

공진형 보조전원장치 실용화 사업 최종보고서

2020. 8. 12.

주관연구기관 / (주)브이씨텍
공동연구기관 / 한국철도기술연구원

2020

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

국토교통부
(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘공진형 보조전원장치 실용화 사업’(연구개발 기간 : 2017.09.29 ~ 2020.05.31) 과제의 최종
보고서 9부를 제출합니다.

2020. 7. 17.

주관연구기관명 : (주)브이씨텍	(대표자)	이 인 석 (인)
공동연구기관명 : 한국철도기술연구원	(대표자)	나 희 승 (인)
위탁기관명 : 광주도시철도공사	(대표자)	윤 진 보 (인)

주관연구기관책임자: 김주범 전무이사
공동연구기관책임자: 김길동 수석연구원
위탁기관책임자 : 오상근 팀장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘공진형 보조전원장치 실용화 사업’(연구개발 기간 : 2017.09.29 ~ 2020.05.31) 과제의 최종 보고서 9부를 제출합니다.

2020. 7. 17.

주관연구기관명 : (주)브이씨텍	(대표자)	이 인 석 (인)
공동연구기관명 : 한국철도기술연구원	(대표자)	나 희 승 (인)
위탁기관명 : 광주도시철도공사	(대표자)	윤 진 보 (인)

주관연구기관책임자: 김주범 전무이사
공동연구기관책임자: 김길동 수석연구원
위탁기관책임자 : 오상근 팀장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘공진형 보조전원장치 실용화 사업’(연구개발 기간 : 2017.09.29 ~ 2020.05.31) 과제의 최종
보고서 9부를 제출합니다.

2020. 7. 17.

주관연구기관명 : (주)브이씨텍	(대표자)	이 인 석 (인)
공동연구기관명 : 한국철도기술연구원	(대표자)	나 희 승 (인)
위탁기관명 : 광주도시철도공사	(대표자)	윤 진 보 (인)



주관연구기관책임자: 김주범 전무이사
공동연구기관책임자: 김길동 수석연구원
위탁기관책임자 : 오상근 처장

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19RTRP-C136466-03	해당 단계 연구 기간	2019.01.31. - 2020.05.31	단계구분	3/3
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	철도기술연구사업			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	공진형 보조전원장치 실용화 사업			
연구책임자	김주범	해당단계 참여연구원 수	총: 28명 내부: 28명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 400,000천원 민간: 133,340천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 533,340천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 36명 내부: 36명 외부: 명	총 연구비	정부: 1,550,000천원 민간: 516,680천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 2,066,680천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)브이씨텍			참여기업명(공동연구기관) 한국철도기술연구원	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 광주도시철도공사			연구책임자: 오상근	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호						1					

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

<요약>

주관기관인 (주)브이씨텍은 기존 전력변환 시스템의 한계를 극복한 LC공진기술이 적용된 공진형 보조전원장치를 개발하였다.

본 과제를 통해 기 개발된 공진형 보조전원장치의 성능(경량, 고효율)은 공인 시험기관을 통해 검증하였으며, 4개월의 현차시험을 통해 신뢰성을 확인하였다.

보고서 면수 94

요약문

연구의 목적 및 내용	■전동차용 보조전원장치 성능 개선 ■공진형 보조전원장치 부품 RAMS시험 평가 ■도시철도 운영기관 현차 적용을 통한 신뢰성 확보				
연구개발성과	■운영기관(광주도시철도공사)와 설계단계부터 요구사항 협의를 통한 맞춤형 공진형 보조전원장치 설계 ■가속수명시험을 통한 RAMS목표치 사전 검증 ■공인시험기관(로테코)를 통한 설계적합성 시험 완료 ■광주지하철1호선 차량 부착 및 완성차 시험 완료 ■4개절 현차시험을 통한 MTBCF 신뢰성 평가 ■전시회(부산 국제 철도 기술 산업전)참가를 통한 홍보활동 ■IRIS인증 취득				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	■공진형 기술 확보로 에너지 절감에 기여 ■고효율 보조전원장치 개발로 해외 수출 경쟁력 상승 ■국내외 노후전동차 재조에 활용				
국문핵심어 (5개 이내)	공진	보조전원장치	경량화		
영문핵심어 (5개 이내)	Resonance	Auxiliary power supply unit	Lightweight		

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	6
1-1. 연구개발의 개요	6
가. 개발 아이템의 정의	6
나. 실용화 과제 추진 필요성	6
1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황	7
가. 국내 기술 수준	7
나. 국외 기술 수준	7
1-3. 연구개발의 중요성	8
1-4. 선행 연구 내용 및 결과	9
가. 공진형 보조전원장치 소개	9
나. 공진형 보조전원장치 원리	9
다. 공진형 보조전원장치 비교표	10
라. 공진형 보조전원장치의 회로 비교	11
2. 연구수행내용 및 성과	12
2-1. 연구개발 추진 전략, 방법 및 추진 체계	12
가. 연구개발 추진 체계	12
나. 연구개발 추진 일정	13
다. 연구개발 추진 전략·방법	14
2-2. 연구수행내용	15
가. 요구사항 분석 및 목표 사양 설정	15
나. 공진형 보조전원장치 설계	21
다. 공진형 보조전원장치 위험평가	35
라. 신뢰도 예측 및 가속수명시험	47
마. 시제품 제작(3SET)	60
바. 신호 시스템 전자파 간섭 검토	61
사. 공진형 보조전원장치 시험	63
아. 현차 시험	75
자. 홍보 및 마케팅	78

2-3. 연구개발 성과	81
가. 성능비교표	81
나. 경제적 성과	82
다. S/W개발 및 등록	82
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	83
3-1. 목표 달성도	83
3-2. 관련분야 기여도	84
가. 철도차량용 공진형 보조전원장치 개발	84
4. 연구개발성과의 활용 계획	85
4-1. 시장 현황 및 전망	85
가. 국내 철도 수요 전망	85
나. 해외 철도 수요 전망	85
4-2. 사업화 계획	86
가. 제품/기술의 핵심가치	86
나. 목표시장 분석	88
4-3. 사업화 역량 및 기대효과	90
가. 추진의지	90
나. 실행역량	91
다. 예상 판매 계획	91

#별첨1;고온기반 가속수명시험 검토 보고서

#별첨2;광주도시철도공사 영업운전선 진동측정 보고서

#별첨3;공진형 보조전원장치 구매 의향서(광주도시철도공사)

#별첨4;공진형 보조전원장치 신뢰성에 대한 의견(광주도시철도공사)

#별첨5;공진형 보조전원장치 BOM

#별첨6;유지보수 점검항목

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발의 개요

가. 개발 아이템의 정의

기존 보조전원장치의 낮은 효율성 개선의 한계를 극복하기 위하여, LC공진회로를 사용하여 전력손실을 최소화하여 효율성을 개선하고 소형, 경량화를 통해 에너지 소비효율을 획기적으로 개선한 장치이다.



[공진형 보조전원장치 상용화]

나. 실용화 과제 추진 필요성

1990년대 보조전원장치는 해외 기술에 의존되어 모두 수입되어 사용되었으나 이후 국산화를 추진하면서 국내에서 제작되는 모든 전동차는 국산화된 보조전원장치가 사용되었다. 이러한 국산화 개발은 GTO, 및 IGBT 스위칭 소자 중심으로 개발되었다. 따라서 현재 대부분의 전동차 GTO 또는 IGBT 소자를 보조전원장치에 사용하고 있다. 하지만 최근 GTO소자의 생산 중단에 따른 대체 보조전원장치의 요구와 기존 IGBT를 사용한 스위칭 방법의 에너지 효율성 개선 필요성이 증가되면서 한국철도기술연구소와 주관기관은 LC공진 기술을 통해 소형·경량화된 보조전원장치를 연구 개발하는데 성공하였다. 하지만 연구개발 과정에서 설계 및 제작신뢰성 평가는 물론 운영신뢰성을 보증하지 못해 국내외 사업화에 걸림돌이 되었다. 따라서 이 과제를 통하여 개발된 공진형 전력변환 기술의 효율성 및 신뢰성을 검증하여 차세대 보조전원장치로서의 적합성을 증명할 필요가 있다.

1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황

가. 국내 기술 수준

해외 기술에 의존하던 보조전원장치는 1990년대 국산화에 성공하고 지속적으로 발전하여 거의 국제적인 수준에 도달하였으나 아직도 대부분의 전동차가 GT0 또는 IGBT 소자를 사용하고 있다. 하지만 GT0소자의 생산중단과 기존 IGBT 스위칭 방식의 낮은 효율성으로 새로운 기술의 요구가 증가되었다. 따라서 차세대 기술로 LC 공진 기술이 학계 및 산업계에서 꾸준히 연구되어 왔다. 이러한 동향속에서 주관기관은 한국철도기술연구원과의 공동연구를 통해 처음 개발하는데 성공하였다. 주관기관은 LC회로를 통해 공진기술을 완벽히 구현한 것은 물론 대폭적인 소형경량화를 하였다. 하지만 부품장치의 제작 및 운영신뢰성을 입증하지 못해 사업화시키지 못하고 있는 실정이다.

나. 국외 기술 수준

해외의 경우 일본 및 독일의 회사들이 보조전원장치 기술을 선도해 오고 있다. 이들 회사들은 공진형 기술을 이미 확보하여 상업화를 추진하고 있다. 독일의 경우 SMA가 시장내 선도적으로 공진형을 상용화 하였다. SMA는 높은 공진 스위칭 주파수를 효과적으로 구현해서 용량대비 전력변환 효율 개선하였고, 장치의 모듈화 및 경량소재를 적용하여 최고수준으로 소형경량화 하였다.

일본 도시바의 경우, 추진제어장치와 보조전원장치를 하나의 장치로 통합한 C-PCU장치를 개발하여 효율성 개선은 물론 경량화에 성공하였다. C-PCU장치는 IGBT의 기술과 마이크로프로세서의 제어를 하나로 통합한 것으로 특히 소형경량화에 효과적이다.

일본의 미쯔비시는 소자개발을 통한 효율성 개선에 중점을 두어 Hybrid IGBT 또는 SiC IGBT등을 이용한 전력반도체 소자를 개발하여 스위칭 디바이스의 손실을 최소화하여 효율성을 개선하고 소형경량화 하였다.

1-3. 연구개발의 중요성

최근 국내외 철도산업은 친환경 교통수단으로 철도교통의 확대는 물론 대중교통이 전철화로 지속적으로 전환되고 있어 철도차량 수요의 증가에 따라 보조전원장치의 수요는 지속적으로 증가할 것이다.

철도산업은 비용의 증가를 억제하기 위하여 지속적으로 에너지 효율성 개선을 요구하고 있다. 따라서 에너지 효율성을 효과적으로 개선한 공진형 기술의 수요는 지속적으로 증가할 것이다.

철도의 서비스 수준향상을 위해 차량의 운행속도가 지속적으로 증가하면서 시스템의 신뢰성 및 안전성에 대한 입증 요구가 점점 증가하고 있다. 따라서 차세대 보조전원장치로서의 지위를 확보하기 위해 운영신뢰성 및 안전성에 대한 입증이 요구된다.

친환경 교통수단으로서 철도에 대한 기대감 증가, 전동차 수요의 점진적 증가, 운용신뢰성 및 안전성 입증의 요구가 증가하는 최근 철도산업의 동향으로 볼 때 이 과제의 필요성은 더욱 증가한다. 공진형 보조전원장치의 성공적인 연구개발로 우리의 기술수준은 이미 국제 수준에 도달하였다. 따라서 이 과제를 통해 시스템의 신뢰성을 확실히 입증한다면 국내외 철도산업에서 공진형 보조전원장치의 수요에 대한 전망은 매우 밝다고 할 수 있다.

1-4. 선행 연구 내용 및 결과

가. 공진형 보조전원장치 소개

(주)브이씨텍은 기존 보조전원장치의 한계를 극복하고자 LC공진기술을 적용한 공진형 보조전원장치를 개발 하였다. 공진형 보조전원장치는 기존 기술대비 LC 공진을 이용한 Multi-level DC-DC 컨버터 기술을 추가 적용함으로써 큰 변동범위를 가지는 가선의 전원을 안정화시켜 인버터부에 공급하는 구조를 가진다. 또한 이를 LC 공진을 이용한 Multi-level DC-DC 컨버터 기술을 적용하여 손실을 최소화하여 시스템의 냉각부 사이클을 최소화하게 한다.

나. 공진형 보조전원장치 원리

경량화

● HF(High Frequency) Tr. 개발

- 60hz, 150kVA 3상 Tr.중량 ≒ 500kg
- 8~12kHz, 150kVA Tr. 중량 ≒ 72kg

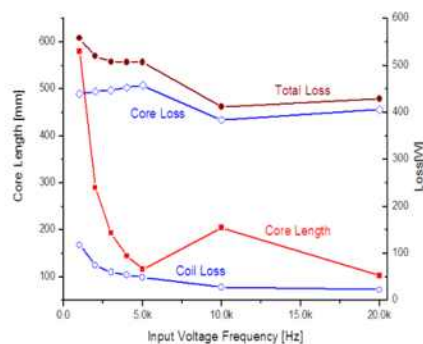


▶ 기존 변압기

- 정격용량 : 150kVA, 3상
- 78OVAC/38OVAC, 60Hz
- 중량 : 500kg

▶ HF(High Frequency) 변압기 사양

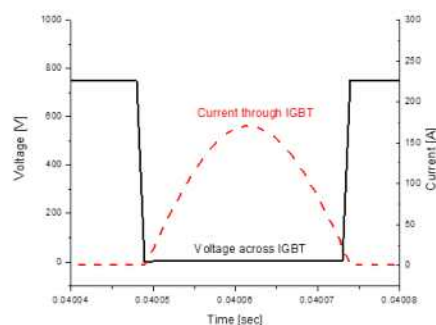
- ▶ 정격용량 : 150kVA, 단상
- 150OVAC/75OVAC, 8kHz
- ▶ 중량 : 72kg



<변압기 주파수 증가에 따른 체적 및 손실 >

저손실

- 공진형 원리를 이용하여 고효율 SIV 개발
 - ZCS & ZVS 방식으로 스위칭손실이 매우 적음
- 인버터부 개발
 - 저압용 스위칭 디바이스를 사용하여 에너지 소비 최소화[3,300Vce-> 1,200Vce]

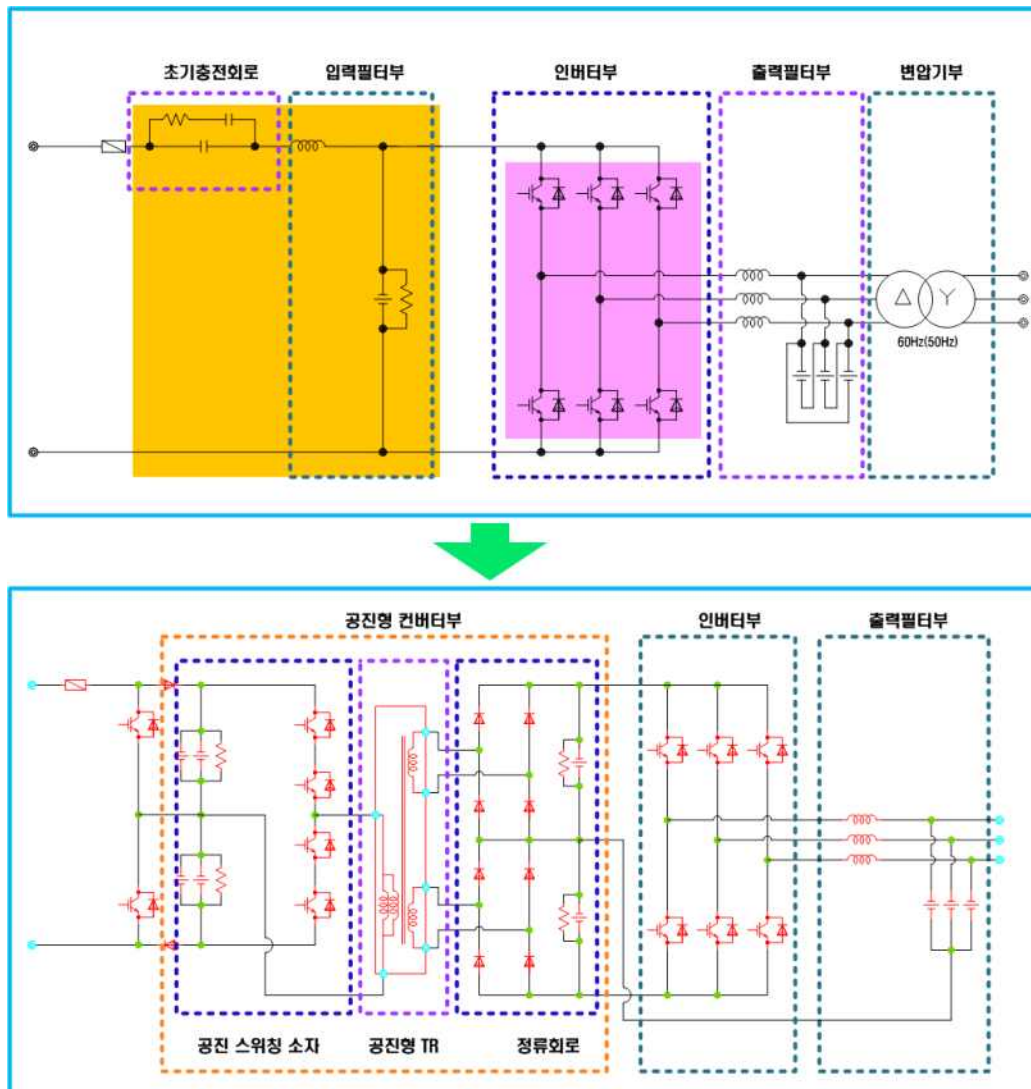


<공진형 컨버터의 IGBT 양단의 전압전류>

다. 공진형 보조전원장치 비교표

구 분	기존 보조전원장치	공진형 보조전원장치
초기충전회로부	매우 큰 DC링크 캐패시터를 충전하기 위해 큰 용량의 충전 컨택터 및 저항 소요	상대적으로 용량이 작은 공진 캐패시터를 충전하기 위한 초기충전 회로부의 최소화 가능
입력필터부	매우 낮은 차단주파수를 갖는 필터부로 인해 용량 및 사이즈가 매우 큼	매우 높은 제어 응답 을 가지는 공진형 컨버터를 통한 인버터부로의 능동적인 입력전원의 안정화 기능을 통해 최소한의 필터부 채용
공진 컨버터부	-	L-C 공진으로 ZVS/ZCS를 구현 하여 스위칭 소자의 스위칭 손실을 거의 “0”에 가깝게 구현
변압기부	50Hz 또는 60Hz의 낮은 주파수로 인해 트랜스포머의 사이즈와 중량이 매우 큼 (중량부담이 가장 큼)	약 7kHz에서 15kHz까지의 주파수로 고주파 트랜스포머를 통해 에너지를 전달함으로써 비약적으로 에너지 밀도를 높이고 사이즈 및 중량 감소
인버터부	매우 큰 입력전압 변동율을 가지는 가선전압의 특징으로 인해 고전압 대응량의 스위칭 소자를 선정하게 되고 손실 및 스위칭 주파수 상승한계에 따른 냉각 용량 및 시스템의 사이즈를 증대시킴	안정화된 인버터 입력전압으로 인해 스위칭 소자의 전압 정격을 최적화 하여 선정가능 상대적으로 스위칭 주파수를 올릴 수 있어 부하변화에 따른 능동적 제어가 유리
출력필터부	낮은 인버터 출력 스위칭 주파수로 인해 매우 큰 중량과 사이즈의 필터부를 장착	상대적으로 높은 인버터 출력 스위칭 주파수로 인해 필터부의 중량과 사이즈가 현격히 감소

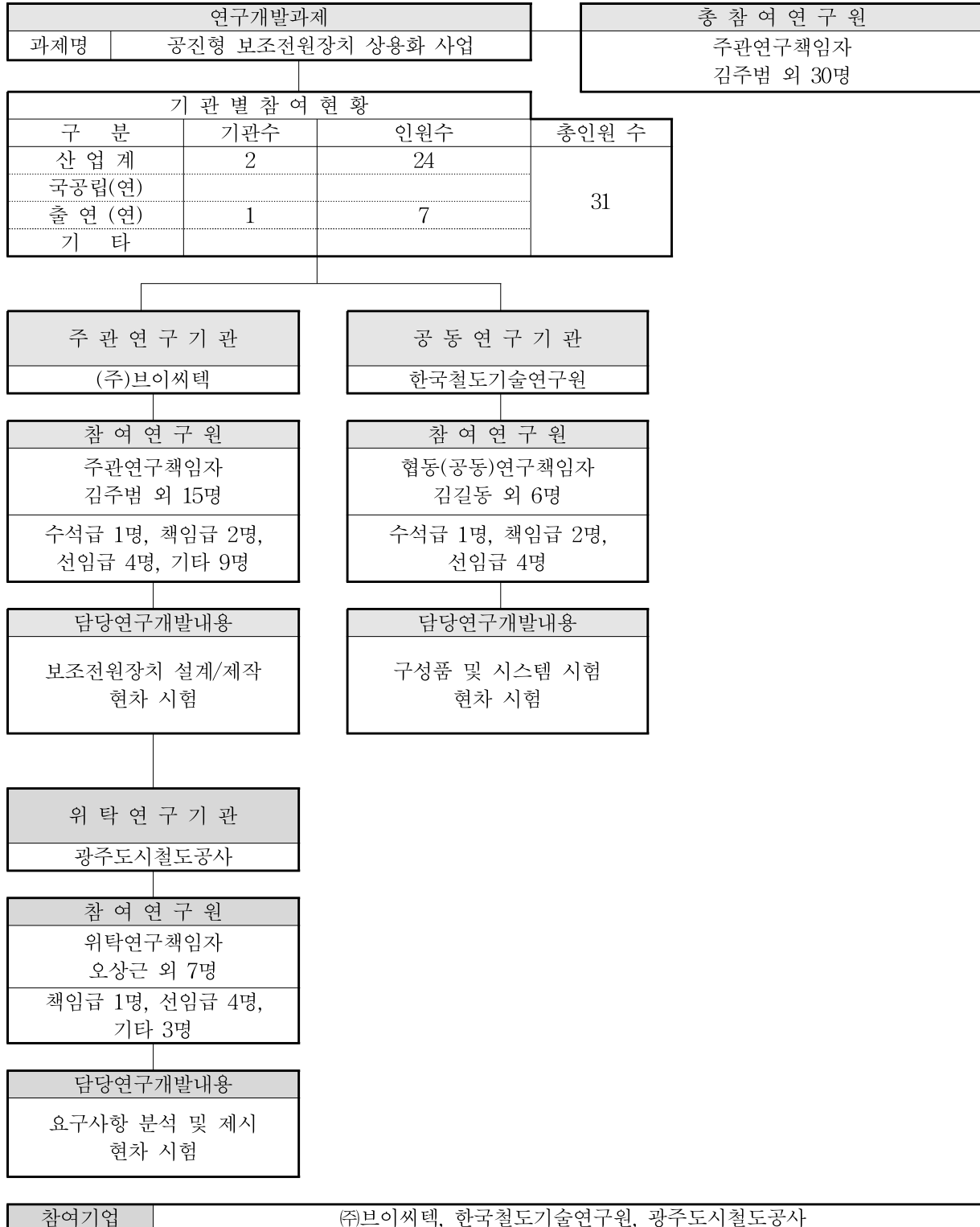
라. 공진형 보조전원장치의 회로 비교



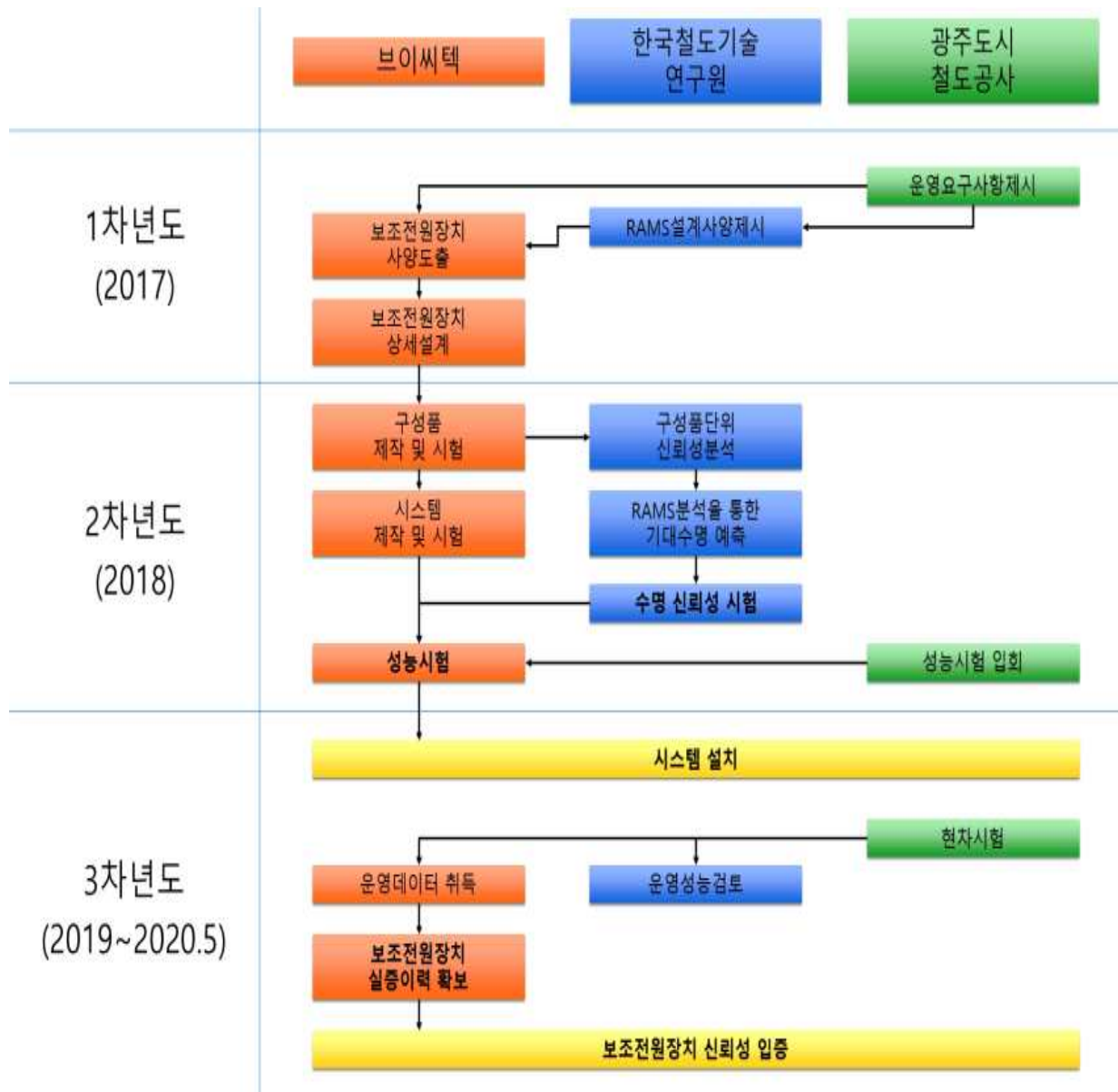
2. 연구수행내용 및 성과

2-1. 연구개발 추진 전략, 방법 및 추진 체계

가. 연구개발 추진 체계



나. 연구개발 추진 일정



다. 연구개발 추진 전략·방법

(1) 개발 방향 수립 및 설계 전략

- (가) 설계단계부터 수요처인 광주도시철도공사의 의견을 적극 반영하여 기존 보조전원장치의 문제점을 보완하여 최종결과물인 공진형 보조전원장치가 과제 종료 이후 실용화에 문제가 없도록 설계하였다.
- (나) 광주도시철도공사의 고장이력(“2015년~2017년(33개월)”)을 조사하여 RAMS 목표치를 설정하고 이에 따라 설계단계부터 RAMS검증활동을 통해 시제품을 제작하였고 현차 시험을 통해 RAMS목표치를 검증하였다.

(2) 연구 성과물에 대한 인증 또는 보고서 형태의 외부기관 검증

- (가) 공진형 보조전원장치는 철도용품 형식 승인 절차를 준용해 설계적합성시험 및 완성차시험을 공인기관(로테코) 검수하에 완료하여 인증 성적서를 획득하였다.
- (나) 일부 시험항목(EMC, 진동, 환경, 방수 등)은 공인 시험기관을 통해 성적서를 획득하였다.

(3) 실용화를 위한 기술홍보

- (가) 전시회(부산 국제 철도 기술 산업전)참가를 통해 공진형 보조전원장치의 우수성을 널리 홍보하였다.
- (나) IRIS인증을 취득함으로써 공진형 보조전원장치 설계 및 제작을 위한 품질체계를 수립하였다.

2-2. 연구수행내용

가. 요구사항 분석 및 목표 사양 설정

(1) 기존 보조전원장치 사양 분석

[기본 보조전원장치 사양]

	항목	사양		비고
1.방식	주회로 방식	초퍼 + 공진형컨버터 + 3상 인버터		
	제어 방식	ZVS/ZCS + PWM 방식		
	냉각 방식	자연 냉각 방식		
2.입력	정격 전압	DC 1,500V		
	전압 변동 범위	DC 900~1,900V (성능보증)		
3.출력	정격 용량	160KVA		
	출력의 중별	교류 출력	직류 출력	
	정격 전압	AC380V +5%,-10% 입력전압:DC900~1,900V 부 하 : 0%~100%	DC100V +5%,-10% 입력전압:DC1,100~1,900V 부 하 : 0%~100%	
	상 수	3상 4선식	-	
	정격 주파수	60Hz ± 2%	-	
	정격 용량	140 KVA	20 KW	
	부하 책무 (정격 입력 전압시)	100% 연속	100% 연속	
		150% 5초간	-	
	전압 왜율 (정격입력 전압, 정격 부하시)	10% 이하 입력전압:DC900~1,100V 부 하 : 0%~100%	-	
	리플율	-	5% 이하	
	부하 역률	0.85 (자연) (SIV의 설계 및 정격 부하시의 SIV 시험에 적용한다.)	-	
효율	92% 이상 [입력전압DC1,500V, 정격부하 (160KVA, pf=0.85)]			
4. 사용 조건	주위온도	- 25℃ ~ + 40℃		
	제어전원	①정격 전압	DC 100V	
		②전압변동범위	DC 70V ~ DC 110V	
5.소음	소음치 (장치표면에서 1m 떨어진 점의 값)	70dB (A) 이하		

(2) 기존 보조전원장치 대비 성능향상 목표 설정

기존 보조전원장치 사양을 분석하여 기존 대비 향상된 성능목표치를 설정하고 이를 만족할 수 있는 사양으로 설계를 진행하였다.

[공진형 보조전원장치 개발 목표사양]

주요성능Spec	단위	광주지하철 요구수준	개발 목표치	평가 방법
보조전원장치 시스템 효율	%	92%이상	94%	공인성적서
보조전원장치 출력전압 왜율	%	10%이하	3%	공인성적서
전장품 무게	kg	1500kg	1000kg이하	공인성적서
보조전원장치 출력밀도	VA/kg	106	160	공인성적서

(3) 기존 보조전원장치 문제점 정리(광주도시철도공사 불만사항)

광주도시철도공사와 함께 기존 보조전원장치의 문제점을 분석하여 개선목표를 수립.

항목	세부항목	개선요구사항
제어기	MON	노이즈에 의한 통신 불안정 현상 해결
	CPU	펌웨어 업데이트의 불안정함 해결
	POWER	5V DC-DC불안정함 해결
스택	IDU	전원불량 문제 해결
	IDU	보호동작 불량에 의한 압단락 문제 해결
차단기	LK	코일열화 발생 및 단선으로 작동불량 문제 발생

(4) 기존 보조전원장치 스택 시험(IGBT소손 원인검토)

- (가) 광주도시철도공사 보조전원장치의 최대 불만사항중 하나인 IGBT소손에 대한 대비책을 공진형 보조전원장치 설계시 반영하기 위해 기존 보조전원장치 스택에 대한 정밀 분석 실시.



[스택 시험]

(나) 기존스택 Stray Inductance 비교

		Test condition					Stray Inductance(Ls)			
		Tj [°C]	Vdc [V]	Ic [A]	Rg on [Ω]	Rg off [Ω]	dv [V]	di [A]	dt [ns]	Ls [nH]
Snubber capacitor : X	W Phase TOP	25°C	600	350	2.2	5	446	168	267	708.82
	W Phase BOTTOM	25°C	600	350	2.2	5	458	122	231	867.20
Snubber capacitor : 1uF Positon : 정위치	W Phase TOP	25°C	600	350	2.2	5	75	139.5	229	123.12
	W Phase BOTTOM	25°C	600	350	2.2	5	95	139.5	216	147.10
Snubber capacitor : 1uF Positon : 최단거리	W Phase TOP	25°C	600	350	2.2	5	66	96	139	95.56
	W Phase BOTTOM	25°C	600	350	2.2	5	75	112.5	152	101.33
Egypt Cairo VVVF		25°C	750	600	0.9	9.75	300	166	43	77.7

- ① 스택의 Ls(Stray Inductance)값은 통상적으로 100nH이하로 설계한다.
- ② Ls를 측정한 결과 값이 매우 크게 확인 되었으며, 큰 Ls에 의해 IGBT 양단에 스파이크 전압이 커져 1uF의 스너버 캐패시터는 이를 억제하기 위해 설치 한 것으로 추측 된다.
- ③ 스파이크 전압을 줄이기 위해 Ls값을 줄여야 하며, Bus plate 위에 최단 거리로 스너버 캐패시터를 배치한 후 스파이크 전압 측정 결과 호전 되는 것을 확인함.

(다) 기존 인버터 스택의 Ls가 매우 크게 설계되어 전압의 피크 및 손실에 영향을 미치는 것으로 확인됨.

(라) 공진형 보조전원장치 설계시 Bus plate설계를 최적화 하여 Ls가 최소화 될 수 있도록 설계하였다.

(5) RAMS목표치 분석

(가) 광주도시철도공사 보조전원장치 고장이력 조사

① 광주도철

2015년~2017년 동안 광주도시철도공사의 보조전원장치(23개편성)의 고장이력을 조사한 결과, 총 130건의 Relevant Failure가 발생하였다. 이중에서 아래의 표와 같이 IGBT드라이버 및 제어보드에서 전체 고장중 약 80%를 차지하고 있다.

[광주도시철도공사 보조전원장치 고장 건수 및 비율]

항목	고장건수	고장비율
IGBT 드라이버유닛(PCB류)	55건	42.3%
제어유닛(PCB류)	47건	36.2%
센서류	17건	13.1%
접촉기류	9건	6.9%
반도체소자(Power단)	2건	1.5%
TCMS고장이력(이상없음)	26건	-
총 보조전원장치 고장건수	130건	100%

② 대전도철

다른 운영기관의 예로 대전도철의 경우, 총 167건의 고장이력 중 저압부 회로인 IGBT드라이버 유닛과 제어유닛의 PCB류에서 총 105건(63%)의 고장이 발생한 것을 살펴볼 수 있다. 반면 고압부인 센서류, 접촉기류 등의 고장은 총 62건으로 저압부 회로에 비해 고장률이 현저하게 떨어지는 것을 살펴볼 수 있다.

[대전도철 보조전원장치 고장 건수 및 비율]

항목	고장건수	고장비율
IGBT 드라이버유닛(PCB류)	53건	32%
제어유닛(PCB류)	52건	31%
센서류	34건	20%
접촉기류	18건	11%
기타	10건	6%
총 보조전원장치 고장건수	167건	100%

(나) 공진형 보조전원장치 시스템 신뢰도 목표치 설정

항목	값
편성수	23편성
평균운행거리<1일>	150km
기존 보조전원장치 개수<편성>	2대
기존 보조전원장치 운행거리<전체편성>	6,624,750km
기존 보조전원장치 고장횟수	130회
광주도철 표정속도	32km/h
기존 보조전원장치 신뢰도(MKBCF)	50,960[km/Failure]
공진형 보조전원장치 신뢰도 목표설정(MKBCF)	55,000[km/Failure] ※ 기존대비 10% 향상



기존 기반 신뢰도
(MKBCF) 도출

시스템 목표 MTBCF

1718.75 [시간/Failure]

※ MKBCF(Mean Kilometer Between Component Failure)
 ※ MTBCF(Mean Time Between Component Failure)

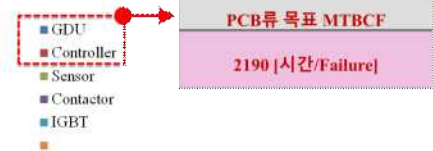
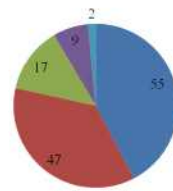
[공진형 보조전원장치 시스템 신뢰도 목표치 설정]

광주도철의 차량에서 현차시험을 진행할 예정임에 따라 광주도철의 고장이력을 기반으로 개발하는 공진형 보조전원장치 시스템 신뢰도 목표치를 설정하였다. 현재 광주도시철도공사 보조전원장치의 시스템 측면의 신뢰도는 50,960[km/Failure] 및 1593[시간/Failure]이다.

따라서 기존대비 10% 향상된 공진형 보조전원장치 시스템 신뢰도는 55,000[km/Failure] 및 1718.75[시간/Failure]이며 이를 본 과업을 통해 달성해야 할 공진형 보조전원장치 시스템 신뢰도 목표치로 설정하였다.

(다) 구성품 단위 신뢰도 목표치 설정

항목	고장건수	고장비율
GDU	55건	42.3%
Controller	47건	36.2%
Sensor	17건	13.1%
Contactactor	9건	6.9%
IGBT	2건	1.5%
시스템(합계)	130건	100%

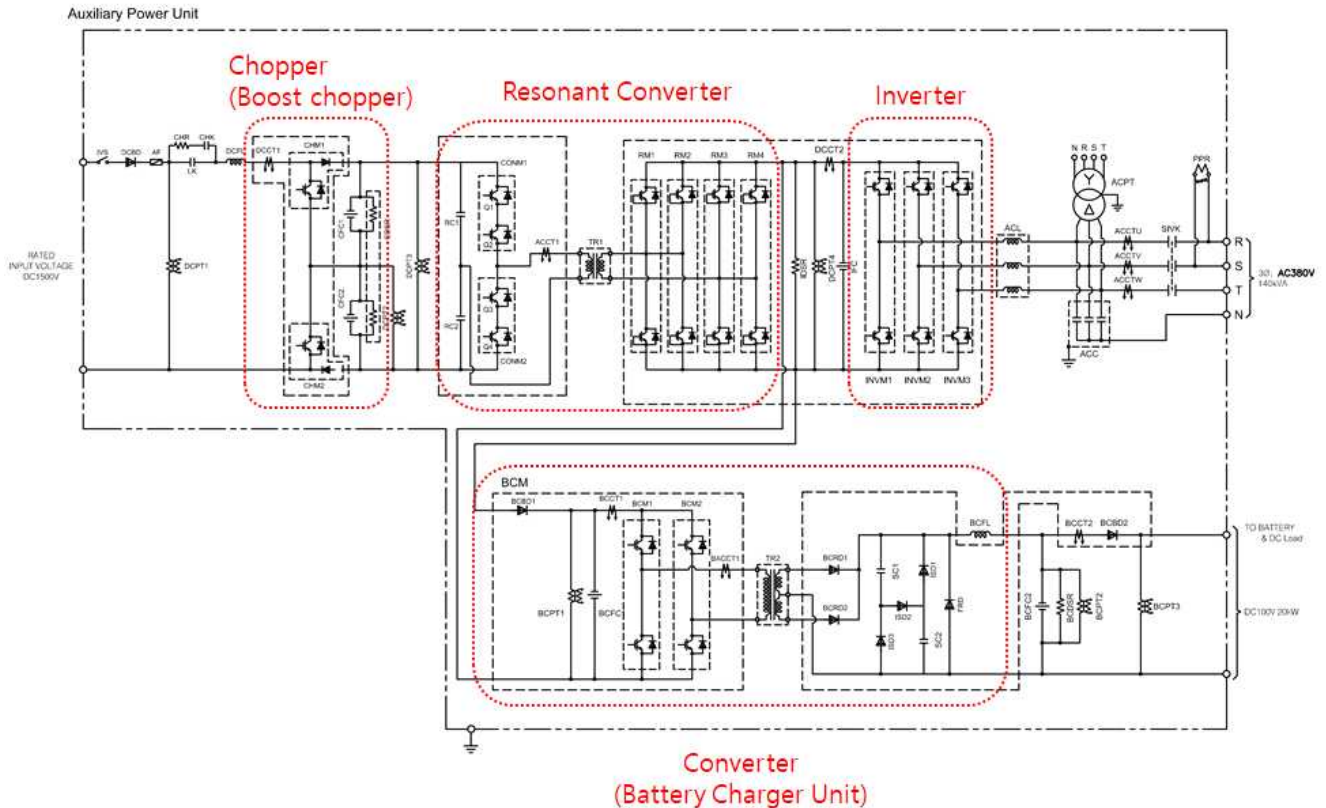


[공진형 보조전원장치 구성품 단위 신뢰도 목표치 설정]

- ① <광주도철과 대전도철의 보조전원장치> 고장률을 살펴보면, 고압부 회로에 비해 저압부 회로에서의 고장률이 월등하게 높으므로, 보조전원장치의 수명관점에서 가장 중요하고 많은 영향을 미치는 부분은 IGBT 드라이버 유닛과 제어유닛의 PCB류(저압부회로)임을 알 수 있다.
- ② 기존대비 10%향상된 55,000[km/Failure]/1718.75[시간/Failure]의 공진형 보조전원장치 전체 시스템 신뢰도 목표치에 기존 고장비율을 적용하여, 구성품 단위로 신뢰도 목표치를 할당하였다.
- ③ 전체 시스템 신뢰도 목표치를 달성하기 위해, 전체 고장 중 약 80%를 차지하는 PCB류(IGBT드라이버와 제어보드)에 총 70,064 [km/Failure](=2,190 [시간/Failure])의 신뢰도 목표치를 설정하였다.

나. 공진형 보조전원장치 설계

(1) 주회로 설계



[공진형 보조전원장치 주회로도]

(가) 쇼퍼부(Chopper)

- ① 기본적인 승압형(Boost) 컨버터를 직렬로 연결한 더블 쇼퍼 방식을 채용 하고 있다.
- ② 열차의 역행 및 회생으로 인해 가변적으로 유입되는 가선 전압을 일정전압으로 제어 하여 시스템의 안정성을 확보 한다.
- ③ 쇼퍼 출력은 1,700V ~ 1,800V로 제어 하며, 그 이상의 전압 유지 시 그대로 전달 한다.

(나) 공진형 컨버터부(Resonant Converter)

- ① 하프 브릿지(Half Bridge)형태의 회로로 구성 하프 브릿지에서 만들어진 전압을 변압기를 통해 전력전달 된 전압은 다이오드 정류기(Diode Rectifier)를 통해 DC로 정류 된다.
- ② 공진형 컨버터는 쇼퍼에서 출력된 전압을 3상 전압을 만들어주기 위한 전압으로 강하 하고, 고전압(가선전압)과 저전압(3상AC전압)의 절연을 위해 사용 된다.
- ③ 스위칭 손실을 최소화하기 위해 LC공진을 이용한 ZVS(Zero Voltage Switching), ZCS(Zero Current Switching)방식이 사용 된다.

(다) 인버터(Inverter)

- ① 회로는 2 Level의 PWM 전압형 인버터 방식이며, 3상 AC전압을 만들기 위한 장치이다.
- ② 공진형 컨버터의 출력(DC)를 받아 왜율을 최소화하기 위해 고속 스위칭 하여 3상을 만들고, 이는 출력 ACL(AC Reactor)와 ACC(AC Filter Capacitor)를 통해 필터링 되어 정현파로 출력을 내보내 열차 내 부하에 전원을 공급 한다.

(라) Converter(Battery Charger Unit)

- ① 풀 브릿지 방식의 회로 방식이며, 제어 방법은 위상을 가변 하여 전력을 전달하는 위상천이 방식으로 출력전압을 제어한다.
- ② 각종 수동소자(변압기, 리액터)들의 사이즈 최소화, 출력 DC 리플을 최소화하기 위해 고속 스위칭 방식을 사용 하고 있다.
- ③ 이는 차량 내 출력 DC 부하 및 배터리 충전을 위해 사용 된다.
- ④ 광주도시철도공사 요구사항에 맞추어 전력변환회로를 설계하고 내부 구성품 사양을 선정하였다. 내부 구성품은 크게 입력 쇼퍼, 공진형 컨버터, 인버터 및 DC출력 회로로 구성되어있다.

(2) 부품 선정

(가) IVS(Inverter Switch)

IVS는 정격 용량의 150% 부하율과 1.2배의 여유를 고려하여 전류용량을 산정한다.

최대 정격 전류 용량은 177A 이므로 320A 이상의 제품을 사용 한다.

다만, 사용되는 부하 중 에어컨 팬, Compressor, Main Compressor 등 모터 부하에 대해 기동 전류를 감안해야 하므로 최대 1.25배의 여유를 고려하여 400[A] 이상의 제품을 선정 한다.

선정 : Knife Switch (2000V / 400A)

(나) DCBD(DC Blocking Diode)

DCBD는 이션이 발생할 경우, 추진 인버터 등의 타 부하에 의해 보조전원장치의 Filter Capacitor에 저장된 에너지가 역으로 흘러 FUSE 나 IGBT의 소손우려가 있다.

Diode는 최대전압(1,900V) 1.2배 이상의 제품을 선정하며 전류는 400A 이상을 선정 한다.

선정 : DD500S33HE3 (3,300V / 500A)

(다) AF(APU Fuse)

FUSE를 통하여 흐르는 전류는 위의 최대 정격 전류 용량을 고려하여 선정 한다.

정격 전류 용량은 위의 식에서 177A에서 1.5배의 여유를 고려하여 266A 이상 급 FUSE를 선정 한다.

또한, 이선 후 재투입 등의 특수 상황에 대한 전류 값이 FUSE 수명에 영향을 주지 않도록 선정해야 한다.

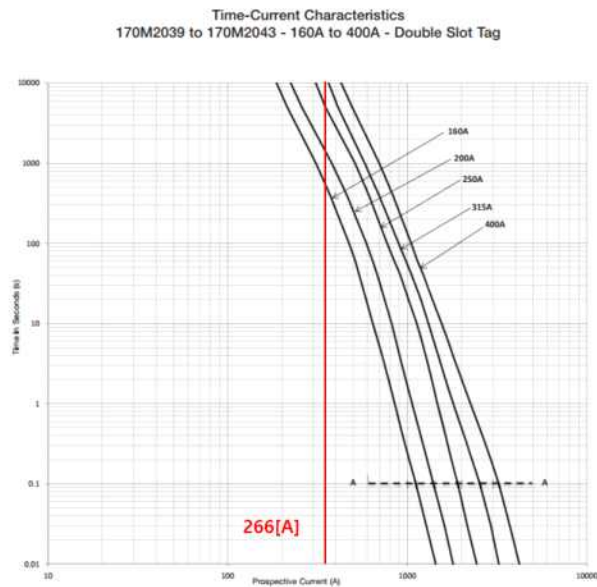


그림 2. Fuse의 시간-전류 특성 그래프

선정 : 170M2042 (2,000V / 315A)

(라) CHR(Charging Resistor)

초기 충전저항(CHR)은 DC 입력에 연결 되는 Filter Capacitor와의 시정수가 3초가 되도록 저항을 선정, 입력단 캐패시터는 3mF 으로 구성되어 있어 시정수 3초가 되기 위한 저항은 500ohm이다.

이때 저항에서 소모되는 에너지는 캐패시터에 충전되는 에너지와 같으므로 에너지는 약 3,300J이다. CHR은 단시간 적용되는 저항이므로 저항 용량은 시정수 동안 소모되는 에너지와 같게 전체 용량을 3.3kW으로 선정 한다.

선정 : MCRF-1500W-N-1000 ohm J (1,500W / 1,000 ohm : 2 병렬)

(마) LK(Line Contactor), CHK(Charge Contactor)

Contactor는 ON 상태에서의 최대 전류를 고려하여 선정한다.

CHK에 흐르는 최대 전류는 최대 입력전압(1,900V)과 CHR(500ohm)에 따라 3.8A 이며, LK에 흐르는 최대 전류는 150% 부하율 과 1.2배의 여유를 고려하면 320A 이다.

선정 : (LK) CGC02040A1ED10W (2,000V / 400A)

선정 : (CHK) LTCS250 (2,000V / 250A)

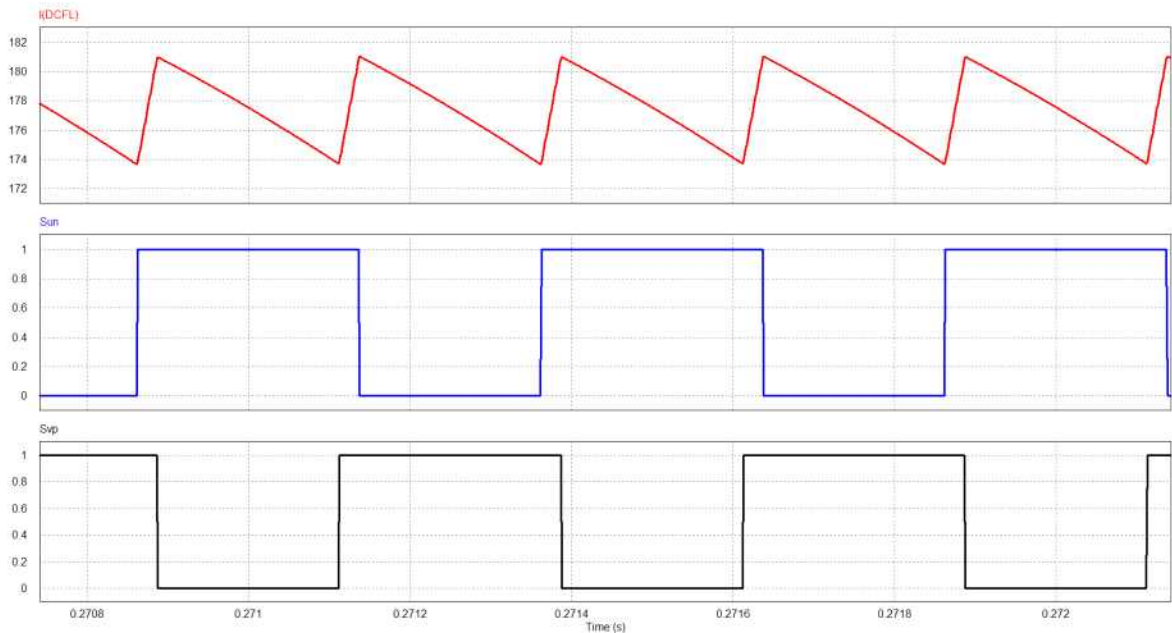
(바) DCFL(DC Filter Reactor)

DCFL은 가선 전압강하가 발생을 하였을 때 출력 전압을 Boost 하기 위한 사용과 가선의 이선 상황 시 발생할 수 있는 돌입전류의 제한의 용도로 사용되어 진다.

입력전류의 변동률을 20%로 제한하며, 입력전압 900V, 출력전압 1800V로 하여 인덕턴스 값을 계산 하고, 전류는 최대 흐르는 전류의 값으로 선정한다.

상/하단 스위치는 180도 위상차로 주파수 2kHz 스위칭을 한다. 따라서 DCFL의 리플 전류는 4kHz이다. 입력전압 900[V]에서 Duty는 50% 이다. 수식은 아래와 같다.

(단, 입력전압이 900V의 전압에서 과부하를 적용하지 아니한 조건으로 한다.)



[입력 전압 900[V]에서의 DCFL 전류 및 상/하단 PWM 시뮬레이션 파형]

위의 그림은 위에서 계산된 L 값을 적용한 시뮬레이션 결과이다.

따라서, DCFL은 3mH, 177A 이상으로 선정 한다.

선정 : Inductance : 3mH, Rated Current : 177A, V_iso : 5,400V, f_sw : 4kHz

(사) CFC1,2(Chopper Filter Capacitor1,2)

Boost Chopper의 출력전압을 평활하게 만드는 용도로 사용되며 공진형 컨버터의 입력 전압을 공급 하는 부분 이다.

입력전압 900V, 출력전압 1,800V에서 출력 전압의 변동은 $\Delta 9V$ 로 제한한다. 전압의 변동은 $\Delta 9V$ 로 제한하기 위하여 캐패시터의 용량은 3mF이상으로 하고 리플 전류를 고려하여 캐패시터를 선정한다.

선정 : DC4213M1 (1,100V / 420uF), LNK-P5Y-1300-220 (2,200V / 1,300uF)

(아) CHM1,2(Chopper IGBT Module)

Boost Chopper의 정격 전류는 아래 수식과 같이 계산 된다.

부스트 초퍼의 IGBT의 전류 여유 1.2배와 리플을 고려하여 340A이상의 제품을 선정한다. IGBT 전압사양은 전압변동률과 고려하여 1,500V 이상으로 선정한다.

선정 : 1,700V / 650A 급

(자) CONM1,2 (Converter IGBT Module)

공진형 컨버터의 구조는 하프 브릿지(Half Bridge) 컨버터로 구성 되어 있다. 공진형 컨버터의 IGBT의 전류는 전체 출력에너지와 효율, 과부하를 고려하여 320A 이상의 제품을 선정하며, 전압은 전압변동률을 고려하여 1400V 이상의 IGBT를 선정한다.

선정 : 1,700V / 650A 급

(차) RC1,2 (Resonant Capacitor1,2)

공진형 컨버터의 최대 효율점에서 운영하기 위해 L-C 공진주파수 와 스위칭 주파수를 동일하게 하여, ZVS(Zero Voltage Switch), ZCS(Zero Current Switch)동작이 가능 하도록 설계한다.

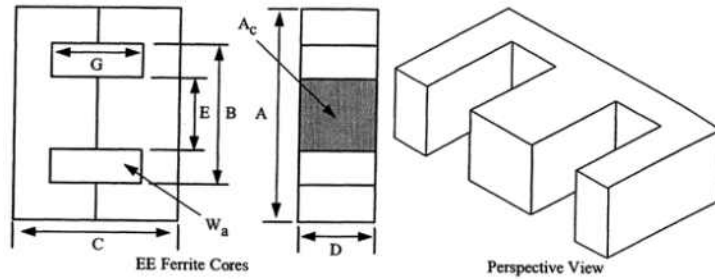
공진형 컨버터의 스위칭 주파수는 8[kHz]로 선정하며 TR1의 Leakage Inductance의 값은 10uH로 선정 하여 설계한다. 공진 주파수를 8kHz가 되기 위해 공진 캐패시터 값은 39uF이다.

안정적인 ZCS, ZVS동작을 위하여 공진 주파수는 8kHz보다 다소 높아야 하며, C값을 조금 낮게 선정 하여 공진 주파수를 높이도록 한다. 전압 사양은 제품 노화 등으로 공진이 깨질 경우를 대비하여 입력 DC 전압의 두배인 1,800V 이상으로 선정 한다. 전류용량은 정격 177A에서 150% 부하율과 1.2배의 여유를 고려하면, 320A이므로 이 이상의 용량을 갖도록 구성한다.

선정 : 8uF / 2,000V / 80A : 2직렬, 3병렬

(카) TR1 (Transformer1)

트랜스포머에 사용되는 코어는 아래와 같이 U120BC를 조합하여 사용하기로 한다.



[단위 : cm]

Part No.	A	B	C	D	E	F
U120BC조합	24	18	20	4	6	14

선정 : 턴비 8:6, U120BC 코어 7적층, $V_{s101} = 5,400V$

(타) RM1,2,3,4 (Rectifier Module1,2,3,4)

RM은 단상 교류 파형을 정류하는 정류 다이오드 회로이다. TR1의 1차측 구형파 전압은 턴비에 비례하여 2차 측에 출력되고 1차 측 정현파 전류는 턴비에 반비례하여 2차측에 출력 된다. RM 모듈의 전압은 TR1 2차 측 전압(670V)의 절반과 여유를 고려하여 880V 이상의 제품을 선정하며, 전류는 전체 용량, 과부하율, 효율과 역률을 고려하여 420A 급 이상의 제품을 선정한다.

다만, 공진형 컨버터의 공진주파수 변화에 따라 불연속 전류가 흐를 수 있기 때문에 전류에 충분한 마진을 갖도록 한다.

선정 : 1200V / 450A 2병렬 사용

(파) IFC (Inverter Filter Capacitor)

IFC는 RM을 통해 정류된 전압을 평활화 시키는 역할을 한다.

전압 670[V] 전압의 변동을 $\Delta 9V$ 로 제한하기 위하여 1.4mF이상의 제품을 선정하며 리플전류의 경우 208A가 넘는 부품을 선정해야한다.

선정 : 1,100V / 420uF 80A 5병렬

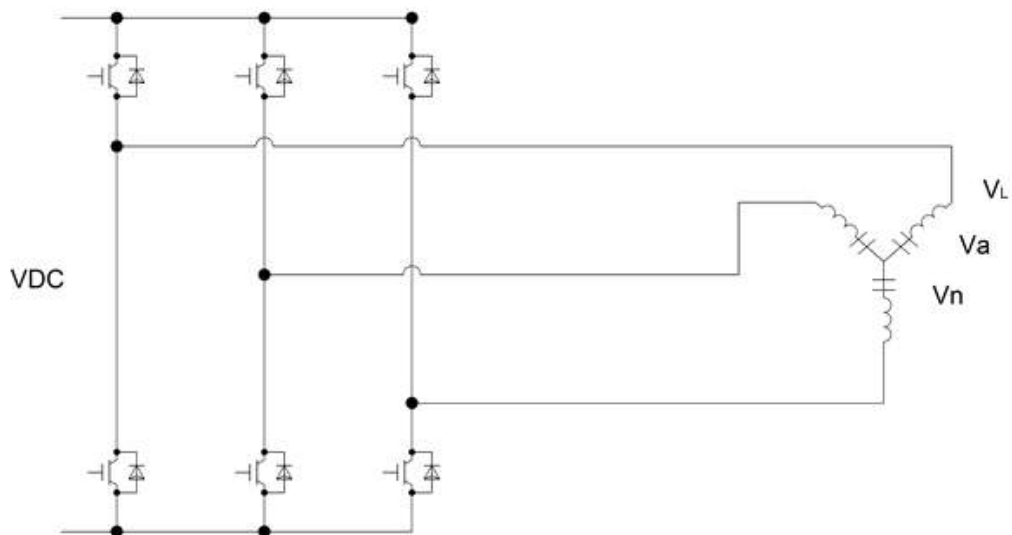
(하) INVM1,2,3 (Inverter IGBT Module)

IGBT에 흐르는 전류, 전압은 3상 용량, 과부하율, 효율, 역률을 고려하여 560A, 984V 이상의 IGBT를 선정한다.

선정 : 1200V / 900A

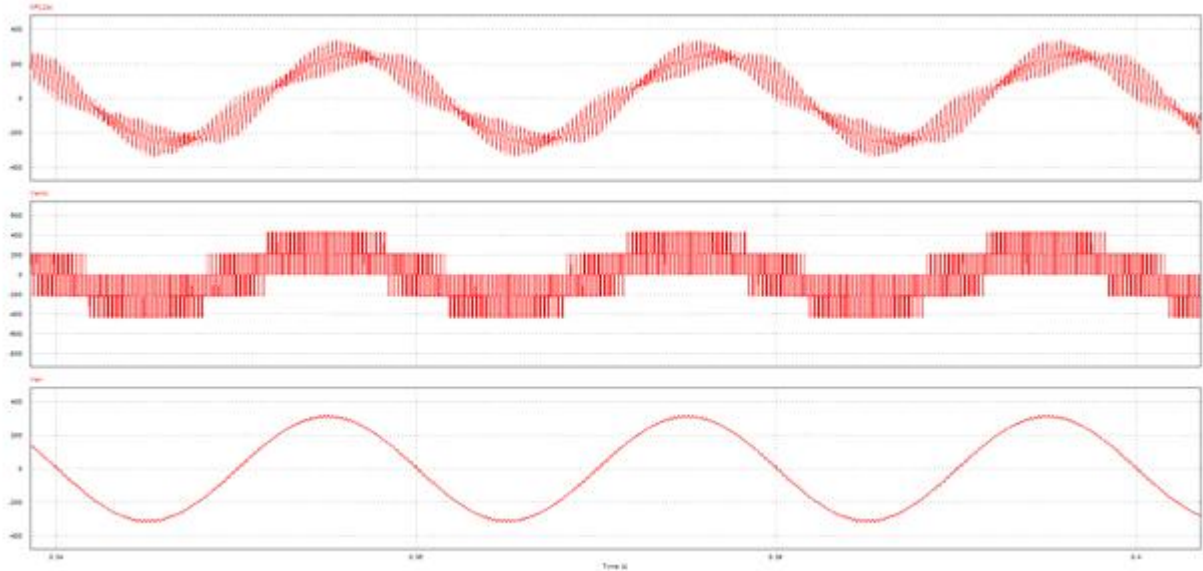
(거) ACL, ACC (AC Reactor, AC Filter Capacitor)

ACL은 인버터 출력의 전류를 평활화 하며, L에 흐르는 전류는 아래 그림에서 L에 흐르는 전압 V_{La} 에 의해 결정 된다.



V_{La} 는 $V_{La} = V_{Ln} - V_{an}$ 으로 되고,

6개의 스위치 상태에 따라 $V_{Ln} = \left\{ \frac{2}{3} V_{DC}, \frac{1}{3} V_{DC}, 0, -\frac{2}{3} V_{DC}, -\frac{1}{3} V_{DC} \right\}$ 를 갖는다.



L에 가장 작은 전압이 걸리는 경우 $V_{Ln} = 0$, $V_{an} = 310[V]$ 로 최대값을 가질 때이며, 가장 큰 전압이 걸리는 경우는 $V_{Ln} = 0$, $V_{an} = -310[V]$ 로 최소값을 가질 때이다.

이와 같은 상황의 최대 지속 시간은 V_{an} 을 형성하는 비교 파형이 최대(최소)듀티를 내는 구간에 존재하므로 나머지 두 파형은 반대 부호로 1/2 지점 이고, 듀티는 0.25가 된다. 따라서 인버터의 스위칭 주기는 250usec(4kHz)이므로 리플 전류의 최대 시간은 62.5usec이다. 이때의 리플 전류를 200A 수준으로 설계하면 96.8uH 이상의 인덕턴스를 선정하여야 한다. 따라서 ACL의 인덕턴스는 100uH로 선정한다. ACC는 60Hz의 파형 왜율을 개선하도록 선정된 ACL 값을 고려 하여 설계한다.

설계하는 인버터의 스위칭 주파수는 4kHz이고 최저 고조파는 4kHz이다. 필터를 구성하기 위해 Cut-off 주파수를 스위칭 주파수의 20%인 800Hz로 설계 하면, 약 $C_{ACC} = 400[uF]$ 이며, 400uF 이상의 용량을 갖는 캐패시터를 선정한다. 한편, ACC에 흐르는 전류는 ACL에 흐르는 리플 성분을 통과시키는 역할을 하며, ACL에 흐르는 최대 리플 전류는 200[Apeak-peak]이므로, ACC의 전류 RMS는 여유 1.2배를 고려하여 69.3A 이상의 제품을 선정한다.

선정 : ACL (245A / 100uH)

선정 : ACC (400uF / 420Vac / 80A)

(너) OUTK (Output Contactor)

3상 부하의 용량은 140kVA이므로 정격 선간 전압에서의 전류는 150% 과부하를 고려하여 320A 이상의 제품을 선정한다.

선정 : AF370B-30-22RT-12 (3Pole / 370A)

(더) TR2 (Transformer2)

Battery Charger 컨버터의 입력측 전압이 670V일 경우, 2차 측의 Battery Charger 출력 전압이 100V의 경우, 출력 듀티 최대치를 0.8로 설정 하여, 턴비는 9:2가 타당하다.

1차 측 턴수는 18턴이 될 경우, 2차측 4턴으로 제작하기 용이하며, 이때의 자속밀도 변화량은 0.2~0.3T를 만족하는 제품으로 선정한다.

선정 : 단상 / 20kW / 18:4

(러) BCFL, BCFC2 (Battery Charger Filter Reactor, Battery Charger Filter Capacitor2)

BCFL 인덕턴스 값은 I_L 전류의 리플을 결정하는 수동 소자 이다. BCFL에 흐르는 전류의 리플을 20.4A(peak-peak) 즉, 출력 전류(300A)의 6.8%이하 전류로 선정하고, BCFL의 인덕턴스는 50uH이상으로 선정한다.

출력 전압, 전류는 앞서 선정한 BCFL과 BCFC에 의한 필터로 작용하는 동시에 출력전압 리플에도 영향을 준다. 차단 주파수 $f_{cut-off}$ 가 낮게 설정 될 경우 출력 전압, 전류제어의 응답을 느리게 하는 요인으로 작용 될 수 있다.

또한 출력전압 리플은 1%이하여야 하므로, BCFC값은 제어 응답에 영향을 주지 않으며, 출력전압 리플 1% 이하가 되도록 선정되어야 한다.

전류제어기 Bandwidth를 800Hz로 선정하게 되면, L값은 50uH로 정하였으므로, BCFC값은 약 680uF으로 선정할 수 있다. 캐패시터에서는 I_L 에 리플에 대한 전류만 흐르게 되며, 캐패시터에 흐르는 전류 실효값(I_{C_s})은 5A, 여유 2배를 고려하여 10A 급 이상의 제품으로 선정한다.

선정 : BCFL (50uH / 300A)

선정 : BCFC2 (1080uF / 600V / 60Arms)

(머) BCB1,2 (Battery Charger Blocking Diode 1,2)

BCBD는 APU 배터리 차저 단락이나 유도성 DC 부하로 인해 회로 내부로 전류가 유입되는 것을 방지 한다. 정격 DC 전류의 피크값은 200[A]이며, 1.2배 여유를 고려하여 450[A]이상의 용량이 되도록 제품을 선정한다. 열 손실이 크므로 방열에 효과적인 모듈의 넓이도 고려되어야 한다. 전압 사양은 배터리 최대 전압 2배 이상이 되는 제품으로 선정한다.

선정 : 1,200V / 600A

(버) BCFC1 (Battery Charger Filter Capacitor1)

BCFC1는 Battery Charger가 스위칭 시, 입력전압의 안정화를 위해 사용 된다.

전압 670[V] 전압의 변동율을 $\Delta 9V$ 로 제한하기 위해 165uF이상의 캐패시터 용량을 갖고, 리플전류(30A)가 넘는 부품으로 선정한다.

선정 : 1,100V / 420uF 80A 2병렬

(서) BCM (Battery Charger Module)

BCM은 입력 DC전압을 구형파 AC전압으로 변환하는 모듈이며, 변압기를 통해 2차측으로 전압을 전달한다. 특성은 IGBT의 Turn-on 시간 및 off 시간을 가변하는 방식이 아닌 위상을 변화하여 그에 맞는 유효 Duty를 가변하는 방식이다.

입력전압은 670V이며, IGBT의 흐르는 전류는 코일전류, 리플전류, 유효 Duty를 고려하여 105A이상의 제품으로 선정한다.

통상 IGBT에 흐르는 전류의 2배, IGBT의 전압내량은 입력전압의 2배 이상의 제품을 선정한다.

선정 : 1200V / 450A

(어) BCRM (Battery Charger Rectifier Module)

BCRM은 1차측으로부터 생성된 구형파 AC전압을 변압기를 거쳐 2차측으로 넘어온 구형파 AC전압을 정류하여 DC구형파로 만들어 주기 위한 모듈이며, 특성은 변압기를 CenterTap방식으로 설계하여 4개의 Diode가 아닌 2개의 Diode를 사용하여 전과 정류를 하도록 설계 하였다. Diode에 흐르는 전류는 코일전류와 리플전류를 고려하여 472A 이상의 제품을 선정한다.

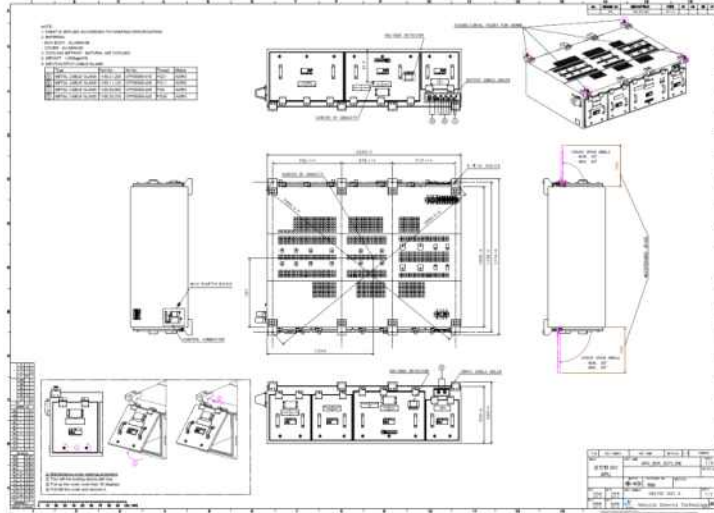
Battery Charger의 경우 과부하 내량에 관한 사양이 없으므로, 전류의 경우 여유 1.5배를 감안하고, IGBT의 전압내량은 1차측 전압의 동작범위가 최대 900V 일 때를 가정하면 2차측 Diode에 걸리는 전압은 600V 이다. 이에 따라 내압은 600V 이상의 제품을 선정한다.

선정 : 1200V / 450A

(3) 공진형 보조전원장치 구조설계

(가) 외함설계

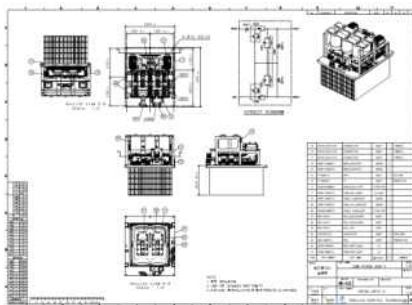
각종 전력장치 및 제어회로가 내장된 차량에 부착될 외함을 설계하였다. 외함은 광주도시철도공사 1호선 차량에 설치를 위해 100%호환가능하게 설계하였다.



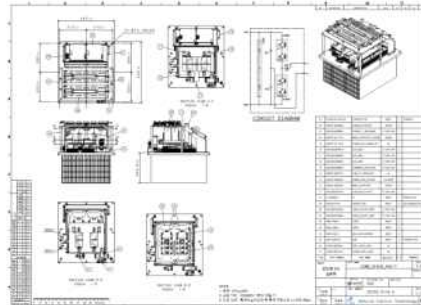
[공진형 보조전원장치 외함 도면]

(나) 스택설계

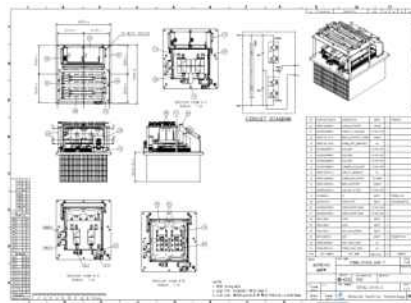
공진형 보조전원장치의 전력변환을 위한 고압 스택류로 전력소자인 IGBT, GDU(Gate Drive Unit), Heatsink로 구성되어있다.



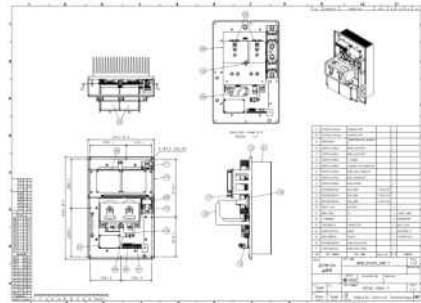
[CHM 스택 도면]



[CONM 스택 도면]



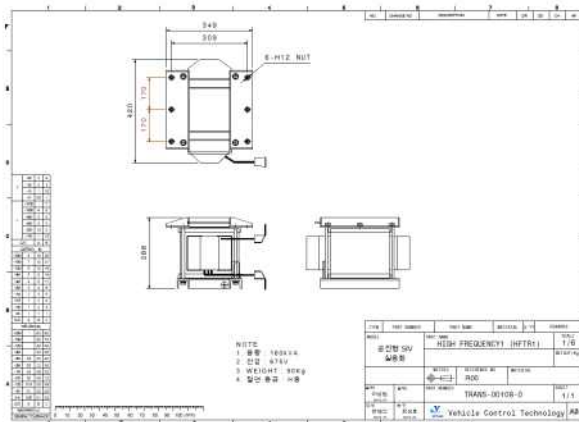
[IM 스택 도면]



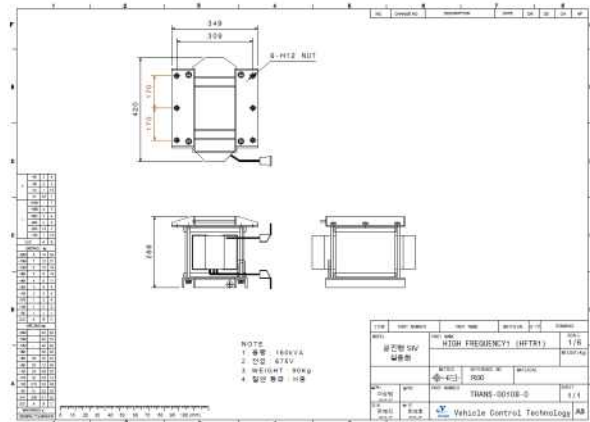
[BCM 스택도면]

(다) 코일류 설계

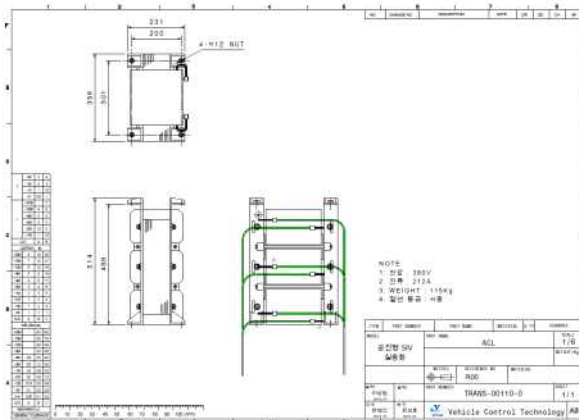
공진형 보조전원장치의 전력변화에 필요한 코일류 5종을 설계하였다.



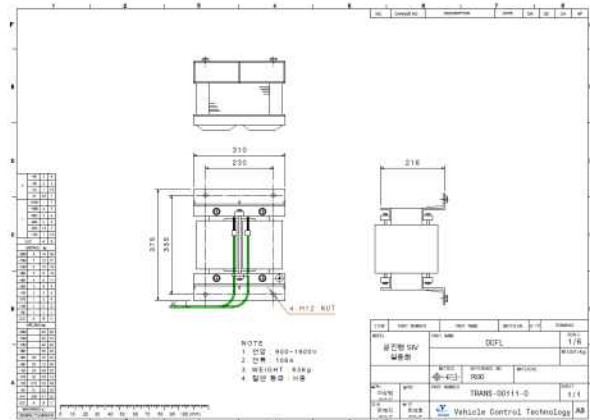
[HFTR1 도면]



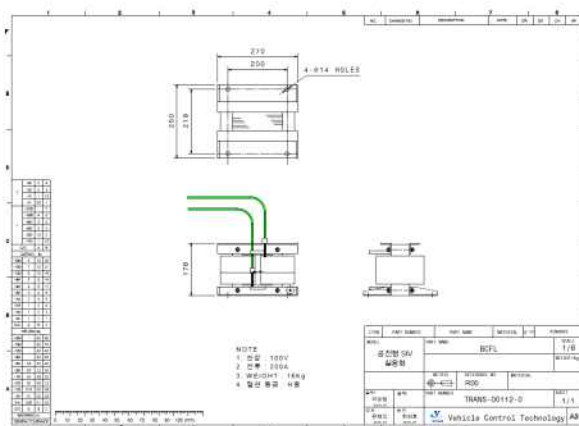
[HFTR2 도면]



[ACL 도면]



[DCFL 도면]

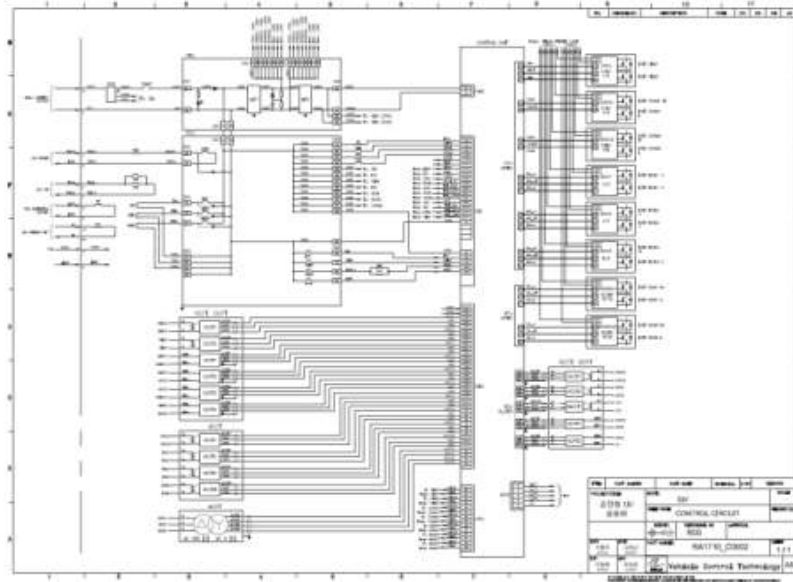


[BCFL 도면]

(4) 제어회로 구성 및 구성품 설계

(가) 제어회로 구성도 설계

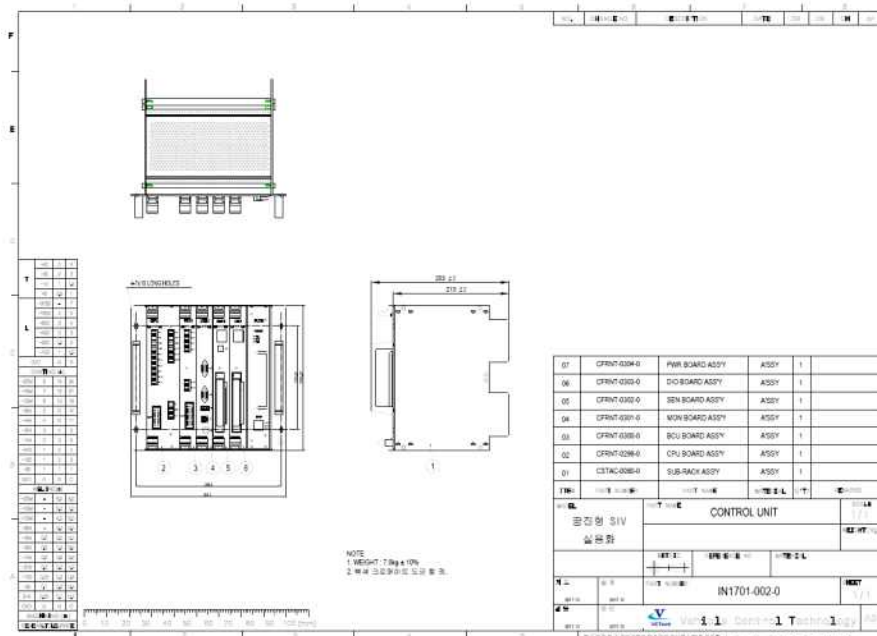
공진형 보조전원장치내 전력제어를 위한 구성품간에 인터페이스를 설계하였다. 주요 구성품으로는 제어유닛, PFU(Power Filter Unit), RELAY UNIT, 스택류가있다.



[제어회로도]

(나) 제어유닛 설계

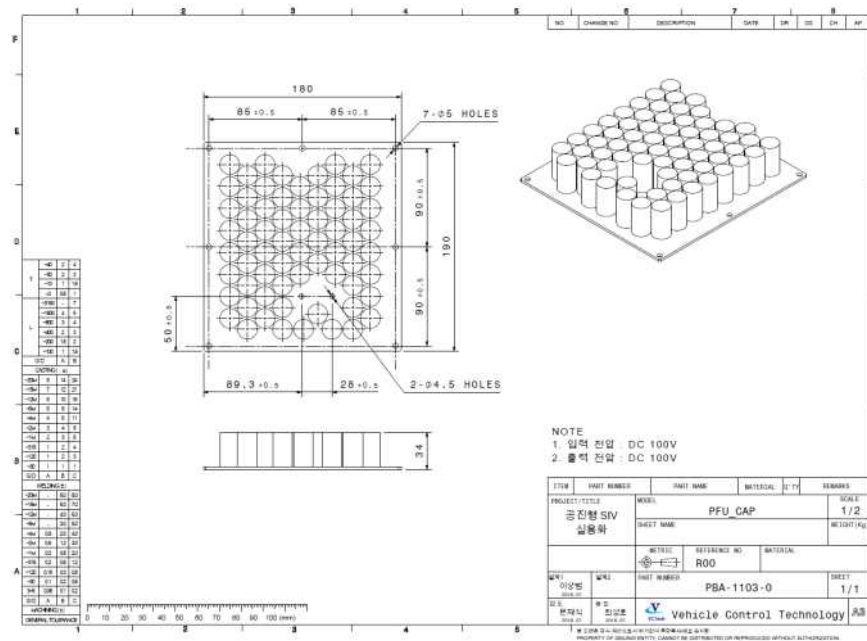
공진형 보조전원장치 전체를 제어하는 제어유닛으로 고압부인 스택과는 광 인터페이스로 연결되어 전기적으로 완전히 절연된 장치이다. 제어기능외에 TCMS와의 통신 인터페이스도 담당한다.



[제어유닛]

(다) PFU(Power Filter Unit)설계

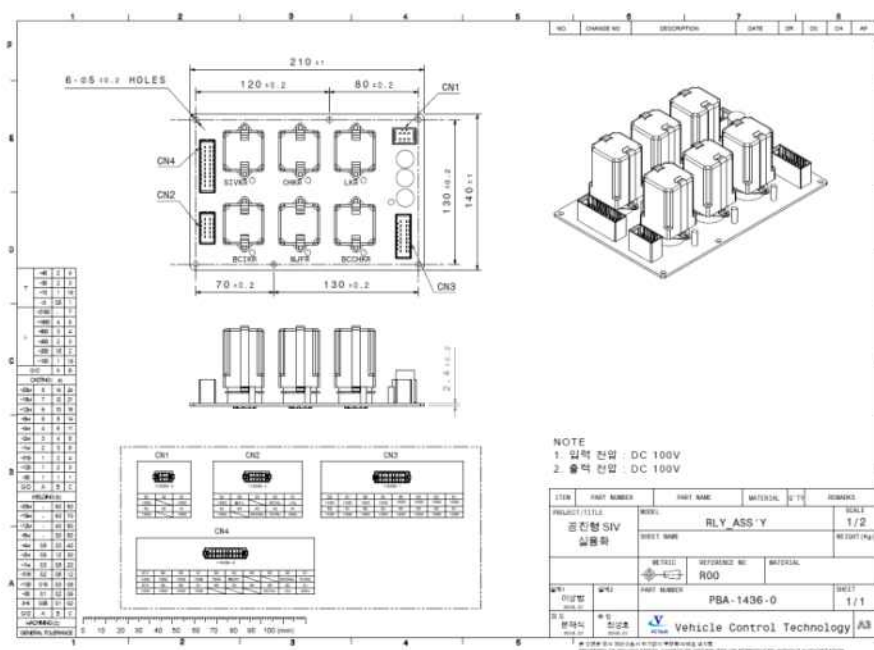
공진형 보조전원장치의 제어전원(DC100V)은 차량의 배터리 전원을 입력받는다. 해당 전원의 급변동이나 외부 노이즈에 의한 오동작 방지를 위해 제어전원 입력 필터 회로를 설계하였다.



[PFU도면]

(라) RELAY UNIT설계

RELAY UNIT은 제어유닛으로부터 신호를 입력받아 출력을 내보내는 장치로써 고압 컨택터 및 차량과의 Hardwire 인터페이스에 사용된다.



[RELAY UNIT 도면]

다. 공진형 보조전원장치 위험평가

(1) 공진형 보조전원장치 해저드 정의

[구성부품 신뢰성 평가 기준]

No	관련장치		부품 해저드	비고	
	서브장치	부품			
P1	입력 장치 (A1)	LK		접촉기 용착(과전류에 의한)	
P2		CHK		발열에 의한 코일 열화 소손	
P3		FUSE		접촉기 용착(과전류에 의한)	
P4	초퍼 컨버터 장치 (A2)	DCFL		발열에 의한 코일 열화 소손	
P5		CHM		과전압에 의한 Fuse 소손	
P6		CGDU		보조접점 소손에 의한 오검지	
P7		FC	1	절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	
P8			2	과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	
P9		CONM		과전압에 의한 소손	
P10		HGDU		발열에 의한 소손	
P11		RC		열화에 의한 소손	
P12		HFTR		절연 파괴에 의한 소손	
P13			RM		발열에 의한 소손
P14				내부 가스 방출에 의한 소손	
P15				발열에 의한 소손	
P16				내부 가스 방출에 의한 소손	
P17				과전압에 의한 소손	
P18				발열에 의한 소손	
P19				열화에 의한 소손	
P20				절연 파괴에 의한 소손	
P21				발열에 의한 소손	
P22				내부 가스 방출에 의한 소손	
P23				절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	
P24				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	
P25				과전압에 의한 소손	
P26		발열에 의한 소손			
P27	인버터 장치 불량	FC3		발열에 의한 소손	
P28		IVNM		내부 가스 방출에 의한 소손	
P29		IGDU		과전압에 의한 소손	
P30		ACL		발열에 의한 소손	
P31		ACC		열화에 의한 소손	
P32	출력 장치	OUTK		절연 파괴에 의한 소손	
P33		PPR		절연 파괴에 의한 소손	

	불량			(과전압 or 누설 전류)	
P34	축전지 충전 장치 불량	BCBD	1	과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	
P35			2	발열에 의한 소손	
P36	축전지 충전 장치	BCBD	2	내부 오일 누유에 의한 소손	
P37		BCM		접촉기 융착(과전류에 의한)	
P38		HFTR2		발열에 의한 코일 열화 소손	
P39		RCRD		내부 스프링 고장에 의한 소손	
P40	축전지 충전 장치 불량	BCFC		발열에 의한 코일 열화 소손	
P41		BCNGDU		과전압에 의한 소손	
P42				발열에 의한 소손	
P43				과전압에 의한 소손	
P44				발열에 의한 소손	
P45				과전압에 의한 소손	
P46				발열에 의한 소손	
P47				과전압에 의한 소손	
P48				발열에 의한 소손	
P49				절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	
P50				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	
P51				과전압에 의한 소손	
P52				발열에 의한 소손	
P53				발열에 의한 소손	
P54				내부 가스 방출에 의한 소손	
P55				열화에 의한 소손	
P56				절연 파괴에 의한 소손	
P57	축전지 충전 장치 불량	BCFC		발열에 의한 소손	
P58		BCNGDU		내부 가스 방출에 의한 소손	
P59	제어 장치 불량	PFU		열화에 의한 소손	
P60		Relay		절연 파괴에 의한 소손	
P61		Controller		열화에 의한 소손	
P62				내부 전해액 방출에 의한 소손	
P63				내부 스프링 고장에 의한 소손	
P64				발열에 의한 코일 열화 소손	
P65				열화에 의한 소손	
P66				절연 파괴에 의한 소손	

(2) 위험평가 파라미터 및 매트릭스 정의

(가) 해저드의 심각도 파라미터 정의

위험평가를 수행할 해저드의 심각도를 결정할 파라미터는 아래와 같이 사람 및 환경에 대한 영향과 철도서비스에 미치는 영향을 구분하여 분석한다.

[구성부품 신뢰성 평가 기준]

No	관련장치			부품 해저드	비고
	서브장치	부품			
P1	입력 장치 (A1)	LK		접촉기 용착(과전류에 의한)	
P2		CHK		발열에 의한 코일 열화 소손	
P3		FUSE		접촉기 용착(과전류에 의한)	
P4	초퍼 컨버터 장치 (A2)	DCFL		발열에 의한 코일 열화 소손	
P5		CHM		과전압에 의한 Fuse 소손	
P6		CGDU		보조접점 소손에 의한 오검지	
P7		FC	1	절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	
P8			2	과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	
P9		CONM		과전압에 의한 소손	
P10		HGDU		발열에 의한 소손	
P11		RC		열화에 의한 소손	
P12		HFTR		절연 파괴에 의한 소손	
P13		RM		발열에 의한 소손	
P14	내부 가스 방출에 의한 소손				
P15	발열에 의한 소손				
P16	내부 가스 방출에 의한 소손				
P17	과전압에 의한 소손				
P18	발열에 의한 소손				
P19	열화에 의한 소손				
P20	절연 파괴에 의한 소손				
P21	발열에 의한 소손				
P22	내부 가스 방출에 의한 소손				
P23	절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)				
P24	과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)				
P25	과전압에 의한 소손				
P26	발열에 의한 소손				
P27	인버터 장치 불량	FC3		발열에 의한 소손	
P28		IVNM		내부 가스 방출에 의한 소손	
P29		IGDU		과전압에 의한 소손	
P30		ACL		발열에 의한 소손	

P31		ACC		열화에 의한 소손	
P32	출력 장치 불량	OUTK		절연 파괴에 의한 소손	
P33		PPR		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	
P34	축전지 충전 장치 불량	BCBD	1	과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	
P35			2	발열에 의한 소손	
P36	축전지 충전 장치	BCBD	2	내부 오일 누유에 의한 소손	
P37		BCM		접촉기 용착(과전류에 의한)	
P38		HFTR2		발열에 의한 코일 열화 소손	
P39		RCRD		내부 스프링 고장에 의한 소손	
P40	축전지 충전 장치 불량	BCFC		발열에 의한 코일 열화 소손	
P41		BCNGDU		과전압에 의한 소손	
P42				발열에 의한 소손	
P43				과전압에 의한 소손	
P44				발열에 의한 소손	
P45				과전압에 의한 소손	
P46				발열에 의한 소손	
P47				과전압에 의한 소손	
P48				발열에 의한 소손	
P49				절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	
P50				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	
P51				과전압에 의한 소손	
P52				발열에 의한 소손	
P53				발열에 의한 소손	
P54				내부 가스 방출에 의한 소손	
P55				열화에 의한 소손	
P56				절연 파괴에 의한 소손	
P57	축전지 충전 장치 불량	BCFC		발열에 의한 소손	
P58		BCNGDU		내부 가스 방출에 의한 소손	
P59	제어 장치 불량	PFU		열화에 의한 소손	
P60		Relay		절연 파괴에 의한 소손	
P61		Controller		열화에 의한 소손	
P62				내부 전해액 방출에 의한 소손	
P63				내부 스프링 고장에 의한 소손	

P64				발열에 의한 코일 열화 소손	
P65				열화에 의한 소손	
P66				절연 파괴에 의한 소손	

(나) 위험평가 파라미터 및 매트릭스 정의

① 해저드 심각도 파라미터 정의

위험평가를 수행할 해저드의 심각도를 결정할 파라미터는 사람 및 환경에 대한 영향과 철도서비스에 미치는 영향을 구분하여 분석한다.

[심각도 파라미터]

분 류	수준	사람 또는 환경에 대한 결과	서비스에 대한 결과
치명적 (Catastrophic)	4	- 재난 - 다수의 심한 부상 - 환경에 대한 중요한 손상	서비스 불가
임계적 (Critical)	3	- 단일 치명적 손상 - 단일 심한 부상 - 환경에 심한 손상	주요 시스템의 상실
한계적 (Marginal)	2	- 경미한 부상 - 환경에 중요한 위협	시스템의 심한 손상
미미한 (Insignificant)	1	경미한 손상이 가능	시스템의 경미한 손상

② 해저드 발생빈도에 대한 정의

위험평가를 수행할 해저드의 발생빈도에 대한 평가 매트릭스는 아래 표와 같이 정의하였다.

[해저드 발생원인 빈도 파라미터 결정]

분 류	수준	세 부 설 명	발생빈도
빈번한 (Frequent)	6	종종 일어날 것 같음. 위험한 상태가 계속적으로 일어날 경우	≥ 100
가능성이 있는 (Probable)	5	몇 번 일어날 것 같음. 위험 상태가 종종 일어날 경우	$100 < to \leq 1$
때때로 (Occasional)	4	몇 번 일어날 것 같음. 위험 상태가 몇 번 일어날 것으로 기대되는 경우	$1 < to \leq 10^{-2}$
가능성이 희박한 (Remote)	3	시스템 수명주기에서 때때로 일어날 것 같음. 위험 상태가 합리적으로 일어날 것으로 기대되는 경우	$10^{-2} < to \leq 10^{-4}$
가능성이 없는 (Improbable)	2	가능성은 있으나 거의 일어날 것 같지 않은 경우	$10^{-4} < to \leq 10^{-6}$
존재할 수 없는 (Incredible)	1	전혀 일어날 가능성이 없는 경우	$< 10^{-6}$

③ 해저드 위험도 순위에 대한 평가

위험평가를 수행할 해저드의 위험순위에 대한 평가 파라미터는 아래 표와 같이 정의하였다.

[위험도 순위 평가 파라미터]

분 류	위험도	위험 축소/제어
Intolerable (허용할 수 없는)	4	반드시 제거되어야 한다.
Undesirable (바람직하지 않는)	3	단지 위험도 감소가 실행 불가능하고 적절히 철도기관의 동의를 가질 때는 수용하여야 한다.
Tolerable (허용할 수 있는)	2	철도기관의 적절한 통제 및 동의하에 수용할 수 있다.
Negligible (무시할 만한)	1	어떠한 동의 없이 수용할 수 있다.

④ 위험도 순위에 대한 평가

위험평가를 수행할 해저드의 위험순위에 대한 평가 파라미터는 아래 표와 같이 정의하였다.

[위험도 평가 매트릭스 결정]

빈도순위		위험도 파라미터			
Frequent	6	Undesirable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable	5	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
Occasional	4	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Intolerable
Remote	3	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
Improbable	2	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
Incredible	1	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
		1	2	3	4
		Insignificant	Marginal	Critical	Catastrophic
		고장결과와 심각도 수준			

(다) 해저드의 영향도 분석

해저드를 기반으로 각 장치에 대한 영향을 아래 표와 같이 분석하였다. 아래 표는 해저드에 의한 부품, 서브시스템 및 시스템에 대한 영향을 분석하였다. 영향평가 기준은 기능영향 없음(X), 기능축소(△)와 기능상실(○)로 구분하였다.

[해저드 원인 및 영향 분석]

No	서브 시스템	해저드		해저드 원인	고장영향			비고
					부품	구성 품	시스 템	
P1	입력 장치 (A1)	LK		접촉기 용착 (과전류에 의한)	○	○	△	
P2				발열에 의한 코일 열화 소손	○	○	△	
P3		CHK		접촉기 용착 (과전류에 의한)	○	○	△	
P4				발열에 의한 코일 열화 소손	○	○	△	
P5		FUSE		과전압에 의한 Fuse 소손	○	○	△	
P6				보조접점 소손에 의한 오검지	○	○	△	
P7	초퍼 컨버터 장치 (A2)	DCFL		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	○	○	△	
P8				과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	○	○	△	
P9		CHM		과전압에 의한 소손	○	○	△	
P10				발열에 의한 소손	○	○	△	
P11		CGDU		열화에 의한 소손	○	○	△	
P12				절연 파괴에 의한 소손	○	○	△	
P13		FC	1	발열에 의한 소손	○	○	△	
P14				내부 가스 방출에 의한 소손	○	○	△	
P15			2	발열에 의한 소손	○	○	△	
P16				내부 가스 방출에 의한 소손	○	○	△	
P17		CONM		과전압에 의한 소손	○	○	△	
P18				발열에 의한 소손	○	○	△	
P19		HGDU		열화에 의한 소손	○	○	△	
P20				절연 파괴에 의한 소손	○	○	△	
P21		RC		발열에 의한 소손	○	○	△	
P22				내부 가스 방출에 의한 소손	○	○	△	
P27		HFTR		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	○	○	△	
P28				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	○	○	△	
P29		RM		과전압에 의한 소손	○	○	△	

P30				발열에 의한 소손	○	○	△	
P31	인버터 장치 (A3)	FC3		발열에 의한 소손	○	○	△	
P32				내부 가스 방출에 의한 소손	○	○	△	
P33		IVNM		과전압에 의한 소손	○	○	△	
P34				발열에 의한 소손	○	○	△	
P35		IGDU		열화에 의한 소손	○	○	△	
P36				절연 파괴에 의한 소손	○	○	△	
P37		ACL		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	○	○	△	
P38				과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	○	○	△	
P39		ACC		발열에 의한 소손	○	○	△	
P40				내부 오일 누유에 의한 소손	○	○	△	
P41	출력 장치 (A4)	OUTK		접촉기 용착 (과전류에 의한)	○	○	△	
P42				발열에 의한 코일 열화 소손	○	○	△	
P43		PPR		내부 스프링 고장에 의한 소손	○	○	△	
P44				발열에 의한 코일 열화 소손	○	○	△	
P45	축전지 충전 장치 (A5)	BCBD	1	과전압에 의한 소손	○	○	△	
P46				발열에 의한 소손	○	○	△	
P47			2	과전압에 의한 소손	○	○	△	
P48				발열에 의한 소손	○	○	△	
P49	축전지 충전 장치 (A5)	BCBD	2	과전압에 의한 소손	○	○	△	
P50				발열에 의한 소손	○	○	△	
P51		BCM		과전압에 의한 소손	○	○	△	
P52				발열에 의한 소손	○	○	△	
P53		HFTR2		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	○	○	△	
P54				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	○	○	△	

P55		RCRD		과전압에 의한 소손	○	○	△	
P56				발열에 의한 소손	○	○	△	
P57	축전지 충전 장치 (A5)	BCFC		발열에 의한 소손	○	○	△	
P58				내부 가스 방출에 의한 소손	○	○	△	
P59		BCNG DU		열화에 의한 소손	○	○	△	
P60				절연 파괴에 의한 소손	○	○	△	
P61	제어 장치 (A6)	PFU		열화에 의한 소손	○	○	△	
P62				내부 전해액 방출에 의한 소손	○	○	△	
P63		Relay		내부 스프링 고장에 의한 소손	○	○	△	
P64				발열에 의한 코일 열화 소손	○	○	△	
P65		Control ler		열화에 의한 소손	○	○	△	
P66				절연 파괴에 의한 소손	○	○	△	

도시철도 전동차의 경우 하나의 편성에 두 개의 보조전원장치를 갖고 있어 하나의 보조전원장치의 고장이 발생하더라도 전체 차량시스템에 대하여 기능상실의 문제를 일으키지는 않는다. 다만 다른 유닛에 의해 연장급전을 받기 때문에 서비스 장치, 에어컨이나 전등과 같은 장치의 기능이 반으로 축소된다.

(라) 해저드의 위험평가

앞서 해저드의 발생영향에 대한 분석을 수행하였다. 이 절에서는 해저드의 발생빈도를 분석하여 해저드에 평가를 아래 표와 같이 수행하였다.

[해저드의 발생횟수 분석]

No	서브 시스템	고장모드 장치	고장원인	발생 빈도	심각도	위험도
P1	입력 장치 (A1)	LK	접촉기 용작 (과전류에 의한)	4	1	3
P2			발열에 의한 코일 열화 소손	4	1	3
P3		CHK	접촉기 용작 (과전류에 의한)	3	2	3
P4			발열에 의한 코일 열화 소손	3	2	3
P5		FUSE	과전압에 의한 Fuse 소손	2	2	2
P6			보조접점 소손에 의한 오검지	3	3	3
P7	초퍼 컨버터 장치 (A2)	DCFL	절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	4	4	4
P8			과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	2	4	3
P9		CHM	과전압에 의한 소손	4	4	4
P10			발열에 의한 소손	2	4	3
P11		CGDU	열화에 의한 소손	3	3	3
P12			절연 파괴에 의한 소손	3	3	3
P13		FC	발열에 의한 소손	3	3	3
P14			내부 가스 방출에 의한 소손	2	3	3
P15			발열에 의한 소손	3	3	3
P16			내부 가스 방출에 의한 소손	2	3	3
P17		CONM	과전압에 의한 소손	4	4	4
P18			발열에 의한 소손	3	4	4
P19	초퍼 컨버터 장치 (A2)	HGDU	열화에 의한 소손	3	3	3
P20			절연 파괴에 의한 소손	4	3	4
P21		RC	발열에 의한 소손	3	3	3

P22				내부 가스 방출에 의한 소손	2	3	3	
P27		HFTR		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	4	4	4	
P28				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	2	4	3	
P29		RM		과전압에 의한 소손	4	1	3	
P30				발열에 의한 소손	3	1	2	
P31	인버터 장치 (A3)	FC3		발열에 의한 소손	3	3	3	
P32				내부 가스 방출에 의한 소손	3	3	3	
P33		IVNM		과전압에 의한 소손	4	4	4	
P34				발열에 의한 소손	3	4	4	
P35		IGDU		열화에 의한 소손	3	3	3	
P36				절연 파괴에 의한 소손	3	3	3	
P37		ACL		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	3	4	4	
P38				과전류에 의한 자기 포화 (필터 기능 상실)	2	4	3	
P39		ACC		발열에 의한 소손	3	3	3	
P40				내부 오일 누유에 의한 소손	4	3	4	
P41		출력 장치 (A4)	OUTK		접촉기 용착 (과전류에 의한)	3	1	2
P42					발열에 의한 코일 열화 소손	3	1	2
P43	PPR			내부 스프링 고장에 의한 소손	2	2	2	
P44				발열에 의한 코일 열화 소손	2	2	2	
P45	축전지 충전 장치 (A5)	BCBD	1	과전압에 의한 소손	3	2	3	
P46					발열에 의한 소손	2	2	2
P47			2	과전압에 의한 소손	3	2	3	
P48					발열에 의한 소손	2	2	2
P51			BCM		과전압에 의한 소손	3	4	4

P52				발열에 의한 소손	2	4	3
P53		HFTR2		절연 파괴에 의한 소손 (과전압 or 누설 전류)	3	4	4
P54				과전류에 의한 자기 포화 (변압기 기능 상실)	2	4	3
P55		BCRD		과전압에 의한 소손	3	1	2
P56				발열에 의한 소손	2	1	2
P57		BCFC		발열에 의한 소손	2	3	3
P58				내부 가스 방출에 의한 소손	3	3	3
P59		BCNGD U		열화에 의한 소손	3	3	3
P60				절연 파괴에 의한 소손	3	3	3
P61		PFU		열화에 의한 소손	3	2	3
P62				내부 전해액 방출에 의한 소손	2	2	2
P63	제어 장치 (A6)	Relay		내부 스프링 고장에 의한 소손	3	2	3
P64				발열에 의한 코일 열화 소손	4	2	3
P65		Controll er		열화에 의한 소손	4	2	3
P66				절연 파괴에 의한 소손	3	2	3

라. 신뢰도 예측 및 가속수명시험

(1) 개요

- 본 과제에 참여 중인 광주도철의 (現)보조전원장치 고장이력 및 운행정보 조사를 통해 (現)보조전원장치의 신뢰도를 분석하였다. 이러한 신뢰도 값에 기반하여 개발하는 공진형 보조전원장치는 시스템 신뢰도는 기존 대비 10% 향상을 목표로 수립하였으며 거리기반의 신뢰도인 MKBCF는 55,000[km/Failure], 시간기반의 신뢰도인 MTBCF는 1718.75[시간/Failure]으로 산출되었다.
- 기존 보조전원장치 장치의 구성품 단위 고장비율을 적용하여, 공진형 보조전원장치 신뢰도 목표 달성을 위한 구성품(IGBT 드라이버 유닛, 제어유닛, 센서류, 접촉기류, 반도체소자) 단위별 신뢰성 목표치를 할당하였다. 이를 통해 전체 고장 가장 큰 비중을 차지하는 IGBT드라이버 유닛과 그 다음 큰 비중을 차지하는 제어유닛과 같은 PCB류에 대해 총 70,064[km/Failure](=2,190[시간/Failure])의 구성품 단위 신뢰도 목표치를 설정하였다.
- 모든 대상에 대해 가속수명시험을 통해 신뢰성 검증을 하는 것은 비용적, 효율적 측면에서 바람직하지 않음에 따라 고장률이 높은 구성품을 대상으로 한 가속수명시험이 필요하다.
- 이에 따라 공진형 보조장치는 운영기관의 기존 보조전원장치(광주, 대전)에 대한 구성품 단위고장이력분석을 통해 도출된 고장률이 높은 구성품인 PCB류를 대상으로 가속수명시험을 수행하게 되며 공진형 보조장치의 경우, 고압부와 저압부를 구분할 때 저압부가 PCB류에 해당하게 된다. (공진형 보조전원장치 저압부: 제어전원인 DC 100V 이하의 전압으로 동작하는 IGBT 구동드라이버유닛, 제어유닛, PFU, RLU의 PCB류로 구성)
- 공진형 보조전원장치 구성품에 대한 가속수명시험을 수행하기 이전 시험대상 구성품의 현재 설계 및 소자를 기반으로 고장률을 예측하였을 때 예측 고장률은 2,821[시간/Failure]이 도출되었다. 이는 PCB류에 대한 신뢰도 목표치인 2,190 [시간/Failure]를 상회하므로 예측값만 고려한 설계의 신뢰도를 평가하면 적절한 설계임을 확인하였다.
- 신뢰도 예측 이후 신뢰도 검증을 위한 가속수명시험을 설계, 수행하였으며 시험결과를 분석시 보증수명이 3,315시간(신뢰수준 99.9%)으로 산출되어 이는 PCB류에 대한 신뢰도 목표치인 2,190 [시간/Failure]를 상회한다.
- 철도차량의 보조전원장치는 차량운행 중 항상 가동되는 시스템으로서 부하변동의 요인이 계절별 운영 조건(냉/난방) 이외에는 거의 없다. 따라서 계절별 운영조건을 반영한 상태에서 보조전원장치 가동시간을 고려한 현차시험을 통해 시간기반의 신뢰도(MTBCF) 산출 및 적용이 가능하다.

(2) 신뢰도 예측

(가) 라이브러리를 통한 공진형 보조전원장치 기대수명 예측

[부품신뢰도 예측방법]

예측방법	내 용
IEEE Standard 1413	1998년 IEEE Reliability Society에 의하여 제정. 이해하기 쉽고 신뢰할 수 있는 신뢰도 예측을 위한 핵심 요구사항을 식별하고, 사용자가 예측방법을 선택하는데 충분한 정보를 제공하며, 예측 결과를 효과적으로 사용할 수 있도록 하기 위하여 개발되었음.
MIL-HDBK-217F (Part Stress Analysis)	국제적으로 민간과 군수에서 공통적으로 적용되는 미국방성이 제정한 전기·전자 부품 표준.
MIL-HDBK-217F (Parts Count Method)	MIL-HDBK-217 예측방법의 하나로, 시스템 설계 전 예측과 개념 설계시 Parts Count Method를 사용함. Part Stress Analysis보다 예측방법이 단순하고 간단함.
Bellcore TR-332	민간/통신업체에서 많이 사용되는 전기·전자통신부품 신뢰도 예측표준으로서 MIL-HDBK-217를 기초로 하여 미국 AT&T Bell연구소(현재 Telcordia Technologies로 상호변경)에서 제정하였고, MIL-HDBK-217에서 제공하는 계산식의 적용과 함께 산업현장 경험치와 필드 데이터를 반영하였음. 현재 Issue6 버전까지 나와 있으며, 통신 및 가전분야에서 활용성이 증가되고 있음. 십억시간 단위로 MTBF를 예측함.
RDF 2000/China 299B	유럽과 중국에서 사용되는 통신부품, 시스템 신뢰도 예측규격을 제공함. MIL-HDBK-217에서 유래되었으며, MIL-HDBK-217보다 간단한 예측방식을 적용.
HRD 5	British Telecom에서 개발한 것으로 통신 장비 설계자와 사용자에게 시스템 신뢰성 평가를 위한 기본적 사항을 제공함. 일반적 전자 부품들의 잠재적 고장에 대해 다루고 외부 원인에 의한 고장은 고려되어지지 않음. 관련 정보는 다수의 유럽 통신 회사들의 자료로부터 나온 것이고, 주로 France Telecom (CNET)과 Italtel(이탈리아 통신회사)에서 나온 것임.
CNET	중국도 299B라는 규격을 가지고 있는데 MIL-HDBK-217을 중국의 실정에 맞추어 개편한 것임.
PRISM	MIL-HDBK-217의 시스템 신뢰도 예측은 그 전제가 시스템을 구성하고 있는 부품들의 고장으로 결정되기 때문에 고장의 또 다른 원인인 설계 결함, 제조 결함, 부적당한 조건, 유도고장 등 비(非)전자부품적인 원인이 반영되지 못하는 단점이 있음. PRISM은 필드에서 사용되는 전자 시스템의 신뢰도를 추정하기 위해 미국의 RAC(Reliability Analysis Center)에서 위의 단점을 어느 정도 보완하여 개발한 신뢰도 예측 방법으로서 시스템에 대한 지식이 거의 없을 때인 설계 초기 단계에서 시스템의 신뢰도를 추정할 수 있음.

신뢰도 예측은 아이템(부품 또는 시스템)의 운용과 사용조건을 고려하여 고장률 또는 MTBF와 같은 신뢰성 척도의 값을 예측하는 과정으로 설계 및 개발단계에서 신뢰성 목표를 달성하기 위해 수행하는 분석 중 하나이다. 전기전자부품의 신뢰도 예측은 1956년 11월 미국의 RADC(Rome Air Development Center)에서 출간한 RAC Release TR-1100으로 출발하여 전자부품의 고장률 예측에 널리 이용되는 MIL-HDBK-217F로 발전하였다. 또한 Telcordia(구 Bellcore), British Telecom(HRD 5), French Telecom(CNET), 일본 전자기계공업회(EIAJ), RAC(PRISM) 등 여러 단체 및 회사가 신뢰도 예측의 정확도를 향상시키기 위해 규격을 제정하고 발전시키고

있으며, 최근 IEEE에서는 새로운 예측방법인 IEEE Reliability Prediction Standard 1413을 제안하고 있다. 현재까지 제안된 신뢰도 예측 방법을 요약하면 위의 표와 같다.

전기전자 시스템의 신뢰도 예측은 규정된 운용 및 사용조건에서 구성 부품의 신뢰도(고장률, MTTF)를 고려하여 시스템의 MTBF, 고장률, 가용도와 같은 신뢰성 척도들을 예측하는 과정이다.

본 과제에서는 국제적으로 민간과 군수에서 공통적으로 적용되는 미국방성이 제정한 전기전자 부품표준인 MIL-HDBK-217F기반 Relax S/W를 통해 공진형 보조전원장치의 기대수명을 예측한다.

MIL-HDBK-217F의 카테고리를 구분하고 각 카테고리별 입력요구사항을 기입하여 공진형 보조전원장치 수명예측을 수행하였다.

※ 카테고리구분: <1. 커패시터>, <2. Connection>, <3. 인덕터>, <4. Integrated Circuit>, <5. Mechanical Part>, <6. Miscellaneous>, <7. Optical Device>, <8. Relay>, <9. Resistor>, <10. Rotating Device>, <11. Semiconductor>, <12. Software>, <13. Switching Device>

(나) 공진형 보조전원장치와 구성품별 예측 고장률

[진형 보조전원장치의 예측고장률]

Level	System	Failure Rate<예측>	Level	Failure Rate<예측, 100만 시간기준>
1	공진형 보조전원장치	354.4631	1.1 제어유닛	136.7670
			1.2 드라이버유닛	145.0855
			1.3 RLY	1.2584
			1.4 PFU	27.7691
			1.5 VPT	43.5831
			목표	예측
공진형 보조전원장치의 MTBCF[시간/Failure]			1,718.75	2,821.17
※예측 MTBCF는 2,821.17[시간/Failure]이므로, 목표 MTBCF 1,718.75[시간/Failure]를 만족함.				

공진형 보조전원장치를 구성하는 부품소자들을 MIL-HDBK-217F기반 Relax S/W를 통해 기대수명을 예측해 본 결과, 100만시간 기준으로 총 354.4631의 고장이 발생할 것으로 예측되며 PCB류 예측고장률(MTBCF)은 2,821.17[시간/Failure]으로 목표치인 2,190[시간/Failure]을 약 1.3배 상회한다. 예측값만 고려한 설계의 신뢰도를 평가하면 적절한 설계임을 확인하였다.

세부적으로 <CHM, CONM, IM, BCM>을 포함하는 IGBT드라이버 유닛, <CPU, BCU, Mon, Sen, D I/O, PWR, Optic, Backplane>을 포함하는 제어유닛에서 비교적 많은 고장이 발생할 것으로 예측된다.

(3) 가속수명시험 설계

(가) 고장 메커니즘의 선정

- ① 2015년~2017년 동안 광주도철의 보조전원장치(23편성)의 고장이력을 조사한 결과, 총 130건의 Relevant Failure가 발생하였음. 이 중에서 IGBT 드라이버 및 제어 보드에서 전체 고장 중 약 80%를 차지한다
 - IGBT드라이버 유닛(보드류): 42.3%
 - 제어 유닛(보드류): 36.2%
- ② 보드류의 고장메커니즘은 전기적과부하, 정전기방전, 부식, 일렉트로 마이그레이션 등.

(나) 가속 스트레스 결정

- ① 보드류의 고장 메커니즘에 대한 스트레스 요인으로서는 온도, 전류, 전압, 전력, 진동, 습도, 오염물질 등이 있음.
- ② 상기의 스트레스 요인 중 전기전자 부품의 가장 대표적 스트레스 인자로 알려진 “온도”를 가속 인자로 결정함.(#별첨1: 고온기반 가속수명시험 검토 보고서)

(다) 가속스트레스 범위 결정

- ① 가속스트레스 범위는 운영환경(40°C)보다는 크고 동작한계(85°C)보다 작아야 함.
- ② 장치의 안정적 동작을 위해 75°C를 가속스트레스 수준으로 결정함.

(라) 가속수명시험 모형 선정

- ① 수명분포 : 지수분포로 선정함.
 - 전자부품의 고장분포는 지수분포로 근사화 가능하다.
- ② 수명-스트레스 관계 : 아레니우스 모형
 - 온도에 의한 가속수명시험법으로 가장 널리 활용된다.
 - 수명분포의 모수를 $\xi(T)$ 라 할 때, 아레니우스 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$\xi(T) = \exp[(E/k) \cdot (1/T_N - 1/T_A)]$$

※ E: 활성화에너지[eV], k: 볼츠만상수 $\leq 8.6171 \times 10^{-5}$ [eV/oC], T: 절대온도[°C]<섭씨온도+273.16>, TN: <사용조건>절대온도, TA: <가속조건>절대온도

[온도에 따른 가속계수]

활성화에너지	온도에 따른 가속계수(사용조건: 40°C)			
	65°C	70°C	75°C	80°C
0.2	1.7929717	1.911653	2.106665	2.315194
※ PCB류의 전기전자부품의 활성화에너지는 0.15~1.0이며, 보수적 관점에서 0.2로 설정함.				

- ③ 가속계수 : 2.1<활성화에너지 0.2, 사용온도 40°, 시험온도 75° 조건>

(마) 가속스트레스 시험조건 분석

① 시험조건 요약

- 75°C에서의 일정스트레스 시험
- 시료수: 7개
- 시험시간: 2,160시간 (90일×24시간/일)

② 시험방법과 판정기준

- MIL-STD-690C(Failure Rate Sampling Plans and Procedures)의 고장률 보증시험에 따라 시험 수행
- n개의 샘플을 t0 시간동안 시험을 실시하고 고장이 r개 이하이면 평균수명 Q0(또는 고장률 λ_0)를 신뢰수준 100(1- α)%로 보증한다.

③ 시험을 통한 보증 가능한 MTBCF 값 분석

[가속수명시험 시간 산출]

PCB류 신뢰도 목표치		MTBCF: 2,190[시간/Failure]		
시료수		7개		
가속수명온도		75°C		
활성화에너지		0.2[eV]		
가속계수		2.106665		
90% 신뢰도		무고장 시험시간(일)		
		341h(15일)		
고장개수 <90일, 2,160시간>	보증수명시간(일)			
	60% 신뢰도	70% 신뢰도	80% 신뢰도	90% 신뢰도
0개 고장	34,762h(1,448일)	26,456h(1,102일)	19,791h(824일)	13,833h(576일)
1개 고장	13,500h(562일)	11,193h(466일)	9,118h(379일)	7,019h(292일)
2개 고장	7,326h(305일)	6,292h(262일)	5,317h(221일)	4,274h(178일)
3개 고장	4,359h(181일)	3,822h(159일)	3,300h(137일)	2,724h(113일)
4개 고장	2,606(108일)	2,317h(96일)	2,031h (84일)<Fail>	1,707h (71일)<Fail>
5개 고장	1,446h (60일)<Fail>	1,299h (54일)<Fail>	1,151h (47일)<Fail>	981h (40일)<Fail>

7개의 시료에 해당하는 90일(2,160시간)동안 설계 된 본 가속수명시험은 90%의 신뢰도로 3개 고장까지 목표 MTBCF인 2,190[시간/Failure]를 충분히 검증가능하게 설계하였다.



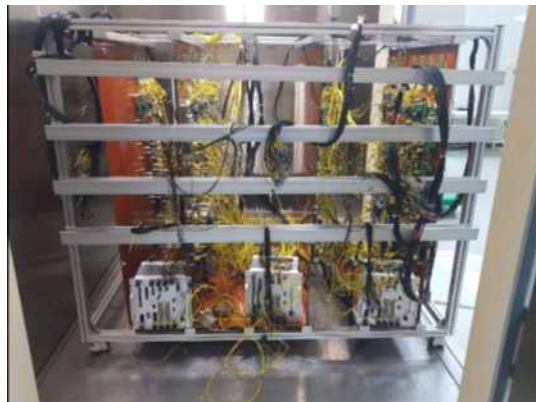
IGBT드라이버 유닛과 제어유닛에서 발생하는 고장을 분류하기 위해, 전·광보드와 광·전보드를 이용하여 각 유닛을 분리하였다.

(5) 공진형 보조전원장치 가속수명시험 수행

고장률이 보조전원장치의 전체고장 중 약 80%를 차지하는 1개의 시료 당 IGBT드라이버 유닛<CGDU회로 1개, HGDU회로 1개, IGDU회로 3개, BCNGDU 2개>과 제어유닛<CPU회로, BCU회로, Mon회로, Sen회로, D I/O회로, PWR회로, Optic회로, Backplane회로, PFU회로, RLY회로>을 포함하는 7개의 시료에 대해 90일(2,160시간) 동안 KORAS 인증기관인 (주)DT&C에서 가속수명시험을 진행하였다. (주)DC&C에서 90일 동안의 가속수명시험에 대한 고장데이터 관련 시험 성적서를 발급받았다.



[시험시료 정면사진]



[시험시료 측면사진]



[수명시험 전체 사진]



시험 성적서



(주)디티앤씨

17042 경기도 용인시 처안구 유림로 154 번길 42.(유방동)
Tel : 031-321-2664, Fax : 031-321-0220

1. 성적서 번호 : DRCREL1811-0613
2. 신청인
 - 상 호 : 한국철도기술연구원
 - 주 소 : 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)
3. 시험성적서의 용도 : 공진정보조전원장치 신뢰성평가용
4. 제품명 / 모델명 : 철도차량 공진정보조전원장치 제어기 /
공진정보조전원장치 제어기 PCB 류
5. 시험방법 : 신청자 제시
6. 시험기간 : 2018 년 08 월 16 일 ~ 2018 년 11 월 14 일
7. 시험환경 : 온 도 (25 ± 5) °C, 습 도 (45 ± 15) % R.H.
8. 시험결과 : 본문 참조

확인	시험자	기술책임자
	성 명 : 정 형 우	성 명 : 정 재 한

이 성적서는 시험의뢰인에 의해 제공된 시료에 한하며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2018 년 11 월 20 일

(주)디티앤씨 대표이사 (인)

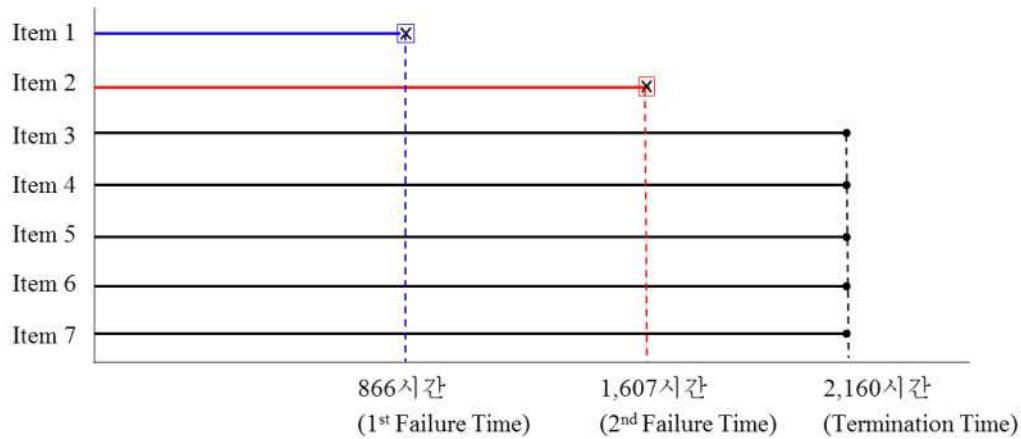


시험성적서의 진위여부에 대한 확인이 필요하신 경우에는 report@dtnc.net으로 문의 부탁드립니다.

(6) 가속수명시험 결과 및 데이터 분석

(가) 가속수명시험 결과

1개의 시료는 866시간에, 또 다른 시료는 1,607시간에 고장이 발생되었으며, 5개의 시료는 시험 종료(2,160시간)까지 고장이 발생되지 않았다.



[가속수명시험 결과]

[고장시료 분석]

고장시료			
시료 1	※고장원인: PFU회로의 전해커패시터 파손<전해물 누수> ※고장시점: 866시간에 고장발생		시료 2
			
	 b. 시험 중 기록확인 #1 (866 h 경과 후 Fault & Error) <㈜DT&C 시험성적서 참조>		
	※고장원인: HGDU회로의 GDU 코어 파손<적색 LED 점등> ※고장시점: 1,607시간에 고장발생		
			
	 c. 시험 후 기록확인 <㈜DT&C 시험성적서 참조>		

(나) 관측 데이터 분석

가속수명시험 동안 발생한 고장개수에 대해 아래와 같이 총 시험 시간을 발생한 고장개수(총 2개)를 나누어 앞에서 산정 된 가속계수(2.10)를 곱하여 구한다.

$$- \text{MTBF} = 2.10 \times (866+1607+2160+2160+2160+2160)/2 = 13,936\text{시간}$$

(다) 신뢰도 구간에 따른 보증수명 산출

- 시료수 제한 등의 문제로 인한 통계적 오류를 보정하기 위해 신뢰도 구간을 적용하였다.
- 이를 위해 사용자 관점에서의 시험의 신뢰수준을 선정하고, 각 신뢰수준별 보증수명을 산출한다.(MIL-STD- 690C 계산식 준용)

[공진형 보조전원장치의 PCB류 신뢰도 보증값]

공진형 보조전원장치 PCB류 신뢰도 목표값				
MTBCF	2,190시간			
공진형 보조전원장치 PCB류 신뢰도 보증값				
신뢰수준	99.9%	90%	70%	50%
보증 MTBCF	3,315시간	5,237시간	7,709시간	10,423시간

보증값 산출 결과 높은 신뢰수준(99.9%)에서 3,315 시간으로 예측된다..

※ 신뢰수준 99.9%는 보증수명이 3,315시간을 초과할 확률이 99.9%를 의미한다.

(라) 분석 결과

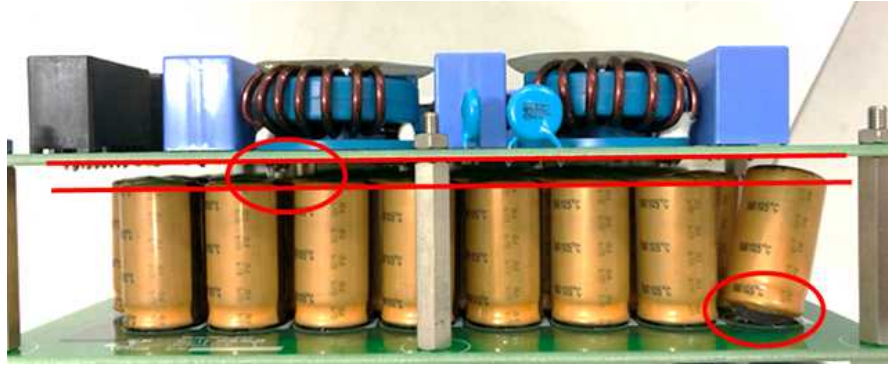
가속수명시험의 결과는 높은 수준의 신뢰수준 99.9%를 적용하여도 보증수명이 3,315시간으로 예측된다. 따라서 (주)브이씨텍에서 개발된 공진형 보조전원장치의 PCB류의 신뢰도는 제시된 목표치(MTBCF: 2,190시간/Failure)를 달성하였다고 판단된다.

(7) 보완 설계

가속 수명시험을 통해 취약점이 파악된 장치에 대해 원인 검토 및 보완 설계하여 최종 시제품 제작에 반영하였다.

(가) PFU(Power Filter Unit)보완 설계

① 소손 보드 검토



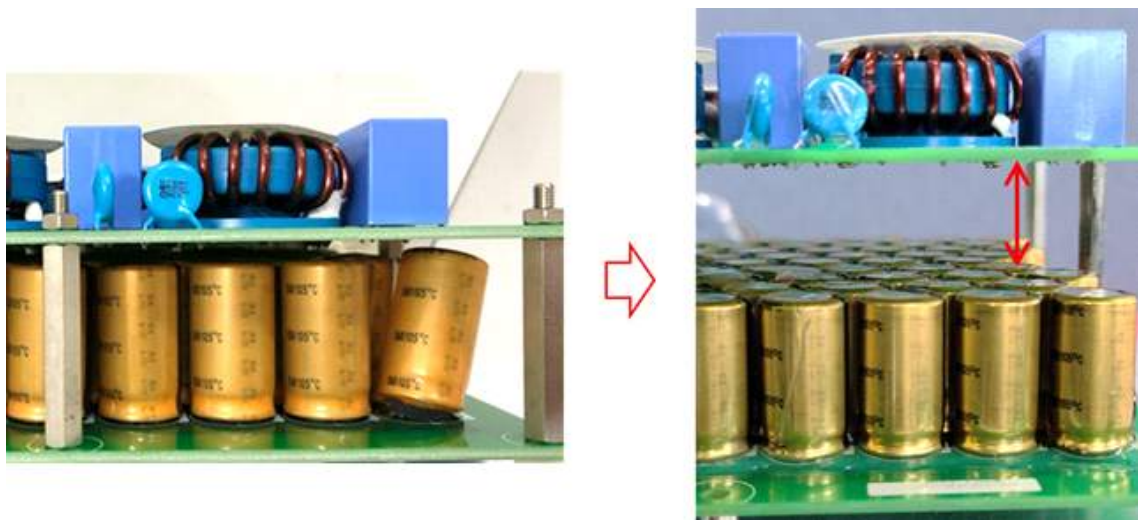
[소손 보드 사진]

② 원인

필터보드와 캐패시터 보드의 간격이 가깝고, 필터보드의 Common Mode Choke Coil의 리드의 길이가 높아 캐패시터 보드의 전해 캐패시터의 케이스와 절연거리가 확보되지 못하여 전해 캐패시터의 절연이 파괴되었고 그로인해 소손이 된 것으로 확인됨.

③ 개선 설계

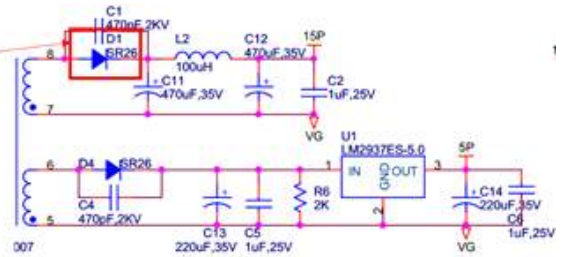
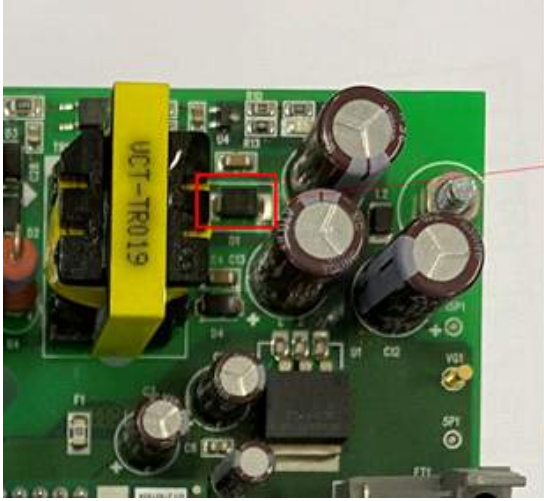
서포트 높이를 높임으로써 부품간의 절연거리를 확보하였다.



[개선 전/후 비교사진]

(나) GDU(Gate Drive Unit) 보완 설계

① 소손 보드 검토

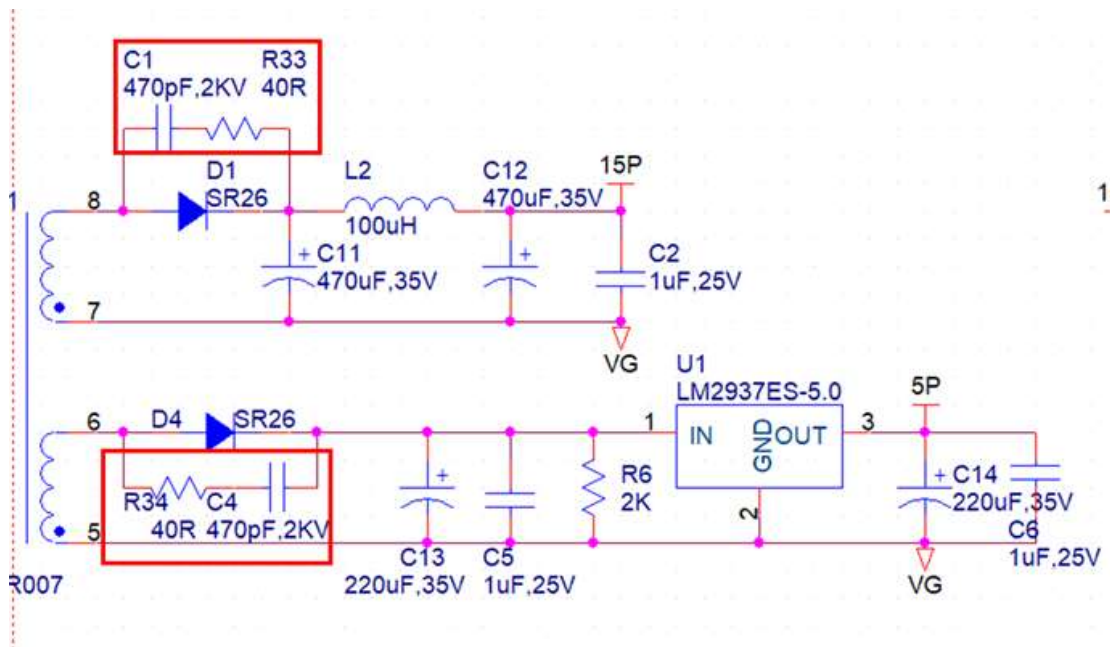


[소손 보드 사진 및 회로]

② 수명가속시중 온도가 상승됨에 따라 GDU내부의 전원장치의 Transformer와 Diode의 특성 변경으로 인해 Surge에 의해 다이오드 소손이 발생함. 2차측 다이오드의 Turn off 서지 방지를 위해 단일 캐패시터 회로에서 R-C직렬 스너버로 변경 설계함.

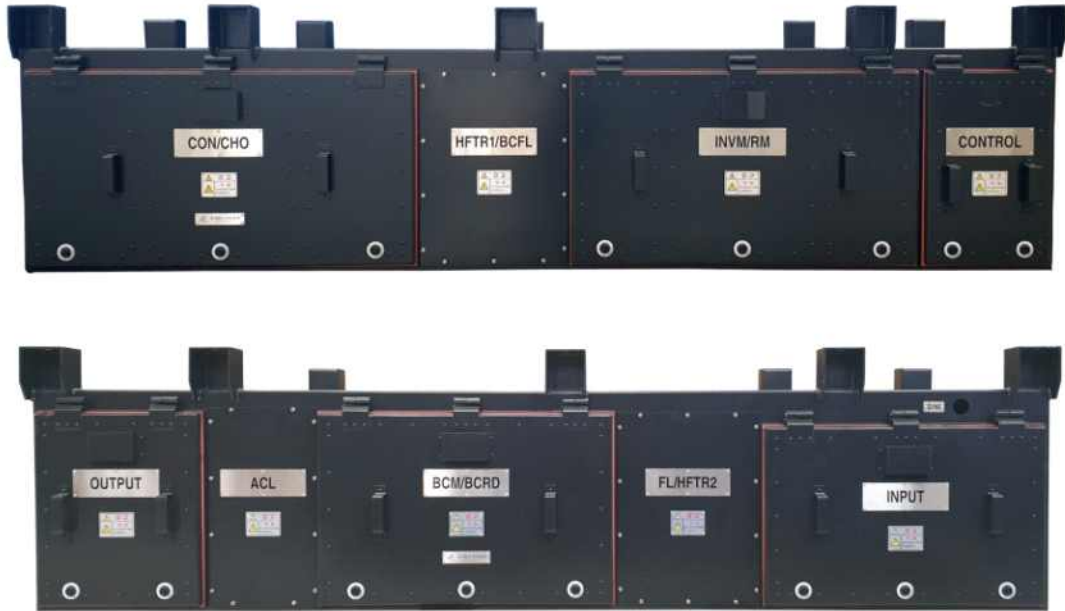
③ 개선 설계

2차측 스너버 캐패시터를 C → RC형태로 변경



[개선 회로도]

마. 시제품 제작(3SET)



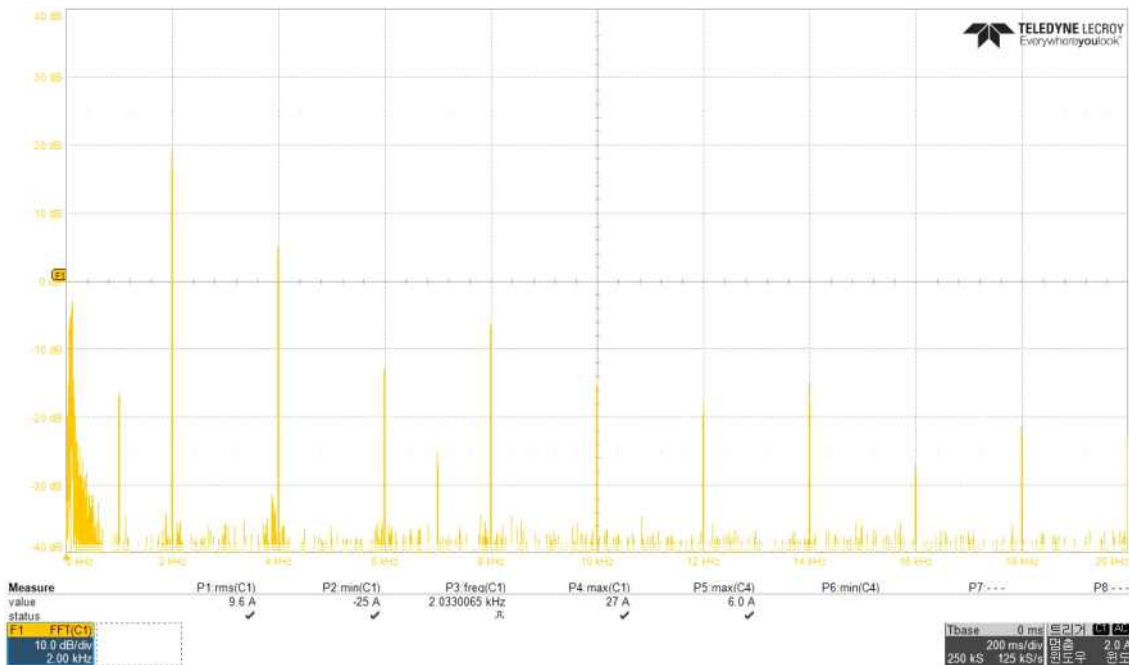
[공진형 보조전원장치]

설계된 데이터를 바탕으로 최종 시제품을 제작 하였으며 최종적으로 설계적합성시험을 위한 1SET와 현차시험을 위한 공진형 보조전원장치 2SET를 제작 하였다.

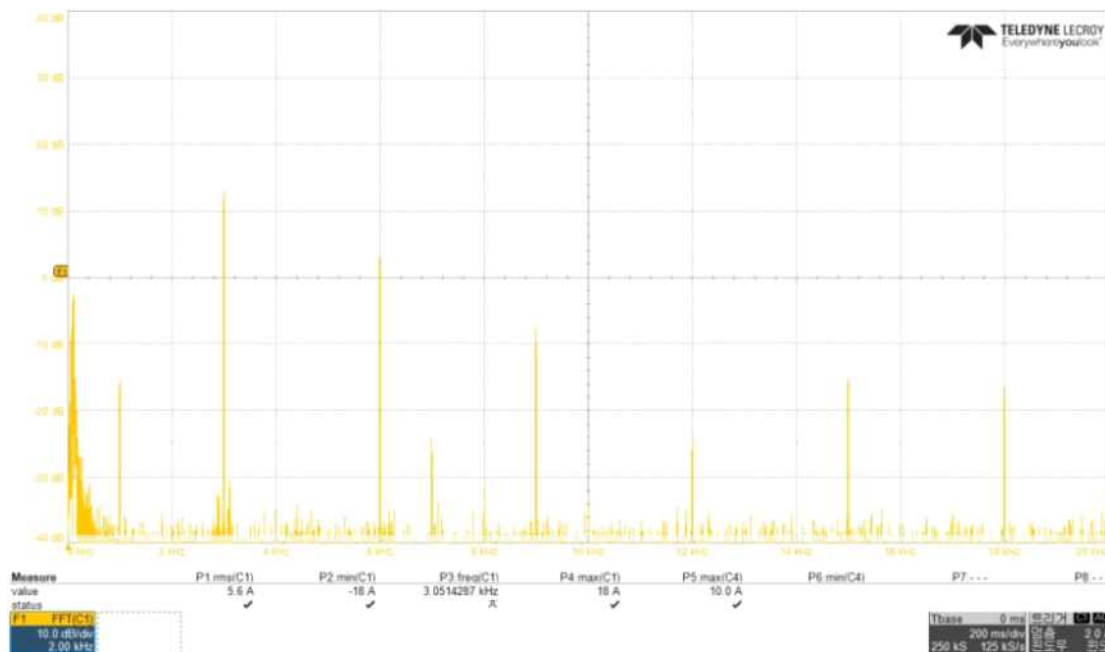
바. 신호 시스템 전자파 간섭 검토

(1) 스위칭 주파수 최적화를 통한 노이즈 감소

사전 FFT(Fast Fourier Transform) 측정을 통해 공진형 보조전원장치의 노이즈를 분석하고 내부 스위칭 주파수 최적화를 통해 노이즈 발생을 최소화 하였다.
(1kHz-→1.5kHz)



[1kHz 스위칭시 FFT파형]



[1.5kHz 스위칭시 FFT파형]

(2) EMI 필터

영업운전선로에서 가선전압상태 등 외부요인에 의한 노이즈 발생 할 경우를 대비해 튜닝 가능한 EMI필터를 준비하였다.



[EMI 필터]



[EMI 필터 내부]

(3) 본선 운행 시험

본선 시운전(수동, 자동)을 통해 신호시스템 간섭여부를 확인한 결과 이상 없음을 확인하였다.

사. 공진형 보조전원장치 시험

운영사인 광주도시철도공사 입회하에 공인시험기관(로테코)에 의뢰하여 공진형 보조전원장치의 시험을 진행함.(성과물 부록 3-1-2 시험 성적서)

[공진형 보조전원장치 시험 항목]

순번	시험항목	세부 시험항목	비고
1	구성품 시험	외관구조검사 측정시험 진동시험 소음시험 기동 및 정지시험 경부하시험 부하맥동시험 효율시험 부하급변시험 전압변동시험 보호회로동작시험 전자파적합성시험 과전압/과도에너지 온도상승시험 절연저항시험 내전압시험 방수시험 환경시험	
2	완성차 시험	무부하 운전시험 출력전압시험 동작시험 충전기 기능 확인시험	

(1) 구성품 시험



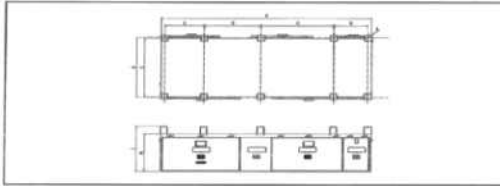
[시험사진]

(2) 초도품 시험 성적서

부품검사 성적서

1. / 10

공 시 명	국립공과대학교기술지원팀 공인형 보조전원장치(BRKA) 상용화 3대	검사자	확인자
제 작 사	ROTeco	이승철	이승철
부 품 명	보조전원장치(100kVA)		
검사 결과	IN1701-181119		
수 량	1 대	차량제작사	ROTeco
보조전원 또는 세출번호	IN1701-000	일 회 자	선 회 근
검 사 일	2019. 04. 03 ~ 05. 06	관 계	합 계

1. 육안 확인
1.1. 외관구조검사

측정 항목	측정값	결과	비고
기계의 피복 및 도장 상태 확인	이상없음		
내부 미용성 점검 여부 확인	이상없음		
기타 고정 상태 확인	이상없음		
고압 절연부 절단부가 나트 또는 스크류 피복 확인	이상없음		
플러그, 커넥터, 로크 확인	이상없음		
리미팅 고정 상태 확인	이상없음		
배선 사이드 및 선번호 확인	이상없음		
절단부 고정 상태 확인	이상없음		
외형 명판 부착 상태 확인(제일부 제외)	이상없음		
세출 명판 부착 확인	이상없음		
엑스키터 및 커넥터의 결고 명판 확인	이상없음		
제어라인 접지점의 결고 확인 여부 확인	이상없음		

ROTECO

1.2. 측정시험

2. / 10

위차	제수측정 (mm)	측정값	결과	비고
A	565 ± 2	565		
B	810 ± 2	809		
C	1030 ± 2	1029		
D	490 ± 2	489		
E	1000 ± 4	1002		
F	3000 ± 6	3000		
G	1030 ± 2	1030		
H	650 ± 4	653		
I	770 ± 4	771		
J	19 ± 1	20		

중량측정 (kg)	전체중량	측정값	결과	비고
보조전원장치 한대	500 kg ± 10 % (500 ± 50 kg)	502	양 호	2019.04.03. 기 실시함

2. 기능 및 정지시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
전력변동계 구동 신호 측정 시험 제어전원선시험	제어전원 DC 70V	C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
	제어전원 DC 100V	C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
제어전원 DC 110V	제어전원 DC 110V	C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
	제어전원 DC 110V	C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		
		C101 & C102	143, 109, 144, 108		

ROTECO

3. / 10

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
기능 시험은 시험 정지시험	입력 DC 300V	DC 100V	0% 부하 기능 및 정지 시퀀스 측정 후 정지	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 70V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 110V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		입력 DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		입력 DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
고온시험 (17부 제4.3항 조항에 해당 부하시험)	입력 DC 300V	DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 70V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 110V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		입력 DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		입력 DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
	입력 DC 100V	DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 70V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		DC 110V	0% 부하 50% 부하 100% 부하 150% 부하	정상동작 정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		입력 DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호
		입력 DC 100V	0% 부하 50% 부하 100% 부하	정상동작 정상동작 정상동작	양 호

3. 정부하 시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
부하 시험	입력 DC 100V	10%	교차 출력 전압 AC 380V±5%	382.7	
		10%	주파수 60Hz±2%	60.0	
		10%	상차각 U-V-W	120°	
		10%	U-V	120°	
		10%	V-W	120°	
		10%	W-U	120°	
	입력 DC 100V	10%	교차 출력 전압 AC 380V±5%	382.7	
		10%	주파수 60Hz±2%	60.0	
		10%	상차각 U-V-W	120°	
		10%	U-V	120°	
		10%	V-W	120°	
		10%	W-U	120°	

ROTECO

4. / 10

4. 부하급변 시험

4.1. 단시간과단시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
단시간과단시험	입력 DC 100V	부하급변 시험 AC 380V±5% (외부부하) 부하급변 시험 정지 기능	382.3	이상없음	2019.04.04. 기 실시함

4.2. 단파괴시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
단파괴 시험	입력 DC 100V	AC 380V±5% (외부부하) 부하급변 시험 정지 기능	382.3	이상없음	2019.04.04. 기 실시함

4.3. 부하급변시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
부하급변시험	입력 DC 100V	부하급변 시험 AC 380V±5% (외부부하) 부하급변 시험 정지 기능	382.3	이상없음	2019.04.04. 기 실시함

5. 보호회로동작시험

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력 과전압 (BOV)		2100V ± 5%	2113 V	양 호	
입력 과전압 (BOC)		220A ± 5% (LVB ± 5%)	1.64 V	양 호	
초기 릴레이 커넥터 과전압 (RCOV)		2100V ± 5%	2110 V	양 호	
초기 릴레이 커넥터 과전압 (RCOV)		300V ± 5%	312 V	양 호	
입력 릴레이 커넥터 과전압 (RCOV)		850V ± 5%	853 V	양 호	
AC 출력 과전압 (ACOV)		150V _{max} ± 5%	150 V _{max}	양 호	
AC 출력 과전압 (ACUV)		300V _{max} ± 5%	307 V _{max}	양 호	
AC 출력 과전압 (ACOC)		600A ± 5% (3.2V ± 5%)	3.17 V	양 호	

ROTECO

5 / 10

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
초저 제이브 테스트 (GDUJCH)	제이브 테스트 DC 100V	충격 한시	원시됨	양 호	2019.04.04 기 실시함
인버터 1상 GDU 플러그 (GDUJPU)		충격 한시	원시됨	양 호	
인버터 3상 GDU 플러그 (GDUJPV)		충격 한시	원시됨	양 호	
인버터 1W상 GDU 플러그 (GDUJW)		충격 한시	원시됨	양 호	
인버터 1상 GDU 플러그 (GDUJON1)		충격 한시	원시됨	양 호	
인버터 3상 GDU 플러그 (GDUJON2)		충격 한시	원시됨	양 호	
제이브 테스트 (PSPT)		65 V 이하	62.8 V	양 호	
초저 스텝 과전 테스트 (THPCBP)		충격 한시	원시됨	양 호	
인버터 스텝 과전 테스트 (THPCGN)		충격 한시	원시됨	양 호	
정확한 스텝 과전 테스트 (THPCDM)		충격 한시	원시됨	양 호	
인버터 스텝 과전 테스트 (THPCNV)		충격 한시	원시됨	양 호	
충전기 충전기 출력 과전압 (BOOV)	제이브 테스트 DC 100V	140V ± 5%	142 V	양 호	2019.04.04 기 실시함
충전기 충전기 출력 과전압 (BOOC)		300A ± 5% (7.5V ± 5%)	7.45 V	양 호	
충전기 충전기 인버터 스텝 과전 테스트 (THPCBON)		충격 한시	원시됨	양 호	
충전기 충전기 정격기 스텝 과전 테스트 (THPCBON2)		충격 한시	원시됨	양 호	
충전기 충전기 인버터 3상 GDU 플러그 (GDUJBCN)		충격 한시	원시됨	양 호	
충전기 충전기 인버터 3상 GDU 플러그 (GDUJBCN2)		충격 한시	원시됨	양 호	

6. 과전압과 과도에너지시험

시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력전압 : DC 180V → DC 180V → DC 180V, 부하조건 : 100%	AC 출력 전압 AC 380V ± 3%	385.3	양 호	2019.04.04 기 실시함
입력전압 : DC 180V → 0V → DC 180V, 부하조건 : 100%	정지 후 재가동 AC 380V ± 3%	384.3	양 호	

7. 절연저항시험

시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력부, HFTU 1차측 → 기차측 및 엑스 100V Megger	10MΩ 이상	2000	양 호	2019.04.04 기 실시함
인버터부 회로 → 기차측 및 엑스 100V Megger	30MΩ 이상	2000	양 호	
제이브 → 기차측 및 엑스 500V Megger	30MΩ 이상	2000	양 호	

ROTECO

6 / 10

8. 내전압시험

시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력부, HFTU 1차측 → 기차측 및 엑스, 5.40V/0.03A/1분간	절연저항 및 이상치 없음	절연저항의 낮 이상없음	양 호	2019.04.04 기 실시함
인버터부 회로 → 기차측 및 엑스, 3.20V/0.03A/1분간	절연저항 및 이상치 없음	절연저항의 낮 이상없음	양 호	
제이브 → 기차측 및 엑스, 1.50V/0.03A/1분간	절연저항 및 이상치 없음	절연저항의 낮 이상없음	양 호	

9. 작동시험 (IEC 61373 : 2010, 1종 B)

(주요 구성품 : Chopper Stack, Converter Stack, IM Stack, BCM Stack, BECD Stack, 제이브, 주 펌프기, 교환유)

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
가동 연속 시험	가속도 (m/s²)	수직(Z축) : 1.0(0.10g _u) 수평(X축) : 0.4(0.04g _u) 회전(Y축) : 0.7(0.07g _u)	기계의 변형 및 손상 없음	양 호	
	주파수	5~150Hz			
	시험시간	총 30시간 (속당 10분)			
모터 정기 시험	가속도 (m/s²)	수직(Z축) : 5.72 수평(X축) : 2.32 회전(Y축) : 3.36	기계의 변형 및 손상 없음	양 호	
	주파수	5~150Hz			
	시험시간	총 15시간 (속당 5시간)			
충격 시험	가속도 (m/s²)	수직(Z축) : 30 수평(X축) : 30 회전(Y축) : 30	기계의 변형 및 손상 없음	양 호	
	시험시간	수직(Z축) : 30 수평(X축) : 30 회전(Y축) : 30			
	충격횟수	15회 (속당 2회씩 15회)			

10. 소음시험

시험 조건	판정 기준	측정값		결과	비고
		위치	실측값		
- IEC 60361 A-Scale - 입력전압 : DC 1800V - 부하조건 : 100% - 대상물체의 거리 : 1m	6개소 평균값 70dB 이하	1	68.6	양 호	2019.04.04 기 실시함
		2	67.2		
		3	68.7		
		4	75.9		
		5	68.3		
		6	68.0		
		평균값	69.61		

※ 소음시험 측정위치 : 육가시량 옆

ROTECO

7 / 10

11. 부하 변동 시험

시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력 DC 180V 부하 100%	충격 저충전압 평균치	DC 100V ± 5%	양 호	2019.04.04 기 실시함
	충격 저충전압 최대치	DC 100V ± 5%		
	충격 저충전압 최소치	DC 100V ± 5%		
	충격 저충전압 변동률	3% 이하		

12. 효율 시험

시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력 DC 180V 부하 100%	효율	94.95	양 호	2019.04.04 기 실시함

※ 과전압은 육가시량 옆

13. 전압변동시험

시험항목	시험조건	판정기준		측정값	결과	비고
최소 입력 전압	입력 DC 900V	10% 부하	AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	383.2	양 호	2019.04.04 기 실시함
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
			회율 3% 이하	1.5		
		50% 부하	DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	101.1	양 호	
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	384.6		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
		100% 부하	DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	101.1	양 호	
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	384.2		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
정격 입력 전압	입력 DC 1800V	10% 부하	DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	101.2	양 호	2019.04.04 기 실시함
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	383.2		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
		50% 부하	DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	100.9	양 호	
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	384.2		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
		100% 부하	DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	101.0	양 호	
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	384.3		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		

ROTECO

8 / 10

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고	
최대 입력 전압	입력 DC 1800V	10% 부하	AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	383.1	양 호	2019.04.04 기 실시함
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
			회율 3% 이하	1.4		
		50% 부하	DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	101.2	양 호	
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	384.5		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0		
		100% 부하	회율 3% 이하	0.9	양 호	
			DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	100.9		
			AC 출력 전압 AC 380 V ± 5 %	384.2		
			주파수 60 Hz ± 2 %	60.0	양 호	
			회율 3% 이하	1.1		
			DC 출력 전압 DC 100 V ± 5 %	100.9		

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력 전압 변동	1800V → 900V → 1800V → 1800V	AC 출력 전압 AC 380V ± 5%	384.2	양 호	2019.04.04 기 실시함

14. 전자기적합성시험 (IEC 62236-3-2)

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
Electromagnetic Discharge Immunity 정전기방전시험	정격 전압 : 4kV 분기전압 : 4kV	표 이상 + 정격 전압을 유지하거나 시험물 이후 60초 이내에 한다.	A	양 호	
Conducted Emission 전도성방사시험	150kHz to 500kHz	90dBμV quasi-peak	68.5	양 호	
Radio Frequency Field Immunity Test Method 방사방사시험	The field strength of the unmodulated signal - Frequency range → 80MHz~15GHz - Test field strength → 20V/m (rms.) - RINAM, 1kHz The field strength of the unmodulated signal - Frequency range → 1.4GHz~25GHz - Test field strength → 10V/m (rms.) - RINAM, 1kHz	A + 정격 전압을 유지해야 한다.	A	양 호	
Immunity to EFT/ES Test Method Transient/EFT 내성시험	Set voltage : 1 kV Rise time (tr) : 1ns (50%) Duration (td) : 50ns (50%) Repetition Frequency : 50%	A + 정격 전압을 유지해야 한다.	A	양 호	

ROTECO

9 / 10

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
Immunity to Single Interference Test Method Surge/Immunity	- 1500V/line time / duration, 45V, 60, 0.5s/ line to ground - 1500V/line time / duration, 15V, 60, 0.5s/ line to line	B 이상 + 정합 시퀀스를 유지하거나 저지 필요 후 재시험해야 한다.	A	양 호	
Conducted Disturbance Immunity Test Method	- Carrier voltage : 50Vrms / 1000 to 10000 The 50V signal is 80 % amplitude modulated with a 300 sinusoidal wave. - Source impedance : 50Ω	A + 정합 시퀀스를 유지해야 한다.	A	양 호	

15. 온도 상승 시험 (ΔT = 측정 온도 - 주위온도)

시험조건	측정 기구	측정 위치	판정기준	측정값	결과	비고
입력 전압 : DC 1500V, 출력 : 100W	주위온도	주위온도	-25℃ ≤ T ≤ 45℃	31.2	양 호	20150405 기 실시함
	케이지	1998 보드 표면	ΔT ≤ 40℃	50.0 (18.8)		
	호퍼 스텝	케트싱크 베이스	ΔT ≤ 90℃	72.0 (40.8)		
	컨버터 스텝	케트싱크 베이스	ΔT ≤ 90℃	75.7 (44.5)		
	정류기 스텝	케트싱크 베이스	ΔT ≤ 90℃	91.2 (60.0)		
	인버터 스텝	케트싱크 베이스	ΔT ≤ 90℃	87.9 (56.7)		
	BC전력기 스텝	케트싱크 베이스	ΔT ≤ 90℃	84.3 (53.1)		
	BC정류기 스텝	케트싱크 베이스	ΔT ≤ 90℃	94.3 (63.1)		
	HFTBL 부재	중앙 지면	ΔT ≤ 110℃	98.2 (67.0)		
	ACL 부재	중앙 지면	ΔT ≤ 135℃	103.3 (72.1)		
	BCPL 부재	중앙 지면	ΔT ≤ 135℃	77.2 (46.0)		
	BCPL 부재	중앙 지면	ΔT ≤ 135℃	64.0 (32.8)		
	HFTBG 부재	중앙 지면	ΔT ≤ 110℃	95.6 (64.4)		

16. 방수 시험

시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
공인된 보조전원장치 시험용에서 S2215-20형 시험 조건으로 주수 후 측정	락스 지게 개방 후 내구재 누수 흔적 없음	누수 없음	양 호	

ROTECO

10 / 10

17. 환경시험

시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
저온시험 KS C 0008-2-1 또는 IEC 60068-2-1에 따라 시험 실시 하역, -25℃/2℃ 에서 10시간당 1회	제어전원을 인가하여 시퀀스 동작에 이상 없음	이상없음	양 호	
고온시험 KS C 0008-2-2 또는 IEC 60068-2-2에 따라 시험 실시 하역, 25℃/2℃에서 10시간 당 1회	제어전원을 인가하여 시퀀스 동작에 이상 없음	이상없음	양 호	

특기사항

■ 소음시험 - 측정위치 :	1 2 3 4
■ 효율 시험 출력(DC+AC) × 100 = $\frac{((101.0V \times 199.9A) + 118060W)}{(1504V \times 97.31A)} \times 100$ = 94.55%	

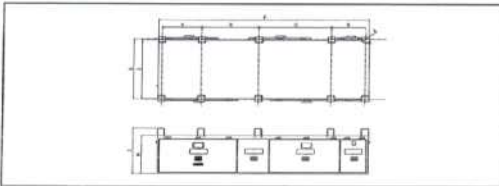
ROTECO

(3) 1호기 시험 성적서

부품검사 성적서

1 / 5

공 사 명	국도교통과학기술연구원 국립원 보호전원장치(ROTECO) 상용화 3차	ROTECO	검사자	확인자
제 작 사	㈜ 브이씨텍		양명석	이승현
부 품 명	보조전원장치(1000W)			
검사 규격	IN1701-181119			
수 량	1 대			
보통번호 또는 제품번호	IN1701-001	실 화 자	전 용 선	
검 사 일	2015. 06. 03.	판 정	합 격	



1. 육안 확인

1.1. 외관구조검사

측정 항목	측정값	결과	비고
기케피 리프 및 도장 상태 확인	이상없음	양 호	
내부 부품들 침입 여부 확인	이상없음		
기 기 고정 상태 확인	이상없음		
고압 전원부 혼란방지 너트 또는 스프링 와셔 확인	이상없음		
플러그, 와셔 리턴 표기 확인	이상없음		
터미널 고정 상태 확인	이상없음		
배선 사이즈 및 선번호 확인	이상없음		
정합부 고정 상태 확인	이상없음		
시험 방한 부속 상태 확인(자갈부 제외)	이상없음		
제품 정보 명판 부착 확인	이상없음		
박스커버 및 커넥터의 정교 명판 확인	이상없음		
제어라인 절단절차 및 락스 밀착 여부 확인	이상없음		

ROTECO

2 / 5

1.2. 측정시험

항목	지수측정(mm)	측정값	결과	비고
A	565 ± 2	564	양 호	
B	810 ± 2	809		
C	1030 ± 2	1030		
D	490 ± 2	488		
E	1000 ± 4	1000		
F	3000 ± 6	3000		
G	1030 ± 2	1028		
H	650 ± 4	650		
I	770 ± 4	771		
J	19 ± 1	19		

2. 기능 및 경지시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
직력전도제 구동 선로 측정 시험 / 제어선원정합시험	제어선원 DC 100V	CH & CH2	142, -108 144, -108	양 호	
		CanH1 & CanH2	149, -95 150, -94		
		CanL1 & CanL2	154, -95 150, -94		
		brV & brV2	149, -108 149, -108		
		brV & brV2	144, -108 149, -109		
		brW & brW2	145, -108 149, -107		
		BCX1 & BCX2	149, -112 152, -108		
		BCY1 & BCY2	149, -112 153, -106		

ROTECO

3/5

시험항목	시험 조건			한정기준	측정값	결과	비고
가동 시험시 가동시험 정지시험	입력 DC 900V	DC 100V	100% 부하	가동 및 정지 시연스 측정 후 정지	정상동작	양 호	
		DC 70V	100% 부하		정상동작	양 호	
	입력 DC 1,000V	DC 100V	100% 부하	가동 및 정지 시연스 측정 후 정지	정상동작	양 호	
		DC 100V	100% 부하		정상동작	양 호	
	입력 DC 1,000V	DC 100V	100% 부하	가동 및 정지 시연스 측정 후 정지	정상동작	양 호	
고장시 정지시험 (1분 이내 3회 고장 시 측정 (정지후))	입력 DC 900V	DC 100V	100% 부하	고장 제거 시 재가동 확인	정상동작	양 호	
	입력 DC 1,000V	DC 100V	100% 부하		정상동작	양 호	
	입력 DC 1,000V	DC 100V	100% 부하		정상동작	양 호	

3. 경부라 시험

시험항목	시험 조건		한정기준		측정값	결과	비고
경부라 시험	입력 DC 1,000V	100%	교류 출력 전압	AC 380V $\pm$ 5%	385.5	양 호	
			주파수	50Hz $\pm$ 2%	50.0		
			상위전 방향	U-V-W	정 방향		
			회전각	U-V	120°		
				V-W	120°		
				W-U	120°		

ROTECO

4/5

4. 부하감별 시험
4.1. 부하급변시험

시험항목	시험 조건		한정기준		측정값	결과	비고	
부하급변시험	입력 DC 1,000V	부하변동 10%→50%→100%	AC 출력 전압	AC 380V±5%	385.5	양호		
		주파수	50Hz±2%	60.0				
		부하변동 100%→50%→10%	AC 출력 전압	AC 380V±5%	386.1	양호		
		주파수	50Hz±2%	60.0				

5. 보호회로동작시험

시험항목	시험조건	한정기준	측정값	결과	비고
입력 과전압 (INOVT)	제어전원 DC 100V	2,100V $\pm$ 5%	2105 V	양 호	
입력 과전류 (INOC)		250A $\pm$ 5% (1,00V $\pm$ 5%)	1,602 V	양 호	
초과 전압 과전류 차단 (OFCOV)		2,100V $\pm$ 5%	2117 V	양 호	
초과 전류 과전압 차단 (OFCUL)		300V $\pm$ 5%	306 V	양 호	
전압의 절대 과전압 차단 (OPCOV)		800V $\pm$ 5%	847 V	양 호	
AC 출력 과전압 (ACOV)		530V $\pm$ 5%	543 V $\pm$ 5%	양 호	
AC 출력 과전류 (ACUL)		320V $\pm$ 5%	322 V $\pm$ 5%	양 호	
AC 출력 과전류 (ACOC)		540A $\pm$ 5% (3,2V $\pm$ 5%)	3,19 V	양 호	
초과 전압의 도라이트 온도 (GDUPTCH)			온도 표시	정상작	
전압의 1상 GDU 온도 (GDU1PU)			온도 표시	정상작	
전압의 2상 GDU 온도 (GDU2PU)			온도 표시	정상작	
전압의 3상 GDU 온도 (GDU3PU)			온도 표시	정상작	
전압의 4상 GDU 온도 (GDU4PU)			온도 표시	정상작	
전압의 5상 GDU 온도 (GDU5PU)			온도 표시	정상작	
전압의 6상 GDU 온도 (GDU6PU)			온도 표시	정상작	
전압의 7상 GDU 온도 (GDU7PU)			온도 표시	정상작	
전압의 8상 GDU 온도 (GDU8PU)			온도 표시	정상작	
전압의 9상 GDU 온도 (GDU9PU)			온도 표시	정상작	
전압의 10상 GDU 온도 (GDU10PU)			온도 표시	정상작	
전압의 11상 GDU 온도 (GDU11PU)			온도 표시	정상작	
전압의 12상 GDU 온도 (GDU12PU)			온도 표시	정상작	
전압의 13상 GDU 온도 (GDU13PU)			온도 표시	정상작	
전압의 14상 GDU 온도 (GDU14PU)			온도 표시	정상작	
전압의 15상 GDU 온도 (GDU15PU)			온도 표시	정상작	
전압의 16상 GDU 온도 (GDU16PU)			온도 표시	정상작	
전압의 17상 GDU 온도 (GDU17PU)			온도 표시	정상작	
전압의 18상 GDU 온도 (GDU18PU)			온도 표시	정상작	
전압의 19상 GDU 온도 (GDU19PU)			온도 표시	정상작	
전압의 20상 GDU 온도 (GDU20PU)			온도 표시	정상작	

ROTECO

5/5

6. 과전압과 과도에너지시험

시험 조건	한정기준	측정값	결과	비고
입력전압 : DC 1,000V $\rightarrow$ DC 1,200V $\rightarrow$ DC 1,000V, 주파수 : 100%	AC 출력 전압 AC 380V $\pm$ 5%	385.6	양 호	
입력전압 : DC 1,000V $\rightarrow$ 0V $\rightarrow$ DC 1,000V, 주파수 : 100%	정지 후 재가동 AC 380V $\pm$ 5%	385.5	양 호	

7. 정전시험시험

시험 조건	한정기준	측정값	결과	비고
입력전, 10THU 1세트로 - 기하회로 및 막스 1,000V Megger	10M Ω 이상	2000	양 호	
인버터부 회로 - 기하회로 및 막스 1,000V Megger	30M Ω 이상	2000	양 호	
제어회로 - 기하회로 및 막스 500V Megger	30M Ω 이상	2000	양 호	

8. 내전압시험

시험 조건	한정기준	측정값	결과	비고
입력전, 10THU 1세트로 - 기하회로 및 막스, 5,000V/500kV/분간	절연저항 및 이상 없음 것	절연저항 및 이상 없음	양 호	
인버터부 회로 - 기하회로 및 막스, 3,000V/300kV/분간	절연저항 및 이상 없음 것	절연저항 및 이상 없음	양 호	
제어회로 - 기하회로 및 막스, 1,000V/100kV/분간	절연저항 및 이상 없음 것	절연저항 및 이상 없음	양 호	

특기사항

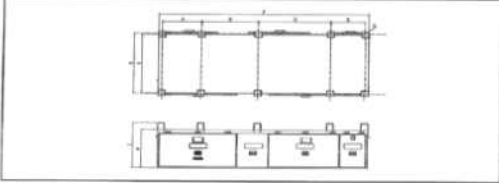
ROTECO

(4) 2호기 시험 성적서

부품검사 성적서

1/5

공 사 명	국토교통과학기술진흥원 국립철도보존박물관(300kVA) 설비의 3대	ROTECO	검사자	확인자
제 작 사	(주) 로테코		김영세	이승재
부 품 명	보조전원장치(300kVA)			
검사 규격	IN1701-181119			
수 량	1 대			
모델번호 또는 세출번호	IN1701-002	입 회 자	전 출 선	
검 사 일	2019. 06. 05	관 계	합 계	



1. 육안 확인

1.1. 외관구조검사

검사 항목	측정값	결과	비고
기계적 피로 및 도장 상태 확인	이상없음	양 호	
내부 이물질 침입 여부 확인	이상없음		
기기 고정 상태 확인	이상없음		
고압 공전부 통풍량지 나트 또는 소모량 과다 확인	이상없음		
쿨러, 하역 이물질 제거 확인	이상없음		
터미널 고정 상태 확인	이상없음		
케이블 사이드 및 선번호 확인	이상없음		
정확한 고정 상태 확인	이상없음		
회로 명칭 부속 상태 확인(서랍부 제외)	이상없음		
제품 정보 명칭 부속 확인	이상없음		
박스카페 및 커버시트 결고 명칭 확인	이상없음		
제어라인 절도필터 및 피스 집기 여부 확인	이상없음		

ROTECO

2/5

1.2. 측정시험

위치	저수측정(mm)	측정값	결과	비고
A	585 ± 2	585	양 호	
B	850 ± 2	850		
C	1030 ± 2	1029		
D	480 ± 2	480		
E	1020 ± 4	990		
F	3000 ± 6	2999		
G	1020 ± 2	1020		
H	650 ± 4	651		
I	770 ± 4	770		
J	19 ± 1	19		

2. 기능 및 검사시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
절대전도제 구동 전도 측정 시험 / 제어선결함검출시험	제어전도 DC 120V	ON & OFF	144, -0.0, 145, -0.0	양 호	
		Com0 & Com0	153, -0.7, 151, -0.2		
		Com1 & Com1	154, -0.7, 153, -0.2		
		bn0 & bnX	158, -0.18, 148, -0.08		
		bnY & bnY	158, -0.08, 149, -0.08		
		bnW & bnZ	148, -0.08, 149, -0.08		
		BC0 & BC0	154, -0.08, 152, -0.07		
		BCY & BCY	155, -0.08, 153, -0.07		
		정량 시험용 (+100V±2V, -10V±2V)			

ROTECO

3/5

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
기동 시험용 시험 / 제어시험	입력 DC 300V	DC 100V	100% 부하	정상동작	양 호
		DC 70V	100% 부하	정상동작	양 호
	입력 DC 1500V	DC 100V	100% 부하	정상동작	양 호
		DC 110V	100% 부하	정상동작	양 호
	입력 DC 1800V	DC 100V	100% 부하	정상동작	양 호
고용 시험용 시험 (18~48 3A 3상 4선 3W (19A형))	입력 DC 300V	DC 100V	100% 부하	정상동작	양 호
	입력 DC 1200V	DC 100V	100% 부하	정상동작	양 호
	입력 DC 1800V	DC 100V	100% 부하	정상동작	양 호

3. 경부하 시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
경부하 시험	입력 DC 1200V	80%	교류 출력 전압 AC 380V±5%	385.2	양 호
			주파수 60Hz±5%	60.0	
			정전압률비 U-U ₀ %	130°	
			U ₀ %	130°	
			W-U ₀ %	130°	

ROTECO

4/5

4. 부하검열 시험

4.1. 부하검열시험

시험항목	시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
부하검열시험	입력 DC 1200V	부하변동 0%~95%~100%	AC 출력 전압 AC 380V±5%	385.7	양 호
		주파수	60Hz±5%	60.0	
		부하변동 100%~95%~100%	AC 출력 전압 AC 380V±5%	385.4	
		주파수	60Hz±5%	60.0	

5. 보조회로동작시험

시험항목	시험조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력 과전압 (ENOV)	제어전도 DC 120V	2,100V ± 5%	2106 V	양 호	
입력 과전류 (ENOC)		320A ± 5% (1.6V ± 5%)	1.61 V	양 호	
초비 릴레이 개폐시의 과전압 (CPCOV)		2,100V ± 5%	2117 V	양 호	
초비 릴레이 개폐시의 전압 불균형 (CPCUN)		300V ± 5%	301 V	양 호	
언버터 릴레이 개폐시의 과전압 (BPCOV)		800V ± 5%	846 V	양 호	
AC 출력 과전압 (ACOV)		530V _{max} ± 5%	545 V _{max}	양 호	
AC 출력 과전류 (ACOC)		320V _{max} ± 5%	322 V _{max}	양 호	
초비 릴레이 개폐시의 과전류 (GDCUPC)		540A ± 5% (1.2V ± 5%)	3.22 V	양 호	
언버터 1차 GDU 릴레이 (GDCUP1)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 2차 GDU 릴레이 (GDCUP2)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 3차 GDU 릴레이 (GDCUP3)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 4차 GDU 릴레이 (GDCUP4)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 5차 GDU 릴레이 (GDCUP5)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 6차 GDU 릴레이 (GDCUP6)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 7차 GDU 릴레이 (GDCUP7)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 8차 GDU 릴레이 (GDCUP8)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 9차 GDU 릴레이 (GDCUP9)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 10차 GDU 릴레이 (GDCUP10)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 11차 GDU 릴레이 (GDCUP11)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 12차 GDU 릴레이 (GDCUP12)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 13차 GDU 릴레이 (GDCUP13)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 14차 GDU 릴레이 (GDCUP14)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 15차 GDU 릴레이 (GDCUP15)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 16차 GDU 릴레이 (GDCUP16)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 17차 GDU 릴레이 (GDCUP17)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 18차 GDU 릴레이 (GDCUP18)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 19차 GDU 릴레이 (GDCUP19)		출력 릴레이	정상동작	양 호	
언버터 20차 GDU 릴레이 (GDCUP20)		출력 릴레이	정상동작	양 호	

ROTECO

6. 외전압과 과도에너지시험

시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력전압 : DC 1800V-DC 1200V-DC 1800V, 주파조건 : 100%	AC 출력 전압	AC 380V ± 3%	285.5	양 호
입력전압 : DC 1800V-0V-DC 1200V, 주파조건 : 100%	정지 후 재가동	AC 380V ± 3%	385.7	양 호

7. 권선저항시험

시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
일체형, 1872U 1차회로 ~ 기단회로 및 박스 100kV Megger	100kΩ 이상	2000	양 호	
일체회로 회로 ~ 기단회로 및 박스 100kV Megger	30kΩ 이상	2000	양 호	
제어회로 ~ 기단회로 및 박스 500V Megger	30kΩ 이상	2000	양 호	

8. 내전압시험

시험 조건	판정기준	측정값	결과	비고
입력부, 1872U 1차회로 ~ 기단회로 및 박스, 500V/50kVA/1분간	절연파괴 및 이상치 없음 것	절연파괴 및 이상없음	양 호	
일체회로 회로 ~ 기단회로 및 박스, 3200V/60kVA/1분간	절연파괴 및 이상치 없음 것	절연파괴 및 이상없음	양 호	
제어회로 ~ 기단회로 및 박스, 1500V/60kVA/1분간	절연파괴 및 이상치 없음 것	절연파괴 및 이상없음	양 호	

특기사항

(5) 차량 취부 및 완성차 시험



[공진형 보조전원장치 차량 설치 사진]



[공진형 보조전원장치 완성차 시험 사진]

(6) 완성차 시험 성적서

완성차시험 성적서

1 / 3

공 사 명	국도교통과학기술진흥원 공인형 보조전원장치(ABXVA) 실용화 3대	검사와	확인자
제 작 사	㈜ 브이씨텍	이명애	이승희
검사 규격	분전형SIV 실용화 완성차시험 절차서 (IN1701-190509)		
차량 번호	109 편성 (IN1701-001, IN1701-002)		
검 사 일	2019. 07. 17 ~ 18.	임 회 자	신 회 군
시험환경	온도: 20 ℃, 습도: 55 % 날씨: 구름맑음, 온도: 20 ℃, 습도: 60 % 날씨: 흐림	관 계	합 계

1. 무부하 운전시의 출력전압시험

측정 항목	기 준 치	측정값	결과	비고
		IN1701-001	IN1701-002	
AC 출력 전압 및 전류	AC 출력 전압 : 380 Vrms +5%/ -5%	385	385	양 호
DC 출력전압	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	100	101	
AC 출력 주파수	AC 출력 전압 주파수 : 60 Hz +5%/ -5%	59.9	59.9	
AC 출력 역률	AC 출력 전압 역률 : 3% 이하	1.6	1.7	
AC 출력 전압 변동 및 상하전 상황	상하전 상황 : R-S-T	정상회전	정상회전	
DC 출력전압 리플률	리플률 : 5% 이하	1.33	1.18	

2. 동차시험 (1 회)

측정 항목	기 준 치	측정값	결과	비고
		IN1701-001	IN1701-002	
AC 출력 전압 및 전류	AC 출력 전압 : 380 Vrms +5%/ -5%	385	385	양 호
DC 출력전압	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	73.9	75.3	
AC 출력 주파수 및 역률	AC 출력 전압 주파수 : 60 Hz +5%/ -5%	59.9	59.9	
AC 출력 역률	AC 출력 전압 역률 : 3% 이하	0.87	0.87	
AC 출력전압 변동 및 상하전 상황	상하전 상황 : R-S-T	0.9	1.1	
DC 출력 전압 및 전류	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	100	101	
DC 출력 전류	DC 출력 전류 : 8.3 A	8.3	20.7	
DC 출력전압 리플률	리플률 : 5% 이하	1.58	1.42	

※ 열방, 난방제 주전은 전열방, 전난방으로 한다. 열방 측은 난방이 불가능한 경우, 만가전만 실행하여도 무관함.

3 / 3

3. 출전기 기능 확인시험

측정 항목	기 준 치	측정값	결과	비고
		IN1701-001	IN1701-002	
배전(배전선 전압 : 60V 3선) 후 충전 시 출력	부동충전전압 : 6.7V ± 5%	73.2	65.3	양 호
	회전전압 : 100 V ± 5%	101	101	
1시간 이상 충전 후 출력	부동충전전압 : 100 V ± 5%	100	101	
	부동충전전압 : 6.7V ± 5%	6.71	9.79	

특기사항

■ IN1701-000 : 형식시험 실시 없음.

(2 회)

2 / 3

측정 항목	기 준 치	측정값	결과	비고
		IN1701-001	IN1701-002	
AC 출력 전압 및 전류	AC 출력 전압 : 380 Vrms +5%/ -5%	385	385	양 호
DC 출력전압	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	73.3	75.1	
AC 출력 주파수 및 역률	AC 출력 전압 주파수 : 60 Hz +5%/ -5%	59.9	59.9	
AC 출력 역률	AC 출력 전압 역률 : 3% 이하	0.87	0.87	
AC 출력전압 변동 및 상하전 상황	상하전 상황 : R-S-T	0.9	1.1	
DC 출력 전압 및 전류	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	100	101	
DC 출력 전류	DC 출력 전류 : 8.3 A	9.7	20.6	
DC 출력전압 리플률	리플률 : 5% 이하	1.53	1.57	

(3 회)

측정 항목	기 준 치	측정값	결과	비고
		IN1701-001	IN1701-002	
AC 출력 전압 및 전류	AC 출력 전압 : 380 Vrms +5%/ -5%	385	385	양 호
DC 출력전압	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	73.0	74.8	
AC 출력 주파수 및 역률	AC 출력 전압 주파수 : 60 Hz +5%/ -5%	59.9	59.9	
AC 출력 역률	AC 출력 전압 역률 : 3% 이하	0.87	0.87	
AC 출력전압 변동 및 상하전 상황	상하전 상황 : R-S-T	0.9	1.1	
DC 출력 전압 및 전류	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	100	101	
DC 출력 전류	DC 출력 전류 : 8.3 A	8.3	20.6	
DC 출력전압 리플률	리플률 : 5% 이하	1.53	1.57	

(4 회)

측정 항목	기 준 치	측정값	결과	비고
		IN1701-001	IN1701-002	
AC 출력 전압 및 전류	AC 출력 전압 : 380 Vrms +5%/ -5%	385	385	양 호
DC 출력전압	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	73.1	74.8	
AC 출력 주파수 및 역률	AC 출력 전압 주파수 : 60 Hz +5%/ -5%	59.9	59.9	
AC 출력 역률	AC 출력 전압 역률 : 3% 이하	0.87	0.87	
AC 출력전압 변동 및 상하전 상황	상하전 상황 : R-S-T	0.9	1.1	
DC 출력 전압 및 전류	DC 출력 전압 : 100 Vdc +5%/ -5%	100	101	
DC 출력 전류	DC 출력 전류 : 8.3 A	8.3	20.7	
DC 출력전압 리플률	리플률 : 5% 이하	1.19	1.57	

국도교통과학기술진흥원 공인형 보조전원장치(ABXVA) 실용화 3대	완 성 차 시 험	측정 규격	IN1701-190509
검사/시험 결과문	보조전원장치	페이지	1 / 4

□ 완성차 시험



차량 사진



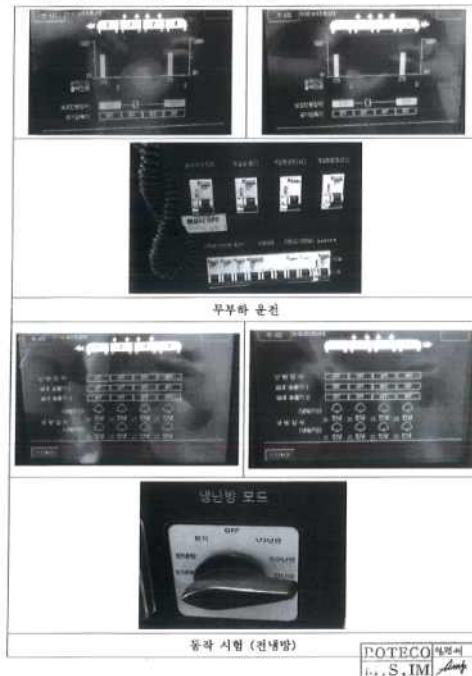
명판 및 제품 사진



ROTECO

ROTECO	국립교통과학기술진흥원 한국철도보조전원장치(160kVA) 실험용 3대	관심자 시험	제품 규격	IN1701-190509
	검사/시험 결과물	보조전원장치	페이지	2 / 4

I. 부하 운전시의 출력전압시험 및 동작시험

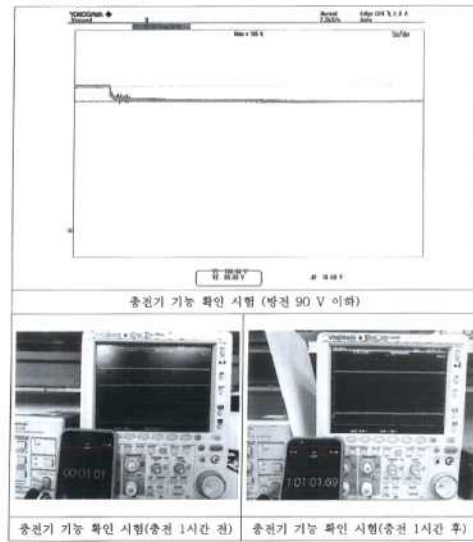


ROTECO
M.S,IM

ROTECO

ROTECO	국립교통과학기술진흥원 한국철도보조전원장치(160kVA) 실험용 3대	관심자 시험	제품 규격	IN1701-190509
	검사/시험 결과물	보조전원장치	페이지	3 / 4

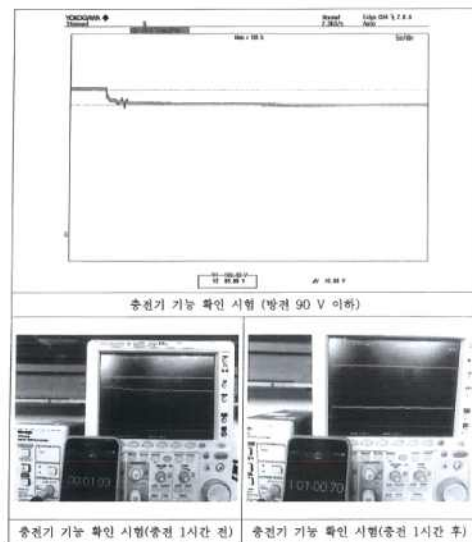
II. 충전기 기능 확인시험



ROTECO
M.S,IM

ROTECO

ROTECO	국립교통과학기술진흥원 한국철도보조전원장치(160kVA) 실험용 3대	관심자 시험	제품 규격	IN1701-190509
	검사/시험 결과물	보조전원장치	페이지	4 / 4



ROTECO
M.S,IM

ROTECO

(7) 검사용역 증명서

사단법인 한국철도차량엔지니어링 KOREA ROLLING STOCK TECHNICAL CORPORATION	
본 사	검사본부
전화 : (031) 269-5452	전화 : (031) 207-7799
팩스 : (031) 269-5453	팩스 : (031) 269-6377
검 사 용 역 증 명 서 (CERTIFICATE OF INSPECTION SERVICE)	
발행번호 : (CERTIFICATE NO.)	RTC - 19 - 044 발행일자 : 2019. 7. 18. (ISSUED DATE)
발 주 자 (CONSIGNER)	: 국토교통과학기술진흥원
사 용 자 (END USER)	: 국토교통과학기술진흥원
공 급 자 (SUPPLIER)	: 주식회사 브이씨텍
제 작 자 (MANUFACTURER)	: 주식회사 브이씨텍
제작계약번호 (CONTRACT NO.)	: -
검 사 장 소 (PLACE OF INSPECTION)	: 주식회사 브이씨텍/광주(용산차량기지)
검 사 기 간 (DATES OF INSPECTION)	: 2019. 4. 01. ~ 2019. 7. 18.
품명 및 규격 (DESCRIPTION)	공진형 보조전원장치(160kVA)실용화 /공진형 보조전원장치 시험절차서(IN1701-18119), 공진형SIV실용화 완성차시험 절차서(IN1701-18119)
수 량 (QUANTITY)	3대
비 고 (REMARKS)	제품 NO. IN1701-000, IN1701-001, IN1701-002
Inspections are carried out to the best of our knowledge and ability and our responsibility is limited to the exercise of reasonable care.	

검 사 사 항 (Inspections)

1. 치 수 검 사 : 양 호 (부품검사성적서와 같음)
(Measurement)
2. 외 관 및 구 조 검 사 : 양 호 (부품검사성적서와 같음)
(Visual & Construction)
3. 성 능 및 작 동 검 사 : 양 호 (부품검사성적서와 같음)
(Performance & Operatings)
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 : 양 호
(Assemblings)
6. 도 장 검 사 : 양 호
(Paintings)
7. 표 기 검 사 : 양 호
(Markings)
8. 중 량 및 주 요 치 수 : -
(weight & Measurement)
9. 시 운 전 검 사 : 양 호 (완성차시험성적서와 같음)
(Completed Vehicle)
10. 포 장 검 사 : -
(Packing)

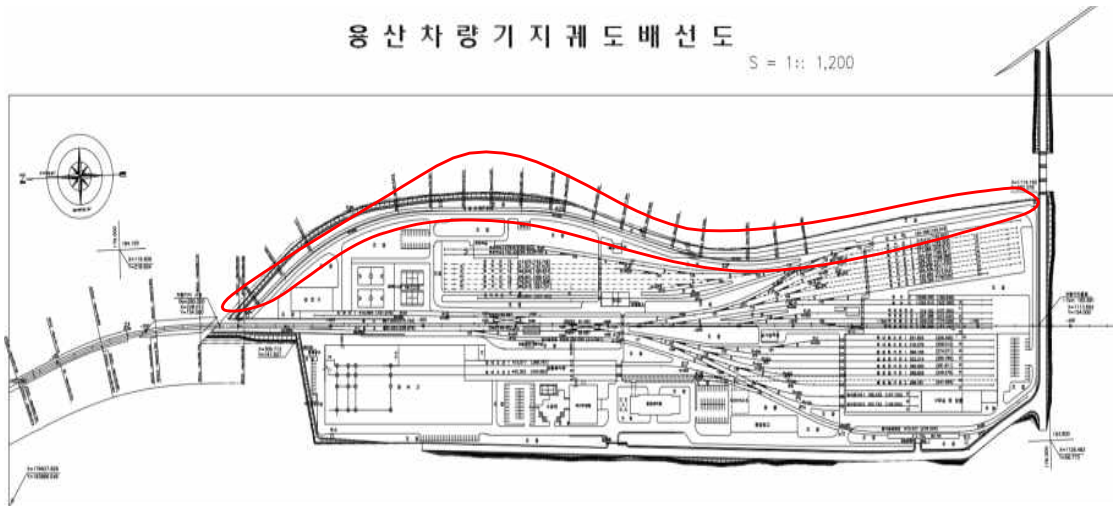
삼원 한국철도차량엔지니어링 이사장



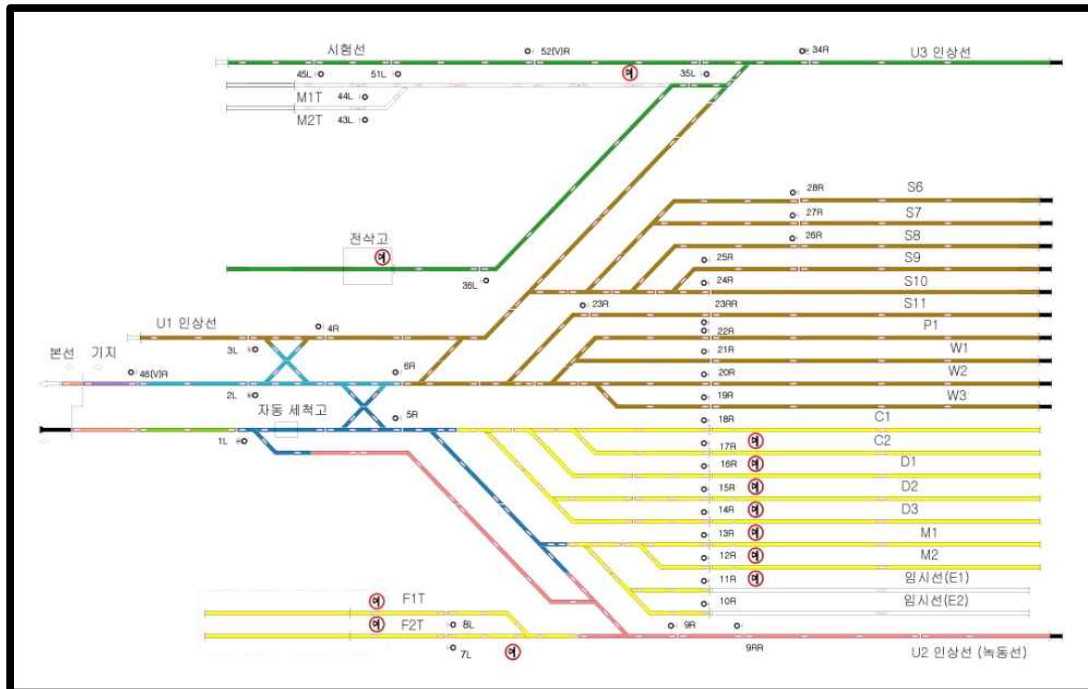
아. 현차 시험

(1) 현차 시험 환경

- 주 소 : 광주광역시 동구 녹동길 45 용산차량기지
- 시험선 시설 : 광주광역시 용산차량기지 내 구내시운전선



[용산차량기지 궤도 배선도 및 구내시운전선]



[용산차량기지 구내 배선도]

- 시험기간 : 2019년 07월 22일 ~ 2020년 05월 26일
- 용산차량기지 구내시운전선 또는 구내 입환선에서 시험을 실시하였으며 하였으며, 시운전 종료 후 검사고에 입고하여 공진형 보조전원장치의 점검을 실시하였다.

(2) 현차 시험 내역

광주도시철도공사 11개월에 걸쳐 전동차 4개 편성에 이동 설치하여 5,216시간(1,588km)의 시험을 실시하였다.

[현차 시험 내역]

구분	편성	가동시간	누적가동시간	누적주행거리(km)	고장횟수
2019-07	109	170	170	38	0
2019-08	109	527	697	260	0
2019-09	109	442	1,139	396	0
2019-10	115	323	1,462	526	0
2019-11	115	510	1,972	687	0
2019-12	115	707	2,679	854	0
2020-01	115/116	621	3,300	1,016	0
2020-02	116	575	3,875	1,170	0
2020-03	122	423	4,298	1,305	0
2020-04	122	510	4,808	1,407	0
2020-05	122	408	5,216	1,588	0

※ 철도안전법 변경과 광주도시철도공사 내규 변경으로 인해 영업운행이 어려워져 구내 시운전 및 본선 시운전을 통해 주행간의 신뢰성 검증을 실시하였다.

※ 또한 보조전원장치는 열차 주행 상태와 관계없이 부하(HVAC, COMP, 조명 등)조건에 따라 동작하는 장치이므로 정차상태에서도 신뢰성 검증이 가능하다. 이에 광주도시철도공사는 가용한 모든 시간에 공진형 보조전원장치를 기동하고 부하 장치를 기동하여 공진형 보조전원장치에 대한 신뢰성 검증을 진행 하였다.

(3) 현차 시험 결과

(가) 현차시험의 시험기간(보조전원장치 가동시간) 중 1대의 보조전원장치에 고장이 하나도 발생하지 않는 무고장시험을 기반으로 보조전원장치 시스템 신뢰성 평가목표인 1718.95 [시간/Failure]을 만족할 수 있는 시험통과조건(현차 신뢰도 검증 시험을 수행하기 위해 필요한 시험기간)은 다음과 같이 산출된다.

시험기간 (단위: 시간)	수락개수 (시험통과 고장개수)	소비자 위험
2,070	0	0.3 (30%)
2,765	0	0.2 (20%)
3,960	0	0.1 (10%)

주) 소비자 위험: 소비자 위험이 10%일 경우, 시험대상 보조전원장치가 실제 신뢰도 목표값보다 낮은 제품이지만 우연히 신뢰도 검증 시험을 통과할 확률이 10%임.

(나) 누적가동시간인 5,216시간 동안 고장이 발생하지 않았으므로 이는 소비자 위험 10% 기준값인 3,960시간 이상의 무고장을 만족한다. 즉 현차시운전을 통한 시스템 신뢰도 목표값인 1718.95[시간/Failure]을 만족한다.

자. 홍보 및 마케팅

(1) 부산 국제 철도 기술 산업전 참가

- 국내 유일의 철도 전시회
- 전시업체 : 165
- 참여국가 : 23개국
- 전시회장 구조



[전시회장 전경]

공진형 보조전원장치의 성공적인 실용화를 달성하기 위해 전시회를 통해 제품 홍보를 하였다. 국내 주요 운영사(광주도시철도공사, 코레일, SR, 서울교통공사, 부산교통공사 등)와 완성차 제작 업체(현대모비스, 우진산전, 다원시스 등)에 공진형 보조전원장치의 우수성에 대하여 홍보하였다.

(2) ISO/TS22163인증 취득

공진형 보조전원장치의 실용화에 있어서 고객사에서 가장 관심도가 높은 제품 품질 수준 확보를 위하여 ISO/TS22163(IRIS) 인증을 취득 하였다.



* Providing that the subsequent surveillance audits are successful before the validity date of the previous audit.
Certification body address: AVIC Building, No.10B, Central East 3rd Ring Road, Chaoyang District - 100022
Beijing - China

©2019 UNIFE. All rights reserved.
1/1

www.tuv.com

 TÜVRheinland®

[IRIS 인증서]

(3) 진접선 50량 프로젝트 수주

(가) 프로젝트 상세

프로젝트명	발주처	차량제작사	매출액(천원)	고용실적(명)
진접선50량	서울교통공사	HDR	589,500	2

(나) 제품사양

구 분		내 용
방식	주회로	공진형IGBT 인버터
	냉각 방식	자연 냉각 방식
입력	교류 정격 전압	AC 1,548V
	직류 정격 전압	DC 1,500V
AC 출력	정격 전압	380Vac (±3%), 3-phase
	용 량	170 kVA
	왜 율	3% 이하
	역 률	0.85
DC 출력	정격 전압	100Vdc±3%
	용 량	30 kW
효 율		90% 이상
소 음		70dB 이하 (1 m)

(다) 제품사진



[전면]



[후면]

2-3. 연구개발 성과

가. 성능비교표

[성능비교표]

항목			기존제품	기존개발품 (시작품)	과제성과물 (시제품)
회로방식			2레벨 IGBT 인버터	공진형기술적용	공진형기술적용
정격용량			160kVA	150kVA	160kVA
출력	380VAC(3Ø)	용량	140kVA	130kVA	140kVA
		출력전압	AC380 +5 ~ -10%	AC380 +5 ~ -10%	AC380 +5 ~ -5%
	DC100V	용량	20kW	20kW	20kW
		출력전압	DC100V +5 ~ - 10%	DC100V +5 ~ - 10%	DC100V +5 ~ -5%
효율			92%이상	94%이상	94.15%
전압 왜율			10%이하	8%이하	2.6%
전장품 무게			1500kg이하	1200kg이하	991kg
유지보수성 향상	제어기구조개선		랙타입 제어기 적용	원보드타입 제어기 적용 (보드문제 발생시 제어기전체 교체 필요)	랙타입 제어기 적용 (문제가 발생한 보드만 교체가능)
	코일류 취부 구조변경		코일류 교체시 보조전원장치 탈거 필요	코일류 교체시 보조전원장치 탈거 필요	슬라이드 방식 적용으로 탈거없이 교체 가능
	트레이스 저장용량 증가		고장 저장개수 : 3	고장 저장개수 : 10	고장 저장개수 : 50
	실시간 장치 모니터링		통신주기 100ms 의 직렬통신방식으로 정밀 계측 불가	통신주기 50ms 의 직렬통신방식으로 정밀 계측 불가	통신주기 1ms의 이더넷 통신 방식 적용

나. 경제적 성과

(1) 공진형 보조전원장치 적용시 전기세, 에너지 절감효과 분석

[전기세, 에너지 소비, 온실가스 절감표]

항목	단위	결과	비고
전기세 절감효과	원/year	3,896,448	
에너지소비 저감량	TOE/year	6.02688	
온실가스 저감량	TC/year	3.400365696	

※ 1개편성(보조전원장치 2SET)기준산출

※ 공인시험을 통해 시스템 효율 입증

※ 국내 에너지·자원기술개발사업 및 전력·원자력·방사성폐기물기술개발 사업의 산출 근거에 의거 함

* 전기세 절약량[원/year]

$$\begin{aligned}
 &= (\text{기존시스템의 소비전력}[\text{W/unit}] - \text{개발된 시스템의 소비전력}[\text{W/unit}]) \times \text{년간 가동시간} \\
 &[\text{hr/year}] \times \text{실수요량}[\text{unit}] \times \text{편성} \times \text{전기세} \\
 &= 3200(160\text{kW의 } 2\%\text{효율개선}) \times 12(\text{하루사용시간}) \times 365(1\text{년}) \times 2(\text{보조전원장치대수}) \times \\
 &0.139(\text{W/h}) = 3,896,448\text{원}
 \end{aligned}$$

* 에너지소비 저감량[TOE/year]

$$\begin{aligned}
 &= (\text{기존시스템의 소비전력}[\text{W/unit}] - \text{개발된 시스템의 소비전력}[\text{W/unit}]) \times \text{년간 가동시간} \\
 &[\text{hr/year}] \times \text{실수요량}[\text{unit}] \times \text{편성} \times \text{환산인자} \\
 &= 3200(160\text{kW의 } 2\%\text{효율개선}) \times 12(\text{하루사용시간}) \times 365(1\text{년}) \times 2(\text{보조전원장치대수}) \times \\
 &0.215 \times 0.000001 = 6.02688
 \end{aligned}$$

* 온실가스 저감량(TC/year)

$$\begin{aligned}
 &= \text{에너지 절감량}(\text{TOE/year}) \times 0.5642 (\text{TC/TOE}) \\
 &= 6.02688(\text{TOE/year}) \times 0.5642 = 3.400365696
 \end{aligned}$$

(2) 공진형 보조전원장치 적용시 개조비용 절감액

* 기존 보조전원장치 구매가격 = 143,610,000(원)

(※ 2007년 광주도시철도공사 구매실적가)

* 공진형 보조전원장치 납품 가격 = 100,000,000(원)

* 개조비용 절감액

$$\begin{aligned}
 &= (\text{기존 보조전원장치 가격} - \text{공진형 보조전원장치 가격}) \times \text{수량} \\
 &= 43,610,000(\text{원}) \times 46 = 3,006,060,000\text{원}
 \end{aligned}$$

다. S/W개발 및 등록

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
	공진형 보조전원장치 펌웨어	2018년 10월25일	주식회사 브이씨텍	2018년 11월28일	C-2018-035149	주식회사 브이씨텍	

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표 달성도

핵심연구성과		단위 성과		성과점검기준			실적	
				질적성과지표		목표치		
1	계획수립 및 설계	1-1	사양선정	①	보조전원장치 요구사항정리	1건	달성	○ 요구사항 분석 보고서
				②	보조전원장치 사양선정서	1건	달성	○ 설계 계산서
				③	보조전원장치 RAMS기술조사서	1건	달성	○ 보조전원장치 RAMS기술조 사서
		1-2	상세설계	①	보조전원장치설계	1식	달성	○ 보조전원장치 도면
				②	보조전원장치 부품 신뢰성 예측검토서	1식	달성	○ 신뢰성 예측보고서
				③	시험 절차서	1식	달성	○ 보조전원장치 시험계획서
2	제작 및 시험	2-1	구성품 제작 및 시험	①	구성품 제작 및 시험	1식	달성	○ 구성품 시험 보고서
				②	수명 신뢰성 시험	1건	달성	○ 수명 신뢰성 시험 보고서
		2-2	시스템 제작 및 시험	①	보조전원장치제작 및 시험	3식	달성	○ 시제품 3SET제작 완료 ○ 자체 시험 성적서 ○ S/W 1건(지적재산권 등록 완료)
				②	유지보수 매뉴얼 작성	1건	달성	○ 유지보수 매뉴얼
3	시험평가	3-1	개조승인	①	개조승인허가	1건	달성	○ 개조신고확인서
				②	구성품 및 완성차시험	1건	달성	○ 공인 성적서(로테코)
		3-2	현차실증 시험	①	현차 운영데이터 취득	1건	달성	○ 운영평가 보고서
				②	시스템 운영 성능 검토	1건	달성	○ 시운전평가 보고서
				③	시스템 운영 장애 및 고장 분석	1건	달성	○ 주간일지
				④	현차시험	1년	달성	○ 시험기록부 ¹⁾
4	마케팅	4-1	전시회참 가	①	전시회 참가	1건	달성	○ 홍보용 보조전원장치 ○ 전시회 참가 보고서
			IRIS 자격취득	②	자격취득	1건	달성	○ IRIS컨설팅 보고서 ○ IRIS인증서
						달성 도	100%	

1) 철도안전법 변경 및 광주도시철도공사 내규 변경으로 영업운행이 어려워진 관계로 사전점검당시 점검의견에 따라 영업운전선과 시운전선의 진동을 측정하여 설계검증시의 진동시험과의 비교를 실시함.
(#별첨2:광주도시철도공사 영업운전선 진동측정 보고서)

3-2. 관련분야 기여도

가. 철도차량용 공진형 보조전원장치 개발

(1) 보조전원장치의 시장요구 변화

철도차량은 승객 편의를 위해 차량에 전기용품의 다양화 및 수요증가가 이루어짐에 따라 주요전장품 중 가장 중량에 큰 보조전원장치(APU : Auxiliary Power Unit)의 용량도 증가하고 있고 그에 따라 중량은 더욱 커지는 추세이다.

기존의 보조전원장치의 내부부품 중 수동소자와 방열판은 중량의 가장 큰 부분을 차지하고 있으며 대용량 전력변환기일수록 손실이 매우 높아 큰 중량을 필요로 한다. 이로 인한 철도차량의 효율상승 및 경량화 요구가 대폭 증가하고 있다.

(2) 보조전원장치의 경량화 한계

전력변환기의 스위칭 주파수를 증가시키면 리액터, 캐패시터, 변압기와 같은 수동소자를 보다 작게 할 수 있어 전체 크기 및 중량을 줄일 수 있으면서도 전력밀도는 증가시킬 수 있게 된다. 대용량 전력변환기의 스위칭 주파수를 증가시키면 스위칭 손실이 급격하게 증가하고 발열부품의 크기가 증가하며, 발열이 상승함에 따라 전력용 스위칭 소자의 성능이 저하됨으로써 일반적인 스위칭 방식으로는 중량개선에 큰 영향을 끼칠 수 없는 한계를 가진다.

(3) 보조전원장치의 기존 한계 극복

전력변환 시스템의 한계를 극복하기 위해 LC공진기술이 학계 및 산업계에서 꾸준히 연구되어왔다. LC공진기술을 적용하면 높은 스위칭 주파수 구현이 가능해 에너지 효율 증가가 가능하다. ㈜브이씨텍은 한국철도기술연구원과 공동연구를 통해 LC 공진기술이 적용된 보조전원장치를 국내 최초로 개발하는데 성공하였다. 또한 ㈜브이씨텍은 리액터, 캐패시터, 변압기와 같은 수동소자의 크기를 작게 하여 소형경량화하는데 성공하였다.

(4) 공진형 보조전원장치 신뢰성 검증

설계단계부터 검토된 공진형 보조전원장치의 RAMS목표치는 가속수명시험을 통해 보완 설계되었으며 최종적으로 4개절의 현차시험을 통해 검증되었다. 본 과제를 통해 획득한 신뢰성 데이터는 향후 국내 보조전원장치 신뢰도 설정에 있어 중요한 데이터가 될 것으로 기대된다.

4. 연구개발성과의 활용 계획

4-1. 시장 현황 및 전망

가. 국내 철도 수요 전망

- 철도여객 수요 : 도시화의 영향으로 글로벌 수요는 2050년까지 연평균 2.7% 증가 예상

(출처 : Frost & Sullivan, Executive Analysis of the Global Rail Market 2016)

- 철도망 확대 : 2017년 3,729km -> 2026년 5,364km로 확대 계획 (제3차 국가철도망 구축계획)
- 경제규모, 소득수준, 국토면적, 인구밀도, 교통량 등을 감안한 국제비교(OECD 17개국)결과, 적정 철도연장은 6,000km (교통연, KDI)



[국내 철도여객 수요 철도망 확대]

나. 해외 철도 수요 전망

- 탄소 규제에 따른 Modal shift(전환 교통)와 북미 및 유럽 지역의 대규모 인프라 투자로 철도시장 확대
- 2016년 철도산업 시장규모는 약 1,690억유로(철도차량분야 약 60%)이며, 2050년까지 철도승객은 연평균 2.7% 수준으로 증가가 예상
- 유럽 중심의 친환경 정책으로 메이저업체(봄바르디어, 지멘스, 알스톰, 히타치 등)는 에너지저장, 재활용 인증 차량 개발로 고가 시장 선점
- 중국의 철도 투자 및 내수시장 확대로 중국중차(CRRC)가 세계 최대 차량제작사로 부각
- 현재 CRRC의 철도차량 시장 점유율은 33.4% 정도로 중저가 철도시장 잠식



[해외 철도여객 수요 및 차량 제작사 점유율]

4-2. 사업화 계획

가. 제품/기술의 핵심가치

(1) 제품/기술의 장점

- 고효율 경량화 : 전 세계적으로 철도차량은 속도 경쟁이 아닌 에너지 절감 정책에 집중 하고 있음, 정격 효율 94%, 전장품 중량 991kg 으로 세계 최고 수준의 고효율 경량화 전장품 개발 완료
- 제품의 신뢰성 확보 : 본 과제를 통하여 제품의 인증 시험(환경시험, 전자파 시험, 형식승인(품질인증), 4개절의 현차시험)으로 신뢰성 확보.
- 유지보수 용이 기술 개발 : 철도 운영사 뿐만 아니라 철도차량제작사 에서도 유지보수 비용 절감이 주 관심 대상 임, 고효율 경량화를 통해 보다 작은 사이즈로 제작이 가능 하여 유지보수 비용을 절감 강점을 가짐

(2) 공진형 보조전원장치 SWOT 분석

강점	약점
● 고효율 경량화 ● 철도차량업체(현대로템) 1차협력사 지위를 활용한 영업 활로 개척 용이 ● 철도용품의 다양한 국내외 전동차 적용 이력 ● 세계 최대 시장인 중국 내 영업기지 확보 (중국 내 3개 법인)	● 독일, 일본 등 선진국 대비 해당기술상용화 미흡 ▷ 극복방안 : 적극적인 강점 홍보/신규 국내시장 선 적용 후 해외 진출 ● 핵심 부품의 해외 의존도 높음 ▷ 극복방안 : 국내 부품 제작사 협업 강화 ● 해외시장을 개척을 위한 자본력 한계 ▷ 극복방안 : 신규 투자유치를 통해 극복 ● 해외 선진사 대비 품질 체계 취약 ▷ 극복방안 : IRIS품질 인증 유지 및 개선을 통해 객관적 품질 시스템 확보(IRIS : International Railway Industry Standard)
기회	위협
● 주요 철도차량사/철도운영사의 비용절감 정책에 대응 가능한 가격경쟁력이 확보된 고효율적 제품 및 서비스 공급 가능 ● 경량전철 시장 확대로 경량/소형 전원장치 관련 수요 증대 ● 친환경적인 교통수단에 대한 수요 확대	● 국내 후발주자들의 유사 기술 개발 ● 해외 기업들의 기술 및 표준을 통한 경쟁력 위협 ● 선진국의 특허방어 전략 강화 ● 자국 산업 보호를 위한 규제와 제도 ▷ 극복방안 : 해외 제품들과의 기술적 차별성을 지속적인 연구를 통해 강화하고 추가적인 국내외 지적재산권 확보를 통해 시장내 생존력 강화 정책을 꾸준히 추진

(3) 차별화 방안

[제품/기술의 가치 요약]

핵심가치	내 용
제품의 차별성	-신뢰성 높은 검증된 회로 사용 -고효율 경량화 에너지 절감 효과 -현차시험을 통해 제품의 신뢰성 검증
동사(해당 기업)의 차별성	-고효율 경량화 : 에너지 절감효과 비교 -실제와 유사한 환경의 시험 조건으로 신뢰성 있는 제품 구축 -유지보수 및 점검을 고려한 최적의 구조설계 및 해석 기술
공공적 가치	-고효율 제품으로 에너지 절감에 기여 -높은 신뢰성으로 제품 수명 향상 및 사회적 비용 절감 -최근 크게 부각되는 환경오염 및 온실가스 저감에 기여

나. 목표시장 분석

(1) 시장 규모 및 성장성 분석

구분	시장규모	성장률 전망	진출 방안
철도차량 전장품	2014년에는 213조원에서 2020년에는 360조원으로 추정 (서유럽 36%, 북미 21%, 아시아21%) 출처: SCI/VERLEHR GmbH 보고서	2020년까지, 연 평균 4.5% 예상	공진형 기술을 통한 시 장 선점
전기버스 및 수송분야 인버터	2015년 20,249대에서 2020년 43,992대로 성장 예상 출처: 렉스리서치	2020년까지, 연 평균 16%성장 예상	대전력, 고효율, 저발열 등의 강점을 통한 시장 침투
산업용 자동화 전력변환기	2000년 817억 달러에서 2015년 2352억 달러로 성 장 출처: 산업 통 상 자 원 부, KDB대우증권 리서치센터	연평균 7%성장으로 지속성장 예상	대전력 소형화 장비의 강점을 통한, 시장 침투

(2) 목표고객 정의

구분	선정 사유	제품에 대한 고객 요구 사항/수준	고객 요구사항에 대한 대응방안
고객군1 차량 제작사	● 시장 내 주요고객	● 작은 사이즈, 적은 중량 ● 다양한 용량 라인업 ● 현차시험 실적	● 고효율 경량화 전력인버터 개발 ● 각 전차선 및 용량에 따라 설계 표준화 ● 영업운전 데이터 제시 ● 개발제품 홍보/마케팅
고객군2 시행청	● 노후화 전장품의 개조 사업 및 신조 사업 요구	● 품질인증 ● 높은 신뢰성 확보 ● 유지보수의 용이 ● 고효율화 운영비 절감	● 품질인증 획득 ● 실제 환경과 유사한 시험 ● 유지보수의 용이한 작은 사이즈 가벼운 중량 ● 전장품의 고효율화 ● 개발제품 홍보/마케팅

(3) 목표고객별 판매전략

목표고객	해당기업 (기업명)	판매 전략
고객군1 차량 제작사	현대로템	- 작은 사이즈와 적은 중량으로 가격경쟁력 및 차량 설계 용이하게 개발 - 납품 실적을 통하여 신뢰성 확보
	중국중차 우한전철 하이난전철 대만전동차(TRSC)	- 개발기술 기반의 가격경쟁력과 품질에 초점을 맞춘 제품 개발 - 차량사의 다양한 인터페이스 요구 대응에 용이한 제품 개발
고객군2 시행청	광주도시철도공사 코레일 서울메트로 각 지방 도시철도공사	- 품질인증 확보를 통한 홍보 - 유지보수성 용이 하게 기술 개발 - 고효율 경량화 에너지 절감효과 홍보

(4) 경쟁자 분석

구분	경쟁자의 전략	자사 대비 강점	자사 대비 약점
Mitsubishi (일본)	- 주요 핵심 부품 자체 생산 - 높은 신뢰성	높은 고객 신뢰도	- 높은 가격 - 유지보수 비용 높음
SMA (독일)	- 세계 최초 경량화 양산 - 다양한 라인업 및 이력	- 작은 사이즈 - 중량이 작음	- 높은 가격 - 유지보수의 어려움 (구조) - 유지보수 비용 높음
D사 (한국)	- 부품 조달 능력 - 차량제작사의 이점 활용	차량제작사로 자사 제품 채용	- 큰 사이즈 - 중량이 큼 - 효율이 낮음 - 소음이 큼

○ 본연구개발품의 기술격차는 미미하나 해외 선진사의 경우 오랜시간 쌓아온 고객의 신뢰도를 바탕으로 시장을 형성하고 있음.

○ 당사는 연10%이상의 국내점유율 확대, 연0.5%이상의 해외 점유율 확대를 목표로 하고 있으며 이를 통해 고객 신뢰도를 확보해 나가고자 함.

4-3. 사업화 역량 및 기대효과

가. 추진의지

(1) CEO(최고경영진)의 추진의지

CEO의 추진의지	고효율 경량화로 기존 제품과 차별화
● 국내에서 최초로 공진형 보조전원장치 기술을 당사에서 개발 한 바 추후 고효율 경량화로 기존 제품과 차별성을 두어 시장점유율 확대를 통한 매출확대를 적극 추진 중에 있음 ● 이를 위해 연구·개발 및 생산에 이르는 인프라 구축 및 영업활동을 적극지원하고 있으며 향후 규모 확대에 따른 자체 및 유치를 포함하는 추가 투자 조달도 적극 계획하고 있음	

(2) 생산, 판매 등 사업 인프라 구축 역량

구분	R&D	생산	영업
외부	● 고효율화에 따른 에너지 절감효과를 국내연구기관을 이용해 검증 능력 확보	● 협력사 품질 및 부품 신뢰성 강화를 위한 품질관리시스템 보완/구축 ● 협력사의 생산능력 검증 및 주요 생산기술 교육지원	● 중국내 비즈니스 전문가 활용을 통한 시장 환경변화에 따른 영업 전략 로드맵 지속적 보완/수정
내부	● 협력대학 등을 활용한 신규 연구인력 확충 ● 협력대학 연구원 학비 지원 등을 통한 장단기 인력 풀 확보 ● 자체 인력 학비지원 등 교육비 지원책을 통한 기술능력 향상	● 공업고 등 협력학교와의 지속적 지원을 통한 인력풀 선 확보 ● 생산 및 품질관리인력의 자격 및 캐리어 관리/유지 ● 필요기술 외부 교육 무상지원 등 기술향상 관리 ● 생산 자동화 및 라인 효율화 개선 투자	● 중국내 영업 전담인력 확충 ● 기존 일반영업 인력대비 기술영업 인력 확충 ● 중국내 전문인력 확보 방안 수립

나. 실행역량

(1) 사업화 역량

(단위 : 천원)

참여기업	년도	자본금	매출액	매출액대비 연구개발비	상시 종업원수	연구개발 인력	부채비율	영업이익
브이 씨텍	2019	11,209,880	19,918,925	16%	93	48	308%	131,642
	2018	11,209,880	12,693,580	21%	90	45	252%	-2,193,117
	2017	11,209,880	13,597,583	14.04%	63	30	146.0%	-1,604,527
	2016	11,209,880	20,623,724	9.89%	62	28	99.84%	1,131,867
	2015	11,209,880	17,654,515	10.14%	68	28	110.29%	-647,523
	2014	2,000,000	15,433,127	8.84%	69	29	264.01%	521,751
	2013	2,000,000	13,618,606	9.66%	66	23	218.50%	1,272,659

(2) 투자계획

(단위 : 백만원)

항목		(2021년) 개발 종료 후 1년	(2022년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
매출원가		7,950	20,074	32,310
판매관리비		1,193	2,409	3,231
자본적 지출	토지	0	500	0
	건물/구축물	0	1,500	0
기계장치등		398	500	646
자본적지출 합계		398	2,500	646

다. 예상 판매 계획

구분		(2021 년) 개발 종료 후 1년	(2022 년) 개발 종료 후 2년	(2023 년) 개발 종료 후 3년
국 내	시장점유율(%)	20%	35%	55%
	판매량(단위: SET)	50	150	250
	판매단가(원)	100,000,000	95,000,000	90,000,000
	국내매출액(백만원)	5,000	14,250	22,500
해 외	시장점유율(%)	0.5%	1%	2%
	판매량(단위: SET)	75	180	300
	판매단가(\$)	100,000	97,000	95,000
	해외매출액(백만\$)	7.5	17.46	28.5
당사 생산능력		200	600	600

#별첨1;고온기반 가속수명시험 검토 보고서

자 문 결 과 보 고 서

“철도차량 보조 전원장치의 가속수명시험 문헌 검토”에 관한 자문 보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

별첨 : 자문결과보고서 1부. 끝.

2019 년 9 월 04 일

자문위원 : 양 일 영


(인)

한국산업기술시험원

[자문결과보고서]

**철도차량 보조 전원장치의 가속수명시험 문헌
검토**

2019. 9.

한국산업기술시험원

〈 목 차 〉

I. 가속수명시험 개요	5
1. 수명시험 개요	5
2. 가속수명시험의 필요성	8
3. 가속수명시험의 개요	8
4. 가속수명시험 관련 국제표준	9
5. 수명시험 설계 절차	10
II. 전원장치관련 고장모드 및 메커니즘 문헌검토	16
1. 고온고습 기반 이온마이그레이션 고장메커니즘	16
2. 고온기반 화학적 변화에 의한 부품의 열화 고장메커니즘	19
III. 고온 기반 시스템단위 가속계수 도출방법 문헌 검토	22
1. 여러 부품으로 구성된 모듈의 가속계수 계산방법	22
2. 시스템레벨 가속계수 도출 관점의 철도차량 보조전원장치의 가속수명시험 검토	27
IV. 결론	28

I. 가속수명시험 개요

1. 수명시험 개요

- 수명시험은 부품 또는 기기의 시간에 따른 성능을 평가하기 위한 시험으로 시험 목적, 고장메커니즘, 데이터 종류에 따라 다음과 같이 구분 가능

시험목적에 따른 구분

가속수명/열화시험

목적: 대상 제품의 신뢰성 수준이 어느 정도인지의 추정

보증시험

목적: 대상 제품의 신뢰성 수준이 목표 수준을 만족하는지 여부를 확인

고장메커니즘에 따른 구분

가속수명/열화시험

고장메커니즘: Wear-out Mechanism

가속스트레스시험

고장메커니즘: Overstress Mechanism

데이터 종류에 따른 구분

가속수명시험

데이터의 종류: 수명데이터

가속열화시험

데이터의 종류: 특성 열화데이터

- 수명시험은 신뢰성요구 조건에서 제시하고 있는 수명에 대한 평가 척도를 충족하기 위한 시험으로 수명에 대한 평가 척도는 일반적으로 다음과 같은 척도를 사용
- 평균수명 (MTBF, MKBF, MTTF 등) : 시험데이터를 분석하여 고장까지의 평균 수명(시간, 주기, 거리 등)을 평가

※ 적용 예)

- 333H = 총 시험시간 1,000H/고장횟수 3회
- 지수분포를 따르는 경우 63%가 고장나는 시점
- 정규분포를 따르는 경우 50%가 고장나는 시점

※ 용어

- MTBF : Mean Time Between Failure (수리 가능 제품)
- MKBF : Mean Kilometer Between Failure (수리 가능 제품)
- MTTF : Mean Time To Failure (수리 불가능 제품)

- Bp 수명 : p %가 고장 나는 시점을 Bp 수명이라고 정의

※ B : Bearing을 의미

※ 수명분포가 지수분포를 따르는 경우 MTTF는 B_{63.2} 수명과 동일

- 고장률(λ) : 주어진 구간($t, t + \Delta t$)의 시작 시점까지 고장 나지 않은 품목이 순간적으로 고장 날 확률

$$\lambda = r / (n \times \Delta t)$$

(r 은 해당구간 고장 수, n 은 해당구간 초기 고장 나지 않은 품목 수)

- 보증하고자 하는 신뢰성 평가 척도에 따라 평균수명, Bp 수명 등의 척도를 다음과 같이 표현해야 함
- B₅ 수명 500 시간(동작시간 기준) 이상 됨을 신뢰수준 60 %로 보증
- MTTF 10년 이상 됨을 신뢰수준 60 %로 보증

※ 지수분포 평균수명이 B_{63.2}(누적고장확률이 63.2%) 인 이유

o 참고 문헌: 통계학 이론과 응용 (배도선외, 청문각)

o 지수분포 평균수명

- 분포의 특성값

[기대값 정의] 확률변수 X의 기댓값 또는 평균 E(X)는 다음과 같이 정의

$$E(X) = \begin{cases} \sum_{x \in Rx} xp(x), & X \text{가 이산형일 때} \\ \int_{-\infty}^{\infty} xf(x), & X \text{가 연속형일 때} \end{cases}$$

- 지수분포 확률밀도함수

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}}, & t > 0 \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$$

- 지수 분포의 경우 확률 변수 T의 기댓값 또는 평균 E(T)는 다음과 같이 표현

$$(\text{단, 평균수명 } (\theta) = \frac{1}{\text{고장률}(\lambda)})$$

$$\begin{aligned} E(T) &= \int_0^{\infty} tf(t)dt, \quad \because t \text{는 시간이기 때문에 } -\infty \text{가 없고 최소 } 0 \\ &= \int_0^{\infty} t \times \frac{1}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}} dt \\ &= \frac{1}{\theta} \int_0^{\infty} te^{-\frac{t}{\theta}} dt \\ &= \frac{1}{\theta} \int_0^{\infty} t^{2-1} e^{-\frac{t}{\theta}} dt \\ &= \frac{1}{\theta} \Gamma(2) \theta^2 = \theta \end{aligned}$$

. 참고 : 감마함수 특징 i) $\Gamma(a) = (a-1)\Gamma(a)$

$$ii) a \text{가 정수}, \Gamma(a) = (a-1)!$$

$$iii) \Gamma(1/2) = \sqrt{\pi}$$

$$iv) \int_0^{\infty} x^{a-1} e^{-\frac{x}{b}} dx = \Gamma(a)b^a$$

- 지수분포의 분포함수(누적고장확률) $F(t) = \int f(t)dt = 1 - e^{-\lambda t}$

- $t = \theta = \frac{1}{\lambda}$ 즉, 변수 t가 평균($\theta = \frac{1}{\lambda}$)인 시점의 누적 고장확률

$$F(t = \theta = \frac{1}{\lambda}) = 1 - e^{-\lambda \times \frac{1}{\lambda}} = 1 - e^{-1} = 0.632120559....$$

2. 가속수명시험의 필요성

- 목표수명이 길어서 장기간 사용되는 전자제품의 경우 단기간의 시험을 통해 목표 수명을 보증하기는 어려움
- 단기간에 구성품의 수명을 예측하기 위해서는 대상 구성품의 운용환경과 고장메커니즘을 고려한 가속수명시험(Accelerated Life Test)이 필요

3. 가속수명시험의 개요

- 가속수명시험은 대상 아이템의 고장메커니즘 정보를 토대로 고장메커니즘을 촉진시킬 수 있는 가속 스트레스를 선정하여 정상 사용조건보다 열악한 가속 스트레스 조건에서 시험하여 고장데이터를 빨리 얻는 시험방법
- 가속 스트레스 조건에서 얻어진 고장데이터를 잘 알려진 수명과 스트레스 사이의 관계식을 이용하여 정상 사용조건의 고장데이터로 환산한 후 정상 사용조건에서의 관심 있는 신뢰성평가측도를 추정

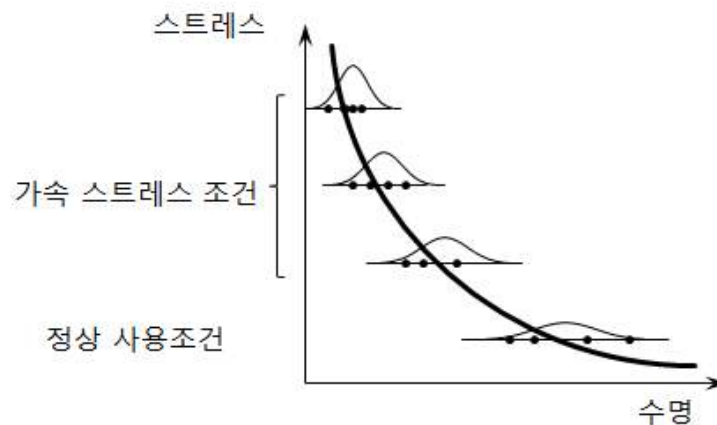


그림 2 가속수명시험의 개념

4. 가속수명시험 관련 국제표준

- 가속수명시험에 대한 국제표준은 IEC 62506(2013)에서 언급하고 있음
- 가속시험은 크게 정량적 가속시험, 정성적 가속시험으로 구분됨
 - 정성적 가속시험은 고장모드 및 고장 현상을 조기에 검출하여 개선을 하기 위한 목적으로 수행되는 가속시험임. 따라서 수명에 대한 척도를 추정 할 수 없음
 - 정량적 가속시험은 수명에 대한 척도를 추정하기 위해 수행되는 시험으로 Type B의 가속시험과 Type C의 가속시험으로 구분 가능
 - . Type B는 정상 사용 조건보다 스트레스를 가속하는 시험 방법으로 특정 가속환경을 가정
 - . Type C는 정상 사용 조건의 시간 혹은 이벤트 빈도를 가속하는 시험 방법

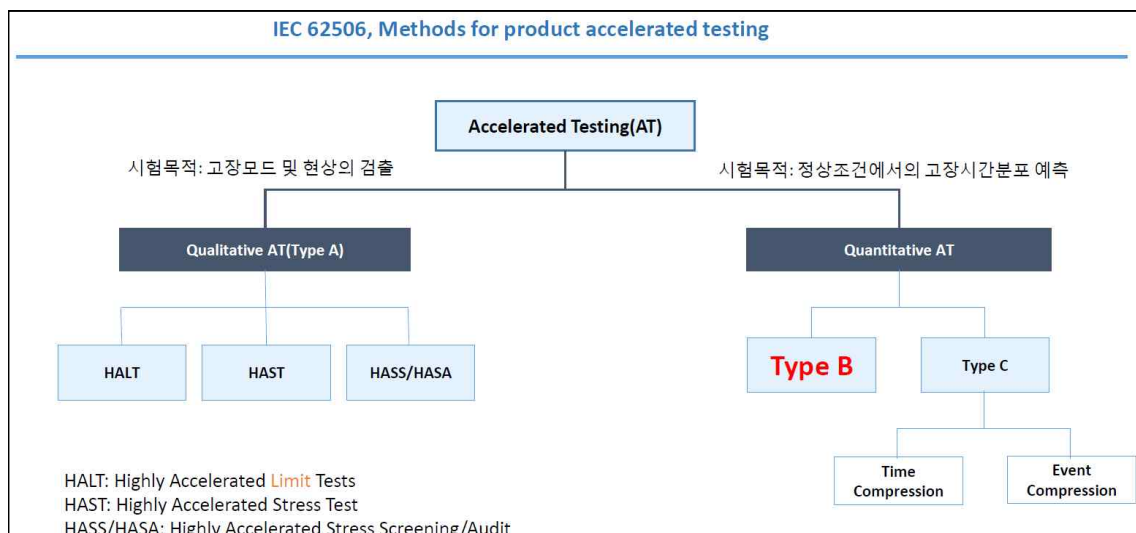


그림 3 IEC 62506 가속시험 방법 구분

- 철도차량 보조전원장치의 가속수명시험은 Type B의 스트레스 가속에 해당

5. 수명시험 설계 절차

- 최근 합참에서 제시한 ‘무기체계 시험평가 실무 가이드북’에서는 수명시험 설계를 위한 절차를 다음과 같이 제시하고 있음

주요 고장모드 및 메커니즘 조사	스트레스 영향 분석	가속시험방법 결정	시험 설계	통계적 데이터분석
- 고장모드 조사 필드에서 발생하는 고장현상 조사 - 고장메커니즘 조사 고장모드를 일으키는 메커니즘 조사 - Overstress mech. - Wearout mech.	- 고장메커니즘에 영향을 미치는 스트레스 요인 분석 예) - 화학반응 : 온도 - 수분흡습 : 온습도 - 재료의 열팽창계수 차이에 의한 응력 : 온도사이클	- 시험방법 선택 - 정상조건의 시험이 가능하거나 고장 메커니즘 정보가 없는 경우 : 정상수명시험 - Overstress mech. : 가속스트레스 시험 - Wearout mech. : 가속수명/열화시험	- 시험 전 결정해야 할 설계변수 결정 예) - 시험시간 - 시료 수 - 고장판정 기준 등	시험 결과 얻어진 데이터를 이용하여 신뢰성 평가 척도 값 통계적 추정 또는 신뢰성 요구조건 만족여부 확인

그림 4 일반적인 전자 제품의 수명시험 설계 절차

- 주요 고장모드 및 메커니즘 조사 : 필드 고장정보 수집 또는 고장모드 및 영향분석(FMEA, Failure Mode & Effect Analysis)을 통하여 고장모드와 고장 메커니즘, 발생빈도, 고장메커니즘의 종류(과스트레스 메커니즘 또는 마모메커니즘)를 파악

※ 메커니즘 용어 정의 : 국방과학기술용어사전

- 과 스트레스 메커니즘 혹은 우발 고장 메커니즘(Overstress Failure Mechanism) : 외부로부터의 과도한 스트레스에 견딜 수 있는 강도(Strength)가 부족하여 발생하는 고장 메커니즘
- 마모고장메커니즘(Wearout Failure Mechanism) : 기계적, 화학적, 전기적 기능 저하의 결과 발생하는 고장메커니즘. 제품을 일정 기간 이상 사용하게 되면, 제품을 구성하는 각 부품들이 마모나 노후화로 인하여 제 기능을 발휘하지 못하게 되며, 이러한 원인으로 제품이 고장 나는 현상

Failure Mechanism	Failure Site	Failure Mode	Relevant Stresses	Environment Test	Model
UV Reaction Discoloration	EVA Encapsulation	Lower light efficiency	T, Intensity, Frequency	UV Exposure at Temp	Arrhenius Exp ($-E_a/kT$)
Deadhesion	Front Surface	Electrical Open	$\Delta T, H, \Delta H$	Damp heat Temp cycle	Coffin-Manson $N = C(\gamma)^n$
Deadhesion	Back Surface	Poor Heat Transfer	$\Delta T, H, \Delta H$	Damp heat Temp cycle	Coffin-Manson $N = C(\gamma)^n$
Corrosion	Front Surface Interconnects	Open Circuit Incr. Resist.	M, $\Delta V, T$, impurities	Powered damp heat at Temp	Eyring $(V)^n(RH)^n e^{-E_a/kT}$
Fatigue Disintegration	Backsheet Lamination	Cracking	$\Delta T, \Delta H$	Damp Heat Temp cycle	Coffin-Manson $N = C(\gamma)^n$
Fracture	Glass	Cracking	Mech Load	Mech Load	Paris Law $N=C(\Delta K)^n$
Fatigue	Edge Sealing	Cracking Voiding	$\Delta T, \Delta H$	Damp Heat Temp cycle	Coffin-Manson $N = C(\gamma)^n$
Metal Segregation	Solder Connection	Voiding Intermetallic	T, J	Powered Temp Aging	Eyring (Black) $J^n e^{-E_a/kT}$
Fatigue	Solder or Cell Connection	Loss of connection	$\Delta T, \Delta V$	Powered Temp cycle	Coffin-Manson $N = C(\gamma)^n$

출처: F. Patrick McCluskey, Reliability Modeling for Photovoltaic Modules, Photovoltaic Module Reliability Workshop 2010

그림 5 박막형 태양전지의 고장모드 및 메커니즘과 가속모델

- 스트레스 영향 분석 : 다음과 같은 상관관계 행렬 분석을 통하여 조사된 고장모드 및 메커니즘에 대하여 영향력이 큰 스트레스 종류를 결정

• 상관관계 행렬

메커니즘 발생
구분* 빈도

환경 스트레스
Environmental Stress

고장모드 & 메커니즘
(Failure Mode & Mechanism)

상관관계
행렬

우선순위(점수)

- 좌측 가장 왼쪽 열에 고장모드 및 메커니즘을 기입
- 두 번째 열에는 해당 고장모드 및 메커니즘이 과스트레스메커니즘인지 마모메커니즘인지를 표시
- 세 번째 열에 해당 고장모드 및 메커니즘의 발생빈도 상대 비율(%)을 입력
- 위 행에는 고장모드 및 메커니즘에 영향을 미칠 수 있는 스트레스 종류 표시
- 가운데 상관관계 행렬에는 해당 고장모드 및 메커니즘과 스트레스 사이의 관계를 '●' (매우 밀접, 5점), '○' (밀접, 3점), '△' (관계 있음, 1점)로 평가
- 아래 행에는 스트레스 종류별로 고장모드 및 메커니즘의 발생빈도 × 해당 스트레스와 각 고장모드 및 메커니즘의 관계 점수를 합산하여 나타냄
- 아래 행의 점수를 기초로 수명시험에 사용할 스트레스 종류를 결정

• 예: HEMP 방호용 필터의 스트레스 영향 분석

	메커니즘 종류	발생 빈도(%)	스트레스 종류					비 고
			고온	고온 고습	저온	진동/ 낙하	반복 동작	
마모	W	60	△	△	○	△	●	
변형	W	40	●	△	○	○	○	
파손	O	60	△	△	△	△	△	
부식	W	40	△	○	△	△	△	
영향도			3.6	2.8	4.0	2.8	5.2	

○ 가속시험방법 결정 : 다음 3가지 방법 중 선택

- 정상수명시험 : 새 개발품이어서 고장모드 및 메커니즘의 정보가 없거나 정상 운용 환경을 재현하여 정상 사용조건을 시험하는 것이 가능한 경우 정상수명시험을 실시
- 가속스트레스시험 : 대상 아이템의 주 고장 메커니즘이 과스트레스 메커니즘인 경우 가속스트레스시험 실시
- 가속수명/열화시험 : 대상 아이템의 주 고장 메커니즘이 마모메커니즘인 경우 가속수명/열화시험 실시

○ 시험 설계 : 각 시험별로 실제 시험을 실시하기 위하여 시험 전 결정해야 할 사항들을 결정

- 정상수명시험
 - 시험조건 : 환경조건, 동작조건
 - 성능측정항목 및 고장판정기준
 - 시험시간
 - 시료 수
- 가속스트레스시험
 - 스트레스 종류
 - 시작 스트레스 수준
 - 스트레스 변화 폭
 - 유지시간(각 스트레스 수준에서 머무는 시간)
 - 성능측정항목 및 고장판정기준
 - 시료 수
- 가속수명/열화시험
 - 스트레스 종류
 - 시험 스트레스 수준
 - 성능측정항목 및 고장판정기준
 - 시험시간
 - 시료 수

- 통계적 데이터 분석 : 시험결과 얻어진 데이터를 이용하여 신뢰성평가척도 값을 통계적으로 추정하거나 신뢰성요구조건을 만족하는지 여부를 확인
- 가속계수 도출을 위한 시험방법 설계는 다음과 같은 절차에 의해 수행

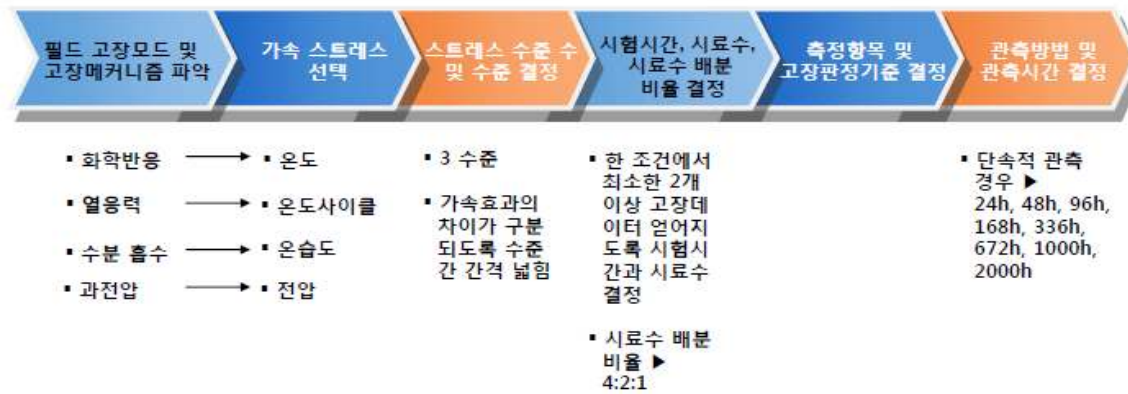


그림 6 가속계수 도출을 위한 시험설계 방법

- 시험 후 시험 데이터의 통계적 분석을 위해 다음과 같은 절차로 통계적 데이터 분석 수행

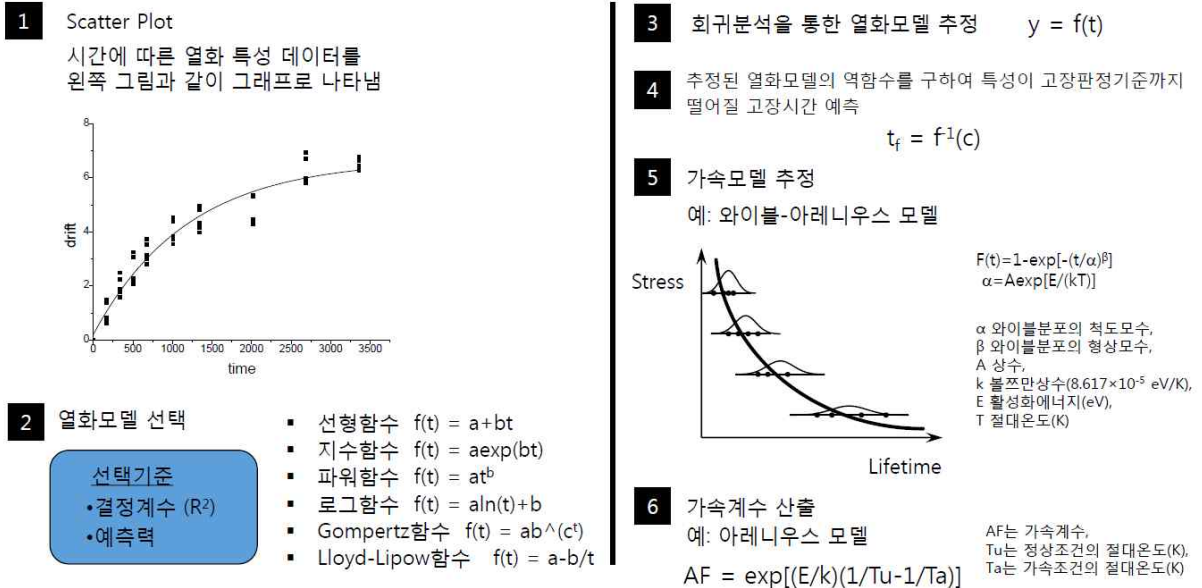


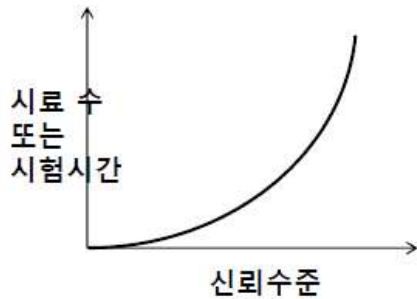
그림 7 통계적 데이터 분석 절차

- 보증을 하고자 하는 수명을 검증하기 위한 시료 수 시험시간은 다음과 같은 수식에 의해 산출
- 시료 수 또는 시험시간과 신뢰수준의 관계는 아래 그림과 같고, 표준별 신뢰수준 적용 사례는 다음과 같음

● 시료 수 또는 시험시간과 신뢰수준의 관계

$$n \geq (t_p/T)^\beta \times \chi^2(1-CL; 2c+2) \times \{1/\ln(1-p)^{-1}\} / 2$$

단, n은 시료수, c는 허용 고장수, CL은 신뢰수준, T는 시험시간, t_p 목표 수명(제 p 백분위수), β 는 형상모수



● 신뢰수준 적용 사례

대상	신뢰수준	비고
군용 부품, 구성품	60% 또는 90%	MIL-STD-690
민수용 부품, 구성품	60%	IEC 60319
반도체	90%	JEDEC 47B
수동광부품	90%	Telcordia GR-1221-CORE
통신 모듈	60%	Telcordia
자동차 전장품	50%	GM 3172

그림 8 통계적 보증시험 설계

- 국내 대표적인 한국신뢰성인증센터 신뢰성인증제도에서도 다음과 같은 절차에 따라 수명시험을 설계함

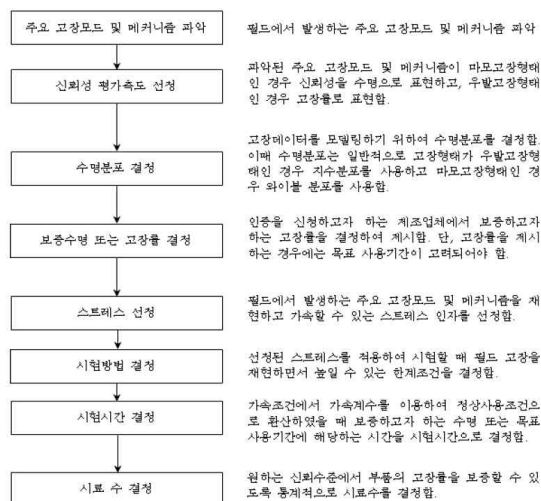


그림 9 한국신뢰성인증센터 인증제도의 수명시험 설계 절차

- 국내· 외 가속시험 관련 제도 및 표준 검토를 통해 가속시험을 설계하는데 중요한 점은 다음과 같이 요약할 수 있음
 - 대부분의 가속시험방법은 필드에서 발생 가능한 고장모드 메커니즘을 기반으로
 - 해당 메커니즘을 재현하기 위한 스트레스 가속 방법이 핵심
 - 따라서 고장모드 및 메커니즘을 잘 정의하는 것이 가장 중요함

II. 전원장치관련 고장모드 및 메커니즘 문헌검토

- 본 장에서는 전원장치의 일반적 고장모드 메커니즘을 검토
 - 일반적 전원장치의 고장모드 및 메커니즘 검토를 통해 철도차량 보조전원 장치의 가속 스트레스의 적정성을 판단함

1. 고온고습 기반 이온마이그레이션 고장메커니즘

- 전자기기의 소형화, 경량화와 전자부품이 고밀도, 고집적화 됨에 따라 PCB의 절연 신뢰성 문제 발생
- 솔더(Solder)나 전기적 회로를 구성하는 전극 혹은 패턴 간에 수분의 부착과 흡착
- 인가된 전압에 의해 물의 전기분해가 발생하게 되는데, 보통 양극에서 산화가 일어나 구리, 은, Pb-Sn 등의 금속이온이 용출되어 음극을 향해 금속 이온 이동
- 이동된 이온이 축적되어 음극과 양극의 Short 발생

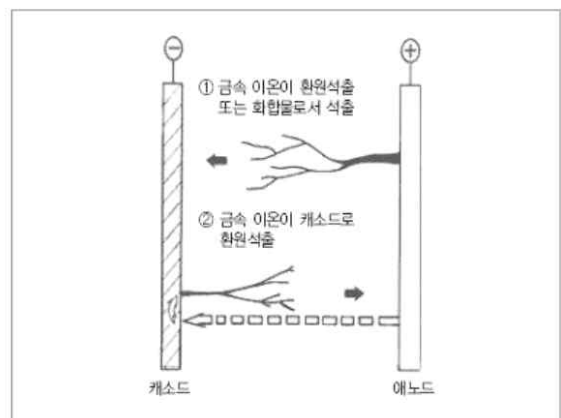
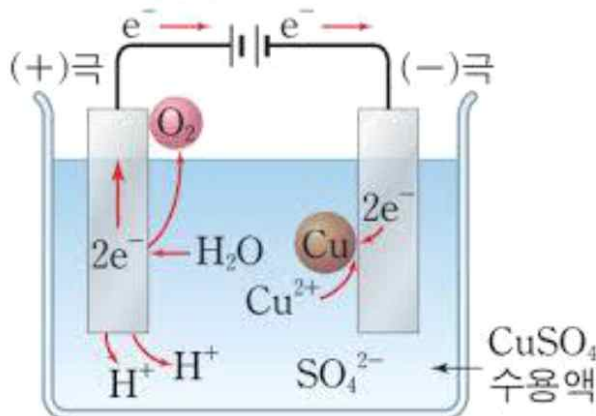


그림 10 이온마이그레이션 고장메커니즘의 화학적 반응 현상

Failure Modes/Mechanisms Stresses & Performance	Open	Short	휼과 꼬임	절연저 항불량	뜬 랜드	부풀음 층간분리
o Thermal shock	◎		◎		◎	○
o Humidity		◎		◎		◎
o Temperature	○	○		◎	○	○
o Vibration	○					
o Voltage		◎		◎		
* 신뢰성에 관련된 중요도에 따라 표시 : ◎가장 중요 ○ 중요 ◇ 보통 * Failure Mode/Mechanism은 해당 부품·소재에서 발생할 수 있는 모든 고장 형태를 나타냄						

그림 11 PCB의 주요 고장스트레스와 고장메커니즘

Test Methods Failure Modes/Mechanisms	열충격 시험	항온항습시험	이온 마이그레이션 시험	진동시험
o Open	◎			○
o Short		◎	◎	
o 휼과 꼬임	◎			
o 들뜬 랜드	◎			
o 층간분리, 부풀음	○	◎		
o 절연저항 불량		◎	◎	
* 신뢰성에 관련된 중요도에 따라 표시 : ◎가장 중요 ○ 중요 ◇ 보통 * Failure Mode/Mechanism은 해당 부품·소재에서 발생할 수 있는 모든 고장 형태를 나타냄 * Test Methods는 해당 발생고장을 일으킬 수 있는 시험방법을 나타냄				

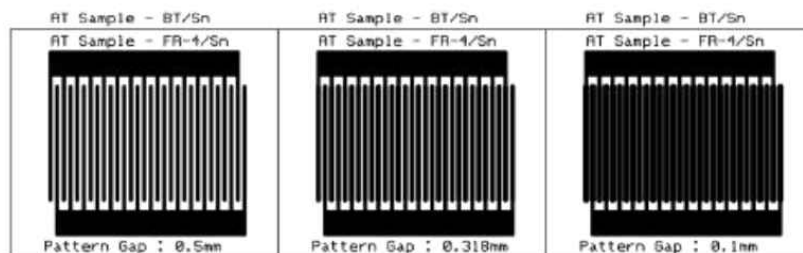
그림 12 PCB의 고장 모드에 따른 시험방법

○ 관련문헌

- 이덕보(2005) 외, PCB 전기적 신뢰성평가를 위한 이온마이그레이션 가속시험, 한국동력기계공학회지
- 황순미(2012) 외, Sn 표면처리된 FR-4 재질 PCB에서의 이온마이그레이션 가속 시험, 신뢰성응용연구
- 허석환(2015) 외, 고온고습 전원인가 시험에서 CI에 의한 이온 마이그레이션 불량, 대한용접접합학회지
- 황순미(2014) 외, 표면처리에 따른 FR-4 재질 PCB에서의 이온마이그레이션 가속시험, 한국신뢰성학회 학술대회 논문
- 김정호(2016) 외, PCB 재질과 간격차이 및 사용 환경 조건에 따른 이온마이그레이션 영향, 한국신뢰성학회 학술대회 논문집

○ 시사점

- 아래 그림 표준 시편과 같이 PCB만의 고장메커니즘을 평가
- 전원장치와 같이 여러 부품이 실장된 상태의 경우, PCB만의 신뢰성평가로만 그칠 수 있음(여러 부품까지를 고려한 신뢰성 검증이 힘들)



(a) 샘플도면



(b) FR-4 시험샘플

그림 13 이온마이그레이션 시험용 PCB 시편

2. 고온기반 화학적 변화에 의한 부품의 열화 고장메커니즘

- 다양한 부품의 구성재료가 고온에 의해 화학적인 변화가 발생
- 고온 관련 메커니즘은 다양한 형태로 존재
- 보통 전원장치는 커패시터, 다이오드트랜지스터, IC 칩 열화에 의해
- 방열이 적절히 이루어지지 못하고
- 화학적 변화가 가속화됨에 따라 부품의 성능이 열화되어 관련메커니즘 (소손, 성능 저하 등) 발생

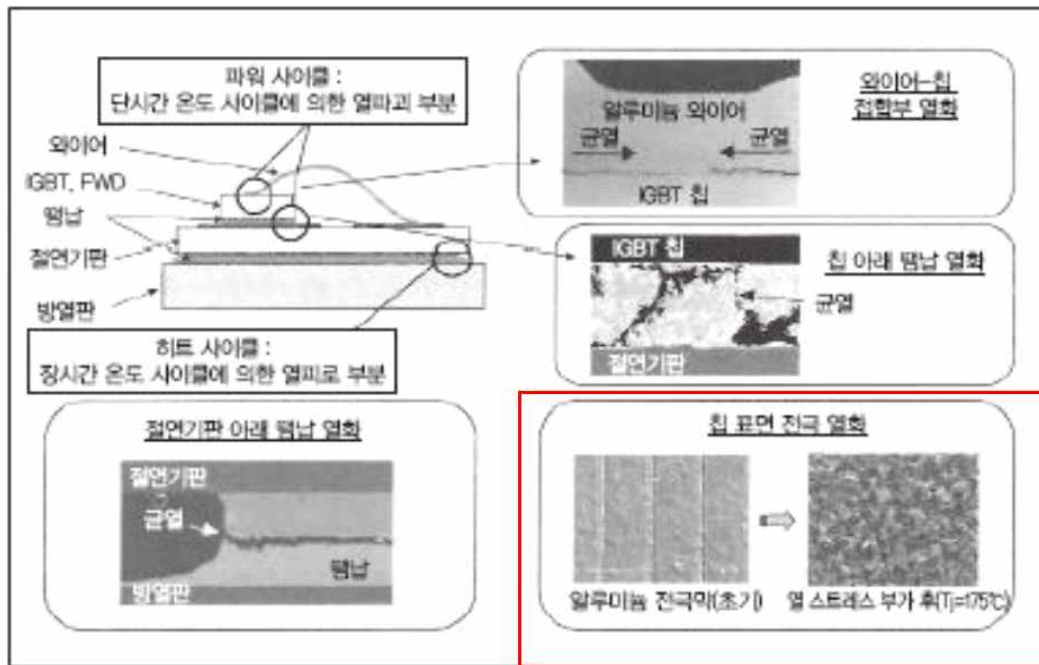


그림 14 고온 기반 화학적 부품 열화 메커니즘

- 전자부품 제작사 제시 고온 열화 가속시험 관련문헌 및 시사점
 - 전자부품의 고온 열화 메커니즘 관련자료(반도체, IC 제조사의 활성화에너지 제공 자료, 아레니우스 가속모형은 활성화에너지를 통해 가속계수 도출 가능)

- . 반도체 디바이스의 신뢰성 기술, 일과기련, 1988
- . Semiconductor Reliability Handbook(Integrated Circuit), 1992, Toshiba
- . AT&T Reliability Manual, Van NostrandReinhold, 1990, David J. Klinger, et al.
- . Components Quality and Reliability, 1991/92, INTEL
- . 다양한 제조사에서 부품열화 관련 메커니즘을 아래의 예시와 같이 제시

material/Component/Device	Activation Energy(eV)	Citation
AD Converter(Silicon)	1.12	Wyle Database
Alkyd, Grade 1500	1.71	1026
Alkyd, Grade 1500	1.14	1026
Alken-imide, irradiated, insulation, 20 gauge wire	0.88	461
Aromatic polyimide, insulation, 20 gauge wire	1.29	461
Assembly defects	0.5-0.7	
Bulk silicon defects	0.3-0.5	
Butyl	1.08	603
Capacitor, Aluminum Electrolytic	0.81	EPRI NP-6408
Capacitor, Aluminum Electrolytic	0.68	GLS Database
Capacitor, Ceramic	0.7	GLS Database
Capacitor, Film	0.86	GLS Database
Capacitor, Mylar	0.86	EPRI NP-6408
Capacitor, Paper	0.9	EPRI NP-6408
Capacitor, Polycarbonate	0.8	EPRI NP-6408
Capacitor, Polyester	0.86	EPRI NP-6408
Capacitor, Tantalum	1.27	EPRI NP-6408
Capacitor, Tantalum	1.27	GLS Database
Capacitors, chlorinated diphenyl. No stablizers.	1.17	566
Capacitors, chlorinated diphenyl. 0.5% anthraquinone.	1.53	566
Capacitors, chlorinated diphenyl. 0.5% azobenzene	2	566
Capacitors, chlorinated diphenyl Kraft paper	0.86	180
Capacitors, chlorinated diphenyl Kraft paper with 0.5% azobenzene	1.5	180
Capacitors, chlorinated diphenyl Kraft paper with 0.5% azobenzene	1.93	180
Capacitor, dielectric, tubular paper	2.42	717
Capacitors, metalized paper	1.32	180
Capacitors, titanium titanium dioxied, thin film. @ 25°C-100°C	0.09	466
Choseal (Chomeric Inc.) (Silver filled conductive silicone)	1.04	765

- 아레니우스 모형에 기반한 각 부품의 가속계수만 평가
- 전원장치의 경우와 같이 여러 부품이 실장된 경우 부품의 영향 확인불가

○ 전원장치 관련 품목의 고온 열화 가속시험 관련문헌 및 시사점

- 고온에 의해 가속수명시험을 수행한 문헌은 다음과 같음

- . RS-KORAS-KTL-123(2018) 스위칭 모드 직류 안정화 전원장치 신뢰성기준
- . 임성용(2018) 외, 실외조명 LED용 SMPS의 가속수명시험법 제안, 신뢰성응용연구
- . 박남철(2017) 외, 온도 스트레스 영향을 고려한 전동차 보조전원 장치의 신뢰성분석, 한국산화기술학회논문지
- . 박세진(2019) 외, 집단보호장비내의 회로카드 조립체 고장원인 분석 및 품질향상, 한국산화기술학회

- 철도차량 보조전원장치의 가속수명시험에 참고할만하나 복합 부품으로 구성된 장치의 가속계수 도출 방법 검토가 필요

Ⅲ. 고온 기반 시스템단위 가속계수 도출방법

문헌 검토

1. 여러 부품으로 구성된 모듈의 가속계수 계산방법

- 아레니우스 모델은 활성화 에너지 값에 의존하고 활성화 에너지는 부품의 종류에 따라 달라짐. 구성부품의 활성화 에너지 정보를 이용하여 그 구성부품으로 이루어진 모듈 수준의 활성화 에너지를 구하는 방법은 다음과 같음

표 3 여러 부품으로 구성된 모듈의 활성화 에너지 구하는 방법

방법	가속계수 계산식	기본 아이디어
Hart의 방법	$AF_M = \sum_{i=1}^m w_i \cdot AF_i$ 단, AF_M은 모듈의 가속계수, m은 부품의 종류 수, AF_i는 i번째 종류 부품의 가속계수, $w_i = n_i C_{1i} / \sum_{k=1}^m n_k C_{1k}$ n_i는 i번째 종류 부품의 수, C_{1i}는 i번째 종류 부품의 복잡도(MIL-HDBK-217 complexity factor 참조).	모듈의 가속계수는 구성부품의 가속계수에 대한 가중치 평균을 취함. 단, 가중치는 부품의 복잡도를 고려하여 정함.
Moura의 방법	$AF_M = \sum_{i=1}^m w_i \cdot AF_i$ 단, $w_i = n_i \lambda_{ui} / \sum_{k=1}^m n_k \lambda_{uk}$, λ_{ui}는 i번째 종류 부품의 정상조건에서의 고장률	모듈의 가속계수는 구성부품의 가속계수에 대한 가중치 평균을 취함. 단, 가중치는 부품의 고장률을 고려하여 정함.
Seager의 방법	$AF_M = \exp\left[\frac{E_m}{k} \left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_A}\right)\right]$ 단, E_m은 구성부품의 활성화에너지 중 최저 활성화에너지	보수적으로 구성부품의 가속계수 중 가장 작은 가속계수를 모듈의 가속계수로 정함.
IBM의 방법	$AF_M = \exp\left[\frac{\bar{E}}{k} \left(\frac{1}{T_N} - \frac{1}{T_A}\right)\right]$ 단, $\bar{E}$는 구성부품 활성화에너지의 평균	부품 활성화에너지의 평균으로 모듈의 활성화에너지를 정함.

- Seager의 방법은 모듈에 사용된 능동 소자 중 보수적으로 가장 작은 가속계수를 도출하여 고온에 의한 가속수명시험을 설계 하는 방법

예)

품번	구분 (고장메커니즘)	활성화 에너지	출처
SBTO-27DDV (40.608MHz)	IC(Electro migration)	0.5	David J. Klinger, et al.
TPS767D301PWP	IC	1	EPRI NP-6408
OP07CS	IC(Charge Loss)	0.8	Motolola
1N4734A	Diode, Silicon, 1N673 &1N696	1.8	EPRI NP-1558
SS54C	Diodes, silicon, p-n-p-n	1.41	EPRI NP-1558
V39CH8	Capacitor, Paper	0.9	EPRI NP-6408
BC817-25	Transistor, bipolar, p-n-p-n	1.65	EPRI NP-1558
856700	Capacitor, Paper	0.9	EPRI NP-6408
74ACT125SC	IC(Al Electro migration)	0.6	마쓰시다 전기
평균		1.062	
※ 출처 자료는 각 부품 제조사에서 제시한 활성화 에너지 DB 활용			

- 가장 작은 활성화 에너지 : 0.5
- 아레니우스 모델 적용 가속계수(정상 운용 온도 43 ℃, 시험 온도 60 ℃일 때)

$$AF = \frac{L(T_u)}{L(T_a)} = \exp \left[\left(\frac{E_a}{k} \right) \times \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_a} \right) \right]$$

- 도출한 가속계수 : 4.3

※ Seager, J.D.(1988), A Method to Predict an Average Activation Energy for Subassemblies, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 37, No.5.

- IBM의 방법은 모듈에 사용된 능동 소자의 활성화 에너지 평균을 도출하여 가속수명시험 설계

예)

품번	구분 (예)	활성화 에너지	출처
SBTO-27DDV (40.608MHz)	IC(Electro migration)	0.5	David J. Klinger, et al.
TPS767D301PWP	IC	1	EPRI NP-6408
OP07CS	IC(Charge Loss)	0.8	Motolola
1N4734A	Diode, Silicon, 1N673 & 1N696	1.8	EPRI NP-1558
SS54C	Diodes, silicon, p-n-p-n	1.41	EPRI NP-1558
V39CH8	Capacitor, Paper	0.9	EPRI NP-6408
BC817-25	Transistor, bipolar, p-n-p-n	1.65	EPRI NP-1558
856700	Capacitor, Paper	0.9	EPRI NP-6408
74ACT125SC	IC(Al Electro migration)	0.6	마쓰시다 전기
평균		1.062	

- 가장 작은 활성화 에너지 : 1.062
- 아레니우스 모델 적용 가속계수(정상 운용 온도 43 ℃, 시험 온도 60 ℃일 때)

$$AF = \frac{L(T_u)}{L(T_a)} = \exp \left[\left(\frac{E_a}{k} \right) \times \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_a} \right) \right]$$

- 도출한 가속계수 : 7.3227

- 추가로 MIL-HDBK-217F Notice 2를 활용한 가속계수 도출 방법이 있음

예)

Windchill Quality Solutions			Reliability Prediction Summary		
File Name: System 1.rfp			Failure Rate: 0.379175		
Assembly: System			MTBF (hrs): 2,637,308		
Ref Des:			Temperature: 43		
Description:			Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled		
Part Name	Category	Subcategory	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
sbt0-277ddv	Integrated Circuit	Linear	0.006649	1	0.006649
tps767d301pwp	Integrated Circuit	Logic, CGA or ASIC	0.003403	1	0.003403
op07cs	Integrated Circuit	Linear	0.006649	1	0.006649
1n4734a	Semiconductor	Diode	0.006071	1	0.006071
ss54c	Semiconductor	Diode	0.151780	1	0.151780
bc817-25	Semiconductor	Transistor	0.000127	1	0.000127
v39ch8	Resistor	Thermistor (RTH)	0.004350	1	0.004350
856700	Integrated Circuit	SAW - Surface Acoustic Wave	0.105000	1	0.105000
74act125sc	Integrated Circuit	Linear	0.095144	1	0.095144

- 주변온도 43 °C 일 때 MTBF : 2,637,308

Windchill Quality Solutions			Reliability Prediction Summary		
File Name: System 1.rfp			Failure Rate: 0.502290		
Assembly: System			MTBF (hrs): 1,990,880		
Ref Des:			Temperature: 60		
Description:			Environment: GB, GC - Ground Benign, Controlled		
Part Name	Category	Subcategory	Unit Failure Rate	Quantity	Total Failure Rate
sbt0-277ddv	Integrated Circuit	Linear	0.016724	1	0.016724
tps767d301pwp	Integrated Circuit	Logic, CGA or ASIC	0.004081	1	0.004081
op07cs	Integrated Circuit	Linear	0.016724	1	0.016724
1n4734a	Semiconductor	Diode	0.010003	1	0.010003
ss54c	Semiconductor	Diode	0.250084	1	0.250084
bc817-25	Semiconductor	Transistor	0.000179	1	0.000179
v39ch8	Resistor	Thermistor (RTH)	0.004350	1	0.004350
856700	Integrated Circuit	SAW - Surface Acoustic Wave	0.105000	1	0.105000
74act125sc	Integrated Circuit	Linear	0.095144	1	0.095144

- 주변 온도 60 °C 일 때 MTBF : 2,059,452

- 가속계수 : $43\text{ }^{\circ}\text{C MTBF} / 60\text{ }^{\circ}\text{C MTBF} = 2,637,308 / 1,990,880 = 1.325$

* 참고 문헌 : 정문식, 박정원(2000) “전자제어모듈의 신뢰성보증 사례”, 한국신뢰성학회 2000년 춘계학술대회 발표 논문집, 135-143

- Hart의 방법과 Moura의 방법은 활성화 에너지 가속계수와 MIL-HDBK-217F의 기본 고장률을 가중 평균하는 방법
- Hart의 방법과 Moura의 방법이 가장 데이터의 정보를 많이 반영하는 방법이지만, Hart 방법의 경우 복잡도에 대한 별도 고려가 필요한데, 이를 산정하기 어려움. 따라서 Moura의 방법을 통한 가속계수 도출 예는 다음과 같음

예)

품번	DB 활용 가속계수 (60 ℃)	217 F 기본고장 률
OSCILLATOR,CRYSTAL CONTROLLED	2.76087	0.000127
OSCILLATOR,CRYSTAL CONTROLLED	2.76087	0.000127
INTEGRATION CIRCUIT	2.56769	0.006649
INTEGRATION CIRCUIT	2.56769	0.006649
INTEGRATION CIRCUIT	2.56769	0.006649
INTEGRATION CIRCUIT	2.56769	0.006649
INTEGRATION CIRCUIT	2.56769	0.006649
INTEGRATION CIRCUIT	2.56769	0.006649
.....		
평균		1.062

- 도출한 가속계수 : 7.3227

$$2.76 \times \frac{0.000127}{1.171999} + 2.56 \times \frac{0.006649}{1.171999} + \dots = 4.0516$$

※ 참고 문헌 : Moura, E. C.(1992), “A Method to Estimate the Acceleration Factor for Subassemblies” , IEEE Trans. On Reliability, Vol. 41, No.3, 396-399

2. 시스템레벨 가속계수 도출 관점의 철도차량 보조전원장치의 가속수명시험 검토

○ 철도차량 보조전원장치의 가속스트레스

- 전기전자부품 고장에 가장 많은 영향을 미치는 대표적 스트레스인 온도를 가속인자로 결정

※고온 기반 아레니우스 수명과 스트레스 관계

$$\xi(T) = \exp[(E/k)(1/T_N - 1/T_A)]$$

E : 활성화에너지[eV] T : 절대온도[K]
 K : 볼츠만상수 = 8.6171×10^{-5} [eV/K] T_N : 사용조건 절대온도[K]
 T_A : 가속조건 절대온도 [K]

- 다양한 부품이 결합된 철도차량 보조전원장치의 가속스트레스 선정은 적절하다고 판단됨

○ 철도차량 보조전원장치의 보증시험 설계

- 기존 보조전원장치 고장이력을 고려한 개발품의 목표 MTBF : 2,190
- 보증시험 설계 방법을 통한 수명 산출 인자는 다음과 같음

시험 시간 [시간]	2,160	사용 온도 [°C]	40
시료 수 [개]	7	활성화 에너지 [eV]	0.2
가속 온도 [°C]	75	가속 계수	2.10

- 활성화에너지 0.2는 가속계수는 보수적 관점에서 가장 작은 가속이 되도록 설계함
 - . 일반적인 능동소자 등 IC류의 활성화에너지는 0.6 ~ 1.2로 다양
 - . 시스템레벨 가속계수 도출 측면에서도 가속이 가장 적게 되는 IBM의 방법과 유사하다고 판단됨(활성화에너지가 큰 값을 적용할수록 가속계수가 커짐을 가정)
 - . 따라서, 활성화에너지를 보수적 관점에서 작은 값으로 적용한 점도 적절하다고 판단

IV. 결론

- 가속수명시험을 선정할 때 가장 중요하고 기본이 되는 점은 고장모드 및 메커니즘을 적절하게 선택하는 것이 중요
- 일반적으로 전자 제품(PCB 혹은 각종 부품이 실장된 PCB)는 화학반응에 의한 고온 혹은 이온마이그레이션에 의한 고온고습을 적용
 - 고온고습 이온마이그레이션의 경우 PCB만을 평가
 - 고온에 의한 화학변화의 경우 부품이 실장된 PCB까지를 평가 가능
 - 철도차량 보조전원장치의 가속수명시험 문헌 검토 결과 고온에 의한 가속수명시험 적용 가능
- 단일 부품의 가속계수를 가정해서 부품이 실장된 PCB를 평가하게 되면 결과가 왜곡 될수 있음
 - 철도차량 보조전원장치의 가속수명시험은 시스템단위 가속계수 도출 방법 중 가장 보수적(가속이 가장 적게 됨을 가정)인 방법을 활용한 것으로 파악됨
 - 따라서 가속계수 적용을 위한 활성화에너지도 적절하다고 판단됨

(98쪽 중 제93쪽)
#별첨2;광주도시철도공사 영업운전선 진동측정 보고서

철도 차량 장치 진동 측정 보고서

- 광주 도시 철도 1호선 -

2020년 05월 07일

(주) 피 티 엘

목 차

1. 기관 정보.....	3
2. 시험 목적.....	3
3. 측정 장비.....	3
4. 측정 위치.....	4
5. 시험 조건.....	5
6. 규격 기준.....	6
7. 진동 측정 결과	8
8. 측정 그래프	9

1. 기관 정보

- 1) 기관명 : (주) 피티엘
- 2) 기관 주소 : 경기도 화성시 양감면 늬말길 3-3
- 3) 지정 현황 : 한국인정기구 (KOLAS) KT871



2. 시험 목적

본 보고서는 주식회사 브이씨텍 의뢰에 의거, 광주 도시 철도 공사 시운전선 및 본선을 이용하여 지하철 1호 노선 주행 시 발생하는 진동 측정을 IEC 61373: 2010 기준과 비교 검토하여 측정 및 결과를 기록 함.

3. 측정 장비

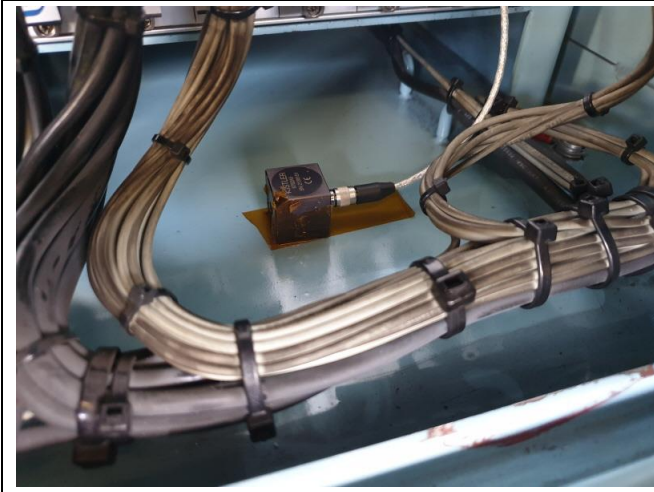
장비명	모델명	제조사
동적 신호 분석기 (DAQ)	Apollo Box_LT_4L	SINUS
Triaxial Accelerometer	8762A5	KISTLER

[표 1. 진동 측정 장비]

4. 측정 위치

3축 가속도 계를 공진형 SIV 제어 상자 하단에 전후 (X축), 좌우 (Y축), 수직 (Z축)

방향으로 부착 후 3축 가속도 계 케이블을 동적 신호 분석기(DAQ)에 연결하여 측정 함.



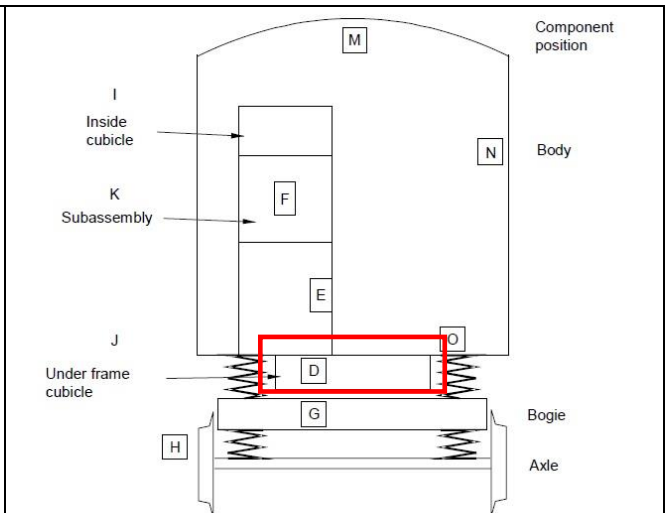
[사진 1. 가속도계 측정 위치_1]



[사진 2. 가속도계 측정 위치_2]



[사진 3. 가속도계 측정 위치_3]



[사진 4. 가속도계 부착 위치_4]

5. 시험 조건

노선역	수동 운전		자동 운전	
	소태 → 평동	평동 → 소태	소태 → 평동	평동 → 소태
소태	-	-	-	-
학동, 증심사입구	추진 제동 시험	-	-	-
남광주	추진 제동 시험	-	-	-
문화전당	추진 제동 시험	-	-	-
금남로4가	-	-	-	-
금남로5가	-	-	-	-
양동시장	-	-	-	-
돌고개	-	-	-	-
농성	-	-	-	-
화정	가속 시험 (60km)	-	-	-
쌍촌	가속 시험 (70km)	가속 시험 (70km)	-	가속 시험 (70km)
운천	-	가속 시험 (70km)	-	-
상무	-	-	-	-
김대중컨벤션센터	가속 시험 (70km)	-	-	-
공항	-	가속 시험 (60km)	-	-
송정공원	-	-	-	-
광주송정	-	-	-	-
도산	-	-	-	-
평동	-	-	-	-

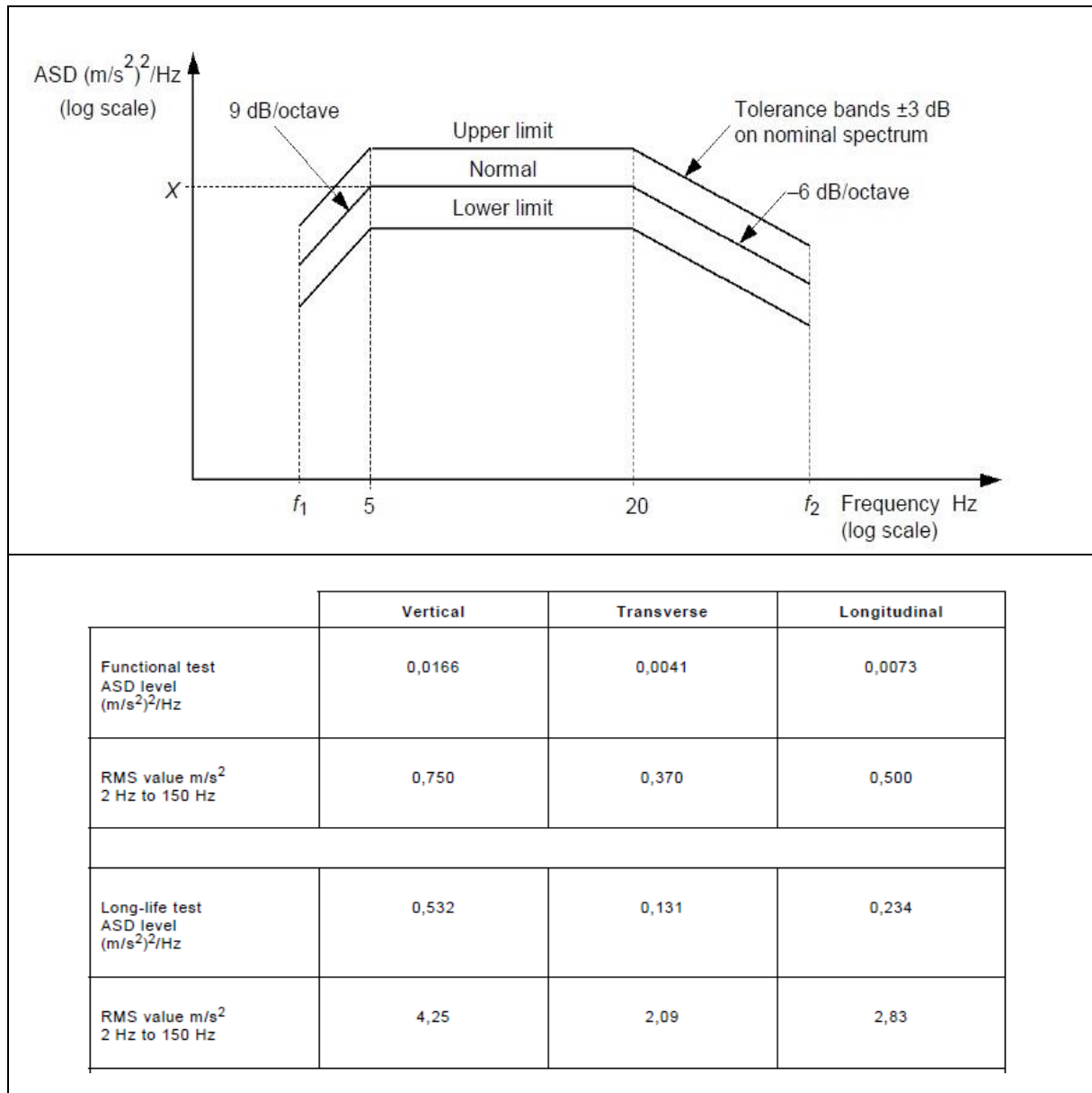
[표 2. 열차 운행 구간]

※ 각 시험은 해당역을 지나서 수행 함.

※ 자동 운전 시의 가속 시험은 수동 운전 시 시험 진행이 원활하지 않아 수행 함.

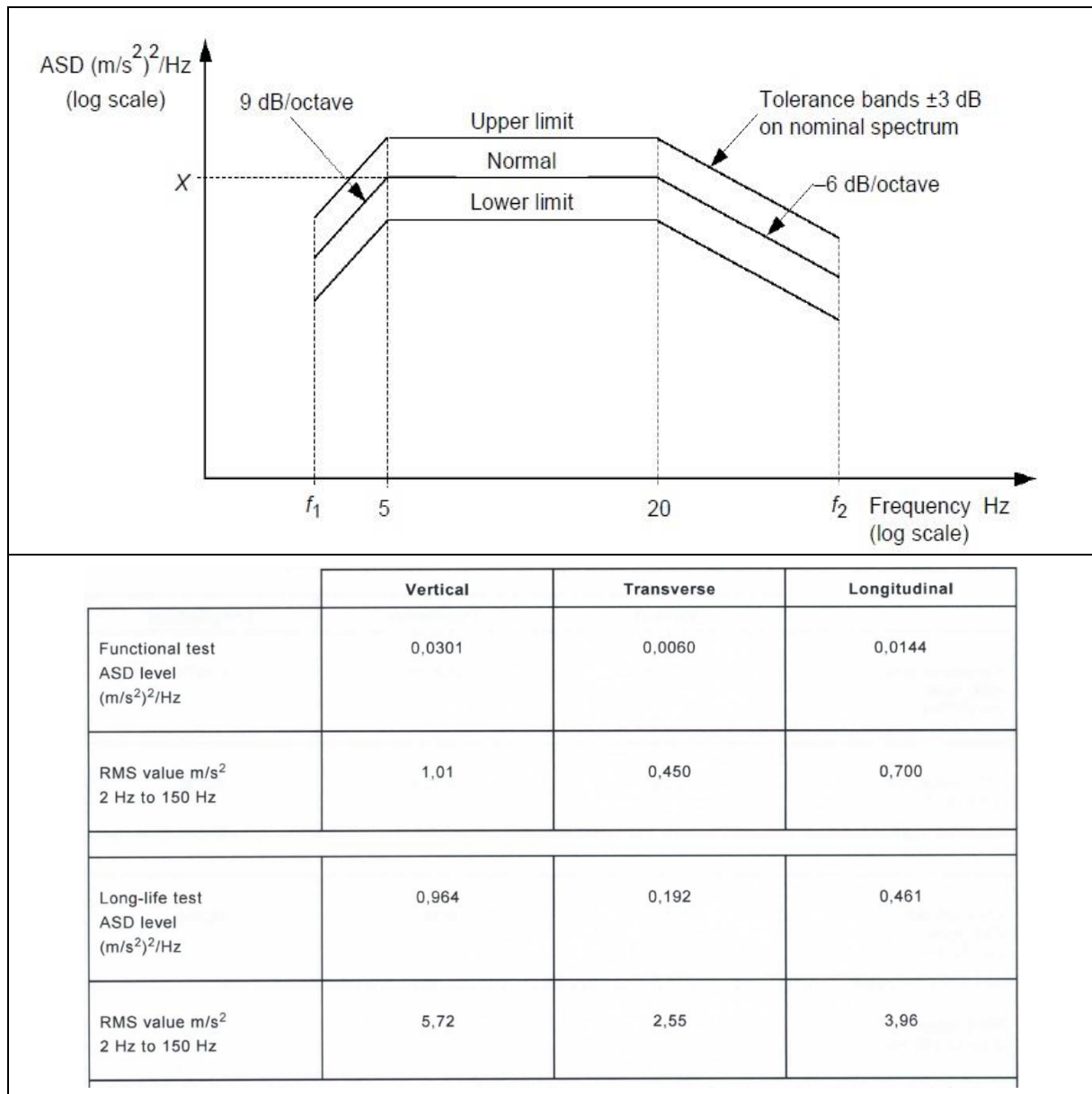
6. 규격 기준

규격 기준은 IEC 61373: 2010 의 Category 1 – Class A / Class B



[표 3. IEC 61373: 2010 Category 1 – Class A 조건]

REPORT



[표 4. IEC 61373: 2010 Category 1 – Class B 조건]

7. 진동 측정 결과

진동 측정은 시간 영역으로 측정하여 주파수 범위를 2 Hz 에서 150 Hz의 대역 통과 필터를 적용하여 1초 간격으로 r.m.s를 계산하여 결과를 기록 하였고 IEC 61373: 2010의 적용 된 시험 조건 보다 수준 이하의 결과를 보임.

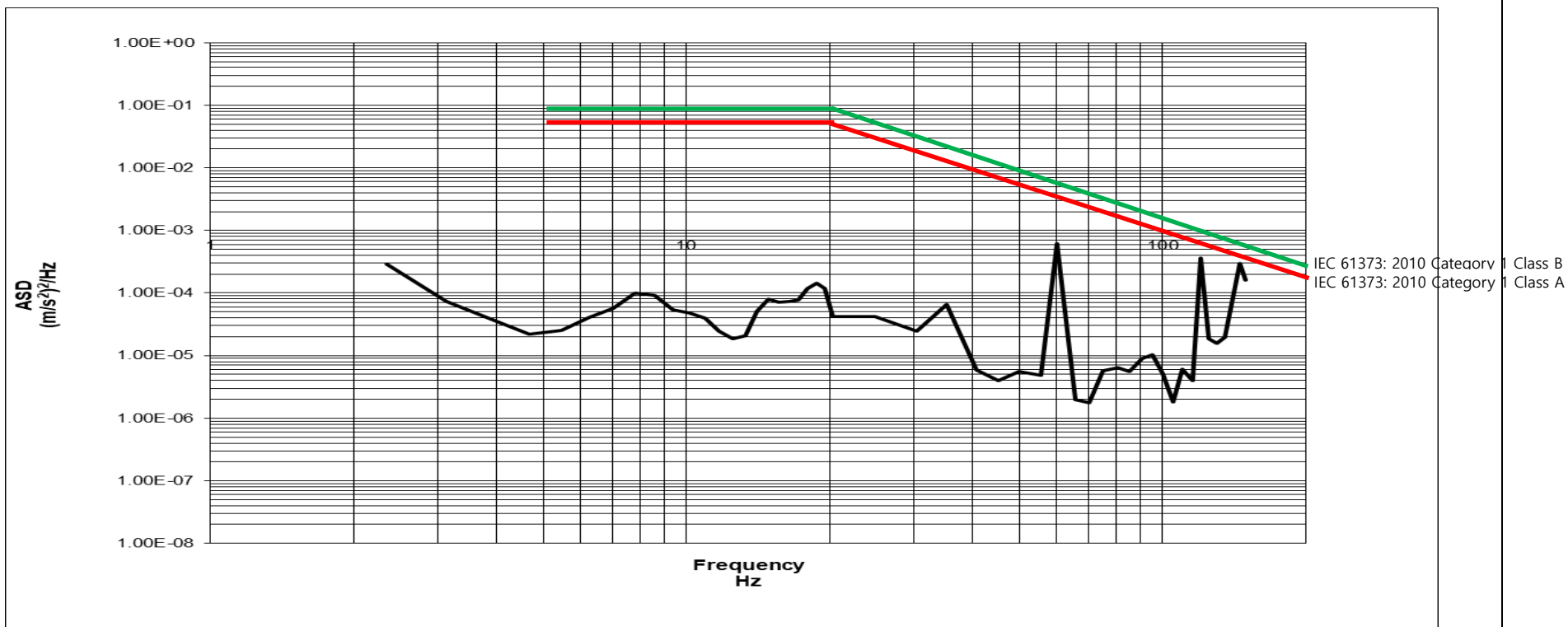
항목		수동 운전		자동 운전	
		소태 → 평동	평동 → 소태	소태 → 평동	평동 → 소태
수직	r.m.s	0.105 m/s ²	0.113 m/s ²	0.112 m/s ²	0.101 m/s ²
	최대 (r.m.s)	0.730 m/s ²	0.683 m/s ²	0.718 m/s ²	0.677 m/s ²
	최소 (r.m.s)	0.015 m/s ²	0.016 m/s ²	0.024 m/s ²	0.016 m/s ²
좌우	r.m.s	0.045 m/s ²	0.045 m/s ²	0.052 m/s ²	0.050 m/s ²
	최대 (r.m.s)	0.322 m/s ²	0.236 m/s ²	0.288 m/s ²	0.295 m/s ²
	최소 (r.m.s)	0.005 m/s ²	0.005 m/s ²	0.007 m/s ²	0.005 m/s ²
전후	r.m.s	0.059 m/s ²	0.065 m/s ²	0.075 m/s ²	0.070 m/s ²
	최대 (r.m.s)	0.423 m/s ²	0.492 m/s ²	0.306 m/s ²	0.405 m/s ²
	최소 (r.m.s)	0.004 m/s ²	0.005 m/s ²	0.006 m/s ²	0.005 m/s ²

[표 5. 실시간 r.m.s 측정 결과]

※ 전후 방향의 r.m.s 값은 운전 속도에 많은 영향을 받으며, 수직 및 좌우 방향의 r.m.s 값은 차량의 덜컹거림에 큰 영향을 받음을 알 수 있음.

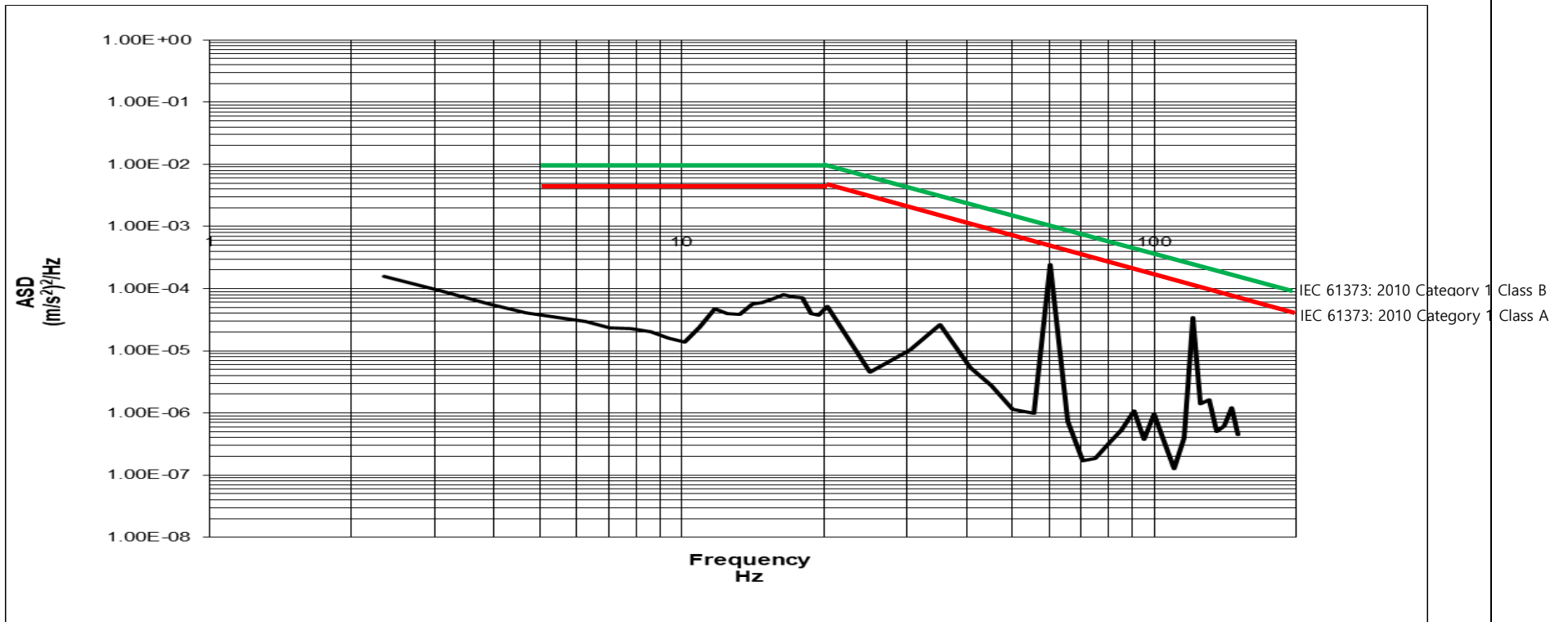
8. 측정 그래프

8.1 수동 운전 (소태 → 평동)



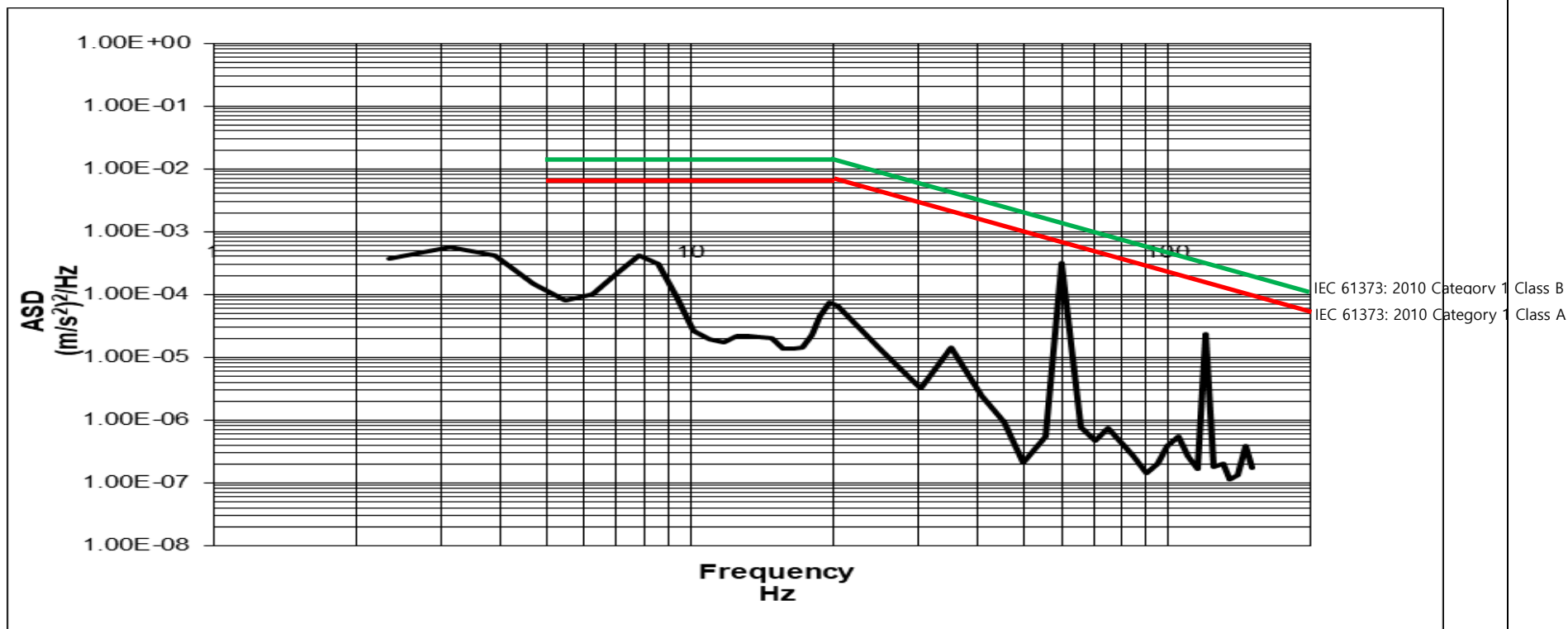
[그래프 1. 주파수 및 ASD Level_수직 (Z축)]

REPORT



[그래프 2. 주파수 및 ASD Level_좌우 (Y축)]

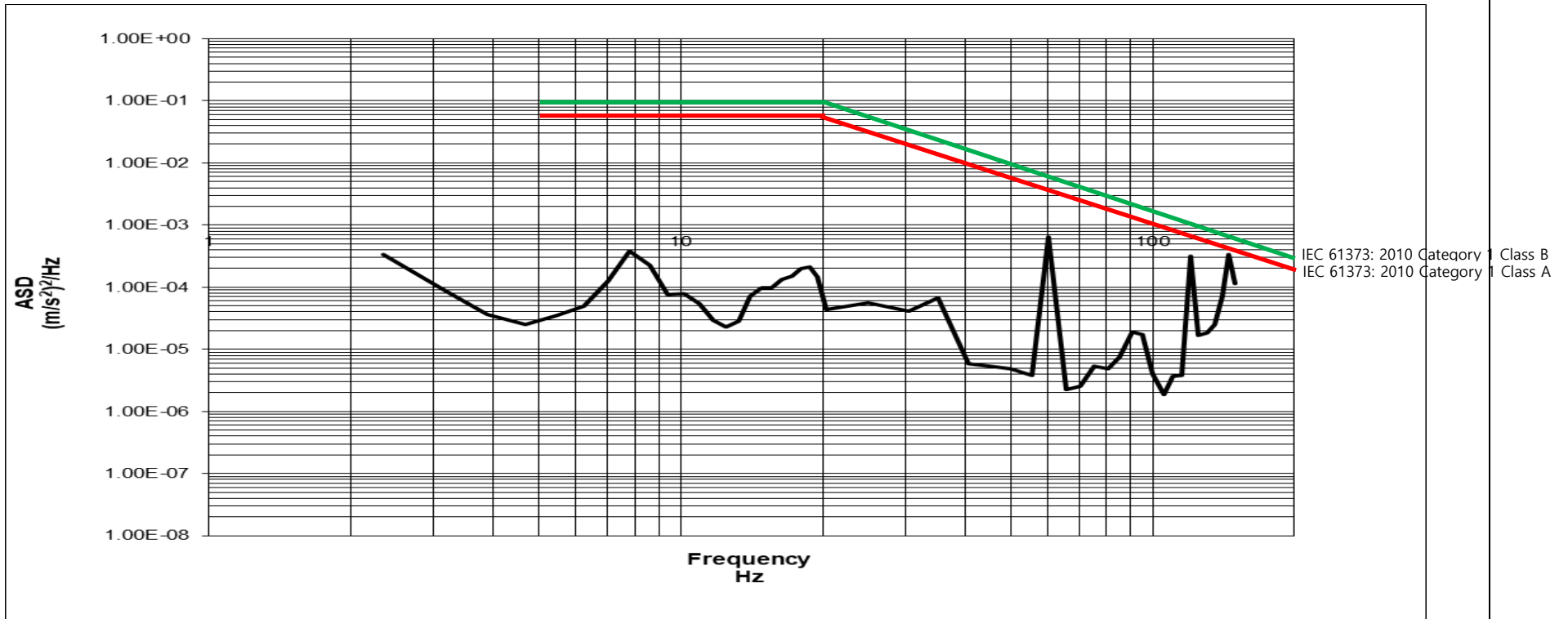
REPORT



[그래프 3. 주파수 및 ASD Level_전후 (X축)]

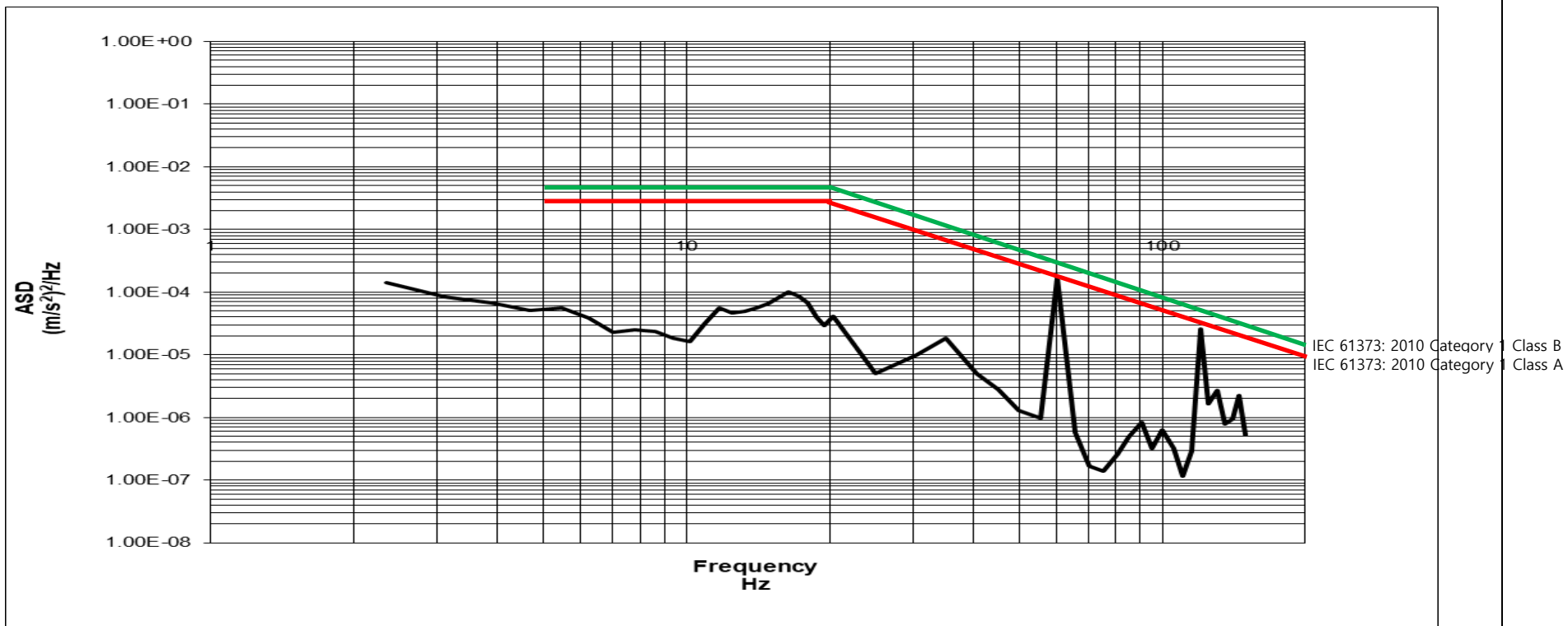
REPORT

8.2 수동 운전 (평동 → 소태)



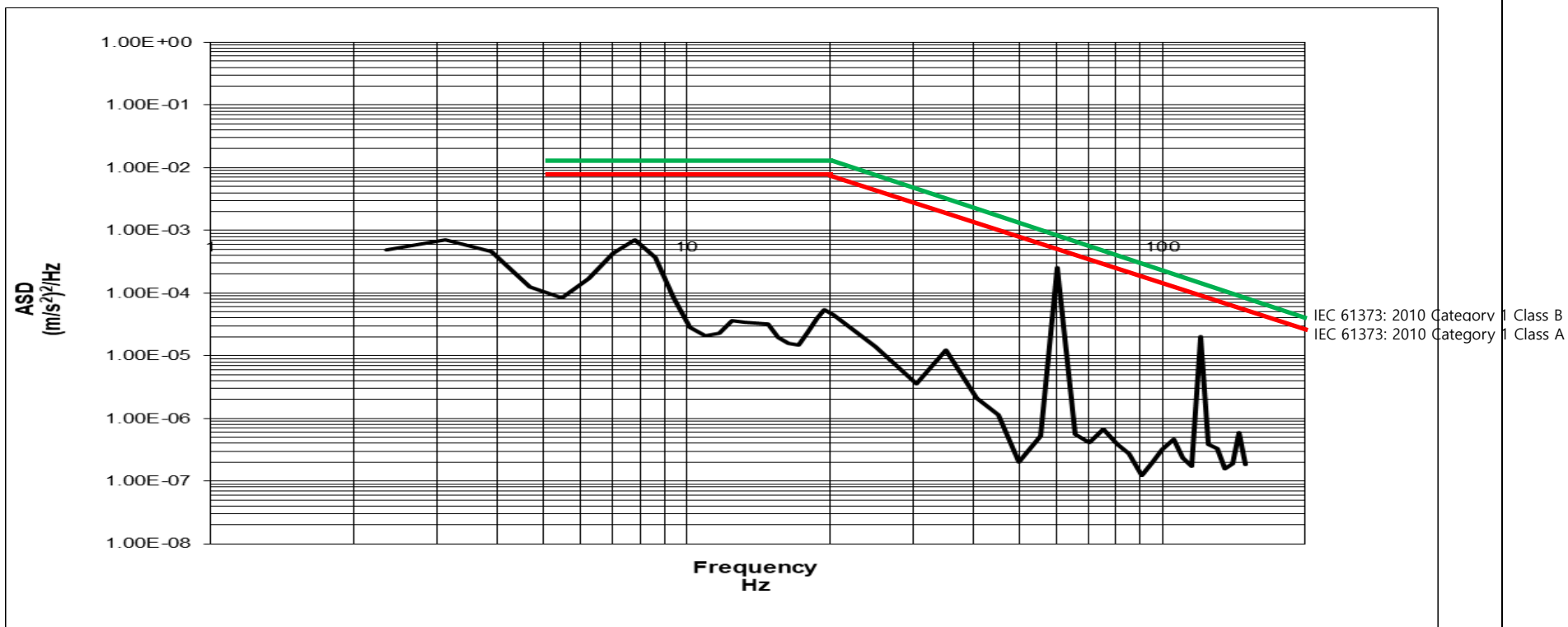
[그래프 4. 주파수 및 ASD Level_수직 (Z축)]

REPORT



[그래프 5. 주파수 및 ASD Level_좌우 (Y축)]

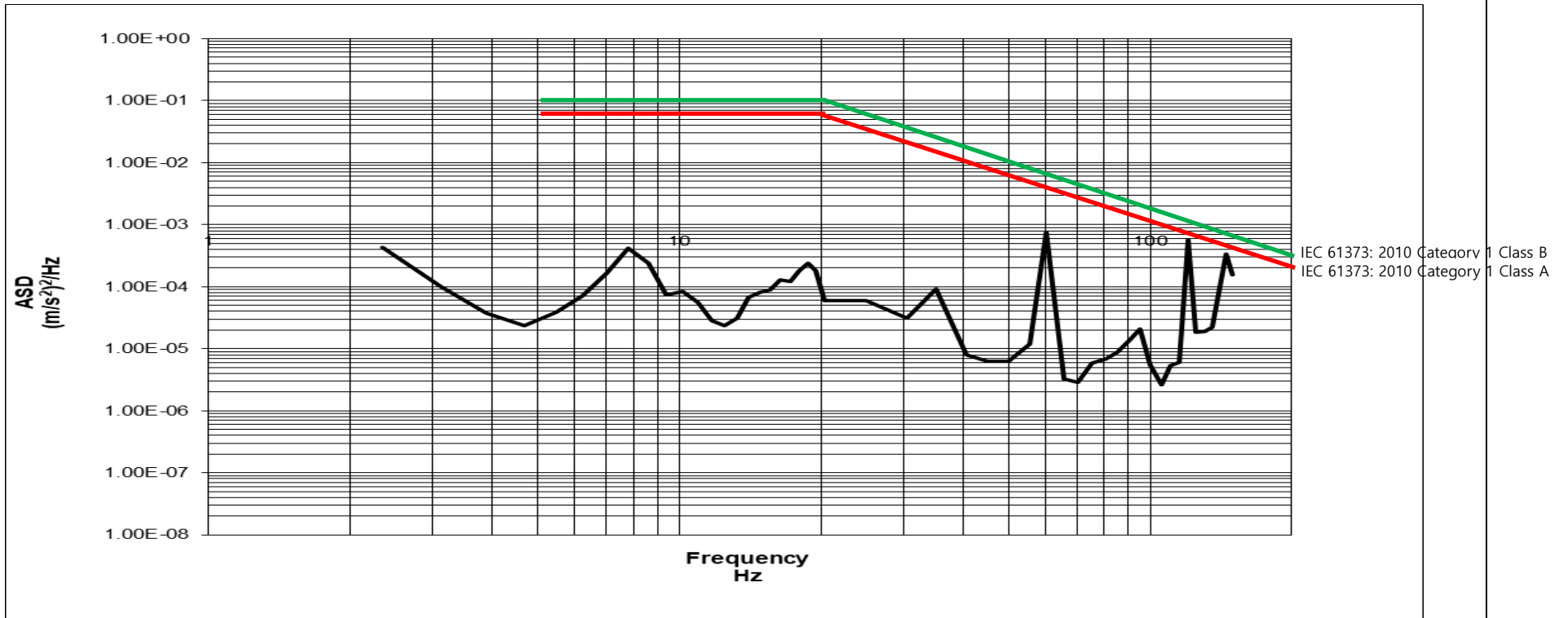
REPORT



[그래프 6. 주파수 및 ASD Level_전후 (X축)]

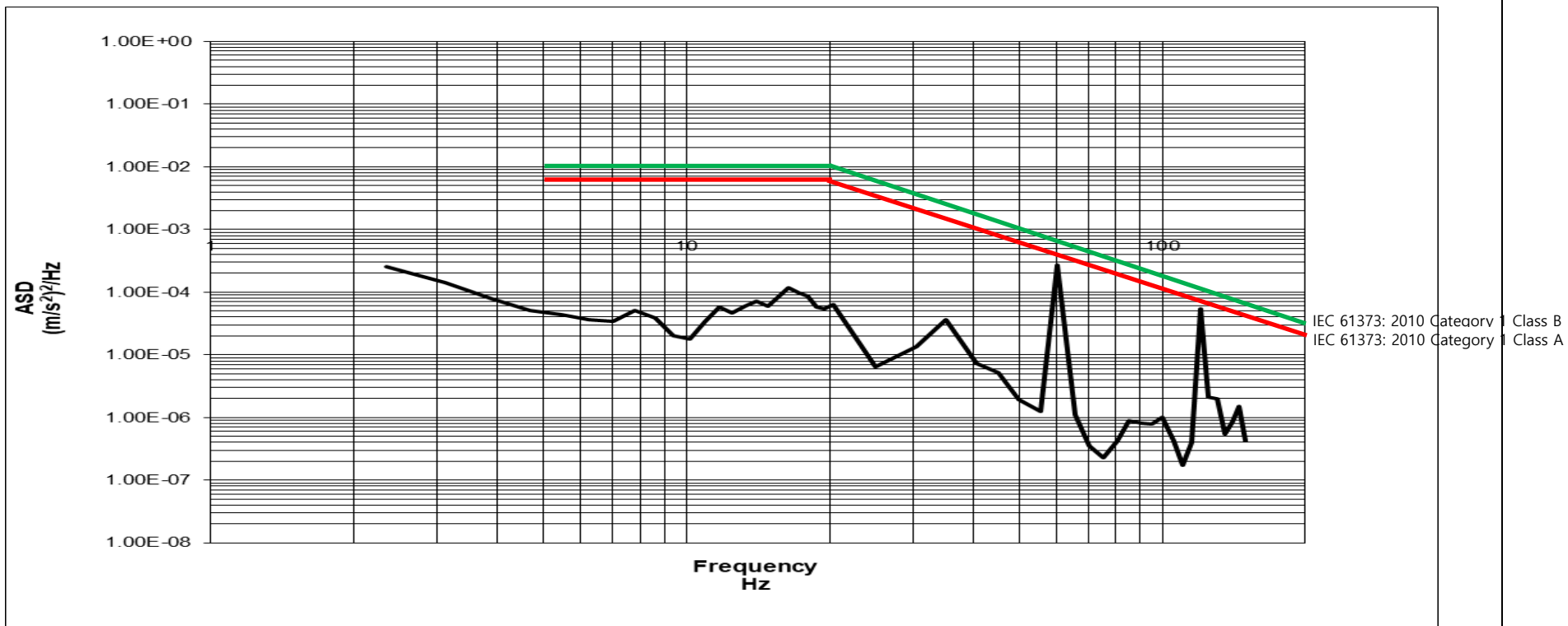
REPORT

8.3 자동 운전 (소태 → 평동)



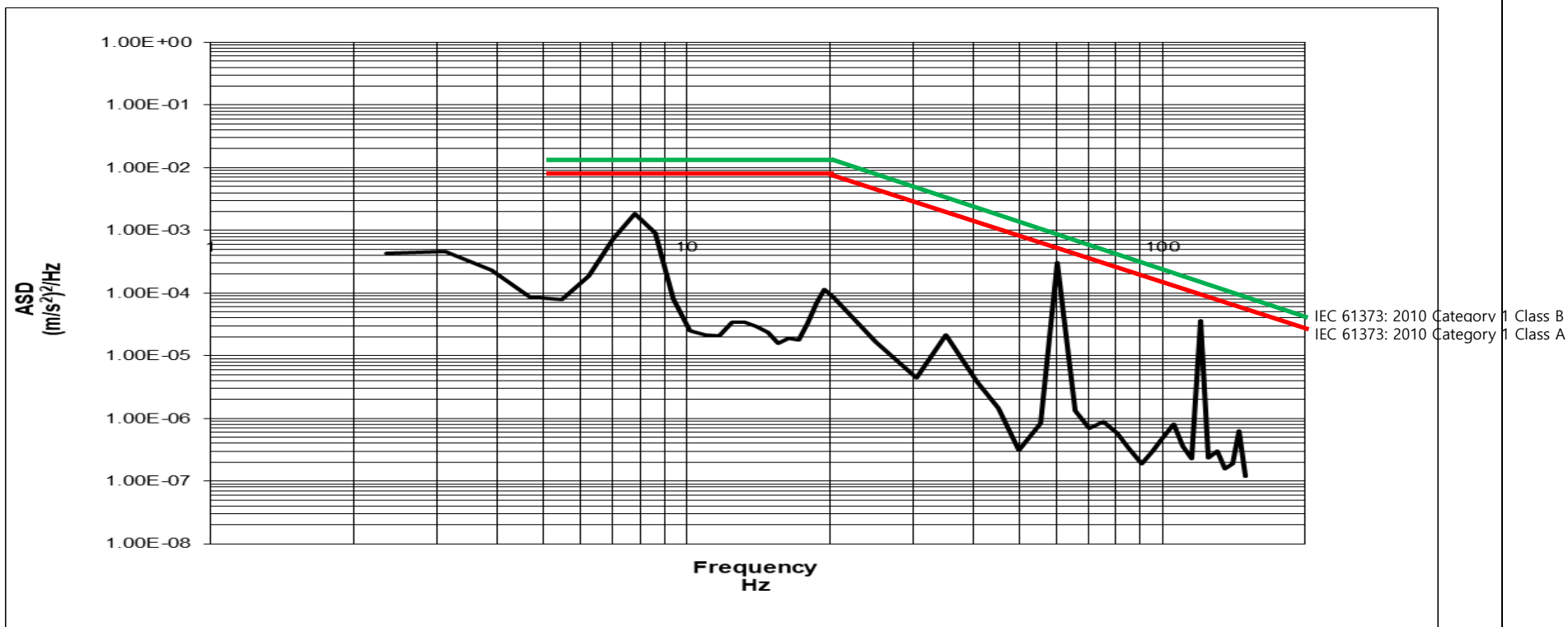
[그래프 7. 주파수 및 ASD Level_수직 (Z축)]

REPORT



[그래프 8. 주파수 및 ASD Level_좌우 (Y축)]

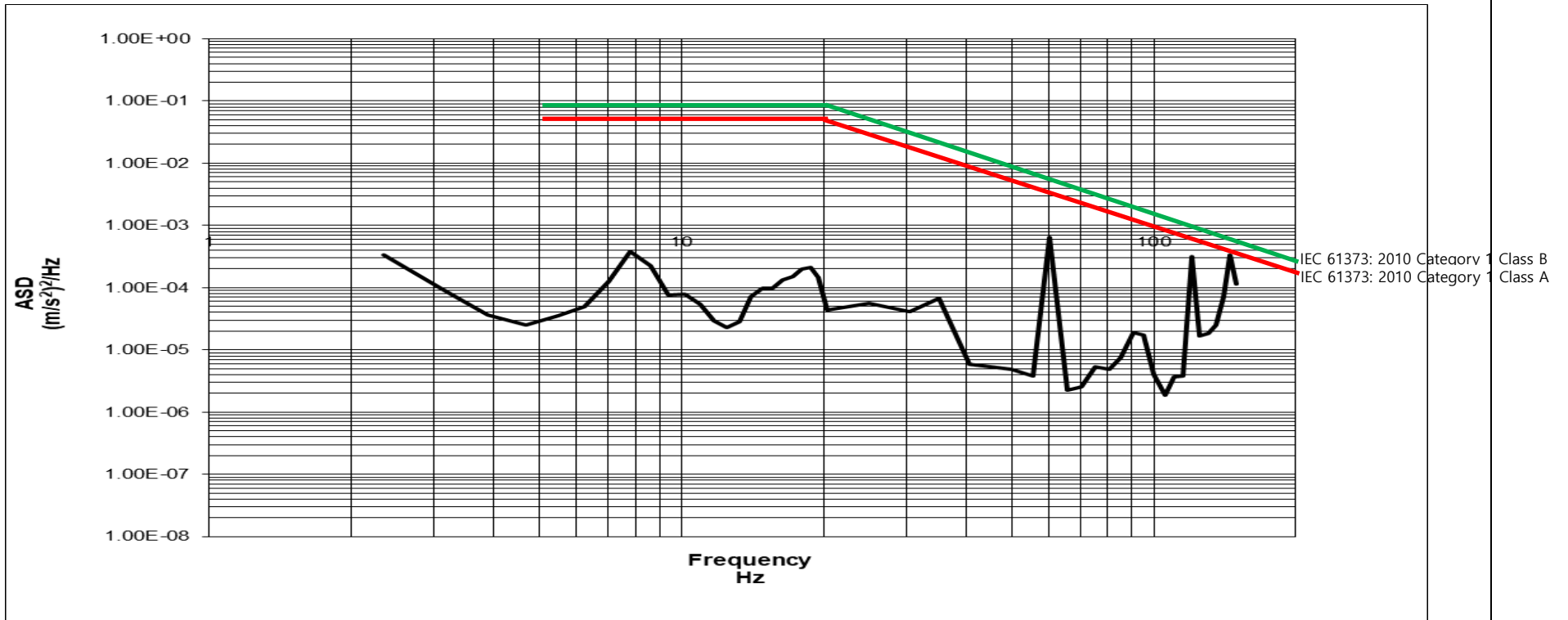
REPORT



[그래프 9. 주파수 및 ASD Level_전후 (X축)]

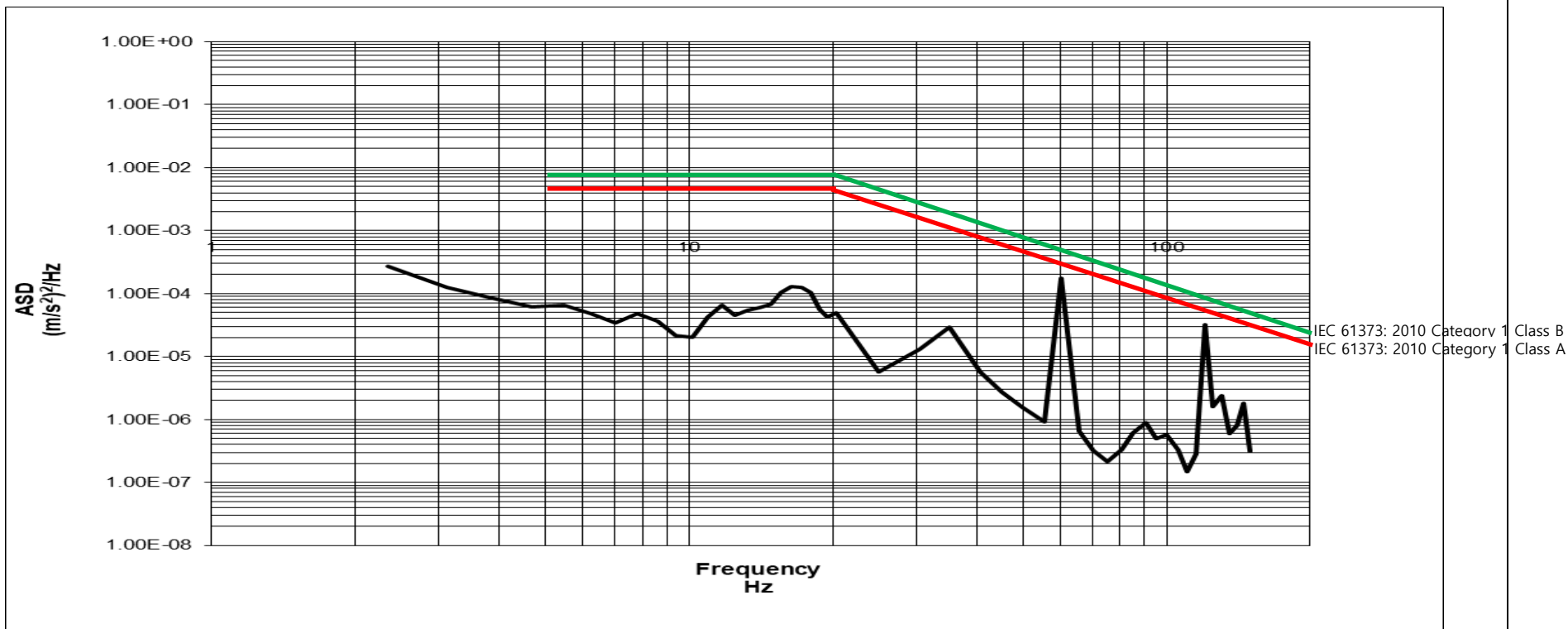
REPORT

8.4 자동 운전 (평동 → 소태)



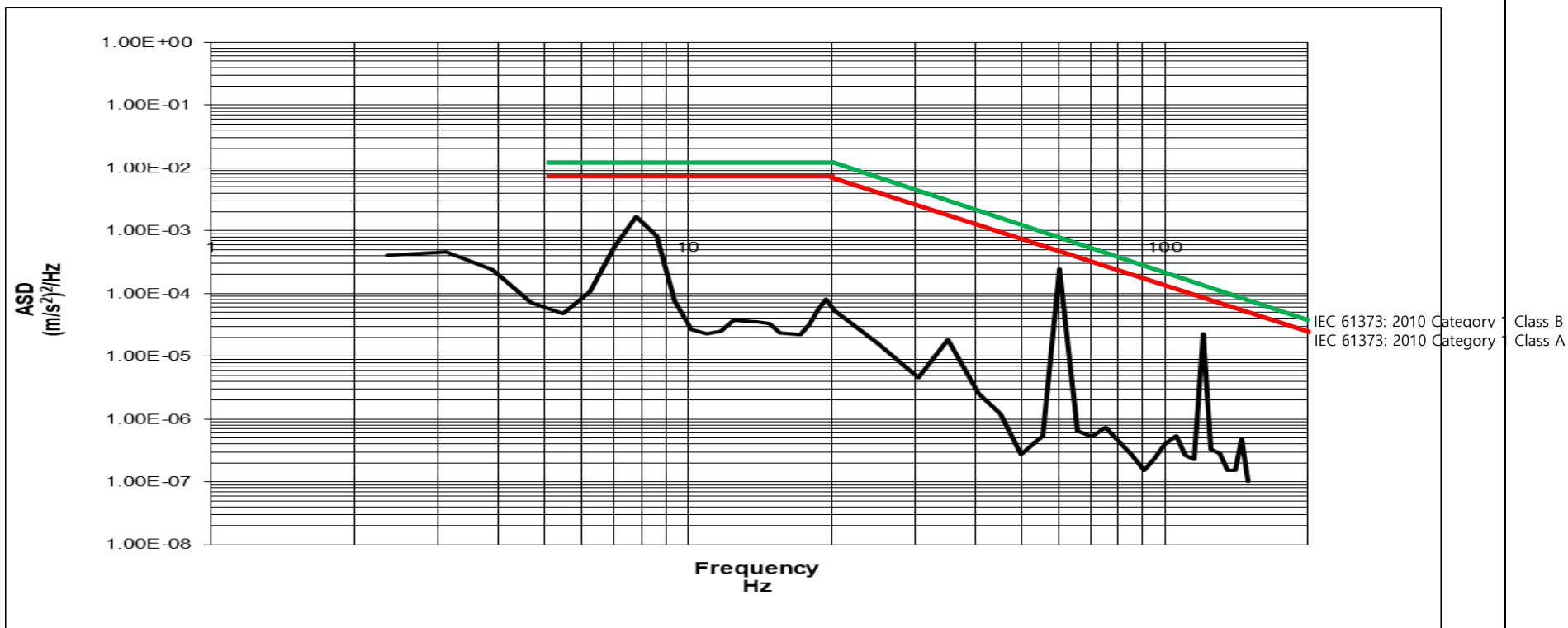
[그래프 10. 주파수 및 ASD Level_수직 (Z축)]

REPORT



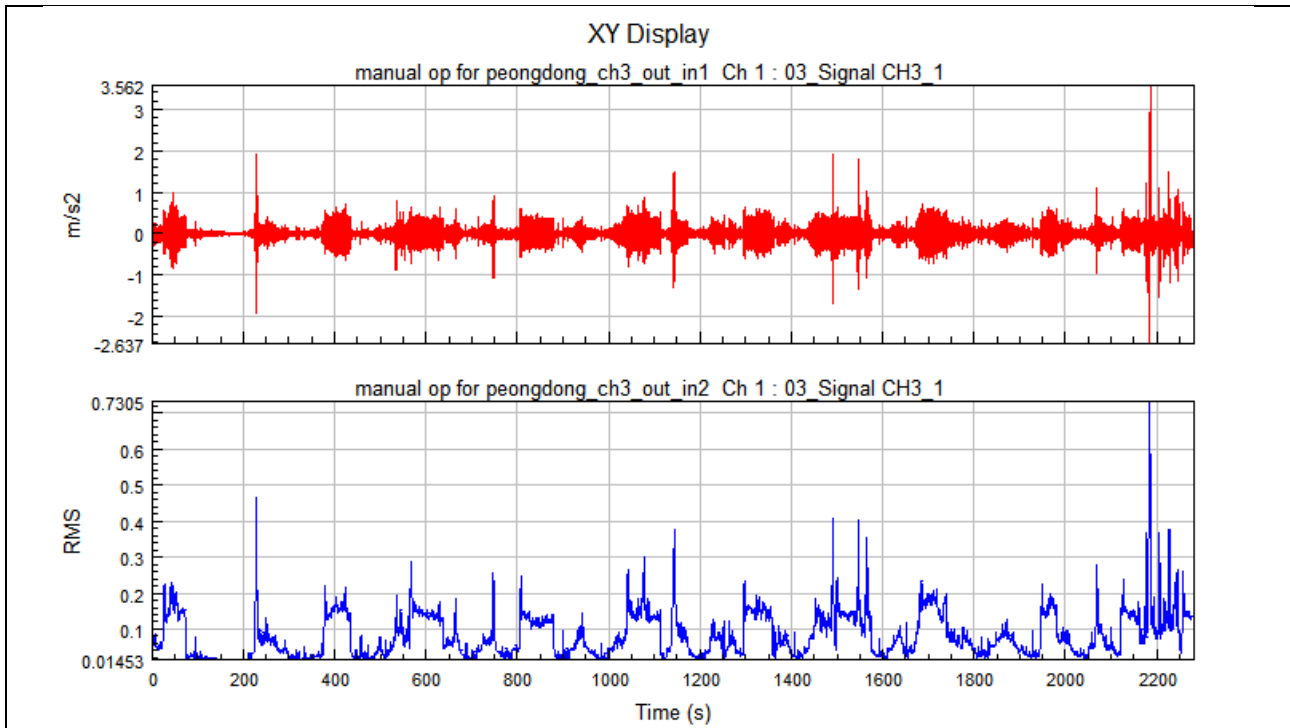
[그래프 11. 주파수 및 ASD Level_좌우 (Y축)]

REPORT

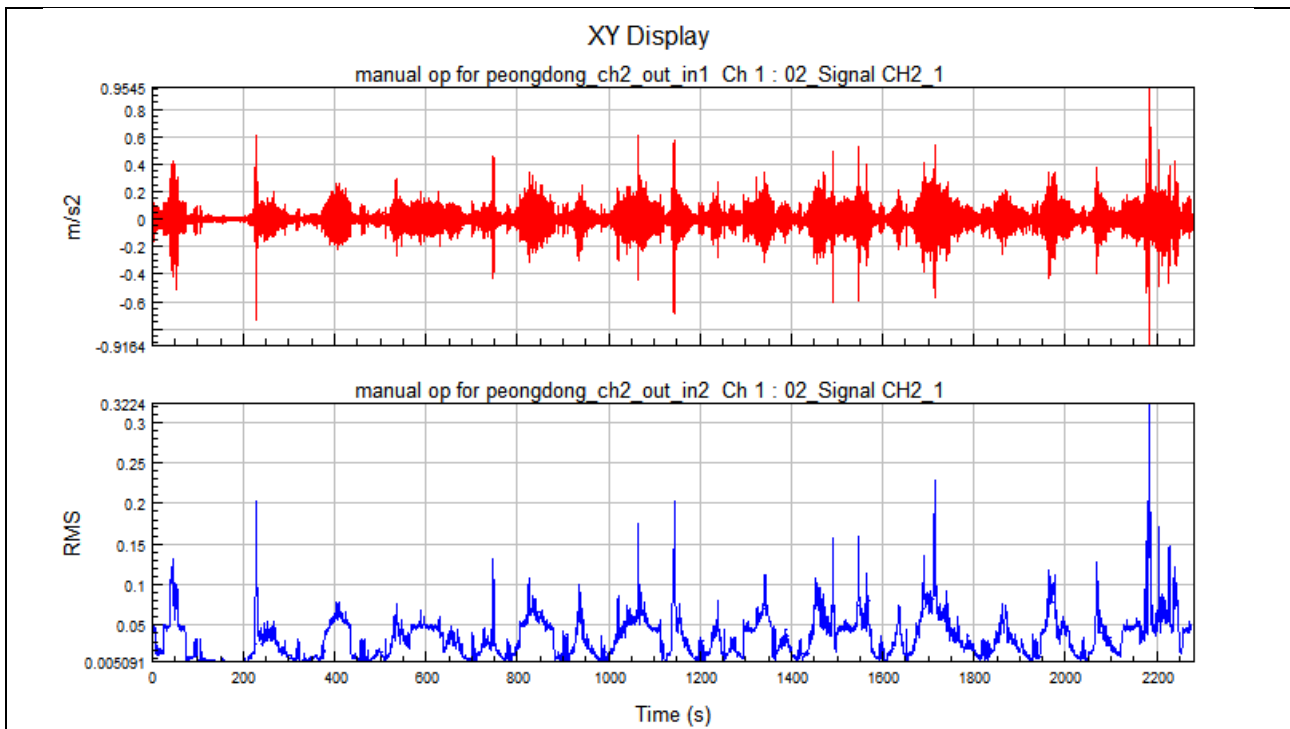


[그래프 12. 주파수 및 ASD Level_전후 (X축)]

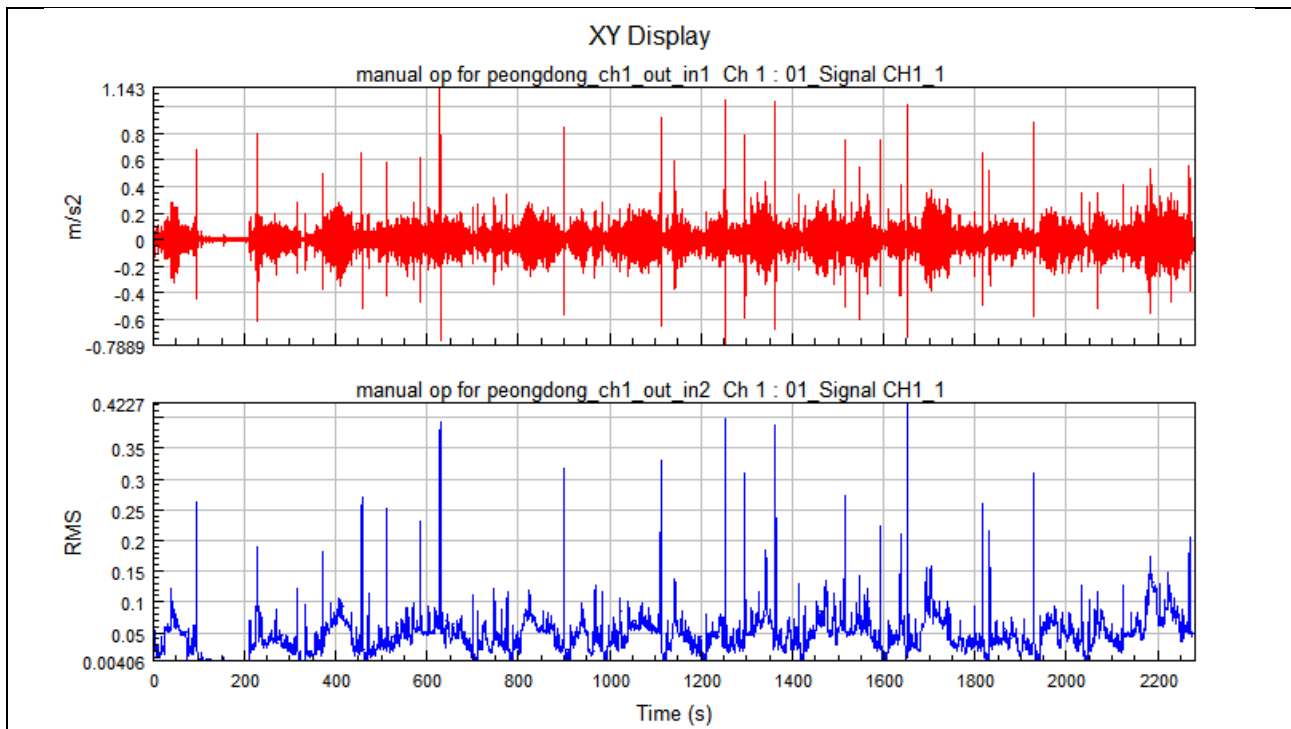
8.5 수동 운전 (소태 → 평동)



[그래프 13. 시간 파형 및 r.m.s_수직 (Z축)]

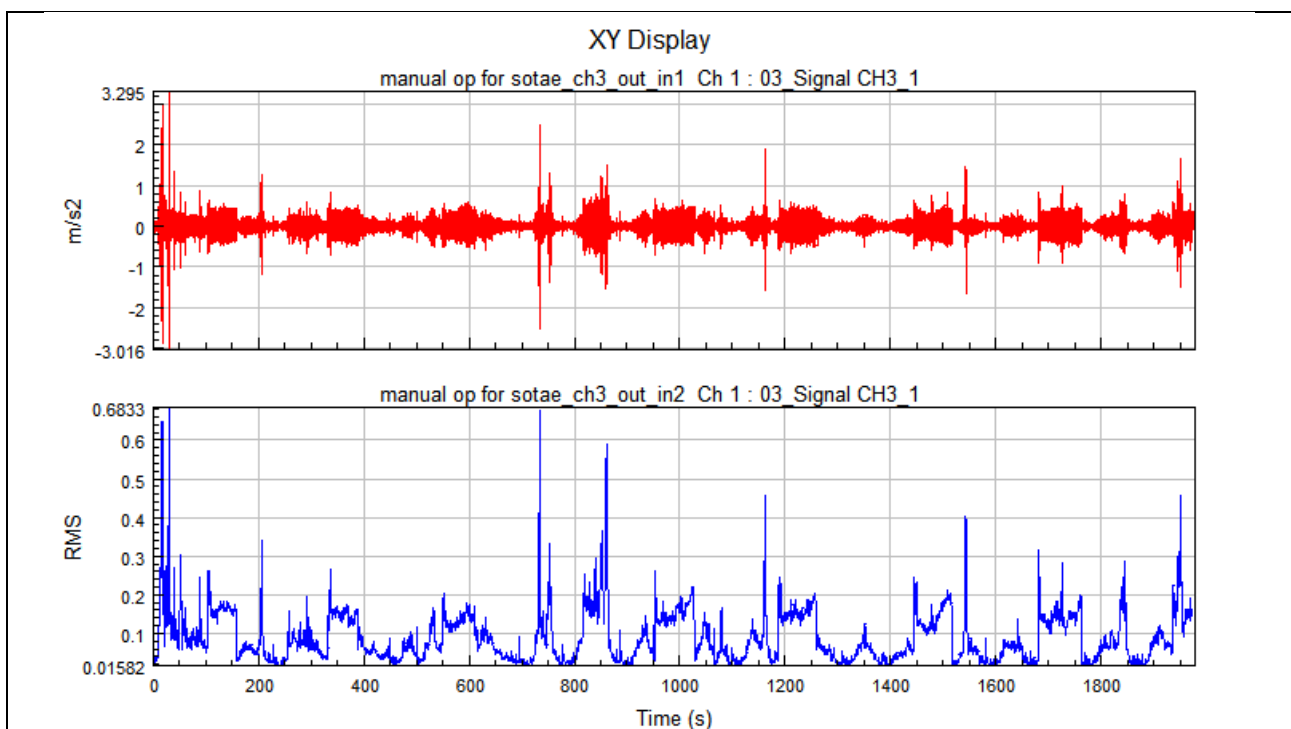


[그래프 14. 시간 파형 및 r.m.s_좌우 (Y축)]



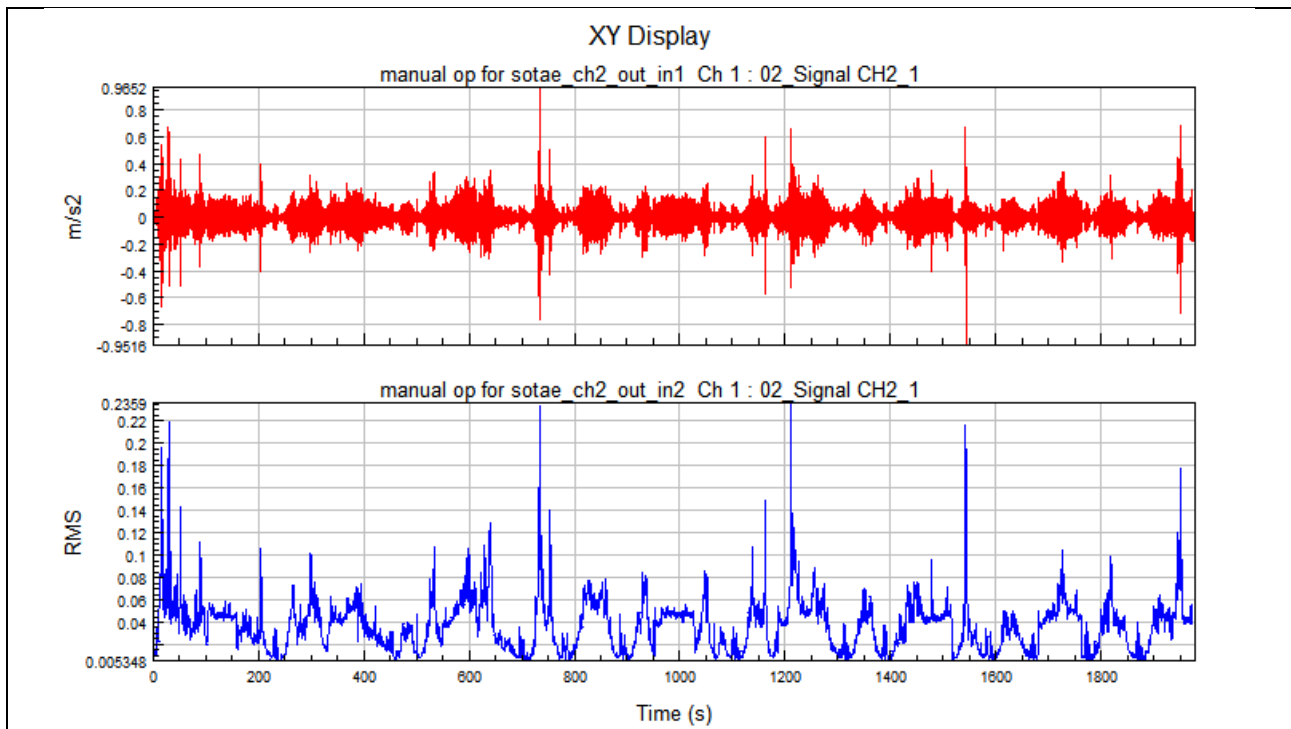
[그래프 15. 시간 파형 및 r.m.s_전후 (X축)]

8.6 수동 운전 (평동 → 소태)

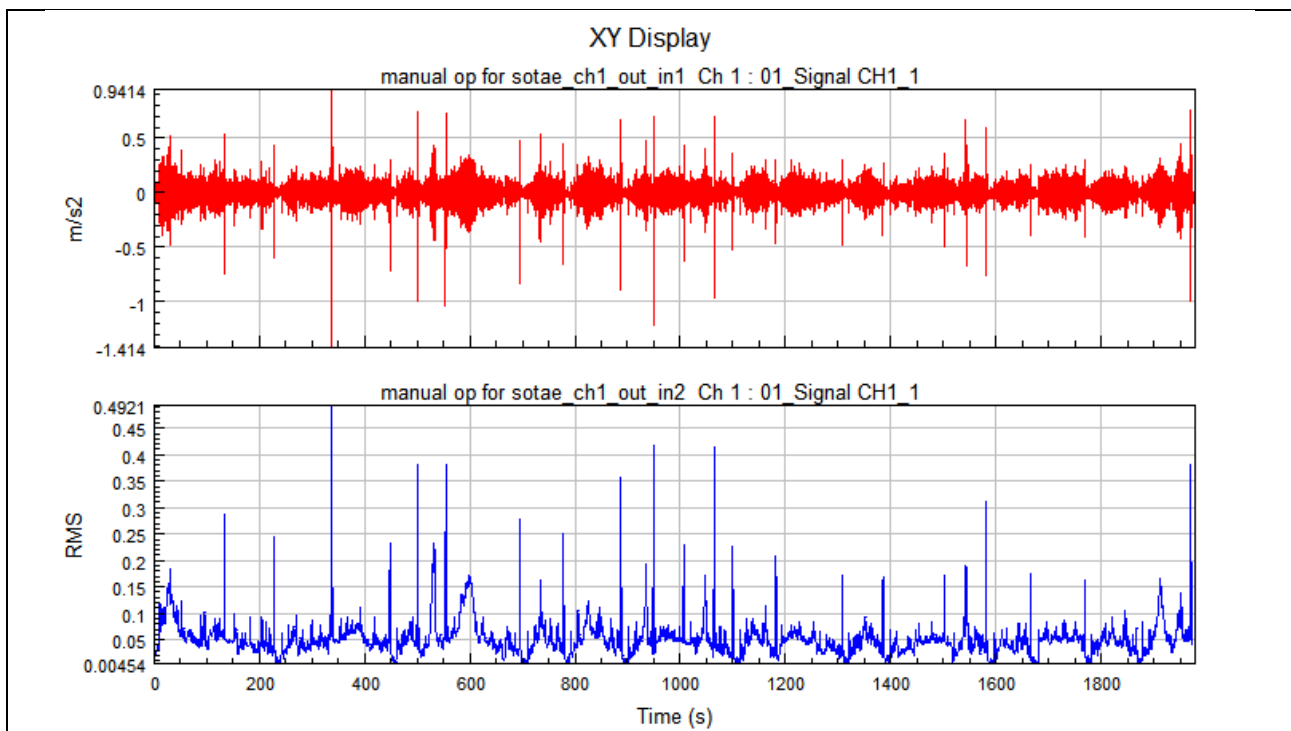


[그래프 16. 시간 파형 및 r.m.s_수직 (Z축)]

REPORT

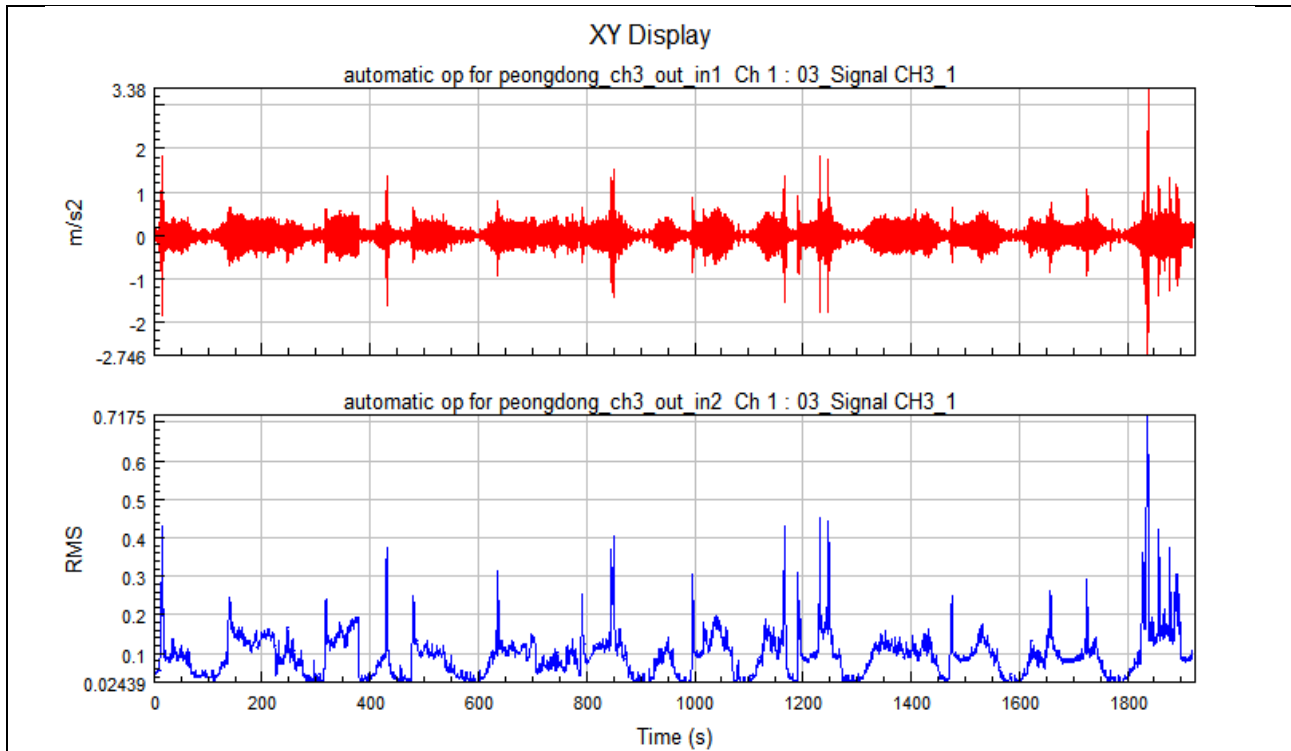


[그래프 17. 시간 파형 및 r.m.s_좌우 (Y축)]

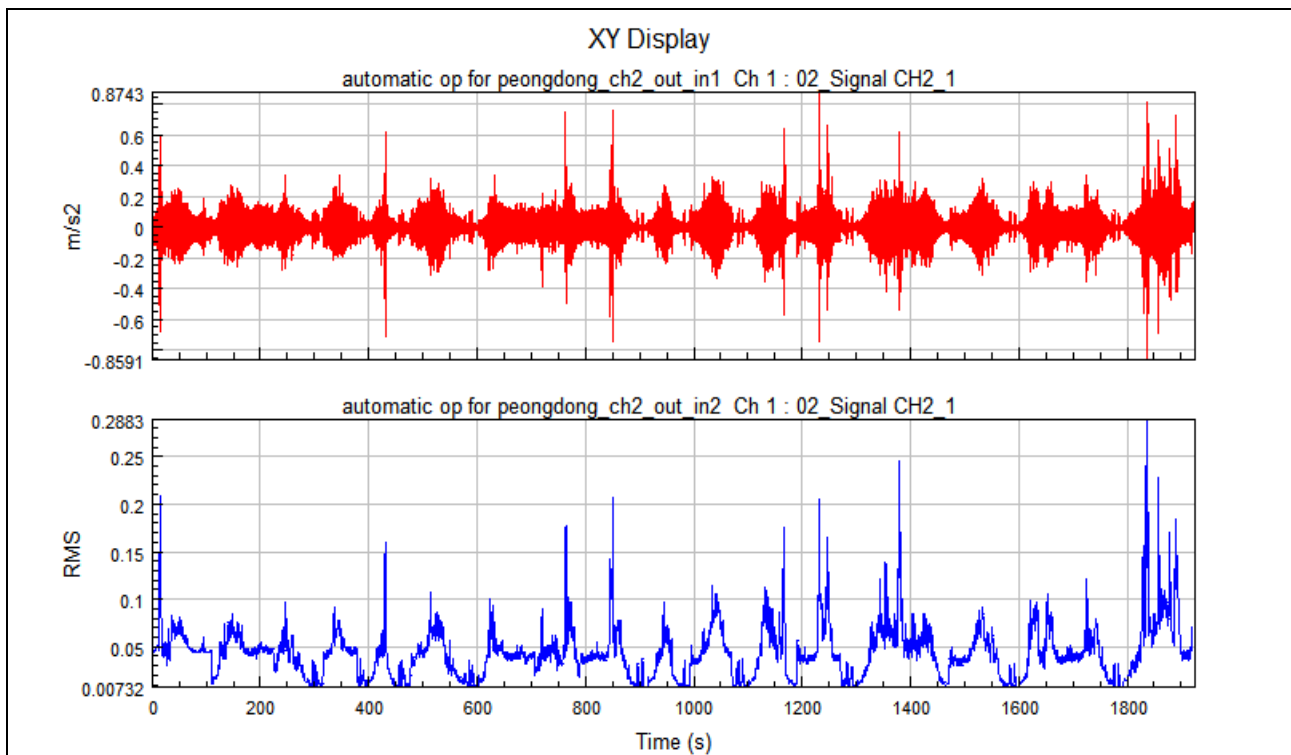


[그래프 18. 시간 파형 및 r.m.s_전후 (X축)]

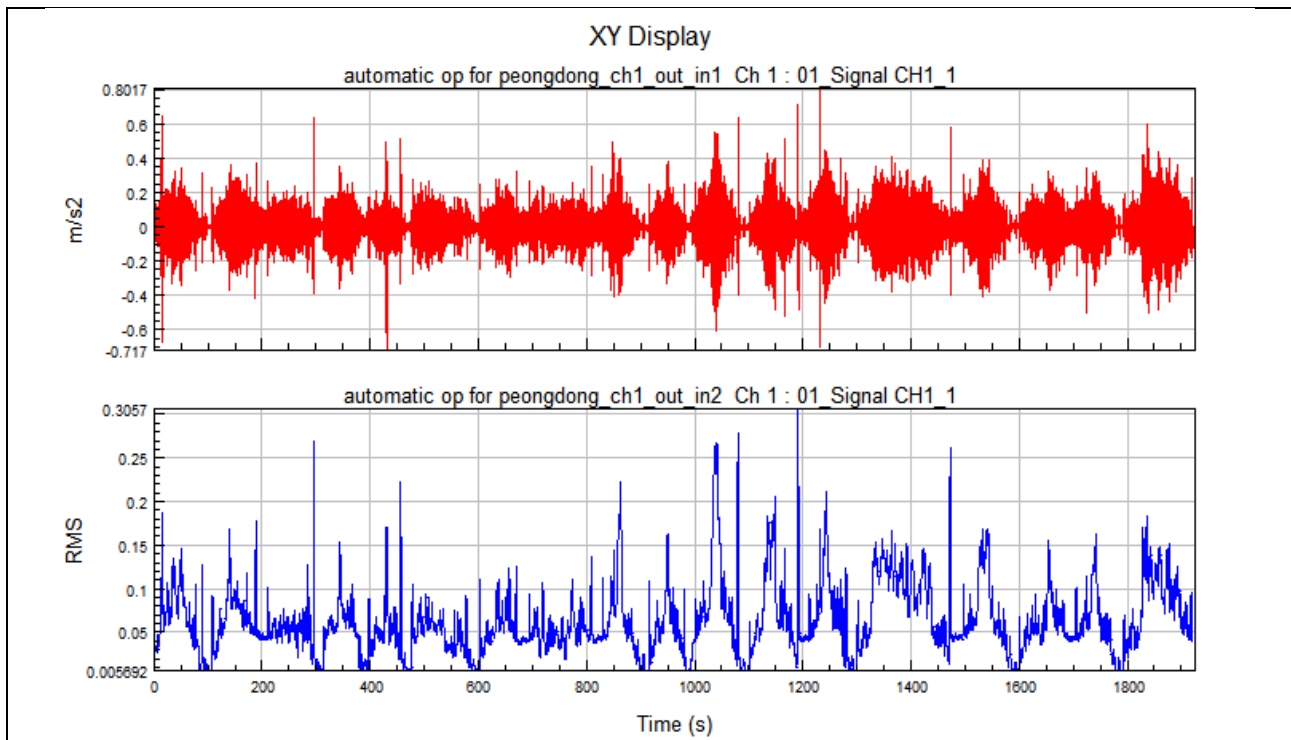
8.7 자동 운전 (소태 → 평동)



[그래프 19. 시간 파형 및 r.m.s_수직 (Z축)]

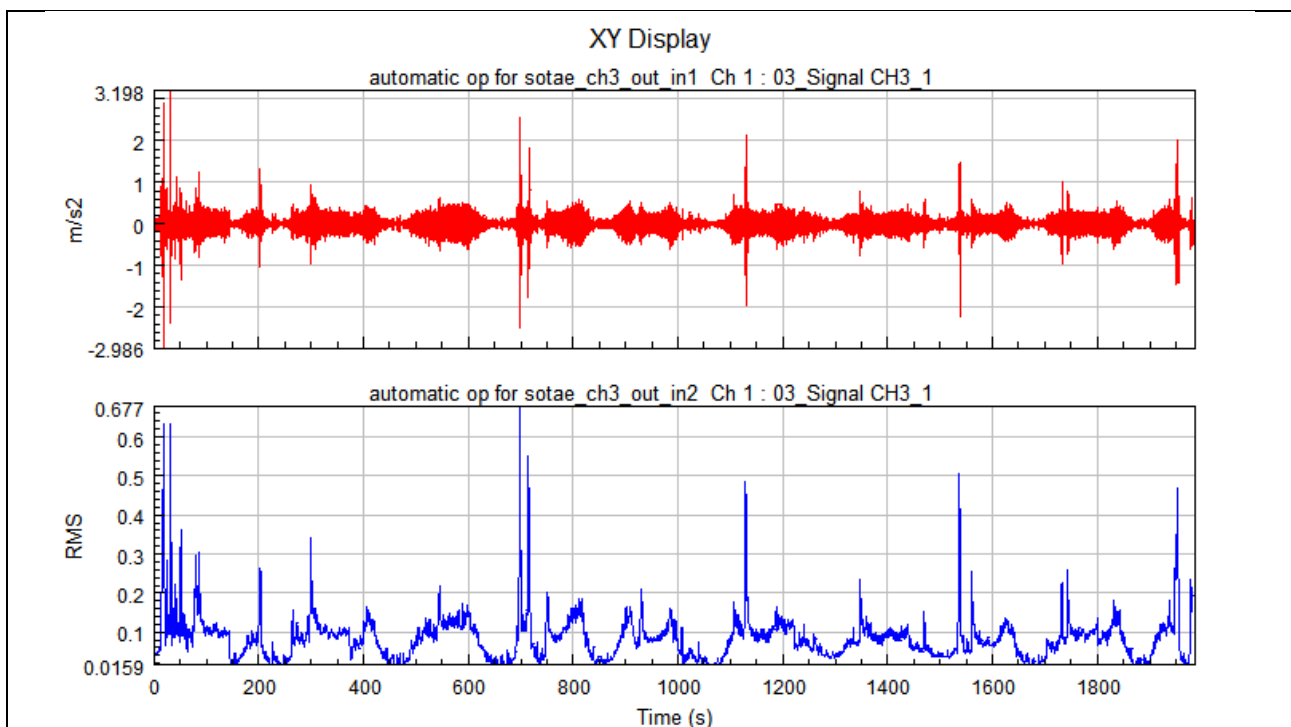


[그래프 20. 시간 파형 및 r.m.s_좌우 (Y축)]



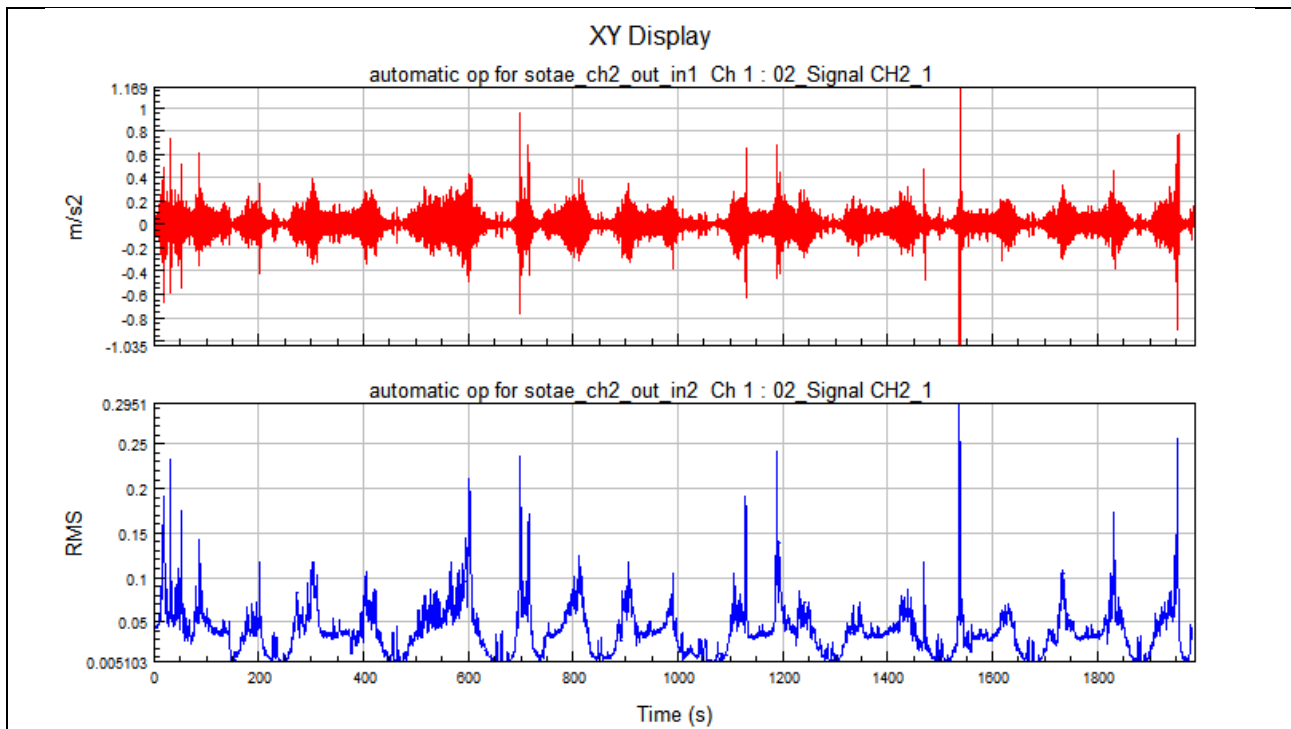
[그래프 21. 시간 파형 및 r.m.s_전후 (X축)]

8.8 자동 운전 (평동 → 소태)

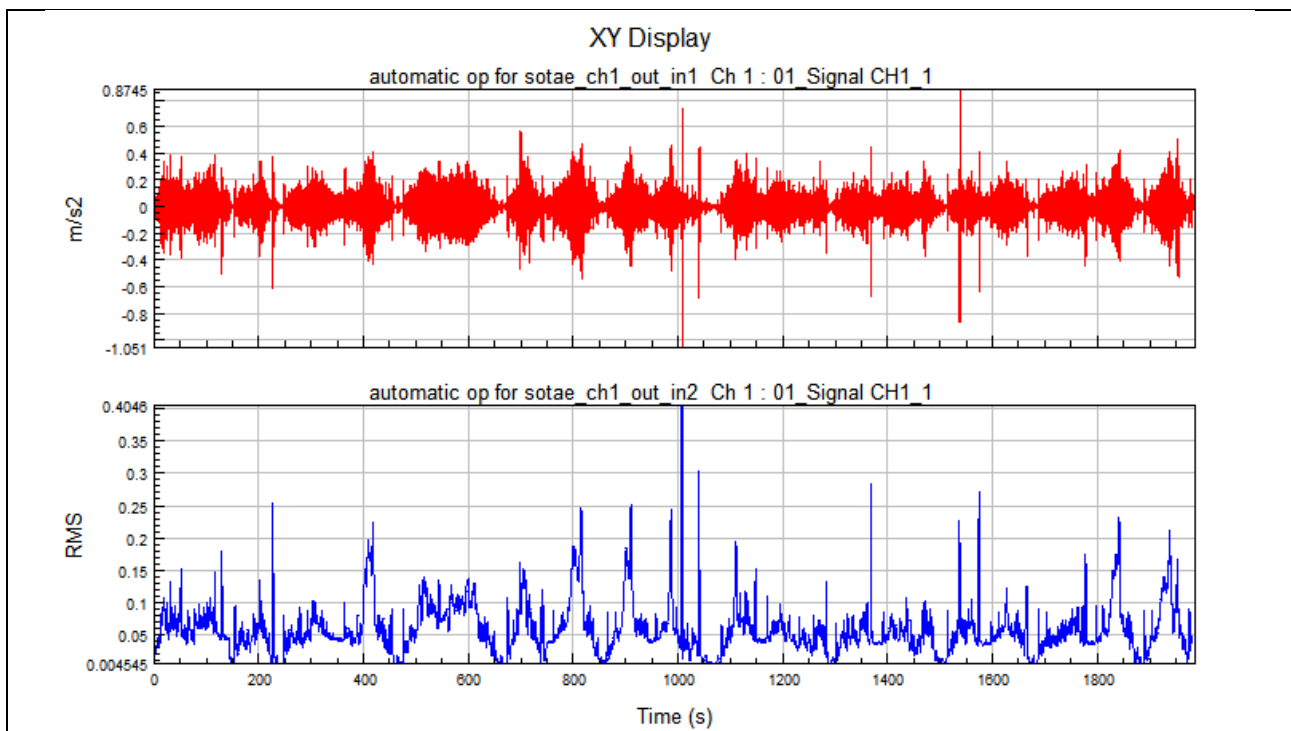


[그래프 22. 시간 파형 및 r.m.s_수직 (Z축)]

REPORT



[그래프 23. 시간 파형 및 r.m.s_좌우 (Y축)]



[그래프 24. 시간 파형 및 r.m.s_전후 (X축)]

#별첨3;공진형 보조전원장치 구매 의향서 (광주도시철도공사)

공진형 보조전원장치 구매 의향서

수신 : (주)브이씨텍 대표이사

귀사에서 추진한 실용화 문턱과제(공진형 보조전원장치 실용화 사업)와 관련하여 공진형 보조전원장치를 광주1호선 전동차에 취부하여 현차시험을 시행한 결과 전동차에 요구되는 보조전원장치의 성능과 목적을 달성하였습니다. 이에 따라 우리 공사는 향후 광주 1호선 전동차의 보조전원장치 노후로 개조·개량이 필요할 경우 구매사양서에 공진형 기술이 적용된 보조전원장치 기술을 명시하여 공진형 보조전원장치가 실용화 될 수 있도록 적극 협조하겠습니다.

2020년 7월 10일

광주광역시도시철도공사



#별첨4;공진형 보조전원장치 신뢰성에 대한 의견 (광주도시철도공사)

공진형 보조전원장치 신뢰성에 대한 의견

수신 : (주)브이씨텍 대표이사

귀사에서 추진한 실용화 문턱과제(공진형 보조전원장치 실용화 사업)와 관련하여 공진형 보조전원장치를 광주1호선 전동차에 취부하여 약 10개월 동안 현차시험을 시행하였습니다. 용산차량기지에서 5,000시간 이상 구내 시운전 및 가동시험을 시행한 결과 공진형 보조전원장치 시스템의 성능 및 신뢰성에 이상이 없음을 확인하였으며, 광주1호선 전동차의 보조전원 장치가 요구하는 성능을 달성하였습니다. 따라서 우리 공사는 현차시험 결과를 바탕으로 공진형 보조전원장치의 신뢰성에 대한 의견을 다음과 같이 송부합니다.

○ 공진형 보조전원장치 신뢰성에 대한 의견 : 우수

2020년 7월 10일

광주광역시도시철도공사



#별첨5;공진형 보조전원장치 BOM

PROJECT (Code)	공진형 SIV 실용화(IN-1701)	PARTS LIST	WRITTE	CHECKED	APPROVED
MODEL	APU		신혁근		
PART NAME (B CODE)	APU				
REV No. of PL	Rev:0.9				
DATE	2018.04.19				

LEVEL	Part Reference	Class	Value	Spec	Tech	Maker	Qty	Unit	Price	금액비율	비고
1	SMRT2-APU		200kVA	IN : 1500Vdc OUT : 380Vac 60Hz 140kVA 100Vdc 20kW	-	VCtech	1	SET		100.00%	
2	APU_BOX					국산품	1	SET		18.37%	
2	CFC3	CAP/MF	1100V / 70A		-40~85	수입품	2	SET		0.23%	
2	ACC_ASS'Y	TRANS/M	500Vac		-40~85	수입품	1	EA		0.71%	
2	OUTk	CONT	400A	48-130V	-40~70	수입품	1	EA		1.41%	
2	PPR	CONT	9A,3pole	380VAC	-40~55	수입품	1	EA		0.06%	
2	CHK	CONT	40A (100VDC Coil, 1 pole) 400A		-	수입품	1	EA		1.13%	
2	LK	CONT	(100VDC Coil, 1 pole) 3Φ 380V /		-	수입품	1	EA		4.24%	
2	ACPT1	PT/M	5V D-Y		-	국산품	1	EA		0.28%	
2	DCPT1	PT/M	DCPT2516		-	국산품	1	SET		0.71%	
2	FL	REA/M	130A		-	국산품	1	SET		3.11%	
2	ACL	REA/M	260A		-	국산품	1	SET		5.65%	
2	SSK	CONT	160A (3 pole, 380Vac Coil) XT1B	48-130V	-40~70	수입품	1	EA		0.57%	
2	SSN	CB	160 TMD 160-1600 3p F F	3P,160A	-	수입품	1	EA		0.34%	
2	CHR	RES/M	1.5kW 600ohm J		-	국산품	1	EA		0.08%	
2	HFTR1	TRANS/M	1Φ 900V / 692V		-	국산품	1	SET		9.61%	
2	HFTR2	TRANS/M	1Φ 690V / 230V		-	국산품	1	EA		3.67%	
2	BCFL	TRANS/M	300A		-	국산품	1	EA		1.98%	
2	DCBD_ASS'Y				-	국산품	1	SET		1.84%	
2	CHM_STACK_ASS'Y				-	국산품	1	SET		7.91%	
2	CONM_STACK_ASS'Y				-	국산품	1	SET		9.04%	
2	RM_STACK_ASS'Y				-	국산품	1	EA		3.39%	
2	IM_STACK_ASS'Y				-	국산품	1	EA		8.48%	
2	BCM_STACK_ASS'Y				-	국산품	1	EA		6.50%	
2	BCRD_STACK_ASS'Y				-	국산품	1	EA		4.24%	
2	Control Ass'y				-	국산품	1	SET		5.65%	
2	RLY Ass'y				-	국산품	1	EA		0.51%	
2	PF_CAP Ass'y				-	국산품	1	EA		0.14%	
2	PF_FILTER Ass'y				-	국산품	1	EA		0.17%	

#별첨6;유지보수 점검항목

일상검사항목

- 1) SIV 제어기 상태
- 2) 전자접촉기 및 각종센서류 상태
- 3) SIVK, LK, CHK 등 접촉기 상태
- 4) 케이블 및 배선 취부상태
- 5) 콘덴서 및 리액터류 상태
- 6) IDU동작 상태

월상검사항목

- 1) 전선 및 케이블 균열, 변형, 열화 여부
- 2) 라인콘택터 접촉기, 아크슈트 상태 및 청소
- 3) 각종 접촉기류, 센서류 상태 및 청소
- 4) 각종 저항기류 상태 및 청소
- 5) 함 내. 외부(냉각핀) 청소
- 6) SIV 제어카드삽입 상태
- 7) IVS 동작 및 취부 상태
- 8) IDU, IGBT 등 외관 및 취부상태

점 검 내 용	검사주기				비 고
	7D	4M	3Y	6Y	
5. 보조전원장치					
5-1.보조전원장치 인버터 케이스					
가. 외관 및 카바류 쇠정상태	○	○	○	○	
나. 각종 카바, 도아 밀폐상태 및 케이스 청결상태	○	○	○	○	
다. 각종 접촉기 배선(제어선, 전력선) 상태	○	○	○	○	
라. 각종 케이블 및 배선 취부 상태	○	○	○	○	
마. 가스켓의 품질저하 확인 (변형은 3mm 이하)		○	○	○	
바. 품질저하에 대한 저항 확인			○	○	
사. 광섬유바의 손상 또는 품질저하 확인			○	○	
아. 광섬유 전면의 손상 또는 품질저하 확인			○	○	
자. 전선 납땜에 대한 조임상태 손상 또는 품질저하 확인, 회로 단락과 접지고장의 손상 확인			○	○	
차. 절연재의 품질저하 확인			○	○	
카. 단자의 손상 확인			○	○	
타. 절연저항과 내전압 측정			○	○	
5-2. SIV 입력 스위치(IVS)					
가. 외관검사 및 작동여부 확인		○	○	○	
나. 스위치 점검 확인(손상시 교환) 및 통전그리스 도포		○	○	○	
다. 스위치 절연상태 확인			○	○	
절연저항 시험(고압부 : 1000V 메거로 100MΩ)					
라. 취부위치, 취부볼트의 조임상태		○	○	○	
마. 연결케이블 상태 확인		○	○	○	
5-3. 선로 차단기(LK)					
가. 외관 검사 및 취부 상태	○	○	○	○	
나. 아크슈트 점검		○	○	○	
(1) 금속판 용착 여부 점검 및 청소					
(2) 분해검사(필요시 교환)					
다. 아크혼, 세라믹 부품 점검(필요시 교환) 및 아크혼적 청소		○	○	○	
라. 주접점,보조접점 상태확인(필요시 교환) 및 청소		○	○	○	

마. 동작코일 열화 점검 및 코일저항 측정		O	O	O	
바. 기타 각종 볼트너트류 조임상태 점검		O	O	O	
사. 동작시험				O	
5-4. 충전 접촉기 (CHK)					
가. 육안검사					
(1) 접촉기의 취부 및 청소 상태	O	O	O	O	
(2) 아크슈트의 균열, 아크부식, 그을름 상태(필요시 교환)		O	O	O	
(3) 주접점 아크, 마모 상태(필요시 교환)		O	O	O	
(4) 취부 볼트, 너트 상태		O	O	O	
5-5. 부하접촉기(SIVK)					
가. 육안검사					
(1) 접촉기의 취부 및 청소 상태	O	O	O	O	
(2) 주접점 아크, 마모 상태 확인(필요시 교환)		O	O	O	
(3) 취부 볼트, 너트 상태	O	O	O	O	
(4) 전자석 표면 상태(필요시 알코올로 청소)			O	O	
5-6. 축전지 충전 모듈(BCRM) 히트싱크					
가. 육안검사			O	O	
(1) 히트싱크의 손상여부 및 청결상태 확인(손상시 교체)					
(2) 공기의 흐름을 방해하는 이물질제거					
(3) 취부볼트 및 청소 상태 확인					
5-7. 리액터 (FL,ACL,BCFL)류 및 변압기(IVT)류					
가. 육안검사					
(1) 외관 및 카바 상태 확인	O	O	O	O	
(2) 케이블 및 절연파손상태 확인(열화나 손상시 교체)		O	O	O	
(3) 먼지청소		O	O	O	
나. 시험			O	O	
(1) 절연시험(1000V 메거 측정)					
- 접지와 고압부 : 100MΩ					
- 접지와 저압부 : 30MΩ					

(2) 절연내압시험					
- 접지와 고압부 : AC5,400V에서 1분간 이상없을 것					
- 접지와 저압부 : AC2,500V에서 1분간 이상없을 것					
5-8. 인버터 모듈(IM)					
가. 육안검사					
(1) 각종 취부볼트,너트의 조임상태	O	O	O	O	
(2) IDU 동작상태	O	O	O	O	
(3) 각 부품의 전기적 충격흔적, 균열, 발화, 소손 및 이상 여부		O	O	O	
(4) 게이트 드라이브 판넬 소손 및 파손 여부		O	O	O	
(5) 청소상태		O	O	O	
(6) 도아 밀폐상태 및 접지선 연결상태 확인		O	O	O	
나. 동작검사 및 시험					
(1) IGBT 동작검사(정비지침서 참조)			O	O	
- 게이트 드라이브 보드의 LED 상태 확인					
(2) IGBT시험(정비지침서 참조)				O	
- SIV 모니터 프로그램으로 파형 확인 검사					
- 멀티메타 시험					
(3) 절연시험(1000V 메거 측정)			O	O	
- 접지와 고압부 : 100MΩ					
- 접지와 저압부 : 30MΩ					
- 접지와 제어부 : 30MΩ					
5-9. 캐패시터(FC, ACC, BCFC)류					
가. 육안검사					
(1) 외관 및 카바 상태 확인	O	O	O	O	
(2) 케이블 및 절연파손상태 확인(열화나 손상시 교체)		O	O	O	
(3) 캐패시터 외관 및 누유 상태 확인(필요시 교환)		O	O	O	
(4) 먼지청소		O	O	O	
(5) 부품에 대한 손상,변색 확인		O	O	O	
나. 시험			O	O	

(1) 절연시험(1000V 메거 측정)					
- 접지와 고압부 : 100MΩ					
- 접지와 저압부 : 30MΩ					
(2) 절연내압시험					
- 접지와 고압부 : AC5,400V에서 1분간 이상없을 것					
- 접지와 저압부 : AC2,500V에서 1분간 이상없을 것					
5-10. 각종 감지기(PT, CT)류					
가. 육안검사					
(1) 접속전선 외관상태	○	○	○	○	
(2) 체결볼트 및 단자 파손 상태 확인		○	○	○	
(3) 케이블 및 절연파손상태 확인(열화나 손상시 교체)		○	○	○	
(4) 먼지청소		○	○	○	
나. 동작시험			○	○	
(1) 각종 감지기의 정상동작여부 확인(이상시 교체)					
5-11. Control 장치					
가. 육안검사					
(1) 제어장치 외관상태	○	○	○	○	
(2) 체결볼트 및 콘넥터, 핀, 단자 파손 상태 확인		○	○	○	
(3) 배선 상태 확인(열화나 손상시 교체)		○	○	○	
(4) 카드류 부품 파손 및 열화상태(이상시 교체)		○	○	○	
나. 동작검사			○	○	
(1) 정상동작여부 확인(검사용 pc 연결시험)					
(2) 출력이상시 해당 카드교체					
(3) 각종 감지기의 정상동작여부 확인(이상시 교체)					
5-12. 축전지					
가. 전해액 레벨의 적정 여부 점검		○	○	○	
나. 단위 전지의 전압을 전압계로 측정한다.		○	○	○	
☆ 전압 범위는 전지당 1.35 ~ 1.45V					
다. 축전지의 외관 특히 윗부분과 터미널을 깨끗이 청소		○	○	○	

라. 벤트 뚜껑을 열고 비중계로 비중 측정		O	O	O	
☆ 허용비중(20 ℃) : 1.16 ~ 1.23					
온도가 1 ℃ 상승하면 비중은 0.0005 상승하고,					
온도가 1 ℃ 강하하면 비중은 0.0005 저하한다.					
마. 볼트 너트 이완 여부 검사		O	O	O	
바. 전지와 전지 커버의 균열 여부 검사		O	O	O	
사. 볼트 너트를 풀고 전지를 분리하여 극판 상태 점검			O	O	
아. 전해액을 검사하여 필요시 보충·교환			O	O	
5-13. 축전지 제어상자					
가. 육안검사					
(1) 외함 및 단자, 접지 외관상태	O	O	O	O	
(2) 덮개 밀봉패킷 손상품 교환			O	O	
(3) 축전지 점검 및 불량품 교환			O	O	
(4) 축전지 접촉기 이상유무 점검		O	O	O	
5-14. 연장급전 접촉기함 (ESK)					
가. 외관상태					
(1) 연장급전 접촉기함 외관의 변형 손상여부 및 취부상태 검사	O	O	O	O	
(2) ESK함 내부에 설치되어 있는 접촉기의 취부상태 검사		O	O	O	
(3) 연장급전 접촉기함 내부에 설치되어 있는 각종 배선의 손상,변색 열화 흔적 및 접속상태 검사		O	O	O	
나. 동작상태		O	O	O	
(1) 한 쪽 유니트의 SIV를 OFF시 연장급전이 정상적으로 작동되는지 확인					
5-15. 저항기(CHR)					
가. 저항소자와 절연체의 손상 확인(100Ω)			O	O	
나. 단자와 스크류의 조임상태의 손상 확인			O	O	
6. 제동장치					
6-1. 주공기 압축기					

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 공진형 보조전원장치 실용화 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 공진형 보조전원장치 실용화 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.