치 및 설계에 대한 특성으로 볼 수 있다. 시스템을 수리하는 데 걸리는 시간은 그 시스템이 어떻게 설계되어 있는가에 달려 있으며, 시스템의 설계 및 설치 특성에 따라 정비방침이 설정될 수 있다.

신뢰도와 마찬가지로 정비도라는 용어도 정성적으로 많이 사용되고 있으나, RAM 분석에서는 정량적인 정의가 필요하다. 정량적 의미의 정의를 사용함으로 서로 다른 시스템의 특성을 비교할 수 있으며, 의사 결정시 하나의 데이터로서 제공할 수 있다.

2) 정비도 예측 절차 및 산출

장비의 정비도 예측은 수행 결과 제시된 정비소요에 대한 체계적인 분석을 수행하여 정비업무별 정비계단 선정, 정비형태 결정, 정비특성 결정, 정비업무 별 수리소요 시간 산출, 정비인력, 정비지원 장비 등에 대해 심층적으로 분석을 수행하여 결과를 판단한다. Motor Block 시스템의 경우 정비 업무는 고장유형영향 및 치명도 분석(FMECA) 수행결과를 반영하여 업무소요를 도출하여 정비 업무를 설정한다. 설정된 각각의 정비 업무는 고장률, 고장 수리시간 등을 판단하여 정비도 예측을 수행한다.

정비도는 MTTR[11] 값의 산출을 기준으로 하며 수리가능(Repairable)한 장치 또는 서브시스템(LRU: Line Replaceable Unit)에 한정한다. 정비의 행위(Task)는 고장에 따른 후속 조치이므로 서브시스템을 가지는 상위 시스템의 MTTR은 다음 식과 같이 산출한다.

$$MTTR_{system} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i \times MTTR_i)}{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}$$

여기서, i 는 i 번째 파트

λ_i 는 i 번째 파트의 고장률

$MTTR_i$ 는 i 번째 서브시스템의 수리시간

정비도 예측은 MIL-HDBK-472 Maintenance Task Library 기준을 토대로 정비 절차에 대한 사건을 선정하였다

11) Mean Time To Repair

3) 비도 예측 분석 결과

표 24. 정비도 예측 결과

Level	Name	정비내용	MTTR(Hours)
1	Motor Block	교환	1.821405
2	Motor Block Control Unit	교환	1
3	BFAS BOARD ASS'Y	교환	1
3	CDJ BOARD ASS'Y	교환	1
3	ESB BOARD ASS'Y	교환	1
3	IFPS BOARD ASS'Y	교환	1
3	ISY BOARD ASS'Y	교환	1
3	IMON BOARD ASS'Y	교환	1
3	INCA BOARD ASS'Y	교환	1
3	AIT1 BOARD ASS'Y	교환	1
3	AIT4 BOARD ASS'Y	교환	1
3	ESL BOARD ASS'Y	교환	1
3	CAL BOARD ASS'Y	교환	1
3	AG1820 BOARD ASS'Y	교환	1
3	TDS BOARD ASS'Y	교환	1
3	PUZ33 BOARD ASS'Y	교환	1
3	B153 BOARD ASS'Y	교환	1
3	REDM BOARD ASS'Y	교환	1
3	ABS BOARD ASS'Y	교환	1
2	Motor Block 조립체	교환	2.694135
3	TANK INTERNAL ASS'Y	교환	4
3	PFC CUBE ASS'Y	교환	4
3	IR-TT ASS'Y	교환	4
3	CO_EX ASS'Y	교환	4
3	CO_BK ASS'Y	교환	4
3	송풍기 인버터	교환	2
3	격자저항기 및 송풍기	교환	8
3	KTX MOTOR BLOCK FRAME ASS'Y	교환	4

수리시간의 산정은 정비매뉴얼 K641-1-F6211-GL-T-034을 참조하였으며 시스템 형상의 Level 3의 수준으로 진행하였다. 이후 상위 수준인 Level 2 Motor Block Control Unit(MBU), Motor BLock 조립체를 거쳐 최상위 시스템인 Motor Block까지의 MTTR을 산출하였다.
Motor Block의 MTTR은 1.821405 시간(약 109분)으로 예측된다.

라. 가용성 예측 및 결과

1) 가용성 예측

가용성이란 시스템이 가동하는 시간의 양으로 주어진 기간에 장비의 기능이 성능을 발휘하는 총 시간과 해당 시간의 양에 대한 비율이다. 예를 들어 일주일(168시간)에 100시간 동안 장치가 운영되었다면 가용성은 100/168이 될 것이다.

가용성은 다음의 식을 따른다.

$$Availability = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

2) 가용성 예측 결과

Motor Block의 신뢰도 예측 결과는 고장 평균 간격(MTBF)이 778시간이며, 정비 시간인 평균 수리 시간(MTTR)이 1.82시간이면, 이에 따른 가용성은 $\frac{778}{778+1.82}$=99.76661%이다.

마. FMECA 분석

1) FMECA 실시 목적

FMECA[12]의 실시 목적은 하나의 고장모드 그리고 그것의 영향에 관한 분석기법을 제시하는 것이다. 이러한 목적을 안전도 해석이라는 영역까지 확대하여 FMECA의 실시목적을 요약하면 다음과 같다.

- 시스템 운용의 안전성을 높이는 설계 방법을 선택하는 기준을 제시한다.
- 초기 설계단계에서 시스템의 경계에 있는 문제를 명확히 한다. 즉 여기서 경계란 고장모드 또는 원인 등에 대한 정확한 식별에 관한 문제를 해결할 수 있다는 의미이다.
- 시스템 또는 서브시스템의 안전성에 치명적인 단일의 고장모드에 대한 영향 및 원인 등을 명확히 한다.
- 초기 단계에서 시험계획을 세우는 기준을 제시한다.
- 시스템의 안전성 예측, 평가 또는 기타 안전성 연구에 대해 정성적, 정량적인 데이터를 제공한다. 즉 특정 목적에 맞는 FMECA Worksheet에 고장모드와 원인 그리고 영향 등을 기록하여 관리한다. 따라서 FMECA는 하나의 시스템에 대한 이력서라고 생각 할 수 있다.

12) Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

2) FMECA의 실시 순서

현재까지 발전된 모든 FMECA 기법을 총괄하여 하나의 실시 순서를 정의하면 다음과 같은 일반적인 과정을 갖는다고 볼 수 있다.

- FMECA를 위한 준비 단계 : FMECA를 실시하기 위하여 시스템에 대한 정확한이해 또는 식별이 필요하고, 해석의 수준에 대한 정의가 필요하다. 즉 해석의 정 도를 시스템 그리고 시스템을 구성하는 서브시스템까지 할 것인지 또는 최하위 의 부품단위까지 할 것인지 분석의 범위를 정하도록 한다.

- Brainstorming : 시스템과 관련된 모든 엔지니어(개발자, 설계자, 운영자 등)가 시스템 에 대해 생각할 수 있는 모든 고장 모드에 대해 식별해 내는 단계로 FMECA 전체 과정에서 가장 중요한 단계라 할 수 있다. 경우에 따라 고장모드와 함께 고장의 원인에 대한 것을 중심으로 FMECA를 전개할 필요가 있다. 이러한 경우는 FCEA[13]가 되며 근본적인 원인 분석(RCA[14])에 도움이 된다.

- 전 단계에서 식별한 고장모드에 대해 그 영향의 정도를 식별한다.
- 심각도(Severity) 등급 단계 : 모든 영향에 대해 심각도의 등급을 정의한다. 심각도에 대한 등급은 MIL-STD-1629, SAE, 또는 ISO 등의 정의 방법이 약간 다르지만 개념은 거의 비슷하다. 아래 표를 보면 심각도 등급에 대한 예를 알 수 있다.

표 25. 심각도 등급의 예

구분	등급	C1	C2	C3	C4	C5
		미미한 (Marginal)	심각한 (Serious)	중대한 (Critical)	치명적인 (Catastrophic)	재난이 발생 가능한 (Disastrous)
서비스 (Service)	서비스지연 (Disruption to line services)	<10 mins (10 분 미만)	>10 mins <1 hours (10 분 이상~ 1시간 미만)	>1 hours <8 hours (1 시간이상~ 8 시간미만)	>8 hours <1 day (8시간 이상~ 1일 미만)	>1 day (1일 이상)
안전성(Safety)	사망 (Fatality)	0	0	0	1	>2
	중상 (Major Injury)	0	0	>1		
	경상 (Minor Injury)	0	>1			

13) Failure Cause, Effects Analysis
14) Root Cause Analysis

- 발생빈도(Occurrence Frequency) 등급 단계 : 모든 고장모드에 대해 발생빈도의 정도를 정의한다. 심각도 등급과 같은 방법으로 규격 또는 분석자 자체적인 기준이 있을 수 있다.

표 26. 발생 빈도 등급의 예

등급		정량적인 범위
F5	빈번한(Frequent)	More than 10 times per year (연간 10회 이상)
F4	가능성이 있는(Probable)	Once to 10 times per year (연간 1회 ~ 10회)
F3	때때로(Occasional)	Once every 1 to 10 years (10년 1회 ~ 1년 1회)
F2	가능성이 희박한(Remote)	Once every 10 to 100 years (100년 1회 ~ 10년 1회)
F1	가능성이 없는(Improbable)	Less than once every 100 years (100년 1회 이하)

- 탐지(Detection) 등급 단계 : 모든 고장모드 또는 영향에 대해 탐지 등급을 부여한다. 이것도 위에서 언급한 심각도, 발생빈도 등과 같이 규격을 따를 수도 있지만, 자체적인 기준을 적용할 수 있다.

- 치명도(Criticality) 계산 단계 : 치명도는 심각도와 고장발생확률의 조합으로 하나의 고장모드가 가지는 영향의 질적(Qualitative) 또는 양적(Quantitative)인 크기를 의미한다.

- 고장모드의 우선순위 결정 단계 : 치명도 계산을 통해 얻은 자료를 검토하여 고장모드에 대한 우선순위를 결정한다.

- 우선순위에 따라 고장에 대한 조치, 즉 고장모드에 대한 제거방안 또는 완화 조치 등을 수행한다. 조치 후 치명도를 재계산하여 조치 전과 후를 비교한다.

3) 고장유형분석 규격 (MIL-STD-1629)

가) MIL-STD-1629의 목적

이 규격서의 목적은 고장모드와 그로 인한 영향에 대한 체계적인 분석을 위해 표준화된 방법을 제시하는 데에 있다. 이것을 간단히 FMEA라 하는데 이는 시스템의 운용에서 발생하는 고장모드는 물론이고 시스템의 설계과정에서 예상 할 수 있는 잠재적인 고장모드에 대해서도 그 영향을 분석하고 운용상의 주의사항 또는 설계의 수정 등을 지적하기 위함이다. 즉 다양한 요소의 구성성분으로 이루어진 하나의 시스템에 대해 고장모드와 영향이라는

인과관계를 구성하고, 이를 통해 시스템 전반에 걸친 신뢰도를 분석하자는 것이다.

또 하나 규격서의 추가적인 목적은 시스템을 개발하는 모든 엔지니어들 사이에 표준 화된 FMEA 문서 양식(Worksheet)을 제시하는 것이다. 즉 복잡한 시스템은 많은 수의 엔지니어들이 서로 다른 개발 업무와 평가 업무 등이 세분화되어 있다. 따라서 어떤 통일적인 양식을 제시하지 않고 분석업무에 임한다면 본래 의미의 분석보다 혼돈을 초래할 가능성이 더 높기 때문이다.

아래 그림은 FMECA 문서 양식이다.

MIL-STD-1629 FMEA Worksheet

Failure Mode and Effects Analysis Report

시스템 : 승인자 :

작성자 : 승인날짜 :

Item Description	SN	Failure Mode	Possible Causes	Local Effect	End Effect	Compensating Provisions	Level of Severity	Failure Probability	Remarks

그림 188. MIL-STD-1629-Ships FMEA Worksheet

나) MIL-STD-1629에서의 FMECA를 위한 필수 요소

(1) FMECA 실시 순서

FMECA 실시를 위한 일반적인 순서 또는 절차는 아래 내용을 참고한다.

(2) 기술자료

기술 자료는 FMECA 분석 대상에 관한 모든 신뢰도 자료를 의미한다. 예를 들어 시스템 설계 단계에서 FMECA를 실시한다면 시스템에 관한 신뢰도 예측 자료와 매뉴얼, 규격 등의 자료를 의미한다.

다) MIL-STD-1629에서의 FMECA를 위한 세부요소(진행 절차)

(1) 정의 및 기능블럭도

FMECA의 첫 단계는 아이템을 정확하게 식별하고 기능을 정확하게 이해하는 것이다. 예를 들어 컴퓨터라는 시스템이 FMECA 분석을 위한 아이템이라면, 컴퓨터의 물리적 계층구조 그리고 각 계층 간의 기능 등을 이해하는 것이다.

(2) 문서화

FMECA 실시를 위한 아이템은 크게 다음과 같은 세 가지 사항을 고려하여 문서화할 필요가 있다.

- 대상 아이템에 대한 정확한 기능블럭도와 기능을 상세하게 기술한다.
- 기능블럭도는 아이템을 계층구조로 상세화하고 기능블럭도의 입-출력을 정확하게 기술하여 개별블록들 사이의 기능이 분명할 수 있도록 한다.
- 기능블럭도의 입-출력은 가능하면 정량적 한계까지도 포함하여 기술한다.

다음 그림을 보면 컴퓨터의 계층 구조에 대해 알 수 있다.

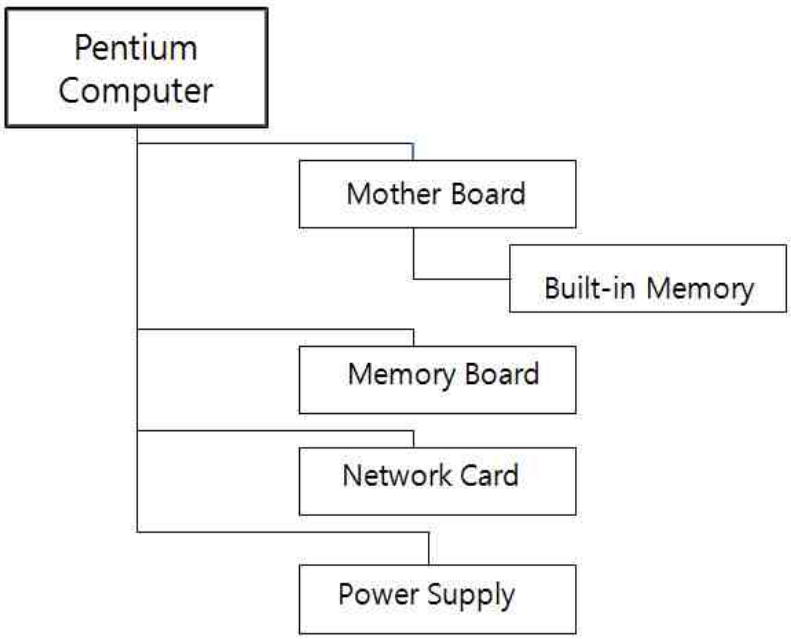


그림 189. 컴퓨터의 계층 구조

(3) 계층구조

FMECA의 성공여부는 아이템의 물리적 기능적 계층구조를 잘 이해하는 것에 달려있다. 따라서 FMECA를 어느 수준의 계층구조에서 시작할 것인지를 결정하고 하위수준의 계층구조를 어떻게 상세하게 할 것인지를 생각해야 한다.

(4) 계층구조에 대한 가이드라인

FMECA를 실시하기 위해 아이템의 계층구조를 정의하는 과정에서 하위 계층구조에 대한 정보가 부족하다면 다음과 같은 절차를 고려할 필요가 있다.

- 초기단계의 FMECA에서는 개념적인 형태의 기능블럭도와 각 기능블럭도 사이의 입-출력의 관계를 최상위의 계층구조의 틀에서 수행하고, 이후 자세한 정보를 통해 반복적이며 보다 더 자세한 형태의 FMECA를 수행한다.
- 효과적인 분석을 위해서는 하위 계층구조의 기능에 대한 정보를 미리 준비하여 반복적인 FMECA 과정과 비교하면서 분석 과정에서 간과할 수 있는 요소를 찾아낸다.
- 첫 번째의 FMECA 분석 결과는 다음 단계의 분석을 위한 준비 자료이다. 따라서 다음 FMECA 분석과정에서의 계층 구조와 기능에 대한 결정요소가 될 수 있다.
- 계층구조의 상세화 수준은 FMECA 분석과정에서 결정할 요인이지만, 아이템에 대한 과거의 신뢰도 자료가 있는 경우 신뢰도의 등급에 따라 계층구조의 상세화 정도를 조정할 수 있다. 즉 높은 신뢰도를 가진 아이템의 경우 FMECA 분석을 간략화 하여 실시해도 된다는 뜻이다.
- 아이템에 대한 정비와 수리수준은 FMECA 분석을 위한 중요한 자료이다. 따라서 중요한 아이템은 최하위의 부품단위까지 수리정보가 있어야 한다.

(5) 고장모드

고장모드를 가장 잘 정의할 수 있는 방법은 아이템의 기능을 잘 이해하는 것이다. 이것을 논리적 인과관계로 정의한 거시 기능블럭도이다. 따라서 개별기능에 대한 기능 입- 출력표를 작성하고 가능한 고장모드를 추론하거나 찾아내야 한다.

(6) 코드 또는 일련번호

FMECA 분석 대상인 아이템이 규모가 크거나 복잡한 경우 아이템의 계층 구조는 물론이고, 기능, 고장모드, 원인 등을 코드화하는 것은 FMECA의 핵심적인 작업에 속한다고 할 수 있다. 아이템이 클수록 고장모드의 종류가 그만큼 다양해지기 때문이다.

(7) 고장원인

고장원인은 고장모드에 따라 결정되지만 하나의 고장모드에 대해 여러 개의 고장원인이 있을 수 있다. 그리고 고장의 원인은 아이템의 계층구조 간의 인과관계를 가질 수 있다. 즉, 하위계층 고장원인은 바로 상위계층의 고장모드에 영향을 줄 수 있으며 반대도 성립한다고 볼 수 있다.

(8) 고장 징후와 탐지의 구별

고장 징후에 대한 조기 탐지는 성공적인 임무수행을 위한 필수요소이다. 따라서 고장에 대한 징후와 탐지를 정의하고 둘 사이의 관계를 구분할 필요가 있다. 고장에 대한 징후는 아이템이 오작동을 일으킬 수 있는 인식 가능한 현상이다. 즉 고장모드와는 구별된다. 반면 탐지는 아이템의 설계단계에서부터 염두 해 둔 고장모드를 인식하는 것이다.

(9) 고장영향

고장 영향 분석의 궁극적인 목적은 고장모드에 따른 계층구조 사이의 인과관계를 파악하는 데에 있다. 따라서 계층적으로 영향의 범위를 여러 단계로 설정할 수 있으나, 대개는 국부적인 영향(Local Effect)과 종국적인 영향(End Effect)으로 나누어 분석한다.

- 국부적 영향(Local Effect) : 국부적인 영향을 정의하는 목적은 아이템의 수리관계 또는 보상규정 등을 명확하게 하기 위해서이다. 따라서 계층 구조 간의 영향보다는 현재의 고장모드를 유발하는 아이템 자체에 더 비중을 둔 개념이다.

- 종국적 영향(End Effect) : 아이템의 의도한 기능의 상실은 여러 가지의 고장모드와 원인이 결합되어 나타나는 현상이다. 즉 수많은 고장모드가 서로 다른 영향을 가지며 영향을 미치는 범위도 다르다. 종국적 영향에 대한 분석 목적은 아이템이 가지는 여러 가지 종국적 영향과 관련이 있는 고장모드를 인과관계로 찾아내는 데 있다.

(10) 심각도 순위

고장모드에 대한 심각도 순위는 해당 고장모드의 기능적 고장에 따른 손실의 정도를 정량적 또는 정성적 순위로 정의한 것이다.

(11) 고장발생확률

아이템의 식별된 고장모드에 대해 발생 확률을 정의할 수 있다. 즉 부품 단위의 아이템의 경우 과거의 경험 또는 신뢰도 분석을 통해서 가능하고, 어셈블리 수준도 마찬가지 방법으로 발생확률을 추정할 수 있다. 그러나 데이터 오류 또는 분석자의 주관적 견해 등이 무시할 수 없는 요인이다.

발생확률 또한 정성적 또는 정략적인 방법으로 사용할 수 있다.

- 정성적 방법
  - 수준-1 : 고장모드로 인한 고장발생확률이 매우적음, 작동 중 발생확률 또한 없는 경우
  - 수준-2 : 고장모드로 인한 고장발생확률이 적음, 작동 중 발생확률이 작은 경우
  - 수준-3 : 고장모드로 인한 고장발생확률이 높고, 작동 중 발생확률의 빈도가 잦은 경우
  - 수준-4 : 고장모드로 인한 고장발생확률이 높고, 작동 중 발생확률의 빈도가 잦은 경우

  단, 여기서 작동시간은 임무시간(Mission Time)이다.

• 정량적 방법

- 수준-1 (매우 작음) : 발생확률 0.01 이하
- 수준-2 (적음) : 발생확률 0.01~0.1 사이
- 수준-3 (중간) : 발생확률 0.1~02 사이
- 수준-4 (높음) : 발생확률 0.2 이상

(12) 치명도

일반적으로 MIL-STD-1629에서의 치명도는 심각도와 고장발생확률의 조합이다. 그러나 장보고-III 전투체계의 경우 좀 더 정확한 판단을 위해 RiAC의 FMEA/CA[15] 기법을 사용하도록 한다.

4) RiAC의 FMEA/CA 기법

미국 신뢰성분석센터(RiAC - The Reliability Information Analysis Center)의 FMEA/CA은 여러 가지의 MIL-STD-1629 방법을 체계적으로 정리한 것이다. 기존의 MIL-STD-1629계열의 문서들을 FMEA와 CA를 분리하여 체계화 했다는 점에서 의의가 있다.

가) MIL-STD-1629 Tasks

MIL-STD-1629는 5가지 중요한 절차상의 Task 문서들로 구성되어 있다. 그러나 Task 101, 102 이외의 다른 Task들은 정비도, DMEA등 개발단계에서의 고장유형분석과는 거리가 멀기 때문에 제외한다.

• Task 101문서는 FMEA 수행에 따를 절차를 정의하고 있다. 즉 FMEA의 목적은 부품의 고장이 시스템에 미치는 영향과 그에 따를 결과를 인식하고 또한 심각도에 따를 각각의 잠재적인 고장모드를 분류하기 위한 것이다. FMEA는 명확한 고장모드에 대해 빠른 가시성을 제공하며, 재설계를 통하여 제거할 수 있고, 최소화 할 수 있는 잠재적인 고장형태를 인식하는 것이다.

• Task 102문서는 치명도 분석을 수행하기 위한 절차를 나타낸다. 치명도 분석을 수행하는 목적은 심각도에 따른 고장모드 분류와 발생확률이 조합된 영향에 따른 고장유형에대한 순위를 결정하기 위한 것이다. 치명도 분석은 FMEA 자료를 바탕으로 분석할 수 있다. 그렇기 때문에 Task 101 FMEA 단계가 반드시 선행 되어져야 한다. 그러나 치명 도 분석의 결과는 주관적으로 만들어지는 것이 대부분이기 때문에 관련 심각도의 지표 정도로만 사용해야 한다.

15) Critical Analysis

앞에서 시행한 일반적인 FMEA의 절차들은 Task 101에 해당하며 치명도 분석을 위한 부분은 Task 102에 해당한다.

나) 치명도 분석

치명도에 대한 분석은 MIL-STD-1629 초기 문서부터 있었으나 체계적으로 정리한 것은 RiAC문서에 의해서이다. 현재의 SAE-ARP-5580 또는 자동차회사의 기준의 Automotive FMEA 등의 치명도 기준인 RPN 값을 정의하는 방법과는 약간 다르다는 것을 알 수 있다. 즉 RPN이 주관적인 척도가 강한 계산방법이라고 할 수 있다면, RiAC의 치명도 해석은 신뢰도예측 등 보다 객관적인 척도를 근거로 치명도를 제시하고자 함을 알 수 있다.

FMEA를 바탕으로 한 치명도 분석은 시스템 설계과정의 일부분으로서 동시에 수행해야 한다. 즉 초기설계과정의 일부분으로서 시작 되어야 하며, 설계가 서서히 진행되어 가면서 반복적인 갱신이 이루어져야 한다. 치명도 분석은 고장모드의 영향에 대한 중요성이 상대적인 척도를 제공한다. 치명도 분석은 정성적인 방법과 정량적인 방법 두 가지 모두를 사용할 수 있으며, 정성적 방법은 시스템을 구성하는 부품 또는 서브시스템의 고장률 정보를 이용할 수 없을 때 사용할 수 있다. 한편 정량적인 방법은 시스템을 구성하는 부품 또는 서브시스템의 고장률 정보를 이용할 수 있을 때 적용할 수 있다. 아래 그림은 치명도 분석의 예이다.

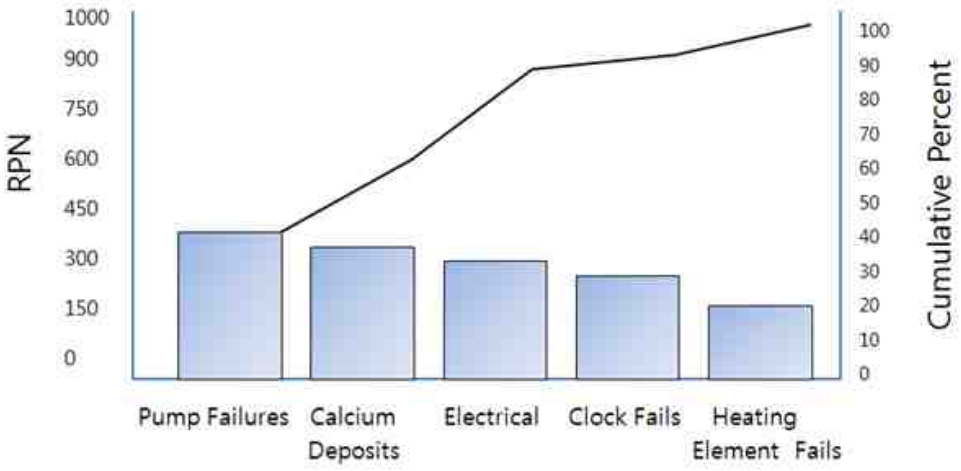


그림 190. 치명도 분석의 예-Pareto Diagram of Ratings

다) 정성적인 접근 방식(Qualitative Approach)

정성적인 치명도 계산 방법은 고장률 데이터가 이용 가능하지 않을 때 고장모드의 발생빈도를 이용하여 치명도를 정의한다. 각 고장 발생빈도는 개별적인 레벨로 그룹화 하며, 이

값들은 고장의 형태가 얼마나 자주 발생하는가에 대한 분석자들의 판단에 바탕을 두고 있다. 고장모드 발생빈도는 다음과 같이 정의할 수 있다.

다음에 정의한 레벨은 분석자의 주관적 견해에 따라 바뀔 수도 있다. 그러나 대체로 다음과 같은 기준을 가지고 레벨을 정의할 수 있다. 예를 들어 어떤 부품 또는 서브시스템의 고장모드가 5가지가 있고, 이 5가지 전체의 고장모드의 발생비율을 100% 정의한다면, 즉 첫 번째 고장모드는 5%, 두 번째 고장모드는 10%, 세 번째 고장모드는 15%, 네 번째는 20%, 마지막 다섯 번째는 50%로 알려져 있다고 가정하자. 이 때 정성적 분석에 대한 각각의 레벨은 다음과 같이 정의할 수 있다.

- Level A (Frequent) : 발생빈도>20%
- Level B (Reasonably Probable) : 10%<발생빈도<20%
- Level C (Occasional) : 1%<발생빈도<10%
- Level D (Remote) : 0.1%<발생빈도<1%
- Level E (Extremely Unlikely) : 발생빈도<0.1%

라) 정량적인 접근 방식(Quantitative Approach)

정량적인 방법을 통한 치명도의 계산에는 부품 또는 서브시스템에 대한 고장률 예측 정보와 분석자의 경험적 또는 이미 알려진 고장모드 비율에 관한 정보가 있어야 한다. 우선 주어진 고장모드의 치명도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_m = \beta\alpha\lambda_p t$$

(α = 고장모드 비율 → RiAC의 FMD97 등의 자료를 통하여 얻을 수 있다.)

(λ_p= 부품 또는 서브시스템의 고장률 예측값 → 217 Plus의 규격을 통해 계산)

(t = 부품 또는 서브시스템의 임무시간 즉, 동작시간)

(β= 고장영향확률, 분석자의 주관에 따라 그 값의 편차가 크기 때문에 적용하는 데 어려움이 있다.)

다음과 같은 예를 통해 위의 식을 이해하도록 하자. 우선 어떤 Transistor는 NPN 타입이고 다음 표와 같은 고장모드 그리고 비율이 있다고 가정하자

표 27. 부품의 고장모드 및 비율

부품의 고장모드	고장모드의 비율
Low collector to emitter breakdown voltage (고장모드 1)	34%(0.34)
Excessive emitter to base leakage (고장모드 2)	57%(0.57)
Open circuit, collector to emitter (고장모드 3)	9%(0.09)
Total	100%(1.0)

한편, 부품 Transistor의 고장률은 hours이라 하면 부품의 고장률 예측값을 통하여 다음과 같이 각각의 고장모드에 대한 고장률(Modal Failure Rate)을 계산할 수 있다.

표 28. 고장모드에 대한 고장률

부품의 고장모드	α	λ_p	λ_m
고장모드 1	0.34	0.12345	0.04197
고장모드 2	0.57	0.12345	0.07036
고장모드 3	0.09	0.12345	0.01111
Total	1.00		0.12344

그리고 고장영향확률 다음과 같이 정의하면 주어진 고장모드 하나에 대한 치명도를 산출할 수 있다.

표 29. 고장영향확률의 정의

고장에 따른 영향 정도	β
실제적 손실	1.00
손실이 예상됨	0.1 < 영향정도 < 1.0
손실가능성이 있음	0 < 영향정도 < 0.1
영향이 없음	0

예를 들어 “고장모드 1”에 대해 “실제적 손실”이 예상되고 임무시간이 10,000 시간인 경우의 고장모드 치명도 $C_m = \beta\alpha\lambda_p t$는 에 의해 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_m = \beta\alpha\lambda_p t = 1.0 \times 0.34 \times 0.12345 \times 10{,}000 hours$$

(단, 고장률 단위는 10^6hours이다.)

즉, 0.000419 정도의 고장영향을 갖는다고 할 수 있다.

마) 치명도 행렬(Criticality Matrix)

위에서 계산 고장모드에 대한 치명도를 그래프로 시각화한 것을 치명도 행렬 이라 하는데, 이를 위해서는 심각도(Severity‘)에 대한 개념이 필요하다. 즉 다음과 같은 4개의 범주를 갖는 심각도 레벨을 이용한다.

표 30. 심각도 레벨

레 벨	범 주	설 명
Ⅰ	Catastrophic	시스템 사망
Ⅱ	Critical	시스템의 중요부분 손실
Ⅲ	Marginal	경미한 손실
Ⅳ	Minor	손실이 거의 없는 경우

한편 개별적인 부품 또는 서브시스템의 치명도는 동일범주의 심각도 레벨에 대해 다음 식과 같다.

$$C_r = \sum_{n=1}^{i} (\beta \alpha \lambda_p t)_n, n = 1,2,3...j$$

여기서, n은 특정 심각도에 대한 고장모드를 의미하며,

j는 특정 심각도에 해당하는 고장모드의 개수를 의미한다.

예를 들어, 위 Transistor의 경우 “고장모드1”과 “고장모드2”가 심각도 “레벨Ⅰ”에 해당한다면, j=2가 된다. 따라서 심각도 레벨을 X축으로, 치명도를 Y축으로 하여 치명도 행렬을 구성할 수 있는데, 다음 두 개의 그림이 그 예이다.

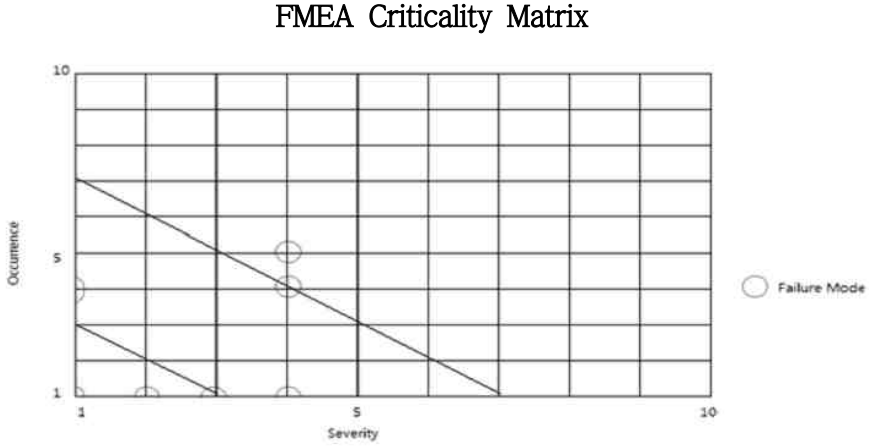


그림 191. FMECA 치명도 행렬

Criticality Matrix

Occurrence	Ⅰ. Catastrophic	Ⅱ. Critical	Ⅲ. Marginal	Ⅳ. Minor
A-Frequent	7, 10, 22			
B-Reasonably Probable	9			23
C-Occasional				
D-Remote				
E-Extremely Unlikely	34, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 13, 4,6	35, 27, 29	36, 24, 26	30, 32, 37

Severity

그림 192. 치명도 행렬

5) FMECA 작성예시

가) FMECA 작성형식

FMECA를 분석하기 위한 양식으로는 MIL-STD-1629의 Task101 FMEA 와 Task102 CA의 양식을 혼용하여 사용한다. 이는 작업의 중복을 줄이고 분석의 효율성을 고려한 고장유형분석이 가능하게 하기위함이다. 다음 표는 FMEA/CA의 혼합양식이다.

표 31. FMEA/CA의 혼합양식

Part Number								
Level								
Part								
Parent Assembly								
Item Description								
Failure Mode								
Cause of Failure								
Local Effect								
End Effect								

Failure Detection Method	Compensating Provisions	Severity	Occurrence	Failure Effect Probability (β)	Failure Mode Ratio (α)	Failure Rate (λp)	Criticality (Cm)

나) FMECA 작성 시 주의사항

앞에서 설명했다시피 FMECA만을 수행한다고 하여 시스템의 안전성이 보장되는 것은 아니다. FTA를 사용한 보완분석이 필요하다. 물론 FMECA를 통하지 않고도 FTA 분석이 가능하지만 FTA와 FMECA간의 추적성은 날이 갈수록 중요해지고 있는 추세이다. 이를 위해서 FMECA를 작성함에 있어서 몇 가지 주의 할 점이 있다.

- Failure Mode(고장유형), Local Effect(국부적 영향), End Effect(종국적 영향)은 정형화된 단어 수준으로 표기하되, 비슷한 사항에 대해서는 통일하여 같은 단어를 사용한다.

-> Failure Mode , Local Effect, End Effect의 라이브러리화를 통해 동일한 고장 유형, 영향에 대하여 쉽게 분석이 가능하다.

예1) 크랭크축에 노화로 인한 파손현상이 발생한다. -> 크랭크축파손(노화)

예2) 크랭크 축 파손, 크랭크축 파손, 크랭크 축 파손됨 -> 크랭크축파손

- 같은 의미를 가지는 단어를 다르게 입력할 경우 추후에 분석을 시행할 때 데이터 클리닝 작업이 다시 요구되므로 처음부터 통일하여 같은 형식으로 입력한다.

- 이상적인 FMECA의 분석 Level은 최하위 Part에서부터 최상위 System에 이르기까지 모든 고장유형과 영향을 Roll-Up하여 분석하는 것이지만, 실제로 시행하기에는 어려움이 따르므로 분석 레벨 깊이(Depth)를 조정하여 시행한다. 여기서 Roll-Up은 하위파트 의 고장의 영향 (하위 파트나 어셈블리의 국부적 영향 - Local Effect)이 상위 파트(Parent Assembly)의 고장유형이 되는 것을 말한다.

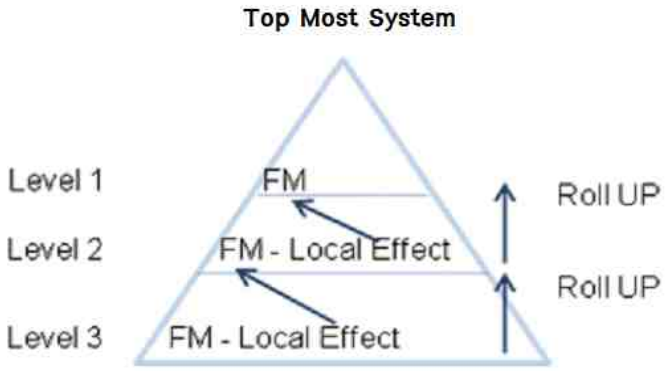


그림 193. Roll Up 개념도

예) 레벨3파트, 배터리의 고장유형(Failure Mode) - 파워효율저하(Degraded Power) 에 해당하는 국부적 영향(Local Effect)이 성능저하라면 이것은 레벨 2 상위 어셈블리(Parent Assembly)의 고장유형이 된다.

6) FMECA 결과

FMECA 분석 결과인 총 고장모드 수 및 분포에 대한 요약은 다음과 같다.

표 32. FMEA 고장모드

고장모드 순위	고장모드	분포(87개 中)	고장모드 비율
1	동작 불능	9	(10.345%)
2	제어 전원 불안정	8	(9.195%)
3	제어 불안정	7	(8.046%)
4	AIT, ESB 제어전원 불안정	3	(3.448%)
5	CO-EX, CO-BK 스위칭 오점호	3	(3.448%)
6	CV-TT, IR-TT, 스위칭 오점호	3	(3.448%)
7	CV-TT, IR-TT, PEC 스위칭 오점호	3	(3.448%)
8	PFC 스위칭 오점호	3	(3.448%)
9	보조인버터 제어 전원 불안정	3	(3.448%)
10	송풍기 동작 불능	3	(3.448%)
11	송풍기 인버터 오동작	3	(3.448%)
12	송풍기 인버터 제어 오동작	3	(3.448%)
13	여자 초퍼 제어 불능	3	(3.448%)
14	역률 저항	3	(3.448%)
15	역률개선장치 동작불능	3	(3.448%)
16	인버터 스위칭 오점호	3	(3.448%)
17	인버터제어불능	3	(3.448%)
18	인터페이스 불안정	3	(3.448%)
19	제동 오동작	3	(3.448%)
20	제동 초퍼 제어 불능	3	(3.448%)
21	추진 제어 및 제동 오동작	3	(3.448%)
22	컨버터 동작 불능	3	(3.448%)
23	계전기 오동작	2	(2.299%)
24	송풍기 인버터 동작불능	2	(2.299%)
25	센싱전압 불안정	1	(1.149%)
26	회생제동 고장	1	(1.149%)

FMECA의 상세결과는 [부록2]Motor Block_FMEA(Task101)의 고장유형 분석, [부록3]Motor Block_FMEA(Task102)의 치명도 분석을 참조한다.

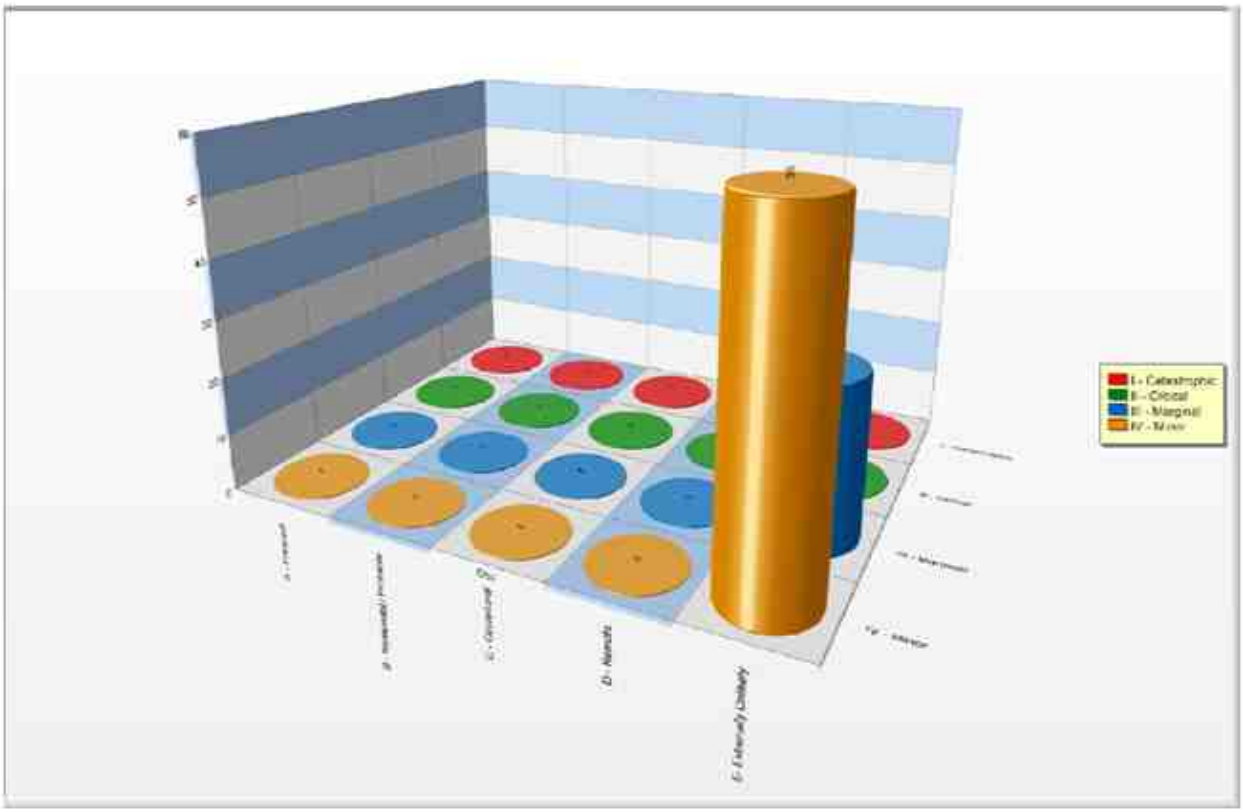


그림 194. FMEA 분석 결과 (Criticality Matrix)

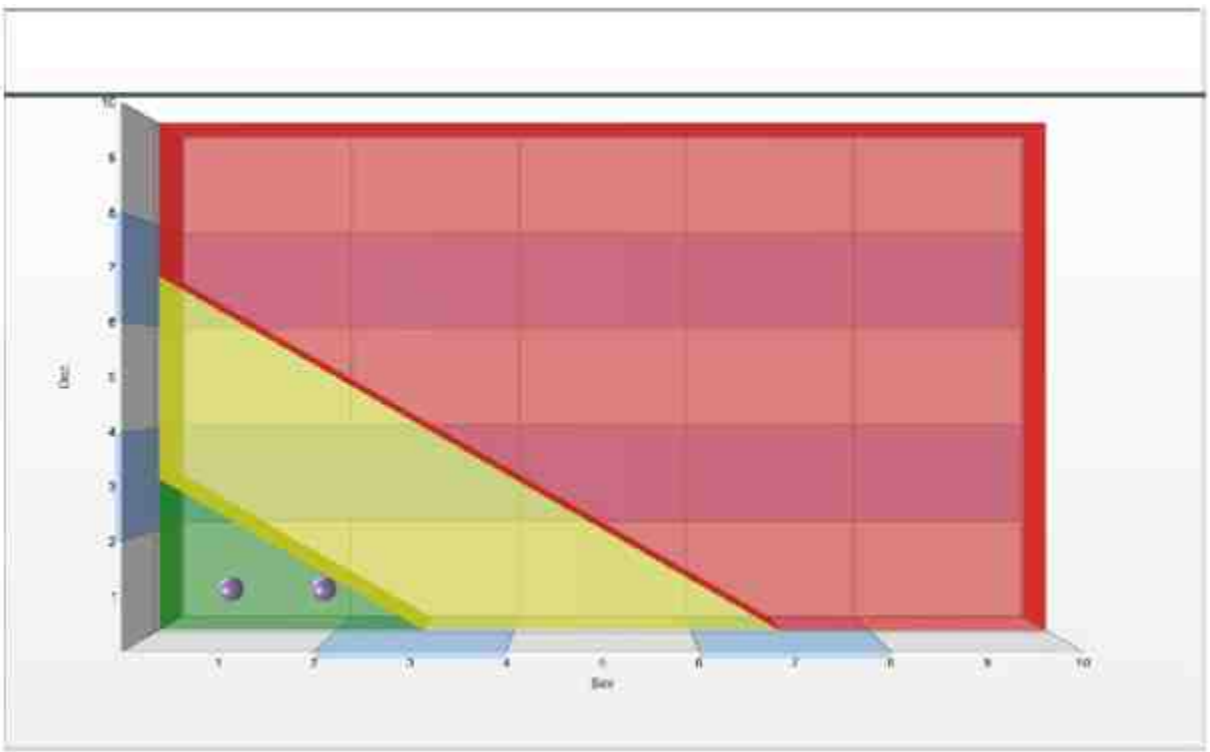


그림 195. FMECA 분석 결과 (Risk Levels)

고속차량용 추진제어장치에 대한 FMECA 수행에 대한 주요 사항은 아래와 같다.

- 고속차량용 추진제어장치에 대하여 총 87개의 고장모드가 포함되어 있으며 26개의 고장모드를 산출하였다.
- 동작불능의 고장모드가 전체의 약 10.345%의 가장 많은 분포를 나타내고 있다.
- 고장모드의 비율은 각각의 고장모드가 하나의 파트에 적용되는 비율을 나타낸다.

고속차량용 추진제어장치에 대하여 FMECA를 수행하여 각각의 고장모드와 원인을 확인하였다. 이를 분석한 결과 시스템 전반적으로 발생빈도 E, 심각도 Ⅲ~Ⅳ를 만족하였으며 발생빈도 E, 심각도 Ⅳ 등급에 해당하는 비율이 전체의 약 59%를 차지하고 있음을 확인하였다. 고장유형의 분포 영역이 낮은 위험도 구간에 위치하고 있음을 알 수 있다.

바. FTA 분석

1) FTA 실시

FMECA를 통해 부품의 고장모드를 예측하고 시스템에 미치는 영향에 대하여 예측하였다면 이번 FTA를 통해 시스템에서 발생한 영향 즉, 결함에 대하여 원인이 무엇인지 역 추적하는 단계를 가지고자 한다. 이는 시스템에 결함을 유발시키는데 영향력 있는 여러 가지 요인들을 연역적 방법으로 추론하고 관계를 Boolean 대수를 이용하여 도해적으로 표현하기 때문에 복잡한 시스템의 신뢰도를 모델링하고 계산하는데 매우 효과적이다.

이 단계에서는 시스템의 각 단위 부품의 고장을 기본 고장(Primary Failure or Basic Event)이라 하고, 시스템의 결함 상태를 시스템 고장(Top Event or System Failure)이라 하여 이들의 관계를 정성적, 정량적으로 평가한다. 이를 통해 추후에 발생할 수 있는 결함에 대비하고자 한다.

FTA는 Cut Set 이론, 확률분석 및 Boolean 대수의 개념 등을 통한 시스템의 고장메커니즘에 대한 그래픽화되고 논리적인 묘사에 기본을 두고 있으며, FTA에서의 중요한 사항은 구성요소 및 시스템이 성공적으로 운전(작동)되거나 또는 완전히 고장이 발생한다는 가정(즉, 고장의 이원성)에 있다. 또한, FTA는 분석에 있어서 AND, OR 등과 같은 논리 게이트를 사용함으로써 논리 정연한 분석이 가능하다.

최상위 사건의 빈도나 확률은 보다 단순한 사건들의 고장 데이터로부터 계산된다.

FTA는 최상위 사건(Top Event)의 정량적인 정보를 제공하는 것뿐 아니라, Minimum Cut Set분석을 통하여 Motor Block과 같은 복잡한 시스템의 잠재적인 고장모드에 대한 정성적 분석을 가능케 한다.

2) FTA 실시 절차

가) 시스템 특성파악

- 시스템의 운용사항에 대한 이해로 시스템의 특성을 파악한다.

나) 시스템의 결함을 나타내는 정상사건 확인

- 공정위험성을 분석하고 정상사건을 설정한다.
  (경험적 자료, FMEA 등을 통한 분석)

다) Fault Tree의 작성

- AND 또는 OR게이트를 사용하여 Fault Tree를 구성한다.
- 정의된 시스템 결함으로부터 시작, 공학적 판단에 의해 정상사건을 발생하게 하는 원인들을 찾고, 이들의 인과관계를 논리기호를 사용하여 표현한다. 더 이상 분해할 수 없는 기본 사건까지 Fault Tree 전개한다.

라) Fault Tree의 정성적 분석

- Minimum Cut Set을 분석하고 고장모드의 조사 및 공통원인에 대한 조사를 시행하여 중요도에 따른 정성적 우선순위를 설정한다.

마) Fault Tree의 정량적 분석

- 정상사건의 빈도, Boolean 대수분석, 구성요소나 인적 오류 등에 대한 신뢰도데이터를 이용하여 정량적 분석을 시행한다.

바) Fault Tree 해석 결과의 평가

- 해석결과의 불확실성, 정상사건의 발생빈도 저하방법을 분석하고 원인사건이나 중간 사건의 중요도 분석하여 평가한다.

위의 절차를 토대로 Motor Block의 FTA를 실시하였으며 정성적, 정량적 평가를 통하여 Motor Block 시스템의 신뢰도 및 안전성을 향상하고자 한다.

3) FMECA와 FTA 관계

FMECA와 FTA와는 서로 연관이 없을 수도 있고 또는 연관이 있을 수도 있다. 즉 이 두 개의 분석 방법이 독립적으로 신뢰도 또는 정비도 등을 계산하기 위한 방법이 될 수도 있지만, 대개의 경우 FMECA의 분석 수준 또는 결과에 대한 상세화의 방법으로 FTA를 수행한다.
다음 그림은 FMEA 그리고 CA와 관련된 다른 분석 기법과의 관계를 도시한 것이다.

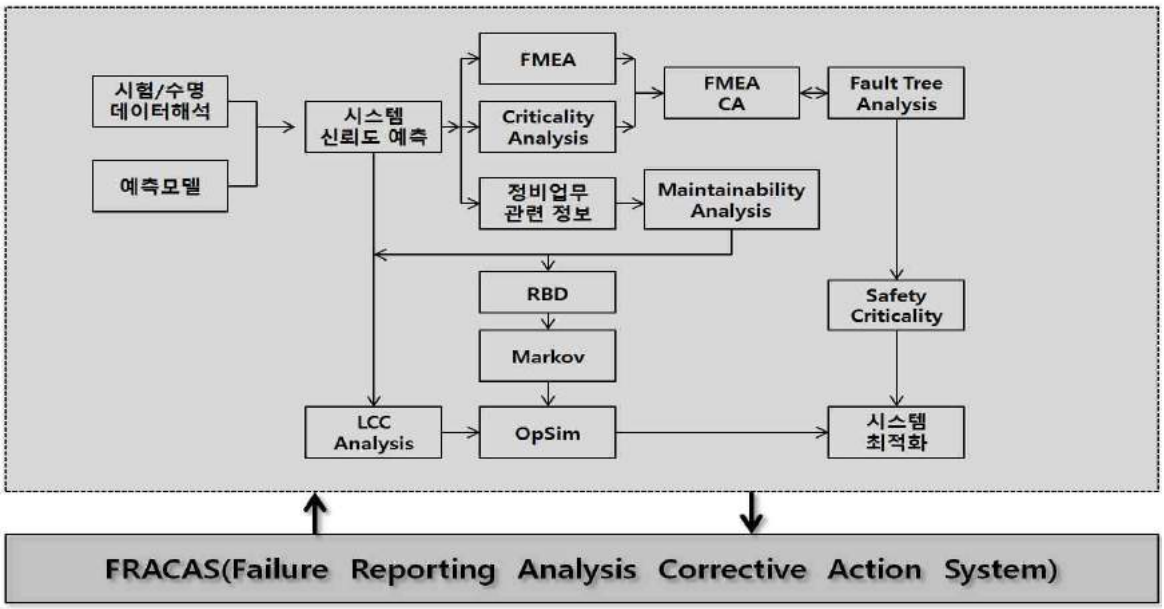


그림 196. RAMS 프로세스와 분석기법

실제로 FMECA에 관한 보다 정확한 기법 적용은 분석 대상인 시스템에 관한 신뢰도 예측이 선행되고, 이 자료와 더불어 FMECA를 수행하고 치명도를 계산하는 것이 일반적인 순서이다. 즉 FMECA와 FTA의 논리적 인과관계는 다음 그림과 같다.

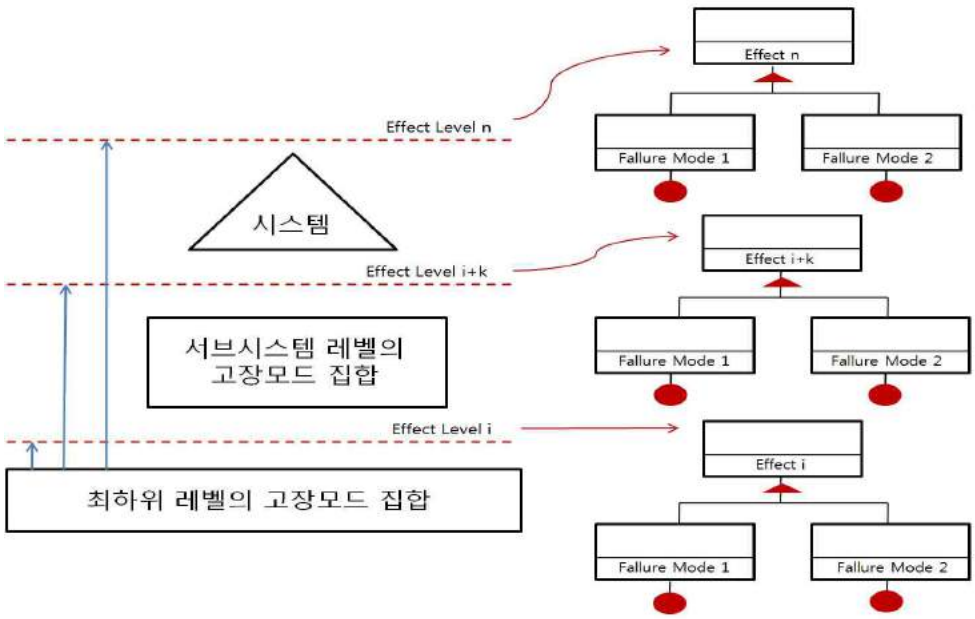


그림 197. FMECA와 FTA 관계

그림에서 보는 바와 같이 고장모드와 그에 따른 영향은 시스템의 레벨 또는 영향 등의 종류에 따라 분류할 수 있는데, 예를 들어 치명도를 기준으로 한 분류도 좋은 방법이다. 이렇

게 분류된 임의의 영향에 대해 개별적인 Fault Tree를 구성할 수 있다는 의미이다.
앞서 말 한대로 FMECA를 통해 모든 것을 해결하기는 어렵다. 따라서 경험적이고 귀납적인 방법이라 할 수 있는 FMECA 분석을 보완하는 과정으로 연역적이고 선험적 분석기법인 FTA를 사용할 수 있다는 의미이다.

표 33. FMECA와 FTA의 차이점

구분	FMEA(CA)	FTA
해석 목적	Part(Component), 구성품 등의 고장이 상위 System에 미치는 영향을 해석 1) 제품, 공정상의 고장원인 및 영향 평가 2) 1)의 문서화 및 지속적 개선	Top Event(상위 System)에 발생 가능한 고장에 대하여 발생 가능한 사건의 논리적인 평가 1) 고장원인의 연역적인 추론과 분석 2) 1)의 조합논리적인 도식화
해석 방법	1) Bottom Up 2) 논리적 FMEA Worksheet 사용 3) 직렬구조 정성적/정량적 해석 (System Reliability)	1) Top Down 2) 논리적인 도식화 3) 중복기능 고려 정량적 해석 (Mission Reliability)
분석 요소	1) System, Process 중심 해석 2) 고장에 대한 원인, 영향 3) 치명도 분석	1) 상위 고장(사건)에 대해 다양한 고장요인 분석 2) 발생가능성 평가를 위한 정량 적인 데이터 사용 (고장률, 고장빈도, MTTR 등)
실시 시기	1) System 설계부터 개발종료까지 2) Design/Process 변경	1) System 설계부터 개발종료까지 2) 운용단계 적용가능 3) 안전성 중요분야
응용 분야	1) 정비성 분석, PHA[16], FHA[17]활용용이 2) 상위 고장영향에 의한 FTA 작성 3) 치명부품, 구성품 진단 해석 4) 3)의 해석결과 설계이용	1) 안전성 분석에 활용용이 2) 안전성 대책 강구 방안

16) Preliminary Hazard Analysis
17) Functional Hazard Analysis

4) FTA 분석 결과

고속차량용 추진제어장치 시스템은 1개의 End Effect를 나타내고 있으며 기준시간을 1년(8,760시간)으로 설정하여 계산하였다. 아래의 표는 End Effect에 대한 발생확률을 나타낸 표이다.

표 34. End Effect 발생확률 표

기준 시간(Hours)	End Effect	End Effect 발생 확률
8,760	모터블록 차단	0.113617 (11.3617%)

1년(8760시간)당 발생확률이 11.3617%로 정기적인 유지보수 및 유지관리자 교육, 설계 검증 등을 통해 예방 및 관리가 가능한 수준이다. FTA의 상세분석결과는 [부록4]Motor Block_Fault Tree에 첨부한다.

다음 그림은 이를 그래프로 나타낸 모습이다.

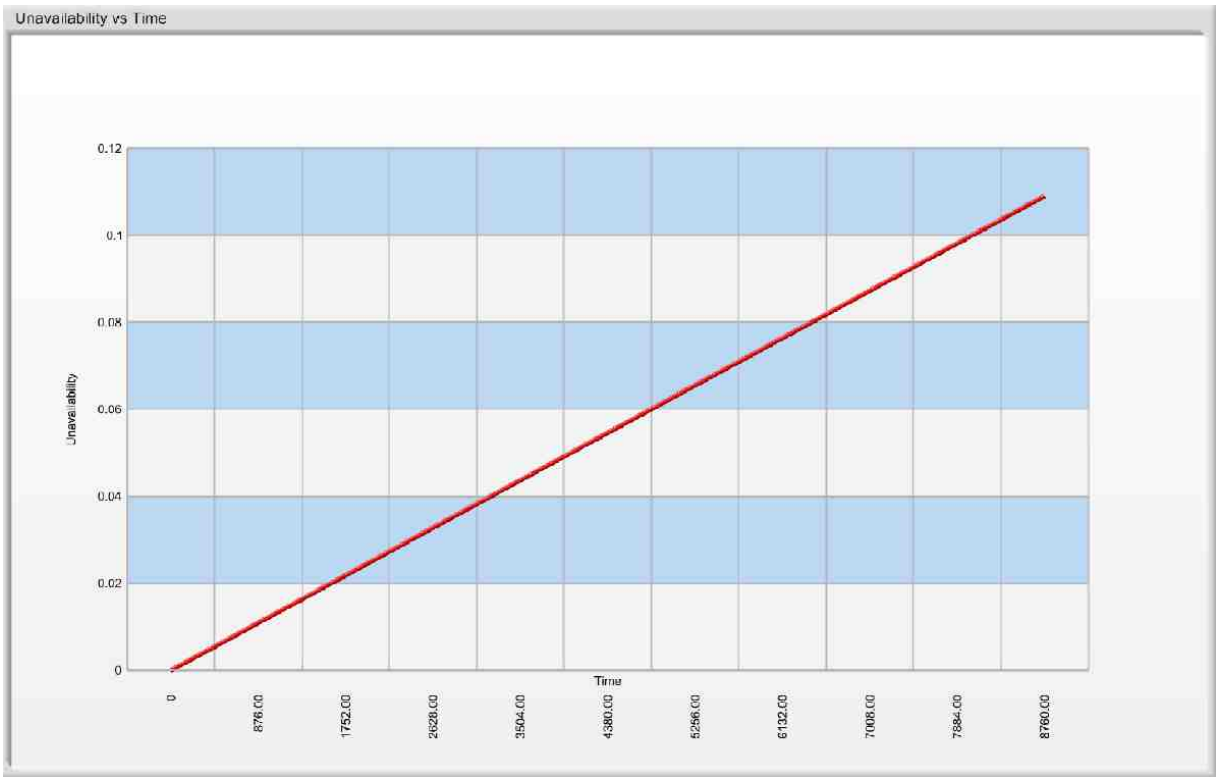


그림 198. End Effect 발생 확률

사. 시스템 Block Diagram

1) RBD 분석

RBD[18]는 Functional Block Diagram의 보완적 검증을 위해 직렬, 병렬의 기능 블록 다이어그램을 이용하여 시스템의 신뢰도를 향상하는 방법으로, 시스템의 신뢰도 향상을 위해 부품의 신뢰도를 블록으로 구성한 다이어그램으로 분석하는 방법이다. 시스템의 단위 모듈을 블록 단위로 정의하고, 시스템의 이중구조를 그래픽으로 구성하여 신뢰도를 분석하게 된다.

RBD를 이용한 신뢰도 분석은 설계 초기 단계에서 신뢰도를 만족시키기 위한 시스템의 이중구조를 결정하여 정량적 데이터를 제시할 수 있다. 한편 FMECA 기법과 연관 지어 해석할 수 있는데, 주로 기능 구현의 관점에서 신뢰도를 확보하기 위한 분석의 방법으로 사용된다.

2) 기능별 RBD

기능별 RBD는 다음의 그림과 같다.

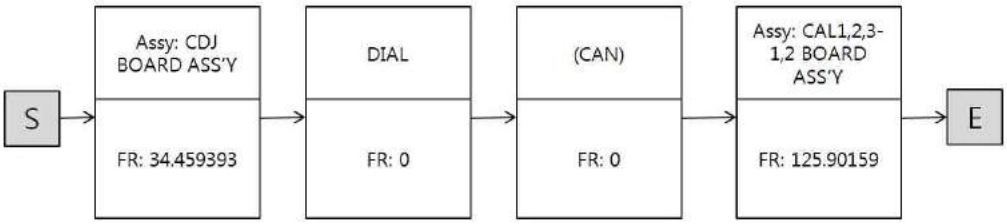


그림 199. 견인요구 지령 처리

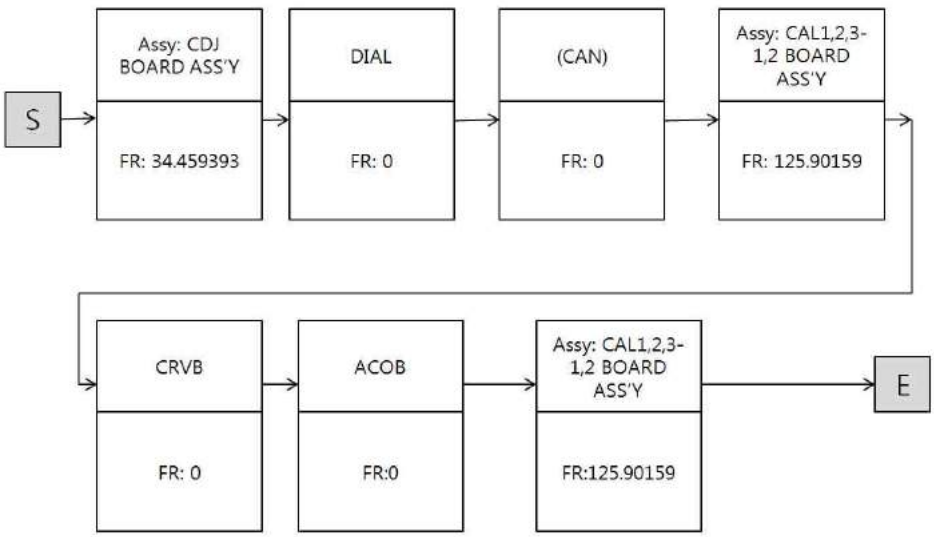


그림 200. 제동명령소지_전기 및 공기제동 분배

18) Reliability Block Diagram

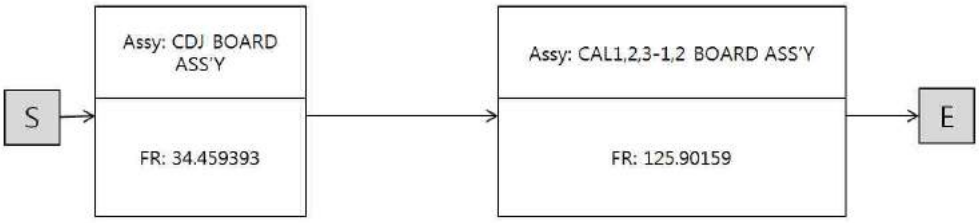


그림 201. 전기 제동력 조절

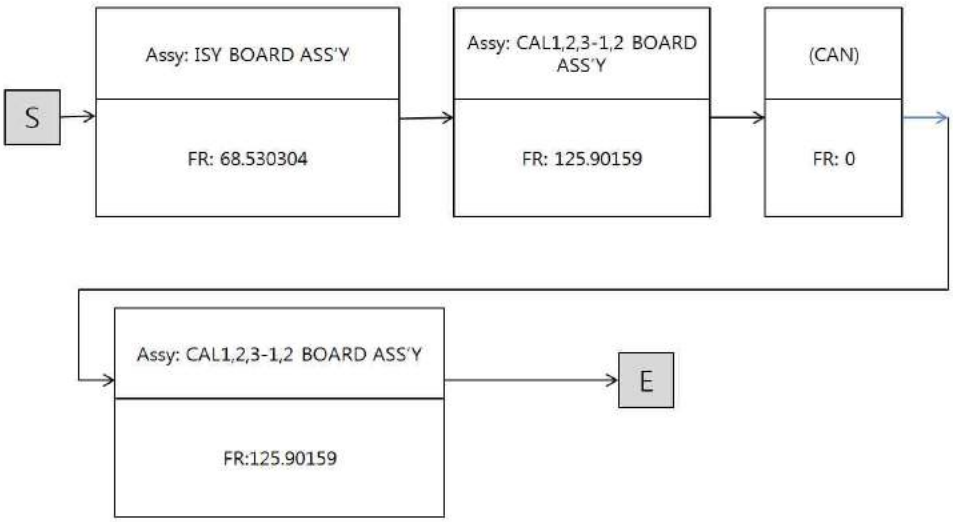


그림 202. 견인 모터 소모 전력 제한

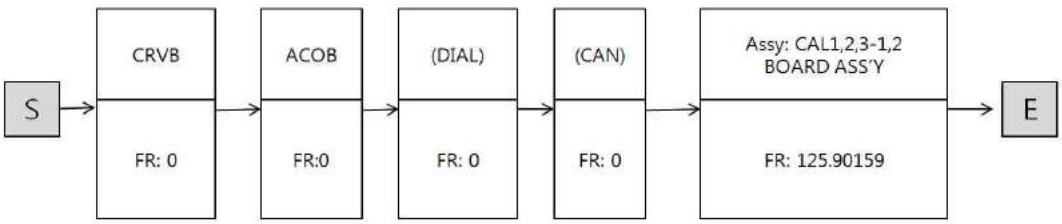


그림 203. 팬터그래프 이선 처리

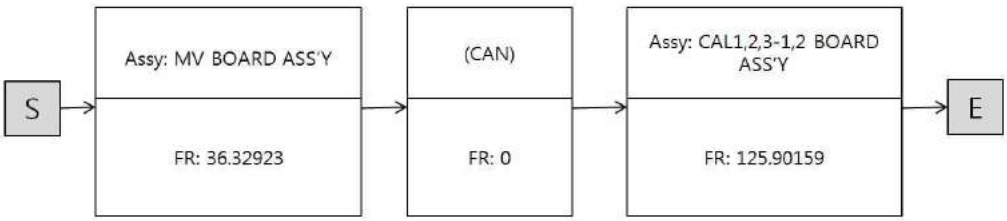


그림 204. 공전 및 활주 방지 처리

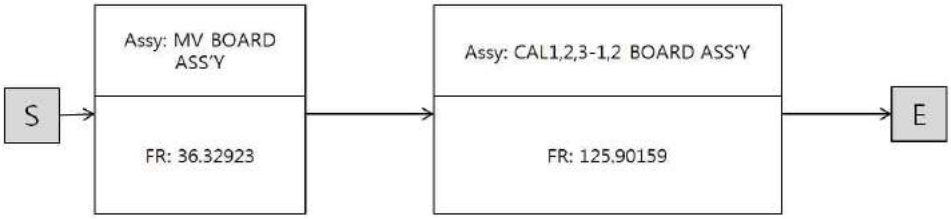


그림 205. 차륜직경 보정

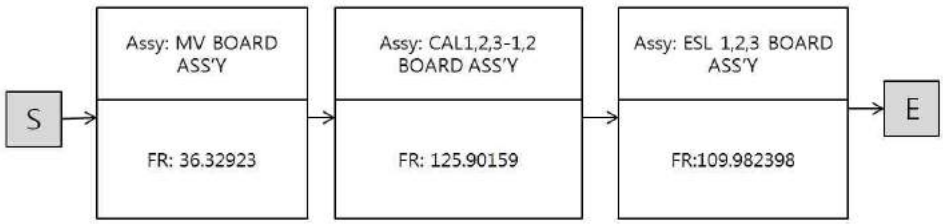


그림 206. 차축 비 회전 감지

3) RBD 결과

기능별 RBD 결과 값은 다음과 같다. 기준 시간은 8,760시간으로 정한다.

표 35. 기능별 RBD 결과

NO	RBD	고장률[회/106]	MTBF[시간]
1	견인요구 지령 처리	160.36	6235.93
2	제동명령소지_전기 및 공기제동 분배	286.26	3493.30
3	전기 제동력 조절	160.36	6235.93
4	견인 모터 소모 전력 제한	320.33	3121.75
5	팬터그래프 이선 처리	125.90	7942.71
6	공전 및 활주 방지 처리	162.23	6164.06
7	차륜직경 보정	162.23	6164.06
8	차축 비 회전 감지	272.21	3673.59

RBD의 상세분석 결과 및 도표는 [부록5]Motor Block_Reliability Block Diagram을 참조한다.

아. RAMS 목표치 달성 여부 분석

개발단계에서의 신뢰도 분석 결과를 토대로 기존품(알스톰社의 도움을 받아 제작한 추진제어장치)과의 비교를 위해서는 MTBF(Mean Time Between Failure)가 아닌 MKBSF[19]의 산출이 필요하다. MKBSF의 산출 수식은 다음과 같다.

$$MKBSF\,(km) = \frac{\text{전체편성 12월간 주행거리}}{\text{전체편성 12개월운행중 서비스고장건수}}$$

1) 기존품과의 MKBSF 비교

현재 추진제어장치의 경우 개발단계에 있어 12월간의 주행거리나 서비스 고장건수의 파악이 불가능하므로 MKBSF를 산출하기 위해서는 다음 수식을 이용한다.

$$MKBSF(km) = MTBF \times \text{표정속도}(km/h) \times \text{1편성당 모터블럭수} \times \frac{1}{\text{서비스 고장 비율}}$$

여기서 표정속도는 고속철도 인프라에 따라 프랑스와 한국의 차이가 있으나, 개발당시 제출된 RAMS Report는 프랑스 기준이므로 동일한 비교를 위해 프랑스의 263.2km/h를 사용한다. MTBF는 778시간이며 1편성 당 모터블록수는 6개, 서비스 고장 비율은 1/3이었으므로 결과는 다음과 같다. 기존품의 정보는 알스톰社에서 제공한 RAMS Report를 참조하였다.

표 36. 추진제어장치 기존품과 개발품의 MKBSF 비교

품목 구분	MKBSF(km)
기존품 (알스톰社)	3,080,000
국산 개발품	3,685,853

2) 결론

기존품의 MKBSF는 3,080,000(km)인데, 현재 개발 중인 Motor Block의 경우 RAM 분석과 FMEA/CA를 통해 산출된 MKBSF가 3,685,853(km)이므로 RAMS 목표치를 달성한 것으로 판단된다.

19) Mean Kilometer Between Service Failure

3. 소프트웨어 RAMS 적용 연구

가. GAP 분석

Gap 분석의 목적은 기존 IT 업무 프로세스에 대한 현행화 및 내재화 정도를 파악하고 국제적으로 RAMS 기반의 프로세스 체계 구축을 위해 필요한 개선 방향을 설정하여 핵심 추진 과제를 도출하기 위함이다.

1) GAP 분석 체계

올바른 프로세스 개선은 조직 현황에 대한 올바른 이해로부터 시작되며, 이는 Gap분석(자료 및 인프라 검토, 인터뷰) 활동을 통해 이루어지게 된다. Gap 분석을 통해 개선기회를 식별하고 개선방향을 정의할 수 있도록 한다.

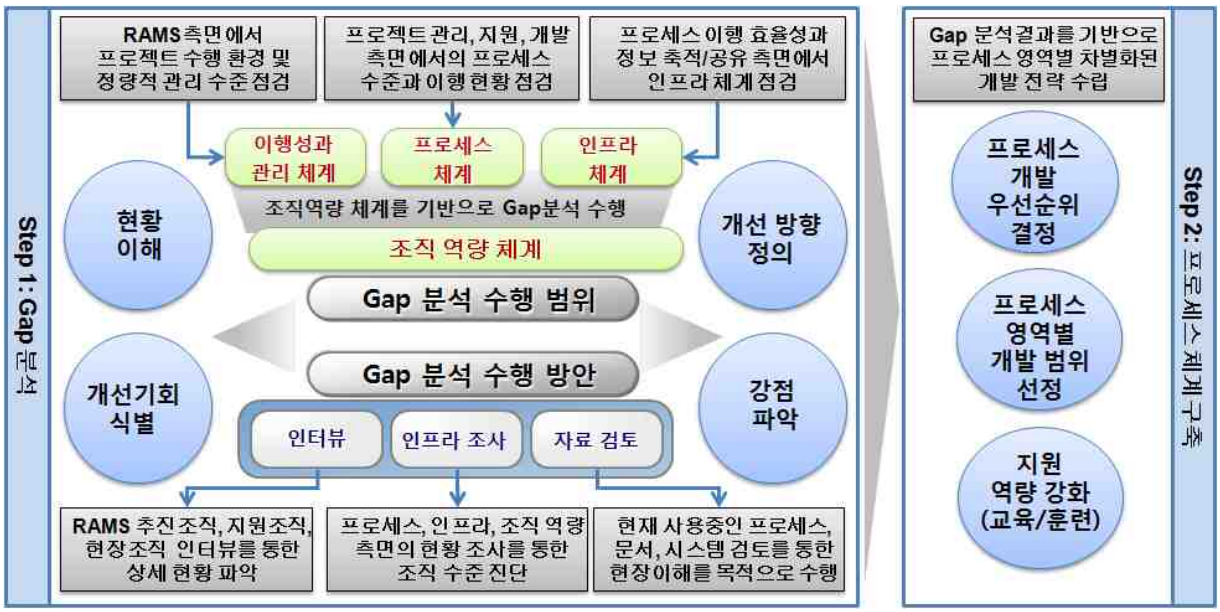


그림 207. GAP 분석 체계

2) GAP 분석 결과

EN 50128 기준과 현행 프로세스 체계 및 기존 산출물과의 비교 분석한 결과, EN 50128 Document 적합 수준은 30%정도이며, 이 요건을 충족하기 위해서는

- 요구사항단계, 설계단계에 대한 명세서와 명세 기준서 작성
- 소프트웨어 코드 표준서 작성
- 소프트웨어 시험 계획서 및 절차서 작성을 수행하여야 한다.



그림 208. GAP 분석 결과

3) 주요 발견 사항 및 개선 방향

가) EN 50128 Documents를 기반으로 한 프로세스 문서 적합 수준

표 37. 문서 적합 수준

No	EN50128 Documents	적합수준	비고
1	Software Requirement Standards	×	요구사항 표준 추가
2	Software Requirement Specification	△	요구사항 설계서 신규 작성
3	Software Design Standards	×	설계 명세서 표준 추가
4	Software Design Specification	△	설계명세서 신규 작성
5	Software Code Standards	○	MISRA-C적용 보완
6	Software Verification Plan	×	검증 계획서 신규 작성
7	Software Verification Result	×	검증 결과서 신규 작성

※ ● : 적합, ○ : 대부분 적합, △ : 일부 적합, × : 부적합

- 요구사항 표준 문서, 요구사항 설계 문서, 설계 명세서, 설계 명세서 표준 문서, 검증 계획서, 검증 결과서 등의 문서가 추가 되어야 함.
- 설계 명세서 문서, 요구사항 설계서를 EN 50128의 요건에 맞게 보완 해야함.
- 전체적으로 EN 50128 Document 적합 수준은 30% 수준으로 판단됨

나) EN 50128을 기반으로 한 개선 사항

- 요구사항 표준에서 요구사항 명세서를 작성 할 수 있는 제반 활동을 정의해야 함.
- 소프트웨어 코드 표준을 작성함으로 개발된 코드의 안전성을 검증함

- 각 산출물의 정의 및 작성에 있어서 모든 산출물에 대한 검증(Verification)을 통해 완벽한 산출물이 작성되도록 요구함

다) 추가 작성 문서

효율적인 프로세스 체계를 구축하기 위한 아래 문서 작성.

- Software Requirement Standards
- Software Requirement Specification
- Software Design Standards
- Software Design Specification
- Software Code Standards
- Software Verification Plan
- Software Verification Result

라) 이행전략

- Template, Sample을 활용
- 기존 산출물 참조 및 재활용
- EN 50128을 만족할 수 있는 각종 검증용 Checklist 준비

나. 소프트웨어 요구사항 단계

소프트웨어 요구사항 개발 단계 에서는 소프트웨어의 기능 및 성능에 대한 요구사항을 분석하고 정의한다. 기 정의된 소프트웨어 요구사항을 체계 요구사항, 시험 가능성 등의 기준으로 검토한다.

1) 요구사항 정의 목표

요구사항 정의의 목표는 다음과 같다.

- 개발 제품이 가져야 할 SW 의 기능, 성능, HW인터페이스 등의 요건을 명확히 정의함으로써 최종 제품에 대한 품질 수준을 보증함
- SW 에 대한 요구사항은 제품의 안정성 수준에 따른 시스템 요구사항에 적합하도록 정의함
- 본 문서를 기준으로 설계를 수행하는 담당자로 하여금 이해하기 쉽게 SW 의 요구사항을 정의함
- SW 요구사항이 가져야 할 기준을 먼저 정의하고 이 기준에 알맞게 SW 요구사항이 정의함
- SW 요구사항에 대한 검증하고 확인함으로써 설계 단계의 입력물로 충분하도록 하여 SW 라이프 사이클 동안에 수행되는 모든 활동들의 결과물이 안전성 수준에 대하여 적합성과 일치성을 유지하도록 함

- SW요구사항은 SW 라이프 사이클 동안에 작성되는 모든 산출물과의 추적성이 가능하도록 정의함

2) 요구사항 정의 방법

SW 에 대한 요구사항 정의 방법은 다음과 같다.

- SW 요구사항에 대한 식별 방법, 체계적인 구분 기준, 필요한 요건 등 SW 요구사항을 정의하는 표준을 정한다.
- 제품 또는 시스템 요구사항 및 SW 안전성 요구사항을 분석하여 SW기능 및 SW안정성 수준을 정의한다.
- 시스템 요구사항과 SW 요구사항 간의 추적표를 작성하여 일치성과 적합성을 검증한다.

3) 요구사항 기준 수립

SW요구사항은 다음과 같은 속성을 충족하여야 한다.

- 기능성 (성능 및 응답시간 포함) (functionality including capacity and response time performance)
- 신뢰성 (reliability)
- 유지보수성 (maintainability)
- 안전성 (safety, including safety functions and their associated software safety integrity levels)
- 효율성 (efficiency)
- 사용성 (usability)
- 간편성 (portability)
- 완전성 (completeness)
- 명확성 (clarity and precision)
- 명백성 (unequivocalness)
- 검증성 (verifiability)
- 시험성 (testability)
- 실현가능성 (feasibility)
- 추적성 (traceability)

4) 요구사항 기준서 개발 [부록: SD-PD-003(V1.0)_소프트웨어_요구사항_표준서 문서 참조]

SW 요구사항이 가져야 하는 속성을 고려하여 소프트웨어 요구사항 개발 시, 기준이 될 수 있는 요구사항 기준서를 개발하였다. 소프트웨어 요구사항 기준서의 구성은 아래와 같다.



그림 209. 소프트웨어 요구사항 기준서 구성

5) 요구사항 명세서 개발 [부록: WJ-MB-SRS 문서 참조]

소프트웨어에 대한 요구사항을 시스템 기능 및 SW기능 ID를 부여하여 분류했으며, Level 1~4 로 구분하여 해당 레벨에 따른 요구사항 도출을 진행하였다. 이후, 총 열 개의 모듈로 분리되어 각 모듈 별 기능에 따라 요구사항을 정의 하였다.

주우정상정	Motor Block Function List	문서번호	WJ-MB-SRS
		개정날짜	2013.04.22
		개정번호	1.0

	Fun_ID	Description	Remark
Chopper	Fun-CHOP-CAL1-A-1	여자전류 지령치 계산	CC
	Fun-CHOP-CAL1-A-2	여자전류 PI 전류	CC
	Fun-CHOP-CAL1-A-3	여자초퍼 PWM제어	CC
	Fun-CHOP-CAL1-A-4	제동전류 PI 제어	CC
	Fun-CHOP-CAL1-A-5	제동초퍼 PWM 제어	CC
	Fun-CHOP-CAL1-B-1	CAN 통신 인터페이스	i82527_Init i82527_IrqHandler i82527_GetRxBuffer i82527_Send

그림 210. 소프트웨어 요구사항 명세서 구성

다. 소프트웨어 설계 단계

설계단계는 크게 구조설계와 상세설계로 구분된다.

구조설계에서는 소프트웨어 구성요소 간 최상위 수준의 인터페이스 설계와 데이터베이스를 설계하고, 초기 사용자문서를 개발하여야 한다. 개발자는 소프트웨어 통합시험을 위한 요구사항과 계획을 작성하고, 인터페이스와 데이터베이스를 포함하는 소프트웨어 구조를 검토하여야 한다.

상세 설계는 소프트웨어 컴포넌트로부터 단위 소프트웨어를 식별하고, 단위 소프트웨어간의 인터페이스, 단위 소프트웨어 내부의 처리 작업을 상세하게 설계하는 활동으로 이루어진다.

1) 소프트웨어 설계의 목적

소프트웨어 설계의 목적은 다음과 같다.

- 소프트웨어를 구성하는 항목 및 각 요소들의 특성을 정의하고 소프트웨어 안전성 요구사항을 달성할 수 있도록 정의함
- 소프트웨어 설계는 제품의 안정성 수준에 따른 시스템 요구사항과 소프트웨어 요구사항에 적합하도록 정의함
- 제품 안전성 관점에서 소프트웨어와 하드웨어 사이의 상호작용에 대하여 명확히 정의함
- 설계 문서를 기준으로 소스코드를 구현하는 개발자로 하여금 이해하기 쉽게 정의함
- 소프트웨어 설계 내역을 검증하고 확인함으로써 다음 단계의 입력물로써 충분하도록 하여 SW 라이프 사이클 동안에 수행되는 모든 활동들의 결과물이 안전성 수준에 대하여 적합성과 일치성을 유지하도록 함
- 소프트웨어 설계는 SW 라이프 사이클 동안에 작성되는 모든 산출물과의 추적성이 가능하도록 정의함

2) 소프트웨어 설계 기준 수립

가) 소프트웨어 설계항목이 가져야 할 속성

SW설계는 다음과 같은 속성을 충족하여야 한다.

- 완전성 (completeness)
- 명확성 (clarity and precision)
- 명백성 (unequivocalness)
- 검증성 (verifiability)
- 시험성 (testability)
- 유지보수성 (maintainability)
- 실현가능성 (feasibility)
- 추적성 (traceability)

나) 소프트웨어 설계 방법

모터블록 과제의 소프트웨어 설계 방법은 다음과 같다.

- 전체 소프트웨어 구성도 작성
- 모듈 목록 작성
- 각 모듈 별 구성 함수들의 Call 관계 작성
- 주요 기능 수행 함수 리스트 작성
- 주요 함수에 대한 제어 알고리즘 작성
- 각 모듈 간 인터페이스 설계

3) 소프트웨어 설계 기준서 개발 [부록: SD-PD-002(V1.0)_소프트웨어_설계_표준서 문서 참조]

소프트웨어 구성항목의 구조적 설계의 결과물 관리와 소프트웨어 구성요소의 구성단위 결정, 인터페이스 등 상세 설계 내용을 작성할 때 주의 할 점 과 설계 시 고려해야하는 제약사항 등을 작성하였다.

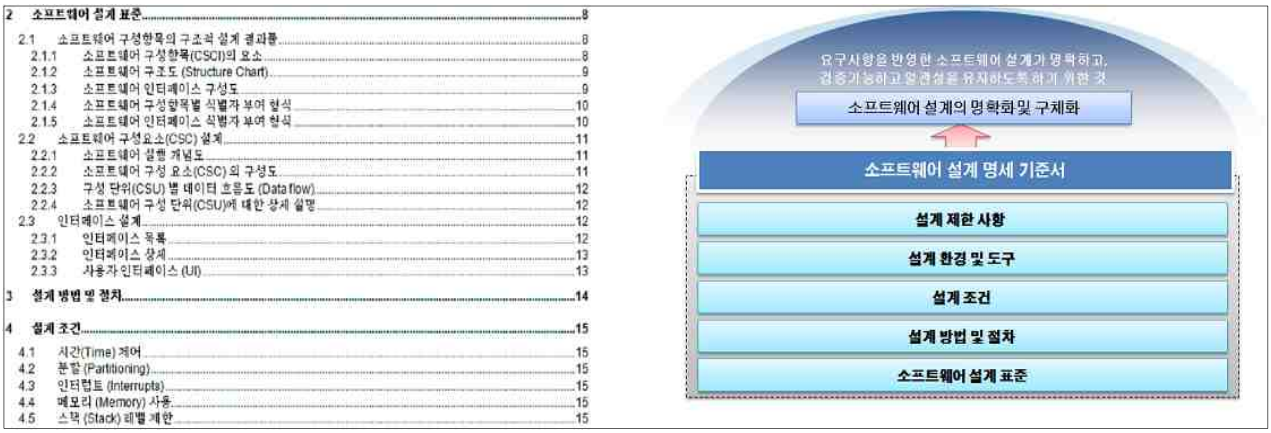


그림 211. 소프트웨어 설계 기준서 구성

4) 소프트웨어 설계 명세서 개발 [부록: WJ-MB-SDD 문서 참조]

소프트웨어 요구사항을 기반으로 주요 기능을 수행 할 함수 총 46개에 대하여 각 설계 식별자를 부여하고, 각 함수가 수행 할 기능과 제어 알고리즘을 도식화 하여 소프트웨어 설계 명세서를 개발하였다.



그림 212. 소프트웨어 설계 명세서 구성

라. 소프트웨어 구현 단계

소프트웨어 상세설계 내역을 이용하여 단위 소프트웨어 및 데이터베이스에 대한 코딩을 수행하고, 소스 코드를 생성한다. 계획에서 정한 프로그래밍 언어를 이용하여 단위 소프트웨어 프로그램을 개발하고, 단위 소프트웨어 및 데이터베이스 시험을 위한 절차와 시험자료를 준비한다.

1) 소프트웨어 코드 표준 개발 [부록: SD-PD-004(V1.0)_소프트웨어_코드_표준서 문서 참조]

가) 소프트웨어 코딩규칙

소프트웨어 코드 표준서의 경우는 소프트웨어를 개발함에 있어, 의사소통, 코드검토, 코드 재사용, 유지보수등의 내재된 결함을 발견하고 예방하기 위해 일관되고 표준화된 코딩을 하고 설계/구현단계의 효과적인 업무 수행을 목적으로 작성 되어 졌다.

또한 소프트웨어 코드 표준서는 모터블록 개발 프로젝트의 소프트웨어 코드 구현 방법을 정의하는 기준을 제공함으로써 소프트웨어 코드의 내재된 결함을 줄이고 예방하기 위해 작성 되어야하고 지켜져야 한다. 해당 코드 표준 목록은 아래와 같다.

표 38. 소프트웨어 코딩 규칙

순번	코딩 규칙
1	goto detected.
2	Function has no return statement.
3	Ellipsis used in procedure parameter list.
4	Array bound exceeded.
5	No default case in switch statement.
6	Shifting value too far.
7	Equality comparison of floating point.
8	Empty switch statement.
9	Switch Case not terminated with break.
10	Value is not of appropriate type.
11	Actual and formal parameters inconsistent.
12	Assignment operator in boolean expression.
13	Construct leads to infeasible code.
14	Infeasible loop condition found.
15	Divide by zero in preprocessor directive.
16	Use of ++ or -- on RHS of && or ‖ operator.
17	Cast from pointer to integral type.
18	Narrower int conversion without cast.
19	Empty else clause following else if.
20	function call with no prior declaration.
21	Local pointer returned in function result
22	Unreachable Code found.

나) 소프트웨어 코드 표준서

소프트웨어 코드 표준서에는 코드 표준과 해당 코드 표준에 대한 설명 및 예제등의 내용이 첨부되어 있다. 이는 개발자의 이해를 돕고 코드 표준을 명확하게 정의내릴 수 있게 도와준다.

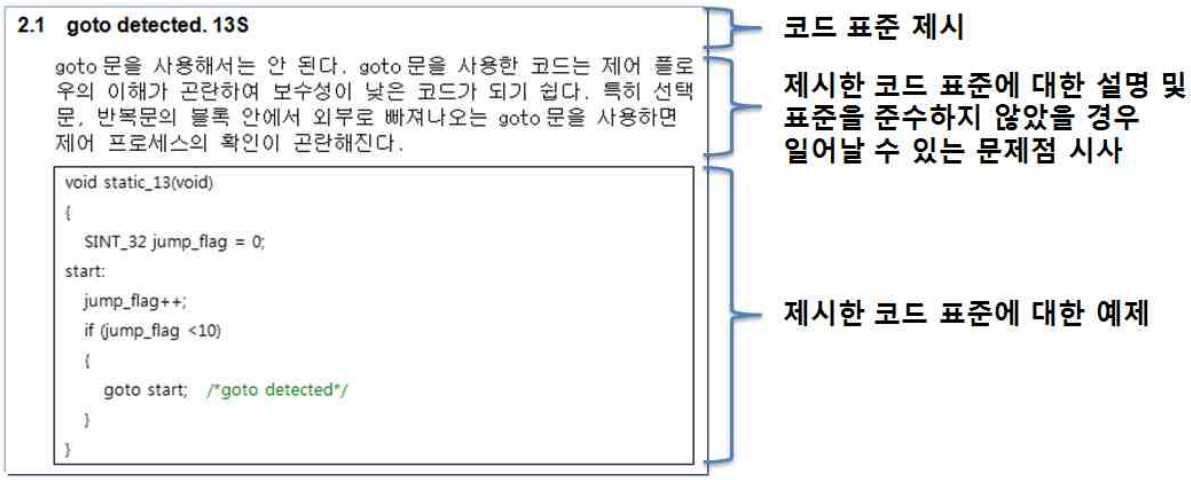


그림 213. 소프트웨어 코드 표준서 구성

2) 소프트웨어 품질 기준 수립

소프트웨어의 시험에 앞서 각 함수별 품질 측정을 위하여 지표를 설정하고, 기준을 설립한다. EN50128에서 요구하는 사양에 맞게 Complexity는 11을 기준으로 Testability는 70을 기준으로 한다.

표 39. 소프트웨어 품질 측정 지표

기 준	측 정 지 표	
Complexity	총 코드 라인 수 실행 코드 라인 수 주석 라인 수 함수의 개수	총 연산자/피 연산자 수 Loop Nesting의 깊이 총 LCSAJs 수 기본 Block의 길이
Testability	KNOT의 개수 LOOP의 개수 총 LCSAJs 수 접근되지 않는 분기 문 입/출력 변수의 개수	총 연산자/피 연산자 수 함수의 개수 접근되지 않는 LCSAJs수 접근되지 않는 코드 기본 Block의 길이

마. 소프트웨어 시험 단계

소스 코드에 대한 검증은 개발자가 작성한 프로그램 소스 코드에 대하여 코딩 표준 준수 여부 및 통합 시험을 대비한 프로그램 내 함수 단위의 구조적 결함을 사전에 발견하여 소프트웨어의 품질을 향상시키기 위한 활동이다. 주요 활동으로 정적 분석(Static Analysis)을 수행하며, 단위시험 수행시간을 절약하고 결과에 대한 신뢰성을 보장하기 위하여 자동화 테스트 도구를 활용한다.

1) 시험 계획 수립 [부록: WJ-MB-STP_v1.0 문서 참조]

소프트웨어의 시험에 앞서 시험 진행에 대한 계획을 수립해야 한다. 소프트웨어 RAMS 연구를 위해서 주요기능을 수행하는 각 함수를 대상으로 요구사항을 추적하여 기능 시험을 수행할 수 있도록 해야 한다. 요구사항과의 추적성을 위해 시험 ID를 따로 부여해야하며, 각 함수의 검증을 위해 사용 할 테스트 케이스도 개발해야한다. [부록: 우진산전의 모터블록 조합시험 절차서 문서 참조]

본 과제의 경우, 일반적인 소프트웨어와는 다르게 많은 부분이 하드웨어와 연동하여 검증하여야 하므로, 각 함수에 대한 단위 시험을 위한 테스트 케이스를 개발하지 않고 시스템 시험의 입장에서 시험 계획을 수립하였다.

(주)우진산전	Motor Block Software Test Plan	문서번호	WJ-MB-STP
		개정날짜	2013.06.05
		개정번호	1.0

	Fun_ID	Description	TestCase ID	Test Case	Pass/Fail	Remark
Chopper	Fun-CHOP-CAL1-A-1	여자전류 지령치 계산	TC-CHOP-CAL1-A-1	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.5 고압기동시험		
	Fun-CHOP-CAL1-A-2	여자전류 PI 전류	TC-CHOP-CAL1-A-2			
	Fun-CHOP-CAL1-A-3	여자초퍼 PWM제어	TC-CHOP-CAL1-A-3			
	Fun-CHOP-CAL1-A-4	제동전류 PI 제어	TC-CHOP-CAL1-A-4	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.6 발전제동시험		
	Fun-CHOP-CAL1-A-5	제동초퍼 PWM 제어	TC-CHOP-CAL1-A-5			
	Fun-CHOP-CAL1-B-1	CAN 통신 인터페이스	TC-CHOP-CAL1-B-1	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.3 시퀀스 시험		
Converter	Fun-CONV-CAL2-A-1	입력 전원 동기화	TC-CONV-CAL2-A-1	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.5 고압기동시험		
	Fun-CONV-CAL2-A-2	고장처리	TC-CONV-CAL2-A-2	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.4 보호동작시험		
	Fun-CONV-CAL2-A-3	시퀀스 제어	TC-CONV-CAL2-A-3	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.3 시퀀스 시험		

그림 214. 소프트웨어 시험 계획서 구성

2) 시험 수행

가) 정적분석

정적 분석(Static Analysis)은 소스코드가 가지고 있는 잠재적 결함 및 표준 미 준수 사항 등을 조기에 발견함으로써 소프트웨어의 품질 수준을 높이는 단위시험의 한가지 방법이다. 자동화 도구를 활용함으로써 시간 절약 및 보다 효율적으로 많은 결함적 요소를 찾아낼 수 있다.

여기에서 적용하는 정적 분석 방법으로는 LDRA Testbed가 제공하는 기능 중에서 Code Review, Quality Review 및 Data Flow Analysis를 사용한다. 각 Review Report의 정보를 분

석하여 정적 분석에서의 합격 기준을 통과하도록 소스코드 수정 또는 합격기준에 미달하지만 예외사항을 허용하는 경우에는 문서화를 한 후에 다음 단계로 이전하도록 한다.

정적 분석의 흐름은 다음의 그림과 같다.

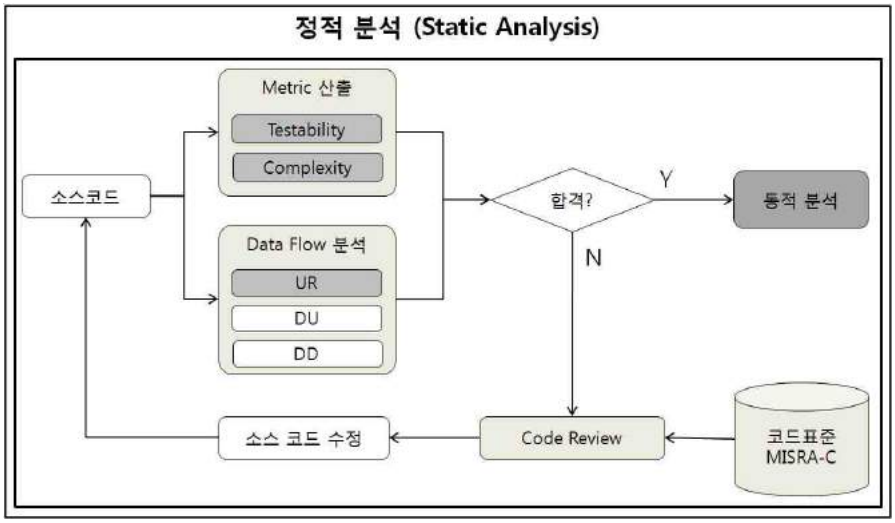


그림 215. 정적분석 수행 과정

(1) 코딩 규칙 검증 [부록 : Coding Standard Check List_v1.0 참조]

프로그램을 코딩하면서 즉시 자동화 도구를 활용하여 코딩 규칙 검증을 할 수 있다. 앞서 개발 한 코드 표준을 자동화 도구에 적용하여 심각한 오류를 사전에 발견하여 소스코드에 대한 수정 및 보완을 한다.

해당 활동을 통해 발견 된 위배사항에 대해서는 검토리스트를 작성하여, 검토 회의를 통해 위배사항을 검토 할 수 있도록 한다.

S/W Coding Standard Check List : CAL2-A

Number of Violations	LDRA Code	(M) Mandatory Standards	개발자 의견 (발견된 위배항목에 대한 개발자 의견을 자유롭게 기술) - 위배 아님 (오검출) / 수정 난이도에 대한 의견 - Coding Standard에서 제외 당위성 등	추가의견
12	13 S	goto detected.	코드 검토 결과 코드에 문제발생 되지 않는 걸로 확인됨	
3	36 S	Function has no return statement.		
2	48 S	No default case in switch statement.		
5	51 S	Shifting value too far.		
43	56 S	Equality comparison of floating point.		
2	62 S	Switch Case not terminated with break.		
5	98 S	Actual and formal parameters inconsistent (MR).		
1	132 S	Assignment operator in boolean expression.		
114	496 S	Function call with no prior declaration.		
1	1 J	Unreachable Code found.		
2	139 S	Construct leads to infeasible code.		
228	93 S	Value is not of appropriate type.		

그림 216. 코드 표준 위배사항 검토 리스트

(2) 소프트웨어 품질 측정 [부록: Quality_Metric_Check_List_v1.0 문서 참조]

주요 기능을 수행하는 함수를 대상으로 소프트웨어 품질을 측정하였다. 품질 측정 지표는

함수의 복잡도를 나타내는 Complexity와 단위 시험을 수행 시, 테스트를 수행 할 때 필요한 시간과 노력을 수치화 한 Testability 이다. 이 두 가지 지표는 앞서 설립한 품질 지표 기준을 따른다.

측정한 품질 측정 지표에 대해서 기준을 위배했을 경우, 검토 결과서를 작성할 수 있도록 한다.

Quality Review 검토 결과서

Module Name	File Name	Function Name	Sequence ID	Complexity	Testability	비고
10	25	46	46	11초과	75미만	
	Sequence.h	DO_out	UTD_0034	1	100	
ESL2	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0035	3	88	
		i82527_IrqHandler	UTD_0036	15	63	기준보다는 높으나 테스트를 수행하는데 아무런 문제가 없음
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0037	3	75	
		i82527_Send	UTD_0038	8	75	
	Sequence.h	DI_Read	UTD_0039	1	100	
	Sequence.h	DO_out	UTD_0040	2	100	
ESL3	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0041	3	88	
		i82527_IrqHandler	UTD_0042	15	63	기준보다는 높으나 테스트를 수행하는데 아무런 문제가 없음
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0043	3	75	
		i82527_Send	UTD_0044	8	75	
	Sequence.h	DI_Read	UTD_0045	1	100	
	Sequence.h	DO_out	UTD_0046	2	100	

그림 217. 소프트웨어 품질 측정 검토 리스트

(3) 위험 Data 분석 [부록: UR_Check_List_v1.0 문서 참조]

위험 Data 분석의 경우, 기준을 수립하지는 않았으나, 소스 코드의 최적화를 위해 필요한 분석이다. 코드 상에서 사용하는 변수에 대하여 개발자가 초기값을 설정 해 주지 않았을 경우, 개발자가 의도 하지 않은 동작을 수행 할 수 있기 때문이다. 다른 분석과 마찬가지로 산출된 결과에 대하여 검토 리스트를 작성 할 수 있도록 한다.

UR_Check_List : CAL1-A

Variable	Undefine	Reference	개발자검토의견
AI_CAL2buf	203	348	연산에 사용하는 변수가 아니가 값을 할당받기 위해 사용하는 변수이므로, 초기화하지 않아도 문제가 되지 않음
Src Line 203: UCHAR AI_CAL2buf[8]; Src Line 348: tempi1=AI_CAL2buf[0];			
AI_CAL3buf	206	362	
Src Line 206: UCHAR AI_CAL3buf[8]; Src Line 362: tempi1=AI_CAL3buf[0];			
cmBuf.btMsgBuf	583 (AN82526.h)	619	
Src Line 583: CANMSGBDY cmBuf; Src Line 619: m_cmReadMsgBuf[m_nCanMsgRxRear1] = cmBuf;			
cmBuf.btMsgBuf	632	649	
Src Line 632: CANMSGBDY cmBuf; Src Line 649: m_cmReadMsgBuf[m_nCanMsgRxRear1] = cmBuf;			
cmBuf.btMsgBuf	268 (Main.c)	318	
Src Line 268: CANMSGBDY cmBuf; Src Line 318: cmBuf.btMsgBuf;			

그림 218. 위험 Data 검토 리스트

나) 동적 시험

동적 분석은 여러 가지의 다양한 테스트 케이스에 대하여 프로그램을 실행함으로써 소스의 결함 및 구조적인 문제를 발견하고자 하는 단위시험의 한 가지 방법이다. 자동화 도구를 활용함으로써 소스에 대한 구조적 검증(Structural Verification)을 수행하고 테스트 케이스를 통해 소스코드의 Coverage 수준을 확인함과 동시에 소스 수정 시에도 이미 사용한 테스트 케이스에 대한 재사용을 가능하게 함으로써 효율적인 시험이 수행되도록 한다.

동적 분석의 전체 흐름은 다음의 그림과 같다.

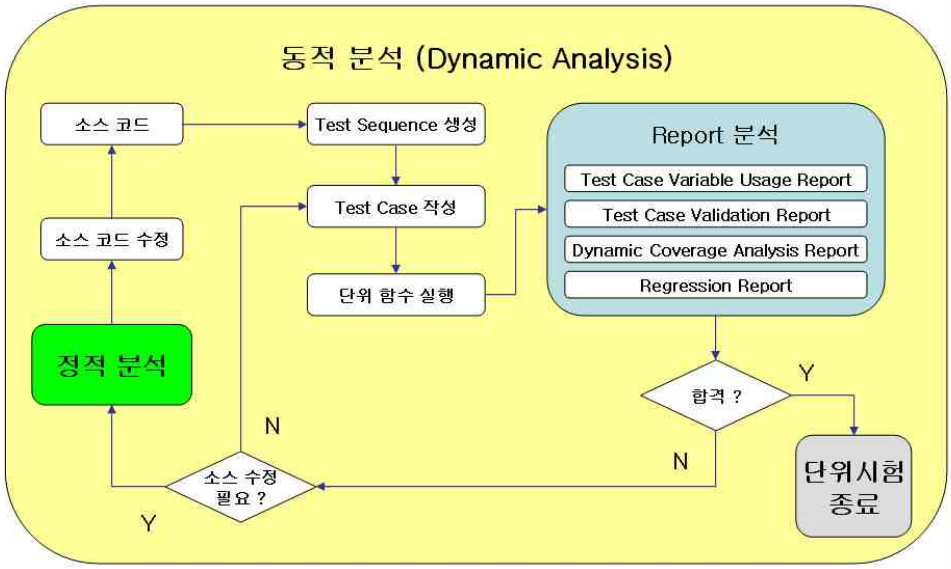


그림 219. 동적 시험 수행 절차

3) 시험 결과 [부록: WJ-MB-STR_v1.0 문서 참조]

시험 수행 계획에 따른 시험 수행 결과 문서를 작성하도록 한다. 이는 EN 50128에서 요구하는 Software Verification Result와 동일하다. 시험 결과 역시 요구사항과의 추적을 위하여 각 테스트 케이스의 Pass/Fail 여부를 기록하고 관리하도록 한다. [부록: 우진산전의 모터블록 조합시험 성적서 문서 참조]

(주)우진산전	Motor Block Software Test Result	문서번호	WJ-MB-STR
		개정날짜	2013.06.05
		개정번호	1.0

	Fun_ID	Description	TestCase ID	Test Case	Pass/Fail	Remark
Chopper	Fun-CHOP-CAL1-A-1	여자전류 지령치 계산	TC-CHOP-CAL1-A-1	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.5 고압기동시험	Pass	모터블럭 조합시험 성적서 7. 고압기동시험
	Fun-CHOP-CAL1-A-2	여자전류 PI 전류	TC-CHOP-CAL1-A-2			
	Fun-CHOP-CAL1-A-3	여자쵸퍼 PWM제어	TC-CHOP-CAL1-A-3			
	Fun-CHOP-CAL1-A-4	제동전류 PI 제어	TC-CHOP-CAL1-A-4	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.6 발전제동시험	Pass	모터블럭 조합시험 성적서 2.2.6 발전제동시험
	Fun-CHOP-CAL1-A-5	제동쵸퍼 PWM 제어	TC-CHOP-CAL1-A-5			
	Fun-CHOP-CAL1-B-1	CAN 통신 인터페이스	TC-CHOP-CAL1-B-1	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.3 시퀀스 시험	Pass	모터블럭 조합시험 성적서 6. 시퀀스 시험
	Fun-CONV-CAL2-A-1	입력 전원 동기화	TC-CONV-CAL2-A-1	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.5 고압기동시험	Pass	모터블럭 조합시험 성적서 7. 고압기동시험
	Fun-CONV-CAL2-A-2	고장처리	TC-CONV-CAL2-A-2	모터블럭 조합시험 절차서 2.2.4 보호동작시험	Pass	모터블럭 조합시험 성적서 8. 보호동작시험

그림 220. 소프트웨어 시험 결과

4) 소프트웨어 요구사항 추적 [부록: WJ-MB-SRTM_v0.1 문서 참조]

소프트웨어의 기능 구현에 대한 검증과 개발한 소프트웨어의 신뢰성을 보증하기 위해 소프트웨어 요구사항 추적표를 작성하여 관리하여야 한다.

소프트웨어 요구사항 추적표에는 각 모듈 별 요구사항 식별자와 설계 식별자 및 주요 기능을 수행하는 함수 명과 테스트케이스 그리고 시험 결과를 기입하여 관리하여야 한다.

주우진산전	Motor Block SRTM	문서번호	WJ-MB-SRTM
		개정날짜	2013.06.05
		개정번호	1.0

	요구사항 식별자	설계 식별자	함수명	TestCase	결과	비고
Chopper	Fun-CHOP-CAL1-A-1	CAL1-A-CC	CC	TC-CHOP-CAL1-A-1	PASS	
	Fun-CHOP-CAL1-A-2	CAL2-A-CC	CC	TC-CHOP-CAL1-A-2	PASS	
	Fun-CHOP-CAL1-A-3	CAL3-A-CC	CC	TC-CHOP-CAL1-A-3	PASS	
	Fun-CHOP-CAL1-A-4	CAL4-A-CC	CC	TC-CHOP-CAL1-A-4	PASS	
	Fun-CHOP-CAL1-A-5	CAL5-A-CC	CC	TC-CHOP-CAL1-A-5	PASS	
	Fun-CHOP-CAL1-B-1	CAL1-B-i82527_Init CAL1-B-i82527_IrqHandler CAL1-B-i82527_GetRxBuffer CAL1-B-i82527_Send	i82527_Init i82527_IrqHandler i82527_GetRxBuffer i82527_Send	TC-CHOP-CAL1-B-1	PASS	
Converter	Fun-CONV-CAL2-A-1	CAL2-A-c_int01	c_int01	TC-CONV-CAL2-A-1	PASS	
	Fun-CONV-CAL2-A-2	CAL2-A-FAULT_check	FAULT_check	TC-CONV-CAL2-A-2	PASS	
	Fun-CONV-CAL2-A-3	CAL2-A-SEQ_check	SEQ_check	TC-CONV-CAL2-A-3	PASS	
	Fun-CONV-CAL2-A-4	CAL2-A-CC	CC	TC-CONV-CAL2-A-4	PASS	
	Fun-CONV-CAL2-A-5	CAL2-A-CC	CC	TC-CONV-CAL2-A-5	PASS	
	Fun-CONV-CAL2-A-6	CAL2-A-CC	CC	TC-CONV-CAL2-A-6	PASS	

그림 221. 소프트웨어 요구사항 추적표

바. 소프트웨어 신뢰성 보증

소프트웨어 신뢰성과 Safety는 상호 의존적이다. 현재 높은 신뢰도를 요구하는 모든 시스템은 이러한 Safety-Critical Threshold를 기반으로 한 신뢰도 확보라는 형태로 발전하고 있다. 이러

한 사실은 소프트웨어의 규격을 보면 이해할 수 있다.
즉, 신뢰성을 다루는 대부분의 소프트웨어 규격은 엄격한 Safety평가 절차와 방법을 제시하고, 이를 통해 신뢰도를 평가한다.

1) 소프트웨어 신뢰도 모델

본 장에서는 소프트웨어 신뢰도 모델의 개념을 설명하고, 소프트웨어 신뢰도 모델을 예측 모델(Prediction model)과 추정 모델(Estimation model)로 분류하여 기술한다. 또한 소프트웨어 신뢰도 모델의 소프트웨어 신뢰도 평가 프로세스에서의 적용 범위와 활용 영역에 대해 기술하도록 한다.

가) 소프트웨어 신뢰도 모델 개요

소프트웨어 신뢰도란 주어진 기간 동안 주어진 조건 및 환경에서 소프트웨어 또는 시스템이 고장 없이 명세서(specification)대로 가동할 확률을 말한다. 그러나 소프트웨어 개발 과정에서 소프트웨어 시스템에 결함이 생기는 것은 피할 수 없는 현상이며 소프트웨어 테스팅을 수행하더라도 모든 결함을 찾아 제거하는 것은 불가능하기 때문에 목표한 소프트웨어 신뢰도를 달성하기에는 여러 가지 어려움이 존재한다. 따라서 소프트웨어 개발자들은 보통 초기 결함 수(Initial Fault Content), 고장 간 시간(Time To Next Failure), 남아 있는 결함 수(Number Of Remaining Faults), 소프트웨어 신뢰도 함수(Software Reliability Function), 결함 밀도 함수(Fault Density Function)와 같은 신뢰도 측도들을 추정함으로써, 소프트웨어 시험을 언제 끝내고 사용자에게 양도할 것인가를 결정하게 된다. 여러 신뢰도 측도들을 추정하기 위해서 시험 동안에 고장이 발생하는 현상을 수리적으로 표현한 것을 통계적 모형이라 한다. 특히, 초기 결함 수, 고장 간 시간, 남아 있는 결함 수와 소프트웨어 신뢰도 함수, 결함 밀도 함수, 고장률 함수 등과 같은 소프트웨어 신뢰도 측도들을 평가하기 위한 통계적 모형을 소프트웨어 신뢰도 모델(Software Reliability Model)이라고 한다. 또한, 소프트웨어를 계속적으로 시험할수록 총결함 수는 감소할 것이고, 고장 간 시간간격도 처음에는 짧았다가 점점 길어질 것이다. 이 과정에서 신뢰도가 성장하므로 이러한 소프트웨어 신뢰도 모형을 소프트웨어 신뢰도 성장 모델(Software Reliability Growth Model; SGRM)이라고 한다.

소프트웨어 신뢰도 모델은 하드웨어 신뢰성을 개념을 기반으로 소프트웨어 신뢰성이 연구되기 시작한 1970년대 이후로 200개 이상의 모델이 개발되었으며, 이후 의료, 국방, 조선, 네트워크 등의 다양한 도메인에 적용되고 있다.

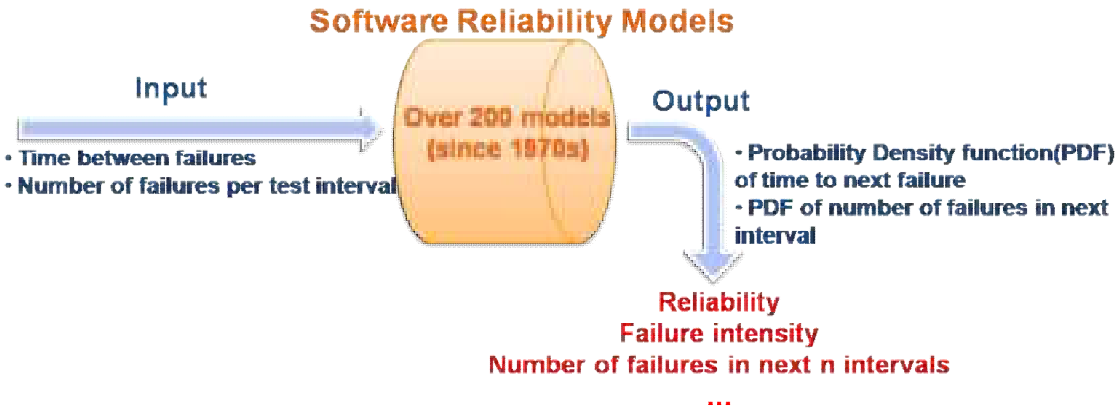


그림 222. 소프트웨어 신뢰도 모델의 입력과 출력

소프트웨어 개발단계에서의 소프트웨어 신뢰도 평가방법은 초기 신뢰도예측(Early Prediction) 방법과 사후 신뢰도추정(Late Estimation)방법으로 나누어 생각할 수 있으며, 이를 그림으로 표현하면 다음과 같다.

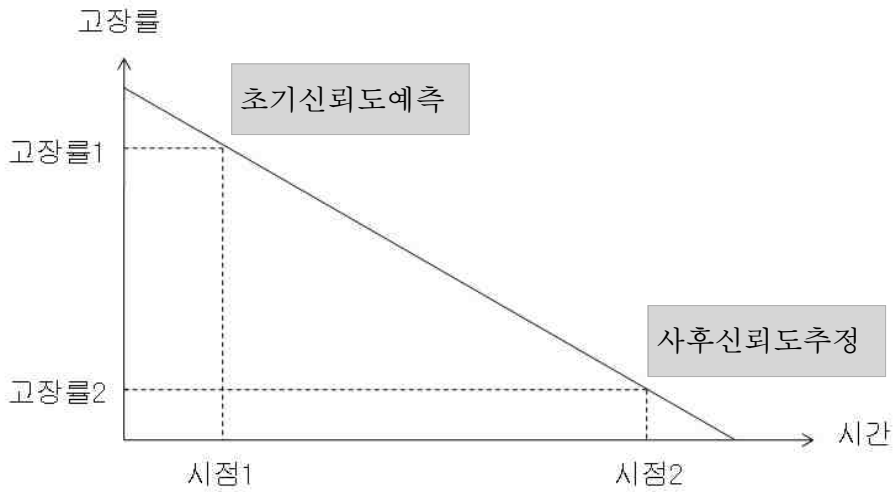


그림 223. 고장률(failure rate)과 시점(time)과의 관계

위 그림에서 시점1-고장률1은 소프트웨어 제품의 구현이 완료된 상태까지를 나타내며 이를 초기신뢰도예측(Early Prediction)단계로 정의한다. 시점2-고장률2는 소프트웨어 시험을 마친 상태를 나타내며 이를 사후신뢰도추정(Late Estimation)단계로 정의한다. 초기신로도예측은 소프트웨어 테스트의 방향을 결정하며, 사후신뢰도추정에 따라 테스트의 종료시점을 결정하고, 앞으로 수행되어야 할 테스트 시간을 결정하는데 기반이 되는 정보를 제공한다.
이 두 단계를 비교하여 정리하면 다음 표와 같다.

표 40. 신뢰도 예측, 신뢰도 추정 단계의 비교

분류	초기신뢰도예측모델	사후신뢰도추정모델
모델에 필요한 자료	과거 경험적 자료	주로 소프트웨어 시험결과 자료
사용 시점	코드가 완료된 시점 소프트웨어시험단계 이전	소프트웨어 시험이 종료된 이후
용도	소프트웨어 시험의 방향을 결정	시험을 통한 신뢰도확보 평가

신뢰도 예측모델은 과거 경험적 자료를 기반으로 하기도 하지만 소프트웨어 개발 사이클의 수집된 자료를 기반으로 할 수 있다. 다음 그림은 소프트웨어 개발 라이프 사이클에서 신뢰도예측과 추정에 대해 표시한 그림이다.

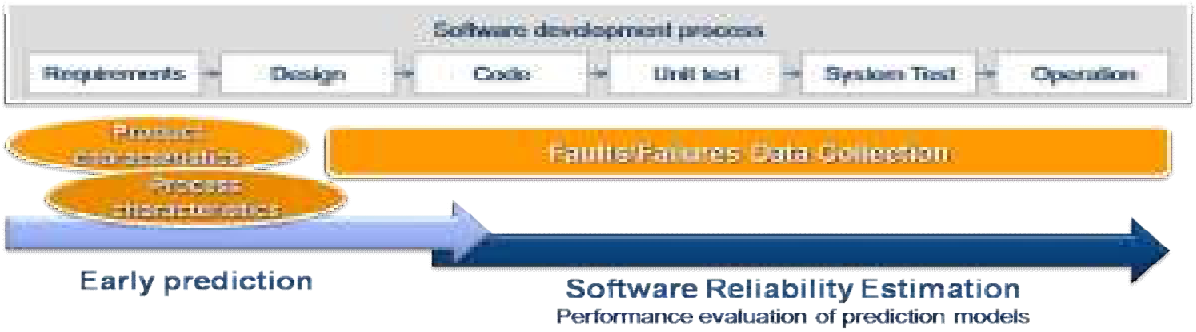


그림 224. 소프트웨어 개발 라이프 사이클에서의 신뢰도 예측과 추정

신뢰도 예측은 소프트웨어의 제품 및 프로세스 특성을 기반으로 신뢰도와 관련된 유용한 척도와 측도를 통해 현재 또는 미래의 신뢰도를 결정하며, 요구사항분석부터 코딩단계까지의 활동과 산출물을 통해 테스트 이전단계의 신뢰도를 예측할 수 있다. 신뢰도 추정은 테스트/운영 동안에 얻어진 faults/failure 데이터를 기반으로 현재의 신뢰도를 결정하며, 신뢰도 목표 값과 비교하여 만족하는 수준에서 테스팅의 중단을 결정 할 수 있고, 신뢰도 목표 값을 달성하기 위해 추가적으로 수행되어야 할 테스팅에 필요한 시간을 예측하여 적절한 양도 시점을 결정하는데 활용할 수 있다.

나) 소프트웨어 신뢰도 모델 : Prediction과 Estimation 모델

소프트웨어 신뢰도 모델은 신뢰도 측정 유형에 따라 신뢰도 모델은 예측모델과 추정모델로 나눌 수 있다. 가장 대표적인 예측모델로는 RL-TR-92-52 모델이 있으며, 추정모델에는 실패시간을 기준으로 하는 Time domain 모델과 실패 수를 기반으로 하는 Interval domain 모델이 있다.

예측모델의 대표적인 모델로 RL-TR-92-52 모델이 있으며, 이는 Concept 단계부터

Implementation 단계에서의 중요 요소를 고려하여 초기 결함 밀도를 예측할 수 있다. 아래 표는 RL-TR-92-52 모델의 각 단계별 계산식과 주요 매개변수를 나타낸 것이다.

표 41. 예측 모델(RL-TR-92-52모델)

구분		설명
계산식		δ(초기 결함 밀도) = A * D * (SA*ST*SQ) * (SL*SS*SM*SU*SX*SR)
SDLC	Concept 단계	A: Application type(어플리케이션 유형) D: Development environment(개발 환경)
	Requirement /Design 단계	SA : Software anomaly management(소프트웨어 예외관리) ST : Software Traceability(소프트웨어 추적도) SQ : Software Quality(소프트웨어 품질)
	Implementation 단계	SL : Language type(개발 언어 유형) SS : Program size(프로그램 규모) SM : Modularity(모듈성) SU : Extent of reuse(재사용성) SX : Complexity(복잡성) SR : Software standard review(소프트웨어 표준 검토)

추정 모델은 테스트를 수행하면서 수집된 실패 시간 데이터를 기준으로 하는 Time domain 모델과 실패 수 데이터를 기준으로 하는 Interval domain 모델을 이용하여 현재 상태의 신뢰도를 예측할 수 있으며, 이들은 기본적으로 몇 가지 가설을 기반으로 한다.
첫째는 신뢰도 측정을 위한 테스트 환경은 실제 운영환경과 동일하다.
둘째는 실패가 일어났을 때 실패의 원인이 되는 결함은 즉시 제거되어진다.
셋째는 결함을 제거하는 과정에서 새로운 결함은 삽입되지 않는다.
넷째는 이들은 임의의 수학적 공식으로 표현되어 진다.
이러한 가설을 기반으로 소프트웨어 실패를 f(t)라는 시간 t의 확률밀도함수(Probability density function) f로 정의하여 표현하며 대표적인 모델은 다음 표와 같다.

표 42. 신뢰도 추정 모델

Time domain 모델	Interval domain(Failure Count) 모델
Geometric	Generalized Poisson
Jelinski/Moranda	NHPP
Littlewood/Verrall	Schneidewind
Musa basic	Yamada S-Shaped
Musa/Okumoto	Brooks/Motley
NHPP	Schick/Wolverton

예측모델과 추정모델은 소프트웨어 개발단계에서 사용되는 시기가 다르므로 이들 모델의 입력과 출력에도 차이가 있다. 일반적으로 예측모델은 소프트웨어 개발 환경과 경험 그리고 개발 프로세스의 활동들로부터 수집된 데이터를 기반으로 테스트 이전단계에서의 초기 결함밀도와 현재의 신뢰도의 예측이 가능하다. 그리고 추정모델은 테스트를 통해 수집된 결함 데이터를 기반으로 해서 고장률 그리고 남아있는 결함 수를 추정하고 목표로 하는 신뢰도를 달성하기 위해 수행되어야 할 테스트 시간, 현재의 신뢰도의 추정을 가능하게 한다.
다음 표는 예측모델과 추정모델의 입력과 출력에 대해서 정리한 것이다.

표 43. 예측모델과 추정모델의 입력과 출력

구분	입력	출력
예측 모델	• 환경, 경험 요소 • 프로세스 활동과 연계한 측도로부터 수집된 데이터 값	• 결함 밀도 • 고장률 • 현재의 신뢰도
추정 모델	• Time domain 모델 - 실패간의 평균시간, 영향도 • Interval domain 모델 - 결함 수, 관찰시간간격	• 고장률 • 남아있는 결함 수 • 다음 실패까지의 시간 • 현재의 신뢰도

다) 소프트웨어 신뢰성 평가 프로세스에서의 소프트웨어 신뢰도 모델의 사용

소프트웨어 신뢰성 평가 프로세스는 대상시스템의 소프트웨어 신뢰성 보증을 위해 소프트웨어 개발 프로세스의 특성을 반영하여 소프트웨어 신뢰성의 예측 및 신뢰성 추정을 통해 대상시스템의 신뢰성 평가를 수행하기 위한 프로세스이다. 신뢰성 있는 소프트웨어를 개발하기 위해서는 해당 시스템의 신뢰성, 즉 제품의 품질 개선 뿐 아니라 개발하는 프로세스의 품질 개선도 함께 고려되어야 하며, 소프트웨어 신뢰성 평가는 개발 프로세스의 활동들과 연계되어 수행되어야 한다.

소프트웨어 신뢰성 평가 프로세스는 7개의 수행단계를 포함하고 있다.

1. 도메인 분석: 소프트웨어 신뢰성 평가 대상 시스템 및 개발 환경의 분석
2. 소프트웨어 신뢰성 목표 설정: 대상 시스템의 소프트웨어 신뢰성 목표 수준 정의
3. 소프트웨어 신뢰성 관련 척도의 식별: 대상 시스템의 소프트웨어 신뢰성 분석을 위한 척도 식별
4. 데이터 수집: 소프트웨어 개발 단계별 데이터 수집
5. 데이터 분석: 수집된 원시 데이터 및 척도를 이용하여 데이터 분석
6. 소프트웨어 신뢰성 평가: 소프트웨어 신뢰성 예측 및 신뢰성 추정
7. 개선사항 제시: 데이터 분석 및 소프트웨어 신뢰성 평가를 통한 개선사항 제시 및 개발 프로세스와 평가 프로세스의 개선사항 적용 및 평가



그림 225. 소프트웨어 신뢰성 평가 프로세스 구성도

소프트웨어 신뢰도 모델은 6 단계의 소프트웨어 신뢰성 평가에 적용되어 소프트웨어 개발 단계별 소프트웨어 신뢰성을 예측하거나 결함 데이터를 기반으로 신뢰성을 추정하는데 활용된다. 6단계의 소프트웨어 신뢰성 평가를 위한 수행활동은 6가지로, 그중 모델을 활용하는 것은 소프트웨어 신뢰성 예측, 소프트웨어 신뢰성 추정. 소프트웨어 신뢰성 모델 평가 및 소프트웨어 신뢰성 모델 개발이며, 이중 소프트웨어 신뢰성 모델 개발은 소프트웨어 신뢰성 모델 평가 결과에 따라 이루어진다.

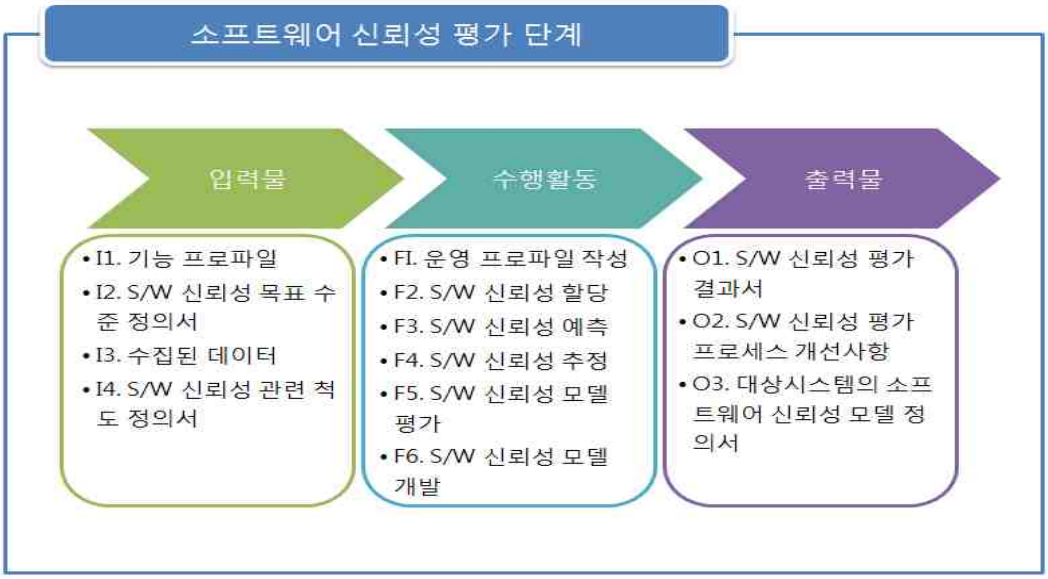


그림 226. 소프트웨어 신뢰성 평가 단계의 입력물, 수행활동 그리고 출력물

소프트웨어 신뢰성의 예측은 기존에 존재한 신뢰성 모델을 이용하여 예측된 신뢰성을 평가하는 것이다. 소프트웨어 신뢰성 예측 모델은 일반적으로 과거 경험적 자료를 기반으로 하지만 소프트웨어 개발 사이클의 수집된 자료를 기반으로 할 수 있다. 즉, 대상 시스템에 대한 개발 환경 및 경험적인 요소들, 프로세스 활동과 연계한 측도들로부터 수집된 값을 입력으로 하여, 신뢰성을 예측할 수 있는 결함밀도, 고장률, 현재의 신뢰성 등을 확인할 수 있다.

소프트웨어 신뢰성 예측의 세부적인 절차는 다음과 같다.

1. 소프트웨어 신뢰성 예측 모델을 선택한다.
   - 현재 존재하는 소프트웨어 신뢰성 예측 모델중 하나를 선택한다.
2. 모델에서 요구하는 데이터를 입력한다.
   - 소프트웨어 신뢰성 예측 모델에서 요구하는 데이터를 입력한다.
3. 모델의 결과를 분석한다.
   - 소프트웨어 신뢰성 예측 모델로 부터 얻은 결과와 Early 단계의 경험데이터의 분석결과와의 적합 여부를 판단한다.
4. 다른 신뢰성 예측 모델을 통해 1~3 절차를 수행하고, 분석결과를 바탕으로 가장 적합한 모델을 식별한다.

소프트웨어 신뢰성의 추정은 기존에 존재하는 신뢰성 모델을 이용하여 현재의 신뢰성, 미래의 신뢰성을 평가하는 것이다. 소프트웨어 신뢰성 추정(Estimation)은 테스트를 수행하면서 수집된 실패 시간 데이터를 기준으로 하는 Time domain 모델과 실패 수 데이터를 기준으로

하는 Interval domain 모델을 이용하여 현재의 신뢰성을 예측하고, 최초 목표로 하는 신뢰성을 만족하기 위해 추가적으로 수행되어야 할 시간 및 자원을 예측하는데 사용된다.
소프트웨어 신뢰성의 추정은 다음과 같은 절차를 따른다.

1. 결함데이터를 입력한다.
   - Time domain 모델 또는 Interval domain 모델의 결함 데이터를 입력한다.
2. 모델의 파라미터 추정 방법을 선택한다.
   - 소프트웨어 신뢰성 추정 모델의 파라미터 추정 방법을 선택한다.
   - 파라미터 추정 방법은 Maximum Likelihood (ML) and Least-Squares (LS)방법이 있으며, 일반적으로 default 방법인 ML 방법을 선택한다.
3. 결합데이터에 맞는 신뢰성 추정 모델을 선택한다.
   - 결합데이터에 맞는 Time domain 모델 또는 Interval domain 모델을 선택한다.
4. 모델의 결과를 분석한다.
   - 소프트웨어 신뢰성 추정 모델로 부터 얻은 결과가 경험데이터의 추세를 잘 나타내는지를 분석하여, 신뢰성 모델의 적합 여부를 판단한다.

2) 소프트웨어 신뢰도 모델의 활용

- 소프트웨어 신뢰도 모델은 해당 소프트웨어의 신뢰도를 평가하여 다음과 같은 목적으로 활용 될 수 있다.
- 해당 시점에서의 신뢰도를 확률에 기반을 두어 정량적으로 기술함으로써 신뢰도 목표 수준 대비 평가가 가능하다.
- 소프트웨어 개발 단계별 신뢰도를 평가함으로써 효과적인 테스트 전략 수립 및 품질 관리 방안 수립을 가능하게 한다.
- 소프트웨어 개발 단계별 수집되는 신뢰성 관련 척도들은 프로세스 개선 평가 척도로 활용될 수 있다.
- 평가된 신뢰도는 테스팅에 투입되어야 하는 기간과 노력을 산정하는 기준으로 활용될 수 있다.
- 개발된 소프트웨어의 양도 시점을 결정하는 기준으로 활용될 수 있다.
- 해당 소프트웨어에서의 다음 결함 발생 시점을 예측할 수 있다.
- 신뢰도와 시스템의 성능, 비용, 개발기간과 같은 시스템 요소들 간의 상호연관 관계를 결정하는 소프트웨어 설계과정을 마련해 준다.
- 서로 다른 설계기술이나 코딩 방법, 테스팅 기법 혹은 문서화 방법 등이 신뢰도에 미치는 영향을 측정함으로서 좀 더 좁은 기법을 판단할 수 있도록 한다.

4. 결론

가. 하드웨어 RAMS 적용 연구 결론

하드웨어 RAMS 활동을 통해 Motor Block의 경우 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다. 시스템에 대한 신뢰도는 고장 간 평균시간(MTBF)으로 정의되며, 그 결과 총 시스템의 고장률은 $1285.114047/10^6$으로 이를 MTBF로 환산한 경우 약 778시간임을 알 수 있다. 또 한 MTTR(평균 수리 시간)을 기준으로 하는 정비도의 값은 시스템 형상 Level 3의 수준으로 진행한 결과 1.821405시간 (약 109분)으로 예측할 수 있고 이에 따른 가용성은 99.76661%이다.

FMECA 수행에 대한 결과를 보면 동작불능의 고장모드가 전체의 약 10.345%로 가장 많은 분포를 나타내고 있으며, FTA 분석을 통해 End Effect에 대한 발생확률이 0.113617임을 알 수 있다.

마지막으로 Motor Block의 기존품과 개발품의 MKBSF를 비교한 결과 기존품에 비해 현재 개발 중인 MKBSF 값이 더 높음을 알 수 있다. 즉 RAMS 목표치를 달성한 것으로 판단되어 진다.

나. 소프트웨어 RAMS 적용 연구 결론

소프트웨어 RAMS 활동을 통해 Motor Block의 소프트웨어에 대해 아래 사항에 대해 검토하였고, 이에 대한 결과는 다음과 같다.

- Programming standard checking: MISRA-C:204 에 의거한 소프트웨어 완성도 검증
- 소프트웨어 품질 측정 : 복잡도 및 시험 가능성 등의 소프트웨어 품질 Metrics 산출
- 위험 DATA 분석 : UR, DU, DD 항목 확인을 통해 위험 DATA 분석

또한, 소프트웨어의 분석 결과뿐 아니라, 본 과제에 앞서 EN 50128에서 요구하는 소프트웨어 신뢰성을 확보하기위해 요구되는 산출물들의 보완 및 추가 작업이 완료되었으며, 요구되어지는 검증 활동을 모두 완료하여 MBU 소프트웨어의 신뢰성을 확보하였다.

표 44. Motor Block 소프트웨어 분석 결과

모듈명	파일명	함수명	Sequence ID	복잡도	테스트가능성
CAL1-A	CC.h	CC	UTD_0001	39	50
CAL1-B	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0002	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0003	15	63
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0004	3	75
		i82527_Send	UTD_0005	8	75
CAL2-A	Main.C	c_int01	UTD_0006	24	50
	FAULT.H	FAULT_check	UTD_0007	30	50
	Sequence.h	SEQ_check	UTD_0008	53	50
	CC.H	CC	UTD_0009	86	50
CAL2-B	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0010	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0011	15	63
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0012	3	75
		i82527_Send	UTD_0013	8	75
CAL3-A	CC.H	CC	UTD_0014	175	50
	CC.H	SMUCREG_OUT	UTD_0015	4	100
	Main.C	c_int01	UTD_0016	37	50
	Mian.C	c_int09	UTD_0017	1	100
CAL3-B	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0018	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0019	15	65
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0020	3	88
		i82527_Send	UTD_0021	8	75
MV	Sub.h	PG_Read	UTD_0022	25	75
	Main.C	c_int09	UTD_0023	2	100
	FAULT.H	FAULT_check	UTD_0024	5	100
	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0025	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0026	15	63
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0027	3	75
		i82527_Send	UTD_0028	8	75
ESL1	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0029	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0030	15	63
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0031	3	75
		i82527_Send	UTD_0032	8	75
	Sequence.h	DI_Read	UTD_0033	1	100
	Sequence.h	DO_out	UTD_0034	1	100
ESL2	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0035	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0036	15	63
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0037	3	75
		i82527_Send	UTD_0038	8	75
	Sequence.h	DI_Read	UTD_0039	1	100
	Sequence.h	DO_out	UTD_0040	2	100
ESL3	AN82526.H	i82527_Init	UTD_0041	3	88
		i82527_IrqHandler	UTD_0042	15	63
		i82527_GetRxBuffer	UTD_0043	3	75
		i82527_Send	UTD_0044	8	75
	Sequence.h	DI_Read	UTD_0045	1	100
	Sequence.h	DO_out	UTD_0046	2	100

제 5 절 LCC 연구 내용 및 결과

1. KTX 추진제어장치의 수명주기비용 분석

가. LCC 분석

1) LCC 개념

수명주기(Life Cycle, LC)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.

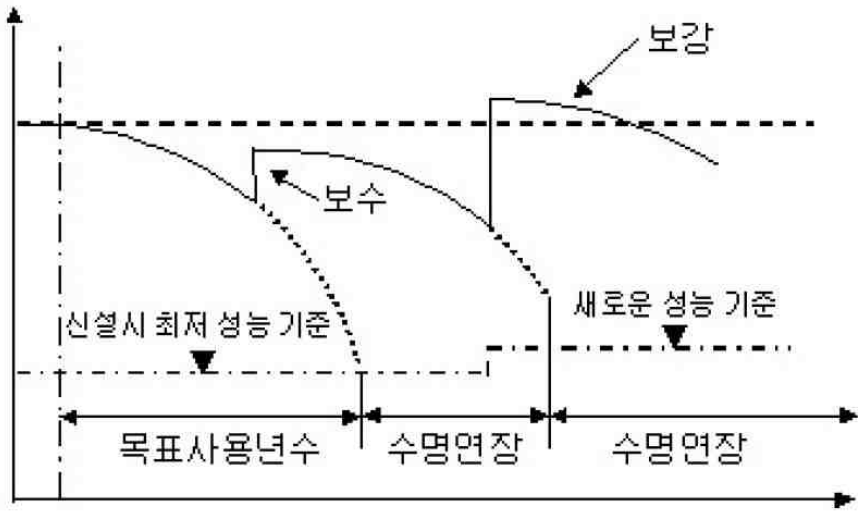


그림 227. 설비의 유지관리와 Life Cycle의 상관관계

철도차량의 수명주기의 특징은 위 그래프와과 같이 적절한 유지보수, 보강을 수행함에 따라 성능이 개선되고 내용 년수를 연장할 수 있다. 그러므로 언제 어느 시점에서 어떻게 유지보수, 보강을 시행하느냐를 정확히 결정하는 것이 무엇보다 중요하다 하겠다.

2) LCC 수행방법

설계단계에서 LCC 분석은 기존 시스템 대하여 대안을 적용하는데 인식부족과 많은 시간소요, 데이터가 부족하고, 또한 국내 전력 시설물의 대체주기, 유지관리비용에 관한 정확한 데이터가 부족으로 국내에서 LCC 분석이 제대로 이루어지지 못한다.

- LCC 분석의 기초자료인 가치변동율을 장기간에 걸쳐서 예측할 수 있는 금융관련 자료의

데이터베이스 구축

- 수시로 변화하는 물가상승율에 대하여 장기적으로 예측할 수 있는 데이터베이스 구축

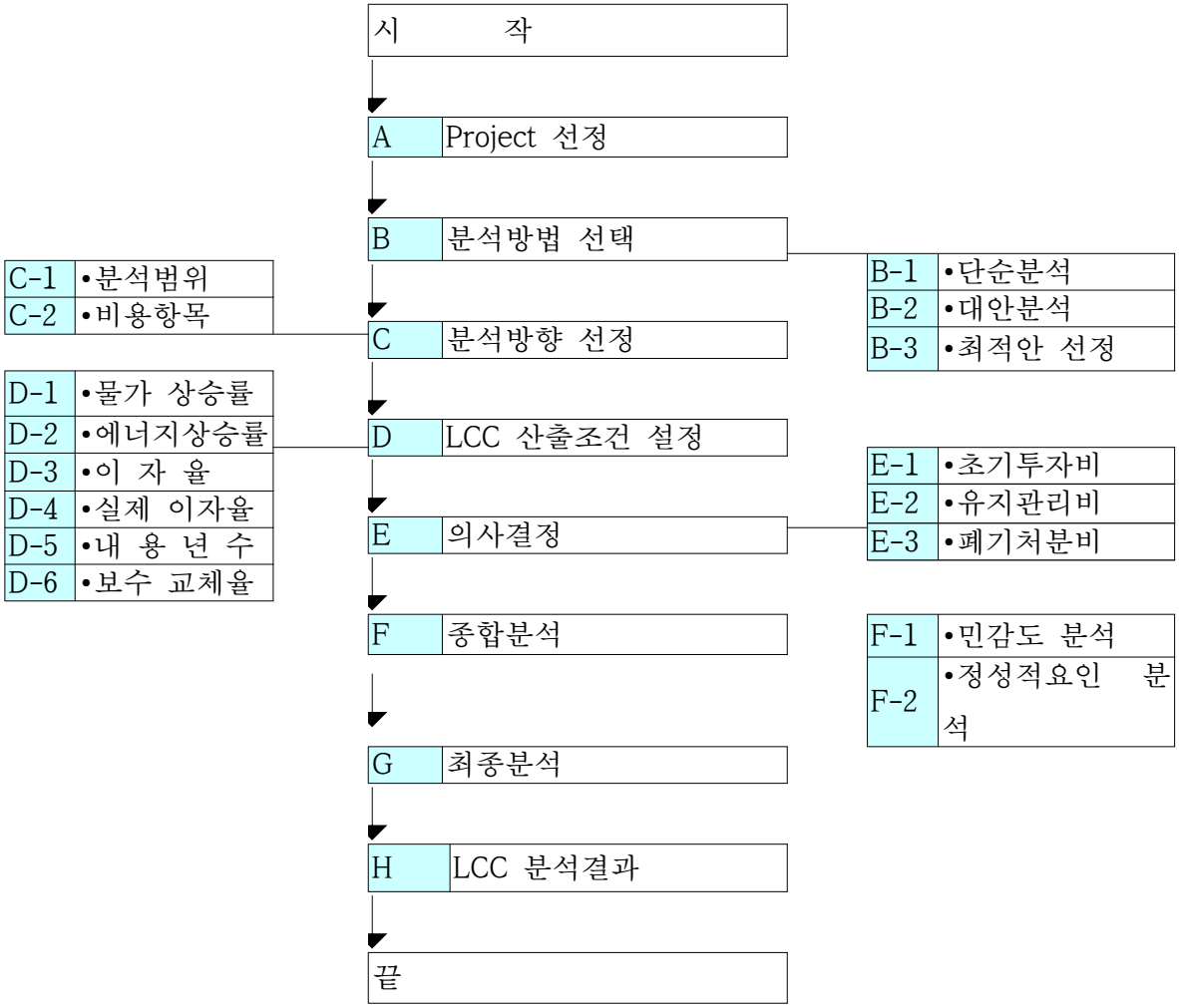
- 일반 물가상승율과 분석의 대상이 되는 특정 물가의 가격 변동율을 예측할 수 있는 데이터 구축

- LCC 분석의 대상이 되는 각종 시설물 또는 설비의 정확한 사용연한, 고장율, 에너지 효율 등에 관한 데이터베이스 구축

- 일반적인 다른 물가와는 달리 에너지 가격의 변동은 매우 불규칙하고 변동폭이 크므로 에너지의 가격 변동율에 대한 장기적인 예측이 가능하도록 관련 자료의 분석을 통한 데이터베이스의 구축

LCC 수행방법은 아래 수행절차에 따라 작성하며 각 항목별 세부수행방법, 절차 등 검증계획은 세부적으로 정의한다.

표 45. LCC 수행방법



3) LCC 산출의 비용가치의 환산법

LCC분석이란 기본적으로 많은 대체안이 시간의 경과에 따라 어떠한 경제적 영향을 미치는가를 조사하고 그것을 평가하는 것이다. 일반적으로 의사결정을 할 때 에는 현재비용과 장래비용 양자를 취급 할 필요가 있다. LCC의 산정식에는 비용가치의 환산개념 식에서 현가법과 연가법으로 구분 할 수 있으며 대부분 현가법을 적용하여 LCC를 산정한다.

* 현가법(Present Value Method)

현가법에서는 현재와 미래의 모든 비용을 현재가치(현가)로 환산하며 특히 초기비용은 모두 현가로 표시된다. 이를 위한 식은 반복비용(매년 똑같이 발생하는 비용)과 비 반복비용(몇 년인가 후에 단지 1번밖에 발생치 않는 비용)을 변화하기 위한 것이다.

반복비용 산정방법의 식은

(연금 현가개수)

여기서 PV : 현재가치의 합계(현가)

AO : n 년간에 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불(수령)액

d : 연이율(기대하는 최소한의 이익율)

n : 년수

비 반복비용 산정방법의 식은

(현가계수)

여기서 F : n 년후의 기말지불(수령)액

* 연가법(Annual Value Method)

이 방법은 초기비용과 비반복 비용을 매년의 비용으로 변화하는 방법이다. 초기비용의 변환공식으로는 아래식이 사용 된다.

x(자본회수계수)

여기서 PV : 연가

A0 : 초기투자액

4) LCC 규격

철도운영기관 뿐만 아니라 제작업체 입장에서 철도 시스템의 전체 수명주기 동안에 정확한 수명주기비용의 예측이 필수적으로 요구되고 있다. 이를 위해 신뢰성(reliability), 가용성(availability), 유지보수성(maintainability) 및 안전성(safety)을 기반으로 한 철도시스템의 최적화는 운영기관뿐만 아니라 차량제작사의 공동의 목표이며, 모든 관련 당사자가 서로 협력하여야만 이룰 수 있다.

이를 위해 유럽에서는 IEC 60300-3-3 규격을 제정하고 있으며, 유럽철도산업연합(UNIFE, Union of European Railway Industries)는 철도산업의 협력을 위해 유럽의 철도산업 관련기관 및 기업을 중심으로 UNIFE-LCC 워킹 그룹을 결성하여 철도산업 내에서 LCC 관련 연구 활동을 수행하고 있다. 미국에서는 SAE ARP 4293, 4294 규격과 NASA 규격 등을 제정하고 제품 개발 초기부터 LCC 분석을 요구하고 있다.

가) KS C IEC 60300-3-3

수명주기비용에 대한 국내(국외)규격은 KS C IEC 60300-3-3(IEC 60300-3-3)이 있으며, 제

품의 수명주기 단계를 개념 및 정의, 설계 및 개발, 제조, 설치, 운영 및 유지보수, 폐기의 6 단계로 정의하고 있으며, 총수명주기비용을 획득비용, 소유비용 및 폐기비용의 합의로 정의하고 있다. 특히 이 규격은 신뢰성, 유지보수성, 유지보수 지원성과 같은 가용도 성능 및 그 영향 요인을 기술하는 신인성과 LCC와의 관계를 강조하고 있다. 또한 비용 측면은 예방정기술비용과 고장정기술비용을 포함한 시스템 회는 신, 즉 신인성(가용성) 관련 비용과 제품이 비가용적일때 발생되는 결과적 비용, 즉, 보증비용, 책임부담비용, 수입손실에 따른 비용, 대안 서비스의 제공을 위한 비용으로 구분하여 설명하고 있다. 제품의 LCC 세부내역으로는 수명주기단계, 제품/작업 세부내역, 비용범주로 구분하고 있다.

$$LCC = Cost_{acquisition} + Cost_{ownership} + Cost_{disposal}$$

수명주기비용을 추정하는 방식으로는 비용예측관계(CER : Cost Estimation Relationships)을 이용하여 각각의 요소들과 관련된 비용을 추정하는데 사용하고 있으며, CER을 개발하거나 예측하기 위해서 다음과 같은 세 가지 기본 방법을 제시하고 있다.

- 공학 비용방법 (Engineering Cost Method)
- 유사비용방법 (Analogous Cost Method)
- 모수비용방법 (Parametric Cost Method)

나) KS C IEC 62278

이 규격은 철도분야에 관련된 국제 규격으로 철도 시스템의 수명 주기에 근거하여 RAMS을 관리하기 위한 절차를 정의하고 있다. 철도 시스템의 수명주기단계를 개념단계부터 폐기처분단계까지 총 14단계로 구분하고 있으며, 각 수명주기단계별 철도 일반 업무와 RAM업무, 안전성 관련 일련의 업무를 제공함으로써 조달 및 계약을 지원하고, 통합된 시스템 관리 절차를 제공하고 있다. 이 규격에 포함된 수명주기의 “V“ 표현에서 Top-down 가지(왼쪽)는 일반적으로 개발(development)라 하며, 시스템 부품의 제조에 관련이 있는 단계이며, Bottom-up가지(오른쪽)는 조립, 설치, 인수 그리고 전체 시스템의 운영에 관련이 있는 단계이다.

다) 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. UNIFE LCC 모델은 하위공급자로부터 데이터를 수집하는 UNIDATA 모델과 수집된 데이터를 이용하여 완전한 LCC 계산을 수행하는 UNILIFE 모델로 구성된 2 level 모델을

사용하고 있으며, 비용구조로는 크게 “투자비용”, 연간비용 “, ” 수명지원비용(LSC) “의 3 가지 항목 구조로 구성되어 있다.

LCC = 투자비용 + 연간비용 + 수명지원비용(LSC)

표 46. UNIFE 비용구조

LCC Total Cost	Investments	Aquisition, Maintainment Equipments, Spare parts, Trains & Document
	Yearly Costs	Civil work, Signalling, communication & Fare cost, Supervision, Power supply, service system
	LSC	Preventive Maintainment, Corrective Maintainment, Energy

라) SAE ARP 4293

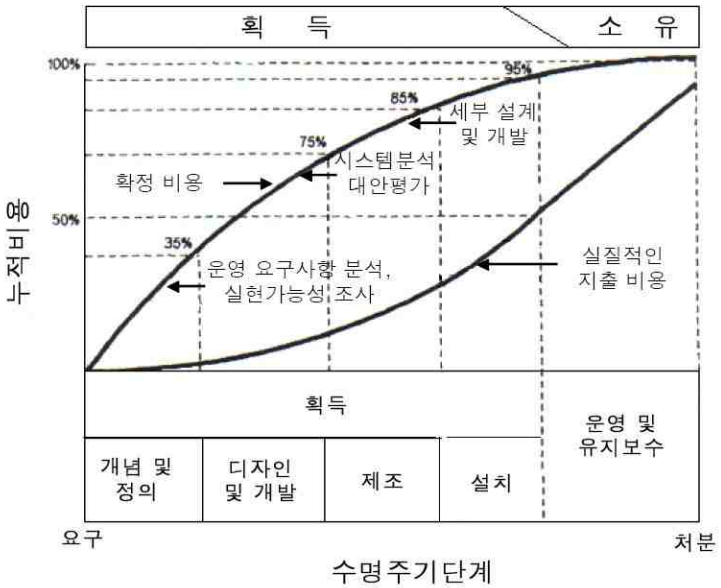


그림 228. LCC에서 프로그램 결정 단계의 영향

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. LCC 정보는 여러 해에 걸쳐 분포되어 있는 실질적인 지출 비용요소와 분석 시점에서 예상되는 예측 비용요소 모두를 포함하고 있으며, 비용 지출시기와 분포는 프로그램에 따라 다양하게 나타난다. 전형적인 프로그램의 지급계약(commitment)과 지출 프로파일은 위 그림과 같으며, 시간이 경과하고 의사결정이 지연됨에 따라 대안 접근법에 대한 범위가 점진적으로 침심됨을 강조하여 나타내고 있으며, LCC 비용의 감소 기회 또한 침식됨을 나타내고 있다. 이 규격에서는 LCC 분석의 수행 시기는

수명주기단계의 초기단계부터 수행되어야 함을 강조하고 있다.

마) 국내외 규격비교

표 47. LCC 국내외 규격 비교

구 분	KS C IEC 60300-3-3	KS C IEC 62278
적용 범위	· LCC의 일반적인 개념소개 · RAMS에 연관된 비용을 강조	· 철도분야 적용을 위한 RAMS 정의
수명주기단계	· 6단계	· 14단계
LCC 구조	· 획득비용, 소유비용, 처분비용	-
LCC 모델 내용	· 비용세부내역(CBS) · 제품/작업세부내역(PBS) · 비용범주의 선택 · 비용요소의 선택 · 비용추정방법(CER 기반)	· 수명주기단계별 주요업무 (일반업무, RAMS업무, 안전성 업무)를 기술
특징	· 일반적인 LCC 모델링 방법 및 절차를 상세히 기술 · LCC와 RAMS의 관계를 기술	· 수명주기단계를 세분화하고 각 단계별 RAMS업무를 상세히 기술
구 분	**UNIFE**	**SAE ARP 4293**
적용 범위	· 철도시스템의 LCC 모델링 절차 및 적용방안을 제공	· 국방 방어시스템의 조달과정 동안에 LCC 기술과 응용에 대한 개요
수명주기단계	· 6단계	· 4단계
LCC 구조	· 투자비용, 연간비용, 수명지원비용	· 획득비용, 소유비용
LCC 모델 내용	· 성능지수로 RAMS와 LCC를 설명 · TRS의 특정 물리적 구조 · 프로젝트의 수행 단계 · 비용 범주 - 투자비용, 운행 및 유지보수비용 · 2레벨 모델 : UNIDATA, UNILIFE	· 프로그램 단계별 LCC 모델의 관계 · 비용요소 - 매몰비용 - 확정비용 - 계획비용 - 추론/예상비용
특징	· 철도운영자에 의해 초래되는 비용 중 RAMS와 연관된 기술적 측면의 단순화된 모델 · 획득(취득)비용을 고정비용에 포함하고 주로 운행 및 유지보수 비용에 초점을 맞춤	· 시스템 개발 초기의 LCC 분석의 중요성을 강조 · 회계(재정) 계획의 수립 및 할당 · RAMS과의 관계는 기술되지 않음

표 48. LCC 규격별 분석 범위

순 서	활 동	LCC 표준			
		IEC 60300-3-3	IEC 62278	UNIFE LCC	SAE ARP-4293
1. 문제의 정의	1.1 적용범위	×	×	×	×
	1.2 평가 기준의 정의				
	1.3 운영 철학 개발				
2. 비용 요소 정의	2.1 비용구조의 개발	×		×	×
	2.2 비용 범주 정의	×		×	×
3. 시스템 모델링	3.1 가용성 모델링		×		
	3.2 유지보수 및 검사 모델링				
	3.4 생산 규칙 모델링				
	3.5 리스크 (위험, 품질 보증) 모델링				
4. 데이터 수집	4.1 실제 데이터 준비				
	4.2 데이터의 추정	×		×	×
5. 개발 비용 프로필	5.2 처리비용 (인플레이션, 세금, 감가 상각)	×		×	×
6. 평가	6.1 민감도 분석				
	6.2 불확실성 분석	×	×	×	×
	6.3 비용 드라이버 식별	×	×	×	×

상기에 언급된 LCC 규격을 조사하여 비교한 결과 본 과업에 적용될 규격은 국제적으로 널리 적용되고 있는 IEC 603000-3-3를 기준으로 적용하면 큰 무리가 없을 것으로 사료된다.

5) 수명주기비용(LCC) 분석

KTX 고속전철의 추진제어장치의 수명주기비용을 산출하기 위하여 건축물에 대한 LCC 분석 자료와 철도 차량에 관한 LCC 분석 자료를 조사하였다. 이는 고속철도차량의 추진제어장치의 특성상 초기비용의 구성이 건축물과의 유사점을 가지고 있기 때문이다.

가) 실질할인율

할인율(Discount Rate)이란 시간의 가치를 나타내는 개념이며, LCC 분석시 미래금액을 현

재금액으로 환산하기 위해 물가상승율과 할인율(이자율)을 동시에 고려하여 하나의 실질할인율을 나타낸다. 다음은 실질할인율을 산출하는 방법이다.

$$I = \frac{1+i}{1+j} - 1$$

여기서, I= 실질할인율, i = 이자율, j = 물가상승율 이다.

나) 분석기간

LCC 분석을 위해서는 Life Cycle 동안 발생하게 될 비용을 분석하기 위한 내용연수에 대한 가정이 필수적으로 요구된다. 내용연수의 종류는 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명, 사회적 수명, 법적수명으로 구분 할 수 있다. 법적인 내용연수로 법인세법 제15조 3항, 주택법 시행규칙 26조 1항에 명시하고 있다.

교량에 대한 내용년수는 대략 50년에서 100년 정도로 인식하고 있다. 철도차량의 경우는 차량의 종류에 따라 차이가 나지만 15년 ~ 25년을 철도차량의 내용년수로 인식하고 있다.

다) LCC 비용 분류

(1) 교량 LCC 비용 분류 체계

생애주기비용 측면의 관점에서 보면 교량의 LCC 비용은 초기 투자비, 유지 관리비, 해체 폐기비 등으로 대별되며, 초기 투자비 중 시공비 및 감리비, 유지 관리비 중 유지 보수비에 중점을 두고 있다. 각 항목의 산정방식은 아래와 같다.

표 49. 구성항목별 비용 산정방식

구 분	세부항목	비용 산정방식
초기 투자비	기획·설계비	- 건설공사비 요율에 의해 추정
	시공비	- 견적전문업체로부터 견적자료에 의한 추정
유지 관리비	일반 관리비	- 유사한 기존교량 자료조사에 의한 추정
	점검/진단비용	- 유사한 기존교량 자료조사에 의한 추정 - 법령 및 대가기준에 의한 추정
	유지 보수비	- 유사한 기존교량 자료조사에 의한 추정
	사용자 비용	- 사용자비용 모델에 의한 추정
해체 폐기비	해체 처분비	- 해체·폐기업체의 견적자료에 의한 추정
	잔존가치	- 전문업체의 견적자료에 의한 추정

(2) 철도차량 LCC 비용 산정 방식

철도차량 LCC와 상호 연계되는 분야는 신뢰성, 정비성, 정비 도구, 장비의 최적화를 들 수 있다. 철도차량의 LCC의 구성은 초기 투자비(차량구입가격), 유지 관리비에 포함되는 차량정비비, 운영비, 기타비용으로 구성된다. 철도차량의 장비의 최적화가 운영에 미치는

영향이 크므로 LCC 비용 중 유지 관리비의 비율이 높다. 특히 차량의 정비비용은 철도차량의 LCC를 분석하는데 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 각 항목의 산정방식은 아래와 같다.

표 50. 구성항목별 비용 산정방식

구 분	세부항목	비용 산정방식
초기 투자비	차량구입가격	- 차량제작사의 견적자료에 의한 추정
유지 관리비	차량정비비용	- 부품별 정비주기 매뉴얼에 의한 추정 - 부품정비 투입 MH 정보에 의한 추정 - 고장관리정보에 의한 추정 - 부품별 RAMS 정보에 의한 추정
	운영비	- 전력비용에 의한 추정 - 궤도/선로 유지보수 비용에 의한 추정
	기타비용	- 차량 세척 및 청소 투입 MH에 의한 추정 - 기지소요 인원/설비 투입 MH에 의한 추정

여기서 차량정비비는 예방정비와 수리정비로 구분되는데 예방정비는 차량의 성능 및 기능을 유지하기 위하여 시행되는 정비로서 주기적으로 발생되는 비용이므로 일반적으로 차량의 고장수리에 기인하는 수리정비 비용보다 차량 LCC에 미치는 영향이 크다. 아래 그림은 예방정비비용의 구성을 보여준다.

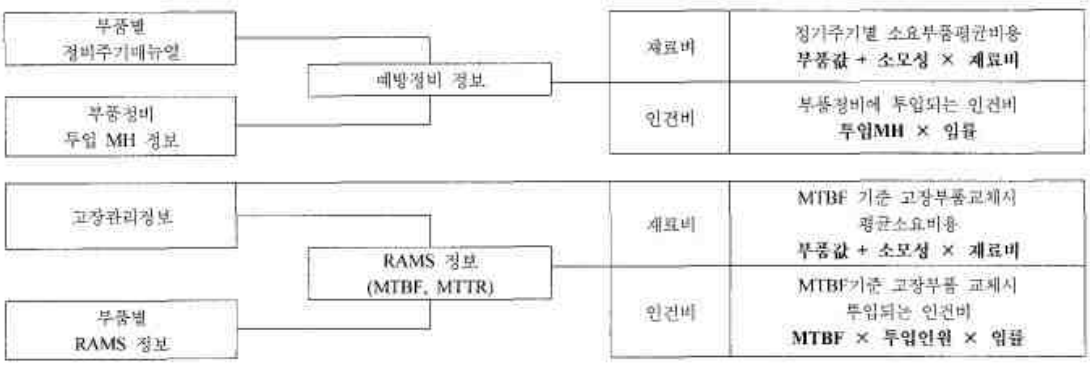


그림 229. 철도차량 LCC 예방정비 비용

초기 투자비는 교량의 경우 구성항목이 세밀하게 분류되어 있는 것에 비해 철도차량의 경우는 차량구입가격으로 초기 투자비용을 대체하고 있다. 이는 철도차량의 특성상 제작이 완성된 차량을 도입하여 운영하기 때문에 운영기관 측면에서 LCC 분석은 차량의 도입가격

으로 초기투자비용을 산출하기 때문이다. 유지 관리비의 경우 교량은 점검/진단비용을 도입하여 설계 및 시공이 완료된 후에 교량을 관리하고 있고 철도차량의 경우는 대부분을 차량정비비로 사용하고 있다.

아래 표는 교량 LCC 분석을 위한 구성항목과 철도차량의 LCC 분석을 위한 구성항목을 비교한 것이다.

표 51. LCC 구성항목 비교표

대분류	중 분 류		소 분 류	
	교량	철도차량	교량	철도차량
초기 투자비	기획·설계비	차량구입가격	- 설계비	- 차량가격
			- 감리비	- 부품비
	시공비		- 직접공사비	- 검사장비비
			- 간접공사비	- 정비공구비
			- 일반관리비	
유지 관리비	일반 관리비	운영비	- 인건비	- 전력비
			- 기타	- 보선비
	점검 및 진단비용		- 정기점검비	
			- 정밀점검비	
			- 정밀안전점검비	
	유지 보수비	차량정비비	- 보수비	- 예방정비
			- 보강비	- 수리정비
			- 교체비	- 수명교체
	사용자 비용	기타비용	- 차량운행비용	- 세척청소
			- 시간지연비용	- 기지운영
해체 폐기비	해체·폐기 처분비		- 해체비	
			- 폐기처분비	
	잔존가치		- 폐기물 재활용비	

라) LCC 분석

(1) 초기투자비 분석

- 시공비

시공비는 재경부에서 정한 원가계산에 의한 예정비용작성준칙에 의거하여 공사원가계산에 따라 산출한 금액으로 직접비, 간접비, 일반관리비 및 이윤을 합한 것이다.

- 기획·설계비

설계비와 감리비는 엔지니어링사업 대가기준의 규정에 따라 건설공사비에 요율을 적용하여 산출한다.

(2) 유지관리비 분석

- 교량 유지보수비

교량의 유지보수비의 경우는 시설안전기술공단의 유지관리수준에 대한 정의를 바탕으로 유지관리 수준과 유지관리수준에 따른 LCC를 다음과 같이 정의하였다.

- ■ 우리나라의 현 실태를 반영하는 유지관리수준으로 현 도로공사의 유지관리 실태를 반영한 수준
- ■ 이 정도의 유지관리를 할 경우 본 연구의 사례교량인 RC Slab교는 약 40년 정도 사용할 수 있을 것으로 가정하고 산출한 금액

교량의 경우는 먼저 구성요소별 유지보수형태를 파악하고 이를 통해 비용의 산출을 위해 표본교량의 교량대장에 대하여 자료조사를 실시하였다. 그리고 유지관리수준에 따라 현행 유지관리수준과 필요유지 관리수준으로 구분하고 이에 대한 자료조사를 위하여 교량대장과 면담 및 설문조사를 통하여 분석하였다.

표 52. 교량 유지보수 기준표

구성항목		보수			보강			교체
		SOM	주기	보수율	SOM	주기	보수율	주기
교면포장		17	6					23
Slab		18	3		26	4		
신축이음	본체	18	4					25
	후타제	27	7					
교좌장치		15	7					
교대	구체	12	12		16	10		
	기초	-	-		14	14		
교각	구체	15	9		26	9		
	기초	-	-		23	10		
배수시설		13	6					

- 철도차량의 유지보수비

철도차량의 경우는 먼저 예방정비비와 유지보수비로 나누고, 설계자료, 차량운영자료 및 철도차량부품 수명에 대한 관련 자료와 정밀진단 결과를 기준으로 분석하였다. 다음은 LCC 분석에 이용된 철도차량 유지보수비용 데이터이다.

표 53. 철도차량 예방정비 비용

부 품 명	신품비용	예방정비	내용년수
1. 엔진	1.4억	신품 5년 후 3년 주기 3회 정비 (0.3억/회)	14년
2. 변속기	1.5억	신품 7년 주기 1회 (0.4억/회)	15년
3. 감속기	1.0억	신품 7년 주기 1회 (0.4억/회)	15년
4. 차륜	-	5년 주기 신품 교환 (0.04억/회)	5년
5. 차체(외피)	-	7년 주기 도장 (0.05억/회)	15년
6. 전자제어	1.0억	신품 4년 후 4년 주기 2회 정비 (0.3억/회)	12년
7. 대수리	2.0억	노후화에 따른 전면적 대수리	15년
8. 기타설비	-	신품 3년 후 각종 밸브, 전기장치 등 (0.25억/년)	-

철도차량의 유지보수비는 기존 사용 중인 유지보수비 사용내역을 기준으로 1량당의 평균 유지보수비로 환산하여 적용하였다.

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
총 계														

㈎ 1992년 철도차량 도입 후 3년 동안의 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
												8.700		
1	1993									0.0	0.0	0.0	8.700	8.700
2	1994									0.0	0.0	0.0	8.700	8.700
3	1995									0.0	0.0	0.0	8.700	8.700

위 표의 철도차량 예방정비 비용에서와 같이 철도차량 신규 도입 후 3년간은 수리비용이 일체 포함되지 않으므로 수리비용은 0원이 되고 이에 따른 합계 및 년간비용 은 0원으로 나타난다. 여기서 누적비용과 NPV 비용이 같은 것은 실제 Data가 1997년을 기준으로 작성하였기 때문에 과거 비용은 누적비용과 같은 금액으로 분석 한다.

㈏ 철도차량 도입 4년 후 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
4	1996								0.25	0.0	0.25	0.25	8.950	8.950

기타설비는 철도차량 신규 도입 후 4년부터 매년 0.25억원/년 의 수리비용이 발생하므로 1996년 수리비용은 0.25억원이 포함되어 총 누적비용은 8.950억원이 된다. 여기서 누적비용과 NPV 비용이 같은 것은 실제 Data가 1997년을 기준으로 작성하였기 때문에 과거 비용은 누적비용과 같은 금액으로 분석 한다.

㈐ 철도차량 도입 5년 후 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
5	1997						0.30		0.25	0.0	055	0.80	9.500	9.498

철도차량 신규 도입 후 5년 후부터 전자제어장치의 예방정비비가 4년 주기로 2회 정비비가 포함되어 수리비용이 발생된다. 또한 기존 기타설비의 수리비용은 계속적으로 지출하게 된다. 그러므로 년간 총 수리비용 합계는 0.55억원이 되고 철도차량 신규 도입 후 누적된 유지보수비용은 0.80억원이고 철도차량 LCC 분석값은 9.500억원이 된다. 이때 NPV를 적용하여 현재 가치로 실제이자율($I=0.999$)로 계산하여 환산해보면 9.498억원이 된다.

㈑ 철도차량 도입 6년 후 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
6	1998	0.30			0.094				0.25	0.0	0.644	1.444	10.144	10.134

철도차량 신규 도입 후 6년 후부터 엔진부와 차륜의 예방정비비가 3년 주기 3회, 5년 주기로 각각의 예방정비비가 증가되어 년간 총 수리비용 합계는 0.644억원이 되고 철도차량 신규 도입 후 누적된 유지보수비용은 1.444억원이고 철도차량 LCC 분석값은 10.144억원이 된다. 이때 NPV를 적용하여 현재 가치로 실제이자율($I=0.999$)로 계산하여 환산해보면 10.134억원이 된다.

㈐ 철도차량 도입 7년, 8년 후 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
7	1999								0.25	0.0	0.25	1.694	10.394	10.370
8	2000		0.40	0.40		0.05			0.25	0.0	1.10	2.794	11.494	11.453

철도차량 신규 도입 후 7년에는 기타설비 예방정비비용만 포함되고 도입 8년에는 변속기와 감속기를 7년 주기로 예방정비를 해야 한다. 따라서 년간 총 수리비용 합계는 1.10억원이 되고 철도차량 신규 도입 후 누적된 유지보수비용은 2.794억원이고 철도차량 LCC 분석값은 11.494억원이 된다.

㈑ 철도차량 도입 9 ~ 15년 후 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
9	2001	0.30					0.30		0.30	0.0	0.90	3.694	12.394	12.325
10	2002								0.30	0.0	0.30	3.994	12.694	12.589
11	2003				0.094				0.30	0.208	0.603	4.597	13.297	13.153
12	2004	0.30							0.30	0.502	1.120	5.717	14.417	14.228
13	2005						1.00		0.30	0.728	2.028	7.746	16.446	16.202
14	2006								0.375	1.041	1.416	9.161	17.861	17.542
15	2007	1.40				0.30			0.375	0.520	2.595	11.756	20.456	20.049

철도차량 신규 도입 후 9년에는 기타설비 예방정비 비용이 물가상승율 20% 인상에 따라 0.3억원/년 의 예방정비비가 소모된다. 또한 엔진과 전자제어 장치는 2차 예방정비비가 포함된다. 따라서 년간 총 수리비용 합계는 0.90억원이 되고 철도차량 신규 도입 후 누적된 유지보수비용은 3.694억원이고 철도차량 LCC 분석값은 12.394억원이 된다. 2003년에는 차량 도입 10년으로 차륜 교체비용이 포함된다. 차량 도입 11년 후에는 엔진의 3차 예방정비가 실시되고, 12년 후에는 전자제어 장치의 내용년수가 되어 신품으로의 교체 비용이 포함된다. 2006년에는 기타설비비용이 인플레이션으로 년 5% 인상으로 25% 증가한다. 2007년에는 엔진이 내용년수가 되어 신품교체비용 1.4억원이 포함되고, 차체 2차 예방정비가 이루어진다. 따라서 년간 총 수리비용 합계는 2.595억원이 되고 철도차량 신규 도입 후 누적된 유지보수비용은 11.756억원이고 철도차량 LCC 분석값은 20.456억원이 된다.

㈐ 철도차량 도입 16년 후 수리비용 내역

차령	년도	수리비용								할인율 (1%)				
		엔진	변속기	감속기	휠	차체	전자제어	공기관	기타설비	가동손실	합계	년간비용	누적비용	NPV
16	2008		1.50	1.0	0.094			2.00	0.375	0.0	4.969	16.726	25.426	24.905

철도차량 신규 도입 후 16년 후에는 변속기, 감속기, 휠, 공기관의 내용년수가 되어 신품으로의 교체 비용이 포함된다. 신품교체로 인해 예방정비비가 증가되어 년간 총 수리비용 합계는 4.969억원이 되고 철도차량 신규 도입 후 누적된 유지보수비용은 16.726억원이고 철도차량 LCC 분석값은 25.426억원이 된다. 이때 NPV를 적용하여 현재 가치로 실제이자율($I=0.999$)로 계산하여 환산해보면 24.905억원이 된다.

나. KTX 추진제어장치의 PBS 분석

1) PBS

제품의 PBS(Product Breakdown Structure)는 LCC 모델링 및 분석에 있어 핵심 요소이며, 또한 유지보수 활동에도 많은 영향을 미치는 요소이다.

MIL-HDBK-881은 WBS을 개발하는 절차와 사용 방법을 정의하고 있으며, WBS의 핵심 요소인 PBS를 구축하는 절차를 다음과 같이 정의하고 있다.

① 원천 요건(need) 정의
② 시스템 목표 설정
③ 시스템 시나리오 작성
④ 시나리오 절충 분석
⑤ 시스템 기능 및 성능 요건 도출
⑥ 기능을 구현한 구성품

위와 같은 프로세서를 수준별로 반복 수행하여 PBS를 구축하도록 권장하고 있다.

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.

가장 간단한 PBS 구조는 제품의 구성품을 분류하는데 있어 품목의 설치 위치만을 고려하여 분류하는 공간 중심적인 PBS이다. 공간 중심적 PBS는 분류 작업이 간단하고 이해가 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 동일 기능의 장치가 여러번 반복되어 나타나는 불합리성이 존재하며, 또한 유지보수 활동에 대한 고려나 장치별 기능에 대한 고려가 반영되지 못하는 문제점

을 갖고 있다.

제품의 PBS는 제품 전체의 형상을 결정하고 각 구성품이 어떤 위치에 장착될 것인가를 고려하는 것도 중요하지만, 그 보다 먼저 시스템이 어떻게 쓰일 것인가를 생각하고 그로 인해 시스템이 갖추어야 할 기능이 무엇인가를 정의하는 것이 더 중요하며, 유지보수 활동에 따른 비용 요소의 발생 및 비용 범주를 정의하는 것이 중요하다.

그러므로 KTX 차량의 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 KTX 차량의 부품 수준의 상세한 분류 체계가 필요하며, 이를 기반으로 한 비용 요소의 정의가 필요하다.

2) KTX 추진제어장치 PBS 분석

본 연구에서는 KTX 차량의 추진제어장치의 LCC 모델 및 분석하고, KTX 차량의 수명주기 동안의 유지보수 활동에 기인한 비용요소부분을 확인하고 분류하기 위하여 기능적/공간적 PBS를 제안하여 사용한다.

제안된 KTX 차량의 PBS는 기능적/공간적 특성과 물리적/전기적 인터페이스관계 등을 반영하여 Level-1 대분류를 정의하였으며, Level-2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중분류 하였고, Level-3~5의 소분류는 Level-2의 장치별 구성요소 혹은 부품 수준의 상세한 분류체계로 구성되어 있다. Level-1~2는 모든 철도차량에 적용가능한 수준의 분류로 정의하였으며, Level-3~5는 고속전철차량의 형식에 따라 달라질 수 있다.

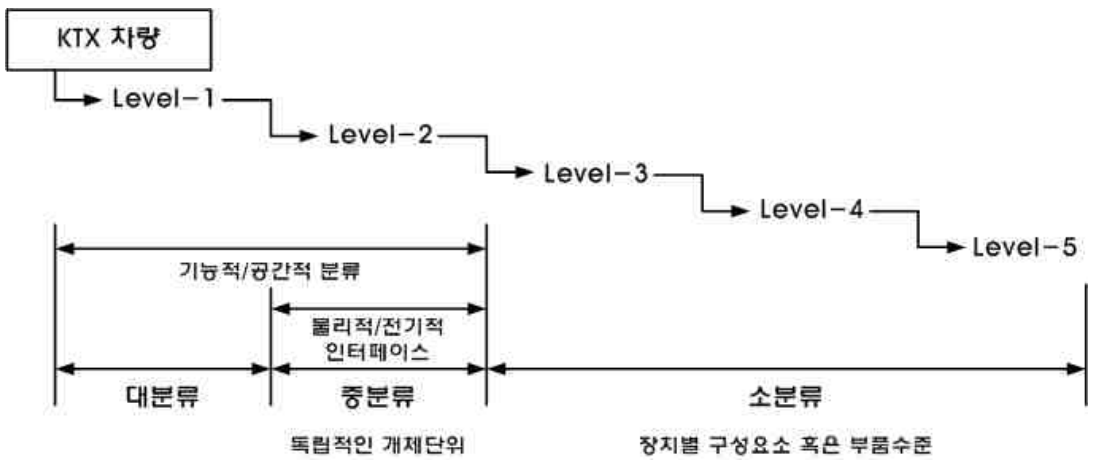


그림 230. KTX 차량 PBS 분류체계

표 54. KTX 차량 추진제어장치 주요부품 분류

Level-1	Level-2	Level-3	Level-4	Level-5
견인장치	모터블록 01	격자저항	ZB-BK-01	
			ZB-BK-02	
		송풍장치	송풍 인버터	
			MB 송풍기	
			TM 송풍기	
		스위치	ISW-PFC	
		전력변환장치	CV-TT	
			IR-TT	
			CO-EX	
			CO-BK	
			CV-PFC	
			A633	
		CMB접촉기	K-AUX-VT	
			K-BA-EX-01	
			K-FL-VT	
			K-MB-BA-01	
			K-EX	
		TCP접촉기	K-TT-BK-01	
			K-TT-BK-02	
			K-TT-BK-03	
			K-TT-01	
			K-BK-01	
			K-BK-02	
		모터블록 제어랙	CRVB	
			AIT1	
			AIT4	
			REDM	
			CDJ	
			ESB1	
			ESB2	
			ESB3	
			ISY	
			IMON	
			INCA	
			ESL1	
			ESL2	
			ESL3	
			MV	
			CAL3	
			CAL2	
			DIAL	
			CAL1	
			TDSV	
			FCVV	
			SVTB	
			ASB	
			B153	

KTX 차량의 PBS를 분류하기 위하여 1차적으로 기능적 분류를 적용하여 견인장치, 공기제동, 공기조화, 방송장치, 보조장치, 제어안전, 차체, OBCS로 분류하였다. KTX 추진제어장치는 Level-1의 견인장치에 포함이 되고 견인장치는 다시 기능적 분류를 통해 모터블럭 1~3, 보조블럭, 운전실 기기, 주변압기, 주회로차단기, 지붕장치, 캡큐비클로 분류한다.

모터블럭 부분은 각 장치의 물리적 인터페이스와 기능적 인터페이스, 공간적 위치를 고려하여 격자저항, 송풍장치, 스위치, 전력변환장치, CMB접촉기, TCP접촉기, 모터블럭 제어랙으로 분류하였다.

이런 분류에 기초하여 KTX 차량의 각각의 장치 혹은 부품은 더욱 세된화 되어 분류된다. KTX 차량의 PBS를 나타내고 있으며, 부품 수준의 세분화된 분류는 표와 같이 분류하였다. KTX 차량 제품 세부내역 구조(PBS)는 특정 목적의 업무를 수행하기 위한 기능적 구조를 기반으로 Level-1의 대분류를 정의하였으며, Level-2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중된류 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 고속전철의 형식에 따라 달라질 수 있다.

다. 신뢰성 평가

1) KTX 운행이력 조사

신뢰성 분석을 위한 KTX 주요부품에 대한 고장이력 자료는 MICS 시스템 고장이력자료, KTX-RCM 시스템 고장이력자료를 제공받아 정리하였으며, 2007년 KOVIS 시스템 고장이력자료도 수집하여 확인절차를 거친 후 정리 완료하였다. 보고서 내용에 대한 이해를 돕기 위해 각 시스템 별 고장이력자료를 기간별로 분류하였다. 연구기간 동안 정리된 모든 시스템의 자료는 KTX 개통일인 2004년 4월 1일부터 2008년 7월 31일까지의 자료이며, 2007년 1월 KOVIS 시스템 도입 후 교육 및 TEST 기간 3개월을 고려하여 전체 시스템 자료를 2007년 4월 1일 기준으로 전반기와 후반기로 분류하여 정리하였다. 아래 그림은 각 시스템 자료의 기간별 분류를 나타낸 것이다.

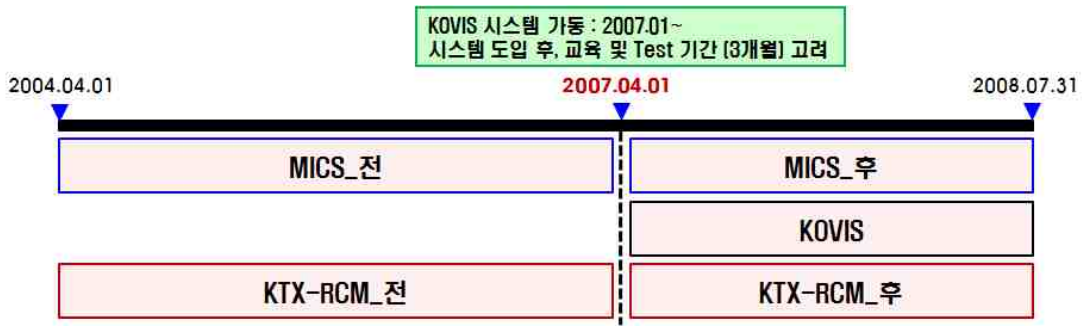


그림 231. 각 시스템 자료의 기간별 분류

가) MICS 시스템 자료

검수 정보 시스템인 MICS 시스템 자료는 2004년 4월부터 2008년 7월까지의 자료가 정리되었다. MICS 시스템 자료를 살펴보면, '차량번호', '위수', '주행거리', '고장내역' 등이 관리되고 있으나, '고장내역'의 내용이 '교환', '고장' 등으로 표기되는 등 포괄적인 것으로 파악되었다. 아래 그림은 'MICS 자료의 예'를 나타냈다.

DIS	편성 번호	차량 번호	작업표 구분	차량대차 위수코드	부품코드	부품명	부품 고유번호	부착 일자	탈거일자	축위수	좌우 구분	주행거리	교환주기 (거리)	교환주기 (일수)	조달청코드	총경과 일수
N	1C1014	101412	T	13	TRALF0077 2000	압력스위치, S-1410018-DR	129766		2005-07-29			564943	0	144	2.2E+11	0
N	1C1019	101912	T	13	TRALF0077 2000	압력스위치, S-1410018-DR	132160		2008-04-17			1730111	0	144	2.2E+11	0
N	1C1024	102414	T	15	TRALF0077 2000	압력스위치, S-1410018-DR	133661		2006-03-09			860138	0	144	2.2E+11	0

그림 232. MICS 자료의 예

나) KOVIS 시스템 자료

KOVIS 시스템 자료는 SAP 시스템으로부터 직접 입수하였으며, 입수한 자료는 2007년 1월부터 2008년 7월까지의 자료가 정리되었다. KOVIS 시스템 자료를 살펴보면, '차량번호', '위수', '주행거리' 등이 관리되고 있고, '차량번호', '위수' 는 MICS 자료보다 상세히 기재되고 있다. 하지만 '고장내역'에 대한 정보는 관리되지 않고 있는 것으로 파악되었다. 아래 그림은 'KOVIS 자료의 예'를 나타내었다.

차량(편성) 번호	구분	작업일자	기술오브젝트 유형	기술오브젝트명칭	고유번호	위수	오더번호	오더수행소속	작업번호	분해 사유	주행키로	경과일	자재번호	CPN
100213	분해	20070630	REQ02080	완충기:차체간댐퍼 상TRALA0362	14726	15R	100000960278	수도권철도차량관리단(고속)	0020	2	1336994	732858	1013062	TRALA03621102
100213	설치	20070630	REQ02080	완충기:차체간댐퍼 상TRALA0362	25469	15R	100000960278	수도권철도차량관리단(고속)	0020		510498	431	1013062	TRALA03621102
100251	설치	20070629	REQ04340	공압모터(Pneumatic motor	0009		100000958062	수도권철도차량관리단(고속)	0047		510833	432	1013092	VE039349101
100252	분해	20070629	REQ04340	공압모터(Pneumatic motor	50		100000958062	수도권철도차량관리단(고속)	0047	10	1336159	2824	1013092	VE039349101
100251	분해	20070629	REQ04340	공압모터(Pneumatic motor	150A		100000958062	수도권철도차량관리단(고속)	0047	10	1336159	2824	1013092	VE039349101
100211	설치	20070629	REQ01530	완충기:객차대차1차수직댐퍼용 헌팅댐퍼	90921	13AR	100000958056	수도권철도차량관리단(고속)	0001		510833	432	1013045	AC15225306000

그림 233. KOVIS 자료의 예

다) KTX-RCM 시스템 자료

KTX-RCM 시스템 자료는 2004년 4월부터 2008년 7월까지의 자료가 정리되었다.

KTX-RCM 시스템 자료를 살펴보면, 고장발생 시 '고장 및 조치내역' 에 대한 정보가 관리되고 있으나, '주행거리', '차량번호', '위수'에 대한 정보가 없다. '주행거리'는 산정 가능하여 신뢰성 분석을 할 수는 있지만 부품 위치에 대한 정보가 없기 때문에 분석 결과에 대한 신뢰성이 낮을 것으로 파악되었다. 아래 그림은 'KTX-RCM 자료의 예'를 나타내었다.

고장발생일자	상위기능설계구체계번호	상위기능명	기능설계구체번호	기능명	부품번호	부품명	부품규격	CPN	변경호	소속	I/S번호	검수등급	조치구분	조치시작일	조치완료일자	조치일자	고장내역	평점내역	조치수량	조치내역	고장등급	고장발생보류A	고장발생보류B	고장유형	장애일시	지연시간보류	개통조치	입력구분	장애멜번	개통내용	전체지연시간	고장지연시간	장애내용	발생장소	멜콘번호	콜비번호	멜콘번호	콜비번호	장치
2007-08-08	0G	+ELECTRIC P & D / ENERGIE AUXILIAIRE	GG04	Trailer underfr ame	1013507	스위치	압력스위치화재감지용6-1410.018-DR(P8-FI)	TRAL F007T100.0	1C1006	고압기기	07081C100300004	전수검사	교환	2007-08-05	2007-08-11	2007/08/05~2007/08/11	[[전반검수][공기만듬시험]차륜활주발지, 제품환해 고장조사품[[전반검수][공기만듬시험]차륜활주발지, 제품환해 고장조사품		1	[전반검수][공기만듬시험]차륜활주발지, 제품환해고장조사품- 부품교환	주의고장	H/W불량	H/W고유결함	돌발																
2004-09-25	0F	+DRIVING / CONDUITE	FF04	Safety equipment	1013507	스위치	압력스위치화재감지용6-1410.018-DR(P8-FI)	TRAL F007T100.0	1C1011	고압기기	07KN-R20040925000003	트화검사(E)	교환	2004-09-25	2004-09-26	2004/09/25~2004/09/26	Power car fire detection.Inverter or compressor fault 02.Two compressors out of order on the same side.Auxiliary bridge isolated.		1	P8-FI-06 contact point failure.	치명고장	H/W불량	H/W고유결함	돌발											123705		122452		

그림 234. KTX-RCM 자료의 예

라) 각 시스템 별 연계 분석

MICS, KOVIS 시스템 자료는 '차량번호', '위수' 및 '주행거리'에 대한 정보가 관리되고 있으나, KOVIS 자료에서는 고장 및 조치내역이 없음을 확인할 수 있었다. KTX-RCM 시스템 자료는 '차량번호', '위수' 등이 시스템적으로 관리되고 있지 않고 내역 정보에서 기술된 경우에만 확인이 가능하여 신뢰성 분석을 위해 필요한 정보가 부족함을 확인하였다. 또한 고장내역 및 조치내역이 부품의 고장, 문제, 교환 작업 등으로 표현되고 대략적인 고장현상 파악이 가능한 단어로 기술되는 등 포괄적인 것으로 파악되었다. MICS, KOVIS, KTX-RCM 시스템 자료에서 이력자료의 고장여부에 대한 관리가 필요한 것으로 판단되었다. 고장이 발생하여 교체한 부품인지, 검수 시 고장은 아니지만 예방주기가 되어 교체한 부품인지, 처음 부착 이후 또는 교체 이후 현재까지 고장 없이 주행 중인 부품인지에 대한 관리가 필요하다. 전자의 경우는 '고장'으로, 후자의 두 경우는 '관측중단(비고장)'이라고 분류되어 신뢰성 분석이 수행되며 신뢰성 분석 시 부품의 고장이력자료에 표기된 고장, 관측중단(비고장) 여부가 중요한 변수가 되기 때문이다.

주요부품 각 시스템 별 연계 현황 자료를 확인해 본 결과 KTX-RCM, MICS, KOVIS의 연계가 원활히 이루어지고 있지 않음을 알 수 있었으며 주요부품 각 시스템 별 연계현황에 대한 분석 결과를 아래 표에 정리하였다.

표 55. 주요부품 각 시스템 별 연계현황 분석결과

구 분	내 용
연계 원활	MICS, KOVIS, KTX-RCM 연계가 잘되고 있는 경우
연계 원활치 못함	MICS 및 KOVIS에 있지만 KTX-RCM에는 없는 경우
	KTX-RCM에는 있지만, MICS 및 KOVIS에는 없는 경우
	시스템 별 자료는 존재하지만, 자료 수의 차이가 많이 나는 경우
	모든 시스템 자료가 존재하지 않는 경우

2) 신뢰성 평가

KTX 추진제어장치 PBS 도출 결과 부품의 신뢰성 평가를 위해 접촉기를 사용하여 고장유형을 파악하여 가속스트레스를 선정하여 실험하였다.

가) CMB접촉기

정상적으로 열려있는 주 접점을 닫거나 또는 정상적으로 닫혀있는 주 접점을 여는 힘이 전자석에 의해 제공되는 전자기 접촉기로써, 직류전원(DC 72V)으로 코일을 여자 시켜 롤러 가동부를 통해 주 접점을 접촉시키는 장치이며, 2개의 주접점(A 접점)과 4개의 보조접점(A 접점 2개, B접점 2개)으로 이루어져 있다.

(1) 기능 및 사양

CMB접촉기는 모터 블럭의 송풍 및 발전제동 시, Traction motor를 여자 시키는 기능을 한다. 다음 표는 CMB접촉기의 사양을 나타낸 것이다.

표 56. CMB접촉기의 사양

공칭 전압 (V)	공칭 전류 (A)	극수 (EA)	보조 스위치수 (EA)	Magnet Coil	
				제어 전압 (V)	기타
750	150	2	4	72	-.온도지수(절연종별) : F종 -.Coil 저항치 : 131Ω±8% -.사용환경(주위온도) : -25℃ ~ 60℃

(2) CMB접촉기 적용부의 사용 환경

CMB접촉기는 KTX의 동력차 모터블록에 위치하여 항시 열에 노출되어 있으며 에어컨 등의 온도조절 장치가 있지만, KTX의 정상 운행 시 모터블록 내부의 온도는 참고자료를 기초로 약 35℃로 가정한다.

나) 가속수명시험

(1) 가속 스트레스 선정

FMEA 결과 및 차량관리원과의 인터뷰 내용을 토대로 종합적으로 분석한 결과, 접촉기의 사용 환경을 고려할 때, 열에 노출되어 고온 상태에서 코일의 열팽창에 의해 코일 특성이 변화되고, 열화현상에 의한 그리스가 감소되어, 실린더 가동부의 작동능력이 저하되고 이에 따른 접점의 이탈속도 감소에 의한 Arc 발생으로 주 접점이 손상되며, 전자변 코어의 원활하지 못한 작동을 야기하는 등 접촉기 고장의 원인이 되므로, 가속 스트레스를 접촉기 온도로 결정하였다.

(2) 가속모형 선정

가속 스트레스를 접촉기의 온도로 결정함에 따라, 온도와 반응속도가 밀접한 관계를 갖는 경우에 적용할 수 있는 가속 모형인 아레니우스 모형(Arrhenius model)으로 가속모형을 선정하였다. 다음은 아레니우스 모형식이다.

$$L = A\exp[E/(kT)]$$

여기서 L은 수명, T는 절대 온도(섭씨 온도+273℃), E는 활성화에너지(eV), A는 상수, k는 볼쯔만 상수($8.617\times10^{-5}eV/K$) 이다.

(3) 스트레스 수준 수 및 수준 선택

가속 스트레스인 온도에 대한 스트레스 수준은 2수준으로 결정하였고, CMB 접촉기의 사양(사용환경 : -25 ℃ ~ 60 ℃)과 동작한계를 고려하여 고수준은 60 ℃, 저수준은 40 ℃로 결정하였다. 앞으로 절대온도 기준으로 60 ℃는 333 K, 40 ℃는 313 K로 표현하기로 한다.

(4) 시험시간, 시료 수, 시료 배분율 선택

가속수명시험을 실시할 때는 시험시간이 길수록, 시료 수가 많을수록 좋겠지만 시험시간과 시료 수의 제약이 따르므로 최소로 필요한 시험시간과 시료 수를 정할 필요가 있다. 시험시간과 시료 수는 각 스트레스 조건에서 최소한 2개 이상의 고장데이터가 얻어질 수 있도록 정해야 하므로, 각 스트레스 조건에서 2개 이상의 고장데이터가 얻어지도록 하기위해 낮은 스트레스 조건에 시료를 많이 배분하여, 고수준시료 대비 저수준 시료 배분율을 3 : 7로 결정하였다.

(5) 측정 항목 및 고장판정 기준 결정

CMB접촉기의 가속수명시험에서는 절대적인 기준을 정하는 방법을 활용하여 시험 실시 후, 실시간으로 CMB 접촉기 가동부 내에 있는 Magnet Coil의 저항값을 측정하여 기준을

초과할 때와 열에 의한 코일특성 변화 및 실린더 가동부의 그리스 감소에 따른 접점의 접촉 불량(예비시험으로 주 접촉편 접촉시간 측정 후, 기준이하일 경우 접촉기 기능불량으로 판정)으로 접촉기가 올바른 스위칭 동작을 할 수 없는 Open 또는 Short 상태가 발생하였을 경우, 고장으로 판정한다. 측정항목 및 고장 판정기준에 대하여 아래 표에 나타냈다.

표 57. 측정항목 및 고장 판정기준

측정 항목	고장 판정 기준
Magnet Coil 저항값	- Coil 저항 값 측정 : 131Ω±8%
주접점 및 보조접점의 접촉 불량 (접촉기 기능불량)	- 주 접점 및 보조접점의 반응시간 측정 (예비시험 후 결정) - 실린더 가동부의 그리스 감소 여부 확인

다) 시험결과

가속수명시험 결과로 획득한 표 28의 내용을 가지고 S/W를 활용하여 수명분포의 적합성을 검토하고 가속성을 검정한 후 수명 스트레스 및 가속계수 스트레스 관계를 추정하여 백분위 수명과 평균수명 등을 산출하였다.

표 58. CMB 접촉기 가속수명시험 결과

구분	온도(K)	Count(Cycle)				비고
Chamber1	313	1*	2	3	4	1. : 106일차 고장 5. : 135일차 고장 * : 고장시료
		1,411,892	3,315,183	3,365,021	3,359,134	
		5*	6	7		
		2,048,377	3,209,969	3,466,871		
Chamber2	333	8*	9	10*		8. : 95일차 고장 10. : 189일차 고장 * : 고장시료
		1,030,288	3,302,059	3,253,352		
소요시간		190 일				

(1) 수명분포의 적합성 검토 및 가속성 검정

가속수명시험을 통하여 수집된 데이터의 수명분포를 선정하였다. S/W에 의해 우도함수 값이 가장 큰 대수정규분포로 수명분포가 적합 되었다. 또한, 시험에서 관측된 고장시간을 313K와 333K로 구분하여 와이블 확률지에 타점하여 아래 그림에 나타냈다.

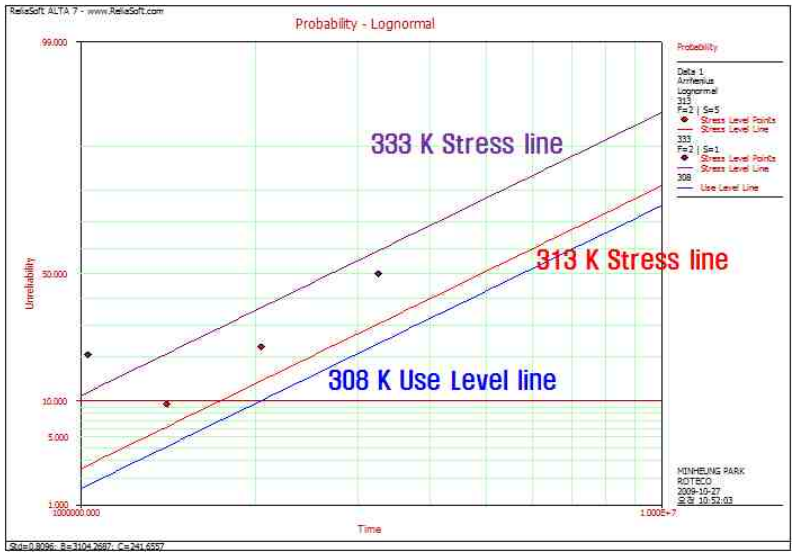


그림 235. 와이블 확률지 타점 결과

시험 조건별 데이터들의 타점이 직선에 가깝게 배치되어있고, 수명분포 추정선이 서로 평행하게 나타난 것으로 볼 때, 대수정규분포가 CMB접촉기 수명분포에 적합하고 스트레스 조건별로 가속성이 성립됨을 알 수 있다.

(2) 수명 스트레스 관계 및 가속계수 스트레스 관계 추정

CMB접촉기의 수명평가에 적합한 모형은 스트레스가 온도일 때 적용되는 아레니우스 모형이 적합하며, 시험결과에 대하여 아레니우스 모형 식을 적용하여 S/W로 모수를 산출하였다. 모형 식은 아래와 같고, 위 그래프에서 산출된 결과와 추정된 수명-스트레스 관계식과 가속계수를 나타냈다.

$$L(V) = (\frac{X_0}{A})\exp(\frac{Ea}{K} \bullet \frac{1}{V}) = C \bullet \exp(B \bullet \frac{1}{V})$$

여기서, X0는 고장발생시 열화량, Ea는 활성화 에너지(eV), K는 Boltzmann 상수이며, C와 B는 시험환경에 따라 결정되는 상수이다.

가속수명시험 데이터를 분석하여 수명 스트레스 관계식의 모수 값을 획득하기 위해 적합분포는 대수정규분포를 적용하고 수명-스트레스 관계식은 아레니우스 모형식을 적용하여 모수 값을 산출하였고 그 결과를 아래 표에 정리하였다. 분석에는 고장자료와 관측중단자료가 함께 사용되었다.

표 59. 산출된 모수 값

산출된 모수값	내 용
표준편차(σ)	0.8096
상수 B	3104.2687
상수 C	241.6557
활성화 에너지(eV)	0.2675

이를 통해 추정된 CMB접촉기의 온도에 대한 수명 스트레스 관계 및 가속계수 스트레스 관계를 아래 그림에 나타냈다.

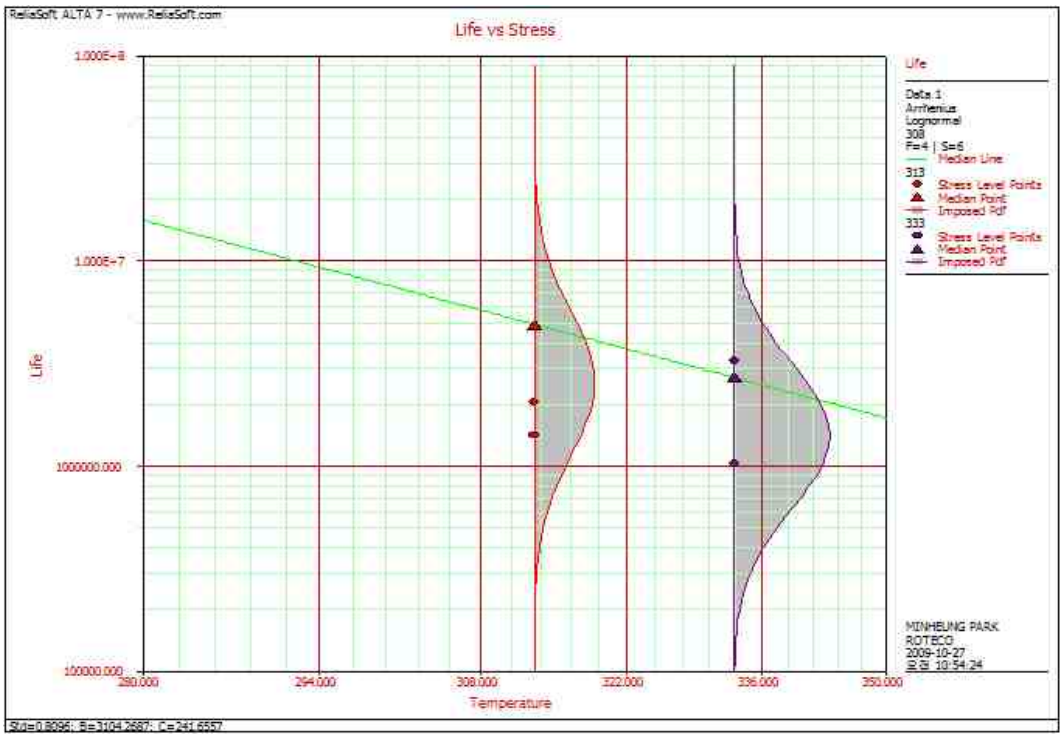


그림 236. CMB 접촉기의 온도에 대한 수명 스트레스 관계

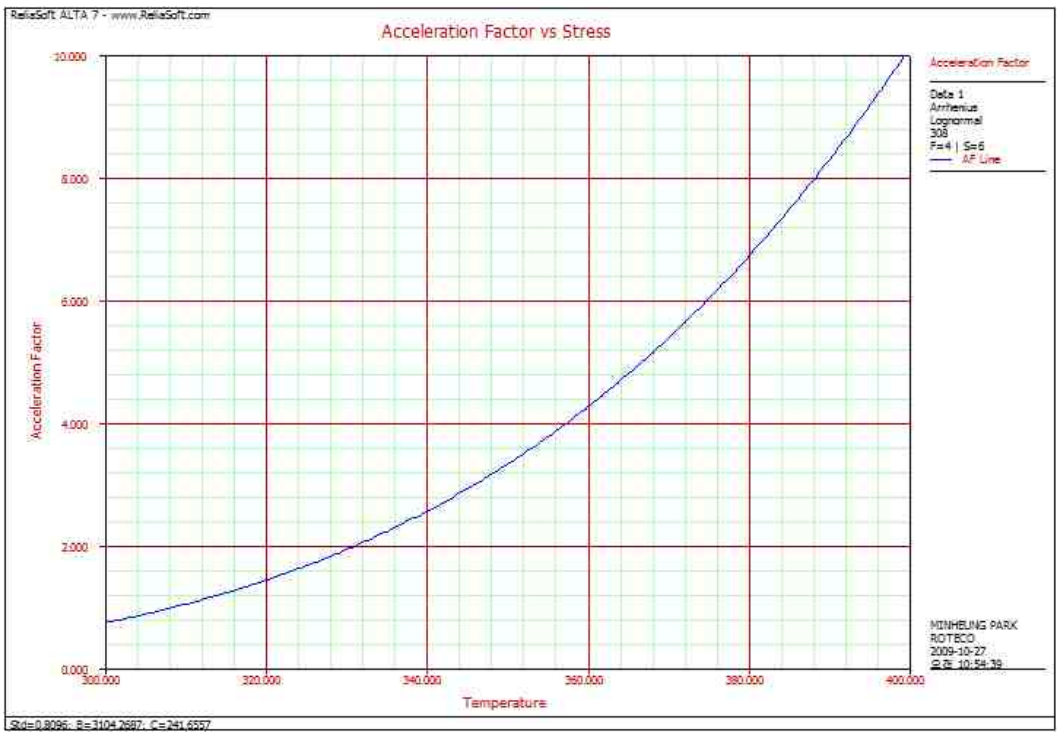


그림 237. CMB 접촉기의 온도에 대한 가속계수 스트레스 관계

수명-스트레스 관계 및 가속계수는 CMB접촉기의 정상사용조건 308 K를 적용하여 분석한 결과이며, 지수함수적인 형태로 증가하는 스트레스에 대한 가속계수의 추이와 온도가 증가할수록 고장이 발생하는 데 걸리는 시간이 단축됨을 확인 할 수 있었다.

(3) 백분위수명(B4, B6, B8) 및 평균수명의 추정

CMB접촉기의 가속수명시험의 결과로 백분위 수명(B4, B6, B8) 및 평균수명을 추정하였다. 그 결과를 다음 표에 나타냈다.

표 60. 가속수명시험 결과로 추정된 백분위 수명 및 평균수명

추정된 값	내 용
B4 수명	1,395,300 Cycles
B6 수명	1,635,200 Cycles
B8 수명	1,846,000 Cycles
평균 수명	7,992,800 Cycles

CMB접촉기는 신뢰성(정시운행)에 관련된 부품이므로 가속수명시험의 결과로 B6수명인 1,635,200 Cycle을 제시한다. CMB접촉기의 정상사용조건과 사구간에서의 접촉기 작동 등을 고려하여 추산한 결과 CMB접촉기의 가속수명시험에서의 B6수명인 1,635,200 Cycle은 약 7,920,000 Km(17.6 년)이다.

3) KTX 추진제어장치 TBO 분석

KTX 차량에서는 부품들이 제작사에서 제시한 TBO 시점에 도달하면 이 시점에 일괄적으로 교체하고 있으므로 유지보수 시 소요되는 비용을 현장에서 경험적으로 획득한 결과를 토대로 이 비용을 최소화하는 교체주기를 TBO로 적용할 수 있을 것이며, 비용에 대한 정보를 추정하기 어려운 부품에 대해서는 백분위수와 평균 수명 중 현장 경험치와 비교하여 타당한 측도를 TBO로 활용할 수 있을 것이다. 기존의 자료를 토대로 추진제어장치의 TBO를 분석하면 다음 표와 같다.

표 61. KTX 추진제어장치 TBO 분석

부 품 명	CPN	자재번호	추천 TBO
ZB-BK-01(TRK9600228000)	TRK9600228000	1024021	3Mkm
ZB-BK-02(TRK9600227000)	TRK9600227000	1024022	3Mkm
송풍인버터(TRL1160023701)	TRL1160023701	1024103	3Mkm
MB송풍기(TRVS348380000)	TRVS348380000	1024386	3Mkm
TM송풍기(TRB5465626000)	TRB5465626000	1024124	3Mkm
ISW-PFC(TRK5440108000)	TRK5440108000	1024023	5Mkm
CV-TT(TRK8617908000)	TRK8617908000	1024058	10년
IR-TT(TRK9695901000)	TRK9695901000	1024108	10년
CO-EX여차초퍼(TRV0019213000)	TRV0019213000	1024107	10년
CO-BK제동초퍼(TRV0048580000)	TRV0048580000	1024109	10년
CV-PFC역률개선(TRV0052517000)	TRV0052517000	1024106	10년
A633(TRVP048179000)	TRVP048179000	1024101	5년
K-AUX-VT(TRK5440082000)	TRK5440082000	1024633	3Mkm
K-BA-EX-01(TRK5440082000)	TRK5440082000	1024633	3Mkm
K-FL-VT(TRK5440082000)	TRK5440082000	1024633	3Mkm
K-MB-BA-01(TRK5440082000)	TRK5440082000	1024633	3Mkm
K-EX(TRK5440084000)	TRK5440084000	1024634	3Mkm
K-TT-BK-01(TRK5458175000)	TRK5458175000	1024057	3Mkm
K-TT-BK-02(TRK5458173000)	TRK5458173000	1024056	3Mkm
K-TT-BK-03(TRK5458173000)	TRK5458173000	1024056	3Mkm
K-TT-01(TRK5458175000)	TRK5458175000	1024057	3Mkm
K-BK-01(TRK5463018000)	TRK5463018000	1012674	3Mkm
K-BK-02(TRK5463017000)	TRK5463017000	1012670	3Mkm
CRVB(TIEX00199000A)	TIEX00199000A	1024088	5년
AIT1(TRVC032321000)	TRVC032321000	1024066	5년
AIT4(TRVC033174000)	TRVC033174000	1024076	5년
REDM(TRVC033519000)	TRVC033519000	1024091	5년
CDJ(TRVC034324000)	TRVC034324000	1024068	5년
ESB1(TRVC034325000)	TRVC034325000	1024069	5년
ESB2(TRVC034326000)	TRVC034326000	1024070	5년
ESB3(TRVC034327000)	TRVC034327000	1024071	5년
ISY(TRVC034329000)	TRVC034329000	1024075	5년
IMON(TRVC034330000)	TRVC034330000	1024073	5년
INCA(TRVC034331000)	TRVC034331000	1024074	5년
ESL1(TRVC034332000)	TRVC034332000	1024082	5년
ESL2(TRVC034333000)	TRVC034333000	1024083	5년
ESL3(TRVC034334000)	TRVC034334000	1024084	5년
MV(TRVC034335000)	TRVC034335000	1024085	5년
CAL3(TRVC034336000)	TRVC034336000	1024080	5년
CAL2(TRVC034337000)	TRVC034337000	1024079	5년
DIAL(TRVC034338000)	TRVC034338000	1024081	5년
CAL1(TRVC034339000)	TRVC034339000	1024078	5년
TDSV(TRVC034409000)	TRVC034409000	1024093	5년
FCVV(TRVC034410000)	TRVC034410000	1024089	5년
SVTB(TRVC034411000)	TRVC034411000	1024092	5년
ASB(TRVP036066000)	TRVP036066000	1024087	5년
B153(TRVP036102000)	TRVP036102000	1024077	5년

라. LCC 분석을 위한 비용분류 구조

1) CBS

총 수명주기비용을 예측하기 위해 총 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.

소유비용은 차량 운영 및 유지보수 비용으로 구분할 수 있으며, 운영비는 에너지 소모비용 및 열차운영요원의 인건비, 차량기지운영비 등으로 구성되어 있다. 유지보수비용은 예방정비 및 고장정비에 대해 각각 계산하여 이를 종합하여 시스템에 대한 유지비로 계산한다. 또한 개량비용은 유지보수 비용의 많은 부분을 차지하고 있는 부분으로 시스템 도입 단계에서는 고려되지 않으나 시스템 운영 중 LCC 분석을 위해서는 별도의 정의가 필요한 부분이다.

2) KTX 추진제어장치 CBS

표 62. KTX 차량 추진제어장치의 CBS

비용요소			내 용
획득비용	추진제어장치 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	추진제어장치 도입시 차량의 안정화를 위해 필요한 시운전비
		예방정비비	
		고장정비비	
		검수 인력비	
	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

2. 기존 KTX 추진제어장치의 LCC분석

가. 비용평가 모델 및 관계 개발

1) 비용평가 모델

최근 철도산업을 비롯하여 타 산업분야에서도 수명주기비용(Life Cycle Cost, LCC)에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있는데, 수명주기비용이란 분석 대상의 수명주기 전 기간에 걸친 총 원가산정을 통하여 기업의 수익과 원가의 대응 및 원가전략을 개선하는 개념이다. 철도시스템분야의 수명주기비용에 관한 연구동향으로는 철도시스템의 안정적인 운영과 경제성 있는 유지보수를 위해 정확한 수명주기비용을 예측하기 위한 'IEC60300-3-3' 규격을 유럽에서 제정하였고, 그 외 세계적으로 'ISO', 'NORSOK', 'REMAIN', 'UNIFE', 'PROMAIN' 등 다양한 연구 활동이 수행되고 있다.

철도차량인 경우 철도차량 편성개념으로 LCC를 분석하는 것이 대부분이며 타 산업분야의 설비인 경우도 대부분 시스템 전체를 대상으로 평가하고 있는 실정이다. 그러나 철도분야인 경우 국산화 개발이 지속적으로 이루어져야 하므로 추진제어장치(Motor Block, MB)와 같이 서브시스템에 대한 LCC 연구가 필요하다.

수명주기비용은 설비 체계의 수명주기 동안 발생하는 총 비용을 추정, 평가하는 방법론이며, 총 비용은 크게 연구개발비, 투자비, 운영유지비 및 폐기비로 구분할 수 있다. 따라서 KTX 추진제어장치(MB)의 수명주기비용은 투자(Investment), 유지보수(Maintenance), 운영비용(Operating Cost), 수명종료비용(End of Life Cost) 요소들이 추진제어장치(MB) 시스템에 대한 총 수명 비용으로 구성된다. 이것은 추진제어장치 제작사, 운영사 뿐만 아니라 관련된 모든 산업체가 추진제어장치에 대한 시스템의 신뢰성 및 가용성 확보를 위한 다양한 노력이 수반됨을 의미한다. 따라서 추진제어장치 전체 수명기간에 대한 정확한 수명주기비용의 예측이 필수적이다.

가) 기본적인 LCC 절차

수명주기비용 분석은 여러 분야의 특성에 맞게 수행되고 있지만, 기본적인 절차는 평가기준에 대한 정의, 비용 요소의 정의, 시스템 모델링, 데이터 수집, 비용평가 모델을 개발하고 마지막으로 평가수행을 통해 결과를 분석한다.

(1) 평가 기준의 정의

비용 요소와 시스템의 효율 요소를 구분하여 각 요소별로 정의하는 것으로 시스템 설계와 운영에 필요한 의사결정을 하는 데 있어서는 비용적인 측면과 성능적인 측면이 동시에 고려되어야 한다. 따라서 시스템 특성이나 생산 용량, 품질, 성능 특성 등과 같은 시스템 효율 요소를 정의하고 시스템을 평가할 기준을 세워야 한다.

(2) 비용 요소의 정의

시스템을 설계하고 운영하는 데 필요한 모든 종류의 비용을 의미하며, 시스템에서 사용되는 수명주기에 따른 비용의 종류를 분류하고 작업의 구분에 따라 체계를 나누는 작업을 수행한다. 일례로 수명주기비용의 국제 규격서인 IEC 60300-3-3에서는 해당 비용 요소의 비용 종류와 작업 분류, 수명 주기에 따라서 수십 개의 블록으로 나누어져 있고, 모든 블록이 합해졌을 때 전체의 비용이 나온다. 그 중 하나의 블록을 살펴볼 때, 이것은 비용 종류로써는 인건비(운영유지비)에 속하고, 작업 분류에서는 PBS 레벨단위에 해당하며, 시스템의 수명주기 측면에서 보았을 때는 설계 단계에 해당하는 것이다.

(3) 시스템 모델링

이 단계는 시스템의 입력과 출력, 그리고 비용간의 적절한 관계를 찾는 과정이다. 시스템의 가용률을 계산하거나 유지보수, 운영방식 등에 대한 모델링이 이루어진다. 시스템 모델링을 어떻게 하는가에 따라 차후에 수행될 비용 평가 모델의 개발 단계에서의 결과가 달라질 수 있으므로 중요한 단계라고 할 수 있다.

(4) 데이터 수집

LCC 분석을 위해서는 분석하고자 하는 시스템에 대한 관련 데이터 수집이 필요하며 시스템을 운영하면서 발생되는 데이터를 취득하고 누적하는 단계이다.

(5) 비용평가 모델 개발

실질적으로 시스템을 설계하고 개발하며, 운영하는데 필요한 모든 비용 체계를 구성하고, 앞서 취득한 데이터를 바탕으로 하여 계산될 수명 비용 평가 모델을 구축하는 단계이다. 수명주기비용 평가의 주목적은 장기간의 재정 계획 수립에 있으며 수명주기비용 평가를 하지 않았을 때의 수명 주기에 따른 기본비용 곡선이 있다면 수명주기비용 평가를 통해 대안적인 비용 곡선을 제시할 수 있다.

(6) 평가수행 및 분석

비용 평가 모델이 개발되었다면, 평가 수행 단계에서 누적된 운영 데이터 및 비용 내역을 이용하여 수명 주기 동안의 총 비용 평가가 이루어지고, 마지막으로 수명주기비용 평가의 결과를 분석함으로써 수명주기비용 평가의 모든 단계가 마무리된다.

나) 비용평가모델 종류

(1) IEC 60300-3-3 LCC 모델

IEC에서는 수명주기비용 평가 모델을 시스템비용 구조, 가변비용 요소, 수명주기단계로 크게 3개의 요소로 구분하고 있다. 시스템비용 구조는 시스템 모델링 단계에서 파악할 수 있는 시스템의 총 재료비를 나타내고, 가변비용 요소는 운영적 측면에서 재료비, 운영비, 유지보수비, 폐기비 등을 포함하는 요소이며, 수명주기단계는 기준정의, 설계, 제조, 설치, 운영, 폐기 등에 따른 6단계를 나타낸다. IEC에서는 3개의 비용요소를 모두 합함으로써 전체 수명주기비용을 계산하고 있다.

$$LCC = Cost_{acquisition} + Cost_{ownership} + Cost_{disposal}$$

(2) IEC 62278 LCC 모델

철도 시스템의 수명 주기에 근거하여 RAMS을 관리하기 위한 절차를 정의하고 있으며, 수명주기단계를 개념단계부터 폐기처분단계까지 14단계로 구분하고 있다. 수명주기비용 평가 모델을 'V' 모델을 포함하는데 Top-down(왼쪽)은 일반적으로 개발(development)이라 하며, 시스템 부품의 제조를 위한 절차이다. Bottom-up(오른쪽)은 조립, 설치, 인수 및 전체 시스템의 운영에 관련되어 있다. 시스템의 다양한 단계에서 수용에 대한 검증행위는 시스템의 시방을 바탕으로 하여야 하며, 초기단계, 즉 수명주기의 개발 단계의 출발점에서 계획되어야 한다.

(3) UNIFE LCC 모델

이 모델은 하위공급자로부터 데이터를 수집하는 UNIDATA 모델과 수집된 데이터를 이용하여 완전한 LCC 계산을 수행하는 UNILIFE 모델로 구성된 2 레벨 모델을 사용한다. 비용구조는 크게 투자비용, 연간비용, 수명지원비용의 3가지 항목 구조로 구성된다.

$$LCC = Cost_{investments} + Cost_{yearly\,costs} + Cost_{LSC}$$

다) 수명주기비용 모델 개발사례 (자기부상열차)

자기부상열차 시스템의 수명주기비용 모델을 수립하는데 있어서는 연구개발비, 투자비, 운영유지비, 폐기비의 추정방법에 대한 고려가 필요하다. 연구개발비는 공학설계, 분석, 개발, 시험, 평가와 관련된 모든 비용을 종합한 것으로 연구인건비, 시제비, 시험평가비, 교육훈련비와 같은 비용요소를 포함하여 산출한다.

$$C_{RD} = \sum_{i=1}^{N} C_i$$

여기서, C_{RD}는 자기부상열차 시스템의 총 연구개발비, C_i는 연구개발비에 포함되는 비용요소, N은 연구개발비에 포함되는 비용요소의 총 수를 나타낸다.
적용사례에서는 연구개발비에 시스템 설계비, 개발비, 시험평가비, 교육훈련비 등을 포함시켜 수명주기비용(LCC)을 평가하였다.

투자비는 자기부상열차 차량 구입비, 노반 시설비, 변전시스템 시설비, 스위칭시스템 시설비, 컨버팅 시스템 시설비, 차량기지 시설비, 설비 고장시 예비품 구입비 등을 포함한다.

$$C_{IN} = \sum_{j=1}^{M} C_j$$

여기서, C_{IN}는 자기부상열차 시스템의 투자비, C_i는 투자비에 포함되는 비용요소, M은 투자비에 포함되는 비용요소의 총 수를 나타낸다.

이 때 예비품 구입비는 차량의 운영 조건 및 설비의 유지보수 전략에 따라 크게 차이가 날 수 있다. 예비품의 산정은 설비의 고장률과 MTTR(Mean Time to Repair)과 밀접한 관계가 있다. 상대적으로 낮은 고장률을 가질수록 또는 MTTR이 짧을수록 예비품의 수량을 적게 확보하여도 되기 때문에 설비의 가용률이 투자비 산정에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 시스템 운영자는 설비의 가용률을 예측하여야하고, 투자비의 산출에 예측된 가용률을 이용할 수 있다. 투자비 산출을 위하여 자기부상열차 시스템의 가용률을 결정하는 방법을 제안한다. 설비의 가용률을 결정하는 일반적인 방법은 아래와 같이 나타내었다.

$$Availabilty = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTF}{MTBF}$$

여기서 $MTTF$(Mean Time to Failure)는 설비가 작동하면서 고장이 발생하기까지의 평균시간을 나타내고, $MTTR$(Mean Time to Repair)는 고장이 발생하고 정상 동작을 위한 수리 작업이 완료되기까지의 평균 시간을 의미한다. $MTBF$(Mean Time between Failures)는 고장과 고장사이의 평균 시간을 나타낸다.

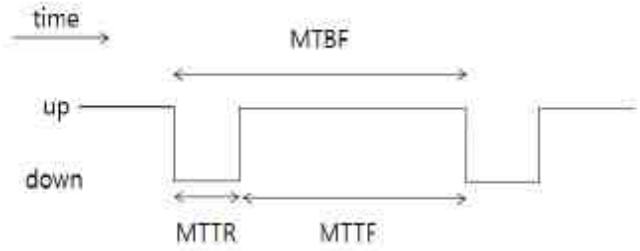


그림 238. MTBF (MTTR + MTTF)

일반적인 설비의 가용률은 설비의 동작시간에 설비의 고장시간과 동작시간을 합한 한 주기를 나눔으로써 구할 수 있다. 하지만 상기 식은 고장시간과 동작시간만을 고려하여 자기부상열차 시스템의 실제적인 운영 환경을 반영하지 못한다는 단점이 있다. 자기부상열차 시스템에서의 사고는 인명피해를 동반하는 대형사고의 위험이 있기 때문에 항상 예방정비(Preventive Maintenance)를 해야 하며 따라서 예방정비적 요소를 고려하는 가용률을 적용해야 한다. 따라서 아래와 같이 고장정비(Corrective Maintenance)를 고려하여 자기부상열차 설비의 가용률을 산정하는 식이다.

$$A_C = \frac{MTBF}{MTBF + MCMT}$$

여기서 A_C는 고장정비(CM)를 고려한 가용률, $MCMT$(Mean Corrective Time)은 평균 고장정비 시간을 나타낸다. 설비의 고장시간과 동작시간을 합한 한 주기에서 고장정비 시간을 고려함으로써 이상적인 정비 환경에서의 특성 가용률을 의미한다.

자기부상열차 설비의 고장으로 인한 고장정비 시간뿐만 아니라 예방정비 시간, 유지보수로 인한 운행 지연 시간을 고려하여 예비품의 적정 수량을 결정함으로써 투자비의 보다 정확한 산정을 기대할 수 있다. 적용사례에서 투자비는 차량구입비, 노반 시설비, 선형 동기전동기 고정자 비용, 변전소시설 비용, 예비품 구입비 등을 포함시켜 수명주기비용(LCC)을 평가하였다.

운영유지비는 수명주기 동안 시스템을 운영, 유지하기 위한 반복성 비용으로써 에너지 비용과 운행비용, 유지보수비용으로 생각할 수 있다. 자기부상열차에 사용되는 에너지는 추진전력, 부상전력, 역사운영전력, 전기신호제어 전력 등이 있고, 운행비용은 에너지 비용과 유지보수비용을 제외한 차량 운행을 위한 인력 투입에 대한 비용을 의미한다.

$$C_{OP} = P \times T \times C_P + \sum_{k=1}^{O}(E_k) + C_{CM}T_{CM} + C_{PM}T_{PM} + C_{red}$$

여기서 C_{OP}는 자기부상열차 시스템의 운영유지비, P는 운행에 투입되는 인원수, T는 연

간 투입시간, C_P는 시간당 비용을 나타낸다. E_k는 에너지 비용 요소, O는 에너지 비용 요소의 총 수를 나타내며, C_{CM}과 C_{PM}은 각각 고장정비와 예방정비의 시간당 유지보수 비용, T_{CM}과 T_{PM}은 각각 고장정비와 예방정비 시간, C_{red}는 예비품 유지비용을 의미한다.
적용사례에서 운영유지비에는 운행 인력비, 전력 사용비, 유지보수비 등이 포함시켜 수명주기비용(LCC)을 평가하였다.

폐기비(C_{DE})는 수명주기를 다한 설비의 폐기비용을 의미하는 데, 반대로 잔여가치 또는 교환가치로 생각할 수도 있다. 설비의 교체가 이루어 질 때 그 시점에서의 교환가치를 고려하여 교체시기를 결정하는 경우도 있기 때문에 설비의 잔여가치와 유효수명은 상호 연관성이 있다고 볼 수 있다. 따라서 수명주기비용의 정확한 산정을 위해서는 설비의 경제적 수명주기에 대한 추정이나 잔여가치에 대한 분석이 뒷받침되어야 한다.
자기부상열차 시스템의 총 수명주기비용은 아래 식과 같이 나타내었다.

$$LCC = C_{RD} + C_{IN} + C_{OP} + C_{DE}$$

시스템을 구성하는 설비가 여러 해에 걸쳐 도입되고 운영될 경우 수명주기 동안의 발생비용을 현재 가치로 환산할 필요가 있다. 비용 요소 중 현재 기준 i년도 후의 비용이 P_i인 수명주기비용의 현가 P는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \sum_{i=0}^{n} \frac{P_i}{(1+d)^i}$$

여기서 d는 할인율(이자율), n은 수명주기 년도를 의미한다.

2) 비용평가모델 개발

상기에서 언급하였듯이 일반적인 비용평가모델이 다양하게 제시되고 있지만, 비용평가에 따른 많은 양의 데이터가 요구된다. 따라서 현재 운행되고 있는 KTX인 경우 운영측면에서 데이터 관리가 정립되어 있지 않다가 최근에 운행이력에 대한 데이터 등을 관리하는 시스템이 도입되어 데이터 신뢰도가 낮은 편이다. 특히 고장이력은 고장에 대한 해석이 불분명하여 이와 관련된 데이터 역시 정립화가 제대로 이루어지지 않고 있다. 또한 KTX 차량 도입 시에 일괄 도입형태로 이루어져 특정 서브시스템에 대한 가격제시가 없어 추진제어장치(Motor Block)에 대한 취득가격이 불분명한 상태이다. 이와 같이 LCC 평가를 위한 데이터가 불분명하여 일반적인 비용평가모델을 적용하되 KTX의 추진제어장치에 대한 각종 자료를 활용하여 수명주기 비용을 분석에 따른 비용평가모델을 제시하였다.
1차년 도에 이어 추진제어장치에 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 산출을 위한 자료가 충분히 확보되어 있지 않아 수집된 자료를 근거로 산출하기 위한 비용평가모델을 제시할 필요가 있다.

$$LCC = Cost_{acquisition} + Cost_{ownership} + Cost_{disposal}$$

가) 취득비용($Cost_{acquisition}$)

취득비용은 추진제어장치 도입비용, 추진제어장치 유지보수에 필요한 장비 구입비, 교육훈련비, 문서화비, 예비품비, 시운전비, 검사비 등을 포함한다. 추진제어장치 도입비용인 경우 고속철도차량(KTX)을 국내에서 운행하기 위해 철도차량을 구입하면서 서브시스템별로 구입하지 않고 일괄 구입형태로 이루어져 추진제어장치에 대한 구입비 자료가 없는 상황이다. 이 밖에 장비 구입비, 문서화비, 예비품비, 시운전비, 검사비 등은 도입초기에 체계적으로 관련비용에 대한 정립이 이루어지지 않아 비용예측이 어렵다. 다만, 유지보수에 따른 추진제어장치내의 부품교환이 이루어져 부품구입비를 통해 추진제어장치(MB)에 대한 예측이 가능하지만 취득비용이 일부로 수명주기비용 평가에 적용하기가 쉽지 않다.

나) 소유비용($Cost_{ownership}$)

소유비용은 운영비, 예방정비비, 고장정비비, 개량비 등을 포함한다. 운영비는 추진제어장치 유지보수에 따른 차량내의 전력사용비 및 차량기지 운영비 등을 의미하며, 예방정비비(Preventive maintenance cost)는 매뉴얼에 따라 사전에 결정된 주기나 이미 규정된 범위 내에서 고장의 확률을 줄이거나 장비기능저하를 방지하기 위해서 행하는 정비에 대한 비용이다. 고장정비비(Corrective maintenance cost)는 결함 인 식후 장비의 필요한 기능을 수행할 수 있는 상태로 되돌리기 위해 수행하는 정비데 대한 비용으로 가장 단순한 형태의 유지보수 비용이다. 즉 고장이 발생했을 때 부품 수선이나 최소의 유지, 운용인력자원이 소요되는 부품을 교환하는 유지보수 활동으로 간주되는 정비 비용이다. 개량비는 추진제어장치 성능개선을 위해 소요되는 비용으로 현재 자료가 없는 것으로 조사되었다.

이와 같이 각각의 비용 정의를 통해 운영비는 차량기지내의 운영비, 전력사용비를 통해 추정이 가능하며, 예방정비비는 추진제어장치에 대한 유지보수 매뉴얼 지침서를 통해 비용 유추가 가능한 것으로 파악되었다. 고장정비비인 경우 현재까지 구입된 추진제어장치내의 부품별 현황을 토대로 비용 산출이 가능하다.

다) 폐기비용

폐기비용은 추진제어장치 교환주기가 도래했을 때 폐기에 따른 비용으로 현재까지 자료를

통해 비용 추정을 불가능하여 수명주기비용 산출이 도입이 어렵다.

이와 같이 IEC 60300-3-3 비용평가모델을 그대로 적용하기에는 많은 문제점이 존재한다. 따라서 추진제어장치(MB)의 LCC를 분석하기 위해 비용평가모델을 아래와 같이 하였다.

$$LCC = Cost_{preventive} + Cost_{Corrective} + Cost_{operation\,of\,MB}$$

나. LCC profile

1) LCC 수행방법

LCC 수행방법은 아래 수행절차에 따라서 작성하며 각 항목별 세부 수행방법, 절차 등 검증계획은 세부적으로 정의 한다.

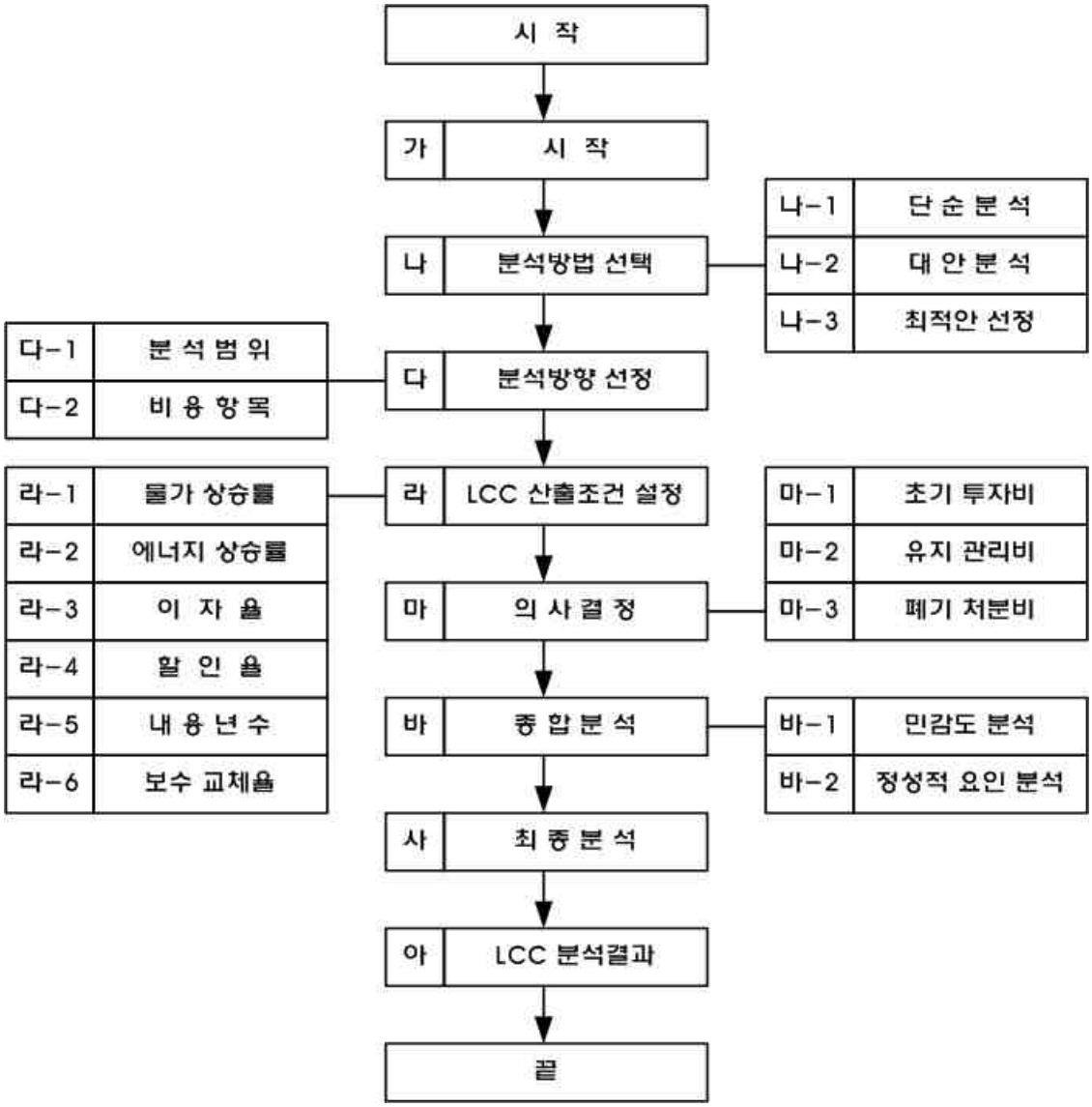


그림 239. LCC 분석 모델 순서도

2) LCC 비용구조 분석

가) Project 선정

전기철도 중 전철전력설비의 생애주기 동안 발생 가능한 모든 비용항목을 국내 철도실정에 적합한 합리적이고 실용적인 설계의 경제성 분석 자료로 활용하는 기초자료, 방향설정 기준을 제시한다.

나) 분석방법 선택

구입, 운영, 유지관리 및 보수, 시스템의 처분에 이르기까지 비용이 관련되어 있다.
에너지 절약을 목적으로 LCC 분석을 수행할 때, 이러한 비용의 요소 중에서 어떤 비용을 분석의 대상으로 삼을 것인지가 우선적으로 결정되어야 한다.

이를 위해서는 각각의 대안에 대한 경제적인 효과를 검토할 필요가 있으며, 가능한 범위 내에서 경제적 효과는 비용의 개념으로 정량화되어야 한다.

LCC 분석을 위해서 프로젝트와 관련된 모든 비용을 분석의 대상으로 삼을 필요는 없으며, 올바른 투자결정을 하기 위해서 반드시 포함되어야 할 만큼 충분히 많은 비용이 투입되는 항목에 대해서 분석의 대상으로 삼는다. 모든 대안들 사이에서 비슷한 내용으로 지출되는 비용의 경우에는 LCC 분석에서 생략되므로 의사결정에 어떠한 역할도 하지 못한다. 따라서 프로젝트 대안의 LCC 분석에서 확실하게 차이를 들어낼 수 있을 만큼 많은 비용이 지출되는 항목에 대하여 분석의 대상에 포함한다.

(1) 단순분석

어떠한 시스템을 구성하는 요소 중에 소모품, 단품에 대하여 분석하는 것을 말한다.

(2) 대안분석

기본안(Basecase)에 대비하여 동일 한 기능을 갖는 대안(Alt ernatives)으로써 여러 개의 대안이 있을 수 있다.

(3) 최적안 선정

여러 개의 대안 중 동일 한 기능 일 때 최소 LCC를 가지는 안을 선정하며 아래 식에 따른다. 기본안(Basecase)과 대안(Alt ernatives) 사이의 LCC 차이를 산정하여 (LCC Basecase - LCC Alternative = Net Savings) 순익(Net Savings)이 최대가 되는 대안을 선정한다.

다) 분석방향의 선정

LCC 분석방향은 매우 중요하며, 분석의 범위에 따라 상위 시스템, 하부시스템, 단일제품으로 설정할 수 있으며, 비용의 항목은 시설물의 생애주기 동안에 발생되는 모든 비용을 의미하며, 대안들 사이에서 비슷한 내용으로 지출되는 비용의 경우에는 LCC 분석에서 생략되므로 의사결정에 어떠한 역할도 하지 못한다.

(1) 분석범위

본 과업에서 LCC 분석의 범위는 전철전력시설물의 전체 시스템이 아닌 하부 시스템을 구성하는 요소, 또는 단품을 대상으로 하고 분석시 고려 할 사항으로는 상위시스템과 연계될 수 있는지에 대한 확인이 필요하다.

(2) 비용항목

비용의 항목은 시설물의 생애주기 동안에 발생되는 모든 비용을 의미하며 미래에 발생되는 비용(운영, 유지관리, 보수 교체율, 수리, 교체 또는 시스템의 서비스 기간 동안에 발생하는 비용), 초기투자비용(계획, 설계, 시공, 구입 등 일반적으로 건물의 입주 이전 또는 시스템 운전하기 전에 발생하는 비용), 일회성 비용 및 매년 발생하는 비용으로 구분 할 수 있으며 아래에 구체적으로 설명 한다.

○ 초기투자 비용(Initial Investment Costs)과 미래의 비용(Future Costs)

- 초기투자 비용 : 계획, 설계, 시공, 구입 등 일반적으로 건물의 입주 이전에 발생하는 비용을 의미한다.
- 미래의 비용 : 운영, 유지관리, 수리 및 교체 혹은 건물이나 건물시스템의 서비스 기간 동안에 발생하는 비용을 의미한다.

○ 일회성 비용(Single Costs)과 주기성 비용(Annually Recurring Costs)

- 일회성 비용 : 한 번 혹은 그 이상 발생하는 비용이나 매년 주기적으로 발생하지는 않으며, 일반적으로 1년 이상의 기간을 두고 스케줄에 따라 발생하는 초기 투자비용, 교체비용, 잔여가치가 포함된다. 일회성 비용을 현재가치(PV)로 환산하는 데에는 SPV factor가 사용된다.
- 주기성 비용 : 서비스 기간 동안에 매년 주기적으로 발생하는 비용이며, 일정한 비용, 혹은 일정한 가격상승율을 가지고 주기적으로 발생한다. 이를 현재가치(PV)로 환산하는 데에는 UPV 또는 UPV* factor가 사용된다.

라) LCC 산출조건의 설정

산출 조건은 미래에 발생되는 비용과 초기투자비용으로 구분 할 수 있으며, 발생되는 모든 비용에 대한 리스트를 작성하고, 비슷한 내용으로 지출되는 비용의 경우에는 LCC 분석에서 생략한다.

(1) 물가 상승률

일 년을 기점으로 화폐의 가치나 물건의 가치가 상승하는 이율을 의미하며, 일반적으로 LCC 분석에는 최근 10년간의 평균 물가 상승률을 적용하며 국내 소비자 물가 상승률은 통계청 또는 한국은행 에서 구할 수 있으며 최근 10년간 소비자 물가상승률은 표를 참조한다.

표 63. 소비자 물가 상승률

년 도	1999	2000	2001	2002	2003	비고
소비자 물가(%)	0.8	2.3	4.1	2.7	3.5	

년 도	2004	2005	2006	2007	2008	평균
소비자 물가(%)	3.6	3.8	2.2	2.5	4.7	2.92

※자료출처 : 통계청

(2) 에너지 상승률

전철전력 시설물을 운영에 따른 에너지비용의 가격변동률을 의미하며, 에너지 연간 에너지 소비량 , 에너지원 별 현재의 가격 체계, 에너지 가격 변동율 등을 고려하여 에너지 소비량(Amounts of Energy Consumption)의 산정 한다.

○ 유가 인상율

에너지 소비량 산출시 유류를 원료로 사용하는 시스템의 경우는 심도 있게 고려해야 한다. 그 이유는 최근 10년간 유가의 인상율의 평균 12% ~ 17%로 소비자물가, 이자율, 전력비 상승률의 200% ~ 400%로 조사 되었으며 아래 표와 같다.

표 64. 유가 인상율

(단위: 원/ l)

년	구분	보통휘발유	인상율 (%)	실내등유	인상율 (%)	보일러 등유	인상율 (%)	자동차용 경유	인상율 (%)
1998년	세전가	288.32		326.78		226.86		319.38	
	정유사	1,042.88		456.13		347.44		484.46	
	주유소	1,122.57		524.23		415.64		553.47	
1999년	세전가	247.28	85.8%	287.89	88.1%	246.08	108.5%	243.4	76.2%
	정유사	1,112.43	106.7%	414.59	90.9%	368.59	106.1%	470.14	97.0%
	주유소	1,191.91	106.2%	491.23	93.7%	445.17	107.1%	521.82	94.3%
2000년	세전가	330.26	133.6%	355.96	123.6%	341.11	138.6%	336.19	138.1%
	정유사	1,175.91	105.7%	485.87	117.2%	469.54	127.4%	567.44	120.7%
	주유소	1,248.35	104.7%	559.57	113.9%	544.92	122.4%	612.78	117.4%
2001년	세전가	359.67	108.9%	355.88	100.0%	345.36	101.2%	343.32	102.1%
	정유사	1,214.49	103.3%	505.32	104.0%	493.7	105.1%	607.63	107.1%
	주유소	1,280.00	102.5%	580.24	103.7%	573.95	105.3%	644.58	105.2%
2002년	세전가	350.5	97.5%	315.76	88.7%	304.18	88.1%	323.76	94.3%
	정유사	1,203.93	99.1%	492.17	97.4%	479.42	97.1%	651.06	107.1%
	주유소	1,269.10	99.1%	554.43	95.6%	553.46	96.4%	677.58	105.1%
2003년	세전가	375.89	107.2%	360.02	114.0%	347	114.1%	363.94	112.4%
	정유사	1,231.62	102.3%	571.84	116.2%	557.53	116.3%	748.93	115.0%
	주유소	1,294.76	102.0%	638.76	115.2%	640.04	115.6%	772.03	113.9%
2004년	세전가	431.74	114.9%	443.07	123.1%	438.04	126.2%	433.36	119.1%
	정유사	1,292.96	105.0%	692.94	121.2%	687.4	123.3%	878.7	117.3%
	주유소	1,365.29	105.4%	752.16	117.8%	757.5	118.4%	907.93	117.6%
2005년	세전가	492.01	114.0%	532.82	120.3%	527.73	120.5%	530.73	122.5%
	정유사	1,359.38	105.1%	806.81	116.4%	801.21	116.6%	1,045.59	119.0%
	주유소	1,432.25	104.9%	870.99	115.8%	873.66	115.3%	1,079.73	118.9%
2006년	세전가	535.05	108.7%	602.56	113.1%	597.47	113.2%	606.91	114.4%
	정유사	1,406.91	103.5%	857.63	106.3%	852.03	106.3%	1,185.85	113.4%
	주유소	1,492.43	104.2%	931.89	107.0%	936.21	107.2%	1,228.17	113.7%
2007년	세전가	535.05	100.0%	602.56	100.0%	597.47	100.0%	606.91	100.0%
	정유사	1,433.56	101.9%	837.89	97.7%	835.46	98.1%	1,199.78	101.2%
	주유소	1,525.87	102.2%	932.16	100.0%	936.53	100.0%	1,272.73	103.6%
2008년	세전가	731.43	136.7%	751.85	124.8%	833.7	139.5%	855.39	140.9%
	정유사	1,554.41	108.4%	929.5	110.9%	1,019.54	122.0%	1,468.63	122.4%
	대리점	1,601.97	105.0%	1,068.25	114.6%	1,075.47	114.8%	1,495.95	117.5%
	주유소	1,692.14	231.3%	1,238.66	164.7%	1,238.62	148.6%	1,614.44	188.7%
10년간 평 균	**세전가**	**439**	**110.7%**	**461**	**109.6%**	**458**	**115.0%**	**464**	**112.0%**
	정유사	**1,299**	**104.1%**	**659**	**107.8%**	**656**	**111.8%**	**882**	**112.0%**
	대리점	**1,370**	**103.6%**	**738**	**107.7%**	**734**	**110.3%**	**921**	**110.7%**
	주유소	**1,379**	**116.3%**	**755**	**112.7%**	**750**	**113.6%**	**933**	**117.9%**

※자료출처 : 한국석유공사

○ 전력비 인상율

전력비의 경우 최근 10년간 평균 인상율은 4.5%로 조사되었다.

표 65. 전력비 인상율

(단위: 원/kWh)

기간	개월	기본 요금	시간대		여름철 (7~8월)	봄가을 (4,5,6,9월)	겨울철 (10~3월)	년간 평균	인상율
1999.01.01 ~ 2000.11.14	12	4,280	경부하	10	31.50	31.50	31.50	31.50	107.9%
			중간부하	9	67.20	49.40	56.90	56.12	107.9%
			최대부하	5	115.20	67.20	78.90	81.05	107.9%
			평균		62.33	45.65	50.90	47.31	100.0%
2000.11.15 ~ 2002.05.31	19	4,490	경부하	10	33.10	33.10	33.10	33.10	105.1%
			중간부하	9	70.60	51.90	59.80	58.97	105.1%
			최대부하	5	121.00	70.60	82.90	85.15	105.1%
			평균		65.48	47.96	53.49	53.64	113.4%
2002.06.01 ~ 2003.02.28	9	4,290	경부하	10	31.70	31.70	31.70	31.70	95.8%
			중간부하	9	67.50	49.60	57.20	56.38	95.6%
			최대부하	5	115.70	67.50	79.30	81.43	95.6%
			평균		62.63	45.87	51.18	51.32	95.7%
2003.03.01 ~ 2005.12.27	34	4,400	경부하	10	32.50	32.50	32.50	32.50	102.5%
			중간부하	9	69.20	50.80	58.60	57.77	102.5%
			최대부하	5	118.60	69.20	81.30	83.48	102.5%
			평균		64.20	47.01	52.45	52.60	102.5%
2005.12.28 ~ 2007.01.14	13	4,560	경부하	10	33.70	33.70	33.70	33.70	103.7%
			중간부하	9	71.80	52.70	60.80	59.93	103.7%
			최대부하	5	123.00	71.80	84.30	86.58	103.7%
			평균		66.59	48.76	54.40	54.55	103.7%
2007.01.15 ~ 2007.03.31	3	4,790	경부하	10	35.40	35.40	35.40	35.40	105.0%
			중간부하	9	75.30	55.30	63.80	62.88	104.9%
			최대부하	5	129.10	75.30	88.50	90.87	105.0%
			평균		69.88	51.18	57.11	57.26	105.0%
2007.04.01 ~ 2007.12.31	9	4,790	경부하	10	35.40	35.40	35.40	35.40	100.0%
			중간부하	9	75.30	55.30	69.20	65.58	104.3%
			최대부하	5	129.10	75.30	96.00	94.62	104.1%
			평균		69.88	51.18	60.70	59.06	103.1%
2008.01.01 ~ 2008.11.12	11	4,900	경부하	10	36.50	36.50	36.50	36.50	103.1%
			중간부하	9	75.30	55.30	69.20	65.58	100.0%
			최대부하	5	129.10	75.30	96.00	94.62	100.0%
			평균		70.34	51.63	61.16	59.51	100.8%
2008.11.13 ~ 2009.06.26	7	5,360	경부하	10	40.30	40.30	40.30	40.30	110.4%
			중간부하	9	82.20	60.50	75.10	71.42	108.9%
			최대부하	5	140.50	82.20	104.20	102.92	108.8%
			평균		76.89	56.60	66.66	65.01	109.2%
2009.06.27 ~ 2009.08.31	2	5,370	경부하	10	44.20	44.20	44.20	44.20	109.7%
			중간부하	9	86.80	63.90	79.30	75.42	105.6%
			최대부하	5	148.30	86.80	110.00	108.65	105.6%
			평균		81.86	60.46	71.07	69.33	106.6%
99.1.1~09.8.31	**137**	**4,490**		**평균**	**65.39**	**47.92**	**54.21**	**53.65**	**104.02%**

※자료출처 : 한국전력공사

(3) 이자율

원금에 대한 이자의 비율인 이자율은 원금에 대한 백분율로 표시하는 것을 통례로 하며, LCC 분석에서 할인율을 산출하기 위해서 조사한다. 이자율은 일반적으로 국고채 10년 평균값을 적용하며, 조사된 내용은 아래 표와 같다.

표 66. 시장금리 상승률

단위 : 연리%

계정항목코드별	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	평균
회사채(장외3년)	-	11.74	11.38	10.44	8.88	9.16	8.71	8.19	8.4	9.86	9.6
회사채(장외3년)	8.86	9.35	7.05	6.56	5.43	4.73	4.68	5.17	5.7	7.02	6.5
산금채(3년)	8.35	8.69	6.35	6.11	4.83	4.27	4.44	4.98	5.5	6.19	6.0
산금채(1년)	7.53	7.92	5.55	5.29	4.53	3.98	4.06	4.75	5.33	5.92	5.5
통안증권(2년물)	8.14	8.24	5.74	5.72	4.59	4.09	4.24	4.83	5.33	5.47	5.6
통안증권(364일물)	7.42	7.81	5.45	5.19	4.42	3.92	3.97	4.67	5.21	5.33	5.3
국고채(10년)	-	7.76	6.86	6.59	5.05	4.73	4.95	5.15	5.35	5.57	5.8
국고채(5년)	8.59	8.67	6.21	6.26	4.76	4.35	4.52	4.96	5.28	5.36	5.9
국고채(3년)	7.69	8.3	5.68	5.78	4.55	4.11	4.27	4.83	5.23	5.27	5.6
국고채(1년)	-	7.69	5.45	5.19	4.42	3.92	3.97	4.68	5.19	5.12	5.1
국민주택채권1종(5년)	8.72	8.5	6.66	6.47	4.93	4.45	4.66	5.07	5.42	5.79	6.1
CP유통수익률(91일)	7.25	7.44	5.6	4.93	4.62	3.97	3.81	4.65	5.4	6.22	5.4
CD유통수익률(91일)	6.81	7.08	5.32	4.81	4.31	3.79	3.65	4.48	5.16	5.49	5.1
담보콜금리전체	-	-	-	-	4	3.66	3.4	4.3	4.86	5.04	4.2
담보콜금리(1일물)	-	-	-	-	3.87	3.59	3.41	4.3	4.86	5.05	4.2
무담보콜금리 전체	5	5.16	4.69	4.2	4	3.64	3.33	4.19	4.77	4.78	4.4
무담보콜금리(1일물)	4.98	5.13	4.68	4.18	3.98	3.62	3.32	4.18	4.77	4.78	4.4
무담보콜금리(중개)	4.99	5.14	4.7	4.19	3.98	3.62	3.32	4.19	4.77	4.78	4.4
무담보콜금리(투신)	4.92	5.06	4.64	4.17	3.96	3.62	0	0	0	0	4.4
무담보콜금리(은행간)	4.88	4.99	4.55	4.16	4.0	3.66	3.35	4.14	4.65	4.77	4.3

※자료출처 : 통계청

(4) 할인율

LCC에 적용되는 할인율은 인플레로 상실된 원금의 보상이 포함되며, 할인율에 대한 공통적인 근사 값은

할인율 = 명목이자율 - 예상되는 물가상승률 비율

할인율은 물가상승률로 상실된 가치이다.

표 67. 할 인 율

단위 : 연리%

년도	소비자물가 상승률(%)	명목 이자율		할인율	
		국고채 10년	국고채 5년	10년	5년
1999	0.8	-	8.59	-	7.79
2000	2.3	7.76	8.67	5.46	6.37
2001	4.1	6.86	6.21	2.76	2.11
2002	2.7	6.59	6.26	3.89	3.56
2003	3.5	5.05	4.76	1.55	1.26
2004	3.6	4.73	4.35	1.13	0.75
2005	3.8	4.95	4.52	1.15	0.72
2006	2.2	5.15	4.96	2.95	2.76
2007	2.5	5.35	5.28	2.85	2.78
2008	4.7	5.57	5.36	0.87	0.66
평균	2.92	5.80	5.90	2.52	2.10

※자료출처 : 통계청

(5) 내용연수

내용연수의 종류는 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명, 사회적 수명, 법적수명으로 구분 할 수 있다. 법적인 내용연수로 법인세법 시행규칙 제15조 3항에 명시하고 있다. 또한 한국철도공사 고정자산 회계지침에서도 철도차량의 내용연수를 명시하고 있다.

- 물리적 내용연수(Physical Life) : 기능을 가진 장비를 정상적인 기능을 발휘 할 수 있도록 유지 관리하여 물리적 노후화에 결정
- 기능적 수명(Function Life) : 원래의 기능을 충분히 달성하지 못하여 결정
- 경제적 수명(Economic Life) : 기술 발달 등으로 인해 경제성이 현저히 떨어지는 것에 의해 결정
- 사회적 수명(Social & Legal Life) : 사회발전에 따른 사용 가치저하로 인해 결정
- 법적 수명(Social & Legal Life) : 감가상각 연한으로 결정

○ 법인세법에 의한 내용연수

표 68. 법인세법 시행규칙

제15조(내용연수와 상각률) ①영 제28조제1항 제1호의 규정에서 “기획재정부령이 정하는 시험연구용자산“이라 함은 별표 2에 규정된 자산을 말한다.<개정 2008.3.31> ②영 제28조제1항 제1호에서 “기획재정부령이 정하는 내용연수“라 함은 별표 2 및 별표 3에 규정된 내용연수를 말하고, 동호에서 “기획재정부령이 정하는 상각방법별 상각률“이라 함은 별표4에 규정된 상각률을 말한다.<개정 2008.3.31> ③영 제28조제1항 제2호에서 “기획재정부령이 정하는 기준내용연수“ 및 “기획재정부령이 정하는 내용연수범위“라 함은 각각 별표 5 및 별표 6에 규정된 기준내용연수 및 내용연수범위를 말한다.<개정 2008.3.31>

표 69. 법인세법에 의한 내용연수

업종별자산의 기준내용연수 및 내용연수 범위표(제15조제3항 관련)

구분	기준내용연수 및 내용연수범위(하한~상한)	적용대상자산
1	5년 (4년~6년)	농업 및 임업, 광업, 제조업, 건설업, 도매 및 소매업, 운수업(단, 철도운송업 및 도시철도 운송업 구분5 적용), 금융 및 보험업, 부동산 및 임대업, 사업서비스업, 공공행정, 국방 및 사회보장행정, 교육 서비스업, 보건 및 사회복지사업, 오락, 문화 및 운동관련산업, 기타 공공, 수리 및 개인서비스업, 가사서비스업, 국제 및 외국기관
2	8년 (6년~10년)	제조업, 숙박 및 음식점업, 운수, 창고 및 통신업
3	10년 (8년~12년)	어업, 광업, 제조업
4	12년 (9년~15년)	제조업, 운수업(수상 운송업, 항공 운송업)
5	20년 (15년~25년)	전기, 가스 및 수도사업

비고

1. 이 표는 별표 3이나 별표 5의 적용을 받는 자산을 제외한 모든 감가상각자산에 대하여 적용한다.

2. 내용연수범위가 서로 다른 2 이상의 업종에 공통으로 사용되는 자산이 있는 경우에는 그 사용기간이나 사용정도의 비율에 따라 사용비율이 큰 업종의 기준내용연수 및 내용연수범위를 적용한다.

※자료출처 : 법인세법 시행규칙 [별표 6]

○ 한국철도공사 고정자산 회계지침 내용연수

표 70. KTX 추진제어장치 내용연수

장치명	규격	교환주기	장치명	규격	교환주기
모터블록	MOTOR BLOC	15	접촉기	ISW-PFC-01	10
제어랙	MBU RACK	10		K-TT-BK-01	6
제어카드	BFAS	10		K-TT-BK-02/03	6
	CDJ	10		K-BK-01	6
	ESB1	10		K-BK-02	6
	ESB2	10		CMB-I	6
	ESB3	10		CMB-P	6
	IFPS	10	계전기(C형)	C.009.72.15	5
	ISY(1, 2)	10		C.027.72.11B	5
	IMON	10		C.045.72.69	5
	INCA	10		C.054.72.8D	5
	AIT(1-1,1-2,1-3)	10	계전기(H형)	H형 계전기(WZY)	5
	AIT4	10		H형 계전기(WZX)	5
	B153	10		H형 계전기(WUU)	5
	ESL1	10		H형 계전기(WVU)	5
	ESL2	10		H형 계전기(WWU)	5
	ESL3	10		H형 계전기(ZWY)	5
	MV	10		H형 계전기(YWY)	5
	CAL(3-1, 3-2)	10	콘덴서	2㎌ 오일콘덴서	12
	CAL2	10		108㎌ 오일콘덴서	12
	DIAL	10		235㎌ 오일콘덴서	12
	CAL1	10		2200㎌ 전해콘덴서	12
	CRVB	10		10000㎌ 전해콘덴서	12
	ACOB	10	전력변환장치	CV-TT	10
	AG	10		IR-TT	10
	MAFV	10		CO-EX	10
	TDSV	10		CO-BK	10
	FCVV	10		CV-PFC	10
	SVTB	10		IR-MB-VT-01	10
	REDM	10	격자저항기	ZB-BK-01	12
	ASB	10		ZB-BK-02	12

※자료출처 : 한국철도공사 고정자산 회계지침

(6) 보수교체율

○ RAMS 개념

RAMS 업무는 개발 장비의 최초 개념 설계부터 폐기시(전 Life Cycle)까지 수행되는 업무로 설계, 시험 및 운용 자료를 수집/분석 Database화하여, RAMS 요소별 예측 및 분석활동을 실시하여 설계지원/평가, 설계개선 및 대책방안 도출, 정비에 필요한 예비품 산출 분석 등의 업무를 지원하는 체계공학 업무 중 하나이다. RAMS 업무는 통상 R&M, RAM등으로 통용된다.

- Reliability(신뢰도)
- Availability(가용도)
- Maintainability(정비도)
- Safety(안전성)

○ 신뢰도(Reliability)

신뢰도는 시스템, 부품 등이 주어진 조건하에서 규정된 기간 동안 의도한 기능(성능)을 고장 없이 수행 할 확률

○ 신뢰도 척도

- MDBF(Mean Distance Between Failure)
- MTBF(Mean Time Between Failure)
- 고장률(고장회수/106)

$$MTBF = \frac{\text{총운영시간}(hour)}{\text{총결함발생수}}$$

○ 가용도(Availability)

어떤 주어진 시간 t에서 차량이 가용할 확률을 나타내는 것으로, 운행준비태세(OPERATIONAL READINESS - 운용능률)를 말한다.

○ 가용도 척도

- 운용 가용도(Ao)
- 성취 가용도(Aa)
- 고유가용도(Ai)

$$Ai = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

마) 의사결정

(1) 초기투자비

○ 계획, 설계, 시공, 구입 등 일반적으로 건물의 입주 이전 또는 시스템이 정상적인 가동 전에 발생하는 비용을 의미하며, 현재의 시점에서 비용이 발생하므로 산정하는데 큰 어려움이 없다. 일반적으로 초기 투자비용은 공급자 또는 도급자 에게 가격을 조회하거나 다양한 건설물가 현황자료로부터 쉽게 얻을 수 있으며 세부적인 항목은 다음과 같다.

○ 계획 및 설계비의 비용 산정 : 전철전력 시설물의 경우 [전력기술관리법 운영요령 제18조 제2항] 전력기술인 용역대가기준은 별표1 [전력시설물공사 설계 및 설계감리 요율]에서 공사비에 따른 설계요율에 따라 산정한다.

○ 자재비용의 산정 : 국내서 발생하는 물가정보, 물가자료, 가격정보 또는 자재공급사에 의뢰하여 견적서로 대체 할 수 있다.

○ 설치비용의 산정 : 표준품셈에 공종에 따른 설치 인원공수에 공사부분의 노임단가를 적용하거나 견적서로 대체 할 수 있다.

○ 공사원가계산 제비율 적용기준 : 공사비의 경우 조달청에서 제공하는 공사원가계산 제비율에 따라 자재비와 설치비에 추가하여 산정한다.

○ 철도차량의 경우 : 철도차량제작사의 견적자료로 대체 할 수 있다.

(2) 유지관리비

○ 유지관리 인건비 : 철도차량 유지관리에 필요한 인건비는 사업주에 따라 인건비가 상이 하므로 한국철도공사 [직원평균보수]의 인건비를 적용

○ 유지관리 비용

- 일회성 비용(Single Costs) 한 번 혹은 그 이상 발생하는 비용이며, 매년 주기적으로 발생하지는 않는다. 일반적으로 1년 이상의 기간을 두고 스케줄에 따라 발생하는 초기투자비용, 교체비용, 잔여가치가 포함된다.
- 매년 발생하는 비용 : 서비스 기간 동안에 매년 주기적으로 발생하는 비용이며, 일정한 비용, 혹은 일정한 가격 상승율을 가지고 주기적으로 발생한다.
- 자산 교체비용(Capital Replacement Costs) : 자산의 교체 시기와 횟수는 전적으로 시스템의 내용연수(Service Life)에 달려 있다.
- 잔여가치(Residual Value) : 잔여가치는 사용연한이 지났거나 분석기간 중 교체하고자 할 때 남아있는 자산의 가치를 의미한다. 잔여가치는 아주 작거나 혹은 경우에 따라서는 '-' 일수도 있다. 일반적으로 시스템의 잔여가치는 사용연한에 대한 실제 사용기간의 비례에 따라 선형적으로 계산된다.

(3) 폐기 처분비

○ 해체・폐기비(Remaining Value & Removal Costs) : 잔여가치와 폐기처분비로 구성되며 사용연한이 지났거나 분석기간 중 교체하고자 할 때 남아있는 자산의 가치를 의미한다. 잔여가치는 아주 작거나 혹은 경우에 따라서는 '-' 일 수 있다.

바) 종합분석

(1) 민감도 분석 (Sensitivity Analysis)

○ LCC 분석은 미래의 가격과 그 변동폭을 예상하여 산정하는 것이므로 처음부터 불확실성의 요소를 가지고 시작한다고 볼 수 있다.

예를 들어 물가변동이나 에너지가격의 변동 등 입력 데이터의 대부분이 현재의 자료를 가지고 미래의 값을 예측하는 것이기 때문에 그 오차로 인하여 잘못된 판단을 내릴 수도 있다.

이런 불확실성의 요소들을 극복하기 위한 하나의 수단으로서 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 수행할 수 있다.

민감도 분석이란 LCC 분석을 위하여 사용된 각각의 입력 자료를 일정범위 내에서 변화시킴으로써 입력 값의 미세한 변화가 출력 값에 얼마만큼의 영향을 미치는가에 대하여 평가함으로써 혹시 잘못 예측된 입력 값이 LCC 분석결과에 미칠 영향도를 분석하여 발생 가능한 투자결정의 오류를 상세 예방하고자 하는 데 목적이 있다.

예를 들어 앞서 수행한 LCC 분석의 입력 값 중에서 하나씩 차례대로 10%씩 인상하여 LCC 분석을 수행하였을 때 입력 값의 인상으로 인해 출력 값에 가장 큰 변동을 초래하는 변수가 무엇인지를 찾아내고, 이에 대해서 보다 세심한 주의를 기울여 가며 추가적인 LCC 분석을 수행함으로써 오류의 가능성을 최소화하고자 하는 것이다.

○ 민감도 분석은 다른 입력 값들에 비해서 에너지 비용을 10% 인상했을 때 출력 값의 변동이 가장 크며, LCC 분석에서 에너지 사용량의 정확한 계산을 비롯하여, 가격, 요율체계, 최대수요를 초과하였을 경우의 부과금, 가격변동율 등과 관련하여 조금이라도 부적절한 예측이 있었더라면 LCC 분석결과의 오차로 인하여 잘못된 의사결정의 여지가 잠재하고 있음을 알아야 한다.

○ 따라서 LCC 출력 값에 가장 많은 변화를 주는 값에 대하여 민감도 분석을 실시한다.

(2) 정성적 요인 분석

○ 정석적요인의 중요한 요소는 정부정책, 민원발생 유무 등에 대한 분석이 반드시 필요하며, 기능, 성능의 요소가 아닌 요인에 의해 연기 될 수 있기 때문이다.

• 정부 정책 : 온실가스와 지구온난화에 따라 국가 온실가스 중기(2020년)감축목표에 설정 추진계획에 따르면 불소 가스계 사용축소, LED 보급 등이 포함 되어 있고, 에너지이용 합리화법에는 일정규모 이상의 건축물의 경우는 신재생 에너지를 의무화 하고 있다.

사) 최종분석

(1) 비용가치 환산의 개념

• 프로젝트와 관련한 비용은 형태에 따라서 분석기간 중 각기 다른 시점에서 발생하기 때문에 LCC 분석에 앞서 미래에 발생하게 될 비용을 현재가치로 환산함으로써 이를 통합하여 하나의 값으로 표현할 수 있어야 상호·비교가 가능하게 된다.

미래의 비용을 현재의 가치로 전환하기 위한 가치변동율(Discount Rate)은 투자의 시점에서 볼 때 시간이 경과함에 따른 화폐가치에 기본을 두고 있다.

㈎ SPV(Single Present Value) 연복리에 의한 미래 비용의 합계

정해진 이자율에 따라 현금을 투자하였을 때, 미래의 어떤 시점에서의 가치는 복리(Compound Interest)의 수학적 개념에 따라 계산할 수 있다. 초기투자비 를 이자율(i)에 따라 t년 동안 투자 하였다고 가정하면 아래식에 의해서 얻을 수 있다.

반대로 이자율(i)을 알고, t년 후의 가치를 알고 있다면 다음과 같이 현재의 가치를 산정할 수 있다. 현재 가치개수 : n년후에 1회씩만 발생

일반적으로 할인율(d)은 이자율(i)과 수식의 관점에서 유사하게 사용될 수 있다.
따라서 t년 후에 받게 될 금액 Ft를 현재의 가치(PV)로 환산하면 아래의 식에서 얻을 수 있다.

마찬가지로 현재가(PV)와 미래의 가치(Ft)를 알고 있다면, 분석기간의 할인율(d)은 다음과 같이 구할 수 있다.

㈏ UPV(Annually Recurring Uniform Present Value) 연금 현가계수

매년 같은 형태로 발생하는 미래의 비용을 현재의 가치로 환산하려면, 다음의 수식에 의해서 구할 수 있다.

예로 할인율(d)이 8% 이고, 매년 100달러의 비용이 발생한다면 향후 10년 동안 발생하게 될 총 비용의 현재가치는 다음과 같다.

여기서 6.710은 UPV(Uniform Present Value factor)이다.

㈐ NPV (Annually Recurring Non-Uniform Present Value)

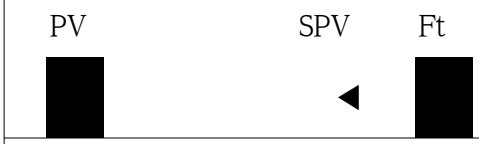
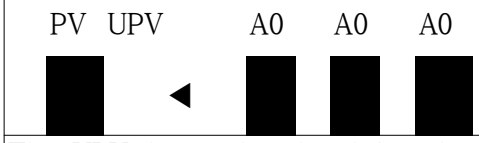
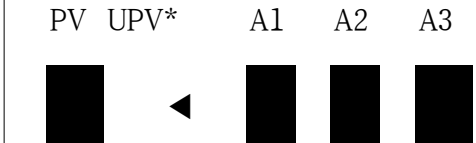
매년 일정한 비율의 가격 상승율을 가지고 비용이 발생한다면, 미래에 발생하게 될 총 비용의 현재가치는 아래 식에 의해서 구할 수 있다.

여기서, e는 가격 상승율(Price Escalation Rate)이며, 이것은 일반 물가상율(General Inflation Rate)에 대한 상대적인 가격 변동율을 의미한다.

예를 들어, 할인율(d)이 8%이고, 첫해에 100달러의 비용이 발생한 후 매년 3%의 가격 변동율(e)로 10년 동안 비용이 발생하였다면, 발생한 총 비용의 현재가치는 다음과 같다.

여기서 7.777은 UPV*(Modified Uniform Present Value factor)이다. 이상 살펴본 바와 같이, 비용 발생의 유형별 가치환산의 개념을 도식적으로 정리하면 LCC 분석을 위한 비용 형태별 가치의 환산 요소별 비용의 산정 식과 같다.

㈑ LCC 분석을 위한 비용 형태별 가치의 환산법

PV formula for one-time amounts SPV factor는 t년이 지난 후 발생하는 어떤 미래의 비용을 현재가치(PV)로 환산하는 데 사용된다. $PV = F_t \times \frac{1}{(1+d)^t}$	 The SPV factor for d = 3% and t = 15 years is 0.642
PV formula for annually recurring uniform amounts UPV factor는 매년 주기적으로 발생하는 일정 비용 A0 을 현재가치(PV)로 환산하는 데 사용된다.	 The UPV factor for d = 3% and n = 15 years is 11.94.
PV formula for annually recurring non-uniform amounts UPV* factor는 일정한 가격 변동율 (e)을 가지고 매년 주기적으로 발생하는 비용을 현재가치(PV)로 환산할 때 사용된다. (예 : 가격이 일정하게 증가하는 에너지 비용)	 The UPV* factor for e = 2%, d = 3%, and n = 15 years is 13.89.
PV formula for annually recurring energy costs FEMP UPV* factor는 불규칙적인 가격변동율을 가지고 매년 주기적으로 발생하는 비용을 현재가치(PV)로 환산 할 때 사용된다. (예 : 가격이 불규칙하게 증가하는 에너지 비용)	

(2) 요소별 비용의 산정

- 구입, 운영, 유지관리 및 보수, 그리고 건물이나 장비 처분에 이르기까지 다양한 종류의 비용이 관련되어 있다. 에너지 절약을 목적으로 LCC 분석을 수행할 때, 이러한 비용의 요소 중에서 어떤 비용을 분석의 대상으로 삼을 것인지가 우선적으로 결정되어야 한다.
- 이를 위해서는 각각의 대안에 대한 경제적인 효과를 검토할 필요가 있으며, 가능한 범위 내에서 경제적 효과는 비용의 개념으로 정량화되어야 한다.

LCC 분석을 위해서 프로젝트와 관련된 모든 비용을 분석의 대상으로 삼을 필요는 없다. 의사결정에 영향을 미칠 수 있으며, 올바른 투자결정을 하기 위해서 반드시 포함되어야 할 만큼 충분히 많은 비용이 투입되는 항목에 대해서 분석의 대상으로 삼는다.

모든 대안들 사이에서 비슷한 내용으로 지출되는 비용의 경우에는 LCC 분석에서 생략되므로 의사결정에 어떠한 역할도 하지 못한다.

따라서, 프로젝트 대안의 LCC 분석에서 확실하게 차이를 들어낼 수 있을 만큼 많은 비용이 지출되는 항목에 대하여 분석의 대상에 포함한다.

LCC 분석을 수행함에 있어서 프로젝트 비용의 연관성이나 중요성을 평가하는 것은 상당부분 기술적인 판단의 문제이다.

(3) LCC 산출의 비용가치의 환산법

- LCC분석이란 기본적으로 많은 대체 안이 시간의 경과에 따라 어떠한 경제적 영향을 미치는가를 조사하고 그것을 평가하는 것이다. 일반적으로 의사결정을 할 때 에는 현재비용과 장래비용 양자를 취급 할 필요가 있다. LCC의 산정식에는 비용가치의 환산개념식에서 현가법과 연가법으로 구분하며 대부분 현가법을 적용하여 LCC를 산정 한다.

㈎ 현가법(Present Value Method)

현가법에서는 현재와 미래의 모든 비용을 현재가치(현가)로 환산하며 특히 초기비용은 모두 현가로 표시된다. 이를 위한 식은 반복비용(매년 똑같이 발생하는 비용)과 비 반복비용 (몇 년인가 후에 단지 1번밖에 발생치 않는 비용)을 변화하기 위한 것이다.
반복비용 산정방법의 식은

(연금 현가개수)

여기서 PV : 현재가치의 합계(현가), AO : n 년간에 걸쳐 계속되는 일정한 기말지불(수령)액, d : 연이율(기대하는 최소한의 이익률), n : 년수

㈏ 연가법(Annual Value Method)

이 방법은 초기비용과 비반복 비용을 매년의 비용으로 변화하는 방법이다. 초기비용의 변환공식으로는 아래식이 사용된다.

x(자본회수계수)

여기서 PV : 연가, A0 : 초기투자액

다. 기존 KTX 추진제어장치 LCC분석

1) KTX 추진제어장치 PBS

2) KTX 추진제어장치 CBS

총 수명주기비용을 예측하기 위해 총 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. 본 연구에서는 KTX 추진제어장치만을 고려하기 때문에 획득비용에서 추진제어장치 구입비만을 사용하기로 한다.

소유비용은 운영비 및 유지보수 비용으로 구분할 수 있으며, 운영비는 에너지 소모비용 및 기타비용 등으로 구성되어 있다. 유지보수비용은 예방정비 및 고장정비에 대해 각각 계산하여 이를 종합하여 시스템에 대한 유지비로 계산한다. 또한 개량비용은 유지보수 비용의 많은 부분을 차지하고 있는 부분으로 시스템 도입 단계에서는 고려되지 않으나 시스템 운영 중 LCC 분석을 위해서는 별도의 정의가 필요한 부분이다.

표 71. KTX 차량 추진제어장치의 CBS

비용요소			내 용
획득비용	추진제어장치 구입비		추진제어장치 도입 비용
	초기 유지보수장비 구입비		추진제어장치 유지보수에 필요 장비 구입비
	교육훈련비		차량 운영에 필요인원 교육 비용
	문서화비		차량 도입 및 운영에 필요한 문서 생성비용
	예비품비		초기 도입되는 예비품 및 소모품 비용
	시운전비	전력비	추진제어장치 도입시 차량의 안정화를 위해 필요한 시운전비
		예방정비비	
		고장정비비	
		검수 인력비	
	검사비	제작검사	철도안전법에서 정한 차량 제작/성능 검사비
		성능검사	
소유비용	운영비	전력비	차량 유지보수에 소비되는 전력사용
		기타	운영과 유지보수에 따른 공구비
	예방정비비		가용상태 유지를 위한 유지 보수비
	고장정비비		가용상태로 회복을 위한 유지 보수비
	개량비용		차량 성능을 개선하기 위해 소요되는 비용

3) KTX 유지보수 체계

가) 유지보수의 목적

KTX 차량의 유지보수 목적은 운영자가 양질의 서비스와 안전을 보장하고 운송업의 안전성을 제공하는 설비를 갖추어 이용고객들에게 편의를 제공하는 데 있다. 이러한 정책은 KTX 전체 LCC 비용을 최적화하고 고장 발생을 예방하는 목적으로 하는 활동(예방 유지보수 활동)과 고장 또는 오동작의 영향을 수리하는 목적으로 하는 활동(고장수리 활동) 사이를 나누는 데 있다. 또한 유지보수의 종류는 철도차량의 설계 및 사용과 마찬가지로 철도차량과 고정설비에 대한 특수한 요인을 고려하여야 한다. 그러므로 철도차량의 성향 분석에 대한 선택 결과는 다음과 같은 영역에서 정의되는 목적과 양립하여야 한다.

- 운행 및 승객 안전
- 신뢰성(reliability) : 운행 중 사고의 최소 비율
- 가용성(availability) (reduced down time) : 운용율 향상 (정지시간 최소화)
- 여객 편의 제공

나) 예방 유지보수 종류

(1) 임시 예방 유지보수

이러한 종류의 예방유지보수는 사전 정의된 작업에 종속된다. 이 방법은 각 부품의 동작조건의 행로를 유지하는 동안에 수반되는 각 부품의 전체 잠재수명을 활용한다. 그러므로 임시 예방 유지보수는 실시간에 수집된 실행정보 및 경험정보에 따르는 유지보수이다.

(2) 정기 예방 유지보수

이 예방 유지보수는 운영 정지시간의 비용이 교체 비용과 비교하여 어울리지 않게 클 때 특히 안전성 및 규칙성에 관련된 부품에 적용한다. 이것은 또한 서로 다른 부품들에 대하여 동시 작업이 가능하도록 정비 빈도가 동일한 정지 기간 동안에 작업할 수 있는 부품을 그룹화 하여 실행될 수 있도록 하는데 활용된다. 이 방법은 철도차량의 양태, 마모상태, 기능저하 모드 및 고장 사이의 평균시간(MTBF)에 대한 지식이 필요하다.

다) 예방 유지보수 주기

유지보수 조직 체계는 정비 범위 및 종류에 따라 4단계의 예방 작업 수준으로 구성된 하나의 사이클로 구성된다.

(1) Level 1

정기 운행 중 검사로 특수공구를 사용하지 않고 일반적인 기능인력이 운행 동안 발생하는 운행안전에 영향을 줄 수 있는 불규칙하고 우발적인 고장을 찾아내는 검수단계

(2) Level 2

전문인력이 예정된 검수 주기와 동일이상 범위까지 운행 서비스를 달성 할 수 있도록 사전에 정의된 신뢰성 수준을 보장하기 위한 철도차량 또는 부품의 정기 주기검수

(3) 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

(4) Level 4

분해된 조립체 또는 부품과 구조적인 장치(차체)에 대한 유지보수 작업으로 동일한 가동조건 및 승차감을 유지하도록 신품과 같은 기능을 제공하도록 계획된다. 이러한 유지보수 작업은 일반적으로 해당 조립체 또는 부품의 개조작업을 실행하는 수단

이러한 체계는 소모성 예비품(물, 모래 등)을 보충하고, 내부, 외부 청소작업 뿐만 아니라 화장실을 비우는 목적에서 규칙적이거나 또는 임시 운행 중 서비스로 완성된다. 이 사이클에 정의된 유지보수 작업의 빈도는 경과기간(예:6개월마다) 또는 실제 활용 단위(예: 주행거리, 가동시간)로 표현될 수 있다. 그 선택은 기본적으로 관련된 주기에 종속되는 같은 부류의 구성요소에서 운행하는 동안에 예측 또는 관찰되는 불일치에 따른다. KTX의 규칙적이고 임시 예방유지보수 작업은 차량의 주행키로에 기초한다. 그러나 차량의 가동 및 정지 문제와 연관되어 있기 때문에 시간요소(time factor)는 주행키로와 관련해서 중요시 된다. (예외 SWT)

예를 들면 RGI는 정상적으로 매 20,000 km 마다 도래하지만 만일 편성이 여러 날 동안 어떤 이유로 인하여 운행하지 못하면 RGI에 대한 결정인자는 차량의 주행거리가 20,000km 가 안되더라도 14일이 된다.

라) 주요 약어 및 정의

(1) 점검진단

- 일상검수(Examination in Service (ES))

철도차량이 차량운행 및 여객, 차량 자체의 안전에 대한 어떠한 위험도 없이 서비스를 마치고 되돌아올 수 있는 것을 보장하기 위한 것이다. 이 검수는 서비스 중의 차량의 상태를 추적하는 것이 필요한 것이 아니라 운행 선에서 발생하는 불특정한 오동작 또는 기능 이상을 감지하기 위하여 전문적인 자격이 주어지지 않은 사람도 할 수 있는 감시활동으로 구성된다.

- 승차감 검사(Comfort Examination (CE))

이 검수는 고객의 입장에서 승차감 구성요소의 상태를 확인하고 사전 정의된 승차감 기준이 더 이상 만족되지 않을 경우 즉시 교정하는 것을 목적으로 한다.

- 체계적 편성검사(Systematic Works on Trainset)

정기검수 작업 외 차량의 운행기간을 최적화하기 위한 검사이다.

- 기타주기검수(P-SWT)

각 장치의 예방적 유지보수 작업을 통하여 부품의 특정 수명 동안 미리 정해진 가용성과 신뢰성을 보장하기 위한 것이다.

- 계절검수(S-SWT)

계절적 유지보수 작업을 통하여 특별한 부품의 수명 동안 미리 정해진 가용성과 신뢰성을 보장하기 위한 것이다

(2) 정기검수

- 주행장치 검사(Running Gear Inspection (RGI))

주행장치에 영향을 줄 수 있는 변화 현상을 검수, 20,000km 또는 14일

- 제한검수(Limited Inspection (LI)) : 150,000~165,000km 또는 4개월

- 일반검수(General Inspection (GI)) : 300,000~330,000km 또는 8개월

- 전반검수(Full General Inspection (FGI)) : 600,000~660,000km 또는 16개월

마) 정기 예방 유지보수 주기

KTX 수명주기는 제작사에서 인도한 차량의 전체 상태를 통제하는 것을 허용하는 초기가동(Initial Start-up)과 함께 시작된다. 이 작업은 반드시 유지보수 작업을 해야 하는 것은 아니지만 차량의 수명은 시작된다. 영업운행 약 15년 후에 반수명 검사(Half life operation)가 예상 된다. 이때 레벨4(level-4) 유지보수 작업은 내외부 도장 복원, 의자 시트, 카펫 등 승차감 관련 구성품의 교체를 위해 중정비가 가능한 기지에서 수행된다.

KTX 최종 수명은 폐차작업(Final Life Operation) 라고 하며 각 장치의 폐기 작업이다. 이 작업은 경제적인 요인과 각 장치의 전체적인 상태와 함께 운행 이력에 따라 결정된다.

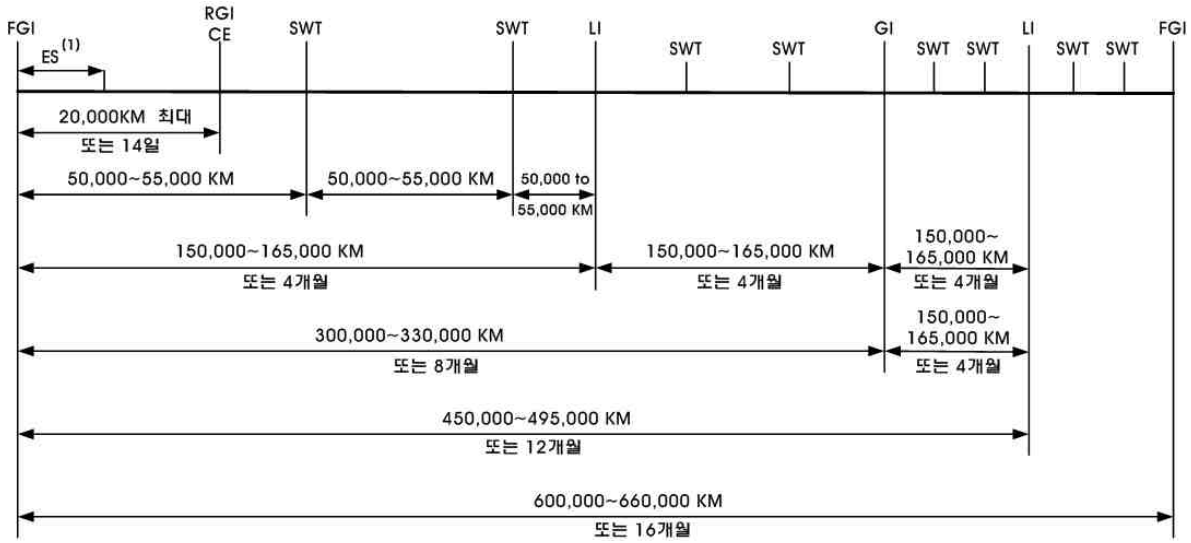


그림 241. 정기검수 주기

바) KTX 검수항목

KTX 검수항목은 한국철도공사 유지보수지침서를 참조하여 KTX 차량설비별로 나누어서 검수종별로 분류하여 정리하였다. KTX 검수항목 조사의 목적은 부품별 정기검수 주기와 예방정비 정보를 통해 각 검수종별의 검수비율을 파악하기 위함이다.



그림 242. KTX LCC 분석방법

(1) 차체 실내설비

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
동력차 및 객차 공통설비									
소화기	X	X					X	X	X
표지/안내장치		X					X	X	X
공기구 및 안전설비	X	X					X	X	X
옷걸이		X					X	X	X
내・외부 도장							X	X	X
안전손잡이		X					X	X	X
승강문							X	X	X
소화기문							X	X	X
천정 및 칸막이 내장제							X	X	X
바닥 카페트		X					X	X	X
내부햇치 및 플랩	X	X					X	X	X
외부햇치		X					X	X	X
기타부품	X	X					X	X	X
동력차설비									
동력차 옷걸이함								X	X
재떨이		X					X	X	X
발판		X	X				X	X	X
측면개방 창문							X	X	X
중앙부,전조등 장착링							X	X	X
접지봉								X	X
운전실 출입문							X	X	X
측면출입문							X	X	X
운전실 분전함문							X	X	X
운전실 의자		X					X	X	X
햇빛가리개		X					X	X	X
지붕 출입용 해치								X	X
해치접근용 운전실 비상밸브								X	X
전두부 연결기 카바		X					X	X	X
모서리창문 및 고정측면창문		X					X	X	X
전조등 유리		X					X	X	X
전면창 유리		X					X	X	X
객차설비									
전화 및 팩스부스							X	X	X
유리칸막이							X	X	X
비상창,행선표시기창 및 패널		X					X	X	X

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
승무원실							X	X	X
거울	X	X					X	X	X
각종내장제							X	X	X
승무원실문							X	X	X
방화문								X	X
비디오 캐비닛문							X	X	X
통로의자		X					X	X	X
실내 조명장치문							X	X	X
복도설비									
자판기 쓰레기통	X	X					X	X	X
방열기 커버								X	X
통로의자 하부커버									X
승강문	X	X					X	X	X
배전반문									X
객실출입문	X	X					X	X	X
화장실문	X	X					X	X	X
장애자용 화장실문							X	X	X
객실/통로 선반								X	X
통로 내장제							X	X	X
220V 소켓커버		X					X	X	X
객실설비									
비상창유리 망치박스		X					X	X	X
커튼									X
1등실 의자	X	X					X	X	X
2등실 의자	X	X					X	X	X
블라인드(햇빛가리개)		X					X	X	X
의자탁자 및 받침대	X	X					X	X	X
간이탁자									X
간접조명기 그리드									X
객실선반									X
음식저장 설비	X	X		X			X	X	X
위생설비	X	X					X	X	X
화장지통		X					X	X	X
비누물통	X	X					X	X	X
화장실 쓰레기통문	X	X					X	X	X
장애자용 화장실 쓰레기통문		X					X	X	X
손건조기	X	X					X	X	X
전기장치									
튜브및전구	X	X					X	X	X

(2) 전기장치

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
동력차 및 객차 공통설비									
축전지충전기 및 충전기함									X
차량라인 연결케이블									X
CPC 및 TCP형 전공접촉기							X	X	X
대차헌팅 감지장치							X	X	X
축전지 퓨즈									X
예비퓨즈 및 전구								X	X
인터콤,알람,PA시스템							X	X	X
회전애자 및 링크								X	X
25 kV 차량라인								X	X
퓨즈홀더 및 블레이드 퓨즈									X
축전지 차단스위치									X
동력차 및 동력객차 공통설비									
알카리 축전지				X			X	X	X
모터 블록각장치							X	X	X
축전지 잠금장치									X
컨덴서								X	X
모터블록의 CMB형 접촉기							X	X	X
파워유니트(냉각통)								X	X
견인전동기				X			X	X	X
모터블록 냉각송풍전동기									X
30kVA 인버터								X	X
저항기								X	X
제동저항									X
역률개선장치 차단스위치									X
인덕터									X
복도조명							X	X	X
동력차에 설치된 장비									
접지봉								X	X
전류계								X	X
무선안테나									X
전화안테나									X
FM 안테나									X
보조블록 각장치							X	X	X
운전실 분전함								X	X
단락바								X	X

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
스위치박스(SB)									X
안전스위치 SW-SY-01							X	X	X
팬터그래프 선택스위치								X	X
CMB,CMA형 접촉기								X	X
다이오드								X	X
주회로차단기(VCB-01)							X	X	X
제어대 조명 및 안전설비 표시램프				X			X	X	X
적색후부표시등				X			X	X	X
지붕 절연애자 및 각장치	X		X				X	X	X
속도 및 지정속도표시기								X	X
TM9 견인제동 주간제어기							X	X	X
CP75 보조공기압축기 모터								X	X
주변압기(TFP)냉각송풍전동기									X
단상피뢰기							X	X	X
운전자 경계장치 패달									X
운전실 데스크 표지판								X	X
비콘 및 헤드라이트				X			X	X	X
지상-차상 무선장치							X	X	X
고압회로 접지스위치				X			X	X	X
알람 경보장치									X
필터유니트				X			X	X	X
계기용 변압기								X	X
주변압기							X	X	X
지상/차상정보전송장치(ATC)				X			X	X	X
지붕고압라인(단상)								X	X
전차선 및 축전지 전압계								X	X
보조블록300Kva인버터								X	X
객차설비									
납축전지				X			X	X	X
전자식 서비스 현시패널								X	X
객차 배전반								X	X
비디오 캐비닛									X
10번 객차 안전키 박스									X
객차 축전지함									X
330 kVA 인버터 방전선택기									X
KM302형 난방접촉기							X	X	X
45 RFSA형 접촉기							X	X	X
비디오 모니터								X	X
330 kVA 인버터 및 인버터함								X	X
음식물저장설비(Catering)				X			X	X	X
25 kV 지붕고압회로차단스위치							X	X	X

(3) 공기 제동장치

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
동력차 및 객차 공통설비									
공압회로	X		X				X	X	X
제동하프 커플링								X	X
제동표시기							X	X	X
압력계									X
신속커플링(Stabuli형식)									X
공기탱크									
공압현수장치									X
RP RA (주-보조공기통)									X
주공기/제동공기관차단콕크									X
차단콕크									X
혼합 제동컨트롤 패널차단 콕크									X
플랙시블호스									X
릴산(RILSAN)타입 플랙시블 호스									X
공기관									X
제동장치 각장치 확인							X	X	X
동력차에 설치된 장치									
브러쉬 홀더암							X	X	X
보조공기압축기								X	X
주공기압축기			X				X	X	X
운전실 전면창 와이퍼							X	X	X
제동밸브 필터								X	X
동력차 연결 공기호스								X	X
스프링식 주차 제동장치									X
운전실 전면유리 와이퍼 와셔액							X	X	X
제동컨트롤 레버								X	X
비상제동컨트롤 레버								X	X
압력게이지								X	X
와이퍼 및 와셔액 컨트롤 모듈								X	X
압력스위치									X
제습기(Maindrier)			X				X	X	X
정상-비상 회로선택기								X	X
보조공기압축기 안전밸브									X
주공기압축기 및 안전밸브									X
공압 경적밸브								X	X
비상밸브								X	X
객차에 설치된 장비									
객차 비상제동 푸쉬버튼									X
공압 현수장치							X	X	X
객차연결 공기호스								X	X

(4) 기계장치

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
동력차 및 객차 공통설비									
대차	X		X				X	X	X
동력대차	X		X				X	X	X
객차대차	X		X				X	X	X
차축기어			X		X		X	X	X
전면 및 중간커버			X				X	X	X
후부커버							X	X	X
니플(Nipple)			X				X	X	X
차축(Axle)	X		X	X	X		X	X	X
변위 플러그(Displacementplug)							X	X	X
접지케이블 및 브레이드(braid)	X		X				X	X	X
접지케이블			X				X	X	X
접지 브레이드(Earthbraid)			X				X	X	X
대차 불안정 센서			X				X	X	X
감속기 및 차축센서							X	X	X
프레임,케이블							X	X	X
전류 귀환장치							X	X	X
전면커버							X	X	X
브러쉬(Brush)							X	X	X
브러쉬션트(Brushshunts)							X	X	X
브러쉬쉐드(Brushsheath)							X	X	X
프레이트(Plate)							X	X	X
절연 스페이서, 부쉬									
도유기 및 조립체	X		X	X			X	X	X
도유기	X		X	X			X	X	X
조립체	X		X	X			X	X	X
측면스커트(Sideskirt)	X		X				X	X	X
언더프레임(Underframe)									
언더프레임	X		X				X	X	X
하부 스템프레이트	X		X				X	X	X
ATC & ATS센서 보호박스	X		X				X	X	X
보호커버(대차끝)	X		X				X	X	X
댐퍼지지대(댐퍼지지대)									
안티요 댐퍼 지지대	X		X				X	X	X
횡댐퍼 지지대	X						X	X	X
동력차 및 동력객차 공통장치									

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
차축기어 감속기 리액션암	X		X				X	X	X
제동유니트	X		X				X	X	X
주차 제동 실린더빌트인(Built-in)							X	X	X
모터감속기 유니트							X	X	X
감속기 취부대							X	X	X
안전링크	X		X				X	X	X
감속기 고정핀(Threadedpin)							X	X	X
차체안전 취부대	X		X				X	X	X
모터감속기 안전 취부대							X	X	X
차축기어 감속기 유니트/감속기	X		X				X	X	X
오일컬러(Oilcolour)	X		X				X	X	X
오일샘플링 검지방법	X		X				X	X	X
물존재(Waterpresence)	X		X				X	X	
감속기,차축기어 감속기 유니트배출									X
차축기어 감속기 유니트							X	X	X
감속기							X	X	X
트리포드 동력전달장치	X		X				X	X	X
살사젯(Sandjet)	X		X				X	X	X
드라프트,쿠션(Draft,cushion)기어			X				X	X	X
동력차 와 객차간 갱웨이								X	X
갱웨이 고무조인트									X
핸드레일(Handrail)								X	X
갱웨이(Intercargangway)								X	X
동력차 전용장치									
비상제동 커플러				X			X	X	X
비연결장치							X	X	X
연결헤드							X	X	X
연결헤드 취부대							X	X	X
접지션트							X	X	X
하부차체 회진스톱								X	X
팬타그래프	X		X			X	X	X	X
동력차 지붕장치									
3rd 라이트 커버							X	X	X
후드 1							X	X	X
후드 2&3							X	X	X
후드 4							X	X	X
객차 전용장치									
디스크 제동기어	X		X				X	X	X
제동디스크							X	X	X

부 품	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
링							X	X	X
허브(Hub)							X	X	X
댐퍼									
인터바디댐퍼	X		X				X	X	X
Paulstra end stop							X	X	X
Paulstra elastic stop 지지대							X	X	X
안티리스트(Anti-list)댐퍼								X	X
댐퍼지지대	X		X				X	X	X
하부interbody 댐퍼 지지대	X		X				X	X	X
상부interbody 댐퍼 지지대							X	X	X
안티리스트(Anti-list) 댐퍼 지지대									X
고정링							X	X	X
안전스링(Safetysling)								X	X
캐링링							X	X	X
압력 스크류							X	X	X
안전 Safety screw							X	X	X
공압 현수장치 저장통								X	X
객차간 커플링							X	X	X
커플링 후크							X	X	X
슈							X	X	X
슈타입 커플러 캐리어								X	X
객차 지붕장치							X	X	X
모터 유니트 지붕							X	X	X
지붕streamlining							X	X	X
하부-차체 회전스톱(rotationstop)							X	X	X
객차간 갱웨이							X	X	X
갱웨이 벨로즈							X	X	X
고무보호								X	X
링간 갱웨이								X	X

(5) 차체 실내설비

부 품	ES	CE	RGI	SWT	LI	GI	FGI
동력차 및 객차 공통설비							
공기조화 장치 각부품				X	X	X	X
객차에 설치된 장비							
냉장고				X	X	X	X
응축기							X
배관,플랙시블 링크					X	X	X
파노메터 연결밸브					X	X	X
밸브류					X	X	X
표시램프 및 표지판					X	X	X
필터						X	X
공기배출후드				X	X	X	X

4) KTX 추진제어장치 LCC 분석 모델

가) LCC 분석을 위한 기본 가정

- KTX 추진제어장치의 수명주기 비용을 산출하기 위하여 한국철도공사 직원평균보수를 이용하여 품목별로 LCC 분석을 수행하였다.

- KTX 추진제어장치의 수명주기 비용 산출은 1편성 추진제어장치 6개 기준으로 분석하였다.

- 신인성의 자료는 운영기관의 RCM관리, 이력관리, 또는 장비 제작업체에서 RAMS 자료가 부족하여 이와 관련한 비용은 반영되지 않았다.

- 환경비용의 대부분은 해체폐기시 비용이 발생되고 또한 폐기처리비의 산정이 매우복잡하고 국내에서는 기준정립 단계이므로 환경비용은 반영되지 않았다.

- KTX 추진제어장치 LCC 분석을 3-Level 품목별로 비교하여 분석하였다.

- 프로젝트 대안의 LCC 분석에서 확실하게 차이를 들어낼 수 있을 만큼 많은 비용이 지출되는 항목에 대하여 분석의 대상에 포함하고 단순분석으로 LCC를 분석하였다.

- LCC 비용항목 : 초기투자비 및 해체 폐기비를 제외한 유지관리 비용을 의미하며 미래에 발생되는 비용(운영, 유지관리, 고장정비, 교체비)으로 구분하여 분석

- 할인율 : 이자율 5.9% 물가상승률 2.9%('98~'08 통계청 기준) 자료를 통해 할인율 3%를 적용 한다.

$$\text{할인율} = \frac{1+\text{명목이자율}}{1+\text{물가상승율}} - 1, \quad 0.03 = \frac{1+0.059}{1+0.029} - 1$$

- 비용가치 환산법 : 현재와 미래의 모든 비용은 현재의 가치(NPV : Net present value)로 환산한다.

- 내용연수 : 한국철도공사 고정자산 회계지침(2009. 9. 11)에 의한 내용연수로 하며, 불분명한 것은 제조사 제품특성을 적용한다.

- 분석기간 : 법인세법에 의한 내용연수를 30년으로 산정하고, 연구대상 품목별로 내용연수가 다르기 때문에 총 분석기간을 30년으로 가정하여 분석한다.

나) 유지관리비 분석

(1) 비용 산정 방식

표 72. 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

(2) 유지관리비 분석 내용

㈎ 인건비

인건비는 6년간의 한국철도공사 직원평균보수에 근거하여 인당 1일 임율을 산정하였다.

표 73. 직원 평균 보수

단위 : 천원

구 분	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1인 평균 보수	47,397	52,365	56,164	60,537	55,304	51,818
기본급	22,442	24,222	24,915	24,779	24,963	25,971
고정수당	9,597	9,838	11,348	12,618	12,760	13,442
실적수당	9,251	9,579	9,018	8,117	7,848	7,975
복리후생	5,439	4,688	4,760	4,764	4,254	4,429
경영평가 상여	668	4,039	6,122	10,258	5,479	0
상시종업원 수	30,278	30,817	30,329	31,357	30,967	30,530
1일 임율	152.89	168.92	181.17	195.28	178.40	167.15

㈏ 예방정비비

전철전력의 개량 및 교체비의 경우는 초기제품 단가에 근거하여 내용연수 후에 교체하는 비용으로 산출하였다.

- 점검주기 당 점검항목 비율 산정

한국철도공사의 유지보수지침서를 이용하여 설비별로 점검항목을 비율로 환산

표 74. 유지보수지침서의 설비별 점검항목

부 품	검사 항목	ES	CE	RGI	SWT	P/SWT	S/SWT	LI	GI	FGI
차체실내설비	69	18	38	1	1			56	63	69
전기장치 (추진제어장치)	**73**	**1**		**1**	**10**			**27**	**52**	**73**
	11							**5**	**10**	**11**
공기제동 장치	36	1		3				9	21	36
기계장치	96	30		36	5	2	1	83	92	94
공기조화	9				3			7	8	9
점검항목 총계	**283**	**50**	**38**	**41**	**19**	**2**	**1**	**182**	**236**	**281**
년간 검수횟수	**회**	**112**	**28**	**28**	**12**	**12**	**12**	**3**	**1.5**	**0.75**
검수기간	**인/일**	**5/3**	**5/3**	**5/3**	**5/3**			**90/5**	**90/5**	**90/5**

- 부품별 검수주기

한국철도공사의 유지보수지침서를 이용하여 설비별로 검수주기를 비율로 환산

ex) 총 LI 점검항목 = 56 + 27 + 9 + 83 + 7 = 182

표 75. 추진제어장치 부품별 검수주기

부 품	SWT	LI	GI	FGI	비 고
모터블록 각장치		○	○	○	
격자저항			○	○	
송풍장치				○	
스위치		○	○	○	
전력변환장치			○	○	
CMB접촉기			○	○	
TCP접촉기			○	○	
콘덴서			○	○	
계전기		○	○	○	
제어랙		○	○	○	
파워유니트 냉각통		○	○	○	

표 76. 점검주기 당 점검항목 비율 산정

부 품	주 기	SWT	LI	GI	FGI	비 고
	비 율		점검항목/182	점검항목/236	점검항목/281	MB 부품당

- 점검종별 분석방법 설정

한국철도공사의 유지보수지침서를 이용하여 점검종별 분석방법을 설정

ex) LI 분석방법 = 검수횟수(회/4월/12월)×투입인원(90명)×검수일수(5일)

표 77. 점검종별 분석방법

점 검 종 별	분 석 방 법	점 검 종 별	분 석 방 법
SWT	5인 × 3일	GI	90인 × 5일
LI	90인 × 5일	FGI	90인 × 5일

㈐ 운영비

- 전력비(차량 유지보수에 소비되는 전력비) + 기타(운영과 유지보수에 따른 공구비)
- 운영비 = 예방정비비 × 0.03(추진제어장치 운영비/차량기지 운영비)

㈑ 고장 정비비

- KTX 도입 이후 추진제어장치의 부품당 사용량 분석 자료(2008년 기준)와 유지보수지침서의 정기 소요량을 비교 정기 소요량 외에 사용 된 부품 수량을 파악하여 금액 산정
- 고장정비비 = (부품당 교체수 / 사용년도) × 단가

표 78. KTX 추진제어장치 부품별 사용량

부 품 명	편성	사용량	부 품 명	편성	사용량	부 품 명	편성	사용량
BFAS	6	2	CRVB	6	56	WZY	12	0
CDJ	6	45	ACOB	6	13	WZX	24	4
ESB1	6	4	AG	6	22	WUU	30	57
IFPS	6	4	FCVV	6	30	ZWY	12	32
ISY(1, 2)	12	23	SVTB	6	37	YWY	18	30
INCA	6	28	ASB	6	15	108㎌	48	43
AIT	18	45	ISW-PFC-01	6	26	235㎌	12	8
AIT4	6	77	K-TT-01	12	531	2200㎌	228	5
ESL1	6	11	K-BK-01	6	197	CV-TT	12	45
ESL2	6	12	K-BK-02	6	182	IR-TT	12	238
ESL3	6	4	CMB-I	2	196	CO-EX	6	44
MV	6	8	CMB-P	6	62	CO-BK	6	175
CAL(3-1,3-2)	12	15	C.009.72.15	1	198	CV-PFC	6	141

(3) KTX 추진제어장치 LCC 분석 모델

본 연구에서 LCC 분석 모델은 KTX 1편성당의 추진제어장치의 부품을 3-Level 수준으로 분류하여 각각 부품별로 LCC를 비교할 수 있는 모델을 제시하였다.

표 79. KTX 추진제어장치 LCC 분석 모델

MB 년수	년도	유지관리비												할인율 (3%)		
		예 방 정 비 비									운 영 비		고장 정비비			
		격자 저항	송풍 장치	스위치	전력변 환장치	CMB 접촉기	TCP 접촉기	콘덴서	계전기	제어랙	전력비	기타		합계	누적 비용	NPV
…	…	…	…	…	…	…	…	…			…	…	…		…	…
총 계																

예방정비비를 분석하여보면 점검종별, 점검종목, 점검일수의 곱에 따라 KTX 추진제어장치의 각 부품별 예방정비비 및 운영비를 산출할 수 있다.

표 80. KTX 추진제어장치의 예방정비비 분석 모델

점검 종별	점검 항목	점검 일수	예 방 정 비 비																	
			격자저항		송풍장치		스위치		전력변환장치		CMB접촉기		TCP접촉기		콘덴서		계전기		제어랙	
			횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율	횟수	비율
LI	182	3	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	3.00	0.0164	3.00	0.0164
GI	236	5	1.50	0.0063	0.00	0.0000	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063	1.50	0.0063
FGI	281	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	0.75	0.0026	0.75	0.0026
교체주기(년)			12.00		10.00		10.00		10.00		6.00		6.00		12.00		5.00		10.00	
항 목			정비비	운영비	정비비	운영비	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(04년) × $1.03^{(\text{내용연수}-1)}$
- 고장정비비 = (KTX 도입 이후 부품당 교체 수 / 총 편성 / 사용년도) × 부품단가
- 합계 = 예방정비비 + 운영비 + 고장정비비
- 누적비용 = KTX 도입 이후의 유지관리비의 합

5) KTX 추진제어장치 LCC 분석

가) KTX 추진제어장치 LCC

(1편성 기준)

MB 년수	유 지 관 리 비 (천원)																		합계
	격자저항		송풍장치		스위치		전력변환장치		CMB접촉기		TCP접촉기		콘덴서		계전기		제어랙		고장 정비비	
	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영		
1	723	22	214	6	767	23	723	22	131	4	591	18	723	22	767	23	767	23	197,878	203,446
2	745	22	220	7	790	24	745	22	135	4	609	18	745	22	790	24	790	24	203,815	209,550
3	767	23	227	7	814	24	767	23	139	4	627	19	767	23	814	24	814	24	209,929	215,836
4	790	24	234	7	838	25	790	24	144	4	646	19	790	24	838	25	838	25	216,227	222,311
5	814	24	241	7	863	26	814	24	148	4	666	20	814	24	34,703	26	863	26	222,714	262,820
6	838	25	248	7	889	27	838	25	82,257	5	224,393	21	838	25	889	27	889	27	229,395	541,662
7	863	26	255	8	916	27	863	26	157	5	706	21	863	26	916	27	916	27	236,277	242,926
8	889	27	263	8	943	28	889	27	162	5	727	22	889	27	943	28	943	28	243,365	250,214
9	916	27	271	8	972	29	916	27	166	5	749	22	916	27	972	29	972	29	250,666	257,720
10	943	28	1,295,762	8	60,404	30	2,388,467	28	171	5	772	23	943	28	40,230	30	1,559,283	30	258,186	5,605,374
11	972	29	287	9	1,031	31	972	29	177	5	795	24	972	29	1,031	31	1,031	31	265,932	273,415
12	363,233	30	296	9	1,062	32	1,001	30	98,219	5	267,937	25	234,565	30	1,062	32	1,062	32	273,910	1,242,569
13	1,031	31	305	9	1,093	33	1,031	31	187	6	843	25	1,031	31	1,093	33	1,093	33	282,127	290,066
14	1,062	32	314	9	1,126	34	1,062	32	193	6	869	26	1,062	32	1,126	34	1,126	34	290,591	298,768
15	1,093	33	323	10	1,160	35	1,093	33	199	6	895	27	1,093	33	46,638	35	1,160	35	299,308	353,209
16	1,126	34	333	10	1,195	36	1,126	34	205	6	921	28	1,126	34	1,195	36	1,195	36	308,288	316,963
17	1,160	35	343	10	1,231	37	1,160	35	211	6	949	28	1,160	35	1,231	37	1,231	37	317,536	326,472
18	1,195	36	353	11	1,268	38	1,195	36	117,279	7	319,931	29	1,195	36	1,268	38	1,268	38	327,062	772,281
19	1,231	37	364	11	1,306	39	1,231	37	224	7	1,007	30	1,231	37	1,306	39	1,306	39	336,874	346,354
20	1,268	38	1,741,396	11	81,178	40	3,209,900	38	230	7	1,037	31	1,268	38	54,066	40	2,095,547	40	346,981	7,533,154
21	1,306	39	386	12	1,385	42	1,306	39	237	7	1,068	32	1,306	39	1,385	42	1,385	42	357,390	367,447
22	1,345	40	398	12	1,427	43	1,345	40	245	7	1,100	33	1,345	40	1,427	43	1,427	43	368,112	378,470
23	1,385	42	410	12	1,469	44	1,385	42	252	8	1,133	34	1,385	42	1,469	44	1,469	44	379,155	389,824
24	517,883	43	422	13	1,514	45	1,427	43	140,037	8	382,014	35	334,434	43	1,514	45	1,514	45	390,530	1,771,607
25	1,470	44	435	13	1,559	47	1,470	44	267	8	1,202	36	1,470	44	62,677	47	1,559	47	402,246	474,683
26	1,514	45	448	13	1,606	48	1,514	45	275	8	1,238	37	1,514	45	1,606	48	1,606	48	414,313	425,972
27	1,559	47	461	14	1,654	50	1,559	47	283	9	1,276	38	1,559	47	1,654	50	1,654	50	426,742	438,751
28	1,606	48	475	14	1,704	51	1,606	48	292	9	1,314	39	1,606	48	1,704	51	1,704	51	439,545	451,913
29	1,654	50	489	15	1,755	53	1,654	50	301	9	1,353	41	1,654	50	1,755	53	1,755	53	452,731	465,471
30	1,704	51	2,340,291	15	109,097	54	4,313,837	51	167,211	9	456,145	42	1,704	51	72,660	54	2,816,239	54	466,313	10,745,582
합계	913,080	1,032	5,386,462	305	283,013	1,095	9,942,681	1,032	610,135	188	1,673,516	844	600,964	1,032	339,724	1,095	6,503,403	1,095	9,414,136	35,674,830

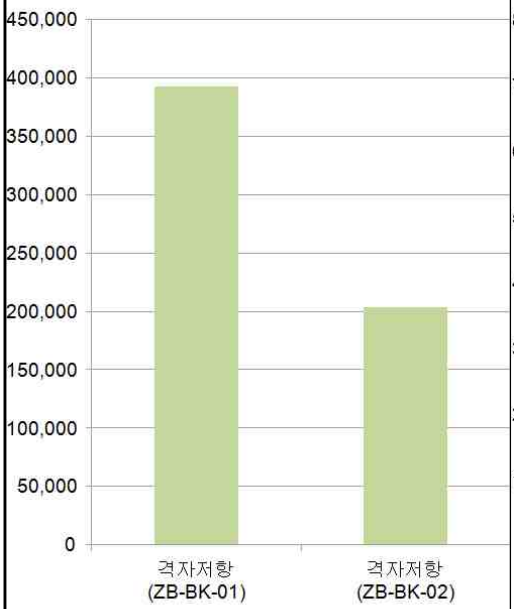
나) 장치별 추진제어장치 LCC

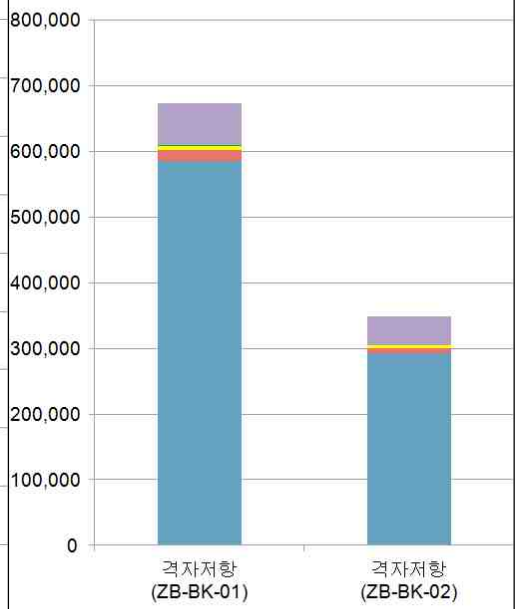
(1) 격자저항

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		ZB-BK-01			ZB-BK-02			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	482	14	1,348	241	7	927	723	22	2,276	3,020	2,932
2	2005	496	15	1,389	248	7	955	745	22	2,344	6,131	5,864
3	2006	511	15	1,431	256	8	984	767	23	2,414	9,335	8,796
4	2007	527	16	1,473	263	8	1,013	790	24	2,487	12,635	11,729
5	2008	542	16	1,518	271	8	1,043	814	24	2,561	16,034	14,661
6	2009	559	17	1,563	279	8	1,075	838	25	2,638	19,535	17,593
7	2010	575	17	1,610	288	9	1,107	863	26	2,717	23,141	20,525
8	2011	593	18	1,658	296	9	1,140	889	27	2,799	26,856	23,457
9	2012	610	18	1,708	305	9	1,174	916	27	2,883	30,682	26,389
10	2013	629	19	1,759	314	9	1,210	943	28	2,969	34,622	29,321
11	2014	648	19	1,812	324	10	1,246	972	29	3,058	38,681	32,253
12	2015	242,155	20	1,867	121,078	10	1,283	363,233	30	3,150	405,093	289,248
13	2016	687	21	1,923	344	10	1,322	1,031	31	3,244	409,399	292,180
14	2017	708	21	1,980	354	11	1,361	1,062	32	3,342	413,834	295,112
15	2018	729	22	2,040	364	11	1,402	1,093	33	3,442	418,402	298,044
16	2019	751	23	2,101	375	11	1,444	1,126	34	3,545	423,108	300,976
17	2020	773	23	2,164	387	12	1,488	1,160	35	3,652	427,954	303,908
18	2021	797	24	2,229	398	12	1,532	1,195	36	3,761	432,946	306,841
19	2022	820	25	2,296	410	12	1,578	1,231	37	3,874	438,087	309,773
20	2023	845	25	2,365	423	13	1,626	1,268	38	3,990	443,383	312,705
21	2024	870	26	2,435	435	13	1,674	1,306	39	4,110	448,838	315,637
22	2025	897	27	2,509	448	13	1,725	1,345	40	4,233	454,456	318,569
23	2026	923	28	2,584	462	14	1,776	1,385	42	4,360	460,243	321,501
24	2027	345,255	29	2,661	172,628	14	1,830	517,883	43	4,491	982,659	578,496
25	2028	980	29	2,741	490	15	1,885	1,470	44	4,626	988,799	581,428
26	2029	1,009	30	2,823	505	15	1,941	1,514	45	4,764	995,122	584,360
27	2030	1,039	31	2,908	520	16	1,999	1,559	47	4,907	1,001,635	587,292
28	2031	1,071	32	2,995	535	16	2,059	1,606	48	5,055	1,008,344	590,224
29	2032	1,103	33	3,085	551	17	2,121	1,654	50	5,206	1,015,253	593,156
30	2033	1,136	34	3,178	568	17	2,185	1,704	51	5,362	1,022,370	596,088
총 계		608,720	688	64,153	304,360	344	44,105	913,080	1,032	108,258	1,022,370	596,088

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	36	18	
2. 내용연수	년	12	12	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		격자저항 (ZB-BK-01)	격자저항 (ZB-BK-02)	
1. 재료비	천원	585,792	292,896	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	16,147	8,074	
4. FGI	천원	6,781	3,390	
5. 운영비	천원	688	344	
6. 고장 정비비	천원	64,153	44,105	
총생애주기비용	천원	392,483	203,606	

LCC 분석 그래프		범 례
격자저항 (ZB-BK-01)	격자저항 (ZB-BK-02)	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용	비 용 별 합 계	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

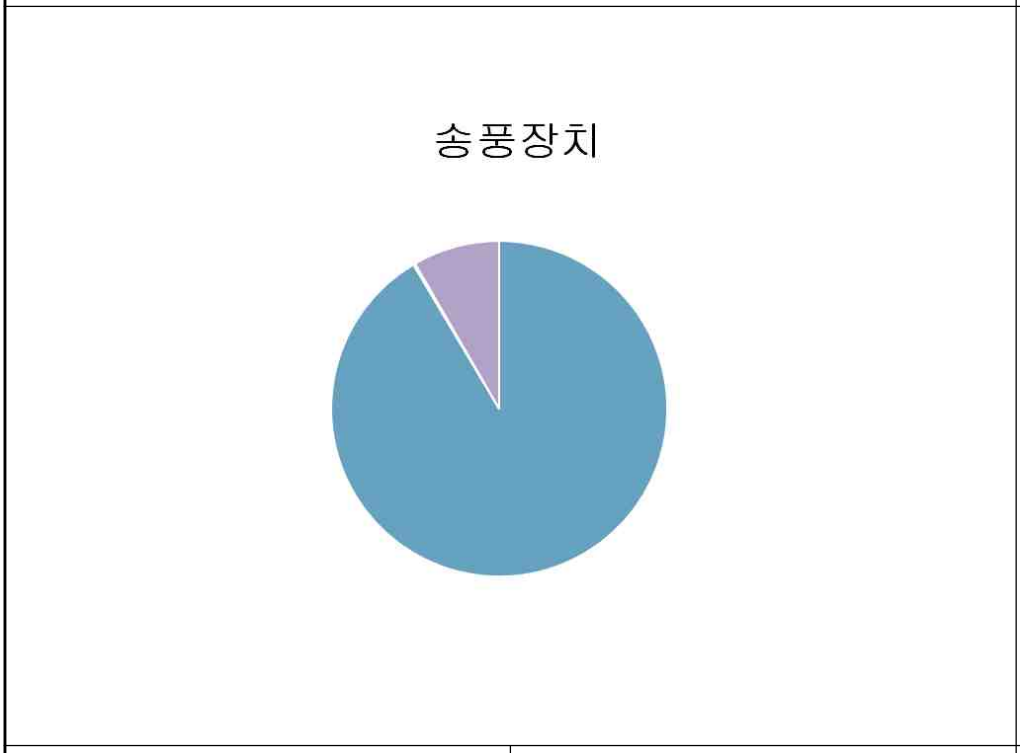
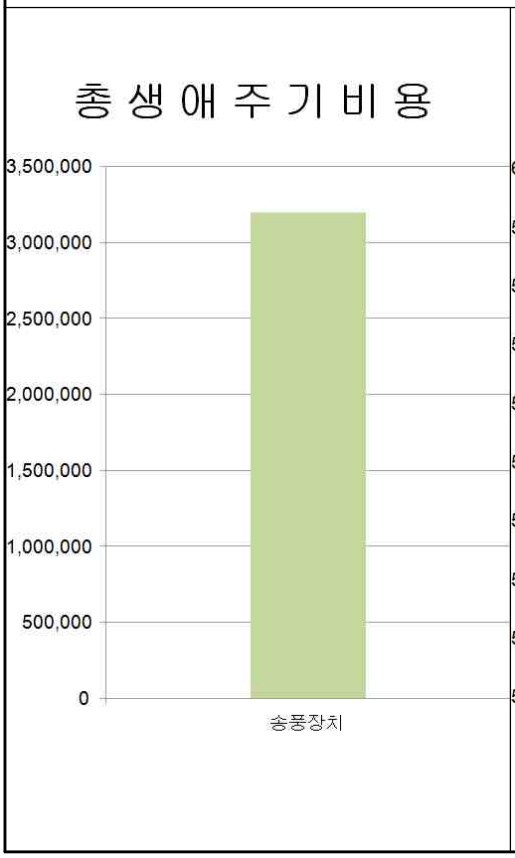
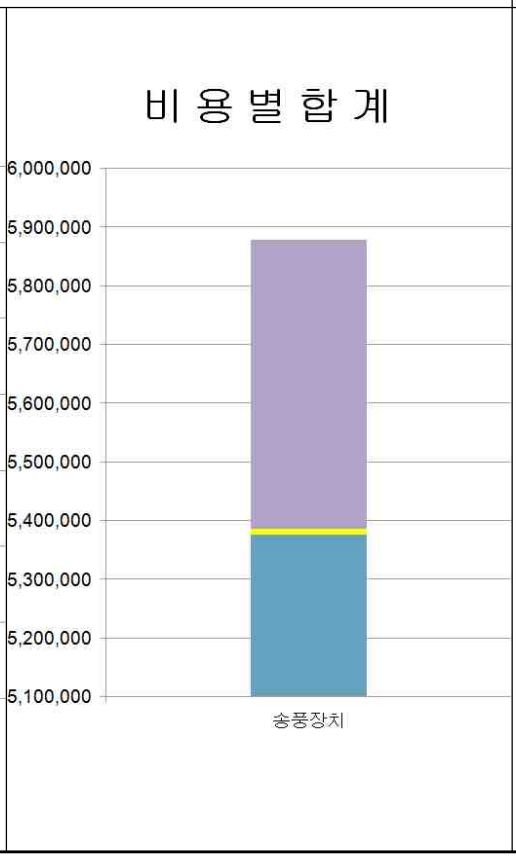




(2) 송풍장치

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)			할인율 (3%)	
		송풍장치				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	214	6	0	220	214
2	2005	220	7	0	447	428
3	2006	227	7	0	681	641
4	2007	234	7	0	921	855
5	2008	241	7	0	1,169	1,069
6	2009	248	7	0	1,424	1,283
7	2010	255	8	0	1,687	1,497
8	2011	263	8	0	1,958	1,710
9	2012	271	8	0	2,237	1,924
10	2013	61,799	8	0	64,044	47,915
11	2014	287	9	0	64,340	48,128
12	2015	296	9	0	64,645	48,342
13	2016	305	9	0	64,959	48,556
14	2017	314	9	0	65,283	48,770
15	2018	323	10	0	65,616	48,984
16	2019	333	10	0	65,959	49,197
17	2020	343	10	0	66,312	49,411
18	2021	353	11	0	66,676	49,625
19	2022	364	11	0	67,051	49,839
20	2023	83,053	11	0	150,115	95,829
21	2024	386	12	0	150,513	96,043
22	2025	398	12	0	150,922	96,257
23	2026	410	12	0	151,344	96,471
24	2027	422	13	0	151,779	96,684
25	2028	435	13	0	152,226	96,898
26	2029	448	13	0	152,687	97,112
27	2030	461	14	0	153,162	97,326
28	2031	475	14	0	153,651	97,540
29	2032	489	15	0	154,155	97,753
30	2033	111,616	15	0	265,786	143,744
총 계		265,481	305	0	265,786	143,744

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	18	
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		송풍장치	
1. 재료비	천원	5,376,291	
2. LI	천원	0	
3. GI	천원	0	
4. FGI	천원	10,171	
5. 운영비	천원	305	
6. 고장 정비비	천원	490,623	
총생애주기비용	천원	3,198,662	

LCC 분석 그래프	범 례
	
	
	

송풍장치
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

총 생 애 주 기 비 용
3,500,000
3,000,000
2,500,000
2,000,000
1,500,000
1,000,000
500,000
0
송풍장치

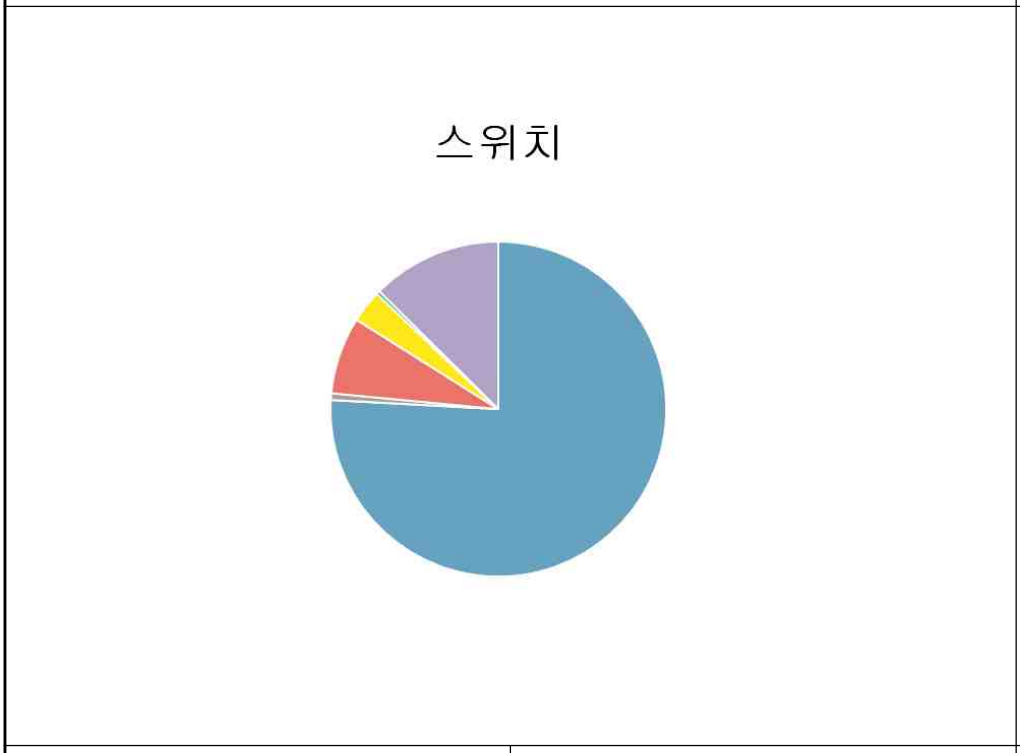
비 용 별 합 계
6,000,000
5,900,000
5,800,000
5,700,000
5,600,000
5,500,000
5,400,000
5,300,000
5,200,000
5,100,000
송풍장치

LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

(3) 스위치

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)			할인율 (3%)	
		스위치				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	767	23	366	1,156	1,122
2	2005	790	24	377	2,347	2,245
3	2006	814	24	388	3,573	3,367
4	2007	838	25	400	4,837	4,490
5	2008	863	26	412	6,138	5,612
6	2009	889	27	424	7,478	6,734
7	2010	916	27	437	8,858	7,857
8	2011	943	28	450	10,280	8,979
9	2012	972	29	464	11,745	10,102
10	2013	26,362	30	478	38,614	30,095
11	2014	1,031	31	492	40,168	31,217
12	2015	1,062	32	507	41,768	32,340
13	2016	1,093	33	522	43,416	33,462
14	2017	1,126	34	538	45,114	34,584
15	2018	1,160	35	554	46,862	35,707
16	2019	1,195	36	570	48,664	36,829
17	2020	1,231	37	588	50,519	37,952
18	2021	1,268	38	605	52,430	39,074
19	2022	1,306	39	623	54,398	40,196
20	2023	35,428	40	642	90,508	60,190
21	2024	1,385	42	661	92,596	61,312
22	2025	1,427	43	681	94,746	62,434
23	2026	1,469	44	702	96,961	63,557
24	2027	1,514	45	723	99,243	64,679
25	2028	1,559	47	744	101,593	65,802
26	2029	1,606	48	767	104,014	66,924
27	2030	1,654	50	790	106,507	68,046
28	2031	1,704	51	813	109,075	69,169
29	2032	1,755	53	838	111,720	70,291
30	2033	47,612	54	863	160,249	90,284
총 계		141,734	1,095	17,420	160,249	90,284

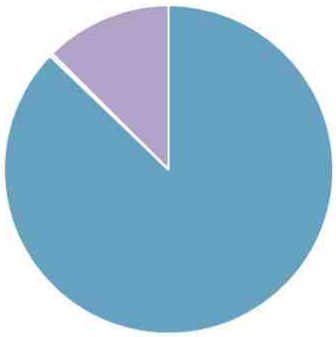
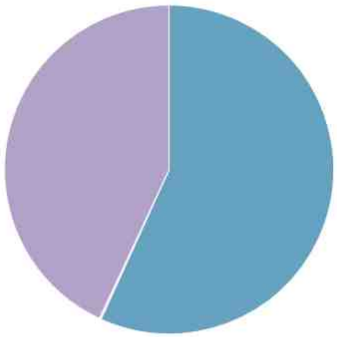
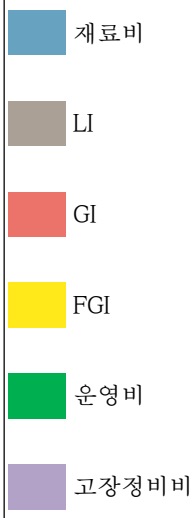
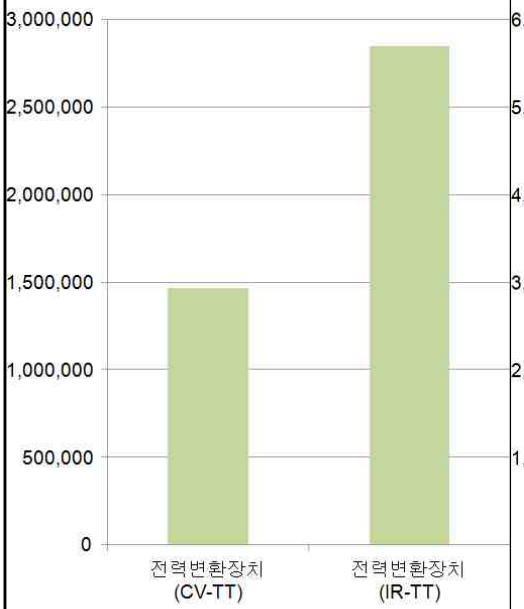
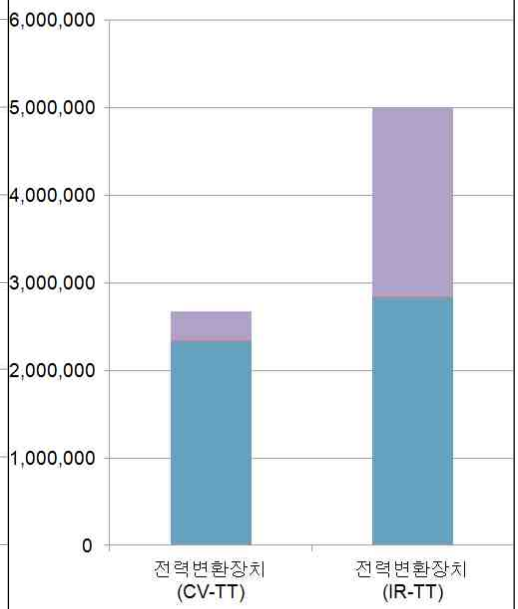
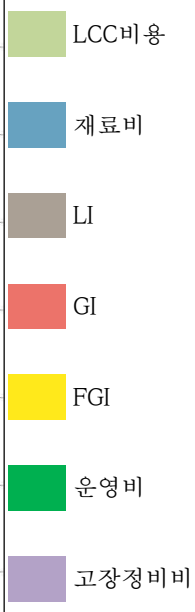
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	6	
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		스위치	
1. 재료비	천원	246,527	
2. LI	천원	2,094	
3. GI	천원	24,221	
4. FGI	천원	10,171	
5. 운영비	천원	1,095	
6. 고장 정비비	천원	40,809	
총생애주기비용	천원	180,597	

LCC 분석 그래프	범 례
 스위치 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	
 총 생 애 주 기 비 용 200,000 180,000 160,000 140,000 120,000 100,000 80,000 60,000 40,000 20,000 0 스위치 비 용 별 합 계 350,000 300,000 250,000 200,000 150,000 100,000 50,000 0 스위치 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	

(4) 전력변환장치

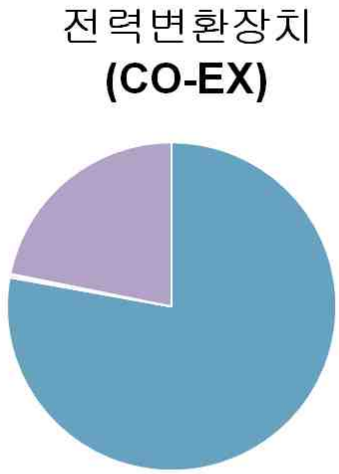
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		전력변환장치(CV-TT)			전력변환장치(IR-TT)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	181	5	5,779	181	5	33,905	361	11	39,684	40,056	38,889
2	2005	186	6	5,952	186	6	34,922	372	11	40,874	81,314	77,778
3	2006	192	6	6,131	192	6	35,969	383	12	42,100	123,809	116,668
4	2007	197	6	6,315	197	6	37,049	395	12	43,363	167,579	155,557
5	2008	203	6	6,504	203	6	38,160	407	12	44,664	212,662	194,446
6	2009	210	6	6,699	210	6	39,305	419	13	46,004	259,098	233,335
7	2010	216	6	6,900	216	6	40,484	432	13	47,384	306,927	272,225
8	2011	222	7	7,107	222	7	41,698	445	13	48,806	356,191	311,114
9	2012	229	7	7,321	229	7	42,949	458	14	50,270	406,932	350,003
10	2013	462,713	7	7,540	513,245	7	44,238	975,958	14	51,778	1,434,683	1,114,746
11	2014	243	7	7,766	243	7	45,565	486	15	53,331	1,488,514	1,153,635
12	2015	250	8	7,999	250	8	46,932	500	15	54,931	1,543,961	1,192,524
13	2016	258	8	8,239	258	8	48,340	515	15	56,579	1,601,071	1,231,414
14	2017	265	8	8,487	265	8	49,790	531	16	58,277	1,659,895	1,270,303
15	2018	273	8	8,741	273	8	51,284	547	16	60,025	1,720,483	1,309,192
16	2019	282	8	9,003	282	8	52,822	563	17	61,826	1,782,889	1,348,081
17	2020	290	9	9,274	290	9	54,407	580	17	63,681	1,847,167	1,386,971
18	2021	299	9	9,552	299	9	56,039	597	18	65,591	1,913,373	1,425,860
19	2022	308	9	9,838	308	9	57,720	615	18	67,559	1,981,566	1,464,749
20	2023	621,847	10	10,133	689,759	10	59,452	1,311,606	19	69,585	3,362,776	2,229,492
21	2024	326	10	10,437	326	10	61,236	653	20	71,673	3,435,121	2,268,381
22	2025	336	10	10,751	336	10	63,073	672	20	73,823	3,509,637	2,307,270
23	2026	346	10	11,073	346	10	64,965	693	21	76,038	3,586,388	2,346,159
24	2027	357	11	11,405	357	11	66,914	713	21	78,319	3,665,442	2,385,049
25	2028	367	11	11,747	367	11	68,921	735	22	80,669	3,746,868	2,423,938
26	2029	378	11	12,100	378	11	70,989	757	23	83,089	3,830,736	2,462,827
27	2030	390	12	12,463	390	12	73,118	780	23	85,581	3,917,120	2,501,716
28	2031	401	12	12,837	401	12	75,312	803	24	88,149	4,006,096	2,540,606
29	2032	413	12	13,222	413	12	77,571	827	25	90,793	4,097,741	2,579,495
30	2033	835,711	13	13,619	926,978	13	79,899	1,762,688	26	93,517	5,953,972	3,344,238
총 계		1,927,890	258	274,937	2,137,601	258	1,613,028	4,065,491	516	1,887,965	5,953,972	3,344,238

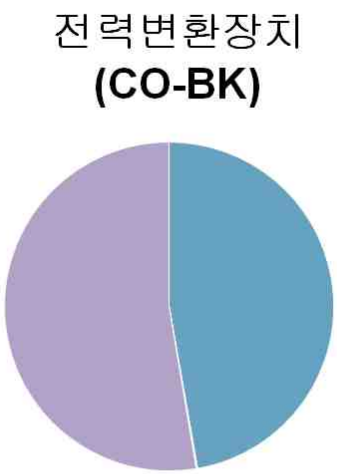
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	12	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		전력변환장치 (CV-TT)	전력변환장치 (IR-TT)	
1. 재료비	천원	2,332,910	2,834,541	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	6,055	6,055	
4. FGI	천원	2,543	2,543	
5. 운영비	천원	258	258	
6. 고장 정비비	천원	334,194	2,147,570	
총생애주기비용	천원	1,464,881	2,844,876	

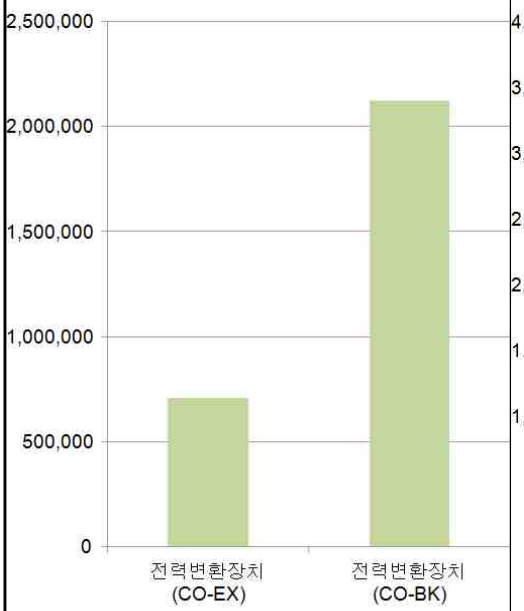
LCC 분석 그래프		범 례
전력변환장치 (CV-TT) 	전력변환장치 (IR-TT) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

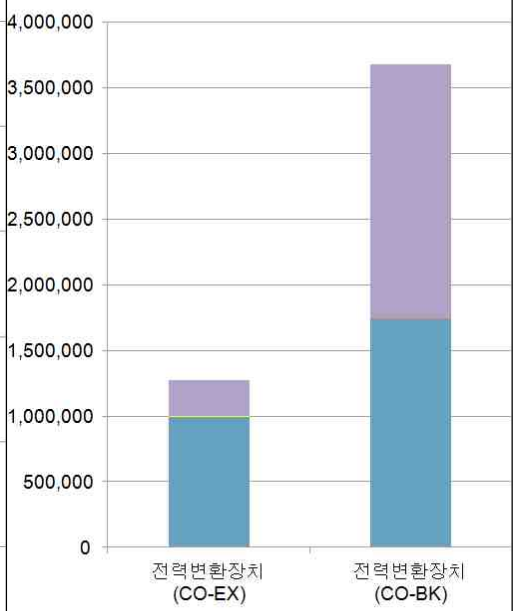
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		전력변환장치(CO-EX)			전력변환장치(CO-BK)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	90	3	4,811	90	3	30,455	181	5	35,265	35,451	34,419
2	2005	93	3	4,955	93	3	31,368	186	6	36,323	71,966	68,838
3	2006	96	3	5,104	96	3	32,309	192	6	37,413	109,577	103,257
4	2007	99	3	5,257	99	3	33,279	197	6	38,535	148,316	137,676
5	2008	102	3	5,415	102	3	34,277	203	6	39,691	188,217	172,094
6	2009	105	3	5,577	105	3	35,305	210	6	40,882	229,314	206,513
7	2010	108	3	5,744	108	3	36,364	216	6	42,109	271,645	240,932
8	2011	111	3	5,917	111	3	37,455	222	7	43,372	315,246	275,351
9	2012	114	3	6,094	114	3	38,579	229	7	44,673	360,155	309,770
10	2013	196,982	4	6,277	313,468	4	39,736	510,450	7	46,013	916,626	723,836
11	2014	121	4	6,465	121	4	40,928	243	7	47,394	964,269	758,255
12	2015	125	4	6,659	125	4	42,156	250	8	48,815	1,013,343	792,674
13	2016	129	4	6,859	129	4	43,421	258	8	50,280	1,063,888	827,093
14	2017	133	4	7,065	133	4	44,724	265	8	51,788	1,115,949	861,512
15	2018	137	4	7,277	137	4	46,065	273	8	53,342	1,169,573	895,931
16	2019	141	4	7,495	141	4	47,447	282	8	54,942	1,224,805	930,350
17	2020	145	4	7,720	145	4	48,871	290	9	56,590	1,281,694	964,768
18	2021	149	4	7,951	149	4	50,337	299	9	58,288	1,340,290	999,187
19	2022	154	5	8,190	154	5	51,847	308	9	60,037	1,400,644	1,033,606
20	2023	264,727	5	8,436	421,275	5	53,402	686,003	10	61,838	2,148,494	1,447,673
21	2024	163	5	8,689	163	5	55,004	326	10	63,693	2,212,523	1,482,092
22	2025	168	5	8,949	168	5	56,654	336	10	65,604	2,278,473	1,516,510
23	2026	173	5	9,218	173	5	58,354	346	10	67,572	2,346,402	1,550,929
24	2027	178	5	9,494	178	5	60,105	357	11	69,599	2,416,368	1,585,348
25	2028	184	6	9,779	184	6	61,908	367	11	71,687	2,488,434	1,619,767
26	2029	189	6	10,073	189	6	63,765	378	11	73,838	2,562,661	1,654,186
27	2030	195	6	10,375	195	6	65,678	390	12	76,053	2,639,116	1,688,605
28	2031	201	6	10,686	201	6	67,648	401	12	78,334	2,717,863	1,723,024
29	2032	207	6	11,007	207	6	69,678	413	12	80,684	2,798,974	1,757,443
30	2033	355,772	6	11,337	566,159	6	71,768	921,930	13	83,105	3,804,022	2,171,509
총 계		821,291	129	228,873	1,304,712	129	1,448,889	2,126,003	258	1,677,761	3,804,022	2,171,509

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		전력변환장치 (CO-EX)	전력변환장치 (CO-BK)	
1. 재료비	천원	993,061	1,737,938	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	3,028	3,028	
4. FGI	천원	1,271	1,271	
5. 운영비	천원	129	129	
6. 고장 정비비	천원	278,193	1,936,376	
총생애주기비용	천원	707,187	2,123,012	

<table>
<tr><th>LCC 분석 그래프</th><th>범 례</th></tr>
<tr><td>




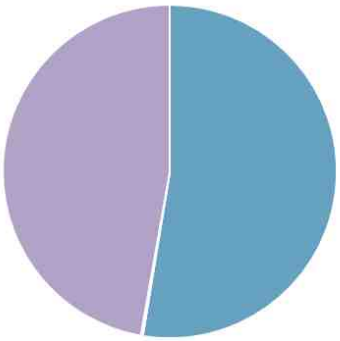
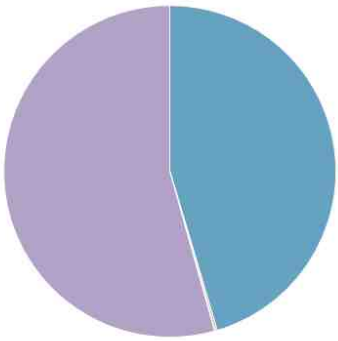
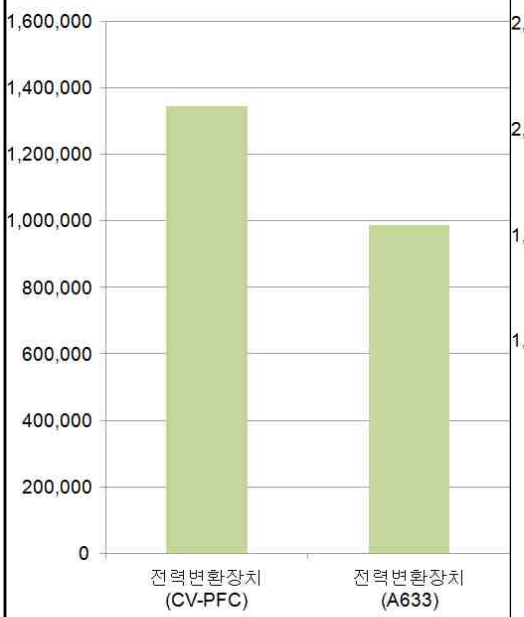
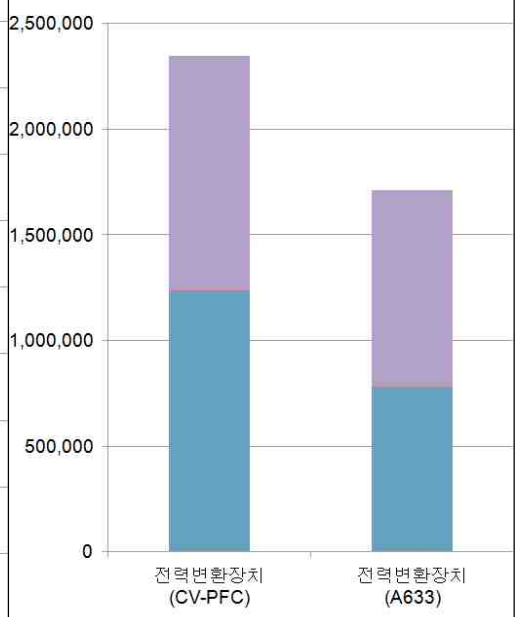
</td><td>
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비
</td></tr>
<tr><td>


</td><td>


</td><td>
LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비
</td></tr>
</table>

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		전력변환장치(CV-PFC)			전력변환장치(IR-MB)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	90	3	18,245	90	3	10,154	181	5	28,399	28,585	27,753
2	2005	93	3	18,792	93	3	10,459	186	6	29,251	58,028	55,506
3	2006	96	3	19,356	96	3	10,773	192	6	30,129	88,355	83,258
4	2007	99	3	19,937	99	3	11,096	197	6	31,033	119,591	111,011
5	2008	102	3	20,535	102	3	11,429	203	6	31,964	151,764	138,764
6	2009	105	3	21,151	105	3	11,772	210	6	32,923	184,902	166,517
7	2010	108	3	21,785	108	3	12,125	216	6	33,910	219,034	194,270
8	2011	111	3	22,439	111	3	12,489	222	7	34,927	254,191	222,022
9	2012	114	3	23,112	114	3	12,863	229	7	35,975	290,402	249,775
10	2013	233,109	4	23,805	97,372	4	13,249	330,480	7	37,055	657,944	523,261
11	2014	121	4	24,519	121	4	13,647	243	7	38,166	696,360	551,014
12	2015	125	4	25,255	125	4	14,056	250	8	39,311	735,929	578,767
13	2016	129	4	26,013	129	4	14,478	258	8	40,491	776,685	606,519
14	2017	133	4	26,793	133	4	14,912	265	8	41,705	818,664	634,272
15	2018	137	4	27,597	137	4	15,360	273	8	42,956	861,902	662,025
16	2019	141	4	28,425	141	4	15,820	282	8	44,245	906,437	689,778
17	2020	145	4	29,278	145	4	16,295	290	9	45,572	952,308	717,531
18	2021	149	4	30,156	149	4	16,784	299	9	46,940	999,555	745,283
19	2022	154	5	31,061	154	5	17,287	308	9	48,348	1,048,220	773,036
20	2023	313,279	5	31,992	130,860	5	17,806	444,138	10	49,798	1,542,166	1,046,522
21	2024	163	5	32,952	163	5	18,340	326	10	51,292	1,593,794	1,074,275
22	2025	168	5	33,941	168	5	18,890	336	10	52,831	1,646,971	1,102,028
23	2026	173	5	34,959	173	5	19,457	346	10	54,416	1,701,744	1,129,780
24	2027	178	5	36,008	178	5	20,041	357	11	56,048	1,758,160	1,157,533
25	2028	184	6	37,088	184	6	20,642	367	11	57,730	1,816,268	1,185,286
26	2029	189	6	38,201	189	6	21,261	378	11	59,462	1,876,119	1,213,039
27	2030	195	6	39,347	195	6	21,899	390	12	61,246	1,937,766	1,240,792
28	2031	201	6	40,527	201	6	22,556	401	12	63,083	2,001,263	1,268,544
29	2032	207	6	41,743	207	6	23,233	413	12	64,975	2,066,664	1,296,297
30	2033	421,020	6	42,995	175,864	6	23,930	596,884	13	66,925	2,730,486	1,569,783
총 계		971,217	129	868,003	407,905	129	483,102	1,379,122	258	1,351,106	2,730,486	1,569,783

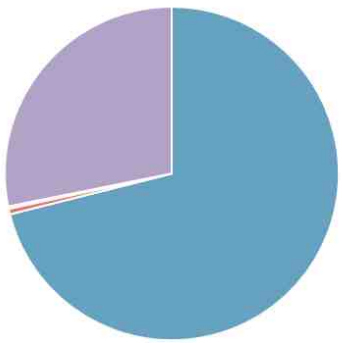
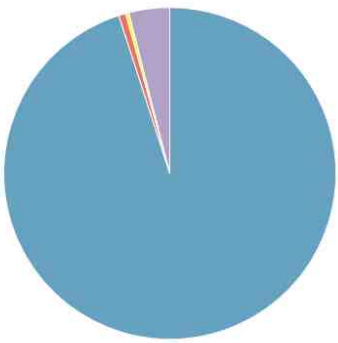
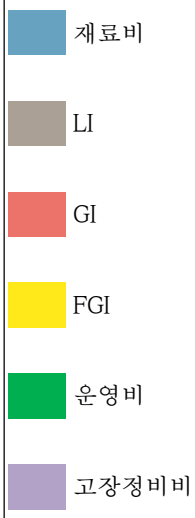
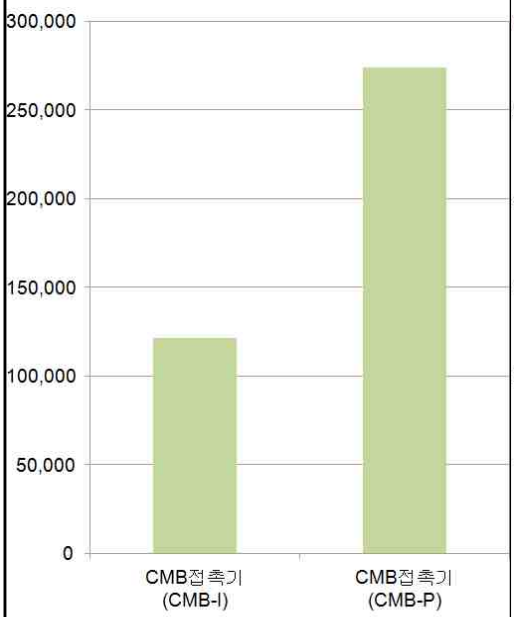
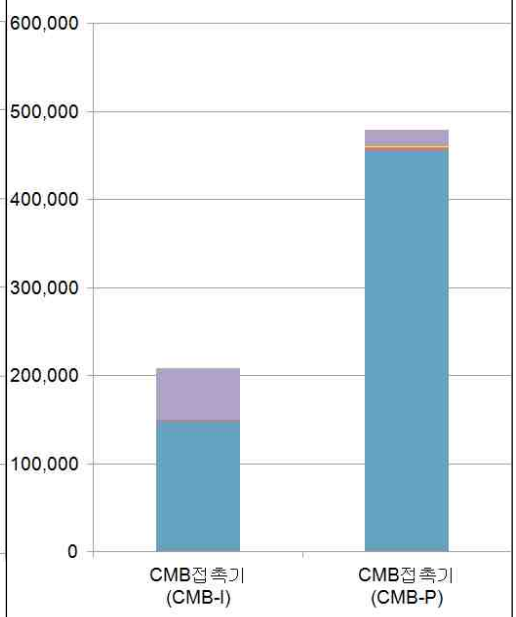
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		전력변환장치 (CV-PFC)	전력변환장치 (A633)	
1. 재료비	천원	1,234,065	775,774	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	3,028	3,028	
4. FGI	천원	1,271	1,271	
5. 운영비	천원	129	129	
6. 고장 정비비	천원	1,107,834	928,561	
총생애주기비용	천원	1,344,737	988,472	

LCC 분석 그래프		범 례
전력변환장치 (CV-PFC) 	전력변환장치 (A633) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총생애주기비용 	비용별합계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

(5) CMB접촉기

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		CMB접촉기(CMB-I)			CMB접촉기(CMB-P)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	33	1	1,017	99	3	329	131	4	1,346	1,481	1,438
2	2005	34	1	1,047	102	3	339	135	4	1,386	3,006	2,876
3	2006	35	1	1,079	105	3	349	139	4	1,427	4,577	4,313
4	2007	36	1	1,111	108	3	359	144	4	1,470	6,196	5,751
5	2008	37	1	1,144	111	3	370	148	4	1,514	7,862	7,189
6	2009	2,805	1	1,179	8,604	3	381	11,409	5	1,560	20,836	18,054
7	2010	39	1	1,214	118	4	393	157	5	1,607	22,604	19,492
8	2011	40	1	1,250	121	4	404	162	5	1,655	24,425	20,929
9	2012	42	1	1,288	125	4	417	166	5	1,704	26,301	22,367
10	2013	43	1	1,326	129	4	429	171	5	1,756	28,233	23,805
11	2014	44	1	1,366	132	4	442	177	5	1,808	30,224	25,243
12	2015	3,350	1	1,407	10,273	4	455	13,623	5	1,863	45,714	36,107
13	2016	47	1	1,449	141	4	469	187	6	1,918	47,826	37,545
14	2017	48	1	1,493	145	4	483	193	6	1,976	50,000	38,983
15	2018	50	1	1,538	149	4	497	199	6	2,035	52,240	40,421
16	2019	51	2	1,584	154	5	512	205	6	2,096	54,548	41,859
17	2020	53	2	1,631	158	5	528	211	6	2,159	56,924	43,296
18	2021	4,000	2	1,680	12,267	5	544	16,266	7	2,224	75,421	54,161
19	2022	56	2	1,731	168	5	560	224	7	2,291	77,942	55,599
20	2023	58	2	1,783	173	5	577	230	7	2,359	80,539	57,037
21	2024	59	2	1,836	178	5	594	237	7	2,430	83,213	58,475
22	2025	61	2	1,891	183	6	612	245	7	2,503	85,968	59,912
23	2026	63	2	1,948	189	6	630	252	8	2,578	88,806	61,350
24	2027	4,776	2	2,006	14,647	6	649	19,423	8	2,655	110,892	72,215
25	2028	67	2	2,067	200	6	669	267	8	2,735	113,902	73,653
26	2029	69	2	2,129	206	6	689	275	8	2,817	117,003	75,090
27	2030	71	2	2,192	213	6	709	283	9	2,902	120,197	76,528
28	2031	73	2	2,258	219	7	731	292	9	2,989	123,486	77,966
29	2032	75	2	2,326	226	7	752	301	9	3,078	126,874	79,404
30	2033	5,703	2	2,396	17,489	7	775	23,192	9	3,171	153,246	90,269
총 계		21,916	47	48,367	67,129	141	15,646	89,046	188	64,013	153,246	90,269

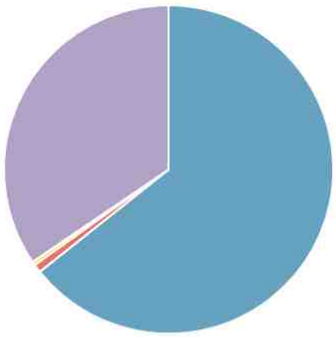
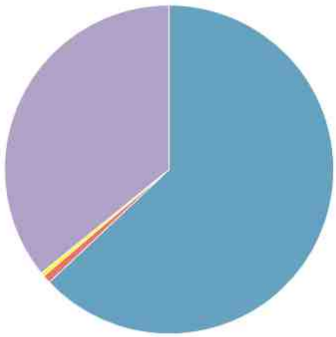
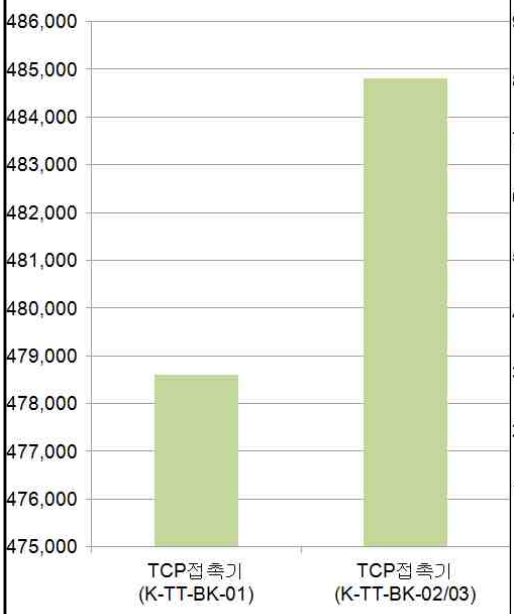
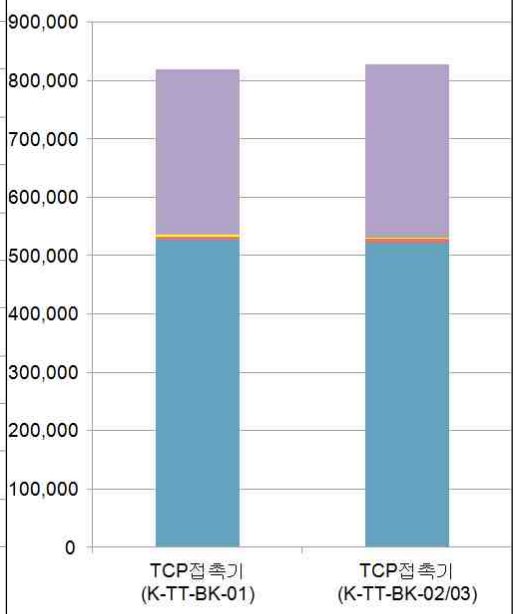
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	36	
2. 내용연수	년	6	6	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		CMB접촉기 (CMB-I)	CMB접촉기 (CMB-P)	
1. 재료비	천원	148,361	455,520	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	1,101	3,303	
4. FGI	천원	462	1,387	
5. 운영비	천원	47	141	
6. 고장 정비비	천원	58,787	19,032	
총생애주기비용	천원	121,442	273,949	

LCC 분석 그래프		범 례
 CMB접촉기 (CMB-I)	 CMB접촉기 (CMB-P)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 300,000 250,000 200,000 150,000 100,000 50,000 0 CMB접촉기 (CMB-I) CMB접촉기 (CMB-P)	 비 용 별 합 계 600,000 500,000 400,000 300,000 200,000 100,000 0 CMB접촉기 (CMB-I) CMB접촉기 (CMB-P)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

(6) TCP접촉기

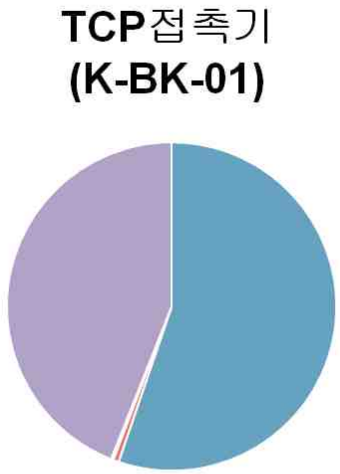
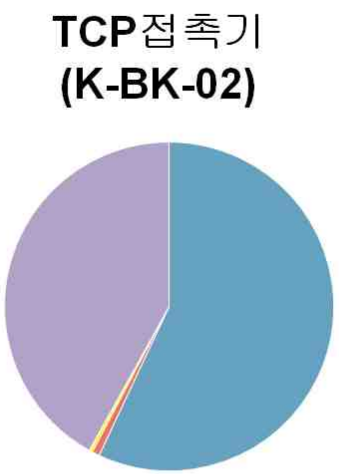
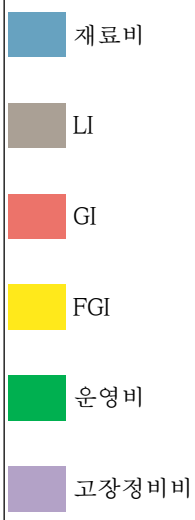
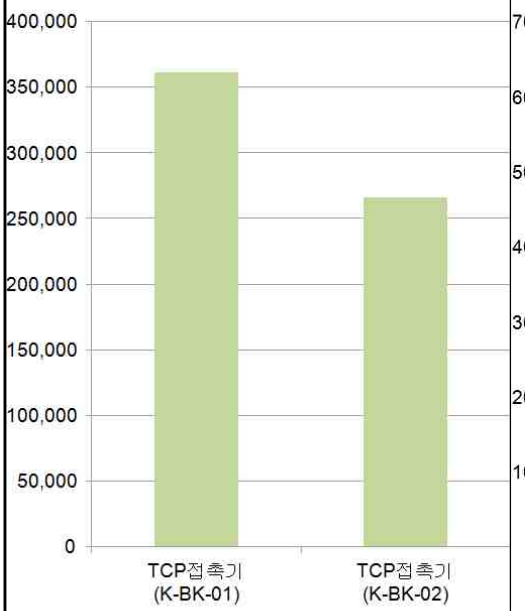
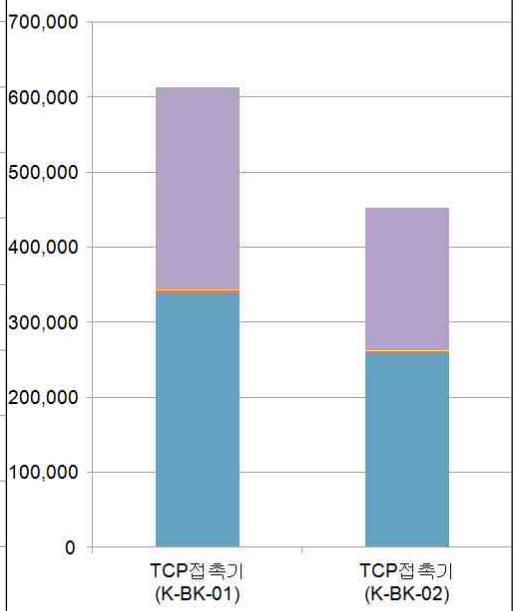
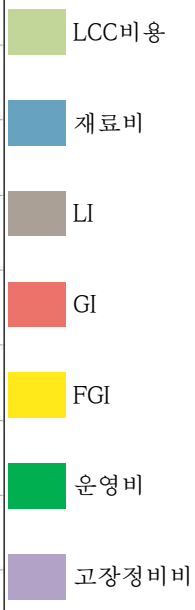
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		K-TT-BK-01			K-TT-BK-02			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	197	6	9,770	197	6	10,271	394	12	20,041	20,448	19,852
2	2005	203	6	10,064	203	6	10,579	406	12	20,643	41,509	39,704
3	2006	209	6	10,365	209	6	10,897	418	13	21,262	63,202	59,556
4	2007	215	6	10,676	215	6	11,223	431	13	21,900	85,545	79,408
5	2008	222	7	10,997	222	7	11,560	444	13	22,557	108,559	99,260
6	2009	59,102	7	11,327	58,598	7	11,907	117,700	14	23,234	249,507	217,302
7	2010	235	7	11,666	235	7	12,264	471	14	23,931	273,922	237,154
8	2011	242	7	12,016	242	7	12,632	485	15	24,648	299,070	257,006
9	2012	250	7	12,377	250	7	13,011	499	15	25,388	324,973	276,858
10	2013	257	8	12,748	257	8	13,401	514	15	26,150	351,652	296,710
11	2014	265	8	13,131	265	8	13,803	530	16	26,934	379,132	316,562
12	2015	70,571	8	13,525	69,969	8	14,218	140,540	16	27,742	547,431	434,603
13	2016	281	8	13,930	281	8	14,644	562	17	28,574	576,584	454,455
14	2017	290	9	14,348	290	9	15,083	579	17	29,432	606,612	474,307
15	2018	298	9	14,779	298	9	15,536	596	18	30,315	637,541	494,159
16	2019	307	9	15,222	307	9	16,002	614	18	31,224	669,398	514,012
17	2020	316	9	15,679	316	9	16,482	633	19	32,161	702,210	533,864
18	2021	84,266	10	16,149	83,547	10	16,977	167,812	20	33,126	903,168	651,905
19	2022	336	10	16,633	336	10	17,486	671	20	34,119	937,979	671,757
20	2023	346	10	17,132	346	10	18,010	691	21	35,143	973,834	691,609
21	2024	356	11	17,646	356	11	18,551	712	21	36,197	1,010,764	711,461
22	2025	367	11	18,176	367	11	19,107	734	22	37,283	1,048,803	731,313
23	2026	378	11	18,721	378	11	19,680	756	23	38,402	1,087,983	751,165
24	2027	100,618	12	19,283	99,759	12	20,271	200,377	23	39,554	1,327,936	869,207
25	2028	401	12	19,861	401	12	20,879	802	24	40,740	1,369,502	889,059
26	2029	413	12	20,457	413	12	21,505	826	25	41,962	1,412,315	908,911
27	2030	425	13	21,071	425	13	22,151	850	26	43,221	1,456,412	928,763
28	2031	438	13	21,703	438	13	22,815	876	26	44,518	1,501,832	948,615
29	2032	451	14	22,354	451	14	23,499	902	27	45,853	1,548,615	968,467
30	2033	120,143	14	23,025	119,118	14	24,204	239,260	28	47,229	1,835,132	1,086,508
총 계		442,398	281	464,831	438,689	281	488,651	881,088	563	953,482	1,835,132	1,086,508

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	12	
2. 내용연수	년	6	6	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		TCP접촉기 (K-TT-BK-01)	TCP접촉기 (K-TT-BK-02/03)	
1. 재료비	천원	526,427	521,822	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	6,606	6,606	
4. FGI	천원	2,774	2,774	
5. 운영비	천원	281	281	
6. 고장 정비비	천원	282,556	296,964	
총생애주기비용	천원	478,607	484,807	

LCC 분석 그래프		범 례
TCP접촉기 (K-TT-BK-01) 	TCP접촉기 (K-TT-BK-02/03) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		TCP접촉기(K-BK-01)			TCP접촉기(K-BK-02)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	99	3	4,668	99	3	3,285	197	6	7,953	8,156	7,918
2	2005	102	3	4,808	102	3	3,383	203	6	8,191	16,556	15,837
3	2006	105	3	4,952	105	3	3,485	209	6	8,437	25,209	23,755
4	2007	108	3	5,101	108	3	3,589	215	6	8,690	34,121	31,673
5	2008	111	3	5,254	111	3	3,697	222	7	8,951	43,300	39,591
6	2009	38,025	3	5,412	28,991	3	3,808	67,015	7	9,219	119,542	103,443
7	2010	118	4	5,574	118	4	3,922	235	7	9,496	129,281	111,361
8	2011	121	4	5,741	121	4	4,040	242	7	9,781	139,311	119,279
9	2012	125	4	5,913	125	4	4,161	250	7	10,074	149,643	127,197
10	2013	129	4	6,091	129	4	4,286	257	8	10,377	160,284	135,116
11	2014	132	4	6,273	132	4	4,414	265	8	10,688	171,245	143,034
12	2015	45,404	4	6,462	34,616	4	4,547	80,020	8	11,008	262,282	206,885
13	2016	141	4	6,656	141	4	4,683	281	8	11,339	273,910	214,804
14	2017	145	4	6,855	145	4	4,824	290	9	11,679	285,887	222,722
15	2018	149	4	7,061	149	4	4,968	298	9	12,029	298,223	230,640
16	2019	154	5	7,273	154	5	5,117	307	9	12,390	310,930	238,558
17	2020	158	5	7,491	158	5	5,271	316	9	12,762	324,018	246,477
18	2021	54,214	5	7,716	41,334	5	5,429	95,548	10	13,145	432,720	310,328
19	2022	168	5	7,947	168	5	5,592	336	10	13,539	446,605	318,246
20	2023	173	5	8,185	173	5	5,760	346	10	13,945	460,906	326,164
21	2024	178	5	8,431	178	5	5,933	356	11	14,364	475,636	334,083
22	2025	183	6	8,684	183	6	6,111	367	11	14,794	490,809	342,001
23	2026	189	6	8,944	189	6	6,294	378	11	15,238	506,436	349,919
24	2027	64,735	6	9,213	49,355	6	6,483	114,089	12	15,695	636,233	413,770
25	2028	200	6	9,489	200	6	6,677	401	12	16,166	652,812	421,689
26	2029	206	6	9,774	206	6	6,877	413	12	16,651	669,888	429,607
27	2030	213	6	10,067	213	6	7,084	425	13	17,151	687,477	437,525
28	2031	219	7	10,369	219	7	7,296	438	13	17,665	705,593	445,444
29	2032	226	7	10,680	226	7	7,515	451	14	18,195	724,253	453,362
30	2033	77,297	7	11,001	58,932	7	7,741	136,229	14	18,741	879,237	517,213
총 계		283,524	141	222,084	217,077	141	156,271	500,600	281	378,355	879,237	517,213

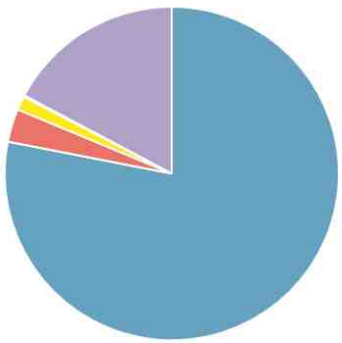
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	6	6	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		TCP접촉기 (K-BK-01)	TCP접촉기 (K-BK-02)	
1. 재료비	천원	338,929	258,200	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	3,303	3,303	
4. FGI	천원	1,387	1,387	
5. 운영비	천원	141	141	
6. 고장 정비비	천원	269,965	190,003	
총생애주기비용	천원	361,194	266,279	

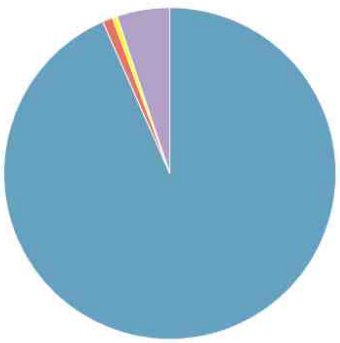
LCC 분석 그래프		범 례
 TCP접촉기 (K-BK-01)	 TCP접촉기 (K-BK-02)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 400,000 350,000 300,000 250,000 200,000 150,000 100,000 50,000 0 TCP접촉기 (K-BK-01) TCP접촉기 (K-BK-02)	 비 용 별 합 계 700,000 600,000 500,000 400,000 300,000 200,000 100,000 0 TCP접촉기 (K-BK-01) TCP접촉기 (K-BK-02)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

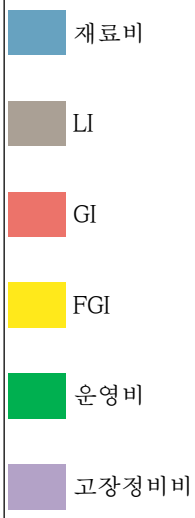
(7) 콘덴서

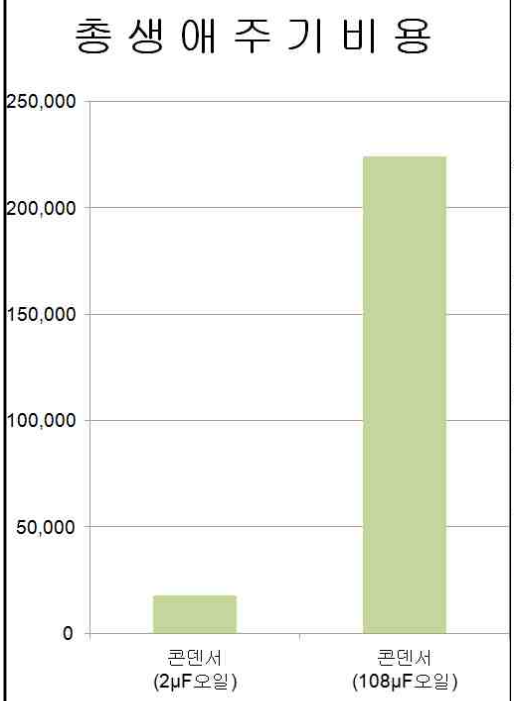
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		콘덴서(2uF오일)			콘덴서(108uF오일)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	29	1	735	116	3	553	145	4	1,289	1,437	1,396
2	2005	30	1	758	119	4	570	149	4	1,327	2,918	2,791
3	2006	31	1	780	123	4	587	153	5	1,367	4,443	4,187
4	2007	32	1	804	126	4	604	158	5	1,408	6,014	5,582
5	2008	33	1	828	130	4	622	163	5	1,450	7,632	6,978
6	2009	34	1	853	134	4	641	168	5	1,494	9,298	8,373
7	2010	35	1	878	138	4	660	173	5	1,539	11,014	9,769
8	2011	36	1	905	142	4	680	178	5	1,585	12,782	11,165
9	2012	37	1	932	147	4	701	183	5	1,632	14,603	12,560
10	2013	38	1	960	151	5	722	189	6	1,681	16,479	13,956
11	2014	39	1	988	155	5	743	194	6	1,732	18,410	15,351
12	2015	7,419	1	1,018	196,678	5	766	204,098	6	1,784	224,298	159,756
13	2016	41	1	1,049	165	5	788	206	6	1,837	226,347	161,152
14	2017	42	1	1,080	170	5	812	212	6	1,892	228,458	162,548
15	2018	44	1	1,113	175	5	836	219	7	1,949	230,632	163,943
16	2019	45	1	1,146	180	5	862	225	7	2,007	232,872	165,339
17	2020	46	1	1,180	186	6	887	232	7	2,068	235,178	166,734
18	2021	48	1	1,216	191	6	914	239	7	2,130	237,554	168,130
19	2022	49	1	1,252	197	6	941	246	7	2,194	240,001	169,525
20	2023	51	2	1,290	203	6	970	254	8	2,259	242,522	170,921
21	2024	52	2	1,328	209	6	999	261	8	2,327	245,118	172,317
22	2025	54	2	1,368	215	6	1,029	269	8	2,397	247,792	173,712
23	2026	55	2	1,409	222	7	1,060	277	8	2,469	250,546	175,108
24	2027	10,578	2	1,452	280,416	7	1,091	290,995	9	2,543	544,093	319,513
25	2028	59	2	1,495	235	7	1,124	294	9	2,619	547,015	320,909
26	2029	61	2	1,540	242	7	1,158	303	9	2,698	550,024	322,304
27	2030	62	2	1,586	249	7	1,193	312	9	2,779	553,124	323,700
28	2031	64	2	1,634	257	8	1,228	321	10	2,862	556,317	325,095
29	2032	66	2	1,683	265	8	1,265	331	10	2,948	559,606	326,491
30	2033	68	2	1,733	273	8	1,303	341	10	3,036	562,993	327,886
총 계		19,276	41	34,992	482,209	165	26,310	501,485	206	61,302	562,993	327,886

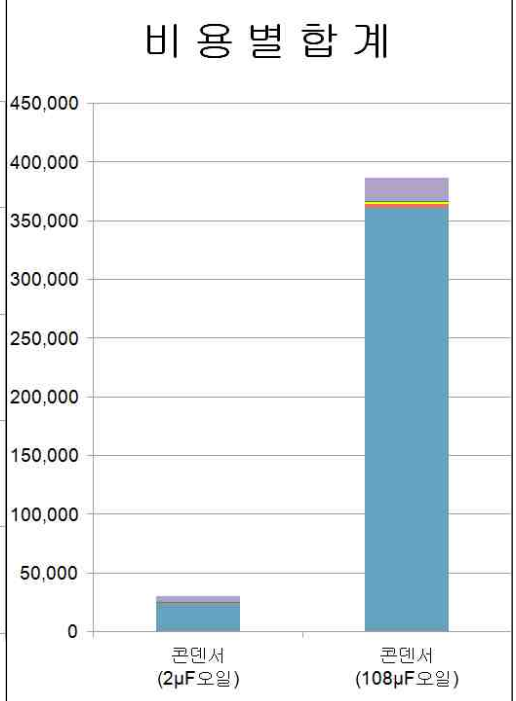
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	48	
2. 내용연수	년	12	12	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		콘덴서 (2uF 오일)	콘덴서 (108uF 오일)	
1. 재료비	천원	23,572	360,710	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	969	3,875	
4. FGI	천원	407	1,627	
5. 운영비	천원	41	165	
6. 고장 정비비	천원	5,203	19,906	
총생애주기비용	천원	17,684	224,247	

<table>
<tr><th>LCC 분석 그래프</th><th>범 례</th></tr>
<tr><td>




</td><td>


</td></tr>
<tr><td>


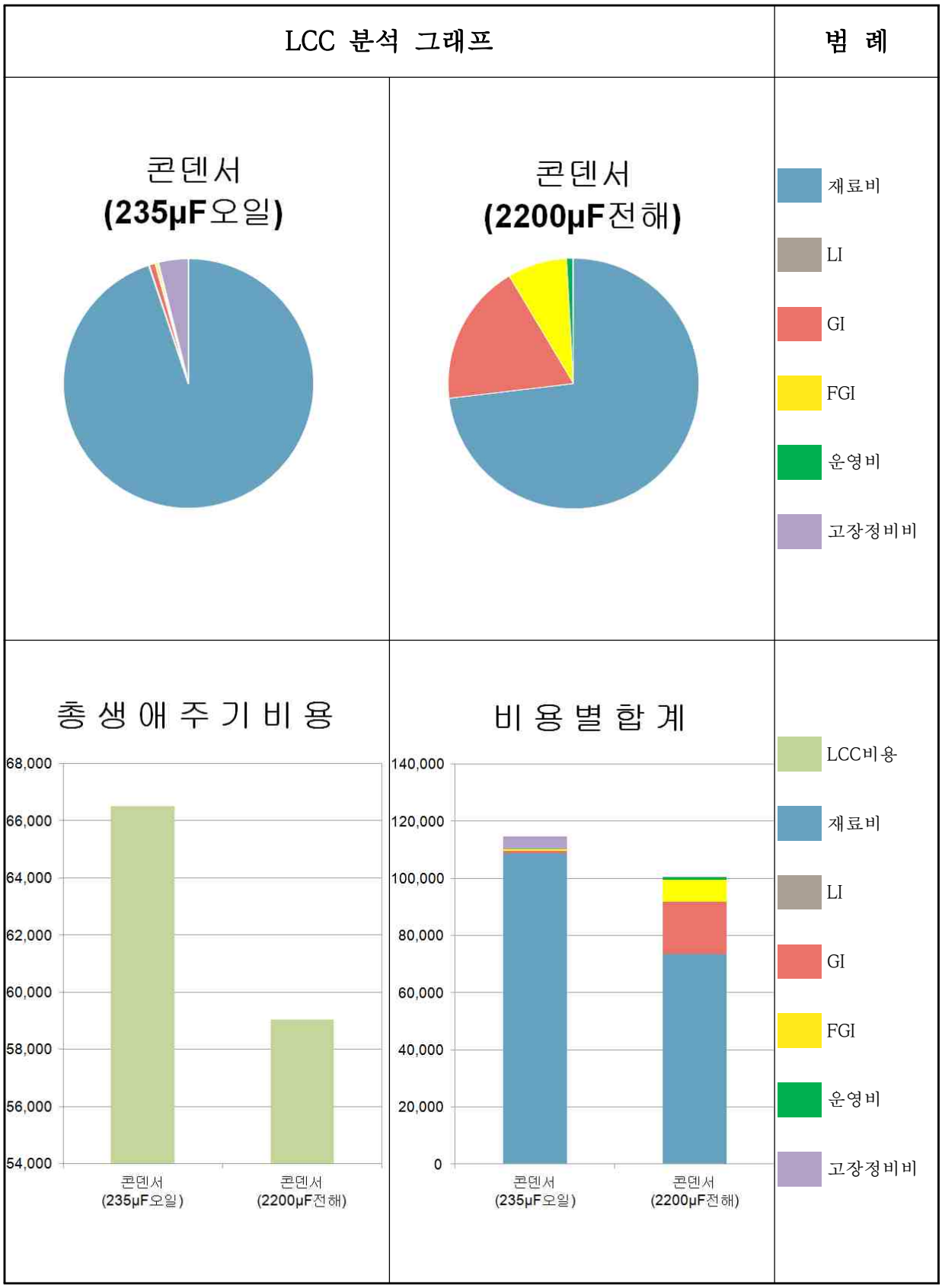


</td><td>


</td></tr>
</table>

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		콘덴서(235uF오일)			콘덴서(2200uF전해)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	29	1	28	549	16	2	578	17	30	625	607
2	2005	30	1	29	566	17	2	596	18	31	1,269	1,214
3	2006	31	1	30	583	17	2	614	18	31	1,933	1,821
4	2007	32	1	31	600	18	2	632	19	32	2,616	2,428
5	2008	33	1	32	618	19	2	651	20	33	3,320	3,035
6	2009	34	1	33	637	19	2	670	20	34	4,045	3,642
7	2010	35	1	34	656	20	2	691	21	35	4,791	4,249
8	2011	36	1	35	676	20	2	711	21	36	5,560	4,857
9	2012	37	1	36	696	21	2	733	22	38	6,352	5,464
10	2013	38	1	37	717	22	2	755	23	39	7,168	6,071
11	2014	39	1	38	738	22	2	777	23	40	8,008	6,678
12	2015	13,446	1	39	23,137	23	2	36,583	24	41	44,656	32,382
13	2016	41	1	40	783	23	2	825	25	42	45,548	32,989
14	2017	42	1	41	807	24	2	849	25	43	46,466	33,596
15	2018	44	1	42	831	25	2	875	26	45	47,412	34,203
16	2019	45	1	44	856	26	2	901	27	46	48,386	34,810
17	2020	46	1	45	882	26	2	928	28	48	49,390	35,417
18	2021	48	1	46	908	27	3	956	29	49	50,423	36,024
19	2022	49	1	48	935	28	3	985	30	50	51,488	36,631
20	2023	51	2	49	963	29	3	1,014	30	52	52,584	37,239
21	2024	52	2	51	992	30	3	1,045	31	53	53,713	37,846
22	2025	54	2	52	1,022	31	3	1,076	32	55	54,877	38,453
23	2026	55	2	54	1,053	32	3	1,108	33	57	56,075	39,060
24	2027	19,171	2	55	32,987	33	3	52,159	34	58	108,326	64,764
25	2028	59	2	57	1,117	34	3	1,176	35	60	109,597	65,371
26	2029	61	2	59	1,150	35	3	1,211	36	62	110,906	65,978
27	2030	62	2	61	1,185	36	3	1,247	37	64	112,255	66,585
28	2031	64	2	62	1,220	37	3	1,285	39	66	113,644	67,192
29	2032	66	2	64	1,257	38	4	1,323	40	68	115,074	67,799
30	2033	68	2	66	1,295	39	4	1,363	41	70	116,548	68,406
총 계		33,896	41	1,335	80,417	784	73	114,313	825	1,409	116,548	68,406

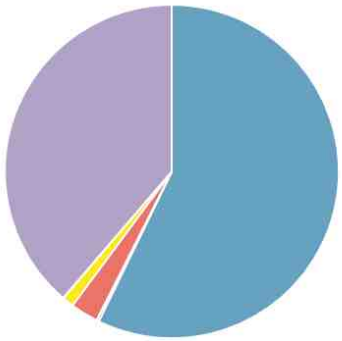
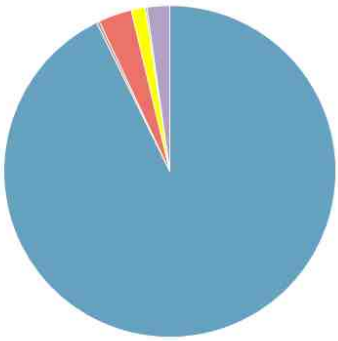
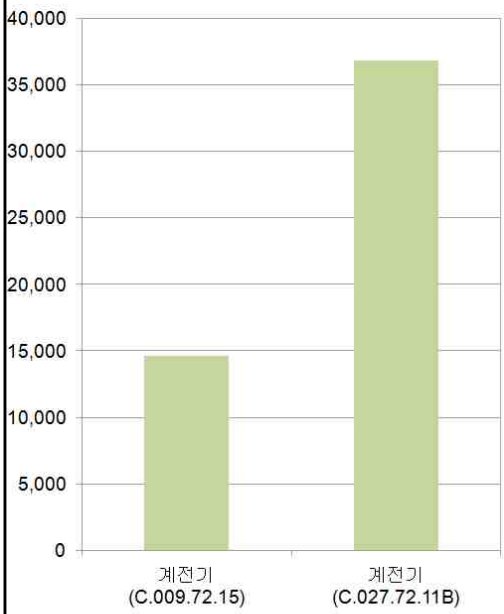
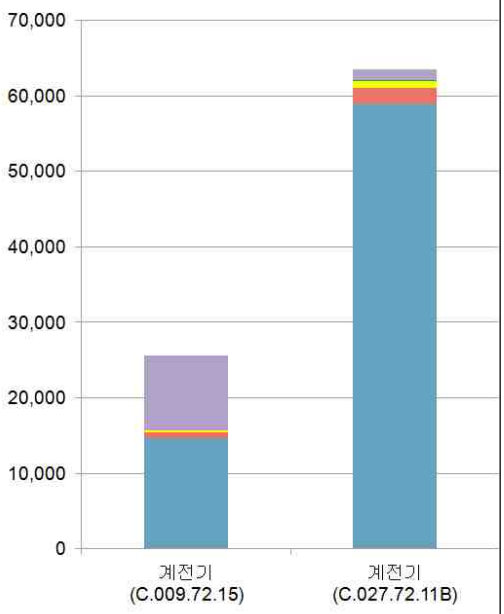
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	228	
2. 내용연수	년	12	12	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		콘덴서 (235uF 오일)	콘덴서 (2200uF 전해)	
1. 재료비	천원	108,793	73,496	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	969	18,408	
4. FGI	천원	407	7,730	
5. 운영비	천원	41	784	
6. 고장 정비비	천원	4,468	99	
총생애주기비용	천원	66,515	59,044	


LCC 분석 그래프
범 례
콘덴서
(235μF오일)
콘덴서
(2200μF전해)
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비
총 생 애 주 기 비 용
68,000
66,000
64,000
62,000
60,000
58,000
56,000
54,000
콘덴서
(235μF오일)
콘덴서
(2200μF전해)
비 용 별 합 계
140,000
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
콘덴서
(235μF오일)
콘덴서
(2200μF전해)
LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

(8) 계전기

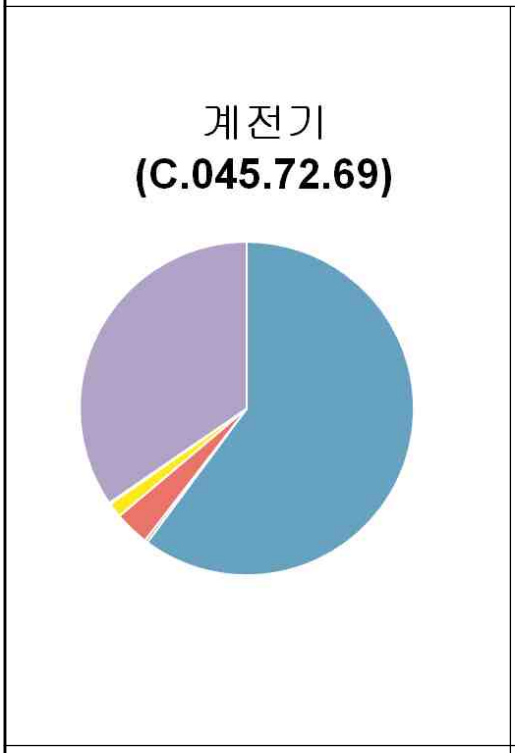
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(C.009)			계전기(C.027)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	4	0	220	65	2	20	69	2	239	310	301
2	2005	4	0	226	67	2	20	71	2	247	630	603
3	2006	4	0	233	69	2	21	73	2	254	960	904
4	2007	4	0	240	71	2	22	75	2	262	1,299	1,206
5	2008	291	0	247	4,468	2	22	4,759	2	269	6,329	5,545
6	2009	4	0	254	76	2	23	80	2	277	6,689	5,846
7	2010	4	0	262	78	2	24	82	2	286	7,060	6,148
8	2011	4	0	270	80	2	24	85	3	294	7,442	6,449
9	2012	5	0	278	83	2	25	87	3	303	7,835	6,751
10	2013	337	0	286	5,179	3	26	5,517	3	312	13,667	11,090
11	2014	5	0	295	88	3	27	93	3	322	14,084	11,391
12	2015	5	0	304	91	3	27	96	3	331	14,514	11,693
13	2016	5	0	313	93	3	28	98	3	341	14,956	11,994
14	2017	5	0	322	96	3	29	101	3	351	15,412	12,296
15	2018	391	0	332	6,004	3	30	6,395	3	362	22,173	16,635
16	2019	6	0	342	102	3	31	108	3	373	22,656	16,936
17	2020	6	0	352	105	3	32	111	3	384	23,155	17,238
18	2021	6	0	363	108	3	33	114	3	396	23,668	17,539
19	2022	6	0	374	111	3	34	118	4	407	24,196	17,841
20	2023	454	0	385	6,960	3	35	7,414	4	420	32,034	22,180
21	2024	7	0	396	118	4	36	125	4	432	32,594	22,481
22	2025	7	0	408	122	4	37	128	4	445	33,172	22,783
23	2026	7	0	421	125	4	38	132	4	459	33,767	23,084
24	2027	7	0	433	129	4	39	136	4	472	34,379	23,386
25	2028	526	0	446	8,069	4	40	8,595	4	487	43,465	27,725
26	2029	8	0	460	137	4	41	145	4	501	44,115	28,026
27	2030	8	0	473	141	4	43	149	4	516	44,785	28,328
28	2031	8	0	488	145	4	44	153	5	532	45,474	28,629
29	2032	8	0	502	150	4	45	158	5	548	46,184	28,931
30	2033	609	0	517	9,354	5	47	9,964	5	564	56,717	33,270
총 계		2,745	5	10,444	42,487	93	943	45,232	99	11,386	56,717	33,270

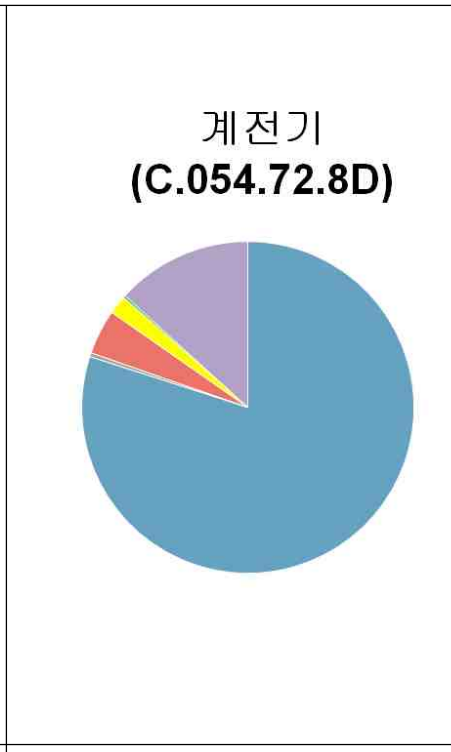
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	18	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (C.009.72.15)	계전기 (C.027.72.11B)	
1. 재료비	천원	14,644	58,820	
2. LI	천원	60	179	
3. GI	천원	689	2,066	
4. FGI	천원	289	868	
5. 운영비	천원	5	93	
6. 고장 정비비	천원	9,911	1,407	
총생애주기비용	천원	14,635	36,797	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (C.009.72.15) 	계전기 (C.027.72.11B) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

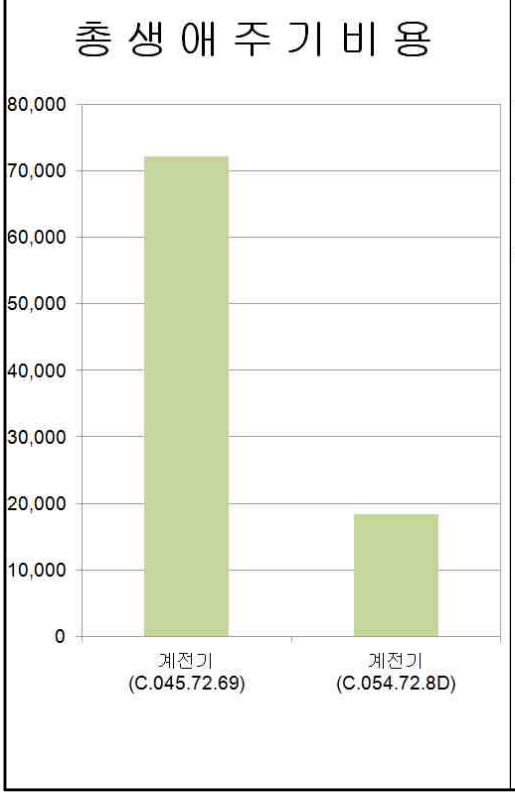
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(C.045)			계전기(C.054)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	131	4	1,119	44	1	108	174	5	1,226	1,406	1,365
2	2005	135	4	1,152	45	1	111	180	5	1,263	2,854	2,730
3	2006	139	4	1,187	46	1	114	185	6	1,301	4,346	4,095
4	2007	143	4	1,222	48	1	118	191	6	1,340	5,882	5,460
5	2008	10,477	4	1,259	3,492	1	121	13,969	6	1,380	21,237	18,705
6	2009	152	5	1,297	51	2	125	202	6	1,422	22,867	20,070
7	2010	156	5	1,336	52	2	128	208	6	1,464	24,546	21,435
8	2011	161	5	1,376	54	2	132	215	6	1,508	26,275	22,800
9	2012	166	5	1,417	55	2	136	221	7	1,553	28,056	24,165
10	2013	12,146	5	1,460	4,048	2	140	16,194	7	1,600	45,857	37,411
11	2014	176	5	1,503	59	2	145	234	7	1,648	47,746	38,776
12	2015	181	5	1,549	60	2	149	241	7	1,697	49,692	40,141
13	2016	187	6	1,595	62	2	153	249	7	1,748	51,697	41,506
14	2017	192	6	1,643	64	2	158	256	8	1,801	53,761	42,871
15	2018	14,080	6	1,692	4,693	2	163	18,773	8	1,855	74,397	56,116
16	2019	204	6	1,743	68	2	168	272	8	1,910	76,588	57,481
17	2020	210	6	1,795	70	2	173	280	8	1,968	78,844	58,846
18	2021	216	6	1,849	72	2	178	288	9	2,027	81,168	60,211
19	2022	223	7	1,904	74	2	183	297	9	2,088	83,561	61,576
20	2023	16,323	7	1,962	5,440	2	189	21,764	9	2,150	107,484	74,822
21	2024	236	7	2,020	79	2	194	315	9	2,215	110,023	76,187
22	2025	243	7	2,081	81	2	200	325	10	2,281	112,639	77,552
23	2026	251	8	2,143	84	3	206	334	10	2,350	115,333	78,917
24	2027	258	8	2,208	86	3	212	344	10	2,420	118,107	80,282
25	2028	18,923	8	2,274	6,307	3	219	25,230	11	2,493	145,840	93,527
26	2029	274	8	2,342	91	3	225	365	11	2,567	148,784	94,892
27	2030	282	8	2,413	94	3	232	376	11	2,644	151,816	96,257
28	2031	291	9	2,485	97	3	239	388	12	2,724	154,939	97,622
29	2032	299	9	2,559	100	3	246	399	12	2,805	158,156	98,987
30	2033	21,937	9	2,636	7,312	3	253	29,248	12	2,890	190,306	112,232
총 계		98,792	187	53,221	32,927	62	5,116	131,719	249	58,338	190,306	112,232

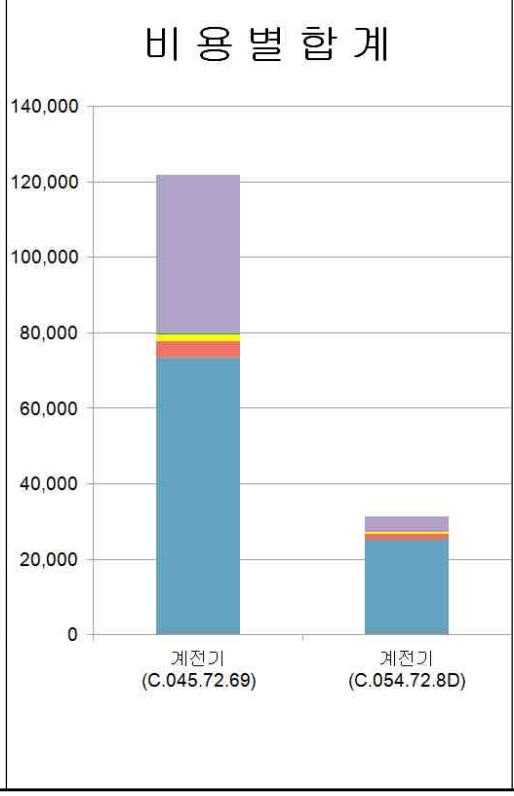
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	36	12	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (C.045.72.69)	계전기 (C.054.72.8D)	
1. 재료비	천원	73,343	25,174	
2. LI	천원	357	119	
3. GI	천원	4,133	1,378	
4. FGI	천원	1,735	578	
5. 운영비	천원	187	62	
6. 고장 정비비	천원	42,160	4,173	
총생애주기비용	천원	72,097	18,403	

<table>
<tr><th>LCC 분석 그래프</th><th>범 례</th></tr>
<tr><td>




</td><td>


</td></tr>
<tr><td>


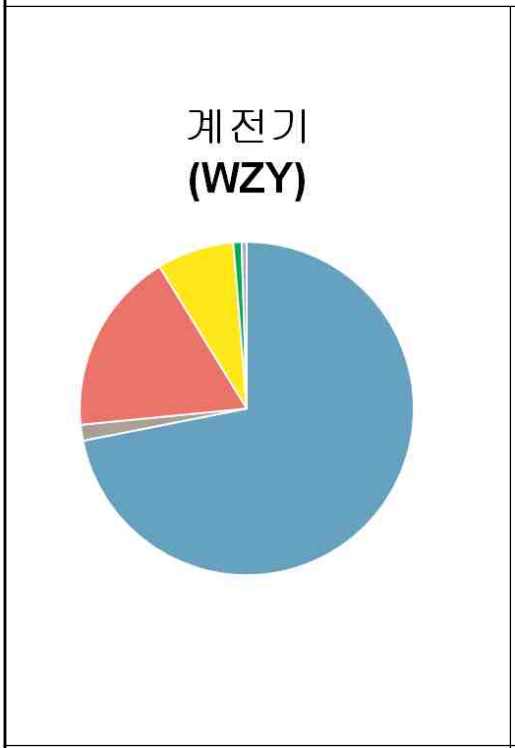


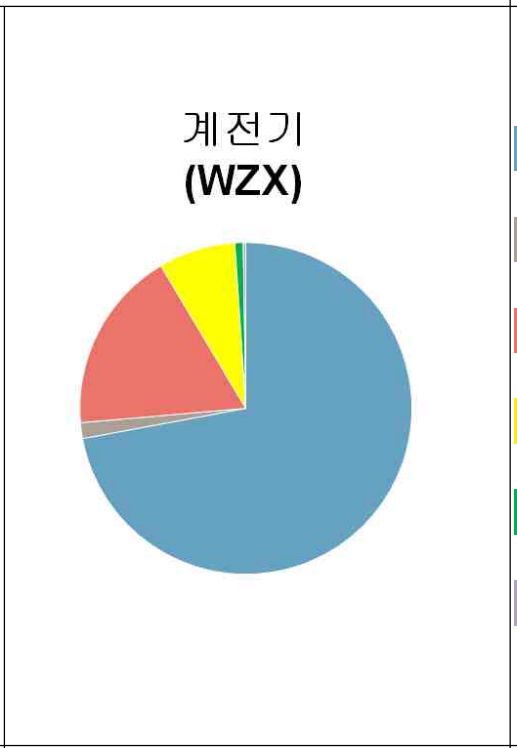
</td><td>

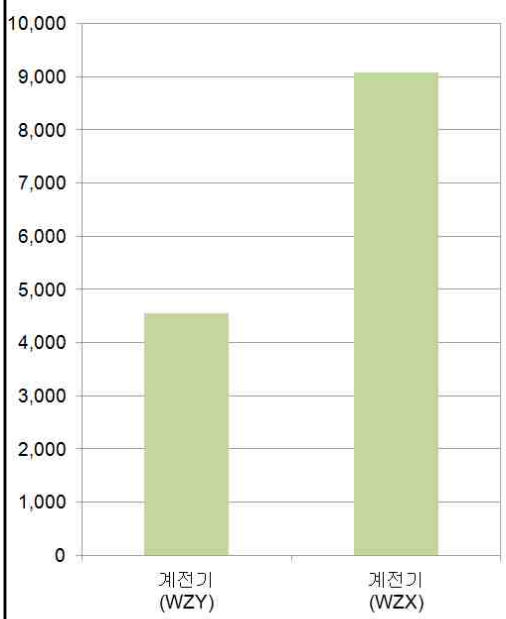

</td></tr>
</table>

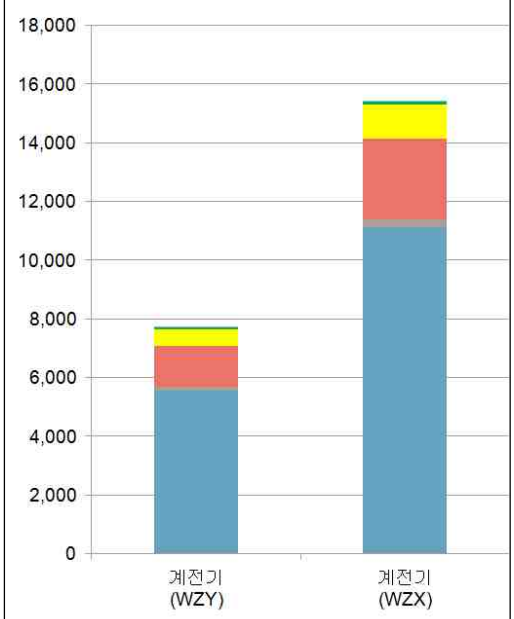
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(WZY)			계전기(WZX)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	44	1	0	87	3	2	131	4	2	137	133
2	2005	45	1	0	90	3	2	135	4	2	278	266
3	2006	46	1	0	93	3	2	139	4	2	423	399
4	2007	48	1	0	95	3	2	143	4	2	573	532
5	2008	1,734	1	0	3,469	3	2	5,203	4	2	5,783	5,026
6	2009	51	2	0	101	3	3	152	5	3	5,942	5,159
7	2010	52	2	0	104	3	3	156	5	3	6,105	5,292
8	2011	54	2	0	107	3	3	161	5	3	6,274	5,425
9	2012	55	2	0	111	3	3	166	5	3	6,447	5,558
10	2013	2,010	2	0	4,022	3	3	6,032	5	3	12,487	10,052
11	2014	59	2	0	117	4	3	176	5	3	12,671	10,185
12	2015	60	2	0	121	4	3	181	5	3	12,860	10,318
13	2016	62	2	0	124	4	3	187	6	3	13,056	10,451
14	2017	64	2	0	128	4	3	192	6	3	13,257	10,584
15	2018	2,330	2	0	4,662	4	3	6,992	6	3	20,258	15,078
16	2019	68	2	0	136	4	3	204	6	3	20,472	15,211
17	2020	70	2	0	140	4	3	210	6	3	20,692	15,344
18	2021	72	2	0	144	4	4	216	6	4	20,918	15,477
19	2022	74	2	0	149	4	4	223	7	4	21,151	15,610
20	2023	2,701	2	0	5,405	5	4	8,106	7	4	29,268	20,104
21	2024	79	2	0	158	5	4	236	7	4	29,515	20,237
22	2025	81	2	0	162	5	4	243	7	4	29,770	20,370
23	2026	84	3	0	167	5	4	251	8	4	30,032	20,503
24	2027	86	3	0	172	5	4	258	8	4	30,303	20,636
25	2028	3,132	3	0	6,266	5	4	9,397	8	4	39,712	25,130
26	2029	91	3	0	183	5	5	274	8	5	39,999	25,263
27	2030	94	3	0	188	6	5	282	8	5	40,294	25,396
28	2031	97	3	0	194	6	5	291	9	5	40,599	25,529
29	2032	100	3	0	200	6	5	299	9	5	40,912	25,662
30	2033	3,631	3	0	7,263	6	5	10,894	9	5	51,820	30,156
총 계		17,173	62	0	34,357	125	103	51,530	187	103	51,820	30,156

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	24	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (WZY)	계전기 (WZX)	
1. 재료비	천원	5,567	11,135	
2. LI	천원	119	238	
3. GI	천원	1,378	2,755	
4. FGI	천원	578	1,157	
5. 운영비	천원	62	125	
6. 고장 정비비	천원	38	38	
총생애주기비용	천원	4,547	9,071	

<table>
<tr><th>LCC 분석 그래프</th><th>범 례</th></tr>
<tr><td>




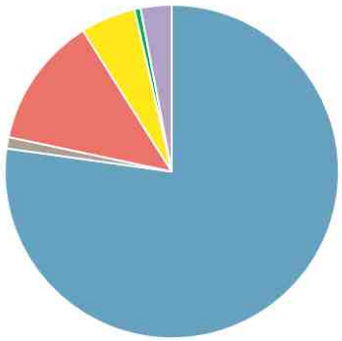
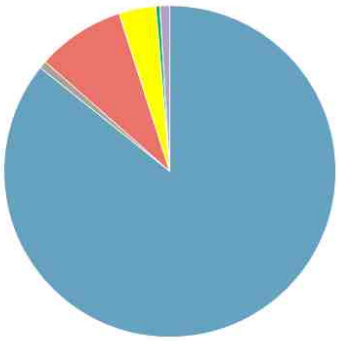
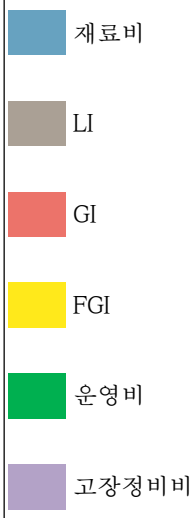
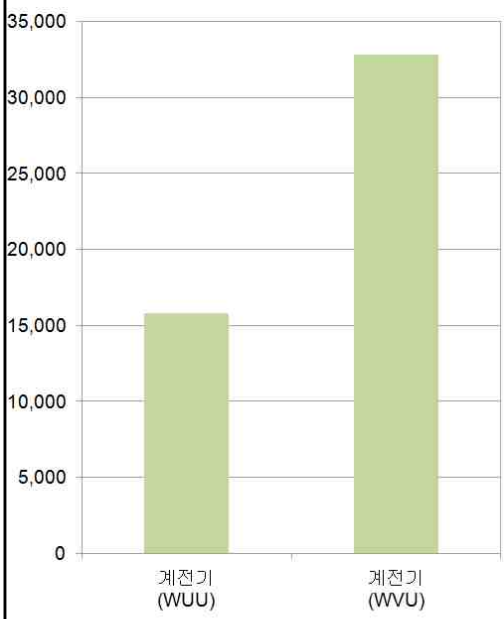
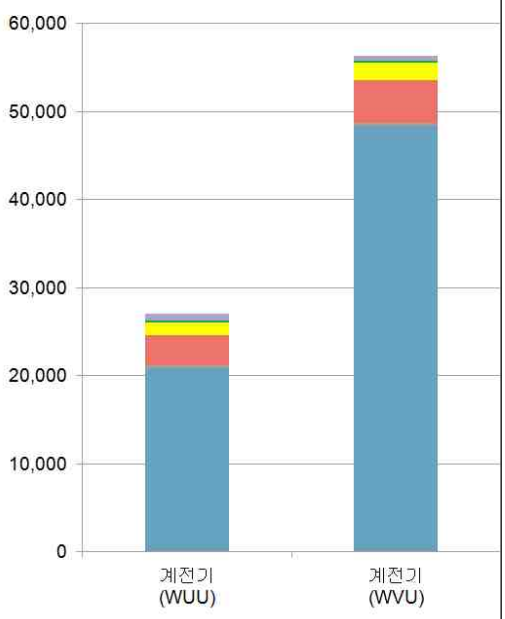
</td><td rowspan="2">재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비</td></tr>
<tr><td>




</td><td>LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비</td></tr>
</table>

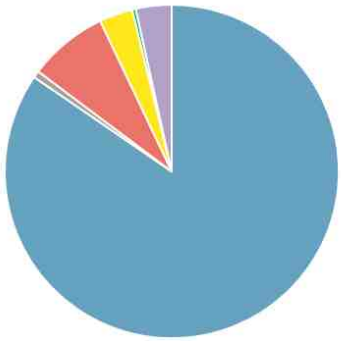
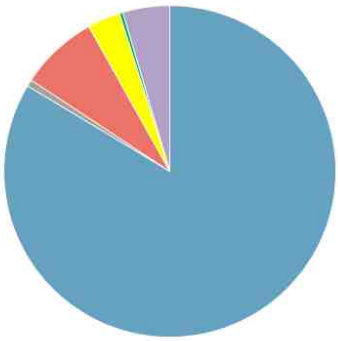
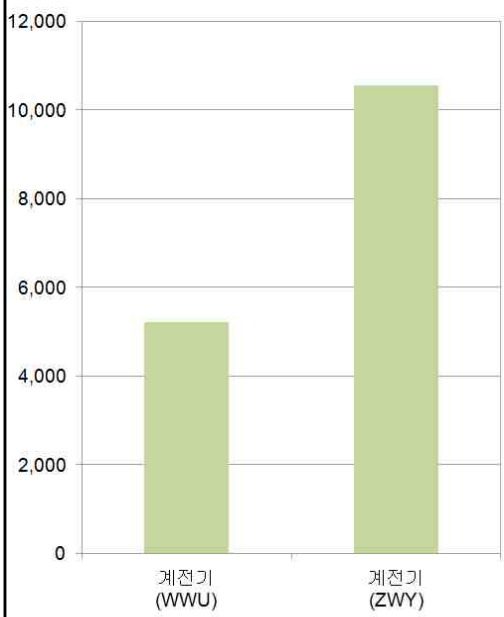
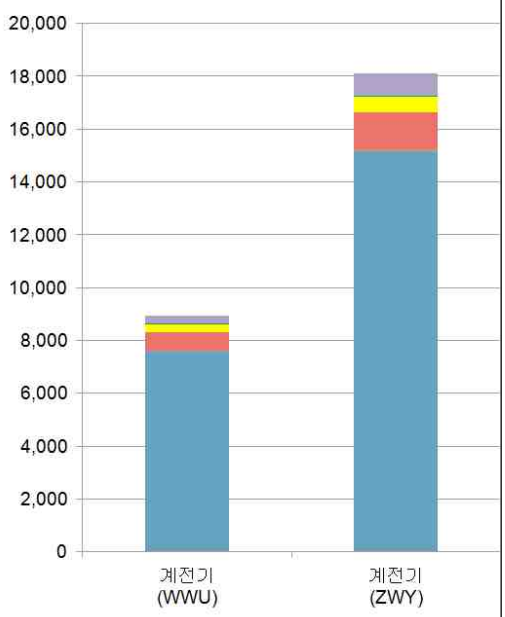
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(WUU)			계전기(WVU)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	109	3	20	153	5	9	262	8	29	298	289
2	2005	112	3	21	157	5	9	270	8	29	605	579
3	2006	116	3	21	162	5	9	278	8	30	921	868
4	2007	119	4	22	167	5	9	286	9	31	1,247	1,158
5	2008	2,842	4	23	4,181	5	10	7,023	9	32	8,311	7,251
6	2009	126	4	23	177	5	10	303	9	33	8,657	7,541
7	2010	130	4	24	182	5	10	312	9	34	9,013	7,830
8	2011	134	4	25	188	6	10	322	10	35	9,379	8,119
9	2012	138	4	25	193	6	11	332	10	36	9,757	8,409
10	2013	3,295	4	26	4,847	6	11	8,141	10	37	17,946	14,502
11	2014	147	4	27	205	6	11	352	11	38	18,346	14,792
12	2015	151	5	28	211	6	12	362	11	40	18,759	15,081
13	2016	155	5	29	218	7	12	373	11	41	19,184	15,370
14	2017	160	5	29	224	7	12	384	12	42	19,622	15,660
15	2018	3,819	5	30	5,619	7	13	9,438	12	43	29,115	21,753
16	2019	170	5	31	238	7	13	408	12	45	29,580	22,043
17	2020	175	5	32	245	7	14	420	13	46	30,058	22,332
18	2021	180	5	33	252	8	14	433	13	47	30,551	22,622
19	2022	186	6	34	260	8	14	446	13	49	31,058	22,911
20	2023	4,428	6	35	6,514	8	15	10,941	14	50	42,064	29,004
21	2024	197	6	36	276	8	15	473	14	52	42,602	29,294
22	2025	203	6	37	284	9	16	487	15	53	43,157	29,583
23	2026	209	6	38	293	9	16	501	15	55	43,728	29,873
24	2027	215	6	40	301	9	17	516	15	56	44,316	30,162
25	2028	5,133	7	41	7,551	9	17	12,684	16	58	57,074	36,255
26	2029	228	7	42	320	10	18	548	16	60	57,698	36,545
27	2030	235	7	43	329	10	18	564	17	62	58,341	36,834
28	2031	242	7	45	339	10	19	581	17	63	59,004	37,124
29	2032	249	7	46	349	10	19	599	18	65	59,686	37,413
30	2033	5,950	8	47	8,754	11	20	14,704	19	67	74,476	43,506
총 계		29,555	156	955	43,188	218	404	72,743	374	1,359	74,476	43,506

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	30	42	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (WUU)	계전기 (WVU)	
1. 재료비	천원	20,877	48,291	
2. LI	천원	298	417	
3. GI	천원	3,444	4,821	
4. FGI	천원	1,446	2,025	
5. 운영비	천원	156	218	
6. 고장 정비비	천원	814	542	
총생애주기비용	천원	15,827	32,803	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (WUU) 	계전기 (WVU) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

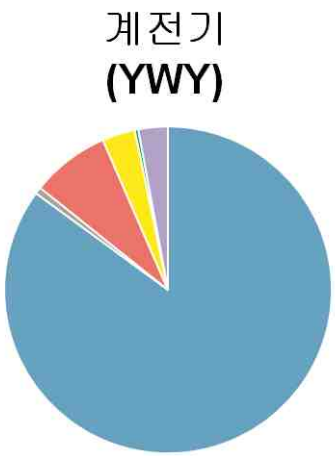
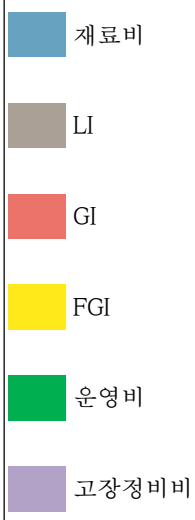
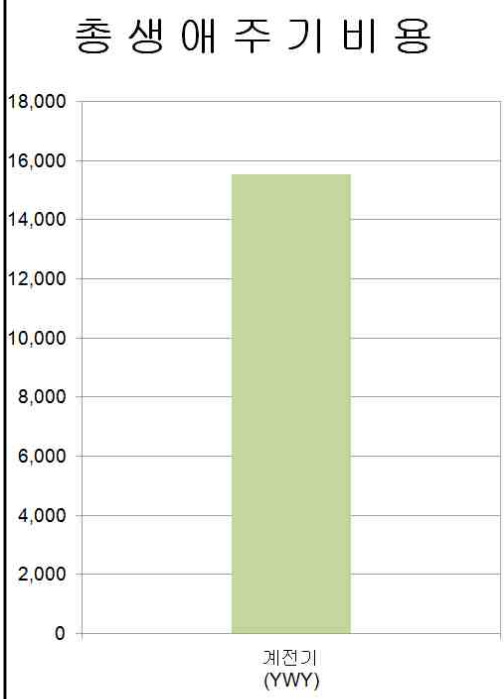
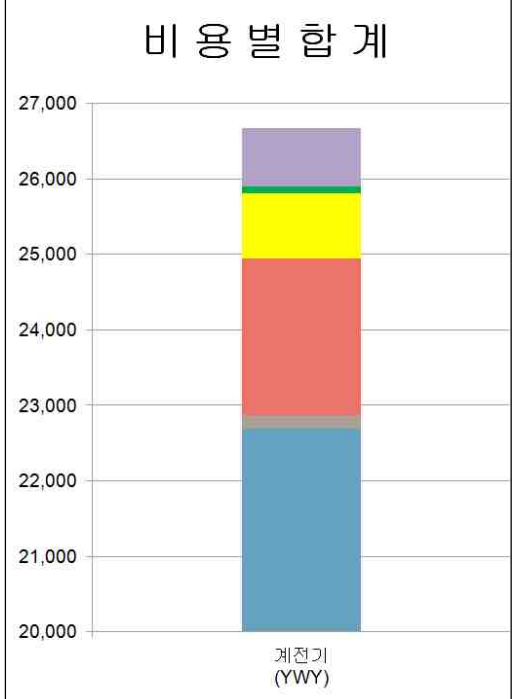
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(WWU)			계전기(ZWY)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	22	1	2	44	1	72	65	2	74	142	138
2	2005	22	1	3	45	1	74	67	2	77	288	275
3	2006	23	1	3	46	1	76	69	2	79	438	413
4	2007	24	1	3	48	1	79	71	2	81	593	551
5	2008	345	1	3	7,025	1	81	7,370	2	84	8,049	6,982
6	2009	25	1	3	51	2	83	76	2	86	8,214	7,120
7	2010	26	1	3	52	2	86	78	2	89	8,383	7,258
8	2011	27	1	3	54	2	88	80	2	91	8,557	7,395
9	2012	28	1	3	55	2	91	83	2	94	8,737	7,533
10	2013	400	1	3	8,144	2	94	8,544	3	97	17,381	13,965
11	2014	29	1	3	59	2	97	88	3	100	17,571	14,102
12	2015	30	1	3	60	2	100	91	3	103	17,768	14,240
13	2016	31	1	3	62	2	103	93	3	106	17,970	14,378
14	2017	32	1	4	64	2	106	96	3	109	18,178	14,515
15	2018	464	1	4	9,441	2	109	9,905	3	113	28,198	20,947
16	2019	34	1	4	68	2	112	102	3	116	28,419	21,085
17	2020	35	1	4	70	2	115	105	3	119	28,647	21,222
18	2021	36	1	4	72	2	119	108	3	123	28,881	21,360
19	2022	37	1	4	74	2	122	111	3	127	29,122	21,498
20	2023	538	1	4	10,945	2	126	11,483	3	130	40,739	27,929
21	2024	39	1	4	79	2	130	118	4	134	40,995	28,067
22	2025	41	1	5	81	2	134	122	4	138	41,259	28,205
23	2026	42	1	5	84	3	138	125	4	143	41,530	28,342
24	2027	43	1	5	86	3	142	129	4	147	41,810	28,480
25	2028	624	1	5	12,688	3	146	13,312	4	151	55,277	34,912
26	2029	46	1	5	91	3	151	137	4	156	55,574	35,050
27	2030	47	1	5	94	3	155	141	4	160	55,880	35,187
28	2031	48	1	5	97	3	160	145	4	165	56,194	35,325
29	2032	50	1	6	100	3	165	150	4	170	56,519	35,462
30	2033	723	2	6	14,709	3	170	15,432	5	175	72,131	41,894
총 계		3,912	31	117	64,586	62	3,422	68,498	93	3,539	72,131	41,894

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	12	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (WWU)	계전기 (ZWY)	
1. 재료비	천원	7,564	15,129	
2. LI	천원	60	119	
3. GI	천원	689	1,378	
4. FGI	천원	289	578	
5. 운영비	천원	31	62	
6. 고장 정비비	천원	310	827	
총생애주기비용	천원	5,213	10,553	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (WWU) 	계전기 (ZWY) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)			할인율 (3%)	
		계전기(YWY)				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	65	2	11	78	76
2	2005	67	2	11	159	152
3	2006	69	2	11	241	227
4	2007	71	2	12	327	303
5	2008	1,734	2	12	2,075	1,811
6	2009	76	2	12	2,165	1,887
7	2010	78	2	13	2,258	1,963
8	2011	80	2	13	2,354	2,039
9	2012	83	2	14	2,453	2,114
10	2013	2,010	3	14	4,480	3,622
11	2014	88	3	14	4,585	3,698
12	2015	91	3	15	4,693	3,774
13	2016	93	3	15	4,804	3,850
14	2017	96	3	16	4,919	3,925
15	2018	2,330	3	16	7,268	5,433
16	2019	102	3	17	7,390	5,509
17	2020	105	3	17	7,515	5,585
18	2021	108	3	18	7,644	5,661
19	2022	111	3	18	7,777	5,736
20	2023	2,701	3	19	10,500	7,244
21	2024	118	4	19	10,641	7,320
22	2025	122	4	20	10,787	7,396
23	2026	125	4	20	10,936	7,472
24	2027	129	4	21	11,090	7,548
25	2028	3,131	4	22	14,247	9,055
26	2029	137	4	22	14,411	9,131
27	2030	141	4	23	14,579	9,207
28	2031	145	4	24	14,753	9,283
29	2032	150	4	24	14,931	9,359
30	2033	3,630	5	25	18,591	10,866
총 계		17,989	93	509	18,591	10,866

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	18	
2. 내용연수	년	5	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		계전기 (YWY)	
1. 재료비	천원	22,693	
2. LI	천원	179	
3. GI	천원	2,066	
4. FGI	천원	868	
5. 운영비	천원	93	
6. 고장 정비비	천원	776	
총생애주기비용	천원	15,544	

LCC 분석 그래프	범 례
	
	
	

계전기
(YWY)
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

총 생 애 주 기 비 용
18,000
16,000
14,000
12,000
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
0
계전기
(YWY)

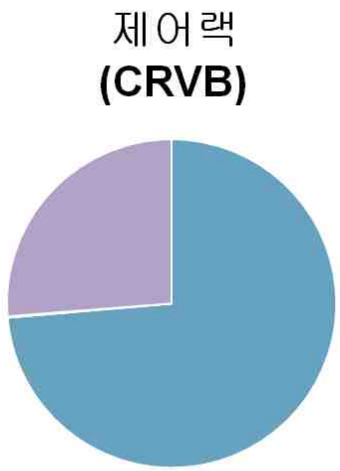
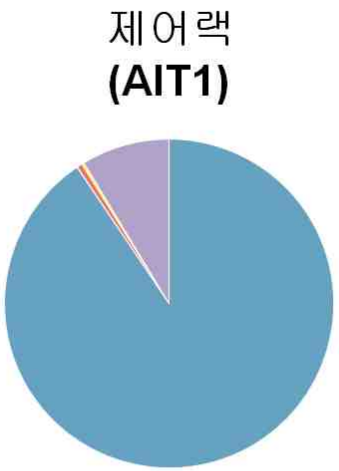
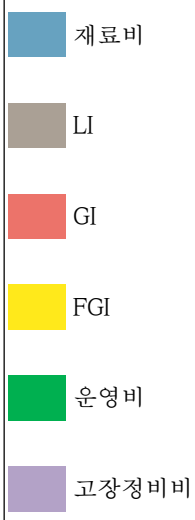
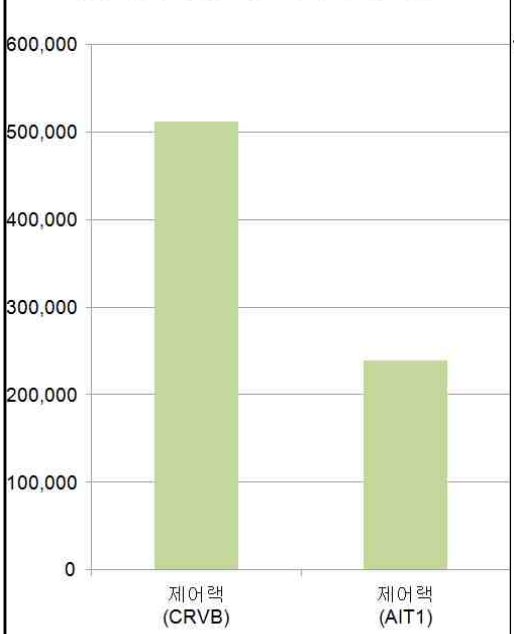
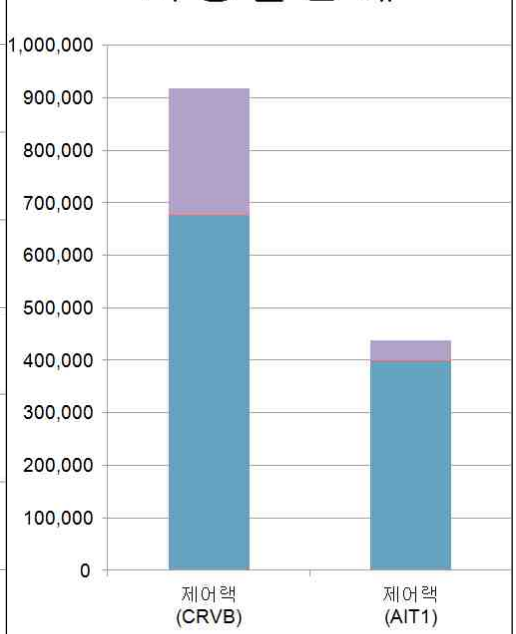
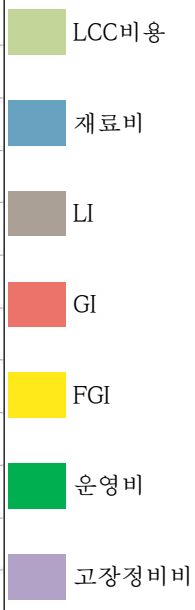
비 용 별 합 계
27,000
26,000
25,000
24,000
23,000
22,000
21,000
20,000
계전기
(YWY)

LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

(9) 추진제어장치 제어렉

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CRVB)			제어랙(AIT1)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	4,135	72	2	636	96	3	4,771	4,870	4,728
2	2005	25	1	4,259	74	2	655	99	3	4,915	9,887	9,457
3	2006	25	1	4,387	76	2	675	102	3	5,062	15,053	14,185
4	2007	26	1	4,519	79	2	695	105	3	5,214	20,375	18,914
5	2008	27	1	4,654	81	2	716	108	3	5,370	25,857	23,642
6	2009	28	1	4,794	83	3	738	111	3	5,531	31,503	28,370
7	2010	29	1	4,938	86	3	760	114	3	5,697	37,318	33,099
8	2011	29	1	5,086	88	3	783	118	4	5,868	43,308	37,827
9	2012	30	1	5,238	91	3	806	121	4	6,044	49,477	42,555
10	2013	132,992	1	5,396	76,474	3	830	209,465	4	6,226	265,172	203,053
11	2014	32	1	5,557	97	3	855	129	4	6,412	271,717	207,781
12	2015	33	1	5,724	100	3	881	133	4	6,605	278,459	212,510
13	2016	34	1	5,896	103	3	907	137	4	6,803	285,403	217,238
14	2017	35	1	6,073	106	3	934	141	4	7,007	292,555	221,966
15	2018	36	1	6,255	109	3	962	145	4	7,217	299,922	226,695
16	2019	37	1	6,443	112	3	991	149	4	7,434	307,509	231,423
17	2020	38	1	6,636	115	3	1,021	154	5	7,657	315,324	236,151
18	2021	40	1	6,835	119	4	1,052	158	5	7,887	323,374	240,880
19	2022	41	1	7,040	122	4	1,083	163	5	8,123	331,665	245,608
20	2023	178,730	1	7,251	102,775	4	1,116	281,504	5	8,367	621,541	406,106
21	2024	43	1	7,469	130	4	1,149	173	5	8,618	630,338	410,834
22	2025	45	1	7,693	134	4	1,184	178	5	8,876	639,398	415,562
23	2026	46	1	7,924	138	4	1,219	184	6	9,143	648,730	420,291
24	2027	47	1	8,161	142	4	1,256	189	6	9,417	658,341	425,019
25	2028	49	1	8,406	146	4	1,293	195	6	9,699	668,242	429,747
26	2029	50	2	8,658	151	5	1,332	201	6	9,990	678,439	434,476
27	2030	52	2	8,918	155	5	1,372	207	6	10,290	688,942	439,204
28	2031	53	2	9,186	160	5	1,413	213	6	10,599	699,760	443,933
29	2032	55	2	9,461	164	5	1,456	219	7	10,917	710,903	448,661
30	2033	240,198	2	9,745	138,120	5	1,499	378,318	7	11,244	1,100,472	609,158
총 계		552,929	34	196,736	320,400	103	30,270	873,329	137	227,006	1,100,472	609,158

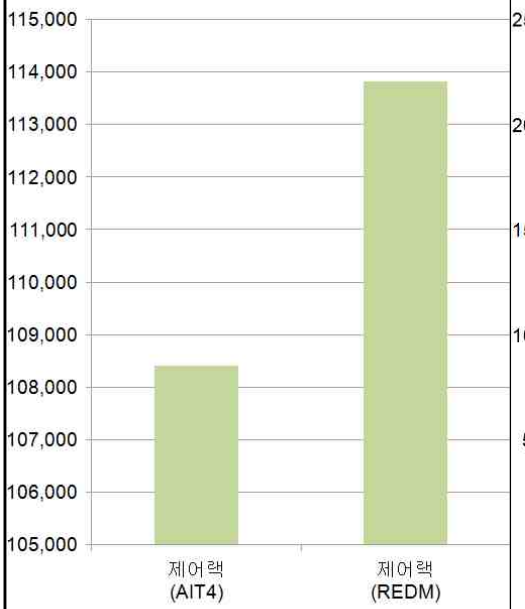
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	18	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CRVB)	제어랙 (AIT1)	
1. 재료비	천원	675,448	397,374	
2. LI	천원	65	196	
3. GI	천원	757	2,271	
4. FGI	천원	318	954	
5. 운영비	천원	34	103	
6. 고장 정비비	천원	240,823	37,950	
총생애주기비용	천원	511,474	239,136	

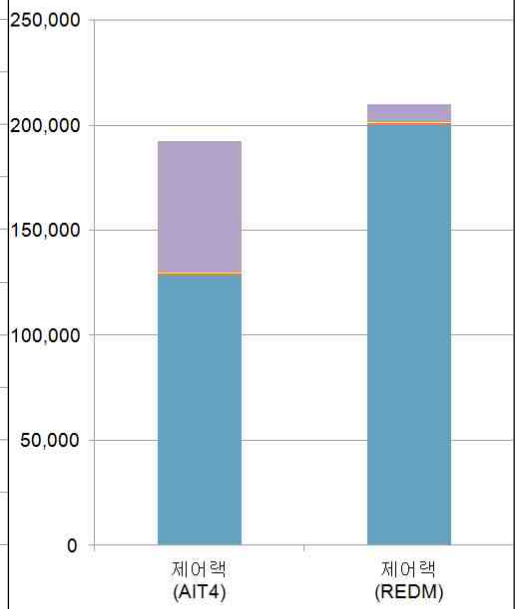
LCC 분석 그래프		범 례
 제어랙 (CRVB)	 제어랙 (AIT1)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 600,000 500,000 400,000 300,000 200,000 100,000 0 제어랙 (CRVB) 제어랙 (AIT1)	 비 용 별 합 계 1,000,000 900,000 800,000 700,000 600,000 500,000 400,000 300,000 200,000 100,000 0 제어랙 (CRVB) 제어랙 (AIT1)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(AIT4)			제어랙(REDM)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	1,007	24	1	154	48	1	1,162	1,211	1,176
2	2005	25	1	1,038	25	1	159	49	1	1,196	2,458	2,351
3	2006	25	1	1,069	25	1	164	51	2	1,232	3,743	3,527
4	2007	26	1	1,101	26	1	169	52	2	1,269	5,066	4,703
5	2008	27	1	1,134	27	1	174	54	2	1,307	6,429	5,878
6	2009	28	1	1,168	28	1	179	56	2	1,347	7,833	7,054
7	2010	29	1	1,203	29	1	184	57	2	1,387	9,279	8,230
8	2011	29	1	1,239	29	1	190	59	2	1,429	10,768	9,405
9	2012	30	1	1,276	30	1	195	61	2	1,471	12,302	10,581
10	2013	23,585	1	1,314	39,699	1	201	63,284	2	1,516	77,104	58,799
11	2014	32	1	1,354	32	1	207	64	2	1,561	78,731	59,975
12	2015	33	1	1,394	33	1	213	66	2	1,608	80,407	61,151
13	2016	34	1	1,436	34	1	220	68	2	1,656	82,134	62,326
14	2017	35	1	1,479	35	1	226	70	2	1,706	83,912	63,502
15	2018	36	1	1,524	36	1	233	73	2	1,757	85,744	64,678
16	2019	37	1	1,569	37	1	240	75	2	1,810	87,630	65,853
17	2020	38	1	1,617	38	1	247	77	2	1,864	89,574	67,029
18	2021	40	1	1,665	40	1	255	79	2	1,920	91,575	68,205
19	2022	41	1	1,715	41	1	263	82	2	1,978	93,637	69,381
20	2023	31,696	1	1,766	53,352	1	270	85,048	3	2,037	180,724	117,599
21	2024	43	1	1,819	43	1	279	87	3	2,098	182,911	118,775
22	2025	45	1	1,874	45	1	287	89	3	2,161	185,164	119,950
23	2026	46	1	1,930	46	1	295	92	3	2,226	187,484	121,126
24	2027	47	1	1,988	47	1	304	95	3	2,292	189,874	122,302
25	2028	49	1	2,048	49	1	313	97	3	2,361	192,336	123,477
26	2029	50	2	2,109	50	2	323	100	3	2,432	194,871	124,653
27	2030	52	2	2,172	52	2	333	103	3	2,505	197,483	125,829
28	2031	53	2	2,238	53	2	343	106	3	2,580	200,173	127,004
29	2032	55	2	2,305	55	2	353	110	3	2,658	202,943	128,180
30	2033	42,597	2	2,374	71,701	2	363	114,298	3	2,737	319,982	176,398
총 계		98,889	34	47,926	165,762	34	7,337	264,651	68	55,262	319,982	176,398

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (AIT4)	제어랙 (REDM)	
1. 재료비	천원	128,494	200,100	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	62,993	8,918	
총생애주기비용	천원	108,400	113,812	

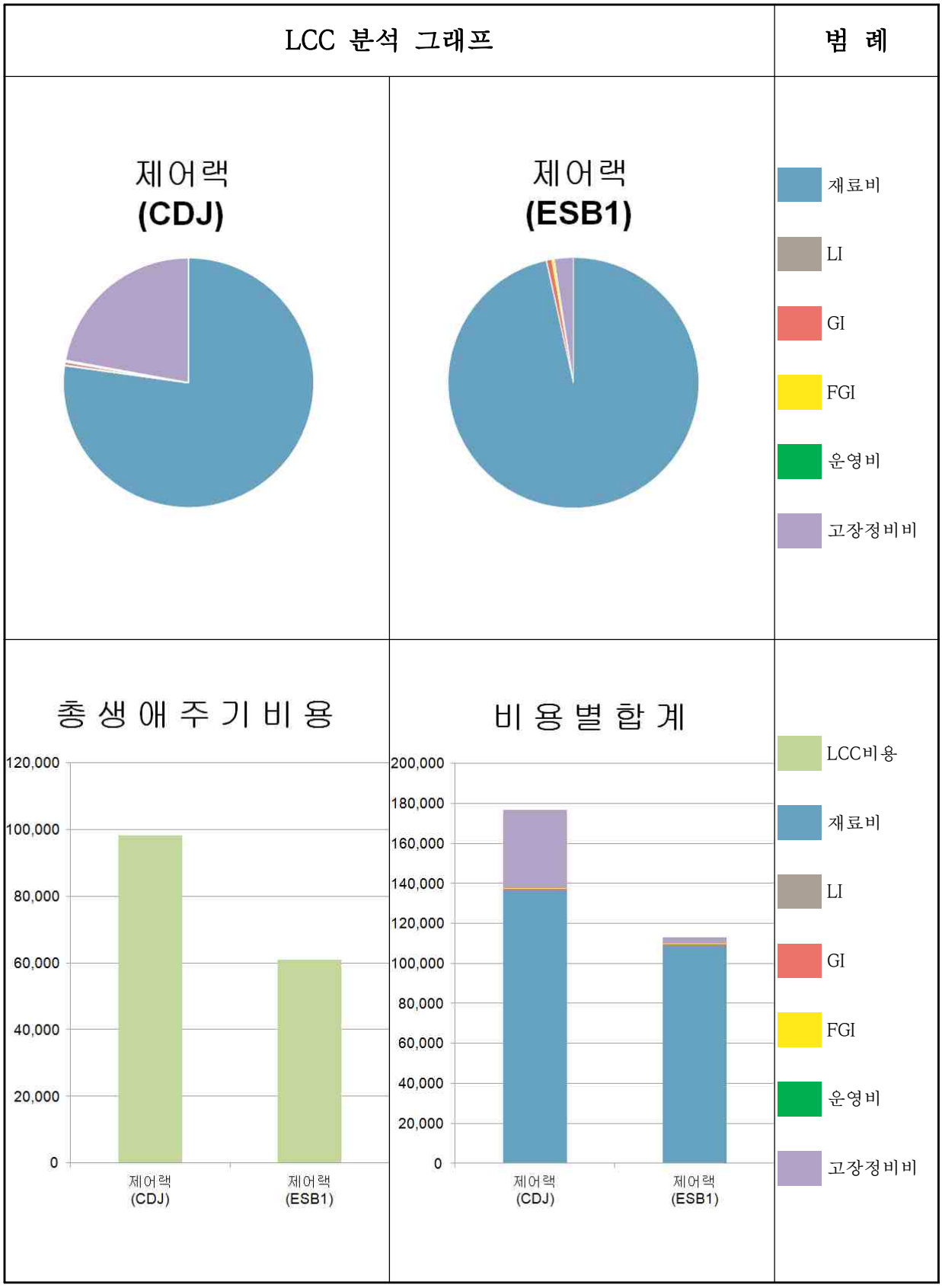
LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (AIT4)	제어랙 (REDM)	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용	비 용 별 합 계	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비





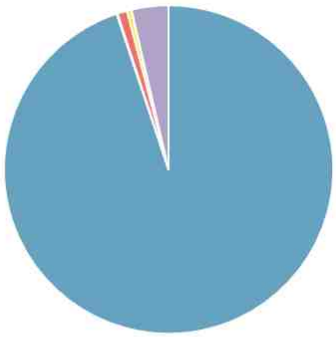
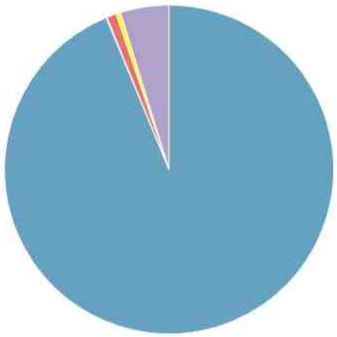
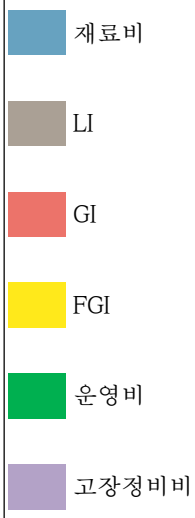
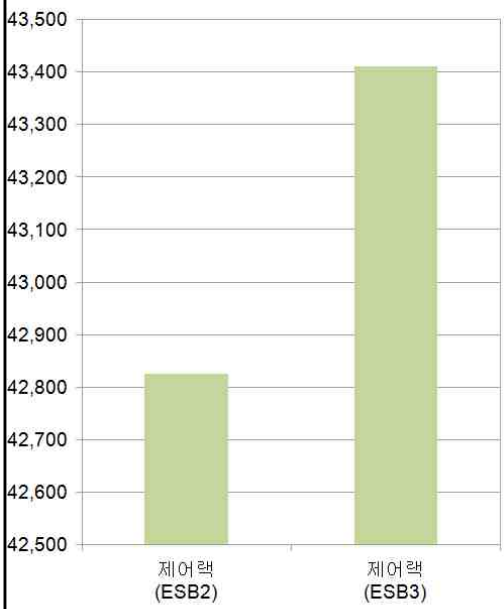
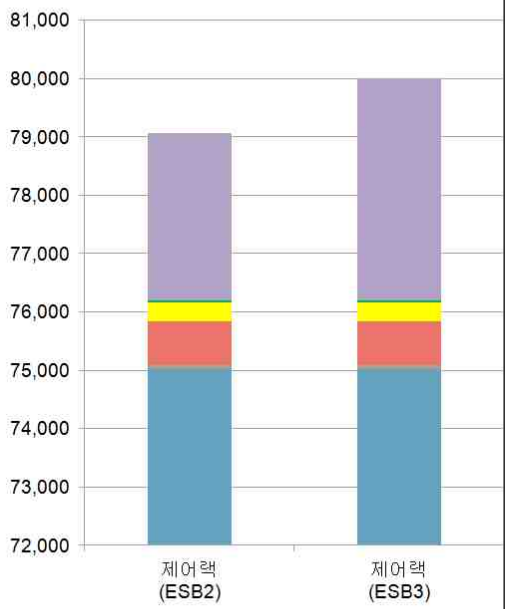
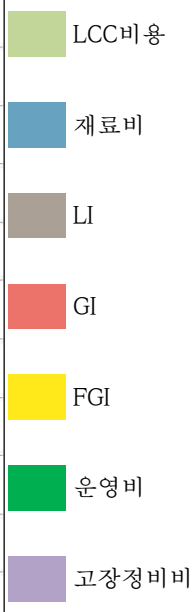
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CDJ)			제어랙(ESB1)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	636	24	1	48	48	1	684	734	712
2	2005	25	1	655	25	1	49	49	1	705	1,489	1,424
3	2006	25	1	675	25	1	51	51	2	726	2,267	2,137
4	2007	26	1	695	26	1	52	52	2	748	3,069	2,849
5	2008	27	1	716	27	1	54	54	2	770	3,895	3,561
6	2009	28	1	738	28	1	56	56	2	793	4,745	4,273
7	2010	29	1	760	29	1	57	57	2	817	5,621	4,985
8	2011	29	1	783	29	1	59	59	2	841	6,523	5,698
9	2012	30	1	806	30	1	61	61	2	867	7,453	6,410
10	2013	25,491	1	830	21,614	1	63	47,105	2	893	55,452	42,126
11	2014	32	1	855	32	1	64	64	2	920	56,438	42,838
12	2015	33	1	881	33	1	66	66	2	947	57,453	43,550
13	2016	34	1	907	34	1	68	68	2	976	58,499	44,263
14	2017	35	1	934	35	1	70	70	2	1,005	59,576	44,975
15	2018	36	1	962	36	1	73	73	2	1,035	60,686	45,687
16	2019	37	1	991	37	1	75	75	2	1,066	61,829	46,399
17	2020	38	1	1,021	38	1	77	77	2	1,098	63,006	47,111
18	2021	40	1	1,052	40	1	79	79	2	1,131	64,219	47,824
19	2022	41	1	1,083	41	1	82	82	2	1,165	65,467	48,536
20	2023	34,258	1	1,116	29,047	1	84	63,305	3	1,200	129,975	84,252
21	2024	43	1	1,149	43	1	87	87	3	1,236	131,300	84,964
22	2025	45	1	1,184	45	1	89	89	3	1,273	132,664	85,676
23	2026	46	1	1,219	46	1	92	92	3	1,311	134,070	86,389
24	2027	47	1	1,256	47	1	95	95	3	1,350	135,518	87,101
25	2028	49	1	1,293	49	1	97	97	3	1,391	137,009	87,813
26	2029	50	2	1,332	50	2	100	100	3	1,433	138,545	88,525
27	2030	52	2	1,372	52	2	103	103	3	1,476	140,127	89,237
28	2031	53	2	1,413	53	2	107	106	3	1,520	141,756	89,950
29	2032	55	2	1,456	55	2	110	110	3	1,565	143,435	90,662
30	2033	46,040	2	1,499	39,036	2	113	85,077	3	1,612	230,127	126,378
총 계		106,800	34	30,270	90,707	34	2,281	197,507	68	32,552	230,127	126,378

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CDJ)	제어랙 (ESB1)	
1. 재료비	천원	136,584	108,871	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	39,132	2,773	
총생애주기비용	천원	98,144	60,978	


LCC 분석 그래프
범 례
제어랙
(CDJ)
제어랙
(ESB1)
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비
총 생 애 주 기 비 용
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
제어랙
(CDJ)
제어랙
(ESB1)
비 용 별 합 계
200,000
180,000
160,000
140,000
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
제어랙
(CDJ)
제어랙
(ESB1)
LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

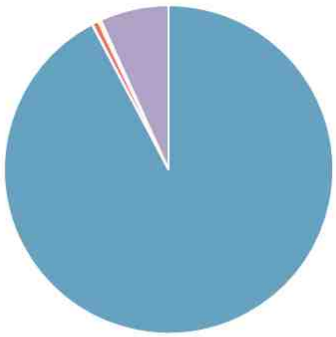
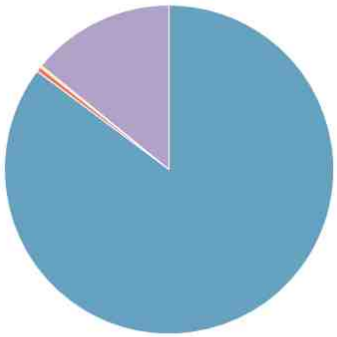
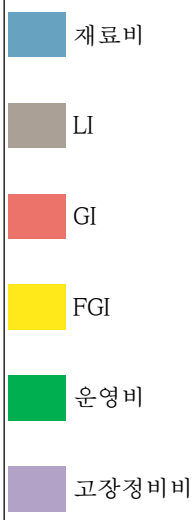
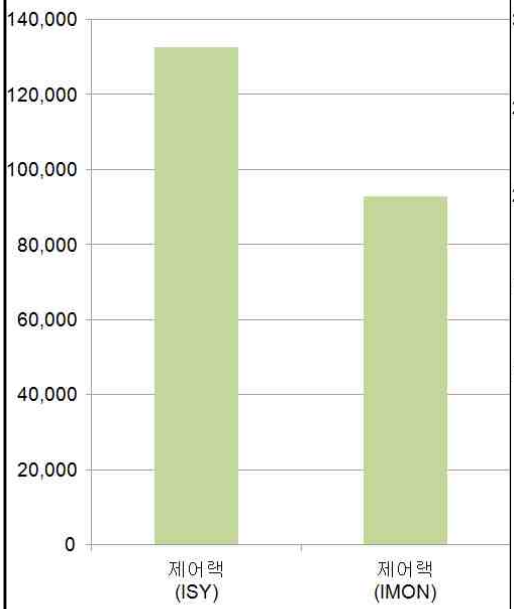
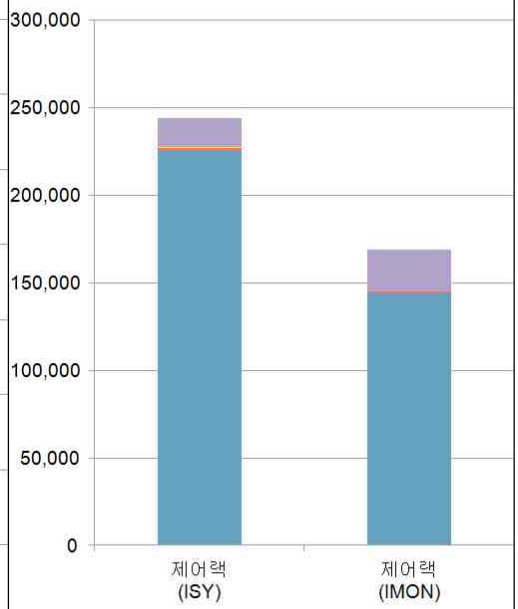
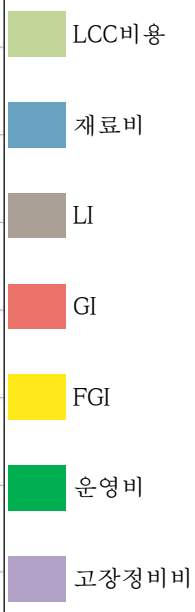
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ESB2)			제어랙(ESB3)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	48	24	1	64	48	1	111	161	156
2	2005	25	1	49	25	1	65	49	1	115	326	312
3	2006	25	1	51	25	1	67	51	2	118	497	468
4	2007	26	1	52	26	1	69	52	2	122	672	624
5	2008	27	1	54	27	1	72	54	2	125	853	780
6	2009	28	1	55	28	1	74	56	2	129	1,039	936
7	2010	29	1	57	29	1	76	57	2	133	1,231	1,092
8	2011	29	1	59	29	1	78	59	2	137	1,428	1,248
9	2012	30	1	60	30	1	81	61	2	141	1,632	1,404
10	2013	14,343	1	62	14,343	1	83	28,687	2	145	30,466	22,859
11	2014	32	1	64	32	1	85	64	2	150	30,682	23,015
12	2015	33	1	66	33	1	88	66	2	154	30,904	23,171
13	2016	34	1	68	34	1	91	68	2	159	31,133	23,327
14	2017	35	1	70	35	1	93	70	2	163	31,369	23,482
15	2018	36	1	72	36	1	96	73	2	168	31,612	23,638
16	2019	37	1	74	37	1	99	75	2	173	31,862	23,794
17	2020	38	1	77	38	1	102	77	2	179	32,120	23,950
18	2021	40	1	79	40	1	105	79	2	184	32,385	24,106
19	2022	41	1	81	41	1	108	82	2	189	32,659	24,262
20	2023	19,276	1	84	19,276	1	111	38,552	3	195	71,409	45,717
21	2024	43	1	86	43	1	115	87	3	201	71,699	45,873
22	2025	45	1	89	45	1	118	89	3	207	71,998	46,029
23	2026	46	1	91	46	1	122	92	3	213	72,306	46,185
24	2027	47	1	94	47	1	125	95	3	220	72,623	46,341
25	2028	49	1	97	49	1	129	97	3	226	72,949	46,497
26	2029	50	2	100	50	2	133	100	3	233	73,286	46,653
27	2030	52	2	103	52	2	137	103	3	240	73,632	46,809
28	2031	53	2	106	53	2	141	106	3	247	73,989	46,965
29	2032	55	2	109	55	2	145	110	3	255	74,356	47,121
30	2033	25,906	2	112	25,906	2	150	51,811	3	262	126,433	68,576
총 계		60,536	34	2,269	60,536	34	3,025	121,071	68	5,294	126,433	68,576

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ESB2)	제어랙 (ESB3)	
1. 재료비	천원	75,017	75,017	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	2,866	3,821	
총생애주기비용	천원	42,825	43,410	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ESB2) 	제어랙 (ESB3) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

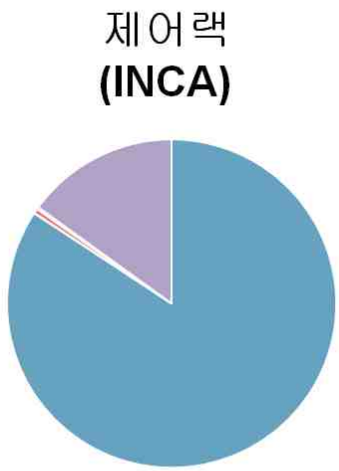
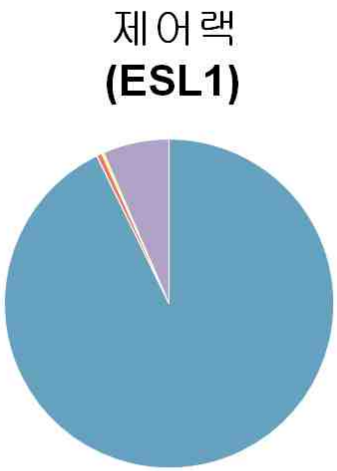
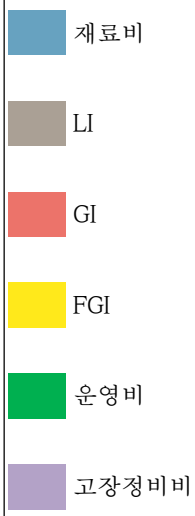
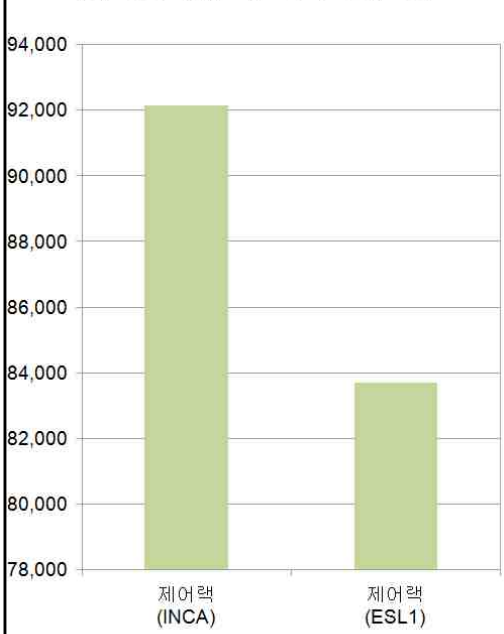
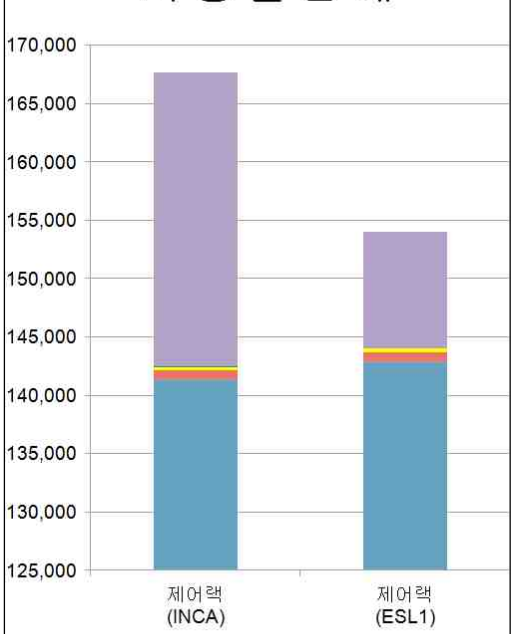
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ISY)			제어랙(IMON)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	48	1	265	24	1	386	72	2	651	725	703
2	2005	49	1	273	25	1	397	74	2	670	1,471	1,407
3	2006	51	2	281	25	1	409	76	2	690	2,240	2,110
4	2007	52	2	289	26	1	422	79	2	711	3,031	2,814
5	2008	54	2	298	27	1	434	81	2	732	3,847	3,517
6	2009	56	2	307	28	1	447	83	3	754	4,687	4,221
7	2010	57	2	316	29	1	461	86	3	777	5,552	4,924
8	2011	59	2	326	29	1	475	88	3	800	6,443	5,628
9	2012	61	2	335	30	1	489	91	3	824	7,361	6,331
10	2013	41,514	2	345	26,747	1	503	68,260	3	849	76,473	57,757
11	2014	64	2	356	32	1	519	97	3	874	77,447	58,460
12	2015	66	2	366	33	1	534	100	3	900	78,450	59,164
13	2016	68	2	377	34	1	550	103	3	927	79,483	59,867
14	2017	70	2	389	35	1	567	106	3	955	80,547	60,571
15	2018	73	2	400	36	1	584	109	3	984	81,643	61,274
16	2019	75	2	412	37	1	601	112	3	1,013	82,772	61,978
17	2020	77	2	425	38	1	619	115	3	1,044	83,934	62,681
18	2021	79	2	438	40	1	638	119	4	1,075	85,132	63,385
19	2022	82	2	451	41	1	657	122	4	1,107	86,366	64,088
20	2023	55,791	3	464	35,945	1	677	91,736	4	1,141	179,246	115,514
21	2024	87	3	478	43	1	697	130	4	1,175	180,555	116,217
22	2025	89	3	492	45	1	718	134	4	1,210	181,903	116,921
23	2026	92	3	507	46	1	739	138	4	1,246	183,291	117,624
24	2027	95	3	522	47	1	761	142	4	1,284	184,721	118,328
25	2028	97	3	538	49	1	784	146	4	1,322	186,194	119,031
26	2029	100	3	554	50	2	808	151	5	1,362	187,711	119,735
27	2030	103	3	571	52	2	832	155	5	1,403	189,274	120,438
28	2031	106	3	588	53	2	857	160	5	1,445	190,883	121,142
29	2032	110	3	606	55	2	883	164	5	1,488	192,541	121,845
30	2033	74,979	3	624	48,307	2	909	123,286	5	1,533	317,365	173,271
총 계		174,305	68	12,593	112,009	34	18,355	286,314	103	30,949	317,365	173,271

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ISY)	제어랙 (IMON)	
1. 재료비	천원	225,084	143,992	
2. LI	천원	131	65	
3. GI	천원	1,514	757	
4. FGI	천원	636	318	
5. 운영비	천원	68	34	
6. 고장 정비비	천원	16,480	23,836	
총생애주기비용	천원	132,599	92,764	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ISY) 	제어랙 (IMON) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

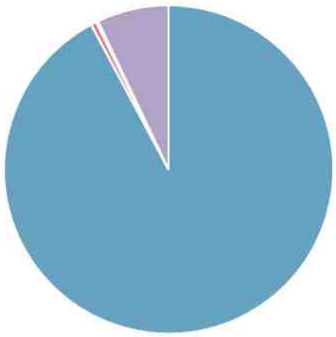
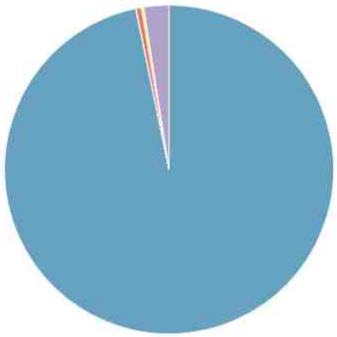
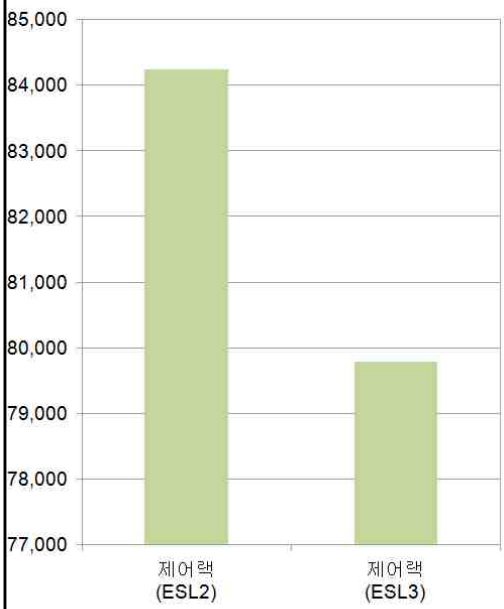
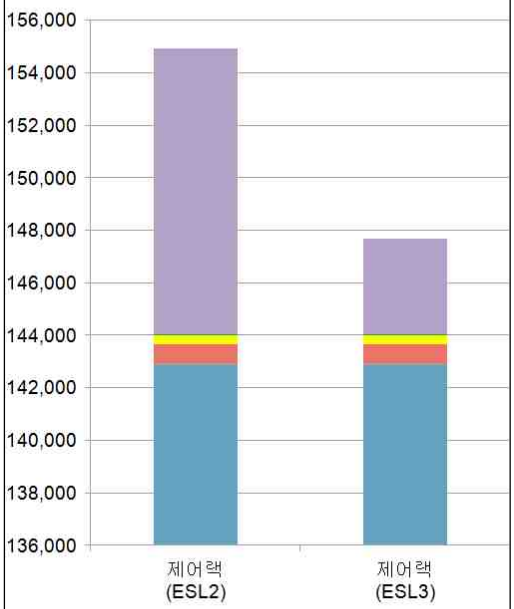
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(INCA)			제어랙(ESL1)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	410	24	1	150	48	1	560	609	591
2	2005	25	1	422	25	1	154	49	1	576	1,236	1,183
3	2006	25	1	435	25	1	159	51	2	594	1,882	1,774
4	2007	26	1	448	26	1	164	52	2	612	2,548	2,365
5	2008	27	1	461	27	1	169	54	2	630	3,233	2,956
6	2009	28	1	475	28	1	174	56	2	649	3,939	3,548
7	2010	29	1	489	29	1	179	57	2	668	4,667	4,139
8	2011	29	1	504	29	1	184	59	2	688	5,416	4,730
9	2012	30	1	519	30	1	190	61	2	709	6,187	5,322
10	2013	26,380	1	535	24,564	1	196	50,943	2	730	57,863	43,773
11	2014	32	1	551	32	1	201	64	2	752	58,681	44,364
12	2015	33	1	567	33	1	207	66	2	775	59,524	44,956
13	2016	34	1	584	34	1	214	68	2	798	60,393	45,547
14	2017	35	1	602	35	1	220	70	2	822	61,287	46,138
15	2018	36	1	620	36	1	227	73	2	847	62,208	46,730
16	2019	37	1	638	37	1	234	75	2	872	63,157	47,321
17	2020	38	1	658	38	1	241	77	2	898	64,134	47,912
18	2021	40	1	677	40	1	248	79	2	925	65,141	48,503
19	2022	41	1	698	41	1	255	82	2	953	66,178	49,095
20	2023	35,452	1	719	33,011	1	263	68,464	3	981	135,626	87,546
21	2024	43	1	740	43	1	271	87	3	1,011	136,726	88,138
22	2025	45	1	762	45	1	279	89	3	1,041	137,858	88,729
23	2026	46	1	785	46	1	287	92	3	1,072	139,025	89,320
24	2027	47	1	809	47	1	296	95	3	1,105	140,227	89,911
25	2028	49	1	833	49	1	305	97	3	1,138	141,465	90,503
26	2029	50	2	858	50	2	314	100	3	1,172	142,741	91,094
27	2030	52	2	884	52	2	323	103	3	1,207	144,054	91,685
28	2031	53	2	910	53	2	333	106	3	1,243	145,407	92,277
29	2032	55	2	938	55	2	343	110	3	1,280	146,800	92,868
30	2033	47,645	2	966	44,365	2	353	92,010	3	1,319	240,132	131,319
총 계		110,488	34	19,495	102,950	34	7,131	213,438	68	26,626	240,132	131,319

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (INCA)	제어랙 (ESL1)	
1. 재료비	천원	141,295	142,854	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	25,188	10,005	
총생애주기비용	천원	92,142	83,685	

LCC 분석 그래프		범 례
 제어랙 (INCA)	 제어랙 (ESL1)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 94,000 92,000 90,000 88,000 86,000 84,000 82,000 80,000 78,000 제어랙 (INCA) 제어랙 (ESL1)	 비 용 별 합 계 170,000 165,000 160,000 155,000 150,000 145,000 140,000 135,000 130,000 125,000 제어랙 (INCA) 제어랙 (ESL1)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

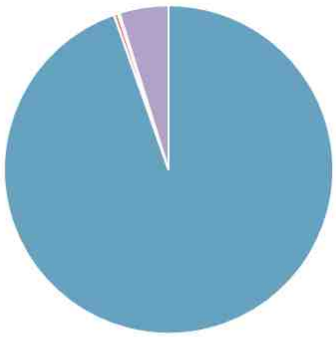
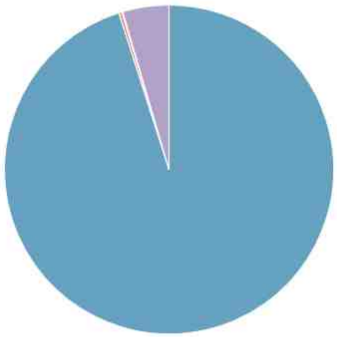
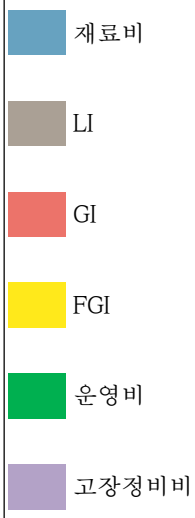
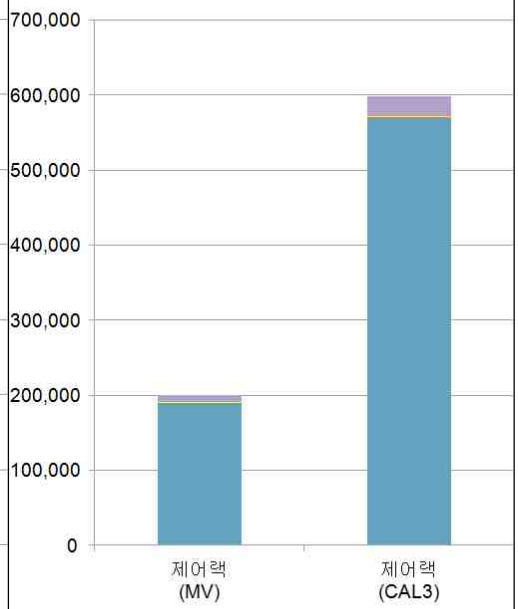
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ESL2)			제어랙(ESL3)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	164	24	1	55	48	1	218	267	260
2	2005	25	1	168	25	1	56	49	1	225	543	519
3	2006	25	1	173	25	1	58	51	2	231	826	779
4	2007	26	1	179	26	1	60	52	2	238	1,119	1,038
5	2008	27	1	184	27	1	61	54	2	245	1,420	1,298
6	2009	28	1	190	28	1	63	56	2	253	1,730	1,558
7	2010	29	1	195	29	1	65	57	2	260	2,049	1,817
8	2011	29	1	201	29	1	67	59	2	268	2,378	2,077
9	2012	30	1	207	30	1	69	61	2	276	2,716	2,336
10	2013	24,564	1	213	24,564	1	71	49,127	2	284	52,130	39,105
11	2014	32	1	220	32	1	73	64	2	293	52,489	39,364
12	2015	33	1	226	33	1	75	66	2	302	52,859	39,624
13	2016	34	1	233	34	1	78	68	2	311	53,241	39,884
14	2017	35	1	240	35	1	80	70	2	320	53,633	40,143
15	2018	36	1	247	36	1	82	73	2	330	54,038	40,403
16	2019	37	1	255	37	1	85	75	2	340	54,454	40,662
17	2020	38	1	262	38	1	87	77	2	350	54,883	40,922
18	2021	40	1	270	40	1	90	79	2	360	55,325	41,182
19	2022	41	1	278	41	1	93	82	2	371	55,781	41,441
20	2023	33,011	1	287	33,011	1	96	66,023	3	382	122,188	78,209
21	2024	43	1	295	43	1	98	87	3	394	122,671	78,469
22	2025	45	1	304	45	1	101	89	3	406	123,169	78,729
23	2026	46	1	313	46	1	104	92	3	418	123,681	78,988
24	2027	47	1	323	47	1	108	95	3	430	124,209	79,248
25	2028	49	1	332	49	1	111	97	3	443	124,752	79,507
26	2029	50	2	342	50	2	114	100	3	456	125,312	79,767
27	2030	52	2	353	52	2	118	103	3	470	125,889	80,027
28	2031	53	2	363	53	2	121	106	3	484	126,483	80,286
29	2032	55	2	374	55	2	125	110	3	499	127,094	80,546
30	2033	44,365	2	385	44,365	2	128	88,729	3	514	216,341	117,314
총 계		102,950	34	7,779	102,950	34	2,593	205,900	68	10,372	216,341	117,314

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ESL2)	제어랙 (ESL3)	
1. 재료비	천원	142,854	142,854	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	10,914	3,638	
총생애주기비용	천원	84,242	79,787	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ESL2) 	제어랙 (ESL3) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

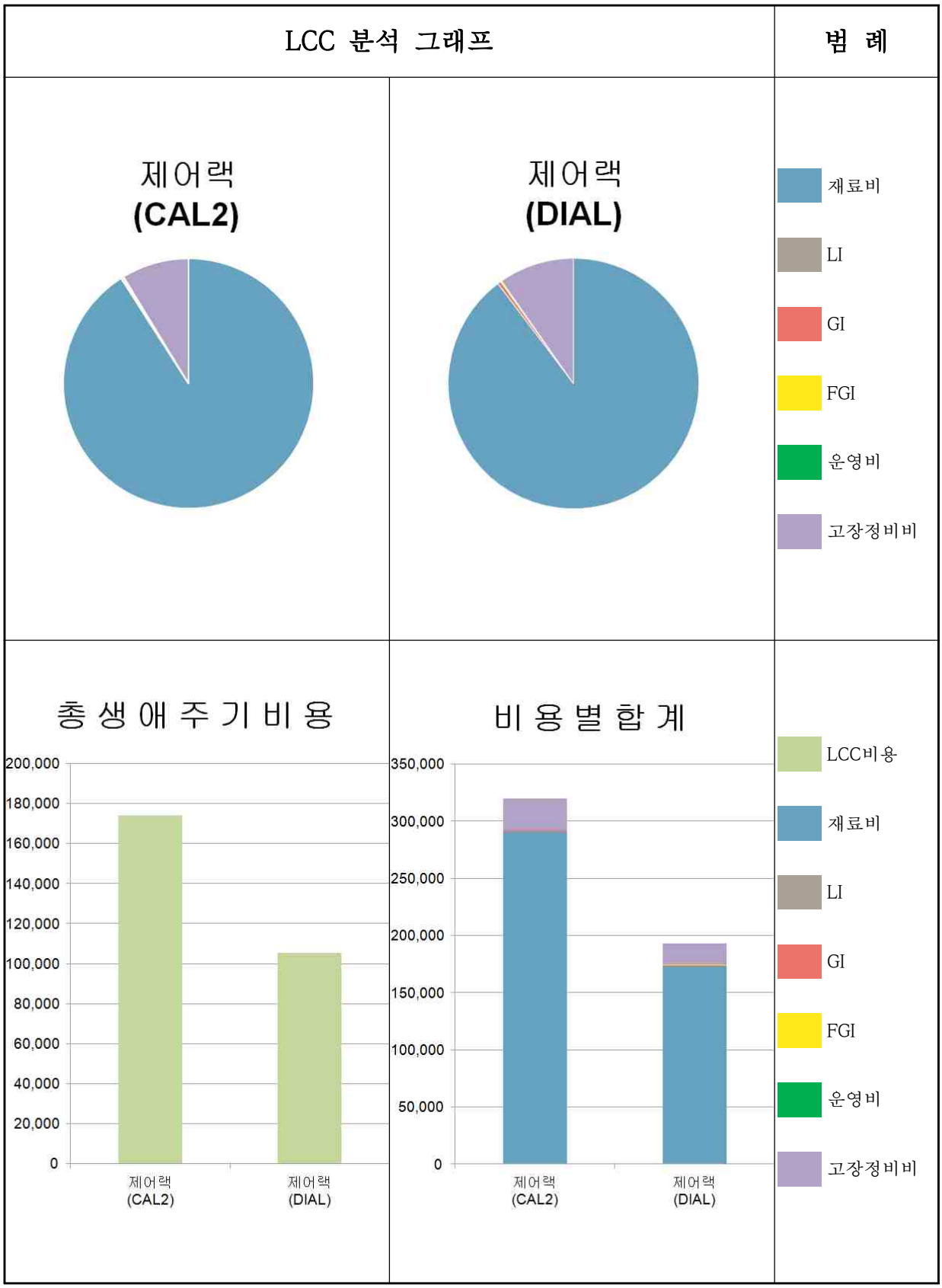
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(MV)			제어랙(CAL3)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	158	48	1	409	72	2	567	641	622
2	2005	25	1	163	49	1	421	74	2	584	1,301	1,244
3	2006	25	1	168	51	2	434	76	2	601	1,981	1,866
4	2007	26	1	173	52	2	447	79	2	619	2,681	2,489
5	2008	27	1	178	54	2	460	81	2	638	3,402	3,111
6	2009	28	1	183	56	2	474	83	3	657	4,145	3,733
7	2010	29	1	189	57	2	488	86	3	677	4,910	4,355
8	2011	29	1	194	59	2	503	88	3	697	5,698	4,977
9	2012	30	1	200	61	2	518	91	3	718	6,510	5,599
10	2013	35,603	1	206	98,192	2	533	133,795	3	740	141,048	105,708
11	2014	32	1	212	64	2	549	97	3	762	141,909	106,330
12	2015	33	1	219	66	2	566	100	3	785	142,796	106,952
13	2016	34	1	225	68	2	583	103	3	808	143,710	107,574
14	2017	35	1	232	70	2	600	106	3	832	144,651	108,197
15	2018	36	1	239	73	2	618	109	3	857	145,620	108,819
16	2019	37	1	246	75	2	637	112	3	883	146,618	109,441
17	2020	38	1	254	77	2	656	115	3	909	147,647	110,063
18	2021	40	1	261	79	2	676	119	4	937	148,706	110,685
19	2022	41	1	269	82	2	696	122	4	965	149,797	111,307
20	2023	47,848	1	277	131,962	3	717	179,810	4	994	330,604	211,416
21	2024	43	1	285	87	3	738	130	4	1,024	331,762	212,038
22	2025	45	1	294	89	3	760	134	4	1,054	332,954	212,660
23	2026	46	1	303	92	3	783	138	4	1,086	334,182	213,282
24	2027	47	1	312	95	3	807	142	4	1,119	335,446	213,905
25	2028	49	1	321	97	3	831	146	4	1,152	336,749	214,527
26	2029	50	2	331	100	3	856	151	5	1,187	338,091	215,149
27	2030	52	2	341	103	3	881	155	5	1,222	339,473	215,771
28	2031	53	2	351	106	3	908	160	5	1,259	340,896	216,393
29	2032	55	2	362	110	3	935	164	5	1,297	342,362	217,015
30	2033	64,304	2	372	177,346	3	963	241,649	5	1,336	585,352	317,124
총 계		148,765	34	7,519	409,520	68	19,445	558,285	103	26,964	585,352	317,124

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	12	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (MV)	제어랙 (CAL3)	
1. 재료비	천원	189,346	569,663	
2. LI	천원	65	131	
3. GI	천원	757	1,514	
4. FGI	천원	318	636	
5. 운영비	천원	34	68	
6. 고장 정비비	천원	9,644	27,202	
총생애주기비용	천원	108,472	324,511	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (MV) 	제어랙 (CAL3) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

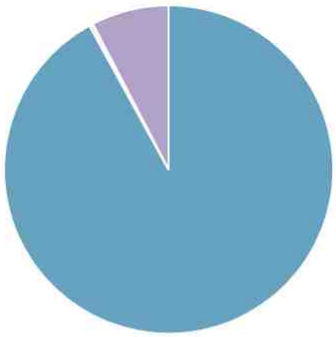
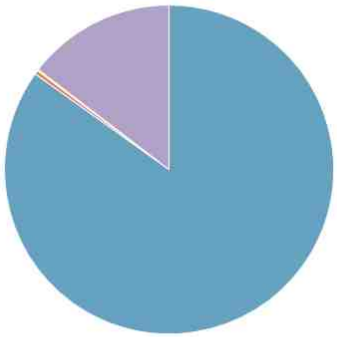
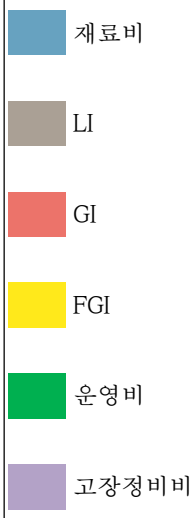
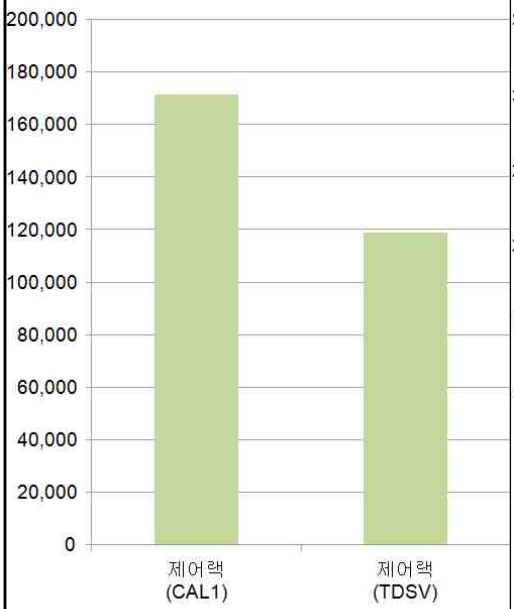
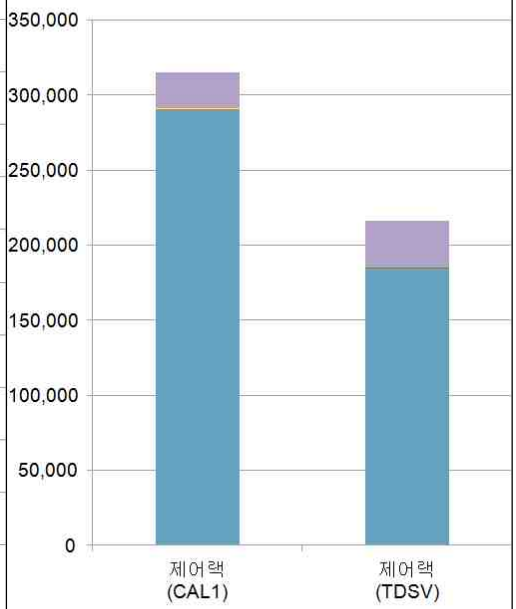
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CAL2)			제어랙(DIAL)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	429	24	1	302	48	1	732	781	758
2	2005	25	1	442	25	1	311	49	1	753	1,585	1,516
3	2006	25	1	455	25	1	321	51	2	776	2,414	2,274
4	2007	26	1	469	26	1	330	52	2	799	3,267	3,033
5	2008	27	1	483	27	1	340	54	2	823	4,146	3,791
6	2009	28	1	498	28	1	350	56	2	848	5,051	4,549
7	2010	29	1	512	29	1	361	57	2	873	5,983	5,307
8	2011	29	1	528	29	1	372	59	2	900	6,944	6,065
9	2012	30	1	544	30	1	383	61	2	927	7,933	6,823
10	2013	51,550	1	560	32,048	1	394	83,598	2	954	92,487	69,740
11	2014	32	1	577	32	1	406	64	2	983	93,537	70,498
12	2015	33	1	594	33	1	418	66	2	1,013	94,618	71,256
13	2016	34	1	612	34	1	431	68	2	1,043	95,731	72,014
14	2017	35	1	630	35	1	444	70	2	1,074	96,878	72,772
15	2018	36	1	649	36	1	457	73	2	1,106	98,059	73,530
16	2019	37	1	669	37	1	471	75	2	1,140	99,275	74,288
17	2020	38	1	689	38	1	485	77	2	1,174	100,528	75,046
18	2021	40	1	709	40	1	500	79	2	1,209	101,819	75,805
19	2022	41	1	731	41	1	515	82	2	1,245	103,149	76,563
20	2023	69,279	1	753	43,070	1	530	112,349	3	1,283	216,782	139,479
21	2024	43	1	775	43	1	546	87	3	1,321	218,193	140,237
22	2025	45	1	798	45	1	562	89	3	1,361	219,645	140,995
23	2026	46	1	822	46	1	579	92	3	1,402	221,142	141,753
24	2027	47	1	847	47	1	597	95	3	1,444	222,683	142,512
25	2028	49	1	872	49	1	615	97	3	1,487	224,270	143,270
26	2029	50	2	899	50	2	633	100	3	1,532	225,905	144,028
27	2030	52	2	926	52	2	652	103	3	1,578	227,589	144,786
28	2031	53	2	953	53	2	672	106	3	1,625	229,324	145,544
29	2032	55	2	982	55	2	692	110	3	1,674	231,110	146,302
30	2033	93,105	2	1,011	57,882	2	712	150,987	3	1,724	383,825	209,219
총 계		214,945	34	20,419	134,010	34	14,382	348,955	68	34,801	383,825	209,219

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CAL2)	제어랙 (DIAL)	
1. 재료비	천원	290,972	173,134	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	27,788	18,739	
총생애주기비용	천원	174,244	105,319	


LCC 분석 그래프
범 례
제어랙
(CAL2)
제어랙
(DIAL)
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비
총 생 애 주 기 비 용
200,000
180,000
160,000
140,000
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
제어랙
(CAL2)
제어랙
(DIAL)
비 용 별 합 계
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0
제어랙
(CAL2)
제어랙
(DIAL)
LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

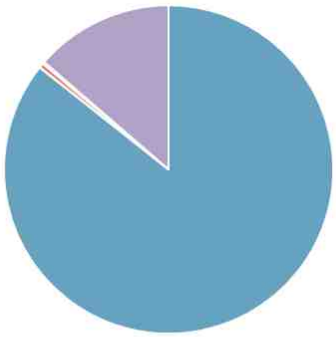
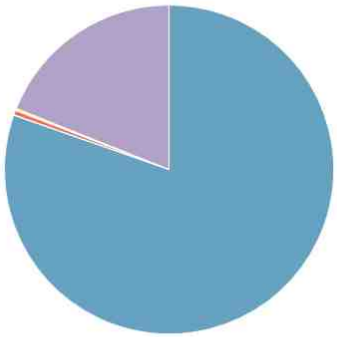
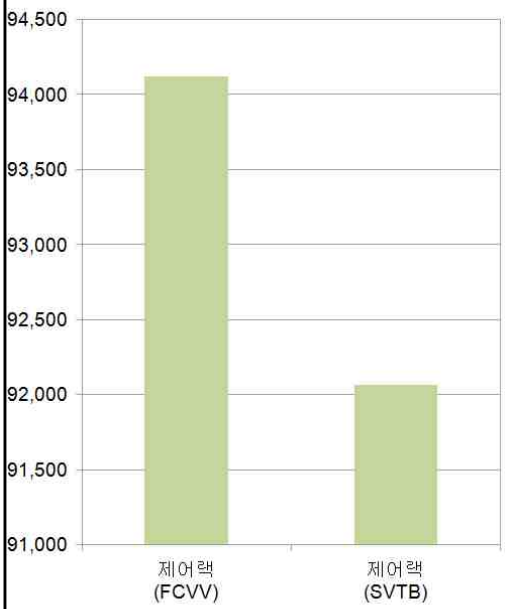
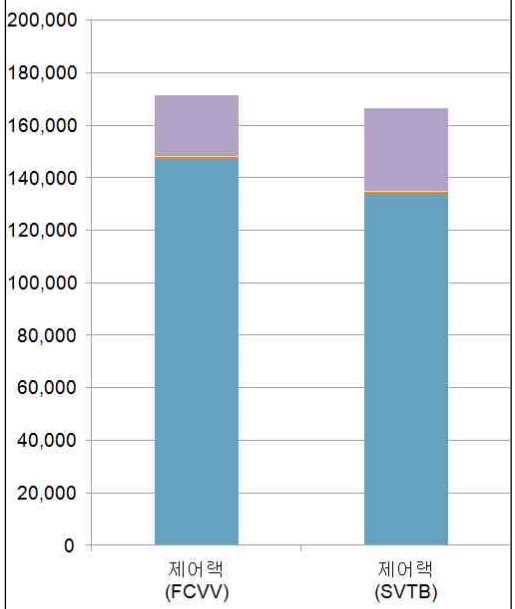
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CAL1)			제어랙(TDSV)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	381	24	1	339	48	1	720	769	747
2	2005	25	1	392	25	1	349	49	1	741	1,561	1,493
3	2006	25	1	404	25	1	360	51	2	764	2,377	2,240
4	2007	26	1	416	26	1	370	52	2	786	3,218	2,987
5	2008	27	1	429	27	1	381	54	2	810	4,083	3,734
6	2009	28	1	442	28	1	393	56	2	834	4,975	4,480
7	2010	29	1	455	29	1	405	57	2	859	5,893	5,227
8	2011	29	1	468	29	1	417	59	2	885	6,839	5,974
9	2012	30	1	482	30	1	429	61	2	912	7,814	6,720
10	2013	52,781	1	497	22,631	1	442	75,412	2	939	84,166	63,534
11	2014	32	1	512	32	1	455	64	2	967	85,200	64,281
12	2015	33	1	527	33	1	469	66	2	996	86,265	65,028
13	2016	34	1	543	34	1	483	68	2	1,026	87,361	65,774
14	2017	35	1	559	35	1	498	70	2	1,057	88,491	66,521
15	2018	36	1	576	36	1	513	73	2	1,089	89,654	67,268
16	2019	37	1	593	37	1	528	75	2	1,121	90,852	68,015
17	2020	38	1	611	38	1	544	77	2	1,155	92,087	68,761
18	2021	40	1	629	40	1	560	79	2	1,190	93,358	69,508
19	2022	41	1	648	41	1	577	82	2	1,225	94,667	70,255
20	2023	70,933	1	668	30,415	1	594	101,347	3	1,262	197,279	127,068
21	2024	43	1	688	43	1	612	87	3	1,300	198,668	127,815
22	2025	45	1	708	45	1	630	89	3	1,339	200,099	128,562
23	2026	46	1	730	46	1	649	92	3	1,379	201,573	129,309
24	2027	47	1	752	47	1	669	95	3	1,420	203,091	130,055
25	2028	49	1	774	49	1	689	97	3	1,463	204,654	130,802
26	2029	50	2	797	50	2	710	100	3	1,507	206,265	131,549
27	2030	52	2	821	52	2	731	103	3	1,552	207,923	132,295
28	2031	53	2	846	53	2	753	106	3	1,599	209,632	133,042
29	2032	55	2	871	55	2	775	110	3	1,647	211,391	133,789
30	2033	95,328	2	897	40,875	2	799	136,202	3	1,696	349,293	190,603
총 계		220,052	34	18,119	94,931	34	16,124	314,982	68	34,243	349,293	190,603

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CAL1)	제어랙 (TDSV)	
1. 재료비	천원	290,062	183,661	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	24,008	31,572	
총생애주기비용	천원	171,440	118,838	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (CAL1) 	제어랙 (TDSV) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

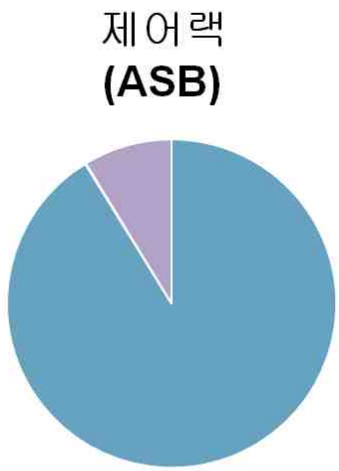
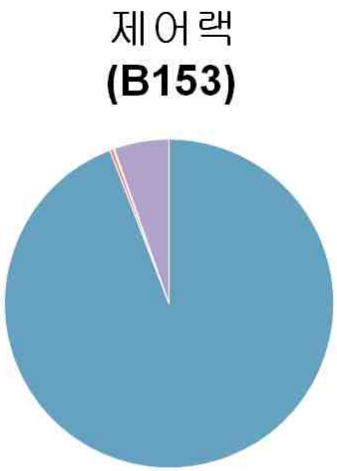
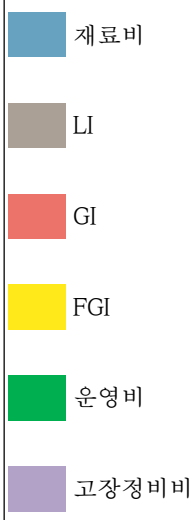
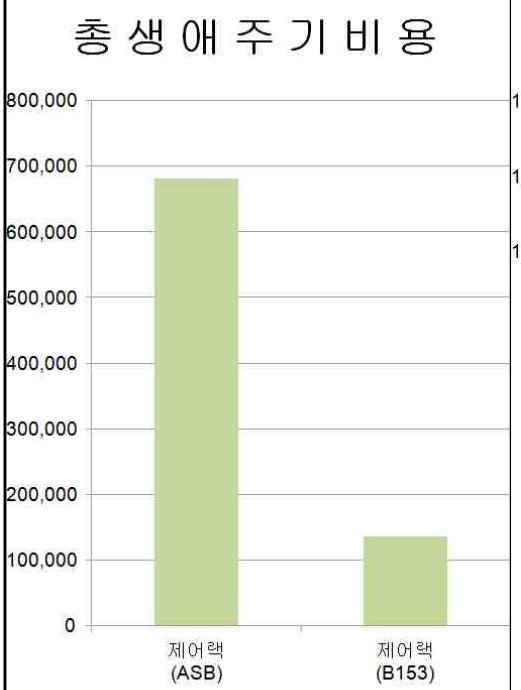
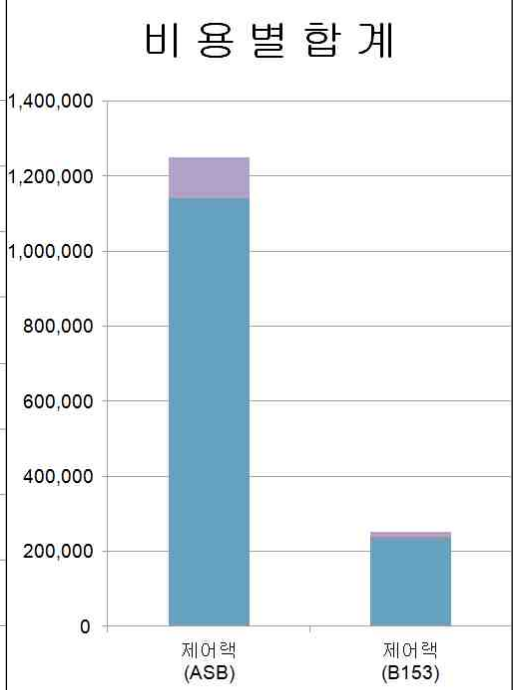
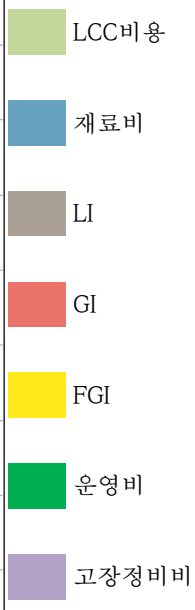
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(FCVV)			제어랙(SVTB)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	405	24	1	328	48	1	732	782	759
2	2005	25	1	417	25	1	338	49	1	754	1,587	1,518
3	2006	25	1	429	25	1	348	51	2	777	2,416	2,277
4	2007	26	1	442	26	1	358	52	2	800	3,270	3,036
5	2008	27	1	455	27	1	369	54	2	824	4,150	3,795
6	2009	28	1	469	28	1	380	56	2	849	5,057	4,554
7	2010	29	1	483	29	1	391	57	2	874	5,990	5,313
8	2011	29	1	498	29	1	403	59	2	901	6,951	6,072
9	2012	30	1	513	30	1	415	61	2	928	7,942	6,831
10	2013	29,175	1	528	15,978	1	428	45,153	2	956	54,052	41,141
11	2014	32	1	544	32	1	440	64	2	984	55,103	41,900
12	2015	33	1	560	33	1	454	66	2	1,014	56,185	42,659
13	2016	34	1	577	34	1	467	68	2	1,044	57,299	43,418
14	2017	35	1	594	35	1	481	70	2	1,076	58,447	44,177
15	2018	36	1	612	36	1	496	73	2	1,108	59,630	44,936
16	2019	37	1	630	37	1	511	75	2	1,141	60,848	45,695
17	2020	38	1	649	38	1	526	77	2	1,175	62,102	46,454
18	2021	40	1	669	40	1	542	79	2	1,210	63,394	47,213
19	2022	41	1	689	41	1	558	82	2	1,247	64,725	47,972
20	2023	39,208	1	710	21,473	1	575	60,682	3	1,284	126,694	82,282
21	2024	43	1	731	43	1	592	87	3	1,323	128,105	83,041
22	2025	45	1	753	45	1	610	89	3	1,362	129,560	83,800
23	2026	46	1	775	46	1	628	92	3	1,403	131,058	84,559
24	2027	47	1	799	47	1	647	95	3	1,445	132,600	85,318
25	2028	49	1	823	49	1	666	97	3	1,489	134,190	86,077
26	2029	50	2	847	50	2	686	100	3	1,533	135,826	86,836
27	2030	52	2	873	52	2	707	103	3	1,579	137,512	87,595
28	2031	53	2	899	53	2	728	106	3	1,627	139,249	88,354
29	2032	55	2	926	55	2	750	110	3	1,676	141,037	89,113
30	2033	52,693	2	954	28,858	2	772	81,551	3	1,726	224,318	123,423
총 계		122,086	34	19,253	67,320	34	15,590	189,407	68	34,843	224,318	123,423

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (FCVV)	제어랙 (SVTB)	
1. 재료비	천원	147,013	133,920	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	23,400	31,547	
총생애주기비용	천원	94,122	92,068	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (FCVV) 	제어랙 (SVTB) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

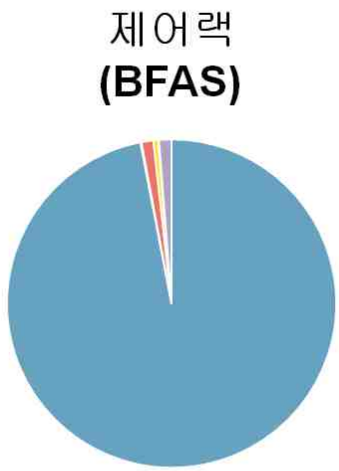
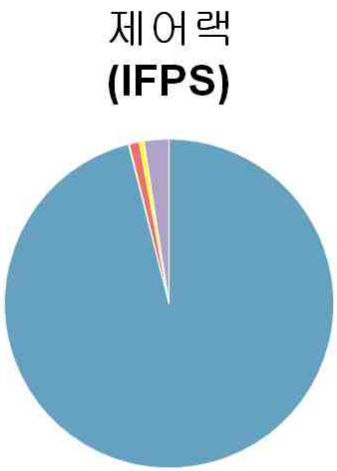
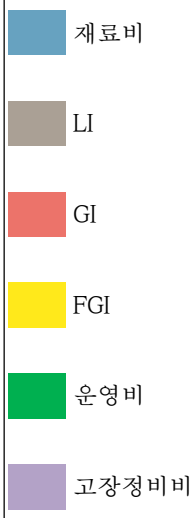
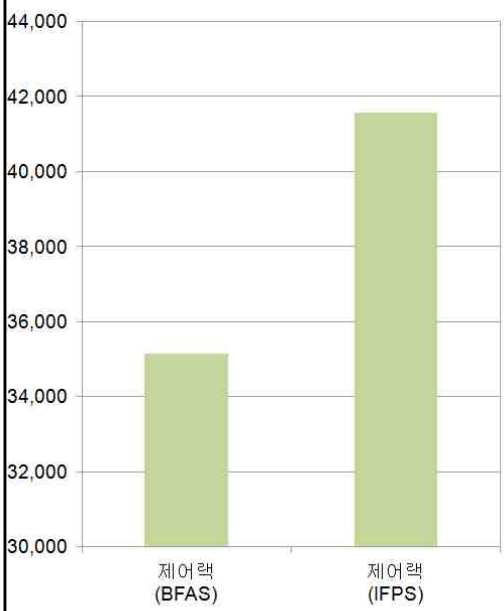
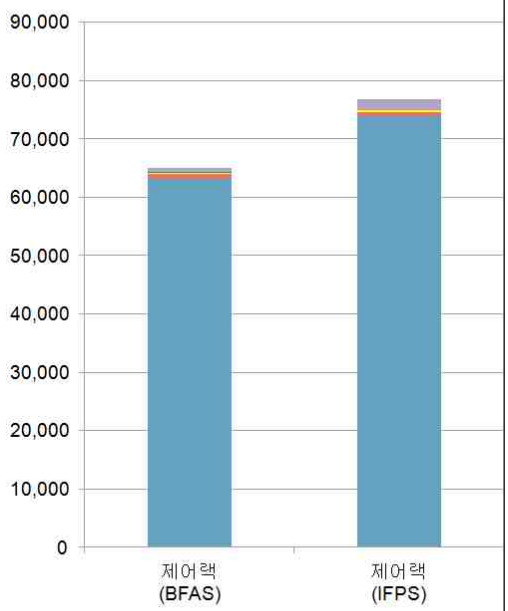
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ASB)			제어랙(B153)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	1,883	24	1	218	48	1	2,101	2,151	2,088
2	2005	25	1	1,939	25	1	225	49	1	2,164	4,366	4,176
3	2006	25	1	1,998	25	1	232	51	2	2,229	6,647	6,264
4	2007	26	1	2,058	26	1	239	52	2	2,296	8,997	8,352
5	2008	27	1	2,119	27	1	246	54	2	2,365	11,418	10,440
6	2009	28	1	2,183	28	1	253	56	2	2,436	13,911	12,528
7	2010	29	1	2,248	29	1	261	57	2	2,509	16,479	14,616
8	2011	29	1	2,316	29	1	268	59	2	2,584	19,124	16,704
9	2012	30	1	2,385	30	1	276	61	2	2,662	21,848	18,792
10	2013	226,060	1	2,457	43,699	1	285	269,759	2	2,742	294,351	221,559
11	2014	32	1	2,531	32	1	293	64	2	2,824	297,241	223,647
12	2015	33	1	2,606	33	1	302	66	2	2,909	300,218	225,735
13	2016	34	1	2,685	34	1	311	68	2	2,996	303,284	227,823
14	2017	35	1	2,765	35	1	321	70	2	3,086	306,442	229,911
15	2018	36	1	2,848	36	1	330	73	2	3,178	309,695	231,999
16	2019	37	1	2,934	37	1	340	75	2	3,274	313,046	234,087
17	2020	38	1	3,022	38	1	350	77	2	3,372	316,497	236,175
18	2021	40	1	3,112	40	1	361	79	2	3,473	320,052	238,263
19	2022	41	1	3,206	41	1	372	82	2	3,577	323,713	240,351
20	2023	303,805	1	3,302	58,728	1	383	362,534	3	3,685	689,934	443,118
21	2024	43	1	3,401	43	1	394	87	3	3,795	693,818	445,206
22	2025	45	1	3,503	45	1	406	89	3	3,909	697,819	447,294
23	2026	46	1	3,608	46	1	418	92	3	4,026	701,939	449,382
24	2027	47	1	3,716	47	1	431	95	3	4,147	706,184	451,470
25	2028	49	1	3,828	49	1	444	97	3	4,271	710,555	453,558
26	2029	50	2	3,942	50	2	457	100	3	4,400	715,058	455,646
27	2030	52	2	4,061	52	2	471	103	3	4,531	719,696	457,734
28	2031	53	2	4,183	53	2	485	106	3	4,667	724,473	459,822
29	2032	55	2	4,308	55	2	499	110	3	4,807	729,394	461,910
30	2033	408,289	2	4,437	78,926	2	514	487,215	3	4,952	1,221,564	664,678
총 계		939,165	34	89,582	182,364	34	10,384	1,121,529	68	99,967	1,221,564	664,678

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ASB)	제어랙 (B153)	
1. 재료비	천원	1,140,171	237,008	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	108,888	13,581	
총생애주기비용	천원	680,674	136,519	

LCC 분석 그래프		범 례
 제어랙 (ASB)	 제어랙 (B153)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 800,000 700,000 600,000 500,000 400,000 300,000 200,000 100,000 0 제어랙 (ASB) 제어랙 (B153)	 비 용 별 합 계 1,400,000 1,200,000 1,000,000 800,000 600,000 400,000 200,000 0 제어랙 (ASB) 제어랙 (B153)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(BFAS)			제어랙(IFPS)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	14	24	1	32	48	1	46	95	92
2	2005	25	1	14	25	1	33	49	1	47	193	185
3	2006	25	1	15	25	1	34	51	2	49	294	277
4	2007	26	1	15	26	1	35	52	2	50	398	370
5	2008	27	1	16	27	1	36	54	2	52	505	462
6	2009	28	1	16	28	1	37	56	2	53	616	554
7	2010	29	1	17	29	1	38	57	2	55	729	647
8	2011	29	1	17	29	1	39	59	2	56	846	739
9	2012	30	1	18	30	1	40	61	2	58	967	832
10	2013	12,539	1	18	14,385	1	42	26,924	2	60	27,952	20,911
11	2014	32	1	19	32	1	43	64	2	62	28,080	21,004
12	2015	33	1	19	33	1	44	66	2	63	28,212	21,096
13	2016	34	1	20	34	1	45	68	2	65	28,348	21,188
14	2017	35	1	20	35	1	47	70	2	67	28,487	21,281
15	2018	36	1	21	36	1	48	73	2	69	28,631	21,373
16	2019	37	1	22	37	1	50	75	2	71	28,780	21,466
17	2020	38	1	22	38	1	51	77	2	73	28,932	21,558
18	2021	40	1	23	40	1	53	79	2	76	29,090	21,650
19	2022	41	1	24	41	1	54	82	2	78	29,252	21,743
20	2023	16,851	1	24	19,332	1	56	36,183	3	80	65,518	41,823
21	2024	43	1	25	43	1	58	87	3	83	65,690	41,915
22	2025	45	1	26	45	1	59	89	3	85	65,867	42,007
23	2026	46	1	27	46	1	61	92	3	88	66,049	42,100
24	2027	47	1	27	47	1	63	95	3	90	66,237	42,192
25	2028	49	1	28	49	1	65	97	3	93	66,430	42,284
26	2029	50	2	29	50	2	67	100	3	96	66,630	42,377
27	2030	52	2	30	52	2	69	103	3	99	66,835	42,469
28	2031	53	2	31	53	2	71	106	3	102	67,046	42,562
29	2032	55	2	32	55	2	73	110	3	105	67,264	42,654
30	2033	22,647	2	33	25,981	2	75	48,628	3	108	116,003	62,734
총 계		53,047	34	661	60,709	34	1,517	113,756	68	2,179	116,003	62,734

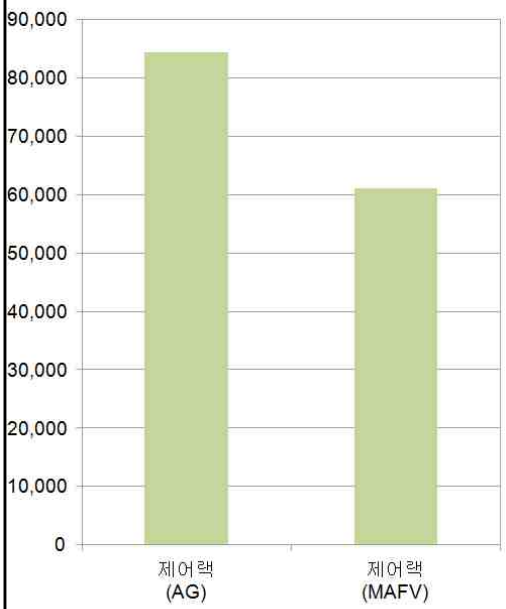
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (BFAS)	제어랙 (IFPS)	
1. 재료비	천원	63,094	73,815	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	803	1,880	
총생애주기비용	천원	35,149	41,575	

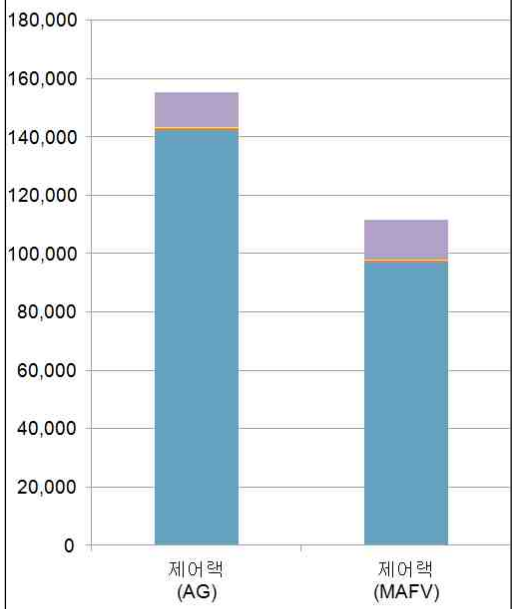
<table>
<tr><th colspan="2">LCC 분석 그래프</th><th>범 례</th></tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
<td rowspan="2"> 
</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td> 
</td>
</tr>
</table>

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(AG)			제어랙(MAFV)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	204	24	1	235	48	1	438	488	474
2	2005	25	1	210	25	1	242	49	1	452	990	947
3	2006	25	1	216	25	1	249	51	2	465	1,508	1,421
4	2007	26	1	223	26	1	256	52	2	479	2,041	1,894
5	2008	27	1	229	27	1	264	54	2	493	2,590	2,368
6	2009	28	1	236	28	1	272	56	2	508	3,155	2,841
7	2010	29	1	243	29	1	280	57	2	523	3,737	3,315
8	2011	29	1	250	29	1	289	59	2	539	4,337	3,788
9	2012	30	1	258	30	1	297	61	2	555	4,955	4,262
10	2013	28,242	1	266	19,244	1	306	47,486	2	572	53,015	40,023
11	2014	32	1	274	32	1	315	64	2	589	53,670	40,496
12	2015	33	1	282	33	1	325	66	2	607	54,345	40,970
13	2016	34	1	290	34	1	335	68	2	625	55,041	41,443
14	2017	35	1	299	35	1	345	70	2	644	55,757	41,917
15	2018	36	1	308	36	1	355	73	2	663	56,495	42,391
16	2019	37	1	317	37	1	366	75	2	683	57,255	42,864
17	2020	38	1	327	38	1	377	77	2	703	58,037	43,338
18	2021	40	1	337	40	1	388	79	2	725	58,844	43,811
19	2022	41	1	347	41	1	400	82	2	746	59,674	44,285
20	2023	37,955	1	357	25,862	1	412	63,817	3	769	124,262	80,046
21	2024	43	1	368	43	1	424	87	3	792	125,143	80,519
22	2025	45	1	379	45	1	437	89	3	816	126,050	80,993
23	2026	46	1	390	46	1	450	92	3	840	126,985	81,466
24	2027	47	1	402	47	1	463	95	3	865	127,948	81,940
25	2028	49	1	414	49	1	477	97	3	891	128,939	82,413
26	2029	50	2	426	50	2	491	100	3	918	129,960	82,887
27	2030	52	2	439	52	2	506	103	3	945	131,012	83,360
28	2031	53	2	452	53	2	521	106	3	974	132,096	83,834
29	2032	55	2	466	55	2	537	110	3	1,003	133,212	84,307
30	2033	51,008	2	480	34,757	2	553	85,765	3	1,033	220,013	120,068
총 계		118,215	34	9,689	80,874	34	11,167	199,088	68	20,856	220,013	120,068

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (AG)	제어랙 (MAFV)	
1. 재료비	천원	142,302	96,915	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	11,778	13,575	
총생애주기비용	천원	84,473	61,160	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (AG)	제어랙 (MAFV)	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용	비 용 별 합 계	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비





라. LCC 절감을 위한 요소항목

1) 년도별 LCC 분석

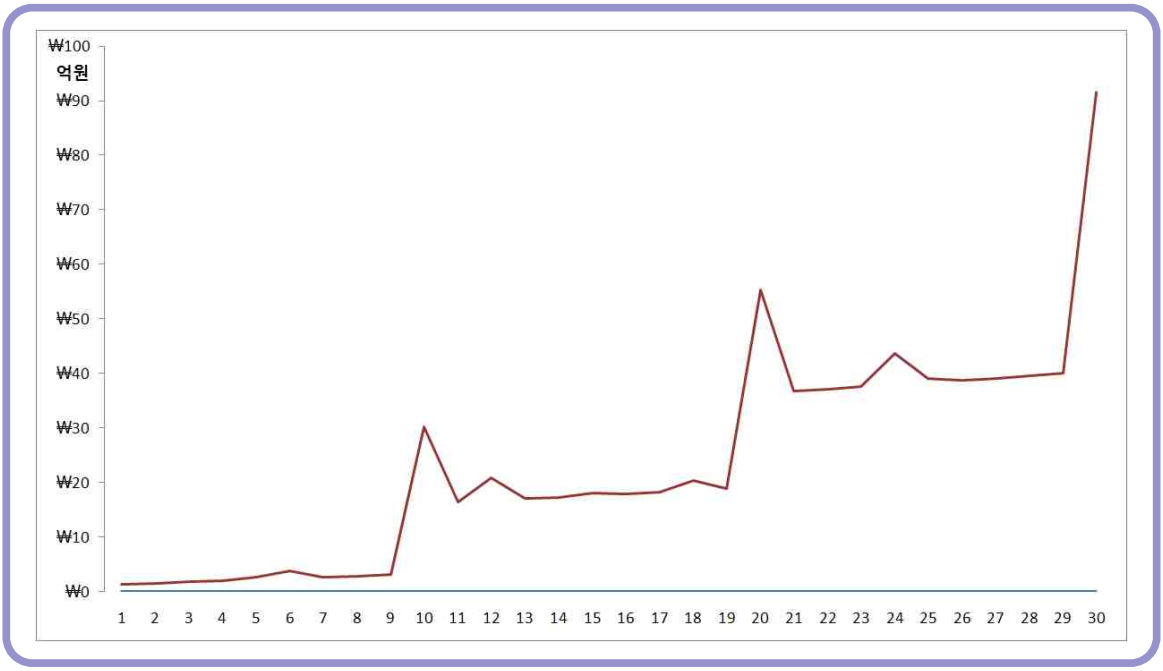


그림 243. KTX MB 년도별 LCC

표 81. KTX MB 내용연수

부 품 명	격자저항	송풍장치	스위치	변환장치	접촉기	콘덴서	계전기	제어렉
내용연수(년)	12	10	10	10	6	12	5	10

년도별 KTX 추진제어장치의 LCC를 분석해 보면 추진제어장치 사용 6년, 10년, 12년, 18년, 20년, 24년, 30년에서 유지관리비가 증가함을 볼 수 있다. 이는 추진제어장치의 부품들이 내용연수에 따라 교체가 이루어지기 때문이다. 특히 부품단가가 고가인 전력변환장치의 내용연수가 10년 주기이고 송풍장치 , 스위치 및 제어카드의 교체가 같이 이루어지기 때문에 내용연수 주기로 유지관리비가 크게 변화됨을 확인 할 수 있다.

또한, 유지관리비는 추진제어장치 사용년수에 따라 증가 추이를 보이고 있는데 이는 추진제어장치의 부품비 물가상승율 및 인건비 상승에 따른 것이다.

2) 부품별 LCC 비교분석

표 82. KTX 추진제어장치 LCC

단위;천원

부 품 명	예방정비비		운영비		고장정비비		합 계
	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
격자저항	913,080	89.31%	1,032	0.10%	108,258	10.59%	1,022,370
송풍장치	5,386,462	91.65%	305	0.01%	490,623	8.35%	5,877,390
스 위 치	283,013	87.10%	1,095	0.34%	40,809	12.56%	324,917
전력변환장치	**9,942,681**	**59.62%**	**1,032**	**0.01%**	**6,732,727**	**40.37%**	**16,676,440**
CMB접촉기	610,135	88.66%	188	0.03%	77,818	11.31%	688,141
TCP접촉기	**1,673,516**	**61.67%**	**844**	**0.03%**	**1,039,487**	**38.30%**	**2,713,847**
콘덴서	600,964	95.14%	1,032	0.16%	29,677	4.70%	631,672
계전기	339,724	84.55%	1,095	0.27%	60,997	15.18%	401,816
제어렉	**6,503,403**	**88.62%**	**1,095**	**0.01%**	**833,740**	**11.36%**	**7,338,237**

부품별 추진제어장치의 LCC를 분석해 보면 유지관리비 중 예방정비비의 비율이 가장 큰 것으로 확인된다. 하지만 KTX 운영 가동율을 유지하기 위한 유지보수비용이므로 LCC를 절감하기 위한 요소로는 반영될 수 없는 부분이다.

유지관리비 중 예방정비비를 제외한 부분에서 가장 큰 비율을 차지하는 비용은 고장정비비이다. 고장정비비는 KTX 운행 이후 부품 사용수를 파악하여 계산된 비용으로 정기적으로 교체되는 비용이 아닌 고장에 따라 부품을 교체한 비용이다. 이는 KTX LCC의 절감을 위해서 가장 중요한 요소로 분석된다. 고장정비비의 비율을 낮춤으로 KTX 추진제어장치의 LCC를 절감할 수 있다.

위의 표를 분석하면 유지관리비 중 고장정비비의 비율이 가장 높은 부품은 전력변환장치로 40.37%를 차지하고, 다음으로 TCP접촉기 38.30%, 마지막으로 스위치 12.56%로 나타난다. 또한 금액으로 환산하여 볼 때 전력변환장치의 고장정비비가 6,732,727천원, TCP접촉기는 1,039,487천원으로 KTX 추진제어장치의 유지관리비 35,674,830천원의 많은 부분을 차지하는 것을 확인할 수 있다.

이를 통해 KTX 추진제어장치의 LCC절감 요소를 분석하면 전력변환장치, TCP접촉기의 고장정비비를 감소시키는 것이 가장 효과가 크다는 것을 확인할 수 있다.

3) LCC 절감을 위한 요소분석

가) 전력변환장치

표 83. 전력변환장치의 고장정비비

부 품 명	CV-TT	IR-TT	CO-EX	CO-BK	CV-PFC	A633
금 액(천원)	334,194	2,147,570	278,193	1,936,376	1,107,834	928,561

전력변환장치의 고장정비비를 분석하면 IR-TT, CO-BK, CV-PFC 의 순서로 비용이 큼을 확인할 수 있다. IR-TT는 KTX 추진제어장치의 중요한 부품으로 부품당 단가가 높고 KTX 운행이후 교체횟수가 높아 추진제어장치의 LCC의 상승을 초래하였다. 그러므로 IR-TT 부품의 신뢰성을 높임으로써 LCC절감 효과를 가져올 수 있다.

나) TCP접촉기

표 84. TCP접촉기의 고장정비비

부 품 명	K-TT-BK-01	K-TT-BK-02	K-BK-01	K-BK-02
금 액(천원)	282,556	296,964	269,965	190,003

TCP접촉기의 고장정비비를 분석하면 K-TT-BK-02, K-TT-BK-01의 순서로 비용이 큼을 확인할 수 있다. K-TT-BK-02는 KTX 운행이후 교체개수가 46편성에 563개로 고장율이 높아 추진제어장치의 LCC의 상승을 초래하였다. 그러므로 K-TT-BK-02 부품의 신뢰성을 높임으로써 LCC절감 효과를 가져올 수 있다.

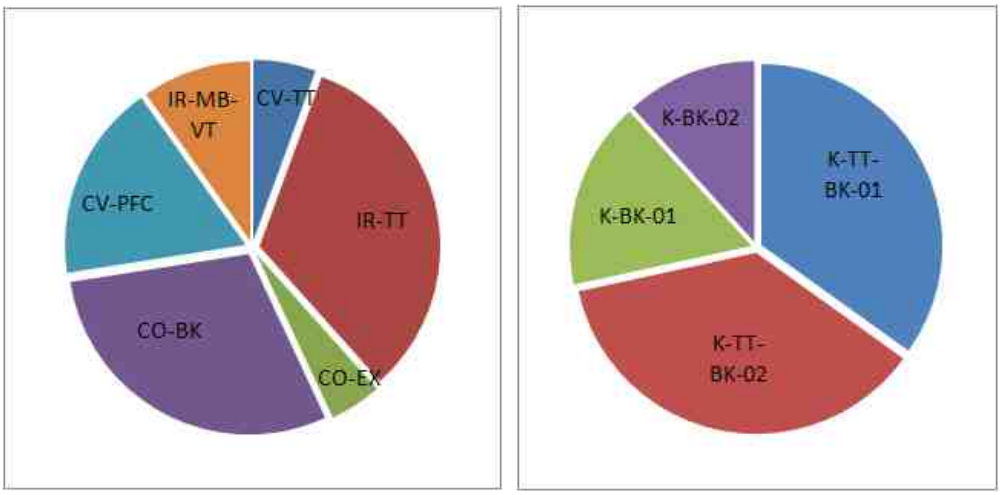


그림 244. 부품별 고장정비비 비율

3. KTX 추진제어장치 개발품의 LCC분석

가. KTX 추진제어장치 개발품의 PBS 도출

1) 개발품의 PBS 도출

본 연구에서는 KTX 차량의 추진제어장치의 LCC 모델 및 분석하고, KTX 차량의 수명주기 동안의 유지보수 활동에 기인한 비용요소부분을 확인하고 분류하기 위하여 기능적/공간적 PBS를 제안하여 사용한다.

제안된 KTX 차량의 PBS는 기능적/공간적 특성과 물리적/전기적 인터페이스관계 등을 반영하여 Level-1 대분류를 정의하였으며, Level-2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중분류 하였고, Level-3~5의 소분류는 Level-2의 장치별 구성요소 혹은 부품 수준의 상세한 분류체계로 구성되어 있다. Level-1~2는 모든 철도차량에 적용가능한 수준의 분류로 정의하였으며, Level-3~5는 고속전철차량의 형식에 따라 달라진다.

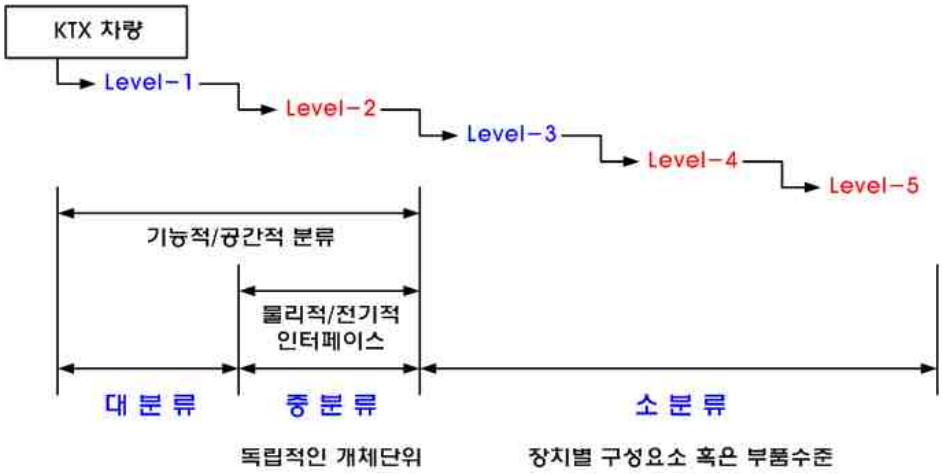


그림 245. KTX 차량 PBS 분류체계

KTX 차량의 PBS를 분류하기 위하여 1차적으로 기능적 분류를 적용하여 견인장치, 공기제동, 공기조화, 방송장치, 보조장치, 제어안전, 차체, OBCS로 분류하였다. KTX 추진제어장치는 Level-1의 견인장치에 포함이 되고 견인장치는 다시 기능적 분류를 통해 추진제어장치 1~3, 보조블록, 운전실 기기, 주변압기, 주회로차단기, 지붕장치, 캡큐비클로 분류한다.

추진제어장치 부분은 각 장치의 물리적 인터페이스와 기능적 인터페이스, 공간적 위치를 고려하여 격자저항, 송풍장치, 스위치, 전력변환장치, CMB접촉기, TCP접촉기, 콘덴서, 계전기, 추진제어장치 제어랙으로 분류하였다.

KTX 차량의 PBS는 특정 목적의 업무를 수행하기 위한 기능적 구조를 기반으로 Level-1의 대분류를 정의하였으며, Level-2는 독립적으로 정의될 수 있는 개체 단위의 장치를 기준으로 중분류 하였고, Level-3~5는 Level-2의 장치 별 구성요소 혹은 부품 단위 위주로 소분류 하였으며, PBS의 각 Level은 계층적 구조로 구성되어 있다. LCC 원가계산에 사용되는 PBS는

PBS의 Level-3~5의 범주 안에서 비용요소를 계산한다.

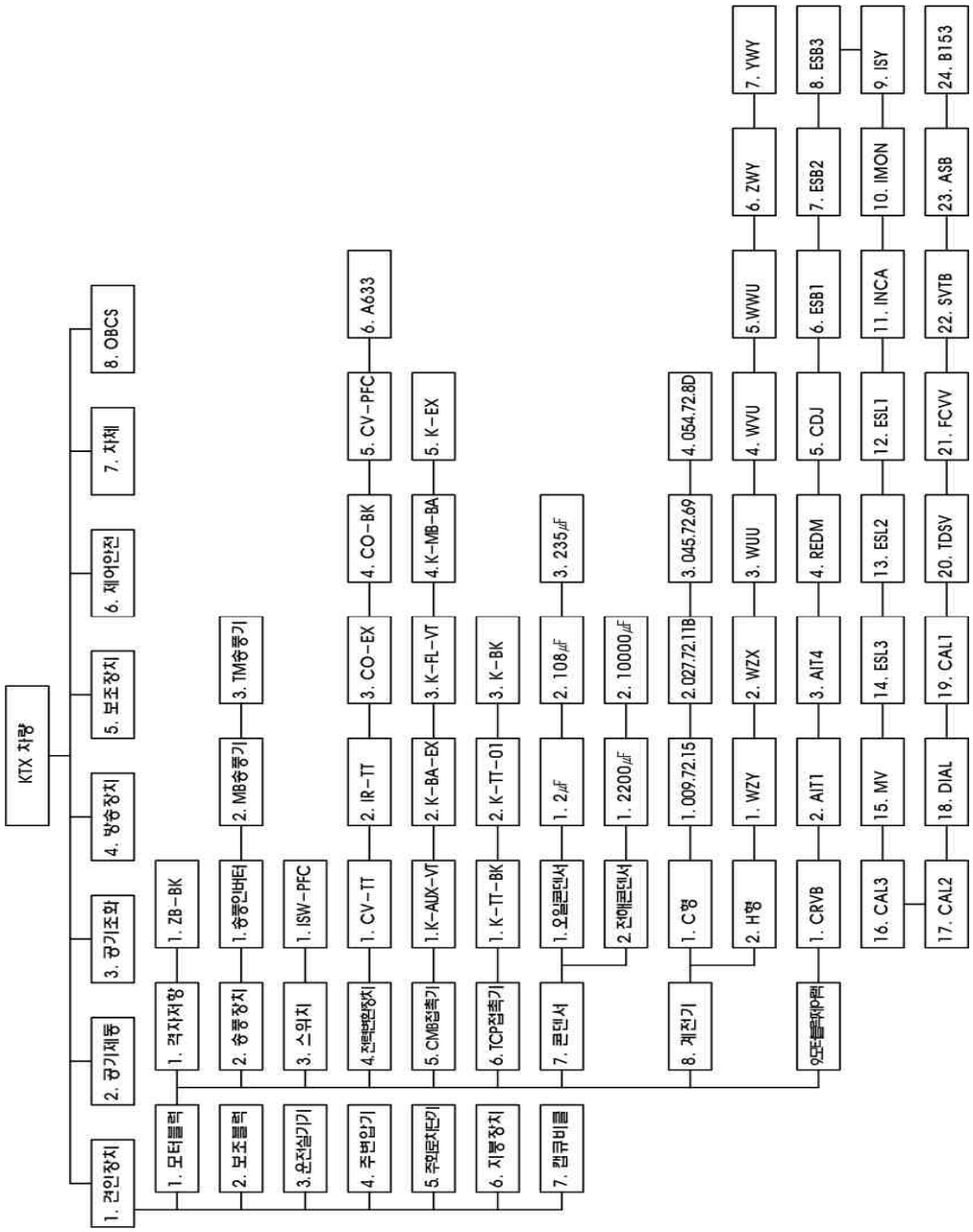


그림 246. KTX 추진제어장치 개발품의 PBS

나. KTX 추진제어장치 개발품의 LCC예측

1) KTX 추진제어장치 개발품의 LCC

(1편성 기준)

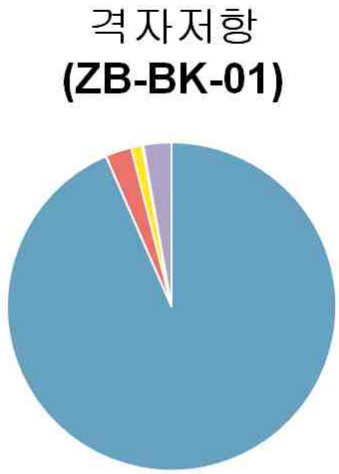
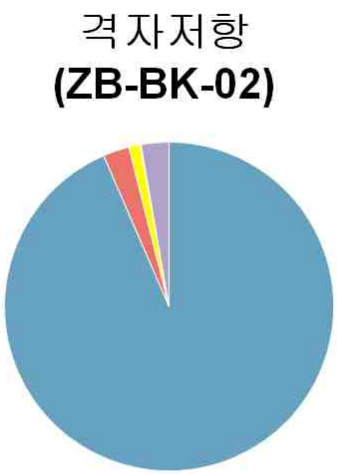
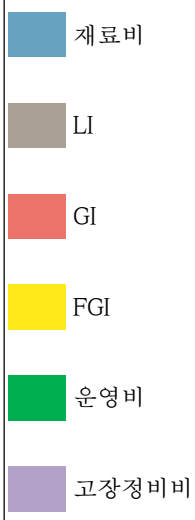
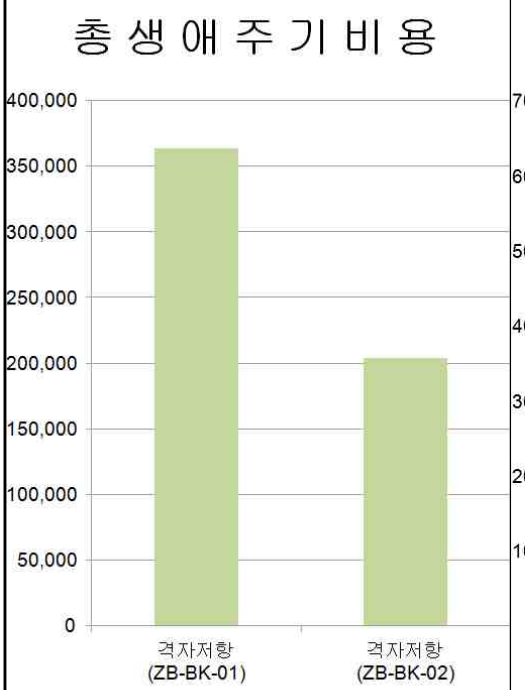
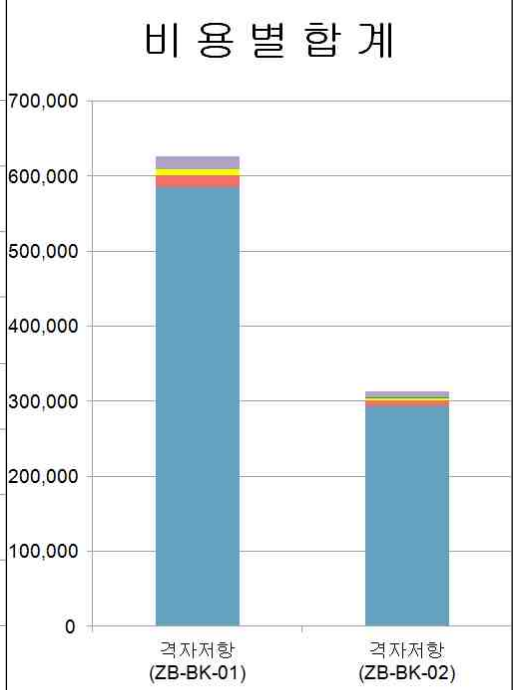
MB 년수	유 지 관 리 비 (천원)																		합계
	격자저항		송풍장치		스위치		전력변환장치		CMB접촉기		TCP접촉기		콘덴서		계전기		제어랙		고장	
	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비	운영	정비비	
1	723	22	214	6	767	23	723	22	131	4	591	18	723	22	767	23	743	22	18,689	34,333
2	745	22	220	7	790	24	745	22	135	4	609	18	745	22	790	24	765	23	19,250	35,363
3	767	23	227	7	814	24	767	23	139	4	627	19	767	23	814	24	788	24	19,828	36,424
4	790	24	234	7	838	25	790	24	144	4	646	19	790	24	838	25	812	24	20,422	37,517
5	814	24	241	7	863	26	814	24	148	4	666	20	814	24	39,308	26	836	25	21,035	77,087
6	838	25	248	7	889	27	838	25	78,807	5	134,025	21	838	25	889	27	861	26	21,666	251,796
7	863	26	255	8	916	27	863	26	157	5	706	21	863	26	916	27	887	27	22,316	40,996
8	889	27	263	8	943	28	889	27	162	5	727	22	889	27	943	28	914	27	22,986	42,225
9	916	27	271	8	972	29	916	27	166	5	749	22	916	27	972	29	941	28	23,675	43,492
10	943	28	986,687	8	47,597	30	1,916,016	28	171	5	772	23	943	28	45,569	30	876,462	29	24,386	4,235,441
11	972	29	287	9	1,031	31	972	29	177	5	795	24	972	29	1,031	31	998	30	25,117	46,141
12	50,667	30	296	9	1,062	32	1,001	30	94,099	5	160,033	25	199,666	30	1,062	32	1,028	31	25,871	861,554
13	1,031	31	305	9	1,093	33	1,031	31	187	6	843	25	1,031	31	1,093	33	1,059	32	26,647	48,951
14	1,062	32	314	9	1,126	34	1,062	32	193	6	869	26	1,062	32	1,126	34	1,091	33	27,446	50,419
15	1,093	33	323	10	1,160	35	1,093	33	199	6	895	27	1,093	33	52,827	35	1,124	34	28,269	103,599
16	1,126	34	333	10	1,195	36	1,126	34	205	6	921	28	1,126	34	1,195	36	1,157	35	29,118	53,490
17	1,160	35	343	10	1,231	37	1,160	35	211	6	949	28	1,160	35	1,231	37	1,192	36	29,991	55,095
18	1,195	36	353	11	1,268	38	1,195	36	112,360	7	191,088	29	1,195	36	1,268	38	1,228	37	30,891	359,000
19	1,231	37	364	11	1,306	39	1,231	37	224	7	1,007	30	1,231	37	1,306	39	1,265	38	31,818	58,450
20	1,268	38	1,326,025	11	63,966	40	2,574,966	38	230	7	1,037	31	1,268	38	61,241	40	1,177,891	39	32,772	5,692,079
21	1,306	39	386	12	1,385	42	1,306	39	237	7	1,068	32	1,306	39	1,385	42	1,342	40	33,755	62,009
22	1,345	40	398	12	1,427	43	1,345	40	245	7	1,100	33	1,345	40	1,427	43	1,382	41	34,768	63,870
23	1,385	42	410	12	1,469	44	1,385	42	252	8	1,133	34	1,385	42	1,469	44	1,424	43	35,811	65,786
24	72,239	43	422	13	1,514	45	1,427	43	134,163	8	228,169	35	284,676	43	1,514	45	1,466	44	36,885	1,228,370
25	1,470	44	435	13	1,559	47	1,470	44	267	8	1,202	36	1,470	44	70,995	47	1,510	45	37,992	139,228
26	1,514	45	448	13	1,606	48	1,514	45	275	8	1,238	37	1,514	45	1,606	48	1,556	47	39,132	71,886
27	1,559	47	461	14	1,654	50	1,559	47	283	9	1,276	38	1,559	47	1,654	50	1,602	48	40,306	74,042
28	1,606	48	475	14	1,704	51	1,606	48	292	9	1,314	39	1,606	48	1,704	51	1,650	50	41,515	76,264
29	1,654	50	489	15	1,755	53	1,654	50	301	9	1,353	41	1,654	50	1,755	53	1,700	51	42,760	78,552
30	1,704	51	1,782,067	15	85,965	54	3,460,538	51	160,198	9	272,446	42	1,704	51	82,303	54	1,582,987	53	44,033	8,080,609
합계	154,871	1,032	4,103,794	305	229,861	1,095	7,981,998	1,032	584,760	188	1,008,858	844	516,307	1,032	380,995	1,095	3,668,663	1,060	889,149	22,104,068

2) 장치별 추진제어장치 개발품의 LCC

가) 격자저항

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		ZB-BK-01			ZB-BK-02			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	482	14	364	241	7	180	723	22	544	1,289	1,251
2	2005	496	15	375	248	7	185	745	22	560	2,616	2,502
3	2006	511	15	386	256	8	191	767	23	577	3,983	3,753
4	2007	527	16	398	263	8	197	790	24	594	5,391	5,004
5	2008	542	16	410	271	8	202	814	24	612	6,841	6,255
6	2009	559	17	422	279	8	208	838	25	631	8,335	7,506
7	2010	575	17	435	288	9	215	863	26	649	9,873	8,757
8	2011	593	18	448	296	9	221	889	27	669	11,458	10,008
9	2012	610	18	461	305	9	228	916	27	689	13,090	11,259
10	2013	629	19	475	314	9	235	943	28	710	14,771	12,510
11	2014	648	19	489	324	10	242	972	29	731	16,503	13,761
12	2015	242,155	20	504	121,078	10	249	363,233	30	753	380,519	269,074
13	2016	687	21	519	344	10	256	1,031	31	776	382,356	270,325
14	2017	708	21	535	354	11	264	1,062	32	799	384,248	271,576
15	2018	729	22	551	364	11	272	1,093	33	823	386,197	272,827
16	2019	751	23	567	375	11	280	1,126	34	847	388,204	274,078
17	2020	773	23	584	387	12	289	1,160	35	873	390,272	275,329
18	2021	797	24	602	398	12	297	1,195	36	899	392,402	276,580
19	2022	820	25	620	410	12	306	1,231	37	926	394,595	277,831
20	2023	845	25	638	423	13	315	1,268	38	954	396,855	279,082
21	2024	870	26	658	435	13	325	1,306	39	982	399,182	280,333
22	2025	897	27	677	448	13	335	1,345	40	1,012	401,579	281,584
23	2026	923	28	698	462	14	345	1,385	42	1,042	404,048	282,835
24	2027	345,255	29	719	172,628	14	355	517,883	43	1,073	923,047	538,148
25	2028	980	29	740	490	15	366	1,470	44	1,106	925,666	539,399
26	2029	1,009	30	762	505	15	377	1,514	45	1,139	928,364	540,650
27	2030	1,039	31	785	520	16	388	1,559	47	1,173	931,143	541,901
28	2031	1,071	32	809	535	16	399	1,606	48	1,208	934,005	543,152
29	2032	1,103	33	833	551	17	411	1,654	50	1,244	936,953	544,403
30	2033	1,136	34	858	568	17	424	1,704	51	1,282	939,990	545,654
총 계		608,720	688	17,321	304,360	344	8,556	913,080	1,032	25,878	939,990	545,654

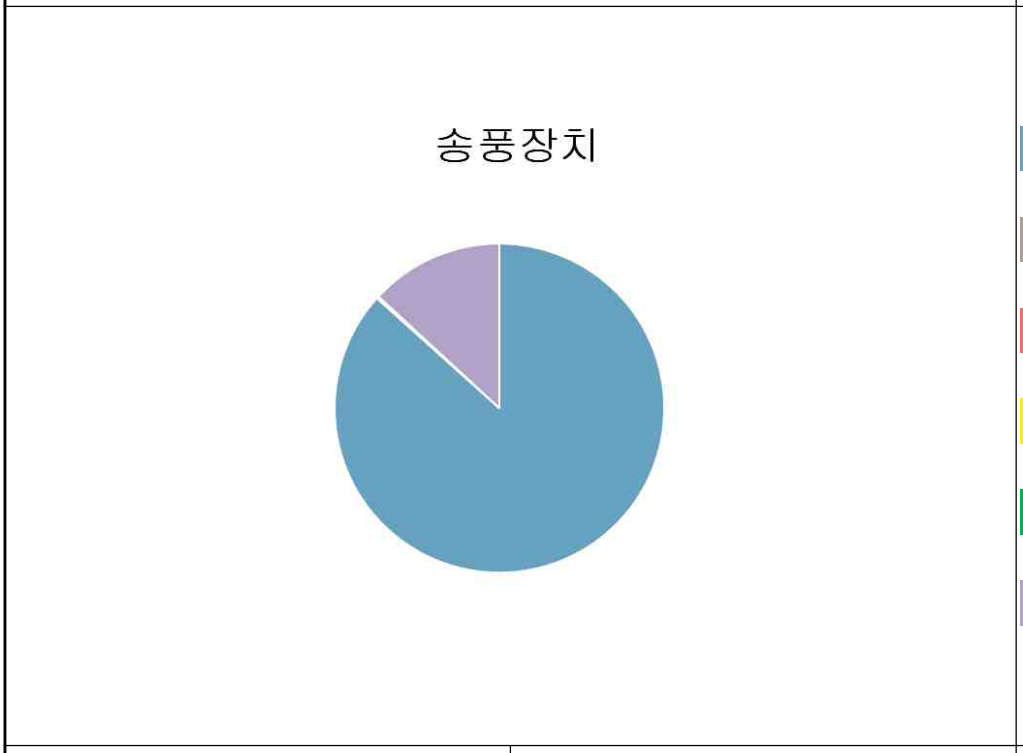
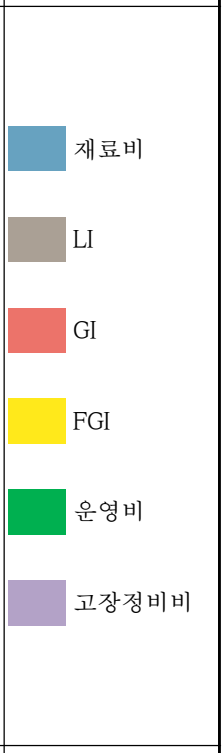
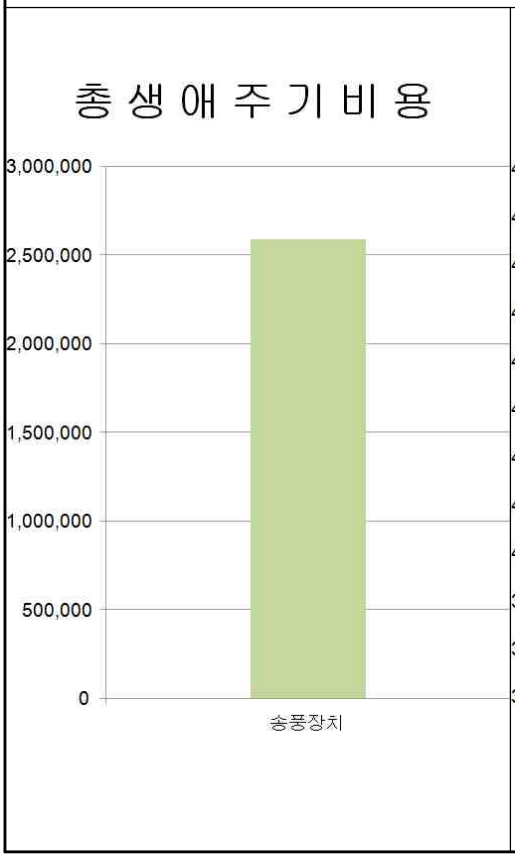
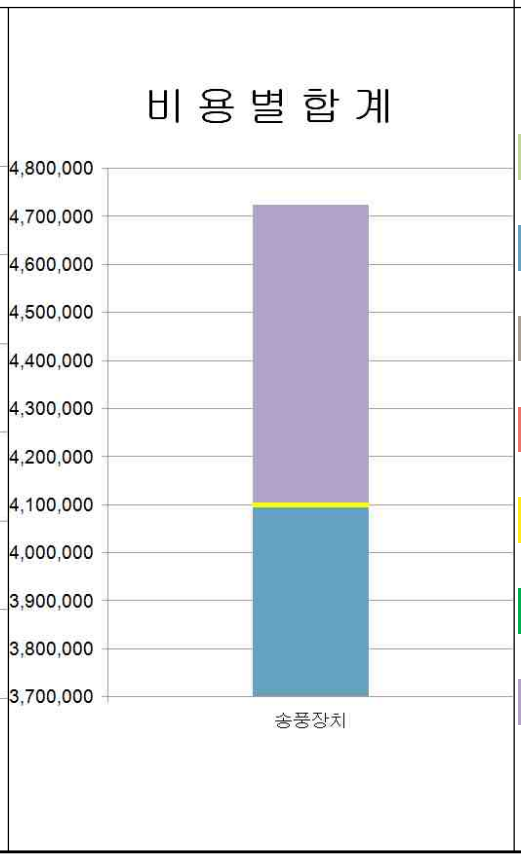
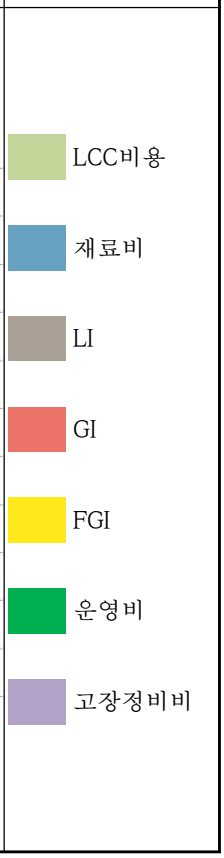
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	36	18	
2. 내용연수	년	12	12	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		격자저항 (ZB-BK-01)	격자저항 (ZB-BK-02)	
1. 재료비	천원	585,792	292,896	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	16,147	8,074	
4. FGI	천원	6,781	3,390	
5. 운영비	천원	688	344	
6. 고장 정비비	천원	17,321	8,556	
총생애주기비용	천원	363,812	203,606	

LCC 분석 그래프		범 례
 격자저항 (ZB-BK-01)	 격자저항 (ZB-BK-02)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 400,000 350,000 300,000 250,000 200,000 150,000 100,000 50,000 0 격자저항 (ZB-BK-01) 격자저항 (ZB-BK-02)	 비 용 별 합 계 700,000 600,000 500,000 400,000 300,000 200,000 100,000 0 격자저항 (ZB-BK-01) 격자저항 (ZB-BK-02)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

나) 송풍장치

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)			할인율 (3%)	
		송풍장치				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	214	6	13,035	13,255	12,869
2	2005	220	7	13,426	26,907	25,737
3	2006	227	7	13,828	40,969	38,606
4	2007	234	7	14,243	55,453	51,475
5	2008	241	7	14,671	70,372	64,344
6	2009	248	7	15,111	85,738	77,212
7	2010	255	8	15,564	101,564	90,081
8	2011	263	8	16,031	117,866	102,950
9	2012	271	8	16,512	134,657	115,819
10	2013	986,687	8	17,007	1,138,360	862,668
11	2014	287	9	17,517	1,156,173	875,537
12	2015	296	9	18,043	1,174,521	888,406
13	2016	305	9	18,584	1,193,419	901,274
14	2017	314	9	19,142	1,212,885	914,143
15	2018	323	10	19,716	1,232,934	927,012
16	2019	333	10	20,307	1,253,584	939,881
17	2020	343	10	20,917	1,274,854	952,749
18	2021	353	11	21,544	1,296,762	965,618
19	2022	364	11	22,191	1,319,328	978,487
20	2023	1,326,025	11	22,856	2,668,221	1,725,336
21	2024	386	12	23,542	2,692,161	1,738,205
22	2025	398	12	24,248	2,716,818	1,751,074
23	2026	410	12	24,976	2,742,216	1,763,942
24	2027	422	13	25,725	2,768,376	1,776,811
25	2028	435	13	26,497	2,795,320	1,789,680
26	2029	448	13	27,292	2,823,072	1,802,549
27	2030	461	14	28,110	2,851,658	1,815,417
28	2031	475	14	28,954	2,881,100	1,828,286
29	2032	489	15	29,822	2,911,426	1,841,155
30	2033	1,782,067	15	30,717	4,724,226	2,588,004
총 계		4,103,794	305	620,127	4,724,226	2,588,004

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	18	
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		송풍장치	
1. 재료비	천원	4,093,623	
2. LI	천원	0	
3. GI	천원	0	
4. FGI	천원	10,171	
5. 운영비	천원	305	
6. 고장 정비비	천원	620,127	
총생애주기비용	천원	2,588,004	

LCC 분석 그래프	범 례
	
	
	

송풍장치
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

총 생 애 주 기 비 용
3,000,000
2,500,000
2,000,000
1,500,000
1,000,000
500,000
0
송풍장치

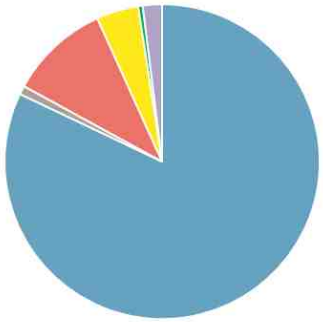
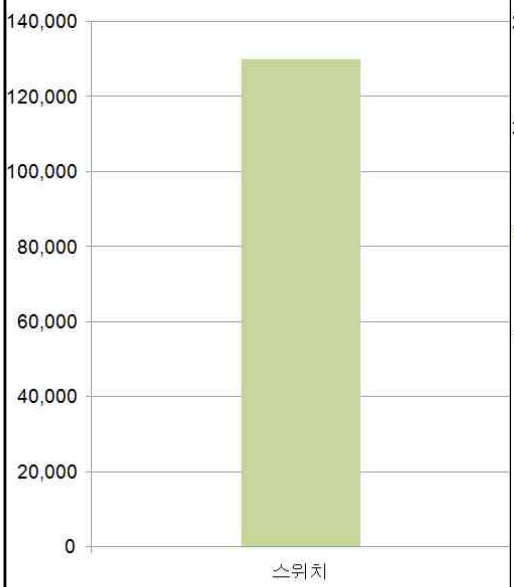
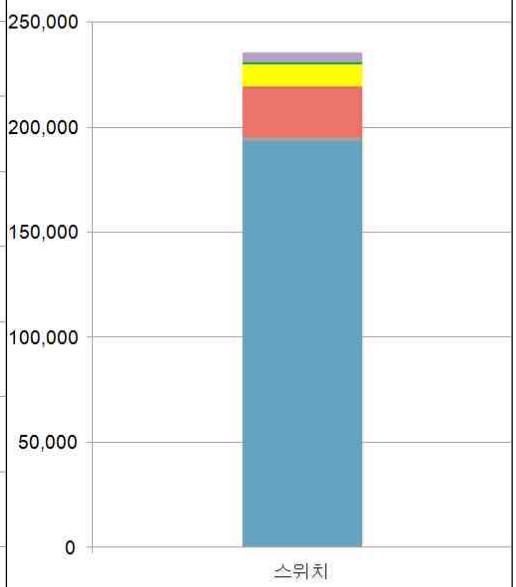
비 용 별 합 계
4,800,000
4,700,000
4,600,000
4,500,000
4,400,000
4,300,000
4,200,000
4,100,000
4,000,000
3,900,000
3,800,000
3,700,000
송풍장치

LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

다) 스위치

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)			할인율 (3%)	
		스위치				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	767	23	98	887	862
2	2005	790	24	100	1,802	1,723
3	2006	814	24	104	2,743	2,585
4	2007	838	25	107	3,713	3,447
5	2008	863	26	110	4,712	4,308
6	2009	889	27	113	5,741	5,170
7	2010	916	27	116	6,800	6,031
8	2011	943	28	120	7,892	6,893
9	2012	972	29	124	9,016	7,755
10	2013	47,597	30	127	56,770	43,288
11	2014	1,031	31	131	57,963	44,150
12	2015	1,062	32	135	59,191	45,011
13	2016	1,093	33	139	60,457	45,873
14	2017	1,126	34	143	61,760	46,735
15	2018	1,160	35	148	63,102	47,596
16	2019	1,195	36	152	64,485	48,458
17	2020	1,231	37	157	65,909	49,320
18	2021	1,268	38	161	67,376	50,181
19	2022	1,306	39	166	68,887	51,043
20	2023	63,966	40	171	133,064	86,576
21	2024	1,385	42	176	134,667	87,438
22	2025	1,427	43	181	136,318	88,300
23	2026	1,469	44	187	138,019	89,161
24	2027	1,514	45	193	139,770	90,023
25	2028	1,559	47	198	141,574	90,884
26	2029	1,606	48	204	143,432	91,746
27	2030	1,654	50	210	145,346	92,608
28	2031	1,704	51	217	147,318	93,469
29	2032	1,755	53	223	149,348	94,331
30	2033	85,965	54	230	235,597	129,864
총 계		229,861	1,095	4,642	235,597	129,864

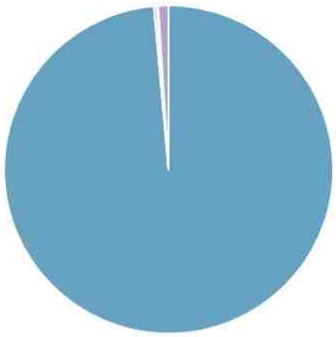
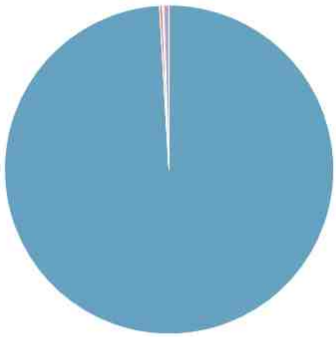
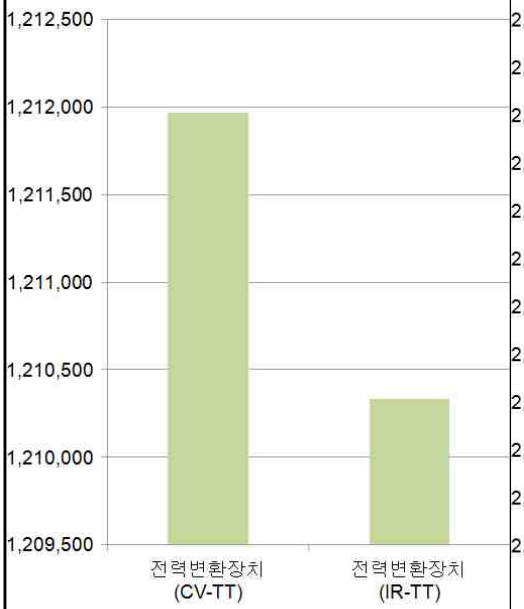
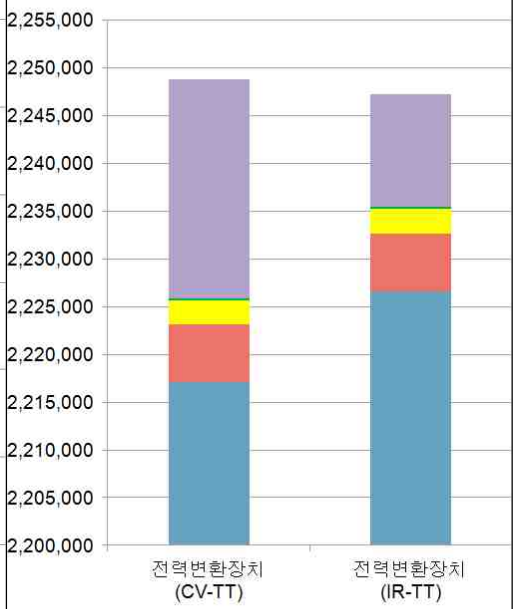
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	6	
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		스위치	
1. 재료비	천원	193,375	
2. LI	천원	2,094	
3. GI	천원	24,221	
4. FGI	천원	10,171	
5. 운영비	천원	1,095	
6. 고장 정비비	천원	4,642	
총생애주기비용	천원	129,864	

LCC 분석 그래프	범 례
	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

라) 전력변환장치

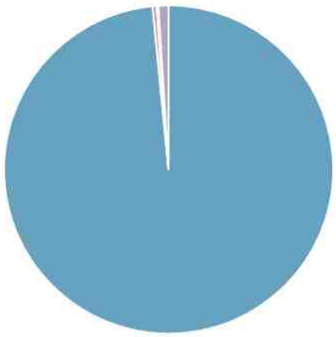
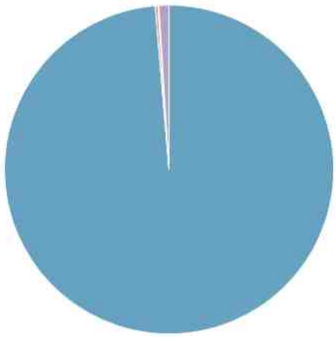
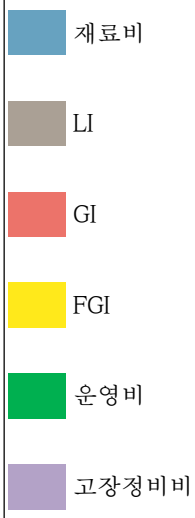
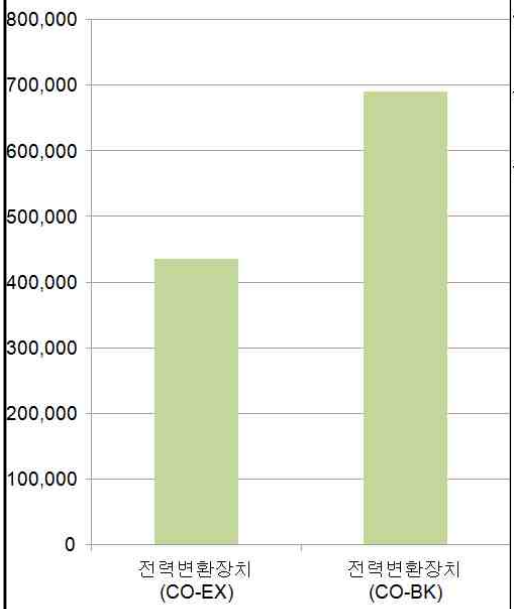
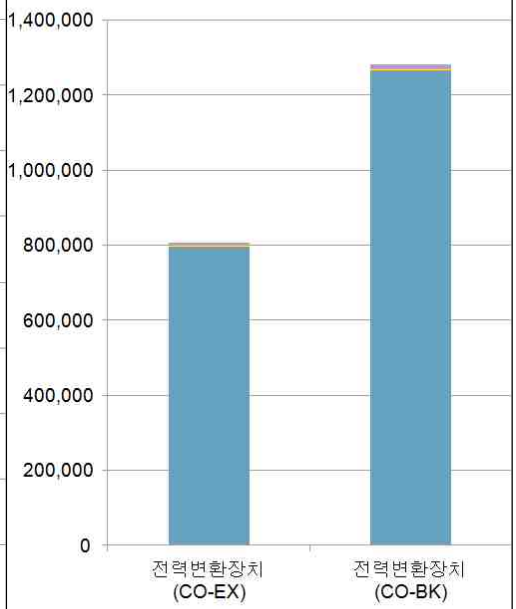
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		전력변환장치(CV-TT)			전력변환장치(IR-TT)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	181	5	481	181	5	248	361	11	729	1,101	1,069
2	2005	186	6	495	186	6	256	372	11	751	2,235	2,138
3	2006	192	6	510	192	6	263	383	12	773	3,404	3,207
4	2007	197	6	525	197	6	271	395	12	796	4,607	4,276
5	2008	203	6	541	203	6	279	407	12	820	5,846	5,345
6	2009	210	6	557	210	6	288	419	13	845	7,123	6,414
7	2010	216	6	574	216	6	296	432	13	870	8,438	7,484
8	2011	222	7	591	222	7	305	445	13	896	9,792	8,553
9	2012	229	7	609	229	7	314	458	14	923	11,187	9,622
10	2013	534,462	7	627	536,764	7	324	1,071,226	14	951	1,083,378	807,433
11	2014	243	7	646	243	7	334	486	15	980	1,084,858	808,502
12	2015	250	8	665	250	8	344	500	15	1,009	1,086,382	809,571
13	2016	258	8	685	258	8	354	515	15	1,039	1,087,952	810,640
14	2017	265	8	706	265	8	365	531	16	1,070	1,089,569	811,709
15	2018	273	8	727	273	8	375	547	16	1,102	1,091,235	812,778
16	2019	282	8	749	282	8	387	563	17	1,136	1,092,950	813,847
17	2020	290	9	771	290	9	398	580	17	1,170	1,094,717	814,916
18	2021	299	9	794	299	9	410	597	18	1,205	1,096,537	815,985
19	2022	308	9	818	308	9	423	615	18	1,241	1,098,412	817,054
20	2023	718,272	10	843	721,366	10	435	1,439,638	19	1,278	2,539,347	1,614,865
21	2024	326	10	868	326	10	448	653	20	1,316	2,541,336	1,615,934
22	2025	336	10	894	336	10	462	672	20	1,356	2,543,384	1,617,003
23	2026	346	10	921	346	10	476	693	21	1,397	2,545,494	1,618,072
24	2027	357	11	949	357	11	490	713	21	1,438	2,547,667	1,619,141
25	2028	367	11	977	367	11	505	735	22	1,482	2,549,906	1,620,211
26	2029	378	11	1,006	378	11	520	757	23	1,526	2,552,211	1,621,280
27	2030	390	12	1,037	390	12	535	780	23	1,572	2,554,586	1,622,349
28	2031	401	12	1,068	401	12	551	803	24	1,619	2,557,032	1,623,418
29	2032	413	12	1,100	413	12	568	827	25	1,668	2,559,551	1,624,487
30	2033	965,298	13	1,133	969,455	13	585	1,934,753	26	1,718	4,496,048	2,422,298
총 계		2,225,652	258	22,867	2,235,204	258	11,809	4,460,856	516	34,676	4,496,048	2,422,298

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	12	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		전력변환장치 (CV-TT)	전력변환장치 (IR-TT)	
1. 재료비	천원	2,217,054	2,226,606	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	6,055	6,055	
4. FGI	천원	2,543	2,543	
5. 운영비	천원	258	258	
6. 고장 정비비	천원	22,867	11,809	
총생애주기비용	천원	1,211,965	1,210,333	

LCC 분석 그래프		범 례
전력변환장치 (CV-TT) 	전력변환장치 (IR-TT) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		전력변환장치(CO-EX)			전력변환장치(CO-BK)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	90	3	168	90	3	267	181	5	435	621	603
2	2005	93	3	173	93	3	275	186	6	448	1,261	1,206
3	2006	96	3	179	96	3	283	192	6	461	1,920	1,809
4	2007	99	3	184	99	3	291	197	6	475	2,598	2,412
5	2008	102	3	190	102	3	300	203	6	490	3,297	3,015
6	2009	105	3	195	105	3	309	210	6	504	4,017	3,618
7	2010	108	3	201	108	3	318	216	6	519	4,759	4,221
8	2011	111	3	207	111	3	328	222	7	535	5,523	4,824
9	2012	114	3	213	114	3	338	229	7	551	6,310	5,427
10	2013	191,552	4	220	304,816	4	348	496,368	7	567	503,252	375,199
11	2014	121	4	226	121	4	358	243	7	585	504,087	375,802
12	2015	125	4	233	125	4	369	250	8	602	504,947	376,405
13	2016	129	4	240	129	4	380	258	8	620	505,832	377,008
14	2017	133	4	247	133	4	391	265	8	639	506,744	377,611
15	2018	137	4	255	137	4	403	273	8	658	507,684	378,214
16	2019	141	4	262	141	4	415	282	8	678	508,651	378,817
17	2020	145	4	270	145	4	428	290	9	698	509,648	379,420
18	2021	149	4	278	149	4	441	299	9	719	510,674	380,023
19	2022	154	5	287	154	5	454	308	9	740	511,732	380,626
20	2023	257,429	5	295	409,648	5	467	667,077	10	763	1,179,581	750,398
21	2024	163	5	304	163	5	481	326	10	786	1,180,703	751,001
22	2025	168	5	313	168	5	496	336	10	809	1,181,858	751,604
23	2026	173	5	323	173	5	511	346	10	833	1,183,048	752,207
24	2027	178	5	332	178	5	526	357	11	858	1,184,274	752,810
25	2028	184	6	342	184	6	542	367	11	884	1,185,536	753,413
26	2029	189	6	353	189	6	558	378	11	911	1,186,837	754,016
27	2030	195	6	363	195	6	575	390	12	938	1,188,176	754,619
28	2031	201	6	374	201	6	592	401	12	966	1,189,556	755,222
29	2032	207	6	385	207	6	610	413	12	995	1,190,977	755,825
30	2033	345,964	6	397	550,532	6	628	896,496	13	1,025	2,088,510	1,125,596
총 계		798,754	129	8,012	1,268,806	129	12,680	2,067,560	258	20,692	2,088,510	1,125,596

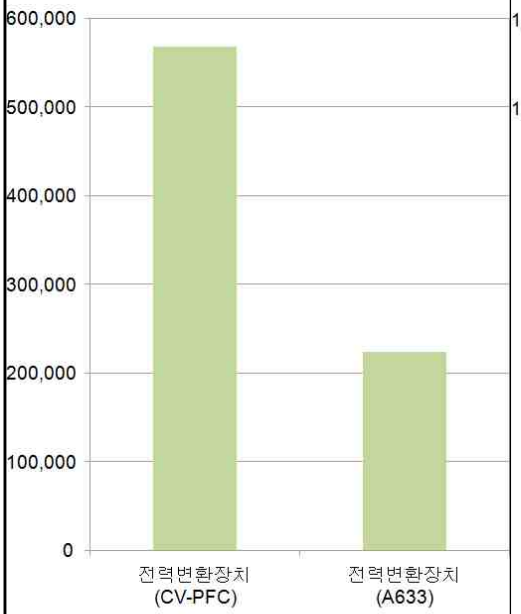
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		전력변환장치 (CO-EX)	전력변환장치 (CO-BK)	
1. 재료비	천원	794,455	1,264,507	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	3,028	3,028	
4. FGI	천원	1,271	1,271	
5. 운영비	천원	129	129	
6. 고장 정비비	천원	8,012	12,680	
총생애주기비용	천원	434,950	690,647	

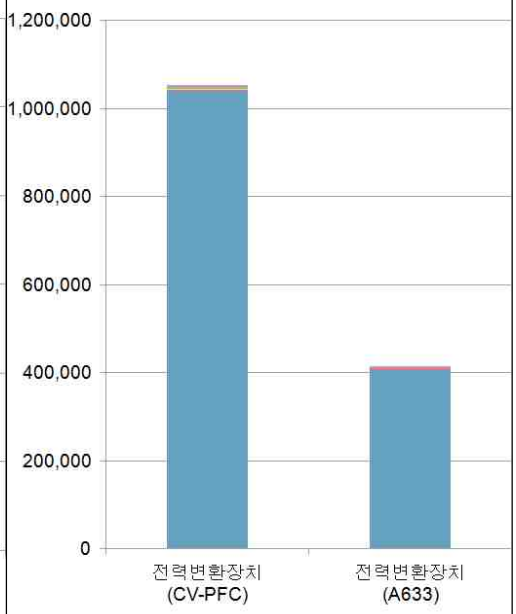
LCC 분석 그래프		범 례
전력변환장치 (CO-EX) 	전력변환장치 (CO-BK) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		전력변환장치(CV-PFC)			전력변환장치(IR-MB)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	90	3	225	90	3	87	181	5	312	498	484
2	2005	93	3	232	93	3	89	186	6	322	1,012	968
3	2006	96	3	239	96	3	92	192	6	331	1,541	1,452
4	2007	99	3	246	99	3	95	197	6	341	2,085	1,936
5	2008	102	3	254	102	3	98	203	6	351	2,646	2,420
6	2009	105	3	261	105	3	101	210	6	362	3,224	2,903
7	2010	108	3	269	108	3	104	216	6	373	3,819	3,387
8	2011	111	3	277	111	3	107	222	7	384	4,432	3,871
9	2012	114	3	286	114	3	110	229	7	396	5,064	4,355
10	2013	250,446	4	294	97,976	4	113	348,422	7	407	353,900	263,923
11	2014	121	4	303	121	4	117	243	7	420	354,570	264,406
12	2015	125	4	312	125	4	120	250	8	432	355,260	264,890
13	2016	129	4	321	129	4	124	258	8	445	355,971	265,374
14	2017	133	4	331	133	4	128	265	8	459	356,703	265,858
15	2018	137	4	341	137	4	131	273	8	472	357,457	266,342
16	2019	141	4	351	141	4	135	282	8	487	358,233	266,826
17	2020	145	4	362	145	4	139	290	9	501	359,033	267,310
18	2021	149	4	373	149	4	144	299	9	516	359,857	267,794
19	2022	154	5	384	154	5	148	308	9	532	360,705	268,278
20	2023	336,579	5	395	131,671	5	152	468,251	10	548	829,513	527,845
21	2024	163	5	407	163	5	157	326	10	564	830,413	528,329
22	2025	168	5	419	168	5	162	336	10	581	831,340	528,813
23	2026	173	5	432	173	5	166	346	10	598	832,296	529,297
24	2027	178	5	445	178	5	171	357	11	616	833,279	529,781
25	2028	184	6	458	184	6	177	367	11	635	834,292	530,265
26	2029	189	6	472	189	6	182	378	11	654	835,336	530,749
27	2030	195	6	486	195	6	187	390	12	673	836,411	531,233
28	2031	201	6	501	201	6	193	401	12	694	837,518	531,716
29	2032	207	6	516	207	6	199	413	12	714	838,658	532,200
30	2033	452,334	6	531	176,955	6	205	629,290	13	736	1,468,697	791,768
총 계		1,043,169	129	10,725	410,412	129	4,132	1,453,582	258	14,857	1,468,697	791,768

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		전력변환장치 (CV-PFC)	전력변환장치 (A633)	
1. 재료비	천원	1,038,870	406,113	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	3,028	3,028	
4. FGI	천원	1,271	1,271	
5. 운영비	천원	129	129	
6. 고장 정비비	천원	10,725	4,132	
총생애주기비용	천원	568,081	223,687	

LCC 분석 그래프		범 례
전력변환장치 (CV-PFC)	전력변환장치 (A633)	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용	비 용 별 합 계	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

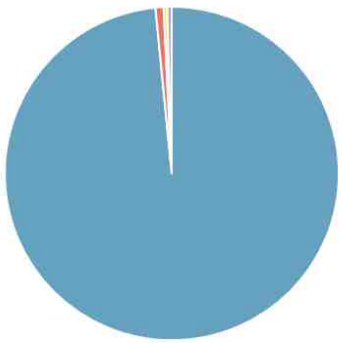
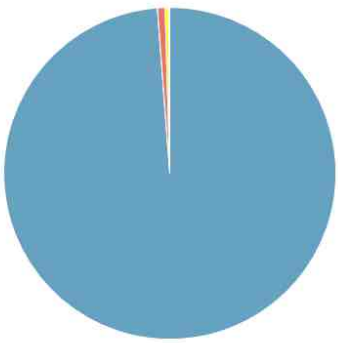
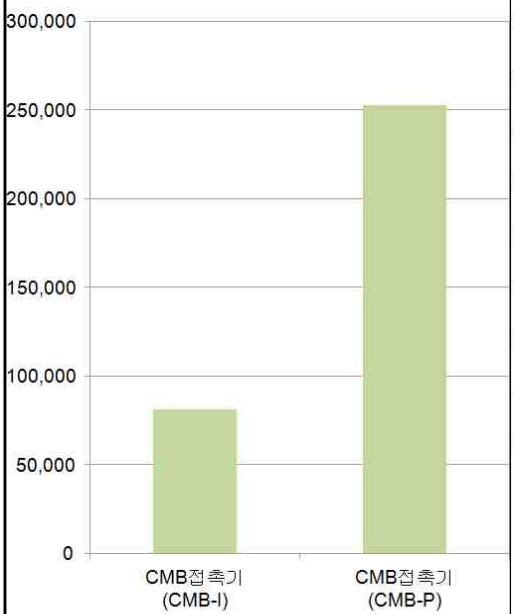
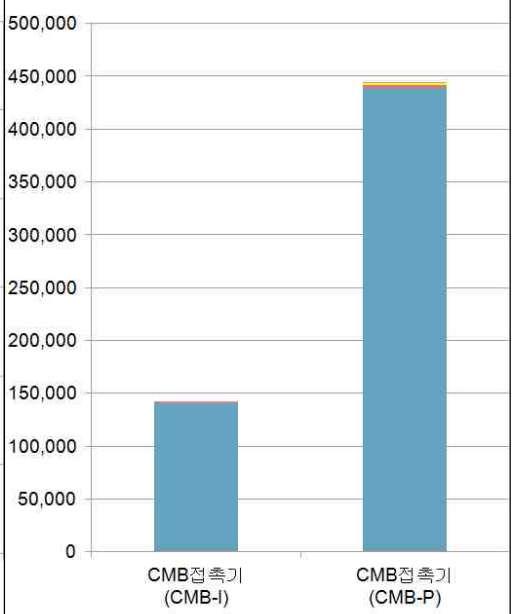




마) CMB접촉기

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		CMB접촉기(CMB-I)			CMB접촉기(CMB-P)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	33	1	13	99	3	10	131	4	23	158	154
2	2005	34	1	13	102	3	10	135	4	24	321	307
3	2006	35	1	14	105	3	11	139	4	24	489	461
4	2007	36	1	14	108	3	11	144	4	25	662	614
5	2008	37	1	14	111	3	11	148	4	26	840	768
6	2009	19,097	1	15	59,710	3	12	78,807	5	26	79,678	66,794
7	2010	39	1	15	118	4	12	157	5	27	79,867	66,947
8	2011	40	1	16	121	4	12	162	5	28	80,061	67,101
9	2012	42	1	16	125	4	13	166	5	29	80,262	67,254
10	2013	43	1	17	129	4	13	171	5	30	80,468	67,408
11	2014	44	1	17	132	4	13	177	5	31	80,681	67,562
12	2015	22,802	1	18	71,297	4	14	94,099	5	32	174,818	133,587
13	2016	47	1	18	141	4	14	187	6	33	175,043	133,741
14	2017	48	1	19	145	4	15	193	6	34	175,275	133,894
15	2018	50	1	19	149	4	15	199	6	35	175,515	134,048
16	2019	51	2	20	154	5	16	205	6	36	175,761	134,202
17	2020	53	2	21	158	5	16	211	6	37	176,015	134,355
18	2021	27,227	2	21	85,133	5	17	112,360	7	38	288,419	200,381
19	2022	56	2	22	168	5	17	224	7	39	288,689	200,534
20	2023	58	2	23	173	5	18	230	7	40	288,966	200,688
21	2024	59	2	23	178	5	18	237	7	41	289,252	200,842
22	2025	61	2	24	183	6	19	245	7	43	289,546	200,995
23	2026	63	2	25	189	6	19	252	8	44	289,849	201,149
24	2027	32,511	2	25	101,653	6	20	134,163	8	45	424,066	267,174
25	2028	67	2	26	200	6	20	267	8	46	424,387	267,328
26	2029	69	2	27	206	6	21	275	8	48	424,718	267,482
27	2030	71	2	28	213	6	22	283	9	49	425,060	267,635
28	2031	73	2	29	219	7	22	292	9	51	425,411	267,789
29	2032	75	2	29	226	7	23	301	9	52	425,773	267,942
30	2033	38,819	2	30	121,379	7	24	160,198	9	54	586,034	333,968
총 계		141,739	47	611	443,021	141	476	584,760	188	1,087	586,034	333,968

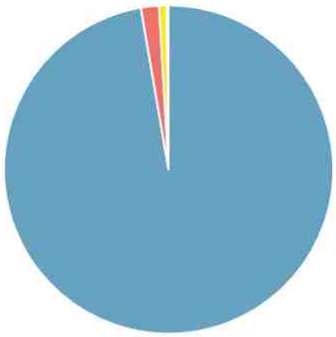
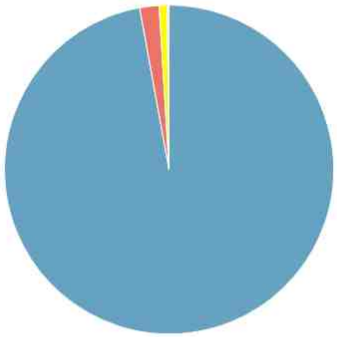
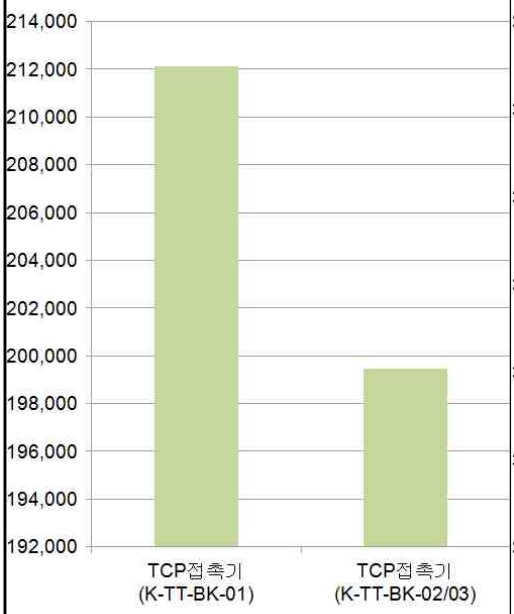
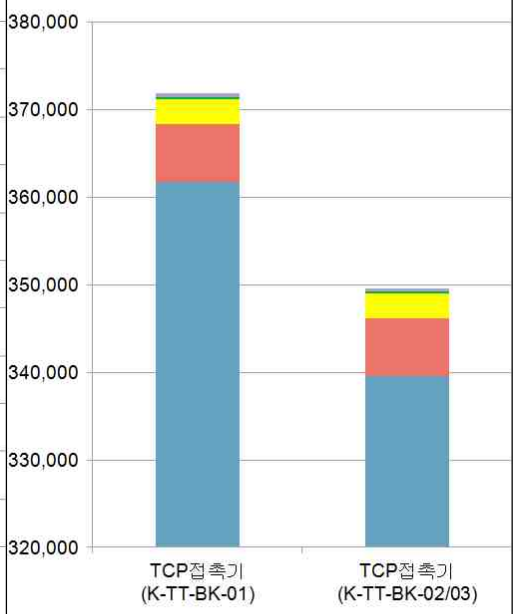
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	36	
2. 내용연수	년	6	6	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		CMB접촉기 (CMB-I)	CMB접촉기 (CMB-P)	
1. 재료비	천원	140,176	438,331	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	1,101	3,303	
4. FGI	천원	462	1,387	
5. 운영비	천원	47	141	
6. 고장 정비비	천원	611	476	
총생애주기비용	천원	81,166	252,802	

LCC 분석 그래프		범 례
CMB접촉기 (CMB-I) 	CMB접촉기 (CMB-P) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

바) TCP접촉기

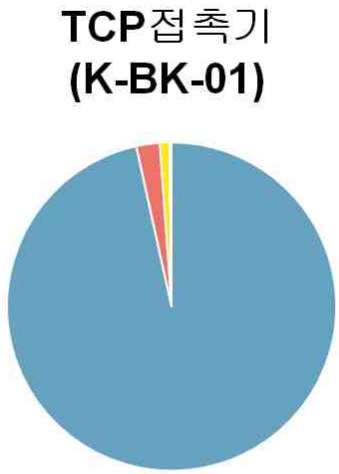
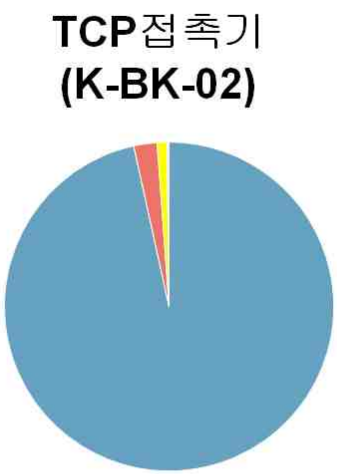
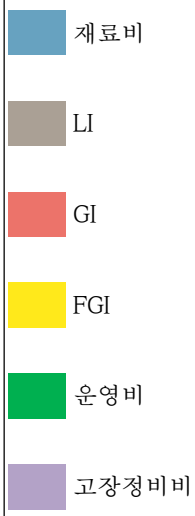
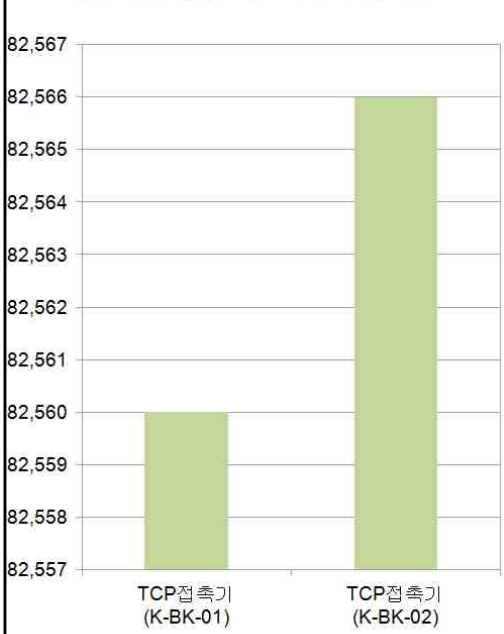
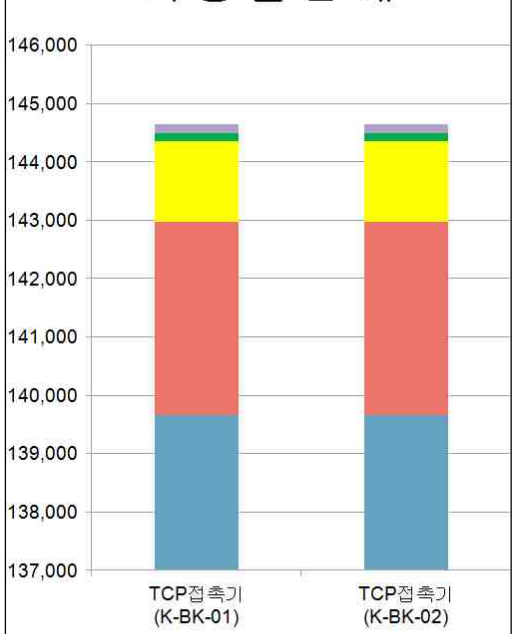
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		K-TT-BK-01			K-TT-BK-02			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	197	6	8	197	6	7	394	12	15	422	409
2	2005	203	6	8	203	6	8	406	12	16	856	819
3	2006	209	6	9	209	6	8	418	13	16	1,303	1,228
4	2007	215	6	9	215	6	8	431	13	17	1,764	1,637
5	2008	222	7	9	222	7	8	444	13	17	2,238	2,047
6	2009	49,419	7	9	46,400	7	8	95,819	14	18	98,089	82,320
7	2010	235	7	10	235	7	9	471	14	18	98,592	82,729
8	2011	242	7	10	242	7	9	485	15	19	99,111	83,139
9	2012	250	7	10	250	7	9	499	15	20	99,645	83,548
10	2013	257	8	11	257	8	10	514	15	20	100,195	83,957
11	2014	265	8	11	265	8	10	530	16	21	100,762	84,367
12	2015	59,009	8	11	55,404	8	10	114,413	16	21	215,213	164,640
13	2016	281	8	12	281	8	10	562	17	22	215,814	165,049
14	2017	290	9	12	290	9	11	579	17	23	216,433	165,459
15	2018	298	9	12	298	9	11	596	18	23	217,071	165,868
16	2019	307	9	13	307	9	11	614	18	24	217,727	166,277
17	2020	316	9	13	316	9	12	633	19	25	218,404	166,687
18	2021	70,459	10	13	66,155	10	12	136,615	20	26	355,064	246,960
19	2022	336	10	14	336	10	12	671	20	26	355,782	247,370
20	2023	346	10	14	346	10	13	691	21	27	356,521	247,779
21	2024	356	11	15	356	11	13	712	21	28	357,283	248,188
22	2025	367	11	15	367	11	14	734	22	29	358,067	248,598
23	2026	378	11	16	378	11	14	756	23	30	358,875	249,007
24	2027	84,132	12	16	78,993	12	14	163,125	23	31	522,054	329,280
25	2028	401	12	17	401	12	15	802	24	31	522,911	329,690
26	2029	413	12	17	413	12	15	826	25	32	523,794	330,099
27	2030	425	13	18	425	13	16	850	26	33	524,703	330,508
28	2031	438	13	18	438	13	16	876	26	34	525,640	330,918
29	2032	451	14	19	451	14	17	902	27	35	526,604	331,327
30	2033	100,458	14	10	94,322	14	17	194,780	28	27	721,439	411,596
총 계		371,176	281	379	348,973	281	348	720,150	563	727	721,439	411,596

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	12	
2. 내용연수	년	6	6	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		TCP접촉기 (K-TT-BK-01)	TCP접촉기 (K-TT-BK-02/03)	
1. 재료비	천원	361,797	339,594	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	6,606	6,606	
4. FGI	천원	2,774	2,774	
5. 운영비	천원	281	281	
6. 고장 정비비	천원	379	348	
총생애주기비용	천원	212,129	199,467	

LCC 분석 그래프		범 례
TCP접촉기 (K-TT-BK-01) 	TCP접촉기 (K-TT-BK-02/03) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		TCP접촉기(K-BK-01)			TCP접촉기(K-BK-02)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	99	3	3	99	3	3	197	6	6	209	203
2	2005	102	3	3	102	3	3	203	6	6	425	407
3	2006	105	3	3	105	3	3	209	6	7	647	610
4	2007	108	3	3	108	3	4	215	6	7	876	813
5	2008	111	3	3	111	3	4	222	7	7	1,111	1,016
6	2009	19,103	3	4	19,103	3	4	38,206	7	7	39,332	33,025
7	2010	118	4	4	118	4	4	235	7	7	39,582	33,229
8	2011	121	4	4	121	4	4	242	7	8	39,839	33,432
9	2012	125	4	4	125	4	4	250	7	8	40,105	33,635
10	2013	129	4	4	129	4	4	257	8	8	40,378	33,838
11	2014	132	4	4	132	4	4	265	8	8	40,659	34,042
12	2015	22,810	4	4	22,810	4	4	45,620	8	9	86,296	66,051
13	2016	141	4	4	141	4	5	281	8	9	86,595	66,254
14	2017	145	4	4	145	4	5	290	9	9	86,902	66,457
15	2018	149	4	5	149	4	5	298	9	9	87,219	66,660
16	2019	154	5	5	154	5	5	307	9	10	87,545	66,864
17	2020	158	5	5	158	5	5	316	9	10	87,881	67,067
18	2021	27,237	5	5	27,237	5	5	54,473	10	10	142,374	99,076
19	2022	168	5	5	168	5	6	336	10	11	142,731	99,279
20	2023	173	5	5	173	5	6	346	10	11	143,098	99,483
21	2024	178	5	5	178	5	6	356	11	11	143,476	99,686
22	2025	183	6	6	183	6	6	367	11	12	143,865	99,889
23	2026	189	6	6	189	6	6	378	11	12	144,267	100,092
24	2027	32,522	6	6	32,522	6	6	65,044	12	12	209,334	132,101
25	2028	200	6	6	200	6	7	401	12	13	209,760	132,305
26	2029	206	6	6	206	6	7	413	12	13	210,198	132,508
27	2030	213	6	7	213	6	7	425	13	14	210,650	132,711
28	2031	219	7	7	219	7	7	438	13	14	211,115	132,914
29	2032	226	7	7	226	7	7	451	14	14	211,594	133,118
30	2033	38,833	7	7	38,833	7	8	77,666	14	15	289,288	165,127
총 계		144,354	141	145	144,354	141	154	288,708	281	299	289,288	165,127

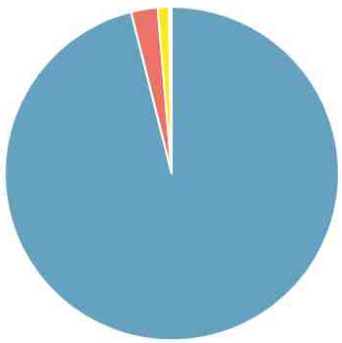
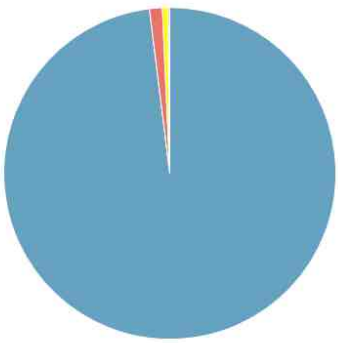
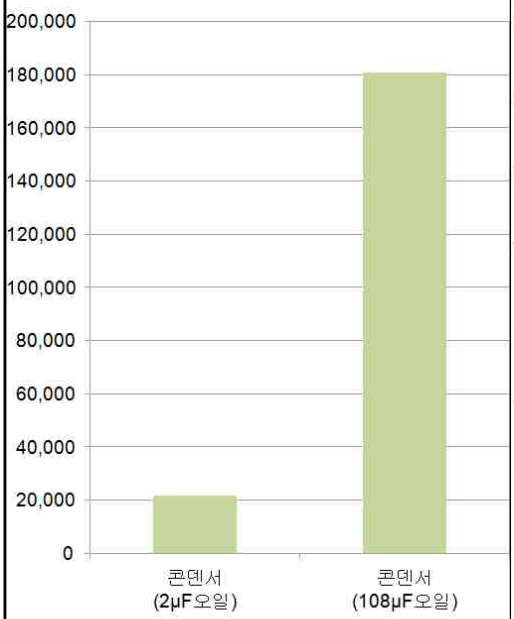
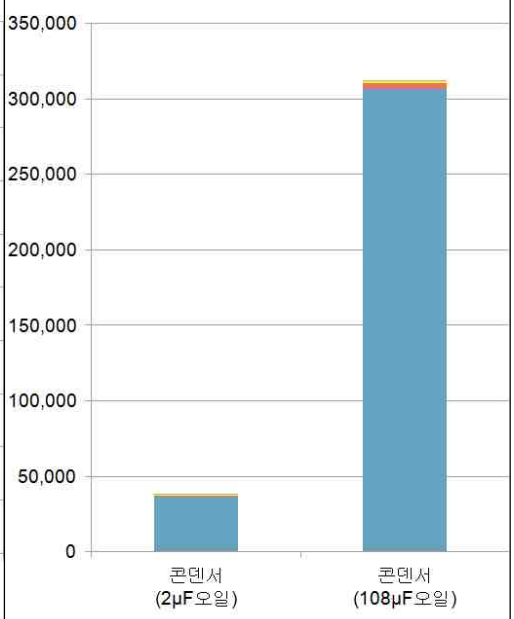
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	6	6	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		TCP접촉기 (K-BK-01)	TCP접촉기 (K-BK-02)	
1. 재료비	천원	139,664	139,664	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	3,303	3,303	
4. FGI	천원	1,387	1,387	
5. 운영비	천원	141	141	
6. 고장 정비비	천원	145	154	
총생애주기비용	천원	82,560	82,566	

LCC 분석 그래프		범 례
 TCP접촉기 (K-BK-01)	 TCP접촉기 (K-BK-02)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 82,567 82,566 82,565 82,564 82,563 82,562 82,561 82,560 82,559 82,558 82,557 TCP접촉기 (K-BK-01) TCP접촉기 (K-BK-02)	 비 용 별 합 계 146,000 145,000 144,000 143,000 142,000 141,000 140,000 139,000 138,000 137,000 TCP접촉기 (K-BK-01) TCP접촉기 (K-BK-02)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

사) 콘덴서

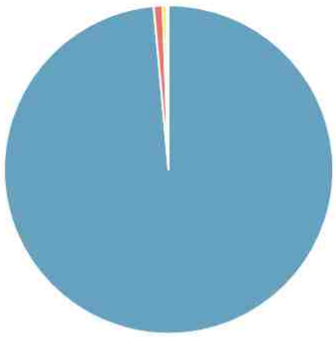
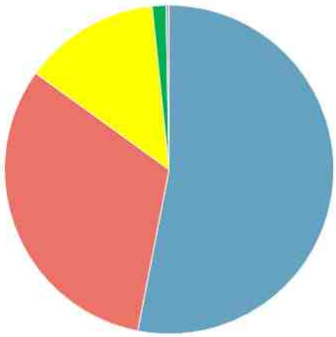
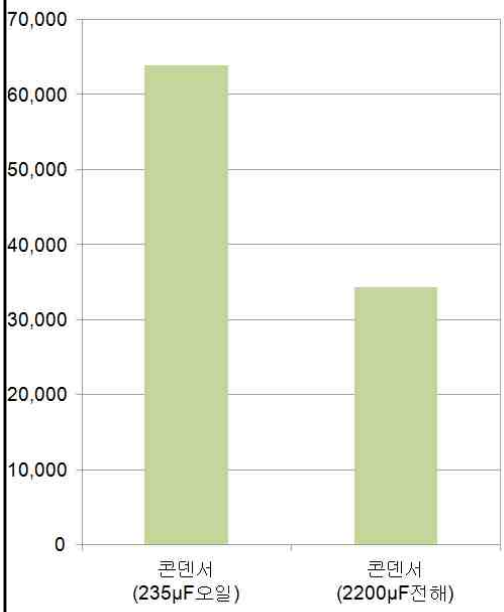
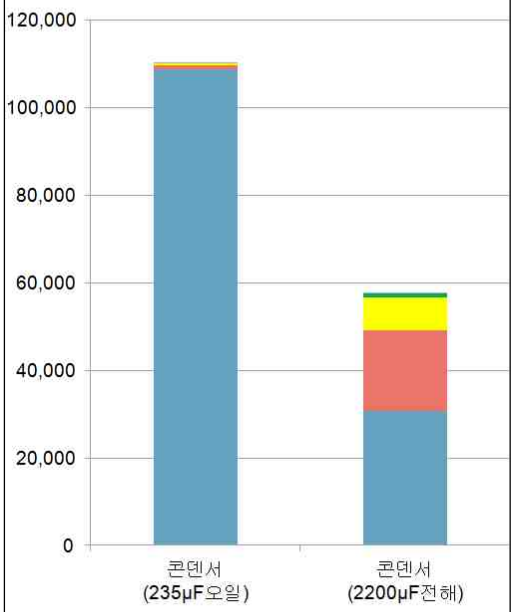
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		콘덴서(2uF오일)			콘덴서(108uF오일)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	29	1	1	116	3	10	145	4	11	160	156
2	2005	30	1	1	119	4	10	149	4	12	325	311
3	2006	31	1	1	123	4	11	153	5	12	495	467
4	2007	32	1	1	126	4	11	158	5	12	670	622
5	2008	33	1	2	130	4	11	163	5	13	851	778
6	2009	34	1	2	134	4	12	168	5	13	1,036	933
7	2010	35	1	2	138	4	12	173	5	13	1,228	1,089
8	2011	36	1	2	142	4	12	178	5	14	1,425	1,244
9	2012	37	1	2	147	4	13	183	5	14	1,628	1,400
10	2013	38	1	2	151	5	13	189	6	15	1,837	1,555
11	2014	39	1	2	155	5	13	194	6	15	2,052	1,711
12	2015	14,990	1	2	126,402	5	14	141,392	6	16	143,466	100,896
13	2016	41	1	2	165	5	14	206	6	16	143,694	101,051
14	2017	42	1	2	170	5	15	212	6	17	143,929	101,207
15	2018	44	1	2	175	5	15	219	7	17	144,172	101,362
16	2019	45	1	2	180	5	15	225	7	18	144,421	101,518
17	2020	46	1	2	186	6	16	232	7	18	144,678	101,673
18	2021	48	1	2	191	6	16	239	7	19	144,943	101,829
19	2022	49	1	2	197	6	17	246	7	19	145,216	101,984
20	2023	51	2	2	203	6	17	254	8	20	145,497	102,140
21	2024	52	2	2	209	6	18	261	8	20	145,786	102,296
22	2025	54	2	3	215	6	19	269	8	21	146,084	102,451
23	2026	55	2	3	222	7	19	277	8	22	146,391	102,607
24	2027	21,372	2	3	180,219	7	20	201,591	9	22	348,013	201,791
25	2028	59	2	3	235	7	20	294	9	23	348,339	201,947
26	2029	61	2	3	242	7	21	303	9	24	348,674	202,102
27	2030	62	2	3	249	7	21	312	9	24	349,020	202,258
28	2031	64	2	3	257	8	22	321	10	25	349,376	202,413
29	2032	66	2	3	265	8	23	331	10	26	349,742	202,569
30	2033	68	2	3	273	8	23	341	10	27	350,120	202,725
총 계		37,640	41	64	311,736	165	473	349,376	206	537	350,120	202,725

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	48	
2. 내용연수	년	12	12	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		콘덴서 (2uF 오일)	콘덴서 (108uF 오일)	
1. 재료비	천원	36,264	306,233	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	969	3,875	
4. FGI	천원	407	1,627	
5. 운영비	천원	41	165	
6. 고장 정비비	천원	64	473	
총생애주기비용	천원	21,878	180,847	

LCC 분석 그래프		범 례
콘덴서 (2μF오일) 	콘덴서 (108μF오일) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		콘덴서(235uF오일)			콘덴서(2200uF전해)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	29	1	4	549	16	3	578	17	7	603	585
2	2005	30	1	4	566	17	4	596	18	7	1,224	1,171
3	2006	31	1	4	583	17	4	614	18	8	1,864	1,756
4	2007	32	1	4	600	18	4	632	19	8	2,522	2,341
5	2008	33	1	4	618	19	4	651	20	8	3,201	2,927
6	2009	34	1	4	637	19	4	670	20	8	3,900	3,512
7	2010	35	1	4	656	20	4	691	21	9	4,620	4,097
8	2011	36	1	5	676	20	4	711	21	9	5,361	4,683
9	2012	37	1	5	696	21	4	733	22	9	6,125	5,268
10	2013	38	1	5	717	22	5	755	23	9	6,912	5,853
11	2014	39	1	5	738	22	5	777	23	10	7,722	6,439
12	2015	44,889	1	5	13,385	23	5	58,274	24	10	66,030	47,335
13	2016	41	1	5	783	23	5	825	25	10	66,889	47,920
14	2017	42	1	6	807	24	5	849	25	11	67,775	48,505
15	2018	44	1	6	831	25	5	875	26	11	68,687	49,091
16	2019	45	1	6	856	26	5	901	27	11	69,626	49,676
17	2020	46	1	6	882	26	6	928	28	12	70,594	50,262
18	2021	48	1	6	908	27	6	956	29	12	71,590	50,847
19	2022	49	1	6	935	28	6	985	30	12	72,616	51,432
20	2023	51	2	7	963	29	6	1,014	30	13	73,674	52,018
21	2024	52	2	7	992	30	6	1,045	31	13	74,763	52,603
22	2025	54	2	7	1,022	31	6	1,076	32	13	75,884	53,188
23	2026	55	2	7	1,053	32	7	1,108	33	14	77,039	53,774
24	2027	64,001	2	7	19,083	33	7	83,085	34	14	160,173	94,670
25	2028	59	2	8	1,117	34	7	1,176	35	15	161,398	95,255
26	2029	61	2	8	1,150	35	7	1,211	36	15	162,661	95,840
27	2030	62	2	8	1,185	36	8	1,247	37	16	163,961	96,426
28	2031	64	2	8	1,220	37	8	1,285	39	16	165,300	97,011
29	2032	66	2	9	1,257	38	8	1,323	40	17	166,679	97,596
30	2033	68	2	9	1,295	39	8	1,363	41	17	168,100	98,182
총 계		110,169	41	179	56,761	784	165	166,931	825	344	168,100	98,182

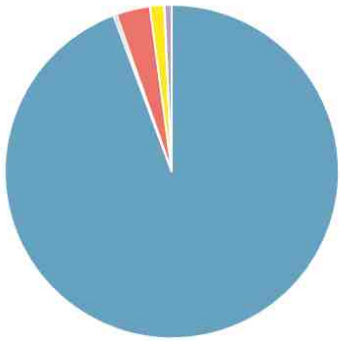
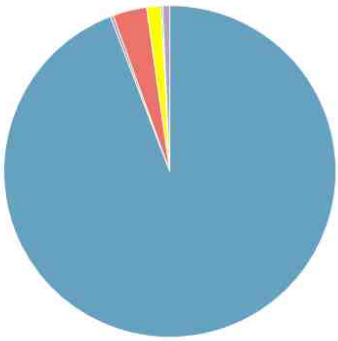
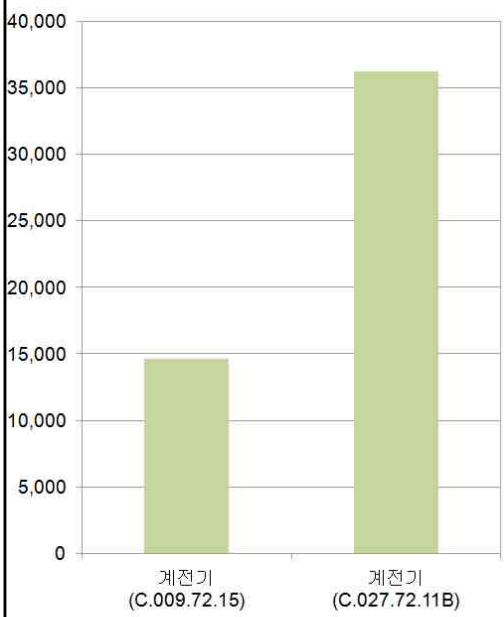
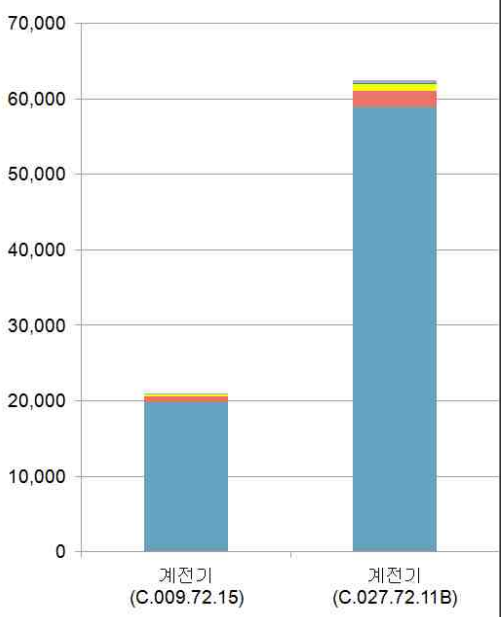
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	228	
2. 내용연수	년	12	12	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		콘덴서 (235uF 오일)	콘덴서 (2200uF 전해)	
1. 재료비	천원	108,793	30,623	
2. LI	천원	0	0	
3. GI	천원	969	18,408	
4. FGI	천원	407	7,730	
5. 운영비	천원	41	784	
6. 고장 정비비	천원	179	165	
총생애주기비용	천원	63,890	34,292	

LCC 분석 그래프		범 례
콘덴서 (235μF오일) 	콘덴서 (2200μF전해) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

아) 계전기

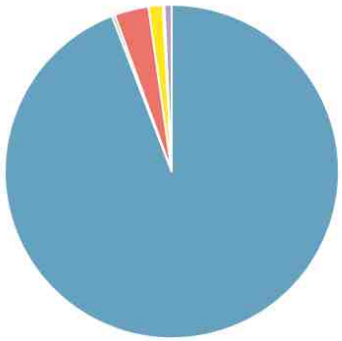
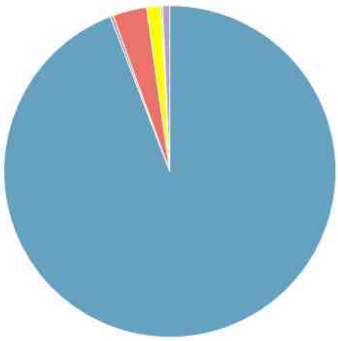
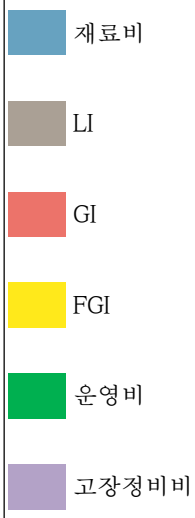
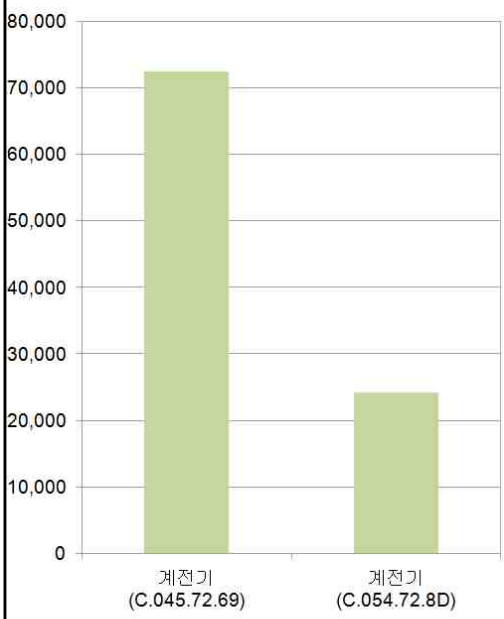
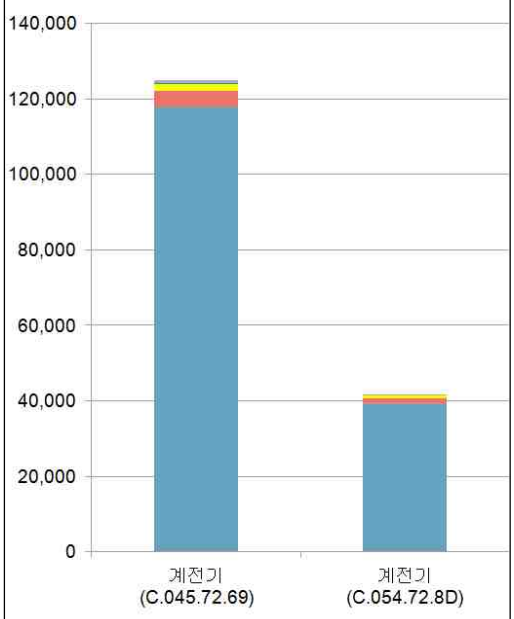
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(C.009)			계전기(C.027)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	4	0	3	65	2	9	69	2	12	83	81
2	2005	4	0	3	67	2	9	71	2	13	169	162
3	2006	4	0	3	69	2	10	73	2	13	258	243
4	2007	4	0	3	71	2	10	75	2	13	349	324
5	2008	2,192	0	3	6,638	2	10	8,830	2	14	9,195	7,954
6	2009	4	0	4	76	2	11	80	2	14	9,291	8,035
7	2010	4	0	4	78	2	11	82	2	15	9,391	8,116
8	2011	4	0	4	80	2	11	85	3	15	9,493	8,197
9	2012	5	0	4	83	2	12	87	3	16	9,599	8,278
10	2013	2,541	0	4	7,695	3	12	10,236	3	16	19,854	15,908
11	2014	5	0	4	88	3	12	93	3	16	19,966	15,989
12	2015	5	0	4	91	3	13	96	3	17	20,081	16,070
13	2016	5	0	4	93	3	13	98	3	17	20,200	16,151
14	2017	5	0	5	96	3	13	101	3	18	20,322	16,232
15	2018	2,946	0	5	8,920	3	14	11,866	3	19	32,210	23,863
16	2019	6	0	5	102	3	14	108	3	19	32,340	23,944
17	2020	6	0	5	105	3	15	111	3	20	32,474	24,025
18	2021	6	0	5	108	3	15	114	3	20	32,612	24,105
19	2022	6	0	5	111	3	16	118	4	21	32,754	24,186
20	2023	3,415	0	5	10,341	3	16	13,756	4	21	46,535	31,817
21	2024	7	0	6	118	4	17	125	4	22	46,686	31,898
22	2025	7	0	6	122	4	17	128	4	23	46,841	31,979
23	2026	7	0	6	125	4	18	132	4	23	47,001	32,060
24	2027	7	0	6	129	4	18	136	4	24	47,165	32,141
25	2028	3,959	0	6	11,988	4	19	15,947	4	25	63,142	39,771
26	2029	8	0	6	137	4	19	145	4	26	63,316	39,852
27	2030	8	0	7	141	4	20	149	4	26	63,496	39,933
28	2031	8	0	7	145	4	20	153	5	27	63,681	40,014
29	2032	8	0	7	150	4	21	158	5	28	63,872	40,095
30	2033	4,590	0	7	13,898	5	22	18,487	5	29	82,393	47,725
총 계		19,780	5	146	61,933	93	436	81,712	99	582	82,393	47,725

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	18	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (C.009.72.15)	계전기 (C.027.72.11B)	
1. 재료비	천원	19,785	58,820	
2. LI	천원	60	179	
3. GI	천원	689	2,066	
4. FGI	천원	289	868	
5. 운영비	천원	5	93	
6. 고장 정비비	천원	146	436	
총생애주기비용	천원	14,635	36,203	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (C.009.72.15) 	계전기 (C.027.72.11B) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

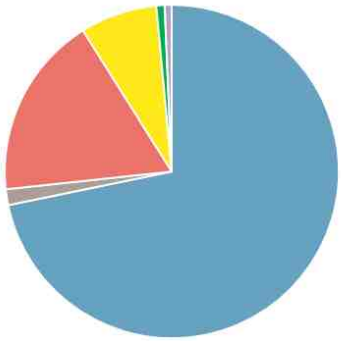
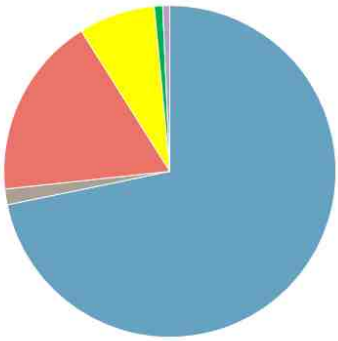
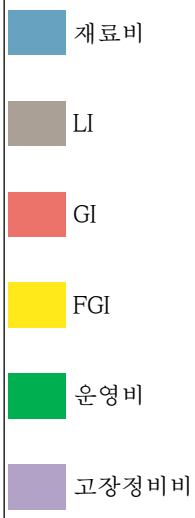
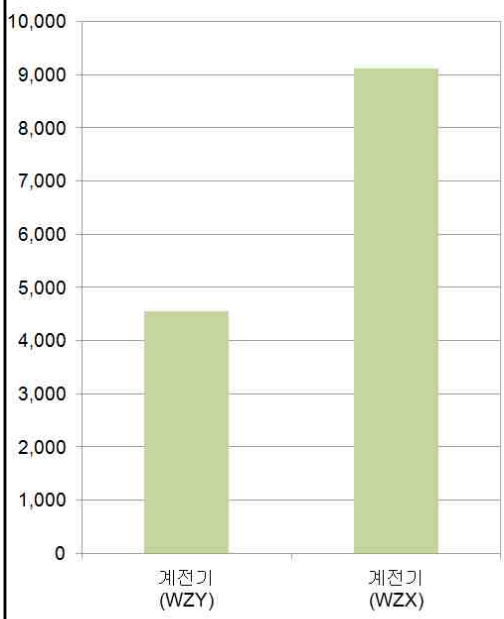
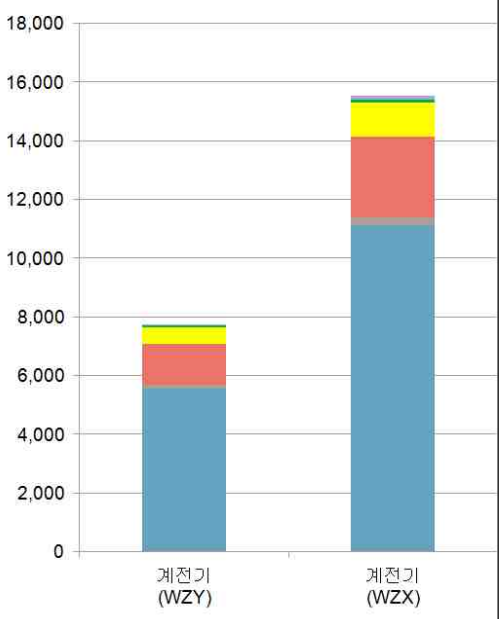
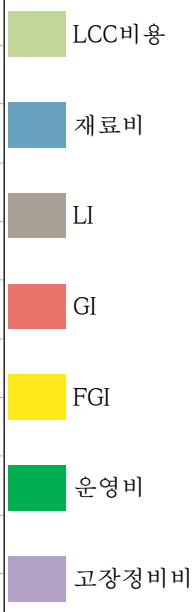
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(C.045)			계전기(C.054)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	131	4	18	44	1	6	174	5	25	204	198
2	2005	135	4	19	45	1	6	180	5	25	415	397
3	2006	139	4	20	46	1	7	185	6	26	632	595
4	2007	143	4	20	48	1	7	191	6	27	855	793
5	2008	13,275	4	21	4,425	1	7	17,700	6	28	18,589	16,091
6	2009	152	5	21	51	2	7	202	6	29	18,826	16,289
7	2010	156	5	22	52	2	7	208	6	29	19,070	16,488
8	2011	161	5	23	54	2	8	215	6	30	19,321	16,686
9	2012	166	5	23	55	2	8	221	7	31	19,580	16,884
10	2013	15,390	5	24	5,130	2	8	20,519	7	32	40,138	32,182
11	2014	176	5	25	59	2	8	234	7	33	40,413	32,380
12	2015	181	5	26	60	2	9	241	7	34	40,696	32,579
13	2016	187	6	26	62	2	9	249	7	35	40,987	32,777
14	2017	192	6	27	64	2	9	256	8	36	41,287	32,975
15	2018	17,841	6	28	5,947	2	9	23,788	8	37	65,120	48,273
16	2019	204	6	29	68	2	10	272	8	38	65,438	48,471
17	2020	210	6	30	70	2	10	280	8	40	65,766	48,669
18	2021	216	6	31	72	2	10	288	9	41	66,104	48,868
19	2022	223	7	31	74	2	10	297	9	42	66,452	49,066
20	2023	20,682	7	32	6,894	2	11	27,576	9	43	94,080	64,364
21	2024	236	7	33	79	2	11	315	9	44	94,449	64,562
22	2025	243	7	34	81	2	11	325	10	46	94,829	64,760
23	2026	251	8	35	84	3	12	334	10	47	95,221	64,959
24	2027	258	8	36	86	3	12	344	10	49	95,624	65,157
25	2028	23,976	8	38	7,992	3	12	31,969	11	50	127,654	80,454
26	2029	274	8	39	91	3	13	365	11	52	128,081	80,653
27	2030	282	8	40	94	3	13	376	11	53	128,522	80,851
28	2031	291	9	41	97	3	14	388	12	55	128,976	81,050
29	2032	299	9	42	100	3	14	399	12	56	129,443	81,248
30	2033	27,795	9	44	9,265	3	14	37,060	12	58	166,574	96,545
총 계		123,865	187	879	41,288	62	293	165,154	249	1,172	166,574	96,545

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	36	12	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (C.045.72.69)	계전기 (C.054.72.8D)	
1. 재료비	천원	117,640	39,213	
2. LI	천원	357	119	
3. GI	천원	4,133	1,378	
4. FGI	천원	1,735	578	
5. 운영비	천원	187	62	
6. 고장 정비비	천원	879	293	
총생애주기비용	천원	72,409	24,136	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (C.045.72.69) 	계전기 (C.054.72.8D) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

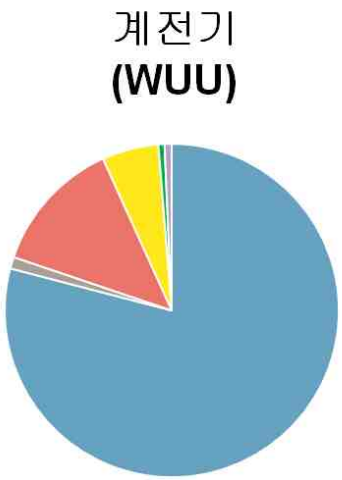
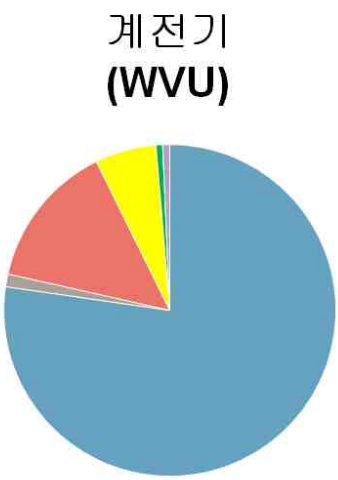
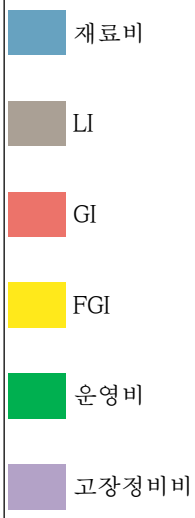
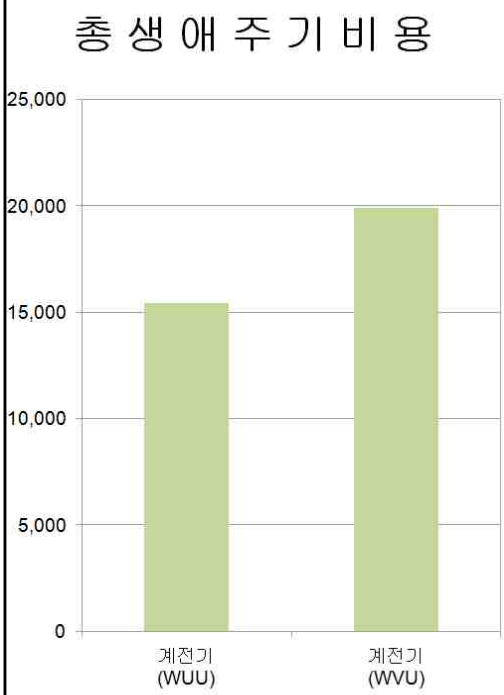
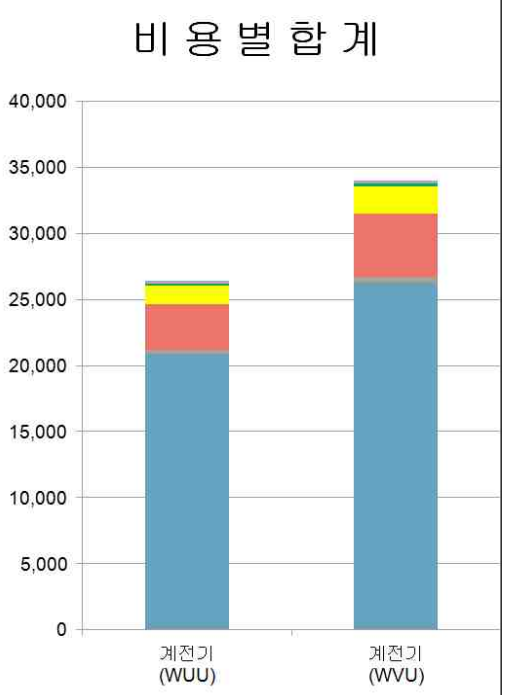
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(WZY)			계전기(WZX)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	44	1	1	87	3	2	131	4	3	138	134
2	2005	45	1	1	90	3	2	135	4	3	280	268
3	2006	46	1	1	93	3	2	139	4	4	427	402
4	2007	48	1	1	95	3	2	143	4	4	578	536
5	2008	670	1	1	1,341	3	3	2,011	4	4	2,597	2,278
6	2009	51	2	1	101	3	3	152	5	4	2,757	2,412
7	2010	52	2	1	104	3	3	156	5	4	2,922	2,547
8	2011	54	2	1	107	3	3	161	5	4	3,092	2,681
9	2012	55	2	1	111	3	3	166	5	4	3,267	2,815
10	2013	777	2	1	1,554	3	3	2,331	5	4	5,608	4,557
11	2014	59	2	2	117	4	3	176	5	5	5,794	4,691
12	2015	60	2	2	121	4	3	181	5	5	5,985	4,825
13	2016	62	2	2	124	4	3	187	6	5	6,182	4,959
14	2017	64	2	2	128	4	3	192	6	5	6,385	5,093
15	2018	901	2	2	1,802	4	3	2,703	6	5	9,099	6,835
16	2019	68	2	2	136	4	3	204	6	5	9,314	6,969
17	2020	70	2	2	140	4	4	210	6	5	9,535	7,103
18	2021	72	2	2	144	4	4	216	6	6	9,764	7,237
19	2022	74	2	2	149	4	4	223	7	6	9,999	7,371
20	2023	1,044	2	2	2,089	5	4	3,133	7	6	13,145	9,113
21	2024	79	2	2	158	5	4	236	7	6	13,394	9,247
22	2025	81	2	2	162	5	4	243	7	6	13,651	9,381
23	2026	84	3	2	167	5	4	251	8	6	13,916	9,516
24	2027	86	3	2	172	5	4	258	8	7	14,189	9,650
25	2028	1,211	3	2	2,422	5	5	3,632	8	7	17,836	11,392
26	2029	91	3	2	183	5	5	274	8	7	18,125	11,526
27	2030	94	3	2	188	6	5	282	8	7	18,423	11,660
28	2031	97	3	2	194	6	5	291	9	7	18,730	11,794
29	2032	100	3	3	200	6	5	299	9	8	19,046	11,928
30	2033	1,404	3	3	2,807	6	5	4,211	9	8	23,274	13,670
총 계		7,642	62	53	15,285	125	107	22,927	187	160	23,274	13,670

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	24	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (WZY)	계전기 (WZX)	
1. 재료비	천원	5,567	11,135	
2. LI	천원	119	238	
3. GI	천원	1,378	2,755	
4. FGI	천원	578	1,157	
5. 운영비	천원	62	125	
6. 고장 정비비	천원	53	107	
총생애주기비용	천원	4,557	9,113	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (WZY) 	계전기 (WZX) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

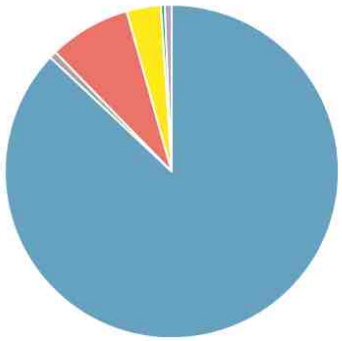
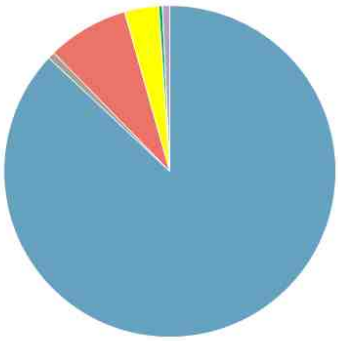
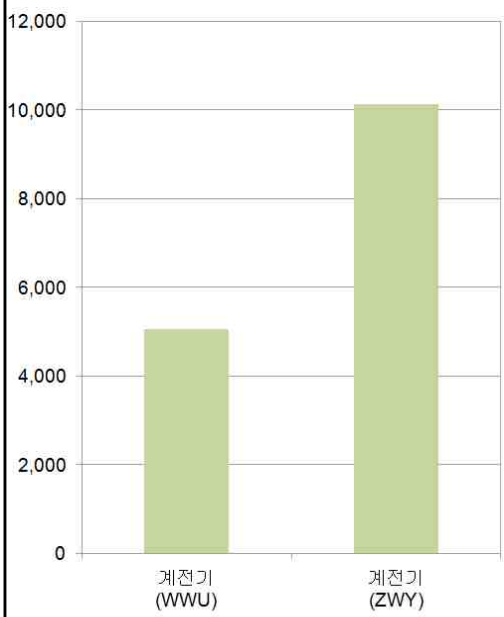
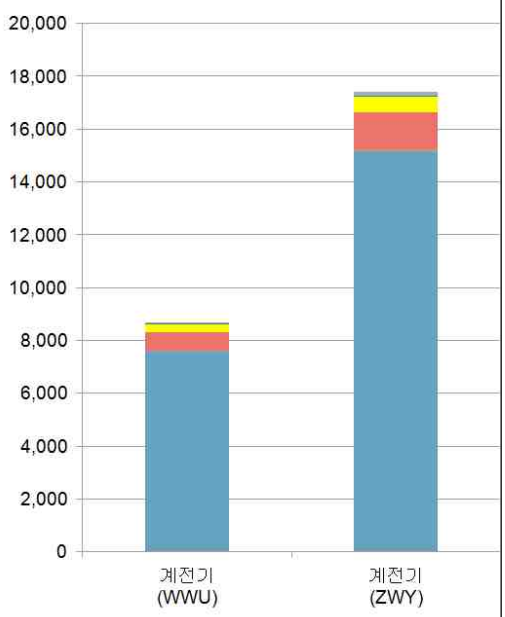
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(WUU)			계전기(WVU)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	109	3	4	153	5	5	262	8	9	278	270
2	2005	112	3	4	157	5	5	270	8	9	565	540
3	2006	116	3	4	162	5	5	278	8	9	860	811
4	2007	119	4	4	167	5	5	286	9	10	1,165	1,081
5	2008	2,453	4	4	3,103	5	6	5,555	9	10	6,738	5,889
6	2009	126	4	4	177	5	6	303	9	10	7,061	6,159
7	2010	130	4	5	182	5	6	312	9	11	7,393	6,430
8	2011	134	4	5	188	6	6	322	10	11	7,736	6,700
9	2012	138	4	5	193	6	6	332	10	11	8,088	6,970
10	2013	2,843	4	5	3,597	6	6	6,440	10	11	14,550	11,778
11	2014	147	4	5	205	6	7	352	11	12	14,924	12,048
12	2015	151	5	5	211	6	7	362	11	12	15,310	12,319
13	2016	155	5	5	218	7	7	373	11	13	15,706	12,589
14	2017	160	5	6	224	7	7	384	12	13	16,115	12,859
15	2018	3,296	5	6	4,170	7	8	7,466	12	13	23,606	17,667
16	2019	170	5	6	238	7	8	408	12	14	24,040	17,938
17	2020	175	5	6	245	7	8	420	13	14	24,486	18,208
18	2021	180	5	6	252	8	8	433	13	15	24,946	18,478
19	2022	186	6	7	260	8	8	446	13	15	25,420	18,748
20	2023	3,821	6	7	4,834	8	9	8,655	14	15	34,104	23,556
21	2024	197	6	7	276	8	9	473	14	16	34,607	23,827
22	2025	203	6	7	284	9	9	487	15	16	35,125	24,097
23	2026	209	6	7	293	9	10	501	15	17	35,658	24,367
24	2027	215	6	8	301	9	10	516	15	17	36,208	24,637
25	2028	4,430	7	8	5,604	9	10	10,033	16	18	46,275	29,445
26	2029	228	7	8	320	10	10	548	16	18	46,858	29,716
27	2030	235	7	8	329	10	11	564	17	19	47,458	29,986
28	2031	242	7	9	339	10	11	581	17	20	48,076	30,256
29	2032	249	7	9	349	10	11	599	18	20	48,713	30,526
30	2033	5,135	8	9	6,496	11	12	11,631	19	21	60,384	35,335
총 계		26,065	156	183	33,526	218	236	59,591	374	419	60,384	35,335

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	30	42	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (WUU)	계전기 (WVU)	
1. 재료비	천원	20,877	26,263	
2. LI	천원	298	417	
3. GI	천원	3,444	4,821	
4. FGI	천원	1,446	2,025	
5. 운영비	천원	156	218	
6. 고장 정비비	천원	183	236	
총생애주기비용	천원	15,442	19,893	

LCC 분석 그래프		범 례
 계전기 (WUU)	 계전기 (WVU)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 25,000 20,000 15,000 10,000 5,000 0 계전기 (WUU) 계전기 (WVU)	 비 용 별 합 계 40,000 35,000 30,000 25,000 20,000 15,000 10,000 5,000 0 계전기 (WUU) 계전기 (WVU)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

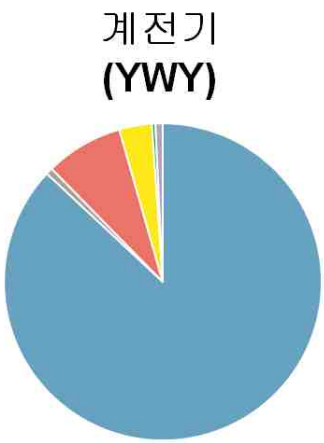
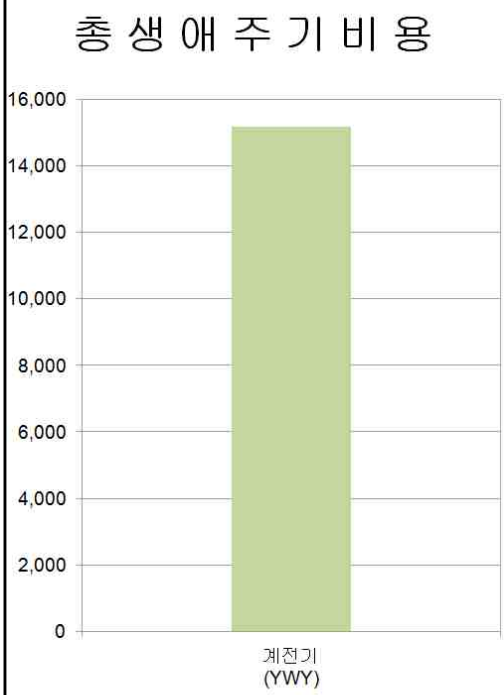
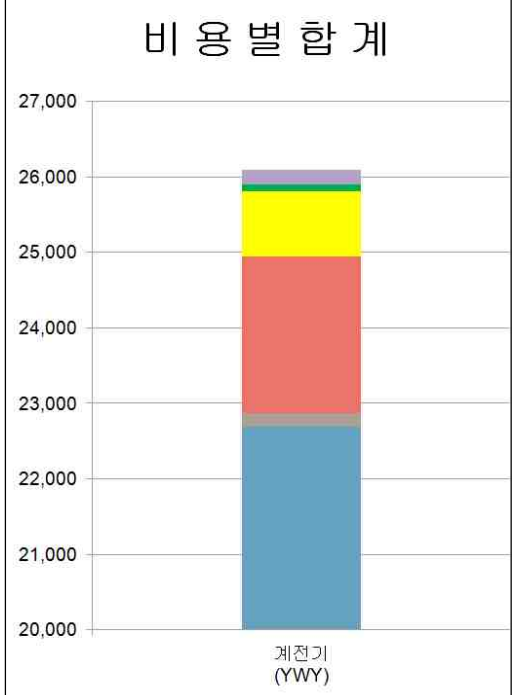
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		계전기(WWU)			계전기(ZWY)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	22	1	1	44	1	3	65	2	4	71	69
2	2005	22	1	1	45	1	3	67	2	4	145	138
3	2006	23	1	1	46	1	3	69	2	4	220	207
4	2007	24	1	1	48	1	3	71	2	4	298	277
5	2008	869	1	1	1,737	1	3	2,606	2	4	2,911	2,530
6	2009	25	1	1	51	2	3	76	2	4	2,993	2,599
7	2010	26	1	1	52	2	3	78	2	5	3,078	2,669
8	2011	27	1	2	54	2	3	80	2	5	3,166	2,738
9	2012	28	1	2	55	2	3	83	2	5	3,256	2,807
10	2013	1,007	1	2	2,014	2	3	3,021	3	5	6,285	5,061
11	2014	29	1	2	59	2	4	88	3	5	6,380	5,130
12	2015	30	1	2	60	2	4	91	3	5	6,479	5,199
13	2016	31	1	2	62	2	4	93	3	5	6,581	5,268
14	2017	32	1	2	64	2	4	96	3	6	6,685	5,337
15	2018	1,167	1	2	2,335	2	4	3,502	3	6	10,196	7,591
16	2019	34	1	2	68	2	4	102	3	6	10,307	7,660
17	2020	35	1	2	70	2	4	105	3	6	10,422	7,729
18	2021	36	1	2	72	2	4	108	3	6	10,539	7,798
19	2022	37	1	2	74	2	4	111	3	7	10,661	7,867
20	2023	1,353	1	2	2,707	2	5	4,060	3	7	14,731	10,121
21	2024	39	1	2	79	2	5	118	4	7	14,860	10,190
22	2025	41	1	2	81	2	5	122	4	7	14,992	10,259
23	2026	42	1	2	84	3	5	125	4	7	15,129	10,329
24	2027	43	1	2	86	3	5	129	4	8	15,269	10,398
25	2028	1,569	1	3	3,138	3	5	4,707	4	8	19,988	12,651
26	2029	46	1	3	91	3	5	137	4	8	20,137	12,720
27	2030	47	1	3	94	3	6	141	4	8	20,291	12,790
28	2031	48	1	3	97	3	6	145	4	9	20,449	12,859
29	2032	50	1	3	100	3	6	150	4	9	20,612	12,928
30	2033	1,819	2	3	3,638	3	6	5,456	5	9	26,082	15,182
총 계		8,602	31	59	17,204	62	124	25,805	93	183	26,082	15,182

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	12	
2. 내용연수	년	5	5	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		계전기 (WWU)	계전기 (ZWY)	
1. 재료비	천원	7,564	15,129	
2. LI	천원	60	119	
3. GI	천원	689	1,378	
4. FGI	천원	289	578	
5. 운영비	천원	31	62	
6. 고장 정비비	천원	59	124	
총생애주기비용	천원	5,059	10,122	

LCC 분석 그래프		범 례
계전기 (WWU) 	계전기 (ZWY) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)			할인율 (3%)	
		계전기(YWY)				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	65	2	4	71	69
2	2005	67	2	4	145	139
3	2006	69	2	4	221	208
4	2007	71	2	4	299	278
5	2008	2,606	2	5	2,912	2,531
6	2009	76	2	5	2,995	2,601
7	2010	78	2	5	3,080	2,670
8	2011	80	2	5	3,168	2,740
9	2012	83	2	5	3,258	2,809
10	2013	3,021	3	5	6,287	5,063
11	2014	88	3	5	6,383	5,132
12	2015	91	3	6	6,482	5,202
13	2016	93	3	6	6,584	5,271
14	2017	96	3	6	6,689	5,340
15	2018	3,502	3	6	10,201	7,594
16	2019	102	3	6	10,312	7,663
17	2020	105	3	7	10,427	7,733
18	2021	108	3	7	10,545	7,802
19	2022	111	3	7	10,666	7,872
20	2023	4,060	3	7	14,737	10,125
21	2024	118	4	7	14,866	10,195
22	2025	122	4	8	14,999	10,264
23	2026	125	4	8	15,136	10,334
24	2027	129	4	8	15,277	10,403
25	2028	4,707	4	8	19,996	12,657
26	2029	137	4	9	20,146	12,726
27	2030	141	4	9	20,300	12,796
28	2031	145	4	9	20,459	12,865
29	2032	150	4	9	20,622	12,934
30	2033	5,456	5	10	26,093	15,188
총 계		25,805	93	194	26,093	15,188

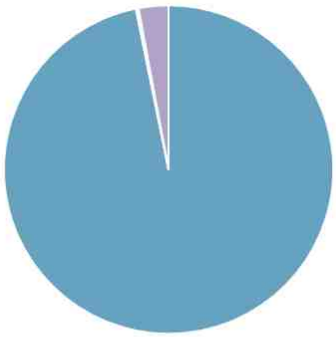
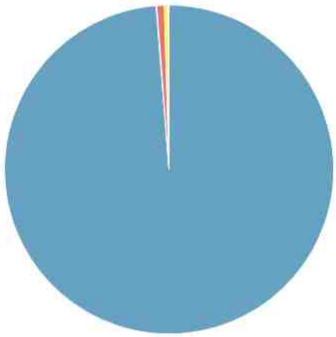
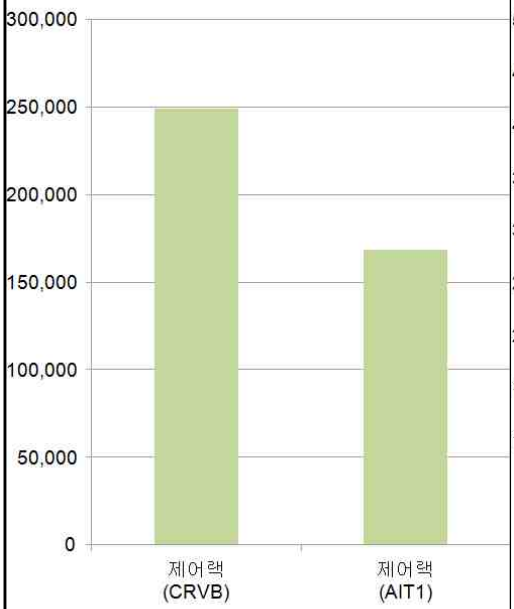
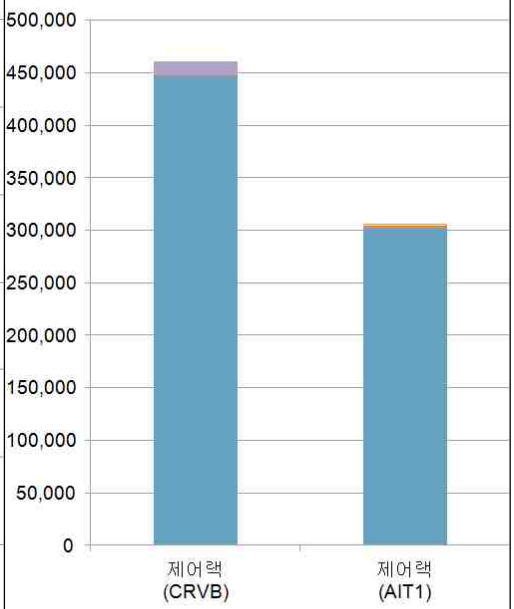
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	18	
2. 내용연수	년	5	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		계전기 (YWY)	
1. 재료비	천원	22,693	
2. LI	천원	179	
3. GI	천원	2,066	
4. FGI	천원	868	
5. 운영비	천원	93	
6. 고장 정비비	천원	194	
총생애주기비용	천원	15,188	

LCC 분석 그래프	범 례
	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
		

자) 추진제어장치 제어렉

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CRVB)			제어랙(AIT1)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	284	72	2	140	96	3	424	523	508
2	2005	25	1	293	74	2	144	99	3	437	1,062	1,016
3	2006	25	1	302	76	2	148	102	3	450	1,617	1,523
4	2007	26	1	311	79	2	153	105	3	464	2,188	2,031
5	2008	27	1	320	81	2	157	108	3	478	2,777	2,539
6	2009	28	1	330	83	3	162	111	3	492	3,383	3,047
7	2010	29	1	340	86	3	167	114	3	507	4,008	3,555
8	2011	29	1	350	88	3	172	118	4	522	4,651	4,062
9	2012	30	1	360	91	3	177	121	4	537	5,314	4,570
10	2013	107,605	1	371	72,806	3	183	180,411	4	554	186,282	139,228
11	2014	32	1	382	97	3	188	129	4	570	186,985	139,735
12	2015	33	1	394	100	3	194	133	4	587	187,709	140,243
13	2016	34	1	405	103	3	200	137	4	605	188,455	140,751
14	2017	35	1	418	106	3	205	141	4	623	189,223	141,259
15	2018	36	1	430	109	3	212	145	4	642	190,014	141,767
16	2019	37	1	443	112	3	218	149	4	661	190,829	142,274
17	2020	38	1	456	115	3	225	154	5	681	191,668	142,782
18	2021	40	1	470	119	4	231	158	5	701	192,533	143,290
19	2022	41	1	484	122	4	238	163	5	722	193,423	143,798
20	2023	144,612	1	499	97,845	4	245	242,457	5	744	436,629	278,455
21	2024	43	1	514	130	4	253	173	5	766	437,574	278,963
22	2025	45	1	529	134	4	260	178	5	789	438,547	279,471
23	2026	46	1	545	138	4	268	184	6	813	439,549	279,979
24	2027	47	1	561	142	4	276	189	6	837	440,581	280,486
25	2028	49	1	578	146	4	284	195	6	863	441,644	280,994
26	2029	50	2	595	151	5	293	201	6	888	442,740	281,502
27	2030	52	2	613	155	5	302	207	6	915	443,868	282,010
28	2031	53	2	632	160	5	311	213	6	943	445,029	282,518
29	2032	55	2	651	164	5	320	219	7	971	446,226	283,026
30	2033	194,346	2	670	131,496	5	330	325,842	7	1,000	773,075	417,683
총 계		447,572	34	13,529	305,179	103	6,657	752,752	137	20,186	773,075	417,683

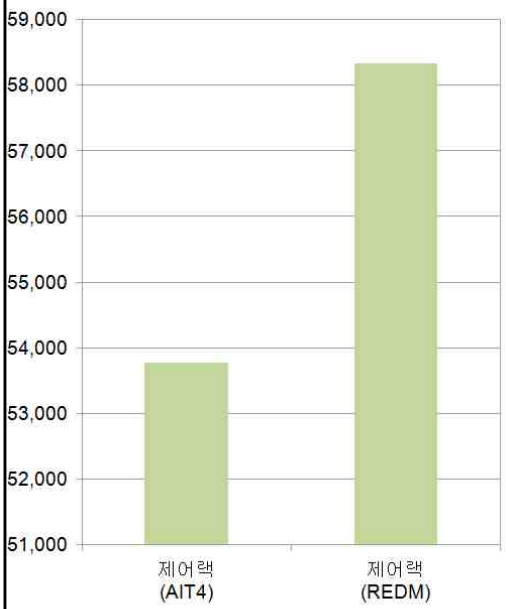
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	18	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CRVB)	제어랙 (AIT1)	
1. 재료비	천원	446,432	301,758	
2. LI	천원	65	196	
3. GI	천원	757	2,271	
4. FGI	천원	318	954	
5. 운영비	천원	34	103	
6. 고장 정비비	천원	13,529	330	
총생애주기비용	천원	249,136	168,547	

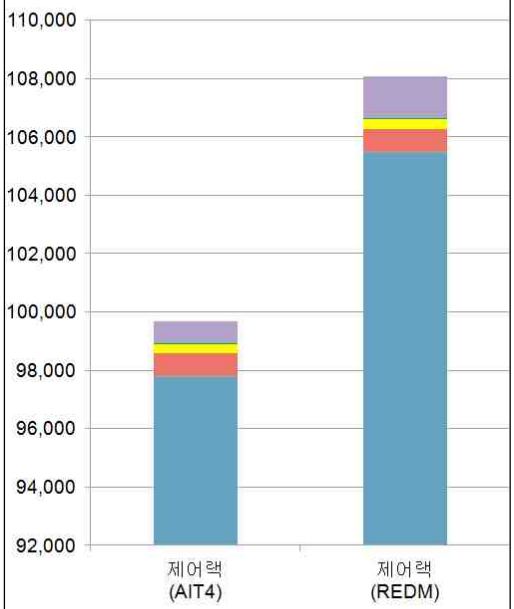
LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (CRVB) 	제어랙 (AIT1) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(AIT4)			제어랙(REDM)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	16	24	1	31	48	1	47	96	93
2	2005	25	1	16	25	1	32	49	1	48	195	186
3	2006	25	1	17	25	1	32	51	2	49	296	279
4	2007	26	1	17	26	1	33	52	2	51	401	372
5	2008	27	1	18	27	1	34	54	2	52	509	466
6	2009	28	1	18	28	1	36	56	2	54	620	559
7	2010	29	1	19	29	1	37	57	2	56	735	652
8	2011	29	1	20	29	1	38	59	2	57	853	745
9	2012	30	1	20	30	1	39	61	2	59	974	838
10	2013	23,588	1	21	25,443	1	40	49,031	2	61	50,068	37,368
11	2014	32	1	21	32	1	41	64	2	63	50,197	37,461
12	2015	33	1	22	33	1	42	66	2	64	50,329	37,554
13	2016	34	1	23	34	1	44	68	2	66	50,466	37,647
14	2017	35	1	23	35	1	45	70	2	68	50,607	37,741
15	2018	36	1	24	36	1	46	73	2	70	50,752	37,834
16	2019	37	1	25	37	1	48	75	2	73	50,901	37,927
17	2020	38	1	26	38	1	49	77	2	75	51,055	38,020
18	2021	40	1	26	40	1	51	79	2	77	51,214	38,113
19	2022	41	1	27	41	1	52	82	2	79	51,377	38,206
20	2023	31,700	1	28	34,193	1	54	65,893	3	82	117,354	74,736
21	2024	43	1	29	43	1	55	87	3	84	117,528	74,829
22	2025	45	1	30	45	1	57	89	3	87	117,706	74,922
23	2026	46	1	30	46	1	59	92	3	89	117,890	75,015
24	2027	47	1	31	47	1	60	95	3	92	118,079	75,109
25	2028	49	1	32	49	1	62	97	3	95	118,274	75,202
26	2029	50	2	33	50	2	64	100	3	97	118,475	75,295
27	2030	52	2	34	52	2	66	103	3	100	118,682	75,388
28	2031	53	2	35	53	2	68	106	3	103	118,895	75,481
29	2032	55	2	36	55	2	70	110	3	106	119,114	75,574
30	2033	42,602	2	38	45,953	2	72	88,555	3	110	207,782	112,104
총 계		98,900	34	757	106,600	34	1,457	205,500	68	2,214	207,782	112,104

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (AIT4)	제어랙 (REDM)	
1. 재료비	천원	97,760	105,460	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	757	1,457	
총생애주기비용	천원	53,767	58,337	

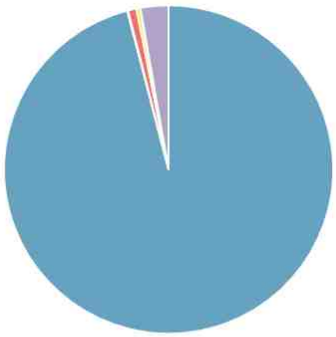
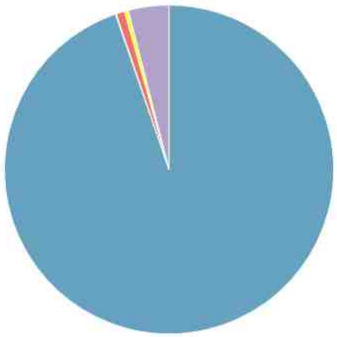
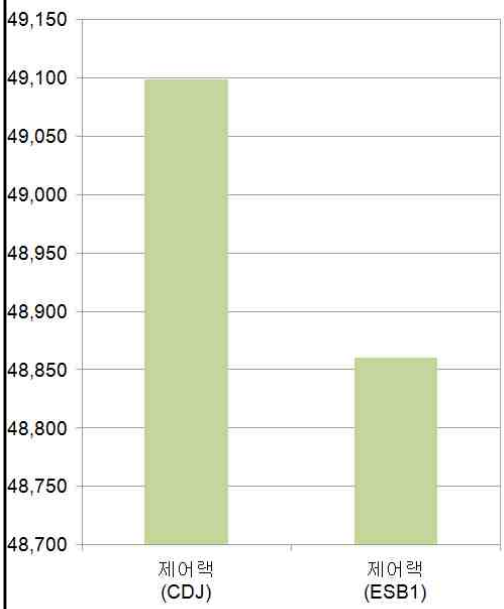
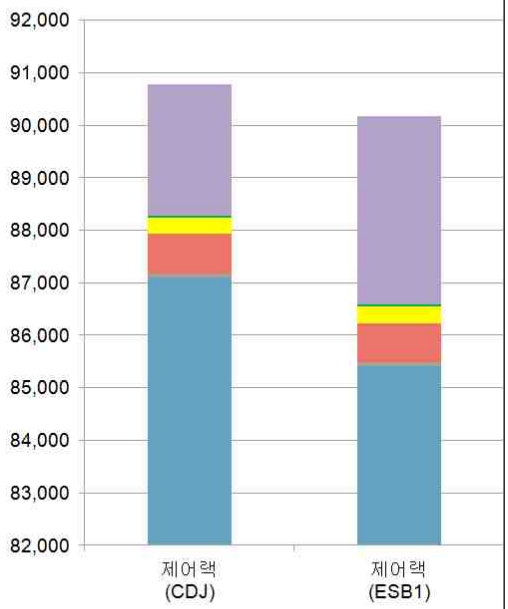
LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (AIT4)	제어랙 (REDM)	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용	비 용 별 합 계	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비





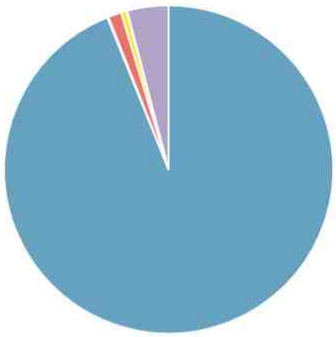
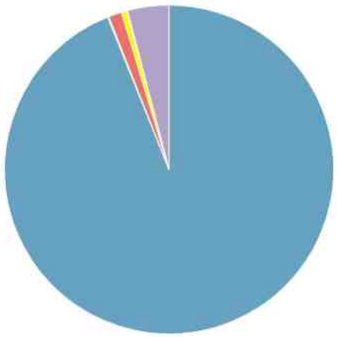
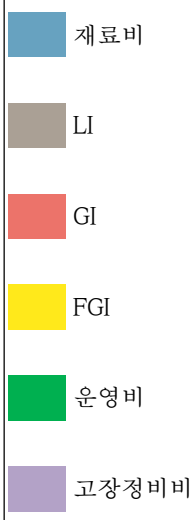
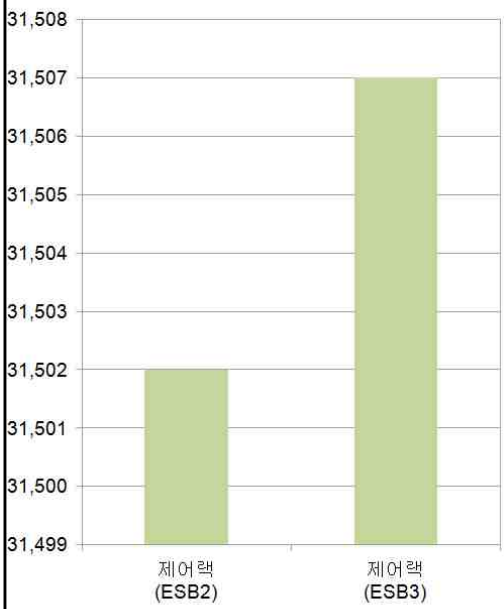
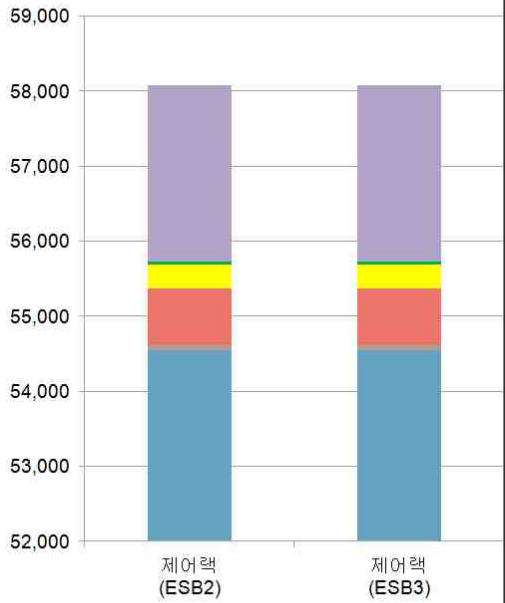
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CDJ)			제어랙(ESB1)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	52	24	1	75	48	1	128	177	172
2	2005	25	1	54	25	1	78	49	1	132	360	344
3	2006	25	1	56	25	1	80	51	2	136	548	516
4	2007	26	1	57	26	1	82	52	2	140	742	688
5	2008	27	1	59	27	1	85	54	2	144	941	861
6	2009	28	1	61	28	1	87	56	2	148	1,147	1,033
7	2010	29	1	63	29	1	90	57	2	153	1,358	1,205
8	2011	29	1	65	29	1	93	59	2	157	1,576	1,377
9	2012	30	1	66	30	1	96	61	2	162	1,801	1,549
10	2013	21,020	1	68	20,613	1	98	41,633	2	167	43,602	32,653
11	2014	32	1	70	32	1	101	64	2	172	43,840	32,825
12	2015	33	1	73	33	1	104	66	2	177	44,086	32,997
13	2016	34	1	75	34	1	108	68	2	182	44,339	33,169
14	2017	35	1	77	35	1	111	70	2	188	44,599	33,341
15	2018	36	1	79	36	1	114	73	2	193	44,867	33,514
16	2019	37	1	82	37	1	118	75	2	199	45,143	33,686
17	2020	38	1	84	38	1	121	77	2	205	45,428	33,858
18	2021	40	1	87	40	1	125	79	2	211	45,721	34,030
19	2022	41	1	89	41	1	128	82	2	218	46,022	34,202
20	2023	28,249	1	92	27,702	1	132	55,951	3	224	102,200	65,306
21	2024	43	1	95	43	1	136	87	3	231	102,520	65,478
22	2025	45	1	98	45	1	140	89	3	238	102,850	65,650
23	2026	46	1	101	46	1	145	92	3	245	103,190	65,822
24	2027	47	1	104	47	1	149	95	3	252	103,539	65,995
25	2028	49	1	107	49	1	153	97	3	260	103,900	66,167
26	2029	50	2	110	50	2	158	100	3	268	104,271	66,339
27	2030	52	2	113	52	2	163	103	3	276	104,653	66,511
28	2031	53	2	117	53	2	168	106	3	284	105,047	66,683
29	2032	55	2	120	55	2	173	110	3	293	105,453	66,855
30	2033	37,964	2	124	37,229	2	178	75,193	3	301	180,950	97,959
총 계		88,243	34	2,496	86,554	34	3,589	174,797	68	6,085	180,950	97,959

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CDJ)	제어랙 (ESB1)	
1. 재료비	천원	87,103	85,414	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	2,496	3,589	
총생애주기비용	천원	49,099	48,860	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (CDJ) 	제어랙 (ESB1) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

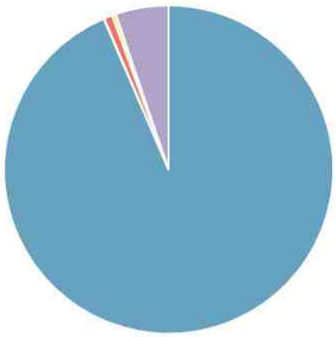
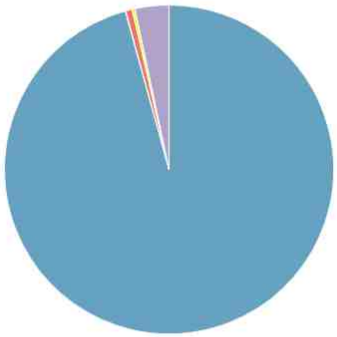
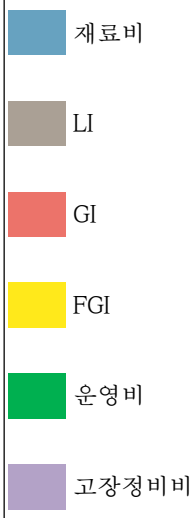
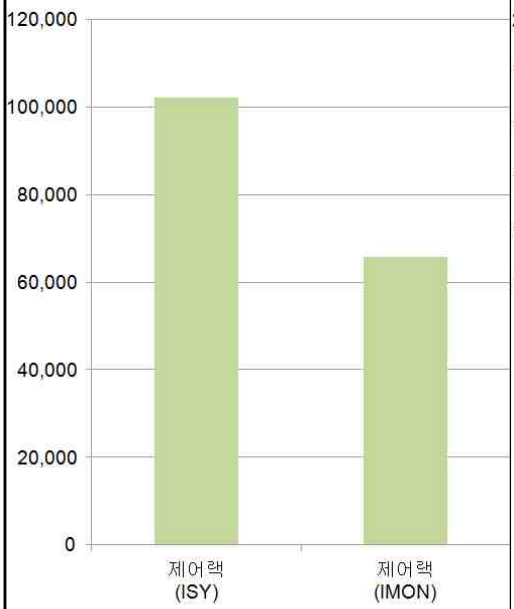
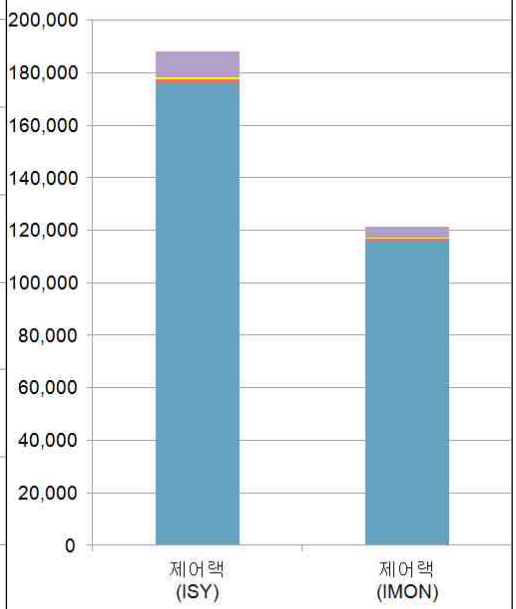
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ESB2)			제어랙(ESB3)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	49	24	1	50	48	1	99	149	144
2	2005	25	1	51	25	1	51	49	1	102	301	288
3	2006	25	1	53	25	1	53	51	2	105	459	433
4	2007	26	1	54	26	1	54	52	2	108	621	577
5	2008	27	1	56	27	1	56	54	2	112	788	721
6	2009	28	1	57	28	1	58	56	2	115	961	865
7	2010	29	1	59	29	1	59	57	2	118	1,138	1,009
8	2011	29	1	61	29	1	61	59	2	122	1,321	1,153
9	2012	30	1	63	30	1	63	61	2	126	1,509	1,298
10	2013	13,176	1	65	13,176	1	65	26,351	2	129	27,991	21,003
11	2014	32	1	67	32	1	67	64	2	133	28,191	21,147
12	2015	33	1	69	33	1	69	66	2	137	28,396	21,291
13	2016	34	1	71	34	1	71	68	2	141	28,608	21,435
14	2017	35	1	73	35	1	73	70	2	146	28,826	21,580
15	2018	36	1	75	36	1	75	73	2	150	29,051	21,724
16	2019	37	1	77	37	1	77	75	2	154	29,282	21,868
17	2020	38	1	79	38	1	80	77	2	159	29,520	22,012
18	2021	40	1	82	40	1	82	79	2	164	29,766	22,156
19	2022	41	1	84	41	1	85	82	2	169	30,019	22,301
20	2023	17,707	1	87	17,707	1	87	35,414	3	174	65,609	42,006
21	2024	43	1	89	43	1	90	87	3	179	65,877	42,150
22	2025	45	1	92	45	1	92	89	3	184	66,153	42,294
23	2026	46	1	95	46	1	95	92	3	190	66,438	42,438
24	2027	47	1	98	47	1	98	95	3	196	66,731	42,583
25	2028	49	1	101	49	1	101	97	3	202	67,033	42,727
26	2029	50	2	104	50	2	104	100	3	208	67,343	42,871
27	2030	52	2	107	52	2	107	103	3	214	67,664	43,015
28	2031	53	2	110	53	2	110	106	3	220	67,994	43,159
29	2032	55	2	113	55	2	114	110	3	227	68,333	43,304
30	2033	23,797	2	117	23,797	2	117	47,593	3	234	116,163	63,009
총 계		55,689	34	2,355	55,689	34	2,362	111,379	68	4,716	116,163	63,009

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ESB2)	제어랙 (ESB3)	
1. 재료비	천원	54,549	54,549	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	2,355	2,362	
총생애주기비용	천원	31,502	31,507	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ESB2) 	제어랙 (ESB3) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

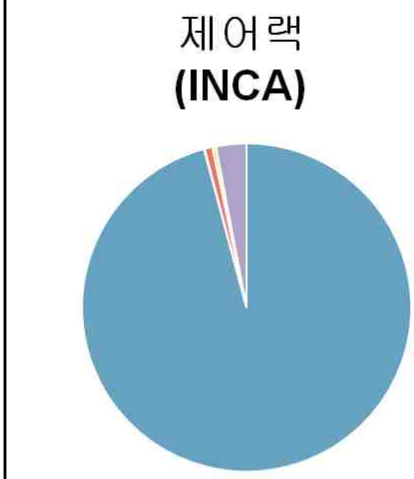
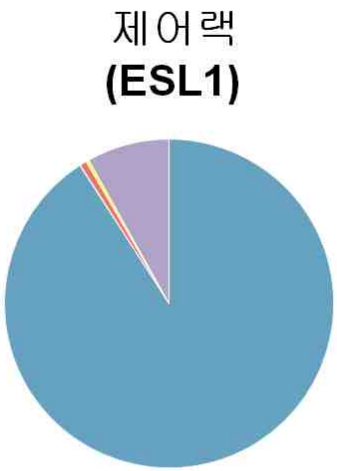
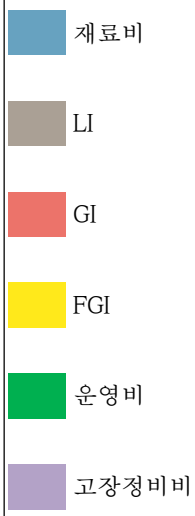
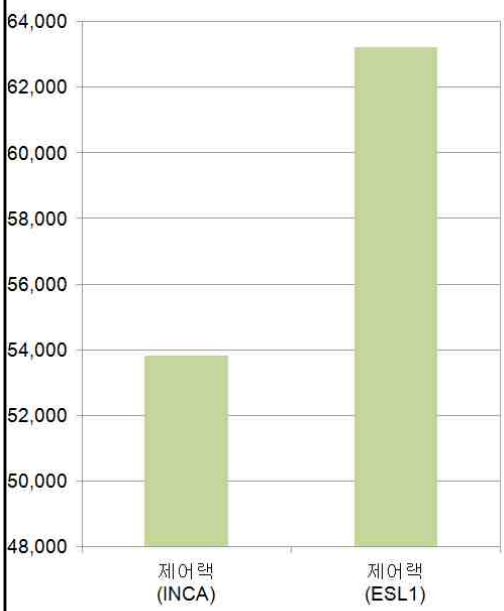
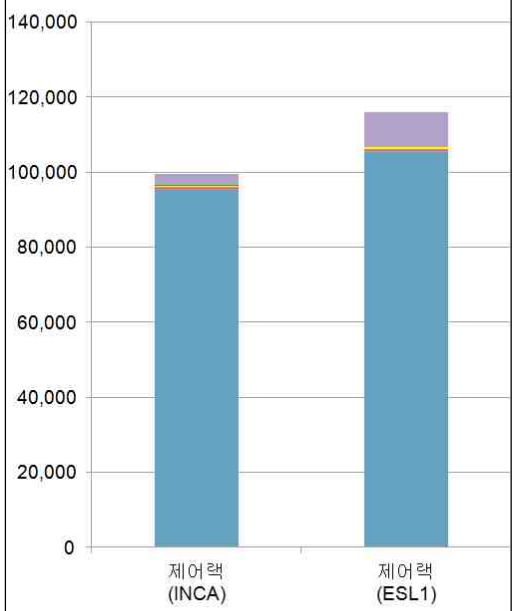
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ISY)			제어랙(IMON)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	48	1	206	24	1	85	72	2	291	365	354
2	2005	49	1	212	25	1	87	74	2	299	740	708
3	2006	51	2	218	25	1	90	76	2	308	1,127	1,062
4	2007	52	2	225	26	1	93	79	2	318	1,526	1,416
5	2008	54	2	232	27	1	96	81	2	327	1,936	1,770
6	2009	56	2	238	28	1	98	83	3	337	2,359	2,124
7	2010	57	2	246	29	1	101	86	3	347	2,794	2,478
8	2011	59	2	253	29	1	104	88	3	357	3,243	2,832
9	2012	61	2	261	30	1	108	91	3	368	3,705	3,186
10	2013	42,447	2	268	28,019	1	111	70,465	3	379	74,552	55,903
11	2014	64	2	276	32	1	114	97	3	391	75,042	56,257
12	2015	66	2	285	33	1	117	100	3	402	75,547	56,612
13	2016	68	2	293	34	1	121	103	3	414	76,067	56,966
14	2017	70	2	302	35	1	125	106	3	427	76,602	57,320
15	2018	73	2	311	36	1	128	109	3	440	77,154	57,674
16	2019	75	2	321	37	1	132	112	3	453	77,722	58,028
17	2020	77	2	330	38	1	136	115	3	466	78,307	58,382
18	2021	79	2	340	40	1	140	119	4	480	78,910	58,736
19	2022	82	2	350	41	1	144	122	4	495	79,531	59,090
20	2023	57,045	3	361	37,655	1	149	94,700	4	510	174,744	111,807
21	2024	87	3	372	43	1	153	130	4	525	175,402	112,161
22	2025	89	3	383	45	1	158	134	4	541	176,081	112,515
23	2026	92	3	394	46	1	163	138	4	557	176,779	112,869
24	2027	95	3	406	47	1	167	142	4	574	177,499	113,223
25	2028	97	3	418	49	1	173	146	4	591	178,240	113,577
26	2029	100	3	431	50	2	178	151	5	608	179,004	113,931
27	2030	103	3	444	52	2	183	155	5	627	179,790	114,285
28	2031	106	3	457	53	2	189	160	5	646	180,600	114,639
29	2032	110	3	471	55	2	194	164	5	665	181,434	114,993
30	2033	76,664	3	485	50,605	2	200	127,268	5	685	309,393	167,710
총 계		178,176	68	9,788	117,289	34	4,038	295,465	103	13,825	309,393	167,710

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	12	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ISY)	제어랙 (IMON)	
1. 재료비	천원	175,896	116,148	
2. LI	천원	131	65	
3. GI	천원	1,514	757	
4. FGI	천원	636	318	
5. 운영비	천원	68	34	
6. 고장 정비비	천원	9,788	4,038	
총생애주기비용	천원	102,044	65,667	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ISY) 	제어랙 (IMON) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

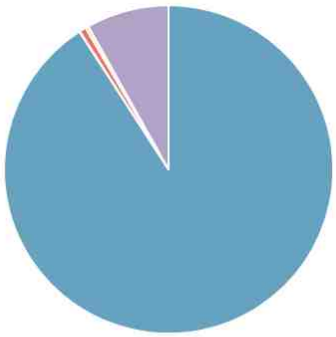
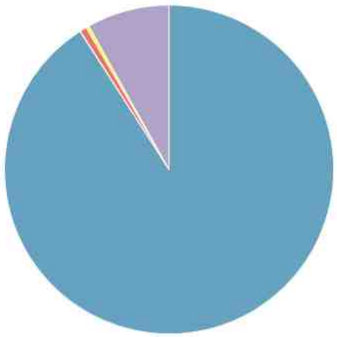
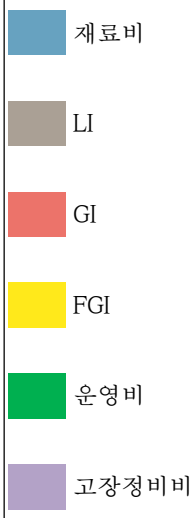
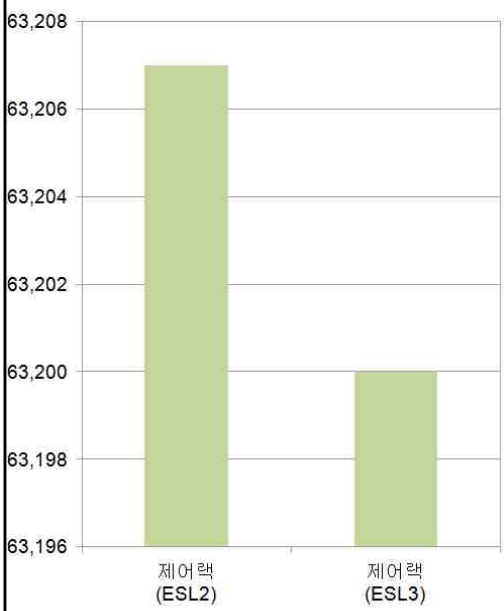
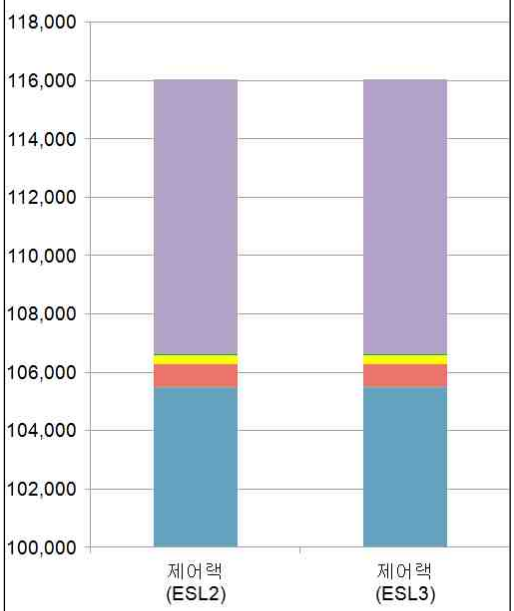
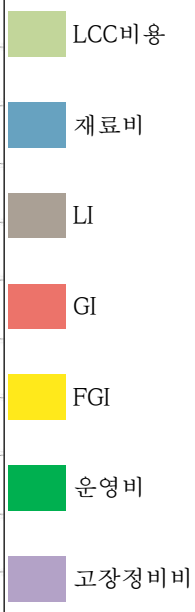
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(INCA)			제어랙(ESL1)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	63	24	1	198	48	1	260	310	301
2	2005	25	1	64	25	1	204	49	1	268	629	601
3	2006	25	1	66	25	1	210	51	2	276	957	902
4	2007	26	1	68	26	1	216	52	2	284	1,295	1,203
5	2008	27	1	70	27	1	223	54	2	293	1,644	1,503
6	2009	28	1	72	28	1	229	56	2	302	2,003	1,804
7	2010	29	1	75	29	1	236	57	2	311	2,373	2,104
8	2011	29	1	77	29	1	243	59	2	320	2,754	2,405
9	2012	30	1	79	30	1	251	61	2	330	3,146	2,706
10	2013	23,000	1	82	25,443	1	258	48,444	2	340	51,931	39,006
11	2014	32	1	84	32	1	266	64	2	350	52,347	39,307
12	2015	33	1	87	33	1	274	66	2	360	52,776	39,608
13	2016	34	1	89	34	1	282	68	2	371	53,217	39,908
14	2017	35	1	92	35	1	290	70	2	382	53,672	40,209
15	2018	36	1	95	36	1	299	73	2	394	54,140	40,510
16	2019	37	1	97	37	1	308	75	2	406	54,623	40,810
17	2020	38	1	100	38	1	317	77	2	418	55,120	41,111
18	2021	40	1	103	40	1	327	79	2	430	55,631	41,411
19	2022	41	1	106	41	1	337	82	2	443	56,159	41,712
20	2023	30,911	1	110	34,193	1	347	65,104	3	456	121,722	78,013
21	2024	43	1	113	43	1	357	87	3	470	122,281	78,313
22	2025	45	1	116	45	1	368	89	3	484	122,857	78,614
23	2026	46	1	120	46	1	379	92	3	499	123,450	78,915
24	2027	47	1	123	47	1	390	95	3	514	124,061	79,215
25	2028	49	1	127	49	1	402	97	3	529	124,691	79,516
26	2029	50	2	131	50	2	414	100	3	545	125,339	79,817
27	2030	52	2	135	52	2	427	103	3	561	126,007	80,117
28	2031	53	2	139	53	2	439	106	3	578	126,695	80,418
29	2032	55	2	143	55	2	453	110	3	596	127,403	80,718
30	2033	41,541	2	147	45,953	2	466	87,494	3	613	215,515	117,019
총 계		96,463	34	2,974	106,600	34	9,409	203,063	68	12,383	215,515	117,019

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (INCA)	제어랙 (ESL1)	
1. 재료비	천원	95,323	105,460	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	2,974	9,409	
총생애주기비용	천원	53,813	63,206	

LCC 분석 그래프		범 례
 제어랙 (INCA)	 제어랙 (ESL1)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 64,000 62,000 60,000 58,000 56,000 54,000 52,000 50,000 48,000 제어랙 (INCA) 제어랙 (ESL1)	 비 용 별 합 계 140,000 120,000 100,000 80,000 60,000 40,000 20,000 0 제어랙 (INCA) 제어랙 (ESL1)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

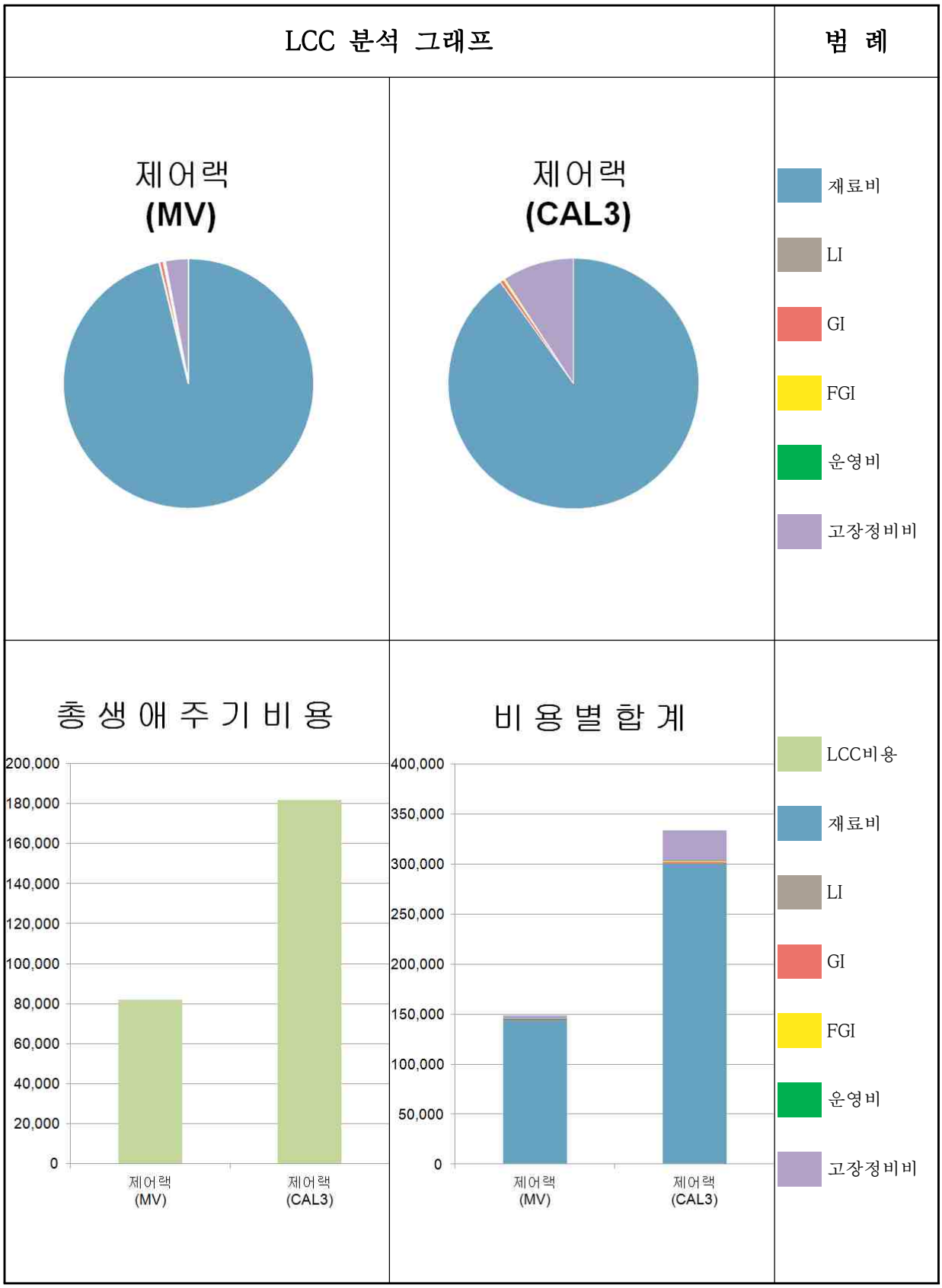
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ESL2)			제어랙(ESL3)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	198	24	1	198	48	1	395	445	432
2	2005	25	1	204	25	1	204	49	1	407	903	864
3	2006	25	1	210	25	1	210	51	2	419	1,375	1,295
4	2007	26	1	216	26	1	216	52	2	432	1,861	1,727
5	2008	27	1	223	27	1	222	54	2	445	2,361	2,159
6	2009	28	1	229	28	1	229	56	2	458	2,877	2,591
7	2010	29	1	236	29	1	236	57	2	472	3,408	3,023
8	2011	29	1	243	29	1	243	59	2	486	3,955	3,454
9	2012	30	1	251	30	1	250	61	2	501	4,518	3,886
10	2013	25,443	1	258	25,443	1	258	50,886	2	516	55,922	42,136
11	2014	32	1	266	32	1	266	64	2	531	56,520	42,567
12	2015	33	1	274	33	1	274	66	2	547	57,136	42,999
13	2016	34	1	282	34	1	282	68	2	564	57,770	43,431
14	2017	35	1	290	35	1	290	70	2	581	58,423	43,863
15	2018	36	1	299	36	1	299	73	2	598	59,096	44,295
16	2019	37	1	308	37	1	308	75	2	616	59,789	44,726
17	2020	38	1	317	38	1	317	77	2	634	60,502	45,158
18	2021	40	1	327	40	1	327	79	2	654	61,237	45,590
19	2022	41	1	337	41	1	336	82	2	673	61,995	46,022
20	2023	34,193	1	347	34,193	1	346	68,387	3	693	131,077	84,271
21	2024	43	1	357	43	1	357	87	3	714	131,880	84,703
22	2025	45	1	368	45	1	368	89	3	736	132,708	85,135
23	2026	46	1	379	46	1	379	92	3	758	133,560	85,567
24	2027	47	1	390	47	1	390	95	3	780	134,438	85,998
25	2028	49	1	402	49	1	402	97	3	804	135,342	86,430
26	2029	50	2	414	50	2	414	100	3	828	136,273	86,862
27	2030	52	2	427	52	2	426	103	3	853	137,232	87,294
28	2031	53	2	439	53	2	439	106	3	878	138,220	87,726
29	2032	55	2	453	55	2	452	110	3	905	139,238	88,157
30	2033	45,953	2	466	45,953	2	466	91,906	3	932	232,079	126,407
총 계		106,600	34	9,411	106,600	34	9,400	213,199	68	18,811	232,079	126,407

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ESL2)	제어랙 (ESL3)	
1. 재료비	천원	105,460	105,460	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	9,411	9,400	
총생애주기비용	천원	63,207	63,200	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ESL2) 	제어랙 (ESL3) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(MV)			제어랙(CAL3)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	94	48	1	648	72	2	742	816	793
2	2005	25	1	97	49	1	668	74	2	765	1,657	1,585
3	2006	25	1	100	51	2	688	76	2	788	2,523	2,378
4	2007	26	1	103	52	2	708	79	2	811	3,415	3,170
5	2008	27	1	106	54	2	730	81	2	836	4,334	3,963
6	2009	28	1	109	56	2	752	83	3	861	5,281	4,756
7	2010	29	1	112	57	2	774	86	3	886	6,256	5,548
8	2011	29	1	116	59	2	797	88	3	913	7,260	6,341
9	2012	30	1	119	61	2	821	91	3	940	8,294	7,134
10	2013	35,284	1	123	72,462	2	846	107,745	3	969	117,011	88,029
11	2014	32	1	126	64	2	871	97	3	998	118,108	88,822
12	2015	33	1	130	66	2	897	100	3	1,028	119,238	89,614
13	2016	34	1	134	68	2	924	103	3	1,058	120,402	90,407
14	2017	35	1	138	70	2	952	106	3	1,090	121,601	91,200
15	2018	36	1	142	73	2	981	109	3	1,123	122,836	91,992
16	2019	37	1	146	75	2	1,010	112	3	1,157	124,108	92,785
17	2020	38	1	151	77	2	1,040	115	3	1,191	125,418	93,577
18	2021	40	1	155	79	2	1,072	119	4	1,227	126,767	94,370
19	2022	41	1	160	82	2	1,104	122	4	1,264	128,157	95,163
20	2023	47,418	1	165	97,383	3	1,137	144,801	4	1,302	274,263	176,058
21	2024	43	1	170	87	3	1,171	130	4	1,341	275,738	176,851
22	2025	45	1	175	89	3	1,206	134	4	1,381	277,256	177,643
23	2026	46	1	180	92	3	1,242	138	4	1,422	278,821	178,436
24	2027	47	1	185	95	3	1,280	142	4	1,465	280,432	179,229
25	2028	49	1	191	97	3	1,318	146	4	1,509	282,092	180,021
26	2029	50	2	197	100	3	1,358	151	5	1,554	283,801	180,814
27	2030	52	2	203	103	3	1,398	155	5	1,601	285,562	181,606
28	2031	53	2	209	106	3	1,440	160	5	1,649	287,375	182,399
29	2032	55	2	215	110	3	1,483	164	5	1,698	289,243	183,192
30	2033	63,726	2	221	130,874	3	1,528	194,600	5	1,749	485,598	264,087
총 계		147,438	34	4,471	302,739	68	30,846	450,178	103	35,317	485,598	264,087

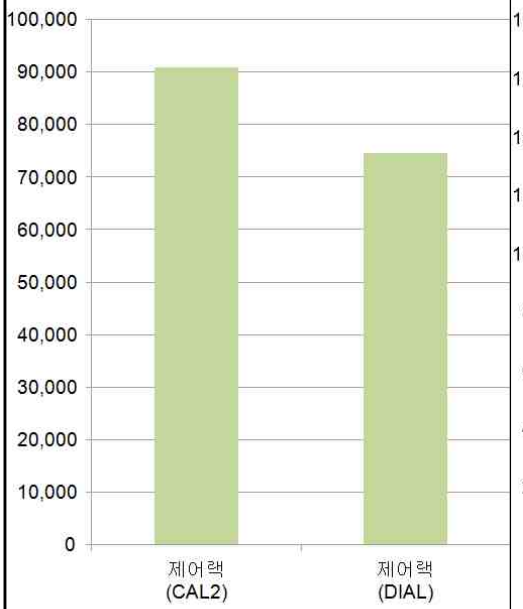
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	12	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (MV)	제어랙 (CAL3)	
1. 재료비	천원	143,298	300,459	
2. LI	천원	65	131	
3. GI	천원	757	1,514	
4. FGI	천원	318	636	
5. 운영비	천원	34	68	
6. 고장 정비비	천원	4,471	30,846	
총생애주기비용	천원	82,149	181,938	

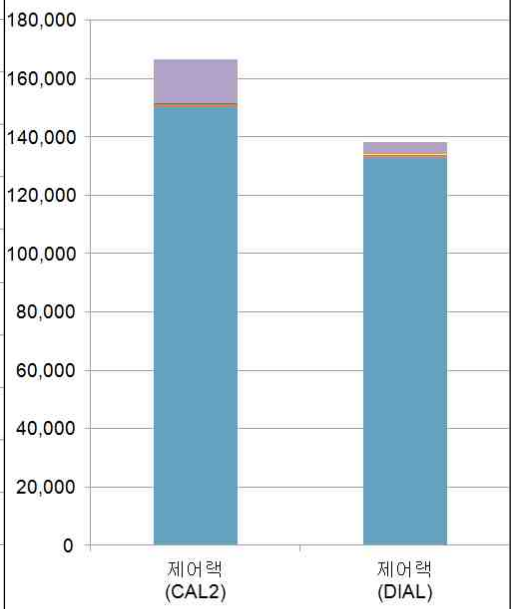

LCC 분석 그래프
범 례
제어랙
(MV)
제어랙
(CAL3)
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비
총 생 애 주 기 비 용
200,000
180,000
160,000
140,000
120,000
100,000
80,000
60,000
40,000
20,000
0
제어랙
(MV)
제어랙
(CAL3)
비 용 별 합 계
400,000
350,000
300,000
250,000
200,000
150,000
100,000
50,000
0
제어랙
(MV)
제어랙
(CAL3)
LCC비용
재료비
LI
GI
FGI
운영비
고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CAL2)			제어랙(DIAL)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	321	24	1	85	48	1	406	455	442
2	2005	25	1	331	25	1	87	49	1	418	924	884
3	2006	25	1	341	25	1	90	51	2	431	1,407	1,326
4	2007	26	1	351	26	1	92	52	2	443	1,904	1,768
5	2008	27	1	361	27	1	95	54	2	457	2,417	2,210
6	2009	28	1	372	28	1	98	56	2	470	2,944	2,652
7	2010	29	1	383	29	1	101	57	2	485	3,488	3,093
8	2011	29	1	395	29	1	104	59	2	499	4,048	3,535
9	2012	30	1	407	30	1	107	61	2	514	4,624	3,977
10	2013	36,231	1	419	32,050	1	110	68,281	2	529	73,437	55,180
11	2014	32	1	432	32	1	114	64	2	545	74,049	55,622
12	2015	33	1	445	33	1	117	66	2	562	74,679	56,064
13	2016	34	1	458	34	1	121	68	2	579	75,328	56,506
14	2017	35	1	472	35	1	124	70	2	596	75,996	56,948
15	2018	36	1	486	36	1	128	73	2	614	76,685	57,390
16	2019	37	1	500	37	1	132	75	2	632	77,394	57,832
17	2020	38	1	515	38	1	136	77	2	651	78,124	58,274
18	2021	40	1	531	40	1	140	79	2	671	78,877	58,716
19	2022	41	1	547	41	1	144	82	2	691	79,652	59,158
20	2023	48,691	1	563	43,073	1	148	91,764	3	712	172,130	110,361
21	2024	43	1	580	43	1	153	87	3	733	172,952	110,803
22	2025	45	1	597	45	1	157	89	3	755	173,799	111,245
23	2026	46	1	615	46	1	162	92	3	778	174,671	111,687
24	2027	47	1	634	47	1	167	95	3	801	175,569	112,129
25	2028	49	1	653	49	1	172	97	3	825	176,495	112,570
26	2029	50	2	672	50	2	177	100	3	850	177,448	113,012
27	2030	52	2	693	52	2	183	103	3	875	178,429	113,454
28	2031	53	2	713	53	2	188	106	3	901	179,440	113,896
29	2032	55	2	735	55	2	194	110	3	928	180,482	114,338
30	2033	65,437	2	757	57,887	2	199	123,324	3	956	304,765	165,541
총 계		151,370	34	15,280	134,020	34	4,027	285,390	68	19,307	304,765	165,541

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CAL2)	제어랙 (DIAL)	
1. 재료비	천원	150,229	132,880	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	15,280	4,027	
총생애주기비용	천원	90,881	74,660	

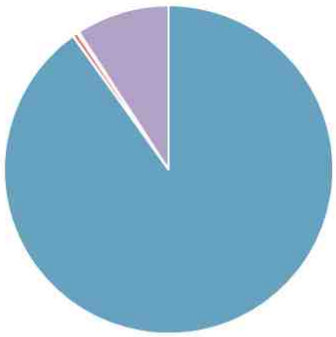
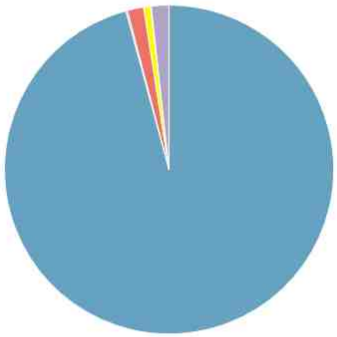
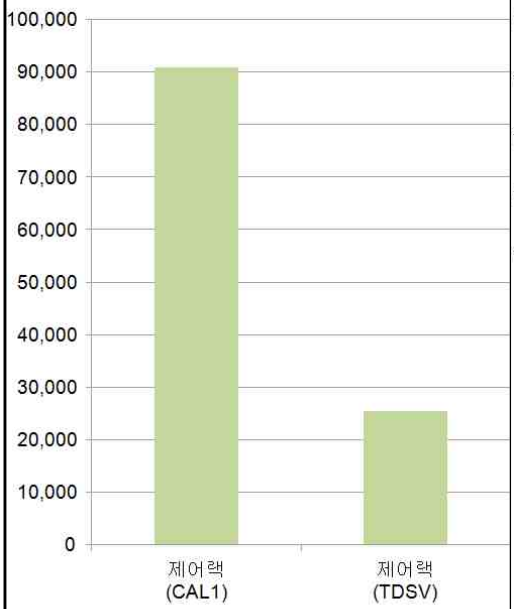
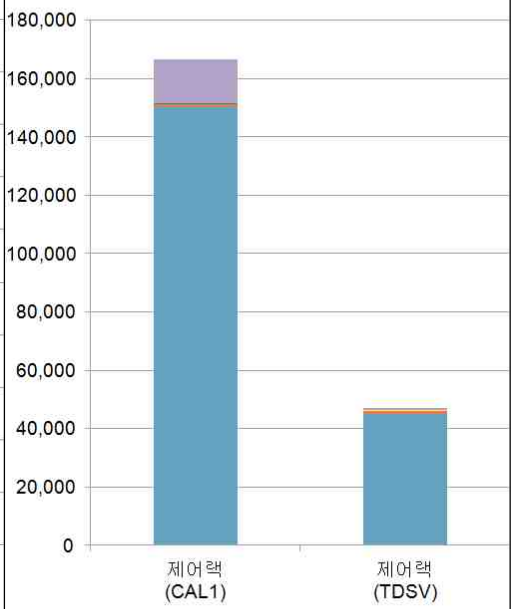
LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (CAL2)	제어랙 (DIAL)	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용	비 용 별 합 계	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비





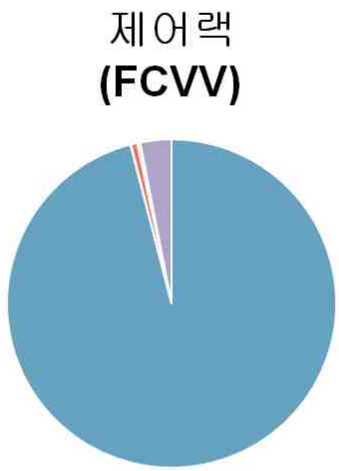
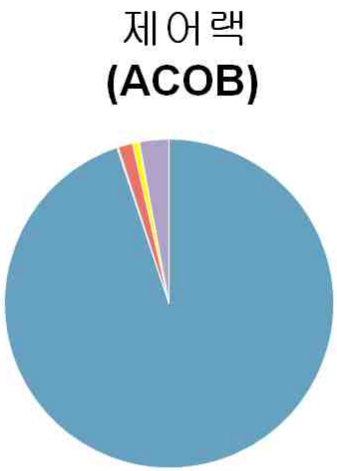
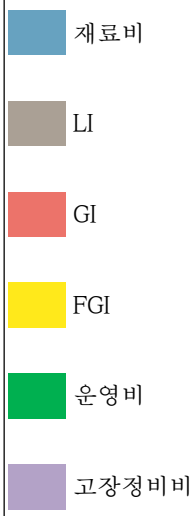
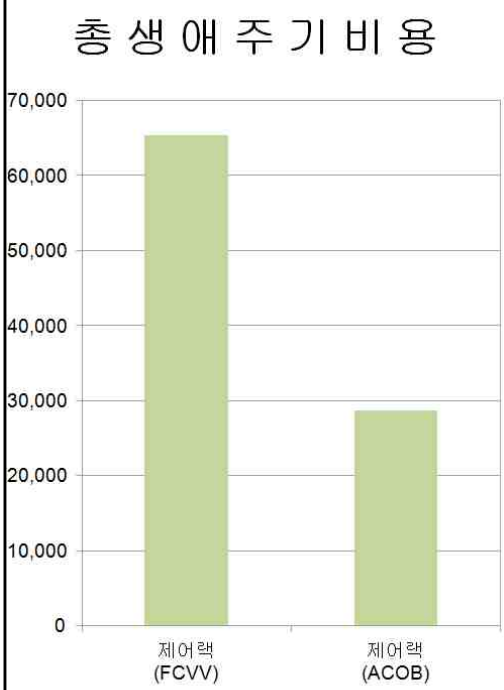
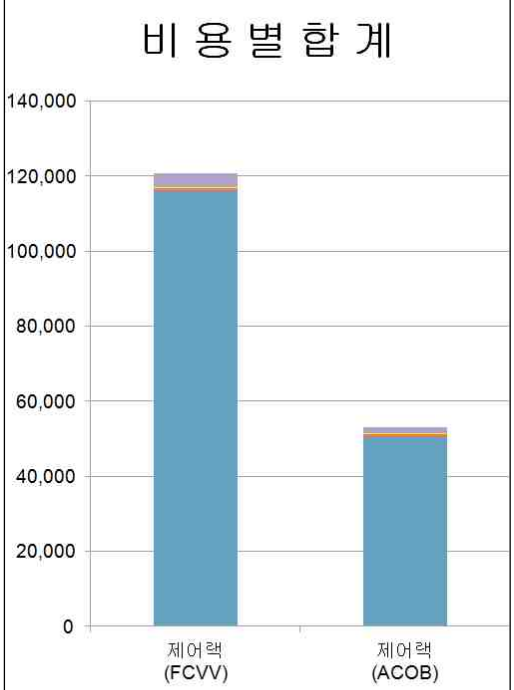
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(CAL1)			제어랙(TDSV)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	321	24	1	17	48	1	339	388	377
2	2005	25	1	331	25	1	18	49	1	349	788	753
3	2006	25	1	341	25	1	18	51	2	359	1,199	1,130
4	2007	26	1	351	26	1	19	52	2	370	1,623	1,507
5	2008	27	1	362	27	1	19	54	2	381	2,060	1,883
6	2009	28	1	373	28	1	20	56	2	393	2,509	2,260
7	2010	29	1	384	29	1	20	57	2	404	2,973	2,637
8	2011	29	1	395	29	1	21	59	2	416	3,450	3,013
9	2012	30	1	407	30	1	22	61	2	429	3,941	3,390
10	2013	36,231	1	419	10,905	1	22	47,136	2	442	51,521	38,794
11	2014	32	1	432	32	1	23	64	2	455	52,043	39,170
12	2015	33	1	445	33	1	24	66	2	469	52,580	39,547
13	2016	34	1	458	34	1	24	68	2	483	53,133	39,924
14	2017	35	1	472	35	1	25	70	2	497	53,702	40,300
15	2018	36	1	486	36	1	26	73	2	512	54,289	40,677
16	2019	37	1	501	37	1	27	75	2	528	54,894	41,054
17	2020	38	1	516	38	1	27	77	2	543	55,516	41,430
18	2021	40	1	531	40	1	28	79	2	560	56,157	41,807
19	2022	41	1	547	41	1	29	82	2	576	56,818	42,184
20	2023	48,691	1	564	14,656	1	30	63,347	3	594	120,761	77,588
21	2024	43	1	581	43	1	31	87	3	612	121,462	77,964
22	2025	45	1	598	45	1	32	89	3	630	122,184	78,341
23	2026	46	1	616	46	1	33	92	3	649	122,927	78,718
24	2027	47	1	634	47	1	34	95	3	668	123,693	79,094
25	2028	49	1	653	49	1	35	97	3	688	124,481	79,471
26	2029	50	2	673	50	2	36	100	3	709	125,294	79,848
27	2030	52	2	693	52	2	37	103	3	730	126,130	80,224
28	2031	53	2	714	53	2	38	106	3	752	126,992	80,601
29	2032	55	2	735	55	2	39	110	3	775	127,880	80,977
30	2033	65,437	2	758	19,696	2	40	85,133	3	798	213,814	116,381
총 계		151,370	34	15,294	46,268	34	815	197,637	68	16,109	213,814	116,381

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (CAL1)	제어랙 (TDSV)	
1. 재료비	천원	150,229	45,127	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	15,294	815	
총생애주기비용	천원	90,890	25,491	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (CAL1) 	제어랙 (TDSV) 	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

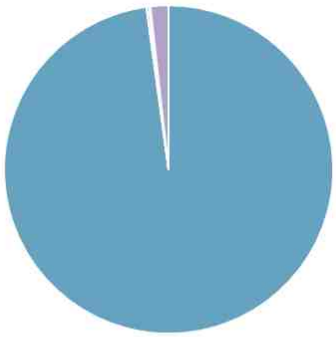
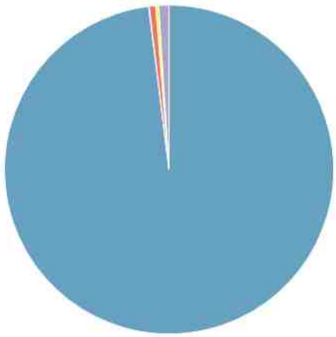
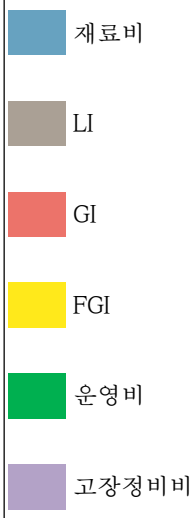
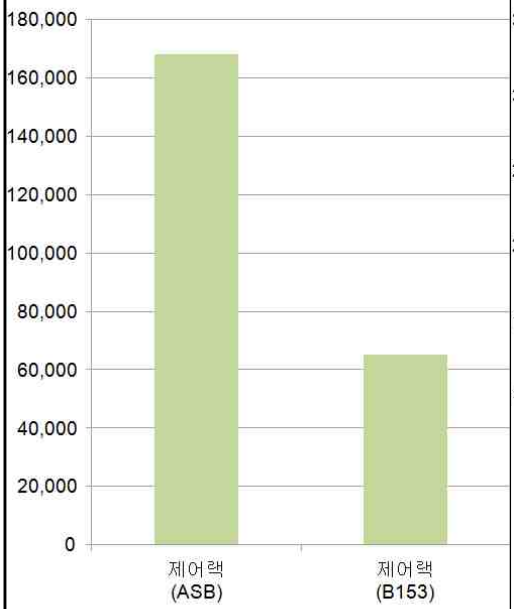
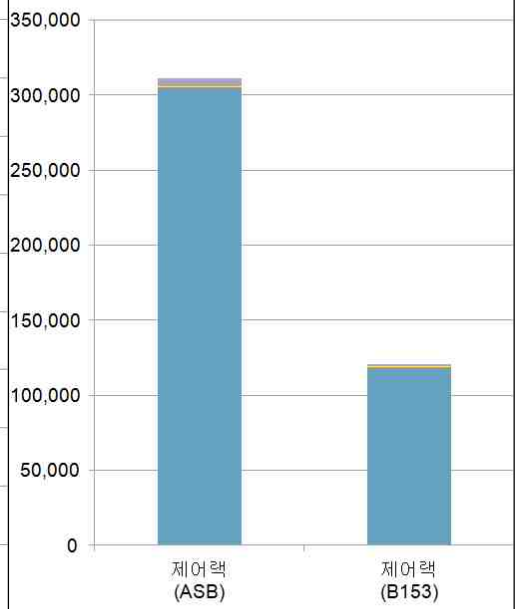
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(FCVV)			제어랙(SVTB)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	78	24	1	32	48	1	110	159	155
2	2005	25	1	80	25	1	33	49	1	113	324	309
3	2006	25	1	82	25	1	34	51	2	117	493	464
4	2007	26	1	85	26	1	35	52	2	120	667	619
5	2008	27	1	87	27	1	36	54	2	124	846	774
6	2009	28	1	90	28	1	38	56	2	128	1,031	928
7	2010	29	1	93	29	1	39	57	2	131	1,221	1,083
8	2011	29	1	95	29	1	40	59	2	135	1,417	1,238
9	2012	30	1	98	30	1	41	61	2	139	1,619	1,393
10	2013	27,987	1	101	12,150	1	42	40,137	2	144	41,902	31,367
11	2014	32	1	104	32	1	44	64	2	148	42,116	31,521
12	2015	33	1	107	33	1	45	66	2	152	42,337	31,676
13	2016	34	1	111	34	1	46	68	2	157	42,564	31,831
14	2017	35	1	114	35	1	48	70	2	162	42,798	31,986
15	2018	36	1	117	36	1	49	73	2	166	43,039	32,140
16	2019	37	1	121	37	1	50	75	2	171	43,287	32,295
17	2020	38	1	125	38	1	52	77	2	177	43,543	32,450
18	2021	40	1	128	40	1	54	79	2	182	43,806	32,605
19	2022	41	1	132	41	1	55	82	2	187	44,078	32,759
20	2023	37,613	1	136	16,329	1	57	53,941	3	193	98,214	62,733
21	2024	43	1	140	43	1	58	87	3	199	98,502	62,888
22	2025	45	1	144	45	1	60	89	3	205	98,799	63,043
23	2026	46	1	149	46	1	62	92	3	211	99,104	63,198
24	2027	47	1	153	47	1	64	95	3	217	99,419	63,352
25	2028	49	1	158	49	1	66	97	3	224	99,743	63,507
26	2029	50	2	163	50	2	68	100	3	230	100,076	63,662
27	2030	52	2	167	52	2	70	103	3	237	100,420	63,817
28	2031	53	2	172	53	2	72	106	3	244	100,774	63,971
29	2032	55	2	178	55	2	74	110	3	252	101,139	64,126
30	2033	50,548	2	183	21,944	2	76	72,493	3	259	173,894	94,100
총 계		117,159	34	3,693	51,433	34	1,540	168,592	68	5,233	173,894	94,100

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (FCVV)	제어랙 (ACOB)	
1. 재료비	천원	116,018	50,293	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	3,693	1,540	
총생애주기비용	천원	65,386	28,714	

LCC 분석 그래프		범 례
 제어랙 (FCVV)	 제어랙 (ACOB)	 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 총 생 애 주 기 비 용 70,000 60,000 50,000 40,000 30,000 20,000 10,000 0 제어랙 (FCVV) 제어랙 (ACOB)	 비 용 별 합 계 140,000 120,000 100,000 80,000 60,000 40,000 20,000 0 제어랙 (FCVV) 제어랙 (ACOB)	 LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

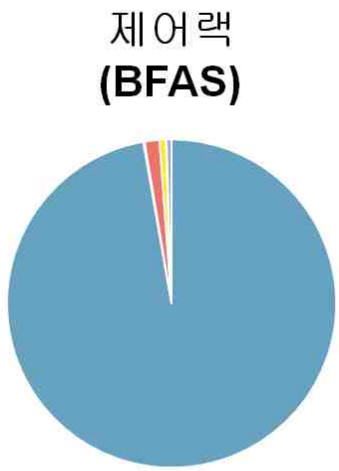
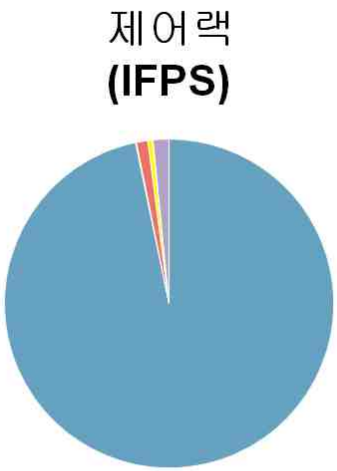
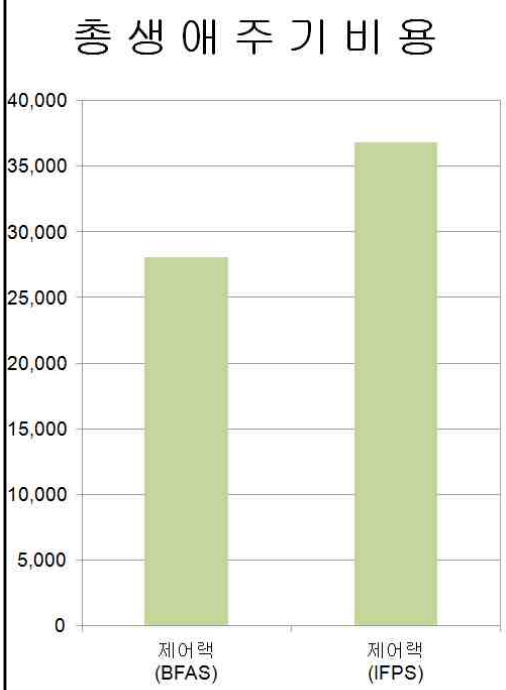
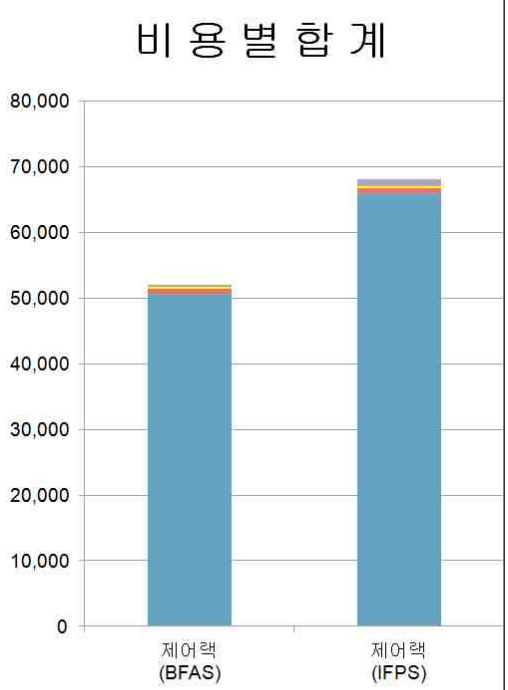
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(ASB)			제어랙(B153)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	116	24	1	26	48	1	142	191	186
2	2005	25	1	120	25	1	26	49	1	146	388	371
3	2006	25	1	123	25	1	27	51	2	150	591	557
4	2007	26	1	127	26	1	28	52	2	155	800	742
5	2008	27	1	131	27	1	29	54	2	160	1,015	928
6	2009	28	1	135	28	1	30	56	2	164	1,237	1,114
7	2010	29	1	139	29	1	31	57	2	169	1,465	1,299
8	2011	29	1	143	29	1	32	59	2	174	1,700	1,485
9	2012	30	1	147	30	1	32	61	2	180	1,942	1,671
10	2013	73,440	1	152	28,504	1	33	101,944	2	185	104,074	77,666
11	2014	32	1	156	32	1	34	64	2	191	104,331	77,851
12	2015	33	1	161	33	1	35	66	2	196	104,595	78,037
13	2016	34	1	166	34	1	37	68	2	202	104,868	78,223
14	2017	35	1	171	35	1	38	70	2	208	105,148	78,408
15	2018	36	1	176	36	1	39	73	2	215	105,438	78,594
16	2019	37	1	181	37	1	40	75	2	221	105,736	78,779
17	2020	38	1	186	38	1	41	77	2	228	106,042	78,965
18	2021	40	1	192	40	1	42	79	2	234	106,358	79,151
19	2022	41	1	198	41	1	44	82	2	241	106,684	79,336
20	2023	98,698	1	204	38,307	1	45	137,005	3	249	243,940	155,332
21	2024	43	1	210	43	1	46	87	3	256	244,285	155,517
22	2025	45	1	216	45	1	48	89	3	264	244,641	155,703
23	2026	46	1	223	46	1	49	92	3	272	245,007	155,888
24	2027	47	1	229	47	1	51	95	3	280	245,384	156,074
25	2028	49	1	236	49	1	52	97	3	288	245,773	156,260
26	2029	50	2	243	50	2	54	100	3	297	246,173	156,445
27	2030	52	2	251	52	2	55	103	3	306	246,586	156,631
28	2031	53	2	258	53	2	57	106	3	315	247,010	156,817
29	2032	55	2	266	55	2	59	110	3	324	247,448	157,002
30	2033	132,642	2	274	51,481	2	60	184,123	3	334	431,908	232,997
총 계		305,790	34	5,528	119,303	34	1,219	425,093	68	6,747	431,908	232,997

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (ASB)	제어랙 (B153)	
1. 재료비	천원	304,650	118,163	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	5,528	1,219	
총생애주기비용	천원	167,973	65,024	

LCC 분석 그래프		범 례
제어랙 (ASB) 	제어랙 (B153) 	
총 생 애 주 기 비 용 	비 용 별 합 계 	

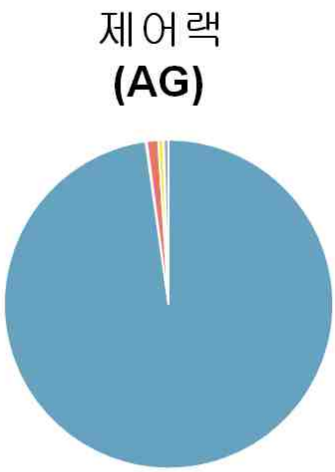
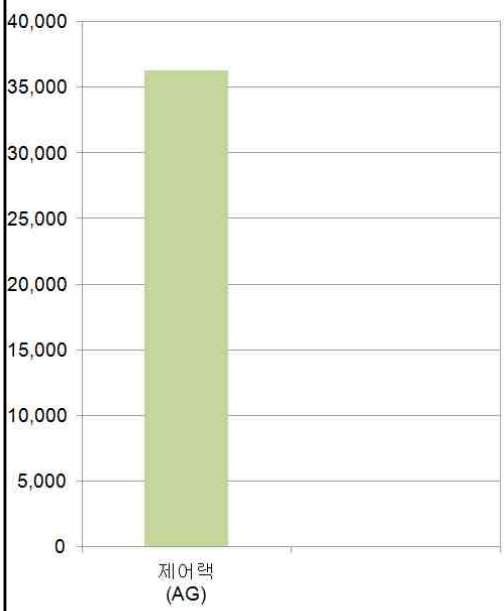
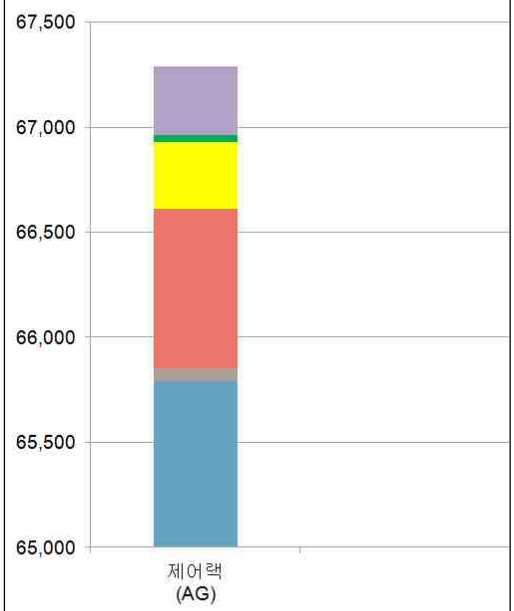
MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(BFAS)			제어랙(IFPS)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	5	24	1	22	48	1	28	77	75
2	2005	25	1	6	25	1	23	49	1	28	156	149
3	2006	25	1	6	25	1	24	51	2	29	238	224
4	2007	26	1	6	26	1	24	52	2	30	322	299
5	2008	27	1	6	27	1	25	54	2	31	409	374
6	2009	28	1	6	28	1	26	56	2	32	498	448
7	2010	29	1	6	29	1	27	57	2	33	590	523
8	2011	29	1	7	29	1	27	59	2	34	685	598
9	2012	30	1	7	30	1	28	61	2	35	782	673
10	2013	12,213	1	7	15,900	1	29	28,113	2	36	28,933	21,619
11	2014	32	1	7	32	1	30	64	2	37	29,036	21,694
12	2015	33	1	7	33	1	31	66	2	38	29,143	21,769
13	2016	34	1	8	34	1	32	68	2	39	29,252	21,844
14	2017	35	1	8	35	1	33	70	2	41	29,366	21,918
15	2018	36	1	8	36	1	34	73	2	42	29,482	21,993
16	2019	37	1	8	37	1	35	75	2	43	29,602	22,068
17	2020	38	1	9	38	1	36	77	2	44	29,725	22,143
18	2021	40	1	9	40	1	37	79	2	46	29,853	22,217
19	2022	41	1	9	41	1	38	82	2	47	29,984	22,292
20	2023	16,413	1	9	21,368	1	39	37,781	3	48	67,816	43,239
21	2024	43	1	10	43	1	40	87	3	50	67,955	43,313
22	2025	45	1	10	45	1	41	89	3	51	68,098	43,388
23	2026	46	1	10	46	1	43	92	3	53	68,245	43,463
24	2027	47	1	11	47	1	44	95	3	55	68,397	43,538
25	2028	49	1	11	49	1	45	97	3	56	68,554	43,612
26	2029	50	2	11	50	2	47	100	3	58	68,715	43,687
27	2030	52	2	12	52	2	48	103	3	60	68,881	43,762
28	2031	53	2	12	53	2	49	106	3	61	69,052	43,837
29	2032	55	2	12	55	2	51	110	3	63	69,228	43,911
30	2033	22,057	2	13	28,717	2	52	50,774	3	65	120,071	64,858
총 계		51,693	34	257	66,996	34	1,057	118,689	68	1,314	120,071	64,858

총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)				
I. 일반정보				비 고
1. 단위	개	6	6	
2. 내용연수	년	10	10	
3. 할인율	%	3	3	
II. 품명		제어랙 (BFAS)	제어랙 (IFPS)	
1. 재료비	천원	50,553	65,855	
2. LI	천원	65	65	
3. GI	천원	757	757	
4. FGI	천원	318	318	
5. 운영비	천원	34	34	
6. 고장 정비비	천원	257	1,057	
총생애주기비용	천원	28,069	36,789	

LCC 분석 그래프		범 례
		재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
		LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

MB 년수	년도	유 지 관 리 비 (천원)									할인율 (3%)	
		제어랙(AG)			제어랙(MAFV)			합 계				
		예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	예방 정비비	운영비	고장 정비비	누적비용	NPV
1	2004	24	1	7	24	1	0	48	1	7	56	55
2	2005	25	1	7	25	1	0	49	1	7	114	109
3	2006	25	1	7	25	1	0	51	2	7	174	164
4	2007	26	1	8	26	1	0	52	2	8	235	218
5	2008	27	1	8	27	1	0	54	2	8	299	273
6	2009	28	1	8	28	1	0	56	2	8	364	328
7	2010	29	1	8	29	1	0	57	2	8	431	382
8	2011	29	1	8	29	1	0	59	2	8	500	437
9	2012	30	1	9	30	1	0	61	2	9	571	491
10	2013	15,884	1	9	31	1	0	15,916	2	9	16,498	12,342
11	2014	32	1	9	32	1	0	64	2	9	16,573	12,397
12	2015	33	1	10	33	1	0	66	2	10	16,651	12,451
13	2016	34	1	10	34	1	0	68	2	10	16,731	12,506
14	2017	35	1	10	35	1	0	70	2	10	16,814	12,561
15	2018	36	1	10	36	1	0	73	2	10	16,899	12,615
16	2019	37	1	11	37	1	0	75	2	11	16,987	12,670
17	2020	38	1	11	38	1	0	77	2	11	17,077	12,724
18	2021	40	1	11	40	1	0	79	2	11	17,170	12,779
19	2022	41	1	12	41	1	0	82	2	12	17,265	12,834
20	2023	21,347	1	12	42	1	0	21,389	3	12	38,669	24,684
21	2024	43	1	12	43	1	0	87	3	12	38,771	24,739
22	2025	45	1	13	45	1	0	89	3	13	38,875	24,793
23	2026	46	1	13	46	1	0	92	3	13	38,983	24,848
24	2027	47	1	14	47	1	0	95	3	14	39,094	24,903
25	2028	49	1	14	49	1	0	97	3	14	39,208	24,957
26	2029	50	2	14	50	2	0	100	3	14	39,326	25,012
27	2030	52	2	15	52	2	0	103	3	15	39,447	25,066
28	2031	53	2	15	53	2	0	106	3	15	39,572	25,121
29	2032	55	2	16	55	2	0	110	3	16	39,701	25,176
30	2033	28,689	2	16	56	2	0	28,745	3	16	68,466	37,026
총 계		66,931	34	327	1,140	34	0	68,071	68	327	68,466	37,026

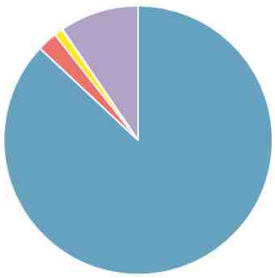
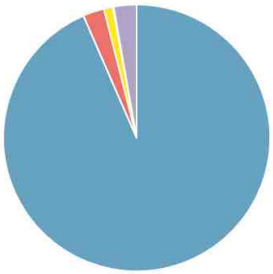
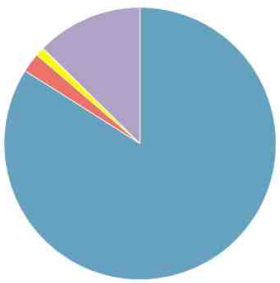
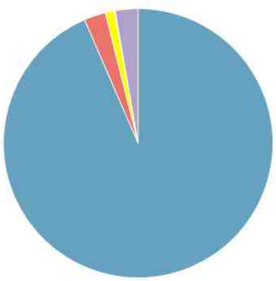
총생애주기비용 (LIFE CYCLE COSTS)			
I. 일반정보			비 고
1. 단위	개	6	
2. 내용연수	년	10	
3. 할인율	%	3	
II. 품명		제어랙 (AG)	
1. 재료비	천원	65,790	
2. LI	천원	65	
3. GI	천원	757	
4. FGI	천원	318	
5. 운영비	천원	34	
6. 고장 정비비	천원	327	
총생애주기비용	천원	36,307	

LCC 분석 그래프	범 례
	재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비
 	LCC비용 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비

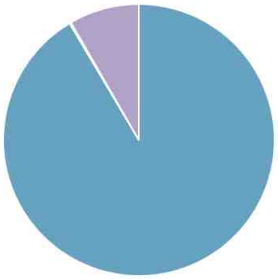
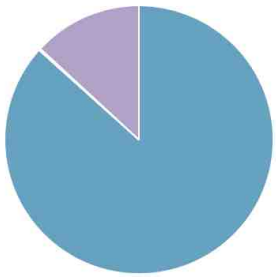
다. 기존품 및 개발품의 LCC 비교 분석

1) 장치별 LCC 비교 분석

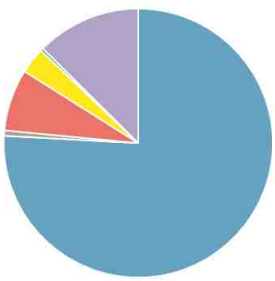
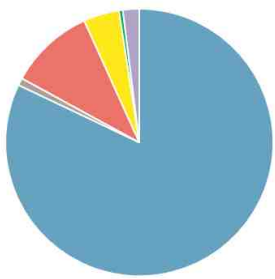
가) 격자저항

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	ZB-BK-01	
총생애주기비용	392,483	363,812
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	격자저항 (ZB-BK-01) 	격자저항 (ZB-BK-01) 
품 명	ZB-BK-02	
총생애주기비용	203,606	203,606
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	격자저항 (ZB-BK-02) 	격자저항 (ZB-BK-02) 

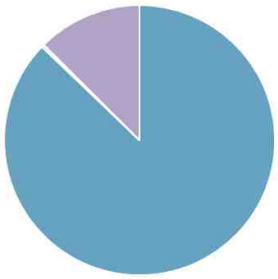
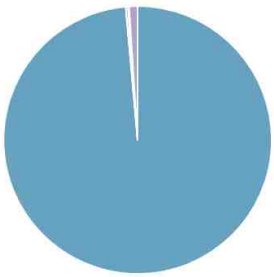
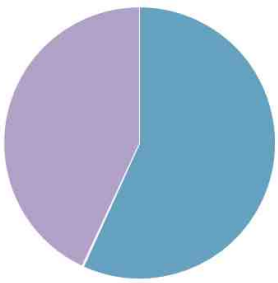
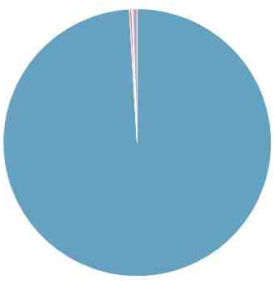
나) 송풍장치

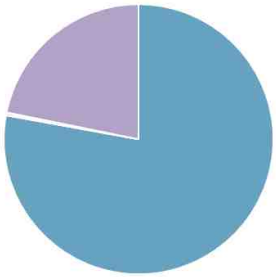
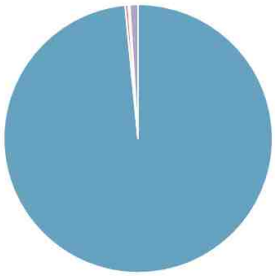
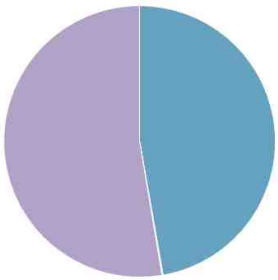
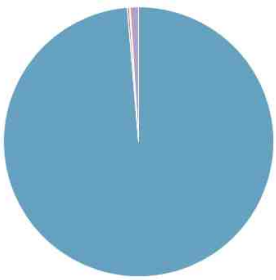
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	송풍장치	
총생애주기비용	3,198,662	2,588,004
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	송풍장치 	송풍장치 

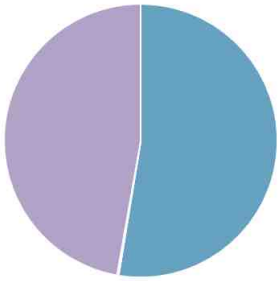
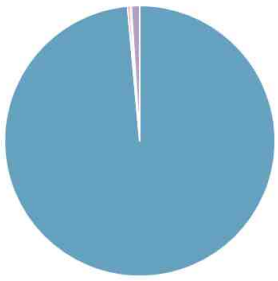
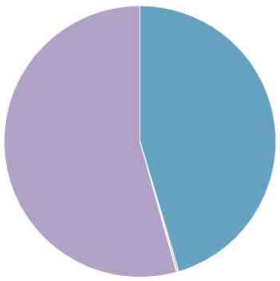
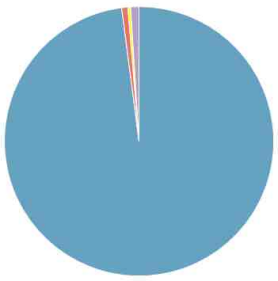
다) 스위치

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	스위치	
총생애주기비용	180,597	129,864
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	스위치 	스위치 

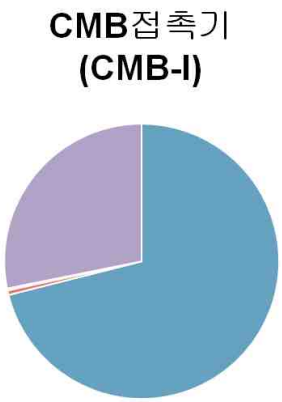
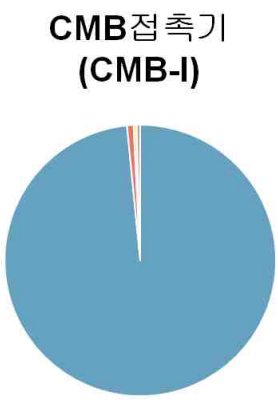
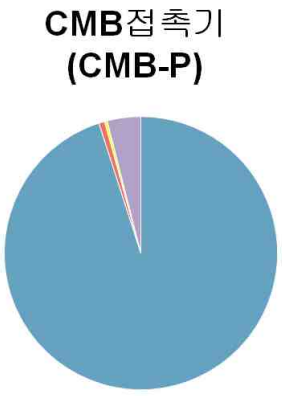
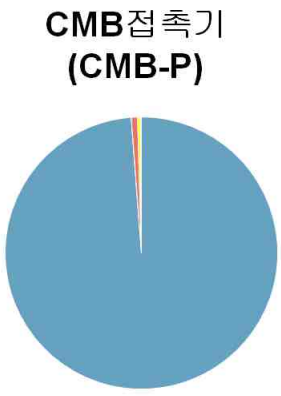
라) 전력변환장치

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CV-TT	
총생애주기비용	1,464,881	1,211,965
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	전력변환장치 (CV-TT) 	전력변환장치 (CV-TT) 
품 명	IR-TT	
총생애주기비용	2,844,876	1,210,333
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	전력변환장치 (IR-TT) 	전력변환장치 (IR-TT) 

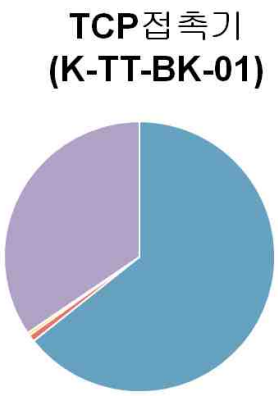
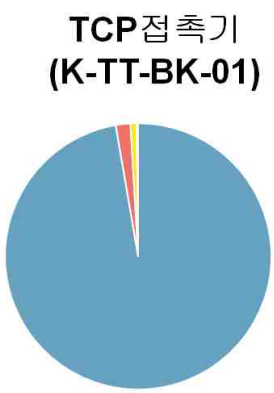
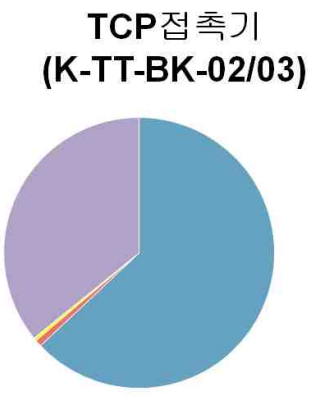
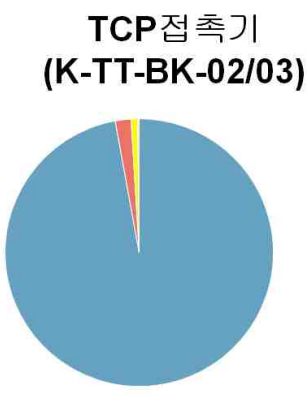
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CO-EX	
총생애주기비용	707,187	434,950
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	전력변환장치 (CO-EX) 	전력변환장치 (CO-EX) 
품 명	CO-BK	
총생애주기비용	2,123,012	690,647
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	전력변환장치 (CO-BK) 	전력변환장치 (CO-BK) 

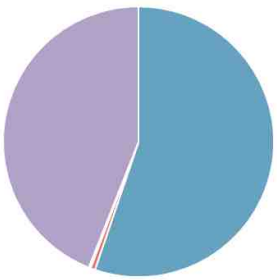
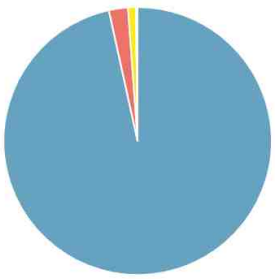
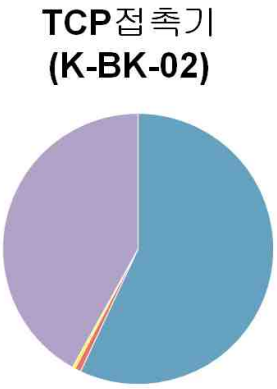
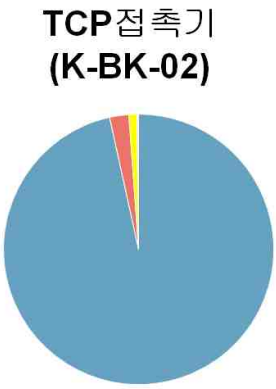
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CV-PFC	
총생애주기비용	1,344,737	568,081
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	전력변환장치 (CV-PFC) 	전력변환장치 (CV-PFC) 
품 명	A633	
총생애주기비용	988,472	223,687
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	전력변환장치 (A633) 	전력변환장치 (A633) 

마) CMB접촉기

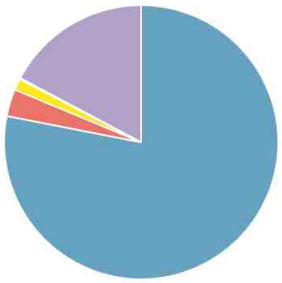
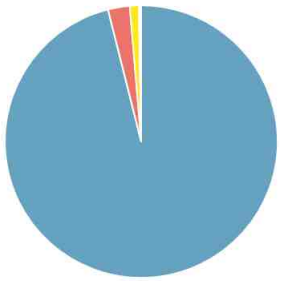
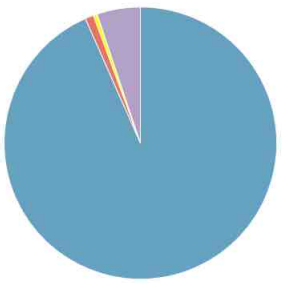
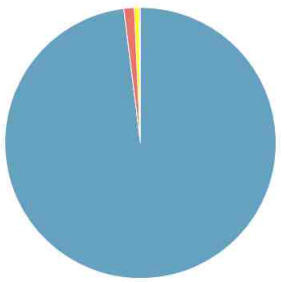
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CMB-I	
총생애주기비용	121,442	81,166
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비		
품 명	CMB-P	
총생애주기비용	273,949	252,802
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비		

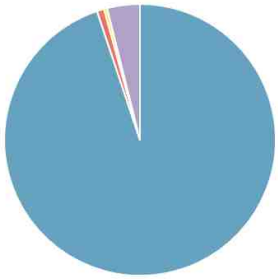
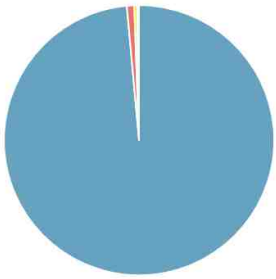
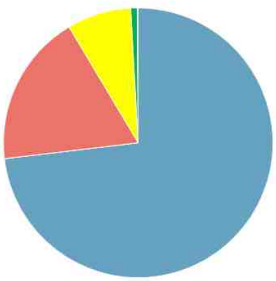
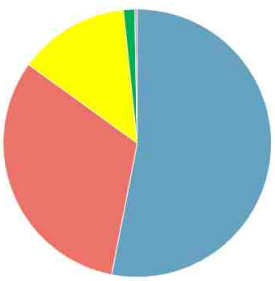
바) TCP접촉기

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	K-TT-BK-01	
총생애주기비용	478,607	212,129
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비		
품 명	K-TT-BK-02/03	
총생애주기비용	484,807	199,467
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비		

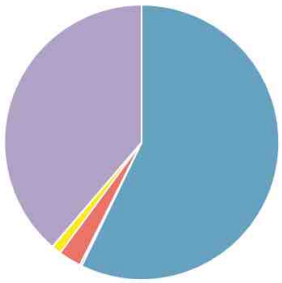
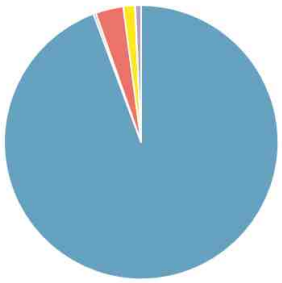
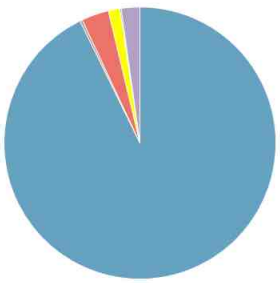
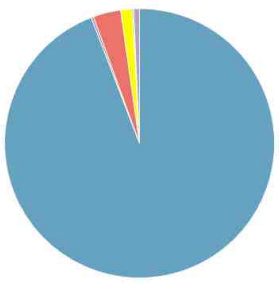
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	K-BK-01	
총생애주기비용	361,194	82,560
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비		
품 명	K-BK-02	
총생애주기비용	266,279	82,566
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비		

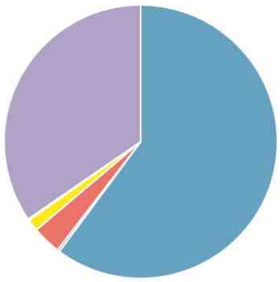
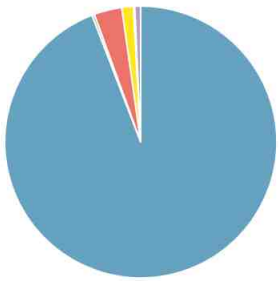
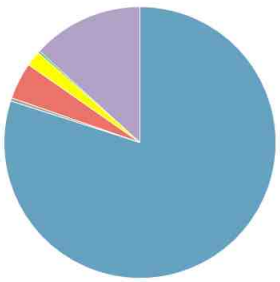
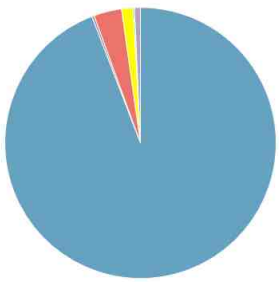
사) 콘덴서

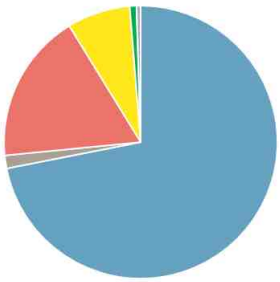
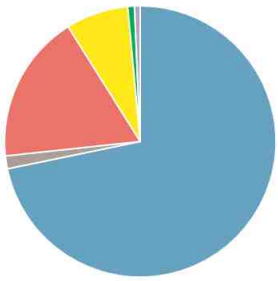
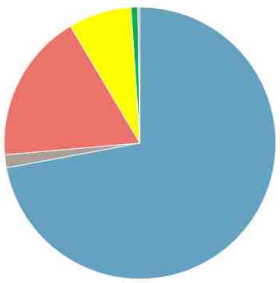
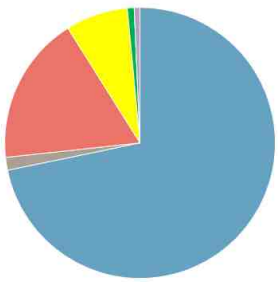
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	2uF 오일	
총생애주기비용	17,684	21,878
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	콘덴서 (2μF오일) 	콘덴서 (2μF오일) 
품 명	108uF 오일	
총생애주기비용	224,247	180,847
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	콘덴서 (108μF오일) 	콘덴서 (108μF오일) 

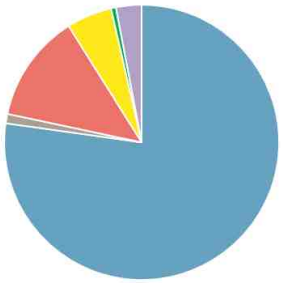
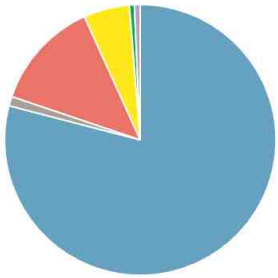
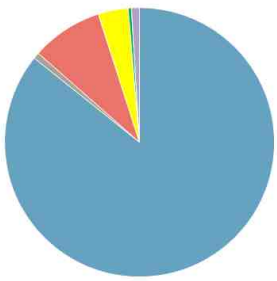
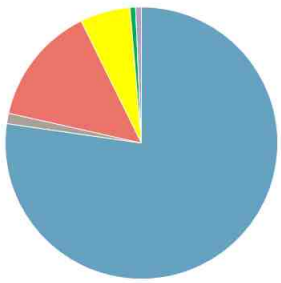
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	235uF 오일	
총생애주기비용	66,515	63,890
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	콘덴서 (235μF오일) 	콘덴서 (235μF오일) 
품 명	2200uF 전해	
총생애주기비용	59,044	34,292
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	콘덴서 (2200μF전해) 	콘덴서 (2200μF전해) 

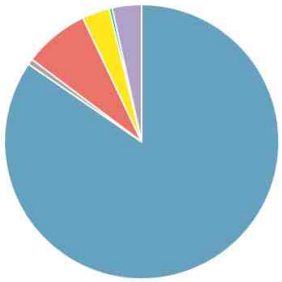
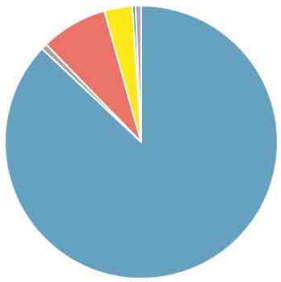
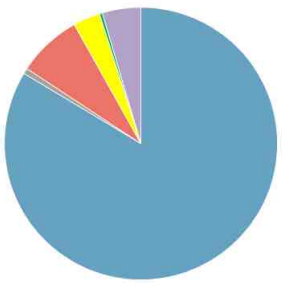
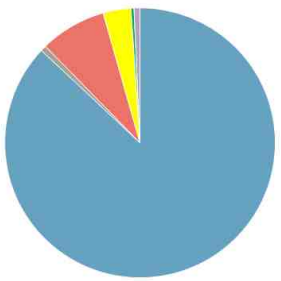
아) 계전기

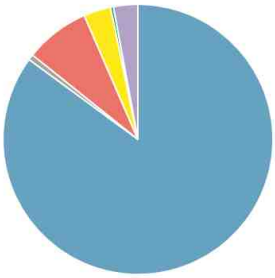
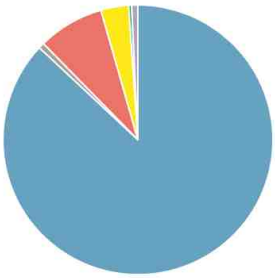
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	C.009.72.15	
총생애주기비용	14,635	14,635
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (C.009.72.15) 	계전기 (C.009.72.15) 
품 명	C.027.72.11B	
총생애주기비용	36,797	36,203
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (C.027.72.11B) 	계전기 (C.027.72.11B) 

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	C.045.72.69	
총생애주기비용	72,097	72,409
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 **(C.045.72.69)** 	계전기 **(C.045.72.69)** 
품 명	C.054.72.8D	
총생애주기비용	18,403	24,136
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 **(C.054.72.8D)** 	계전기 **(C.054.72.8D)** 

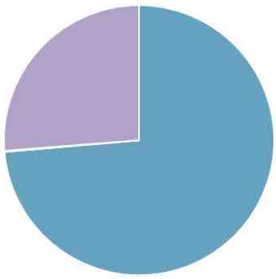
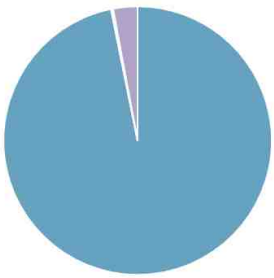
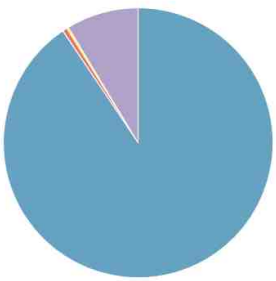
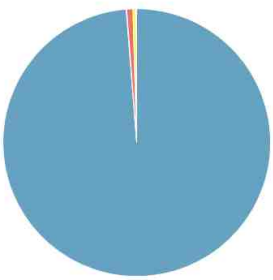
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	WZY	
총생애주기비용	4,547	4,557
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (WZY) 	계전기 (WZY) 
품 명	WZX	
총생애주기비용	9,071	9,113
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (WZX) 	계전기 (WZX) 

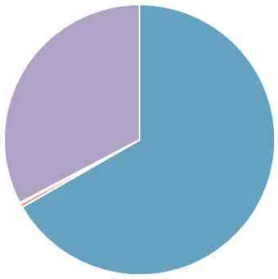
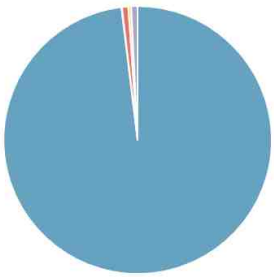
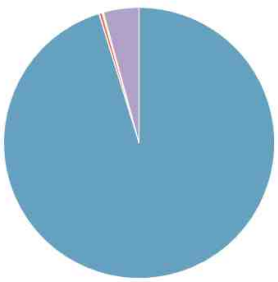
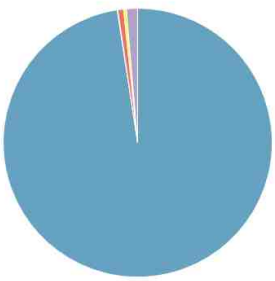
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	WUU	
총생애주기비용	15,827	15,442
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (WUU) 	계전기 (WUU) 
품 명	WVU	
총생애주기비용	32,803	19,893
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (WVU) 	계전기 (WVU) 

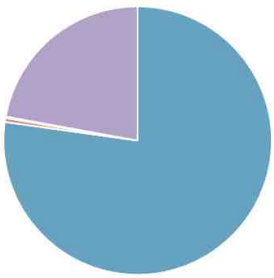
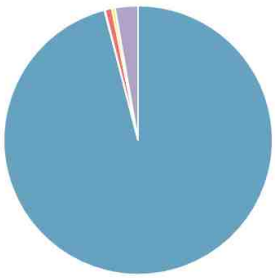
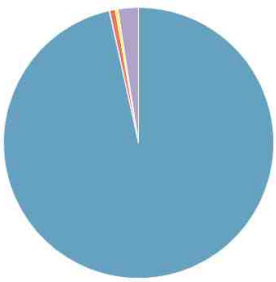
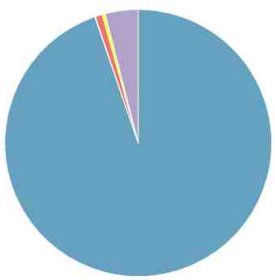
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	WWU	
총생애주기비용	5,213	5,059
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (WWU) 	계전기 (WWU) 
품 명	ZWY	
총생애주기비용	10,553	10,122
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (ZWY) 	계전기 (ZWY) 

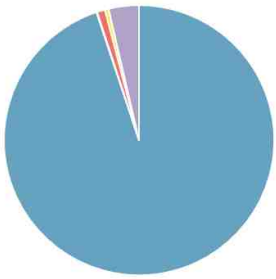
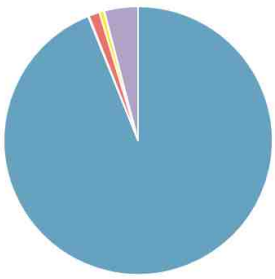
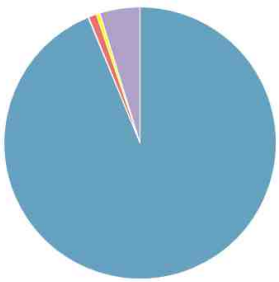
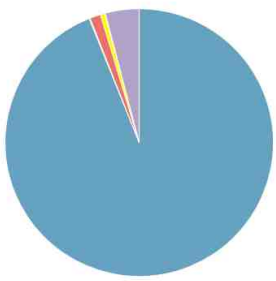
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	YWY	
총생애주기비용	15,544	15,188
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	계전기 (YWY) 	계전기 (YWY) 

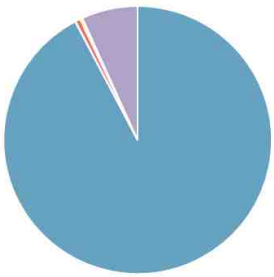
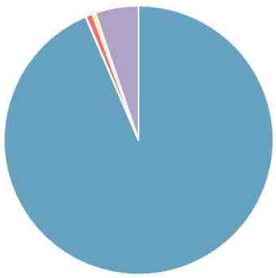
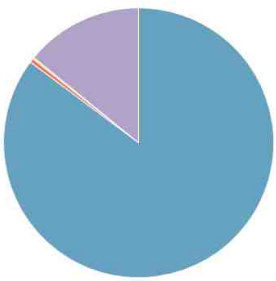
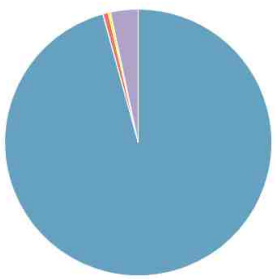
자) 추진제어장치 제어렉

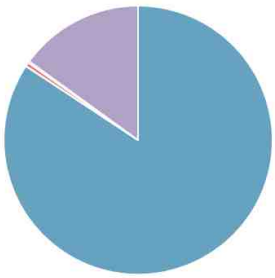
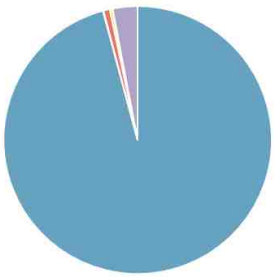
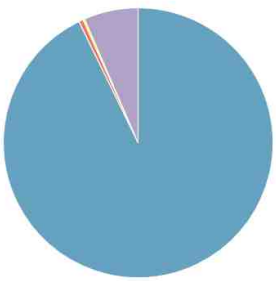
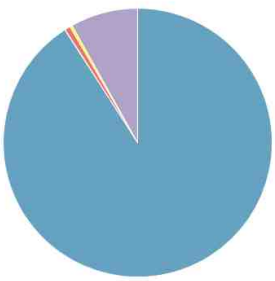
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CRVB	
총생애주기비용	511,474	249,136
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (CRVB) 	제어랙 (CRVB) 
품 명	AIT1	
총생애주기비용	239,136	168,547
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (AIT1) 	제어랙 (AIT1) 

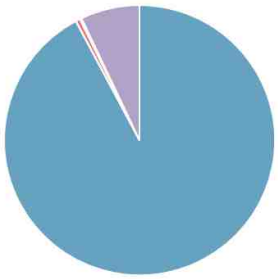
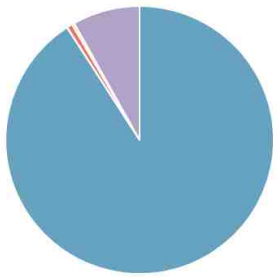
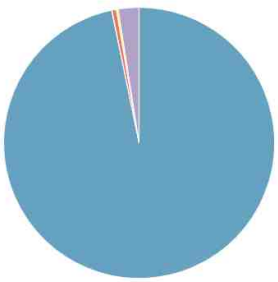
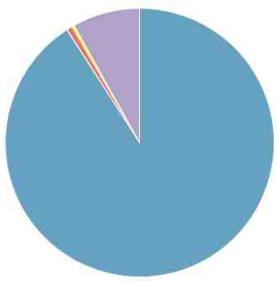
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	AIT4	
총생애주기비용	108,400	53,767
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (AIT4) 	제어랙 (AIT4) 
품 명	REDM	
총생애주기비용	113,812	58,337
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (REDM) 	제어랙 (REDM) 

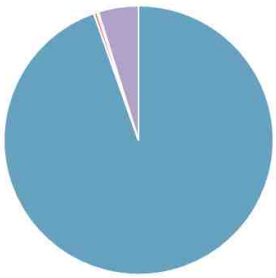
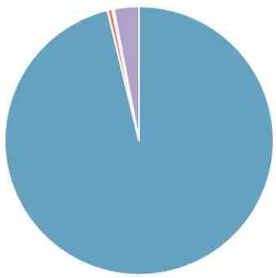
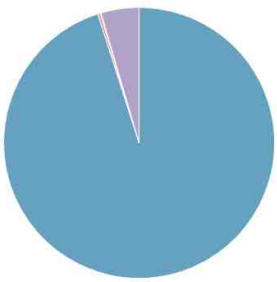
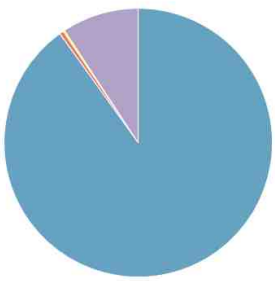
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CDJ	
총생애주기비용	98,144	49,099
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (CDJ) 	제어랙 (CDJ) 
품 명	ESB1	
총생애주기비용	60,978	48,860
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (ESB1) 	제어랙 (ESB1) 

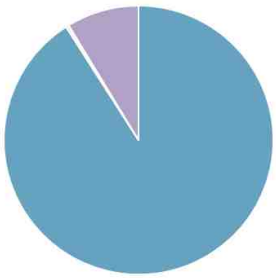
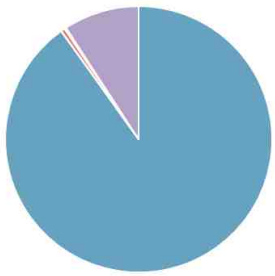
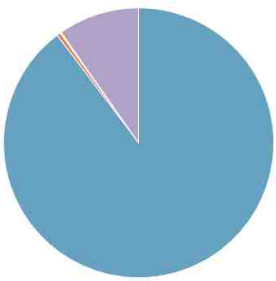
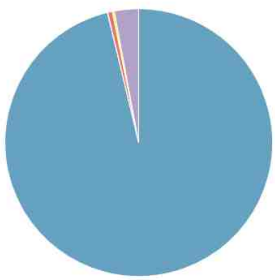
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	ESB2	
총생애주기비용	42,825	31,502
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (ESB2) 	제어랙 (ESB2) 
품 명	ESB3	
총생애주기비용	43,410	31,507
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (ESB3) 	제어랙 (ESB3) 

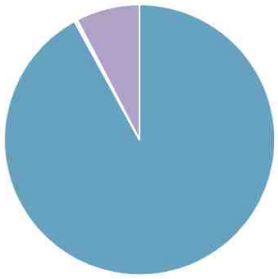
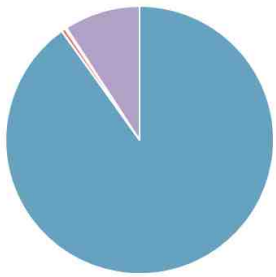
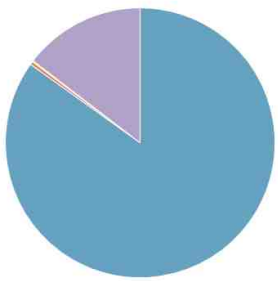
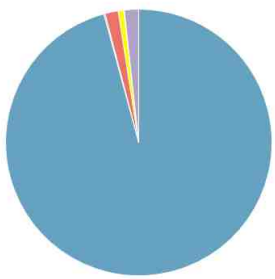
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	ISY	
총생애주기비용	132,599	102,044
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (ISY) 	제어랙 (ISY) 
품 명	IMON	
총생애주기비용	92,764	65,667
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (IMON) 	제어랙 (IMON) 

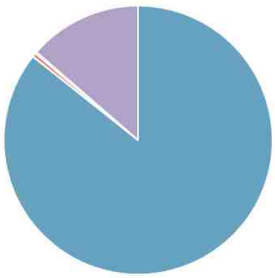
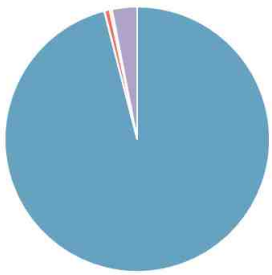
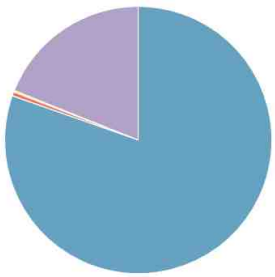
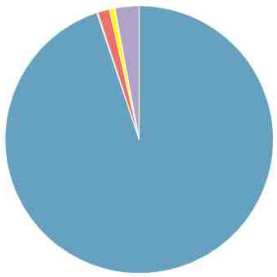
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	INCA	
총생애주기비용	92,142	53,813
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (INCA) 	제어랙 (INCA) 
품 명	ESL1	
총생애주기비용	83,685	63,206
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (ESL1) 	제어랙 (ESL1) 

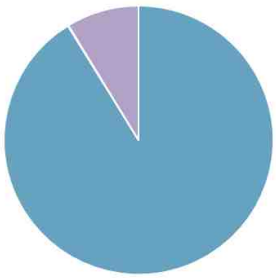
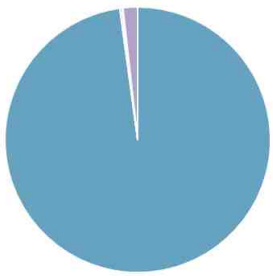
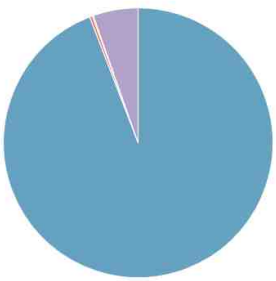
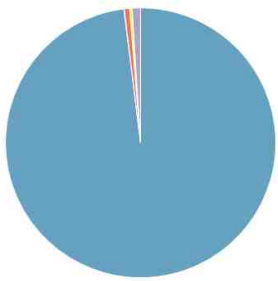
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	ESL2	
총생애주기비용	84,242	63,207
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 **(ESL2)** 	제어랙 **(ESL2)** 
품 명	ESL3	
총생애주기비용	79,787	63,200
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 **(ESL3)** 	제어랙 **(ESL3)** 

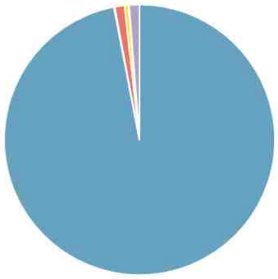
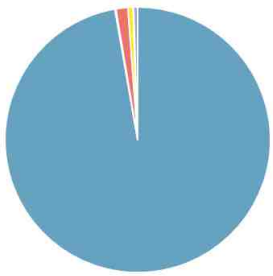
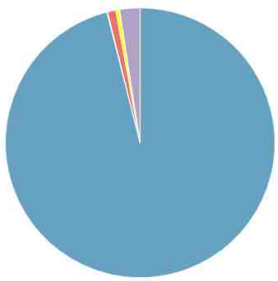
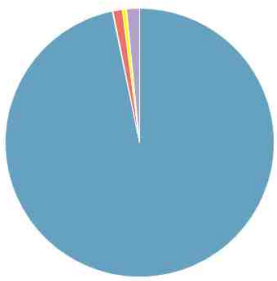
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	MV	
총생애주기비용	108,472	82,149
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (MV) 	제어랙 (MV) 
품 명	CAL3	
총생애주기비용	324,511	181,938
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (CAL3) 	제어랙 (CAL3) 

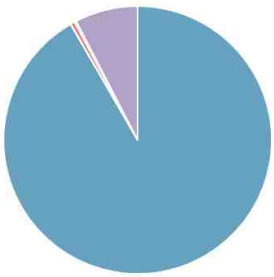
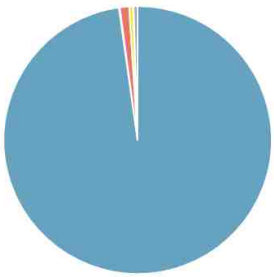
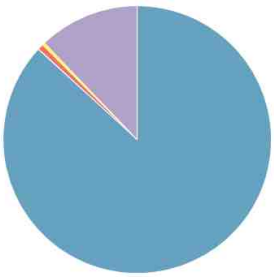
	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CAL2	
총생애주기비용	174,244	90,881
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (CAL2) 	제어랙 (CAL2) 
품 명	DIAL	
총생애주기비용	105,319	74,660
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (DIAL) 	제어랙 (DIAL) 

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	CAL1	
총생애주기비용	171,440	90,890
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (CAL1) 	제어랙 (CAL1) 
품 명	TDSV	
총생애주기비용	118,838	25,491
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (TDSV) 	제어랙 (TDSV) 

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	FCVV	
총생애주기비용	94,122	65,386
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (FCVV) 	제어랙 (FCVV) 
품 명	SVTB	
총생애주기비용	92,068	28,714
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (SVTB) 	제어랙 (ACOB) 

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	ASB	
총생애주기비용	680,674	167,973
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (ASB) 	제어랙 (ASB) 
품 명	B153	
총생애주기비용	136,519	65,024
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (B153) 	제어랙 (B153) 

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	BFAS	
총생애주기비용	35,149	28,069
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (BFAS) 	제어랙 (BFAS) 
품 명	IFPS	
총생애주기비용	41,575	36,789
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (IFPS) 	제어랙 (IFPS) 

	KTX 기존품	KTX 개발품
품 명	AG	
총생애주기비용	84,473	36,307
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (AG) 	제어랙 (AG) 
품 명	MAFV	
총생애주기비용	61,160	없음
범 례 재료비 LI GI FGI 운영비 고장정비비	제어랙 (MAFV) 	

2) 년도별 LCC 비교 분석

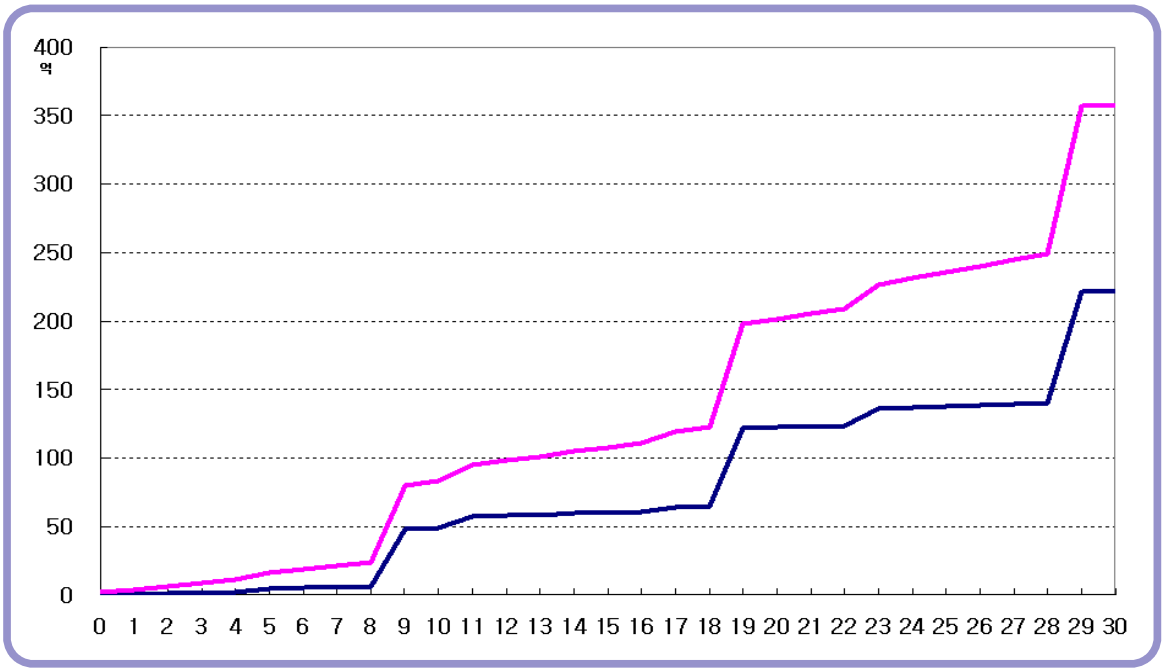


그림 247. KTX MB 년도별 LCC

표 85. KTX MB 내용연수

부 품 명	격자저항	송풍장치	스위치	변환장치	접촉기	콘덴서	계전기	제어렉
내용연수(년)	12	10	10	10	6	12	5	10

년도별 KTX 추진제어장치의 LCC를 분석해 보면 추진제어장치 사용 6년, 10년, 12년, 18년, 20년, 24년, 30년에서 유지관리비가 증가함을 볼 수 있다. 이는 추진제어장치의 부품들이 내용연수에 따라 교체가 이루어지기 때문이다. 특히 부품단가가 고가인 전력변환장치의 내용연수가 10년 주기이고 송풍장치 , 스위치 및 제어카드의 교체가 같이 이루어지기 때문에 내용연수 주기로 유지관리비가 크게 변화됨을 확인 할 수 있다.

또한, 유지관리비는 추진제어장치 사용년수에 따라 증가 추이를 보이고 있는데 이는 추진제어장치의 부품비 물가상승율 및 인건비 상승에 따른 것이다.

3) 부품별 LCC 비교 분석

표 86. KTX 추진제어장치 LCC

단위;천원

부 품 명	예방정비비		운영비		고장정비비		합 계
	금액	비율	금액	비율	금액	비율	
격자저항	913,080	97.14%	1,032	0.11%	25,878	2.75%	939,990
송풍장치	4,103,794	86.87%	305	0.01%	620,127	13.13%	4,724,226
스 위 치	229,861	97.57%	1,095	0.46%	4,642	1.97%	235,597
전력변환장치	7,981,998	99.12%	1,032	0.01%	70,225	0.87%	8,053,255
CMB접촉기	584,760	99.78%	188	0.03%	1,087	0.19%	586,034
TCP접촉기	1,008,858	99.82%	844	0.08%	1,025	0.10%	1,010,728
콘덴서	516,307	99.63%	1,032	0.20%	881	0.17%	518,220
계전기	380,995	99.01%	1,095	0.28%	2,710	0.70%	384,799
제어렉	3,668,663	95.73%	1,060	0.03%	162,575	4.24%	3,832,298

부품별 추진제어장치의 LCC를 분석해 보면 유지관리비 중 예방정비비의 비율이 가장 큰 것으로 확인된다. 하지만 KTX 운영 가동율을 유지하기 위한 유지보수비용이므로 LCC를 절감하기 위한 요소로는 반영될 수 없는 부분이다.

유지관리비 중 예방정비비를 제외한 부분에서 가장 큰 비율을 차지하는 비용은 고장정비비이다. 고장정비비는 KTX 운행 이후 부품 사용수를 파악하여 계산된 비용으로 정기적으로 교체되는 비용이 아닌 고장에 따라 부품을 교체한 비용이다. 이는 KTX LCC의 절감을 위해서 가장 중요한 요소로 분석된다. 고장정비비의 비율을 낮춤으로 KTX 추진제어장치 개발품의 LCC를 절감할 수 있다.

위의 표를 분석하면 유지관리비 중 고장정비비의 비율이 가장 높은 부품은 송풍장치로 13.13%를 차지하고, 다음으로 제어렉 4.24%, 마지막으로 격자저항 2.75%로 나타난다. 또한 금액으로 환산하여 볼 때 전력변환장치의 고장정비비가 620,127천원, 제어렉 162,575천원으로 KTX 추진제어장치 개발품의 유지관리비 22,104,067천원 중의 많은 부분을 차지하는 것을 확인할 수 있다.

이를 통해 KTX 추진제어장치 개발품의 LCC절감 요소를 분석하면 송풍장치, 제어렉의 고장정비비를 감소시키는 것이 가장 효과가 크다는 것을 확인할 수 있다.

라. 유지보수비용 절감 방안

1) 예방정비비 절감

예방정비비는 점검종별, 점검종목, 점검일수에 따라 발생 되는 비용으로 부품 교체주기에 함께 큰 폭으로 증가한다. 표에서 확인하여 보면 기존품 및 개발품의 예방정비비는 약 83.1%로 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 교체주기에 따른 부품 교체비의 차이에서 발생되는 부분으로 개발품의 부품단가가 약 80%로 절감되었기 때문이다. 이를 통해 예방정비비의 LCC를 낮추는 효과를 가져온다. 계전기는 개발품/기존품의 비율이 112.1%로 분석되었는데 이는 대량 구매에 따른 단가 하락의 영향으로 추정된다.

표 87. 예방정비비 분석

단위;천원

부 품 명	예방정비비				개발품/기존품
	기존품		개발품		
	금액	비율	금액	비율	비율
격자저항	913,080	89.31%	913,080	97.14%	100.0%
송풍장치	5,386,462	91.65%	4,103,794	86.87%	76.2%
스 위 치	283,013	87.10%	229,861	97.57%	81.2%
전력변환장치	9,942,681	59.62%	7,981,998	99.12%	80.3%
CMB접촉기	610,135	88.66%	584,760	99.78%	95.8%
TCP접촉기	1,673,516	61.67%	1,008,858	99.82%	60.3%
콘덴서	600,964	95.14%	516,307	99.63%	85.9%
계전기	339,724	84.55%	380,995	99.01%	112.1%
제어렉	6,503,403	88.62%	3,668,663	95.73%	56.4%

2) 고장정비비 절감

기존품의 고장정비비의 분석은 KTX 도입 이후 추진제어장치의 부품당 사용량 분석 자료(2008년 기준)와 유지보수지침서의 정기 소요량을 비교 정기 소요량 외에 사용 된 부품 수량을 파악하여 분석하였지만 개발품의 고장정비비의 분석은 개발품의 RAMS를 분석하여 각 부품의 고장율을 분석하여 고장정비비를 산출하였다. 기존품의 고장율이 4.7% ~ 40.37%에 비해 개발품의 고장율은 0.1% ~ 13.13%로 각 부품의 신뢰성이 높아지므로써 유지보수비용을 절감하는 데 가장 중요한 요소로 작용한다.

송풍장치의 경우 개발품/기존품의 비율이 높게 나타났는데 이는 개발품의 신뢰성이 기존품보다 높아지지 않은 부분으로써 차후 개발품에서는 신뢰성을 확보해야 할 것으로 판단된다.

표 88. 고장정비비 분석

단위;천원

부 품 명	고장정비비				개발품/기존품
	기존품		개발품		
	금액	비율	금액	비율	비율
격자저항	108,258	10.59%	25,878	2.75%	23.9%
송풍장치	490,623	8.35%	620,127	13.13%	126.4%
스 위 치	40,809	12.56%	4,642	1.97%	11.4%
전력변환장치	6,732,727	40.37%	70,225	0.87%	1.0%
CMB접촉기	77,818	11.31%	1,087	0.19%	1.4%
TCP접촉기	1,039,487	38.30%	1,025	0.10%	0.1%
콘덴서	29,677	4.70%	881	0.17%	3.0%
계전기	60,997	15.18%	2,710	0.70%	4.4%
제어렉	833,740	11.36%	162,575	4.24%	19.5%

제 6 절 연구개발 결과

본 연구는 기존 KTX의 추진제어장치(Motor Block)를 국산화 개발하는 과제로서 최신 반도체 소자를 이용하여 동등 이상의 성능을 갖는 추진제어장치를 개발하는데 목표가 있다.

개발을 위해 1, 2차년도에는 기존자료 분석, 추진제어장치 각 부품의 상세설계 및 검증, 시작품 제작 착수, 기존 추진제어장치의 LCC분석 등을 수행하였고, 3차년도에는 주요 구성품인 큐브류 및 외함에 대한 단품 시험을 진행하여 4차년도 보완사항을 도출하여 시제품에 대한 공장시험, 현차시험을 통하여 기능 및 성능을 확인하였고, 위탁기관을 통하여 LCC 분석 및 하드웨어 / 소프트웨어 관련한 RAMS 활동을 수행하였다. 주관연구기관으로 한국철도공사, 위탁연구기관은 한국철도대학,㈜모아소프트, 공동연구기관으로는 ㈜우진산전, 이경산전㈜가 함께 연구수행 하였다.

○ SE활동

공정관리를 위하여 1차년도에 작성한 WBS를 체계를 명확화 하여 장치별, 기능별로 WBS를 구성하여 각 기관에 공유하고 체계적인 연구개발이 될 수 있도록 하였다. 철도운영기관으로서 사용자요구조건이 적용되도록 조치하였고, 각 종 기술서(단품/조합/현차 시험절차서, 시험성적서, 시험보고서, 유지보수 매뉴얼 등) 검토와 현차시험 시 기술지원을 적극 지원하였다.

○ RAMS 적용 연구

RAMS는 크게 H/W, S/W로 분류되며 H/W RAMS적용을 위해 각 단품별 BOM 데이터를 정리하여 신뢰도 예측모델을 연구하였고 S/W RAMS적용을 위해 소프트웨어 요구사항 명세기준서 작성, 소프트웨어 설계명세서 작성, 소프트웨어 코드표준서 및 소프트웨어 시험계획서, 절차서, 결과서 등을 작성하였다.

○ 추진제어장치의 LCC 분석

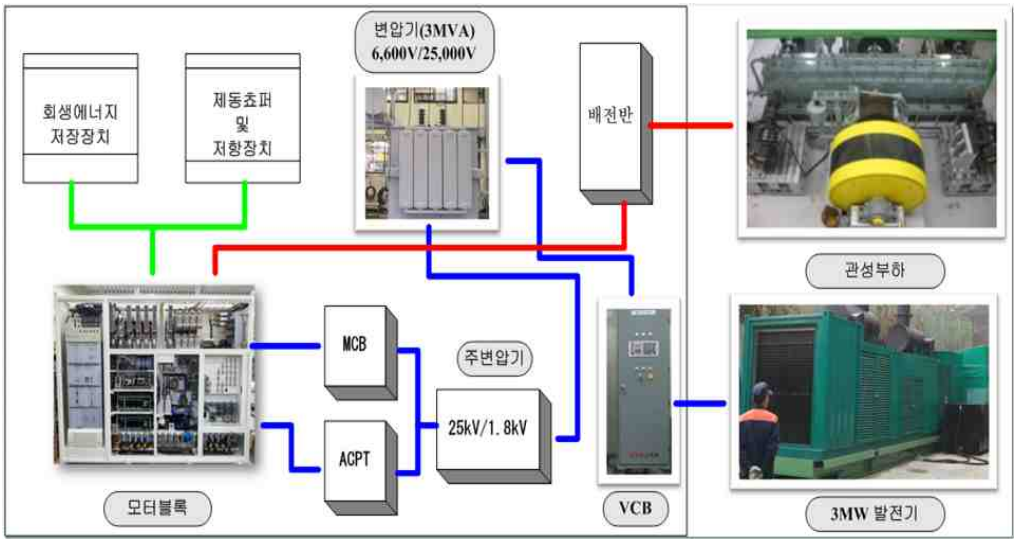
기존품 및 개발품의 KTX 추진제어장치의 LCC분석을 위해 비용평가모델 및 관계개발, LCC profile, 기존 KTX 추진제어장치의 LCC분석, LCC 절감을 위한 요소항목을 분석을 통하여 개발한 추진제어장치의 LCC 분석을 수행하였다.

○ 추진제어장치 큐브류 단품시험

보완된 큐브류 시제품에 대하여 제3자 철도차량전문검사기관 입회하에 단품시험을 진행하였고, 진동 및 환경시험은 외부 인증기관에서 진행하여 이상 없음을 확인하였다. 또한, 성능을 확인하기 위해 현차에 뷰브류 5종 7점(역률개선장치, 인버터 2, 컨버터 2, 여자초퍼, 제동초퍼)를 탑재하여 서울-부산(3,770㎞ 달성)을 주행하여 성능에 이상이 없음을 확인하였다.

○ **추진제어장치 공장(조합)시험**

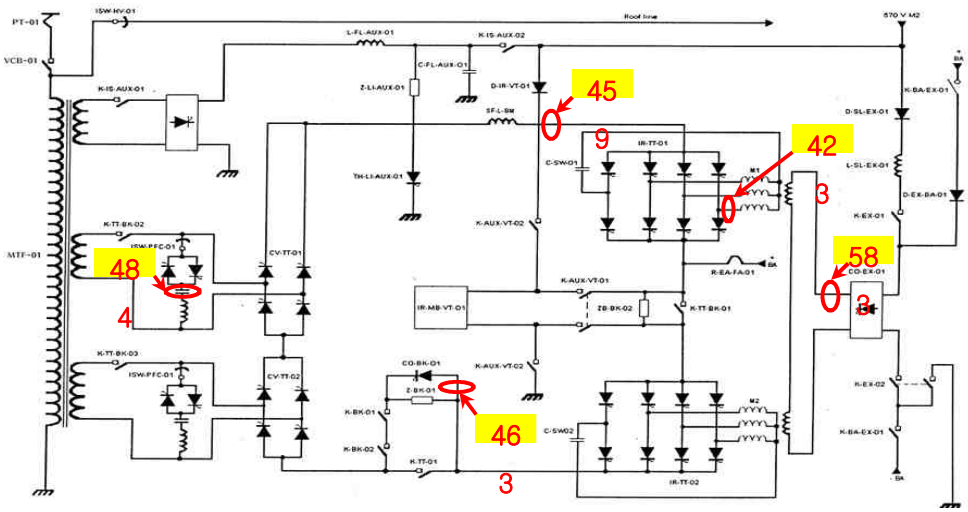
개발된 시제품에 대하여 공장에서 조합시험 설비를 구축하여 시험하였고, 성능을 확인 할 수 있는 시험 항목 및 절차서를 작성하여 철도전문 시험기관을 통하여 조합 시험을 진행하였다.



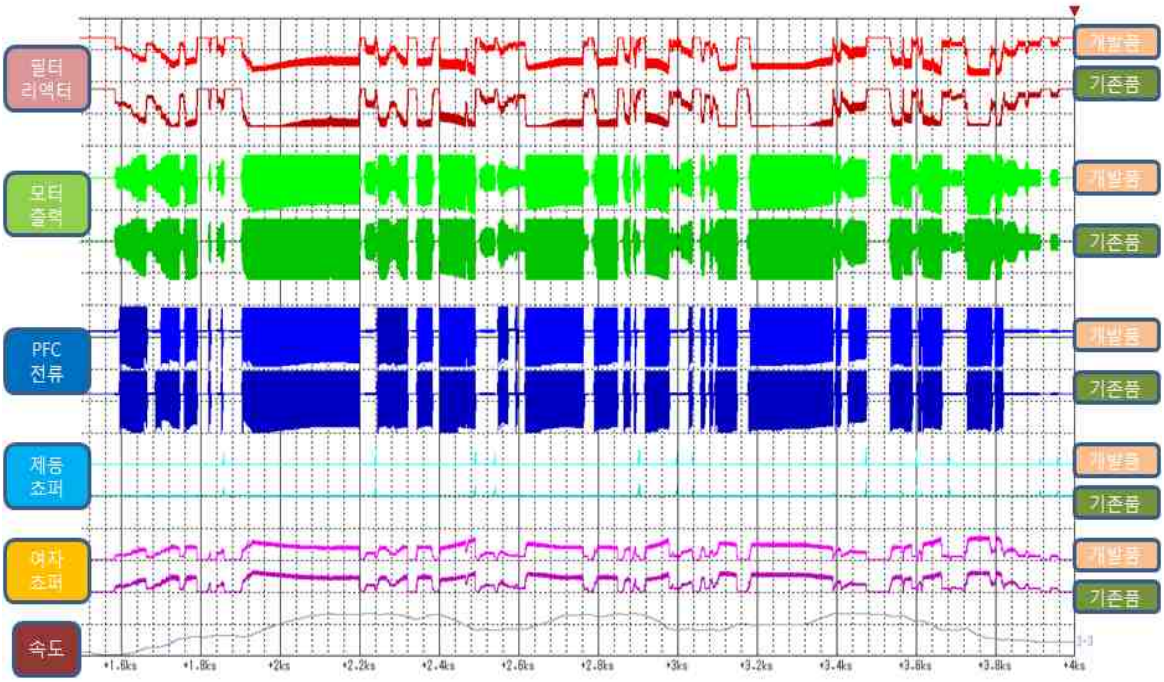
< 공장시험 개념도 >

○ **추진제어장치 현차(정적, 동적)시험**

개발 된 추진제어장치 조립체(제어기 제외)의 현차 시험 준비를 위하여 주요 구성품인 큐브류 5종 7점(역률개선장치, 인버터 2, 컨버터 2, 여자초퍼, 제동초퍼)에 대하여 현차 시험을 통하여 성능을 검증받았으며, 현차 시험은 크게 정적시험, 동적시험(구내시운전, 본선시운전)으로 구분하여 구성품별 성능을 확인하였다. 현차 시험을 통하여 기존품과 개발품의 성능 및 냉각성능을 비교 분석하였다. 시험결과 컨버터와 견인전동기쪽 전류센서의 사양이 틀린 것을 제외하고 성능이 이상 없음을 확인하였고, 센서는 기존품의 특성과 일치할 수 있도록 조치하였다.



< 현차 시험시 측정 개소(기존품과 개발품) >



< 기존품과 개발품의 출력파형 비교 >

(필터리액터, 모터출력, PFC, 여자초퍼, 제동초퍼, 속도)

○ 유지보수매뉴얼 작성

향후, 개발된 추진제어장치가 실용화가 되면 사용 될 유지보수매뉴얼을 작성하여 현차 고장시 응급조치 및 유지보수 지원을 위한 유지보수매뉴얼을 작성하였다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

1. 연차별 연구목표 달성도

가. 1차년도

일련번호	연구목표	세부추진 내용	달성도(%)
1	■ KTX 기존자료조사와 시스템 요구사항 조사 및 적절한 시스템 요구사항 선정	- 기존자료 조사 및 분석 - 사용자 요구조건 분석 - 고속철도차량에 대한 모터블록 자료 조사 - 고속철도차량에 대한 현차조사 및 I/F 자료조사 - 유지보수 개선안 검토 - 성능 측면에서의 요구조건 검토	100
2	■ 기존 서브시스템과의 I/F 검토 및 방안 연구	- 기존 서브시스템 검토 - 기존 서브시스템과의 인터페이스 방안연구	100
3	■ 기본설계 검토	- 운용 효율성 기본설계 검토	100
4	■ 수명주기비용 분석기법 자료 수집 및 조사	- 기존 참고문헌 조사 - PBS를 바탕으로 LCC 모든 요소, 주비용 범주 규명하여 합리적 수준의 비용범주 확립	100
5	■ 시스템 요구사항 선정	- 기존제품과 개발품의 호환성 검토 - 냉각장치의 용량 선정 및 사양 선정 - 추진 제어장치 서브시스템별 사양 선정 (컨버터, 인버터, MBU 등)	100
6	■ 시스템 기본설계	- 호환성 있는 BOX 외함 설계 및 제작 - 대용량 최신 반도체 소자 구동용 구동회로 설계 - 냉각장치의 시제품 설계 - 추진 제어장치 서브시스템별 설계 (컨버터, 인버터, MBU 등)	100
7	■ 인터페이스 설계	- 기존 서브시스템과의 인터페이스 검토 (H/W, S/W, 통신 I/F, MBU 등) - 제어용 인터페이스 및 시퀀스 회로설계	100
8	■ 기존장치 회생/여자 초퍼장치 자료조사	- KTX 기술이전 문헌조사 - 시뮬레이션을 통한 기존장치 전기특성 조사 - 기지내 검수자료 취합/조사 - 운행시 발생한 문제점 취합, 개선방향 조사 - 유지보수 문제사항 파악, 개선방향 조사	100
9	■ 추진제어장치 회생/여자 초퍼장치 기본설계	- 전류형 인버터 회생방안 도출 - 대용량 IGBT 회로 설계 - 회생전류제어를 위한 PWM 방법 도출 - 직렬구성에 의한 여자전류 제어방안 도출 - 여자전류제어를 위한 PWM 방법 도출	100
10	■ 인터페이스 자료조사	- 추진제어부 주제어회로와의 연결방법 도출 - ISO-Amp를 이용한 소신호레벨 조사 - 게이트 구동신호 특징파악 - 핸드쉐이크 신호 레벨 조사	100
11	■ 제어알고리즘 자료조사	- 여자전류제어에 의한 입력역률 제어방안 도출 - 운전영역별 여자전류, 약계자 구간 조사 - 조사 데이터로부터 여자전류 크기 결정을 위한 일반화식 도출	100

나. 2차년도

일련번호	연구목표	세부추진 내용	달성도(%)
1	■ 보호회로 및 모니터 장치간의 I/F 방안연구	- 보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 검토	100
2	■ 유지보수 체계기법 연구 및 상세설계 검증	- 유지보수 체계의 효율성 향상을 위한 유지보수 체계기법 조사 - 유지보수 체계의 효율성을 위한 상세설계 검증	100
3	■ 기존 추진제어장치의 LCC 분석	- LCC 절감을 위한 요소항목 도출 - 운행 중인 KTX 모터블록의 LCC 분석 수행	100
4	■ 시스템간 I/F 통합기술 연구 및 I/F 상세설계	- 시스템간 인터페이스 검토 - 시스템간 인터페이스 통합기술 연구 - 통신 인터페이스 검토 및 사양작성 - 통신 인터페이스 회로 설계 및 기능 구현 - 보호회로 및 모니터 장치간의 인터페이스 설계 - 시스템간 인터페이스 통합 기술 연구 - 주제어 장치와의 동기방식 정의 - 인터페이스 레벨 정의 - 하드웨어부분 설계	100
5	■ 주요부품 및 제어장치 상세설계	- 주회로 및 제어 회로 설계 - 냉각 장치 및 제어장치 상세 설계 - 보호회로 상세 설계 - 전압/전류 정격을 고려한 구동방안 설계 - IGBT를 적용한 드라이버 회로의 설계 - 과전압/과전류 보호동작 정의 - 스너버회로 상세설계	100
6	■ 제어알고리즘 설계	- 역률개선을 위한 컨버터제어 알고리즘 설계 - 견인전동기의 인버터제어 알고리즘 설계 - 알고리즘 설계에 따른 프로그램 코딩	100
7	■ 시제품 제작	- BOX 외함 제작 완료 - 요소부품 제작 (접촉기, 냉각유닛, 필터회로) - 최신 반도체소자 적용한 컨버터/인버터 장치 제작 - 인터페이스장치 제작	100
8	■ 신뢰성 향상 기술연구	- RAM 목표수립 및 Safety 목표수립 - RAM 분석 및 Safety 분석	100
9	■ 제어알고리즘 상세설계	- 동기전동기 최적제어를 위한 제어알고리즘 구현 - 제어소프트웨어 설계	100
10	■ 회생초퍼장치 상세설계, 시제품제작, TEST	- 설계결과를 반영한 시제품의 제작 - 기본시험 진행, 결과분석	100
11	■ 여자초퍼장치 상세설계, 시제품제작, TEST	- 설계결과를 반영한 시제품의 제작 - 기본시험 진행, 결과분석	100

다. 3차년도

일련번호	연구목표	세부추진 내용	달성도(%)
1	■ 시작품 단위부품별 기능시험, 성능시험 및 문제점 도출	- 시작품 단위부품별 기능시험, 성능시험 - 시험 분석 및 문제점 도출	100
2	■ 보완 시제품 설계검토 및 제작 (Controller, Unit)	- 현차 측정시험을 통한 Controller 및 Unit의 기능 및 성능조사 - 시작품 성능시험에 따른 시제품 보완 제작	100
3	■ 단위부품시험, 조합시험, 현차시험 계획서 및 절차서 작성	- 단위부품시험(Controller, Units) 절차서 작성 및 검토 - 조합시험(Motor Block) 절차서 작성 및 검토 - 현차시험(Motor Block) 절차서 작성 및 검토	100
4	■ 단위부품시험, 조합시험 및 문제점 도출	- 단위부품시험(Controller, Units : 외부기관 신뢰성 인증) - 추진제어장치 조합시험 및 성능 평가 - 시험결과 분석 및 문제점 도출	100
5	■ 통신 인터페이스 연구 (Controller)	- 통신 인터페이스 회로의 분석 및 코딩	100
6	■ 구동 알고리즘 연구(Unit)	- 동기전동기 구동 알고리즘 분석 및 코딩	100
7	■ 신뢰성 향상 기술 연구	- 추진제어장치 기존품/개발품 LCC 비교, 검토 및 유지보수비용 절감을 위한 방안 제시	100
8	■ RAMS 분석 및 검증환경 구축	- 하드웨어 신뢰도예측 모델 연구 - 하드웨어 FMEA 프로세스 구축 - 하드웨어 MPA 연구 및 적용방안 연구 - 소프트웨어 요구사항 명세 기준서 작성 - 소프트웨어 설계 명세 기준서 작성 - 소프트웨어 코드 표준서 작성	100
9	■ 정적시험(구내기동시험)	- 정적시험(구내기동시험) 및 문제점 도출	100

라. 4차년도

일련번호	연구목표	세부추진 내용	달성도(%)
1	■ **보완시제품 제작 및 조합시험** - 보완시제품 조합시험 (공인기관입회)	- 보완 시제품 제작 및 조합시험 완료 (철도검사전문기관 의뢰)	100%
2	■ **보완시제품 현차시험**(정적,동적) - 추진제어장치 현차 취부 - 보완시제품 정적,동적시험 (공인기관입회) - OBCS와의 I/F 통신시험	- 큐브류의 현차시험(정적, 동적) 진행 - OBCS와의 I/F 통신시험	80%
3	■ 내구주행시험을 통한 신뢰성 입증 -현차 주행시험을 통한 신뢰성 입증 (35,000km 또는 6개월 이상 주행시험) - 현차 주행시험 결과 분석 및 시험결과에 따른 기능보완	- 현차 주행 시험을 통한 신뢰성 확인 (1회 왕복: 서울-부산; 848㎞달성) - 현차 주행시험 결과 검토 및 조치 완료	20%
4	■ **RAMS적용연구 및 시험결과 검토** - 신뢰도 예측 BOM 템플릿 - FMEA 자료구조 템플릿 - FRACAS 운용개념 템플릿 - S/W 요구사항 명세서 템플릿 - S/W 설계 명세서 템플릿 - S/W 시험계획서 템플릿 - S/W 시험결과서 템플릿 - 신뢰도 예측 BOM 데이터 - FMEA 자료구조 보고서 - S/W 요구사항 명세서 - S/W 설계 명세서 - S/W 시험계획서 - S/W 시험결과서 - RAMS 분석보고서	- 신뢰도 예측 BOM 템플릿 - FMEA 자료구조 템플릿 - FRACAS 운용개념 템플릿 - S/W 요구사항 명세서 템플릿 - S/W 설계 명세서 템플릿 - S/W 시험계획서 템플릿 - S/W 시험결과서 템플릿 - 신뢰도 예측 BOM 데이터 - FMEA 자료구조 보고서 - S/W 요구사항 명세서 - S/W 설계 명세서 - S/W 시험계획서 - S/W 시험결과서 - RAMS 분석보고서	100%
5	■ **기술문서 작성 및** **유지보수매뉴얼 작성 및 검토** - 단품, 조합, 현차시험절차서 등 작성 및 검토 - 유지보수매뉴얼 작성 및 검토	- 단품시험절차서, 성적서, 보고서 작성 - 조합시험절차서, 성적서, 보고서 작성 - 현차시험절차서, 보고서 작성 - 유지보수매뉴얼 작성	100%

2. 연차별 성과지표 달성도

가. 1차년도

	세세부과제명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표	성과검증 기준				가중치 (%)
						목표수준		측정방법	달성율 (%)	
						목표치	달성치			
성과질적목표점검	1	시스템엔지니어링 기술개발	1-1	요구사항 정립	유지보수이력 수집분석	1매	1매	공정 및 실무회의	100	10
			1-2	WBS 정립	시스템 WBS, PBS작성	2건	2건	연차보고서	100	3
		수명주기비용 예측방안연구	1-3	LCC 분석 기본연구	기존품 고장이력분석	1매	1매	연차보고서	100	5
					KTX 추진제어장치 TBO 분석	1매	1매	연차보고서	100	5
					LCC 비용구조작성	1매	1매	연차보고서	100	5
	2	경부고속철도용 추진제어장치 기술개발	1-1	시스템 성능 요구사항 설계반영	장치 외함 설계	1매	1매	설계도면	100	10
					장치후레임 구조해석	1매	1매	시뮬레이션 결과 값	100	10
			1-2	시스템 기본설계	냉각장치 성능해석(안) 수립	1매	1매	설계서	100	7
					전력반도체 구동회로 설계	1매	1매	설계서	100	3
					인버터,컨버터 성능해석	1매	1매	설계서	100	5
					시스템통합 I/F 설계	1매	1매	설계서	100	5
	3	추진제어장치용 회생 / 여자 초퍼 기술개발	1-1	기본설계	제동 및 여자 초퍼 조사 분석	1매	1매	연구보고서	100	8
					제어 I/F 조사 분석	1매	1매	연구보고서	100	14
					IGBT 회로설계	2매	2매	회로도	100	10
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)									**100**

	사업연계지표	목표	목표건수	달성건수	**달성율 (%)**	가중치 (%)
양적지표점검		논문	2	3	100	15
		기본설계서 및 분석보고서	2	2	100	65
		S/W 등록건수	1	1	100	20
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)					**100**

나. 2차년도

	세세부과제명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표	성과검증 기준				가중치 (%)
						목표수준		측정방법	달성율 (%)	
						목표치	달성치			
성과질적목표점검	1	시스템엔지니어링 기술개발	1-1	시스템 인터페이스 통합기술개발	통신인터페이스 사양정의	1건	1건	현차시험	100	2
					유지보수 체계연구	1매	1매	연차보고서	100	2
		수명주기비용 예측방안연구	1-2	유지보수 체계기법 개발	LCC 절감 요소항목 도출	10건	10건	연차보고서	100	2
					LCC Profile 개발	1매	1매	연차보고서	100	2
	2	경부고속철도용 추진제어장치 기술개발	2-1	추진제어장치 상세설계	인버터 컨버터 상세설계	1매	1매	설계서	100	5
					주변장치 상세설계	1매	1매	설계서	100	5
					제어장치 상세설계	1매	1매	설계서	100	5
					통신인터페이스 상세설계	1매	1매	설계서	100	5
			2-2	시작품 제작	인버터 컨버터 제작	1건	1건	연차보고서	100	10
					주변장치 제작	1건	1건	연차보고서	100	10
			2-3	서브시스템 설계	서브시스템 인터페이스검증	1회	1회	연차보고서	100	7
			2-4	단품 시험	성능시험 성적서	1매	1매	연차보고서	100	10
	3	추진제어장치용 회생 / 여자 초퍼 기술개발	3-1	제동/여자초퍼 상세설계	보호회로/스너버회로 설계	1매	1매	시율f레이션 결과	100	10
					구동회로 상세설계	1매	1매	시율레이션 결과	100	5
					제어알고리즘 상세설계	1매	1매	시율레이션 결과	100	5
			3-2	시작품 제작	여자/제동초퍼 시작품제작	2건	2건	연차보고서	100	10
			3-3	단품 시험	성능시험 성적서	2매	2매	연차보고서	100	5
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)									**100**

	목표	목표건수	달성건수	달성율 (%)	가중치 (%)
양적지표점검	사업연계지표	논문	3	6	100	5
		상세설계서 및 해석보고서	5	7	100	80
		특허출원	2	2	100	15
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)					**100**

다. 3차년도

	세세부과제명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표		성과검증 기준				가중치 (%)
							목표수준		측정방법	달성율 (%)	
							목표치	달성치			
성과질적목표점검	1	시스템엔지니어링 기술개발	1-1	시험지원	단품시험 기술지원		1건	10건	시험절차서 검토 및 입회	100	2
					조합시험 기술지원		1건	2건	시험절차서 검토 및 입회	100	3
					현차(정적, 동적)시험 지원		1건	1건	시험절차서 검토 및 지원	100	6
		수명주기비용 예측방안연구	1-2	LCC 향상 방향 제시	기존품/개발품 LCC 비교		1건	1건	개발품 LCC 분석	100	3
					유지보수비용 절감방안 제시		1건	1건	고장률을 통한 MTBF 분석	100	3
		RAMS	1-3	신뢰도 검증	S/W 요구사항 명세 기준서		1건	1건	EN 50128 기준	100	2
					S/W 설계 명세 기준서		1건	1건	EN 50128 기준	100	2
					S/W 코드 표준서		1건	1건	EN 50128 기준	100	2
	2	경부고속철도용 추진제어장치 기술개발	2-1	시제품제작	제어장치	H/W	1건	1건	외부 인증시험 병행	100	9
						통신알고리즘	1매	1매	현차측정시험 및 자료분석	100	4
						제어알고리즘	1매	1매	현차측정시험 및 자료분석	100	4
					전력 변환장치	역률개선장치	1건	1건	기존품과 성능비교	100	4
						인버터	2건	2건	기존품과 성능비교	100	4
						컨버터	2건	2건	기존품과 성능비교	100	4
						송풍장치	1건	1건	기존품과 성능비교	100	1
						기타 전장품	1건	1건	기존품과 성능비교	100	1
			2-2	시험절차서	단품시험 절차서		1매	3매	주관기관과 검토협의	100	5
					큐브고압시험 절차서		1매	3매	주관기관과 검토협의	100	5
					조합시험 절차서		1매	1매	주관기관과 검토협의	100	5
			2-3	시험검증시험	단품시험 성적서		1매	5매	공장시험	100	5
					고압시험 성적서		1매	5매	주관기관 시험기활용	100	5
					조합시험 성적서		1매	1매	공장저압시험	100	5
	3	추진제어장치용 회생 / 여자 초퍼 기술개발	3-1	시제품제작	전력 변환장치	여자초퍼	1건	1건	기존품과 성능비교	100	4
						회생초퍼	1건	1건	기존품과 성능비교	100	4
			3-2	시험절차서	단품시험 절차서		1매	2매	주관기관과 검토협의	100	4
			3-3	시험검증시험	단품시험 성적서		1매	2매	주관기관과 검토협의	100	4
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)										100

	목표	목표건수	달성건수	달성율 (%)	가중치 (%)
양적지표점검	논문	5	7	100	10
	기술문서(시험절차서, 시험성적서 등)	3	22	100	80
	특허출원	1	1	100	10
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)				100

라. 4차년도

	세세부과제명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표	성과검증 기준				가중치 (%)
						목표수준		측정방법	달성율 (%)	
						목표치	달성치			
성과질적목표점검	1	시스템엔지니어링 기술개발	1-1	시험지원	시험 계획서	2건	2건	시험인원 및 계획 정립	100	2
					조합시험 지원	1건	2건	절차서 검토 및 시험지원	100	3
					현차시험 지원	1건	5건	절차서 검토 및 시험지원	80	3
					내구주행시험 지원	1건	1건	6개월 또는 35,000만km	20	5
					최종보고서 작성	1매	1매	최종보고서	100	2
		RAMS	1-3	신뢰도 검증	H/W의 RAMS 분석	6건	6건	RAMS 분석보고서	100	3
					S/W의 RAMS 적용	7건	7건	RAMS 분석보고서	100	5
	2	경부고속철도용 추진제어장치 기술개발	2-1	시험절차서	조합시험 절차서	1매	1매	주관기관과 검토협의	100	5
					현차시험 절차서	1매	1매	주관기관과 검토협의	100	5
					내구주행시험 절차서	1매	1매	주관기관과 검토협의	100	5
			2-2	성능평가	조합시험 성적서	1매	1매	기존품과 성능비교	100	10
					현차시험 보고서	1매	3매	기존품과 성능비교	100	10
					내구주행시험 보고서	1매	1매	6개월 또는 35,000만km	20	30
			2-3	매뉴얼	유지보수매뉴얼	1매	1매	유지보수매뉴얼 작성	100	2
	3	추진제어장치용 회생 / 여자 초퍼 기술개발	3-1	성능평가	조합시험 지원	1건	1건	시험 및 보고서 작성지원	100	3
					현차시험 지원	1건	1건	시험 및 보고서 작성지원	100	3
					내구주행시험 지원	1건	건	6개월 또는 35,000만km	20	3
			3-2	매뉴얼	유지보수매뉴얼	1매	1매	유지보수매뉴얼 작성	100	1
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)									100

		목표	목표건수	달성건수	달성율 (%)	가중치 (%)
양적지표점검	사업연계지표	논문	3	3	100	5
		기술문서(시험절차서, 시험성적서 등)	6	9	100	80
		특허출원	1	0	0	15
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)					100

3. 연차별 연구수행내용 요약

본 연구는 실용화를 목표로 연구 수행하는 과제로써 연차별 연구수행 결과는 다음과 같다.

<1차년도>

1차년도 연구목표는 사용자 요구 조건을 분석 정리하고, 각 장치간 인터페이스 설계검토 및 방안에 대하여 연구하고「KTX 추진제어장치(Motor Block)」주요 모듈에 대하여 사양결정 및 일부 장치들에 대하여 시뮬레이션을 통해 기본 설계하였으며, LCC 분석을 위한 기초연구를 수행하고 필요한 자료 및 요소기술을 정립하였다.

<2차년도>

2차년도에서는 외부장치와 인터페이스 확보를 위한 통신 프로토콜 분석하였고, 상세 송수신 데이터 분석을 통하여 기존 시스템과 개발품간 상호 호환될 수 있도록 상세설계에 반영하였다. 또한, 사용자요구조건을 상세설계에 반영하여 역률개선장치, 컨버터장치, 인버터 장치, 여자초퍼, 제동초퍼의 상세 설계 및 시작품을 제작하고, 주요 유니트 품목의 시험(안)을 도출하였다.

시작품의 신뢰성 검증을 위한 RAMS 연구를 수행하였고, LCC 분석을 위한 기초 데이터를 수집하여 LCC 절감을 위한 요소항목을 정립하였다.

<3차년도>

3차년도에는 제작한 시작품의 기능시험 및 사용자 요구조건을 추가로 반영하여 설계보완하고 시제품을 제작하였으며, 유니트 및 조립체에 대한 주요 기능품에 대하여 기능시험, 성능검증을 완료하였으며, 제어회로 기능 및 초퍼 장치와의 조합시험을 진행하였다. 또한, 모터블록 구성품 중 주요장치인 컨버터, 역률개선, 인버터, 여자초퍼, 제동초퍼 장치에 대하여는 기존품과 호환성 검증을 위하여 고압시험을 완료하여 단품별 현차시험 대기중이며, 조립체에 대한 조합시험도 병행하여 준비 하였다.

<4차년도>

4차년도에는 모터블록 조립체 및 주요부품에대한 신뢰성을 확인할 수 있는 시험이 연구개발의 주요 내용이다. 주요단품인 큐브류(인버터, 역률개선장치, 컨버터, 여자초퍼, 제동초퍼)에대한 3자 공인기관 입회하에 단품시험을 완료하고 현차에 탑재하여 주행시험을 실시하였다. 시험결과는 컨버터의 냉매가 누유 외에 정상작동함을 확인하였다.

모터블록의 조립체에 대해서는 3차 공인기관 입회하에 관성부하장치를 이용한 공장내 조합시험(200㎞/h)을 완료하고 현차에 탑재하여 주행시험을 실시하였다. 주행시험은 검증이 끝나지 않은 제어기가 제외되었고 시험결과는 컨버터 및 견인전동기쪽 센서사양 불일치 외에 정상작동함을 확인 하였다.

또한 H/W, S/W RAMS 연구수행을 통해, 분석내용을 근거로 신뢰성을 향상시키는 방안을 도출하고, LCC 자료의 점검 주기 선정시 RAMS 자료를 활용하였다.

당초 계획한 연구 내용을 질적, 양적으로 충실하게 목표를 달성하려 노력하였으나. 제어장치(MBU)의 성능 검증 어려움으로 향후 지속적인 연구 및 검증 절차 요구됨.

제 2 절 관련분야 기여도

고속철도차량용(KTX) 추진제어장치의 국산화개발로 단기적으로는 추진제어장치 수입품을 대체할 수 있을 것이고 장기적으로는 전력제어분야의 설계기술 및 생산기술 등 원천기술의 확보를 통한 부품산업 활성화 등으로 기초산업 기술 구축 및 관련 연구기관 및 연구 인력의 질적 향상으로 철도산업기술에 기여 할 것이다.

추진제어장치의 분석 및 신뢰성입증을 위한 각종 시험에서 얻는 데이터는 실용화단계에서 추진제어장치의 유지보수 운영에 활용될 수 있으며, 개발기간동안 수행하게 될 유지보수 및 정비를 통해 유지보수 체계를 구축하고, 실용화 단계에서 이를 활용함으로써 보다 경제적이고 효율적인 운영이 가능함은 물론 향후 신규차량 설계, 제작 및 고속철도 사업의 기반기술에 기여 할 것이다.

고속철도차량용(KTX) 추진제어장치의 국산화개발 중 참여 기업이 확보한 기술 주요기술은 다음과 같다. ①국내 최초로 대용량 전류형 PWM 컨버터 제어기술 적용 및 전류형 동기전동기 제어용 인버터 제어기술을 확보, ②최신반도체(IGBT) 소자를 활용한 여자초퍼/제동초퍼 제어기술 확보, ③냉매 침적식 / 히트파이프 공랭식을 이용한 전력장치 냉각 기술 확보, ④전력반도체소자(IGBT, Thyristor 등) 구동회로 및 보호회로 구술 확보, ⑤LCC 분석 및 RAMS 분석 자료의 축적 등이 있다. 이러한 기술은 철도관련 업계에 기술력 향상에 큰 도움이 되었다고 판단되며 이와 관련하여 연구논문을 발표하여 학술발전에도 일부 기여하였다.

제 5 장 연구개발결과 활용계획

제 1 절 연구개발결과 활용계획

1. 전력변환장치부

본 과제의 연구개발 대상인 KTX 추진제어장치 인 모터블록은 현재 국내에서 운영되고있는 KTX 46편성에 각 6대가 탑재되어 운용되고 있다. 모터블록의 주요 구성품으로 나누어 보면 다음과 같다.

제어기(Motor Block Unit), 컨버터장치, 인버터장치, 여자초퍼장치, 제동초퍼장치, 역율개선장치, 격자저항기, 송풍전동기, 계전기 류, 계기용 변류기 및 변압기형 센서류, 대전력용 접촉기류, 그 외 케패시터 등 부품류, 그리고 약 3.8톤의 무게를 지탱하면서 진동에 견딜 수 있는 프레임으로 구성되어있다.

본 과제에서 최종 목표는 이러한 모터블록 조립품에 대하여 기존품과 1 : 1 호환 가능할 수 있도록 개발하는 것을 목표로 하였으나, 운용사인 코레일의 입장에서는 각 구성품 단품별 호완을 요구하였고 이에 맞추어서 개발하게 되었다.

이에 따라 모터블록 구성품 각각에 대하여 모듈별 호환 가능하도록 개발하게되었다. 향후 운영사에서는 모터블록 조립체 뿐만 아니라 각 구성품별 유지보수에 활용 가능할 것으로 사료된다.

프랑스 SNCF에서 모터블록 주요 구성품에 TBO 주기를 제시한 자료가 있고 이에 맞추어서 유지보수에 활용되고, 우리나라 운영환경에 따라 수명주기가 빠르게 도달하는 구성품 대치용으로 활용될 예정이다.



< 추진제어장치 전면부 >



< 추진제어장치 후면부 >

2. 제어장치부

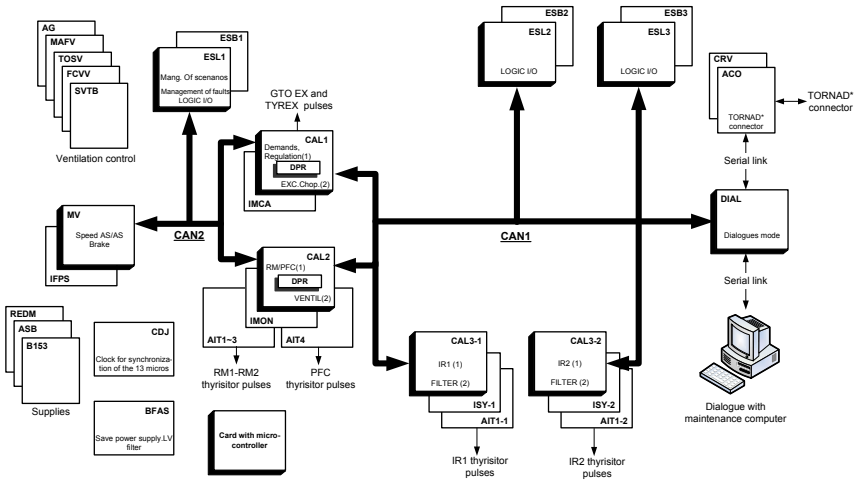
추진제어용 제어장치(MBU)는 전류 동기기를 제어, 견인 요구 처리, 전기 제동력의 조절, 공전 활주 방지 제어 기능, 인터페이스를 기능을 수행하는 장치이다.

제어장치 내부 신호 처리 방식은 CAN(Controller Area Network) 통신을 적용하므로서 프로세서간 통신의 간략화를 통한 경제적인 설계와 안정적인 네트워크 구현하였다.

또한 제어장치는 기존 제어장치와의 기능 호환을 고려하여 설계, 제작 되어 MBU 단품으로 기존품 대체 가능하다. 공장 시험으로 기존품과 개발품의 기능 비교하는 시험을 수행하여 전류 동기기의 제어 특성을 확인 하였다.



< 제어장치 >



< 제어 기능 블럭도 >

제어장치의 통신인터페이스 확인 및 현차 적용을 통한 기존품과의 기능 호환 검증 절차를 수행 후 신뢰성 검증을 위한 현차 적용시험을 수행할 계획이다.

3. 큐브류(인버터, 컨버터, 역률개선장치, 여자초퍼, 제동초퍼)

추진제어장치(모터블록) 국산화개발 연구 과제를 통하여 개발된 추진제어장치의 주요 구성품인 큐브류에 대하여 부품 단위로 현차 시험을 통하여 성능을 확인하였다.

큐브는 크게 인버터 장치, 컨버터 장치, 역율개선장치, 여자초퍼 장치, 제동초퍼 장치로 구성되어 있으며, 큐브류 개발은 단품 호환성을 확보하기 위하여 별도로 공장시험, 조합시험, 고압시험등을 단계적 검증을 받았으며, 현차 적용을 통하여 성능을 확인하였다.



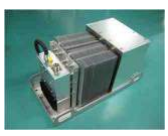
< 컨버터장치 >



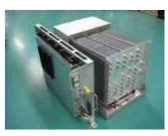
< 인버터장치 >



< 역률개선장치 >



< 여자초퍼장치 >



< 제동초퍼장치 >

큐브류는 기존 제품 수선 작업을 통하여 운영 및 보수품으로 활용될 가능성이 높으며, 이 번 국산화 개발을 통하여 유지보수 비용의 절감 효과가 클 것으로 개대하고 있다.

제 2 절 기대성과 및 파급효과

1. 기술적인 측면

관련 국내기술 확보를 위하여 최신 전력용 반도체 소자를 사용하고 이에 따른 최적의 냉각 방식을 이용한 전류형 인버터 등 주전력변환장치 개발 그리고 차량인터페이스 기술개발을 통해 고속철도차량 제어기술을 확보하여 다양한 고객요구 조건을 충족할 수 있으며, 기존의 GTO 소자를 이용한 동기전동기 구동제어 방식을 대용량 IGBT와 같은 최신반도체 소자를 적용한 추진제어장치를 개발함으로서 국내 기술을 이용한 다양한 시스템 기술 개발력을 확보할 수 있다. 또한 시험평가를 통해 철도차량 전력변환장치의 신뢰도평가의 질적향상을 기대할수 있고 현차시험을 통해 기존장치와 개발품의 인터페이스 동기화 기술력이 확보될 것이라 판단된다. 또한 LCC 예측방안 연구뿐만 아니라 RAMS 연구를 통하여 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성 데이터를 확보하여 관련분야의 신뢰성 확보에 응용이 가능할 것으로 기대된다.

2. 경제·산업적인 측면

지속적으로 증가하는 고속철도차량(KTX)의 유지보수 비용증가 시점에 국산화 개발을 함으로서 유지보수 비용을 절감하고 운용측면에서 계획보수에 대한 제안을 통하여 운용의 효율성을 증대할 수 있다. 또한 동일 제품에 대한 기술력 확보를 통해 필요시 수입 가격 상승을 억제할 수 있으며, 국내 전문 산업체를 활용함으로서 중소기업 경제 활성화를 유도할 수 있을 뿐만 아니라 현재 운행 중이거나 운행 예정인 KTX, KTX-Ⅱ 차량 등 다양한 고속철도차량에 대한 추진제어장치의 부품을 공급할 수 있게 함으로서 중소기업의 지속적인 일자리 창출도 기대할 수 있고, KTX 추진제어장치를 운행하는데 있어 주요 단품의 단종 등으로 인해 고속철도차량을 현재와 같이 계속 사용할 경우 안전에 큰 문제가 발생할 뿐만 아니라 유지보수비용이 급격히 증가하고 있는 추세로 외화유출이 증가하고 있다. 따라서 KTX 추진제어장치 국산화 개발에 있어 LCC 분석을 통해 비용절감을 이끌어 낼 수 있는 요소항목을 도출함으로서 향후 고속철도차량 추진제어장치에 대한 경쟁력 확보가 이루어질 것이다. 또한 노후한 차량의 잔존수명을 결정하는데 차량의 안전성 측면에서 추진제어장치인 경우 직접적 영향을 미치게 되고 경제성 측면에서 추진제어장치의 노후화로 인한 부품의 수선이나 소모품의 교환이 잦아짐에 따라 유지보수 비용이 증가하므로 이러한 유지보수 비용에 지배적인 비중을 차지하는 항목들이 경제적 측면의 고려대상이 된다.

3. 사회·문화적인 측면

철도차량의 대용량 추진시스템의 구축을 통한 고속철도차량 기술개발의 활성화가 예상되고, 국산화를 통한 신뢰성 확보에 기여할 것으로 기대된다. 본 사업을 통한 KTX 고속철도차량의 추진제어장치 국산화는 국내 고속철도차량의 추진제어 시스템의 원천기술을 확보하여 국내·외 철도차량 제작기술의 위상이 높아질 것이다. 최근 고속철도차량(KTX)의 유지보수 비용이 증가 추세에 있어 추진제어장치의 국산화는 유지보수 비용의 절감으로 이어질 것이며 이는 소비자의 교통비용 상승을 억제할 수 있는 바탕이 될 것이다. 또한 안정된 차량운행과 운영효율성을 증대시키고 무형적으로는 고속차량을 이용하는 국민들에게 보다 많은 편익을 제공함으로서 공익성을 확보할 수 있을 것으로 본다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

제 1 절 동력분산, 동력집중

1. 동력집중식과 동력분산식의 상세비교

가. 개 요

동력 분산 방식의 신칸센 열차와 집중 방식에 가까운 프랑스와 독일의 고속열차 TGV와 ICE를 비교하여 서술한다. 일본에서 신칸센의 설계는 1940년 쯤에 본격화 되었으며 일부는 공사에 착수 되었다. 그 당시의 설계에서 열차는 기관차 견인 열차 이었다. 1950년대에 이르러 토카이도 본선의 운송력 부족 대책으로써 표준 궤간의 별도 신선 건설이 정해졌다. 차량에는 이전부터 개발이 진행 되어진 전철 열차 방식이 선정 되었다.
신칸센에 동력 분산 방식의 전철 열차가 선정 되어진 주된 이유는 다음과 같다.

① 화산국인 일본의 연약한 지반에 대응하여 구조물의 건설비를 절감하기 위하여 축중을 경감 할 필요가 있다.
② 비교적 역간 거리가 짧은 토카이 본선에서는 가속 · 감속이 반복되어지기 때문에 전 차량에서 전기 브레이크를 사용하는 것이 보수 작업의 절감을 위해 필요 하였다.

< 고속열차의 정격 출력 비교 (LVR.1992.4.23. 외)>

고속열차	300계 일본	TGV-A 프랑스	ICE 독일	ETR 450 이탈리아	AVE 스페인	KTX 한국
영업개시	1964	1981	1991	1988	1992	2004
영업속도 (km/h)	270	300	250	250	250	300
편성	10M6T	2M10T	2M14T	8M0T	2M8T	4M16T
정격출력 (kW)	12000	8800	9500	4700	8800	
정원(명)	1321	480	759	344	329	935
정원당 (kW)	9.08	18.33	12.52	13.66	26.75	
편성가격 (mF)	160	80	170	110	2937mP	
정원당 (mF)	0.12	0.16	0.22	0.32	8.92mP	

F는 프랑스 통화, P는 스페인 통화, AVE의 테마는 R.G.I. 1992.4
추가로 동력분산 방식에는 다음과 같은 장점이 있다.

① 가속시에 점착력을 충분하게 활용 할 수 있다.
② 경(輕)축중은 궤도 보수량을 줄이며 환경 진동을 줄인다.
③ 동력장치가 소용량이므로 차량 축중이 적으며 스프링 하질량이 작아지기 때문에 궤도 보수량이 줄어든다.
④ 축 거리가 짧기 때문에 대차의 회전 관성이 작아지며 레일 쪽으로 횡압이 감소하여 승차감이 향상한다.
⑤ 구동장치는 간단한 구조의 대차장가(대차취부)로 충분하다.
⑥ 선구조건, 운전조건에 따라서 전동차와 부수 차량의 비를 자유롭게 바꿀 수 있어 경제적이다.
⑦ 각 동력장치는 소용량이므로 동력장치를 차량의 바닥 아래에 설치 할 수 있으며 차량 내부가 유효하게 활용 할 수 있다.
⑧ 열차장(長)은 수요에 따라서 바꿀 수 있다. 동력차 부분만큼 열차장이 짧아지며 역사의 승강장이 짧게 된다.
⑨ 장치가 다중계이므로 고장의 영향이 전체 편성으로 보아 줄어든다.
⑩ 전기 브레이크가 자주 사용되며 활주(Skid)도 적다.

한편, 동력 집중 방식은 일반적으로 다음과 같은 장점이 있다.

① 동력장치의 집약화로 열차의 가격 절감이 가능하다.
② 차량 보수의 경비가 경감 할 수 있다.
③ 각 차량에 동력 장치가 없기 때문에 진동 · 소음이 적어 승차감이 좋아진다.
④ 열차 전체의 질량이 가벼워 에너지를 절약한다.

그러나, 전력용 반도체의 활용과 교류 주전동기로의 전환에 따라 이전부터 유리한 점도 현재로는 동력분산식에 뒤떨어지는 현실로 변화되어 가고 있다.
또한, 동력 집중식의 큰 축중, 점착력의 부족, 기계 브레이크의 상용, 궤도 보수비 증가 등이 한층 더욱더 고속화와 함께 단점이 두드러졌다. 특히 노반이 연약하고 급곡선이 많은 선구에서 동력집중식은 두드러지게 궤도를 열화(劣化) 시킨다.

일본의 신칸센 개업에 자극 되어 프랑스 국철(SNCF)과 독일 국철 (DB)은 이전부터 상용해온 최고속도를 160km/h로 향상시켰다. 단 전통적인 기관차 견인방식으로 운행하였다. 지반이 강고한 유럽 대륙 (특히 프랑스) 에서는 기관차의 큰 축중이 허용되었지만 어느 정도의 궤도의 열화는 피하기 어려우며 독일에서는 200km/h 운전을 중지하지 않을 수 없었다.
1955년 프랑스에서는 331km/h의 주행시험 결과로부터 기관차의 고속 운전은 궤도 파괴를 초래하는 것을 충분히 알고 있었다.

SNCF와 DB는 최고속도 200km 이상의 고속열차를 설계 할 쯤에 기관차 견인 방식이 아닌 동력분산에 가까운 동력차에 의한 푸시플 방식을 채용 하였다. 프랑스의 TGV 남동선에서는 6M7T 로, ICE도 전후 2량을 전동차로 하여 동력집중과 분산의 중간으로 운행하고 있다. TGV에서는 축중을 17t까지 경감 하는 것은 성공하였지만 독일은 19t으로 밖에 경감 할 수가 없었다. 그래도 축중은 기관차의 20~22t에 비해서 대폭으로 경량화 되었다.

또한, 유럽에서도 화산국인 이탈리아 국철에서는 ETR 450형의 고속열차를 동력분산 방식으로써 축중 12.5t으로 하고 있다. 고속열차용 신(新)선을 달리는 고속열차 ETR 500에서는 기관차 방식으로 축중은 18t으로 제한하여 전후 2량으로 분산하고 있다.

일본의 신칸센 전철에서도 100계는 차량가격을 저감하여 열차 질량을 경감하기 위해 부수차량 4량을 편성으로 넣고 있다. 게다가 300계에서는 6량의 부수 차량을 넣거나 하는 등의 경향은 동력집중의 방향이라고 부를 수 있다. 그러나 중력이 집중하는 경향에 있어서도 전동차의 질량을 크게 하지 않고 장치의 일부를 부수 차량에 분산하는 것으로 각 차량의 축중을 대폭 경감하고 있다.

그러나 300km/h 급으로 속도 향상을 하는 경우에는 점착 계수가 저하되기 때문에 동축의 수량 증가가 필요하다. JR 니시니혼의 500계는 전체가 전동차 편성이다. 험난한 구배가 있는 호쿠리꾸 신칸센과 큐슈 신칸센에서는 전동차의 비율을 높게 하고 있다.

1998년쯤부터 제조되어지고 있는 세계의 고속열차는 동력분산 방식이 주류로 되어있다. 이미 독일에서는 ICE3을 JR 토우카이의 300계와 같은 MT편성의 전철 열차로 양산하고 2000년 가을부터 영업운전에 들어가 2002년부터 300km/h의 고속운전을 시작하고 있다. 이것은 유럽 연합이 고속 열차의 축중을 17t이하로 결정한 것에 대응하고 축중을 14~15t로 경감하여 유럽 각지로의 운전 가능과 함께 퀼른선의 급구배를 고속운전 하기 위함이다.

또한, 프랑스에서도 고속전철 열차 AGV (Automotri-ce a Grande Vitesse)의 시험을 실시하고 있다.

1999년에는 대만의 고속철도에서 유럽연합은 기관차 방식을 제안 했었지만 대만은 전철 방식을 선택했다.

이러한 경향으로 볼 때 최고로 영향을 주고 있는 것은 축중이 궤도의 보수량을 좌우 하고 있는 것이다. 또한 새롭게 건설하는 고속노선에는 큰 곡선 반경과 완만한 구배로 건설 할 수 없게 되었다. 큰 운송능력을 필요로 하는 노선은 이미 고속 신선이 건설 되었다. 새롭게 건설하는 노선은 운송 수요가 적은 지역이다.

한편으로 환경 문제가 위협적으로 대두되기 때문에 건설비를 낮추기 위해 급구배와 급곡선에서 사용이 유리 하도록 전동차의 비율이 크게 되며 차체 경사 시스템인 틸팅 차량도 계속해서 필요하게 된다.

나. 축중과 스프링 하질량

동력분산 방식의 최대 장점은 축중과 스프링 하질량의 경감이다. 동력분산이 철도 경영에 미치는 효과는 크다.

1) 건설비의 영향

노반의 건설비에는 축중과 축배치, 열차 중량의 영향이 크다. 신칸센의 건설에는 당초 축중의 영향이 컸지만 최근에는 지진 대책의 강화를 위해 영향은 적게 되었다. 또, 교량도 축중과 열차 질량이 건설비를 좌우 했었지만 소음과 진동 대책으로 영향은 적어지게 되어있다.

2) 궤도 침하량으로의 영향

궤도의 열화(선로 보수비에 영향을 준다) 는 열차의 통과 톤 수로 결정된다. 그러나 같은 통과 톤 수라도 동적 축중 변동과 횡압이 있으면 열화는 촉진 되어진다. 통과 톤 수에는 축중과 횡압은 거시적으로는 포함 되어져 있지만 직접적으로는 가미 되어 있지 않다.

일본의 경우는 수십년 전부터 열차의 속도와 스프링 하질량이 궤도에 주는 영향에 대해서 궤도 침하량으로 대표하여 차량 경량화 지침의 하나로 하고 있다.

신칸센의 양호 노반의 경우

$$\sigma \sim P^{0.7} M^{0.3} v^{1.3}$$

여기에서 σ: 궤도 침하량 P: 정지축중 M: 스프링 하질량 υ: 열차 속도

위식이 의미하는 것은 다음과 같다.

기존의 0계 신칸센 전철과 같은 궤도 침하량을 유지하면서 속도를 높게 하는 것은 축중과 스프링 하질량을 동시에 10% 경감하면 210km/h가 230km/h로 되며, 또다시 동시에 30% 경감하면 270km/h가 되는 것을 나타내고 있다. 신칸센 전철에서는 당초부터 축중을 16t으로 설계하였었다. 토우호꾸 신칸센 전철은 적설량에 대한 대책으로 제설 장치가 증가하기 때문에 17t으로 했었지만 도우카이도 신칸센용의 0계에 대신하는 100계에서는 부수 차량 4량을 편성으로 넣어 차량 가격을 저감하고 아울러 열차 질량을 경감하여 축중을 평균화 하고 15t으로 하였다. 그 후 300계에서는 6량의 부수 차량을 넣고 차량의 경량화를 철저히 행하여 축중을 11.4t으로 하였다.

300계의 경량화는 환경 진동을 종래와 동등하게 하고 270km/h로 속도 향상을 하기 위함이다. 축중 11.4t은 밸러스트(자갈도상) 궤도에서 앞의 속도, 축중, 스프링 하질량과 궤도 침하 비율과의 경험적 관계식으로 부터 축중과 스프링 하질량의 소요 경감량을 추정한 결과와 같았다. 즉 300계에서는 경량화 효과에 의한 지반의 진동 측정 실험에 의해 확인하고 축중을 28%, 스프링 하질량을 29% 경감 하였다.

300계에서 고속시험에 의한 270km/h 주행시의 궤도 파괴 추정치는 시험 실시 당시의 파괴량에 비하여 직선부에서 74%, 곡선부에서 82%이었다. 300계가 2년간 270km/h로 운행 한 결

과 40m 弦正矢(궤도에 따라 어긋난 변위 등의 측정법)의 장파장과 10m 弦正矢의 단파장과의 궤도 정비량은 해마다 감소하고 있다. 이런 것으로부터 차량의 경량화의 효과가 있었다는 것이 확인되어지고 있다.

JR 니시니혼의 500계는 슬라브 궤도가 많은 산요우 신칸센으로 300km/h 운전을 하고 있지만 축중과 스프링 하질량은 300계와 거의 같다. 따라서 토우카이 신칸센에서 최고속도는 270km/h이다.

프랑스 국철도 독일 철도도 TGV와 ICE 이전부터 최고속도 200km/h의 고속열차를 전통적인 기관차 견인 방식으로 운행하고 있지만 그것을 넘는 초고속 열차는 17t의 축중 제한을 두고 있다. 그 결과 TGV남동선에서는 17t이하의 열차 밖에 달리지 않기 때문에 궤도 보수량이 적었었다고 보고되어 진다.

3) 윤중변동

축중은 정지 상태에서 측정하고 있지만 궤도에 주는 영향은 정지 상태의 축중 뿐만 아니라 주행중의 동적 윤중 변동 쪽이 문제가 있다. 동적 변동 윤중은 원래 정지 윤중을 기반으로 하지만 스프링 하질량과 합하여 레일 표면의 상태 (凹凸 등)에 의해서 발생하고 궤도 파괴의 기본적 이유가 된다.

레일은 어긋남(변위)이 발생하기 쉽고 용접 이음매 부분은 다른 부분보다 빨리 마모되기 때문에 凹마찰이 되기 쉽다. 또한 레일은 노반과의 공진 등으로 corrugation (파장마찰)을 발생하기 쉽다. 이 같이 레일 면 위를 굴러가는 차륜에 의해 변동 윤중이 발생한다.

그 값은 크게 차량 설계에 있어서는 궤도 보수면으로 부터 엄격하게 스프링 하질량의 경감이 계속 요구 되어졌다. 그 결과 당초 대차의 1축당 스프링 하질량은 2,315kg 이었지만 속도 향상에도 불구하고 일본의 300계에서는 1,650kg까지 경감하였다. 그리고 270km/h 운전을 실현 하였다.

< 고속 대차의 질량 비교 >

대차	질량(kg)	스프링 하질량(Kg)
신칸센 0계 동대차	9,860	4,630
신칸센 300계 동대차	6,650	3,300
TGV-A 동대차	7,230	4,255
ICE 1 동대차	9,602	3,753

유럽 열차의 윤중 변동은 종래의 기관차에서는 현저하게 크지만, 고속열차에서는 대폭적으로 작게 되어 있다. 그 이유는 TGV도 ICE도 스프링 하질량이 중요하다는 인식으로부터 주전동기를 차체장가(차체취부)로 하고 있기 때문이다. ICE에서는 브레이크 디스크도 스프링 위

에 하고 있다.

일본의 0계 전철은 최고속도 210km/h로 설계 되어 졌지만 260km/h 운전을 위해 산요우 신칸센용으로 시작 되어진 951형 시험차에서는 스프링 하질량이 0계 보다 약간 컸었기 때문에 현저하게 큰 윤중이 발생 하였고 구동장치를 대차장가(대차취부)로 한 대차를 설계 하였다. (961형 시험차) 그러나 구조가 복잡하여 코스트와 보수면에 문제가 있었으며 당시의 회사 환경 (오일쇼크와 환경문제로 고속화가 부정되어졌다) 으로 인하여 채용되어 지지 않았다.

300계 전철에서는 주전동기의 소형화 구현에 맞추어 차륜경의 축소, 중공(中空) 차축의 채용, 치차 함과 차축의 알루미늄 합금화에 의해 2,315kg부터 1,650kg으로 29%나 스프링 하질량을 삭감하는 것을 실현 하였다.

TGV-A에서 주전동기는 차체 장가로 되었으며 브레이크용 디스크를 갖지 않음에도 불구하고 1축 당 2,126kg이다. ICE 에서는 브레이크 디스크를 포함하여 주전동기를 반 차체장가로 하여 스프링 하질량을 적게 하고 있지만 1축당 1,876kg이다.

4) 환경 진동 대책

일본의 300계 전철의 설계에 있어서 축중을 대폭적으로 경감한 시험차를 달리게 하고 속도 270km/h에서 0계의 200km/h 시의 지반 진동과 같은 레벨로 하기 위해 필요한 경량화 량을 측정 하였다. 그 결과 축중 11.4t, 스프링 하중량 1.6t이 얻어지고 이것을 실행하여 환경진동의 조건을 클리어 하였다. 이 값은 축중 · 스프링 하질량의 속도 특성에 의한 궤도의 궤도 침하 비율과 거의 동등한 경량화 이다.

즉, 노반의 기초가 연약한 지반의 경우에는 위와 같은 지반 진동이 일어나기 싶지만 암반에 강고하게 기초를 한 경우에는 그다지 영향을 받지 않는다. 일본에서는 토우카이도 신칸센이 전자에 해당하며 토우호꾸 · 죠우에쯔 신칸센은 후자의 예가 된다.

5) 브레이크 성능

브레이크 에너지는 많은 경우 전기 브레이크로 흡수하지만 백업의 기능 브레이크에서는 브레이크 축에서 흡수하지 않으면 안된다. 그 양은 축중에 비례하지만 동력 집중 방식에서는 그 축으로 흡수 할 수 없는 경우가 있다. TGV에서는 축이 아닌 열차 전체에서 흡수 하도록 하고 있다. 그 이유로는 TGV-A 부수 차량의 디스크는 1축 4셋트로 되어 있다.

고속 차량의 경량화는 이 브레이크를 위해 중요하다. 운동 에너지는 질량 × 속도의 2승에 비례하고 증가한다. 속도가 높아지면 이 2승이 더욱더 효과가 있어진다. 예를 들면 축중 15t에서 브체이크 초기 속도 220km/h를 270km/h로 힐 경우 흡수 에너지를 같게 하기 위해 축중을 10t으로 하지 않으면 안된다.

흡수 에너지를 크게 하기 위해서는 브레이크 디스크만 말고 차륜 직경까지 크게 하지 않으면 안되며 이는 스프링 하질량 이라고 하는 곤란한 문제에 직면한다.

따라서 축중의 경감은 고속 열차의 보안 브레이크 (기계 브레이크 장치)에 있어서 더욱더

중요하다. 일본의 호우리꾸 신칸센에 있는 연속급구배를 하강 할 경우 억제 속도도 좌우 하게 된다.

다. 가속력

가속력은 주전동기의 회전력에 의해서 결정 되지만 점착력을 능가 할 수는 없다. 점착력은 점착계수와 축중의 곱에 의하여 정해진다. 점착계수는 속도가 높게 되면 감소하는 경향이 있다. 그러나 기관차에서도 전철에서도 기본적으로 차이는 없다. 따라서 기관차 견인 열차에서는 기관차의 질량이 가속도와 최고 속도를 좌우하는 것이 된다. 축중을 가볍게 하려면 동력차수를 늘려야만 한다.

일본의 신칸센은 당초의 설계에서는 화물열차를 달리게 하였었기 때문에 건설 기초로써는 15‰를 최대 구배로 했지만 그 후 산간부의 건설비를 적게 하기 위해 급구배의 기준을 35‰로 변경 하였다. 호구리꾸 신칸센은 30‰를 채용함으로 약 1,200억엔의 건설비가 절감 되었다. 큐슈 신칸센에서도 35‰를 채용하여 터널 건설비를 저감 하고 있다. 현재 건설 중인 호우리꾸 신칸센의 연장구간에서도 터널 건설비 저감을 위해 급구배를 채용하고 있다.

이처럼 급구배를 고속으로 달리기 위해 전동차의 비율을 크게 하여 축중을 늘리지 않고 해결하고 있다.

독일의 플랑크프르트 · 쾰른선에서도 환경 보전을 위해 40‰의 급구배 구간을 가지고 있기 때문에 전동차 비율의 많은 전철 열차 ICE3을 채용 하였다.

또한 TGV 동선에도 급구배가 있지만 구간이 짧고 구배 중에서 가속 하는 것은 필요 하지는 않다.

ICE 1의 동력 집중식에서는 상당히 높은 점착 계수를 기대하지 않으면 안되지만 분산식에서는 여유있는 제어가 가능하다. 따라서 ICE에서는 집중과 분산으로 점착 계수의 기대치를 적용하여 구분하고 있다. 이것은 틀림없이 ICE 1에서 공전으로 고생했었기 때문이라고 추측되어진다.

ICE 3의 점착 설계에서는 ICE 1과 대폭으로 달라져 있다. ICE 1의 개업 전의 각종 시험에서 행해진 데이터에 의하면 살수(撒水) ON · OFF를 정기적으로 반복한 결과 살수 시에는 필연적으로 공전이 발생하여 점착력이 저하되고 있다. 레일의 건조 상태라면 소정의 점착력을 기대 할 수 있지만 우천시에는 상당히 저하되어 제어가 곤란하게 된다.

따라서 ICE 3의 설계 시에는 동축이 많기 때문에 기대 점착력을 낮게 하고 레일과 차륜의 악영향을 피했다고 추측된다. ICE 1과 동등의 기관차에서는 이처럼 공전 재점착을 반복하면 차륜이 마모하고 레일의 찰상이 생긴다고 한다.

라. 주행 안정성

1955년의 프랑스의 전기 기관차에 의한 331km/h 고속시험 결과 심각한 이선과 사행동에 의

한 궤도 파괴가 발생 했었던 것은 잘 알려져 있다. 그 결과 유럽에서는 철도의 고속화를 저해하는 상태로 있었다. 이 속도역에 있는 대차의 거동 연구가 미완성이었기 때문에 일본의 신칸센의 고속 상용운전 개시까지 차량 기술자들의 연구가 집중되었다.

사행동과 대차 구조의 기본적 관계는 아래 식으로 나타낸다.

$$S_2 = S_1 \sqrt{1+(\frac{a}{b})^2} \quad S_1 = 2\pi \sqrt{\frac{br}{\Upsilon}} \quad (4.54)$$

여기에서 S_1 :1 축사행동 파장 S_2 : 대차 사행동 파장, 2a: 축리,

2b: 좌우 차륜 레일 접점 간격 (궤간), r: 차륜반경

γ : 차륜 답면 유효 구배

이 관계식에서는 대출력 동대차나 소출력 동대차도 차이가 없는 것처럼 보이지만 대출력 동대차에서는 차륜경이 크고 축거리가 크기 때문에 유리하다. 그러나 조금더 자세한 사행동 한계속도의 계산식(생략) 에서는 대차와 차륜이 강하게 결합 되어져 있다라고 가정하고, 거기에 대차와 윤축 간에 축스프링과 축댐퍼가 있으며 차체와 대차 간에 댐퍼가 있기 때문에 한계속도는 더욱 높아진다.

단, 중요한 것은 z축 주변의 관성 반경과 대차 질량이 영향 받고 있다.

둘다 크게 되면 고유 진동수는 작게 되며 한계속도는 낮아지기 때문에 고속용의 기관차 같은 대형 대차와 대출력의 동력 장치를 갖는 경우 대차 질량과 z축 주변의 관성 반경이 크게 되고 사행동에는 불리하다. 이들을 작게 하기 위해서 구조상의 무리를 하더라도 동력장치를 차체 장가로 하고 있다.

마. 횡압

일반적으로 큰 횡압은 곡선 통과와 대차 사행동에서 발생한다. 대차 사행동의 발생은 고속열차에는 위험하기 때문에 사행동 파장을 길게 하는 것으로 축거리를 크게 하는 것이 효과적이기 때문에 TGV 와 ICE에서는 3m로 하고 있다. 동력 집중식에서는 주전동기가 대형이 되며 축거리를 작게 하는 것은 곤란하다.

축거리를 길게하면 곡선 통과 시에 횡압이 증가한다. 또한 대차 질량도 증가한다. 일본의 신칸센 전철에서는 2.5m로써 사행동 제어장치를 강화 하고 있다. 이는 동력 분산식이기 때문에 가능하다. 그러나 이 억제장치를 위해 급곡선에서는 횡압이 높아지고 차륜의 후렌지의 직립마모가 심하며 답면삭정 주기가 짧아 졌다. 또한 레일 측도 頭頂面 측면 마모가 심했었다. 이 사행동 억제장치의 개량과 자기 조타 기능의 첨부에 의해 최근에는 삭정 주기가 7~8배 정도 늘어나고 있다.

축거리가 긴 TGV에서는 재래선으로 운행 할 때 횡압이 크며 후렌지의 직립마모를 방지하기 위해 후렌지 도유장치를 설치하고 있다.

또한 횡압은 레일의 부정 등에 의해서도 발생한다.

일본의 토우카이도 신칸센에서는 횡압을 좌우 동가속도로 계속해서 보고 있으며 일정한 한계

를 넘으면 궤도 정비를 행하도록 하고 있다. 궤도 부정에 의한 횡압에 대해서 대차의 회전 모멘트가 큰 영향이 있다. 이것은 축거리와 질량의 크기가 영향을 준다.
TGV와 ICE에서는 이것을 작게 하기 때문에 주전동기를 차체 장가로 하고 있지만 소형 경량의 신칸센 대차에서는 대차 장가의 간단한 구조이다.

바. 활주 재점착 제어

차륜과 레일 간의 점착계수는 차륜과 레일의 상호 표면의 상태에 의해 변동이 있으며 일반적으로 우천시에는 저하한다. 또한 속도의 상승과 함께 감소하는 경향이 있다. 제동시에는 전(全)축을 사용하기 때문에 동력의 집중과 분산에 큰 차이가 없지만, 가속 시에는 동력차량이 적으면 공전 재점착 제어에 차이가 발생한다. 집중 방식에서는 상당히 높은 점착계수를 기대하지 않으면 안 되지만 분산 방식에서는 이미 서술한 것처럼 여유있는 제어로 충분하다.

사실 큰 문제는 집중과 분산에 큰 차이가 없다고 서술한 제동시 이다. 동력분산 방식에서는 브레이크 축은 상용에서는 기 브레이크로 있기 때문에 활주 재점착 제어가 용의하며 본래 전기 브레이크 쪽이 길이는 짧다. 최근에는 벡터 제어로 고속 제어가 가능 하게 되며 게다가 브레이크 성능은 향상 하고 있다. 그러나 집중식에서 부수차량의 브레이크는 기계식 브레이크이며 활주 재점착 제어는 용의하지 않고 벡터제어 만큼 빠르지 않다.

공전과 활주 발생 시의 차륜과 모터의 관성 모멘트로부터 제어의 지연 시간과는 다소 차이가 있지만 응답 시정수의 슬립 주파수 제어 300ms와 백터제어 10ms의 차이를 차륜의 속도 차이로 크기를 개략 환산하면 아래 표와 같이 된다. 단 이 때의 점착 계수는 0이라고 가정하고 차륜과 관성 모멘트는 보통의 전철 값을 이용한다.

< 백터 제어의 효과 >

구분	슬립주파수 제어	백터제어
응답 시정수 공전속도 차	300ms 16.5km/h	10ms 0.55km/h

이 개략 환산치는 실제의 실험결과와 거의 일치 하고 있다. 또한 점착력이 큰 토크감소 상태(미소 활주) 에서의 토르크 제어도 가능하다고 보고 있다.

고속 시에 점착계수가 저하함에도 불구하고 높은 감속도를 필요로 하는 브레이크에 있어서 동력 분산식에서는 전기 브레이크가 사용 되어지며 현재는 벡터제어가일반화 되어 있기 때문에 활주가 적은 고성능의 브레이크를 사용 할 수 있다. 부수차량 브레이크로는 이것 만큼 빠른 대응을 할 수 없다. 단 상용 브레이크에서 동력차는 부수차의 감속력을 부담 할 경우가 있기 때문에 그 경우에는 여유가 있다라고는 말 할 수 없다.

사. 전기 브레이크

일본의 신칸센 전철에서 전부 전동차 방식을 채용 했던 중요한 이유 중에 하나는 전기 브레이크의 사용이다. 가속감속이 많기 때문에 기계 브레이크는 백업으로써 사용하며 보수량의 절감을 실현하였다. 결과는 목적대로 기초 브레이크 장치의 보수에는 거의 유지보수의 손이 가지 않고 관찰 검사만으로 되어 있다. 따라서 부수차를 도입했던 100계 이후 부수차에는 와전류 디스크 브레이크를 설치하고 있다.

본래 전기 브레이크는 활주 발생이 어렵기 때문에 유도 전동기로 하며, 백터제어가 적용 되어지면서 위에서 서술한 것처럼 활주도 현저하게 감소하여 차륜 답면의 플랫(손상)도 더욱이 감소하고 있다.

연속 급구배에 있어서 억제속도 브레이크로 기계 브레이크는 매우 곤란하다. 저항 브레이크는 기술적으로 가능하지만 발열량이 크고 고온의 저항기를 차체에 탑재하는 것으로도 위험을 내재하게 된다. GTO 사이리스터 (gate turn-off thyristor)를 사용한 PWM (pulse width modulation) 컨버터 (전력 변환 장치)는 현재 IGBT (insulated gate bipolar transistor) 로 적용되어 있지만 고속 열차의 급구배 구간의 고속 운전은 가능하다. 동력 집중식에서도 불가능은 없지만 상당한 제약을 동반한다.

일본의 호우리꾸 신칸센에서는 30‰의 연속 구배가 있고 이 구배의 하강을 210km/h 로 운전하고 있다. 전력 회생 브레이크가 상용화 되어 있지 않으면 실현은 곤란하다고 단언할 수 있다.

아. 차량 코스트

일반적으로 전기 설비가 많은 분산 방식이 제조 코스트가 높다 라고 말하고 있다. 오래된 정보이기는 하지만 프랑스의 철도 잡지 LVR이 공개 하였던 자료에 의하면 이미 제시 했었던 전철 방식이 높은 것은 이탈리아의 ETR 450뿐으로 일본의 300계는 동력 집중 방식에 비해 저가격이다. 그 최대의 이유는 좌석 당의 가격 계산 때문이다. 그러고 열차길이 당 비교하여도 ICE와 ETR 500보다 저가격이다.

그러면 좌석 수가 많은 신칸센 전철의 좌석이 비좁다 라고 하면 100계 이후의 신칸센 전철이 시트 피치 치수에 더욱더 여유가 있다.

여객에 있어서는 좌석의 폭 보다 시트 피치가 긴 쪽이 다리의 자유도가 증가하여 승차감이 좋고 3명 좌석의 출입에 부자유움이 경감 되어진다.

① 일본의 신칸센 전철의 시트 피치는 보통차로 3명이 앉을 수 있는 좌석을 회전 할 수 있도록 설계하였기 때문에 1,040mm (구형차에서는980mm)이 되며 그린차에서는 1,160mm이다.

② 프랑스의 TGV 2등차의 시트 피치는 A는 850mm, TGV-Duplex에서는 950mm로 확장하고 있다.

③ 독일의 ICE 시트 피치는 1등 차에서 1,144mm 2등 차에서 1,025mm이다.

자. 차량 보수량

차량 보수량의 대소를 집중과 분산으로 비교하면 동력장치의 수에 좌우된다고 생각 되어져 왔다. 그러나 일본의 신칸센 전철이 전부 전동 방식을 채용한 이유 중 하나가 전기 브레이크의 채용에 의한 보수량의 경감이 있었던 것처럼 정차역이 많을 경우에는 기계 브레이크의 각 부품의 소모는 빠르게 되어 보수량은 증가한다. 그것은 직류 전동기의 보수량을 능가 한다고 생각된다.

그러나 프랑스의 TGV의 경우 정차역이 멀고 적기 때문에 기계 브레이크의 보수량이 일본 만큼 문제 되어지지 않았다고 추정 된다.

하지만 TGV 남동선에서는 답면 브레이크의 부담이 16% 이었기 때문에 그 마찰이 전동음의 원인이 되었다. 대서양선의 부수차량에서는 답면 브레이크가 아닌 디스크 브레이크로 부담을 옮겼다. (R.E.I.No.3, SNCF,1992)

이 때문에 브레이크 디스크는 1축 4매로 되어있다. 이것에 의해 디스크 브레이크 기구의 보수량은 증가 하고 있다고 추정 된다. 또한 스프링 하질량의 증가를 초래하며 궤도에 주는 영향은 적지 않다고 생각 된다.

1991년 이후에 새롭게 제작 되어지고 있는 일본의 신칸센 전철은 전부 주전동기로 유도전동기를 이용하기 때문에 직류 전동기에서 필요했던 정류자의 점검과 브러쉬의 교환은 필요 없게 되었다. 주전동기를 제어하는 장치도 전자화 장치로 되어 보수량은 대폭으로 감소 하였다. 이 때문에 모든 차량에 전기 브레이크를 설치하면 기계 브레이크를 상용하는 집중식에 비교해서 한층 보수량이 감소한다.

일본에서는 직류 전동기라도 그다지 많지 않았기 때문에 교류 전철화로의 변경은 역률과 전력회생 브레이크에 매력이 있어서 행해지고 있다. 그러나 TGV에서는 직류 전동기의 보수량이 컸기 때문에 교류화로 요청이 강하여 GTO 사이리스터의 출현을 기다리지 않고 브러쉬가 남아도 교류화로 변경 하였다고 추측하고 있다.

구체적인 보수량의 비교는 일본의 JR히가시 니혼의 200계 신칸센 전철과 독일의 ICE로 행해졌던 예가 있다. 1997년 12월에 JR히가시 니혼이 개최 하였던 연구 개발 심포지움에 DB (독일철도) 가 ICE 1의 보수량에 대해서 소개 하였다.

ICE 1과 JR히가시 니혼의 200계와 비교 하고 있지만 열차도 보수 시스템도 다르기 때문에 1열차를 1년간의 맨아워로 비교 하고 있다. 200계는 직류 전동기의 전동차로 12M, 길이 300m, 좌석수는 885 좌석이다.

200계의 맨아워는 약 17,500시간, ICE도 거의 비슷한 17,500시간이다. 1자석당 에는 큰 차이가 있다. 축중에도 큰 차이가 있으며 같은 열차 선의 수라면 궤도 보수량도 독일의 방식이 많을 것이다.

차. 승차감

전동차의 객실의 승차감이 나쁘다고 하는 것은 옛날부터의 이미지이며 오래된 전동차에서는 주전동기의 자기음과 치차의 음, 차단기의 음 등이 있으며 그것들이 객실에 침입 하였다. 또한 주전동기는 행거식으로 스프링 하질량도 커서 레일의 진동이 대차를 사이에 두고 객실내에 전달되어 왔다.

주전동기의 소형 경량화와 대차 장가에 의해 전철 대차의 소음은 대폭으로 감소 하였고, 진동도 적어졌으며, 공기 스프링으로 흡수 되어졌다. 차체 구조에도 차단 기술이 개발 되어 졌으며 각 차량의 연결도 조용해졌다. 일본의 신칸센 개업 이전에 도쿄~오사카 간의 특급 전철의 1등차를 전동차로 구성 하였다. 이 기술이 신칸센 전철로 승계되어 적용 되어졌다.

그러나 300계에서는 교류 주전동기를 구동하는 인버터 음 등의 소음이 차내에 침입하였고 700계에서는 IGBT가 채용되어 조용하게 되었다.

분산식의 전동대차에서는 대차 질량이 집중식 보다 대폭 작고 대차 진동이 차체 진동에 전달 되어지는 것이 적다. TGV 남동선에 있어서도 주전동기를 차체 장가로 해서 전동 대차의 질량을 적게하고 1등차의 대차에 사용하고 있다. TGV의 실내가 비교적 조용한 것은 대차의 직접 상부에 객실이 없기 때문이다. 전동 대차와 부수 대차와의 차이는 조금 있다.

카. 열차의 편성

① 노선조건에 따른 MT비의 변경

평탄선과 구배선을 운행 할 경우에 출력 조정과 최고 속도의 조정을 전동차와 부수차량의 비율로 변경 할 수 있다. 실제로 진행하는 예는 적지만 부품과 장치의 공통화는 진행하기 쉽다.

② 수요에 따른 열차 편성

분산식과 집중식을 열차 편성면부터 비교하면 분산식 쪽이 자유도가 커서 경제적이다. 운송 수요에 따른 여러 가지 편성이 운용 되어지고 있다. 특히 수요 변화가 큰 일본의 산요우 신칸센에서 현저하게 보여진다.

집중식에서도 수요에 따른 중간차의 량수를 변경하고 있지만 동력차의 변경은 어려워 독일에서는 ICE 2를 설계하였다. 거의 2분할이 가능하며 TGV 남동선에서는 2편성 연결의 예가 많다.

동력 장치의 최적화는 그다지 중시 되어지지는 않지만 열차 질량당 좌석당의 동력장치의 비교는 다음 표와 같다.

< 고속열차의 출력/좌석/질량비율의비교 >

철도회사	열차	최고속도 (km)	kW/질량	kW/좌석	공질량/좌석
SNCF/DB NS/SNCB	Thalys	300	23	23.34	1.02
SNCF	TGV-D	300	23	16.15	0.70
독일철도	ICE2	280	11	13.04	1.14
독일철도	ICE3	330	20	20.46	1.04
JR토우카이	300계	270	17	9.07	0.54
JR히가시니혼	E2(호우리꾸)	275	20	11.43	0.58
JR히가시니혼	E3(아키타)	275	22	17.78	0.81
JR히가시니혼	E4(2층)	240	15.7	8.23	0.52
JR니시니혼	500계	320	26	13.78	0.52

일본의 JR토우카이의 300계, JR히가시니혼의 E2, E4, JR히가시니혼의 E3은 재래선을 운행하기 때문에 차체 폭이 좁다. 유럽의 열차도 재래선을 사용하기 때문에 차체 폭이 좁다. 이 차이가 좌석당의 출력과 질량으로 나타내지고 있다. 또한 더블데카 (2층객차)도 유리하다. E4는 양쪽의 이점을 살리고 있는 것을 알 수 있다. 물론 그 차이는 좌석당의 차량 가격에도 나타내고 있다.

열차 단위로 동력 유니트 수를 비교하면 기본적으로는 분산쪽이 유니트가 많고, 고장시 유니트 개방에 의한 출력의 저감량이 적으며, 그것만 좌석당의 출력이 적어지나 최근의 신칸센 전철에서는 동력장치의 집약화로 반드시 그렇게 되어있지는 않다.

타. 집전성능

동력 분산식인 일본의 신칸센 전철 초기의 0계에서는 각 동력 유니트마다 팬터그래프가 탑재되어져 있어 16량 편성에서는 8대나 있으며 팬터그래프와 전철선 보수의 면 뿐만 아니라 이선이 많고 집전 자체에 대해서는 영향은 없지만 소음의 원인 중 하나가 되었다. 이것은 신칸센 개발 당시의 집전 이론에 기초한 결과이며 팬터그래프의 질량을 가능한 작게 하기 위함이다.

급전 시스템과의 관계 (boositing transformer : BT 급전 시스템) 도 있고 1팬터그래프의 집전 전류가 제한되어 졌다. 그러나 AT (auto-transformer) 급전으로 바뀐 현재 팬터그래프는 편성당 2대를 원칙으로 하고 있다. 2대로 하는 이유는 팬터그래프의 공력음을 적게하기 위함 이지만 또한 모선 안내에 의해서 1대의 경우 보다 이선에 의한 아크의 발생을 적게 만들기 때문이다.

파. 역 등의 설비

집중방식은 동력차의 길이 (약 40~50m)의 부분만큼 역의 측선 및 유치선 설비를 길게 만들지 않으면 안된다. 도심의 역 등에서는 영향이 크다.

차체 폭이 넓은 분산 방식의 더블 데카가 더욱 역의 길이를 짧게 할 수 있다.

하. 열차 운행의 신뢰성

분산방식이 집중방식 보다 동력장치의 고장시 처리가 용의하고 영향이 적다. 이 때문에 열차 운행의 신뢰성이 높아질 수 있다. 분산방식만이 그 원인은 아니지만 일본의 신칸센의 경우 평균 지연 시간이 수 초 레벨이지만 유럽에서는 5분 이내에 늦어지는 열차가 90% 정도 이다.

거. 환경소음

유럽에서의 소음평가는 소음레벨 이외에 시간과 빈도를 고려한 등가소음 레벨로 평가하고 있다. 고속열차에 대한 환경기준을 제정한 나라는 아직 적지만 현실의 문제로써 환경대책을 적극적으로 진행하고 있다. 그러나 현재로는 최고 운전 속도 270km/h의 평균치가 TGV 남동선에서 약96dB, ICE에서 약87dB, TGV 대서양선에서 약 90dB 이다.

이처럼 TGV의 소음은 상당히 높다고 인정되어지고 있다. 그 주된 원인은 전동음으로 차륜답면의 凹凸 (브레이크 슈(제륜자)에 의한 파상마모) 에 있다 라고 기록되며 대서양선의 차량에서는 브레이크 슈의 사용을 하지 않고 디스크브레이크를 사용한 결과 10dB이나 소음이 저하했다 라고 기록되어 있다.

단, TGV의 동력차에서는 디스크브레이크가 부착되어 있지 않다 라고 하는 문제를 남기고 있다. 유럽에서는 레일의 파상마모가 심하고 일반 열차의 소음 원인이 되고 있지만 고속열차 주행 구간에서는 궤도의 정비 레벨이 높고 소음의 원인이 되는 것같은 요철 없으며 차륜답면의 요철이 원인이 된다라고 기록되어 있다.

또한, TGV에서는 공력음에 초월하다는 것은 400km/h 이상에서는 없다 라고 기록되어 있다. 이것은 전동음이 높은 것과 차체 단면이 작은 것이 원인이 된다고 추정 할 수 있다. 이 전동음이 높은 이유 중 하나로 전동차의 높은 점착 유지를 위해 제륜자의 사용이 있을 것 이라고 추정 된다. 동력분산에서는 이미 서술한 것처럼 높은 점착 계수의 확보에 무리를 할 필요가 없다.

2. 동력분산식과 동력집중식 장단점

분산식 장점	분산식 단점	비고
구동축이 많기 때문에 견인력을 크게 할 수 장점. 역간거리가 짧은 구간에는 기관차방식이 동력집중식보다 동력분산식이 유리.	동력을 분산시켜야 하므로 기기를 분산 배치하는데 모터의 구동음이나 냉각펜의 소음이 있을 수 있다.	높은 가속도
견인력은 구동축에 가해지는 중량에 의해 결정이 되므로 축중이 분산되므로 선로의 건설비를 줄일 수 있는 장점.	각각의 동력차에 구동모터를 제어하는 기기들이 있어 편성전체로 보면 부품 수가 많아져서 유지보수에 많음.	축중의 분산
전기차라면 제동시에 구동모터를 정차할 때는 발전기로 이용해 그 에너지로 열차에 제동을 걸리게 합니다. 마찰제동보다는 신속하면서도 큰 감속도를 얻을 수 있는 장점.	전차는 특히 편성에 민감하고 MT비에 의해 가속도가 큰 영향을 받으므로 종류나 제어방식이 다른 차량은 연결이 곤란하고, 열차의 조성이 힘들다.	전기브레이크 사용가능
수요가 순간적으로 급증하는 곳에는 당연히 열차의 증편이 유리. 동력집중식은 편성을 어떻게 짜든 큰 영향을 받지 않으므로 수요변화에 민감히 대응 가능.	동력차 이상시 대응이 어려움.	파동수요에 대응가능
전기차와는 반대로 구동부품이 한 곳에 모여있으므로 검수에는 용이.	열차가 얼마나 조성되느냐에 따라 가속도가 크게 달라지므로 가속도의 기복이 매우 심함.	검수 절약
모든 동력이 집중되어 있으므로 객실내에서는 주행음만 들리게 되고 서스펜션이나 대차에 더 신경을 쓴다면 소음없는 편안한 주행이 가능.		조용하고 편안한 주행
당연히 동력이 집중되어있으므로 크고 무거운 기기를 자유롭게 운송가능하며, 급구배가 연속된 구간은 오히려 동력집중식이 유리		강마력화

제 2 절 전류제어, 전압제어 비교

1. 유도전동기와 동기전동기

철도차량에 사용되는 전동기는 주로 유도전동기를 사용되고 있으나, 경부선 고속철도에서는 동기전동기를 사용하고 있다. 이를 비교 검토하므로서 시스템 제어방식을 모색하려고 한다.

항 목	유도 전동기	동기 전동기	비고
구조 복잡성	저	중	
제작비	저	중	
무게 대용량 ·	100%	92%	동일출력당
소용량	100%	100%	동일출력당
소용량	100%	100%	동일출력당
유지보수비용	저	중	
신뢰성	고	중	
효율	91%	90~94%	
차륜경차이 허용	3mm	3.4mm	
국산화	가능	가능	
동력제어방식	전압형 인버터 전류형 인버터	전압형 인버터 전류형 인버터 부하전류형 인버터	
전동기 제어	병렬 운전 가능	병렬 운전 불가능	인버터당
향후 기술발전가능성	고	중	
실적	신간선 (300) IEC	TGV-A	

2. 전압형 인버터 제어와 전류형 인버터 제어

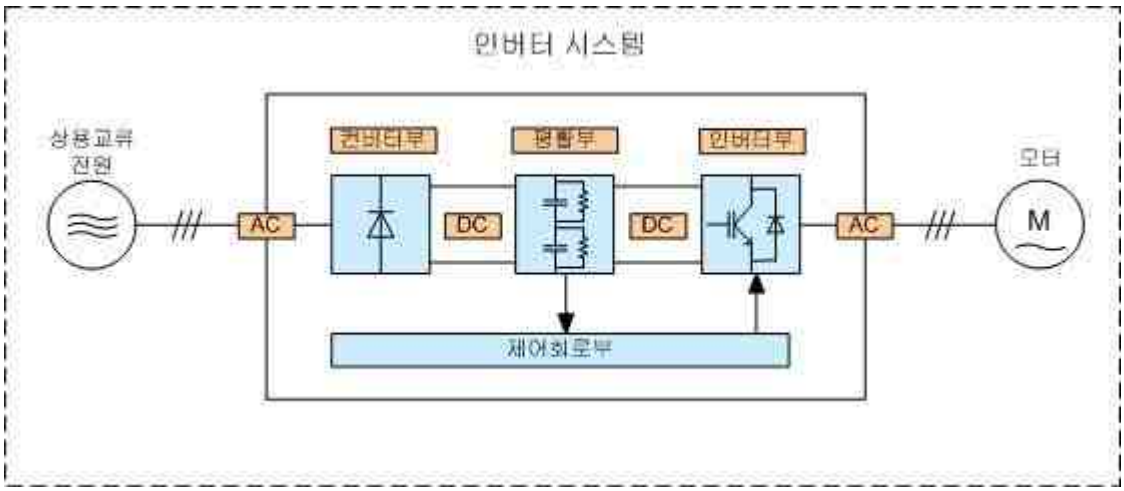
인버터의 분류 방식에는 여러 가지가 있는데, 여기에서는 주회로 방식에 의한 분류, 스위칭 방식에 의한 분류, 제어 방식에 의한 분류에 대하여 설명한다.

가. 전압형 인버터

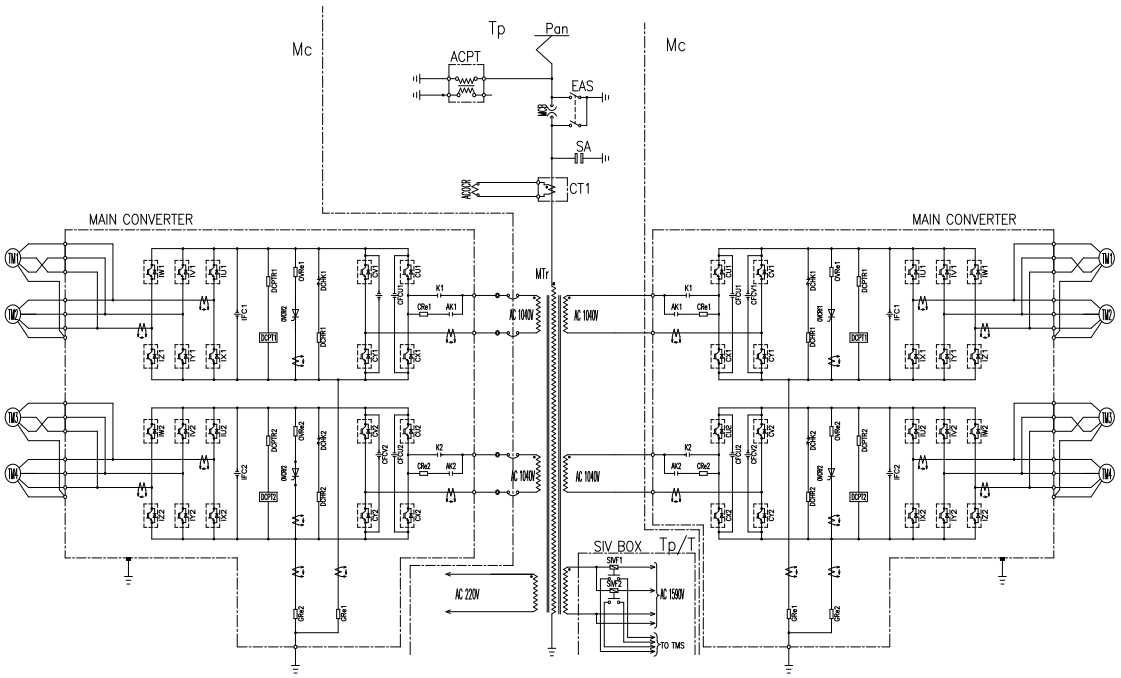
전압원의 직류부에서 교류로 변환하는 것으로 제어성이 우수하며 동시에 전압원으로서 직류 전원을 공통으로 할 수 있기 때문에 복수 인버터의 제어가 가능하게 되는 등 범용성이 높다. 현재 범용 인버터의 대부분이 이 방식을 채용하고 있다.

부하 즉, 제어되는 측에서 보아 Inverter가 전압원인 것은 전압형이라 부른다. 전압형

Inverter는 직류측에 대용량 커패시터가 접속된다. 이것에 의해 출력전압의 Peak치는 직류 콘덴서의 양단 전압에 항상 Clamp되어 파형은 방형파가 된다. 따라서, 소자에 과전압이 인가될 가능성은 낮은데 Arm 단락 등에 의한 과전류 발생 가능성이 있다. 또, 부하 Inductance의 축적 Energy를 환류시키기 위하여 반도체 소자에는 역병렬 Diode가 접속된다. 컨버터부는 다이오드 및 사이리스트와 콘덴서의 조합으로 구성되며 컨버터부의 내부 임피던스가 낮고 전압을 공급하도록 되어 있다.



< 인버터 시스템 >



< 전압형 인버터 주회로 (1C2M) >

나. PWM제어

◎ PWM제어

Pulse Width Modulation(펄스폭 변조)의 약자로, 인버터부에서 주파수와 출력 전압(전류)을 제어한다. 반도체 소자를 고주파로 스위칭시켜 스위칭 펄스의 폭을 변화시킴으로써 전압(전류)을 제어하는 방식이다. 스위칭시의 평균 전압이 사인파 전압에 가까워지도록 펄스의 폭을 변화시키기 때문에 사인파 근사 PWM 제어라고 하는 수도 있다.

제어부가 간단하고 저렴한 가격으로 구성할 수 있다는 장점이 있는데 고주파(1 ~ 2 kHz)로 스위칭 하는데 기인하여 모터 소음이 커지는 결점이 있다.

◎ 제어모드

Slip 주파수가 일정하도록 Inverter 전압 “V” 와 Inverter 주파수 “F“의 비를 일정하게 하여 함께 증가시킨다.

전압상승이 완료된 후에는 주파수만을 증가시키는 정출력제어를 한다.

이 경우 주파수 증가에 다라 2차측 내부 Impedance가 높고, 2차 전류가 감소해 버리므로 2차 전류가 일정하게 유지되도록 Slip 주파수의 증가제어를 한다.

Slip 주파수가 한도가 된 후에는 Inverter 주파수만을 증가시키는 전동기 특성제어에 들어간다.

이 경우 전동기의 Torque는 주파수의 증가에 대해 주파수의 2승에 방비례하여 감소한다.

제동시는 시동시의 각 제어 Mode를 역순으로 이행시킨다.

단, Slip 주파수를 항상 부(Inverter 주파수를 전동기 회전주파수보다 낮춘다.)로 제어한다.

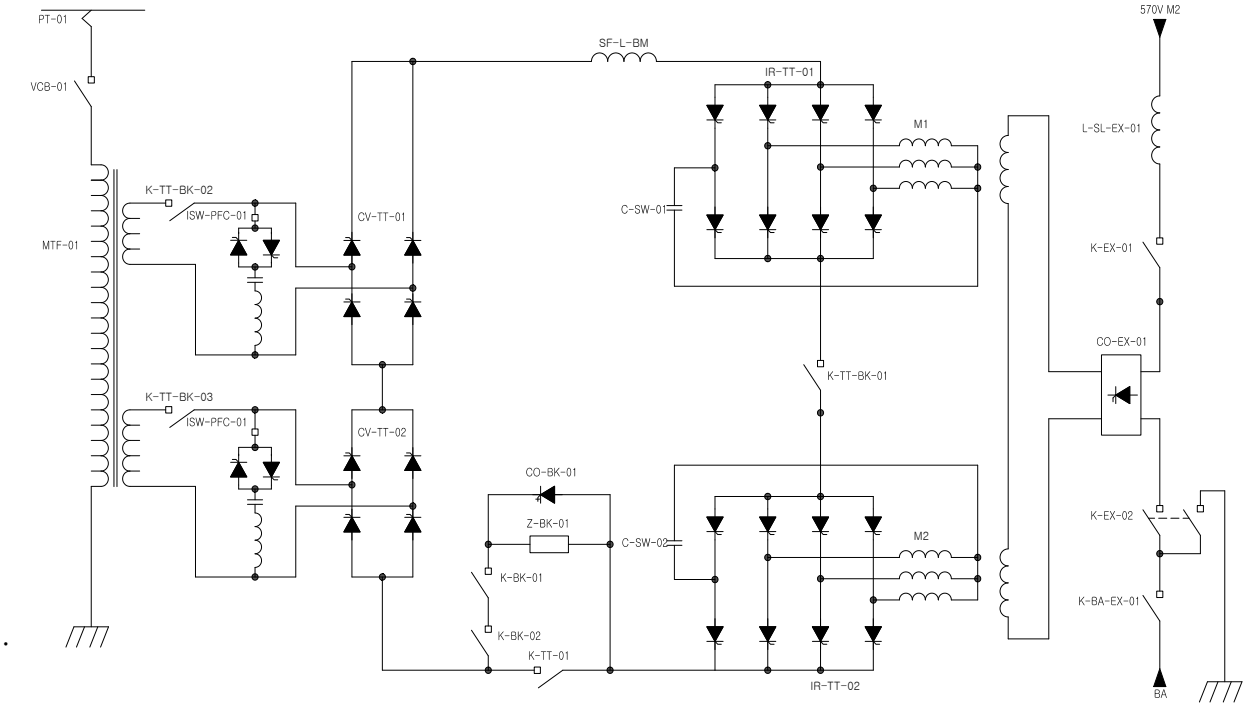
이와 같이 PWM 제어 전압형 Inverter 제어는 V/F 제어, Slip 주파수 제어가 주체가 되어 행해진다.

다. 전류형 인버터

전류원인 직류부에서 교류로 변환하는 것으로 즉응성이 우수하고 전원에 에너지를 회생할 수 있는 등 고성능 기종에 적합한 인버터이다.

부하 즉, 제어되는 측에서 보아 Inverter가 전류원인 것은 전류형이라 부른다. 전류형 Inverter는 직류측에 대용량 Reactor가 접속된다. 이것에 의해 출력전류는 항상 일정방향으로 흐르고 파형도 방형파가 된다. 반도체 소자에 역병렬 Diode 접속은 필요 없는데 부하 Inductance의 축적에너지를 흡수/방출하는 회로가 필요하다. 일반적으로 출력측에 Condenser가 접속된다. 전류형 Inverter에서는 Arm 단락 등에 의한 과전류발생 가능성은 낮은데 Inverter Off에 의한 전압이 Spike상의 파형을 포함하게 되므로 사용되는 소자는 높은 과전압 내력을 필요로 한다.

컨버터부는 사이리스트와 리액터의 조합으로 구성되며 컨버터부의 내부 임피던스가 높고 전류를 공급하는 것으로 되어 있다.



< 전류형 인버터 (경부선 KTX) >

라. 인버터 제어방식 비교

< 인버터 제어방식 비교 >

전압형 인버터	전류형 인버터	비 고
출력 임피턴스 적음, 응답성 좋음	출력 임피턴스 큼,응답성 나쁨	
4상한 운전 불가능, 입력역률 좋음	4상한 운전 가능, 입력역률 나쁨	
과부하 내량 작음, 단락 보호 곤란	과부하 내량 큼, 단락 보호 간단	
토크리플 작음, 최고주파수 높음	토크리플 큼, 최고주파수 높음	
소형, 경량, 취급간단	대형 중량, 전동기 정수에 따라 조정	
전동기 병렬운전 가능	전동기 1:1 대응	
소음 큼	소음 작음	
무부하 운전 가능	무부하 운전 불가능	
주회 스위칭 소자의 내압 낮음	주회로 스위칭 소자의 내압높음	
대용량화 불가능	대용량화 가능	
도시철도 차량 대부분 적용	TGV-A, KTX	

제 7 장 참고문헌

1. 철도안전법 (일부개정 2009.4.1, 법률 제9610호)
2. 철도차량 안전기준에 관한규칙 (일부개정, 2008.7.10, 국토해양부령 제35호)
3. 철도차량안전기준에관한 지침 (일부개정 2008.4.16, 국토해양부고시 제2008- 47호)
4. 한국철도기술연구원, 세계 고속열차 기술개발 동향과 시사점, 2008
5. 田中 守외, “N700계 양산선행시작차의 개요”, R&M, 2005. 6, pp6 ~ 11.
6. JR East, Technical Review, No.4, Winter 2006
7. 알스톰 홈페이지 (http://www.alstom.com)
8. 지멘스 홈페이지 (http://www.siemens.com)
9. Center neighborhood Technology, High Speed Rail and Greenhouse Gas Emissions in the U.S.“, 2006.
10. “The SIMULINK User’s Guide “ in Mathworks Handbook. Math Works. 1994.
11. “고속전철 추진시스템의 전력변환장치” KSR 9906 pp.39~45, 1999.
12. B. K. Bose, 1986, “POWER ELECTRONICS AND DRIVES “
13. Venkatachari 1987, Rajagopalan, “Computer Aided Analysis of Power Electronic Systems “
14. 설승기, “전기기기제어론”, BRAIN KOREA, 2002. pp. 299-352
15. “Analysis of a Novel Forced-Commutation Starting Scheme for a Load-Commutated Synchronous Motor Drive “ IEEE Vol IA-15, NO.1, 1979
16. “Characteristics of a Current-Fed Inverter with Commutation Applied Through Load Neutral Point“ IEEE Vol IA-15, NO.5, 1979
17. 건설교통부, 철도기술연구개발사업 추진제어장치 실용기술개발 I, 2007.
18. 철도공사, 고속철도 운용효율화 기술개발 기획 보고서, 2008.
19. 코레일, KTX 전원공급용 부품 국산화
20. 한국철도학회, 한국철도학회지, KTX의 보수품 공급과 품질관리대책, 2005.
21. 한국철도기술연구원, 추진제어시스템 기술동향
22. 건설교통부, 철도발전 중장기 계획수립 공청회, 2005.
23. Yoshiki Ishikawa, Atsuo Kawamura, “Maximum Adhesive Force Control in Super High-Speed Train“, PCC-Nagaoka97, pp.951-954, 1997.
24. Kiyoshi Ohishi, Ken Nakano, Ichiro Miyashita, Shinobu Yasukawa, “Anti-Slip Control of Electric Motor Coach Using Adhesion Force Coefficient Estimator Based on Distrubance Observer“, JIASC 98, Vol. 1, pp.229-234, 1998.
25. 김상훈, 배본호, 설승기(1999), “벡터제어를 적용한 전동차 구동 시스템 개발”, 전력전자학회 논문지 제6권 제1호, pp48-51
26. 高原,田中,神崎(1985), “車兩用電力変煥裝置におけるPWM制御,昭和60年電氣學會東京支部大會, pp4-5

27. 石川, 高原, 田中(1986),“PWMコンバータを使いた交流車両の制御方式“、電気學会電気鉄道研究会
28. S. Inarida, K. Nakamura and Y. Iwaji, “Study on Instantaneous Voltage Control Method for Auxiliary Power Supply Systems Used in Rolling Stocks”, IEE Japan, pp.1132-1139, 1996.
29. G. Bizjak, P. Zunko, and D. Povh, “Circuit breaker model for digital simulation based on Mayr's and differential arc equations”, IEEE Trans. on PWRD, vol. 10, no. 3, pp. 1310 - 1315, July 1995.
30. 2007, Technical development of propulsion system, Construction and transportation report, Woojin Industrial Systems Co., pp. 307-357.
31. Han, D. and Park, K., 2006, A system operating algorithm for the effective operation of a multi-type air-conditioning system, SAREK, Vol. 18, No. 7, pp. 587-595.
32. Han, D. and Park, K., 2006, Fuzzy control algorithms for the compressor and the electronic expansion valve of a multi-type air-conditioning system using multiple input variables, SAREK, Vol. 18, No. 2, pp. 163-171.
34. Han, D., and Kim, S., 2007, Effective dynamic models for the development of control algorithms of a condensing gas boiler system, Proceedings of the SAREK, pp. 34-39.
35. Mills, A. F., 1999, Basic heat mass transfer, McGraw Hill, New York, pp. 621-646.
36. Gene F. F., 2002, Feedback control of dynamic systems, Prentice Hall, pp. 215-230.
37. “Analysis of a Novel Forced-Commutation Starting Scheme for a Load-Commutated Synchronous Motor Drive “ IEEE Vol IA-15, NO.1, 1979.
38. Venkatachari 1987, Rajagopalan, “Computer Aided Analysis of Power Electronic Systems”
39. “Characteristics of a Current-Fed Inverter with Commutation Applied Through Load Neutral Point“ IEEE Vol IA-15, NO.5, 1979.
40. “The SIMULINK User's Guide “ in Mathworks Handbook. Math Works. 1994.
41. B. K. Bose, “POWER ELECTRONICS AND DRIVES”, 1986.
42. 한국철도공사, “최신반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발”, 미래철도기술개발사업 기획연구 최종보고서, 국토부/건설교통기술평가원, 2008.11.
43. 한국철도공사, “최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발” 중간보고서, 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 2010.
44. 한국철도공사, “최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발” 중간보고서, 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 2011.
45. 한국철도공사, “최신 반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발” 연차계획서, 국토해양부, 한국건설교통기술평가원, 2012.
46. B. K . Bose, Modern Power Electronics and AC Drives, Prectice Hall PTR, USA, 2002.
47. N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics, Jonh Wiley, New York, 1995
48. H. Stemmler, “High-power industrial drives“, Proceedings of the IEEE, vol.82, pp. 1266-1286, August 1994.
49. B. Mueller, T. Spinanger, and D. Wallstein, “Static variable frequency starting and drive

system for large synchronous motors“, Conf. Rec. IEEE/IAS Annu. Meet., pp. 429-438, 1979.
50. M. Hombu, S. Ueda, A. Ueda, and Y. Matsuda, “A new current source GTO inverter with sinusoidal output voltage and current“, IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.21, pp.1192-1198, Sept/Oct. 1985.
51. B. Wu, S. B. Dewan, and G. R. Slemon, “PWM-CSI inverter for induction motor drives“, IEEE Trans. on Ind. Appl., vol.28, pp.64-71, Jan/Feb. 1992.
52. D. Finney, The Power Thyristor and its Applications, McGRAW-HILL, UK, 1980.
53. W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Springer, Germany, 1996.
54. P. Vas, Vector Control of AC Machines, CLARENDON PRESS·Oxford, UK, 1990.
55. MIL-HDBK-217F, Notice 2, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, Department of Defense, 1991.
56. 한국철도기술연구원, 해외고속철도 기술발전 동향 및 우리나라 발전방향 연구 보고서, 최성규, 김대상, 국토해양부, 2010.
57. MIL-STD-1629A, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Nov. 1980.
58. 장주수 외4명, 고장모드 및 영향, 치명도 해석, 교우사, 2005
59. (주)모아소프트 신뢰성기술연구소, “A Guide Book for Reliability Prediction”, 신뢰성예측 가이드, 2002
60. 엄기영, 박영곤, 류성찬, 서상철, 김유봉, 박근영, “표정속도 향상을 위한 고속철도 인프라 개선방안 분석”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, Table 1, 2012
61. IEC 61508, IFunctional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety Related Systems. IEC, Geneva., 2000.
62. ISO/IEC 29119, Software Test Standard, ISO 2009.
63. ISO/IEC 9126, Software Engineering - Product Quality, ISO/IEC TR 9126-4, 2004.
64. LDRA Tools Presentation v16.3, LDRA, 2009.
65. MISRA. Development Guidelines for Vehicle Based Software. November 1994.
66. NASA. Software Safety: NASA Technical Standard NASA-STD-8719.13B. July 2004.
67. NASA. Software Safety Guidebook, NASA-GB-8719.13, March 2004.
68. RTCA. SW Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification RTCA/DO-178B. 1994.
69. EN 50128:2011 - Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Software for railway control and protection systems, July 2011.
70. EN 50126:1999 - Railway applications. The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS), December 1999.
71. EN 50129:2003 - Railway applications. Communication, signalling and processing systems. Safety related electronic systems for signalling, May 2003.