제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 “철도 핵심부품 및 장치 기술개발”과제(5세부과제 전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발에 관한 연구")의 보고서로 제출합니다.

2015. 1.

주관연구기관명 : 한국철도공사
주관연구책임자 : 윤차중
연 구 원 : 정진욱
〃 : 김영준
〃 : 김미소
〃 : 허 연
〃 : 김종길
〃 : 김경철
〃 : 이영희
〃 : 김은기
〃 : 안춘근
〃 : 정규조
〃 : 도정균
〃 : 황인철
〃 : 정윤수
〃 : 김상호
〃 : 박세현
〃 : 이현구
〃 : 장길병
〃 : 김영준
〃 : 권경환
위탁연구기관명 : 한국교통대학교
위탁연구책임자 : 김재문
연 구 원 : 김양수
〃 : 김철수
〃 : 장진영
〃 : 권영만
〃 : 김인규
〃 : 정노건
공동연구기관명 : ㈜우진산전
공동연구책임자 : 이진국
연 구 원 : 이은규
〃 : 노춘호

〃 : 이영호
〃 : 송영신
〃 : 연준상
〃 : 연제균
〃 : 정능채
〃 : 정권일
〃 : 권선범
〃 : 채승민
〃 : 이승우
〃 : 김정호
〃 : 김대경
공동연구기관명 : 선우전기
공동연구책임자 : 홍성위
연 구 원 : 홍억선
〃 : 유용현
〃 : 이기철
공동연구기관명 : ㈜앤츠
공동연구책임자 : 손기환
연 구 원 : 정영민
〃 : 송선영
〃 : 배거성
〃 : 공기봉
〃 : 이지연
〃 : 박재휘
〃 : 유순옥
〃 : 김상곤
〃 : 조한범
공동연구기관명 : 한성중공업㈜
공동연구책임자 : 임채웅
연 구 원 : 이규식
〃 : 박신영
〃 : 박영호
〃 : 송영구
〃 : 환준선
〃 : 김종철
〃 : 이만기
〃 : 강형본
〃 : 최윤성
〃 : 이경섭
공동연구기관명 : 이경산전㈜
공동연구책임자 : 이을재
연 구 원 : 안병권
〃 : 이병호
〃 : 김성식
〃 : 황미정

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td></td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2012.12.26.
~2014.12.25.</td><td>단 계 구 분</td><td>최종보고서</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">철도 핵심부품 및 장치 기술개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>윤차중</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 71명
내부 : 20명
외부 : 51명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 4,478,000천원
기업 : 1,524,668천원
계 : 6,002,668천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">한국철도공사 연구원</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">한국교통대학교, ㈜우진산전, 선우전기,
㈜앤츠, 한성중공업㈜, 이경산전㈜</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">전기기관차의 추진제어 시스템의 주요장치에서 발생하는 고장에 대해서는 제작사의 도움 없이는 접근이 어려운 실정이다. 이에 따라 유지보수 관련부서에서는 제작사에 장치의 고장원인에 대한 세밀한 분석 및 빠른 고장수리를 요청하고 있으나 제작사의 신속한 대응을 기대하기 어렵고, 원천기술 독점으로 인한 제품의 가격이 지속적으로 상승하여 국비유출이 우려되는 상황이므로 원활한 유지보수, 부품공급, 성능향상 및 비용절감 등을 위해 시급히 국산화 개발 필요하여 유지보수가 용이한 신형전기기관차(8200호대) 추진시스템(전력변환장치, 수냉각장치, 통신보드, 보조전원장치 및 객차전원공급장치, 견인전동기)을 기존차량과 호환성을 갖는 국산화 개발에 목표를 두었다.
세분화된 주요 연구 성과는 아래와 같다.

- IGBT를 적용한 추진제어용 전력변환장치 기술개발
- IGBT용 수냉각장치 개발
- TCU용 MVB통신보드 개발
- 전기기관차(8200호대)용 견인전동기 개발
- 보조전원장치 및 객차전원공급장치 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어
(각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">전기기관차, 전력변환장치, 견인전동기, 보조전원장치, 객차전원공급장치</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Electric Locomotive, Power Transfer Device, Traction Motor, Auxiliary inverter, Head Electric Power</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목 : 전기기관차(8200)호대 추진시스템 성능향상 기술개발

Ⅱ. 연구개발과제 개요

전기기관차 추진시스템의 주요장치인 전력변환장치, 보조전원장치 및 객차전원공급장치, 견인전동기에서 발생하는 고장에 대해서는 제작사의 도움이 없이는 접근이 어려운 실정이므로 이에 따라 유지보수 관련부서에서는 제작사에 장치의 고장원인에 대한 세밀한 분석 및 빠른 고장수리를 요청하고 있으나 제작사의 신속한 대응을 기대하기 어렵고 원천기술 독점으로 인한 제품의 가격이 지속적으로 상승하여 국비 유출이 우려되는 상황이다. 또한 철도운영기관에서는 유지보수비용이 급격히 증가하는 추세이므로 원활한 유지보수 및 부품공급, 성능향상 및 비용절감 등을 위해 시급히 국산화 개발이 필요하여 유지보수가 용이한 8200호대 전기기관차용 추진제어 시스템 개발연구를 추진하게 되었다.

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과

○ IGBT를 적용한 추진제어용 전력변환장치 기술개발
- 전기기관차용 수냉식 Converter/Inverter 장치 설계 및 제작
- 대용량 소자의 병렬 구동용 Gate Driver 설계 및 제작
- 회생제어 및 Torque 제어를 위한 제어장치 설계 및 제작
- 중앙제어장치(CCU) 연계 통신 알고리즘/인터페이스 개발
- 전기기관차용 기동 및 정지 시퀀스 회로 개발
- TCU용 MVB 통신보드 개발

○ 전기기관차(8200호대)용 견인전동기 개발
- 1.3[㎽]급 견인전동기 설계 및 제작

○ 보조전원장치 및 객차전원공급장치 개발
- 컨버터/인버터 회로에 적합한 IGBT형 90kVA x 2 전력변환장치 설계 및 제작
- HEP 출력 품질 개선 및 성능 향상방안을 도출, 개선된 Unit 설계 및 제작

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

8200호대 전기기관차 추진시스템 주요장치를 현재 모두 수입에 의존하고 있어 연구개발을 통한 원천기술 확보로 후속과제를 통한 주요장치 국산화 및 확보된 전기기관차 제어기술을 바탕으로 전기기관차의 완전 국산화의 발판을 마련하였다. 주요장치 국산화 개발 시 국내 기술 확보로 유지 보수품의 원활한 지원, 원가절감, 기술력 축적을 통한 차량시스템 운영 안정화에 기여할 수 있다.

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

○ 기술적 효과

- 전기기관차 추진제어 시스템 제어기술 확보
- 견인전동기 제어용 전력변환장치 설계 및 제작 기술 확보
- IGBT용 수냉각장치 설계 및 제작 기술 확보
- 1.3[㎽]급 견인전동기 설계 및 제작 기술 확보
- 보조전원장치 및 HEP장치 설계 및 제작 기술 확보
- 전기기관차 견인/제동 제어분야의 핵심기술 확보
- TCU용 MVB 통신 프로토콜 확보

○ 사회·경제적 효과

- 철도 제어통신에 대한 기술은 외산품의 국산화에 큰문제로 지적되어왔다. 주요 전장품의 국산화를 통한 개발품이 매출로 이어져야하지만 실제 단품 단위의 기능 및 성능은 향상되었지만 기존차량에 탑재하여 유기적인 기능 구현에는 문제가 되는 경우가 있다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 계기가 될 수 있을 것으로 판단되며, 제어기술을 응용하여 세계시장에 경쟁력을 갖춘 제품을 개발 할 수 있을 것으로 기대된다.
- 전기기관차용 전력변환장치의 기술개발은 파워일렉트로닉스 및 마이크로일렉트로닉스 활용 기술 능력을 배양하고, 자체 설계기술 및 제작기술을 보유하게 됨으로써 일반 산업 전자 및 방위산업 등에 응용할 수 있다.
- 한국형 견인전동기 개발을 통해 승객 및 화물의 수송에 있어 운용의 신뢰성이 우선 확보 가능하며, 외산제품 대체 및 해외기술 경쟁력 확보를 통한 국가산업기술 경쟁력에 기여할 수 있다.
- 물품수급 기간 단축, 단종에 따른 대체, 가격대응 및 내구성 향상을 확보하고 고장 및 사고 등에 대한 기술적인 문제 해결능력을 자체 확보함으로써 안정적인 수송과 이용 승객의 서비스 향상에 기여할 수 있다.

Ⅵ. 연구성과 활용계획

○ 8200호대 전기기관차의 전력변환장치 노후 및 교체 주기에 대비하고 유지 보수품의 원활한 공급 및 고장 시 무상 서비스기간 경과에 따른 유지보수 대응에 국내 기술력을 적극 활용할 수 있다.

○ 전기기관차용 Converter/Inverter 제어기술을 바탕으로 전기기관차의 완전 국산화 및 수출용 전기기관차에 적극 활용 할 수 있다.

○ 한국형 견인전동기 개발을 통해 현재 운행 중인 외산제품 대체할 수 있다.

○ 연구결과를 바탕으로 교류구간에 적용되는 전동차(통근형, 간선형)의 객실전원용 보조전원장치 및 신재생에너지 분야의 풍력발전, 가정용 에너지저장장치 등에 소요되는 전력변환장치로 즉시 활용 가능하다.

S U M M A R Y

Ⅰ. Project Title : The Development on the Advanced Performance of Electric Locomotive 8200 Series Propulsion System

Ⅱ. Abstract

There are electric power conversion system, the auxiliary electric power system, the electric power supply system for passenger's room, and traction motor, which are the main systems in propulsion system in electric locomotive. When these systems are in case of some faults or defects in performance, we have no idea to solve this matter without the original supplier's support. So, maintenance department claimed to detail analyze and to fix a problems quickly, but it was very difficult for us to get a quick response from supplier who has the original technology and have increased the unit price of key parts continuously. We wonder that it becomes the cause of the loss of government expense. Maintenance price increase trend is severe. In order to settle this severe problem, we were requested to domestically develop this 8200 series electric locomotive propulsion system which is for very convenient maintenance, securing related parts, performance improvement, and cost cutting.

Ⅲ. Contents and Results of R&D

○ Technology development of propulsion control power conversion system using IGBT.
- To design and produce water cooled converter and inverter of electric locomotive.
- To design and produce gate driver of high power semiconductors in parallel use.
- To design and produce control system of regeneration control and torque.
- To develop communication and interface algorithm to CCU.
- To develop circuit for stop and maneuver sequence of electric locomotive.
- To develop printed circuit board(PCB) for TCU and MVB communication.

○ Development of traction motor of 8200 series electric locomotive.
- To design and produce traction motor with 1.3[㎽] class.

○ Development of auxiliary power supply system and passenger's room power supply system.
- To design and produce electric power conversion system suitable for converter and inverter circuit of IGBT type 90kVA x 2.
- To design and produce HEP unit improving output quality and performance.

Ⅳ. Outcome and Application

8200 series electric locomotive's propulsion system depends on the imported components. It was a big problem, so we have developed the original technology for it. Through follow-up project, we established domestically producing basis of main system of converter and inverter control technology of electric locomotive. These domestically development of main components can serve much more of smoothly support, cost cutting, accumulation of technology, and locomotive control management.

Ⅴ. Achievement and Effectiveness

○ Technological Effectiveness

- To achieve control technology of electric locomotive propulsion system.
- To achieve design and manufacturing technology of traction motor power control system.
- To achieve design and manufacturing technology of water cooling equipment for IGBT.
- To achieve design and manufacturing technology of 1.3[㎽] class traction motor.
- To achieve design and manufacturing technology of auxiliary electric power supply and HEP system.
- To achieve core technology of electric locomotive propulsion and braking control field.
- To achieve communication protocol of TCU and MVB.

○ Economic and Social Effects

- Domestic train control communication has been blamed because they are beyond the imported. It is true that the domestically developed components, main electric parts, cannot reach to the sales turnover. There are the occasions in which single type of component is in a problem even though its functions and performances have been improved. It seems difficult to especially when they are used to carry its systematically performance. And this development is suppose to be the turning point of this kinds of problems. Also, we expect that we are going to on the competitive position of development based on this control technology applications.
- These electric power conversion technology development of electric locomotive can be used to application capability of power electronics and microelectronics and mormal industrial electronic and defense

industry, because we have the right for our own design ability and manufacturing technology.

- Through the Korean style traction motor development, it is possible to have reliability first of passenger traffic and cargo transportation. And its replacement and competition to the imported can lead us to a competitive position of industrial technology in the world.
- Through having our own solutions on all the problems we have now like pull in delivry of components, the discontinued, price problem, durability, breakdown, and the other uncertain accidents, we can serve more stable service for passengers and the cargoes.

Ⅵ. Application Plan

○ This development can be used to replace the old components of 8200 series electric locomotive's power conversion systems which is the time-worn and have passed. We can aggressively apply this development to be suitable component of maintenance, counteraction to a faults and the end of free service.

○ This development can be used to be the customized Korean style electric locomotive based on converter and inverter control technology of electric locomotive. We can positively export these technologies to overseas markets.

○ The existing imported products can be substituted by this Korean style traction motor.

○ With these development results, it is able to immediately use them for the auxiliary power supply systems of passenger's room on the way of alternating current voltage lines(AC), wind power generation in the renewable energy, and a home energy storage system.

CONTENTS

Chapter 1 Project Outline ····· 1

Paragraph 1 Purpose and Necessity ····· 1

1. Purpose ····· 1

2. Necessity ····· 2

Paragraph 2 Definition, Scope, Characteristics ····· 3

1. Definition of R&D ····· 3

2. Scope and Characteristics of R&D ····· 3

Paragraph 3 Domestic and Foreign Situation of Development ····· 9

1. National technology development ····· 9

2. Foreign technology development ····· 9

Chapter 2 Contents and Results of R&D ····· 11

Paragraph 1 Strategy and Methodology of R&D ····· 11

1. Outline of R&D ····· 11

2. Cost of R&D ····· 11

3. Propulsion system and enforcement method of R&D ····· 12

Paragraph 2 Research Process and Contents ····· 15

1. System Engineering ····· 15

2. Development of Power Transfer Device ····· 71

3. Development of Water Cooling Equipment for IGBT ····· 326

4. Development of MVB communication board for TCU ····· 361

5. Development of Traction Motor ····· 441

6. Development of Auxiliary inverter and Head Electric Power 502

Paragraph 3 Secure the objective reliability through development product test ····· 602

1. Development of Power Transfer Device ····· 602

2. Development of Water Cooling Equipment for IGBT ····· 634

3. Development of MVB communication board for TCU ····· 651

4. Development of Traction Motor ····· 657

5. Development of Auxiliary inverter and Head Electric Power 663

Chapter 3 Outcome and Application ····· 731
Paragraph 1 Development of Power Transfer Device ····· 731
1. Research Outcome ····· 731
2. Public Relations ····· 732
3. Market prospects of domestic and foreign ····· 733
Paragraph 2 Development of Water Cooling Equipment for IGBT ··· 734
1. Research Outcome ····· 734
2. Core Technology Element ····· 734
3. Public Relations ····· 734
4. Market prospects of domestic and foreign ····· 734
Paragraph 3 Development of MVB communication board for TCU ·· 734
1. Research Outcome ····· 734
2. Core Technology Element ····· 735
3. Public Relations ····· 735
4. Market prospects of domestic and foreign ····· 735
Paragraph 4 Development of Traction Motor ····· 736
1. Research Outcome ····· 736
2. Core Technology Element ····· 736
3. Public Relations ····· 736
4. Market prospects of domestic and foreign ····· 741
Paragraph 5 Development of Power Transfer Device ····· 741
1. Research Outcome ····· 741
2. Public Relations ····· 744
3. Market prospects of domestic and foreign ····· 744

Chapter 4 Achievement and Effectiveness ····· 746
Paragraph 1 Achievement Ratio ····· 746
1. Annual Research Performance Achievement Ratio ····· 746
2. Annual Result Index Achievement Ratio ····· 748

Paragraph 2 The Technical Effects of Development ····· 751
Paragraph 3 The Economical Effects of Development ····· 752
Paragraph 4 The Effects of Policy ····· 753

Chapter 5 Practical Use and Further Research ····· 755
Paragraph 1 Practical Use ····· 755
Paragraph 2 Further Research ····· 755

References ····· 757

목 차

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1
제1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1
1. 연구개발의 목적 ····· 1
2. 연구개발의 필요성 ····· 2
제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징 ····· 3
1. 연구개발의 정의 ····· 3
2. 연구개발의 범위 및 특징 ····· 3
제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 9
1. 국내 전기기관차 기술개발 현황 ····· 9
2. 국외 전기기관차 기술개발 현황 ····· 9

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 11
제1절 연구수행 전략 및 방법론 ····· 11
1. 연구수행 개요 ····· 11
2. 연구개발비 ····· 11
3. 연구개발 추진체계 및 추진방법 ····· 12
제2절 연구수행과정 및 내용 ····· 15
1. 시스템 엔지니어링 ····· 15
가. 사업관리 ····· 15
나. 현차분석시험 지원 ····· 20
다. IP R&D 사업 ····· 27
라. 시스템 분석 및 구조해석 모델링 개발 ····· 33
2. 전력변환장치 기술개발 ····· 71
가. 전력변환장치 개요 ····· 71
나. 현차분석시험 ····· 74
다. 기술자료 분석 및 시험 ····· 83
3. IGBT용 수냉각장치 기술개발 ····· 326
가. 수냉각장치 개요 ····· 326
나. 현차분석시험 ····· 331
다. 유로 구조 설계 및 열유동해석 ····· 347
라. 시작품 제작 ····· 353

4. TCU용 MVB 통신보드 기술개발 ····· 361
가. TCU용 MVB 통신보드 개요 ····· 361
나. 기존품 분석 및 기술자료 분석 ····· 363
다. MVB 통신 프로토콜 분석 ····· 378
라. MVB 통신보드 개발 ····· 394
마. MVB 통신보드 개발결과 ····· 420
5. 견인전동기 기술개발 ····· 441
가. 견인전동기 개요 ····· 441
나. 기술자료 분석 및 설계 ····· 441
6. 보조전원장치 및 HEP장치 기술개발 ····· 502
가. 보조전원장치 및 HEP장치 개요 ····· 502
나. 현차분석시험 ····· 506
다. 상세설계 및 검토 ····· 524
라. 시작품 제작 ····· 581
제3절 연구개발품 시험을 통한 객관적 신뢰성 확보 ····· 602
1. 전력변환장치 기술개발 ····· 602
가. 시험개요 ····· 602
나. 단품시험 ····· 604
다. 조합시험 ····· 608
라. 시험결과 ····· 610
2. IGBT용 수냉각장치 기술개발 ····· 634
가. 시험개요 ····· 634
나. 단품시험 ····· 636
다. 조합시험 ····· 647
3. TCU용 MVB 통신보드 기술개발 ····· 651
가. 시험개요 ····· 651
나. 단품시험 ····· 651
다. 조합시험 ····· 653
4. 전기기관차 견인전동기 기술개발 ····· 657
가. 시험개요 ····· 657
나. 단품시험 ····· 658
다. 조합시험 ····· 661
라. 시험결과 ····· 662

5. 보조전원장치 및 객차전원공급장치 ····· 663
가. 시험개요 ····· 663
나. 단품시험 ····· 666
다. 조합시험 ····· 678
라. 시험결과 ····· 709

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 731
제1절 전력변환장치 기술개발 ····· 731
1. 개별 연구성과 설명 ····· 731
2. 주요 연구성과 ····· 732
3. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 733
제2절 IGBT용 수냉각장치 기술개발 ····· 734
1. 개별 연구성과 설명 ····· 734
2. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물 ····· 734
3. 주요 연구성과 ····· 734
4. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 734
제3절 TCU용 MVB 통신보드 기술개발 ····· 734
1. 개별 연구성과 설명 ····· 734
2. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물 ····· 735
3. 주요 연구성과 ····· 735
4. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 735
제4절 전기기관차용 견인전동기 기술개발 ····· 736
1. 개별 연구성과 설명 ····· 736
2. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물 ····· 736
3. 주요 연구성과 ····· 736
4. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 741
제5절 보조전원장치 및 객차전원공급장치 ····· 741
1. 개별 연구성과 설명 ····· 741
2. 주요 연구성과 ····· 744
3. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ····· 744

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 746
제1절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 746
1. 연차별 연구목표 달성도 ····· 746
2. 연차별 성과지표 달성도 ····· 748
제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석 ····· 751
제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석 ····· 752
제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석 ····· 754

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 755
제1절 연구성과 향후 활용방안 ····· 755
제2절 추가연구 필요성 ····· 755

참고문헌 ····· 757

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

철도는 여객 및 화물을 대량으로 운송하는 교통수단의 핵심으로 산업 및 경제발전의 근간이 되고 있으나 화석연료 사용에 따른 환경오염과 연료비 상승에 따른 운영비용이 증가하면서 국내 철도분야에 전기를 이용한 전기 동력식 철도차량이 지속적으로 도입되어 전철화 율이 증가되고 있다. 이에 따라 국내의 제품, 식량, 광물 등 자원을 운송하는 국내 산업선의 경우 전철화 정책에 의해 도입된 전기기관차는 해외에서 철도차량을 도입하여 운영하고 있지만 본 과제의 목표인 전기기관차(8200호대) 추진시스템은 독일의 지멘스사에서 제작한 것으로 공개된 기술자료가 거의 없다. 따라서 대부분 기술이전이나 유지보수에 따른 기술적 사항이 제대로 이루어지지 않아 국내 전문가들이 전문적 지식과 철도차량 운영기관들이 운영경험에 의해 개량화 및 유지보수가 이루어지고 있는 실정이다. 이를 위해서 전기기관차(8200호대)의 추진시스템을 국산화 개발하므로 써 주요핵심부품의 해외 의존도를 낮추고 원천기술을 확보하여 국내 철도산업계와 운영기관에 내재화하는 것을 목적으로 하였다.

전기기관차(8200호대)의 추진시스템의 주요장치인 전력변환장치, 보조전원장치 및 HEP장치, 견인전동기에서 발생하는 고장에 대해서는 제작사의 도움이 없이는 접근이 어려우며 GTO 소자의 단종과 제작사인 지멘스(Siemens)를 통한 기존 부품구입 및 유지보수에 대한 어려움으로 많은 비용이 소요되고 있다. 따라서 최신반도체소자(대용량 IGBT)를 적용하여 전력변환장치를 개발하는 것이 필연적이라고 할 수 있다. 이를 위해서는 컨버터/인버터 장치, 이의 냉각을 위한 냉각장치, 가장 효율적인 제어알고리즘, 장치 간 인터페이스 기능 등의 여러 방면에서 다각적인 연구가 추진되어야 한다. 또한 장기간의 전기기관차(8200호대) 운영기간을 고려할 때, 유지보수의 편이성, 비용절감, 국내 기술경쟁력 향상, 그리고 세계시장에 진출하기 위해서는 전기기관차(8200호대)의 추진시스템의 원천기술 확보는 중요한 목적이라고 할 수 있다.

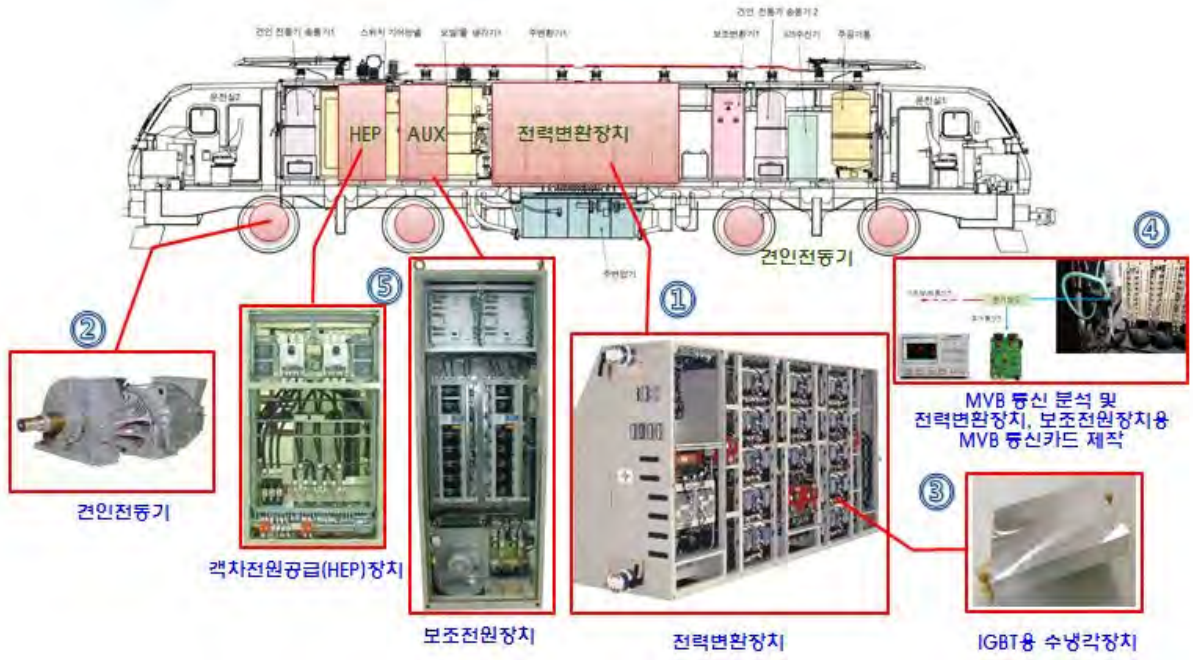


그림 1. 연구개발과제 범위

2. 연구개발의 필요성

국내의 철도차량 제작기술은 외국의 기술이전을 바탕으로 독자적인 모델 제작과 엄격한 시험기준을 통해 지속적인 성능향상 및 공급의 범위를 국외로까지 진출하는 자체기술을 확보한 상태이지만, 철도차량에 적용되는 핵심 구성품의 경우는 원천기술의 미비와 기술력 부족 등으로 직수입 또는 기술제휴를 통하여 제작, 납품되고 있으며 국내 산업선에 운행 중인 구형전기기관차의 경우 사이리스터(Thyristor)를 주회로 스위칭 소자로 사용하고 위상제어 정류방식을 사용하여 견인회로를 구성하고 있다. 하지만 제어방식의 특성상 입력측의 역률이 매우 낮아 변전소의 부담이 크며 직류전동기를 사용하므로 견인전동기의 잦은 고장이 문제점으로 대두되고 있다. 이에 대한 개선방안으로 도입된 신형전기기관차는 주회로 스위칭 소자로서 GTO(Gate Turn-Off)사이리스터를 채용하고 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 제어방식에 의한 교류 유도전동기를 구동함으로써 최고속도 150[km/h]의 고속운전이 가능하게 되었다. 철도차량 제작 시 설계단계에서 하부장치의 종류와 수량이 결정되고 MVB 네트워크의 구성이 정해지며 국내 도입된 차량에 장치추가 및 개선사항이 있을 때, 제작사가 아닐 경우 많은 시간과 비용이 소요되므로 국산화가 시급한 상황이다. 국내 여러 기업들이 MVB 통신장치를 연구하고 있지만 차량마다 프로토콜이 상이하기 때문에 개발에 어려움을 겪고 있다. 또한 신형 전기기관차에는 객차전원공급장치 HEP(Head Electric Power)이 탑재되어 발전차의 도움 없이도 객차에 직접 전원을 공급할 수 있으나 도입된 신형기관차에서도 기술원천적인 제약사항은 그대로 발생하고 있어서 주요장치인 추진제어용 전력변환장치 및 견인전동기, 보조전원장치 또는 HEP 장치에서 발생하는 고장에 대해서는 제작사의 도움이 없이는 접근이 어려운 실정이다.

예를 들면 전력변환장치의 경우 반도체 스택의 잦은 고장과 통신 불량으로 인한 장치의 문제가 되고 있다. 견인전동기의 경우 경량화, 고효율 성을 목표로 새로운 형식의 제품이 지속적으로 개발되고 있으나, 국내의 경우 초기 설비투자, 안정성/신뢰성 확보, 기술 축적의 한계로 인해 저용량 견인전동기 210[㎾]급 제작에 머무르고 있는 실정이며, HEP 장치의 경우 낮은 스위칭 주파수를 이용한 전력변환 방식으로 인하여 출력전압의 품질이 좋지 않고 적은 인덕턴스 값을 보상하기 위하여 대규모 커패시터를 사용하고 있으나 부하전류의 10배에 이르는 무효전류가 필터에서 사용되고 있어서 불필요한 전력의 낭비뿐만 아니라 필터의 수명이 가속되는 등의 문제가 있다. 보조전원장치의 경우 장치의 중요도에 따라 2중계 시스템으로 구축되어 있지만 반도체 스택의 잦은 고장과 통신 불량으로 인한 장치의 정지가 계속적으로 보고되고 있다. 이에 따라 유지보수 관련부서에서는 원천기술 제작사에 장치의 고장원인에 대한 세밀한 분석 및 빠른 고장수리를 요청하고 있으나 제작사의 신속한 대응을 기대하기 어렵다. 한편 기술독점으로 인하여 제품의 가격이 지속적으로 상승하여 유지보수비용이 급격히 증가하는 추세이므로 원활한 유지보수 및 부품공급, 성능향상 및 비용절감 등을 위해 시급한 국산화 개발 필요성이 대두되고 있으며, 본 과제의 전기기관차(8200호대) 추진시스템 국산화 개발 연구를 통해 성공으로 원 제작사 독과점에서 탈피하여 수요의 대부분을 국산화를 통해 해소하고, 해외 진출의 기반을 마련함으로써 철도기술의 수준을 높일 수 있는 계기가 될 것이라 판단된다.

제2절 연구개발의 정의, 범위, 특징

1. 연구개발의 정의

해외 원천기술인 신형전기기관차(8200호대) 추진시스템(전력변환장치, 수냉각장치, 통신보드, 견인전동기, 보조전원장치 및 HEP장치)을 기존 철도차량과 호환되도록 설계 및 시작품을 국산화 제작하고 기본적인 성능을 확인하는 것이 본 과제의 목표이다. 세분화된 주요 목표는 다음과 같다.

- ○ IGBT를 적용한 추진제어용 전력변환장치 기술개발
- ○ IGBT용 수냉각장치 기술개발
- ○ TCU용 MVB통신보드 기술개발
- ○ 전기기관차(8200호대)용 견인전동기 기술개발
- ○ 보조전원장치 및 객차전원공급장치(HEP : Head Electric Power) 기술개발

2. 연구개발의 범위 및 특징

- ○ 추진제어용 전력변환장치 기술개발
  - 기존차량 및 추진제어용 전력변환장치 분석
  - 사용자 요구조건 분석
  - 4,500V, 1,200A IGBT 소자 병렬 Stack 설계 및 제작
  - IGBT 소자 병렬 구동 Gate Driver 설계 및 제작
  - 장치구성 연구 및 구조설계, 취부호환성을 고려한 외함 설계
  - 외함 및 내부장치 구조해석 및 열유동해석
  - 주요부품 시작품 제작 및 기본시험
  - 제어 Unit 상세설계 및 제작
  - 제어알고리즘 분석
  - MVB 통신 프로토콜 분석(전력변환장치 내부 통신)
  - 전력변환장치 및 견인전동기 제어프로그램 작성
  - 공장 내 자체시험
  - 주요부품의 외부인증기관(KORAS)을 통한 시험

- ○ IGBT용 수냉각장치 기술개발
  - IGBT소자의 특성에 적합한 수냉각장치 개발
  - 개선된 유로 설계 및 제작
  - 열유동 시뮬레이션 및 해석

- ○ TCU용 MVB통신보드 기술개발
  - 제어기와의 인터페이스 개발
  - TCU용 MVB 통신보드 설계 및 제작
  - TCU 제어기와의 통신 소프트웨어 개발
  - SIBCOS용 MVB 통신보드 설계 및 제작
  - SIBCOS 제어기와의 통신 소프트웨어 개발
  - 기능시험

- TCU 및 SIBCOS MVB 통신 프로토콜 분석
- MVB 통신 분석보드 설계 및 제작
- MVB 통신 분석 소프트웨어 개발
- 현차시험을 통한 TCU 및 SIBCOS용 MVB 통신 프로토콜 분석

○ 전기기관차(8200호대)용 견인전동기 기술개발
- 기존 1300[㎾]급 견인전동기 자료분석
- 견인전동기 고정자 설계 및 시작품 제작
- 견인전동기 회전자 설계 및 시작품 제작
- 프레임 및 부속품 설계 및 시작품 제작
- 인버터 조합 견인전동기 특성시험(기어박스와 연결되는 멤브레인 커플링은 제외)

○ 보조전원장치 및 객차전원공급장치(HEP : Head End Power) 기술개발
- 기존 보조전원장치, HEP장치 자료 분석
- 시뮬레이션을 이용한 입출력파형, 한계조건 설정
- 프레임 설계 및 시작품 제작
- 입력충전장치, 기타 접촉기의 용량 설계
- IGBT일체형 컨버터/인버터 전력 스택의 설계 및 시작품 제작
- 32bit DSP를 적용한 전력변환기용 제어회로 설계
- CCU장치와 연계 가능한 프로토콜 분석

가. 연차별 추진계획

(1) 1차년도 세부 추진계획 및 방법

연구목표		세부 추진계획 및 방법
한국 철도공사	시스템 엔지니어링 및 시험지원	- 사업총괄 관리 : 목표 및 일정 관리 - 기존자료 조사 및 고장 분석 - 유지보수 측면에서의 기술자료 검토 - 현차시험 지원
	추진제어 알고리즘 분석 및 취부프레임 해석 모델링	- 전기관차 추진제어 알고리즘 분석 및 개발 - 전기기관차 견인전동기 취부 프레임 해석 모델링 - 모델분석을 통한 알고리즘 개발 - 국내외 규격/해석 등 관련자료(문헌)조사 - VPD 관점 기초이론 분석 및 모델링
㈜우진산전	전력변환장치용 기구물 및 전력스택 개발	- 8200호대 차량 회로를 분석하여 개발용 전력변환장치 주회로 제어회로 설계 · 구성품 용량 및 특성 분석 · 8200호대 추진시스템과 적용할 수 있는 전력변환장치 주회로 및 제어회로 설계 - 4500V,1200A IGBT 소자 병렬 Stack 설계 및 제작 · Converter : 4500V, 1200A 2병렬 구성 · Inverter : 4500V, 1200A, 2병렬 구성 - Snubber 회로 설계 제작 · 고주파용 Capacitor를 채용한 Snubber 회로설계

연구목표		세부 추진계획 및 방법
		- 장치구성 연구 및 외함 구조설계 · 기존 장치 외함 구조 분석 · 기존 장치와 취부 호환성을 갖도록 설계 - 4500V,1200A IGBT 소자의 병렬구동 Gate Driver 설계 및 제작 · 기존 대용량 IGBT 구동용 Gate Driver를 확대 적용한 병렬 구동용 Gate Driver 설계, 제작 · 냉각기에 Switching 소자 IGBT를 병렬 취부 하여 구동시험 실시 - 과전압 방전용 Stack 설계 및 제작 · 4500V, 400A Thyristor를 사용한 과전압 방전회로 설계, 제작
	제어 Unit 개발	- 제어 및 통신회로 설계 · 32bit 마이크로프로세서 · PCB 보드 장착용 RACK 설계 · 제어회로 PCB Board 설계(3U, 6U, 9U) 및 제작 · Relay Board 설계 및 제작 - C/I 및 견인전동기 제어 알고리즘 분석 · Slip/Slide 제어 · Vector 제어, 저크 제어 · 비트리스 제어 · 위상 제어 · 일정전압 제어 · 시뮬레이터를 활용한 알고리즘 시뮬레이션 - MVB 통신 알고리즘 분석(전력변환장치 내부통신)
선우전기	IGBT용 수냉각 장치 개발	- 국내외 기술 문헌조사 - 사용자 요구사항 도출 - 사용 시 문제점 파악 및 개선점 도출 - 유량 유속 고려 유로 설계 - Mockup 제작 - 수압, 유량, 냉각, 방열 테스트 - 1차 설계 문제점 보완 - IGBT용 수냉각장치 제작
㈜앤츠	TCU용 MVB 통신보드 개발	- 국내외 관련 자료 조사 및 검토 - 사용자 요구사항 도출 - 문제점 파악 및 개선점 도출 - MVB 통신 분석 보드 설계 및 제작 - MVB통신 분석 소프트웨어 개발 - 현차시험을 통한 TCU용 MVB 통신 프로토콜 분석 - TCU용 MVB 보드 사양 결정 및 구성품 산정 - TCU 제어기와의 인터페이스 개발 - TCU용 MVB 보드 설계 및 시작품 제작
한성중공업㈜	견인전동기 기술개발	- 국내외 운행중인 철도차량의 견인전동기 조사 및 8200호대 전기기관차 견인전동기 사양 분석 확정 - 전기적 특성 검증 및 회전자 구조해석 - 고정자/회전자 설계 (금형 및 Jig 설계제작)

연구목표		세부 추진계획 및 방법
		- 부속부품 설계 및 제작
이경산전㈜	보조전원장치 기술개발	- 보조전원장치 외함 설계 및 제작 · 각각 독립적인 2대의 90kVA 보조전원장치를 수용할 외함의 설계 · 강제공기 냉각용 전동기와 닥트를 포함한 내부설계 · 현재운용중인 지멘스 시스템과 100% 호환이 가능토록 기구적 설계실시 - 접촉기, 마그네틱류, 필터장치 등의 내부장치 설계 제작 · 입력충전장치의 설계제작 · 컨버터용 스므딩 리액터의 설계 및 제작 · 인버터용 dv/dt 제한용 출력필터 설계, 제작 · 기타 접촉기류의 용량, 한계 등에 대한 설계 실시 - 컨버터/인버터용 IGBT 전력 스택 제작 · 필터 커패시터, IGBT 및 히트싱크가 일체형으로 구성된 컨버터/인버터 일체형 전력스택의 설계 및 제작 · 유지보수의 편의성을 고려하여 쉽게 접근이 가능하도록 인간공학적인 설계 실시 · 시뮬레이션에 의한 입출력파형 유추, 한계조건 확인
	제어용 Unit 개발	- 32bit DSP를 적용한 전력변환기 제어용 A/D회로 설계 - 기존차량의 CCU와 연계가능한 통신회로 분석
	HEP장치 기술개발	- 출력전압의 품질향상을 위한 최적의 필터회로 설계 - 무효전류의 저감을 위한 방안 연구개발

(2) 2차년도 세부 추진계획 및 방법

연구목표		세부 추진계획 및 방법
한국철도공사	시스템 엔지니어링 및 시험지원	- 사업총괄 관리 : 목표 및 일정 관리 - 기술자료 및 성과물 검토 - 각종 보고서 작성 - 현차시험 지원
	추진제어 알고리즘 분석 및 취부프레일 해석 모델링	- 추진제어장치 제어기 설계 및 제작 - 추진제어장치 축소형 모델제작, 시험 및 분석 - 작용하중조건, 경제조건 등에 대한 조사 분석 - 프레임 구조해석 및 결과에 따른 적용방안 분석
㈜우진산전	추진제어용 전력변환장치 기술개발	- 장치외함 제작 및 내부장치 조립 - 장치외함 및 내부장치 고압 및 저압시험 - Converter / Inverter 단품시험
	제어 Unit 개발	- Converter / Inverter 및 전동기 제어알고리즘 작성 - MVB 통신프로그램 작성(전력변환장치 내부통신) - 제어 및 통신장치 제작 - Converter / Inverter 연계 제어알고리즘 시험 · 역행/회생 제동 제어알고리즘 분석 · Slip/Slide 제어 구현시험 · 저크 제어 구현시험

연구목표		세부 추진계획 및 방법
		· 비트리스 제어 구현시험 - 구성품 성능시험 · 보호회로 동작시험 · 구성품 시험
선우전기	IGBT용 수냉각 장치 개발	- IGBT용 수냉각장치 제작 - IGBT용 수냉각장치 단품시험
㈜앤츠	TCU용 MVB 통신보드 개발	- 현차 시험을 통한 TCU용 MVB 통신 프로토콜 분석 - TCU용 MVB 보드 시작품 검증 - TCU4 통신제어 소프트위어 개발 - TCU 제어기와 연동 기능 시험 및 설계 보완 - 운용 및 유지보수 매뉴얼 작성
한성중공업㈜	견인전동기 기술개발	- 견인전동기 조립 - 견인전동기 성능시험 · EN 50126을 만족하는 성능시험 수행 - 보완 시작품 제작
이경산전㈜	보조전원장치 기술개발	- IGBT 게이트 제어 유닛의 설계 및 제작 · 컨버터장치 및 인버터 장치의 IGBT에 적용될 전용 GDU 설계 · IGBT의 dv/dt, di/dt 제어가 가능해야 하며 전용 IC를 사용하여 동작 중 고장 검출이 가능하도록 설계 - 제어장치 및 게이트전원용 SMPS의 설계 및 제작 · 가능한 단순화된 구성으로 전원장치의 신뢰성을 극대화한 SMPS 설계 및 제작 · 게이트전원의 경우 2.5kV 이상의 내전압이 가능한 전원회로로 구성 · 장치외함 및 내부장치 조립 · 장치외함 및 내부장치 기능시험 · 전력스택 단품시험
	통신유닛 및 CCU 프로토콜 개발	· 기존차량의 제어컴퓨터인 CCU 장치와 통신으로 연계 가능한 프로토콜의 분석 및 제어장치 개발 · 컨버터/인버터 제어장치와는 독립적인 별개의 제어장치로 구성
	HEP장치 기술개발	· 시뮬레이션에 의한 입출력파형 유추, 한계조건 확인 · 인터페이스 하드웨어 설계 및 제작

나. 연구개발의 특징

(1) 추진제어용 전력변환장치

(가) 주변압기의 1차 25kV의 전압이 인가되어 변압기 2차측의 전압 1,232V가 충전 장치를 통하여 4QS 초퍼에 공급되면 DC 링크단의 전압은 약 DC 2,400 ~ 2,600V로 유지되고, 제어장치의 지령에 VVVF 제어방식에 따라 주전동기(1,350KW)에 전원을 공급하는 장치

(나) 고압 IGBT의 구동을 위한 4500V급 게이트드라이버는 2채널 구동을 기본으로 하였으며, 이 게이트 드라이버는 단락보호, fault 후의 기동방지, 공급전압 중지 및 상태 feedback 등을 위해 Vce 모니터링 기능을 포함.

(다) 회생제동시 역율“1”이 되도록 제어가능하며, 컨버터장치의 병렬 사용으로 가선으로 유입되는 고조파를 최소화 할 수 있다.

(2) IGBT용 수냉각장치

(가) 크기는 기존 스택의 크기 범위 안에서 냉각수의 수압, 유량의 조건은 기존 차량과 동일함.

(나) GTO 소자와 IGBT 소자의 특성이 다르기 때문에 IGBT용 수냉각장치의 외형 및 내부 유로의 구조는 새롭게 설계하며 IGBT 케이스의 최대 온도를 80℃이하가 되도록 냉각 효율을 높임

(다) 실용화를 목적으로 개발하며 제작 공정을 단순화하고 유지 보수가 용이한 구조로 개발

(3) TCU용 MVB 통신보드

(가) MVB 통신보드의 경우 통신 인터페이스 회로 추가로 제어기와의 통신 방식을 선택할 수 있음(RS-232/485)

(나) 실시간 분석 프로그램 : 분석하고자하는 대상 장치의 포트와 비트단위 데이터의 숨기기 기능을 통해 분석효율 향상

(다) 로그 프로그램 : 실시간으로 변화하는 데이터의 변화를 인지하지 못하거나 필요에 의해 이전 데이터가 필요할 경우 사용할 수 있음

(4) 전기기관차용 견인전동기

(가) 전기기관차 견인용으로 대용량(1,300kW급)이며 콤팩트하고 진동에 견딜 수 있게 내부 코어(Core)를 지지한 구조적 특징과 온도방열을 위한 프레임리스(Frameless)형

(나) 전자계해석에 의한 약계자 제어에서도 견인에 필요한 토크(Torque) 특성을 구현.

(5) 보조전원장치

(가) 최신의 4세대급 IGBT를 사용하고 개선된 제어기법을 적용하여 변환손실 및 IGBT 소손 발생의 최소화를 실현

(나) 전력스택의 효율적 배치 및 냉각장치의 용량증대를 통하여 방열성능 향상

(다) 전력스택의 IGBT와 게이트드라이버 및 DC Link 부분을 분리하기 쉬운 구조로 설계하여 고장발생 시 신속한 대응 가능(유지보수성의 향상)

(6) 객차전원공급 장치

(가) 기존 PWM주파수(300Hz)보다 높은 PWM주파수를 사용하여 기준 주파수 대비 고조파 발생률 저감

(나) 필터의 컷 오프 주파수를 재계산하고 적절한 필터캡을 사용하여 출력전압의 왜곡 율을 향상

(다) 내부 임피던스가 적은 향상된 성능의 커패시터를 선정하여 고장 발생률 최소화

제3절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 전기기관차 기술개발 현황

국내 철도 차량 기술 현황은 분야에 따라 상이하지만 선진국에 대비하여 대략 70~95% 수준이고 추진제어장치 및 전력변환 및 전원장치에 대해서는 상당 부분 국산화가 진행되었거나 진행 중이다. 하지만 전기기관차에 관련된 분야에서 기술개발이 본격적으로 이루어진 적은 없다. 국내 철도차량의 전력변환장치 설계 및 제작 기술이 일정의 성과를 내고 있으며, 그 예로 국내 통큰형 전동차의 VVVF 인버터 국산화를 이룩하여 신차 및 개보수 차량에 장착하여 영업운전을 실시하고 있고, 최근의 TTX등 중고속 열차의 추진시스템 국산화 추진 실적이나, KTXⅡ의 추진시스템 개발 등 많은 발전이 이루어져 왔다. 하지만, 아직 중 고속 열차의 추진제어시스템(C/I)이나 고속열차의 추진시스템(Motor Block)의 제어기술이 안정화를 이룩하였다고 보기는 어려우며 보다 많은 기술투자가 이루어져야 할 것으로 본다. 이번에 국산화를 하고자 하는 8200호대 전기기관차의 전력변환장치는 수냉식 구조로 아직 국산화가 진행되지 않았으며, 전량 해외에서 수입에 의존하고 있는 상황이다. 전력변환장치는 기본적인 하드웨어의 구성은 대부분 유사한 부분이 많지만 차량의 종류 및 하부 부하장치의 제어 특성이 종속되므로 신규차량이 제작되는 때에 새롭게 설계되는 경우가 많다. 국내에서 추진제어시스템과 관련된 분야는 현대로템과 (주)우진산전에서 주도적으로 진행 중이며 규모가 작은 보조전원장치 등은 이경산전(KTX 객차 인버터), 우진산전(전동차 보조전원장치) 등에서 연구개발 된 장치가 현재 운영 중에 있다.

철도차량과 더불어 자동차분야에서도 전력변환장치의 필요성이 증대되고 있는데 전기자동차에서 사용되는 전력변환시스템은 주로 소형화에 연구(현대기아자동차)가 집중되어 철도차량과는 상당히 다른 형태로 연구가 진행 중이다. 철도차량에서도 경량화 연구(철도기술연구원)가 많이 진행 중이지만 공공분야의 특수성을 고려하여 전통적으로 신뢰성 향상 및 유지보수의 편의성 향상에 연구의 초점이 모아지고 있는 추세이다. 전력변환장치는 기본적인 하드웨어의 구성은 대부분 유사한 부분이 많지만 차량의 종류 및 하부 부하 장치의 제어 특성이 종속되므로 신규차량이 제작되는 때에 새롭게 설계되는 경우가 많다.

철도 산업은 도시철도 및 고속전철과 함께 질적, 양적으로 발전 하였지만 차량 견인용 전동기의 기술은 외국 기술을 도입하여 자립 수준은 수백kW 출력에 지나지 않는다. 특히 추진시스템에서 견인전동기는 구동시키는 제어시스템과 밀접한 관계를 가지는 전장품이면서 회전기라는 특수한 분야로서 전기적 특성과 기계적 특성의 신뢰성과 구조적 건전성이 매우 중요하여 철도차량의 전체성능을 좌우하는 핵심부분이지만 국내의 기술축적이 미진한 수준이다. 그러므로 운행의 안전성뿐만 아니라 설계단계에서 안전성 확보를 위해 추진제어장치 분야의 기반기술 확보가 시급하며 특히 추진시스템의 핵심인 견인전동기에 있어 표준모델을 구축하여 독자적인 기술확보가 필요하며 국가적 차원에서도 중요한 과제이다.

2. 국외 전기기관차 기술개발 현황

철도차량과 관련된 전장품 기술은 차량제작의 기술적 우위 및 경험이 풍부한 유럽(지멘스, ABB, 알스톰, 봄바르디아 등)의 방식과 아시아권에 집중적으로 진출한 일본(히타치, 미쓰비시, 도시바 등)의 제작사가 주도적으로 상업권을 장악하고 있다. 국내의 철도차량과 관련된 전장품 기술이 주로 고속전철과 도시형 전동차에 집중되어 있는 반면 국외에서는 다양한 용량과 형식을 갖는 제품들을 개발하고 생산중이다. 유럽에서 전기기관차는 사회기간산업의 일부로 계속적인 발전을 해왔고 고성능 마이크로프로세서를 이용한 정밀한 견인전동기 제어기술, PWM 컨버

터 제어기술 등 선진기술력을 바탕으로 해외시장에 진출하고 있다. 또한 유럽은 최초로 전철시스템이 도입하여 차량시스템 개발 역사가 길고 기술개발 내용도 다양하여 많은 발전을 하였다. 특히 기초소재 및 물성연구의 발달로 고효율, 소형 경량화 측면의 기술발전에 많은 진보를 하였다. 또한 경전철, 교외선, 고속전철 분야에서도 많은 차량시스템을 보유하면서 프레임이 없는 구조, Skewed aluminium cast형 견인전동기 및 냉각방식 연구에도 최신기술을 보유하여 저진동, 저소음 전동기뿐만 아니라 내부발열 억제 및 환경에 의한 운전 장애 해결로 소형 및 고출력화 하고 있다. 일본 경우 신칸선의 고속전철을 자체개발 하였고 최근 더 진보된 신고속전철을 운행하는 수준의 우수한 기술력을 보유하고 있다.

한편 전 세계적인 불황의 여파로 신규차량의 도입보다 기 도입된 차량의 성능개선을 원하는 이른바 차량 및 시설 개조사업(Overhaul, Refurbishment) 등도 틈새시장(수십만 달러에서 수억 달러 규모)을 형성하고 있다. 주로 개도국이나 저개발국가에 이미 설치된 인프라 시설에 대한 성능향상의 목적으로 시행되는데 태국, 필리핀, 이란, 브라질 등 세계 각국에서 이러한 목적의 개조사업이 이미 실시중이며 국내의 철도공사와 중국계 기업에서 활발히 참여하고 있다.

또한 국외의 전동차 및 전기기관차 제작사에서는 다양한 용량과 제품들을 개발 생산하고 있으며, 국내에서는 이러한 제품을 수입하여 전기기관차의 추진시스템에 사용하고 있다. 독일의 지멘스, 일본의 도시바, 미쓰비시, 영국의 GEC 등 선진 제작사에서는 사회 기간산업으로 발전해 왔고, 기술 수준 또한 현재 32bit급 마이크로프로세서를 사용한 정밀한 토크제어와 견인전동기 제어기술 등의 선진기술력으로 해외 시장에 수출하고 있다.

세계 철도시장은 최근 급격히 성장하여, 2008년 61조원에서 연 평균 4.1%씩 성장하여 2015년경 약 250조원의 거대 시장으로 성장할 것으로 예상된다.

- 세계 철도시장은 캐나다(Bombardier, 20.6%), 프랑스(Alstom, 18.1%), 독일(Siemens, 16.8%)상위 3개사에서 전체의 55% 이상을 차지하고 있는 것으로 집계됨
- 국내 철도사업은 국내 발주와 외국 OEM의존으로 세계시장 점유율이 2% 수준으로 적음

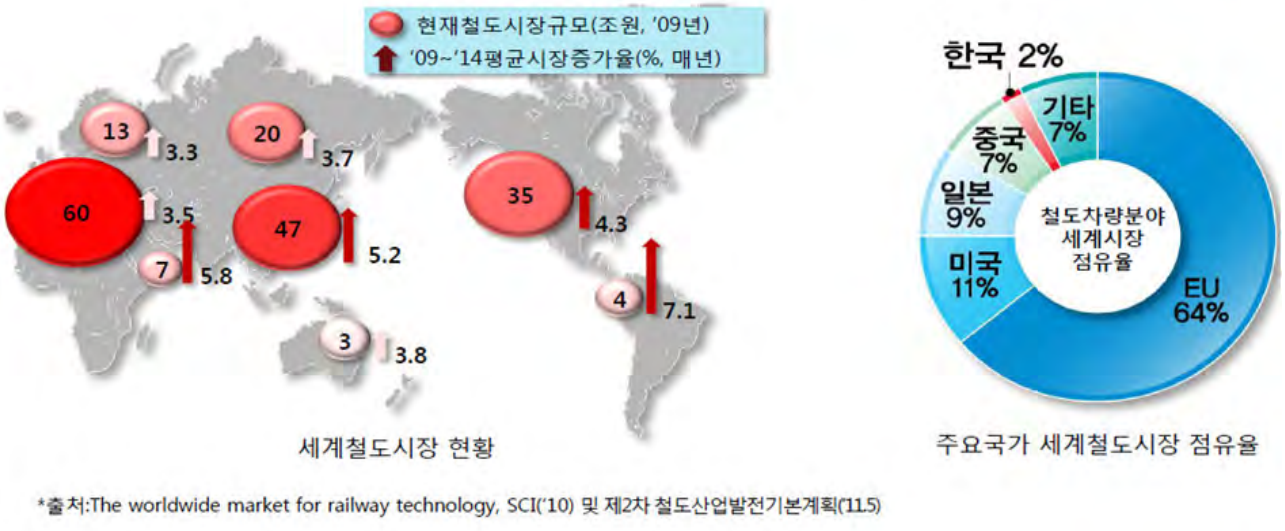


그림 2. 주요국가 세계철도시장 현황

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구수행 개요

○ 과 제 명 : 전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발

○ 목　　표 : 신형전기기관차 추진시스템을 기존차량과 호환성을 갖는 국산화 개발

○ 총연구기간 : '12.12.26. ~ '14.12.25(2년)

○ 연 구 비 : 6,002,668천원 (2차년도 : 1,962,668천원)

○ 참여기관

- 주관연구기관

☞ 한국철도공사(연구책임자 : 윤차중)

- 공동연구기관

☞ ㈜우진산전(연구책임자 : 이진국), 선우전기(연구책임자 : 홍성위), ㈜앤츠(연구책임자 : 손기환), 한성중공업㈜(연구책임자 : 임채웅), 이경산전㈜(연구책임자 : 이을재)

- 위탁연구기관

☞ 한국교통대학교(연구책임자 : 김재문)

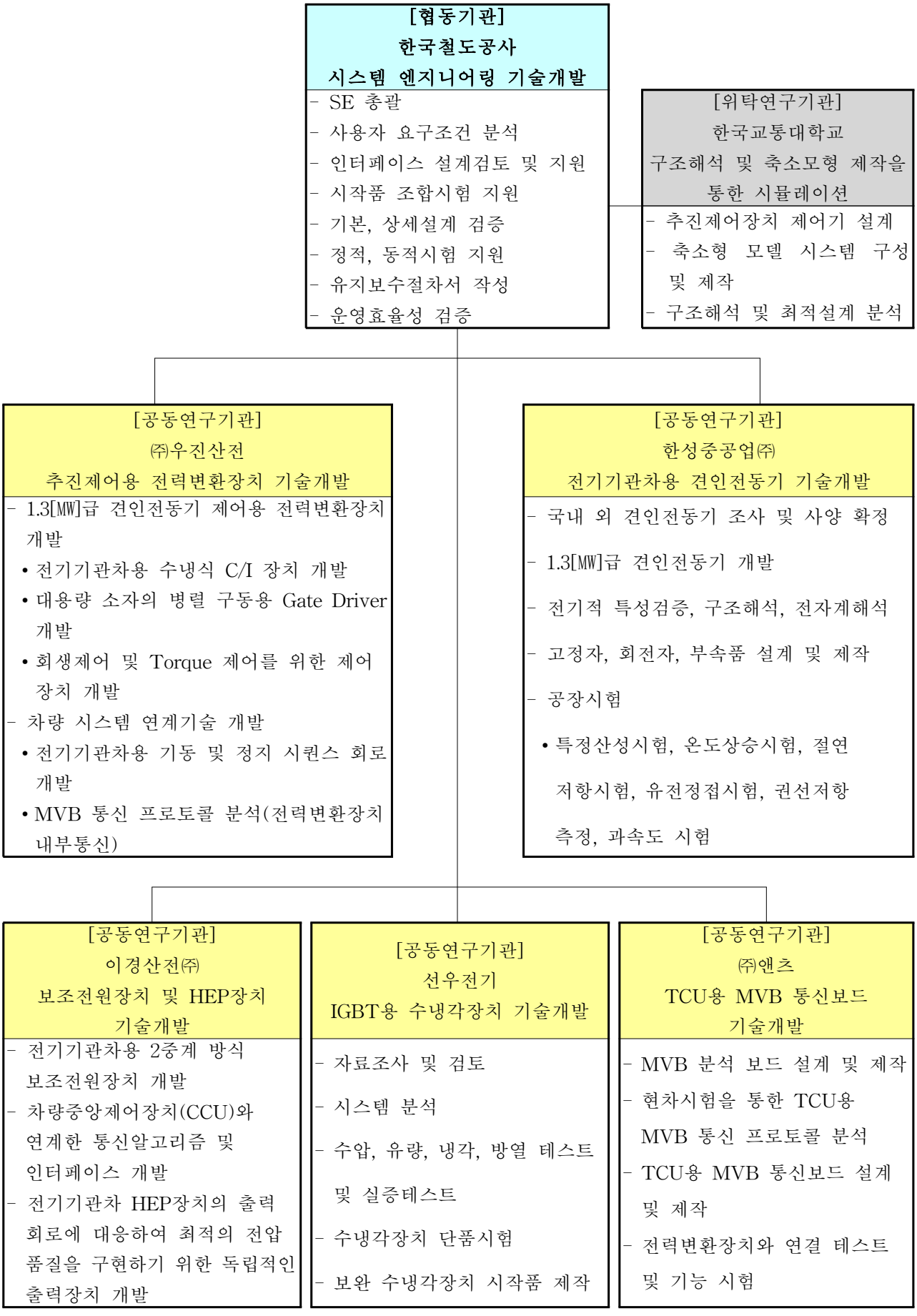
2. 연구개발비

[단위: 천원, %]

항목	비목 \ 연도		1차년도 (2012.12.26.)		2차년도 (2013.12.26.)		합 계		비고
			금액	비율	금액	비율	금액	비율	
직접비	인건비 미지급 인건비		(157,104)		(156,720)		(313,824)		
	인건비 지급 인건비	현금	58,914	1.5	151,304	7.7	210,218	3.5	
		현물	551,094	13.6	279,324	14.2	830,418	13.8	
	학생인건비								
	연구장비·재료비	현금	2,626,510	65.0	959,649	48.9	3,586,159	59.7	
		현물	366,906	9.1	155,919	7.9	522,825	8.7	
	연구활동비		172,136	4.2	241,591	12.3	413,727	6.9	
	연구과제추진비		143,804	3.6	85,409	4.4	229,213	3.8	
	연구수당		40,700	1.0	43,816	2.2	84,516	1.4	
	위탁연구개발비		45,000	1.1	30,000	1.5	75,000	1.2	
간 접 비 (사업지원경비)			34,936	0.9	15,656	0.8	50,592	0.8	
연구개발비 총액 (미지급인건비 제외)	현금		3,122,000	77.3	1,527,425	77.8	4,649,425	77.5	
	현물		918,000	22.7	435,243	22.2	1,353,243	22.5	
	총액		4,040,000	100	1,962,668	100	6,002,668	100	

3. 연구개발 추진체계 및 추진방법

가. 연구수행 체계 및 방법



(1) WBS 관리 체계

(가) 일반사항

① 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

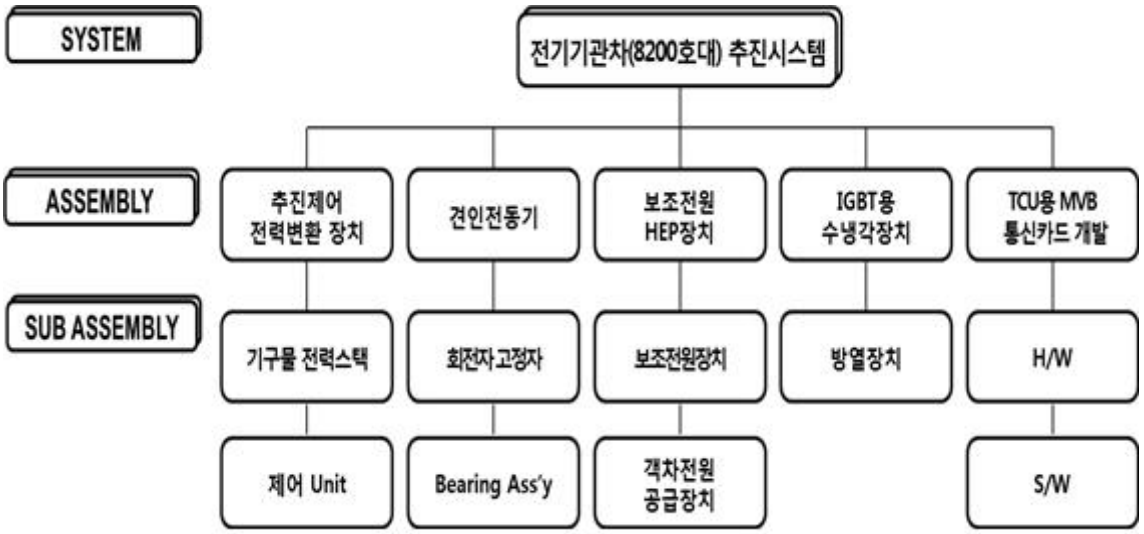


그림 3. WBS 구성도

- 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

② 활용범위

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

(나) WBS 기본원리

① Level

각 단계별로 순차적으로 전개

PBS 또는 기능에 따라서 상세히 구성

② WBS는 최소한 3 level로 구성

1 level : 주로 계약 schedule 목표 (대외용)

2 level : 컨소시엄 member에 의해 수행되는 주요 목표

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

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

③ 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 작성 시 필수요소

④ Group Task

차하위 level WB의 총합

(다) 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 색인검색을 쉽도록 문서번호는 같게 하고 K(K-TGV)대신에 EL(Electric Locomotive)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)

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 연구기관에서는 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)

제2절 연구수행과정 및 내용

1. 시스템 엔지니어링

가. 사업관리

(1) 공정(기술)회의 및 과제관리

(가) 1차년도

① 착수보고회 개최

- 일시 : 2013.01.18.(금)
- 장소 : 한국건설교통기술평가원 3층 회의실
- 내용
  - 연구범위 확인 및 종합시험 계획 수립
  - 국산화기술개발을 최종목표로 함

② 실무자 회의 개최

- 일시 : 2013.01.21.(월)
- 장소 : 한국철도공사 연구원 회의실
- 내용
  - WBS(Work Breakdown Structure)작성 방법
  - 연구개발비 집행 유의사항 알림

③ 킥 오프 미팅

- 일시 : 2013.01.31.(목)
- 장소 : 한국철도공사 3층 대회의실
- 내용
  - 특허전략 추진방향
  - 신규과제 참여기관별 연구방향 발표 및 질의응답

④ 참여기관 현장점검

- 일시 : 2013.02.19.(화) ~ 2013.02.22.(금)
- 대상기관 : 과제 공동 참여기관

- 내용
  · 연구계획 대비 추진현황
  · 연구기관의 시험설비(장비) 구비현황 확인
  · 연구수행을 위한 애로사항 등 기타 의견수렴

⑤ 2월 공정회의 개최
- 일시 : 2013.02.27.(수)
- 장소 : 제천차량사업소
- 내용
  · 현차확인 및 현장점검 주요 내용
  · 국가 R&D 특허전략지원사업 진행사항 공유

⑥ 3월 공정회의 개최
- 일시 : 2013.03.28.(목)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · 1차 현차분석시험 결과 공유
  · 특허전략지원사업 2차 필터링 자료 기술등급 부여

⑦ 현차분석시험 결과보고회 개최
- 일시 : 2013.05.28.(화)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · 1차~4차까지의 현차 분석시험 결과 공유
  · 현차분석시험 결과에 대한 연구적용 방안 검토 및 문제점 토의

⑧ 기본설계 보고회 개최
- 일시 : 2013.08.08.(목)
- 장소 : 제천차량사업소 회의실
- 내용
  · 사용자/시스템 요구조건에 대한 참여기관 의견
  · 각 장치별 기본설계 내용 공유 및 상세설계에 적용 토의

⑨ 견인전동기 기술검토 회의
- 일시 : 2013.08.28.(수)
- 장소 : 한성전공㈜ 회의실
- 내용
  · 기존 견인전동기 파라미터 확보 방안
  · 견인전동기 기존품 대비 연구 개발품 호환성 평가 항목 결정
  · 상반기 연구비 집행 지적사항 조치결과 확인

⑩ 연구성과 향상을 위한 연구지원 활동
- 일시 : 2013.09.24.(화) ~ 2013.09.24.(화)
- 대상기관 : 과제 공동 및 위탁 참여기관
- 내용
  · 연구과제 수행현황 및 연구비 집행·관리 현황
  · 연구수행을 위한 애로사항 등 기타 의견수렴

⑪ 상세설계 보고회 개최
- 일시 : 2013.11.12.(화)
- 장소 : 대전철도차량정비단 전기차량부 회의실
- 내용
  · 기관별 부품리스트 및 사양서가 포함된 상세설계(안) 발표
  · 자체성과 발표회 보완 방안 및 내용 공유
  · 1차년도 실적 요약보고 및 2차년도 연구개발 계획 발표

(나) 2차년도
① 공동연구기관 현장점검
- 일시 : 2014.01.09.(목) ~ 2014.01.16.(목)
- 대상기관 : 과제 공동 참여기관
- 내용
  · 연구과제 수행현황 및 연구비 집행·관리 현황
  · 연구수행을 위한 애로사항 등 기타 의견수렴

② 3월 공정회의
- 일시 : 2014.03.18.(화)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · 제3자 입회시험 관련 향후일정 협의
  · 연구과제 최종목표 재 확인
  · 1차년도 및 2차년도 연구개발 추진현황 및 계획 공유

③ MVB 통신 연구진행 현황회의
- 일시 : 2014.04.07.(월)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · MVB 관련 국제 표준 분석 진행상황 공유
  · 과제 관련 분석 진행상황 공유
  · 향후 시험 일정 및 시험 방법에 대한 내용 공유

④ 공동연구기관 현차분석회의
- 일시 : 2014.05.13.(화)
- 장소 : 제천차량사업소 회의실
- 내용
  · MVB 프로토콜 관련 시험 진행방향 공유
  · MVB 장치간 통신 취득 포인트 설정
  · CCU-TCU간 통신 데이터 변화값 취득
  · MVB통신 필터링 및 MMI표출 내용 확인

⑤ 견인전동기 개발일정 협의
- 일시 : 2014.05.19.(월)
- 장소 : 한성중공업㈜ 회의실
- 내용
  · 견인전동기 시작품 제작에 대한 일정 협의
  · 기존 견인전동기 특성시험 일정 및 방법 협의
  · 제3자 입회시험 방법에 대한 내용 협의
  · 견인전동기 시작품 제작 현황 확인

⑥ 제 3자 입회시험 관련 회의
- 일시 : 2014.06.09.(월)
- 장소 : ㈜우진산전 대회의실
- 내용
  · 제 3자인증 관련 기관별 진행방향 협의
  · 제 3자인증 시험방법 및 계약관련 프로세스 공유
  · 시작품 제작 일정 및 시험 일정 협의
  · 시험 절차서 주요내용 확인 및 정리

⑦ 6월 공정회의
- 일시 : 2014.06.12.(목)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · 제 3자인증 관련 기관별 진행방향 협의
  · 제 3자인증 시험방법 및 계약관련 프로세스 공유
  · 시작품 제작 일정 및 시험 일정 협의

⑧ 공동연구기관 현장지원활동
- 일시 : 2014.06.18.(수) ~ 2014.07.07.(월)
- 대상기관 : 과제 공동 및 위탁 참여기관
- 내용
  · 연구과제 수행현황 및 연구비 집행·관리 현황
  · 연구수행을 위한 애로사항 등 기타 의견수렴

⑨ 실무자 회의
- 일시 : 2014.08.18.(월)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · 연구개발 진행현황 공유 및 향후 계획 협의
  · 기술문서 및 연구노트 검토
  · 연구단 현장지원활동 중점사항 공유
  · 최종보고서 작성 안내 및 향후일정 협의 등

⑩ 공동연구기관 현장점검 결과보고
- 일시 : 2014.10.01.(수) ~ 2014.10.14.(화)
- 대상기관 : 과제 공동연구기관
- 내용
  · 연구과제 수행현황 및 연구비 집행·관리 현황
  · 연구수행을 위한 애로사항 등 기타 의견수렴

⑪ 10월 공정회의 결과보고
- 일시 : 2014.10.22.(수)
- 대상기관 : 과제 공동 참여기관
- 내용
  · 2차년도 연구과제 진행현황 및 자체시험결과 공유
  · 기관별 업무협조 진행사항 및 미진사항
  · 제3자 입회시험 관련 협의

⑫ 실무자 회의
- 일시 : 2014.11.26.(수)
- 장소 : 한국철도공사 회의실
- 내용
  · 연구개발 진행현황(시험 등) 및 일정공유
  · 최종보고서 보완 및 작성 방향 협의
  · 향후 추진 계획 협의

(2) 사용자/시스템 요구조건 수렴

(가) 1차 사용자/시스템 요구조건 기초조사
- 일시 : 2013.03.26.(화)
- 조사기관 : 제천차량사업소
- 내용
  · 과제를 통한 8200호대 전기기관차의 유지보수 시 불편사항 수렴
  · 설문내용 협의 및 주요고장, 유지보수성의 효율화가 필요한 부분에 대한 협의
  · 전력변환장치, 보조전원장치, HEP장치, 견인전동기, MVB 통신 항목 의견 수렴

(나) 2차 사용자/시스템 요구조건 설문조사

- 일시 : 2013.04.17.(수)
- 조사기관 : 한국철도공사 내 8200호대 전기기관차 운용기관(12개)
- 내용
  - 1차 기초조사를 토대로 설문조사 실시
  - 개발품에 반영할 현장의견 수렴

(다) 3차 사용자/시스템 요구조건 검토회의

- 일시 : 2013.08.08.(목)
- 장소 : 대전철도차량정비단, 제천차량사업소
- 참여기관 : 한성전공㈜, ㈜앤츠, 대전철도차량정비단, 제천차량사업소
- 내용
  - 주요 설문내용에 대한 과제에 적용성 확인
  - 수용 가능한 사용자/시스템 요구조건 토의
  - 8200호대 현차 확인 및 8500호대와 비교 분석

나. 현차분석시험 지원

(1) 시험 지원

(가) 1차년도

① MVB 인터페이스 카드 동작 확인

- 일시 : 2013.03.07.(목)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 내용
  - MVB 통신 인터페이스 카드 동작사항 확인
  - MVB 통신 파형 확인
  - 전기기관차 정적상태에서 MVB 데이터 취득
  - 차량내부 MVB 라인 위치 확인

② MVB 인터페이스 카드 동작확인 및 통신선 확인

- 일시 : 2013.03.19.(화)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 대상 : 사업소내 대기차량(8225호)
- 내용
  - MVB 통신 인터페이스 카드 동작사항 확인
  - MVB 통신 파형 확인 및 로직 구성을 위한 파형 획득
  - 차량내부 MVB 라인 위치 확인
  - MVB 전용선과 일반 통신선과의 데이터 파형 비교

③ 현차 분석시험

- 일시 : 2013.03.22.(금)
- 장소/구간 : 제천 ↔ 영주 1왕복(제천 착·발)
- 대상 : EL 8215호 + 무궁화호객차 4량 편성차량
- 내용
  - 견인전동기 베어링부 및 프레임 진동 12포인트 측정
  - 견인전동기 입력 전압, 전류 6포인트 측정
  - 견인전동기 온도 6포인트 일부 측정(센서오류)
  - HEP출력장치 입/출력 측 전압, 전류 12포인트 측정
  - 보조전원장치 입/출력 측 전압, 전류 10포인트 측정
  - 주전력변환장치 입수 직관 유량 1포인트 측정

④ 인터페이스 작동확인 및 데이터 취득

- 일시 : 2013.03.26.(화)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 대상 : 8274호
- 내용
  - 인터페이스 카드, T분기 보드 동작 확인
  - MVB 데이터 취득 위치 확인(TCU카드, MVB BUS 말단)
  - MVB 전용선, UTP케이블 취득 데이터 확인

⑤ 2차 현차분석시험

- 일시 : 2013.04.12.(금)
- 장소/구간 : 제천 ↔ 단양 1왕복(제천 착·발)
- 대상 : EL 8235호 + 무궁화호객차 4량 편성차량
- 내용
  - 견인전동기 입력 전압, 전류 2포인트 측정
  - 견인전동기 프레임온도 외 5포인트 측정
  - 보조전원장치1 입력측 필터전단 전압, 전류 2포인트 측정
  - 보조전원장치1 입력측 필터후단 전압, 전류 2포인트 측정
  - 보조전원장치1 출력측 전압, 전류 2포인트 측정
  - 보조전원장치2 입력측 전압, 전류 2포인트 측정

⑥ 공동기관 계측장비 테스트 지원

- 일시 : 2013.04.17.(수)
- 장소/구간 : 대전철도차량정비단(충북 제천)
- 대상 : 8231호
- 내용
  - 각 장비 설치시 기동 확인
  - 계측 포인트(6포인트) 측정

⑦ MVB통신 데이터 취득 및 MMI 표출 데이터 확인
- 일시 : 2013.04.24.(수)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 대상 : 8259호
- 내용
  · 정적구동상태에서의 데이터 취득
  · TCU PORT23 기준으로 데이터 사이클 확인
  · 노트북을 통한 Hexa데이터 취득 확인
  · 기존 MMI 장치에서의 데이터 비교
  · 보드 작동상태 확인

⑧ 3차 현차분석시험
- 일시 : 2013.04.26.(금)
- 장소/구간 : 중앙선(제천 ↔ 영주)
- 대상 : 전기기관차(NEL) 8225호 + 무궁화호객차 2량 편성차량
- 내용
  · DC Link전압 측정
  · CONVERTER 입력 전압/전류 측정
  · INVERTER 출력 전압/전류 측정
  · 주전력변환장치 입수/배수 배관온도 측정
  · 주전력변환장치 내부 온도 측정

⑨ 4차 현차분석시험
- 일시 : 2013.05.14.(화)
- 장소/구간 : 중앙선(제천 ↔ 단양)
- 대상 : 전기기관차(NEL) 8254호 + 무궁화호객차 4량 편성차량
- 내용
  · DC Link전압 측정
  · CONVERTER 입력 전압/전류 측정
  · INVERTER 출력 전압/전류 측정

⑩ MVB통신 데이터 취득 및 포트 확인
- 일시 : 2013.06.20.(목)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 대상 : 8237호
- 내용
  · MVB 통신 데이터 취득 및 프로그램 확인
  · TCU의 I/O 포트 확인
  · MVB 데이터와 PC간 통신 속도 확인
  · MVB 통신 데이터 변화 값에 대한 저장 확인

⑪ MVB통신카드 확인 및 MVB 데이터 취득 보드 검증 시험
- 일시 : 2013.10.01.(화)
- 장소/구간 : 대전철도차량정비단, 제천차량사업소
- 대상 : 8258호
- 내용
  · MVB 카드 확인 및 통신데이터 취득
  · 통신 시험기 사양 확인
  · 비상정지 및 이상정지시 통신 데이터 확인
  · Port별 통신 동작 상황 확인.

(나) 2차년도
① 현차분석시험 전 포인트 확인 및 MVB 데이터 취득
- 일시 : 2014.01.16.(목)
- 장소/구간 : 대전철도차량정비단, 제천차량사업소
- 내용
  · 1.22.(수) 현차분석시험 전 포인트 확인
  · MVB 데이터 취득에 필요한 포인트 확인 및 시험 협의
  · 현차분석시험(동적시험)시 데이터 취득 포인트 확인
  · MVB 정적 데이터 취득
  · 수냉각장치 측정 포인트 협의 및 확인

② 공동연구기관 현차분석시험
- 일시 : 2014.01.22.(화)
- 장소/구간 : 제천 ↔ 단양(제천역 착·발)
- 대상 : 8245호, 무궁화 객차 2량
- 내용
  · 시험 전 정비단 내 시험선로에서 기능시험 실시
  · 수냉각장치 12포인트 온도기록계 이용 온도기록
  · 옵서버 프로그램 이용 수온, 수압데이터 취득
  · 1, 2번 운전실 CLIP 장치에서 MVB 데이터 다운
  · 동적시험 데이터 취득

③ MVB 통신 포트 검색
- 일시 : 2014.01.23.(수)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 대상 : 8275호
- 내용
  · MVB 통신 포트 검색
  · TCU 뒷면 패널 조사

④ MVB 프로토콜 동작사항 확인 및 TCU·CCU 통신 포트 검색 확인
- 일시 : 2014.02.13.(목)
- 장소/구간 : 제천차량사업소, 대전철도차량정비단
- 대상 : 8275호, 8276호, 8244호
- 내용
  · MVB 통신 상황 확인
  · TCU 시험기를 통한 포트 검색 확인
  · CCU 시험기를 통한 포트 검색 확인
  · 게이트웨이 포트 검색 확인

⑤ 현차분석시험 및 장치확인
- 일시 : 2014.03.12.(수) ~ 2014.03.13.(목)
- 장소/구간 : 제천차량사업소, 대전철도차량정비단
- 대상 : 8275호, 8272호, 8209호
- 내용
  · HEP장치 시작품 조립 전 현차 최종확인 및 배선도 작성
  · HEP장치 사용자/시스템 요구조건 수렴
  · 기계실 장치 작동에 따른 데이터의 변화 값 취득
  · 데이터의 변화 값과 MMI표출 비교 분석

⑥ MVB 프로토콜 분석 및 취득, 필터링
- 일시 : 2014.03.19.(수)
- 장소/구간 : 제천차량사업소
- 대상 : 8275호
- 내용
  · MVB 통신의 필요데이터 추출을 위한 필터링
  · MVB 프로토콜 취득
  · 동적데이터와 정적데이터 비교

⑦ MVB 프로토콜 분석 및 견인전동기 특성시험을 위한 협의
- 일시 : 2014.03.27.(목) ~ 2014.03.28.(금)
- 장소/구간 : 제천차량사업소, 대전철도차량정비단
- 대상 : 8275호
- 내용
  · MVB 필터링 작업
  · MVB 프로토콜 분석 S/W
  · 견인전동기 특성시험 관련 진행상황 확인

⑧ 공동연구기관 현차분석
- 일시 : 2014.05.13.(화)
- 장소/구간 : 제천차량사업소

- 내용
  · CCU-TCU간 통신 데이터 변화 값 취득
  · CCU-SIBICOS 통신 데이터 변화 값 취득
  · 기동 전·후의 변화 값 취득

⑨ MVB 프로토콜 분석 및 프로토콜 취득
- 일시 : 2014.07.03.(목)
- 장소/구간 : 제천차량사업소, 대전철도차량정비단
- 대상 : 8217호
- 내용
  · TCU, SIBICOS, CCU 프로토콜 포트 분석
  · MVB 프로토콜 취득
  · 수냉각장치 혹서기 현차시험 협의
  · 주전력변환장치 공진 커패시터 확인(8102호)

⑩ MVB 프로토콜 분석 및 취득, 수냉각장치 혹서기 현차시험 일정 협의
- 일시 : 2014.07.11.(금)
- 장소/구간 : 제천차량사업소, 대전철도차량정비단
- 대상 : 8217호
- 내용
  · TCU, SIBICOS, CCU 프로토콜 포트 분석
  · MVB 프로토콜 취득
  · 수냉각장치 혹서기 현차시험 협의
  · 주전력변환장치 공진 커패시터 교환사례 문의

⑪ 공동연구기관 현차분석시험
- 일시 : 2014.08.04.(월) ~ 2014.08.05.(화)
- 장소/구간 : 제천 ↔ 단양 1왕복(제천 착·발)
- 대상 : 전기기관차(8279호) + 무궁화호 객차 1량 조성 차량
- 내용
  · 혹서기 주전력변환장치 내 수냉각장치 온도변화 측정
  · 운행속도에 따른 수냉각장치 온도변화 비교

⑫ 동적데이터 취득을 위한 현차분석시험
- 일시 : 2014.08.13.(수) ~ 2014.08.14.(목)
- 장소/구간 : 제천 ↔ 단양 (제천역 착·발)
- 대상 : 전기기관차(8257호), 객차 2량
- 내용
  · 전기기관차 상태점검, 통신데이터 취득보드 및 프로그램 기능 점검
  · 시운전 전 대전철도차량정비단 내 반복운행 기능시험 실시
  · 동적 MVB통신 데이터(속도데이터 등) 취득

⑬ 동적데이터 취득을 위한 현차분석시험
- 일시 : 2014.09.11.(목) ~ 2014.09.12.(금)
- 장소/구간 : 대전철도차량정비단 구내 시험선로
- 대상 : 전기기관차(8261호)
- 내용
  · 전기기관차 상태점검, 통신데이터 취득보드 및 프로그램 기능 점검
  · 시운전 전 대전철도차량정비단 내 반복운행 기능시험 실시
  · 동적 MVB통신 데이터(속도데이터 등) 취득

⑭ MVB통신 분석을 위한 현차시험
- 일시 : 2014.10.07.(화) ~ 2014.10.08.(수)
- 장소/구간 : 대전철도차량정비단 구내 시험선로
- 대상 : 전기기관차(8258호)
- 내용
  · 전기기관차의 MVB통신 분석을 위한 현차 통신 데이터 확보
  · 전기기관차의 추진제어장치 및 보조전원장치의 제어 기술 분석
  · 전기기관차의 운행 중 발생하는 동적데이터의 분석

⑮ MVB통신 분석을 위한 현차시험
- 일시 : 2014.10.16.(목) ~ 2014.10.17.(금)
- 장소/구간 : 대전철도차량정비단 구내 시험선로
- 대상 : 전기기관차(8280호)
- 내용
  · 전기기관차의 MVB통신 분석을 위한 현차 통신 데이터 확보
  · 전기기관차의 추진제어장치 및 보조전원장치의 제어 기술 분석
  · 전기기관차의 운행 중 발생하는 동적데이터의 분석

⑯ MVB통신 분석을 위한 현차시험
- 일시 : 2014.11.20.(목) ~ 2014.11.21.(금)
- 장소/구간 : 제천 ↔ 단양 (제천역 착·발)
- 대상 : 전기기관차(8259호)
- 내용
  · 전기기관차의 MVB통신 분석을 위한 현차 통신 데이터 확보
  · 전기기관차의 추진제어장치 및 보조전원장치의 제어 기술 분석
  · 전기기관차의 운행 중 발생하는 동적데이터의 분석

다. IP R&D 사업

(1) 분석 목적

특허 동향조사는 전기기관차 추진 시스템의 주요 장치인 전력변환장치, 견인전동기, 보조전원장치 및 객차전원공급장치에 관한 특허동향을 분석함으로써 우리나라의 기술 수준, 선진기업의 연구개발 동향 및 핵심특허 현황 등을 파악하여 본 연구개발과제 수행의 타당성에 대한 객관적인 특허정보를 분석하고 해외 주요기업의 보유특허를 파악하여 침해 리스트, 대응방안 마련 및 기술획득 전략을 수립하여 우수특허를 창출하고자 한다.

(2) 분석 범위

연구 성과의 파급효과 및 연구의 필요성을 고려하여 선택된 3개의 연구기술 분야(추진제어용 전력변환 장치, 전기기관차용 견인전동기, 보조전원장치 및 객차전원장치)를 특허분석대상으로 하였으며, ~ 2013년 4월까지 출원공개·출원등록된 한국특허, 일본특허, 유럽특허 및 미국특허를 분석 대상으로 한다.

표 1. IP R&D표 특허 분석범위

국가	검색 DB	분석구간	검색범위
한국	WIPS DB	1992.01~ 2013.4.(검색일)	특허공개 및 등록 전체문서
일본	WIPS DB		특허공개 및 등록 전체문서
미국	WIPS DB		특허공개, 특허공개(공표), 특허공개(재공표) 전체문서
유럽	WIPS DB		EP-A(Applications) 및 EP-B(Granted) 전체문서

(3) 분석 방법

본 분석에서는 전기기관차(8200호대)추진시스템 성능향상 기술의 시장·환경 모듈, 특허기술 Landscape, 및 지재권 모듈로 나누어 분석하였다.

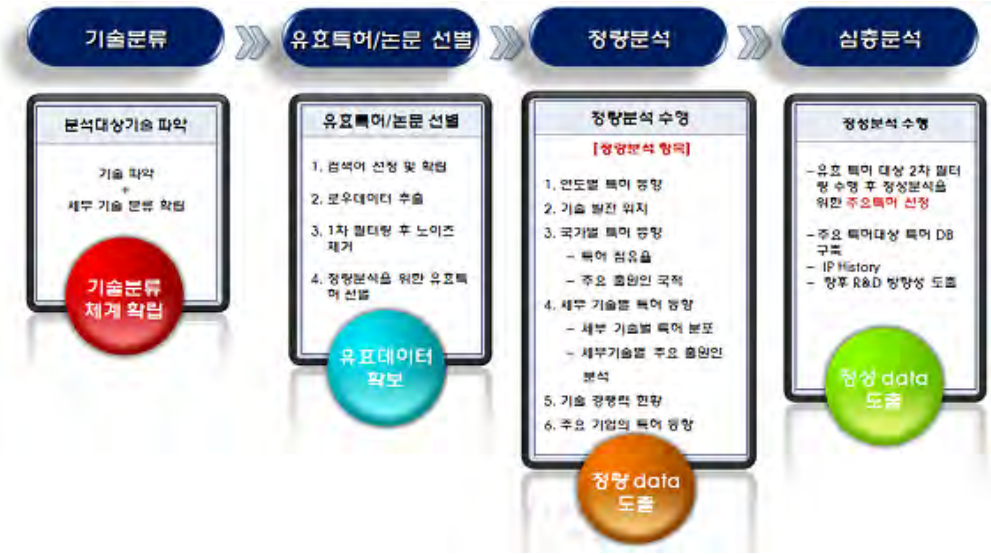


그림 4. 특허분석 방법

(4) 기술분류 정의

본 분석에서는 과제의 RFP 제안서를 기초로 기획범위내의 기술을 정량분석 대상으로 하여 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 상기 동향분석에서의 기술 분야와 심층분석(정성분석)시의 기술 분야를 동일하게 적용한다.

표 2. 분석대상 기술분류

대분류	중분류	소분류
전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발	추진제어용 전력변환 장치	전력변환장치 구조(하드웨어)
		회로구성
		제어 기술
		냉각 기술
		통신 기술
		모니터링 기술
		측정시스템
	전기기관차용 견인전동기	고정자
		회전자
		Frame
		Bearing
		기타 부속부품
		측정시스템
	보조전원장치 및 객차 전원장치	보조전원 장치 구성
		객차전원공급 장치 구성

(5) 특허분석 추진전략

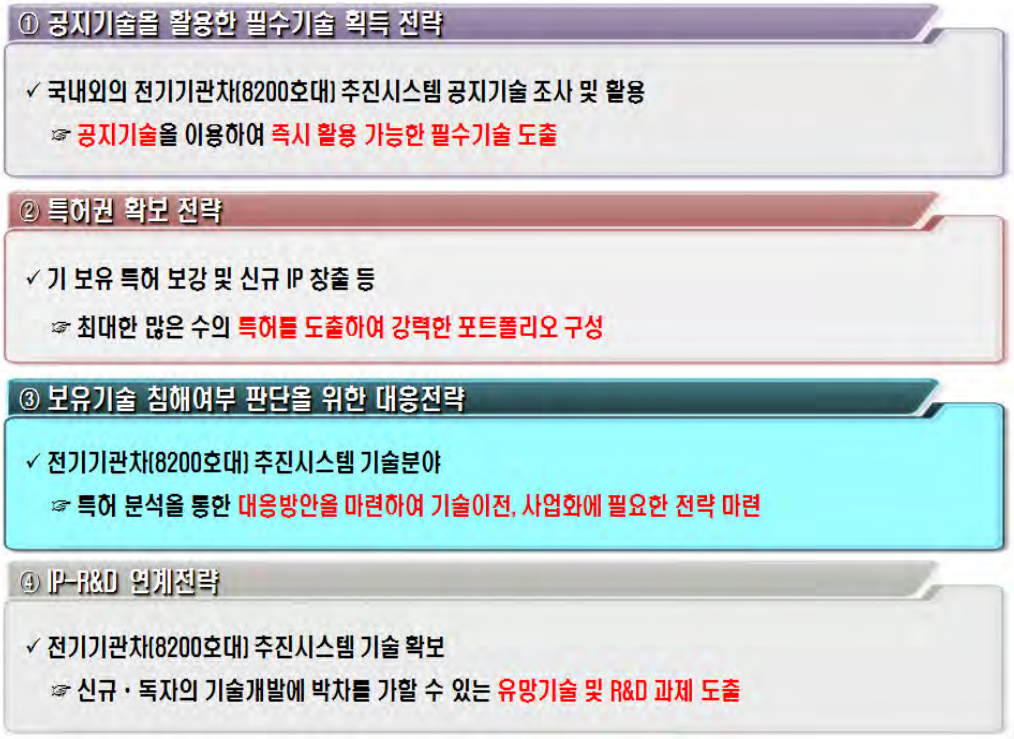


그림 5. 특허분석 추진전략

본 과제인 전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술은 ①공지기술을 활용한 필수기술 획득 전략, ②특허권 확보 전략, ③보유기술 침해여부 판단을 위한 대응전략, ④IP-R&D 연계전략이 필요할 것으로 판단된다.

(6) 유효특허 선별

전기기관차(8200호대)추진시스템 성능향상 기술의 Raw Data(1차 유효데이타 1-6 참조 및 2차 유효데이타표 1-7 참조)에 대한 유효특허 선별 기준을 마련하여 적용하였다.

- 중분류 '추진 제어용 전력변환 장치', '전기기관차용 견인전동기' 및 '보조전원장치 및 객차 전원장치'에서 전기기관차(8200호대)추진시스템 성능향상 기술과 전혀 무관한 특허들은 노이즈로 분류하였다.

- 1차 유효데이타는 기술분류체계 상의 어느 분류(특히 소분류)에도 속하지 않는 특허들은 노이즈로 분류하였다.

- 2차 유효데이타는 본 과제 연구원들의 검토를 거쳐, 전기기관차의 구성요소로 취급하는 기술이긴 하지만, 추진시스템 성능향상 기술의 특징을 전혀 나타내지 않는 기술은 노이즈로 분류하였다.

표 3. 전기기관차(8200호대)추진시스템 성능향상 기술의 2차 유효특허 선별 최종 결과

소분류	유효데이터 건수				
	한국	미국	일본	유럽	계
전력변환장치 구조(하드웨어)	32	37	137	25	231
회로구성	18	44	37	15	114
제어	43	42	117	21	223
냉각	13	20	51	4	88
통신	143	28	197	17	385
모니터링	70	13	69	6	158
측정시스템	14	3	14	1	32
고정자	6	17	4	6	33
회전자	8	44	19	11	82
Frame	5	26	19	10	60
Bearing	8	8	105	4	125
기타 부속부품	13	15	13	5	46
측정시스템	2	27	4	0	33
보조전원 장치 구성	107	11	66	6	190
객차전원공급 장치	12	8	19	3	42
계	494	343	871	134	1,842

(7) 주요시장국 연도별 특허동향 분석

본 분석에서는 우리나라(KIPO)를 비롯한 주요국의 특허청의 출원건을 기준으로 연도별 추이를 살펴봄으로써, 각국에서의 특허출원 Trend를 알아보고자 하였다.

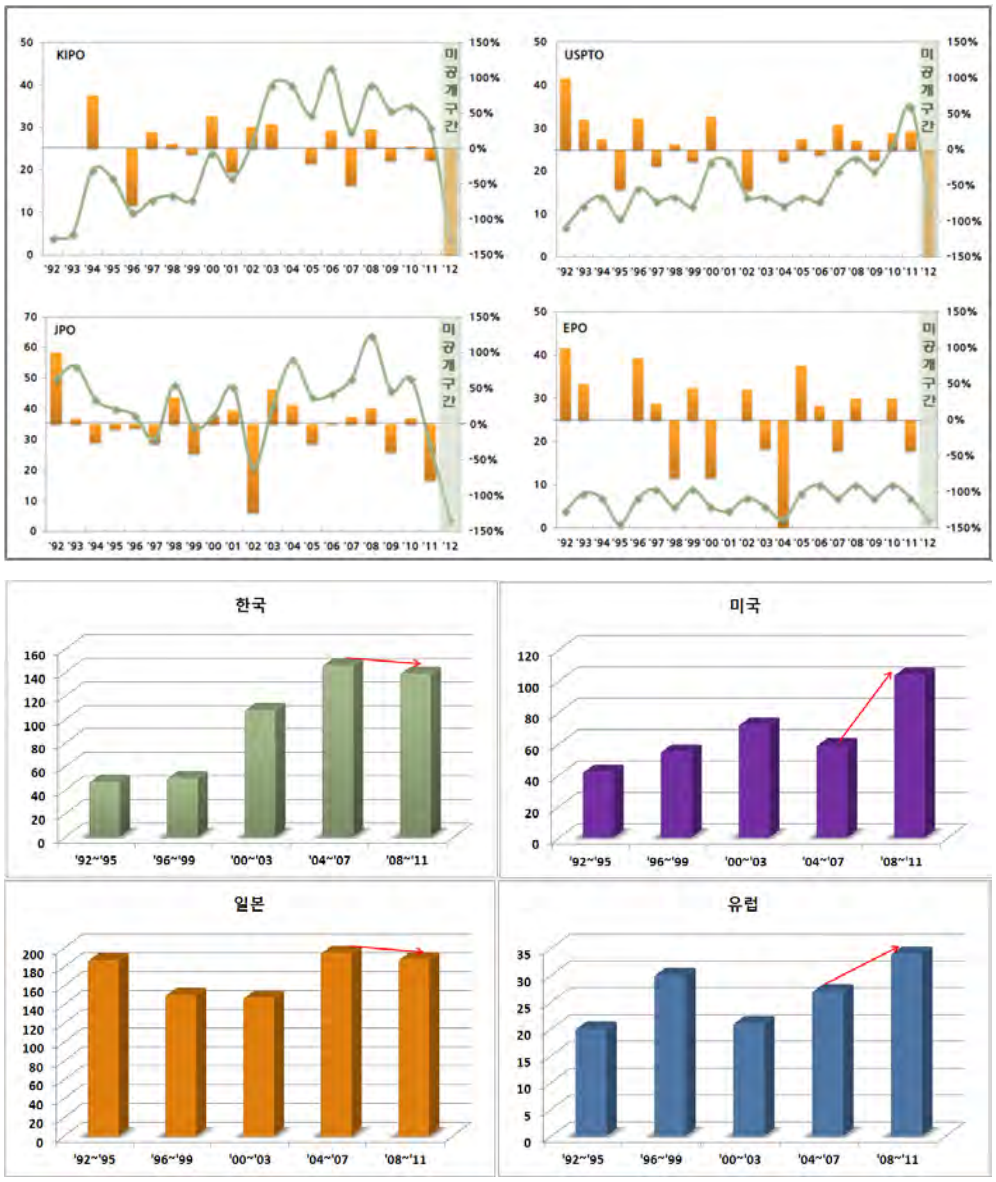


그림 6. 연도별 추이 및 각국의 트랜드

[TOTOL] 분석한 전체 시장국의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 한국, 미국, 일본 및 유럽 모두 본 해당기술에 관하여 특허출원이 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 보아, 연구 개발활동이 지속적으로 이루어지고 있는 것으로 분석되었다.

[KIPO] 한국 특허의 경우, 2006년까지 특허 출원량이 급격하게 증가하다, 이후 출원량이 소폭 감소하였다.

[USPTO] 미국 특허의 경우, 최근까지 특허 출원량이 지속적으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

[JPO] 일본 특허의 경우, 1992년부터 1997년까지 출원량이 지속적으로 감소하다, 1998년부터 2005년까지 출원량이 등락을 거듭하며 지속적인 출원이 이루어짐. 이후, 출원량이 다시 증가하는 추이를 보이다 2008년을 기점으로 출원량이 다시 감소하였다.

[EPO] 유럽 특허의 경우, 1992년부터 최근까지 지속적인 출원은 이루어졌으나, 한국, 미국 및 유럽에 비하여 상대적으로 출원량이 적은 것으로 나타났다.

[TOTAL] 분석한 전체 시장국의 구간별 특허 동향을 살펴보면, 구간별 추이(1992년~1995년, 1996년~1999년, 2000년~2003년, 2004년~2007년, 2008년~2011년)를 살펴보았을 때, 한국 및 일본은 최근 구간에서 출원량이 소폭 감소한 반면, 미국 및 유럽은 최근 구간에서 출원량이 소폭 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 미국 및 유럽의 경우, 자국 내 시장 확대를 위한 출원전략을 펼치고 있는 것으로 판단된다.

(8) 기술시장 주요 출원인별 분석

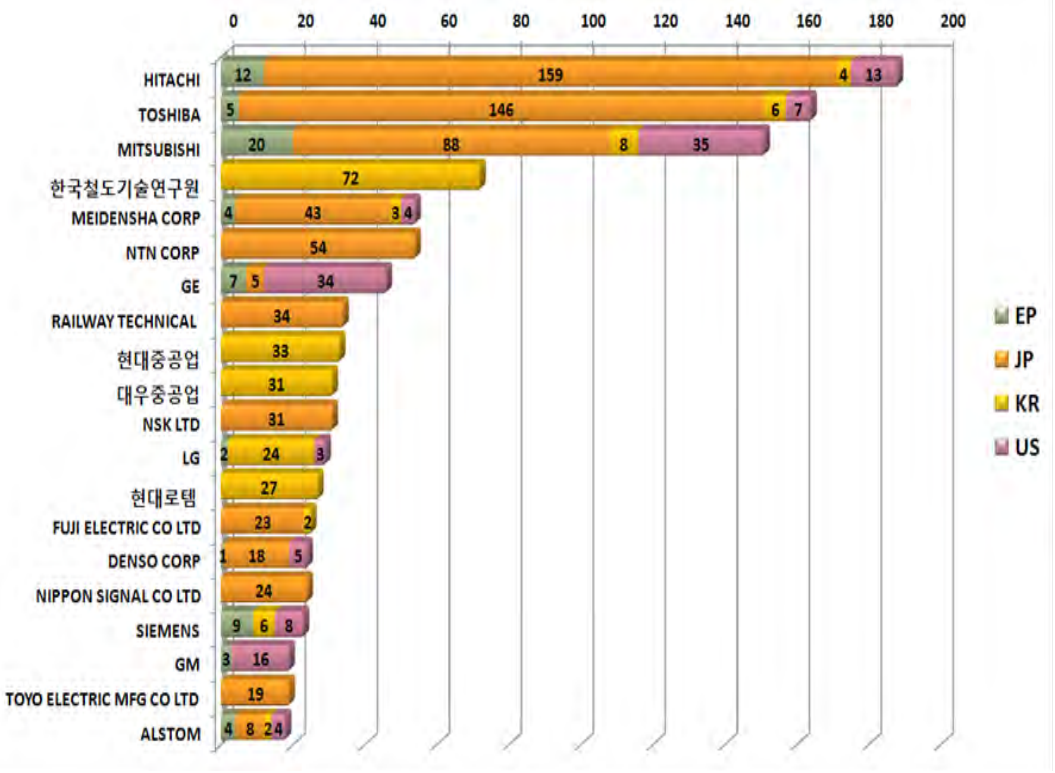


그림 7. 기술시장 주요 출원인별 특허 분석

본 그래프는 전기기관차와 관련된 모든 분야에서 기술개발이 활발한 주요 출원인이 누구인지를 파악하고, 주요출원인이 관심을 갖는 시장국(자국시장 또는 해외시장)이 어디인지를 파악하고자 하였다.

주요출원인 TOP 10은 대부분이 일본기업(HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI, MEIDENSHA CORP, NTN CORP, RAILWAY TECHNICAL, NSK LTD, FUJI ELECTRIC CO LTD, DENSO CORP, NIPPON SIGNAL CO LTD, TOYO ELECTRIC MEF CO LTD)이 주류를 이루고 있는 것으로 나타났다.

TOP 10 중, 한국 출원인은 한국 철도기술 연구원, 현대중공업, 대우중공업으로 추출되었다.

한국 기업의 경우, 해외 출원보다는 국내 출원 위주로 출원전략을 펼치고 있는 것으로 파악되었다.

그 밖에, 외국출원인으로, GE, SIEMENS, ALSTOM이 주요 출원인으로 추출되었다.

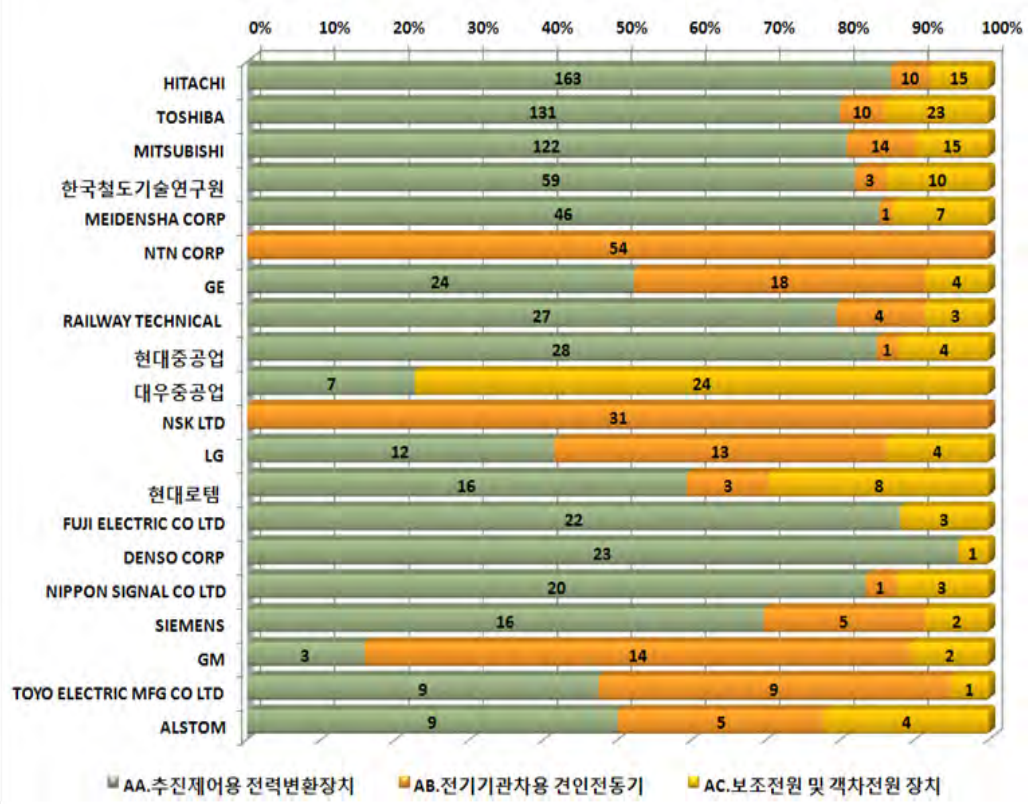


그림 8. 각 장치의 출원인별 특허 분석

한국의 한국철도기술 연구원, 현대중공업, 현대로템, 일본의 HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI, MEIDENSHA CORP, GE, RAILWAY TECHNICAL, FUJI ELECTRIC CO LTD, DENSO CORP, NIPPON SIGNAL CO LTD, 독일의 SIEMENS, 프랑스의 ALSTOM은 AA.추진제어용 전력변환 장치 기술에 중점을 두어 연구개발을 수행하고 있는 것으로 조사되었다.

일본의 NTN CORP, NSK LTD의 경우, AB. 전기기관차용 견인전동기 기술에 중점을 두어 연구개발을 수행하고 있는 것으로 조사되었고, TOYO ELECTRIC MEF CO LTD는 AA.추진제어용 전력변환 장치 기술과 AB. 전기기관차용 견인전동기 기술에 대등한 비중을 두어 연구개발을 수행하고 있는 것으로 조사되었다.

(9) 시장환경 & 특허기술 분석 결과

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

정책동향에 있어, 한국은 철도 제조업 육성 및 기술개발 촉진, 해외 철도시장 진출확대, 무선통신 시스템 구축을 목표로 정책을 추진 중에 있으며, 미국은 화물철도 성능향상 및 교통시스

템 통합 추진 시스템 구축을 목표로 정책을 추진 중에 있음. 일본은 5년~10년 이내에 실용화 할 수 있는 기술, 경쟁력을 좌우할 수 있는 핵심기술 분야를 위주로 정책을 추진 중에 있고, 유럽은 철도화물 수송 활성화, 철도 구성품에 대한 표준화, 철도신호제어 시스템(ERTMS)을 확대하는 방향으로 정책을 추진 중에 있으며, 중국은 석탄 등의 철도 화물운송 능력 증가와 교통 기초시설 강화를 목적으로 한 정책을 추진 중에 있는 것으로 보아, 각국은 철도 산업의 기술 개발을 위한 노력을 기울이고 있으며, 특히 철도 성능 향상을 위한 핵심 기술의 연구개발을 꾀하고 있는 것으로 판단된다.

특허 동향 분석에 있어, 관련 기술의 출원량이 지속적으로 증가하고 있으며, 특히 철도관련 일본의 주요 메이저 기업(HITACHI, TOSHIBA, MITSUBISHI)에 의한 특허 출원이 이루어지고 있다.

중분류별로 특허 Trend를 살펴보면, AA.추진제어용 전력변환 장치 기술은 통신기술>전력변환장치>제어기술 중심으로 기술개발이 이루어지고 있으며, AB.전기기관차용 견인전동기 기술은 Bearing>회전자>Frame 중심으로 기술개발이 이루어지고 있으며, AC.보조전원 장치 및 객차전원 장치 기술은 보조전원장치 구성>객차전원 장치 중심으로 기술개발이 이루어지고 있는 것으로 분석되었다.

(10) 결론

특허전략사업을 통한 특허분석으로 우리과제와 관련된 유효특허에서 무효자료 1건, 회피설계 가능건 5건, 권리존속기간 만료 1건에 대한 장벽특허 대응전략을 마련하였다. 또한 특허 Seeds로 5건의 후보군이 도출되었고 핵심기술 28건의 도출로 R&D 방향성을 정리하였다.



그림 9. 특허전력사업 결론

아울러 지재권 전략은 2013년 단기 개발 과제를 수행하여 관련 기술 분야의 시장 및 특허분석을 통하여 기술 및 특허 Trend를 파악하여 신규 IP를 창출하고, 2014년에는 철도 시장 확대를 대비한 중기 개발 과제를 수행하여 유망기술을 개발하는 것이 좋을 것 같다.

2015년에는 유망기술 획득 및 특허 기반 기술을 강화 할 수 있도록 장기 개발 과제를 수행하여 핵심특허 및 주요특허를 다수 확보해야할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

마지막으로 2016년에는 해외철도 시장 진출 사업자로서, 전기기관차 관련 핵심특허를 다수 확보하고, 전기기관차 수출을 통한 수입 창출을 위하여 방어적 특허를 활용할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

라. 시스템 분석 및 구조해석 모델링 개발

(1) 8200호대 전기기관차 추진시스템 컨버터 응답특성

운행 중인 철도차량의 유지보수 비용은 점점 증가하고 있는 추세이다. 유지보수에 필요한 부품들의 단종에 따라 해외 기술이 도입된 철도차량에 대한 유지보수가 점점 어려워지고 있다. 특히 8200호대 전기기관차는 GTO 사이리스터를 적용하고 있으며, 전력변환장치를 구성하고 있는 부품들이 재고부족으로 신속한 유지보수가 어려운 실정이다. 8200호대 전기기관차는 국외에서 도입된 차량으로 핵심기술을 국내에서 보유하지 못하고 있어, 철도차량 운영기관들의 운영경험에 따라 유지보수를 하고 있다.

(가) 4상한 컨버터 분석

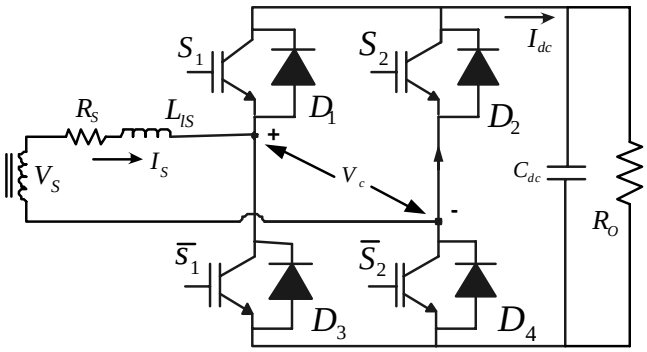


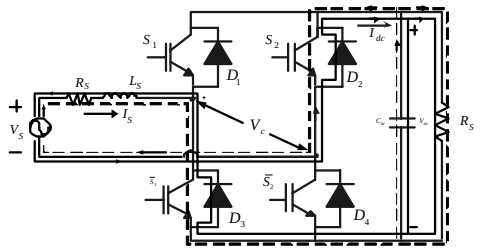
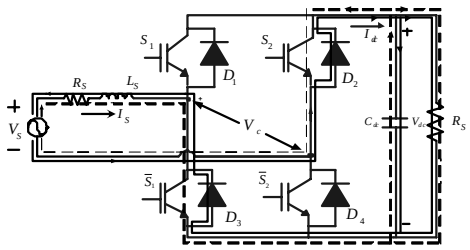
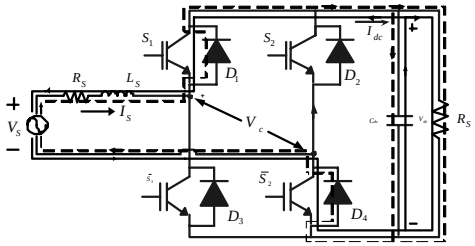
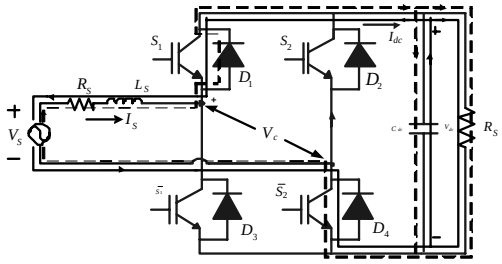
그림 10. 양방향 컨버터 회로

표 4. 컨버터 파라미터

Parameters	Data
Input Voltage [Vin]	1,250 [V]
Output Voltage [Vdc]	2400 ~ 2600 [V]
Input Inductance [Lin]	3.54 [mH]
DC-Link Capacitance [Cdc]	8.26 [F]
Switching Frequency	800 [Hz]
Load [RO]	5 [Ohm]

그림 10은 4상한 동작을 하는 8200호대 전기기관차 추진시스템 컨버터를 보여주고 있으며, 표 4은 그림 10의 변수에 대한 파라미터 값들이다. 표 5는 8200호대 전기기관차가 주행 중에 동작 가능한 모드를 보여주고 있으며, 그림 9의 추진시스템 컨버터는 역행모드와 회생모드로 나누어 분석할 수 있다. 즉, 역행 모드인 경우 전력을 입력 측에서 부하로 전달하며 회생 모드인 경우 전력의 방향은 역행모드의 반대가 된다.

표 5. 모드별 전류 흐름도

Powering Mode	Regeneration Mode
	
	

(나) 시뮬레이션 및 현차실험

입력전원 및 출력전압, DC-Link의 파라미터의 경우 8200호대 전기기관차에 적용되고 있는 데이터를 사용하였다. 승압을 위한 입력 인덕턴스는 계산에 의해 추정된 값으로 산정하였다.

역행모드의 경우 그림11과 같이 외란을 통해 컨버터의 응답특성을 확인하였다. PLL(Phase Lock Loop)을 통하여 입력전압과 전류를 동상으로 제어하였고 33%, 66%, 100%의 부하변동을 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 기준전압은 2400[V]이며 초기 33%부하에서 기동을 시작하며 3초에 66%, 5초에 100%의 부하를 인가하였다. 부하변동 시 과도상태가 존재하지만 다시 기준전압에 추종함을 확인하였다.

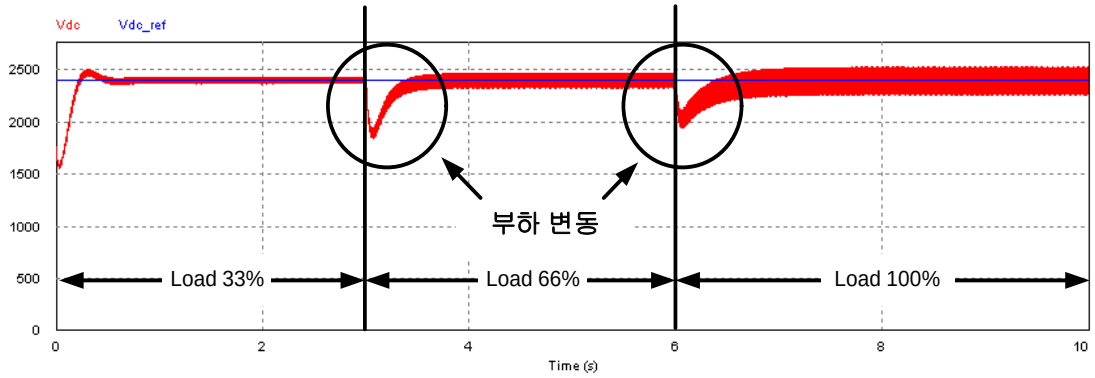


그림 11. 컨버터 출력 전압

전류는 그림12와 같이 부하 량에 비례하여 증가하였으며, 전압과 마찬가지로 과도상태로 진행되다가 다시 정상상태에 도달하는 것을 확인할 수 있었다.

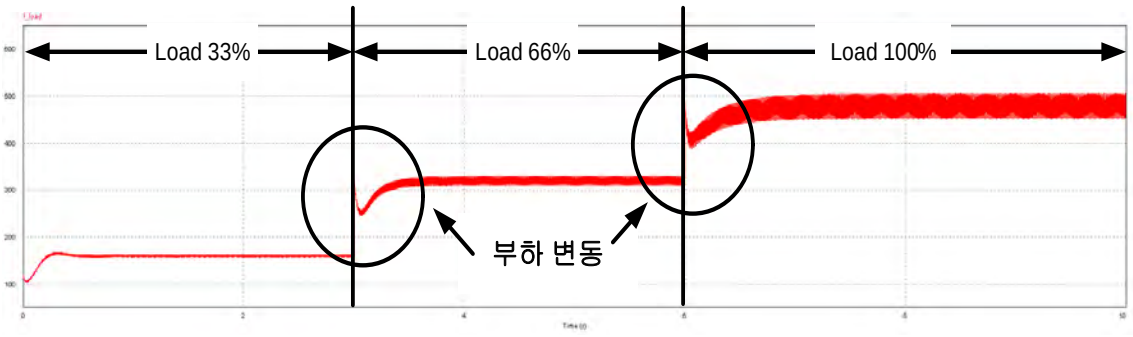


그림 12. 컨버터 출력 전류

회생모드는 컨버터 입력 전압과 전류를 확인하여 응답특성을 검증하였다. 회로 구성은 그림13과 같이 부하측에 DC 전압원을 위치시켜 회생시 DC-Link 2600[V]의 전압을 시뮬레이션 파라미터로 이용하였다.

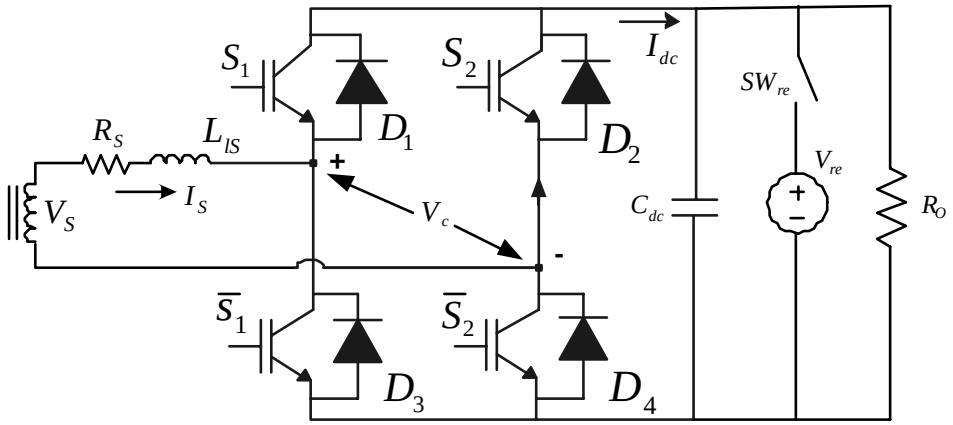


그림 13. 회생 모드 회로

컨버터의 입력의 전압 및 전류의 상은 180도의 위상차가 발생하였고, P=VI 공식에 따라 전력 P는 (-) 방향으로 회생이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

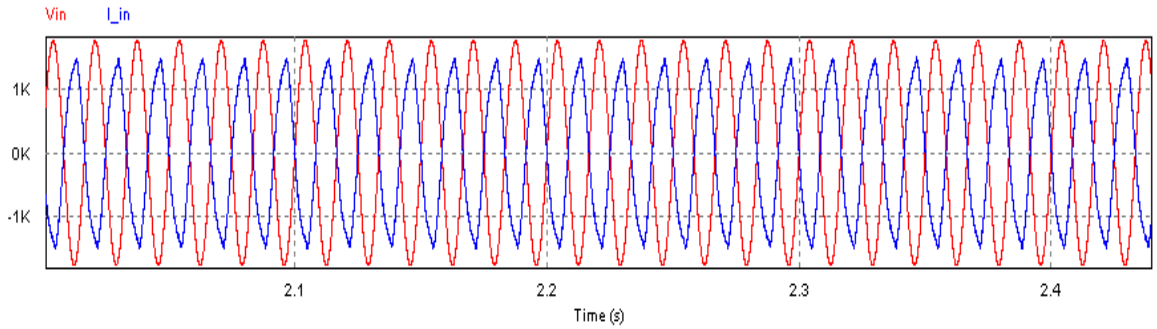


그림 14. 컨버터 입력 전압과 전류

또한 그림 15.는 컨버터가 역행 중 1초에 DC 2600V 전원을 투입 후의 입력전압과 전류의 곱, 즉 순시전력을 나타낸 그래프이다. 1초까지 순시전력값은 점점 증가하다가 서서히 줄어들어 (-)방향이 된다. 이를 통해 역행모드를 확인할 수 있었다.

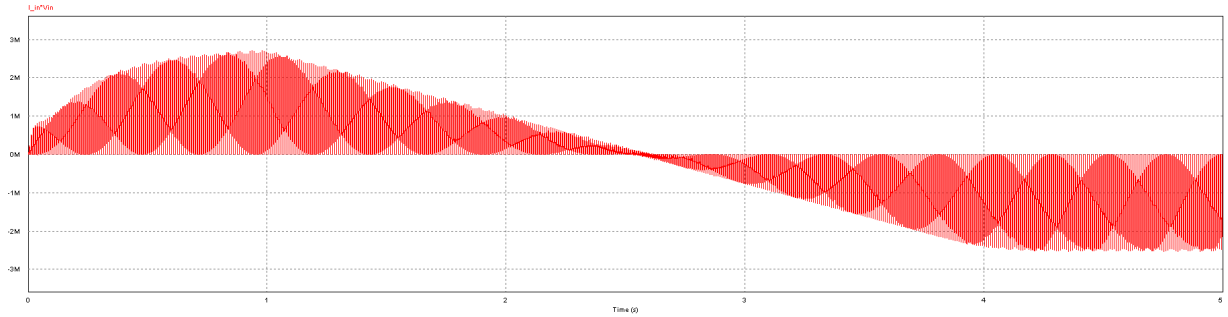


그림 15. 순시 전력

(다) 현차 실험 데이터와의 비교

그림 16은 8200대 전기기관차의 최대 견인 후 속도를 줄였다가 노치를 off 시켜 정지했을 때의 현차실험 데이터이다. 컨버터 입력전압은 ac 1250[V]이며, RMS 전류 값은 1100[A]까지 상승한다. 시뮬레이션 결과 그림 17과 같이 견인전동기의 부하특성과 동일한 조건이 달라 정상상태까지 전류의 값이 차이가 나지만 부하변동에 따라 전류 변화 특성은 비슷한 결과를 보였다.

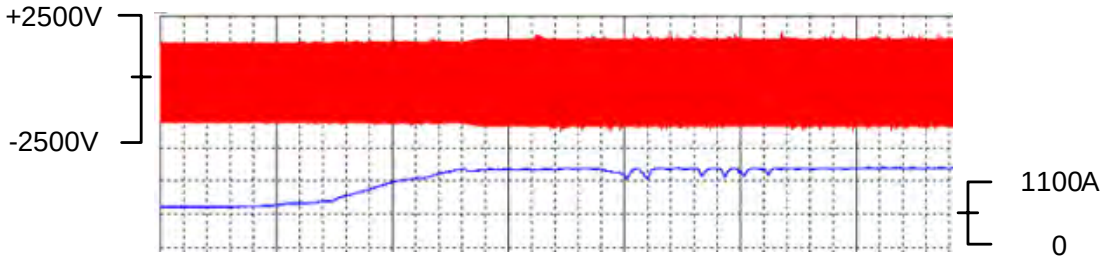


그림 16. 8200대 전기기관차 현차 실험

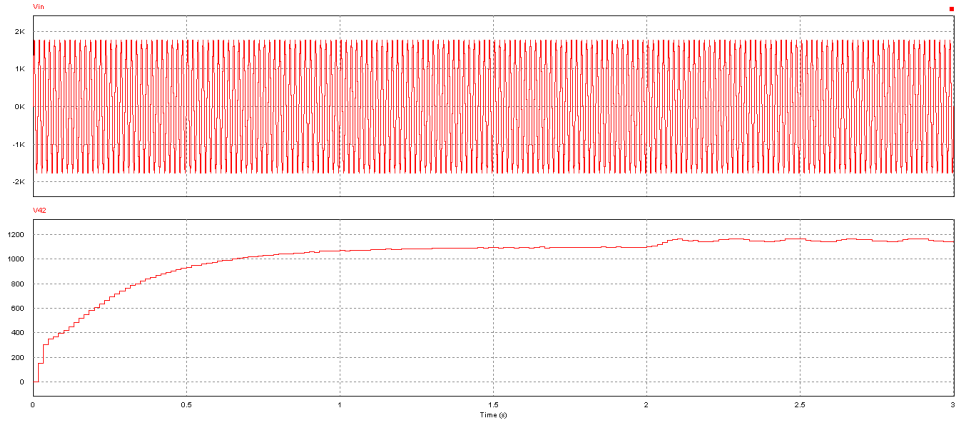


그림 17. 8200대 전기기관차 시뮬레이션

8200호대 전기기관차 컨버터에 대한 응답특성을 분석하였다. 현차 실험결과와 시뮬레이션 결과가 다소 차이가 있었지만 부하특성 차이에 기인된 것으로 충분히 현차의 컨버터 응답특성과 비슷한 결과를 보였다.

(2) 8200호대 전기기관차 컨버터 제어를 위한 가상 2상 방식 알고리즘 분석

AC/DC 컨버터에는 정확하고 빠른 계통 전압의 위상추정은 전체 시스템 제어에 반드시 필요하다. 이 경우 계통 전압의 위상 정보는 기준 전류 신호를 발생하는데 필수적이다 이 때 계통 전압에 노이즈나 외란이 유입될 경우에도 계통전압의 위상은 순시적으로 정확히 검출되어야 한다. 이를 위해 컨버터 입력전압과 입력전류가 동상이 되도록 하는 역률제어를 위해 PLL(Phase- Locked Loop) 기법을 도입하였으며 기법에 따른 차이를 분석하였다.

(가) 필터방식을 이용한 2상 전압 발생기

AC/DC 컨버터에서 위상동기화를 위한 PLL기법에는 필터방식을 이용한 2상 전압발생기를 이용하는 방법이 있다.

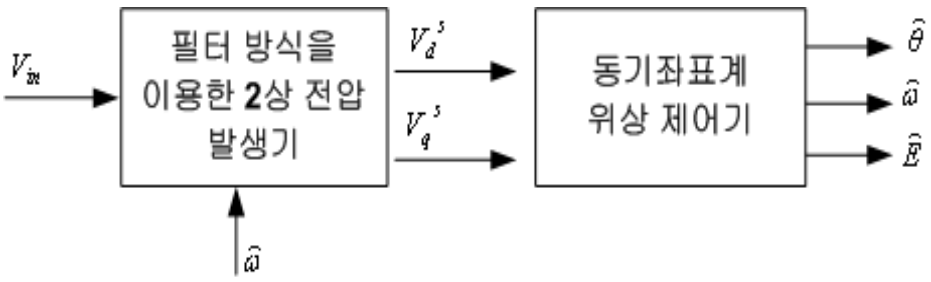


그림 18. 필터방식과 동기좌표계를 사용한 PLL

① 1차 저역 통과 필터(LPF)를 사용하는 방법

그림 19에서와 같이 입력 전압(V_{in})이 1차 LPF를 거치면

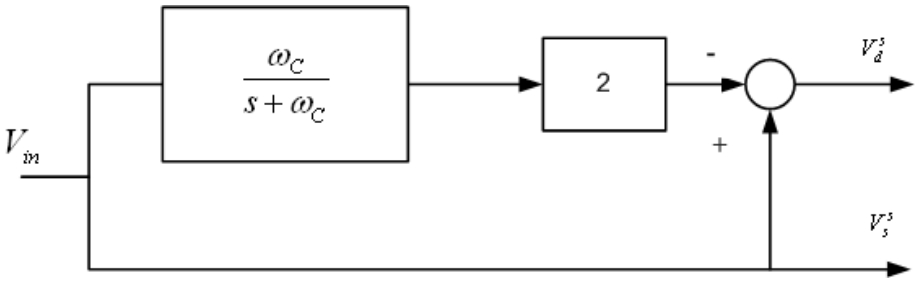


그림 19. 1차 저역 통과 필터를 사용하는 방법

$E/\sqrt{2}\,sin(w_c t-\pi/4)$ 경우가 된다. 그러므로 V_d^s는 식 (1)을 통해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} V_d^s &= V_{\in} - 2\times E/\sqrt{2}\,sin(\omega t-\pi/4) \\ &= Esin(\omega t)-2\times E/\sqrt{2}\,sin(\omega t-\pi/4) \\ &= Ecos(\omega t) \end{aligned} \qquad (1)$$

(나) 2차 저역 통과 필터(LPF)를 사용하는 방법

그림 20은 2차 저역 통과 필터를 사용하여 PLL 제어를 수행하는 방법이다.

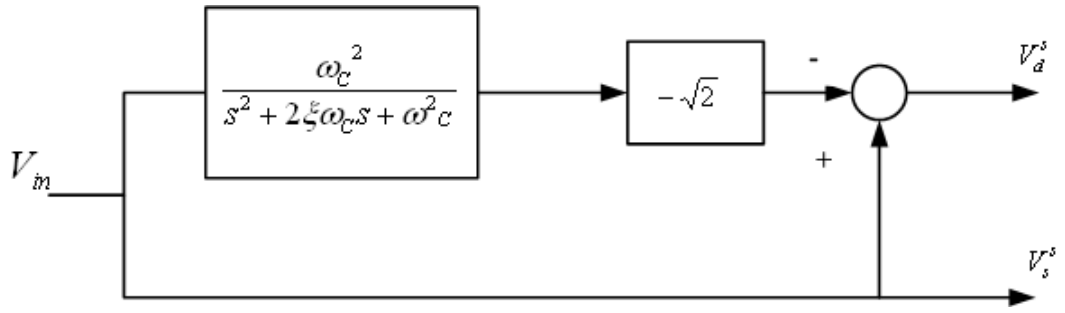


그림 20. 2차 저역 통과 필터를 사용하는 방법

입력 전압(V_{in})이 2차 LPF를 통과하게 되면 V_d^s는 식 (2)를 통해 구해진다.

$$V_d^s \simeq (-\sqrt{2})(E/\sqrt{2}\,sin(\omega t-\pi/2)) = Ecos(\omega t) \quad (2)$$

(다) 모델링 및 시뮬레이션

단상 컨버터 모델링에 대한 타당성을 검증하기 위해 사용된 파라미터는 표 6과 같다. 부하는 저항 R 부하인 1.2[MW]로 하였으며, 컨버터 출력전압은 2,400[V]~2,600[V]로 제어하였다.

표 6. 시뮬레이션 파라미터

변 수	데이터
입력전압(V_{in})	1,250[V]
컨버터출력(V_{dc})	2400~2600[V]
부하(R)	1.2 [MW]
스위칭 주파수(f)	800 [Hz]
추정된 인덕턴스(L_{ls})	3.54 [mH]
DC Link 커패시터(C_{dc})	8.26 [mF]

(라) 1차 저역 통과 필터(LPF) 모델링 및 시뮬레이션

그림 21은 1차 저역 통과 필터를 이용한 PSIM 모델링이며 그림 22는 그에 따른 시뮬레이션의 입력 전압과 전류이다. 전압과 전류의 파형이 동상으로 제어되고 있었고 스위칭에 따른 전류의 리플을 확인할 수 있었다.

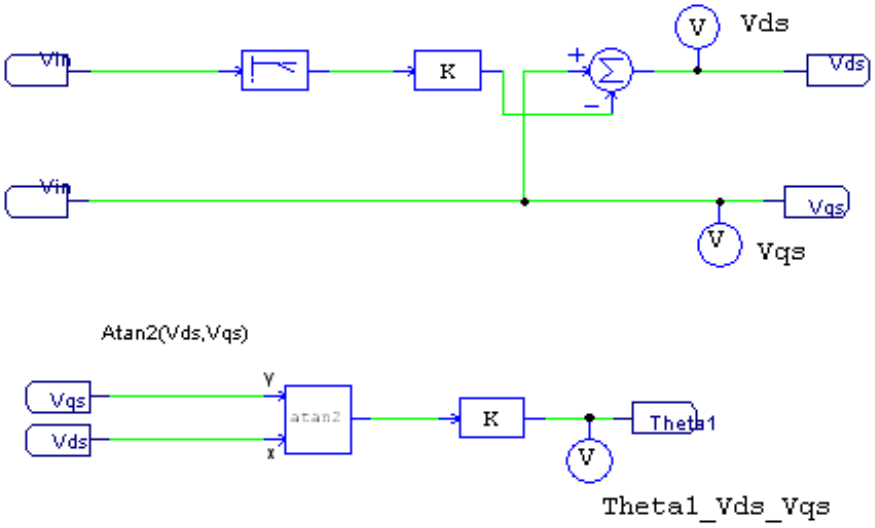


그림 21. 1차 저역 통과 필터를 사용하는 방법의 모델링

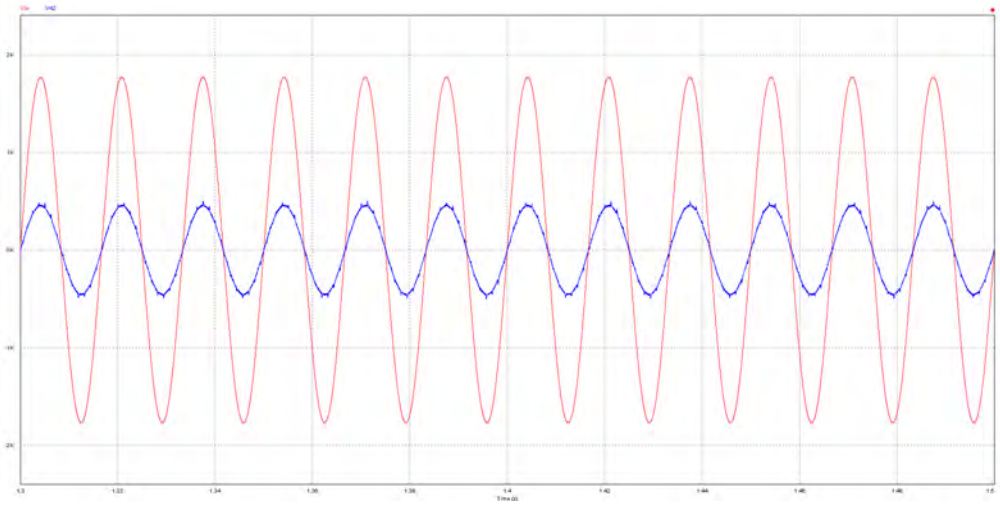


그림 22. 1차 저역 통과 필터를 사용한 전압 및 전류파형

(마) 2차 저역 통과 필터(LPF) 모델링 및 시뮬레이션

그림 23은 2차 저역 통과 필터를 이용한 PSIM 모델링을 보여준다.

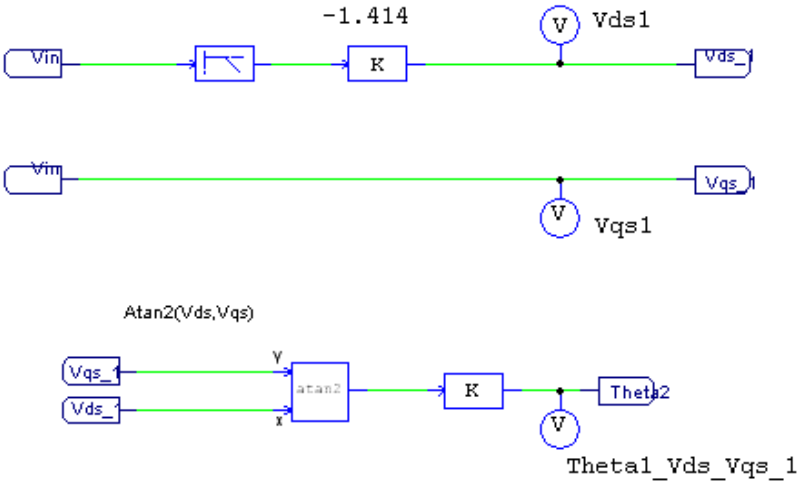


그림 23. 2차 저역 통과 필터를 사용하는 방법의 모델링

그림 24는 그림 23의 모델링 방법을 통해 시뮬레이션을 수행한 입력 전압과 전류파형이다. 전압과 전류의 파형이 동상으로 제어되고 있었고 스위칭에 따른 전류의 리플을 확인할 수 있었으며 1차 저역 필터와 비교하였을 때 큰 차이를 보이지는 않았다.

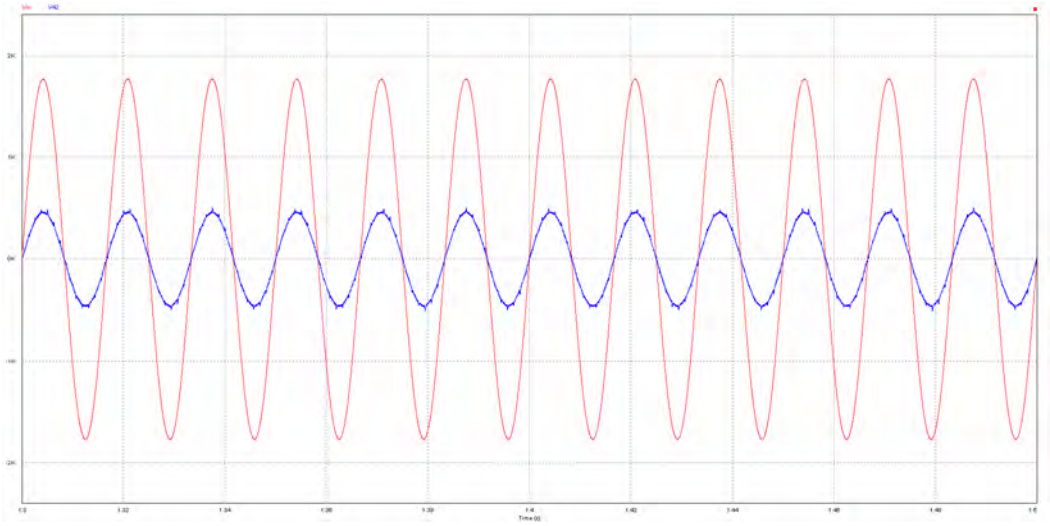


그림 24. 2차 저역 통과 필터를 사용한 전압 및 전류파형

컨버터 입력전압과 입력전류가 동상이 되도록 하는 역률제어를 위해 PLL(Phase- Locked Loop) 기법을 도입하였으며 기법에 따른 차이를 분석하였다. PLL 기법에 따른 시뮬레이션 결과를 분석한 결과 1차 저역필터와 2차 저역필터를 적용했을 때의 차이가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

(3) 축소형 8200호대 전기기관차 추진시스템의 속도변화에 따른 역행특성 연구

1축소형 8200호대 전기기관차 추진시스템의 속도변화에 따른 역행특성 연구를 위해 8200호대 전기기관차 추진시스템의 축소형 모델링 통해 시뮬레이션을 수행하였으며, 하드웨어 제작 및 실험을 통해 시뮬레이션 결과와 비교분석하여 속도변화에 따른 역행특성을 분석하였다. 이를 위해 철도분야에 많이 적용되고 있는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 소자를 사용하였다. 컨버터는 PLL(Phase- Locked Loop) 기법을 사용하여 위상 및 출력측 전압제어를 수행하였으며, 인버터는 간접벡터를 통한 속도제어를 하였다.

(가) 8200호대 전기기관차 추진시스템

추진시스템은 그림 25와 같이 크게 컨버터와 인버터로 이루어진 전력변환장치와 견인전동기인 유도전동기, 제어시스템으로 구분된다. 추진시스템의 전력변환장치는 주변압기 2차측 권선으로부터 교류전압을 직류전압으로 바꾸는 GTO 소자를 적용한 4상한 컨버터(4QS)와 컨버터 출력 전압을 3상 교류 전압으로 변환하여 견인전동기인 유도전동기를 구동하는 유닛 장치로 구성된다. 또한 컨버터 출력은 HEP(Head Electric Power) 장치에도 공급한다. 전기기관차에는 2개의 대차(Bogie)가 있어 1개의 대차에 전력변환장치 1 유닛이 소요된다. 1개의 대차 내에 2개 견인전동기 제어 전원을 공급하는 1C1M 구조이다.

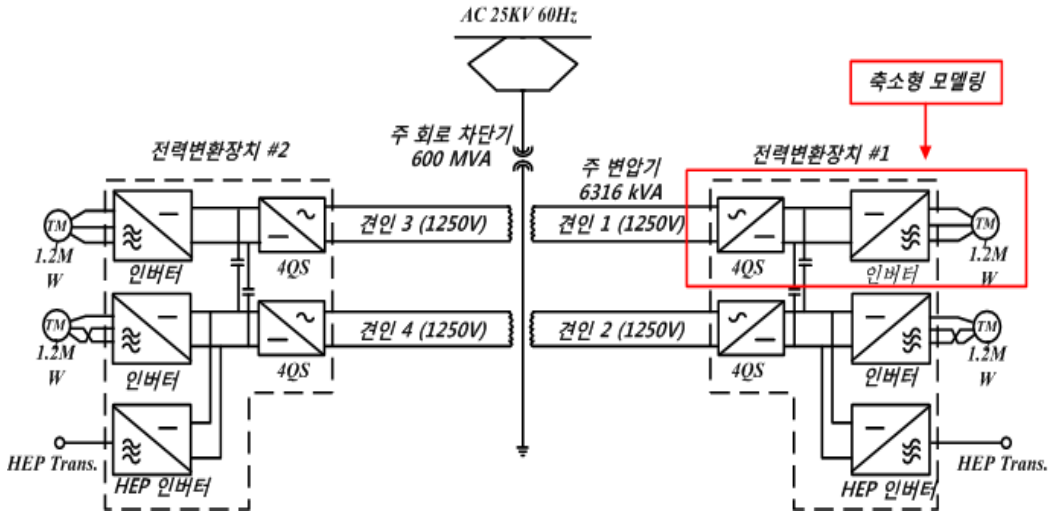


그림 25. 8200호대 전기기관차 주회로도

축소형 하드웨어 실험은 GTO 소자를 적용하고 있는 4상한 컨버터와 인버터, 유도전동기로 이루어진 1 유닛에 대해 그림 2에서 보듯이 IGBT 소자와 DSP를 컨버터와 인버터에 적용하였으며, 컨버터에는 위상제어 및 출력 전압제어를 위해 PLL 기법을, 인버터에는 속도제어를 위해 간접벡터제어방식을 적용하였다.

(나) 8200호대 전기기관차 추진시스템

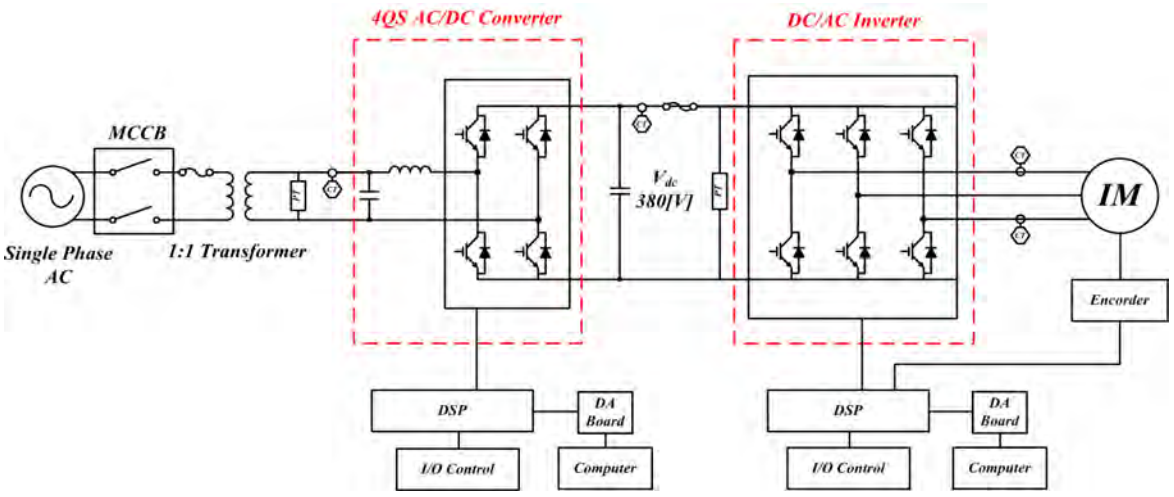


그림 26. 8200호대 전기기관차 축소형 모델 하드웨어 구성도

4상한 컨버터(4QS)는 철도차량 역행모드(力行, Powering mode)에서 전차선 전압이 양의 반주기와 음의 반주기별로 스위칭 동작 상태에 따라 순차적으로 각각 4 개의 모드로 구분된다. 컨버터 입력전압 V_c는 식 (3)과 같이 스위칭 함수 S_A와 출력전압 V_{dc}에 의해 결정된다. 컨버터의 스위칭 함수 S_A는 스위칭 동작에 따라 -1, 0, 1의 값을 갖는다.

$$V_c = (S_1 - S_2)\, V_{dc} = S_A\, V_{dc} \tag{3}$$

컨버터 출력전류는 식 (4)와 같이 스위칭 함수 S_A와 입력전류 i_s에 의해 결정된다.

$$i_{dc} = S_A i_s \tag{4}$$

한편 AC/DC 컨버터에서 사용하는 계통 전원의 주파수와 위상 정보는 전체 시스템 제어에 매우 중요하다. 그러나 국내 전기철도에 공급되는 단상교류 전원과 같이 단상인 전차선 전압의 위상 및 주파수 검출이 어렵다. 따라서 가상 2상 방식을 사용하여 전차선 교류전압의 주파수와 위상을 검출해야 한다.

구현이 간단하고 우수한 성능을 갖는 필터방식과 동기좌표계를 사용한 PLL 방법을 사용하였다. 그림 27에서 보듯이 필터방식과 동기 좌표계를 사용한 PLL은 2상 전압 발생기와 위상 제어기로 나눌 수 있다.

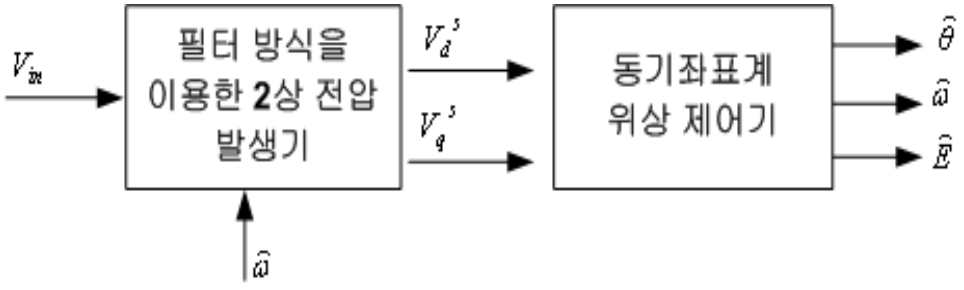


그림 27. 8200호대 전기기관차 축소형 모델 하드웨어 구성도

그림 27의 2상 전압 발생기는 1차 저역통과필터(LPF)를 사용하게 되면 단상 교류전압(V_{in})을 받아 전압과 위상차가 $\pi/2$인 신호를 발생한다. 입력 전압(V_{in})이 $V_{in}=Esin(wt)$일 때 차단주파수 w_c가 추정 각주파수($\hat{w}$)인 1차 LPF를 거치면 $w \cong \hat{w}$인 $E/\sqrt{2}sin(w_c t-\pi/4)$ 경우가 된다. 그러므로 V_d^s, V_q^s는 식 (5), 식 (6)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} V_d^s &= V_{in}-2\times E/\sqrt{2}\,[\sin(w_c t-\pi/4)] \\ &= Esin(wt)-2\times E/\sqrt{2}\,[\sin(wt-\pi/4)] \\ &= Ecos(wt) \end{aligned} \tag{5}$$

$$V_q^s = E\sin(wt) = V_{in} \tag{6}$$

동기좌표계 위상2 제어기는 2상 전압 발생기에서 구한 V_d^s와 V_q^s를 이용하여 추정각주파수($\hat{w}$), 추정위상($\hat{\theta}$), 추정진폭($\hat{E}$)을 발생하는 부분이다. V_d^s는 식 5와 같이 동기 좌표계로 변환한다.

$$V_d^e = Ecos(\hat{\theta}-\theta) \simeq E \tag{7}$$

$V_d^s = E\cos\theta$, $V_q^s = Esin\theta$이므로, $\hat{\theta}$와 θ의 오차가 작은 경우에는 아래와 같은 식으로 근사화되어 V_q^e를 0으로 제어하면 추정 위상각 $\hat{\theta}$는 θ에 일치하게 된다.

$$V_d^e = Ecos(\hat{\theta}-\theta) \cong E \tag{8}$$

$$V_q^e = Esin(\hat{\theta}-\theta) \cong E(\hat{\theta}-\theta) \tag{9}$$

축소형 8200호대 전기기관차의 인버터는 출력전압과 주파수를 순시로 가변하면서 견인전동기인 유도전동기를 구동함으로써 역행 및 회생제동이 이루어진다.

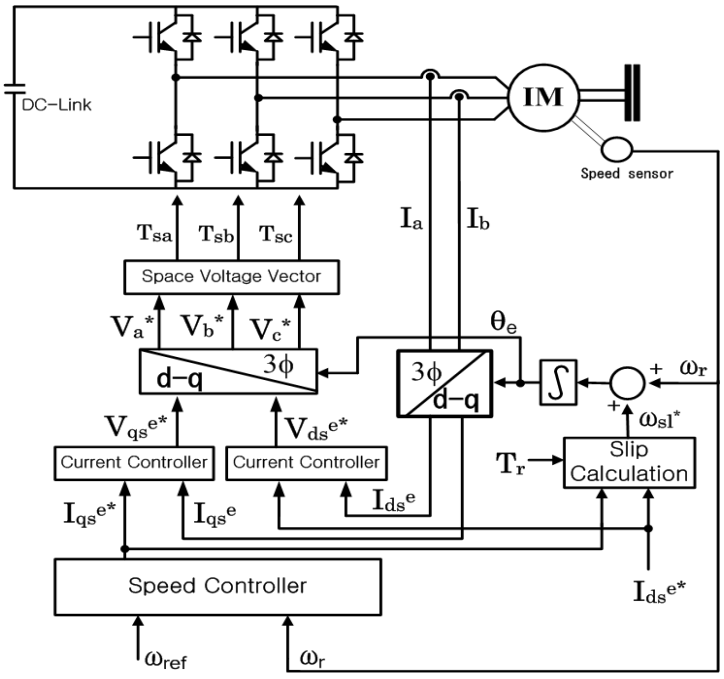


그림 28. 추진시스템용 3상 인버터 제어블록 다이어그램

그림 28과 같이 3상 인버터 유도전동기에 많이 적용되고 있는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation) 간접벡터 제어방식 구현을 통해 속도제어를 구현하였다.
자속의 회전각을 알아내는 방법 중 간접 벡터 제어방식은 기준 토크 전류나 자속 전류로부터 슬립 각속도를 계산하고, 이에 회전자 속도를 더하여 간접적으로 구한 회전자 자속의 순시속도가 동기 각속도 ω_e되도록 하여 회전 자속이 d축에만 존재하도록 하면 벡터 제어조건 q축 회전 자속 λ_{qr}^e는 식 (10)과 같다.

$$\lambda_{qr}^e = 0 \tag{10}$$

$d-q$변수로부터 표현된 토크와 자속의 관계식은 식 (9)와 같이 얻을 수 있으며, 토크식은 식 (11)과 같다.

$$i_{qs}^e = -\frac{L_r}{L_m} \cdot i_{qr}^e \tag{11}$$

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot \lambda_{dr}^e \cdot i_{qs}^e \tag{12}$$

여기서, i_{qs}^e는 고정자 q축 전류 및 토크성분 전류, L_r는 회전자 자기 인덕턴스, L_m는 자화인덕턴스, i_{qr}^e는 회전자 전류, T_e는 동기좌표계 토크, P는 극수, λ_{dr}^e는 회전자 쇄교 자속
식 (12)에서 토크는 자속이 일정할 경우 토크성분 전류 i_{qs}^e에 비례함을 알 수 있다. 유도전동기의 동기 좌표계에서는 q축 자속은 0이고 d축 자속은 일정한 값을 가진다. 이러한 조건을 이용하면 식 (13)과 같이 슬립 관계식을 얻는다.

$$\omega_{ref} - \omega_r = \omega_{sl} = -\frac{R_r \cdot i_{qr}^e}{\lambda_{dr}^e} = \frac{R_r}{L_r} \cdot \frac{i_{qs}^e}{i_{ds}^e} \tag{13}$$

여기서, ω_{ref}는 속도 명령, ω_r은 전동기 실제속도, ω_{sl}는 슬립 각속도, R_r는 회전자 저항, $T_r = L_r/R_r$은 회전자 시정수, i_{ds}^e는 d축 전류 및 자속성분 전류
식 (11)에서 ω_{sl}은 속도 오차가 된다. 따라서 ω_{sl}를 i_{qs}^e와 i_{ds}^e로부터 계산하여 w_r과 더해지면 원하는 속도제어를 할 수 있다.

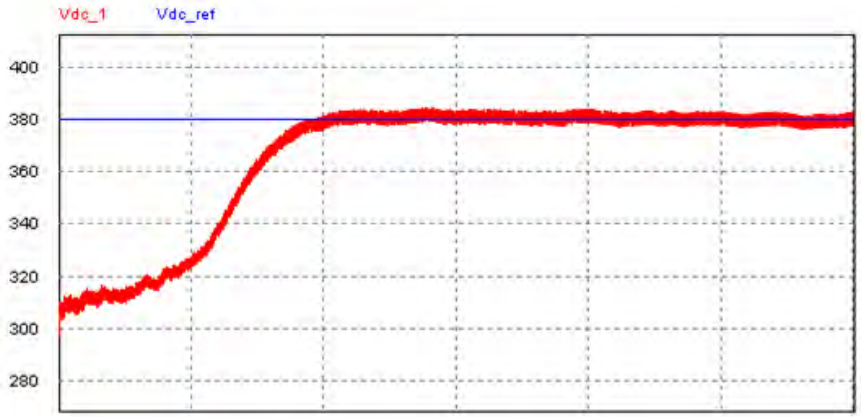
(다) 시뮬레이션

3[kW]급 축소형 8200호대 추진시스템 모델은 그림 2에서 보여준다. 4상한 컨버터(4QS)와 3상 인버터로 구성되어 견인전동기를 구동한다. 표 1은 시뮬레이션을 위해 사용된 파라미터 값을 보여준다. 그림 29(a)는 컨버터 출력전압의 파형이며 전압제어를 통해 기준전압 380[V]로 제어되고 있음을 확인할 수 있다. 입력전압 220[V]는 컨버터의 스위칭소자가 동작을 하지 않으면 일반적인 다이오드 정류회로가 되어 입력전압 최대값인 $\sqrt{2}\times220$[V]가 컨버터 출력측 커패시터에 인가되며 초기 기동시 돌입전류를 막기 위해 PI제어기의 적분이득 값을 조정하여 완만한 기울기로 기준전압에 추종하도록 제어하였다.

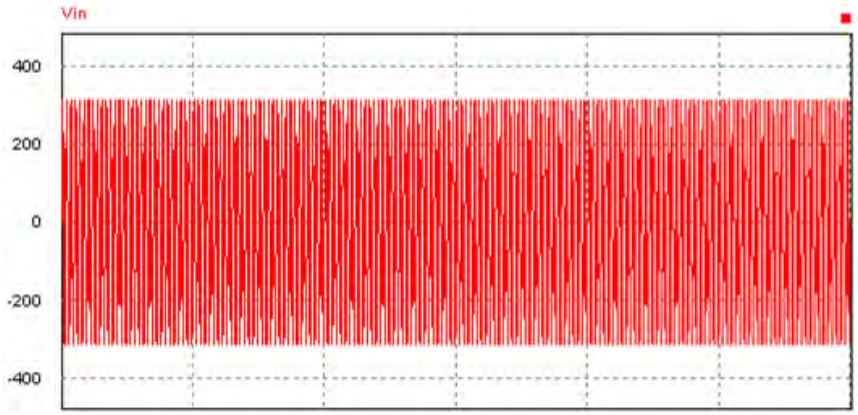
표 7. 시뮬레이션 및 실험에 적용된 파라미터

변 수	데이터
입력전압(V_{in})	220 [V]
컨버터출력(V_{dc})	380 [V]
인버터전류(I_o)	10 [A]
견인전동기 용량	2.2 [kW]
컨버터/인버터 스위칭 주파수(f)	10 [kHz]
인덕턴스(L_{ls})	2 [mH]
DC Link 커패시터(C_{dc})	2200 [uF]

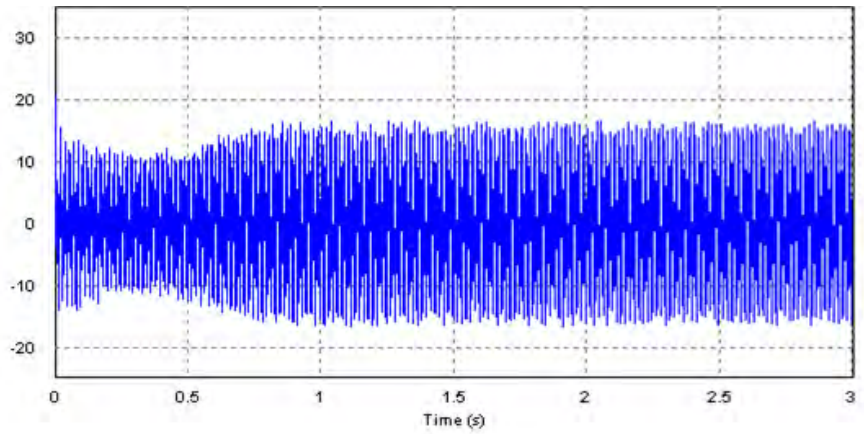
그림 29(b)와 (c)는 컨버터 입력측 전압과 전류파형을 보여준다. 컨버터 초기 기동시 입력전류가 상승하면서 정상상태에 도달함을 확인할 수 있다. 그림 29(d)는 그림 29(b)와 (C)를 확대한 파형으로 PLL제어기법에 의해 전류의 위상이 전압과 동상으로 제어함을 확인할 수 있다.



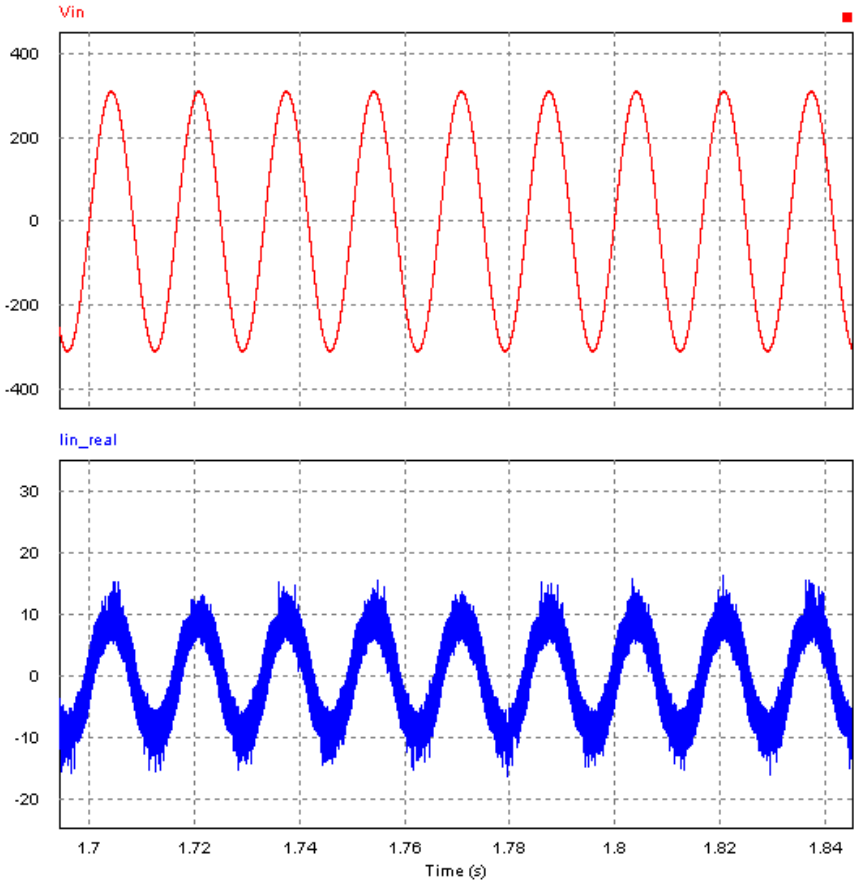
(a) 컨버터 출력전압



(b) 컨버터 입력전압



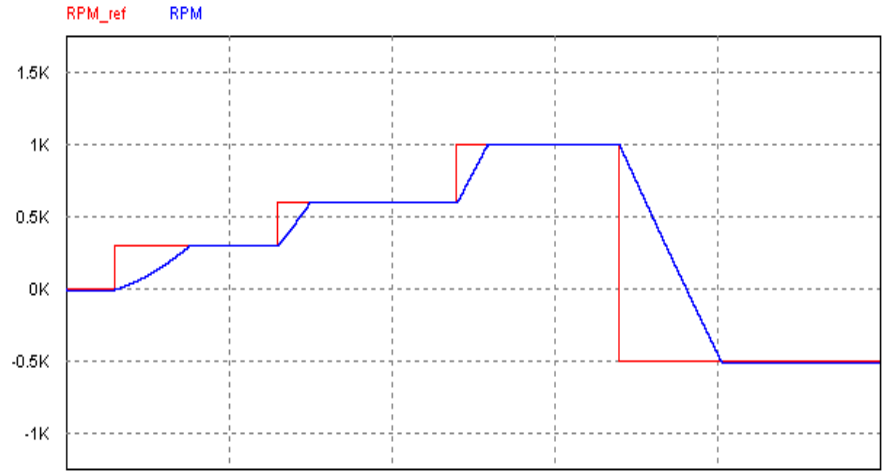
(c) 컨버터 입력전류



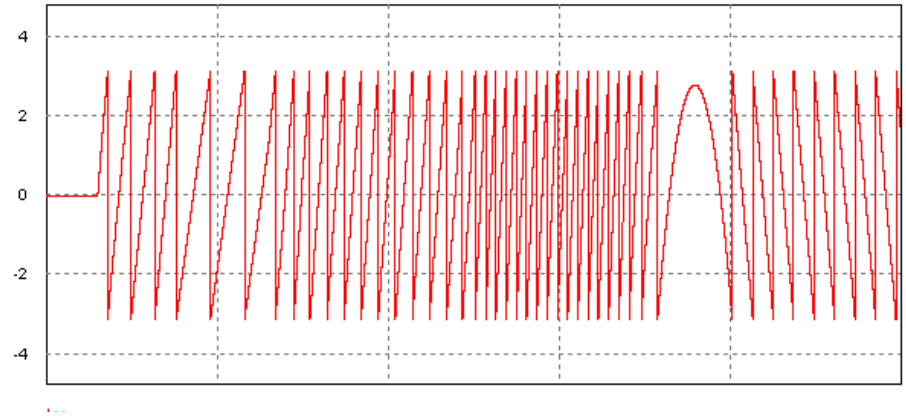
(d) 확대된 컨버터 입력 전압 및 전류

그림 29. 컨버터 입출력 특성

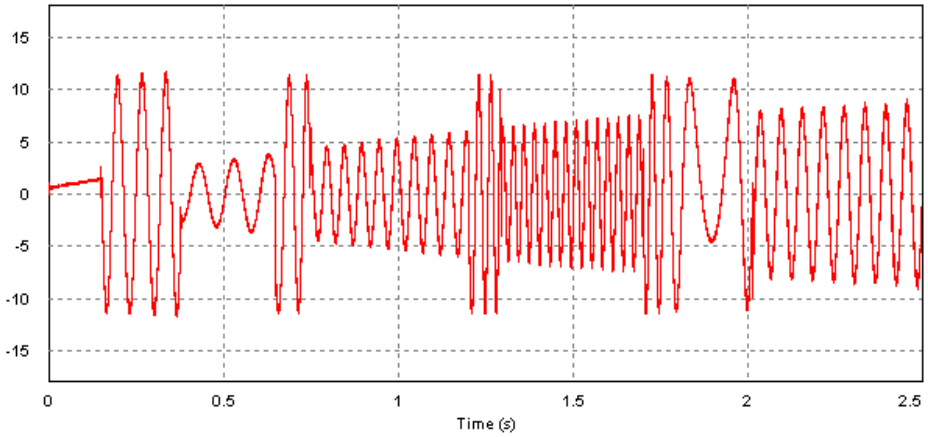
한편 축소형 추진시스템의 인버터 스위칭 기법 구현은 SVPWM 제어를 하였으며, 견인전동기인 3상 유도전동기의 속도제어는 간접벡터제어 방법으로 하였다. 0.15초 되는 시점에서 기준 속도를 0⟹300[rpm]으로 0.65초 되는 시점에서 600[rpm]으로, 1.2초가 되는 시점에서 1000[rpm] 상승시키면서 역행 모드 (Powering mode)를 구현하였으며, 1.7초 되는 시점에서 1000[rpm]⟹ -500[rpm]으로 견인전동기 속도를 역회전하여 응답특성을 고찰하였다.



(a) 기준속도에 대한 실제속도 추종



(b) 실제속도 변화에 따른 회전자각 변화



(c) 실제속도 변화에 따른 인버터 상전류변화

그림 30. 기준 속도에 대한 견인전동기의 속도, 회전자각, 상전류

그림 30(a)는 기준속도 변화에 대한 실제속도 응답특성을 보여준다. 견인전동기가 속도를 증가시키면서 주행하는 역행모드를 분석해보면 기준속도에 따라 실제속도가 추종함을 확인할 수 있으며, 그림 30(b)와 (c)는 속도변화에 따라 회전자각의 주파수가 변하고 상전류는 과도상태에서 크기가 순간적으로 10[A까지 커졌다가 작아지는 특성을 보인다. 또한 정역회전에

따른 상전류 위상이 반전됨을 확인할 수 있다.

한편 그림 30(b)의 회전자각은 π에서 $-\pi$의 범위에서 출력을 내며, 1.7초에 기준속도를 -500[rpm] 으로 변경하여 역회전을 시작하면 회전자각 파형이 정상적인 출력이 나오지 않다가 정상상태인 -500[rpm]에 도달했을 때 회전자각은 정회전의 반대파형이 출력된다.

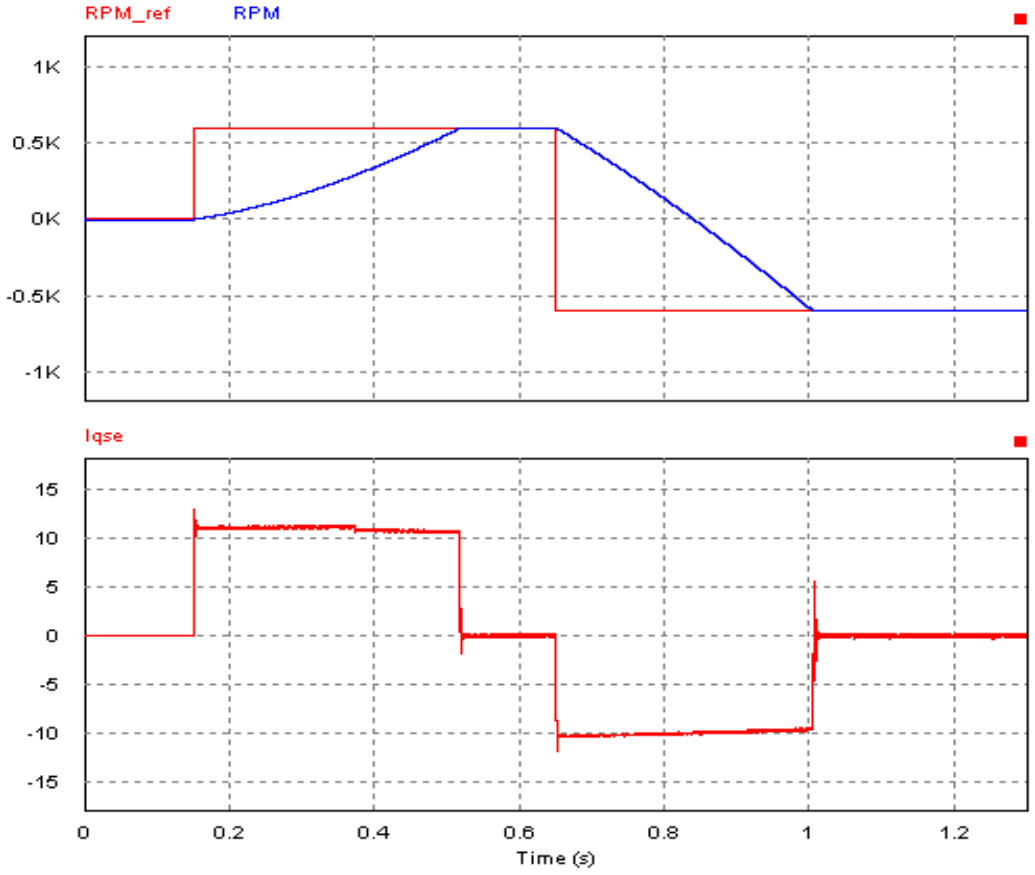


그림 31. 실제 속도에 따른 q축 전류

그림 31은 실제 속도에 따른 q축 전류 파형을 보여준다. 0[rpm]⇒600[rpm]⇒ -600[rpm]으로 정회전을 하다가 역회전하도록 기준속도의 변화를 주었다. 0[rpm]⇒600[rpm] 변경 시 q축 전류는 (+) 방향임을 확인할 수 있었고 600[rpm]⇒ -600[rpm]으로 변경 시 q축 전류는 (-) 방향으로 출력되었다가 다시 0으로 제어됨을 확인할 수 있다.

(라) 축소형 모델 하드웨어 실험

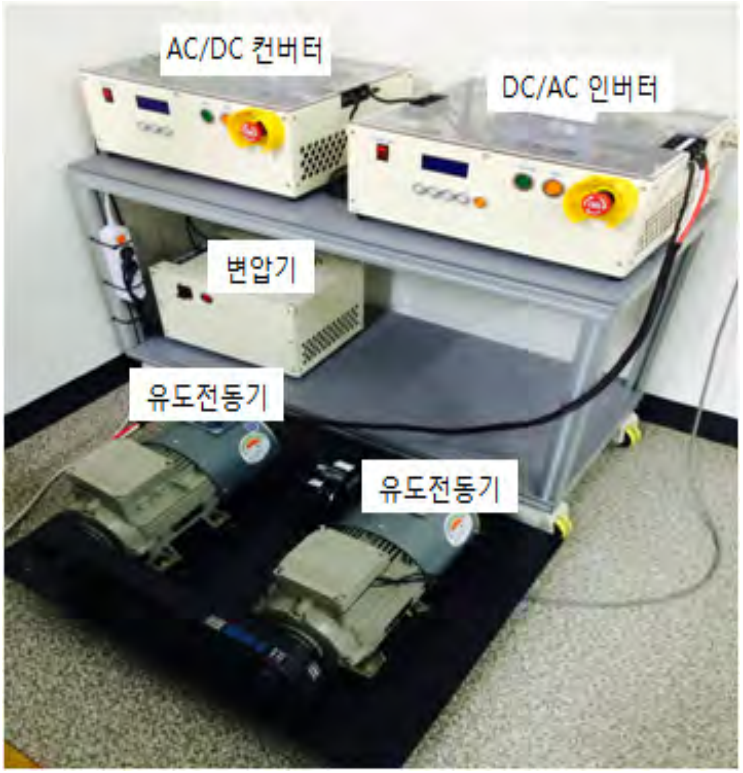
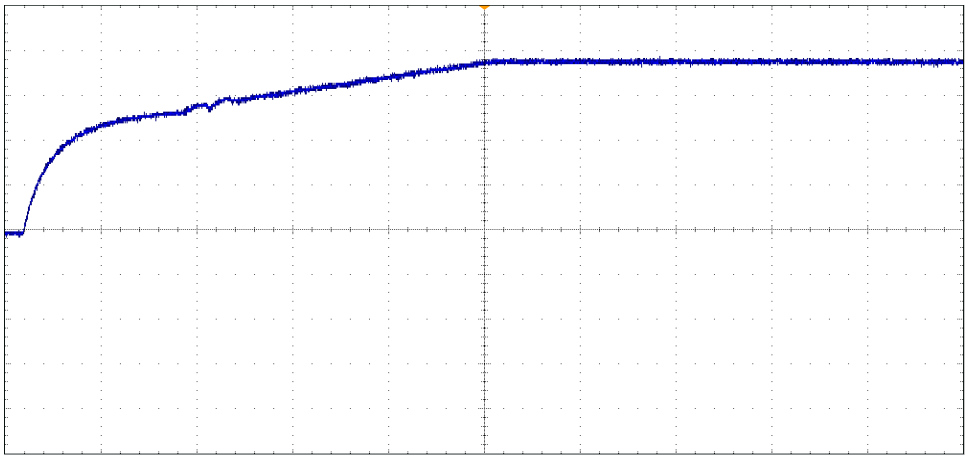
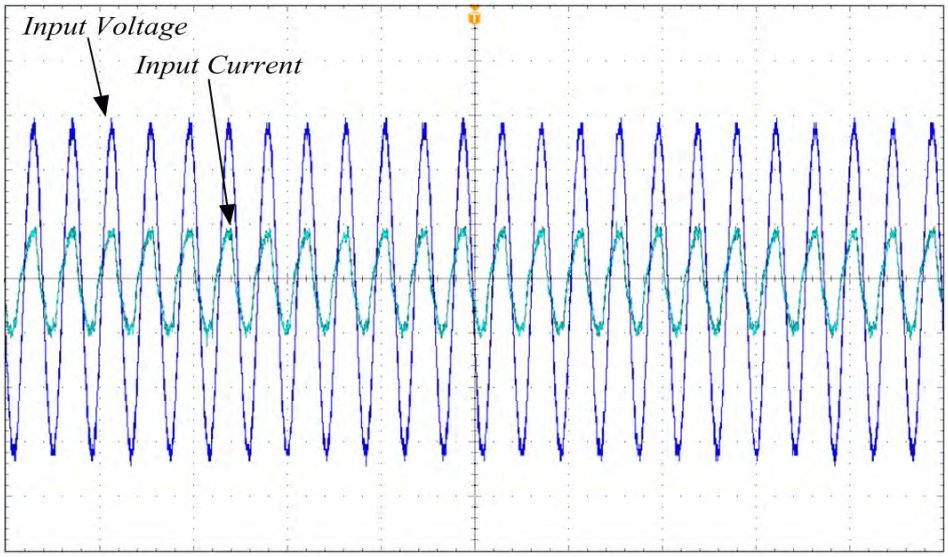


그림 32. 축소형 8200호대 전기기관차 추진시스템의 전력변환장치

그림 32은 8200호대 전기기관차 축소형 모델 하드웨어 구성도를 보여준다. 제어용 보드 DSP TMS28335 모델을 사용하였다. 1:1 변압기를 이용하여 계통전압과 전력변환장치를 절연하며 스위칭소자로는 IGBT를 이용하여 실험을 진행하였다. 축소형 모델의 파라미터는 표 1에 명시된 값으로 제작하였다.



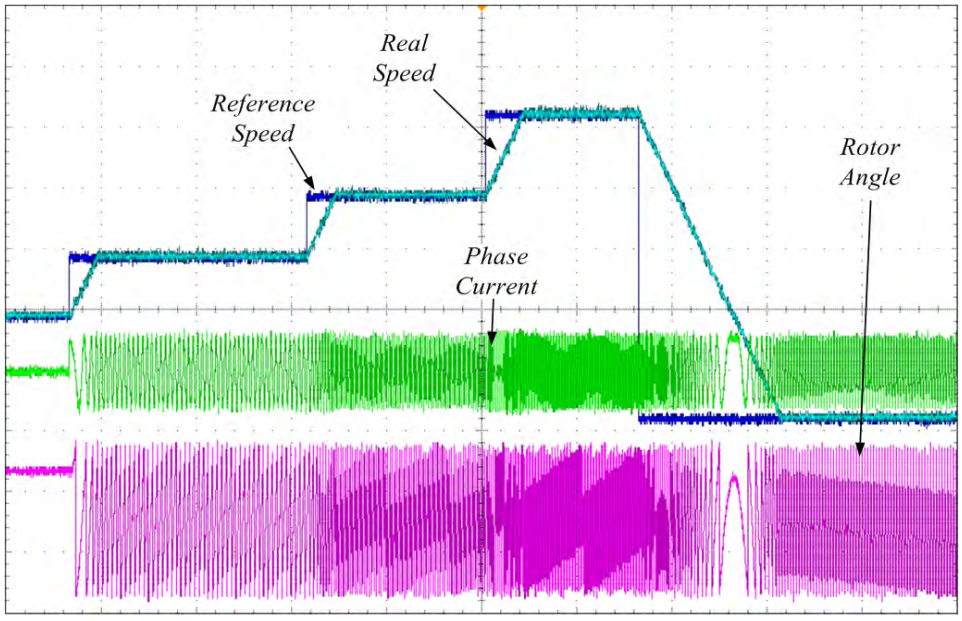
(a) 컨버터 출력전압 (y축 100[V]./div., x축 1[s]/div.)



(b) 컨버터 입력 전압 및 전류(전압: y축 100[V]/div., 전류: y축 10[A]/div., x축 1[s]/div.)

그림 33. 컨버터 출력 전압 및 입력 전압, 전류

그림 33(a)는 컨버터 출력전압으로 기준전압 380[V]까지 5초의 시간이 소요된다. 이는 급작스러운 동작으로 인해 컨버터의 각 소자들이 손상을 입는 것을 방지하기 위해 완만한 기울기로 기준전압을 추종하도록 제어했기 때문이다. 또한 그림 33(b)는 컨버터의 입력측 전압과 전류 파형으로 PLL제어를 통해 입력전압과 전류가 동상으로 제어됨을 확인할 수 있다.

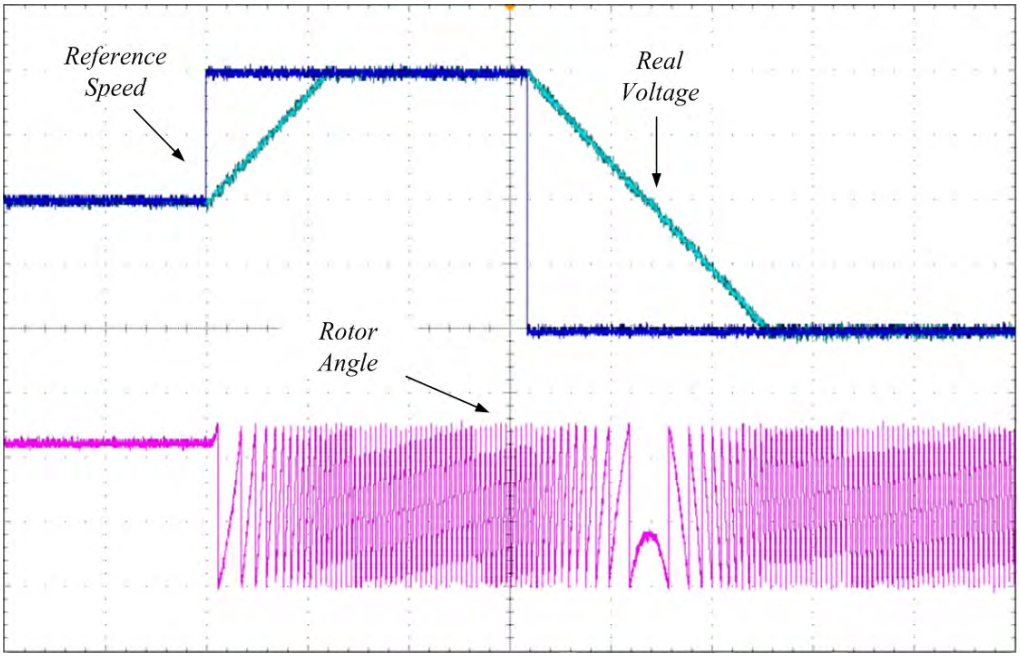


(속도 : y축 300[rpm]/div., 회전각 : y축 2.0[v]/div., 전류 : y축 5.0[V]/div., x축 2[s]/div.)

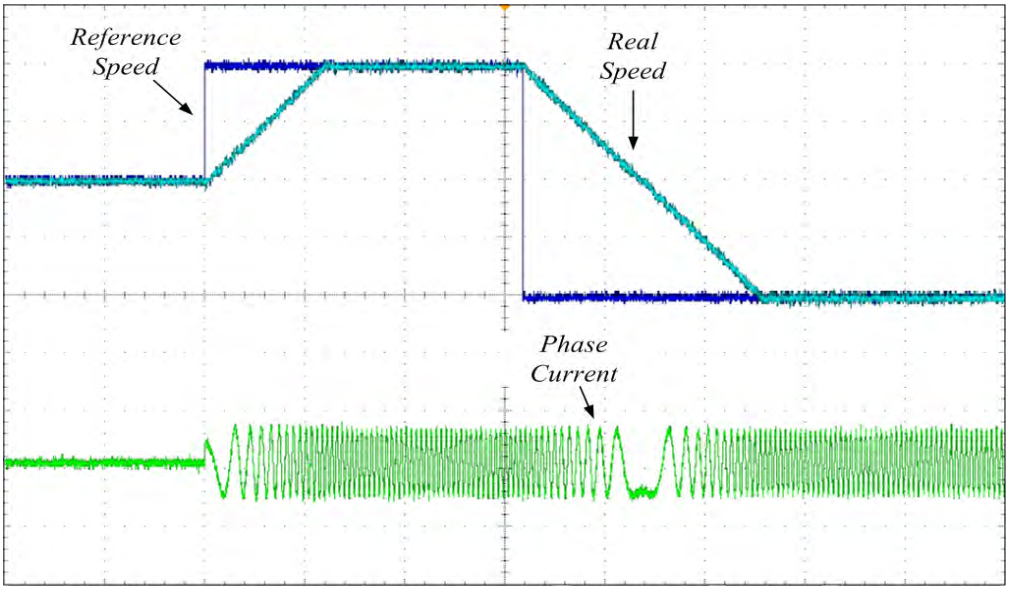
그림 34. 기준 속도에 대한 견인전동기의 속도, 회전자각, 상전류

한편 그림 34는 기준 속도에 따른 견인전동기의 속도 및 회전자각, 상전류이다. 기준속도를 0⇒300[rpm]⇒600[rpm]⇒1000[rpm] 정회전으로 상승하다 -600[rpm]으로 역회전 기준속도를 적용한 파형이다.

변화에 따라 실제속도가 추종할 때 회전자각 및 상전류는 속도 상승에 따라 주파수도 상승한다. 그림 35는 600[rpm]⇒-600[rpm]으로 기준속도를 변화했을 때 파형으로 그림 35(a)을 보면 정회전에서 역회전으로 기준속도 변화시 실제 속도가 0이 되는 시점부터 회전자각이 정회전과 반대로 방향으로 출력되고 있음을 확인할 수 있다. 또한 그림 35(b)의 전류도 정상상태에서는 3[A]정도 출력되고 실제 속도가 0이 되는 시점에서 과도상태를 보이다가 정상 출력을 내고 있다.



(a)회전자각(속도: y축 300[rpm]/div., 회전각: y축 2.0[v]/div., x축 1[s]/div.)



(b)a상 전류(속도: y축 200[rpm]/div., 전류: y축 5.0[V]/div., x축 1[s]/div.)

그림 35. 속도변화에 따른 회전자각 및 a상 전류

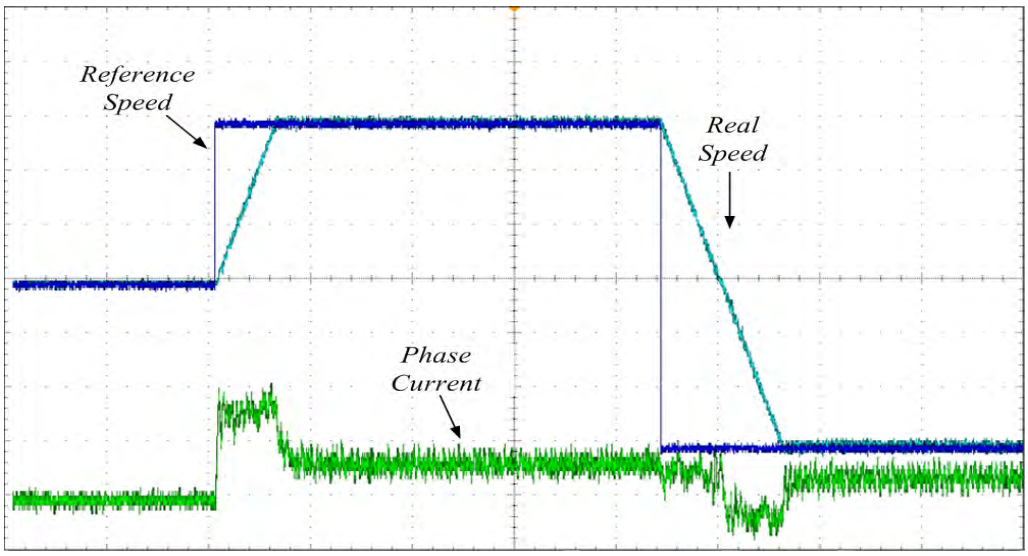


그림 36. 속도변화에 따른 회전자각 및 a상 전류

한편 그림 36은 실제 속도에 따른 q축 전류를 보여준다. 정회전으로 기동 시 기준속도가 600[rpm] 증가하여 실제 속도가 추종하는 범위까지 q축 전류는 상승한다. 그리고 정상상태에 도달할 때 다시 감소한다. 역회전일 경우 기준속도가 -600[rpm]으로 설정될 때 실제 속도가 감소하며 0이 되는 시점부터 q축 전류가 (-)의 방향으로 상승하였다.

본 실험에서는 8200호대 전기기관차 추진시스템을 축소형으로 모델링하고 시뮬레이션과 하드웨어 실험을 통해 컨버터 및 인버터 제어에 따른 응답특성을 분석하였다. 시뮬레이션과 동일하게 PLL을 통한 단위역률 1로 제어됨은 물론 컨버터 출력 전압은 380[V]로 전압제어가 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 또한 인버터부에서는 간접벡터제어 및 SVPWM 스위칭 방법을 적용한 결과 실제속도가 기준속도를 잘 추종하고 속도 가감속시 토크분 전류의 방향변화를 통해 역행이 잘 이루지고 있음을 확인할 수 있었다.

(4) 견인전동기 취부프레임 구조해석용 모델링

국내 일반 철도 여객 수송 및 화물을 운송역할을 하는 전기기관차는 도입 후 10년이 경과되어 노후화가 진행 중이며, 이중 8200호대 전기기관차는 해외에서 도입된 철도차량이다. 따라서 원제작사 기술독점으로 제품가격이 지속적으로 상승되어 유지보수 비용이 증가하는 추세이다. 또한 노후화된 본 차량부품들은 소량 다품종이므로 조달 확보가 힘든 실정이다. 국내 철도 운영기관에서는 차량 유지보수에 많은 어려움을 가지므로, 8200호대 차량의 노후화에 따른 부품의 유지보수 비용 증가 및 원활한 공급을 위하여 주요 부품의 국산화 개발을 추진하고 있다.

철도차량의 주행안전성을 확보하기 위해서는 전기적 특성 검토뿐만 아니라 견인전동기에 대한 구조해석 및 내구성 해석이 필요하다. 본 연구는 8200호 전기기관차의 견인전동기 개발에 따른 차축에 취부되는 전동기 프레임의 구조적 안전성 검토의 연구일환으로서, 견인전동기 일체형 프레임에 대한 구조해석 및 고유진동수 해석을 수행하였다.

(가) 국내외 규격/해석 등 관련 문헌자료조사

① 최근 홍도관 등은 다중게이트방식을 적용한 30kW이하 3상 고속, 고효율 유도전동기를 개발하기 위하여 ANSYS와 SAMCEF를 이용하여 동적 구조해석을 수행하였다. 이로부터 캠벨선도를 이용하여 위험속도를 비교하고, 불평형응답해석을 수행하여 회전 시 발생하는 불평형 진동응답을 비교하였다.

② 정재우 등은 HEV 구동용 IPMSM의 가격 경쟁력 확보를 위하여 기존의 성능을 유지시키는 동시에 영구자석 사용량을 저감시키는 설계를 제안하였다. 영구자석 사용량 저감은 전동기의 성능 저하를 동반하지만, 실험을 통한 최적의 영구자석 두께와 기계적 구조해석을 적용하는 설계를 통하여 영구자석의 사용량을 감소시키면서 Ptototype과 비교하여 동등 이상 수준의 출력을 확보하는 설계를 수행하였다. 본 설계 방법으로영구자석은 약 4% 저감시키는 효과를 보았으며 HEV 양산 시 가격 경쟁력 측면에서 긍정적인 효과를 기대하였다.

③ 오승태 등은 보다 실제조건을 고려한 브릿지 부의 강도해석 방법을 제시함으로서, 고속회전 시 자석이 떨어지는 조건을 고려하여 회전자 코어부의 두께에 대한 강도를 검토하여 회전자 개선 모델을 제시하였다. 실제 시험 시 발생할 수 있는 극악조건을 고려한 브릿지 강도를 검토하여 Burst 시험을 토한 검증 비용을 절감할 수 있는 방법을 제시하였다.

④ 강경호 등은 영구자석 매입형 3상 동기 전동기를 고속영역에서 운전시킬 때 브리지 및 센터포스트부에 집중되는 응력을 해석하는 방법을 제안하였다. 기존에 연구된 회전자 철심만 해석대상으로 고려한 방법으로는 내구시험 및 실제 운용 시 영구자석 접착불량으로 인한 최악조건을 고려할 수 없다. 특히, 본 논문에서 제안한 바와 같이 영구자석이 첩착된 경우 브리지와 센터포스트부의 응력분포가 달라지므로 이를 정적 및 동적 하중 상태에서 고려함으로써 합리적인 설계 여유를 예측하는 것이 가능해진다.

⑤ 국내 KTX 및 KTX-산천 모터 감속기 프레임 구조해석 사례를 보면, 별도의 적용규격은 제시되어 있지 않지만, 납품 기술사양서(설계계산서)에 모터 블록/감속기 프레임 취부에 대한 구조해석을 제시함(다음 그림 참조)

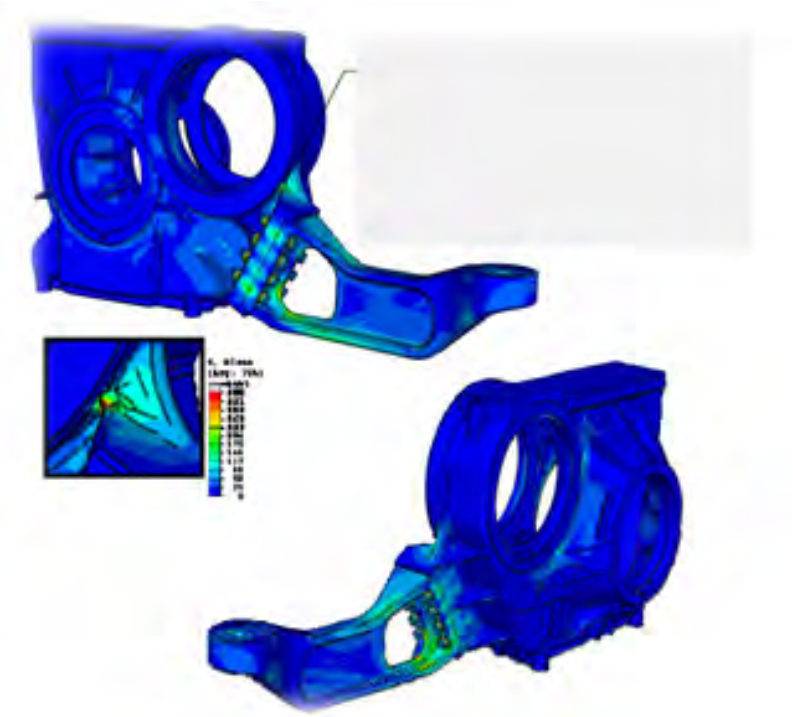


그림 37. 고속철도차량 감속기 취부프레임 구조해석결과 일례

(나) 기초이론 분석

① VPD(Virtual Product Development)개념은 소프트웨어의 통합과 플랫폼의 공유로부터 설계와 해석의 통합을 가져온다. 다음 그림은 VPD의 개념도를 설명한 것이다. 본 기법은 설계자가 초기 설계단계에서 해석을 쉽게 수행해 볼 수 있도록 도와주며, 설계안을 바탕으로 가상의 공간에서 해석은 물론 물리적인 시제품의 시험과 유사한 가상시험까지도 가능하다. 따라서, 시제품 제작과 시험에 드는 비용과 시간을 현저히 줄여주고 해당 제품에 대한 신뢰도를 높여주게 되어 기업에게 경쟁력을 갖도록 한다. 이를 위해서는 모든 설계와 해석에 사용되는 플랫폼이 동일해지고 사용되는 소프트웨어가 통합이 되어져야 한다. 자동차 산업계를 중심으로 이미 대부분의 회사가 VPD개념을 일찍이 도입하고 있다.

② 본 기법은 제품 개발에 있어서 해석적 방법을 이용하여 설계초기 단계에서부터 제품의 성능 평가 및 신뢰성 확보를 통해 설계 기간 단축 및 우수한 품질의 제품을 생산하려는 방법론이라 할 수 있다. 이는 해석자에게 다양한 해석을 동시에 수행할 수 있는 환경을 제공하여 실제 실험에서는 불가능하거나 많은 비용이 소요되는 실험을 대신함으로써, 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

→ 회사 내 정보흐름의 가속화
→ 구축된 데이터를 통한 지식의 일관화
→ 의사결정의 신속한 지원
→ 제품 개발 기간 단축
→ 제품 개발 비용 절감

③ 최근 차량 산업계에서는 부품의 개발기간 및 비용의 최소화를 위하여 시작품 제작의 비용 절감을 요구하고 있다. 이는 종래의 시험을 통한 검증방법의 한계를 의미하며, 더불어

총괄적인 내구해석 프로세스의 정립을 요구하고 있다. 즉 차량동역학, 구조해석, 내구해석의 효율적인 연관해석이 필요한 것이다. 또한 정적개념 내구해석 이외에 동적특성을 고려한 내구해석의 정립, 점 및 연속 용접부위만의 특수부위 내구해석 등의 국부적이고 고급화된 내구해석 기법을 요구하고 있다.

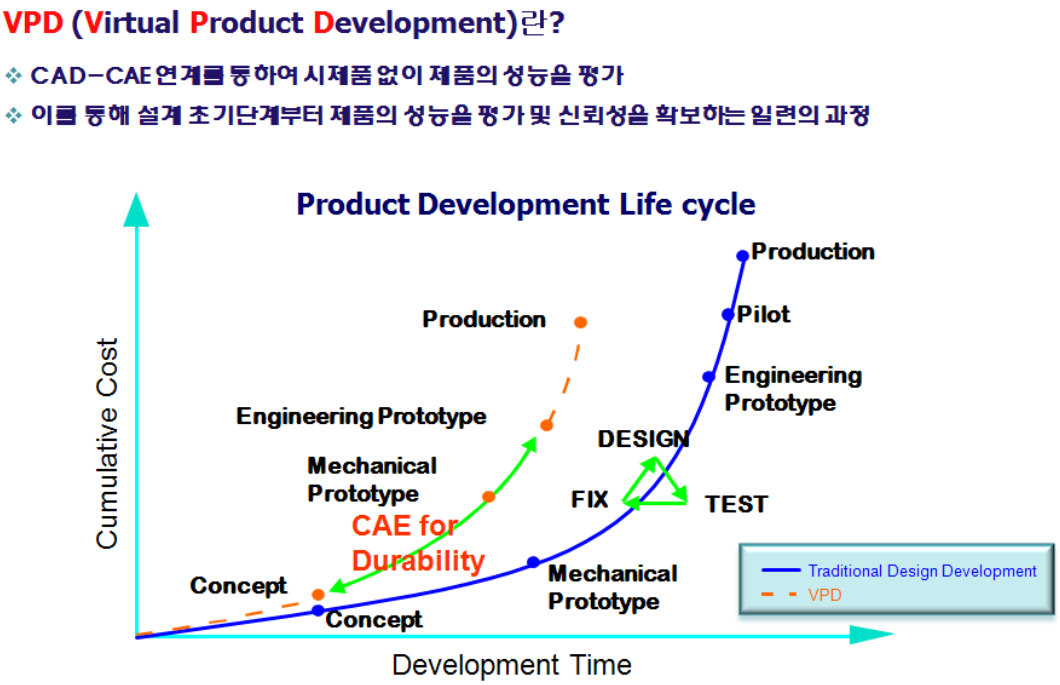
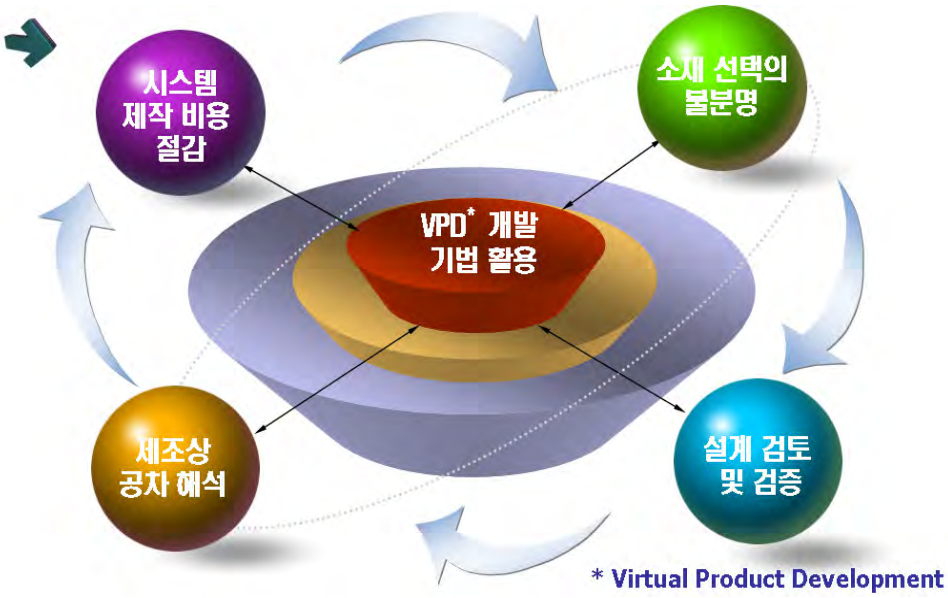


그림 38. VPD(Virtual Product Development) 개념도



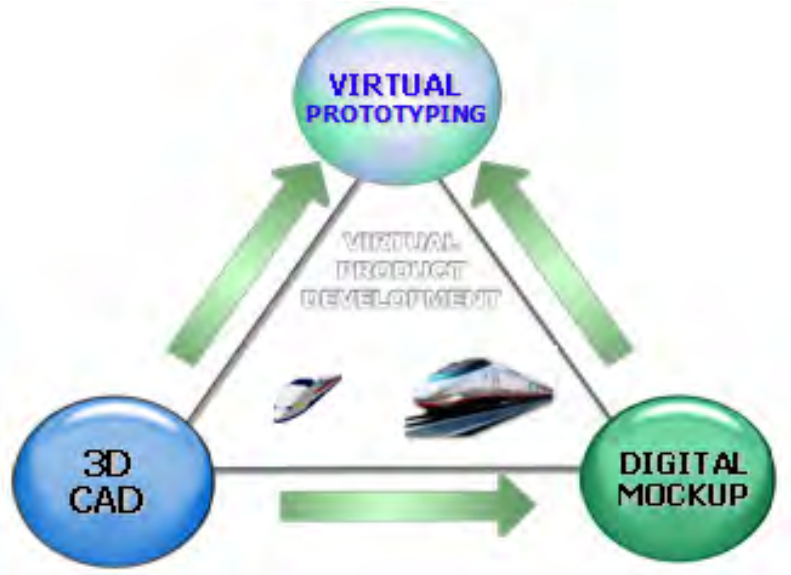


그림 39. VPD를 이용한 설계(안)의 해석절차 흐름도

㉮ 한편, 궁극적으로 이러한 해석기법이 연구개발 차원이 아닌 실무적용이 가능한 프로세스를 필요로 하고 있다. 따라서 향후 관련해석 기술은 그림 3과 같이 통합 자동화 프로세스와 신뢰성이 보장되는 방향으로 전개될 전망이다. 신제품 개발에 소요되는 기간 및 비용을 절감하기 위해서는 종래의 시험 위주 개발개념은 한계가 있으며, 향후 유한 요소 해석을 적용한 다양한 내구해석의 필요성은 더욱 주목을 받게 될 것이다.

㉯ 현재 차량 산업계에서 중요하게 요구하는 내구해석의 특징은 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 구조물의 동적 특성을 적용한 피로/내구해석의 정립
- 연구개발 차원이 아닌 실무 적용을 고려한 기술개발
- 시험품 제작이 필요 없는 피로/내구해서의 프로세스
- 기구동력학, 구조해석 및 피로/내구해석이 접목된 통합 자동화 프로그램의 구축

㉰ 따라서 이러한 요구 조건들을 충족시키기 위해서는 CAD작업, 차량동력학해석, 구조해석 및 내구해석이 종합적으로 연계된 'CAE Durability Process' 가 필요하다. 'CAE Durability Process' 가 갖는 개발과정에서의 효과를 그림 과 나타내었다. 또한 이러한 방식을 구체적으로 정립할 수 있다. 이러한 프로세스를 구축하기 위해서는 각 분야의 전문가들이 각 기술적인 프로세스를 정립한 후, 이를 순차적으로 엮어 자동화 프로그램으로 구축 되어야 한다. 이것을 '일체화된 프로세스' 라고 명칭 할 수 있다.

④ VPD의 구체적인 사용 예 -

VPD를 통해 얻게 되는 가장 큰 장점은 제품의 수명을 예측하여 보다 좋은 품질의 제품을 생산할 수 있다는 점에 있다. 이러한 것을 가능하게 하는 것은 피로내구해석 소프트웨어의 발달로 인해 이러한 해석기법이 VPD에 통합되어지고 있기 때문이다. 기존에 수행했던

단순한 구조해석을 통해 제품이 특정 조건에서 견디어 내는지에 그치지 않고 지속적인 사용 환경 내에서 설계하고 있는 제품의 수명을 예측하여 그에 상응하는 설계변경으로 보다 성능이 뛰어난 제품을 설계할 수 있도록 도와준다. 아래의 그림은 VPD 환경에서 피로 내구 해석을 수행하는 일련의 과정을 설명한 그림이다. 제품의 사용 환경에 대한 정보와 제품 자체가 가지고 있는 특성 값을 조합하여 해석을 통해 제품수명을 예측하는 것이다. 이러한 해석기법은 그 동안 많은 사람들에 의해 개발되어져 왔고 지금도 다양한 기법을 사용하여 이러한 해석을 수행하고 있다.

⑤ 피로해석알고리즘 소개

㉮ 다음 그림은 기계부품의 동적 및 정적 피로수명 평가를 위한 피로 해석 과정의 흐름도를 나타낸 것으로써 가장 먼저 고려해야 될 항목은 하중이력(load history)과 재료 특성(material properties)이다. 여기서 하중이력은 해석하고자 하는 구조물이 시간영역(time domain) 혹은 주파수 영역(frequency domain)에서 반복 혹은 변동되는 일련의 하중데이터를 의미하며, 하중은 힘, 온도, 압력 및 속도 등과 같은 물리량이다. 본 연구에서 하중이력은 국제규격에서 제시하는 피로시험의 블록하중(block loading)과 실제 주행시 측정된 실하중이력(actual load history)이다. 재료 특성은 기계 구조물에 적용된 재료의 기계적 성질과 피로특성을 의미한다. 이는 피로 해석의 접근방법에 따라 크게 세가지로 구분되며, 응력에 의한 방법(stress-based approach), 변형률에 의한 방법(strain-based approach) 그리고 파괴역학적 방법(fracture mechanics approach)으로 대별되어, 공학자들에 의하여 이들 방법이 이용되고 있다. 예를 들어 철도차량부품에 주로 적용되는 응력-수명접근법에 있어서 요구되는 재료 특성은 재료의 S-N 선도, 피로강도지수(fatigue strength exponent) 및 인장강도(tensile strength) 등이다. 이 방법은 반복하중에 의한 균열발생수명과 진전수명을 구분하지 않고, 파단까지의 전체수명(total life)을 평가하는 피로 해석기법이다.

㉯ 아래 그림은 이에 대한 피로 해석 알고리즘을 정리하여 나타낸 것이다. 기계 구조물에 조합하중이 작용할 경우 기계부품의 피로 해석과정을 절차에 따라 살펴보면 다음과 같다.

⑥ 먼저 각 요소 및 절점에 작용하는 시간에 따른 작용 응력이력텐서(applied stress history tensor)는 정적해석의 응력텐서값과 하중계수에 의하여 무차원화된 각각의 하중이력들을 곱하여 얻어진다. 이로부터 산출된 텐서량은 중첩법(superposition method)에 의하여 응력이력 텐서량으로 표현되고, 이 텐서량은 파손이론의 주응력값에 의하여 스칼라(scalar) 성분의 등가응력이력텐서(equivalent stress history tensor)로 전환된다. 이는 실질적인 손상을 주는 응력이력값만을 얻기 위하여 사이클 카운팅기법(cycle counting method)에 의하여 필터링(filtering)된다. 이후 과정을 살펴보면, 기계부품의 피로수명은 등가응력이력텐서의 횟수와 각각의 재료에 따른 곡선으로부터 마이너 손상법칙(Miner's Damage Rule)에 의한 누적 피로손상량(cumulative fatigue damage)을 산출하여 평가한다.

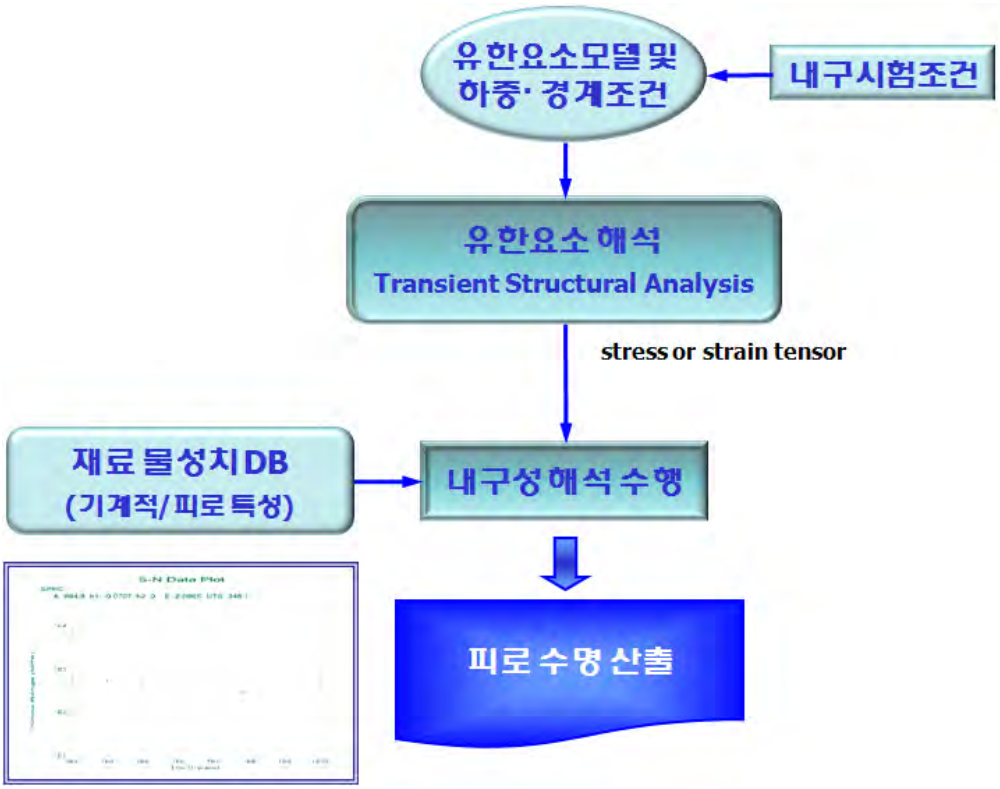

유한요소모델 및
하중·경계조건
내구시험조건
유한요소 해석
Transient Structural Analysis
stress or strain tensor
재료 물성치 DB
(기계적/피로특성)
내구성해석 수행
S-N Data Plot
피로 수명 산출

그림 40. 피로해석 절차

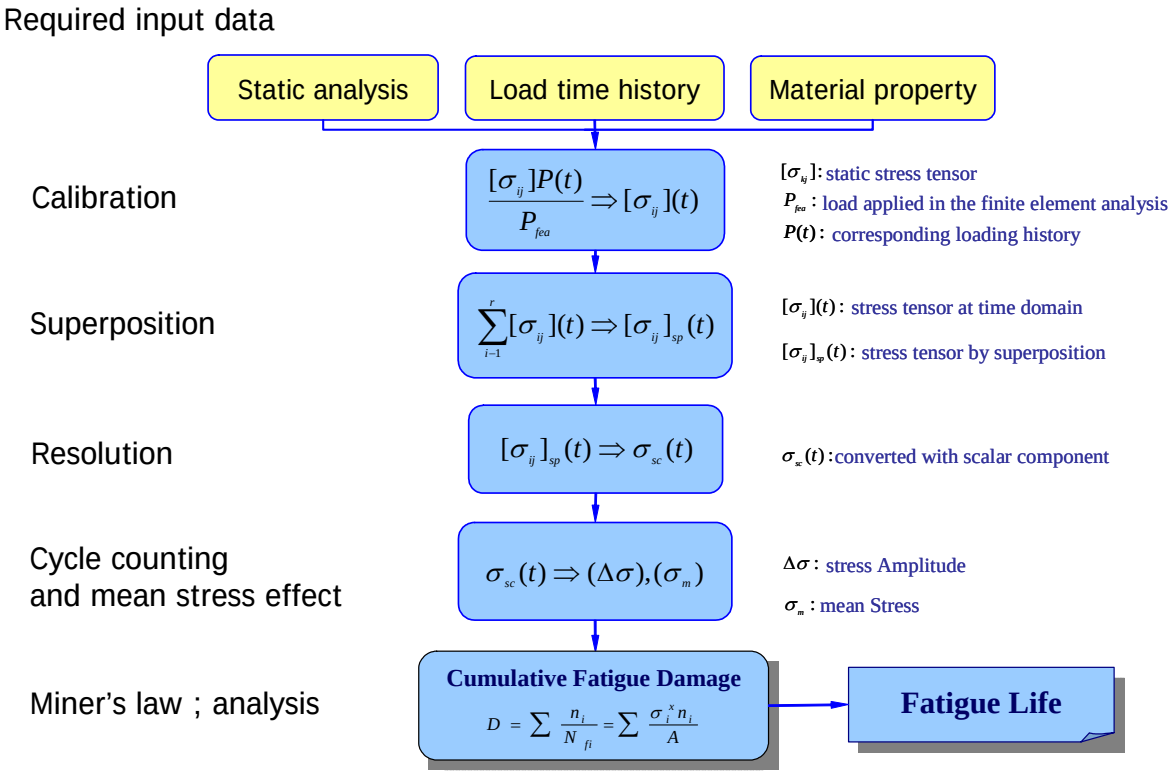


그림 41. 응력-수명 접근법에 준한 정적 피로해석 알고리듬

(다) 구조해석용 모델링 작성

① 모터 프레임의 3차원 CAD모델링

아래 그림은 본 연구의 8200대 모터블럭의 취부 프레임 조감도이다. 기어박스와 전동기부의 취부 프레임 조립은 그림에서 점선으로 나타내었다.

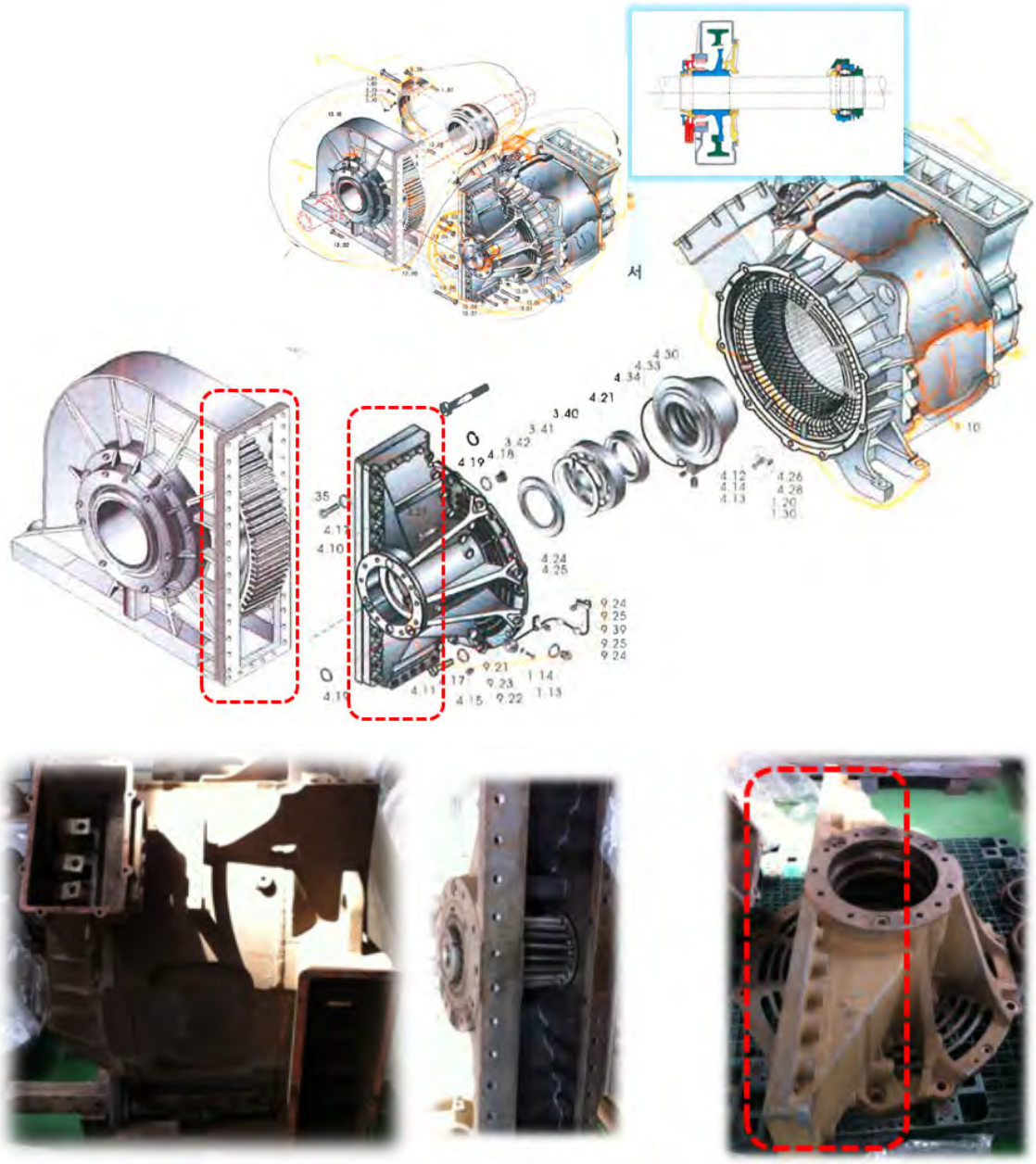
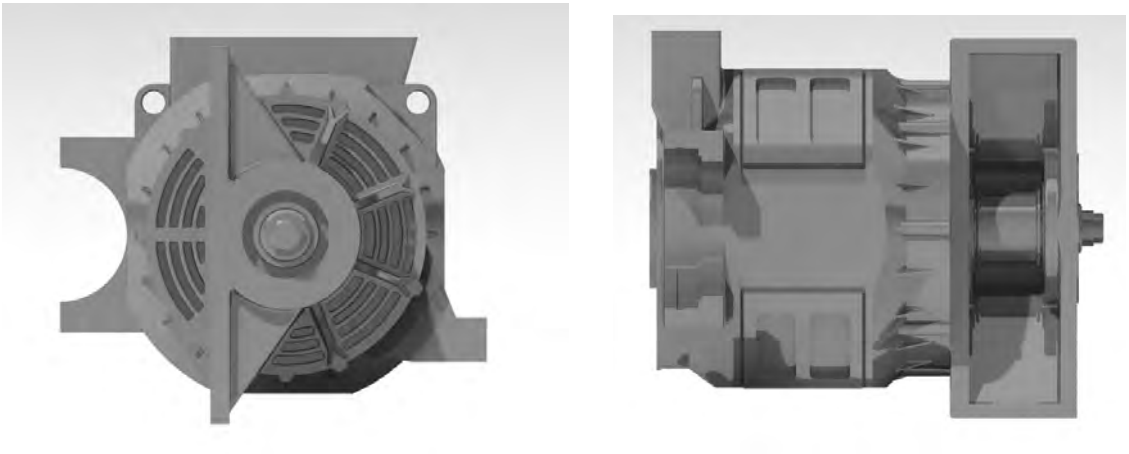


그림 42. 전동기와 기어박스의 취부프레임

② 구조해석을 수행하기위한 3차원 CAD모델이 필요하며, 이를 위하여 본 연구에서 기존 8200대 모터 프레임를 대상으로 3차원 측정기(또는 레이아웃 머신)를 이용하여 3차원 CAD데이터를 측정하였다. 아래 그림은 본 8200대 전기기관차 모터 프레임의 레이아웃으로서, 최종단계의 해석용 3차원 CAD모델은 CATIA V5로 생성하였다.



(a) 정면도 (b) 측면도

(c) 평면도 (d) 등각도

그림 43. 8200대 전기기관차 모터 프레임의 3차원 CAD모델]

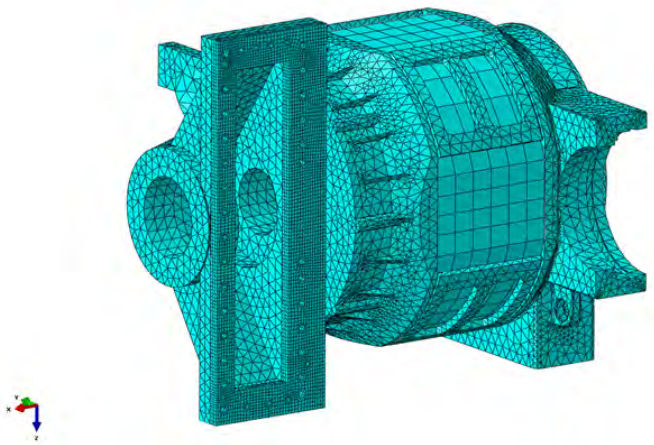


그림 44. 취부프레임 3차원 위치좌표 측정기 광경

③ 견인 전동기는 전동기의 효율 및 정격 출력 특성뿐만 아니라 사용 수명을 충분히 만족하면서 강도적인 측면에서 안전성 검토가 매우 중요하다. 본 연구에서는 기본설계의 연구개발 결과를 바탕으로 수정 설계안으로 도출된 표준형 시작품 모델에 대한 모터프레임 강도해석을 유한요소법에 의하여 수행하였다. 유한요소해석은 3차원 CAD 모델로부터 STEP화일로 변환한 후에 유한요소해석 전용소프트웨어인 ABAQUS Ver6.13을 이용하였다.

④ 모터 프레임 강도해석을 위한 유한요소망 생성 및 경계조건

㉮ 아래 그림은 강도평가의 구조해석에 요구되는 유한요소망 생성(finite element mesh generation) 및 경계조건을 나타낸 것이다. 본 모델은 3차원 캐드모델(computer aided design model)로부터 상용해석 소프트웨어인 ABAQUS[2]에서 변환하고 이로부터 요소망을 생성하였다. 요소망은 3차원 중절점사면체요소(tetrahedral elements, C3D10) 90,225개와 8절점 육면체요소(hexahedral elements, C3D8) 9,321개를 혼합한 것이다. 총 요소수(total number of elements)와 총 노드수(total number of nodes)는 각각 99,546개와 163,074개이다. 해석에 입력자료로서 사용되는 재질의 탄성계수(elastic modulus)는 207GPa이고, 프아송비(poisson′s ratio)는 0.29이다. 경계조건(boundary condition)은 대차프레임에 전동기를 지지하는 부분(3곳)의 변위(x,y,z)를 모두 구속하고, 작용하중은 승객하중을 고려한 최대정지 마찰력을 적용하였다.



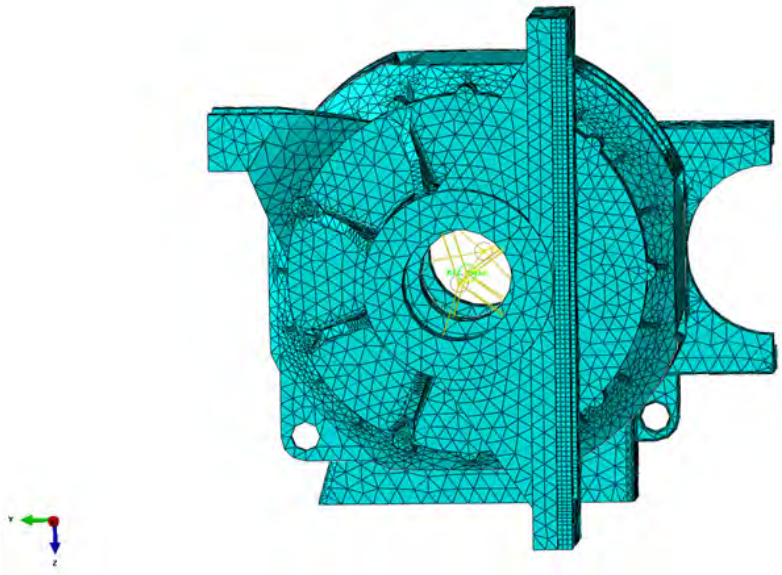
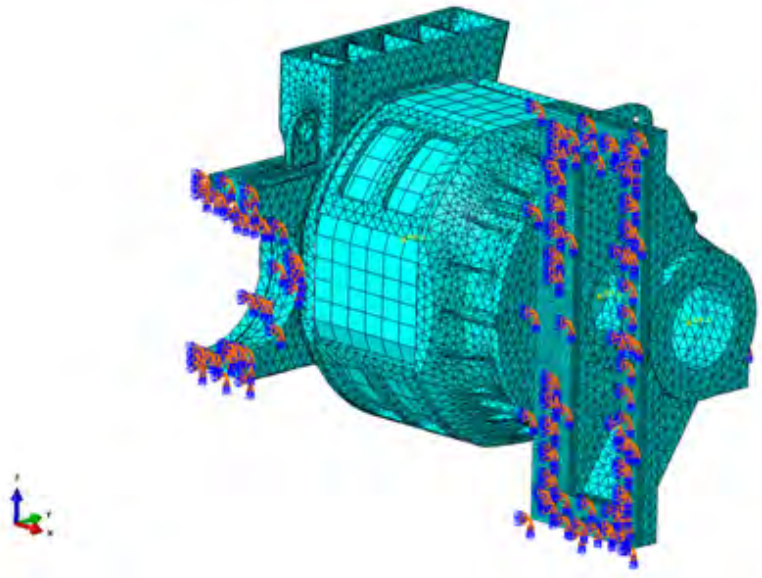


그림 45. 8200대 전기기관차 모터 프레임의 유한요소모델

㉯ 경계 및 하중조건

경계조건은 모터프레임이 대차프레임에 지지되는 부분(3곳)의 변위(x,y,z)를 모두 구속하였으며, 작용하중 조건은 승객하중을 고려한 최대정지 마찰력을 적용하였다. 그리고 취부프레임의 볼트체결부는 빔요소의 커플링 조건을 부여하였다.



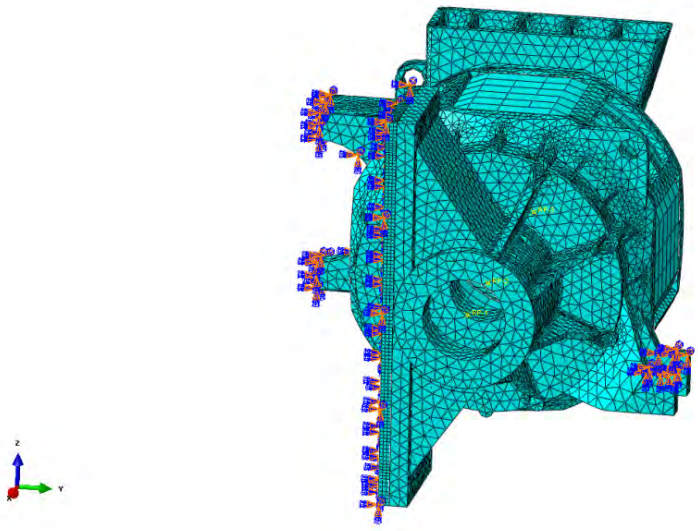


그림 46. 8200대 전기기관차 모터 프레임의 유한요소모델의 하중 및 경계조건

- 사용재질 : SCW 450
- 탄성변형률 : EX = 2.108773E+4
- 포와 송의 비 : NUXY = 2.9E-1
- 전단변형률 : GXY = 8.173539E+3
- 밀도 : DENS = 7.97418E-1

㉰ 구조적 안정측면에서 중요한 취부프레임의 나사체결부 모델링은 아래 그림과 같이 빔 요소(beam element)의 커플링조건과 3차원 대체요소(substitue volume)을 각각 부여하고 해석결과를 비교하였다.

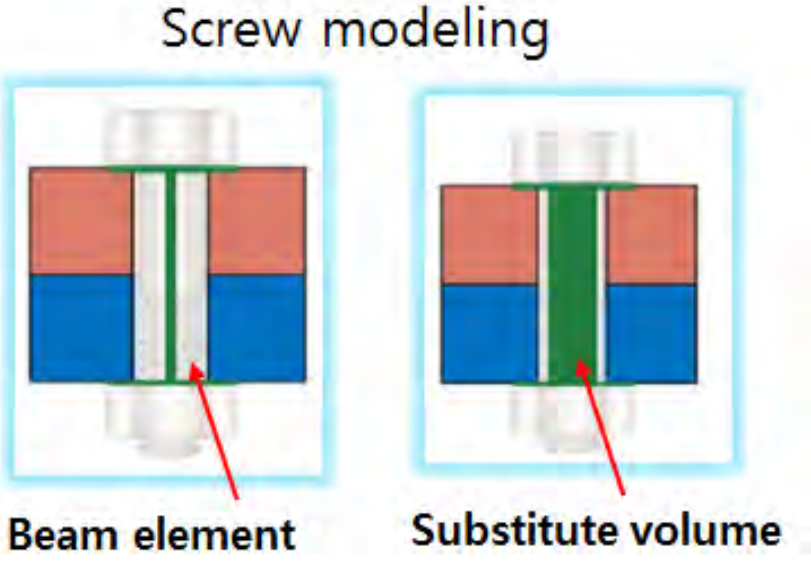
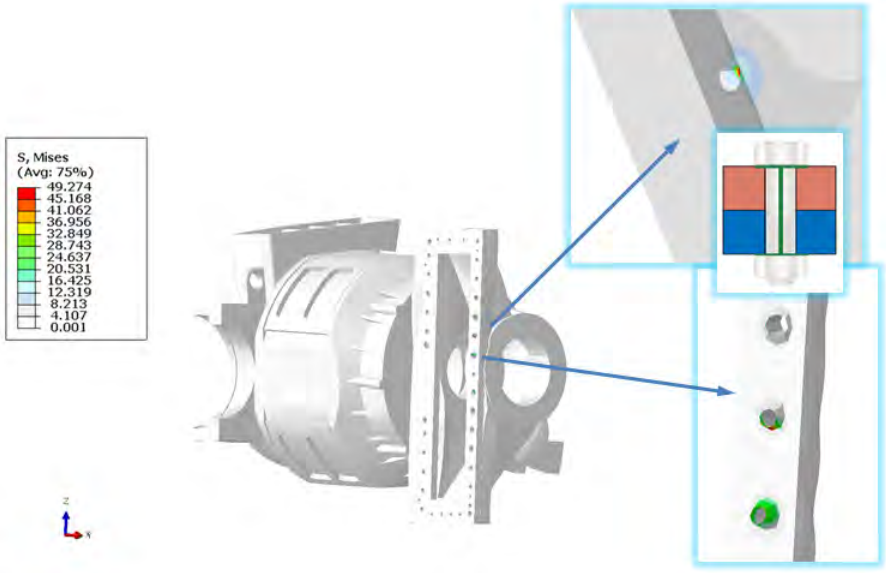
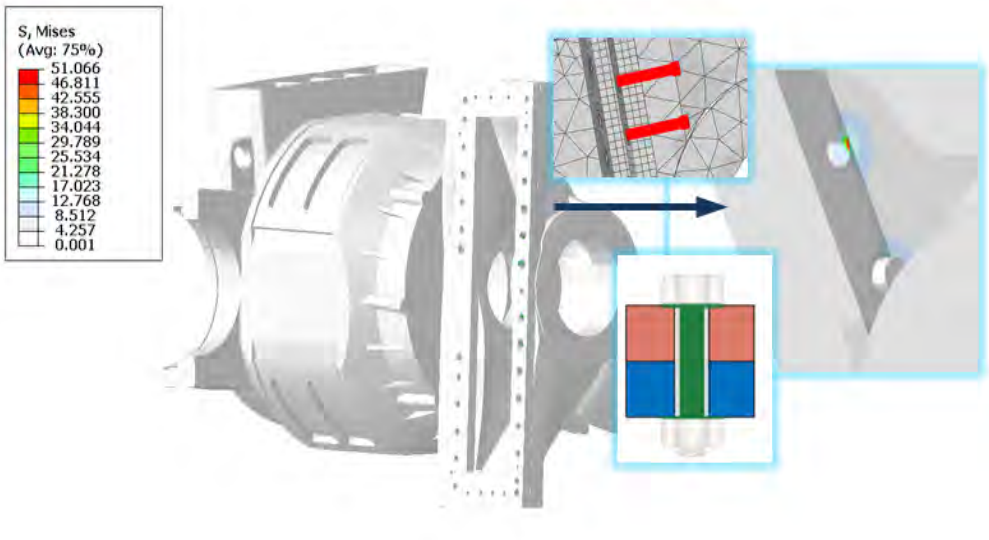


그림 47. 유한요소해석을 위한 나사모델

㉲ 다음 그림은 전동기 프레임의 유한요소해석결과를 나타낸 것이다. 본 장치의 취약부는 그림에서 보는 바와 같이 감속기장치사이 나사체결부에서 발생하였다. 본 연구에서는 나사체결부의 정확한 해를 구하기 위하여 두가지 모델로 각각 해석을 수행하였다. 이들의 최대 von-Mises응력은 각각 50MPa과 51MPa로서 유사하다.



(a) screw joint modelled as a beam element



(b) screw joint modelled as a substitute volume

그림 48. 두가지 종류 나사체결 모델링에 따른 유한요소해석결과

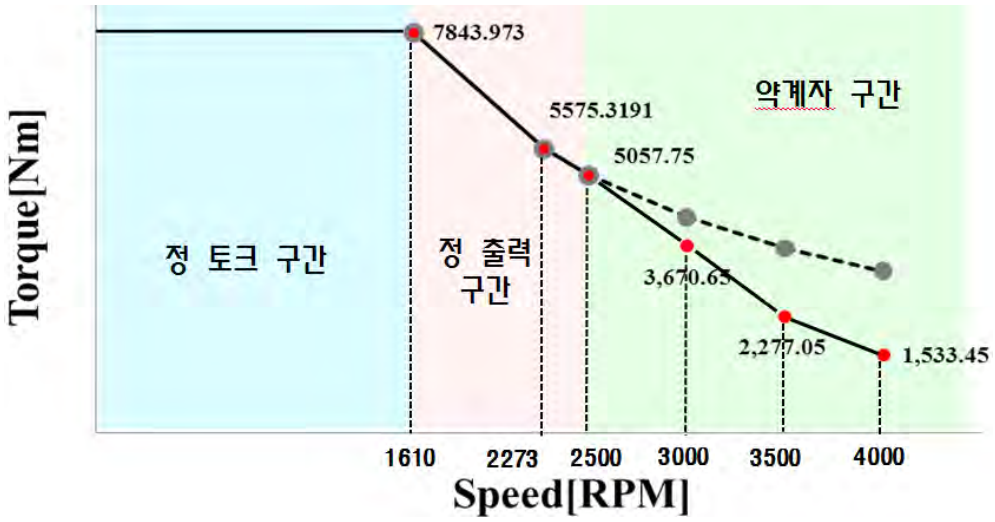
⑤ 견인전동기 운전점 특성

㉮ 개발되고 있는 8200호 전기기관차의 견인전동기인 유도전동기에 대해 전원주파수(f_s)에 따른 운전점 특성을 표에 나타내었다. 각각의 전원주파수에서 슬립을 0~1로 변화하면서 최대효율과 역률을 갖는 운전점에서의 회전자속도, 상전압, 상전류, 토크 데이터를 보여준다.

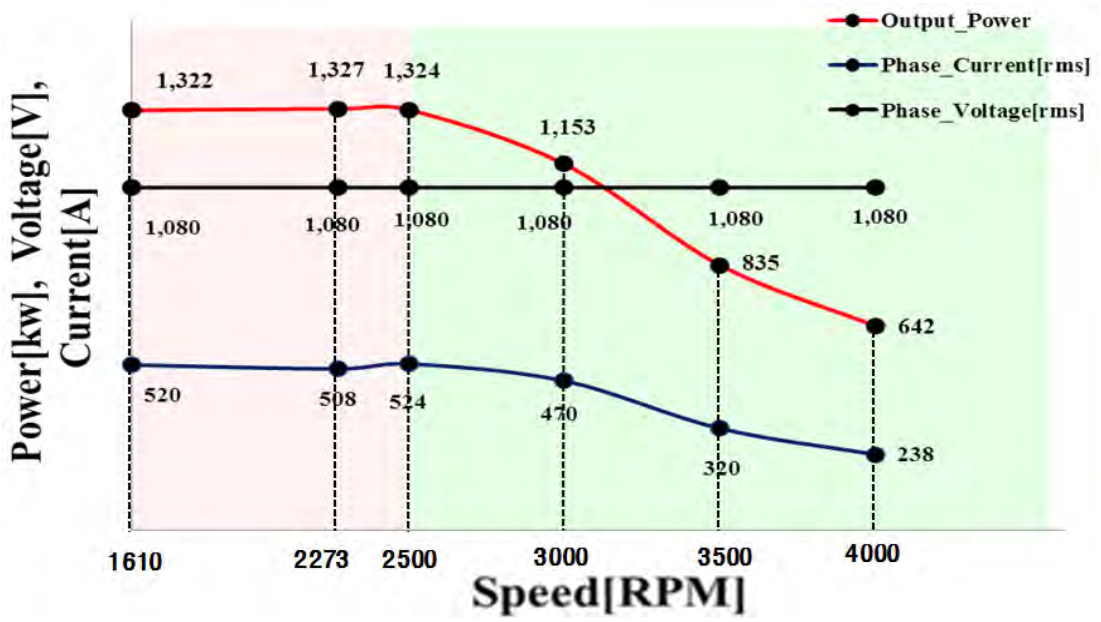
표 8. 운전점에서 회전자속도, 상전압, 상전류, 토크 데이터

전원주파수 [Hz]	회전자 속도 [rpm]	상전압 [V]	상전류 [A]	토크 [Nm]
53.99	1610	1079.65	519.89	7843.97
76.27	2273	1079.65	508.05	5575.32
83.92	2500	1079.65	523.55	5057.75
100.66	3000	1079.65	470.11	3670.65
117.17	3500	1079.65	319.95	2277.05
133.77	4000	1079.65	237.96	1533.45

㉯ 다음 그림은 개발하고자 하는 견인전동기 설계에 따른 특성곡선을 보여준다. 일반적으로 견인전동기는 속도변화에 따른 정토크, 정전력, 약계자 제어영역으로 구분되는데 그림 2(a)는 속도 변화에 따른 토크값 변화로 속도가 증가할수록 토크값이 상대적으로 떨어지고 있음을 알 수 있다. 그림 2(b)는 속도 변화에 따른 전력, 전압, 전류값을 보여준다. 견인전동기 1610[rpm] 속도이전에는 정토크로 운전하다가 1610[rpm]~2500[rpm] 사이에는 정전력 제어, 약계자 제어영역에서는 상전압은 일정하지만 상전류가 떨어지면서 전력도 비례하여 떨어지는 것을 알 수 있다.



(a) 속도에 따른 토크



(b) 속도에 따른 전력, 전압, 전류값

그림 49. 견인전동기 특성곡선

⑥ 차량 주행에 따른 진동 주파수 분석

㉮ 열차 운행 시 Motor-Gearbox-Wheel에서 발생하는 진동특성을 알아보기 위해 수행되었다. 운행 중 설비의 진동상태와 주파수 분석을 위하여 Motor outboard bearing, Motor inboard bearing, Gearbox housing, 차축 NDV bearing측에 16Point 진동센서가 설치되었고, 차륜 측에 속도측정이 가능한 1point 타코센서가 설치되었다. 설치된 Point는 열차 왕복운행구간 동안 다채널 진동 분석장비인 Emerson 6500과 LMS로 측정하였고, 가동조건은 일정속도 구간과 각역 출발 및 도착지점의 과도상태를 포함한 제천역 - 영주역 전체 왕복 운행구간을 기준으로 하였다.

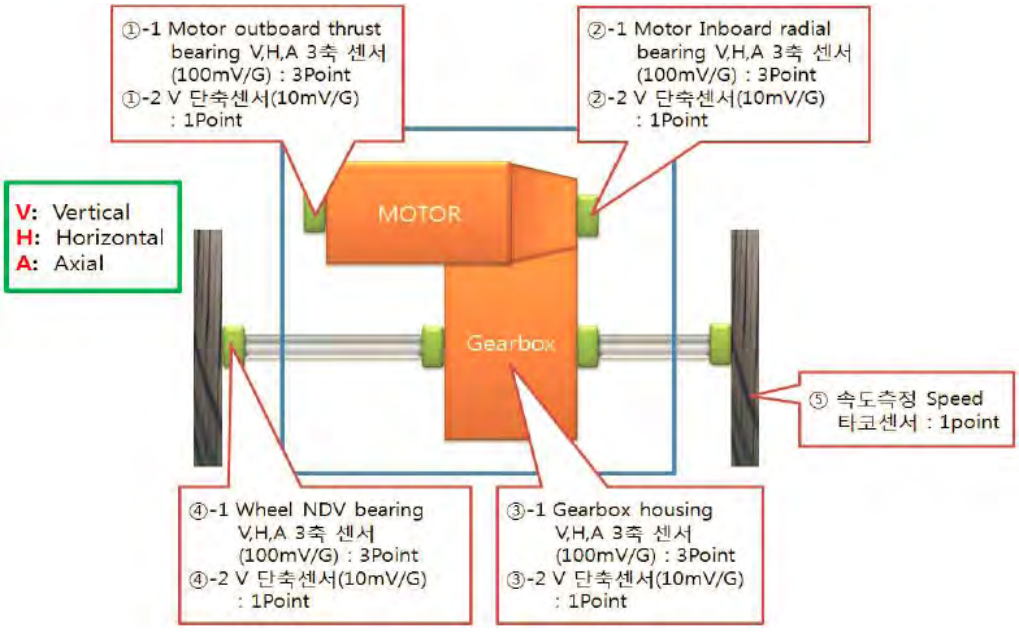


그림 50. 센서 측정 위치

㉯ 다음 그림은 8200호 전기기관차가 60km/h~100km/h 주행 중 속도가 증가하면서 평균 진동량이 가장 높은 구간인 70km/h의 Motor Outboard Vertical 방향의 진동 데이터를 보여준다. 전체 진동량은 약 10mm/s RMS 값으로 데이터 분석결과 견인전동기 회전주파수 성분인 1X가 약 30Hz로 다른 성분들에 비해 높게 나타나고 있고, 1X이하 저주파수 성분들은 레일 충격진동에 의해 나타나는 주파수로 추정된다. 고주파수대역을 확인해 보면 500Hz 이상 대역에 Harmonic 성분으로 553Hz와 553Hz의 2X 성분인 1110Hz 대역이 나타나고 있다. 이것은 계산결과 70km/h 주행시 기어박스에서 나타나는 GMF(Gear Mesh Frequency) 성분으로 열차 구동 시 기어박스에서 발생하는 주파수 성분이 견인전동기측까지 전달되어 영향을 주고 있다고 판단된다.

㉰ 한편 동일조건에서의 진동량을 살펴보면 가속도(G)값으로 Vertical 1.85G, Axial 1.55G, Horizontal 1.32G의 순으로 전체 진동량과 비슷한 패턴으로 Vertical 방향에서 진동이 가장 높게 나타났다.

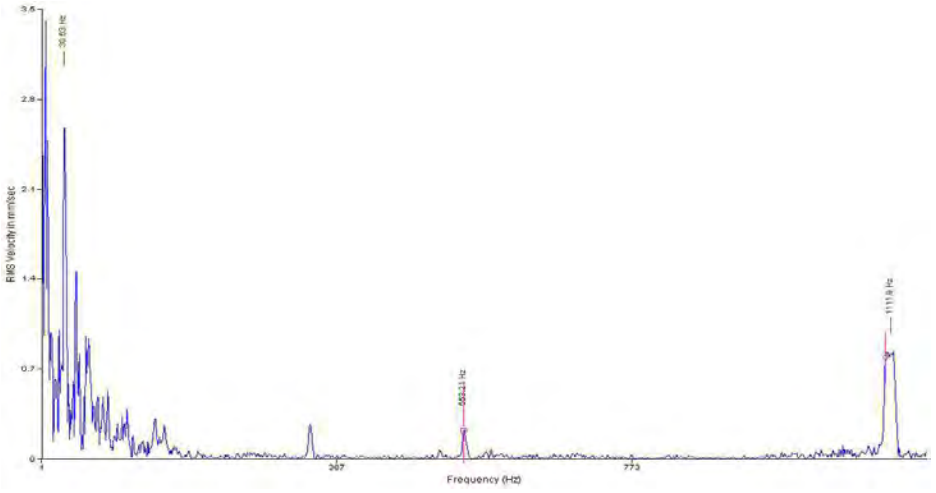
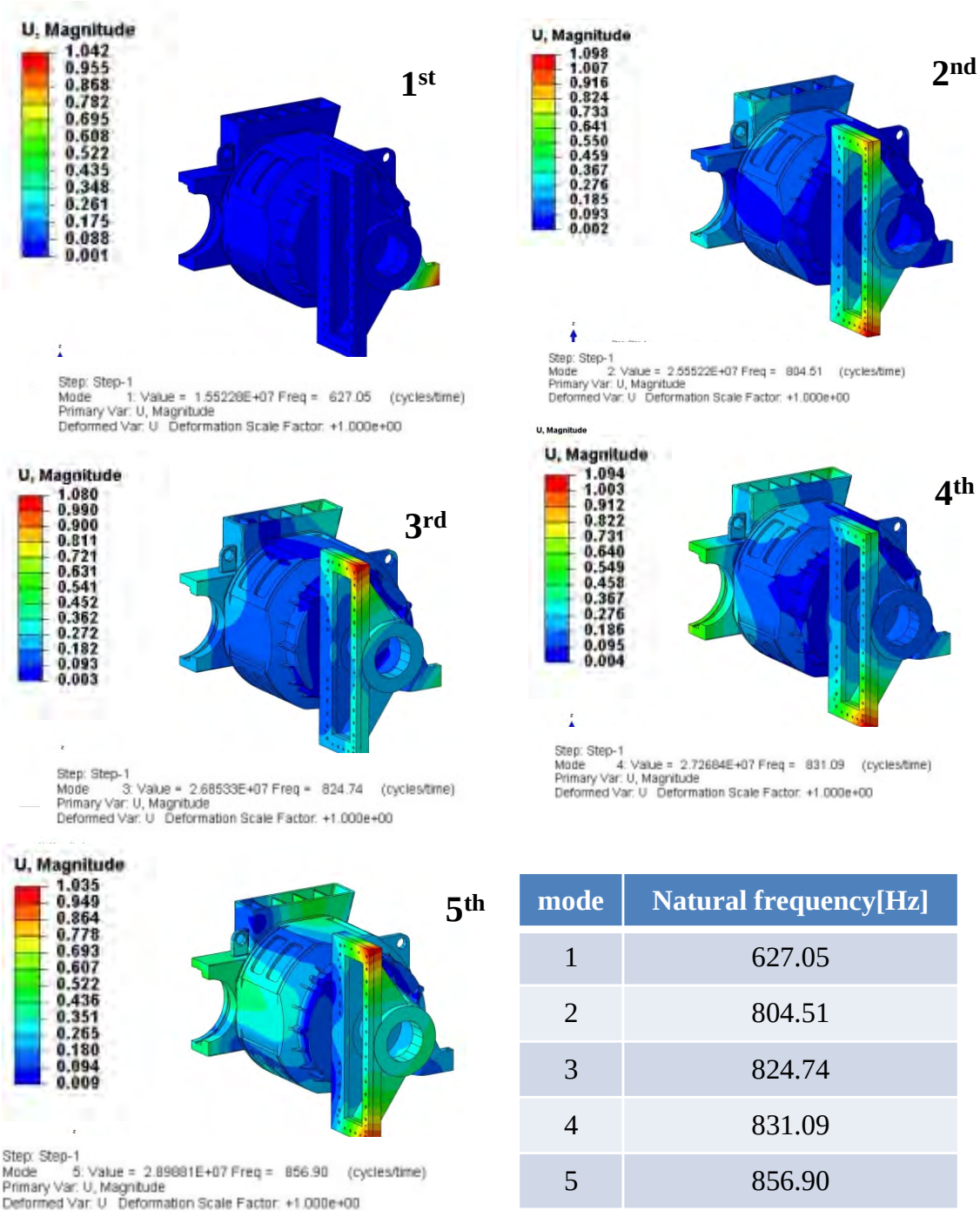


그림 51. 차량 속도 70km/h에서의 가진 주파수

㉱ 참고로 본 부품의 정규모드해석결과는 다음 그림과 같다. 이는 주행이력의 가진주파수 검토을 통하여 공진여부를 판단할 수 있다. 본 고유 주파수와 8200호 전기기관차 주행 중에 가진 주파수를 비교해 보면 고유 주파수는 모드에 따라 627.05[Hz]~856.9[Hz]인 반면 가진 주파수는 대부분 30[Hz]이거나 553[Hz], 1110[Hz]이므로 공진을 회피할 수 있는 것으로 판단된다.



mode	Natural frequency[Hz]
1	627.05
2	804.51
3	824.74
4	831.09
5	856.90

그림 52. 전동기 프레임의 고유주파수 분석 결과

2. 전력변환장치 기술개발

가. 전력변환장치 개요

(1) 구성

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

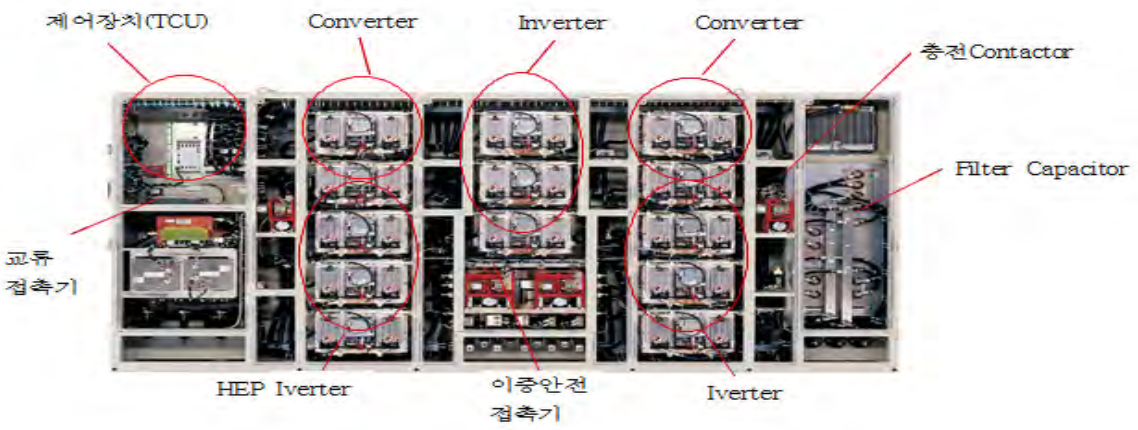


그림 53. 전기기관차(8200호대) 전력변환장치 구성

(2) 사용자 요구조건 적용

표 9. 사용자 요구조건에서 도출된 의견

현상	요구사항	개선안
TCU 고장시 소프트 웨어 원인규명 곤란	TCU카드 관련 시험기 개발	개발완료 후 검토
MK, HK, RK 보조연동 점검이 불편함		신뢰성 높은 접촉기채용
DVT같은 단품 검사가 어려움		곤란
GTO 뒤편에 있는 부품의 검사 곤란		검사, 점검빈도 낮은 부품 배치
TCU 문이 잘 안맞음		커버 제작시 주의
★캐비닛 Locking장치가 많음	8500호대용 참고	안전상 비수용
★TCU 케비넷 소프트웨어 설치시 곤란	밧데리함과 같은 투명으로 설치	비수용(자주 발생 안함)
내부상태를 확인하는 점검창이 없음	주요품 내부 확인창 설치	외함 및 TCU 설계시 검토
인버터와 컨버터의 구분이 어려움	식별 용이한 라벨 부착	장치별 명판 부착
인버터/컨버터 냉각수 라인 청소 곤란	냉각수 순환 청소 시험기 제작	개발완료 후 검토
잔류전압을 확인하는 장치필요	8500호대 참고	안전상 충분한 방전 후 작업
주변환장치 모듈 취거/취부 어려움	취거/취부 지그제작	소형/경량화 설계

(3) 전력변환장치 기존품과 개발품 비교

항 목		사 양	
		GTO 전력변환장치	IGBT 전력변환장치
제어방식	컨버터	4상한 초퍼 위상 제어	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
	인버터	3상 PWM 인버터 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어 , Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조⇔ 1P MODE
제어전압		DC 110V (77V ~ 138V)	좌 동
컨버터부	입력전압	AC 1,230V × 2회로	좌 동
	출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
	최대출력	1,500 kW 이상	좌 동
	전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A (8EA)	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (8조)
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
	출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)	좌 동
	최대출력	1,600 kVA 이상	좌 동
	주파수	0 ~ 134 Hz	좌 동
	전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A (12EA)	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (12조)
HEP 인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
	출력전압	3AC 970V	좌 동
	출력전류	3AC 310A	좌 동
	전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A (6EA)	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (6조)
냉각방식		수냉식	좌 동
주위온도		-35 ~ +45℃	좌 동
I/F 및 통신		MVB	좌 동
제어장치		32 bit DSP56002	32 bit Microprocessor
기 타		-	기존 호환성 확보

본 시스템은 8200대 전기기관차를 제어하기 위한 컨버터와 인버터의 결합시스템으로서 단상 컨버터를 이용하여 DC링크의 전압 및 컨버터 입력단의 역률을 제어하고, 컨버터와 DC링크단을 공유한 인버터로 전기기관차의 동력을 제공하는 유도전동기를 제어하도록 구성되어 있다.

컨버터는 25kV의 AC전압을 변압기를 거쳐 1,230V의 AC전압으로 변압한 후, 단상 컨버터를 통해 2,400V ~ 2,600V의 DC링크 전압을 공급한다. 이 때, 회로의 구성은 승압을 위한 인

덕터와 등가화된 저항 성분으로 구성된다. 컨버터는 DC링크 전압 공급 외에도 입력단의 전압과 전류의 위상을 동상으로 하기 위한 단위 역률제어의 역할을 한다. 인버터는 컨버터에서 공급한 DC링크 전압을 소스로 하여, 1,300kW 유도전동기에 전력을 공급한다. 본 시뮬레이션의 인버터 부분에서는 Motor Controller에서 출력한 지령을 바탕으로 수학적으로 모델링한 인버터와 유도전동기 시스템에 적용하여 전기기관차의 속도 응답 특성을 확인 할 수 있다. 전체 시스템 블록도는 아래의 그림 1과 같다.

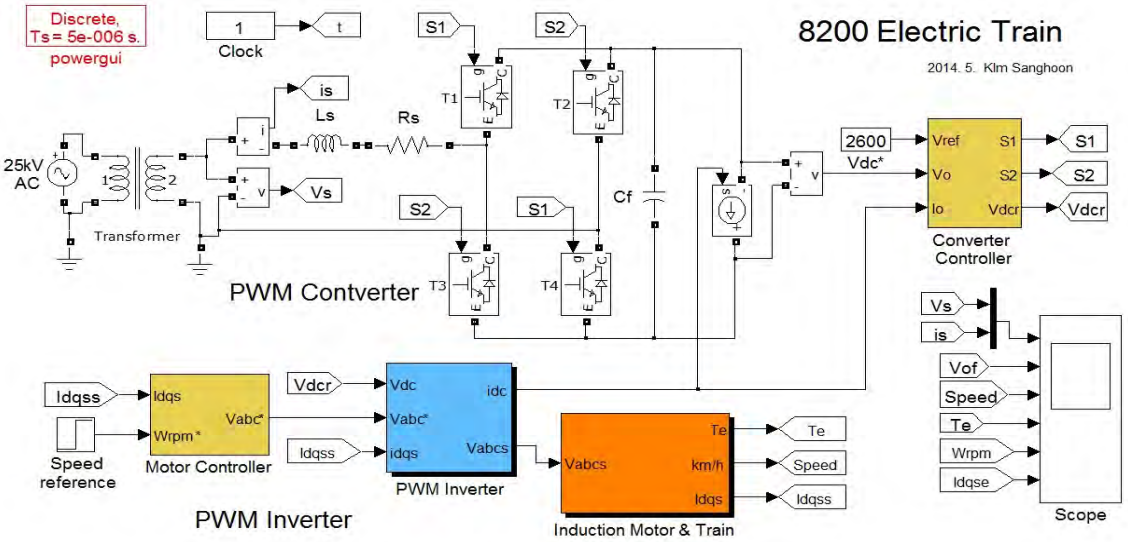


그림 54. 전체 시스템 블록도

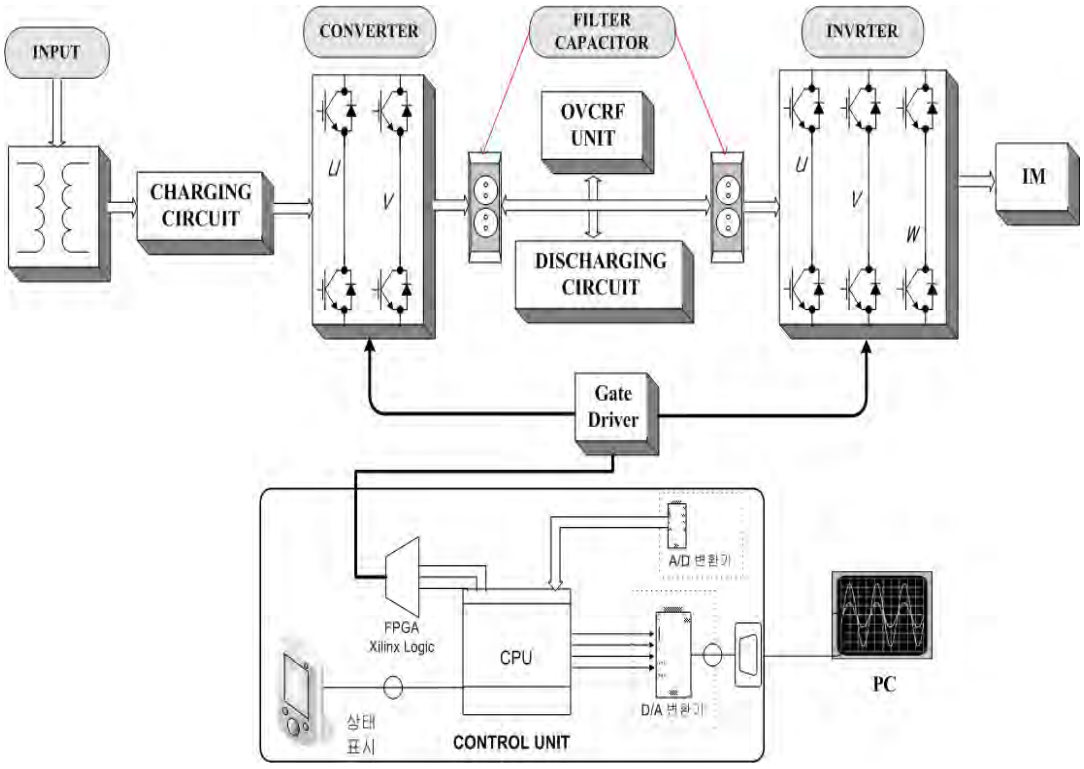


그림 55. 주회로 블록도

나. 현차분석시험

(1) 개요

(가) 시험목적

국가 R&D 연구수행중인 「전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발」 과제 관련하여 8200호대 전기기관차의 전력변환장치를 분석하기 위하여 각 장치기능 및 특성을 조사하여 국산화 개발의 기초자료로 활용하고자함.

- 전력변환장치의 기존 성능을 파악하여 이에 상응하는 성능의 전력변환장치 개발
- 실제 최대 전류치와 최대 전압치를 측정하여 전력변환장치의 용량설계에 적용
- 기존 유도전동기에 대한 추진인버터의 운전영역을 파악, 추진 인버터의 제어에 활용
  - 컨버터 : 대용량 전력변환을 위한 제어기술에 대한 데이터 취득 목적
  - 인버터 : 고속주행을 위한 추진제어 알고리즘에 대한 데이터 취득 목적

(나) 관련자료

자료/도면번호	제 목	개정번호	개정일자
Eca00047	주회로도		
Eca00048 (1/30)	Traction Inverter1 회로도		
Eca00048 (2/30)	Traction Inverter2 회로도		
Eca00048 (6/30)	DC link AB 회로도		

(다) 시험대상

① 1차 제천차량사업소 전동차 8225호 시험차량 + 객차 2대(공차)

② 2차 제천차량사업소 전동차 8254호 시험차량 + 객차 4대(공차)

(라) 시험일시 및 구간

- 1차 2013년 4월 25일 : 센서, 계측장비 설치 및 테스트(정적/동적)
  2013년 4월 26일 : 제천역 - 영주역 하행/상행 본선운행시험
- 2차 2013년 5월 13일 : 센서, 계측장비 설치 및 테스트(정적/동적)
  2013년 5월 14일 : 제천역 - 단양역 하행/상행 본선운행시험

(마) 시험 참여자

이진국 이사, 노춘호 이사, 채승민 과장, 유정호 대리, 이병두 연구원 (총 5명)

(바) 시험조건

① 시험열차편성 : 전기기관차(8200호대) 1량 + 무궁화객차 2~4량(공차)으로 구성되는 전기기관차를 이용하여 객차견인시험을 수행

② 시험속도 : 시험속도는 설계최고속도 150km/h를 최대속도로 4단계로 구분하여 수행(70, 80, 110, 150km/h)하며 낮은 속도 단계에서 시스템의 각 성능을 확인하고 다음 속도 단계에서의 주행

③ 시험구간 : 제천 ↔ 영주(125Km), 제천 ↔ 단양(44Km) 각각 1회 왕복

④ 측정방법 : 정지된 차량에 전압/전류 센서를 취부, 측정 장비를 설치 및 운행패턴에 따른 데이터 실시간 저장

(사) 시험운행패턴

① 가속도시험 : 차량을 최대견인력으로 기동, 가속시키며 필요한 측정항목을 일정한 시간 간격으로 기록

② 절연구간 통과시험 : 절연구간 통과 시 가변 및 고정형 주파수 전압/전류 측정

③ 기동시험 : 정지상태에서 목표 속도에 도달할 때까지 견인력 측정

④ 노치시험 : 정지상태에서 가속 중 주간제어기의 노치를 변경하며 운전

⑤ 구배시험 : 차량을 기동이 가능한 최대 구배지점(설계상)으로 배치하여 전대차 개방시험, 후대차 개방시험, 각각의 대차 개방시험 등을 시험

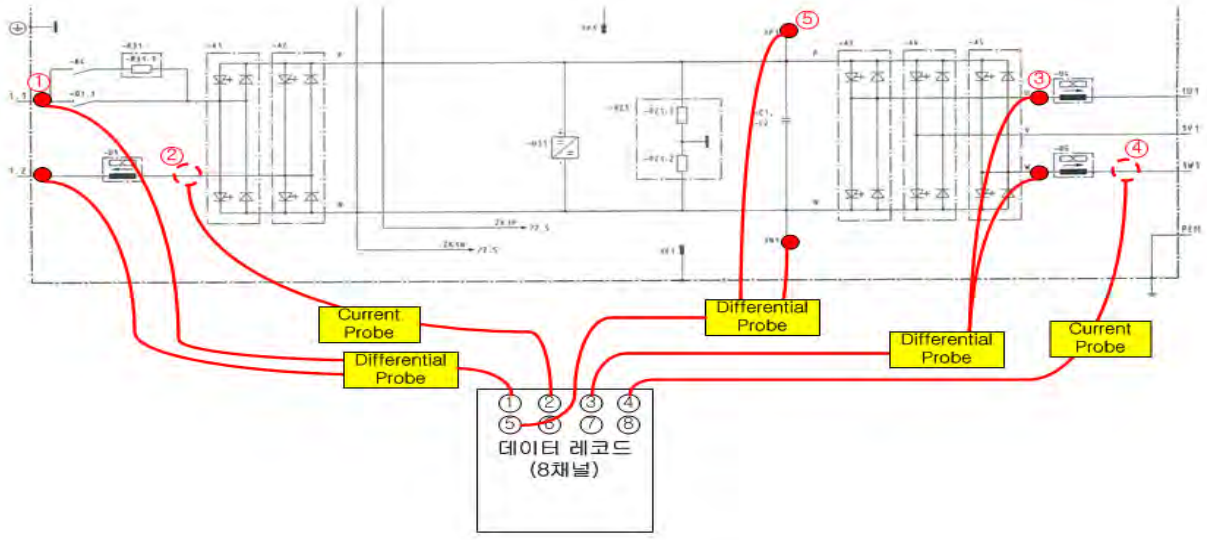
(2) 시험내용

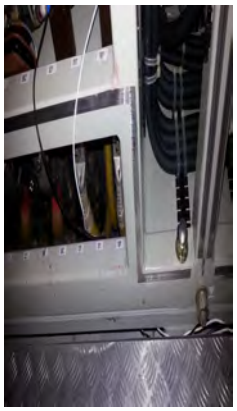
(가) 시험방법

① 측정장비

번 호	장비명	장비사양	용 도	수 량	보유기관
1	데이터 레코더	HIOKI MR8875	전력상태분석	1	(주)우진산전
2	오실로스코프	Lecroy	전력상태분석	1	(주)우진산전
3	고전압 프로브	SI-9010	측정용	3	(주)우진산전
4	고전류 프로브	HIOKI 3285	측정용	2	(주)우진산전

② 측정위치 및 관련도면



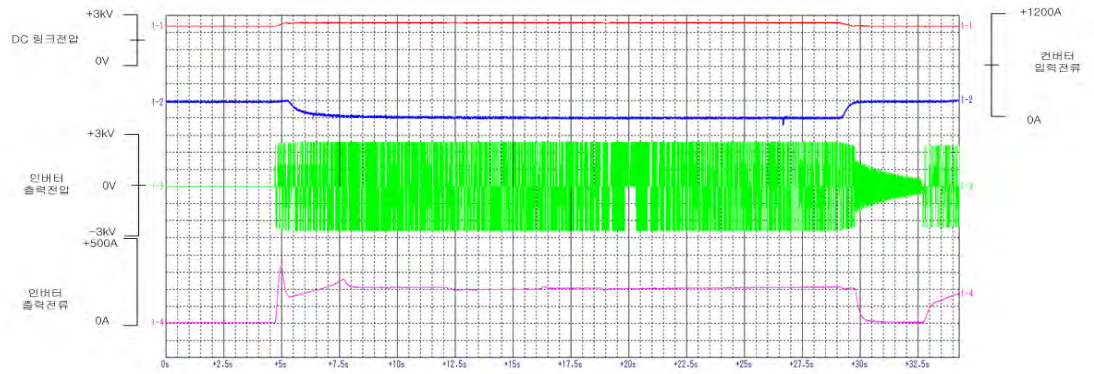
① 컨버터 입력전압	② 컨버터 입력전류	③ 인버터 출력전압	④ 인버터 출력전류	⑤ DC Link 전압
				

③ 시험내용

시험항목	시험운전 패턴
절연구간통과시험	절연구간 통과 → B5(0)
최고속도시험	정지 → 150km/h → Notch off → B7(0)
노치시험	정지 → 70km/h → Notch off → 80km/h → Notch off → 110km/h → Notch off → B7(0)
	정지 → 70km/h → Notch off → 110km/h → Notch off → B7(0)
기동시험	정지 → 30km/h → Notch off → B1(0)
	정지 → 50km/h → Notch off → B3(0)
	정지 → 70km/h → Notch off → B5(0)
	정지 → 70km/h → Notch off → B7(0)
가속도시험	정지 → 80km/h → Notch off → B7(0)
과도현상시험	전압 및 전류의 과도현상에 대한 파형 분석(상시)

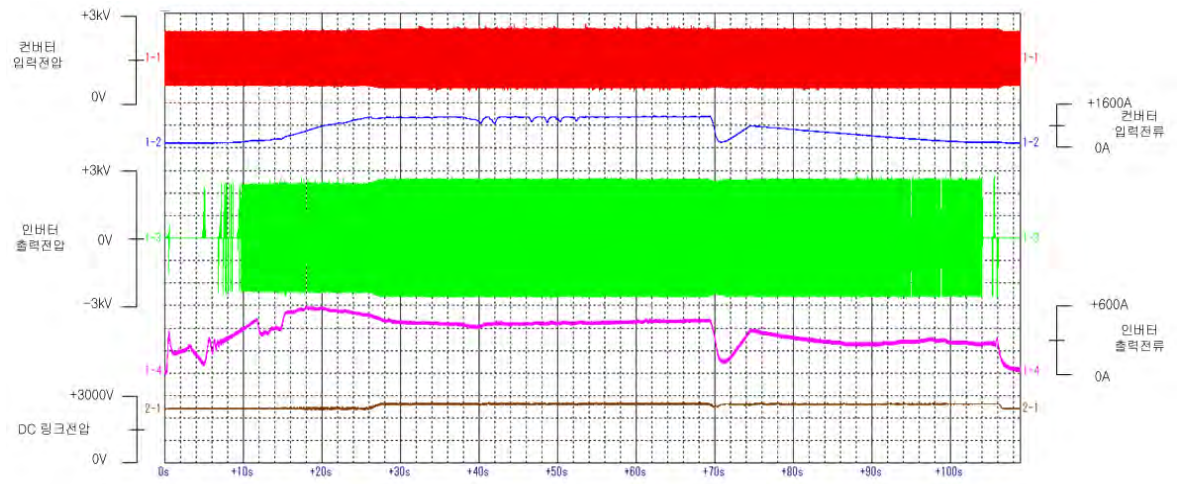
(나) 시험결과 및 분석(운행패턴 별 시험결과)

① 절연구간 통과시험



○ 절연구간 통과시험 : 절연구간 통과 → B5(0)
- 절연구간 통과시험시점(인버터 정지)시 DC Link 전압은 2,400V를 유지하고 있다가 절연구간 통과시점에서 인버터 기동 후, 회생에너지를 이용 DC Link 전압이 2,600V로 상승함이 확인되며, 이때 인버터 출력전압은 2,600V(Peak to Peak Voltage), 인버터 전류는 200A 회생
○ 설계적용 : - 절연구간 통과 시, 인버터 기동을 통해 DC Link 전압을 2,600V로 유지해야 함

② 최고속도시험



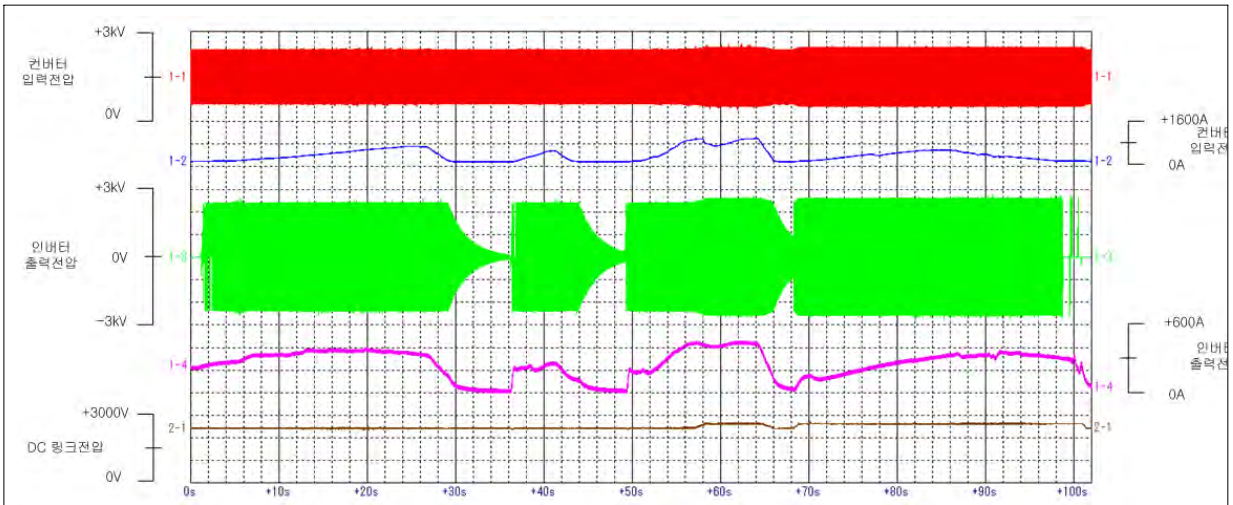
○ 최고속도시험 : 정지 → 최대견인 → 150km/h → Notch off → B7(0) → 정지

- 객차 4량 견인 시, 전동기 최대속도(3,750rpm) 도달시간은 약 70초로 컨버터 입력전압(Vcon)는 2,600Vac, 컨버터 입력전류(Icon)는 1,100A까지 상승하며 인버터 출력전류의 최고치는 580A로 측정
- 회생 시점에서 DC Link의 전압이 2,600V로 상승
- 전기제동 시 컨버터 입력전류가 800A까지 상승
- 유도전동기 초기 기동 시 가속도제어에 위해 초반 전류의 크기가 제한됨을 확인
- 인버터 제어 시, 특성영역(고속운전 영역) 진입구간(26초 이후_약 100km/h이상)에서는 모터 출력전압의 크기를 높이기 위하여 컨버터의 출력전압(DC Link 전압)을 2,400V에서 2,600V로 높이는 것을 확인

○ 설계적용

- 최고속도시험을 통해 인버터의 성능을 측정
- 실험조건(차량중량 : 240톤) 기준, 최대 견인력에 대한 최고속도 도달에 대한 기준시간을 70초로 설계반영
- 컨버터 제어 시, 변압기 1차측의 전원전압과 전원전류가 동상이 되도록 제어(역률 1)
- 상기에서 취득한 데이터를 모터 제어알고리즘에 적용

③ 노치시험



○ 노치시험 : 정지 → 최대견인 → 70km/h → Notch off(5초) → 80km/h
→ Notch off(5초) → 110km/h → Notch off(5초) → B7(0) → 정지

- 전동기 속도 80km/h와 110km/h 도달 시, 초기전류의 크기는 약 200A 측정
- 110km/h 운행 중, 전기제동(B7) 시 모터전류는 최대 340A 측정

○ 설계적용 : 각 운행패턴에 따른 컨버터 및 인버터 전류치 반영

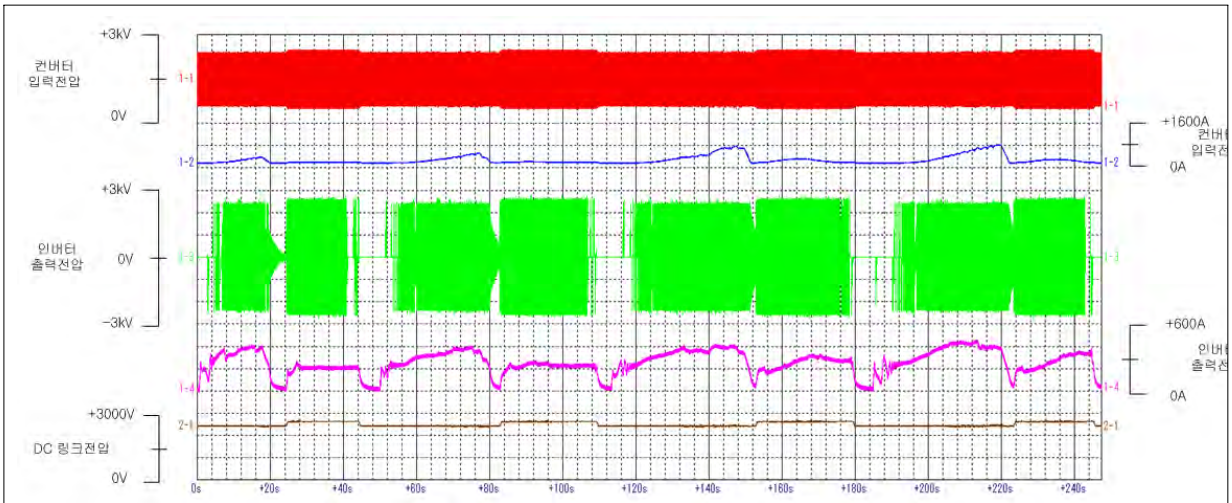


○ 노치시험 : 정지 → 최대견인 → 70km/h → Notch off(5초) → 60km/h
→ 견인 → 110km/h → Notch off(5초) → B7(0) → 정지

- 전동기 속도 110km/h 도달 직전, 인버터 출력전류의 크기는 약 430A 측정
- 110km/h 운행 중, 전기제동(B7) 시 모터전류는 최대 380A 측정

○ 설계적용 : 각 운행패턴에 따른 컨버터 및 인버터 전류치 확인

④ 기동시험



○ 기동시험

- 정지 → 최대견인 → 30km/h → Notch off(5초) → B1(0)
- 정지 → 최대견인 → 50km/h → Notch off(5초) → B3(0)
- 정지 → 최대견인 → 70km/h → Notch off(5초) → B5(0)
- 정지 → 최대견인 → 70km/h → Notch off(5초) → B7(0)

- 운행패턴에 따른 인버터 성능

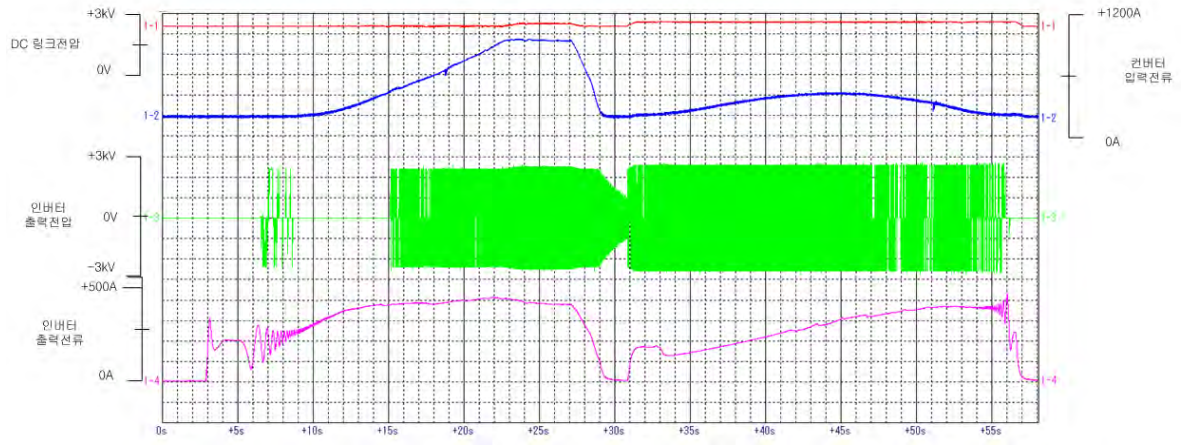
운행패턴	가속시간	최대역행전류	제동시간	최대회생전류
30km/h 가속 및 B1 제동 시	15초	370A	20초	200A
50km/h 가속 및 B3 제동 시	26초	380A	24초	220A
70km/h 가속 및 B5 제동 시	36초	400A	27초	290A
70km/h 가속 및 B7 제동 시	36초	400A	20초	340A

- 전기제동 시, DC Link 전압은 2,600V로 상승

○ 설계적용 :

- 각 운행패턴에 따른 인버터의 전류치 확인

⑤ 가속도시험

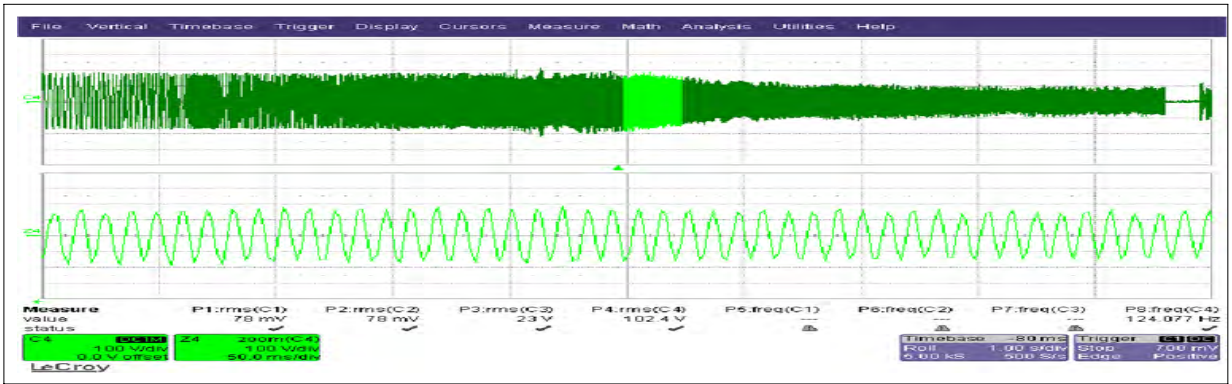


○ 가속도시험 : 정지 → 최대견인 → 80km/h → B7(0) → 정지

- 전동기 속도(2,000rpm) 시, 최대전류는 60km/h 전•후에서 약 400A가 흐름을 측정하였으며, 전기제동 시 최대 400A까지 회생전류가 흐름
- 80km/h까지의 도달 시간은 약 25초로 확인

○ 설계적용 : 견인력 최대 시, 추진성능 확인

⑥ 과도현상시험



○ 과도현상시험 : 계측장비를 이용한 인버터 출력전류 파형 분석

- 현차분석시험 중 인버터 출력전류의 과도현상을 측정하였지만 과전류 및 서지전류는 검지하지 못함

○ 설계적용 :

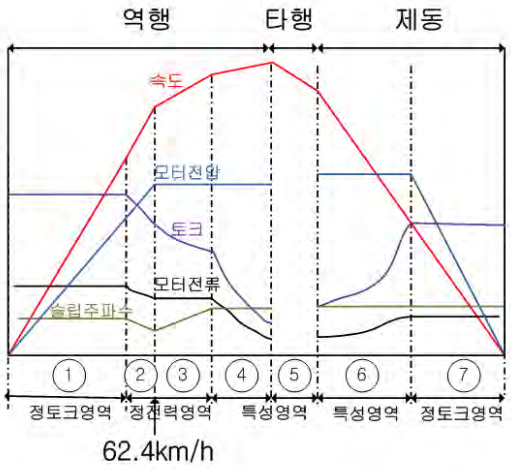
- 모터 출력에 과도현상 발생 시, 과도현상에 대한 발생원인 및 그에 따라 나타나는 소손에 대한 대책을 설계하고자 하였으나 과전류 및 서지는 발생하지 않은 관계로 현재 8200호대의 추진시스템은 매우 안정한 상태로 판단됨.
- 기존 측정한 데이터 및 정격치를 가지고 추진시스템을 설계하는데 무리가 없을 것으로 판단됨

(3) 기타사항(결과분석)

(가) 8200호대의 전기기관차는 객차에 사용전원을 공급할 수 있는 장치(HEP 인버터)가 전력변환장치 내부에 장착되어 있다. 객차전원은 사구간의 여부와 관계없이 항상 동작해야 하므로 사구간에서는 발전제동을 하여 발생된 전력을 객차전원용으로 소모한다. 제시한 그래프는 역행동작에서는 2,400Vdc로 제어되는 DC Link 전압이 발전 동작에서는 2,600Vdc로 상승하고 발생된 전력이 HEP 인버터를 통해 소모되는 것을 나타낸 것이다.(시험 당시 객차부하는 50% 이상으로 개별차량에 강제로 설정)

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

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



최대 출발 견인력 : 320kN(인장력 : 300kN, 62.4km/h에서)
최대 회생 제동력 : 216kN(5km/h~87.5km/h 범위 내에서)

(라) 시험 운행패턴에 따른 전력변환장치 및 모터의 성능을 측정하였으며 이를 바탕으로 추진시스템의 성능향상 기술개발 기초자료로 활용함

(4) 결론

1차와 2차의 현차분석시험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(가) 절연구간 통과 시, 인버터 기동을 통해 DC Link 전압을 2,600V로 유지함.

(나) 객차 4량 최대견인 시, 전동기 최대속도(3,750rpm) 도달시간은 약 70초로 측정, 특성영역(고속운전 영역) 진입구간에서는 모터 출력전압의 크기를 높이기 위하여 컨버터의 출력전압(DC Link 전압)을 2,400V에서 2,600V로 높이는 것을 확인함.

(다) 최고속도시험에 따른 모터의 전류곡선을 측정해 본 결과, 특성영역에서의 전류의 감소분은 나타나지 않음. 전동차의 속도에 따른 모터전류의 크기는 약 60km/h의 속도에서 감소함을 보이다 80km/h 이상의 속도 시 더 이상 감소하지 않았고 고속주행 시 모터의 견인력이 150km/h까지 속도를 증가함에 있어서 크게 작아지지 않는다는 결론 도출.

(라) 노치시험 시, 측정한 각 운행패턴에 따른 컨버터 및 인버터 전류치를 반영하여 인버터의 전류치 확인 및 도달시간을 설계 반영.

(마) 인버터의 과도현상 시험 시, 인버터 출력전류 파형을 분석하였지만 과전류 및 서지는 발생하지 않은 관계로 현재 8200호대의 추진시스템은 매우 안정한 상태로 판단되며 기존 측정한 데이터 및 정격치를 가지고 추진시스템을 설계하는데 무리가 없을 것으로 판단.

다음과 같은 사항들을 종합 해 본 결과 현차의 중량을 약 240ton으로 계산하였을 때 컨버터 출력(DC Link)은 최대전압 2,600V(오차범위 ±1%), 최대전류 1,100A(오차범위 ±5%) 내외로 측정되었으며 인버터의 출력전류 값은 최대 580A(오차범위 ±5%) 내외로 측정되었다. 측정값은 기존의 전력변환장치의 설계용량을 넘지 않는 수치이므로 기존 설계용량을 기준으로 전력변환장치의 설계가 가능하다고 판단된다.

다. 기술자료 분석 및 시험

(1) 주요소자 비교

(가) 개요

① 적용범위

국가 R&D 연구수행중인「전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발」과제 관련하여 8200호대 전기기관차의 전력변환장치에 사용되는 주요소자를 비교 검토하여 컨버터, 인버터장치에 대하여 적용한다.

② 관련자료

자료/도면번호	제 목	개정번호	개정일자
MBN1200H45E2-H	Hitachi IGBT Datasheet		
FZ1200R45KL3_B5	Infineon IGBT Datasheet		
CM1200HC-90R	Mitsubishi IGBT Datasheet		
5SNA 1200G450350	ABB IGBT Datasheet		

③ 용어의 정의

약 어	설 명	비 고
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	
Vce(sat)	Collector Emitter Saturation Voltage	
Tr	Turn On Time	
Tf	Turn Off Time	
VF	Peak Forward Voltage Drop	

(나) 열손실계산

① 계산조건

- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- 동일한 계산방식 적용

② 손실계산

㉮ INVERTER 손실계산 공식

Vce = 2,600V

Vce(sat) = Ic (320A)

Tr = rising time (Ic = 320A)

Tf = off time (Ic = 320A)

- 스위칭 손실(IGBT on)

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

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

- 도통 손실(IGBT)

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

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

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

- 스위칭 손실(IGBT off)

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

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

• 도통 손실(diode)

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

• 스위칭 손실(diode)

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

• IGBT의 총손실

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

㈑ CONVERTER 손실계산 공식

Vce = 2,600V

Vce(sat) = Ic (700A)

Tr = rising time (Ic = 700A)

Tf = off time (Ic = 700A)

• 스위칭 손실(IGBT on)

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

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

• 도통 손실(IGBT)

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

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

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

• 스위칭 손실(IGBT off)

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

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

• 도통 손실(diode)

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

• 스위칭 손실(diode)

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

• IGBT의 총손실

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

(다) Electrical Characteristic

① 소자특성

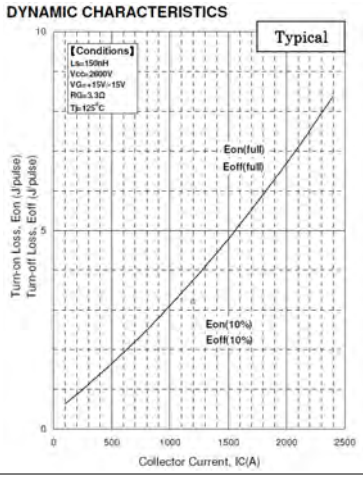
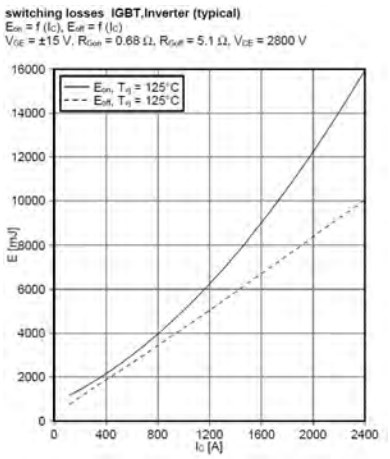
제조사	HITACHI	INFINEON	MITSUBISHI	ABB
모델명	MBN1200H45E2-H	FZ1200R45KK3_B5	CM1200HC-90R	5SLD 1200J450350
형 태				
Module Outline Size	190x140X48.5mm	190x140X48mm	190x140X38mm	190x140X48mm
특 성	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 2.7μs Turn off time = 4.8μs	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 0.75μs Turn off time = 6.90μs	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 1.00μs Turn off time = 3.6μs	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 0.74μs Turn off time = 2.28μs

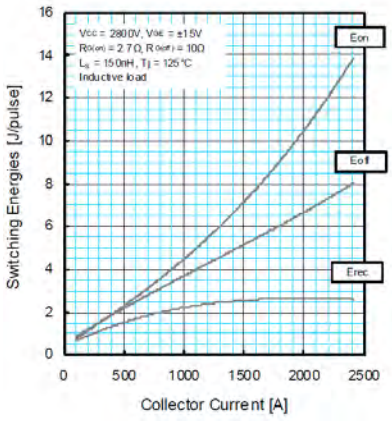
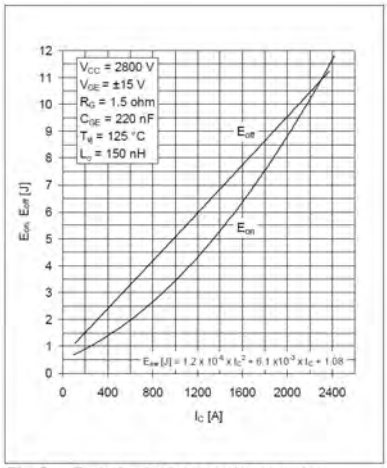
② IGBT Turn On/Off Loss

㉮ Test Conditions

• Vcc = 2,600V, Ic = IF = 1,200A, Ls = 150nH, VGE = ±15V, Tj = 125℃

㉰ Performance Curve

	HITACHI (MBN1200H45E2-H)	INFINEON (FZ1200R45KK3_B5)
Performance Curves		
Input Capacitance	165 nF	280 nF
Turn On Loss	3.8 J/p	6.15 J/p
Turn Off Loss	3.8 J/p	5.1 J/p

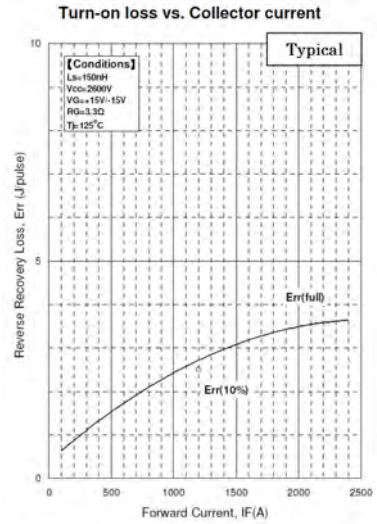
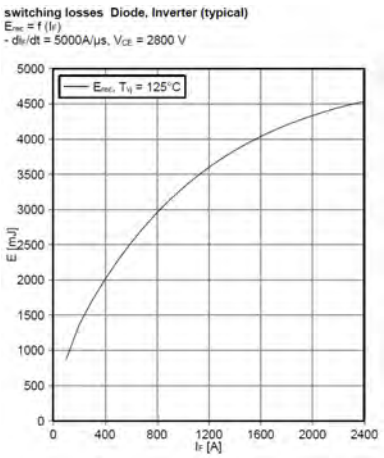
	MITSUBISHI (CM1200HC-90R)	ABB (5SLD 1200J450350)
Performance Curves		 Fig. 5 Typical switching energies per pulse vs collector current
Input Capacitance	175 nF	120 nF
Turn On Loss	5.5 J/p	4.35 J/p
Turn Off Loss	4.3 J/p	6.0 J/p

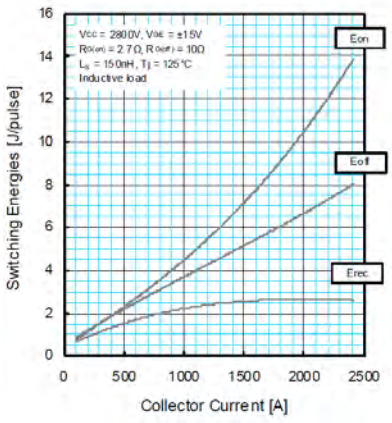
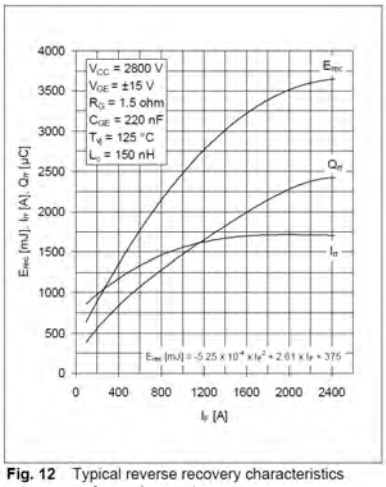
③ DIODE 도통, 스위치 Loss

㉮ Test Conditions

- Vcc = 2,600V, Ic = IF = 1,200A, Ls = 150nH, VGE = ±15V, Tj = 125℃

㉯ Performance Curve

		HITACHI (MBN1200H45E2-H)	INFINEON (FZ1200R45KK3_B5)
Performance Curves			
Reverse Recovery Loss	Err(10%)	2.5 J/p	-
	Err(full)	2.8 J/p	3.55 J/p

		MITSUBISHI (CM1200HC-90R)	ABB (5SLD 1200J450350)
Performance Curves			 Fig. 12 Typical reverse recovery characteristics vs forward current
Reverse Recovery Loss	Err(10%)	2.1 J/p	-
	Err(full)	2.4 J/p	2.73 J/p

(라) 기존장치 vs 개발장치 소자 손실비교

① GTO와 IGBT 소자 손실비교(INVERTER)

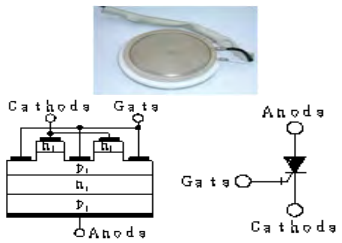
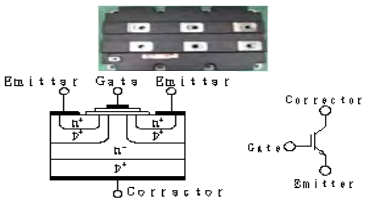
- 기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발 장치 IGBT소자는 MBN1200H45E2-H이고 비교분석을 위한 조건은 다음과 같다.

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

표 10. 손실계산 결과

	GTO	IGBT
	INVERTER	INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W	194.0 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W	898.6 W
도통 손실 (W)	896.0 W	582.4 W
합 계 (W)	11850.7 W	1675.0 W

② GTO와 IGBT, IGCT 소자 비교를 통한 적용 타당성

항 목	GTO	IGBT	IGCT
외형 및 구조			
소자이름	Gate Turn Off Thyristor	Insulated Gate Bipolar Transistor	Integrated Gate Commutated Thyristor
소자구성	자기소호형 Thyristor	FET + Transistor	GTO + IGBT
스위칭 주파수	500 Hz	2 KHz	40 KHz
소자구동 방식	전류구동형	전압구동형	전압구동형
Gate 구동 회로의 크기	대 형	소 형	소 형
SYSTEM 내의 전력손실	大 (100%)	小 (80%)	小 (80%)

장 점	1. 전압내량 및 전류내량이 큼 2. 대용량 소자 개발로 인한 사용실적 및 응용 기술이 다양. 3. 대용량 장치에 사용이 용이함 4. 낮은 ON 상태 손실	1. 고속 스위칭을 통한 스위칭 소음 저감 및 출력 파형이 깨끗함. 2. 전압 구동방식으로 제어가 용이함. 3. Gate 장치가 작아지며, 전력손실이 적음 4. 스너버리스(Snubberless)가 가능하여 주변회로 간소화를 도모할 수 있음 5. 병렬 운전이 쉬움 6. 구동신호의 피드백으로 소자 단락방지가 쉬움	1. 고속 스위칭을 통한 스위칭 소음 저감 및 출력 파형이 깨끗함. 2. 전압 구동방식으로 제어가 용이함. 3. 낮은 스위칭 손실과 낮은 ON 상태 손실으로 고속스위칭 가능 4. 대부분 고압구동에 적용용이 5. 고압에서도 스위칭 손실과 전도손실의 최소화로 및 구동회로의 단순화를 도모할 수 있다.
단 점	1. 스위칭 주파수가 낮음으로 출력 파형이 깨끗하지 못함 2. 스너버 회로가 필요함 3. 드라이브회로가 복잡하고 전력 손실이 큼 4. 전류구동회로이므로 Gate 회로가 큼	1. 현재까지는 GTO에 비해 전압 및 전류 내량이 적음 2. GTO에 비해 서지에 대한 내량이 적음	1. IGBT에 비해 역율 제어에 불리 2. 저속 스위칭으로 스위칭 손실은 적으나 고조파 증가 3. 게이트 회로 및 보호회로의 내장으로 고장 시에는 고장부위 진단이 어렵고 모듈단위로 교체하여 비용이 증가하고 작업성 난해함

③ IGCT와 IGBT 소자 비교

IGCT는 부피당 전력밀도가 가장 우수하여 여러 분야에서 널리 사용되고 있으나 소자의 di/dt를 제어하기 위해서 외부에 스너버 회로를 설치해야 할 필요가 있고, IGBT에서는 가능한 최대전류제어가 어렵다. IGCT는 1995년도부터 ABB사 제작하는 제품으로 한국형 고속열차(G7)에서는 4,500V, 4,000A(ABB사)급로 사용하였고, 안정화 단계에서는 IGBT(WESTCODE사)로 소자를 변경하여 사용하였다.

이런 점을 고려하여 본 연구에서는 di/dt 제어가 가능하고 또한 최대도통전류가 제어되는 IGBT를 채택함.

④ IGBT 소자 비교(제조사별)

제조사	HITACHI	INFINEON	MITSUBISHI	ABB
모델명	MBN1200H45E2-H	FZ1200R45KK3_B5	CM1200HC-90R	5SLD 1200J450350
Best	1. Low switching loss IGBT module 2. Low noise due to ultra soft fast recovery diode 3. High reliability, high durability module 4. Isolated heat sink	1. Conduction loss (IGBT+diode, Vce & VF) 2. Module thermal performance (Rth's) 3. Diode surge current 4. DC Stability	1. Switching loss (Eon+Eoff) 2. Housing stray inductance 3. High switching frequency > 1kHz	1. Short-circuit current and test condition 2. Gate charge QG
Worst	1. Switching loss > High switching 2. Conduction loss (IGBT+diode, Vce & VF)	1. Switching loss (Eon+Eoff) 2. Short-circuit current 3. Gate charge QG 4. Diode reverse recovery characteristics 5. DC Collector Current test condition	1. Module thermal performance-IGBT 2. Conduction loss (IGBT+diode, Vce & VF) 3. Collector-Emitter Cut-off current ICES	1. Module thermal performance-Diode 2. Low temperature performance (Operation and Storage)

⑤ 기타

제조사	HITACHI	INFINEON	ABB
모델명	MBN1200H45E2-H	FZ1200R45KK3_B5	5SLD 1200J450350
견적서			
견적가	1,272,000원	1,500,000원(양산단가)	1,580,000원
납기	3~4개월	5개월	5~6개월
기타	당일 견적 및 발주 가능 국내외 주요실적 有 (KTX 호남선, 수서발 예정)	견적 3주 소요 (2012년도 출시, 국내실적 無, APAC 일부납품)	2~3일 견적 및 발주가능

(2) 전력변환장치의 구조진동 안정성 및 이송안정성 평가

(가) 서론

본보고서는 8200호대 전력변환장치 전장품에 대한 구조진동 안전성 검증을 위해 과도진동 해석을 수행하여 구조적 안전성을 검증하고, 전장품이 갖는 높은 중량에 따른 이송용 체결부의 안전성을 평가하는데 목적을 두고 있다.

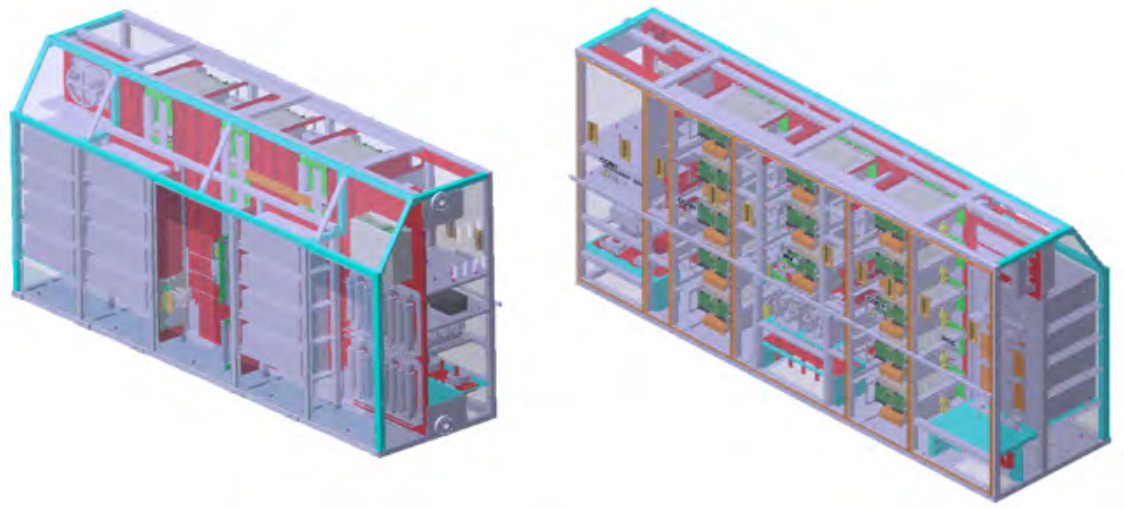


그림 56. 8200호대 전력변환장치 전장품 형상

(나) 주행조건에 따른 구조진동안전성 평가 해석조건

① 제품 중량

8200호대 전력변환장치 전장품은 판재 주요 프레임에 브래킷을 적용하여 각 종 부품을 취부 하는 형태로써, 총 중량은 약 2,655 kg이다. 이때, 프레임 중량은 1,100 kg, 내부에 취부되는 부품의 총중량은 1,555 kg이다. 이때, 각각의 부품은 운영의 효율성을 위해 배치되어 하부 바닥면에서 고정되며, 각각의 부품은 효율적인 해석을 위해서 박스 형태로 모델링하여, 부품이 갖는 중량을 동일하게 적용하였다. 또한, 각각의 부품은 해석간의 강체로 평가하여 실제보다 더 가혹한 조건을 구현하였다.

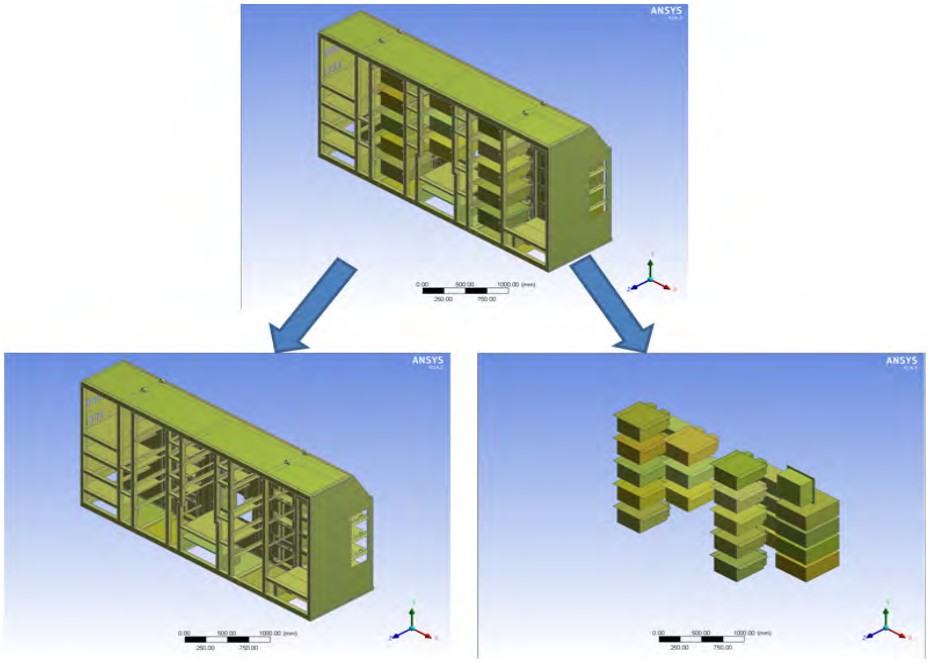


그림 57. 전력변환장치 프레임(1.100kg) 및 부품 중량(1,555kg)

② 유한요소 모델링

과도진동해석을 위해서 상용유한요소해석 프로그램인 ANSYS 14.5를 사용하여 과도해석을 수행하였다. 이를 위해, 유한요소모델링을 수행하였으며, 사용된 요소는 tetrahedron, hexahedron 두 개 타입을 적용하였다.

해석의 수렴 시간 및 해석결과를 고려하여 각각의 요소크기는 최대 45mm 이하가 되도록 설정 하였다. 이때, 부품의 경우 강체(Rigid)로 간주하여 해석을 수행하였기 때문에, 프레임과 강체간의 접촉면에 대해서는 비대칭 접촉조건(Asymmetric condition)을 적용하였다. 강체와 유연체(Flexible body)간에는 일반적인 접촉조건이 적용되지 않기 때문에 비대칭 접촉조건이 적용되었다.

이에, 본 모델에 생성된 질점(node)는 808,902개, 요소(element)는 398,749개로 구성되었으며, 그림 58은 8200호대 전력변환장치 유한요소모델을 나타내고 있다.

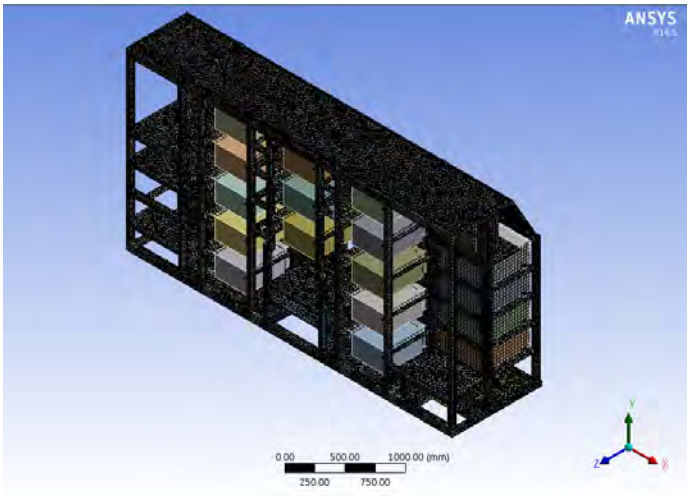


그림 58. 전력변환장치 프레임 및 부품 중량

③ 경계 조건

8200호대 전력변환장치는 프레임 하부가 차체 바닥에 취부 되는 형태로써, 차량 운행에 따라 제품 상부에서의 거동이 크게 발생될 것으로 판단된다. 따라서 보다 가혹한 조건을 모사하기 위해서 차체 하부와 접합되는 면에 대하여 완전 구속될 수 있는 경계 조건(Fixed support)을 적용하였다. 그림 59는 8200호대 전력변환장치의 경계조건이 적용된 면을 나타내고 있다. Fixed support 경계조건을 적용한 것은 실제 차체 프레임과 전력변환장치의 체결부는 파손 및 이탈이 발생되지 않는다는 가정 하에 진행하였다. 이는 차량 제작사에서 지정한 체결부 및 볼트사양이 선정되었기 때문에 고려되지 않은 것이다.

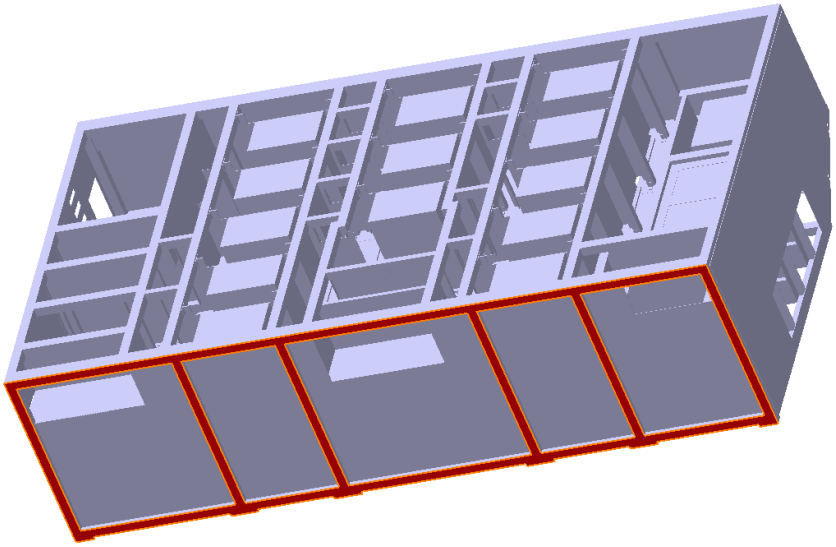


그림 59. 8200호대 전력변환장치 하부 체결 경계조건(적색 표시부)

④ 하중 조건

㉮ 수직하중 따른 구조진동안전성 진동해석 결과

철도차량에 적용되는 전장품류는 주행조건을 고려한 구조진동시험과 수직방향에 대한 시험을 수행하게 된다. 이때, 수직하중에 대한 시험은 최대 5G까지의 수직하중을 반복적으로 적용하기 때문에 구조적으로 가장 높은 피로도를 갖게 된다.

따라서 수직하중에 대한 총 해석구간은 5개 단계로 적용하였으며, 해석에 적용된 하중조건은 그림60과 표 11에 나타내었다.

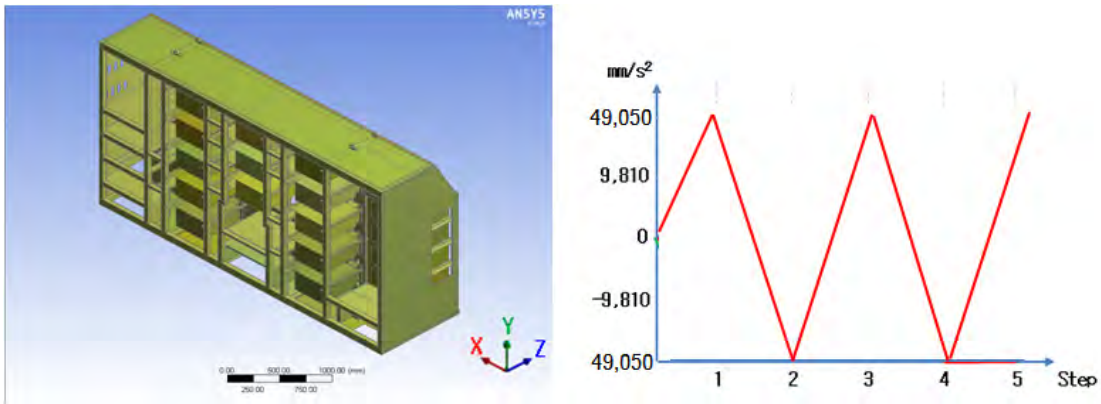


그림 60. 8200호대 전력변환장치 수직하중에 대한 과도해석용 하중 조건

표 11. 8200호대 전력변환장치 수직하중 조건표

Step	Time(sec)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)
0	0	0
1	1	49,050 (5G)
2	2	-49,050 (-5G)
3	3	49,050 (5G)
4	4	-49,050 (-5G)
5	5	19,620 (5G)

㈏ 주행조건에 따른 구조진동안전성 진동해석

전력변환장치에 가해지는 하중조건은 별도의 외력에 의한 파손이 아닌 차량 운행 중 발생되는 중력가속도의 변화를 적용하였다. 이때, 적용되는 중력가속도는 ISO 규정을 기반으로 하여 하중조건을 부여하였다.

또한, 운행환경과 유사한 조건을 모사하기 위해 정적해석(Static analysis)가 아닌 과도해석(Transient analysis)을 수행하였다. 총 해석구간은 5개 단계로 적용하였으며, 해석에 적용된 하중조건은 그림61와 표 12에 나타내었다.

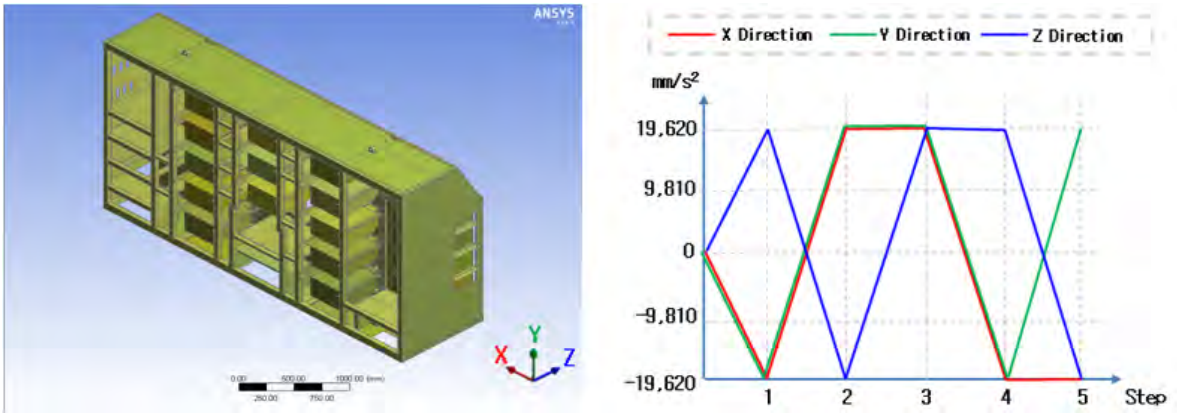


그림 61. 8200호대 전력변환장치 주행조건에 따른 과도해석용 하중 조건

표 12. 8200호대 전력변환장치 주행조건에 따른 하중 조건표

Step	Time(sec)	X direction(mm/s^2) 주행(-), 역주행(+)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)	Z direction(mm/s^2) 좌측(+), 우측(-)
0	0	0	0	0
1	1	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)	19,620 (2G)
2	2	19,620 (2G)	-19,620 (-2G)	-19,620 (-2G)
3	3	19,620 (2G)	19,620 (2G)	19,620 (2G)
4	4	-19,620 (-2G)	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)
5	5	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)	-19,620 (-2G)

(다) 수직하중 따른 구조진동안전성 진동해석 결과

위와 같은 해석조건을 통해 과도해석을 수행하였으며, 각각의 복합 하중조건에 대한 해석결과를 정리하였다. 이때, 단계가 변경됨에 있어서 이전단계에서 수행된 해석결과(변위, 응력 등)를 포함하여 다음 단계가 수행되어 실제 차량 주행시 발생되는 전장품의 관성 및 하중조건과 유사한 형태를 갖도록 하였다.

이때, 해석결과는 재료의 변형량, 차에 수직방향에 대한 처짐, 그리고 하중에 따른 프레임의 등가응력(equivalent stress) 분석을 통하여, 진동에 대한 전력변환장치의 구조안전성을 평가하였다. 8200호대 전력변환장치 구조 프레임에 사용된 소재는 SPCC로써, 소재의 특성은 표 13에 나타내었으며, 재료의 항복강도가 240 MPa을 기준으로 구조적 안전성을 평가하였다.

표 13. 8200호대 전력변환장치 프레임 재료 물성

Type	Mechanical Properties	Value
SPCC	Tensile Strength, Ultimate	358 MPa
	Tensile Strength, Yield	240 MPa
	Modulus of Elasticity	200 GPa
	Bulk Modulus	140 GPa
	Poissons Ratio	0.29
	Shear Modulus	80.0 GPa

① 중력가속도 타입별 해석결과(Step 1)

Step 1은 표 14와 같은 하중조건이 Step 0 ~ Step 1로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 상하방향은 최대 5G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다.

과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.424 mm로써, 그림 62에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 14. Step 1에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)
0	0	0
1	1	49,050 (5G)

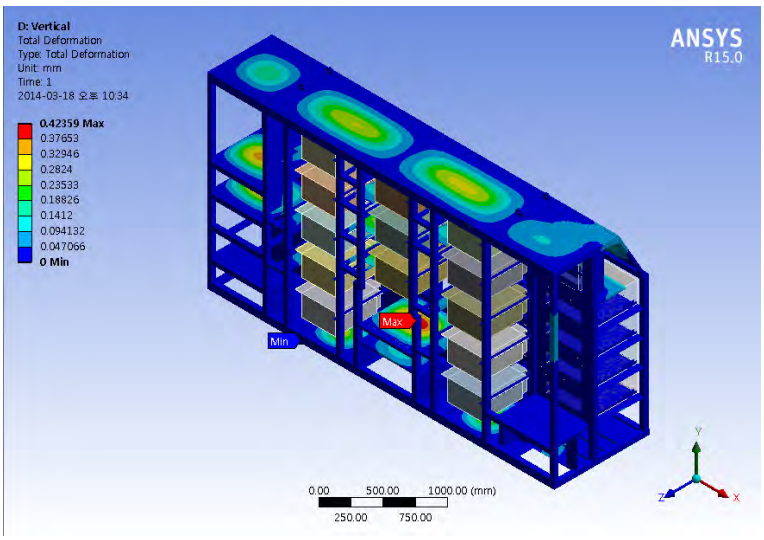


그림 62. Step 1에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.006 mm로써, 그림 63에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

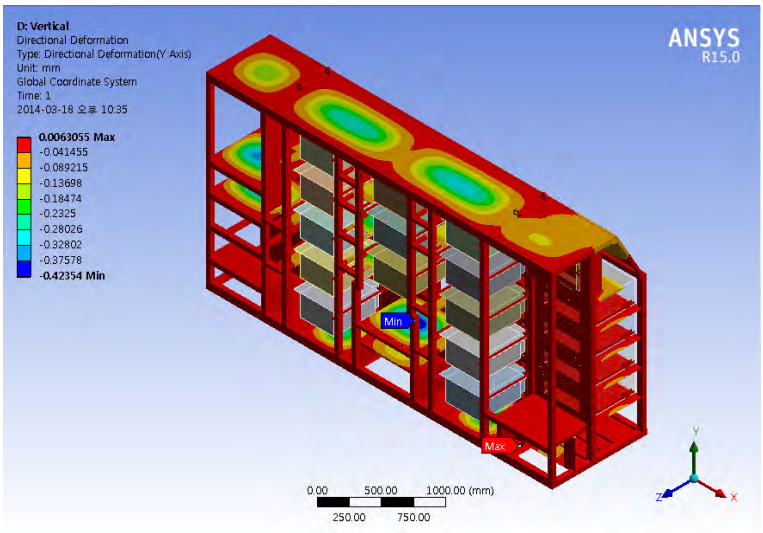


그림 63. Step 1에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 63.283 MPa으로써, 그림64에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 1에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

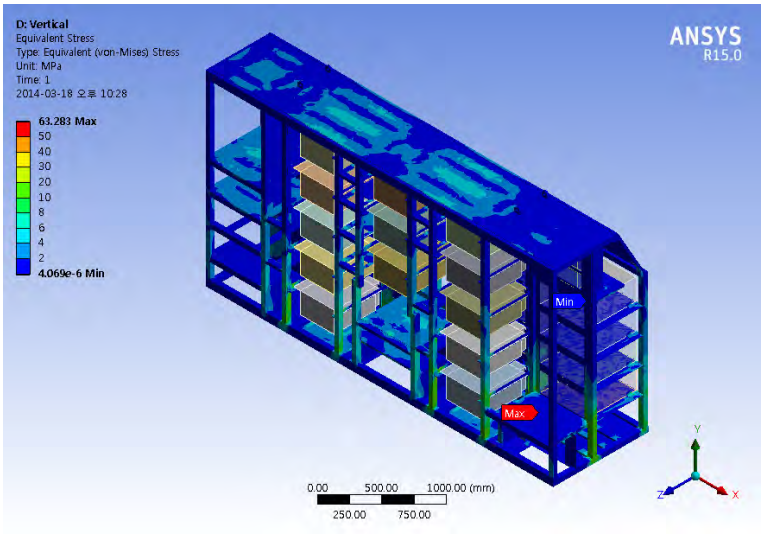


그림 64. Step 1에 대한 최대 등가응력

(라) 중력가속도 타입별 해석결과(Step 2)

Step 2는 표 15와 같은 하중조건이 Step 1 ~ Step 2로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 상하방향은 최대 5G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다.

과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.418 mm로써, 그림 65에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 15. Step 2에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)
1	1	49,050 (5G)
2	2	-49,050 (-5G)

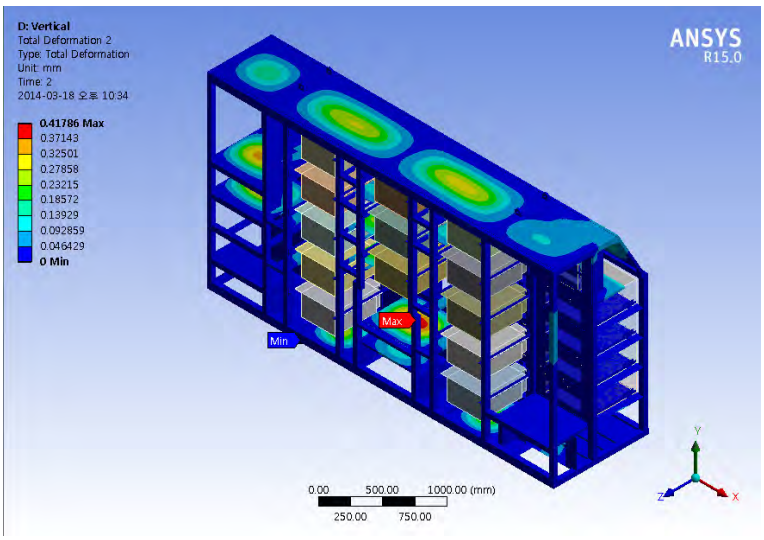


그림 65. Step 2에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.418 mm로써, 그림 66에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

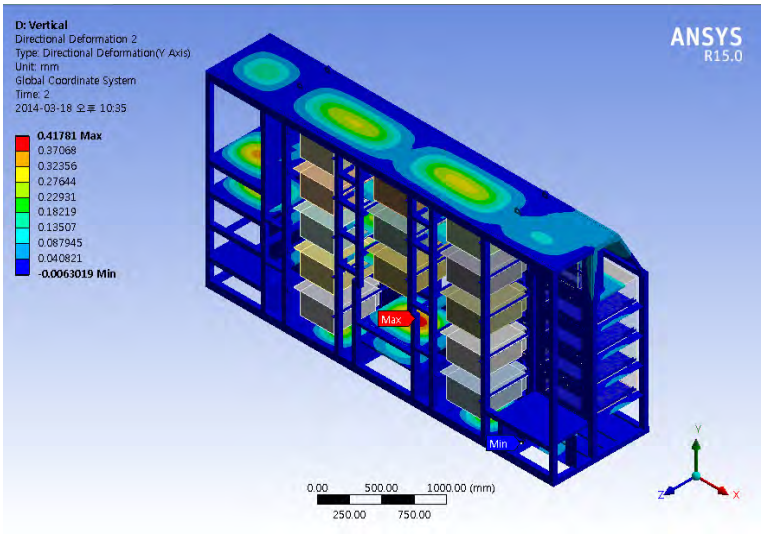


그림 66. Step 2에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 63.305 MPa으로써, 그림 67에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 2에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

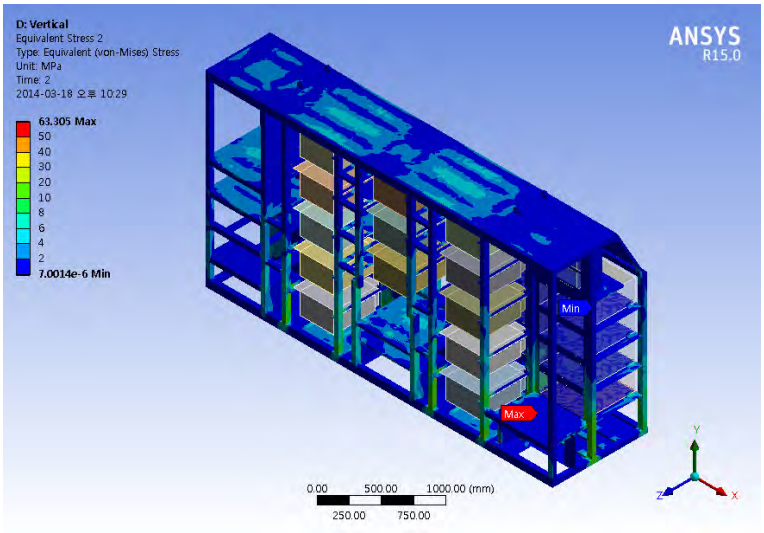


그림 67. Step 2에 대한 최대 등가응력

① 중력가속도 타입별 해석결과(Step 3)

Step 3는 표 39과 같은 하중조건이 Step 2 ~ Step 3으로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 상하방향은 최대 5G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다.

과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.421 mm로써, 그림 68에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 16. Step 3에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)
2	2	-49,050 (-5G)
3	3	49,050 (5G)

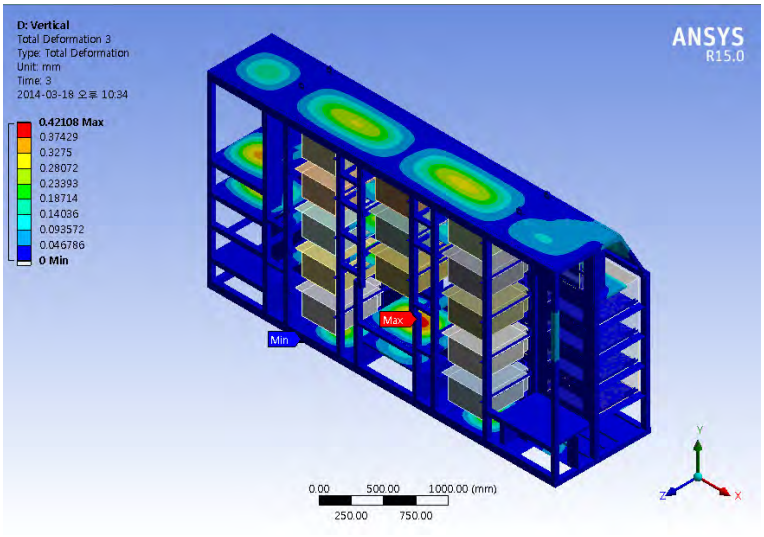


그림 68. Step 3에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.006 mm로써, 그림 69에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

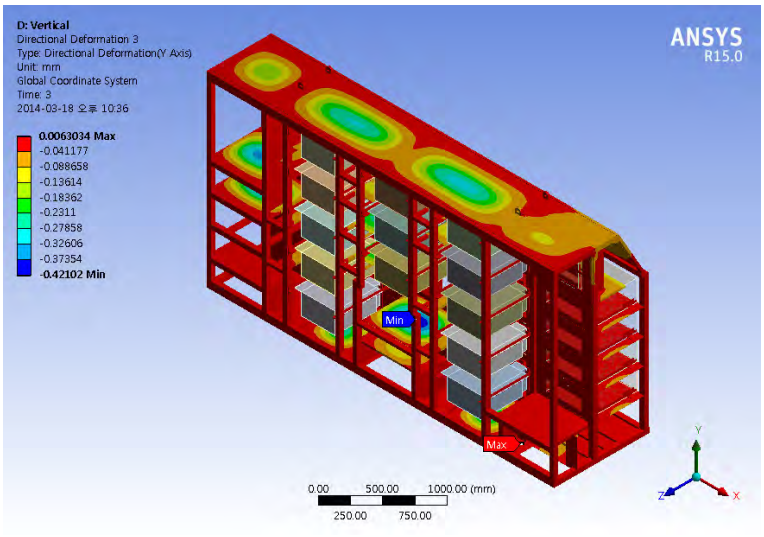


그림 69. Step 3에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 63.281 MPa으로써, 그림 70에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 3에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

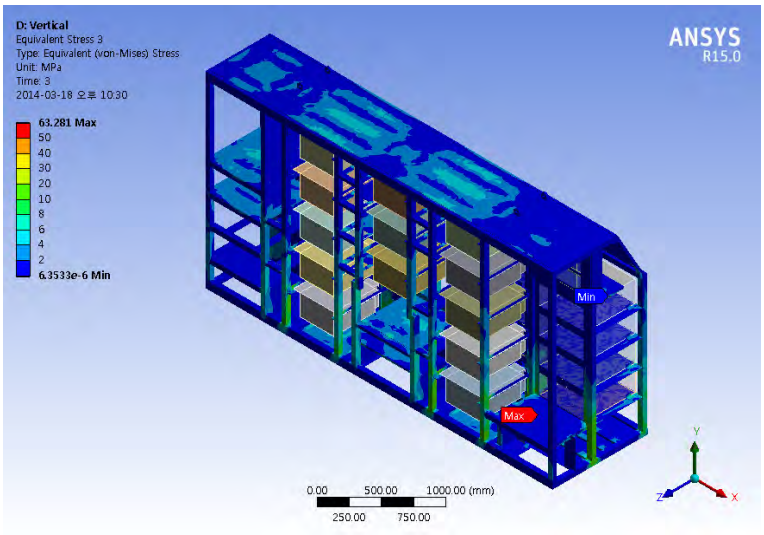


그림 70. Step 3에 대한 최대 등가응력

② 중력가속도 타입별 해석결과(Step 4)

Step 4는 표 17과 같은 하중조건이 Step 3 ~ Step 4로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 상하방향은 최대 5G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다.

과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.418 mm로써, 그림 71에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 17. Step 4에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)
3	3	49,050 (5G)
4	4	-49,050 (-5G)

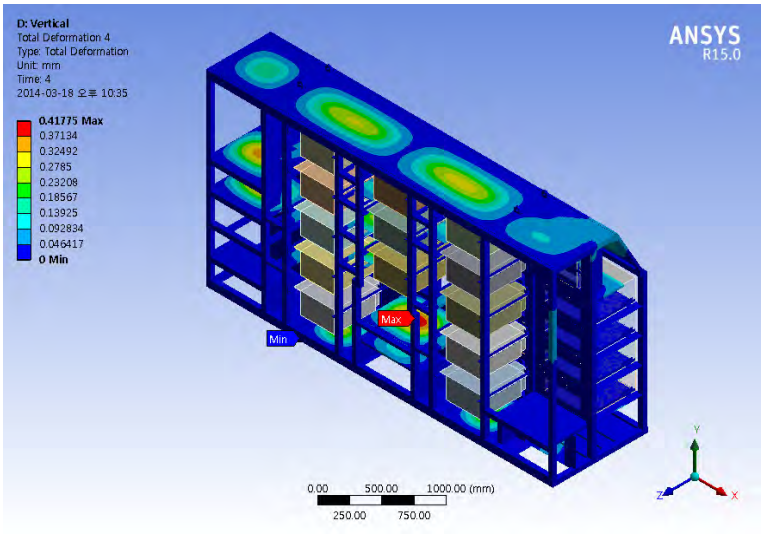


그림 71. Step 4에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.418 mm로써, 그림 72에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

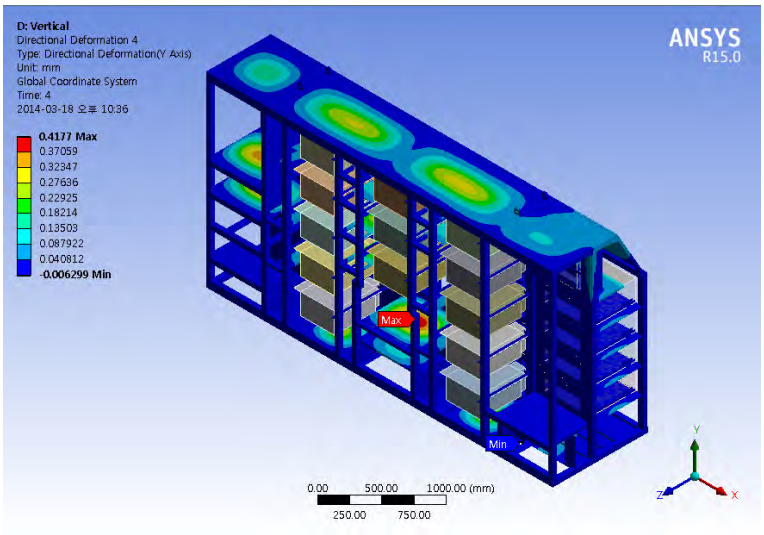


그림 72. Step 4에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 63.303 MPa으로써, 그림 73에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 4에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

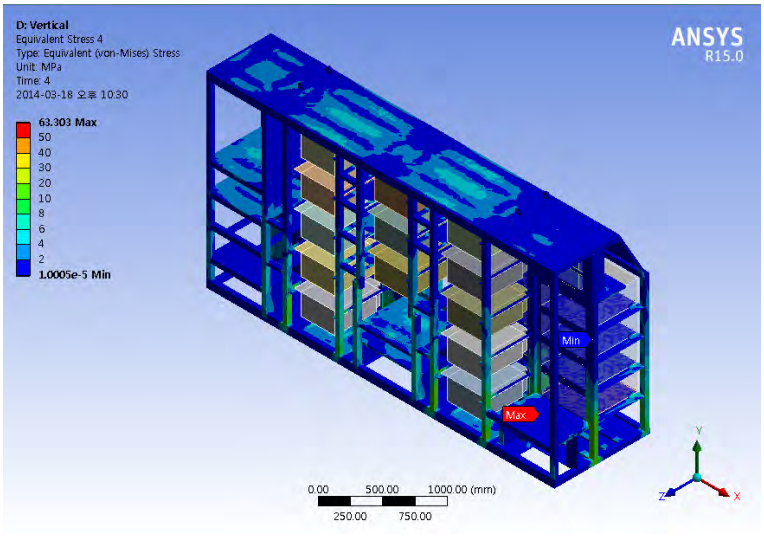


그림 73. Step 4에 대한 최대 등가응력

③ 중력가속도 타입별 해석결과(Step 5)

Step 5는 표 18과 같은 하중조건이 Step 4 ~ Step 5로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 상하방향은 최대 5G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다.

과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.421 mm로써, 그림 74에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 18. Step 5에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)
4	4	-49,050 (-5G)
5	5	49,050 (5G)

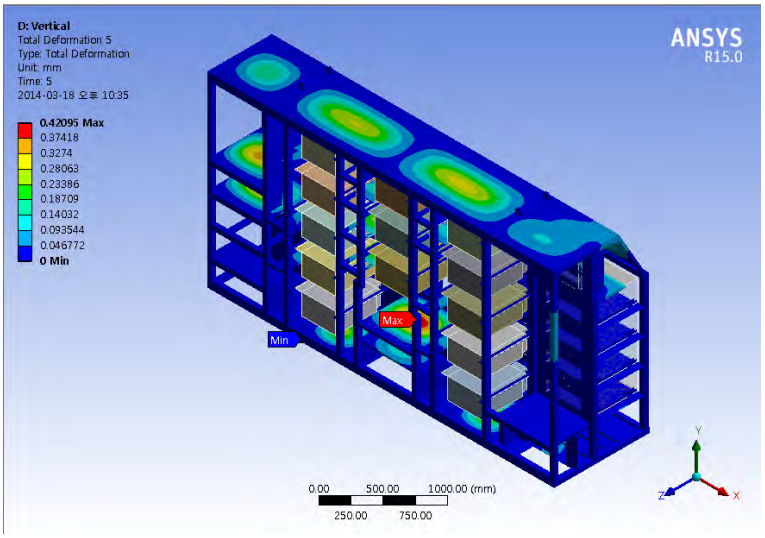


그림 74. Step 5에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.006 mm로써, 그림 75에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

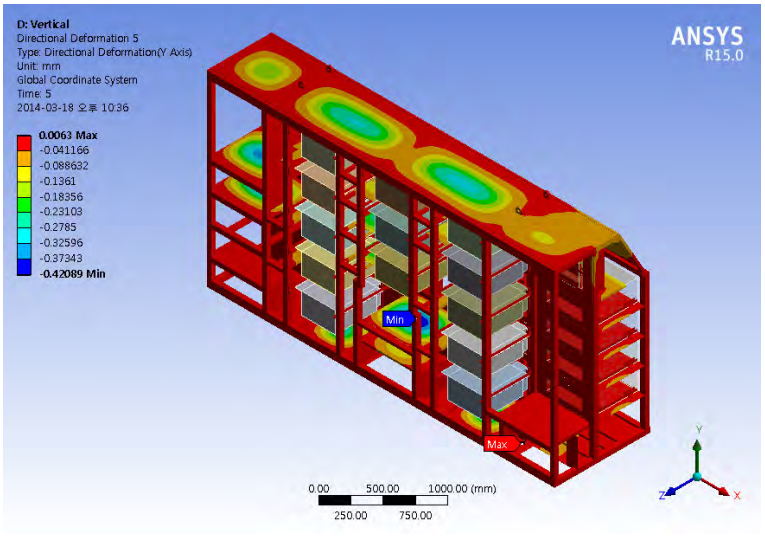


그림 75. Step 5에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 63.278 MPa으로써, 그림 76에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 5에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

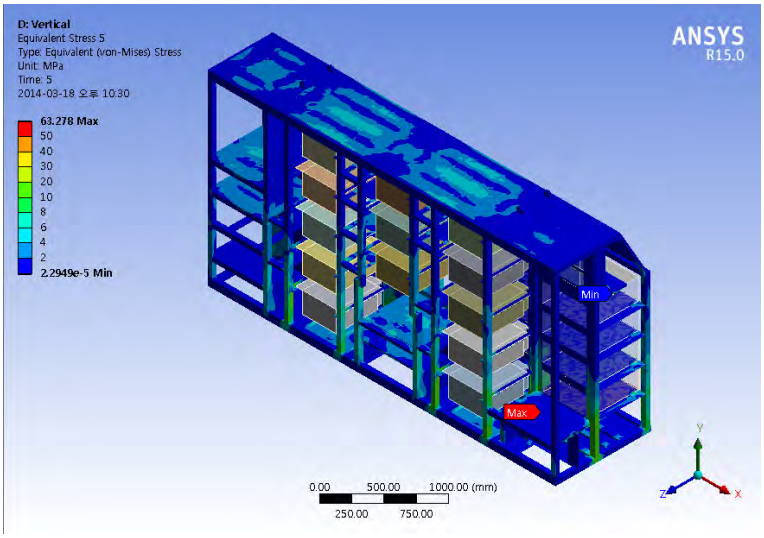


그림 76. Step 5에 대한 최대 등가응력

(마) 주행조건에 따른 구조진동안전성 진동해석 결과

① 중력가속도 타입별 해석결과(Step 1)

Step 1은 표 42와 같은 하중조건이 Step 0 ~ Step 1로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 전후방향, 좌우방향, 그리고 상하방향은 최대 2G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다. 과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.683 mm로써, 그림 77에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 19. Step 1에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	X direction(mm/s^2) 주행(-), 역주행(+)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)	Z direction(mm/s^2) 좌측(+), 우측(-)
0	0	0	0	0
1	1	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)	19,620 (2G)

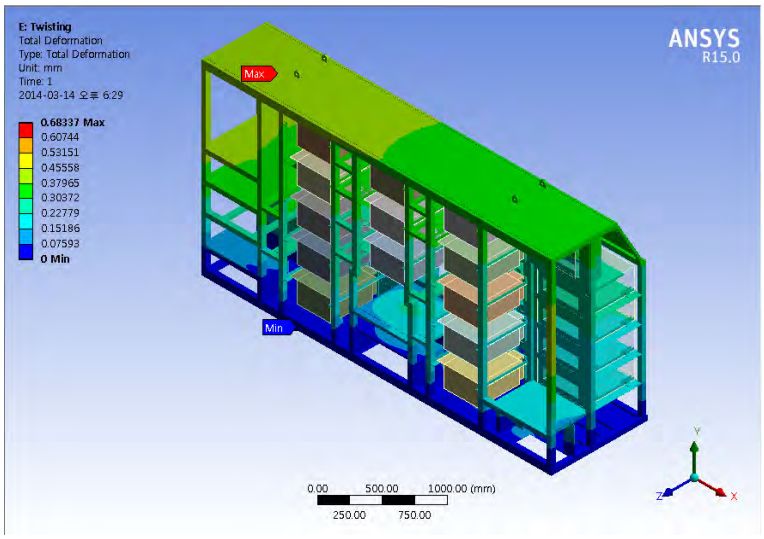


그림 77. Step 1에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.064 mm로써, 그림 78에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

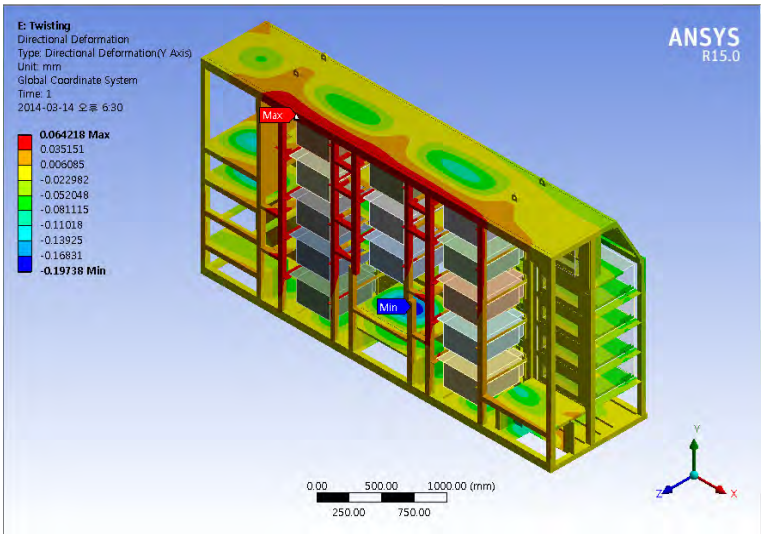


그림 78. Step 1에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 126.630 MPa으로써, 그림 79에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 1에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

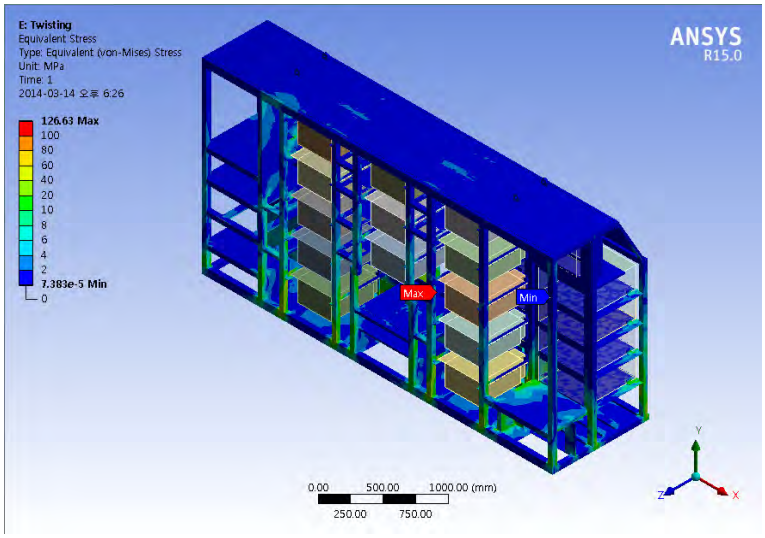


그림 79. Step 1에 대한 최대 등가응력

② 중력가속도 타입별 해석결과(Step 2)

Step 2는 표 20과 같은 하중조건이 Step 1 ~ Step 2로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 전후방향, 좌우방향, 그리고 상하방향은 최대 2G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다. 과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.680 mm로써, 그림 80에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 20. Step 2에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	X direction(mm/s^2) 주행(-), 역주행(+)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)	Z direction(mm/s^2) 좌측(+), 우측(-)
1	1	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)	19,620 (2G)
2	2	19,620 (2G)	-19,620 (-2G)	-19,620 (-2G)

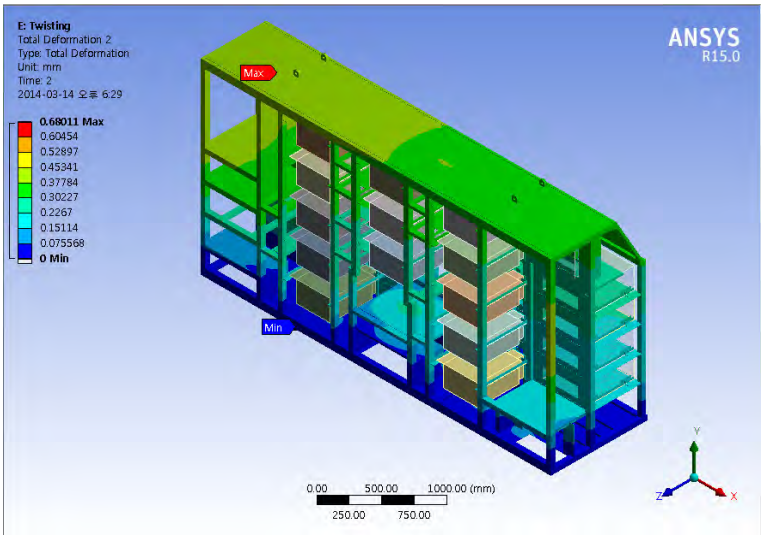


그림 80. Step 2에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.196 mm로써, 그림 81에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

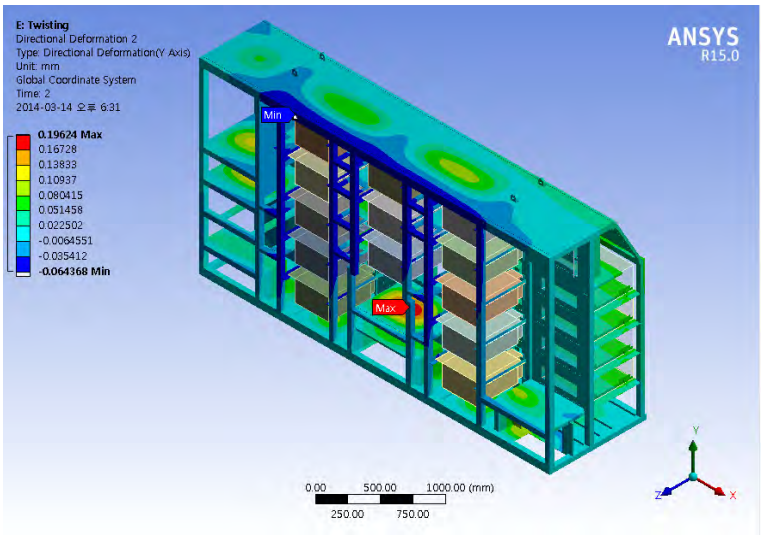


그림 81. Step 2에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 126.340 MPa으로써, 그림 82에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 2에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

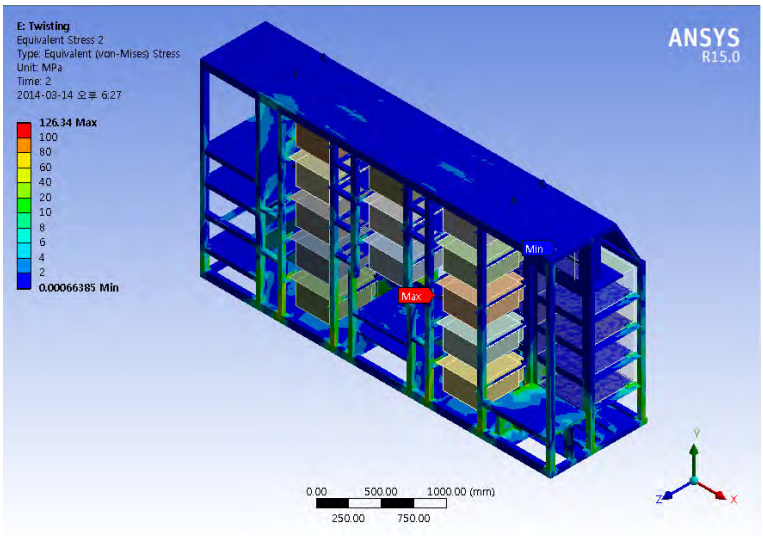


그림 82. Step 2에 대한 최대 등가응력

③ 중력가속도 타입별 해석결과(Step 3)

Step 3는 표 21과 같은 하중조건이 Step 2 ~ Step 3으로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 전후방향, 좌우방향, 그리고 상하방향은 최대 2G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다. 과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.732 mm로써, 그림 83에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 21. Step 3에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	X direction(mm/s^2) 주행(-), 역주행(+)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)	Z direction(mm/s^2) 좌측(+), 우측(-)
2	2	19,620 (2G)	-19,620 (-2G)	-19,620 (-2G)
3	3	19,620 (2G)	19,620 (2G)	19,620 (2G)

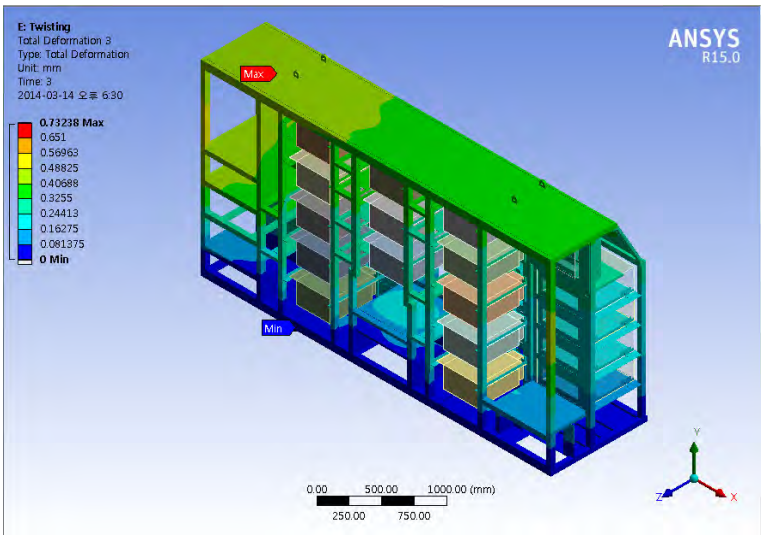


그림 83. Step 3에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.068 mm로써, 그림 84에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

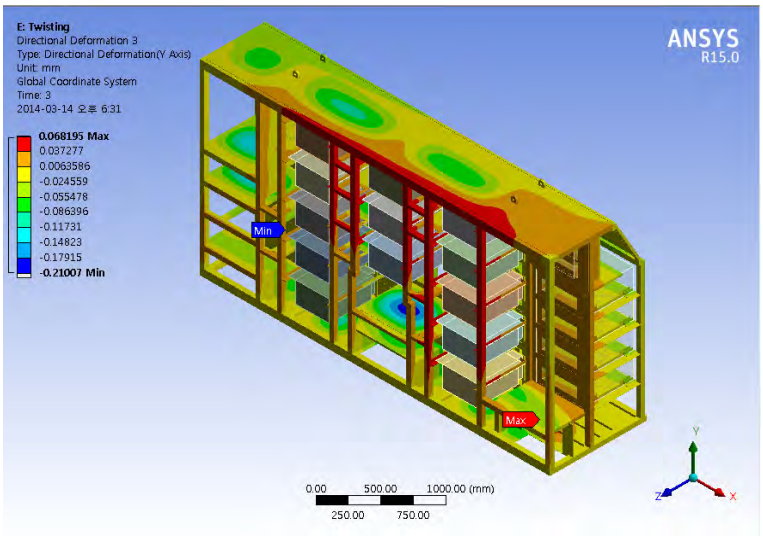


그림 84. Step 3에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 131.250 MPa으로써, 그림 85에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 3에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

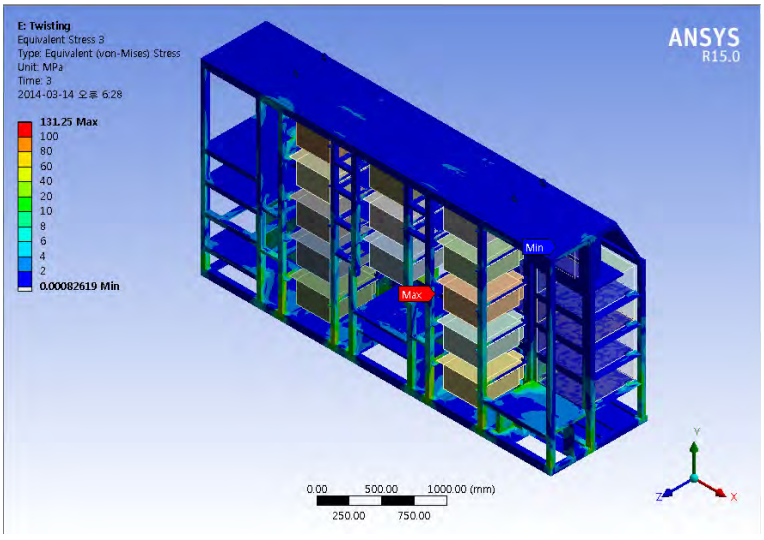


그림 85. Step 3에 대한 최대 등가응력

④ 중력가속도 타입별 해석결과(Step 4)

Step 4는 표 22와 같은 하중조건이 Step 3 ~ Step 4로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 전후방향, 좌우방향, 그리고 상하방향은 최대 2G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다. 과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.717 mm로써, 그림 86에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 22. Step 4에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	X direction(mm/s^2) 주행(-), 역주행(+)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)	Z direction(mm/s^2) 좌측(+), 우측(-)
3	3	19,620 (2G)	19,620 (2G)	19,620 (2G)
4	4	-19,620 (-2G)	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)

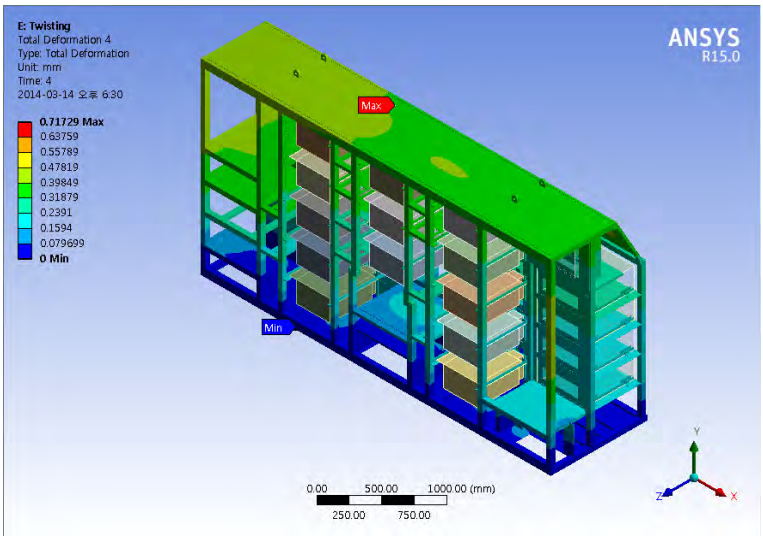


그림 86. Step 4에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.183 mm로써, 그림 87에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

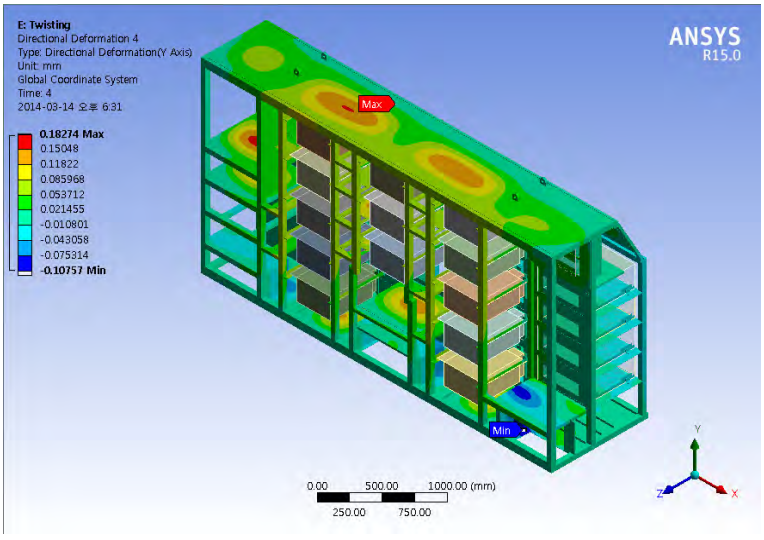


그림 87. Step 4에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 118.520 MPa으로써, 그림 88에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 4에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

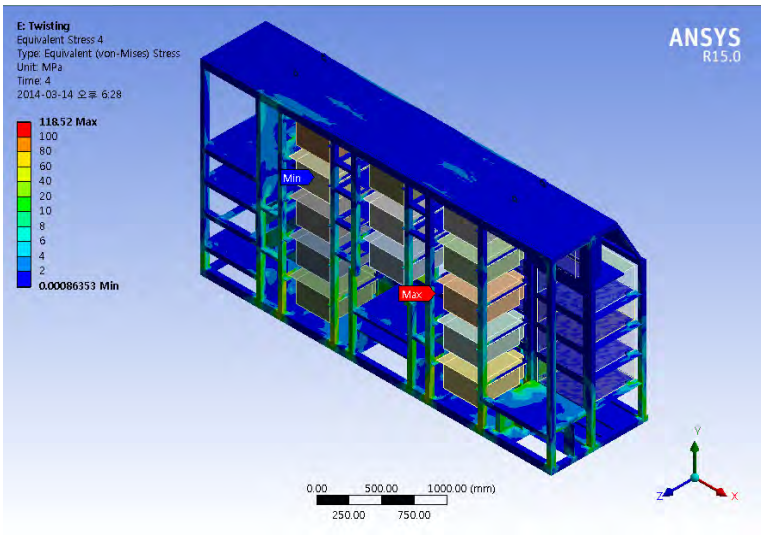


그림 88. Step 4에 대한 최대 등가응력

⑤ 중력가속도 타입별 해석결과(Step 5)

Step 5는 표 23과 같은 하중조건이 Step 4 ~ Step 5로 전달되는 과정이 평가된다. 이때, 전후방향, 좌우방향, 그리고 상하방향은 최대 2G의 값을 적용하여 과도해석이 수행되었다.

과도진동해석 수행결과, 최대 변형량은 0.746 mm로써, 그림 89에 최대 변형량 위치를 나타내었다. 발생된 최대 변형량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

표 23. Step 5에 대한 하중 조건표

Step	Time(sec)	X direction(mm/s^2) 주행(-), 역주행(+)	Y direction(mm/s^2) 상(-), 하(+)	Z direction(mm/s^2) 좌측(+), 우측(-)
4	4	-19,620 (-2G)	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)
5	5	-19,620 (-2G)	19,620 (2G)	-19,620 (-2G)

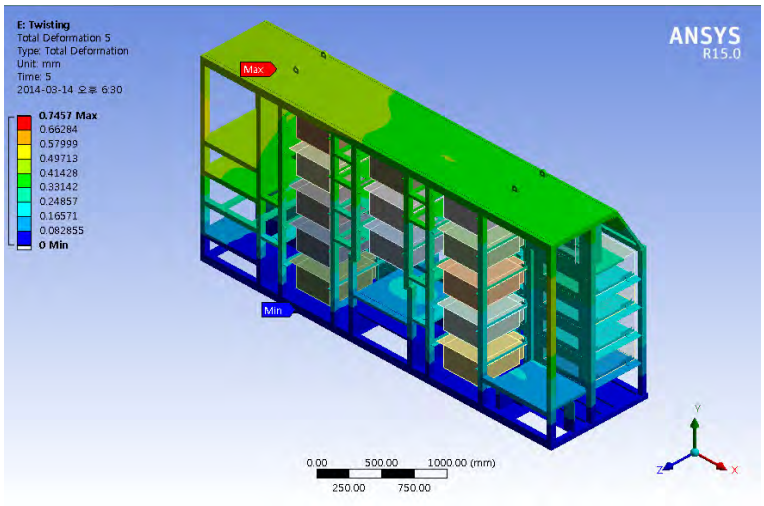


그림 89. Step 5에 대한 최대 변형량

수직방향 최대 처짐량은 0.083 mm로써, 그림 90에 최대 처짐량 위치를 나타내었다. 최대 처짐량은 전장품의 안전성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

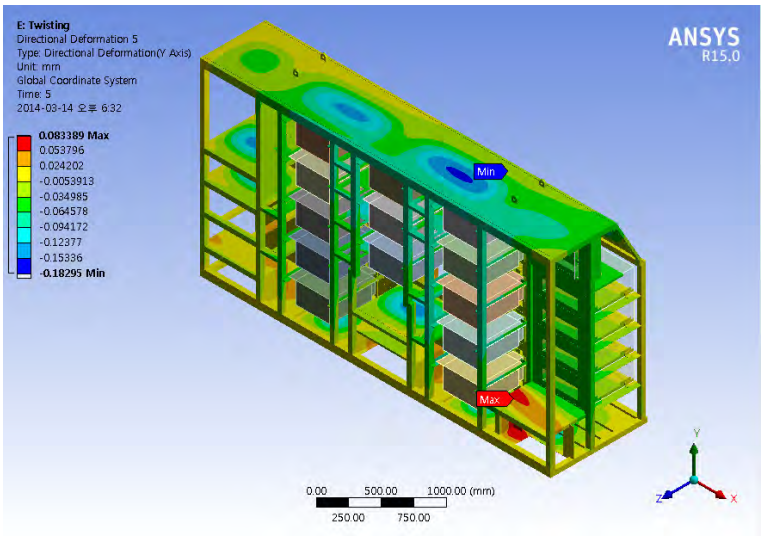


그림 90. Step 5에 대한 최대 처짐량

그리고 최대 등가응력은 123.280 MPa으로써, 그림 91에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 Step 5에 대한 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

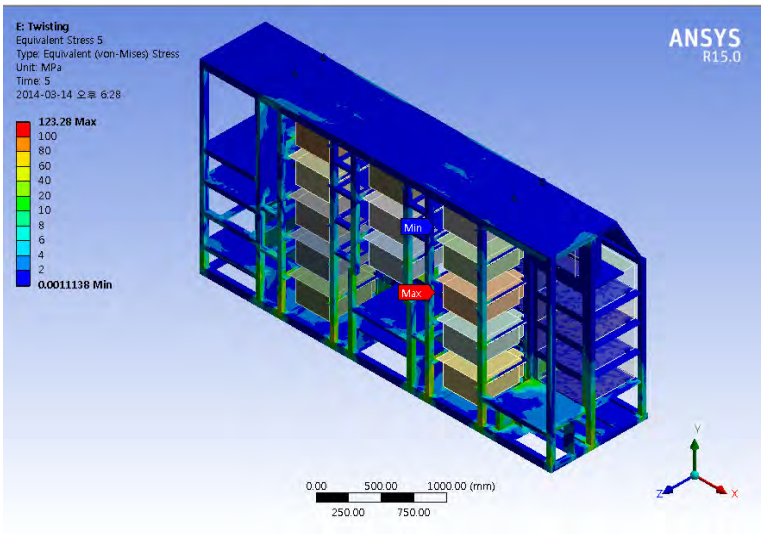


그림 91. Step 5에 대한 최대 등가응력

(바) 이송 안전성 평가 과도 진동해석 결과

① 경계 조건

8200호대 전력변환장치는 제품을 이송을 위해 상부 4개소에 이송 체결부가 부착되어 있다. 이때, 이송은 중심부를 기준으로 4개소 체결부를 모아 이송한다. 따라서 체결부 이송시 발생될 수 있는 체결부의 건전성을 평가하여야 안전한 이송이 가능하다.

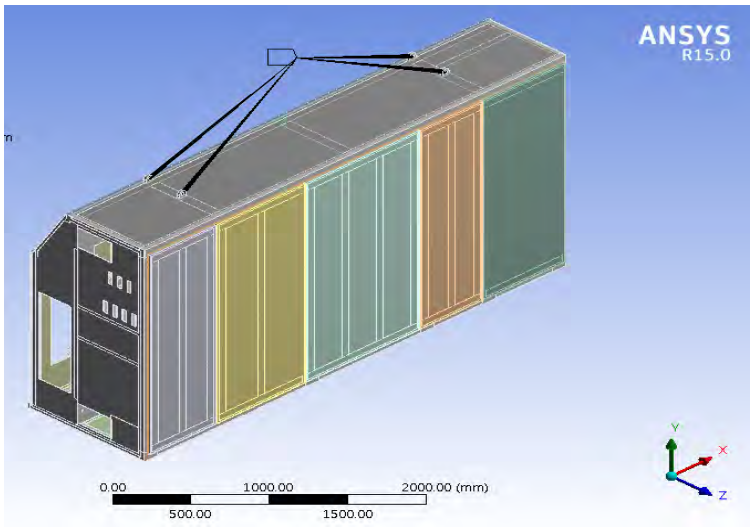


그림 92. 이송조건을 고려한 전력변환장치 경계조건

② 이송상태 구현 구조해석 결과

이송간 발생될 수 있는 하중조건을 모사하기 위해서 최대 2G의 하중이 프레임과 체결부에 가해지도록 하였다. 이송상태를 구현한 구조해석 결과, 제품의 중량에 대해서 체결부 위치 선정은 양호한 것으로 판단된다.

또한, 각 방향별 이동 변위 역시 그 값이 크지 않아 이송간에 큰 문제는 발생되지 않을 것으로 판단된다. 그림 93은 각 방향별 변위를 나타내고 있다.

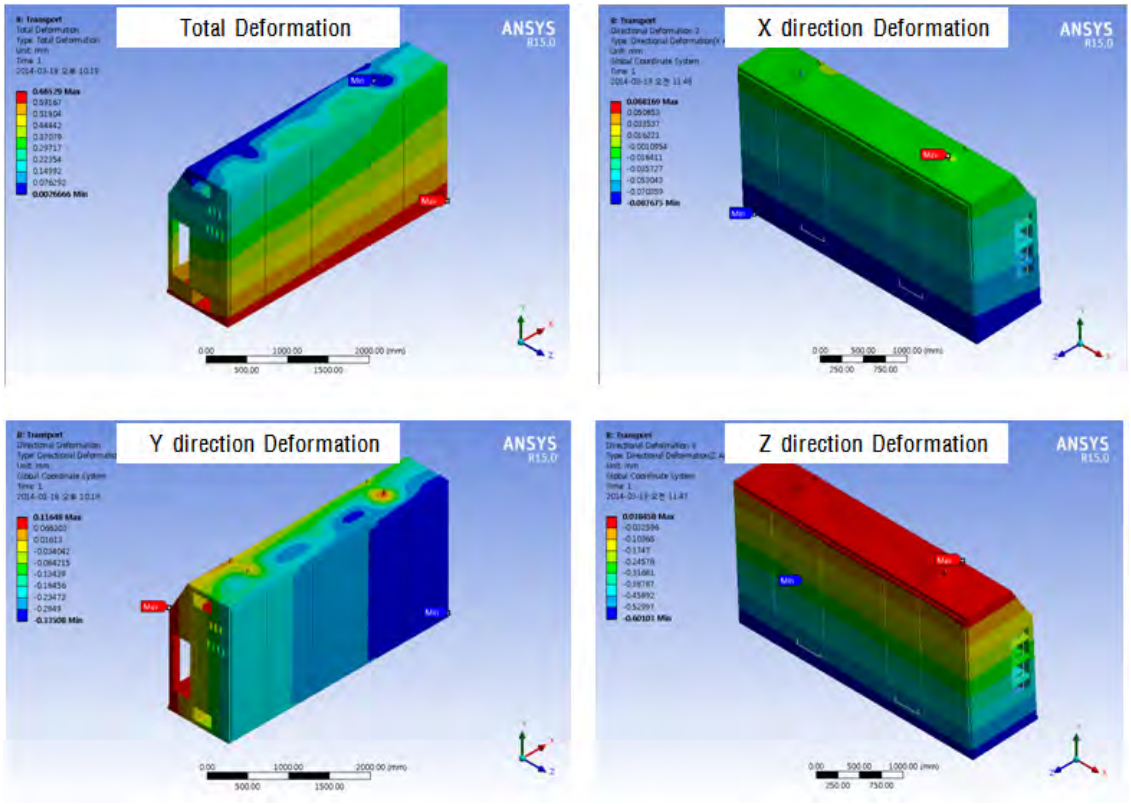


그림 93. 이송조건 하중에 대한 최대 변위량

그리고 최대 등가응력은 149.090 MPa으로써, 그림 94에 최대 등가응력 위치를 나타내었다. 발생된 최대 등가응력은 소재의 항복점 이하의 값으로 체결부는 구조적으로 안전할 것으로 판단된다.

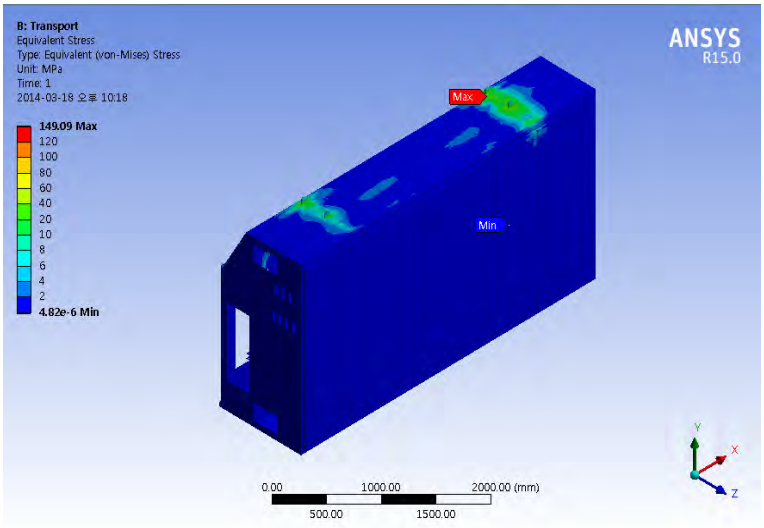


그림 94. 이송조건 하중에 대한 최대 등가응력

(사) 결 론

8200호대 전력변환장치에 대한 과도진동해석을 수행하여, 주행 중 발생되는 다양한 조건에 대한 구조적 안전성을 검증하였다. 표 12는 각각의 단계에 대한 과도진동해석 결과를 나타내고 있다.

결과적으로, 다양한 운행조건에 대한 구조해석을 수행한 결과 발생되는 처짐량 및 응력이 소재의 물성에 비해 낮게 발생하여, 전력변환장치의 프레임은 구조적으로 안전할 것으로 판단된다. 또한, 이송을 위한 체결부 선정도 무게 중심을 고려하여 적절한 위치를 선정한 것으로 판단된다.

단, 본 해석은 프레임에 대해서는 용접강도가 이상적인 상태로 평가되었기 때문에, 제품 제작 시 용접강도를 확보해야 할 것으로 판단된다. 또한, 각종 전자기기가 브래킷에 고정되기 때문에, 브래킷에 대한 볼트 체결력도 확보해야 할 것으로 판단된다.

(3) 고사양 IGBT에 대한 수냉각시스템 최적화를 위한 열유동 해석

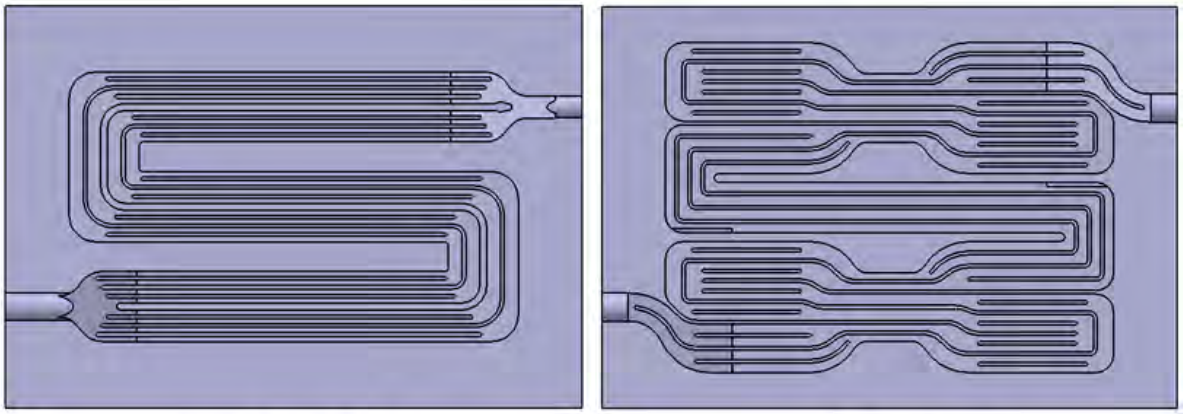
(가) 개요

본보고서는 8200호대 전기기관차에 적용되는 전력변환장치의 IGBT 모듈의 효율적인 냉각을 위한 수냉각시스템 구축에 필요한 해석적 검증 및 표준화 모델 도출을 목적으로 한다.

수냉각시스템의 성능을 판가름하는 큰 기준은 유량, 유속, 냉각유로, 그리고 냉각면적 등을 들 수 있다. 그러나 본 모델의 경우 기존 시스템을 개량하는 것으로써, 유량, 유속, 냉각면적은 고정되어 있기 때문에 냉각유로의 최적화 설계를 통해 IGBT 모듈을 냉각시켜야 한다.

이에, 다양한 타입의 냉각유로를 설계하여, 가혹조건하에서의 수냉각시스템의 냉각성능을 평가하였으며, 최종 냉각유로 형상을 도출하였다. 최종 모델의 경우 1차 모델에 비해 가공성은 떨어지는 반면, 냉각효율은 26%가량의 냉각효율을 향상시켜, 가공비용 대비 효율성이 우수하여 적용이 용이할 것으로 판단된다.

또한, 향후 다양한 유동조건에 따라 유동적으로 검증 가능하도록 하기 위해, 시험조건 대비 해석적 검증을 통하여, 표준화된 모델을 도출하였다. 이를 위해, 실제 적용되는 최대 발열량 10kW을 기준으로 유량 차이를 두어 평가한 결과, 약 5% 이내(최대 5℃ 이내)의 온도편차를 보이는 것을 확인하였다.



1차 모델 최종 모델

(나) 서론

최근 다양한 산업분야에서 다양한 종류의 전기/전자 장비의 활용도가 높아지고 있다. 이에 따라, 고효율/고성능의 사양을 만족시키기 위해 각 종 소자의 소형화가 이루어지고 있어, 소자에 대한 발열문제의 해결을 위해 다각적인 방향의 연구가 이루어지고 있다.

특히, 철도차량은 다양한 종류의 전기/전자 장비가 서로 연계되어 작동되는 시스템으로써, 사용자의 요구에 의해 사용되는 소자의 사양 역시 고압을 만족시킬 수 있도록 설계 및 제작되고 있는 실정이다.

이 중, IGBT 소자의 경우 시스템에서 요구되는 고사양을 만족시킬 수 있는 소자로써, 절연게이트 양극성 트랜지스터(Insulated gate bipolar transistor, IGBT)는 금속 산화막 반도체 전계효과 트랜지스터 (MOSFET)을 게이트부에 짜 넣은 접합형 트랜지스터이다. 게이트-이미터간의 전압이 구동되어 입력 신호에 의해서 온/오프가 생기는 자기소호형이므로, 대전력의 고속 스위칭이 가능한 반도체 소자이다.

그러나, 이와 같은 고효율에 상응하게 고열을 동반하여 발열량에 따른 소자의 안정화 방안의 모색이 필요하다. 그림 95와 같이 IGBT 소자의 형상은 매우 다양하기 때문에, 이에 적합한 냉각시스템의 모색이 필요하다.



그림 95. 다양한 종류의 IGBT 소자

① 냉각시스템 개발의 필요성

서두에 다른 내용과 같이 IGBT의 경우 그 형상이 다양하고, 사용되는 전기/전자 장비에 따라 사용되는 수량이 다르게 구성된다. 또한, ㈜우진산전의 경우 철도차량과 에너지 저장장치와 같이 고압용의 IGBT의 활용빈도가 높다. 이에 따라, 다양한 종류의 소자에 능동적으로 적용할 수 있는 냉각시스템의 개발이 필요한 실정이다.

특히, 에너지 저장장치의 경우 철도차량과 달리 일정 지역에 설치하는 형태를 갖기 때문에, 공랭식 냉각시스템을 적용할 경우 효율성 면에서 크게 저하될 우려가 있다. 또한, 공랭식 냉각을 위해 별도의 팬을 이용하므로 냉각효율이 매우 떨어지게 된다.

따라서, 각종 소자의 능동적이고 효율적인 냉각을 위해서는 수냉식 냉각시스템의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

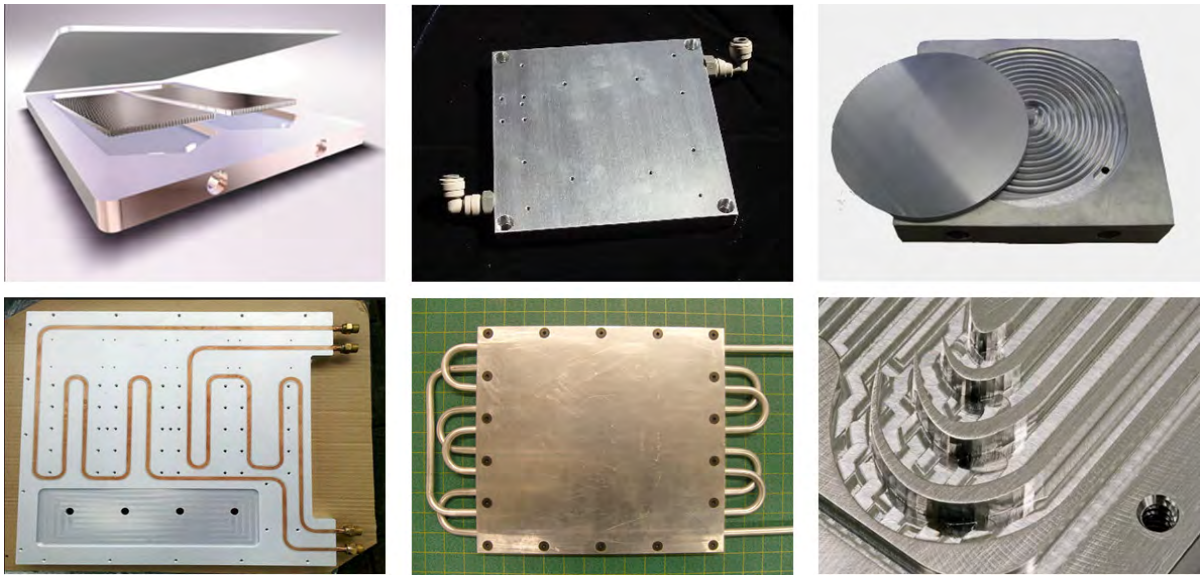


그림 96. 다양한 종류의 수냉각 시스템

② 해석적 검증의 필요성

최근 산업의 발전에 따라 다양한 분야에서의 해석적 검증이 이루어지고 있는 추세이다. 해석적 검증이 이루어지는 것은 실제 제품을 제작하여 시험적 평가가 이루어짐에 따라 발생되는 막대한 비용과 시간을 절감시키기 위함이다.

특히, ㈜우진산전의 경우 완성제품의 단가가 억대를 호가하기 때문에, 해석적 검증 없이 설계 및 제작이 이루어질 경우 평가기관의 인증평가와 고객사의 요구 설계사양을 만족시키기 못할 경우 막대한 피해 금액 및 시간을 낭비하게 된다. 따라서 해석적 검증을 수행할 수 있는 능력을 갖춘 인력 양성과 해석적 검증에 대한 필요성에 대한 지속적인 인식 배양이 필요할 것이다.

그러나, 해석적 검증의 경우, 수치적 연산을 통해 가상적인 평가가 이루어지는 것이기 때문에, 평가자의 능력에 따라 그 결과에 큰 차이를 발생시킬 수 있기 때문에 전문화된 인력에 의해서만 이루어지고 있는 것이 현실이다.

또한, 이러한 문제점을 최대한 극복하기 위해 최근 해석적 검증을 위한 프로그램을 사용자 위주의 환경(GUI)을 구축하여 보다 쉽게 접근할 수 있도록 하고 있다. 그러나 사용의 편이성이 확보되더라도 평가자의 해석적 검증능력이 미흡할 경우, 해석결과의 신뢰도 저하로 인하여 큰 문제를 초래할 수 있는 것이 현실이다.

㈜우진산전에서는 다양한 종류의 IGBT에 대한 원활한 냉각시스템을 갖추기 위해서는 실제 제작을 통한 검증에 앞서, 해석적 검증을 통한 표준화 모델 개발이 필요한 실정이다. 다양한 종류의 IGBT에 대해 실제 제작을 통한 검증을 수행할 경우, 발생되는 막대한 비용과 개발기간을 감당하기 어려울 것이다.

그러나, 표준화된 냉각시스템에 대한 해석적 모델 데이터를 확보할 경우, 적용되는 기기에 따라 능동적이고, 즉각적인 검증이 가능하다. 또한, 기존에 제작된 모델에 대한 최적화 검증이 가능할 것으로 판단된다.

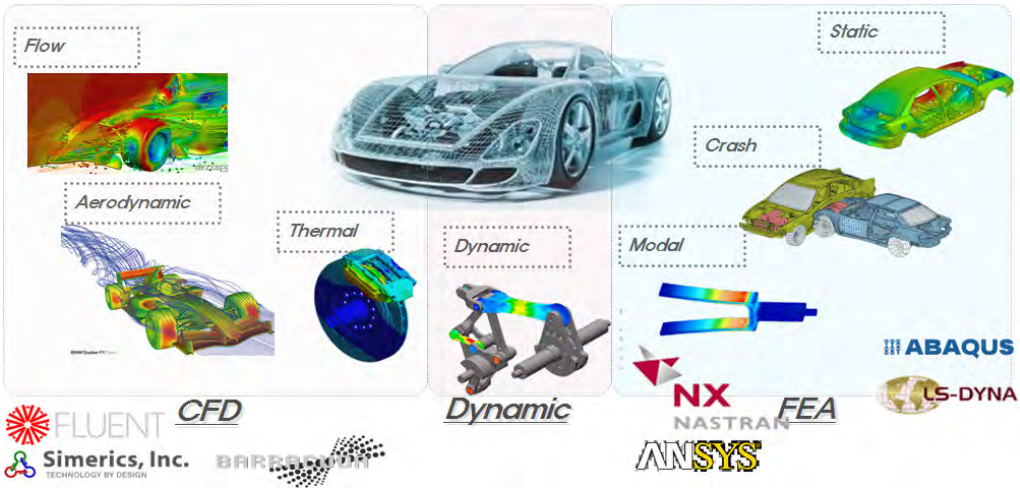


그림 97. 다양한 종류의 해석적 검증용 프로그램

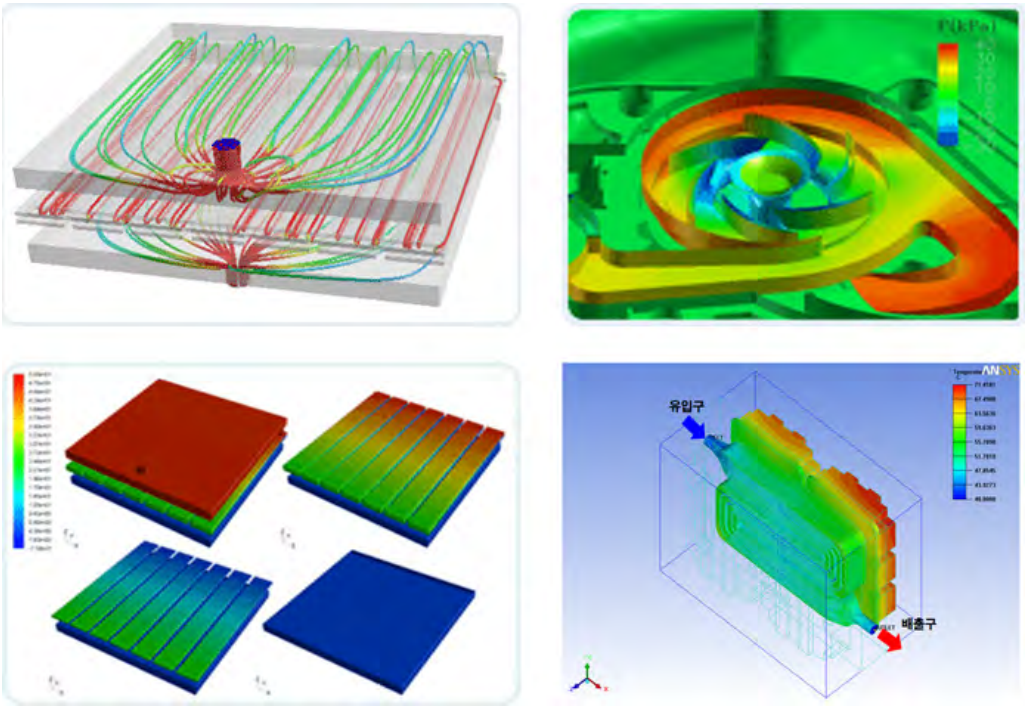


그림 98. 수냉각 관련 열전달 해석 사례

(다) 전력변환장치 냉각 시스템 구성도

8200호대에 적용되는 전력변환장치의 시스템은 그림 99와 같이 구성되어 있다. 그림. 5에 적색으로 표시된 부분은 Stack으로써 Stack당 총 4개의 IGBT로 구성되어 있으며, 총 10kW의 전력량을 갖는다.

그림 100은 전력변환장치에 적용되는 Stack 형상을 나타내고 있다. Stack당 1개의 Cold plate가 적용되어, 일정량의 냉각수가 유입되어 4개의 IGBT의 발열을 냉각시킬 수 있는 시스템이다. 또한, IGBT 내부에는 6개의 세라믹 베드가 있으며, 각각의 세라믹 베드 위에는 IGBT와 SBD소자가 배치되어 있는 구조를 갖는다.

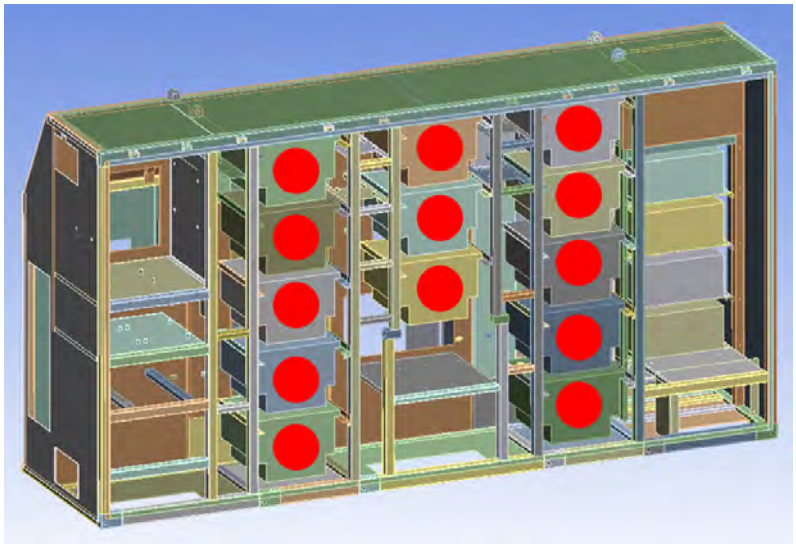


그림 99. 전력변환장치 개념도

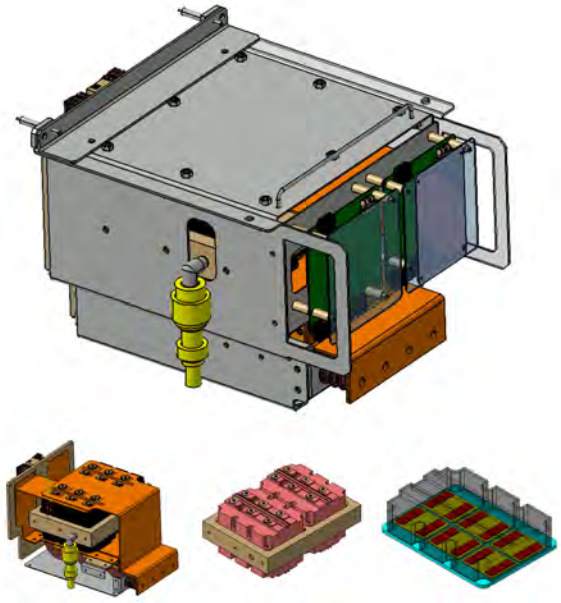


그림 100. 전력변환장치 Stack 구성도

(라) 수냉각 시스템 표준화 모델 도출

① 냉각수 유동 조건

Stack 1개당 1개의 수냉각 시스템이 적용되며, 총 13개의 Stack이 하나의 제품을 구성하게 되어 있다. 이때, 냉각수 공급은 각각의 Stack에 병렬분산 배분형태로 순환하는 시스템이다. 이때, 보완 설계된 수냉각 시스템에 대한 유속은 펌프성능을 기반으로 수치적 검증을 통해 도출하게 되었다. 펌프의 성능에 따른 유량은 216.7 $L/\min$으로써, 베르누이 정리(Bernoulli's theorem)를 이용하여 초기 유입구의 유속을 도출하였다. 이때, 관의 마찰 및 형상에 따른 손실은 무시하였다.

$$H = \frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} = \text{일정}$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{216.7\,l/\min}{\pi(0.008m)^2} = \frac{0.0036\,m^3/\sec}{2.011 \times e^{-4} m^2} = 18\,m/\sec$$

이에, 총 13개 Stack에 총 유량을 병렬 분배하여 Stack당 16.7 $L/\min$의 유량이 공급된다. 8200대의 주변환장치는 공랭식(강제냉각)으로 각각의 Stack을 통과한 냉각수의 원활한 냉각을 위해 외부 공기를 이용한 공랭식 냉각을 추가적으로 실시하는 시스템이다. 이때, 공랭식 냉각 시스템부의 경우 총 13개 stack을 거쳐 배출되는 냉각수를 냉각시키는 시스템이다.

이에, 동일한 조건을 모사하기 위해 1개 Stack을 모사한 시험 지그를 제작하였으며, 최대 발열량 10kW, 유량 1 m3/h(13개 Stack 초기 유입 유량 13 m3/h에 대한 균등 분배 가정), 유압 2 Bar을 적용한 1차 시험 및 해석을 수행하였다.

또한, 도출된 표준 열전달 해석모델에 대한 검증을 위해, 유량을 0.8 m3/h으로 낮춘 모델에 대한 시험을 재수행하여 해석 모델의 신뢰도를 평가하였다.

표 24. 냉각수 유동 조건

	1차 시험(차량 조건 기준)	2차 시험(해석 검증용)
발 열 량	총 10kW (IGBT 개당 2500W, 1 Stack당 IGBT 4개)	
유 량	1 m^3/h	0.8 m^3/h
유 압	2 Bar	1.4 Bar
유입구 직경	12.5 mm(노즐의 내경을 고려)	
대기온도	31.4 ℃	33.7 ℃
초기 유입온도	32.3 ℃	36.9 ℃
냉각수	물 100%	물 100%
HEAT BLOCK 재질	AL6061-T6	

② 열전달해석에 적용된 재료 물성치

수냉각 시스템의 블록(block)은 AL6061-T6의 특성을 갖는 알루미늄을 사용하였으며, 냉각수는 시험상의 조건 확립을 위해 물을 사용하였다.

수냉각 블록과 IGBT Heat sink부는 동일한 알루미늄 물성을 적용하였다. 대기조건은 50℃로써, 제품 운용간 발생되는 내부 발열의 정체현상에 따른 발열을 고려하여 선정하였다. 또한, 냉각수는 물을 사용하였다.

Glycol-50과 Air는 유체이기 때문에, 체적팽창(Volume expansion), 점성(Viscosity), 확산계수(Diffusivity), 그리고 분자량(Molecular weight)이 추가적으로 적용되었다. 재료에 대한 세부적인 물성치는 표 25에 나타내었다.

표 25. 열전달해석에 적용된 재료 물성치

Value	AL6061-T6 (Cold plate)	Heat sink (IGBT)	Water (cooling water)	Air (Air condition)
Density (kg/m^3)	2800.0	2700.0	967.4	1.1614
Specific heat $(J/kg \cdot K)$	900.0	950.0	4206.0	1005.0
conductivity $(W/m \cdot K)$	205.0	250.0	0.674	0.026
Volume expansion $(1/K)$	-	-	0.698e-3	3.331e-3
Viscosity $(kg/m \cdot s)$	-	-	0.324e-3	1.84e-5
Diffusivity (m^2/s)	-	-	1.657e-7	1.0
Molecular weight $(kg/kmol)$	-	-	18.015	28.966

③ 해석용 발열체 모델링

해석적 검증을 위한 표준화 모델을 도출하기 위해서는 해석의 신뢰도를 확보할 수 있는 유한요소모델링(FE modeling)이 필요하다. 이를 위해서는 수차례의 검증을 통해 데이터의 신뢰도를 확보하여야 한다. 이를 위해서는 해석 모델이 갖고 있는 기계. 전기, 화학적 특징을 모두 고려한 설계가 필요하다.

또한, 불필요한 모델링의 간략화를 통해, 해석 수렴 시간을 감소시킬 필요가 있다. 해석적 검증에 불필요한 부분에 대한 구체적인 모델링을 유지할 경우, 복잡한 형상으로 인한 수치해석의 결과에 대한 오차가 발생될 수 있기 때문이다.

따라서, 발열체 내부에 배치된 3개의 발열체에서 실제 발열을 발생시키는 부위만을 모델링 하여 해석에 적용하였다.

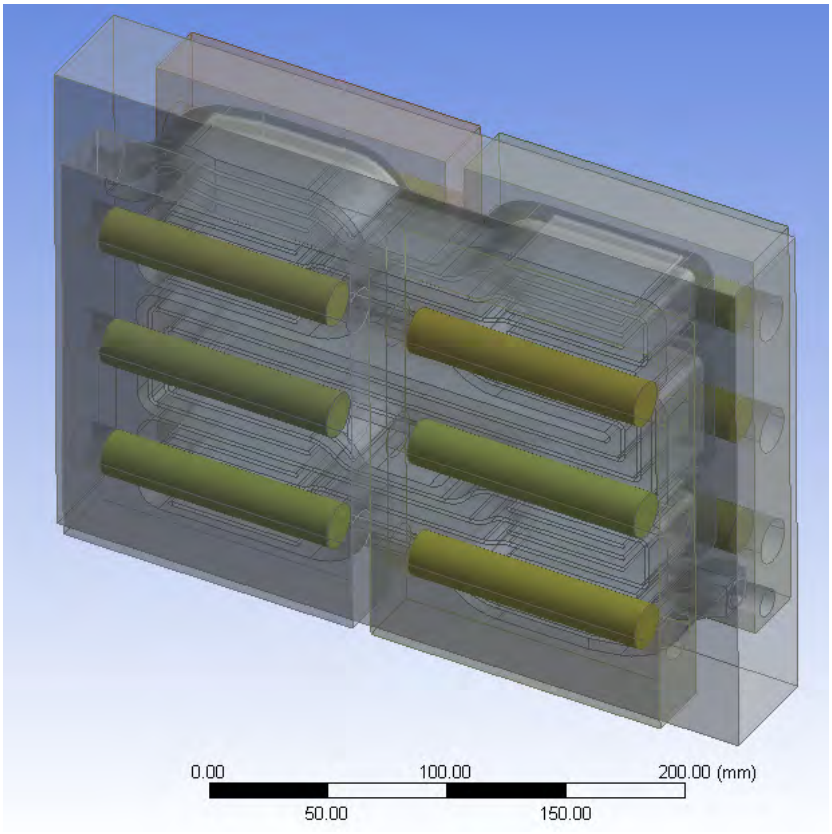


그림 101. Cold plate와 IGBT 결합도

④ Cold plate 유로 설계

효율적인 냉각을 위해서는 수냉각시스템의 적절한 유량과 Cold plate 내부의 균등한 유속분포를 유지시키는 것이 중요하다. 또한, 유로는 발열체인 IGBT를 전체적으로 냉각시킬 수 있도록 분포되어야 한다.

그러나, 8200호대의 전력변환장치에 적용되는 stack의 경우 신규로 제작되는 형태이기 보다는 개량되는 시스템으로써, 공간 활용도가 많이 떨어진다. 기존의 IGBT는 압전 형태로써 냉각된 것과 달리 개량을 통한 IGBT는 Heat-sink를 제품 하단부에서 냉각시킬 수 있기 때문에 공간활 용도가 많이 떨어졌다. 그림 102는 Cold plate와 IGBT의 결합도를 나타내는 것으로, 보이는 바와 같이 Cold plate의 공간적 여유도가 부족한 상황이다.

따라서, 효율적인 냉각을 위해서는 Cold plate 내부의 유로에 대한 최적화 설계가 필요하

다. 그러나 Cold plate 내부 설계를 위해서는 두가지 중요한 인자를 고려하여 설계가 진행되어야 한다.

중요한 인자로는 유로 설계에 따른 냉각 성능과 제작 단가이다. 이 두가지 인자에 대한 절충이 필요하지만, 본 연구에서는 최대한의 냉각성능을 모사할 수 있는 설계 사양을 검토하기 위하여, 냉각성능의 최적화에 초점을 맞추어 연구하였다.

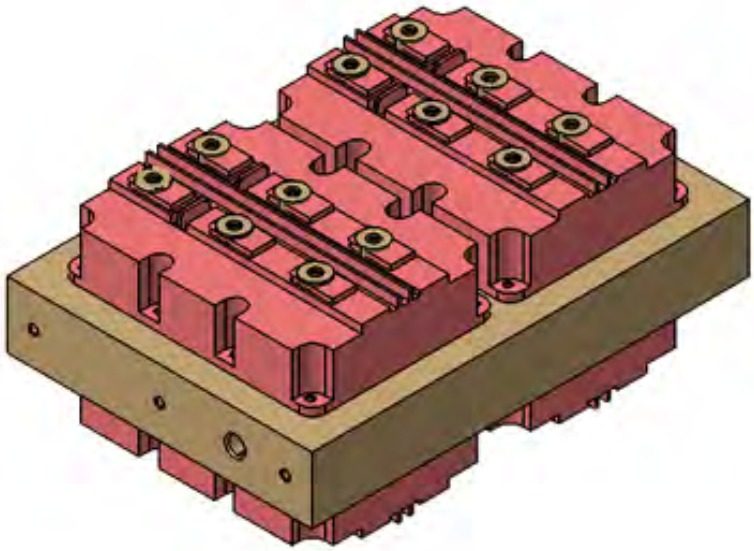


그림 102. Cold plate와 IGBT 결합도

㉮ 기존모델 설계사양

기존의 Cold plate의 유입구와 배출구는 냉각수의 흐름이 원활히 진행되기 어려운 'ㄱ'자형 구조를 갖고 있어 냉각수의 고른 분포를 유도하기 어렵고, 유입구 대비 유로의 면적이 넓어 냉각수의 유속을 저감시켜, 효과적인 냉각이 어려웠다. 그림 103은 초기 모델의 유로 형상을 나타내고 있다.

수냉각 시스템은 이상상태에서 유입구와 배출구에서 동일한 유량을 나타내어야 한다. 따라서 동일한 면적을 갖는 유입구와 배출구는 근접한 유속을 보여야 한다. 유속의 변화가 클 경우, 유로 내부에서의 유압손실 및 와류현상을 의심할 수 있고, 이러한 현상을 최대한 억제하여 유사한 유속을 나타내도록 설계하여야 한다.

유로형상을 보완하기 위해 유입구 대비 유료의 면적을 감소시키고, 고른 유속분포를 위해 플랜지를 보완하여 개선되도록 설계를 진행하였으며, 유압에 의한 플랜지의 변형 및 파손을 방지하기 위해서, 플랜지의 최소 두께를 2mm 이상이 되도록 설계하였다. 또한, 각각의 볼트 위치에 대한 간섭을 방지하기 위해 볼트 직경 대비 5 mm 이상씩 상쇄하여 유로를 설계하였다.

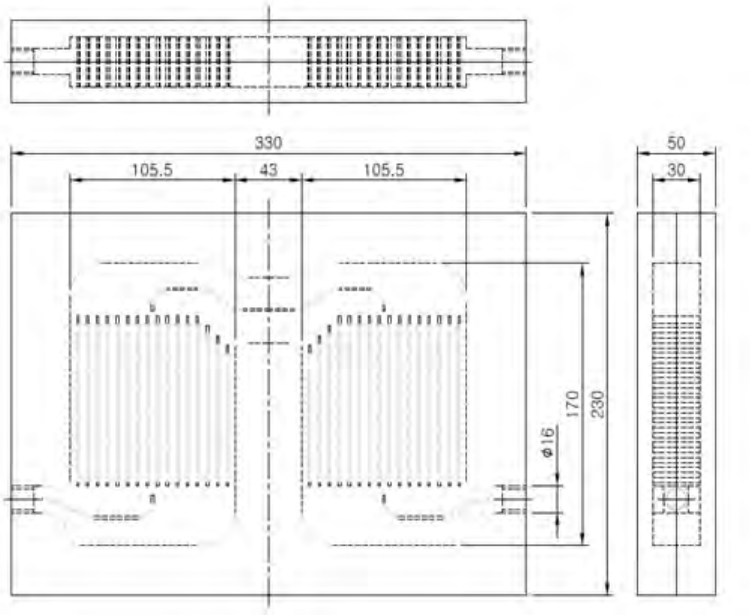


그림 103. 기존모델 유로형상 및 열전달해석 결과

㉯ 순차적 유로 개선모델

• 1차 모델

1차 모델의 경우 가장 단순한 형상을 갖도록 설계하였다. 유입구와 배출구의 유동성을 확보하기 위해 수평형 유로로 설계하였으며, 고른 유속 분포를 확보하기 위해 주된 유로형상 내부에 세부 격자형태의 보조 유로를 적용하였다.

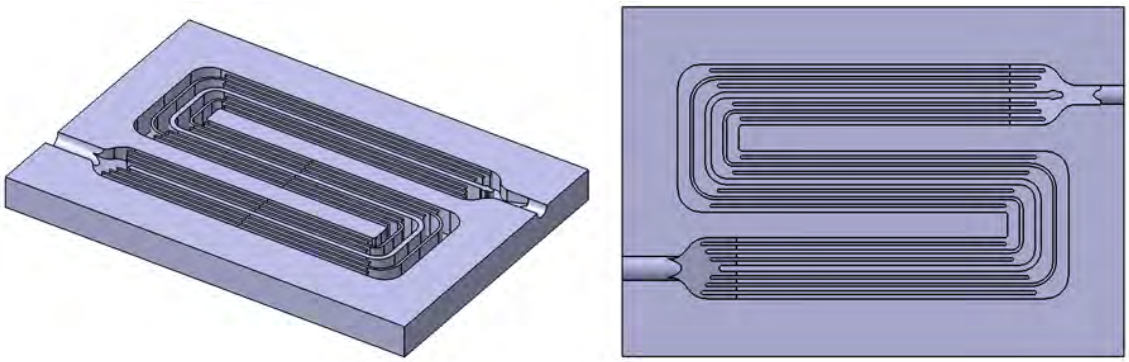


그림 104 .1차 모델 유로 형상

• 2차 모델

2차 모델은 유동성을 확보한 1차 모델에 대한 냉각성능을 개선하기 위한 형태의 모델이다. 1차 모델에 비해 가공영역이 확대되었으며, 유로의 형상이 복잡하여 제작성은 저하된 반면, IGBT의 발열부분을 최대한 냉각할 수 있도록 냉각 영역을 확대한 모델이다.

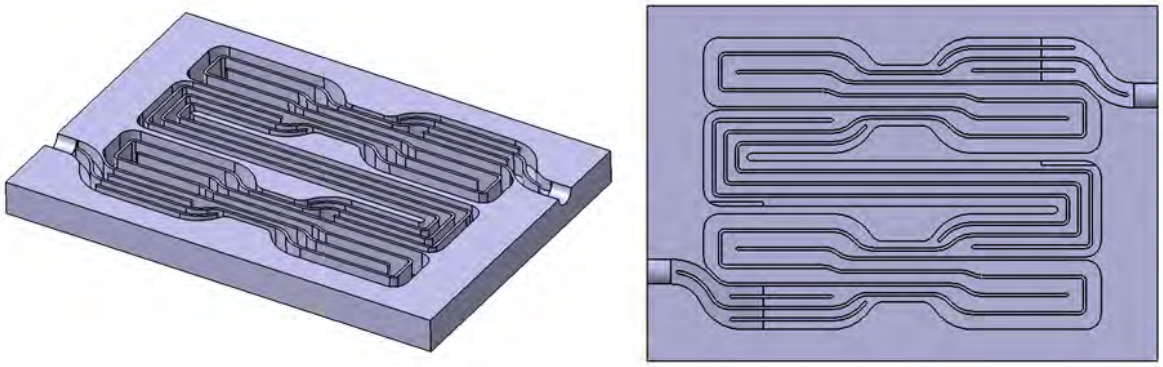


그림 105. 2차 모델 유로 형상

• 3차 모델

3차 모델은 2차 모델보다 높은 냉각성능을 확보하기 위해 주된 유로 내부에 보조 유로를 추가한 모델이다. 그림 106의 적색 표시부는 2차 모델을 기준으로 보조 유로를 확보한 영역을 나타내고 있다.

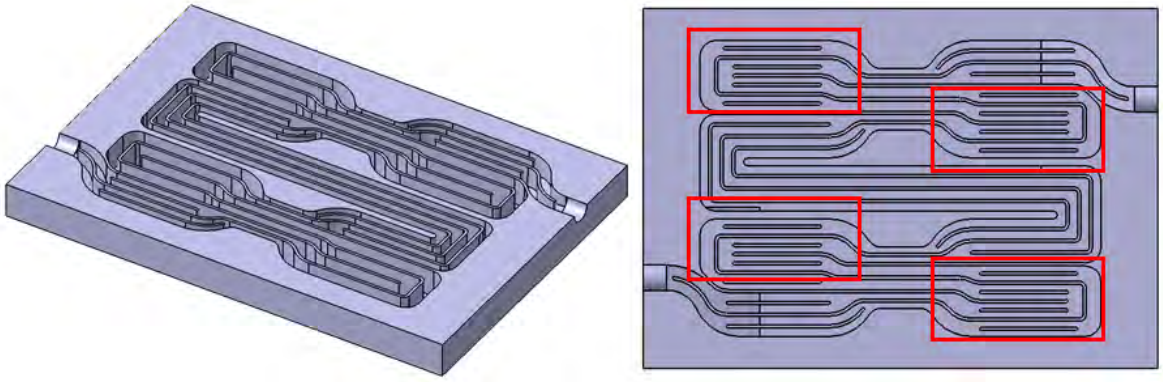


그림 106. 3차 모델 유로 형상

⑤ 열전달해석 조건

㉮ 냉각수 유입 및 배출조건

본 연구에서 유입구와 배출구는 동일한 제품을 사용하였다. 노즐의 외부 직경은 16mm로 실제 냉각수가 유입 및 배출되는 노즐의 직경은 12.5mm이다. 따라서 해석적 검증을 위해 실제 유입 및 배출되는 노즐의 직경을 적용하였다.

유입구에 유입되는 냉각수는 극한 조건을 모사하기 위해 극한 대기조건 40℃와 동일한 온도를 갖도록 설정하였으며, 유속은 초기에 계산된 유량을 고려하여, 2.26m/s의 유속을 적용하였다. 그림 107은 냉각수 유입 및 배출구에 대한 해석 조건을 나타내고 있다.

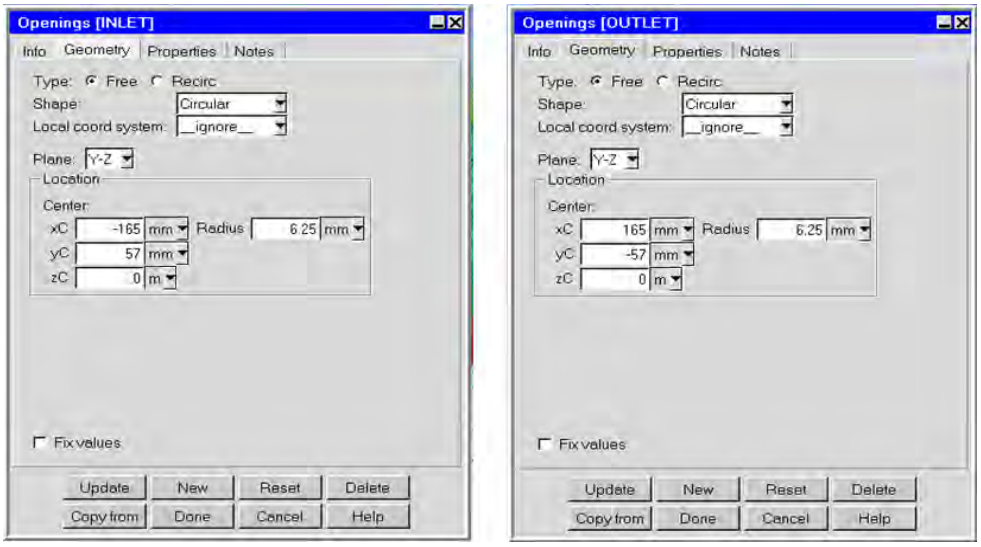


그림 107. 냉각수 유입 및 배출구 특성

㉯ 해석 환경조건

열전달 해석의 경우 구조해석과 달리 수백, 수천번 이상의 계속적인 해석을 통해, 최적의 값을 도출할 수 있다. 따라서 본 모델의 경우 최대 적분 량을 100,000회로 정하여 열전달해석을 수행하였다. 또한, 해석의 신뢰도를 높이기 위해 그림 108과 같은 해석 조건을 적용하여 열전달해석을 수행하였다.

이때, 대기 조건은 실제 시험을 수행할 때 측정된 데이터를 활용하였다. 또한, 유입되는 냉각수의 온도 및 유압을 동일하게 적용하여 해석적 검증을 수행하였다. 해석 시 유입구의 온도는 임의로 시험데이터를 기반으로 설정하였으며, 배출구의 온도는 해석을 통해 도출되도록 하였다.

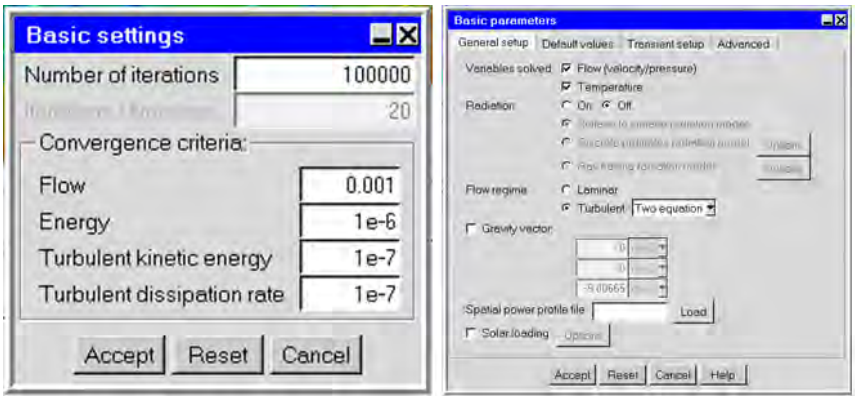


그림 108. IGBT 열전달해석 해석 조건

(마) 각 타입별 열전달 해석결과

1차 모델(발열량 10kW, 유량 1 m3/h)와 2차 모델(발열량 10kW, 유량 0.8 m3/h)에 대한 열전달 해석은 시험조건과 동일하게 적용하였다. 또한, 시험 데이터와 해석 결과의 신뢰도 확보를 위해 발열 온도 측정부를 다양하게 하여 평가하였다.

표 26은 각 타입별 해석조건을 나타내고 있다. 유입구 및 배출구 형상은 모두 동일하도록 설정하였다. 유로 형상은 표에 나타나 있는 것과 같다.

표 26. 냉각수 유동 조건

	1차 시험(차량 조건 기준)	2차 시험(해석 검증용)
발 열 량	총 10kW (IGBT 개당 2500W, 1 Stack당 IGBT 4개)	
유 량	1 m^3/h	0.8 m^3/h
유 압	2 Bar	1.4 Bar
유입구 직경	12.5 mm(노즐의 내경을 고려)	
대기온도	31.4 ℃	33.7 ℃
초기 유입온도	32.3 ℃	36.9 ℃
냉각수	물 100%	물 100%
HEAT BLOCK 재질	AL6061-T6	

① 1차 모델(차량조건기준)해석결과

1차 모델은 실제 차량 조건과 동일한 유량 조건을 적용하였을 때 IGBT의 최대 발열 온도를 측정하기 위한 시험에 대한 해석적 검증을 수행하였다.

시험과 가장 유사한 환경을 모사하기 위해 대기온도와 유입구의 냉각수 온도는 측정치와 동일하게 설정하여 진행하였으며, 시험과 동일한 측정부 4개소에 대한 온도 편차를 확인 하였다.

열전달 해석 결과, 시험과 해석의 온도편차는 최대 약 5%로 3 ℃ 이내의 온도편차를 보이는 것을 확인하였다. 따라서 시험과 해석의 결과가 매우 정확한 것으로 판단된다.

표 27. 1차 모델 시험 및 열전달 해석 결과

	대기 온도(℃)	유입수 온도(℃)	측정 1 (℃)	측정 2 (℃)	측정 3 (℃)	측정 4 (℃)
시 험	31.4	32.3	37.7	39.5	39.1	42.1
해 석	31.4	32.3	39.5	42.0	38.5	42.5
편 차	0.0	0.0	1.8	2.5	0.6	0.4



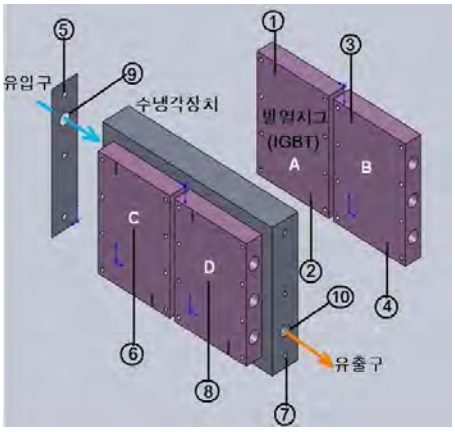


그림 109. IGBT 열전달해석 환경 조건

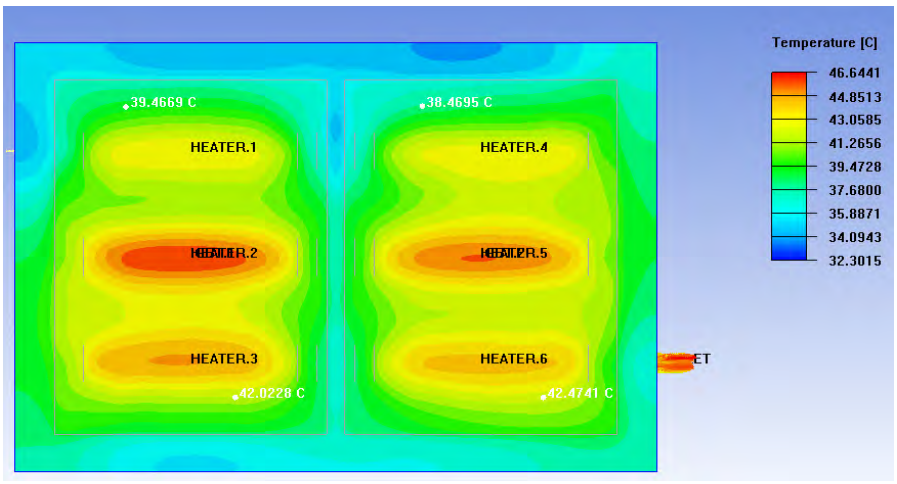


그림 110. 1차 모델 열전달 해석 결과(Heat block)

② 2차 모델(해석모델검증용)해석결과

2차 모델은 실제 차량 조건을 고려한 열전달 해석 모델의 타당성을 검증하기 위해 추가적으로 시험을 진행하였다. 효율적인 검증을 위해서 동일한 발열량에 대하여 유량이 감소되었을 때, 발생되는 현상을 파악할 수 있도록 유량 1 m3/h에서 0.8 m3/h로 변경하여 시험을 수행하였고, 해석 역시 동일한 조건을 적용하여 검증하였다.

열전달 해석 결과, 시험과 해석의 온도편차는 2 ℃ 이내의 온도편차를 보이는 것을 확인하였다. 따라서 시험과 해석의 결과가 매우 정확한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 본 해석에 적용된 조건 및 FE 모델을 동일하게 적용할 경우 실제 차량 및 다양한 냉각 조건에 대해 능동적인 평가가 가능할 것으로 판단된다.

표 28. 2차 모델 시험 및 열전달 해석 결과

	대기 온도(℃)	유입수 온도(℃)	측정 1 (℃)	측정 2 (℃)	측정 3 (℃)	측정 4 (℃)
시 험	33.7	36.9	43.2	46.3	46.8	48.0
해 석	33.7	36.9	45.0	46.9	44.8	47.3
편 차	0.0	0.0	1.8	0.6	2.0	0.7

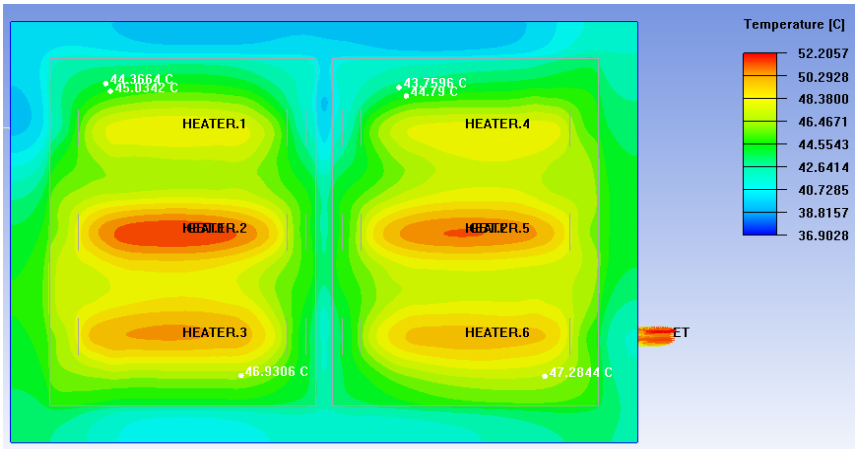


그림 111. 2차 모델 열전달 해석 결과(Heat block)

(바) 결론

본 연구는 8200호대 전기기관차 전력변환장치에 적용되는 IGBT모듈의 냉각성능을 확보할 수 있는 수냉각시스템을 개발하는데 목적을 두고 있다. 그러나 본 시스템은 개량을 통한 보완사항으로 여러 제약조건은 기존의 사양과 동일하게 적용되어, 최적의 모델을 도출하는데 어려움이 발생하였다.

• 유로는 발열체보다 더 넓은 면적으로 분포되는 것이 효율적이며, 최대한 많은 면적을 확보하는 것이 중요하다. 따라서 최종 유로 설계 모델의 경우 유로 형상을 최대한 발열체보다 넓은 면적으로 분포될 수 있도록 설계하였다.

• 시험 결과를 바탕으로 해석적 평가결과, 향후 다양한 조건에 대한 평가가 가능할 수 있는 표준 모델을 도출할 수 있었으며, 시험 및 해석결과 설계된 유로는 IGBT 발열량에 대하여 효율적으로 냉각할 수 있을 것으로 판단된다.

• 또한, 보다 높은 냉각성능을 확보하고, 안정적인 IGBT모듈의 운용을 위해서는 냉각수 유속을 증가시키기 위한 유량 증대와, Cold plate의 영역확장을 통한 전력변환장치의 안정적인 운영을 모색할 필요가 있을 것으로 판단된다.

• 본 열전달 해석을 통해 도출된 표준화 모델은 향후, 필요에 의해 변경된 유로 형상에 대하여 능동적인 선 검증이 가능하여, 개발 시간 단축 효과 및 개발 비용 절감 효과를 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 전기기관차 시뮬레이션 분석

(가) 개요

① 시스템 구성

본 시스템은 8200대 전기기관차를 제어하기 위한 컨버터와 인버터의 결합시스템으로서 단상 컨버터를 이용하여 DC링크의 전압 및 컨버터 입력단의 역률을 제어하고, 컨버터와 DC링크단을 공유한 인버터로 전기기관차의 동력을 제공하는 유도전동기를 제어하도록 구성되어 있다.

② 시뮬레이션 목적

컨버터와 인버터를 결합한 시스템의 신뢰성과 타당성을 확인하기 위한 목적에 있다. 컨버터는 25kV의 AC전압을 변압기를 거쳐 1,230V의 AC전압으로 변압한 후, 단상 컨버터를 통해 2,400V～2,600V의 DC링크 전압을 공급한다. 이 때, 회로의 구성은 승압을 위한 인덕터와 등가 화된 저항 성분으로 구성된다. 컨버터는 DC링크 전압 공급 외에도 입력단의 전압과 전류의 위상을 동상으로 하기 위한 단위 역률제어의 역할을 한다. 인버터는 컨버터에서 공급한 DC링크 전압을 소스로 하여, 1,300kW 유도전동기에 전력을 공급한다. 본 시뮬레이션의 인버터 부분에서는 Motor Controller에서 출력한 지령을 바탕으로 수학적으로 모델링한 인버터와 유도전동기 시스템에 적용하여 전기기관차의 속도 응답 특성을 확인 할 수 있다. 전체 시스템 블록도는 아래의 그림 112와 같다.

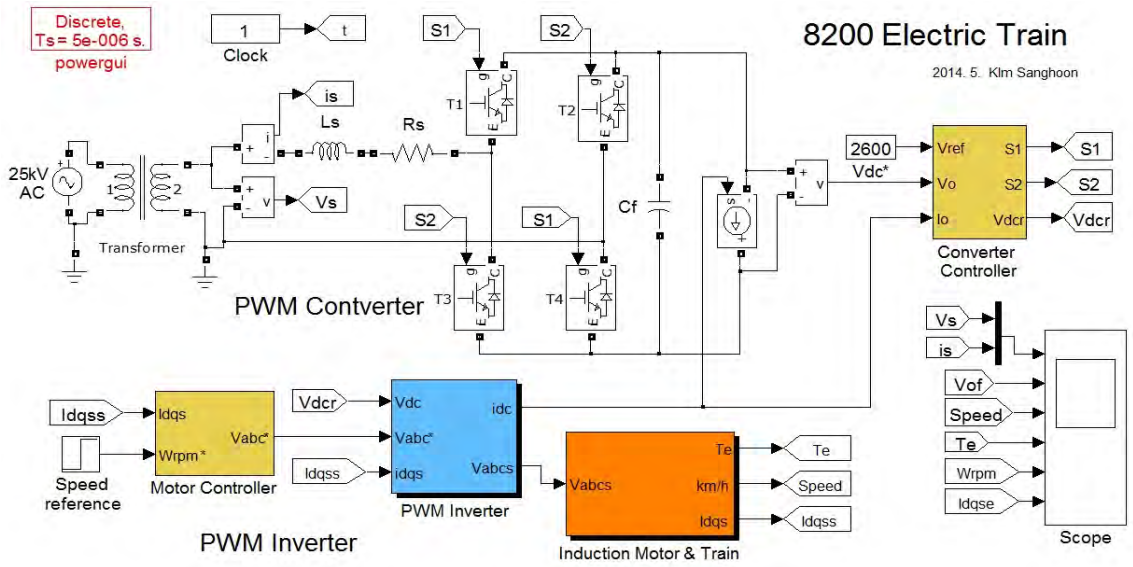


그림 112. 전체 시스템 블록도

(나) 시뮬레이션

① 시뮬레이션 조건

항 목	사 양
컨버터 스위칭 주파수	1.5kHz
인버터 스위칭 주파수	1kHz
샘플링 주파수	5us discrete로 구성
시뮬레이션 시간	1s → Vdc 2,600V의 95% 도달 시, 유도전동기의 자속 생성 및 토크지령 발생 (시뮬레이션 시간을 간소화를 위해, 실제 전동기의 관성 값을 임의의 값으로 줄여서 사용하였음)

② 세부 구성

㉮ PWM Converter

- Transformer

변압 비 : 25kV AC(1차측) → 1,230V AC(2차측)

- Ls(1mH), Rs(8mΩ), Cf(8.2mF)으로 구성하였다.
- Converter Controller

Converter Controller에서는 DC링크 전압 제어 및 입력단의 단위역률제어를 위해 컨버터 입력단의 전류제어를 한다. 전압 제어기는 overshoot를 발생시키지 않는 PI 제어기로 구성하였고, 이 때 제어기의 적분기 포화를 막기 위해 Anti-Windup 제어기를 포함시켰다. 전압 제어기의 지령 값은 2,600V로 설정한다. DC링크 전압 제어 시 인버터에서 전동기를 구동하는데 필요한 전압을 보상하기 위해 Feedforward term을 추가하였다. 전류 제어기에서는 전압제어기의 출력전압을 컨버터의 입력 전

류와 비교하여 PI제어를 한다. 따라서 단위역률제어를 수행하게 된다. 전류 제어기 출력 전압을 최종적으로 1.5kHz의 Carrier-wave와 비교하여 스위칭을 결정하게 된다. Converter Controller의 블록도는 아래의 그림 113과 같다.

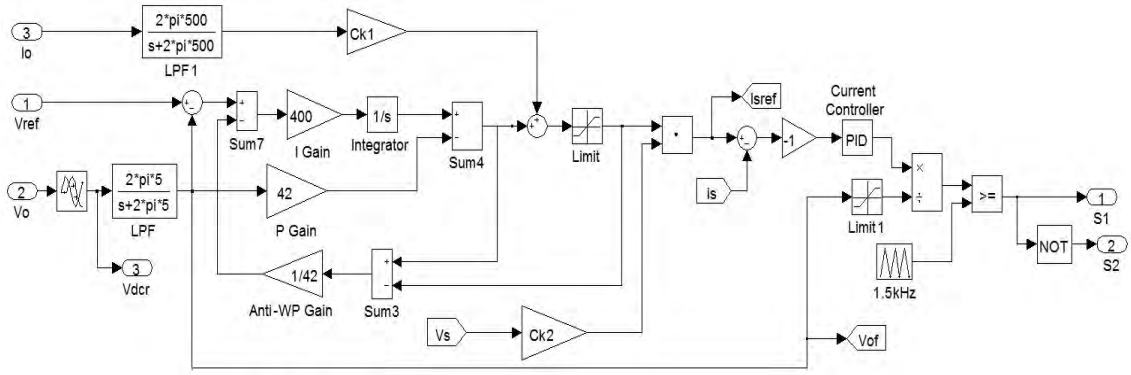


그림 113. Converter Controller 블록도

㉯ PWM Inverter

• Motor Controller

Motor Controller 블록은 속도 제어기, 자속 제어기, 전류 제어기로 구성된다. 자속 제어기는 d축 전류지령, 속도 제어기는 q축 전류지령을 각각 생성하고, 최종적으로 전류 제어기에서는 d, q축 전류를 제어하여 출력 전압을 생성한다. Motor Controller의 블록도는 그림 114와 같다.

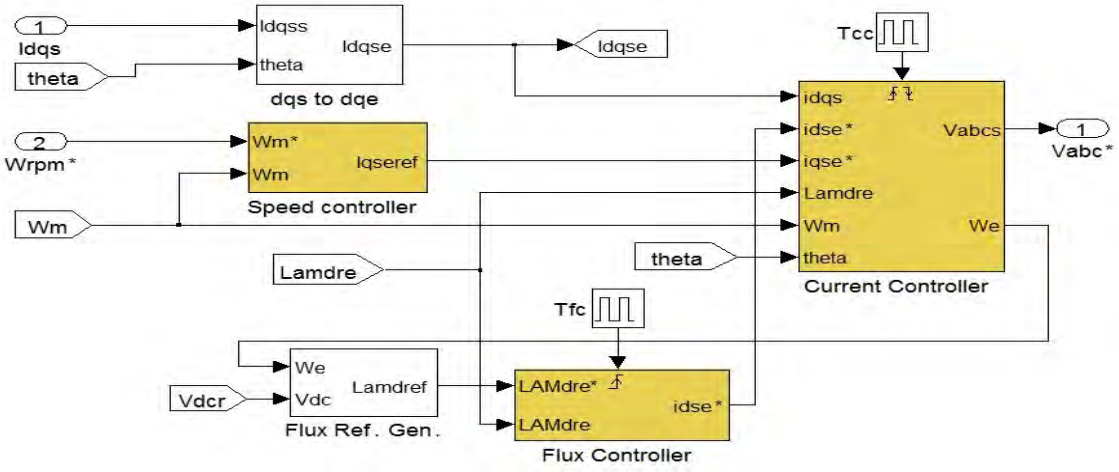


그림 114. Motor Controller 블록도

- Speed Controller

속도 제어기는 50Hz의 Bandwidth를 갖는 PI 제어기로 구성하였다. 속도 제어기는 전류 제어기의 외부 루프에 존재하기 때문에 시스템의 안정성을 위해 전류 제어기보다 낮은 대역폭으로 설정해 주어야 한다. 전류 제어기 대역폭에 대해서는 해당 부분에서 추가로 언급하기로 한다. 속도 지령 값은 유도 전동기를 최대로 구동하기 위한 속도 3,750rpm으로 설정하였다. 이 때, 전기 기관차의 속도는 150km/h에 해당된다. Speed Controller의 블록도는 아래의 그림 115와 같다.

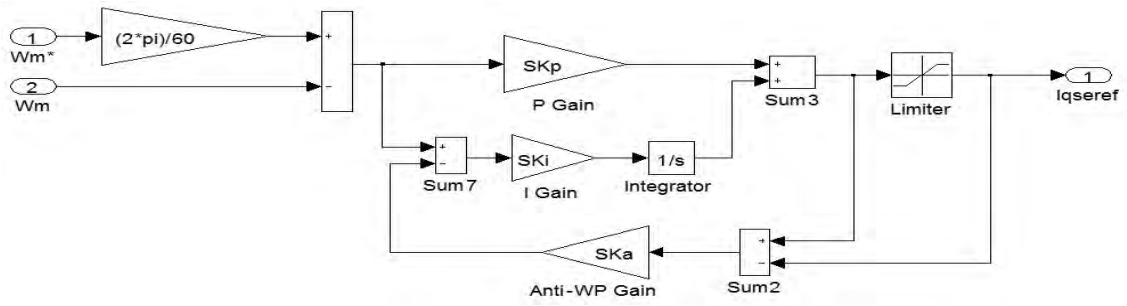


그림 115. Speed Controller 블록도

- Flux Controller

자속 제어기에서는 유도전동기의 정격 파라미터를 이용하여 정격 자속을 계산 하고, 이때의 자속 지령을 PI제어하여 d축 전류 지령을 생성한다.

Flux Controller의 블록도는 아래의 그림 116과 같다.

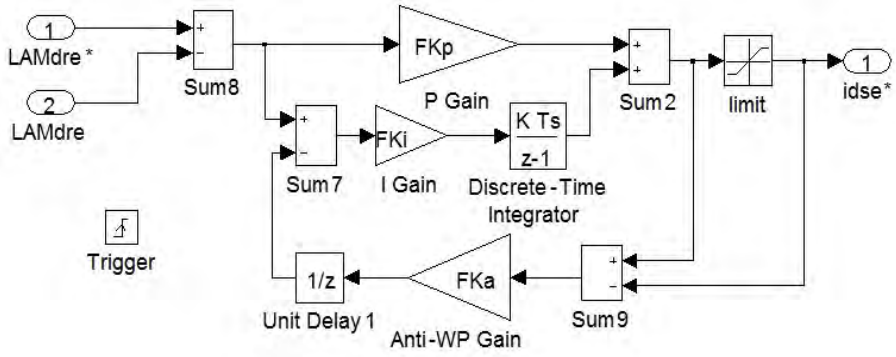


그림 116. Flux Controller 블록도

- Current Controller

전류 제어기는 200Hz의 Bandwidth를 갖는 PI 제어기로 구성하였다. 시스템의 안정성을 위해 속도 제어기의 내부 루프에 위치하는 전류 제어기의 대역폭은 속도 제어기의 대역폭 보다 커야 한다. 본 시스템에서 전류 제어기의 대역폭은 속도 제어기의 4배로 선정하였다. 전류 제어기에서는 위에서 언급한 내용과 같이 각각 속도 제어기와 자속 제어기의 출력 d축, q축 전류지령을 입력받아 PI제어하고 전압 지령으로 출력된다. 역기전력 성분과 d,q변환 시에 상호간섭 성분을 보상하기 위해 Feedforward term을 추가하였다. 최종적으로 d,q축 전압은 a,b,c 상전압으로 역변환하여 인버터의 스위칭을 결정하게 된다. Current Controller의 블록도는 아래의 그림 117과 같다.

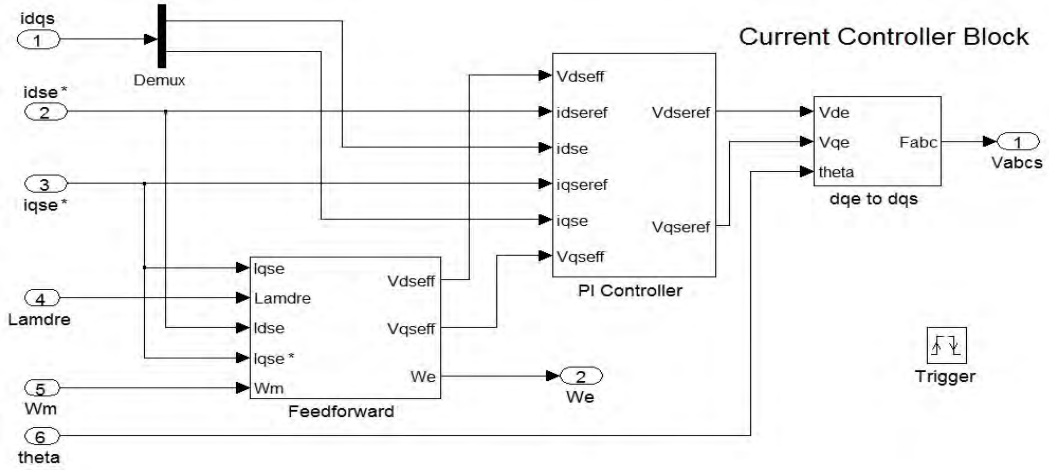


그림 117. Current Controller 블록도

• Inverter Modeling

본 블록에서는 인버터를 수학적으로 모델링한다. Motor Controller에서 출력한 상전압 지령을 인버터의 스위칭 주파수 1kHz의 Carrier-wave와 비교하여 실제 모터에 인가되는 상전압을 형성한다. 사용한 PWM 방식은 공간 벡터 전압 변조(SVPWM) 방식을 사용하였다. SVPWM은 주어진 직류 전압 하에서 가장 큰 교류 전압을 얻을 수 있는 기법으로써 전동기의 출력 전류나 토크에 포함된 고조파가 다른 변조 방식보다 적다는 장점으로 인하여 가장 널리 사용되고 있는 방식이다. Inverter Modeling 블록도는 아래의 그림 118과 같다.

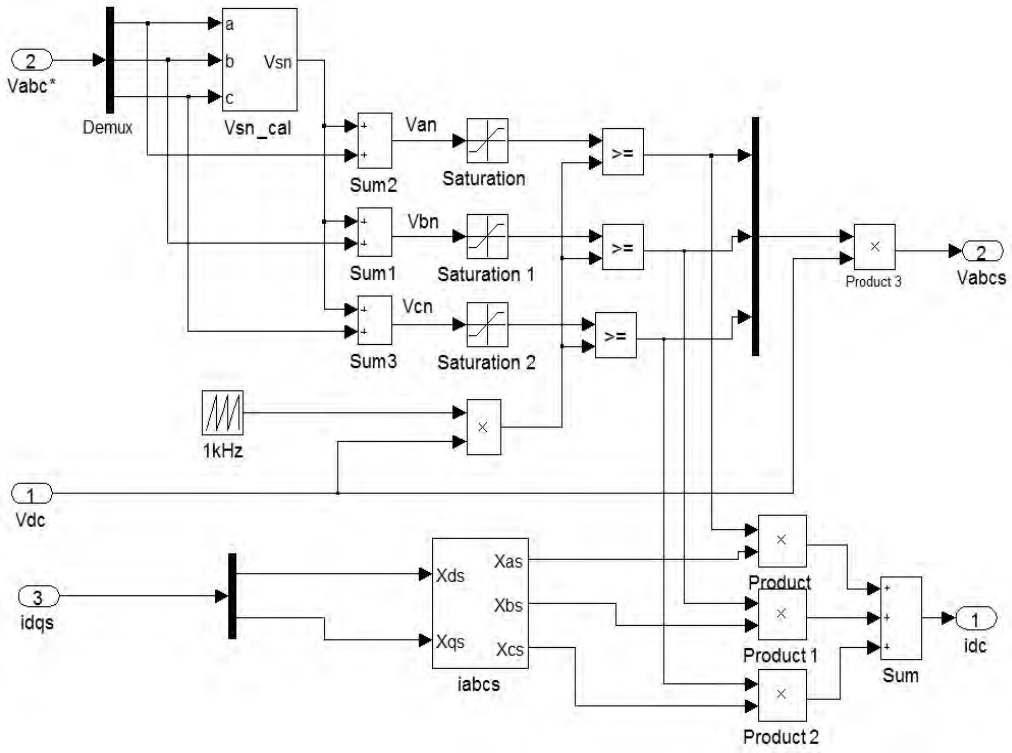


그림 118. Inverter 블록도

• Induction Motor & Electric Train Modeling

그림 119의 블록도에서는 유도전동기의 d, q축 등가 모델링과 전기기관차를 Mechanical System으로 모델링하여 속도 응답 특성을 확인 할 수 있다.

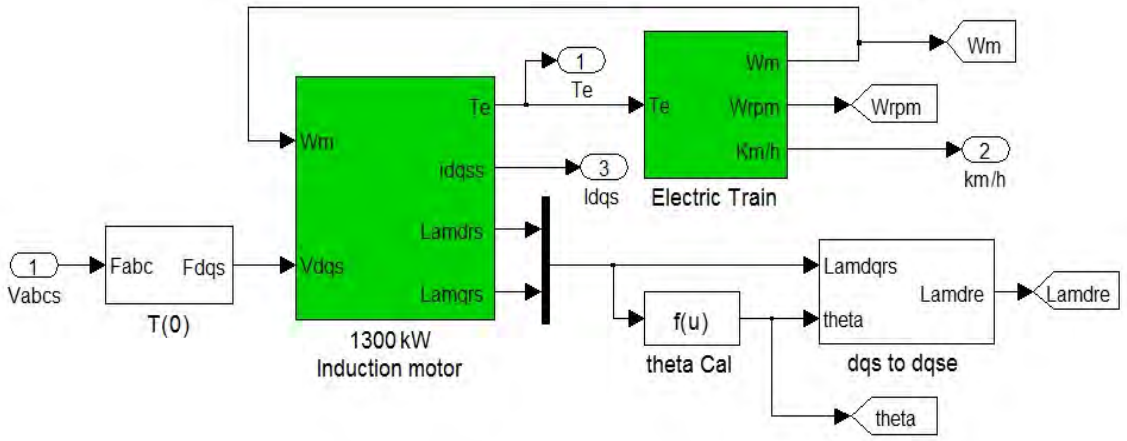


그림 119. Induction Motor & Electric Train Modeling 블록도

- Induction Motor Modeling

유도전동기를 d,q축으로 등가화 하여 수식으로 구현하였다. 인버터 모델링으로부터 결정된 전압을 구현 된 수식에 연산하여, 출력 전류와 토크, 자속각(Θ)을 확인할 수 있다. Induction Motor 블록도는 아래의 그림 120과 같다.

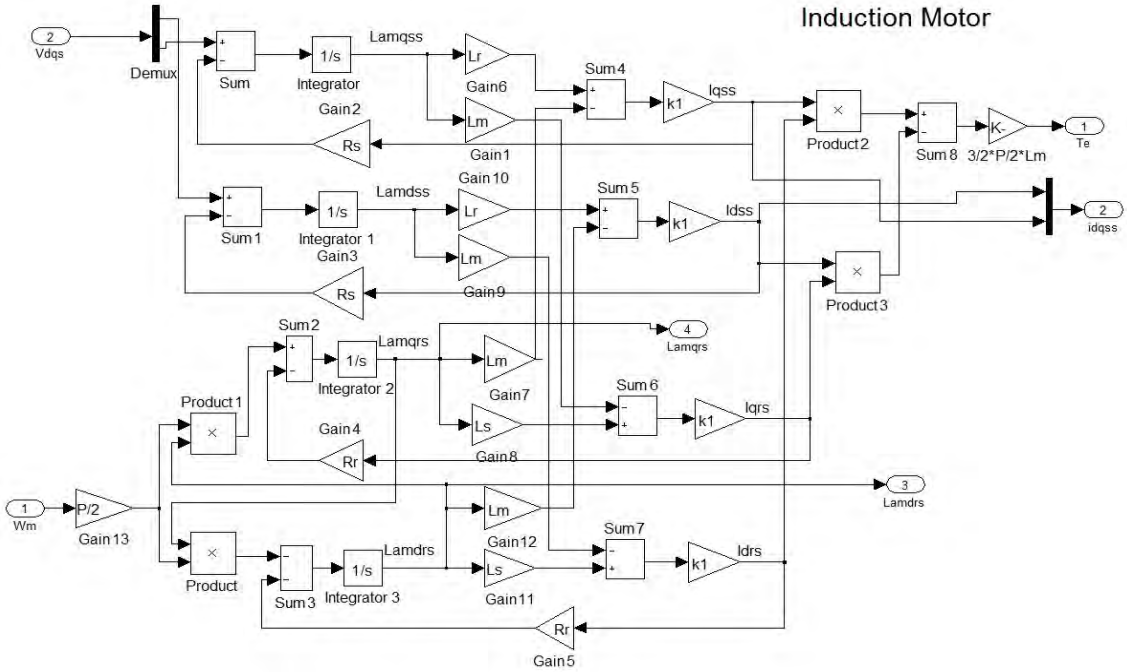


그림 120. Induction Motor 블록도

- Electric Train Modeling

본 블록에서는 전기기관차를 Mechanical System으로서 수학적 모델링하여 전동기에서 전달된 토크를 바탕으로 부하시스템의 운동방정식에 적용하여 전기기관차의 속

도를 계산한다. Electric Train 블록도는 아래의 그림 121과 같다.

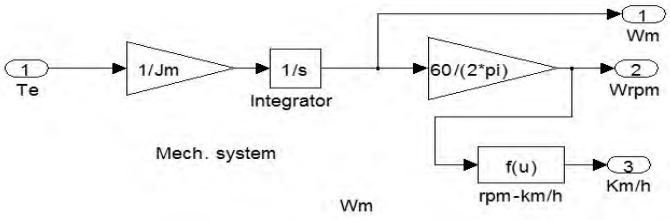


그림 121. Electric Train 블록도

(다) 시뮬레이션 결과

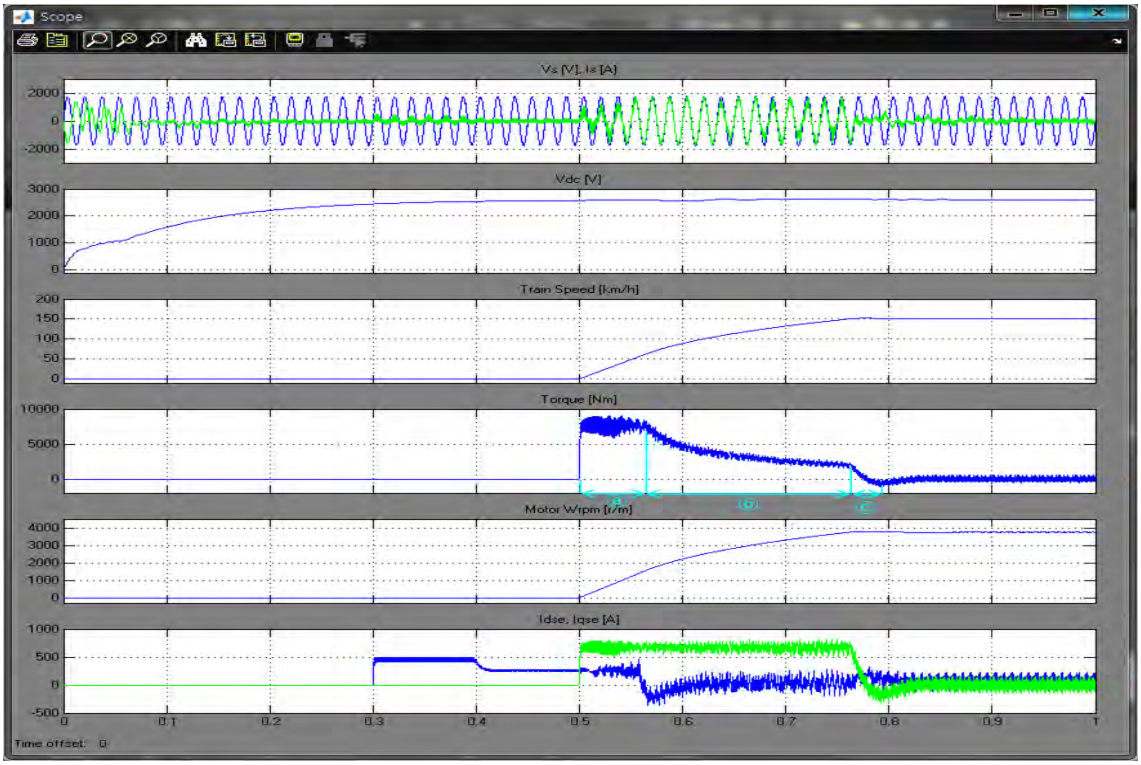


그림 122. 시뮬레이션 결과 파형

• 시뮬레이션 결과를 바탕으로 살펴보면 아래와 같다.

- 첫 번째 그래프에서 컨버터 입력 전압, 전류를 확인하여 단위 역률 제어 양상을 확인할 수 있다.
- 두 번째 그래프에서 DC링크 전압이 2600V로 제어되고 있는 양상을 확인할 수 있다.
- 세 번째 그래프에서 전기기관차의 속도가 150km/h로 제어되고 있는 양상을 확인할 수 있다.
- 네 번째 그래프에서 토크 응답 특성과 유도기의 속도 영역 중, 일정토크영역, 일정출력영역, 특성영역(약계자영역)에 진입하여 구동되고 있는 양상을 확인 할 수 있다.
- 다섯 번째 그래프에서 유도전동기의 속도가 3,750rpm으로 제어되고 있는 양상을 확인할 수 있다.
- 여섯 번째 그래프에서 d,q축 전류제어 양상을 확인할 수 있다.

① 컨버터 입력단 전류 제어

컨버터의 입력 전압과 전류의 파형을 살펴보자. 부하가 작은 경우에는 전류의 크기가 작기 때문에 뚜렷하게 나타나지 않지만, 표시된 부분은 인버터에서 유도전동기를 구동하기 위해 전력을 사용하는 부분이기 때문에 전압과 전류의 위상이 동상으로 제어되며 단위 역률 제어를 수행하고 있음을 확인 할 수 있다.

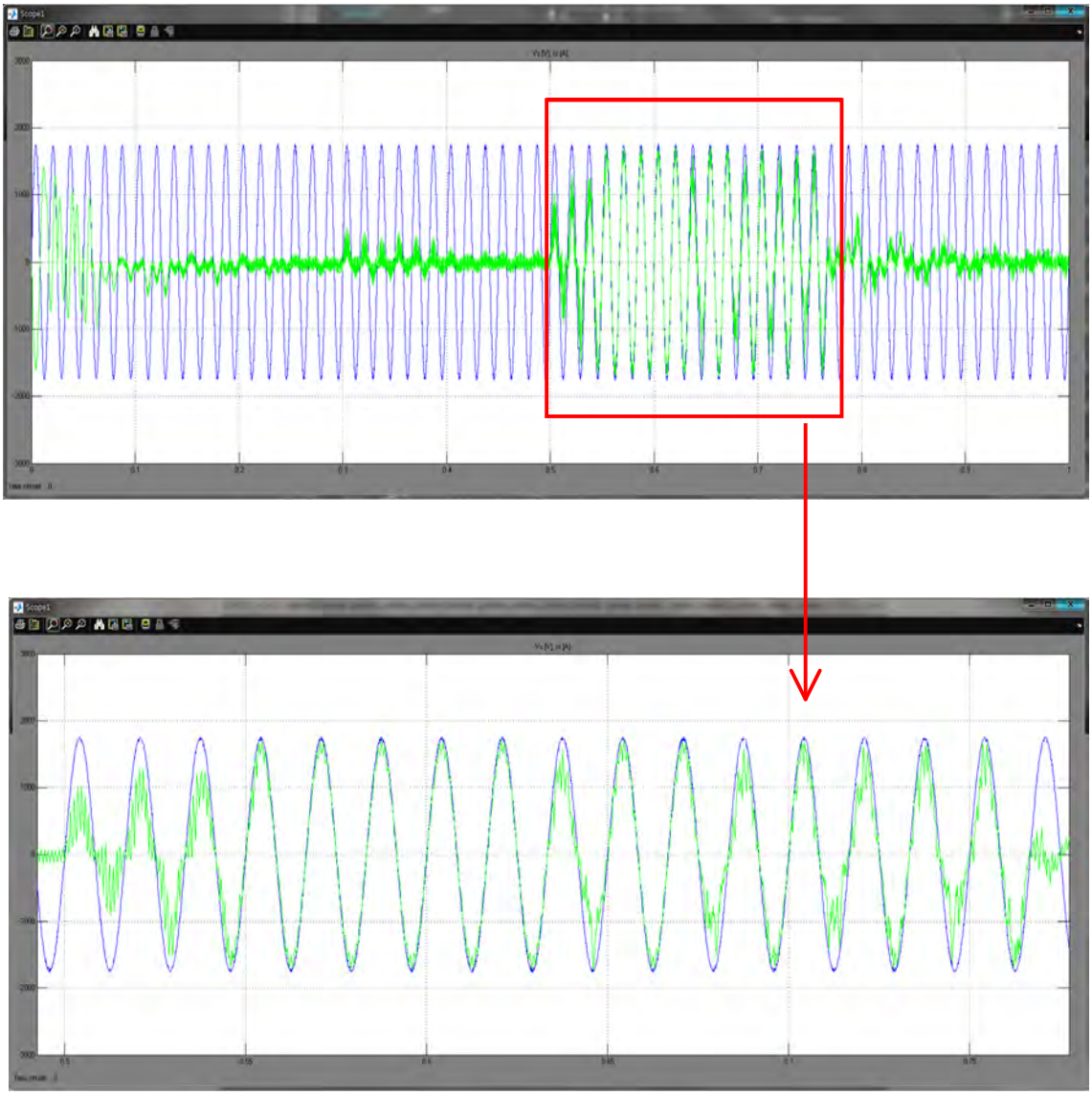


그림 123. 컨버터 입력 전압 및 전류 파형

② DC link 전압 제어

DC link 전압이 지령 전압(V_{dc}^{*}) 2600V를 추종하고 있다. 또한, 정상상태에서도 일정 전압을 유지 하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

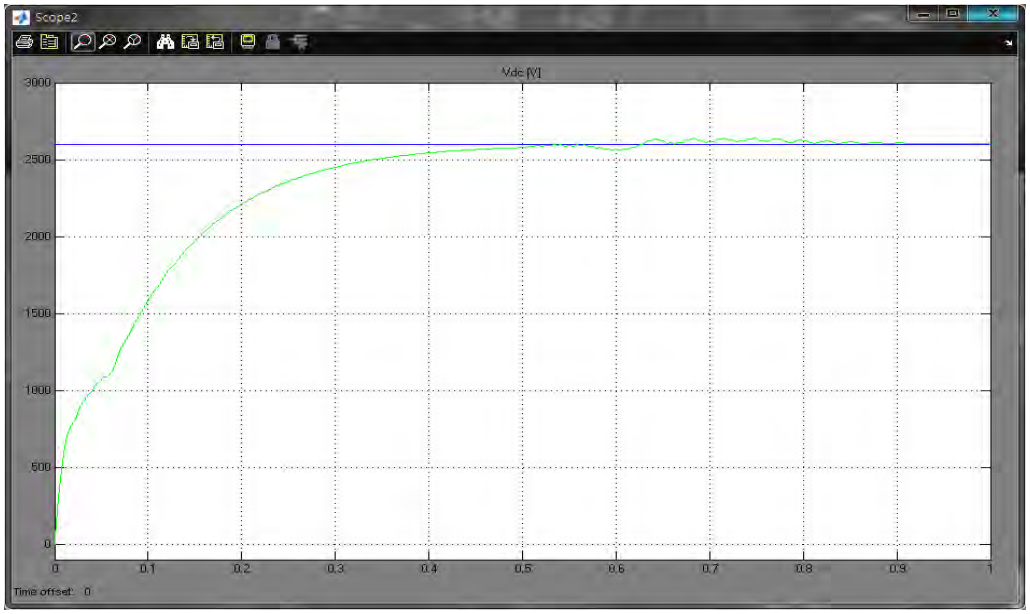


그림 124. DC link 전압 파형

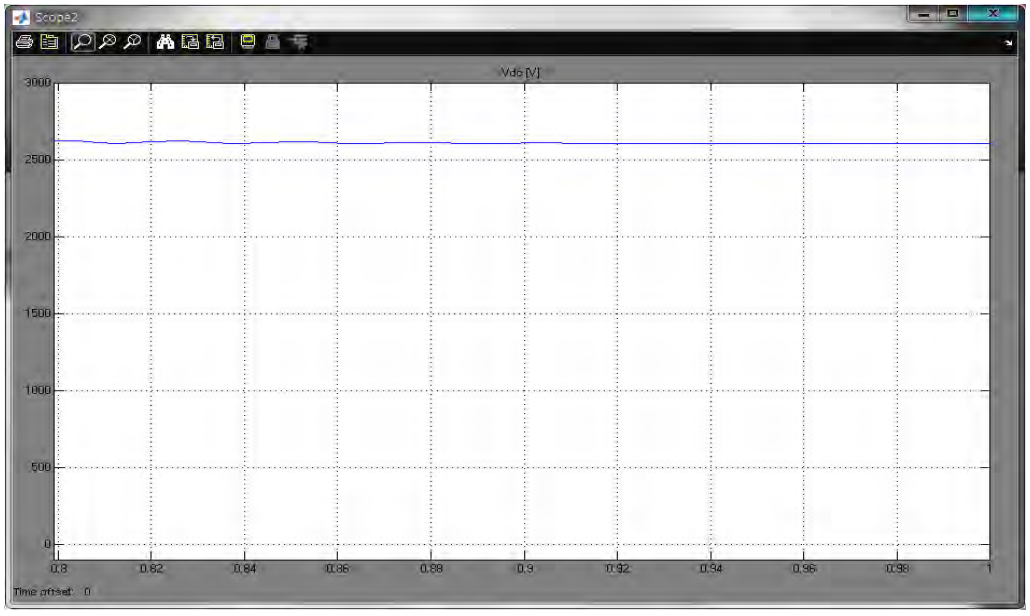


그림 125. DC link 전압 파형(정상상태)

③ 인버터 전류 제어

전류 제어기에서 각각 d,q축 전류지령에 따라 실제 d,q축 전류가 잘 추종되고 있는 형태를 확인할 수 있다.

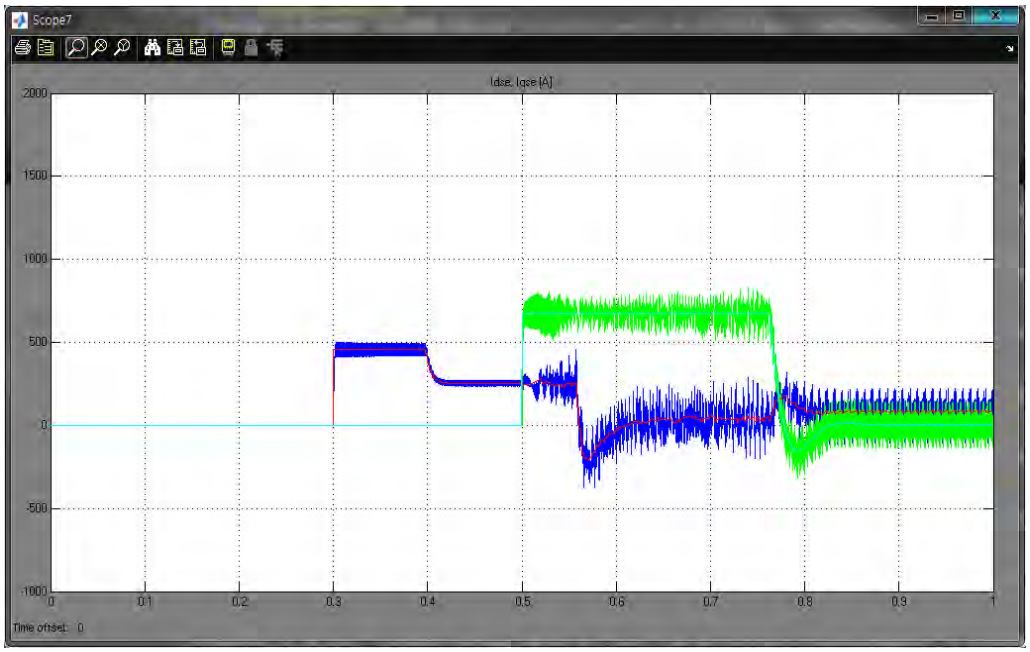


그림 126. d,q축 전류 제어 파형

전류 지령에 따라 유도기의 속도 영역 중, 일정토크영역, 일정출력영역, 특성영역(약계자영역)에 진입하여 구동되고 있는 양상을 확인 할 수 있다.

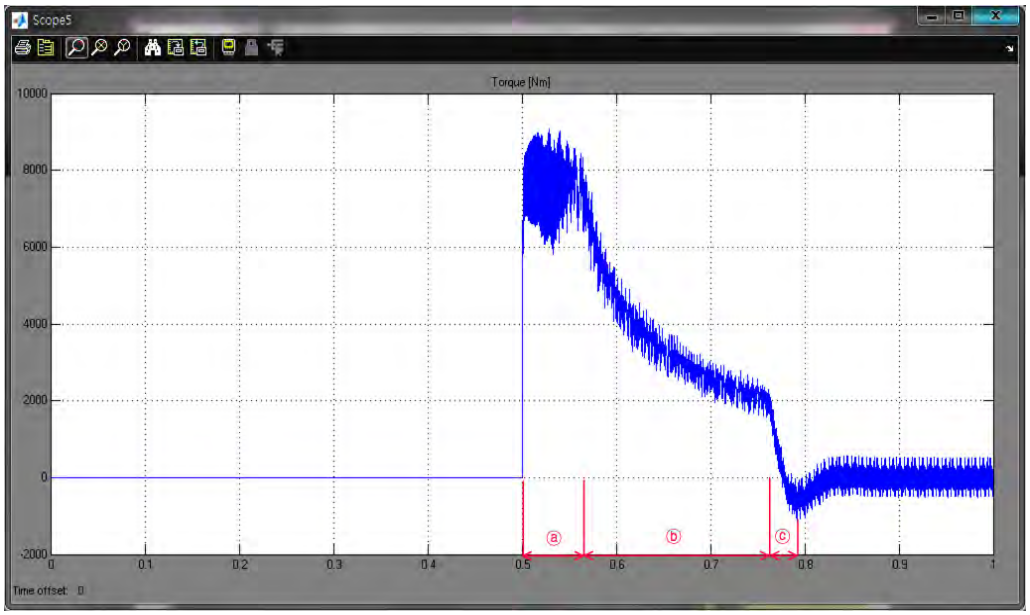


그림 127. 유도전동기의 출력 토크 파형

④ 모터 속도 제어

모터의 속도 지령(3750rpm)을 PI제어기의 응답특성에 따라 추종되고, 속도 응답이 안정화 되는 것을 확인 할 수 있다. 이때의 전기기관차 속도는 150km/h이다. 시뮬레이션 시간의 간소화를 위해, 실제 전동기의 관성 값을 임의의 값으로 줄여서 사용하였다.

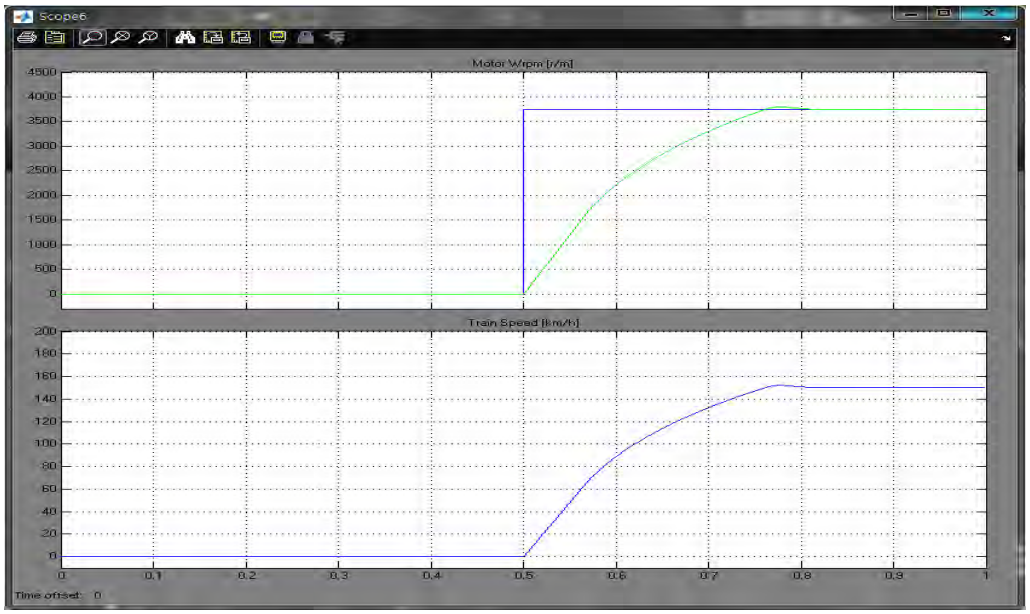


그림 128. 모터 및 전기기관차의 속도 제어 파형

(5) 전력변환장치 및 기타장치 설계

(가) 개요

① 적용범위

국가 R&D 연구수행중인 「 전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발 」 과제 관련하여 8200호대 전기기관차의 전력변환장치에 사용되는 외함 및 기타장치에 대하여 적용한다.

② 관련자료

자료/도면번호	제 목	개정번호	개정일자
ETA00001	주 인버터 외형도		
ETB00026	주 인버터함		
KS R 9156	철도차량용 전자기기의 시험통칙		
KS R 9144	철도차량 부품의 진동 시험방법		
EN 12663	Structural requirements of railway vehicle bodies		

③ 용어의 정리

번 호	장치코드명	명 칭
1	A1, A2	GTO 위상모듈
2	A21, A22	GTO 위상모듈
3	A3, A4, A5	GTO 위상모듈

4	A13, A14, A15	GTO 위상모듈
5	A23, A24, A25	GTO 위상모듈
6	A100	견인제어장치
7	A7.1	능동부
8	A7.2	수동부
9	A72	측정변환기
10	A91, A92	전원장치
11	B1, B3	열동저항
12	C1~C4	커패시터
13	C31~C34	커패시터
14	E11	냉각기
15	Q13	분리기
16	Q1.1, Q2.1	분리기
17	Q8, Q9	분리기
18	K4, K5	보조접촉기
19	K53, K54, K55	보조접촉기
20	K51, K52, K71, K72	보조접촉기
21	K70	보조접촉기
22	R21	저항기 유닛
23	R31	저항기 유닛
24	T5	전압 변성기
25	U1, U2, U4~U9	전류 변성기
26	U31~U33	전압 변성기
27	Z1	필터

(나) 설계내용

① 기존장치 분석

㉮ 차량성능

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

(ㄱ) 차량 성능 검토

• 차량의 기동 견인력 계산식은 다음과 같다.

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

μ : 점착계수, W_m : 동력차 중량 [ton]

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

• 기동 견인력

- 점착계수 : $\mu = 0.371$ 일 때

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

- 중간속도 영역의 역행성능

특성 영역 변곡점에서의 점착계수를 고려한 출력은 다음과 같이 계산한다.

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

• 전기 제동력

- 점착계수 : $\mu = 0.25$ 일 때 전기 제동력은 다음과 같다.

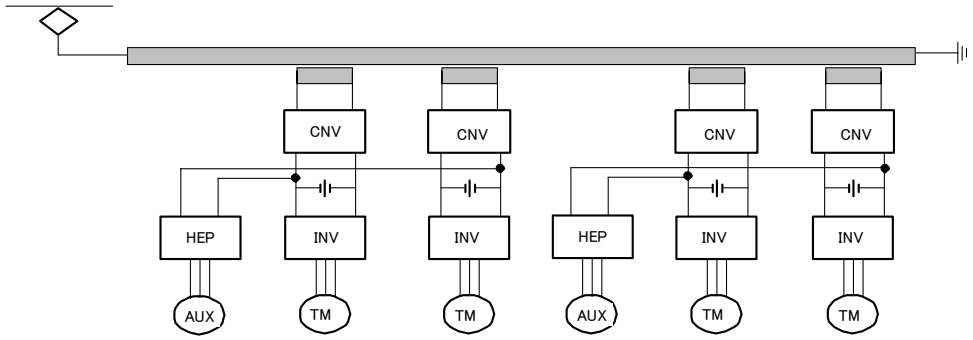
$$TE = 1000 \times 0.25 \times 88 \times \frac{9.81}{1000} = 216\,kN$$

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

(ㄴ) 장치별 용량 계산

• MTr(2nd Winding) - Converter(4P)

추진제어시스템의 Block Diagram은 다음과 같다.



• 주전동기 용량

특성 영역 변곡점을 62.4km/h로 하고, 기어 효율 = 0.975 일 때의 출력은 다음과 같다.

$$P_m = \frac{F \times V}{3.6 \times \eta_G} = \frac{300.1 \times 62.4}{3.6 \times 0.975} = 5{,}335\,kW$$ (모터당 : 1,334[kW])

• VVVF INVERTER 용량

주전동기 효율 및 역률을 고려한 VVVF INVERTER의 용량은 다음과 같다.

- 주전동기 효율 (η_m) = 0.93
- 주전동기 역률 ($P.F_m$) = 0.89

$$P_v = \frac{P_m}{\eta_m \times P.F_m} = \frac{5{,}335}{0.93 \times 0.89} = 6{,}446 \quad [\text{kVA}]$$

• PWM CONVERTER 용량

주전동기 효율 및 VVVF INVERTER의 효율을 고려한 PWM CONVERTER의 용량은 다음과 같다.

- 주전동기 효율 (η_m) = 0.93
- VVVF INVERTER 효율 (η_{vvvf}) = 0.98

$$P_{pwm} = \frac{P_m}{\eta_m \times \eta_{vvvf}} = \frac{5{,}335}{0.93 \times 0.98} = 5{,}854 \quad [\text{kW}]$$

• MAIN TRANSFORMER 용량

PWM CONVERTER 효율 및 MAIN TRANSFORMER의 역률을 고려한 MAIN TRANSFORMER의 용량은 다음과 같다.

- PWM CONVERTER 효율 (η_m) = 0.96

- MAIN TRANSFORMER 역률 ($P.F_M$) = 1

$$P_M = \frac{P_{pwm}}{\eta_{pwm} \times P.F_M} = \frac{5,854}{0.96 \times 1} = 6,098 \quad [\mathrm{kVA}]$$

주변압기의 기본 사양은 아래 그림과 같으며, 2세트의 전력변환장치에 전력을 공급하고 있으며, 주변압기 2차측에는 4권선으로 구성되어 있다. 기존 주변압기는 Siemens사 제작품으로 효율은 0.98, 역률은 1로 하여 시스템 용량을 선정되고 있다.

1차 전류	253A		
1차 전압	25kV		
주 파 수	60Hz		
구분/공칭	전압 (V)	전류 (A)	용량 (kVA)
견인 (LV1.2.3.4)	4×1,231	4×1,243	4×1,530
보조 1 (LVH1)	334	479	160
보조 4 (LVH4)	201	179	36
냉각매체	변압기 오일 (Shell Diala D) ODAF 형식		
총 중량	약 8.3ton±5%		

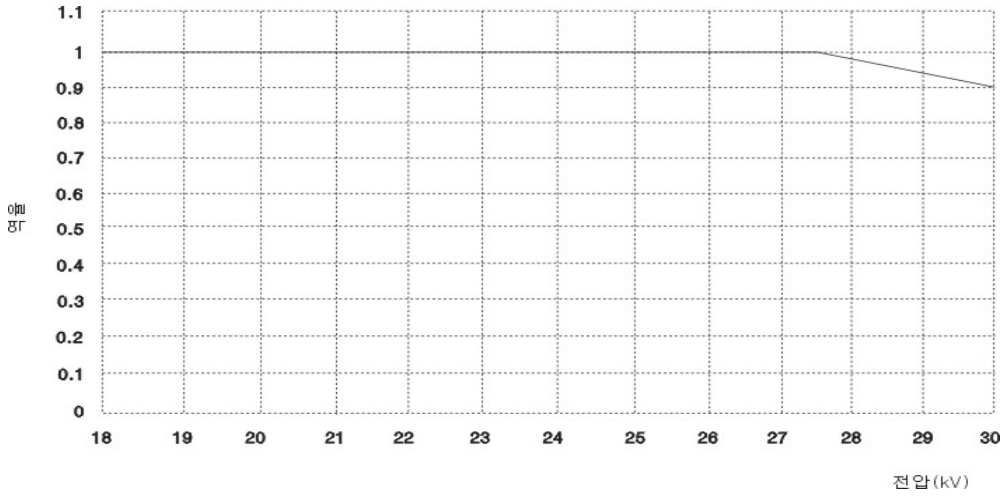
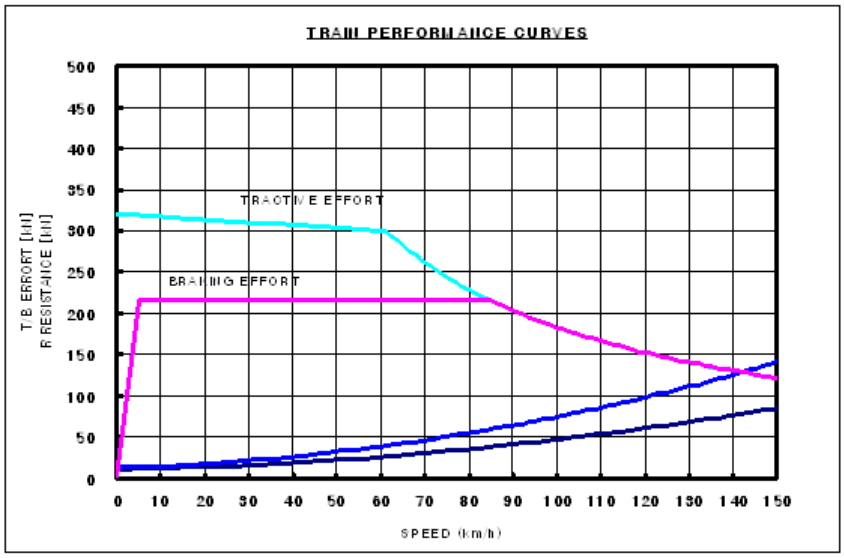
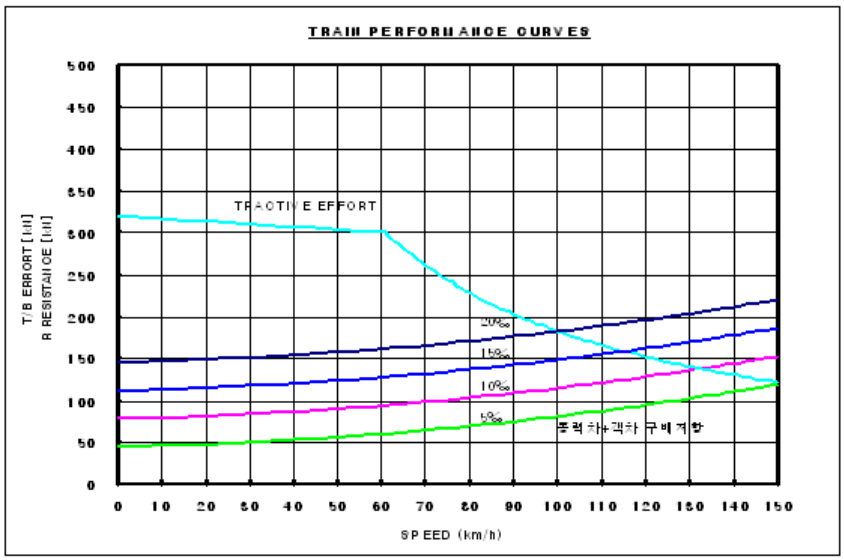
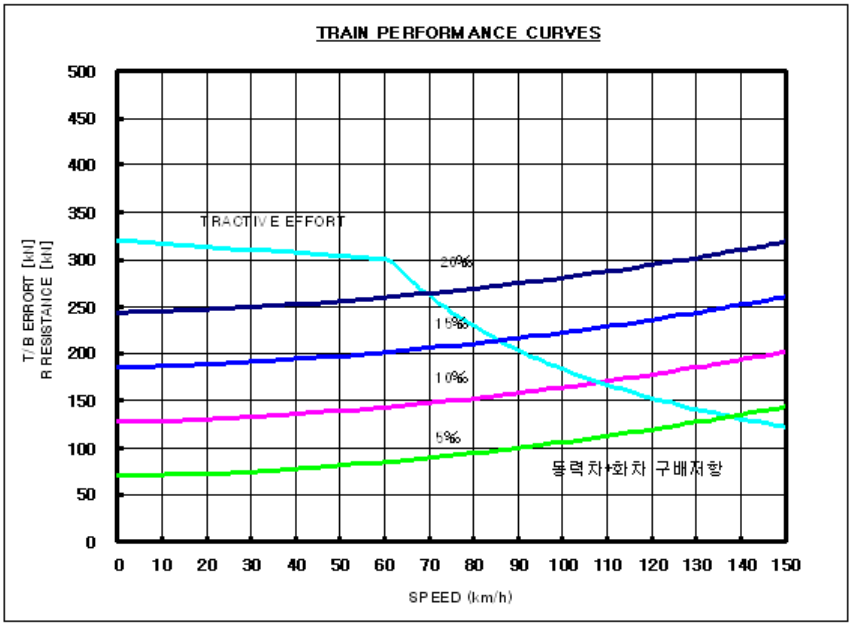


그림 129. 가선전압 - 역율 곡선

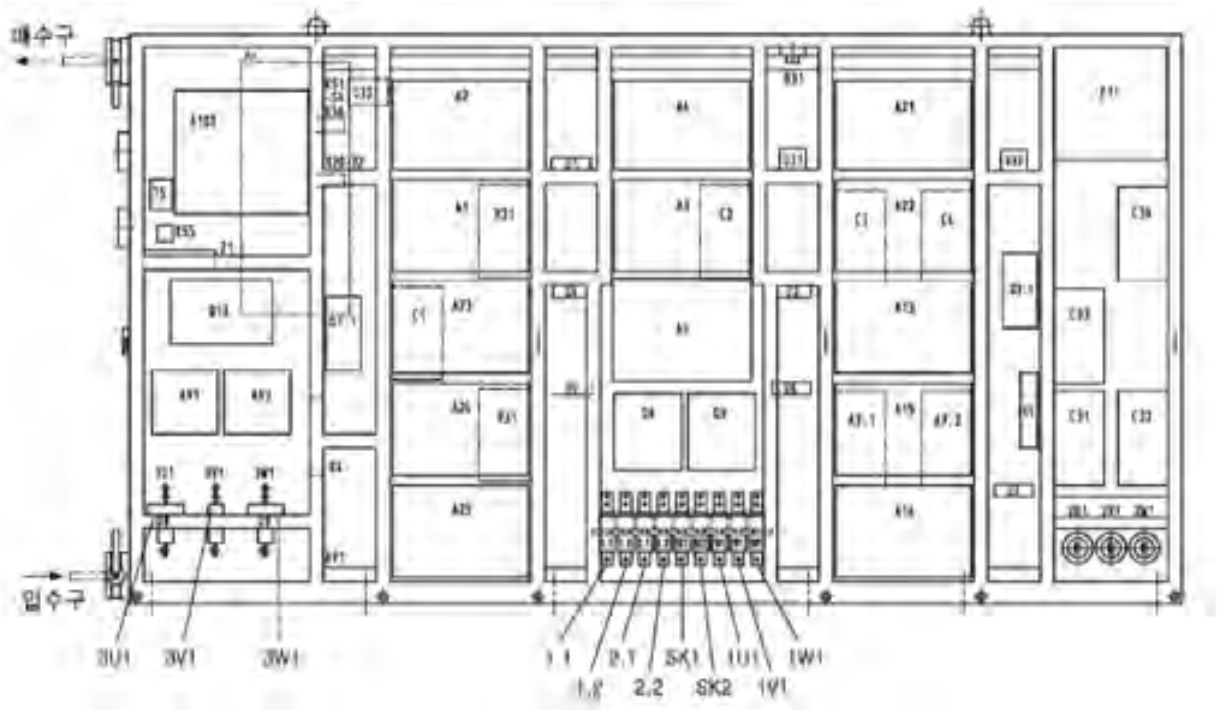
(ㄷ) TRAIN PERFORMANCE CURVE







㉯ 기존장치 구성



㉰ 기존장치 부품명칭

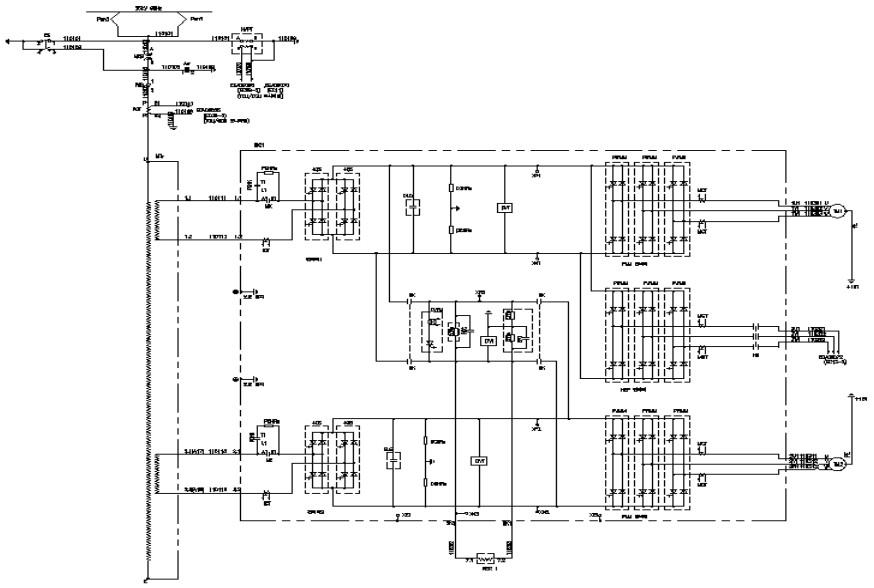
장치코드명	명 칭	기 능
A1, A2	GTO 위상모듈	4QC 1 초퍼
A21, A22	GTO 위상모듈	4QC 2 초퍼
A3, A4, A5	GTO 위상모듈	PWM 인버터
A13, A14, A15	GTO 위상모듈	PWM 인버터
A23, A24, A25	GTO 위상모듈	PWM 인버터
A100	견인제어장치	견인제어
A7.1	능동부	보호모듈
A7.2	수동부	보호모듈
A72	측정변환기	압력센서
A91, A92	전원장치	게이트 유닛 전원공급
B1, B3	열동저항	PT100 온도센서
C1~C4	커패시터	DC 전압 링크 커패시터
C31~C34	커패시터	공진회로 커패시터
E11	냉각기	물-공기 열교환기
Q13	분리기	HEP PWR 출력 차단기
Q1.1, Q2.1	분리기	선로공급 차단기
Q8, Q9	분리기	DC 링크 차단기
K4, K5	보조접촉기	예충전 접촉기
K53, K54, K55	보조접촉기	DC 링크 스위치와 TCU 출력의 제어
K51, K52, K71, K72	보조접촉기	선로와 HEP PWR 차단기의 제어
K70	보조접촉기	

R21	저항기 유닛	연속방전/접지실패 감지
R31	저항기 유닛	예충전 저항기
T5	전압 변성기	선로전압 측정
U1, U2, U4~U9	전류 변성기	입력전류와 모터전류 측정
U31~U33	전압 변성기	DC 링크 전압과 정지실패 전압 측정
Z1	필터	TCU용 외란억제 필터

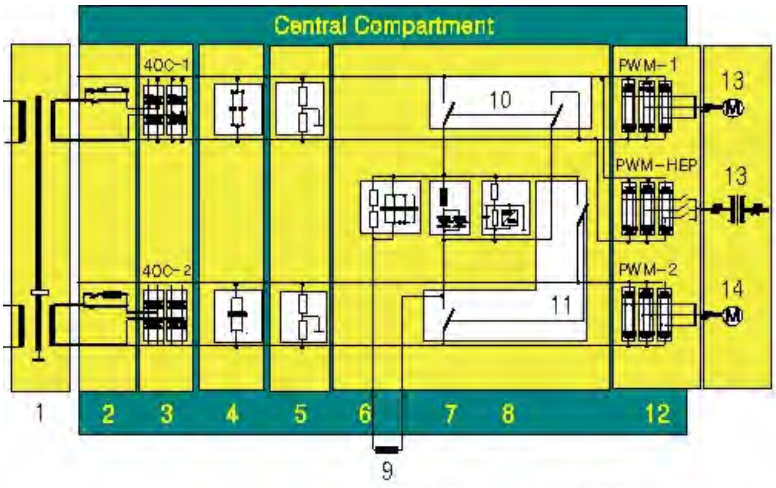
㉮ 기존장치 기본사양

항 목	사 양
공칭 입력전압	2 x 1,230Vac (935V ~ 1,451V), 60Hz
최대 견인시 운전 입력전류	2 x 1,410A 이내
최대 제동시 운전 입력전류	3 x 1,235A 이내
운전시 공칭 출력 전압범위	3상 교류 0V ~ 2,030V
견인/제동시 출력 주파수	0Hz ~ 134Hz
DC 링크 회로 전압	2,400V ~ 2,600V
제어전압	DC 110V (77V ~ 138V)
냉각방식	수냉식
냉각제	물 / 아티프로겐 N
치수	2,050mm x 3,800mm x 1,070mm
중량	3,100kg 이내
TCU	SIBAS® 32 계열의 마이크로프로세서

㉯ 주회로도



• 전기적인 구조



1 주변압기
2 예 충전/변압기 접촉기
3 4상한 쵸퍼
4 DC 링크 캐패시터 배터리
5 영구 방전기
6 공진 캐패시터
7 보호 모듈
8 접지 고장 표시
9 공진 캐패시터 쵸크
10 분리기 Q8
11 분리기 Q9
12 펄스폭 변조 인버터
13 견인전동기
14 HEP 변압기

• 전력변환장치는 외부의 주변압기를 통해 단상 교류전압에 연결되어 있다. 주변압기의 2차측 권선은 회로 분리스위치를 통해 변환기로부터 한 점에서 분리될 수 있다. DC 링크 회로의 전압은 기충전(전원 투입시) 및 두 개의 병렬 연결된 4QS에 의해 공급된다. DC 링크 커패시터, 공진 커패시터, 접지고장 표시 및 보호모듈이 DC 링크 회로에 위치한다. 변환기를 통해 변조된 DC 링크 전압은 가변 3상 주파수 및 진폭 출력전압으로 외부에 연결된 3상전류-비동기 견인 전동기의 전원으로 입력된다.

한 개의 펄스 인버터는 HEP (객차전원) 전원을 목적으로 고정전압 / 고정주파수의 3상 전원에 이용된다.

㉮ 기존장치 사진

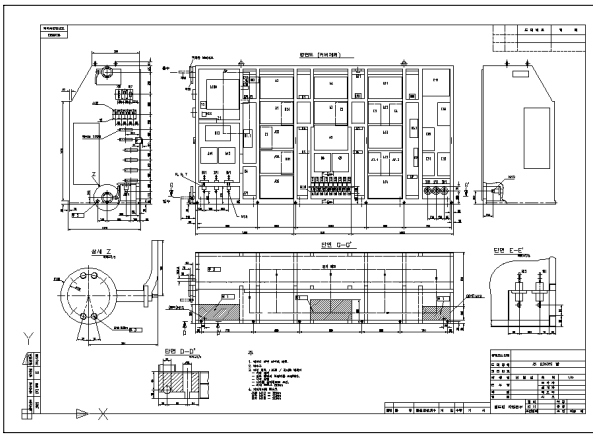


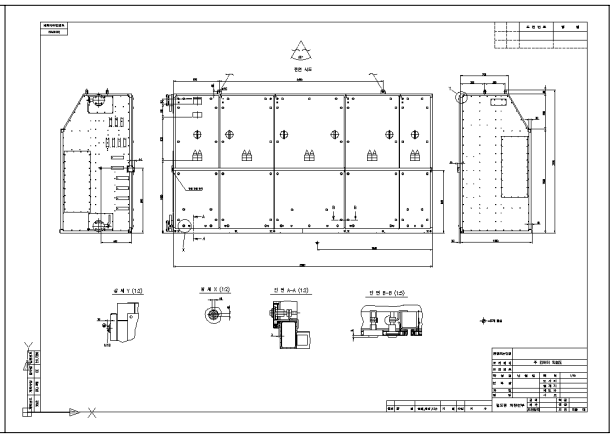




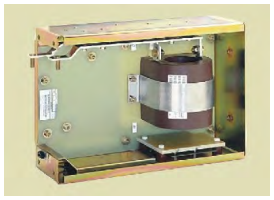


㉯ 관련도면





㉦ 주요 기타장치 설명

No	부품 사진	부품명	기 능
1		보호모듈의 능동부	과전압시 DC링크 커패시터를 방전시키는 역할. 보호유닛는 두개의 병렬연결 사이리스터로 구성 직렬로는 di/dt 제한초크가 있다. 능동부에 포함되어 제어용으로 사용되는 소자는 사이리스터이다. 초크와 다른 소자들은 수동부에 포함
2		보호모듈의 수동부	S보호모듈은 보호모듈의 구조를 DC링크회로를 빨리 방전시키는 역할 전류와 전압이 동작제한을 초과하는 경우에 GTO 위상모듈의 보호를 위해 필요
3		분리기 SPO 3M4 -4K110S4	SPO3M4-4K110S4b 는 전기모터에 의해 운용되는 3극 분리기이다. 110V DC의 제어전원은 이 분리기의 연결기×C1을 통해 전기모터에 연결 모터의 회전방향은 계전기 K1 &K2에 의해 결정
4		분리기 SPO 2M4 -15H110S4 S	분리기 LTHHM 1500는 전기모터로 구동되는 2극 분리기
5		분리기 SPO 1M4 -15H110S4 S	분리기 LTHHM 1500는 전기모터로 구동되는 2극 분리기
6		예충전 접촉기 LTHH00401	전자기적으로 작동되는 단일 폴 접촉기

7		**변압기 TV864**	이 중간 정류기는 선간전압을 측정 실제 선간전압은 입력전압 150V를 갖고, 이 정류기는 5V의 견인제어장치 (TCU) 레벨로 감소시킨다.
8		**방열기**	변환기 내부의 공기를 냉각 이것은 3상 전동기로 동작하는 송풍기와 방열기로 구성
9		**변류기**	LF 2005-S/SP1 변류기는 PWM1 출력전류 및 4QC 입력전류를 측정하기 위해 사용

② 개발장치 설계

㉮ 외함설계(3,800mm × 2,050mm × 1,070mm , 중량 3,100kg 이내)

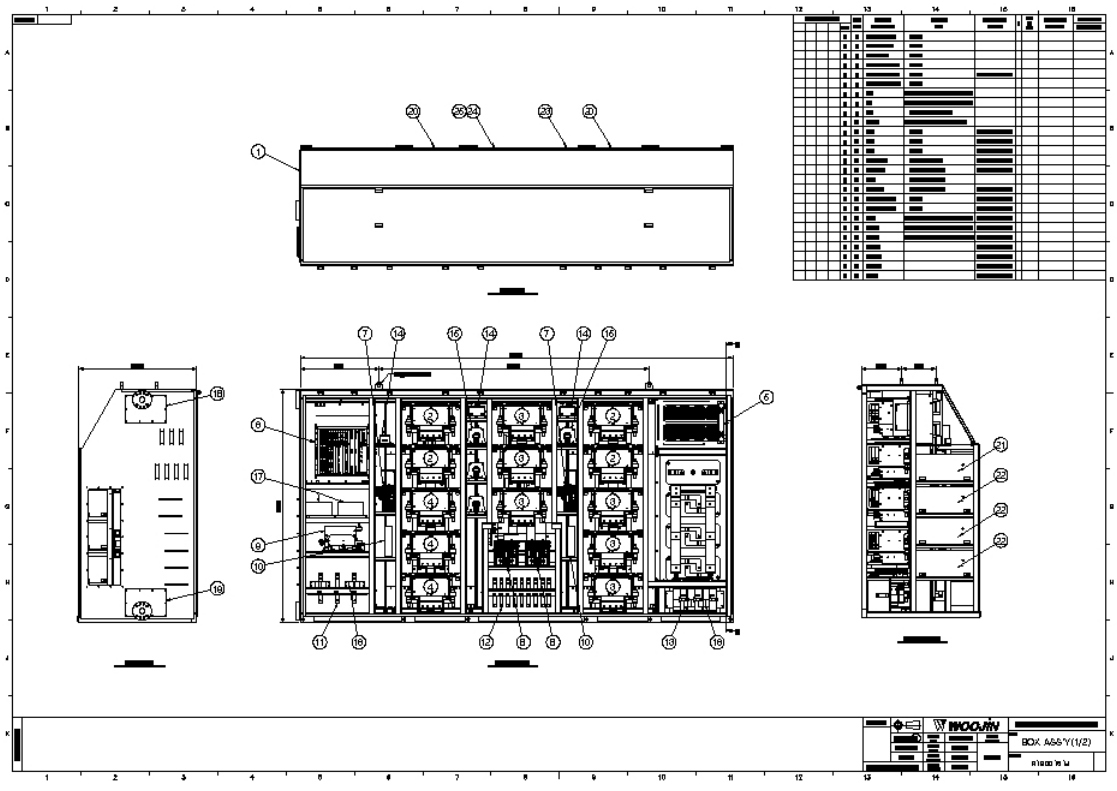


그림 130. AUTOCAD 2D Drawing

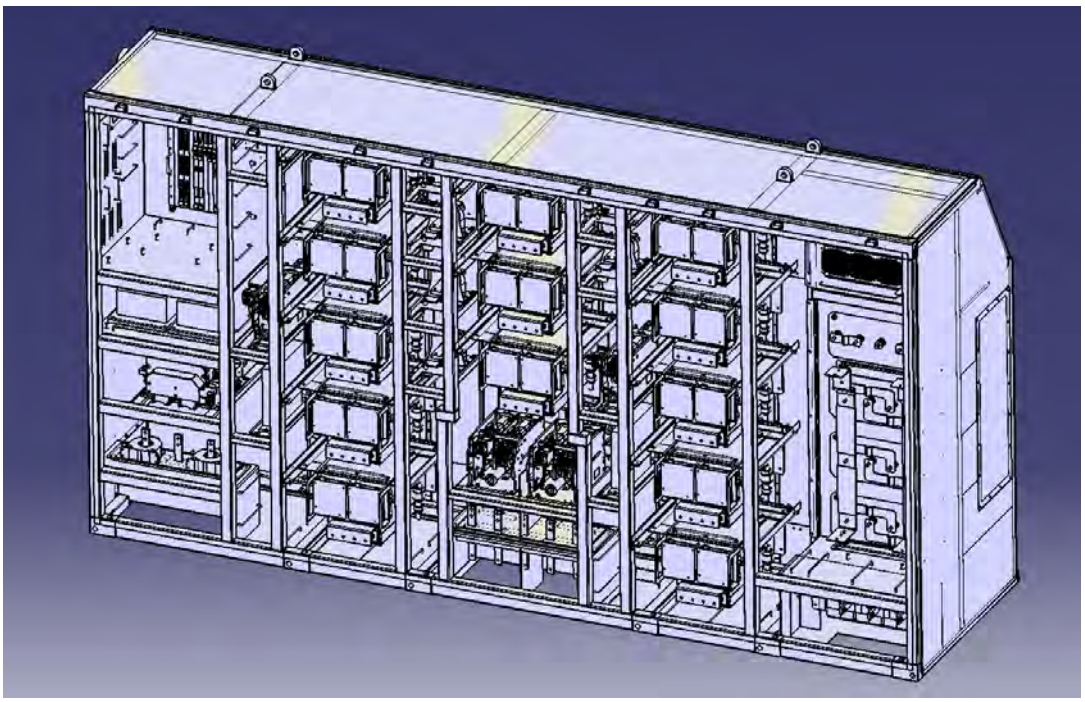


그림 131. CATIA V5 Modeling

• 기본재질은 SS400 이며, 커버는 알루미늄으로 제작하여 경량화 및 유지보수를 고려하였고, 크기는 3,800mm(W) × 1,070mm(D) × 2,050mm(H) 이다.

• 총 중량은 3,100kg 이내이며, 전력변환장치 1, 2의 중량 차이가 발생할 경우 Weight Balance를 설치하여, 차체 무게 중심을 맞출 계획이다.

• 도장은 기존 색상과 동일하게 도색하며, 후면부 과열이 발생되는 부분은 내열성 도료를 도색할 계획이다.

• 기존장치와 동일하게 부품을 배치하여, 유지보수시 불편함이 없도록 구성하였다.

• 기존장치의 HEP 인버터는 정비지침서와는 다르게 전력변환장치의 가운데 위치하지 않고 좌측 하단에 배치되어 있다. 이와 같은 부분은 현재 차량과 동일하게 부품을 배치하여 유지보수시 혼란이 없도록 구성되어 있다.

㉯ 외함의 구조 안전성 평가

(ㄱ) 해석근거

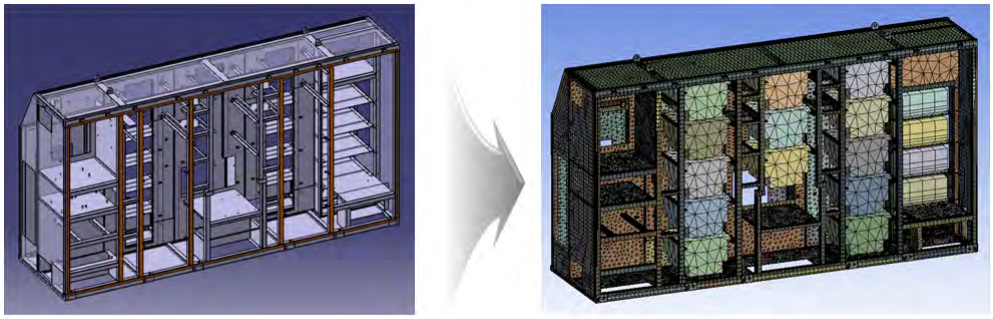
유럽시장 진출과 관련하여 EU(European Union, 유럽연합)와 EFTA(European Free Trade Association, 유럽 자유무역연합)에 속하는 국가에서는 자국에서 운행하는 철도차량의 차체가 EN 12663 규격이 규정하고 있는 차체강도기준을 만족할 것을 요구하고 있다. 이 때문에 철도차량 제작업체는 반드시 EN 12663 규격에 따라 차체를 설계하고 검증해야 한다.

철도차량의 차체설계는 차체가 만족해야 하는 하중조건과 사용재질에 의해 크게 좌우된다. EN 12663 규격은 철도차량 차체가 만족해야 하는 하중조건을 철도차량의 종류에 따라

나누어 정의하고 있다. 하지만 EN 12663 규격에서 규정하고 있는 하중조건들은 한국과 일본의 법령, 규격에서 정의하고 있는 하중조건과는 매우 다르다. 따라서 유럽형 전동차 차체 설계시 고려해야 하는 차체강도기준을 만족시키기 위해 EN 12663 규격에 따라 전동차차체에 대한 구조해석과 하중시험을 수행하였다.

(ㄴ) 해석방법

- 3차원 모델링과 실제 제품의 모델링을 고려한 유한요소 모델링 수행



[3D 모델] [유한요소 모델]

- 해석조건(구속조건 및 무게조건)

구조해석시 EN 12633 규격에 따라 하중조건을 설정하고 하중크기를 계산하였으며, 하중조건 및 하중크기는 아래와 같다.

- ANSYS V13.0을 사용한 유한요소 모델링
- 요소 수 : 438,453개
- 절점 수 : 1,222,012개
- 구조를 고려한 Solid 요소 타입 선정

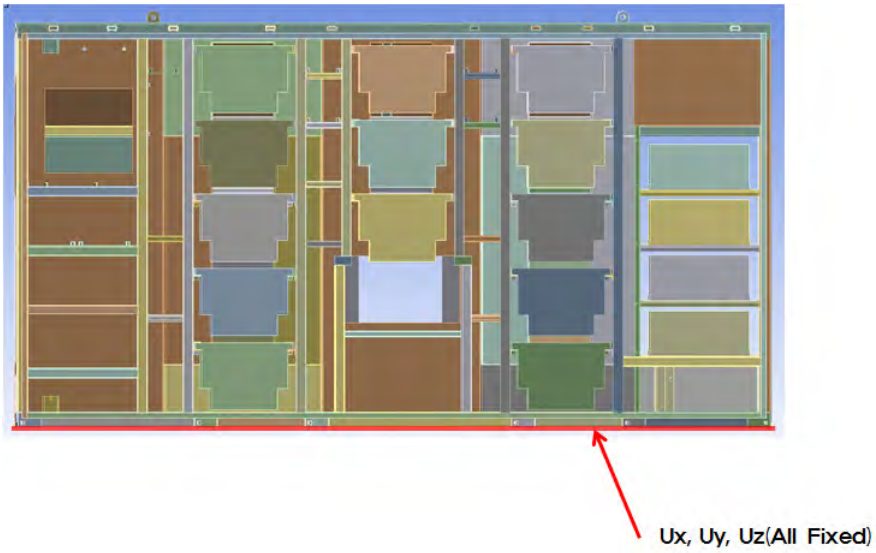


그림 132. 구속조건, 외함 하부 완전 구속상태

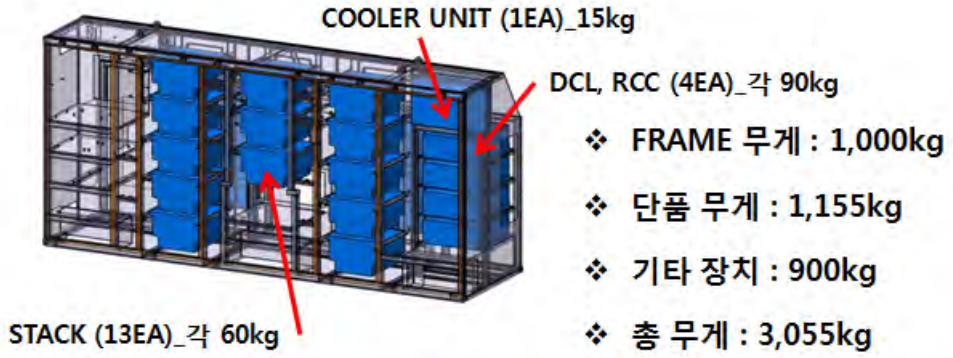


그림 133. 무게 조건

• 적용재료 및 물성

Material	Elastic modulus (GPa)	Poisson's ratio	Density (kg/m^3)	Yield Strength (MPa)
SS400	200	0.3	7,850	250 (t≤16)

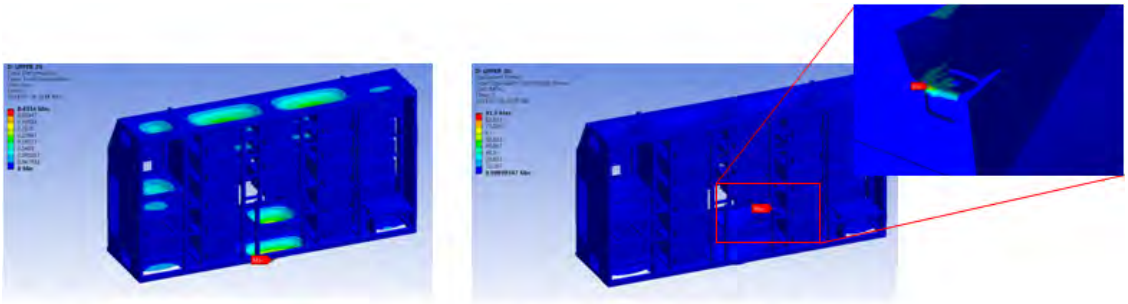
(ㄷ) CASE별 구조안전성 평가 결과

• 해석 CASE별 특성

CASE	하중방향	시험조건
		가속도 온진폭[G]
CASE - 01	상 (Z)	2G
CASE - 02	좌 (Y)	2G
CASE - 03	전 (X)	2G
CASE - 04	상 (Z)	5G

• CASE 1 구조안전성 평가 결과

CASE	하중 방향	시험 조건	해석 결과		
		가속도 온진폭[G]	응력 (MPa)	처짐 (mm)	안전성
CASE-01	상 (Z)	2G	91.5	0.43	*SAFE*

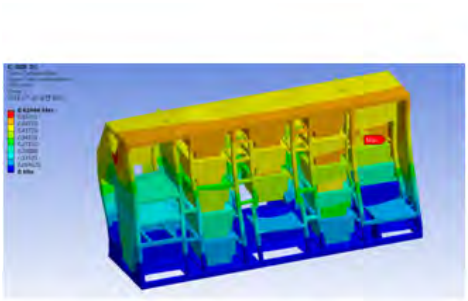


Max Deflection : 0.43 mm

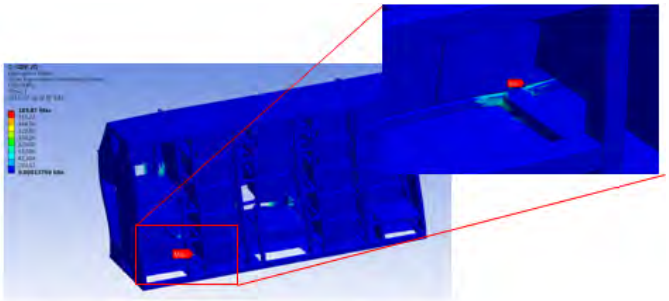
von Mises Stress : 91.5 MPa
※ 재료 항복강도 : 250 MPa

• CASE 2 구조안전성 평가 결과

CASE	하중 방향	시험 조건	해석 결과		
		가속도 온진폭[G]	응력 (MPa)	처짐 (mm)	안전성
CASE-02	좌 (Y)	2G	185.87	0.63	*SAFE*



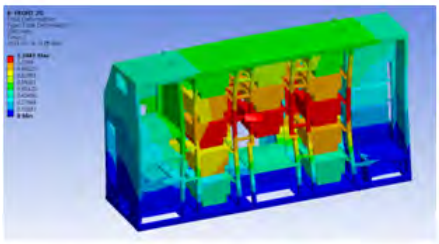
Max Deflection : 0.63 mm



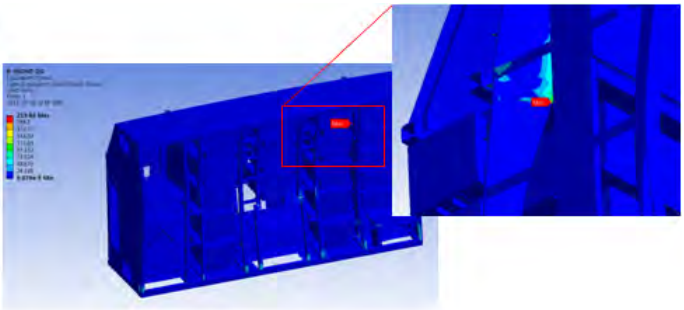
von Mises Stress : 185.87 MPa
※ 재료 항복강도 : 250 MPa

• CASE 3 구조안전성 평가 결과

CASE	하중 방향	시험 조건	해석 결과		
		가속도 온진폭[G]	응력 (MPa)	처짐 (mm)	안전성
CASE-03	전 (X)	2G	219.04	1.24	*SAFE*



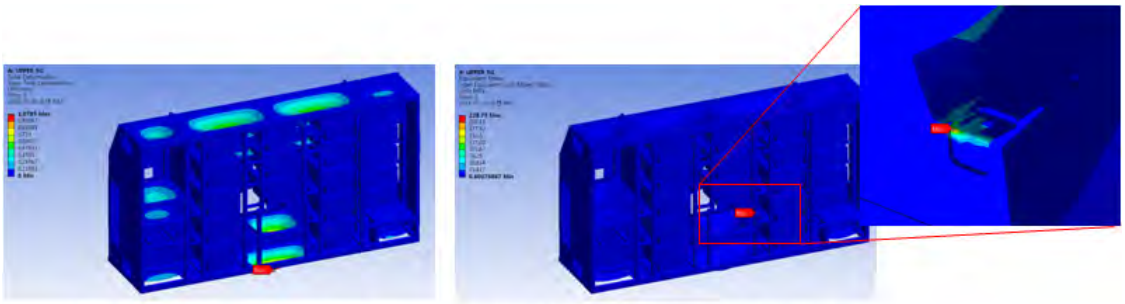
Max Deflection : 1.24 mm



von Mises Stress : 219.04 MPa
※ 재료 항복강도 : 250 MPa

• CASE 4 구조안전성 평가 결과

CASE	하중 방향	시험 조건	해석 결과		
		가속도 온진폭[G]	응력 (MPa)	처짐 (mm)	안전성
CASE-04	상 (Z)	5G	228.75	1.08	*SAFE*



Max Deflection : 1.08 mm

von Mises Stress : 228.75 MPa

※ 재료 항복강도 : 250 MPa

• 구조해석 결과(종합)

CASE	하중 방향	시험 조건	해석 결과		
		가속도 온진폭[G]	응력 (MPa)	처짐 (mm)	안전성
CASE-01	상 (Z)	2G	91.5	0.43	*SAFE*
CASE-02	좌 (Y)	2G	185.87	0.63	*SAFE*
CASE-03	전 (X)	2G	219.04	1.24	*SAFE*
CASE-04	상 (Z)	5G	228.75	1.08	*SAFE*

• 결론

- 전후하중 5g에 대한 해석결과 모델에서의 응력집중 현상이 나타나 항복응력에 근사 값이 나타남. 이에, 해석모델의 수정(실제형상을 고려한 모델링)을 통해 응력집중 현상을 제거(Plate 두께 변경)하였으며, 항복강도 이하로 안전함을 확인함.

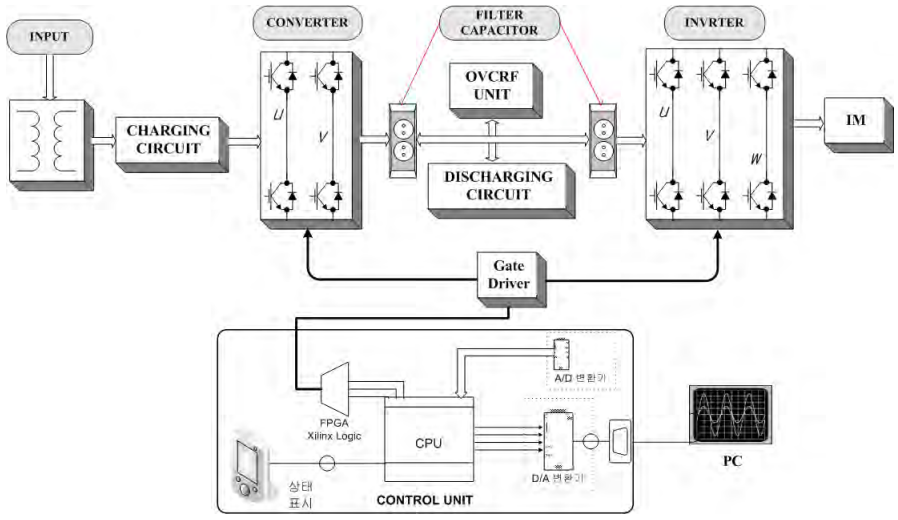
- 전기기관차 전력변환장치의 구조 안전성을 평가하기 위해 전후, 상하, 좌우 방향에 대해 정적하중과 동적계수를 고려한 해석을 수행함.

- 해석결과 정적하중과 동적계수를 고려한 경우 모두 재료의 항복응력(250MPa)을 넘지 않는 값으로 안전함을 확인함.

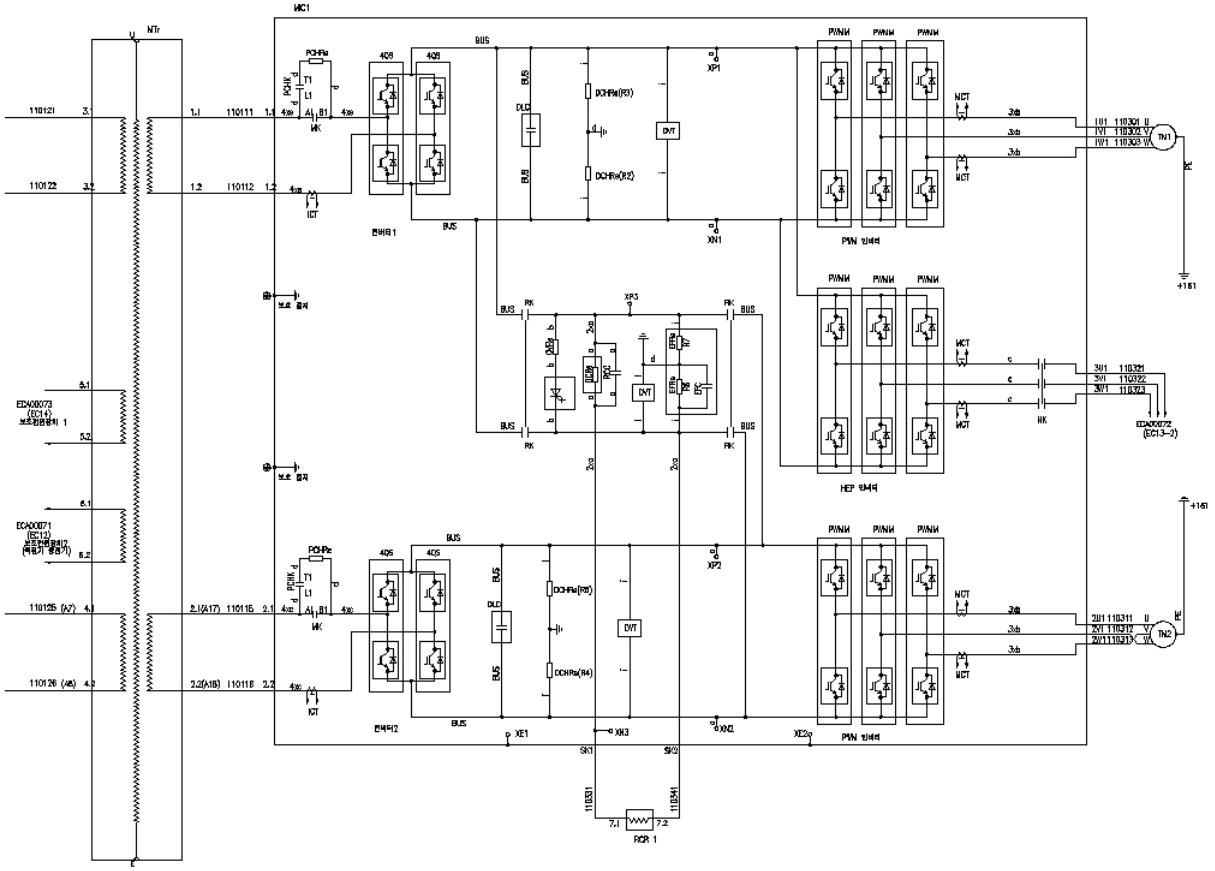
㉰ 주회로도 구성

전기기관차는 2개의 주전력변환장치를 갖고 있으며, 하나의 주전력변환장치는 한 대차의 두 개의 견인전동기를 구동하며, HEP 장치로 전원을 공급한다.

- 주회로도



- 주회로도



㉮ 주요부품 기능

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

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

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

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

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

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

- 교류접촉기 : 변압기로부터 전력변환장치를 분리

- 충전접촉기 : 충전저항과 직렬로 연결하여 기동시 돌입전류를 제한하여 충전을 완만하게 한다.

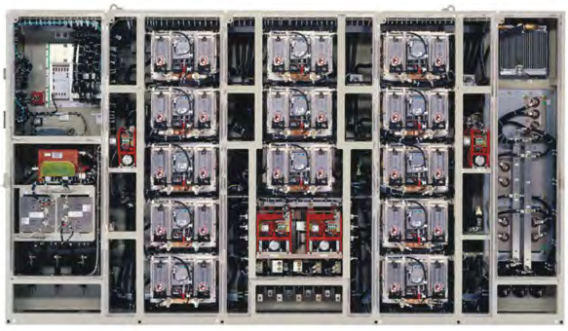
- Filter Capacitor : DC-링크전압을 충전하고 Ripple 성분을 Filtering 하여 DC-링크 전압을 안정화하며, 정지 시에는 방전저항을 통하여 방전한다.

(다) 기존장치 vs 개발장치 특성비교

㉮ 사양비교

항 목		사 양	
		GTO 전력변환장치	IGBT 전력변환장치
제어방식	컨버터	4상한 초퍼 위상 제어	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
	인버터	3상 PWM 인버터 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어 , Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조⇔ 1P MODE
제어전압		DC 110V (77V ~ 138V)	좌 동
컨버터부	입력전압	AC 1,230V × 2회로	좌 동
	출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
	최대출력	1,500 kW 이상	좌 동
	전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A (8EA)	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (8조)
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
	출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)	좌 동
	최대출력	1,600 kVA 이상	좌 동
	주파수	0 ~ 134 Hz	좌 동
	전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A (12EA)	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (12조)
HEP 인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
	출력전압	3AC 970V	좌 동
	출력전류	3AC 310A	좌 동
	전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A (6EA)	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (6조)
냉각방식		수냉식	좌 동
주위온도		-35 ~ +45℃	좌 동
I/F 및 통신		MVB	좌 동
제어장치		32 bit DSP56002	32 bit Microprocessor
기 타		-	기존 호환성 확보

㈏ 외형비교

기존 장치	개발 장치
	

(라) 결론

본 전력변환장치는 2조의 컨버터장치와 2대의 1,350kW 견인전동기(교류전동기)에 전원을 공급하는 2조의 3상 PWM제어 VVVF 전압형 인버터장치 및 1조의 HEP 인버터장치로 구성되어 있으며 기존장치와 호환성을 유지하도록 설계되어 있다. 그리고 주요부품의 경량화 및 사용자 요구조건 분석을 통한 최적화 설계로 유지보수의 편의성을 고려하였다.

또한 시작품 제작 후 추가적으로 한밭대학교를 통하여 구조안전성을 재확인할 것이다. 신뢰성 확보 방안으로 일부 단품에 대하여 제3자(공인검사기관 ROTECO)를 통한 시험을 계획하고 있으며, 시험 내용은 진동시험, 전자파 내성시험, 환경시험 등의 성능시험을 통하여 신뢰성을 확보할 계획이다.

시험항목	형식 시험	전수 시험	비 고
진동시험	◎	-	• KS R 9144 2종 B : 철도차량 부품의 진동 시험 방법
전자파 내성시험	◎	-	• KS C IEC 61000-4-4 : 전기 자기 적합성(EMC) 시험 및 측정기술 (전기적 빠른 과도 현상 내성 시험) • KS C IEC 61000-4-5 : 전기 자기 적합성(EMC) 시험 및 측정기술 (서지 내성 시험) • KS C IEC 61000-4-6 : 전기 자기 적합성(EMC) 시험 및 측정기술 (전자기장 전도 내성 시험)
환경시험	◎	-	• IEC 60068-2-1 : Environmental testing procedure Part2 : Tests, Test A : cold • KS C 0221 : 환경 시험 방법 : 전기 전자 고온(내열성) 시험 방법 • KS C 0225 : 환경 시험 방법 : 전기 전자 온도 변화 시험 방법 • KS C 0227 : 환경 시험 방법 : 전기 전자 온•습도 사이클 (12+12시간 사이클) 시험 방법

(6) Inverter부

① 기존장치 분석

㉮ 기능

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

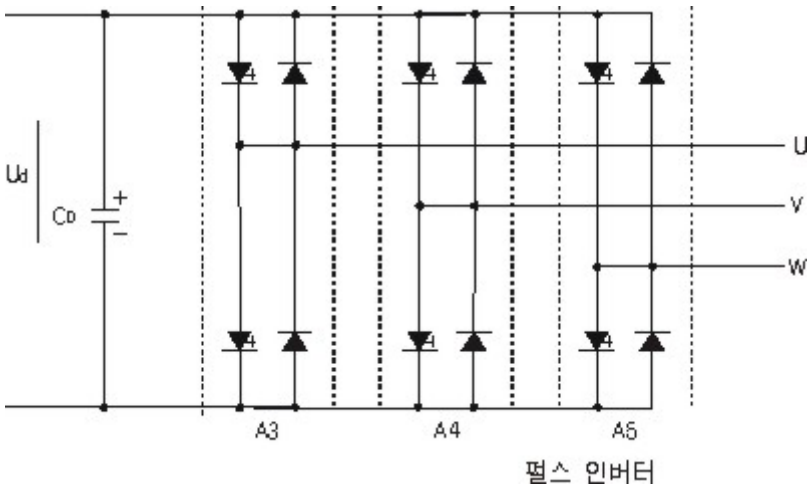


그림 134. 펄스폭 변조 인버터의 회로도

(ㄴ) 원리적으로 GTO 사이리스터는 고속 시간 -펄스 비를 갖는 단순한 스위치처럼 설명될 수 있다. 결과적으로 DC 링크 전압회로 CD의 + 또는 −를 임의적으로 출력에 연결된 3개의 U, V, W에 연결을 가능하게 한다. 그러나 스위치 상태는 정현 형상의 경로로 기기에 입력되도록 선택되어야 한다. 두 개의 출력점에 연결된 점들 사이의 전압을 관찰한다.

(ㄷ) 상호 연결된 출력전압 (Ud)의 가능한 최대 진폭은 DC 링크의 수준에 좌우된다.

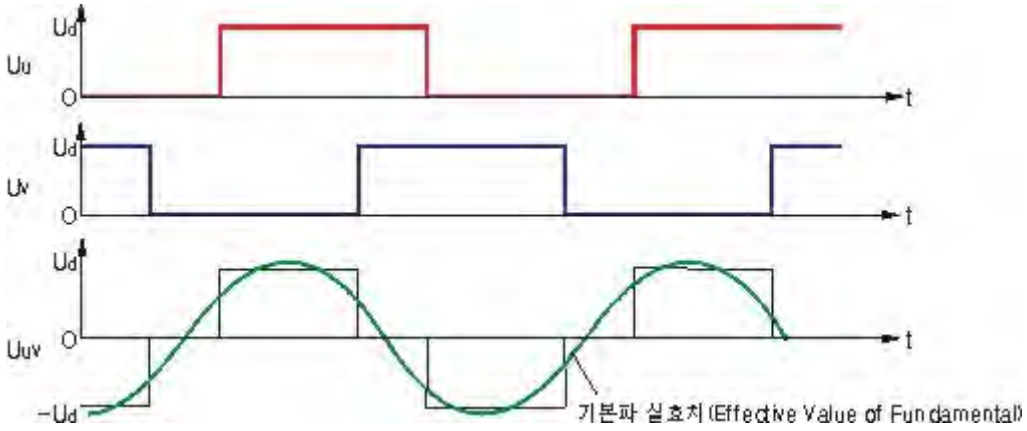


그림 135. 전체 블록 동작에서 펄스폭 변조 인버터

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

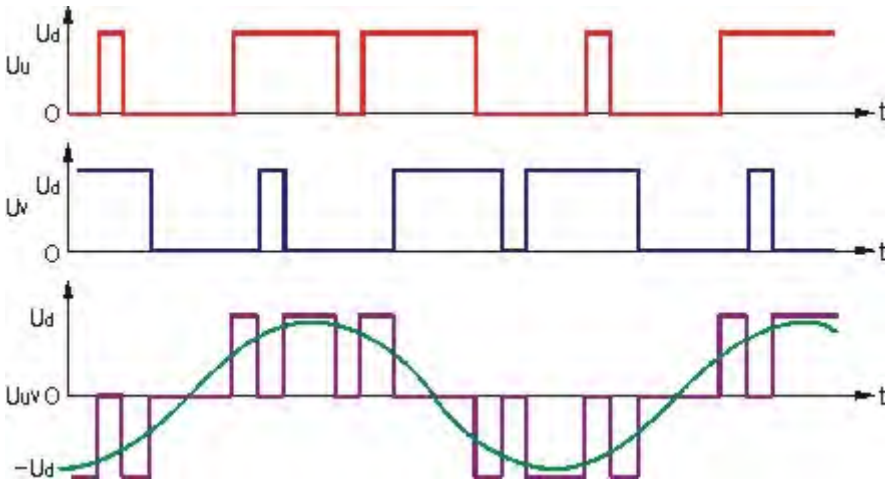


그림 136. 클럭 동작시의 펄스 인버터

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

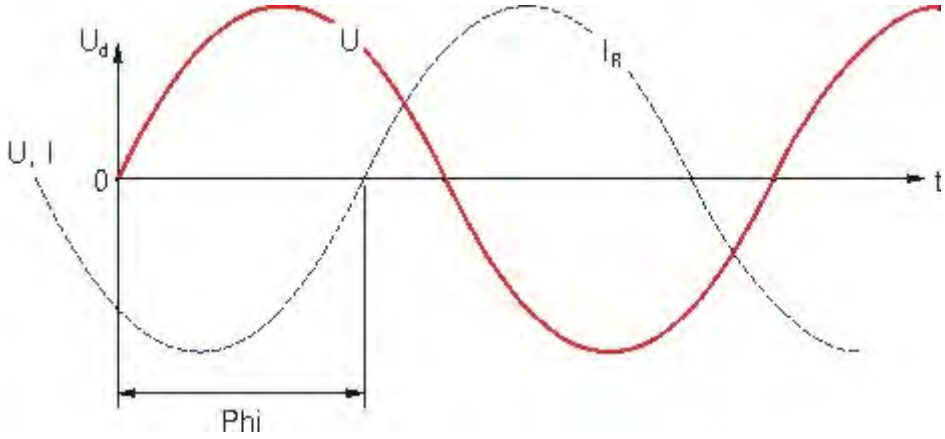


그림 137. 제동 시 전압과 전류의 상 위치

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

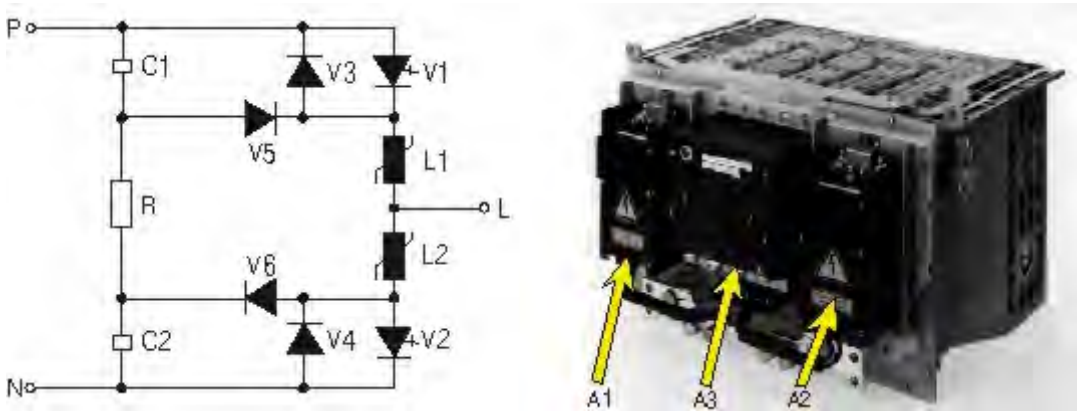


그림 138. GTO 위상 부품

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

㉮ 기본사양

항 목	사 양
제어방식	3상 PWM 인버터 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어
입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)
최대출력	1,600 kVA 이상
주파수	0 ~ 134 Hz
전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A
구 성	GTO (4,500V - 3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)

㉯ GTO 손실분석

(ㄱ) 계산조건

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

(ㄴ) GTO 손실계산

INVERTER 사용되어진 소자는 SG3000GXH27이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V
Vce(sat) = 4.0V (Ic = 320A)
Tr = 7usec (rising time, Ic = 320A)
Tf = 30usec (off time, Ic = 320A)

○ 스위칭 손실(GTO on)

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

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

$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 7 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 970.7\ W$$

○ 도통 손실(GTO)

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

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

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

$$= \frac{320 + 320}{2} \times 4.0 \times 0.7$$

$$= 896\ W$$

○ 스위칭 손실(GTO off)

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

$$= \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f \quad \rightarrow \quad = 0.4 I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 30 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 9{,}984\ W$$

○ GTO의 총손실(Diode 손실제외)

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

$$= 970.7 + 896 + 9984$$

$$= 11850.7\ W$$

(ㄷ) 손실계산 결과

	GTO
	INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W
도통 손실 (W)	896.0 W
합 계 (W)	11850.7 W

㉮ 주회로도

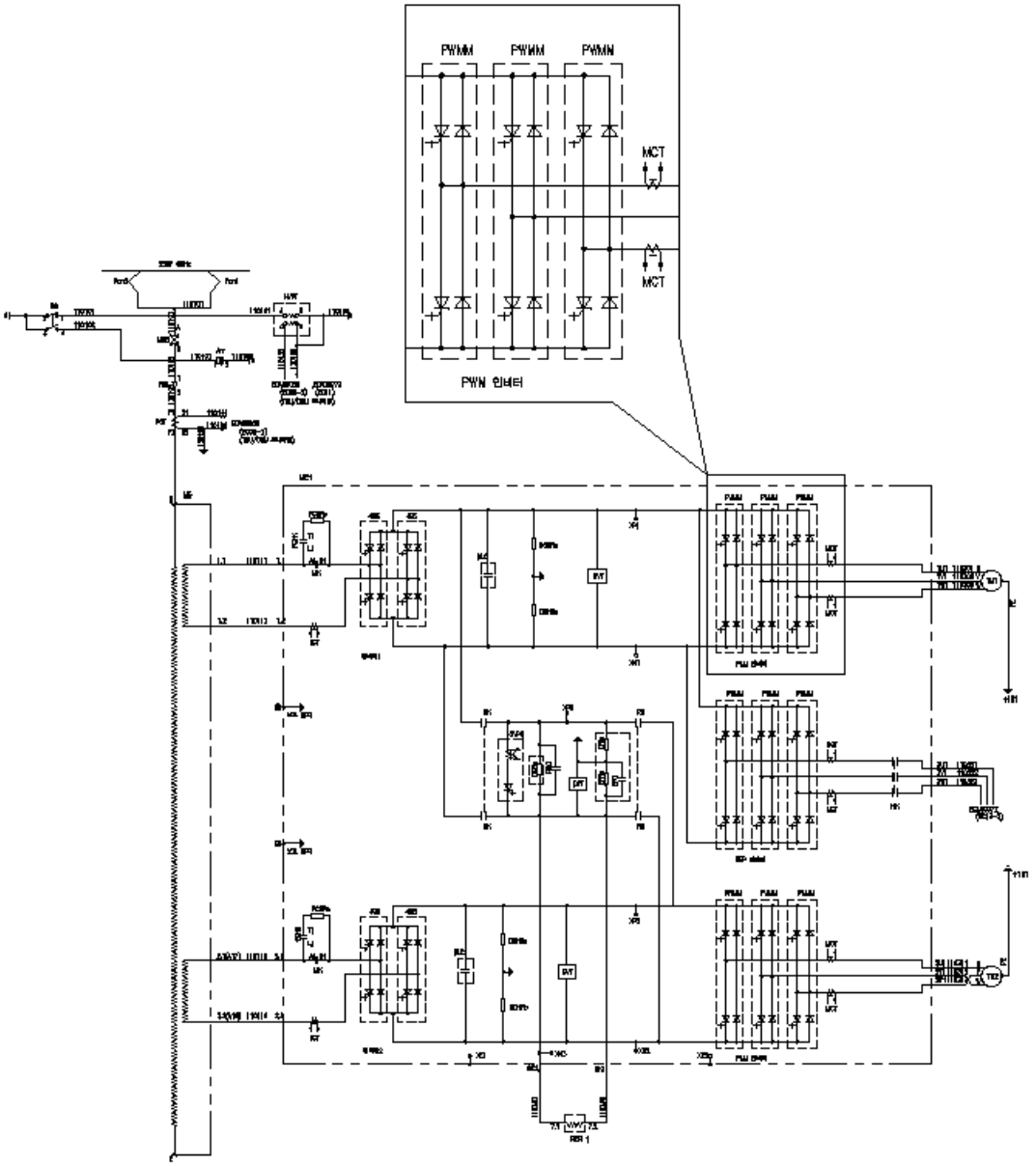


그림 139. 기존장치 주회로도

㉯ 기존품 모듈 분석

(ㄱ) 기존품 구성

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

(ㄴ) 기존품 구조 및 성능

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

여 반도체는 방열판 사이에 두 조임 장치에 취부 되어 있다.

금속 방열판과 전력 반도체 사이는 확실한 전위 분리를 위해 세라믹 절연 디스크가 설치된다.

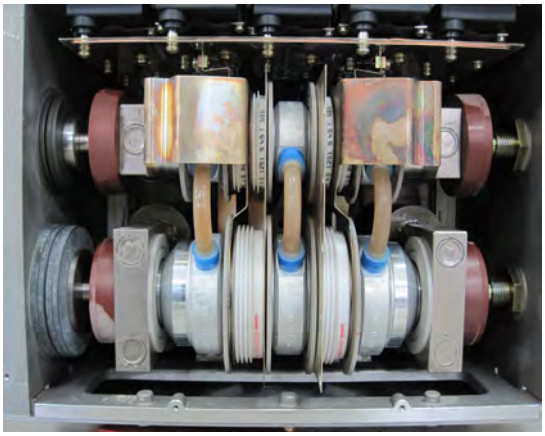
수냉각기로부터 냉각된 냉각수는 먼저 GTO의 방열기를 통과한 다음 다이오드의 방열기를 통과하여, 구불구불한 형태의 모듈 상부를 흐른 뒤, 스너버 저항을 냉각시킨다.

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

표 29. 기존품 성능

공칭 전압	2,800V
최대 전압	3,200V
공칭 전류	1,300A_{eff}
최대 스위칭 전류	2,900A
펄스 주파수	300Hz
치수	500mm × 360mm × 465mm
질량	80kg
보호등급	IP54(내부), IP00(외부)

㉮ 기존품 사진

외형사진	내부사진
	

㉯ 시뮬레이션

○ 부록. 전기기관차 시뮬레이션 분석 참조

② 개발장치 설계

㉮ 기능

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

㈏ 기본사양

항 목		사 양
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 0V ~ 2,030V(rms)
	최대출력	1,600kVA 이상
	주파수	0 ~ 134Hz
	IGBT	4,500V, 1,200A(24EA) [1]
	Gate Driver	2병렬(12EA)

[1] VVVF 인버터

- 주요제원 : IGBT 모듈(4,500V × 1,200A급, 2병렬)
- 제어방식 : 전압형 PWM 제어, VVVF 제어, VECTOR 제어

(ㄱ) 인버터 용량검토

○ 인버터 출력용량(P_I)는 전동기 입력용량을 역률로 나눈 값으로 전동기 입력용량은 전동기의 용량과 전동기의 효율을 고려하여 1,350kW라고 가정하며, 인버터의 효율(0.97) 및 역률(0.82)을 다음과 같은 수치로 놓고 계산하면,

$$P_I = 1{,}350kW / 0.82 = 1{,}650kW$$

○ 인버터 용량, 전동기 전압(2,200V)이 결정되면 인버터 정격 출력전류는,

$$I_M = 1{,}650kW / (\sqrt{3} \times 2{,}200) \fallingdotseq 433A$$

(ㄴ) 인버터 IGBT 용량 계산

INVERTER부에 사용하는 IGBT는 4,500V, 1,200A × 2P를 사용하며 선정이유는 아래와 같다.

○ 전압의 결정법

IGBT 소자로 인가된 전압이 최대로 되는 것은, 가선전압에 의한 보호 시이다.

- 인버터 유닛의 최대전압 : 2,600V
- IGBT는 2,600V 보다 상위의 4,500V급을 선정한다.

○ 정격 전류 결정

IGBT 소자 통전전류 최대치는 120% 과부하시의 PEAK치이다.

- IGBT 통전 전류

· 최대 제동시 운전 입력전류 : 1,235A

· 견인 운전시 공칭 출력전류 : 640A

- IGBT전류 (PEAK전류치)

· $1{,}235A$(정격전류)$\times 1.2$(과부하)$\times \sqrt{2}$ ($PEAK$치)$= 2{,}095[A]$

· 보호동작시의 시간지연을 고려하여 1,200A급 × 2P를 사용한다.

· 따라서 IGBT의 정격은 4,500V, 1,200A × 2P로 된다.

㉰ IGBT 손실계산

INVERTER 사용되어진 소자는 MBN1200H45E2-H이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V

Vce(sat) = 2.6V (Ic = 320A)

Tr = 1.4usec (rising time, Ic = 320A)

Tf = 2.7usec (off time, Ic = 320A)

○ 스위칭 손실(IGBT on)

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

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

$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 1.4 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 194\ W$$

○ 도통 손실(IGBT)

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

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

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

$$= \frac{320 + 320}{2} \times 2.6 \times 0.7$$

$$= 582.4\ W$$

○ 스위칭 손실(IGBT off)

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

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

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 2.7 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 898.6\ W$$

○ 도통 손실(diode)

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

$$= 320 \times 2.2 \times \left(\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi}\right)$$

$$= 35.7\ W$$

○ 스위칭 손실(diode)

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

$$= \frac{1}{\pi} \times 1000 \times 1.2$$

$$= 382\,W$$

○ IGBT의 총손실

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

$$= 194 + 582.4 + 898.6 + 35.7 + 382 = 2{,}093\,W$$

IGBT 2개를 사용하므로 INVERTER UNIT 1 ARM의 손실은

$$= 2{,}093 \times 4 = 8{,}372\,W$$

㉱ 주회로도

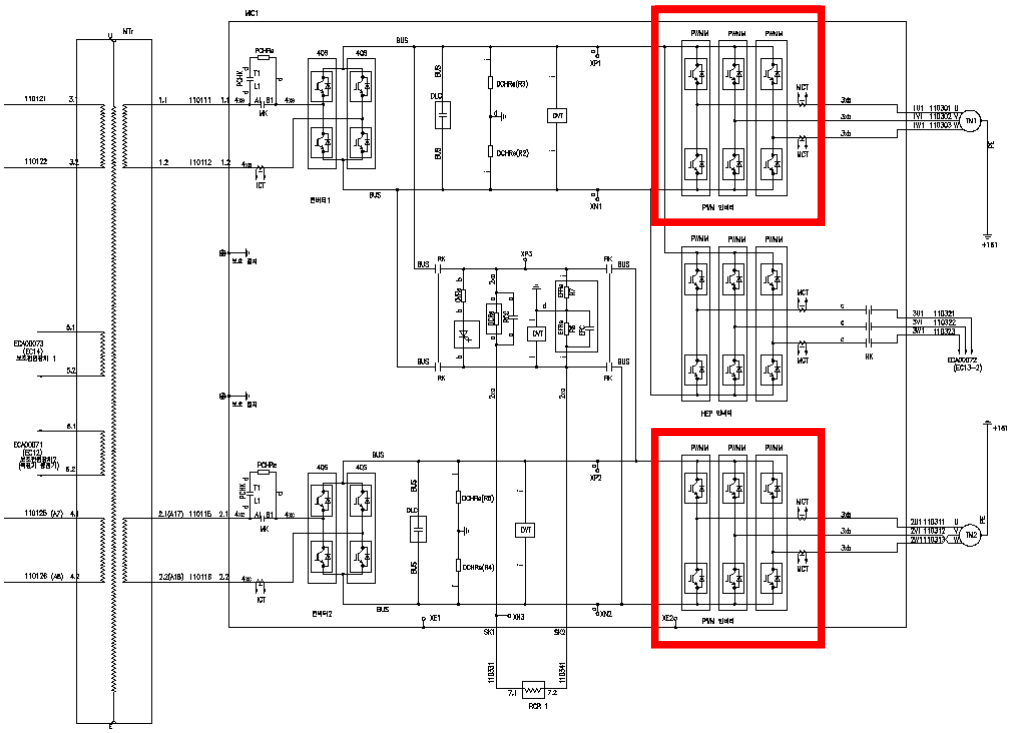
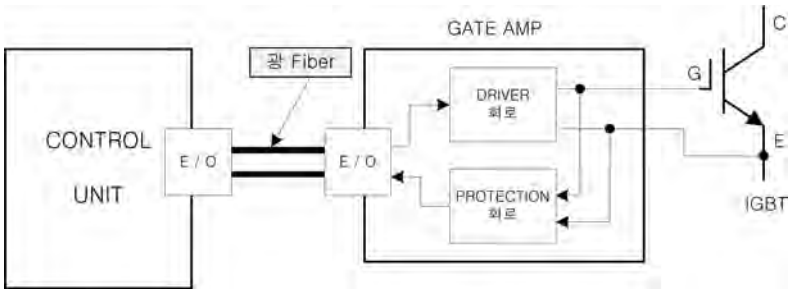


그림 140. 개발장치 주회로도

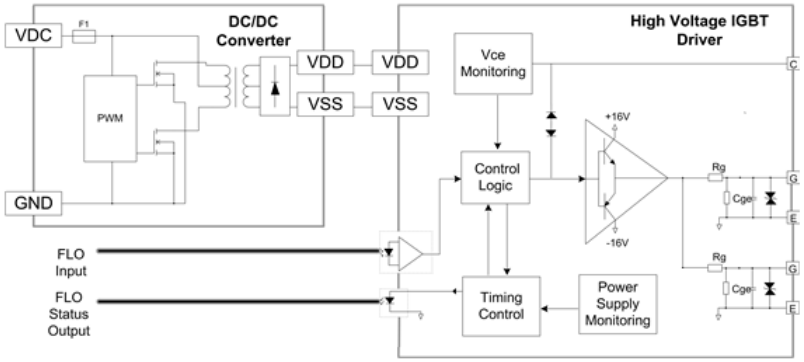
㉲ GATE DRIVER UNIT 설계

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



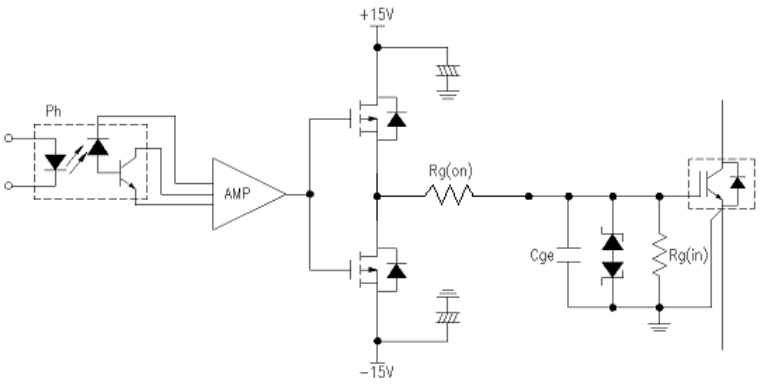
(ㄱ) 주요기능

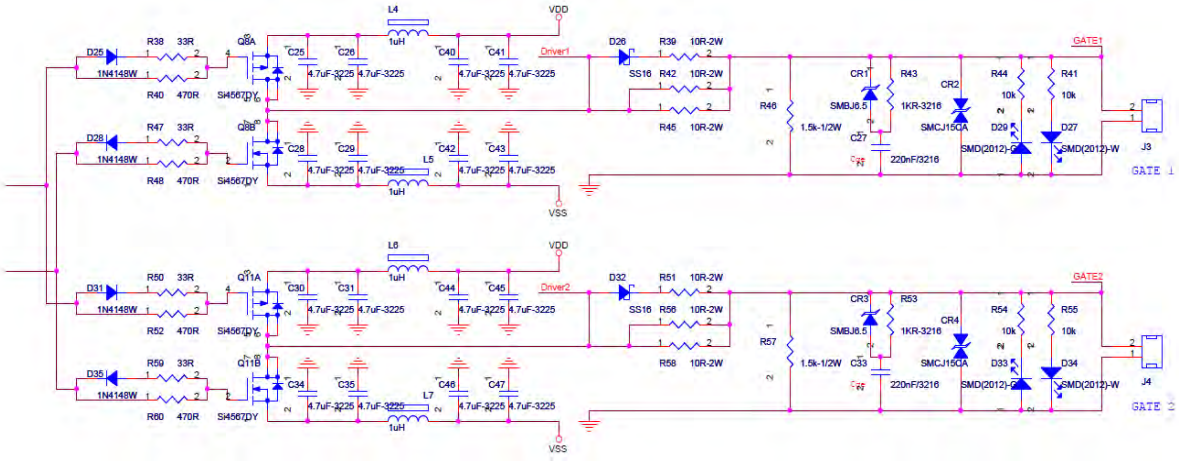
본 GATE DRIVER UNIT는 고압 4,500V급 IGBT 구동을 목적으로 하며, 단락보호, Fault 후의 기동방지, 공급전압 중지 및 상태 Feedback 등을 위해 C-E간의 고압 모니터링 장치를 포함한다. 또한 본 GDU는 IGBT Turn-off 시 높은 Collector 전류 또는 단락 시 보호하는 기능을 포함한다.



(ㄴ) 기본 구동회로 DIAGRAM

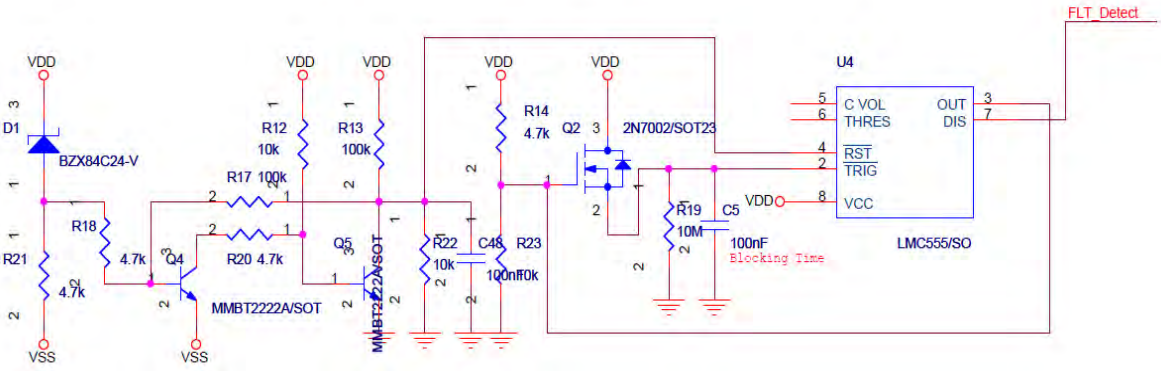
GATE DRIVER UNIT의 기본 구동회로 및 장치의 GATE로 송신하는 DRIVER 구동회로를 나타내며. 본 GDU는 CONTROL UNIT으로부터 ON-OFF 지령을 수신하여, MOSFET를 통해 고속으로 +15V 및 -15V를 GATE로 송신을 하도록 되어있다.





(ㄷ) 저전압 보호회로 DIAGRAM

GDU의 POWER가 부족하게 되면, GDU의 소자들의 전압 및 IGBT의 GATE 공급전압이 저하되어, IGBT의 스위칭이 오동작이 생길 가능성이 있다. 따라서 본 GDU는 POWER SUPPLY가 기준치 이하의 저전압을 GDU에 공급할 때, GDU는 IGBT의 G-E간 Low IMPEDANCE를 공급하여 IGBT의 C-E간 도통을 차단하는 보호동작을 한다. 하기 그림에 본 GDU의 POWER의 저전압 보호회로를 나타낸다. 하기 회로와 같이, GDU에 정격이하의 저전압이 인가하게 되면, U4 IC에 RST(RESET) 신호가 입력되어 스위칭동작을 차단하게 된다.

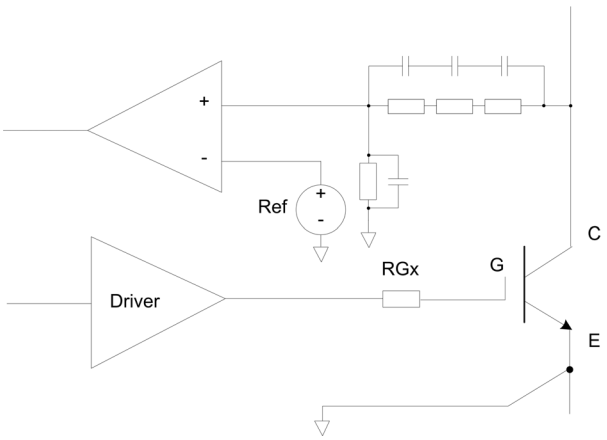


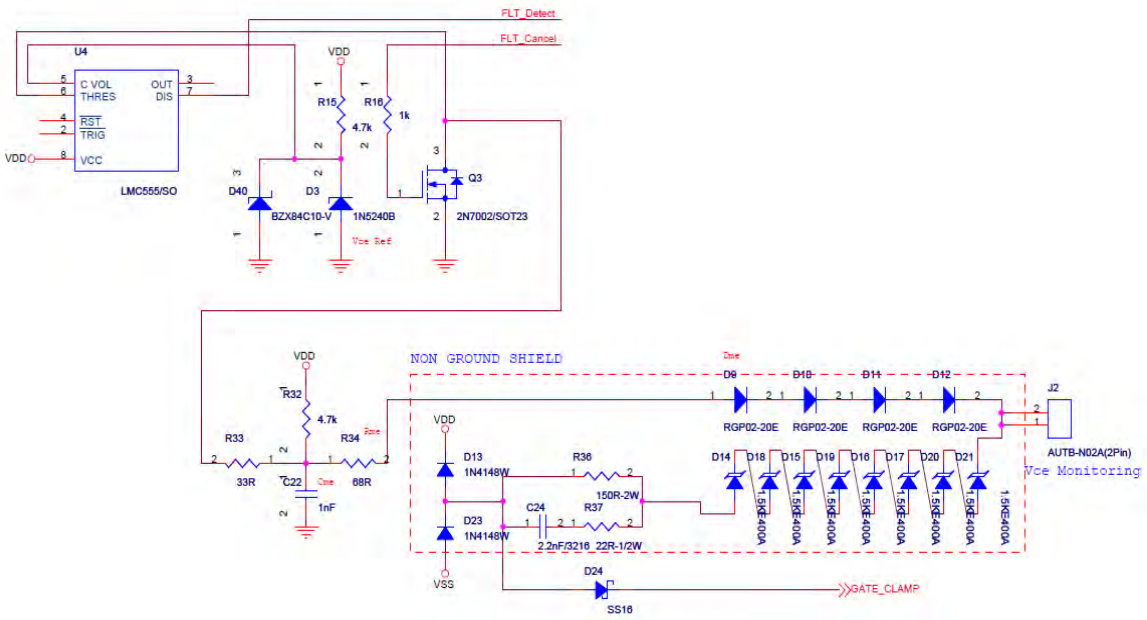
(ㄹ) 고전압 모니터링 회로 DIAGRAM

IGBT의 C-E간 전압(Vce)을 Voltage 분배를 이용, 하기 그림과 같이 OP-AMP 비교기를 통해 모니터링한다.

이 모니터링 전압이 일정 LEVEL 이상이 되었을 경우, DRIVER는 단락회로라고 인식한다. 단락회로라고 인식이 되면, DRIVER에서 즉시 Turn-off하고, 고장상태를 메인 CONTROL UNIT에 전송하여 IGBT를 Turn-off 시킨다.

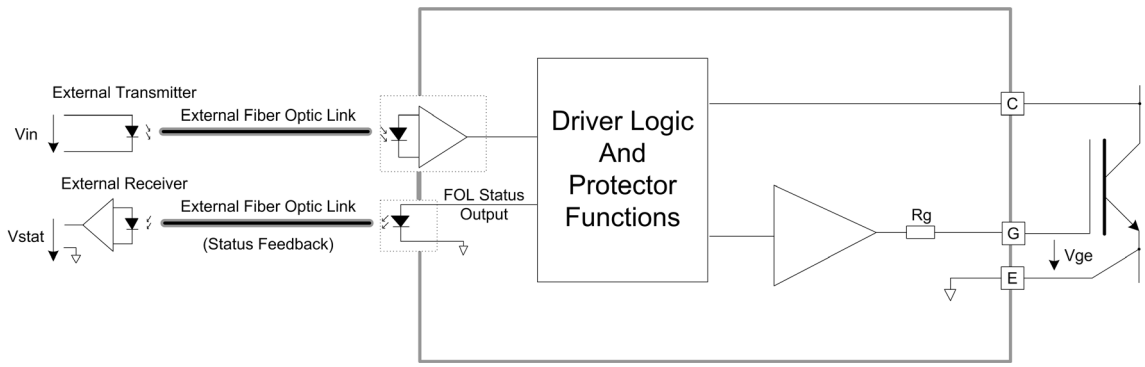
이 고장상태는 1초의 주기동안 LOCK되고, 광케이블을 통하여 Feedback 되어 진다.





(ㅁ) INTERFACE DIAGRAM

CONTROL UNIT와의 지령의 전기적인 절연과 상태 Feedback SIGNAL을 위하여, 광 Fiber가 사용되어 진다. 또한 GATE SIGNAL을 광케이블을 이용한 PHOTO COUPLER의 사용 및 DIODE와의 조합을 통하여 약 6,000V의 입출력 전압에 대한 전기적인 절연을 실현한다. 그 기본 구조는 하기 그림과 같다.



(ㅂ) 요약

상기 설명과 같이, 본 8200대 전기기관차 추진제어용 전력변환장치에 구성되는 GATE DRIVER UNIT는 4,500V급 IGBT를 구동하기 위하여 설계되었으며, 광 Fiber를 이용한 인터페이스, Vce 모니터링 기능, GATE POWER 저전압 보호기능을 통하여, 절연성 향상 및 전력 소자의 스위칭 동작에 대한 안정성을 확보하였다.

㉥ 개발품 STACK 설계

(ㄱ) 개발품 구성

- IGBT
- HEAT BLOCK
- 게이트 드라이버(GATE DRIVER)
- 파워(POWER BOARD)
- 스누버 커패시터

(ㄴ) 개발품 구조

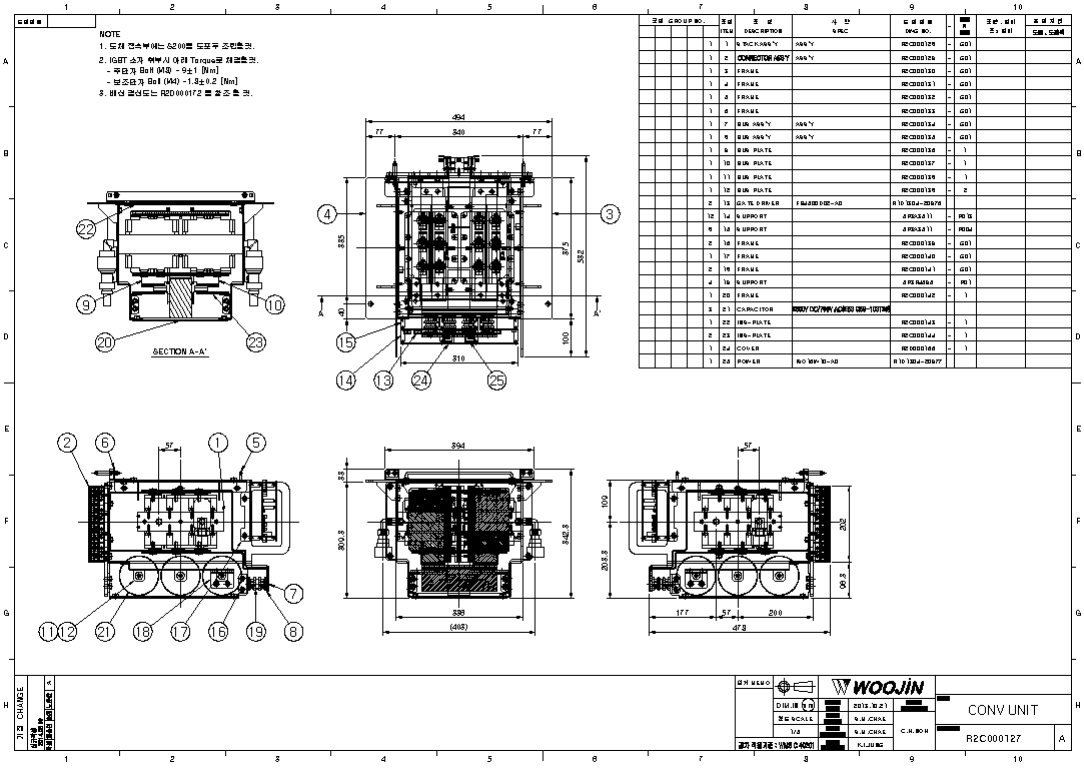


그림 141. AUTOCAD 2D Drawing

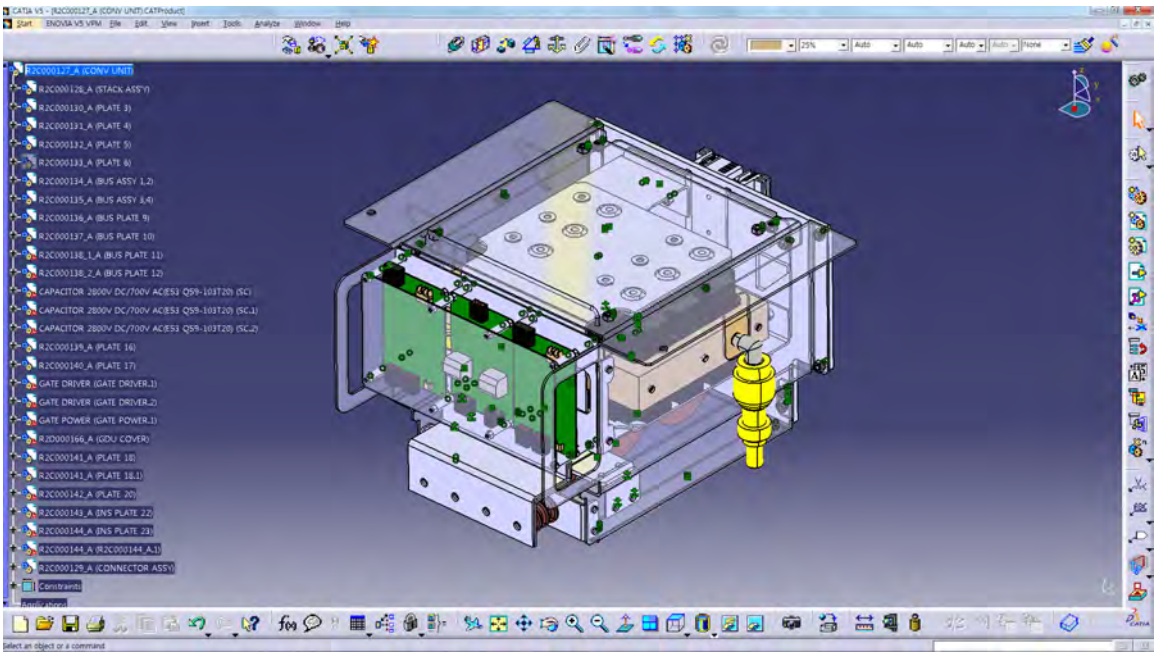
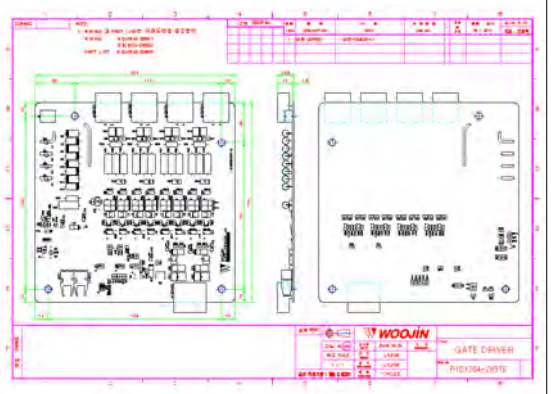
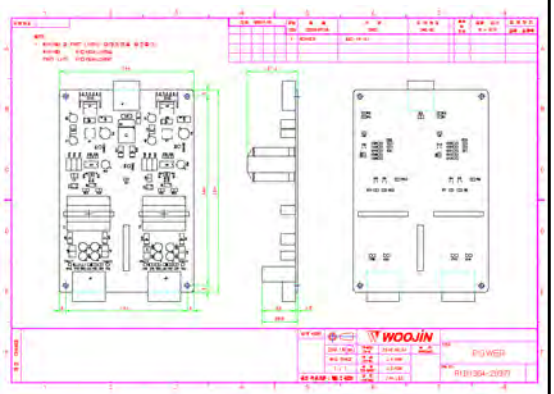
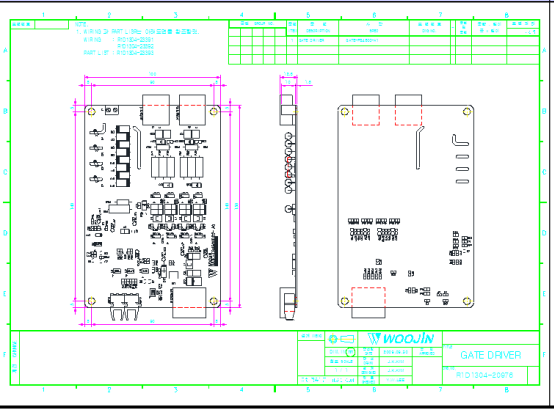
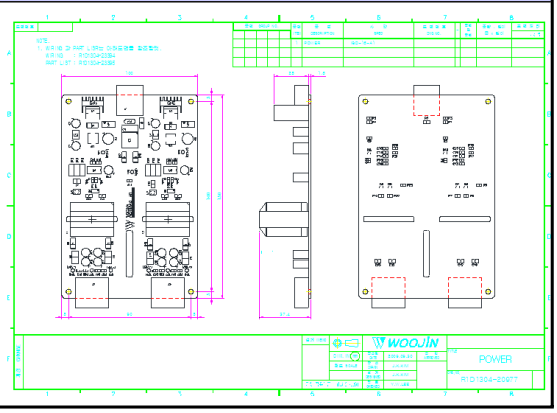


그림 142. CATIA V5 3D Modeling

㉮ 관련도면

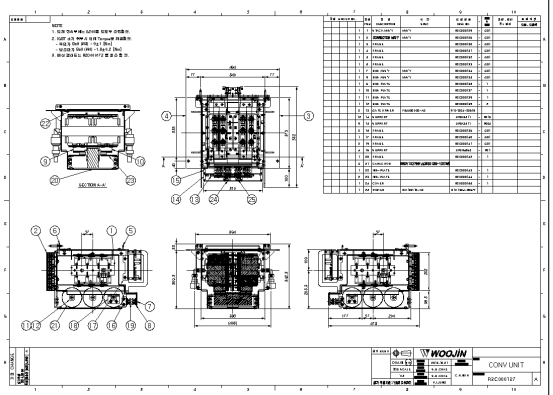
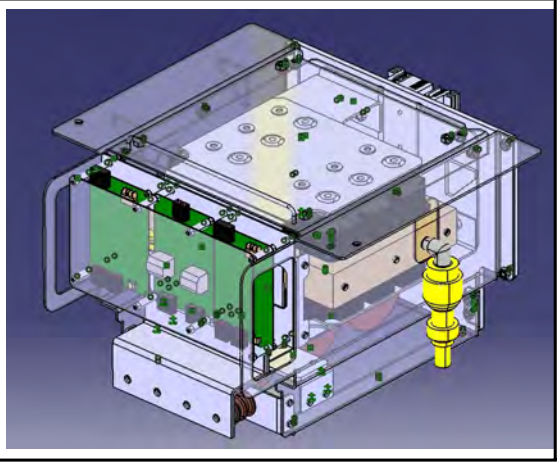
(ㄱ) GATE DRIVER UNIT 및 POWER

Gate Driver Unit	Power
	
Gate Driver Unit rev1	Power rev1
	

(ㄴ) GATE DRIVER UNIT rev1 및 POWER rev1 변경사유

게이트 ON/OFF 저항 값을 상승시켜 GATE PEAK 전류 및 EMI를 감소시킴으로써 과전압에 의한 IGBT의 소손 위험성을 감소시켰다. 기존 OIP 타입을 SMD 타입으로 교체하므로, 회로결선 단축 및 불필요한 인덕턴스, 부유 커패시터가 감소하여 고주파 특성이 향상된다. 기존 소자 보다 효율성이 높은 소자를 선정했다.

(ㄷ) STACK

2D Drawing	3D Modeling
	

③ 기존장치 vs 개발장치 특성비교

㉮ 주요 특성비교

항목	사양	
	기존장치	개발장치
제어 방식	3상 PWM 인버터 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어 , Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조⇔ 1P MODE
입력 전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
출력 전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)	좌 동
최대 출력	1,600 kVA 이상	좌 동
주파수	0 ~ 134 Hz	좌 동
전력용 반도체 소자	GTO : 4,500V - 3,000A	IGBT : 4,500V - 1,200A x 2병렬
구 성	GTO (4,500V-3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor	IGBT (4,500V-1,200A) x 4 Gate Drive 2EA Power Board 1EA Snubber Capacitor

냉각 방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)	좌 동
중 량	80 kg	60 kg
사 진		

㈏ GTO와 IGBT 소자 손실비교

○ 기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발 장치 IGBT소자는 MBN1200H45E2-H이고 비교분석을 위한 조건은 다음과 같다.

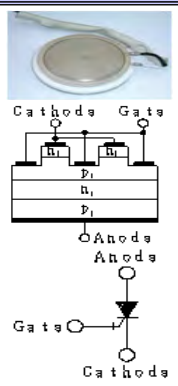
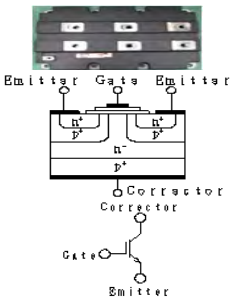
- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- GTO인 경우 Datasheet 상의 Turn-on Time, Turn-off Time 적용
- DIODE의 손실을 제외한, 스위칭 소자만의 손실을 계산

표 30. 손실계산 결과

	GTO INVERTER	IGBT INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W	194.0 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W	898.6 W
도통 손실 (W)	896.0 W	582.4 W
합 계 (W)	11850.7 W	1675.0 W

㉰ GTO와 IGBT 소자 비교를 통한 적용 타당성

표 31. 소자별 비교

항 목	GTO	IGBT	IGCT
외형 및 구조			
소자이름	Gate Turn Off Thyristor	Insulated Gate Bipolar Transistor	Integrated Gate Commutated Thyristor
소자구성	자기소호형 Thyristor	FET + Transistor	GTO + IGBT
스위칭 주파수	500 Hz	2 KHz	40 KHz
소자구동방식	전류구동형	전압구동형	전압구동형
Gate 구동 회로의 크기	대 형	소 형	소 형
SYSTEM 내의 전력손실	大 (100%)	小 (80%)	小 (80%)
장 점	1. 전압내량 및 전류내량이 큼 2. 대용량 소자의 개발로 인한 사용실적 및 응용 기술이 다양. 3. 대용량 장치에 사용이 용이함 4. 낮은 ON 상태 손실	1. 고속 스위칭을 통한 스위칭 소음 저감 및 출력 파형이 깨끗함. 2. 전압 구동방식으로 제어가 용이함. 3. Gate 장치가 작아지며, 전력손실이 적음 4. 스너버리스(Snubberless)가 가능하여 주변회로 간소화를 도모할 수 있음 5. 병렬 운전이 쉬움 6. 구동신호의 피드백으로 소자 단락방지가 쉬움	1. 고속 스위칭을 통한 스위칭 소음 저감 및 출력 파형이 깨끗함. 2. 전압 구동방식으로 제어가 용이함. 3. 낮은 스위칭 손실과 낮은 ON 상태 손실으로 고속스위칭 가능 4. 대부분 고압구동에 적용용이 5. 고압에서도 스위칭 손실과 전도손실의 최소화로 및 구동회로의 단순화를 도모할 수 있다.
단 점	1. 스위칭 주파수가 낮음으로 출력 파형이 깨끗하지 못함 2. 스너버 회로가 필요함 3. 드라이브회로가 복잡하고 전력손실이 큼 4. 전류구동회로이므로 Gate 회로가 큼	1. 현재까지는 GTO에 비해 전압 및 전류 내량이 적음 2. GTO에 비해 서지에 대한 내량이 적음	1. IGBT에 비해 역율 제어에 불리 2. 저속 스위칭으로 스위칭 손실은 적으나 고조파 증가 3. 게이트 회로 및 보호회로의 내장으로 고장시에는 고장부위 진단이 어렵고 모듈단위로 교체하여 비용이 증가하고 작업성 난해함

㉮ IGBT 소자 비교(제조사별)

표 32. 제조사별 소자사양 비교

제조사	INFINEON	HITACHI	MITSUBISHI	ABB
모델명	FZ1200R45KK3_B5	MBN1200H45E2-H	CM1200HC-90R	5SLD 1200J450350
형 태				
특 성	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 0.75μs Turn off time = 6.90μs	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 2.7μs Turn off time = 4.8μs	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 1.00μs Turn off time = 3.6μs	Vces = 4,500V Ic = 1,200A Turn on time = 0.74μs Turn off time = 2.28μs
유지 보수	낮은 도전 손실 및 스위칭 손실을 보장 높은 에너지 효율과 견고성을 달성. 높은 DC안정성 -50°C~125°C의 확장온도 범위 이용.	저손실 스위칭 모듈. 저 소음 및 높은 열 내구성 모듈.	AlSiC 베이스플레이트로서 저소음 및 높은 효율을 가짐.	매우 낮은 손실, 견고하고 부드러운 스위칭 SPT+칩셋. 고전력순환기능.

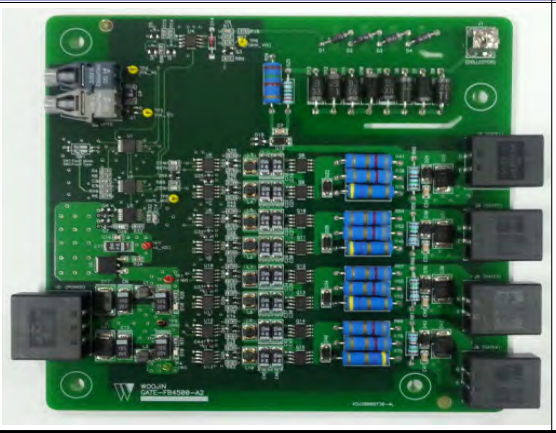
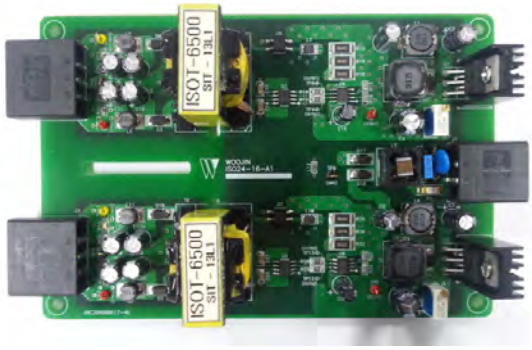
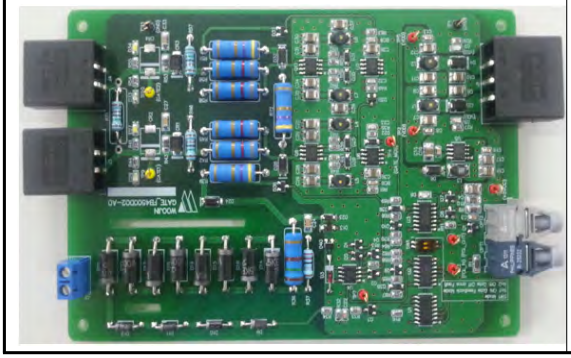
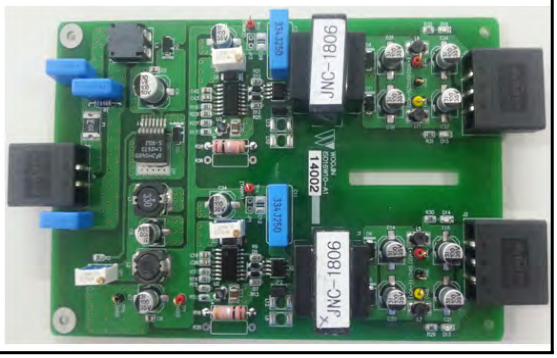
㉯ IGCT 와 IGBT 소자 비교

IGCT는 부피당 전력밀도가 가장 우수하여 여러 분야에서 널리 사용되고 있으나 소자의 di/dt를 제어하기 위해서 외부에 스너버 회로를 설치해야 할 필요가 있고, IGBT에서는 가능한 최대전류제어가 어렵다. IGCT는 1995년도부터 ABB사 제작하는 제품으로 한국형 고속열차(G7)에서는 4,500V, 4,000A(ABB사)급로 사용하였고, 안정화 단계에서는 IGBT (WESTCODE사)로 소자를 변경하여 사용하였다.

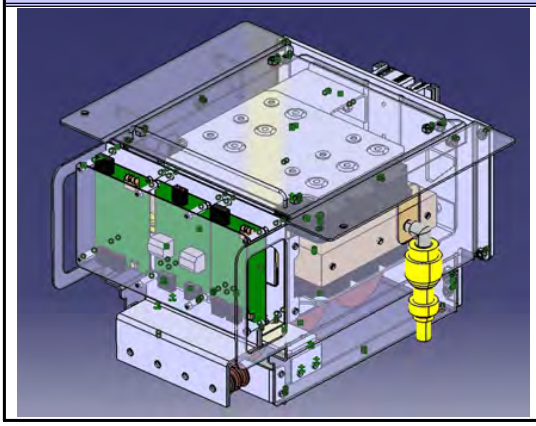
이런 점을 고려하여 본 연구에서는 di/dt 제어가 가능하고 또한 최대도통전류가 제어되는 IGBT를 채택함.

④ 시작품 제작

㉮ GATE DRIVER UNIT 및 POWER BOARD

Gate Driver Unit	Power Board
	
Gate Driver Unit rev1	**Power Board rev1**
	

㉯ STACK 시작품

3D Modeling	시작품 사진
	

(가) Converter부

① 기존장치 분석

㉮ 기능

(ㄱ) 하나의 4상한 초퍼는 두 개가 병렬로 연결된 상모듈로 구성

(ㄴ) 4QS의 목적은 변압기의 출력전압(일반적으로 단상 교류)을 DC링크 회로를 위해 직류로 만들기 위함이다.

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

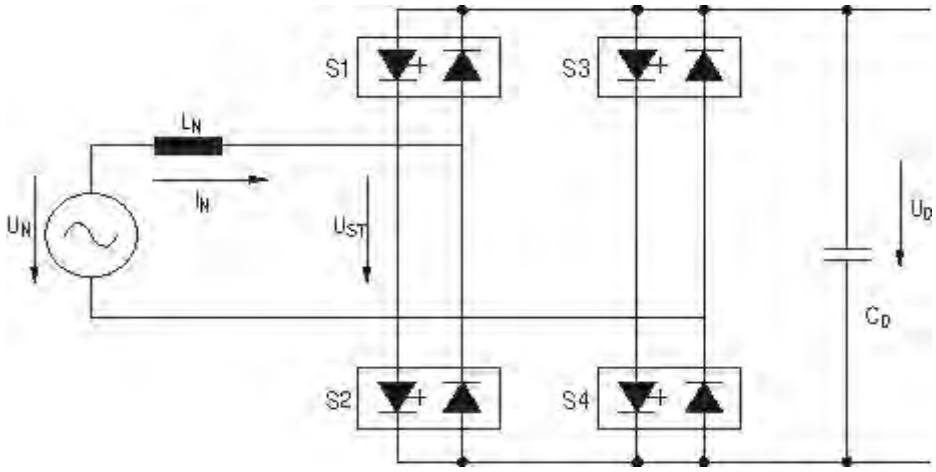


그림 143. 4QS의 회로도

(ㄹ) GTO 사이리스터는 높은 스위칭 주파수를 갖고 스위치의 임무를 한다. 이 기능은 단속 상태로부터 정류기 기동을 설명한다. 변압기의 자기-인덕턴스에서 전류를 만들기 위해 두개의 GTO S2 또는 S3 (S1은 정 (+) 반파시, S4는 부 (−) 반파시)중 하나가 점호된다. 이러는 동안에 변압기의 이차측은 단락된다. 전류가 요구한 값에 이르면 GTO는 이렇게 (UD>UN) 됨으로써 감소한다. 이 과정을 다시 시작한 후, GTO는 동일한 열동부하를 투입하기 위해 교번적으로 사용된다. 전류와 전압의 비 위상은 GTO의 다양한 변조에 의해 얻어질 수 있다.

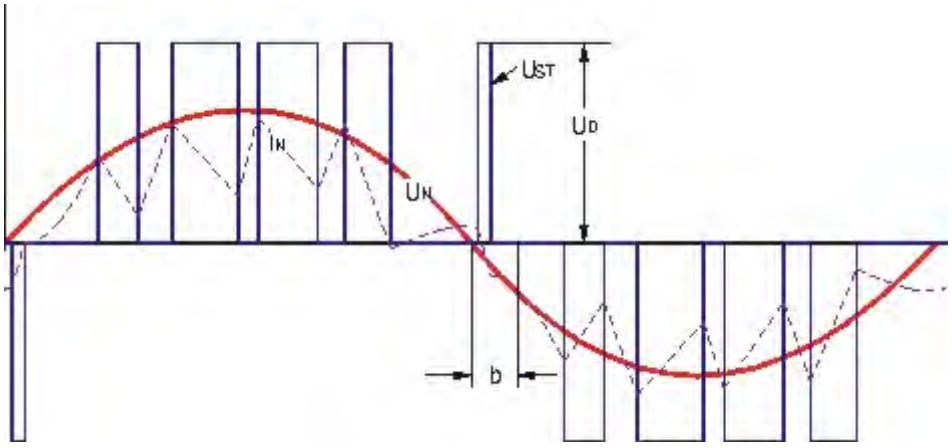


그림 144. 4QS에서의 전류/전압 변화도표

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

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

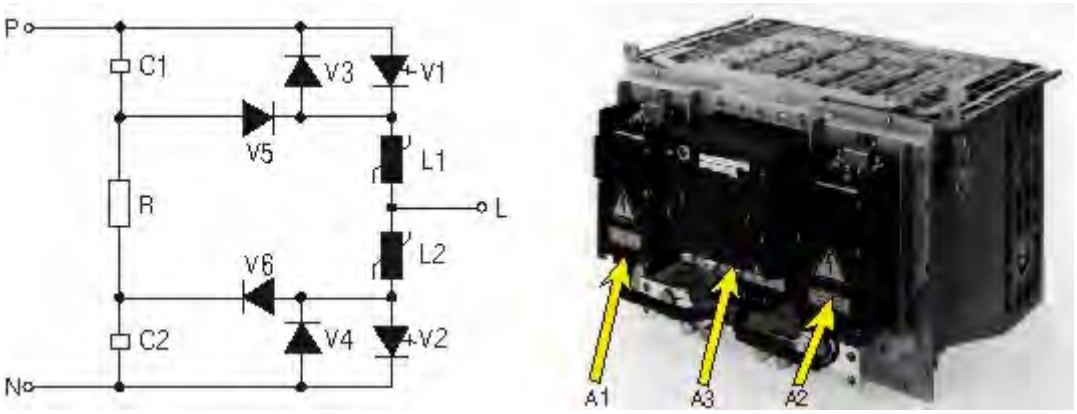


그림 145. GTO 위상 부품

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

㉮ 기본사양

항 목	사 양
제어방식	4상한 초퍼 위상 제어
입력전압	AC 1,230V × 2회로
출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
최대출력	1,500kW 이상
전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A
구 성	GTO (4,500V - 3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)

㉯ GTO 손실분석

(ㄱ) 계산조건

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

(ㄴ) GTO 손실계산

CONVERTER 사용되어진 소자는 SG3000GXH27이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V

Vce(sat) = 4.0V (Ic = 320A)

Tr = 7usec (rising time, Ic = 320A)
Tf = 30usec (off time, Ic = 320A)

○ 스위칭 손실(GTO on)

$$P_1 = \int_0^{tr} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$
$$= \frac{1}{6} I_{C1} \cdot V_{CE1} \cdot t_r \cdot f$$
$$= \frac{1}{6} \times 705 \times 2600 \times 7 \times 10^{-6} \times 540$$
$$= 1154.8\ W$$

○ 도통 손실(GTO)

$$P_2 = \int_0^{ton} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$
$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot t_{ON} \cdot f$$
$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot D$$
$$= \frac{705 + 705}{2} \times 4.0 \times 0.6$$
$$= 1692\ W$$

○ 스위칭 손실(GTO off)

$$P_3 = \int_0^{tf} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$
$$= \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$
$$= \frac{1}{6} \times 705 \times 2600 \times 30 \times 10^{-6} \times 540$$
$$= 4949.1\ W$$

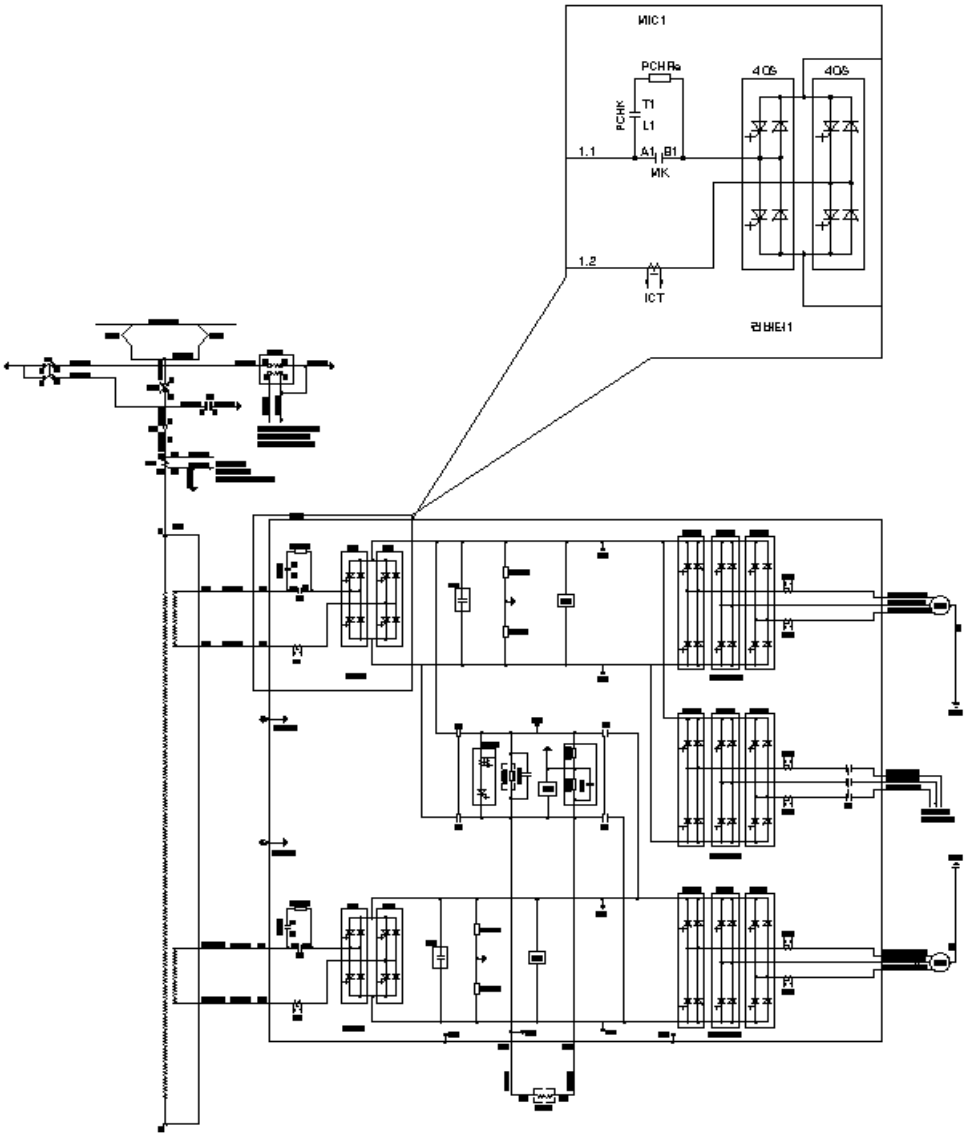
○ GTO의 총손실(Diode 손실제외)

$$P_{loss} = P_1 + P_2 + P_3$$
$$= 1154.8 + 1692 + 4949.1$$
$$= 7795.9\ W$$

(ㄷ) 손실계산 결과

	GTO
	CONVERTER
ON 손실 (W)	1157.8 W
OFF 손실 (W)	4949.1 W
도통 손실 (W)	1692.0 W
합 계 (W)	7795.9 W

㉮ 주회로도



㉯ 기존품 모듈 분석

(ㄱ) 기존품 구성

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

(ㄴ) 기존품 구조 및 성능

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

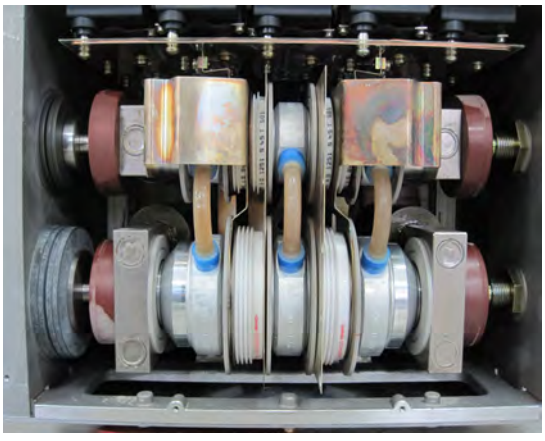
금속 방열판과 전력 반도체 사이는 확실한 전위 분리를 위해 세라믹 절연 디스크가 설치된다.

수냉각기로부터 냉각된 냉각수는 먼저 GTO의 방열기를 통과한 다음 다이오드의 방열기를 통과하여, 구불구불한 형태의 모듈 상부를 흐른 뒤, 스너버 저항을 냉각시킨다.

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

공칭 전압	2,800V
최대 전압	3,200V
공칭 전류	1,300A_{eff}
최대 스위칭 전류	2,900A
펄스 주파수	300Hz
치수	500mm × 360mm × 465mm
질량	80kg
보호등급	IP54(내부), IP00(외부)

㈋ 기존품 사진

외형사진	내부사진
	

㈌ 시뮬레이션

○ 부록. 전기기관차 시뮬레이션 분석 참조

② 개발장치 설계

㉮ 기능

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

㉯ 기본사양

항 목		사 양
컨버터부	입력전압	AC 1,230V x 2회로
	출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	최대출력	1,500kW 이상
	IGBT	4,500V, 1,200A [1)]
	Gate Driver	2병렬

[1)] PWM 컨버터

- 주요제원 : IGBT 모듈(4,500V × 1,200A급, 2병렬)
- 제어방식 : PWM 제어

(ㄱ) 컨버터 용량검토

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

$$P_C = 1{,}650kW \times 0.82/0.97 = 1{,}394kW$$

○ 컨버터 출력전압이 2,600V이므로 직류링크단 전류

= 1,394kW / 2,600V = 536A

○ 변압기 2차측 출력용량은,

$$P_{TR} = 1{,}394kW/0.97(\eta_{CON}) = 1{,}437kVA$$

○ 변압기 2차측 출력용량

항 목	정 격
컨버터 용량	1,394 kW
컨버터 입력 전압	1,232 V
컨버터 입력 전류	1,166 A
변압기 용량	1,437 kVA
컨버터 출력 전압	2,600 V
컨버터 출력 전류	536 A

(ㄴ) 컨버터 IGBT 용량 계산

CONVERTER부에 사용하는 IGBT는 4,500V, 1,200A × 2P를 사용하며 선정이유는 아래와 같다.

○ 전압의 결정법

IGBT 소자로 인가된 전압이 최대로 되는 것은, 가선전압 및 DC LINK 전압에 의한 보호 시이다.

- CONVERTER UNIT의 최대전압

· 가선전압 = 1,451V (가선 최대 입력전압범위)

· DC LINK 전압 = 2,400 ~ 2,600V

- IGBT는 2,600V 보다 상위의 3,300V급을 사용하여야 하나 2,500V 이상의 스위칭은 불가한 이유로 상위 등급인 4,500V급을 선정한다.

○ 정격 전류 결정

- IGBT통전 전류: 최대 견인시 운전 입력전류 : 1,410A(PEAK)

- IGBT전류 (과부하 120%의 PEAK전류치)

· $1{,}410A$(최대견인시입력전류)$\times 1.2$(과부하정격)$\times \sqrt{2}\,(PEAK치) = 2{,}392[A]$

· 보호동작시의 시간지연을 고려하여 1,200A급 × 2P를 사용한다.

· 따라서 IGBT의 정격은 4,500V, 1,200A × 2P로 된다.

㉰ IGBT 손실계산

CONVERTER 사용되어진 소자는 MBN1200H45E2-H이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V

Vce(sat) = 3.5V (Ic = 700A)

Tr = 1.8usec (rising time, Ic = 700A)

Tf = 2.9usec (off time, Ic = 700A)

○ 스위칭 손실(IGBT on)

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

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

$$= \frac{1}{6} \times 705 \times 2600 \times 1.8 \times 10^{-6} \times 540$$

$$= 297\ W$$

○ 도통 손실(IGBT)

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

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

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

$$= \frac{705 + 705}{2} \times 3.5 \times 0.6$$

$$= 1480.5\ W$$

○ 스위칭 손실(IGBT off)

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

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

$$= \frac{1}{6} \times 705 \times 2600 \times 2.9 \times 10^{-6} \times 540$$

$$= 478\ W$$

○ 도통 손실(diode)

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

$$= 705 \times 2.8 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 100\ W$$

○ 스위칭 손실(diode)

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

$$= \frac{1}{\pi} \times 540 \times 1.9$$

$$= 326.6\ W$$

○ IGBT의 총손실

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

$$= 297 + 1480.5 + 478 + 100 + 326.6 = 2{,}093\ W$$

IGBT 2개를 사용하므로 CONVERTER UNIT 1 ARM의 손실은

$$= 2{,}682 \times 4 = 10{,}728\ W$$

㉰ 주회로도

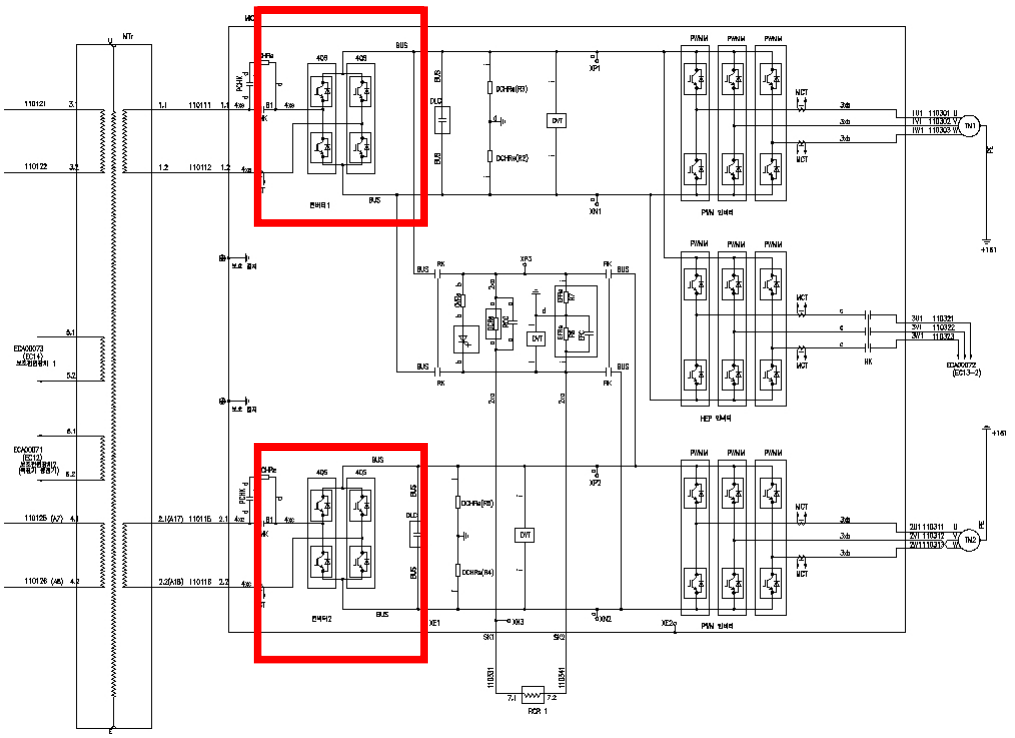


그림 146. 개발장치 주회로도

㉱ GATE DRIVER UNIT 설계(Inverter부와 동일)

㉲ 개발품 STACK 설계(Inverter부와 동일)

(ㄱ) 개발품 구성

- IGBT
- HEAT BLOCK
- 게이트 드라이버(GATE DRIVER)
- 파워(POWER BOARD)
- 스누버 커패시터

(ㄱ) 개발품 구조

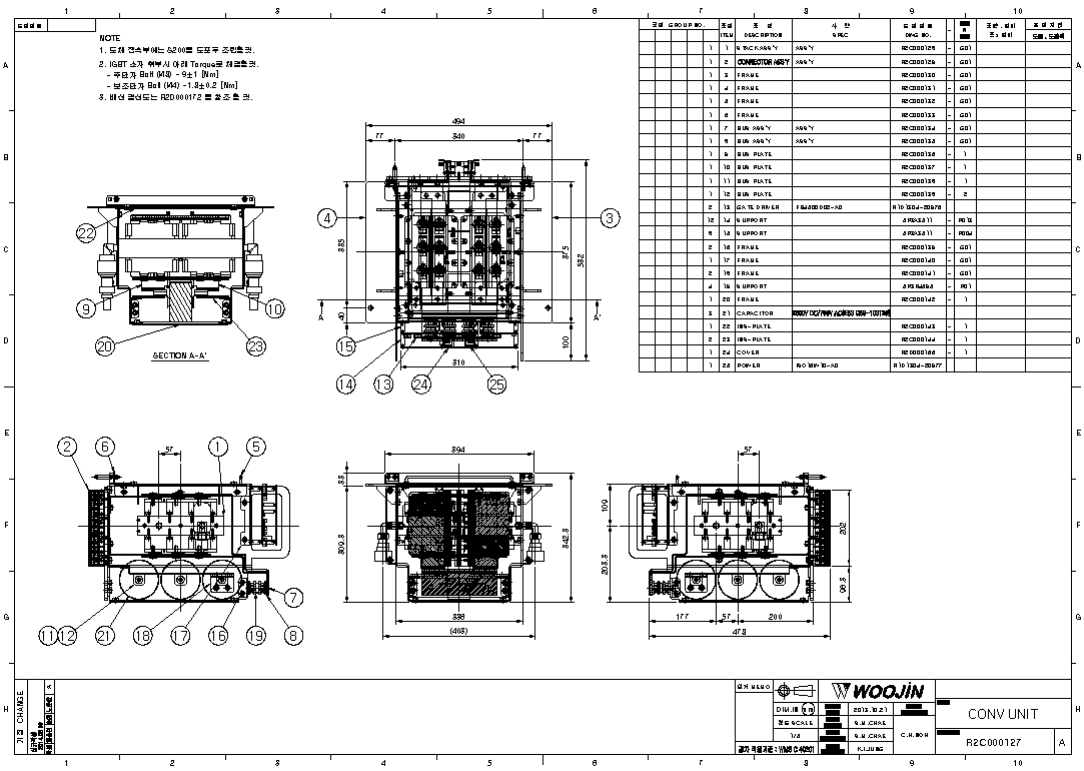


그림 147. AUTOCAD 2D Drawing

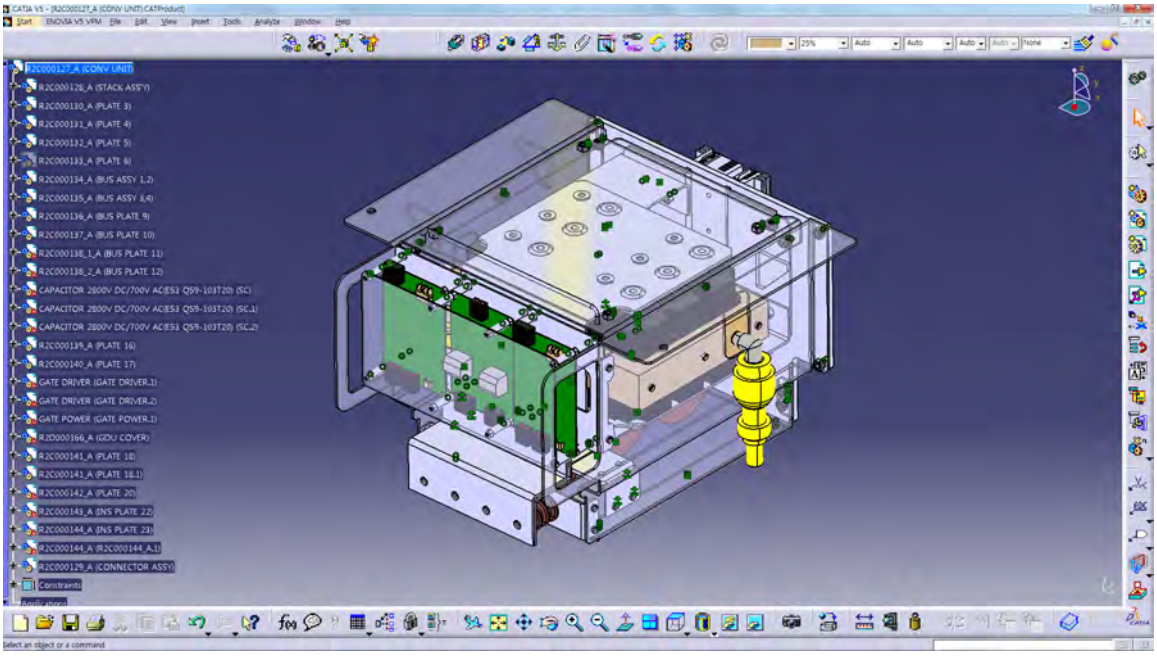
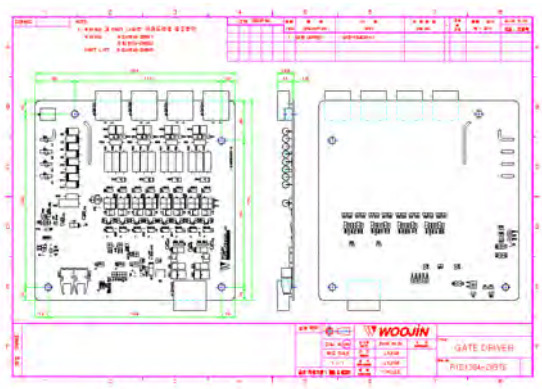
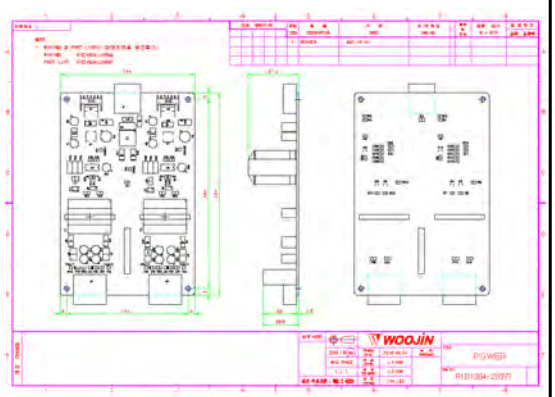
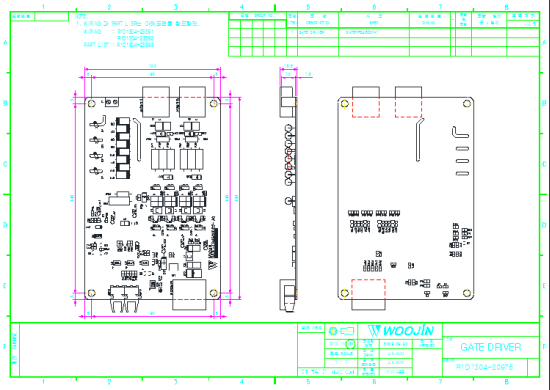
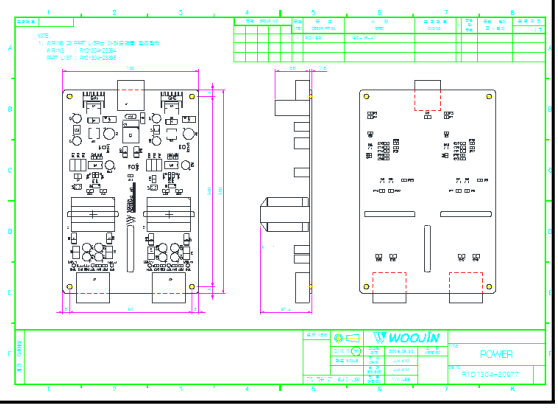


그림 148. CATIA V5 3D Modeling

㉮ 관련도면(Inverter부와 동일)

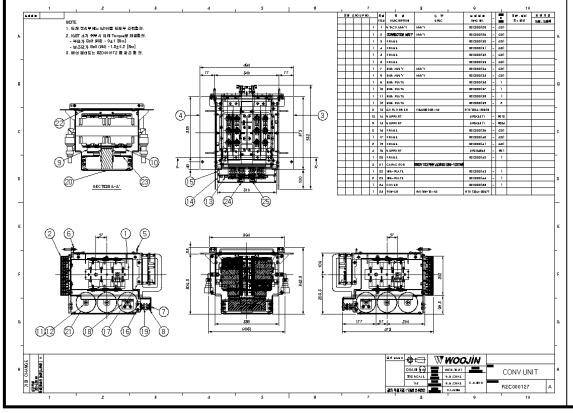
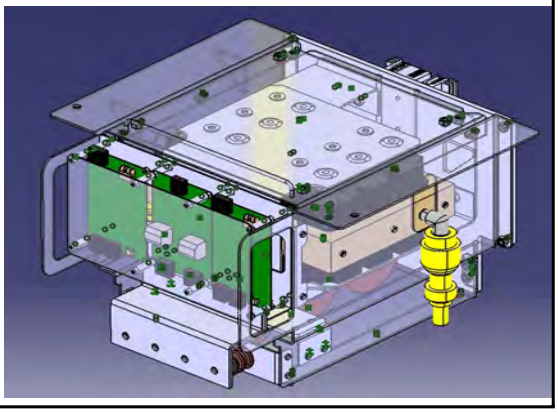
(ㄱ) GATE DRIVER UNIT 및 POWER

Gate Driver Unit	Power
	
Gate Driver Unit rev1	**Power rev1**
	

(ㄴ) GATE DRIVER UNIT rev1 및 POWER rev1 변경사유

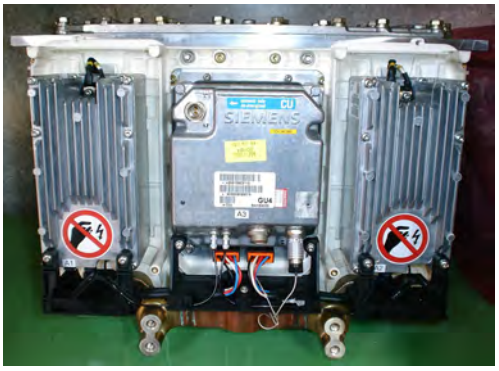
게이트 ON/OFF 저항 값을 상승시켜 GATE PEAK 전류 및 EMI를 감소시킴으로써 과전압에 의한 IGBT의 소손 위험성을 감소시켰다. 기존 OIP 타입을 SMD 타입으로 교체하므로, 회로결선 단축 및 불필요한 인덕턴스, 부유 커패시터가 감소하여 고주파 특성이 향상된다. 기존 소자 보다 효율성이 높은 소자를 선정했다.

(ㄷ) STACK

2D Drawing	3D Modeling
	

③ 기존장치 vs 개발 장치 특성비교

㉮ 주요 특성비교

항 목	사 양	
	기존장치	개발장치
제어 방식	4상한 초퍼 위상 제어	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
입력 전압	AC 1,230V × 2회로	좌 동
출력 전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
최대 출력	1,500 kW 이상	좌 동
전력용 반도체 소자	GTO : 4,500V - 3,000A	IGBT : 4,500V - 1,200A x 2병렬
구 성	GTO (4,500V-3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor	IGBT (4,500V-1,200A) x 4 Gate Drive 2EA Power Board 1EA Snubber Capacitor
냉각 방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)	좌 동
중 량	80 kg	60 kg
사 진		

㉯ GTO와 IGBT 소자 손실비교

○ 기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발장치 IGBT 소자는 MBN1200H45E2-H이고 비교분석을 위한 조건은 다음과 같다.

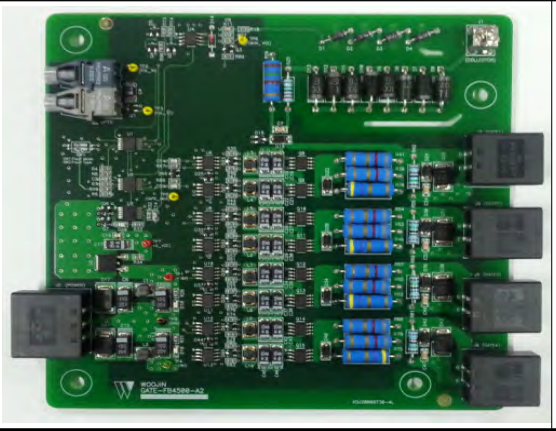
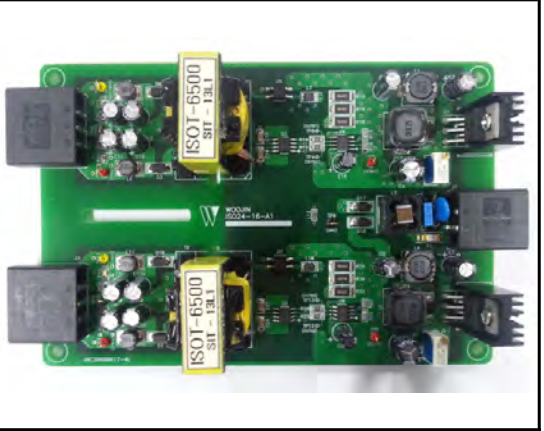
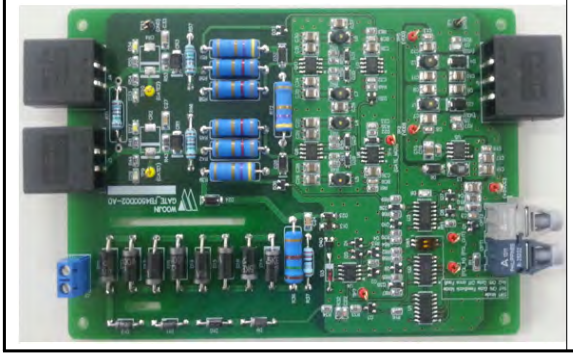
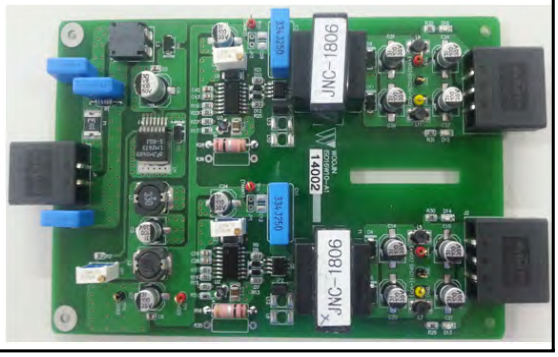
- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- GTO인 경우 Datasheet 상의 Turn-on Time, Turn-off Time 적용
- DIODE의 손실을 제외한, 스위칭 소자만의 손실을 계산

표 33. 손실계산 결과

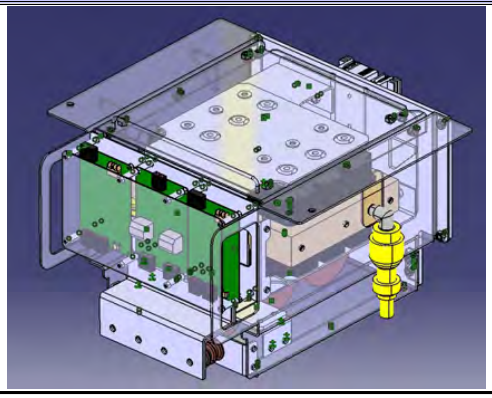
	GTO CONVERTER	IGBT CONVERTER
ON 손실 (W)	1157.8 W	297.0 W
OFF 손실 (W)	4949.1 W	478.0 W
도통 손실 (W)	1692.0 W	1480.5 W
합 계 (W)	7795.9 W	2255.5 W

④ 시작품 제작

㉮ GATE DRIVER UNIT 및 POWER BOARD(Inverter부와 동일)

Gate Driver Unit	Power Board
	
Gate Driver Unit rev1	Power Board rev1
	

㉯ STACK 시작품

3D Modeling	시작품 사진
	

(나) HEP Inverter부

① 기존장치 분석

㉮ 기능

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

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

(ㄷ) HEP PWM의 출력은 3상 분리기를 통해 분리된다.

(ㄹ) HEP Inverter의 출력전압은 3상 AC 970V에서 2상 AC 440V로 변압기를 통해 변환되며, 다시 최종 필터링 된다.

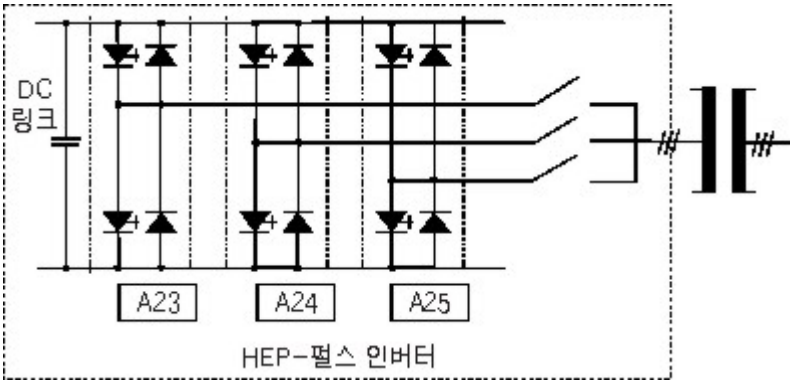


그림 149. HEP 인버터의 회로도

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

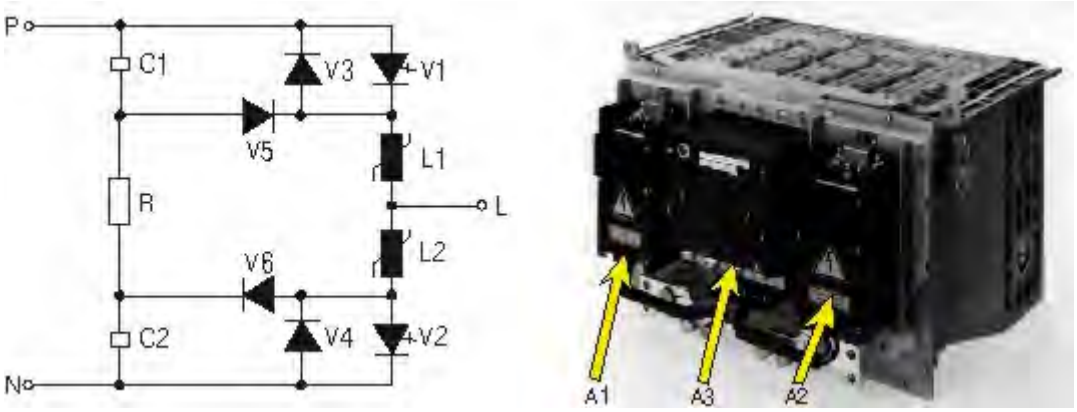


그림 150. GTO 위상 부품

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

㉮ 기본사양

항 목	사 양
제어방식	정전압 제어
입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
출력전압	3AC 970V
최대출력	3AC 310A
주파수	300 Hz
전력용 반도체소자	GTO : 4,500V - 3,000A
구 성	GTO (4,500V - 3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor
냉각방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)

㉯ GTO 손실분석

(ㄱ) 계산조건

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

(ㄴ) GTO 손실계산

INVERTER 사용되어진 소자는 SG3000GXH27이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V
Vce(sat) = 4.0V (Ic = 320A)
Tr = 7usec (rising time, Ic = 320A)
Tf = 30usec (off time, Ic = 320A)

○ 스위칭 손실(GTO on)

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

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

$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 7 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 970.7\ W$$

○ 도통 손실(GTO)

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

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

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

$$= \frac{320 + 320}{2} \times 4.0 \times 0.7$$

$$= 896\ W$$

○ 스위칭 손실(GTO off)

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

$$= \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f \quad \rightarrow \quad = 0.4 I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 30 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 9{,}984\ W$$

○ GTO의 총손실(Diode 손실제외)

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

$$= 970.7 + 896 + 9984$$

$$= 11850.7\ W$$

(ㄷ) 손실계산 결과

	GTO
	INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W
도통 손실 (W)	896.0 W
합 계 (W)	11850.7 W

㉲ 주회로도

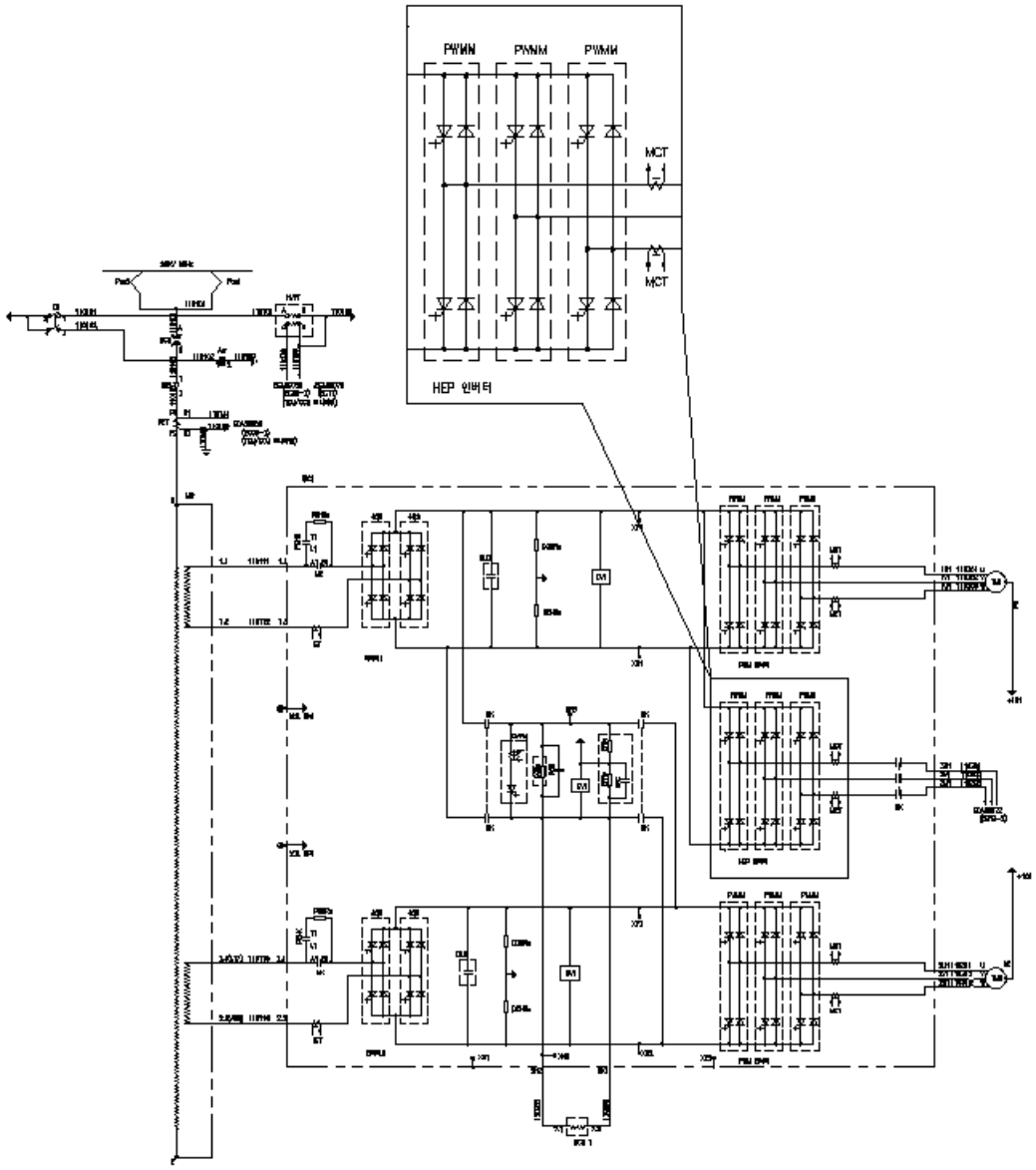


그림 151. 기존장치 주회로도

㉳ 기존품 모듈 분석

(ㄱ) 기존품 구성

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

(ㄴ) 기존품 구조 및 성능

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

여 반도체는 방열판 사이에 두 조임 장치에 취부 되어 있다.

금속 방열판과 전력 반도체 사이는 확실한 전위 분리를 위해 세라믹 절연 디스크가 설치된다.

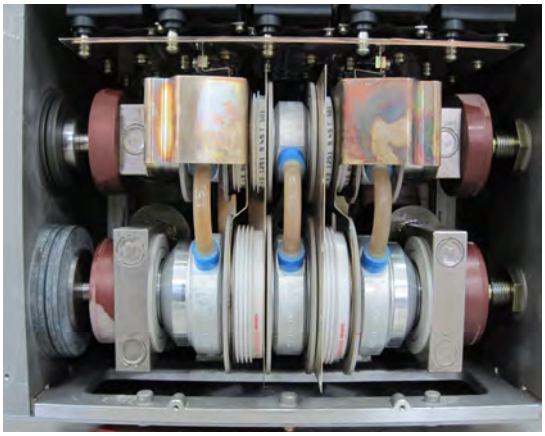
수냉각기로부터 냉각된 냉각수는 먼저 GTO의 방열기를 통과한 다음 다이오드의 방열기를 통과하여, 구불구불한 형태의 모듈 상부를 흐른 뒤, 스너버 저항을 냉각시킨다.

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

표 34. 기존품 성능

공칭 전압	2,800V
최대 전압	3,200V
공칭 전류	1,300A_{eff}
최대 스위칭 전류	2,900A
펄스 주파수	300Hz
치수	500mm × 360mm × 465mm
질량	80kg
보호등급	IP54(내부), IP00(외부)

㉮ 기존품 사진

외형사진	내부사진
	

㉯ 시뮬레이션

○ 부록. 추진제어장치 알고리즘 개발 참조

② 개발장치 설계

㉮ 기능

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

㉯ 기본사양

항 목		사 양
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3AC 970V
	출력전류	3AC 310A
	주파수	300 Hz
	IGBT	4,500V, 1,200A(12EA) [1]
	Gate Driver	2병렬(6EA)

[1] HEP Inverter

- 주요제원 : IGBT 모듈(4,500V × 1,200A급, 2병렬)
- 제어방식 : 정전압 제어

(ㄱ) 인버터 용량검토

○ 인버터 출력용량(P_I)는 전동기 입력용량을 역률로 나눈 값으로 전동기 입력용량은 전동기의 용량과 전동기의 효율을 고려하여 1,350kW라고 가정하며, 인버터의 효율(0.97) 및 역률(0.82)을 다음과 같은 수치로 놓고 계산하면,

$$P_I = 1{,}350kW / 0.82 = 1{,}650kW$$

○ 인버터 용량, 전동기 전압(2,200V)이 결정되면 인버터 정격 출력전류는,

$$I_M = 1{,}650kW / (\sqrt{3} \times 2{,}200) \fallingdotseq 433A$$

(ㄴ) 인버터 IGBT 용량 계산

INVERTER부에 사용하는 IGBT는 4,500V, 1,200A × 2P를 사용하며 선정이유는 아래와 같다.

○ 전압의 결정법

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

- 인버터 유니트의 최대전압 : 2,600V
- IGBT는 2,600V 보다 상위의 4,500V급을 선정한다.

○ 정격 전류 결정

IGBT 소자 통전전류 최대치는 120% 과부하시의 PEAK치이다.

- IGBT 통전 전류

· 최대 제동시 운전 입력전류 : 1,235A

· 견인 운전시 공칭 출력전류 : 640A

- IGBT전류 (PEAK전류치)

· $1{,}235A$(정격전류)$\times 1.2$(과부하)$\times \sqrt{2}$ ($PEAK$치)$= 2{,}095[A]$

· 보호동작시의 시간지연을 고려하여 1,200A급 × 2P를 사용한다.

· 따라서 IGBT의 정격은 4,500V, 1,200A × 2P로 된다.

㉰ IGBT 손실계산(견인 Inverter와 동일)

INVERTER 사용되어진 소자는 MBN1200H45E2-H이고 사용조건은 다음과 같다.

Vce = 2,600V

Vce(sat) = 2.6V (Ic = 320A)

Tr = 1.4usec (rising time, Ic = 320A)

Tf = 2.7usec (off time, Ic = 320A)

○ 스위칭 손실(IGBT on)

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

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

$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 1.4 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 194\ W$$

○ 도통 손실(IGBT)

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

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

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

$$= \frac{320 + 320}{2} \times 2.6 \times 0.7$$

$$= 582.4\ W$$

○ 스위칭 손실(IGBT off)

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

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

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 2.7 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 898.6\ W$$

○ 도통 손실(diode)

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

$$= 320 \times 2.2 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 35.7\ W$$

○ 스위칭 손실(diode)

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

$$= \frac{1}{\pi} \times 1000 \times 1.2$$

$$= 382\ W$$

○ IGBT의 총손실

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

$$= 194 + 582.4 + 898.6 + 35.7 + 382 = 2{,}093\ W$$

IGBT 2개를 사용하므로 INVERTER UNIT 1 ARM의 손실은

$$= 2{,}093 \times 4 = 8{,}372\ W$$

㉱ 주회로도

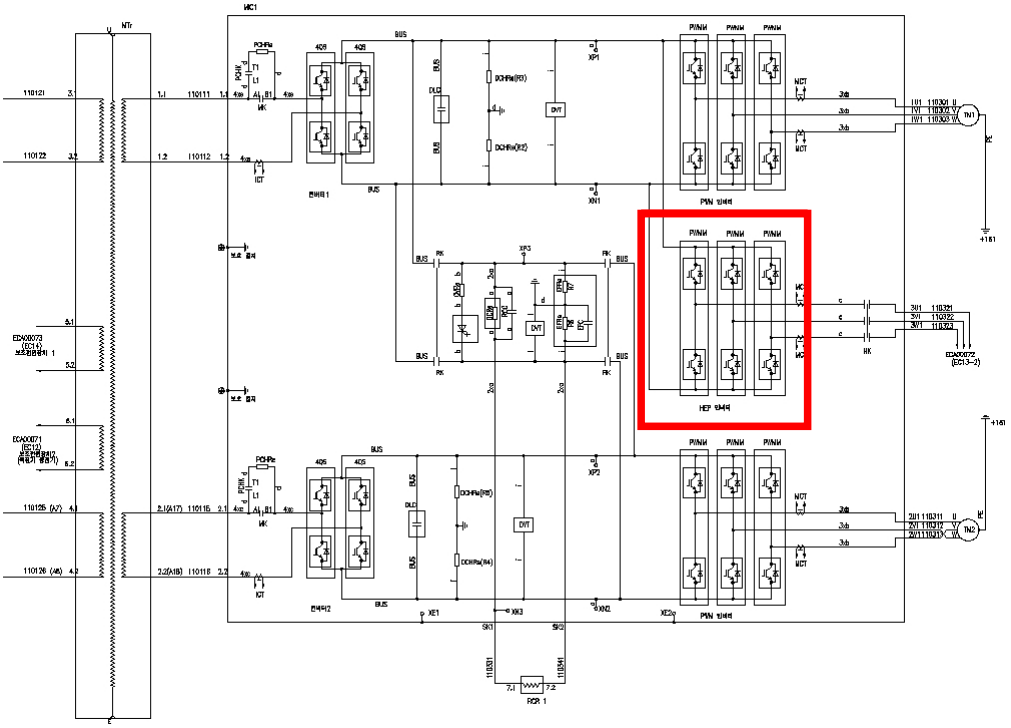


그림 152. 개발장치 주회로도

㉲ GATE DRIVER UNIT 설계(Inverter부와 동일)

㉮ 개발품 STACK 설계(Inverter부와 동일)

(ㄱ) 개발품 구성

- IGBT
- HEAT BLOCK
- 게이트 드라이버(GATE DRIVER)
- 파워(POWER BOARD)
- 스누버 캐패시터

(ㄱ) 개발품 구조

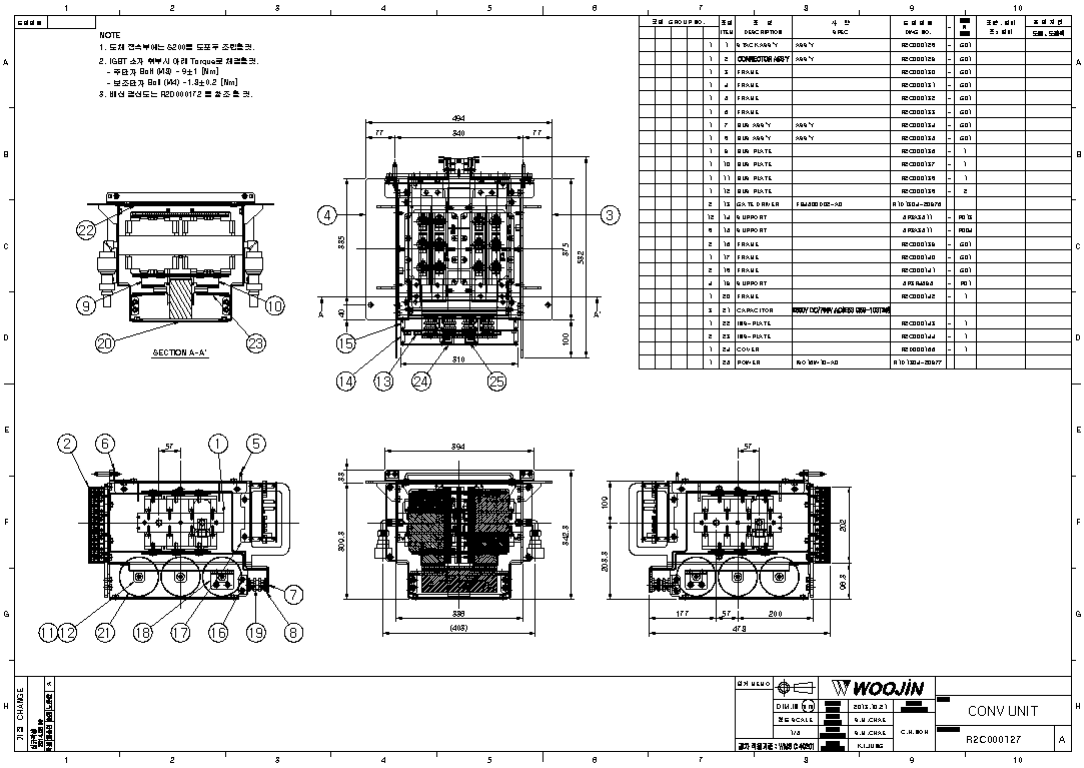


그림 153. AUTOCAD 2D Drawing

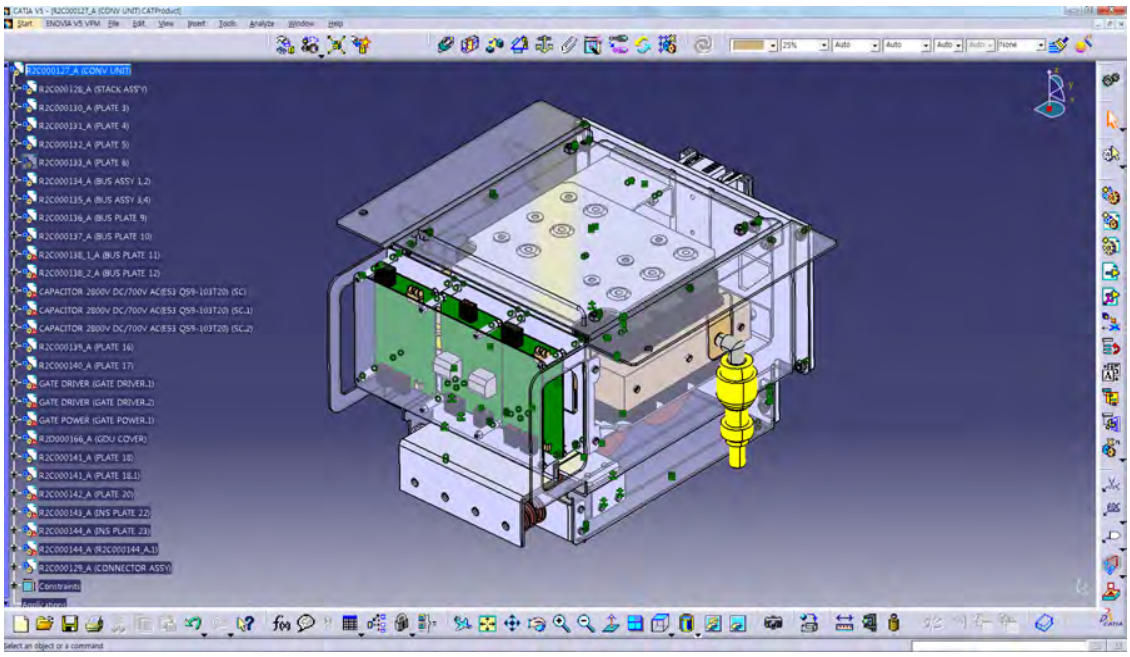
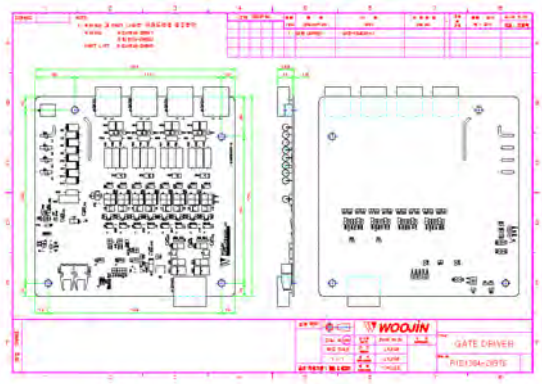
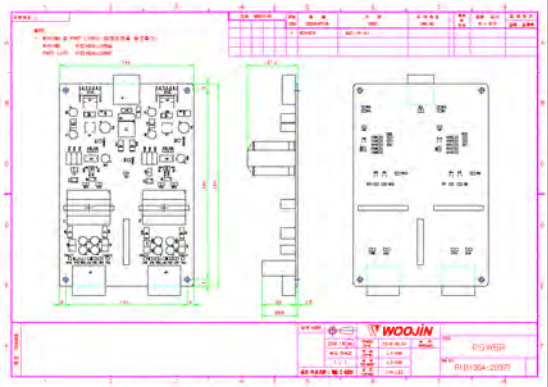
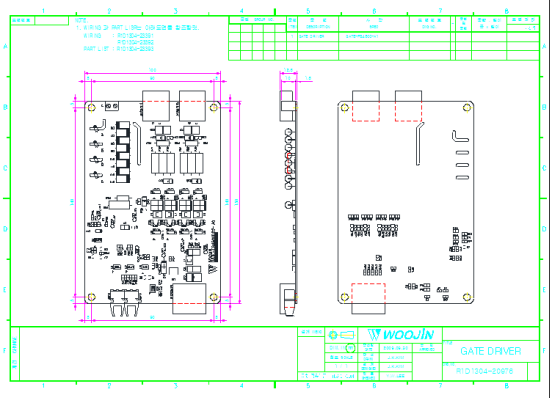
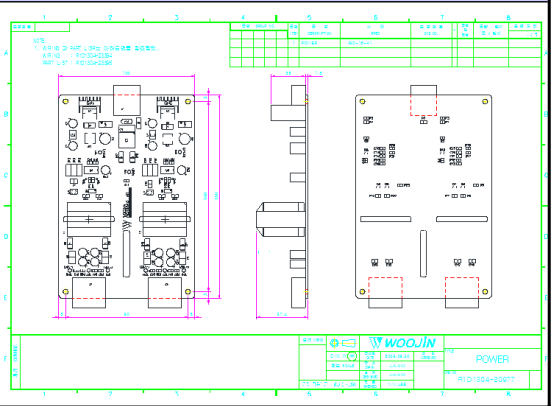


그림 154. CATIA V5 3D Modeling

㉮ 관련도면(Inverter부와 동일)

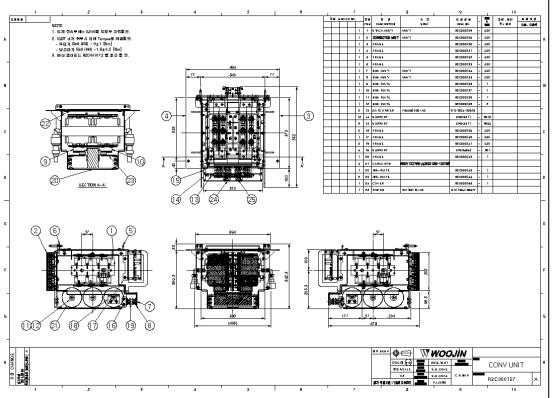
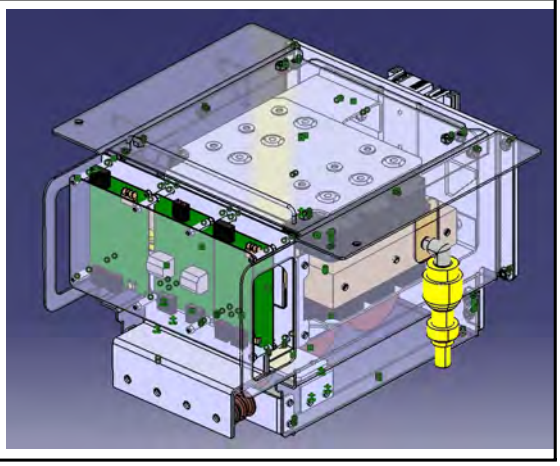
(ㄱ) GATE DRIVER UNIT 및 POWER

Gate Driver Unit	Power
	
Gate Driver Unit rev1	**Power rev1**
	

(ㄴ) GATE DRIVER UNIT rev1 및 POWER rev1 변경사유

게이트 ON/OFF 저항 값을 상승시켜 GATE PEAK 전류 및 EMI를 감소시킴으로써 과전압에 의한 IGBT의 소손 위험성을 감소시켰다. 기존 OIP 타입을 SMD 타입으로 교체하므로, 회로결선 단축 및 불필요한 인덕턴스, 부유 커패시터가 감소하여 고주파 특성이 향상된다. 기존 소자 보다 효율성이 높은 소자를 선정했다.

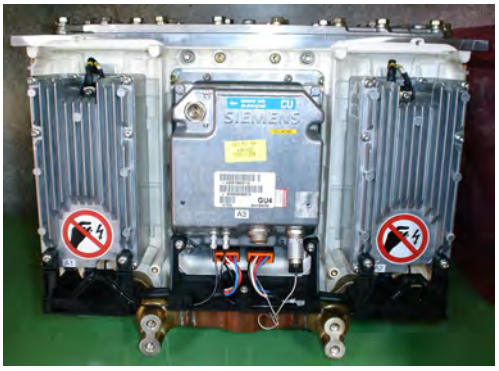
(ㄷ) STACK

2D Drawing	3D Modeling
	

③ 기존장치 vs 개발 장치 특성비교

㉮ 주요 특성비교

항목	사양	
	기존장치	개발장치
제어 방식	3상 PWM 인버터 제어	3상 PWM 인버터 제어 정전압 제어
입력 전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V	좌 동
출력 전압	3AC 970V	좌 동
출력 전류	3AC 310A	좌 동
주파수	300 Hz	좌 동
전력용 반도체 소자	GTO : 4,500V - 3,000A	IGBT : 4,500V - 1,200A x 2병렬
구 성	GTO (4,500V-3,000A) x 2 Diode Gate Drive 2EA Snubber Capacitor	IGBT (4,500V-1,200A) x 4 Gate Drive 2EA Power Board 1EA Snubber Capacitor
냉각 방식	수냉각 (물 : Glycol = 5 : 5)	좌 동

중 량	80 kg	60 kg
사 진		

㉯ GTO와 IGBT 소자 손실비교

○ 기존 전력변환장치의 GTO소자는 SG3000GXH27이다. 또한 개발장치 IGBT 소자는 MBN1200H45E2-H이고 비교분석을 하기위한 조건은 다음과 같다.

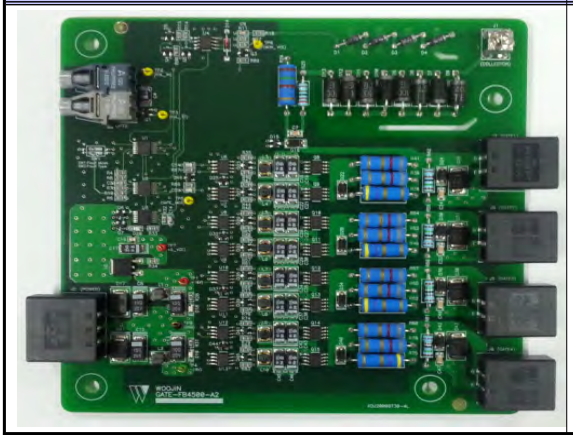
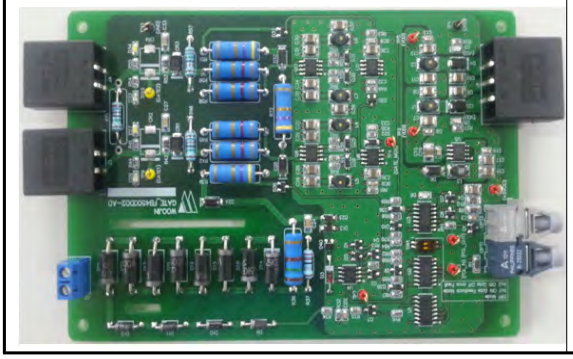
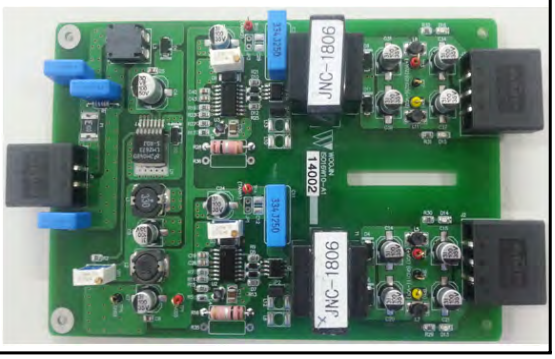
- 동일한 Switching 조건 적용
- 동일한 전압 및 전류 조건을 적용
- GTO인 경우 Datasheet 상의 Turn-on Time, Turn-off Time 적용
- DIODE의 손실을 제외한, 스위칭 소자만의 손실을 계산

표 35. 손실계산 결과

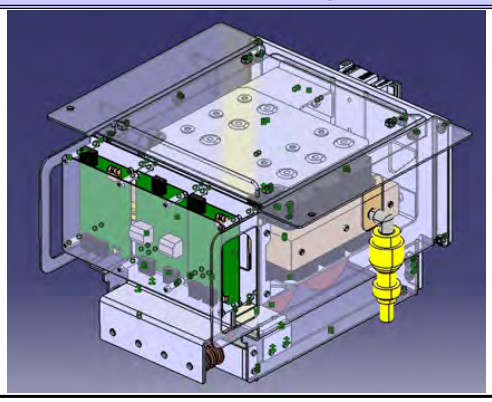
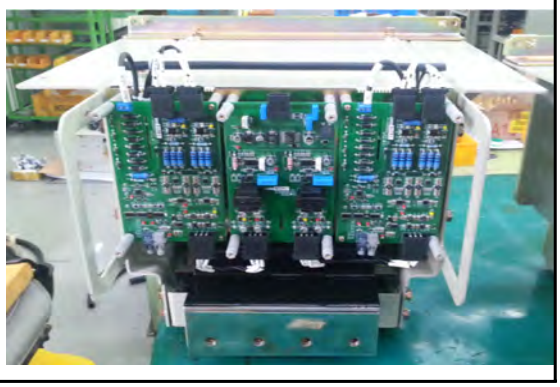
	GTO	IGBT
	HEP INVERTER	HEP INVERTER
ON 손실 (W)	970.7 W	194.0 W
OFF 손실 (W)	9984.0 W	898.6 W
도통 손실 (W)	896.0 W	582.4 W
합 계 (W)	11850.7 W	1675.0 W

④ 시작품 제작

㉮ GATE DRIVER UNIT 및 POWER BOARD(Inverter부와 동일)

Gate Driver Unit	Power Board
	
Gate Driver Unit rev1	**Power Board rev1**
	

㉯ STACK 시작품

3D Modeling	시작품 사진
	

(다) DC-Link부

① 기존장치 분석

㉮ 기능

(ㄱ) 과전압 보호 장치, 접지고장 감시 및 직렬 공진필터 장치로 구성

(ㄴ) DC-Link 커패시터

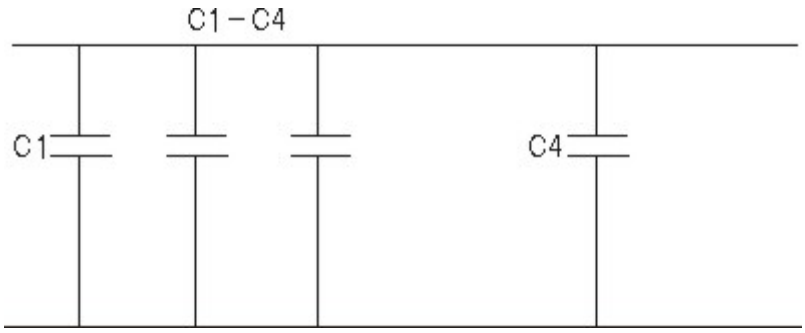


그림 155. DC-Link 커패시터

DC-Link 커패시터는 DC-Link 회로전압의 평탄함과 완충을 위해 에너지 저장 유닛처럼 사용된다. 이것은 입력 초퍼가 DC-Link 회로에 에너지를 연속적으로 공급할 수가 없고, 펄스 인버터가 에너지를 연속적으로 출력할 수 없으므로 필요하다.

(ㄷ) DC-Link 회로에서의 접지고장 표시

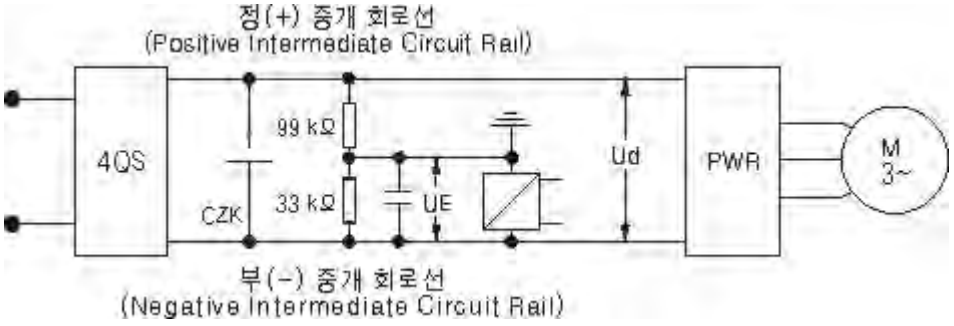


그림 156. 접지고장 표시의 회로도

정상 동작시 변류기는 전체 DC-Link 전압의 1/4을 나타낸다. ±30% (DC-Link 회로전압의 1/4에 적용)의 오차가 고려된다. 접지가 고장인 경우에 측정된 전압은 역으로 충전이 되므로 변한다. 따라서 접지고장은 DC-Link 회로전압의 변압기에서 측정된 값과 TCU의 평탄도와 비교하여 검지될 수 있다.

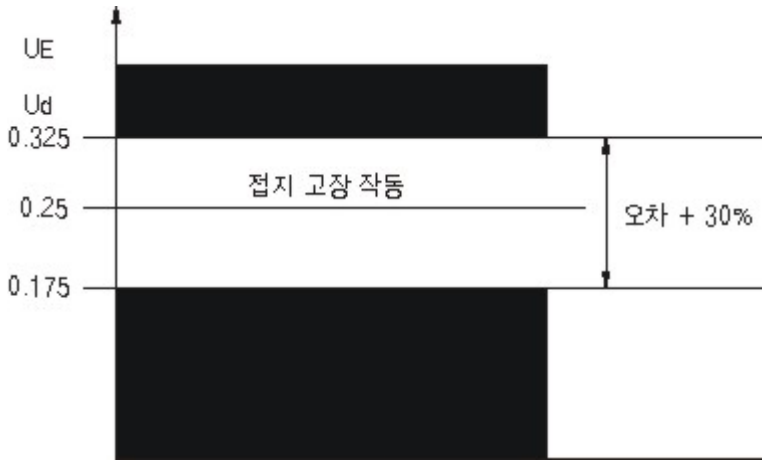


그림 157. 접지고장 검출

(ㄹ) 보호모듈

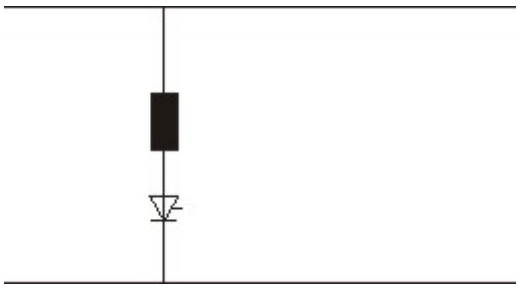


그림 158. 보호모듈

전기제어와 초크를 갖는 단락회로 사이리스터로 구성된 보호모듈은 GTO를 위험상태에서 보호하기 위해 DC-Link의 전압을 빠르게 방전한다. 단락회로 소자의 점호는 TCU-소프트웨어, TCU-하드웨어 또는 전기적 토글스위치에 의해 트리거 된다. 보호모듈이 동작하는 경우는 다음과 같다.

- DC-Link 회로내의 과전압
- 게이트 유닛의 고장
- TCU 전원장치의 고장
- 24V 전원장치의 고장 또는 24V 전원이 15V 이하로 떨어짐
- 처리과정 감시 (TCU)
- 중앙 컴퓨터의 리셋

(ㅁ) 공진회로

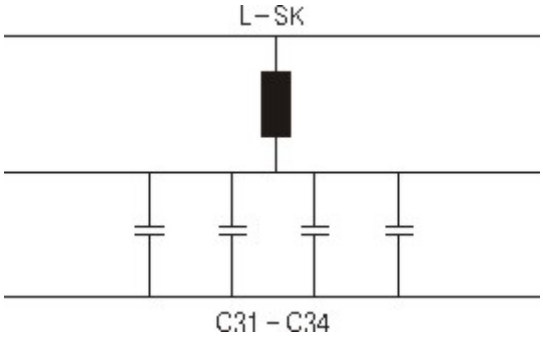


그림 159. 공진회로

커패시터와 초크 (변환기에 포함되지 않음)로 구성된 공진회로는 DC-Link 회로에서 회로 주파수 파고를 필터링 하는 일을 한다. 이것은 회로 주파수와 이중으로 동조된 직렬 공진회로처럼 동작한다. 하나의 커패시터의 동조를 허용하기 위해 좋은 재질의 테이프로 감는다.

㉮ 기능

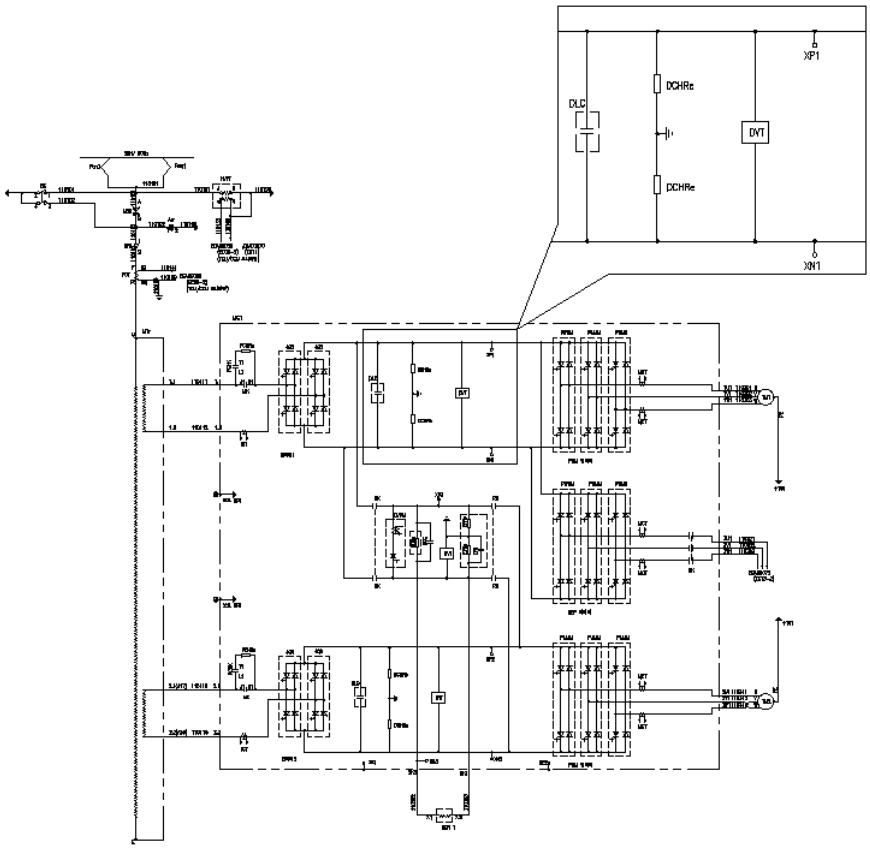


그림 160. 기존장치 회로도

㈏ 주요 구성품

(ㄱ) DC-Link 회로용 커패시터

커패시터(C1-C4)는 직류 DC링크 회로의 구성품이다.

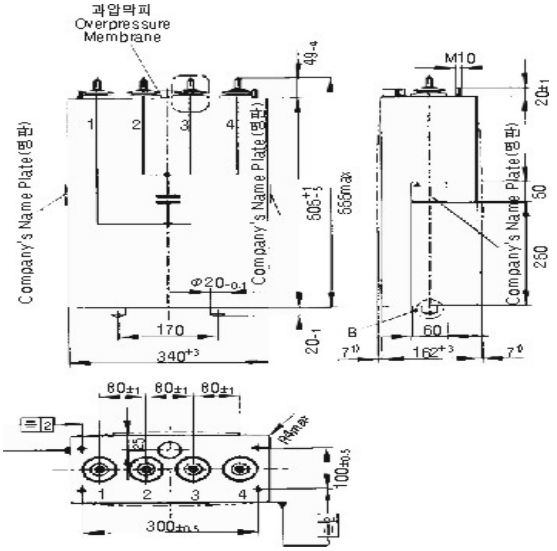


그림 161. MKK-커패시터

B25650-C2108-A024

○ 구조데이터

항 목	사 양
크 기	340㎜ x 165㎜ x 505㎜
중 량	약 38kg
주 입	보호가스
연결방법	M12 볼트 연결
최대 토크	25Nm
연결 직경	25㎟
연면 거리	52㎜
공기 간격	30㎜

○ 기술적 데이터

공칭 값		제한 값	
C_N, Tol.	1035 μF+3/−0%	$\breve{U}$	3,100V
$U_{N(DC)}$	2530V	U_s	4,100V
U_I	2200V	$\breve{I}$	28kA
W_N	3310Ws	i_s	70kA
I_N	180A	(du/dt)max	27V/μs
Le	40nH	(du/dt)s	68V/μs
$Tan\delta_0$	2×10^{-4}		
R_S	0.6mΩ		

○ 시험 데이터

항 목	사 양
U_{BB} (단자대 사이)	DC 4,400V ; 10s
U_{GB} (단자대와 케이스 사이)	AC 10,000V, 50Hz; 60Hz : (60S)
Ris	C≥10,000s
tanδ(50Hz)	≤10×10^{-4}

○ 주석

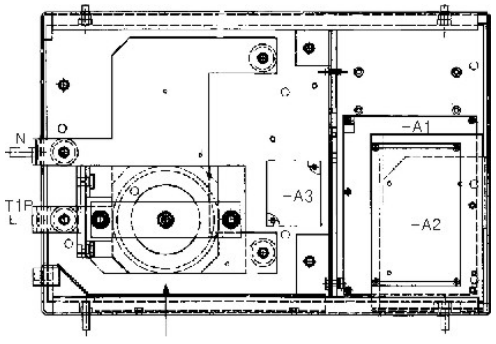
- C_battery = 8.28mF : 8커패시터
- □1 = 3520V, 50ms / week

(ㄴ) 보호모듈의 능동부



그림 162. 보호모듈의 능동부 사진

이 보호모듈은 과전압시 DC-Link 커패시터를 방전시키는데 필요하다. 보호 유닛은 두 개의 병렬연결 사이리스터로 구성된다. 직렬로는 di/dt 제한 초크가 있다. 능동부에 포함되어 제어용으로 사용되는 소자는 사이리스터다. 초크와 다른 소자들은 수동부에 포함되어 있다.



V1, V2 싸이리스터 (Thyristors)
A1 싸이리스터 제어모듈 (Thristors Control Module)
A2 토글스위치 (Toggle Switch) 3450V
A3 점화 트랜스미터 (Ignition Transmitter)

그림 163. 보호모듈의 능동부 구조

(ㄷ) 보호모듈의 수동부

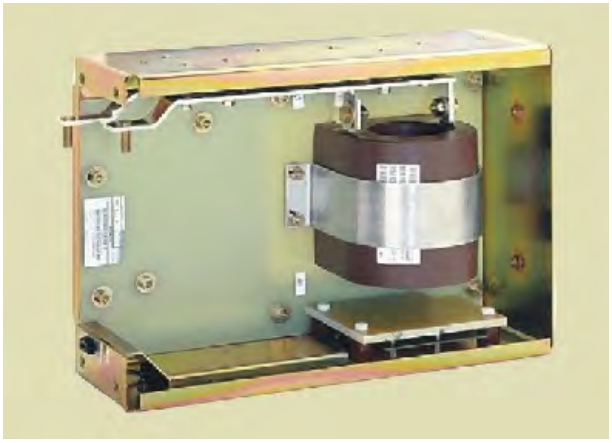


그림 164. 보호모듈의 수동부 사진

보호모듈은 보호모듈의 구조를 DC-Link 회로를 빨리 방전시키는 일을 한다. 이것은 전류와 전압이 동작제한을 초과하는 경우에 GTO 위상모듈의 보호를 위해 필요하다. 보호 유닛은 전류를 제한하기 위해 연결된 초크의 전단에 두 개의 병렬연결 사이리스터로 구성된다. 능동부에 포함된 것은 실제 전류값을 나타내기 위한 초크다. 사이리스터들은 능동부에 포함되어 있다.

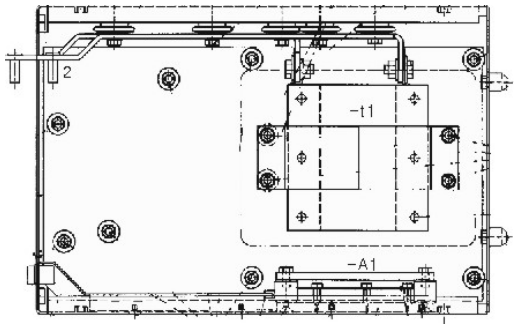
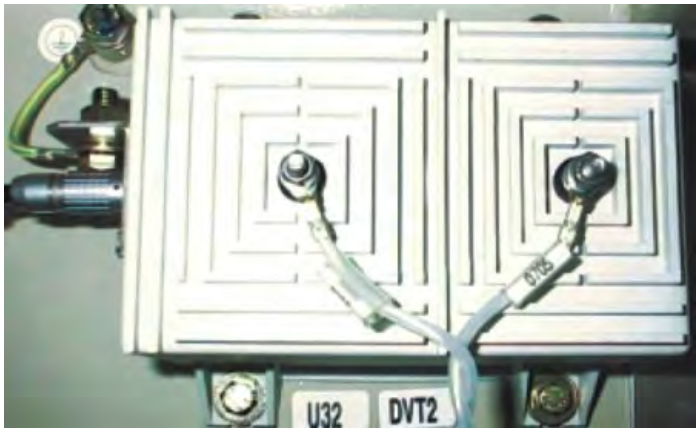


그림 165. 보호모듈의 수동부 구조

(ㄹ) 전압변성기



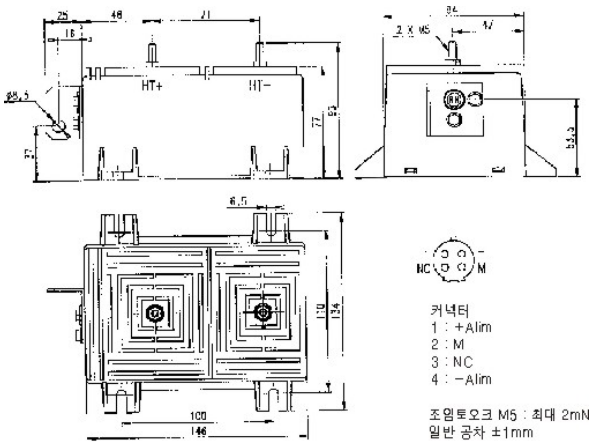


그림 166. 전압변성기

○ 사양

특 성	단 위	값
1차 공칭전류	V rms (V eff)	4200
측정범위(최대 U_P)	V	±6000
최대 R_M	Ω	454 (I_P max/±22.8V)
최대 R_M	Ω	112 (I_P max/±11.4V)
최소 R_M	Ω	0 (I_{Pn}/±24V)
측정 불가 과부하	Vdc	12,000 (1sec/h)
2차전류 U_{PN}시 I_{SN}	mA	20
UPN에서의 최대 정확도	%	±2 (40℃ ~ +85℃)
UPN에서의 최대 정확도	%	±1.8 (−25℃ ~ +70℃)
UPN에서의 최대 정확도	%	±1.1 (+25℃)
오프셋 전류 I_{SO}	μA	±80 (+25℃)
선형성	%	0.3 ($0.1U_{PN}$ ~ $1.5U_{PN}$)
전압 단계별 지연시간	μs	<10
dv/dt 교정	V/μs	$0.012U_{PN}$/μs
주파수 대역폭	kHz	13 (−3dB) Rm=100Ω
무부하 전류 I_{NO} (소비전류 = $I_{NO}+I_S$)	mA	<50
유전체 강도	kV rms 50Hz 1min	12
부분방전	kV rms (kV eff)	4.3 (10pC)
공급전류	Vdc	±12~±24 (±5%)
중량	kg	1.5
동작온도	℃	+10~+85
보관온도	℃	−50~+90

(ㅁ) 공진 커패시터용 커패시터

유도율을 수반하는 커패시터들은 공진 커패시터의 구조를 갖는다. 용량성은 3개의 고정된 용량의 커패시터와 용량성을 가변할 수 있는 1개의 커패시터로 구성된다.

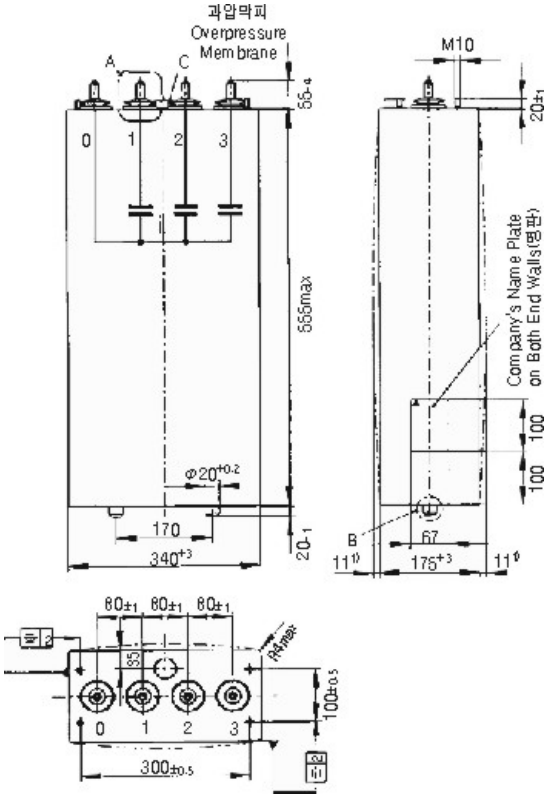


그림 167. MKK-커패시터

○ 구조데이터

항 목	사 양
크 기	340㎜ x 175㎜ x 755㎜
중 량	약 58kg
주 입	보호가스
연결방법	M16 볼트 연결
최대 토크	25Nm
연결 직경	25㎟
연면 거리	47㎜
공기 간격	31㎜
과압 막피(Membrane)	

○ 기술적 데이터

공칭 값		제한 값	
C_N, Tol.	1888㎌ +5/−0%	$\breve{U}$	3500V
$U_{N(DC)}$	3200V	U_S	4000V
U_I	2600V	$\hat{I}$	20㎄

W_N	9700Ws	i_s	50kA
I_N	200A	(du/dt)max	10V/㎲
Le	400nH	(du/dt)s	25V/㎲
$Tan\delta_0$	2×10^{-4}		
R_S	0.5mΩ		

○ 시험 데이터

항 목	사 양
U_{BB} (단자대 사이)	DC 4,800V ; 10s
U_{GB} (단자대와 케이스 사이)	AC 10,000V, 50Hz; 60Hz : (60S)
Ris	C ≥ 10,000s
tanδ(50Hz)	$\leq10\times10^{-4}$

○ 주석

- C_battery = 7.63mF : 3커패시터
- C1 = 1130μF, C2 = 500μF, C3 = 250μF, to1. 각각 +/−10%을 갖는 조정 가능한 컵이다.

② 개발장치 설계

㉮ 회로도

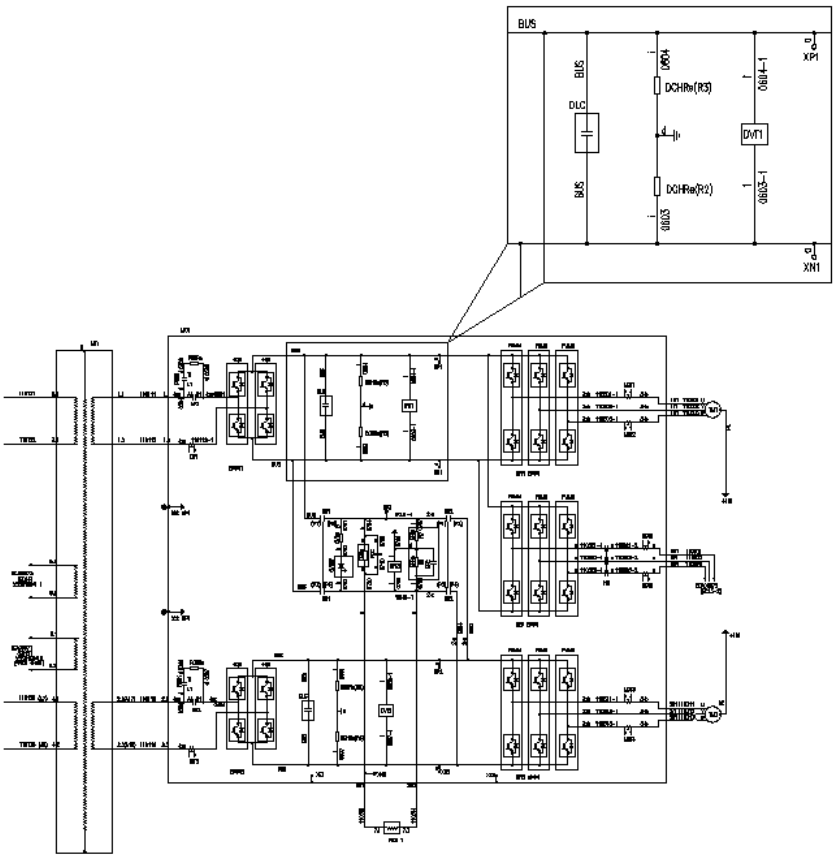
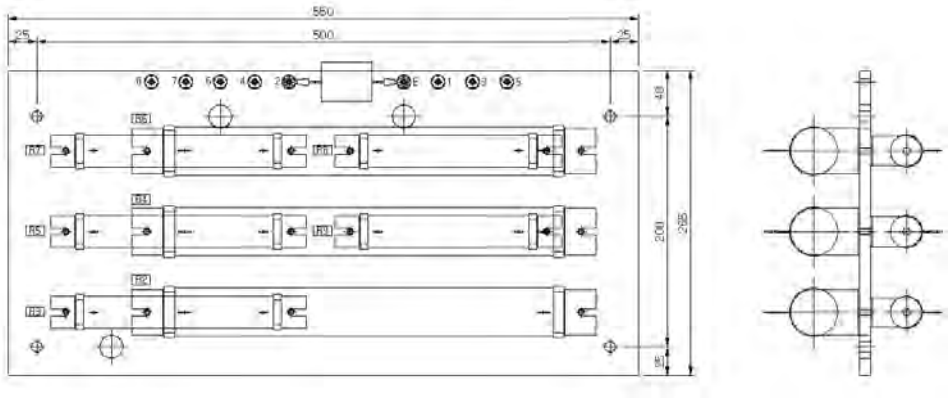


그림 168. 개발장치 회로도

㈏ 주요 구성품

(ㄱ) DCHRe(방전저항장치)

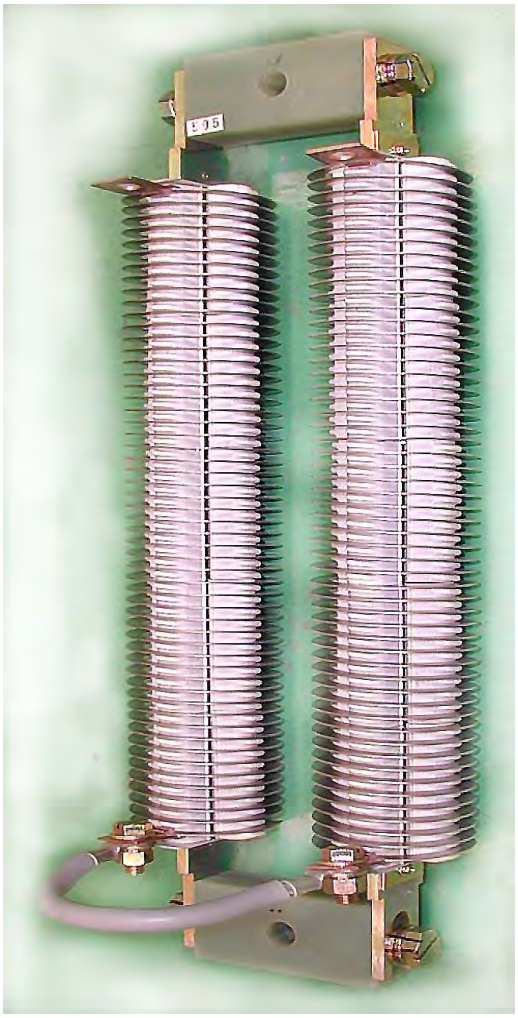
제어전원(DC 110V)이 OFF되면 FILTER CAPACITOR에 충전되어 있는 전하를 DCHRe를 통하여 방전





(ㄴ) OVRe

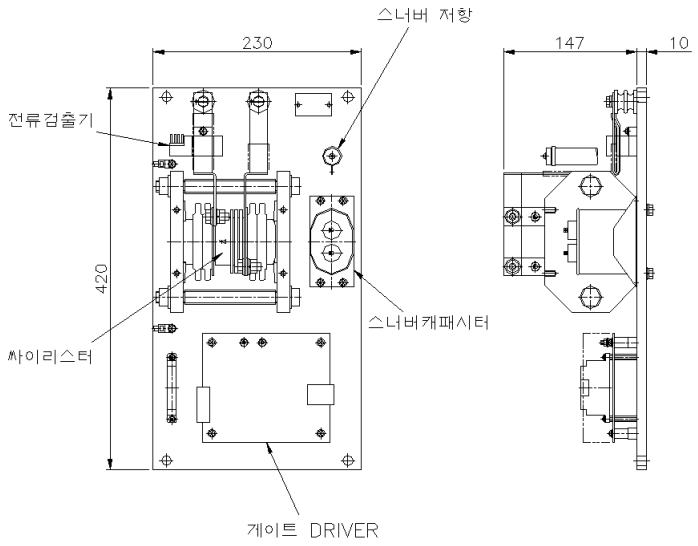
OVCRf의 후단에 연결되어 과전압 보호동작시 전원을 방전시킨다. (부하저항의 역할)

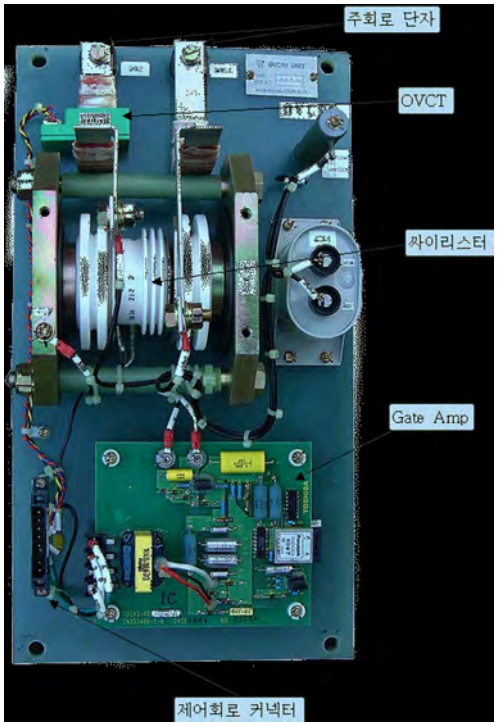




(ㄷ) OVCRf

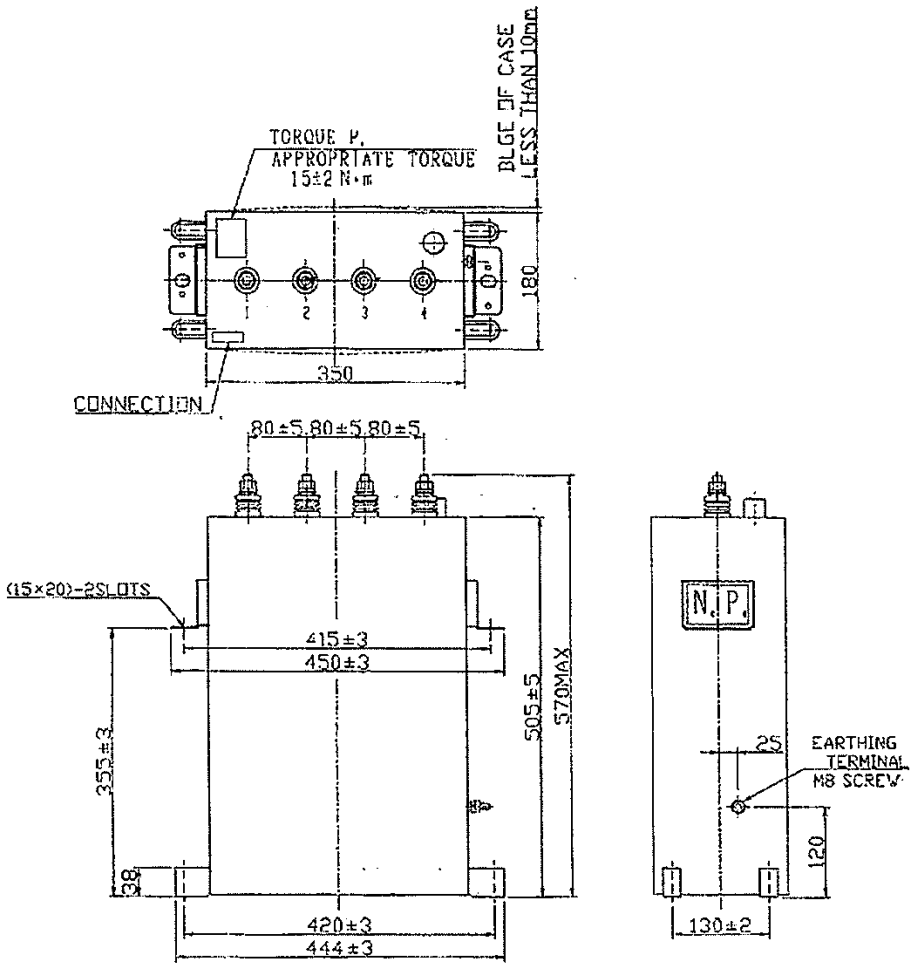
필터 커패시터가 과전압으로 되는 경우 저항(OVRe)을 통해서 사이리스터로 단락 시켜 과전압을 억제하여 주변환장치를 보호하는 역할







(ㄹ) DLC(DC 링크 커패시터)



(ㅁ) DVT(VS4200B)

Additional Information	
Accuracy:	±1.7
Frequency (*f*):	0…13 000 (-3dB) Hz
IIT Publishing Status:	Level 0 - Information enabled
Measuring Range:	-6000 ... 6000 V
No Load Supply Current:	50 mA
Output Current:	0.1 A
Primary Input Connection:	2*M5 studs
Product Main Type:	VS4200
Product Name:	Voltage Sensor
Rated Voltage (U_r):	4200 V r.m.s V
Secondary Output Connection:	3*M5 studs
Supply Voltage:	12 … 24 V DC Tolerance -5 ... +5 %
Test Voltage at Industrial Frequency for 1 Minute:	12 000 V



(7) 제어 Unit

(가) 제어 Unit H/W

① 기존장치 분석

㉮ 일반

TCU는 SIBAS 32 계열의 마이크로프로세서를 사용한 철도차량용 모듈식 제어장치의 일종으로서 3상 AC구동장치를 제어한다. 견인 및 전기 제동력의 무단 제어 및 감시를 연속적으로 수행하는 임무를 가지고 있다. TCU에 마이크로프로세서 기술을 사용하는 것은 실시간 제어 및 동기화된 프로세스의 수행을 통해 성공적으로 입증되었다.

(ㄱ) TCU의 필수적인 기능

GTO 기술 및 제동초퍼, 비동기 전동기의 PWM 인버터 제어

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

(ㄴ) TCU의 하드웨어, 견인 시스템으로의 인터페이스, 열차제어 및 정보시스템은 다음 그림과 같다.

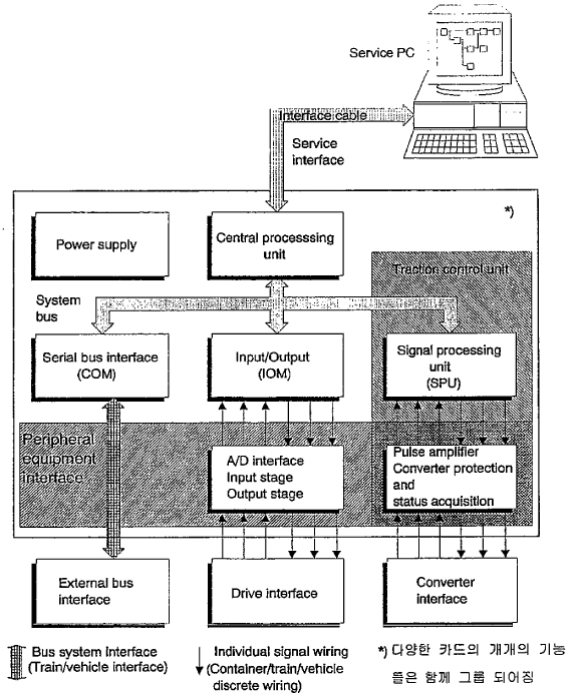


그림 169. TCU의 하드웨어 아키텍쳐

㉮ 하드웨어 배치도 Disposition(Specification)

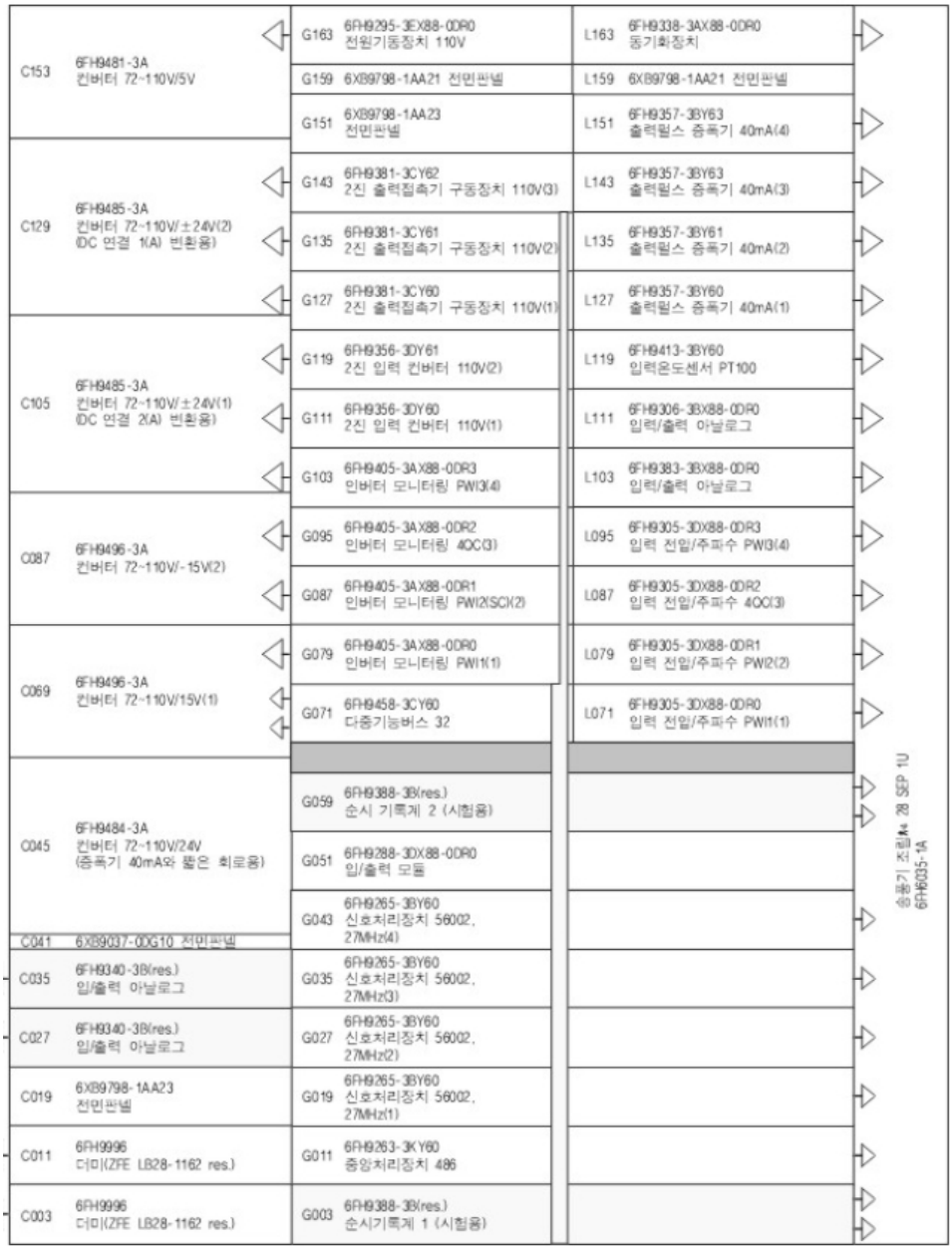


그림 170. 견인제어장치 모듈(TCU)



그림 171, 견인제어장치 모듈(TCU)

㉰ 사용된 모듈형식의 개략

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

㉱ 송풍기 조립품 28 SEP 1U(BLOW)

(ㄱ) 일반사항

송풍기 모듈(6FH6035-1A)은 SIBAS 32 보조 랙의 강제통풍에 사용된다.

이것은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

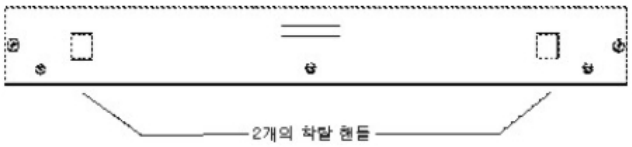
- 중앙제어 장치의 RAM 백업 전원공급을 위한 내장 배터리
- 24V ~ 110V 범위의 정격전원
- 전원의 분리는 요구되지 않는다.
- 이차 공급전원 5V, M
- 분리된 개개의 입력
- 광-커플러 (O.C)에 의한 분리
- 화재 방지용 퓨즈

송풍기 조립품은 SIBAS 보조 랙의 강제통풍을 제공하는 기능을 가지고 있다. 이것은 모듈의 탈착과 같이 구조화 되어 있으며, 3축 방향 팬으로 통합되어 있다. 전원의 연결은 32핀 SUB-MIN-D 플러그 연결기를 통해 이루어지며, 10개의 핀만이 할당된다. 각 송풍기는 최소의 송풍량에 도달하지 않거나 최대의 송풍량이 초과되는지를 감시하며 일반적인 고장출력 "LUEFUW"가 "H" 상태로 정의된 시간 지연 후에 출력된다.

고장출력은 중앙제어장치에 의해 감시된다. 차단 입력 "INH"는 전원 기동장치를 "Low"로 전환해야만 한다. 이것은 전원 기동 장치로의 연결을 확인한다. 송풍기 검지는 기동 시

정의된 기간 동안 작동되지 않는다. 축전지는 RAM 블록에 전원으로 사용된다. 중앙 처리 장치의 회로에서 표시될 때, 오래된 축전지는 교환해야만 한다. 축전지 용량에 관한 정보는 중앙처리장치의 소프트웨어에 의해서 알 수 있다.

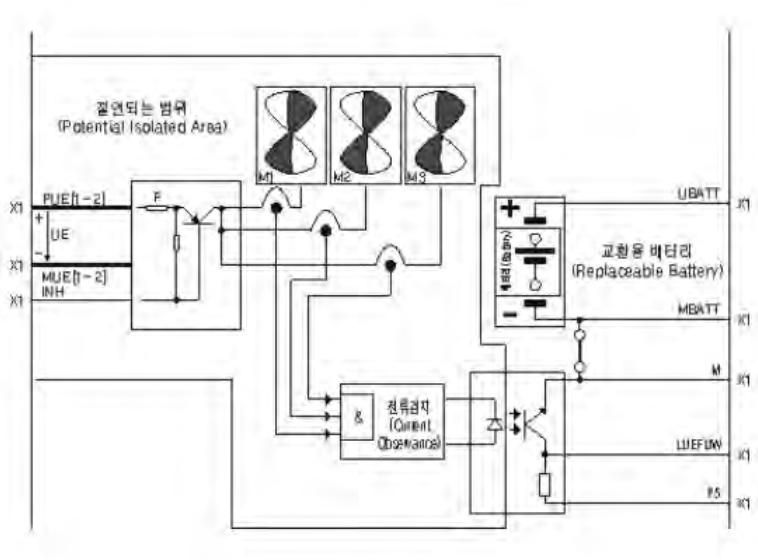
(ㄴ) 전면판넬



(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH6035-1A
후면 커넥터 : X1	32핀 SUB-MIN-D 플러그 커넥터 하이브리드 연결기
슬롯 폭	84TE
무게	약 2400g
온도범위	－40℃～＋85℃
전원	＋5V±5% 약 5㎃
구조	19인치 탈착형 모듈
	426.72㎜×44.45㎜×220㎜ BN 411 002 따르는 철도 형식
표준규격	EN 50155 LES-DB VDE 0110과 VDE 0160으로 분리
X1에서 입력 수	5
X1에서 입력 전압	13V ≤ UIN 158V/175V
입력전류	2A ≤ IIN ≤ 0.16A
풍량	480㎥/h
차단 입력 "INH" UINHIBIT MUE에 참조한 UINHIBIT	UOUT 2.0V 고장 UOUT 0.4V 고장 아님
고장출력 "LUEFUW" M에 참조한 UOUT	UOUT 2.0V 고장 UOUT 0.4V 고장 아님
축전지	리튬 축전지 3.6V IEC : type R14 ANSI : type C
전기적 절연	광-커플러
유지보수	리튬 축전지 교환

(ㄹ) 블록도



㉖ C153 : 전력변환기 72V ~ 110V/5V (PCS 5V)

(ㄱ) 일반사항

PCS 5V 장치(6FH9481-3A)는 SIBAS 보조 랙에 대한 전원공급에 사용된다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 정격 입력 전압 UIN = 72V ~ 110V
- 출력 전압 UOUT = 5V/60W
- 전기적 분리
- 입력측 극성 반전 보호
- 후면 삽입형 커넥터로 탈착 가능

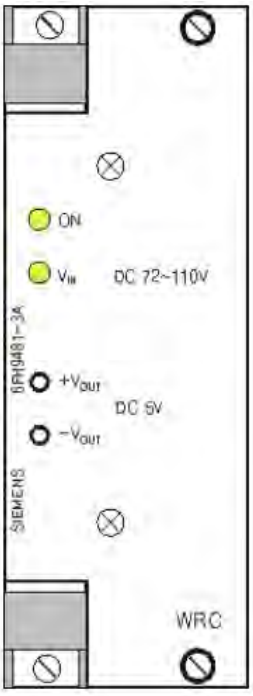
72V ~ 110V/5V, 60W 컨버터는 110V의 정격 입력전압 (PUE, NUE)에서 안정된 5V 출력 전압 (PUA, NUA)를 발생시킨다. 컨버터는 자체의 기계적 구조 및 내진동성에 의하여 전기적 절연 및 반대 극성으로의 연결에 대해 보호된다. 전원 차단 신호 (POWERFL)는 특정한 값 이하 출력 전압이 떨어질 때, 활성화되도록 한다. 금지신호 입력 (INHIBIT)은 컨버터가 ON/OFF 스위칭이 가능하게 한다. TTL레벨의 신호 및 컨버터는 금지신호가 LOW일 때, ON으로 스위칭 된다. 이 신호는 입력 (NUE)을 참조한다.

제어는 Open -Collector 출력과 함께 가능하다. 이런 입력의 연결은 컨버터의 운영에 필수적이다. 전원-내림 출력 (POWERFL)은 Open 콜렉터 신호의 형태이다. 만약 컨버터의 출력 전압이 0.95×UOUTnom±1.5%의 값 아래로 떨어진다면, 이 출력은 FNUA 전위로 스위칭된다. 이런 회로의 상태는 UOUT = (0.95 ~0.6)×UOUTnom의 범위내로 정의되어 있다. Uout < UOUTnom에 대해서는 회로의 상태가 정의되어 있지 않다.

출력전압 규칙의 허용을 위해 센서 입력들 (FUO)을 갖는 컨버터는 출력 전압을 이 포인트에서 측정할 수 있다. 이런 방법으로 전압의 강하를 보정할 수 있다. FNUA 입력은 NUA 출력 라인으로 연결되며, FPUA 출력 라인은 PUA 출력 라인으로 연결된다. 만약 센서 입력들이 사용되지 않는다면 연결되지 않은 상태로 있을 수 있으며, 저항 10Ω을 통해 출력 전압으로 연결된다. 이런 경우에 출력 라인에 대응되는 단자로의 직접 연결이 좋다.

측정의 목적을 위해 컨버터의 출력 전압은 전면 판넬에 위치한 소켓을 사용하여 측정될 수 있다. 소켓들은 저항 (10kΩ)을 통해 출력으로 연결된다. 상태 표시를 위해 전면에 LED가 위치한다. 전원-내림 신호는 UOUT < 0.95×UOUTnom ± 1.5%일 때 불이 들어온다. 두번째 LED는 입력전압이 사용될 수 있음을 나타낸다.

(ㄴ) 전면판넬

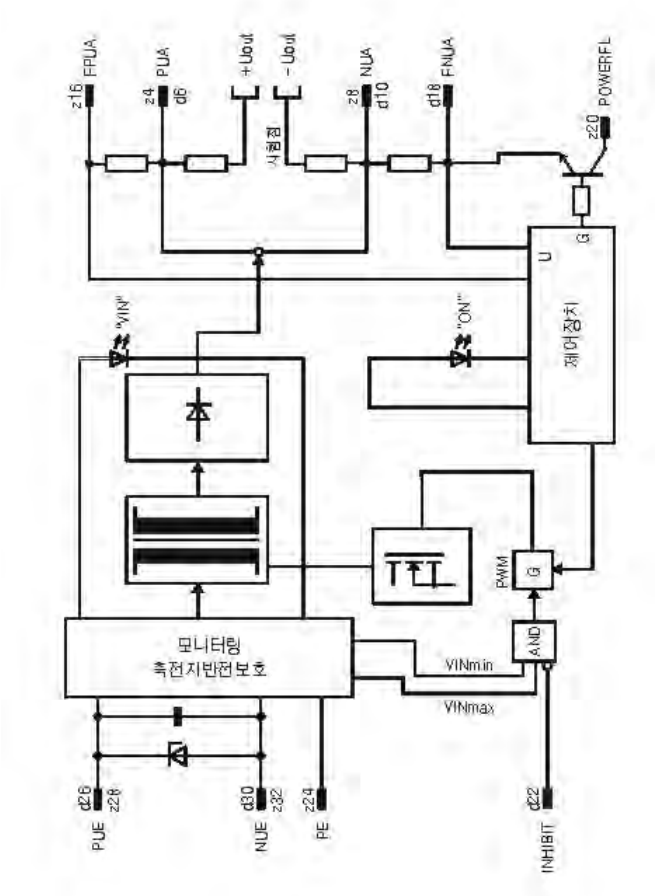


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9481-3A
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 의한 대전류 플러그 커넥터 H15 24핀 연결(1차 접지)
전면 커넥터 : X2	표시 없음
슬롯 폭	9TE
무게	약 600g
온도범위	−40℃ ~ +70℃, +70℃ ~ +85℃(t≤10min)
전원	+5V±5% 약 5㎃
구조	컨버터에 대해 준비된 모듈 위치로 연결 기계적 상호 잠금 100㎜×45㎜×160㎜
규격	EN50121-3-2, EN50178, EN50123-1 EN50155, EN50140, EN50142, EN50155 DIN VDE435T. 303, EN61000-4-3/4/5 IEC529, IEC571-1, IEC68T.2.27 BN 411002, ENV50204, SN29500, EN60559
입력전압..... UIN	65V ≤ UIN 154V
시동전류..... IINO	≤ 10㎃
입력 INHIBIT..... UINHIBIT	"LOW" ≤ 0.4V/0.5㎃ unit ON, "HIGH" ≥ 2.0 unit OFF

	TTL 레벨, 광커플러 제어 가능 신호는 "NUE" 입력을 참조
출력전압.....UOUTnom	+5.1V±2%
출력전류.....IOUTnom	12A
전류 제한	약 1.1×IOUTnom
검지.....UOUT POWERFL, Open-Collector	0.95×UOUTnom±1.5% 신호는 "FMUA" 출력을 참조
효율	82%
주 버퍼링 시간	0.4㎳ : −25℃에서, −40℃ < Ta < −25℃ : 외기에서 커패시터 회로 필요*
부하 변동에 따른 시스템 편차 50%−100%−50%	< 100㎃
부하 변동에 따른 보정 시간 50%−100%−50%	1㎳
잔여 리플	< 100m Vpp

(ㄹ) 블록도



㉮ C069, C087 : 전력변환기 110V/15V (PCS 15V)

(ㄱ) 일반사항

PCS 15V 장치(6FH9496-3A)는 SIBAS 보조 랙에 대한 전원공급에 사용된다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 정격 입력 전압 UIN= 72V ~ 110V
- 출력 전압 UOUT = 15V/60W
- 전기적 분리
- 입력측 극성 반전 보호
- 후면 삽입형 커넥터로 탈착 가능

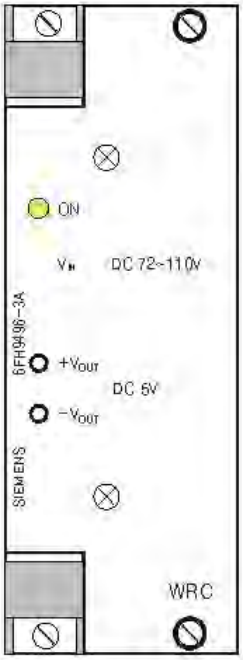
72V ~ 110V/15V, 60W 컨버터는 110V의 정격 입력전압(PUE, NUE)에서 안정된 15V 출력 전압 (PUA, NUA)를 발생시킨다. 컨버터는 자체의 기계적 구조 및 내진동성에 의하여 전기적 절연 및 반대 극성으로의 연결에 대해 보호된다. 전원 차단 신호 (POWERFL)는 특정한 값 아래로 출력 전압이 떨어질 때, 활성화되도록 한다. 금지 신호 입력 (INHIBIT)은 컨버터가 ON/OFF 스위칭이 가능하게 한다. TTL 레벨의 신호 및 컨버터는 금지 신호가 LOW일 때, ON으로 스위칭 된다. 이 신호는 입력 (NUE)을 참조한다.

제어는 Open-Collector 출력과 함께 가능하다. 이런 입력의 연결은 컨버터의 운영에 필수적이다. 전원-내림 출력 (POWERFL)은 Open Collector 신호의 형태이다. 만약 컨버터의 출력 전압이 0.95 × UOUTnom ± 1.5%의 값 아래로 떨어진다면 이 출력은 FNUA 전위로 스위칭 된다. 이런 회로의 상태는 UOUT=(0.95 ~ 0.6) × UOUTnom의 범위내로 정의되어 있다. UOUT < UOUTnom에 대해서는 회로의 상태가 정의되어 있지 않다.

출력전압 규칙의 허용을 위해 센서 입력들 (″FUO″) 을 갖는 컨버터는 출력 전압을 이 포인트에서 측정할 수 있다. 이런 방법으로 전압의 강하를 보정할 수 있다. FNUA 입력은 NUA 출력 라인으로 연결되며, FPUA 출력 라인은 PUA 출력 라인으로 연결된다. 만약 센서 입력들이 사용되지 않는다면 연결되지 않은 상태로 있을 수 있으며 저항 10Ω을 통해 출력 전압으로 연결된다. 이런 경우에 출력 라인에 대응되는 단자로의 직접 연결이 좋다. 측정의 목적을 위해 컨버터의 출력 전압은 전면 판넬에 위치한 소켓을 사용하여 측정될 수 있다. 소켓들은 저항 (10kΩ)을 통해 출력으로 연결된다. 상태 표시를 위해 전면에 LED가 위치한다.

전원-내림 신호는 UOUT < 0.95 × UOUTnom ±1.5%일 때 불이 들어온다.

(ㄴ) 전면판넬

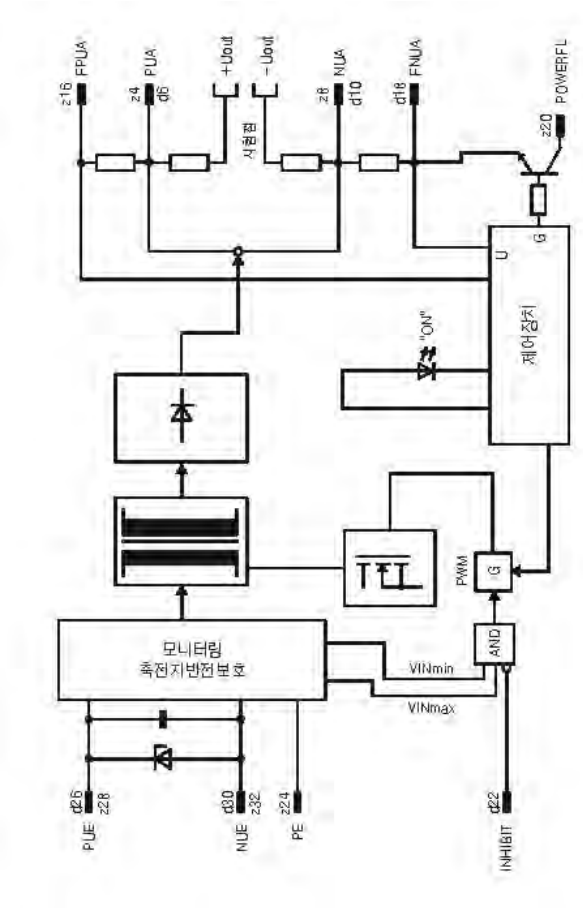


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9496-3A
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 의한 대전류 플러그 커넥터 H15 24핀 연결(1차 접지)
전면 커넥터 : X2	없음
슬롯 폭	9TE
무게	약 600g
온도범위	−40℃ ~ +70℃, +70℃ ~ +85℃(t≤10min)
구조	컨버터에 대해 준비된 모듈 위치로 연결 기계적 상호 잠금 100㎜×45㎜×160㎜
규격	EN50155, EN50140-142, EN50121-3-2, EN50178 PrEN50123-1, DIN VDE435T.303, EN61000-4-3/4/5, ENV50204, EN60559, SN29500, BN 411002, IEC68T.2.27, IEC529, IEC571-1
입력전압.....UIN	40V ≤ UIN 154V
시동전류.....IINO	≤ 10㎃
입력 INHIBIT.....UINHIBIT	"LOW" ≤ 0.4V/0.5mA unit ON, "HIGH" ≥ 2.4 unit OFF TTL 레벨, 광커플러 제어 가능 신호는 "NUE" 입력을 참조
출력전압.....UOUTnom	15V±3%
출력전류.....IOUTnom	4A
전류 제한	약 1.1×IOUTnom(Total 전류 제한)
검지 .....UOUT POWERFL, Open-Collector	0.95×UOUTnom±1.5% 신호는 "FMUA" 출력을 참조
효율	87%

저장 시간	1.5㎳ 이상 (－25℃에서)
부하 변동에 따른 시스템 편차 50%－100%－50%	< 100㎃
부하 변동에 따른 보정 시간 50%－100%－50%	1㎳
잔여 리플	< 100m Vpp

(ㄹ) 블록도



㉮ C045 : 전력변환기 110V/24V(PCS 24V)

(ㄱ) 일반사항

PCS 24V 장치(6FH9484-3A)는 SIBAS 보조 랙에 대한 전원공급을 위해 사용된다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- O 정격 입력 전압 UIN = 72V~110V
- O 출력 전압 UOUT = 24V/100W
- O 전기적 분리
- O 입력측 극성 반전 보호
- O 후면 삽입형 커넥터로 탈착 가능

72V～110V/24V, 100W 컨버터는 110V의 정격 입력전압(PUE, NUE)에서 안정된 24V 출력 전압 (PUA, NUA)을 발생시킨다. 컨버터는 자체의 기계적 구조 및 내진동성에 의하여 전기적 절연 및 반대 극성으로의 연결에 대해 보호된다. 전원 차단신호 (POWERFL)는 특정한 값 아래로 출력 전압이 떨어질 때, 활성화되도록 한다.

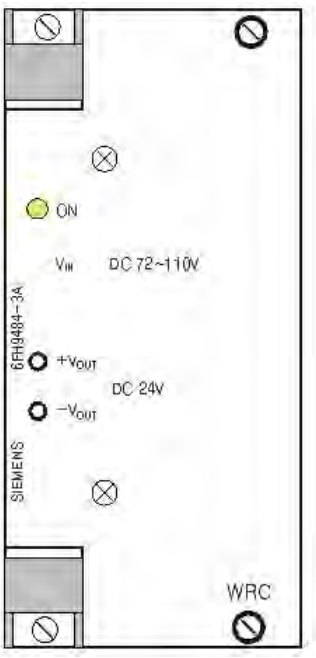
금지신호 입력 (INHIBIT)은 컨버터가 ON/OFF 스위칭이 가능하게 한다. TTL레벨의 신호 및 컨버터는 금지 신호가 LOW일 때, ON으로 스위칭 된다. 이 신호는 입력 (NUE)을 참조한다. 제어는 Open-Collector 출력과 함께 가능하다. 이런 입력의 연결은 컨버터의 운영에 필수적이다. 전원-내림 출력 (POWERFL)은 Open Collector 신호의 형태이다.

만약 컨버터의 출력 전압이 0.95×UOUTnom±1.5%의 값 아래로 떨어진다면 이 출력은 FNUA 전위로 스위칭 된다. 이런 회로의 상태는 UOUT= (0.95～0.6)×UOUTnom의 범위내로 정의되어 있다. UOUT＜UOUTnom에 대해서는 회로의 상태가 정의되어 있지 않다.

출력 전압 규칙의 허용을 위해 센서 입력들 (FUO)을 갖는 컨버터는 출력 전압을 이 지점에서 측정할 수 있다. 이런 방법으로 전압의 강하를 보정할 수 있다. FNUA 입력은 NUA 출력 라인으로 연결되며, FPUA 출력 라인은 PUA 출력 라인으로 연결된다. 만약 센서 입력들이 사용되지 않는다면 연결되지 않은 상태로 있을 수 있으며 저항 10Ω을 통해 출력 전압으로 연결된다. 이런 경우에 출력 라인에 대응되는 단자로의 직접 연결이 좋다. 측정의 목적을 위해 컨버터의 출력 전압은 전면 판넬에 위치한 소켓을 사용하여 측정될 수 있다. 소켓들은 저항 (10Ω)을 통해 출력으로 연결된다. 상태 표시를 위해 전면에 LED가 위치한다.

전원-내림 신호는 UOUT＜0.95×UOUTnom ± 1.5%일 때 불이 들어온다.

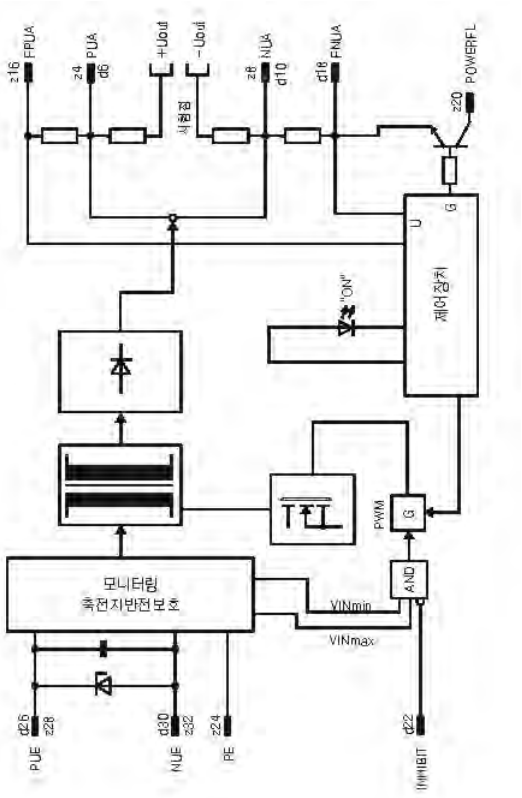
(ㄴ) 전면판넬



(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9484-3A
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 의한 대전류 플러그 커넥터 H15 24핀 연결(1차 접지)
전면 커넥터 : X2	없음
슬롯 폭	12TE
무게	약 850g
온도범위	−40℃ ~ +70℃, +70℃ ~ +85℃(t≤10min)
구조	100㎜×60㎜×160㎜ 기계적 엔코딩
규격	EN50155, BN411002, EN50140-142, EN50121-3-2, EN50178, prEN50123-1, DIN VDE0435T.303 EN61000-4-3/4/5, ENV50204, SN29500, EN60559, IEC68T.2.27, IEC529, IEC571-1
입력전압.....UIN	40V ≤ UIN 154V
시동전류.....IINO	≤ 15mA
입력 INHIBIT.....UINHIBIT	"LOW" ≤ 0.4V/0.5㎃ unit ON, "HIGH" ≥ 2.4 unit OFF TTL 레벨, 광커플러 제어 가능 신호는 "NUE" 입력을 참조
출력전압.....UOUTnom	24V±3%
출력전류.....IOUTnom	4A
전류 제한	약 1.1×IOUTnom(Total 전류 제한)
검지.....UOUT POWERFL, Open-Collector	0.95×UOUTnom±1.5% 신호는 "FMUA" 출력을 참조
효율	87%
저장 시간	1.5㎳ 이상 (−25℃에서)
부하 변동에 따른 시스템 편차 50%−100%−50%	< 100㎃
부하 변동에 따른 보정 시간 50%−100%−50%	1㎳
잔여 리플	< 100m Vpp

(ㄹ) 블록도



㉮ G011 : 중앙처리장치 (CPU ; Central Processing Unit)

(ㄱ) 일반사항

중앙처리장치 모듈(6FH9263-3K)은 SIBAS 32의 프로세서 모듈이다. 중앙처리장치는 SIBAS 32 제어시스템을 위한 이중 크기로 된 유러 형식의 모듈이다. 마이크로프로세서로 AM486DX-2를 사용하였다. 제어 로직 및 여러 형태의 메모리를 추가하였으며, 또한 주변 기기들을 모듈 내에 통합하였다. 이 장치의 상세 사항은 기술 데이터에서 찾을 수 있다.

모듈은 두 개의 후면 커넥터들에 의해 시스템으로 연결된다.

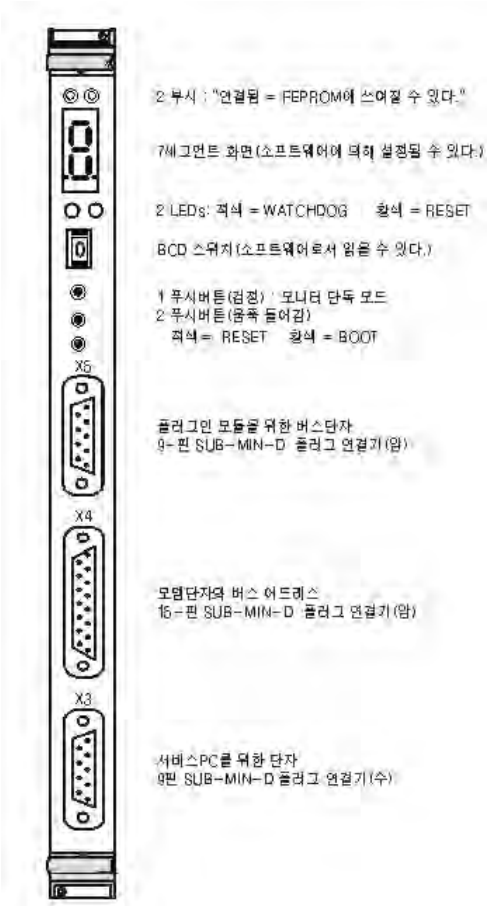
커넥터 X1은 SIBAS Bus(16bit 데이터 폭, 2MB 어드레스 공간)이다. 중앙처리장치는 SIBAS 시스템에서 유일한 BUS 관리자(Master)이다. 주변 신호들은 커넥터 X2에서 현시된다. 실시간 클록 및 배터리 램(RAM)은 축전지 고장의 경우에도 Supercap 커패시터에 의해 적어도 30분 동안 정보를 메모리 내에 저장하고 있다. 외부 축전지는 중앙 처리 장치 상에 적절한 감시 회로의 응답에 따라 교체되어야만 한다.

외부 축전지의 충전 상태에 대한 정보는 중앙 처리 장치의 소프트웨어에 의해 평가된다. 개발 도구들은 중앙처리장치의 프로그래밍을 위해 사용된다. 메모리 용량 증가를 위해 Flash EPROM 영역의 768KB의 램(RAM)을 사용하는 것이 가능하다.

- 다음은 전면 판넬에 위치해 있다.
- 프로그램 상태를 판독하기 위한 7 세그먼트 화면
- 소프트웨어를 읽는데 적당한 BCD 스위치
- 만약 리셋 신호가 현시되지 않으면 노란색 LED가 점등된다.
- 워치독이 규칙적으로 트리거 되면 적색 LED가 점등된다.
- 점퍼는 Flash EPROM의 프로그래밍을 위해 연결되어야만 한다.

○ 리셋을 위한 붉은색 푸시버튼 스위치
○ 리셋과 함께 Monitor Only를 위한 검정색 푸시버튼 스위치
○ 부팅을 위한 검정색 푸시버튼 스위치
○ 직렬 인터페이스를 위한 9핀 플러그 커넥터 (RS232C)
○ 모뎀 인터페이스(RS232)를 위한 15핀 플러그 커넥터와 코딩 점퍼
○ 플러그인 모듈을 위한 9핀 플러그 커넥터
.

(ㄴ) 전면판넬

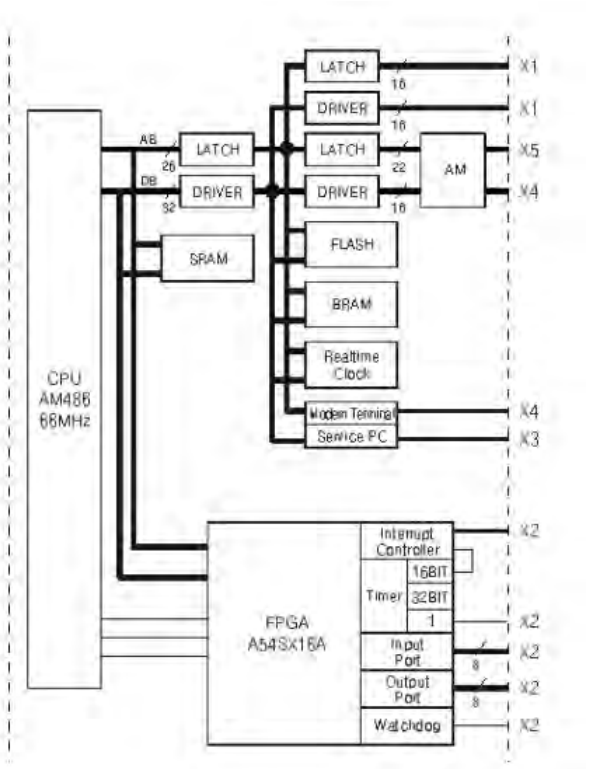


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9263-3K
후면 커넥터 : X1, X2	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터 대규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X3, ...X4, ...X5	9핀 SUB-MIN-D 플러그 커넥터 (수) 15핀 SUB-MIN-D 플러그 커넥터 (암) 9핀 SUB-MIN-D 플러그 커넥터 (암)
슬롯 폭	4TE
무게	약 550g

온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약 1,000㎃
표준규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
CPU 데이터	Am486DX-2 66Mhz 클록 주파수
메모리 모듈	주 램(Main RAM).....1MB 배터리 램.....0.5MB FLASH EPROM.....16MB
그 외 모듈	실시간 클록 버스 인터페이스 중단 제어기 워치독 타이머 및 기타 타이머를 통합한 FPGA 2-채널 직렬 인터페이스 모듈 ID 플러그인 모듈용 슬롯 MVB ASIC 또는 DPR의 직접버스 중재기
입력	8bits의 입력 포트
출력	8bits의 출력 포트
표시기 및 운영 제어기	2 2㎜ bushes 1 7세그먼트 표시 2 LEDs 적색 : 워치독 .....황색 : RESET 1 BCD 스위치 1 푸시버튼 (검정) "모니터 단독" 2 움푹 들어간 푸시버튼 적색 : RESET 검정 : BOOT
유지 보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉶ G019, G027, G035, G043 : 신호 처리 장치 56002, 27㎒ (SPU ; Signal Pressing Unit 56002,27MHz)

(ㄱ) 일반사항

신호처리장치 모듈 (SPU) (6FH9265-3B)은 SIBAS 32 시스템상의 고속 처리 장치이다. 신호처리장치 (SPU)는 이중 크기로 된 유러 형식의 모듈이다. 이 장치는 듀얼 포트 램 및 중앙 처리장치에서 대규모 SIBAS 버스를 통해 슬레이브로 연결되어 있다. 고속도 규격 및 제어 기능은 신호처리장치 (SPU) 보드상에 있다. 모듈에는 27㎒의 클록 주파수, 96 Kbyte 램 및 1.5 Mbyte FLASH EPROM을 갖춘 모토롤라 DSP56002 신호 처리 장치가 위치해 있다.

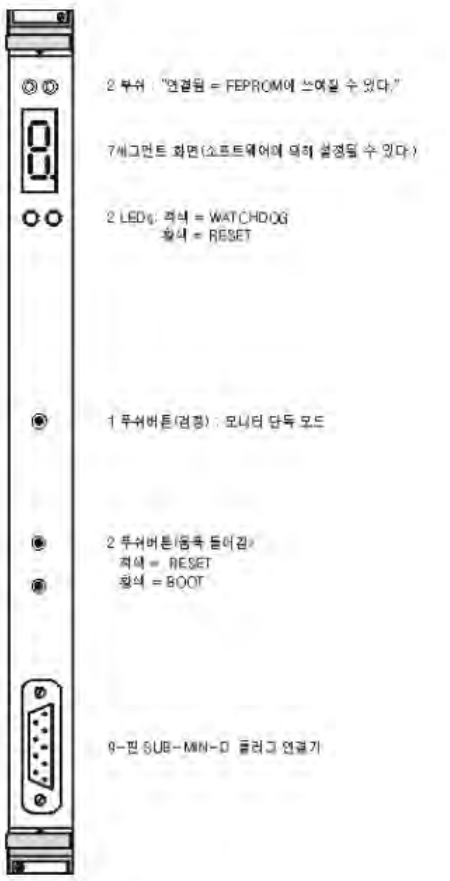
4개의 D/A 컨버터들은 내부적 신호처리 장치에 따르는 아날로그 형태의 변수를 만드는 것이 가능하다. 2개의 직렬 인터페이스들은 750k의 최대 전송비 (Baud Rate)로 지국 대 지국 (Point to Point)의 연결을 허용한다. 이진 데이터는 출력 포트를 통해 판독될 수 있다.

하드웨어 인식은 하드웨어 버전을 결정시킬 수 있다. 프로그래밍 로직 (2LCA)의 사용은 실제 값 전처리의 유동적인 구성 및 전력 반도체의 트리거링을 위한 장치의 다양한 항목을 도구화하게 한다.

- ○ 프로그램 상태를 판독하기 위한 7 세그먼트 화면
- ○ 만약 리셋 신호가 현시되지 않으면 황색 LED가 점등된다.
- ○ 워치독이 규칙적으로 트리거 되면 적색 LED가 점등된다.
- ○ 점퍼는 Flash EPROM의 프로그래밍을 위해 연결되어야만 한다.
- ○ 리셋을 위한 적색 푸시버튼 스위치
- ○ 리셋과 함께 "모니터단독"을 위한 검정색 푸시버튼 스위치

○ 리셋 기능과 함께 중앙 처리 장치를 통한 "이중 램 부팅"을 위한 검정색 푸시버튼 스위치
○ 직렬 인터페이스를 위한 9 핀 플러그 커넥터

(ㄴ) 전면판넬

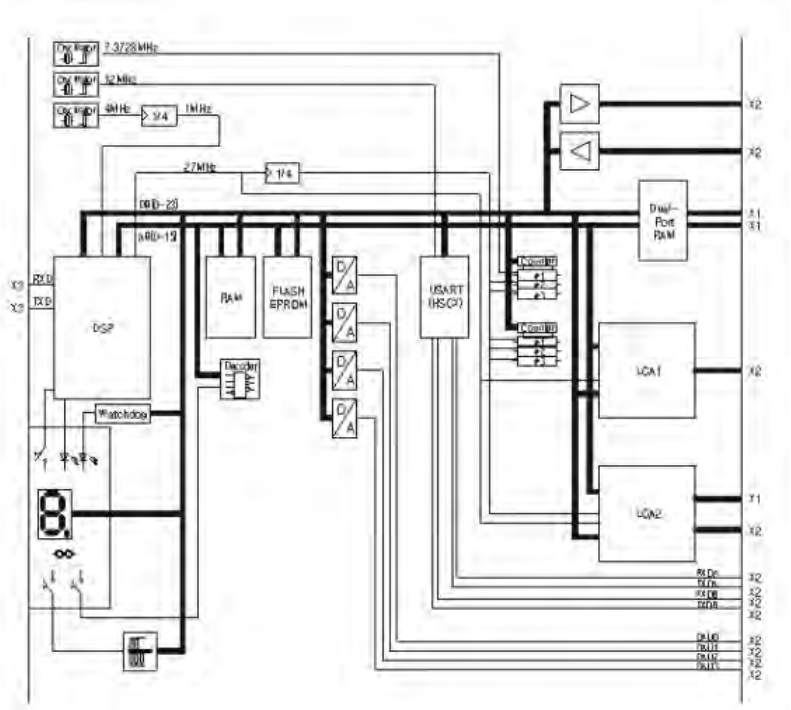


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9265-3B
후면 커넥터 : X1, X2	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터 대규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X3	9핀 SUB-MIN-D 플러그 커넥터 서비스 인터페이스
슬롯 폭	4TE
무게	약 550g
온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약 600㎃ +15V±5% 약 50㎃ −15V±5% 약 50㎃
구조	이중 기판 유러 형식의 PCB 233.4㎜×160㎜ 양측 바니쉬 처리 18μm 기술의 6층 인쇄회로 설계,

	기계적 엔코딩 BN 411 002 따르는 철도 형식
표준규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
처리장치	DSP56002/27㎒ 클록 주파수
메모리 모듈	램 (RAM).....96kByte FLASH EPROM..... 1.5Mbyte 이중램 포트..... 4kByte
그 외 모듈	2×71054 4DAC 7 segment-표시기 2 채널 직렬 고속 인터페이스 직력 서비스 인터페이스 2LCA
입력	8bits의 입력 포트 12 입력 LCA1 3입력 LCA2
출력	8bits의 출력 포트 워치독 출력 16 출력 LCA2
입력/출력	4 입력/출력 LCA1 4 입력/출력 LCA2
유지 보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉦ G051 : 입/출력 모듈 (IOM ; Input/Output Module)

(ㄱ) 일반사항

입·출력 모듈(6FH9288-3D)은 SIBAS 32상의 중앙처리 장치와 입출력 모듈 사이의 인터페이스를 제공한다. 이것은 데이터 버스 (DB [00-15])와 어드레스 버스 (AB [01-16])을 통해 중앙 처리 장치 (CPU)로 연결된다.

이 모듈과 함께 아날로그 전압을 디지털 값으로 변환이 가능하다. 23개의 외부 아날로그 신호들(AIN[01-23])과 두개의 내부 아날로그 신호의 아날로그/디지털 변환 (12bits, +/-10V)을 허용한다. 이들 23개의 아날로그 신호에서 10개의 신호들(AIN [01-10])은 감시 신호로 한정하여 통과된다. 이들 감시 제한 신호들이 자동 테스트 설비에 제공된다.

아날로그 신호 (AOUT [01-04])들의 출력에 대해 모듈은 4디지털/아날로그 변환(12bits, +/-10V)을 갖는다. 부가적으로 이 모듈은 64개의 2진 신호들(이 신호는 AIN [01-23], BIN01 또는 B_I/O_[01-40]를 적용)까지 읽을 수 있으며, 46개의 2진 신호들(B_I/O_[01-40], BOUT [01-06])까지 출력할 수 있다.

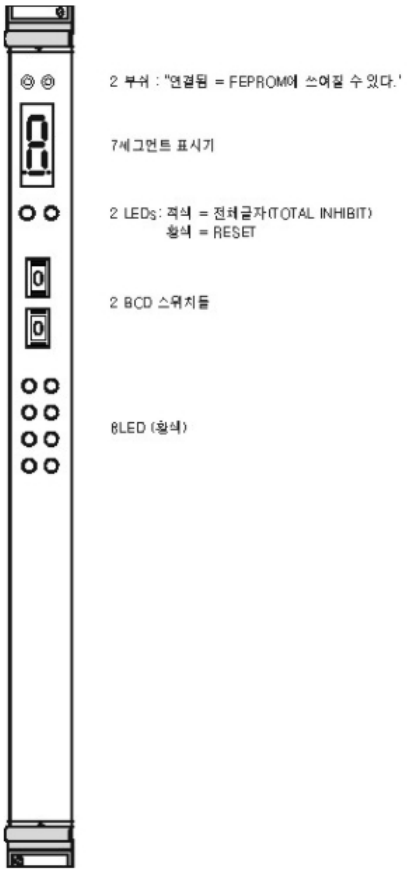
신호 BIN01, B_I/O_[01-40] 및 BOUT [01-06]는 FPGA (Field Programmable Gate Array)로 지나며, 프로그램 로직을 함께 제공한다.

신호 B_I/O_[01-40]은 8 bit신호로 각각 5개 포트로 분배되며, 각 포트에서 입출력들을 전환할 수 있다. 이것은 FPGA의 소프트웨어 및 하드웨어에 의해 영향을 받는다. 이 모듈은 또한 펄스 지속/주파수 입력 신호 및 펄스 지속/주파수 출력 신호들에 대해 주로 사용될 수 있는 9개의 프로그래머블 카운터 모듈 (16bit)을 갖는다.

펄스 지속/주파수 입력 신호들은 B_I/O_[05-07]을 적용하며, 펄스 지속/주파수 출력 신호들은 B_I/O_[09-16]을 적용할 수 있다. 3개의 속도 검측은 표준 FPGA에서 이루어진다. 부가적으로 이 모듈은 전면에 설치된 10개의 LED를 갖고 있다. 이들 중 8개의 LED는 데이터 Bus를 통해(소프트웨어) 직접 어드레싱 할 수 있다. 다른 두 개의 LED는 다음 상태 RESET 및 TOTAL INHIBIT를 표시한다. 또한 모듈 상에는 온도 센서, 두개의 BCD 스위치 및 7세그먼트 표시기 등이 제공되며 데이터 Bus를 통해 접근 가능하다. (소프트웨어)

더욱이 이 모듈은 EPROM내에 연결하기 위한 설비가 제공된다. EPROM은 64K×8 에서 512K×8의 크기를 갖는다. 프로그램은 오직 전면 상부에 있는 두 개의 단자들 사이에 전기적으로 연결이 될 때 가능하다.

(ㄴ) 전면판넬

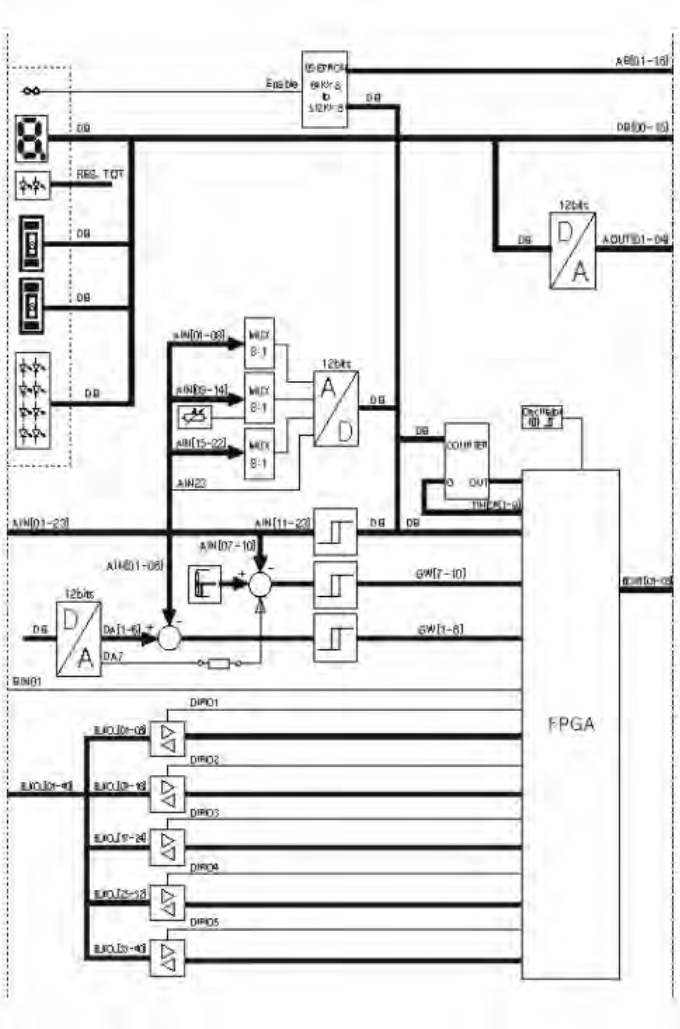


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9288-3D
후면 커넥터 : X1, X2	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터 대규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X3	없음
슬롯 폭	4TE
무게	약 500g
온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약 300㎃ +15V±5% 약 200㎃ −15V±5% 약 200㎃
구조	유러 형식의 PCB 233.4㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 6층 인쇄회로 설계, 기계적 엔코딩 BN 411 002 따르는 철도 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
제어 신호에 대한	64개 까지

디지털 입력 신호수	
제어 신호에 대한 디지털 출력 신호수	46개 까지
아날로그 입력 신호수	23
감시제한 신호수	10
주요 중요기능	2진 입/출력아날로그 입/출력아날로그 신호의 제한적 신호입력중의 주파수 및 펄스추력중의 주파수 및 펄스회전방향 검지를 갖는 속도 측정온도 검지 모듈FPGA내의 로직 운영
입력전압 범위(제어신호)	HCMOS 레벨
출력전압 범위(제어신호)	HCMOS 레벨
아날로그 신호의 입력 전압 범위	±10V
아날로그 신호의 처리	12비트의 S & H ADC, ±5LSB 절대값
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉮ G163 : 전원 기동장치 (PSU 110V)

일반사항

전원기동장치 110V 모듈 (6FH9295-3E)은 일차 및 이차 공급 전압의 저 전압을 검지하는데 사용되며, 시스템의 시동 및 정지를 제어 하는데 사용된다.

이차측 공급 전압 (UIN)으로 제어기의 연결은 전원 시동 장치의 전면 판넬 커넥터를 통해 이루어진다.

모듈은 두 개의 전위 레벨로 나눠진다. 전원공급장치로의 전원 공급을 위해 일차측에 20A와 10A의 전류 용량을 가진 두 개의 케이블 그랜드가 있다. 제어기의 시동은 분리된 시동 신호(ESB)에 의해서 또는 일차 공급 전압에 의해서 이루어진다. 공급 전압 및 시동신호 양쪽은 저전압을 검지한다. 이들 검지 기능은 단절될 수 없다. 정지 (Shutdown) 설정치는 솔더링 단자에 있는 저항기들에 의해 설정될 수 있다. 이차측에서 공급전압의 저전압 검지를 위한 6개의 검지 채널이 모듈과 통합되어 있다. 3개의 검지 채널은 하드웨어에 의해 단절될 수 있다. ; 나머지는 영구적으로 활성화된다. 다양한 저항에 의해 단절될 수 있는 채널들 (P24, N24, UZ)에 대해 정지 설정이 가능하다. 단절될 수 없는 채널은 고정되어 있다. (P5, P15, N15)

저전압 검지 설정 값은 FPGA에서 평가한다. 부가적으로 내부 모듈 클록 검지는 워치독에 의해 실행된다. 고장의 경우 다양한 반응이 모듈에 의해 초기화된다. 이것들은 소프트웨어에 의해 초기화할 수 있다. 인버터 밸브들의 활성화는 금지되고 (펄스 금지), 전원 공급 장치들은 스위치 오프 된다. (정지 신호, INHIBIT).

부가적으로 전체금지 (HTOT) 및 비-인터럽트 [Non-interrupt (NMI#)]가 발생한다. 게다가 리셋신호가 출력된다. 전원 시동 장치의 부가적인 보호 기능은 ASA 금지 (Inhibit)이다. 이런 목적을 위해 OCDP/BOCD 모듈의 공급 전압은 분리되어 있다. ASA 금지 (Inhibit)는 분리된 입력핀을 통함에도 외부적으로 활성화될 수 있다.

전원 시동 장치의 FPGA는 고장 메모리가 통합되어 있다. 이것은 중앙 처리 장치 및 배터리 백업 램에 저장된 NMI# 서비스 루틴의 경로로 판독될 것이다. 모듈의 기능은 전원 시동 장치의 시동 회로에 의해 실행된다. 제어기가 켜진 후에 정해진 시간 동안의 지연시간 (Waiting Time)을 갖는다. 지연시간이 지난 후에도, 만약 전압이 안정화되지 않는다면 전원 공급 장치는 다시 차단되어질 것이다. 이 모듈은 버스 연결 없이도 동작된다. 전원 시동 장치의 활성화는 3가지 제어 신호들에 의해서만 효력을 나타낸다. 고장 기억은 3개의 고장 신호에 의해 판독될 수 있다. 이런 신호들은 드라이버들을 통해 전달되며, 중앙 제어 장치의 PORTIN 및 PORTOUT로 연결된다.

(ㄱ) 전면판넬



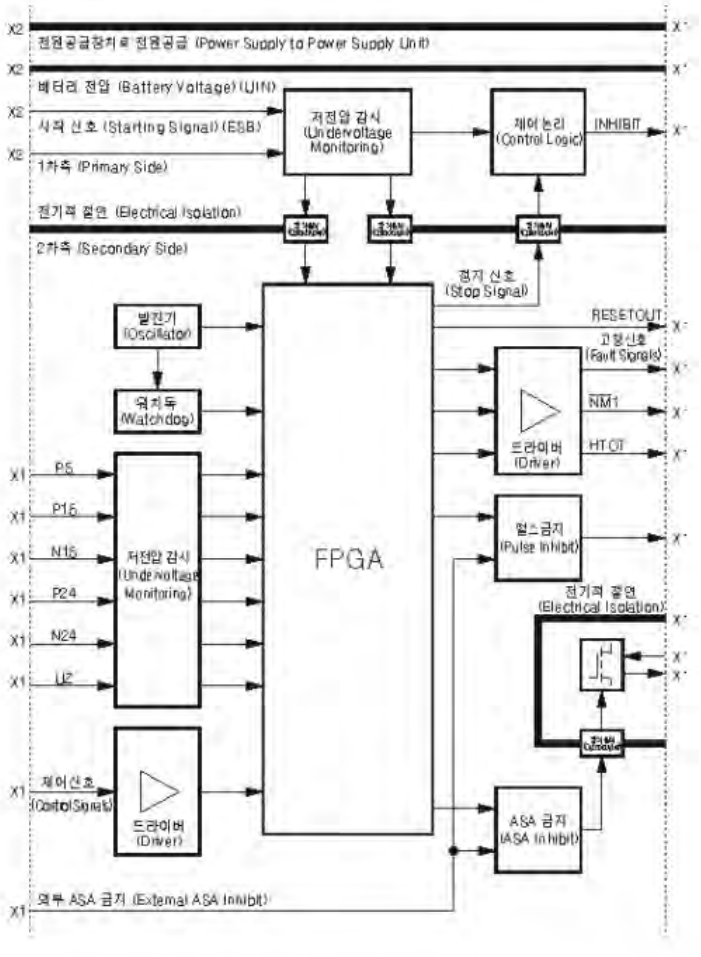
15극

(ㄴ) 기술데이터

주문번호	6FH9295-3E
후면 커넥터 : X1, X2	DIN 41612 31핀 플러그 커넥터(24+7)
전면 커넥터 : X3	없음
슬롯 폭	4TE
무게	약 250g
온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약 45㎃ +15V±5% 약 35㎃ −15V±5% 약 8㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 4층 인쇄회로 설계, 기계적 인코딩 BN 411 002 따르는 철도차량 형식

규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
일차 공급 전압, 시동 신호	+110V
이차 전압 검지 수 단절, 조정구 비단절, 고정구	6 3 3
제어 신호 수	3
고장 신호 수	3
전압범위, 디지털 입력/출력	HCMOS level
금지 출력	Open-Collector
펄스 금지	Open-Collector
전압 범위, ASA 고급 전기적 절연	+5V ~ +24V 광 커플러

(ㄷ) 블록도



㉲ L071, L079, L087, L095 : 입력 전압/주파수(IVF)

(ㄱ) 일반사항

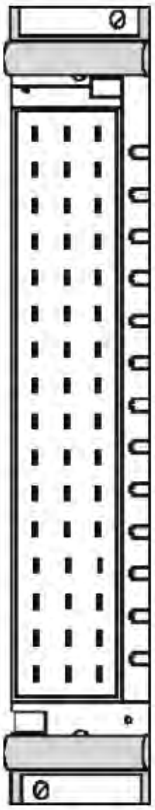
입력 전압/주파수 모듈(6FH9305-3D)은 아날로그 전압에서 주파수로의 변환을 위해 사용된다. 이 모듈의 적용은 LCA (Logic Cell Array)와 결합하여 7개의 아날로그 실제 값을

신호 프로세스 장치 보드 상에 디지털화 할 수 있다. 입력 전압/주파수 변환기 보드는 SIBAS 32의 단일 유러 형식의 모듈이다.

측정 신호는 전면 판넬의 커넥터를 통해 다른 증폭기로 각각 통하며 솔더 태그상에 위치한 2개의 저항에 의해 그것의 이득이 결정된다. 이들 출력들은 후면 커넥터를 사용한다. 채널 3 ~ 6의 경우 두 개의 전면 판넬 커넥터 입력의 각각은 후면 커넥터로 지난다. 이것은 랩 판넬을 통해 이차 IVF 컨버터 보드로 이들 입력 신호의 적용을 가능하게 한다.

각 각의 측정 채널에 대해 로드 (부하)를 솔더 태그 (Solder Tag)의 모듈상에 납땜될 수 있다. 전원 분배 및 요구되는 저항치의 정확성을 얻기 위해 최대 6개의 저항이 병렬로 연결될 수 있다. 8번째 채널과 5 제어 비트의 도움으로 모든 채널에 대해 측정값의 획득과 전자기 방해 없이 초기화 시의 균형 및 운영 중의 연속적인 평형을 유지하는 것이 가능하다.

(ㄴ) 전면판넬

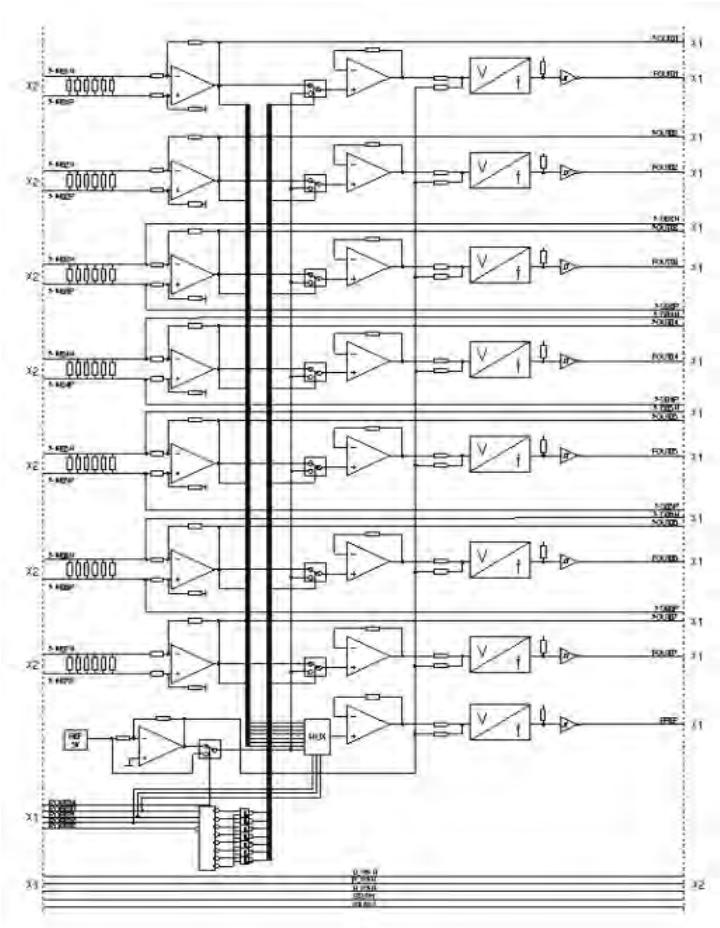


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9305-3D
후면 커넥터 : X1, X2	DIN 41612 31핀 플러그 커넥터(24+7)
전면 커넥터 : X3	DIN 41612 48핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4TE
무게	약 180g

온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약 25㎃ +15V±5% 약 50㎃ −15V±5% 약 50㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 4층 인쇄회로 설계, 기계적 인코딩 BN 411 002 따르는 철도차량 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
입력	7개 아날로그 증폭기 입력 5개 2진 제어 입력
아날로그 입력의 입력전압 범위	±10V
제어 신호의 입력전압 범위	HCMOS LEVEL
출력	7 아날로그 출력 7 주파수 출력 1 참조 주파수 출력

(ㄹ) 블록도



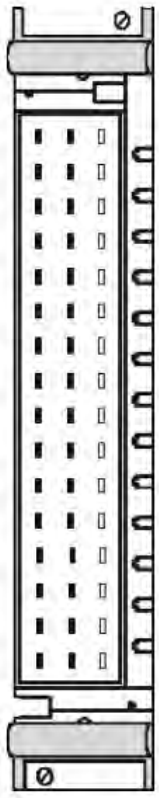
㈑ L163 : 동기화 장치 (Synchronizing Unit ; SYN)

(ㄱ) 일반사항

SYN모듈(6FH9338-3A)은 2개의 견인제어장치 사이의 동기화 펄스의 전송을 목적으로 사용된다.

4개의 디지털 신호 (BIN [1-4])는 이 모듈을 이용하여 전송된다. 수신측 (BIN [1-4] 0및 BIN [1-4] 0#)은 분리되어 있다. 4개의 채널 중 2개는 워치독으로 감시된다. 워치독 출력 신호는 플립-플롭에 저장되어있다. 플립-플롭들은 BIN22와 BIN42를 재설정 한다. 워치독 시간은 저항 및 커패시터의 부착에 따라 결정될 것이다. 모듈은 5개의 인통-선로를 갖고 있으며, 후면 커넥터에서 전면 판넬 커넥터로 커넥터 플러그-인 검지를 목적으로 2개의 인통-선로 (STUW [1-2])가 포함된다.

(ㄴ) 전면판넬

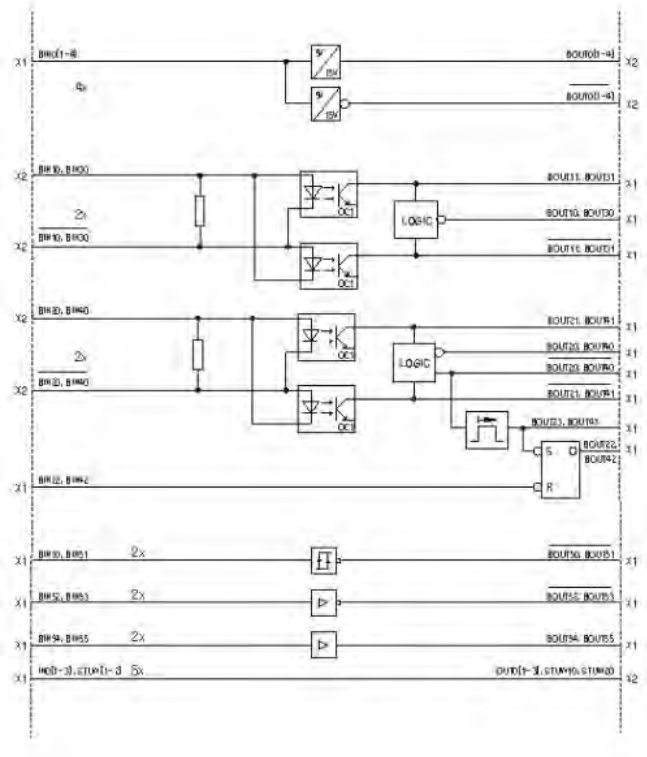


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9338-3A
후면 커넥터 : X1	DIN 41612 48핀 플러그 커넥터
전면 커넥터 : X2	DIN 41612 32핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4TE
무게	약 250g
온도범위	－40℃～＋85℃

전원	+5V±5% 약 200㎃ +15V±5% 약 250㎃ −15V±5% 약 5㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 35μm 기술의 4층 인쇄회로 설계, 기계적 엔코딩 BN 411 002 따르는 철도차량 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
채널 수	4
제어 신호의 입력전압 범위	HCMOS level
제어 신호의 출력전압 범위	HCMOS level
동기화 펄스의 입력전압 범위	+15V
동기화 펄스의 출력전압 범위	+15V
전기적 절연	광-커플러
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉲ L111 : 입력/출력 아날로그(IOA)

(ㄱ) 일반사항

IOA 모듈(6FH9306-3B)은 여러 아날로그와 디지털/이진신호들을 처리하는데 사용된다. 주요 특성은 다음과 같다.

- O 이득 (R)과 시간지연 (C)을 조절할 수 있는 5개의 다른 증폭기
- O 두 개 아날로그 전압중 최소 값 1개 선택
- O 음출력 전압의 2개 절대 값 생성기
- O 주변기기에 출력을 위한 2개 전압/고정전류 변압기
- O 주변기기에 출력을 위한 2개 전압/전압 변압기
- O 1개 양합 증폭기
- O 타코생성기 (단락여부 확인)에 전원을 공급하는 2개 100㎃ 출력장치
- O 속도 측정을 위해 필터 시정수를 조절할 수 있는 4개 디지털 입력장치
- O 2개의 절연된 출력신호 컨버터
- O 변환기 신호를 측정하기 위한 6개 부하저항기
- O 전면패널에서 뒤판 커넥터까지의 8개 연결 리이드 (전원 변압기용 포함)
- O 다이오드 (음극과 양극)를 차단하는 2개 연결 리이드
- O 전면패널 (X2)과 뒤판 커넥터 (X1)에서 플러그인 모니터링 가능

5개의 증폭기는 각각, 뒤판 커넥터 X1에 연결된 출력 AOUT [01-05] 과 입력 AIN[01-05]P/N이 있다. 이득은 납땜핀에 있는 저항기로 조절될 수 있다. 입력저항기 또한 교체될 수 있다.

교체된 콘덴서로 시정수를 완곡하게 할 수 있다. 두 개 아날로그 전압 AIN06와 AIN07의 최소 값은 두 개의 역증폭기로 형성된다. 이 역증폭 기는 음정류를 포함하고 있으며, 출력쪽에서 일반 상승저항기로, 양공급전압 P15와 연결된다. 이는 두 개 아날로그 전압의 최소값 AOUT06이 출력임을 보장한다.

두 개의 OPA는 역과 비역으로 연결되며, 각각 출력장치에 정류기 다이오드를 가지고 있다. 이 OPA를 사용하여, 아날로그 입력전압 AIN [08-09]으로부터 음값 AOUT [08-09]을 형성할 수 있다. 이 회로는 중복된다. 이득과 완곡한 시정수는 납땜 핀에 있는 해당요소 (R, C)를 바꾸어, 차례대로 변경될 수 있다.

다음 장비 (이것 역시 중복됨)로, 아날로그 전압 AIN [10-11] (－10V ～ ＋10V)을 고정전류 AOUT [10-11] ＋20㎃ ～ －20㎃)로 전환할 수 있다.

두 개 전류출력장치는 전면패널 커넥터X2에 있고, 따라서 주변장치에 전원공급이 가능하다.

여기는 추가적으로 두 개의 전압/전압 변압기가 있다. 이 장치는 음아날로그 입력전압 AIN [12-13]으로부터 ＋아날로그 출력전압 AOUT [12-13]을 생성한다. 이는 주변기기에 전원을 공급하기 위한 커넥터 X2 에서도 가능하다. 이 두 개 변압기에는 다이오드가 제공되고, 따라서 두 개 출력을 병렬로 연결할 수 있다. 이득을 측정하는 저항기와 다이오드도 납땜핀에 있으며, 따라서 출력전압의 극성과 이득을 변경할 수 있다. P15에 저항하는 제한된 다이오드는 설치되지 않는다.

양합증폭기는 다음 방정식에 따라, 두 개의 아날로그 입력전압 SUM1과 SUM2에서 아날로그 출력전압 SUMOUT을 생성한다.

SUMOUT = 1/2 × (SUM1 + SUM2)

여기서 입력전압은 같은 극성으로, 각각 5V값만 갖는다.

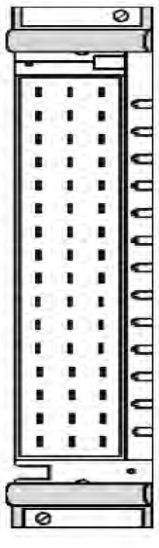
증가된 타코생성기 신호를 포착하기 위해, 전면패널 커넥터 X2에 네 개의 채널 FIN [14-17]이 있다. 여기에는 공급전압P15에 저항하는 입력상승저항기 Rpu와 근처에 있는 RC 필터가 있다. 타코 생성기 신호는 비교기U3(D1 회로에 집적된 슈미트 트리거가 뒤에 있다)를 통해, TTL-호환 신호 FOUT [14-17]로 변환된다. 이 신호는 나중에 내부적으로 처리될 수 있다. 상승저항기, 콘덴서Cs 그리고 부하저항기RB [14-17]는 납땜핀에 있으며, 일반적으로 센서와 연결될 수 있다.

타코생성기는 출력DP15_[1,2]를 통해, 전원이 공급될 수 있으며, 단락회로 전류제한의 기능을 갖는다. 이를 위해, 공급전압UDP15IN 은 입력DP15IN을 통해 공급된다. 이 입력장치는 전면에 있으며, X1과 X2 사이에 있는 연결 리이드를 통해, 뒤판 커넥터에서 공급전압으로 연결된다. 열이 발생되기 때문에, 규정된 전류 IDP15 는 작동중에 초과되지 않아야 한다. 규정된 전류와 단락회로 전류 IDP15/IDP15KS는 기술자료에 규정되어 있다.

두 개 절연된 출력신호 컨버터는 뒤판 커넥터 X1에서, 디지털 입력신호BIN [18-19]를 광커플러 (Optocoupler)를 통해 해당 출력신호 BOUT [18-19] P/N로 변환할 수 있게 해준다. 이 출력신호는 전면패널 커넥터X2에서 양극신호 (트랜지스터 접속)로 출력된다. BIN [18-19]에서 LOW 신호의 경우, 트랜지스터T1은 비도체가 된다. Z-다이오드와 보호저항기를 사용하여, 트랜지스터 출력은 과전압으로부터 보호된다. 교체될 수 있고 납땜핀에 있는, 6개 부하저항기RB 의 최대 값으로, 변압기의 출력전류를 해당전압으로 변환할 수 있다. 이것은 여러 증폭기를 통해 판독될 수 있다. 변압기 신호는 전면패널 커넥터 X2를 통해 입력되고, 뒤판 커넥터 X1을 통해 다시 출력된다.

변압기로의 전원공급과 전면패널 모니터링을 위해, 전면패널 커넥터 (X2)와 뒤판 커넥터 (X1) 사이에 점유되지 않은 8개의 리이드가 있다. IN [35-40] 와 STUW [1-2], 나중에 두 개의 리이드 UIN[33-34]가 납땜핀에 있는 다이오드와 함께 설치된다. 이는 한 방향으로만 사용할 수 있다. (예를 들어, 역전압 차단). X1과X2에 설치되는 마지막 리이드, IN20에는 두 개 공급전압P15 와 N15를 제한하는 차단 다이오드가 있다.

(ㄴ) 전면판넬

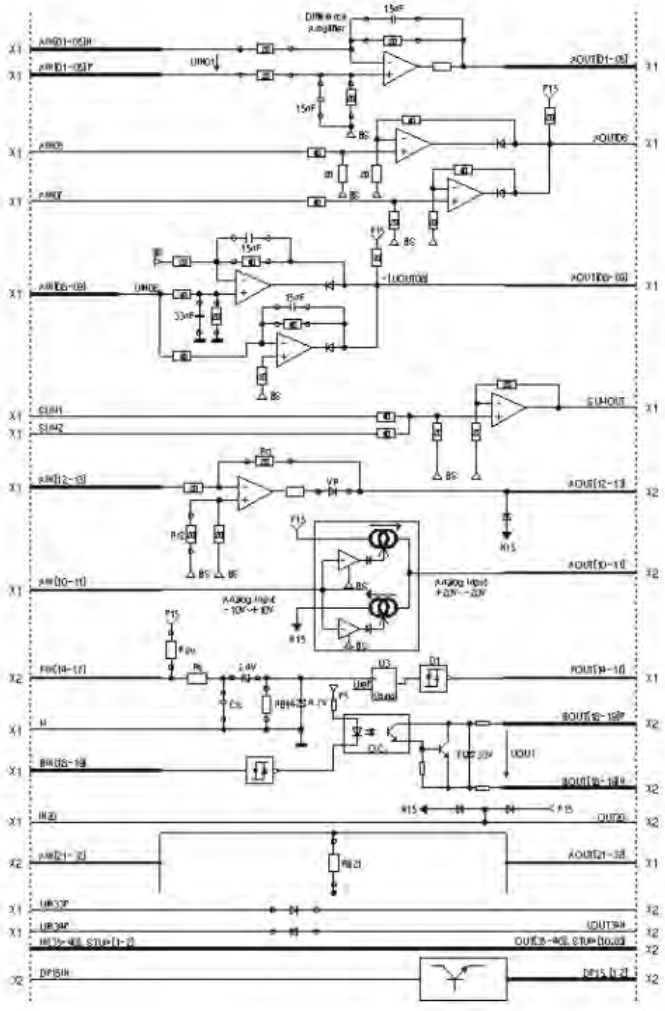


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9306-3B
후면 커넥터 : X1	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터
전면 커넥터 : X2	DIN 41612 48핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4 TE
무게	약 200g
온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5 V±5% 약 50㎃ +15 V±5% 약 70㎃ −15 V±5% 약 50㎃
구조	유럽형 프린트 회로기판 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm/35μm 기술의 2층 인쇄회로 설계 기계적으로 인코딩됨 BN 411 002에 의한 철도 형식
규격서(적용될 경우)	EN 50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
입력장치 수	- X2와 X1사이에 11개 커넥션 - 15개 아날로그 입력 - 4개 속도입력 - 출력신호 컨버터용 2개 디지털 입력 - 6개 부하입력 - 타코생성기용 1개 전압입력
DC 전압 입력 X1 과 X2 사이의 연결 X1에서 아날로그 입력 X2에서 속도입력 X1에서 디지털입력 X2에서 부하입력 전압 입력 DP15IN X2	≤30V(전류 : 출력 참고) ≤±15V RE ≥2kΩ ≤±15V IE ≤18㎃ TTL-Pegel IE ≤1.6㎃ ≤±15V PV ≤ 280㎽(R211) PV ≤ 2.5W (R200-R204) ≤±15V IE ≤ 200㎃
출력장치의 수	- X와 X1사이에 11개 커넥션 - 13개 아날로그 출력 - 속도신호용 4개 디지털 출력 - 2개 절연된 출력 - 6개 부하출력 - 타코생성기용 공급용 2개 출력
DC 전압 출력	
X2와 X1사이에 8개 커넥터 X2와 X1사이에 2개 커넥터, 다이오드와 함께 X2와 X1사이에 1개 커넥터, 보호다이오드와 함께 아날로그 출력 AOUT06 아날로그 출력 AOUT[08,09]	≤30V IOUT ≤ 1.5A ≤30V IOUT≤ 1A ≤30V IOUT ≤ 300㎃ ≤+9V RLoad=∞, RI=20kΩ ≤0V RRoad=2kΩ ≥10V RRoad ≥2kΩ ≤± 20㎃ RB≤500Ω

아날로그 출력(전압), X2와 X1에서 아날로그 출력(전류), X2에서 _전류 오류 디지털 출력 X1 절연출력(트랜지스터) X2 DP15_[1,2]에서 출력 전압 X2 타코생성기 공급출력전류 X2 DP15_[1,2]에서 단락전류 X2 부하출력 X1	≤±2% TTL level IOUT≤ 4㎃ ≤+30V IOUT≤50㎃ ≥UDP15IN−600㎷(at IDP15=100㎃) IDP15≤100㎃ IDP15KS≤220㎃ ≤± 15V RRoad ≥2kΩ
전기적 절연	광-커플러
유지보수 NOTES:	없음

(ㄹ) 블록도



㉮ G119 : 2진입력 전력 변환기110V (ICBP 110V)

(ㄱ) 일반사항

2진 입력 전력 변환기 110V 모듈(6FH9356-3D)는 110V레벨의 2진 신호의 입력을 위해 사용된다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 12개의 분리된 입력 체널 BIN
- 입력 Uin = 110V / 7㎃
- 광-커플러(Optocoupler)에 의한 전기적 절연
- 후면 커넥터 핀으로 12개의 부정의 논리연산(Negated) 신호 BOUT [01-12] #의 출력
- 후면 커넥터 핀으로 12개의 비-부정의 논리연산(Non-Negated) 신호 BOUT [01-12]의 출력
- 소규모 데이터 버스를 통해 비-부정의 논리연산 (Non-Negated) 신호를 판독
- 테스트 입력 핀 TSTE #은 LOW 신호인 모든 출력신호를 무시한다.
- 후면 커넥터 X1/f30-X1/f32에서 플러그 결속 상태 감시

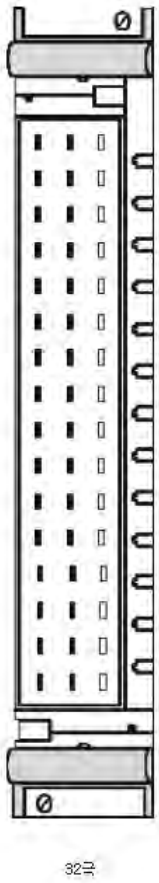
12개 입력 채널의 각각은 전면 판넬 커넥터 X2, 분리된 정 (Positive)의 입력 (BINP) 및 부 (Negative)의 입력핀을 갖는다. 입력측의 불안정 과도현상을 빠르게 억제 시키는 광-커플러를 사용하여 SIBAS 측면에서의 전기적 절연을 이루었다. 분리된 입력 신호들은 분리된 핀 (비-부정의 논리연산(Non-Negated) 및 부정의 논리연산(Negated) 신호)에서 64핀 후면 커넥터X1에서 SIBAS측에 적용된다.

신호 구동 장치들을 통하거나 소규모 버스를 통해 데이터 버스 구동장치에서 이 모듈은 배선 없이 소규모 SIBAS 버스 상에서 운용될 수 있다. 후면 커넥터 (TSTE#)에서 테스트 신호 입력은 광 커플러 뒤쪽에 위치한 모든 회로 섹션들의 기능 시험을 허용한다.

정상 상태의 신호출력 (TSTE# = HIGH, 즉 테스트 핀이 연결되지 않음)은 TSTE# 입력의 클램핑에 의해 LOW 신호로 반전된다. TSTE#입력의 현재 상태는 데이터 bit 7에서 번지수 XX02H에서 데이터 버스를 통해 읽어낼 수 있다. (여기에서 TSTA가 표시됨)

같은 번지수 하에서 모듈 Code는 모든 ICBP모듈과 함께 데이터 비트 DB4에서 DB6로 저장되며 데이터 비트 DB4는 논리적으로 0과 같다. 각 입력 회로는 전자기 장해 및 왜란에 대해 RC소자를 갖고 있다.

(ㄴ) 전면판넬

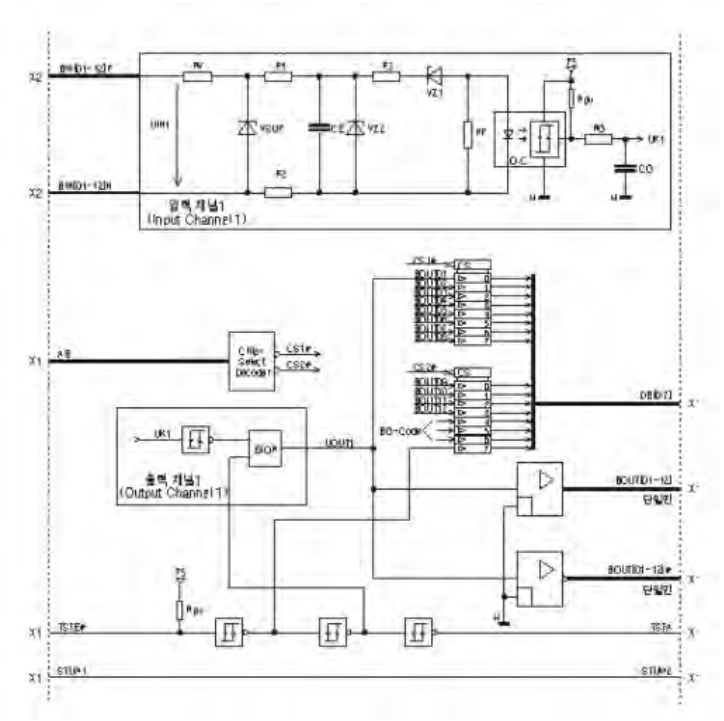


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9356-3D
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 따르는 64핀 플러그 커넥터 소규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X2	DIN 41612에 의한 32핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4TE
무게	약 200g
온도범위	－40℃～＋85℃
전원	＋5V±5% 약 90㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 4층 인쇄회로 설계 기계적 엔코딩 BN 411 002 따르는 철도차량 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
X2에서 입력 수	12채널 2핀(BINP 및 BINN)과 함께 각각
X2에서 DC 입력전압	77V ≤ UIN ≤ 137V

입력전류	4㎃ ≤ IIN ≤ 8㎃
완화시간 상수 Ts	채널 1~10 : 약 1㎳ 채널 11및 12 : 약 0.5㎳
주파수 차단 Fcut-Off	채널 1~10 : 약 80Hz 채널 11 및 12 : 약 500Hz
운용점(Operating Points)	UIN("H") > 63V (IIN=3.0㎃) UIN("L") >15V
X1에서의 출력 레벨	UOUT : HCMOS level, IOUT< 8㎃
전기적 절연	광 커플러
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉮ L127, L135, L143, L151 : 출력 펄스 증폭기 40mA (OPA 40MA)

(ㄱ) 일반사항

출력 펄스 증폭기 40㎃ 모듈(6FH9357-3B)은 전력 반도체에 대한 전류 신호내에 점호 펄스의 출력 및 트리거 단계에서 점호 인식 신호의 수신을 위해 사용된다.

이것은 다음과 같은 기술적 특징을 갖고 있다.

- 9개의 알려진 구조로된 트리거링 채널
- " L" 활성 신호 "IMP [01-09]# "를 통한 트리거링
- " L" 활성 신호 금지 입력과 각 채널에 대한 펄스 금지, "IMPSP [01-09]# "
- " L" 활성 신호 금지 입력과 각 채널에 대한 합해진 펄스 금지, "ALLSPER# "
- 채널당 40㎃의 2개의 전류 출력
- 점호 신호 "ON ", "40MA [01-09] "에 대한 1개의 출력
- 점호 신호 "OFF ", "40MA [01-09]# "에 대한 2개의 출력
- 모든 출력은 단락-회로-입증 루프로 되어 있다.

- 채널당 40㎃의 2개의 전류 입력
- 점호 신호 "ON " 인식, "40MAIN [01-09] "에 대한 1개의 입력
- 점호 신호 "OFF " 인식, " 40MAIN [01-09]# "에 대한 2개의 입력
- 인식 신호의 표시 " H " 활성, " IMPRM [01-09] "에 대한 보상기
- 단선된 전면 판넬 커넥터 ("H")를 표시
- 24V의 공급 전압이 요구됨
- 전면 판넬 (X2)와 후면 커넥터 (X1)에서의 플러그-인 검지

전류 신호는 전력 반도체의 점호 신호의 방출을 위해서 전력 반도체에 대한 트리거링 부분으로 (ALH, 이중 트리거 부분) 정보를 옮기는데 사용된다. 점호 인식 신호는 동일 전류 루프를 통해 ALH에서 피드백 된다.

전류원은 두개의 선로로 구축되어 있으며, 여기전류는 선로1에서 선로2로 요구되는 신호의 존재에 따라서 스위칭 된다. 이것은 공통 모드의 전자기 방해에 대해 보호된다. 전류 루프는 SIBAS전위에서 24V의 전압 P24_[1-2]로 설치되어야 한다. 필수적인 점호 신호는 전류 신호에서 분리 소자를 통해 분기된다. ALH에서 나오는 점호 펄스에 대한 인식 신호는 전류 루프내에 자유 전위가 주입된다. ALH내에 주입 또는 분기 장치는 대략 15V의 전압 범위가 요구된다. ALH로 공급되는 24V의 전류는 SIBAS전원 공급 장치와 분리되어야만 한다. 모듈은 9개의 동일한 구조의 채널을 갖는다. 각 채널당 전류 장치와 연결될 수 있는 48pole의 전면 판넬 커넥터 X2로 연결되는 두개의 입력 및 두개의 출력이 있다. 전면 판넬 및 후면 커넥터는 플러그-인 검지를 제공한다.

64 pole 후면 커넥터에 9개 채널의 각각은 점호명령 입력 "IMP [01-09]#" ("LOW" 활성), 금지 입력 "IMPSP [01-09]#" ("LOW" 점호금지 의미) 및 상태 출력 "IMPRM [01-09]#" (" HIGH " 신호는 점호 펄스의 수신 인식을 의미함)등을 갖는다. 전면 판넬 커넥터가 제거될 때 상태 신호 " IMPRM [01-09] " 가 있다. 점호 신호에 대한 출력 전류 "40MA [01-09] " 및 단선된 점호 신호 "40MA [01-09]#"가 전면 판넬 커넥터의 각각의 채널 상에 있다. 인식 신호에 대해서 아날로그 전류 입력 "40MAIN [01-09] "와 잘못된 인식 신호 "40MAIN [01-09]#"가 또한 있다. 1개의 채널이 블록 다이어그램에 나타나 있다. " I source " 전류원에 있는 V3는 R1이 제공됨과 함께 전류 제공을 위한 참조 전압에 도움을 주는 참조 다이오드가 관계된다. 전체 영역에 있어서 온도에 대한 민감성은 매우 낮다. 베이스 에미터간 전압 V1의 보상은 V2를 이용하여 얻을 수 있다. 전류는 3V 이하의 전압 범위가 요구된다.

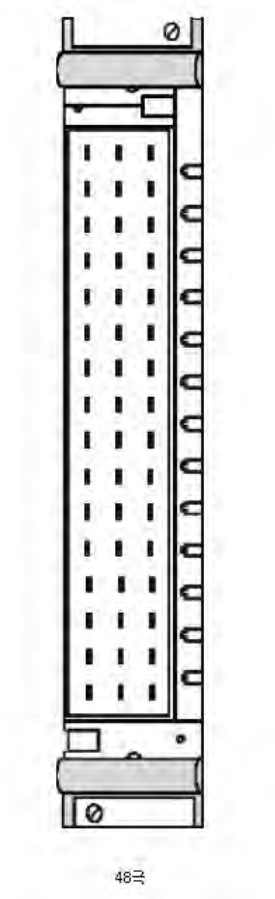
전류원에 의해 제공되는 전류는 PNP트랜지스터 V5 (IMP [01-09]# = "LOW") 또는 V6 (IMP [01-09]# = "HIGH")를 통해 각각의 전류 출력 "40MA [01-09] " 또는 "40MA [01-09]# "로 입력 "IMP [01-09]# "에서 논리 레벨에 따라 도통된다.

펄스 금지 입력 "IMPSP [01-09]# "의 사용에 의해 V9트랜지스터는 그런 방법으로 펄스 출력 "40MA [01-09] "에 전류가 흐르지 않도록 (점호 펄스 금지) 막을 수 있다. 펄스 금지 입력 "IMPSP [01-09]# "는 또한 전원 시동장치 모듈 내에 트랜지스터의 콜렉터로 연결되어 있다. L1인덕터는 P24전압원으로의 장해를 막아준다. V5와 V6 트랜지스터들은 그런 방

법으로 전류 출력 "40MA [01-09] "와 "40MA [01-09]#"가 M(P24의 M)에 대해 지속적인 단락 회로로 적용될 수 있도록 배치되어 있다.

다음 전류는 저항 R23/24를 통해 전압으로 표현된다. 마디 전류에 의해서 다음을 통해 대응 논리 레벨은 보상기 U3이후에 설정된다. 펄스 체크-백 선로 "IMPRM [01-09] "는 만약 전류가 입력 "40MAIN [01-09] "로 흐른다면 "HIGH "레벨을 갖는다. 이 레벨은 또한 만약 입력 "40MAIN [01-09] "와 "40 MAIN [01-09]# " 양쪽이 연결되지 않는다면 설정한다. 히스테리시스는 R21의 도움으로 보상기에서 설정한다. R18/V27 및 R19/V28의 합성은 써지 억제 회로이다.

(ㄴ) 전면판넬

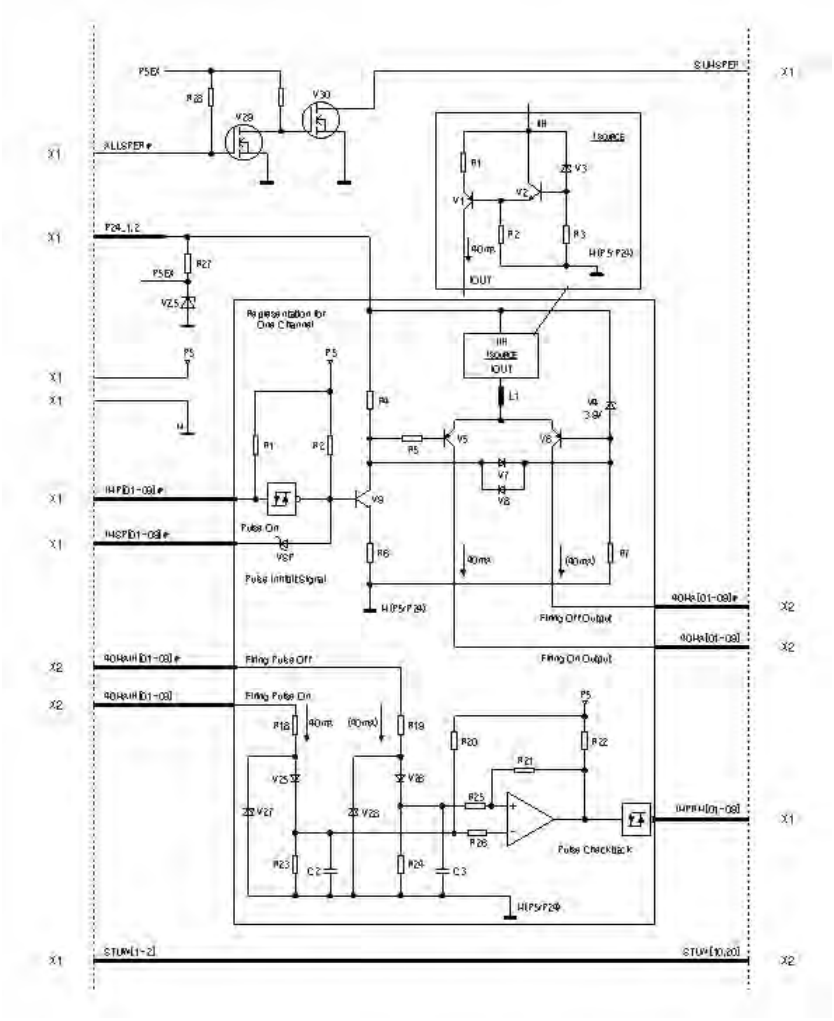


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9357-3B
후면 커넥터 : X1	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터
전면 커넥터 : X2	DIN 41612 48핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4TE
무게	약 250g
온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원.....P5 .....P24	+5V±5% 약 80㎃ +24V±5% 약 480㎃
구조	유러 형식의 PCB

	100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 4층 인쇄회로 설계 기계적 인코딩 BN 411 002 따르는 철도차량 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
입력 수..... X2	9채널 2개의 푸시풀 입력을 가짐 "40MAIN{01-09}", "40MAIN{01-09}#"
입력전류..... X2	35㎃ ≤ UOUT ≤ 42㎃
출력 수..... X2	9채널 2개의 Push-Pull 출력을 가짐 "40MA{01-09}", "40MA{01-09}#"
출력전류..... X2	35㎃ ≤ IOUT ≤ 42㎃
채널당 지속 단락회로 전류	35㎃ ≤ IK ≤ 42㎃, IOUT에 대응
입력신호 레벨 X1 IMP [01-09] # (점화펄스 송신) IMPSP [01-09] # (점화펄스 금지) ALLSPER# (펄스합계 금지)	*) HCMOS 레벨 "H" ≥ 2.4V "L" ≤ 0.4V *) "H" ≥ 2.4V "L" ≤ 0.4V *)
출력전류 X1 IMP (01-09) # (점화펄스 금지) ALLSPER# (펄스합계 금지)	IASPE ≤ 1.1㎃ IASPE ≤ 2.4㎃
입력신호 레벨 X1 IMPRM [01-09](점호펄스 인식)	HCMOS 레벨
"IMP [01-09] #"의 출력과 "IMPRM [01-09] #"의 수신 사이의 지연시간	tV ≤ 5μs 출력이 입력으로 직접연결
전기적 절연	없음, SIBAS 전위로 전류 루프

(ㄹ) 블록도



㉱ L127, L135, L143 : 이진 출력 접촉기 구동장치 110V(BOCO 110V)

(ㄱ) 일반사항

이진출력 접촉기 구동장치 110V 모듈 (6FH9381-3C)은 110V 이하 레벨의 2진 신호의 출력에 대해 사용된다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 8개의 분리된 출력 채널
- MOS-FET 스위치로서의 출력 Uout = 110V / 0.5A
- 펄스 변압기 및 광 커플러에 의한 전기적 분리
- 채널당 2개의 핀과 함께(BOUTP, BOUTN) 전면 판넬 커넥터 X2에서 Uout의 출력
- 부가적 회로 없이 소규모 버스를 통한 활성화
- 단일 핀을 통한 활성화
- 모듈 ID 및 모듈코드의 판독
- 모든 활성 모드와 함께 실행 가능한 버스를 통해 출력 스위치들의 회로 상태(ANSI)의 판독
- 접지보호 다이오드에 의한 유도 부하에 대한 MOS-FET 스위치의 보호
- 후면 커넥터 X1/f30-X1/f32에서의 플러그 결속 상태 감시
- MOS-FET 스위치의 외부금지를 위한 H와 L 활성 신호 금지

이진 신호의 출력에 대해 MOS-FET 스위치 V1은 도체로 되어 있다. 그것에 응용으로 MOS-FET 스위치는 부의 공급전압 극성 뿐 아니라 양의 공급전압 스위치로써 사용할 수 있도록 한다. 이것은 분리된 구성의 스위치가 요구된다. 이와 같은 목적을 위해 게이트 전원 공급 장치는 순시적 정류화로 클럭화된 변압기를 통해 충족된다. 동시에 이 게이트는 부가적인 광-커플러를 통해 활성화되며, 충분하게 높은 운전 주파수의 달성을 가능하게 한다.

제어신호의 출력은 SIBAS 시스템의 소규모 버스를 통해 출력된다. 처리에 있어 제어신호들은 데이터 버스에서 8비트 출력 래치로 병렬로 쓰이며 그곳에서 대응되는 광 커플러를 활성화 한다. 광 커플러의 회로 상태는 8비트 레지스터를 통해 병렬로 판독할 수 있다. 뒤이은 레지스터를 통하여 내부적 제어 신호들은 "클록 발생, 클록 검지"의 기능 블록과 BG-코드 등을 판독할 수 있다. 따라서 자기진단 처리의 실행이 가능하다. 8개의 출력 스위치들의 각각이 또한 하나의 핀을 통해 출력 래치의 상태에 관계없이 활성화 될 수 있다. 이것에 대한 준비상태는 BINEN# 핀이 M단자와 결합되어 있다. 그러므로 모듈은 버스 없이도 시스템으로 기능할 수 있다. 제어 신호 "BIN[01-08]# " 는 핀에서 "LOW"-활성상태로 동작한다. 광 커플러의 회로 상태는 또한 8비트 레지스터를 통해 병렬로 조합된 핀/버스에서 판독될 수 있다.

부가적으로 P5의 공급에서 제어전압 "U-Activate"가 적용될 때 활성화 된다. "U-Activate" 전압은 외부 제어기를 통해 연결된다. (즉 전원시동장치). 이 전압이 제공될 때 클록 발진이 활성화 되고 클록 주파수가 안정된 형태로 현시된 후에 워치독 회로는 펄스 변압기의 활성화를 위한 구동을 가능케 한다. 이때에 출력 스위치들의 닫힘이 가능하다. 클록 실패의 경우에 스위치들은 통전될 수 없다. 워치독 회로의 상태가 또한 다른 모듈상에서 이후의 처리를 위해 X1 (STOER)에서 핀을 통해 출력된다. " H "는 고장을 표시한다.

출력 스위치의 단락회로 전류제한은 제공되지 않는다. 보호장치(써지억제 다이오드 VSUP)는 유도 및 일정 과전압 대하여 보호 동작한다. 유도 부하가 끊어질 때 단 시간 에너지 흡수의 관점에서 이 다이오드의 제한으로 초과 시키지 않는다.

이러한 목적을 위해 사용되는 차단출력장치로, 출력스위치 기능을 억제시킬 수 있다. LOW용 입력신호 활성차단 LSPER은 HSPER가 1에 있을 경우 (개방된 경우), LOW 신호 규정에서 출력스위치를 차단한다. HIGH용 압력신호 활성차단 HSPER은 LSPER 신호가 M으로 차단되는 경우, HIGH신호 규정에서 출력스위치를 차단한다. 만약 이 두 개 핀이 활성 되지 않거나 연결되지 않는 경우, 차단은 비활성이 된다. 이때, Inhibit 신호는 0이 된다. 이 신호는 또한 역으로 판독될 수 있다.

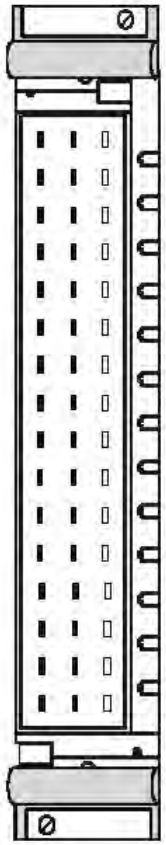
아래 표는 이러한 논리적 관계에 대한 것이다.

LSPER	HSPER	출력스위치	Inhibit 신호
0	0	활성	0
0	1 (Open)	비활성	1
1 (Open)	0	활성	0
1 (Open)	1 (Open)	활성	0

모듈ID (Value : 28H) 는 1FFFEH 어드레스에서 판독되고, 그 모듈타입과 버전을 나타낸다.

한 타입에서 다른 여러 구성부품을 구분하기 위해 (예를 들어, BOCD 110V, BOCD 24V), 모듈코드가 추가로 사용될 수 있다. 제한된 수로 사용되는 어드레스 라인을 고려하여, 모듈 확인에 다양한 코딩이 가능하다. 판독을 위해, 항상 위에 있는 어드레스가 사용되어야 한다.

(ㄴ) 전면판넬



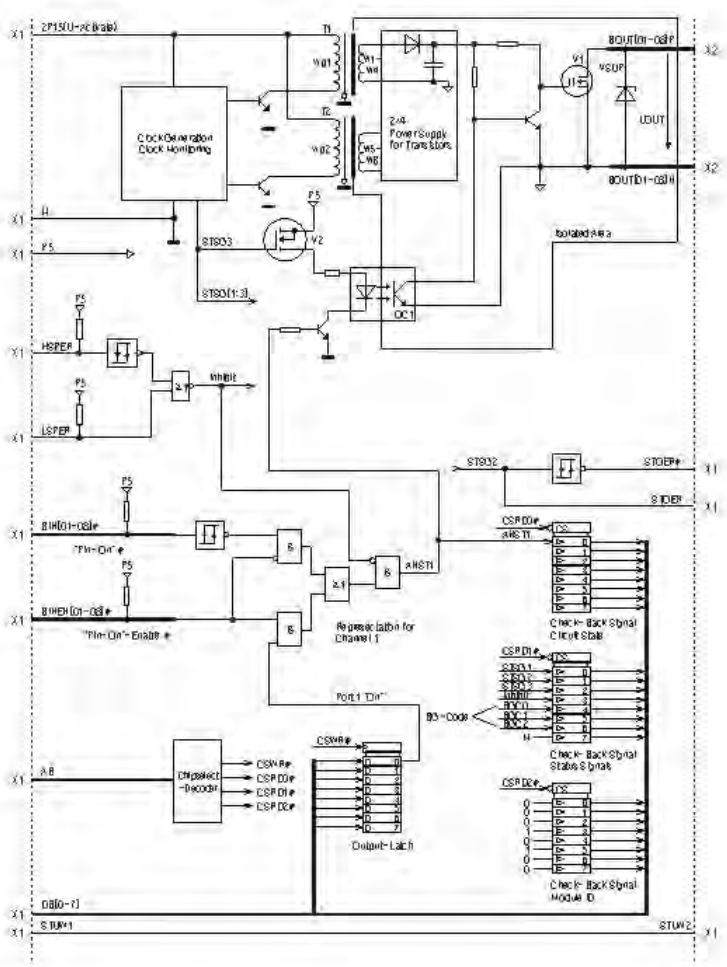
32극

(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9381-3C
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 의한 64핀 플러그 커넥터 소규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X2	DIN 41612에 의한 32핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	약 250g
무게	약 250g
온도범위	-40℃ ~ +85℃
전원.....P5 ..... $U_{Activate}$	+5V±5% 약 75㎃ +15V±3% ≤ 100㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 4층 인쇄회로 설계, 기계적 엔코딩

	BN 411 002 따르는 철도 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
X2에서 입력 수	8채널 2핀(BOUTP 및 BOUTN)과 함께 각각
X2에서 DC 입력전압	UOUT ≤ 110V+30%
입력전류	IOUT ≤ 0.5A
채널당 단락 회로전류	비 제한
유도부하	*) 써지 제한 다이오드 사용 : 1.5KE200A
운영 주파수	≤ 2.5㎑ 저항 부하 ≤ 4/min. 유도 부하
X1으로의 입력 "BNEN[01-08]]"의 연결	M와 함께 묶이거나 연결되지 않음 다른 모드의 활성은 허용되지 않음
전기적 절연	유지보수
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉲ L103 : 입력/출력 아날로그 (IOA)

(ㄱ) 일반사항

입력/출력 아날로그 모듈(6FH9383-3B)은 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 광 커플러를 통한 Bar형식 변압 신호 (IN12)의 검출
- 후면 커넥터 X1 (OUT12)에서 IN12의 상태 신호 출력
- 가선전류 변압 입력 IN01을 통한 가선전류 검출
- 가선전압 변압 입력 IN02를 통한 가선전압 검출
- 접지전류 변압 입력 IN03을 통한 접지전류 검출
- 변류기에 대한 공급 전압 WP 및 WN의 제공
- 증폭기를 통한 부하 전압의 채택
- 후면 커넥터 X1에서 대응하는 측정량 OUT [01-03]의 출력
- 두 개의 가선전류 (Input IN [16-17] P, IN [16-17] N)에서 합산에 의한 3차 전류 (Output OUT [16-17])의 형성
- 출력 전압 +15V와 함께 보완적인 2진 출력들 OUT14 (OFF) 및 OUT15 (ON)을 통한 전면 판넬 커넥터 ...X2상에서 단락 회로를 위한 점화 펄스 신호의 출력
- X1에서 "LOW"-활성 신호 (IN15#)에 의한 출력의 제어
- 보완적인 2진 입력들 IN14 (OFF) 및 IN13 (ON)을 통한 전면 판넬 커넥터 X2 상에서 점화 인식 신호의 수신
- 인식 신호를 위한 참조 전위는 −15V임
- 주 궤도상 4개의 속도 검출
- 보조 궤도상 2개의 속도 검출
- 속도 발전기 (Tachometer Generator)에 대한 +15V
- 공급 전압 "DP15 [1-3]"의 제공
- 후면 커넥터X1에서 속도 신호 OUT [04-09]를 HCMOS레벨로 변환하는 출력
- 전면 판넬 커넥터 X2에서 타코 제어를 위한 0㎃～ +20㎃의 출력
- 다른 모듈 X1에서 필수 제어 전압 0V ～ +10V (IN10)의 입력
- 전면 판넬 커넥터 X2에서 재충전 장치의 제어를 위한 제어 전류 0㎃ / 40㎃ (OUT11)의 출력
- X1에서 관련된 " LOW "- 활성 신호 (IN11#)의 입력
- 플러그-인 검지를 위한 X1/z30～X2/z2와 X1z32～X2/b2 사이의 선로화

Bar 타입 변압기는 DC 링크의 단락 회로를 통해 전류를 검출한다. Bar 타입 변압기의 출력은 써지 억제 다이오드 및 직렬 저항 (R=300Ω)이 자체의 출력 전류를 제한함에 의해 공칭 전압 12V로 제한된다.

이 출력 신호는 입력 신호 IN12로서 전면 판넬 커넥터를 통해 광커플러로 공급되며, 또한 분리되어 있다. 분리된 신호는 후면 커넥터 X1 (OUT12)에서 슈미트 트리거 및 출력에 의해 HCMOS 호환 신호로 변환된다. 입력 신호에 대한 스위칭 초기는 대략 5V이다. 가선전류 (IN01), 가선 전압 (IN02) 및 접지 고장전류 (IN03) 전면 판넬 커넥터 X2를 통해 전류 및 전압 변압기를 통해 공급되며 설정 가능한 부하 저항 " Rload " (솔더 핀)에 의해 평가될 수 있는 레벨로 채택되었다.

대응되는 출력들은 출력 OUT [01-03]을 통한 설정 가능한 전압 이득 (솔더 핀상의 저

항)과 매칭 증폭기 (옵션 증폭기)를 통해 다른 모듈 상에 이후의 프로세싱에 대한 후면 커넥터 X1에서의 출력이다. 변류기를 위한 전압 공급은 OUT[01-03]_WP (+15V/+24V)와 OUT [01-03]_WN의 연결을 통해 출력된다.

전면 판넬 커넥터 X2 (-15V/-24V)에서 연결 OUT [01-03]_WN은 극성을 정의하기 위한 두 개의 부하입력의 하나로 스위칭 된다. 이들 3개의 공급 선로는 후면 커넥터 X1에서 요구되는 공급 전압으로 연결되어야만 한다. 6개의 부하 저항은 최대 0.28W의 전력손실과 함께 각 각 측정 수만큼 달 수 있다.

다른 모듈에서 측정되는 INP 및 INN에서 상전류의 출력은 관련된 상전류의 합이 옵션 증폭기 및 출력 OUT [16-17]에서의 출력에서 다음 공식에 따라 형성된다.

IOUT = - (IINP + IINN)

DC링크 전압의 단락회로에 대한 점호 신호는 보완적 2진 출력들 OUT14 (OFF)와 OUT15 (ON)을 통한 전면 판넬 커넥터 X2에서의 출력이다. 이들 2개의 출력들 중의 하나는 단락-회로-확인 P 채널 FET들을 통해 항상 스위칭 된다. " LOW "-활성 신호 (IN15#)는 후면 커넥터 X1에 있다. 공급 전압 P15는 FET스위치에 의해 적당한 출력으로 스위칭 된다. 이 전압은 공급전압 N15에 대하여 점호신호 인식 입력을 통해 리턴 되는 전원 공급 장치의 제어장치 내에 40㎃ 전류원을 공급한다. 단락-회로를 제어하기 위한 2개의 출력 부하 전류도 40㎃ 이다. 단락-회로기가 어떻게 활성화 되느냐에 따라 2개의 인식 선로를 따라 점호 명령이 인식 되거나(IN13) 또는 인식되지 않는다. (IN14)

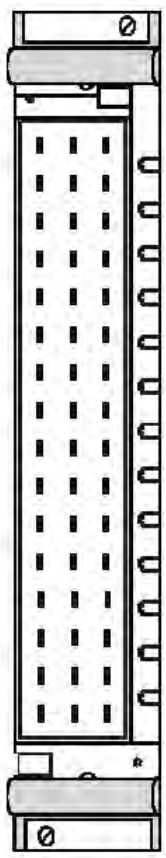
만약 인식이 현시되면 " HIGH "- 활성화 인식 신호 (OUT13)가 커넥터 X1에서 출력된다. 이 신호는 전면 판넬 커넥터가 제거될 때 "HIGH" 로 된다. 이런 방법으로 소프트웨어에 의한 고장처리가 가능하다.

속도는 동일 극성의 6개 채널을 통해 검출된다. 이 채널들은 4개의 전동기 속도를 검출하기 위해서 이다. 2개의 전동기들의 보조 트랙들이 또한 검출된다. 센서의 전원 공급은 후면 커넥터 X1에서 전면 판넬 커넥터 X2로 연결되어 있는 공급 선로를 통해 출력된다. 속도 발전기 DP15의 공급 전압은 15V이다. 속도 발전기 신호는 전면 판넬 커넥터 X2 (IN [04-09])에서 받는다. 참조 전위는 속도 발전기의 접지 "DM"이다.

센서입력 신호는 전환 상태가 대략 반의 센서 전압에서 초기화 되는 방법으로 히스테리시스를 갖는 비교기 "COMP"에서 참조 전압 "VREF "와 비교된다. Cut-OFF 전압은 설정 히스테리시스 때문에 대략 2V보다 낮다. 슈미트 트리거를 통한 HCMOS 레벨로 채택된 속도 신호는 다른 모듈상의 처리를 위해 후면 커넥터 X1 (OUT [04-09])에서 출력된다. 속도 발전기의 제어를 위해 0㎃ ~ +20㎃의 전류가 요구된다. 전류 출력은 전면 판넬 커넥터 X2 (OUT10)에서 나오며, 또한 접지 연결이 되어 있다. 아날로그 전류원의 제어 전압은 후면 커넥터 X1 (IN10)에 있는 D/A 컨버터에서 공급되며 0V ~ +10V의 전압이다. 재충전 장치는 대략 40㎃의 공칭 시동 전류가 요구된다.

재충전장치를 위한 시동 명령은 "LOW"-활성화이며 X1 (IN11#)에서 제공된다. 전류 신호 0㎃/40㎃는 전면 판넬 커넥터 X2 (OUT11)에서 제공된다. 공칭 전류에 대한이용 전압 범위는 대략 7V이다.

(ㄴ) 전면판넬

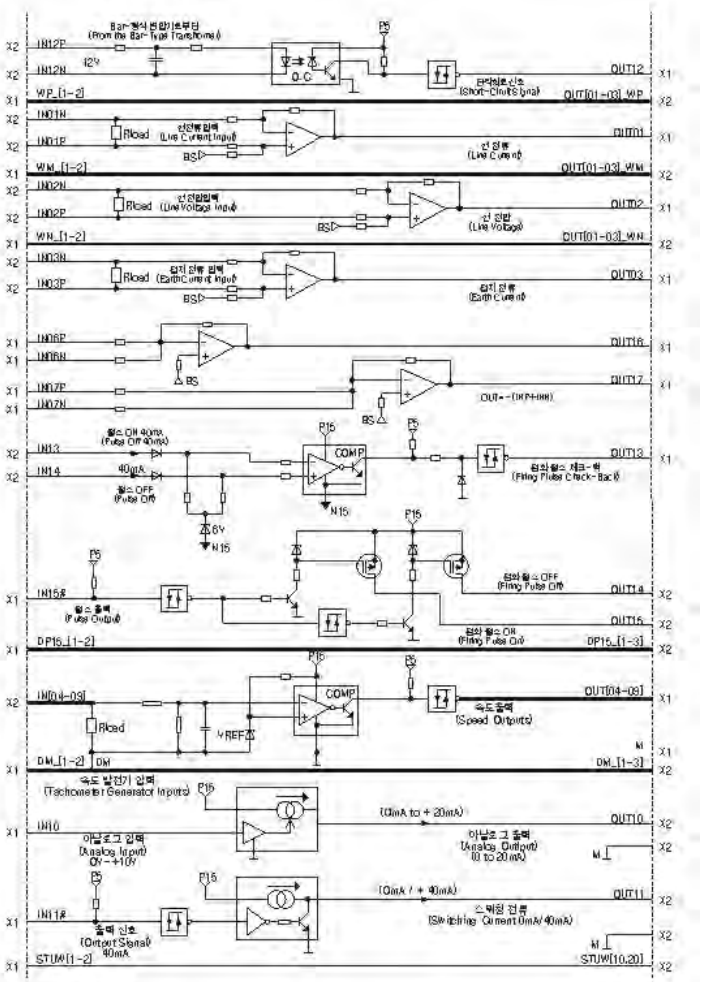


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9383-3B
후면 커넥터 : X1	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터
전면 커넥터 : X2	DIN 41612 48핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4TE
무게	약 200g
온도범위	-40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약 75㎃ +15V±3% 약 75㎃+IL* -15V±3% 약 75㎃+IL*
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 4층 인쇄회로 설계, 기계적 인코딩 BN 411 002 따르는 철도차량 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리

입력	
입력 수..... X1	7
입력 DC 전압...X1(아날로그)	≤ ±15V ±3% ≤ ±30V 변압기 공급서로 WP, WN에 대해
입력 DC 전압...X1(2진)	5V HCMOS 범위
입력 수..... X2	16
입력 DC 전압.. X2	≤ 12V, IN12에서 ≤ 15V, IN [04-10]에서 ≤ ±10V, IN [01-03]에서
부하 전력손실 PV	≤ 1.68W..... 6부하(Load) 저항에 대해 ≤ 0.28W .....각 부하(Load) 저항에 대해
출력	
출력수..... X1	5 아날로그 출력 8 디지털 출력
출력 DC 전압.....X1(아날로그)	≤ ±15V RL ≥ 2kΩ
출력 DC 전압.... X1	5V HCMOS 범위 IOUT ≤ 4㎃
출력 수..... X2	5(2진 전압, 센서 공급) 2(전류 출력)
출력 DC 전압.... X2	≤ ±15V+3% ≤ ±30V 변압기 공급서로 WP, WN에 대해
출력 전류..... X2	≤ 50㎃, OUT[14-15]에서 ≤ 20㎃, OUT[10]에서 RB ≥ 500Ω ...35㎃~45㎃ OUT11에서 ≤ 4A 모든 센서 전원 공급에 대해
Fmax ≤ 50kHz	Fmax ≤ 50㎑
광-커플러	광-커플러

(ㄹ) 블록도



㉖ G079, G087, G095, G103 : 인버터 모니터링 (INVM)

(ㄱ) 일반사항

인버터 감시(6FH9405-3A)카드는 인버터의 보호 및 모니터링을 위해 사용된다. 이 모듈은 트리거 장치 및 실 제어 (게이트 유닛) 사이의 연결이다. 이것은 네 대의 인버터 위상 및 8개의 제어 값의 검사를 허용한다. 모듈의 응답 및 초기화는 소규모 SIBAS버스를 통해 이루 진다.

- O 한 개의 제동 제어기와 단락 사이리스터와 함께 한대의 2 레벨 인버터
- O 두 개의 제동 제어기와 함께 한대의 2 레벨 인버터 (옵션)
- O 두 대의 4상한 제어기 (옵션)

다음 항목이 검지됨

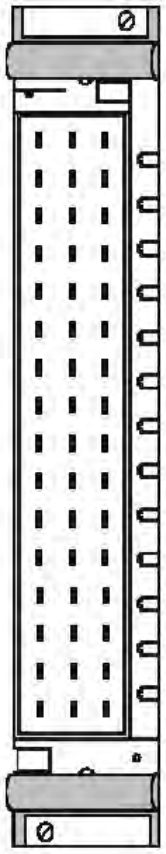
- O 네 대의 인버터 위상의 네 개의 상전류 (피크 전류 조정)
  상전류 대신 그것의 순간적인 값을 위한 중간 전압치(제동 제어를 위한 피크전압 조정)
- O 최소 운영 시간의 유지보수를 위한 운영 시간의 값(최소 ON, 최소 OFF, 인터록 등)
- O 이진 외부 에러 신호의 저장 (17개의 외부 에러BIN [1-17]의 저장)

○ 제어 및 체크-백업 신호의 설정치/실제값 비교 (옵션)
○ 그 값들의 실제 운영 주파수
○ A/D변환에 의한 전류 변압기

상전류 A_IL [1-4]의 아날로그 값 신호들은 IIST [1-4]에 조응하는 모듈의 입력에서 영향을 받는다. 제한 값 GWxx [1-4]의 설정치는 마지막 단계에 하드웨어의 D/A 컨버터에 의해서 영향을 받는다. 제한값의 설정은 테스트 전압의 도움과 함께 모듈의 자기 진단 소프트웨어의 도움으로 체크될 수 있다. V[1-8]UW 제어 값에 대한 신호들은 모듈의 전면 커넥터에 있는 광-섬유 제어와 후면 커넥터의 펄스 증폭기의 제어를 위해 이용된다.

광-섬유 제어의 경우 안전을 위해 체크-백 신호 LWL_RM [1-4]U와 LWL_RM [1-4]O를 FPGA에 있는 제어 신호들과 함께 비교한다.

(ㄴ) 전면판넬

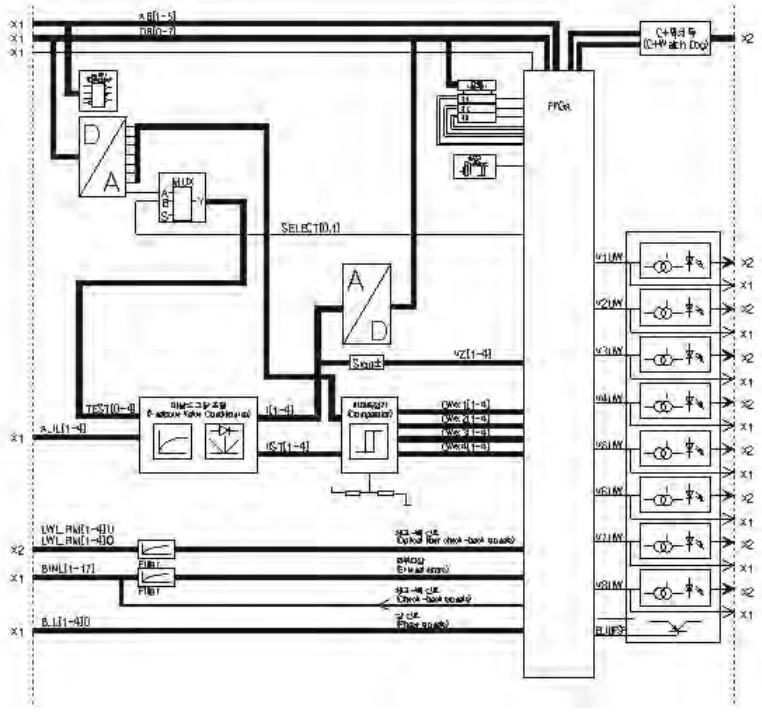


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9405-3A
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 의한 64핀 플러그 커넥터 대규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X2	48핀 플러그 연결기(DIN 41612)
슬롯 폭	4TE
무게	약 200g

온도범위	-40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5% 약.. 300㎃ without OF +5V±5% 약.. 500㎃ with OF +15V±5%.....약 100㎃ -15V±5%.....약 100㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 18μm 기술의 6층 인쇄회로 설계, 기계적 엔코딩 BN 411 002 따르는 철도 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160으로 분리
외부 에러 입력 수	17
제어신호를 위한 디지털 입력 수	4
제어신호의 입력전압 범위	아날로그 입력 수
아날로그 입력수	4
아날로그 입력의 전압범위	±10V
아날로그 입력의 처리	S & H ADC 12비트, ±5 LSB 절대치
모니터링 값의 수	수치 제어 신호의 출력 구동
수치제어 신호의 출력 구동	광-섬유 케이블
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



㉤ L119 : 입력 온도 센서 PT100 (ITS)

(ㄱ) 일반사항

입력 온도 센서 모듈(6FH9413-3B)은 백금 (PT100)으로 만들어진 온도에 의한 저항기를 사용하여 온도를 검출하기 위해 사용된다. 이것은 다음과 같은 특징을 갖는다.

- O 8×(－2㎃) 일정 전류원을 갖는 8개의 측정 채널
- O 4개의 전선, 즉 전류가 흐르는 선과 측정 선이 분리됨
- O 최대 500Ω의 측정 저항
- O 측정 채널당 두개의 스위치형 온도 범위
- O 온도의 검출은 ±10V의 전압 범위 내에서 값이 측정됨
- O 모든 측정되는 온도 값 (8×2)이 측정되는 모든 온도는 멀티플렉서를 통해 선택됨
- O 멀티플렉서는 외부적 (핀) 및 내부적 (데이터 버스)으로 제어가 가능
- O 측정 온도의 출력은 핀 "TEMPOUT"에서 값이 측정됨
- O X1/f30 ~ X2/b2와 X1/f32 ~ X2/z2 사이에서 플러그-인 검지

버스 연결이 없는 슬롯내의 모듈의 운영은 어떤 문제나 부가적인 설정 작업 (묶음 IN01에서 M으로) 없이 가능하다. 각 각의 측정 채널에 대해 높은 정밀성의 전류원 (－2.000㎃), " IOUT [01－08] " 이 있다. 전류원은 전면 판넬 연결을 통해 온도에 따른 측정저항 RPT100에 공급되며, 전류원 " IIN [01-08] "은 전면 판넬 커넥터로 연결되어야만 한다. 이용되는 전압 범위는 대략 1V이며 온도에 따른 최대 측정 저항은 500Ω보다 작다. 측정 저항의 온도에 따른 전압 강하는 두 개의 측정 입력 "AIN [01-08] P " 와 "AIN [01-08] N " 에서 전류 선로와 독립적인 두 개의 측정선과 함께 측정된다.

측정 선로 "AIN [01-08] N"는 전류원 " IIN [01-08] "과 측정선로 "AIN [01-08] P"에서 전류원 " IOUT [01-08] "로 할당되어야만 한다. 이 방법으로 측정신호 "UD"의 정확한 극성을 보장한다. 각 각의 측정점의 전위는 분리된 절연 증폭기를 통해 높은 저항으로 분리된 시간정수 TN, TP와 각 각에 RC합성에 의해서 완화되며, 다른 증폭기와 함께 고정된 이득 "VD"로 증폭된다. 측정 신호는 두개의 병렬 합성 (반전) 증폭기들을 통해 다시 증폭되며, 두개의 온도 범위는 ±10V의 (이득 "VA"의 채널 A 또는 이득 "VB"의 채널 B) 출력 전압 범위로 각각의 측정채널을 이용한다. 두개의 합성 증폭기의 이차 입력은 부의 전압 오프셋 (상쇄) "UOFFSA"와 "UOFFSB"으로 각 각으로 연결된다. 이 방법으로 측정 범위는 더 좋게 사용될 수 있다. 측정선의 절손의 경우, 입력/저항 RIN (>1 MΩ)은 완화 커패시터 CP와 CN의 전압이 같은 값으로 (측정값 "0") 균일화됨을 보장한다. 전압 오프셋은 높은 정밀성의 10V기준 전원을 통해 지정되어 있다.

측정 값 TEMP [1-8]A와 TEMP [1-8]B는 16채널의 멀티플렉서(MUXA, MUXB)를 통해 선택될 수 있으며 분리 증폭기를 통해 아날로그 출력 "TEMPOUT"으로 연결된다.

채널 선택의 제어는 외부 핀 "MUXEX[0-3] " 또는 데이터 버스 "MUXIN [0-3] " 을 통해 멀티플렉서 상에서 실행될 수 있다. 두 개의 제어 형태의 선택은 핀 "IN01"을 통해 실행되며, 데이터 버스는 핀으로 연결되지 않은 경우 활성화 된다. 멀티플렉서의 전환 시간에서 요구된 출력 전압까지 지연 시간은 핀 TEMPOUT에서 TMUX로 현시된다. 측정값

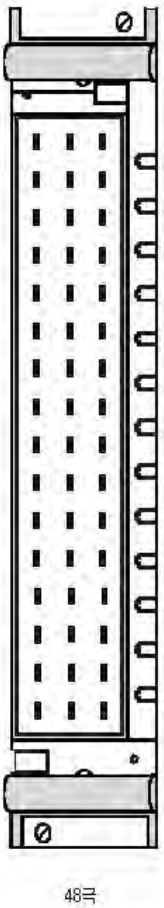
TEMPOUT의 출력은 상쇄 증폭기를 통해 접지 전위로 참조된 측정값 " TEMP "에서 얻을 수 있다. 두 개 채널의 출력 전압에 대해 다음의 방정식이 있다. ;

UTEMPOUT[V] = − (0.3120567[A] × RPT100[Ω] − 36.363636V)
⇒ 채널 A
UTEMPOUT[V] = −(0.09[A] × RPT100[Ω] − 16.875V)
⇒ 채널 B

전선 절손의 경우 전압 UTEMPOUT는 > +10V가 된다. 이 전압이 APC을 이용하여 측정된다면 이 자체 측정범위 끝이 9.999V임을 인식하십시오. 절손의 검지는 이들 낮은 온도가 측정되지 않거나 또는 온도 범위가 더 낮게 제한된다면 가능하다. 채널 A를 측정했을 때 만약 절손이 의심되면 이것은 측정범위가 채널 B로 전환에 의해 확인될 수 있다.

플러그-인 검지를 위해 두개의 선로는 후면 " STUW [1-2] "에서 전면 판넬 커넥터 "STUW [10,20] "을 통해 유도된다. 이들 라인은 X1/f30 ~ X2/b2와 X1/f32 ~ X2/z2이다.

(ㄴ) 전면판넬

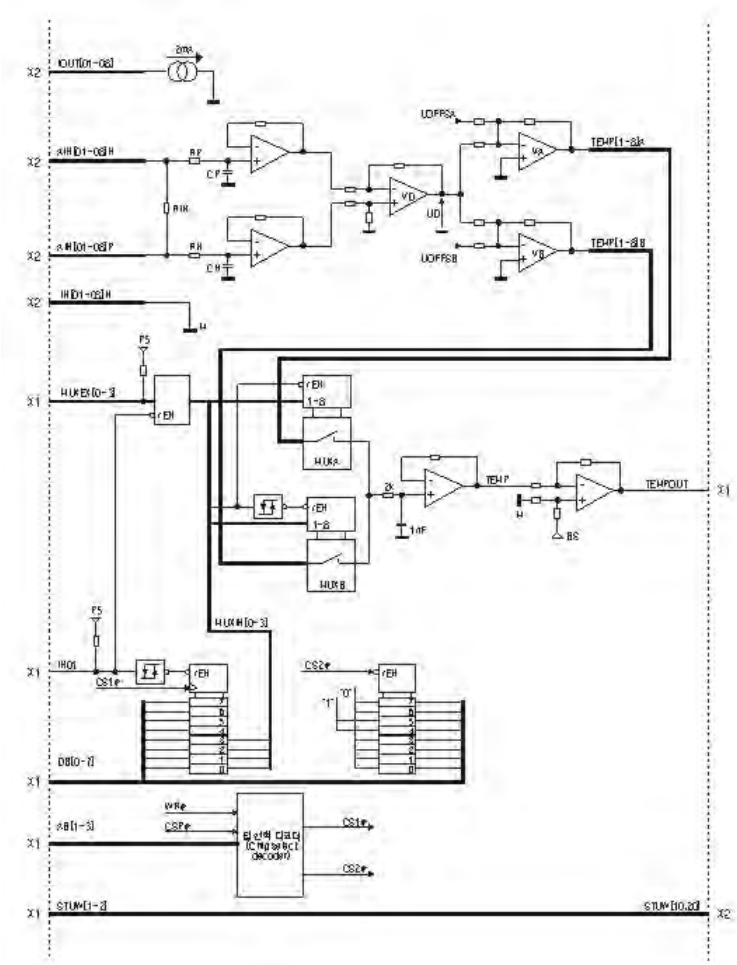


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9413-3B
후면 커넥터 : X1	DIN 41612 64핀 플러그 커넥터 소규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X2	DIN 41612 48핀 플러그 커넥터
슬롯 폭	4TE
무게	약 200g
온도범위	−40℃ ~ +85℃
전원	+5V±5%.....약 10㎃ +15V±3%....약 85㎃ −15V±5%....약 85㎃
구조	유러 형식의 PCB 100㎜×160㎜ 양측 광택 처리 35μm 기술의 2층 인쇄회로 설계, 기계적 엔코딩 BN 411 002 따르는 철도 차량 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160로 분리
입력 수..... X1	SIBAS 버스 신호 +5 부가 입력 신호
입력 DC 전압..... X1	≤HCMOS 범위 5V
입력 수.....X2	24(16 측정점 및 8개의 전류원)
전류원 "AIN[01-08] " P/N의 입력전압	UIN ≤ 1V RPT100 ≤ 500Ω일 때
전류원 " IIN[01-08] " 의 입력전류	IIN = -2.000㎃
출력 수 X1	SIBAS 버스 신호 +1 아날로그 신호 " TEMPOUT "
디지털 출력 DC 전압 : X1	HCMOS 범위 5V
각 디지털 신호에 대한 출력전류	IOUT ≤ 5㎃ IOUT ≤ 10㎃..... 버스 구동 신호에 대해
아날로그 출력전압 : X1	UTEMPOUT≤ ±15V RLOAD ≥ 2kΩ
출력 수 X2	8전류원 IOUT[01-08]
IOUT = -2.000mA±1.1%	IOUT = -2.000㎃±1.1%
시간, 시간정수, 측정량	
온도범위, 채널A, TEMP[1-8]A	-39℃ ≤ T ≤ +127℃
온도범위, 채널B, TEMP[1-8]B	-60℃ ≤ T ≤ +540℃
지연 시간정수 TN, TP TN=RN×CN, TP=RP×CP	16.6㎳
지연시간 TMUX	< 8μs
참조 전압 UOFFSA/B	+10.000V±27.5㎷
정밀도	

채널 A에서 측정 에러	≤±2.5℃ 측정전류 IOUT = −2.000㎃
채널 B에서 측정 에러	≤±3.4℃ 측정전류 IOUT = −2.000㎃
전류 오차를 통한 측정에러, 채널 A	≤ ±3.3℃
전류 오차를 통한 측정에러, 채널 B	≤ ±5.7℃
전기적 절연	요구되지 않음

(ㄹ) 블록도



㉦ G071 : 다기능 차량버스 32(MVB 32)

(ㄱ) 일반사항

MVB 32 (6FH9458-3C) 카드는 TCN (Train Communication Network)에 따른 통신 프로토콜을 위한 보조 컴퓨터 이다. SAF-C 165 마이크로프로세서와 MVB 제어기(MVBC)뿐 아니라 메모리 및 주변 모듈들이 있다. MVB 32 카드는 프로세서와 인터페이스 카드로 구성된다. 그 장치는 다음과 같다.

프로세스 카드의 메모리 보완:

- RAM 512 KB
- RAM 트래픽 메모리 256 KB
- 이중포트 RAM 64 KB
- 플래시 EPROM 1MB

프로세서 카드의 주변장치

- MVBCS1
- 로직 (i.e. 어드레스 디코딩을 위한 PLD)
- MVBD1과 인터페이스 되는 중복(Redundancy) 라인 (커넥터 X4, X5)
- 변압기
- 서비스 인터페이스 X3

MVB 32카드는 64-핀 후면 커넥터 X1을 통해 대단위 SIBAS 버스로 연결된다.

모듈에는 두 개의 이중 LED가 있다. 이는 모듈의 작동상태와 MVB에서 데이터 트래픽을 나타낸다.

첫번째 이중 LED는 적색과 녹색이다.

적색 점화, 모듈이 작동될 준비가 안 된 경우 (예를 들어, 로딩된 데이터가 구성되지 않거나 부정확하게 구성 (NSDB))

녹색 점화, 모듈이 작동될 준비가 되었고, MVB로부터 데이터패키지를 받고 있는 경우

두번째 이중 LED는 녹색과 황색이다.

녹색 깜빡임, 1초당 1회, 이 모듈에서 버스 관리자가 활성된 경우

GELB 점화, 모듈이 작동될 준비가 되고, 데이터패키지를 MVB로 전송하는 경우 (전송주기에 따라, 짧은 점멸에서 연속 점화까지)

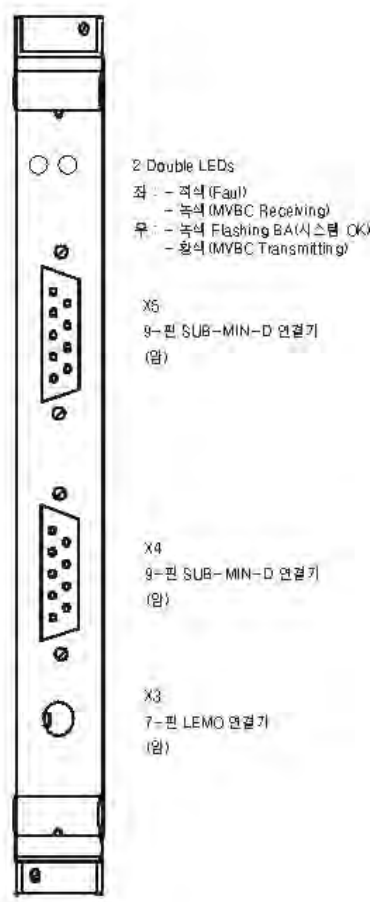
모듈의 스위치 ON 되었을 때, 적색과 황색 LED가 잠시 점화된다.

데이터 패키지가 적어도 한 개 MVB 케이블에서 교환되는 경우, 송신 또는 수신 LED가 점화된다.

버스 관리자가 활성된 경우, MVB가 연결되지 않아도 송신과 수신용 LED가 점화된다.

버스 관리자가 활성된 경우, 두번째 이중LED의 색깔이 교대로 노란색과 오렌지색이 된다. 모듈이 버스 노드인 경우, MVB에 데이터 교환이 없더라도 모든 LED가 OFF 된다.

(ㄴ) 전면판넬

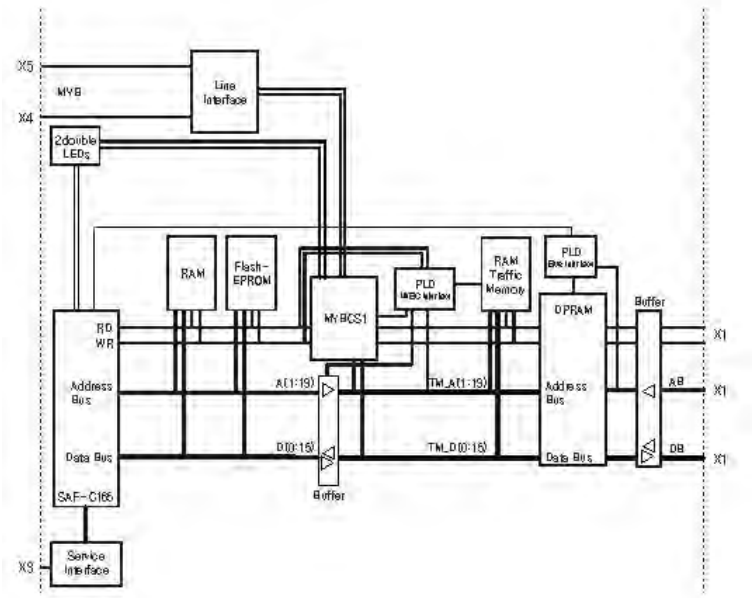


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9458-3C
후면 커넥터 : X1	DIN 41612에 의한 64핀 플러그 커넥터 대규모 SIBAS 버스
전면 커넥터 : X4 .....X5 .....X3	9핀 SUB-MIN-D 플러그 연결기 (암) 9핀 SUB-MIN-D 플러그 연결기 (암) 7핀 LEMO EPG.0B.307.HLN (암)
슬롯 폭	4TE
무게	약 195g
온도범위	－40℃～＋85℃
전원	＋5V±5% 약 600㎃
구조	나사로 고정된 PCB 프로세서 카드 (100㎜×160㎜) 양측 광택 처리 8층 인쇄회로 설계 기계적 인코딩 BN 411 002 따르는 철도 형식
규격	EN50155 LES-DB VDE 0110 및 VDE 0160로 분리 TCN 규격 IEC 61375

Baud rate..... X4, X5 ..... X3	1.5M (맨체스터 코딩) 9600bps
프로세서	메모리 모듈
메모리 모듈	RAM (512KB) RAM 트래픽 메모리 (72KB) DPRAM (64KB) FLASH EPROM (1MB)
그 외 모듈 X3	MVB 제어기 MVBCS 1 서비스 인터페이스
전기적 절연	변압기
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



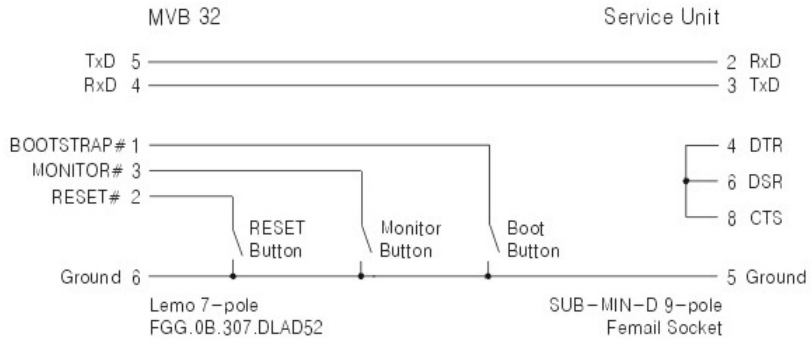
㉮ 서비스 인터페이스용 케이블

이 모듈에서 서비스 인터페이스로의 연결을 위해서는, 7극 LEMO 커넥터와 세 개 버튼이 있는 특수 인터페이스 케이블이 필요하다.

※ 주 의

서비스 케이블은 작동 시, 제어신호가 케이블에 있기 때문에 플러그인 되지 않는다. 케이블 길이는 3m를 초과하지 않아야 한다.

다음은 이 인터페이스 케이블에 필요한 배선에 관한 것이다.



㉶ C105, C129 : 전력 변환기 72V~110V/± 24V (PCS ± 24V)

(ㄱ) 일반사항

PCS ±24V 유닛 (6FH9485-3A)은 SIBAS 서브랙에 전원을 공급하는데 사용된다. 이 유닛에는 다음과 같은 특징을 있다.

- 공칭 입력전압 UIN = 72V～110V
- 출력전압 UOUT = ±24V/100W
- 전기적 절연
- 배터리 역행 보호 입력
- 뒷면 플러그인 커넥터에 대한 설계 철회 가능

72V～110V/±24V, 100W 컨버터는 72V ~ 110V (PUE, NUE) 공칭입력전압으로부터, 정확하고 안정된 ±24V출력전압 (PUA, MUA, NUA)을 생성한다. 컨버터는 전기적 절연이 되어 있고, 배터리 역행보호가 되어 있다. 또한 그 기계적 구조와 진동에 대한 저항덕분에, 전기시스템에 전원을 공급하기 위한 유동, 고정시스템에서의 서비스에 아주 적합하다.

전원차단 신호(POWERFL)는 출력전압이 일정 값 이하로 강하될 때 활성된다. 차단입력 (INHIBIT)은 컨버터가 스위치 ON과 OFF 되게 한다. 차단신호가 "LOW"일 때, 신호는 TTL 레벨이고, 컨버터는 스위치 ON 된다. 이 신호는 입력(NUE) 표시가 된다. 개방 컬렉터출력으로 제어가 가능하다. 컨버터를 작동시키기 위해서는 이 입력을 연결시켜야 한다.

전원차단 출력 (POWERFL)은 개방컬렉터 신호의 형태를 취한다. 컨버터의 출력전압이 0.95×UOUTnom±1.5% 값 이하로 떨어지는 경우, 이 출력은 FMUA 퍼텐셜로 스위칭 된다. 이 회로상태는 UOUT = (0.95 ~ 0.6) × UOUTnom영역에서 규정된다. UOUT < 0.6×UOUTnom의 경우, 회로상태는 규정되지 않는다.

필요한 출력전압을 조정하기 위해, 컨버터에는 입력 감지 (FUA)가 있고, 이것으로 이 지점에서 출력전압이 측정될 수 있다. 이와 같은 방법으로, 전원공급 컨덕터를 통과하는 전압의 강하를 조정할 수 있다. FNUA 입력은 NUA 출력라인에 연결되고, FPUA 입력은 PUA 출력라인에, FMUA 입력은 MUA 출력라인에 연결된다. 만약 입력감지장치가 사용되지 않는 경우, 이들은 연결되지 않는 상태로 있을 수 있고, 컨버터에서 저항기를 (10Ω) 통

해 출력전압으로 연결된다. 그러나 이 경우, 터미널을 해당 출력라인에 직접 연결하는 것이 가장 적당하다.

테스트의 경우, 컨버터의 출력전압은 전면패널에 있는 소켓을 사용하여 측정할 수 있다. 이 소켓은 저항기 (10kΩ)를 통해 출력으로 연결된다.

상태를 표시하기 위해 전면패널에 LED가 있다. 이것은 전원차단 신호에 따라 작동된다. 즉, UOUT < 0.95 × UOUTnom ±1.5% 일 때 점멸된다.

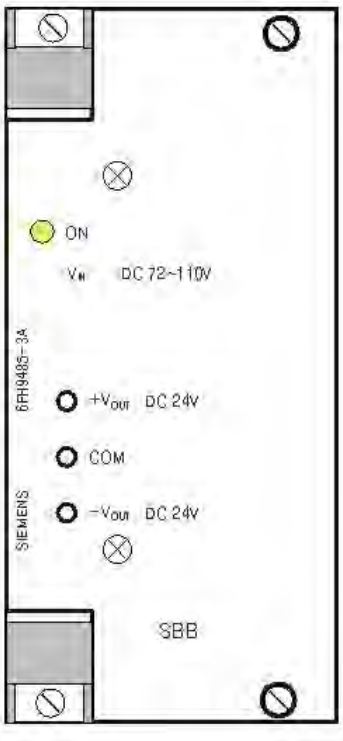
전체 전압 모니터링 :

듀오 컨버터로, 두 개 전압이 각각 모니터링 되지 않는다. (MUA에 대해 PUA, MUA에 대해 NUA), 그러나 전체전압 (NUA에 대해 PUA)은 모니터링 된다.

전체 전류 한계 :

두 개 출력전류 값의 합이 기술데이터에 기록된 전류 한계 값을 초과할 때, 듀오 컨버터로 전류를 제한한다. (전체 전류 = IOUT+ + IOUT−)

(ㄴ) 전면판넬

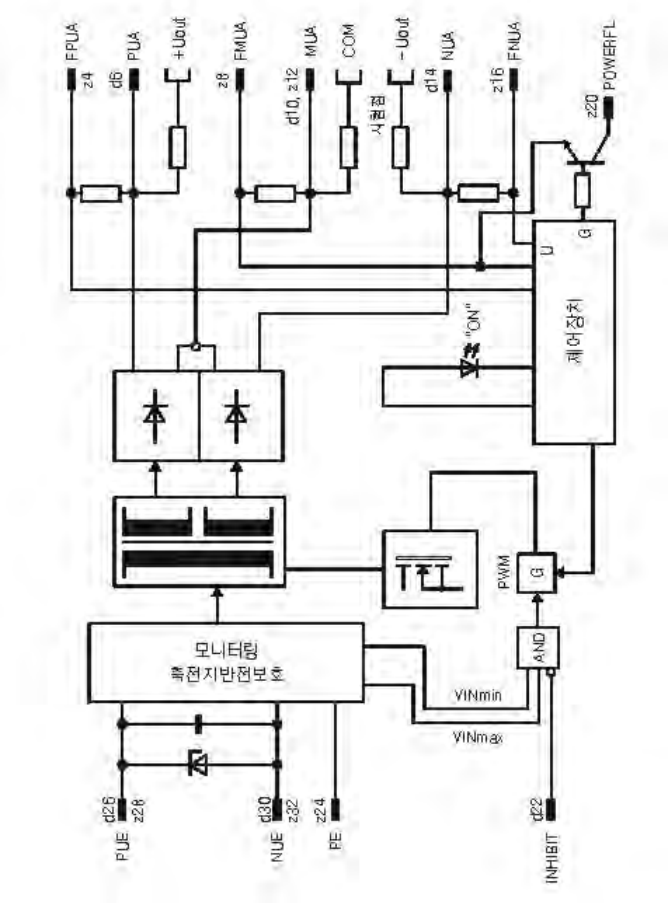


(ㄷ) 기술데이터

주문번호	6FH9485-3A
후면 커넥터 : X1	고전류 플러그 커넥터 H15 to DIN 41612 24핀 Leading(1차 접지)
전면 커넥터 : X2	없음
슬롯 폭	12TE
무게	약 850g

온도범위	−40℃ ~ +70℃, +70℃ ~ +85℃, t≤10min
구조	컨버터용으로 가공된 모듈위치에 연결 기계적으로 인코딩 될 수 있음 100㎜×160㎜
규격 (필요할 경우)	EN50155, BN411002, EN50140-142, EN50121-3-2, EN50178, prEN50123-1, DIN VDE0435T.303, EN61000-4-3/4/5, ENV50204, SN29500, EN60559, IEC68T.2.27, IEC529, IEC571-1
입력전압..... UIN	40V≤UIN≤154V
Ramp-Up 시간과 R 공칭부하	≤200㎳
예비전류	≤15㎃
차단입력..... INHIBIT UINHIBIT	"LOW"≤0.4V/0.5㎃ unit ON, "HIGH"≥2.4V unit OFF, TTL Level, 제어 가능 "NUT" 입력을 나타내는 신호
출력전압..... UOUTnom	±24V±3%
출력전류..... IOUTnom	±2.1A
전체 전류 모니터링	4.7A ~ 5.2A
출력전압..... UOUTnom	
IOUTnom에서 과전압보호(내부)	≤1,25×IOUTnom
모니터링..... UOUT POWERFL, Open-Collector	0.95×UOUTnom±1.5% "FMUA" 출력을 나타내는 신호
효율	>87%
저장시간	>1.2㎳ at −25℃
1㎳	1㎳
50%−100%−50% 부하 변화시, 동작시스템 편차	1㎳
50%−100%−50% 부하 변화시, 교정시간	1㎳
잔류리플	<100m Vpp
유지보수	없음

(ㄹ) 블록도



② 개발장치 분석

㉮ 일반

(ㄱ) 개요

제어기는 파워서플라이를 포함하여 17종의 보드와 마더 보드로 이루어진다. 외부와의 통신, 아날로그 입력 등의 보드는 3U로 이루어져 있고, 제어를 담당하는 보드와 디지털 입/출력 기능을 수행하는 보드는 6U로 설계되어 진다.

본 제어기의 주 연산장치는 제어알고리즘을 실시간으로 수행하기 위하여 고성능 32BIT Digital Signal Processor(DSP)인 TMS320VC33을 사용하였다. 또한 통신(퍼스널 컴퓨터, TCMS)과 모니터링 및 유지보수를 위한 CPU도 역시 TMS320VC33을 사용하였다.

견인시스템의 제어장치는 전압형 PWM 인버터의 가변전압 가변주파수 제어방식으로 역행 및 제동시 정토크, 정출력, 정전압 제어를 하며, 차량의 점착성능 및 에너지 효율의 극대화를 발휘하도록 되어있다. 견인력 및 제동력은 주간제어기의 역행/제동 핸들이나 별도의 제어장치에 의해 제어되고, 필요한 견인력 및 제동력을 낼 수 있도록 펄스폭 변조신호를 제어한다.

(ㄴ) 주요사항

- ○ 주 연상장치 : 32BIT Digital Signal Processor(DSP)인 TMS320VC33
- ○ 통신 및 모니터링 CPU: 32BIT Digital Signal Processor(DSP)인 TMS320VC33
- ○ 외부중앙장치 통신 : MVB

○ 외부직렬통신 : RS232(9600bps)
○ 고장 Data Memory : 128Kbyte
○ 16 Channel D/A 출력 : 실시간 모든 Data 출력
○ 48 Channel 디지털 출력
○ 48 Channel 디지털 입력
○ Analog 입력 - PWM 입력, 속도 입력, 센서 입력 : 8 Channel x 6
○ 온도사양 : -25℃ ~ 40℃

(ㄷ) 주요기능

견인 시스템의 제어기의 기능은 다음과 같다.

○ 모터제어

▶ VVVF 제어

- 가변전압 가변주파수 제어.

▶ 벡터제어

- 모터전류를 축변환하여 자속전류와 토크전류로 분리하여 직접 자속 및 토크를 독립적으로 제어하므로서 과도상태에서 빠른 응답속도와 고점착 제어.

▶ 공간전압벡터 PWM(SVPWM)

- 전압이용률 향상.

▶ IGBT 게이트 펄스 생성

- 토크제어기에서 요구량인 주파수 및 변조 펄스폭을 생성한다.

○ 외부 인터페이스

▶ 방향 및 견인/제동 선택

- 전진/후진 및 역행/제동 동작모드 변환에 대한 안정적인 동작.

▶ 16 Channel D/A 출력

- 실시간 모든 Data 출력.

▶ 스위치류 및 기타 출력 제어

- 외부 및 내부로부터 입력으로 전력회로내의 컨텍터나 기타 출력 등을 만들어낸다.

▶ PWM 입력 처리기능

- 견인력 요구와 차량중량입력을 받아 들여 Digital 값으로 변환한다.

▶ 속도(Pulse Generator 신호)입력 처리기능

- PG(Pulse Generator) 또는 엔코더 신호를 받아들여 속도를 연산한다.

▶ 전압과 전류신호 처리기능

- 아날로그 전압과 전류신호를 받아들여 Digital 값으로 변환한다.

○ 고장처리

▶ 하드웨어 및 소프트웨어 2중 Protection

- 시스템을 보호하기 위하여 하드웨어 보호기능과 소프트웨어 보호기능을 갖는 2중 보호기능.

▶ 고속 시스템 보호기능
- 고장시 인터럽트를 발생시켜 보호동작.
▶ IGBT 보호동작
- IGBT 보호는 상전류, 기타 피드백 신호, 전력회로로 부터의 고장신호등을 감시하며 이상 상황이 발생하면 IGBT 의 펄스를 차단한다.

○ 토크제어
▶ TE/BE 요구 기능
- 기관사(주간 제어기)의 요구 또는 중앙제어장치의 요구와 차량의 무게 정보, 속도 및 가선 전압 등을 고려하여 TE/BE 요구량을 연산한다.
▶ 토크제어
- 연산된 TE/BE 요구량에 의하여 토크를 제어하여 파형 발생기에 필요한 값을 계산한다.
▶ 져크제어
- 역행 기능시, 노치오프시, 회생동작시 등 승차감 향상을 위하여 토크를 제어한다.

○ 제동
▶ 공기 제동과의 조화
- 제동시 전기적 제동력의 양에 대한 정보를 제동 제어 장치(ECU), 또는 중앙제어장치에 전달한다.

○ 점착제어
▶ 공전/활주 검지
- 공전 및 활주의 검지값에 의해 공전 및 활주를 검지하여 이에 대한 보정 작업을 하도록 토크제어기로 이 신호를 보낸다.
▶ 재점착 제어
- 공전 및 활주가 검지되면 공전 및 활주가 생기지 않도록 공전/활주 토크 전류 패턴에 따라 토크전류 지령치를 제어한다.

○ 시퀀스제어
▶ 시퀜스 제어
- 기동시, 정지시, 고장시 등 상황에서 안정하게 시퀀스를 제어한다.
▶ 시퀀스 고장
- 시퀀스 동작 접촉기 및 차단기의 접점상태 등을 체크하여 이상시 고장으로 판단하여 재기동 한다.

○ 통신
▶ 진단을 위한 직렬 통신
- 현상태의 정보를 ON-LINE으로 보내 외부 퍼스널 컴퓨터로 현시한다.
▶ 중앙제어장치와 통신

- 모든 열차정보와 인버터의 정보를 교환하고 인버터제어에 대한 지령을 받는다.

▶ 고장기록 전송

- 고장에 대한 기록을 사용자의 퍼스널 컴퓨터에 의한 요구시 고장에 대한 기록을 전송한다.

○ 유지보수

▶ 자기진단기능

- 전원투입 시 스스로 메모리를 검색하여 이상 유무를 확인한다.

▶ 프로그램 다운로드

- 프로그램 UP GRADE 시 EEPROM을 교체하지 않고 직렬 통신으로 프로그램을 다운로드한다.

▶ 고장기록

- 고장시 전후 데이터를 기록하여 저장한다.

▶ 고장표시

- 고장시 고장종류를 중앙제어장치에 전송하고 견인 인버터 제어장치에 현시한다.

(ㄹ) 개발장치 외형

견인시스템의 제어장치는 기능별로 15종의 Board로 구성되어 있으며 이들 보드는 Back Plane으로 연결되어 있다. 제어장치를 구성함에 있어 Back Plane의 구조는 두 가지 방식이 있다. 보드간의 교환 신호선을 전용으로 할당하는 방법과 데이터 버스(Data Bus)와 어드레스 버스(Address Bus)의 버스구조로 구성하는 방법이 있는데, 본 제어기는 후자의 구성을 사용하고 있다.

그림4에서와 같이 제어기는 외부와의 인터페이스를 위한 INF23, INF32, PIP18, PIP22보드, 인버터 및 컨버터의 개별 제어를 위한 PWM33과 시퀀스, 보호동작 및 모니터기능을 위한 PUZ33 제어기, 광케이블로 PWM 신호를 전달하기 위한 EOC-09, 전원입력보드인 PWS24, PWS24 보드로 구성되며. 그 외에 디지털 입, 출력을 위한 DI, D0보드와 아날로그 출력을 위한 IS026보드 등이 있다.

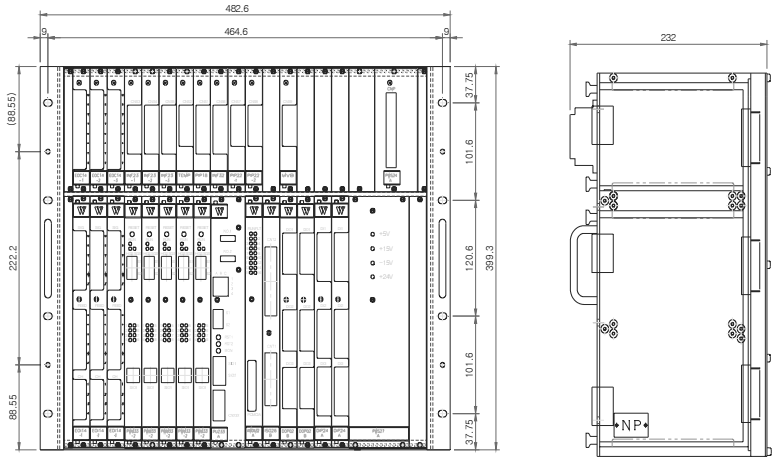


그림 172. IGBT C/I 제어기의 외형

(ㅁ) 배치도(Specification)

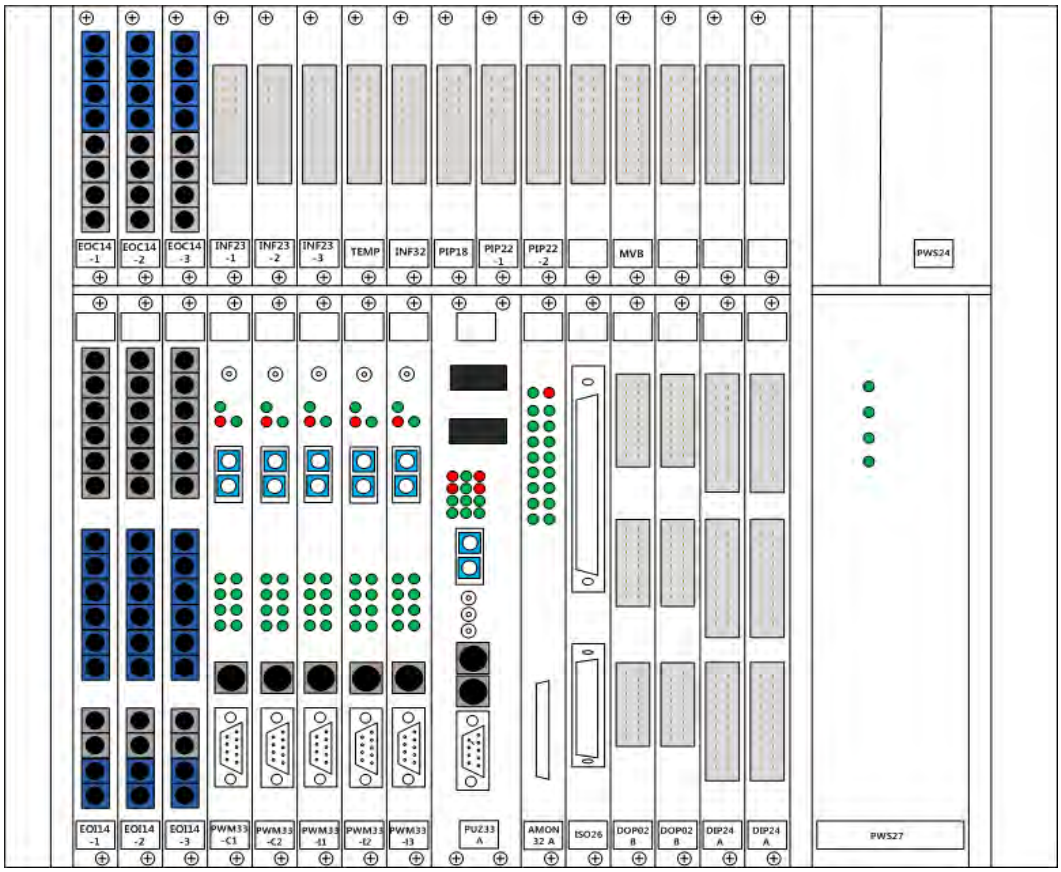


그림 173. Control Unit Specification

(ㅂ) PCB 구성 및 기능

No.	구성	기능	크기
1	INF23	전압, 전류 아날로그 입력 보드	3U
2	INF32	가선 동기 전원 입력 보드	3U
3	PIP18	속도 입력 보드	3U
4	TEMP	온도 입력 보드	3U
5	PIP22	노치, 응하중, 브레이크 지령 입력 보드	3U
6	MVB	통신 인터페이스 보드	3U
7	EOC14 EOI14	광 PWM출력 보드	3U, 6U
8	DOP02	디지털 출력 보드	6U
9	DIP24	디지털 입력 보드	6U
10	PWM33	컨버터/인버터 제어 및 PWM 보드	6U
11	PUZ33	모니터, 통신, 시퀀스 및 고장 감시 보드	6U
12	AMON	아날로그 입력 보드	6U
13	ISO26	아날로그 출력 보드	6U
14	PWS27	전원 공급 보드	6U
15	PWS24	제어 전원 필터 보드	3U

㉮ IGBT C/I 제어장치 내외부 회로구성

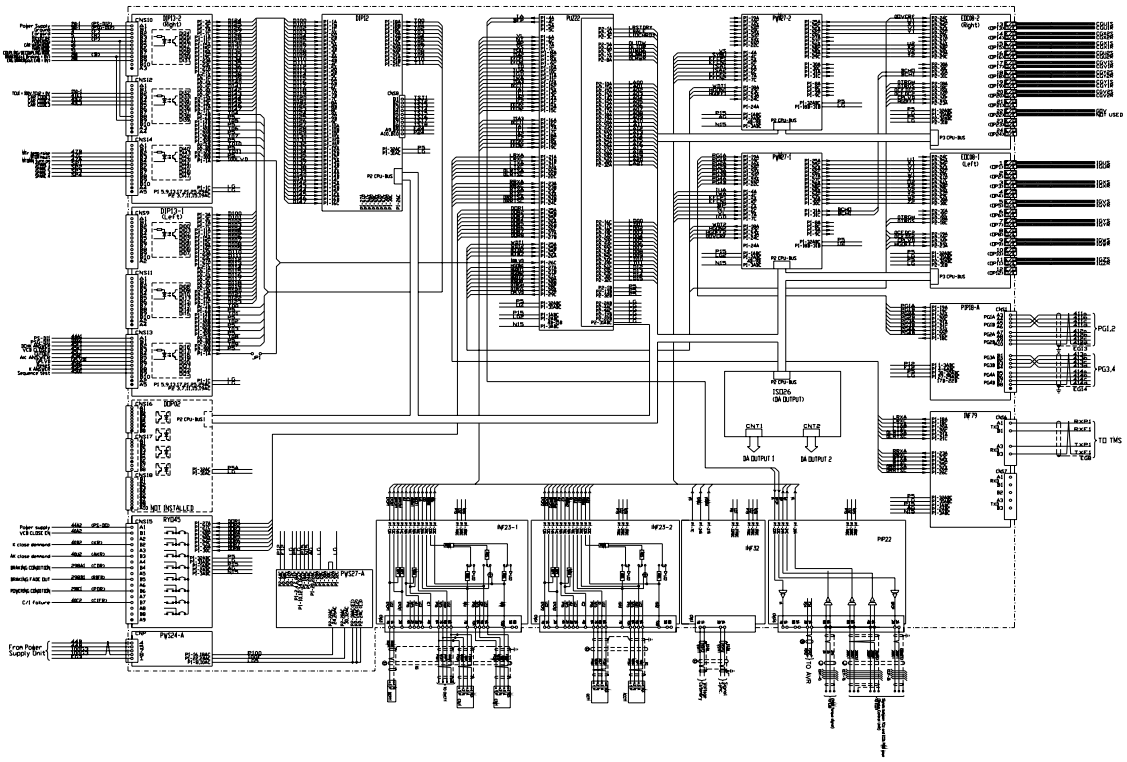


그림 174. IGBT C/I 제어기의 내외부 회로 구성도

㉯ INF23

INF23 보드는 총 8개 채널의 아날로그 입력을 받을 수 있다. 각 채널은 A/D 컨버팅을 위해 필터 회로를 거쳐 PWM33보드와 PUZ33보드로 입력된다. 또한 아날로그 입력 중 선택하여 절대 값으로 변환한 후 최대값을 검출하여 고장 검출을 위해 사용된다. INF23보드의 까 채널의 입력은 Isolation Amp를 거치지 않기 때문에 입력되는 신호들은 PT나 CT등의 절연되어 입력되는 신호들을 사용한다. INF23 보드의 구조는 그림 7과 같다.

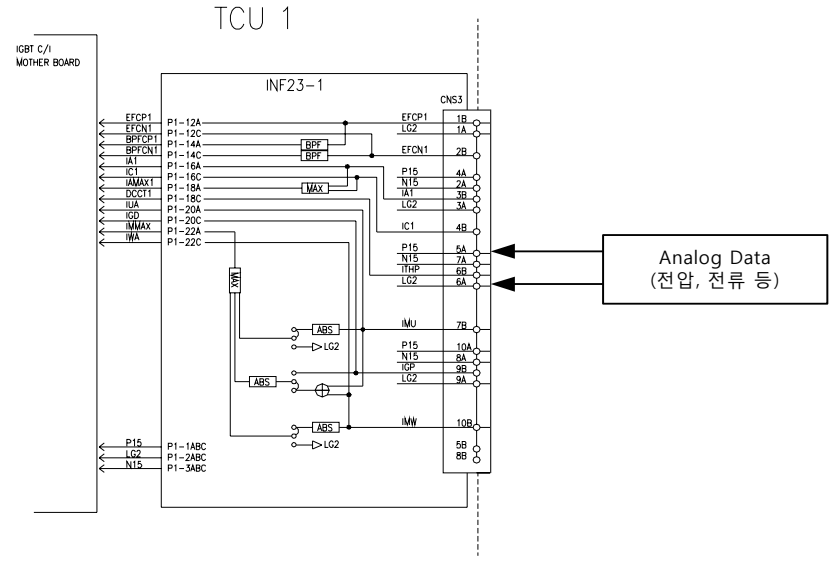


그림 175. INF23 보드의 구성도

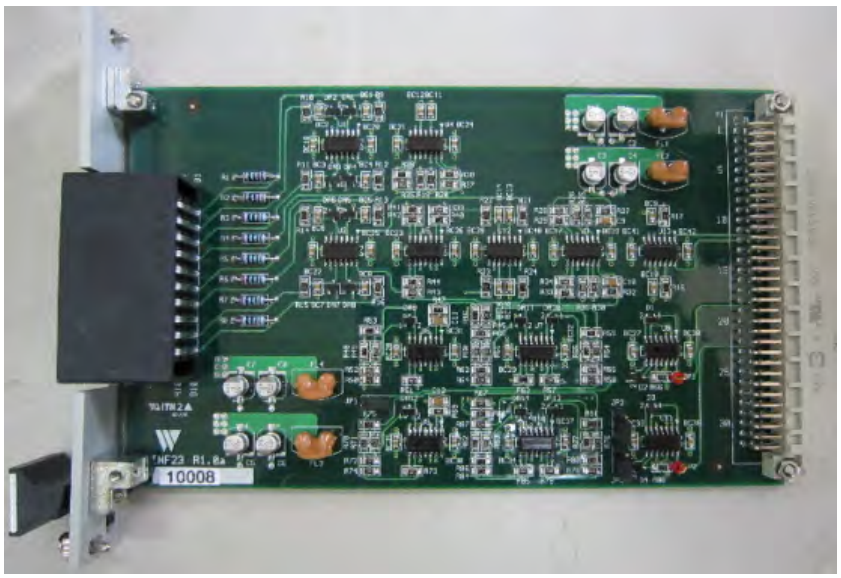


그림 176. INF23 보드의 외형

㉰ INF32

INF32 보드는 단상 AC 가선전압을 ACPT로부터 입력 받아 컨버터를 제어할 때 가선전압 위상 동기화를 위해 사용한다. 입력된 아날로그 값은 Band Pass Filter를 거쳐 PUZ33보드에 입력되며 내부에서 최대값을 검출하여 고장 검지에 사용한다. 그림 8은 INF32 보드의 구조를 나타낸다.

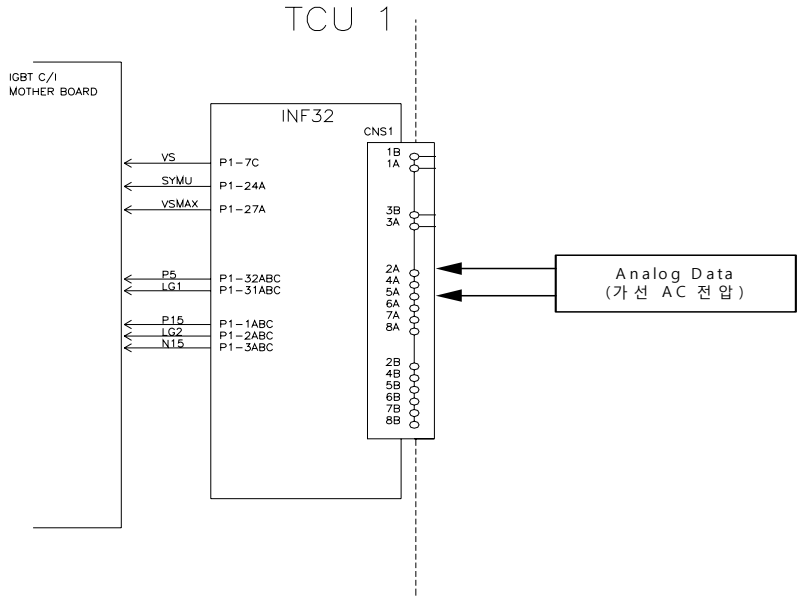


그림 177. INF32 보드의 구성도

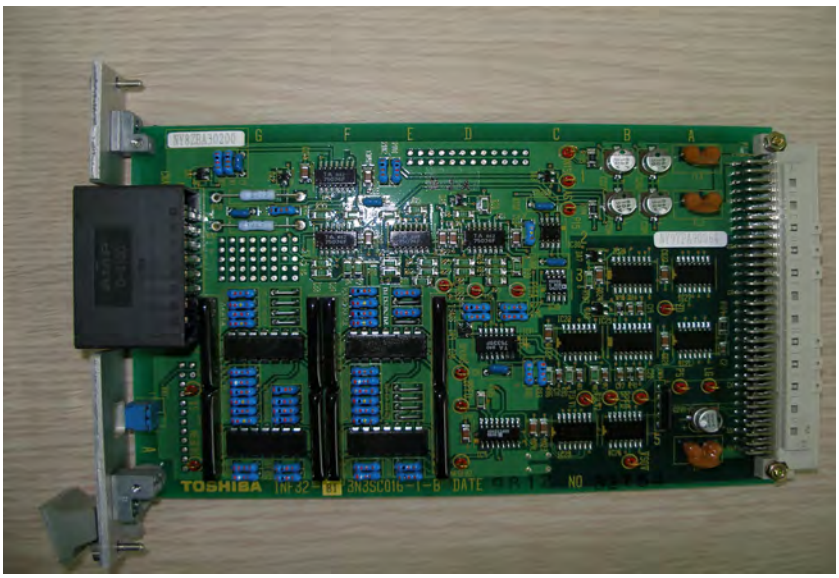


그림 178. INF32 보드의 외형

㉮ PIP18

PIP18 보드는 4개의 전동기 속도 신호를 입력 받을 수 있다. 속도 신호는 속도 센서의 종류에 따라 사인파 형태의 PG 신호와 구형파 형태의 신호가 있다. PIP18 보드는 입력된 속도 신호를 필터와 포토커플러를 거쳐 5V 레벨로 변환하여 인버터의 제어를 담당하는 PWM33 보드로 전송한다.

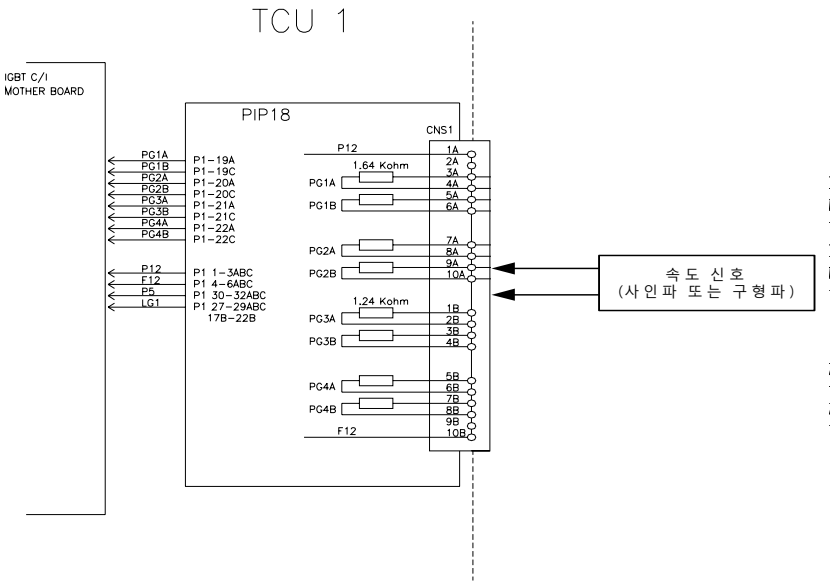


그림 179. PIP18 보드의 구성도



그림 180. PIP18 보드의 외형

㈐ TEMP

TEMP 보드는 INF23 보드와 같이 아날로그 입력 보드이고, 온도센서의 입력을 받는다. 8200호대의 경우 PT100 센서를 사용한다.

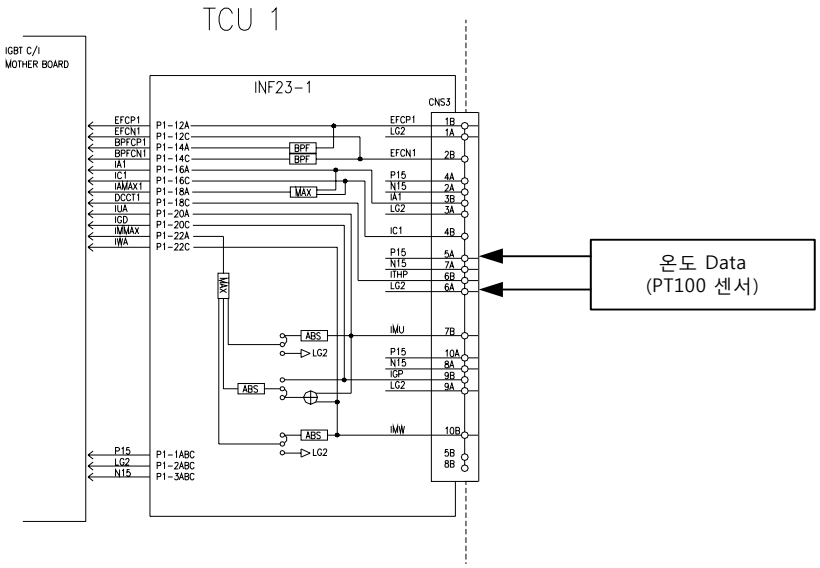


그림 181. TEMP 보드의 구성도

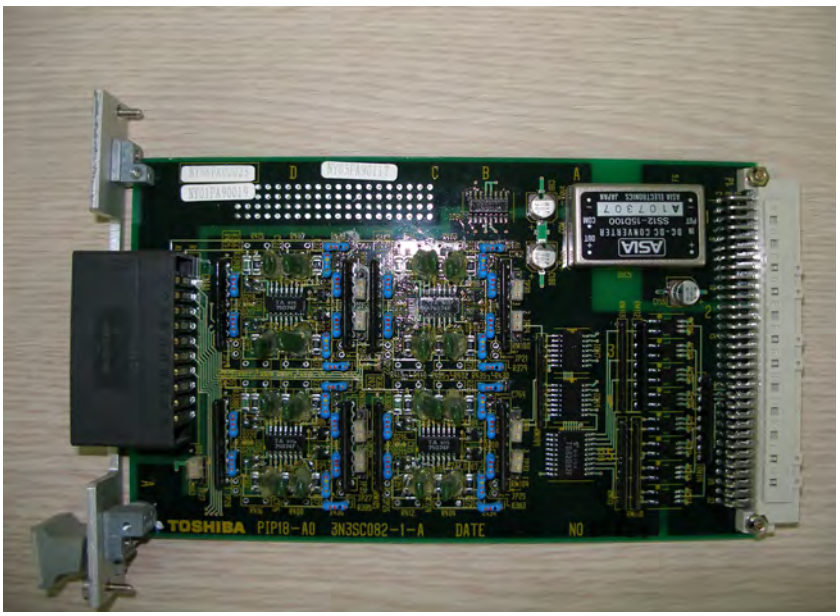


그림 182. TEMP 보드의 외형

㉮ PIP22

PIP22보드는 PWM노치 신호, 응하중, 브레이크 지령치 신호를 입력 받아 인버터 제어 보드(PWM33)에 입력 하며 전동기 전류 실효치, 브레이크 피드백 신호를 아날로그 값으로 출력한다. 입력과 출력은 모두 외부 기기와 연결되므로 Isolation Amp를 통해 절연 시킨다. 또한 모든 신호는 PWM신호와 아날로그 신호 모두 입력 가능하도록 설계 되며 이는 내부의 세팅을 통해서 전환 할 수 있다.

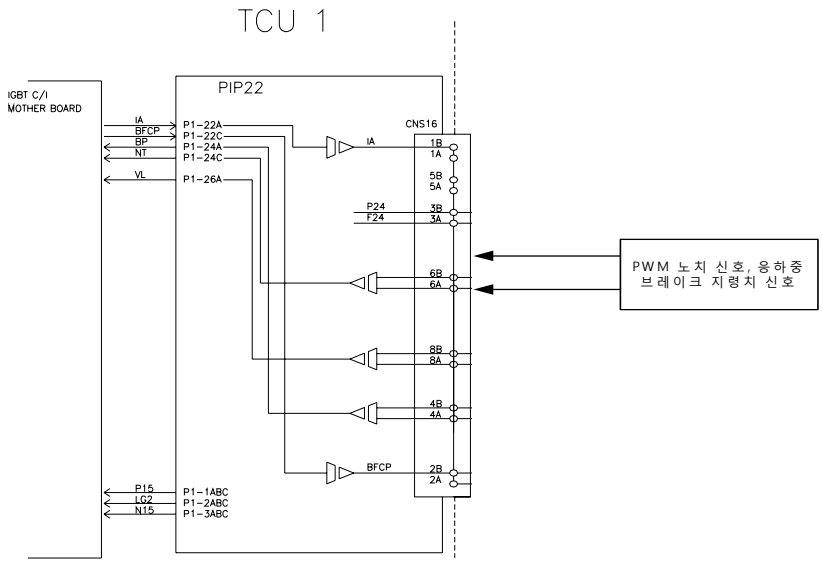


그림 183 . PIP22 보드의 구성도



그림 184. PIP22 보드의 외형

㉮ MVB

MVB 보드는 MVB 통신을 위한 보드이다. TCU 장치의 제어보드와 MVB통신보드 및 SIBCOS 장치의 제어보드와 MVB통신보드 간의 RS-485 통신을 행한다. 통신규격은 다음과 같이하므로 중요 보드 외형 및 회로를 보여준다.

표 36. RS-485 통신 규격

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

- 유최대 패킷의 길이는 86 Byte (38400 bps에서 23ms 이내) 이다.
- 유모든 Device는 Master가 요청을 수신한 부터 3ms ~ 50ms 이내 응답하여야 한다.
- 유3회 이상 연속 미 응답 시 장치고장으로 판단한다.



그림 185. MVB 보드의 외형

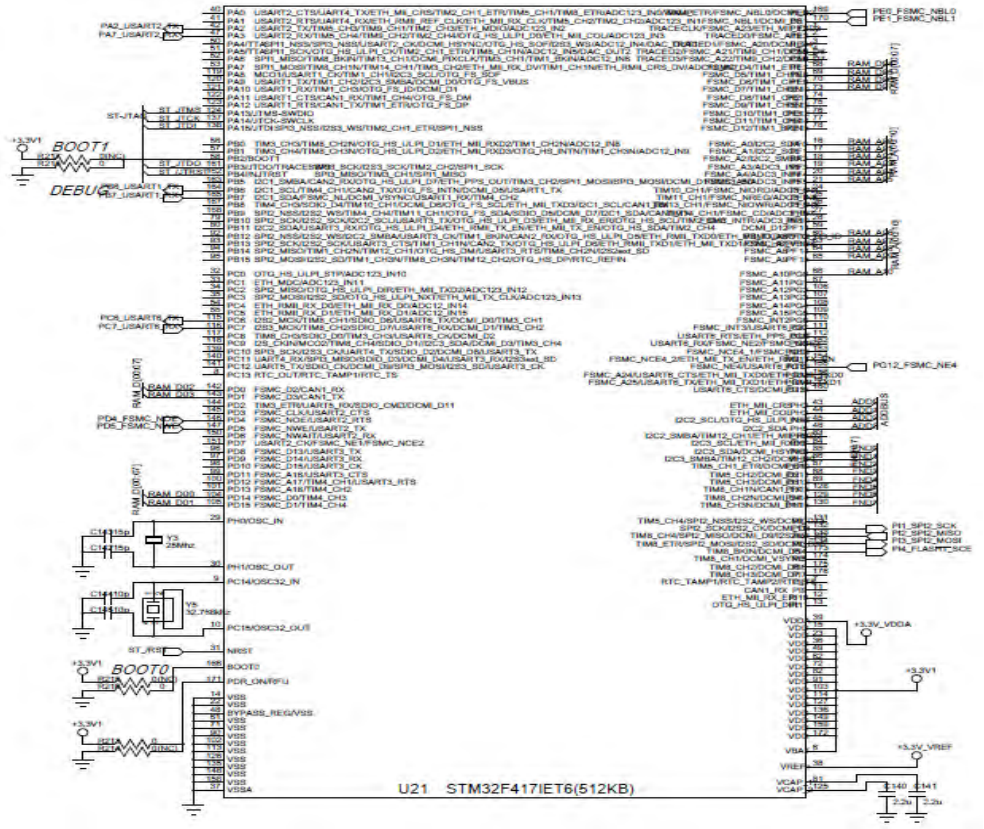


그림 186. MVB 보드의 중요 구성도

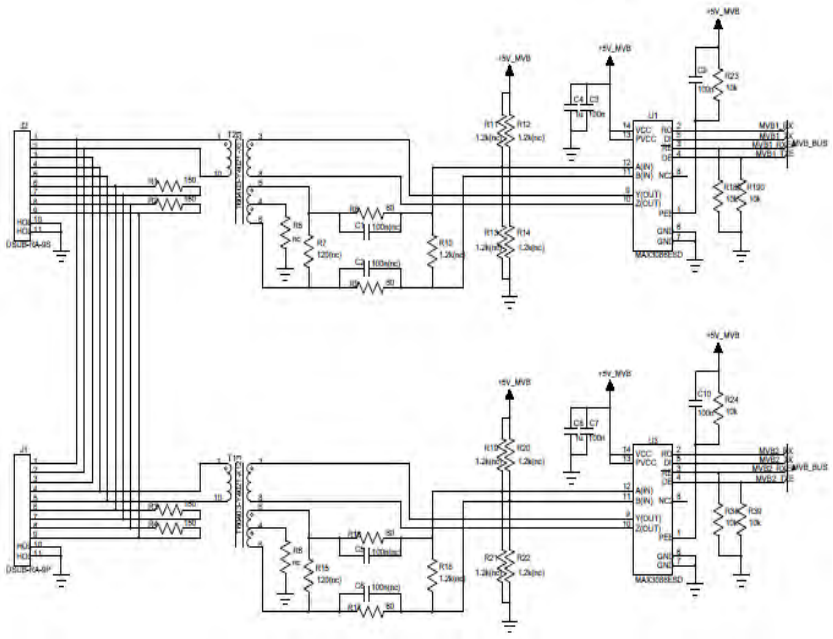
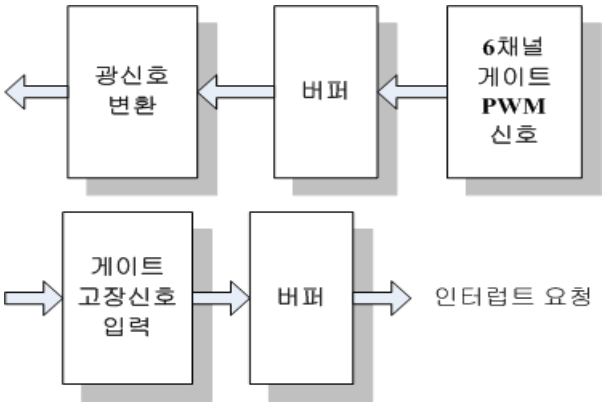


그림 187. MVB 보드의 중요 회로도

㉶ EOC14/EOI14



EOC14/EOI14보드는 PWM33 보드로부터 5V레벨의 PWM 신호를 입력 받아 광신호로 변환하여 게이트 드라이버에 전송하여 IGBT를 턴온, 턴오프 한다. EOC14/EOI14보드의 내부에는 자체적으로 게이트 드라이버로부터 피드백 된 신호를 입력받아 이상여부를 판단하여 스위칭을 멈추고 고장신호를 출력 하도록 되어있다.

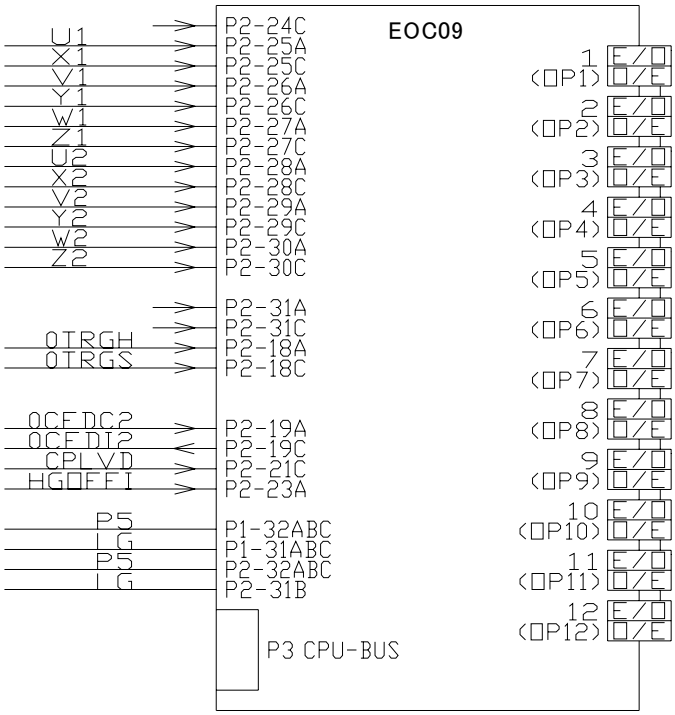


그림 188. EOC14 보드의 구성도



그림 189. EOC14 보드의 외형

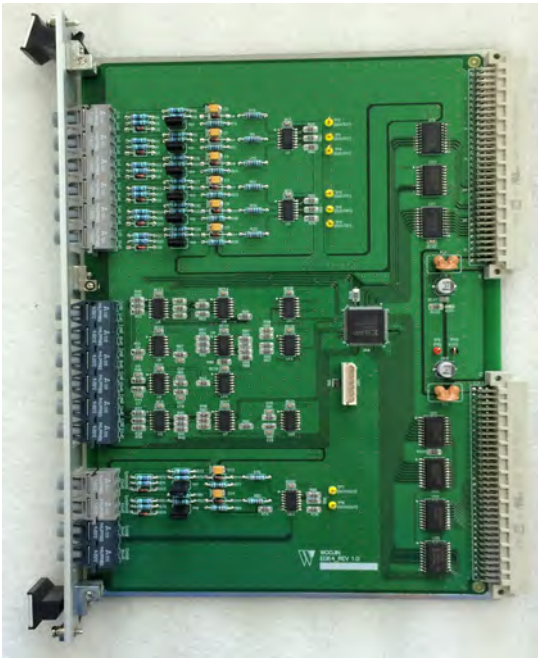
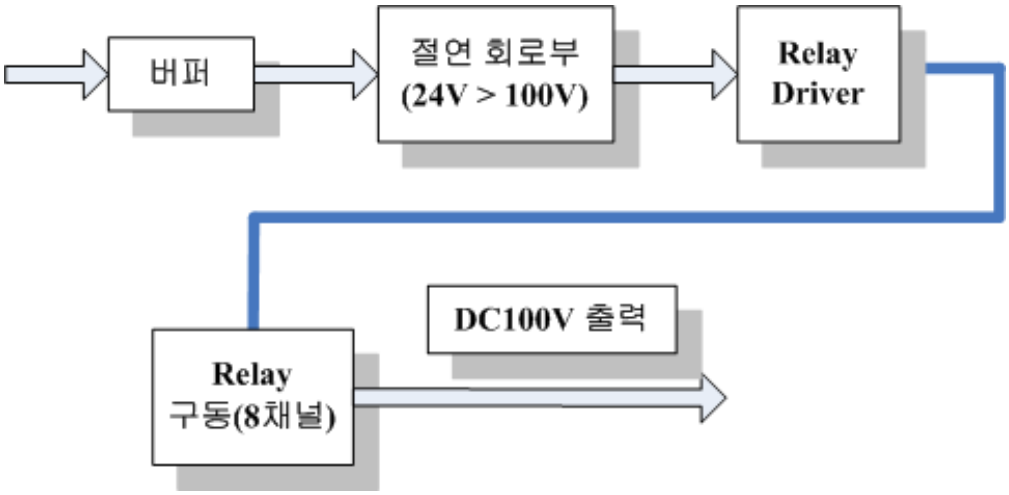


그림 190. EOI14 보드의 외형

㉦ DOP02



DOP02 보드는 24채널의 디지털 신호를 출력한다. 출력되는 디지털 신호는 PUZ33 보드로부터 데이터 버스를 통하여 입력되며 내부에 버퍼와 래치를 통해 24채널의 디지털 신호를 출력한다.

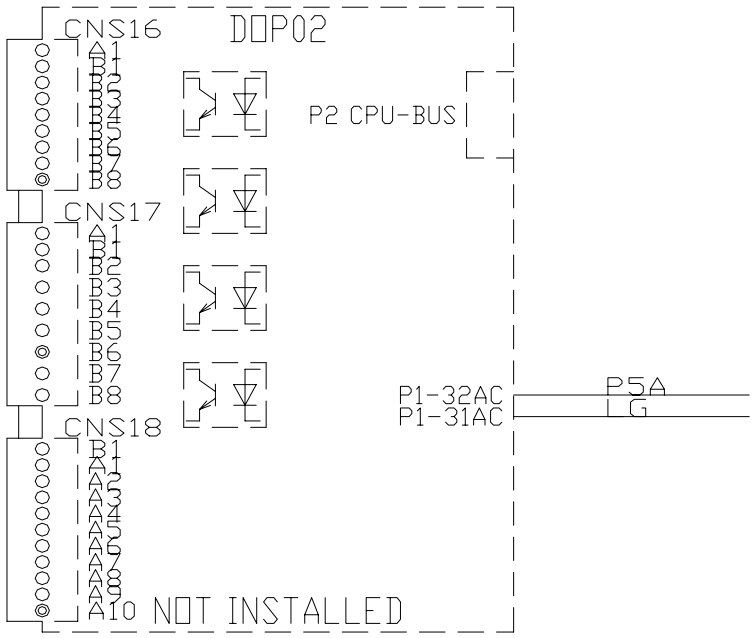


그림 191. DOP02 보드의 구성도

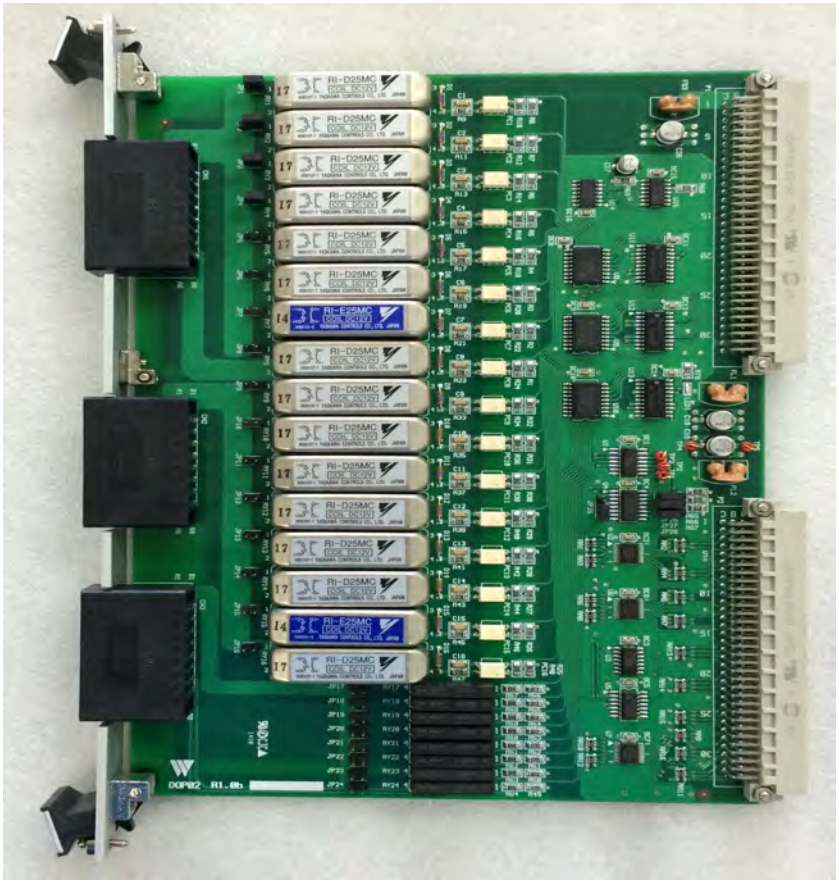
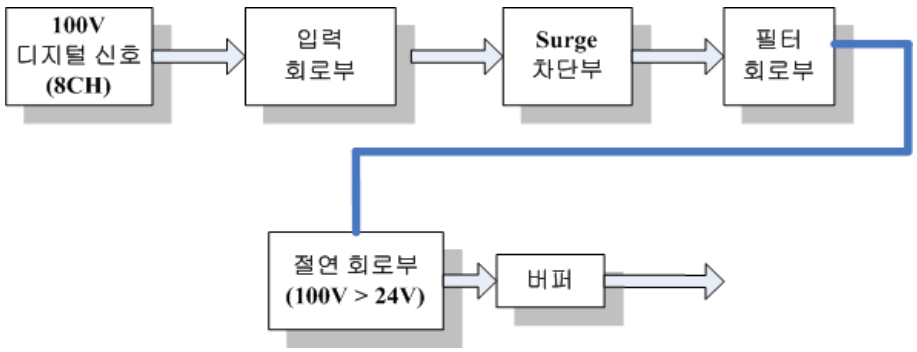


그림 192. DOP02 보드의 외형

㉮ DIP24



DIP24 보드는 100V 입력신호를 전달받는 Digital 입력신호와 입력신호에 대한 surge 차단을 위한 Surge 차단 회로부, 필터링을 위한 필터 회로부, 외부 신호와 절연을 위한 절연 회로부로 구성되어 있다. 제어기에는 24채널의 디지털 입력 DIP24 보드가 2장이 삽입되어 총 48 채널의 디지털 입력 회로를 구성한다. 입력되는 신호는 포토커플러를 통해 절연된 후, 5V레벨의 신호로 변환되어 PUZ33보드로 입력된다.

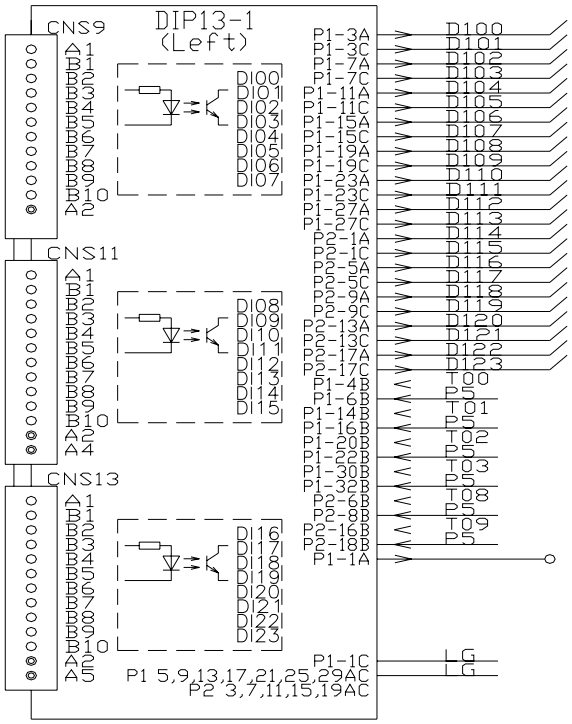


그림 193. DIP24 보드의 구성도

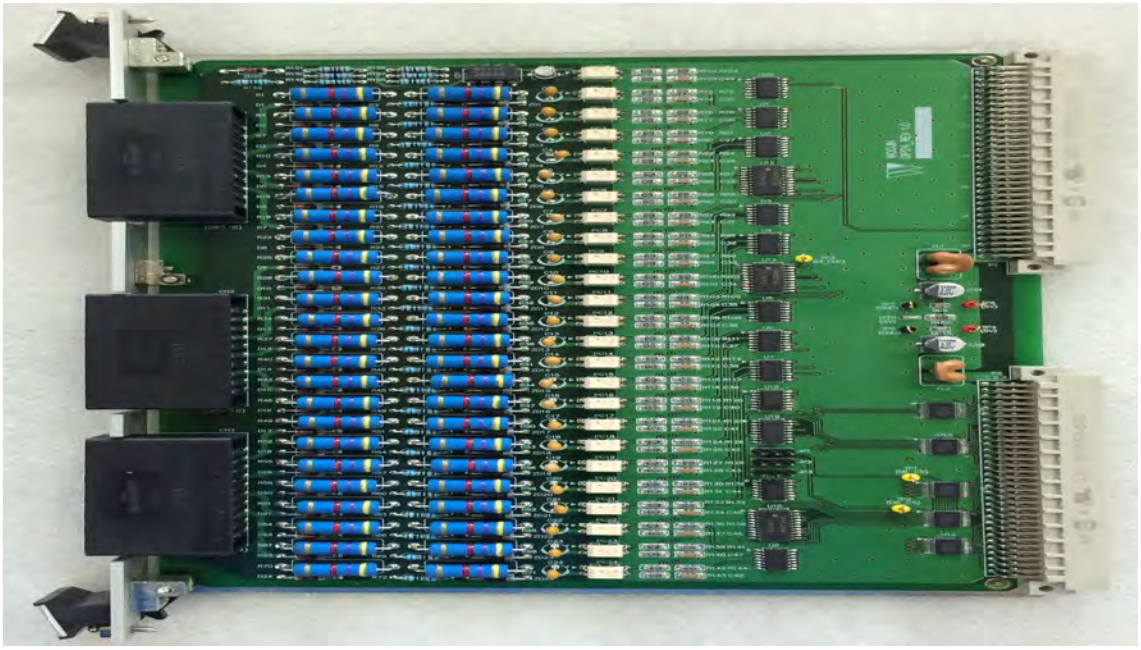


그림 194. DIP24 보드의 외형

㉲ PWM33

PWM33보드는 인버터와 컨버터의 제어를 수행하는 보드이다. 내부에 TMS320C33의 DSP가 내장되어 있고, FPGA를 통해 속 신호를 입력 받고, PWM 신호를 출력한다. 또한 제어를 위한 A/D 컨버터가 있어 아날로그 신호를 입력 받아 인버터나 컨버터의 제어에 사용한다. 보드의 이상 유무는 WDT(Watch Dog Timer) 신호를 PUZ33 보드로 보내줌으로서 항상 감시하고, PWM 출력을 위한 신호는 PUZ33으로부터 전송받는다. 본 제어장치에 사용되는 PWM33 보드는 총 5장으로 아래의 기능을 각각 수행하게 설계되어 있다.

No.	보드명	기능	크기	비고
1	PWM33-C1	컨버터1 제어	6U	
2	PWM33-C2	컨버터2 제어	6U	
3	PWM33-I1	인버터1 제어	6U	
4	PWM33-I2	인버터2 제어	6U	
5	PWM33-I3	HEP 인버터 제어	6U	

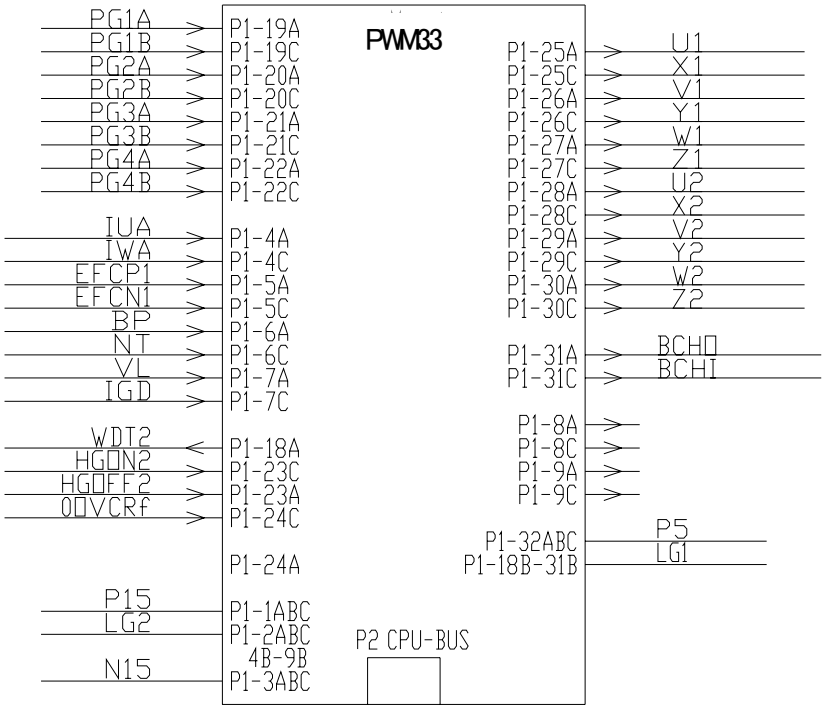


그림 195. PWM33 보드의 구성도

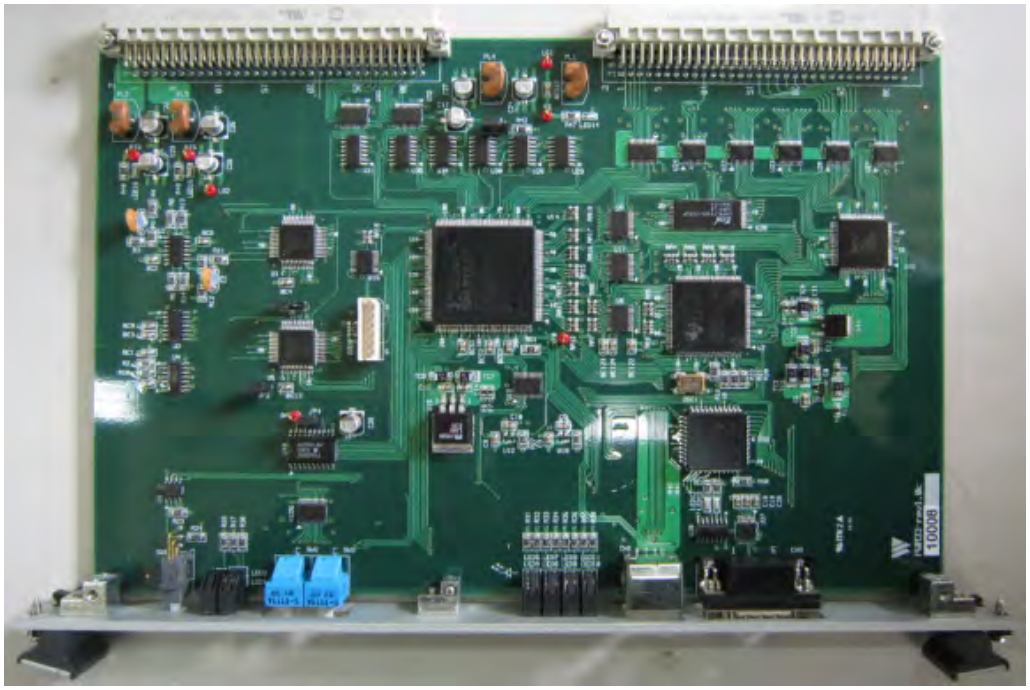
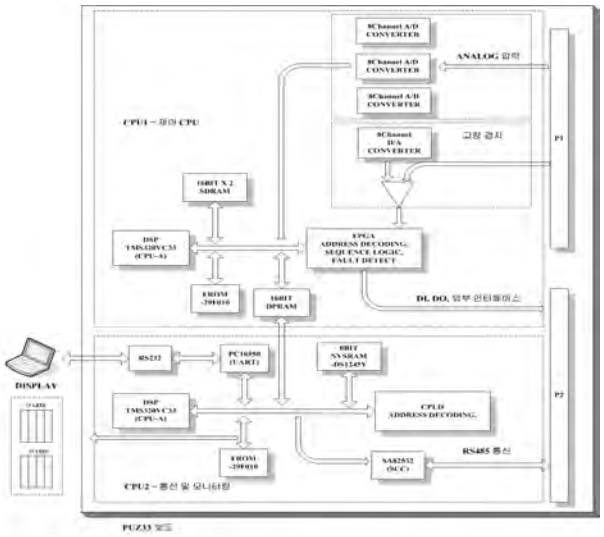


그림 196. PWM33 보드의 외형

㈑ PUZ33



PUZ33 보드는 8200호대 전기 기관차 추진 장치의 전체 시퀀스 제어(디지털 입력, 디지털 출력)와 고장 검지를 담당하며, PWM ON 신호(HGON)를 PWM33보드로 출력한다. IMON에서 입력되는 아날로그 값을 가지고 고장 검지를 하고, 고장 발생시 내부 메모리에 저장하여 사용자가 고장 기록을 확인 할 수 있도록 한다. 또한, 통신 기능을 수행하며 전기 기관차 제어기의 메인 CPU 역할을 수행한다.

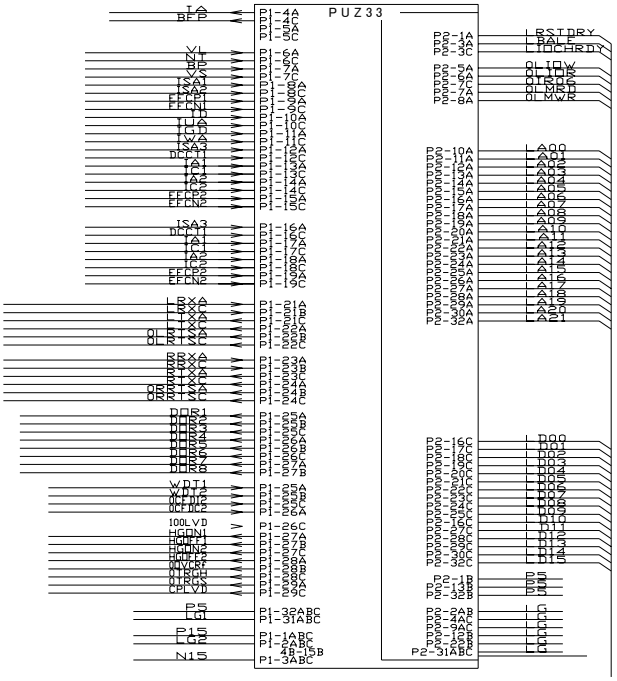


그림 197. PUZ33 보드의 구성도



그림 198. PUZ33 보드의 외형

㉮ AMON

AMON 보드는 PUZ33보드의 내부에서 보호동작을 수행하기 위한 아날로그 입력 보드이다. 가선 전압과 DC LINK 전압, 인버터 전류를 측정할 수 있는 인터페이스를 가지고 있다. 각각의 아날로그 측정 데이터의 노이즈 저감을 위한 Low-pass Filter의 기능도 수행한다. AMON 보드에서 측정되어 필터를 적용한 신호는 PUZ33 보드로 전송하여 준다. 또한 AMON 보드의 전체적인 제어는 CPLD 소자에 의하여 제어 되며 이 CPLD는 AMON의 입출력 인터페이스 회로에 의하여 입출력 신호를 주고받으며 적절한 펄스를 생성 하도록 되어 있다.



그림 199. AMON 보드의 외형

㉮ ISO26

ISO26 보드는 8채널 * 2개의 DA컨버터를 내장하고 있어 PUZ33 보드로부터 데이터를 입력받아 16채널의 아날로그 신호를 출력한다. 외부로 출력되는 아날로그 신호는 모두 별도의 전원을 사용하고 Isolation Amp를 통하여 신호를 절연시킨 후 출력된다.

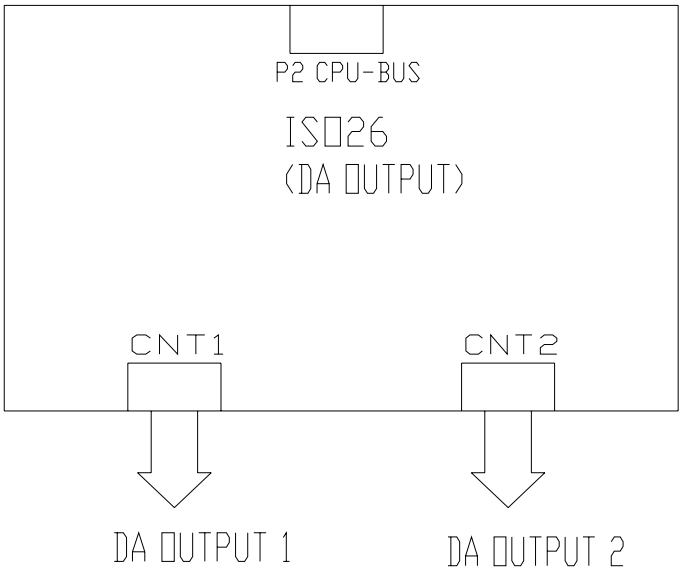


그림 200. ISO26 보드의 구성도

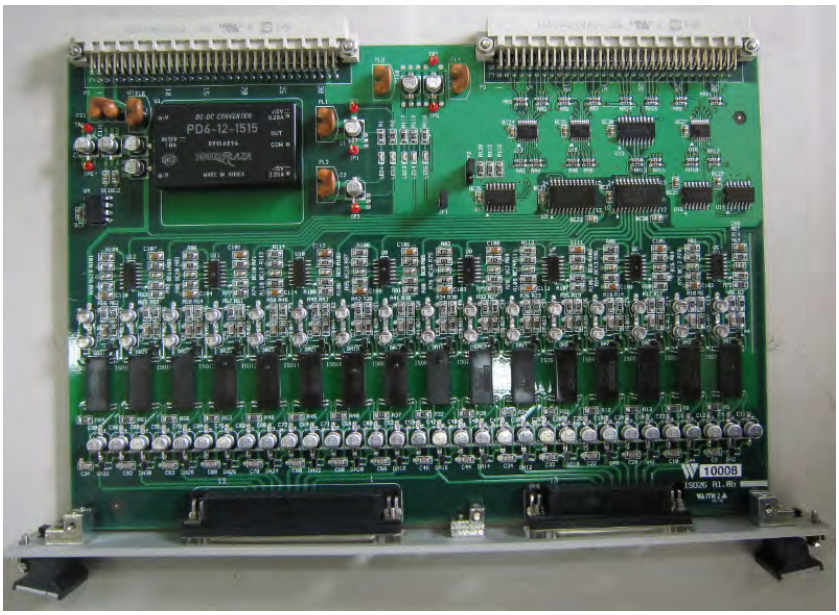


그림 201. ISO26 보드의 외형

ISO26 보드는 제어장치 내부의 변수 등을 임의로 선별하여 외부장치(레코더 등)에 출력 가능하기 때문에 제어특성 등을 확인하기 위하여 사용한다.

㉯ PWS24

PWS24 보드는 제어전원인 110V를 입력 받아 노이즈 필터, L-C 필터를 사용하여 전원을 안정적으로 제어유닛에 공급해 줄 수 있도록 하는 보드이다.

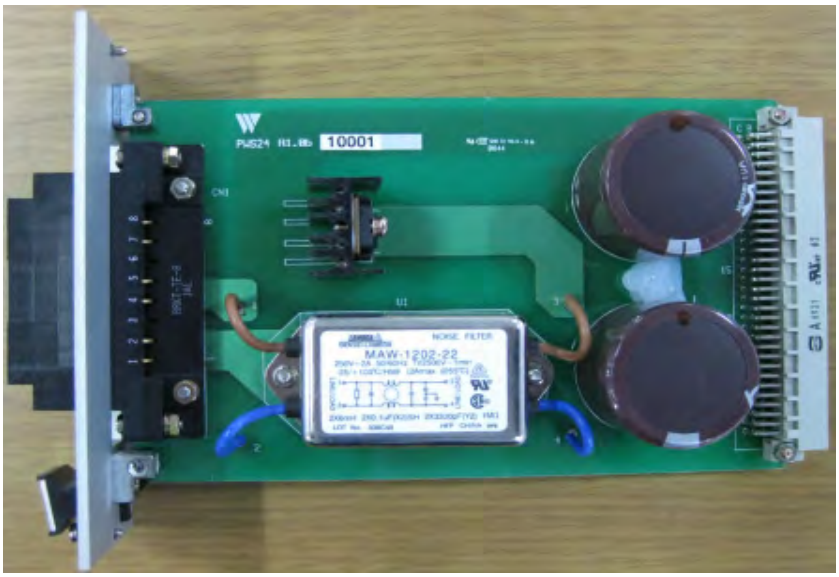


그림 202. PWS24 보드의 외형

㉰ PWS27

PWS27 보드는 DC 110V를 PWS24 보드로부터 입력 받아 DC 5V, DC ± 15V, DC 24V를 출력하며 전기기관차 제어유닛의 제어 전원 및 각종 센서의 전원으로 사용한다.



그림 203. PWS27 보드의 외형

③ 개발장치 보조기능

㉮ 고장기록 돌출기능

이 기능은 KNR 과천선, 분당선, 1호선, 경부선 인버터제어 전동차의 주회로 시스템을 IGBT를 사용한 최신 제어시스템으로 개량 시 적용되는 주전력변환장치의 제어장치(CONTROL UNIT)내 고장기록 돌출 방법에 대하여 적용한다.

(ㄱ) 일반

주전력변환장치의 PWM CONVERTER와 VVVF INVERTER를 제어하는 제어장치(CONTROL UNIT) 내에 저장되어 있는 고장 기록을 휴대용 노트북 컴퓨터를 통하여 다운로딩 하고 표출할 수 있는 특별한 프로그램이 사용된다.

이 소프트웨어를 인스톨한 노트북으로 CONTROL UNIT에 저장된 고장기록을 다운로딩하고 노트북 화면상에 시간대별 고장기록의 표출과 아날로그, 디지털 그래프의 표출이 가능하다. 이것은 고장 분석을 위하여 꼭 필요한 기능이다.

또한 파워 반도체의 고장 분석을 위한 고속 고장기록 기능도 가지고 있다.

고장기록 데이터는 가선전압, 주변압기의 2차권선 전류, DC 링크전압, 노치지령 모터전류, 제어패턴 등을 포함하고 있다.

(ㄴ) 고장돌출 기능

○ 하드웨어 특징

POWER SOURCE	AC 220V/110V, 60Hz
AMBIENT CONDITIONS	-10 to 40℃, 30 to 80% R.H
DISPLAY	COLOR
INTERFACE	RS232C

○ 구성

PC	IBM COMPATIBLE TYPE
OS	WINDOWS 7
PRINTER	
CABLE	D-SUB 9 PIN CABLE

○ 기능

- 전력변환장치의 CONTROL UNIT로부터 고장기록을 다운로딩
- 고장기록의 시간대별 표시, 그래픽 표시
- CONTROL UNIT의 고장기록 삭제
- 프린터에 의한 고장기록 프린팅

(ㄷ) 고장기록의 종류

○ 통상 보호동작 기록 : 주회로와 보조회로의 신호의 고장 전후로 기록한다.

기록 시간	555.4ms
샘플링 시간	2.777ms
기록 수량	10개 (최종발생 10개를 기록)

○ 고속 고장기록 : IGBT GATE 신호와 관련된 기록으로 IGBT ARM 단락사고(CFD : COMMUTATION FAILURE DETECT)만을 기록한다.

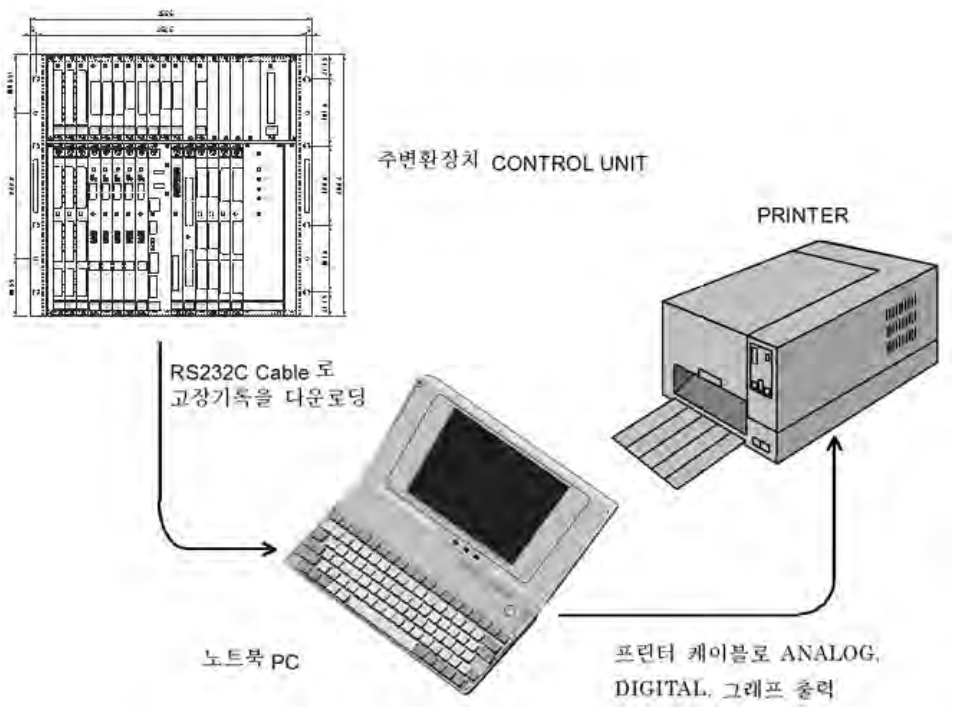
기록 시간	32ms
샘플링 시간	1㎲
기록 수량	3개 (최종발생 3개를 기록)

○ 고장기록 이력 : 제어신호와 전류 등에 의해 발생되는 보호동작 이력을 기록한다.

샘플링 수량	1개
기록 수량	50개 (최종발생 50개를 기록)

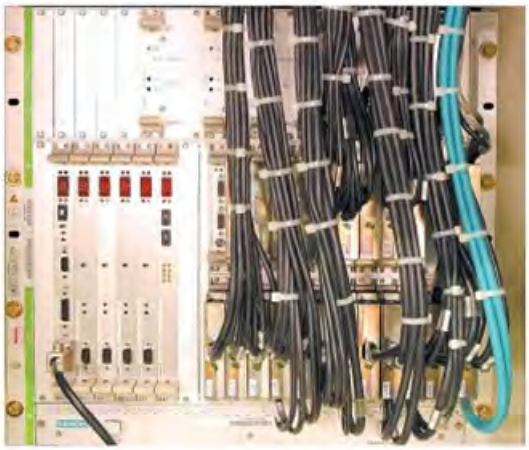
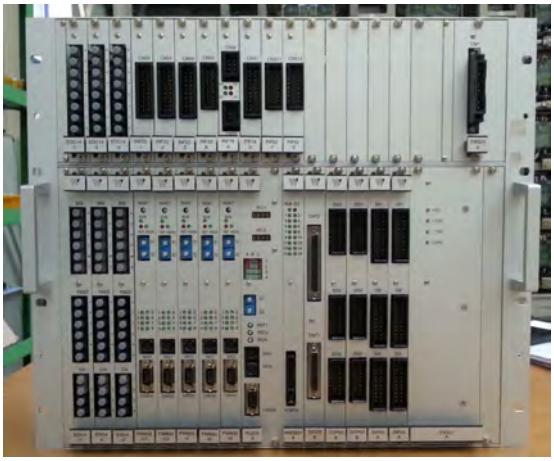
㉮ 기기간 연결

○ 노트북은 RS232C 케이블을 통하여 CONTROL UNIT와 연결된다.

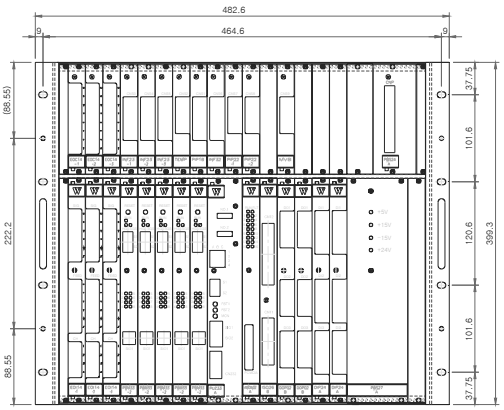


④ 기존장치 vs 개발장치 특성비교

	기 존 품	개 발 품
사양	○ 32bit DSP56002 ○ GTO 소자 제어(전류구동형) ○ 482.6mm x 245mm x 445mm	○ 32bit 마이크로프로세서 ○ IGBT 소자 제어(전압구동형) ○ 482.6mm x 200mm x 399.3mm

	○ Slip / Slide 제어 ○ Vector 제어 방식 ○ MVB 통신	○ Slip / Slide 제어 ○ Vector 제어 방식 ○ MVB 통신
사진		

⑤ 시작품 사진

2D Drawing	시작품 사진
	

(나) 제어 Unit S/W

① 기존장치 제어분석

㉮ 일반

TCU는 SIBAS 32 계열의 마이크로프로세서를 사용한 철도차량용 모듈식 제어장치의 일종으로서 3상 AC구동장치를 제어한다. 견인 및 전기 제동력의 무단 제어 및 감시를 연속적으로 수행하는 임무를 가지고 있다. TCU에 마이크로프로세서 기술을 사용하는 것은 실시간 제어 및 동기화된 프로세스의 수행을 통해 성공적으로 입증되었다.

(ㄱ) TCU의 필수적인 기능

GTO 기술 및 제동초퍼, 비동기 전동기의 PWM 인버터 제어

○ 기관사 요청에 따른 견인 및 전기제동 제어

○ 져크 한계 제어

○ 자동차륜 공전/활주 보호
○ 회생제동 제어
○ 견인 시스템의 구성품 시험 설비(옵션)
○ TCU의 자기 진단 설비
○ 견인 시스템의 감시 및 자기진단 설비

(ㄴ) TCU의 하드웨어, 견인 시스템으로의 인터페이스, 열차제어 및 정보시스템은 다음 그림과 같다.

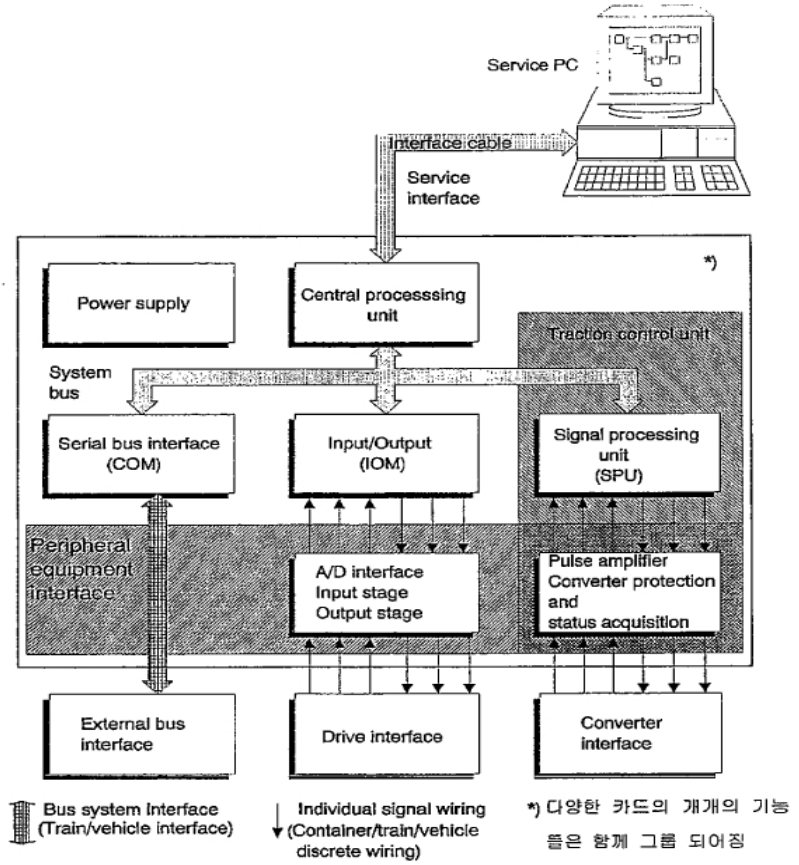


그림 204. TCU의 하드웨어 아키텍처

(ㄷ) 열차 제어시스템의 인터페이스

TCU는 CCU와 같이 동일한 SIBAS 32 인터페이스 모듈을 통해 MVB에 연결된다. 운영을 위해 필요한 모든 신호들은 MVB를 통해 TCU로 전송된다.

○ CCU에서 평가되는 신호 및 KLIP Station에 의해서 검지되는 신호는 운전명령, 제동명령, 비상제동 명령 및 견인/제동(디지털화된 아날로그 값)에 대한 참조값, 전후진 진행명령, 기계적인 Holding 제동이 완해 되지 않았을 때의 출발 금지 등이다.
○ IBP 에서의 실제 부하 값(디지털화된 아날로그 값), 또한 TCU는 다른 구성품으로도 데이터를 전송한다.
○ 전기 제동력의 실제 값을 IBP로 전송
○ 전동기 전류, 가선 전압 등의 상태와 고장메시지를 CCU와 화면표시기로 전송

(ㄹ) 시운전 및 유지보수(Commissioning/Maintenance)

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

- ○ 그래픽 라인으로서의 저장데이터의 현시
- ○ PC상에서 “off line"을 시키면 현 상태로 기록이 중지되고, 기록되어 있던 데이터는 순환기록 저장 메모리에서 PC로 전송된다.

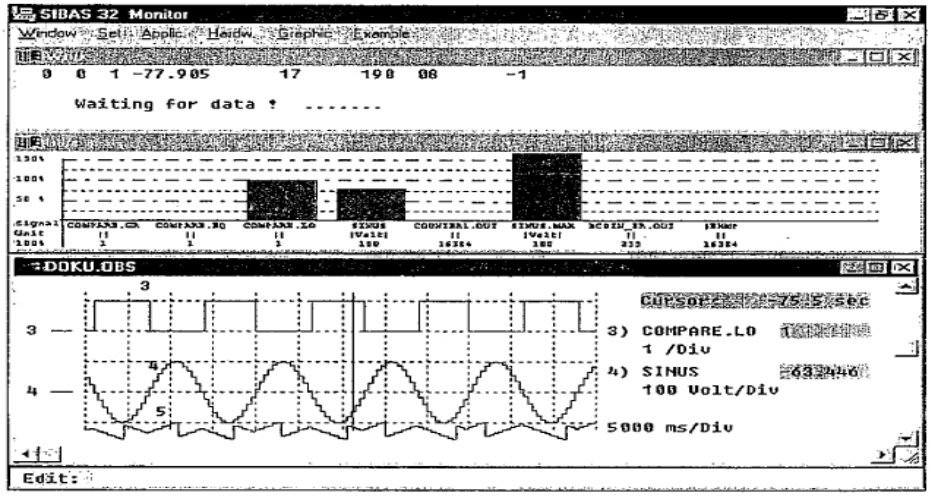


그림 205. SIBAS Monitor 프로그램으로 측정한 기관차의 운용 데이터

㉮ 기능

- ○ DC 링크 회로 전압제어

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

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

4상한 장치에 의해 영향을 주는 등가 방해전류의 값을 가능하면 낮게 유지하기 위해 (즉, 특성 커브를 사용하여 분석되는 와류 전류)양 대차에 대한 DC 링크 전압들은 같은 값으로 제어한다. 만약 상술된 특성 커브에 따라 대차에 대한 DC 링크 회로의 전압을 증가시키기 위한 요구가 있다면, 시스템은 특성 커브로 제어될 대차의 DC 링크 회로 전압을 강제한다.

이의 실행을 위해 각 대차는 DC 링크 회로 전압이 전압의 상승을 위한 특성 커브에 따라 제어되거나 또는 일정하게 유지하는 것이며, 차량 버스를 통해 다른 대차로 전달된다. 제동시에 (전기/마찰 제동 운전), 시스템은 주 전압에 의해 UDSOLL을 제어한다.

24kV의 r.m.s. 값에서 시스템은 2400V에서 2600V (27.5kV일 때)로 전압이 연속적으로 상승한다.

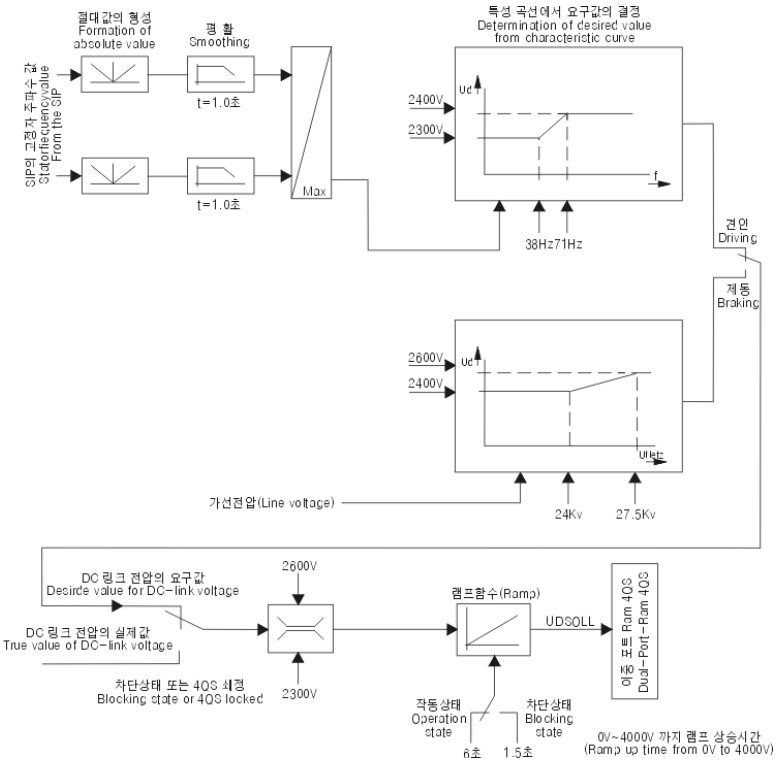


그림 206. DC 링크 회로 전압의 제어

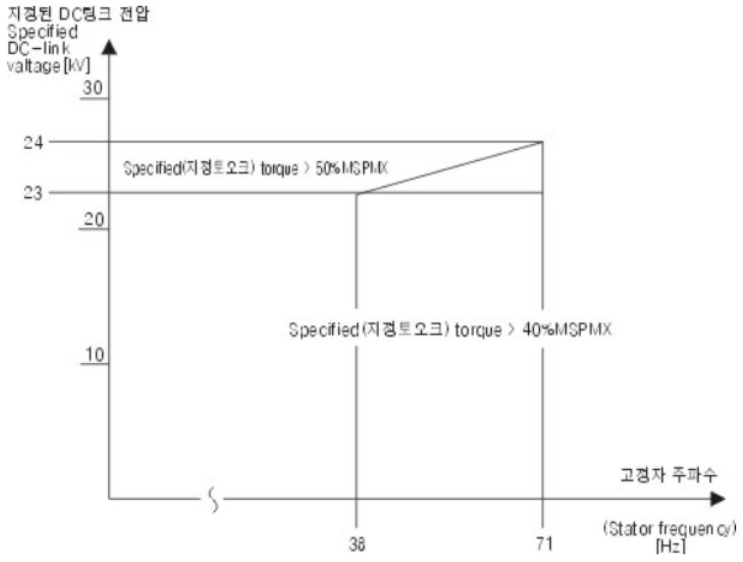


그림 207. 견인시 UDSOLL

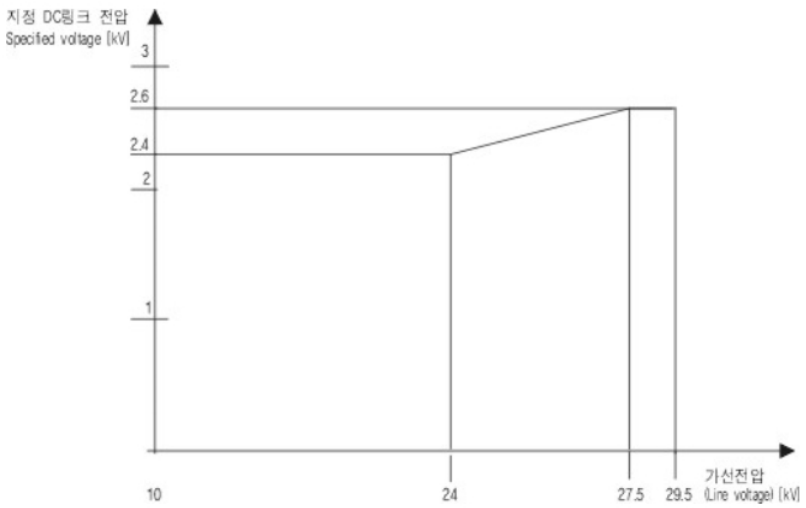


그림 208. 제동시 UDSOLL

○ 전력 반환 제어(Reactive-Power Control)

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

만약 27.5kV로 전압이 상승하면 시스템은 견인에 있어 변위 인자 및 제동에 있어서 주 전압으로 제한하기 위해 30kV에서 cos (phi) = 0.9 (유도성 : Inductive)로 연속적으로 줄인다.

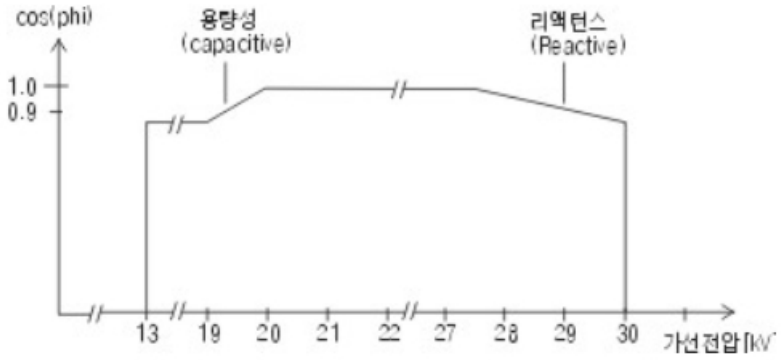


그림 209. 주전압에 대한 전력 제어

○ 전력 전제어

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

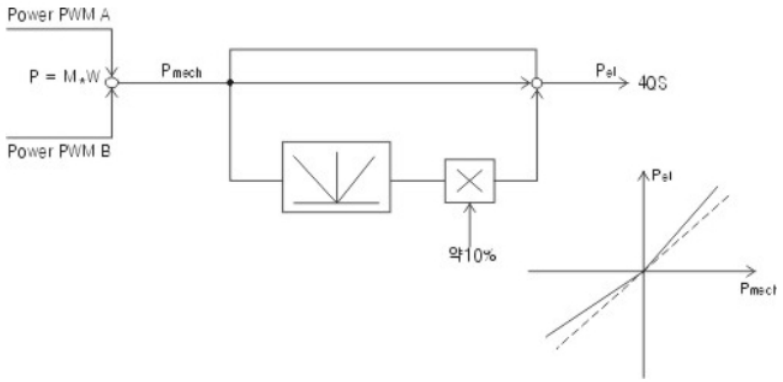


그림 210. 4QS 제어의 전력 전제어

○ 지정 토크 채널

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

- 견인 및 제동에 대한 M/n 특성 커브
- 전력 감소
- 중량 변화 인자의 고려
- 온도-의존성 토크 감소
- CCU에서 견인 설정치 처리
- 램프 함수 발진기에 의한 하강률 제한
- 4QS의 전류 제한
- 피크 전류시 토크 감소
- 공전 및 과속시 보호 (GSS)
- 신호 형성

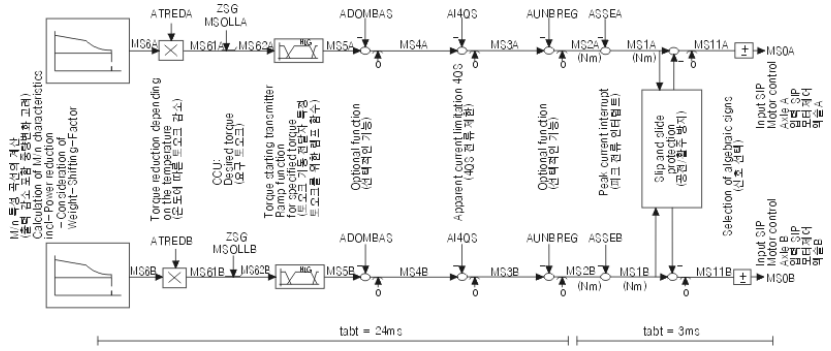


그림 211. 지정 토크 처리 절차의 개요

○ 견인 및 제동시 M/n 특성 커브

전기 기관차에 대한 특성은 아래와 같다.

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

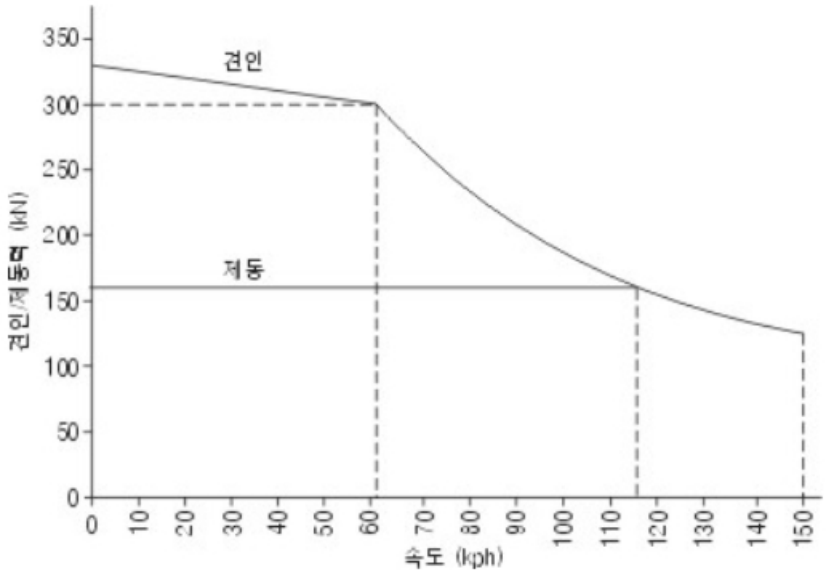


그림 212. 기관차의 견인 및 제동력 곡선

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

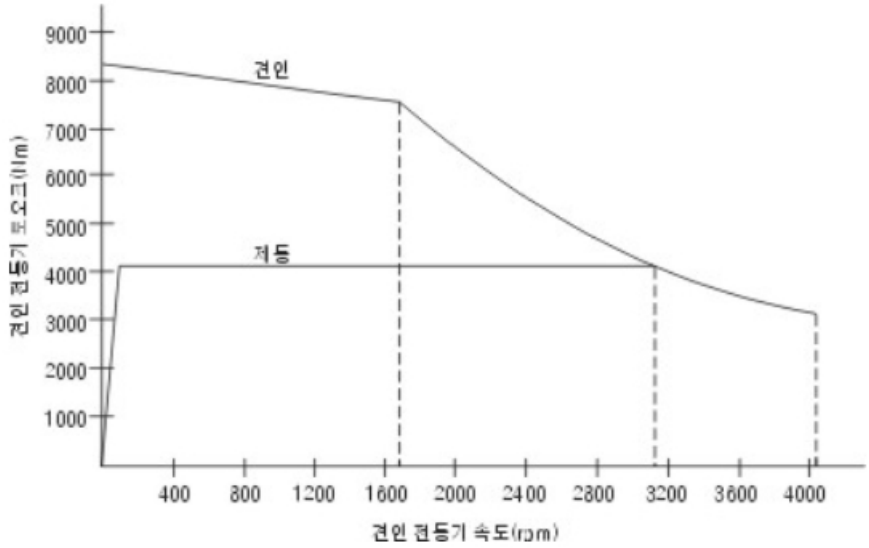


그림 213. 견인 전동기의 견인 및 제어 시 M/n 곡선

○ 견인 출력의 감소

견인 출력은 가선 전압과 변압기의 오일온도에 따라 감소된다.

- 만약 주 전압이 24.5kV 이하로 떨어지면, 시스템은 최대 견인 출력을 - 19kV 전압에서 - 100%에서 75%로 직선적으로 감소한다.
- 만약 오일온도가 제한 값 (T1)을 넘으면, 시스템은 최대 견인 출력을 -제한 값 T2로 - 100%에서 75%로 직선적으로 감소한다.

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

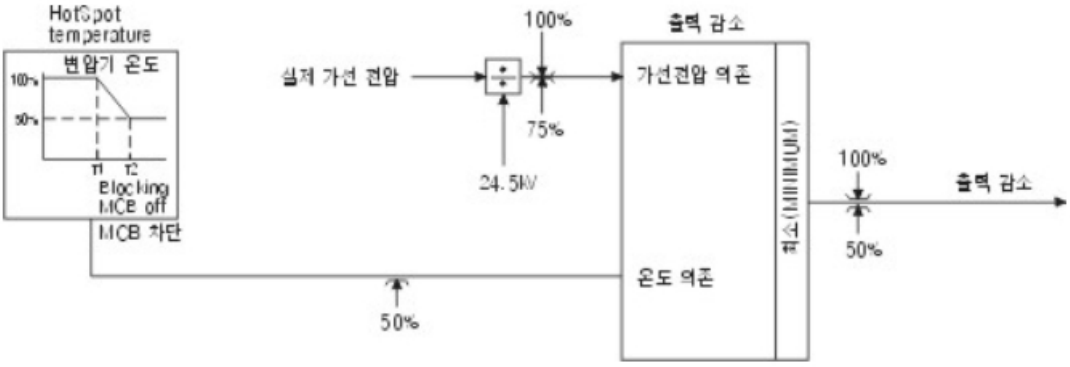


그림 214. 출력 감소의 개략도

○ 중량변화

중앙제어장치 (CCU)의 지정된 견인 또는 제동력에는 중량 변화가 반영되어 있다. 중량 변화는 일정한 힘의 지점에서 완료되며, 즉 전동기의 가능한 정격 최대 출력을 적용한다. 일정한 힘의 지점이 출력 감소를 위해 낮은 RPM 방향으로 이동하고 CCU는 RPM 속도 제한을 인식하지 못하기 때문에 시스템은 추가적으로 M/n 특성

속선에서 지정된 토크를 계산할 때 중량 변화를 고려하여 계산한다. 이를 위해서 양축의 동일한 인자 (Factor)를 사용한다.

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

○ 지정 토크의 온도에 따른 감소

온도에 따른 토크의 감소는 아래와 같은 온도 평가 항목에 의거한다.

- 전동기 온도
- 냉각수 온도
- 전자 장치의 온도

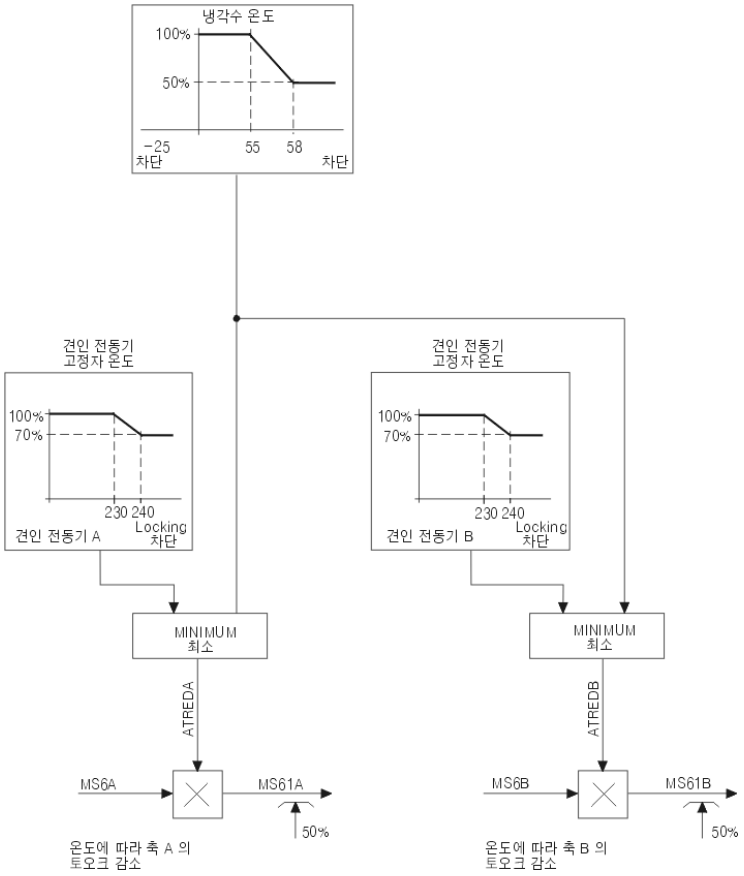


그림 215. 지정 토크의 온도에 따른 감소

○ 지정된 견인/제동력 처리 절차

CCU는 TCU에게 차량 버스를 통해 4개의 축 각각에 지정 견인력 및 제동력을 준다. 견인에 대한 지정 값은 양 (+)의 값으로 표기되며, 제동에 대해서는 음(-)의 값으로 표기된다.

벡터계 제어 (Field-Orinted Control)는 전동기의 축에서 토크를 설정한다. 이것은 중앙 컴퓨터가 차륜 직경을 고려한 CCU의 지정 값을 변환하는 것을 의미한다. 이후 지정 토오크의 처리를 위해 시스템은 절대 값을 사용한다. 지정 토크에 대한 표

기 형식은 벡터 제어계로 변환되어, 견인시 차량의 지정된 방향 및 제동시 실제방향에 근거하여 실행된다.

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

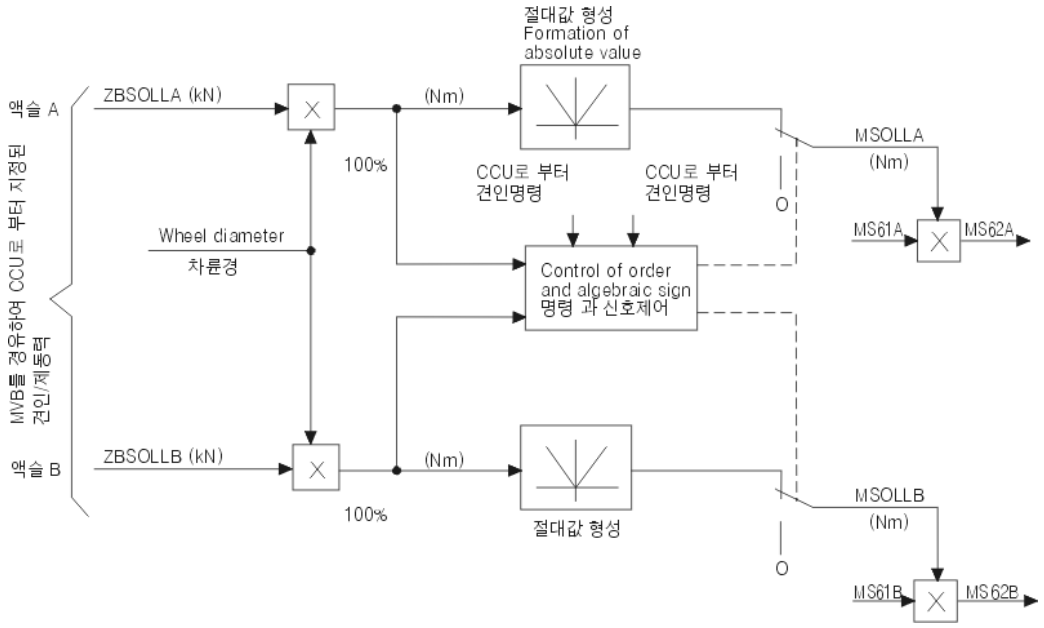


그림 216. 제동/견인력을 지정된 토크로 변환

○ 지정 토크의 기울기 (Steepness) 제한

TCU의 지정 값 채널에서 램프 함수 발생기는 지정 토크가 신뢰성 있는 차량의 운전을 보장하기 위해 지정된 최대 기울기를 변환할 수 있도록 한다. 이것은 설정 값 변화에 따른 과전압 및 과전류가 항상 무효화 되도록 한다. TCU에서의 기울기 제한은 순수한 보호 기능이다. 차량의 관성에 적절한 지정 토크의 기울기 제한은 CCU에서 실행된다.

○ 4QS 전류 제한

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

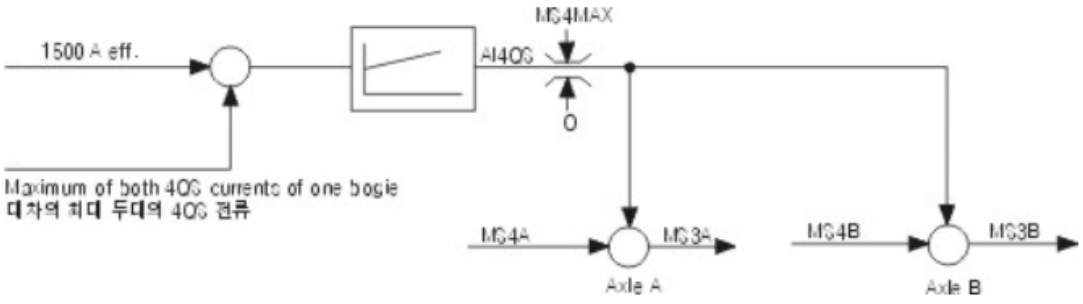


그림 217. 4QS 전류의 제한

○ 피크 (Peak) 전류

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

○ 공전 및 과속 보호

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

○ 지정 토크의 표기

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

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

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

다음은 지정 토크에 대한 표기의 로직이다.

차량 상태	실제 방향	지정 방향	지정 방향	지정 방향에 대한 표시	지정 토크에 대한 표시
제 동	후 진	음의 값	-	-	양의 값
제 동	전 진	양의 값	-	-	음의 값
견 인	-	-	후 진	음의 값	음의 값
견 인	-	-	전 진	양의 값	양의 값

○ 실제 토크의 감시

중앙 컴퓨터는 벡터 제어계에 의해 계산된 실 토크를 감시한다. 만약 실제값이 지정 시간동안 공차의 범위를 벗어나면 지정 토크는 '0'으로 된다. 이후 시스템은 영향을 입은 PWM을 차단한다.

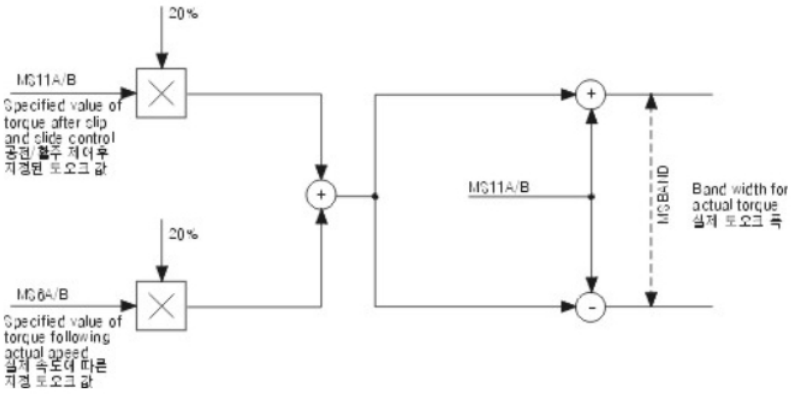


그림 218. 실 토크에 대한 공차의 범위 계산

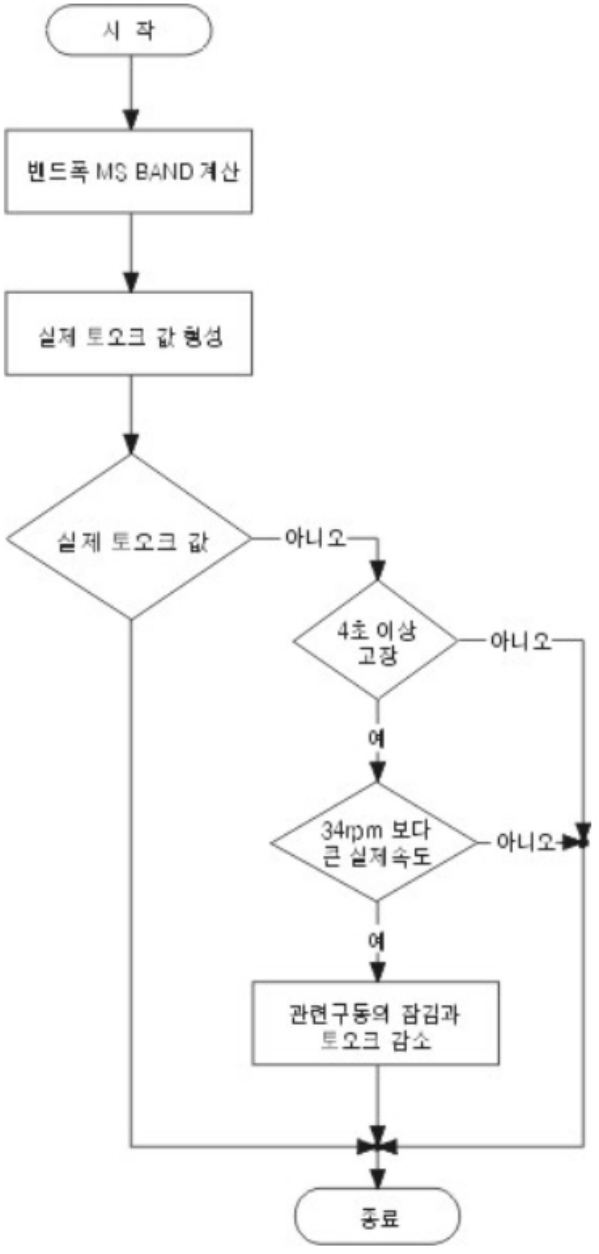


그림 219. 실 토크 감시 흐름도

○ 자속제어

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

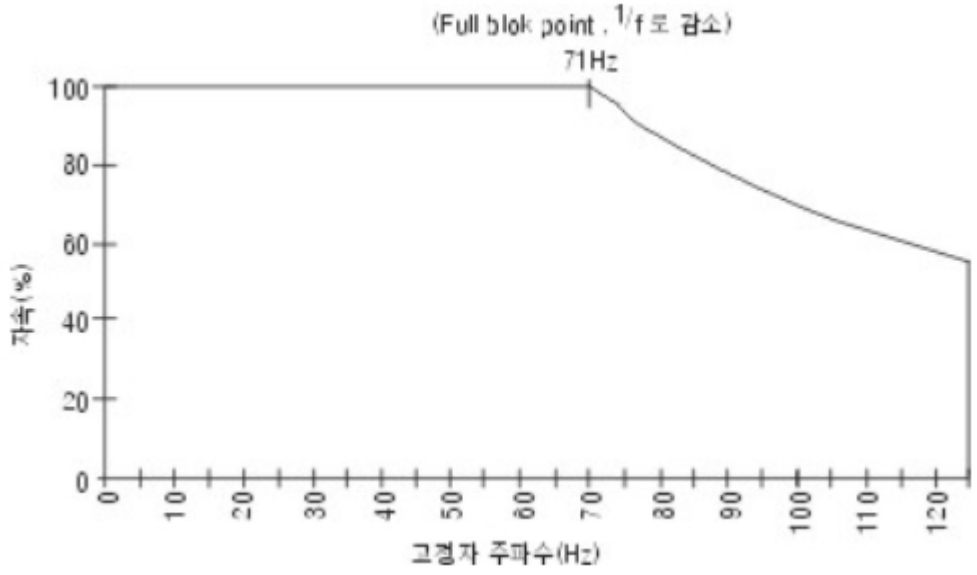


그림 220. 견인 전동기의 기동

○ 실제 자속의 감지

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

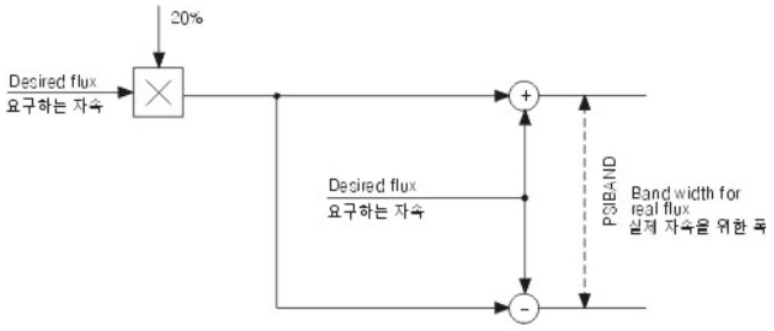


그림 221. 실제 자속의 공차범위 계산

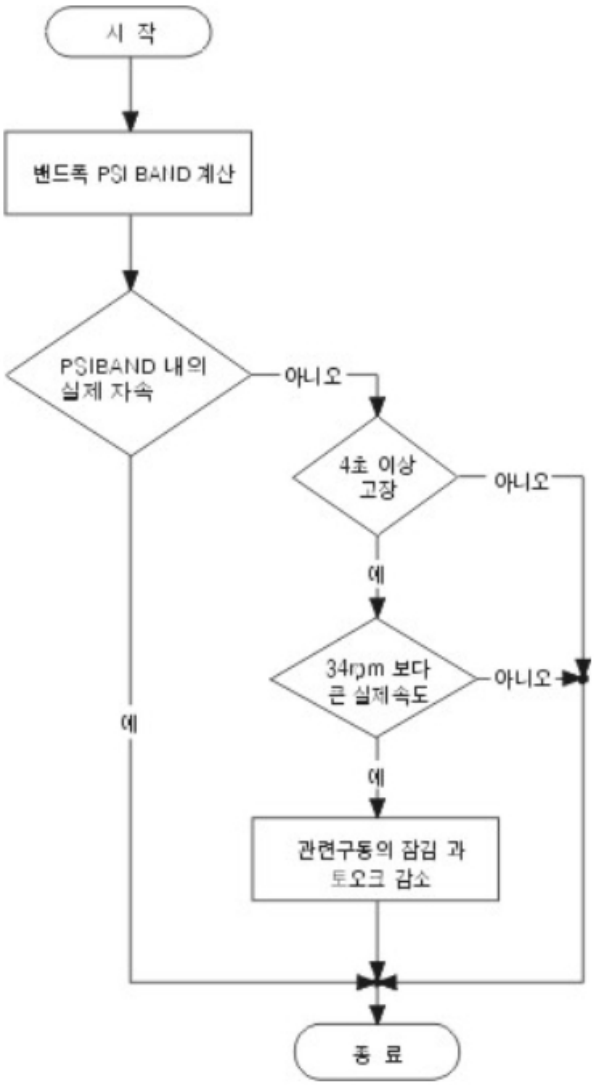


그림 222. 실제 자속 감지 흐름도

② 개발 제어분석

㉮ 단상 PWM 컨버터 제어

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

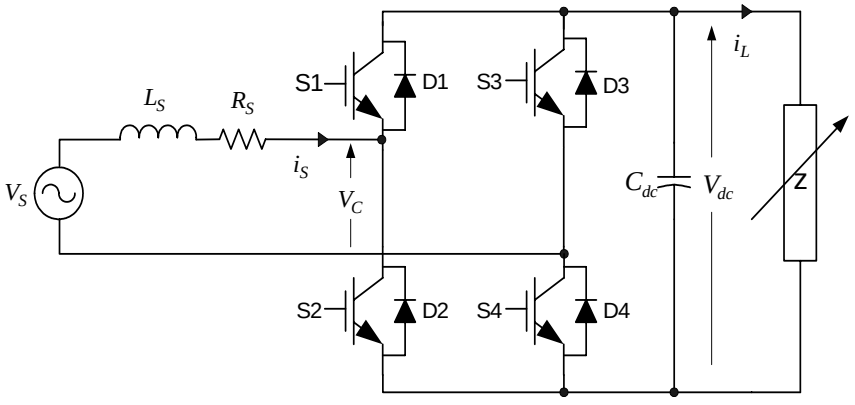


그림 223. 단상 PWM 컨버터 회로도

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

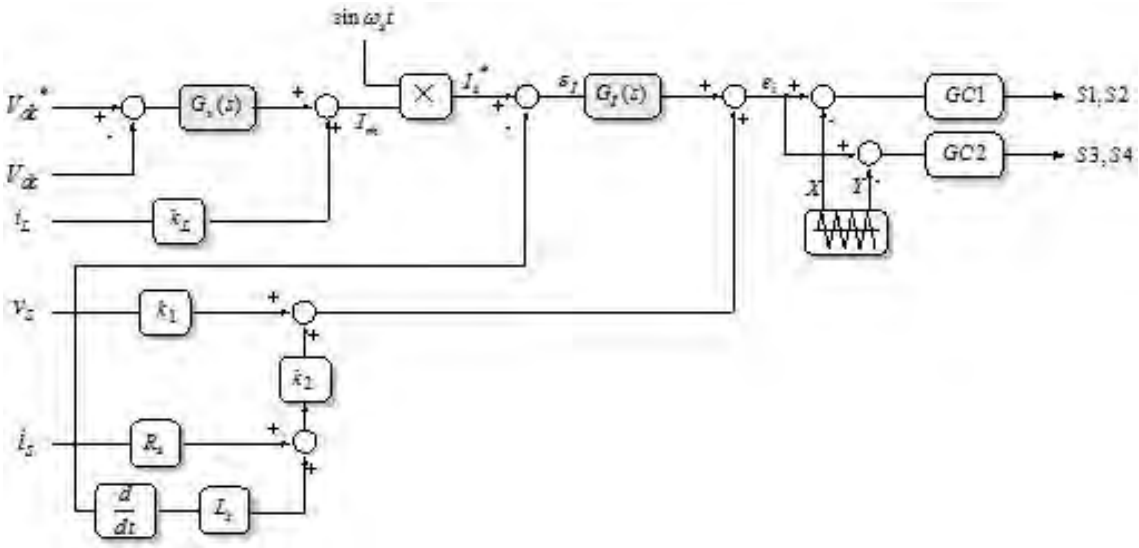


그림 224 단상 PWM 컨버터 제어기 블록 다이어그램

출력하고자 하는 직류 전압의 지령치 V_{dc}^{*}와 실제 출력 전압인 V_{dc}의 편차를 전압제어기 $G_v(s)$에 입력하고 적분 및 비례 제어를 수행한다. 전압제어기 $G_v(s)$의 출력은 부하 전류 급변에 대한 전향 보상항(정수 k_L과 부하전류 i_L의 곱)을 더하여 입력 전류의 지령치의 크기를 만들어내고, 전원전압에 동기한 $\sin(\omega t)$와의 곱으로 입력 전류 지령치인 i_s^{*}를 생성한다. 전압제어기를 거쳐 생성된 전류 지령치 i_s^{*}와 실제 전류 i_s와의 편차는 전류 제어기 $G_i(s)$의 입력이 된다. 또한, 입력 전류 i_s에 임피던스 $R_s + L_s\frac{d}{dt}$와 정수 k_2를 곱하고, 정수 k_1과 입력 전압 v_s의 곱을 더한 값을 전류제어기 $G_i(s)$의 출력에 더하여 회로 임피던스에 의한 입력 전류 파형의 왜형을 보상한다. 이렇게 전압 제어기와 전류제어기를 통해 얻어진 최종 출력은 2개의 스위칭 캐리어를 통해 Unipolar 스위칭을 한다.

㉯ 단상 컨버터 PLL 기법

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

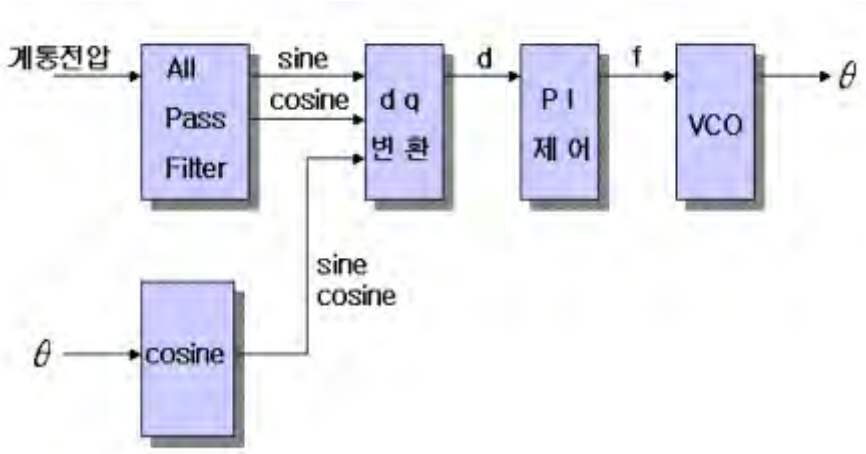
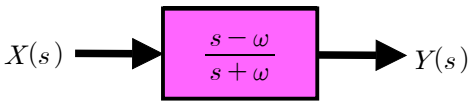


그림 225. 단상 PWM 컨버터의 PLL 블록도

㉰ 디지털 All Pass Filter 구현

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



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

- Bilinear Transform을 이용하여 Z변환하면 아래의 수식과 같다.

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

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

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

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

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

All Pass Filter를 적용하여 응답을 확인 하면 아래와 같다.

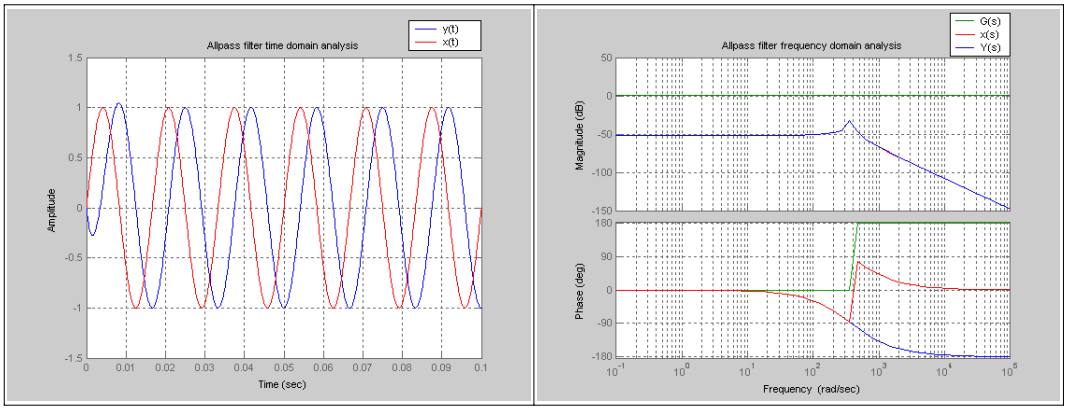


그림 226. ALL Pass Filter의 응답 특성

All Pass Filter를 사용하면 위상이 90° 지연되는 것을 확인 할 수 있다.

```
/************************************ Angle calculation OK */
Angle_Err = -Ede;
Angle_integ += KiA*Tsamp0*(Angle_Err-KaA*(Angle_p-Angle));
Temp = Angle_integ+KpA*Angle_Err+LEE_PI*60.;

Angle_p = Temp;
Angle = ((Temp>395.)?395.:(Temp<345.)?345.:Temp);
Theta_D = Angle*Tsamp0;

Thetah += Theta_D;
Thetah += ((Thetah>PI)? -LEE_PI : (Thetah<-PI)? LEE_PI :0);

/************************************ FOR ALLPASS FILTER OK */
Vo = Fa_Va*Va - Fb_Va*Vip + Fa_Va*Vop;
Vip = Va; //x(n-1)
Vop = Vo; //y(n-1)

Sin_CosAh();
Ede = Cos_Thetah*Vo + Sin_Thetah*Va;
Eqe = -Sin_Thetah*Vo + Cos_Thetah*Va;
Vrms = Eqe/SQRT2;

Theta = Thetah-Theta_offset-Theta_offset1;
Theta += ((Theta>PI)? -LEE_PI : (Theta<-PI)? LEE_PI :0);
Sin_CosA();


if((Sin_Theta*Sin_Pre<0.)&&(Sin_Theta >0.)&& Flag_run)Flag_Zero=1;
Sin_Pre = Sin_Theta;
```

```
if(!(V_picnt%3))
{
    Err_Vdc1 = VDC_ref-VDC;
    Im_ref_integ1 += KivT*(Err_Vdc1-Kav*(Im_ref_p1-Im1));
    Temp = Im_ref_integ1+Kpv*Err_Vdc1;

    Im_ref_p1 = Temp;
Im1 = ((Temp>Im_ref_max)?Im_ref_max:(Temp<-Im_ref_max)?-Im_ref_max:Temp);
}

V_picnt++;
Im_ref1 = Im1*Sin_Theta;

if(Flag_PI)
{
/* voltage controller */
// Line Impedance compensation
VL1 = (Im1 * LEE_PI * 60.*L * Cos_Theta + Rs*Im_ref1)*K_L;
Vs_Ref = Sin_Theta*Eqe;
Vs_comp = Vs_Ref *K_V;

Err_Ias1 = IS1-Im_ref1;
Vc_ref_integ1 += KicT*(Err_Ias1-Kac*(Vc_ref_p1-Vc_ref1));
Temp = Kpc*Err_Ias1;
if(Flag_VC) Temp+= Vs_comp+VL1;
Vc_ref_p1 = Temp;
Vc_ref1                                                                    =
((Temp>Vc_ref_max)?Vc_ref_max:(Temp<-Vc_ref_max)?-Vc_ref_max:Temp);
```

㉲ VVVF 인버터 제어 알고리즘

유도 전동기는 자속을 발생시키는 전류와 토크를 발생시키는 전류 모두를 전동기 고정자에 공급해야 하므로 자속과 전류의 공간각과 그 크기의 독립적인 제어를 수행해야 한다. 순시토크 제어를 위해서는 고정자 전류를 공간상에서 90°위상차를 갖는 자속 발생 전류와 토크 발생 전류의 2개 성분으로 분리해서 독립적으로 제어한다. 따라서 uvw 3상 물리량을 직교좌표계인 d-q변환을 통해 d축은 자속 성분 전류 q축은 토크 성분 전류로 하여 각각의 제어에 사용된다. 아래의 그림은 유도 전동기 벡터 제어의 전체 블록 다이어 램이다.

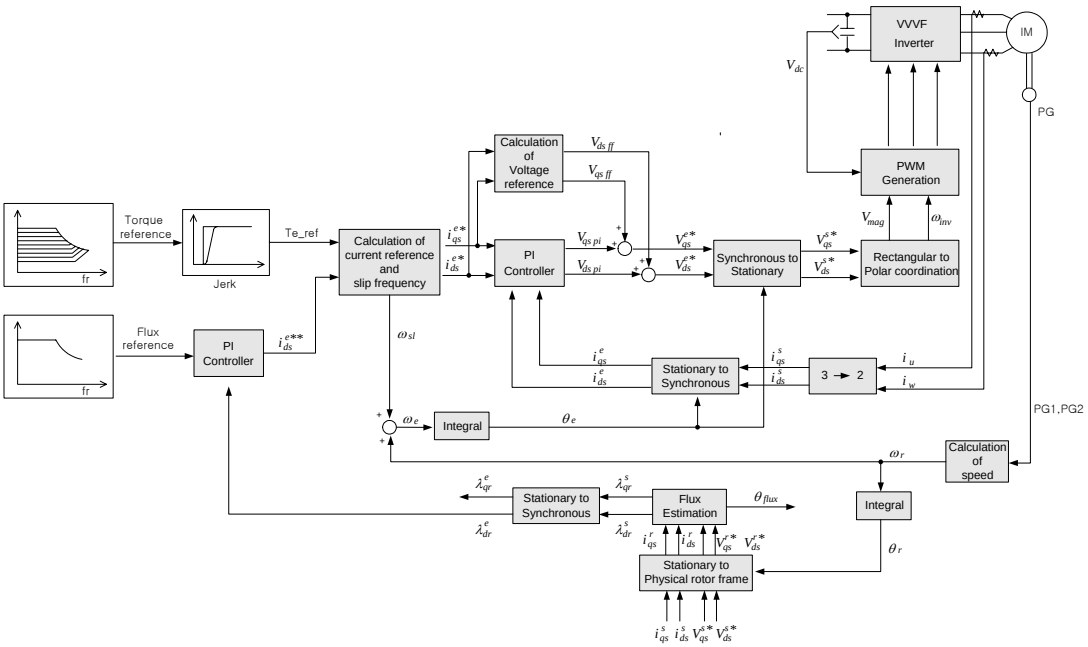


그림 227. 유도전동기 벡터 제어 블록 다이어그램

견인전동기의 넓은 속도영역 운전을 위해 출력전압의 선형제어가 가능한 저속 영역에서는 정밀한 순시 토크제어를 위하여 벡터제어를 적용하였고, 고속 영역에서는 토크 지령치로부터 직접 전압 지령치를 구하고, 여기에 실제 토크분 전류를 피드백하여 보상해 주는 방법을 사용하였다. 다음 그림은 저속영역에서의 벡터제어 블록도이다. 벡터제어는 회전자의 자속각을 추정하여 제어하는 직접벡터제어를 사용하였다. 전류모델과 전압모델을 결합한 자속추정방법을 사용하였다.

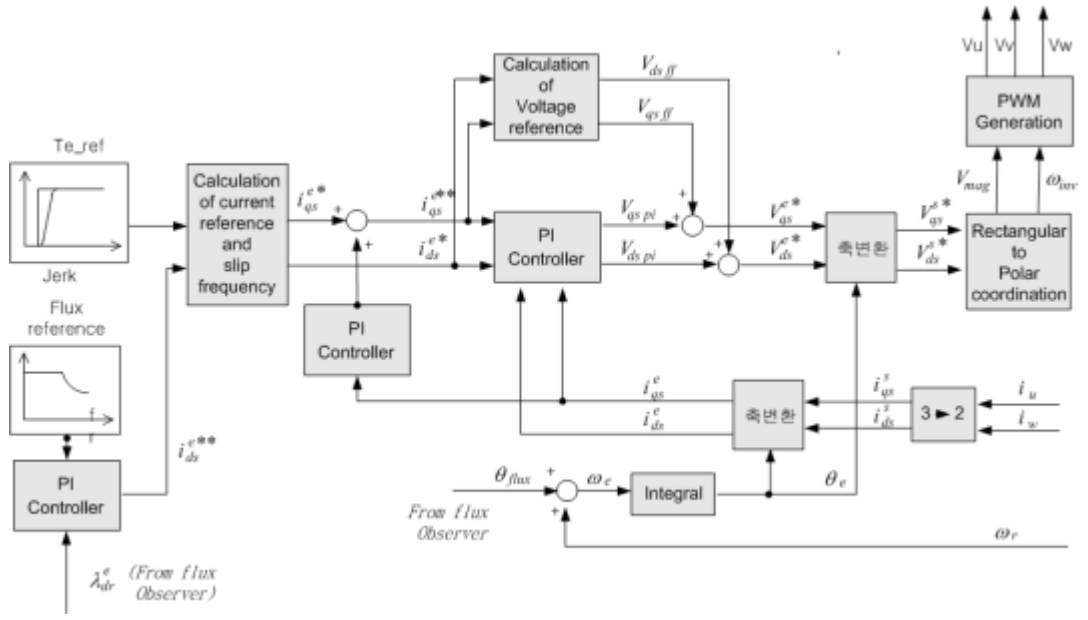


그림 228. 저속 영역에서의 제어 블록 다이어그램

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

과변조 모드와 1 펄스 모드 운전이 필요한 고속영역에서는 아래의 그림에 보이는 바와 같이 벡터제어기의 PI 제어기를 사용하지 않고 전향 보상 값을 출력 전압의 지령치로 사용한다. 이 값은 유도전동기의 전압방정식으로부터 얻었으므로 견인 전동기의 상수가 정확하다면 고속에서 비교적 전류 지령치를 잘 추종하게 된다. 그러나 위의 전향 보상항만을 사용하여 제어한다면 실제 전류의 피드백 제어가 되지 않으므로 정확한 토크의 제어를 기대할 수 없다. 이를 극복하기 위해 q축 토크분 전류를 궤환하여 이를 PI 제어하여 그 값을 전압의 지령치에 보상하게 하였다. 고속영역에서 q축 전류 지령치의 보상 값에 많은 리플이 존재하게 되면 원활한 토크제어가 되지 않으므로 제어기의 응답속도는 크지 않도록 해야 한다.

추진제어장치는 역행과 회생동작을 수시로 반복하기 때문에 전동기의 속도는 증가와 감속을 반복하게 된다. 따라서 저속영역에서 고속으로, 또한 고속에서 저속으로 수시로 변환되므로 부드러운 제어의 절환이 필요하다.

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

고속영역에서 저속영역으로 절환하는 경우에는 고속영역에서의 q축 전류 지령치의 보상 값을 이용해 전향보상 전압을 계산하여 그 값을 PI 전류제어기의 적분제어기의 초기 값으로 설정해준다.

이와 같이 고속과 저속간의 모드 절환 시에 초기값을 설정함으로써 전압과 전류의 연속성을 유지할 수 있다.

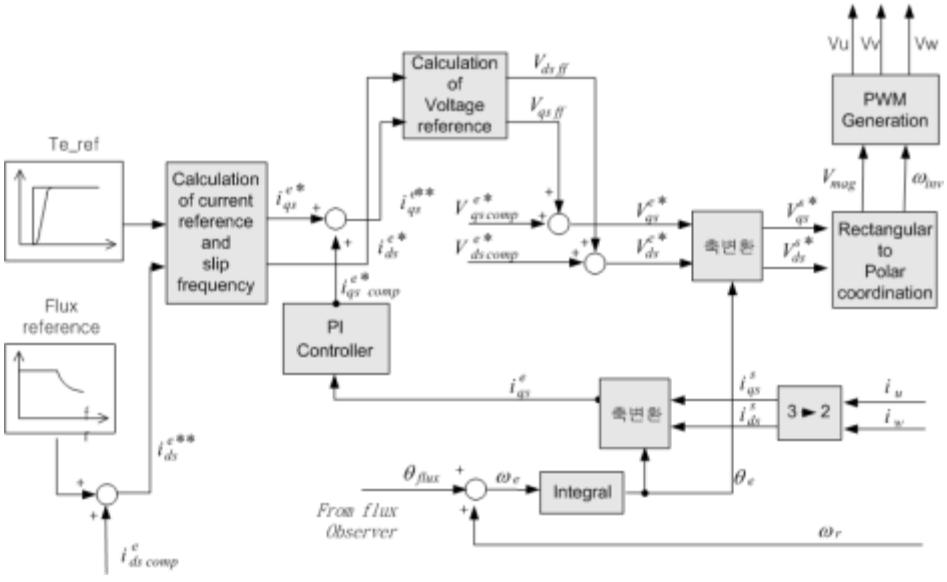


그림 229. 고속 영역에서의 제어 블록다이어그램

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

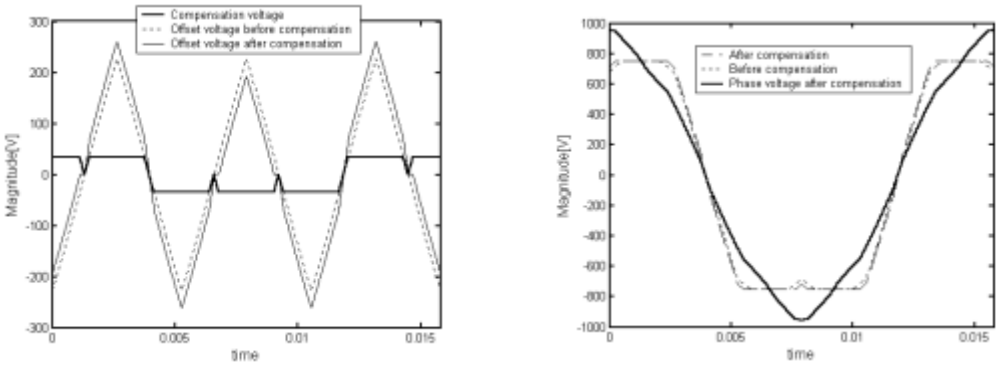
PWM 변조방식으로 공간 전압 벡터 PWM(SVPWM) 기법을 사용하는데, 그 구현이 간단하고 기존 PWM 변조방식의 통합적인 구현이 가능한 옵셋전압을 이용한 전압 변조방식으로 구현한다. 또한 과변조 기법으로서는 폴전압에 보상전압을 더하여 새로운 폴전압을 이용한 과변조 기법을 사용하여 1 펄스 모드로의 전환을 가능하게 한다.

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

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

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

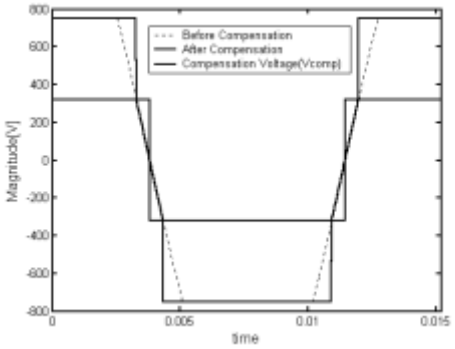
과변조 영역 Ⅰ(0.906≤ MI ≤ 0.956)에서는 원하는 기본파 출력전압을 얻기 위해 구형파의 보상전압(V_{comp})을 인가하여 새로운 폴전압을 만들고 이로부터 각 상의 스위칭 패턴을 직접 얻는다. 다음 그림은 변조지수 MI = 0.951에서 과변조 기법을 보여준다. 그림에서 (a)는 보상전압과 보상전의 옵셋전압, 그리고 보상후의 옵셋전압을 보여준다. 보상전압의 크기는 MI에 따라 달라지며 미리 만들어진 테이블로부터 읽어낸다. 그림의 (b)는 보상된 옵셋전압을 인가했을 때의 폴전압과 그에 따른 상전압을 보여준다.



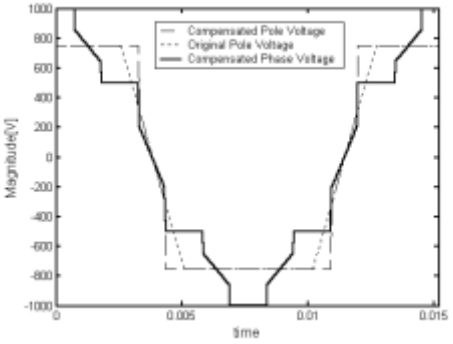
(a) 옵셋 전압과 보상전압(MI=0.951)　　(b) 폴전압과 상전압(MI=0.951)

그림 230. 과변조영역Ⅰ 옵셋 전압, 보상전압과 풀전압과 상전압

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



(a) 폴전압과 보상전압(MI=0.984)



(b) 폴전압과 상전압(MI=0.984)

그림 231. 과변조영역Ⅱ 옵셋 전압, 보상전압과 풀전압과 상전압

㉲ 유도 전동기 전류 제어

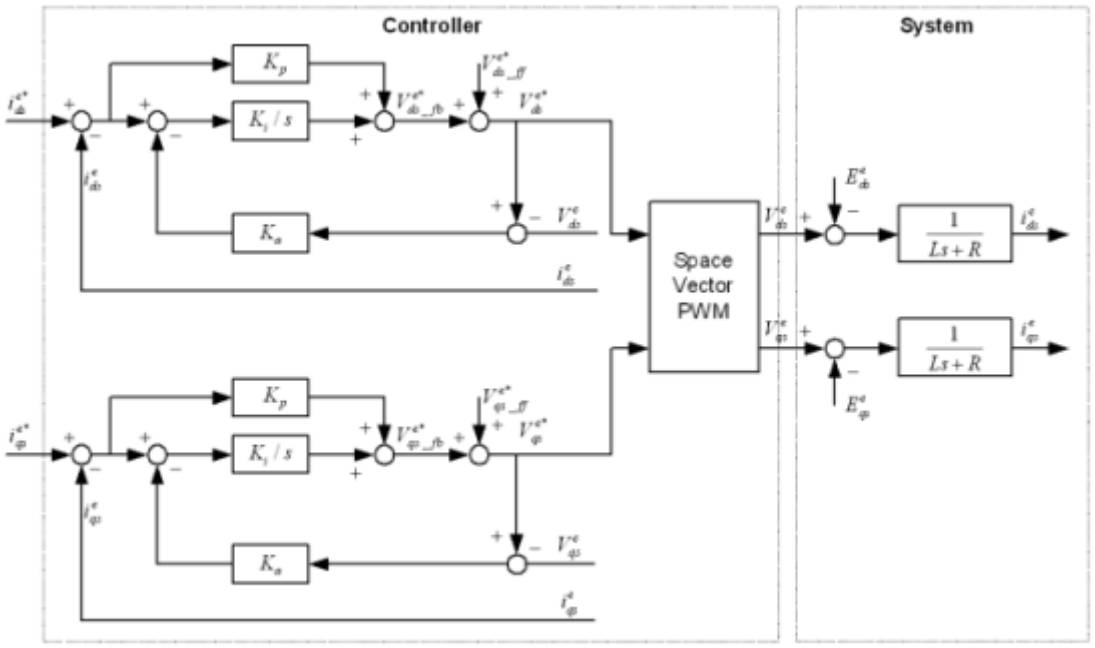


그림 234. 유도전동기 전류 제어기 블록 다이어그램

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

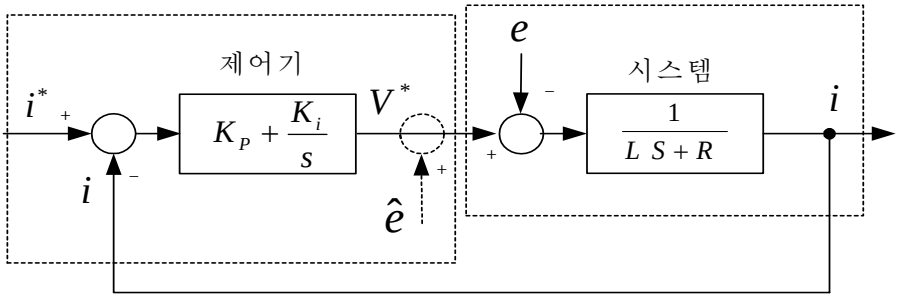


그림 235. 간략화된 전류 제어기 블록 다이어그램

㉮ Anti-Windup

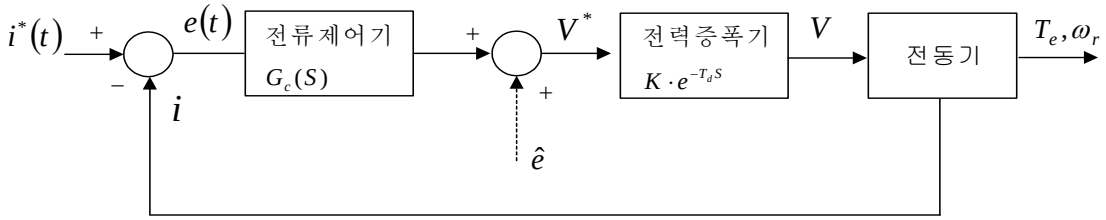


그림 236. Anti-Windup 블록 다이어그램

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

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

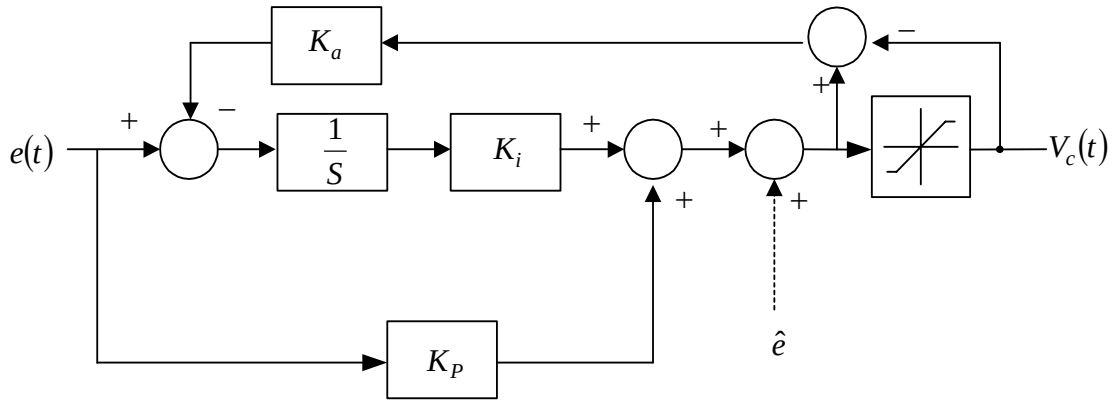


그림 237. Anti-Windup 제어기 이득 블록 다이어그램

```
/*********************************************
        Current Controller with anti-windup
*********************************************/
//FeedForward
Vdse_ff = (-We*SigmaLs*Iqse  -  Rr*Lm_INV_Lr2*LAMdre1);
Vqse_ff=We*SigmaLs*Idse+Wr*Lm_INV_Lr*LAMdre1;
// D-Axis Synchronous PI Controller
```

```
Idse_err = Idse_ref-Idse;
if(!Flag_VS)      Idse_I += KiT*(Idse_err-Ka*(Idse_PI+Vdse_ff-Vdse_ref));
else      Idse_I = Vdse_out-Vdse_ff+KiT*(Idse_err-Ka*(Idse_PI+Vdse_ff-Vdse_ref));

Idse_PI = Idse_I+K*Idse_err;
Vdse_ref = Idse_PI+Vdse_ff+Rs*Idse_ref;

// Q-Axis Synchronous PI Controller
Iqse_err = Iqse_ref-Iqse;
if(!Flag_VS)      Iqse_I += KiT*(Iqse_err-Ka*(Iqse_PI+Vqse_ff-Vqse_ref));
else      Iqse_I = Vqse_out-Vqse_ff+KiT*(Iqse_err-Ka*(Iqse_PI+Vqse_ff-Vqse_ref));
Iqse_PI = Iqse_I+K*Iqse_err;

Vqse_ref = Iqse_PI+Vqse_ff+Rs*Iqse_ref;

Vdse_ref = (Vdse_ref>1200.)?1200.:(Vdse_ref<-1200.)?-1200.:Vdse_ref;
Vqse_ref = (Vqse_ref>1200.)?1200.:(Vqse_ref<-1200.)?-1200.:Vqse_ref;
```

㈜ 속도 제어기

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

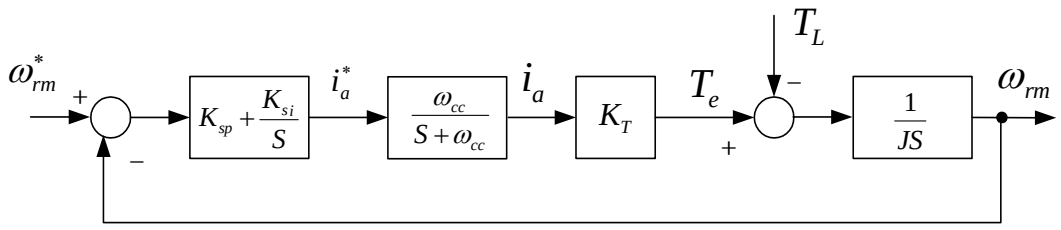


그림 238. 유도전동기 속도 제어기 블록 다이어그램

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

PI 속도제어기의 전달함수는 다음과 같다.

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

속도 제어계의 개루프(open loop) 전달함수는 다음과 같다.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

속도 제어계의 폐루프 전달함수 (전류제어기의 전달함수가 1이라 가정)

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

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

```
Wrm_ref1 = Wrpm_ref*LEE_PI/60.0;
Wrm_Err = Wrm_ref1 - Wrm;   // Wrm으로 error값 계산
Wrm_ref_integ += KiT_sc*(Wrm_Err- Ka_sc*(Wrpm_ref_fb - Is_ref)) ;
Wrpm_ref_fb = Wrm_ref_integ + Kp_sc*Wrm_Err;
Is_ref = Wrpm_ref_fb > Is_max ? Is_max : Wrpm_ref_fb < -Is_max ? -Is_max :
Wrpm_ref_fb;
Iqse_ref = Is_ref/Kt;
Idse_ref = 0.;
```

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

- 벡터제어시 동기 좌표계 회전자 d축 전압방정식

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

- 회전자 d축 쇄교자속식을 이용하여 d축 회전자 전류 제거

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

- 동기 좌표계 d축 회전자 전류와 자속에 관한 식

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

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

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

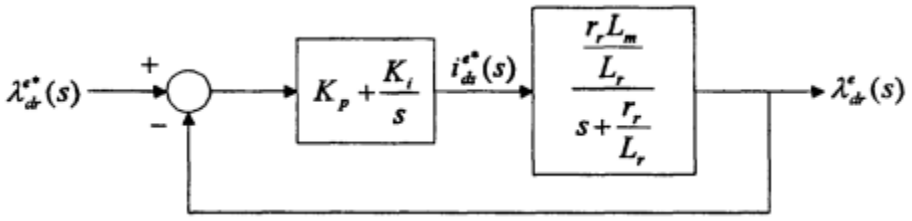


그림 239. 유도전동기 자속 제어기 블록 다이어그램

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

- 자속 제어기 이득

$$K_p = \frac{L_r}{r_r L_m}\omega_c ,$$

$$K_i = \frac{r_r}{L_r}K_p = \frac{\omega_c}{L_m}$$

- 원하는 자속제어기의 제어대역폭을 정하고 제어기 이득을 정하면 오버-슈트(Over Shoot)가 없는 자속제어기를 구현할 수 있다.

- 또한, 자속제어기의 과도상태 특성을 향상시키기 위해서 기준자속의 변화분을 전향 보상(Feed Forward)하여 사용할 수도 있다. 자속제어기 역시 제어기 출력 i_{ds}^e가 제한되므로 안티 와인드업 제어가 필요하다.

```
Err_LAMdrs = LAMdrs_ref-LAMdrs;                    // d-axis PI
Edss += Kp_Fst*(Err_LAMdrs-Err_LAMdpre)+KiT_Fst*Err_LAMdrs;
Err_LAMdpre = Err_LAMdrs;

Err_LAMqrs = LAMqrs_ref-LAMqrs;                    // q-axis PI
Eqss += Kp_Fst*(Err_LAMqrs-Err_LAMqpre)+KiT_Fst*Err_LAMqrs;
Err_LAMqpre = Err_LAMqrs;

/* Current Model */
a = Cos_ThetaR * Idss + Sin_ThetaR * Iqss; //sync. rotationary
LAMdrr = K_CM1*LAMdrr + K_CM2*(a+Idsr);  // a-Idsr ??
Idsr = a;

a = -Sin_ThetaR*Idss + Cos_ThetaR * Iqss;
LAMqrr = K_CM1*LAMqrr + K_CM2*(a+Iqsr);  // a-Iqsr ??
Iqsr = a;

LAMdrs_ref = Cos_ThetaR*LAMdrr - Sin_ThetaR*LAMqrr;
LAMqrs_ref = Sin_ThetaR*LAMdrr + Cos_ThetaR*LAMqrr;

/* Voltage Model */
a = -Rs*Idss+Edss;
b = 0.5*(Vdss_ref + Vdss_ref_p);
LAMdss += Tsamp0_INV_2*(a+Vdss+b+Vdss_ref_old);
Vdss = a;
Vdss_ref_old = b;

LAMdrs = Lr_INV_Lm *(LAMdss-SigmaLs*Idss);

a = -Rs*Iqss+Eqss;
b = 0.5*(Vqss_ref + Vqss_ref_p);
LAMqss += Tsamp0_INV_2*(a+Vqss+b+Vqss_ref_old);
Vqss = a;
Vqss_ref_old = b;
LAMqrs = Lr_INV_Lm *(LAMqss-SigmaLs*Iqss);
```

3. IGBT용 수냉각장치 기술개발

가. 수냉각장치 개요

(1) 목표

8200호대 전기기관차의 컨버터/인버터 스택은 수냉각장치가 별도로 있다. 따라서 기존 차량의 수냉식 구조와 일치하는 구조로 호환성을 갖도록 IGBT용 수냉각장치를 개발한다.

(2) 기본사항

전력 반도체 소자를 제외한 냉각수의 유량, 수압 등은 기존 제품과 동일한 조건으로 설계하고, 크기와 모양은 IGBT의 모양과 특성에 맞도록 설계했다. 아래의 기존품 사진의 GTO 스택 내부에 보이는 소자가 GTO이다.

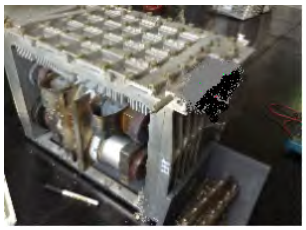
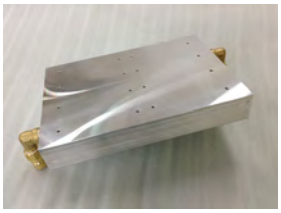
항목	GTO Stack (기존품)	IGBT용 수냉각장치(개발품)
Stack		
수냉각장치		
주전력소자	GTO	IGBT
Heat Block Type	수냉 Disk 분리형	수냉 Module 일체형
냉각수 유량	13㎥/h	기존품과 동일
냉각수	물:글리콜(50:50)	기존품과 동일
냉각수 압력	수냉각 펌프 흡입관1.0bar, 현차시험 2.6bar	기존품과 동일
냉각수 유입구, 유출구	SP Coupler 1/2 PT	기존품과 동일
재질	AL6061	AL6061-T6

표 33. 성능 및 사양 비교

(3) 주전력변환장치의 구성

주전력변환장치는 아래 그림에서와 같이 컨버터와 인버터로 구성되어 있다. 컨버터와 인버터에 사용할 소자는 HITACHI사의 MBN1200H45E2-H이다.

(가) 전력변환장치 주회로

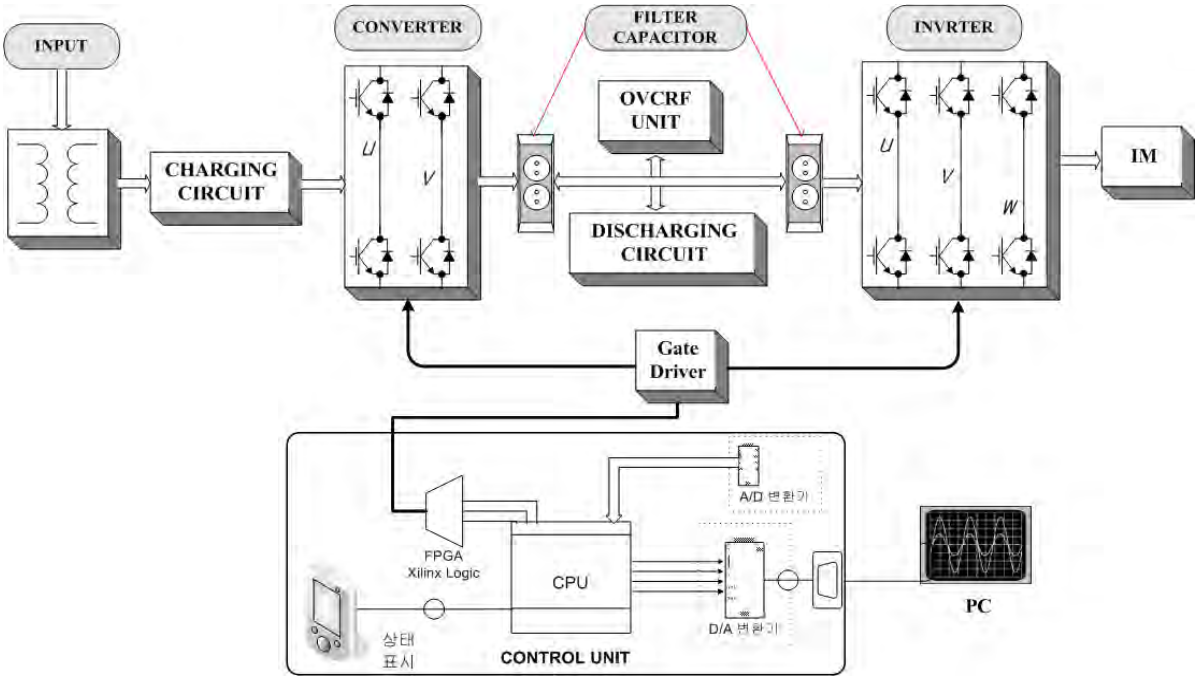


그림 240. 전기기관차 8200호대 개량 전력변환장치 주회로 블럭도

(나) IGBT 사양

IGBT MODULE Spec.No.IGBT-SP-09017 R5 P1

MBN1200H45E2-H

Preliminary Specification

Silicon N-channel IGBT 4500V E2 version

FEATURES

- Low switching loss IGBT module.
- Low noise due to ultra soft fast recovery diode.
- High reliability, high durability module.
- High thermal fatigue durability.
  (delta Tc=70°C, N>30,000cycles)
- Isolated heat sink (terminal to base).

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_c=25°C)

Item		Symbol	Unit	MBN1200H45E2-H
Collector Emitter Voltage		V_{CES}	V	4,500
Gate Emitter Voltage		V_{GES}	V	±20
Collector Current	DC	I_C	A	1,200 (T_c=80°C)
	1ms	I_{CP}		2,400
Forward Current	DC	I_F	A	1,200
	1ms	I_{FM}		2,400
Junction Temperature		T_j	°C	-40 ~ +125
Storage Temperature		T_{stg}	°C	-50 ~ +125
Isolation Voltage		V_{ISO}	V_{RMS}	8,400 (AC 1 minute)
Screw Torque	Terminals (M4/M8)	-	N·m	2/10 (1)
	Mounting (M6)	-		6 (2)

Notes: (1) Recommended Value 1.8±0.2/9±1N·m (2) Recommended Value 5.5±0.5N·m

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Item	Symbol	Unit	Min.	Typ.	Max.	Test Conditions
Collector Emitter Cut-Off Current	I_{CES}	mA	-	-	25	V_{CE}=4,500V, V_{GE}=0V, T_j=25°C
			-	25	100	V_{CE}=4,500V, V_{GE}=0V, T_j=125°C
Gate Emitter Leakage Current	I_{GES}	nA	-500	-	+500	V_{GE}=±20V, V_{CE}=0V, T_j=25°C
Collector Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	V	TBD	4.2	4.7	I_C=1200A, V_{GE}=15V, T_j=125°C

그림 241. IGBT 사양서

표 37. IGBT 최대 정격

항목	최대정격
IGBT	MBN1200H45E2-H Hitachi
Vce	4,500V
Ic	1,200A
Tj	125℃
Tc	80℃

(다) IGBT 외형

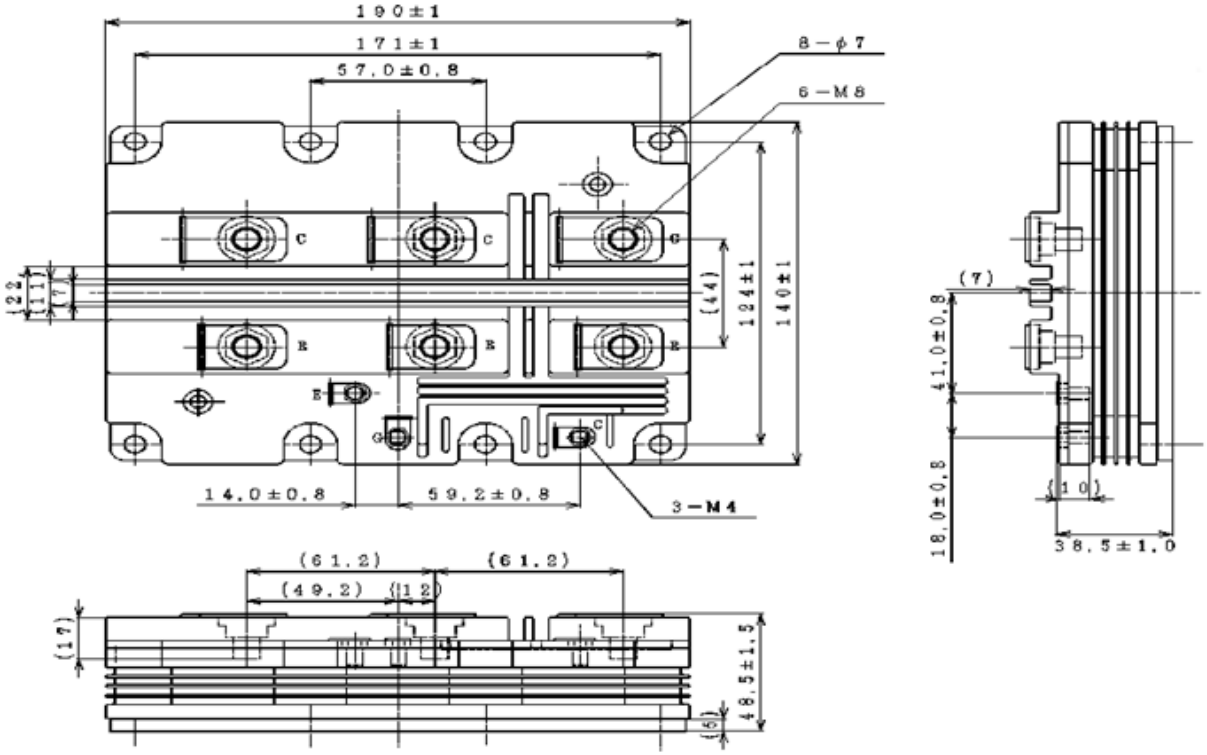


그림 242. IGBT 외형도

(4) 컨버터 발열량 계산[1,2]

IGBT의사용 조건은 다음과 같다.

① 사용조건 : Vce =2,600V

Vce(sat) = 3.5V (Ic = 700A)

Tr = 1.8usec (rising time, Ic = 700A)

Tf = 2.9usec (off time, Ic = 700A)

② 스위칭 손실 (IGBT on) : 297W

$$P_{1=} \int_0^{tr} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

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

$$= \frac{1}{6} \times 705 \times 2600 \times 1.8 \times 10^{-6} \times 540$$

$$= 297\ W$$

③ 도통 손실 (IGBT) : 1480.5W

$$P_{2=} \int_0^{t\,on} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

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

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

$$= \frac{705 + 705}{2} \times 3.5 \times 0.6$$

$$= 1480.5\ W$$

④ 스위칭 손실 (IGBT off) : 478W

$$P_{3=} \int_0^{tf} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

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

$$= \frac{1}{6} \times 705 \times 2600 \times 2.9 \times 10^{-6} \times 540$$

$$= 478\ W$$

⑤ 도통 손실 (DIODE) : 100W

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

$$= 705 \times 2.8 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 100\ W$$

⑥ 스위칭 손실 (DIODE) : 326.6W

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

$$= \frac{1}{\pi} \times 540 \times 1.9$$

$$= 326.6\ W$$

⑦ IGBT 총 손실 : 2,682W

$$P_{loss} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{dc} + P_{dsw}$$
$$= 297 + 1480.5 + 478 + 100 + 326.6$$
$$= 2{,}682\ W$$

⑧ IGBT 2개를 사용하므로 CONVERTER UNIT 1ARM 의 손실
: 2,682 X 4 = 10,728W

(5) 인버터 발열량 계산[1,2]
IGBT의사용 조건 다음과 같다.

① 사용조건 : Vce =2,600V
Vce(sat) = 2.6V (Ic = 320A)
Tr = 1.4usec (rising time, Ic = 320A)
Tf = 2.7usec (off time, Ic = 320A)

② 스위칭 손실 (IGBT on) : 194W

$$P_1 = \int_0^{tr} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$
$$= \frac{1}{6} I_{C1} \cdot V_{CE1} \cdot t_r \cdot f$$
$$= \frac{1}{6} \times 320 \times 2600 \times 1.4 \times 10^{-6} \times 1000$$
$$= 194\ W$$

③ 도통 손실 (IGBT) : 582.4W

$$P_2 = \int_0^{ton} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$
$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot t_{ON} \cdot f$$
$$= \frac{I_{C1} + I_{C2}}{2} \cdot V_{CE(sat)} \cdot D$$
$$= \frac{320 + 320}{2} \times 2.6 \times 0.7$$
$$= 582.4\ W$$

④ 스위칭 손실 (IGBT off) : 898.6W

$$P_{3=} \int_0^{tf} I_C \cdot V_{CE} \cdot dt \cdot f$$

$$= \frac{1}{6} I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f \ \rightarrow = 0.4 I_{C2} \cdot V_{CE2} \cdot t_f \cdot f$$

$$= 0.4 \times 320 \times 2600 \times 2.7 \times 10^{-6} \times 1000$$

$$= 898.6\ W$$

⑤ 도통 손실 (DIODE) : 35.7W

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

$$= 320 \times 2.2 \times (\frac{1}{8} - \frac{0.7}{3 \times \pi})$$

$$= 35.7\ W$$

⑥ 스위칭 손실 (DIODE) : 382W

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

$$= \frac{1}{\pi} \times 1000 \times 1.2$$

$$= 382\ W$$

⑦ IGBT 총 손실 : 2,093W

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

$$= 194 + 582.4 + 898.6 + 35.7 + 382$$

$$= 2{,}093\ W$$

(6) 발열 계산 결과

총 발열량은 각 스택 당 IGBT를 4개씩 계산하여 컨버터는 10,728W, 인버터는 8,372W이다. 효율적인 유지 보수 및 호환성을 위하여, 컨버터와 인버터에 동일한 스택을 적용하기로 한다. 따라서 스택의 용량은 발열이 큰 컨버터에 맞게 설계했다.

나. 현차분석시험

(1) 목적

8200호대 전기기관차의 주 전력변환장치의 수냉각장치 특성을 분석하여 국산화 개발의 기초 자료로 활용한다.

(2) 시험 일시 및 장소

(가) 1차 시험 (춘계 시험)

○ 일시 : 2013.03.22.(금) 13:00 ~ 18:00

○ 구간 : 제천 ↔ 영주 1왕복(제천 착・발)

○ 대상 : EL 8215호 + 무궁화호객차 4량

○ 시험 참여자 : 김진우 차장, 윤제운 차장, 서형빈 대리
- 견인전동기 베어링부 및 프레임진동 측정
- 견인전동기 입력 전압/전류 측정
- HEP출력장치 입/출력 측 전압/전류
- 주전원장치 입/출력 측 전압/전류
- 주전력변환장치 입수 직관 유량

(나) 2차 시험 (춘계 시험)
○ 일시 : 2013.04.26.(금) 10:00 ~ 18:00
○ 구간 : 제천 ↔ 영주 1왕복(제천 착・발)
○ 대상 : EL 8225호 + 무궁화호객차 2량
○ 시험 참여자 : 김진우 차장, 윤제운 차장, 서형빈 대리
- DC Link 전압측정, Converter 입력 전압/전류 측정
- inverter 출력 전압/전류 측정
- 주전력변환장치 입/배수 배관온도
- 주전력변환장치 내부 온도 측정

(다) 3차 시험 (혹한기 시험)
○ 일 시 : '14. 1. 22 09:00 ~ 18:00
○ 구 간 : 제천 ↔ 단양 1왕복(제천 착・발)
○ 대 상 : 8200호대 전기기관차 + 무궁화호객차(2량) 조성 편성차량
○ 참여자 : 약 10명
- 주 관 : 한국철도공사 연구원 윤차중 외 2명
- 공 동 : 선우전기 홍성위 이사, 김성은 과장

(라) 4차 시험 (혹서기 시험)
○ 일 시 : '14. 8. 5 09:00 ~ 18:00
○ 구 간 : 제천 ↔ 단양 1왕복(제천 착・발)
○ 대 상 : 8200호대 전기기관차 + 무궁화호객차(1량) 조성 편성차량
○ 참여자 : 약 14명
- 주 관 : 한국철도공사 정진욱 과장, 조규현 연구원, 김미소 연구원
대전철도차량정비단 박세현 팀장, 이현구 팀장 외 6명
- 공 동 : 선우전기 홍성위 이사, 유용현 부장, 이광호 대리
- 주전력변환장치 입/배수 배관온도 및 수압
- 주전력변환장치 내부 온도 측정

(3) 시험 내용

(가) 시험 개요

표 38. 현차 시험 개요

현차 시험 회차	시험 개요
1차/2차 (춘계)	정적 측정시험: 기지 내 정차 상태에서 수압, 수온, 유량, 유속을 측정 시험 확인. 동적 측정시험: -차량운행 시 전력변환 냉각 장치의 수압 및 수온 데이터 확인. -차량운행 시 수냉각 칠러에서 주전력변환장치로 유입되는 냉각매체의 유량 및 유속 측정. -차량운행 시 주전력변환장치내 수냉 입수, 배수 배관 온도 및 주변환 장치 내부 온도, 외부온도 데이터 확인.
3차(혹한기)/ 4차(혹서기)	측정 내용: 수냉각장치의 냉각수 온도 측정 및 수압 측정. 측정 방법: 선우전기 온도 측정 장비 및 대전철도차량정비단 운영프로그램 활용 측정 시간: 전기기관차에 전원이 통전되는 시점부터 단전 시 까지.

(나) 시험 내용

① 측정 장비

표 39. 측정 장비

장비명	장비사양	용 도	수량	보유기관	시험 회차	
					1차/ 2차	3차/ 4차
노트북 (운영프로그램 탑재)	1∅ 220Vac 45W	수압, 수온 센서를 통해 측정되는 DATA 확인		대전철도 차량정비단	○	○
초음파 유량계	1∅ 220Vac 37W	수냉각 매체 유량, 유속 측정		선우전기 (임대)	○	X
온도 기록계	DC 12.6V 1.2A	냉각수 입구, 출구, GTO근접부, 제어반 내부, 대기 온도 측정		선우전기	○	○

② 측정 포인트 요약

8200호대 전기기관차의 주변환기1과 2중에서 주변환기2를 측정하였다. 각 부위의 측정 포인트는 이하의 표와 그림과 같다. 1차와 2차 현차 시험에는 수냉각장치의 입구 2포인트, 출구 2포인트, 제어반 내부 온도, 유량, 수압, 수온을 측정하였다. 유량 측정은 1,2차에만 하였고 3,4차에는 유량 값이 동일할 것으로 판단하여 제외하였다. 수냉각장치의 입출구 온도 측정 포인트를 3군데씩으로 늘리고 GTO소자의 온도를 측정하였다. 다만 GTO소자는 주전력 변환장치의 주요 소자로서 고전압이 인가되어 있는 등 실제의 표면 온도를 측정하기에는 위험한 요소가 있어 GTO에 근접한 수 냉각수 입출구 측의 SP Coupler표면의 온도를 측정하였다.

③ 측정 포인트 위치도

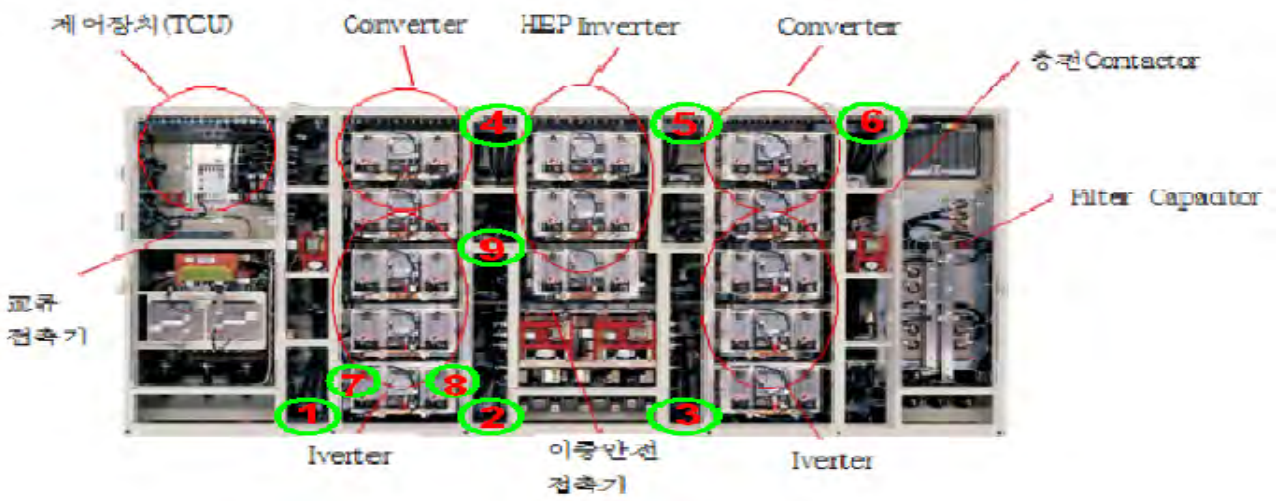


그림 243. 온도 측정 포인트 위치도

④ 측정 포인트 상세 사진(1~3차)



GTO⑦⑧ 유량 수압① 수온



측정① 측정② 측정③ 측정④



측정⑤ 측정⑥ 측정⑦ 측정⑧



그림 244. 측정⑪

그림 245. 주변환기2



그림 246. 측정 포인트 (4차 혹서기)

⑤ 냉각수 수온, 수압 데이터 (1,2차 운영프로그램 취득 수온, 수압 데이터)

이하의 수온, 수압 데이터는 측정 포인트①과 측정 포인트⑥을 측정한 값이다.

				수온	수압
MI-container $CTSR [Grad_C]	TCU-internal $CASG [Grad_C]	TransfoilOUT $COEL1 [Grad_C]	Transfoil IN $COEL2 [Grad_C]	Watercooling $CH2O [Grad_C]	Water-press. $PH2O [Bar]
23.4	27.5	37.8	38.2	21.8	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	21.8	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	21.8	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.3	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6

그림 247. 1,2차 운영프로그램 데이터 1)

수온 수압

MI-container $CTSR [Grad_C]	TCU-internal $CASG [Grad_C]	TransfoilOUT $COEL1 [Grad_C]	Transfoil IN $COEL2 [Grad_C]	Watercooling $CH2O [Grad_C]	Water-press. $PH2O [bar]
23.4	27.5	37.8	38.2	21.8	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	21.8	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	21.8	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.6	38.2	22.0	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.1	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.1	2.6
23.4	27.5	37.8	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.3	2.6
23.4	27.5	37.8	38.2	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.3	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6
23.4	27.5	37.6	38.4	22.4	2.6

그림 248. 1,2차 운영프로그램 데이터 2)

수온 수압

MI-container $CTSR [Grad_C]	TCU-internal $CASG [Grad_C]	TransfoilOUT $COEL1 [Grad_C]	Transfoil IN $COEL2 [Grad_C]	Watercooling $CH2O [Grad_C]	Water-press. $PH2O [bar]
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.0	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.0	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.0	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.6	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.5	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	38.9	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	39.1	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	39.1	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	39.1	39.5	23.4	2.6
25.2	29.3	39.1	39.		

그림 249. 1,2차 운영프로그램 데이터 3)

⑥ 3차 운영프로그램 취득 수온, 수압 데이터

Chart-output

1: Voltage and current (line values)

2: Voltage and current (dc link)

3: PWI- / 4QC-current

4: Speed frequency

5: Temperatures traction-motors

6: Temperatures other

7: Torques PWA

8: Torques PWB

0: Exit menue

Selection: 6

System time: 22.01.2014 15:41:29 수온 수압

MI-container	TCU-internal	TransfoilOUT	Transfoil IN	Watercooling	Water-press.
$CTSR	$CASG	$COEL1	$COEL2	$CH2O	$PH2O
[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[bar]
17.3	22.1	35.1	35.4	12.6	2.5
17.3	22.1	35.1	35.4	12.6	2.5
17.3	22.1	35.1	35.4	12.6	2.6
17.3	22.1	35.1	35.3	12.7	2.6
17.3	22.1	35.1	35.3	12.7	2.6
17.3	22.1	35.1	35.3	12.6	2.5
17.3	22.1	35.1	35.4	12.6	2.5
17.3	22.1	35.1	35.4	12.6	2.6
17.4	22.1	35.1	35.4	12.6	2.5
17.4	22.1	35.1	35.4	12.6	2.5
17.4	22.1	35.1	35.4	12.6	2.5
17.3	22.1	35.1	35.4	12.6	2.6
17.3	22.1	35.0	35.4	12.6	2.5

---- 중략 ----

Chart-output
1: Voltage and current (line values)
2: Voltage and current (dc link)
3: PWI- / 4QC-current
4: Speed frequency
5: Temperatures traction-motors
6: Temperatures other
7: Torques PWA
8: Torques PWB
0: Exit menue
Selection: 6

System time: 22.01.2014 16:20:47 수온 수압

MI-container	TCU-internal	TransfoilOUT	Transfoil IN	Watercooling	Water-press.
$CTSR	$CASG	$COEL1	$COEL2	$CH2O	$PH2O
[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[bar]
16.2	20.6	34.0	34.4	11.7	2.5
16.2	20.6	34.1	34.4	11.7	2.5
16.2	20.6	34.1	34.4	11.7	2.6
16.2	20.6	34.1	34.4	11.7	2.5
16.2	20.6	34.1	34.3	11.7	2.5

16.2	20.6	34.1	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.1	34.3	11.7	2.5
16.4	20.6	34.1	34.3	11.7	2.6
16.4	20.6	34.1	34.4	11.7	2.5
16.4	20.6	34.1	34.4	11.7	2.5
16.4	20.6	34.1	34.4	11.9	2.5
16.4	20.6	34.0	34.3	11.9	2.5
16.4	20.6	34.0	34.3	11.9	2.6
16.2	20.6	34.1	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.1	34.4	11.7	2.6
16.2	20.6	34.1	34.4	11.7	2.5

---- 중략 ----

				수온	수압
MI-container	TCU-internal	TransfoilOUT	Transfoil IN	Watercooling	Water-press.
$CTSR	$CASG	$COEL1	$COEL2	$CH2O	$PH2O
[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[bar]
16.2	20.6	34.0	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.3	11.9	2.6
16.2	20.6	34.0	34.3	11.9	2.5
16.2	20.6	34.0	34.3	11.9	2.5
16.2	20.6	34.0	34.3	11.9	2.6
16.2	20.6	34.0	34.3	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.1	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.1	11.7	2.6
16.2	20.6	34.0	34.1	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.1	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.1	11.7	2.5
16.2	20.6	33.9	34.1	11.7	2.6
16.2	20.6	33.9	34.1	11.7	2.5
16.2	20.6	33.9	34.1	11.7	2.5
16.2	20.6	34.0	34.1	11.6	2.6
16.2	20.6	34.0	34.1	11.6	2.5
16.2	20.7	34.0	34.1	11.6	2.5
16.2	20.6	34.0	34.1	11.6	2.5
16.2	20.6	33.9	34.3	11.6	2.6
16.2	20.6	33.9	34.3	11.6	2.5

---- 중략 ----

Record Stop

Chart-output
1: Voltage and current (line values)
2: Voltage and current (dc link)
3: PWI- / 4QC-current
4: Speed frequency
5: Temperatures traction-motors
6: Temperatures other
7: Torques PWA
8: Torques PWB
0: Exit menue
Selection: 6
System time: 22.01.2014 16:41:39

MI-container	TCU-internal	TransfoilOUT	Transfoil IN	수온 Watercooling	수압 Water-press.
$CTSR	$CASG	$COEL1	$COEL2	$CH2O	$PH2O
[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[bar]
19.0	21.2	39.6	40.0	16.5	2.5
19.0	21.2	39.6	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.6	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.6	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.6	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.6	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	39.9	16.5	2.5
19.0	21.2	39.7	39.9	16.5	2.5
19.0	21.2	39.7	39.9	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	39.9	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	40.0	16.5	2.6
19.0	21.2	39.7	40.0	16.5	2.5
19.0	21.2	39.7	40.0	16.4	2.6

---- 중략 ----

MI-container	TCU-internal	TransfoilOUT	Transfoil IN	수온 Watercooling	수압 Water-press.
$CTSR	$CASG	$COEL1	$COEL2	$CH2O	$PH2O
[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[bar]
17.4	21.2	37.4	37.5	13.0	2.6
17.4	21.2	37.4	37.5	13.0	2.6
17.4	21.2	37.4	37.5	13.0	2.6
17.4	21.2	37.4	37.5	13.0	2.5

17.4	21.2	37.2	37.5	13.1	2.6
17.4	21.2	37.2	37.5	13.1	2.6
17.4	21.2	37.2	37.5	13.1	2.6
17.6	21.2	37.2	37.5	13.3	2.5
17.6	21.2	37.2	37.5	13.3	2.6
17.4	21.2	37.2	37.5	13.3	2.5
17.4	21.2	37.2	37.5	13.1	2.5
17.4	21.2	37.2	37.5	13.1	2.5
17.4	21.2	37.2	37.5	13.1	2.6
17.6	21.2	37.4	37.5	13.3	2.5
17.6	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.4	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.4	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5
17.4	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5
17.6	21.2	37.4	37.4	13.3	2.5

Record Stop

⑦ 4차(혹서기) 운영프로그램 취득 수온, 수압 데이터

Chart-output
Chart-output

1: Voltage and current (line values)
2: Voltage and current (dc link)
3: PWI- / 4QC-current
4: Speed frequency
5: Temperatures traction-motors
6: Temperatures other
7: Torques PWA
8: Torques PWB
0: Exit menue

Selection: 6
System time: 05.08.2014 13:55:35

				수온	수압
MI-container	TCU-internal	TransfoilOUT	Transfoil IN	Watercooling	Water-press.
$CTSR	$CASG	$COEL1	$COEL2	$CH2O	$PH2O
[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[Grad_C]	[bar]
40.9	45.3	53.9	53.5	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.5	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.5	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.5	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
41.0	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
41.0	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
41.0	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
41.0	45.3	53.9	53.8	39.1	2.6
41.0	45.3	53.9	53.8	39.1	2.6
40.9	45.3	53.9	53.8	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.8	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.8	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.8	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.7	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6
40.9	45.3	53.9	53.6	39.2	2.6

이하 상세 시험 데이터는 기술문서 R&D8200-X-04(COOL)-002-T Rev. B1 IGBT용 수냉각장치 현차분석 시험보고서를 참고한다.

⑧ 유량, 유속 데이터

유량과 유속의 측정은 수냉각수 순환 펌프의 출구에 초음파 유량계를 설치하여 측정하였다. 1,2차에만 측정하고 3차에는 하지 않았다. 이유는 1,2차 시험 때에 측정 유량은 14.9㎥/h로 전기기관차 정비지침서 상의 13㎥/h과 거의 동일한 수준으로 분석되었기 때문에 유량의 변화는 없는 것으로 간주하였다. 추가 측정 시험은 대기 온도가 최고가 되는 한 여름에 주전력변환장치의 각부 온도와 함께 측정하였다.

⑨ 측정 조건

표 40. 유량, 유속 측정 조건

1	배관 외경	48.6mm
2	배관 두께	2.8mm
3	배관 재질	Stainless Steel
4	Liner 종류	None, No Liner
5	유체종류	Water
6	센서설치방법	Z
7	센서설치간격	2.43554 mm
8	보정계수	1.0194

(4) 시험 내용

① 측정 데이터 요약

표 41. 측정 데이터 요약

측정 포인트		측정 내용	1,2차		3차		4차
	그림8	(온도단위 ℃, 기타 단위 직접 표기)	최저	최고	최저	최고	최고
온도 기록계	①	수냉각장치 입구 냉각수 온도	22.0	24.9	5.7	26.5	39.5
	②				5.6	26.9	39.5
	③				5.8	27.0	39.9
	④	수냉각장치 출구 냉각수 온도	24.2	25.7	5.8	26.9	41.0
	⑤				6.1	27.0	40.4
	⑥				5.5	26.4	40.2
	⑦	수냉각장치 GTO소자 근접부 방열판 입구측 온도	X	X	5.0	26.6	42.0
	⑧	수냉각장치 GTO소자 근접부 방열판 출구측 온도	X	X	5.0	27.0	40.0
	⑨	주변환기2 내부 온도	24.8	29.2	4.5	25.2	42.5
	⑪	대기 온도(주변환기1과 2사이 복도 온도)	X	X	1.2	14.7	38.4
초음파 유량계	그림 10	유량(수냉각수 순환 펌프 유출구)	14.9 ㎥/h	15.1 ㎥/h	X	X	X
		유속	2.86~2.88m/s				
운영 프로그램	①	수압(그림8의 좌측 하단 측정 포인트① 부근)	2.6 bar	2.6 bar	2.5 bar	2.6 bar	2.6 bar
	⑥	수온(제어반 우측 상단/그림8의 측정포인트⑥ 부근)	21.7	23.9	11.3	16.5	39.2
시험 당일 기상청 온도 기록			평균 9.3		-14.1	-0.1	30
측정 시간			11:00~11:50		11:18~17:35		10:00~18:00
○ : 시험 항목, X : 비 시험 항목							

② 제3차 현차 시험 당일 각부 온도 추이

각 부위의 상세 온도 데이터는 앞에서 본 바와 같고, 시험 당일 온도 변화 추이를 보면 아래 그림과 같다. 각 부위의 온도는 전기기관차가 정차해 있을 때가 운행할 때 보다 높았다.

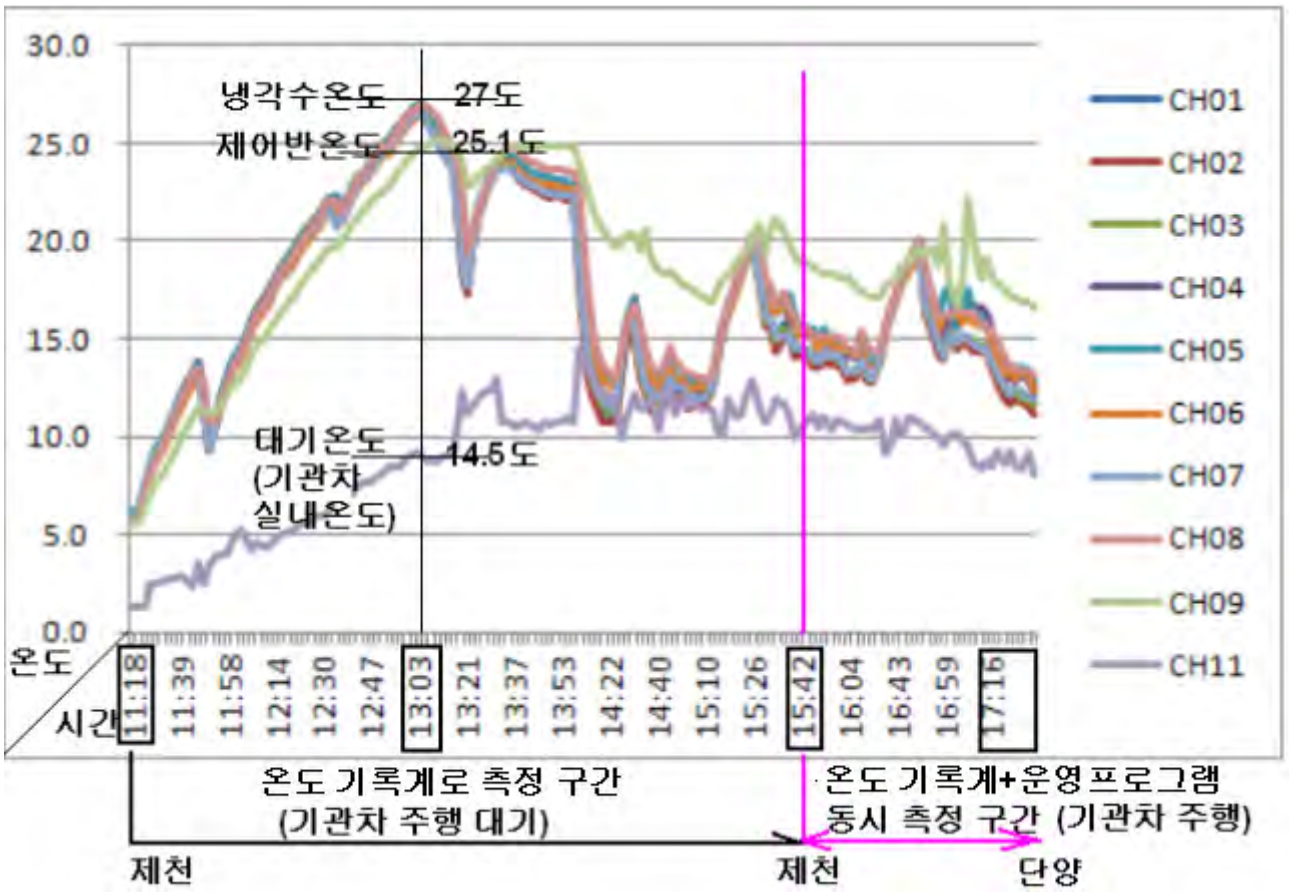


그림 250. 제3차 현차 시험 당일 각부 온도 추이 그래프

③ 현차 시험 결과

현차 시험은 4계절 중 겨울, 봄 및 여름에 총 4차례 실시했다. 각 측정 부위의 온도는 혹서기 때가 가장 높았다. 수냉각장치의 입출구 냉각수 온도는 41℃, GTO 근접부의 온도는 42℃, 전력변환장치 제어반 온도는 42.5℃, 측정 당일 기온은 30℃였다. 수압은 2.5bar에서 2.6bar 범위 안에 있었다. 유량은 14.9m^3/h에서 15.1m^3/h의 범위에 있었다.

다. 유로 구조 설계 및 열유동해석

(1) IGBT용 수냉각장치의 크기

IGBT용 수냉각장치의 크기는 기존품 GTO stack의 외형을 고려하여 폭330mm x 길이 230mm x 높이50mm로 정했다. 1스택에 4개의 IGBT를 사용할 수 있는 크기이다.

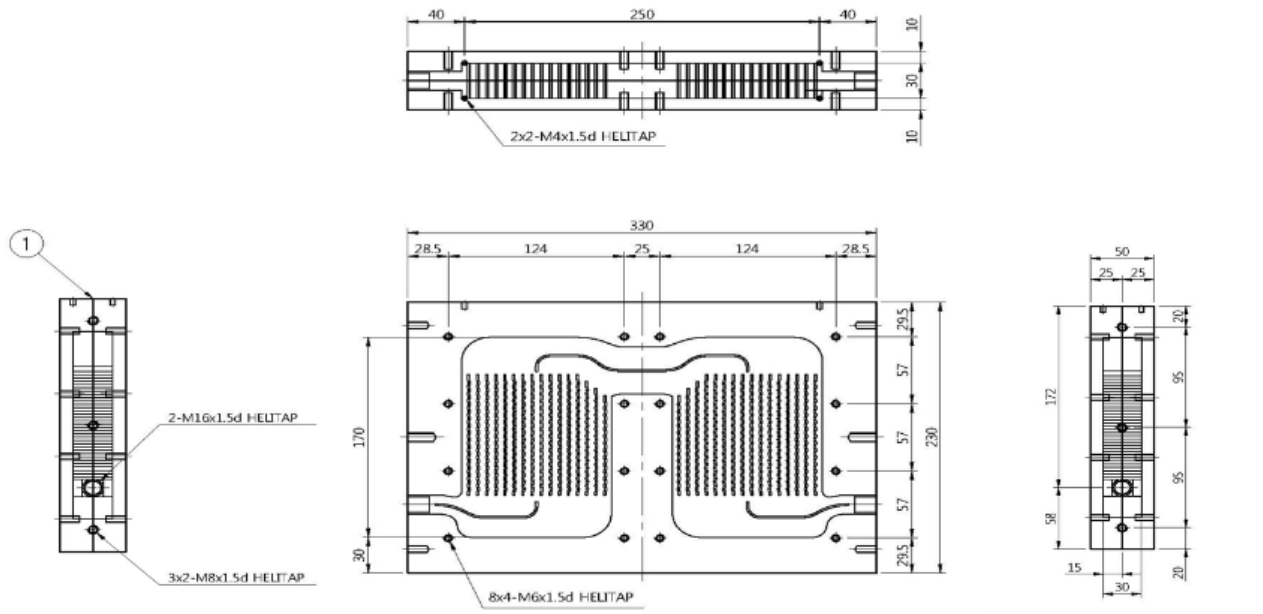


그림 251. 구조 설계 2D

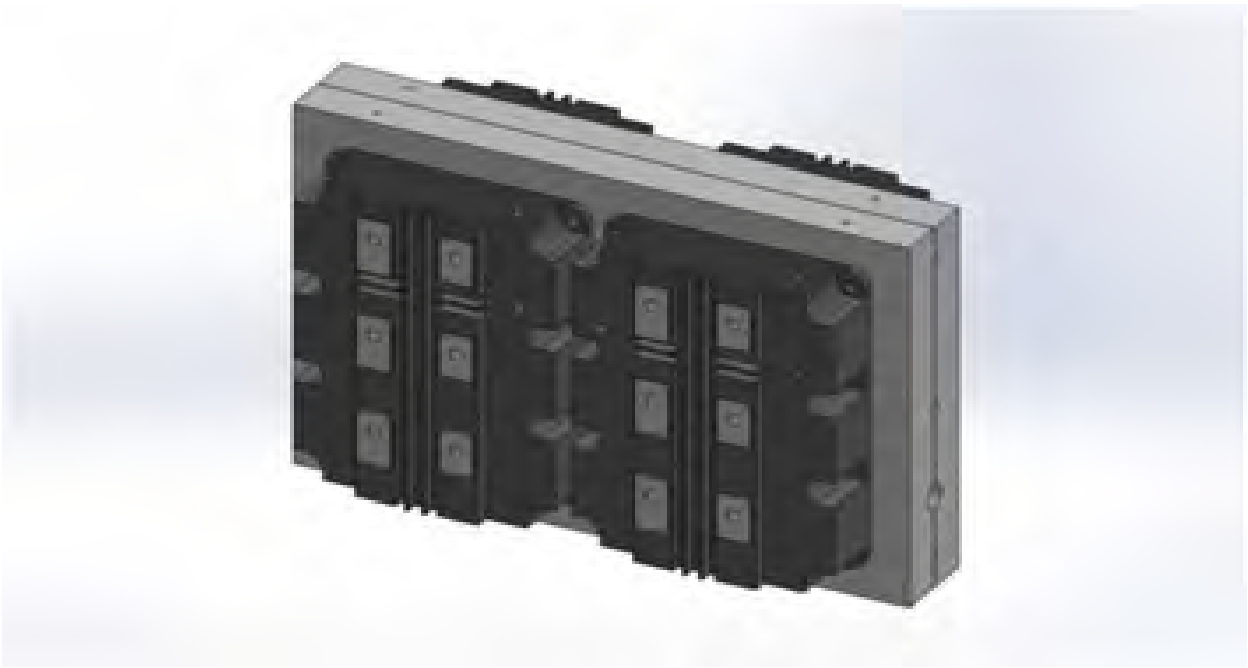


그림 252. 구조 설계 3D(외형)

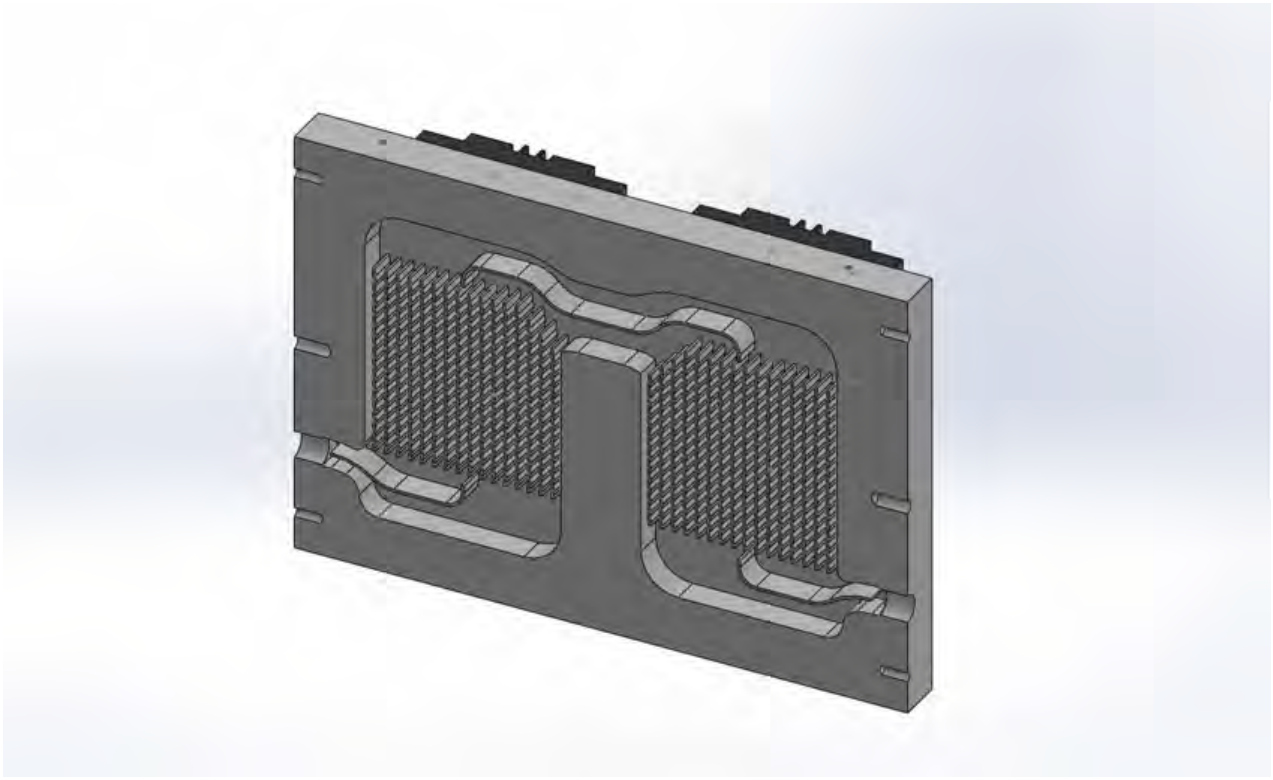


그림 253. 구조 설계 3D(유로)

(2) 유로 설계 및 열유동해석

(가) 열유동해석 조건

표 42. 열유동해석 조건

발 열	총 10kW	IGBT 개당 2500W (IGBT 4개)
유 량	$13m^3/hr$(=0.0036m^3/sec)	(216.7L/min)
인입구 직경	16mm	
대기온도	40℃	
냉각수	물 : GLYCOL = 5 : 5	
HEAT BLOCK 재질	AL6061-T6	

(나) 유로 구조 설계 및 열유동해석

① 1,2차 설계 및 열유동해석

유로 설계와 열유동해석은 동시에 했으며 총 4차례의 수정과 보완을 거쳤다. 1차 설계와 시작품 제작의 결과는 만족스럽지 못했다. IGBT의 최대 온도가 83.19℃로써 최대 허용 온도를 웃돌았다. 2차로 유로를 재설계하고 열유동해석을 하였으나 결과는 같았다. 뿐만 아니라 열 정체 현상이 여러 곳에서 발생했다.

아래 그림은 냉각수의 유속을 나타낸 그림이다. 초기 입구에서의 $18m/s$의 유속으로 냉각수가 인입된다. 냉각수의 유속을 보게 되면 전체적으로 퍼지게 되나 낮은 유속으로 흐르게 된다.

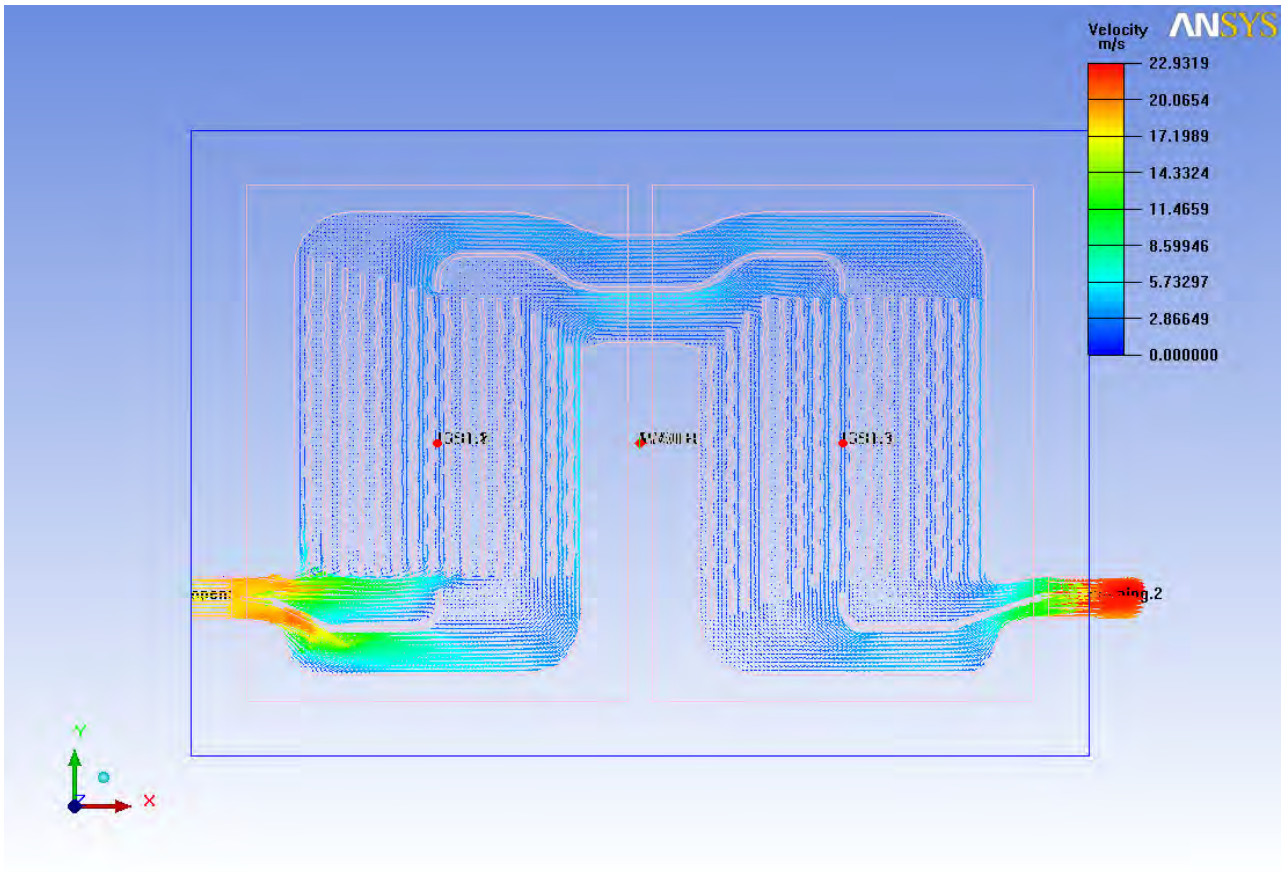


그림 254. 냉각수의 유속

냉각수의 온도 변화를 보면 냉각수의 유속이 낮은 곳에서 냉각수의 온도가 많이 올라가는 것을 볼 수 있다.
냉각수의 온도는 발열체(IGBT)의 온도에도 큰 영향을 미치게 된다. 냉각수의 입출구 쪽에 온도가 낮게 나타나는 이유는 그쪽에서 유속이 빠르게 형성되기 때문에 냉각수의 온도가 내려가는 것을 볼 수 있다.
하지만, 아래 그림에서 보게 되면 냉각수의 온도가 많이 올라간 곳
즉, 냉각수의 유속이 느린 곳에서 IGBT의 방열상태가 부족함을 알수 있다.

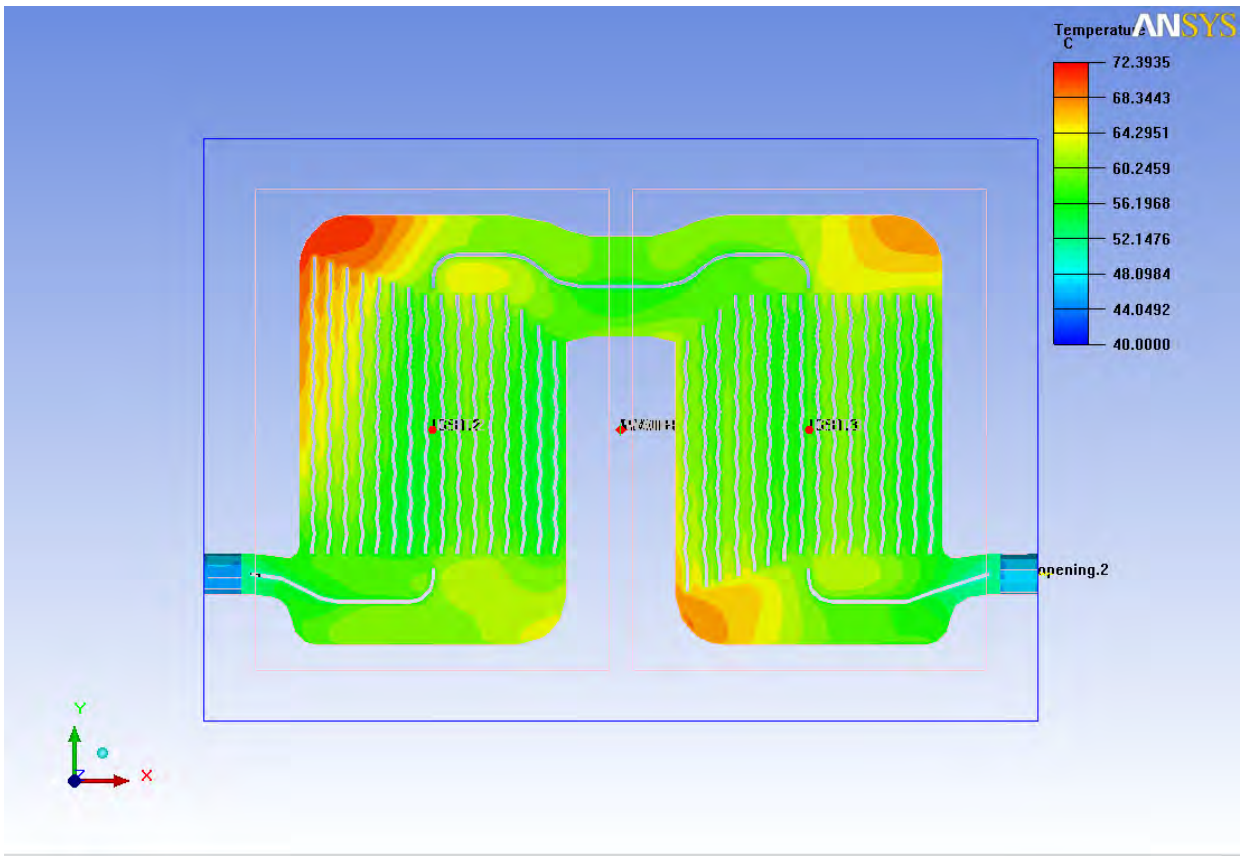


그림 255. 냉각수 온도 변화

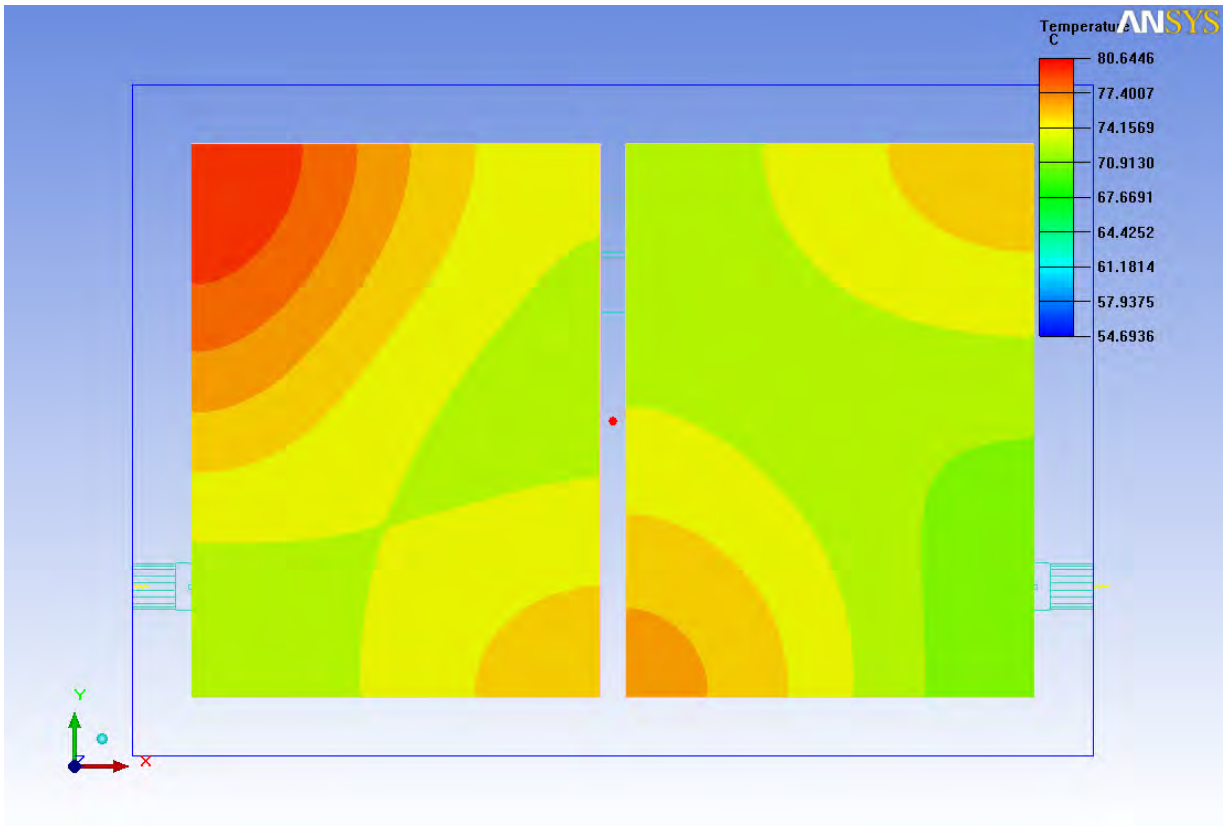


그림 256. IGBT의 온도 변화

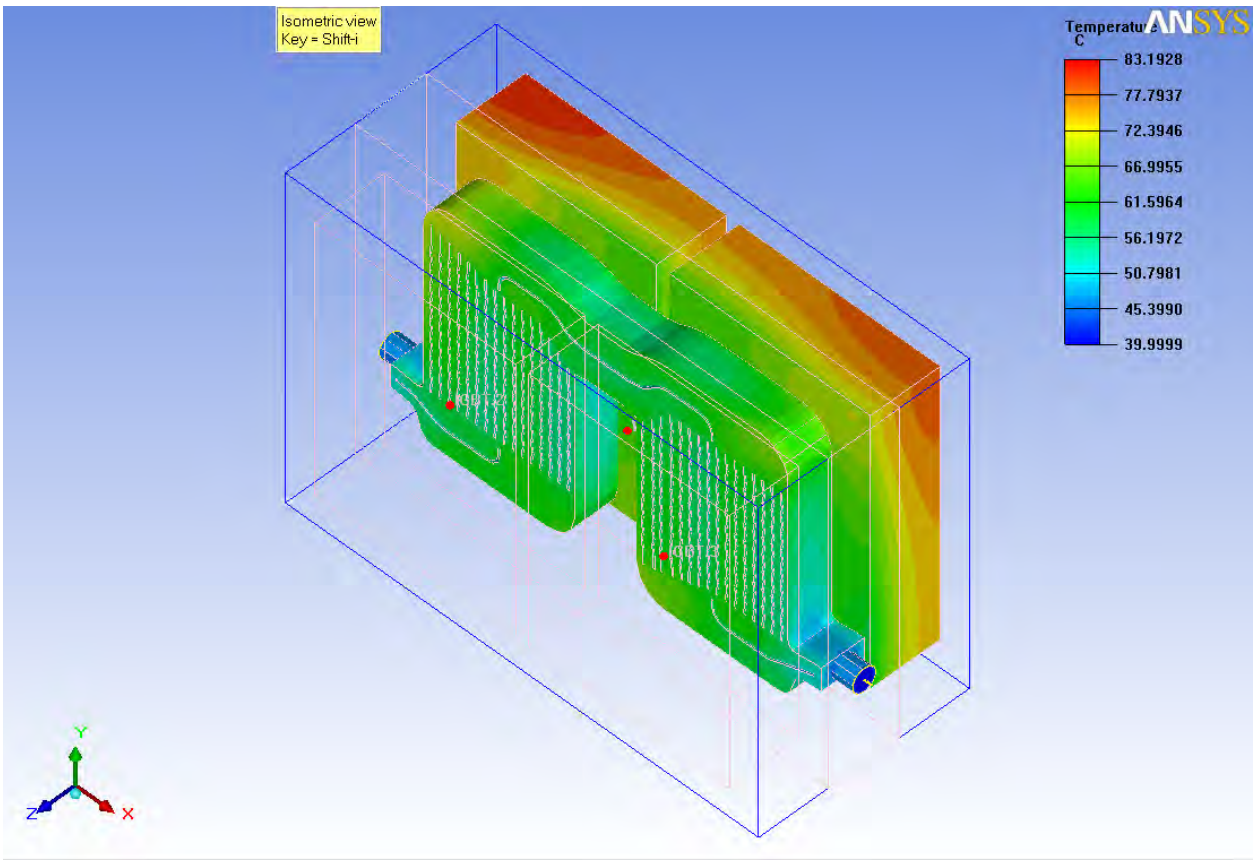


그림 257. IGBT와 냉각수의 온도

IGBT용 수냉각 장치 개발 기본 설계 결과 냉각수의 온도가 올라가는 부위는 IGBT의 발열을 제대로 해소시키지 못함을 알수 있다. 하지만 IGBT의 발열 포인트는 IGBT의 중간 단자부위이므로 실제 단품시험 결과와 열 해석 결과가 상이 할 수 있다.
하지만, 열 해석 결과를 토대로 상세설계 시 발열부위 해소를 위한 열 분포도 해석, 검토하고 시작품 샘플을 만들어 단품시험을 하여 시작품 제작에 열 분포도 및 적합성을 판단 한다.

② 3차

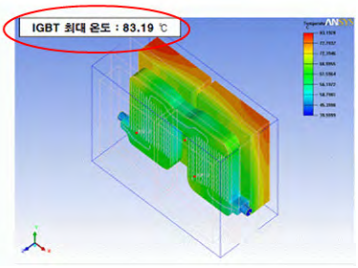
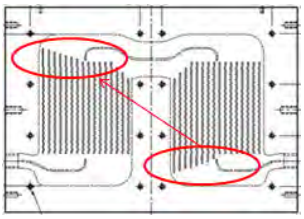
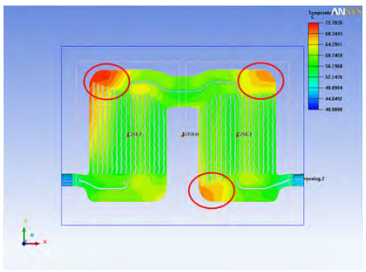
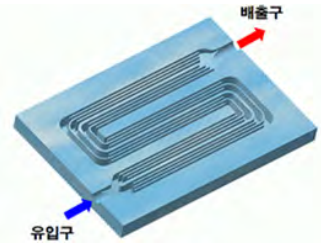
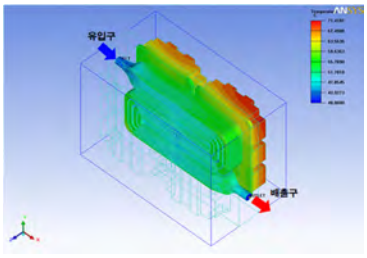
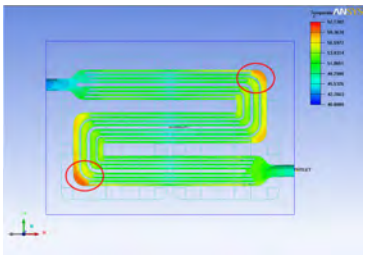
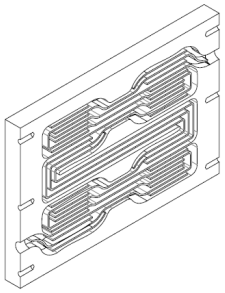
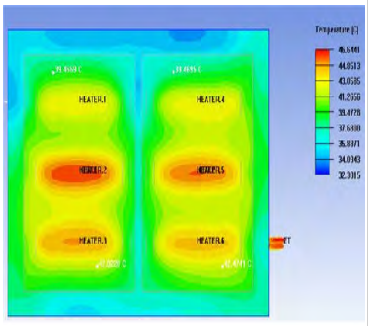
3차 설계에서는 유로의 모양을 단순화하고 냉각수의 흐름 순서를 바꾸었다. 냉각수 입구 측에서 시작하여 출구 측으로의 흐름을, 냉각수 입구 측과 출구 측을 교차하는 흐름으로 바꿈으로써, IGBT 각 소자 간의 온도 편차를 줄였다. 이 결과 IGBT의 최대 온도는 71.42℃로 낮아져 16%의 개선 효과가 있었다.

③ 4차

4차에서는 3차의 내용을 더욱 개선하는 방향으로 설계하고 제작했다. 특히 유로의 총 길이를, 3회 반복에서 7회 반복하도록 함으로써 2배 이상 늘렸다. 냉각 효율을 극대화 시킬 수 있었다. 내부 유로의 형상에도 변화를 주었다. 각 구간 별로 유속의 흐름에 강약을 주고, 서로 교차하는 구조를 택함으로써, IGBT 케이스의 최대 온도가 42.1℃로 낮아 졌다.

이상의 내용을 표로 정리하면 다음과 같다.

표 43. 유로 구조 설계 및 열유동해석

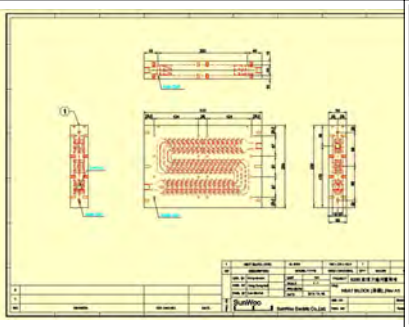
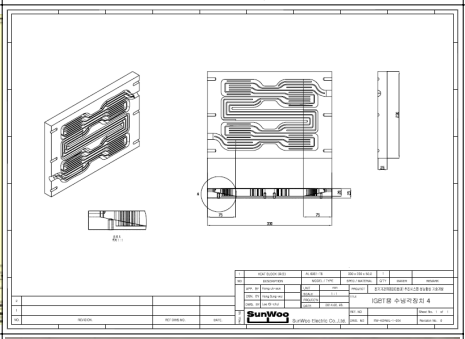
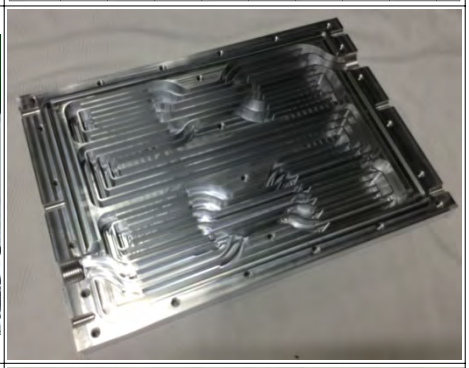
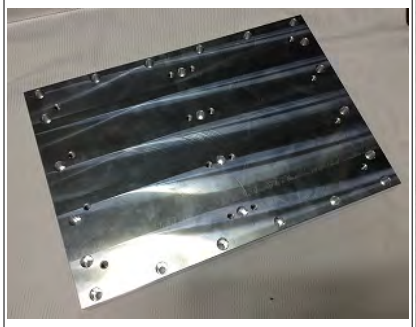
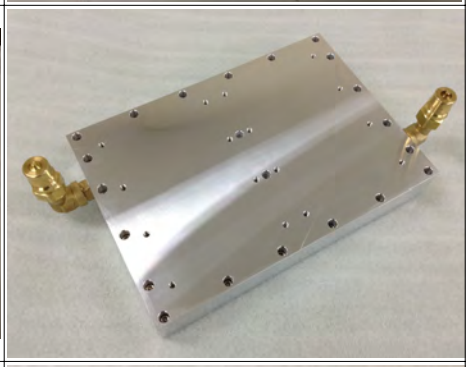
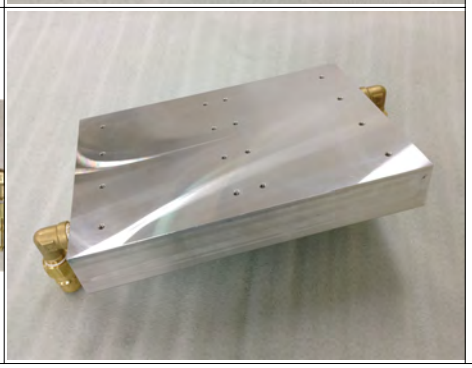
항목	유로 구조 설계	열유동해석 및 시작품 제작	해석 결과 및 시작품 시험 결과	
1차 기본 설계			IGBT 최대 온도 83.19℃	소자 소손 우려
2차 기본 설계			IGBT 최대 온도 83.19℃ (1차와 동일) 냉각수 온도 균일하지 못함	소자 소손 우려
1 차 보완 설계			IGBT 최대 온도 71.42℃ 이전 설계 대비 16%개선	설계 조건 (IGBT Case 최대 온도 80℃) 만족
			냉각수 최대 온도 62.13℃ 이전 설계 대비 17%개선	
2 차 보 완 설계			1차, 2차년도 시험 비교 ○ IGBT 최고 온도 64.3℃=>42.1℃ ○ IGBT 온도 편차 19.6℃=>4.4℃ ○ 입출구 수온 편차 11.1℃=>1.9℃	설계 조건 (IGBT Case 최대 온도 80℃) 만족

라. 시작품 제작

(1) 시작품 제작(본체)

1, 2, 3, 4차의 유로 설계와 열유동해석의 결과에 따라 시작품을 제작하고 시험하였다. 시작품 제작은 모두 머시닝센터를 이용하여 가공하였다. 상하의 몸체의 두께가 50mm로 같고 상하 가공 후에 서로 접합하였다. 4차 가공에서는 제품의 무게를 10kg에서 7.5kg으로 줄였다. 내부 유로의 폭을 넓히고 깊이를 이 전 보다 깊게 하였다.

표 44. 시작품 제작 1)

항목	1차년도 시작품	2차년도 시작품	제작 설명
본체 제작 도면			- 크기 330x230x50 mm - 재질 AL6061-T6
유로 제작 사진			
시작품 제작 사진 (밑면)			
시작품 제작 사진 (정면)			

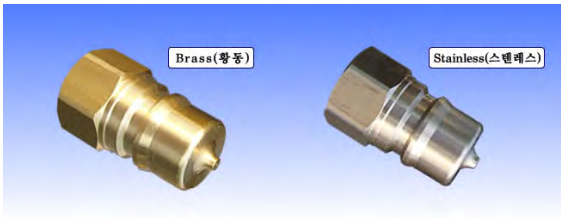
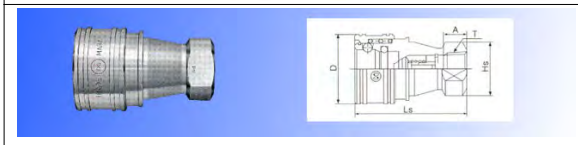
(2) 시작품 제작(유로 입출구 SP Coupler)

유로 입구 및 출구는 기존 제품과 동일한 내경으로 제작했다. 내경이 1/2PT 이다. 그러나 SP Coupler의 제작사와 모양은 약간 다르다. 국내에서 쉽게 구할 수 있는 종류로 선정하였다. 시작품 제작에 사용한 Coupler는 관광정밀 제품이다.

연구과제 기간 동안에 부품 수급이 용이한 부품을 우선 선정하였으며 실용화 또는 다음 단계로 연구가 진행될 경우에는 예상되는 문제점들을 보완할 계획이다. 기존품은 탈부착을 용이하게 할 수 있도록 고무 호스와의 연결 부위가 45도로 경사지게 제작되어 있다. 그리고 일체형이다. 본 과제에서는 현실적으로 이와 같은 구조로 진행할 수 없는 제약이 있었다. 그러나 기능상으로는 전혀 문제가 없다.

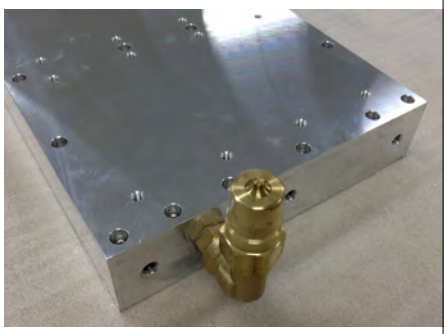
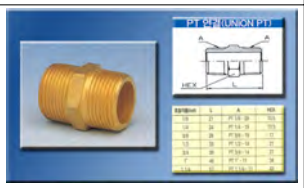
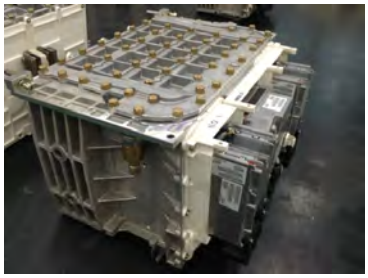
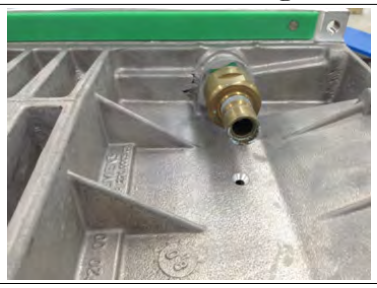
(가) SP Coupler 선정

표 45. 국내 수급 가능한 SP Coupler

SP Coupler Plug	Socket	제조사	판매	선정 기준
		관광정밀 KWAN KWANG PRECISION http://shose.co.kr/sub/product/product-detail.asp?num=867&page=1	상림상사 http://shose.co.kr/sub/product/product-detail.asp?num=867&page=1	구조: 수냉각장치의 냉각수 입출구의 호스를 제거할 때 누수가 없을 것. 크기:1/2PT 재질:BRASS 호환성: 기존품 8200호대 적용 모델과의 호환성
		관광정밀 외	한국상사	
		nitto-kohki http://nitto-kohki.page-view.jp/Ck040/pageview/pageview.html#page_num=3	상림상사	

(나) 시작품 제작(SP Coupler)

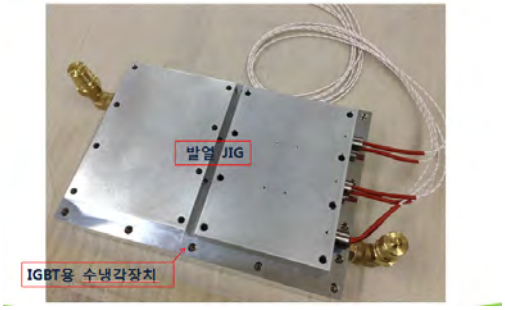
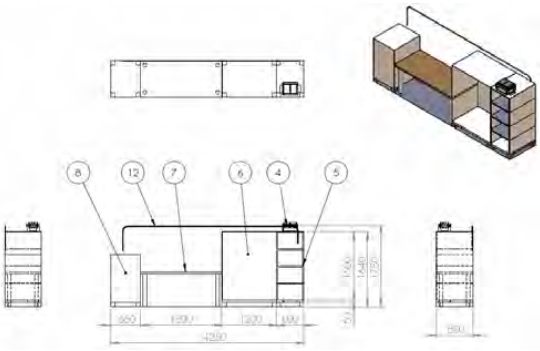
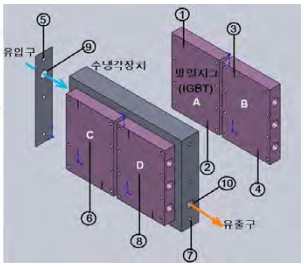
표 46. 시작품 제작(SP Coupler)

<table>
<tr><th></th><th>제품 사진</th><th>Elbow</th><th>SP Coupler Plug</th><th>Socket</th></tr>
<tr><td>A
안</td><td rowspan="2"></td><td>
</td><td></td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Nipple+Service Elbow+SP Plug</td></tr>
<tr><td>B
안</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">Elbow+SP Plug</td><td></td></tr>
<tr><td>기
존
품</td><td></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

(3) 시작품 제작(발열 지그 및 시험 설비)

시작품에 대한 단품 시험을 위하여 IGBT를 대체하여 시험할 수 있는 발열체를 제작하였다. 발열량은 IGBT 4개에 해당하는 10kW로 계산하여 1개당 2.5kW로 제작하였다. 주전력변환장치의 폭과 높이를 고려하여 가능한 유사한 구조로 시험 설비를 제작하여 시험하였다.

표 47. 시작품 제작 2)

항목	개발품	제작 설명
발열JIG 제작 사진		_ IGBT 대체 시험용 - IGBT 1개당 발열량 2.5kW
시작품 시험 설비 제작	 그림 1 수냉각장치 시험 구성도 ⑧칠러⑫물호스⑦시험테이블⑥콘트롤러 ④수냉각장치⑤시험기기 및 계측기  그림 1 온도 시험 포인트 ①~④IGBT접촉면⑤⑦입출구 ⑥⑧IGBT비접촉면 ⑨⑩SP Coupler⑪냉각수온도 ⑫대기온도	

(4) 수냉각장치 보완 설계 및 제작

(가) 유로 구조개선

1차 시작품 시험의 결과 IGBT 케이스의 온도는 설계 조건에 충족되지만 각 부위 간 온도 편차가 19.6℃로서 다소 크다. 내부 유로의 길이를 2배 이상 늘리고 깊이를 더 깊게 하여 단면적을 넓혀서 열효율을 높이고 편차를 줄인다.

○ 기대 효과 : 수냉각장치의 열효율을 높이고 온도 편차를 줄인다.

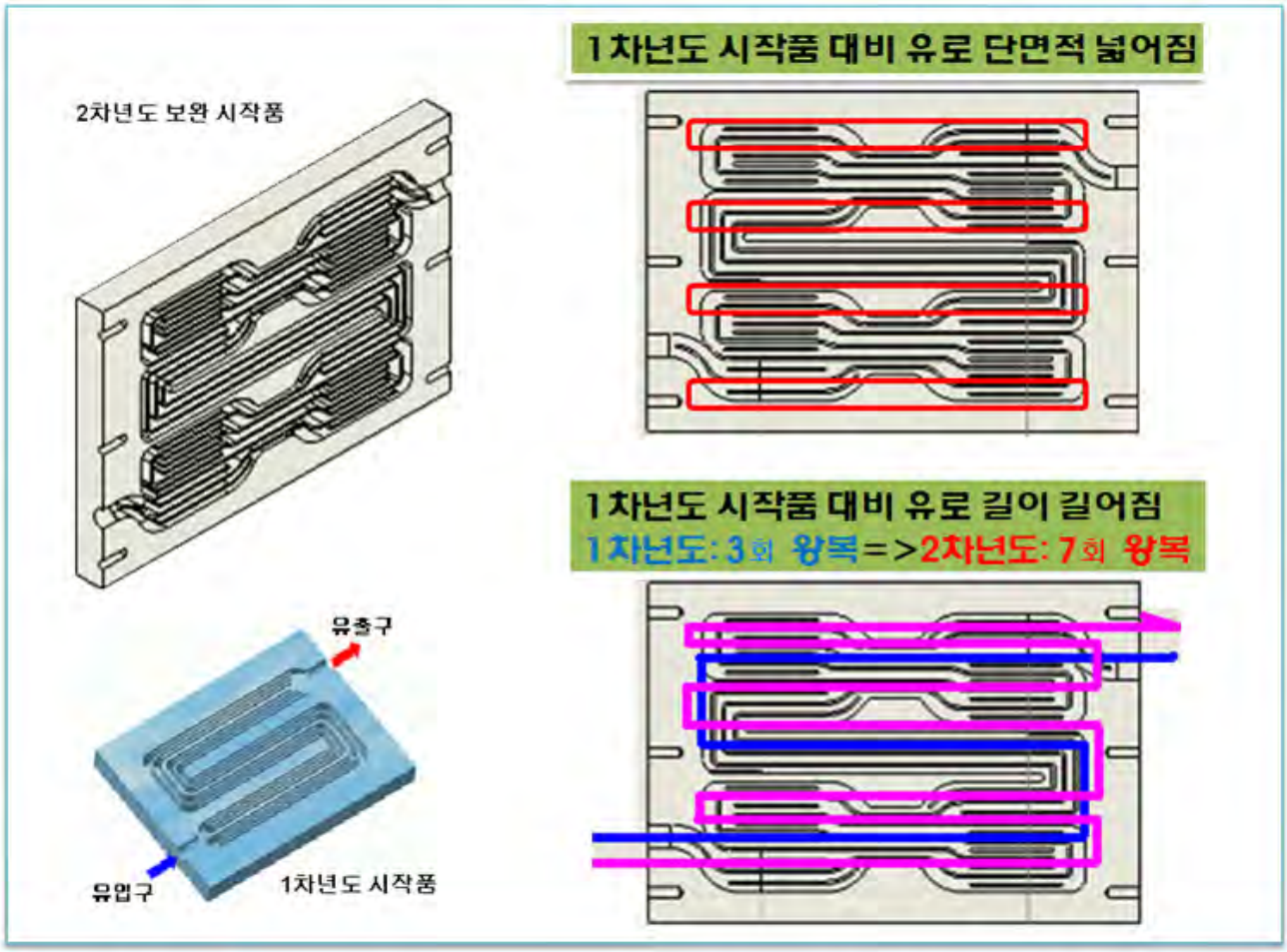


그림 258. 2차년도 시작품 보완 설계 관점

(나) 2차년도 보완 시작품 제작

1차년도 시작품 대비 유로의 면적이 넓어지고 길이도 2배 이상 길어졌으며, 1차년도 시작품 대비 유로의 깊이가 10mm 더 깊어졌다. 30mm에서 40mm로 제작하였다.

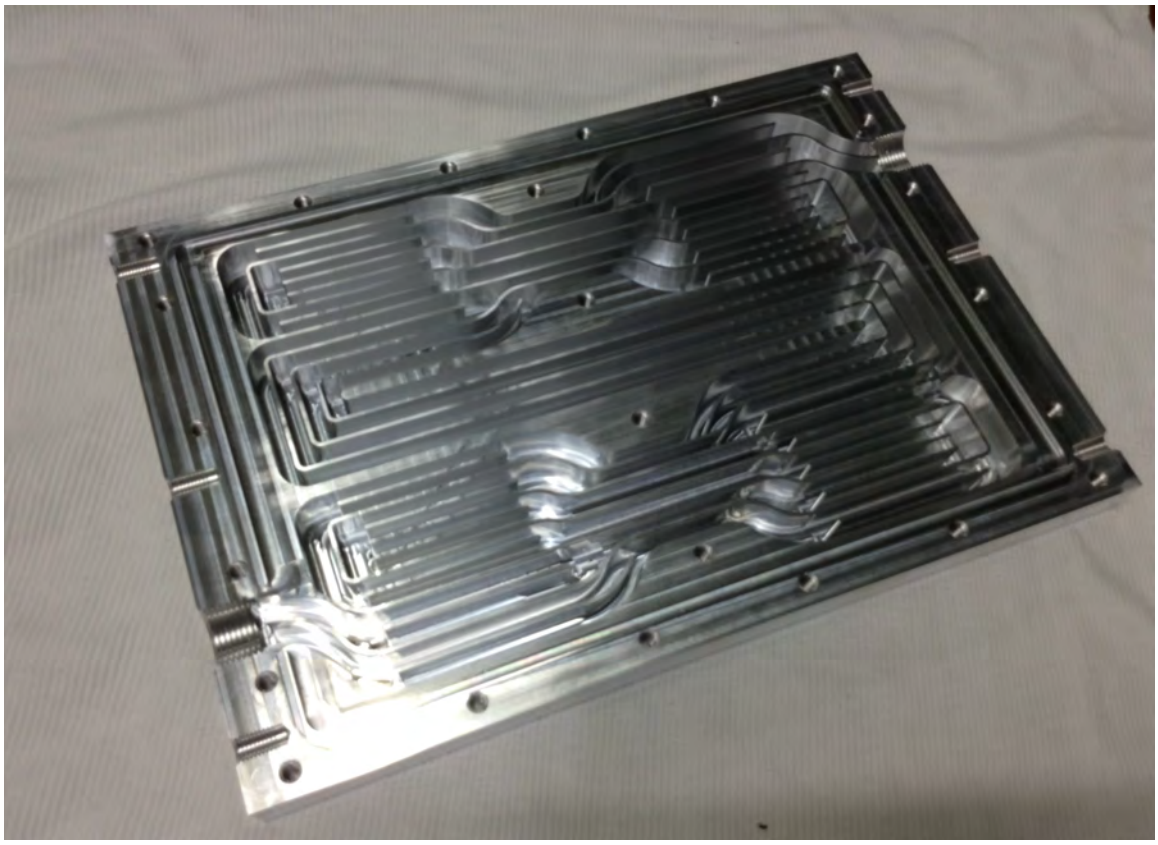


그림 259. IGBT용 수냉각장치 내부 유로

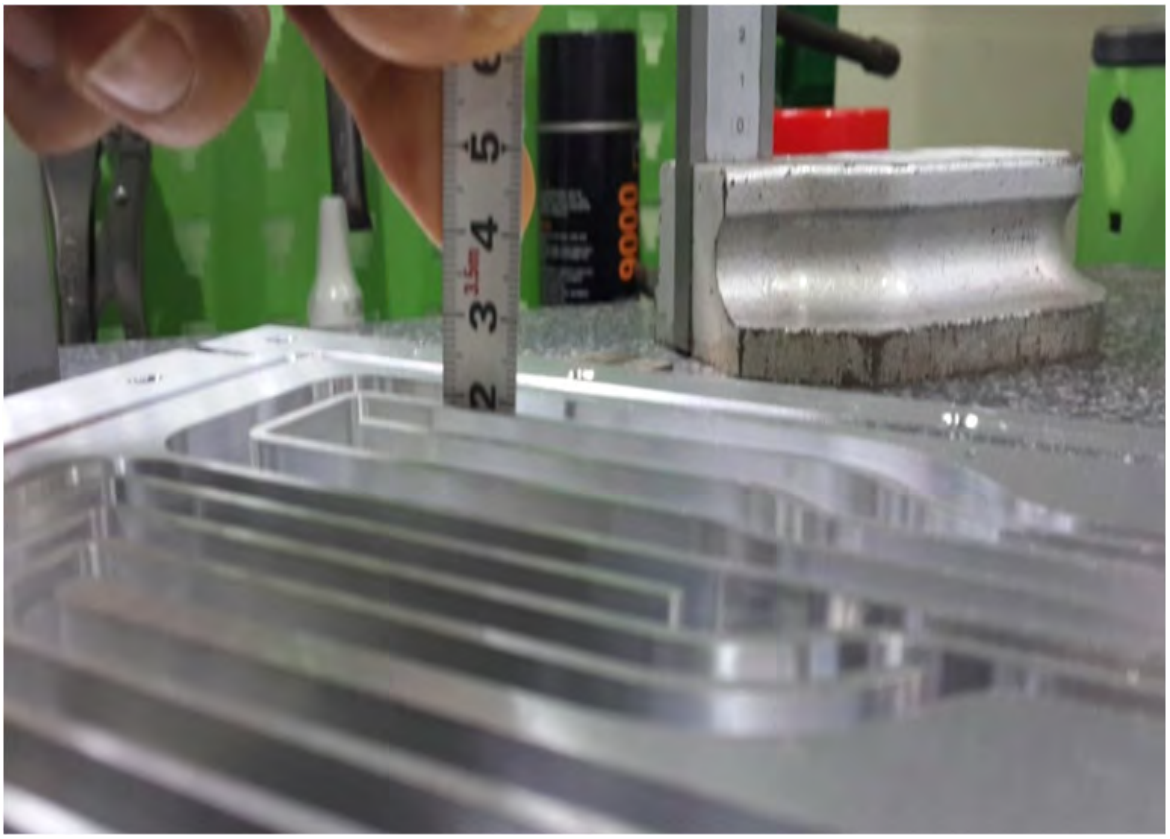


그림 260. 2차년도 시작품 제작 사진 2

(다) 무게 경량화

2013년도 진흥원 현장 점검 시에 지적되었던 무게 경량화에 대하여는 위와 같이 유로를 개선하고 냉각 효율을 높이는 보완 설계를 하는 과정에서 자연스럽게 무게를 줄이는 효과가 나타났다.

10kg 이던 수냉각장치의 무게가 7.5kg으로 줄었다.

(라) 2차년도 시작품 외형

2차년도 시작품의 외형과 크기는 330 x 230 x 50mm로 1차년도와 같다. 좌우측면에 수냉각수 입출구에는 1/2 PT SP Coupler를 사용하였다. 제작업체는 국내 관광정밀과 일본 nitto-kohki이다. 냉각호스의 내경은 Ø19이다. 윗부분에 보이는 구멍은 IGBT 고정홀이며 크기는 M6이다.

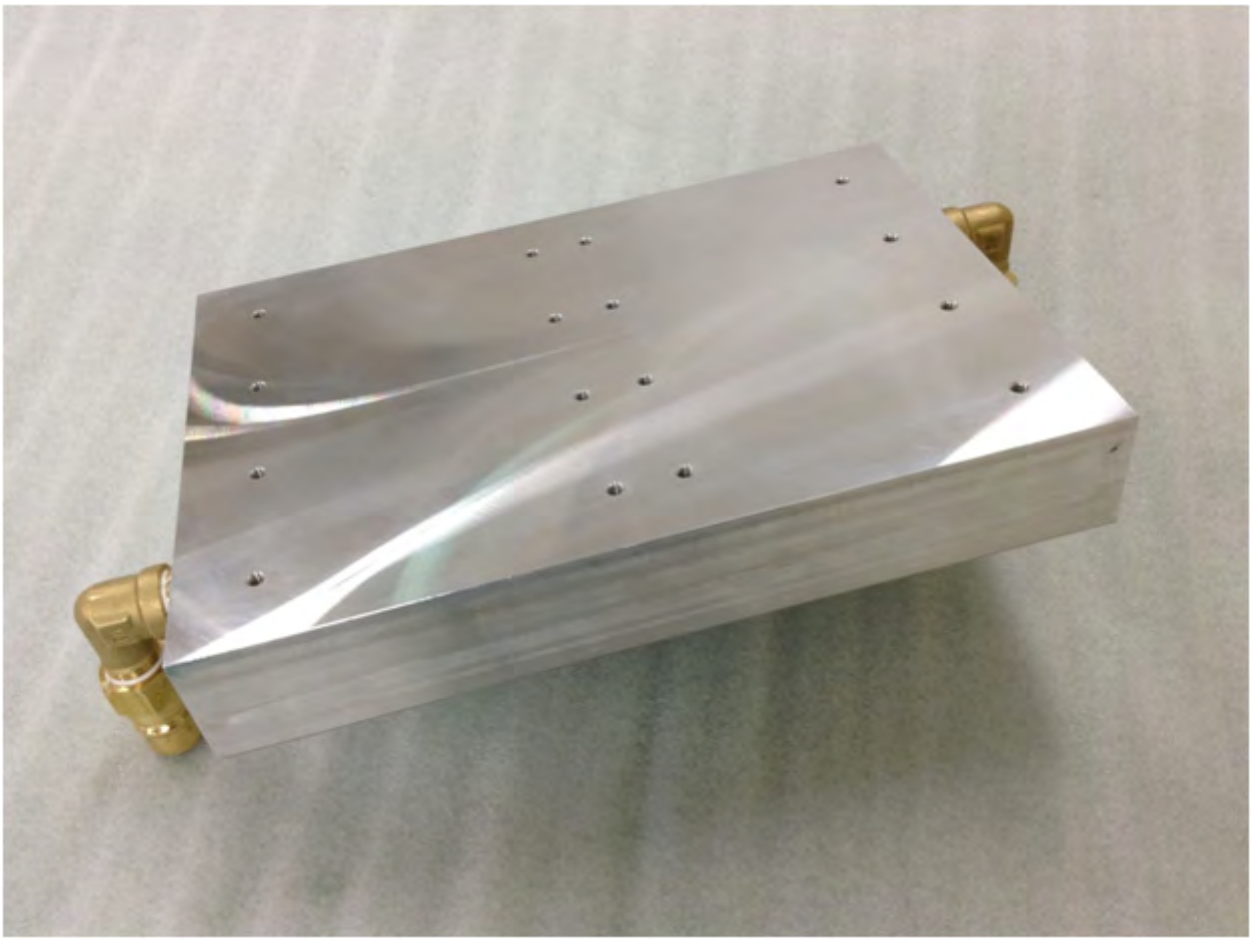


그림 261. 2차년도 시작품 윗면

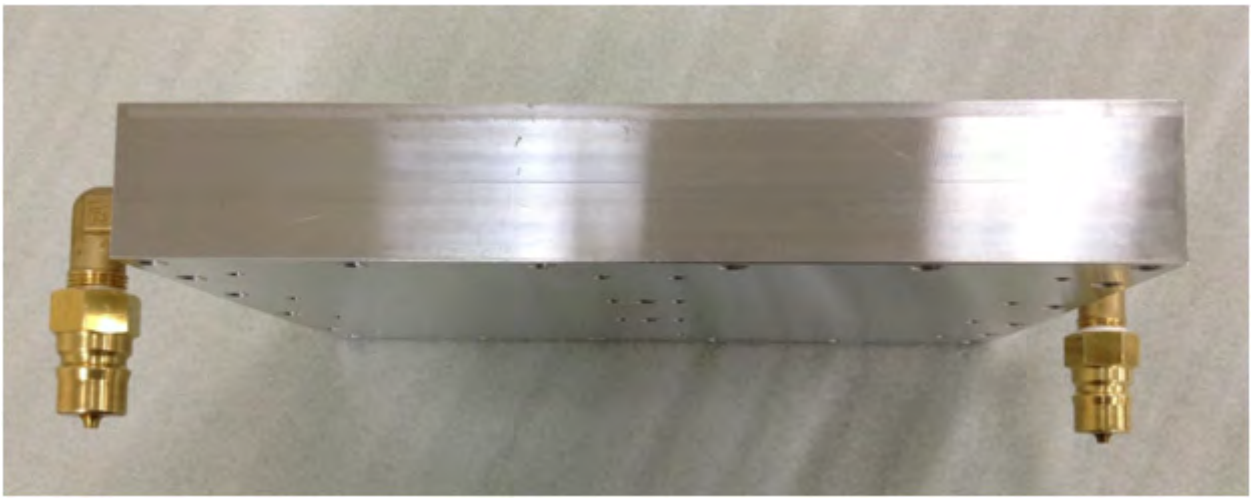


그림 262. 2차년도 시작품 앞면

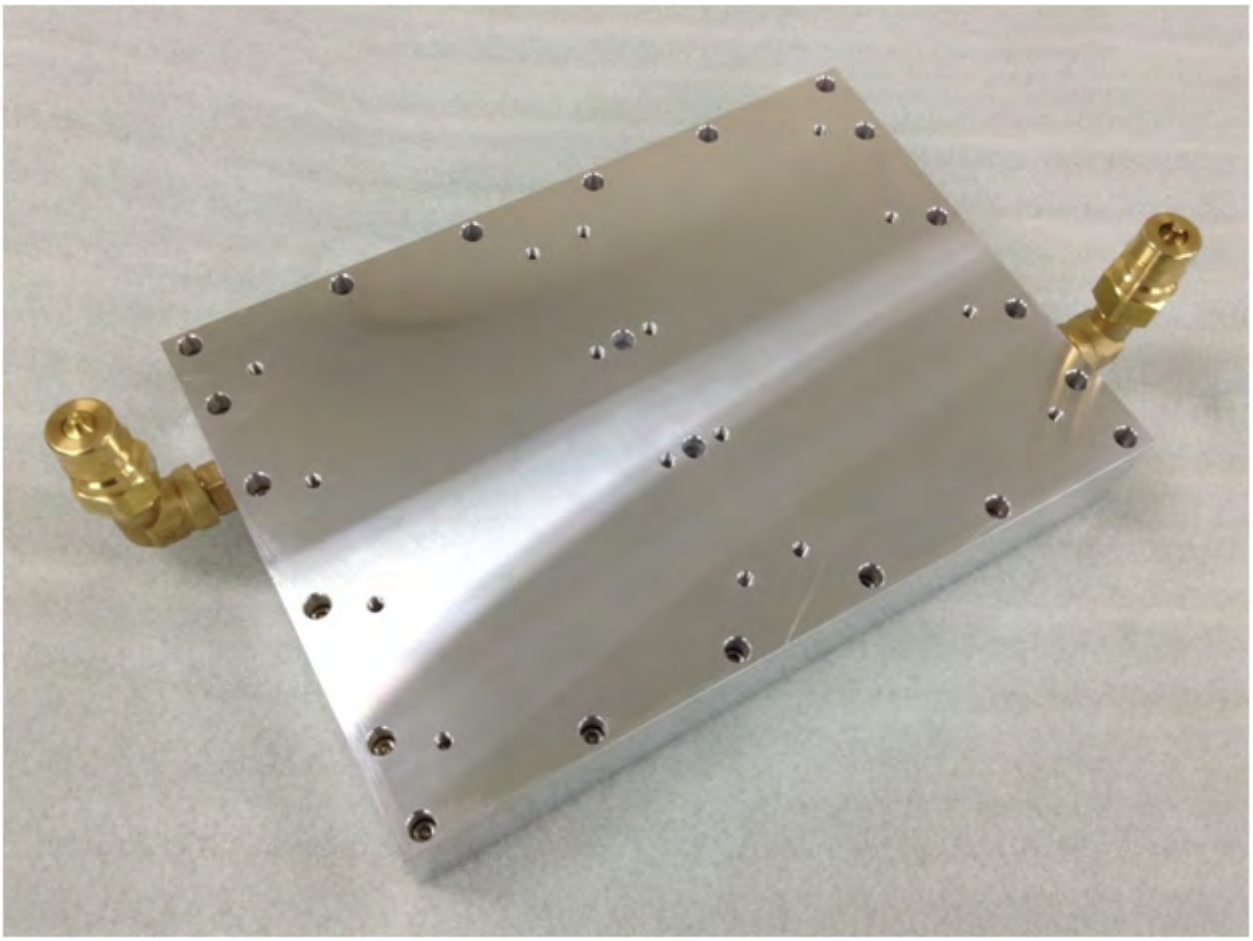
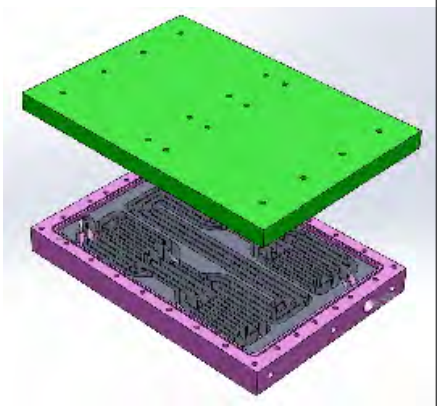


그림 263. 2차년도 시작품 아랫면

1,2차년도 시작품을 제작한 결과 성능에는 문제가 없었다. 다만 제작 시간이 다소 길었다. 1세트를 제작하는데 대략 1일이 소요됐다. 제작의 전 공정을 모두 머시닝센터를 이용한 가공을 하였기 때문이다. 이상의 문제점을 해결하기 위하여 제작 공정을 다음과 같이 간소화 하여 제작 시간과 비용의 문제를 해결했다. 상하 같은 크기의 몸체를 가공하여 서로 접합시키는 구조에서, 몸체의 기본 틀은 다이캐스팅 제조 공법으로 양산하고, 상하 접합부의 면만을 후 가공하는 방식을 택했다. 상하 면 사이에는 오링을 두어 누수를 방지했다. 그러나 다이캐스팅은 시간과 비용의 문제가 있어 실제로 적용하지 않고 검토만 하였다.

표 48. 상하 구조 보완 시작품 제작

항목	공정단순화 시작품 3D	공정단순화 시작품 제작	비 고
		 	

4. TCU용 MVB 통신보드 기술개발

가. TCU용 MVB 통신보드 개요

(1) MVB 통신보드 개발의 정의

(가) 전기기기관차(8200호대) 추진시스템의 TCU와 SIBCOS에 탑재되는 MVB 통신보드를 호환성 있게 개발하여 개발품에 적용할 수 있도록 시작품 개발

(나) 개발된 MVB 통신보드는 TCU와 SIBCOS의 제어기에 탑재되어 운용됨

(2) MVB 통신 프로토콜 분석의 정의

(가) 마스터장치와 개발대상 슬레이브 장치 간의 MVB 통신 분석 기술 확보

(나) 개발대상의 프로토콜을 분석하여 시작품 MVB 통신보드에 적용

(3) 특징

(가) MVB 통신 프로토콜 분석

① 실시간 분석 프로그램 : 분석하고자하는 대상 장치의 포트와 비트단위 데이터의 숨기기 기능을 통해 분석효율 향상

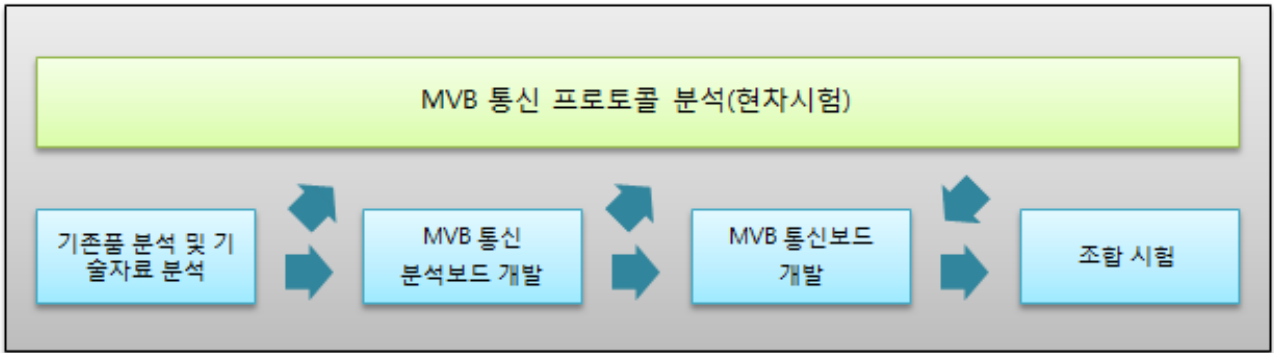
② 로그 프로그램 : 실시간으로 변화하는 데이터의 변화를 인지하지 못하거나 필요에 의해 이전 데이터가 필요할 경우 사용할 수 있음

(나) MVB 통신보드

① 통신 인터페이스 회로 추가로 제어기와의 통신 방식을 선택할 수 있음(RS-232/485)

② 기존품 대비 성능향상

(4) 연구수행 절차



No	연구수행 절차	연구 내용
나.	기존품 분석 및 기술자료 분석	MVB 통신규격, 전기도면, 정비지침서 분석 결과, 주요부품 선정 검토
다.	MVB 통신 프로토콜 분석	MVB 통신 분석보드 제작, MVB 통신 프로토콜 분석 프로그램 작성, 현차시험
라.	MVB 통신보드 개발	TCU 및 SIBCOS용 MVB 통신보드 설계 및 제작, MVB 통신 로직 설계, MVB 통신 펌웨어 작성, MVB 통신 시험기 설계 및 제작, TCU 및 SIBCOS 장치 프로토콜
마.	MVB 통신보드 개발결과	MVB Frame 분석, MVB Master 로직 구현, TCU 및 SIBCOS MVB 통신포트 검색, 현차시험을 통한 MVB 통신 프로토콜 분석

나. 기존품 분석 및 기술자료 분석

기존품 분석 및 기술자료 분석단계에서는 MVB 통신 프로토콜 분석 및 MVB 통신보드 개발을 위한 기술 자료를 분석하여 주요부품 선정에 대한 기준과 MVB 통신보드 개발조건을 도출하였다. 이러한 자료를 기반으로 최종목표인 MVB 통신보드 개발과 MVB 통신 프로토콜을 분석을 진행한다.

No	항목	연구 내용
나.	기존품 분석 및 기술자료 분석	(1) MVB 통신 규격 (2) 전기도면 (3) 정비지침서 분석 (4) 주요부품 선정 검토

(1) MVB 통신 규격 분석

(가) 목적

표준을 통해, 분석방법 확보 및 통신보드 개발 조건 도출에 있다. 규격에서는 신호 레벨과 주기, 물리적 매체, 데이터 프레임 등에 대해서 정의되어있다. 전기기관차(8200호대)는 MVB 통신 규격에 맞게 구현된 차량 내 통신 네트워크로 구성되어 있다. 실제차량에서 규격에서 정의된 내용과 일치여부와 다른 점이 있다면 비교하여 분석과 적용이 요구되기 때문에 정밀한 분석이 필요하다.

(나) 분석내용

① 이 규격은 IEC(International Electrotechnical Commission)와 UIC 위원으로 구성된 Working Group 22(WG22)에서 차량내의 부속 기기인 추진, 제동, 서비스 기기 및 출입문 제어 또는 차량 간의 프로그래밍이 가능한 기기들을 연결하기 위한 TCN(Train Communication Network)을 정의하고 표준안을 1999년에 IEC 61375로 표준화 하였다. TCN은 차량 간 통신(WTB), 차량 내 통신(MVB)로 구성된다.

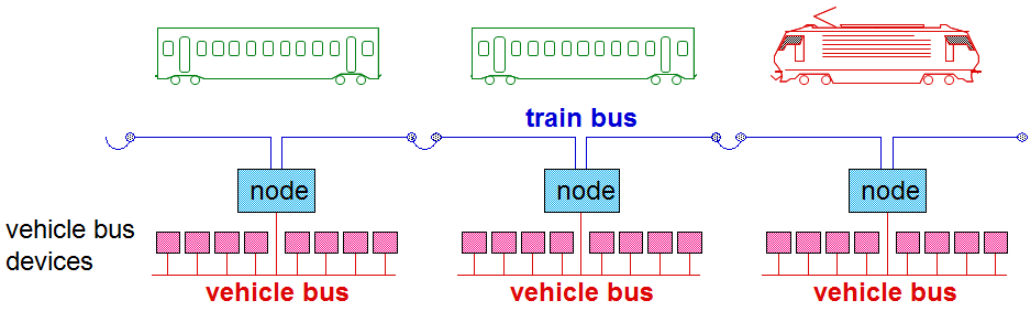


그림 264. TCN 구성

② 대상차량에 적용된 MVB에는 물리적인 통신은 RS-485를 사용하며, EMD(Shielded, twisted wires with transformer coupling)를 사용하고 있다. 인터페이스는 안정성을 위해 통신포트가 이중화 되어있으며, 병렬로 병결되어있다. 네트워크에 접속은 고속 트랜스를 사용하며, 해당 장치가 고장과 같은 상황에서도 네트워크에 영향을 주지 않도록 설계된다.

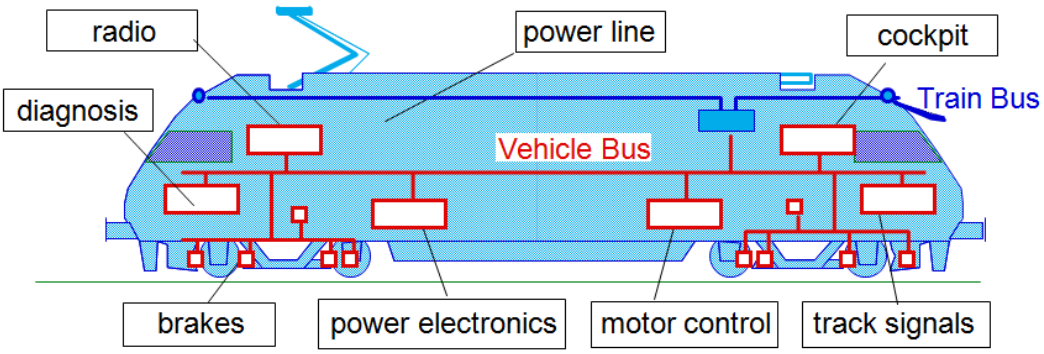


그림 265. MVB 통신 기본구성

표 49. MVB Standard Specification

No	Item	Description	Note
1	Data rate	1,500,000 Bits/Second	
2	Delay	0,0001 Second	
3	Medium	Twisted wire pair, optical fibres	
4	Number of stations	Up to 255 programmable stations	
		Up to 4095 simple sensors/actuators	
5	Status	〉600 vehicles in service in 1998	

③ EMD MVB Interface부분은 두 개의 라인을 연결하기 위해 두 개의 커넥터를 사용한다. 커넥터의 종류는 Dsub 9 핀의 Female과 Male 타입이다.

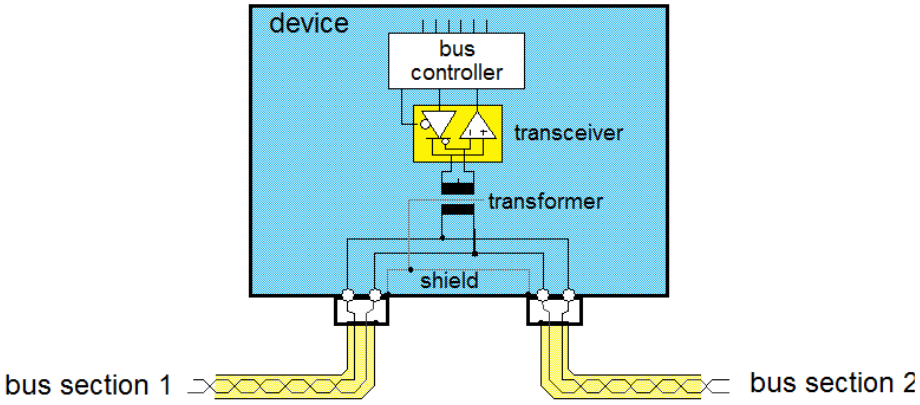


그림 266. EMD(Electrical Medium Distance)

④ 커넥터 뒤에는 TransceiverA와 TransceiverB가 있으며, 고속 트랜스를 사용하여 MVB 통신에 있어서 해당 장치의 접속이 끊어지더라도 MVB 통신 전체가 끊어 지지 않도록 구성된다.

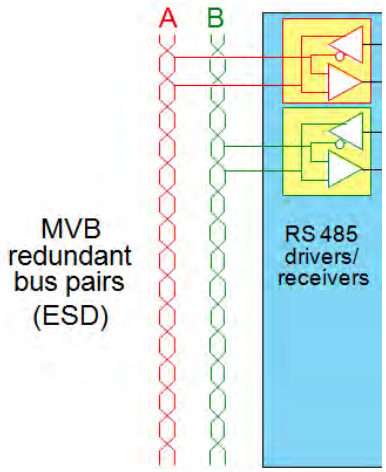


그림 267. MVB 라인과 장치접속

⑤ 장치 클레스는 Class1에서 Class5까지 있다. MVB Class1 Device는 센서 또는 엑츄에이터에 간단하게 연결한다. 마이크로 컨트롤러를 필요로 하지 않고 메시지 데이터 통신에 관여하지 않고 버스 컨트롤러에 입력과 출력 버스를 관리한다.

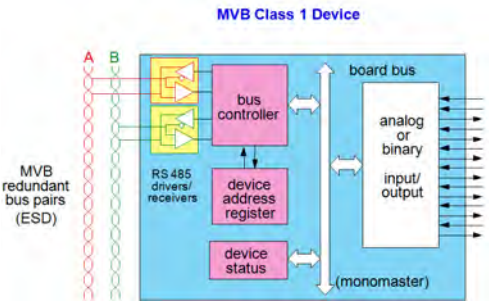


그림 268. MVB Class 1 Device

⑥ MVB Class2-3 Device는 프로세서가 메시지를 교환 할 수 있다. 프로그램 되지 않은 I/O 장치를 구성 할 수 있다. 버스 컨트롤러는 일반적으로 256포트를 보유하고 있다. 메모리를 통해 애플리케이션 프로세서, 트래픽 스토어와 통신한다.

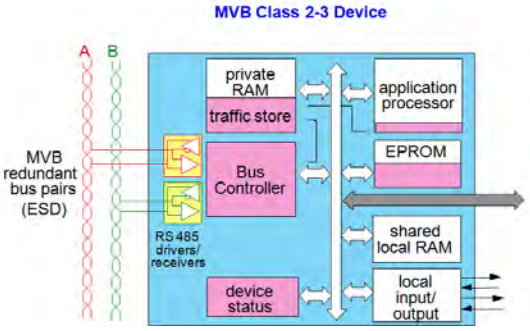


그림 269. MVB Classs 2-3 Device

⑦ MVB Class4 Device는 프로그래밍과 테스트 스테이션의 기능을 제공, 데이터 버스를 관리 할 수 있다. 다른 장치의 상태를 읽을 수 있고 구성을 감독할 수 있다. 많은 수의 포트를 가지고, 다른 장치의 프로세스 데이터 전송을 감시 할 수 있다.

⑧ Class5 Device는 여러 링크 계층의 게이트웨이다. 장치 클래스는 하드웨어 구조에 의해 구별한다.

⑨ MVB 데이터는 Manchester Encoding을 하여 통신을 한다.

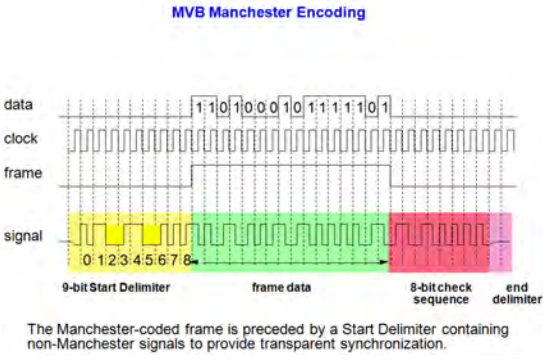


그림 270. MVB Manchester Encoding

⑩ MVB 통신 데이터를 분석하기 위해서는 Manchester Encoding 된 데이터를 Decoding해야 한다.

⑪ MVB Frames Formats은 마스터에 의해 발생된 마스터 프레임과 마스터 프레임에 대한 응답으로 회신하는 슬레이브 프레임 두 가지로 구별 가능하다.

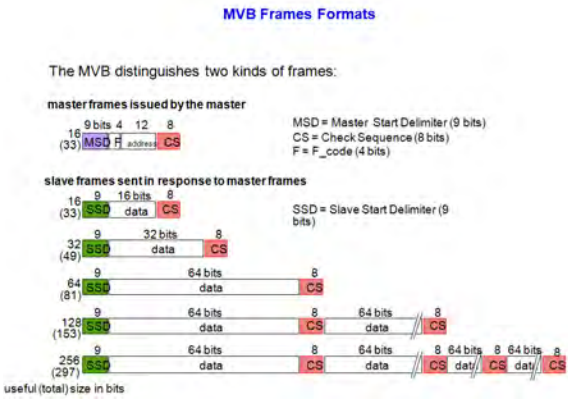


그림 271. MVB Frames Formats

⑫ 마스터프레임은 F_code와 주소를 포함하고 있으며, F_code의 크기는 4bit, 주소는 12bit로 주기적으로 폴링한다. F_code의 값에 따라 응답 데이터의 길이는 가변적이다. 마스터 신호에 슬레이브 장치 주소가 일치하면 응답한다.

⑬ 응답하는 슬레이브 장치의 프레임은 마스터프레임에서 정의한 하나의 장치가 소스로 등록이 되고, 데이터 사이즈는 16 bit, 32 bit, 64 bit, 128 bit, 256 bit의 크기로 구분된다. 응답 데이터는 싱크 등록된 모든 장치에서 참조하게 된다.

⑭ F_code에 따라 모든 장치 또는 하나의 장치 등의 장치 주소를 가지고 메시지 데이터, 그룹 이벤트, 싱글 이벤트 등의 의미를 가진다.

MVB F_code Summary

Master Frame			Slave Frame			
F_code	address	request	source	size	response	destination
0				16		
1			single	32		all
2	logical	Process_Data	device	64	Process_Data	devices
3			subscribed	128	(application	subscribed
4			as	256	-dependent)	as
5		reserved	source	-		sink
6		reserved		-		
7		reserved		-		
8	all devices	Master_Transfer	Master	16	Master_Transfer	Master
9	device	General_Event	>= 1devices	16	Event_Identifier	Master
10	device	reserved	-	-		
11	device	reserved	-	-		
12	device	Message_Data	single device	256	Message_Data	selected device
13	group	Group_Event	>= 1devices	16	Event_Identifier	Master
14	device	Single_Event	single device	16	Event_Identifier	Master
15	device	Device_Status	single device	16	Device_Status	Master or monitor

그림 272. MVB F_code

⑮ MVB 통신의 주기는 그림과 같다. 마스터장치가 주기적으로 장치에 대한 상태와 이벤트와 같은 응답을 요청하고 해당하는 슬레이브 장치는 이에 응답을 한다.

⑯ 각 구간에 따라 마스터프레임을 포함한 슬레이브 데이터의 내용이 달라진다.

⑰ 가이드 구간을 포함한 4개의 구간을 기본 주기로 가지며 마스터는 실시간으로 폴링한다.

여기서 실시간이란 하나의 마스터의 요청에 대한 슬레이브의 응답 시간이 4us 이내라는 것을 의미한다.

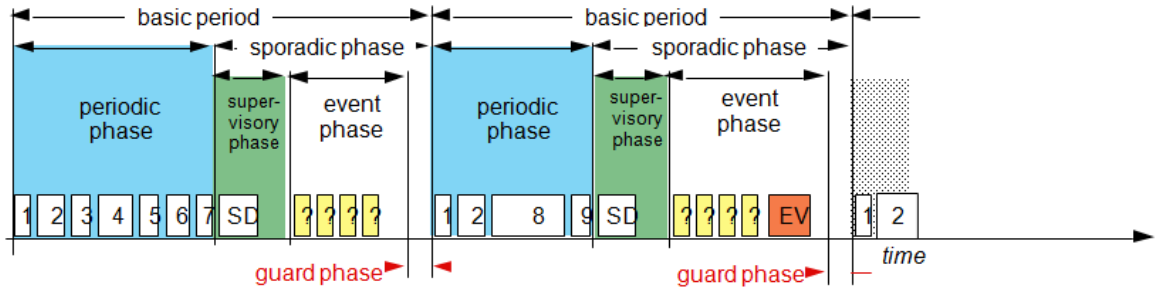


그림 273. MVB 통신 주기

(2) 전기도면 분석

(가) 목적

정비지침서 분석을 통해 기존 차량의 구성 및 결선을 파악하는 데 목적이 있다. 부가적으로 분석 포인트를 확보할 수 있었다. 또한 마스터장치(CCU)와 각 슬레이브 장치의 결선을 확인하여 MVB 통신포트 검색을 할 수 있었다.

(나) 내용

전기도면에는 장치간의 결선과 핀의 기능에 대해서 기술하고 있다. 전기기관차(8200호대) 전체 구성을 파악할 수 있으며, 장치간의 결선을 파악할 수 있다.

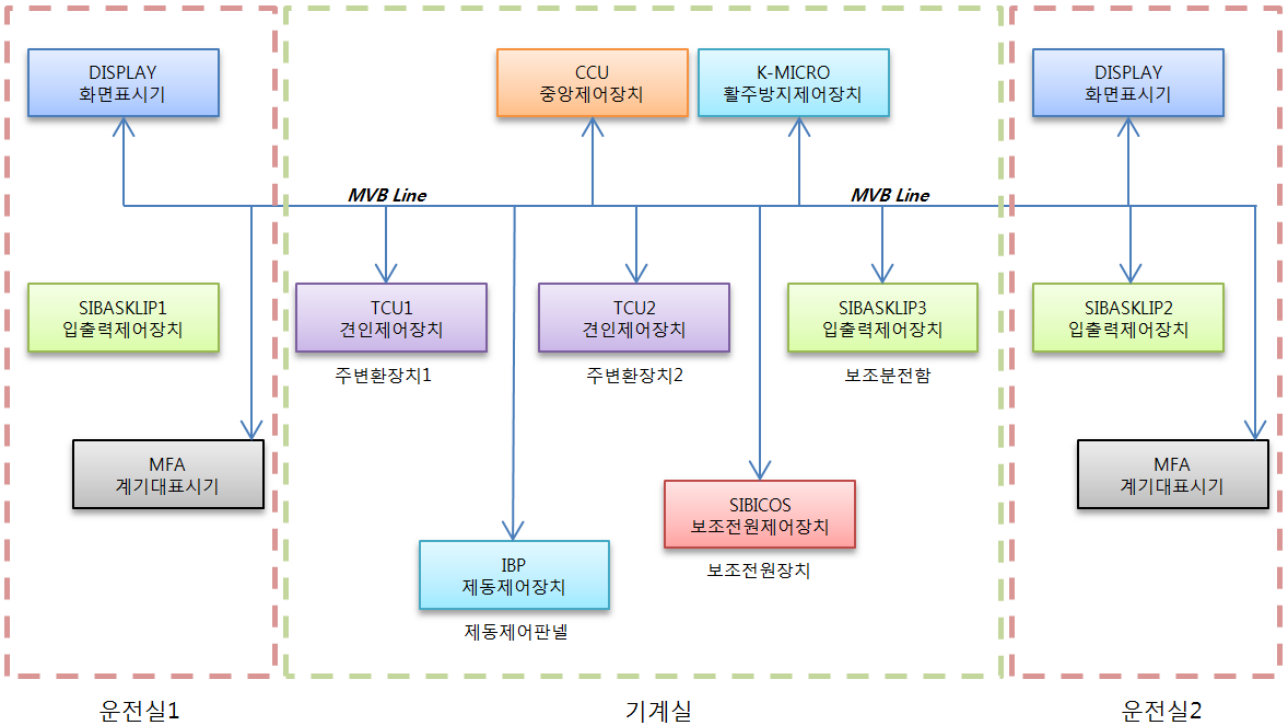


그림 274.기관차 제어의 구조

TCU1/TUC2의 코딩핀과 MVB 통신보드의 결선 및 핀의 기능을 도면을 통해 확인하였으며, 현차시험에서 핀의 기능을 확인하였다.

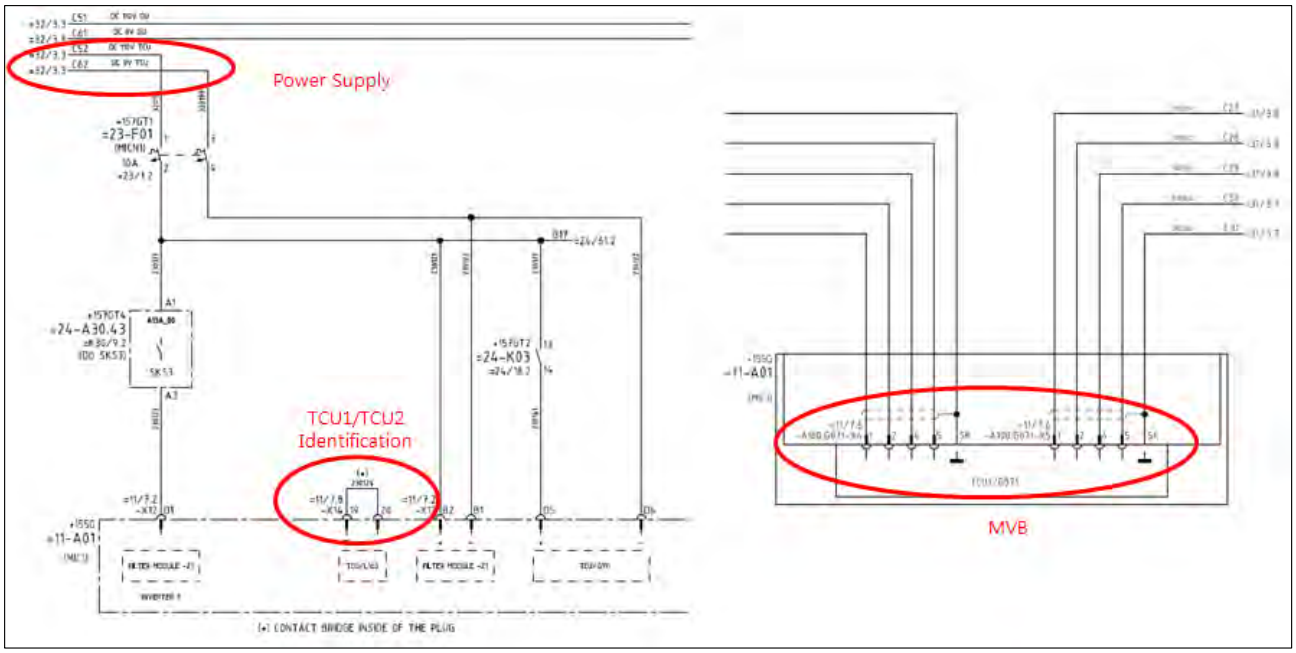


그림 275. TCU1과 TCU2를 설정하는 커넥터(X14)

전기도면 분석을 통해 각 장치의 결선을 파악하였으며, MVB 통신포트 검색에 활용하였다.

(3) 정비지침서 분석

(가) 목적

정비지침서는 전기기관차(8200호대)의 일반적인 설명부터 장치별 설명까지 상세하게 기록되어 있다. 본 과제에서는 개발 대상 장치의 기능을 분석하여 현차시험 시나리오를 작성, MVB 통신 분석보드를 활용하여 기능에 따른 MVB 통신 프로토콜을 분석하는데 활용하였다.

(나) 내용

① 열차 제어 시스템(Train Control System) 구성

한 차량 내의 제어장치들은 차내 통신망(MVB, Multifunction Vehicle Bus)을 통해 정보 전송이 상호 교환된다. 다른 편성 차량과 연결되는 경우에도 열차 통신망(MVB)에 의해 차량 사이의 정보교환이 이루어진다. 또한 보조 전원장치 등과 같은 부속 시스템 및 구성품 들은 MVB를 통해 접속될 수 있다. 열차제어 시스템의 예는 다음과 같다.

㉮ 주간제어기의 운전/제동 레버의 움직임에 따라 주어지는 운전지령은 KLIP Station에 디지털로 입력된다. 이 신호는 MVB를 통해 CCU로 전송된다.

㉯ CCU는 연동 기능에 의해서 주공기 압력을 올리는 등의 운전 지령을 가능케 한다. (이것 또한 KLIP에서 검지된다.) 운전 지령은 MVB를 통해 TCU와 BCU로 전송된다.

㉰ TCU는 허가된 운전 지령에 따라서 참조된 견인력 값으로 연속적인 추진 장치는 폐쇄 루프 제어에 의해 차량을 움직이기 시작한다. 추진 장치는 TCU에 의해 감시되어질 것이며, 고장이 발생한 경우 모든 자세한 정보가 TCU로 저장되며 고장 메시지는 차량의 고장정보를 유지보수 요원의 이해를 위해 CCU내에 저장된다. 하나의 메시지는 MVB를 통해 MMI로 보낸다.

㉲ MMI는 부속장치의 고장정보를 포함하여 운전사에게 고장 메시지와 해당조치를 표시한다.

② 데이터 통신

MVB는 차내의 전자장치를 연결하기 위해 설계되었다. MVB는 차량의 길이에 제한을 받으며 차량의 수만큼 공급된다. MVB는 자동 커플러를 통해 제공되지는 않으며, MVB로 연결되는 장치의 수도 차량구성에 따라 변경되지 않는다.

㉮ MVB 기술 데이터

- MVB는 중거리 전기 통신망(EMDB, Electriacl Middle Distance Bus)으로써 동작한다. 버스상의 데이터는 양방향으로 전송된다. MVB의 전기적 선로(Pair of wires)는 유용성 증대를 위해 이중으로(Redundancy) 되어 있다. 데이터는 2개의 선로를 통해 전송된다. 만약 한 개의 선로가 전송이 실패하더라도 남아있는 선로를 통해 데이터를 전송할 수 있다. MVB 인터페이스 모듈의 임무는 Master의 지정 및 선로의 감시 및 운용이다.
- 주요 기술 데이터는 표와 같다.

표 50. MVB 통신 기술 데이터

항목	내용	비고
형 태 (Topology)	전기적 버스	
길 이 (Length)	200m, 32 units (세그먼트당)	
매 체 (Media)	Shield Twisted Pair (2가닥) 절연 (Transformer)	
Physical Redundancy	Duplicated Physical Meduim (동기화)	
신 호	Manchester Ⅱ, 9-bit Frame Start Delimiter	
신호비(Signalling Rate)	1.5 M bit / sec	
Frame 크기	16, 32, 64, 128, 256 bits	
전송주기	1ms 1024ms (32ms, 64ms, 128ms … 1024ms	
매체할당	한 개의 중앙 통제국(One Centralized Master)	
통제권 이동	각각의 버스로 통제권 지정 신호를 넘겨주며 그 관리자가 차례로 Master가 될 수 있다.	
Traffic	Periodic (주로 프로세서 데이터에 대해) Sporadic (주로 메시지 데이터에 대해) Supervisory (주로 관리 데이터에 대해)	

㉯ 데이터 전송

데이터는 프로그램 되어있는 기본주기로 전송된다. 각각의 기본주기는 하나의 주기를 근거로 데이터 전송을 위한 위상주기(Periodic Phase)로 시작된다. 산발위상(Sporadic Phase)은 그 뒤에 따라오며 여기에서 메시지와 관리 데이터가 요청되면 전송될 수 있다. 경계위상(Guard Phase)은 다음 주기위상의 정확한 출발을 보장한다.

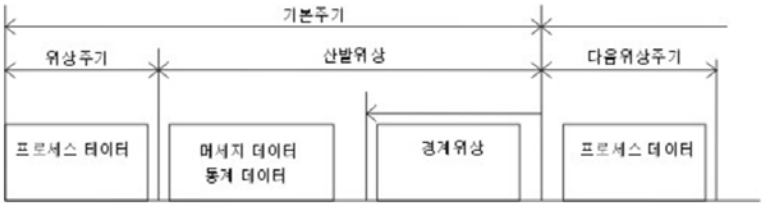


그림 276. MVB 통신 주기

㉰ 프로세스 데이터

- 프로세스 데이터는 주기적으로 전송되며, 다음과 같은 특징을 제공한다.
  - 프로세스 데이터는 32 byte로 구성된다.
  - 시간에 관한 중요한 프로세스 데이터로 주기적으로 전송된다.
  - 하나의 유닛이 데이터의 근간이다.
  - 모든 유닛이 MVB로 접속되어 데이터를 표시할 수 있다.
  - 데이터는 할당된 주소를 갖고 있다.
  - 안전한 전송은 주기적 전송 및 합산 (Check Sum)에 의해 보장된다.

㉱ 메시지 데이터

- 하나의 사건 또는 요청에 의해 간헐적으로 전송되며, 다음과 같은 특징을 제공한다.
- 시간에 대해서는 중요하지 않으며 간헐적으로 메시지 데이터를 전송한다.
- 하나의 유닛이 데이터의 근간이다.
- 하나의 유닛이 데이터의 표시이다.
- 데이터는 할당된 주소를 갖고 있다.
- 전송된 데이터는 수신측에 의해 되돌려져 체크되어야만 한다.
- 요구된 데이터는 임시 메모리버퍼에 대기상태로 저장된다.
- 데이터의 완전한 전송시간은 버스의 부하에 따라 결정된다.

㉲ 통제 데이터

통제 데이터 버스의 제어 및 관리를 위해 요구된다. 이 데이터는 통제권의 지정, 유닛의 상태 및 사건 신호들의 전송을 목적으로 교환된다.

③ 관리

프로젝트의 설계 단계에서 버스를 관리할 구성이 정의된다. 운영규칙에 있어서 CCU는 MVB의 관리자이다. 유용성의 증대를 위해 통제권은 둘 이상의 버스관리자로 나눌 수 있으며, 통제권은 하나의 버스관리자에서 다른 버스관리자로 전송 실패의 경우 수 밀리 초(ms) 내에 이동된다. 각각의 관리자는 다른 버스관리자의 정보 리스트를 가지고 있다.

④ 고장 검지

데이터 전송실패의 경우(전송된 데이터)는 분석되지 않는다. 감시 소프트웨어는 재조치로 상태 준비된다. 프로세스 데이터의 전송 중에 약간의 작은 신호간섭이 발생되면 시스템은 다음 전문을 받도록 계속 운용된다. 메시지 데이터의 전문의 전송실패의 경우 데이터는 재요청된다. 기본주기에 선택된 시간은 차내 전기 회로 제어기능의 응답시간과 비교한다. 단일 프로세스 데이터 전문의 신호 간섭은 회로의 제어 기능상에 커다란 영향을 주지 않는다.

⑤ 백업 레벨

MVB의 두 개 선로상에 데이터 전문은 동일한 데이터로서 감시된다. 한쪽 선로의 통신 실패의 경우 데이터는 운용 가능한 다른 선로를 통해 전송된다. 한 버스상의 통제 감시 장치가 실패할 경우 다른 장치가 통제 기능을 담당할 것이다. 만약 CCU가 통제 기능을 잃는다면 감시기능은 TCU로 넘어간다. 운전 제동 등과 같은 필수요소는 차량이 축소 운용 상태로 TCU에 제공된다. 감속상태로 차량이 움직임에 따라 선로는 정리될 수 있다.

⑥ MVB 인터페이스 모듈

TCU와 CCU에 설치되어 있는 MVB 인터페이스 모듈은 “Class 4 Device” (EIC)로 불린다. 이 버스는 CCU내의 통제권을 갖는 하나의 장치(=인터페이스 모듈)에 의해 제어된다. 다른 모든 장치는(=인터페이스 모듈) 통제 기능이 없는 장치이다. 각 MVB 인터페이스 모듈은 통제기능을 실행하는데 충분하다. 버스 제어 장치는 프로세스 데이터, 기기 상태, 메시지 데이터 등을 통신할 수 있다. 이 장치는 통신망 운영 서비스를 지원한다. 각 인터페이스 모듈은 SIBCAS 장치 내에 장착되기 위하여 3I x 160mm (IEC 571)의 표준 크기를 갖고 있다. MVB의 전선을 결선시키기 위해 앞쪽에 9- ploe SUB - D 사다리꼴 플러그를 제공한다.

항목	내용	비고
인터페이스 MVB	Connector 2 x 9 pole SUB-D (Female)	
DPRAM	16Kbyte	
RAM	2 x 256 Kbyte	
Flash EPROM	2 x 256 Kbyte	

(다) 정비지침서을 통해 현차시험 시 장치의 구성을 분석하고 MVB 통신 프로토콜 분석을 위한 측정 포인트에 대한 선정과 검증을 수행 할 수 있었다.

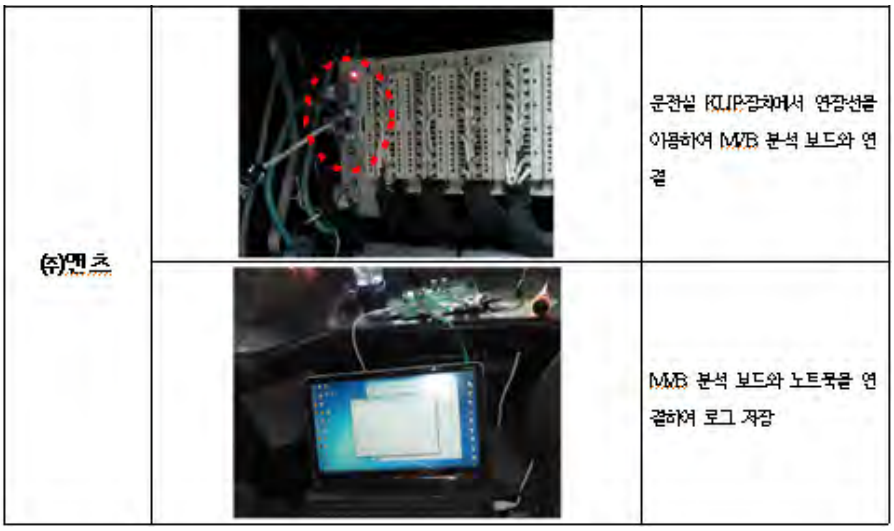


그림 277. 현차 분석시험 계획(안) 중 측정포인트

(4) 주요부품 선정 검토

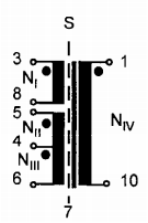
(가) T60403-Y4021-X123(MVB 통신용 고속 트랜스포머)

① 사양

㉮ Product Category : Transformers Audio & Signal

㉯ Operating Temperature Range : -40℃ ~ +85℃

㉰ Inductance : 4.6mH

㉱ 

R_{cuI} = 370mΩ, R_{cuII} = R_{cuIII} = 200mΩ, R_{cuIV} = 180mΩ

② 선정조건

No	조건
1	MVB 통신은 송·수신이 되는 동시에 가능한 고속의 트랜스포머 필요
2	MVB 통신 표준을 따르는 장치와의 호환성 필요

(나) STM32 (32bit ARM MCU)

① 사양

㉮ Core: ARM 32-bit CortexTM-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART AcceleratorTM) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 168 MHz, memory protection unit, 210 DMIPS/ 1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1), and DSP instructions

㉯ Memories

No	Description
1	Up to 1 Mbyte of Flash memory
2	Up to 192+4 Kbytes of SRAM including 64-Kbyte of CCM (core coupled memory) data RAM
3	Flexible static memory controller supporting Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories

㉰ Clock, reset and supply management

㉱

㉲ Low power

㉳ 3x12-bit, 2.4 MSPS A/D converters: up to 24 channels and 7.2 MSPS in triple interleaved mode

㉴ 2x12-bit D/A converters

㉵ General-purpose DMA: 16-stream DMA controller with FIFOs and burst support

㉶ Up to 17 timers

㉦ Debug mode

No	Description
1	Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
2	Cortex-M4 Embedded Trace Macrocell™

㉧ Up to 140 I/O ports with interrupt capability

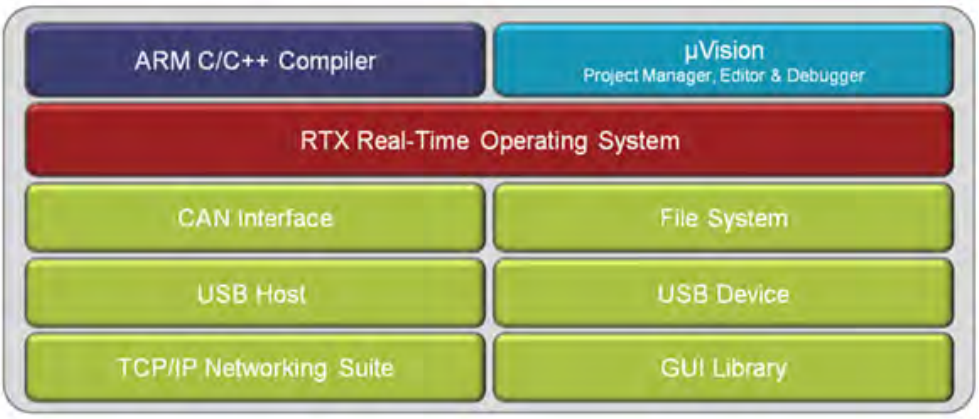
No	Description
1	Up to 136 fast I/Os up to 84 MHz
2	Up to 138 5 V-tolerant I/Os

㉨ Up to 15 communication interfaces

No	Description
1	Up to 3 x I2C interfaces (SMBus/PMBus)
2	Up to 4 USARTs/2 UARTs (10.5 Mbit/s, ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control)
3	Up to 3 SPIs (42 Mbits/s), 2 with muxed full-duplex I2S to achieve audio class accuracy via internal audio PLL or external clock
4	2 x CAN interfaces (2.0B Active)
5	SDIO interface

㉩ Advanced connectivity

No	Description
1	USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
2	USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG controller with dedicated DMA, on-chip full-speed PHY and ULPI
3	10/100 Ethernet MAC with dedicated DMA: supports IEEE 1588v2 hardware, MII/RMII



출처 : www.keil.com

② 선정조건

No	조건
1	1.5Mbps 속도의 MVB 통신 처리를 위해 고속 MCU가 필요
2	모니터링 및 분석을 위해 외부장치와 고속 통신 필요

③ 개발 Tool

Keil-MDK에서 제공하는 RTOS를 이용하여 개발(RL-ARM)

(다) Altera Cycline3 FPGA

① 사양

㉮ High memory-to-logic and multiplier-to-logic ratio

㉯ High I/O count, low-and mid-range density devices for user I/O constrained applications

㉰ Four phase-locked loops (PLLs) per device provide robust clock management and synthesis for device clock management, external system clock management, and I/O interfaces

㉱ Five outputs per PLL

㉲ Nios® II embedded processor for Cyclone III device family, offering low cost and custom-fit embedded processing solutions

㉳ Wide collection of pre-built and verified IP cores from Altera and Altera Megafunction Partners Program (AMPP) partners

Table 1–1. Cyclone III Device Family Features

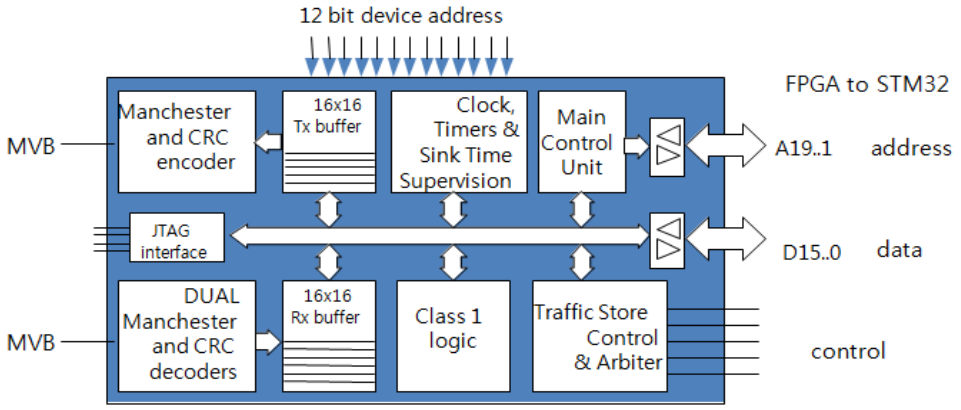
Family	Device	Logic Elements	Number of M9K Blocks	Total RAM Bits	18 x 18 Multipliers	PLLs	Global Clock Networks	Maximum User I/Os
Cyclone III	EP3C5	5,136	46	423,936	23	2	10	182
	EP3C10	10,320	46	423,936	23	2	10	182
	EP3C16	15,408	56	516,096	56	4	20	346
	EP3C25	24,624	66	608,256	66	4	20	215
	EP3C40	39,600	126	1,161,216	126	4	20	535
	EP3C55	55,856	260	2,396,160	156	4	20	377
	EP3C80	81,264	305	2,810,880	244	4	20	429
	EP3C120	119,088	432	3,981,312	288	4	20	531
Cyclone III LS	EP3CLS70	70,208	333	3,068,928	200	4	20	429
	EP3CLS100	100,448	483	4,451,328	276	4	20	429
	EP3CLS150	150,848	666	6,137,856	320	4	20	429
	EP3CLS200	198,464	891	8,211,456	396	4	20	429

② 선정조건

No	조건
1	Lowest power, high functionality FPGA with the lowest cost
2	모니터링 및 분석을 위해 외부장치와 고속 통신이 필요
3	하단의 블록도와 같은 다양한 기능 구현을 위한 용도로 최적

③ 개발 Tool

Altera에서 제공하는 Quartus2를 이용하여 개발



(라) SRAM (Traffic Store)

① 사양

㉮ High-speed access times: 8, 10, 20 ns

㉯ High-performance, low-power CMOS process

㉰ Easy memory expansion with CE and OE options

㉱ CE power-down

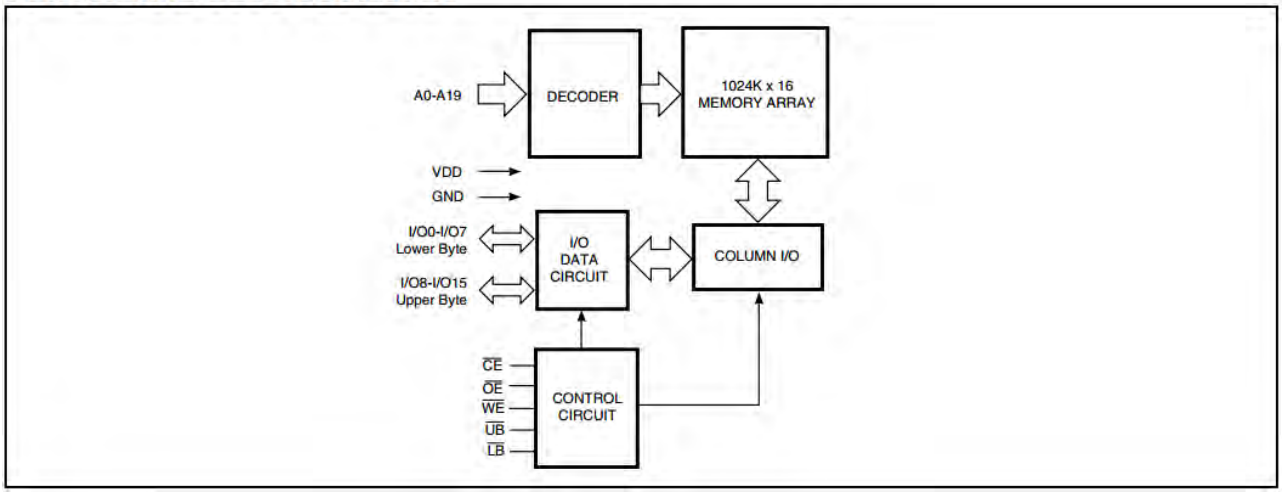
㉲ Fully static operation: no clock or refresh required

㉳ TTL compatible inputs and outputs

㉴ Industrial and AutomotiveTemperature Support

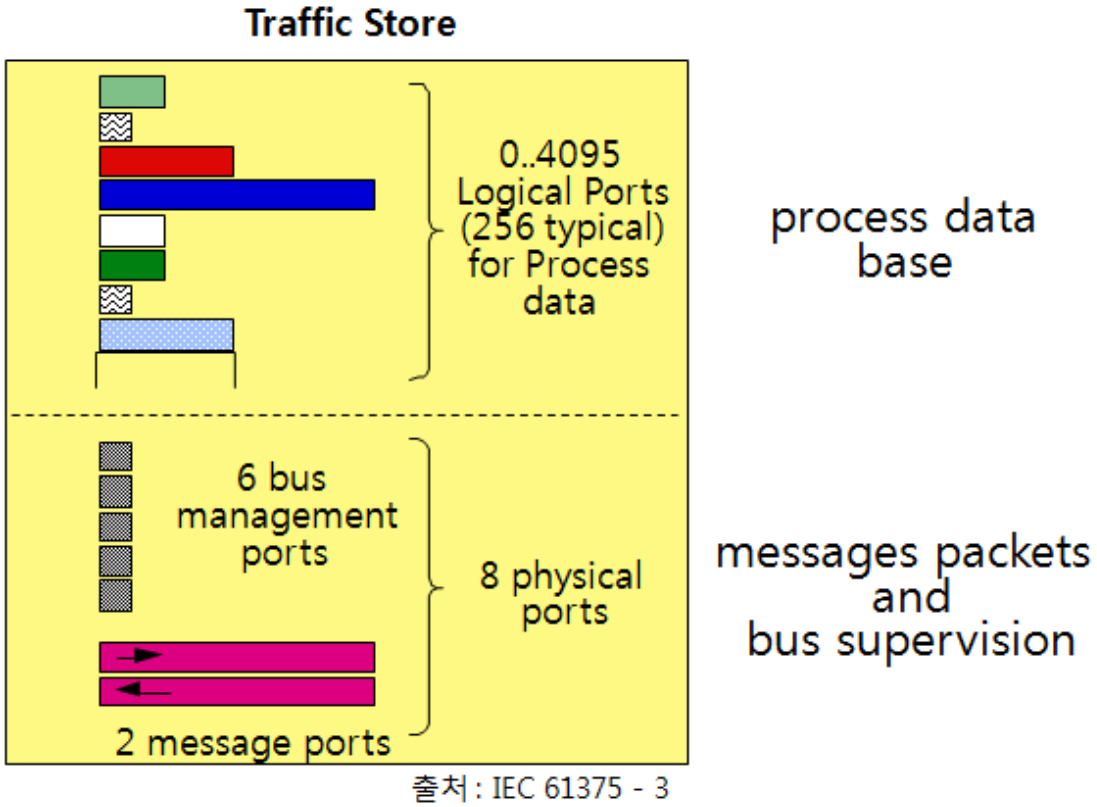
㉵ Data control for upper and lower bytes

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



② 선정조건

No	조건
1	MVB Memory = 4,096(Address) X 256 bit = 1Mbit이상 필요



출처 : IEC 61375 - 3

③ FPGA를 통해 I/O 제어

다. MVB 통신 프로토콜 분석

No	항목	연구 내용
다.	MVB 통신 프로토콜 분석	(1) MVB 통신 분석보드 제작 (2) MVB 통신 프로토콜 분석 프로그램 작성 (3) 현차시험

(1) MVB 통신 분석보드 설계 및 제작

MVB 통신 분석보드는 총 3단계에 걸쳐 제작이 되었으며, 분석 단계별 내용에 맞는 기능을 갖추었다. 분석 1단계에서는 MVB 통신 신호의 물리적인 정보를 취득하여 규격 및 정비지침서상의 내용과 비교 및 검증하는 것이 목표였으며, 2단계에는 MVB 통신 신호의 부호화되어 있는 데이터를 복호화하여 분석하기 위한 용도의 제작하였다. 3단계에서는 PC와 분석보드 간에 원활한 데이터 처리를 위해 분석보드 내부에 프로세서를 탑재하여 MVB 통신 데이터를 용도에 맞게 취득하고 분석하는 분석프로그램을 탑재하였다.

No	연구내용	세부내용	비 고
다-(1)	MVB 통신 분석보드 제작	(가) MVB 통신 분석보드 V1 설계 및 제작 (나) MVB 통신 분석보드 V2 설계 및 제작 (다) MVB 통신 분석보드 V3 설계 및 제작	

(가) MVB 통신 분석보드 V1

전기기관차(8200호대) MVB 통신 신호를 분석하기 위해 Differential 신호인 MVB 신호를 Single-ended 신호로 변경하여 준다. MVB 통신 신호(IEC 61375 표준)를 분석하기 위해 Logic Analyzer를 통해 시호의 주기와 진폭, Glitch, 통신방법 등 물리적인 내용을 파악한다.

① MVB 통신 분석보드 V1 외형

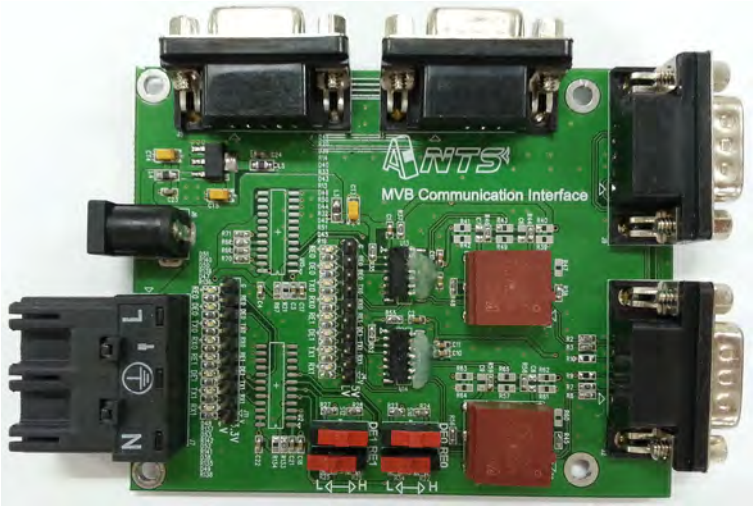


그림 278. MVB 통신 분석보드 V1 실물사진

② 구성도

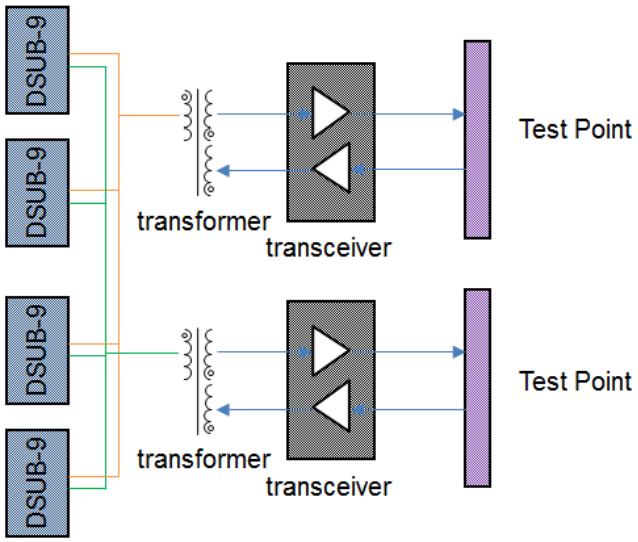


그림 279. MVB 통신 분석보드 V1 구성도

③ Specification

Item	Specification
MVB	DSUB-9pin Connector (male x2, female x2) EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver
Input / Output	5V or 3.3V test point
Power	DC 5V
Dimension (WxDxH)	118 mm X 83 mm X 18 mm

④ 회로설명

㉮ MVB Interface부를 회로로 구현하였다. 전기기관차(8200호대)의 MVB 통신 데이터를 주고 받기위한 회로로써, 해당버전에서는 운전실 KLIP 장치 또는 TCU장치 내 MVB 통신보드에 MVB 포트를 연결하여 Logic Analyzer에 MVB 데이터를 전송하는 역할을 한다.

㉯ MVB 통신 데이터는 D-Sub 9 핀 Female type과 Male type 2개의 포트로 입력을 받고 데이터라인은 T6043-Y4021-X123으로 연결된다. T6043-Y4021-X123는 MVB 통신 용 고속 트랜스이다. MAX3086ESD는 RS-485/422 속도제한 트랜시버이다. 트랜스를 거쳐 MAX3086ESD의 12, 11번 핀으로 차동신호를 입력받고 9, 10번 핀으로 차동신호를 출력한다. 차동신호 입력을 MVB-RX(2pin), MVB-RE(3pin)을 통해 입력받고 MVB-TX(5pin), MVB-DE(4pin)을 통해 차동신호를 출력한다. MAX3086ESD에서 출력된 신호는 1 X 10 핀 헤더를 통해 Logic Analyzer의 Probe와 연결된다. 현차시험을 통해 Interface 부분의 회로 검증을 완료하였다.

㉰ 전기기관차(8200호대) MVB 통신과 IEC 61375-3에 정의된 MVB 신호의 파형, 신호레벨, 주기 등 비교 분석할 수 있는 자료 취득하였다. MVB 통신 데이터의 Manchester Decode를 위한 데이터 분석 자료로써 활용하였다.

⑤ 특징

㉮ 200m의 거리까지 32개의 장치를 연결

㉯ 트랜스포머 방식은 저렴하고, 내성이 높은 절연을 사용

㉰ 표준 120 Ohm 케이블(IEC 1158-2 라인 트랜시버)을 사용

㉱ 2 x 9핀 D-Sub 커넥터 사용

(나) MVB 통신 분석보드 V2

전기기관차(8200호대) MVB 통신 신호를 FPGA를 통해 Manchester Decode하고 PC와 통신 속도를 맞추기 위해 버퍼링하여 전송한다. PC 프로그램에서는 실시간 확인 및 로그 파일을 생성한다.

① MVB 통신 분석보드 V2 외형

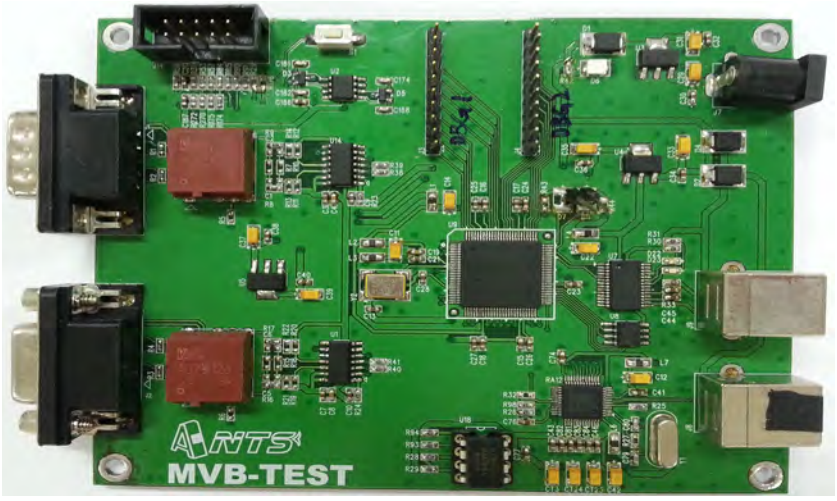


그림 280. MVB 통신 분석보드 V2 실물사진

② 구성도

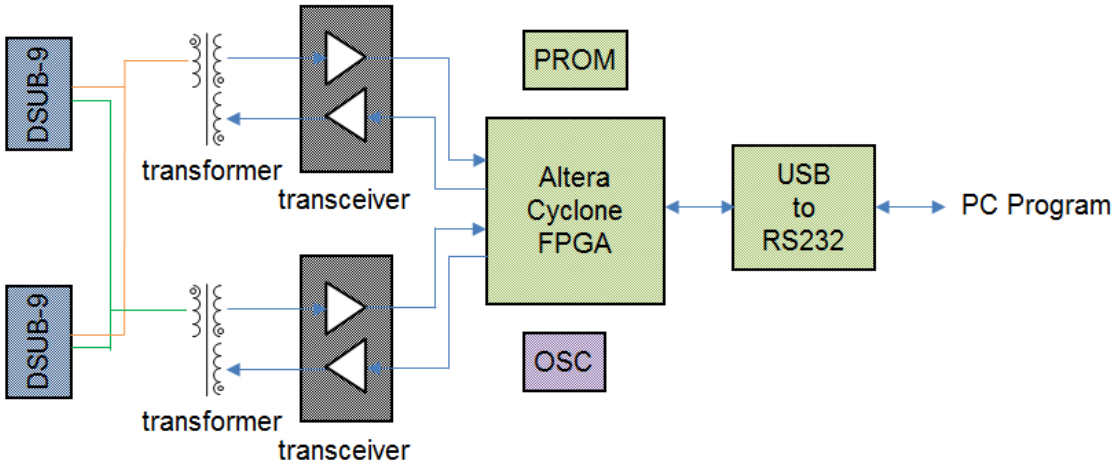


그림 281. MVB 통신 분석보드 V2 구성도

③ Specification

Item	Specification
MVB	DSUB-9pin Connector (male x1, female x1) EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver
Input / Output	USB to RS232
FPGA	EP1C3T100I7N
Power	DC 12V or USB 5V
Dimension (WxDxH)	130 mm X 100 mm X 15 mm

④ 회로설명

㉮ MVB Interface부는 MVB 통신보드 V1과 동일하게 구성하였다. Manchester Decoding 하기 위해 로직을 설계 하였다. FPGA 로직의 주요 기능은 1,500,000 bps의 MVB 신호를 Manchester Decoding하고 내부 FIFO를 이용하여 버퍼링한다. 버퍼링 데이터는 FTDI232RL을 통해 1,152,000 bps로 PC와 통신이 이루어지게 된다. FTDI232RL은 USB to Serial Interface IC이다.

㉯ 입력되는 MVB 데이터를 Master, Slave를 구분하여 PC로 전송하게 된다. 전송 패킷은 Master와 Slave의 정해진 데이터를 먼저 전송 후 데이터를 전송한다.

㉰ Manchester Code

디지털 인코딩의 한 형태인 Manchester code는 신호를 물리 계층에서 전송할 때 쓰이는 방법으로 하나의 비트가 전송될 때, 각 비트타임의 중앙에서 전압의 전이가 발생하는 게 특징이다. 그렇기 때문에 수신자는 이렇게 전달된 신호만을 보고 전송 속도를 알아낼 수 있다. 이는 송신자와 수신자의 동기화를 쉽게 하며, 오류를 줄일 수 있다.

Manchester Code는 '1'과 '0'의 2진 값 각각을 양의 전압 값과 음의 전압 값으로 변환하는 NRZ방식으로 만들어진 신호를, 클록 신호와 XOR연산하여 만들어진다. 결과적으로 '1'은 High-Low로 표현되고, '0'은 Low-High로 표현되는 신호가 만들어진다. 두 배의 대역폭을 사용해야한다. 이러한 맨체스터 코드를 디코딩하기 위해서는 클록 신호와 Manchester Encoding된 신호와 XOR연산하면 된다.

㉲ MVB 통신 규격인 IEC 61375에 정의된 버스 컨트롤러와 입출력제어회로를 검증하였다.

㉳ MVB 통신 분석보드 V2를 통해 Manchester Code를 Decoding하여 PC가 데이터를 전송받을 수 있는 형태로 변환하였다. PC로 전송하는 데이터의 형태는 고속직렬통신 방식을 사용하였다.

㉴ PC로 전송받은 데이터를 Log 파일의 형태로 저장하는 프로그램을 MVB 통신 로그 소프트웨어라고 정의한다.

㉵ PC로 전송받은 데이터를 각각의 장치별로 분류하는 응용프로그램을 MVB 통신 분석 소프트웨어라고 정의한다.

(다) MVB 통신 분석보드 V3 개발

전기기관차(8200호대) MVB 통신 신호를 분석하기 위해 통신 속도 문제 해결 및 능동적인 분석 방법을 구현하기 위해 다양한 통신 환경을 구축하고 있다.

① MVB 통신 분석보드 V3 외형

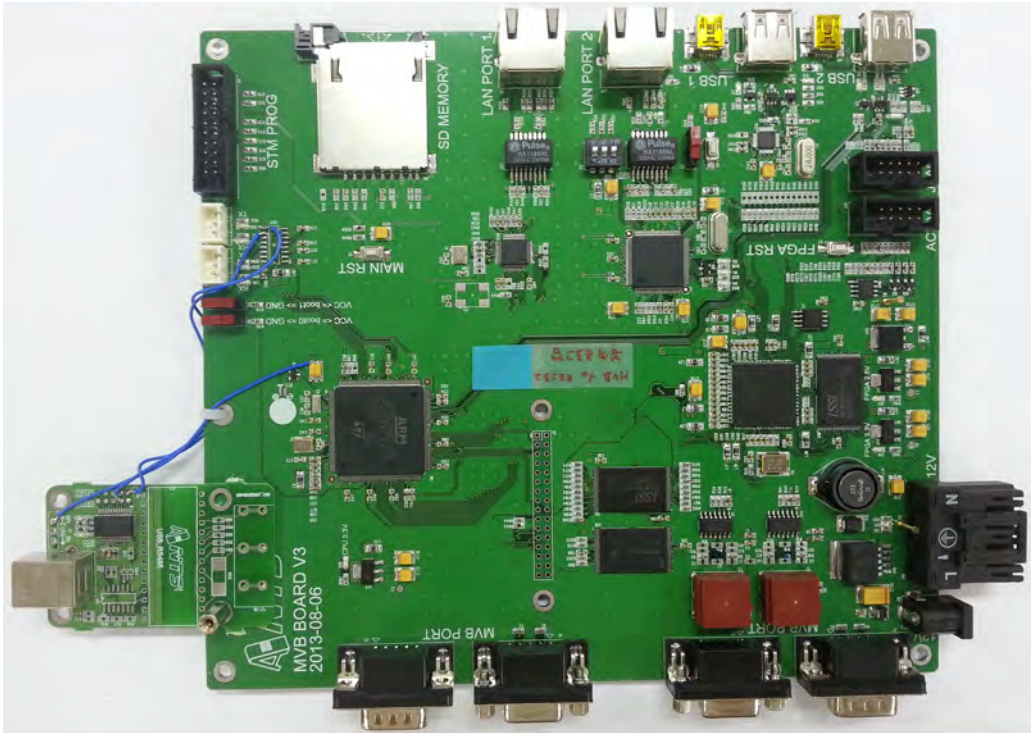


그림 282. MVB 통신 분석보드 V3 실물사진

② 구성도

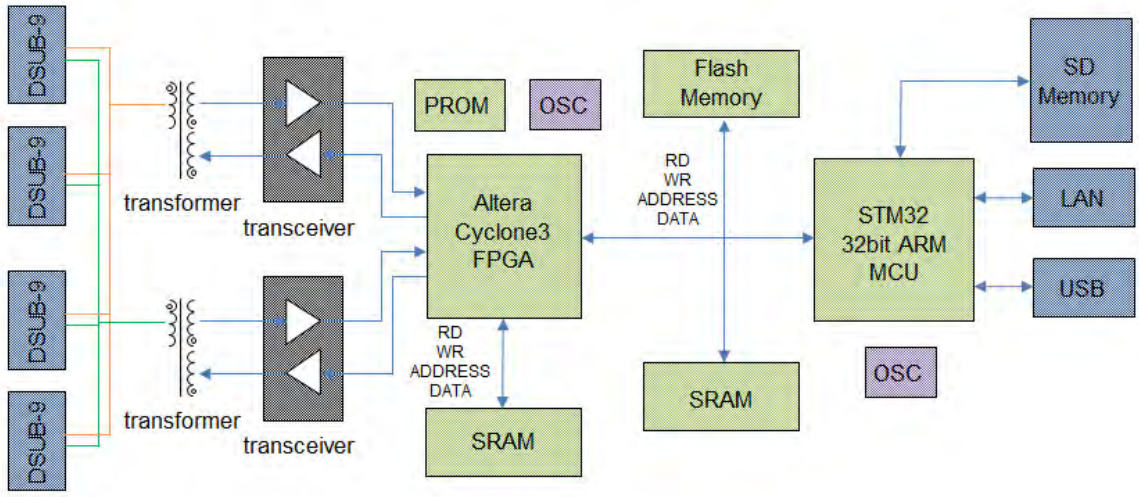


그림 283. MVB 통신 분석보드 V3 구성도

③ Specification

Item	Specification
MVB	DSUB-9pin Connector (male x2, female x2) EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver
Input / Output	LAN, USB, SD Memory
FPGA	EP3C5F256
MCU	STM32F407IGT6
Memory	IS61WV102416BLL-10TLI (SRAM) MT28F4G08A (Flash)
Power	DC 12V
Dimension (WxDxH)	183 mm X 216 mm X 17 mm

④ 회로설명

㉮ MVB Interface 설계

- 적용된 회로는 MVB 통신 분석보드 V1, V2의 Interface와 동일하게 적용하였다.

㉯ TCU용 MVB 통신 분석보드 V3 STM32 설계

- 사용하는 MCU는 STM32F407IGT6이고 RL-ARM(RTOS)을 이용하여 개발된다. 4Gbit NAND Flash와 16Mbit SRAM은 OS 용도에 사용되어 진다.
- RAM 인터페이스는 공동으로 사용하고 있다. FPGA와 인터페이스 또한 RAM 인터페이스 방식을 사용하고 있고 CS 제외한 핀은 공동으로 사용한다. FPGA에서 MVB 데이터를 RAM 인터페이스 방식으로 공유하게 된다.
- MCU 다운로드 JTAG 핀과 부팅 순서를 설정하는 스위치가 추가 되어 있다. RS232를 통해 MCU의 상태를 확인 가능하도록 되어있다.
- 그 외 시험에 필요한 외부 포트들이 추가되어 있다.

㉰ TCU용 MVB 통신 분석보드 V3 FPGA 설계

- 사용하는 FPGA는 EP3C5F256이고 외부 Configuration ROM이 구성된다. 동작 오실레이터는 65MHz를 사용하고 있고 내부에서 분주하여 사용된다.
- MVB 두 채널의 입출력을 관리하고 Traffic store 관리가 주요기능이다. MCU와 인터페이스는 RAM 방식으로 고속의 데이터를 처리하도록 설계된다.

㉱ TCU용 MVB 통신 분석보드 V3 SRAM 설계

- MVB 데이터를 저장하는 메모리는 FPGA에서 관리하게 된다. Traffic Store는 1Mbit 이상이어야 한다. 설계된 보드에서는 충분한 공간 확보를 위해 16Mbit 메모리를 선정하였다. 추후 최적화 시 변경하여야한다.
- FPGA의 설정 및 상태정보를 저장하기 위해 ROM을 추가하였다.

(라) MVB 통신 분석보드 버전별 사양 비교

구분	V1	V2	V3
MVB connector	9-pin D-SUB female type connector x 2	좌동	좌동
MVB Interface	Baud rate : 1.5Mbps EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver	좌동	좌동
MVB Controller	없음	Altera Cyclone	Altera Cyclone3
MCU	없음	없음	STM32 168MHz clock frequency 32bit ARM MCU
Memory	없음	없음	IS61WV102416BLL-10 TLI x 2 (2MB SRAM) MT28F4G08A (4G Flash)
Input / Output	5V or 3.3V test point	USB to RS232	LAN, USB, SD Memory
Power	DC 5V	DC 12V	DC 12V
Dimension (WxDxH)	118 mm X 83 mm X 18 mm	130 mm X 100 mm X 15 mm	183 mm X 216 mm X 17 mm

(2) MVB 통신 프로토콜 분석 소프트웨어 작성

No	연구내용	세부내용	비 고
다-(2)	MVB 통신 프로토콜 분석 프로그램 작성	(가) MVB 통신 로그프로그램 작성 (나) MVB 통신 분석 프로그램 작성	

(가) MVB 통신 로그 프로그램

① FPGA는 수집되는 MVB 자료를 선별하여 일정 데이터량에 도달하면 인터럽트를 보낸다. 인터럽트를 받은 고속 프로세서(STM2F407)는 UDP로 전송한다.

② UDP 패킷의 크기가 일정한 프로토콜로 로그 프로그램으로 전송한다.

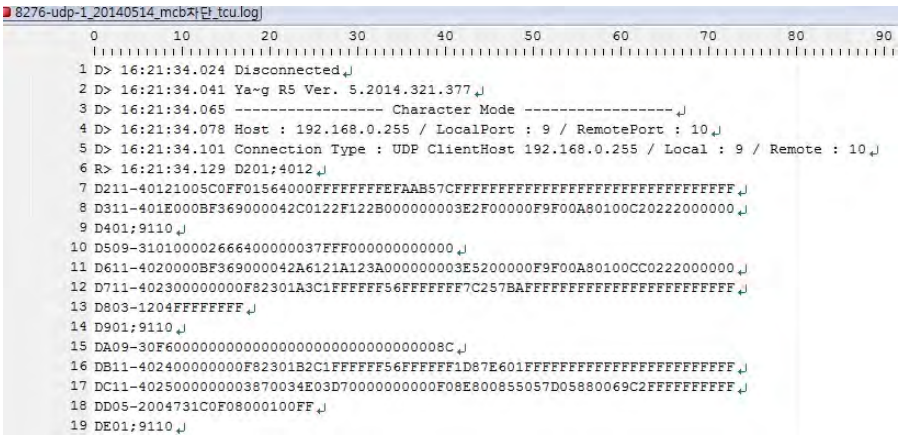


그림 284. MVB 통신 로그 파일

(나) MVB 통신 분석 프로그램

① 분석프로그램이 필요한 포트를 요청하고 고속 프로세서(STM32F407)는 응답한다.

② 전송된 데이터는 화면을 통해 현시하고 필요한 Byte를 숨기기와 나타내기 기능을 추가하였다.

③ 현재 사용하는 포트를 다음 분석 시에 사용할 수 있도록 현재 설정을 저장한다.

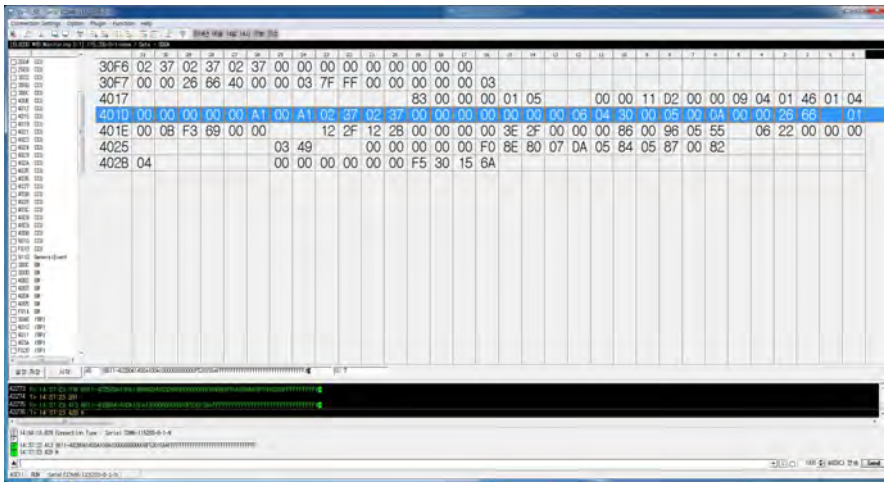


그림 285. MVB 통신 분석프로그램 UI

(3) 현차시험

(가) 현차시험의 장소 및 목적

차수	일시	장소	목적
1차	2013년 03월 06일(목)	제천차량사업소	MVB 통신선 특성 분석 (고속 통신용, 길이 제한.)
2차	2013년 03월 19일(화)	제천차량사업소	MVB 통신선 특성 검증. TCU 측정 포인트 확보. MVB 통신 파형 측정(로직 아날라이저)
3차	2013년 03월 26일(화)	제천차량사업소	현차 특성 분석. KLIP 측정 포인트 확보. MVB 통신 데이터 취득(로직아날라이저)
4차	2013년 04월 24일(수)	제천차량사업소	MVB 통신 데이터량 확인. 분석프로그램 문제점 확인.
5차	2013년 05월 27일(월)	제천차량사업소	분석프로그램 검증.
6차	2013년 06월 20일(목)	제천차량사업소	실시간 프로토콜 확인. MVB 통신 데이터 취득(로그 파일)
7차	2013년 10월 01일(화)	제천차량사업소 대전철도차량정비단	통신 분석보드 V3 기능 검증. MVB 통신 데이터 취득(로그 파일)
8차	2013년 01월 16일(목)	대전철도차량정비단	축전지 전원 인가 후 포트 검색 가능. (TCU 제외)
9차	2014년 01월 21일(화)	대전철도차량정비단	안정성 검증. 시운전 시 영향을 받지 않음.
10차	2014년 01월 23일(목)	제천차량사업소	CCU, GW, IBP, KLIP, K-Micro, MFA, SICBOS 장치 포트 검색 완료.
11차	2014년 02월 12일(수)	제천차량사업소	프로토콜 분석 TCU 포트 검색
12차	2014년 03월 13일(목)	제천차량사업소	분석소프트웨어 변경 및 추가 분석소프트웨어 호환성 검증 프로토콜 분석
13차	2014년 03월 19일(수)	제천차량사업소	CCU, TCU, SIBCOS 프로토콜 분석
14차	2014년 03월 27일(목)	제천차량사업소	현차시험을 통한 프로토콜 분석
15차	2014년 05월 14일(수)	대전철도차량정비단	SIBCOS 프로토콜 분석
16차	2014년 07월 03일(목)	제천차량사업소	시험기 TCU를 조작하여 프로토콜 분석
17차	2014년 07월 11일(금)	제천차량사업소	SIBCOS 프로토콜 분석
18차	2014년 08월 13일(수)	제천차량사업소 대전철도차량정비단	동적시험 (미실시)
19차	2014년 09월 11일(목)	대전철도차량정비단	동적시험 (구내시험)
20차	2014년 10월 07일(화)	대전철도차량정비단	동적시험 (구내시험)

현차시험은 총 20차 진행하였으며, 시험 전 분석 및 현차시험 계획, 현차시험, 시험 후 분석 및 이후 현차시험 계획을 주기로 진행하였다. 주요내용은 전기기관차의 MVB 통신 분석을 위한 차량 상태 및 정보 분석, 분석보드의 검증, MVB 통신 프로토콜 분석이다.

(나) 차수별 현차시험 내용

① 1차 현차시험 내용

㉮ 전기기관차의 통신선을 분석하기 위해 측정 포인트를 TCU 내 MVB 카드 전면에서 분기하여 시험을 하였다.

㉯ TCU 내 MVB 카드 전면 X4 커넥터와 케이블에 연장선을 연결하여 운전실에서 측정하였다. 추후 동적시험에서는 기계실에 탑승하지 못하므로 운전실까지 연장하였다. 축전기의 전원을 투입하여 통신 상태를 확인하였지만 통신장애가 발생하였다.

㉰ 현차시험에서 적용한 통신선과 현차에 적용된 MVB 통신선과는 다른 종류의 라인임을 확인하였다. MVB 통신선은 고속 통신용으로 길이도 정해져 있는 것으로 확인되었다.

② 2차 현차시험 내용

㉮ MVB 통신선 검증을 위해 2차 현차시험을 하였고 통신선이 검증되고 MVB 통신 파형을 측정하였다.

㉯ 추후 동적시험에서는 기계실에 탑승하지 못하므로 측정 포인트를 TCU에서 운전실 KLIP 장치로 변경하여 MVB 통신선을 연결하였다.

㉰ 운전실 KLIP 장치는 MVB 통신라인의 종단이고 장치 전면에 종단 커넥터의 연결을 제거하고 앤츠에서 제작한 보드를 연결하니 MVB 통신이 깨져 차량의 전원이 투입되지 않았다. 종단 저항을 앤츠 보드에 걸어도 같은 결과가 나왔고 케이블만 연결해도 같은 결과가 나왔다. 같은 위치에 MVB 통신전용 케이블로 테스트해도 같은 결과가 나왔다. 운전실 KLIP에서는 측정하기 불가하였다.

㉱ MVB 통신 파형 측정을 위해 TCU내 MVB 카드 전면의 MVB 통신 라인 중간에 'T분기 케이블'을 연결하여 차량 전원을 투입하여도 통신이 깨지지 않고 전원이 투입되었다. 'MVB 통신 분석보드 V1'을 연결하여 로직아날라이저로 데이터를 획득하였다. 데이터 획득은 100ns 샘플링으로 8Mbit 메모리만큼 5회 저장하였다. 저장 공간은 로직아날라이저 내 하드디스크에 저장하였다.

㉲ 케이블의 문제인지 확인하기 위해 길이를 조금씩 연장하며 테스트하였다. 10m에서 글리치가 약간 발생하였지만 통신에 문제가 되지는 않았다. 2m 추가 연결시 전원이 잠깐 꺼졌다 다시 투입되었다. 3초 이상 통신이 깨지면 차량의 전원 차단. 3초미만 통신 장애시 차량 전원 OFF

③ 3차 현차시험 내용

㉮ MVB 통신선 검증 및 측정포인트 변경(TCU->KLIP)을 다시 검증하였다.

㉯ 'MVB 통신 분석 보드 V2' 동작 테스트 및 MVB 데이터 취득하였다.

㉰ 운전실 KLIP에서 측정할 경우 운전실에서 연결 및 측정이 가능하기 때문에 동적시험시 측정 포인트로 적당하다. KLIP장치 전면에는 MVB 케이블과 종단 커넥터가 연결되어 있다. KLIP의 MVB 케이블에 'T분기 보드'를 연결하고 'MVB 통신 분석 보드 V2'를 연결하였을 때 차량 전원을 투입하여도 통신이 깨지지 않고 전원이 투입 되었다.

표 51. 설치 위치 및 결과

	TCU 내 MVB 카드	운전실 KLIP 카드
MVB 전용 케이블	정상	정상
UTP 케이블	정상	오류

㉲ 차량 운행 시 MVB 현차 시험을 할 경우 운전실 KLIP 카드에서 측정하는 것이 운행에 지장을 주지 않을 것이다. 차량마다 MVB 통신선 특성이 상이하다고 판단된다.
㉳ 'MVB 통신 분석보드 V2'을 연결하여 로직아날라이저로 데이터를 획득하였다. 저장 공간은 로직아날라이저 내 하드디스크에 저장하였다.

④ 4차 현차시험 내용
㉮ 'MVB 통신 분석 보드 V2'와 '분석프로그램' 검증을 위한 현차시험이다. '분석프로그램'은 'Ya~g 플러그인'으로 제작되었다.
㉯ FPGA는 입력 MVB 통신 신호를 분석하여 FTDI232RL을 통해 1,152,000 bps로 PC와 통신을 한다. 수 초 시간만 PC로 송신이 되고 멈추는 증상이 발생하였다.
㉰ FPGA는 정상동작을 하고 있었고 FTDI232RL 드라이버의 문제로 예상이 되었다.
㉱ 하드웨어 리셋하여 반복적으로 하여 로그를 수집하였다. PC 측에서 1초간 수신된 데이터는 약 16Kbyte 정도 되는 것으로 확인된다.
㉲ 많은 데이터가 지속적으로 들어오는 상태에 대해서는 안정성 검증을 하지 못하였다.



그림 286. 4차 현차시험 사진

⑤ 5차 현차시험 내용
㉮ 'MVB 통신 분석 보드 V2'와 '분석프로그램' 검증을 위한 현차시험이다.
㉯ MVB 통신 속도는 1.5Mbps 이지만 전체 데이터를 사용하지 않기 때문에 사용률이 차량에서는 어느 정도인지 알 수 없다.
㉰ 4차 시험에서 1,152,000 bps로 했을 때 통신이 멈추는 증상이 발생하여 921,600 bps로 PC에서 데이터 전송하였으나 취득된 데이터 패킷이 수 개정도 빠지는 현상이 발생하였다.

㉲ ‘MVB 통신 분석 보드 V2’ 내부에 FPGA FIFO 메모리의 상태 확인 결과 FIFO Full 상태였다. 확인결과 MVB 통신 입력에 비해 921,600 bps 출력의 속도가 느려서 발생하였다. 현차에서 데이터양은 1Mbps 이상인 것으로 확인되었다.

㉳ 분석프로그램에서 통신함수 교체 및 수정하여 1,152,000 bps로 전송하였고 데이터 패킷이 깨지지 않고 정상 동작하였다. 4차 현차시험에서 실패하였던 테스트를 보완하였다. 운전실 화면표시기와 실시간으로 바뀌는 데이터를 비교 확인하였다.



그림 287. 5차 현차시험 사진

⑥ 6차 현차시험 내용

㉮ ‘MVB 통신 분석보드 V2’와 ‘분석프로그램’을 이용하여 MVB 데이터를 취득하였다.

㉯ 분석프로그램과 운전실 화면표시기(MMI)의 프로토콜 내용을 실시간으로 비교하였다. 분석프로그램이 실시간으로 프로토콜 변화를 표시하는 것을 확인하였다.

㉰ 분석프로그램에서 로그 파일을 확인하여 프로토콜의 표준 및 현차와 같은 동작을 하는지 확인하였다.

㉱ 1.5Mbps의 통신 속도는 실시간으로 확인하지 못하므로 로그 파일로 확인한다.

⑦ 7차 현차시험 내용

㉮ MVB 장치 및 시험기가 분석에 대한 데이터가 있는지 확인하였다.

㉯ ‘MVB 통신 분석보드 V3’ 기능 검증 및 MVB 통신 데이터를 취득하였다.

㉰ MVB 장치확인은 대전철도차량정비단 동력차정비센터 전기차량부에서 하였으며, 전기기관차(8200호대) MVB 통신을 하는 장치의 MVB 통신 카드의 확인을 목적으로 하였다. CCU, TCU, MMI, 보조전원장치의 MVB 카드 확인하였고 CCU, TCU, MMI, 보조전원장치 시험기 확인하였으나 동작 상태는 확인하지 못하였다.

㉱ ‘MVB 통신 분석보드 V3’ 기능 검증 및 MVB 통신 데이터 취득은 제천차량 사업소에서 진행하였다. 운전실 KLIP 장치에서 MVB 통신 분석보드 V3를 통해 로그데이터 수집, 중복데이터를 포함하여 수집되는 것을 확인하였다.

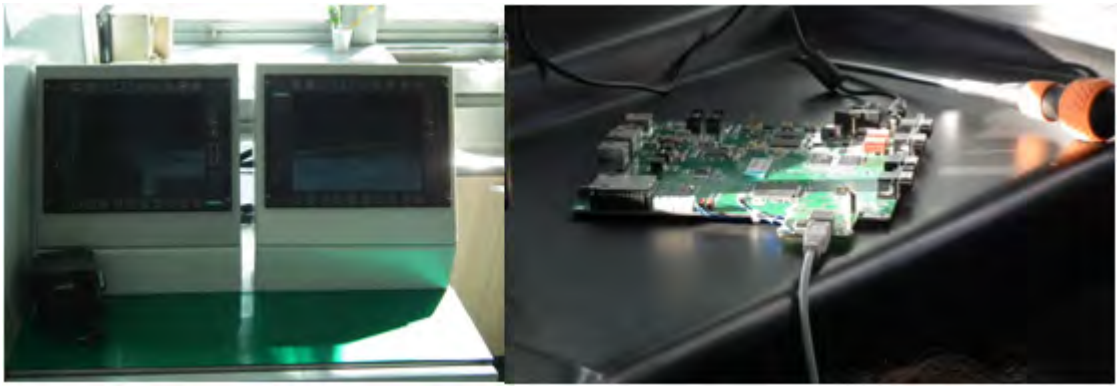


그림 288. 7차 현차시험 사진

⑧ 8차 현차시험 내용

㉮ 포트 검색을 위해 측정 포인트 확인 및 현차 상태를 분석하였다.

㉯ 현차의 MVB 통신선 분석을 추가로 하였다. 차량마다 MVB 케이블을 연장할 수 있는 한계가 다르므로 현차시험 때, 상황에 맞게 사용할 수 있는 케이블을 제작하여 준비해야 한다.

㉰ MFA, IBP, Kmicro, CCU, KLIP, MMI, SIBCOS는 차량의 MVB 통신에러가 나더라도 축전지 전원으로 장치에 전원은 인가하고 있다. 장치에 전원이 인가된 상태에서 포트 검색 프로그램으로 장치의 Addess를 찾을 수 있을 것으로 예상된다. TCU를 제외한 모든 MVB 장치는 현차에서 포트 검색이 가능한 것을 확인하였다.

㉱ 8255호 차량 이후의 차량은 ATP 장치도 MVB 통신을 한다. 전력소모가 많아 ATP는 꺼진 상태로 진행되었다.

⑨ 9차 현차시험 내용

㉮ ‘MVB 통신 분석보드 V3’ 안정성 검증 및 동적시험 대비 시험을 하였다.

㉯ 기관차 시운전 시 ‘MVB 통신 분석보드 V3’ 및 케이블은 영향을 받지 않았다.

㉰ 50m 정도의 레일에 시속 약 5~10km/h로 운행 중 프로토콜 수집 등 고장 내역이 발생되지 않았다. 운전실1, 운전실2에서 시험 정상 완료하였다.

⑩ 10차 현차시험 내용

㉮ 저기온으로 인하여 MCB 투입이 안되어 현차시험 일정 지연되었다.

㉯ MVB 통신을 사용하는 장치의 포트만 개별적으로 검색하는 시험을 하였다.

㉰ 기관차의 축전지를 사용하여 CCU, GW, IBP, KLIP, K-Micro, MFA, SIBCOS 장치에 전원을 투입하여 시험하였다.

㉱ 검색하려는 장치의 연결된 MVB 라인을 제거하고, 사내에서 제작한 MVB 케이블로 MVB 분석보드, MVB 스캔보드와 연결하여 분석프로그램으로 해당 장치의 포트만 검색하였다. MVB 통신을 사용하는 CCU, GW, IBP, KLIP, K-Micro, MFA, SICBOS 장치 포트 검색을 완료하였다.

㉲ 시험차량은 ATP 장치가 탑재되어있는 차량임. ATP 포트 검색은 전 포트 검색 후, 장치별로 검색된 포트를 제외하면 나머지 포트가 ATP 포트 일 것으로 예상된다.

㉳ 추후 TCU 장치는 대전철도차량정비단에서 시험하기로 하였다. 전기도면 내용에 의거하여 TCU 장치의 ID를 설정하는 커넥터(X14)를 확인하였다. 커넥터(X14) 해당 핀을

쇼트 시키면, TCU 장치의 ID가 1번으로 설정되고, 쇼트가 안된 상태면 TCU ID가 2번으로 설정될 것으로 예상된다. (X19 - B22(TCU1_2), X20 - Z2(P15V))

⑪ 11차 현차시험 내용

㉮ 운전실의 조작기기를 이용하여 프로토콜 변화 및 위치를 파악하였다.

㉯ KLIP 장치는 전기도면의 통신 라인 순서와 프로토콜의 bit 순서가 같은 것으로 확인 되었다. 전기도면에 의거하여, 운전실2와 운전실1의 통신 라인 및 기능이 동일한 것으로 보아 운전실2의 프로토콜 bit 순서도 운전실 1과 같을 것으로 예상(운전자 경계장치 제외)되며, 운전실2 일부 분석이 완료 되었다.

㉰ TCU장치의 ID 확인 및 로그파일 수집 : TCU 장치의 ID를 설정하여, TCU1 통신 포트 확인 및 로그파일 수집하였다. X14 커넥터의 Z2(P15V) - B22(TCU1_2) 핀을 쇼트시켜 TCU ID를 1로 설정 후 로그파일 수집하였다.

⑫ 12차 현차시험 내용

㉮ MVB_V3 분석 소프트웨어 변경 및 추가에 대한 기능 검증을 하였다.

㉯ [STM ↔ PC] RS232는 화면현시, LAN은 Log 저장 기능을 한다.

㉰ 노트북 화면에 응답하고 있는 통신 데이터 확인 및 소프트웨어 기능 테스트 완료하였다. 'MVB 통신 분석보드 V3' 와 현차와의 호환성을 검증하였다.

㉱ KLIP3은 전기도면에 의거하여 순차적으로 통신 bit 변화 값을 확인하였다. 전기기관차 8275호대 전기도면을 확보 후 통신 bit 순서가 정확한 것을 확인하였다.

⑬ 13차 현차시험 내용

㉮ 분석프로그램을 이용하여 TCU, CCU, SIBCOS 장치의 MVB 신호를 분석하였다.

㉯ 분석프로그램으로 TCU, CCU, SIBCOS 장치의 통신 포트만 현시(HEX)

- TCU Port : 017, 01A, 01D, 01E, 01F, 020, 025, 027, 02B, 02C, 100, 101
- CCU Port : 002, 003, 004, 00E, 00F, 010, 012, 015, 019, 021, 022, 023, 024, 029, 02A, 035, 036, 037, 038, 039, 03C, 050, 08C, 0C8, 0C9, 0D8, 204, 5E8
- SIBCOS Port : 19A, 19B, 1A4, 1A5, 700, 701

㉰ 데이터 신호 중 일정하게 올라가는 카운트 값 추출, MMI에서 분석 된 포트 추출 및 확인, 사용하지 않는 포트 추출(데이터 값 : FF)

⑭ 14차 현차시험 내용

㉮ 분석프로그램을 이용하여 TCU, CCU, SIBCOS 장치의 MVB 신호 분석을 하였다.

㉯ 정비지침서의 내용을 참조하여 CCU ↔ TCU, CCU ↔ SIBCOS 입/출력 신호와 Port 분석하였다.

㉰ 정비지침서의 내용으로 시험하기에는 기관차 상황으로 인해 시험 항목이 제한적이었다.

㉱ 운전실 주간제어기와 보조주간제어기를 조작하여 TCU로 들어가는 통신 포트 및 신호 분석을 하였다. MCB 투입 및 차단 통신 포트 분석을 하였다.

⑮ 15차 현차시험 내용

㉮ 실시간 분석프로그램에서 SIBCOS 및 CCU의 SIBCOS 지령 포트를 모니터링 하여 분

석하였다.

㉯ 로그 파일로 저장하고 MCB 투입과 차단에 대해 실행하였다. 보조전원장치의 동작 시 시작과 끝을 분석하기 위해 분석 자료 수집하였다.

⑯ 16차 현차시험 내용

㉮ 제작한 시험기를 이용하여 TCU 장치의 프로토콜 분석하려고 하였다.

㉯ 시험기를 TCU 장치에 직렬로 연결하여 프로토콜 분석 및 조작을 하여 차량상태를 확인한다. TCU 장치에 시험기를 연결 후 고장 정보 발생하였다.

㉰ MVB 통신선은 2개의 페어로 구성되어 있다. 이것은 이중화를 하기 위해서 이고 2개의 페어가 지연이 생기면 고장을 발생시키게 된다. TCU에 직렬로 1개의 통신선만 연결하였기 때문에 지연 발생으로 고장 정보가 발생하게 되었다.

㉱ 시험기를 이용해 직렬로 프로토콜에 조작을 하는 것은 불가능 한 것으로 판단된다.

⑰ 17차 현차시험 내용

㉮ 보조전원장치 접촉기 연장급전을 사용하였을 때 AUX, KLIP3, CCU 포트의 변화 확인한다.

㉯ 기계실에 위치한 연장급전 스위치를 사용하여 ON/OFF 한 결과 KLIP3 장치의 포트만 변화되는 것을 확인하였다.

㉰ 접촉기 연장급전을 사용하였을 때, 변화되는 포트 확인하였다.

⑱ 18차 현차시험 내용

㉮ 동적시험을 통한 “속도” 프로토콜 포트를 분석 목적으로 하였으나 데이터 수집 및 포트 분석 불가하였다.

㉯ 각각의 전기기관차마다 MSD(Master Start Delimiter)의 차이가 있는 것으로 판단된다.

⑲ 19차 현차시험 내용

㉮ 구내 테스트 운전 차량을 대상으로 동적시험 실시하였다.

㉯ 속도 및 견인력/제동력 위주로 데이터 분석, CCU 명령, TCU 응답 분석 완료하였다.

㉰ 중련 운전 시 견인력/제동력 값의 기준이 다르게 나타난다.

㉱ TCU 포트 고정값 완료

㉲ CCU 포트 고정값 미완료

⑳ 20차 현차시험 내용

㉮ 구내 테스트 운전 차량을 대상으로 동적시험 실시하였다.

㉯ 분석프로그램을 이용하여 데이터 값이 변하지 않는 프로토콜 분석

㉰ TCU, AUX 프로토콜 고정 값 분석 완료

㉱ 분석안 고정 값을 검토하기 위해 이전 Log 파일을 참고하여 비교한 결과 고정 값임을 확인하였다.

라. MVB 통신보드 개발

No	항목	연구 내용
라.	MVB 통신보드 개발	(1) TCU 및 SIBCOS용 MVB 통신보드 설계 및 제작 (2) MVB 통신 로직 설계 (3) MVB 통신 펌웨어 작성 (4) MVB 통신 시험기 설계 및 제작 (5) TCU 및 SIBCOS 장치 프로토콜

(1) TCU 및 SIBCOS용 MVB 통신보드 설계 및 제작

(가) 구성도

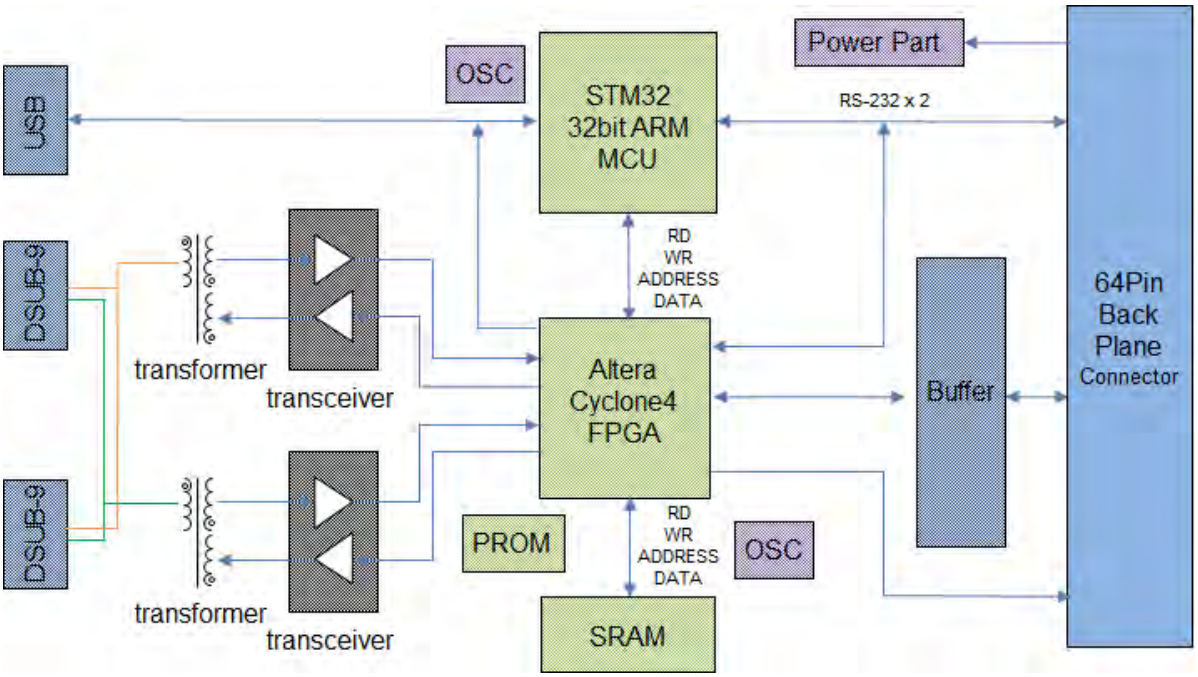


그림 289. MVB 통신보드 구성도

(나) TCU용 MVB 통신보드 외형



그림 290. TCU용 MVB 통신보드 외형 및 전면 Panel

(다) SIBCOS용 MVB 통신보드 외형

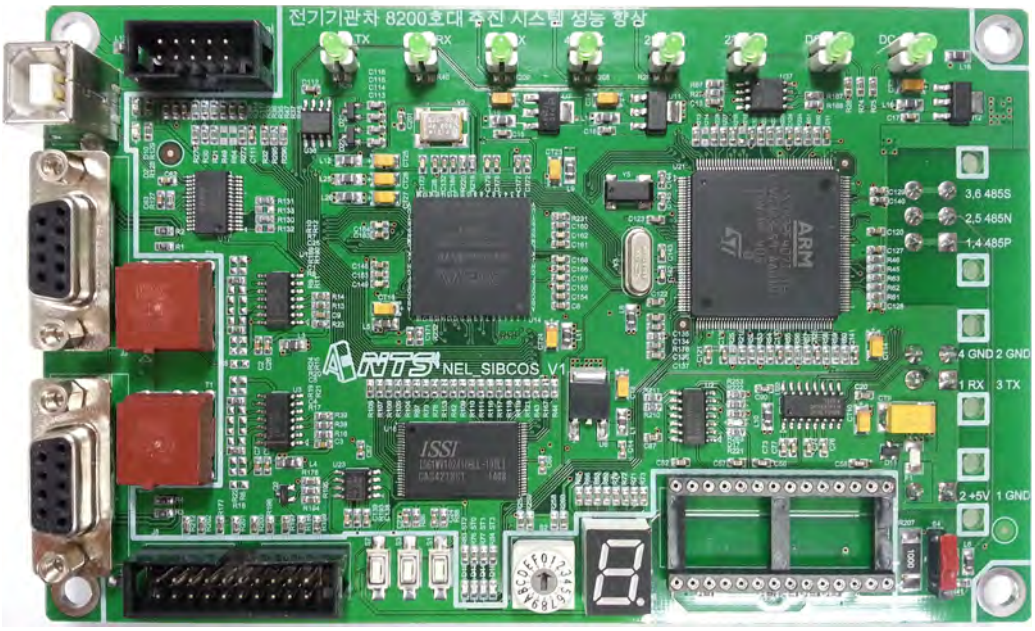


그림 291.. SIBCOS용 MVB 통신보드 외형

(라) 기존품 대비 개발품 사양

구 분	기존품	TCU 시작품	SIBCOS 시작품	개선사항
MVB connector	9-pin D-SUB female type connector x 2	좌동	좌동	
Front connector	7-pin LEMO female type connector	USB-B type connector	USB-B type connector	범용 통신
Backplane connector	64-pin plug connector (DIN 41612 / ept 111-40064) Large SIBAS Bus (Baud rate : 9600bps)	96-pin plug connector (ERNI-364915, Serial Interface/RS232,485)	Through Hole, Right Angle Molex 5569RDF-4(RS232) Molex 5569RDF-6(RS485) Molex 5569RDF-2(Power)	커넥터, 인터페이스 변경
MVB Interface	Baud rate : 1.5Mbps, EMD (Electrical Medium Distance) Double Line MVB Transceiver	좌동	좌동	
MVB Controller	Siemens MVBCS1	Altera Cyclone4	Altera Cyclone4	고성능 FPGA
MCU	SAF-C165 / 20MHz clock frequency / 16bit data bus / 24bit address bus	STM32 / 168MHz clock frequency / 32bit ARM MCU	STM32 / 168MHz clock frequency / 32bit ARM MCU	성능향상
Memory	RAM(512KB) / Traffic Memory(72KB) / DPRAM(64KB) / Flash EPROM(1MB)	IS61WV102416BLL-10TLI / (2MB SRAM)	IS61WV102416BLL-10TLI / (2MB SRAM)	용량 상승
Temperature	-40 ~ 80 ℃	좌동	좌동	
Power	DC 5V	좌동	좌동	
Dimension (WxDxH)	160 mm X 100 mm X 16 mm	좌동	좌동	

(마) 주요도면 및 설명

MVB 통신선 인터페이스 : 기존품의 기능과 같은 기능으로 설계되었다. IEC61375 기준에 의해 2중화 라인으로 설계되었다.

프로세서 : 기존품은 SAF-C165 (16bit MCU)를 사용하고 RAM, Flash Memory를 사용하여 구성된다. 개발품은 STM32 (32bit MCU)를 사용하고 추가 외부회로 구성없다.

로직설계 : 기존품은 Siemens사 MVBCS1 칩으로 구성되고 PLD 2개를 사용하여 RAM 동작을 제어한다. 개발품에서는 MVBCS1 칩은 판매하는 제품이 아니므로 Altera사 CycloneIV FPGA를 사용하여 RAM 제어 기능을 포함하여 설계된다.

Traffic Memory : 기존품은 72KB로 MVB 통신에 필요한 메모리로 구성하였다. 개발품은 MVB 통신에 필요한 메모리 외에도 충분한 메모리를 사용하였다. 가격 대비 성능이 가장 좋은 2MB를 선정하였다.

TUC용 Backplane 인터페이스 : 기존품은 Siemens사 SIBAS BUS와 시리얼통신 2포트로 구성된다. SIBAS BUS는 Siemens사의 고유의 통신 방식으로 인터페이스 방식을 공개되어 있지 않다. 개발품은 시리얼통신 2포트와 Digital IO를 사용하여 CPU 보드와 인터페이스 한다.

① MVB 인터페이스 설계

㉮ MVB 통신 데이터를 주고 받기위한 회로로써 장치 내 MVB 통신보드에 연결하여 송수신하는 역할을 한다.

㉯ MVB 통신 데이터는 9-pin D-Sub Female type 2개 포트로 입출력 되고 데이터라인은 T6043-Y4021-X123(MVB 통신용 고속 트랜스로 연결된다.

㉰ MAX3086ESD는 RS-485/422 속도제한 트랜시버이다. 트랜스를 거쳐 MAX3086ESD의 12, 11번 핀으로 차동신호를 입력받고 9, 10번 핀으로 차동신호를 출력한다. 차동신호 입력을 MVB-RX(2pin), MVB-RE(3pin)을 통해 입력받고 MVB-TX(5pin), MVB-DE(4pin)을 통해 차동신호를 출력한다. MAX3086ESD에서 출력된 신호는 현차 시험을 통해 Interface 부분의 회로 검증을 완료하였다.

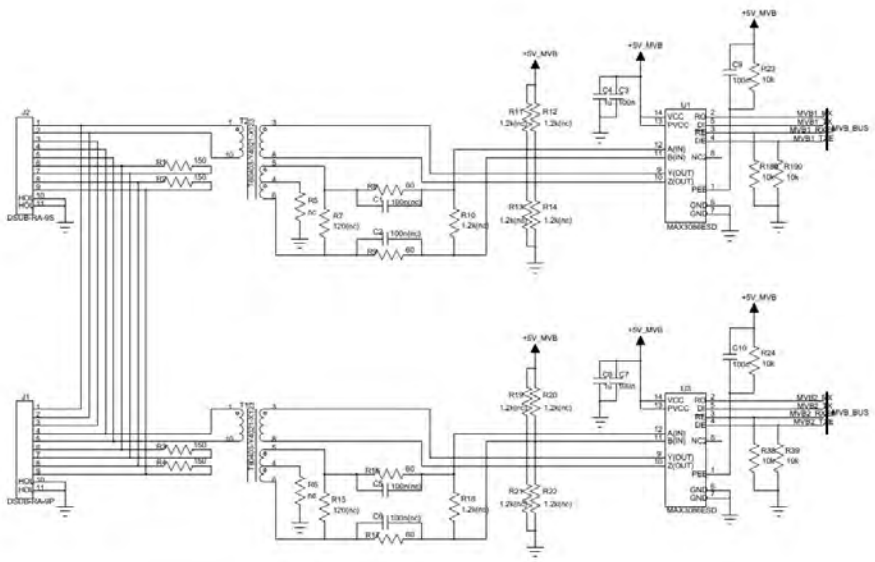


그림 292. MVB 통신보드 주요회로도(MVB 인터페이스)

② STM32 MCU 설계

㉮ 사용하는 MCU는 STM32F407IGT6이고 RL-ARM(RTOS)을 이용하여 개발된다.

㉯ FPGA와 인터페이스는 RAM 버스 방식을 사용하고 있다. FPGA에서 MVB 데이터를 RAM 인터페이스 방식으로 공유하게 된다.

㉰ RS232, FND 를 통해 MCU의 상태를 확인 가능하도록 되어있다.

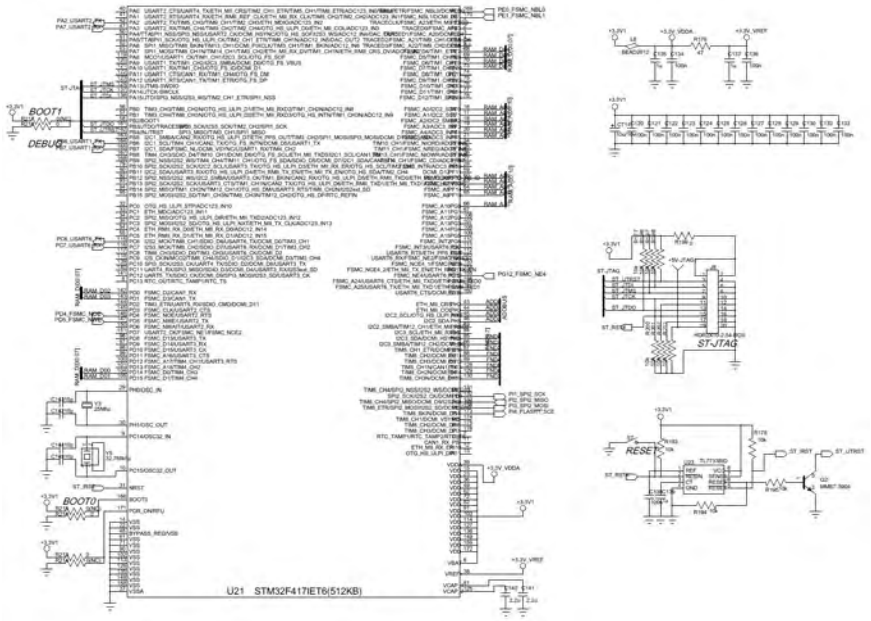


그림 293. MVB 통신보드 주요회로도(프로세서)

③ Altera Cyclone4 FPGA 설계

㉮ 사용하는 FPGA는 Altera사 EP4CGX22CF19고 외부 Configuration ROM과 JTAG으로 구성된다. 동작 오실레이터는 48MHz를 사용하고 있고 내부에서 분주하여 사용된다.

㉯ MVB 통신 데이터 두 채널의 입출력과 Traffic Store 관리, TCU내 CPU와 통신이 주요

기능이다. MCU와 인터페이스는 RAM 버스 방식으로 고속의 데이터를 처리하도록 설계 된다.

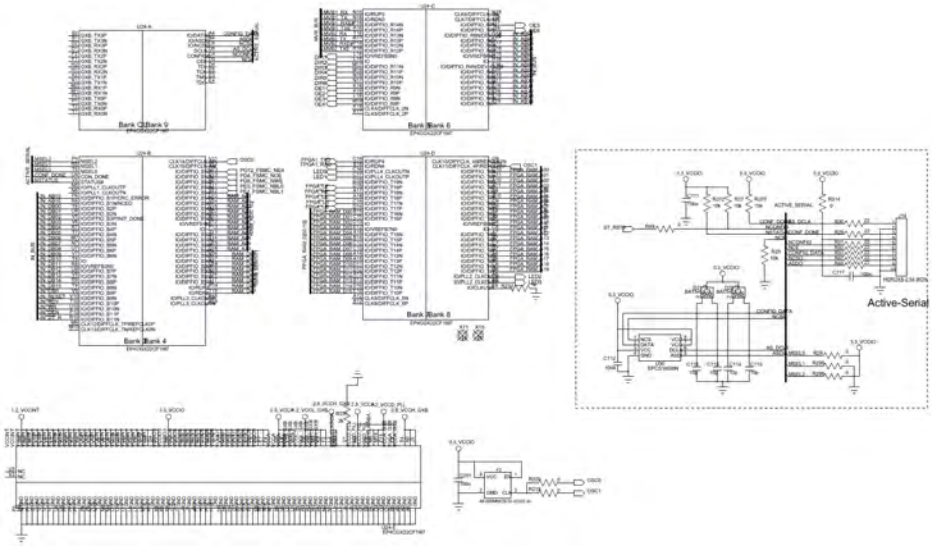


그림 294. MVB 통신보드 주요회로도(FPGA)

④ SRAM 설계

㉮ MVB 데이터를 저장하는 메모리는 FPGA에서 관리하게 된다. Traffic Store는 1Mbit 이상이어야 한다. 설계된 보드에서는 충분한 공간 확보를 위해 16Mbit 메모리를 선정하였다. 추후 최적화시 변경하여야 한다.

㉯ FPGA의 설정 및 상태정보를 저장하기 위해 ROM을 추가하였다.

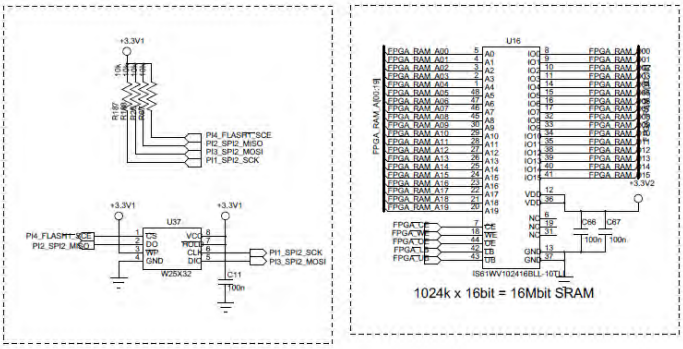


그림 295. MVB 통신보드 주요회로도(메모리)

⑤ Backplane 설계

㉮ TCU용 MVB 통신보드는 Back connector를 통해 Backplane로 연결되고 CPU 장치와 통신한다.

㉯ Serial 통신 2개와 Digital IO 버스로 구성된다. 외부와 연결을 위해 Buffer를 사용하여 입출력을 제어한다.

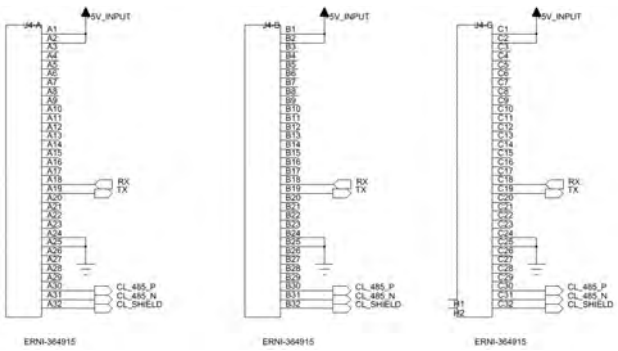


그림 296. TCU용 MVB 통신보드 주요회로도
(Backplane)

㉰ SIBCOS용 MVB 통신보드는 통신케이블을 통해 CPU 장치와 통신한다.
㉱ Serial 통신 2개로 구성된다.

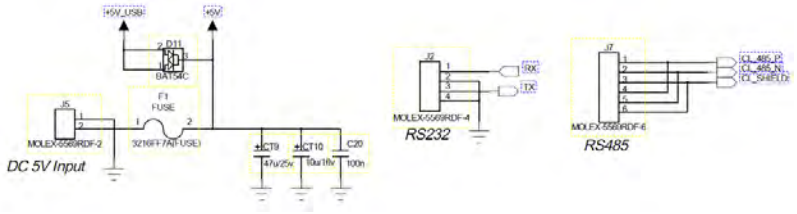


그림 297. SIBCOS용 MVB 통신보드 주요회로도
(Back Connector)

(2) MVB 통신 로직 설계

(가) 설계 구성도

로직 설계는 VHDL 언어를 사용하였으며 로직 검증은 시뮬레이션으로 하였다. 현재 Slave 동작을 구현하였으며 외부의 포트 설정에 따라 응답하도록 구현되어있다. 그리고 참고하고자 하는 포트를 설정하면 포트의 내용을 기억하도록 되어있다.

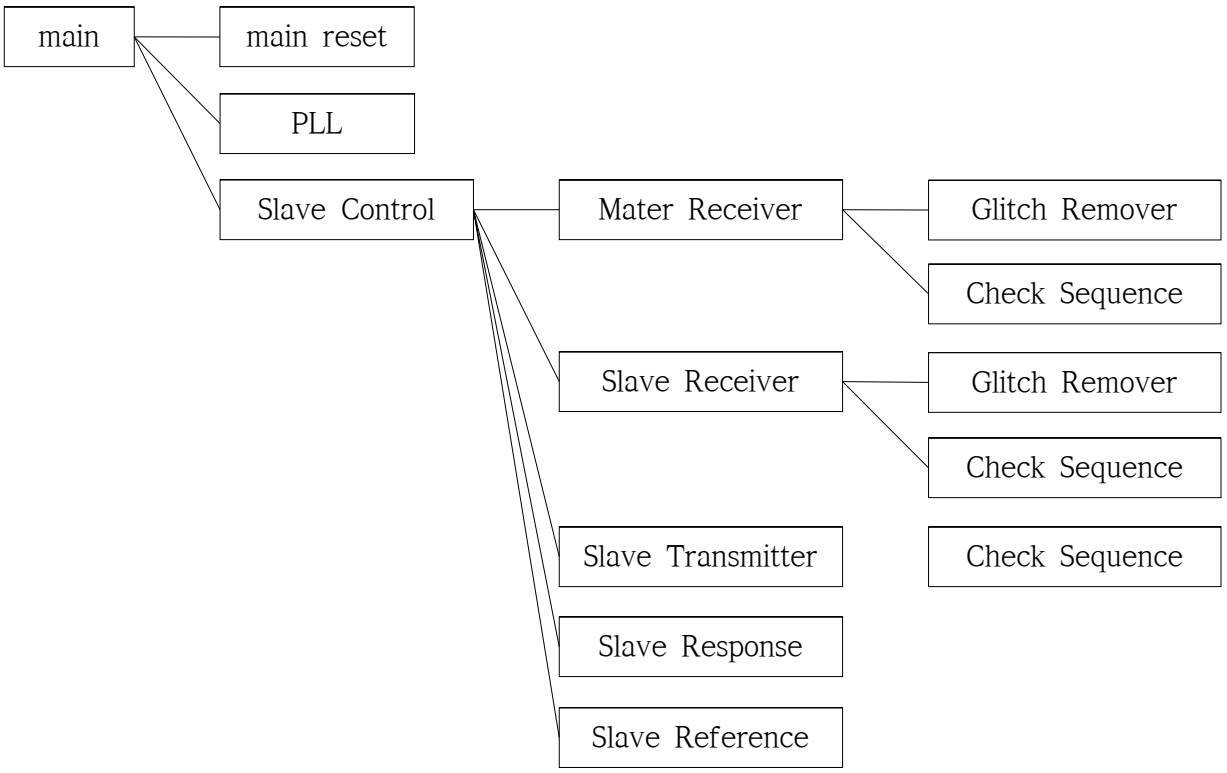


그림 298. MVB 통신 로직 구성

① Slave Control (Slave Response, Slave Reference)

㉮ 응답해야하는 장치의 포트를 설정하고 응답 데이터를 입력한다. Master Receiver에서 설정 포트와 일치하는 데이터를 받으면 응답 데이터를 Slave Transmitter를 통해 전송한다. Master Receiver의 F_code에 따라 응답하는 데이터의 길이를 가변하여 전송하게 된다. 응답 데이터는 256 bit로 설정되어 있고 MSB부터 우선순위가 높다.

㉯ 참조하는 장치의 포트를 설정하면 Master Receiver에서 설정 포트와 일치하면 응답하는 데이터를 참조하게 된다. 참조 데이터는 256 bit이고 MSB부터 우선순위가 높다.

㉰ Slave Transmitter

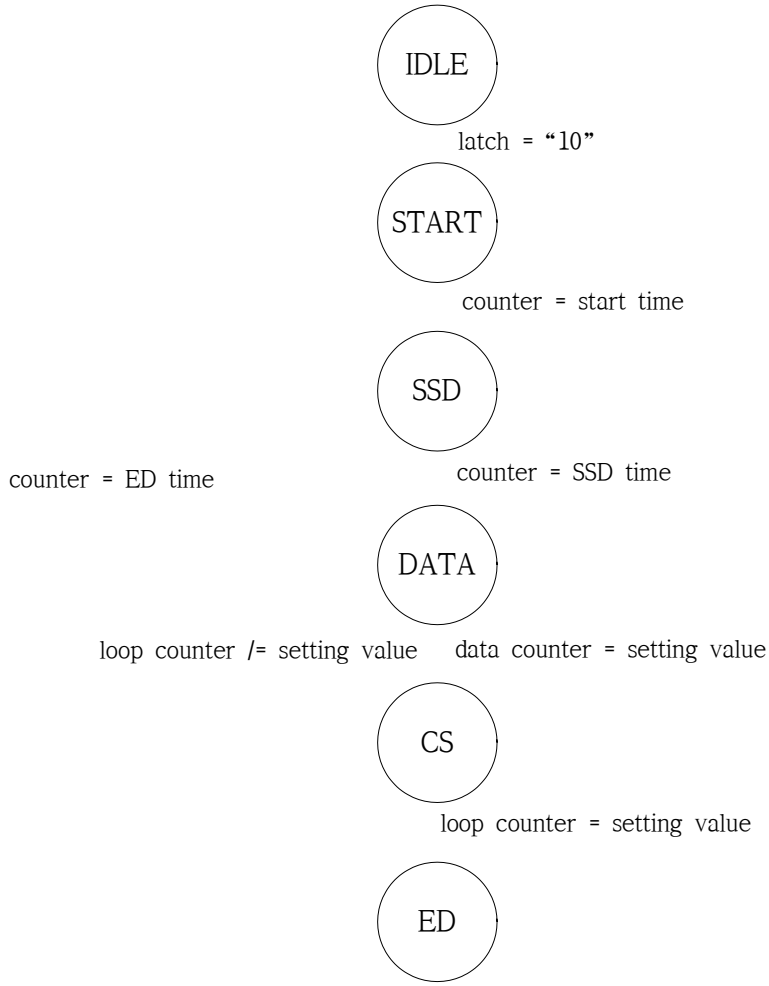


그림 299. Slave Transmitter State

· 출력되는 데이터는 가변하므로 16 bit 단위로 데이터를 입력받게 된다. enable, latch, data 신호로 가변 데이터를 구분한다. latch 신호가 '1'일 때 enable 신호가 변하는 신호만큼 데이터도 변하게 된다.
· latch 신호 "10"이면 출력되는 데이터의 길이를 결정하게 되고 Start 신호를 발생한다. 이어서 SSD 신호를 발생한다.
· 입력된 데이터를 Manchester coding 하여 출력하게 되고 가변되는 길이에 맞게 Check Sequence를 계산하여 신호를 발생한다. 64 bit 이상 데이터를 출력할 때는 64 bit 단위로 CS를 계산하여 준다.
· 데이터를 보낸 후 ED 신호를 발생하고 전송을 마친다.

㉳ Master Receiver

· 입력되는 신호의 Glitch를 제거하여 사용한다. Glitch 제거 방법으로는 샘플링 주파수로 일정한 시간동안 신호를 유지하면 유효한 신호로 인식하게 된다. 순간 발생하는 노이즈를 제거하게 된다.

· Shift register를 이용하여 MSD를 실시간으로 찾는다. MSD를 찾으면 ED가 발생할 때까지 Manchester decoding하게 된다. Manchester 신호는 edge를 찾아 “10”= 1 이고 “01”= 0으로 인식하게 된다. 입력되는 데이터를 실시간으로 Check Sequence하여 프로토콜에서 주어지는 CS 데이터와 비교하여 데이터 정상 여부를 판단한다.

㉴ Slave Receiver

· Master Receiver와 같이 Glitch를 제거하여 사용한다.

· Shift register를 이용하여 SSD를 실시간으로 찾는다. SSD를 찾으면 ED가 발생할 때 까지 Manchester decoding하게 된다. 입력되는 데이터를 실시간으로 Check Sequence하여 프로토콜에서 주어지는 CS 데이터와 비교하여 데이터 정상 여부를 판단한다. 응답 데이터의 길이가 16, 32, 64 bit에서는 CS를 1번 실행하게 되고 128 bit에서는 64 bit 단위로 2번을 한다. 또한 256 bit에서는 64 bit 단위로 4번을 하게 된다.

㉵ Check Sequence

· CRC-7의 다항식 : G(x) = x7 + x6 + x5 + x2 + 1

· G(x)는 7 bit 이고 마지막 비트는 even parity를 추가하여 8 bit가 된다.

· 계산된 8 bit를 bit 반전하여 출력한다.

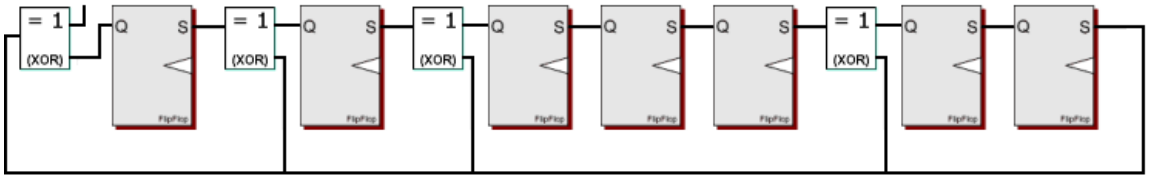


그림 300. CRC-7 하드웨어 구현

(3) MVB 통신 펌웨어

(가) 펌웨어 개요

펌웨어는 C 언어를 사용하여 제작하였으며, RS-485 통신을 통해 TCU 및 SIBCOS 장치와 데이터를 주고받는다. MVB 통신보드는 RS-485 통신에서 Slave 모드로 동작하도록 제작되었으며, Master 장치로부터 수신된 프로토콜에 따라 동작한다.

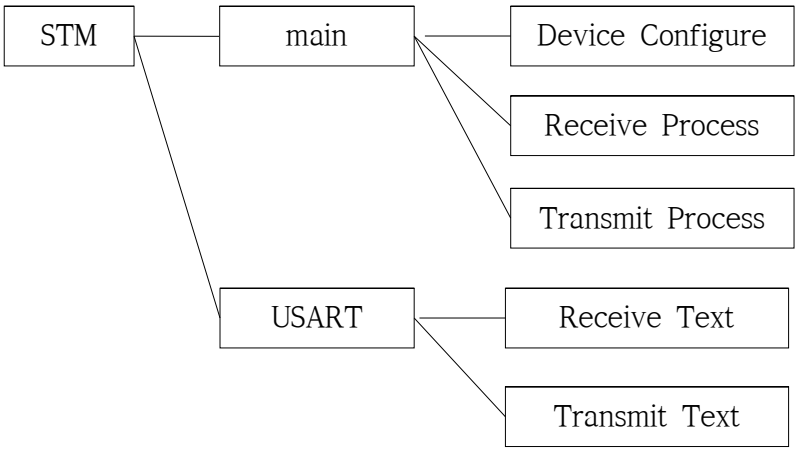


그림 301. MVB 통신 프로그램 구성

(나) Main

펌웨어의 기본설정 및 MVB 통신보드로써 수행하는 전반적인 기능을 담당한다.
수신된 데이터를 분석하여, 메모리 쓰기 및 읽기 동작을 수행한다.

① Device Configure

· MVB 통신보드에 위치한 Hex 스위치를 이용하여, 장치 ID가 설정된다.
· 설정된 ID에 따라 어떤 장치와 RS-485 통신동작을 수행하는지 결정된다.

② Receive Process

· Receive Text에서 수신된 프로토콜 데이터를 분석하며, 프로토콜에 따라 메모리 쓰기 및 읽기 동작을 수행한다.

③ Transmit Process

· 메모리 읽기 응답 및 메모리 쓰기 응답 프로토콜에 필요한 데이터를 작성하며, 작성된 데이터를 Transmit Text를 이용하여 데이터를 송신한다.

(다) USART

MVB 통신보드에서 RS-485 방식으로 프로토콜 데이터를 송/수신한다.

① Receive Text

· 데이터를 수신하는 기능을 수행하며, 수신된 데이터는 분석을 위해 Receive Process로 전달한다.

② Transmit Text

· Transmit Process에서 작성된 데이터를 전달받아, 그 데이터를 송신하는 기능을 수행한다.

(4) MVB 통신 시험기 설계 및 제작



그림 302. MVB 통신 시험기

(가) 하드웨어 설계

① MVB 통신 시험기 구성

MVB 통신 분석보드에서 검증하였던 회로를 사용하여 신뢰성 있는 회로로 설계하였다. MVB 인터페이스 회로, FPGA 회로, SRAM 회로, STM32 회로, 전원 회로로 구성된다. 외부의 전원을 사용할 수 있도록 SMPS를 사용하였고 USB 전원과 SMPS 전원을 스위치로 선택할 수 있도록 구성하였다. 안정성을 위해 시험기 외함을 제작하였고 외함을 열지 않고도 프로그램 다운로드가 가능하도록 FPGA, STM32 다운로드 포트를 외부에 두었다. FND와 LED를 통해 현재 시험기의 상태를 확인할 수 있도록 구성하였다.

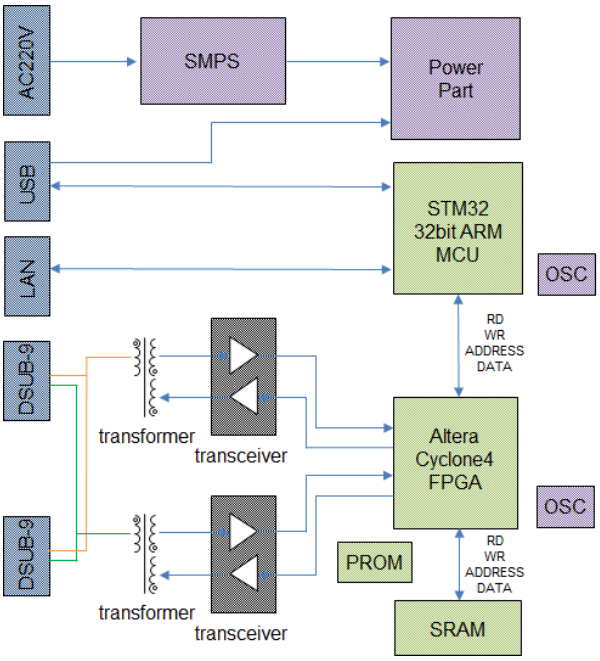


그림 303. MVB 통신 시험기 보드 구성

㉮ MVB 통신 시험기 주요 도면 및 설명

대부분의 도면은 MVB 통신 분석보드에 사용하였던 도면을 사용하였다. MVB통신분석보드개발보고서_R&D8200-X-20(MVB)-002-T.hwp 참조

㉯ 로직설계

MVB 통신 시험기의 로직은 중앙제어장치 기능의 일부를 수행하여야 한다. Master와

Slave 기능을 모두 하여야 한다. Traffic Store인 SRAM에 수신된 MVB 데이터를 실시간으로 적재하고 전송하고자 하는 MVB 데이터를 Slave 패킷에 맞춰 송신한다.

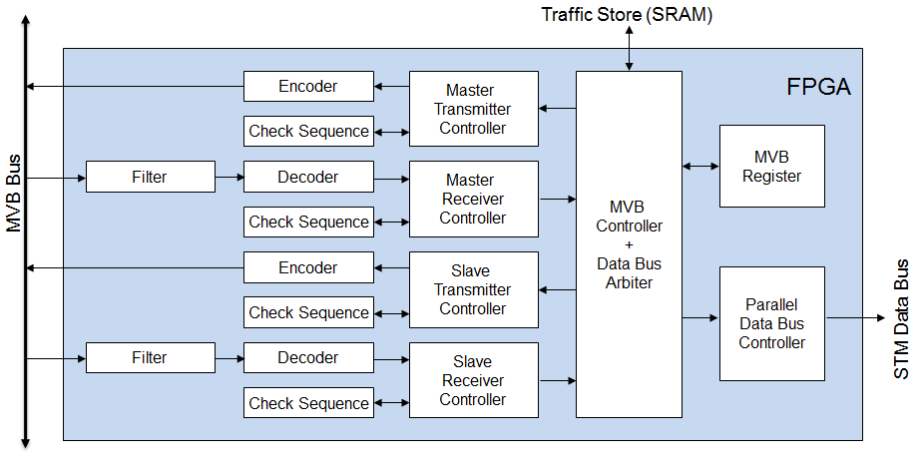


그림 304. MVB 통신 시험기 로직

· MVB Control 로직은 Master와 Slave로 구성되고 각 Controller는 Master Receiver, Master Transmitter, Slave Receiver, Slave Transmitter로 구성된다.
· Receiver에서는 입력의 노이즈를 제거하기 위해 Glitch Remover를 사용한다. 입력된 신호를 샘플링하여 일정한 시간동안 유지하여야 신호로 인식하고 그렇지 않으면 노이즈로 인식한다.
· Receiver, Transmitter에서는 Check Sequence를 수행한다. Receiver는 수신된 데이터의 CS를 계산하고 수신된 CS 값과 동일해야 정상으로 판단한다. Transmitter는 전송하고자 하는 데이터의 CS를 자동 계산하여 Transmitter로 전송한다.
· MVB Master Control과 MVB Slave Control은 독립적으로 동작하고 서로 영향을 주지 않도록 설계되어 있다.

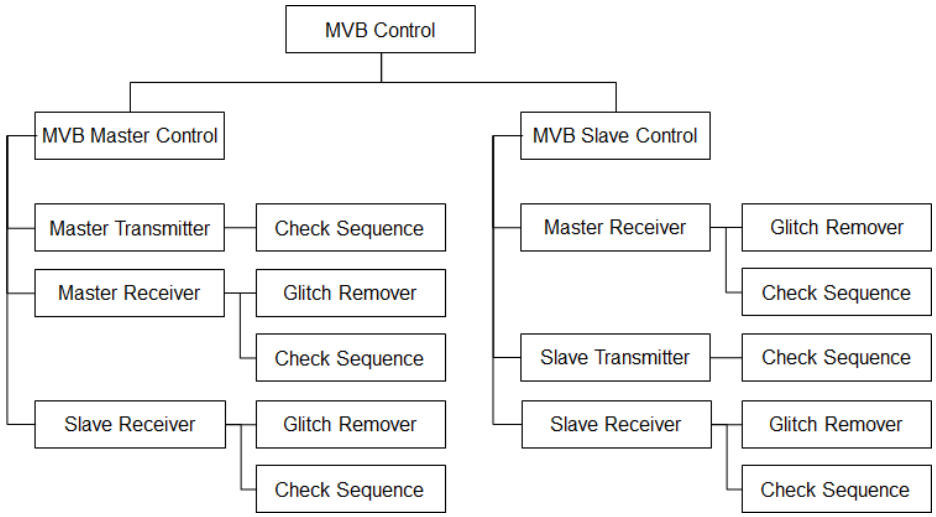


그림 305. MVB 로직 구성

· MVB 시험기의 State machine은 총 3개로 MVB Master Control, MVB Master Transmitter, MVB Slave Transmitter이고 그 외에 SRAM Control State machine도 설계되어 있다.
· MVB Master Control는 10개의 State로 구성되고 시작과 동시에 MVB 통신의 Master

가 존재하는지를 확인하고 Master 기능을 사용할지를 판단한다.

· Master 기능을 시행하면 Master List의 데이터를 Load 한 후 전송하게 된다.

· Slave 패킷에 맞춰 Master 패킷을 전송한다.

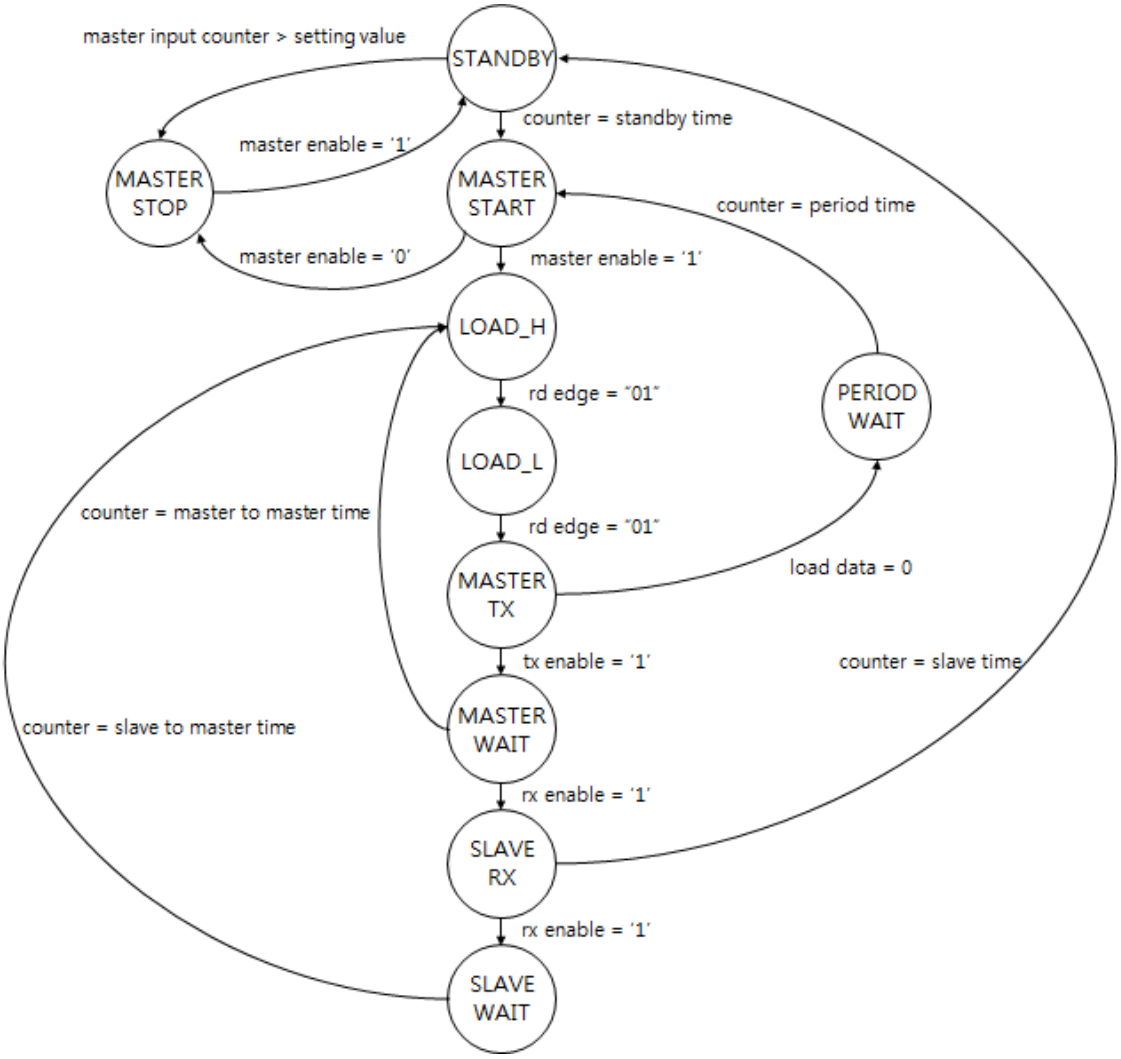


그림 306. MVB 통신 Master Control State machine

· MVB Master Transmitter와 MVB Slave Transmitter는 비슷하게 동작한다. 송신하고자 하는 데이터와 enable 신호가 입력되면 MSD 또는 SSD 신호를 발생하고 데이터를 전송한다. 전송을 마치면 생성된 CS와 ED신호를 전송한 후 IDLE로 돌아간다.

· 전송하고자 하는 데이터와 CS는 Manchester coding을 하여 출력된다.

```
function manchester( a : std_logic_vector(7 downto 0) )
return std_logic_vector is
   variable b : std_logic_vector(15 downto 0);
begin
   for i in 0 to 7 loop
      case a(i) is
         when '1'    => b((i*2+1) downto (i*2)) := "10";
         when others => b((i*2+1) downto (i*2)) := "01";
      end case;
   end loop;

   return (b);
end function manchester ;
```

그림 MVB Manchester Code

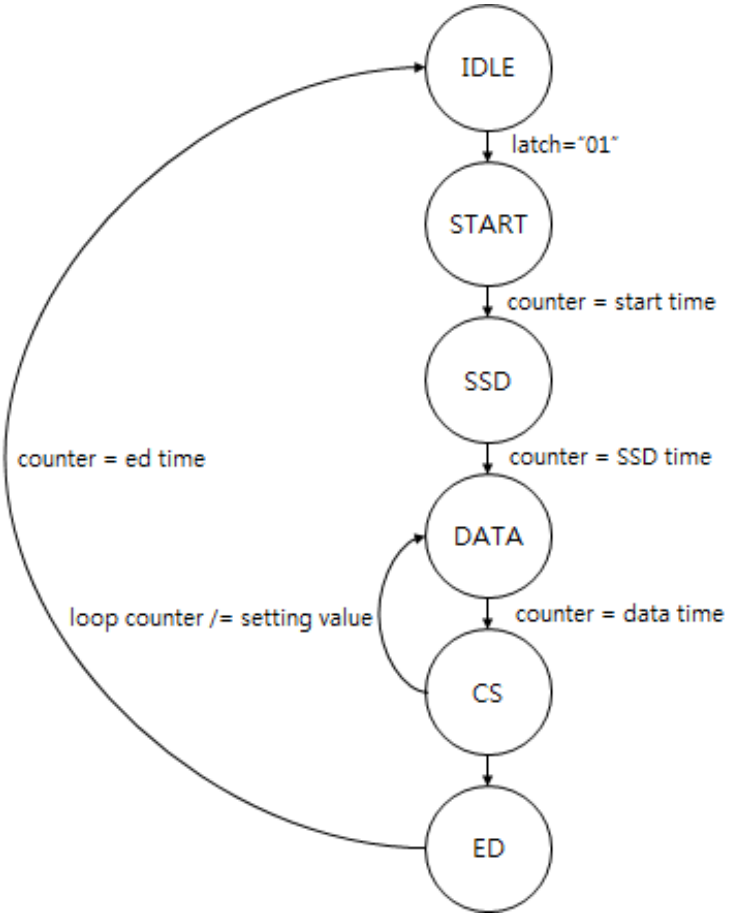


그림 307. MVB Master Transmitter State Machine

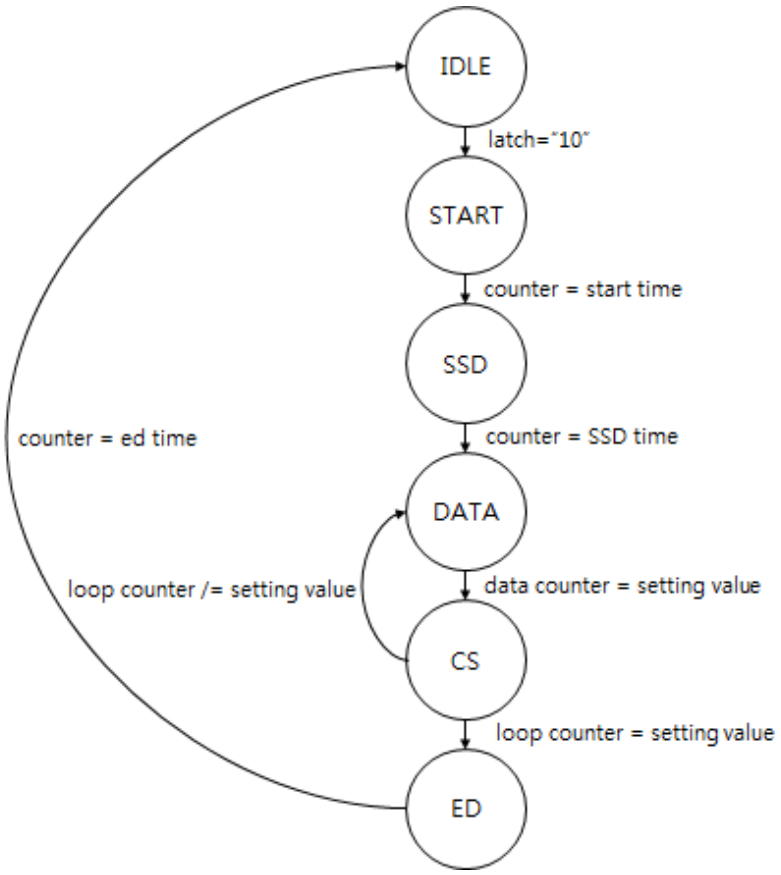


그림 308. MVB Slave Transmitter State Machine

㉮ MVB FPGA 메모리 IO 구조

MVB Board's structure of address in the I/O mapped

register (1bit)	address (15bit)	Name	Description	R/W
0	0000	ID	MVB 고정 ID : 0x96	R
0	0001	ver	0~255 : 구조변경	R
0	0002	rev	0~255	R
0	0003 – 001F	reserved		–
0				–
0	0020	page no		RW
0	0021 – 0220	Slave Response Port(4096비트)	초기 세팅 유효	RW
0	0221	MVB 시작	0xFF일때 시작	RW
0	0222	Master/Slave	Master/Slave : 0x01 , Slave : 0x00	RW
0	0223~022F	reserved		–

MVB Board's structure of address on the I/O mapped for accessing SRAM built-in

page no (5bit)	memory (1bit)	offset address (15bit)	Name	Description	R/W
0	1	0000 – 7FFF	Master list	Fcode(4bit)+Address(12bit)=1word Master(1word)x1ms(16ea)=16word Master(16word)xList(1024time)=32kbyte=0x8000	W
1~4	1	0000 – 7FFF	Slave Responsed data	port(4096ea) x Slave data(32 byte)	W
5~8	1	0000 – 7FFF	Slave Received data	port(4096ea) x Slave data(32 byte)	R

㉮ 펌웨어 프로그램

시험기 펌웨어는 C언어를 사용하여 제작하였으며, MVB 통신에서 CCU(MVB Master) 장치의 동작을 대신한다.

시험기에서 보내는 데이터는 Hyper terminal 프로그램을 통해 사용자의 입력을 받는다. 입력받은 데이터를 조합하여 SIBCOS용 MVB 통신카드로 MVB 데이터를 전송하고, 시험이 가능하도록 한다.

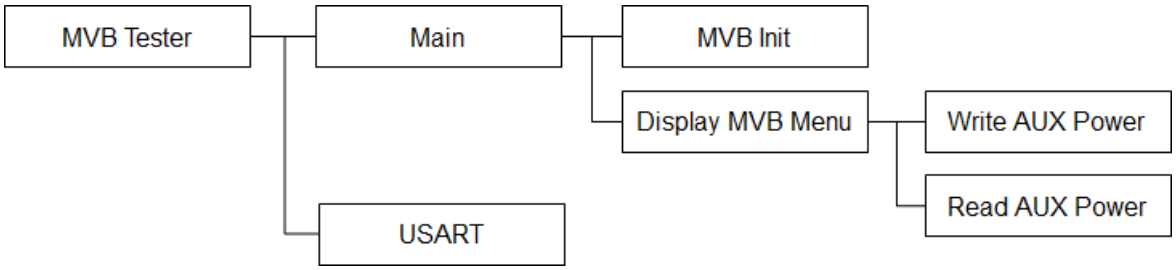


그림 309. MVB 통신 시험기 펌웨어 구성

· Main

펌웨어의 기본설정 및 MVB 통신보드로써 수행하는 전반적인 기능을 담당한다. 사용자의 입력을 받은 데이터를 프로토콜에 맞게 조합하여 SIBCOS용 MVB 통신카드로 전송한다. SIBCOS용 MVB 통신카드로부터 수신한 데이터를 표출한다.

- MVB Init

  MVB 통신에서 Master 모드로 동작하며, SIBCOS용 MVB 통신보드에서 필요한 데이터를 전송받기 위한 설정작업을 진행한다.

- Display MVB Menu

  시스템 내부 메모리에 저장된 사용자 입력 데이터를 프로토콜에 맞게 작성하여, MVB 송신버퍼에 저장한다.

  송신버퍼에 저장된 데이터를 SIBCOS용 MVB 통신카드로 전송한다.

  MVB 통신을 통해 수신된 데이터를 수신버퍼에 저장하여, 화면에 표출할 수 있도록 한다.

- WriteUXPower

  사용자가 입력한 데이터를 이용하여 보조전원장치 제어정보 데이터를 작성한다.

  작성된 보조전원장치 제어정보 데이터를 MVB 송신버퍼에 저장한다.

- ReadAUXState
  MVB 통신을 통해 SIBCOS용 MVB 통신보드에서 전송한 보조전원장치 상태정보를 수신한다.
  보조전원장치 상태정보를 화면에 표출 가능하도록 시스템 내부 메모리에 저장한다.

· USART
- Hyper terminal 프로그램을 통해 사용자로부터 보조전원장치 ON/OFF 조작명령 및 세부 설정사항 등을 입력 받으며, 시스템 내부 메모리에 저장한다. 시스템 내부 메모리에 저장된 MVB 수신 데이터를 Hyper terminal 프로그램을 통해 화면으로 출력한다.

(5) TCU 및 SIBCOS 장치 프로토콜

TCU와 SIBCO 장치의 제어보드와 MVB 통신보드 간의 RS-485 통신에 대한 정의를 하여 다중장치 간의 원활한 통신을 목적으로 한다.

(가) SIBCOS Protocol

① 통신 규격

No	항목	내용	비고
1	통신방식	RS-485 2-line방식	
2	통신속도	19200bps	1s, 8b, np, 1s
3	통신주기	250msec polling	Master = 보조전원장치
4	Protocol	Master-Slave 형식	Modbus 방식
5	Address	2xH	MVB통신카드 주소

② 데이터 포맷

㉯ Data Frame

No	길이	항목	내용	비고
1	3byte	Data header	송신 데이터에 대한 시작 및 정보	
2	가변	Data body	데이터 내용	
3	2byte	Data footer	검사 및 송신데이터의 끝	

STX(1)	ADR(1)	LEN(1)	Data(nn)	BCC(1)	ETX(1)

㉰ Data Header

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	STX								
1	ADR								
2	LEN								

No	길이	항목	내용	비고
1	1byte	STX	[02H] Start of Text	
2	1byte	ADR	[2xH] MVB 통신카드 주소(SIBCOS) [3xH] 모니터링장치 주소(MON)	
3	1byte	LEN	01H ~ FFH(Only data bytes)	

㉱ Data footer

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	BCC								
1	ETX								

No	길이	항목	내용	비고
1	1byte	BCC	Block Checksum ADR+LEN+Data(0)+ …+Data(x) (XOR연산)	
2	1byte	ETX	[03H] End of Text	

㉲ Data Body

AUXn → MVB(SIBCOS)

제목	AUXn --〉 MVB(SIBCOS)	통신방법	RS485 2선식
송신장치	보조전원장치	수신장치	MVB통신카드(SIBCOS)

NO	데이터 종류	내용	송신주기
1	장치 상태정보	보조전원장치의 상태정보를 전송한다.	0.5초

구분	ADR	LEN	내용
REQ(0)	20H	16	AUX1 상태정보 전송(AUX1→MVB(SIBCOS))
	21H	16	AUX2 상태정보 전송(AUX2→MVB(SIBCOS))

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	OP Code								
1	INV_FLT	CONV_FLT	INV_ON	CONV_ON	AUX_RUN	ACV_LV	H_FLT	L_FLT	
2	spare							OTH_FLT	
3	VIN (Input Voltage)								
4	VOUT (Output Voltage)								
5	OFreq (Output Frequency)								
6~15	spare								

제목	보조전원장치 상태정보	Block크기	16byte
송신장치	보조전원장치	수신장치	MVB통신카드(SIBCOS)

NO	항목	내용	크기
1	OP Code	보조전원장치 일반정보전송 (normal : 00H)	1byte
2	L_FLT	Light Fault(경고장) – 0(정상), 1(고장)	1bit
3	H_FLT	Heavy Fault(중고장) – 0(정상), 1(고장)	1bit
4	ACV_LV	입력저전압 - 0(정상), 1(저전압)	1bit
5	AUX_RUN	보조전원장치 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	1bit
6	CONV_ON	보조전원장치용 컨버터 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	1bit
7	INV_ON	보조전원장치용 인버터 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	1bit
8	CONV_FLT	보조전원장치용 컨버터 고장 – 0(정상), 1(고장)	1bit
9	INV_FLT	보조전원장치용 인버터 고장 – 0(정상), 1(고장)	1bit
10	OTH_FLT	보조전원장치 내부회로 고장 – 0(정상), 1(고장)	1bit
11	Spare	예비 (0)	7bit
12	VIN	입력전압 (0 ~ 500V) 2V/bit	1byte
13	VOUT	출력전압 (0 ~ 500V) 2V/bit	1byte
14	OFreq	출력주파수 (0 ~ 60.0Hz) 0.25Hz/bit	1byte
15	Spare	예비 (00H)	10byte

AUXn → MVB(SIBCOS)

제목	MVB(SIBCOS) --> AUXn	통신방법	RS485 2선식
송신장치	MVB통신카드(SIBCOS)	수신장치	보조전원장치

NO	데이터 종류	내용	송신주기
1	장치 제어정보	보조전원장치의 제어정보를 전송한다.	0.5초

구분	ADR	LEN	내용
ANS(0)	20H	16	AUX1 제어정보 전송(MVB(SIBCOS)→AUX1)
	21H	16	AUX2 제어정보 전송(MVB(SIBCOS)→AUX2)

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	OP Code								
1	FREQ_CMD								
2~15	spare								

제목	보조전원장치 제어정보	Block크기	16byte
송신장치	MVB통신카드(SIBCOS)	수신장치	보조전원장치

NO	항목	내용	크기
1	OP Code	보조전원장치 운전모드	1byte
		0xH : 보조전원장치 정지	
		1xH : 보조전원장치 기동	
		x1H : 출력주파수 30.0Hz 설정	
		x2H : 출력주파수 60.0Hz 설정	
		x3H : 출력주파수 입력 모드	
2	FREQ_CMD	출력주파수 (2.0 ~ 60.0Hz) 1.0Hz/bit	1byte
3	Spare	예비 (00H)	14byte

- 보조전원장치의 기본 기동 설정은 2Hz 출력주파수로 기동함
- OP Code 전송 예시
  11H : 출력주파수 30.0Hz로 보조전원장치 기동

(나) TCU Protocol

① 통신 규격

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

② ID 규격

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

㉮ TCU1 제어보드 (Master) ↔ MVB 통신보드 (Slave)

㉯ TCU2 제어보드 (Master) ↔ MVB 통신보드 (Slave)

③ Basic Protocol에 대한 명세

㉠ Basic Format

Abb	Protocol	설명	Size (Byte)
SOH	0x01: Start Code	SOH는 Start Code로 0x01을 사용. Hexadecimal code로 전송되며, Packets의 시작을 나타낸다.	1
SID	Source Device (All Device)	SID 는 패킷을 전송하는 장치 ID	2
DID	Destination Device (All Device)	DID 는 패킷을 수신하는 장치 ID	2
MC	Message Count(0~99)	응답의 경우 요청 Count수와 동일한 Count수를 전송.	2

Abb	Protocol	설명	Size (Byte)
CMD	Command Code	CMD는 프로토콜의 Command Type으로 Command Code Table 참조	2
ADDR	Start Data Address	ADDR은 메모리의 시작 주소	2
DLNG	Read/Write Data Length	DLNG는 메모리의 읽기/쓰기 데이터의 개수	2
LNG	Data Length Code	LNG는 프로토콜 데이터의 길이를 의미하여, LNG 다음부터 CRC16이전까지의 개수 (UNIT부분의 Byte수를 의미)	4
UNIT	장치별 프로토콜	UINT은 각 장치별 프로토콜.	1~64
CHK	CRC16	SID ~ UNIT부분의 CRC16값.	4
EOT	0x04: End Code	EOT부분은 End Code로 0x04를 사용.	1

- Packet의 첫 Byte SOH와 마지막 Byte EOT는 ASCII Table의 Hexadecimal 값을 사용한다.
  예)SOH : 0x01 EOT : 0x04
- Packet의 SOH와 EOT를 제외한 모든 값은 ASCII Code Table의 Character 값을 Hexadecimal 값으로 사용한다.
  예)1Byte Value : 12 -> 31(1), 32(2)
- MC는 프로토콜 요청 Count수를 나타낸다. 응답의 경우 요청 Count수와 동일한 Count 수를 전송
- CMD Code는 Command Code의 종류 참조
- LNG는 프로토콜 데이터의 길이를 의미하며, LNG다음부터 CRC16이전까지의 개수
- CHK은 SID~UNIT까지의 CRC16값
  CHK 값의 범위의 Data는 ASCII Code Table의 30~39(0~9), 40~45(A~F) 값을 사용한다.

㉶ Command Code의 종류

No.	Code	설명
1	0x01	메모리 읽기 요청
2	0x11	메모리 읽기 응답
3	0x02	메모리 쓰기 요청
4	0x12	메모리 쓰기 응답

㉷ Description of Packet

메모리 읽기 요청

Memory Read (TCU1,2 Controller => MVB_Controller)										
No.	Abb	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Size (Byte)
1	SOH	Start Code (0x01)								1
2~3	SID	Source Device (0x11, 0x12)								2
4~5	DID	Destination Device (0x03)								2
6~7	MC	Message Count (0~99)								2
8~9	CMD	Command Code (0x01)								2
10~11	ADDR	Start Data Address								2
12~13	DLNG	Read Data Length								2
14~15	LNG	Data Length Code High (0x00)								2
16~17		Data Length Code Low (0x00)								2
18~19	CHK	CRC16 Code								2
20	EOT	0x04: End Code								1

메모리 읽기 응답

Memory Read (MVB_Controller => TCU1,2 or SIBCOS1,2 Controller)										
No.	Abb	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Size (Byte)
1	SOH	Start Code (0x01)								1
2~3	SID	Source Device (0x03)								2
4~5	DID	Destination Device (0x11, 0x12)								2
6~7	MC	Message Count (0~99)								2
8~9	CMD	Command Code (0x11)								2
10~11	ADDR	Start Data Address								2
12~13	DLNG	Read Data Length								2
14~15	LNG	Data Length Code High								2
16~17		Data Length Code Low								2
18~N		Read Memory Value								1~64
N+1~N+2	CHK	CRC16 Code								2
N+3	EOT	0x04: End Code								1

메모리 쓰기 요청

Memory Write (TCU1,2 or SIBCOS1,2 Controller => MVB_Controller)										
No.	Abb	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Size (Byte)
1	SOH	Start Code (0x01)								1
2~3	SID	Source Device (0x11, 0x12)								2
4~5	DID	Destination Device (0x03)								2
6~7	MC	Message Count (0~99)								2
8~9	CMD	Command Code (0x02)								2
10~11	ADDR	Start Data Address								2
12~13	DLNG	Write Data Length								2
14~15	LNG	Data Length Code High								2
16~17		Data Length Code Low								2
18~N		Write Memory Value								1~64
N+1~N+2	CHK	CRC16 Code								2
N+3	EOT	0x04: End Code								1

메모리 읽기 응답

Memory Write (MVB_Controller => TCU1,2 or SIBCOS1,2 Controller)										
No.	Abb	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0	Size (Byte)
1	SOH	Start Code (0x01)								1
2~3	SID	Source Device (0x03)								2
4~5	DID	Destination Device (0x11, 0x12)								2
6~7	MC	Message Count (0~99)								2
8~9	CMD	Command Code (0x12)								2
10~11	ADDR	Start Data Address								2
12~13	DLNG	Write Data Length								2
14~15	LNG	Data Length Code High (0x00)								2
16~17		Data Length Code Low (0x00)								2
18~19	CHK	CRC16 Code								2
20	EOT	0x04: End Code								1

④ 메모리 구조

프로토콜의 길이는 DLNG(0x20)의 최대값은 32이다. 한 번에 최대 Read할 수 있는 데이터는 32 Byte이다.

예) 첫 번째 Read ADDR : 0x00, 두 번째 Read ADDR : 0x20

㉮ MVB → TCU1 메모리

MVB => TCU1 Memory Value								
ADDR	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x00	'1' 일 때 판토그라프 1 상승	'1' 일 때 판토그라프 2 상승	'1' 일 때 운전실 1 점유	'1' 일 때 운전실 2 점유	역전기 상태 "11" = F "01" = S "10" = R		예비	예비
0x01	견인전동기 1 견인력 / 회생 제동력 설정치 1 bit 증가 시 0.019 KN, 최대값 1487 = 100 KN / 최상위 bit = 부호값							
0x02	견인전동기 2 견인력 / 회생 제동력 설정치 1 bit 증가 시 0.019 KN, 최대값 1487 = 100 KN / 최상위 bit = 부호값							
0x03	속도							
0x04	년							
0x05	월							
0x06	일							
0x07	시							
0x08	분							
0x09	초							
0x0A	소수점 초							

㉲ TCU1 → MVB 메모리

TCU1 => MVB Memory Value								
ADDR	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
0x00	'1' 일 때 추진장치1 ON	'1' 일 때 추진장치2 ON	예비	예비	예비	예비	예비	예비
0x01	견인제어기 TCU1 온도 1bit 증가 시 0.0183℃							
0x02	주변압기권선 1 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x03	견인전동기베어링 1 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x04	견인전동기베어링 2 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x05	견인전동기 1 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x06	견인전동기 2 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x07	주변환기 1 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x08	냉각수 온도 1 bit 증가 시 0.0183 ℃							
0x09	견인전동기 1 견인력 / 회생 제동력 1 bit 증가 시 0.019 KN, 최대값 1487 = 100 KN / 최상위 bit = 부호값							
0x0A	견인전동기 2 견인력 / 회생 제동력 1 bit 증가 시 0.019 KN, 최대값 1487 = 100 KN / 최상위 bit = 부호값							
0x0B	가선전압 1 bit 증가 시 1.519 V							
0x0C	가선전류 1 bit 증가 시 0.030 A							

마. MVB 통신보드 개발결과

No	항목	연구 내용
마.	MVB 통신보드 개발결과	(1) MVB Frame 분석 (2) MVB Master 로직 구현 (3) TCU 및 SIBCOS MVB 통신포트 검색 (4) 현차시험을 통한 MVB 통신 프로토콜 분석

(1) MVB Frame 분석

(가) 목적

대상차량에 적용된 MVB 통신 사양을 분석하여 보드에 적용하는 것을 목표로 한다.

(나) 내용

① 현차시험에서 취득한 파형을 MVB 표준 IEC61375와 비교 분석하였다. 취득한 파형은 Line A와 Line B로 이중화되어 있고 이중화된 라인은 지연 없이 동일하게 동작한다.

② 트래스포머와 입력회로가 정상동작을 하였고 표준에서 정의된 파형으로 분석되었다.

③ 취득하여 분석된 파형은 MVB 신호 모델링하여 시뮬레이션에 사용되었다. 시뮬레이션은 모델심을 사용하였고 파형은 Testbench로 작성하였다.

④ 규격을 통해 분석한 MVB Frame Formats을 기준으로 전기기관차(8200호대)에서 실제로 통신하는 데이터 Frame을 비교분석하여 MVB 통신 분석보드와 통신보드 개발 시 적용하여 구현하였다.

⑤ 현차시험에서 MVB의 데이터를 분기하여 MVB 통신 분석보드 V1을 설치하여 분석보드 출력에 계측기(Oscilloscope, Logic Analyzer)를 사용하여 실측하여 분석하였다.

(다) 결과

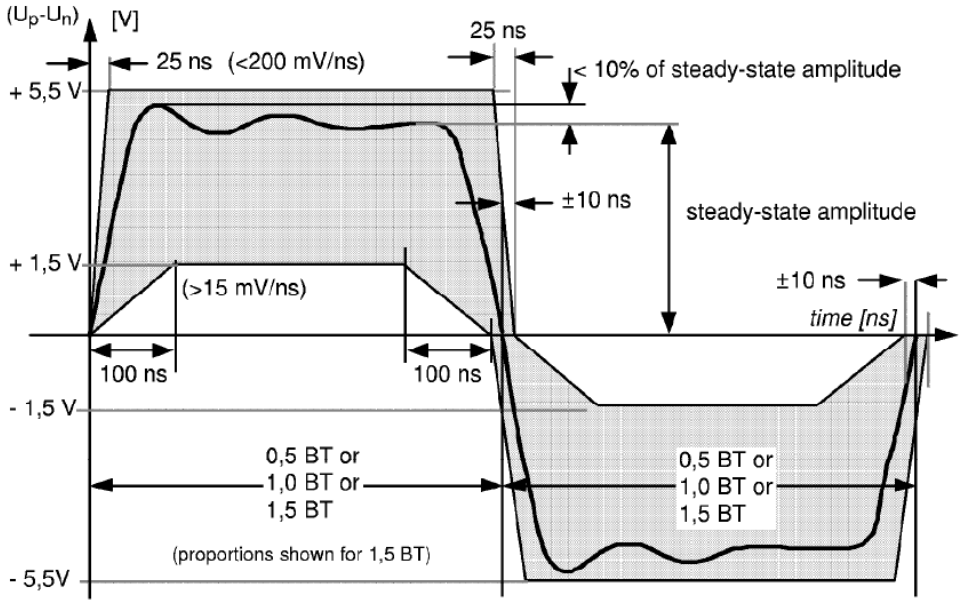


그림 310. 표준 MVB EMD 파형

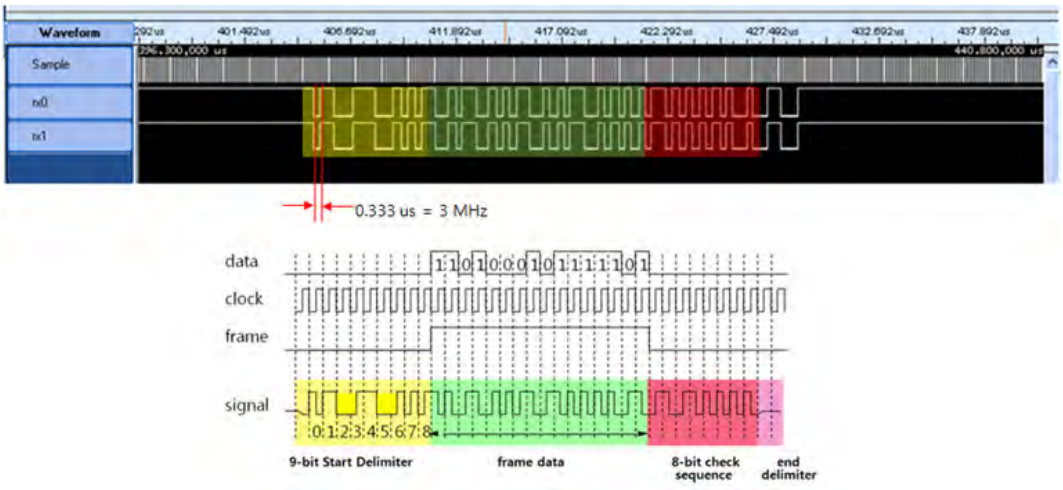


그림 311. MVB 타이밍 데이터 분석

[시간 : us]

상태	데이터	시간	구분
Wait		330	

MSD		6	Start	MSD
F_Code	**0x3**	10.7	F_Code	Frame data
address	0x0f6		address	
CS	0x4e	5.3	Check seq	
ED		1.4	ED	

Wait		2.2	

SSD		6	Start	SSD
Frame data(CS)	00 00 00 00 00 00 00 00 **ff** 00 00 00 00 00 00 00 97 **7f**	90	Frame data	
ED		1.4	ED	

Wait		2.3	

MSD		5.9	Start	MSD
F_Code	**0x04**	10.7	F_Code	Frame_data
adress	0x024		address	
CS	0x20	5.3	Check seq	
ED		1.4	ED	

Wait		2.2	

SSD		5.9	Start	SSD
Frame data(CS)	00 00 00 00 f8 23 01 48 **cd** c1 ff ff ff 73 ff ff ff 87 b2 **87** a1 f7 ff ff ff ff **4d** ff ff ff ff ff ff ff ff fc	192	Frame data	
ED		1.4	ED	

Wait		2.2	

상태	데이터	시간	구분	
MSD		6	Start	MSD
F_Code	**0x04**	10.7	F_code	Frame data
adress	0x025		address	
CS	0x8b	5.3	Check seq	
ED		1.4	ED	
Wait		2.2		
SSD		5.9	Start	SSD
Frame data(CS)	00 00 00 00 38 58 03 66 **b8** 03 d7 00 00 00 00 00 30 **ed** 8e 80 04 2d 05 5f 05 4c **73** 00 6a a9 ff ff ff ff ff a6	192	Frame data	
ED		1.4	ED	
Wait		2.3		
MSD		6	Start	MSD
F_Code	**0x02**	10.7	F_Code	Frame_data
adress	0x004		address	
CS	0x09	5.3	Check seq	
ED		1.4	ED	
Wait		2.2		
SSD		6	Start	SSD
Frame data(CS)	73 1c 0f 08 00 01 00 ff **74**	48	Frame data	
ED		1.4	ED	
Wait		2		
MSD		6	Start	MSD
F_Code	**0x9**	10.7	F_Code	Frame data
address	0x110		address	
CS	0x7e	5.3	Check seq	
ED		1.4	ED	
Wait		308		

(2) MVB Master 로직 구현

(가) 목적

메인제어장치에서 각 장치로 전송하는 패킷의 형태 및 주기데이터를 파악하여 동일하게 로직 설계하였다.

① MVB 통신 프로토콜 분석에 활용

② MVB 통신보드 시험기에 활용

(나) 내용

MVB Frame 분석을 통해 도출된 Master 리스트를 기준으로 Master 로직을 FPGA로 구현한다.

FPGA는 Master 리스트를 입력받아 Master Transmitter에서 Check Sequence를 맞춰 전송한다. Slave Receiver에서 수신 받으면 Master Transmitter는 대기 후 동작한다. Mater Receiver를 수신 받으면 수초 후 Master Frame이 없으면 전송한다.

현차시험에서 MVB 통신 분석보드를 통해 Manchester Decoding 후 데이터를 분석하였다. 타이밍 데이터 분석에서 분석된 MSD와 SSD를 제외하고 유효데이터를 분석하고 로그파일로 저장하였다. 표준 프로토콜의 Fcode와 Address, Check Sequence, Data를 비교 분석하여 정상동작하는 것을 확인하였다.

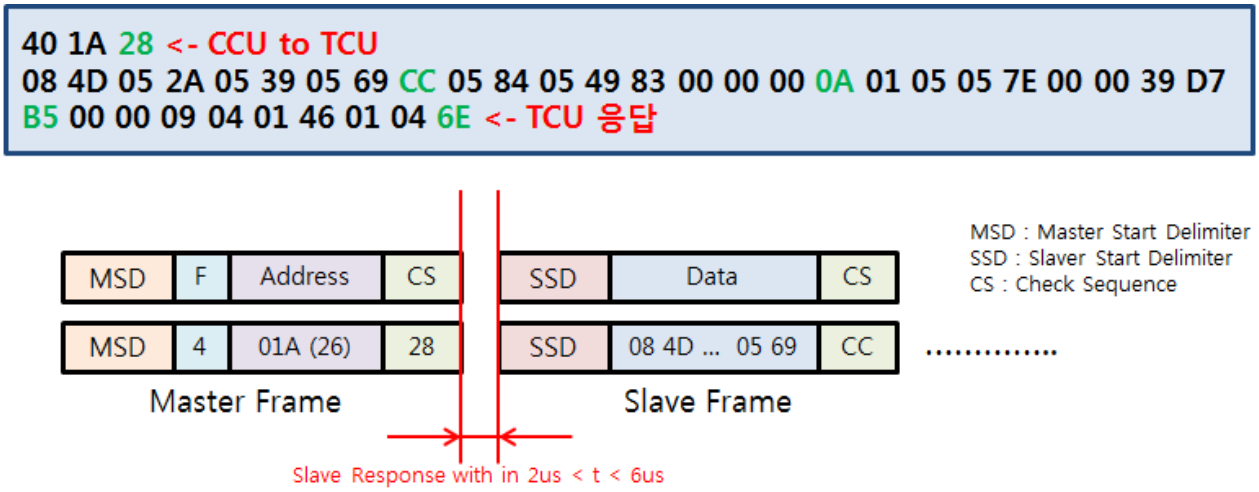


그림 312. 프로토콜 데이터 분석

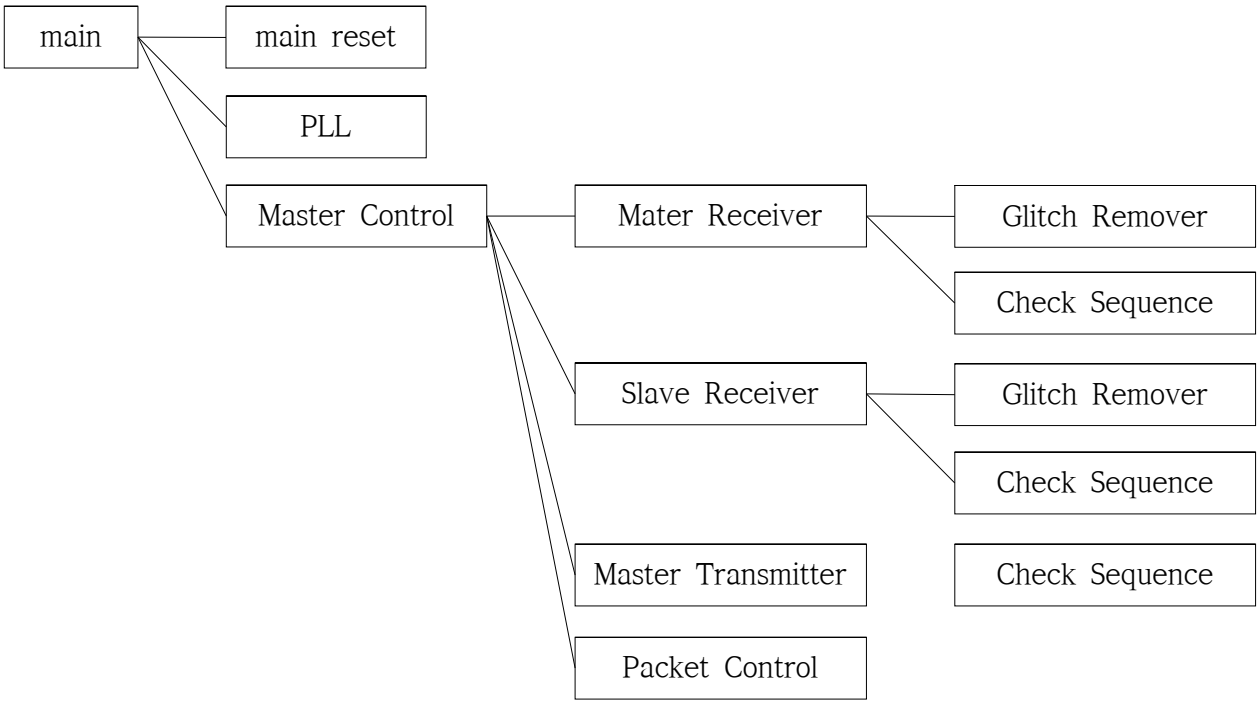


그림 313. MVB Master 로직 구성

(다) 결과

MVB 통신보드 시험기에 탑재하여 MVB 통신보드의 동작을 확인한다.

표 52. MVB board's structure of address in the I/O mapped

register (1bit)	address (15bit)	Name	Description	R/W
0	0000	ID	MVB 고정 ID : 0x96	R
0	0001	ver	0~255 : 구조변경	R
0	0002	rev	0~255	R
0	0003 – 001F	reserved		–
0				–
0	0020	page no		RW
0	0021 – 0220	Slave Response Port(4096비트)	초기 세팅 유효	RW
0	0221	MVB 시작	0xFF일때 시작	RW
0	0222	Master/Slave	Master/Slave : 0x01 , Slave : 0x00	RW
0	0223~022F	reserved		–

표 53. .MVB board's structure of address in the I/O mapped for accessing SRAM built-in

page no (5bit)	memory (1bit)	offset address (15bit)	Name	Description	R/W
0	1	0000 – 7FFF	Master list	Fcode(4bit)+Address(12bit)=1word Master(1word)x1ms(16ea)=16word Master(16word)xList(1024time)=32k byte=0x8000	W
1~4	1	0000 – 7FFF	Slave Responsed data	port(4096ea) x Slave data(32 byte)	W
5~8	1	0000 – 7FFF	Slave Received data	port(4096ea) x Slave data(32 byte)	R

(3) TCU 및 SIBCOS MVB 통신포트 검색

(가) 목적

① 대상 장치의 MVB 통신포트를 검색하여 프로토콜 분석 범위를 명확하게 정의하는 데 목적이 있다.

② 하나의 장치에 여러 개의 포트가 할당 되어 있는 경우, 포트별로 프로토콜이 다르기 때문에 구분하여 프로토콜 분석을 해야 한다.

(나) 방법

① 전기기관차 8200호대는 총 13개의 장치가 MVB 통신에 참여한다. 각 장치는 MVB 통신 표준에 의해 1개 이상의 포트를 할당하고 있다.

② MVB 통신 분석보드 V3에 검색과 분석을 위한 두 개의 기능을 구현하여 그림과 같이 구성한다. 검색 대상 장치에 표준과 같이 마스터 패킷을 폴링하면, 대상장치는 해당하는 포트에 응답을 하게 되고 응답 슬레이브 패킷을 MVB 로그 프로그램을 통해 확인된다.

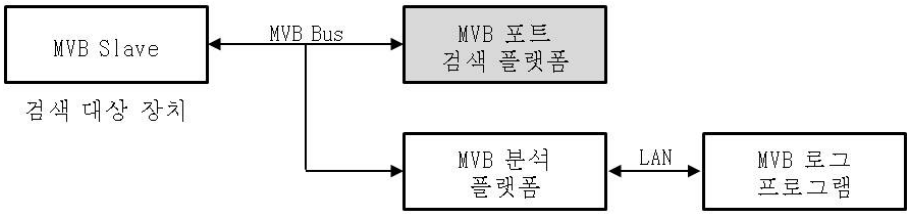


그림 314. MVB 통신포트 검색 구성

③ MVB 슬레이브 포트 검색은 MVB 통신 분석보드 V3에 내장된 FPGA로 구현하였으며, 기본 동작은 마스터 포트를 생성하여 MVB 송신기로 전송한다. 마스터 패킷과 슬레이브 패킷이 충돌하지 않도록 MVB 통신 라인을 제어한다.

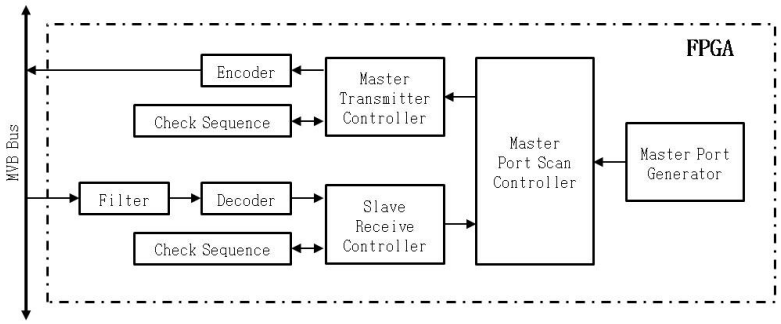


그림 315. MVB 포트 검색 플랫폼 내 FPGA 구성

(다) MVB 통신 포트 분석 결과

Device	CCU	GW	TCU1,2	IBP1,2	ATP1,2	MMI1,2	MFA1,2	KLIP1,2,3	KMICRO	AUX1,2
Port	30	7	16	6	4	4	5	9	41	6
설명	Master 기능 Polling List	TCN Gateway	Response	Response	Response	Response	Response	Response	Response	Response

No	F_Code	장치	포트	
			Dec	Hex
1	0	CCU	2	2
2	0	CCU	3	3
3	2	CCU	4	4
4	3	KlIP1	5	5
5	3	KLIP2	7	7
6	3	KLIP1	8	8
7	4	KlIP3A	9	9
8	3	KLIP2	10	00A
9	3	KlIP3A	11	00B
10	3	GW	12	00C
11	3	GW	13	00D
12	4	CCU	14	00E
13	1	CCU	15	00F
14	8	CCU	16	10
15	F	CCU	16	10
16	4	IBP1	16	10
17	4	IBP1	17	11
18	4	CCU	18	12
19	F	GW	20	14
20	4	CCU	21	15
21	4	MFA1P22 DSK	22	16
22	4	TCU1	23	17
23	4	MFA1	24	18
24	F	TCU1	24	18
25	4	CCU	25	19
26	F	TCU2	25	19
27	4	TCU2	26	01A
28	4	MFA2	27	01B
29	4	TCU1	29	01D
30	4	TCU1	30	01E
31	4	TCU2	31	01F
32	F	IBP1	32	20
33	4	TCU2	32	20
34	F	IBP2	33	21
35	4	CCU	33	21
36	3	CCU	34	22
37	4	CCU	35	23
38	4	CCU	36	24
39	4	TCU1	37	25
40	4	TCU2	39	27
41	4	CCU	41	29
42	4	CCU	42	02A
43	4	TCU1	43	02B
44	4	TCU2	44	02C
45	4	MMI1	51	33

No	F_Code	장치	포트	
			46	Hex
46	4	MMI2	52	34
47	4	CCU	53	35
48	4	CCU	54	36
49	4	CCU	55	37
50	4	CCU	56	38
51	4	CCU	57	39
52	4	IBP1	58	03A
53	4	IBP2	59	03B
54	4	CCU	60	03C
55	3	IBP1	70	46
56	3	IBP2	71	47
57	3	CCU	80	50
58	F	ATP	85	55
59	F	ATP	86	56
60	F	MMI1	96	60
61	F	MMI2	97	61
62	2	CCU	100	64
63	F	MFA1	104	68
64	F	MFA2	105	69
65	F	KLIP1	112	70
66	F	KLIP2	113	71
67	F	KLIP3A	114	72
68	3	CCU	140	08C
69	4	CCU	200	0C8
70	4	CCU	201	0C9
71	4	GW	210	0D2
72	4	GW	211	0D3
73	4	GW	212	0D4
74	4	GW	213	0D5
75	4	CCU	216	0D8
76	3	TCU1	246	0F6
77	3	TCU1	247	0F7
78	3	TCU2	256	100
79	3	TCU2	257	101
80	4	AUX11	410	19A
81	4	AUX11	411	19B
82	4	AUX12	420	1A4
83	4	AUX12	421	1A5
84	1	CCU	516	204
85	4	ATP	1216	4C0
86	4	ATP	1224	4C8
87	F	KMICRO	1504	5E0
88	0	KMICRO	1504	5E0
89	0	KMICRO	1505	5E1
90	0	KMICRO	1506	5E2

No	F_Code	장치	포트	
			Dec	Hex
91	0	KMICRO	1507	5E3
92	0	KMICRO	1508	5E4
93	0	KMICRO	1509	5E5
94	0	KMICRO	1510	5E6
95	0	KMICRO	1511	5E7
96	1	KMICRO	1504	5E0
97	1	KMICRO	1505	5E1
98	1	KMICRO	1506	5E2
99	1	KMICRO	1507	5E3
100	1	KMICRO	1508	5E4
101	1	KMICRO	1509	5E5
102	1	KMICRO	1510	5E6
103	1	KMICRO	1511	5E7
104	2	KMICRO	1504	5E0
105	2	KMICRO	1505	5E1
106	2	KMICRO	1506	5E2
107	2	KMICRO	1507	5E3
108	2	KMICRO	1508	5E4
109	2	KMICRO	1509	5E5
110	2	KMICRO	1510	5E6

No	F_Code	장치	포트	
			46	Hex
111	2	KMICRO	1511	5E7
112	3	KMICRO	1504	5E0
113	3	KMICRO	1505	5E1
114	3	KMICRO	1506	5E2
115	3	KMICRO	1507	5E3
116	3	KMICRO	1508	5E4
117	3	KMICRO	1509	5E5
118	3	KMICRO	1510	5E6
119	3	KMICRO	1511	5E7
120	4	KMICRO	1504	5E0
121	4	KMICRO	1505	5E1
122	4	KMICRO	1506	5E2
123	4	KMICRO	1507	5E3
124	4	KMICRO	1508	5E4
125	4	KMICRO	1509	5E5
126	4	KMICRO	1510	5E6
127	4	KMICRO	1511	5E7
128	2	CCU	1512	5E8
129	F	AUX11	1792	700
130	F	AUX12	1793	701

(라) 장치 별 상태 분석

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

Device : CCU (Class 4 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 010 DEC = 16

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	53	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	BA "1" = 주기목록 실현키 bit 1	BA "1" = 주기목록 실현키 bit 0	BA "1" = 실현키와 master 기능 "1"	BA "1" = 현재 master 이면 "1"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : GW (Class 5 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 014 DEC = 20

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	38	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	GW "1" = 정적 장애 기능 "1"	GW "1" = 동적 장애 기능 "1"	GW "1" = "0"	GW "1" = "0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : TCU1 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 018 DEC = 24

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : TCU2 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 019 DEC = 25

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : IBP1 (Class 1 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 020 DEC = 32

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : IBP2 (Class 1 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 021 DEC = 33

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : ATP (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 055 DEC = 85

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : ATP (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 056 DEC = 86

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : MMI1 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 060 DEC = 96

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	90	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : MMI2 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 061 DEC = 97

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	90	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : MFA1 (Class 1 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 068 DEC = 104

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : MFA2 (Class 1 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 069 DEC = 105

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : KLIP1 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 070 DEC = 112

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : KLIP2 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 071 DEC = 113

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : KLIP3 (Class 2 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 072 DEC = 114

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	10	Device Status and Process Data "0" Special Device "1"	Bus Administrator "1"	Gateway "1"	Message Data "1"	"0"	"0"	"0"	"0"
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : KMICRO (Class 1 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 5E0 DEC = 1504

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	80 / 00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : AUX11 (Class 1 Device)

F_Code : F

Address : HEX = 700 DEC = 1792

Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

Device : AUX12 (Class 1 Device)
F_Code : F
Address : HEX = 701 DEC = 1793
Slave Frame

Byte	Default	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1	00	Class 1 Device							
0	00	Line A 수신 "1"	여분 Line 교란	통신 시스템 장애 "1"	장치 장애 "1"	Reply 장애 "1"	강제 장치 "1"	장치 준비되지 않으면 "1"	예비 시스템 "1"

(4) 현차시험 통한 MVB 통신 프로토콜 분석

(가) 현차시험 결과

차수	목적	결과
1차	MVB 통신선 검증 측정 포인트 확보 시험 (TCU)	MVB 통신선 특성 분석 (고속 통신용, 길이 제한.)
2차	MVB 통신선 검증 측정 포인트 확보 시험 (TCU) 통신 분석보드 V1 기능 검증	MVB 통신선 특성 검증. TCU 측정 포인트 확보. MVB 통신 파형 측정(로직 아날라이저)
3차	측정 포인트 확보 시험 (KLIP) 통신 분석보드 V2 기능 검증 및 데이터 취득	현차 특성 분석. KLIP 측정 포인트 확보. MVB 통신 데이터 취득(로직아날라이저)
4차	통신 분석보드 V2 기능 검증 분석프로그램 검증	MVB 통신 데이터량 확인. 분석프로그램 문제점 확인.
5차	통신 분석보드 V2 기능 검증 분석프로그램 검증	분석프로그램 검증.
6차	통신 분석보드 V2를 이용한 MVB 통신데이터 취득	실시간 프로토콜 확인. MVB 통신 데이터 취득(로그 파일)
7차	MVB 장치 및 시험기 확인 통신 분석보드 V3 기능 검증 MVB 통신 데이터 취득	통신 분석보드 V3 기능 검증. MVB 통신 데이터 취득(로그 파일)
8차	포트 검색 포인트 및 현차 분석	축전지 전원 인가 후 포트 검색 가능. (TCU 제외)
9차	통신 분석보드 V3 기능검증 동적시험 (구내시험)	안정성 검증. 시운전 시 영향을 받지 않음.
10차	MVB 통신 포트검색	CCU, GW, IBP, KLIP, K-Micro, MFA, SICBOS 장치 포트 검색 완료.
11차	프로토콜 분석 TCU 포트 검색	전기도면과 프로토콜을 일치성 확인. TCU1, TCU2 장치 포트 검색 완료.
12차	분석소프트웨어 변경 및 추가 분석소프트웨어 호환성 검증 프로토콜 분석	통신 분석보드 V3과 현차와의 호환성 검증. 전기도면과 프로토콜을 일치성 확인.
13차	CCU, TCU, SIBCOS 프로토콜 분석	CCU, TCU, SIBCOS 프로토콜의 표준화 데이터 분석
14차	현차시험을 통한 프로토콜 분석	지령 및 응답 프로토콜 분석

15차	SIBCOS 프로토콜 분석	현차의 시작과 끝에서 동작하는 SIBCOS 프로토콜 분석
16차	시험기 TCU를 조작하여 프로토콜 분석	MVB 통신 표준에 위배되는 방법으로 고장정보 발생.
17차	SIBCOS 프로토콜 분석	SIBCOS 연장급전 프로토콜 분석
18차	동적시험 (미실시)	전기기관차의 MSD 표준 위배, 추후 대상 차량 확인 필요
19차	동적시험 (구내시험)	구내 시험에서 견인력/제동력 데이터 분석. 고정값 확인.
20차	동적시험 (구내시험)	고정값 확인.

(나) 프로토콜 분석결과

① TCU

장치	기능	설명	데이터 크기	비고
TCU1	주변압기권선1 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	견인전동기베어링1 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	견인전동기베어링2 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	견인전동기1 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	견인전동기2 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	주변환기1 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	견인제어기 TCU1 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU1	견인전동기1 견인력 / 회생 제동력	1bit 증가 시 0.019KN	2Byte	
TCU1	견인전동기2 견인력 / 회생 제동력	1bit 증가 시 0.019KN	2Byte	
TCU1	HEP V 출력	1bit 증가 시 0.030 V	2Byte	
TCU1	HEP F cur	1bit 증가 시 0.061 Hz	2Byte	
TCU1	보조전원상태1	HEP ON 또는 F set 60Hz 시 Active High	1bit	
TCU1	보조전원상태1	Ready On 시 Active High	1bit	
TCU1	냉각수 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	주변압기권선2 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	견인전동기베어링4 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	견인전동기베어링3 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	견인전동기4 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	견인전동기3 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	주변환기2 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	
TCU2	추진장치 3	On 시 Active High	1bit	
TCU2	추진장치 4	On 시 Active High	1bit	
TCU2	견인제어기 TCU2 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	

TCU2	견인전동기3 견인력 / 회생 제동력	1bit 증가 시 0.019KN	2Byte	
TCU2	견인전동기 4 견인력 / 회생 제동력	1bit 증가 시 0.019KN	2Byte	
TCU2	보조전원상태 출력 전압 2	1bit 증가 시 0.030 V	2Byte	
TCU2	보조전원상태 주파수 cur 2	1bit 증가 시 0.061 Hz	2Byte	
TCU2	보조전원상태2	HEP ON 또는 F set 60Hz 시 Active High	1bit	
TCU2	보조전원상태2	Ready On 시 Active High	1bit	
TCU2	냉각수 온도	1bit 증가 시 0.0183℃	2Byte	

장치	기능	설명	데이터 크기	비고
CCU	견인력1	-	2Byte	
CCU	견인력2	-	2Byte	
CCU	속도	-	2Byte	
CCU	시간 설정	-	6Byte	
CCU	판토그라프 1	상승 시 Active High	1bit	
CCU	역전기 상태	fl = F / Cl = s / D = R	3bit	
CCU	운전실 2	점유 시 Active High	1bit	
CCU	운전실 1	점유 시 Active High	1bit	
CCU	판토그라프 2	상승 시 Active High	1bit	
CCU	차량번호	82??	3Byte	

② SIBCOS

장치	기능	설명	데이터 크기	비고
AUX	보조전원상태1	입력 전류 1	2Byte	
AUX	보조전원상태1	입력 전압 1	2Byte	
AUX	보조전원상태1	전압 zk 1	2Byte	
AUX	보조전원상태1	출력 전압 1	2Byte	
AUX	보조전원상태1	주파수 Cur 1	2Byte	
AUX	보보전원상태2	입력 전류 2	2Byte	
AUX	보보전원상태2	입력 전압 2	2Byte	
AUX	보보전원상태2	전압 zk 2	2Byte	
AUX	보보전원상태2	출력 전압 2	2Byte	
AUX	보보전원상태2	주파수 Cur 2	2Byte	

CCU	보조전원상태1	Power On 시 Active High	1bit	
CCU	보조전원상태1	AUX On 또는 보조전원 1.1 시 Active High	1bit	
CCU	보조전원상태 1F set	1bit 증가 시 0.0645Hz	2Byte	
CCU	보조전원상태 1dF set	1bit 증가 시 0.0645Hz	2Byte	
CCU	보조전원상태2	Power On 시 Active High	1bit	
CCU	보조전원상태2	AUX On 또는 보조전원 1.2 시 Active High	1bit	
CCU	보조전원상태2 F set	1bit 증가 시 0.0645Hz	2Byte	
CCU	보조전원상태2 dF set	1bit 증가 시 0.0645Hz	2Byte	

5. 전기기관차 견인전동기 기술개발

가. 견인전동기 개요

(1) 목적

국가R&D로 연구수행중인「전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발」과제의 전기기관차 견인전동기 개발을 위해 기존품을 분석하고 연구개발품 의 기본사양을 정립하여 연구개발에 반영하고자 함을 목적으로 한다.

(2) 범위

국산화 개발하기 위한 기존품 조사, 국산화 설계 및 제작자료 수집, Sample 1대 시작품 제작 및 이에 따른 결과를 보완한 시제품 2대를 제작하여 인버터 조합 견인전동기 특성시험으로 설계, 제작기술을 확보한다.

나. 기술자료 분석 및 설계

(1) 기본사양

전동기를 전기 에너지에 따라 교류와 직류로 구분하고 교류기를 크게 동기기와 유도기로 분류되며 유도기를 입력전원의 상(Phase)별로 분류하면 단상과 3상으로 구분한다. 3상 유도전동기는 회전자의 구조에 따라 농형과 권선형으로 나누어지며 개발품 전동기는 농형전동기는 기동 토오크에 따라 보통 농형과 심구 농형으로 나누어지며, 개발품인 전기기관차 8200호대의 전동기는 4극 3상 AC 유도전동기로 고정자, 회전자, 베어링 실드(Bearing Shield)부로 구성되어 있고 반부하측 개방부위를 통하여 고정자 하우징으로 유입되는 개방된 통풍방식의 냉각방식으로 프레임레스형이다. 유도전동기는 회전속도가 일정한 것이 단점 이지만 최근에는 제어시스템의발전으로 전압과 주파수 변환하여 제어하는 인버터(VVVF) 컨트롤을 활용한 속도제어가 일반화 되고 있으며 개발품 또한 인버터 제어 운전하는 기관차 견인용 유도전동기이다. 기존품의 동력전달 시스템은 전동기+멤브레인 커플

링+기어박스로 되어있으며 전동기의 기구적 구조는 크게 고정자와 회전자로 되어 있고 회전자에는 축, 베어링으로 구성 되어있다. 또한 전동기에는 속도 검출용 센서를 취부 하여 속도를 제어 운전하게 되어있다. 부하와의 연결은 기어박스와 커플링을 통해 피니언기어와 연결된다. 아래 그림은 멤브레인 커플링과 기어박스와 결합된 그림, 전동기의 조립 전개도를 나타낸 그림이다.

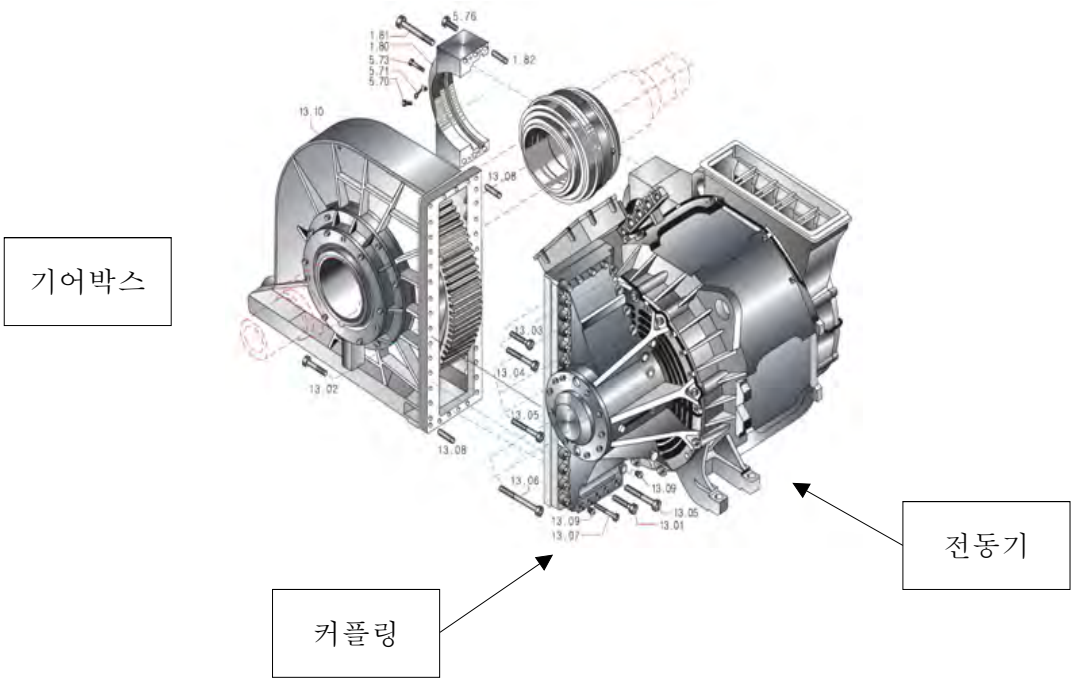


그림 316. 전동기, 커플링, 기어박스가 결합된 형상

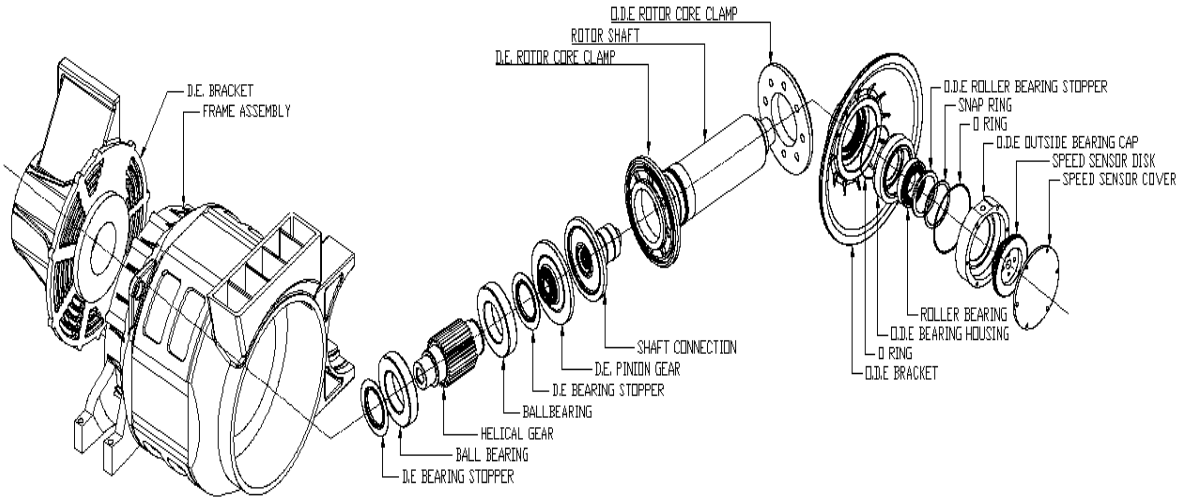


그림 317. 전동기 조립 전개도

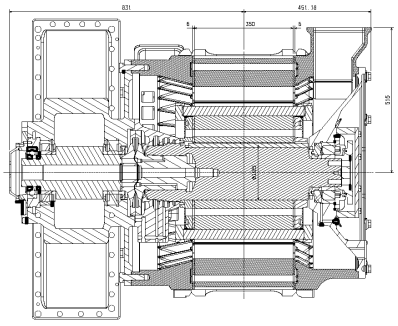
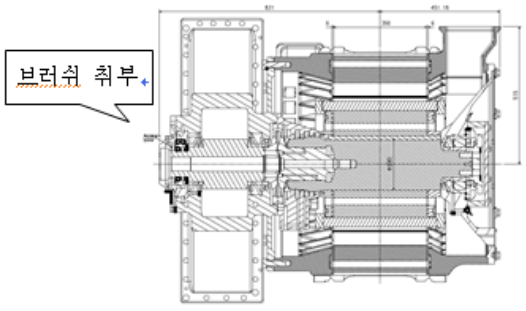
(가) 기존품과 사양비교

구분	기존품	개발품
정격전압	2200V	좌동
정격용량	1300KW	좌동
정격전류	500A	좌동
정격속도	2273RPM	좌동
주파수	76.4Hz	좌동
열상승등급	200Class	240Class
축외경(반부하측)	ø95	ø100
베어링(반부하측)	NU219	NU320
고정자 코일	E.T.P Wire	O.F.H.C Wire
회전자 바	Cu. Bar	좌동
베어링 강도	최대허용하중의 22.8%	최대허용하중의 25.2%
절연 브러쉬	없음	있음
프레임 냉각	-	프레임찬넬 냉각창 구현

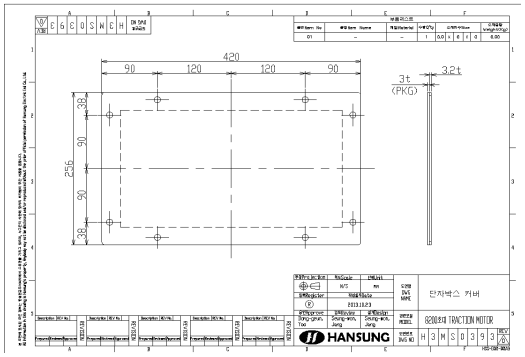
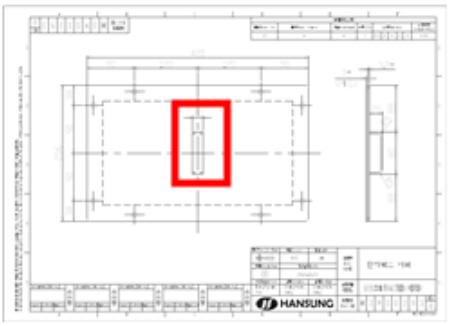
(나) 사용자 요구사항

현상	요구사항	개선안
부하불균형,회생제동 실패 다수 발생	베어링 절연 보강 개선	축전류방지 브러쉬 채택
베어링절연파괴 및 그리이스변질	일정거리 주행후 교환요구	정비주기 재설정 필요
전동기 자체케이블 커넥터 점검곤란	-	수용곤란
그리이스 주입량 육안검사 곤란	부하측 및 반부하측 투사구 설치	지그제작 고려중
송풍기 공기도관(사복관)고정이 힘듬	-	-
각센서 접속부의 잦은 고장	커넥터 부위 튼튼한 제작	외자 수입품으로 별도
전동기 케이블 커버 취외시 위험	커버에 손잡이 제작	손잡이 부착 도면 변경
케이블 볼트 조임 타입 불편	8522호대 커넥터 참고	추후 검토
고정자나 회전자 확인 불능	확인가능 점검구 요구	외형상 불가능
속도센서 불량개소 파악 어려움	센서검사 시험기 개발	추후 검토

❍ 축전류 방지 Brush 채택

기존품 도면	개발품 도면
	

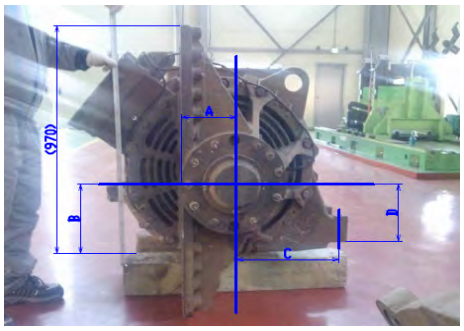
○ 전동기 케이블 커버 취급시 위험(손잡이 부착)

기존품 도면	개발품 도면
	

(다) 기존품 외형

8200호대 기관차에 사용하는 기존 품을 3D 치수 측정을 하고 분해하여 내부 코아 및 코일 치수를 스케치 하였고 외피는 주철이 아닌 주강으로 진동에 견디도록 기계적 강도를 향상한 재질로 제작하였음을 확인 하였다. 아래 그림은 기존 품의 외형을 실측 하는 사진이다.





(라) 수명설계

전동기의 수명은 곧 온도상승의 영향이 가장 크다. 온도상승을 억제하기 위해 필연적으로 발생하는 손실을 최소화 하고 냉각방법과 구조를 적절히 하여 전동기 수면 신뢰성을 확보한다. 전동기 내부에서 발생하는 손실에는 다음과 같은 종류가 있다.

① 철손 : 자기회로 중에서 자속이 시간적으로 변화함으로써 발생하는 것으로 코아(고정자 및 회전자 철심)에 발생한다.
② 동손 : 권선 코일의 저항에 의한 저항손실에 의해 발생 한다.
③ 기계손(마찰손) : 기계손은 마찰손과 풍손으로 구분되며 주로 베어링 마찰에 의한 손실이다
④ 기계손(풍손) : 전동기 회전부분이 그 주변공기를 움직이게 하는데 소요되는 에너지 손실을 발생하는 손실이다.
⑤ 표류부하손 : 코일도체의 표피효과에 의한 손실,순환전류에 의한 손실을 말하며 실험적 측정은 가능하나 이론상으로 계산하기 어려운 손실이다.
⑥ 아래 그림은 온도상승을 계산하기 위한 일반적인 열 등가 회로이다. 여기서 Wc1은 1차

동손, Wc2는 2차동손, Wi는 철손, Rx는 열 저항이다. 개발품의 온도상승은 240 Class로 설계하여 제작하였다.

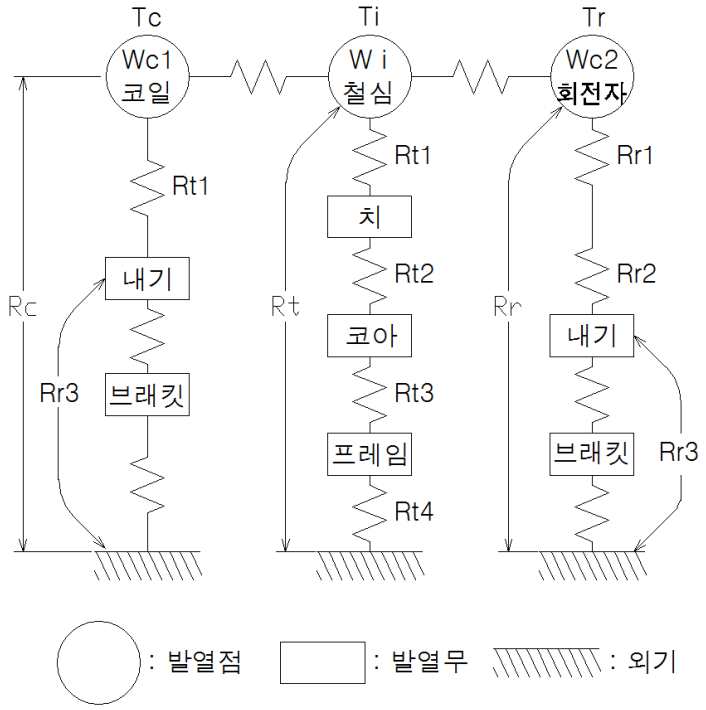


그림 320. 전동기 열 등가 회로

(마) 베어링, 축 사이즈

① 베어링, 축 사이즈

기존품 사용중 가장 많은 사고 부위가 베어링 온도와 수명이다. 기존 베어링 규격인 NU219와 축과의 관계를 해석하고 축과 베어링의 사이즈를 개선 하였다. 해석결과 하중 515N/mm^2 / 1176N/mm^2 / 최대 허용하중의 22.8% 으로 나타났다. 이에 따른 축의 1차 제품은 아래 그림6.과 같다. 기존품의 축 응력 분포도는 그림 322와 같다. 개발품에 적용할 베어링 NU320의 한축 사이즈를 변경한 축 응력 분포도도 상세설계에서 자세히 설명하였다. 축 직경 사이즈를 기존의 95mm에서 100mm으로 변경 하였다.



그림 321. 1차 제작한 축

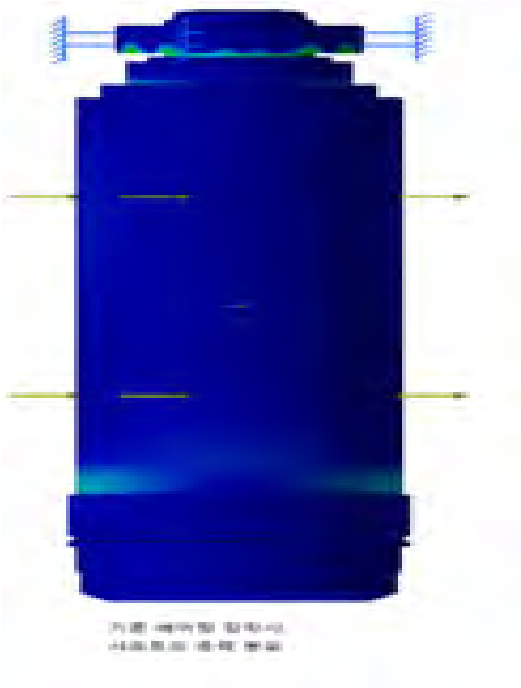


그림 322. 기존품의 축응력 분포도

② 베어링 사이즈

기존품의 베어링 NU219는 하중 515N/㎟/1176N/㎟/최대 허용하중의 22.8%. 개발품의 베어링 NU320은 하중 465N/mm^2 / 1176N/mm^2 / 최대 허용하중의 25.2% 로서 베어링 규격 변경으로 베어링 강도가 2.4% 향상되었다.

③ 베어링 커버

기존품의 베어링 커버는 금속 시편으로 성분분석을 아래와 같이 하였다.

시험기관 : 한국화학융합시험연구원

시험방법 : KSD 1652-2007

시험결과

표 54. 베어링커버 성분분석표

항목	단위	결과
C	%	0.18
Si	%	0.41
Mn	%	1.41
P	%	0.015
S	%	0.027
Cr	%	0.12
Mo	%	0.002

④ 베어링 그리스 분석

기존품의 베어링 그리스 분석을 한국 고분자 시험연구소를 통하여 실시하였고, 아래의 표와 같이 성분분석이 되었다.

- 품명: Shell사의 Retinax LX3
- 분석기기: Thermo사 iCAP 6300 Series
- 결과(시험기관:한국고분자시험연구소)

시료이름	분석원소	분석 파장 (nm)	ICP 측정치 (mg/L)	Blank 측정치 (mg/L)	희석 배수 a)	농도 b) (mg/kg) c)	농도 (%) d)
Koptri-1330095-1	Fe (Iron)	259.940	304.17	0.02	367	111 490	11.15
	Cu (Copper)	324.754	36.07	불검출	367	13 222	1.32
	Cr (Chromium)	283.563	0.81	불검출	367	297	0.03
	Ni (Nickel)	231.604	0.24	불검출	367	88	0.01
Koptri-1330095-2	Fe (Iron)	259.940	1 511.65	0.02	307	463 541	46.35
	Cu (Copper)	324.754	284.34	불검출	307	87 193	8.72
	Cr (Chromium)	283.563	18.02	불검출	307	5 526	0.55
	Ni (Nickel)	231.604	2.87	불검출	307	880	0.09

그림 323. ICP 성분분석표

No.	의뢰자가 제공한 시료이름	시험에 사용한 시료이름	시료사진
1	1	Koptri-1330095-1	
2	2	Koptri-1330095-2	

그림 324. 그리스 시료사진

(2) 요소 기술

(가) 현차시험을 통한 전기적 특성 분석

① 시험목적

8200호대 전기기관차의 견인전동기 특성을 분석하여 국산화 개발의 기초자료로 활용.

② 시험대상

㉮ 1차 - 제천철도공사 전동차 8215호 + 객차4량 시험차량

㉯ 2차 - 제천철도공사 전동차 8235호 + 객차4량 시험차량

③ 시험일시 및 구간

㉮ 2013년 3월 22일 : 제천역 - 영주역 하행/상행 구간(진동, 온도측정)

㉯ 2013년 4월 12일 : 제천역 - 영주역 하행/상행 구간(전력상태, 온도측정)

④ 측정장비

표 55. 현차분석 측정장비

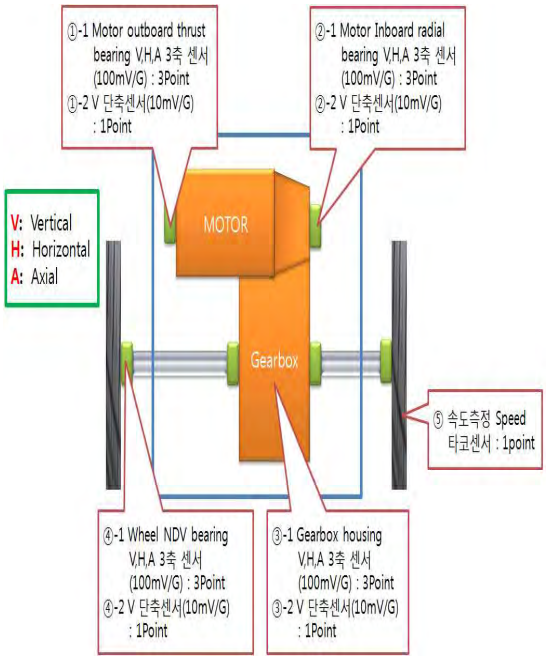
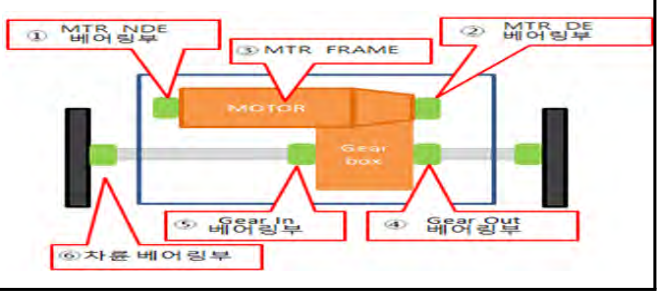
번호	장비명	장비사양	용도	수량	보유기관
1	진동분석기	6500	고유주파수 분석, 위상분석, 과도분석	1set	케이티엠엔지니어링
2	진동분석기	LMS	스트레인게이지(변형률) 분석	1set	케이티엠엔지니어링
3	가속도센서	IMI3축/단축	측정용	각4ea	케이티엠엔지니어링
4	레이져타코센서	3.0-1.5Vdc 40mA	측정용	1ea	케이티엠엔지니어링
5	전력분석기	exp3000	전력상태분석	1set	한성중공업(주)
6	PT	3300/110	전압변환용	2ea	한성중공업(주)
7	레코더	KONICS	온도상태기록	1ea	한성중공업(주)

표 56. 현차분석 장비 사진

장비 사진		
 6500 진동분석기	 LMS진동분석기	  exp3000전력분석기
 IMI3축 가속도센서	 단축 가속도센서	  전압 변환용 PT
  레이저 타코 센서	 온도레코더	 PT100Ω 센서

⑤ 진동시험 및 전력분석시험

표 57. 현차시험 센서 위치도

진동측정위치	전력측정위치
	 전압인출위치  전류인출위치
	온도측정위치
	

⑥ 시험내용

운행 중 설비의 진동상태와 주파수 분석을 위하여 Motor outboard bearing, Motor inboard bearing, Gearbox housing, 차축 NDV bearing측에 12Point 진동센서가 설치되었고, 차륜 측에 속도측정이 가능한 1point 타코센서가 설치되어 도합 13Point가 설치되었다. 설치된 Point는 열차 왕복운행구간 동안 다채널 진동 분석 장비인 Emerson6500과 LMS로 측정 되었고, 가동조건은 일정속도 구간과 각역 출발 및 도착지점의 과도상태를 포함한 제천역 - 영주역 전체 왕복운행 구간을 기준으로 하였다.

계측기의 측정 기본 설정 값은 다음과 같다.

- 6500 : Transient - 3600 Line, Fmax 2000Hz,
  Manual - 3200 Line, Fmax 3200Hz, Average 3
  LMS : 1800 Line, Fmax 10240Hz

제천 철도차량기지에서 출발한 전동차 8215호의 운행가동에 따라 발생하는 Motor 및 Gearbox, Axle의 진동data를 바탕으로 측정위치와 측정조건 등을 고려하여 주파수 및 현재 진동상태를 분석 하였다.

㉮ Motor Outboard 전체 진동량

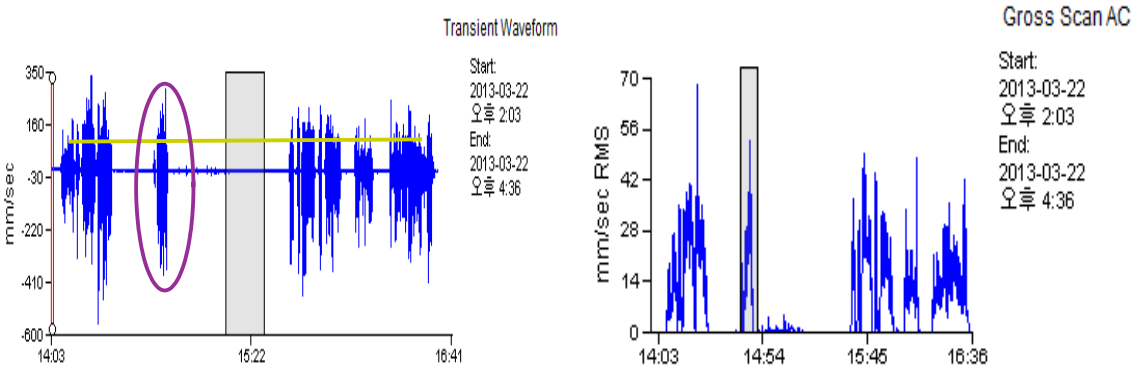


그림 335. Motor Outboard Vertical : 하행

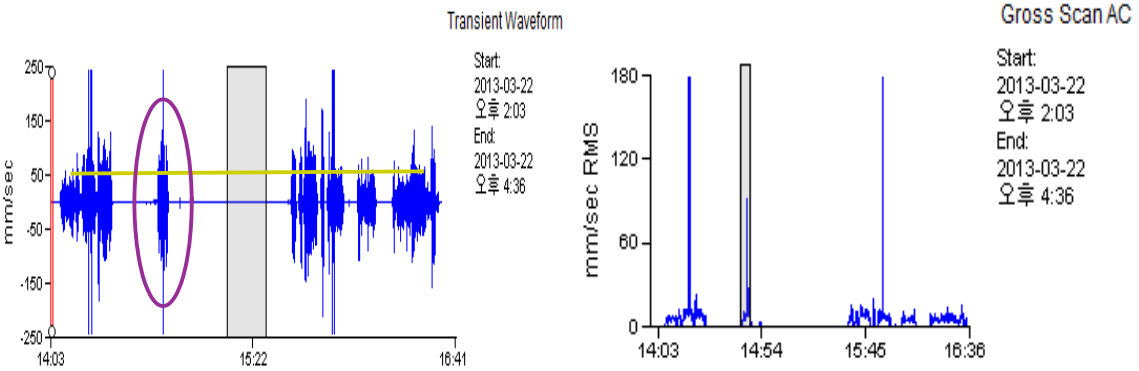


그림 336. Motor Outboard Horizontal ; 하행

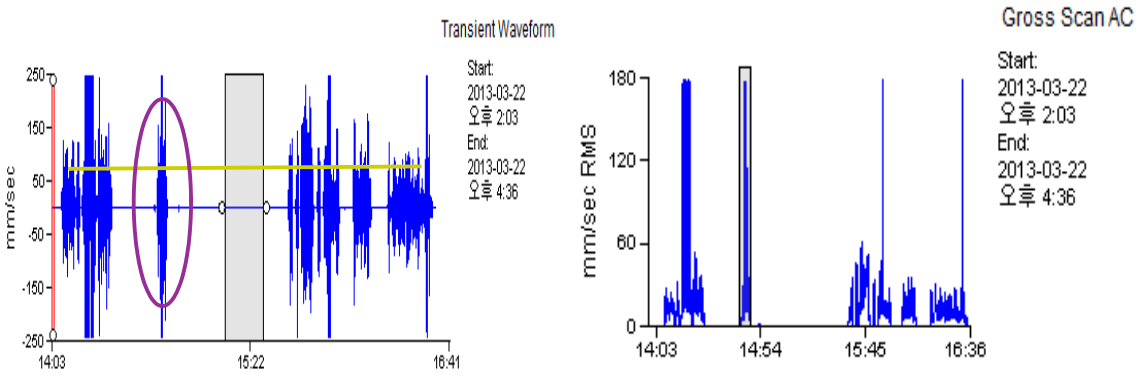


그림 337. Motor Outboard Axial ; 하행

위의 Data는 Motor Outboard에 설치된 진동센서를 바탕으로 운행 중 취득한 전체 진동량 Data이다. 전반적으로 Noise에 의해 Hunting된 부분을 제외하면 14:43부터 속도가 증가하기 시작하여 14:44분경에 약 80~100km/h에서 달릴 때 진동량이 가장 높게 나타나고 있다.(보라색 타원형 부분). 속도 변화에 따라 순간적인 레일충격진동은 차이가 있지만 20km/h 내의 가변속 주행시 큰 진동량의 변화는 나타나지 않는다. 수직(Vertical)방향 진동량이 약 35mm/s RMS, 축(Axial)방향의 진동량이 약 25mm/s RMS, 수평(Horizontal)방향의 진동량 약 10mm/s RMS 순으로 나타나고 있다.

㉮ Motor Inboard 전체 진동량

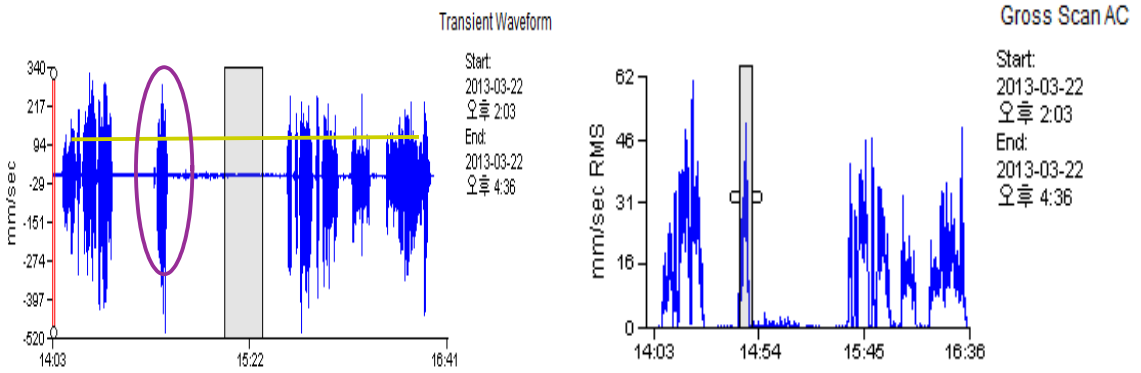


그림 338. Motor Inboard Vertical ; 하행

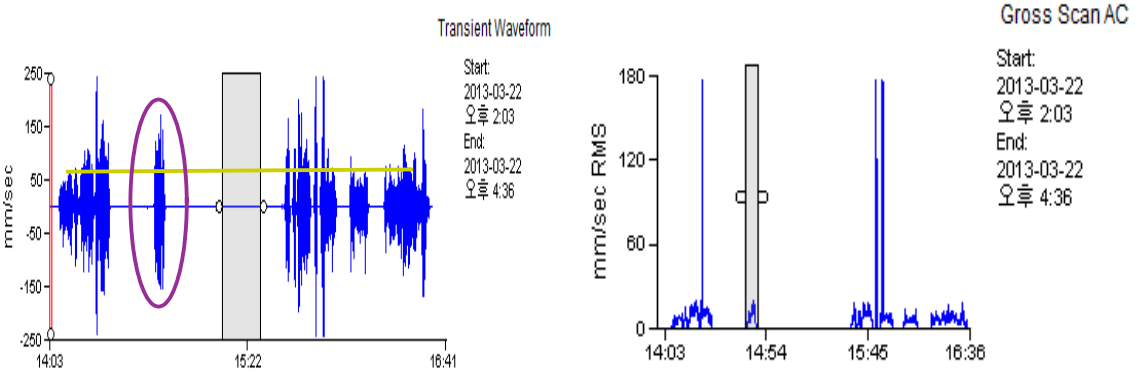


그림 339. Motor Inboard Horizontal ; 하행

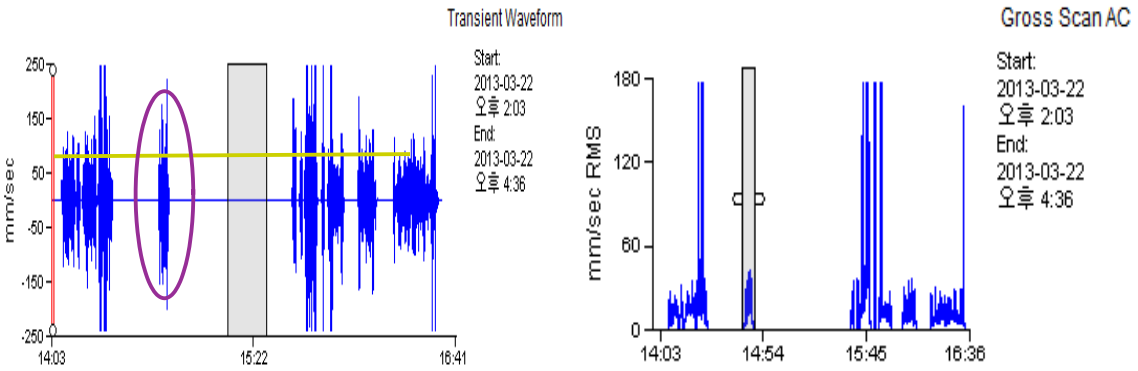


그림 340. Motor Inboard Axial ; 하행

Motor Inboard 진동량을 나타낸 Data이다. 최고속도 80~100km/h의 같은 조건에서의 진동량을 살펴보면, Gearbox와 가까운 거리의 측정지점이기 때문에 Outboard에 비해 Axial 방향의 진동이 크게 증가해서 나타나고 있다.(Outboard에 비해 약 10mm/s RMS상승) 수직(Vertical), 축(Axial) 방향의 진동량이 약 35mm/s RMS정도의 값으로 나타나고 있고, 수평(Horizontal)방향이 진동량이 앞의 두 방향과는 상대적으로 낮은 약 13mm/s RMS의 값을 나타내고 있다.

㉮ Gearbox 전체 진동량

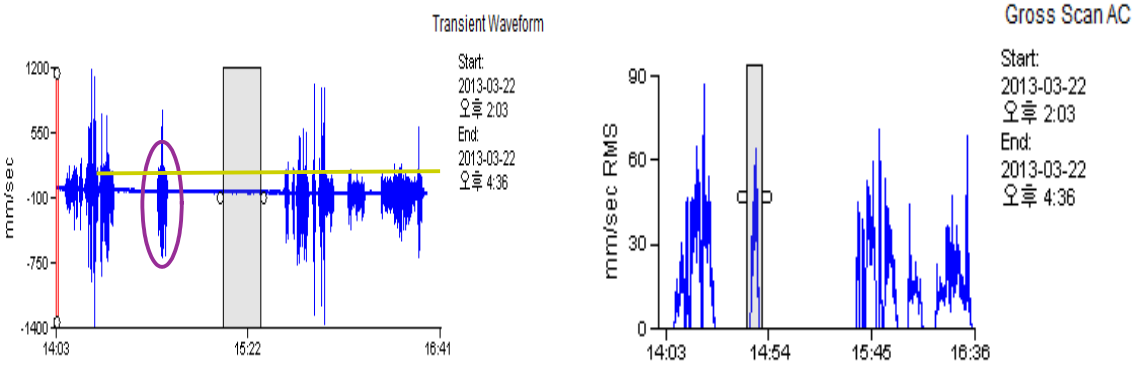


그림 341. Gearbox housing Vertical ; 하행

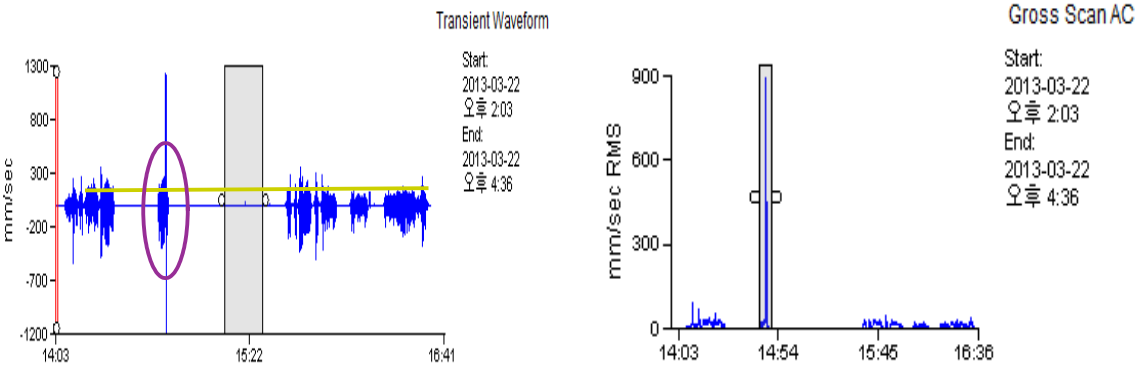


그림 342. Gearbox housing Horizontal ; 하행

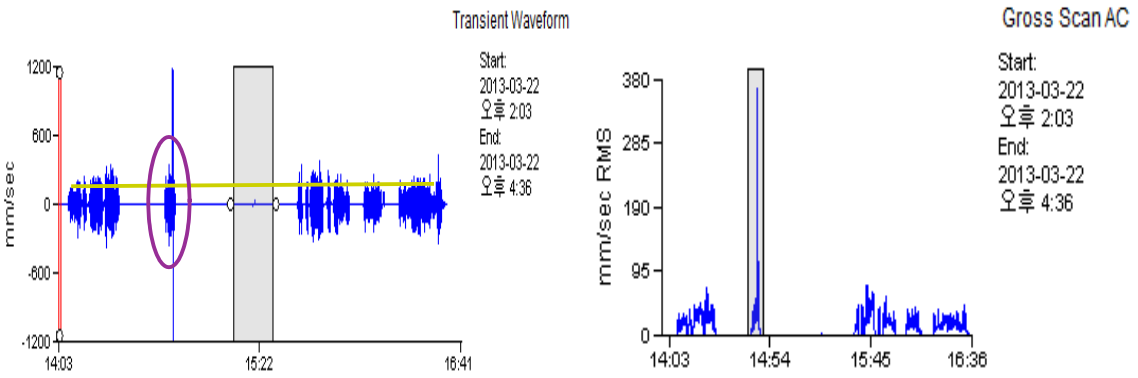


그림 343. Gearbox housing Axial ; 하행

위의 Data는 Gearbox에서 측정된 진동 Data이다. Gearbox의 경우 전동차 구동설비 중 진동량이 가장 높게 나타나고 있다.(단, Noise로 인해 Hunting된 신호는 제외한다.) 견인구동부인 모터에 비해 높은 진동량이 나타나고 있고, 방향별로 80~100km/h의 조건에서 살펴보면 수직(Vertical) 약 45mm/s RMS, 축(Axial) 약 32mm/s RMS, 수평(Horizontal) 약 26mm/s RMS의 순서로 진동량이 나타난다.

㉯ 차축 NDE 전체 진동량

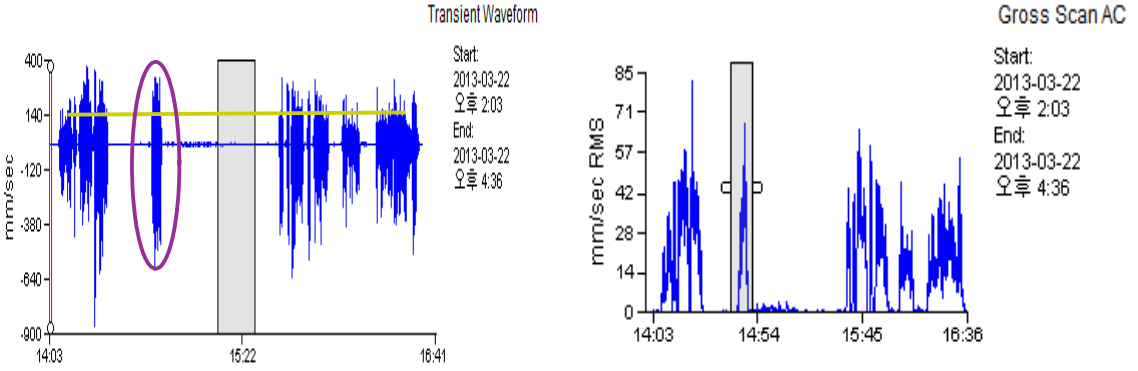


그림 344. Axle NDV Vertical ; 하행

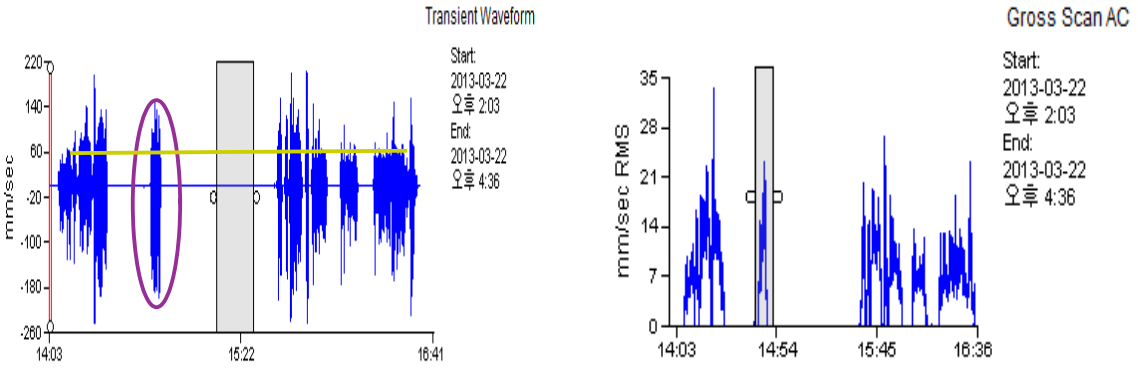


그림 345. Axle NDV Horizontal ; 하행

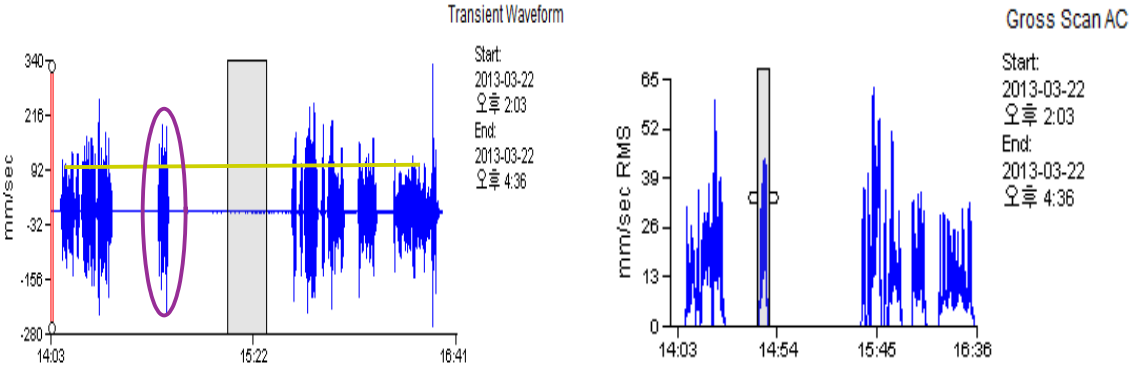


그림 346. Axle NDV Axial ; 하행

위의 Data는 차축 NDE bearing부근에 장착한 센서의 진동량을 나타낸 그래프이다. 최고 속도인 80~100km/h의 속도에서 나타난 진동량을 살펴보면, 수직(Vertical) 약 43mm/s RMS, 축(Axial) 약 37mm/s RMS, 수평(Horizontal) 약 18mm/s RMS값으로 설비 전체적으로 수평방향의 진동량이 가장 적고 수직방향의 진동량이 가장 크게 나오는 것을 확인 할 수 있다.

㉱ 설비 동일조건(동일시간, 속도)에서의 모터 분석

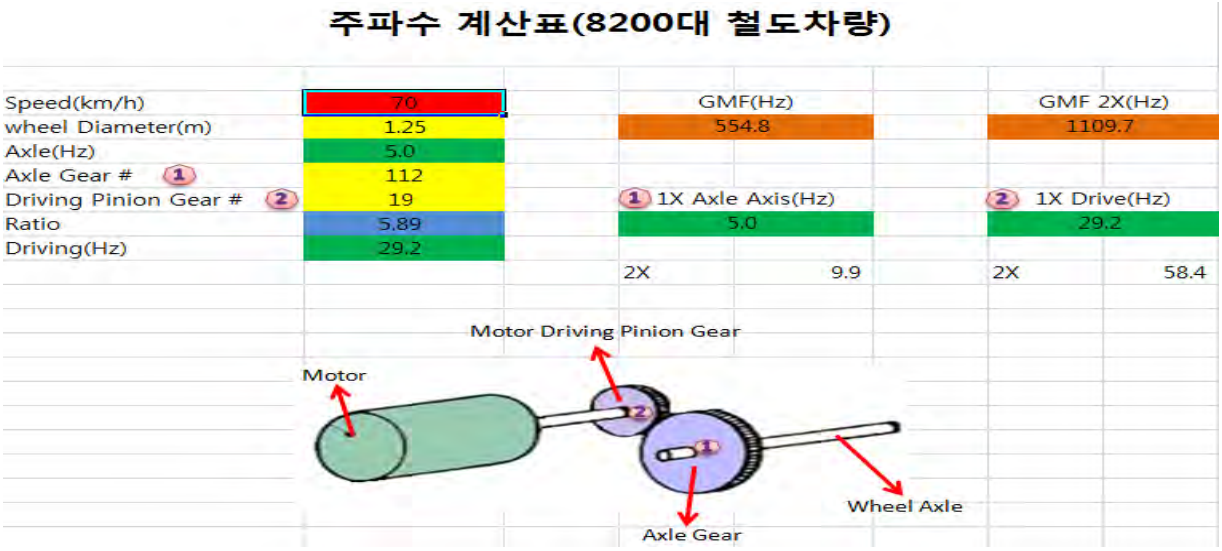


그림 347. 주파수 계산표

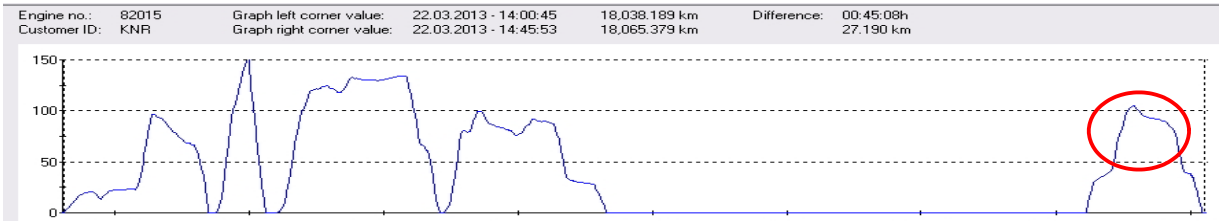


그림 348. 60~100km/h 조건시 분석표

위의 Data는 속도 증가 구간 중 70km/h(평균 진동량이 가장 높은 구간)에 해당하는 구간으로 Motor Outboard Vertical 방향의 진동 Data이다. 전체 진동량은 약 10mm/s RMS 값

으로 Data 분석결과 모터 회전주파수 성분인 1X가 약 30Hz로 다른 성분들에 비해 높게 나타나고 있고, 1X이하 저주파수 성분들은 레일 충격진동에 의해 나타나는 주파수로 추정된다. 고주파수대역을 확인해 보면 500Hz 이상 대역에 Harmonic 성분으로 553Hz와 553Hz의 2X 성분인 1110Hz대역이 나타나고 있다. 이는 계산결과 70km/h 주행시 기어박스에서 나타나는 GMF(Gear Mesh Frequency) 성분으로 열차 구동 시 기어박스에서 발생하는 주파수 성분이 모터측까지 전달돼 영향을 주고 있다고 사료된다. 기어박스와 가장 거리가 먼 측정점이기 때문에 동일조건에서 기어박스와 가까운 지점인 Motor Inboard 측에서의 주파수 분석이 요망된다.

㉮ Motor Outboard 방향별 진동량

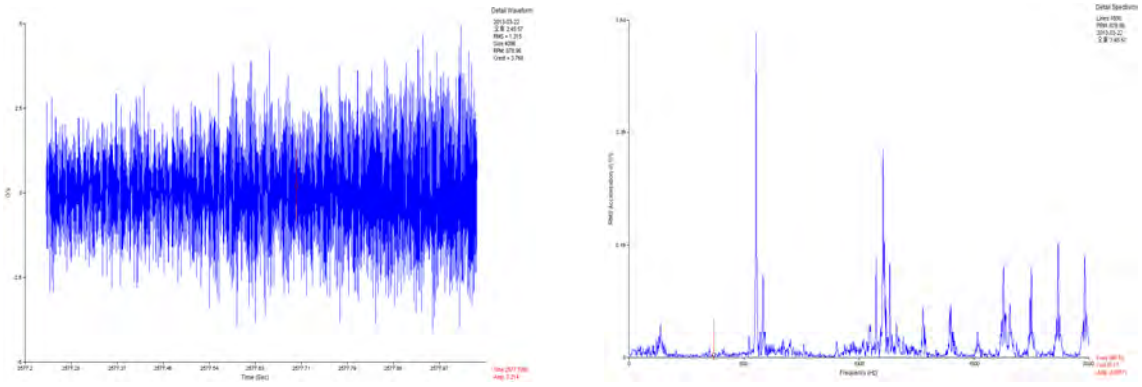


그림 349. Motor Outboard Horizontal Time waveform and Spectrum

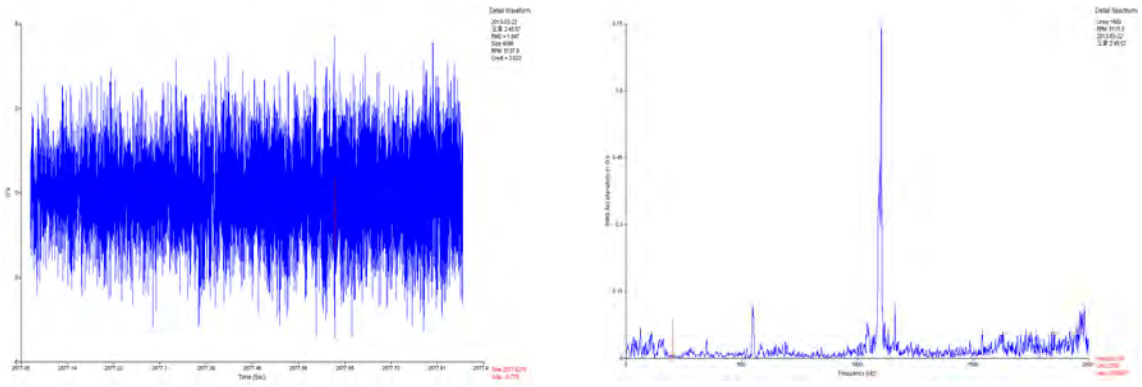


그림 350. Motor Outboard Vertical Time waveform and Spectrum

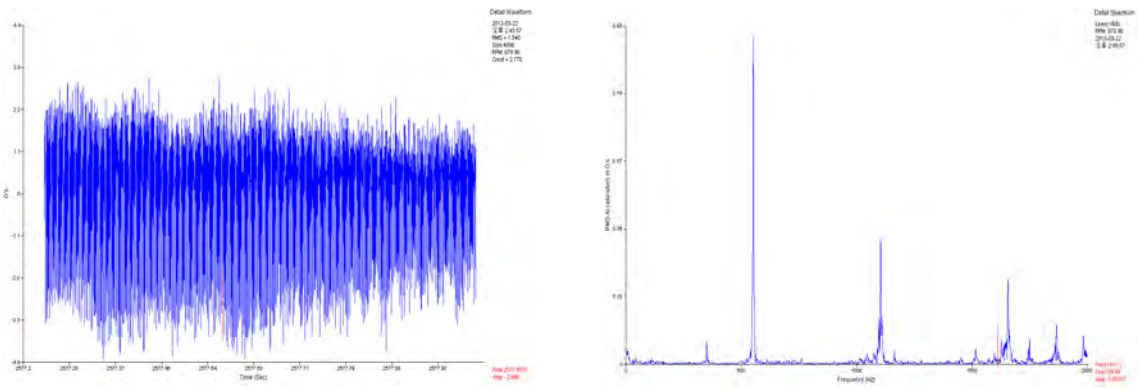


그림 351. Motor Outboard Vertical Time waveform and Spectrum

위의 Data는 70km/h 조건에서의 Motor Outboard 방향별 Data이다. 동일조건에서의 진동량을 살펴보면 가속도(G)값으로 Vertical 1.85G, Axial 1.55G, Horizontal 1.32G의 순으로 전체 진동량과 비슷한 패턴으로 Vertical 방향에서 진동이 가장 높다.

㉮ Motor Inboard Vertical / Horizontal 분석

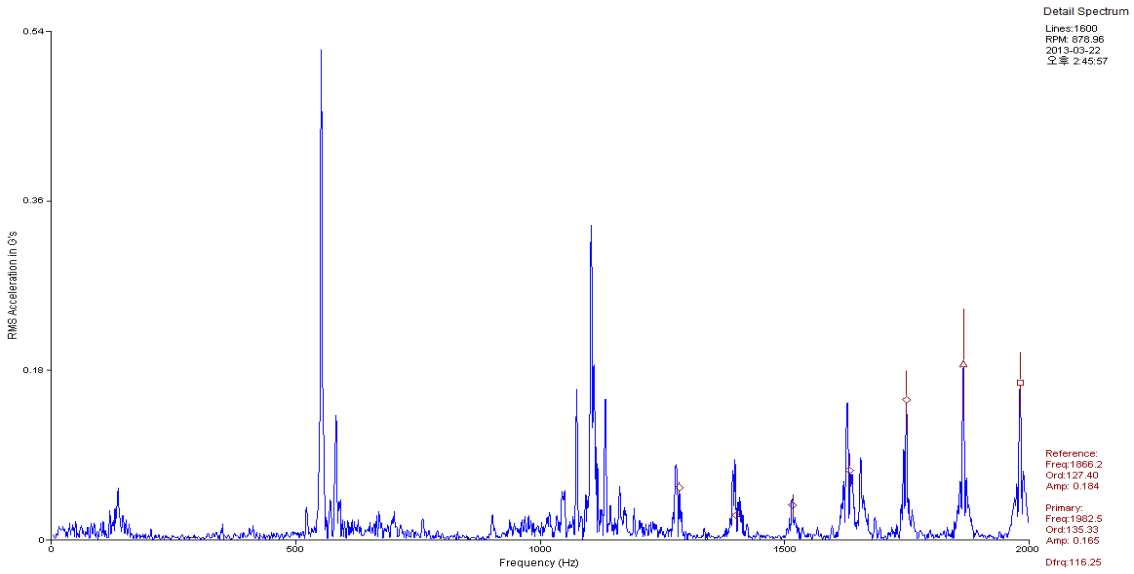


그림 352. Horizontal Bearing 결함주파수 및 고주파수 대역 파형

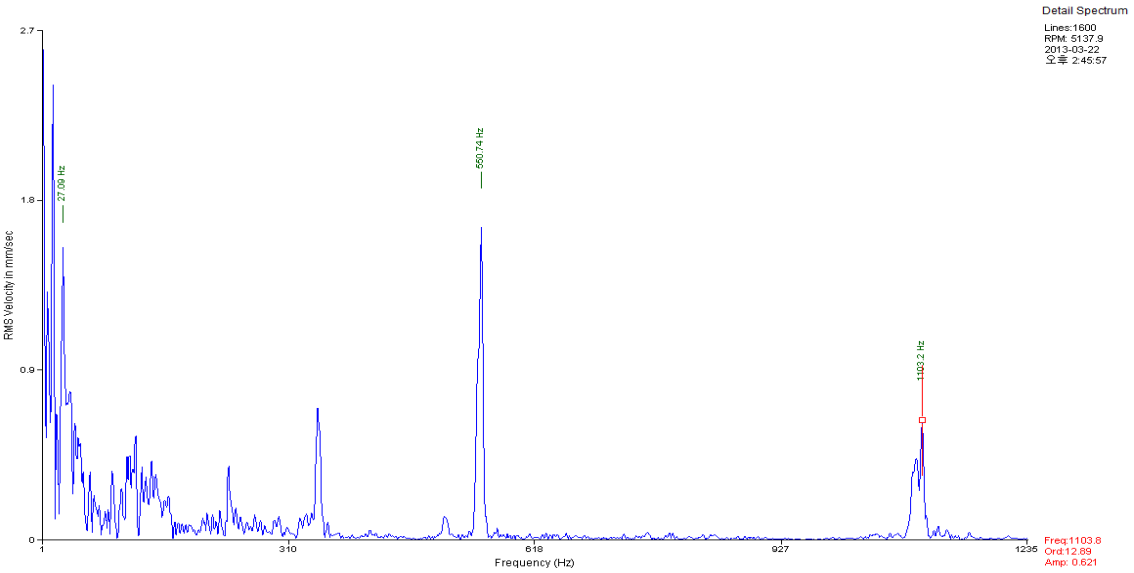


그림 353 . Motor Inboard Horizontal

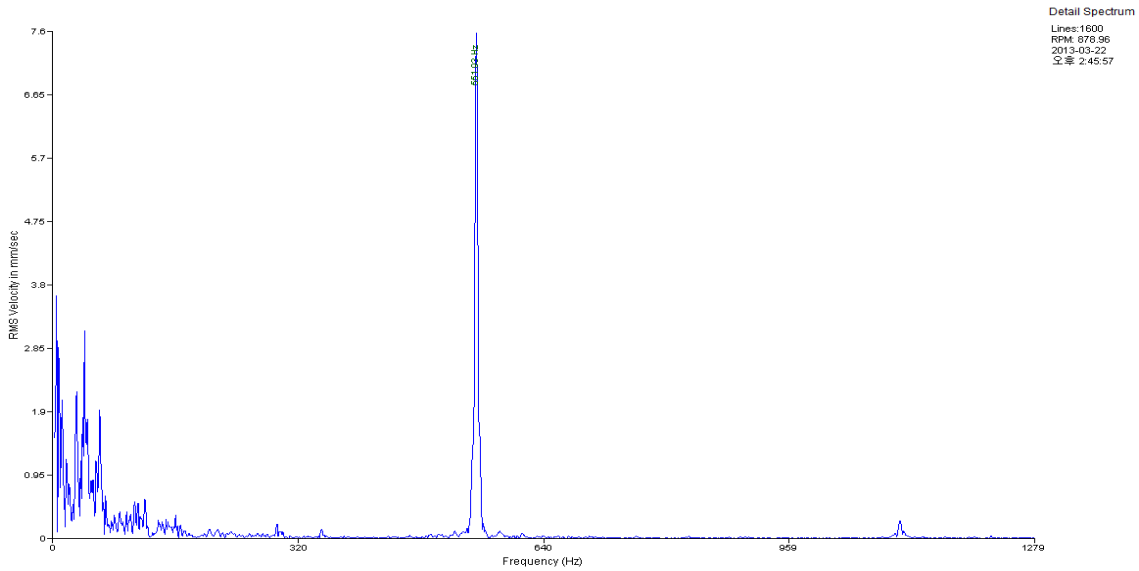


그림 354. Motor Inboard Vertical

위의 Data는 Motor Outboard Vertical과 같은 조건MotorInboardVertical/Horizontal Data이다. 속도(mm/s RMS)값으로 살펴보면 Outboard측에 비해 기어박스와 가까이 붙어 있는 조건상 기어박스에서 발생하는 GMF(553Hz)의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타나고 있다. 수직(Horizontal)방향보다는 수평(Vertical)방향에서 영향을 더 크게 받고 있고, 작은 진동량 이지만 2X까지 나타나는 것으로 보아 모터측 피니언과 차륜측 기어축간 축 정렬 불량 상태에 따라 높은 GMF 1X와 더불어 GMF 2X성분까지 나타나고 있는 것으로 추정된다.

㉯ 설비 동일조건(같은 시간대)에서의 기어박스 분석

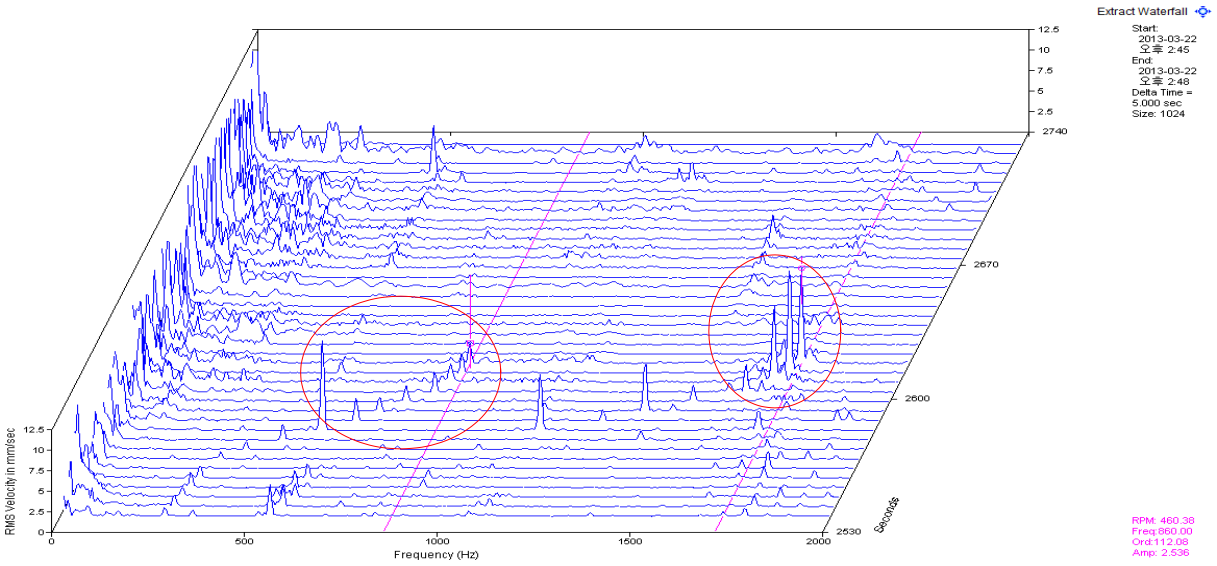


그림 355. 연속 속도 증가에 따른 주파수 분석

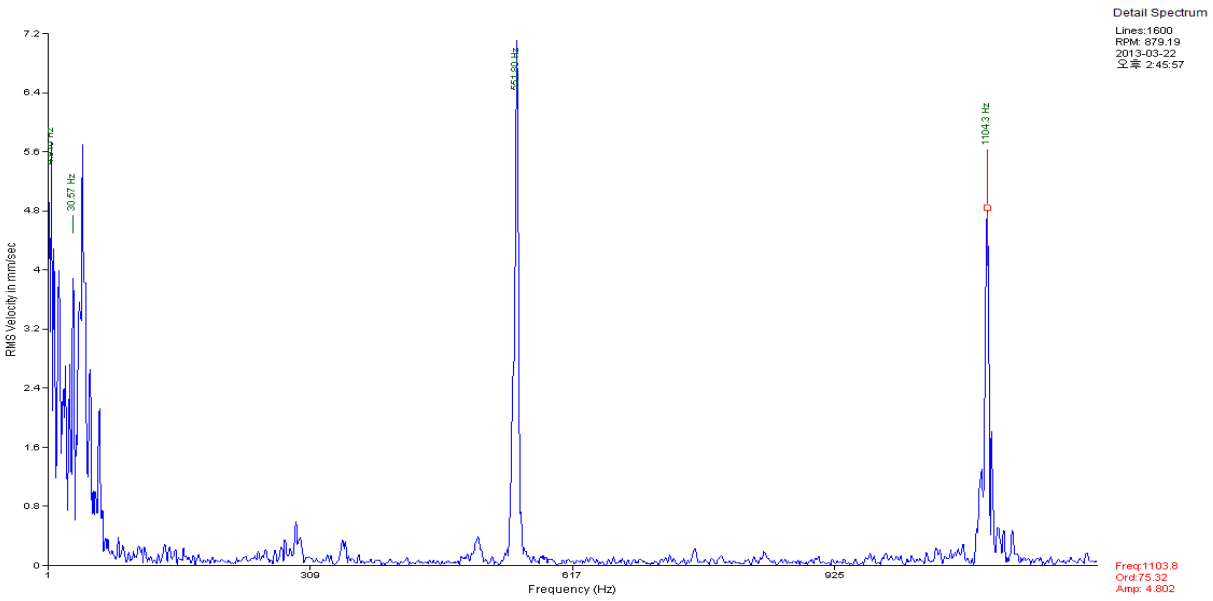


그림 356. 연속 속도 증가에 따른 진동 분석

첫번째 Waterfall 연속 Data는 속도 증가시 변화하는 주파수 성분을 분석하기 위한 그래프이다. 속도가 증가할수록 GMF 2X 성분이 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 열차 속도는 약 105 ~ 110km/h의 속도일 때 크게 증가하며 공진현상이 의심된다. 두 번째 Data는 위의 모터조건과 같은 70km/h의 조건에서의 Gearbox Vertical data이다. Motor 1X(약 30Hz), Axle 1X(약 5Hz), GMF 1X(약 552Hz), GMF 2X(약 1103Hz) 까지 뚜렷히 나타나고 있음이 확인 된다.

㉮ 전 운행구간 속도별 주요 진동수 파악

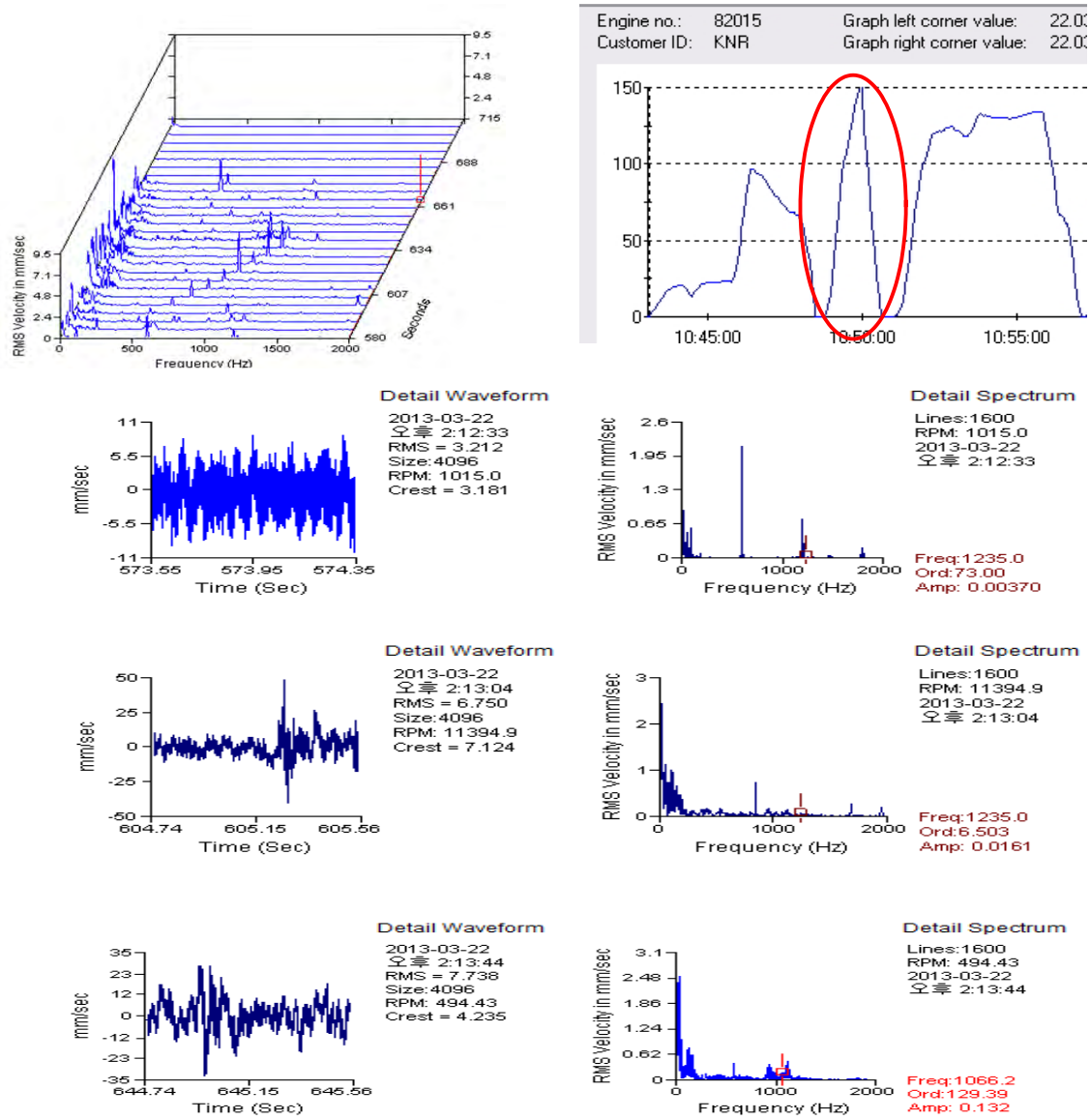


그림 357. 0~150km/h 증감시 Motor Outboard Horizontal

위의 Data는 2분간 0~150km/h의 가/감속조건에서의 Motor측 Data이다. Transient data를 살펴보면 속도가 증가할수록 저주파수 모터 회전 성분대역(약 60Hz이하)과 GMF 1X,2X가 상승했다가 감소하는 Data를 확인 할 수 있다. 속도 증가시 GMF의 영향을 더 많이 받는다고 추정되고, 레일충격에 의한 저주파의 영향으로 진동이 크게 상승했다가 다시 감소하는 현상이 반복되고 있다. 그 외에 여타할 다른 성분의 주파수들은 관찰되고 있지 않다.

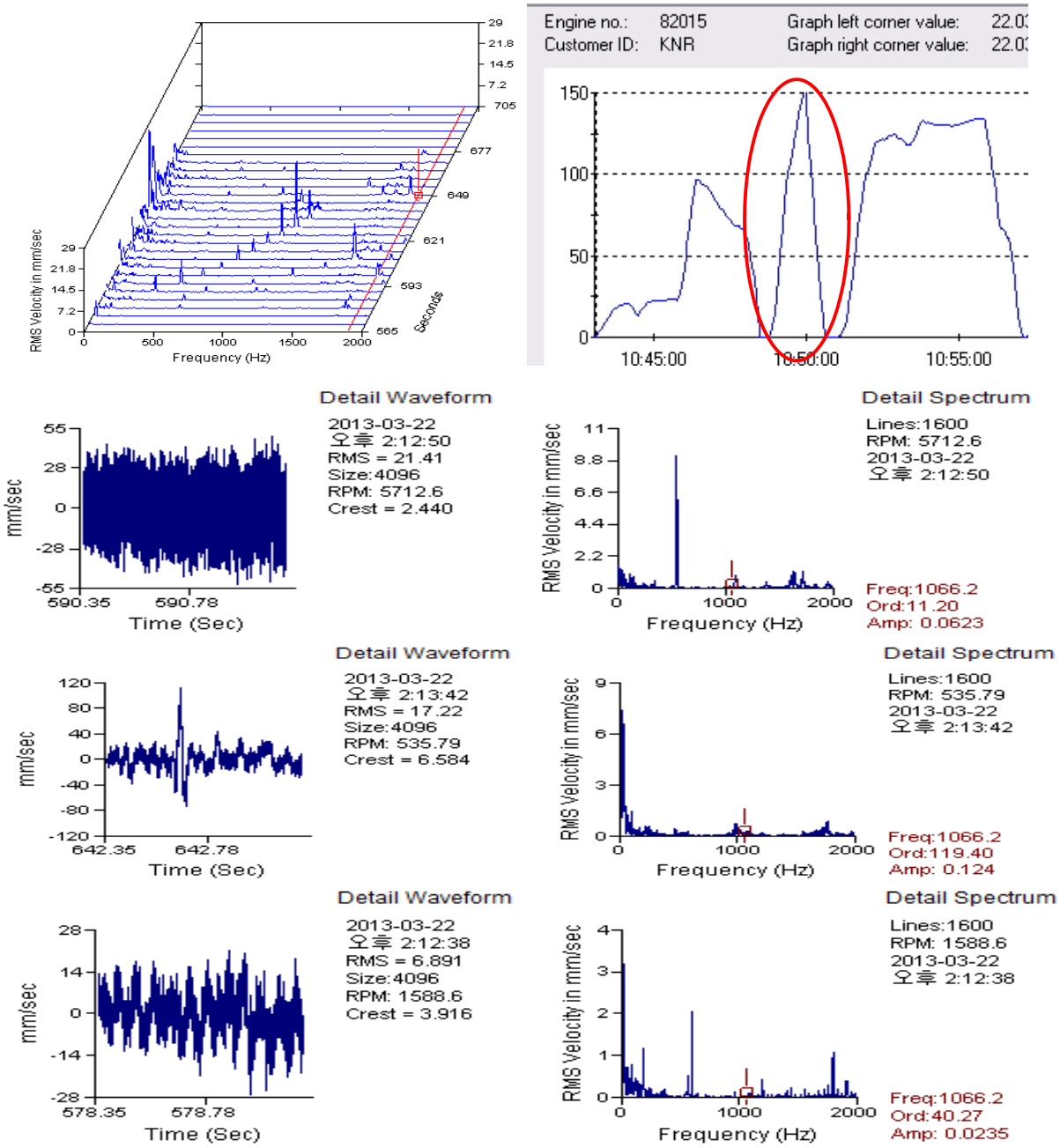


그림 358. 0~150km/h 증감시 Gearbox Horizontal

Motor와 같은 조건(0~150km/h 증감시 진동 변화)에서의 Gearbox Data이다.

Motor와 마찬가지로 속도가 증가할수록 GMF가 급격히 상승하고 있다. 감속구간에서는 GMF의 영향을 거의 받지 않고 있다.

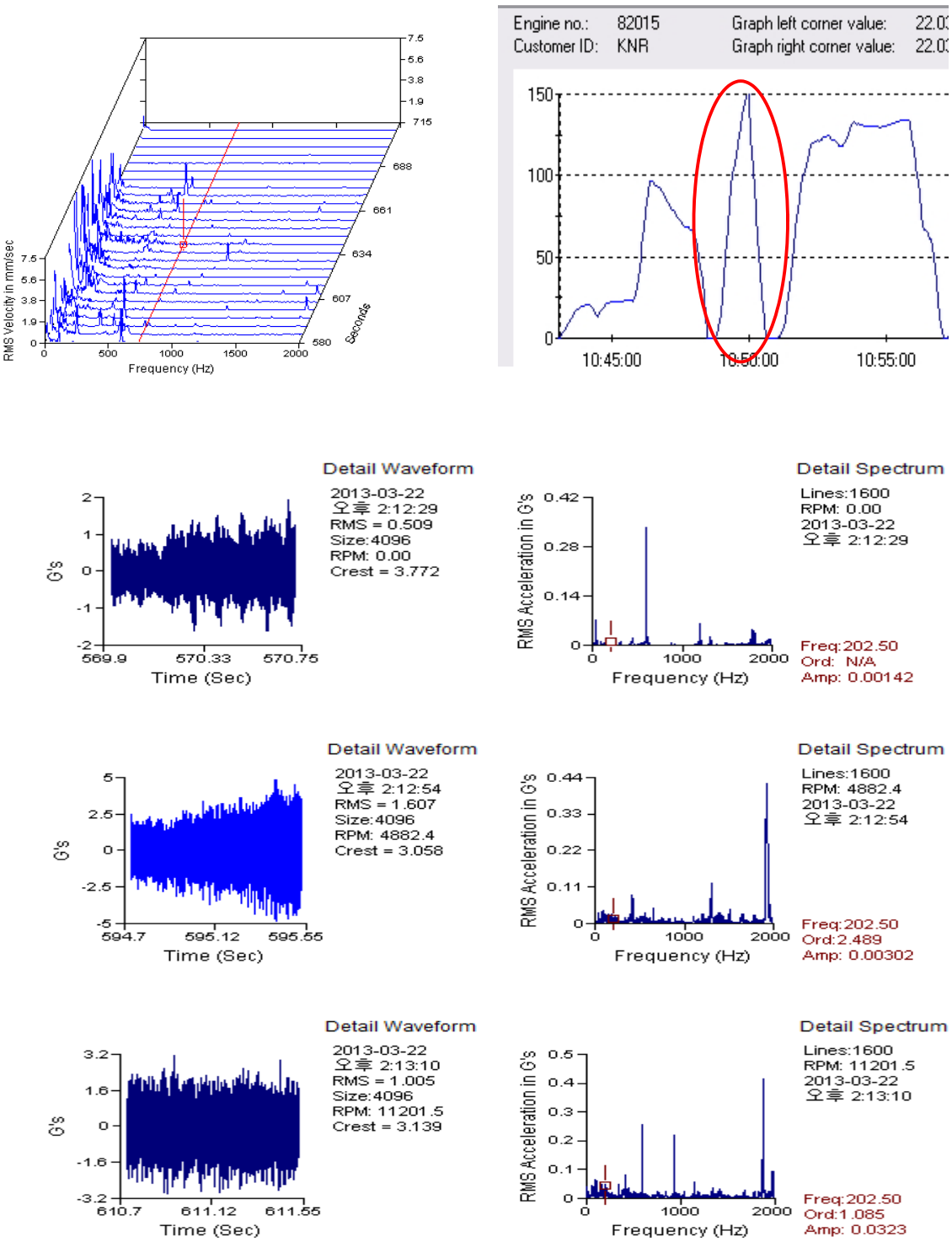


그림 359. 0~150km/h 증감시(14:12 ~ 14:14) 차축 NDE Horizontal

차축의 경우 베어링 결함이 의심되는 부분이기 때문에 가속도(G)값으로 주파수를 분석하였다. 결과를 보면 저속구간에서는 GMF의 영향을 많이 받고 고속구간에서는 베어링 결함으로 추정되는 고주파수 대역이 크게 나타나고 있는 것으로 보아 장기간 고속주행 시 베어링결함과 직접적으로 관련이 있음을 알 수 있다.

⑦ 진동시험 결과

8200호대 철도차량에서 운행시 발생하는 진동을 측정&분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

표 58. 진동시험 결과표

시 험 구 분	측정위치		시험결과
진동측정	Motor	NDE(OUT)	V:35mm/s, A:25mm/s, H:10mm/s 1X 와 GMF성분(기어주파수영향)
		DE(IN)	V:35mm/s, A:35mm/s, H:13mm/s 1X 와 GMF성분(기어주파수영향)
진동측정	Gearbox		V:45mm/s, A:35mm/s, H:26mm/s GMF성분/공진(속도영향)
진동측정	Axle		V:43mm/s, A:37mm/s, H:18mm/s 1X와 GMF성분(속도영향)

(단위:mm/sec, RMS)

㉮ Motor-Geagbox-Axle 전체설비의 진동량은 Gearbox와 Axle측이 Motor측에 비해 높은 진동량(45 > 35mm/s rms)을 나타내고 있으며, 방향별로는 수직방향>축방향>수평방향의 순서로 큰 진동량을 나타내고 있다.

㉯ 전동기측의 주요주파수 성분은 1X와 GMF로서 기어주파수에 의한 영향을 가장 많이 받고 있으며 NDE측은 1X가 DE측은 GMF가 주요하게 나타나고 있다. 반부하(NDE)측에서는 베어링 결함주파수로 추정되는 주파수 성분의 패턴이 확인되고 있다.

㉰ Gearbox측의 주요주파수 성분은 GMF로서 GMF 1X와 GMF 2X가 크게 발생하고 있으며 진폭은 부하(속도)의 변동과 매우 밀접하다. 1700Hz인근에서 공진영역이 있는 것으로 추정된다. 이는 105~110km/hr의 차량운행속도에 해당한다.

㉱ Axle 측의 주요주파수 성분은 Axle의 1X와 GMF로서 GMF의 진폭변동은 부하(속도)의 변동과 매우 밀접하다. bearing결함주파수로 추정되는 주파수 성분의 패턴이 확인되고 있다.

㉲ 가속감속시 상태변화를 파악해 보면 부하(속도)의 영향과 밀접하게 진폭이 상승하락하고 있으며 고속구간에서 베어링의 결함패턴이 잘 확인되고 있다.

⑧ 전력분석 시험

㉮ 시험내용

PWM 인버터 단자에서 전압을 인출하여 PT(3300/110)에 연결하여 2차측에서 전압값을 취득하고, 전동기 입력단에 CT(1000A)를 설치하여 전류값을 취득하여 전력분석기 exp3000에 접속시켜 전력상태를 측정하였다. 동조건은 일정속도 구간과 각역출발 및 도착지점의 과도상태를 포함한 제천역 - 영주역 전체 왕복운행 구간을 기준으로 하였다.

측정 장비의 기본 설정 값은 다음과 같다.

Name Plate : 1300KW 2200V 500A

Sensor Ratio : Voltage Ratio 3300/110, Current Ratio 1/1
Electrical Acquisition Options : Acq. Time 120sec, Max Freq. 150hz
Spectrum Acquisition Options : Acq. Time 120sec, Max Freq.6000hz

전동차운행가동조건에 따라 인버터의 변화되는 전력값을 연속적으로 취득하여 전력의 상태를 분석하였다.

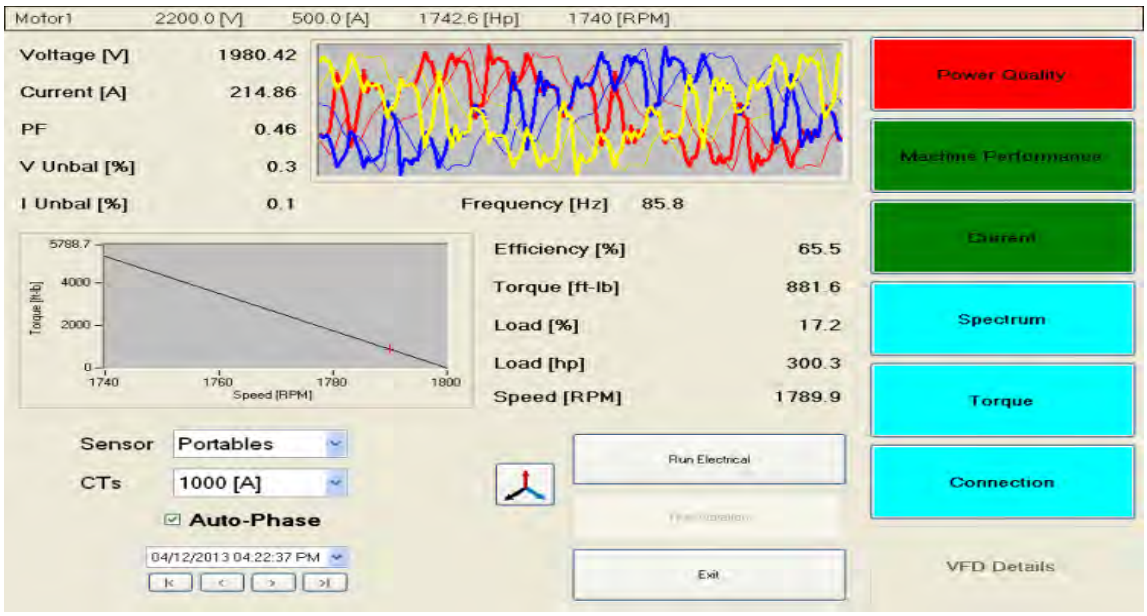


그림 360. 전력분석 결과 그래프

전압/전류의 파형이 일그러져 나타나고 있다.

	A	B	C	Avg/Sum
kW	113.1	114.9	114.2	342.1
kVAr	217.9	217.9	217.0	652.8
kVA	245.5	246.4	245.2	737.0
PF	0.46	0.47	0.47	0.46
V	1985.5	1981.0	1974.7	1980.4
I	214.8	214.8	215.0	214.9
THD V	17.6	17.7	17.7	17.7
THD I	16.8	17.0	16.8	16.9
Cf V	2.12	2.15	2.14	2.14
Cf I	3.99	3.60	4.01	3.87
Voltage Unbalance [%]				0.29
Current Unbalance [%]				0.05
Frequency [Hz]				85.8

그림 361. 전력분석 Test Report

전압의 왜형율이 17.7 ,전류의 왜형율이 16.9 로 나타나고 있다.

전압의 불평형율은 0.29[%],전류의 불평형율은0.05[%]로 양호하게 나타나고 있다.

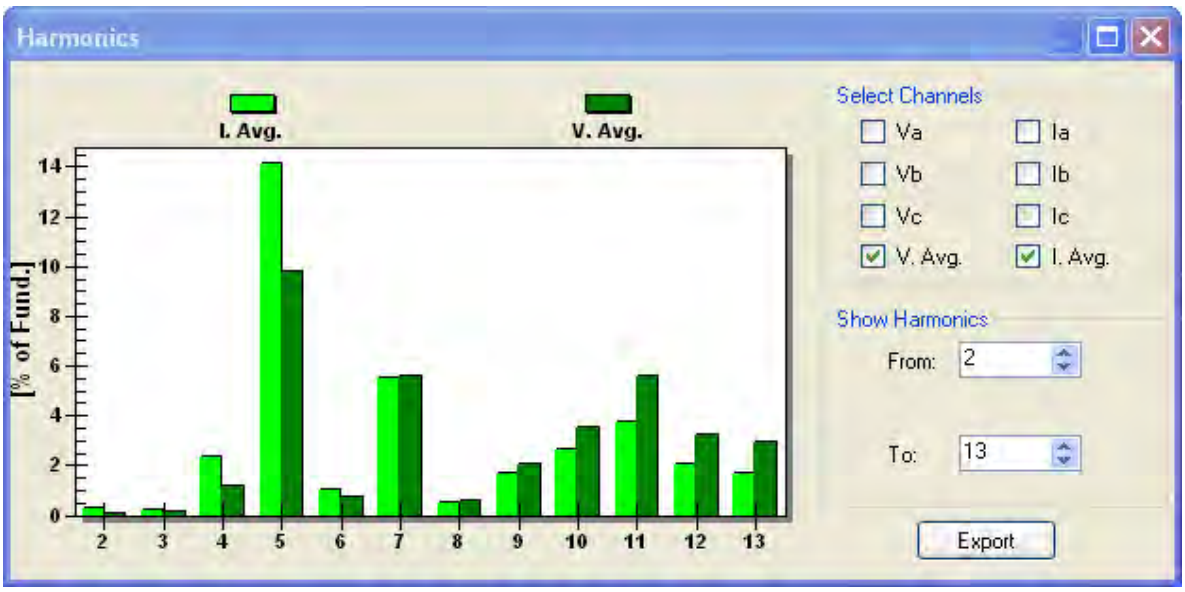


그림 362. 고조파 결과 그래프

전원고조파 크기가 큰 값을 보이고 있으며, 일반적인 홀수 번째의 고조파 크기가 짝수
번째의 고조파에 비해 크나, 불규칙적인 크기와 감쇄하는 모습이 변화가 심하다.

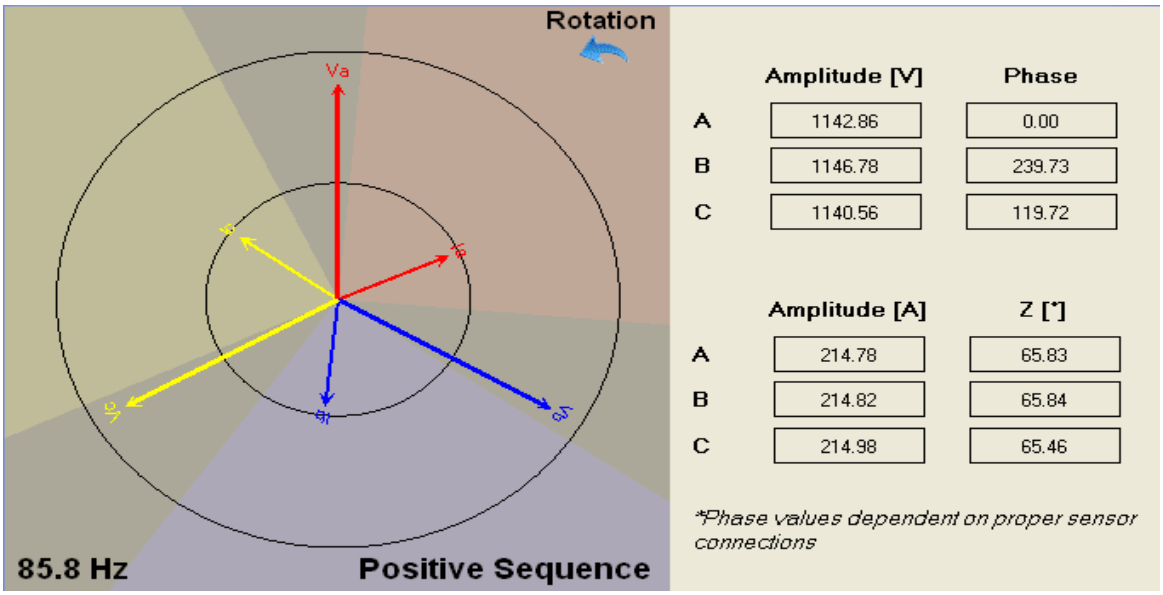


그림 363. 전압, 전류 회전방향

운전중 전원상태를 알수 있으며, 3상 전압, 전류의 위상각이 120도로 양호하게 나타나고 있다.

⑨ 전력분석 결과

8200호대 철도차량에서 운행 시 전력 상태를 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

㉮ 전압, 전류의 평형율이 양호한 상태를 나타내고 있다.
㉯ 3개 단상 상전압의 종합 하모닉 왜형(THD:Total Harmonic Distortion)과TD(Total Distortion)를 분석한 결과 왜형율의 크기가 높게 나타나고 있다.
㉰ 전압의 고조파 형태가 불안정하게 나타나고 있다.

표 59. 전력분석 결과표

시 험 구 분	측정결과	시험결과	비고
Voltage Unbalance [%]	0.29~0.34	측정치 확인	
Current Unbalance [%]	0.05~0.61	측정치 확인	
Waveform	심한 일그러짐	PWM방식	
THD [% of fund.]	17.43~174.44	PWM방식	
Total Distortion [% of fund.]	208.21~596.63	PWM방식	

⑩ 결론
㉮ 전력: THD와 TD는 비-기본 요소가 전압(전류)에 영향을 끼치는 내용과 관련이 있다. THD분석은 하모닉 요소에 초점이 맞추어져있고, TD분석은 모든 비-기본주파수 요소에 초점이 맞추어져 있다. 왜형전압의 주파수가 크면 클수록 하모닉 전류를 생성하는 영향력은 더 작아지게 된다. 그러면 “정상적인” 요소는 수직적으로 증가하는데, 이러한 각 ”정상적인” 요소는 다른 요소와 독립적으로 모터의 열을 상승시키게 되는 이유가 된다. 또한 PWM방식에서의 스위칭작업으로 인한 많은 양의 고주파요소 발생 과 과도 써지전압 등에 영향으로 절연관련사고가 발생되는 원인에 해당된다고 볼 수 있다.

㉯ 온도: 허용온도 내에서 운전되고 있으며, 부하측 베어링부의 온도가 비교적 높게 운전되고 있다. 이와 관련하여 진동의 전달과 윤활, 축전류 등에 의한 베어링의 손상 등이 원인이 될 수 있다.

㉰ 현차시험을 통해 주요 개선되어야 할부분의 확인이 이루어졌다고 판단되며, 시험의 결론은 아래와 같다.

기계적 개선부분으로 베어링 Size 변경을 통해 하중조건을 개선하고, 축전류 발생에 의한 전식 사고를 고려한 절연베어링 설계 및 축전류 방지 Brush를 적용 제작한다. 또한 회전자 축은 기계적 강도를 유지하고 회전자 전체를 지지할 수 있도록 크롬-몰리브덴 강 재질을 열처리하여 제작한다. 전기적 개선부분으로 코일소재에 대해 전기전도도와 내굴곡성, 연성 등 가공성이 우수하며 고온에 잘 견디고 충격에 강한 산소 함유량 10ppm 미만의 무산소동(OFHC : Oxygen Free Conductivity Copper)을 사용하여 코일을 제작하고, 기존품 보다 더욱 열 안정성 및 절연성 턴간절연이 우수한 240Class 절연 시스템을 적용하여 최적의 고정자 설계를 통해 인버터에서 발생하는 고주파 및 과도 Surge 전압에 대한 영향과 전자기력에 의해 발생하는 진동과 소음을 최소화 하도록 설계에 반영한다.

⑪ 고정자 절연물 절연진단

전기기관차(8200호대)에 사용되는 견인전동기는 빈번한 기동과 정지, 최대 150km/h의 고속주행 및 진동등 열악한 운전환경을 갖고 있기 때문에 예상치 못한 고장을 발생시킬 수 있다. 특히, 전기적인 고장은 주로 소선 절연재료의 손상 또는 주절연재료의 손상에 의해 발생하게 된다.

견인전동기 고정자 권선의 주절연재로는 캡톤 마이카 테이프를 사용하고 있으며, 운전중에 열적, 기계적, 전기적 응력(stress) 및 외부환경에 의한 열화요인이 단독 혹은 복합적으로 작용한다. 열적요인은 열응력과 열분해로 분류되는데, 열응력은 기계적 응력과 더불어 균열(crack)을 발생시키고 열분해는 에폭시의 분해에 의한 가스압력이 증가하여 접착강도를 저하시켜 계면에서 박리를 발생시킨다. 외부환경에 의한 열화는 먼지, 오일 및 습분의 유압으로 인해 고정자 권선 표면에서 오손이 발생한다.

2200V 견인전동기 고정자 권선의 절연열화 상태를 분석하기 위해 운전직후 정비전 전동기, 정비후 전동기 그리고, 제작사 수리품(고정자 권선교체품)을 비교시험 하였고, 시험은 절연저항, 성극지수, 유전정접, 교류전류 특성 및 부분방전 크기 등을 측정하여 종합적으로 판정하였다.

㉮ 절연진단의 목적

견인전동기 고정자 권선의 주절연재료는 캡톤 마이카테이프가 사용되고 있으며, 이는 실제 운전중에 열적, 기계적, 전기적 및 환경적인 원인에 의해 절연열화가 진행된다. 장기간 사용된 견인전동기 고정자 권선의 절연재료는 슬롯부분보다 단말권선에서 열화가 진행되는 경우가 많으며, 단말권선 표면의 오손, 습기조건에 의해 파괴전압이 저하할 가능성이 있다. 그리고, 기동시 흐르는 전류로 인해 전자력이 크기 때문에 피로열화에 의한 박리, 균열 및 보이드 등에서 부분방전 혹은 흡습에 의한 절연열화가 발생된다. 견인전동기의 갑작스런 절연파괴 사고는 열차 운행에 문제가 발생하기 때문에 고정자 권선에서 절연파괴가 발생하기 전에 열화상태를 평가하기 위해 주기적인 절연진단 시험이 필요하다.

㉯ 절연진단 표준

절연진단 시험에 포함되는 절연저항, 성극지수, 유전정접 및 부분방전 등에 관한 국제적인 표준은 아래표와 같다.

시험항목	표준
절연저항	IEEE Std 43/NEMA MG1
성극지수	IEEE Std 43/NEMA MG1
유전정접	IEEE Std 286/BS Std 4999, Part144/ASTM Std D 150
부분방전	IEEE Std 1434/IEC 270/ASTM Std D 1868

표 60. 절연진단 항목에 따른 국제표준

㉰ 절연진단 흐름도

아래 그림과 같이 절연진단 업무흐름도를 작성하여 2차 진단을 수행하며, 최종적으로는

교류 혹은 직류 내전압 시험에 의해 재권선을 실시하는 것이 최적의 유지정비과 비용절감 측면에서 매우 효율적인 대안으로 판단된다.

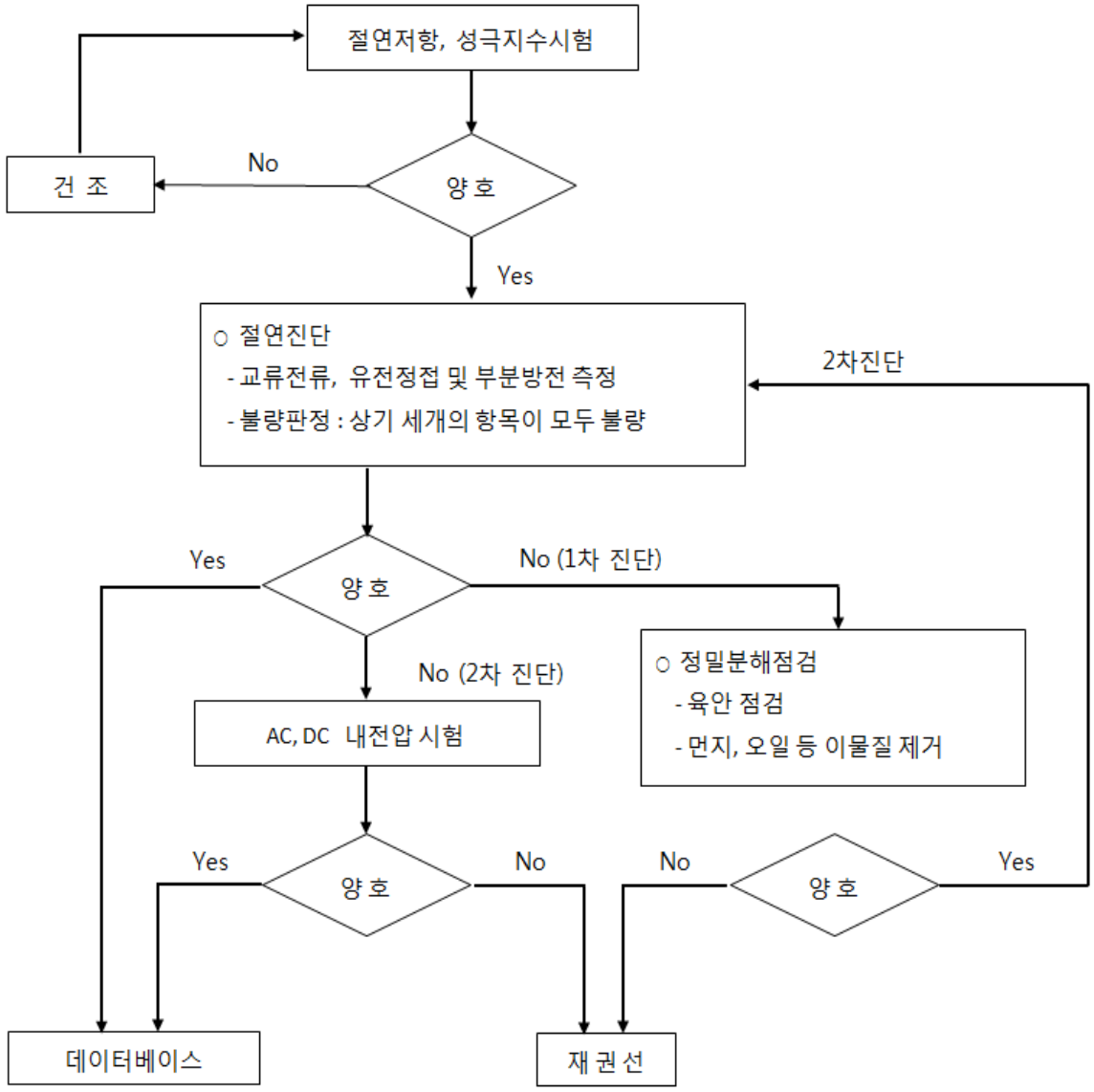


그림 364. 진단 업무흐름도

㉰ 시험방법

⑫ 절연저항 시험

절연저항 시험은 절연물의 흡습이나 오손상태를 파악할 수 있으며, 운전 개시전이나 운전중에 필요한 절연저항을 가지고 있는가의 여부, 운전에 따른 절연저항 저하의 정도를 점검하고 절연열화 시험시 사용되는 고전압을 인가해도 충분한가를 점검하기 위해서 실시함. 전원 입력단자와 대지간에 직류 1000V를 인가하여 1분 후의 절연저항을 측정하여 그 결과값이 100[㏁] 이상이면 양호하게 판정한다.

⑬ 직류전류 시험

직류전류 시험(성극지수 시험)은 절연물에 직류전압을 인가했을 때의 전류-시간 특성으로부터 절연물의 흡습, 도전성 불순물의 흡입, 생성, 오손과 절연물의 결함등 절연물의 상태를 판정하는 시험이며, 그 결과값이 2.0 이상이면 양호하게 판정한다.

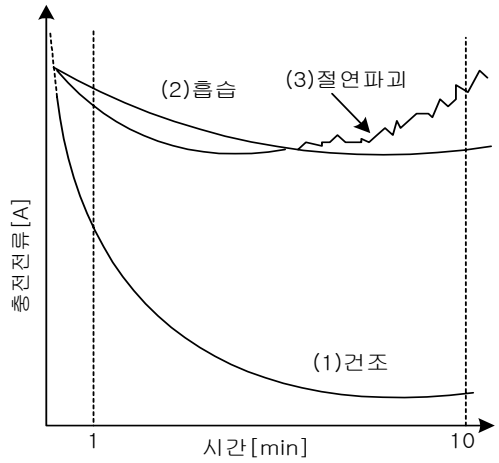


그림 365. 직류전류 그래프

⑭ 교류전류 시험

전원 입력단자와 대지간에 정격전압까지 교류전압을 인가하여 교류전류의 변화상태를 측정하여 절연물의 흡습 및 열화의 정도를 판정한다.

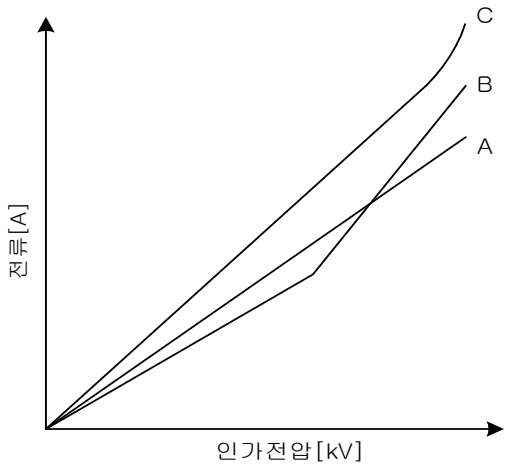


그림 366. 교류전류 측정 그래프

A는 건전, B는 열화, C는 열화 및 흡습 상태를 나타냄.

⑮ 유전정접 시험

절연물에 교류전압을 인가하여 절연물의 흡습, 건조, 오손, 미소공극 유무등의 절연상태 및 열화정도를 추정하는 시험이다.

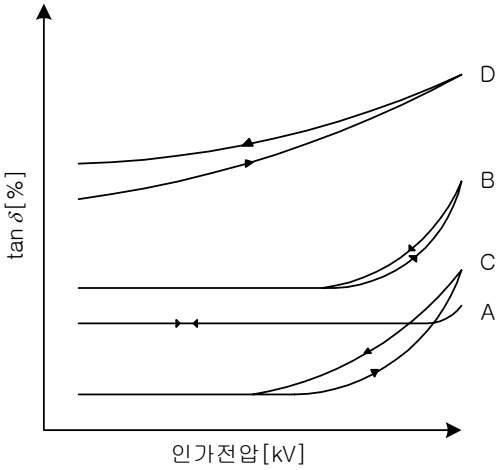


그림 367. 유전정접 측정 그래프

A는 건전, B는 보이드의 발생, C는 열화권선 및 D는 흡습상태를 나타냄.

⑯ 부분방전 시험

권선이 열화되어 절연물에 미소공극, 균열, 박리등이 생기면 이 결함부에서 부분방전 펄스전류가 발생하는데, 이 부분방전을 검출하여 전기적인 절연물의 열화상태 뿐만 아니라 과열이나 주기적 응력에 의한 권선 단말부에서의 표면방전, 웻지 이완, 그리고 슬롯방전들의 이상상태를 알수 있는 시험이다.



그림 368. 부분방전 측정 그래프



그림 369. 부분방전 시험



그림 370. 정비전 전동기 절연진단



그림 371. 정비후 부분방전 시험

⑰ 시험결과

위의 시험방법에 의해 견인전동기를 권선교체품, 정비전, 정비후 및 개발품을 시험한 결과는 다음과 같다.

시험 항목			Megger [MΩ]	P.I	Tanδmax [%]	ΔTanδ [%]	ΔI [%]	PD [pC]	종합 판정
시험 전압	제작 번호	시험 일시	DC 1000V	DC 1000 V	E 2200V	E 2200V	E 2200V	E/√3 1270 V	
정비전	N-1143364-030-002	2013.03.08	141	1.37	30.42	0.37	-1.46	1,000	흡습, 오염
	N-1143364-030-001	2013.03.08	4,930	2.13	30.38	0.27	-3.09	1,400	흡습, 오염
	N-1143364-030-020	2013.03.08	286	1.58	34.65	0.14	-3.63	1,200	흡습, 오염
권선교체품	8228#1	2013.04.26	21,900	3.85	1.28	0.08	0.60	750	양호
	8254#1	2013.04.26	19,700	2.74	1.21	0.04	0.04	350	양호
	8261#4	2013.04.26	18,100	4.65	1.21	0.04	0.57	530	양호
정비후	K2/3927376	2013.05.14	5,070	4.66	1.94	0.11	0.60	600	양호
	K2/3927332	2013.05.14	10,200	4.39	2.01	0.19	0.70	600	양호
개발품	#1	2014.11.19	18,200	6.43	2.05	0.12	0.38	1000	양호

표 61. 절연진단 결과표

⑱ 절연진단 결론

기존 외산제품과 개발품과의 고정자 권선의 절연상태를 비교하였을 때 절연저항, 유전정접(tanδ), 부분방전등 Data가 차이가 없으므로, 고정자 권선의 절연은 양호하다.

견인전동기 절연진단 결과 고정자 권선이 먼지등에 의해 오염이 되어 있는 것으로 판단되며, 정비 없이 계속해서 전동기 운전을 하게 되면, 절연열화로 인한 사고가 발생할 수 있으므로, 정기적인 정비를 진행하여 사고를 방지하여야 할 것이다.

(나) 전자계 해석

토크를 발생하기 위해 전류에 의해 유도되는 자속은 전동기의 특성과 소음, 진동에도 영향을 준다. 따라서 철심과 코일 설계시 전자계 형상을 유한 요소법으로 해석하여 최적의 설계로 한다. 요소 분활수 19,206개로 하여 최대자속 1.6T 이하로 자속 밀도가 분포된 형상으로 해석 하였다.

① 해석모델

해석 모델은 고정자 철심 전체에 대해 해석 하였다.

② 메쉬모델

메쉬 모델은 Maxwell 16.0 프로그램을 사용 하였고 메쉬 요소 수는19,206개로하였다.

③ 입력조건

고정자: 외경 900 내경 500, 슬롯수 60개, 적층길이 350, 공극 2.5, 강판재질50PN400

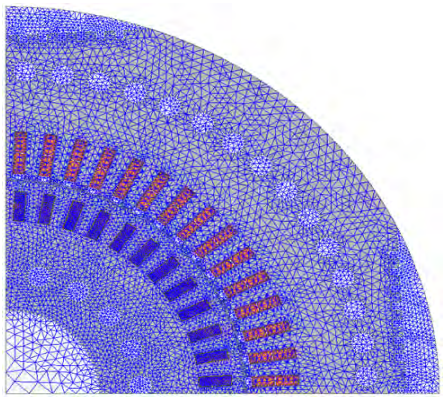
회전자: 외경 495, 슬롯수 40개, 적층길이 350, 강판재질 50PN400

④ 판단조건

해석 판단 조건은 자속밀도는 설계 통계상 1.8T이하가 되어야 하며 밀도 분포도는 포화되기 직전의 상태로 되어야한다

항목	사양	단위
극수	4	극
상수	3	상
슬롯수(고정자)	60	개
슬롯수(회전자)	48	개
극당상당슬롯수	5	
회전속도	2,280	rpm
적층길이	350	mm
고정자 외경	900	mm
고정자 내경	500	mm
회전자외경	495	mm
공극길이	2.5	mm
회전자 도체 재질	크롬동(CuCr)	
크롬동 저항률	2.30 E-0.8	Ω · m
크롬동 도전률	43500957	S/m
크롬동 밀도	8,890	kg/m^3
고정자 권선 상저항	0.018	Ohm
고정자 권선 인덕턴스	0.167462	mH
농형바 저항	2.68E-0.7	Ohm
농형바 인덕턴스	1.27E-0.8	H

항목	사양	단위
고정자 강판 재질	50PN400	
회전자 강판 재질	50PN400	
치당 턴 수	9	턴
슬롯당 도체 수	18	개
고정자 상저항	0.018	Ohm
선간전압(공칭전압)	1.834	Vrms
상전압	1497.455	Vpk
공칭전류	632	Amps
상전류	893.78297	Apk
공칭전류	1633	kW
정격회전속도(공칭속도)	2,280	rpm
정격주파수(공칭주파수)	76.4	Hz
최대회전속도	4,000	rpm
병렬회로수	4	
결선	y	
도체 Size	(5x2.1)x2	
도체 중량	210	kg
동선 단면적(고정자)	21	mm^2
전류밀도(고정자)	7.5238095	Amps/mm^2



<코아의 매쉬모델>

(다) 프레임 구조 해석

견인 전동기는 사용 수명을 충분히 만족하면서 기계, 강도적인 측면에서 안전성이 보장되어야 하는 것이 전동기의 효율 및 정격 출력 특성 못지않게 중요한 사항이다.

① 해석모델

해석에 사용된 모델은 모터 프레임 전체를 모델링 하였다.

② 메쉬모델

IGES 파일을 ANSYS 5.3에서 Volume으로 변환한 후3차원사면체 요소로 메쉬처리 하였으며, 사용된 요소의 총 개수는 18,632개이며 메쉬 방법은 FREE MESH, 단일 메쉬의 크기는 20mm이다.

③ 구속조건

모터프레임이 대차프레임에 지지되는 부분 그곳의 변위를 모두 구속하였다.

④ 하중조건

하중조건으로는 승객하중을 고려 한 최대정지 마찰력을 적용하였다.

이 값은 아래와 같이 계산된다

공차하중 = 39 톤

승객하중 = 20 톤

차륜경 = 860mm

기어비 : 7.07

수직방향 동하중 계수 = 0.5

이 값을 이용하여 견인전동기에 작용하는 하중을 계산하면

축하중 = (공차하중 + 승객하중) X (1+동하중계수) / 4

= (39,000 + 20,000) X 9.81 x 1.5/4 : 217,046N

축 토크 = 축하중 X 차륜반경 X점착계수

= 217,046 X 0.43 X 0.3 = 28,000N

핀토크(모터 토크) = 축 토크/기어비 = 28,000 / 7.07 = 3,960 Nm

따라서 3,960 Nm의 최대정지마찰력을 하중조건으로 사용하였다.

⑤ 사용재질

사용재질은 SCW450 이며 이것은 물성치는 아래와 같다.

탄성변형를 : EX =2.108773E+4

포와송의 비 : NUXY = 2.9E-1

전단변형률 : GXY = 8.173539E+3

밀도 : DENS = 7.97418E-1]

⑥ 판단조건

판단조건으로는 주어진 하중조건하에서 모터프레임의 영구변형이 일어나지 않아야 한다. 따라서 주어진 하중 하에서 발생되는 최대 응력이 재질의 항복강도를 넘지 말아야 한다.

이 재질의 인장강도와 항복강도는 아래와 같다.

인장강도 : 46 kgf/mm^2

항복강도 : 24 kgf/mm^2

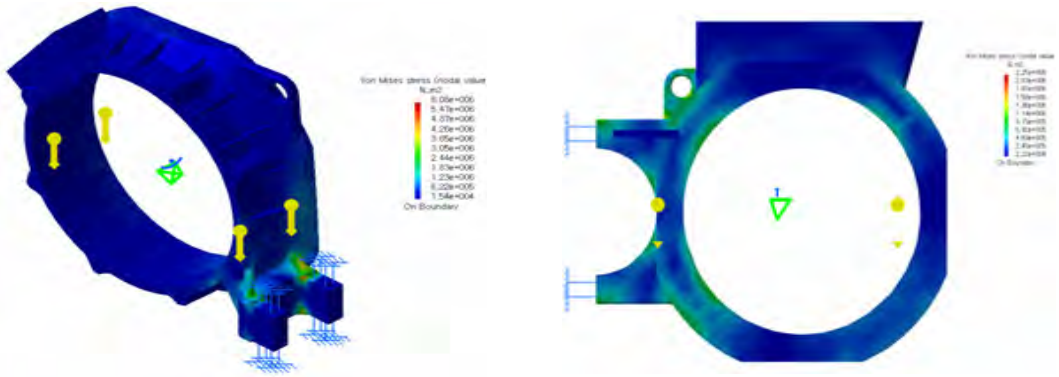


그림 372. 프레임의 응력분포도

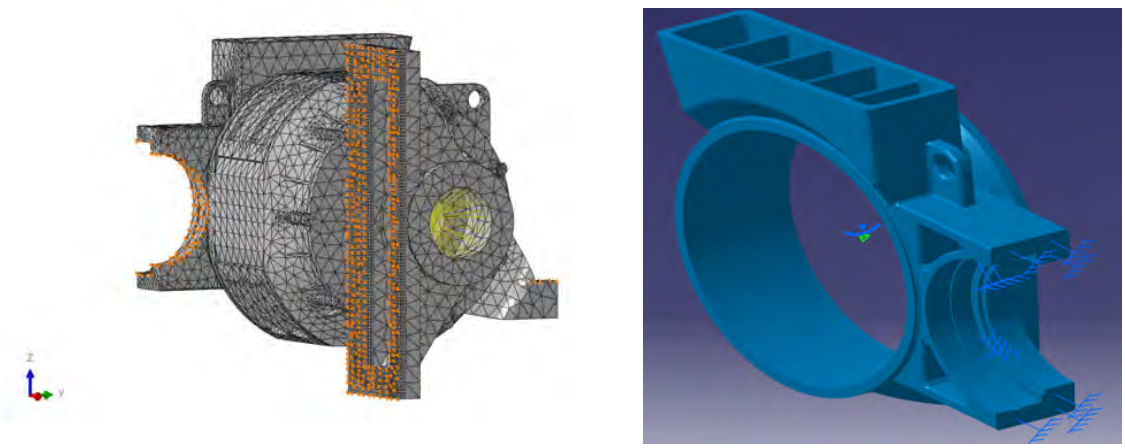


그림 373. 프레임의 매쉬모델

(3) 상세 설계

개발품 제작 설계는 기존품 분석 및 사용상 개선점을 파악 하여 기존품의 성능보다 동등 이상이 되도록 사전분석 및 자료 수집을 한다. 전기설계에 의한 전기장하 배분이 되는 코아(철심)와 코일 설계가 되면 구조적 기계 설계를하여 동력 전달체인 축과 축을 지지하는 베어링, 베어링을 보호하는 브라켓등 부속품 설계를 한다. 이때 제작기술에 필요한 지그와 목금형 설계도 함께 이루어지며 유한요소법에 의한 해석(전자계 및 강도)으로 최적으로 설계한다.

견인용 유도전동기는 가변속구동과 제어를 위한 전원공급 장치로 인버터를 채용하는데, 이때 인버터 출력 전압, 전류에 포함되는 고조파는 유도전동기의 특성에 큰 영향을 미친다. 산업용에 적용되는 가변속 시스템의 인버터의 경우 스위칭 주파수가 높아서 고조파 영향이 상대적으로 미미하지만, 철도차량용 주전동기에 적용되는 경우는 0~수천 RPM 정도로 회전속도가 광범위하고, 스위칭 주파수도 수 Hz~수백 Hz 정도로 변화하며, 스위칭 모드도 속도에 따라 변하면서 고조파의 영향이 효율, 역율을 악화시키고 맥동토크를 방생시킨다. 또한, 견인전동기를 병렬로 운전하는 경우 고속전철의 차륜경 및 부하토크의 변화에 따른 전동기출력토크 및 불평형 전류가 흐르게 된다.

(가) 고정자

견인 전동기 고정자 부분 설계는 전동기의 특성과 크기를 결정하는 코일 및 절연설계와 코아(철심) 설계, 프레임 설계로 구분 된다. 코아의 형상과 코일의 사양에 대해 전자계 해석 하였으며 프레임 또한 구조해석(한국교통대) 하였다.

① 코일설계

고정자 코일은 전동기에 전류를 흘려 회전자계를 발생시켜 토오크를 얻는 전기적 회로 이므로 산소함유량이 최소화 하고 ASTM 재료기준에 따른 절연 파괴전압 7000V와 내열충격 260±5℃/30분에서 견디는 제품을 사용한다. 소선 절연은 내열성이 우수한 캡톤 절연물을 사용하며 대지간 절연물도 절연성이 우수한 노멕스를 사용 함으로서 열상승 등급을 200 Class에서 240 Class로 개선 하였다. 절연설계는 절연파괴와 열상승 등급을 향상하기 위해 턴 절연(소선절연)을 하고 대지간 절연은 노멕스와 마이카 설계로 절연내력을 강화하고 진공가압함침(VPI)으로 마무리 하여 신뢰성을 확보 하였다. 상세 설계된 코일은 아래 그림 코일 도면과 같이 절연 한다.코일은 2층권으로 하며 각 코일은 턴 절연된 동선을 사용하여 철

심과의 대지간 절연(주절연)과 코로나 방지를 위한 도전성과 반도전성 테이프로 마감한다. 슬롯 상.하부 및 층간에는 필러(Filler)와 웨지를 삽입하여 유동성을 방지 한다.

```
PC-IMD 4.1 (4.1.1.26) 15-1-2014 È¯ 3:12:27
Hansung Electric Industrial
1300kw 4p 2200v 76.4hz.im1
PC-IMD main title
PC-IMD sub-title

1 Dimensions :
------------------------------------------------------------------

Slots          60        Poles          4        Lstk      350.0000 mm
StatorOD   900.0000 mm    RotorOD    495.0000 mm    Gap         2.5000 mm
StatorID   500.0000 mm    RotorID    150.0000 mm    MConfig        Int

STATOR..
Rad3       450.0000 mm    R1g        250.0000 mm
S-slot      P1lSlot       ASlot      569.7266 mm^2   ASlotLL    523.2641 mm^2
SD_S        50.0000 mm    SWid        12.5000 mm     TGD_S       4.5000 mm
STOH         0.0000 mm    SBWid       12.5000 mm     SYoke     150.0000 mm
NSDuct          0         WSDuct      0.5000 mm     LFeS      339.5000 mm
SWedge       NonMag       muWedge     1.0000

ROTOR..
Rad1       247.5000 mm    Rad0        75.0000 mm     RadSh       6.0000 mm
Bar1         Type2        R_Bars         48        DblCage      false
Skew         0.0000 SSlots LB         410.0000 mm     BarExt     30.0000 mm
ARslot     426.0027 mm^2   Abar       426.0027 mm^2   Shrink      0.0000
muPlug       1.0000        SBFull        true        RYoke     203.4980 mm
Rotor slot dimensions..
BarDpth     35.0000 mm     BarWdth     12.0000 mm     SO_R        2.0000 mm
SetBack      3.0000 mm
Dbar       456.9980 mm

Rotor end-rings and fins..
ERType1      Type C
ERType2      Type C
ERLedge1    65.0000 mm     ERthk1      30.0000 mm     ERID1      288.9960 mm
ERLedge2    65.0000 mm     ERthk2      30.0000 mm     ERID2      288.9960 mm
ERArea1   3000.0613 mm^2   ERArea2   3000.0613 mm^2   EROD       489.0000 mm
NRDuct          0         WRDuct      0.0000 mm
ROH          0.0000 mm     LFeR      339.5000 mm

Shaft..
RadSh        6.0000 mm     RadSh2      4.8000 mm     RadSh3      3.6000 mm
AxExSh1     25.0000 mm     AxExSh2     16.6667 mm     AxExSh3     5.0000 mm

Stacking factors..
Stf          0.9700        XStf_R      1.0000

2 Winding Data :
------------------------------------------------------------------

General
```

그림 374. 고정자 전기설계 1

```
Connex     3-Ph Wye
PC        100.0000 %Cu    TCC         0.3930 %/°C   WireDens  8890.0000 kg/m³
SFill       0.6635        SFillHBL    0.9198        ACu       378.0000 mm^2
MaxSFg      0.6635        MaxSFn      0.9198        ASlotLL   523.2641 mm^2
ACL     36279.6936 mm^2   LCL       103.6563 mm     Liner       0.4000 mm
PCSlot      1.5733        XPCslot     1.0000
EndFill     0.5000        LaxPack   718.3351 mm     LAYERS      2.0000
Ax1md      60.0000 mDeg   Ax2md     120.0000 mDeg   Ax3md     180.0000 mDeg

Stator winding..
WdgType        Lap        T_wdg     105.0000 °C     RLL_Amb     0.0374 ohm
Throw           14        CPP         5.0000        TC            9
Tph         45.0000        PPaths         4        Tph1       42.8146
MLT       1987.2501 mm     XET          1.0000       Ext        0.0000 mm
Wire_1         Rect
wa_1         5.0000 mm
wb_1         2.1000 mm
NSH_1             2        EWG        51.7088
BWDia_1      3.6564 mm     EWDia        5.1709 mm
BWArea_1    10.5000 mm^2   ACond       21.0000 mm^2
InsThk_1     0.0000 mm
HBWDia_1     3.6564 mm

Winding factors..
kw1          0.9514        kw3        -0.6155        kw5          0.1732
kw7          0.1111        kw9        -0.1453        kw11         0.0445
kw13         0.0213        kw15        0.0000        kw17        -0.0213
kw19        -0.0445        kw21        0.1453        kw23        -0.1111
ks1          1.0000        kr_RS     458.2734        zSlot            18

Rotor cage
CgDens    8600.0000 kg/m³  ERDens    8600.0000 kg/m³  SBFull         true
PC1        100.0000 %Cu    TCC1         0.3750 %/°C   RhoBar    2.2735E-08 ohm-m
PCEndR     100.0000 %Cu    TCCEndR      0.3750 %/°C   RhoEndR   2.2735E-08 ohm-m
Kring1       1.0152        Kring2       1.0152
PRSlot       2.3130        XPRslot      1.0000

3 Control Data :
-----------------------------------------------------------------

CalcMode  f/PowerSh
Freq       76.4000 Hz      PowrSh..  1300.0000 kW
rpmS     2292.0000 rpm     rpm       2282.5197 rpm    Slip         0.0041 p.u.
Vs       2200.0000 V       Drive      AC_Volts

4 Magnetic design :
-----------------------------------------------------------------

SSteel   M19 24 gage
RSteel   M19 24 gage
ShSteel  M19 24 gage
MagCalc   Classical        XBst         1.0000        XBrt         1.0000
```

그림 375. 고정자 전기설계 2

```
XBsy        1.0000      XBry        1.0000      XBsh        1.0000
                                                IncShaft    No shaft
PPitch    392.6991 mm    Ag      1.3676E+05 mm^2   Lge        3.3122 mm
qC_S        0.0000      qC_R        0.0000      XkC         1.0000
kC_s        1.3136      kC_r        1.0086      kC          1.3249
muPlug      1.0000      PCplug      1.5000
Bstpk       1.8446 T    ATst      234.1062 A    MMFst       0.0948 p.u.
Brtpk       1.6846 T    Atrt      297.4022 A    MMFrt       0.1205 p.u.
Bsypk       0.8045 T    ATsy       14.3056 A    MMFsy       0.0058 p.u.
Brypk       0.5930 T    ATry        3.1279 A    MMFry       0.0013 p.u.
Bshpk       0.0000 T    ATsh        0.0000 A    MMFsh       0.0000 p.u.
Bg1L        0.9364 T    ATgap    2468.2530 A    kXm         1.2224
Bgm         0.5962 T    Bgpk        0.9364 T    Phi1L      81.9391 mWb

5 Equivalent circuit parameters :
----------------------------------------------

R1          0.0245 ohm    X1          0.4289 ohm    X1unsat     0.4289 ohm
R2          0.0131 ohm    X2          0.3990 ohm    X2unsat     0.3990 ohm
Rc        752.2222 ohm    Xm0        13.9476 ohm    Xm         11.9374 ohm
Rbar        0.0100 ohm    REndRing    0.0031 ohm    Erb         0.0000 V
R_rotor  2.8607E-05 ohm   X_rotor  8.7071E-04 ohm   XErb        1.0000
EQcct       SPEED       RcLoc       GapFlux
DeepBar     Boldea      K_r         1.0005        K_x         0.9999
                        XKr_DB      1.0000        XKx_DB      1.0000
EndLeak     SPEED       CoilFill    1.0000        kEndCoil    1.0000
                        XX1end      1.0000        XX2end      1.0000
DiffLeak      CGV       DiffSat      false        Alzz        Normal
LkSat        None       kXL1        1.0000        kXL2        1.0000
kzz         1.0000      kX1slot     1.0000        kX2slot     1.0000
Xkzz        1.0000      XkX1slot    1.0000        XkX2slot    1.0000
XXm         1.0000      XXL1        1.0000        XXL2        1.0000

Unsaturated reactance components..
X1slot      0.1278 ohm    X1end       0.2244 ohm    X1diff      0.0768 ohm
X1belt      0.0339 ohm    X1zz        0.0428 ohm    X1skew      0.0000 ohm
X2slot      0.2238 ohm    X2end       0.0985 ohm    X2diff      0.0768 ohm
X2belt      0.0339 ohm    X2zz        0.0428 ohm    X2skew      0.0000 ohm

L-circuit parameters..
alpha_TL    1.0334      uX1oX2      1.0000        X1oX2       1.0750
XL_L        0.8694 ohm    Rc_L      803.3507 ohm
R2_L        0.0140 ohm    Xm_L       12.3364 ohm

6 Performance :
-------------------------------------------------------------

OpMode     Motoring
Vt       2200.0000 V     rpm       2282.5197 rpm    Slip        0.0041 p.u.
Pshaft    1299.9912 kW     PElec     1338.5100 kW     Tshaft     554.5958 kgm
PshaftHP  1743.3166 h.p.   P.F.         0.8838        Effcy      97.1223 %
                        WTotal     38.5187 kW    Eff_X_PF    85.8374 %
```

그림 376. 고정자 전기설계 3

```
Currents..
Iph1      397.4484 A rms  IL1       397.4484 A rms  I2        372.7668 A
Imc        99.7673 A      IMag       99.7547 A      Ic          1.5831 A

Equivalent circuit voltages..
E1       1190.8077 V      VR1         9.7314 V      VX1       170.4847 V
ER2      1176.5947 V      VR2         4.8869 V      VX2       148.7423 V

Losses and related parameters..
WCuS       11.6032 kW     WCuR        5.4650 kW     WIron       5.6553 kW
SLLCalc     ANSIC50       WSLL       15.7894 kW     Wwf         0.0058 kW
Jrms        4.7315 A/mm^2
JBar1       4.6830 A/mm^2 J_ER        2.5473 A/mm^2 JRotor      3.9108 A/mm^2

Other performance parameters..
PGap     1321.2514 kW     EMTorque   561.3343 kgm

Test data..
Wrated      0.0000 kW     Irated      0.0000 A
V_Test    240.0000 V      I_Test      0.0000 A      P_Test      0.0000 kW
s_Test      0.0000        T1_Test    20.0000 °C     T2_Test    20.0000 °C

7 Core losses, Harmonic losses, and Stray Load Losses : ----------------------

WFeS        5.6553 kW     Wst         3.5146 kW     WstWkg      0.0122 kW/kg
WFeR        0.0000 kW     Wsy         2.1407 kW     WsyWkg      0.0023 kW/kg
WFeCalc   Classical       XFe         1.0000        Bd_slot     0.5993 T

8 Thermal data :
-----------------------------------------------------------------

TempCalc      Fixed       HeatFlux   16.0399 kW/m²  TempRise   80.0000 °C
Ambient     25.0000 °C
T_wdg      105.0000 °C    T_rtr      105.0000 °C

9 Miscellaneous parameters :
-------------------------------------------------

Wt_Cu      200.3398 kg    Wt_Fe     1501.2603 kg    Wt_Tot    1836.7605 kg
WtFeS     1054.4569 kg    WtFeR      446.8034 kg
WtFesy     918.7368 kg    WtFest     126.9468 kg    WtTri      159.9889 kg
Wt_Al      135.1604 kg    WtAl_RB     72.1001 kg    WtAl_ER     63.0603 kg
WtShaft      0.3308 kg
RotJ        18.9945 kg-m²  JL          0.0000 p.u.  JFan        0.0000 p.u.
C_cage     121.1037 kJ/C   C_main     76.7502 kJ/C
WtFrame     14.8535 kg     WtCap       0.2300 kg
Ecc          0.0000        UMP      2.5059E-13 kg
FrThk        5.0000 mm     LFrame    375.0000 mm    CapThk      5.0000 mm
FrLgthM        Add         FrLgth+    25.0000 mm
TRV       8233.9508 kgm/m3 T/Wt        0.3019 kgm/kg P/Wt        0.7078 kW/kg
Wf0          0.0100 kW     RPM0     3000.0000 rpm    NWFT        1.0000
CanStyle       None
```

그림 377. 고정자 전기설계 4

② 고정자 코일의 결선 Diagram

설계된 견인전동기의 결선도로써 Slot 60개의 권선연결을 구동측에서 본 것이다. 전동기는 3상 4극, 결선방식 Y결선, 병렬회로수가 4가 되는 것을 보여준다. 위의 결선에서 보는 바와 같이 3상 전원이 투입이 되면 구동측에서 볼 때, 시계방향으로 회전하게 된다. 이것은 8200호대 전동차와 호환성을 가진다.

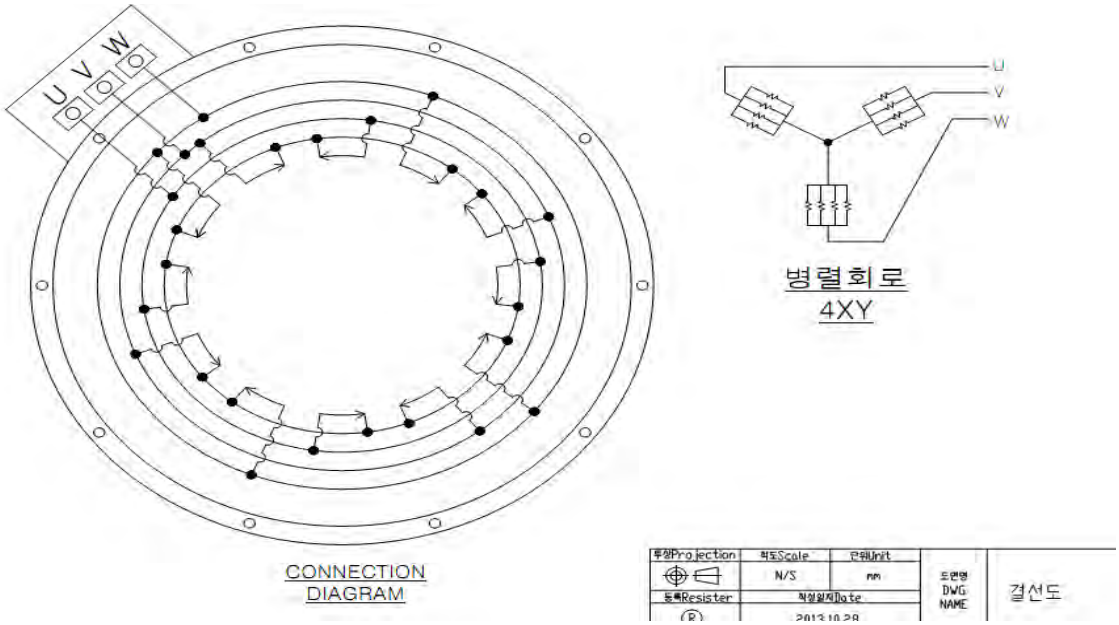


그림 378. 고정자 코일 결선도

③ 절연 설계

고정자 슬롯의 단면도로써 코일의 동, 절연, 웻지로 구성되어 있다. 코일은 4개의 소선으로 하나의 도체를 이루고 있어 권선의 성형이나, 표피효과에 유리하게 설계되어 있으며, 각소선의 절연은 Kapton을 사용하여 절연등급 240Class를 만족시킨다. 주절연의 경우 Rica Fibrel E264N을 1/2 Lap으로 4회감고 마지막으로 Glass Tape로 1회 감는다.

웻지의 경우 240Class급 실리콘 적층판으로 사용하여 강도와 온도특성을 만족시켰으며, Slot Liner, 웻지와 코일, 상코일과 하코일, 하코일과 슬롯 바닥사이에는 Nomex를 사용하여 절연하였다. 이러한 절연설계에서 전체적으로 전동기의 절연등급을 240Class에 만족시키는 설계를 하였다.

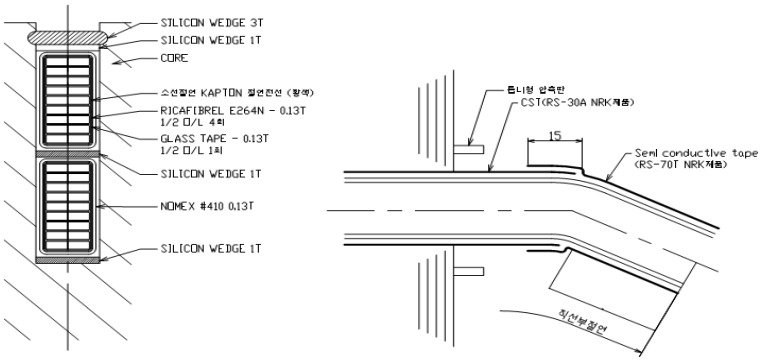


그림 379. 고정자 슬롯 단면도

④ 고정자 코일의 성형

8200호대 전기기관차의 고정자 코일로써 전동기에 전류를 흘려 회전자계를 발생시켜 토오크를 얻는 중요한 전기회로이기 때문에 적절한 코일의 분포, MLT 등의 설계가 전동기의 신뢰성과 작업의 향상을 높일수 있다. 적층길이를 350mm로 설정하였으며, 코일엔드부의 길이는 기계적 특성, 코일의 간격, 작업성, 열발산 등을 고려하여 적절한 길이로 설계하였다. 또한 코일 Pitch는 #1~#13으로 설계 되었다.<

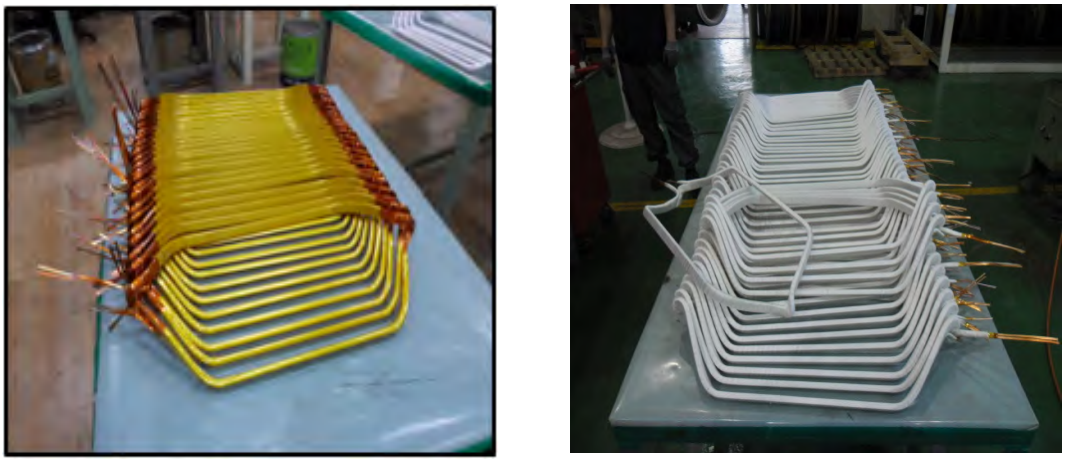


그림 380. 성형 완료된 코일

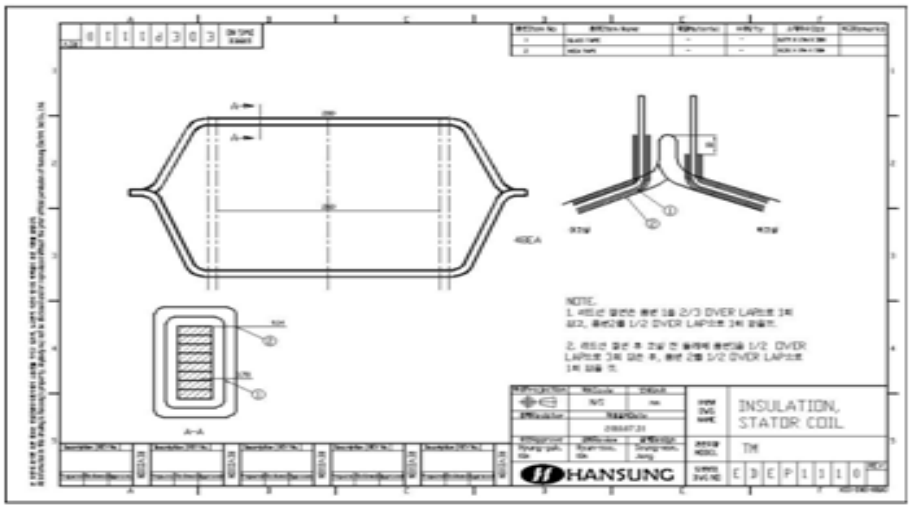


그림 381. 고정자 코일 성형도

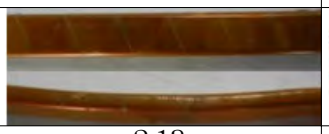
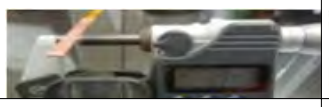
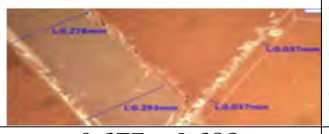
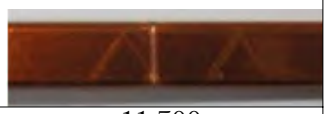
구분	단위	요구사항	기존품	개발품
구리 산소함유량	ppm	10미만(ASTM B49)	Oxygen : 201.79 E.T.P Wire 사용	Oxygen : 8.96 O.F.H.C Wire 사용
외관	-	주름, 기포, 먼지 혹은 흠집과 같은 결함이 없을 것		
도체 치수 (두께)	mm	정치수 ±0.030	2.13 	1.59 
도체 치수 (너비)	mm	정치수 ±0.050	4.99 	4.67 
절연치수 (두께)	mm	최대 : 0.366	0.157~0.180	0.305~0.311
절연치수 (너비)	mm	최대 : 0.366	0.176~0.218	0.338~0.346
절연간격	mm	0.5 이내	0.278~0.293 	0.107 
곡률반경	mm	0.65 ±20%	0.675~0.692 	0.598 
스프링 백	°	최대 : 5.5	Sample 부족 및 변형으로 분석 못함	3.5 
피막 흠성	-	들뜸이 없을 것 T : 4배 W : 4배	Sample 부족 및 변형으로 분석 못함	양호 
밀착성	mm	4.6mm이하	Sample 부족 및 변형으로 분석 못함	1.0 
절연파괴 전압	V	7,000 25mm X FD	500 	11,500 
내열충격	℃	균열이 없을 것 260±5℃/30분 T : 4배 W : 4배	Sample 부족 및 변형으로 분석 못함	양호 

표 62. 기존품과 개발품의 코일 비교

⑤ 코어(철심) 설계

전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는데 있어서 매개 역할을 하는 자기적 에너지의 효율적인 활용이 중요하며, 이러한 자기적 에너지를 저장, 변환하는 철심의 설계는 전동기의

성능 및 경제적인 설계에 있어서 매우 중요한 요소이다. 따라서 전동기특성, 손실, 온도상승 등을 전반적으로 검토하여 철심설계를 하였다. 슬롯조합은 전동기의 진동, 소음, 고조파 손실 등과 밀접한 관계에 있으므로, 선진국 고속전철용 견인전동기의 분석과 전기적 시뮬레이션을 통하여 고정자 슬롯수를 60개, 회전자는 48개로 선정하였다. 코어는 전기규소강판으로 철손이 작은 등급으로 하여 철손에 의한 열 상승을 최소화 하는 50PN400등급으로 설계 하였다. 프레임레스 구조로 코어 외경부의 일부(4곳)는 원형이 아닌 직선 형상을 구현하여 차축과 연결부분의 간섭을 회피 하고 원형부분은 적층된 철심용 찬넬을 취부 하여 고정함과 동시에 창을 만들어 열 방산이 효율적인 구조로 설계 하였다.

㉮ 코어 재질

코어는 일반 산업용 보다 손실은 낮은 50PN400으로 제작 예정 이며 일반 산업용 전동기는 이 보다 손실이 많은 재질의 코어를 사용 한다. 코어의 재질은 전동기의 특성에 밀접한 영향이 있으며, 코어의 등급이 높을수록 철손이 줄어들고 효율이 높아지는 성질이 있다. 아래는 코어 종류에 따른 사양을 비교 하였다.

종류		두께	밀도	최대철손 (W15/50)	최소자속 밀도	점적율
		㎜	kg/dm3	Watt/kg	T(B50)	%
(S14)	50PN400	0.5	7.65	4.00	1.63	96.0이상
(S23)	50PN600	0.5	7.75	6.00	1.66	96.0이상
(S40)	50PN800	0.5	7.85	8.00	1.70	96.0이상

표 63. 코어 재질 비교표

㉯ 철심고정 찬넬

적층된 코아의 원형부분은 도면처럼 찬넬에 가로100 세로140 창을 형성하였다

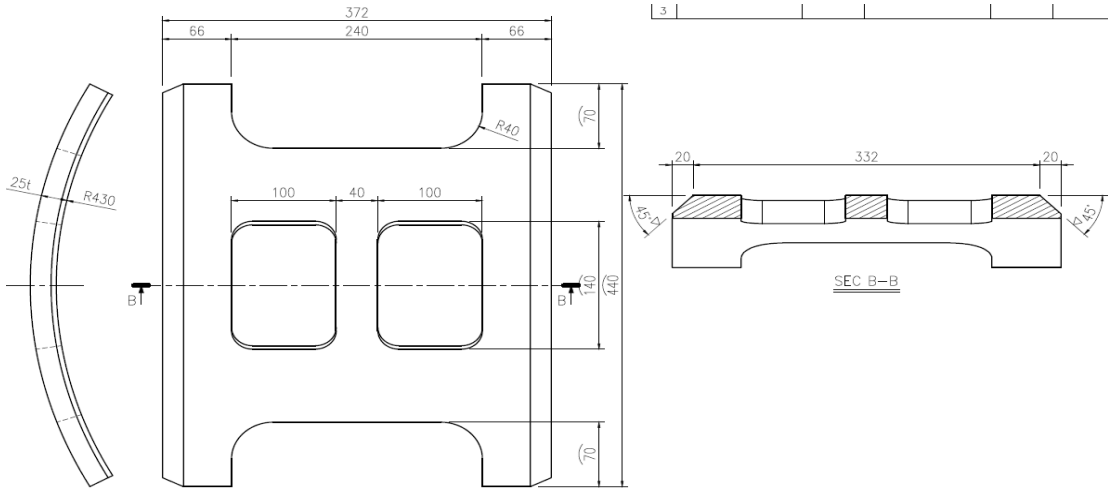


그림 382. 프레임 찬넬 형상도

⑥ 고정자 전체 Assembly

아래의 그림은 고정자 전체 Assembly의 형상을 나타내며, 코일의 연결에서 상코일과 하코일간의 연결은 코일이 엔드부 길이와 엔드부의 구조적인 견고성과 작업의 편리성 등에 영향을 주는 부분이다. 따라서 구조의 견고성과 작업의 편리성을 위주로 설계하였다. 그리고 지지링은 권선의 엔드부를 결속 및 지지하는 기계적 구조물로써 고속전철의 경우 특히 신뢰성을 요구하기 때문에 지지링을 양쪽 코일엔드부에 주착을 하였으며, 또한 지지링을 기계적 프레임에 지지하도록 하여 신뢰성을 높였다.

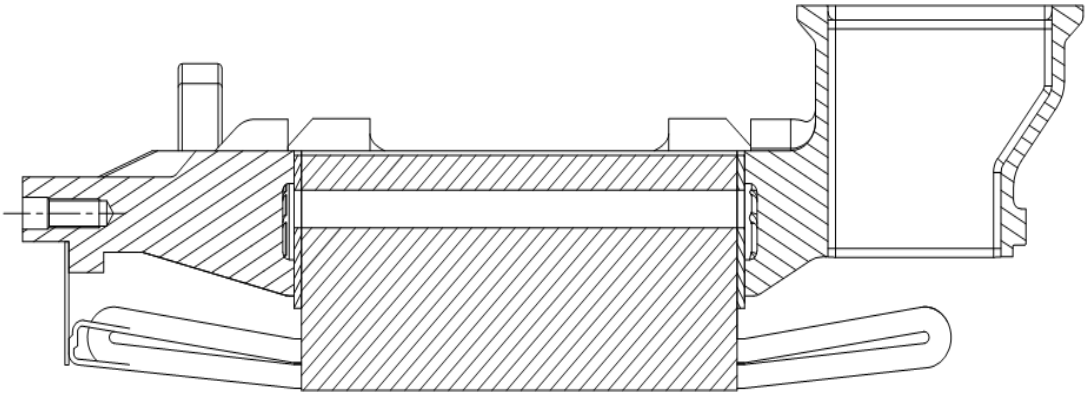


그림 383. 고정자 Assembly 형상도

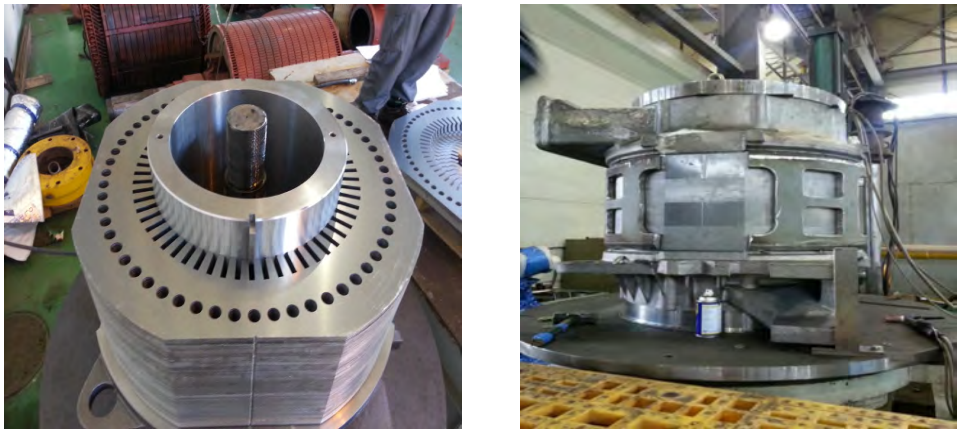


그림 384. 고정자 전체 Ass'y

⑦ 전자계 해석

토오크를 발생하기 위해 전류에 의해 유도되는 자속은 전동기의 특성과 소음, 진동에도 영향을 준다. 따라서 철심과 코일 설계 시 전자계 형상을 유한 요소 법으로 해석 하여 최적의 설계로 한다. 1차 설계시 고정자의 방열을 위한 리브를 적용한 코어 전자계 해석에서 약간의 문제점이 발생하였다. 자계의 편차가 발생하여 기존형태로 2차 전자계 해석을 실시하여 문제점을 해소하였다. 요소 분할 수 19,206개로 하여 최대자속 1.6T이하로 자속밀도가 분포된 형상으로 해석 하였다.

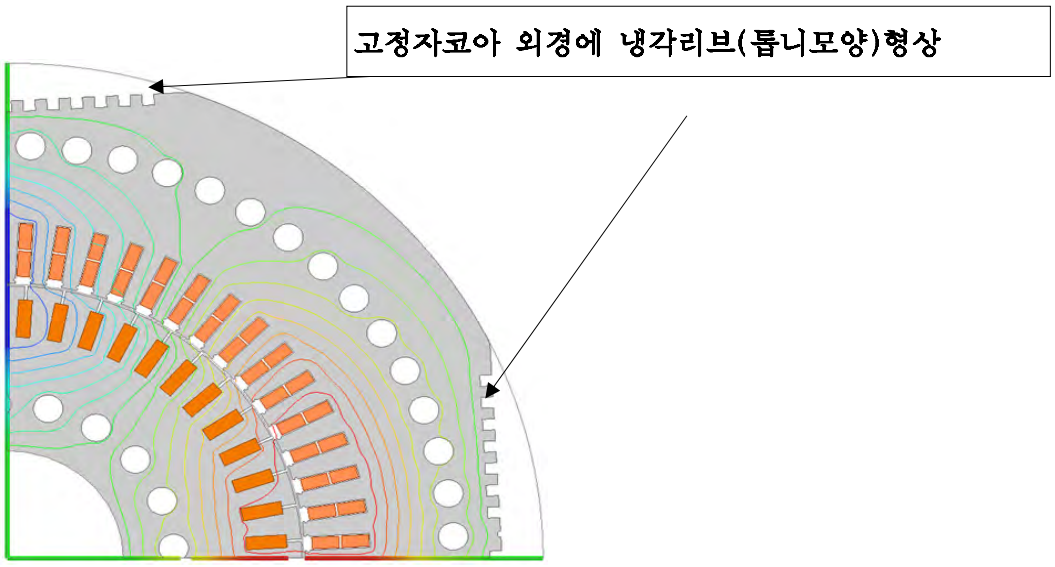


그림 385. 1차 전자계 해석 자속선도

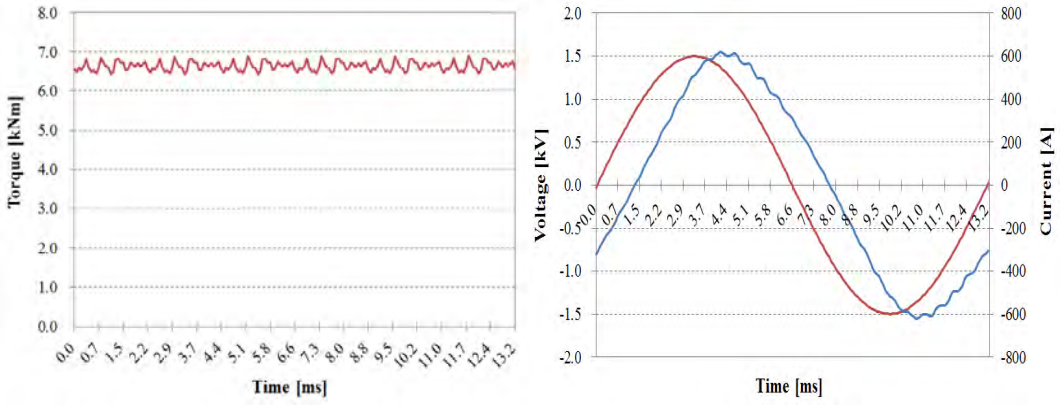


그림 386. 1차 해석 시간에 따른 토오크, 전안 및 전류 파형

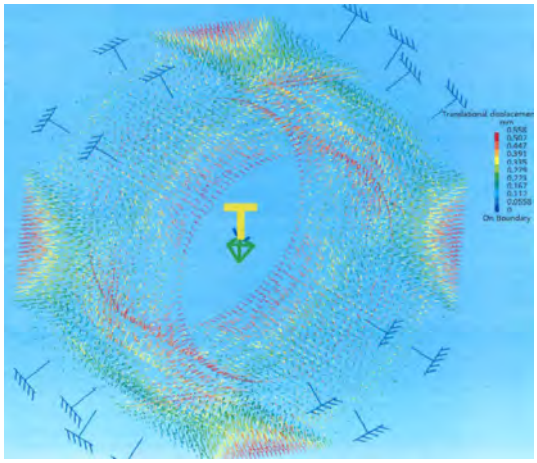


그림 387. 1차 해석

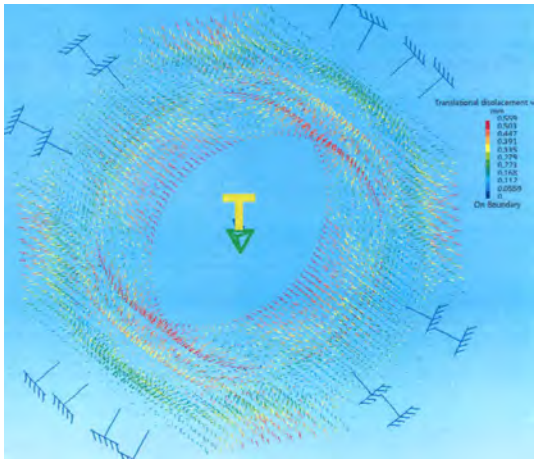
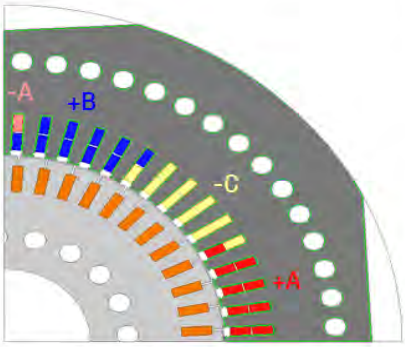


그림 388. 2차 해석



FEM 1/4 Model

Material Data

고정자 강판 재질	50PN400
회전자 강판 재질	50PN400
고정자 도체 재질	구리(Cu)
회전자 도체 재질	크롬동(Cucr)

Dimension

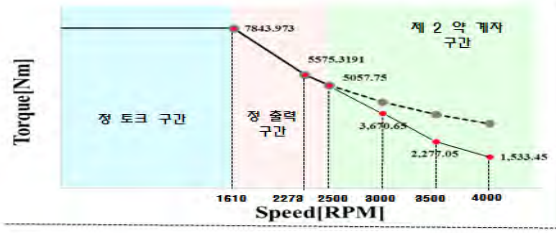
적층 길이[mm]	350
고정자 외경[mm]	900
고정자 내경[mm]	500
회전자 외경[mm]	495
공극 길이[mm]	2.5

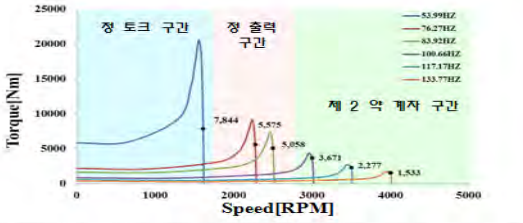
공칭 운전

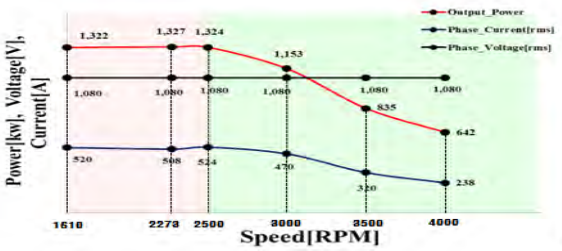
공칭 전압[선간]	2,216[V]
공칭 전류[상]	508[A]
공칭 전력	1,633[kw]
공칭 속도	2273[rpm]
공칭 주파수	76.27[Hz]
모터 정격 출력	1,327[kw]

Winding Parameter

극수	4극
상수	3상
슬롯수(고정자)	60개
슬롯수(회전자)	48개
극당상당슬롯수	5
병렬회로수	4
상당 직렬 턴 수	45턴
지당 턴 수	9턴
결선	Y결선







전원주파수 [Hz]	회전자 속도 [RPM]	슬립	상전압 [Vrms]	상전류 [Arms]	토크 [Nm]
53.99	1610	0.006056	1079.65	519.89	7843.97
76.27	2273	0.006584	1079.65	508.05	5575.32
83.92	2500	0.007017	1079.65	523.55	5057.75
100.66	3000	0.006562	1079.65	470.11	3670.65
117.17	3500	0.004265	1079.65	319.95	2277.05
133.77	4000	0.003243	1079.65	237.96	1533.45

그림 389. 2차 전자계 해석 요소 분할 해석도

(나) 회전자

전기적 입력 부분인 코일과 코아로 구성된 고정자와 전기에너지로 기계에너지로 변환되어 회전하는 회전자 구조중 회전자 부분(베어링 쉴드 및 커플링 포함)설계에 적용한다. 전동기의 회전자는 고정자와 같이 코아(동바 및 엔드링)부분, 축 및 베어링으로 구성 되어있다. 회전하는 회전체 이므로 축 및 베어링의 강도 해석이 필요하며 차륜과 연결되는 커플링과의 부분을 고려한 설계가 되어야한다.

① 기존품

회전자는 전기회로를 구성하는 코어와 회전자 바 및 엔드링, 축, 베어링 쉴드 부분을 확인하였다. 회전자 바는 엔드링 과의 접속 부위를 고속 회전과 원심 력을 고려한 제품으로 판단하였고 재질은 순수 동이 아닌 강성을 높인 크롬 동으로 확인하였다. 축사이즈는 직경 95mm 이며 베어링은 롤러베어링 NU219를 사용 하였다. 속도 제어용 속도 센서가 취부 되었으며 피니언 기어도 확인 하였다. 아래는 분해된 회전자 코어에 바와 엔드링이 조립된 사진이다.



그림 390. 회전자 조립도

㉖ 축 및 베어링

기존 품 전동기 운전 중 가장 많이 발생하는 사고 부위가 베어링의 온도와 수명이다. 기존 베어링 규격인 NU219와 축과의 관계를 분석 하였다. 응력은 하중 515N/mm^2 / 1176N/mm^2 / 최대 허용하중의 22.8% 으로 나타났다.





그림 391. 축 및 기존품 베어링(NU219)

㉗ 베어링 커버

금속 시편으로 성분 분석을 아래와 같이 하였다.

시험기관 : 한국화학융합시험연구원

시험방법 : KSD 1652-2007

시험 결과:

항목	단위	결과
C	%	0.18
Si	%	0.41
Mn	%	1.41
P	%	0.015
S	%	0.027
Cr	%	0.12
Mo	%	0.002

표 64. 베어링 커버 성분 분석표

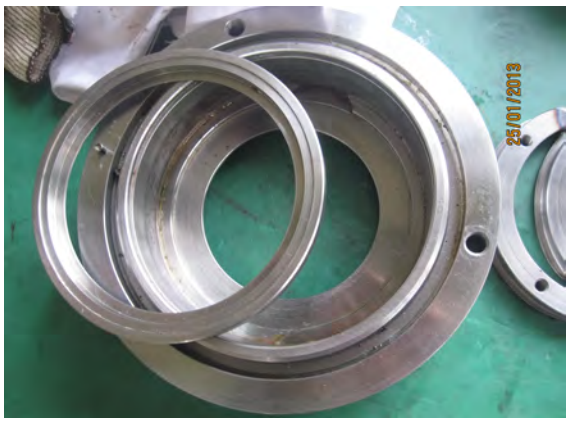


그림 392. 베어링 커버

㉯ 그리스

품명 : Shell사의 Retinax LX3

분석방법 : 시료에 혼합산(황산, 과산화수소, 질산, 불산)을 넣은 후 고온에서 분해로 완전용해 상태에서 분석한다(분석원소:Fe, Cu, Cr, Ni)

분석기기: Thermo사 iCAP 6300 Series

결과(시험기관:한국고분자시험연구소)

기존품 전동기 사용 그리스는 차량의 휠에 고하중용으로 150도 고온(사용범위 -20~150℃)에서도 흘러내리지 않는 윤활제로서 운전조건에 적합 한 것으로 판단 하지만 개발품 적용에 고려 여부는 고려 할 사항이다.

시료이름	분석원소	분석 파장 (nm)	ICP 측정치 (mg/L)	Blank 측정치 (mg/L)	희석 배수 a)	농도 b) (mg/kg) c)	농도 (%) d)
Koptri-1330095-1	Fe (Iron)	259.940	304.17	0.02	367	111 490	11.15
	Cu (Copper)	324.754	36.07	불검출	367	13 222	1.32
	Cr (Chromium)	283.563	0.81	불검출	367	297	0.03
	Ni (Nickel)	231.604	0.24	불검출	367	88	0.01
Koptri-1330095-2	Fe (Iron)	259.940	1 511.65	0.02	307	463 541	46.35
	Cu (Copper)	324.754	284.34	불검출	307	87 193	8.72
	Cr (Chromium)	283.563	18.02	불검출	307	5 526	0.55
	Ni (Nickel)	231.604	2.87	불검출	307	880	0.09

그림 393. ICP 성분분석 표

No.	의뢰자가 제공한 시료이름	시험에 사용한 시료이름	시료사진
1	1	Koptri-1330095-1	
2	2	Koptri-1330095-2	

그림 394. 그리스 시료사진

㉮ 기어

전동기에서 발생한 토크를 커플링을 통해 차륜에 전달되는 기어박스 중의 일부로서 멤브레인 커플링과 함께 조립되어 조립 되어 있다. 하지만 이 부분은 과제에서 개발 할 수 없는 부품으로서 멤브레인 커플링과 함께 제외 하였다.



그림 395. 피니언 기어

② 설계

㉮ 축 및 베어링

기존품 사용중 가장 많이 발생하는 사고 부위가 베어링의 온도와 수명이다. 기존 베어링 규격인 NU219와 축과의 관계를 해석하고 이에 대한 성능향상으로 설계 하였다. 축의 사이즈와 재질은 기본적으로 기존 과 동등 수준 또는 이상으로 하기위해 축계 응력분포를 분석하여 사이즈를 증가 하였고 베어링의 최대 허용 하중을 상승 시켜 베어링 강도를 약3% 개선하여 베어링 규격을 NU320으로 선정하고 이에 따른 축의 사이즈를 증가시켰다.

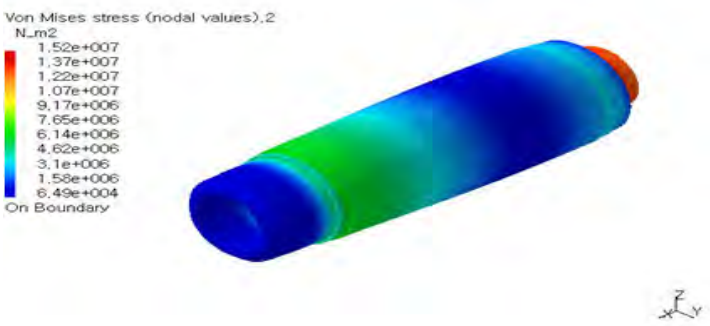


그림 396. 축 강도 해석도

기존 베어링 장착시와 베어링 사이즈를 증대시켰을 때의 응력분포는 아래 그림과 같이 기존품의 최대 허용 하중이 개발품보다 부족한 것으로 확인 하였다.축 재질은 아래 표와 같이 니켈-크롬-몰리브덴으로 선정하여 축의 강도를 향상 설계 하였다.

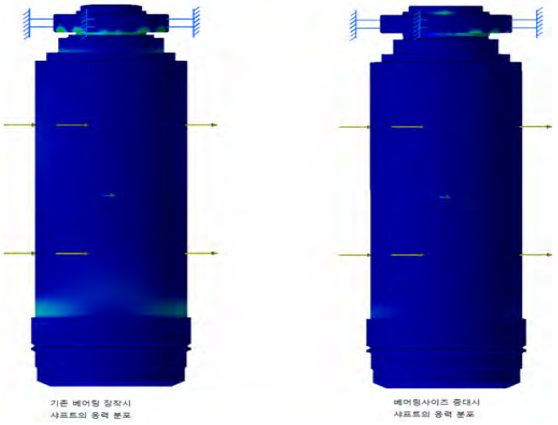


그림 397. 기존품과 개발품 응력분포도

기존 - 롤러베어링(NU219)
하중 515N/mm^2 / 1176N/mm^2 / 최대 허용하중의 22.8%
변경 - 롤러베어링(NU320)
하중 465N/mm^2 / 1176N/mm^2 / 최대 허용하중의 25.2%

종류		화학성분(%)								항복점	인장강도	신장	단면수축	경도
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N/㎟	N/㎟	%	%	Ha
일반 전동기	SM45C	4.42~0.48	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030 이하	0.035 이하				363 이상	608 이상	18 이상	-	179~235
개발품 적용	SNCM 439	0.36~0.43	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030 이하	0.030 이하	1.60~2.00	0.60~1.00	0.15~0.30	883 이상	980.7 이상	16 이상	45 이상	293~352

그림 398. 축 재질 비교표

㉯ 바 및 엔드링

회전자는 농형 유도 전동기로서 바와 엔드링이 용접되어 전기적 회로를 구성한 구조이다. 고속으로 회전 하고 기동빈도가 잦으므로 원심력에 의한 바의 휨 방지를 하여야 하며 엔드링과의 이탈 방지를 위한 Shrink ring(리테이너)구조로 설계 하였다. 바의 재질은 도전율이 Cu(동)보다 다소 낮은 75% 이지만 물리적 강도가 강한 크롬-니켈이 함유된 동-바로 선정 하였다. 슬롯 수는 기존품과 동일하게 하며 코어는 고정자와 함께 자계 해석으로 설계 추진하였다.

㉰ 부속품(Bearing Shield 부)

베어링 쉴드부는 차륜과 연결되는 커플링과 조립되는 구조로 기본적으로 국산화 불가능으로 기존 8200호대 전동기를 모델로 하여 독일의 VOITH 제품인 외자 구입을 추진한다. 속도센서 또한 회전속도 변화에 의한 전동기 운전특성 이므로 센서출력이 기존과 동일한 외자구입으로 선정 하였다. 축전류에 의한 Bearing 절연사고 및 전식사고 방지를 위해 축전류 방지 브러쉬를 추가하였다.

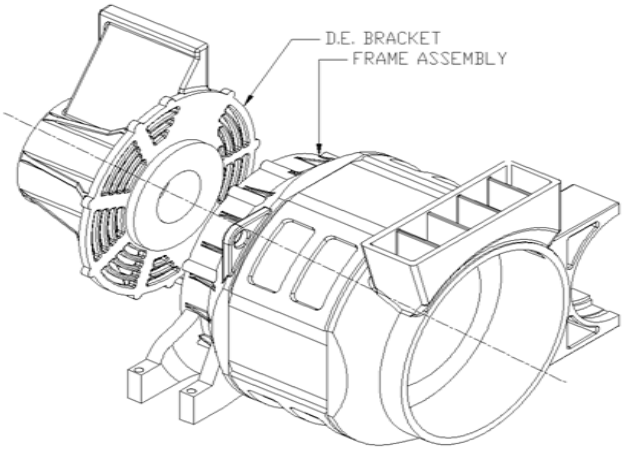


그림 399. 베어링 쉴드부(베어링 브라켓)

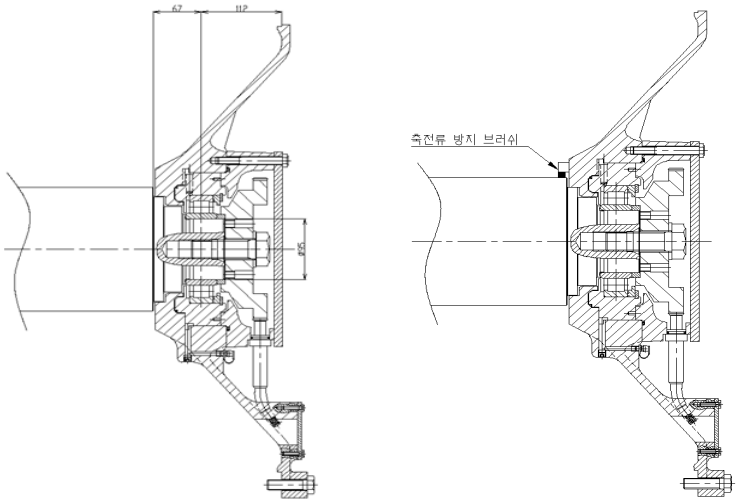


그림 400. 축전류 방지 Brush 채용

㉮ 냉각 검토

전동기 내부의 각종 손실로 발생한 열은 온도상승이 되어 사용 수명을 단축시킨다. 기관차 구동용 전동기의 특성상 크기의 제약으로 냉각 효과의 어려움이 있다. 그러므로 온도상승에 대한 내력과 냉각 방법의 검토를 실행하였다.

전동기 냉각을 위해 고정자 코어를 리브형식으로 제작하였고, 프레임 찬넬에 냉각창을 내어 설계하였다. 그러나, 고정자 코어 전자계 해석에서 이상이 발생하여 리브형식의 코어를 기존 형식으로 재설계하여 2차 전자계 해석을 진행하였다.

따라서, 냉각을 위한 방법은 프레임 찬넬이 냉각창을 내어 제작 진행하였다.

③ 제작공정 흐름

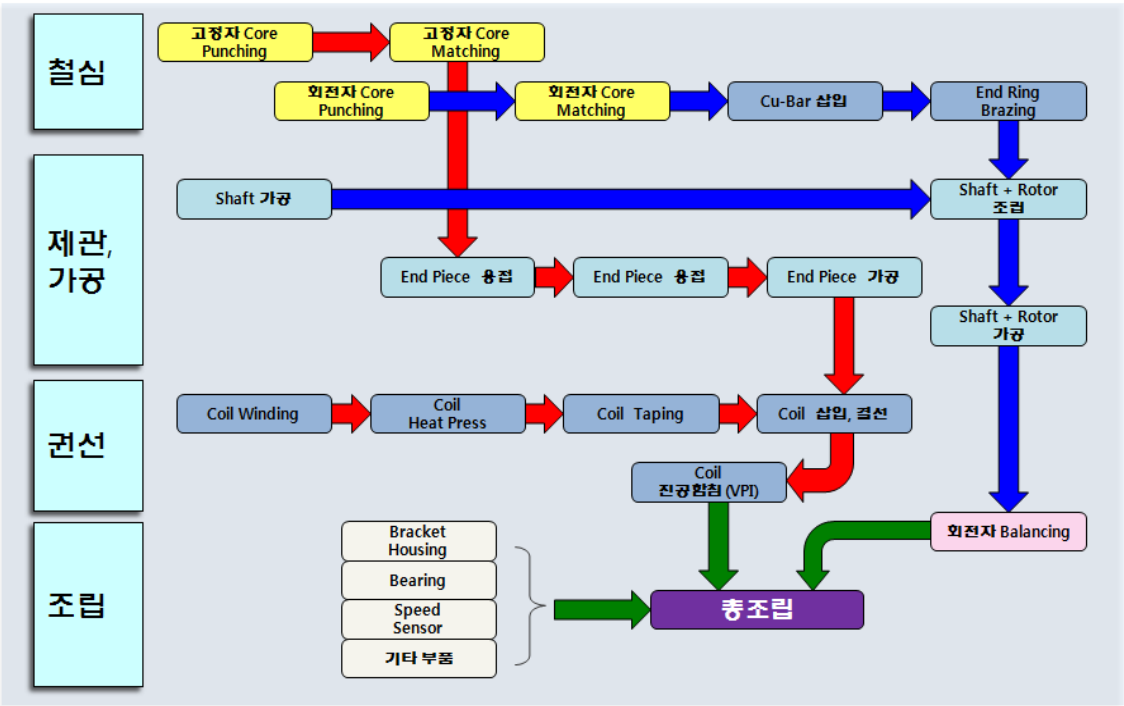


그림 401. 제작공정 흐름도

㈏ 고정자

고정자 코어를 적층하고 프레임과 용접하여 제작한 권선을 프레임에 삽입한다. 프레임을 용접작업 기준과 가공 검사 기준에 따라 용접, 가공한 후 고정자 권선 과 웻지를 삽입하여 권선 접속 부와 커넥터링을 단단히 결선하고 절연검사 기준서에 따라 절연시험을 행한다. 그런 다음, 함침기에 고정자를 넣고 진공함침을 행한 후, 건조로에서 회전 건조한다.



그림 402. 철심 적층작업

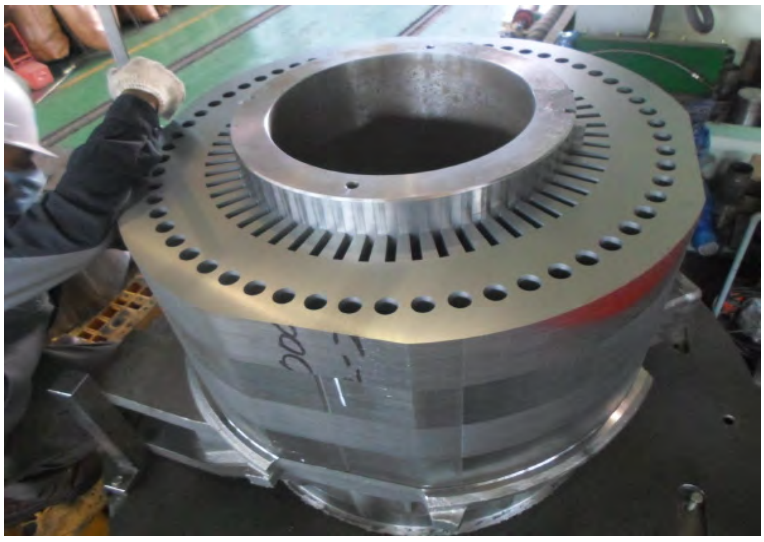


그림 403. 철심 적층 측정



그림 404. 철심 적층 측정



그림 405. 고정자 프레임 형상



그림 406. 고정자 프레임 형상

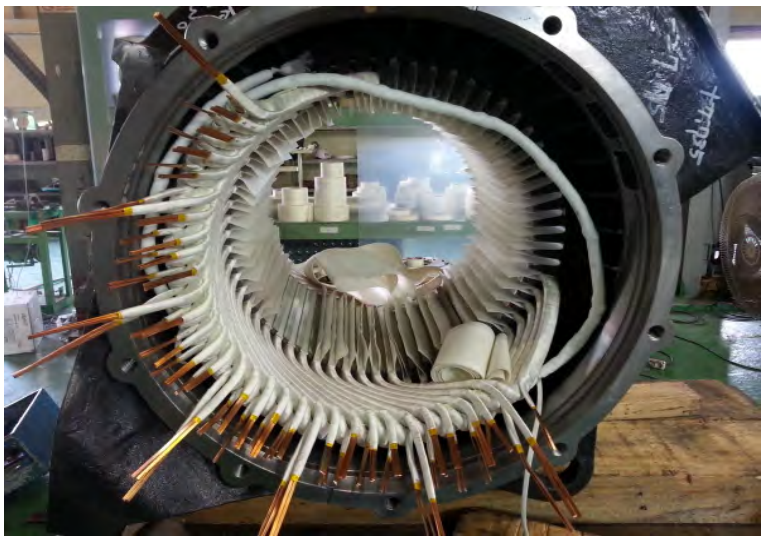


그림 407. 코일 Inserting

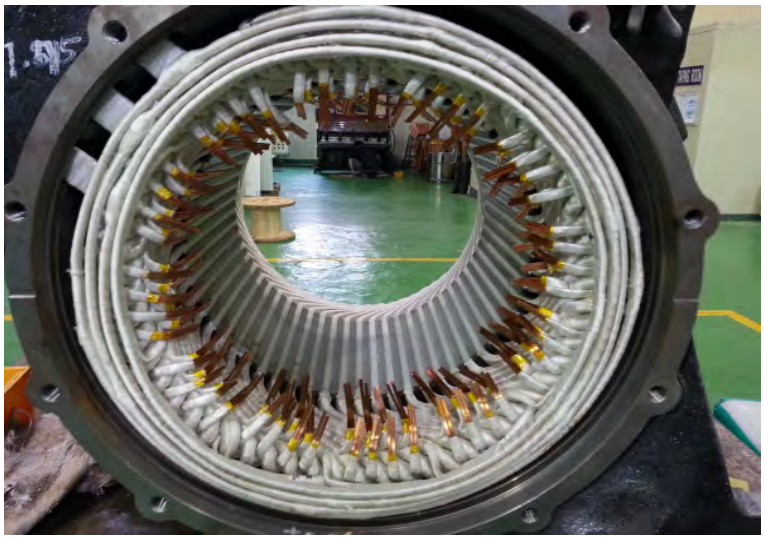


그림 408. 고정자 권선 Inserting 완료

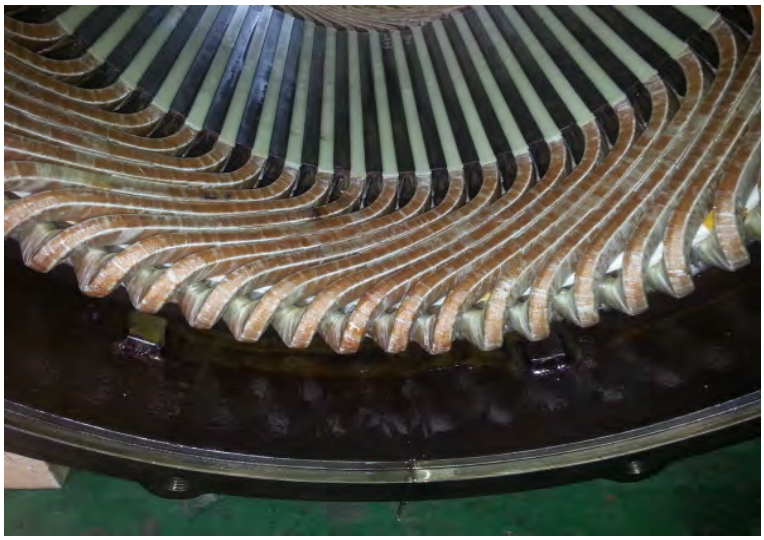


그림 409. 절연 Vanish 함침완료

㈐ 회전자

회전자 철심을 일정 압력으로 적층하고 샤프트를 열간 압입한후, 압력을 유지하면서 냉각한다. 그런 다음 회전자 바를 고무망치로 타발 삽입한다.

반부하측의 회전자 바를 세척한 후, 엔드링을 최적의 전력과 시간으로 브레이징하고 자연냉각한다. 그런 다음 검사 기준서에 따라 경도를 검사하고, 엔드링을 가공하여 SHRINK RING을 열간 삽입 한다.

SHRINK RING작업까지 마친 후 정해진 Air Gap 치수에 따라 외경가공을 실시한다. 마지막으로 회전자를 도장하고 웨이트를 고정하여 회전자의 바란싱을 잡는다.



그림 410. 회전자 철심 적층



그림 411. 회전자 Cu.-Bar 삽입



그림 412. 회전자 엔드링 브레이징 완료

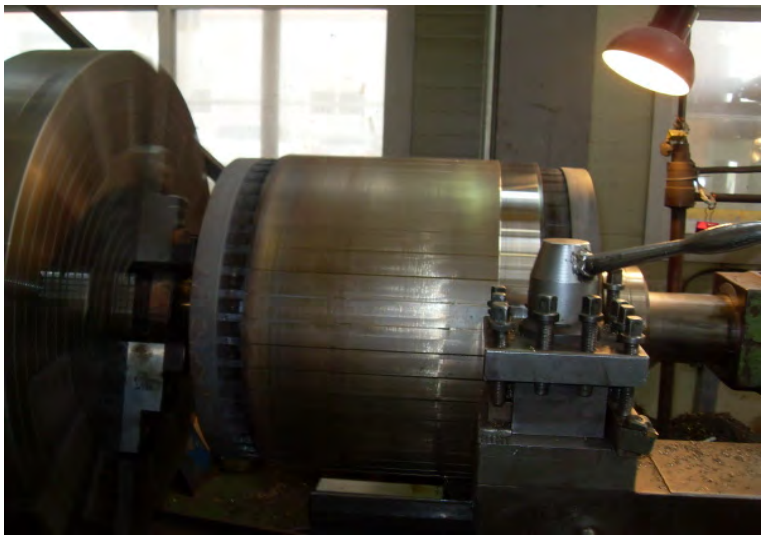


그림 413. 외경가공



그림 414. Balancing 작업



그림 415. Balancing 완료



그림 416. 회전자 완료

㉲ A′SSY 조립

반부하측의 베어링을 베어링 하우징에 조립하고 부하측의 베어링과 라비린스실을 베어링 하우징에 조립한다.

반부하측 베어링은 외륜이 절연 처리된 절연 베어링으로 조립시 절연피막에 손상이 가지 않도록 주위를 기울려 작업한다.

부하측은 오일 윤활이므로 별도의 그리스를 충진하지 않으며, 반부하측만을 베어링 조립시에 일정량의 그리스를 충진 한다.

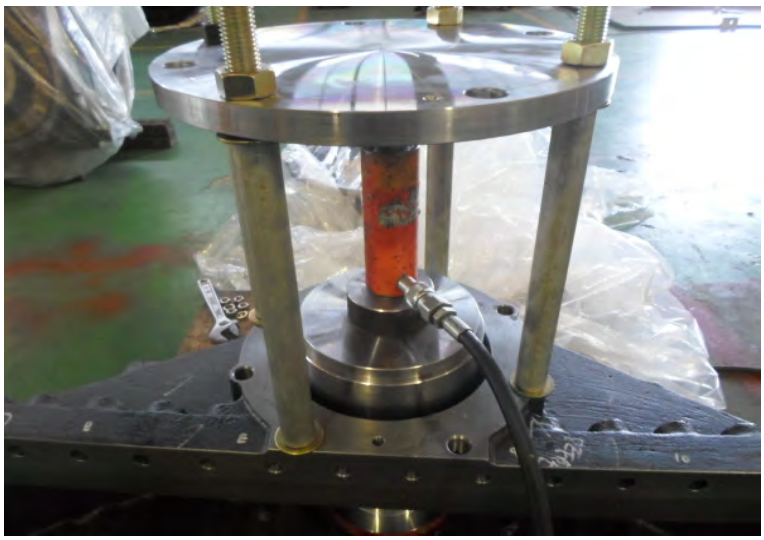


그림 417. 부하측 베어링 조립

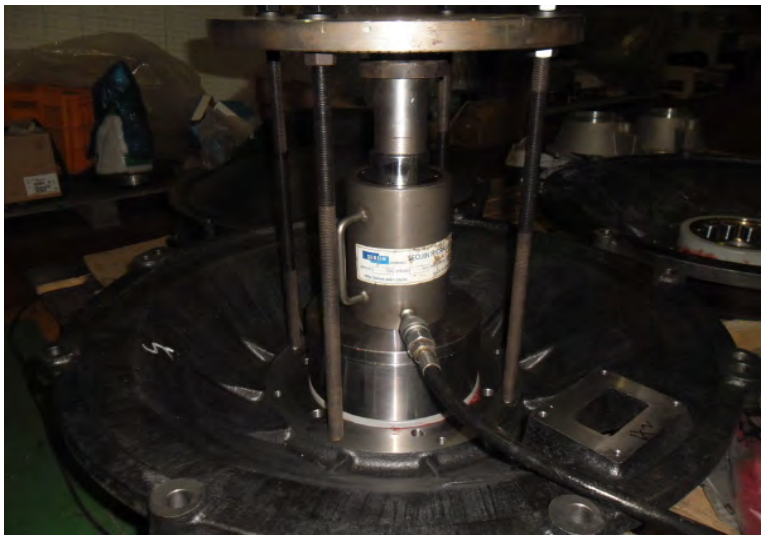


그림 418. 반부하측 베어링 조립



그림 419. 고정자, 회전자 조립



그림 420. 보완 시작품(옆면)



그림 421. 보완 시작품(반부하측)

6. 보조전원장치 및 객차전원공급장치 기술개발

가. 보조전원장치 및 객차전원공급장치 개요

(1) 보조전원장치

(가) 주요 사양

표 65. 보조전원장치(개발품) 정격 및 특징

항 목		규 격	비고
정격용량		90kVA×2	
역률		0.97이상	
하드웨어 구성		4Q PWM CONV + INV	
냉각방식		강제풍랭식	
인터페이스		RS232, RS485	동작시
입력	정격전압	단상 AC 334V(가선 2.5kV)	
	주파수	60Hz	47 ~ 63Hz
출력	전압	3상 0~440V	
	주파수	2 ~ 60Hz	
	전압 형태	펄스폭 변조(PWM)파형	
	정격출력 용량	90KVA	
제어기		32bit DSP	
제어전압		DC 110V	
특징		- 모니터링장치 (동작상태 확인용 VFD 장치) - 독립모듈형 IGBT GDU장착 - 전력스택의 블록화	VFD : Vacuum Fluorescent Display (진공 형광 표시 장치)

(나) 전력회로 구조 및 기능

① 전력회로 구조

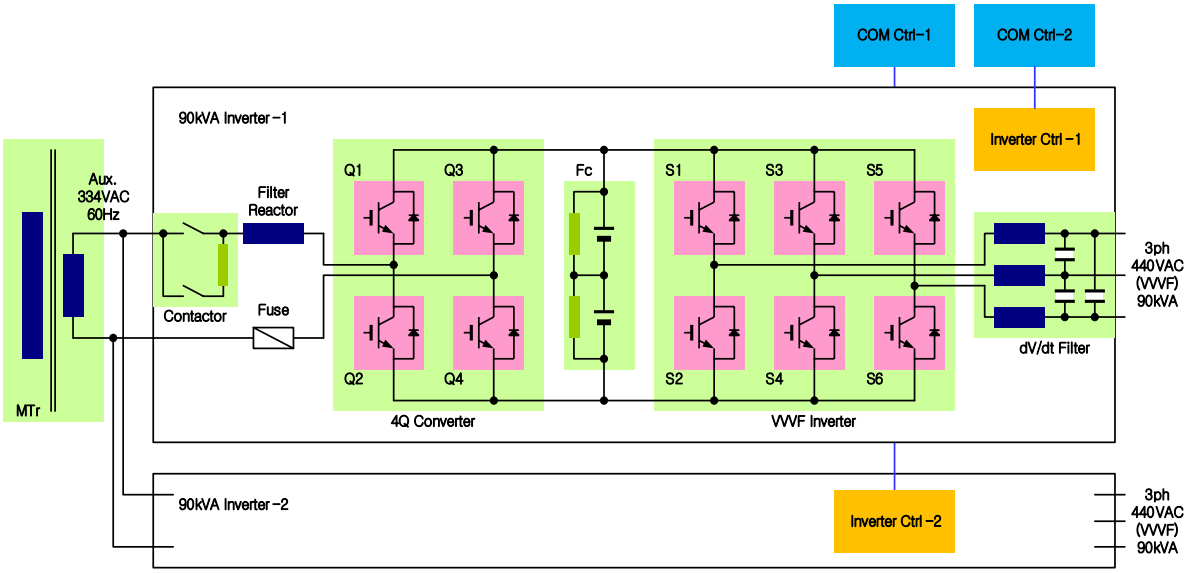


그림 422. 전기기관차 보조전원장치 전력회로 구조

② 전력회로 설명

전기기관차용 보조전원장치는 C/I형태의 Auxiliary Power Supply(APS)시스템으로 전기기관차의 송풍기, 공기압축기 그리고 다른 보조전력부하에 전원을 공급한다. 전기기관차 1량당 1개의 보조전원장치가 탑재된다. 보조전원장치에는 각각 90KVA정격출력을 갖는 두 개의 동일한 인버터가 내장된다. 따라서 1개의 보조전원장치를 탑재한 전기기관차는 2 x 90KVA의 출력을 갖는다. 위 그림과 같이 기본적인 구조는 입력 측에 4상한 IGBT 컨버터와 출력 측에 3상 IGBT 인버터로 구성된다. 4상한 IGBT 컨버터는 주접촉기, 승압용 리액터, 충전회로, 퓨즈 등을 통해 단상 교류권선에 연결되어 있으며, 3상 IGBT 인버터의 출력에는 L-C-R 필터회로를 사용하여 dv/dt를 제한한다.

③ 기능 및 부하용량

보조전원장치는 전기관차(8200호대)의 송풍기 및 공기압축기, 기타 다른 보조기기들의 전원을 공급하는 장치로 출력은 요구하는 대로 가변 또는 고정전압으로 공급할 수 있다. 부가적으로 교류부하들은 다시 그룹을 만들어 보조기기의 연장급전을 가능하게 한다.

표 66. 보조전원장치 그룹별 부하종류 및 용량

보조그룹	전원공급 (정상운용시)	부하종류	부하용량	비고
AUX L.1 (그룹 1)	보조전원장치 1.1	견인전동기 송풍기1, 견인전동기 송풍기2, 오일/수 냉각기 송풍기1	47KW	가변주파수 부하
AUX L.2 (그룹 2)	보조전원장치 1.2	견인전동기 송풍기3, 견인전동기 송풍기4, 오일/수 냉각기 송풍기2	47KW	가변주파수 부하

(2) 객차전원공급 장치(HEP 출력장치)

(가) 주요사양

표 67. 객차전원공급장치(개발품) 정격 및 특징

항 목		규 격	비고
변압기	형식	Delta-Star	주변압기함 내
	동작주파수	60Hz ± 1Hz	
	2차측 출력전압	440V ± 3%	
	1-2차간 전압비	2.2 : 1 [968V : 440V]	
	1차측 누설인덕턴스	0.365mH ± 10%	800Hz 이하
	최대전력	415KVA	
캐패시터	캐패시턴스	1.00mF	
	캐패시터 정격	129kVar / 440Vac	
	필터형식	3상 LC필터	
출력전압 왜곡률(THD)		8%이하	

(나) 회로구조 및 설명

① 회로 구조

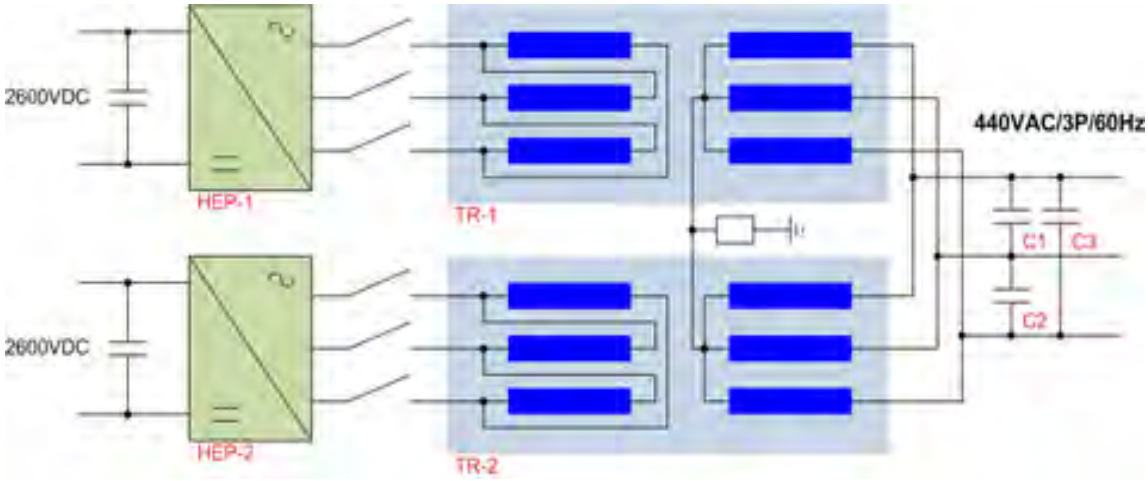


그림 423. 전기기관차 HEP(Head Electric Power)장치 회로구조 블록도

② 회로 설명

주변환 장치로부터 공급받은 직류 전원(2600VDC)이 HEP(Head Electric Power)장치를 통해 3상 교류전원으로 변환되고 이를 변압기를 통해 AC440V로 변환, 다시 이 전압은 객차 전원공급장치(또는 HEP출력장치)내부 캐패시터 등을 통해 필터링 되어 최종 HEP접촉기를 통해 객차에 전원을 공급하는 역할을 한다.

가선전원이 없는 절연구간 통과 중에는 견인전동기를 발전기로 변환하여 발생하는 회생전력을 객차 서비스전원으로 중단 없이 보낼 수 있도록 하였으며, 열차의 속도가 아주 저속상태에서도 사용이 가능하도록 각 대차로부터 공급받을 수 있는 HEP장치가 2대 설치되어 있다.

③ 특징 및 부하용량

객차전원공급장치의 주요특징으로는 객차서비스 전원의 지속적공급 및 동작안정성 보장, 이중 안전 개념, 감시 및 제어기능 등이 있다.

표 68. 객차전원공급장치 부하종류 및 용량

보조그룹	전원공급 (정상운용시)	부하종류	부하용량	비고
AUX L.3 (그룹 3)	객차전원공급장치 (HEP출력장치)	주 공기 압축기 1, 2	21.5KW	고정주파수 부하
		오일펌프 1, 2	2.75KW	
		물 펌프 1, 2	3.21KW	
		보조전원장치 송풍기1	1.38KW	
		주인버터 송풍기 1, 2	1.6KW	
		공기조절기 1, 2	5KW	
		고압송풍기 1 , 2	1.1KW	
		220V / 60Hz 변압기	2KVA	

나. 현차분석시험

(1) 보조전원장치 현차분석 시험

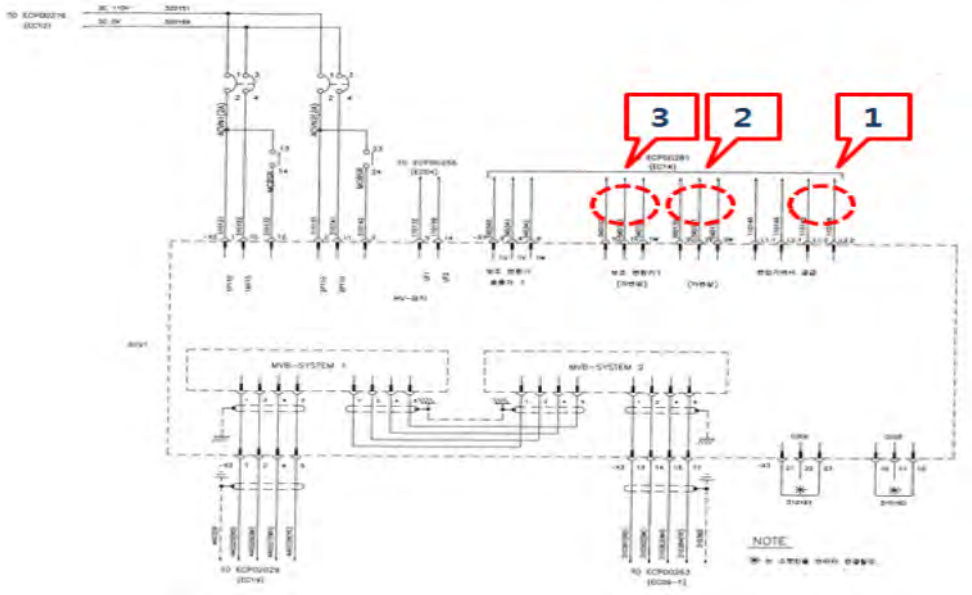
(가) 시험개요

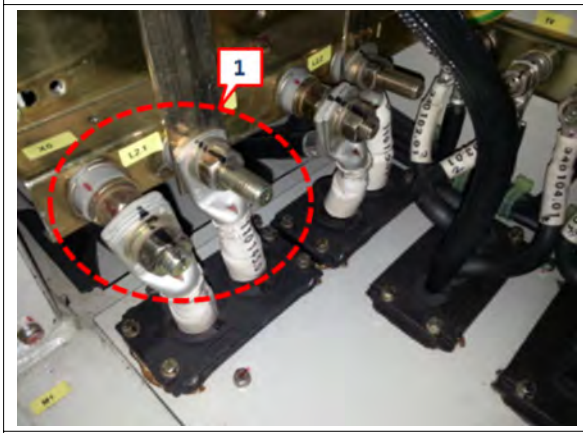
보조전원장치는 일반적인 SIV(Static Inverter)형식이 아닌 C/I형태의 Auxiliary Power Supply(APS)시스템으로 되어 있어 그 특이성에 따른 동작방법을 조사하고, PWM방법 및 초크코일 등의 확인을 위한 역율(P.F) 제어의 정도를 확인하며, 컨버터/인버터의 동작주파수, 기동/정지 등의 동작시퀀스 확인, 전압/주파수의 가변범위, 부하량 변화 패턴 등을 확인하고자 한다.

(나) 시험준비

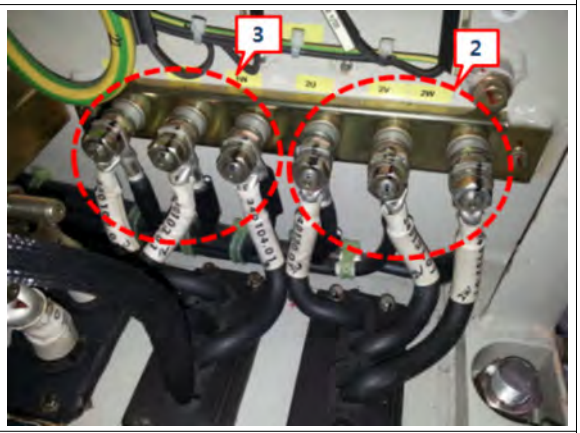
차량의 기존 보조전원장치 동작특성 및 입출력 파형을 측정하기 위해 아래와 같이 준비한다.

표 69. 차량의 기존 보조전원장치 측정위치 및 관련도면





측정포인트 1번



측정포인트 2번, 3번

NO	측정위치	측정위치 (선번호)	설치위치	측정항목
1	장치 입력부	1 (110145,110146)	입력배선부	전압/전류
2	장치출력부 1	2 (340130,340131,340132)	출력배선부	전압/전류
	장치출력부 2	3 (340102,304103,340104)	출력배선부	전압/전류

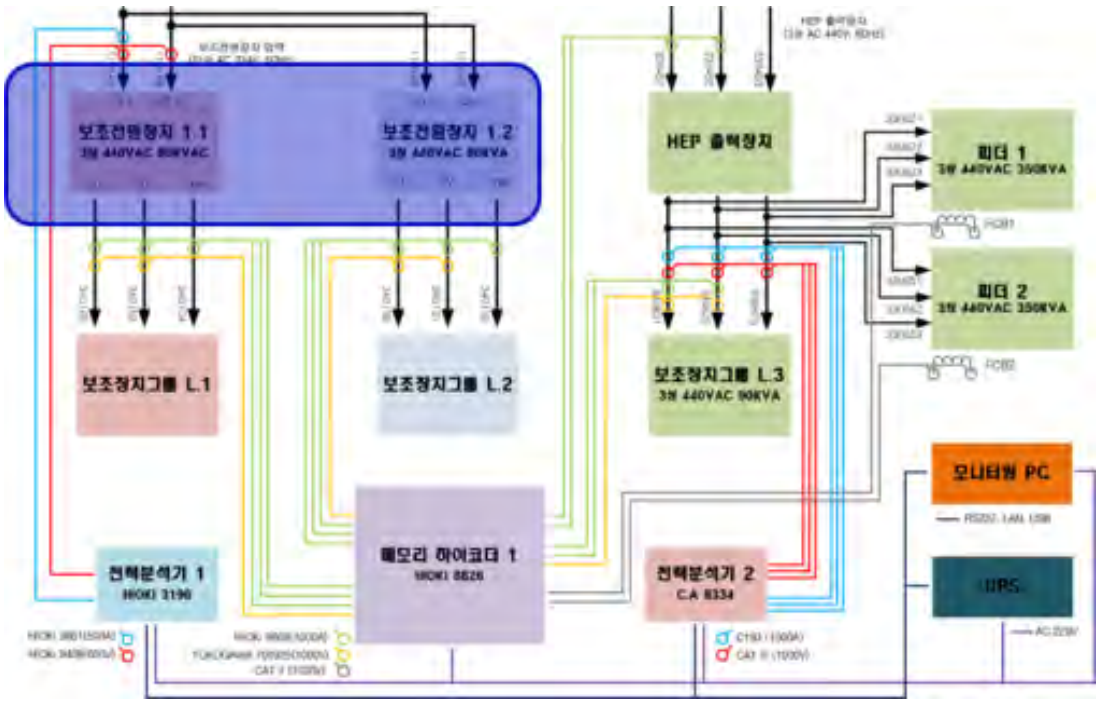


그림 424. 보조전원장치 입출력 파형 측정을 위한 계측장치 연결 구성도

(다) 시험방법 및 내용

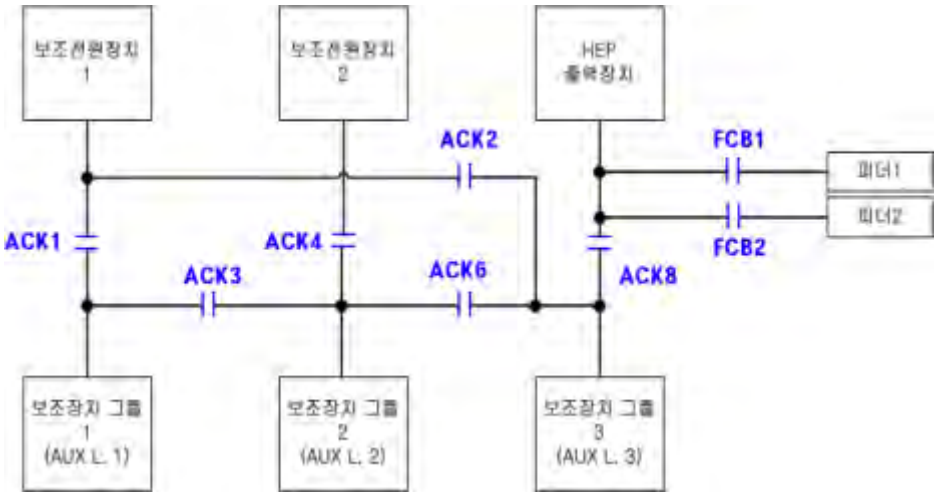


그림 425. 보조전원장치 부하그룹별 전력흐름 구성도(연결접촉기 포함)

① 정상특성시험

8200호대 전기기관차의 정상운행 및 절연구간 통과 시에 가선으로 입력된 전압과 보조전원장치의 전압/전류를 측정한다.

표 70. 정상특성시험 조건별 측정위치 및 측정항목

조건	측정위치	연결접촉기	보조부하그룹	측정항목
기동 및 운행	보조전원장치 1	ACK1	AUX L.1	전압/전류파형
	보조전원장치 2	ACK4	AUX L.2	전압/전류파형
절연구간 통과	보조전원장치 1	ACK1	AUX L.1	전압/전류파형
	보조전원장치 2	ACK4	AUX L.2	전압/전류파형

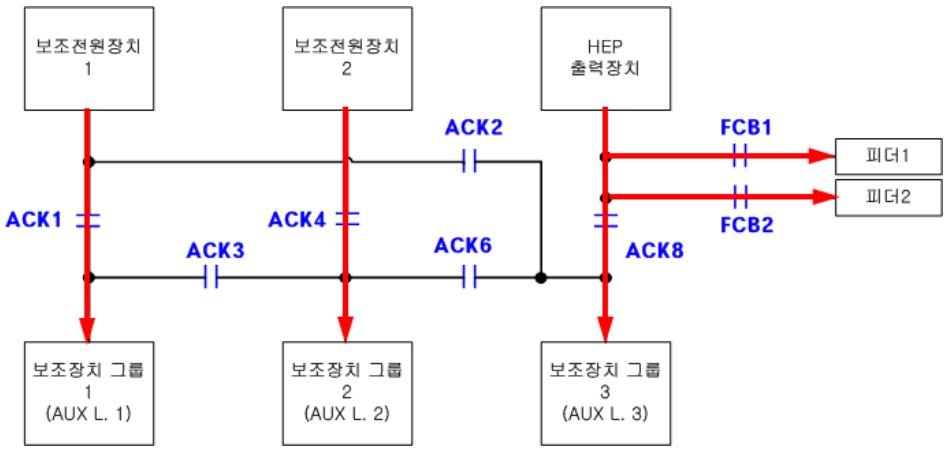


그림 426. 정상특성시험 부하장치별 전력흐름도

② 연장급전시험

전기기관차의 보조전원장치 차단 또는 1, 2를 교차 차단하고, 연결 접촉기 동작 상태 및 각 장치별 출력 전압/전류를 측정한다.

표 71. 연장급전시험 조건별 측정위치 및 측정항목

조건	측정위치	연결접촉기	보조부하그룹	측정항목
보조전원장치 1 차단	보조전원장치 2	ACK3, ACK4	AUX L.1, AUX L.2	전압/전류파형
보조전원장치 2 차단	보조전원장치 1	ACK1	AUX L.1	전압/전류파형
보조전원장치 1, 2 차단	HEP출력장치	ACK3, ACK6, ACK8	AUX L.1, AUX L.2, AUX L.3	전압/전류파형
		FCB1(피더1)	객차상시전원공급	전압/전류파형
		FCB2(피더2)	객차냉방전원공급	전압/전류파형

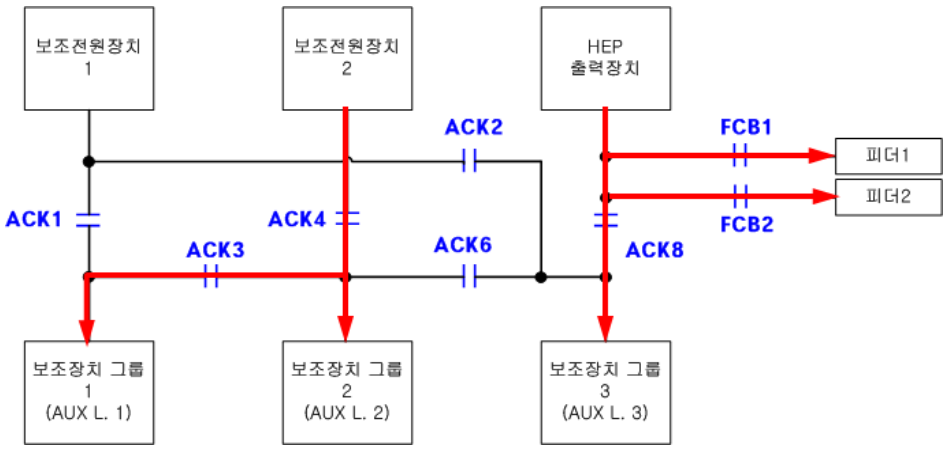


그림 427. 보조전원장치 1 차단 시 부하장치별 전력흐름도

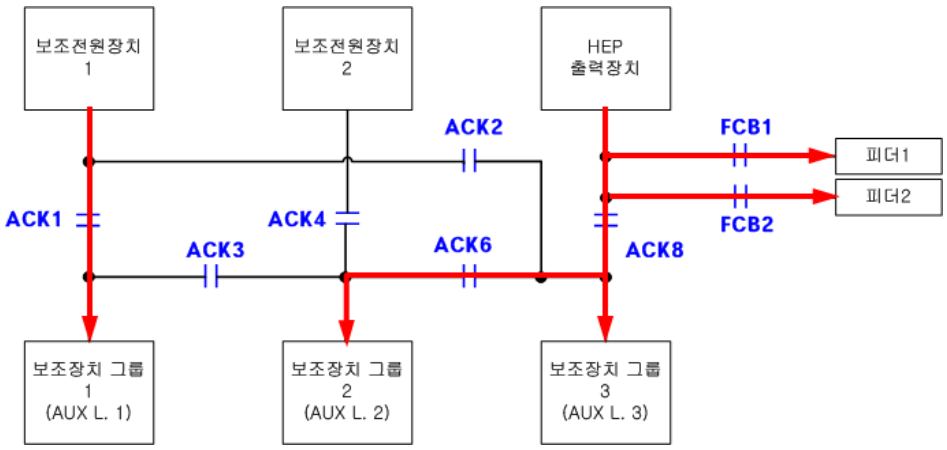


그림 428. 보조전원장치 2 차단 시 부하장치별 전력흐름도

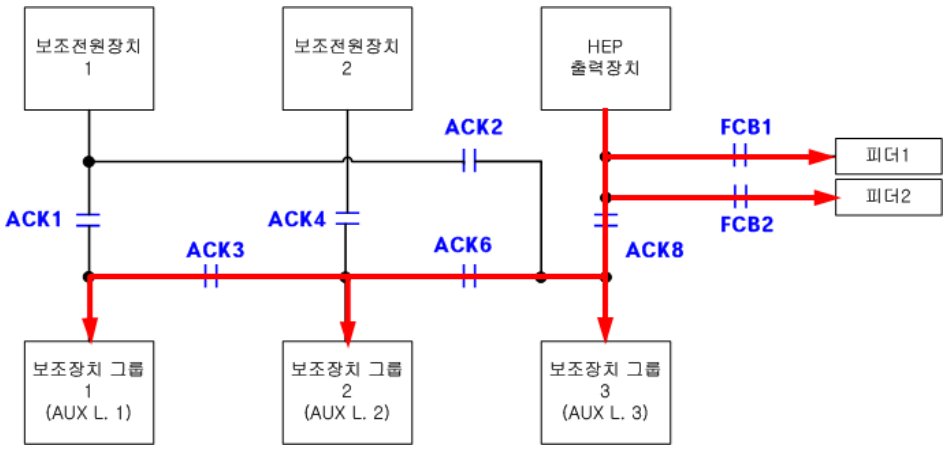


그림 429. 보조전원장치 1, 2 차단 시 부하장치별 전력흐름도

(라) 시험결과 및 분석

① 시험결과 및 내용

표 72. 보조전원장치 정상상태 동작파형 및 분석내용

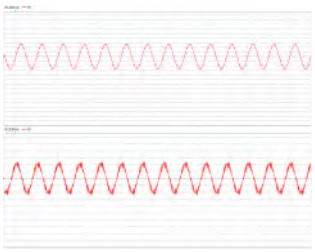
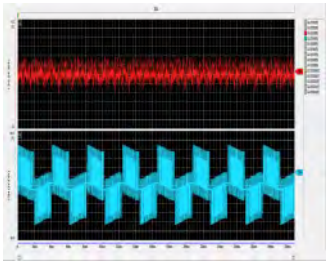
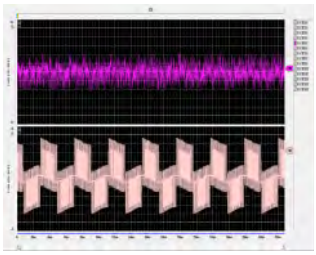
	입력	보조전원-1 출력	보조전원-2 출력
입출력 파형			
분석 내용	입력전류파형은 THD 10% 이내로 일반적인 다이오드 정류기보다 매우 양호함 PF=0.1 ~ 0.2로 측정되었으나 계측오류로 추정됨.		

표 73. 절연구간 통과 시 보조전원장치 동작파형 및 분석내용

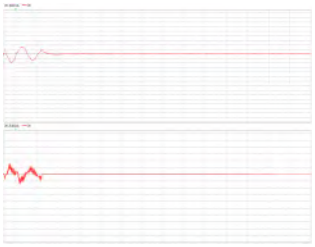
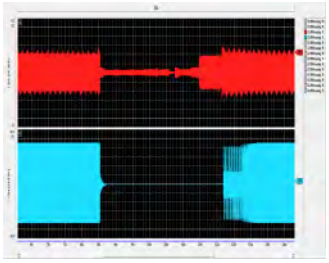
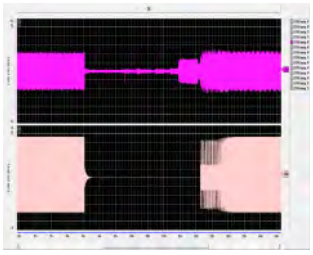
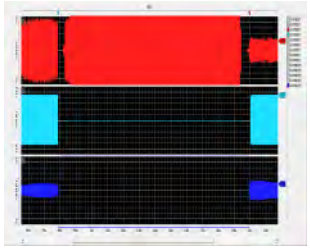
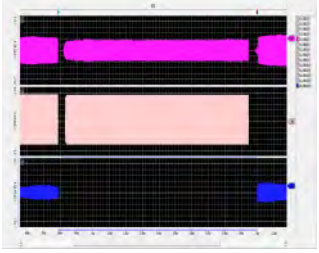
	입력	보조전원-1 출력	보조전원-2 출력
입출력 파형			
분석 내용	입력전압 차단시 정상적인 출력차단 동작이 발생함. 입력전원이 복구되면 출력전압은 V/F커브에 따라 점차 증대됨		

표 74. 연장급전 시 보조전원장치 동작파형 및 분석내용

	보조전원-1 출력	보조전원-2 출력
출력 파형		
분석 내용	강제로 보조전원-1을 차단하면 보조전원-2도 동작을 정지함. 약 20초 후에 연장급전 컨텍터(ACK3)가 동작하고 다시 약 25초 경과후에 보조전원-2가 VVVF 기동을 시작하여 보조전원-1의 부하에도 전원을 공급함.	

② 결과분석 및 고찰

㉮ 보조전원장치 컨버터부 입력전압/전류 파형 분석결과

- 컨버터부의 PWM주파수 및 PWM모드 확인
- 입력전류의 THD 정도 확인
- 실제 입력전압의 변화 range 확인
- 컨버터 동작 시 입력전압의 왜곡정도 확인
- DC Link 전압의 정확도, 변동 범위에 대한 추정
- 컨버터-인버터 간 동작지연시간 확인



그림 430. 차량 주행 시 컨버터 입력전압/전류



그림 431. 차량 역행 주행 시 컨버터 입력전압/전류

표 75. 보조전원장치 컨버터부 입력전압/전류 파형 분석 결과

항 목	내 용	비 고
PWM 방식	전류파형의 형태는 Uni-polar PWM의 형태로 추정됨	또는 특정 고조파 제거 방식(HEPWM) 가능성 있음
PWM 주파수	한 주기 동안 리플의 수를 카운트한 결과 900Hz 스위칭 주파수를 사용한 것으로 추정됨	900Hz/60Hz=15 pulse
PFC 기능	전류의 위상이 80도 가량 앞선 것으로 계측되었으나 장치의 특성상 이는 측정 오류로 추정됨	
전압 파형	타행 시에는 비교적 깨끗한 전압파형이 보조전원장치에 입력되지만 주변환장치가 동작하는 역행시나 회생시에는 입력전압의 파형에 왜곡이 많이 발생됨	입력전압 제어를 위한 PLL 기능이 필요함
입력 리액터	2~2.5mH 사이의 값 사용됨	

㉮ 보조전원장치 인버터부 입력전압/전류 파형 분석결과

- 인버터장치의 PWM주파수, DC Link 전압크기 추정
- 동작모드 및 연장급전 시의 동작 시퀀스 확인
- 정상동작 시의 전동기 주파수와 최대부하에서의 주파수 확인
- DC Link 전압의 평활 정도 확인
- VVVF 변화정동(Slew rate)추정

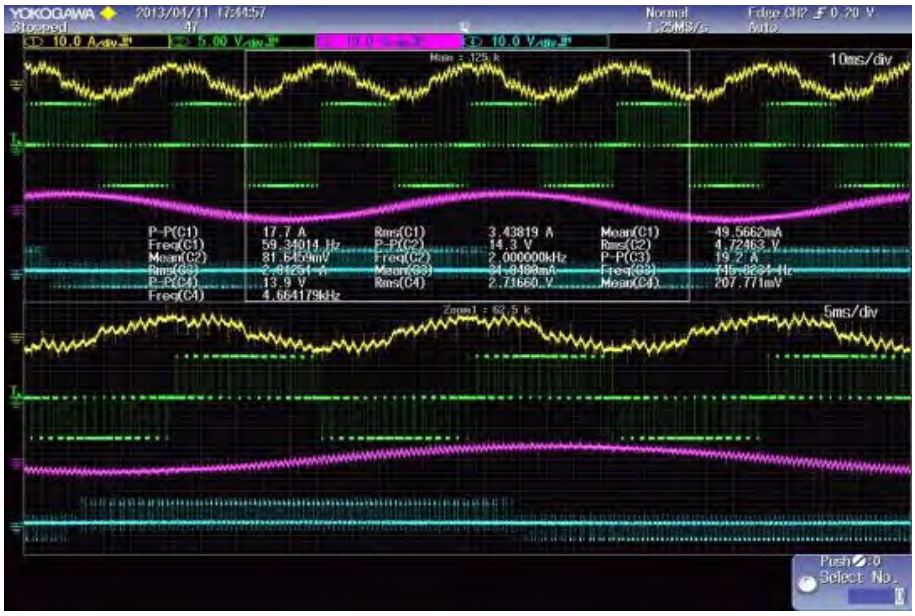


그림 432. 기존 보조전원장치 인버터부 테스트 파형
(약 10~15%부하)

㉮ 보조전원장치 출력 dv/dt제한 필터 분석

인버터의 부하로는 전동기가 사용되고 전동기 부하의 경우 고정자의 인덕턴스가 충분하므로 별도의 sine필터를 사용하지 않아도 전류는 sine형태가 유지된다. 인버터의 출력전압은 PWM파형이며 각 펄스의 기울기는 이론적으로는 수직에 가까우므로 펄스의 dv/dt가 매우 크다. 이렇게 커다란 dv/dt 기울기는 과도한 고주파수를 유도할 수 있어서 근접한 신호기기 등의 부하에 영향을 미칠 수 있고 전선의 절연에도 영향을 끼칠 수 있으므로 dv/dt제한용 필터회로가 사용되었다.

㉯ 보조전원장치 현차시험 분석결과 고찰

전기기관차용 보조전원장치의 1,2차 현차시험을 통하여 장치구성품 및 배선 등을 조사하고 동작특성에 따른 입출력 전압/전류, 동작주파수, 기동/정지 등의 동작시퀀스, 부하량 변화 패턴을 분석하여 전력회로에 대한 시뮬레이션을 진행하여 개선사항을 도출하였다. 현차시험 주요 분석내용은 아래의 표와 같다.

표 76. 보조전원장치 현차시험 분석결과 고찰

항 목	내 용	비 고
컨버터의 PWM 주파수	PWM 전압의 파형으로부터 컨버터의 주파수는 900Hz를 사용하고 있음을 확인함	측정전에는 인버터와 동일한 1.8kHz로 추정
컨버터의 PWM 모드	Uni-polar PWM방식 사용	Bi-polar PWM도 있음
컨버터 입력초크의 인덕턴스 추정	입력전류 파형의 기울기로부터 입력초크의 인덕턴스는 대략 2.5mH~3.5mH 이내로 계산되어짐	
컨버터 입력전류의 THD 정도	시운전에서는 정격보다 적은 전류로 동작되어서 정확한 THD를 계측하지 못하였으나 대략 10% 내외로 추정됨	
인버터의 PWM 주파수	PWM 전압의 파형으로부터 인버터의 주파수는 1.8kHz를 사용하고 있음을 확인함	
출력 dv/dt필터의 동작여부	dv/dt제한용 필터의 효과에 대하여 확인하였음. 출력전압의 기울기를 미세하게 완화시켜 출력에 발생하는 고주파수의 노이즈를 약화시키는 효과가 있음	이런 종류의 필터는 여타의 인버터에서는 사용하지 않음
인버터 출력주파수 범위	인버터는 정상동작일 때 약 30Hz에서 연속적으로 동작하고 연장급전 시에만 60Hz까지 운전영역이 확대됨	
컨버터 출력전압	약 620V로 regulation 됨	인버터 입력전압

표 77. 보조전원장치 현차시험 관련사진



시험차량 8215호대



보조전원장치 계측기설치01



보조전원장치 계측기설치02



보조전원장치 계측기설치03



파형측정 01



파형측정 02

(마) 기존 구성품 하드웨어 조사

① 기존 전력스택 하드웨어 조사

기존 보조전원장치의 PWM전력스택의 외관 및 형태, 방열판 구조 및 치수측정, 주요소자의 사양 및 배치상태 확인, PCB배치 상태(제어기, SMPS, GDU 등), 파워Busbar 및 케이블 결선 상태, DC링크 커패시터 사양 및 조립상태, 입출력 단자 등을 조사확인 하였다.



그림 433. 기존 보조전원장치 PWM 전력스택 조사

② 기존 보조전원장치 구성품 조사

기존 보조전원장치의 구성품 사양 및 배선경로, 제조사 및 공급사, 성능 및 대치품목 가능 여부, 차량과의 인터페이스 커넥터 등을 조사하였다.

표 78. 보조전원장치 주요 구성품 규격 및 사양

NO	품목	규격/사양(SPEC)	제작사/제조사	구매/제작
1	FUSE	350A/660V	SIBA	상용품
2	BLOWER MOTOR	1LE1041-0EA09-0FB4-Z 440V/60Hz	SIEMENS	상용품
	BLOWER FAN	2800m3/H	-	제작품
3	CONTACTOR	C195 B/110EV-U2	SME	상용품
	CONTACTOR	S870W1D1a012	SME	상용품
4	CONTACTOR	DC400V/17A	SIEMENS	상용품
5	CAPACITOR	4700uF/400WV	EPCOS	상용품
6	CONNECTOR	X2	HTC	상용품
7	CONNECTOR	X3	HTC	상용품

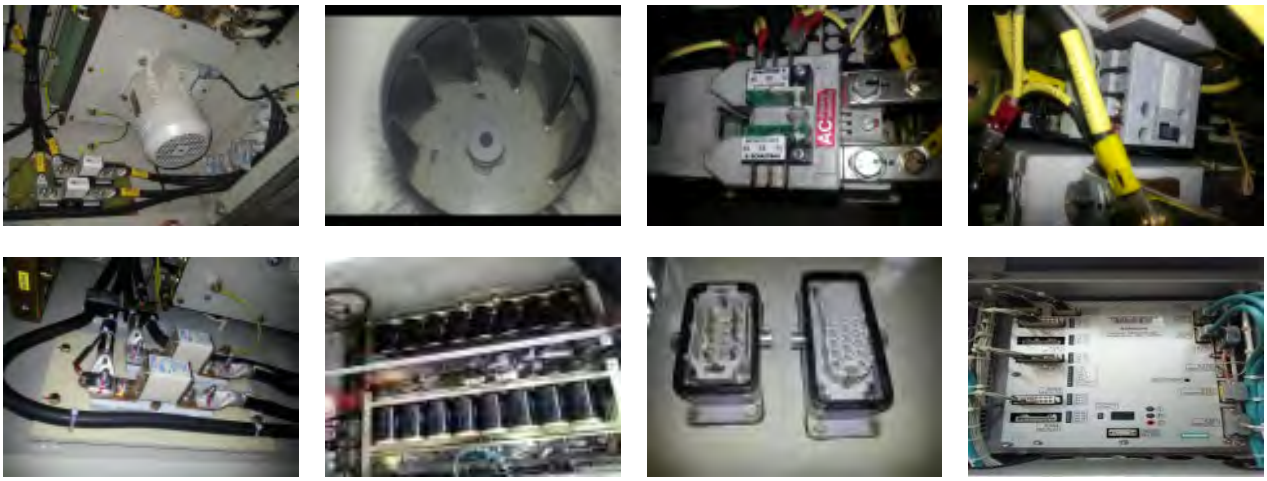


그림 434. 기존 보조전원장치 주요 구성품

(2) 객차전원공급장치 현차분석 시험

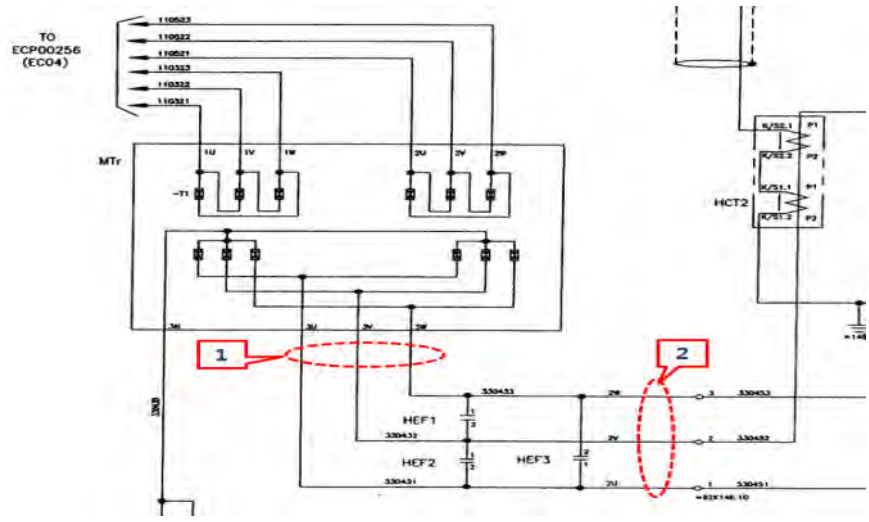
(가) 시험개요

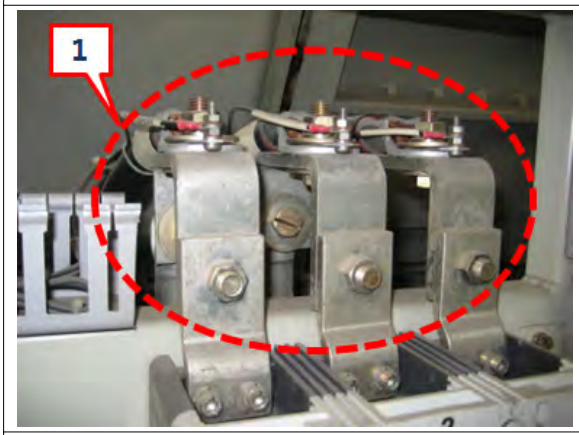
객차전원공급장치(HEP 출력장치)는 전압/전류 파형을 측정하여 기준자료를 작성하고, 고조파 분석 및 기동/정지 등의 동작 시퀀스 확인, 보조전원장치와의 연계방식 즉, 연장급전에 따른 휴지기간, 부하증가율 등을 조사한다.

(나) 시험준비

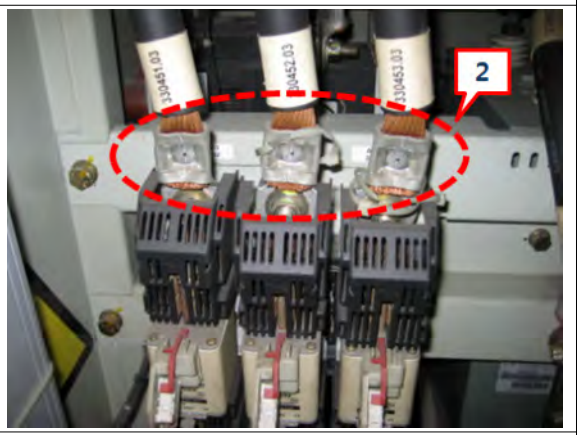
기존차량의 객차전원공급장치의 동작특성 및 입출력 파형을 측정하기 위해 아래와 같이 준비한다.

표 79. 기존차량의 객차전원공급장치 측정위치 및 관련도면





측정포인트 1번, 2번



측정포인트 3번

NO	측정위치	측정위치 (선번호)	설치위치	측정항목
1	장치 입력부	1 (110145,110146)	입력배선부	전압/전류
2	장치출력부 1	2 (340130,340131,340132)	출력배선부	전압/전류
	장치출력부 2	3 (340102,304103,340104)	출력배선부	전압/전류

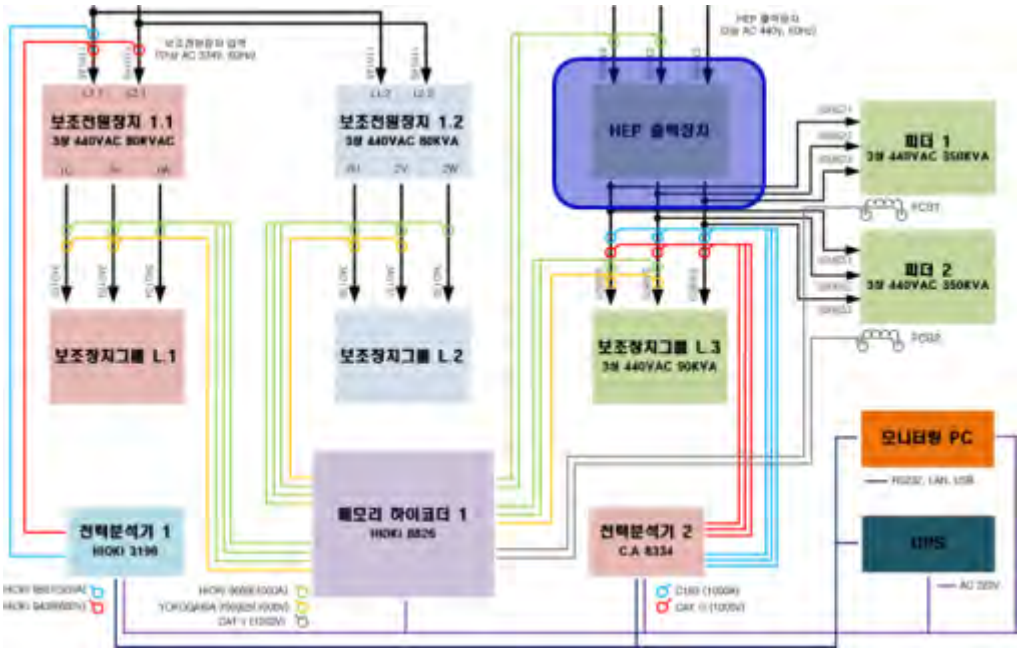


그림 435. 객차전원공급장치 입출력 파형 측정을 위한 계측장치 연결 구성도

(다) 시험방법 및 내용

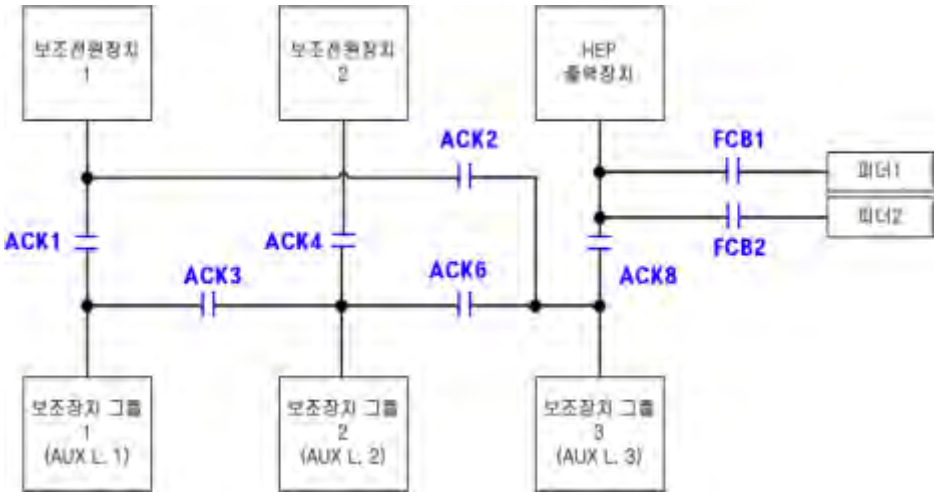


그림 436. 객차전원장치 전력흐름 구성도(연결접촉기 포함)

① 정상특성시험

8200호대 전기기관차의 정상운행 및 절연구간 통과 시에 가선으로 입력된 전압과 객차전원공급장치의 전압/전류를 측정한다.

표 80. 정상특성시험 조건별 측정위치 및 측정항목

조건	측정위치	연결접촉기	보조부하그룹	측정항목
기동 및 운행	HEP출력장치	ACK8	AUX L.3	전압/전류파형
		FCB1(피더1)	객차상시전원공급	전압/전류파형
		FCB2(피더2)	객차냉방전원공급	전압/전류파형
절연구간 통과	HEP출력장치	ACK8	AUX L.3	전압/전류파형
		FCB1(피더1)	객차상시전원공급	전압/전류파형
		FCB2(피더2)	객차냉방전원공급	전압/전류파형

② 연장급전시험

전기기관차의 보조전원장치 및 객차전원공급장치를 교차 차단하고, 연결 접촉기 동작 상태 및 각 장치별 출력 전압/전류를 측정한다.

표 81. 연장급전시험 조건별 측정위치 및 측정항목

조건	측정위치	연결접촉기	보조부하그룹	측정항목
보조전원장치 1 차단	HEP출력장치	ACK8	AUX L.3	전압/전류파형
		FCB1(피더1)	객차상시전원공급	전압/전류파형
		FCB2(피더2)	객차냉방전원공급	전압/전류파형
보조전원장치 2 차단	HEP출력장치	ACK6, ACK8	AUX L.2, AUX L.3	전압/전류파형
		FCB1(피더1)	객차상시전원공급	전압/전류파형
		FCB2(피더2)	객차냉방전원공급	전압/전류파형
보조전원장치 1, 2 차단	HEP출력장치	ACK3, ACK6, ACK8	AUX L.1, AUX L.2, AUX L.3	전압/전류파형
		FCB1(피더1)	객차상시전원공급	전압/전류파형
		FCB2(피더2)	객차냉방전원공급	전압/전류파형
HEP출력장치 차단	보조전원장치 1	ACK2	AUX L.3	전압/전류파형
	보조전원장치 2	ACK3, ACK4	AUX L.1, AUX L.2	전압/전류파형

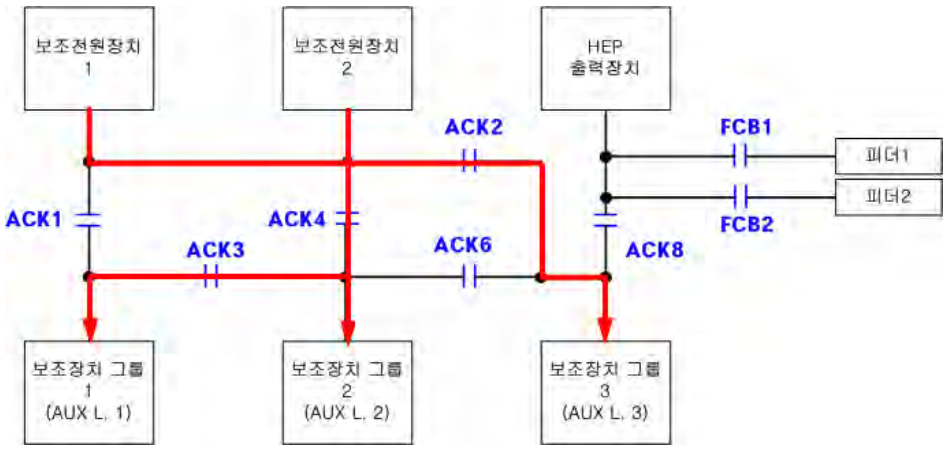
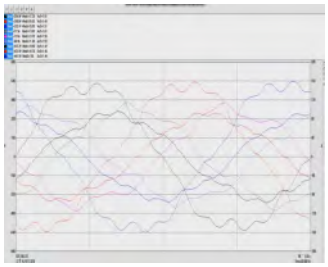
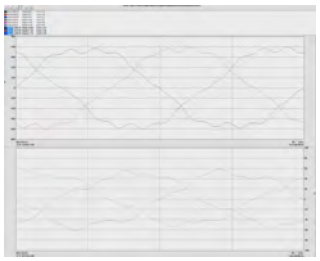
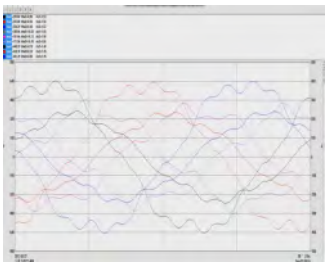


그림 437. 객차전원공급장치 차단 시 부하장치별 전력흐름도

(라) 시험결과 및 분석

① 시험결과 및 내용

표 82. 객차전원공급장치 동작파형 및 분석내용

	기동	절연구간 통과	보조전원1&2차단 (HEP 연장급전)
출력 파형			
측정 값	U : 437V / 71A V : 433V / 72A W : 441V / 68A	U : 437V / 36A V : 433V / 38A W : 441V / 35A	U : 440V / 180A V : 438V/ 181A W : 442V / 171A
분석 내용	- 기동 : 특이사항 없으며, 전압파형은 THD 10% 수준임 - 절연구간 통과 : 회생전력을 이용하여 HEP출력은 절연구간에서도 연속적으로 발생됨 - 연장급전 : 강제로 보조전원-1&2를 차단하면 HEP에서 전력을 공급하여 부하전력 증가		

② 결과분석 및 고찰

㉮ 객차전원공급장치 출력 전압/전류파형 분석 결과

- 객차전원공급장치 3상 전압파형, 전류파형 측정
- 출력전압의 왜곡정도 확인
- 보조전원장치와의 연계동작(연장급전) 시퀀스 확인
- 절연구간에서 연속동작 및 부하저감의 정도 확인
- 내부기기간의 배치방식 확인

㈏ 객차전원공급장치 현차시험 분석결과 고찰

- GTO소자의 저주파수(300Hz) PWM사용으로 인한 출력전압의 낮은 품질이 문제
- 누설을 이용한 낮은 필터 인덕턴스로 인해 품질향상의 해법이 사실상 제한적
- 출력전압의 THD는 9 ~ 13%사이로 전동차용 SIV에 비하여 낮은 수준
- 부족한 필터인덕턴스 보상을 위한 과도한 캐패시턴스의 사용으로 무부하시에도 320A 이상의 거대한 무효전류가 상시 존재
- 과도한 무효전류는 캐패시터의 수명을 가속시키고 단시간 부하변동에 심각한 영향을 미침

표 83. 객차전원공급장치 현차시험 관련사진



시험차량 8215호대



HEP출력장치 계측기설치01



HEP출력장치 계측기설치02



HEP출력장치 계측기설치03



파형측정 01



파형측정 02

(마) 기존 구성품 하드웨어 조사

기존 보조전원장치의 구성품 사양 및 배선경로, 제조사 및 공급사, 성능 및 대치품목 가능 여부, 차량과의 인터페이스 커넥터 등을 조사하였다.

표 84. 객차전원공급장치 주요 구성품 규격 및 사양

NO	품목	규격/사양(SPEC)	제작사/제조사	구매/제작
1	MCCB	VDE 0660/IEC 947-2 AC50/60Hz	SIEMENS	상용품
2	A-ISOMETER	IR 475	BENDER	상용품
3	PT	TV1115 POWER 1.5VA	-	제작품
4	CAPACITOR	ACMKP 440/1.77mF	VISHAY	상용품
5	CT	TV1110 1000/5A	-	제작품
6	SMPS	INPUT:66VDC~160VDC OUTPUT:24VDC/200W	-	제작품
7	VOLTAGE RELAY	BA9054/010	DOLD	상용품
8	CONTACTOR RELAY	3TH42 NC	SIEMENS	상용품
9	CONTACTOR	SIRIUS 3RT1076-2..6	SIEMENS	상용품
10	FUSE	1B279 E201346C	FERRAZ	상용품
11	신호단자대	Feed-through terminal block-ST 2.5-QUATTRO/2P-3040038	PHONENIX CONTACT	상용품

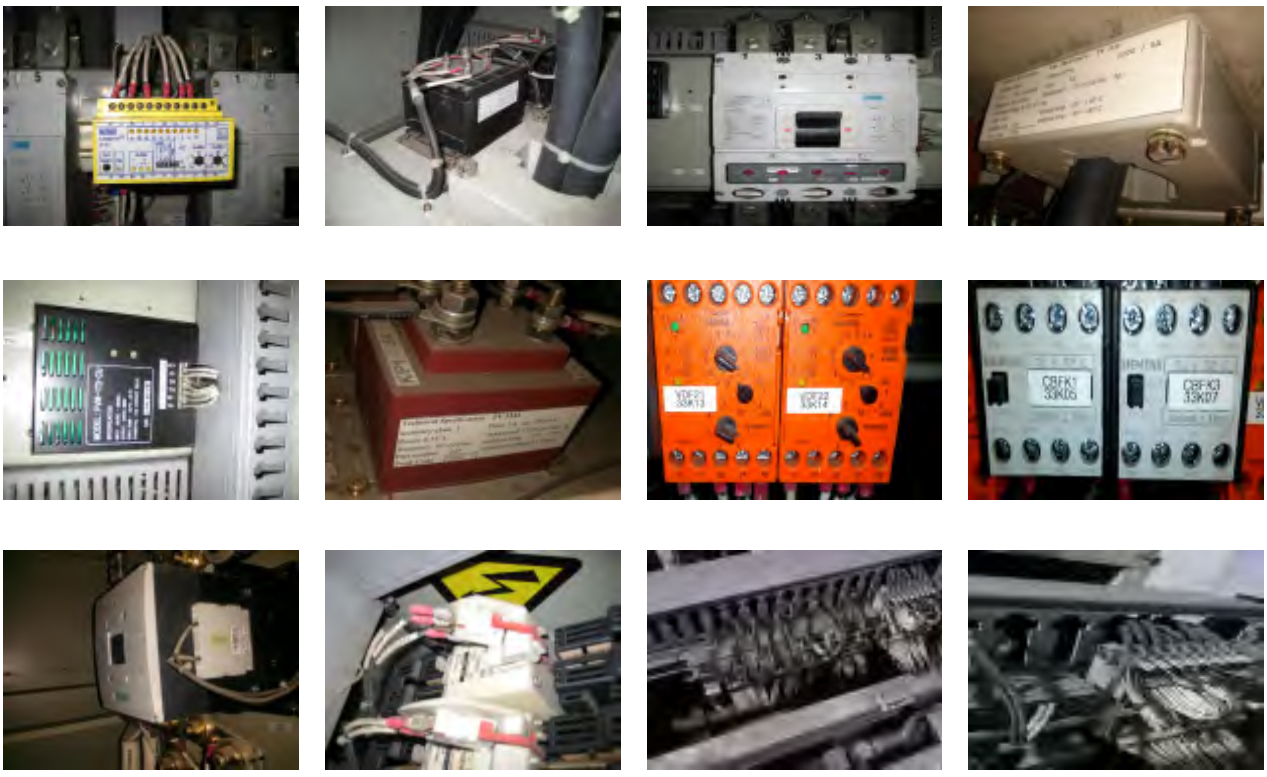


그림 438. 기존 객차전원공급장치 주요 구성품

다. 상세설계 및 검토

(1) 보조전원장치

(가) 보조전원장치 회로구성 및 설명

① 전력회로 구조

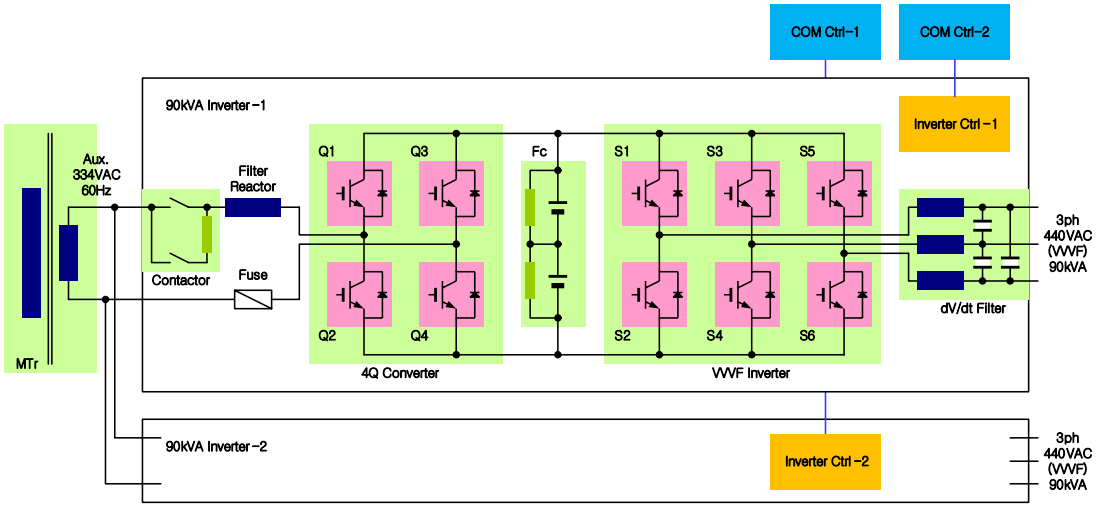


그림 439. 보조전원장치 전력회로 구조

② 회로구성 설명

㉮ 전력회로는 4상한 IGBT 컨버터와 3상 IGBT 인버터로 구성됨

㉯ 컨버터 입력에는 승압용 리액터와 충전회로가 있음

㉰ 인버터 출력에는 dv/dt 제한을 위한 L-C-R 필터회로가 있음

㉱ 전력용 스택은 IGBT가 부착된 방열기부와 제어기가 부착된 커패시터부로 나눌 수 있도록 설계함

(나) 보조전원장치 PWM 컨버터 설계

① 설계조건

표 85. IGBT Type 컨버터회로 설계조건

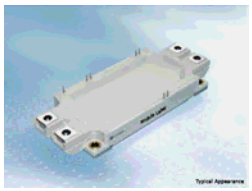
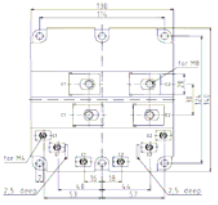
항 목	내 용	비 고
H/W 형식	4Q PWM IGBT 컨버터	승압
동작주파수 범위	60Hz (47 ~ 65Hz)	
정격입력전압	334Vac / 270A	90kW
입력저전압	254Vac / 354A	90kW
입력과전압	360Vac / 250A	90kW
출력전압	620Vdc / 145A	인버터 입력전압

② 기본설계

㉮ IGBT 선정조건

- 저전압/과부하 조건을 고려한 최대 입력전류를 계산하면, 90kW * 1.3 / 254A = 460A
- 입력전압 최대는 360Vac, 출력전압은 620Vdc이므로 1200V급 IGBT를 사용하면 전압 범위에 만족됨
- 단시간(10초) 과부하를 포함하여 IGBT는 1200V/450A급부터 사용 가능하지만 안전을 위해 1200V/600A급 이상으로 제한하였음
- 기존장치에 사용된 62mm 모델 및 다른 형태의 IGBT를 검토하여 장단점 비교 후 최적의 IGBT 선정하였음

표 86. 컨버터회로 IGBT 선정용 비교표

IGBT 형태	장 점	단 점	모델
62mm	- 기본형상이므로 여러 maker 에서 동일한 형태, 다양한 전류용량 시판중(최대장점) - 바닥면적이 넓어서 방열에 유리 - Infineon, Semikron 등에서 동일형식의 IGBT 출시 중 - 단종의 우려 적고 제조사에 종속될 우려 낮음	- 600A 이상은 Single IGBT만 가능 - Arm 구성을 위한 IGBT의 배치가 쉽지 않음 - 넓은 바닥 면적 차지	FZ600R12KE4 
EconoDUAL3	- 4세대 IGBT Dual model로 소형화에 유리함 - IGBT의 배치가 매우 용이	- GDU PCB를 IGBT 위에 얹어야 하므로 IGBT와 GDU가 일체형으로 취급되어야 함 - 600A 이상은 시판되지 않음 - 콤팩트한 구조이므로 발열에 유의 필요 - 타 maker에서 동일한 형상은 시판되지 않음	FF600R12ME4 
PrimePCAK2	- IGBT의 배치가 용이 - 대용량 4세대 IGBT(Dual)	- 타 maker에서 동일한 형상은 시판되지 않음	FF900R12IE4 
IHM130mm	- 바닥면적이 넓어 방열에 유리 - 타사(미쓰비시 등)에도 동일 모델 있음	- 3세대 Dual IGBT로 단종의 우려 있음 - 넓은 바닥 면적 차지	FF800R12KE3 
결론	- 62mm Single IGBT를 사용하는 것이 전류가 많이 흐르는 단상 컨버터에 적정 - IGBT의 형상이 특정 제작사에 종속되지 않음 - 또한 제작사가 여러 곳인 점도 추후의 유지보수 체계를 위해 유리함		

㉮ IGBT 손실계산 조건

- 최근 출시된 저손실/고효율 4세대 IGBT를 대상으로 손실 계산 수행
- 손실계산은 IGBT 제조사(Infineon)의 시뮬레이션 툴(IPOSIM) 이용
- 정격전력은 90KW로 가정, 정격전압과 저전압조건(최대전류조건)에서 수행
- 600A급 및 900A급 IGBT에 대하여 손실 계산
- 외기온도는 50℃, 케이스 온도는 80℃로 가혹한 조건으로 계산 수행

㉯ IGBT 손실계산서

- 600A급 IGBT의 정격입력/정격부하 손실계산 (조건 1)

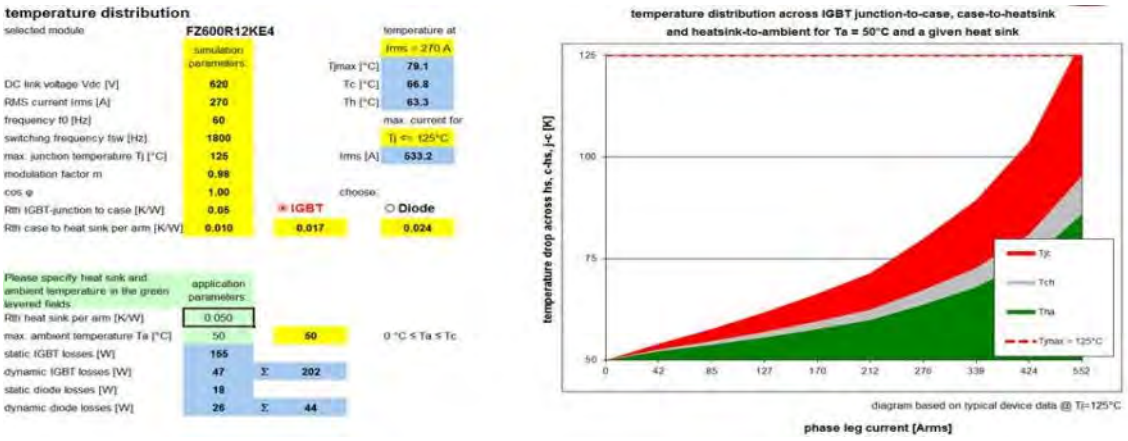


그림 440. 600A급 IGBT, 정격전압/정격전류/Fs=1.8kHz (조건 1.1)

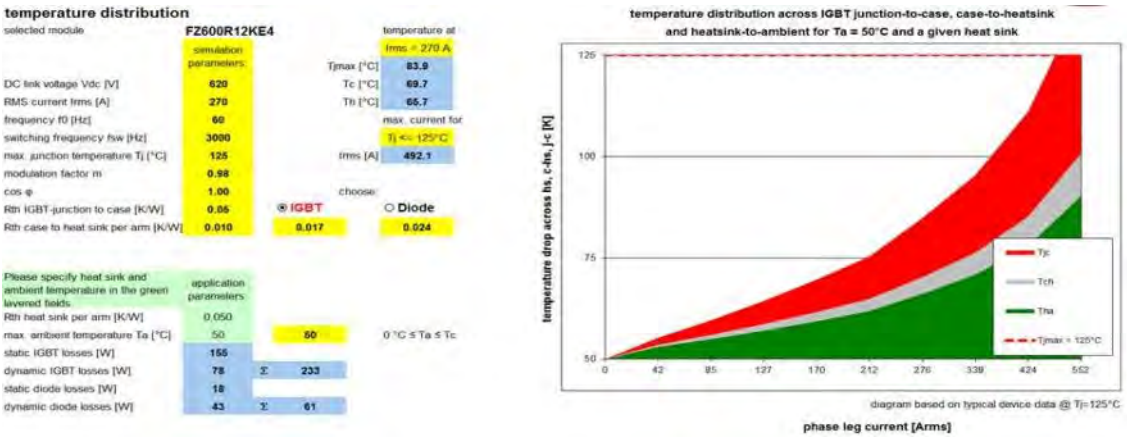


그림 441. 600A급 IGBT, 정격전압/정격전류/Fs=3.0kHz (조건 1.2)

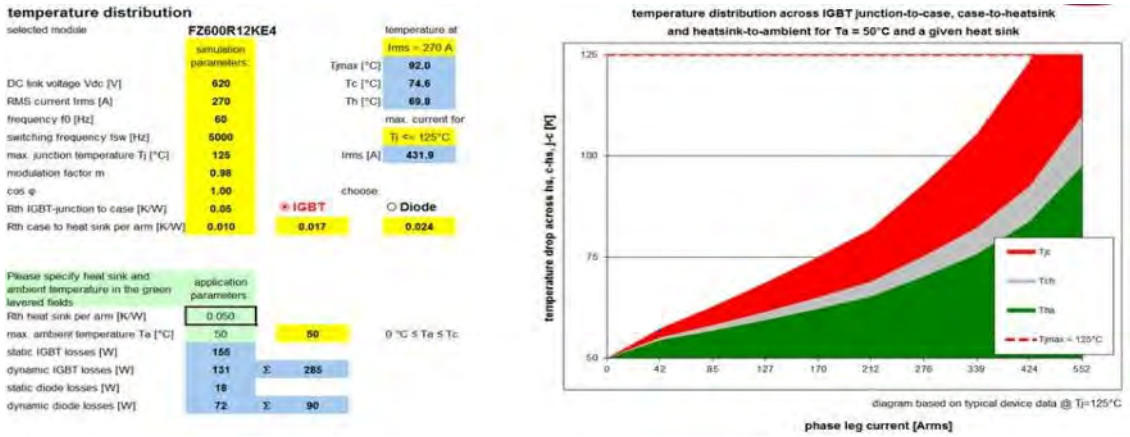


그림 442. 600A급 IGBT, 정격전압/정격전류/Fs=5.0kHz (조건 1.3)

- 600A급 IGBT의 저전압입력/최대부하 손실계산 (조건 2)

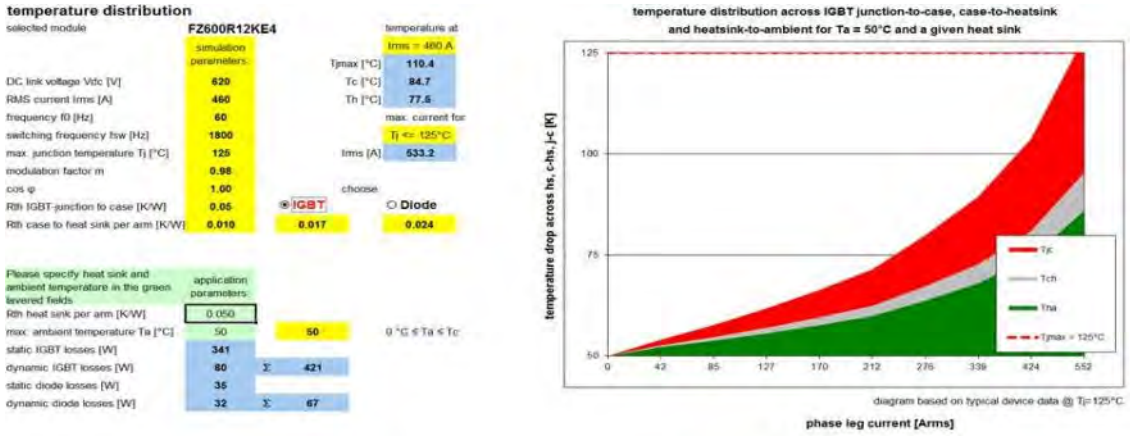


그림 443. 600A급 IGBT, 저전압/최대전류/Fs=1.8kHz (조건 2.1)

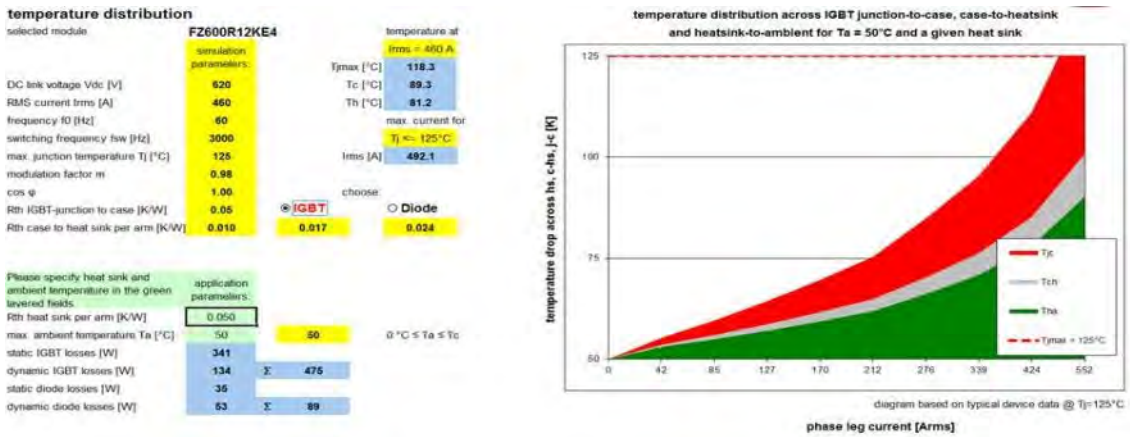


그림 444. 600A급 IGBT, 저전압/최대전류/Fs=3.0kHz (조건 2.2)

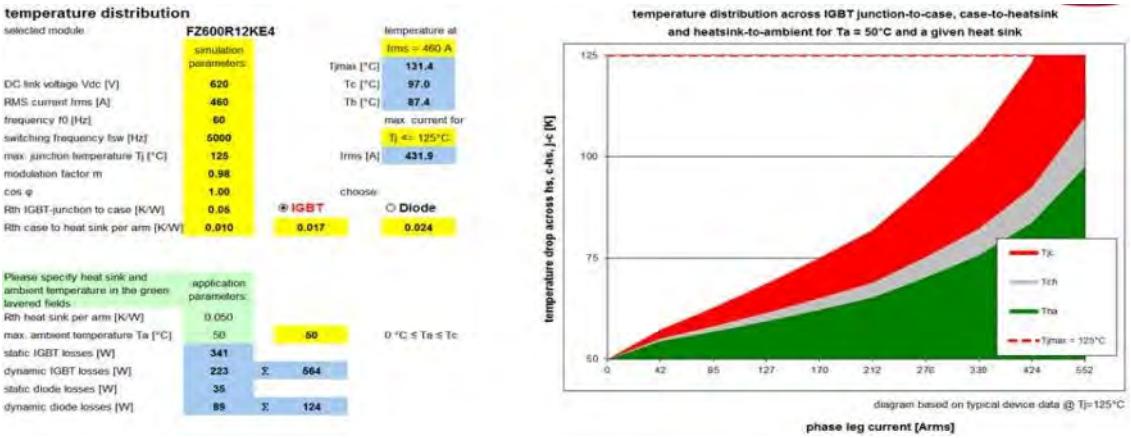


그림 445. 600A급 IGBT, 저전압/최대전류/Fs=5.0kHz (조건 2.3)

- 900A급 IGBT의 저전압입력/최대부하 손실계산 (조건 3)

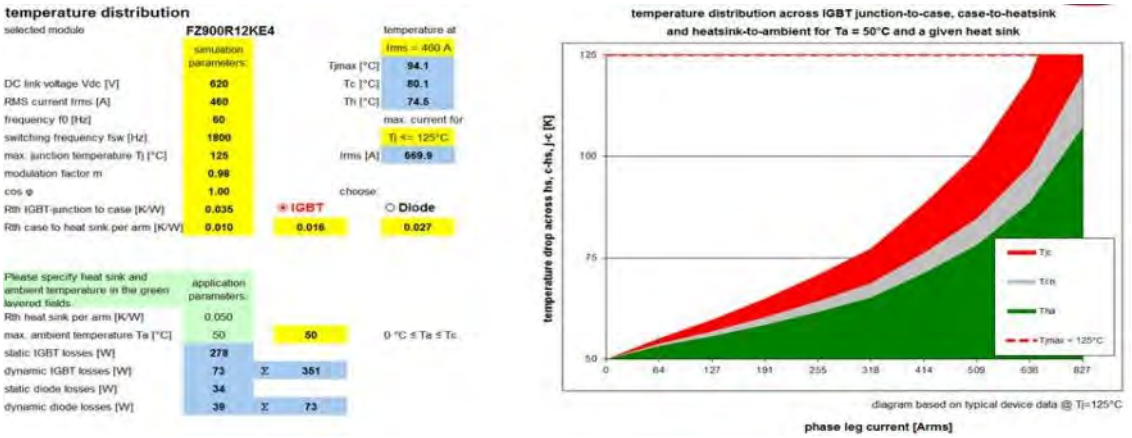


그림 446. 900A급 IGBT, 저전압/최대전류/Fs=1.8kHz (조건 3.1)

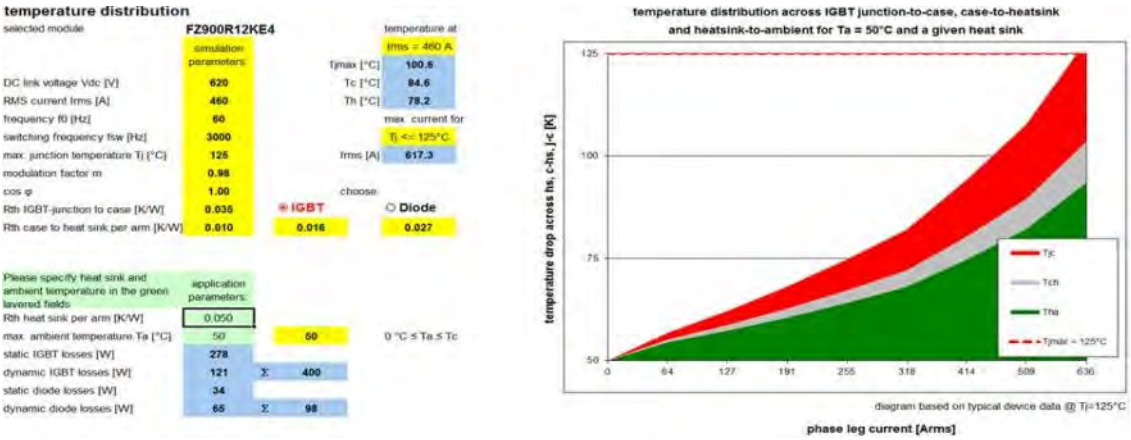


그림 447. 900A급 IGBT, 저전압/최대전류/Fs=3.0kHz (조건 3.2)

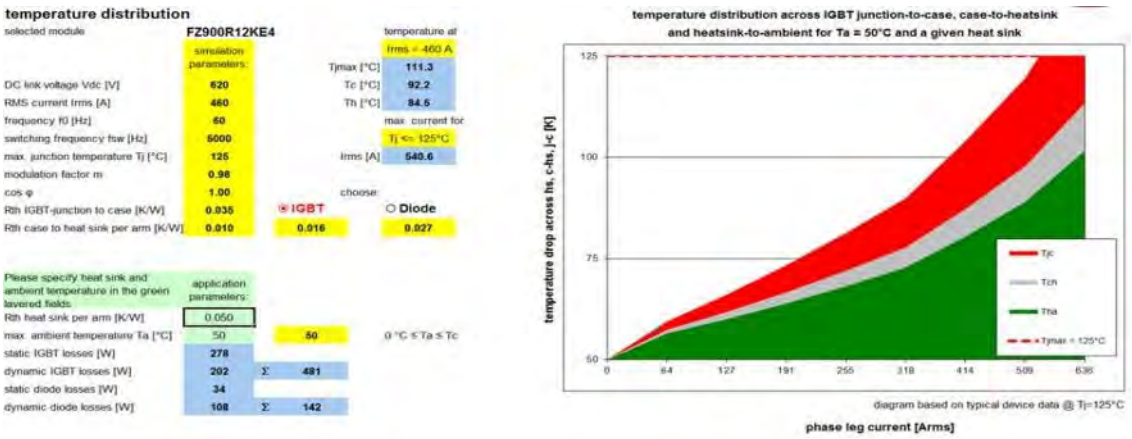


그림 448. 900A급 IGBT, 저전압/최대전류/Fs=5.0kHz (조건 3.3)

㉮ 손실계산 결과

표 87. 600A급 IGBT의 정격입력/정격부하 손실계산 결과(조건 1)

600A IGBT 정격손실	1.8kHz	3.0kHz	5.0kHz
IGBT 손실(W)	202	233	285
Diode 손실(W)	44	61	90
모듈 손실(W)	246	294	375
상대 손실(P.U)	1.0	1.20	1.52

표 88. 600A급 IGBT의 저전압입력/최대부하 손실계산 결과(조건 2)

600A IGBT 최대손실	1.8kHz	3.0kHz	5.0kHz
IGBT 손실(W)	421	475	564
Diode 손실(W)	67	89	124
모듈 손실(W)	488	564	688
상대 손실(P.U)	1.0	1.16	1.41

표 89. 900A급 IGBT의 저전압입력/최대부하 손실계산 결과(조건 3)

900A IGBT 최대손실	1.8kHz	3.0kHz	5.0kHz
IGBT 손실(W)	351	400	481
Diode 손실(W)	73	98	142
모듈 손실(W)	424	498	623
상대 손실(P.U)	1.0	1.17	1.47

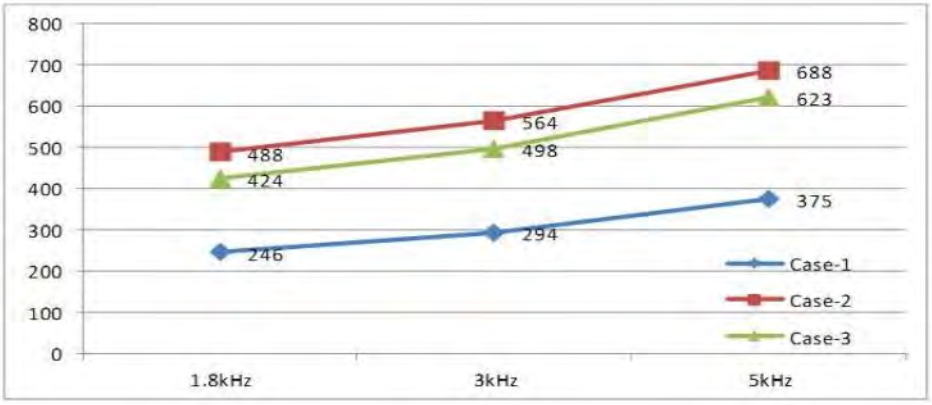


그림 449. 조건별 모듈손실(IGBT + DIODE) 결과비교 그래프

- IGBT 용량선정 : 손실 시뮬레이션 결과에 따르면 4세대 600A급 62mm 모델 IGBT를 사용할 때 5kHz의 스위칭 주파수에서도 최대접합면 허용온도에 약 20℃의 마진을 보장할 수 있음.
- 동작주파수 : 방열판의 크기를 고려하여 1.8kHz 스위칭 주파수로 선정
- 최대손실 : 564W/module @460Ain (저전압이며 130% 부하조건, 600A급 사용)

㉮ 기존장치 IGBT와 개발장치 IGBT의 성능비교

- 기존 IGBT 손실 계산

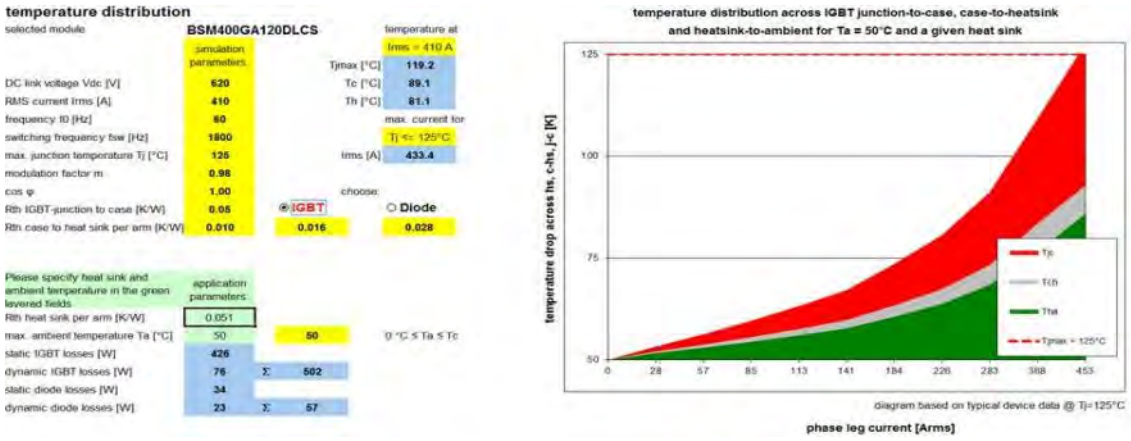


그림 450. 기존IGBT, 80kW정격, 저전압/최대전류/Fs=1.8kHz

- 성능비교 시뮬레이션

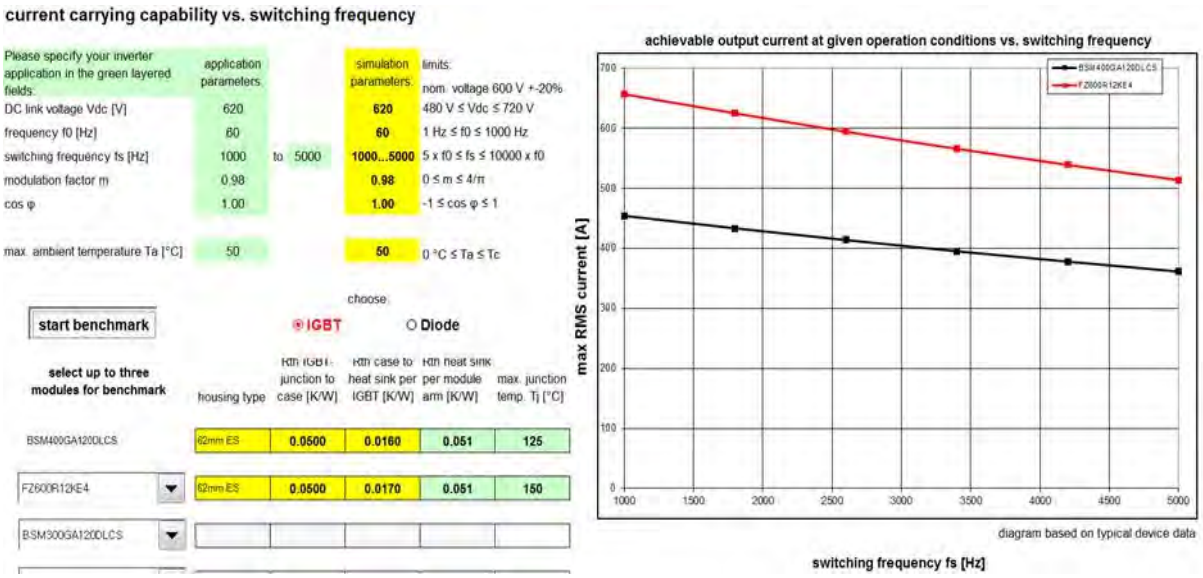


그림 451. 동일조건에서 기존IGBT와 설계IGBT의 성능비교 시뮬레이션 그래프

- 비교결과표

표 90. 기존 IGBT와 개발 IGBT의 성능비교

비교 항목	기존 IGBT	개발 IGBT
형명	BSM400GA120DLCS	FZ600R12KE4
제조사	eupec	Infineon
정격	400A /1200V	600A / 1200V
특징	2세대 IGBT, 시판(1997) 당시 최대전류 용량, 전류 마진이 충분하지 않음.	4세대 IGBT, 동일용량에서 2세대 IGBT에 비하여 15% 이상 감소됨.
IGBT 온도여유 (마진)	기존 400A급 IGBT는 80kVA 조건일 때 최대 전류조건에서 접합부 온도마진이 거의 없는 것으로 보임(약 6도 여유).	선정된 600A급 IGBT에서는 용량 증대를 포함한 최대조건에서도 약 20도 이상의 여유 있음.
스위칭 주파수 한계	1.8kHz의 스위칭 주파수를 초과할 수 없는 한계 조건에 근접함.	5kHz까지 무난하게 스위칭 주파수의 상향이 가능.

③ 전력회로 시뮬레이션

㉮ 시뮬레이션 제어기 구성

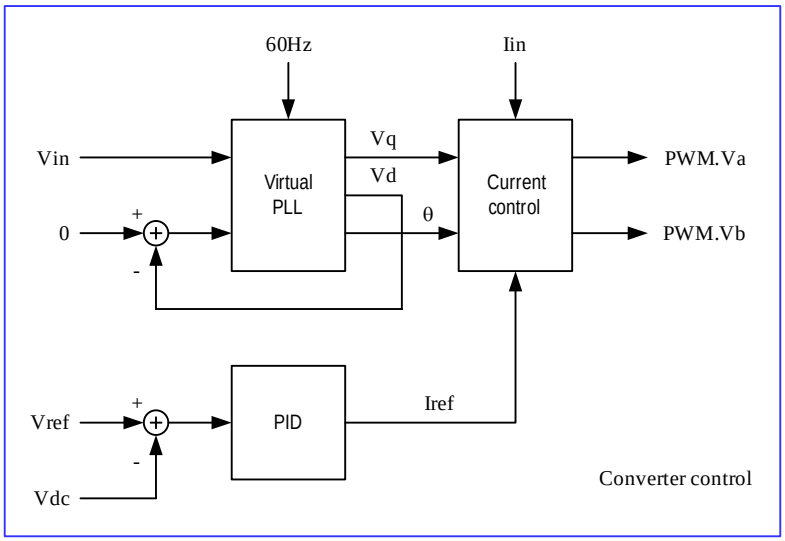


그림 452. 컨버터 제어기 구성도

㉯ 시뮬레이션 조건

- 단상 입력에 대한 PFC 제어를 수행하기 위하여 가상 PLL 제어기를 사용
- 입력전류 고조파 저감을 위해 컨버터 A군과 B군에 대하여 Uni-polar PWM을 수행
- 스위칭 주파수는 기존장치(1.8kHz)를 포함하여 1.5kHz ~ 5kHz 이내의 주파수를 선정
- 현차시험 분석결과와 비교하여 유사도 및 개선된 효과 확인
- 승압용 리액터는 1.5mH로 가정(기존 3.9mH)
- DC Link 필터 캐패시터는 기존과 유사한 18mF으로 설정(기존 18.8mF)

㉰ 시뮬레이션 파형

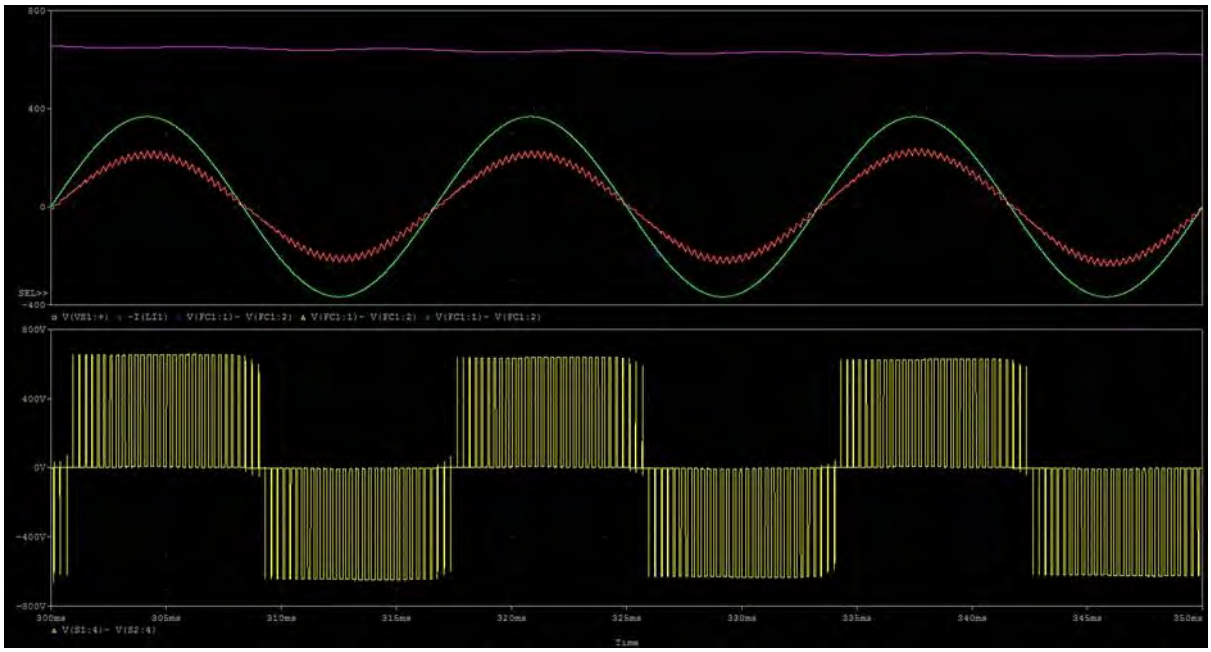


그림 453. 입력저전압 260V, 출력전압 620Vdc, fs=1.8kHz, Li=1.5mH, Fc=18mF, 50%부하

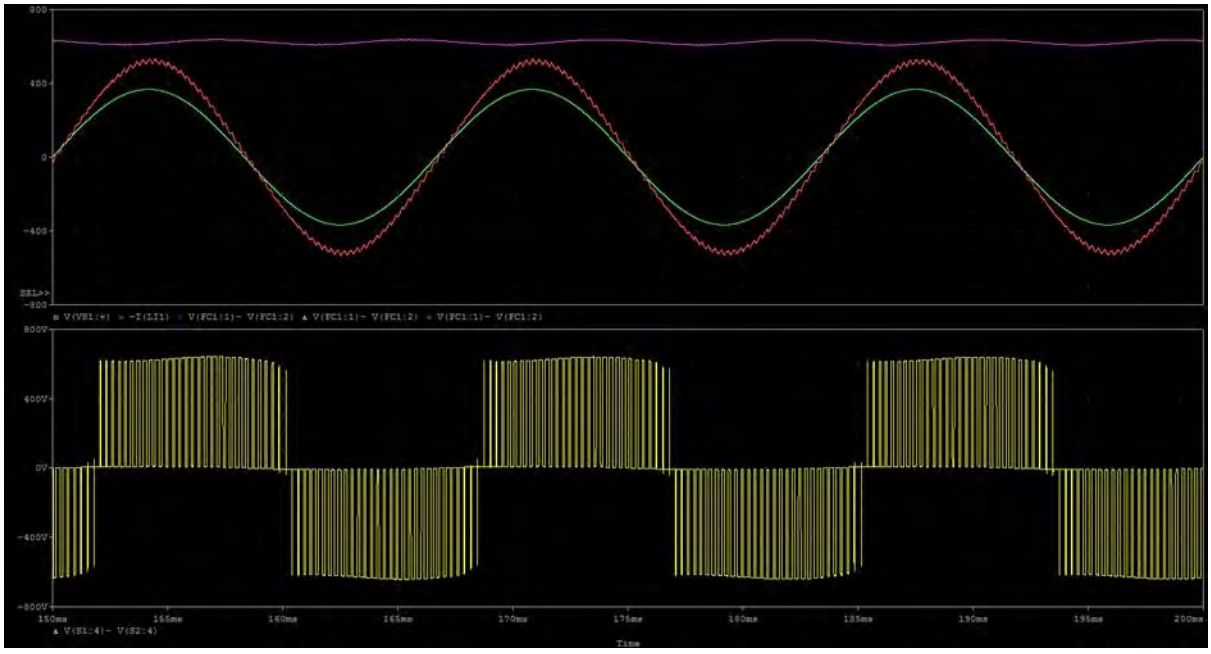


그림 454. 입력저전압 260V, 출력전압 620Vdc, fs=1.8kHz, Li=1.5mH, Fc=18mF, 100%부하

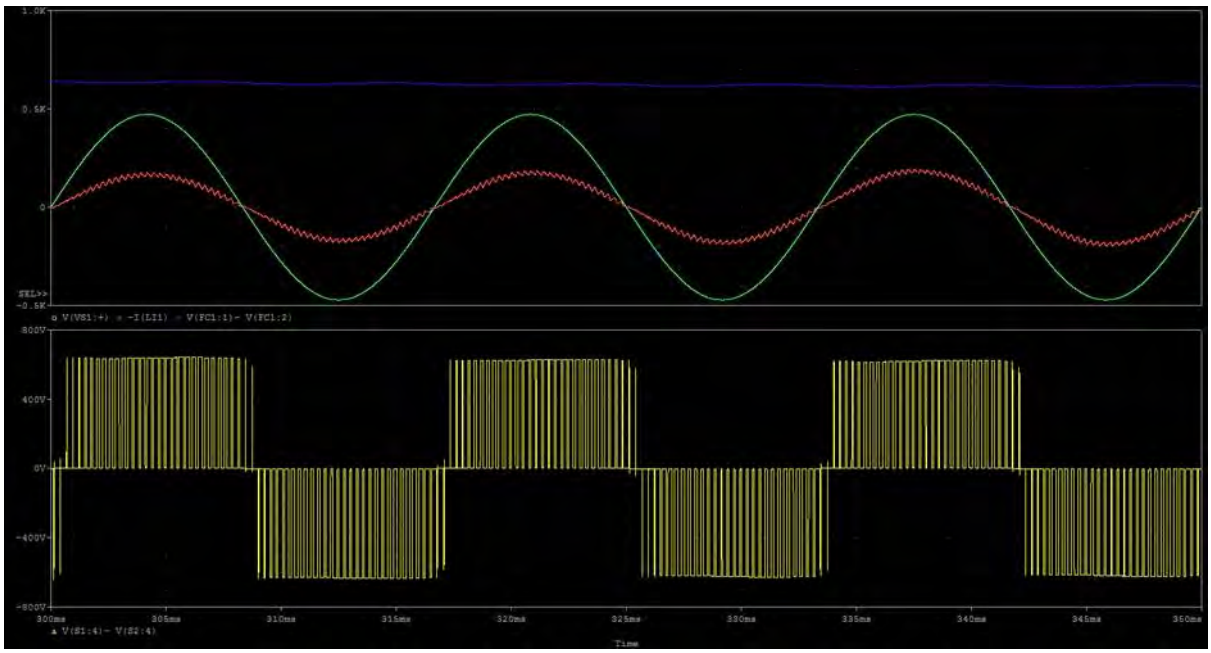


그림 455. 입력정격전압 334V, 출력전압 620Vdc, fs=1.8kHz, Li=1.5mH, Fc=18mF, 50%부하

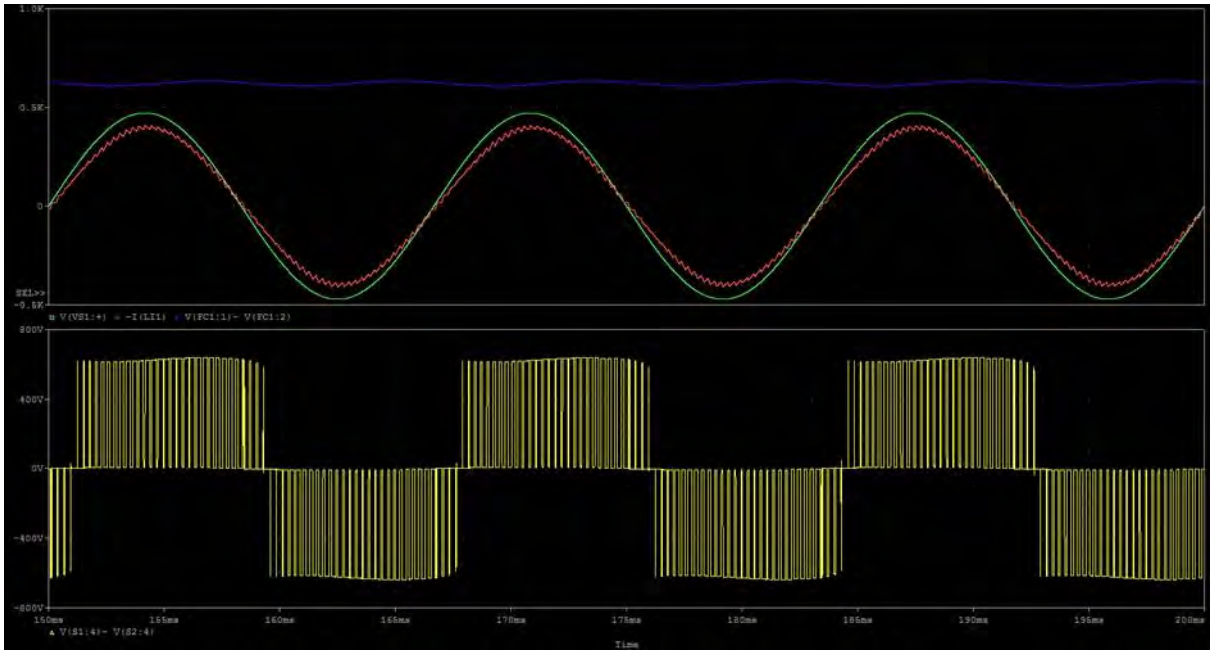


그림 456. 입력정격전압 334V, 출력전압 620Vdc, fs=1.8kHz, Li=1.5mH, Fc=18mF, 100%부하

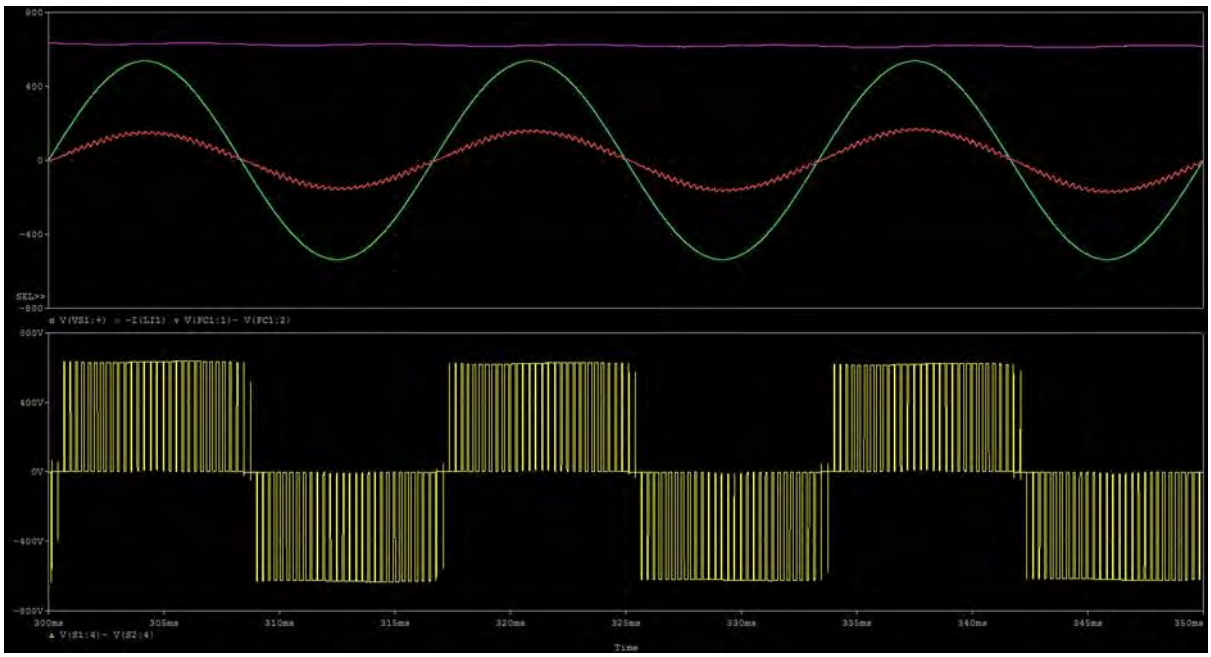


그림 457. 입력고전압 380V, 출력전압 620Vdc, fs=1.8kHz, Li=1.5mH, Fc=18mF, 50%부하

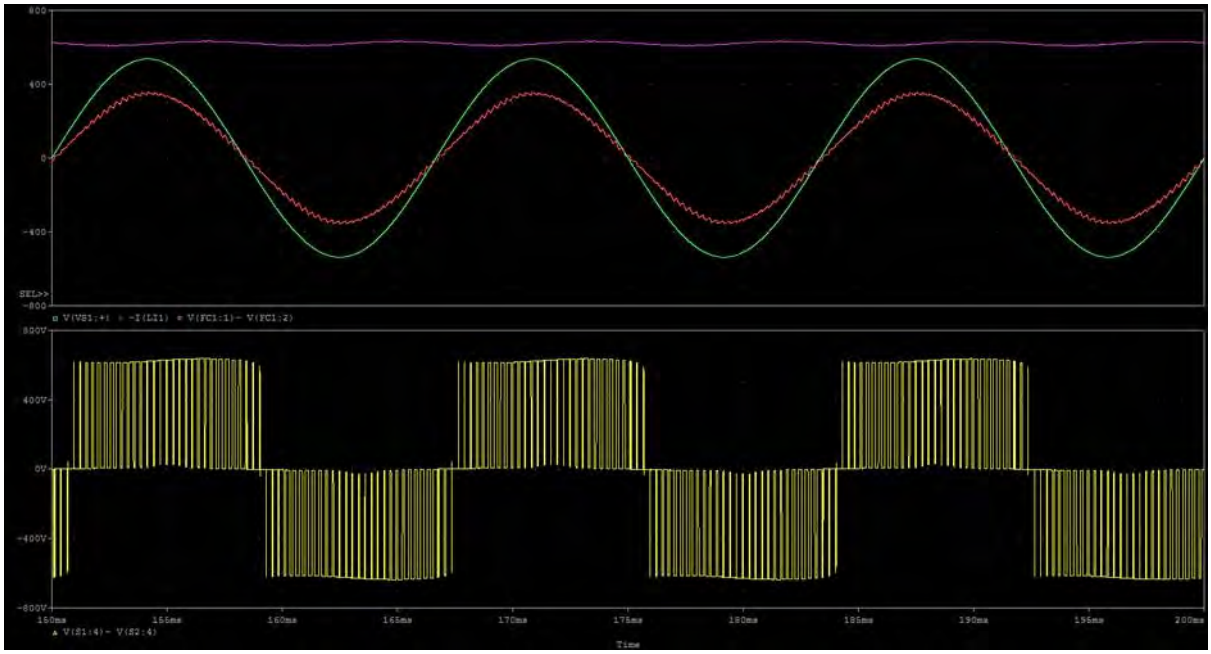


그림 458. 입력고전압 380V, 출력전압 620Vdc, fs=1.8kHz, Li=1.5mH, Fc=18mF, 100%부하

㉮ 시뮬레이션 결과

컨버터부의 PWM주파수를 1.8kHz로 선정하면 정격부하일 때 입력전류의 THD를 5% 이내로 제어하면서도 승압 리액터의 크기는 기존장치의 50%정도로 하는 것이 가능하다.

(다) 보조전원장치 PWM 인버터 설계

① 설계조건

표 91. IGBT Type 인버터회로 설계조건

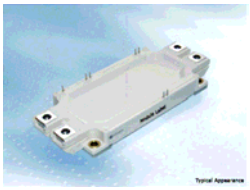
항 목	내 용	비 고
H/W 형식	SVPWM IGBT 인버터	3상 교류전압
동작주파수 범위	1 ~ 60Hz	가변전압, 가변주파수
정격출력전압	3 phase, 440Vac / 118A / 60Hz	90kVA at PF=0.85(lag)
출력전압 범위	0 ~ 440Vac	V/F 커브
입력전압	620Vdc / 145A	컨버터 출력전압

② 기본설계

㉮ IGBT 선정조건

- 정격부하 조건을 고려한 최대 출력전류를 계산하면, 90KVA*1.3/440V/√3=153.5Arms
- 입력전압 최대는 750Vdc, 출력전압은 440Vac이므로 1200V급 IGBT를 사용하면 전압 범위에 만족됨
- 단시간(10초) 과부하를 포함하여 IGBT는 1200V/150A급부터 사용 가능하지만 안전을 위해 1200V/400A급 사용하였음
- 기존장치에 사용된 62mm 모델 및 다른 형태의 IGBT를 검토하여 장단점 비교 후 최적의 IGBT 선정하였음

표 92. 인버터회로 IGBT 선정용 비교표

IGBT 형태	장 점	단 점	모델
62mm	- 기본형상이므로 여러 maker 에서 동일한 형태, 다양한 전류용량 시판 중 (최대장점) - 바닥면적이 넓어서 방열에 유리 - Infineon, Semikron 등에서 동일형식의 IGBT 출시 중 - 단종의 우려 적고 제조사에 종속될 우려 낮음	- Arm 구성을 위한 IGBT의 배치가 쉽지 않음 - 넓은 바닥 면적 차지	FZ400R12KE4 
EconoDUAL3	- 4세대 IGBT Dual model로 소형화에 유리함 - IGBT의 배치가 매우 용이	- GDU PCB를 IGBT 위에 얹어야 하므로 IGBT와 GDU가 일체형으로 취급되어야 함 - 600A 이상은 시판되지 않음 - 컴팩트한 구조이므로 발열에 유의 필요 - 타 maker에서 동일한 형상은 시판되지 않음	FF450R12ME4 
결론	- 62mm Single IGBT를 사용하는 것이 컨버터용 IGBT와 동일하여 스택 구성에 유리 - IGBT의 형상이 특정 제작사에 종속되지 않음 - 또한 제작사가 여러 곳인 점도 추후의 유지보수 체계를 위해 유리함		

㉮ IGBT 손실계산 조건

- 최근 출시된 저손실/고효율 4세대 IGBT를 대상으로 손실계산 수행
- 손실계산은 IGBT 제조사(Infineon)의 시뮬레이션 툴(IPOSIM) 이용
- 정격전력은 90kVA로 가정(PF=1.0), 정격전압(최대전류조건)에서 수행
- 400A급 IGBT에 대하여 손실 계산
- 외기온도는 50℃, 케이스 온도는 80℃로 가혹한 조건에서 계산 수행
- 인버터 출력은 기존장치와의 호환성이 필요하므로 PWM 주파수는 기존과 동일한 1.8kHz로 고정

㉯ IGBT 손실계산서

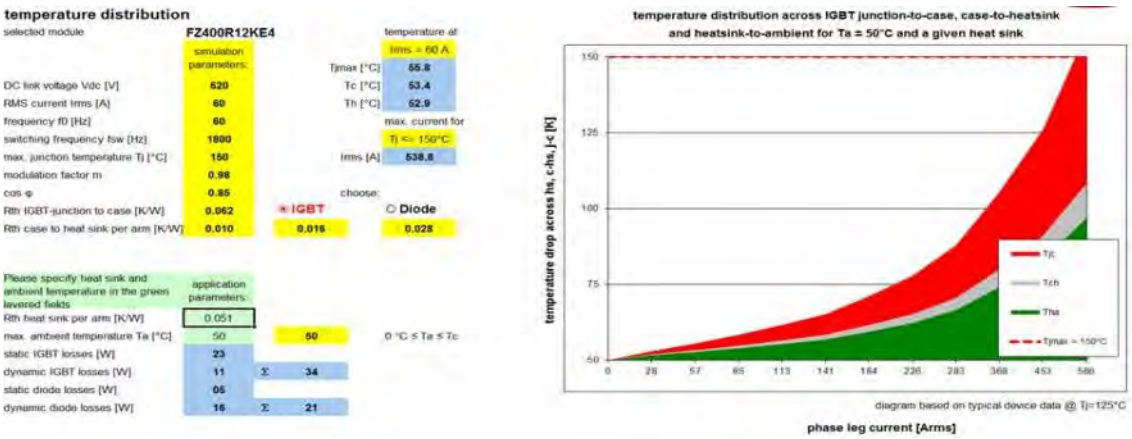


그림 459. 400A급 IGBT, 정격전압/50%정격전류/Fs=1.8kHz

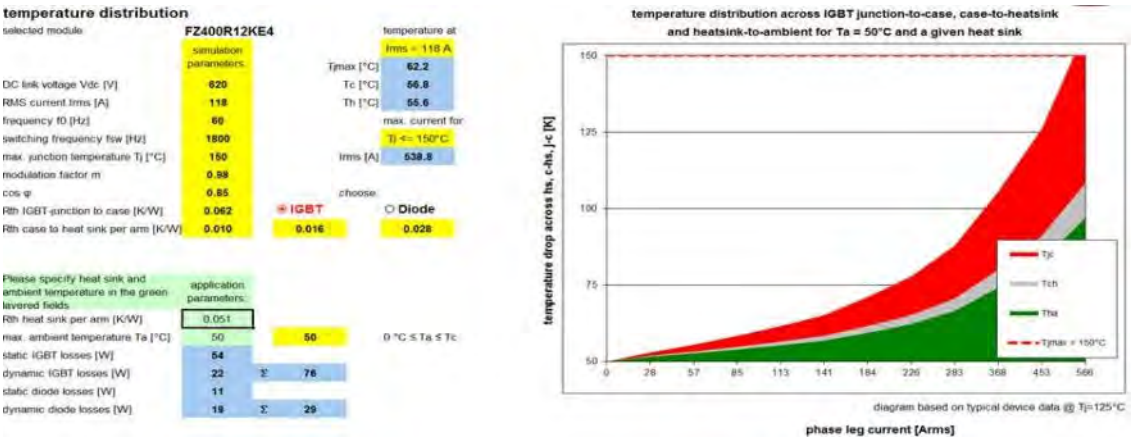


그림 460. 400A급 IGBT, 정격전압/100%정격전류/Fs=1.8kHz

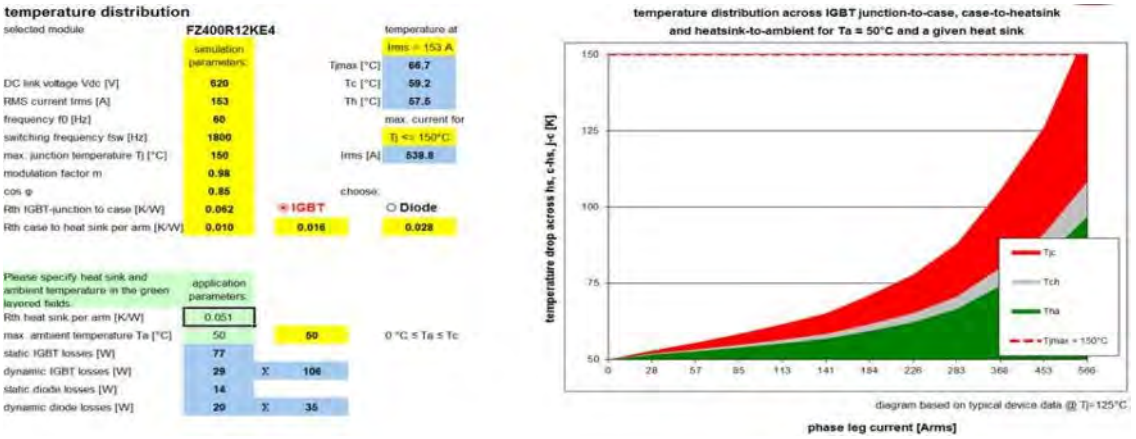


그림 461. 400A급 IGBT, 정격전압/130%정격전류/Fs=1.8kHz

㉮ 손실계산 결과

표 93. 400A급 IGBT의 정격전압/부하 손실계산 결과

400A IGBT 정격손실	50% 부하	100% 부하	130% 부하
IGBT 손실(W)	34	76	106
Diode 손실(W)	21	29	35
모듈 손실(W)	55	105	141
상대 손실(P.U)	0.52	1.0	1.34

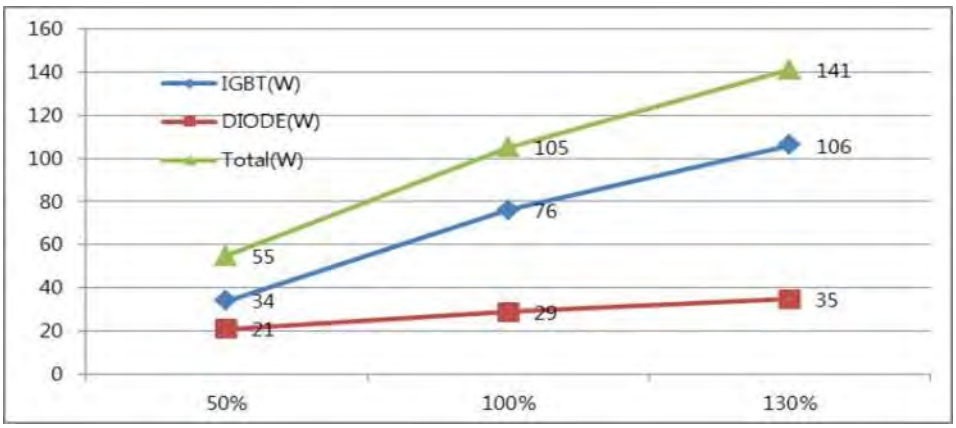


그림 462. 부하별 모듈손실 결과비교 그래프

- IGBT 용량선정 : 손실 시뮬레이션 결과에 따르면 4세대 400A급 62mm 모델 IGBT를 사용할 때 1.8kHz의 스위칭 주파수에서도 최대접합면 허용온도에 약 70도 이상의 마진을 보장할 수 있음
- 동작주파수 : 기존 부하장치와의 호환을 고려하여 1.8kHz 스위칭 주파수 선정(기존 900Hz일 때와 유사한 손실 발생할 것으로 추정)
- 최대손실 : 141W/module @154Arms(정격전압이며 130% 부하조건, 400A급 사용)
- 손실합계 : 105W*6=630W(Inverter total) at 100% 정격출력

③ 전력회로 시뮬레이션

㉮ 시뮬레이션 제어기 구성

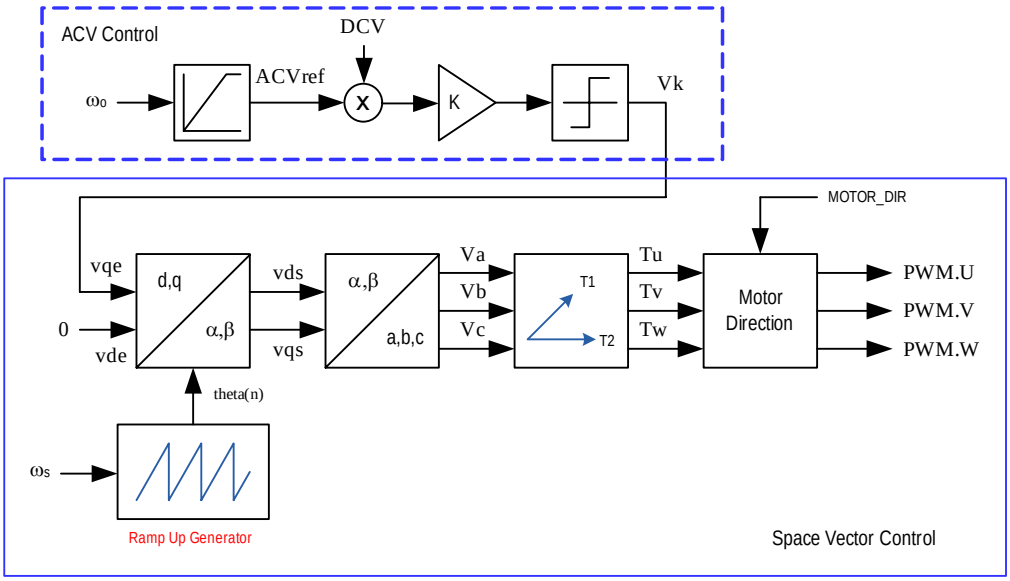


그림 463. 인버터 제어기 구성도

㉯ 시뮬레이션 조건

- Feed forward 방식에 의한 출력전압 크기 제어
- 공간벡터제어(Space Vector Control) PWM을 수행
- 스위칭 주파수는 기존장치(1.8kHz)를 포함하여 1.5kHz ~ 5kHz 이내의 주파수를 선정
- 현차시험 분석결과와 비교하여 유사도 및 개선된 효과 확인
- dv/dt 제한용 리액터는 40uH로 가정
- dv/dt 제한용 캐패시터는 0.022uF으로 가정
- dv/dt 제한용 댐핑저항은 33Ω으로 가정

㉰ 시뮬레이션 파형

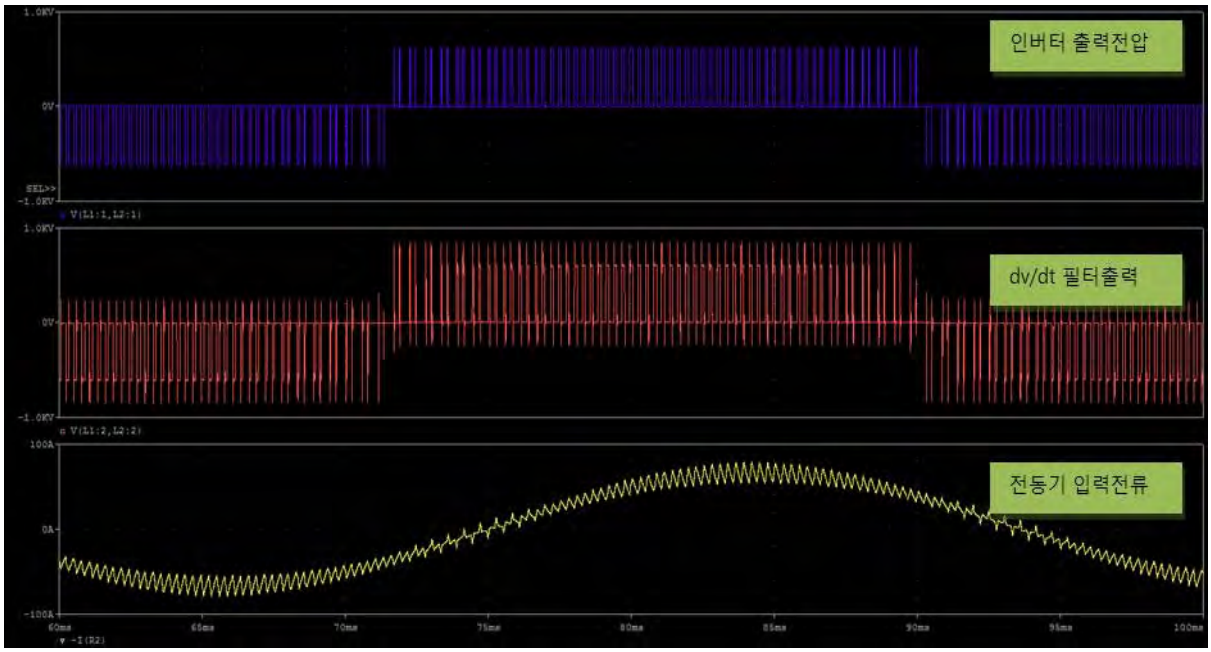


그림 464. 입력전압 620Vdc, 출력전압 196.8Vac, fo=27.1Hz, fs=1.8kHz, 20%부하

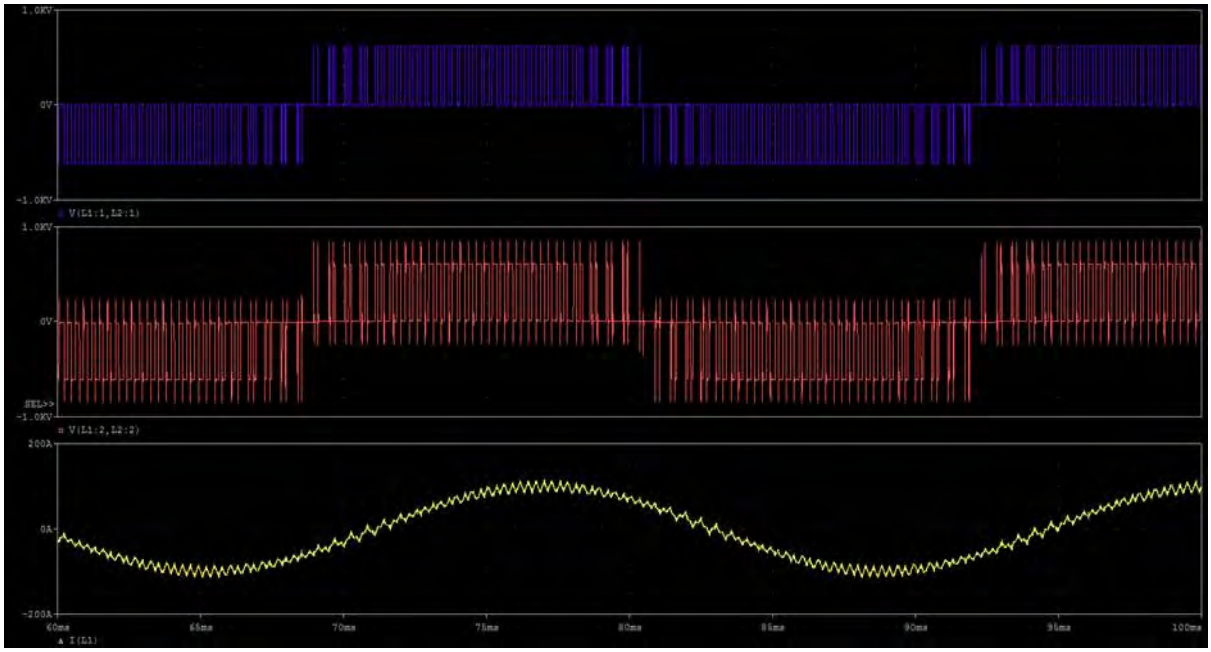


그림 465. 입력전압 620Vdc, 출력전압 311.4Vac, fo=42.5Hz, fs=1.8kHz, 50%부하

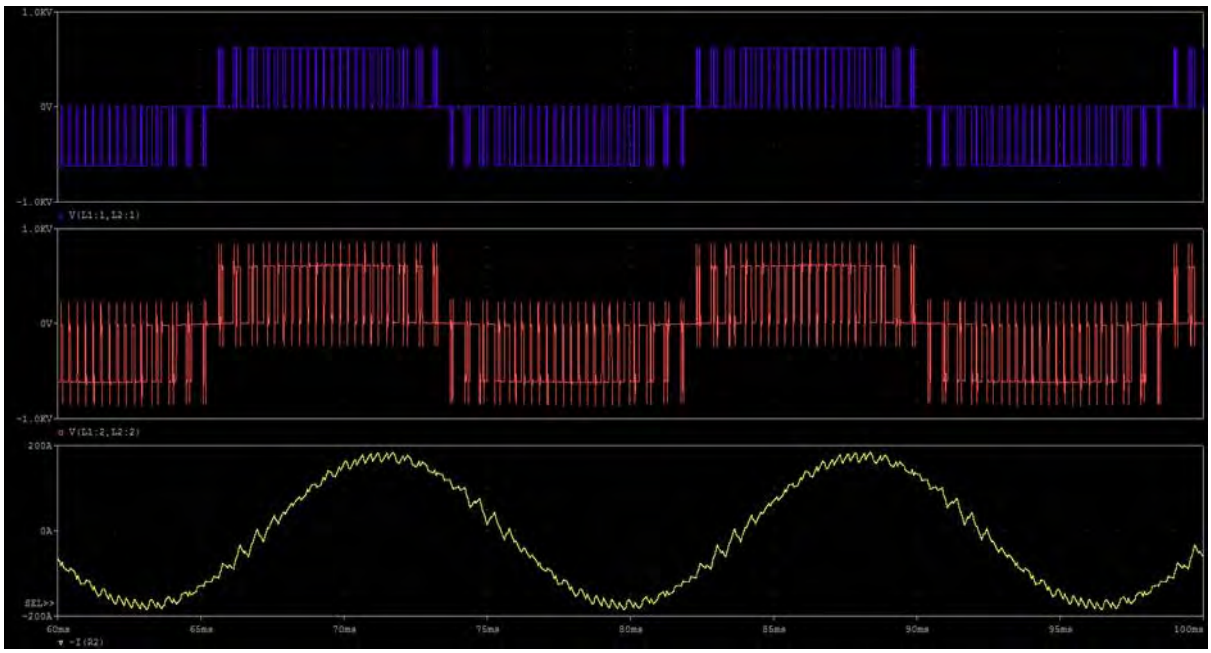


그림 466. 입력전압 620Vdc, 출력전압 440Vac, fo=60Hz, fs=1.8kHz, 105%부하

㉱ 시뮬레이션 결과

- dv/dt 제한용 필터회로가 전 부하대역에서 정상적으로 동작하고 있다.
- 1.8kHz 스위칭 주파수를 사용하는 경우, 차량의 부하조건에 대하여 기존장치와 동일한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.
- PWM 주파수를 높이면 전류파형은 향상되지만 고주파 노이즈가 증가하므로 역효과 있음

(라) 보조전원장치 dv/dt 제한필터 설계

① 기존장치 분석

㉮ 형태 및 구성

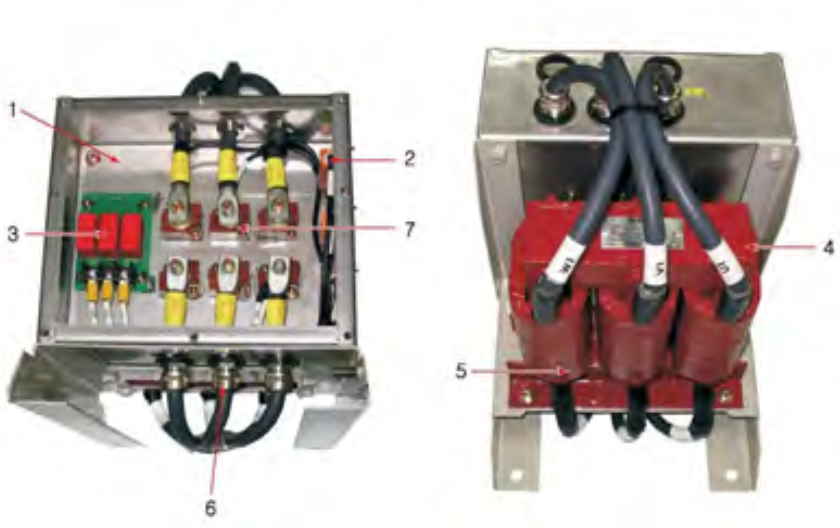


그림 467. dv/dt 제한필터의 형태(명칭도감 참조)

표 94. 기존 dv/dt 제한필터 구성품

구성품	특 징
필터 외함	스테인레스 외함
필터 저항	메탈커버 저항 33Ω / 50W
필터 캐패시터	3상 델타, 0.022uF / 1100V
필터 인덕터	3상 인덕터, 40uH / 105A
케이블 Grand	30SQ
내부 단자대	-

㉮ 기존회로의 전압파형



그림 468. 출력 PWM 전압에 dv/dt필터가 적용된 파형
(8200호대 전기기관차 보조전원장치의 출력전압)

② dv/dt 제한필터의 설계

㉮ 회로구성

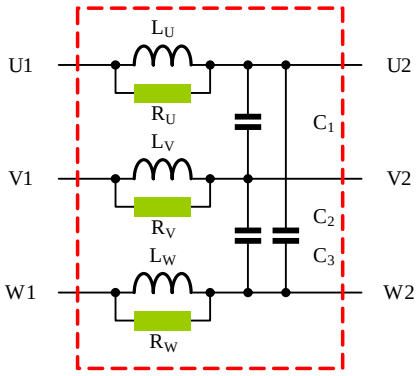


그림 469. dv/dt 제한 필터의
전기회로 구성

㉯ 전달함수

3상 필터를 단상으로 환산하여 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{j\omega L \cdot R}{j\omega L + R} + \frac{1}{j\omega C}}$$

이 함수의 경우 분모의 항에 독립적인 R항이 포함되므로 진동이 발생하여도 감쇄가 일어남을 직관적으로 알 수 있으며, 주파수가 증가할수록 $jwL \bullet R/(jwL+R)$ 항은 거의 저항 R에 비례하여 증가하므로 전달함수의 크기가 점차 감소함을 알 수 있다. 단, R이 너무 커지게 되면 $jwL \bullet R \gg (jwL+R)$이 되므로 R에 의한 감쇄효과가 감소한다.

㉰ dv/dt 제한필터의 기능 및 특징

인버터의 부하로 전동기가 주로 사용되고 있으며 전동기 부하의 경우에는 고정자의 인덕턴스가 충분하므로 별도의 sine 필터를 사용하지 않아도 인버터의 출력전류는 sine 형태가 유지된다. 하지만 인버터의 출력전압은 PWM 파형이며 각 펄스의 기울기는 이론적으로 수직에 가까우므로 펄스의 dv/dt가 매우 크다. 이렇게 커다란 dv/dt 기울기는 과도한 고주파수를 유도할 수 있어서 근접한 신호기기 등의 부하에 영향을 미칠 수 있고 전선의 절연에도 영향을 끼칠 수 있으므로 dv/dt 제한용 필터회로가 사용되었다. 필터의 간략한 특징은 아래와 같다.

- Sine 필터보다 작은 dv/dt 제한용 필터회로를 사용함으로써 출력회로의 경량화가 가능
- PWM 인버터에서 발생하는 전압의 급격한 dv/dt를 제한함으로써 인접기기에 대한 고주파 간섭을 회피할 수 있음

③ 시뮬레이션 파형 및 결과

㉮ 시뮬레이션 파형 및 설명

Pspice를 사용하여 시뮬레이션을 실시한 결과 dv/dt 제한 필터의 출력전압 파형은 기존 품 시운전 시험결과와 유사하게 얻어졌다. 출력전압 파형에서는 설명한 바와 같이 R에 의한 댐핑특성에 의해서 LC에 의한 고주파수 공진이 빠르게 감소하여 진동이 억제되고 있음을 볼 수 있다.

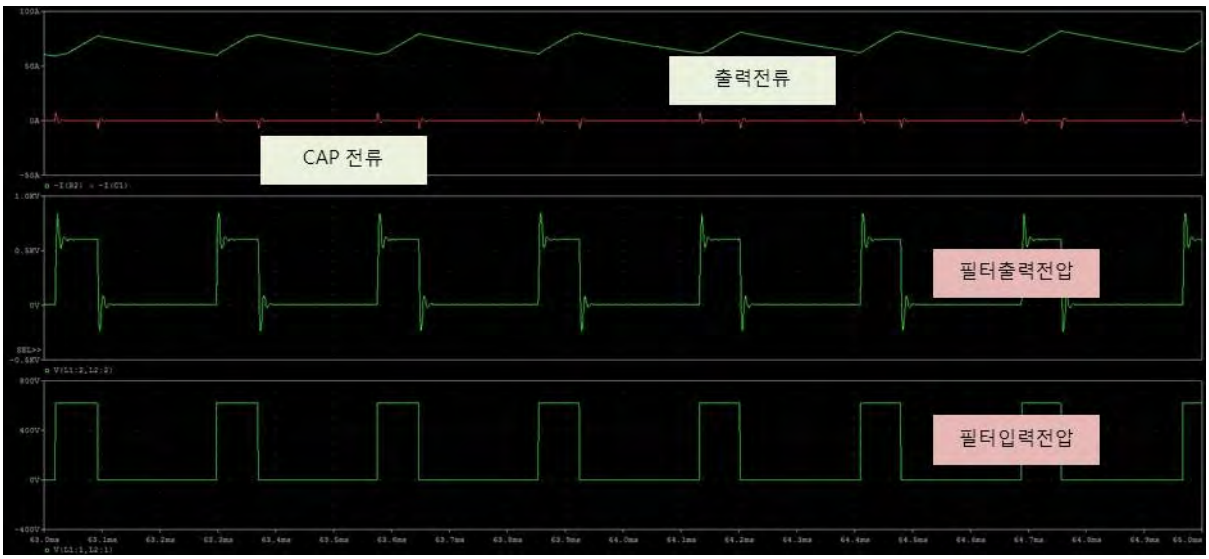


그림 470. dv/dt 제한필터의 출력전압 파형

또한 주파수 특성의 조사를 위해 필터의 입출력전압에 대한 FFT를 계산한 결과에서 보면 필터 출력의 경우 약 125kHz 까지는 입력보다 고조파가 약간 증가되었으나 125kHz 이상부터는 감소하기 시작하여 250kHz 이상에서는 거의 발생하지 않고 있으나 입력의 경우 500kHz 이상까지도 계속해서 고조파가 존재함을 알 수 있다. 즉, dv/dt 제한 필터에 의하여 고주파수에 대한 감쇄가 의도한 바와 같이 나타나고 있음을 알 수 있다.



그림 471. dv/dt 제한필터의 출력전압 FFT 결과파형

㉯ 시뮬레이션 결과

- 회로의 구성은 인덕터와 병렬로 저항을 연결한 L-C LPF(Low Pass Filter)로 구성한다.
- 회로에 의한 dv/dt 제한은 유효하며 고주파수 대역(125kHz 이상)의 고조파가 제거된다.
- 병렬저항 R에 의하여 댐핑이 얻어지므로 신뢰성 있는 무유도 저항을 사용하여야 한다.
- 필터를 사용하지만 출력 전류파형에는 변형이 거의 발생하지 않는다.

(마) 보조전원장치 GDU(Gate Drive Unit) 설계

보조전원장치에 적용되는 IGBT는 컨버터용과 인버터용의 2가지 모델이 사용된다. IGBT의 게이팅을 위한 GDU 장치는 특정 IGBT에 종속되어 사용되지는 않으나 게이트 전압 및 전류 등의 조건에는 위배됨이 없도록 설계되어야 한다.

① 설계사양 및 구성

표 95. 보조전원장치용 GDU 기본설계 사양

항 목	내 용	비 고
적용 IGBT	1700V/200A ~ 1700V/1200A 까지	컨버터, 인버터 모두 적용
회로 구성	1SMPS + 2Gate Amp	단일 PCB에 적용
내전압 사양	2500VAC/1분간/10mA 누설이하	
SMPS 사양	24Vdc_in, 25Vdc_out 2채널, 5Vdc	5V는 내부 제어전원
Gate Amp	IGBT 과전류 보호, 제어전원 이상 검출, 게이트 과전압 보호, Miller 효과 보호, On/Off 개별 전류제어,	IGBT 보호
동작 범위	-40도 ~ +70도	
최대주파수	20kHz/500nS minimum pulse	

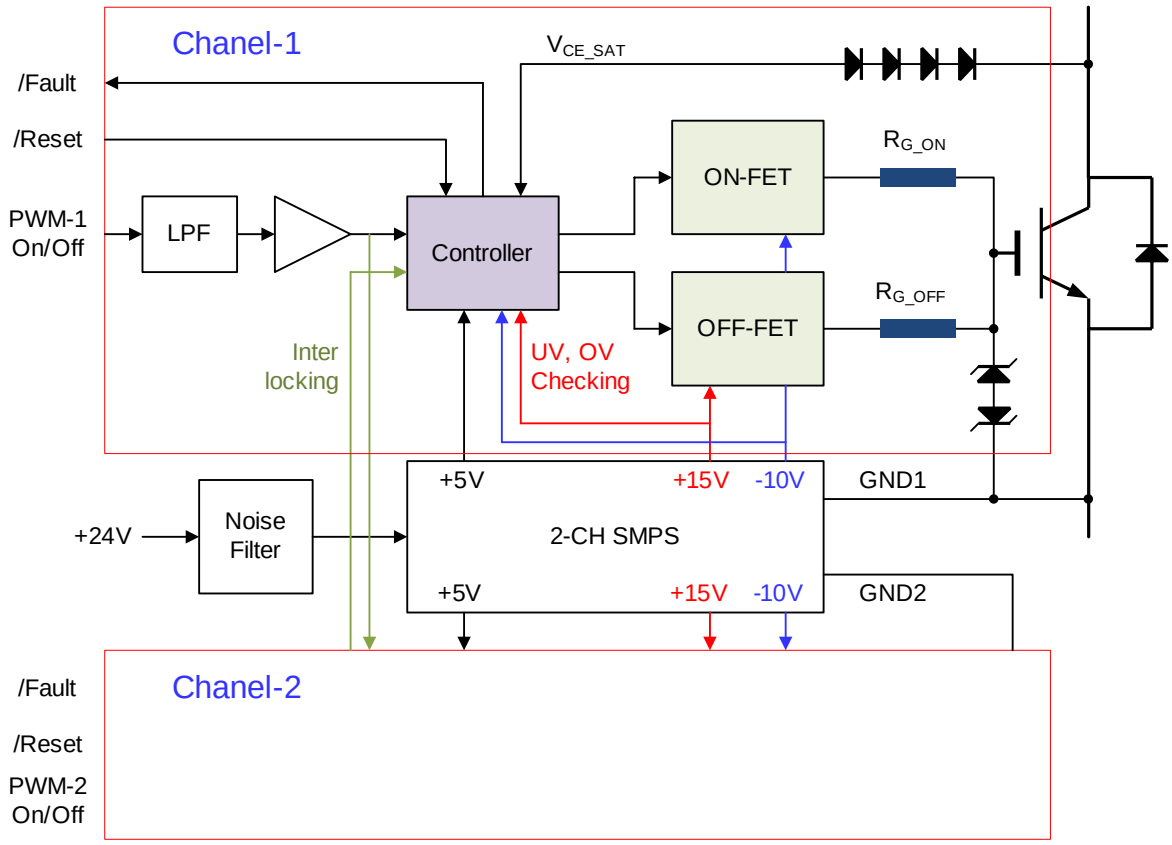


그림 472. 보조전원장치 GDU 내부 구성도

② 주요기능 및 특징

㉮ 입력 PWM 신호 잡음제거

GDU에 입력되는 신호는 광절연 신호 또는 TTL 레벨의 디지털 논리 신호가 입력된다. 신호라인의 길이와 동작조건에 의하여 신호선에는 잡음성 노이즈가 혼재하므로 이를 충분히 방지하기 위하여 PWM 입력단에는 전류의 shunt를 위한 신호감지용 저항이 신호입력과 병렬로 적용된다. Shunt되는 전류의 크기는 최소한 10mA 이상이어야 한다. 한편 션트저항의 양단전압을 검지하는 회로에는 저항과 캐패시터로 이루어진 저역통과필터를 설치하여 신호에 섞인 노이즈 성분을 가능한 완전히 제거한다.

㉯ 절연된 PWM 신호 입력

입력 PWM 신호는 제어 IC 내부에서 광신호에 의하여 절연된다. 입출력간의 과도절연전압 레벨은 1분간 2500V에서 견디도록 설계한다.

㉰ 상하 암(Arm) PWM 신호의 단락방지

2개의 IGBT가 하나의 암(Arm)으로 동작하는 경우 많은 경우에서 이유를 알 수 없는 단락이 종종 발생한다. 주된 원인으로는 허용되지 않는 입력논리(동시에 1 입력)의 경우와 노이즈 등에 의한 순간적인 논리의 변화 등이 알려져 있다. 본 설계에서는 상기의 두 가지 모두의 경우를 방지하기 위하여 임의의 순간에 상하의 IGBT에는 반드시 1과 0(혹은 0과 1)으로만 동작하도록 인터록(Interlock) 회로를 적용하여 기기를 보호하도록 한다.

㉮ 게이트 저전압 감지

IGBT 게이트 전압이 충분하지 않는 경우(약 12.3V 이하) GDU 장치는 저전압 고장을 발생시키고 출력을 Off 상태로 유지한다.

㉯ 게이트 과전압 방지

IGBT 게이트에는 과도상태시 게이트의 전압이 제어전압보다 높은 경우 방전을 위한 보호 다이오드가 부착되어 있다. 이 다이오드는 과도 상태시 IGBT가 IGC 전류에 의한 Miller 효과를 방지하는 기능을 제공하여 IGBT를 보호한다.

㉰ On/Off 비대칭 전류제어

IGBT의 입력은 FET로 되어 있으므로 On/Off 특성은 게이트에 연결되는 전류의 주입속도에 의하여 결정된다. 사용자가 원하는 dv/dt, di/dt 특성을 수용할 수 있도록 전류제어를 위한 On/Off 전류의 변경이 가능하도록 설계되어야 한다.

㉱ 콜렉터 과전류에 의한 De Saturation 검출

IGBT는 기본적으로 Transistor의 기능을 가지고 있어서 콜렉터 전류가 증가하면 VCE 전압이 비례하여 증가된다. 콜렉터 전류가 과도하게 흘러 VCE 전압이 특정 레벨(7.2V)을 넘으면 De Saturation 방지에 의한 과전류제한 기능이 동작한다. De Saturation 검출시간은 약 10us이며 이 시간동안 과전류가 해소되지 않으면 GDU는 급작스런 dv/dt의 증가를 방지하기 위한 Slow Off 기능을 수행하여 IGBT를 Off시켜야 한다.

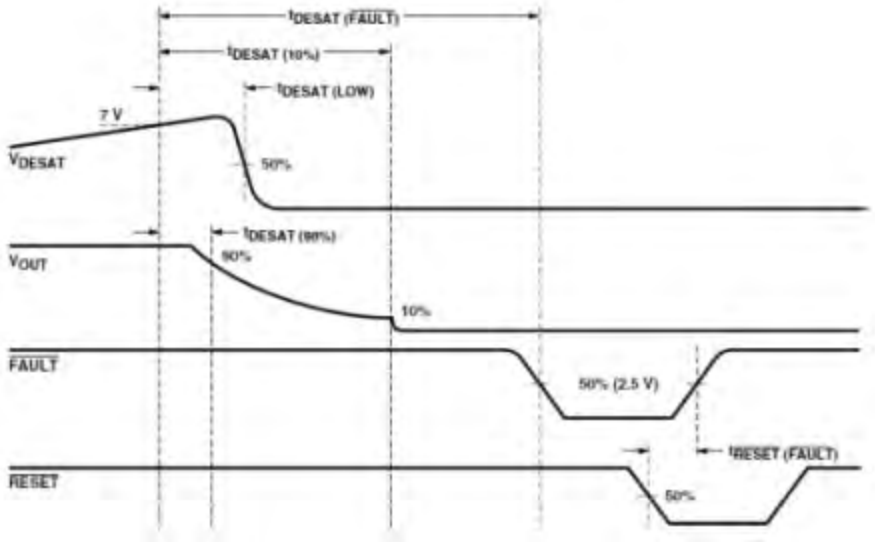


그림 473. De Saturation 검출 시 게이트 및 고장의 처리

㉲ 절연된 고장감지 신호

게이트 제어장치가 고장을 발견하면 즉시 출력은 오프상태가 되고 고장이 발생되었음을 알리는 신호가 필요하다. 본 설계에서는 절연된 TTL 부논리를 적용하여 고장이 발생되면 0신호를 발생시키도록 회로를 구성한다.

㉶ 절연된 제어 IC 리셋 신호

고장을 감지하여 Off된 게이트 제어장치를 회복시키기 위하여 절연된 리셋 신호가 사용되어야 한다. 리셋 신호는 부논리의 TTL 신호를 적용한다. 노이즈 등에 의하여 임의의 순간에 오작동을 방지하기 위한 필터회로를 사용한다.

㉷ 표시장치

GDU의 동작을 직관적으로 알 수 있도록 표시용 LED를 설치한다. 설치되는 LED의 종류는 입력 PWM 신호, 고장 발생 신호, 전원표시 등이다.

표 96. GDU 표시기능

LED	내 용	비 고
녹색	PWM 입력의 확인, 점멸	각각의 채널에 적용
적색	고장발생시 점등, 리셋시 소멸	각각의 채널에 적용
황색	SMPS의 정상동작표시	

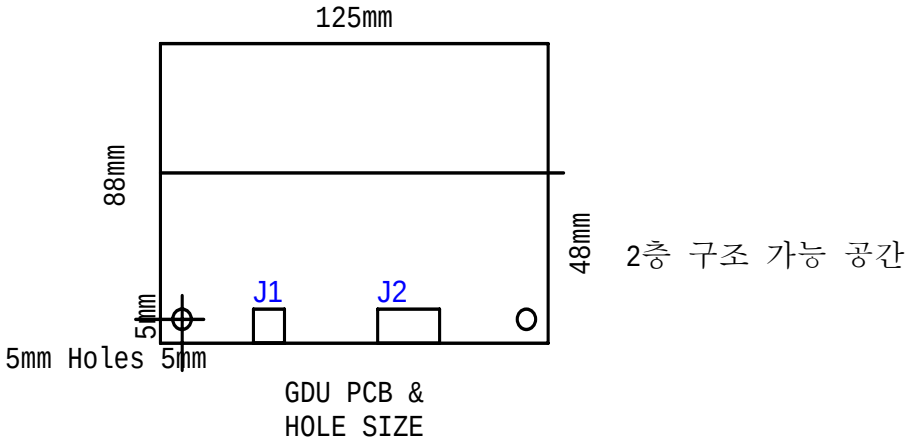


그림 474. 보조전원장치 Gate Driver Unit용 PCB 형상

③ GDU 설계도면

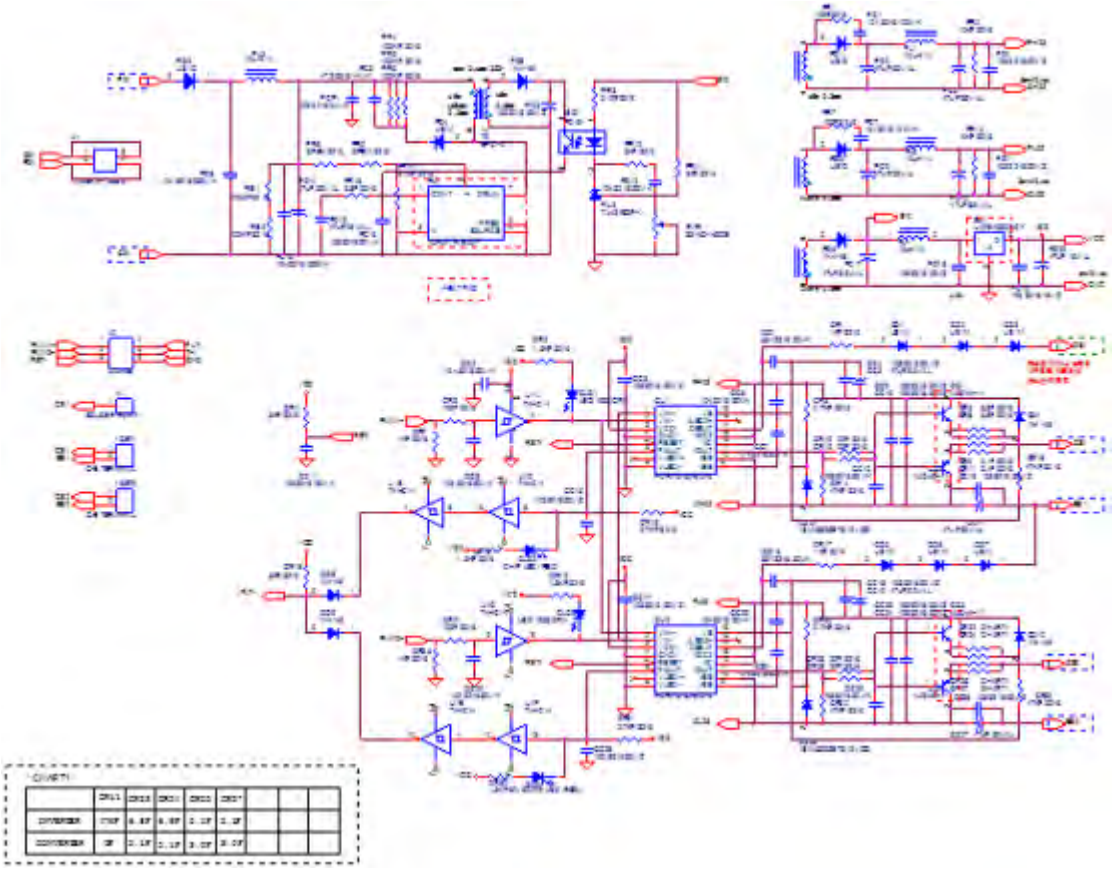


그림 475. 보조전원장치용 GDU회로의 설계도

(바) 보조전원장치 제어기 설계

① 설계조건

㉮ DSP(Digital Signal Processing)

- DSP에 연결되는 J-TAG 커넥터는 장치가 완성된 후 커넥터의 꼬임이 없이 연결될 수 있도록 방향을 주의해야 한다.
- microSD 카드의 소켓은 PCB가 장착되고 난 후 쉽게 접근이 가능한 곳에 배치해야 한다.
- PCB-toPCB 커넥터는 상대 PCB에 연결되는 pin 번호를 확인하여 꼬임이 없도록 해야 한다.
- TPS70251PWP IC는 열이 많이 발생하므로 IC의 주변 및 후면에 열 발산용 PAD를 반드시 배치해야 한다.
- 클록 발생용 Crystal의 주변에는 반드시 ground pad로 둘러싸서 고주파수 노이즈가 외부로 발산되는 것을 최소화 하여야 한다.

㉯ DIO(Digital Input Output)

- 출력용 Relay회로 및 입력용 Photo coupler 회로는 110V 또는 220V의 고압이 흐르므로 절연에 유의하여야 한다.
- 저전압(5V) 회로와 고전압 회로는 분리하여 배치한다.

- PCB-toPCB 커넥터는 상대 PCB에 연결되는 pin 번호를 확인하여 꼬임이 없도록 해야 한다.
- 표시용 LED들은 장치의 동작을 직관적으로 알 수 있도록 배치 및 순서에 유의하여야 한다.

㉰ SIF(Sensor Interface)

- 아날로그 신호 입력용 On-board PCB의 크기는 40(L)x10(H)로 하고 고절연(입출력 절연 1000V)이 되도록 부품을 유의하여 배치하여야 한다.
- On-board PCB의 1층은 절연전압 센서와 연산증폭기 및 수동소자를 절연에 유의하여 배치하고 2층은 절연공급용 SMPS IC를 절연에 유의하여 배치한다.
- 각각의 On-board PCB 및 분압용 저항은 길게 배치하고 특히 분압용 저항에 연결되는 배선은 신호간의 절연에 유의하여야 한다.
- 전압센싱용 커넥터에는 고전압이 인가되므로 반드시 배선간의 절연에 유의하여야 한다.
- PCB-to-PCB 커넥터는 상대 PCB에 연결되는 pin 번호를 확인하여 꼬임이 없도록 해야 한다.

㉱ SMPS(Switching Mode Power Supply)

- 입출력 회로간에는 확실한 구역 구분을 두어 2500V이상의 절연이 확보되어야 한다.
- PWM IC(TOP250Y)에는 30(L)x20(H)mm 이상의 방열판이 부착되어야 하며 부품과 방열판 사이에는 절연용 실리콘 패드를 삽입해야 한다.
- 저압 전원용(+5V,+15V,-15V) 전력회로와 GDU용 24V 전력회로는 1500V 이상의 절연이 확보되어야 하며, 사용된 소자가 배치된 구역이 완전히 분리되어야 한다.

표 97. PCB 설계규칙

	항 목	내 용
1	층 수	PCB는 4층 또는 2층 구조로 제작한다.
2	사이즈	PCB의 크기는 100(H) x 160(L)mm 이고 각 모서리에 5mm의 마운트 홀을 갖는다.
3	부품일반	사용되는 부품은 표면 실장용 부품의 사용을 원칙으로 한다. 단 전압/전류의 용량이 크거나 절연확보가 필요한 경우 DIP 타입의 부품도 사용이 가능하다.
4	커넥터	외부에 연결되는 커넥터는 가능한 종류를 최소화하고 수급이 용이한 부품으로 한다. 커넥터는 외부로 연결되는 상태를 파악하여 pin 번호를 재배치 할 수 있다.
5	절연확보	고전압이 PCB에 인가되는 경우 반드시 절연거리를 확보한다. 절연거리의 확보가 어려운 경우 부품 사이의 PCB를 절개하여 절연을 최대화 한다.
6	부품배치	부품은 서로 기능적인 관련이 있는 그룹으로 구분하여 배치한다. 가급적 상면에 부품을 배치시키되 공간확보가 어려운 경우 고장의 우려가 적거나 교체의 가능성이 적은 부품을 하면에 배치시킨다.
7	배선굵기	신호용 배선의 굵기는 최소 ??mm로 하되 신호간섭, 배선의 길이, 흐르는 전류의 크기 등을 고려하여 탄력적으로 적용한다. 아날로그의 경우는 상황에 따라 적절히 적용한다.
8	테두리 공간	PCB의 둘레에는 외각으로부터 2mm 이내에는 부품 및 배선이 배치될 수 없다. 단 커넥터는 예외이다.

② 제어기 구성 및 기능

보조전원장치 제어기는 전력스택의 측면부에 위치하며 총 4개의 카드로 구성되어 있으며, 각각의 카드이름과 기능은 아래의 표와 같다.

표 98. 제어용 PCB의 종류와 기능

	카드 이름	기 능	층 수	위 치
1	DSP	인버터의 제어를 관장한다. IGBT의 ON/OFF를 수행하고 각 센서로부터 입력된 아날로그 값 및 디지털 데이터를 처리하여 인버터가 정상적으로 동작될 수 있도록 제어 프로그램을 수행한다.	4	전력 스택
2	DIO	디지털 입출력 및 절연된 직렬통신을 관장한다. 입출력 전압은 저압 5V부터 고압 110V까지 다양하다. DSP와는 PCB-to-PCB 커넥터로 연결되어 있으며 저압 3.3V 및 5V를 사용한다.	2	전력 스택
3	SIF	아날로그 신호를 처리하기 위한 인터페이스를 제공한다. 입출력전압(440V) 및 전류(5V)를 인터페이스 하므로 고전압에 대한 절연확보가 필요하고 노이즈 침입에 대비한 회로구성이 필요하다.	2	전력 스택
4	SMPS	DC110V를 입력하여 절연된 +5V, +/-15V, +24V를 출력한다. 릴레이 구동 및 접점신호 입력을 위한 필터링된 DC110V도 출력된다.	2	전력 스택

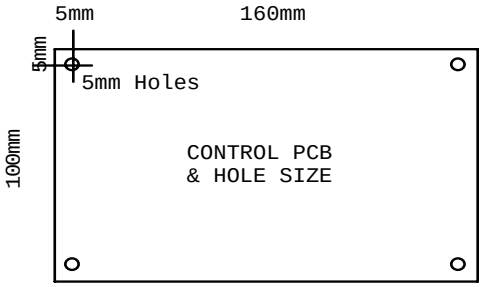


그림 476. 제어 PCB의 크기 및 Hole 위치

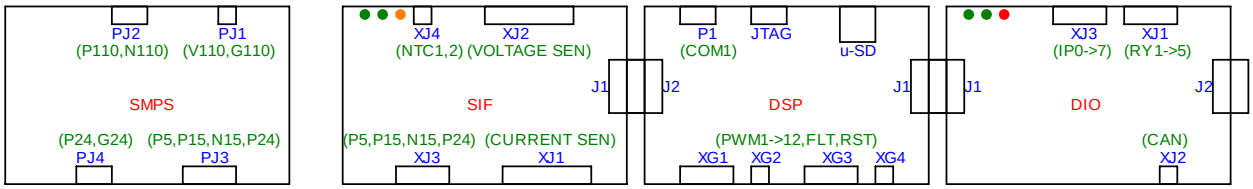


그림 477. 제어기의 구성 및 연결용 커넥터의 위치

(사) 보조전원장치 PWM 전력스택 H/W 설계

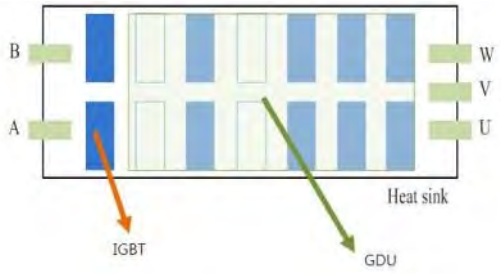
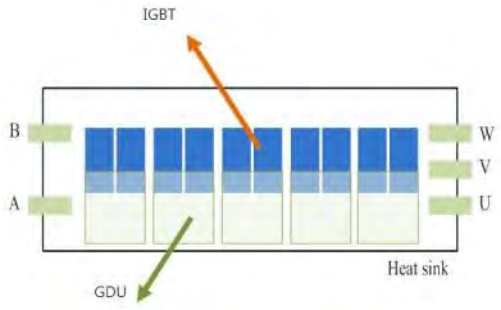
① PWM 전력스택 구성품 및 사양

표 99. 보조전원장치 PWM 전력스택 주요구성품 및 사양

품명		사양	수량
IGBT	컨버터	1200V / 600A	4
	인버터	1200V / 400A	6
DC Link 캐패시터		470uF / 400V (8P * 2S)	16
휴즈		350A / 1000V	1
주접촉기		120A / 440V	1
보조접촉기		20A / 440V	1
입력CT		600A	1
출력CT		150A	3
입력필터용 인덕터		2.5mH / 350A	1
출력필터	저항	33Ω / 50W	3
	인덕터	0.04mH / 120A (3상)	1
	캐패시터	0.022uF / 1000Vdc(660Vac)	3
GDU		컨버터용 2개, 인버터용 3개	5
제어기		DSP, DIO, SIF, SMPS	1set

② IGBT 및 GDU의 배치

표 100. IGBT 및 GDU 배치 및 특징 비교표(기존품-개발품)

항 목	배치형태	특징
기존품		- 각 arm에 대하여 62mm IGBT를 마주보도록 배치함 - 방열판의 상부에 인버터 단자대를, 하부에 컨버터 단자대를 배치 - 각각의 IGBT는 복잡한 Busbar로 연결되어 있음 - 매우 큰 단일 PCB에 모든 게이트 드라이버 회로를 위치 시킴으로써 하나의 부품이 고장나도 전체유닛을 교체해야 하는 불합리한 구조로 구성됨
개발품		- 각 arm에 대하여 62mm IGBT를 동일 방향으로 배치함 - 기존과 동일하게 상부에 인버터 단자대, 하부에 컨버터 단자대 배치 - Busbar의 구조가 기존장치에 비하여 단순해짐 - 하나의 arm에 대하여 1개의 GDU로 구성되어 유지보수성이 향상됨

③ PWM 전력스택 3D 모델링

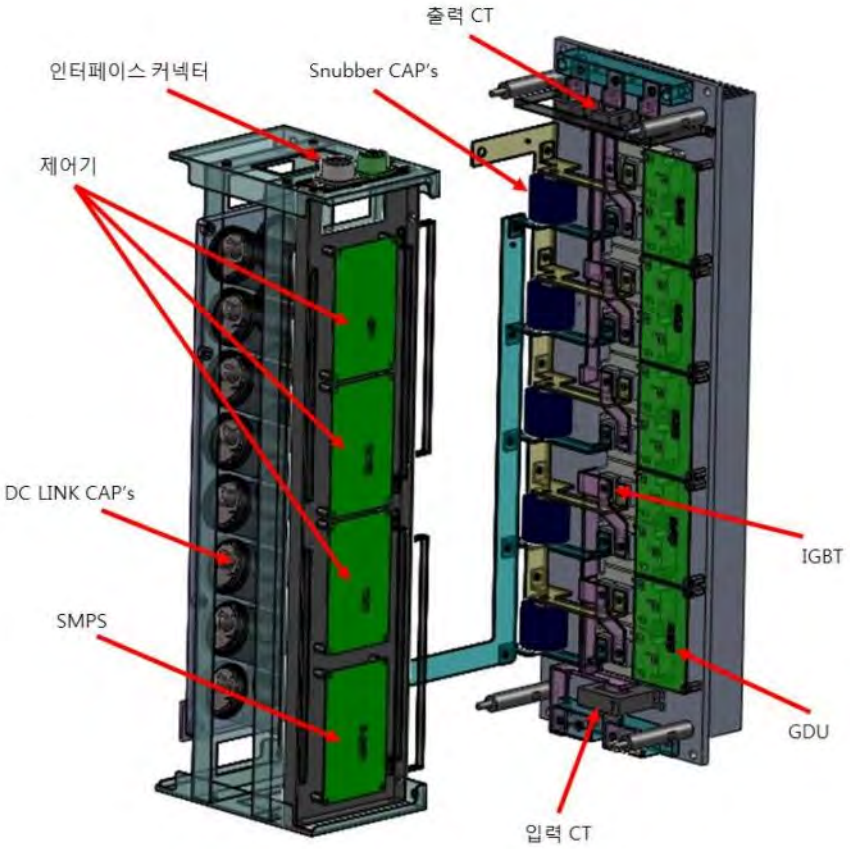


그림 478. PWM전력스택 3D 모델링 01



그림 479. PWM 전력스택 3D 모델링 02

④ PWM 전력스택 설계 및 제작도면

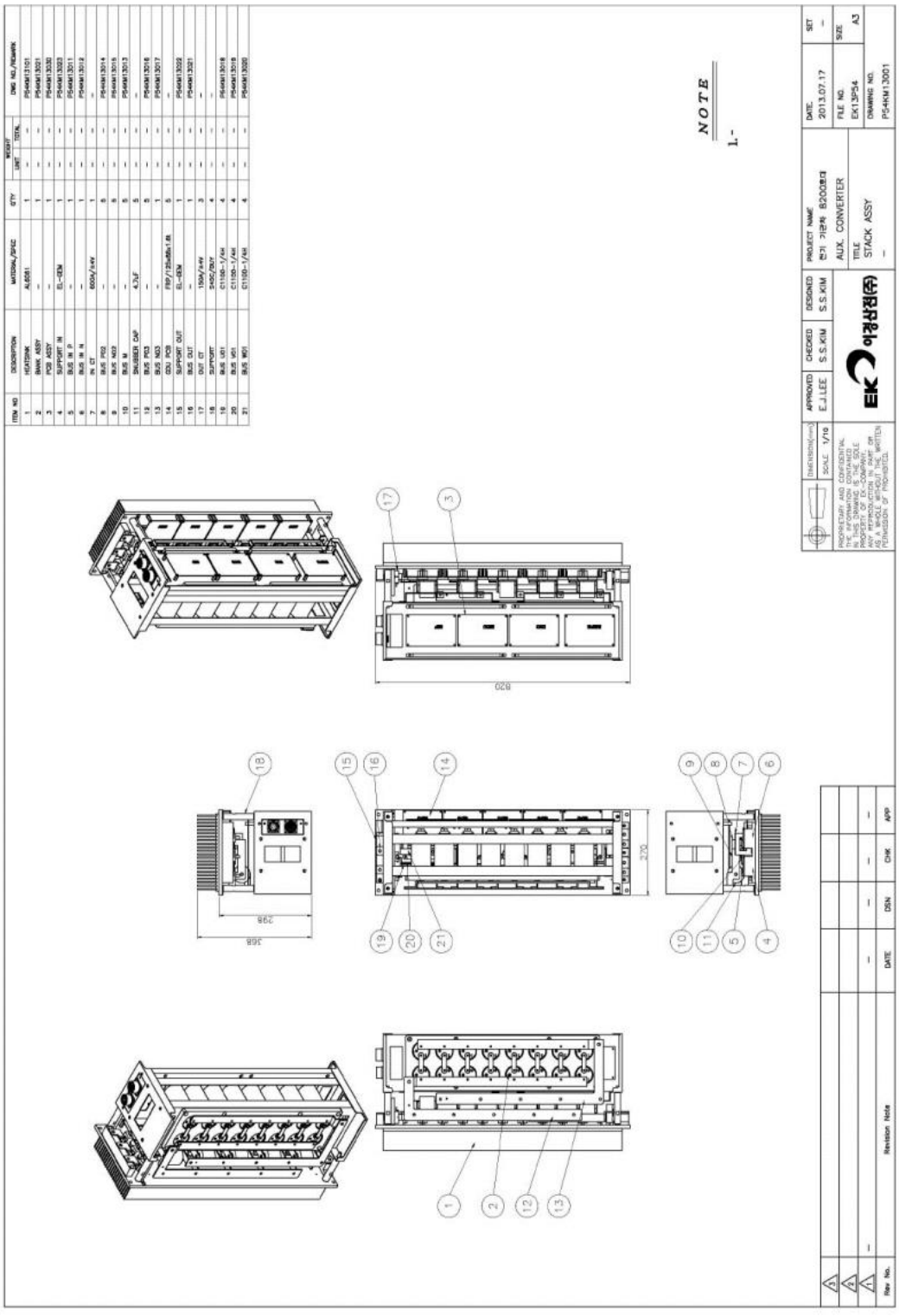


그림 480. 보조전원장치 PWM전력스택 제작도면(대표도)

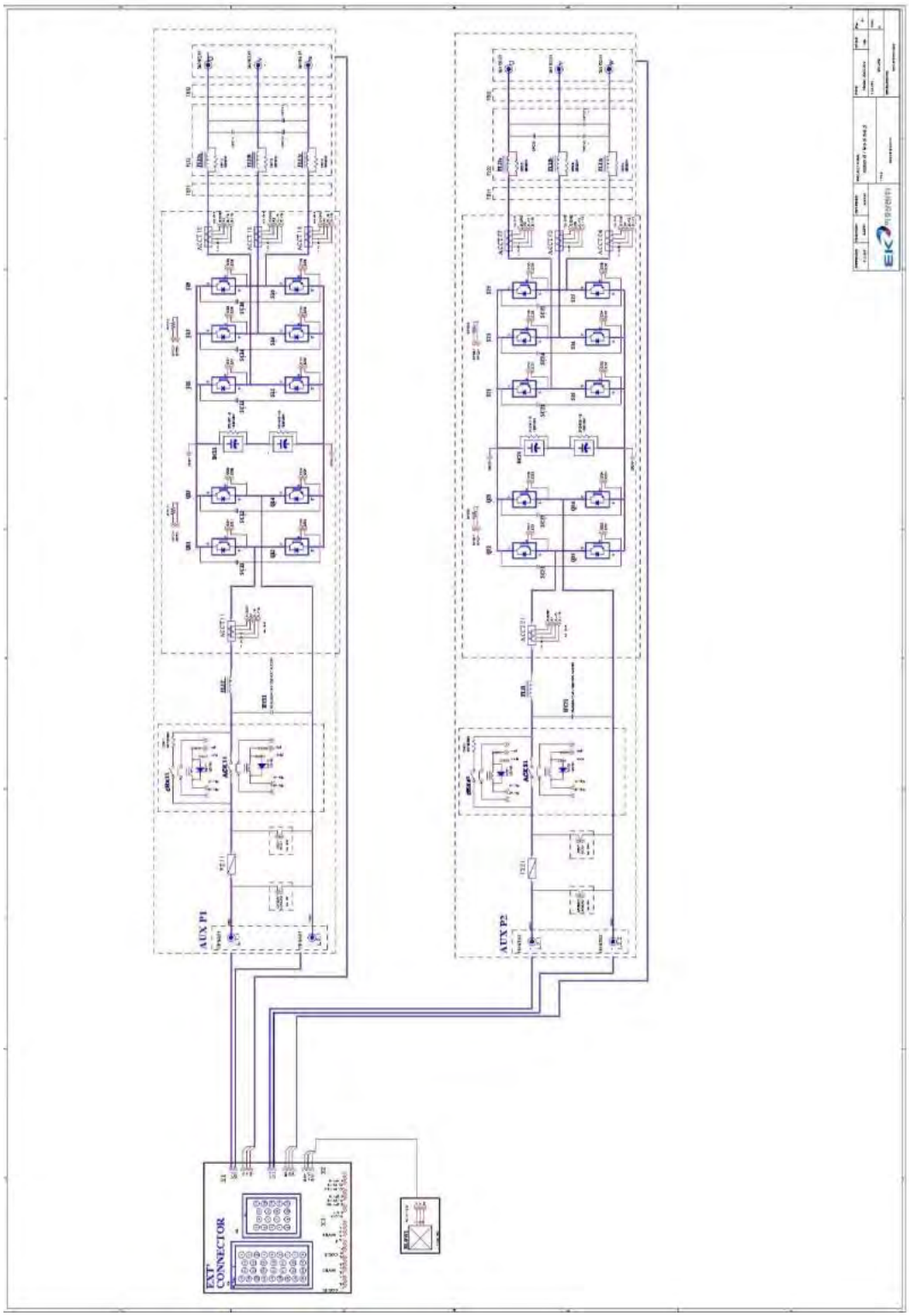


그림 481. 보조전원장치 PWM전력스택 전력블록도

(아) 보조전원장치 MVB통신 기존자료 조사 및 분석

① SIBCOS 통신장치

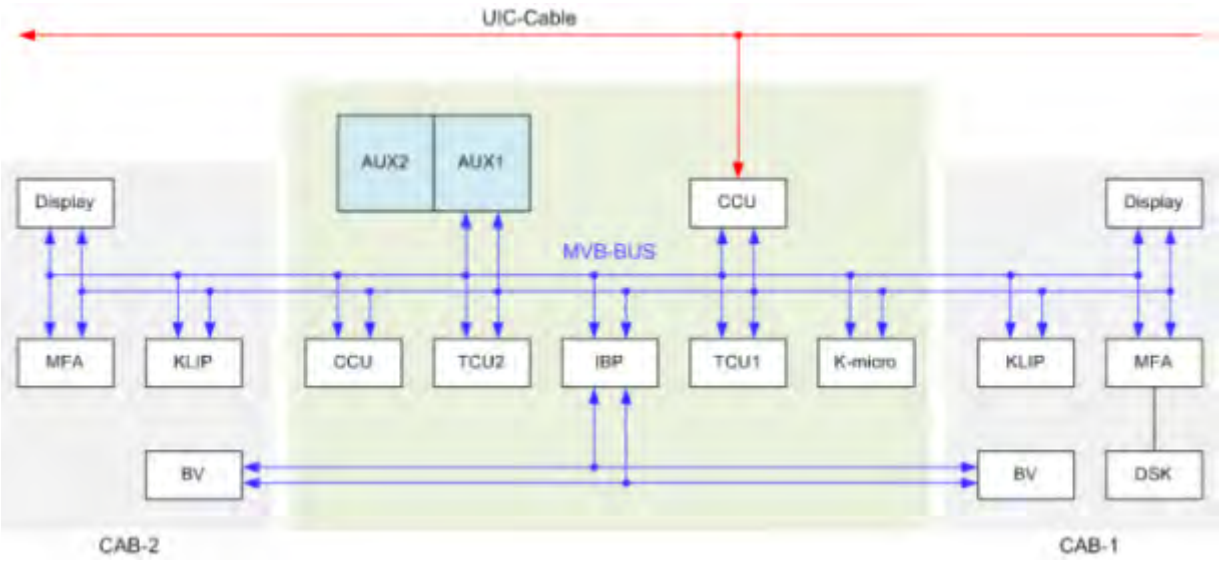


그림 482. 8200호대 전기기관차 MVB 통신 연결도

보조전원장치는 위의 그림과 같이 인버터함 내에서 외부통신을 위한 전용기기인 SIBCOS 통신장치의 하부에 직렬통신 라인으로 연결되어 있다. MVB 버스와 연결되어 명령을 수신하거나 상태를 보고하는 것은 인버터 상위기기인 SIBCOS이다. 보조인버터 각각에 SIBCOS 통신장치가 연결되어 있으며 상호간에도 연결이 되어 있어서 한 대의 SIBCOS에 고장이 발생하여도 정상동작 중인 SIBCOS 장치가 두 대의 인버터를 각각 제어하는 것이 가능하다.

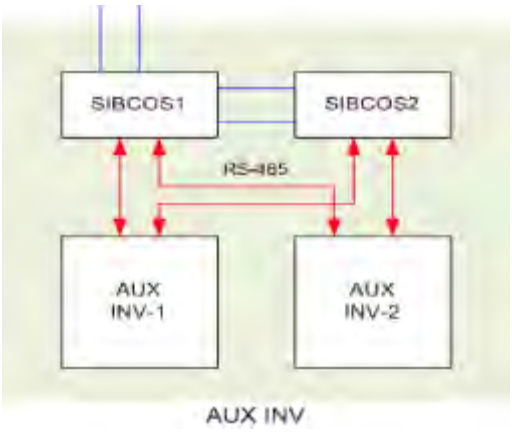


그림 483. 보조인버터 내부통신라인 구성

② 보조전원장치 MVB-BUS 송수신 데이터

표 101. MVB-BUS 수신 데이터 분류(CCU->AUX INV)

형 식	수 신	내 용
N2	보조전원-11 주파수 설정 명령	출력전류의 주파수 설정요구
N2	보조전원-11 주파수 경사 명령	주파수 증감 경사도 설정요구
N2	보조전원-12 주파수 설정 명령	출력전류의 주파수 설정요구
N2	보조전원-12 주파수 경사 명령	주파수 증감 경사도 설정요구
B1	보조전원-11 전원투입 명령	
B1	보조전원-11 전원차단 명령	
B1	보조전원-11 사용가능 명령	
B1	보조전원-12 전원투입 명령	
B1	보조전원-12 전원차단 명령	
B1	보조전원-12 사용가능 명령	
B1	보조전원-11 PWM 전원투입 명령	
B1	보조전원-12 PWM 전원투입 명령	

표 102. MVB-BUS 송신 데이터 분류(CCU<-AUX INV)

형 식	송 신	내 용
N2	보조전원-11 주파수	현재 동작 주파수
N2	보조전원-11 주파수 설정값	현재 설정값
N2	보조전원-12 주파수	현재 동작 주파수
N2	보조전원-12 주파수 설정값	현재 설정값
B1	보조전원-11 작동 준비	
B1	보조전원-11 NFB(31-F01)가 투입	
B1	보조전원-12 작동 준비	
B1	보조전원-12 NFB(31-F02)가 투입	
B1	보조전원-11 보조전원장치 전원투입	
B1	보조전원-11 TPCB 유발	
B1	보조전원-12 보조전원장치 전원투입	
B1	보조전원-12 TPCB 유발	

(자) 보조전원장치 모니터링시스템의 설계

① 설계조건

㉮ 차량 인터페이스

MVB 통신을 이용하여 TCU(Traction Control Unit : 견인제어장치)와 인터페이스한다. 장치의 주요 기능 및 상세 내용은 공동연구기관 ㈜앤츠의 문서를 참조한다.

㉯ 모니터링 시스템

인버터 장치의 상태정보, 즉 입출력 전압, 전류, 주파수, 각종 입출력의 상태 및 고장 정보를 확인하기 위한 모니터링 시스템을 설계한다.

㉰ 표시부

상태를 모니터링하기 위하여 VFD(Vacuum Fluorescent Display : 진공형광 표시장치)로 구성된 표시장치를 포함시킨다. 직관적인 상태의 확인을 위한 다수 개의 LED를 포함한다. 정보 입력을 위한 다수 개의 Key 스위치를 사용한다.

㉱ 통신 매개체

인버터 장치와는 RS485 직렬통신을 사용한다. 모니터링 장치의 디버깅을 위한 별도의 RS232C 직렬포트도 포함시킨다.

㉲ 전원시스템

인버터 시스템의 신뢰도가 최우선이므로 모니터링 장치는 별도의 전원 시스템을 구축한다. MVB용 통신 보드도 본 전원을 이용하여 본체와의 간섭을 최소화 한다.

② 모니터링시스템 구성도

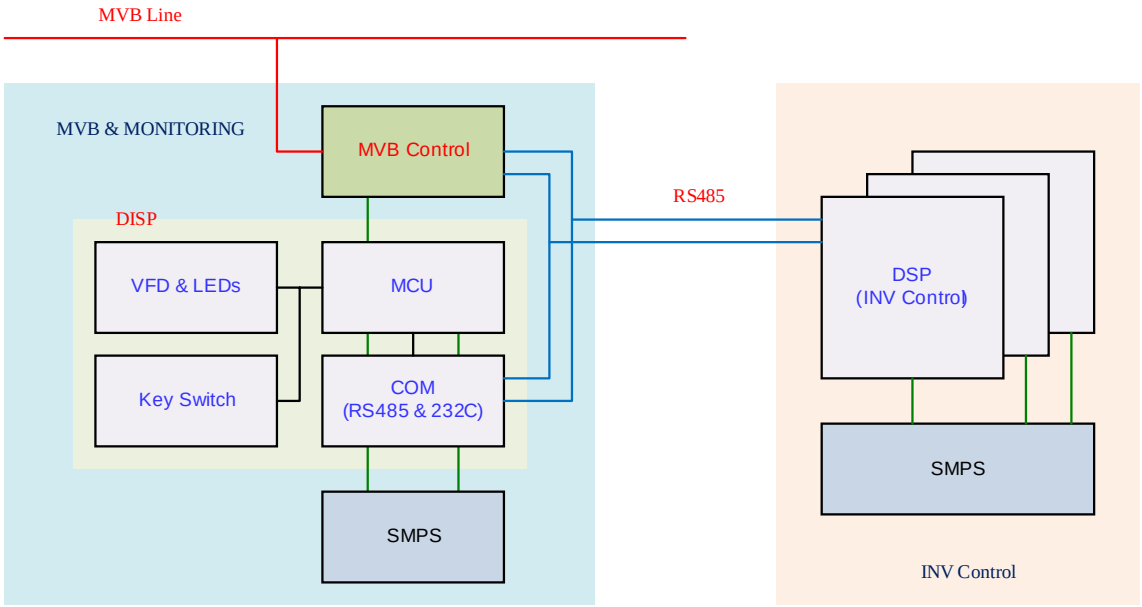


그림 484. 보조전원장치 모니터링 시스템 구성도

③ 모니터링시스템의 기능 및 특징

㉮ MVB 통신 카드

- 차량과 고속통신 수행
- 보조전원장치의 기동, 정지, 출력전압/주파수 변경과 관련된 명령을 보조전원장치 제어기에 전송하고 상태정보를 입력하여 차량 컴퓨터에 전송
- PCB(Printed Circuit Board : 인쇄회로기판)의 규격은 3U size로 설계



그림 485. MVB 통신카드 예시품(앤츠 제공)

㉯ 모니터링 장치

- 사용자의 편의성 증대를 위해 보조전원장치의 상태정보를 직렬통신을 이용하여 취득한 후 표시장치에 표시
- 입출력 전압/전류, 주파수, Contactor상태, 고장발생시 고장메모리에 기록된 내역 등을 표시하고 LED를 사용하여 직관적인 인버터 동작 상태의 확인이 가능
- TEXT 기반의 VFD를 적용하여 다수의 정보를 하나의 화면에서 선명하게 전달하는 것이 가능
- 3U size의 규격화된 PCB로 제작
- 3개의 스위치를 장착하여 다양한 정보의 선택이 가능하도록 설계

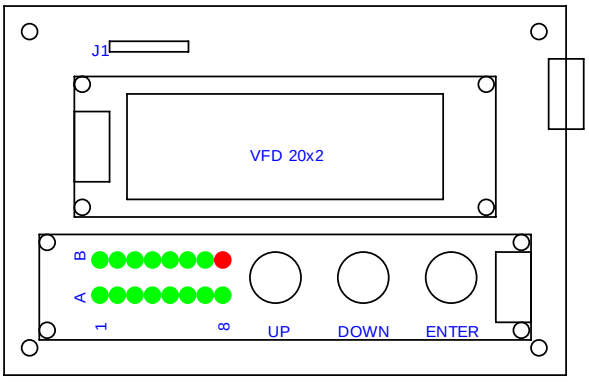


그림 486. 모니터 MMI(man-machine Interface) 구성도

㉰ 직렬 통신부

- 보조전원장치 제어기, MVB통신카드와 공통의 직렬 RS485 버스를 사용하여 통신라인을 간소화 함

- 절연된 RS485 통신버스를 사용하여 보조전원장치에서 발생하는 전력 노이즈의 유입을 최소화
- 보조전원장치 제어기가 마스터로 동작하고 MVB 통신장치는 슬레이브-1, 모니터 장치를 슬레이브-2로 구성함으로써 상호간 통신 간섭을 배제
- RS485 와는 별개로 디버깅을 위한 별도의 RS232C 직렬포트를 추가로 포함시킴

㉲ SMPS(Switching Mode Power Supply : 전원공급장치)

표 103. SMPS(MVB통신카드 및 모니터링장치 전원공급용) 사양

항 목	내 용	비 고
입력전압	110Vdc	70 ~ 140Vdc
출력전압	24V / 1.5A	방열용 FAN 구동
	5V / 2.5A	MVB 통신장치 및 모니터링 장치용
Size	3U	100[L] x 160[W] mm



그림 487. SMPS(MVB통신카드 및 모니터링장치 전원공급용)

④ 모니터링시스템의 통신규격

표 104. MVB통신카드 및 모니터링 장치 통신규격

구 분	항목	내 용	비 고
MVB통신카드 ⇔ 보조전원장치	통신방식	RS-485 2-line방식	
	통신속도	19200bps	1s, 8b, np, 1s
	통신주기	250msec polling	Master = 보조전원장치
	Protocol	Master-Slave 형식	Modbus 방식
	Address	2xH	MVB통신카드 주소
모니터링장치 ⇔ 보조전원장치	통신방식	RS-485 2-line방식	
	통신속도	19200bps	1s, 8b, np, 1s
	통신주기	250msec polling	Master = 보조전원장치
	Protocol	Master-Slave 형식	Modbus 방식
	Address	3xH	모니터링장치 주소

⑤ DATA FORMAT

㉮ Data frame

No	길이	항목	내용	비고
1	3byte	Data header	송신 데이터에 대한 시작 및 정보	
2	가변	Data body	데이터 내용	
3	2byte	Data footer	검사 및 송신데이터의 끝	

STX(1)	ADR(1)	LEN(1)	Data(nn)	BCC(1)	ETX(1)

㉯ Data header

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	STX								
1	ADR								
2	LEN								

No	길이	항목	내용	비고
1	1byte	STX	[02H] Start of Text	
2	1byte	ADR	[2xH] MVB 통신카드 주소(SIBCOS) [3xH] 모니터링장치 주소(MON)	
3	1byte	OPC	01H ~ FFH(Only data bytes)	

㉰ Data footer

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	BCC								
1	ETX								

No	길이	항목	내용	비고
1	1byte	BCC	Block Checksum ADR+LEN+Data(0)+ ...+Data(x) (XOR연산)	
2	1byte	ETX	[03H] End of Text	

㉮ Data Body

- AUXn → MVB(SIBCOS)

제목	AUXn --> MVB(SIBCOS)	통신방법	RS485 2선식
송신장치	보조전원장치	수신장치	MVB통신카드(SIBCOS)

NO	데이터 종류	내용	송신주기
1	장치 상태정보	보조전원장치의 상태정보를 전송한다.	0.5초

구분	ADR	LEN	내용
REQ(0)	20H	16	AUX1 상태정보 전송(AUX1→MVB(SIBCOS))
	21H	16	AUX2 상태정보 전송(AUX2→MVB(SIBCOS))

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	OP Code								
1	INV_FLT	CONV_FLT	INV_ON	CONV_ON	AUX_RUN	ACV_LV	H_FLT	L_FLT	
2	spare							OTH_FLT	
3	VIN (Input Voltage)								
4	VOUT (Output Voltage)								
5	OFreq (Output Frequency)								
6~15	spare								

제목	보조전원장치 상태정보	Block크기	16byte
송신장치	보조전원장치	수신장치	MVB통신카드(SIBCOS)

NO	항목	내용	크기
1	OP Code	보조전원장치 일반정보전송 (normal : 00H)	1byte
2	L_FLT	Light Fault(경고장) - 0(정상), 1(고장)	1bit
3	H_FLT	Heavy Fault(중고장) - 0(정상), 1(고장)	1bit
4	ACV_LV	입력저전압 - 0(정상), 1(저전압)	1bit
5	AUX_RUN	보조전원장치 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	1bit
6	CONV_ON	보조전원장치용 컨버터 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	1bit
7	INV_ON	보조전원장치용 인버터 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	1bit
8	CONV_FLT	보조전원장치용 컨버터 고장 - 0(정상), 1(고장)	1bit
9	INV_FLT	보조전원장치용 인버터 고장 - 0(정상), 1(고장)	1bit
10	OTH_FLT	보조전원장치 내부회로 고장 - 0(정상), 1(고장)	1bit
11	Spare	예비 (0)	7bit
12	VIN	입력전압 (0 ~ 500V) 2V/bit	1byte
13	VOUT	출력전압 (0 ~ 500V) 2V/bit	1byte
14	OFreq	출력주파수 (0 ~ 60.0Hz) 0.25Hz/bit	1byte
15	Spare	예비 (00H)	10byte

- MVB(SIBCOS) → AUXn

제목	MVB(SIBCOS) --> AUXn	통신방법	RS485 2선식
송신장치	MVB통신카드(SIBCOS)	수신장치	보조전원장치

NO	데이터 종류	내용	송신주기
1	장치 제어정보	보조전원장치의 제어정보를 전송한다.	0.5초

구분	ADR	LEN	내용
ANS(0)	20H	16	AUX1 제어정보 전송(MVB(SIBCOS)→AUX1)
	21H	16	AUX2 제어정보 전송(MVB(SIBCOS)→AUX2)

	7	6	5	4	3	2	1	0	bit No.
0	OP Code								
1	FREQ_CMD								
2~15	spare								

제목	보조전원장치 제어정보	Block크기	16byte
송신장치	MVB통신카드(SIBCOS)	수신장치	보조전원장치

NO	항목	내용	크기
1	OP Code	보조전원장치 운전모드	1byte
		0xH : 보조전원장치 정지	
		1xH : 보조전원장치 기동	
		x1H : 출력주파수 30.0Hz 설정	
		x2H : 출력주파수 60.0Hz 설정	
		x3H : 출력주파수 입력 모드	
2	FREQ_CMD	출력주파수 (2.0 ~ 60.0Hz) 1.0Hz/bit	1byte
3	Spare	예비 (00H)	14byte

- 보조전원장치의 기본 기동 설정은 2Hz 출력주파수로 기동함
- OP Code 전송 예시
  11H : 출력주파수 30.0Hz로 보조전원장치 기동

⑥ DATA FLOW

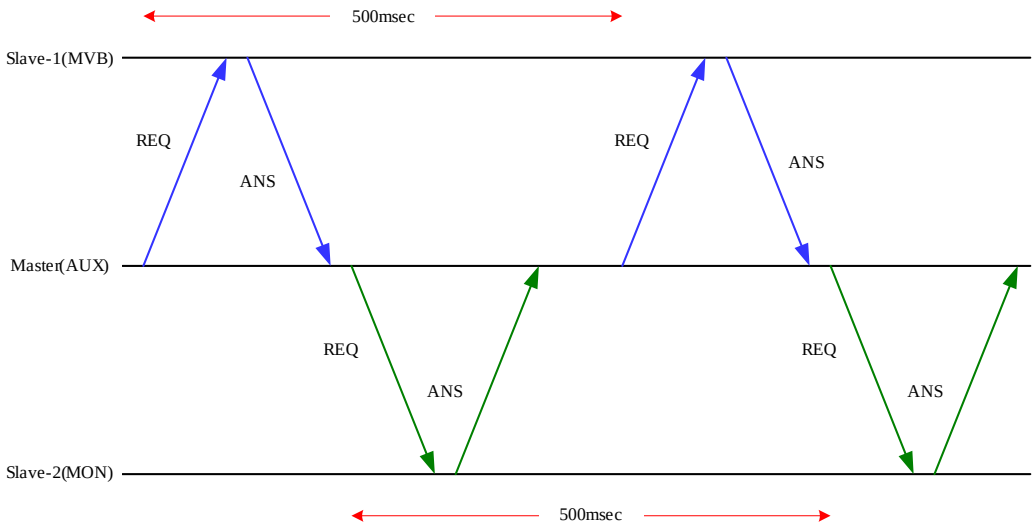


그림 488. 장치간 DATA 흐름도(정상상태)

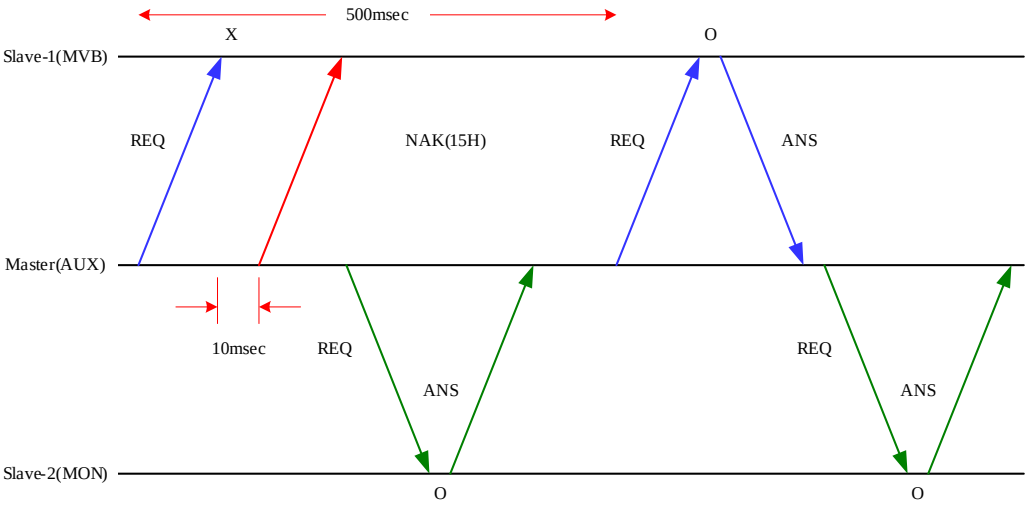


그림 489. 장치간 DATA 흐름도(통신 에러)

(2) 객차전원공급장치(HEP장치) 설계

① 기존장치의 조사 및 분석

전기기관차에는 기계실에 필요한 보조전력을 포함하여 객실용의 3상 서비스전력을 공급하기 위한 HEP(Head Electric Power) 장치가 부착되어 있어서 별도의 발전차량을 이용하지 않아도 연결된 객실에 전원을 공급할 수 있는 특징이 있다. HEP 장치는 객실에 서비스 전원을 공급하는 것을 목적으로 설계되었기 때문에 무가선 구간(Dead section)을 통과하더라도 지속적인 전원공급을 수행할 필요가 있다. 이에 따라 전기기관차는 무가선 구간에서는 차량의 관성을 이용하여 회생발전이 가능하도록 차량의 속도를 감속하고 이때 발생된 전력을 HEP 장치에 공급하여 연속적인 서비스 전원이 객차에 공급되도록 차량이 설계되어 있다.

② HEP 장치의 PWM 주파수 한계

주 변환장치의 DC 링크를 공유하도록 설계가 되었기 때문에 HEP 장치는 주변환장치의 컨버터/인버터 회로와 동일한 전력변환 스택이 사용된다. IGBT를 사용할 것을 감안하면 전력소자의 PWM 주파수는 기존이 300Hz보다는 높은 400~1kHz 이내의 주파수가 사용될 수 있다.

③ 필터 커패시터의 무효전류 감소 필요성

출력필터용 리액터는 별도의 외부 리액터 없이 주변압기함 내에 설치된 보조변압기의 누설인덕턴스를 사용하므로 매우 낮다. 이를 보상하기 위한 대규모의 커패시턴스는 무부하 상태에서도 수백 암페어의 무효전력을 발생시키며 하부 부하장치의 오동작과 관련된 문제가 제기되고 있다. 기존 장치에서는 낮은 PWM 주파수를 사용하므로 출력전압의 품질은 THD 10% 내외에서 동작되었다.

④ 기존장치의 파형 고찰

아래의 그림은 8231호 전기기관차의 HEP 장치 출력으로부터 수집된 정상상태 데이터 파형을 나타낸 것이다. 아래그림(a)에 나타난 바와 같이 출력전압의 품질은 정상상태에서는 THD 10% 이하지만 과도상태에서는 이보다 높은 THD 14% 정도의 전압왜곡이 발생하였다. 아래그림(b)는 커패시터에 흐르는 무효전류를 나타낸 것으로 부하의 유무와 무관하게 항상 300A를 초과한다. 그림에서 살펴본 바와 같이 전압파형의 품질도 문제이지만 매우 큰 무효전류는 커패시터의 열화를 가속하고 있어서 개선이 필요하다.

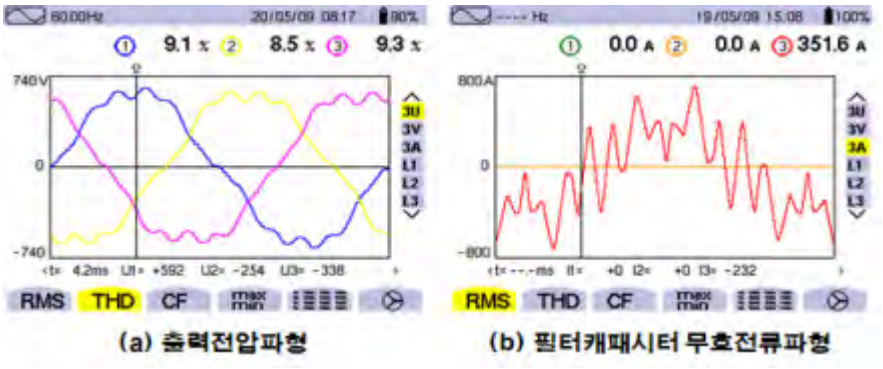


그림 490. 8231호 전기기관차 HEP 장치 출력파형

⑤ HEP 장치 설계사양 및 구성도

표 105. HEP 장치 설계사양(기존장치와의 비교)

구 분	항 목	기존 장치	개발 장치*
전력회로	사용 소자	GTO (4.5kV/2500A)	IGBT (4.5kV/1200A) 2병렬
	DC Link 전압	2400~2800V	2400~2800V
	PWM 주파수	300Hz	1kHz 이하
변압기	형식	Delta-Star(주변압기함 내)	좌동
	동작 주파수	60[Hz] ± 1[Hz]	좌동
	2차측 출력전압	440[V] ± 3%	좌동
	1-2차간(968V:440V) 전압비	2.2 :1	좌동
	1차측 누설 인덕턴스(800[Hz] 이하)	0.365[mH] ± 10%	좌동
	최대전력	415[kVA]	좌동
커패시터	커패시턴스	1.77[mF]	1.00[mF]
	커패시터 정격	129[kVar]/440[Vac]	
	필터형식	3상 LC 필터	좌동
출력전압	출력전압 왜곡률(THD)	10% 이하	8% 이하

*HEP 인버터장치는 우진산전 제작, HEP 출력장치는 이경산전 제작

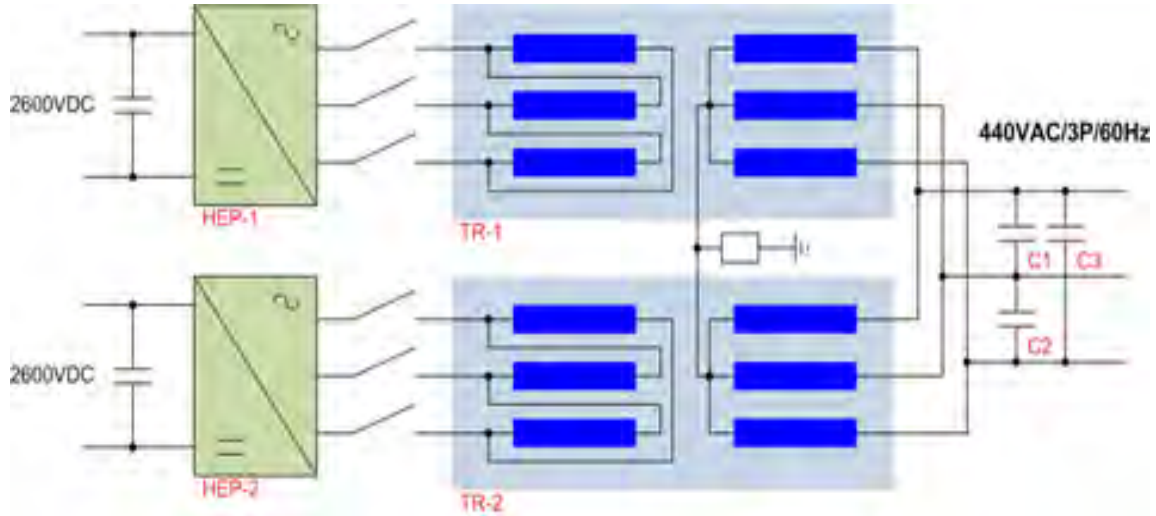


그림 491. 전기기관차 HEP 장치 구성도

⑥ HEP 장치 제어알고리즘 설계

㉮ SHEPWM(Selected Harmonics Elimination PWM)의 원리

PWM 방식을 사용하는 경우 출력파형에는 반드시 고조파가 발생한다. 스위칭 주파수가 높지 않은 경우 발생되는 고조파를 최소화하기 위해 스위칭 주파수를 기본주파수의 배수(m_f)에 맞추는 동기식 PWM이 일반적으로 사용된다. 고조파를 효과적으로 제거하기 위한 방안으로 SHEPWM 방법을 제안한다. 이 방식에서는 노치(Notch)라 부르는 미리 계산된 스위칭 각을 반주기 동안 사용하여 특정 고조파를 제거함과 동시에 출력전압의 크기를 제어할 수 있다. 이를 간단히 설명하면 아래와 같다. 일반적인 비정현 주기파의 푸리에 급수 전개는 다음과 같이 표시된다.

$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \tag{1}$$

출력되는 파형은 1/4 주기 간격으로 대칭되므로 기수(Odd) 고조파만으로 충분하다. 따라서 식 (2)는 다음과 같이 표현된다.

$$v(t) = \sum_{n=1,3,5,\ldots}^{\infty} b_n \sin n\omega t \tag{2}$$

$$b_n = \frac{4}{\pi}\int_0^{\pi/2} v(t)\sin n\omega t d\omega t \tag{3}$$

$v(t)$가 단위크기, 즉 $v(t) = \pm 1$이라고 가정하면 b_n은 식 (4)처럼 일반화가 가능하다.

$$b_n = \frac{4}{n\pi}[1 + 2(-\cos n\alpha_1 + \cos n\alpha_2 - \ldots + (-1)^K \cos n\alpha_K)]$$

$$= \frac{4}{n\pi}\left[1 + 2\sum_{k=1}^{K}(-1)^k \cos n\alpha_k\right] \tag{4}$$

식 (5)는 K개의 α각을 사용하여 기본파를 제외하고 총 $(K-1)$개의 특정고조파를 제거할 수 있음을 나타낸다. 3상 평형의 출력전압인 경우 3의 배수차 고조파는 발생하지 않는다. 따라서 예를 들어 4개의 α각을 사용하는 9펄스 출력의 경우 제거되는 고조파는 3개까지 제거가 가능하므로 3배수 고조파를 제외하면 5, 7, 11차의 고조파를 제거하는 것이 가능하다.

이상에서와 같이 SHEPWM 방식을 사용하면 고주파수의 스위칭 적용이 어려운 대전력용 IGBT의 경우에 효과적으로 고조파를 감소시킬 수 있는 최적의 PWM 방법이 될 수 있다.

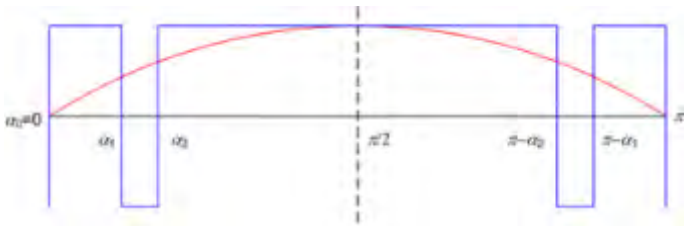


그림 492. SHEPWM 기법을 사용한 스위칭 파형

㉯ 캐패시터 무효전류의 감소 방안

LC로 구성된 저주파 차단용 필터회로에서 커패시터에 흐르는 무효전류는 아래의 식에 의하여 구할 수 있다.

$$I_{C_m} = j\omega_m C_F \bullet V_m \tag{5}$$

$$f_C = \frac{1}{2\pi\sqrt{3L_F C_F}} = 162.8Hz \tag{6}$$

여기서 w_m은 고조파주파수, V_m은 고조파전압의 크기이다. 식 (5)에 따르면 무효전류의 크기를 현재보다 감소시키기 위해서는 커패시턴스 값을 작게 해야 한다. 하지만 커패시턴스를 작게 하면 식 (6)에 의하여 필터의 차단주파수가 상승하므로 출력전압의 품질에 영향을 미칠 수 있으므로 적절한 범위로 제한되어야 한다. 무효전류의 크기를 현재 보다 30% 이상 감소시키는 것을 목표로 하면 커패시턴스의 값은 $1240_{\mu F}$ 이하가 되어야 한다. 예를 들어 커패시턴스를 $1200_{\mu F}$으로 하면 식 (6)에 의한 차단주파수는 197.7_{Hz}가 되는데 이는 3차 고조파인 180_{Hz}에 근접하므로 회피하는 것이 좋다. $1000_{\mu F}$의 경우 216.6_{Hz}로 3차 고조파로부터 36_{Hz} 이상 멀리 있으므로 이 값을 적정한 필터 커패시턴스로 선정하였다.

표 106. 기존 HEP 장치와 개발장치의 커패시턴스 변화 비교

항 목	기존 장치	개발 장치*
커패시턴스	1.77mF 델타 연결	1.0mF 델타 연결
무효전류 감소 목표	1.0PU	0.6PU 이하
필터 차단주파수	162.8Hz	216.6Hz

⑦ 시뮬레이션 및 결과

㉮ SHEPWM방법 시뮬레이션

시뮬레이션은 특정고조파제거방식(SHEPWM)을 구현하여 전력회로를 검증한다. 시뮬레이션을 위한 기초 파라메터는 표 3과 같다. 최적화 PWM에 대한 검증은 동일한 주파수의 SPWM(Sine PWM) 및 SVPWM(Space vector PWM)을 적용한 출력전압파형 및 캐패시터 전류를 SHEPWM 방식과 비교하여 우수한 특성을 보이는 방식을 정량적으로 비교하였다.

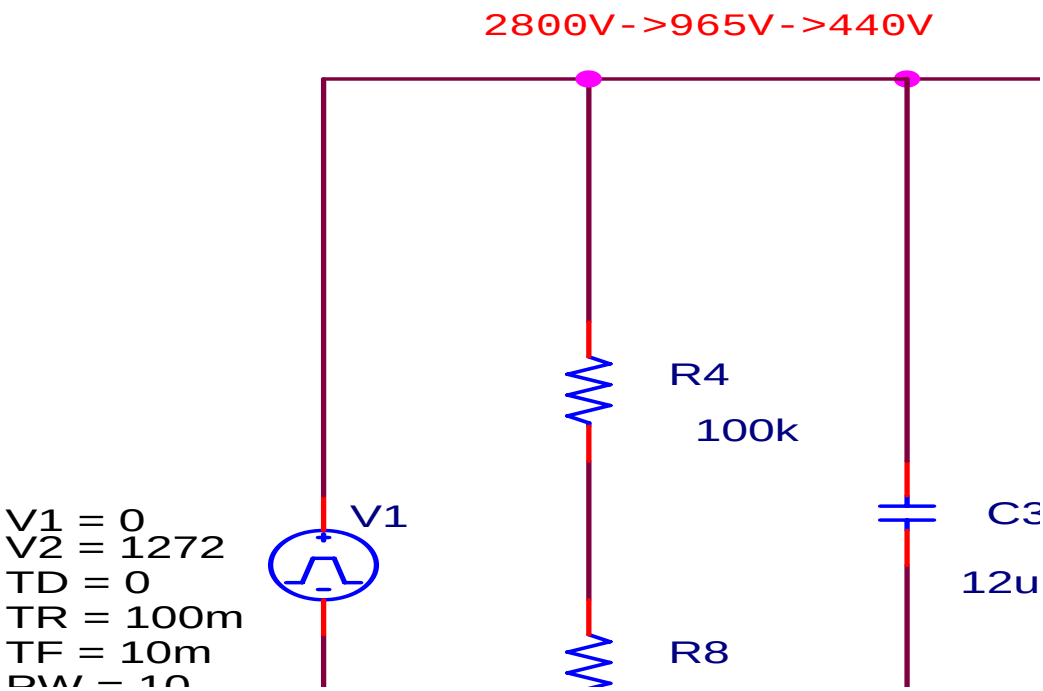


그림 493. 시뮬레이션 회로구성

표 107. 시뮬레이션을 위한 파라메터 설계값

항 목	설계값	비 고
PWM 변조방식-1	SHEPWM	특정고조파 제거
PWM 변조방식-2	SVPWM	공간벡터 방식
PWM 변조방식-3	SPWM	사인파 변조
주파수 변조지수	7, 9, 11	420, 540, 660Hz
전압 변조지수	0.52	
누설 인덕턴스	180uH	변압기 2차측
필터 캐패시턴스	1000uF	Δ 연결
필터 차단주파수	216.6Hz	3상 LPF
출력전압 / 주파수	440V/3상/60Hz	
부하	100kW	차량 유사 부하량

- 조건-1) 7펄스(420Hz) SHEPWM 적용

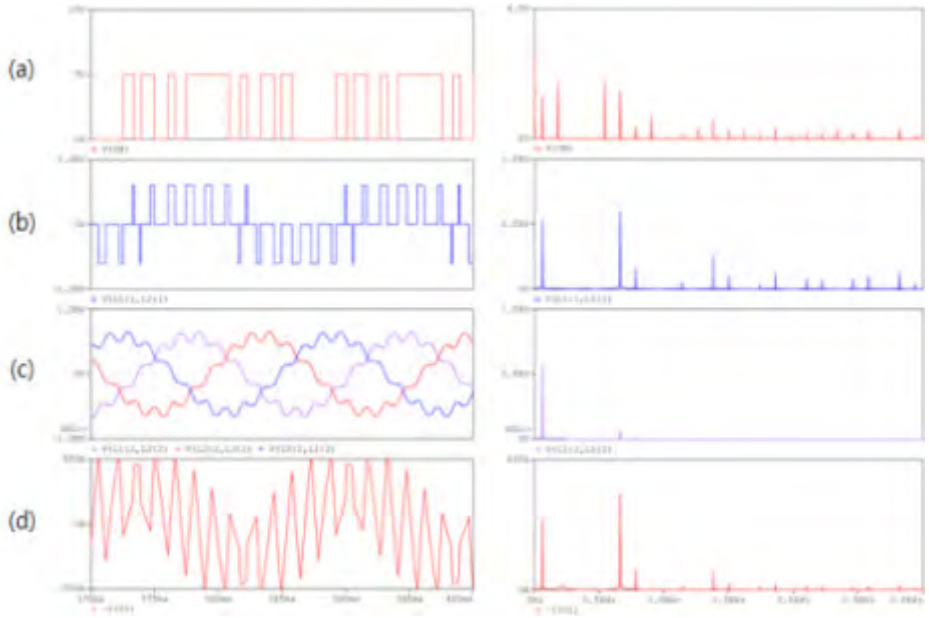


그림 494. 7 펄스 SHEPWM 적용시 부분 파형 및 FFT 결과

- 조건-2) 9펄스(540Hz) SHEPWM 적용

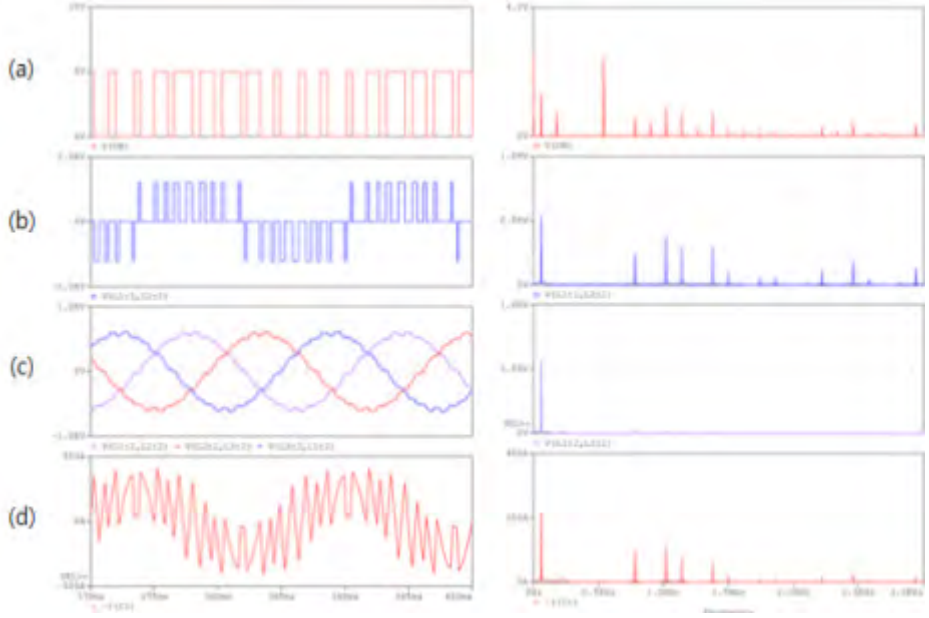


그림 495. 9펄스 SHEPWM 적용시 부분 파형 및 FFT 결과

- 조건-3) 11펄스(660Hz) SHEPWM 적용

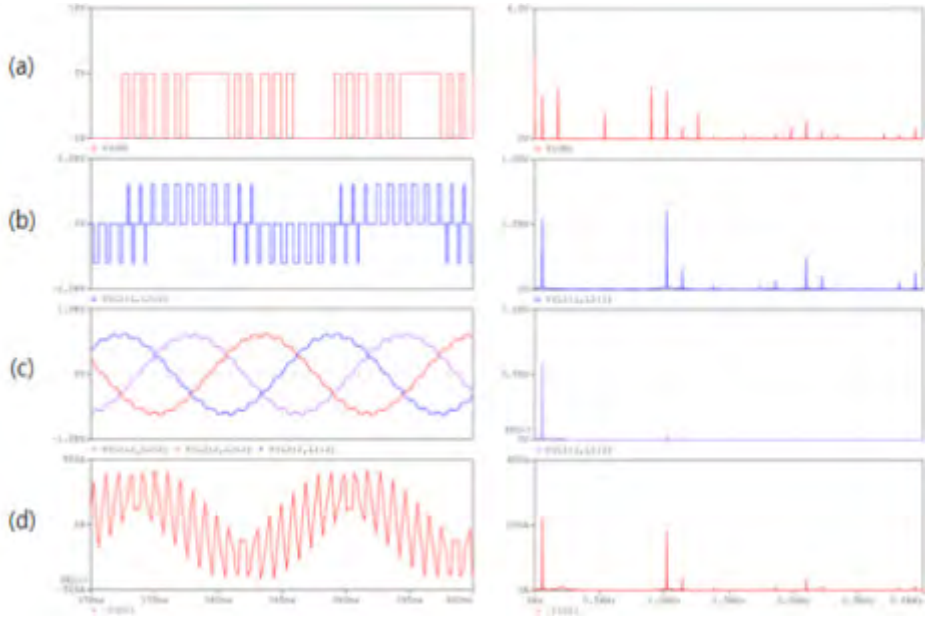


그림 496. 11펄스 SHEPWM 적용시 부분 파형 및 FFT 결과

- 조건-4) 11펄스(660Hz) SPWM 적용

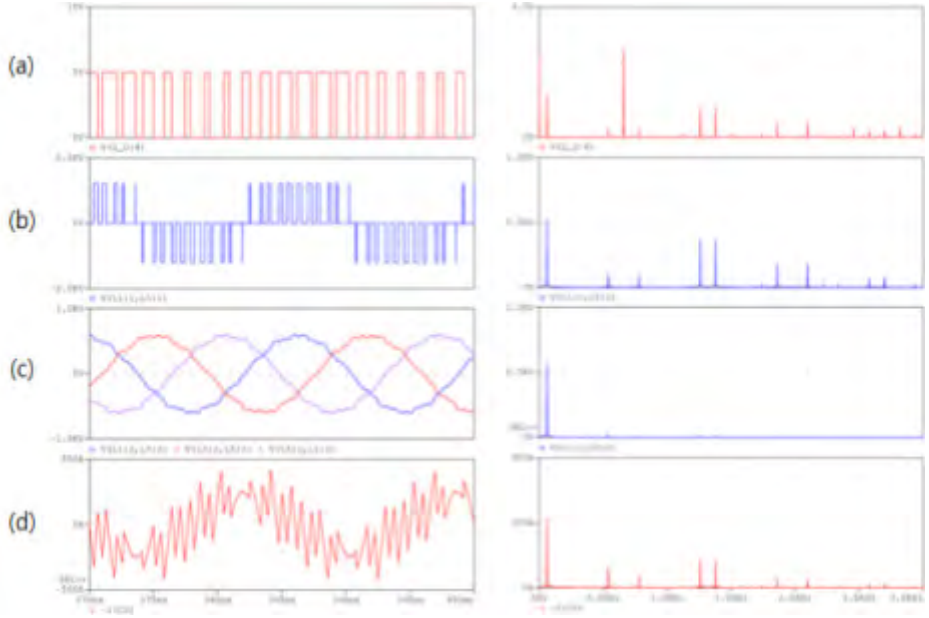


그림 497. 11펄스 SPWM 적용시 부분 파형 및 FFT 결과

- 조건-5) 11펄스(660Hz) SVPWM 적용

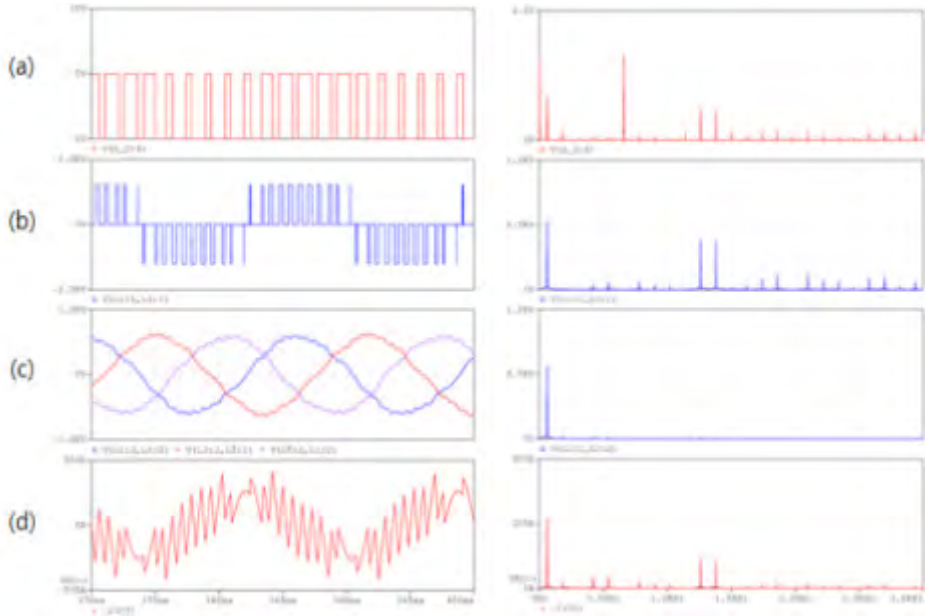


그림 498. 11펄스 SVPWM 적용시 부분 파형 및 FFT 결과

㈏ 시뮬레이션 파형분석

시뮬레이션은 모두 5가지 경우로 나누어 실시하였다. 각각의 경우에 대한 상호간의 비교를 위해 40차까지의 고조파전압을 측정한 후 왜곡률(THD)을 계산하였다. 특히 Case-4와 Case-5는 비교를 위해 일반적인 Sine PWM와 공간벡터 PWM의 경우에 대해서 결과를 나타낸 것이다.

표 108. 각 PWM 방법에 따른 출력전압 왜곡율(THD) 비교

변조방식	SHEPWM-7	SHEPWM-9	SHEPWM-11	SPWM-11	SVPWM-11
주파수(Hz)	420	540	660	660	660
THD(%)	15.0	8.7	5.16	9.0	14.1

㈐ 시뮬레이션 결과

본 설계에서는 8200호대 전기기관차에 적용되는 객차전원공급장치의 출력전압 품질향상과 필터캐패시터에 흐르는 무효전류의 크기를 감소시키기 위한 방법을 제시하였다. 이를 위하여 필터 캐패시턴스의 값을 새롭게 선정하였고 저속의 PWM 주파수를 적용한 최적의 PWM 방안을 도출하였다. 여러 가지 PWM 방식의 정량적 비교를 위해 시뮬레이션을 실시하였고 선정된 필터계수를 적용한 출력전압의 왜곡율을 계산하였다. 아래는 시뮬레이션을 통한 설계검증에서 얻어진 결과를 나타낸 것이다.

- 무효전류 저감 목적을 위해 기존의 1.77mF의 필터 캐패시턴스를 1.0mF로 40% 이상 감소하는 것이 가능하였다.
- SHEPWM 7 펄스 방식은 주파수는 낮으나 THD가 15%대로 적절하지 않다.
- SHEPWM 9 펄스 및 11 펄스의 경우 THD가 10% 미만으로 기존보다 전압품질을 개선 할 수 있었다.

- 특히 11 펄스의 경우 THD가 5%대로 매우 개선된 효과가 있으며 무효전류도 50% 이상 감소되었다.
- 낮은 PWM 주파수를 사용하는 경우 SHEPWM > SPWM > SVPWM 방식의 순으로 효과가 있음을 확인하였다.

표 109. 시뮬레이션 결과 비교

구 분	조 건	결과 고찰
case-1	7펄스 SHEPWM	α각이 2개 적용된 7펄스의 경우로 고조파는 11차(660Hz)에서부터 발생되지만 고조파 전압의 크기가 기본파보다도 더 크고 필터링 이후에도 완전히 제거되지 않아서 출력전압에 많은 고조파가 포함되었고 15%의 THD가 계산되었다.
case-2	9펄스 SHEPWM	3개의 α각을 사용한 9펄스의 경우를 시뮬레이션한 것이다. 기본파 이후 처음 발생한 고조파는 13차(780Hz)이고 고조파의 크기는 7펄스의 경우보다 훨씬 감소된 형태로 나타났다. 필터링 이후의 전압파형도 매우 양호해서 THD는 8% 대에서 계산되었다.
case-3	11펄스 SHEPWM	11펄스 SHEPWM을 적용한 경우로 4개의 α각을 사용하였다. 17차(1020Hz) 이후의 고조파가 발생되며 차단주파수에서 충분히 멀리 있어서 THD는 5% 대에서 계산되었다.
case-4	11펄스 SPWM	SPWM(Sine PWM)을 적용한 경우이다. 11펄스 660Hz의 스위칭 주파수에서는 이론적으로는 스위칭 주파수에 해당하는 660Hz 미만의 고조파를 제거 할 수 있다. 하지만 시뮬레이션에 나타난 바와 같이 전압벡터가 PWM 주기의 중간에 배치되는 Center aligned PWM을 적용하면 제거된 주파수의 앞뒤로 서브고조파가 발생하였다. 이로 인하여 출력전압에는 저차의 고조파가 섞이게 되므로 동일한 펄스를 사용한 SHEPWM의 경우보다 높은 THD가 발생하였다. 이 경우에서는 9%의 THD가 계산되었다.
case-5	11펄스 SVPWM	SVPWM(Space Vector PWM)을 적용한 경우이다. 공간 벡터 PWM 방식은 동일한 11펄스(660Hz)의 스위칭 주파수를 사용한 경우 중에서 가장 좋지 않은 결과를 얻었다. 계산된 THD는 14.1%로 이것은 7펄스(420Hz) SHEPWM의 경우와 유사하다. 출력전압파형은 3상이 일치되지 않은 형태로 나타났다. 이렇게 발생된 이유는 기준전압 파형이 Sine 형태가 아니므로 저주파수 스위칭에 의한 각 상전압 왜곡이 중첩된 것으로 유추된다.

⑧ HEP 출력장치 H/W설계

㉮ HEP 출력장치 3D모델링

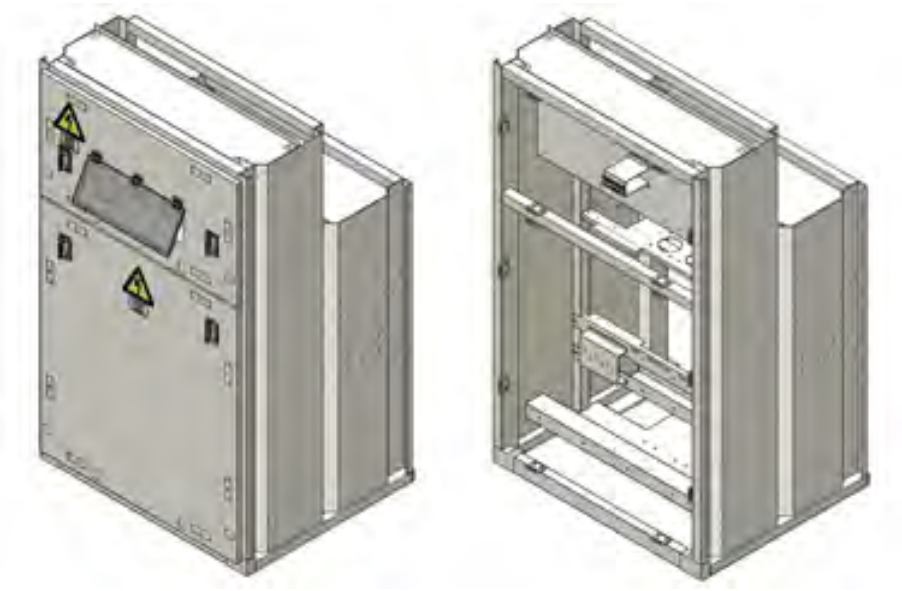


그림 499. 객차전원공급장치 외관 3D 모델

㉯ HEP 출력장치 제작도면

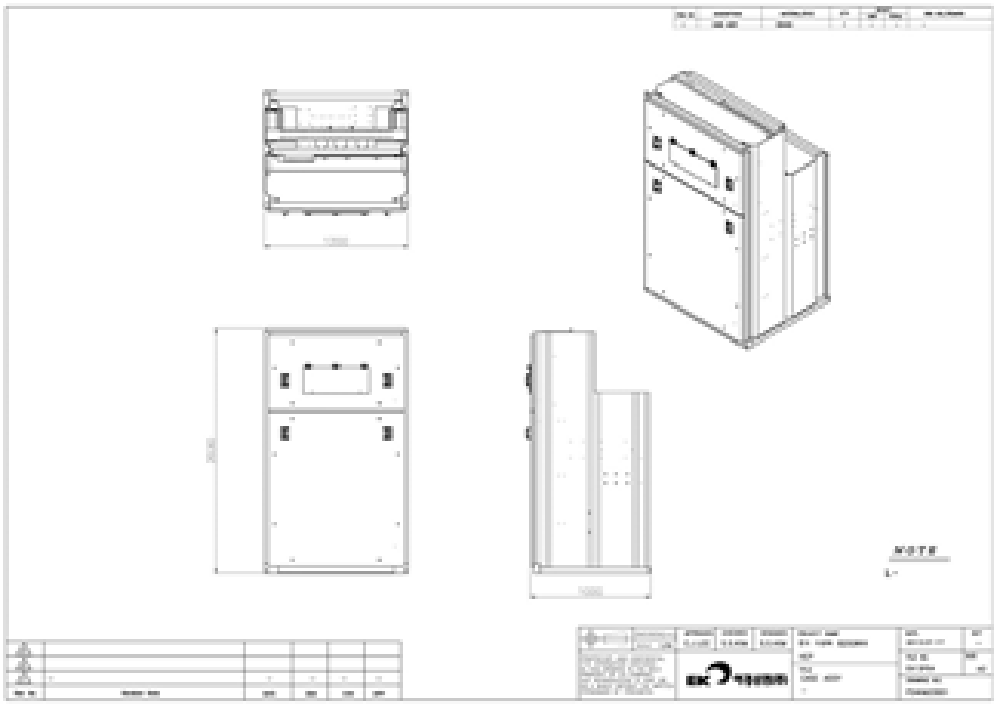


그림 500. 객차전원공급장치 제작도면(대표도)

라. 시작품 제작

(1) 보조전원장치

전기기관차에 적용되는 보조전원장치는 입력회로 및 송풍기, PWM전력스택, LCR필터(dv/dt제한필터), MVB통신 및 모니터링장치 등으로 구성되어 있으며, 보조전원장치 함에는 각각 90KVA 정격출력을 갖는 두 개의 동일한 인버터가 내장된다. 따라서 한 개의 보조전원장치를 설치한 기관차는 2×90KVA의 보조전원 출력을 갖는다. 보조전원장치의 모든 부품을 취부하는 외함은 추후에 변형이 발생하지 않도록 적절한 보강재를 사용하였으며, 외부로부터 습기나 먼지의 침입이 최대한 발생하지 않도록 방진, 방습구조로 제작되었다.



그림 501. 전기기관차용 보조전원장치(전면, 후면)

(가) 입력회로 및 송풍기

보조전원장치의 입력회로는 입력전원의 차단 및 투입을 위한 회로이며 휴즈, 주접촉기, 보조접촉기, 초기충전저항, 입력필터용 리액터로 구성된다. 보조접촉기 및 저항을 통해 초기충전을 한 다음 주접촉기를 투입하여 전원을 공급한다. 또한 장치에 문제가 발생한 경우 접촉기를 차단하여 장치를 보호한다. 송풍기는 전력스택 및 입력 리액터, LCR필터(dv/dt제한필터)의 온도상승을 제한하기 위한 냉각장치이다. 주요 구성품의 사양은 다음과 같다.

표 110. 보조전원장치 입력회로 구성품 및 송풍기 사양

품 명	사 양	수 량	비 고
휴즈	1000V / 350A	2	
주접촉기	440V / 120A	2	3병렬 결선
보조접촉기	440V / 20A	2	3병렬 결선
초기충전용 저항	4.7Ω / 300W	2	
입력필터용 리액터	2.5mH / 350A	2	
송풍기	3상 440V	1	

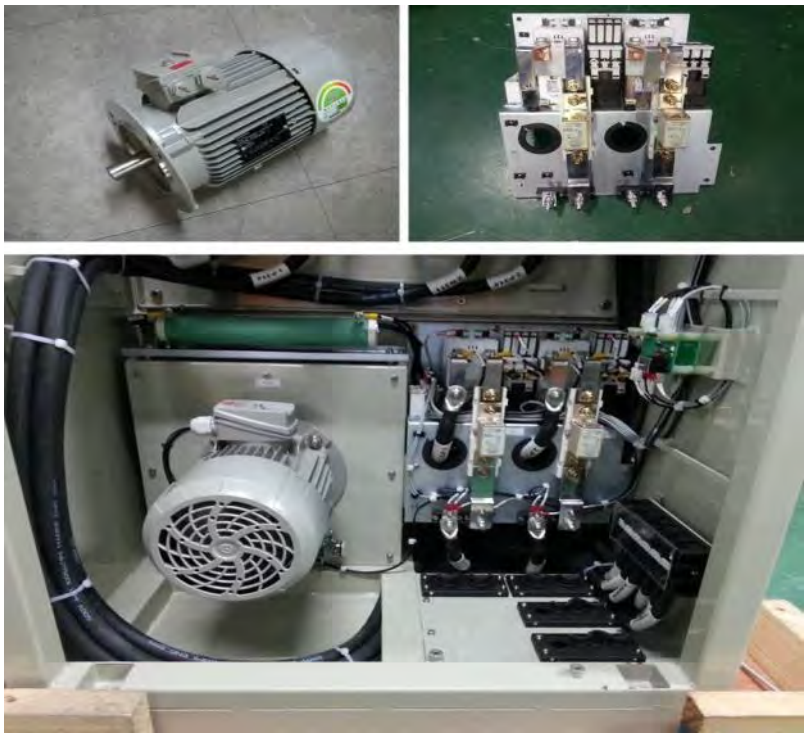


그림 502. 보조전원장치 입력회로 및 송풍기

(나) PWM전력스택

PWM전력스택은 보조전원장치 안에 두 개가 취부되며, 주요 구성품으로는 IGBT, GDU(Gate Drive Unit), 스너버 캐패시터, DC Link 캐패시터, 입출력CT(Current Transducers) 등으로 전력스택의 각 소자들은 전용방열판에 취부 및 조립이 용이하도록 배치하였으며, 냉각효율을 높일 수 있는 구조로 제작된다.

표 111. PWM전력스택 주요구성품

품 명		사 양	수 량	비 고
IGBT	컨버터부	1200V / 600A	8	2set 기준
	인버터부	1200V / 400A	12	
입력 CT		600A(펄스 ± 1800A)	2	
출력 CT		150A	6	
스너버 캐패시터		4.7uF / 1700V	10	
DC Link 캐패시터		470uF / 400V	32	
Gate Drive Unit(GDU)		PWM전력스택 IGBT 전용 (EK개발품) - IGBT 고장감지 회로 탑재 - IGBT 일체형으로 불필요한 배선 제거	10	



그림 503. 보조전원장치용 PWM전력스택

(다) PWM전력스택 전용 제어기

PWM전력스택 전용 제어기는 전력스택의 DC Link 커패시터 뱅크에 각각 취부되며, 제어 전원 공급용 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 디지털 입출력 신호처리용 DIO(Digital In/Out Unit), 전압/전류 센서의 아날로그 신호처리에 필요한 SIF(Signal Interface Unit), 장치제어 및 상태정보 수집을 위한 MCU(Main Control Unit)로 구성된다.

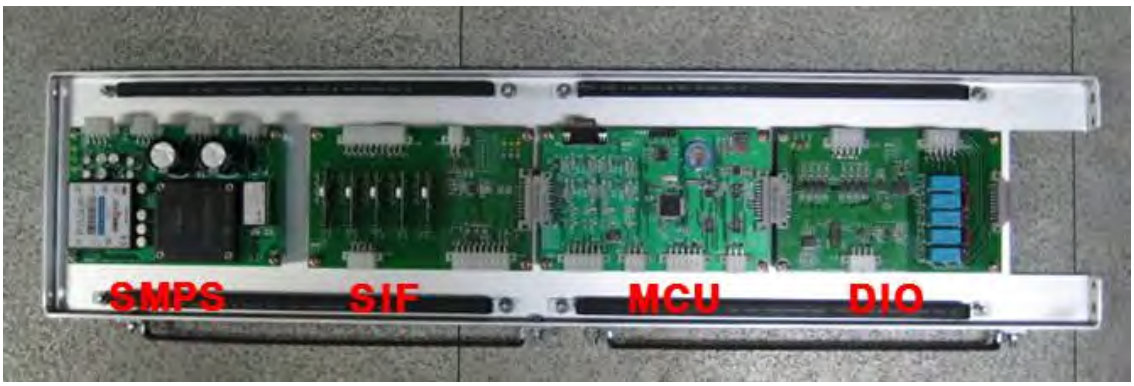


그림 504. PWM전력스택 전용제어기

표 112. PWM전력스택 전용제어기 구성품 사양

품 명	사 양	수 량	비 고
SMPS	- 입력전원 : DC 110V(40～140V) - 출력전원 : DC 24V, DC ±15V, DC 5V - 정격출력 : 20W(최대)	2	2set 기준
DIO	- 절연된 디지털 입력 포트 8채널 - 절연된 디지털 출력 포트 5채널 - 입출력 확인용 LED - 절연 CAN 통신 및 485통신 포트 내장	2	
SIF	- 고압/대전류 아날로그 신호처리 포트 내장	2	
MCU	- 32bit DSP를 사용한 일체형 PCB구조 - RS232C를 이용한 모니터링 통신기능 - 16채널, 10bit ADC 회로 내장 - 동작 및 고장정보 기록을 위한 메모리	2	

(라) LCR필터(dv/dt제한필터)

LCR필터는 PWM전력스택을 통해 발생하는 출력전압의 급격한 dv/dt를 제한함으로써 인접기기에 대한 고주파 간섭을 회피할 수 있는 장치이며, dv/dt제한필터라고도 한다. 구성품은 출력필터용 리액터, 필터저항, 필터커패시터이다.

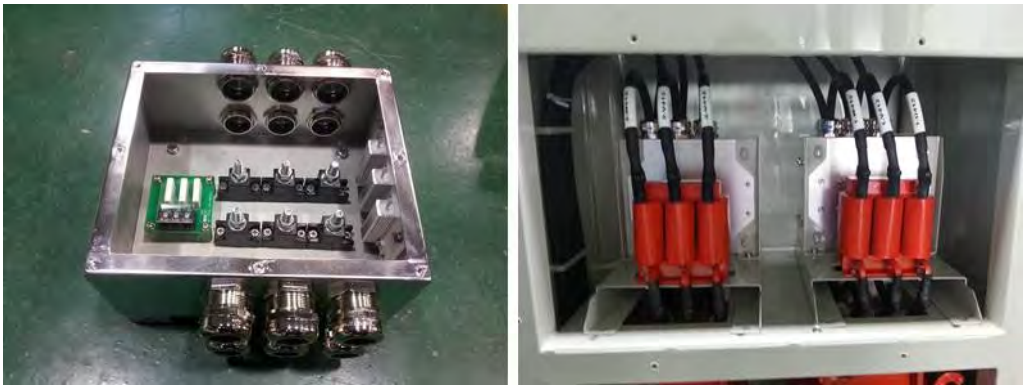


그림 505. LCR필터(dv/dt제한필터)

표 113. LCR필터(dv/dt제한필터) 구성품

품 명	사 양	수 량	비 고
출력필터용 리액터	0.04mH / 120A (3상)	2	2set 기준
필터저항	33Ω/ 50W	6	
필터커패시터	0.022uF / 1000V(3상 델타)	6	
필터 외함	스테인리스 외함	2	

(마) MVB통신 및 모니터링장치

MVB(Multi-function Vehicle Bus)통신 및 모니터링장치는 상위 제어기인 CCU(Central Control Unit : 중앙제어장치)와 통신을 통한 보조전원장치의 동작제어 및 상태정보를 확인하기 위한 장치로 구성품은 아래와 같다.



그림 506. 보조전원장치 모니터링 장치

표 114. MVB통신 및 모니터링장치 구성품

품 명	사 양	수 량	비 고
MVB통신카드	- 32bit MCU, 16Mbit SRAM - MVB × 2, USB - RS232, RS485	2	2set 기준
모니터링 장치	- 32bit DSP 탑재 - Text 기반의 VFD - 동작표시용 LED 및 스위치 - RS485 및 디버깅용 RS232	2	
SMPS	- MVB통신카드 및 모니터링 장치 전원공급용 - 입력 : DC 110V - 출력 : DC24V, DC 5V	2	

(바) 시제품 제작도면

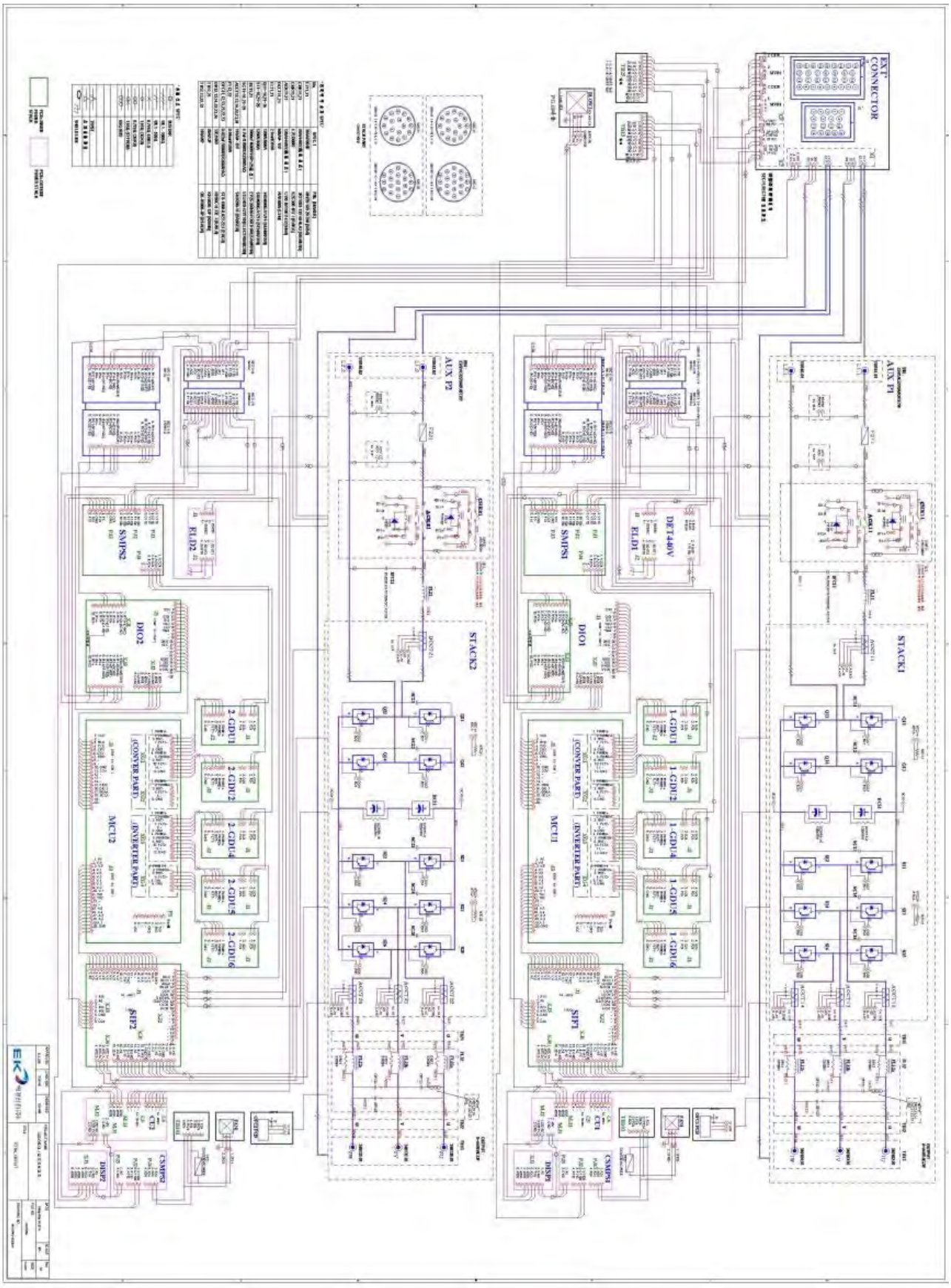


그림 507. 보조전원장치 주회로도

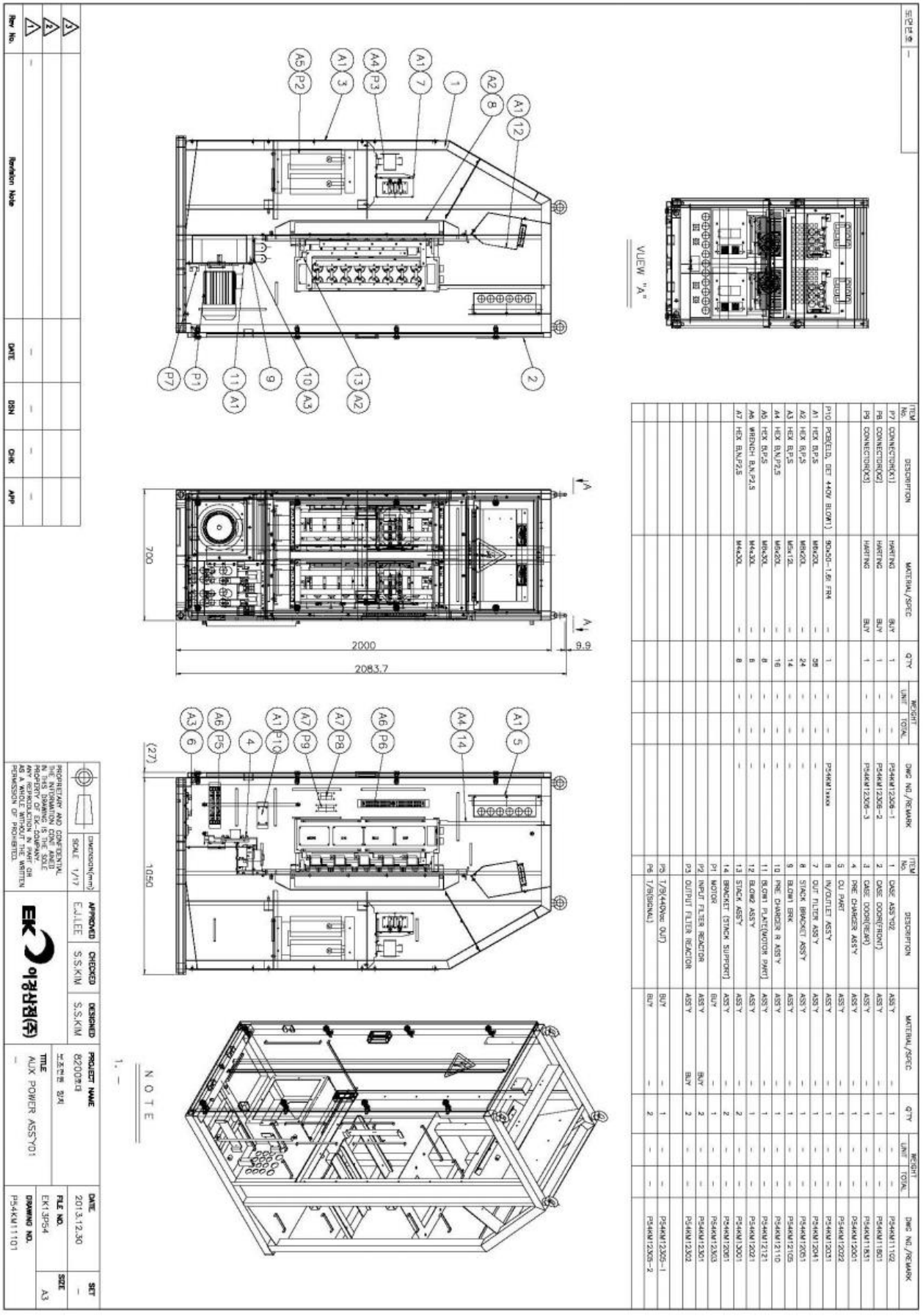


그림 508. 보조전원장치 제작도면 ASS'Y

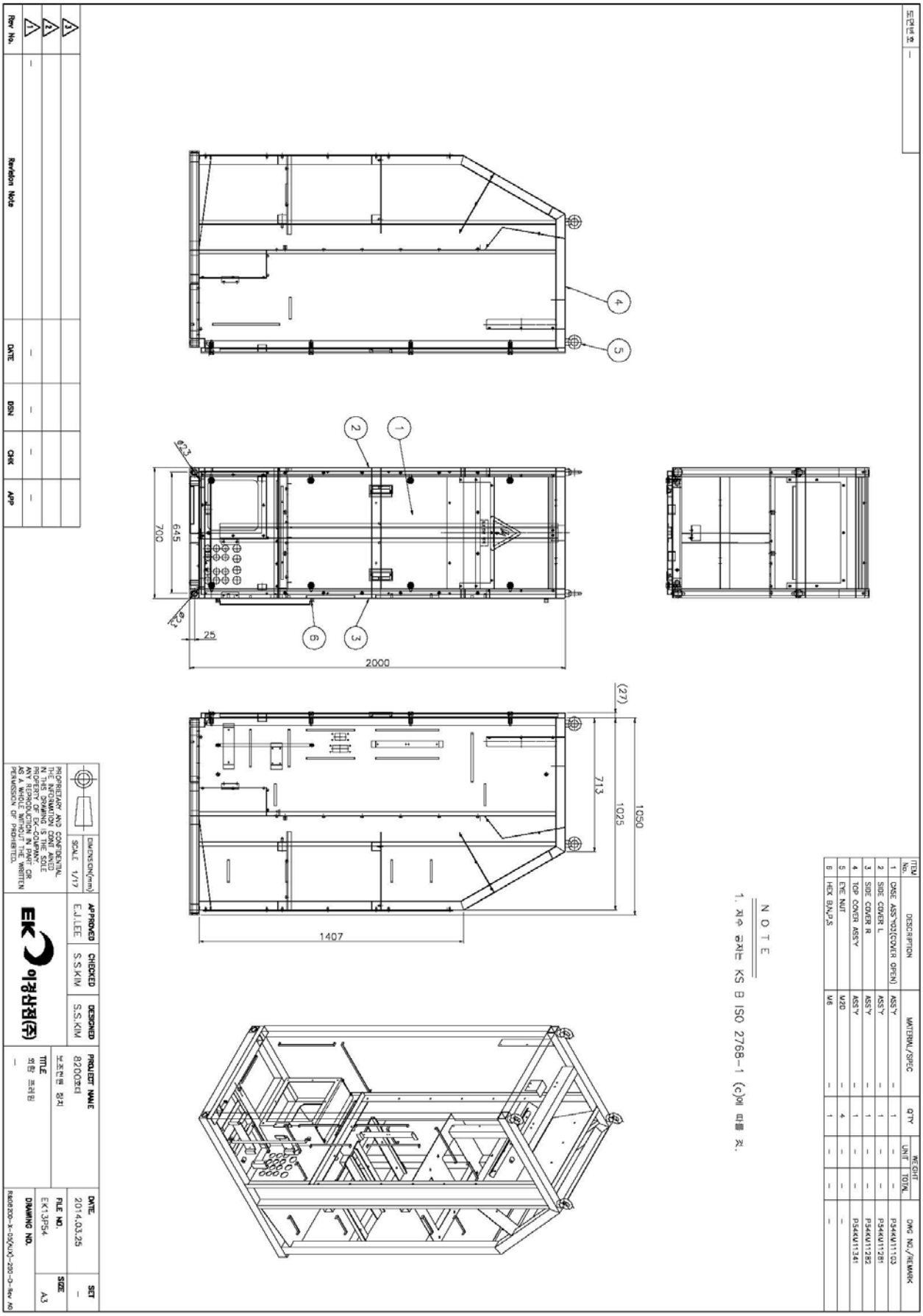


그림 509. 보조전원장치 외함제작도면

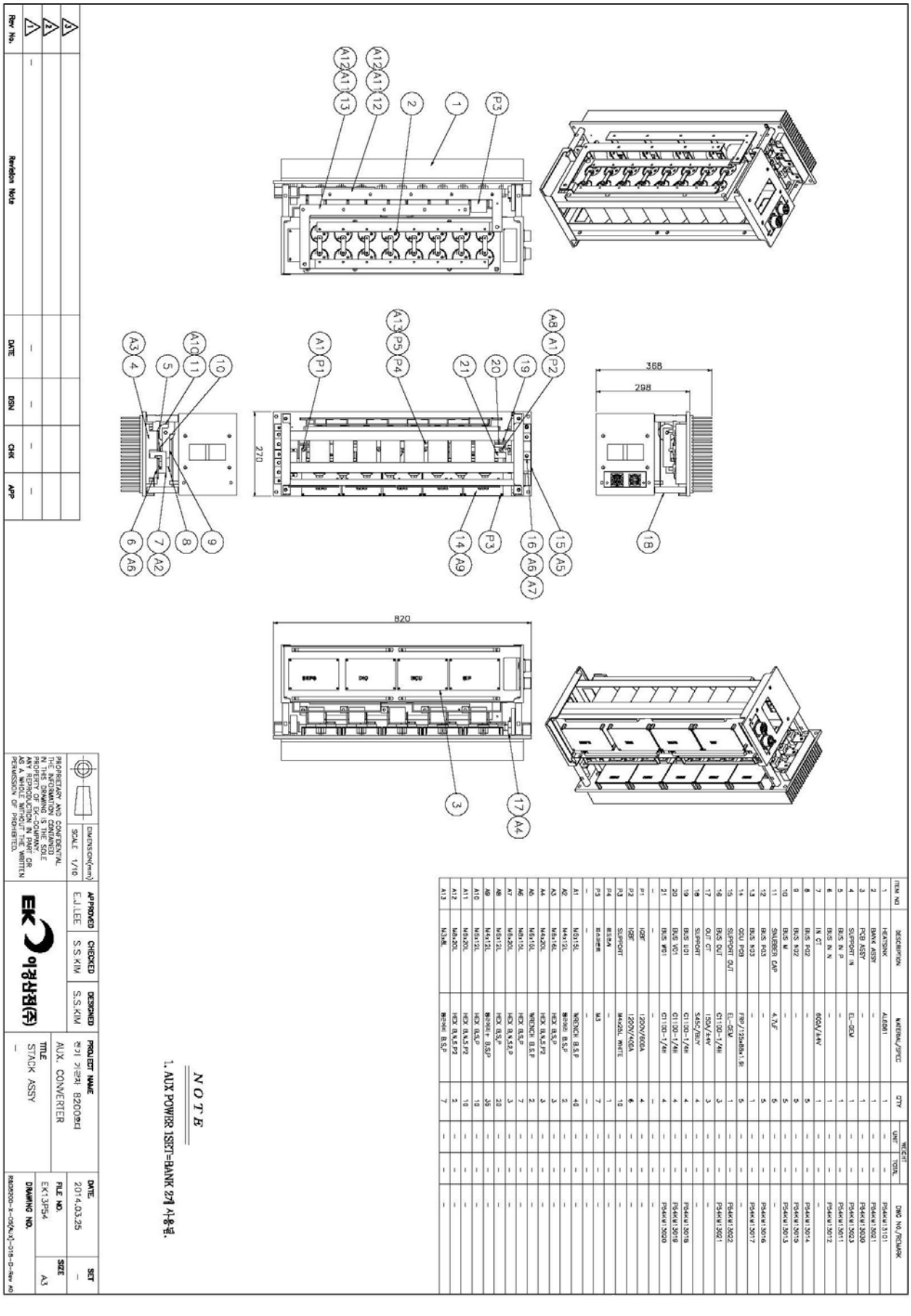


그림 510. 보조전원장치 전력스택 제작도면

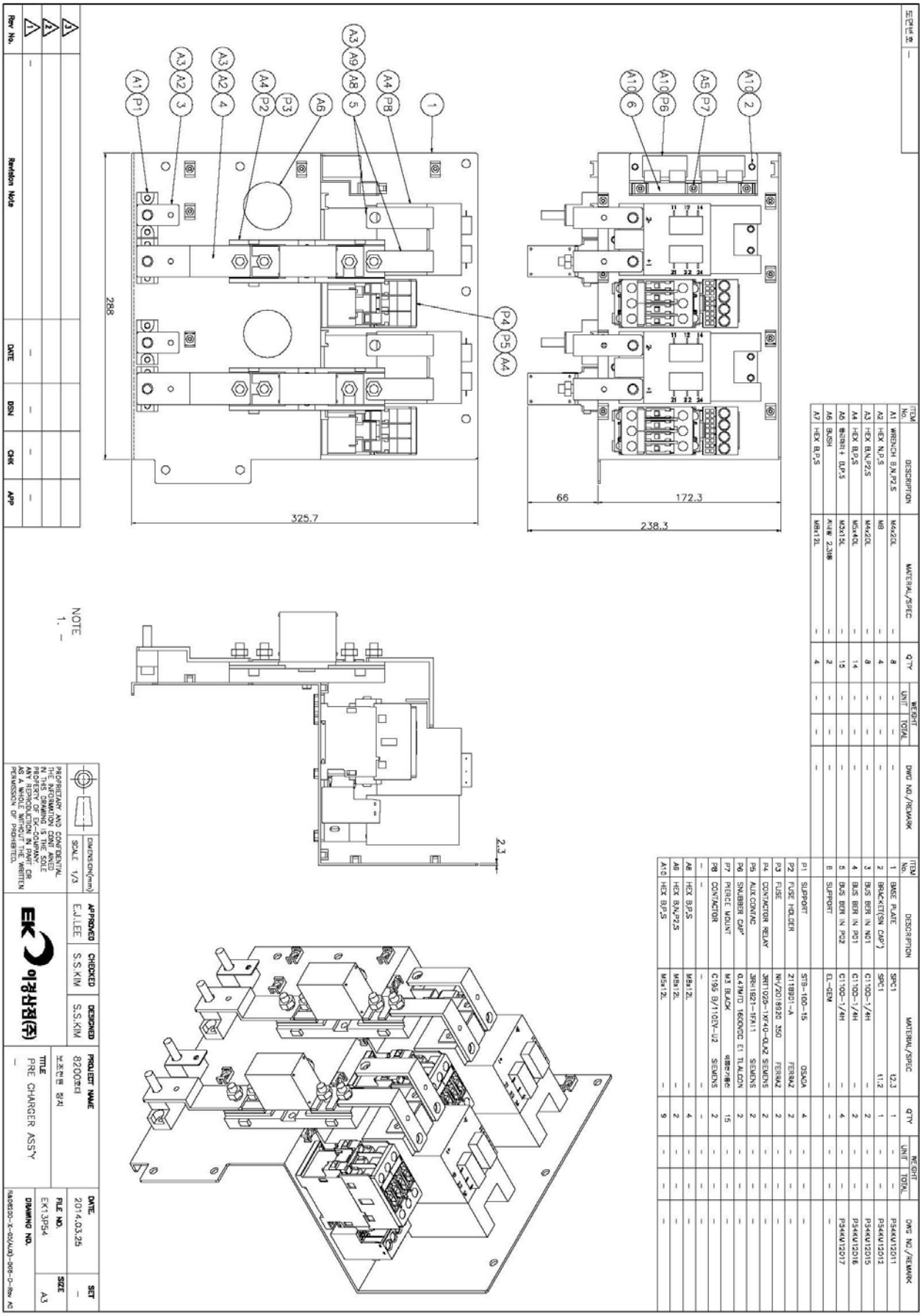


그림 511. 보조전원장치 입출력회로 제작도면

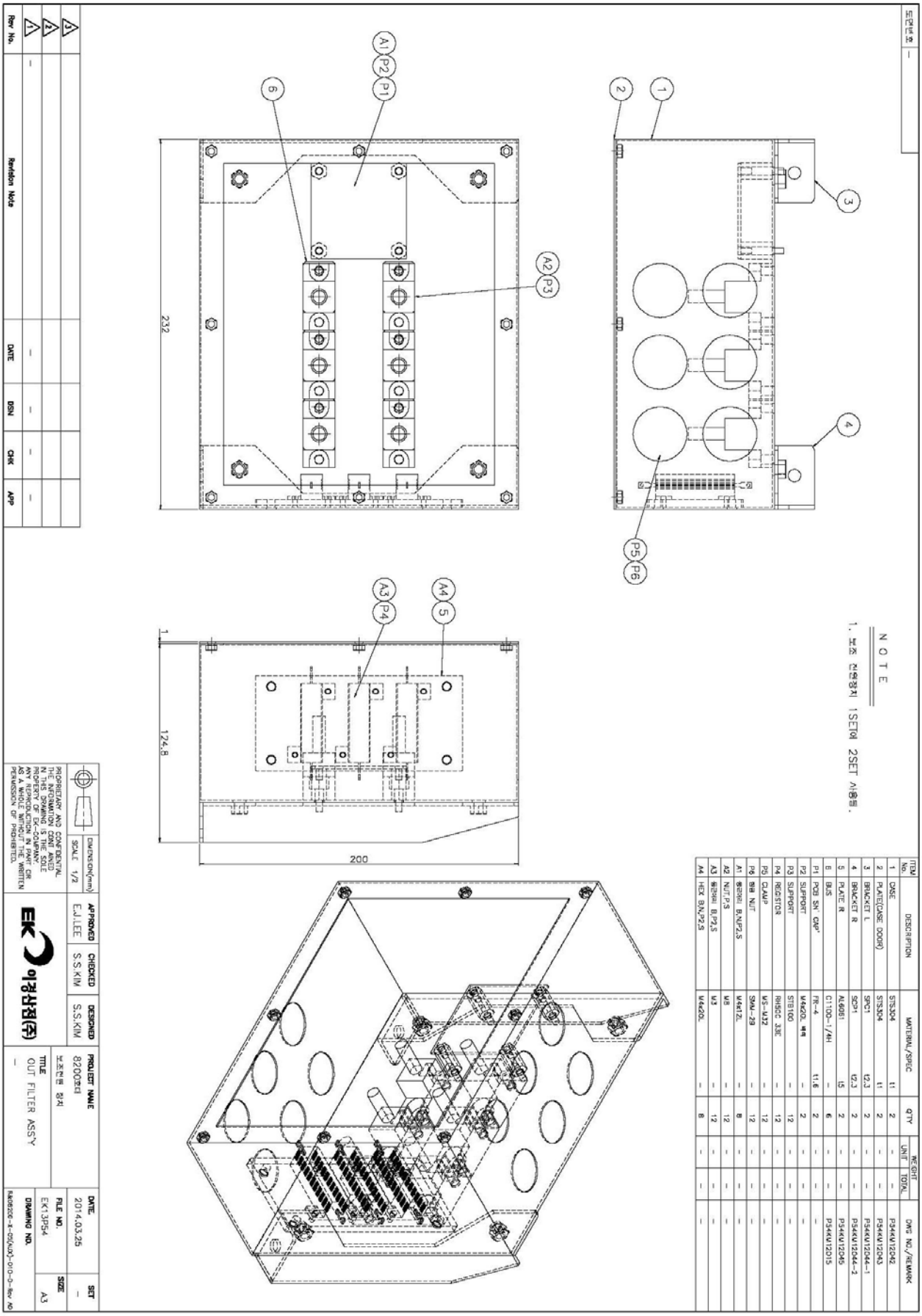


그림 512. 보조전원장치 dv/dt제한필터 제작도면

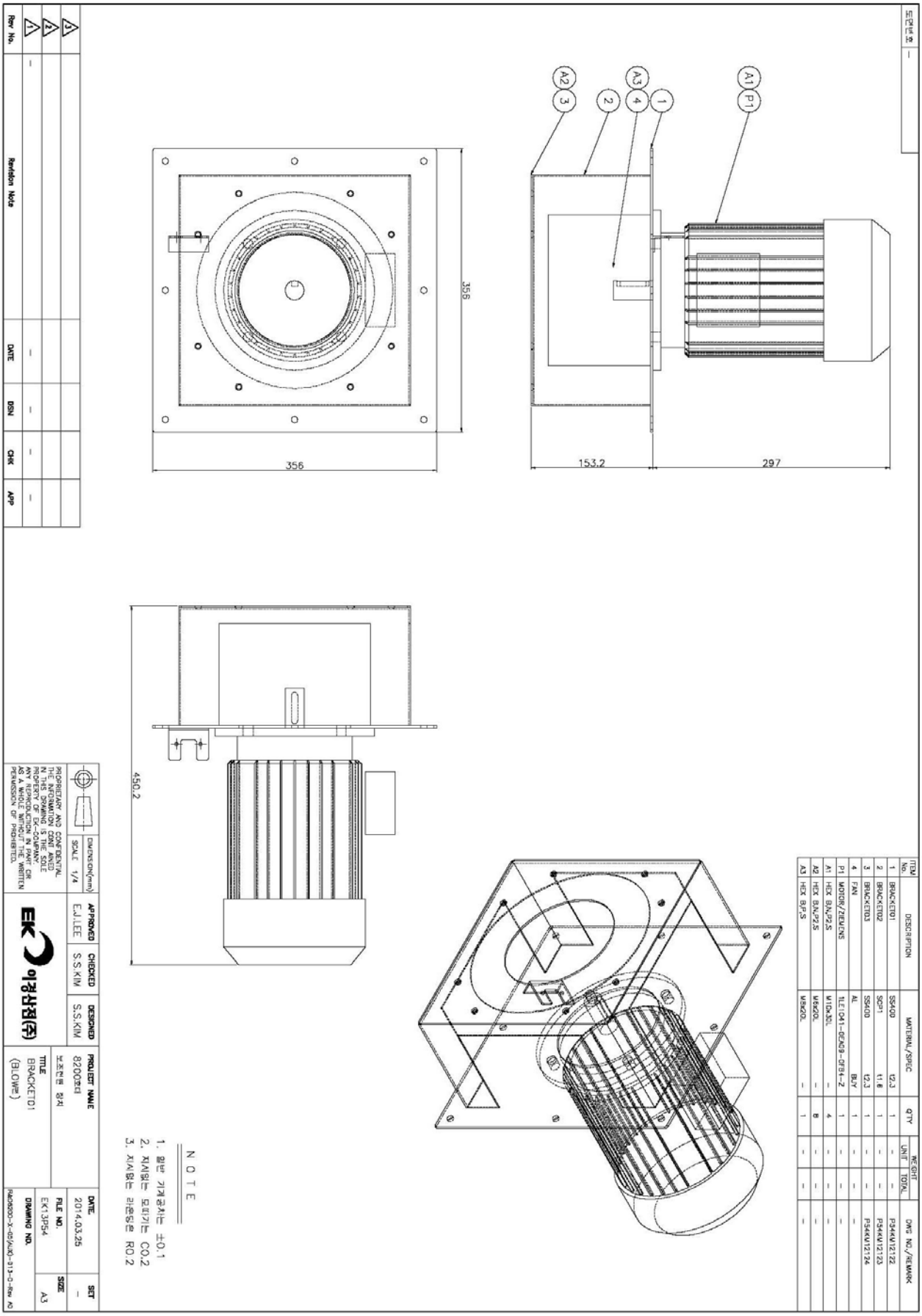


그림 513. 보조전원장치 송풍기 제작도면

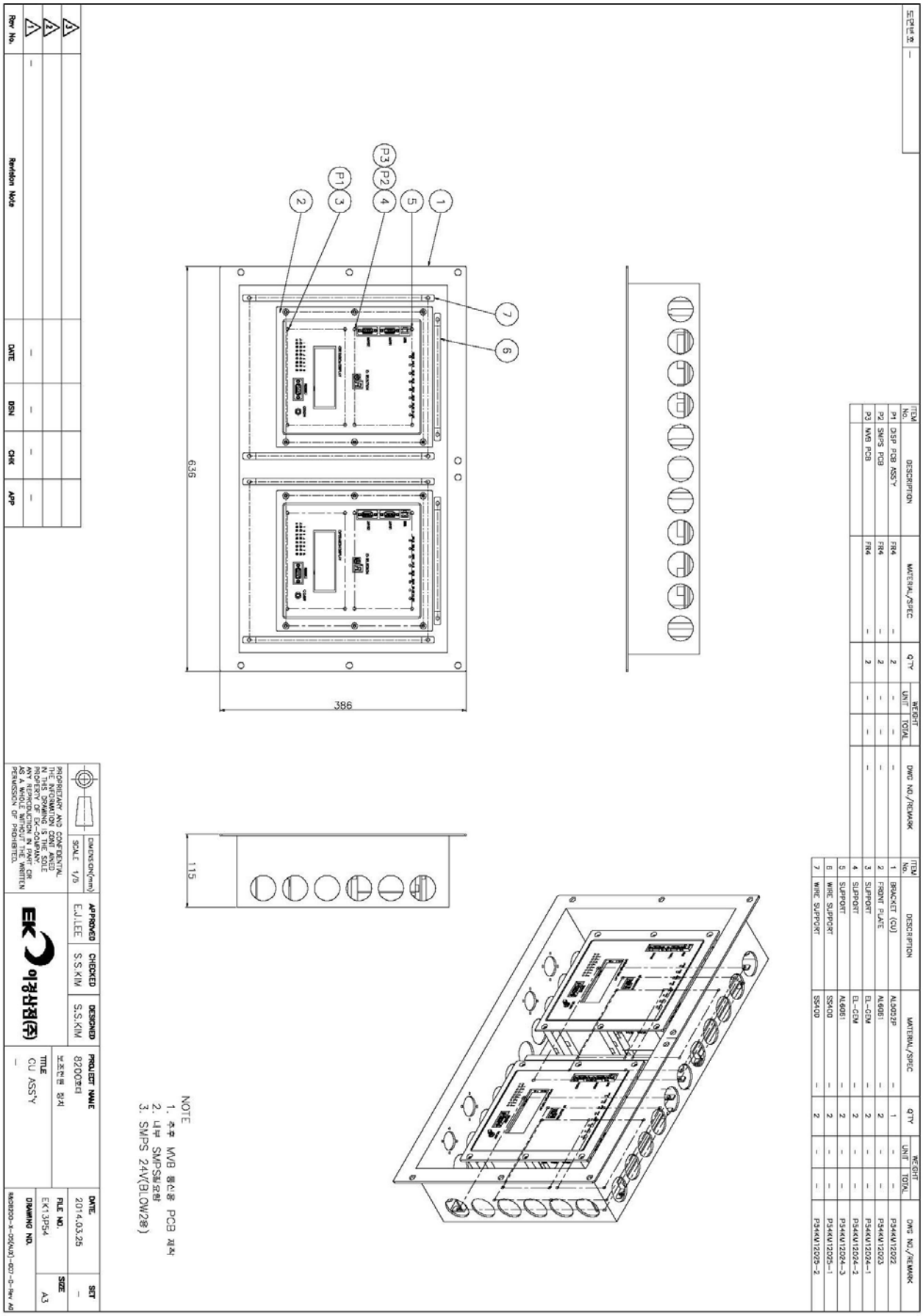


그림 514. 보조전원장치 MVB통신 및 모니터링장치 제작도면

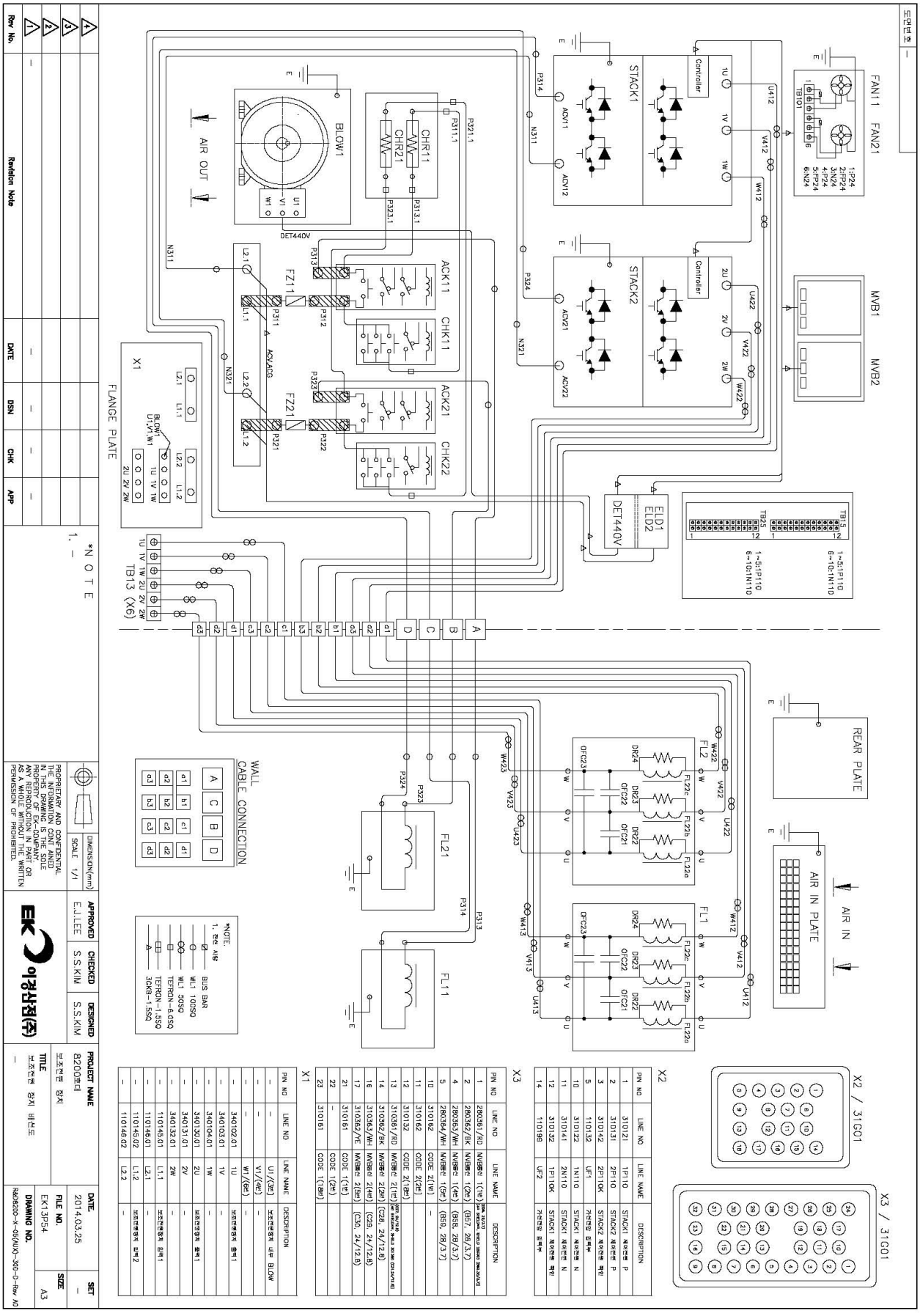


그림 515. 보조전원장치 배선도

(2) 객차전원공급장치

전기기관차에 적용되는 객차전원공급장치는 필터커패시터, 차단기(피더접촉기), 전압센서 및 전류센서, 휴즈함, 24V전원장치(컨버터) 등으로 구성되어 있으며, 객차전원공급장치의 모든 부품을 취부하는 외함은 추후에 변형이 발생하지 않도록 적절한 보강재를 사용하여 제작되었다.



그림 516. 전기기관차용 객차전원공급장치(전면, 후면)

표 115. 객차전원공급장치 주요 구성품 및 사양

품 명	사 양	수 량	비 고
필터커패시터	1mF/440Vac	3	
차단기(피더접촉기)	500A/415V	2	
접지오류검출기	110V 입력	1	
전압센서	440Vac/4.4V 1.5VA	4	
전류센서	1000A/5A	2	대전류용
전류센서	5A/25mA 0.5VA	4	저전류용
퓨즈박스	315A/500V	3	
SMPS(Converter)	In : 110Vdc out : 24Vdc 출력 : 200W	1	



그림 517. 객차전원공급장치 주요구성품 취부

(가) 시제품 제작도면

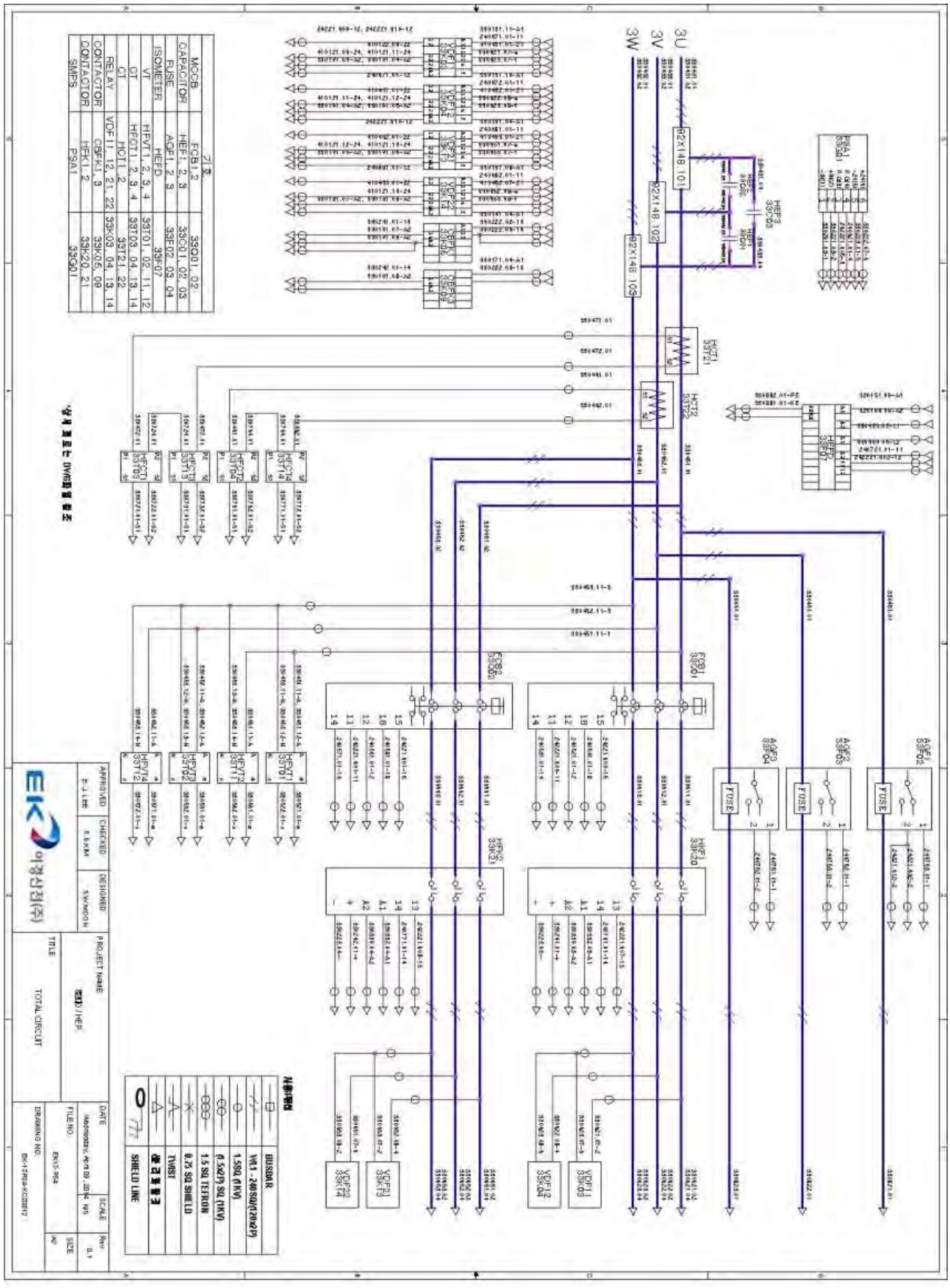


그림 518. 객차전원공급장치 주회로도

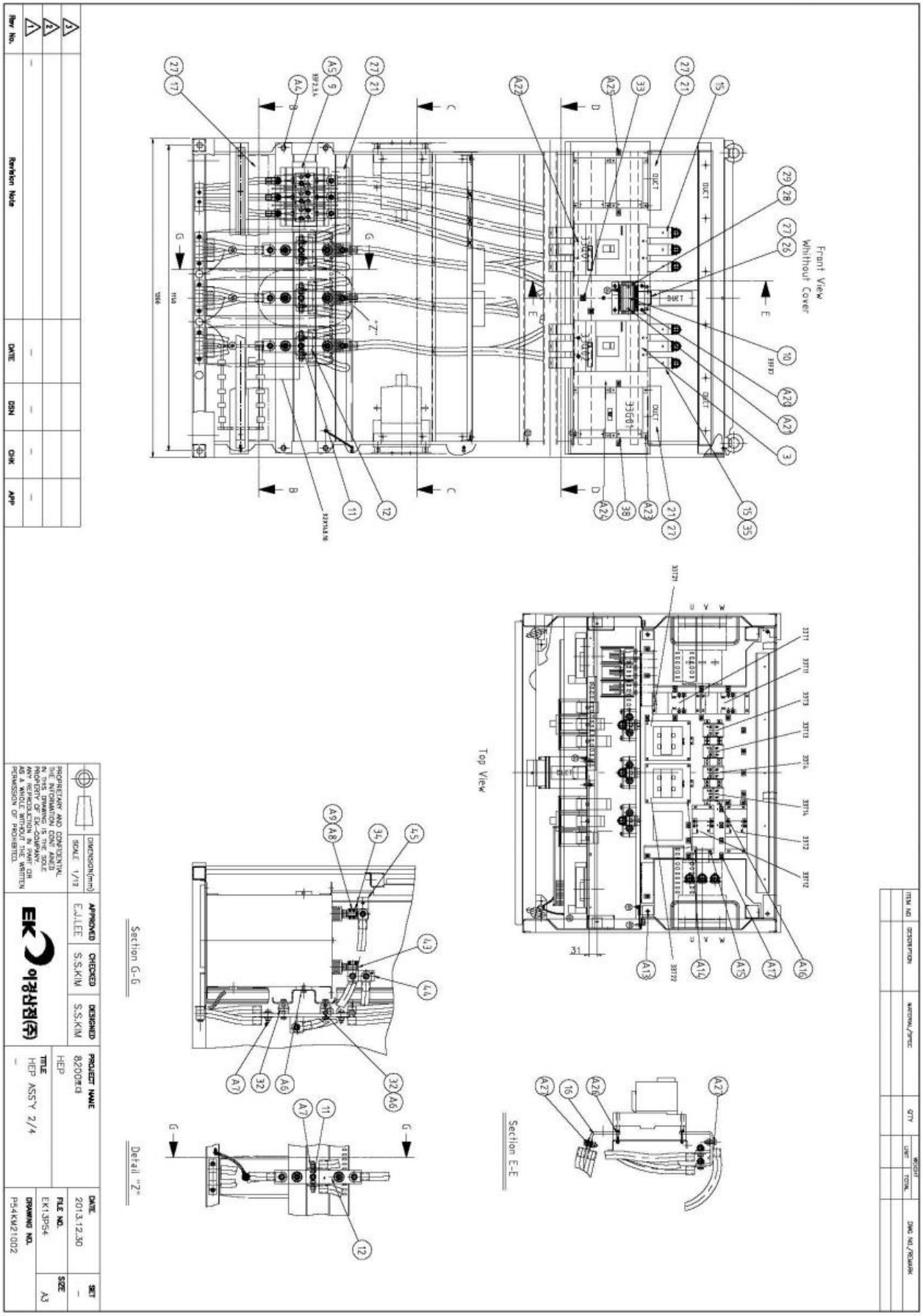


그림 519. 객차전원공급장치 제작 ASS'Y 01

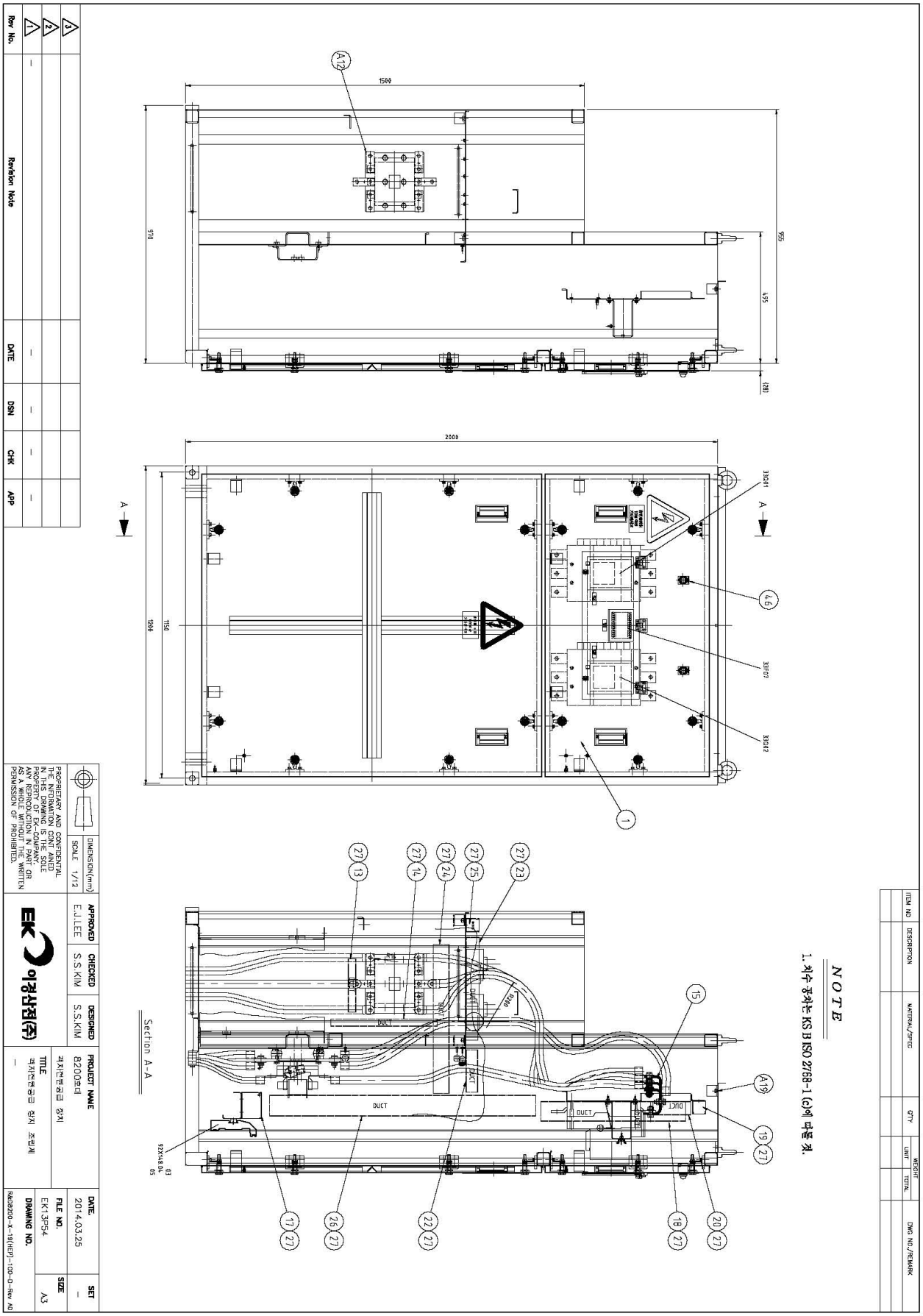


그림 520. 객차전원공급장치 ASS'Y 02

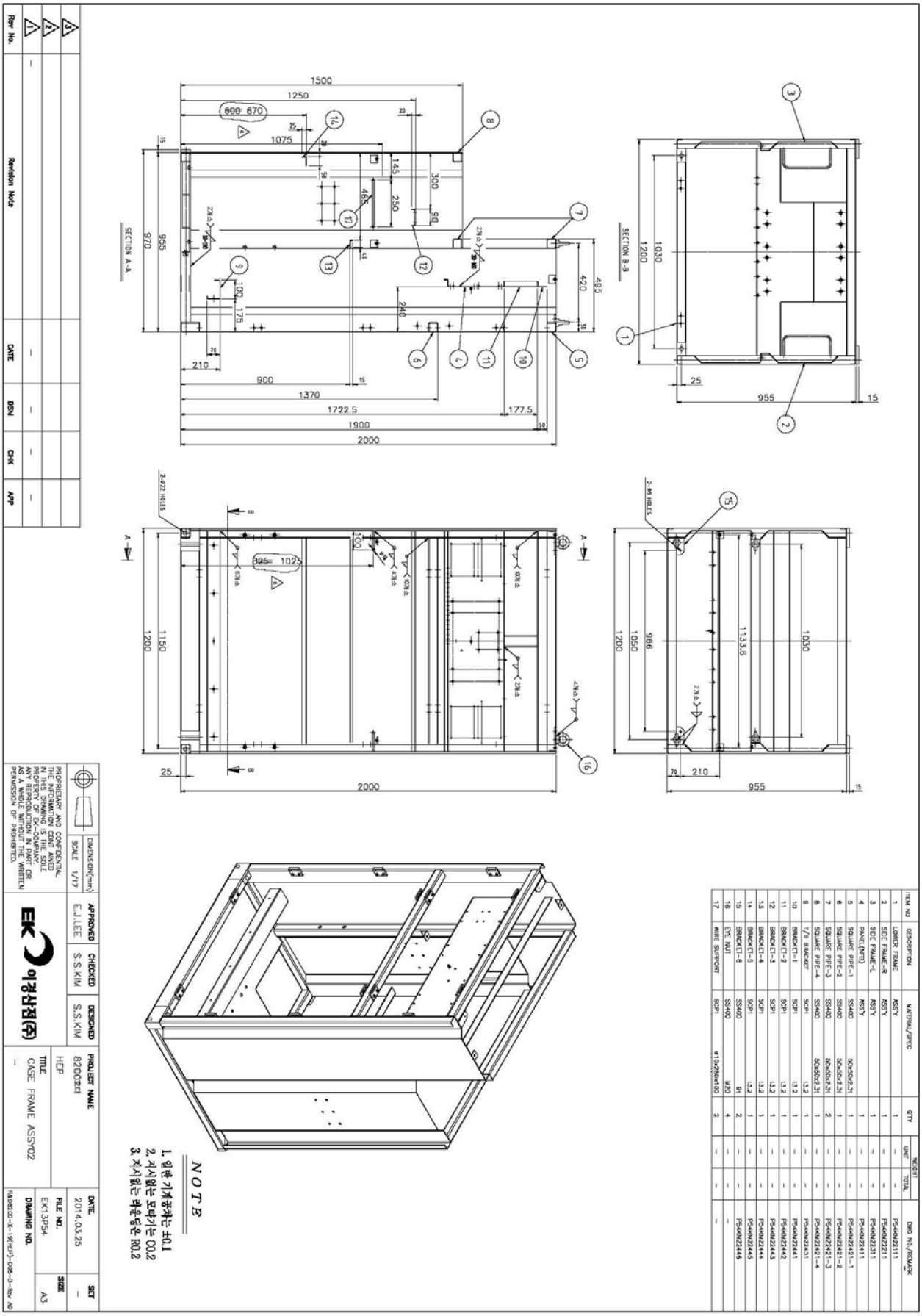


그림 521. 객차전원공급장치 외함 제작도면

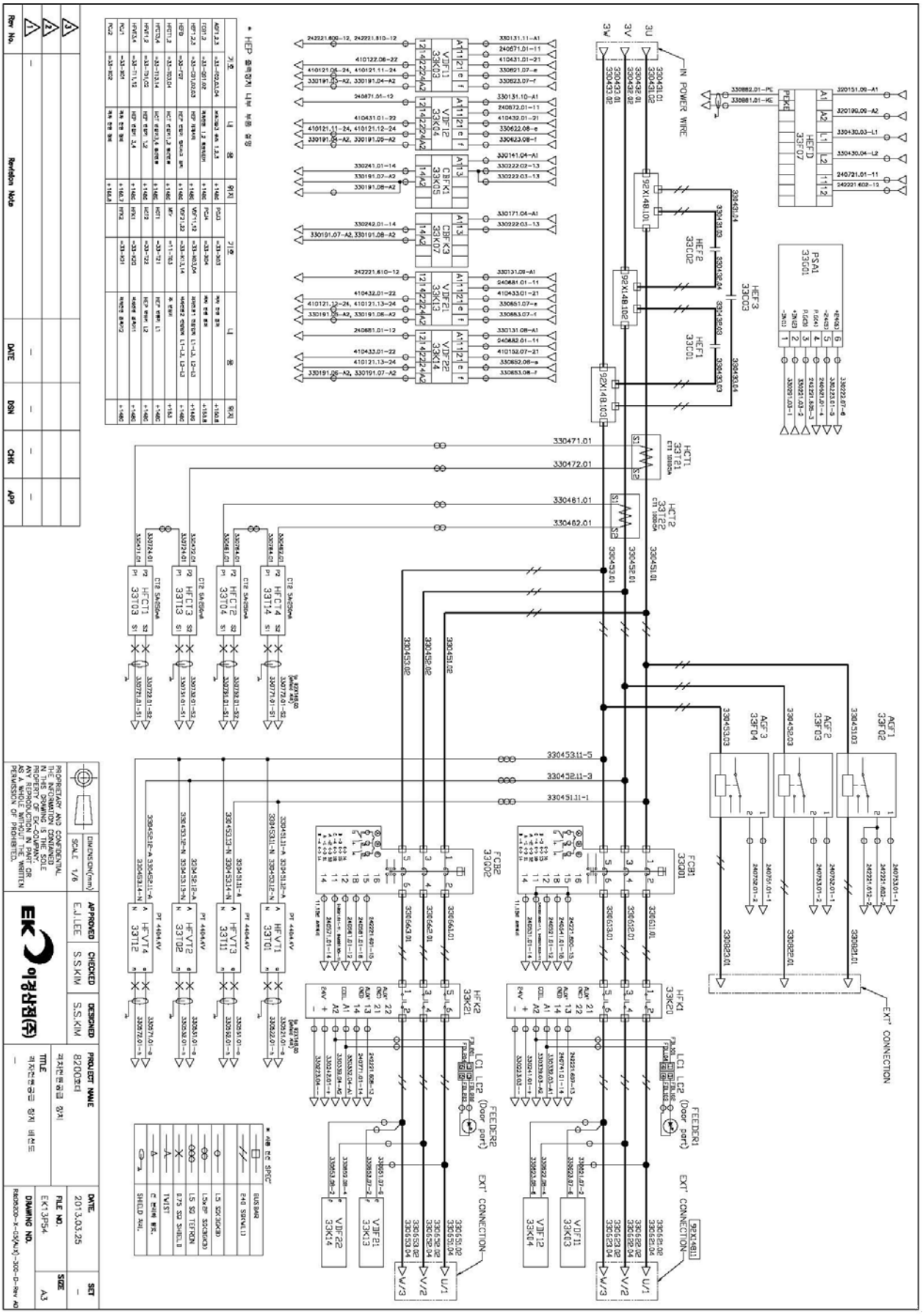


그림 522. 객차전원공급장치 배선도

제3절 연구개발품 시험을 통한 객관적 신뢰성 확보

1. 전력변환장치 기술개발

가. 시험개요

(1) 적용범위

국가 R&D 연구수행중인「전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발」과제 관련하여 8200호대 전기기관차의 전력변환장치 시작품에 대하여 구성품 시험을 통하여 성능 및 안전성이 확보되고 있는지를 확인하기 위한 시험방법 및 기준에 대하여 규정한다.

(2) 적용자료 및 구분

(가) 적용자료

자료/도면번호	제 목	개정번호	개정일자
	철도차량 형식승인·제작자승인·완성검사 시행지침		
KS R 9144	철도차량 부품의 진동시험 방법		
KS R 9156	철도차량 전자기기의 시험 통칙		
KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법		
IEC/EN 61000-4-4	전기적 빠른 과도현상(EFT) 시험		
IEC/EN 61000-4-5	서지 내성시험		
IEC/EN 61000-4-6	전자파 전도내성(CS)		
IEC 60068-2-1	Environmental testing procedure Part2 : Tests, Test A : cold		
KS C 0221	고온시험		
KS C 0225	온도변환시험		
KS C 0227	고온고습시험 (온습도사이클)		

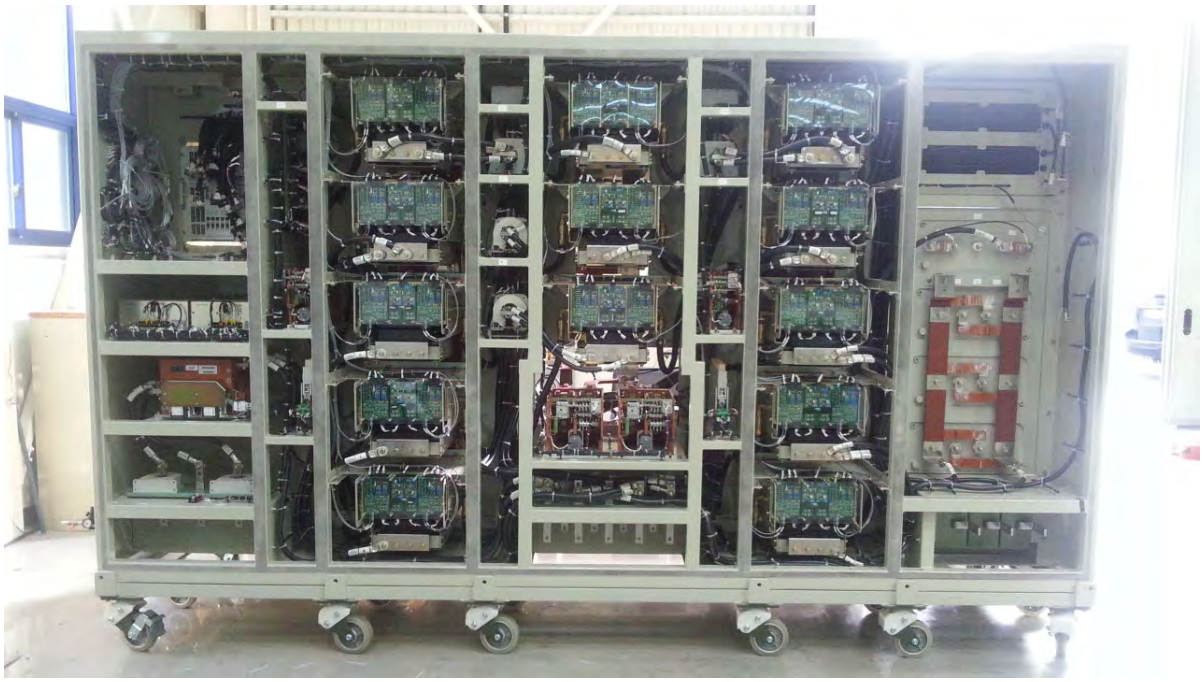
(나) 적용자료

No.	장치명	도면번호	비고
1	COVER ASS'Y	R1B001898	
2	BOX ASS'Y(1/6)	R1B001900	
3	BOX ASS'Y(2/6)	R1B001901	
4	주변환장치 주회로도	CIRCUIT DIAGRAM	

(3) 필요조건

시험장비는 국가 표준 기준법에 의한 인정기구가 인정한 교정기관의 교정이 완료된 장비임을 확인하고 첨부하여야 한다.

(가) 구조 및 형태



(나) 적용기준

① 차량에 설치되는 수냉각장치, 견인전동기, 주간제어기, 주변압기 등 관련기기 등을 조합하여 시험을 하여야 하나, 관련기기의 대여가 어려운 상태로 ㈜우진산전에서 자체 보유하고 있는 장비로 시험을 대체한다.

② 현재 본 과제는 총 연구기간이 2년의 짧은 기간동안 연구개발수행하고 있으나, 각 장치 조합시험(인터페이스 시험)을 통한 성능시험 및 현차시험을 통한 신뢰성 검증까지 수행하여 실용화하기까지는 현실적으로 어려운 상황이다. 하여 주관기관인 한국철도공사와 협의 하에 일부 시험을 제외하여, 전력변환장치 구성품 절차에 작성되어진 시험항목에 대해서만 시험한다.

(4) 기술사양

(가) 공통사양

컨버터와 인버터를 결합한 시스템의 신뢰성과 타당성을 확인하기 위한 목적에 있다. 컨버터는 25kV의 AC전압을 변압기를 거쳐 1,230V의 AC전압으로 변압한 후, 단상 컨버터를 통해 2,600V의 DC링크 전압을 공급한다. 이 때, 회로의 구성은 승압을 위한 인덕터와 등가화된 저항 성분으로 구성된다. 컨버터는 DC링크 전압 공급 외에도 입력단의 전압과 전류의 위상을 동상으로 하기 위한 단위 역률제어의 역할을 한다. 인버터는 컨버터에서 공급한 DC링크 전압을 소스로 하여, 1,300kW 유도전동기에 전력을 공급한다.

(나) 각 장치별 사양 및 기능

항 목		사 양
		IGBT 전력변환장치
제어방식	컨버터	단상 전압형 PWM 제어, 위상 제어, 일정전압 제어
	인버터	2 Level 3상 전압형 PWM(펄스폭 변조) 제어 공전활주 제어, Slip/Slide 제어, Vector 제어, 져크제어 PWM 변조방식 : 비동기 PWM ⇔ 과변조⇔ 1P MODE
제어전압		DC 110V (77V ~ 138V)
컨버터부	입력전압	AC 1,230V × 2회로
	출력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	최대출력	1,500 kW 이상
	전력용 반도체소자	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (8조)
인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 0V ~ 2,030V (rms)
	최대출력	1,600 kVA 이상
	전력용 반도체소자	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (12조)
HEP 인버터부	입력전압	DC 2,400V ~ DC 2,600V
	출력전압	3상 970V
	최대출력	3상 310A
	전력용 반도체소자	IGBT : 4,500V - 1,200A × 2병렬 (6조)
냉각방식		수냉식
I/F 및 통신		MVB
제어장치		32 bit Microprocessor

(5) 사용환경

보관과 운송을 위한 환경조건 : -35℃ ~ +80℃

나. 단품시험

(1) 검사

(가) 검사의 종류

① 겉모양 검사

② 측정검사

(나) 검사의 방법

① 겉모양 검사

부품의 조립 배선 등 제작상태와 전선 및 부품의 식별표시의 적합성과 제작 중 외함 및 구조상의 손상이나 결함여부의 확인을 목적으로 한다. 전력변환장치 구성부품의 조립 구성 요소간 결선 등 제작상태와 전선 및 부품의 식별표시가 도면에 적합하고 구조상 손상이나 결합여부를 확인하여 이상이 없어야 한다.

② 측정검사

장치의 크기, 중량에 대한 적합성 여부의 확인을 목적으로 하며 도면에 기재되어 있는 치수와 중량을 측정하여 그 허용범위 내에서 이상이 없어야 하다.

㉮ 치수검사

승인 도면에 의해 각 부의 치수를 측정했을 때 기준치에 적합하여야 한다.

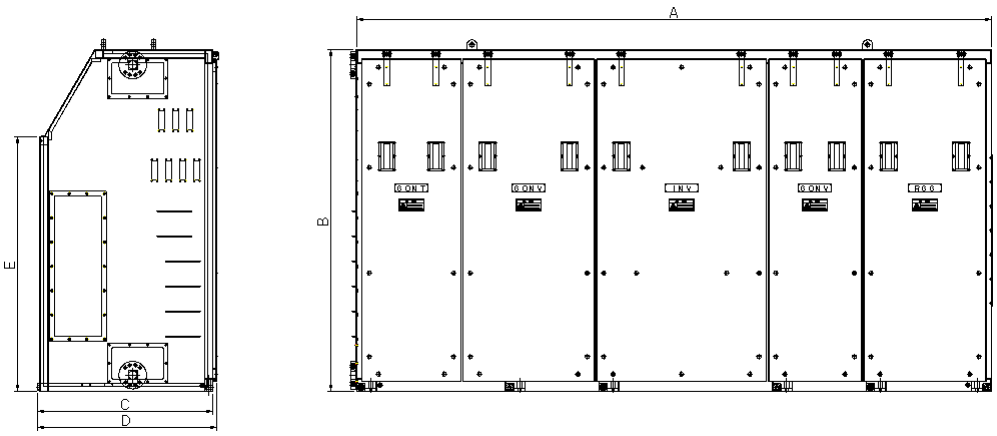


그림 523. 치수 측정 포인트 참조

㉯ 중량검사

중량을 측정하였을 때 도면에 명기된 기준치에 적합하여야 한다.

(2) 시험

(가) 시험항목

구분	시험 항목	실시 방안		비고
		형식시험	전수시험	
1	외관 구조 검사	◎		
2	측정검사(중량측정)	◎		
3	냉각장치시험	◎		선우전기와 협업
4	보호검출 기능시험	◎	◎	
5	제어기능 시험	◎	◎	
6	경부하 시험	◎	◎	
7	절연저항 시험	◎	◎	
8	내전압시험	◎	◎	
9	진동시험	◎		스택 및 제어 Unit 실시
10	전자파 내성 시험	◎		제어 Unit
11	환경시험	◎		제어 Unit
12	특성시험	◎		한성중공업과 협업

(나) 시험방법

① 보호검출 기능시험

전압검출기, 전류검출기, 온도센서 등 보호검출장치에 대한 이상조건 발생 시 검출 기능의 정확성 확인을 목적으로 하며 부록의 내용대로 보호동작이 정확히 이루어져야 한다.

② 제어기능시험

㉮ 광량측정시험

광파이버의 GATE 측에 광량을 측정하여 -24dbm 이상의 광량을 유지하는지 확인한다.

㉯ IGBT 게이트 전원특성시험

입력특성 : 입력전압 DC 20V ~ 30V 일 때, 출력이 15V±10%, 1kHz±10% 이내 일 것

㉰ IGBT 게이트 특성시험

(ㄱ) 파형 측정

- CONVERTER 파형

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

최소 ON 펄스폭 = 20㎲ 이상

- INVERTER 파형

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

최소 ON 펄스폭 = 20㎲ 이상

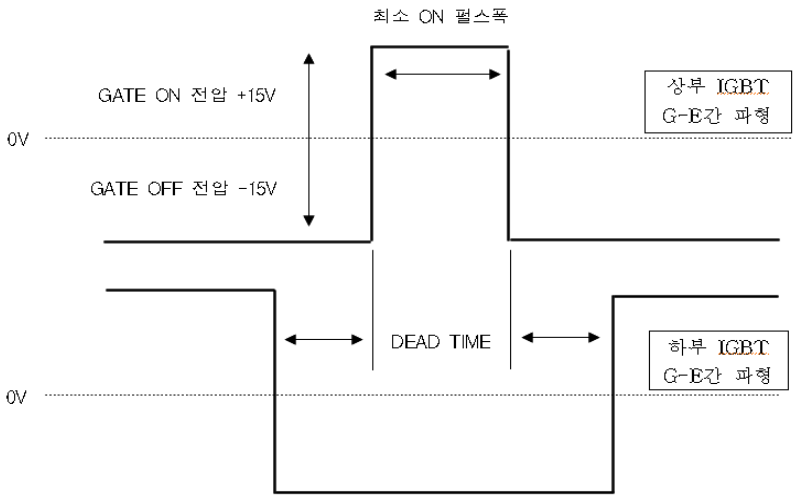


그림 524. GATE 파형

(ㄴ) 각 상에 대하여 게이트 신호와 게이트 피드백 신호 출력이 동상인지 확인

㉱ 주회로 동작시험

(ㄱ) U, V, W 위상이 정상 일 것

(ㄴ) 게이트 확인 : 역행 ·회생 동작 시에 게이트 출력이 정상 일 것

(ㄷ) 상회전 확인 : U, V, W 상의 순서로 120°씩의 위상차로 지연되는지 확인

③ 경부하시험

㉮ 인버터 부하를 연결하고 제어기를 동작시켜 파형을 확인한다.

㉯ 시험을 실시하기 위한 부하는 R-L부하를 사용한다.

㉰ R-L부하에 입력되는 3상전류 실효치(rms)의 크기를 측정하고 상전류가 상승하는 것을 확인한다

④ 절연저항시험

1,000 VDC-Megger 또는 500 VDC-Megger로 절연저항을 측정하여 다음 표의 기준 값을 만족하여야 한다. 이 시험은 다음 각 항의 상태에서 실시한다.

㉮ 전력용 반도체의 단자는 각각 분리한다.
㉯ 전기적으로 연결된 부분들은 단락한다.
㉰ 충전부는 단락한다
㉱ 제어 유니트, 제어 전원 유니트 등의 저압회로 커넥터를 분리한다.

시험부위	시험기준	비 고
고압회로(주회로) - 저압회로(제어회로) 및 접지	100 MΩ 이상	1,000 VDC-Megger
저압회로(제어회로) - 접지	30 MΩ 이상	500 VDC-Megger

⑤ 내전압시험

절연 내력 시험을 실시하기 전에 절연저항 시험을 반드시 실시하여 절연저항에 이상이 없음을 확인하여야 한다. 상용주파수의 전압으로 1분간 견디어야 한다.

㉮ 주회로 - 접지 : 6,700V
㉯ 제어회로 - 접지 : 1,220V

단, 이 시험은 다음의 조건하여서 실시한다.

㉰ 전력용 반도체의 단자는 각각 분리한다.
㉱ 전기적으로 연결된 부분들은 단락한다.
㉲ 충전부는 단락한다.
㉳ 제어 유니트, 제어 전원 유니트 등의 저압회로 커넥터를 분리한다.

⑥ 진동시험

KSR 9144 2종 B에 의거하여 전력변환장치의 스택 및 CONTROL UNIT에 대해 진동시험을 하여 아래의 사항들이 모두 충족되어야 한다.

㉮ 진동시험 : 관련 규격에 의거하여 스택 및 CONTROL UNIT를 시험하여 외형상 변형, 크랙, 파손, 이탈 등이 없어야 한다.
㉯ 진동기능 시험 : 진동시험 중 스택 및 CONTROL UNIT에 전원을 인가하여 LED 정상 동작을 확인한다.

⑦ 전자파 내성시험

CONTROL UNIT에 대해 EN50121-3-2에 의거, 시험인증기관을 통해 입회시험실시 후, 성적서 제출한다.

EN50121-3-2를 적용하여 시험 시 외부에서 유입되는 전자기 노이즈에 이상이 없어야 한다.

Test항목	기본 규격	시험 단자	시험		EN 50121-3-2		시험 결과
					시험조건	평가 기준	
전기적 빠른 과도현상(EFT) 시험	IEC/EN 61000-4-4	I/O단자	시험 레벨		± 2 kV	A	
			Tr / Th		5/50 ns		
			반복주파수		5 kHz		
		전원단자	시험 레벨		± 2 kV		
			Tr / Th		5/50 ns		
			반복율		5 kHz		
서지 내성시험	IEC/EN 61000-4-5	전원단자	시험 레벨	선과 접지	선과접지	B	
				선과 선	± 1 kV		
			Tr / Th		1.2 / 50 ns		
전자파 전도내성(CS)	IEC/EN 61000-4-6	I/O, 전원단자	시험레벨		10 V	A	
			주파수		(0.15 ~ 80) MHz		
			변조방식		80 % AM (1 kHz)		

⑧ 환경시험

전력변환장치의 CONTROL UNIT에 대해 저온시험, 고온시험, 온도변화시험, 고온고습(온습도사이클)시험을 실시하여 정상동작 여부를 확인한다.

구 분	적용규격	시험조건	방치시간
저온시험	IEC 60068-2-1	-33℃(Ad)	16h
고온시험	KS C 0221	70℃(Bd)	16h
온도변환시험	KS C 0225	-33℃ / 70℃(Nd)	30분 5사이클
고온고습시험 (온습도사이클)	KS C 0227	상한온도 55℃/90%	(12h+12h) 1사이클

다. 조합시험

(1) 냉각장치시험

이 시험은 강제 냉각방식의 추진제어인버터에 있어서 냉각장치 성능특성의 적합성 확인을 목적으로 한다.

(가) 시험조건

냉각공기 등 냉각매체의 순환경로는 실제사용조건과 동일한 구조로 한다.

(나) 측정항목

냉각 배관의 냉각수의 유압

(다) 시험방법

냉각장치에 공급하는 전원을 정격전압인 AC3상 380V, 60Hz로 공급하여 (1)의 (나) 항을 1

분간 측정하여 기준치인 2.6Bar±10%을 만족해야한다.

단, 냉각수의 유압은 냉각장치의 압력 게이지(아날로그)를 육안으로 확인한다.

(2) 견인력시험

신형전기기관차는 3상 교류 전동기를 채용하고 있는 최신의 견인제어기술을 적용하여 아래와 같은 기본 특성을 갖고 있다.

차량특성	성 능
성능(출력)	5,200kW (1,300kW x 4, 25kV ~ 27.5kV 범위 내에서)
설계최고속도	150 km/h
최대출발견인력	320kN (인장력 : 300kN, 62.4 km/h에서)
최대회생제동력	216kN (5 km/h ~ 62.4 km/h 범위 내에서)

규정된 추진력 및 제동력 특성을 검증하기 위해 주어진 추진력으로 운전시킨 후 모터전류 및 토크를 확인함을 목적으로 하며, 역행 토오크의 최대 견인력 및 제동 토오크의 최대 제동력이 75kN ± 5% 이내인지 확인하여야 한다.

그러나 3의 3.2항의 적용기준에 따라 기존 장치의 대여가 어려운 상태이며 공동연구기관인 한성중공업에서 개발되어진 견인전동기와 (주)우진산전에서 보유하고 있는 관성부하장치의 설비를 고려할 때 두 장치간 조합시험이 어려운 관계로 도시바 200kW급 견인전동기로 8200호대 견인전동기 견인력/제동력(1/3)시험으로 대체하여 전력변환장치의 성능을 검증하고자 한다.

(가) 역행 성능 시험

- 모의시험기를 이용하여 역행 토오크의 견인력(25kN ±5%이내)의 최대, 최소 견인력을 확인한다.

(나) 제동 성능 시험

- 모의시험기를 이용하여 제동 토오크의 견인력(25kN ±5%이내)의 최대, 최소 견인력을 확인한다.

라. 시험결과

(1) 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서

전력변환장치 구성품 시험결과 성적서						
공 사 명	전기기관차용 전력변환장치			ROTECO	검사자	확인자
제작회사	(주)우진산전				배한섭	
품 명	전력변환장치					
검사근거	R&D8200-X-04(PC)-013-T					
제품번호	8200_1			입 회 자	(주)우진산전 채승민	
검 사 일	2014.12.08. ~ 12.11	온도	4.3℃	판 정		
		습도	46 %			

1. 겉모양 검사

-. 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.

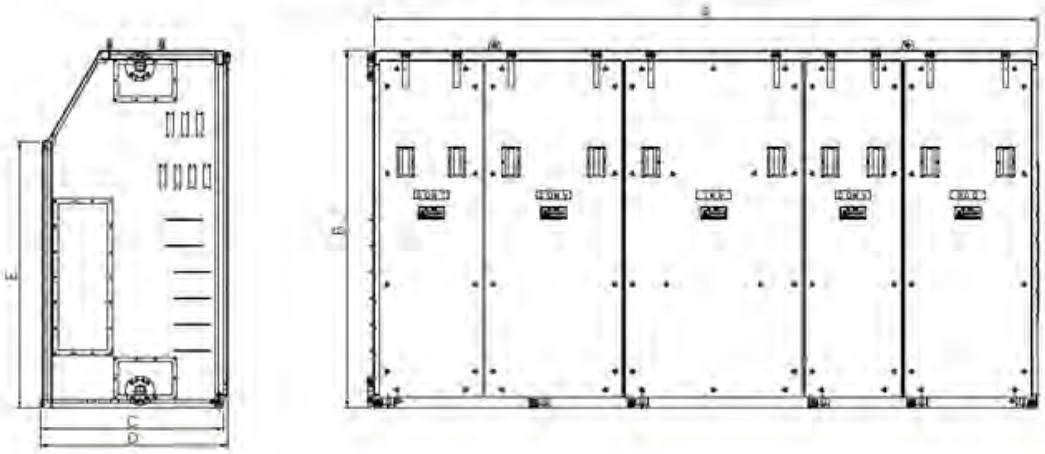
기 준 치	측 정 치	비 고
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것	양 호	
기기 취부 상태가 승인도면과 일치하는지 확인	양 호	
색상 및 도장 상태 등을 확인하여 이상이 없을 것	양 호	

그림 525. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 1

2. 측정 검사

2.1 치수 측정

-. 설계도면과 일치하는지 여부를 기록한다.



항 목	기 준 치(mm)	측 정 치(mm)	결 과	비 고
A	3,800 ± 20.0	3,796	양 호	
B	2,045 ± 14.0	2,040	양 호	
C	1,050 ± 10.0	1,051	양 호	
D	1,073 ± 10.0	1,074	양 호	
E	1,525 ± 10.0	1,526	양 호	

그림 526. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 2

2.2 중량 검사

항 목	기 준 치	측 정 치	결 과	비 고
중량 검사	3,100 ㎏ 이내	3,045	양 호	

3. 냉각장치시험

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

4. 보호검출 기능시험

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

그림 527. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 3

5. 제어기능 시험

5.1 광량측정 시험

- Control Unit에서 Gate Amp로 전송되는 Gate광량을 측정하고 Gate Amp에서 Control Unit로 전송되는 Feed Back광량을 측정한다.

광케이블		기준치	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량 (dBm)	광케이블		기준치	Gate 광량 (dBm)	Feed back 광량 (dBm)
1군	CONV1	-24dBm 이상	-15.1	-17.9	2군	CONV1	-24dBm 이상	-16.7	-17.7
	CONV2	-24dBm 이상	-15.5	-18.3		CONV2	-24dBm 이상	-16.3	-18.2
	CONV3	-24dBm 이상	-16.9	-19.5		CONV3	-24dBm 이상	-16.7	-17.7
	CONV4	-24dBm 이상	-16.9	-17.1		CONV4	-24dBm 이상	-16.6	-17.5
	INV1	-24dBm 이상	-17.7	-15.4		INV1	-24dBm 이상	-17.9	-14.7
	INV2	-24dBm 이상	-17.6	-14.6		INV2	-24dBm 이상	-18.2	-15.2
	INV3	-24dBm 이상	-18.2	-15.2		INV3	-24dBm 이상	-18.0	-14.9
	INV4	-24dBm 이상	-17.6	-14.5		INV4	-24dBm 이상	-18.0	-14.3
	INV5	-24dBm 이상	-17.6	-14.8		INV5	-24dBm 이상	-18.2	-15.6
	INV6	-24dBm 이상	-17.2	-14.2		INV6	-24dBm 이상	-17.8	-15.6

그림 528. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 4

5.2 IGBT 게이트 전원특성시험

-. 입력특성 : 입력전압 DC 24V 일 때, 출력이 15V±10% 이내 일 것

항 목	기 준 치	측 정 치				비 고
		1 군		2 군		
Gate Power 1	입력 : DC 24V 출력 : 15V ±10%,	CONV1	15.48	CONV1	15.43	
			15.51		15.37	
		CONV2	15.17	CONV2	15.24	
			15.37		15.28	
Gate Power 2	입력 : DC 24V 출력 : 15V ±10%,	INV1	15.24	INV1	15.04	
			15.28		15.10	
		INV2	15.57	INV2	15.20	
			15.53		15.24	
		INV3	15.62	INV3	15.25	
			15.65		15.19	

5.3 IGBT 게이트 특성시험

항 목		측 정 치					비 고
		Gate ON 전압(V) (+15V ± 2.2V)		Gate OFF 전압(V) (-15V ± 2.2V)		DEAD TIME(㎲) (12㎲ ± 2㎲)	
1군	CONV1	14.1	14.8	-14.4	-15.7	12.4	결과물 3
	CONV2	13.7	14.6	-13.8	-15.6	12.4	결과물 3
	INV1	13.7	14.5	-13.8	-15.4	12.4	결과물 3
	INV2	14.0	14.8	-14.1	-15.7	12.4	결과물 4
	INV3	14.0	14.9	-14.1	-15.9	12.4	결과물 4
2군	CONV1	14.7	14.1	-15.7	-14.1	12.4	결과물 5
	CONV2	14.5	14.1	-15.5	-14.0	12.4	결과물 5
	INV1	14.3	14.0	-15.3	-13.7	12.4	결과물 5
	INV2	14.4	14.0	-15.6	-13.7	12.4	결과물 6
	INV3	14.5	14.0	-15.6	-13.7	12.4	결과물 6

그림 529. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 5

5.4 주회로 동작 시험

항 목	기 준 치	측 정 치				비 고
		1군		2군		
주회로 동작 시험	기동시 게이트 출력이 정상 일 것	양 호		양 호		
	U, V, W 상의 순서로 120° ± 2% 씩의 위상차 지연 되는지 확인	U-V	120°	U-V	120°	1군 결과물 7 2군 결과물 8
		V-W	120°	V-W	120°	
		W-U	120°	W-U	120°	

6. 경부하 시험

항 목		기 준 치	측 정 치	비 고
1 군	U상 (Arms)	120 A ± 5 %	119.0 A	결과물 9
	V상 (Arms)		121.7 A	결과물 9
	W상 (Arms)		118.1 A	결과물 9
2 군	U상 (Arms)	120 A ± 5 %	121.8 A	결과물 9
	V상 (Arms)		118.9 A	결과물 9
	W상 (Arms)		121.1 A	결과물 9

그림 530. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 6

7. 절연 저항 시험

시험 방법	기 준 치		측 정 치				비 고
			1군	2군	HEP	공진회로	
주회로 - 접지 (1000V MEGA)	100MΩ 이상	내전압 전	250	200	2,000	200	
		내전압 후	250	200	2,000	200	
제어회로 - 접지 (500V MEGA)	30MΩ 이상	내전압 전	1,000				
		내전압 후	1,000				

8. 내전압 시험

시험 방법	기 준 치		측 정 치	비 고
주회로 - 접지	6,700V 에서 1분간 견딜 것	1 군	견 딤 (80.7 mA)	
		2 군	견 딤 (80.3 mA)	
		HEP	견 딤 (36.0 mA)	
		공진회로	견 딤 (35.7 mA)	
제어회로 - 접지	1,220V에서 1분간 견딜 것		견 딤 (59.8 mA)	

그림 531. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 7

9. 진동시험

항 목	판정 기준		측 정 치	비 고
진동 기능시험	STACK	GATE AMP의 LED D5,D7,D29,D33 이 점등유지	양 호	
	CONTROL UNIT	PWM33의 RUN LED 및 PWM27의 5V,+15V,-15V,24V LED가 점등유지		

10. 전자파 내성시험

항 목	기본 규격	시험 단자	시험		시험조건	평가 기준	측정치	비고
전기적 빠른 과도현상 (EFT) 시험	IEC/EN 61000-4-4	I/O단자	시험 레벨		± 2 kV	A	양 호	
			Tr / Th		5/50 ns			
			반복주파수		5 kHz			
		전원단자	시험 레벨		± 2 kV			
			Tr / Th		5/50 ns			
			반복율		5 kHz			
서지 내성시험	IEC/EN 61000-4-5	전원단자	시험 레벨	선과 접지	선과접지	B	양 호	
				선과 선	± 1 kV			
			Tr / Th		1.2 / 50 ns			
전자파 전도내성(CS)	IEC/EN 61000-4-6	I/O, 전원단자	시험레벨		10 V	A	양 호	
			주파수		(0.15 ~ 80) MHz			
			변조방식		80 % AM (1 kHz)			

그림 532. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 8

구분	시 험 방 법	판정 기준		측 정 치	비 고
1	저온 시험	제어기	정상동작 확인	**정상동작**	
2	고온 시험	제어기	정상동작 확인	**정상동작**	
3	온도변환 시험	제어기	정상동작 확인	**정상동작**	
4	고온고습 시험	제어기	정상동작 확인	**정상동작**	

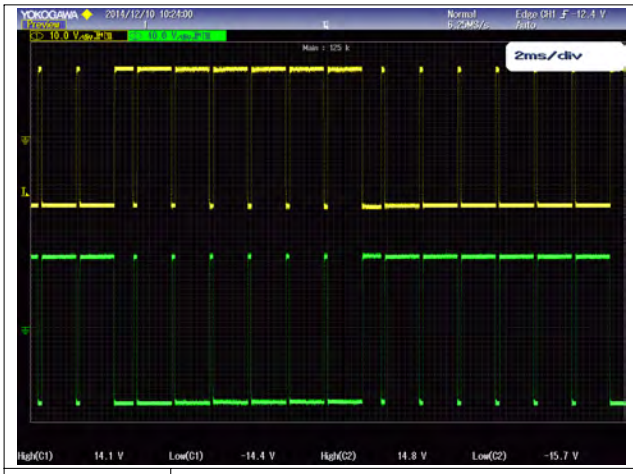
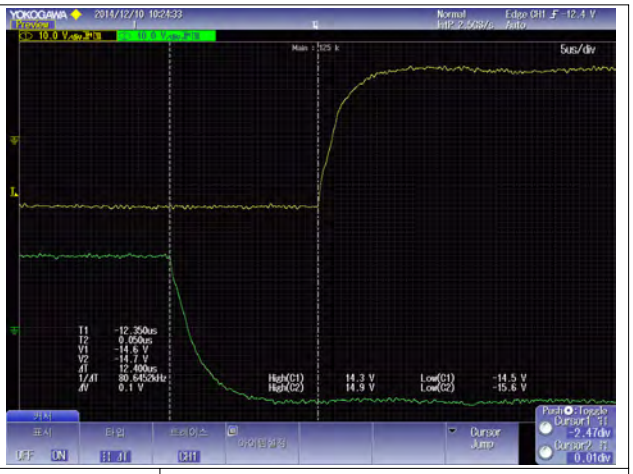
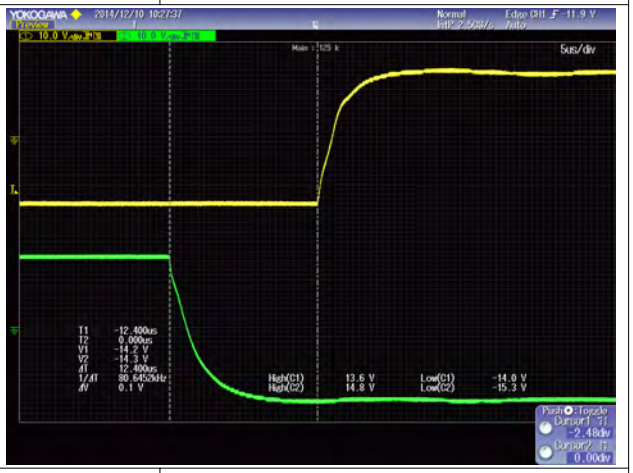
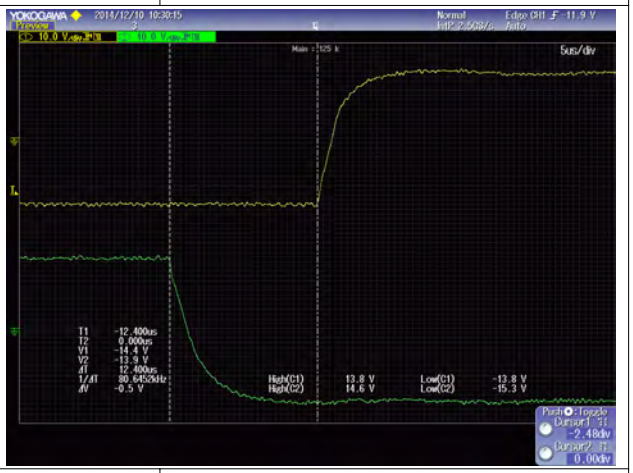
12. 조합시험

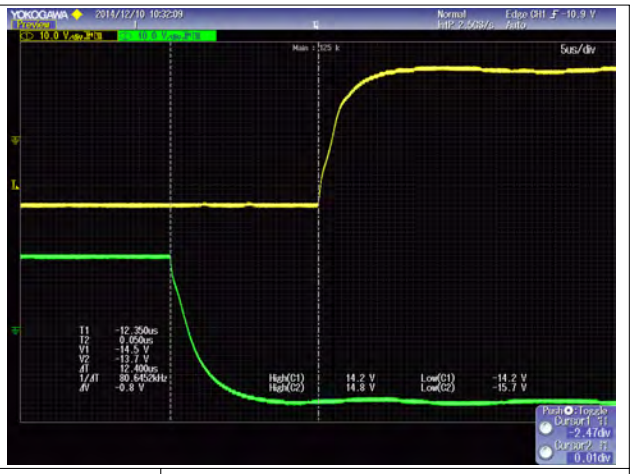
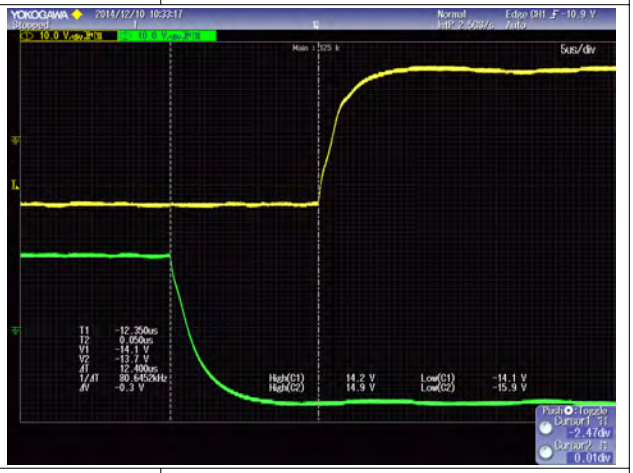
시험 항목	항 목		판정 기준	측 정 치	비 고
역행성능시험	1군	최소견인력	5kN ± 5%	5	
		최대견인력	25kN ± 5%	25	
	2군	최소견인력	5kN ± 5%	5	
		최대견인력	25kN ± 5%	25	
제동성능시험	1군	최소견인력	5kN ± 5%	5	
		최대견인력	25kN ± 5%	25	
	2군	최소견인력	5kN ± 5%	5	
		최대견인력	25kN ± 5%	25	

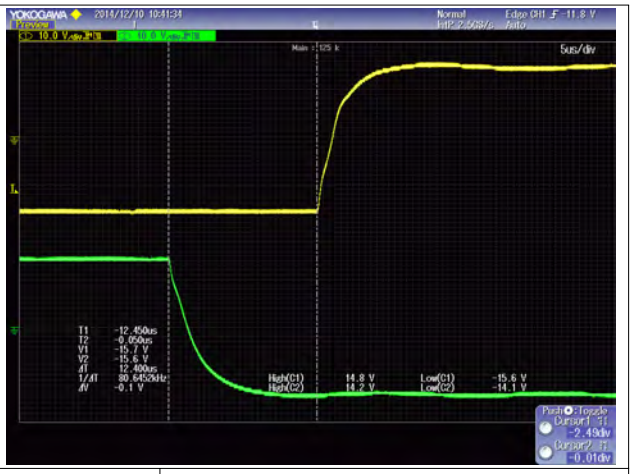
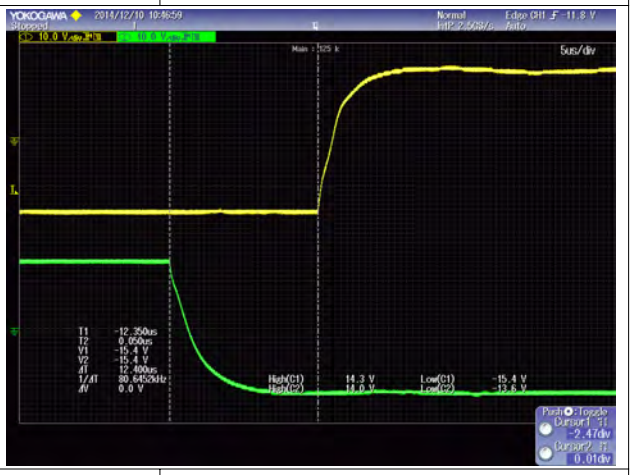
그림 533. 전력변환장치 구성품 시험결과 성적서 - 9

(2) 전력변환장치 구성품시험 검사/시험

(가) IGBT 게이트 특성시험(제어기능시험) DATA

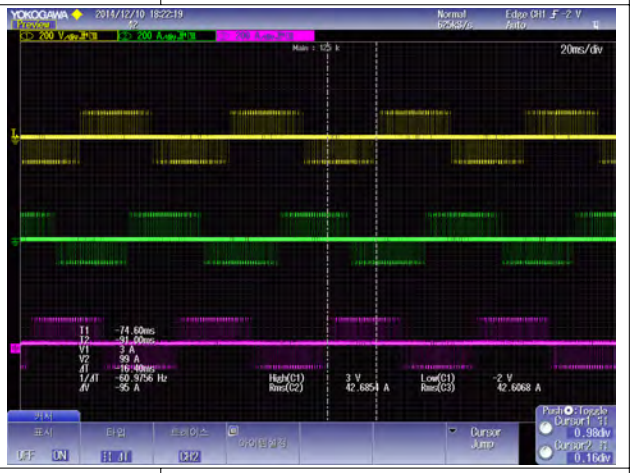
			
1 군	CONV1 Gate ON/OFF 전압(V)	1 군	CONV1 DEAD TIME(㎲)
			
1 군	CONV2 Gate ON/OFF 전압(V)	1 군	CONV2 DEAD TIME(㎲)
			
1 군	INV1 Gate ON/OFF 전압(V)	1 군	INV1 DEAD TIME(㎲)

			
1 군	INV2 Gate ON/OFF 전압(V)	1 군	INV2 DEAD TIME(㎲)
			
1 군	INV3 Gate ON/OFF 전압(V)	1 군	INV3 DEAD TIME(㎲)

			
2 군	CONV1 Gate ON/OFF 전압(V)	2 군	CONV1 DEAD TIME(㎲)
			
2 군	CONV2 Gate ON/OFF 전압(V)	2 군	CONV2 DEAD TIME(㎲)
			
2 군	INV1 Gate ON/OFF 전압(V)	2 군	INV1 DEAD TIME(㎲)

			
2 군	INV2 Gate ON/OFF 전압(V)	2 군	INV2 DEAD TIME(㎲)
			
2 군	INV3 Gate ON/OFF 전압(V)	2 군	INV3 DEAD TIME(㎲)

(나) 주회로 동작시험(제어기능시험) DATA

			
1 군	△T : 49.2ms	1 군	U-V : 120°(△T : 16.4ms)
			
1 군	V-W : 120°(△T : 16.4ms)	1 군	W-U : 120°(△T : 16.4ms)



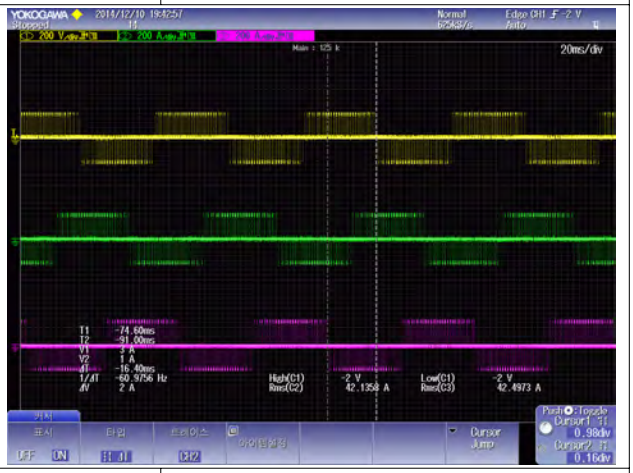
2 군	△T : 49.2ms



2 군	U-V : 120° (△T : 16.4ms)

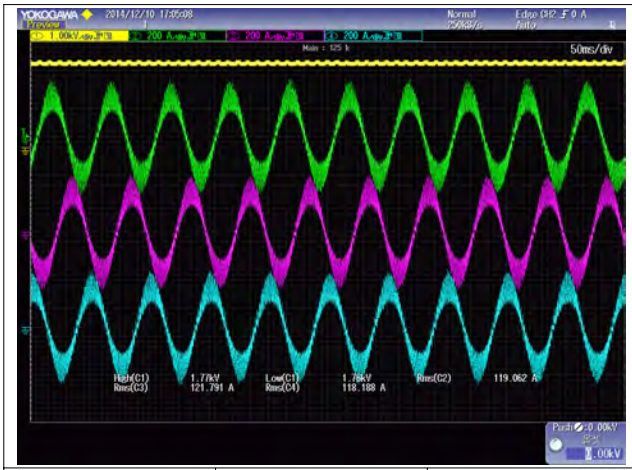


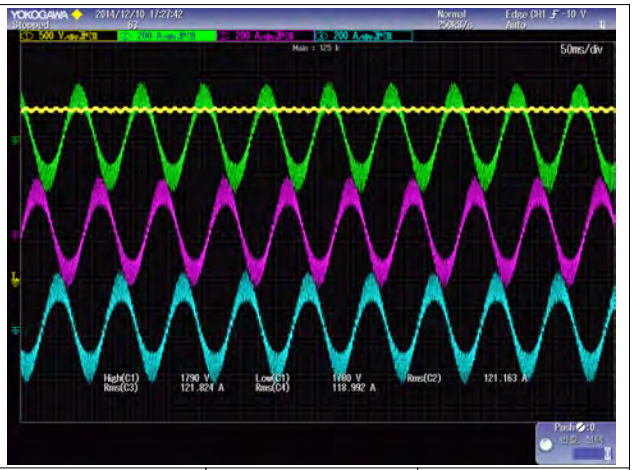
2 군	V-W : 120° (△T : 16.4ms)



2 군	W-U : 120° (△T : 16.4ms)

(다) 경부하시험 DATA

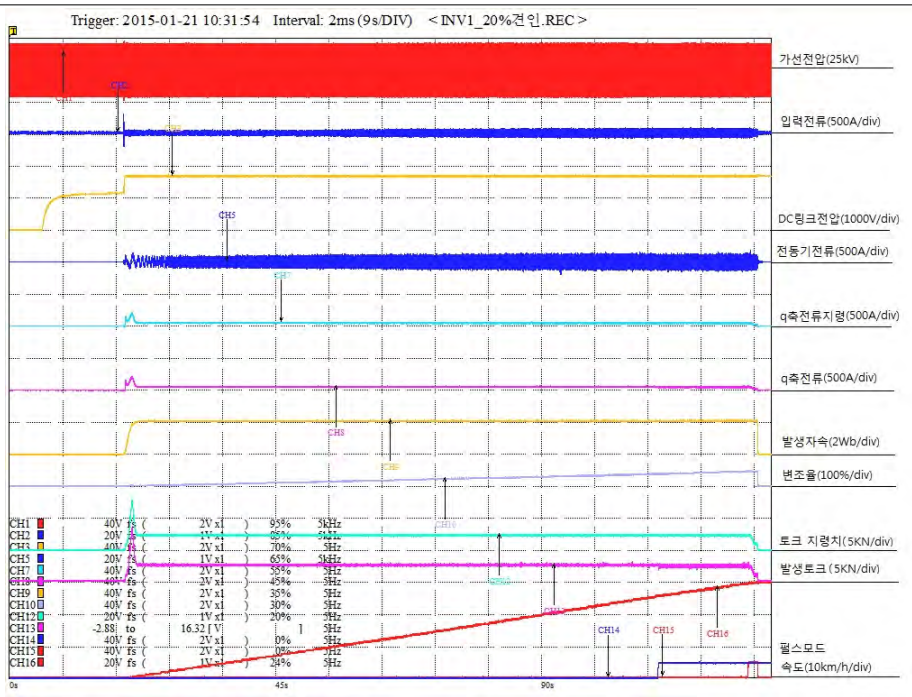




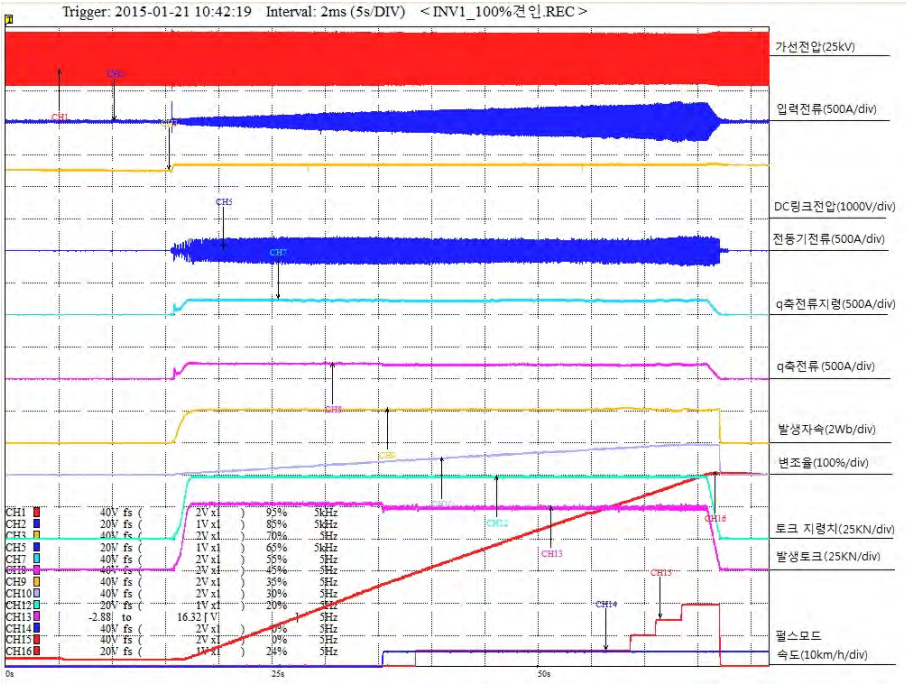
1군 (120 A ± 5 %)	U상 (Arms)	119.0 A	2군 (120 A ± 5 %)	U상 (Arms)	121.8 A
	V상 (Arms)	121.7 A		V상 (Arms)	118.9 A
	W상 (Arms)	118.1 A		W상 (Arms)	121.1 A

(라) 조합시험(견인력시험) DATA

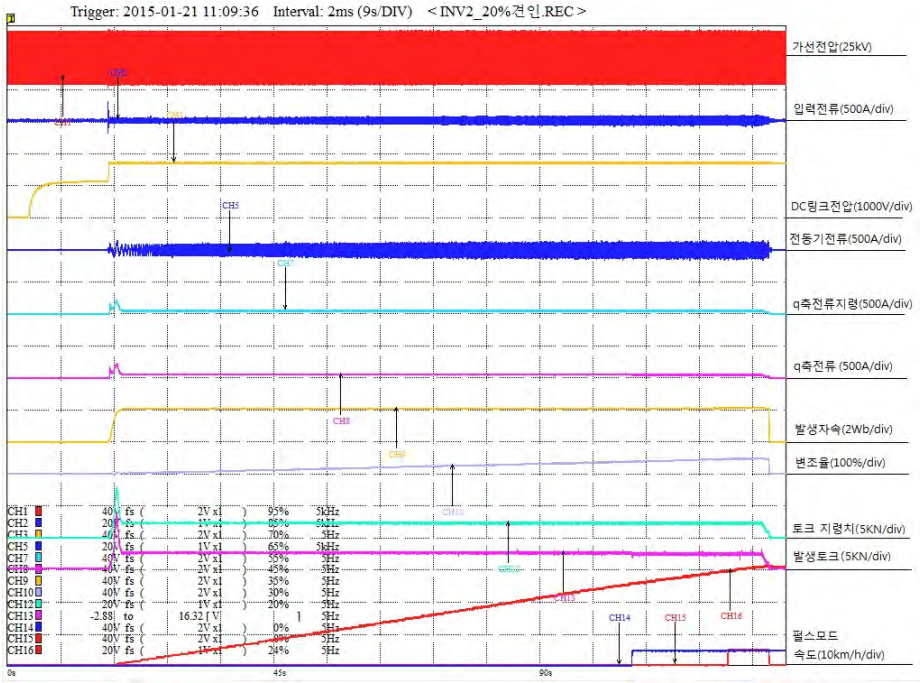
① 역행성능시험



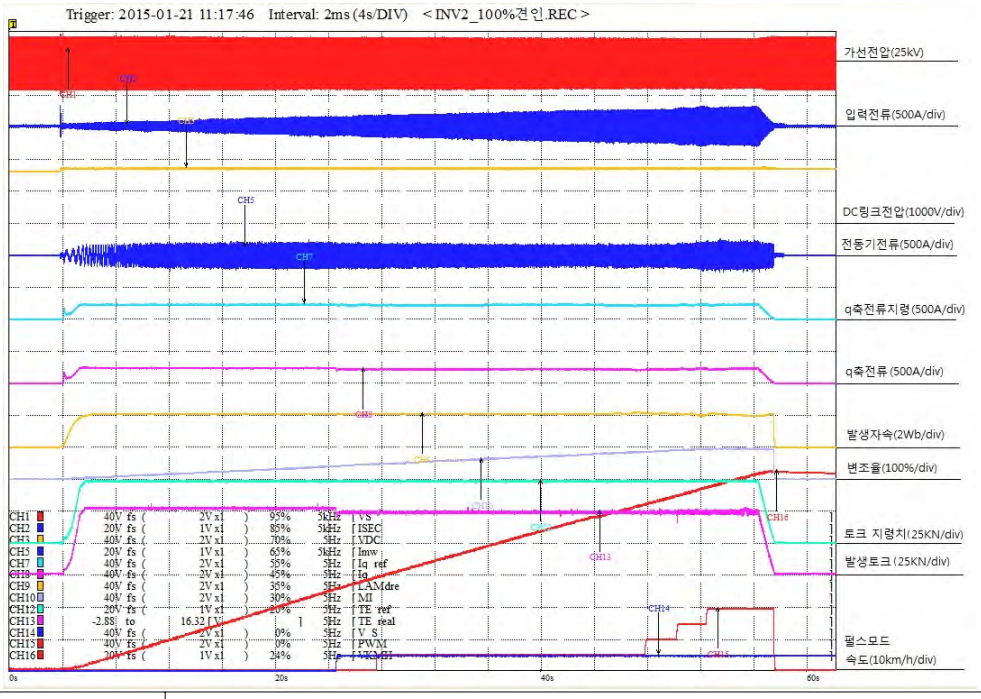
1군	최소 견인력(최대출력 20%) - 5kN



1군	최대 견인력(최대출력 100%) - 25kN

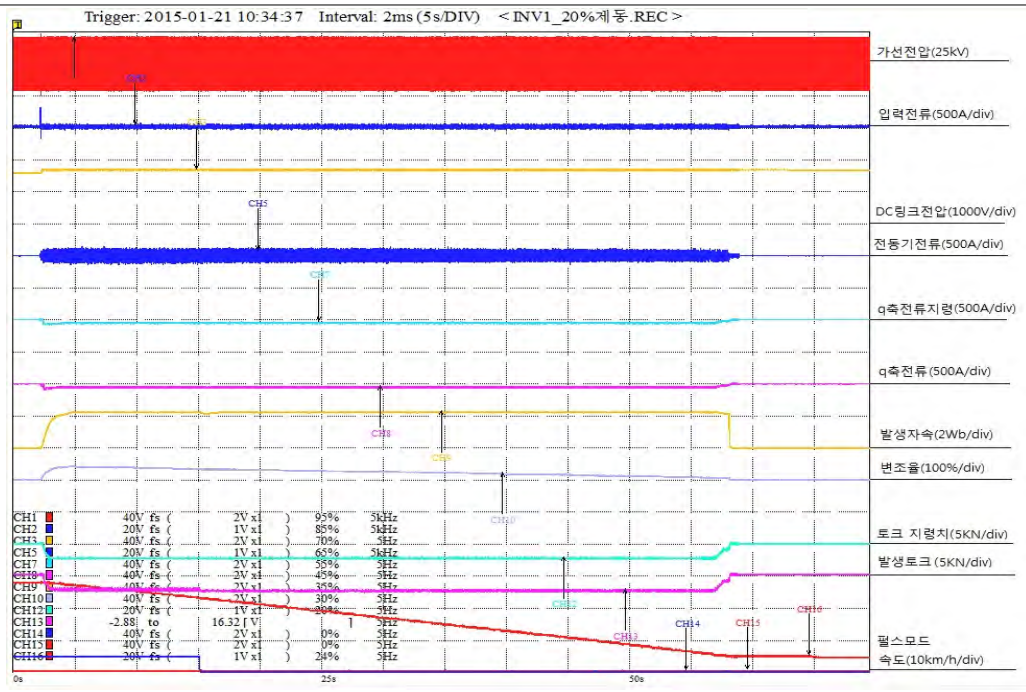


2군	최대 견인력(최대출력 20%) - 5kN

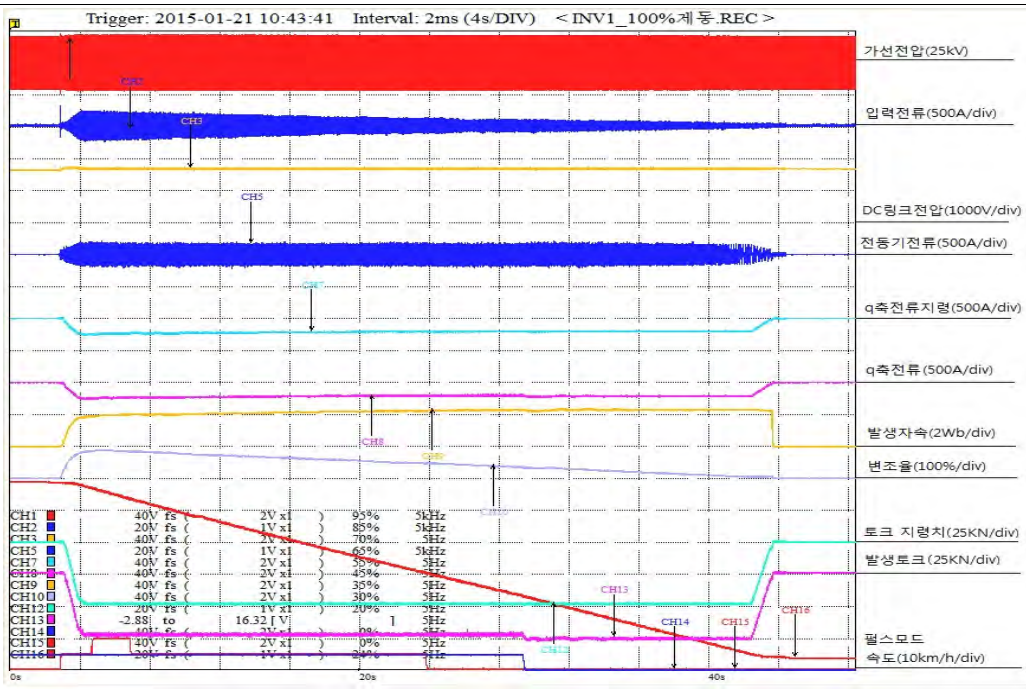


2군	최대 견인력(최대출력 100%) - 25kN

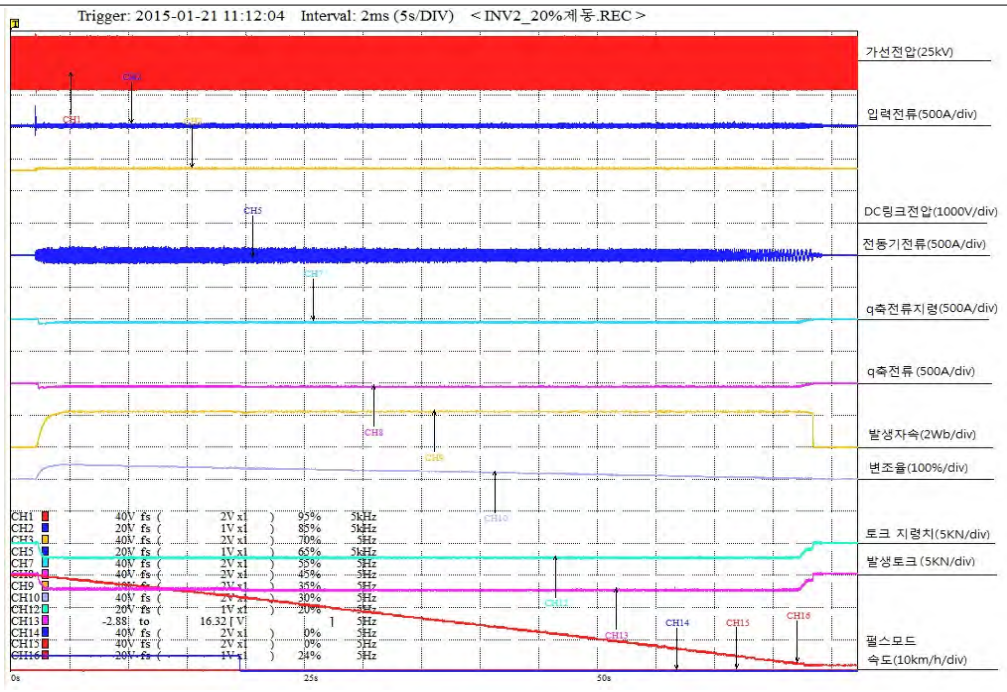
② 제동성능시험



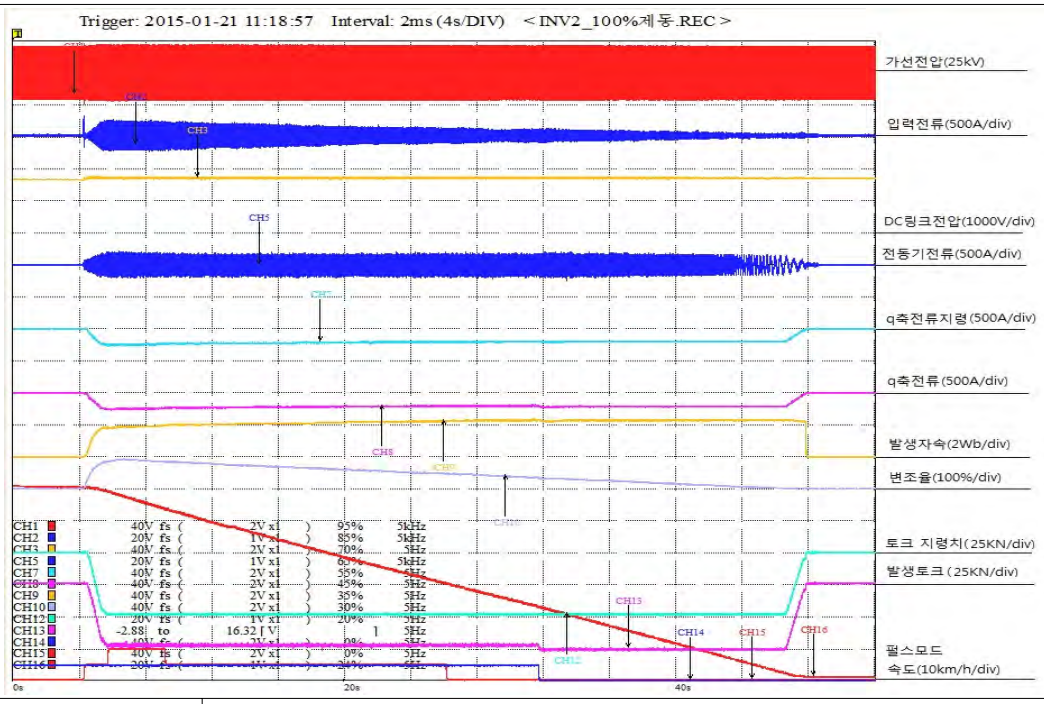
1군	최대 제동력(최대출력 20%) - 5kN



1군	최대 제동력(최대출력 100%) - 25kN



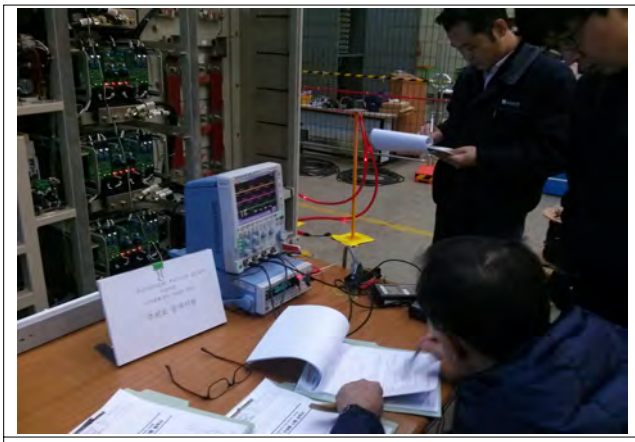
2군	최대 제동력(최대출력 20%) - 5kN

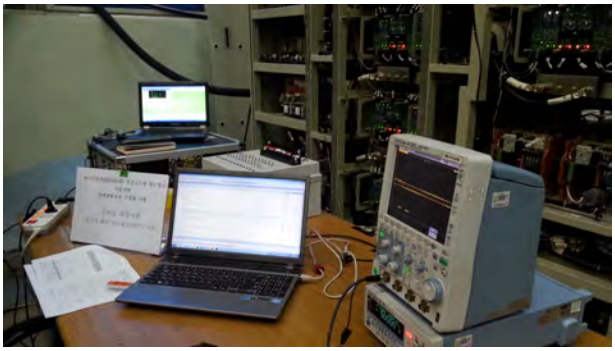
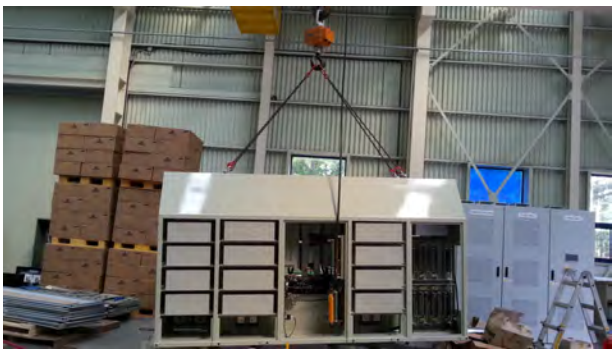


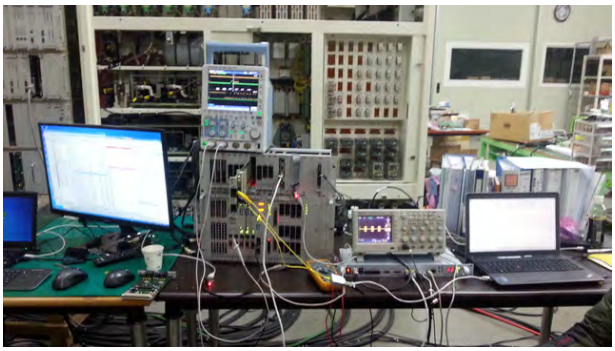
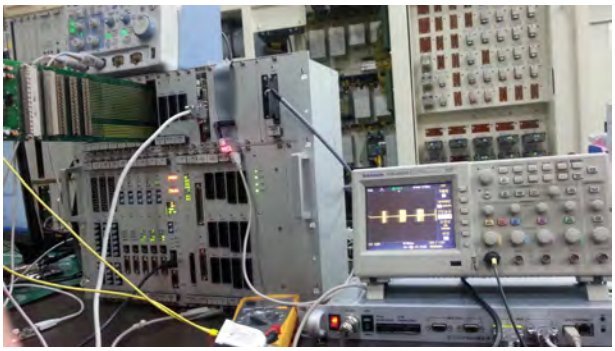
2군	최대 제동력(최대출력 100%) - 25kN

(마) 구성품시험 사진

<table>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td>겉모양 검사</td><td>측정검사</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>보호검출 기능시험</td><td>광량측정시험</td></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td>IGBT 게이트 전원특성시험</td><td>IGBT 게이트 특성시험</td></tr>
</table>

	
주회로 동작시험	경부하 시험
	
절연저항시험(내전압시험 전)	내전압시험
	
절연저항시험(내전압시험 후)	진동시험

	
전자파 내성시험	환경시험
	
조합시험 - 견인력시험(역행성능시험)	조합시험 - 견인력시험(제동성능시험)
	
중량측정검사	중량측정검사

	
수냉각시험	수냉각시험
	
MVB 통신시험	MVB 통신시험

(바) MVB 통신시험

① 시험개요

㉮ 일시 : 2015 년 1월 16일

㉯ 장소 : (주)우진산전 2공장

㉰ 참석자 : 우진산전 2명(송영신 차장, 채승민 과장), 앤츠 2명(손기환 연구소장, 박재휘 대리)

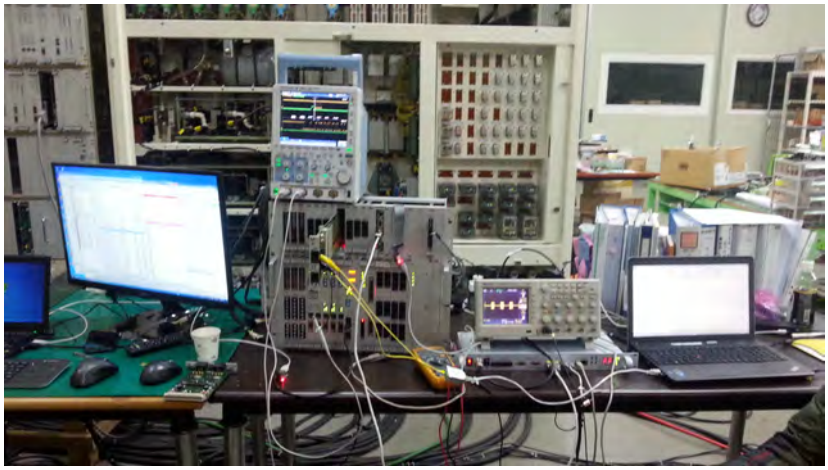


그림 534. MVB 통신시험

㉲ 내용

(ㄱ) 카드 타입의 TCU용 MVB 통신보드를 TCU 랙에 취부하고 MVB 통신선을 연결하여 시험하였다.

(ㄴ) TCU의 외부로 MVB 통신선이 배선되고 MVB 시험기를 통해 시험을 시행한다.

(ㄷ) 프로토콜에 따라 MVB 시험기에서 지령을 내리고 TCU내 CPU보드에서 지령 값을 확인하고 TCU의 상태 값를 MVB 시험기에서 확인한다.

(ㄹ) 오실로스코프로 MVB 통신 상태를 실시간으로 확인한다.

(ㅁ) 부록. Protocol Guide_R&D8200-X-20(MVB)-006-T 참조

② 시험결과

㉮ MVB 시험기 → TCU

No	Item	Result	Note
1	판토그라프1 또는 2 상승 명령	MVB 시험기에서 상승 또는 하강 명령 정상 동작	
2	운전실1 또는 2 점유 명령	MVB 시험기에서 명령 정상 동작	
3	역전기 상태 명령	MVB 시험기에서 명령 정상 동작	
4	견인전동기 1, 2 견인력 / 회생 제동력 설정	점유 명령 시 견인력 / 회생 제동력을 가변하여 명령 TCU에서 가변값이 정상동작	
5	시간 설정	MVB 시험기에서 설정	

㉯ TCU → MVB 시험기

No	Item	Result	Note
1	판토그라프1 또는 2 상승 명령	MVB 시험기에서 상승 또는 하강 명령 정상 동작	
2	운전실1 또는 2 점유 명령	MVB 시험기에서 명령 정상 동작	
3	역전기 상태 명령	MVB 시험기에서 명령 정상 동작	
4	견인전동기 1, 2 견인력 / 회생 제동력 설정	점유 명령 시 견인력 / 회생 제동력을 가변하여 명령 TCU에서 가변값이 정상동작	
5	시간 설정	MVB 시험기에서 설정	

㉰ 부록. MVB 통신시험결과보고서(R&D8200-X-20(MVB)-012-T) 참조

2. IGBT용 수냉각장치 기술개발

가. 시험개요

(1) 현차 냉각시스템 개요

현차의 냉각시스템은 크게 구분하면 수냉각펌프, 냉각전동기, 팬 임펠러, 냉각핀으로 구성되어 있다. 수냉각펌프는 주전력변환장치의 GTO스택과 냉각시스템 사이의 냉각수를 순환시킨다. 냉각전동기는 팬 임펠러를 회전시켜서 냉각핀에 바람을 불어 넣어 냉각핀을 통과하는 냉각수의 온도를 낮춘다. 냉각핀은 대기 온도와 수냉각수 온도 사이의 열교환 기능을 한다. (아래 그림은 정비 지침서에서 인용



그림 535. 외형 사진

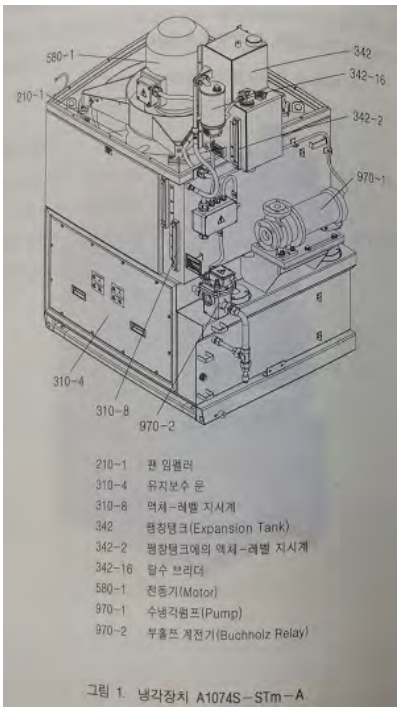


그림 536. 각부 명칭

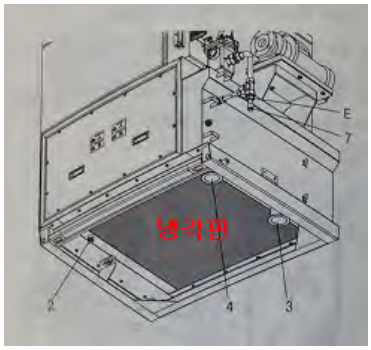


그림 537. 냉각핀

(2) 현차 전력변환기의 냉각 성능

8200호대의 전기기관차는 총 2기의 주전력변환기를 가지고 있다. 각각의 주변환기는 이하의 그림과 같이 총 13개의 스택으로 병렬 연결되어 있다. 스택의 온도와 냉각수의 온도 측정 결과는, 현차 시험 당일의 기후 조건과 운행 조건 또는 상태에 따라 달라 질 수 있다. 한 겨울과 한 여름에 측정한 결과는 분명한 차이가 있었다. 현차 시험의 결과를 보면, 스택의 입력 냉각수의 온도는 1,2,3차에서는 최고 27℃, 4차에서는 39.5℃이었다. 입력 온도와 출력 온도의 차이는 대략 1℃에서 1.5℃ 정도로 측정 되었다.



그림 538. 기존품 냉각시스템 구성도

(3) 현차 냉각시스템의 냉각 성능

여기서의 냉각시스템은 위 그림의 냉각전동기와 냉각핀을 포함하는 부분으로 한정한다. 냉각전동기는 팬 임펠러를 돌리고 이로써 발생한 공기는 냉각핀을 통과한다. 공랭 방식이다. 수냉각펌프에 의해 순환되는 냉각수는 스택에서 가져온 열을 냉각핀을 통해 교환하여 온도가 낮아진다. 그러나 기관차의 운행 당시의 대기 온도 이하로는 내려가지 않을 것이다. 현재 기관차가 무리 없이 운행하는 이유는 최악의 운행 조건에서도 스택을 순환하는 냉각수의 온도가 지속적으로 올라가지 않기 때문이다.

(4) IGBT용 수냉각장치의 냉각시스템 개요

개발품의 냉각시스템은 기본적으로 현차의 냉각시스템과 동일한 것으로 한다. 전력변환스택의 주전력변환 소자가 GTO에서 IGBT로 바뀌는 것을 제외하면 기본 구성은 같다.



그림 539. 개발품 냉각시스템 구성도

(5) IGBT용 수냉각장치의 냉각 성능

위의 그림과 같이 기존품의 냉각시스템을 그대로 사용할 경우를 보자. GTO스택 자리를 IGBT용 스택으로 대체한다. GTO스택의 발생 열과 IGBT스택의 발생 열의 차이는 있다. 기존품의 발생 열보다 개발품의 발생 열이 같거나 낮으면 기존의 냉각시스템을 그대로 사용해도 된다. 이를 위해서 여름철에 기관차의 운행 조건이 최악의 상태일 때의 기존품의 GTO스택의 발생 열을 시험 측정할 필요가 있었다.

(6) 현차 탑재 시험

전 페이지의 그림에서와 같이 IGBT용 수냉각장치의 총 조립품을 현차에 탑재하여 시험 하는 방법이다. 현재 시점에서는 여러 가지 어려움이 많아 시험이 불가능하고 각 기관 별로 개발이 완료되면 가능하다.

(7) 현차와 동일 조건 시험

(가) 대전철도차량정비단 현지 시험

현차에 직접 탑재하지는 않더라도 현차와 동일한 냉각시스템에 IGBT용 수냉각장치의 총 조립품을 연결하여 시험하는 방법이다. 이를 위해서는 한국철도공사 대전철도차량정비단의 협조가 필요하다. 냉각시스템을 단독으로 시험할 수 있도록 시스템과 장소 및 일정의 제공이 있어야 한다.

(나) 선우전기 및 우진산전 공장 시험

현지에서의 시험 방법 대신에 선우전기 또는 우진산전에서 현차의 냉각시스템을 대여하여 시험하는 방법이다. 개발에 참여한 회사에서 직접 시험을 할 수 있으므로 개발 시험을 수시로 반복할 수 있고 시간과 비용을 절감할 수 있다. 현재 제3자 인증 시험을 겸하여 준비 중에 있다.

나. 단품시험

(1) 1차년도 시작품 시험

○ 시험 일시 : 2014.3.10 13:15~17:20
○ 시험 장소 : 선우전기 기업부설연구소
○ 참석자 : 선우전기 홍억선 대표, 홍성위 이사
우진산전 노춘호 이사, 채승민 과장, 구준성 주임
○ 시험 대상 : 1차년도 IGBT용 수냉각장치 시작품
○ 시험 목적 : 설계 및 열유동해석 내용과 시작품 비교 분석 후 보완
○ 유량 : 칠러 세팅 $1m^3/h$
○ 수압 : 2 bar (0.2MPa)
○ 수온 : 30℃물 100%
○ IGBT 발열량 : 3상 인버터 출력을 단계별로 입력
5kW> 8kW> 10kW> 11kW 3상 전력=√3 x 3상 전압 x 3상 전류 x 역율
○ 온도 시험 포인트 : 총 12개 포인트로서 IGBT와 수냉각장치의 접촉면 ①②③④, 비접촉면 ⑥⑧, 수냉각장치 유입구 ⑤, 유출구 ⑦, 유입구 SP Coupler ⑨, 유출구 SP Coupler ⑩, 순환 냉각수 온도 ⑪, 대기 온도 ⑫이다.

○ 온도 측정 : 12채널 온도 기록계 MV100

○ 온도 시험 데이터 분석 : MV100 분석 프로그램



그림 540.
시작품 시험 장면

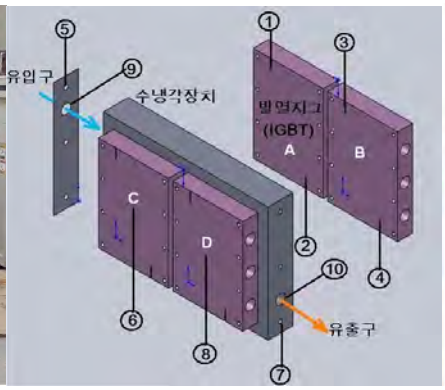


그림 541.
온도 시험 포인트



그림542.
기록분석

(가) 시험 조건 점검

개발품의 시험 평가 지표는 다음과 같다.

표 116. 개발품 시험 평가 지표

항목			시험 조건	결과
구체적 평가 지표	냉각수 유동 조건	발 열 량	총 10kW (IGBT 개당 2,500W, 1 Stack당 IGBT 4개)	
		유 량	216.7 $L/\min$ = 13 m^3/hr(= 0.0036 $m^3/\sec$)	
		대기온도	40℃ (내부 온도상승 고려)	
		초기 유입온도	40℃ (최고 대기 조건 모사)	
		냉각수	물 : GLYCOL = 5 : 5	
		HEAT BLOCK 재질	AL6061-T6	
	효율	수냉각장치 냉각 효율	IGBT Case 온도 80℃	

(나) 냉각수의 온도

현차의 냉각시스템 대신에 이와 유사한 냉각시스템으로 시험한다. 현재 선우전기에서 보유하고 있는 냉각시스템은 기존품과 기능면에서 다소 차이가 있다. 기존품은 공랭식 냉각시스템이고 선우전기 보유품은 냉각 컴프레서 의한 칠러이다. 이 칠러의 냉각수의 온도를 40℃로 세팅한다. 그 이유는 기존품이 냉각수의 온도를 한 여름철 최고 기온인 40℃까지 낮출 수 있다고 가정하고, 이 온도를 전력변환스택의 입구로 들어가는 냉각수의 초기 온도로 설정한다.

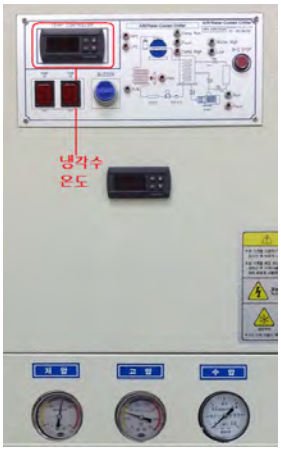


그림 543. 칠러 앞면



그림 544. 유량계

(다) 냉각수의 유량

냉각수의 유량은 현차의 냉각수펌프의 유량이 13㎥/hr이고 13개의 스택이 병렬 연결되어 있으므로 1개의 스택에는 1㎥/hr의 유량이 흐른다. 선우전기가 보유한 칠러의 유량을 1㎥/hr로 맞춘다. 0에서 4.2㎥/hr까지 세팅이 가능하다.

(라) IGBT 발열지그

시작품 초기 시험에는 IGBT와 그의 회로를 직접 시험하는 대신에 IGBT와 같은 크기의 발열 지그를 제작하여 시험한다. 최대 발열량을 10kW로 계산하여 1스택당 2.5kW의 지그 4개를 사용한다. 1개의 지그는 다시 833W의 발열체 3개로 구성한다. 발열 지그에 일정한 전력 즉 3상 전력을 공급한다. 공급 전력은 3상 인버터를 사용하여 가변한다. 입력 전력은 √3 x 3상 전압 x 3상 전류 x 역율로 계산한다.

(마) IGBT용 수냉각장치 시작품

냉각수는 아래 그림의 시작품 왼쪽 SP Coupler로 들어가 오른쪽으로 나온다. 시작품 내부 유로 구조를 통과하며 발열하는 IGBT를 냉각시킨다. 에어컴프레서를 이용하여 압력을 5bar까지 올려 누수가 없는지 시험한다. IGBT 발열지그는 열콤컴파운드를 바르고 시작품에 조립한다. 이때 열전도율이 좋게 하기 위하여 충분히 조인다.



그림 545. IGBT용 수냉각장치 시작품

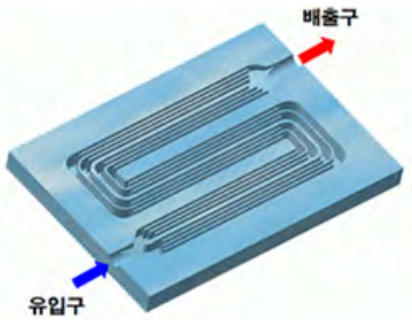


그림 546. 시작품 내부 유로

(바) 1차년도 시작품 온도 시험 데이터

시작품 시험 데이터는 2014.02.18 16:00부터 17:20까지의 기록을 첨부한다. 시험은 수냉각장치의 입력 전력을 5kW, 8kW, 10kW, 11kW의 구간별로 나누어 실시했다. 실질적인 유효 데이터는 8kW와 10kW의 데이터이다. 이하 페이지에는 아래 그림의 온도 기록계 MV100의 데이터를 첨부하고 마지막에 시험 결과를 분석하고 그래프를 첨부하였다.

DAQSTANDARD	R7.21		
Data Viewer	R7.21		
PC	PC		110-31589
Device Type	MV100		
Serial No.	12W209877		
File Message			
Time Correction	None		
Starting Condition	Auto		
Dividing Condition	Auto		
Meas Ch.	12		
Math Ch.	0		
Data Count	300		
Sampling Interval	2.000	sec	
Start Time	2014/02/18	16:00	0.000
Stop Time	2014/02/18	17:20	0.000



그림 547. 온도 기록계

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
21	Date	Time	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12
22	2014/02/18	16:00:00	25.5	25.6	25.6	25.5	25.3	25.3	25.3	25.5	25.5	25.5	26.3	22.3
23	2014/02/18	16:00:02	25.5	25.5	25.6	25.5	25.3	25.3	25.3	25.5	25.5	25.5	26.3	22.2
24	2014/02/18	16:00:04	25.5	25.5	25.6	25.5	25.3	25.3	25.3	25.5	25.4	25.5	26.3	22.2
25	2014/02/18	16:00:06	25.5	25.5	25.6	25.5	25.3	25.4	25.3	25.5	25.4	25.5	26.3	22.2
26	2014/02/18	16:00:08	25.5	25.5	25.6	25.5	25.3	25.4	25.3	25.5	25.4	25.5	26.3	22.2
27	2014/02/18	16:00:10	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.3	25.5	25.5	25.5	26.3	22.3
28	2014/02/18	16:00:12	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.5	25.5	26.3	22.3
29	2014/02/18	16:00:14	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.4	25.5	26.3	22.4
30	2014/02/18	16:00:16	25.5	25.6	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.5	25.5	26.3	22.4
31	2014/02/18	16:00:18	25.5	25.6	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.5	25.5	26.2	22.4
32	2014/02/18	16:00:20	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.5	25.5	24.2	22.5
33	2014/02/18	16:00:22	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.4	25.5	25.5	25.6	26.3	22.7
34	2014/02/18	16:00:24	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.3	25.5	25.4	25.6	26.3	22.8
35	2014/02/18	16:00:26	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.3	25.5	25.4	25.5	26.2	23.1
36	2014/02/18	16:00:28	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.4	25.5	25.4	25.5	26.2	23.1
37	2014/02/18	16:00:30	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.4	25.4	25.5	25.5	25.5	25.7	23.1
38	2014/02/18	16:00:32	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.3	25.5	25.5	25.6	26.1	22.9
39	2014/02/18	16:00:34	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.4	25.4	25.5	25.4	25.5	26.2	23.2
40	2014/02/18	16:00:36	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	26.3	23.2
41	2014/02/18	16:00:38	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.6	26.2	23.2
42	2014/02/18	16:00:40	25.5	25.6	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.4	25.6	24.8	23.2
43	2014/02/18	16:00:42	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	22.8	23.2
44	2014/02/18	16:00:44	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	26.1	23.3
45	2014/02/18	16:00:46	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	25.9	23.6
46	2014/02/18	16:00:48	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.4	25.5	25.7	23.7
47	2014/02/18	16:00:50	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	25.3	23.7
48	2014/02/18	16:00:52	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	25.2	23.6
49	2014/02/18	16:00:54	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	25.0	23.5
50	2014/02/18	16:00:56	25.5	25.5	25.7	25.5	25.5	25.3	25.4	25.5	25.5	25.5	25.0	23.3
51	2014/02/18	16:00:58	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.5	25.5	25.0	23.2
52	2014/02/18	16:01:00	25.5	25.5	25.6	25.4	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	23.1
53	2014/02/18	16:01:02	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.5	25.4	25.5	24.9	22.8
54	2014/02/18	16:01:04	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.5	25.4	25.5	24.9	22.7
55	2014/02/18	16:01:06	25.5	25.5	25.6	25.4	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	22.5
56	2014/02/18	16:01:08	25.5	25.5	25.7	25.5	25.5	25.3	25.4	25.5	25.5	25.5	24.9	22.5
57	2014/02/18	16:01:10	25.5	25.5	25.7	25.5	25.5	25.3	25.4	25.5	25.5	25.5	24.9	22.5
58	2014/02/18	16:01:12	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	22.3
59	2014/02/18	16:01:14	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	22.2
60	2014/02/18	16:01:16	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.5	25.5	24.9	22.1
61	2014/02/18	16:01:18	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.5	25.5	24.9	22.1
62	2014/02/18	16:01:20	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.5	25.5	24.9	22.2
63	2014/02/18	16:01:22	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	22.3
64	2014/02/18	16:01:24	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	22.5
65	2014/02/18	16:01:26	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	22.6
66	2014/02/18	16:01:28	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	22.6
67	2014/02/18	16:01:30	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	22.8
68	2014/02/18	16:01:32	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	23.2
69	2014/02/18	16:01:34	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	23.6
70	2014/02/18	16:01:36	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	23.6
71	2014/02/18	16:01:38	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.4	24.9	23.6
72	2014/02/18	16:01:40	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	23.9
73	2014/02/18	16:01:42	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	24.0
74	2014/02/18	16:01:44	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	24.1
75	2014/02/18	16:01:46	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.4	24.9	24.1
76	2014/02/18	16:01:48	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	23.9
77	2014/02/18	16:01:50	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.4	25.4	25.4	25.5	24.9	23.7
78	2014/02/18	16:01:52	25.5	25.5	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	23.7
79	2014/02/18	16:01:54	25.5	25.5	25.7	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.4	25.5	24.9	23.7

그림 548. 시작품 시험 시작

시작품 시험에 관한 상세 데이터는 기술문서 R&D8200-X-04(COOL)-005-T Rev. A1 IGBT용 수냉각장치 시작품시험보고서 및 R&D8200-X-04(COOL)-008-T Rev. A0 IGBT용 수냉각장치 시험성적서를 참고한다.

(사) 1차년도 시작품 온도 시험 데이터 분석

이상의 온도 데이터를 아래 그래프와 표로 요약 정리하였다. 우선 IGBT와 수냉각장치의 접촉면①②③④의 최고 온도는 입력 전력이 10kW에서 64.3℃, 8kW에서 57.5℃로 측정되었다. IGBT 접촉면의 온도 편차는 10kW 입력에서 최대 19.6℃, 8kW 입력에서 16.9℃이다. 냉각수 유입구⑨는 41.4℃, 유출구 ⑩은 52.5℃이다. 수냉각장치 본체 유입구 측면⑤의 온도는 49.6℃, 출구 측면⑦은 45.5℃이다. 입력 5kW와 11kW는 단순 참조를 위하여 시험한 것이다. 특히 IGBT 최대 발열을 가정한 입력 10kW보다 10%를 증가 시킨 시험을 추가로 하였다.

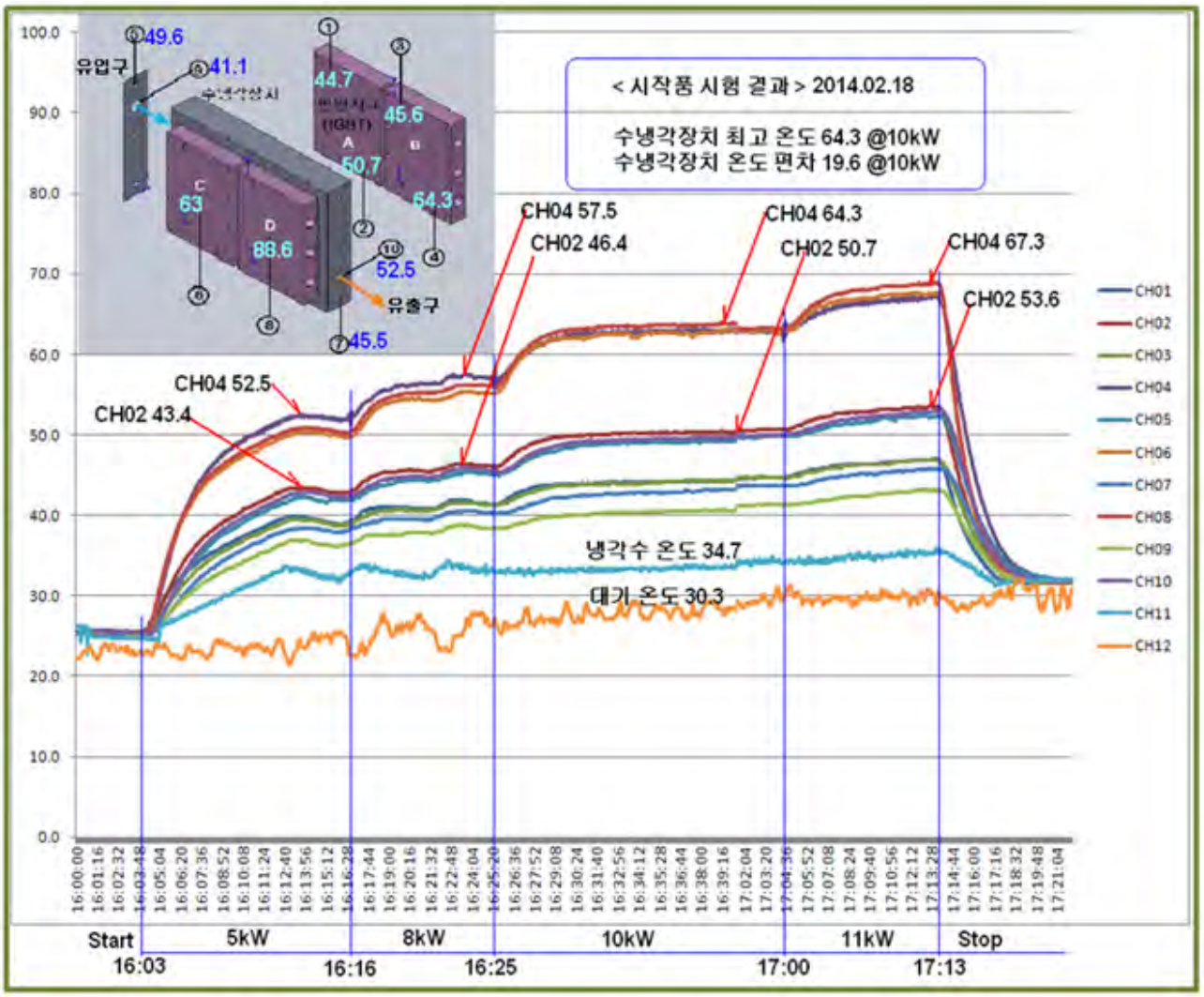


그림 549. 시작품 시험 온도 분석 그래프

표 117. 시작품 온도 편차

CH 01	CH 02	CH 03	CH 04	CH 05	CH 06	CH 07	CH 08	CH 09	CH 10	CH 11	CH 12	입력	온도 편차
39.6	44.0	40.3	53.6	42.5	51.0	38.9	51.9	37.1	43.0	33.8	25.6	5kW	14.0
41.7	46.4	41.9	57.5	45.4	55.4	40.6	56.2	38.8	45.8	34.4	27.9	8kW	15.8
44.7	50.7	45.6	64.3	49.8	63.1	45.5	88.6	41.4	52.5	34.8	31.1	10kW	19.6
46.9	53.6	47.0	67.3	52.4	67.7	45.8	69.0	43.2	53.1	35.8	32.1	11kW	20.4

표 118. IGBT와 수냉각장치의 접촉면 온도(℃) 분포 @10kW

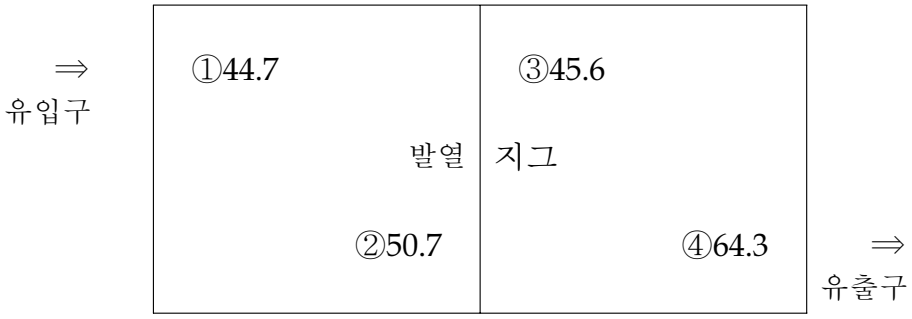
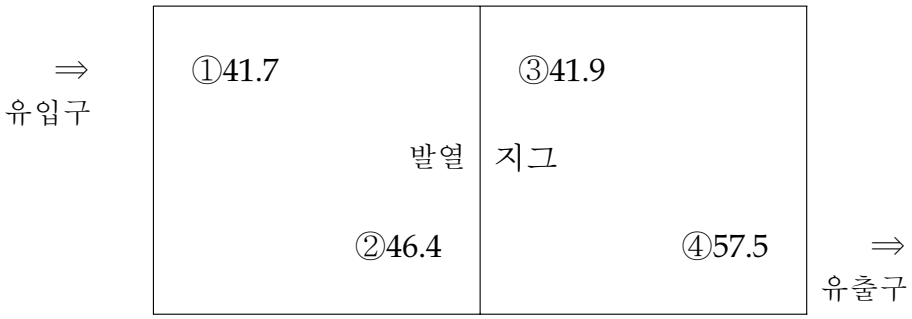


표 119. IGBT와 수냉각장치의 접촉면 온도(℃) 분포 @8kW



(아) 1차년도 시작품 온도 시험 결론

시작품 온도 시험의 결과는 IGBT와 수냉각장치의 접촉면 온도(IGBT 케이스 온도)가 설계 조건 80℃보다 낮은 64.3℃로서 충족한 것으로 나타났다. 초기 유입 냉각수의 온도가 설계 조건 40℃보다 다소 낮으나 그 차이를 감안하여도 IGBT 케이스의 온도는 71℃수준이다. 다만 각 부위의 온도 편차가 최고 19.6℃로서 다소 높아 보인다. 따라서 수냉각장치 내부의 유로를 개선하여 온도 편차를 줄였다.

(2) 2차년도 시작품 시험

(가) 2차년도 시작품 시험(1차)

○ 시험 일시 : 2014.3.19 13:15~15:30
○ 시험 장소 : 선우전기 기업부설연구소
○ 참석자 : 선우전기 홍성위 이사
우진산전 채승민 과장
○ 시험 대상 : 2차년도 IGBT용 수냉각장치 시작품
○ 시험 목적 : 1차년도 시작품 시험 내용과 비교 분석 후 보완
○ 유량 : 칠러 세팅 1m³/h
○ 수압 : 2 bar (0.2MPa)
○ 수온 : 30℃물 100%
○ IGBT 발열량 : 3상 인버터 출력을 단계별로 입력
5kW> 8kW> 10kW> 11kW 3상 전력=√3 x 3상 전압 x 3상 전류 x 역율
○ 온도 시험 포인트 : 총 12개 포인트로서 IGBT와 수냉각장치의 접촉면 ①②③④,

비접촉면 ⑥⑧, 수냉각장치 유입구 ⑤, 유출구 ⑦, 유입구 SP Coupler ⑨, 유출구 SP Coupler ⑩, 순환 냉각수 온도 ⑪, 대기 온도 ⑫이다.

○ 온도 측정 : 12채널 온도 기록계 MV100

○ 온도 시험 데이터 분석 : MV100 분석 프로그램



그림 550.
2차년도(1차)시작품 시험 장면

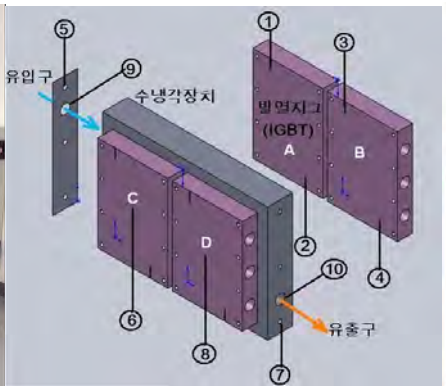


그림 551.
온도 시험 포인트



그림552.
기록분석

입력	5kW	8kW	10kW	11kW	종료

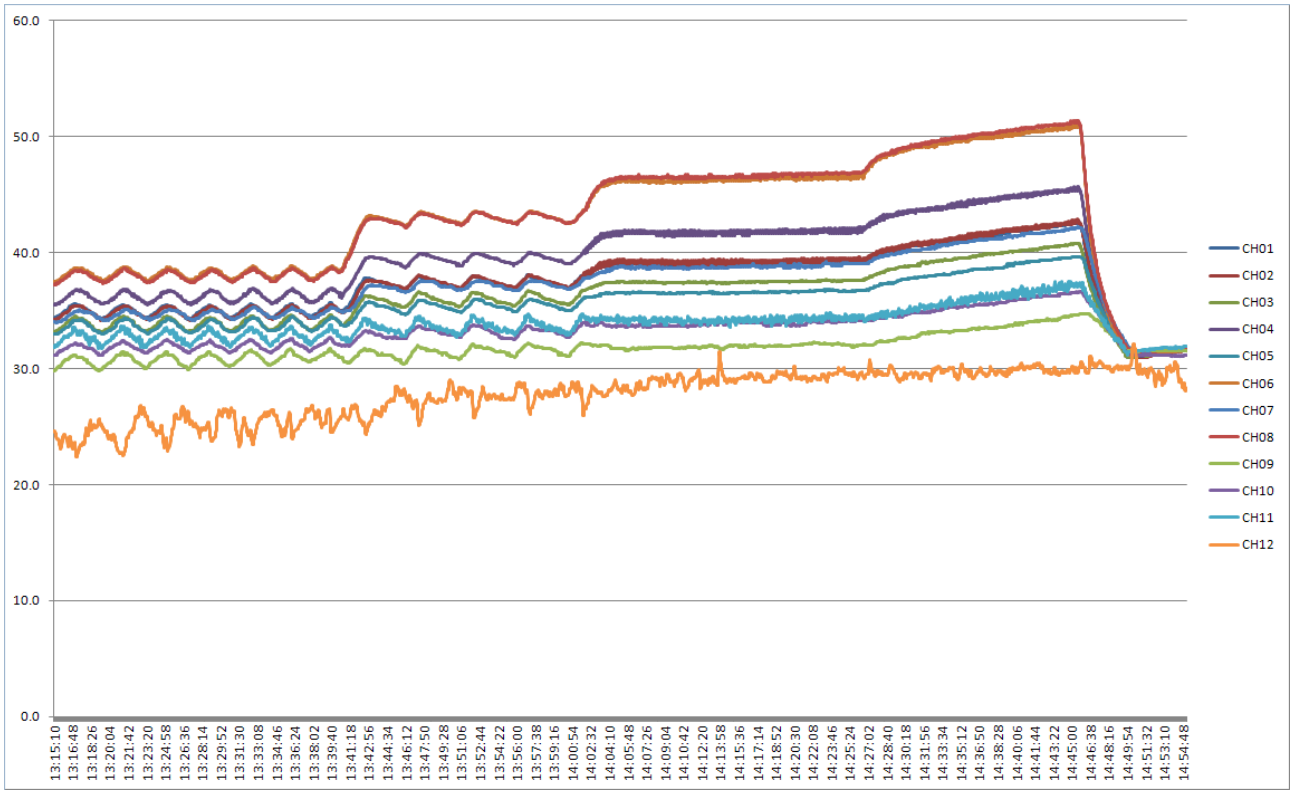


그림 553. 2차년도 시작품 1차 시험 데이터 그래프

(나) 2차년도 시작품 시험(2차)

○ 시험 일시 : 2014.4.17 16:27~17:07

○ 참석자 : 선우전기 홍성위 이사

○ 시험 대상 : 2차년도 IGBT용 수냉각장치 시작품(재제작품)

○ 시험 목적 : 2차년도 시작품 1차 시험 내용과 비교 분석 후 보완

○ 유량 : 칠러 세팅 1m³/h
○ 수압 : 2 bar (0.2MPa)
○ 수온 : 30℃물 100%
○ IGBT 발열량 : 3상 인버터 출력을 10kW 고정

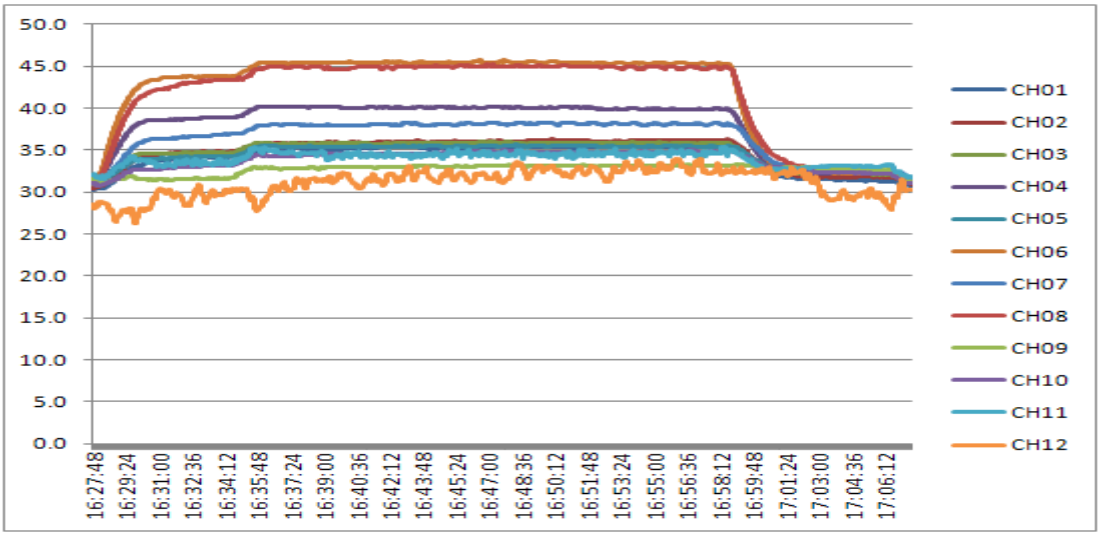


그림 554. 2차년도 2차 온도 시험 그래프

표 120. 2차년도 2차년도 시작품 시험 데이터 비교 (10kW)

구분	시험일	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	온도편차
2차년도	4/1	37.7	39.5	39.1	42.1	36.8	46.8	39.2	46.9	32.3	34.2	34.8	31.4	4.4
	4/7	35.4	36.3	36.0	40.2	35.7	45.7	38.3	45.2	33.3	35.0	35.4	34.0	4.8

(다) 1차년도 2차년도 시험 데이터 비교 분석
○ IGBT 최고 온도 : CH04 64.3℃=> 42.1℃로 개선되었다.
○ IGBT 온도 편차 : CH01~CH04 편차 19.6℃=> 4.4℃로 개선되었다.
○ 입출구 수온 편차 : CH09~CH10 편차 11.1℃=> 1.9℃로 개선되었다.

표 121. 1차년도 2차년도 시작품 시험 데이터 비교

구분	시험일	입력	CH 01	CH 02	CH 03	CH 04	CH 05	CH 06	CH 07	CH 08	CH 09	CH 10	CH 11	CH 12	온도편차
1차년도	3/10	5kW	39.6	44.0	40.3	53.6	42.5	51.0	38.9	51.9	37.1	43.0	33.8	25.6	14
		8kW	41.7	46.4	41.9	57.5	45.4	55.4	40.6	56.2	38.8	45.8	34.4	27.9	15.8
		10kW	44.7	50.7	45.6	64.3	49.8	63.1	45.5	88.6	41.4	52.5	34.8	31.1	19.6
		11kW	46.9	53.6	47.0	67.3	52.4	67.7	45.8	69.0	43.2	53.1	35.8	32.1	20.4
2차년도	4/1	5kW	34.6	35.5	35.7	36.9	34.5	38.9	35.3	38.8	31.7	32.7	33.8	26.8	2.3
		8kW	36.7	38.1	38.1	40.0	36.0	43.6	37.6	43.5	32.2	33.8	34.7	29.0	3.3
		10kW	37.7	39.5	39.1	42.1	36.8	46.8	39.2	46.9	32.3	34.2	34.8	31.4	4.4
		11kW	40.8	42.9	42.6	45.7	39.6	51.1	42.2	51.4	34.7	36.6	37.5	32.1	4.9
	4/7	10kW	35.4	36.3	36.0	40.2	35.7	45.7	38.3	45.2	33.3	35.0	35.4	34.0	4.8

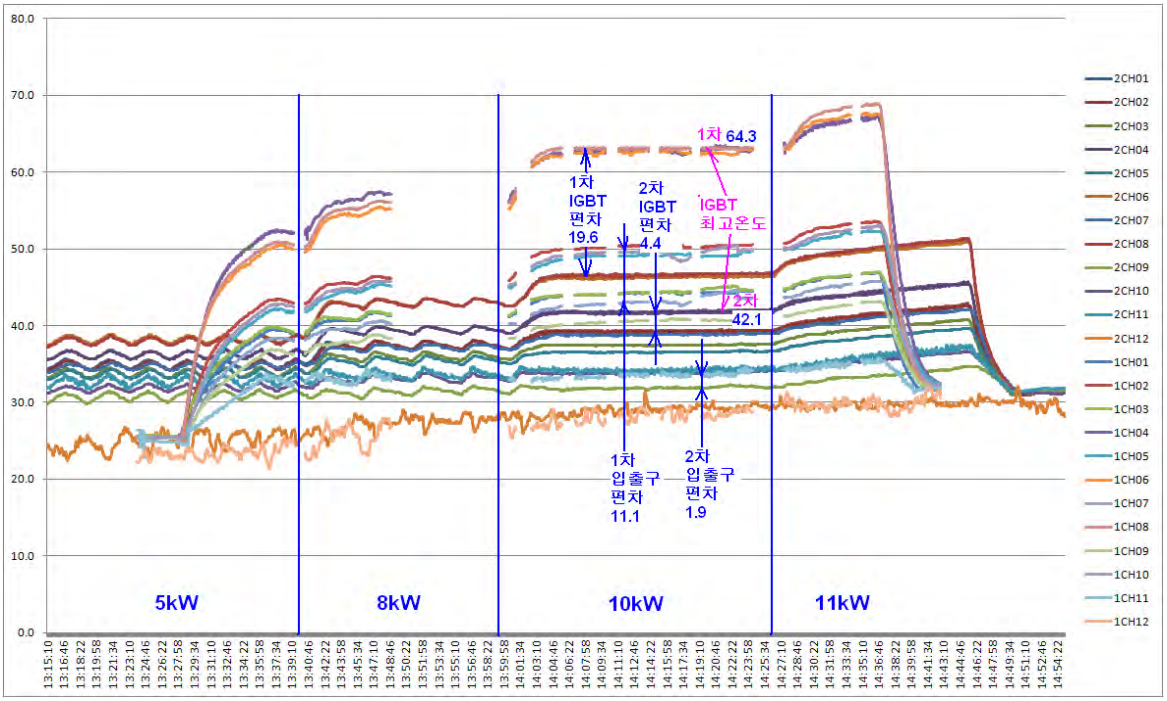


그림 555. 1차년도 2차년도 시작품 시험 데이터 비교 그래프

(라) 2차년도 시작품 시험 결론

시작품 시험은 1차년도와 2차년도 모두 같은 조건에서 하였다. 순환 냉각수 온도는 34.8℃, 유량은 수냉각장치 1Unit당 1m³/h, 수압은 2bar의 조건에서 측정하였다. IGBT 최고 온도 42.1℃, IGBT 온도 편차 4.4℃, 입출구 수온 편차 1.9℃로 측정되었다. 1차년도 시작품 대비 2차년도 시작품이 모든 온도 측정 항목에서 월등히 좋은 것으로 확인되었다. 동일한 시작품을 추가 제작하여 우진산전 전력변환장치에 조립하여 제3자 인증 시험을 겸하여 시험 준비 중이다.

(마) 유량 감소에 따른 온도 변화 테스트(2차년도 시작품 2차 시험)

○ 시험 일시 : 2014.4.1 13:50~16:00
○ 시험 장소 : 선우전기 기업부설연구소
○ 참석자 : 선우전기 변영일 대리, 김성진 대리
○ 시험 대상 : 2차년도 IGBT용 수냉각장치 시작품
○ 시험 목적 : 유량 감소에 따른 온도 변화 테스트
○ 유량 : 칠러 세팅 0.8m³/h (1차 시험 보다 유량을 적게 함)
○ 수압 : 1.4 bar (0.14MPa)
○ 수온 : 30℃물 100%
○ IGBT 발열량 : 3상 인버터 출력을 10kW로 일정하게 입력
3상 전력=√3 x 3상 전압 x 3상 전류 x 역율
○ 온도 시험 포인트 : 총 12개 포인트로서 IGBT와 수냉각장치의 접촉면 ①②③④, 비접촉면 ⑥⑧, 수냉각장치 유입구 ⑤, 유출구 ⑦, 유입구 SP Coupler ⑨, 유출구 SP Coupler ⑩, 순환 냉각수 온도 ⑪, 대기 온도 ⑫이다.
○ 온도 측정 : 12채널 온도 기록계 MV100
○ 온도 시험 데이터 분석 : MV100 분석 프로그램



그림 556.
2차년도(2차)시작품 시험 장면

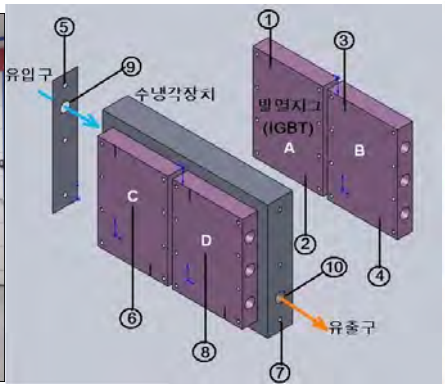


그림 557.
온도 시험 포인트



그림 558.
기록분석

(바) 유량 감소에 따른 온도 변화 테스트 데이터 분석

수냉각장치에 유입되는 유량이 감소하면 냉각 효율이 낮아진다. 이 경우에 어느 정도의 온도 변화가 있는지를 테스트하여 향후 시작품 보완 설계와 제작 및 열유동해석의 자료로 활용한다. 현차의 정비 지침서에는 주변환기의 총 유량(13개 스택 기준)이 13m³/h이고, 현차 시험의 결과는 14.9~15.1m³/h이다. 설계 조건은 13m³/h이다. 이번 시험은 유량을 설계 조건의 80%로 임의 설정하여 수냉각장치 1Unit를 0.8m³/h에서 온도 시험하였다.

시험의 결과는 아래 표와 같다. IGBT와 수냉각장치의 접촉면 ①②③④의 온도는 5.5~5.7℃ 높았지만 IGBT Case 설계 기준 온도 80℃보다는 낮은 43.2~48℃의 범위에 있었다. IGBT의 온도 편차는 오히려 4.4℃에서 1.2℃로 줄었다.

표 122. 유량 감소에 따른 온도 변화 비교 (10kW 입력)

회차	유량	CH01	CH02	CH03	CH04	CH05	CH06	CH07	CH08	CH09	CH10	CH11	CH12	온도 편차
1	1m³/h	37.7	39.5	39.1	42.1	36.8	46.8	39.2	46.9	32.3	34.2	34.8	31.4	4.4
2	0.8m³/h	43.2	46.3	46.8	48.0	41.9	52.5	45.2	51.0	36.9	38.8	40.3	33.7	1.2
2차-1차		5.5	6.8	7.7	5.9	5.1	5.7	6.0	4.1	4.6	4.6	5.5	2.3	-3.2

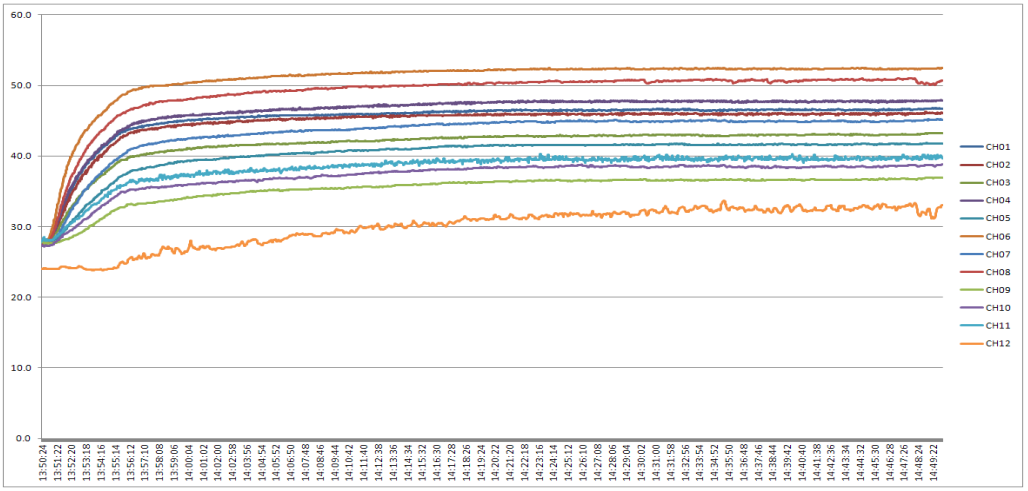


그림 559. 유량 감소에 따른 온도 변화 테스트

다. 조합시험

(1) 시험 항목

IGBT용 수냉각장치에 대한 제3자 입회 시험은 별도로 진행하지 않는다. 공동 연구기관 (주)우진산전과 협업하여 시험할 예정이다. 수냉각장치의 단품 시험은 이미 선우전기 자체로 이상의 보고서와 같이 실시하였고 시험의 결과는 설계 기준에 충족하는 것으로 나타났다. 다만 단품 시험이 IGBT의 발열을 가정한 발열 지그를 사용한 시험이었기 때문에 제3자 시험에서는 실제의 IGBT를 장착하여 시험할 예정이다.

표 123. 시험 항목

순번	시험 항목	시험 기준	비고
1	외관 구조 검사	외관 손상 및 구조 결함 여부 검사	
2	치수 측정	330x230x50mm외 도면 치수	
3	무게 측정	7.5kg이하	
4	누수 시험	0~5bar에서 누수 없을 것	
5	수압 시험	2.6bar이하@1m^3/h	
6	유량 시험	1m^3/h이상@2.6bar	
7	IGBT 케이스 온도 시험	80℃	

(2) 시험 항목 관련 발췌 내용[3]

[별표 32] 추진장치시험 (제6조제1항제3호 관련) <신설 2011.8.2>

(가) 적용범위

이 규정은 도시형 자기부상열차의 추진장치를 구성하는 추진제어 인버터와 선형유도전동기 및 이들 조합시스템의 성능을 확인하고 동작 책무에 대한 적정성을 평가하기 위한 시험기준 및 방법에 대하여 규정 한다.

(나) 시험항목 및 목적

① 시험항목

표 124. 시험 항목 예시

	시험항목	형식시험	전수시험
추진제어 인버터 성능시험	외관 구조검사	◎	◎
	치수 및 중량 측정 검사	◎	◎
	냉각장치 시험	◎	
	온도상승 시험	◎	

② 시험의 목적

㉮ 추진제어인버터 성능시험

㉯ 외관구조검사

부품의 조립 배선 등 제작상태와 전선 및 부품의 식별표시의 적합성과 제작 중 외함 및 구조상의 손상이나 결함여부의 확인을 목적으로 한다.

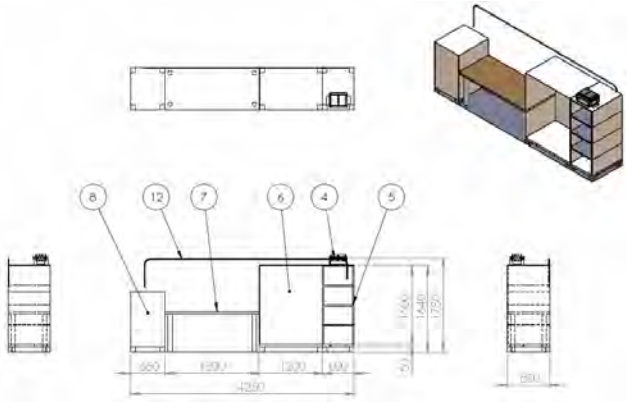
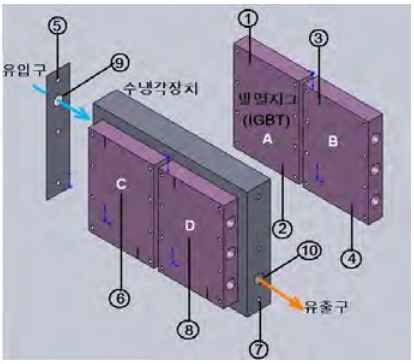
㉰ 치수 및 중량 측정 검사

장치의 크기, 중량에 대한 적합성 여부의 확인을 목적으로 한다.

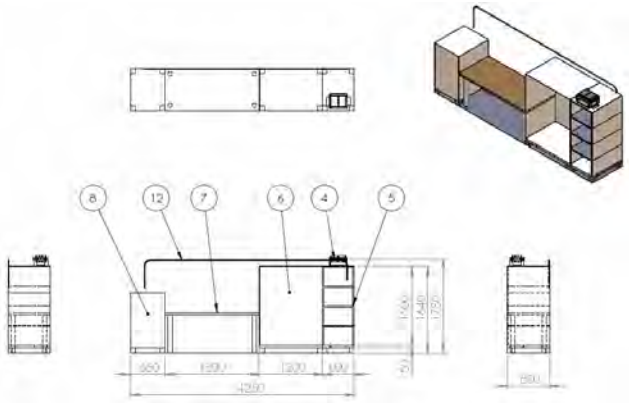
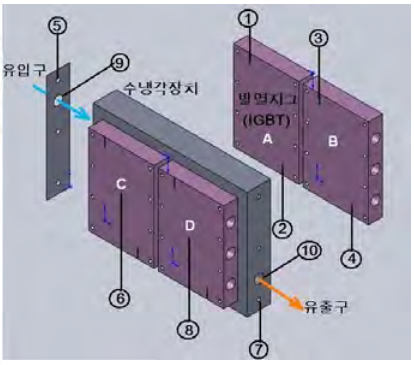
㉱ 냉각장치시험

강제 냉각방식의 추진제어 인버터에 사용되는 냉각장치 성능의 적합성 확인을 목적으로 한다.

(3) 제3자 입회시험 절차서

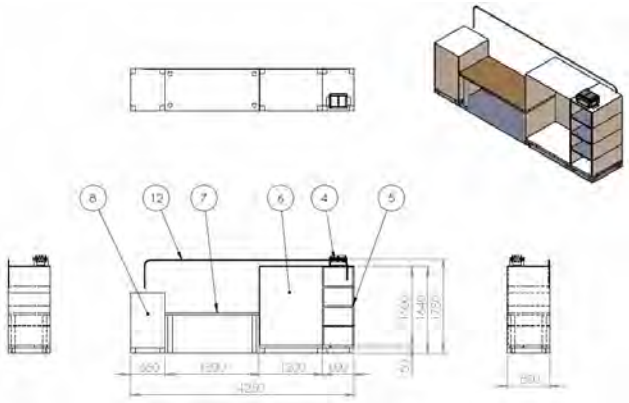
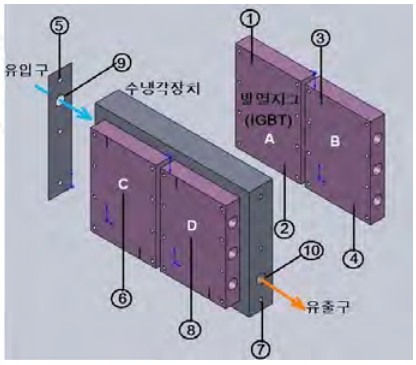
<table>
<tr><th colspan="2">IGBT용 수냉각장치 시험절차서</th></tr>
<tr><td>시험 항목</td><td>(4) IGBT 케이스 온도 시험</td></tr>
<tr><td>시험 목적</td><td>수냉각장치의 IGBT 냉각 성능 시험</td></tr>
<tr><td>시험 기준</td><td>IGBT Case의 각부위 온도 80℃+3.5%</td></tr>
<tr><td>시험 장비</td><td>온도기록계, 교류전압계, 교류전류계, 3상전력계,
발열지그(IGBT), 수냉장치(칠러; 수압계 및 유량계 포함),
냉각수, 노트북컴퓨터(분석프로그램)</td></tr>
<tr><td>시험 구성</td><td>
그림 1 수냉각장치 시험 구성도
⑧칠러⑫물호스⑦시험테이블⑥콘트롤러
④수냉각장치⑤시험기기 및 계측기

그림 1 온도 시험 포인트
①~④IGBT접촉면⑤⑦입출구
⑥⑧IGBT비접촉면
⑨⑩SP Coupler⑪냉각수온도
⑫대기온도</td></tr>
<tr><td>시험 절차</td><td>(가) 온도기록계 MV100의 전원을 켠다.
(나) 온도 데이터 기록 플로피디스크를 넣는다.
(다) 칠러의 전원을 켠다.
(라) 수온을 40℃로 세팅한다.
(마) 유량을 1m³/h로 세팅한다.
(바) 3상인버터의 전원을 켠다.
(사) 전압 및 전류계를 보며 발열지그에 10kW의 전력을 인가한다. 3상 전력계산식=√3 x 3상 전압 x 3상 전류 x 역율).
(아) IGBT Case 각 부위의 온도가 포화될 때까지 시험을 계속한다.
(자) 시험한 온도 데이터를 분석프로그램을 사용하여 분석한다.</td></tr>
<tr><td>시험성적서</td><td>별첨(시험 결과는 시험 기준 80℃ 이하로 정상임.)</td></tr>
</table>

IGBT용 수냉각장치 시험성적서

시험 항목	(5) IGBT 케이스 온도 시험
시험 목적	수냉각장치의 IGBT 냉각 성능 시험
시험 기준	IGBT Case의 각부위 온도 80℃+3.5%
시험 장비	온도기록계, 교류전압계, 교류전류계, 3상전력계, 발열지그(IGBT), 수냉장치(칠러; 수압계 및 유량계 포함), 냉각수, 노트북컴퓨터(분석프로그램)
시험 구성	 그림 1 수냉각장치 시험 구성도 ⑧칠러⑫물호스⑦시험테이블⑥콘트롤러 ④수냉각장치⑤시험기기 및 계측기  그림 1 온도 시험 포인트 ①~④IGBT접촉면⑤⑦입출구 ⑥⑧IGBT비접촉면 ⑨⑩SP Coupler⑪냉각수온도 ⑫대기온도

구분	날자	입력	CH 01	CH 02	CH 03	CH 04	CH 05	CH 06	CH 07	CH 08	CH 09	CH 10	CH 11	CH 12	편차
1차 년도 시작 품	2/18	5kW	39.6	44.0	40.3	53.6	42.5	51.0	38.9	51.9	37.1	43.0	33.8	25.6	14
		8kW	41.7	46.4	41.9	57.5	45.4	55.4	40.6	56.2	38.8	45.8	34.4	27.9	15.8
		10kW	44.7	50.7	45.6	64.3	49.8	63.1	45.5	88.6	41.4	52.5	34.8	31.1	19.6
		11kW	46.9	53.6	47.0	67.3	52.4	67.7	45.8	69.0	43.2	53.1	35.8	32.1	20.4
2차 년도 시작 품	3/19	5kW	34.6	35.5	35.7	36.9	34.5	38.9	35.3	38.8	31.7	32.7	33.8	26.8	2.3
		8kW	36.7	38.1	38.1	40.0	36.0	43.6	37.6	43.5	32.2	33.8	34.7	29.0	3.3
		10kW	37.7	39.5	39.1	42.1	36.8	46.8	39.2	46.9	32.3	34.2	34.8	31.4	4.4
		11kW	40.8	42.9	42.6	45.7	39.6	51.1	42.2	51.4	34.7	36.6	37.5	32.1	4.9
	4/17	10kW	35.4	36.3	36.0	40.2	35.7	45.7	38.3	45.2	33.3	35.0	35.4	34.0	4.8

IGBT용 수냉각장치 시험성적서

시험 항목	(6) IGBT 케이스 온도 시험(유량감소에 따른 온도 변화 시험)
시험 목적	수냉각장치의 IGBT 냉각 성능 시험
시험 기준	IGBT Case의 각부위 온도 80℃+3.5%
시험 장비	온도기록계, 교류전압계, 교류전류계, 3상전력계, 발열지그(IGBT), 수냉장치(칠러; 수압계 및 유량계 포함), 냉각수, 노트북컴퓨터(분석프로그램)
시험 구성	 그림 1 수냉각장치 시험 구성도 ⑧칠러⑫물호스⑦시험테이블⑥콘트롤러 ④수냉각장치⑤시험기기 및 계측기  그림 1 온도 시험 포인트 ①~④IGBT접촉면⑤⑦입출구 ⑥⑧IGBT비접촉면 ⑨⑩SP Coupler⑪냉각수온도 ⑫대기온도

구분	날자	입력	CH 01	CH 02	CH 03	CH 04	CH 05	CH 06	CH 07	CH 08	CH 09	CH 10	CH 11	CH 12	편차
2차 년도 시작품	3/19	1m³/h	37.7	39.5	39.1	42.1	36.8	46.8	39.2	46.9	32.3	34.2	34.8	31.4	4.4
	4/1	0.8m³/h	43.2	46.3	46.8	48.0	41.9	52.5	45.2	51.0	36.9	38.8	40.3	33.7	1.2
	유량에 따른 차이		0	6.8	7.7	5.9	5.1	5.7	6.0	4.1	4.6	4.6	5.5	2.3	-3.2
					이		하		여		백				

3. TCU용 MVB 통신보드 기술개발

개발품과의 조합시험을 통한 기능검증시험을 진행하였다. 대상장치는 개발품 TCU와 SIBCOS에 MVB 통신보드를 조합하여 각 장치와의 기능검증을 통해 개발품의 신뢰성을 확보하였다.

가. 시험개요

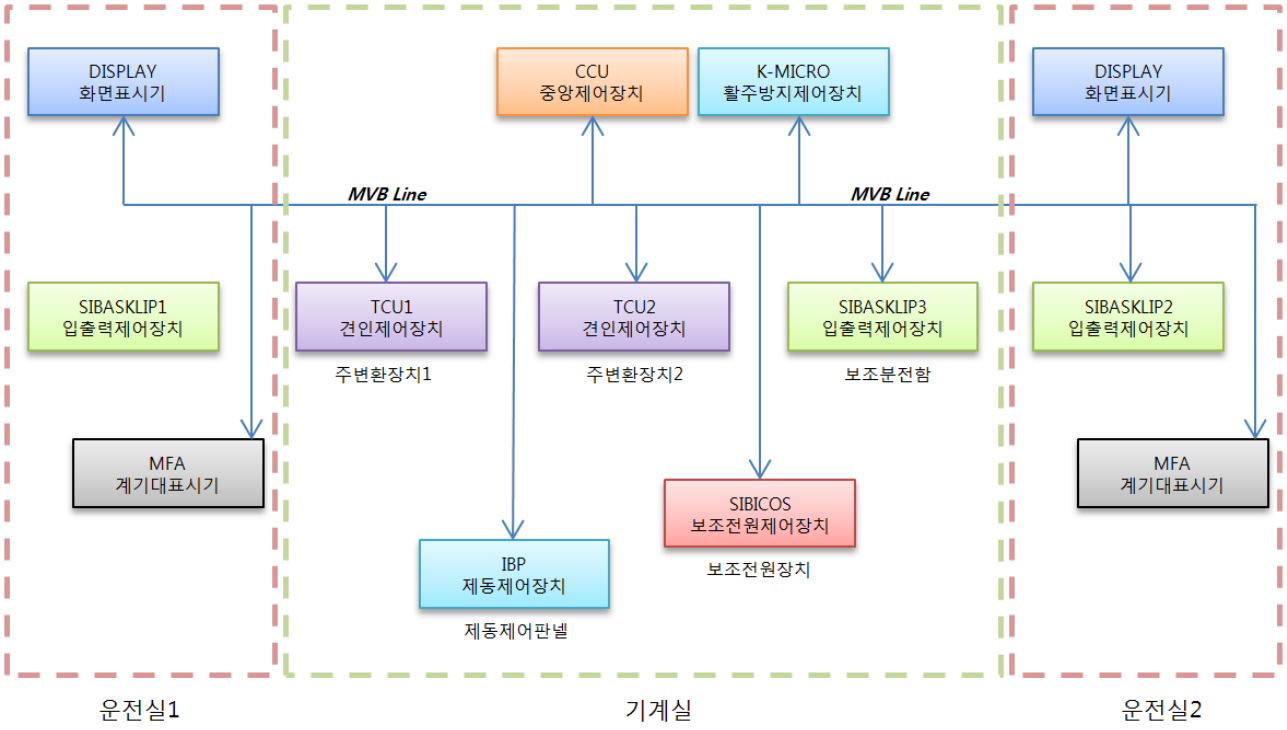


그림 560. 전기기관차8200호대 통신 네트워크 구성(정비지침서 중)

한국철도공사에서 운용되는 전기기관차(8200호대)는 MVB 통신 네트워크로 구성된다.

메인제어장치(CCU)는 마스터 장치로 MVB 통신선을 통해 12개의 슬레이브 장치에 명령을 주고 12개의 슬레이브 장치는 조건에 맞게 응답한다. IEC 61375-1의 표준의 통신 규격은 동일하게 구성되지만 프로토콜 데이터는 제작사의 차량에 맞게 정의 되어 있다. 표준의 통신 규격을 구현하고 현차시험을 통해 분석된 프로토콜을 적용하여 현차와 동일한 통신환경에서 시험을 하였다.

나. 단품시험

(1) 목적

시험기를 이용하여 관리자 권한이 있는 CCU용 통신보드를 구현하고 TCU 및 SIBCOS용 MVB 통신보드는 폴링 신호에 응답하는 기능시험이다. CCU용 통신보드에서 대상장치로 지령이 전달되고 지령에 대한 응답을 적절하게 하는지를 시험한다.

(2) 시험범위

(가) MVB 통신에 참여하는 14개의 장치 중 TCU와 SIBCOS의 통신 프로토콜에 한정한다.

(나) MVB 통신보드 단품시험과 대상 장치의 제어기와 조합시험으로 구분한다.

(다) 해당 시험은 단품시험에 해당한다.

(3) 시험내용

전기기관차 8200호대의 MVB 통신 구성과 동일하게 구성한다. 구성은 제작사의 전기도면에 기준하였으며, 정비지침서를 참고하였다. CCU는 시험기로 대체하고 TCU 및 SIBCOS는 현차와 동일하게 제작하였다.

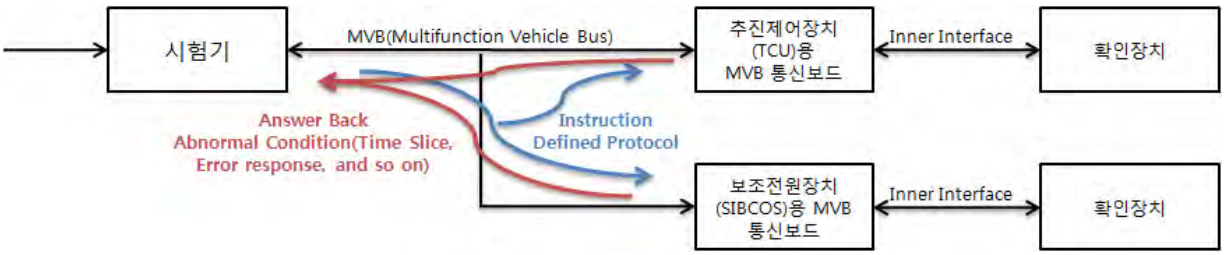


그림 561. 단품시험 구성도

(가) 시험기는 통신 프로그램으로 TCU와 SIBCOS의 포트 Traffic Memory에 명령을 쓴다.

(나) TCU와 SIBCOS는 Traffic Memory에 있는 해당 포트 데이터를 참조하여 명령이 주어졌는지를 주기적으로 확인한다.

(다) 명령이 확인되고 적절한 응답을 Traffic Memory에 쓴다. Memory에 응답데이터는 FPGA에 의해 자동으로 MVB 통신으로 전송된다.

(라) 전기기관차 8200호대의 통신 환경과 동일하게 구성하여 통신시험을 한다.

(마) 시험기는 분석된 프로토콜 명령을 전송하여 MVB 통신보드는 응답 및 출력하는 데이터를 확인하여 검증한다.

(바) 시험기를 구현하여 그림과 같이 세트 구성하여 시험을 진행한다.

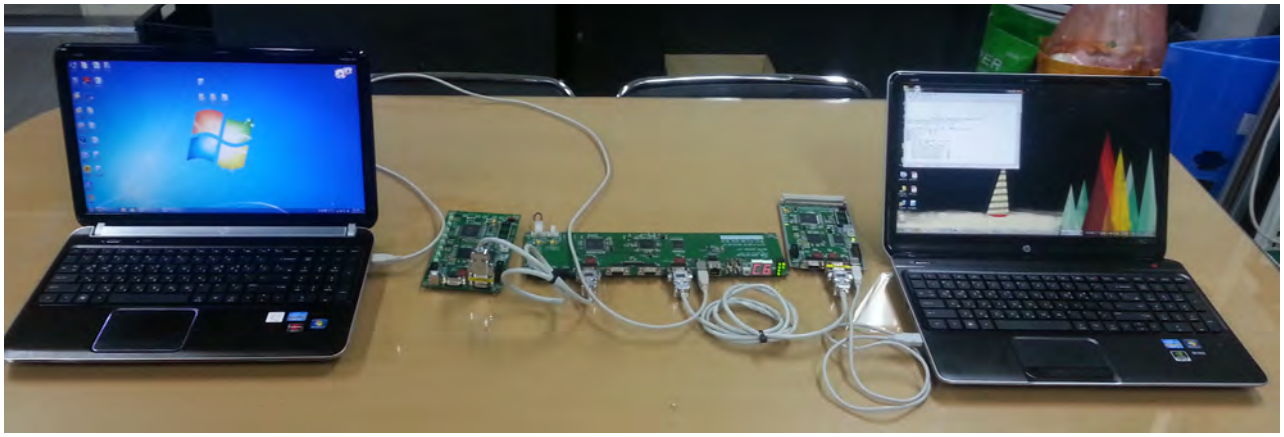


그림 562. 단품시험 장면

(4) 시험결과

(가) 시험기는 MVB의 전기기관차에 적용된 Master List를 주기적으로 폴링하고 있었고 IEC 61375-1의 표준과 동일하게 동작하고 있었다.

(나) TCU 및 SIBCOS 통신 보드는 시험기의 폴링 신호에 4us 이내 Slave 응답을 하고 Master Fcode에 적절한 데이터량을 전송하고 있었다.

(다) CCU에서 전송된 명령 데이터는 TCU 및 SIBCOS의 Traffic Memory에 Debug RS232로 확인되었다.

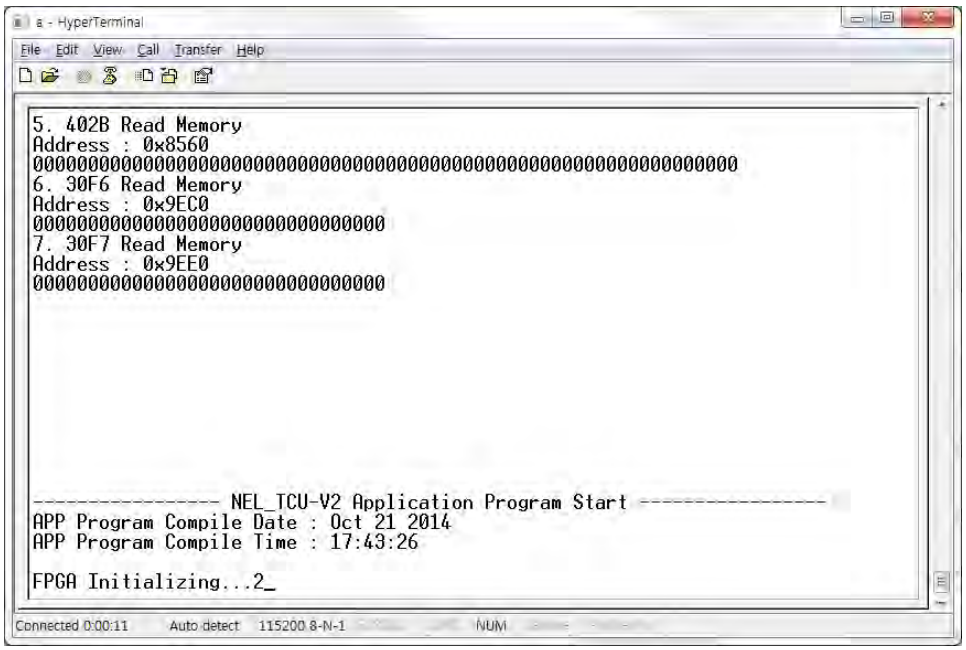


그림 563. MVB 통신보드 부팅 화면

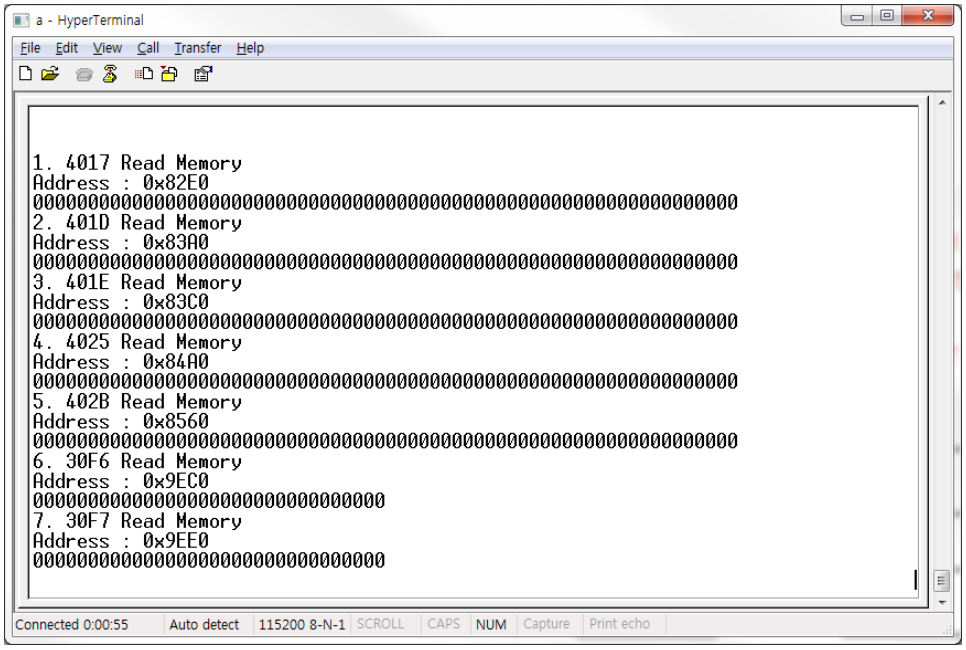


그림 564. TCU용 Traffic Memory 내용

다. 조합시험

(1) 목적

개발품 TCU 및 SIBCOS와 조합하여 장치 간 유기적인 기능수행을 검증하는 목적

(2) 시험범위

(가) MVB 통신에 참여하는 14개의 장치 중 TCU와 SIBCOS의 통신 프로토콜에 한정한다.

(나) MVB 통신보드 단품시험과 대상 장치의 제어기와 조합시험으로 구분한다.

(다) 해당시험은 대상 장치의 제어기와 조합시험에 해당한다.

(3) SIBCOS 조합시험 개요

(가) 일시 : 2014년 12월 3일

(나) 장소 : 이경산전

(다) 참석자 : 이경산전 3명(이을재 대표, 이병호 차장, 김성식 차장), 앤츠 2명(손기환 연구소장, 박재휘 대리)



그림 565. 보조전원장치 MVB 통신 시험

(라) 시험내용

① SIBCOS용 MVB 통신보드를 보조전원장치에 취부하고 MVB 통신선, RS485 통신선을 연결하여 시험하였다.

② 보조전원장치의 외부로 MVB 통신선이 배선되고 MVB 시험기를 통해 시험을 시행한다.

③ 프로토콜에 따라 MVB 시험기에서 지령을 내리고 보조전원장치의 동작여부 확인하고 보조전원장치의 상태를 MVB 시험기에서 확인한다.

④ ProtocolGuide_R&D8200-X-20(MVB)-006-T.hwp 참조



그림 566. SIBCOS용 MVB 보드 취부

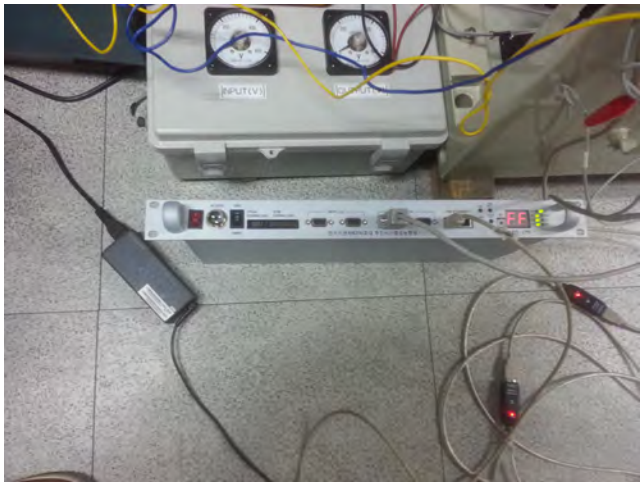


그림 567. MVB 시험기 연결

(마) 시험결과

① MVB 시험기 → 보조전원장치

No	Item	Result	Note
1	보조전원장치 정지	MVB 시험기에서 정지 명령 정상 동작	
2	보조전원장치 기동	MVB 시험기에서 기동 명령 정상 동작	
3	출력주파수 설정	기동 명령 시 출력 주파수 가변하여 동작 보조전원장치 제어기에서 가변 주파수 값이 정상적으로 입력 보조전원장치 정상 동작	

② 보조전원장치 → MVB 시험기

No	Item	Result	Note
1	Light Fault(경고장) – 0(정상), 1(고장)	MVB 시험기에서 확인	
2	Heavy Fault(중고장) – 0(정상), 1(고장)	MVB 시험기에서 확인	
3	입력저전압 - 0(정상), 1(저전압)	MVB 시험기에서 확인	
4	보조전원장치 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	MVB 시험기에서 확인	
5	보조전원장치용 컨버터 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	MVB 시험기에서 확인	
6	보조전원장치용 인버터 동작상태 - 0(정지), 1(기동)	MVB 시험기에서 확인	
7	보조전원장치용 컨버터 고장 – 0(정상), 1(고장)	MVB 시험기에서 확인	
8	보조전원장치용 인버터 고장 – 0(정상), 1(고장)	MVB 시험기에서 확인	
9	보조전원장치 내부회로 고장 – 0(정상), 1(고장)	MVB 시험기에서 확인	
10	입력전압 (0 ~ 500V) 2V/bit	MVB 시험기에서 확인	
11	출력전압 (0 ~ 500V) 2V/bit	MVB 시험기에서 확인	
12	출력주파수 (0 ~ 60.0Hz) 0.25Hz/bit	MVB 시험기에서 확인	

③ 시험 프로그램

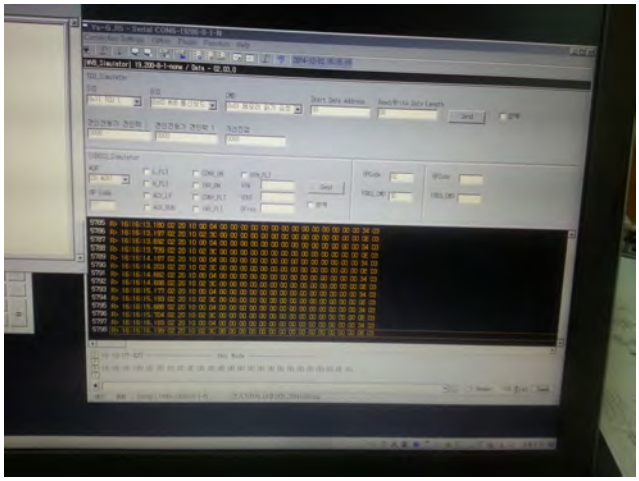


그림 568. SIBCOS용 MVB 통신보드 프로그램

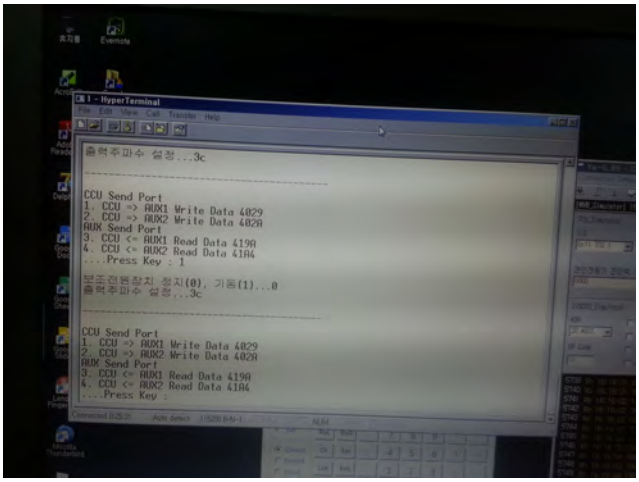


그림 569. MVB 시험기 프로그램

(4) TCU 조합시험 개요

(가) 일시 : 2015년 1월 16일

(나) 장소 : 우진산전 2공장

(다) 참석자 : 우진산전 2명(송영신 차장, 채승민 과장), 앤츠 2명(손기환 연구소장, 박재위 대리)

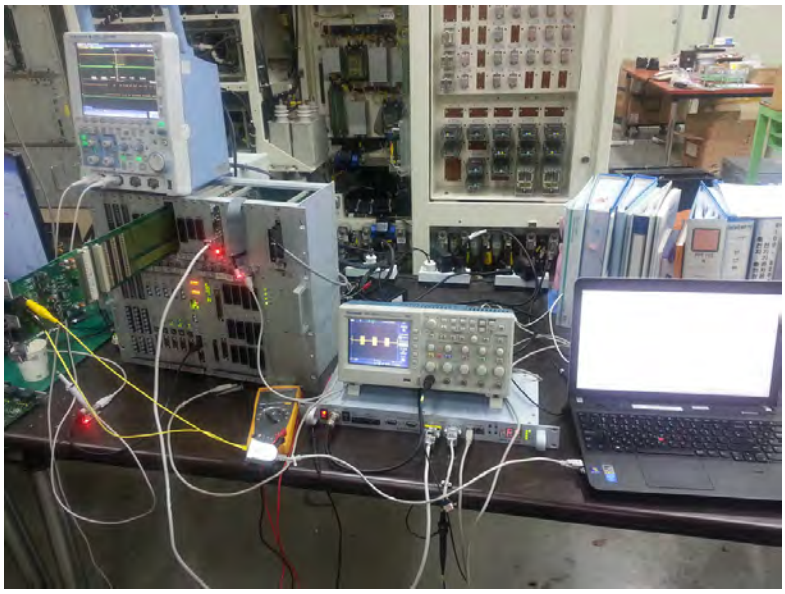


그림 570. TCU MVB 통신 시험

(5) 시험내용

(가) 카드 타입의 TCU용 MVB 통신보드를 TCU 랙에 취부하고 MVB 통신선을 연결하여 시험하였다.

(나) TCU의 외부로 MVB 통신선이 배선되고 MVB 시험기를 통해 시험을 시행한다.

(다) 프로토콜에 따라 MVB 시험기에서 지령을 내리고 TCU내 CPU보드에서 지령 값을 확인하고 TCU의 상태 값를 MVB 시험기에서 확인한다.

(라) 오실로스코프로 MVB 통신 상태를 실시간으로 확인한다.

(마) ProtocolGuide_R&D8200-X-20(MVB)-006-T.hwp 참조



그림 571. MVB 시험기 연결 및 MVB 통신 파형

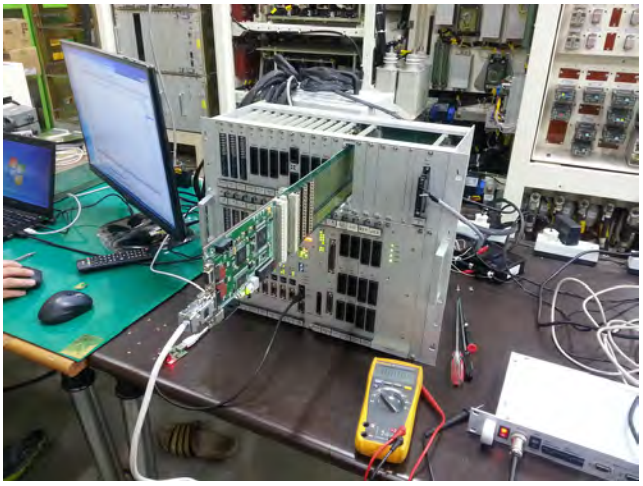


그림 572. TCU용 MVB 보드 취부

(6) 시험결과

(가) MVB 시험기 → TCU

No	Item	Result	Note
1	판토그라프1 또는 2 상승 명령	MVB 시험기에서 상승 또는 하강 명령 정상 동작	
2	운전실1 또는 2 점유 명령	MVB 시험기에서 명령 정상 동작	
3	역전기 상태 명령	MVB 시험기에서 명령 정상 동작	
4	견인전동기 1, 2 견인력 / 회생 제동력 설정	점유 명령 시 견인력 / 회생 제동력을 가변하여 명령 TCU에서 가변값이 정상동작	
5	시간 설정	MVB 시험기에서 설정	

(나) TCU → MVB 시험기

No	Item	Result	Note
1	추진장치 1 기동	MVB 시험기에서 확인	
2	견인제어기 TCU 1 온도	MVB 시험기에서 확인	
3	주변압기권선 1 온도	MVB 시험기에서 확인	
4	견인전동기베어링 1, 2 온도	MVB 시험기에서 확인	
5	견인전동기 1, 2 온도	MVB 시험기에서 확인	
6	주변압기 1 또는 2 온도	MVB 시험기에서 확인	
7	냉각수 온도	MVB 시험기에서 확인	
8	견인전동기 1, 2 견인력 / 회생 제동력	MVB 시험기에서 확인	
9	가선전압	MVB 시험기에서 확인	
10	가선전류	MVB 시험기에서 확인	

4. 전기기관차 견인전동기 기술개발

가. 시험개요

견인전동기는 전기에너지를 기계에너지로 변환하는 전기기기로서 전기적인 시험과 기계적인 시험 및 성능(Performance)시험으로 구성된다. 전기적인 시험은 주로 제작 공정 중 신뢰성 시험과 완성 후 절연내력 시험으로 구분하며 기계적 시험은 소음과 진동 시험으로 구분한다. 성능 시험은 전동기의 효율, 역율, 토크, 전류의 성능을 측정하기 위한 시험으로 구분한다. 이러한 모든 시험은 IEC60349-2에 기준으로 시험하였다.

나. 단품시험

(1) 전기적인 시험(공정중 시험)

(가) 임펄스 시험

오실로스코프에 나타나는 파형이 정현파로서 찌그러지거나 겹침이 없으면 코일의 결선은 바르게 되었다고 판단한다.

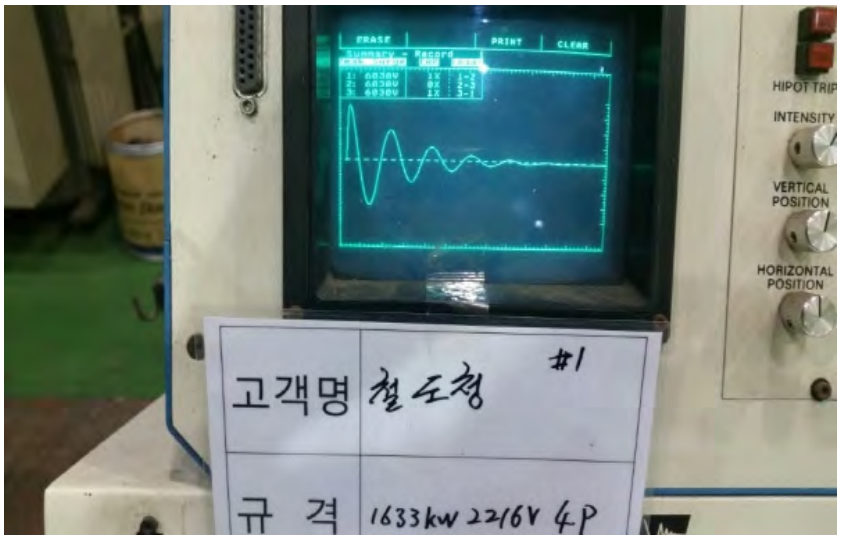


그림 573. 임펄스 파형

(나) 절연 저항시험

절연저항은 코일의 절연처리의 이상유무를 판단하며 코일과 대지간에 단자를 물려 직류전압 1000V를 인가하여 절연저항을 측정한다. 이때 절연저항값은 IEC60349-2 및 IEEE43에 의거하여 시험하며 기준값은 100[MΩ]을 적용하는 것이 일반적이다. 측정값은 무한대[MΩ]으로 측정되어 양호 하였다.

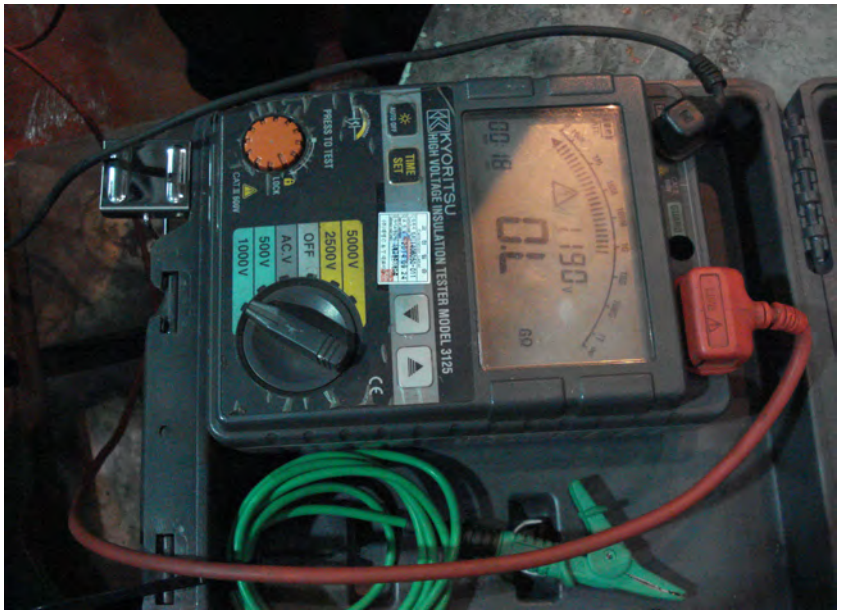


그림 574. 고정자 코일 절연저항 시험

(다) 내압시험

내압시험은 전동기의 정격전압을 기준하여 2E+1000V를 1분간 인가하여 코일의 절연의 이상유무를 확인하는 시험이다. 이 시험은 4400V(2*1700+1000)를 1분간 인가하여 절연파괴 현상이 없었음을 확인 하였다



그림 575. 고정자 내압시험

(라) 베어링 절연 시험

베어링은 축에 조립되어 베어링 절연이 되어 있지 않으면 축을 통하여 전류의 흐름으로 축전류를 발생하여 베어링 전시의 원인이 된다. 그러므로 베어링의 절연상태를 시험하며 그 값은 IEC에 따라 이상유무를 확인하엿다. 측정값이 13.6[MΩ]으로서 기준치인 5[MΩ] 이상임으로 문제가 없음을 확인 하였다.

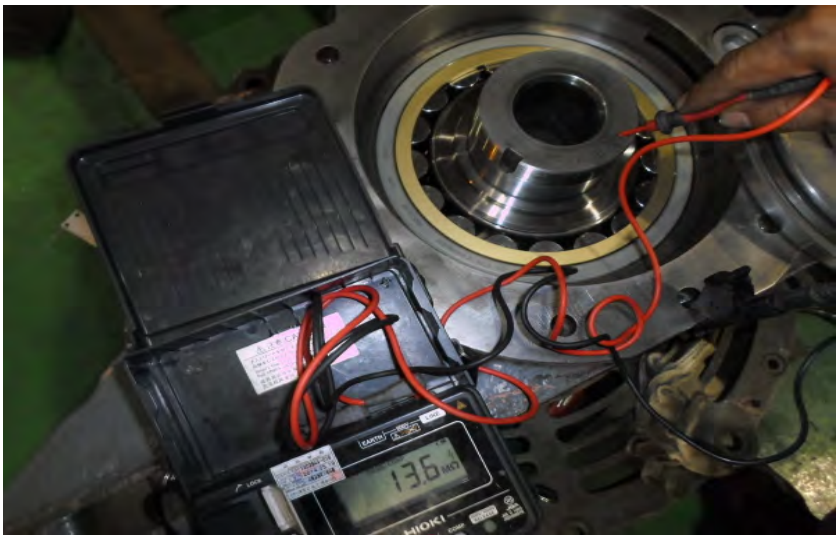


그림 576. 베어링 절연저항 시험

(2) 기계적인 시험

(가) 소음시험

소음 시험은 정격전원을 인가하여 정격 회전수에 도달하여 무부하로 운전하여 전동기 몸체로부터 1M 덜어진 거리에서 앞,뒤.좌,우측을 측정 한다.

소음 값		ⓐ	ⓑ	ⓒ	ⓓ	주위소음
단위	dB(A)	82.5	81.0	81.5	78.5	81

표 125. 소음 측정 결과표

(나) 진동시험

진동 시험은 정반위에 전동기를 올려 고정한뒤 위의 그림과 같은 위치에서 측정한다.

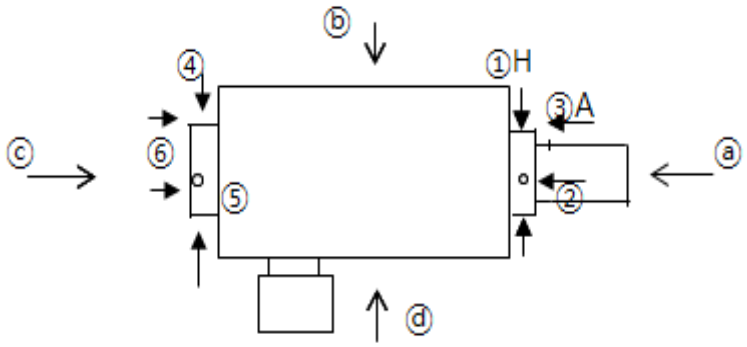


그림 577. 진동 측정 위치

진동 값		①H	②V	③A	④H	⑤V	⑥A
단위	mm/s	1.5	1.4	0.8	1.0	0.8	0.9
	㎛	8.0	7..0	8.0	5.0	3.0	2.0

표 126. 진동 측정 결과표

(3) 성능 시험

전동기의 성능을 측정 하기 위해 무부하 특성 시험과 구속 시험을 하여 얻어진 데이터를 등가회로법(IEC60349-2)에 의해 산출한다. 아래 표는 성능을 산출하기 위해 취득한 데이터 이다.



그림 578. 성능시험 판넬

효율 (%)	역율 (%)	전류 (A)	슬립 (%)	토오크 (kg-m)	기동 전류 (A)	기동 토오크 (%)	최대 토오크 (%)	최대 출력 (%)
96.6	84.7	550.2	1.163	871.5	2288	51	193	185

표 127. 성능시험 결과표

이 값을 등가 회로법에 의해 전동기의 성능 값을 산출하면 다음과 같다.

무부하 시험			구속시험(50Hz/25Hz)			선간저항 (Ω)	주위온도 (℃)
전압 (V)	전류 (A)	손실 (W)	전압 (V)	전류 (A)	손실 (W)		
1700	166.3	14030	426.8/218.0	510.8/507.2	47470/34840	0.035	23.4

표 128. 등가 회로법에 입력하기 위한 데이터

다. 조합시험

전기기관차는 전력변환기로 견인전동기를 제어하므로 전력변환기인 인버터와 조합하여 전동기의 최종 목적인 토크를 측정 한다. 이 시험은 속도에 따른 토크가 견인에 필요한 값이 출력되는지 확인 하는 시험으로서 현차시험 전 부하의 역할을 하는 관성부하기를 연결하여 회전수를 제어하며 전동기의 토크 값을 산출한다. 이 값을 그래프로 나타내며 T-N곡선으로 확인한다.

라. 시험결과

위와 같이 전기적인 시험과 기계적인 시험은 규정치에 만족 하여 이상이 없었음을 확인 하였다. 성능 시험은 기존 제품의 데이터를 알 수 없으나 사용자가 보유하고 있는 정비지침서에 효율은 96%, 역율은 약 85%수준으로 되어 있으므로 이를 기준하면 효율은 약간 높은 수준이며 역율은 거의 유사한 수준으로 측정되어 성능 또한 기존품과 대동소이할 것으로 추정 한다. 다만 견인전동기의 특성상 회전수에 다른 토크의 값에 대해 인버터와의 조합 시험이 예정 되어 있어 최종 성능은 기대를 하고 있다. 이것은 측정된 저항과 성능 값이 유사 하므로 기존 전동기와 파리미터 값이 유사 한 것으로 추정되어 T-N 값도 만족 하리라고 조심스럽게 예측된다.

항목	1327kW-4P-1700V, 50Hz C종	
	측정값	기준값(참조)
선간저항(Ω)		0.035
절연저항 시험		1000M(DC1000V)
내전압 시험		4400V 1분
효율(%)		96.1
역율(%)		약85.0
전류(A)		551
기동전류(A)		2417
기동토오크(%)		30~50
최대토오크(%)		180~200
최대출력(%)		180~200
슬립(%)		1.0~1.5
회전수(RPM)		1470~1485
진동(mm/s)		3.5mm/s(0~3600rpm)
소음(dB(A)		113.3(4000rpm)
온도시험(권선)		200K이하(50Hz)
과속도 시험		
무게(kg)		2900±5%

표 129. 시험 결과표

5. 보조전원장치 및 객차전원공급장치

가. 시험개요

(1) 보조전원장치의 주요사양 및 특징

전기기관차(8200호대)에 사용되는 보조전원장치는 기계실 내 공기압축기, 송풍장치 등에 교류전원을 공급하는 장치로 차량컴퓨터(CCU)의 지령에 따라 가변교류전원(VVVF)을 발생하며, 주변압기 보조권선에 병렬로 90KVA급 보조전원장치가 독립적으로 연결되어 있다. 장치구성으로는 입력회로 및 송풍기, PWM전력스택, LCR필터(dv/dt제한필터), MVB통신 및 모니터링 장치 등으로 구성되어 있다.



그림 579. 전기기관차용 보조전원장치(전면, 후면)

표 130. 보조전원장치(개발품) 정격 및 특징

항 목		규 격	비고
정격용량		90kVA×2	
역률		0.97이상	
하드웨어 구성		4Q PWM CONV + INV	
냉각방식		강제풍랭식	
인터페이스		RS232, RS485	동작시
입력	정격전압	단상 AC 334V(가선 2.5kV)	
	주파수	60Hz	47 ~ 63Hz
출력	전압	3상 0~440V	
	주파수	2 ~ 60Hz	
	전압 형태	펄스폭 변조(PWM)파형	
	정격출력 용량	90KVA	
제어기		32bit DSP	
제어전압		DC 110V	
특징		- 모니터링장치 (동작상태 확인용 VFD 장치) - 독립모듈형 IGBT GDU장착 - 전력스택의 블록화	VFD : Vacuum Fluorescent Display (진공 형광 표시 장치)

(2) 객차전원공급장치의 주요사양 및 특징

주변환 장치로부터 공급받은 직류 전원(2600VDC)이 HEP(Head Electric Power)장치를 통해 3상 교류전원으로 변환되고 이를 변압기를 통해 AC440V로 변환, 다시 이 전압은 객차전원공급장치(또는 HEP출력장치)내부 커패시터 등을 통해 필터링 되어 최종 HEP접촉기를 통해 객차에 전원을 공급하는 역할을 한다. 장치구성으로는 필터커패시터, 차단기(피더접촉기), 전압센서 및 전류센서, 퓨즈함, 24V전원장치(컨버터) 등으로 구성되어 있다.



그림 580. 전기기관차용 객차전원공급장치(전면, 후면)

표 131. 객차전원공급장치(개발품) 정격 및 특징

항 목		규 격	비고
변압기	형식	Delta-Star	주변압기함 내
	동작주파수	60Hz ± 1Hz	
	2차측 출력전압	440V ± 3%	
	1-2차간 전압비	2.2 : 1 [968V : 440V]	
	1차측 누설인덕턴스	0.365mH ± 10%	800Hz 이하
	최대전력	415KVA	
캐패시터	캐패시턴스	1.00mF	
	캐패시터 정격	129kVar / 440Vac	
	필터형식	3상 LC필터	
출력전압 왜곡률(THD)		8%이하	

나. 단품시험

(1) IGBT Gate Driver Unit(GDU) 단품시험

표 132. IGBT Gate Driver Unit 단품시험항목

순번	시험항목	전수시험	비 고
1	외관 검사	◎	
2	기동전류측정	◎	
3	입력단 스위칭 파형 측정	◎	
4	내부기동 전원측정시험	◎	
5	입력전압 변동시험	◎	
6	PWM출력파형 확인시험	◎	
7	고장검출시험	◎	

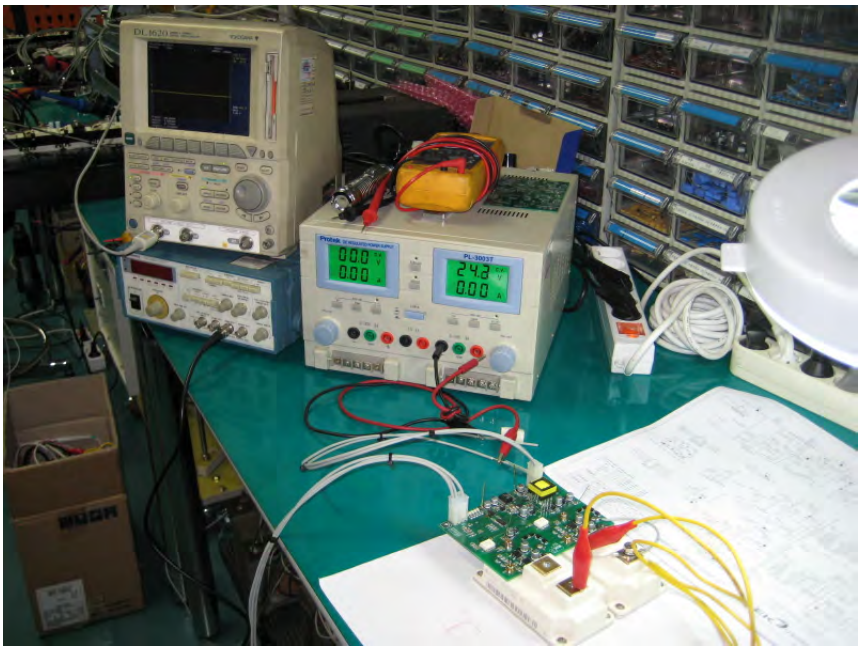


그림 581. IGBT Gate Driver Unit 단품시험 전경

■ GATE DRIVER 시험 성적서

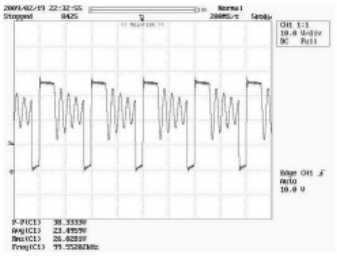
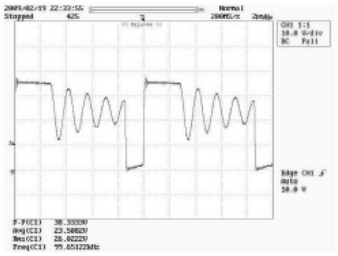
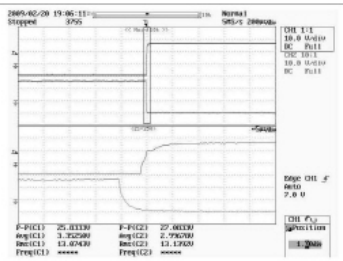
NO	검사 및 시험항목		검사조건 및 기준값	측정값	결 과	비고
	항목	세부항목				
1	외관검사	PCB 외관검사	외관상 유해한 결함이 없어야 한다	양 호	O.K	
		조립 및 납땜검사	납땜이상 유무 및 소자들의 값 확인	양 호	O.K	
2	기동전류측정	기동전 측정	대기상태 및 PWM 출력시	0.04A	O.K	
		PWM 출력시 측정	전류값 0.1A 이하	0.05A	O.K	
3	입력단 스위칭파형	 입력단 스위칭파형01	 입력단 스위칭파형02			
4	내부전원 측정시험	5V 출력전압측정	5V ± 0.25V	5.04V	O.K	
		25V_A 출력전압측정	28V ± 1.4V	28.13V	O.K	
		25V_B 출력전압측정	28V ± 1.4V	28.23V	O.K	
5	입력전압 변동시험	5V 출력전압측정	24V 입력전압을 -30%(16.8V) ~ +10%(26.4V)로 가변하면서 이때의 출력전압을 측정한다. 출력기준값 : 5V ± 0.25V, 28V ± 1.4V	-30% : 5.03V	O.K	
				+10% : 5.03V	O.K	
		25V_A 출력전압측정		-30% : 28.10V	O.K	
				+10% : 28.09V	O.K	
		25V_B 출력전압측정		-30% : 28.18V	O.K	
				+10% : 28.16V	O.K	
6	PWM 출력파형 확인시험	출력파형 확인	 PWM 출력파형	양 호	O.K	
7	고장검출시험	TOP(B) GDU_FLT	GATEDRIVER를 기동하고 출력단 C-E에 연결한 가변 전원을 서서히 상승시켜 5.7V에서 정상적으로 고장검출이 되는지 여부를 확인한다. 기준값 : 고장LED(빨강) 점등 및 출력 차단	양 호	O.K	
		BOTTOM(A) GDU_FLT		양 호	O.K	
		ARM_SHORT	TOP(B)과 BOTTOM(A) 입력부에 동위상의 펄스를 입력하여 ARM_SHORT 고장검출이 되는지 여부를 확인한다. 기준값 : 고장LED(노랑) 점등 및 출력차단	양 호	O.K	

그림 582. IGBT Gate Driver Unit 단품시험성적서

(2) 제어장치 단품시험

표 133. 보조전원장치용 제어장치 단품시험항목

순번	시험항목	전수시험	비 고
1	외관 검사	◎	
2	기동전류측정	◎	
3	내부전원 측정시험	◎	
4	DSP 동작확인 시험	◎	
5	입력전원 고장검출시험	◎	
6	디지털 입출력확인시험	◎	
7	전류검출시험	◎	
8	전압검출시험	◎	
9	PWM출력파형 확인시험	◎	
10	고장검출시험	◎	
11	모니터링 확인 시험	◎	



그림 583. 보조전원장치용 제어장치 단품시험 전경

■ MAIN CONTROLLER 시험 성적서

<table>
<tr><th rowspan="2">NO</th><th colspan="2">검사 및 시험항목</th><th rowspan="2">검사조건 및 기준값</th><th rowspan="2">측정값</th><th rowspan="2">결 과</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>항목</th><th>세부항목</th></tr>
<tr><td>1</td><td>외관검사</td><td>PCB 외관검사</td><td>외관상 유해한 결함이 없어야 한다</td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>조립 및 납땜검사</td><td>납땜이상 유무 및 소자들의 값 확인</td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>기동전류측정</td><td>+5V
입력전류 측정</td><td>대기상태 및 PWM 출력시
전류값 0.9A 이하</td><td>대기 상태 : 0.53A
PWM 출력 : 0.65A</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>+24V
입력전류 측정</td><td>대기상태 및 PWM 출력시
전류값 0.09A 이하</td><td>대기 상태 : 0.04A
PWM 출력 : 0.04A</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td>내부전원
측정시험</td><td>+3.3V 측정</td><td>+3.3V ± 0.17V</td><td>3.30V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>+1.8V 측정</td><td>+1.8V ± 0.09V</td><td>1.79V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>VFOS (3V) 측정</td><td>+3V ± 0.15V</td><td>2.97V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>+15V 측정</td><td>+15V ± 0.75V</td><td>14.61V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-15V 측정</td><td>-15V ± 0.75V</td><td>-14.68V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td>DSP 동작
확인시험</td><td>프로그램 다운로드</td><td>-프로그램 다운로드
-버전 및 다운로드 날짜 입력 확인</td><td>VER : 0.5</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>기능 및 통신</td><td>-VFD 및 스위치 동작확인
-RS232 통신 확인</td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td>입력전원고장
검출시험</td><td>+5V 고장검출시험</td><td rowspan="2">검출조건: IP4,IP6 72V 입력→RUN동작 중 측정
5V 검출 기준값 : +4.5V(10%) ± 0.2V
24V 검출 기준값 : +21.6V(10%) ± 1V</td><td>4.6V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>+24V 고장검출시험</td><td>22.4V</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td>디지털 입력
확인시험</td><td>IP0 ~ IP6 확인</td><td>- 디지털입력(IP0~IP6)부분에 100V를 입력하여
모니터링으로 출력여부 확인
<table>
<tr><th>IN</th><th>OUT</th><th>IN</th><th>OUT</th></tr>
<tr><td>IP0</td><td>IN_01</td><td>IP4</td><td>IN_10</td></tr>
<tr><td>IP1</td><td>IN_02</td><td>IP5</td><td>IN_20</td></tr>
<tr><td>IP2</td><td>IN_04</td><td>IP6</td><td>IN_40</td></tr>
<tr><td>IP3</td><td>IN_08</td><td></td><td></td></tr>
</table></td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td>디지털 출력
확인시험</td><td>RY0 ~ RY3 확인</td><td>- 모니터링으로 디지털 출력값을 입력하여
출력접점으로 출력여부 확인
<table>
<tr><th>IN</th><th>OUT</th></tr>
<tr><td>0001</td><td>RY0</td></tr>
<tr><td>0002</td><td>RY1</td></tr>
<tr><td>0004</td><td>RY2</td></tr>
<tr><td>0008</td><td>RY3</td></tr>
</table></td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td>전류검출시험</td><td colspan="2">- 전류검출 입력단자에 전압을 입력하여 모니터링에 정상적으로 출력전류가 검출되는지 여부를 확인한다.</td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
<tr><td>9</td><td>전압검출시험</td><td colspan="2">- 전압검출 입력단자에 전압을 입력하여 모니터링에 정상적으로 출력전압이 검출되는지 여부를 확인한다.</td><td>양 호</td><td>O.K</td><td></td></tr>
</table>

그림 584. 보조전원장치용 제어장치 단품시험성적서 01

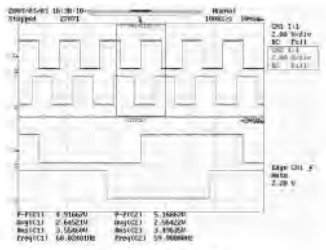
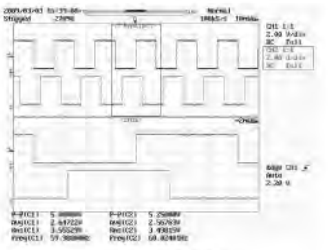
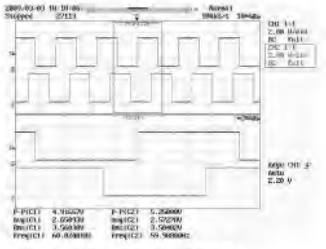
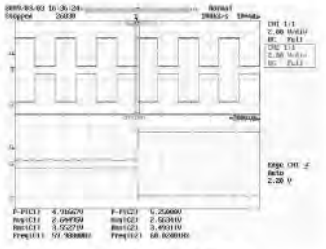
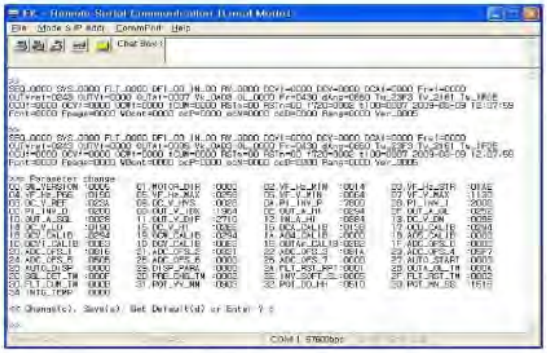
10	PWM 출력-파형 확인시험	 그림 1 상간파형측정  그림 2 상간파형측정  그림 3 상간파형측정  그림 4 상간파형측정	양 호	
11	GATEDRIVER 고장검출시험	-고장신호 발생후 모니터링을 통하여 고장검출이 정상적으로 되는지 여부를 확인	양 호	O.K
12	모니터링 확인	런 타임 파라메터 설정값 캡쳐	 그림 5 MC1 런 타임 파라메터 설정값	O.K

그림 585. 보조전원장치용 제어장치 단품시험성적서 02

(3) PWM전력스택 입출력 가변 시험

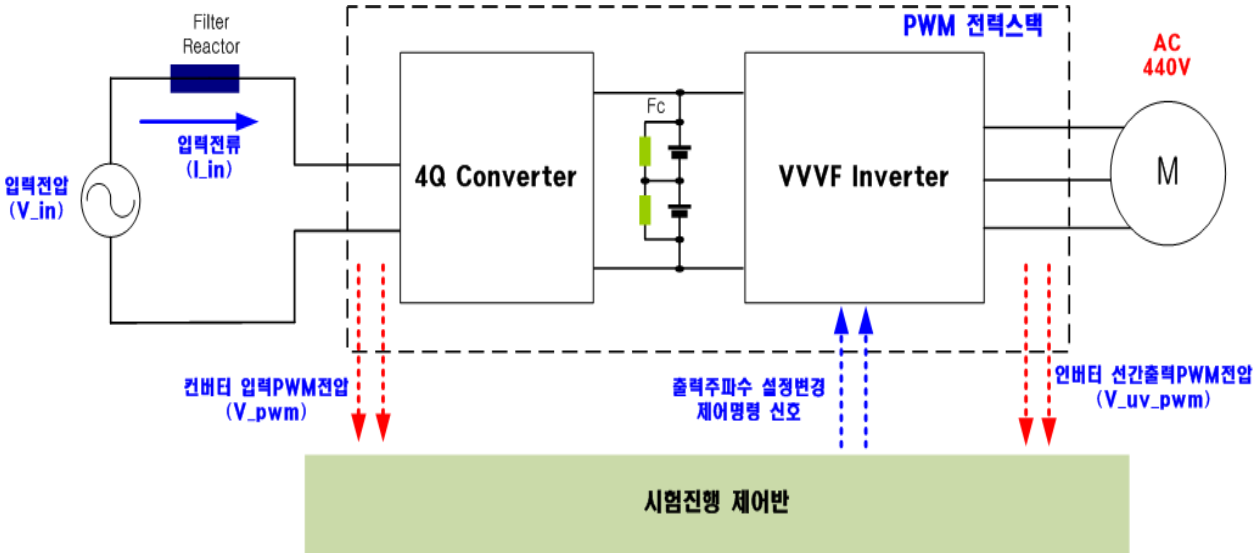


그림 586. PWM전력스택 입출력 가변 시험 블록도

(가) PWM전력스택 입력전압 변동시험

① 시험방법 및 기준

PWM전력스택에 입력전압(V_in)을 가변하여 장치를 기동하여 정상적으로 컨버터 입력 PWM전압(V_pwm)이 출력되는 지 확인한다.

입력전압 변동범위	기준치	비고
AC250V ~ AC350V	정상적으로 기동하여 PWM전압이 출력되는 지 확인	

② 시험결과 및 파형

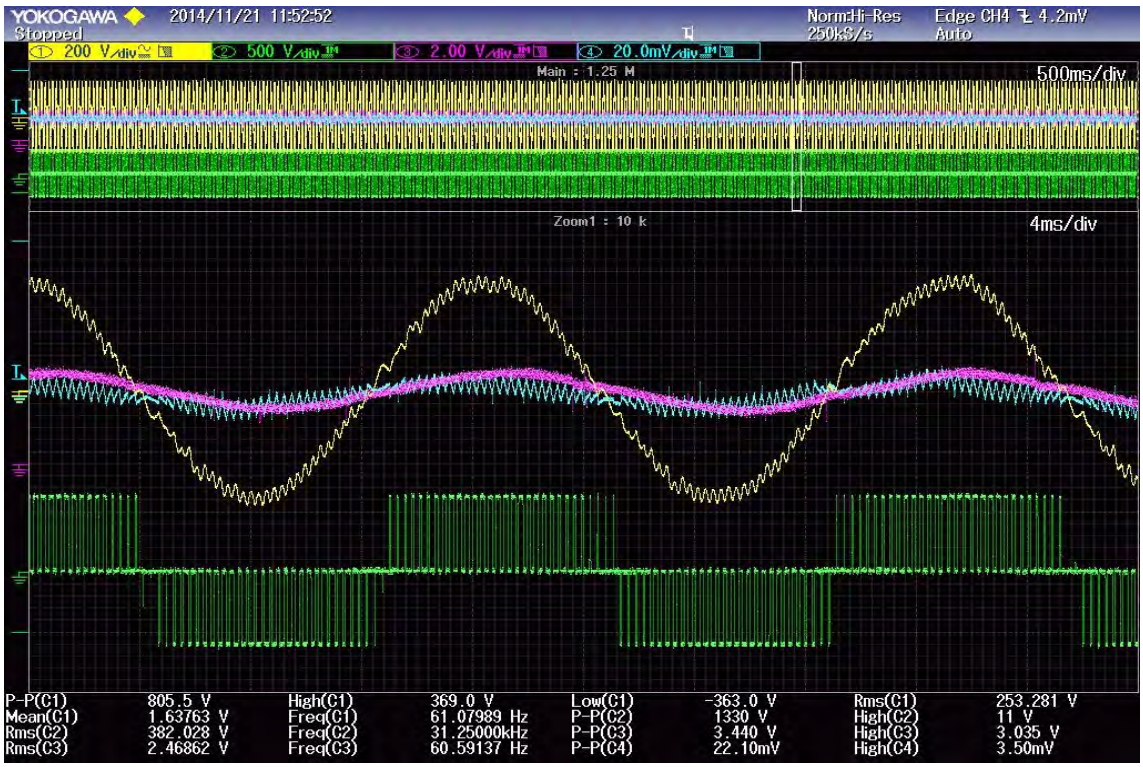


그림 587. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC250V 동작)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

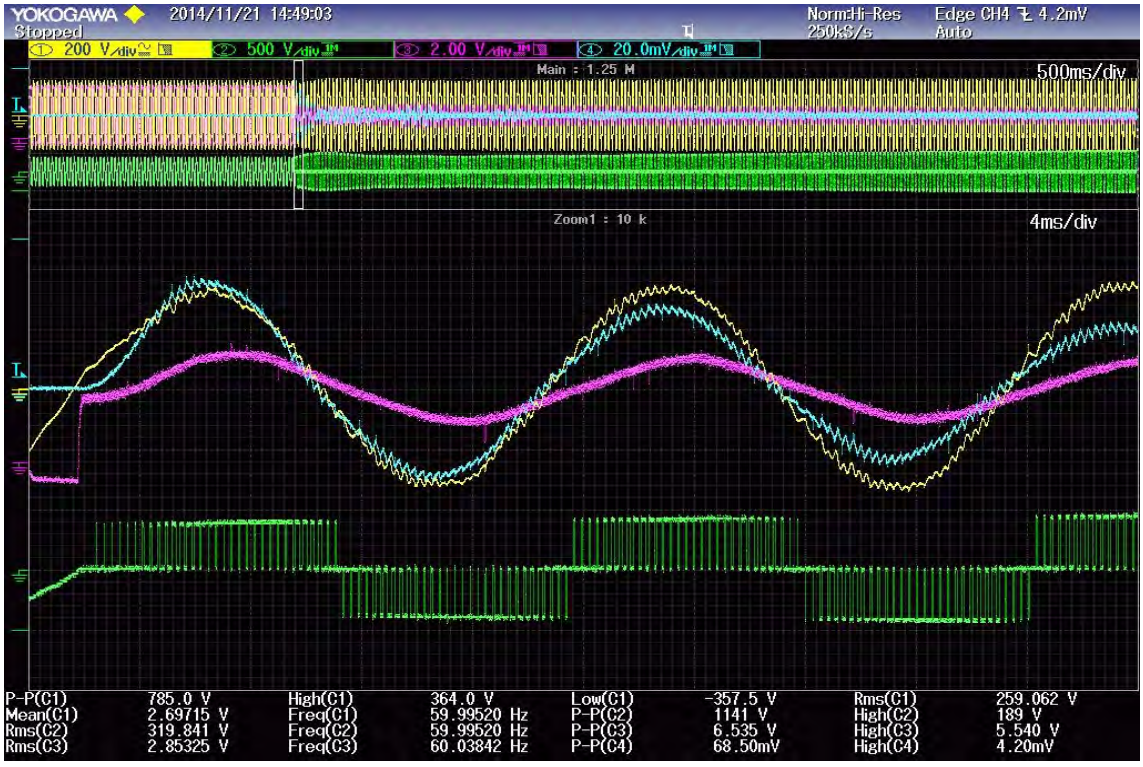


그림 588. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC260V 기동)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

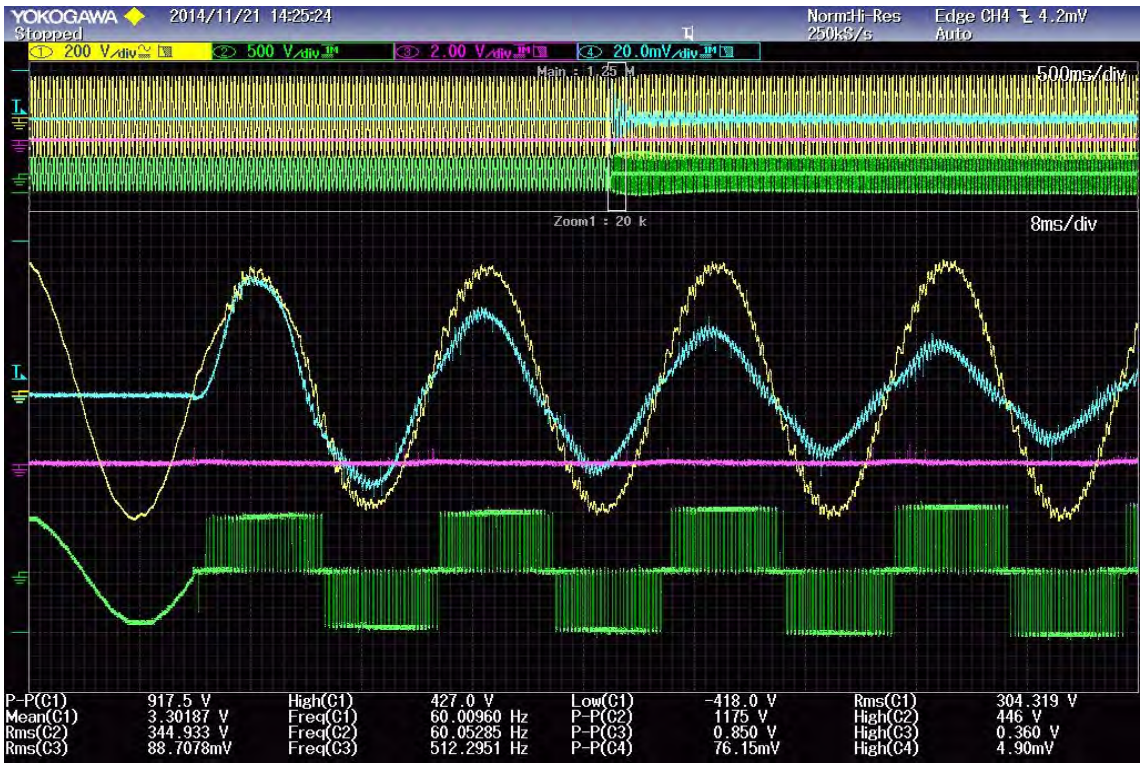


그림 589. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC300V 기동)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

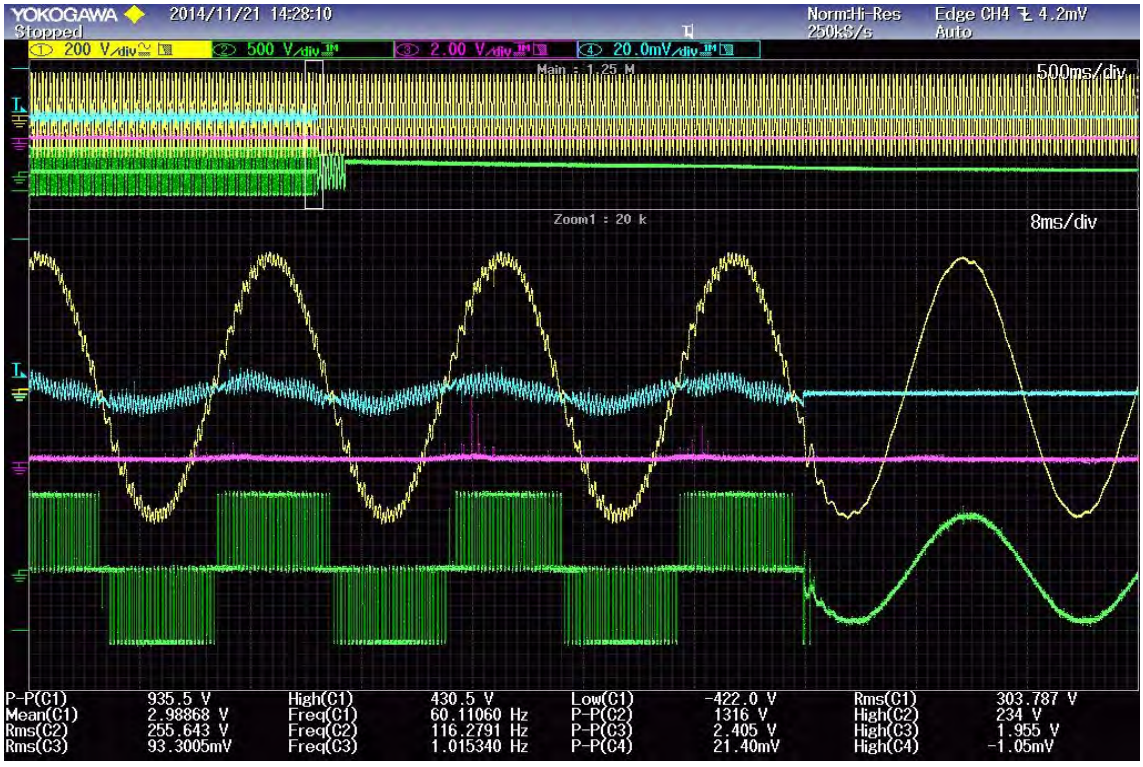


그림 590. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC300V 정지)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

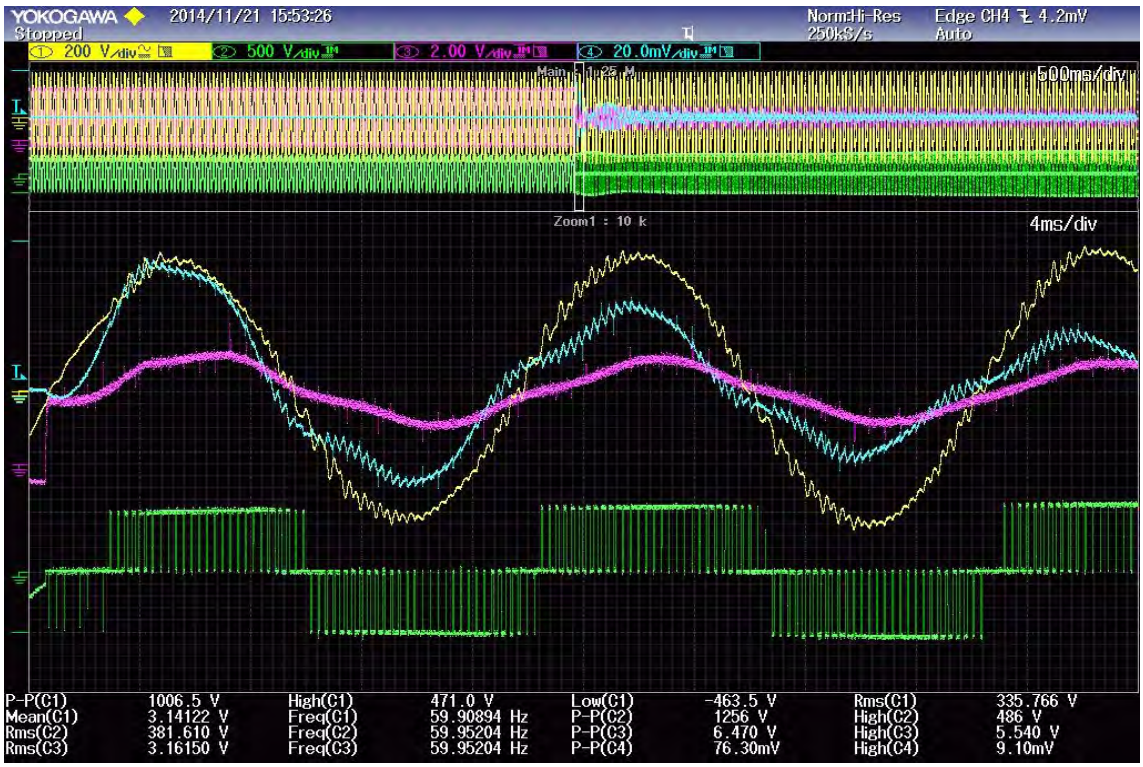


그림 591. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC334V 기동)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

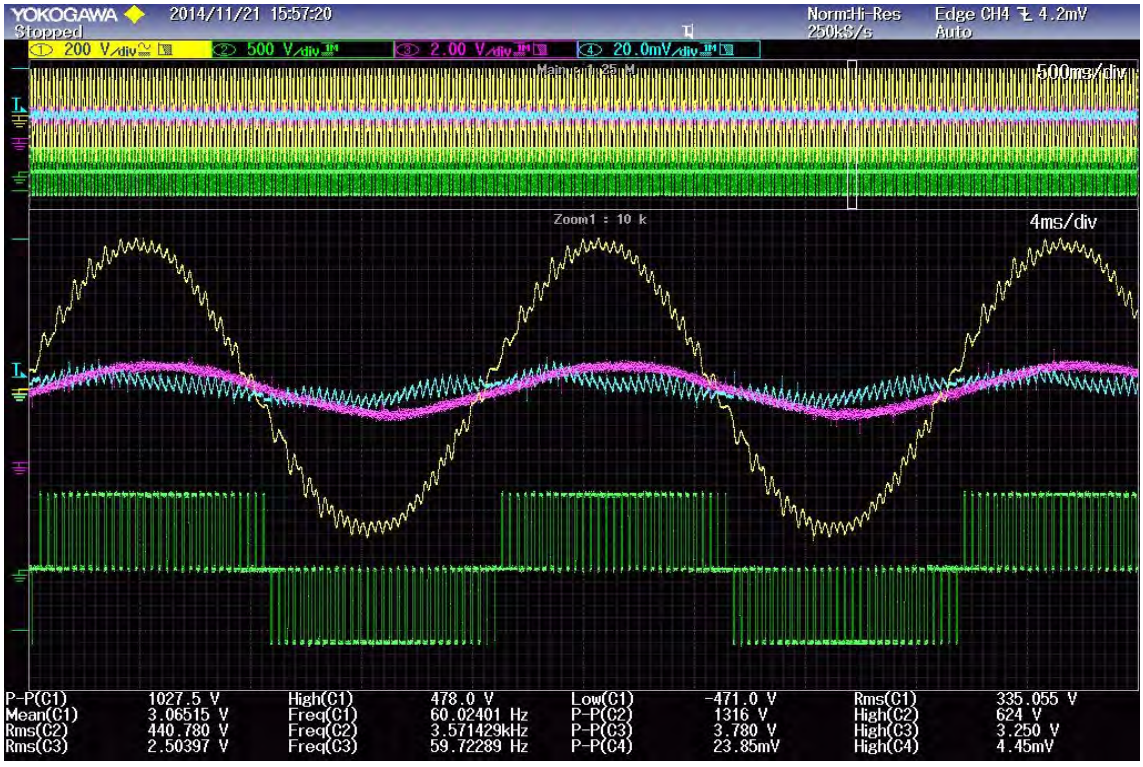


그림 592. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC334V 동작)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

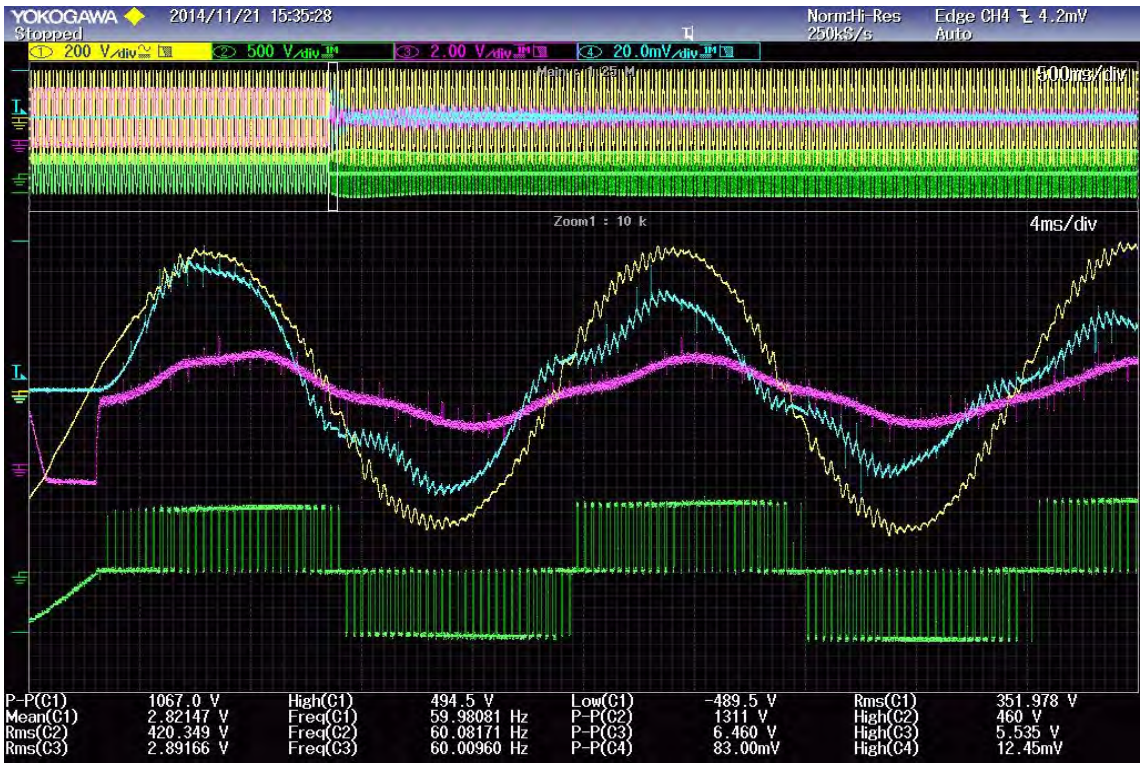


그림 593. 입력전압변동시험 입출력파형(입력AC350V 기동)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색하단)]

표 134. PWM전력스택 입력전압 변동시험 결과

No.	입력전압	기준치	결과
1	AC250V	정상기동 및 정지 PWM출력파형 확인	양호
2	AC260V		양호
3	AC300V		양호
4	AC334V		양호
5	AC350V		양호

(나) PWM전력스택 출력주파수 가변 시험

① 시험방법 및 기준

PWM전력스택을 정격입력전압(AC 334V)으로 기동한 후, 출력주파수 설정변경 제어신호를 입력하여 정상적으로 출력주파수 및 출력전압(V_uv_pwm)이 출력되는 지를 확인한다.

입력전압	출력주파수 제어신호	기준치	비고
AC334V	출력주파수 10Hz 동작	출력전압 :73V ± 5% 출력주파수 : 10Hz ± 1%	
	출력주파수 30Hz 동작	출력전압 :220V ± 5% 출력주파수 : 30Hz ± 1%	
	출력주파수 60Hz 동작	출력전압 :440V ± 5% 출력주파수 : 60Hz ± 1%	

② 시험결과 및 파형

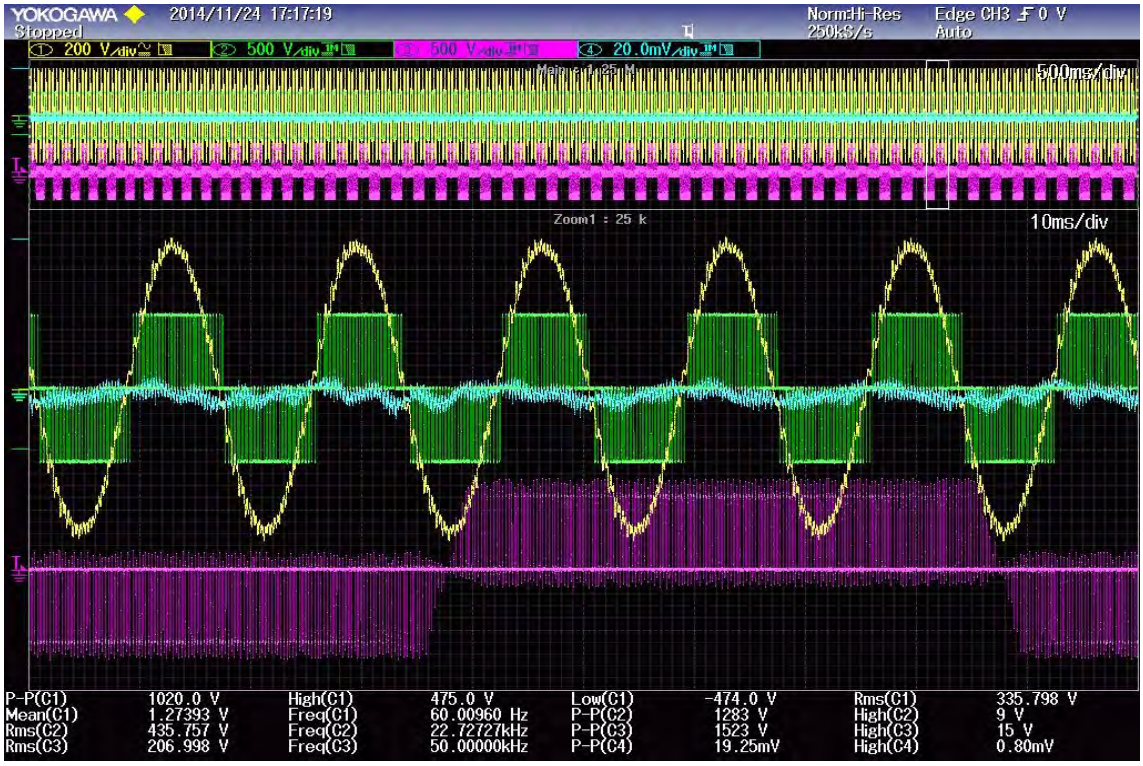


그림 594. 출력주파수 가변시험(출력 10Hz 동작)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색상단),
인버터출력PWM전압(보라색하단)]

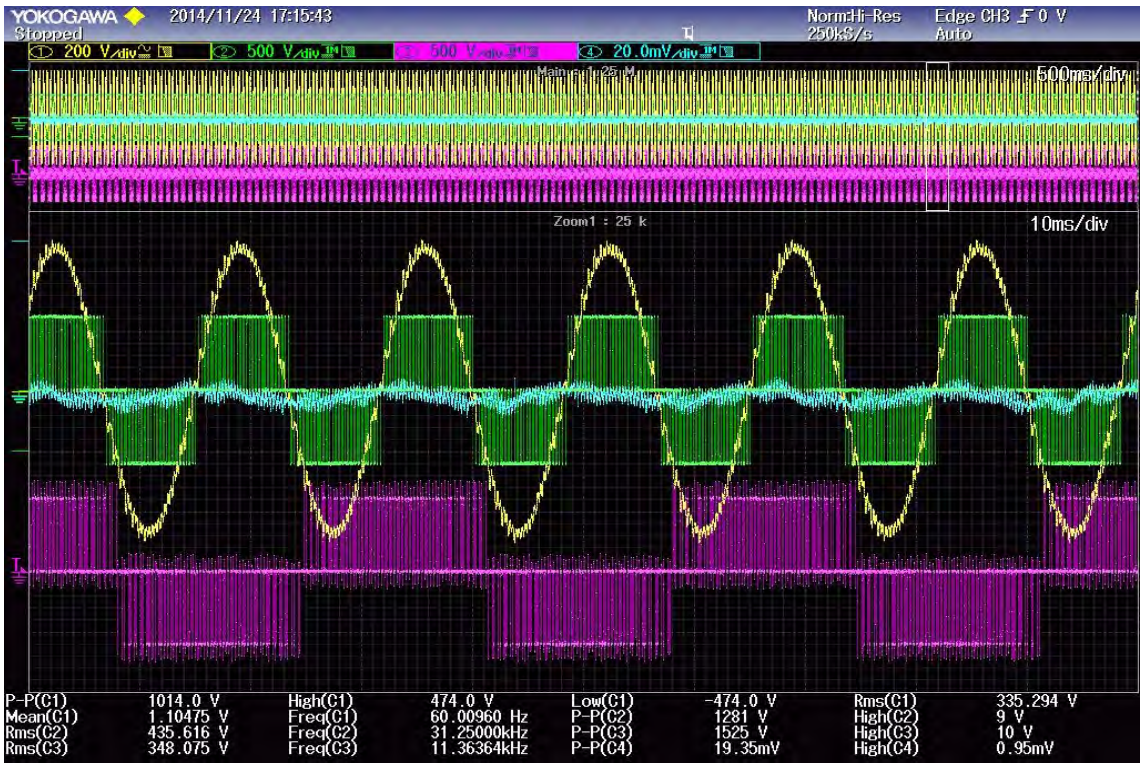


그림 595. 출력주파수 가변시험(출력 30Hz 동작)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색상단),
인버터출력PWM전압(보라색하단)]

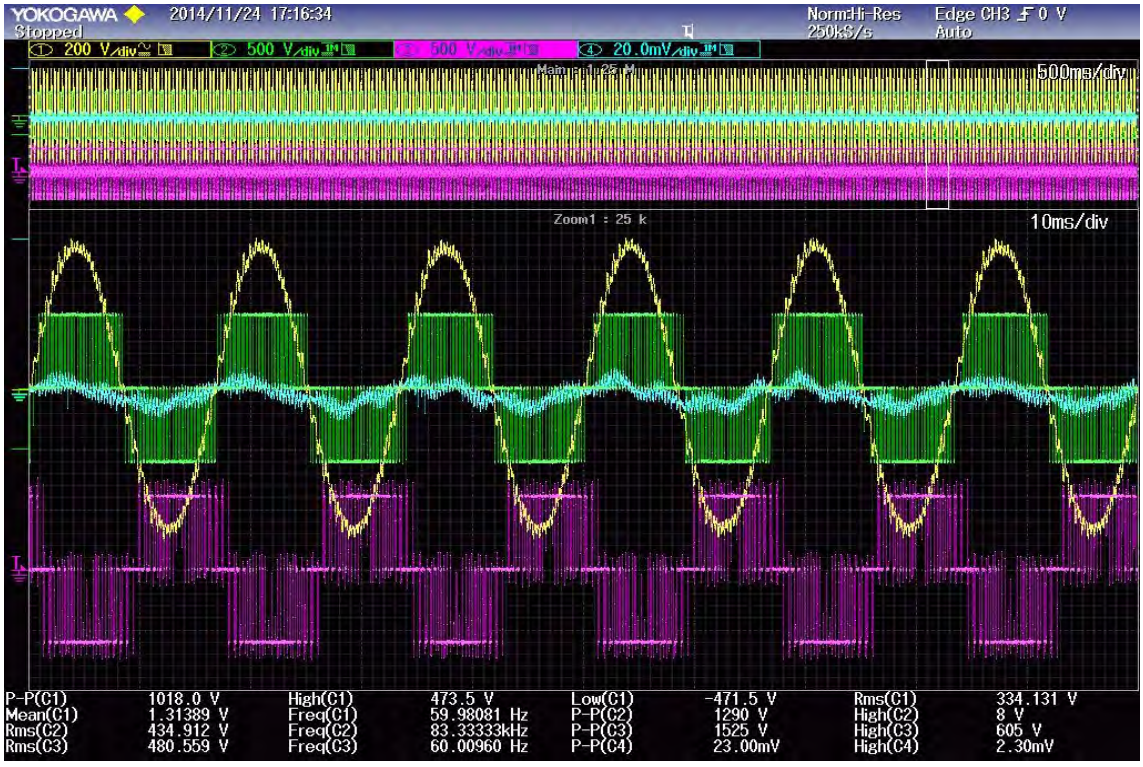


그림 596. 출력주파수 가변시험(출력 30Hz 동작)
[입력전압(노란색상단), 컨버터입력PWM전압(녹색상단),
인버터출력PWM전압(보라색하단)]

표 135. PWM전력스택 출력주파수 가변 시험 결과

입력전압	출력주파수 제어신호	기준치	측정치	결과
AC334V	출력주파수 10Hz 동작	출력전압 :73V ± 5% 출력주파수 : 10Hz ± 1%	출력전압 :73V 출력주파수 : 10Hz	양호
	출력주파수 30Hz 동작	출력전압 :220V ± 5% 출력주파수 : 30Hz ± 1%	출력전압 :220V 출력주파수 : 30Hz	양호
	출력주파수 60Hz 동작	출력전압 :440V ± 5% 출력주파수 : 60Hz ± 1%	출력전압 :440V 출력주파수 : 60Hz	양호

다. 조합시험

(1) 보조전원장치 조합시험 절차

보조전원장치의 조합시험 절차 및 방법은 보조전원장치 구성품 시험절차서 [문서번호 : R&D8200-X-05(AUX)-201-T]를 따른다.

(가) 적용규격

NO.	규격/번호	제 목	비 고
1	KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법	
2	R&D8200-X-05(AUX)-007-T	보조전원장치 상세설계서	
3	R&D8200-X-05(AUX)-008-T	보조전원장치 제품기술사양서	
4	R&D8200-X-05(AUX)-102-T	보조전원장치 MVB통신 및 모니터링 시스템 설계서	
5	R&D8200-X-05(AUX)-100-D	보조전원장치 제작도면	
6	R&D8200-X-05(AUX)-300-D	보조전원장치 배선도면	

(나) 검사 및 시험항목

구분	항목	형식시험	전수시험	비 고
검사	겉모양 검사	◎	◎	
	측정 검사	◎	◎	
시험	절연저항 측정 시험	◎	◎	
	내전압 시험	◎	◎	
	기동 및 정지 시험	◎	◎	
	상회전 시험	◎	◎	
	보호동작 시험	◎	◎	
	MVB통신 시험	◎	◎	

(다) 측정장비

구분	장비명	장비사양	용도	수량	보유기관
검사	Measuring tape	5.5m	치수검사용	3	이경산전
	Digital Multimeter	Fluke	결선검사용	2	이경산전
시험	Oscilloscope	Yokogawa	파형측정용	1	이경산전
	Current Hook Meter	Hioki 3288	전류측정용	1	이경산전
	Current Probe	A6303	전류 AMP용	1	이경산전
	Isolation Probe	Yokogawa	절연 AMP용	1	이경산전
	HV Probe	P5100	고압 AMP용	1	이경산전
	Pulse Generator	Agilant	펄스 발생용	2	이경산전
	LCR Multimeter	LCR55	수동소자값 측정용	1	이경산전
	Puncture Tester	Hanyoung	절연내압측정용	1	이경산전
	Insulation Resistance Tester	Yokogawa	절연저항측정용	1	이경산전
	Power Supply	Agilant	전원공급용	2	이경산전

(라) 검사 및 시험방법

① 겉모양 검사

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.

② 측정검사

장치의 치수가 설계도면과 일치하는지 검사 확인한다.

③ 절연저항 측정시험

절연 저항 시험은 아래 표와 같이 절연저항계를 사용하여 절연 저항을 측정하여 기준치에 적합한지를 확인한다. 단, 절연저항 측정 시험은 내전압시험 전후에 실시하여야 한다.

구분	측정위치	기준치	측정장비	비고
AUX1.1/ AUX1.2	입력부/출력부(334/440Vac) - 케이스	50㏁ 이상	DC 1000V 메가	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	50㏁ 이상	DC 500V 메가	

④ 내전압 시험

아래 표와 같이 절연내압을 인가하여 회로에 이상이 없어야 한다.

구분	측정위치	기준치	비고
AUX1.1/ AUX1.2	입력부/출력부(334/440Vac) - 케이스	2000Vrms, 60Hz, 1분	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	1000Vrms, 60Hz, 1분	

⑤ 기동 및 정지시험

아래 표의 조건으로 기동 및 정지시험을 실시하여 기준치에 적합한지를 확인한다.

입력전압	시험조건	기준치	비고
AC 334V	무 부하에서 실시	보조전원장치가 정상적으로 기동한 후, 안전하게 정지하는지 확인한다.	

⑥ 상회전 시험

보조전원장치를 기동하여 교류출력 파형의 상 회전 방향에 이상이 없는지 상회전계로 확인한다. (정상일 때 시계방향)

⑦ 보호회로 동작 시험

㉮ 입력 저전압/과전압 검출시험

보조전원장치를 정상기동 후, 입력전압을 아래 표의 조건으로 변경하여 정상적으로 출력이 차단되는 지 확인한다.

보호항목	시험조건	기준치	비고
입력 저전압 검출	250Vac ±5%	보조전원장치의 출력이 정상적으로 차단되는 지 확인	
입력 과전압 검출	360Vac ±5%		

※보호동작 항목 및 기준치는 시행청의 요구나 제작사 시험으로 변경될 수 있음

㉯ 입출력 전류 고장 검출시험

보조전원장치의 고장 검지회로에 아래 표의 검출기 출력 값을 인가하여 정상적으로 고장이 검출되는지 확인한다.

보호항목	시험조건 [검출기 출력값]	기준치	비고
입력 과전류 검출	365Arms(103%) [3.44V±0.10V]	제어장치의 고장기록 메모리를 모니터링하여 정상적으로 고장이 검출되는지 확인한다.	
출력 과전류 검출	122Arms(103%) [3.44V±0.10V]		

⑧ MVB 통신 시험

아래 표와 같은 조건의 MVB통신으로 받은 지령에 따라 장치가 정상적으로 동작하는 지를 확인한다.

시험항목	MVB통신 지령	기준치	비고
기동 확인시험	보조전원장치 기동	정상 기동	
	보조전원장치 정지	정상 정지	
주파수 가변시험	출력주파수 30Hz 동작	출력전압 : 220Vac ±5% 출력주파수 : 30Hz ±1%	
	출력주파수 60Hz 동작	출력전압 : 440Vac ±5% 출력주파수 : 60Hz ±1%	

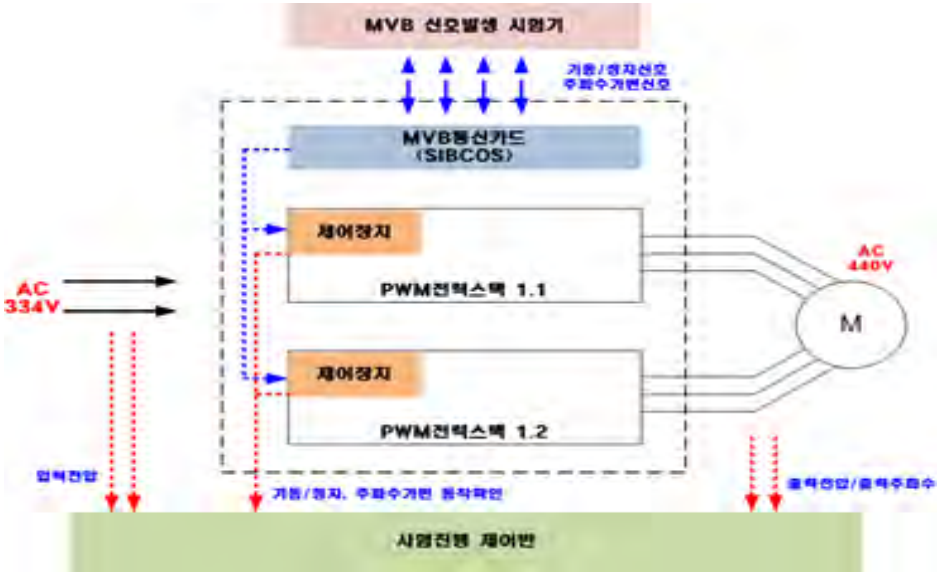


그림 597. MVB통신시험 블록도

(2) 객차전원공급장치 조합시험 절차

객차전원공급장치의 조합시험 절차 및 방법은 객차전원공급장치 구성품 시험절차서 [문서번호 : R&D8200-X-19(HEP)-201-T]를 따른다.

(가) 적용규격

NO.	규격/번호	제 목	비 고
1	KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법	
2	R&D8200-X-19(HEP)-001-T	객차전원공급장치 설계서	
3	R&D8200-X-19(HEP)-002-T	객차전원공급장치 제품기술사양서	
4	R&D8200-X-19(HEP)-100-D	객차전원공급장치 제작도면	
5	R&D8200-X-19(HEP)-300-D	객차전원공급장치 배선도면	

(나) 검사 및 시험항목

구분	시험항목	형식시험	전수시험	비 고
검사	겉모양 검사	◎	◎	
	측정 검사	◎	◎	
시험	절연저항 측정 시험	◎	◎	
	내전압 시험	◎	◎	

(다) 측정장비

구분	장비명	장비사양	용도	수량	보유기관
검사	Measuring tape	5.5m	치수검사용	3	이경산전
	Digital Multimeter	Fluke	결선검사용	2	이경산전
시험	Puncture Tester	Hanyoung	절연내압측정용	1	이경산전
	Insulation Resistance Tester	Yokogawa	절연저항측정용	1	이경산전

(라) 검사 및 시험방법

① 겉모양 검사

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.

② 측정 검사

장치의 치수가 설계도면과 일치하는지 검사 확인한다.

③ 절연저항 측정시험

절연 저항 시험은 아래 표와 같이 절연저항계를 사용하여 절연 저항을 측정하여 기준치에 적합한지를 확인한다. 단, 절연저항 측정 시험은 내전압시험 전후에 실시하여야 한다.

측정위치	기준치	측정장비	비고
입력부/출력부(440Vac) - 케이스	50㏁ 이상	DC 1000V 메가	
제어회로(110Vdc) - 케이스	50㏁ 이상	DC 500V 메가	

④ 내전압 시험

아래 표와 같이 절연내압을 인가하여 회로에 이상이 없어야 한다.

측정위치	기준치	비고
입력부/출력부(334/440Vac) - 케이스	2000Vrms, 60Hz, 1분	
제어회로(110Vdc) - 케이스	1000Vrms, 60Hz, 1분	

(3) 자체시험 결과

(가) 보조전원장치 자체시험 성적서

자 체 시 험 성 적 서

□ 개 요

번호	품 명	규 격	수 량
AUX_001	보조전원장치	8200호대 전기기관차용 보조전원장치(90KVA*2)	1 SET

□ 시험 일자 : 2014년 12월 08일 ~ 12월 10일(3일간)

□ 시 험 자 : 기술연구소 이병호

그림 598. 보조전원장치 자체시험성적서 01

이 경 산 전 (주)

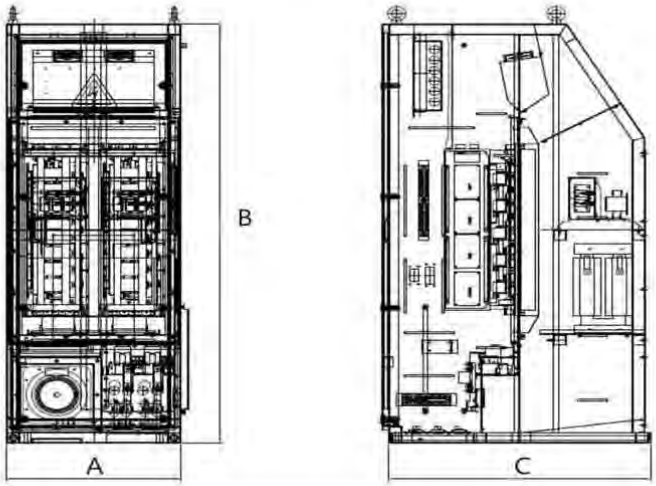
시 험 결 과 기 록 서				
구 분	전기기관차(8200호대)용	확인자	성명	서명
시험품	보조전원장치		이을재	
제품번호	AUX_001	시험자	성명	서명
시험일	2014. 12. 08. ~ 12. 10.		이병호	
시험환경	온도 : 20.3℃	습도 : 20%	날씨 : 흐림	
제작사	이경산전주식회사	판 정	합격	

1. 겉모양 검사

검사항목 및 기준	결과	비고
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것	양호	
기기 취부상태가 설계도면과 일치하는지 확인	양호	
전선 및 터미널 연결상태가 양호한지 확인	양호	

그림 599. 보조전원장치 자체시험성적서 02

2. 측정검사



검사항목	기준치(mm)	측정치(mm)	결과	비고
A	700 ±2	700	양호	
B	2000 ±4	2000	양호	
C	1050 ±3	1050	양호	

3. 절연저항 측정시험

구분	측정위치	기준치	측정치	결과	비고
AUX1.1	입출력부(334/440Vac) - 케이스	1000V 메가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	내전압시험 전
			2000MΩ	양호	내전압시험 후
	제어회로(110Vdc) - 케이스	500V 메가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	내전압시험 전
			2000MΩ	양호	내전압시험 후
AUX1.2	입출력부(334/440Vac) - 케이스	1000V 메가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	내전압시험 전
			2000MΩ	양호	내전압시험 후
	제어회로(110Vdc) - 케이스	500V 메가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	내전압시험 전
			2000MΩ	양호	내전압시험 후

그림 600. 보조전원장치 자체시험성적서 03

4. 내전압시험

구분	측정위치	기준치	측정치	결과	비고
AUX1.1	입출력부(334/440Vac) - 케이스	2000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	14mA	견딤	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	1000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	6mA	견딤	
AUX1.2	입출력부(334/440Vac) - 케이스	2000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	14mA	견딤	
	제어회로(110Vdc) - 케이스	1000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	6mA	견딤	

5. 기동 및 정지시험

구분	입력전압	부하조건	기준치	결과	비고
AUX1.1	AC 334V	0% (무 부하)	정상기동 및 정지	양호	파형첨부
AUX1.2	AC 334V	0% (무 부하)	정상기동 및 정지	양호	파형첨부

6. 상회전 시험

구분	입력전압	부하조건	기준치	결과	비고
AUX1.1	AC 334V	0% (무 부하)	정상일 때 시계방향	정상	
AUX1.2	AC 334V	0% (무 부하)	정상일 때 시계방향	정상	

그림 601. 보조전원장치 자체시험성적서 04

7. 보호회로 동작시험

7.1 입력 저전압/과전압 검출시험

구분	보호항목	시험조건	기준치	결과	비고
AUX1.1	입력 저전압 검출	250Vac ±5%	출력이 정상적으로 차단되는 지 확인	양호	
	입력 과전압 검출	360Vac ±5%		양호	
AUX1.2	입력 저전압 검출	250Vac ±5%	출력이 정상적으로 차단되는 지 확인	양호	
	입력 과전압 검출	360Vac ±5%		양호	

※보호동작 항목 및 기준치는 시행청의 요구나 제작사 시험으로 변경될 수 있음

7.2 입출력 전류 고장 검출시험

구분	보호항목	시험조건 [검출기 출력값]	기준치	결과	비고
AUX1.1	입력 과전류 검출	365Arms(103%) [3.44V±0.10V]	정상적으로 고장이 검출되는 지 확인	양호	
	출력 과전류 검출	122Arms(103%) [3.44V±0.10V]		양호	
AUX1.2	입력 과전류 검출	365Arms(103%) [3.44V±0.10V]	정상적으로 고장이 검출되는 지 확인	양호	
	출력 과전류 검출	122Arms(103%) [3.44V±0.10V]		양호	

※보호동작 항목 및 기준치는 시행청의 요구나 제작사 시험으로 변경될 수 있음

그림 602. 보조전원장치 자체시험성적서 05

8. MVB 통신시험

구분	측정항목	MVB통신지령	기준치	결과	비고
AUX1.1	기동/정지	장치 기동	정상 기동	양호	
		장치 정지	정상 정지	양호	
	주파수가변	30Hz 동작	출력전압 : 220Vac ±5% 출력주파수 : 30Hz ±1%	양호	파형 첨부
		60Hz 동작	출력전압 : 440Vac ±5% 출력주파수 : 60Hz ±1%	양호	파형 첨부
AUX1.2	기동/정지	장치 기동	정상 기동	양호	
		장치 정지	정상 정지	양호	
	주파수가변	30Hz 동작	출력전압 : 220Vac ±5% 출력주파수 : 30Hz ±1%	양호	파형 첨부
		60Hz 동작	출력전압 : 440Vac ±5% 출력주파수 : 60Hz ±1%	양호	파형 첨부

※출력전압은 PWM출력이므로, 아날로그게이지를 통해 측정

그림 603. 보조전원장치 자체시험성적서 06

[첨부] 시험사진

1. 검사 및 시험 환경(온도/습도)



2. 겉모양 검사



겉모양 검사

3. 측정 검사



측정 검사

그림 604. 보조전원장치 자체시험성적서 07

4. 절연저항 측정시험



입/출력부(334Vac/440Vac) - 케이스



제어회로(110Vdc) - 케이스

그림 605. 보조전원장치 자체시험성적서 08

5. 내전압 시험





입/출력부(334Vac/440Vac) - 케이스





제어회로(110Vdc) - 케이스

그림 606. 보조전원장치 자체시험성적서 09

6. 기동 및 정지시험



기동 및 정지시험



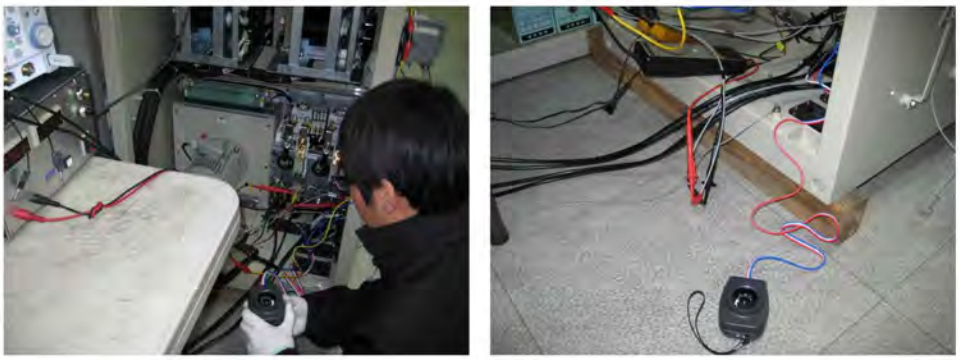
보조전원장치 기동 시 입출력 전압 파형

그림 607. 보조전원장치 자체시험성적서 10



보조전원장치 정시 시 입출력 전압 파형

7. 상회전 시험



상회전 시험

그림 608. 보조전원장치 자체시험성적서 11

8. 보호회로 동작시험



입력저전압 검출 시험파형(입력 **250Vac**, 출력차단)



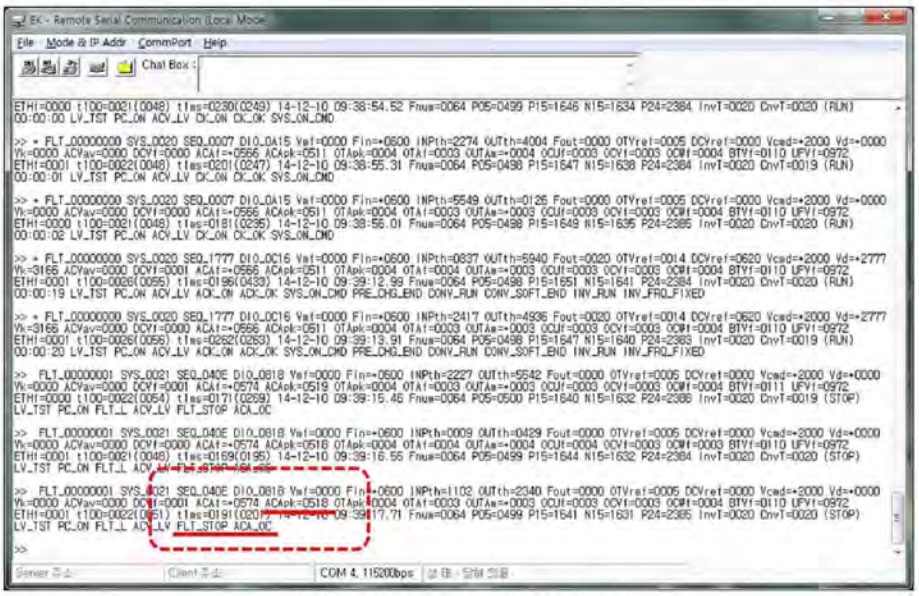
입력과전압 검출 시험파형(입력 **360Vac**, 출력차단)

그림 609. 보조전원장치 자체시험성적서 12





입력과전류 검출시험



입력과전류 검출시험 모니터링

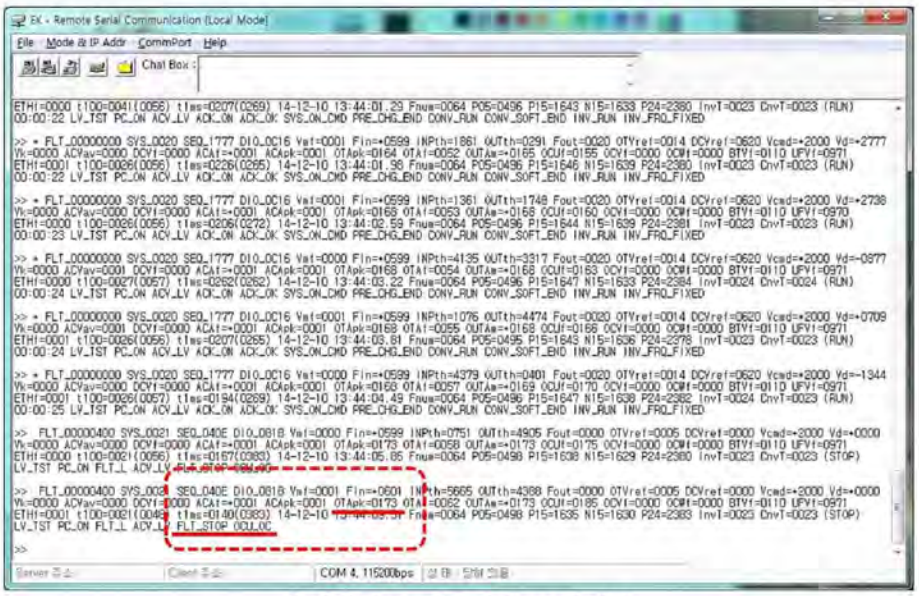
1) ACApk=0518 : 입력전류 518Apk / $\sqrt{2}$ = 366Arms

2) FLT_STOP = ACA_OC : 입력과전류 고장코드

그림 610. 보조전원장치 자체시험성적서 13



출력과전류 검출시험



출력과전류 검출시험 모니터링

1) OTApk=0173 : 출력전류 173Apk / $\sqrt{2}$ = 122Arms

2) FLT_STOP = OCU_OC : 출력과전류 고장코드

그림 611. 보조전원장치 자체시험성적서 14

9. MVB통신시험



MVB통신 지령을 통한 기동 확인시험



MVB통신 지령을 통한 장치기동 입출력전압파형

그림 612. 보조전원장치 자체시험성적서 15

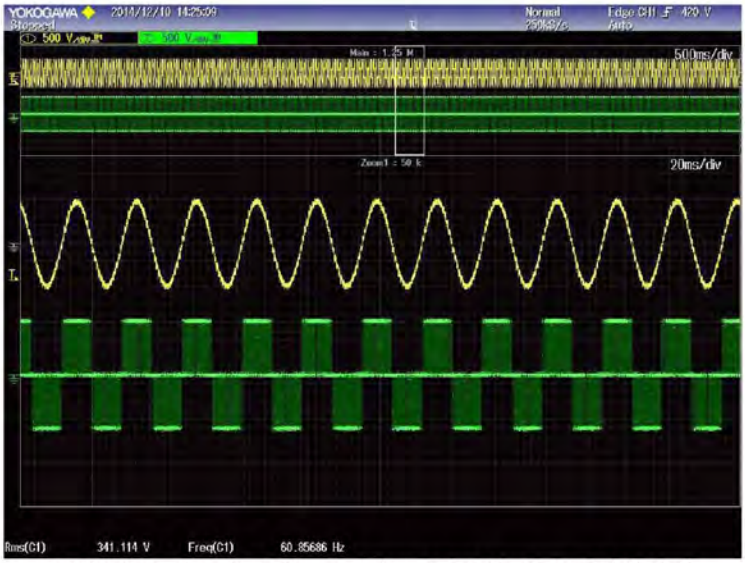


MVB통신 지령을 통한 장치정지 입출력전압파형

그림 613. 보조전원장치 자체시험성적서 16



MVB통신 지령을 통한 주파수 가변시험
출력전압 : 220Vac , 출력주파수 : 29.9Hz

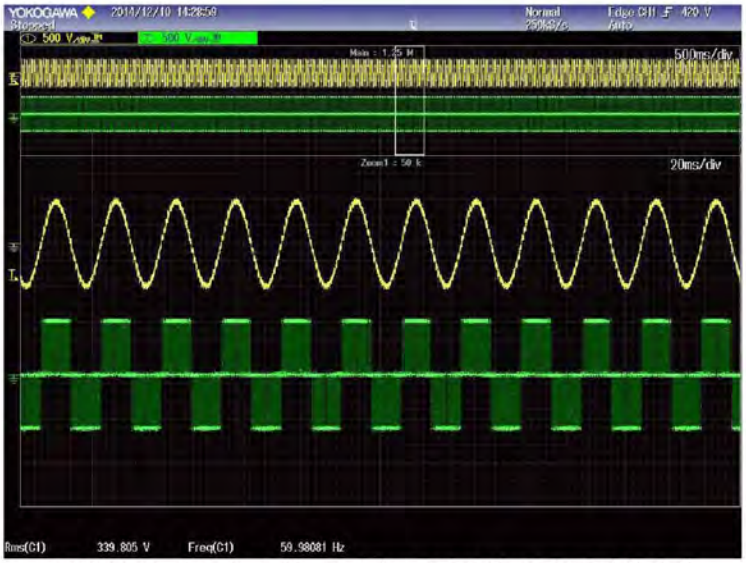


MVB통신 지령을 통한 주파수 가변시험 입출력전압파형
출력전압 : 220Vac , 출력주파수 : 29.9Hz

그림 614. 보조전원장치 자체시험성적서 17



MVB통신 지령을 통한 주파수 가변시험
출력전압 : 426Vac , 출력주파수 : 60.0Hz



MVB통신 지령을 통한 주파수 가변시험 입출력전압파형
출력전압 : 426Vac , 출력주파수 : 60.0Hz

그림 615. 보조전원장치 자체시험성적서 18

(나) 객차전원공급장치 자체시험 성적서

자 체 시 험 성 적 서

□ 개 요

번호	품 명	규 격	수 량
HEP_001	객차전원 공급장치	8200호대 전기기관차용 객차전원공급장치	1 SET

□ 시험 일자 : 2014년 12월 08일

□ 시 험 자 : 기술연구소 이병호

이 경 산 전 (주)

그림 616. 객차전원공급장치 자체시험성적서 01

시 험 결 과 기 록 서

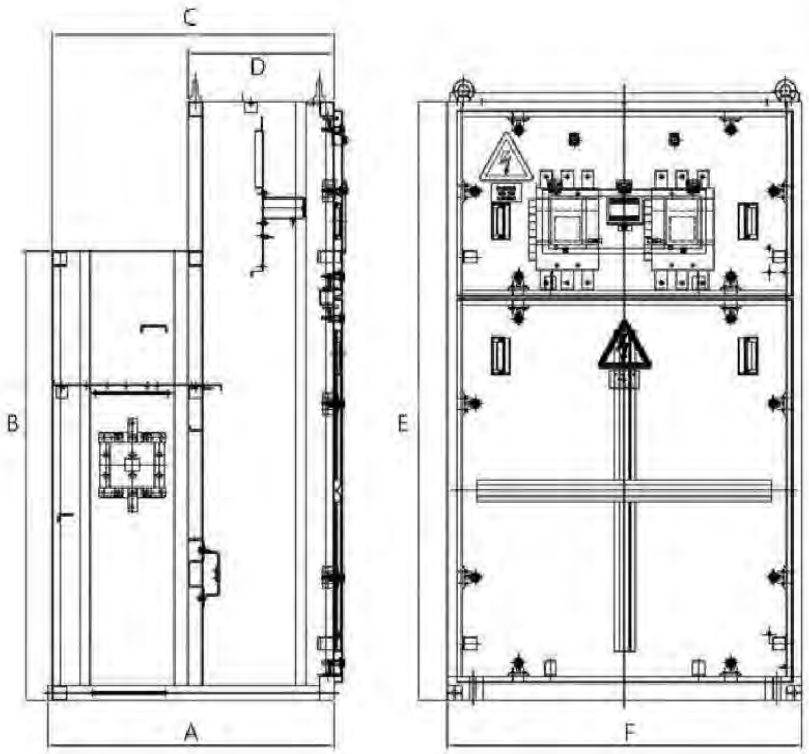
구 분	전기기관차(8200호대)용	확인자	성명	서명
시험품	객차전원공급장치(HEP)		이을재	
제품번호	HEP_001	시험자	성명	서명
시험일	2014. 12. 08.		이병호	
시험환경	온도 : 20.3℃	습도 : 20%	날씨 : 흐림	
제작사	이경산전주식회사	판 정	합격	

1. 겉모양 검사

검사항목 및 기준	결과	비고
육안으로 보아 사용에 유해한 흠 등이 없을 것	양호	
기기 취부상태가 설계도면과 일치하는지 확인	양호	
전선 및 터미널 연결상태가 양호한지 확인	양호	

그림 617. 객차전원공급장치 자체시험성적서 02

2. 측정검사



검사항목	기준치(mm)	측정치(mm)	결과	비고
A	970 ±2	970	양호	
B	1500 ±3	1500	양호	
C	955 ±2	955	양호	
D	495 ±2	495	양호	
E	2000 ±4	2000	양호	
F	1200 ±3	1200	양호	

그림 618. 객차전원공급장치 자체시험성적서 03

3. 절연저항 측정시험

측정위치	기준치	측정치	결과	비고
입출력부(334/440Vac) - 케이스	1000V 메가 50MΩ 이상	2000MΩ	양호	내전압시험 전
		2000MΩ	양호	내전압시험 후
제어회로(110Vdc) - 케이스	500V 메가 50MΩ 이상	1035MΩ	양호	내전압시험 전
		1035MΩ	양호	내전압시험 후

4. 내전압시험

측정위치	기준치	측정치	결과	비고
입출력부(334/440Vac) - 케이스	2000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	2mA	견딤	
제어회로(110Vdc) - 케이스	1000Vrms, 60Hz, 1분간 견딤	9mA	견딤	

그림 619. 객차전원공급장치 자체시험성적서 04

[첨부] 시험사진

1. 검사 및 시험 환경(온도/습도)



2. 겉모양 검사



겉모양 검사

3. 측정 검사



측정 검사

그림 620. 객차전원공급장치 자체시험성적서 05

4. 절연저항 측정시험




입력부/출력부(440Vac) - 케이스




제어회로(110Vdc) - 케이스

그림 621. 객차전원공급장치 자체시험성적서 06

5. 내전압 시험





입력부/출력부(440Vac) - 케이스





제어회로(110Vdc) - 케이스

그림 622. 객차전원공급장치 자체시험성적서 07

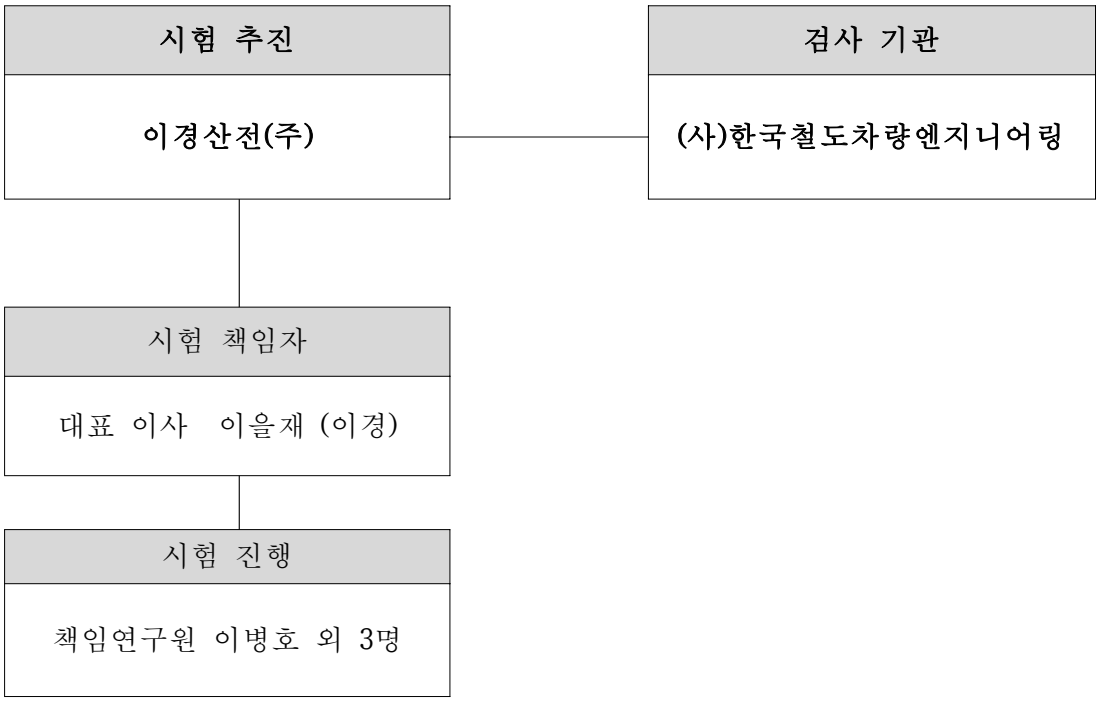
라. 시험결과

(1) 시험개요

(가) 시험 소요기간 : 2014. 12. 04. ~ 2014. 12. 12. (7일간)

(나) 시험 장소 : 이경산전(주) 기술연구소 내

(다) 인원 및 구성



(2) 적용규격

(가) 보조전원장치 적용규격

N0.	규격/번호	제 목	비 고
1	KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법	
2	R&D8200-X-05(AUX)-007-T	보조전원장치 상세설계서	
3	R&D8200-X-05(AUX)-008-T	보조전원장치 제품기술사양서	
4	R&D8200-X-05(AUX)-102-T	보조전원장치 MVB통신 및 모니터링 시스템 설계서	
5	R&D8200-X-05(AUX)-201-T	보조전원장치 구성품 시험절차서	
6	R&D8200-X-05(AUX)-100-D	보조전원장치 제작도면	
7	R&D8200-X-05(AUX)-300-D	보조전원장치 배선도면	

(나) 객차전원공급장치 적용규격

NO.	규격/번호	제 목	비 고
1	KS R 9197	철도차량의 절연저항 및 내전압 시험방법	
2	R&D8200-X-19(HEP)-001-T	객차전원공급장치 설계서	
3	R&D8200-X-19(HEP)-002-T	객차전원공급장치 제품기술사양서	
4	R&D8200-X-19(HEP)-201-T	객차전원공급장치 구성품 시험절차서	
5	R&D8200-X-19(HEP)-100-D	객차전원공급장치 제작도면	
6	R&D8200-X-19(HEP)-300-D	객차전원공급장치 배선도면	

(3) 시험항목 및 방법

(가) 보조전원장치 시험항목 및 방법

보조전원장치의 제 3자 입회시험항목 및 방법은 보조전원장치 구성품 시험절차서[문서번호 : R&D8200-X-05(AUX)-201-T]를 따른다.

(나) 객차전원공급장치 시험항목 및 방법

객차전원공급장치의 제 3자 입회시험항목 및 방법은 객차전원공급장치 구성품 시험절차서 [문서번호 : R&D8200-X-19(HEP)-201-T]를 따른다.

(4) 사용계측기 및 검·교정 현황

EK 이경산전(주)

계측기기 검교정 현황

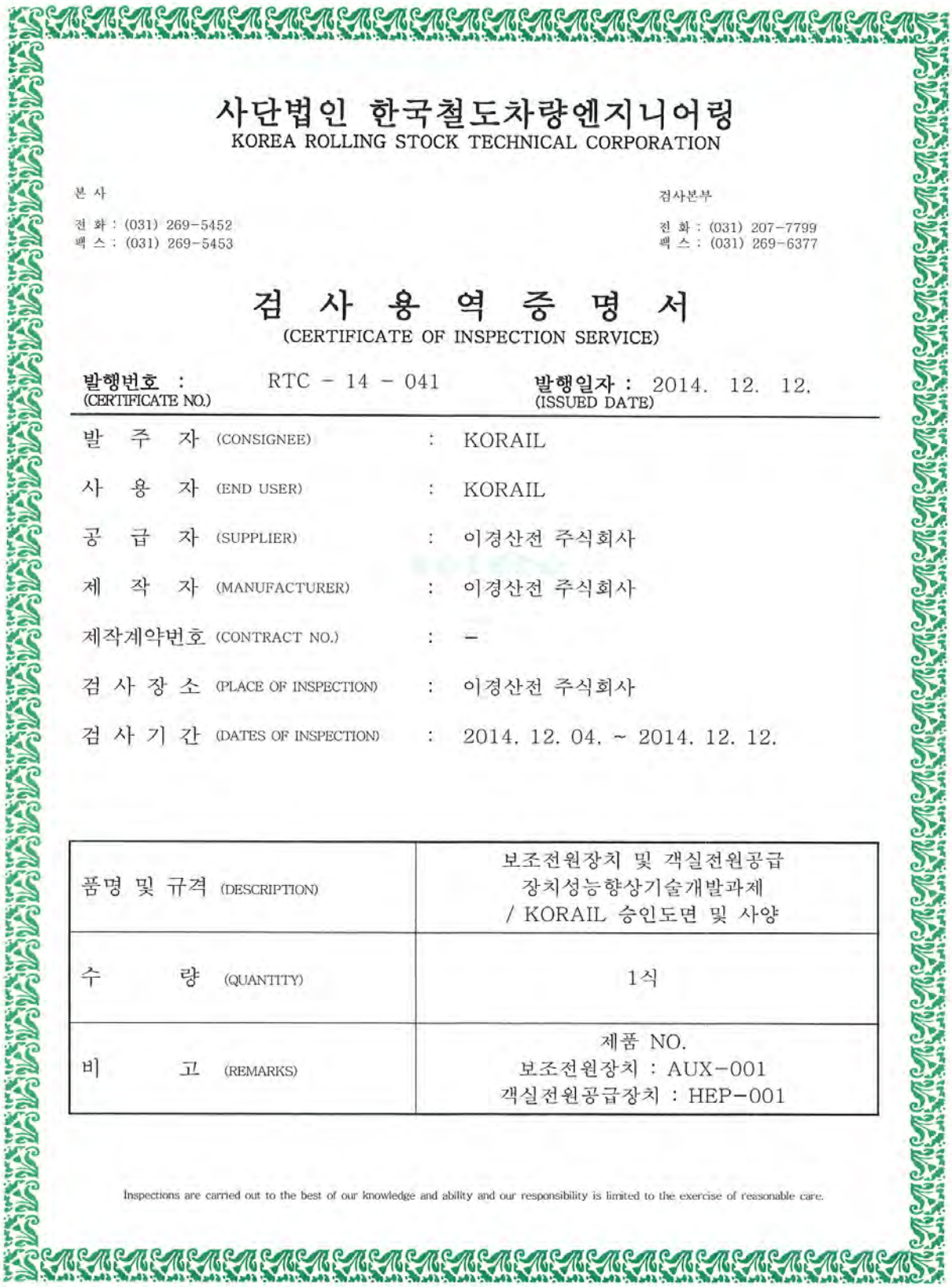
2014.12.12
기술연구소 전력개발팀

순번	계측장비명	기기 번호	제조사	교정번호	교정일자	차기교정일자	비고
1	내,외측캘리퍼	11400059	MITUTOYO	14-6127-03	2014/03/28	2015/03/28	
2	표준내·외경줄자 (강제줄자)	N09009	TAJIMA	Q149230-102-6341	2014/12/05	2016/12/05	
3	DC Power Supply (N5750A)	US08A0170G	Agilent	14-6127-01	2014/03/27	2015/03/27	
4	DC Power Supply (N5772A)	US08N4174K	Agilent	14-6127-02	2014/03/27	2015/03/27	
5	Digital Multimeter (287)	26060004	Fluke	14-8832-02	2014/12/01	2015/12/01	
6	내압시험기 (Puncture Tester)	290937	HAN YOUNG	14-8832-03	2014/12/01	2015/12/01	
7	절연시험기 (Digital Insulation Tester)	80NA2460	Yokogawa	14-8832-04	2014/12/01	2015/12/01	
8	Digital Oscilloscope (DLM2034)	91M528013	Yokogawa	14-8832-05	2014/12/01	2015/12/01	
9	Differential Probe(700925)	037736	Yokogawa	14-8832-06	2014/12/01	2015/12/01	
10	Differential Probe(700924)	125304	Yokogawa	14-8832-07	2014/12/01	2015/12/01	
11	클램프형 전류계 (3285)	120731107	HIOKI	14-8832-08	2014/12/01	2015/12/01	
****** 이 하 여 백 ******							
확인	이경산전 관리자	이병호		ROTECO 검사자	윤종배		

그림 623. 제3자 입회시험 사용계측기 및 검·교정현황

(5) 시험결과

(가) 검사용역증명서(시험결과서)



사단법인 한국철도차량엔지니어링
KOREA ROLLING STOCK TECHNICAL CORPORATION

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

검사본부
전 화 : (031) 207-7799
팩 스 : (031) 269-6377

검 사 용 역 증 명 서
(CERTIFICATE OF INSPECTION SERVICE)

발행번호 : RTC - 14 - 041 (CERTIFICATE NO.)
발행일자 : 2014. 12. 12. (ISSUED DATE)

발 주 자	(CONSIGNEE)	:	KORAIL
사 용 자	(END USER)	:	KORAIL
공 급 자	(SUPPLIER)	:	이경산전 주식회사
제 작 자	(MANUFACTURER)	:	이경산전 주식회사
제작계약번호	(CONTRACT NO.)	:	-
검 사 장 소	(PLACE OF INSPECTION)	:	이경산전 주식회사
검 사 기 간	(DATES OF INSPECTION)	:	2014. 12. 04. ~ 2014. 12. 12.

품명 및 규격 (DESCRIPTION)	보조전원장치 및 객실전원공급 장치성능향상기술개발과제 / KORAIL 승인도면 및 사양
수 량 (QUANTITY)	1식
비 고 (REMARKS)	제품 NO. 보조전원장치 : AUX-001 객실전원공급장치 : HEP-001

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

그림 624. 제 3자 입회시험 결과서(검사용역증명서) 01

검 사 사 항 (Inspections)

1. 외 관 및 치 수 검 사 (Visual & Measurement) : 양 호 (검사기록서와 같음)
2. 구 조 검 사 (Construction) : 양 호 (검사기록서와 같음)
3. 성 능 및 작 동 검 사 (Performance & Operatings) : 양 호 (검사기록서와 같음)
4. 품 질 검 사 (Quality Test)
   - 가. 물 리 시 험 (Physical Test) : –
   - 나. 화 학 시 험 (Chemical Analysis) : –
5. 조 립 검 사 (Assemblings) : –
6. 도 장 검 사 (Paintings) : –
7. 표 기 검 사 (Markings) : 양 호
8. 중량 및 주요 치수 (weight & Measurement) : –
9. 시 운 전 검 사 (Operational Running Test) : –
10. 포 장 검 사 (Packing) : –
11. 기 타 : –

상기물품은 우리 법인의 검정을 필하였으며 그 성적은 위와 같이 양호하고 KORAIL 승인 및 제시 도면, 사양서, 계약서의 모든 조건에 부합됨을 증명함.

(By the results of our inspection and testing conducted, We hereby certify that the commoditieds described herein are in conformity to the commodity descriptions in the contract and the marking requirements have been duly complied with under the contract.)

사단법인 한국철도차량엔지니어링 이사장

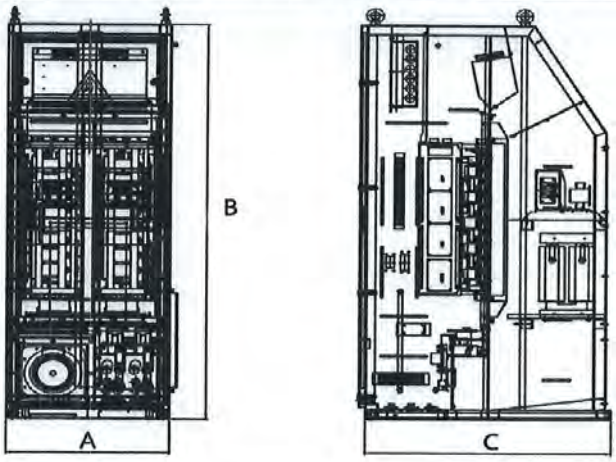
그림 625. 제 3자 입회시험 결과서(검사용역증명서) 02

(나) 보조전원장치 3자 입회시험 기록서

부품제작 검사기록서

신청접수 NO.: O 0054 1 / 2

구 분	KORAIL 국가 R&D	ROTECO	검 사 자	확 인 자
제작 회사	이경산전(주)		윤종배	강성학
품 명	보조전원장치			
도면 번호	R&D8200-X-05(AUX)-100-D-Rev A0	검 사 일	2014. 12. 12.	
수 량	1 EA	판 정	합격	
계측 장비	내외측캘리퍼(11400059), 표준내,외경줄자(N09009), DC Power Supply(US08A0170G, US08N4174K), Digital Multimeter(26060004), 내압시험기(290937), 절연시험기(80NA2460), Digita Oscilloscope (91M528013), Differential Probe(037736, 125304), 클램프형 전류계(120731107)			



순	1			2			3								4			
검사항목	겉모양검사			측정검사(㎜)			절연저항시험								내전압시험			
검사기준							AUX1.1				AUX1.2				AUX1.1		AUX1.2	
	육안으로 보아 사용에 유해한 흠등이 없을것	기기 취부 상태가 설계 도면과 일치 할 것	전선및 터미널 연결 상태가 양호 할 것	A	B	C	1000V 메거		500V 메거		1000V 메거		500V 메거		AC 2000V /1분간	AC 1000V /1분간	AC 2000V /1분간	AC 1000V /1분간
							입출력부 - 케이스		제어회로 - 케이스		입출력부 - 케이스		제어회로 - 케이스		입출력부 - 케이스	제어회로 - 케이스	입출력부 - 케이스	제어회로 - 케이스
SER. NO				700 ± 2	2000 ± 4	1050 ± 3	내압시험 전	내압시험 후	내압시험 전	내압시험 후	내압시험 전	내압시험 후	내압시험 전	내압시험 후				
							50 MΩ 이상								이상이 없을것			
AUX-001	없음	일치함	양호	701	1999	1045	>2000	>2000	1000	1000	>2000	>2000	1000	1000	이상 없음	이상 없음	이상 없음	이상 없음

FPBH002-05 (3) ROTECO A4(210x297)

그림 626. 보조전원장치 3자 입회시험 기록서 01

부품제작 검사기록서

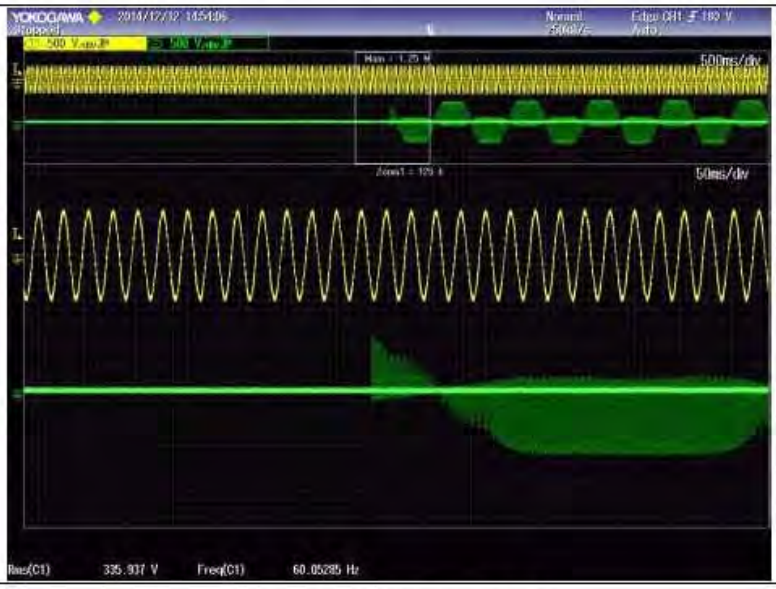
신청접수 NO.: O 0054 2 / 2

순	검사 항목	검사 내용			판정 기준	측정(값) AUX-001	비 고
5	기동 및 정지시험	AUX1.1	AC 334V, 무부하		정상기동 및 정지될 것	정상동작	
		AUX1.2				정상동작	
6	상회전시험	AUX1.1	AC 334V, 무부하		정상일 때, 시계방향일 것	정상동작	
		AUX1.2				정상동작	
7	보호동작시험	AUX1.1	입력저전압 검출		250 V ± 5 %에서 출력이 정상 차단될 것	253V에서 정상차단	
			입력과전압 검출		360 V ± 5 %에서 출력이 정상 차단될 것	361V에서 정상차단	
			입력과전류 검출		365 Arms(103 %) (3.44 V ± 0.1 V) 정상적으로 고장이 검출될 것	3.4V에서 고장검출	
			출력과전류 검출		122 Arms(103 %) (3.44 V ± 0.1 V) 정상적으로 고장이 검출될 것	3.4V에서 고장검출	
		AUX1.2	입력저전압 검출		250 V ± 5 %에서 출력이 정상 차단될 것	253V에서 정상차단	
			입력과전압 검출		360 V ± 5 %에서 출력이 정상 차단될 것	360V에서 정상차단	
			입력과전류 검출		365 Arms(103 %) (3.44 V ± 0.1 V) 정상적으로 고장이 검출될 것	3.4V에서 고장검출	
			출력과전류 검출		122 Arms(103 %) (3.44 V ± 0.1 V) 정상적으로 고장이 검출될 것	3.4V에서 고장검출	
8	MVB 통신시험	AUX1.1	기동/정지	MVB통신 장치기동	정상 기동할 것	정상기동	
				MVB통신 장치정지	정상 정지할 것	정상정지	
			주파수 가변	30Hz 동작	출력전압 : 220V ± 5 % 출력주파수 : 30 Hz ± 1 %	220V 30Hz	
				60Hz 동작	출력전압 : 440V ± 5 % 출력주파수 : 60Hz ± 1 %	426V 60Hz	
		AUX1.2	기동/정지	MVB통신 장치기동	정상 기동할 것	정상기동	
				MVB통신 장치정지	정상 정지할 것	정상정지	
			주파수 가변	30Hz 동작	출력전압 : 220V ± 5 % 출력주파수 : 30 Hz ± 1 %	220V 30Hz	
				60Hz 동작	출력전압 : 440V ± 5 % 출력주파수 : 60 Hz ± 1 %	426V 60Hz	

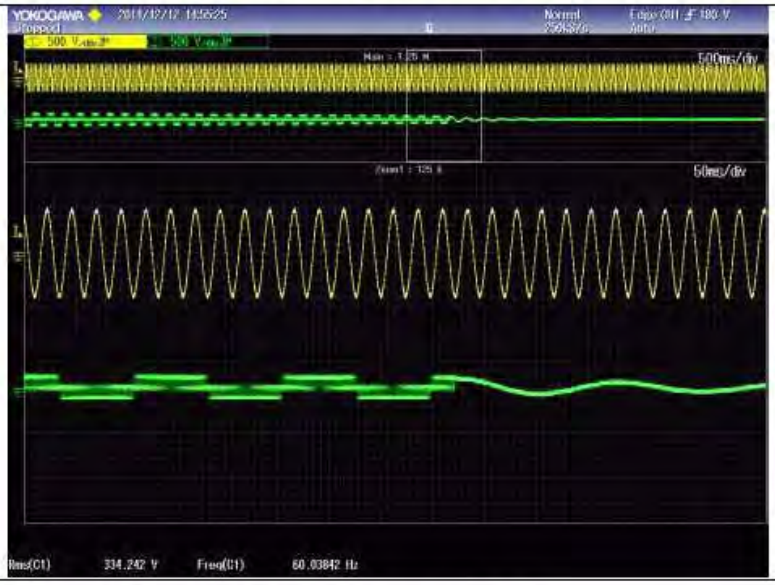
FPBH002-05 (3) ROTECO A4(210x297)

그림 627. 보조전원장치 3자 입회시험 기록서 02

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



기동 및 정지시험(AUX1.1)- 기동 파형



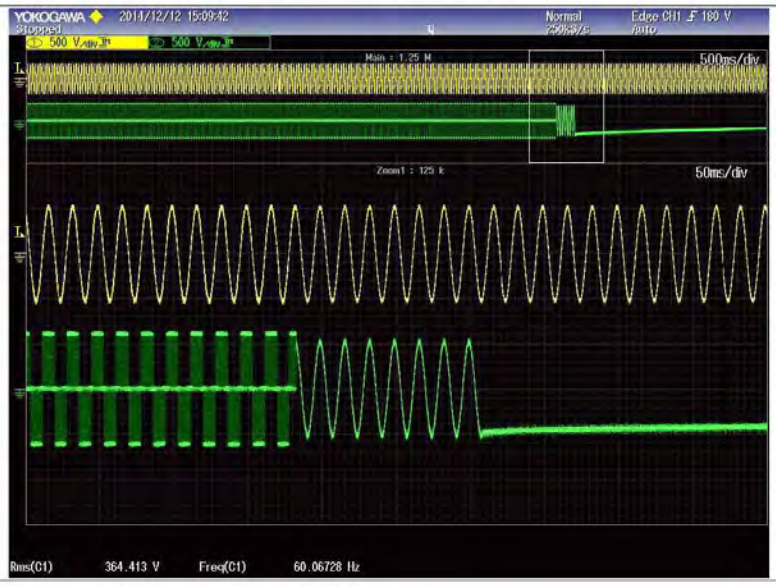
기동 및 정지시험(AUX1.1)- 정지 파형

그림 628. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 01

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



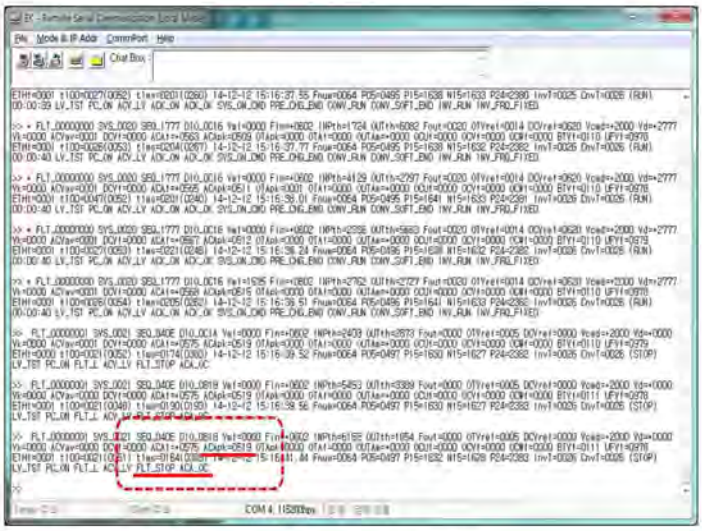
입력지전압검출시험(AUX1.1)



입력과전압검출시험(AUX1.1)

그림 629. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 02

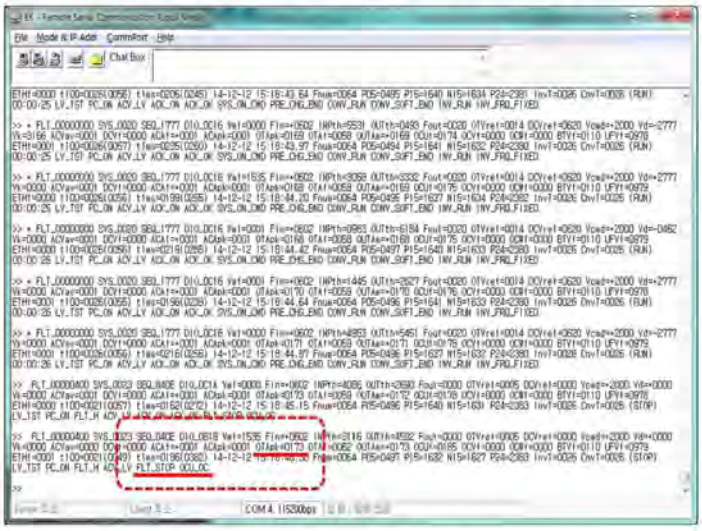
□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



입력과전류검출시험(AUX1.1)

1) ACApk=0519 : 입력전류 519Apk / $\sqrt{2}$ = 366Arms

2) FLT_STOP = ACA_OC : 입력과전류 고장코드



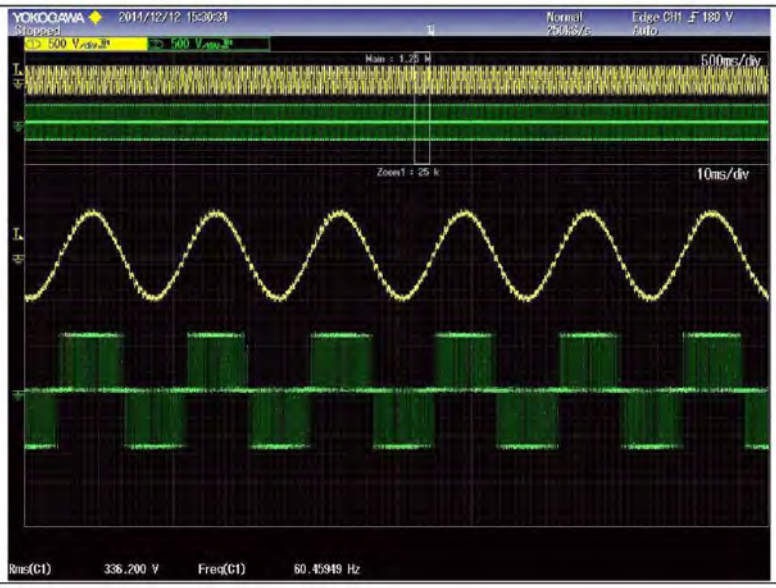
출력과전류검출시험(AUX1.1)

1) OTApk=0173 : 출력전류 173Apk / $\sqrt{2}$ = 122Arms

2) FLT_STOP = OCU_OC : 출력과전류 고장코드

그림 630. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 03

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



MVB통신시험(AUX1.1)- 동작파형

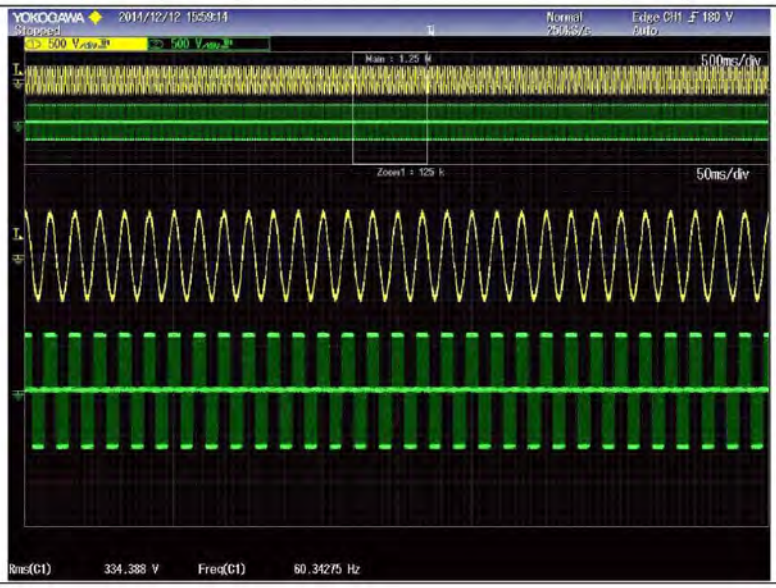




MVB통신시험(AUX1.1)- 주파수가변시험(출력전압:220Vac, 출력주파수:30Hz)

그림 631. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 04

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



MVB통신시험(AUX1,1)- 동작파형

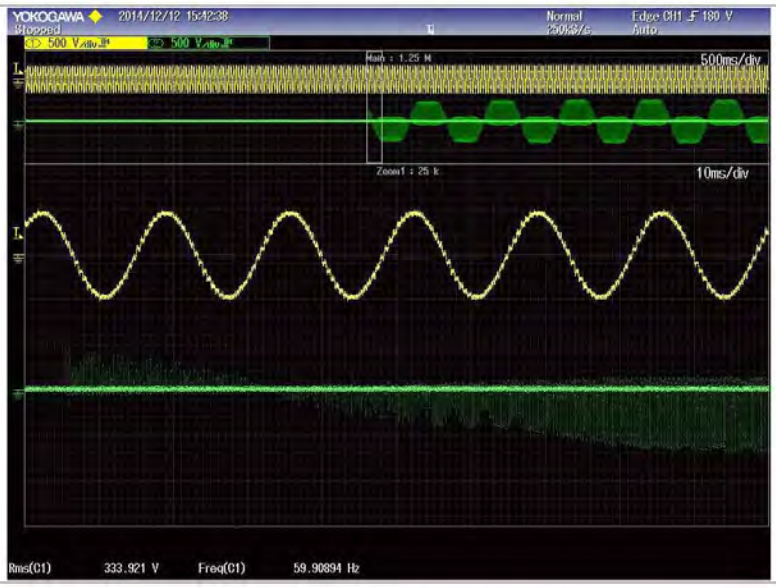




MVB통신시험(AUX1,1)- 주파수가변시험(출력전압:440Vac, 출력주파수:60Hz)

그림 632. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 05

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



기동 및 정지시험(AUX1,2)- 기동 파형



기동 및 정지시험(AUX1,2)- 정지 파형

그림 633. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 06

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



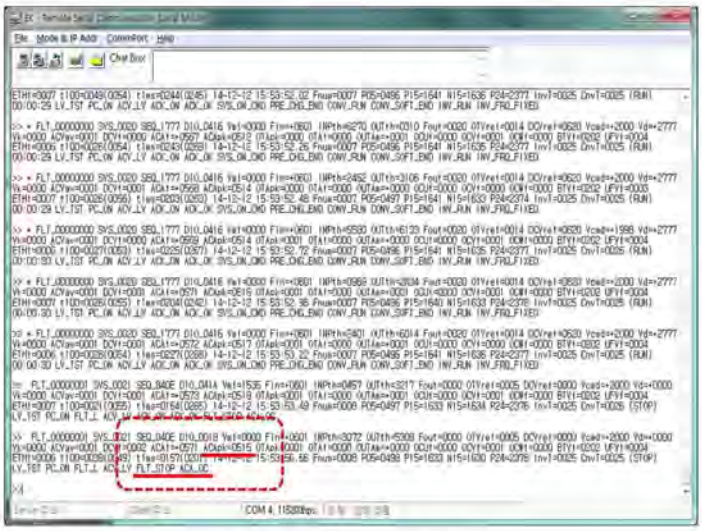
입력지전압검출시험(AUX1,2)



입력과전압검출시험(AUX1,2)

그림 634. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 07

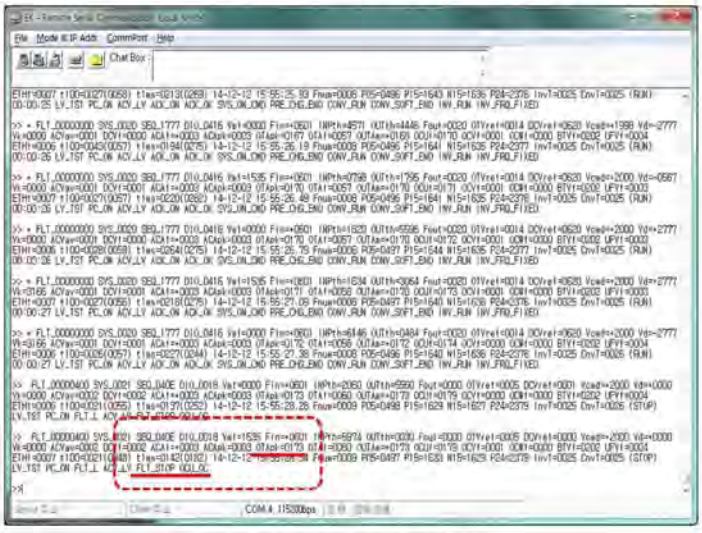
□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



입력과전류검출시험(AUX1.2)

1) ACApk=0515 : 입력전류 515Apk / $\sqrt{2}$ = 364Arms

2) FLT_STOP = ACA_OC : 입력과전류 고장코드



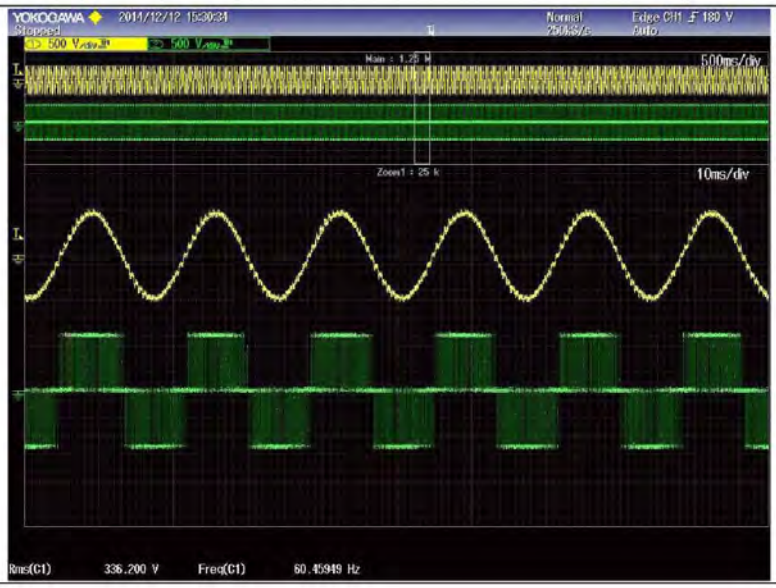
출력과전류검출시험(AUX1.2)

1) OTApk=0173 : 출력전류 173Apk / $\sqrt{2}$ = 122Arms

2) FLT_STOP = OCU_OC : 출력과전류 고장코드

그림 635. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 08

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



MVB통신시험(AUX1,2)- 동작파형

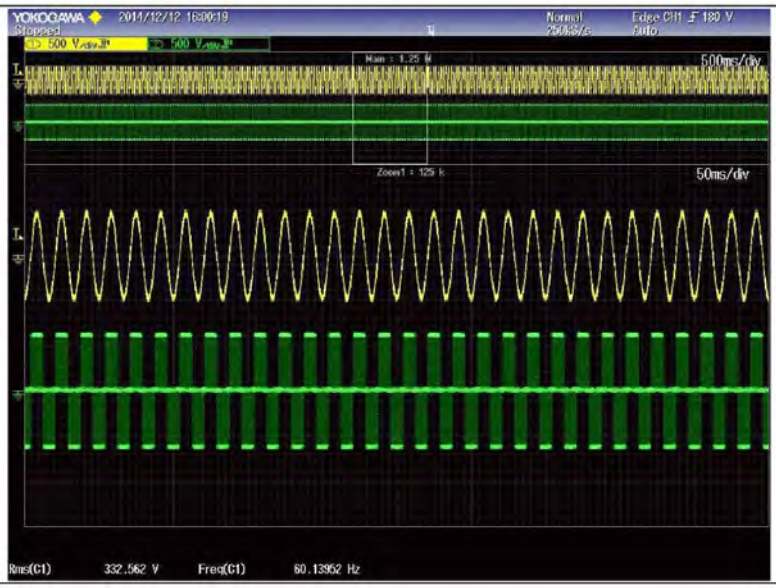




MVB통신시험(AUX1,2)- 주파수가변시험(출력전압:220Vac, 출력주파수:30Hz)

그림 636. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 09

□ 보조전원장치 3자 입회시험 결과물



MVB통신시험(AUX1,1)- 동작파형





MVB통신시험(AUX1,1)- 주파수가변시험(출력전압:440Vac, 출력주파수:60Hz)

그림 637. 보조전원장치 3자 입회시험 결과물 10

전기기관차용 보조전원장치
3자입회시험 사진



겉모양 검사



측정 검사



입출력부 절연저항 측정시험



제어회로 절연측정 시험



입출력부 내전압 시험



제어회로 내전압 시험

그림 638. 보조전원장치 3자 입회시험 사진 01

전기기관차용 보조전원장치
3자입회시험 사진



기동 및 정지시험



상회전 시험



보호동작 시험



MVB통신 시험

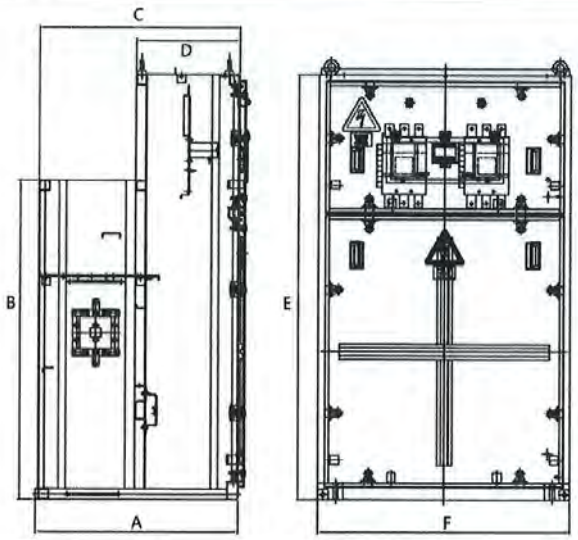
그림 639. 보조전원장치 3자 입회시험 사진 02

(다) 객차전원공급장치 3자 입회시험 기록서

부품제작 검사기록서

신청접수 NO.: O 0054

구 분	KORAIL 국가 R&D	ROTECO	검 사 자	확 인 자
제작 회사	이경산전(주)		윤종배	강영석
품 명	객차전원공급장치			
도면 번호	R&D8200-X-19(HEP)-100-D-Rev A0	검 사 일	2014. 12. 12.	
수 량	1 EA	판 정	합격	
계측 장비	내외측캘리퍼(11400059), 표준내,외경줄자(N09009), 내압시험기(290937), 절연시험기(80NA2460)			



검사항목	겉모양검사			측정검사(㎜)						절연저항시험				내전압시험		비고
검사기준 / SER. NO	육안으로 보아 사용에 유해한 흠등이 없을것	기기 취부 상태가 설계 도면과 일치 할 것	전선및 터미널 연결 상태가 양호 할 것	A	B	C	D	E	F	1000V 메거		500V 메거		AC2000V/ 1분간	AC1000V/ 1분간	
										입력부/출력부 - 케이스		제어회로 - 케이스		입력부/ 출력부 - 케이스	제어회로 - 케이스	
										내압 시험 전	내압 시험 후	내압 시험 전	내압 시험 후			
										50 MΩ 이상				이상이 없을것		
HEP-001	없음	일치함	양호	970	1499	953	496	1998	1199	2000	2000	900	900	이상없음	이상없음	

FPBH002-05 (3) ROTECO A4(210x297)

그림 640. 객차전원공급장치 3자 입회시험 기록서

전기기관차용 객차전원공급장치
3자입회시험 사진



겉모양 검사



겉모양 검사



측정 검사



측정 검사



입출력부 절연측정 시험



제어회로 절연측정 시험

그림 641. 객차전원공급장치 3자 입회시험 사진 01

전기기관차용 객차전원공급장치
3자입회시험 사진

	
입출력부 내전압 시험	제어회로 내전압 시험

그림 642. 객차전원공급장치 3자 입회시험 사진 02

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

제1절 전력변환장치 기술개발

1. 개별 연구성과 설명

가. 기능

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

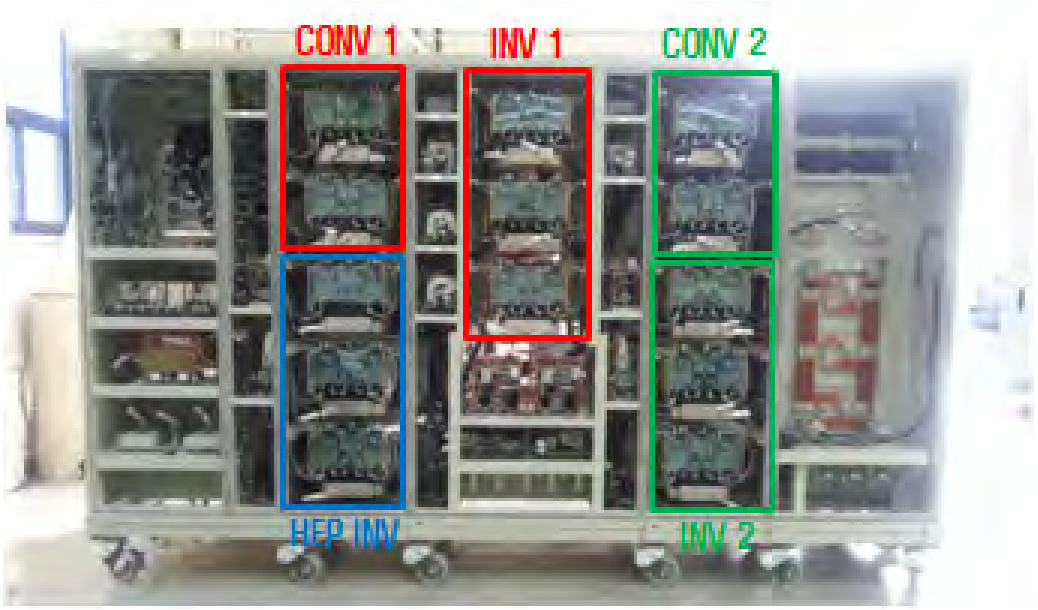


그림 643. 전력변환장치 구성

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

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

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

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

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

(6) DC 링크 전압 부 : 과전압 보호 장치, 접지고장 감시 및 직렬 공진필터로 구성

(7) Filter Capacitor : DC-링크전압을 충전하고 Ripple 성분을 Filtering 하여 DC-링크전압을 안정화하며, 정지 시에는 방전저항을 통하여 방전한다.

나. 기본사양

표 136. 전력변환장치 기본사양

항 목	사 양
공칭 입력전압	2 × 1,230Vac (935V ~ 1,451V), 60Hz
최대 견인시 운전 입력전류	2 × 1,410A 이내
최대 제동시 운전 입력전류	3 × 1,235A 이내
운전시 공칭 출력 전압범위	3상 교류 0V ~ 2,030V
견인/제동시 출력 주파수	0Hz ~ 134Hz
DC 링크 회로 전압	2,400V ~ 2,600V
제어전압	DC 110V (77V ~ 138V)
냉각방식	수냉식
냉각제	물/아티프로겐 N
치수	2,050mm × 3,800mm × 1,070mm
중량	3,100kg 이내
TCU	SIBAS® 32 계열의 마이크로프로세서

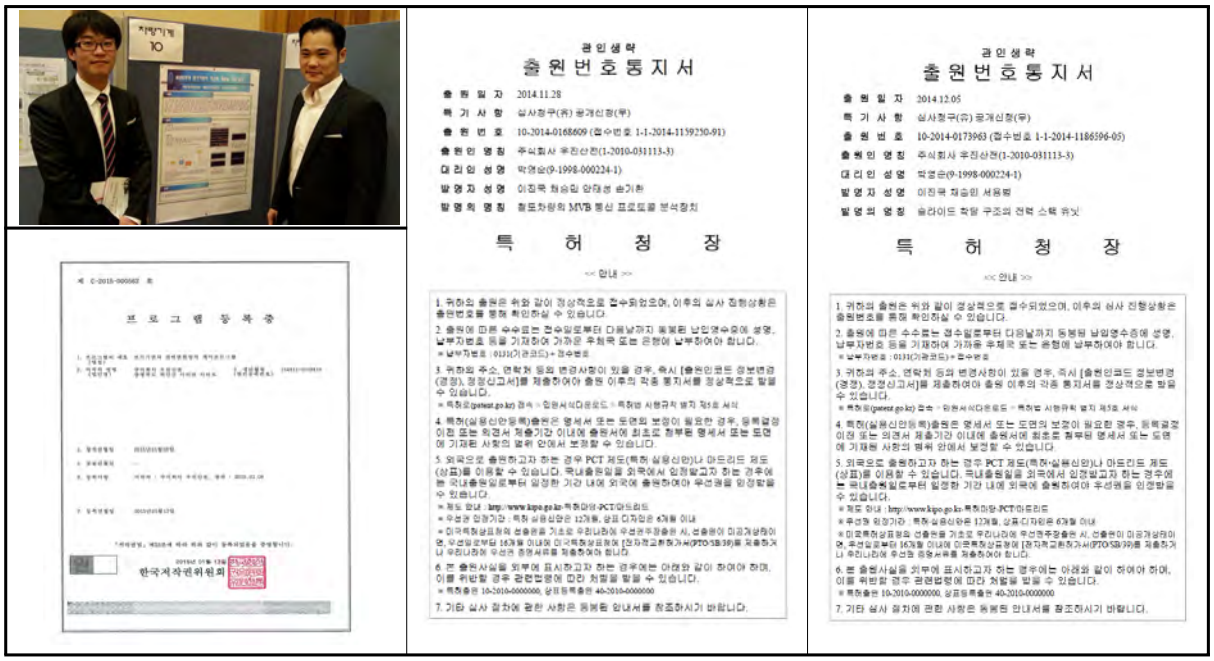
2. 주요 연구성과

가. 기술적 성과

연차	목표	내용
1차 년도	전력변황장치용 기구물 및 전력스택 설계 및 제작	- 장치외함 및 내부장치 설계 - Converter/Inverter 설계 및 제작 - GDU, 주회로설계 및 제작
	제어 Unit 설계 및 제작	- H/W (제어 및 통신회로) 설계 및 제작 - C/I 및 전동기 제어 알고리즘 분석 - MVB 통신 알고리즘 분석(전력변환장치 내부통신)
2차 년도	전력변황장치용 기구물 및 전력스택 설계 및 제작	- 장치외함 및 내부장치 조립 - 장치외함 및 내부장치 기능시험 - Converter/Inverter 단품시험
	제어 Unit 설계 및 제작	- 제어 Unit 제작 - C/I 제어프로그램 작성 - MVB 통신프로그램 작성(전력변환장치 내부통신)

나. 학술적 성과

2차 년도	S/W 등록	- 전기기관차 추진제어용 전력변환장치 제어프로그램
	논문	- 8200호대 전기기관차 국산화를 위한 연구 [한국철도학회 2014년 추계학술대회 논문 발표]
	특허 출원	- 철도차량의 MVB 통신프로토콜 분석장치 [출원번호 : 10-2014-168609]
		- 슬라이드 착탈 구조의 전력 스택 유닛 [출원번호 : 10-2014-173963]



3. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

8200호대 전기기관차 추진시스템 전장품에 대한 기술 확보로 해외진출 시 동일기종의 차량에 대한 부품 및 장치 수출 활용 가능

표 137. 지멘스에서 생산되어 판매된 8200호대 전기기관차 현황

차 종	생산대수	생산년도
EuroSprinter 64F(8200호대)	170	1996 ~ 2001
EuroSprinter 64F4	100	2003 ~
EuroSprinter 64U	360	2000 ~

제2절 IGBT용 수냉각장치 기술개발

1. 개별 연구성과 설명

본 연구 개발은 전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발의 일환으로 시작하였다. 주전력변환장치의 인버터, 컨버터, 및 보조전원장치의 전력반도체 IGBT를 효율적으로 냉각시키기 위한 목적으로 수냉각장치를 개발했다. 기존 제품과 호환이 되도록 개발하였으며, 외형 및 내부 유로를 새로 적용하는 소자 IGBT에 맞도록 설계하고, 열유동해석을 거쳐 시작품을 제작하였다. 시작품 시험과 보완 설계 제작을 통하여 설계 기준을 만족하는 결과를 성취하였다. 개발 결과의 제3자 인증을 위하여 현재 준비 중에 있다. 본 개발의 취지를 살려 실용화를 고려하여 보완해 나가는 전략을 가지고 지속적인 연구를 진행하고 있다.

2. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

전기기관차(8200호대)의 주전력변환장치의 전력반도체 GTO를 대체하여 IGBT를 사용하게 되는데 따른 수냉각장치의 핵심기술을 확보하였다. 내부 유로의 구성을 냉각효율이 좋게 개선하였고 제작의 공정을 단순하게 함으로써 소자 변경에 따른 기구적, 열유동학적 제약을 해결하였다.

3. 주요 연구성과

전기기관차(8200호대) 추진시스템 성능향상 기술개발 과제 건으로 한국철도학회 2014추계학술대회에 아래와 같이 논문(Full paper)을 발표하였다.

2차 년도	논문	IGBT용 수냉각장치 기술 개발 [한국철도학회 2014년 추계학술대회 논문 발표]

4. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

본 기술개발이 성공적으로 이루어짐으로써 국내 산업체의 생산 활동을 유발하게 되고, 중소기업 경제의 활성화를 유도할 수 있다. 한국형 기술 개발을 통해서 외산 제품을 대체할 수 있으며, 나아가 국외 시장 개척에도 기여할 것으로 기대 된다.

제3절 TCU용 MVB 통신보드 기술개발

1. 개별 연구성과 설명

가. MVB 통신 프로토콜 분석 기술 확보

(1) 철도 차량제어 시스템분야의 기본이 되는 기술 TCN은 WTB와 MVB로 구분된다. 이중 MVB에 대한 분석 기술을 확보함으로써 MVB를 내장한 전장품 개발이 가능하다는 결론을 도출 할 수 있다.

(2) 현재 영업운행 중인 차량의 차량 통신에 관여하는 제품의 기능 변경 및 성능개발 시 활용할 수 있으며, 신조 차량 개발 시 MVB 통신을 하는 기기에 대해서 해외 제품을 대체하여 개발에 참여 할 수 있을 것으로 기대된다.

나. MVB 통신보드 개발

(1) 시작품 단계의 제품으로 안정화가 필요하다.

(2) 안정화된 MVB 통신보드는 실제 차량에 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 기존의 해외 제작사에서 유지보수를 위해 소요되는 비용과 시간을 축소할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 또한 기능변경 및 성능향상에 따른 수정사항에 대해서도 원활한 조치가 될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

MVB 통신보드 및 MVB 통신 프로토콜 분석 기술은 MVB 통신 기술을 기반으로 개발되었다. MVB 통신은 차량 내 통신으로 정의되며, 철도선진국의 전유물로 여겨지고 있다. 국내에서는 차량 간 통신 WTB의 분석 기술과 고속철도차량의 차량 내 통신 MVB 분석 기술을 확보하고 있으나, 이를 종합한 철도 통신 네트워크(TCN)에 대한 부분에는 미치지 못한 것으로 파악된다. 지속적인 연구를 통해 TCN에 대한 기술 확보를 통해 철도선진국과의 기술격차 감소에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 주요 연구성과

가. 한국전자통신학회 2014년도 가을학술대회 논문 발표

철도 차량제어 시스템분야에 대한 국내 관심은 철도 시스템 전체에 비교하였을 때, 매우 작다고 할 수 있다. 특히, MVB통신이라는 내용을 기준으로 기존의 연구내용을 보았을 때, 국내 연구는 10건 미만으로 검색되었다. 반면 해외에서는 많은 수의 연구결과를 확인 할 수 있었다. 철도 차량제어 시스템분야에 대한 중요성이 증가하여 1999년에 규격으로 제정되었다. 중요성과 관심이 증가되는 시점에서 본 연구결과가 향후 관련 연구에 밑거름이 될 것으로 기대된다.

나. 한국저작권위원회 2014년도 프로그램 등록

MVB 통신 기술에 대한 확보는 자사 기술력 확보의 의미로 볼 수 있다. MVB 통신 프로토콜 분석 기술에 대한 저작권을 공표함으로써 기술에 대한 권리를 인정받고 관련 분야에 대해 알릴 수 있는 효과가 기대된다.

4. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

가. 철도 선진국들은 철저한 자국의 산업 보호와 육성을 위한 국가차원의 정책지원 아래 거대 자본과 첨단 기술로 부품산업의 해외시장 진출을 적극 지원

나. 세계철도시장은 년 간 약 4.5% 성장하여 2015년에는 약 250조원의 거대시장으로 성장이 예상되고, 고속철도시장은 2008년 61조원, 향후 연간 4.1%씩 지속적 성장이 예상된다.

다. 국내 철도산업의 경우 국내 발주 및 외국 OEM에 의존하다보니, 차량분야 세계 시장 2% 수준의 낮은 점유율을 가지고 있다.

라. 세계 각국의 시장은 하드웨어에서 소프트웨어 중심의 시장으로 변모하고 있다. 소프트웨어는 기술과 운영, 이를 바탕으로 하는 서비스 시장이 주를 이루고 있는데 성장률이 타 분야보다 높다. 철도인프라 1.4%, 차량 1.9%, 신호보안 제어관리시스템 1.6%, 서비스 2.6% 이러한 철도산업의 규모를 타산업과 비교해 보면, 자동차는 1조 3,500억 유로, 항공기 800억 유로, 조선의 경우 350억 유로로 자동차가 철도의 20배, 항공기는 비슷하며, 조선은 1/2 정도이다.

마. 철도차량 부품은 대표적인 중소업체 중심의 산업으로 작은 시장 규모 및 다품종 소량 생산 구조로 인한 경제성과 수익성 확보에 한계를 보임, 전체 매출액 중 철도차량 관련 매출액 비중이 60%이상 차지하는 업체는 50개에 불과함

바. 철도차량 부품 산업은 작은 시장규모로 경제성과 수익성 확보를 위한 사업영역의 다각화 및 적극적인 해외시장 진출을 통한 시장성 확보, 적극적인 기술개발 투자를 통한 자체 기술 확보 및 부품 경쟁력 확보를 통한 경쟁 우위 강화필요

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

아. 철도 차량부품 총 수출 대비 철도선진국이 차지하는 비율은 13.07%, 수입대비 철도선진국이 차지하는 비율은 79.04%임

제4절 전기기관차용 견인전동기 기술개발

1. 개별 연구성과 설명

전기기관차의 추진시스템은 결국엔 차량을 견인하기 위함으로 견인전동기의 역할이 핵심이라 하겠다. 물론 전동기를 제어하는 전력장치들에 의해 제어 되지만 제어 지령에 따라 문제없이 견인의 역할을 하기 위해서는 전동기로서의 핵심 기술이 확보되어 신뢰성이 유지 되어야 하기 때문이다. 그러므로 제어를 위한 주파수 변화에 대한 응답과 전기적인 과도기 현상에 대해 분석이 필요하여 이에 맞는 전자계해석의 기술을 확보 하였다.

2. 핵심요소기술(Critical Technology Elements)별 성과물

기관차에 하부에 취부 되는 중량물로서 중량을 최소화 하여 컴팩트한 기기로서 코일 저항에 의한 발열을 견디는 높은 절연성을 채택 하는 절연기술은 핵심 기술이라 하며 확보 하였다. 절연성과 온도성이 우수한 실리콘 계열의 바니쉬와 온도성이 우수한 듀폰사의 캡톤 마이카를 적용한 절연 시스템은 여차 철도차량에 적용할 수 있는 핵심 절연기술로 기대된다.

3. 주요 연구성과

본 연구개발 기간 중 전동기를 분해하지 않은 상태에서 코일을 지지하는 웨지(쐐기)의 탈락 유무를 확인할 수 있는 진단 시스템에 대해 해결 하는 기술을 발견 하였다. 이에 세계적인 전기전자학회인 IEEE 학회에 논문을 게재하여 등록되어 기술을 평가 받았다. 또한 2차년도에는 철도학회에 절연진단 시스템에 대한 논문 발표를 시행 하였으며 특허는 2건을 출원 하였으며 1건은 등록 추진중에 있는 성과를 이루었다.

가. 논문



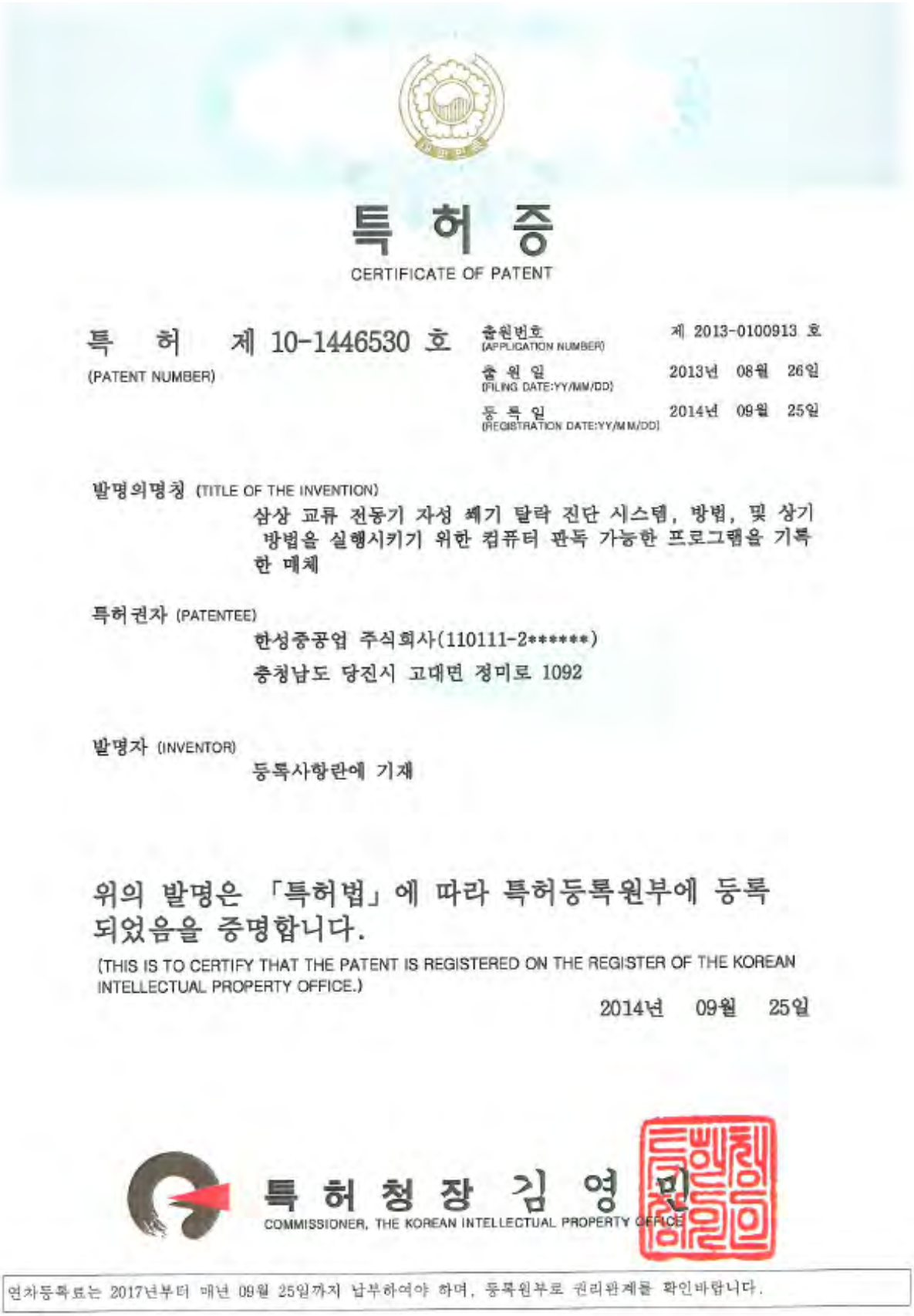
그림 644. 논문발표 증명서

나. 특허

1차년도에 2건의 특허 출원을 실시하였고, 2차년도에 1건의 특허를 출원하였다. 1차년도 출원한 2건중 1건 “삼상교류 전동기 자성쐐기 탈락 진단시스템”은 2차년도에 특허 등록이 되었다.

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	등록/출원번호
2013	삼상교류 전동기 자성쐐기 탈락 진단 시스템	한성전공(주)	한국	10-1446530 (2014년 등록)
2013	그리스 주입장치	한성전공(주)	한국	10-2013-0104669
2014	전동기 냉각장치	한성중공업	한국	10-2014-0909903

표 128. 특허 출원표



특 허 증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1446530 호
(PATENT NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER) 제 2013-0100913 호
출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD) 2013년 08월 26일
등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD) 2014년 09월 25일

발명의명칭 (TITLE OF THE INVENTION)
삼상 교류 전동기 자성 체기 탈락 진단 시스템, 방법, 및 상기 방법을 실행시키기 위한 컴퓨터 판독 가능한 프로그램을 기록한 매체

특허권자 (PATENTEE)
한성중공업 주식회사(110111-2******)
충청남도 당진시 고대면 정미로 1092

발명자 (INVENTOR)
등록사항란에 기재

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
(THIS IS TO CERTIFY THAT THE PATENT IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2014년 09월 25일

특 허 청 장 김 영 민
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

연차등록료는 2017년부터 매년 09월 25일까지 납부하여야 하며, 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

그림 645. 특허증

관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자	2013.09.02
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(9590)
출 원 번 호	10-2013-0104669 (접수번호 1-1-2013-0798448-20)
출원인 명칭	한성전공(주)(1-2009-046342-2)
대리인 성명	특허법인주원(9-2008-100161-7)
발명자 성명	김홍철 임채웅
발명의 명칭	그리스 주입장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

그림 646. 특허출원 통지서

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2014.08.22
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(1361)
출 원 번 호	10-2014-0109903 (접수번호 1-1-2014-0799680-19)
출원인 명칭	한성중공업 주식회사(1-2009-046342-2)
대 리 인 성 명	특허법인 수원(9-2008-100161-7)
발 명 자 성 명	김홍철 장승원
발 명 의 명 칭	전동기의 냉각장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

그림 647. 특허출원 통지서

4. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

연구개발한 견인전동기는 기관차에 장착되는 특수성과 인버터 제어로 운전 되므로 출력에 비하여 무게와 크기가 매우 제한되게 개발 되었다. 이것은 출력에 따른 전동기의 온도등급이 일반 산업용 전동기의 F Class, 또는 H Class 보다 높은 C Class의 절연 재료를 적용 하였으며 이를 일반 산업용 시장에 적용 하기에는 다소 무리가 있으나 전기 기관차 또는 도시철도 견인전동기에 적용하여 기존보다 좀 더 Compact한 제품으로 제작 가능 하므로 철도 차량 전동기외 전기자동차(Electric Vehicle)에 폭 넓게 적용 가능 할 것이다.

제5절 보조전원장치 및 객차전원공급장치

1. 개별 연구성과 설명

가. 1차년도 연구성과

1차년도 에는 현차조사를 통한 기존장치를 분석하고, 그 결과를 바탕으로 보조전원장치 및 객차전원공급 장치의 전력회로 및 제어회로 설계를 진행하였다. 연구개발 주요성과는 아래와 같다.

(1) 기존장치 분석

(가) 현차조사 분석

3차례에 걸쳐 8200호대 전기기관차에 탑승하여 각종 파형분석 및 수집용 계측기를 설치하고 보조전원장치 및 HEP 출력장치의 입출력 파형을 수집/분석하였다.

(나) 기존장치 하드웨어 조사

현차조사와는 별개로 제천 차량기지와 수도권 동부본부의 청량리 사업소를 방문하여 하드웨어 현품에 대한 문제점 청취, 방열판의 구조 및 치수확인, 주요소자의 사양 및 배치상태, PCB의 배치상태, 전력회로의 결선방법, DC링크 커패시터의 사양 및 조립상태, 입출력 단자, 하드웨어의 버전확인 등을 수행하였다.

(2) 보조전원장치 전력회로 설계

(가) 입출력 사양결정

기존장치보다 향상된 90KVA급 보조전원장치를 위한 내부 장치의 한계설정, 사양 확인 등을 결정하여 설계에 반영하였다.

(나) 컨버터회로 설계

시뮬레이션에 의하여 최적의 PWM 주파수를 선정하였고 유지/보수의 편의성을 반영한 IGBT의 형상 및 제작사를 선정하였다.

(다) 인버터회로 설계

컨버터의 설계와 마찬가지로 시뮬레이션에 의하여 최적의 PWM 주파수를 선정하였고 그에 따른 IGBT의 형상 및 제작사를 선정하였다.

(라) 출력 dv/dt 필터회로 설계

출력회로에 포함된 dv/dt 저감용 필터회로는 8200호대에 설치된 보조전원장치에서만 적용

된 특수한 필터회로이다. 이에 대한 성능확인을 위해 현차시험을 수행하였고 수집된 출력파형으로부터 세로 제작될 장치에 적절한 dv/dt 회로를 계산하였으며 시뮬레이션을 통해 기존과 유사한 결과를 얻을 수 있는 필터회로를 설계하였다.

(3) 보조전원장치 GDU(Gate Drive Unit)의 설계

보조전원장치에 적용되는 IGBT는 컨버터용과 인버터용의 2가지 모델이 사용된다. IGBT의 게이팅을 위한 GDU 장치는 특정 IGBT에 종속되어 사용되지는 않으나 게이트 전압 및 전류, dv/dt 등의 조건에는 위배됨이 없도록 설계하였다.

(4) 제어장치 설계

보조전원장치의 PWM 전력스택을 제어하기 위한 제어장치는 전력스택 제어전원 공급용 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 디지털 입출력 신호처리용 DIO(Digital In/out Unit), 전압/전류 센서의 아날로그 신호처리에 필요한 SIF(Signal Interface Unit), 장치제어 및 상태정보 수집을 위한 MCU(Main Control Unit)를 설계하였다.

(5) 보조전원장치 PWM 전력스택 설계

기존장치에서 가장 강력하게 요구되었던 유지/보수의 편의성 향상을 위해 분리가 가능한 일체형 PWM 전력스택을 설계하였다.

(6) HEP 장치 분석 및 전력회로 설계

HEP 장치의 출력전압 품질향상을 위한 새로운 PWM 방법을 개발하고 시뮬레이션을 통해 가능성을 확인하였다. 또한 기존 장치에 대한 상세확인을 통해 기존에 제공되지 않던 내부회로에 대한 도면을 작성하여 새로운 설계에 반영하였다.

(7) 지적재산권 분석

R&D 특허전략사업의 일환으로 한국지식재산전략원 및 특허관련 전문기관과 함께 기존의 특허침해 가능성에 대하여 조사하였다. 3개월에 걸친 조사기간 동안 약 150여건의 표본 데이터를 추출하였고, 이에 대한 전문기관의 분석 결과 기존의 특허를 침해할 수 있는 특별한 기술은 본 기술개발에서 발견되지 않았다.

나. 2차년도 연구성과

2차년도 연구성과로는 1차년도 에 수행한 개발품의 설계내용를 바탕으로 보조전원장치 및 객차전원공급 장치의 시작품을 제작하고, 구성품의 시험절차를 수립하였으며 성능입증을 위한 단품시험을 진행하였다. 주요 연구개발 성과는 아래와 같다.

(1) 보조전원장치 외함 제작

보조전원장치 함에는 각각 90KVA 정격출력을 갖는 두 개의 동일한 인버터가 내장된다. 따라서 한 개의 보조전원장치를 설치한 기관차는 2 x 90KVA의 보조전원 출력을 갖는다. 보조전원장치의 모든 부품을 취부하는 외함은 추후에 변형이 발생하지 않도록 적절한 보강재를 사용하였으며, 외부로부터 습기나 먼지의 침입이 최대한 발생하지 않도록 방진, 방습구조로 제작하였다.

(2) 보조전원장치 입력회로 및 송풍기 조립

보조전원장치의 입력회로는 입력전원의 차단 및 투입을 위한 회로이며 퓨즈, 주접촉기, 보조접촉기, 초기충전저항, 입력필터용 리액터로 구성된다. 보조접촉기 및 저항을 통해 초기충전을 한 다음 주접촉기를 투입하여 전원을 공급한다. 또한 장치에 문제가 발생한 경우 접촉기를 차단하여 장치를 보호한다. 송풍기는 전력스택 및 입력리액터, LCR필터(dv/dt제한필터)의 온도 상승을 제한하기 위한 냉각장치이다.

(3) PWM 전력스택 제작

PWM 전력스택은 보조전원장치 안에 두개가 취부되며, 주요 구성품으로는 IGBT, GDU(Gate Drive Unit), 스너버 커패시터, DC Link 커패시터, 입출력CT(Current Transducers) 등으로 전력스택의 각 소자들은 전용방열판에 취부 및 조립이 용이하도록 배치하였으며, 냉각효율을 높일 수 있는 구조로 제작하였다.

(4) PWM전력스택 전용 제어기

PWM전력스택 전용 제어기는 전력스택의 DC Link 커패시터 뱅크에 각각 취부되며, 제어전원 공급용 SMPS(Switching Mode Power Supply)와 디지털 입출력 신호처리용 DIO(Digital In/Out Unit), 전압/전류 센서의 아날로그 신호처리에 필요한 SIF(Signal Interface Unit), 장치제어 및 상태정보 수집을 위한 MCU(Main Control Unit)로 구성하여 제작하였다.

(5) LCR필터(dv/dt제한필터) 제작

LCR필터는 PWM전력스택을 통해 발생하는 출력전압의 급격한 dv/dt를 제한함으로써 인접기기에 대한 고주파 간섭을 회피할 수 있는 장치이며, 출력필터용 리액터 및 필터저항, 필터커패시터로 구성하여 제작하였다.

(6) 모니터링 장치 제작

모니터링 장치는 MVB(Multi-function Vehicle Bus)통신을 통한 보조전원장치의 동작제어 및 상태정보를 확인하기 위한 장치로 32bit DSP를 탑재한 MCU(Main Control Unit)와 상태현시를 위한 Text기반의 VFD(Vacuum Fluorescent Display) 모니터링 보드, 통신카드(RS485 및 디버깅용 RS232 탑재), 전원공급용 SMPS(Switching Mode Power Supply)로 구성하여 제작하였다.

(7) 객차전원공급장치 외함제작 및 내부장치 조립

전기기관차에 적용되는 객차전원공급장치는 필터커패시터, 차단기(피더접촉기), 전압센서 및 전류센서, 휴즈함, 24V전원장치(컨버터) 등으로 구성하여 제작하였으며, 객차전원공급장치의 모든 부품을 취부하는 외함은 추후에 변형이 발생하지 않도록 적절한 보강재를 사용하여 제작되었다.

(8) 성능검증을 위한 구성품 시험

보조전원장치 및 객차전원공급장치의 구성품 시험절차서를 작성하고, 시험절차에 따라 절연저항 및 내전압시험, 기능확인시험 등을 진행하여 성능검증을 하였다.

2. 주요 연구성과

가. 기술적 성과

연차	보조전원장치	객차전원공급장치
1차 년도	- 보조전원장치 현차분석보고서 - 보조전원장치 컨버터회로 기본설계서 - 보조전원장치 인버터회로 기본설계서 - 보조전원장치 GDU 기본설계서 - 보조전원장치 제어PCB 기본설계서 - 보조전원장치 PWM전력스택 기본설계서 - 보조전원장치 dv/dt제한필터 기본설계서 - 보조전원장치 상세설계서 - 보조전원장치 통신프로토콜 분석서	- 객차전원공급장치 현차분석보고서 - 객차전원공급장치 설계서
2차 년도	- 보조전원장치 제품기술 사양서 - 보조전원장치 MVB통신 및 모니터링 시스템설계서 - 보조전원장치 제작도면 - 보조전원장치 구성품 시험절차서 - 보조전원장치 구성품 시험성적서 - 보조전원장치 제 3자입회 시험계획서	- 객차전원공급장치 제품기술 사양서 - 객차전원공급장치 제작도면 - 객차전원공급장치 구성품 시험절차서 - 객차전원공급장치 구성품 시험성적서 - 객차전원공급장치 제 3자입회 시험계획서

나. 학술적 성과

1차 년도	논문	- 8200호대 전기기관차 객차전원공급장치(HEP)의 출력전압품질향상을 위한 최적화된 PWM 방법 [대한전기학회지 2013년 11월 게재 (vol 62. No. 11)] - 8200호대 전기기관차 HEP 장치의 출력전압 품질향상을 위한 최적화된 PWM 방법 연구 [2013년도 대한전기학회 하계학술대회 발표]
	특허 출원	- 8200호대 전기기관차 객차전원공급장치의 출력전압품질 향상을 위한 PWM 설계 방법 [출원번호 : 10-2013-0156098]
2차 년도	논문	- 유지보수성을 고려한 8200호대 전기기관차 보조전원장치의 전력회로 설계 [2014년도 대한전기학회 하계학술대회 발표] - 8200호대 전기기관차의 신형 보조전원장치 개발 [2014년도 한국철도학회 추계학술대회 발표]
	특허 출원	- 8200호대 전기기관차 보조전원장치의 전력스택 [출원번호 : 10-2014-0128843]

3. 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

지속적으로 증가하는 전기기관차량에 대하여 국산화 대체로 유지보수 비용을 절감하고 동일 제품에 대한 국산화 기술력 확보를 통해 가격상승 억제 등의 간접적인 효과를 예상할 수 있다. 이로 인한 국내산업체의 생산 활동을 유발하게 함으로써 중소기업 경제 활성화를 유도할 수 있을 뿐만 아니라 KTX, HEMU-430 차량 등 다양한 철도차량에 대한 전력변환장치의 부품 공급

을 통한 중소기업의 지속적인 일자리 창출을 기대할 수 있으며 이를 바탕으로 국외 시장 개척에도 기여할 것으로 기대 된다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 연차별 연구목표 달성도

가. 1차년도

연구목표		내 용	달성도 (%)
한국철도공사	사업관리	- 사업총괄 관리 : 목표 및 일정관리 - 기존자료 조사 및 고장 분석 - 유지보수 측면에서의 기술 자료 검토	100
	시험지원	- 현차시험 지원	100
	시작품 분석 및 구조해석(위탁)	- 추진제어장치 시뮬레이션 모델링 및 축소형 모델 제작 - 구조해석용 모델링 작성 및 구조해석	100
우진산전	전력변환장치 기구물 및 전력스택 설계 및 제작	- 장치외함 및 내부장치 설계 - Converter/Inverter 설계 및 제작 - Gate Driver Unit 주회로설계 및 제작	100
	제어 Unit 설계 및 제작	- H/W(제어 및 통신회로)설계 및 제작 - C/I 및 전동기 제어 알고리즘 분석 - MVB 통신 알고리즘 분석(전력변환장치 내부통신)	100
선우전기	수냉각장치 설계	- 국내외 문헌조사 - 유량 유속 고려 유로 설계 - 1차 설계 문제점 보완	100
	수냉각장치 시작품 제작	- 시작품 제작 - 수압, 유량, 냉각, 방열 테스트 - 보완 수정	100

앤츠	MVB 프로토콜 분석	- 국내외 관련 자료 조사 및 검토 - MVB통신 분석보드 설계 및 제작 - MVB통신 분석 소프트웨어 개발 - 현차 시험을 통한 TCU용 MVB 통신 프로토콜 분석	100
	TCU용 MVB 통신보드 개발	- TCU 제어기와의 인터페이스 개발 - TCU용 MVB 통신보드 사양 결정 및 구성품 산정 - TCU용 MVB 통신보드 설계 및 시작품 제작	100
한성중공업	견인전동기 설계 및 제작	- 기존제품 분석을 통한 제품 특성 조사 - 전기적 특성 검증 - 고정자 설계 및 시작품 제작 - 회전자 설계 및 시작품 제작 - 부속품 설계 및 시작품 제작	100
이경산전	보조전원장치 개발	- 보조전원장치용 PWM 전력스택의 설계완료 - 컨버터, 인버터부의 전력회로 설계, 시뮬레이션 완료 - 게이트회로, 전원회로 설계완료 - 제어용 DSP 회로 및 주변회로의 설계완료 - dv/dt 제한용 필터회로 설계 완료 - 기존특허회피용 조사수행 완료	100
	HEP 출력장치 개발	- 전력품질 향상방안 설계 완료 - 내부회로 설계완료 - 구성품에 대한 설계 완료	100

나. 2차년도

연구목표		내 용	달성도 (%)
한국철도공사	사업관리	- 사업총괄 관리 : 목표 및 일정관리 - 기술자료 및 성과물 검토 - 각종 보고서 작성	100
	시험지원	- 현차시험 지원	100
	시작품 분석 및 구조해석(위탁)	- 추진제어장치 제어기 설계 및 제작 - 추진제어장치 축소형 모델 제작, 시험 및 분석 - 작용하중조건, 경제조건 등에 대한 조사 분석 - 프레임 구조해석 및 결과에 따른 적용방안 분석	100

우진산전	전력변환장치 기구물 및 전력스택 설계 및 제작	- 장치외함 및 내부장치 조립 - 장치외함 및 내부장치 기능시험 - Converter/Inverter 단품시험	100
	제어 Unit 설계 및 제작	- 제어 및 통신장치 제작 - Converter/Inverter 및 견인전동기 제어 프로그램 작성 - MVB 통신 프로그램 작성(전력변환장치 내부통신)	100
선우전기	수냉각장치 설계 및 제작	- IGBT용 수냉각장치 제작 - IGBT용 수냉각장치 단품시험	100
앤츠	프로토콜 분석 및 시작품 제작	- 현차 시험을 통한 TCU용 MVB 프로토콜 분석 - MVB 통신보드 설계 및 제작(전력변환장치, 보조전원장치) - 설계보완 - 운용 및 유지보수 매뉴얼 작성 - MVB통신 분석보드 설계 및 제작 - MVB통신 분석 소프트웨어 개발 ■ TCU용 MVB 통신보드 시작품 검증 ■ TCU 제어기와의 통신 소프트웨어 개발 ■ TCU 제어기와 연동 기능 시험 및 설계 보완 ■ 실용화 계획 ■ 유지보수 매뉴얼 작성	100
한성중공업	견인전동기 설계 및 제작	- 견인전동기 조립 - 견인전동기 성능시험 - 보완시작품 제작	100
이경산전	보조전원장치 설계 및 제작	- 외함제작 및 내부장치 조립 - 장치외함 및 내부장치 기능시험 - 제어기제작 및 MVB 통신프로그램 작성(보조전원장치와 앤츠-통신카드간)	100
	HEP 설계 및 제작	- 출력장치 제작	100

2. 연차별 성과지표 달성도

가. 1차년도

	세세부과제명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표	성과검증 기준				가중치 (%)
						목표수준		측정방법	달성율 (%)	
						목표치	달성치			
성과질적목표점검	1	시스템엔지니어링 및 시험 지원	1-1	사업관리	공정회의 및 과제관리	10회	11회	회의 결과보고서	100	3
					기술자료·성과물 검토	3회	24회	검토서	100	3
					고장분석	3회	3회	분석서	100	2
			1-2	시험지원	현차시험 지원	5회	11회	현차시험 결과보고서	100	7
			1-3	시스템분석 및 구조해석	추진제어 알고리즘 분석	1건	1건	분석서	100	3
					견인전동기 취부프레임 구조해석 모델링 개발	1건	1건	분석서	100	2
	2	추진제어용 전력변환장치 기술개발	2-1	전력변환장치용 기구물 및 전력스택 설계, 제작	외함 및 내부장치 설계	1건	1건	설계도	100	3
					Converter/Inverter 설계 및 제작	3건	3건	설계서, 시작품	100	6
					GDU, 주회로 설계 및 제작	1건	1건	설계서, 시작품	100	5
			2-2	제어Unit 설계 및 제작	H/W (제어 및 통신회로) 설계 및 제작	1건	1건	설계서, 시작품	100	5
					C/I 및 전동기 제어알고리즘 분석	1부	1부	C/I 및 전동기 제어 분석서	100	5
					MVB 통신 알고리즘 분석	1부	1부	MVB 통신 분석서	100	1
	3	IGBT용 수냉각장치 기술개발	3-1	수냉각장치 설계 및 제작	수냉각장치 설계	1건	설계3건	설계서	100	3
					수냉각장치 시작품 제작	1건	1건	시작품	100	2
	4	TCU용 MVB통신카드 개발	4-1	프로토콜 분석 및 시작품 제작	MVB 통신보드 실계 및 제작	1건	1건	설계서, 시작품	100	2
					MVB 프로토콜 분석	1건	1건	분석서	100	3
	5	전기기관차용 견인전동기 기술개발	5-1	견인전동기 설계 및 제작	전기적 특성 검증	1건	1건	설계사양	100	4
					회전자 구조해석	1건	1건	설계사양	100	2
					고정자 설계 및 제작	1건	설계1건	설계서, 시작품	100	7
					회전자 설계 및 제작	1건	설계1건	설계서, 시작품	100	7
					부속품 설계 및 제작	1건	설계1건	설계서, 시작품	100	5
	6	보조전원 장치 및 객차전원 공급장치(HEP) 기술개발	6-1	보조전원장치 설계 및 제작	전력스택 설계 및 제작	1건	설계1건	설계서, 시작품	100	4
					GDU, SMPS 설계 및 제작	1건	설계1건	설계서, 시작품	100	3

					제어회로 설계	1건	1건	설계서	100	5
					통신 프로토콜 분석	1건	1건	분석서	100	4
			6-2	HEP 설계 및 제작	출력장치 설계	1건	1건	설계서	100	4
	종합점수 = ∑ (성과목표별 달성평점 ×가중치)									**100**

양적지표점검	사업연계지표	목표	목표건수	달성건수	**달성율 (%)**	가중치 (%)
		학술지 게재 논문건수(국내/국외)		2	-	20
		학술회의 발표 논문건수(국내외)	8	6	75	10
		특허출원/등록	3	3	100	30
		일부 시작품제작	12		-	30
		S/W 등록건수				
		기술문서(분석서, 설계서 등)		24	-	10
	종합점수 = ∑ (성과별달성율×가중치)					**100**

나. 2차년도

성과질적목표점검	세세부과제명 (연구목표, 분야)		성과목표		성과지표	**성과검증 기준**				가중치 (%)
						목표수준		측정방법	달성율 (%)	
						목표치	달성치			
	1	시스템엔지니어링 및 시험 지원	1-1	사업관리	공정회의 및 과제관리	10회	12회	회의 결과보고서	100	3
					기술자료·성과물 검토	3회	3회	검토서	100	3
			1-2	시험지원	현차시험 지원	5회	16회	현차시험 결과보고서	100	7
			1-3	시스템분석 및 구조해석	추진제어장치 제어기 설계	1건	1건	분석서	100	2
					축소형 모델 시스템 구성 및 제작	1건	1건	보고서	100	3
					구조해석 및 최적설계 분석	1건	1건	분석서	100	2
	2	추진제어용 전력변환장치 기술개발	2-1	전력변환장치용 기구물 및 전력스택 설계, 제작	외함 및 내부장치 조립	1건	1건	시작품	100	3
					장치외함 및 내부장치 기능시험	1건	1건	성적서	100	6
					C/I 단품시험	3건	3건	성적서	100	5
			2-2	제어Unit 설계 및 제작	제어 Unit 제작	1건	1건	시작품	100	5
					C/I 제어 프로그램 작성	1부	1부	C/I 및 전동기 제어 프로그램	100	5
					MVB 통신 프로그램 작성 (전력변환장치와 앤츠-통신카드간)	1부	1부	MVB 통신 프로그램	100	1
	3	IGBT용	3-1	수냉각장치	수냉각장치 단품시험	1건	1건	성적서	100	3

		수냉각장치 기술개발		설계 및 제작	보완 수냉각장치 시작품 제작	1건	1건	시작품	100	2
	4	TCU용 MVB통신카드 개발	4-1	프로토콜 분석 및 시작품 제작	MVB 프로토콜 분석	1건	1건	시작품	98	2
					MVB통신보드 설계 및 제작 (전력변환장치, 보조전원장치용)	2건	2건	시작품	100	3
					설계보완	1건	1건	보고서	100	-
	5	전기기관차용 견인전동기 기술개발	5-1	견인전동기 설계 및 제작	견인전동기 조립	1건	1건	시작품	100	5
					견인전동기 성능시험	1건	1건	설계사양	100	15
					보완시작품 제작	1건	1건	시작품	100	5
	6	보조전원 장치 및 객차전원 공급장치(HEP) 기술개발	6-1	보조전원장치 설계 및 제작	외함제작 및 내부장치 조립	1건	1건	시작품	100	6
					장치외함 및 내부장치 기능시험	1건	1건	성적서	100	7
					제어기제작 및 MVB 통신프로그램 작성 (보조전원장치와 앤츠-통신카드간)	1건	1건	보고서	100	1
			6-2	HEP 설계 및 제작	출력장치 제작	1건	1건	시작품	100	6
	종합점수 = Σ (성과목표별 달성평점 ×가중치)									**100**

양적지표점검	사업연계지표	목표	목표건수	달성건수	달성율 (%)	가중치 (%)
		학술회의 논문건수(국내외)	8	15	100	10
		특허출원	3	4	100	15
		특허등록	1	1	100	30
		시작품제작	9	9	100	20
		S/W 등록건수	2	2	100	15
		기술문서(절차서, 성적서 등)	11	17	100	10
	종합점수 = Σ (성과별달성율×가중치)					**100**

제2절 연구개발 성과의 기술적 효과분석

국내의 철도차량관련 기술은 도시형전동차, 경량전철, 고속철도차량을 위로 발전되어져 왔으며 사회적/기술적으로 상당한 향상을 이루었으나 전기기관차와 관련된 기술개발은 상대적으로 미흡한 단계이다. 전력변환장치는 철도차량에서 가장 핵심적인 전장품으로 차량의 운행에 연관되어 있으며, 차량 전체의 성능을 구분 지을 수 있는 장치이고, 이러한 전력변환장치의 설계, 제작의 기술을 보유한다는 것은 차량 시스템 전체를 제어 할 수 있는 기술력을 의미하고 주전력변환장치의 전력 반도체 GTO의 수급이 원활하지 못한 부분을 IGBT로 대체하는데 따른 핵심 기술

을 확보함으로써 향후 주전원장치 및 보조전원장치의 기술 개발에 적극 활용 할 수 있다. 전기기관차의 전력변환장치의 기술개발을 통하여 얻은 전력변환기술을 바탕으로 동력 집중식 및 동력분산식 등의 고속화 철도의 추진 제어장치에의 활용이 가능하다. 철도차량의 유도전동기 구동용 전력변환장치에 대한 설계 및 제작기술의 확보는 전력을 제어하는 모든 산업의 기초적 기술을 제공함으로써, 태양광 및 풍력등의 에너지 생산 산업뿐 아니라, 철도 차량용 변전소를 포함한 일반 산업용 변전소등에 에너지 저장장치의 설치 등 에너지 관련 산업의 기술적 토대가 될 수 있다. 또한 전기기관차량에 적용된 추진제어시스템의 주요장치인 전력변환장치에 대한 성능파악을 통하여 현재 운행되고 있는 유지보수 시스템을 국내현실에 맞도록 적용하고, 운용과정에서 발생한 요구조건을 반영하여 운용측면에서의 업무개선 및 제품의 성능향상을 도모 할 수 있다.

단종 위기의 소자대신 최신 소자를 적용한 전력변환장치를 국산화 개발함으로써 원천제작사의 기술종속에 대응하고, 현재의 유지보수 체계를 합리적으로 개선할 수 있으며 반도체 스택의 잦은 고장은 장치의 구조적인 취약성과 용량의 한계에서 오는 문제점으로 보여 지므로 설계변경으로 현재 발생되는 문제를 해결 할 수 있다.

연구결과를 바탕으로 교류 구간에 적용되는 전동차(통근형, 간선형)의 객실전원용 보조전원장치 및 신재생에너지 분야의 풍력발전, 가정용 에너지저장장치 등에 소요되는 전력변환장치로 즉시 활용이 가능 할 뿐만 아니라 국산화 개발 시 유지 보수품의 원활한 공급 및 기술력 축적을 통한 차량시스템 운영의 안정화에 기여할 수 있다. 따라서 국산화 개발이 완료되면 전기기관차 제어분야의 핵심기술을 확보할 수 있으며, 국내시장에 유통되고 있는 외국산 장치들과 경쟁이 가능할 것으로 예상된다.

제3절 연구개발 성과의 경제적 효과분석

현재 수입에 의존하고 있는 전기기관차용 전력변환장치를 국산화함으로서 유지보수 기간의 단축으로 원활한 유지 보수가 가능하여 운용의 효율을 상승시키고, 수입대체효과로 원가 절감과 국제 수지를 개선한다. 전기기관차용 전력변환장치의 개발은 국내뿐 아니라 전기기관차가 운용되는 세계 각국의 전력변환장치 개량 시장에 진출하여 국가경쟁력을 강화 할 수 있는 기술이며 대만을 비롯한 동남아의 각국에서 전기기관차의 전력변환장치의 개량을 위한 사업의 진행이 활발히 진행되고 있다. 과거 철도차량 내 장치간의 프로토콜은 중앙 제어기에 의존하는 중앙 집중 방식으로 단순 제어나 감시 기능만을 지원하였고, 이에 대한 신뢰성이 중요시 되지 않았다. 반면 현재 제작되는 철도차량의 차량 내 통신은 대부분 TCN 규격을 적용한 MVB 통신을 사용한다. 1999년 IEC에 의해 제정된 TCN은 WTB와 MVB로 구분되며, 해당 규격으로 차량 통신에 대한 규칙성과 신뢰성을 확보하게 되었다. 또한 전자기기의 다양화와 이를 제어하는 기술에 있어서 일원화되었으며, 혼용에 대한 문제가 줄어들었다. 이처럼 MVB 통신 기술에 대한 적용은 점증적으로 증가하고 있는 상황이다. MVB 통신 기술 적용에 대한 확대로 인해 철도 제어기 분야의 중요성이 증대되고 있으며, 이와 더불어 수요 또한 증가하는 추세이고 MVB 통신 기술을 확보함으로써 철도 제어기분야에 진출할 수 있을 것으로 기대된다.

전기기관차용 전력변환장치의 기술개발은 파워 일렉트로닉스 및 마이크로일렉트로닉스 활용기술 능력을 배양하고, 자체 설계기술 및 제작기술을 보유하게 됨으로서 일반 산업 전자 및 방위산업 등에 응용할 수 있고 또한, 고속 전철 엔지니어링 기술능력을 배양하여 국가산업 및 국제기술경쟁력을 강화시키고 수입 대체효과를 획기적으로 증진시켜 국제수지 개선에 이바지 할 것으로 기대된다.

기술혁신활동은 크게 제품혁신과 공정혁신으로 나눌 수 있으며, 고용창출 효과는 이러한 혁신 유형에 따라 다르게 나타날 수 있다. 새로운 제품이나 신산업을 창출해내는 제품혁신의 경우에는 장기적으로 시작확대와 더불어 고용을 늘릴 뿐만 아니라, 단기적으로 새로운 고용을 더 창출할 것이라는 데 이견이 적다. 전기기관차 8200호대의 MVB 통신 프로토콜을 분석하는 과정에서 MVB 통신 기술을 확보하였으며, 이는 제품혁신으로 구분 할 수 있다.

본 과제의 MVB 통신보드 시작품 개발로는 철도제어기시장에 참여할 수 있는 경쟁력이 부족한 상황으로 후속 연구과제를 통해 개발된 MVB 통신보드를 실차에 탑재하여 검증기간이 필요하다. 개발 검증과 인정을 받는 절차를 위해 필요한 인력을 추가적으로 고용하여 해당분야에 대한 고용창출이 증가할 것으로 분석된다. MVB 통신 보드만으로는 시장 참여에 제한적일 수밖에 없기 때문에 MVB 통신 기술을 적용한 시제품 개발을 하여 제품화해야하는데, 이를 위해서는 추가연구가 필요한 상황이다. 이러한 과정에서 MVB 통신기술을 이해하고 제어장치에 적용할 수 있는 개발인력이 필요하기 때문에 지속적인 인력추가가 필요하다.

추진제어 시스템은 고속철도 및 도시철도로 확대가 가능하며, 비용절감으로 유럽 및 해외로의 진출이 가능할 것으로 생각 되며 유사제품에 대한 국산화 기술력 확보를 통해 수입제품에 대한 가격상승 억제 등의 간접적인 효과를 예상할 수 있으며, 유지보수 비용의 증가에 따른 소비자 교통비용 상승을 억제 할 뿐만 아니라 국산화 신제품 개발에 따른 철도차량에 대한 신뢰성을 확보할 수 있다. 또한, 국내산업체의 생산 활동을 유발하게 함으로써 중소기업 경제 활성화를 유도 할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 철도차량에 대한 전력변환장치의 부품 공급을 통한 중소기업의 지속적인 일자리 창출을 기대할 수 있다.

1. 연구개발을 통한 기대효과

가. 연구개발품 주요 장치별 단가 비교

[단위: 백만원]

구 분	단위	수량	구매단가 (계약 또는 견적가)	총금액 (1량당)	비고
주전력변환장치 조립체	SET	2	2,236	4,472	
보조전원장치 조립체	SET	2	465	930	
견인전동기 조립체	SET	4	581	2,324	
합 계			3,282	7,726	

나. 국산화개발품 활용을 통한 경제적 효과

① 국　가 : 국비유출방지 약 6,567억원
(7,726백만원 × 85량, '07～'12년간 부품 구입금액 기준)

② 참여기업 : 매출 약 4,597억원(국산화시 외자품 가격의 70% 적용)

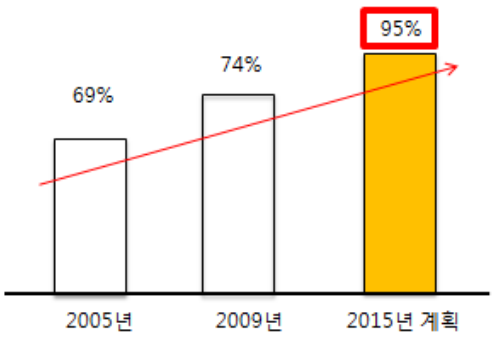
③ KORAIL : 유지보수 비용절감 : 약 1,970억만원(①-②)

제4절 연구개발 성과의 정책적 효과분석

한국형 기술 개발을 통해 운용의 신뢰성 확보가 가능하며 외산 제품 대체 및 해외 기술 경쟁력 확보를 통한 국가산업기술 경쟁력에 기여할 수 있다. 철도차량의 보조전원장치 및 객차전원공급장치(HEP 출력장치) 구축을 통한 전기기관차 기술개발의 활성화가 예상되고, 국산화를 통한 신뢰성 확보에 기여할 것으로 기대된다. 본 사업을 통한 8200호대 전기기관차량의 보조전원장치 국산화는 국내 전기기관차량의 고성능 추진제어 시스템의 원천기술을 확보하여 국내·외 철도차량 제작기술의 위상이 높아질 것이다. 최근 전기기관차량(8200호대)의 유지보수 비용이 증가 추세에 있어 보조전원장치의 국산화는 유지보수 비용의 절감으로 이어질 것이며 이는 소비자의 교통비용 상승을 억제할 수 있는 바탕이 될 것이다. 또한 안정된 차량운행과 운영효율성을 증대시키고 무형적으로는 전기기관차량을 이용하는 국민들에게 보다 많은 편익을 제공함으로서 공익성을 확보할 수 있을 것으로 본다.

한국형 고속열차(G7) 개발을 바탕으로 제작된 KTX-산천 고속열차가 현재 영업운행 중이나 일부 핵심 부품은 외국 원천기술에 의존하여 제작되어 유지보수 운영상의 애로 및 해외시장 진출에 장애 요인으로 작용

선진국 대비 철도기술 수준 정부계획



주요 분야별 기술수준(2009년 선진국 대비)

분 야	기술수준 (%)
시스템 엔지니어링	75.9
운영관리	72.3
궤도토목	80.5
전철전력	77.0
신호/통신	70.5
안전방재	64.7
역무자동화	76.8
차량	76.8

- 우리나라의 철도기술 수준은 지속적으로 발전하고 있으나, 독일 기준(100%)으로 2009년 74%로 평가받음
- 주요 분야별 기술 수준은 64~80% 사이에 있으며, 궤도토목이 80.5%로 가장 높고, 안전방재부문이 64.7%로 가장 낮음
- 국토해양부는 선진국 대비 기술수준 향상을 위해 연구개발에 계속 투자할 계획

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구성과 향후 활용방안

현재 국내에 운영 중인 8200계열의 전기기관차는 운영연한이 10여년을 경과해 유지보수와 관련된 요구가 급속히 증가하는 추세이지만 원천기술 보유사가 해외사인 관계로 유지보수 비용이 증가하는 추세이다 본 연구과제는 전기기관차의 기존 장치 성능개선 및 용량증대를 목표로 하고 있으며 기존 전기기관차용 전력변환장치의 전량 손질 의존에서 벗어나, 예비품 및 유지보수품 손질의 고비용에 대비하고 국내 우수 인력을 활용하여 국내 생산을 통한 원가절감 효과를 기대할 수 있다. 또한 국산화 개발 시 유지 보수품의 원활한 공급 및 기술력 축적을 통한 차량시스템 운영의 안정화에 기여하며 8200호대 전기기관차의 전력변환장치 노후 및 교체주기에 대비하고, 고장 시 무상 서비스기간 경과에 따른 유지보수 대응에 국내 기술력을 적극 활용할 수 있다.

전기기관차용 Converter/Inverter 제어기술을 바탕으로 전기기관차의 완전 국산화 및 수출용 전기기관차에 적극 활용할 수 있으며 한국형 견인전동기 개발을 통해 현재 운행 중인 외산제품 대체할 수 있다. 후속연구를 통해 신뢰성과 완성도 있는 견인전동기가 개발된다면 해외 수출에 물고를 열 수 있을 것으로 본다. 연구결과를 바탕으로 교류구간에 적용되는 전동차(통근형, 간선형)의 객실전원용 보조전원장치 및 신재생에너지 분야의 풍력발전, 가정용 에너지저장장치 등에 소요되는 전력변환장치로 즉시 활용이 가능하고 장치가 성공적으로 개발된다면 교체 또는 수리시에 개발품 적용이 가능하며, 연구결과를 바탕으로 교류구간에 적용되는 전동차(통근형, 간선형)의 객실전원용 보조전원장치 및 신재생에너지 분야의 풍력발전, 가정용 에너지저장장치 등에 소요되는 전력변환장치로 즉시 활용이 가능하다.

제2절 추가연구 필요성

본 과제의 최종 연구개발 성과물은 전기기관차(8200호대)용 추진제어시스템(전력변환장치, 수냉각장치, MVB 통신보드, 견인전동기, 보조전원장치 및 HEP 장치)를 기존차량과 호환성을 갖는 시작품을 각 장치별로 제작하여 구성품(단품)시험을 완료하는 것이 목표이다. 현 시스템은 독일의 지멘스사에서 제작한 것으로 국내의 원천기술은 전무한 상태여서 원 제작사에 의존할 수밖에 없는 실정이다. 본 과제의 최종 연구개발 성과물이 시작품 개발에 있는 것은 연구개발 기간이 2년이라는 제한사항 때문에 결정하게 되었고, 이것은 향후 추가로 시제품 제작 및 성능시험, 현차탑제시험 등을 통하여 신뢰성을 검증하여 실용화를 목표로 개발을 진행하여야 한다.

본 과제의 마지막 2차년도에는 각 장치별 시제품 제작하여 구성품(단품) 시험 완료하는 것이 목표이다. 시스템조합 시험 및 현차시험 수행은 연구기간과 연구비 등 물리적으로 수행하기 어려운 점이 있다. 본 과제의 일부인 전력변환장치 한 부분만 비교해 보자면 KTX 전력변환장치 국산화하는데 소요된 연구기간은 4년 3개월, 정부지원 연구비 약 36억 소요되었다. 본 과제는 전체 연구기간 2년, 정부출연금 약47억을 지원받아 전력변환장치 외 에도 1.3MW급 유도형 견인전동기, 보조변환장치, HEP 장치, TCU용 MVB 통신보드 등을 국산화하는 과제이다. 현재 지원된 연구비와 연구기간은 성능 검증을 위한 각 제품별 시제품 최소 2.5[set]를 제작하기에는 어려움이 있다. 본 과제에서는 시작품 1set 제작하여 각 장치별 성능 시험하는 것을 목표로 할 수 밖에 없는 상황이다. 추후 조합시험 및 현차를 통한 신뢰성 검증을 통한 실용화를 목표로 추가 개발을 진행하여야 한다. 본 과제의 규모를 볼 때 단일과제로 보기에는 연구범위가 대단히 폭넓고 다수의 장

치와 시스템 제어 개발로 구성되어있다. 전력변환장치 국산화 개발 이외에도 대용량의 철도차량 견인전동기 개발, 보조변환장치 개발, HEP 장치 개발, 수냉각 장치 개발, TCU용 MVB 통신보드 분석 등을 수행하고 있다. 본 1단계에서 연구 개발된 결과물에 대하여 신뢰성 검증하고 실용화 추진하기에는 물리적인 기간과 연구비가 부족한 현실이다. 1단계에 이어 2단계의 후속연구가 진행되지 않는다면 1단계 연구 성과물은 고스란히 사장될 가능성이 높다. 1단계 연구결과물에 대하여 완전히 성능검증 하고 신뢰성 검증을 통해서 실용화될 수 있도록 2단계 후속연구가 진행 되어야한다. 이를 통해 전기기관차에 적용되어있는 지멘스 선진철도기술의 종속으로부터 탈피하고, 향후 한국형 전기기관차 개발의 근간을 다지기 위해서는 2단계 연구 수행이 반드시 필요하다.

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) 지멘스 홈페이지 (http://www.siemens.com)
(5) B. K. Bose, 1986, "POWER ELECTRONICS AND DRIVES"
(6) 설승기, "전기기기제어론", BRAIN KOREA, 2002. pp. 299-352
(7) 건설교통부, 철도기술연구개발사업 추진제어장치 실용기술개발 I, 2007.
(8) 한국철도기술연구원, 추진제어시스템 기술동향
(9) 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.
(10) 김상훈, 배본호, 설승기(1999), "벡터제어를 적용한 전동차 구동 시스템 개발", 전력전자학회 논문지 제6권 제1호, pp48-51
(11) Nakamura (2009) High Voltage IGBT Module Application Manual, Hitachi Power Semiconductor Device, Ltd. Japan 319-1221, pp. 18-19.
(12) Hitachi IGBT Module Appliction Manual, Hitachi Ltd. Power & Industrial Systems, pp. 33-35.
(13) [별표 32] 도시형 자기부상열차의 추진장치의 추진장치시험 (제6조제1항제3호 관련) <신설 2011.8.2.>
(14) 한국건설교통기술평가원, 철도 주요시스템 및 부품 국산화 기술개발 기획보고서, 2013
(15) 한국건설교통기술평가원, 경부고속열처(KTX) 차량컴퓨터제어장치(OBCS) 개발보고서, 2013
(16) 최영준, 서민호, 박재현, 철도 제어통신 네트워크 프로토콜에서 마스터권한 전달 기법, 한국철도학회 논문집, pp.88-95, 2007
(17) 김훈, 홍구선, 한정수 외, TCN(IEC 61375-1)을 이용한 열차진단제어장치의 실증시험 연구한국철도학회 학술발표대회논문집, pp.1407-1421, 2007
(18) 전성준, 백진성, 손강호, TCN(Train Communication Network) 통신 시험용 WTB(Wire Train Bus) Analyzer 개발, 한국철도학회 춘계학술대회논문집, pp.1919-1928, 2008
(19) 설재윤, 이상화, 박재현, 철도차량을 위한 MVB 기반의 슬레이브 컨트롤러 구현, 한국통신학회 종합 학술 발표회 논문집(동계), pp.102-103, 2010
(20) S.G, Shon, S.M. Yang, Real-time Error Measurement system for MVB Protocol, IJCSI, International Jurnal of Computer Science Issues, pp.38-44, 2010
(21) 박민호, 유도기기 "유도전동기의 기본회로", "유도전동기의 제어"
(22) 이승원,이윤종, 전기기기 "전기자 권선과 유기기전력", "자기회로"
(23) 竹內壽太郎,嗄部直吉, 전기기기설계 "유도전동기의 설계"
(24) 박현준, "전기철도차량용 견인전동기 고정자 권선의 절연열화 및 고장진단"홍익대학교 박사학위 논문
(25) ASTM(미국재료시험학회)
(26) IEC 60349-2

(27) Paul W. Franklin, "ADVANCED THEORY AND DESIGN OF ROTATING ELECTRICAL MACHINERY“
(28) 철도인재개발원, 전기기관차의 구조 및 기능, 삼성종합인쇄, 2006.
(29) 한국철도공사, "최신반도체소자를 이용한 고속철도 차량용 추진제어 기술개발", 미래철도 기술개발사업 기획연구 최종보고서, 국토부/건설교통기술평가원, 2008.11.
(30) 이을재, “신형 전기기관차 HEP장치 인버터 출력전원 개선방안 검토”, 코레일 자문보고서, 2009.
(31) M. H . RASHID, Power Electronic Circuits, Devices, and Applications (3rd Edition), Prentice Hall, 2004.
(32) S. R. Bowes and P. R. Clark, "Simple Microprocessor Implementation of New Regular-Sampled Harmonic Elimination PWM Techniques", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 28, No.1, pp. 89-95, Feb. 1992.
(33) A. Zuckerberger and A. Alexandrovitz, "Determination of Commutation Sequence with a View to Eliminating Harmonics in Microprocessor-Controlled PWM Voltage Inverter", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. IE-33, No.3, pp. 262-270, Aug. 1986.
(34) B. K . Bose, Modern Power Electronics and AC Drives, Prectice Hall PTR, USA, 2002.
(35) N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics, Jonh Wiley, New York, 1995
(36) H. Stemmler, "High-power industrial drives", Proceedings of the IEEE, vol.82, pp. 1266-1286, August 1994.
(37) D. Finney, The Power Thyristor and its Applications, McGRAW-HILL, UK, 1980.
(38) W. Leonhard, Control of Electrical Drives, Springer, Germany, 1996.
(39) P. Vas, Vector Control of AC Machines, CLARENDON PRESS · Oxford, UK, 1990.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.