

R&D / 08
미래
철도
기획
A01-5

전기철도
급전시스템
능동형

2008
국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

Construction & Transportation R&D Report

미래철도기술개발사업 기획연구 최종보고서

R&D / 08 미래철도 기획A01-5

전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 개발

2008. 11.

주관연구기관 / 한국철도공사

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 개발”의 최종보고서로 제출합니다.

2008. 11. 7.

주관연구기관 : 한국철도공사
사장 강 경 호

■ 총괄연구책임자	/ 수석연구원	최 성균	연구총괄기획·추진
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 연구원	류 영태	공동연구
	/ 연구원	전 용주	공동연구
	/ 연구원	이 영엽	연구지원
	/ 연구원	이 준원	연구지원
	/ 연구원	국 문석	연구지원
■ 주관연구기관 자문 위원	/ 중 앙 대	김 윤호 교수	공동연구
	/ 중 앙 대	진 강환 연구원	공동연구

목 차

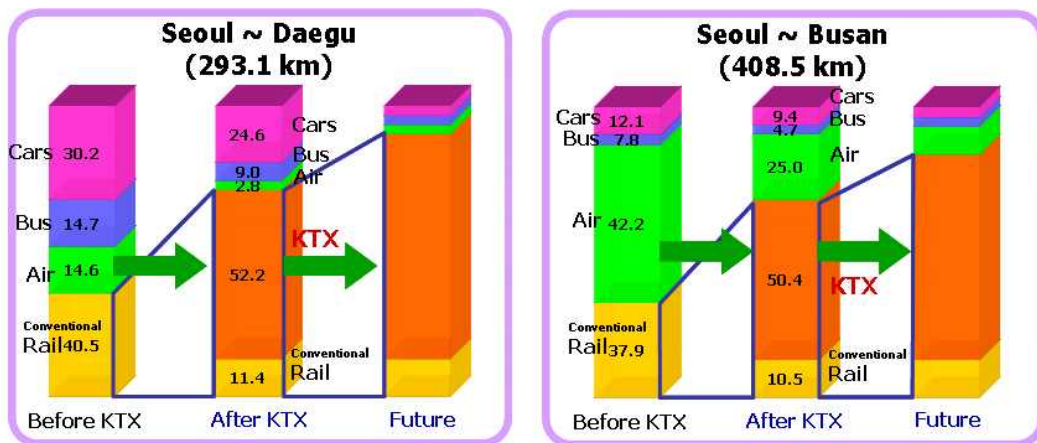
제 1 절 서 론	1
1. 기술개발 필요성	1
2. 기획 연구의 개요	4
3. 기획 연구의 중요성	4
4. 기획 연구의 목표 및 내용	7
5. 연구목표 및 내용	9
6. 기획 연구 추진 전략 및 방법	18
 제 2 절 관련 기술 및 산업 동향	 23
1. 전력품질 향상을 위한 기술 조사	23
2. 철도운영 현황 분석	35
3. 전기철도 부하의 특성	39
 제 3 절 국내외 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 현황	 54
1. 국내 기술 및 산업 동향	54
2. 국외 기술 및 산업 동향	60
3. 기존과제와 본과제의 중복성 검토	63
4. 관련 특허 조사	64
5. 정부 지원정책 현황	65
 제 4 절 사업내용 도출	 66
1. 연구 목표	66
2. 연구 내용	66
 제 5 절 소요인력 및 예산 분석	 79
1. 소요예산 인력 추정	79
2. 소요예산 예산 산출	80

제 6 절 사업성과물의 활용방안 및 기대성과	83
1. 사업성과물	83
2. 활용방안	84
3. 기대성과	85
 별첨 (RFP)	 87

제1절 서 론

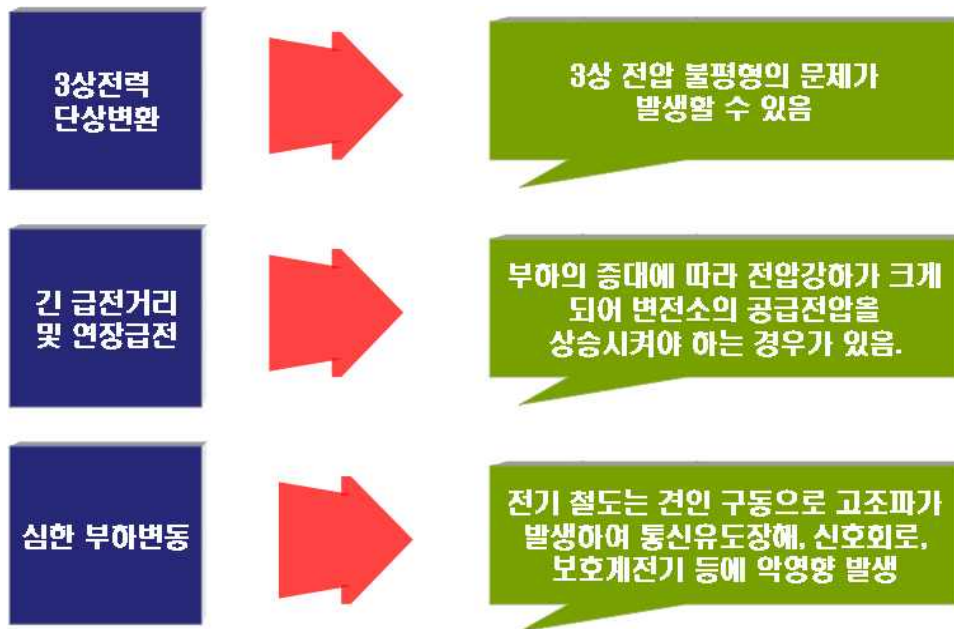
1. 기술개발 필요성

- 전기 에너지를 이용한 전기철도는 고속성, 고효율, 환경친화성의 이유로 현재 건설 중인 경부고속철도를 포함하여 기존의 디젤엔진 차량을 대신하여 열차의 주 견인원으로 사용되는 추세임.

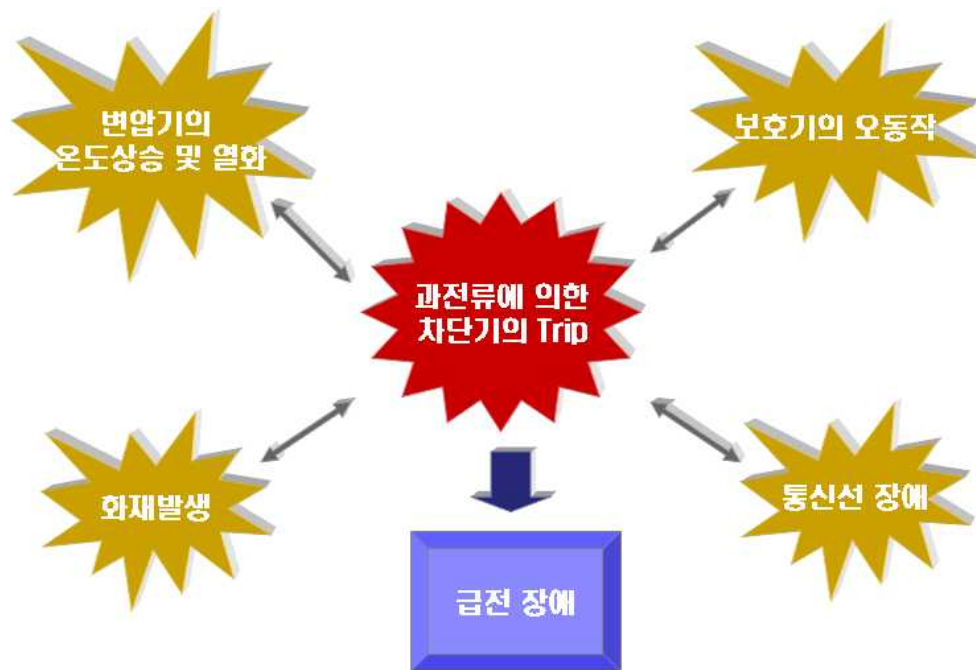


- 기존 전기 철도 급전시스템은 전력 계통과 매우 유사한 요소를 갖추고 있고 따라서 전력 계통에서 발생할 수 있는 전력품질의 문제점이 전기 철도에서도 나타날 수 있고 또한 전력변환장치를 사용하는 전기 철도 시스템의 특성으로 인해 많은 문제점 발생.
- 한국 전력으로부터 3상 전력을 공급받아 스코트 변압기를 통해 단상전력으로 변환한 전기에너지를 공급받기 때문에 3상 전압 불평형의 문제가 발생할 수 있음.
- 교류전철화에서는 일반적으로 급전거리가 길고 특히 연장급전하여 운용할 때는 부하의 증대에 따라 전압강하가 크게 되어 변전소의 공급전압을 상승시켜야 하는 경우가 있다. 특히 전원계통이 작고 변전소의 임피던스가 작을 때는 이와 같은 문제가 발생.
- 전기 철도는 견인 전동기 구동으로 부하의 변동이 심하고 고조파가 발생하여 통신유도장해, 신호회로에 미치는 악영향, 보호계전기의 오동작, 병렬 커

패시터로의 과전류, 고조파 공진현상 초래, 형광등 안정기의 소손, 과전류 계전기 코일의 소손, 배전용 차단기의 오동작 등 많은 악영향을 끼침.



- 이러한 문제점을 발생시킬 우려가 있는 부하의 경우 전력품질 보상설비의 시설을 요구하고 있으며, 전자파 및 전력품질의 규제강화 움직임이 있어 전기철도에서의 전력품질 향상 대책이 강구되어야 함.
- 현재 사용되고 있는 전력품질 안정화 설비(능동형 전력필터)는 전량 외국의 기술로 설비되고 있어 외화의 지출이 크며, 국내 전기철도 증가추세를 고려할 때 전기철도의 특성을 고려한 전력품질 안정화 설비 기술 개발은 당면한 과제를 알 수 있음.
- 기존 국내의 전력품질 안정화 설비는 국내에서 연구되고 있으나 전기철도 급전시스템에 적용은 전기철도 부하의 특성이 반영되지 않아 본연구과제와의 연계가 필요함.
- 안전에 대하여 고조파 규제치 초과 시 변압기 온도상승 및 열화, 통신선 장애, 과전류에 의한 차단기 트립 등등의 급전장애를 초래 할 수 있다.



<고조파 규제치 초과시 문제점>

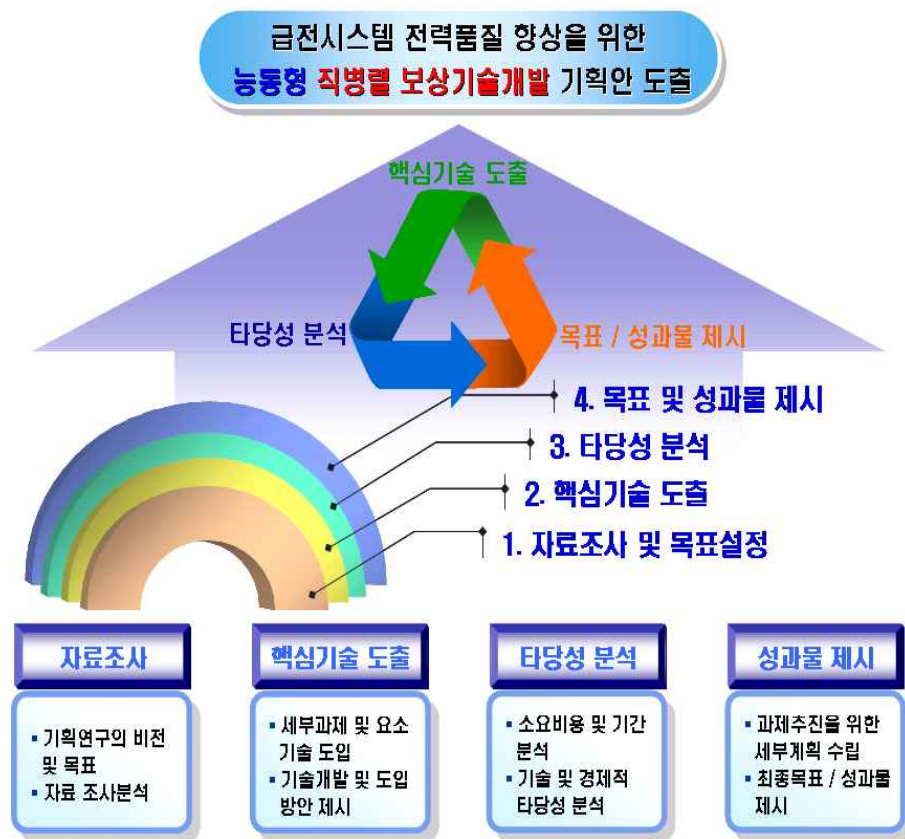
- 따라서 기술 개발 및 국내 전기철도 급전시스템에 적용하기 위한 전력품질 안정화 설비 기술의 면밀한 검토와 핵심기술의 분석을 통하여 최적의 시스템을 찾는 연구기획이 선행되어야 할 것임.



< 본 과제의 개요 >

2. 기획 연구의 개요

- 전기철도 급전시스템의 전력품질 향상을 위한 직병렬 보상기술을 개발하기 위한 선진 기술 조사와 국내 기술 분석을 통하여 현재의 전력품질 안정화 설비의 기술 수준을 면밀히 분석할 것이며 전기철도 급전시스템에 적용여부를 연구할 것임. 또한 세부적 핵심 요소기술을 도출하고 타당성을 분석하여 목표를 제시할 수 있는 명확한 로드맵을 나타내고자 함.



3. 기획 연구의 중요성

- 현재 국내 전기철도 계통에는 산업선에 수동형 전력필터가 설치되어 있고 경부 고속철도에는 각 변전소마다 능동 전력필터를 설치하여 급전계통의 고조파 전류를 저감시키기 위해 사용하고 있음. 설치된 능동 전력필터는 선로의 고조파 왜형률을 감소시키고 있으나 전압강하 및 불평형을 포함한 여타

전력품질 문제를 해결하지 못하고 있음. 뿐만 아니라 국내 전력품질 안정화 설비 기술이 국제적 수준에 도달하지 못하여 철도 계통에 설치된 전력필터는 전량 외국에서 수입을 하고 있어 많은 외화가 지출되고 있으며 설치된 시설의 유지 보수의 경우에도 외국 기술에 전적으로 의존할 수밖에 없는 실정임.

- 따라서 급전시스템 전력품질 향상을 위한 능동형 직병렬 전력보상장치를 국산화 하게 되면 기술자립은 물론 막대한 외화지출을 방지할 수 있으며, 향상된 기술적용을 통하여 전기철도 전력품질을 개선하는데 크게 기여할 것임.
- 본 과제에서는 개발에 앞서, 선진 기술 조사와 국내 기술 분석을 통하여 현재의 전력품질 안정화 설비의 기술 수준을 면밀히 분석할 것이며 최적의 전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 능동형 직병렬 보상설비를 선정할 것임.

○ SWOT 분석

- 시장 특징

- 경부선 및 호남전라선용 고속차량의 투입 및 전철화 확대에 따라 고속차량 수요증가
- 미국 및 중남미, 아시아 지역의 고속철도 건설 계획으로 풍부한 잠재수요시장 존재

- 기술 특징

- 고속철도 선진국만이 보유한 주요 핵심부품 및 시스템 기술의 국산화 개발을 통한 해외시장 진출이 가능함

- 기회 요인

- 고속철도 운영 경험을 기반으로 사용기술의 파악 용이
- 선진국의 속도향상으로 기존시스템에 대한 기술 확보가 용이
- 기존선과 고속선을 통합 운행하는 추세로 발전

<연구기술분야의 SWOT 분석 결과>

SWOT 분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	◦ 선진기술과약 ◦ 국내실용화 기회부여 ◦ 해외시장 진출 ◦ KTX운행 경험 축적	◦ 국외업체의 다국적화 ◦ 국내 기술력 취약 ◦ 신뢰성 검증 ◦ 단기간에 복잡한 시스템의 개발 및 실용화
S(강점)	SO전략	ST전략
◦ 국내기술 토대 마련 ◦ 첨단 IT기술의 확보 ◦ 연구개발 강한 의지 ◦ 고속철도 운영과 유지보수의 노하우 확보 ◦ 일반철도 기술개발 경험	◦ 기술개발 다양성 제고 ◦ 기술개발 전문성 제고	◦ 기술개발 역할분담 ◦ 핵심기술에 대한 외국과의 기술제휴 ◦ 개발기술 확대적용으로 효과 극대화
W(약점)	WO전략	WT전략
◦ 기술자료 부족 ◦ 실용화 경험 부족 ◦ 기업 독자개발 두려움 ◦ 다양한 시스템 부재 ◦ 정보 및 기술습득 한계	◦ 산학연 유기적인 기술개발 추진체계 구축 ◦ IT기술 활용 극대화 ◦ 차세대 고속전철 기술개발과 연계	◦ 핵심부품 기술 개발 ◦ 운용 효율성 극대를 위한 시스템 기술 개발

－ 위협 요인

- 고속시스템 개발 실적 부족으로 기술자료 확보가 어려움
- 영업운행을 통한 신뢰성 검증 요구가 강화
- 국산화에 따른 외국 제작사의 견제영업 및 가격하락

－ 강점 요인

- 고속철도 성공적인 개통 및 운영관리 경험 보유
- 고속철도기술개발사업을 통한 고속철도시스템의 국산화 토대 마련
- 연구개발 협력체계 구축과 연구개발의 강한 의지
- 일반철도의 운영, 장치개발 및 적용 구축 경험
- 국내의 선진화된 IT 기술의 활용

－ 약점 요인

- 국내 시장 협소와 국산화 개발에 필요한 막대한 비용과 시간이 필요하여 기업의 독자적인 국산화 개발 기피
- 개발시스템의 실용화 경험 부족
- 기술발전에 따른 후발주자로서 정보 및 기술습득 한계
- 다양한 국산화된 장치의 부재

4. 기획 연구의 목표 및 내용

가. 최종목표

- 본 과제에서는 전기철도 급전시스템의 전력품질 향상을 위한 직병렬 보상기술을 개발하기 위한 선진 기술 조사와 국내 기술 분석을 통하여 현재의 전력품질 안정화 설비의 기술 수준을 면밀히 분석할 것이고 전기철도 급전시스템에 적용여부를 연구한다. 최종개발목표사양은 1.5 MW (750 kW×2) 전력보상설비로서, 전체적인 전력품질 향상을 위해 고조파제거기능, 역율개선 및 전압강하 보상기능, 불평형 개선기능을 복합적으로 수행할 수 있는 시스템 구축임.

단계	단계별 목표
■ 자료조사 및 목표설정	■ 연구의 목적 및 범위 설정 ■ 전력 품질 향상을 위한 기술 조사 ■ 설문조사 및 분석 ■ 철도 급전시스템 적용을 위한 보상기술 결정
■ 주요 핵심기술 도출	■ 세부과제 및 요소기술 도출 ■ 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석 ■ 기술개발 방안 제시
■ 타당성 분석	■ 소요비용 및 기간 분석 ■ 기술 및 경제적 타당성 분석 ■ 전문가 검토를 타당성 분석
■ 목표 및 성과물 제시	■ 세부 추진계획 수립 ■ 최종 목표 및 내용 제시 ■ 과제의 성과물 제시

나. 연구과제의 핵심어(keyword)

핵심어	핵심어1	핵심어2	핵심어3	핵심어4	핵심어5
국문	능동전력필터	유연송전 시스템	전력품질 보상기	전기철도 급전시스템	고조파
영문	Active Power Filter	Flexible AC Transmission System	Power Quality Compensator	Power Supply System of Electric Railway	Harmonics

5. 연구목표 및 내용

가. 연구목표 및 연구내용

○ 1단계 : 자료조사 및 목표설정

연구목표	연구내용 및 범위
연구의 목적 및 범위 설정	- 연구의 배경 및 목적 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상 기술개발 기획연구 배경 정의 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상 기술개발 연구 목적 및 방향 설정 - 연구의 범위 설정 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상 기술개발 기획연구의 범위 설정
전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 기술 조사	- 전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 보상기술 조사 - 국내외 정책 - 시장현황 및 전망 - 전력품질 향상을 위한 보상기술 조사 - 국내외 전기철도 급전시스템 전력품질 보상을 위한 기술사례조사 - 국내외 기술 수준 - 관련 특허 조사 - 국내 전기철도 급전시스템 전력품질 보상기술 사례조사
설문조사 및 분석	- 국내 관련기관 및 기업 수요조사 - 고속철도 운영사 및 관련업체 등 실 수요자 설문조사 - 국내 연구 및 기술 인프라 분석 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상 장치 국산화에 필요한 관련기관 및 업체 연구 인프라 분석 - 기술개발에 따른 SWOT 분석 - 해외 실용화/상업화 사례조사 분석
전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 기술 결정	- 전기철도 급전시스템 적용을 위한 보상기술 결정 - 기존 전기철도 급전시스템의 문제 분석 - 국내 전기철도 급전시스템에 적용가능한 보상기술 및 제어 방식 결정 - 기존 수행중인 연구과제와의 중복성 및 차별화 검토 - 연구개발 범위 결정 - 하드웨어설계 개발 범위 결정 - 구동회로 개발 범위 결정 - 제어 알고리즘 개발 범위 결정

○ 2단계 : 주요 핵심기술 도출

연구목표	연구내용 및 범위
■ 세부과제 및 요소기술 도출	■ 하드웨어 설계 관련 기술 도출 - 전기철도 급전시스템 전력품질 보상기기의 하드웨어 설계기술 도출
	■ 구동회로 설계 관련 기술 도출 - 전기철도 급전시스템 전력품질 보상기기의 구동회로 설계기술 도출
	■ 제어 알고리즘 관련 기술 도출 - 전기철도 급전시스템 전력품질 보상기기의 제어를 위한 알고리즘관련 기술 도출
■ 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석	■ 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석 - 하드웨어 설계 개발 관련 핵심기술 분석 - 고신뢰성 구동회로 개발 관련 핵심기술 분석 - 제어 알고리즘 개발 관련 핵심기술 분석
■ 기술개발 방안 제시	■ 기술개발 방안 제시 - 국내 전기철도 급전시스템 전력품질 보상장치 기술수준 및 기술 보완사항 분석 - 기술적 문제 해결 가능성 및 해결 방안 검토 - 기존 연구의 연계활용 방안 제시 - 목표 설정 및 달성하기 위한 기술개발 방안 설정 - 기술개발에 따른 입증 방안 설정

○ 3단계 : 타당성 분석

연구목표	연구내용 및 범위
■ 소요 비용 및 개발일정 수립	■ 소요 비용 및 개발일정 수립 - 연구내용에 따른 세부과제별 기간 분석 - 내용 및 일정에 따른 연차별 소요예산 - Test-bed를 위한 비용 및 기간 분석 - 기타 제반 소요 비용 및 기간 분석 - 총 비용 및 총 개발일정 수립
■ 기술 및 경제적 타당성 분석	■ 기술적 타당성 분석 - 기존 연구개발 결과/시설/장비의 활용성 검토 - 연구개발 결과의 실용화 가능성 검토 - 기술개발 효과 분석 - 성능향상 및 설계요구사항에 따른 신기술 및 요소기술 내용 정립 - 기타 개발에 필요한 기술적 요구사항 검토 ■ 경제적 타당성 분석 - 개발기술의 상업화 가능성 분석 - 시장에 미치는 파급효과 분석 - 수입대체 및 수출효과, 수입단가 인하효과 등 - 정책적 제언 및 기타 상업화사업 추진을 위하여 필요한 사항
■ 전문가 설문을 통한 타당성 분석	■ 전문가 설문을 통한 AHP 분석 및 타당성 분석 - 전문가 집단 선정 및 구성 - AHP 지표 구성 - 세부과제 및 요소기술의 타당성 분석

○ 4단계 : 목표 및 성과물 제시

연구목표	연구내용 및 범위
■ 세부 추진계획 수립	■ 과제추진을 위한 세부계획 수립 - 컨소시엄 형태 등 과제추진을 위한 로드맵 작성 (개발기술 및 소요예산 포함) - 기술 확보 전략 제시 - Test bed 등을 포함한 실용화 전략방안 제시 - 연구진 구성방안 제시 - 전문가 자문위원 구성방안 제시
■ 최종 목표 및 성과물 제시	■ 최종 목표 및 성과물 제시 - 본 과제의 최종 개발목표 및 내용 제시 - 본 과제의 세부과제별 요소기술의 개발목표 및 내용 제시 - 본 과제의 연구 성과물 제시 - 본 과제의 발주를 위한 RFP(과제제안요구서) 작성

나. 연구내용 및 범위

○ 1단계 : 자료조사 및 목표설정

연구목표	연구내용 및 범위
■ 연구의 목적 및 범위설정	■ 연구의 배경 및 목적 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 기술개발 기획연구 배경 정의 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 기술 개발 연구 목적 및 방향 설정
	■ 연구의 범위 설정 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 기술 개발 기획연구의 범위 설정
■ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 기술 조사	■ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치를 위한 보상 기술 조사 - 국내외 정책 - 시장현황 및 전망 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치를 위한 보상 기술 조사
	■ 국내외 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 기술사례조사 - 국내외 기술 수준 - 관련 특허 조사 - 국내 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 보상 기술 사례조사
■ 설문조사 및 분석	■ 국내 관련기관 및 기업 수요조사 - 고속철도 운영사 및 관련업체 등 실 수요자 설문조사
	■ 국내 연구 및 기술 인프라 분석 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 국산화에 필요한 관련기관 및 업체연구 인프라 분석 - 기술개발에 따른 SWOT 분석 - 해외 실용화/상업화 사례조사 분석
■ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 적용을 위한 보상기술 결정	■ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 적용을 위한 보상기술 결정 - 기존 전기철도 급전시스템의 문제 분석 - 국내 전기철도 급전시스템에 적용 가능한 보상기술 및 제어 방식결정 - 기존 수행중인 연구과제와의 중복성 및 차별화 검토
	■ 연구개발 범위 결정 - 하드웨어설계 개발 범위 결정 - 구동회로 개발 범위 결정 - 제어 알고리즘 개발 범위 결정

○ 2단계 : 주요 핵심기술 도출

연구목표	연구내용 및 범위
■ 세부과제 및 요소기술 도출	■ 하드웨어 설계 관련 기술 도출 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 하드웨어 설계기술 도출
	■ 구동회로 설계 관련 기술 도출 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 구동회로 설계기술 도출
	■ 제어 알고리즘 관련 기술 도출 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 제어를 위한 알고리즘관련 기술 도출
■ 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석	■ 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석 - 하드웨어 설계 개발 관련 핵심기술 분석 - 고신뢰성 구동회로 개발 관련 핵심기술 분석 - 제어 알고리즘 개발 관련 핵심기술 분석
■ 기술개발 방안 제시	■ 기술개발 방안 제시 - 국내 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 수준 및 기술 보완사항 분석 - 기술적 문제 해결 가능성 및 해결 방안 검토 - 기존 연구의 연계활용 방안 제시 - 목표 설정 및 달성하기 위한 기술개발 방안 설정 - 기술개발에 따른 입증 방안 설정

○ 3단계 : 타당성 분석

연구목표	연구내용 및 범위
■ 소요 비용 및 개발일정 수립	■ 소요 비용 및 개발일정 수립 - 연구내용에 따른 세부과제별 기간 분석 - 내용 및 일정에 따른 연차별 소요예산 - Test-bed를 위한 비용 및 기간 분석 - 기타 제반 소요 비용 및 기간 분석 - 총 비용 및 총 개발일정 수립
■ 기술 및 경제적 타당성 분석	■ 기술적 타당성 분석 - 기존 연구개발 결과/시설/장비의 활용성 검토 - 연구개발 결과의 실용화 가능성 검토 - 기술개발 효과 분석 - 성능향상 및 설계요구사항에 따른 신기술 및 요소기술 내용 정립 - 기타 개발에 필요한 기술적 요구사항 검토
	■ 경제적 타당성 분석 - 개발기술의 상업화 가능성 분석 - 시장에 미치는 파급효과 분석 - 수입대체 및 수출효과, 수입단가 인하효과 등 - 정책적 제언 및 기타 상업화사업 추진을 위하여 필요한 사항
■ 전문가 검토를 타당성 분석	■ 전문가 설문을 통한 AHP 분석 및 타당성 분석 - 전문가 집단 선정 및 구성 - AHP 지표 구성 - 세부과제 및 요소기술의 타당성 분석

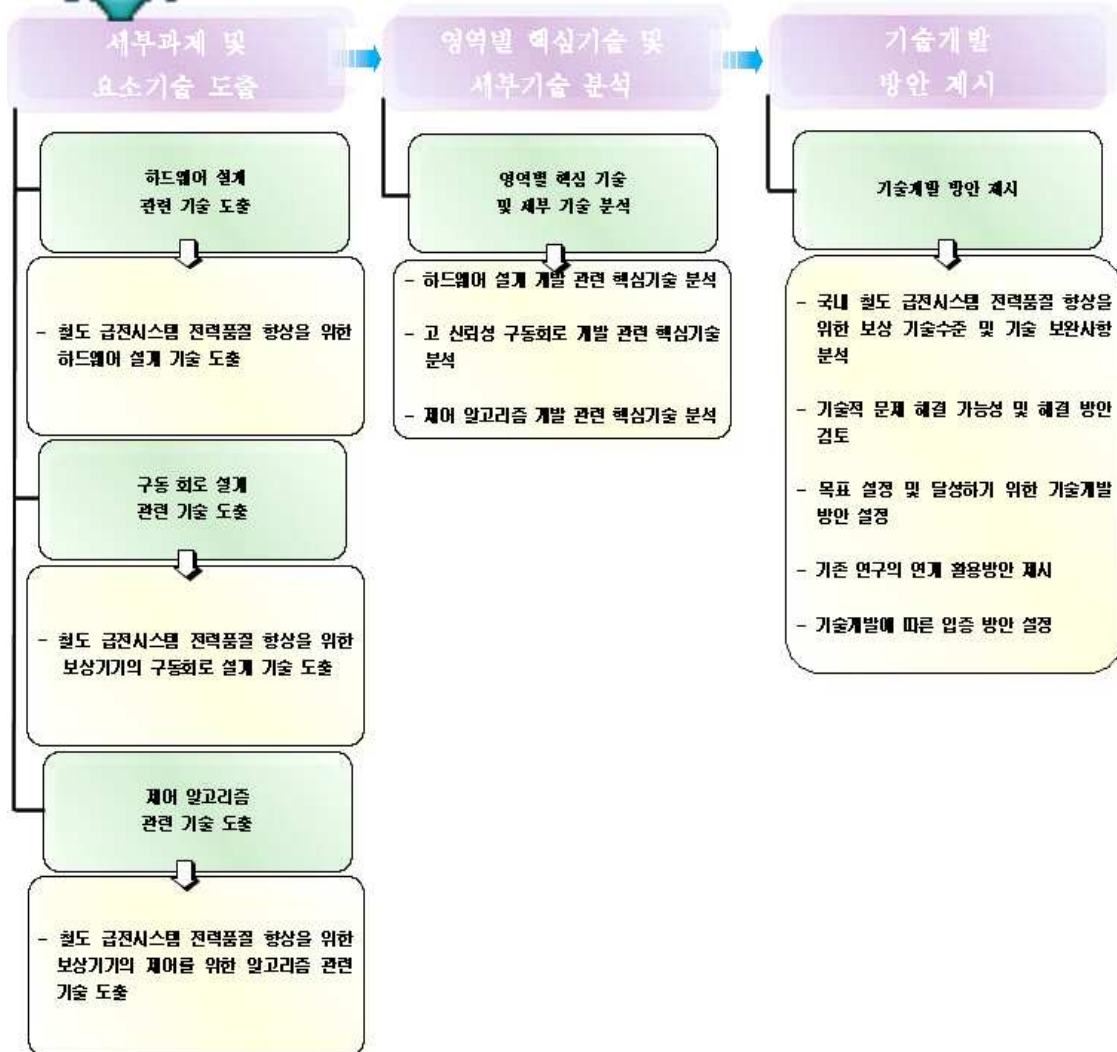
○ 4단계 : 목표 및 성과물 제시

연구목표	연구내용 및 범위
■ 세부 추진계획 수립	■ 과제추진을 위한 세부계획 수립 - 권소시업 형태 등 과제추진을 위한 로드맵 작성 (개발기술 및 소요예산 포함) - 기술 확보 전략 제시 - Test bed 등을 포함한 실용화 전략방안 제시 - 연구진 구성방안 제시 - 전문가 자문위원 구성방안 제시
■ 최종 목표 및 성과물 제시	■ 최종 목표 및 성과물 제시 - 본 과제의 최종 개발목표 및 내용 제시 - 본 과제의 세부과제별 요소기술의 개발목표 및 내용 제시 - 본 과제의 연구 성과물 제시 - 본 과제의 발주를 위한 RFP(과제제안요구서) 작성



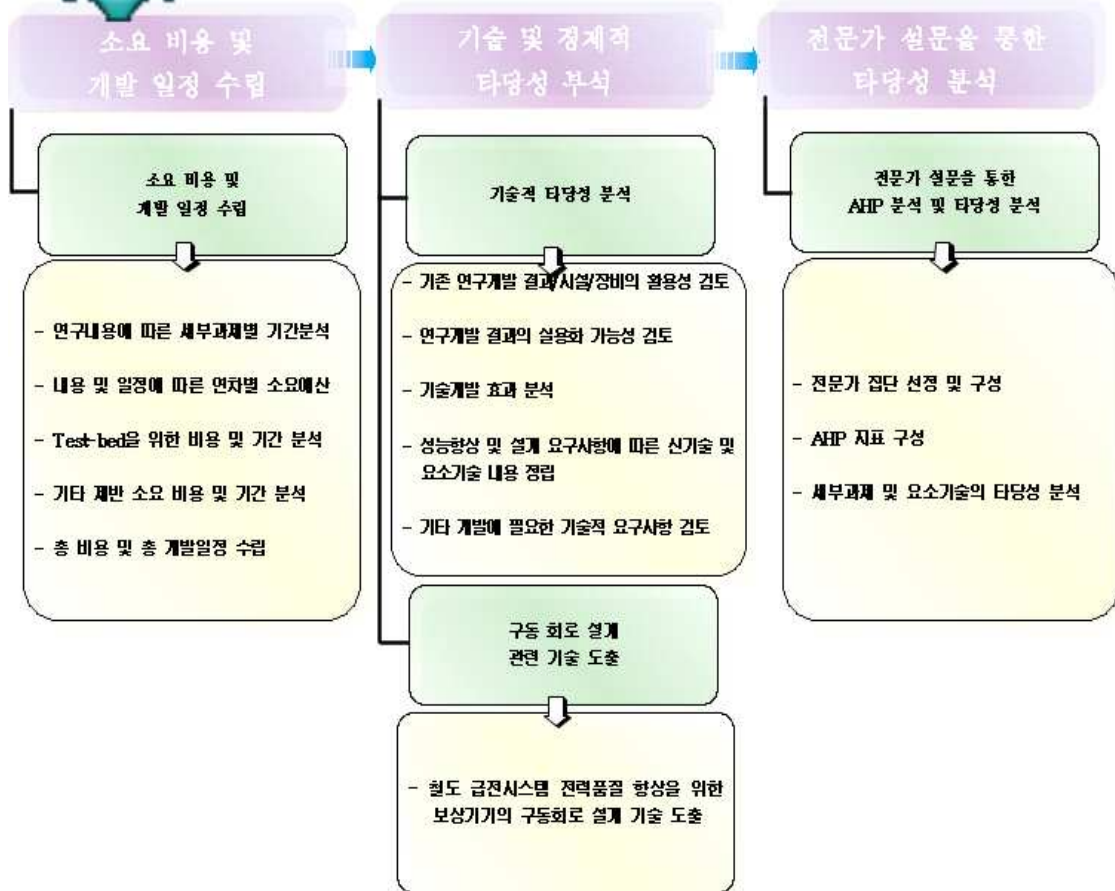


2단계 : 주요 핵심기술 도출

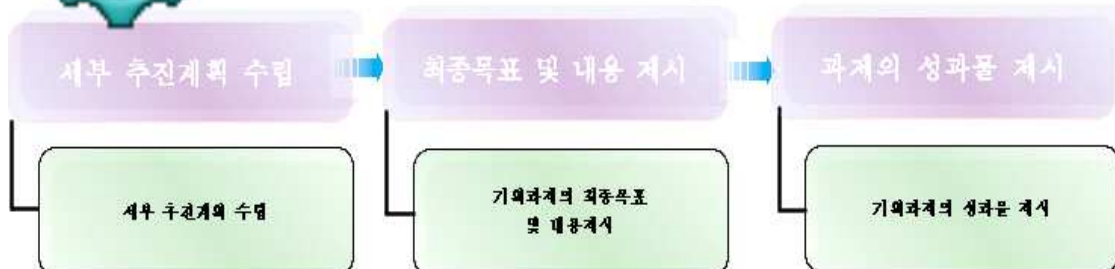




3단계 : 타당성 분석



4단계 : 목표 및 성과물 제시



6. 기획 연구 추진 전략 및 방법

가. 연구 추진체계

- 본 과제의 연구기획 추진전략은 다음 그림과 같이 연구그룹과 기획위원, 자문위원의 3원적인 체제를 구성하여 추진하며, 세 그룹이 유기적으로 협력하여 급전시스템 전력품질 향상을 위한 능동형 직병렬 보상기술과 관련된 요소 및 과제 제안요구서(RFP)에서 제시하고 있는 요소들을 재정립함.



<연구기획 추진전략>

- 연구그룹은 주관기관의 연구원들로 구성되어 다음과 같은 역할을 수행함.
 - 자료수집 및 분석
 - 워크숍 개최, Brainstorming 등의 방법을 통하여 세부과제별 요소기술을 명확히 정의
- 기획위원은 산업계, 연구계로 구성되고 전문적 지식을 바탕으로 다음과 같은 역할을 수행함.
 - 기획보고서 작성의 방법을 결정

- 연구목표, 내용, 전략 수립
- 국내외 기술수요 조사 분석
- 산업계 현황 정보 제공 및 실용적 연구방향 제시
- 결정된 방법을 바탕으로 보고서 초안을 작성

○ 자문위원은 학계와 연구계로 구성되고 평가와 방향조정의 역할을 수행함.

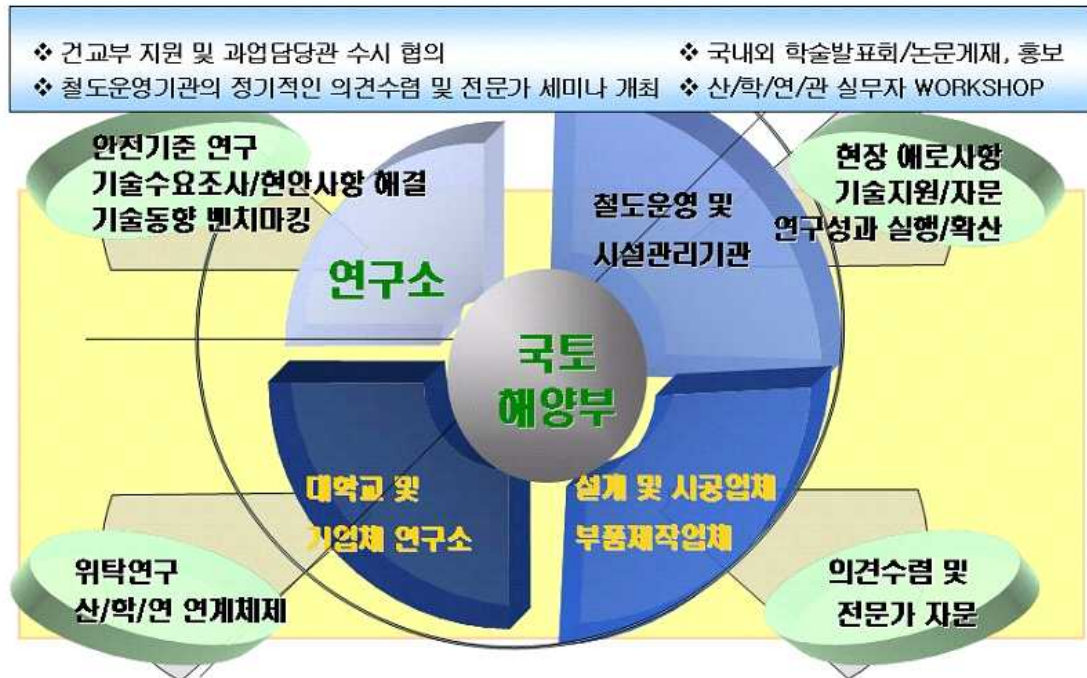
- 중복성, 차별성 검토
- 기술적 타당성 검토
- 경제적 타당성 검토

○ 연구기획의 주요절차

단 계	주요절차 및 내용
전략적 목표 설정단계	○ 본 기획과제의 가치와 수준을 가름하고 확인하여 연구개발 활동을 통해 궁극적으로 달성하고자 하는 것에 대한 전략적인 목표를 설정함.
환경분석 및 여건과악 단계	○ 연구개발의 전략적인 목표를 달성하기 위한 대안을 도출하기 위해 이와 관련된 연구개발 환경을 분석하고 현재의 연구개발 능력과 여건을 파악함. ○ 지금까지 수행되었던 연구과제들과의 중복성과 연관성을 검토함. ○ 국내외 정책 및 시장현황, 국내 인프라(관련기관 및 기업), 기술 수준, 관련 특허 조사.
기술/경제적 타당성 검토 단계	○ 연구개발 대상기술과 관련된 연구개발 환경과 여건을 분석한 자료를 토대로 연구개발의 목표를 달성할 수 있는 여러 대상후보과제를 도출하고 도출된 대안들을 비교/검토한 후 최적의 대상과제를 도출함. ○ 우선순위에 대한 기준을 마련하고 그 기준에 따라 대상후보과제들을 평가한 후 핵심기술대상 과제를 결정함.
세부실행계 획 작성단계	○ 최적의 대상과제에 대하여 세부실행계획을 작성함. ○ 세부실행계획에는 다음의 구체적인 실천방안을 포함함. - 세부추진과제 도출 - 추진전략 및 추진방법 - 연구자원(연구비, 연구원)의 투입규모 결정 - 연구결과에 대한 평가방법 - 기획연구대상 과제의 RFP 작성

나. 세부 추진계획 및 방법

일련 번호	연구내용	세부추진 계획 및 방법	수행 기간
1	■ 연구의 목적 및 범위 설정	- 연구 진행에 대한 time schedule 작성 - 연구 역할 분담 계획 - 해외 적용사례 분석을 통한 연구범위 설정	1월
2	■ 전력품질 향상을 위한 기술 조사	- 인터넷 및 참고 문헌 검토 - 관련 문헌(도서, 논문, 보고서) survey - 관련 기술자 초청 회의	2월
3	■ 설문조사 및 분석	- 국내외 전기, 철도, 경제 전문가를 통한 분석 - 고속철도 운영 실 수요자 설문조사 - 과제 수행가능여부를 판단할 수 있는 연구 인프라 현황 파악 - 국내 기술 및 해외 기술 수준 비교 분석	1월
4	■ 철도 급전시스템 적용을 위한 보상기술 결정	- 국내 고속철도 급전시스템의 현황 분석 - 기존 수행중인 연구과제와의 중복성 검토 - 연구개발 범위 결정	1월
5	■ 세부과제 및 요소기술 도출	- 전기철도 급전시스템 적용을 위한 능동형 보상장치의 하드웨어, 구동회로, 제어알고 리즘 기술 도출	2월
6	■ 영역별 핵심기술 및 세부기술 분석	- 전기철도 급전시스템 적용을 위한 능동형 보상장치의 하드웨어, 구동회로, 제어알고 리즘 기술 분석	2월
7	■ 기술개발 방안 제시	- 국내 기술수준 및 기술 보완사항 분석 - 기술적 문제 해결 가능성 및 해결 방안 검토 - 기존 연구의 연계활용 방안 제시	1월
8	■ 소요비용 및 기간 분석	- 연구내용에 따른 세부과제별 기간 분석 - 총 비용 및 총 개발인정 수립	1월
9	■ 기술 및 경제적 타당성 분석	- 기존 연구개발 결과의 활용성 검토 - 연구개발 결과의 실용화 가능성 검토 - 기술개발 효과 및 경제적 타당성 분석	2월
10	■ 타당성 분석	- 국내 철도, 전기 관련 전문가 자문	1월
11	■ 세부 추진계획 수립	- 과제 추진을 위한 로드맵 작성 - 과제 추진을 위한 세부추진 계획 수립 - 전문가 자문위원 구성방안 제시	1월
12	■ 최종 목표 및 성과물 제시	- 과제의 최종 개발 목표 및 내용 제시 - 본 과제의 연차별 연구 성과물 제시 - 본 과제의 발주를 위한 과제제안요구서 작성	1월



<연구 추진 전략 및 방법>

○ 연구기획위원 현황

구분	성명	소속/직위	최종 학력	세부 전공	연구 경력	기획관리 경력	연락처(휴대폰) e-mail
산업계	강찬호	동아일렉콤 /상무	日SOJO 대학교 (박사)	전력전자	15	자동차에너지 효율향상 기술개발사업 기획위원	019-511-5509 chkang@dongahelecomm.co.kr
연구계	이병송	철도기술 연구원/ 책임연구원	중앙대 (박사)	전기공학	13	철도차량용 750V 리니어 추진시스템 개발기획위원	010-3127-7834 bslee@krri.co.kr
연구계	김형철	철도기술 연구원/ 선임연구원	Texas A&M (박사)	전기공학	11	한국산업기술평가원 평가위원	010-7282-5549 hckim@krri.co.kr

○ 연구자문위원 현황

구분	성명	소속/직위	최종 학력	세부 전공	연구 경력	기획관리 경력	연락처(휴대폰) e-mail
학계	김윤희	중앙대학교 /교수	Texas A&M (박사)	전기공학	25	산업자원부 에너지기술 개발 기획위원회 위원장	016-240-5290 yhkim@cau.ac.kr
연구계	김찬기	전력연구원 /선임연구원	중앙대 (박사)	전기공학	10	HVDC 인버터 시스템 개발 기획위원	016-467-7826 ckim@kepri.re.kr

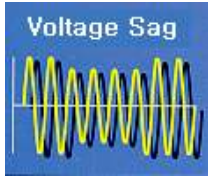
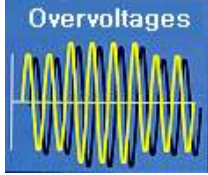
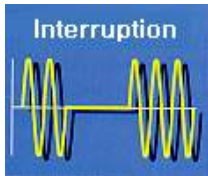
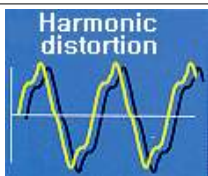
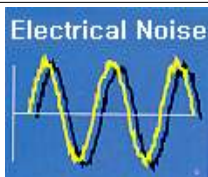
제2절 관련 기술 및 산업 동향

1. 전력품질 향상을 위한 기술 조사

- 최근, 정보·통신산업의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 정보통신기기, 정밀제어기기, 사무자동화기기, 전산기기, 자동생산라인, 온라인서비스기기 등이 보급·확장되면서, 많은 수용가에서 기존에는 문제가 되지 않았던 전력품질에 대한 요구가 급격히 증가하고 있다. 기존의 전력품질은 전기사업법에 근거하여, 전력회사의 입장에서, 정전시간(정전횟수포함), 전압적정률(30분 평균전압), 주파수유지율 등으로, 목표관리에 의해 적정한 품질이 유지되고 있는 실정이다. 그러나, 최근에 널리 보급되고 있는 정밀제어기기나 정보통신기기에 민감한 영향을 끼치는 순간전압변동, 고조파, 전압불평형, 순간정전, 서지, 플리커 등과 같은 새로운 개념의 전력품질은, 아직 구체적으로 파악되지도 않았고 또한 관리되고 있지도 않기 때문에, 이러한 새로운 개념의 전력품질 저하로 인해 많은 수용가가 큰 피해를 입고 있는 상황이다. 또한 새로운 개념의 전력품질은 외란이 작고 국지적인 현상이 많아, 정확한 측정 및 평가·분석이 어려워, 각 수용가의 정확한 피해내역을 파악하기가 어려울 뿐만 아니라, 이에 대한 개선대책을 세울 수도 없는 상황이다.
- 전력품질 저하에 의한 자동화기기의 오동작 사례가 보고되고 있으며, 정전피해에 대한 보상요구가 제기되고 있지만, 진상조사나 대책수립이 조직적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다.
- 미국의 보고서(EPRI, 1993년)에 의하면 새로운 개념의 전력품질 저하에 의해, 많은 수용가에서 피해를 입는 것으로 보고되고 있는데, 상대적으로 우리나라보다 전력품질이 잘 유지되고 있는 미국에서도 연간 260억불(약 31조 2천억원) 정도의 피해가 추정되고 있다. 정보통신 산업의 발전 및 사회의 고도화로 인해, 이들 피해비용은 앞으로 더욱 증가할 것이다.
- 따라서, 고도정보화 사회에 필수적 요소인 전력에너지원의 품질에 대한 노력이 사회·경제·기술적인 측면에서 중요하다. 현재, 선진외국에서도 앞을 다

투어, 전력품질사업에 대한 연구·개발에 힘을 쏟고 있으며, 국내·외 시장을 노리고 있는 상황이다.

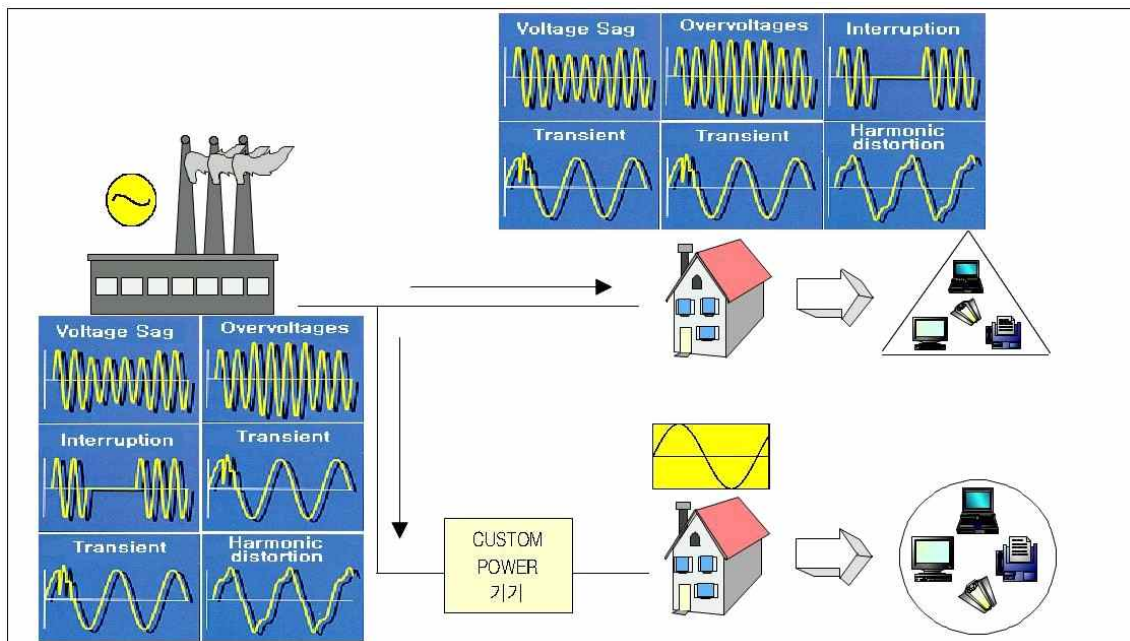
< 전력품질 저하 원인과 종류 >

종 류	파형	기 본 특 성			발생원인
		지속시간	전압크기	주파수	
순시전압저하		0.5~30 사이클 (1분)	0.1~0.9PU	—	—낙뢰 —대형 부하의 기동 —Brownout
순시전압상승		0.5~30 사이클 (1분)	1.1~1.4PU	—	—갑작스런 부하차단 —다른 상의 사고 —부정확한 변압기세팅
순시정전		0.5~30 사이클 (1분)	0.1PU 이하	—	—퓨즈 절단 —차단기 동작 —전력선 사고 —변압기 사고 —발전기 사고
고조파		Steady State	0~20%	0~6kHz	—비선형 부하 —컨버터/인버터 —철공진
전압변동(플리커)		간헐적	0.1~7%	25Hz 이하	—부하 급변 —Arc —무효전력 변동
전압 불평형		Steady State	0.5~2%	—	—단상기기의 전력량 불평형 —역률 불평형

- 전력의 품질향상을 위한 주요 전력전자 기기는 크게 송전용 기기와 배전용 기기로 구분할 수 있다. 송전용 기기는 유연 송전 시스템이라 불리고 배전용 기기는 주문형 전력(custom power) 기기라고 한다. 이러한 유연송전시스템에 사용되는 제어기들은 크게 병렬형, 직렬형, 그리고 통합형으로 분류되

어진다. 병렬형 기기는 정지형 동기 조상기(STATic COMpensator: STATCOM), 정지형 무효전력 보상기(Static Var Compensator; SVC)가 있고 직렬형 기기는 정지형 동기 직렬 보상기(Static Synchronous Series Compensator; SSSC), 사이리스터 제어 직렬 콘덴서(Thysistor Controlled Series Capacitor; TCSC) 통합형 기기로는 통합 조류제어기(Unified Power Flow Controller; UPFC) 등이 있다.

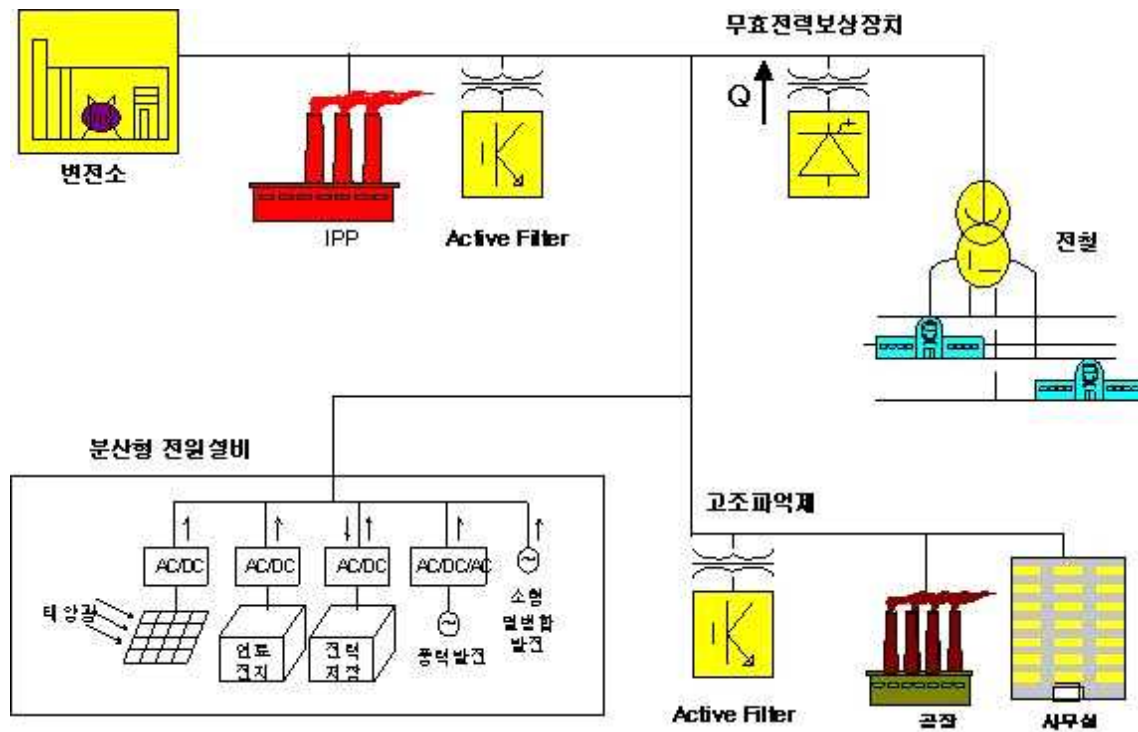
- 그리고 배전용 전력 품질향상용 전력전자 기기에는 반도체 소자 사용의 선로 재설정 기기, 배전용 정지형 보상기(Distributionn STATic COMpensator), 동적전압보상기(DVR), 통합 전력 품질 제어기 (Unified Power Quality Controller ;UPQC) 등이 있다. 이들 각각의 기기에 대한 주요 특징과 장단점의 비교는 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.



< Custom Power Device의 개념도 >

<전력의 품질향상을 위한 주요 기기의 특징 >

구분	보상장치 명		주요특징
송전용 (유연 송전 시스템: FACTS)	병렬형	정지형 동기 조상기(STATCOM)	- 유연송전시스템용 기기 중 핵심적 장치 - 용량성이나 유도성 전류가 주입되도록 제어 - 능동전력필터로도 사용가능
		정지형 무효전력 보상기(SVC)	- 송전계통의 선로정수를 제어하는 역할 - 선로의 설비이용률 및 전력 수송능력 증대 - TCR, TSR, TSC, TCBR 등으로 구성
	직렬형	정지형 동기 직렬 보상기(SSSC)	- 유연송전용 기기 중 중요한 제어기 - 송전라인의 전체적인 무효 전압강하를 제어
		사이리스터 제어 직렬 콘덴서(TCSC)	점호각을 제어하여 선로의 임피던스를 가변 하는 효과
	통합형	통합 조류 제어기 (UPFC)	- 정지형 동기 보상기와 정지형 직렬 보상기가 공통의 직류 링크단을 가지고 결합 - 전압보상, 무효전력제어, 위상각 제어, 전력 조류 제어가능
배전용 (주문형 전력기 기: Custom power devices)	배전용 정지형 보상기		- 전압 및 역률을 조정하는 기능 - 자동 탭 조절 변압기, 전압조절기, 병렬 콘덴서를 대체 할 수 있음
	무정전전원장치(UPS)		- 제한된 부하에만 한정적 적용 - 저효율(On-Line 방식인 경우)
	동적전압 보상기(DVR)		- 배전선로에 발생하는 고조파나 전압의 순간 급강하 또는 급상승으로부터 민감한 부하를 보호 - 기존의 UPS 보다 경제적
	통합전력품질 제어기(UPQC)		직렬 보상기(부하단에 평형의 정현파 전압 공급)와 병렬 보상기(전원단 전압과 동상인 정현파 전류가 흐르게 제어)가 결합된 보상기
	선로 재설정 기기	반도체 전류 제한기(SSCL)	사고시 전류가 인덕터를 통하여 흐르게 되므로 고장전류를 제한
		반도체 선로 절환기(SSTS)	급전선에 사고 발생 시 사고가 나지 않은 급전선으로 신속하게 절체함

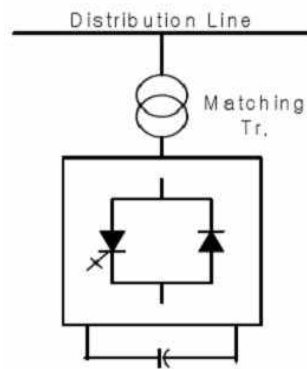


<전력품질 보상기기의 배전계통 응용도 >

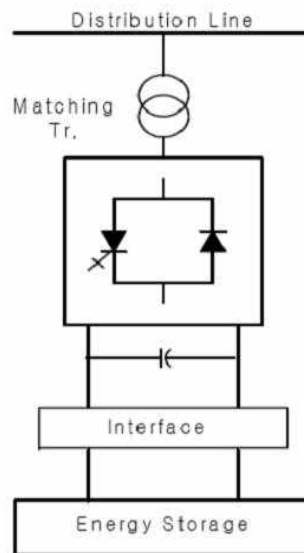
가. 정지형 동기조상기(STATCOM)

○ 정지형 동기조상기는 유연송전시스템 제어기들 중에서 가장 핵심적인 장치이다. 그림 1.1(a)에 나타낸 바와 같이 모선에 병렬로 접속되어 있는 전압형 컨버터를 이용하여 필요한 용량성이나 유도성 전류가 주입되도록 제어하는 장치이다. 이러한 정지형 동기조상기에서 조금 발전시키면 고조파 전류를 저감시키는 능동전력필터로도 사용될 수 있다.

○ 또, 정지형 동기 조상기는 정지형 동기발전기(Static Synchronous Generator; SSG)의 일부분이라 할 수 있는데 이의 발전기를 그림 1.1(b)에 나타내었다. 이는 에너지 저장 장치가 연결되어 있어서 모선과의 유효전류의 수수도 가능한 구조가 된다. 여기에 사용되는 에너지 저장장치에는 배터리나 플라이휠, 초전도체, 대용량 커패시터 등이 사용되어질 수 있으며 일반적으로는 에너지 저장 장치와 직류단 커패시터 사이에 DC/DC 컨버터가 추가되고 있다.



(a)정지형 동기조상기

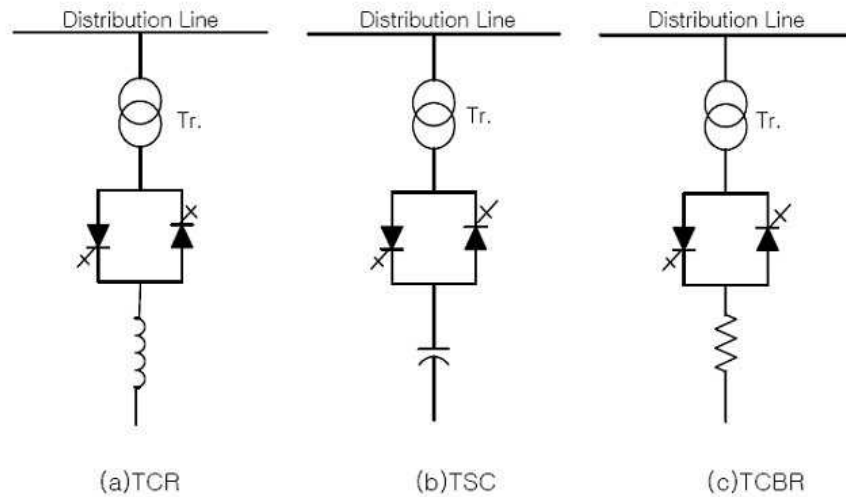


(b)정지형 동기발전기

< 그림 1.1 정지형 동기 조상기와 동기발전기의 구조 >

나. 정지형 무효전력 보상기(SVC)

- 정지형 무효전력보상기는 모선에 병렬로 접속되어 모선과 필요한 유도성 혹은 용량성 전류를 수수하여 송전계통의 선로정수를 제어하는 역할을 하여 선로의 설비 이용률 및 전력 수송능력을 증가시킨다. 이러한 정지형 무효전력 보상기는 사이리스터로 제어되거나 스위칭되는 리액터나 커패시터 또는 이들의 조합 형태의 총칭으로 볼 수 있다.
- 이러한 정지형 무효전력보상기는 정지형 동기 조상기의 저가형 모델이라고 볼 수도 있으며 이들의 설명된 그림을 그림 1.2에 나타내었다. 그림 1.2(a)의 사이리스터 제어 리액터(Thyristor Controlled Reactor; TCR)는 병렬 리액터에 흐르는 전류가 사이리스터의 점호각 제어에 의해 제어되는 방식이고 사이리스터 스위칭 리액터(Thyristor Switched Reactor; TSR)는 여러개의 리액터가 사이리스터 스위치를 통해 모선에 병렬 연결되어 있는 형태로 사이리스터 스위치의 온 오프 동작으로 모선에서 바라보는 리액터의 값이 달라지는 형태이다.
- 그림 1.2(b)에 사이리스터 스위칭 커패시터(Thyristor Switched Reactor; TSC)는 사이리스터 스위칭 리액터와 마찬가지로 개념으로 모선에 커패시터를 병렬로 접속하는 장치이고 그림 1.2(c)에 나타낸 것은 사이리스터 제어 제동저항(Thyristor Controlled Braking Resistor; TCBR)으로써 사이리스터로 점호각 제어를 통해 저항을 모선에 연결하는 장치인데 발전기의 동요(Damping) 억제를 목적으로 사용하며 계통의 안정도를 향상시키게 된다.

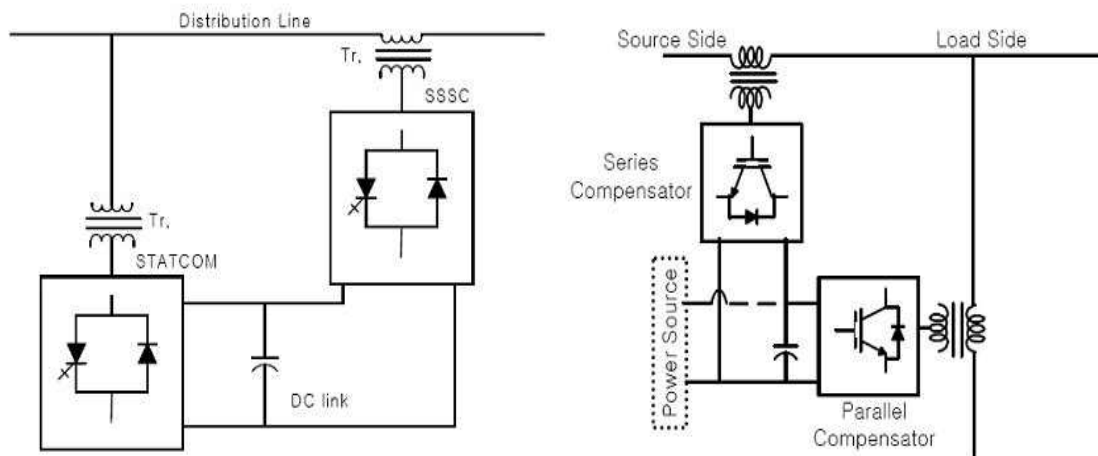


< 그림 1.2 정지형 무효 전력 보상기 (SVC) >

다. 통합형 기기(UPFC와 UPQC)

- 병렬형 보상기인 정지형 동기보상기(STATCOM)와 직렬형 보상기인 정지형 직렬보상기(SSSC)가 공통의 직류 링크단을 가지고 결합되어 있는 기기가 통합조류제어기(Unified Power Flow Controller; UPFC)이다. 그림 1.3에 있는 이 공통의 직류 링크단을 통해서 병렬형 보상기와 직렬형 보상기 간의 유효 전력의 수수가 가능해진다. 따라서 병렬단의 전력 변환 장치를 통해서 직렬단에서 필요로하는 유효 전력을 공급해주게 되고 별도의 전원 공급 장치 없이 직렬단에서의 유효 전력과 무효전력의 보상이 가능해진다.
- 이러한 직렬단의 보상기능에 의해 통합 조류제어기(UPFC)는 전압 보상, 용량성 전압 인가를 통한 무효전력제어, 송전선의 위상각 제어 그리고 복합적인 전력조류 제어가 가능하다. 물론 UPFC는 병렬단의 전력 변환장치를 이용한 독자적인 무효전력제어도 가능하지만 일반적으로는 병렬단의 전력 변환장치는 직렬단의 보상기가 필요로 하는 유효전력을 공급하기 위해 직류 링크단의 전압을 유지시켜 주기위한 제어기능을 주로 담당하게 된다.

- 또한 통합 전기품질 제어기(UPQC)는 위에서 설명한 통합조류 제어기(UPFC)와 유사한 형태로 구성되어 있다. 이는 직렬보상기와 병렬보상기가 결합된 보상기로 그림 1.4와 같은 구조를 가지게 된다. 직병렬 보상기를 모두 가지고 있으므로 직렬 보상기를 이용하여 전원단의 이상 유무나 부하단의 비선형성이나 불평형에 관계없이 부하단에 평형의 정현파를 가지는 전압을 공급할 수 있고 병렬단 보상기를 이용하여 전원 측에 부하단과 무관하게 고조파 전류가 포함되지 않는 평형의 전원단 전압과 동상인 전류를 흐르게 제어할 수 있다.



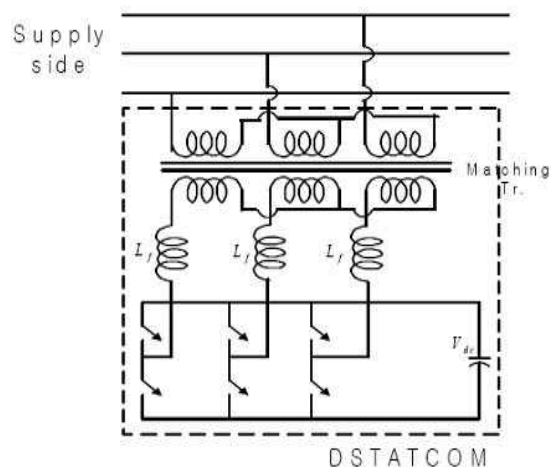
< 그림 1.3 통합 조류제어기 (UPFC) > < 그림 1.4 통합 전기품질 제어기 (UPQC) >

라. 배전용 정지형 보상기(Distribution STATic COMPensator)

- 배전 계통에서 왜곡되거나 심한 비선형을 지니는 부하는 인근의 배전선로에 문제를 발생시킬 수 있다. 아크로나 전기로, 대용량 전동기를 사용하는 압연 공장, 전력전자 기기를 사용하는 가변속 전동기 부하 등이 그 예인데 이러한 부하들은 전압의 순간적인 급강하 EH는 급상승(Voltage Sag/Swell) 그리고 고조파를 유발하게 된다.
- 이와 같이 대용량의 변동 부하나 비선형 부하에 설치되는 DSTATCOM은 순간적으로 발생하는 고조파 및 전압의 변동 등과 같은 외란에 신속하게 대

처함으로써 배전 선로를 보호한다. DSTATCOM은 변압기를 통해서 배전용 급전선에 병렬로 연결되며 부하의 특성에 기인하여 발생하는 고조파를 효율적으로 경감시킬 수 있는 능동형 전력필터의 기능을 하며 선로 전압과도 90도의 위상차가 나는 전류의 유입을 통해 무효전력을 제어함으로써 전압 및 역률을 조정하는 기능을 행한다.

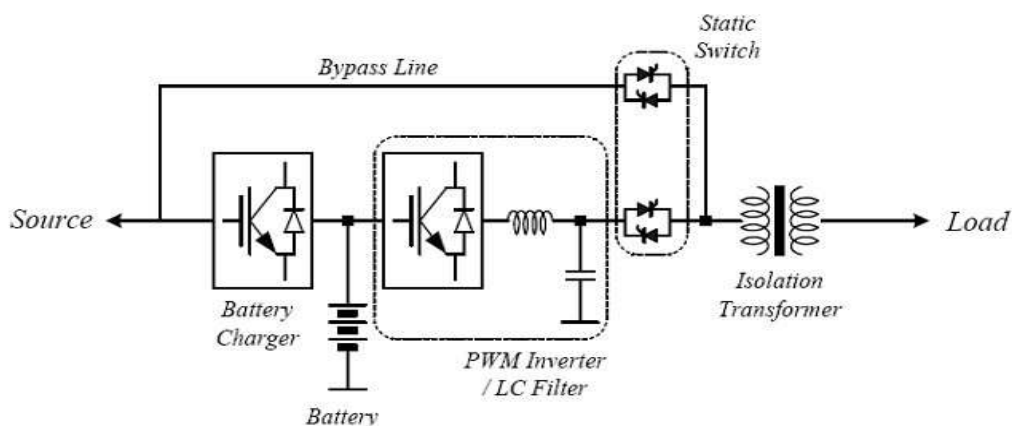
- 일반적으로 에너지 저장 장치 및 SSB와 함께 사용되므로 일시적인 정전사고가 발생하여도 부하측에 중단되지 않는 전력을 공급할 수 있다는 장점을 지닌다. 따라서 DSTATCOM은 기존의 배전선로의 전압을 조정, 유지하기 위해 사용되고 있는 자동 탭 조절 변압기나 전압조절기 그리고 병렬 콘덴서를 대체할 수 있으며 고조파 경감대책으로도 적절한 대안이 될 수 있다. 현재 개발 되어있는 기기의 용량은 2[MVA] 내지 3.5[MVA] 정도이다. 그림 1.5에 3상 3선식 배전계통에 사용되어지는 DSTATCOM의 구조를 도시하였다. 배전 선로와 연결되는 부분의 변압기는 시스템에 적당한 절연을 제공하게 되고 인덕터 L_f 는 변압기의 누설 인덕턴스와 별도로 설치된 인덕터의 합으로 보면 된다.



< 그림 1.5 배전용 정지형 보상기 >

마. 무정전 전원장치(UPS)

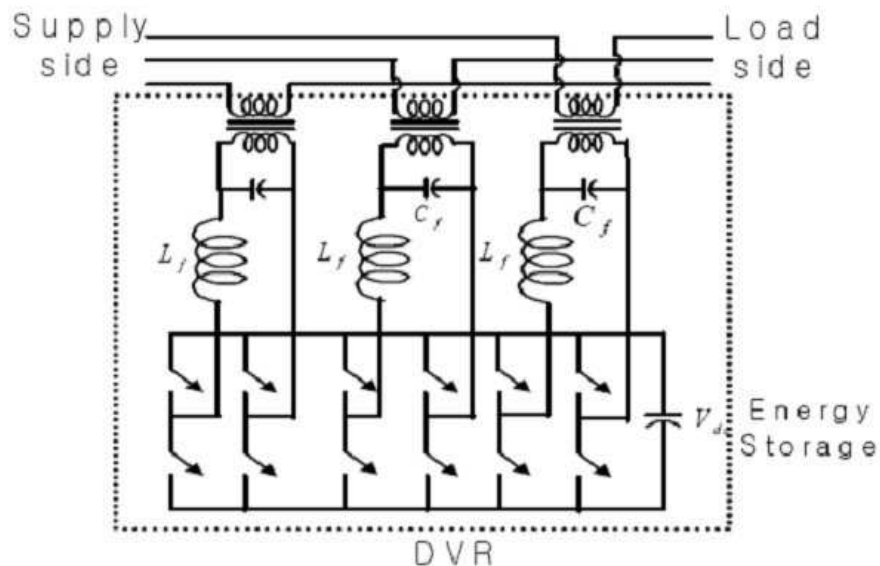
- 배전계통에서 전기품질 향상을 위한 Custom Power 기기 중에서 가장 일반적으로 생각할 수 있는 장치는 그림 1.6과 같은 On-line 무정전 전원장치(UPS)이다. 무정전전원장치는 대표적인 AC 전원장치로서 평상시에는 배터리 충전과 동시에 부하에 전력을 공급하며 장비 보수 기간에는 절환 스위치(Static Switch)에 의해 계통에서 부하로 전력이 공급된다.
- On-line 무정전전원장치 이외에 Off-line 무정전전원장치도 있으며 이는 평상시에는 배터리 충전을 하며 입력 전원에 문제가 발생한 경우에만 부하에 전력을 공급하게 된다. 이러한 무정전전원장치는 거의 대부분의 전원품질 장애 요소를 보상할 수 있으며 그 성능 또한 매우 우수하다. 그러나 무정전전원장치는 많은 유지 보수가 필요하고 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다.
- 또한 이 장치는 개별 부하에 대해서는 어느정도 적합할 수 있지만 보상능력이나 경제성을 고려하면 단위 부하를 보상해야 하는 배전계통에서는 적용이 거의 불가능하다. 따라서 배전계통에서 좀 더 효과적인 순시전압강하 보상장치 즉 DVR의 개발은 위의 조건을 만족시킬 수 있는 가장 효과적인 대안으로 부상하고 있다.



< 그림 1.6 UPS 시스템의 기본구조 >

바. 동적전압 보상기(Dynamic Voltage Restorer: DVR)

- 정전 이외에 배전선로에서 발생하는 고조파나 전압의 순간적 변동으로부터 민감한 부하를 보호하기 위해서 동적전압보상기를 사용할 수 있다. 그림 1.7에서 보는 바와 같이 동적전압보상기는 IGBT 등의 스위칭 소자를 이용한 세 개의 단상 인버터와 스위칭에 의한 전압의 맥동을 제거하기 위한 LC 필터가 각기 3개의 결합용 단상 변압기를 통해 선로에 직렬로 연결되는 구조를 가진다. 이는 계통 전압을 계속적으로 감시하여 전원단의 전압 파형에 전압 Sag 등 왜곡이 생기면 이를 보상하기 위한 전압을 선로에 직렬로 삽입되어 있는 변압기를 통해 신속하게 투입함으로써 부하단의 전압을 일정하게 유지하는 기능을 한다.



< 그림 2.26 동적 전압 보상기의 기본구조 >

< Fig.2.7 Basic structure of DVR system >

2. 철도운영 현황 분석

- 철도전철화란 전기를 견인동력으로 하여 열차를 운행할 수 있도록 하는 전기시설물을 건설하는 것으로 전력회사로부터 전력을 공급받을 수 있는 송전선로 건설, 전기차량에 적합한 형태의 전력으로 변환하는 철도용 변전소 건설, 전기차량에 직접적으로 전력을 공급하는 전차선로 설비 건설 및 이와 관련한 제반설비를 건설하는 것을 말함. 세계적으로 전철화 방식에는 크게 직류시스템과 교류시스템으로 나눌 수 있음. 국내의 경우에도 고속철도 시스템을 비롯하여 광역도시간의 운행을 목적으로 하는 경우에는 교류시스템을 적용하고 있으며 도심 내에서 운행되고 있는 도시철도 구간에서는 직류시스템을 적용하고 있음.

< 주요 전철화 방식 >

급전방식 종류			적용 국가
직류	1500V 미만		일본, 영국, 스위스, 미국
	1500 ~ 3000V 미만		한국, 일본, 프랑스, 네덜란드, 오스트리아
	3000V 이상		러시아, 폴란드, 이탈리아
단상 교류	50Hz · 60Hz	20 kV미만	미국, 영국, 브라질
		20 kV	일본
		25 kV	한국, 일본, 러시아, 인도, 프랑스, 중국, 영국
		50 kV	남아공화국, 미국, 캐나다
	25Hz, 11~13 kV		미국, 오스트리아
	16 2/3Hz	11 kV	스위스
		15 kV	독일, 스웨덴, 스위스
	3 상 교류		일본, 스위스, 프랑스

- 우리나라의 경우에도 KTX 개통이후 기존선의 속도향상을 위해 특히, 200km/h 이상 운행구간을 위해서 전철화 사업을 추진하고 있으며, 도심내에 운행되고 있는 도시철도 등에서도 환경 요인 등으로 인해 전철화 사업을 추진하고 있음. 우리나라의 전철화율은 광역도시에서 운행되고 있는 도시철

도를 제외하고 2006년 2월을 기준으로 한국철도의 총거리는 3,377.7km이며 그중 고속철도 신선구간은 223.6km이며 수도권 및 일반철도구간은 1,442.2km로 전체 전철화 거리는 1,665.8km이며 전철화율은 49.3%임.

< 국내 전철화 현황 >

선 별		구 간	전철영업 거리(km)	전차선로	변전설비	
				가선연장 (km)	변전소	구분소
고속선	계(High speed Line)		223.6	605.8	5	19
	고 속 선	시흥~신동	223.6	605.8	5	19
기존선	계(Normal Line)		1,442.2	4,808.8	35	126
	고속연결선	시흥, 대전, 대구	15.0	25.8	-	-
	경 부 선	서울~대전	164.2	887.8	4	17
		대전조차장~옥천	18.7	81.4	-	3
		신동~부산	133.5	385.4	3	11
	경 의 선	서울~화전	11.6	63.6	1	1
	호 남 선	대전조차장~목포	252.5	898.1	5	23
	경 인 선	구로~인천	27.0	94.7	1	3
	경 원 선	용산~의정부	32.4	138.4	1	2
	안 산 선	금정~오이도	26.0	78.3	-	3
	과 천 선	금정~남태령	14.4	28.5	-	2
	분 당 선	선릉~보정	27.7	56.9	1	3
	일 산 선	지축~대화	19.2	51.9	5	1
	충 북 선	조치원~봉양	115.0	349.4	2	11
	중 앙 선	청량리~영주	218.8	474.8	6	17
	태 백 선	제천~백산	103.5	180.9	2	11
	영 동 선	영주~강릉	193.6	679.1	4	16
	기 타	-	69.1	333.8		2
합 계			1,665.8	5,414.6	40	145
철도영업거리 : 3,377.7km		전철영업거리 : 1,665.8km		전철화율 : 49.3%		

※ 자료 : 한국철도공사 전기업무자료 2006(2006년 2월 기준)

< 국내 전철화 및 복선화 실적 >

연도	철도キロ	복선화		전철화		비고
		영업キロ (km)	복선화율 (%)	영업キロ (km)	전철화율 (%)	
1980	3,134.6	719.6	22.9	425.8	13.6	
1990	3,091.3	846.8	27.4	522.2	16.9	
2000	3,123.0	938.6	30.0	667.5	21.4	
2001	3,125.3	1,003.8	32.1	667.5	21.4	
2002	3,129.0	1,003.8	32.1	667.5	21.3	
2003	3,140.3	1,028.6	32.7	681.3	21.7	
2004	3,374.1	1,318.2	39.1	1585.8	47.0	
2005	3,392.0	1,355.0	39.9	1669.9	49.2	

※ 자료 : 2005 철도통계연보(2006)

< 국내 전철화율 계획 >

구분	2004년(A)	2006년	2010년	2015년(B)	비고(B/A)
영업거리(km)	3,374.1	3,392.0	3,625.5	3,816.5	1.13
전철화율(%)	39.8	49.2	66.4	73.1	1.84
복선화율(%)	38.1	39.7	55.8	64.1	1.69

※ 자료 : 국가철도망 구축계획(2006)

- 지속적인 철도전철화 사업을 추진하기 위해서 21세기 국가철도망구축 기본 계획 (철도청, 1999.6, 교통개발연구원), 국가 기간교통망 계획(건설교통부, 1999.12), 철도 전철망구축 기본계획 수립 (철도청, 2002.6) 및 국가철도망 구축계획(건설교통부, 2006. 3)에 의해 전철화 사업에 대한 중장기 계획을 수립하고 있다. 현재에는 고속철도, 광역철도, 그리고 일반철도사업으로 구분하여 사업을 추진하고 있음.

- 해외의 경우에도 전철화에 따른 효과를 극대화하기 위해서 전철화 사업은 지속적으로 추진되고 있음. 2003년을 기준으로 UIC에서 제시한 세계철도통계에서의 주요 철도 선진국의 전철화율은 독일 55%, 일본 51%, 스웨덴 77%, 프랑스 49%로 국내 전철화율보다 비교적 높은 편임.

< 세계 각국의 전철화율 비교 >

나라	철도회사	철도연장 (km)			전철화율 (%)
		전체 철도연장	복선화 철도연장	전철화 철도연장	
프랑스	RFF	29,269	16,133	14,505	49.55
독일	DB AG	36,044	17,957	19,829	55
이태리	FS SpA	15,965	6,298	10,966	68.69
영국	Network Rail	16,652	11,700	5,084	30.53
스웨덴	BV	9,882	1,734	7,638	77.29
스위스	BLS	241	94	241	100
중국	CR	60,446	23,702	18,060	29.87
일본	JR	18,491	8,478	9,472	51.22
한국	KNRA	330	330	330	100
	KORAIL	3,140	1,012	679	21.62

※ 자료 : UIC 세계철도통계 2003 (2002년 말 기준)

- 철도전철화에 따라 운행되는 차량도 디젤 차량에서 전기차량으로 대체되고 있다. 철도통계연보에 따른 실제적인 철도차량 보유추이를 살펴보면 디젤 차량은 소폭 감소하고 있으며 이에 반해 전기차량은 점차로 증가함을 알 수 있음. 이러한 디젤 차량의 감소는 기존의 디젤 차량에서 발생하였던 대기오염물질 배출문제, 소음 및 진동문제 등을 크게 완화시킬 수 있음. 전기차량의 경우 수도권 전철이 개통됨에 따라 2000년이 넘어서 대폭적으로 증가하고 있는데 이는 도로교통의 수송 비중을 상당부분 철도교통에서 흡수할 수 있을 것이며 2004년 고속철도 개통 등으로 인해 고속선 및 기존선의 고속화를 위한 전기차량의 보유가 증가할 것으로 예측됨.

< 철도차량보유추이 >

연도	디젤기관차	디젤동차	전기기관차	전기동차	증기기관차	객차	화차	난방차	통일호전기동차	고속철도동력차	고속철도동력객차	고속철도객차	총계
1980	425	130	90	286	30	1,901	16,702	163	10	0	0	0	19,737
1990	491	200	94	540	0	2,133	15,601	88	20	0	0	0	19,167
2000	467	615	95	1,674	1	1,675	13,224	0	10	0	0	0	17,761
2001	467	615	96	1,672	1	1,641	13,413	0	0	0	0	0	17,905
2002	482	610	96	1,662	1	1,678	14,113	0	0	0	0	0	18,642
2003	468	606	106	1,858	1	1,717	14,450	0	0	34	34	272	19,546
2004	462	602	124	1,824	1	1,510	14,286	0	0	92	92	736	19,729
2005	455	592	131	1,850	1	1,474	13,817	0	0	92	92	736	21,245

※ 자료 : 2005 철도통계연보(2006)

3. 전기철도 부하의 특성

가. 철도부하의 특성

- 급전계통의 부하인 차량은 그 특성상 시동 정지가 빈번하게 반복되고 큰 견인력으로 주행해야 하므로 대용량의 부하전력이 요구되고 그 크기는 시공간적으로 급변함. 또한 전철급전계통은 주로 3상 전력계통으로부터 단상의 전력으로 변환하여 급전 받고 있으므로, 3상 전원계통의 각 상 전류는 더 이상 평형을 유지하지 않고 3상 전압의 불평형을 초래할 수 있음. 이러한 전압불평형은 결과적으로 계통의 전력품질을 저해하여 관련된 다른 설비의 운전에 영향을 끼침.
- 최근의 고속철도구동시스템에는 컨버터와 인버터가 포함되어 있음. 이러한 컨버터와 인버터는 위상제어 및 펄스폭 변조방식에 의하여 제어되기 때문에 고조파를 발생시킴. 최근에 적용되는 고속철도차량은 대부분 회생제동을 채

택하는 추세이며 제동에 의해 발생된 회생전력을 전원 측에 공급함. 따라서 제동성능은 좋으나 역시 인버터, 컨버터에 의해 전기회로에 고조파를 발생시킴. 고속차량의 제어방식이 위상제어방식에서 펄스폭제어방식으로 변화함에 따라 위상제어방식에서는 발생하지 않는 짝수차 고조파가 발생하고 고조파전류도 기본파전류에 비례하지 않고 거의 일정량 발생하는 특징이 있음. 고속차량이 투입된 급전회로는 선로의 대지정전용량 때문에 고차에서 공진이 발생하고, 이는 신호, 통신계통에 유도장해를 줄 가능성이 있음. 게다가 전철급전계통은 레일을 귀로로 이용하므로 1선 직접 접지방식의 전차선로가 되어 교류방식에서는 인접한 통신선에 대한 유도장해를 야기시킬 수도 있음. 따라서 최신의 차량을 채용하는 경우 고차고조파의 발생에 따른 공진가능성을 검토하여 적절한 대책을 세울 필요가 있음.

- 한편, 지금까지의 전기철도용 차량은 역률이 좋지 않으며(70-80%) 전기요금 절감을 위해 역률개선이 필요했음. 그러나 최근의 고속차량은 역률이 거의 1이기 때문에 역률개선의 필요성이 없으며 전압변동, 전압강하도 비교적 작은 특징을 가지고 있음.

(1) 고속철도 부하(전력변환시스템)

- 전력변환 시스템은 견인전동기를 제어하여 고속철도의 추진 및 전기제동을 수행하는 주전력변환장치와 차량 내 전기기기(전장품) 및 객차 서비스를 위한 조명설비, 냉난방 설비에 필요한 전원을 공급하는 보조전원장치로 구성됨. 견인전동기로는 현재까지 직류직권전동기가 주로 사용되어 왔으나 최근 들어 Power Electronics 기술의 발달, 고속대용량 반도체 소자의 발달 및 Microprocessor기술발달에 의해 직류전동기에 비해 경량화에 따른 고속화 및 유지보수에 유리한 교류전동기(유도전동기, 동기전동기)의 사용을 적극 채택하고 있으며 경부고속철도도 교류전동기인 동기전동기가 사용됨.
- 전력변환장치는 Converter와 Inverter로 나누어지는데 Converter는 입력 역률의 향상, 제동시 회생에너지의 공급, 고조파 저감기능을 보유하고 있으며, Inverter는 추진제어장치의 명령에 따라 가변전압, 가변주파수

(VVVF)의 전원을 전동기에 공급하여 속도를 조절하고 있음. 보조전원장치는 차량 내부의 공조, 조명, 기타 전장품에 필요한 전원을 공급하는 장치로 다양한 전원으로 구성됨.

- 고속철도의 고속화, 제어성능의 향상을 위하여 소형경량화 및 신뢰도 확보와 반도체 스위칭시 발생하는 고조파를 어떻게 제어하는가가 고속철도의 성능을 좌우하는 중요한 요소라 할 수 있음.
- 고속철도를 운용하고 있는 프랑스, 독일, 일본의 전력변환장치 특징은 다음과 같음.

(가) 프랑스의 TGV

- 동기전동기를 전류형 인버터에 의해 구동하는 시스템으로서 Converter가 전동기 구동전류의 크기를 제어하고, Inverter는 견인전동기의 구동속도를 제어함. Converter는 단상 위상제어정류기 2개를 직렬로 연결하고 입력단 역률을 높이기 위하여 하단의 Converter는 최소의 위상각으로 고정시키고 상단의 Converter 위상제어각을 조절해 나감. Converter의 입력단에는 입력주파수의 3고조파에 동조시킨 입력역률 보상필터를 설치하여 입력역률을 개선하고 있음. Converter 방식은 TGV-A의 경우는 Half-Controled SCR Bridge로 되어 있어 회생제동이 불가능하나 경부고속철도에 사용되는 TGV-K는 Full-Controled SCR Bridge로 구성되어 회생제동이 가능함.

(나) 독일 ICE

- ICE는 Boost-type GTO PWM Converter를 채용하여 입력역률을 1에 가깝게 제어하고 입력 고조파 전류를 거의 제거할 수 있으며 Inverting Mode 동작이 가능하므로 견인전동기의 회생제동이 가능함. 직류 link에는 입력주파수의 2배 고조파를 제거하기 위한 필터가 설치되어 있고 견인전동기는 유도전동기를 사용하고 있음.
- Inverter는 유도전동기를 구동하기 위한 PWM(Pulse Width

Modulation)전압형 인버터로서 전동기의 구동에 필요한 전압, 주파수를 모두 제어함. 인버터 출력단에는 비트현상을 억제하기 위한 리액터를 삽입하였으며 고속 시에는 리액터 전압강하를 방지하기 위해 리액터를 단락시킴.

(나) 일본 신간선

- 주회로 방식은 독일의 ICE와 거의 동일하나 차량의 경량화를 위해 리액터를 사용하고 있지 않음. 비트현상 억제대책으로 Inverter 입력단 전압리플을 고려한 비트억제 제어기능을 실현하여 Inverter 출력단 리액터가 생략되었음. 동력방식 면에서 보면 분산식을 채택하여 300kW급 견인전동기를 사용하고 있어 집중식을 채택한 TGV, ICE와는 구별됨.

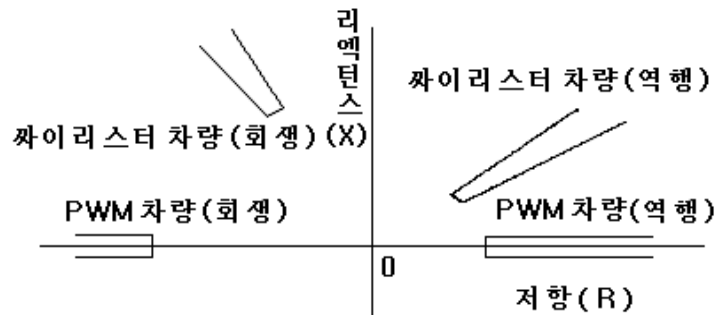
(2) 고속철도 부하전류 특성

(가) 부하 임피던스 특성

- 교류 급전회로에서는 거리계전기를 주 보호로하여 사용하고 있기 때문에 변전소에서 본 부하리액턴스를 종축에 부하 저항을 횡축에 눈금을 그린 R-X도로 부하임피던스의 변동영역을 그려 부하특성을 표현하면 이해하기 용이함.

i) 전기차의 제어방식과 역률

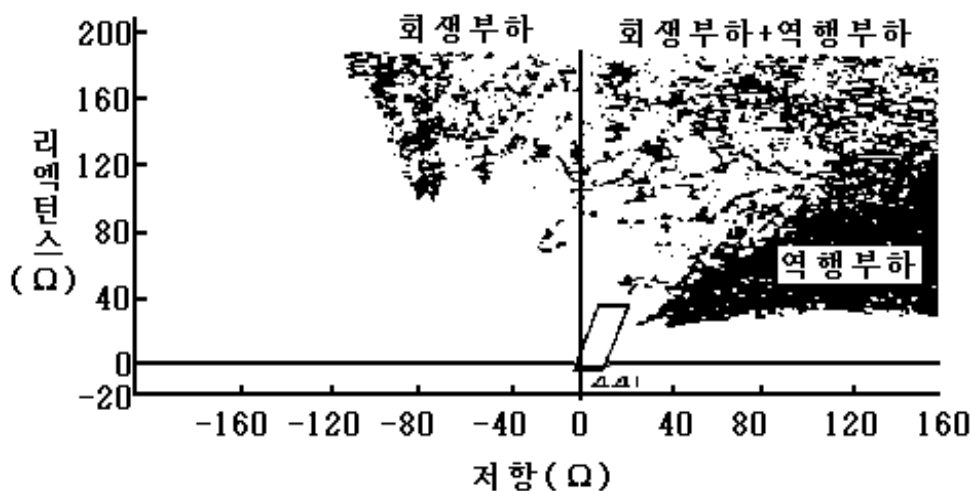
- 교류전기차량은 전력방환방식에 따라 위상제어 차량과 PWM제어 차량으로 대별됨. 변전소에서 본 위상제어차량의 최대역행시의 역률은 0.7-0.8이고, 회생시의 역률은 -0.4~-0.5임. 이것이 비해 PWM제어차는 역행시 1.0, 회생시 -1.0을 목표로 제어되고 있다. 그림 2-1에 고속철도 차량의 부하영역 개념도를 나타냄.



< 각종 철도차량의 부하영역 >

ii) 기존철도의 부하특성

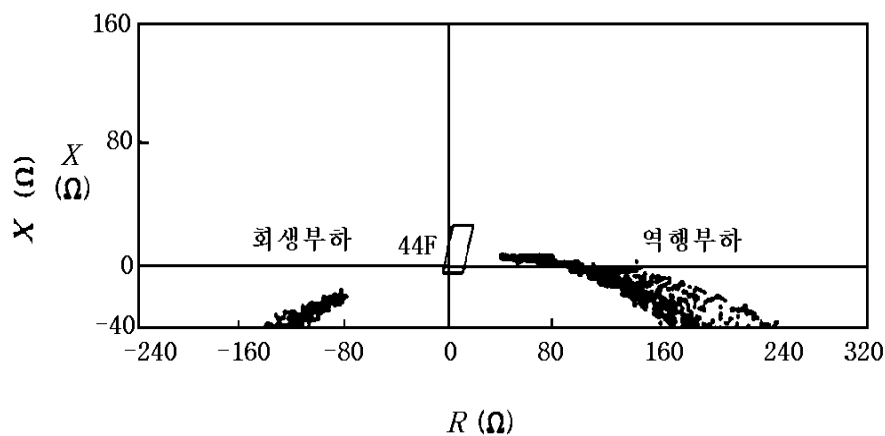
- BT급전회로 : 산업선 BT급전회로에서 동일 급전구간에 위상제어 차량의 역행차와 PWM제어 회생차가 경합한 경우의 부하특성을 나타낸 것임.
- AT급전회로 : AT급전회로의 임피던스를 전기차 전압기준으로 환산하면 임피던스는 BT급전회로의 거의 1/4이 됨.
- 또 AT급전회로에서는 고조파 공진억제용 CR장치 등이 급전구간 말단에 설치되어 있는 경우에는 이 전류가 전기차 부하전류와 합성되므로 경부하시의 역률은 BT급전방식보다 약간 좋게 됨.



< 위상제어차량의 부하영역 >

iii) PWM(Pulse Width Modulation)제차량의 부하특성

- 단상교류 상용주파수의 급전전압에서 직류정전압으로 전력변환하고 전력변환기에서 발생하는 교류전압이 펄스전압으로 구성되어 펄스폭을 교류전압으로 변환시키는 전력변환방식임. PWM제어 차량의 특징은
 - 교류입력전류가 거의 정현파에 가깝고 저차고조파의 함유율이 다른 제어방식 차량보다 적음.
 - 연속적으로 역행 · 회생제어를 할 수 있음.
 - 급전전압 · 전인전동기의 크기에 관계없이 역률은 항상 ± 1 을 유지함.
- 아래 그림은 PWM제어 차량의 부하영역을 나타냄.



< PWM제어차의 부하영역 >

(가) 부하전류의 저차고조파 특성

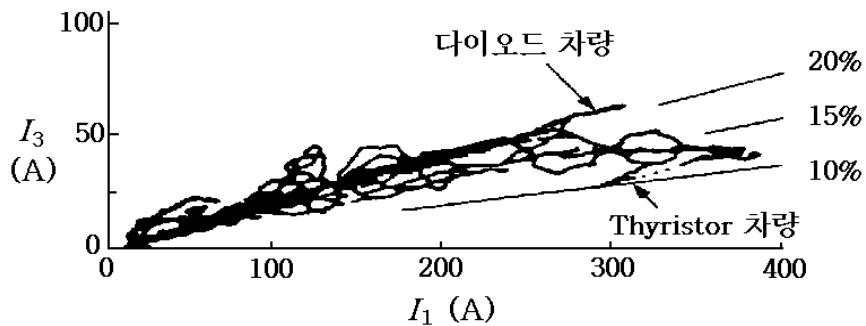
i) 위상제어차량

- 교류전기차에서는 단상전력을 직류로 변환시키기 때문에 교류측 전류에 고조파를 함유함. 산업선 BT급전회로에서 저차고조파 특성의 측정 예임. 기본파의 증가에 대한 고조파의 변화는 싸이리스

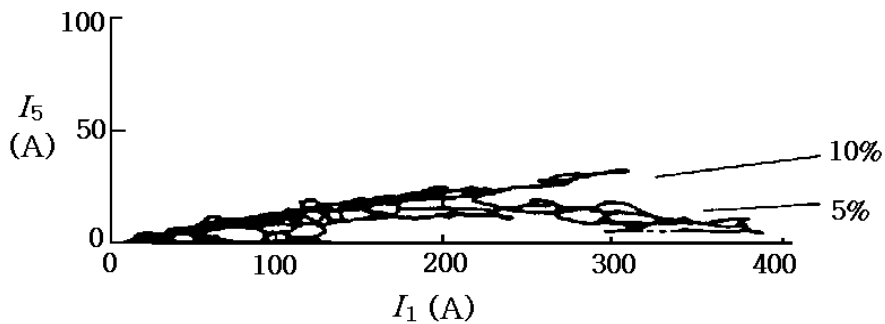
터 제어차량에서는 위상제어 이므로 복잡하게 변화하지만 다이오드 차에서는 직선적임. 고조파 함유율(최대 기본파에 대한 최대 고조파 비율)은 3차조파로 20~25%, 5차고조파 10~15%정도임.

ii) PWM제어 차량

- PWM변환차에서는 저차고조파의 함유율은 위상제어 차량보다 작은 4~8%임.
- PWM변환차의 저차고조파의 측정 예임. 기본파 전류에 대하여 거의 일정하며 회생시가 역행 시 보다 약간 큼.

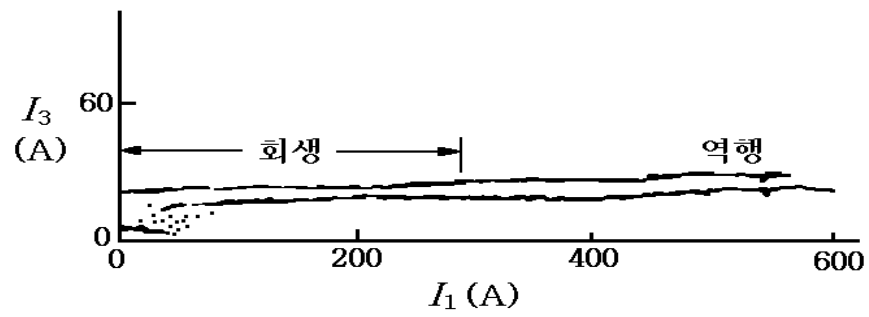


(a) 기본파-제3조파 특성

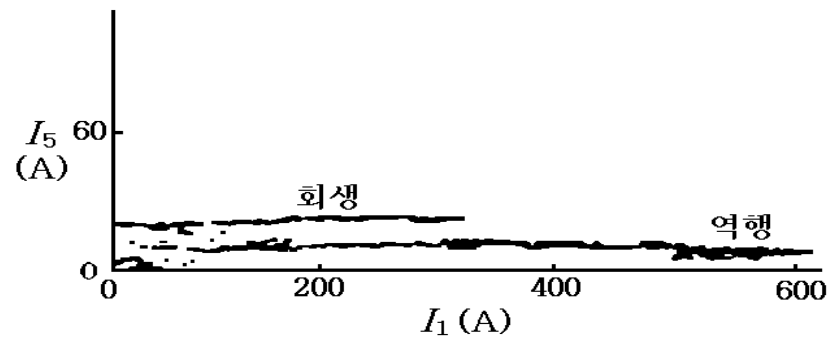


(b) 기본파-제5조파 특성

< Thyristor제어차의 저차고조파 특성 >



(a) 기본파-제3조파 특성



(b) 기본파-제5조파 특성

< PWM제어차의 저차고조파 특성 >

(3) 전기철도에서의 전력품질

- 일반적으로 교류전기철도의 문제점은 크게 불평형, 고조파, 부하변동으로 나눌 수 있다.
- 일반용 전기 공급은 전기사업법에 근거를 두고 관리되는데 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준에 따라 전압유지범위, 계통주파수, 고조파 등에 대하여 다음 규제치 범위를 유지하도록 규정되어 있으며, 그밖에도 역률은 90%를 기준으로 유지하되 그 이상은 5% 범위 내에서 보상하도록 하고, 이하의 수치에 대하여는 역률 보상금을 납부토록 하고 있다 (한국전력공사 전기공급규정 제41, 44조)
 - (1) 전압유지범위는 345kV의 경우 $\pm 5\%$, 154kV의 경우 $\pm 10\%$ 범위 내
 - (2) 계통 주파수는 평상시 $60 \pm 0.2\text{Hz}$ 로, 비상시에는 62~57.5Hz 범위 내
 - (3) 전압 불평형율은 송전선로에서 3% 이내
 - (4) 고조파는 전기사업자에 의해 154kV 이상의 경우 THD 1.5% 이내
- 전기철도에서는 위 범적 규제치 범위보다 철도 차량의 특성에 따라 관리되면서도, 고조파, 역률, 전압불평형률 등에 대하여는 전기공급자의 공급조건을 만족할 수 있도록 유지하고 있으며, 전압은 선형 부하의 한계로 인하여 고속 철도 차량에서의 전압을 기준으로 다음과 같이 관리하고 있다.
 - (1) 공칭전압 : 25kV
 - (2) 최고전압 : 27.5kV
 - (3) 최저전압 : 19kV
 - (4) 최저 일시전압 : 17.5kV
 - (5) 최대 일시전압 : 29kV

(가) 불평형율과 전압변동율

- 불평형 상태를 나타내는 합리적인 방법은 Charles L. Fortescue에 의해 제안된 대칭좌표법에 의해 정역상분의 비를 갖고 정의하는 방법임. 일반적으로 3상전압, 3상전류는 각 상의 전압, 전류의 값이 같으며 위상은 120° 인 상태가 평형상태임. 어떠한 원인에 의해 평형상태가 흐트러져 각 상의 전압 또는 전류의 값이 같지 않게 되면 대개 위상도 120° 를 유지하지 못함. 예를들면 $V_{ab} = 100 V$, $V_{bc} = 100 V$, $V_{ca} = 100 V$ 인 것이 $V_{ab} = 100 V$, $V_{ca} = 97 V$, $V_{bc} = 95 V$ 로 되는 것을 불평형 상태라 함.

- 여기서 전압불평형율을 K , 전류불평형율을 U 라고 하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있음

$$K = \frac{V_N}{V_P} \quad (2-1)$$

$$U = \frac{I_N}{I_P} \quad (2-2)$$

단, V_P , I_P 는 전압, 전류의 정상분

V_N , I_N 은 전압, 전류의 역상분

- 위에서 K 와 U 는 vector량이지만 일반적으로는 scalar량의 비를 취하여 백분율로 나타냄.

- 전압변동율은 대칭좌표법에 의한 표시 즉, Voltage Dip로 나타내면

$$\alpha(pos) = \frac{-\Delta u}{u_0} \quad . \quad (2-3)$$

$$\Lambda(neg) = \frac{\Delta u_1}{u_0 - \Delta u} \quad . \quad (2-4)$$

단, Δu : 정상분 전압강하

u_0 : 공칭무부하 정상분 전압

Δu_1 : 역상분 전압

으로 정의된다.

(나) 전압·전류 불평형의 영향

○ 불평형에 의한 영향으로서는 (i) 일반 수용가에 대한 것과 (ii) 전기사업자에 대한 것으로 나눌 수 있음.

i) 일반 수용가에 미치는 영향의 대상으로서 특히 중요한 것은 3상 유도전동기가 있음. 즉 3상 유도전동기의 역상 임피던스는 통상 20% 정도로 고려하고 있는데 정상 임피던스에 비해 상당히 작으므로 비교적 근소한 역상전압에 대해서도 상당한 역상전류가 흐름. 이 때문에 권선의 온도상승을 증가시켜 능률저하를 초래하며 출력도 감소하는 경향이 있음.

ii) 전기공급자에 대한 영향으로서는 가장 고려해야할 것은 발전기, 조상기 등에 대한 역상전류의 유입임. 역상전류의 유입으로 회전자의 설계 여하에 따라서 편열발생으로 절연의 열화를 일으키며 또는 유도전압 파형을 변형시킴. 적산전력계에 대하여는 특별한 지장은 없지만 적산무효전력계에는 오차의 원인으로 작용하며 보호계전기에 대해서는 선택비에 따라서는 다소 영향을 받을 수 있지만 $K=10\%$ 이하에서는 문제가 되지 않음.

(다) 급전전압의 변동

○ 급전전압의 변동은 전원용량, 변전용량 및 부하와 상대적인 관계가 있음. 교류전철화에서는 일반적으로 급전거리가 길고 특히 연장급전하여 운용할 때는 부하의 증대에 따라 전압강하가 크게 되어 변전소의 공급전압을 상승시켜야 하는 경우가 있다. 특히 전원계통이 작고 변전소의 임피던스가 작을 때는 이와 같은 문제가 발생함.

○ 변압기 및 급전선의 리액턴스 강하는 직렬콘덴서에 의해 어느 정도 보상이 가능하지만 분수조파의 발생 등으로 한계가 있음.

○ 전압강화대책으로 직렬콘덴서를 많이 사용하면 고속철도차량의 무

부하 변압기가 공진하여 분수조파공진을 발생하는 경우가 있고 이 분수조파 공진은 전압이 높게 발생하므로 피뢰기 등의 소손원인이 될 수 있으므로 주의가 필요함.

- 고속철도 급전회로에는 20kV급의 절연물에 상시 가압되어 있는 전압은 일반 20kV 전력계통(3상 고저항 접지)의 상시 가압전압과 비교하면 $\sqrt{3}$ 배가 됨.

(4) 전기철도 급전시스템의 문제점 및 대책방안

(가) 전기철도 급전 시스템의 문제점

- 전기 에너지를 이용한 전기철도 시스템은 고속성, 고효율, 환경친화성의 이유로 경부고속전철을 포함하여 기존의 디젤엔진 차량을 대신하는 추세임. 이러한 전기철도 시스템은 전기에너지를 급전하여 전동기의 구동으로 견인력을 얻는 형태의 시스템으로서 전력 계통과 매우 유사함. 따라서 전력계통에서 발생할 수 있는 전력 품질의 문제점이 전기철도에서도 나타날 수 있음.
- 전기철도 시스템과 전력계통의 차이로는 운행되는 전기차량의 특성상 시동 정지가 빈번하게 반복되고 큰 견인력으로 주행해야 하므로 대용량의 부하전력이 요구됨.
- 전철 급전계통은 주로 3상 전력계통으로부터 스코트 변압기를 통하여 단상의 전력으로 변환하여 급전 받고 있으므로, M상과 T상의 부하 불평형에 의한 3상 계통의 불평형을 초래하고 이러한 전압불평형은 결과적으로 계통의 전력품질을 저해하여 관련된 다른 설비의 운전에 영향을 끼치게 됨. 이에 전기설비 기술기준령 제 275조, 통상산업부 고시 51조에서는 전압불평형률의 규제를 기존의 1시간 평균 3%에서 10분 평균 1%로 강화하고 있고 점차적으로 유럽규격과 동일한 규제를 적용하도록 준비 중에 있음.
- 전기철도 시스템은 견인 전동기를 구동시키기 위하여 많은 전력변환

장치를 사용함. 수도권 1호선의 경우 다이오드 정류기, 산업선 구간에서는 세미브릿지형 정류기, 과천/안산선의 경우 PWM 컨버터와 VVVF 인버터를 이용하여 견인전동기의 속도 제어를 수행함. 이러한 전력변환장치의 사용으로 인한 고조파 발생이 큰 문제가 되고 있음. 이러한 전기철도 시스템에서 발생된 고조파는 통신유도장해, 신호회로에 미치는 악영향, 보호계전기의 오동작, 병렬 커패시터로의 과전류, 고조파 공진현상 초래, 형광등 안정기의 소손, 과전류 계전기 코일의 소손, 배전용 차단기의 오동작 등 많은 악영향을 끼침. 따라서 국내의 전기설비기준 법령뿐만 아니라 해외의 IEEE, IEC 규격 등에서도 이를 규제하는 규정을 제정하고 있음. 전기공급규정 41조의 경우 고조파, 전압불평형, 플리커 장애를 발생시키거나 그러한 우려가 있는 부하에 대하여 조정장치 시설을 요구하고 있고, 한국전력 공사의 경우 고속철도건설과 때를 같이하여 규제 강화 움직임이 있어 전기철도에서의 전력품질 향상 대책이 강구되어야 할 필요성이 부각되었음.

- 전기철도의 또 다른 문제점은 급전구분소 말단의 전압강하임. 변전소에서 공급되는 전력은 전차선을 통해 견인전동기에 집전되기 때문에 변전소와의 거리가 멀수록 전차선에 의한 임피던스는 커져 전압강하가 발생하여 변압기 구분소 말단에서는 기준치 이하의 전압이 수전될 수도 있음. 이러한 문제로 기존에는 직렬 콘덴서에 의해 전차선로의 리액턴스를 보상하는 방법, AT 급전회로에서 사이리스터 스위치에 의해 고속으로 변압기의 tap 절환을 행하는 ACVR 방법을 사용하여왔음. 그러나 대용량의 견인전동기를 사용하는 전차가 여러 대 동시에 시동을 할 경우에 짧은 순간 동안 전압값이 떨어지는 전압 sag가 발생할 수 있다. 이러한 문제에 대하여 기존의 방법은 응답속도가 느려 효과적인 보상이 이루어질 수 없다는 단점이 있음.
- 능동형 전력보상장치 기술은 전력시스템기술, 전력용 반도체 응용기술, 정보통신기술, 제어 기술 등의 복합 시스템 기술로써 향후 전력 시스템 구성 및 운용기술을 획기적으로 변화시킬 뿐만 아니라 관련

산업에 미칠 파급 효과가 엄청날 것으로 예상됨. 따라서 이 분야의 국내 기술 자립과 국제 경쟁력 확보를 위한 기반 및 핵심 기술 연구 개발이 시급함. 특히 능동형 전력보상장치는 대상 전력시스템의 특성에 따라 그 형태와 운용전략이 달라져야 하므로 외국의 설비를 그대로 도입하기가 곤란하며, 운용기법 등과 같이 소프트웨어에 관련된 기술은 우리나라 전력시스템의 상황에 맞추어야 하기 때문에, 단순히 기술을 도입할 경우 많은 문제점이 발생할 수 있다. 또한 계속적으로 확장되어가는 전력 시스템에 맞추어 능동형 전력보상장치를 유기적으로 바꾸어 가야 하므로 기술 자립이 절대적으로 필요함.

(나) 대책 방안

- 이상과 같은 전기철도 전력품질 저하 문제를 해결하기 위해 고려될 수 있는 것이 전력전자 기술을 이용한 능동형 전력보상장치의 적용임. 능동형 전력보상장치의 기술은 전력계통 특성 개선을 위하여 제안된 신기술로서 전력수송설비 이용을 극대화하기 위해 1980년대 미국 EPRI에서 기본 개념이 제시된 후 미국, 유럽, 일본 등 전력기술 선진국을 중심으로 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 사용화를 위한 실증시험 단계에 이르고 있음.
- 전력보상장치에는 R, L과 C를 조합한 수동형 전력보상장치와 최근 스위칭 소자를 이용한 능동형 전력보상장치로 대별됨. 그 특징의 비교는 다음 표와 같음. 결과적으로 능동필터는 가격이 고가인 대신 시스템에 영향을 주지 않으면서 안정적이고 보상효과가 좋은 이점이 있음.

< 능동필터와 수동필터의 일반적 특징 비교 >

보상장치 종류		수동형 전력보상장치	능동형 전력보상장치
항목			
억제고조파 차수	저차	각주파마다 필터를 설치할 필요가 있으며 차수가 낮을수록 대형화한다.	임의 차수의 고조파를 억제할 수 있으며 복수 조파의 동시억제도 가능
	고차	고차 필터에 의한다.	고차 조파의 억제는 어렵고 고차 L-C filter의 병용이 필요
주파수 변동 등의 영향		동조의 어긋남으로 억제능력이 저하한다.	영향 받지 않는다.
설치 후 계통 임피던스 변경 등의 영향		필터 구성의 변경이 필요해지는 경우가 있다.	계통 임피던스에는 영향 받지 않는다.
설치 후 고조파 증대에 따른 영향		과부하로 되어 과열·소손이 생길 우려가 있다.	과부하로는 되지 않는다.
증설		고조파 balance 등을 고려할 필요 있음.	증설이 용이
과도적 고조파 억제		과도적 고조파 억제가 곤란	과도적 고조파 억제 가능
기본파 무효전력 조정능력		있음.	있음. (제어 방식에 따른다)
용적		크다. (특히 차수가 작을수록)	비교적 작다.
손실		작다.	LC filter와 비교해서 크다.
비용		비교적 싼 값	비교적 고가
소음		적다.	수납 대책 등이 필요

- 능동형 전력보상장치의 사용은 다음과 같은 효과를 기대할 수 있음.
 - 전력설비에서의 사고로 인한 영향을 극소화시킴으로써 안정적인 전력시스템 운용 실현
 - 전력수송시스템 내의 복잡하게 구성된 여러 송전선로의 전력흐름을 자유롭게 제어함으로써 전력수송설비의 총체적인 설비이용률 향상 및 발전 예비율 저하 가능
 - 송전용량을 제한하거나 기기고장을 일으킬 수 있는 전력시스템의 불안정 현상(고조파) 억제
 - 높은 신뢰도로 송전선로의 열용량 한계 근처까지 전송용량 증대 가능
 - 전압변동억제 및 사고 긴급대처 등을 통한 전력품질 및 신뢰도 향상

제3절 국내외 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

- 전철전력분야 적용방안은 아직 국내에서는 아직 초기단계임
- 기존의 인프라는 한국전력공사에서 연구되고 있으나 철도 전력시스템의 특성이 반영되지 않아 본 연구과제와의 연계가 필요함

< 관련 기술 분야의 기술수준 >

기 술 명	기술수준 (%)	전문 인력 보유 정도(%)	인프라 구축 연도(%)
전철전력 해석	50	50	50
계통해석/제어	50	50	50
보호설비 검증	50	50	50
전력전자해석	70	70	70

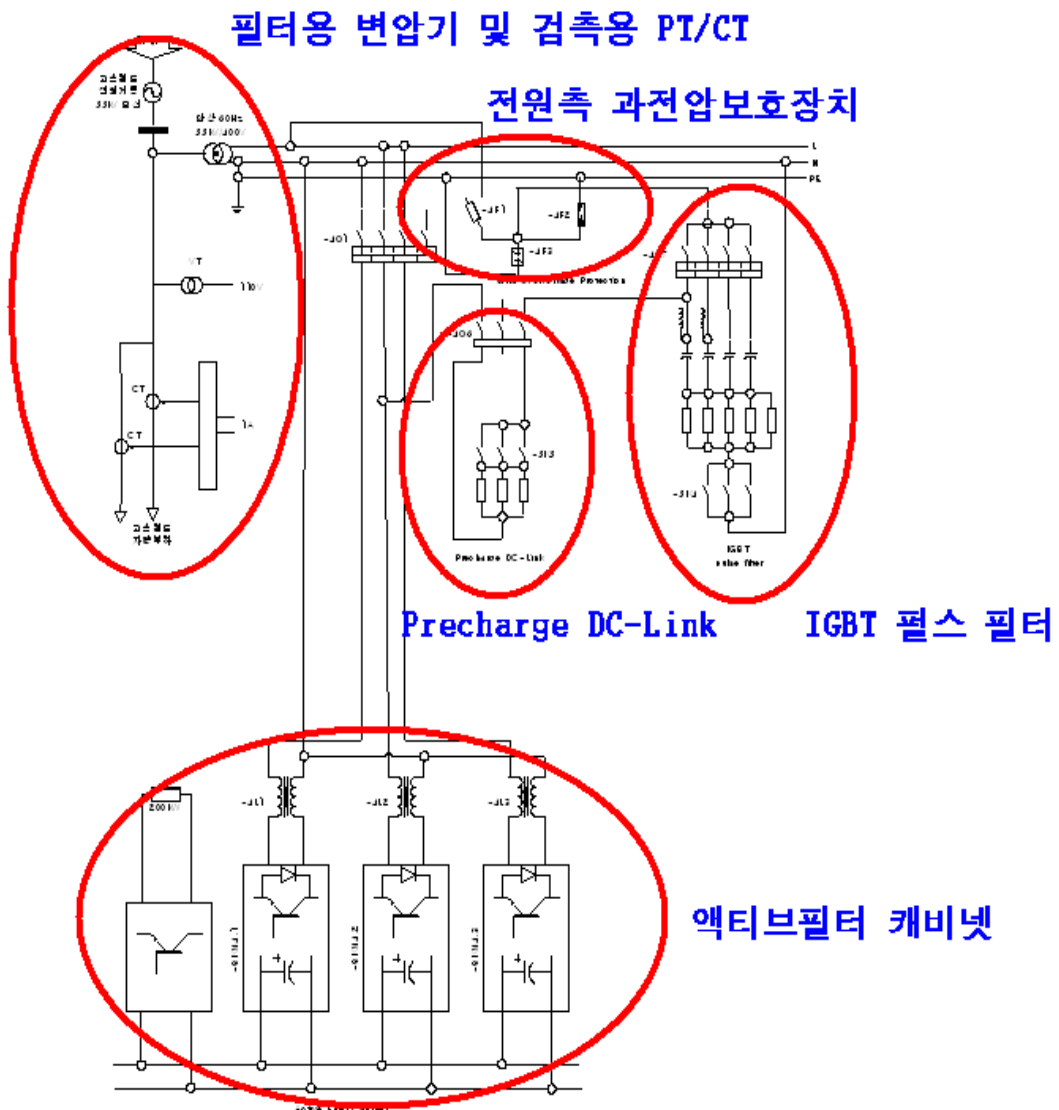
< 관련 기술 분야의 인프라수준 >

기 술 명	인력보유 정도	자금지원 수준	연구개발시스템 (설비, 장비, 체제 등)	기타 고려 사항
전철전력 해석	50	50	- Hall effect Gauss meter - Power Recoder System	
계통해석/제어	50	50	- 회로정수 측정 장치 - Matlab - 급전시스템 해석용 S/W	
보호설비 검증	50	50	-	
전력전자해석	50	50	- Flux2D/3D - PSS/U	

○ 경부고속철도의 고조파보상장치

- 경부고속철도에는 KTX 차량의 고조파 문제 때문에 서울-대구구간의 5개 변전소(안산, 평택, 신청주, 옥천 및 김천)에 능동형 전력보상장치를 설치하여 운용 중에 있다. 능동형 전력보상장치의 하드웨어는 크게 6개 부분으로 구성되어 있음.

1. 능동형 전력보상장치 캐비넷
2. 능동형 전력보상장치용 변압기와 검측용 CT/PT
3. Precharge DC-Link
4. IGBT pulse filter
5. 전원측 과전압 보호장치(Grid Overvoltage Protection)
6. 기타 부대설비(리액터, 냉각장치 포함)



< 능동형 전력보상장치의 구성도 >

< 경부고속철도 능동형 전력보상장치 설치 전 각 변전소별 전압왜곡율 측정결과 >

변전소	상	최대 부하전력 (MW)	최대 부하전류 (A)	고조파 전압왜곡율 (%)		
				순시치	IEC 표준 (10분 기준)	한전 자체 왜곡율
안 산	A상	18.61	267	1.34	1.09	0.40~0.76
	B상	23.51	290	1.16	1.02	0.36~0.71
	C상	21.37	233	1.42	1.13	0.35~0.87
평 택	A상	18.29	289	1.34	1.20	0.38~0.95
	B상	32.79	421	2.41	2.11	0.38~0.77
	C상	25.52	289	1.34	1.20	0.47~0.97
신 청 주	A상	19.98	278	1.90	1.61	0.53~1.17
	B상	33.64	392	1.98	1.87	0.55~1.23
	C상	31.43	357	1.68	1.54	0.52~1.57
옥 천	A상	25.16	314	2.88	2.70	1.19~1.49
	B상	32.23	402	2.18	2.06	1.14~1.65
	C상	24.97	321	2.54	2.19	1.04~1.41
김 천	A상	27.62	345	2.35	2.28	0.96~1.47
	B상	29.10	363	2.39	2.37	0.95~1.76
	C상	28.36	354	2.28	2.17	1.05~1.77

- 고조파 저감설비가 투입되지 않았을 경우, 고속철도 변전소 154kV 수전계통의 고조파 전압왜곡율을 측정한 결과를 다음 표에 나타내었다. 전압왜곡율은 변압기별 순시최대가 1.42~2.88%, IEC 61000 기준 최대가 1.02~2.70%로 나타났다.
- 한전 자체 전압왜곡율은 철도 무부하시 전철변전소 수전측의 전압왜곡율을 측정한 것이며, 측정기간이 24시간 임으로 무부하 전압 왜곡율 최소 ~ 최대를 나타내었다.

< 경부고속철도 능동형 전력보상장치 설치 후 각 변전소별 전압왜곡율 측정결과 >

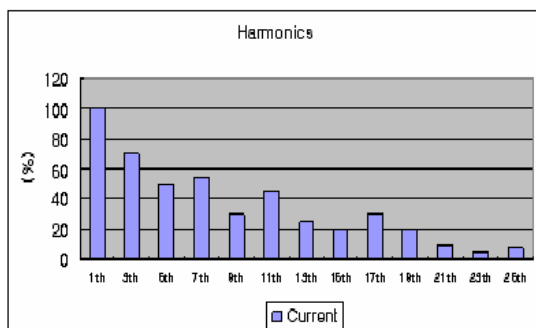
측정변전소	상	최대 부하전력 (MW)	최대 부하전류 (A)	고조파 전압왜곡율 (%)		
				순시치	IEC 표준 (10 분기준)	한전 자체 왜곡율
안산	A상	15.98	241	1.22	0.90	0.55~0.76
	B상	19.51	246	0.99	0.90	0.55~0.72
	C상	20.08	218	1.27	0.94	0.57~0.86
평택	A상	8.80	122	0.94	0.75	0.50~0.67
	B상	21.52	245	1.27	0.95	0.48~0.63
	C상	10.21	111	0.96	0.77	0.54~0.70
신창주	A상	13.01	225	1.54	1.20	0.63~0.92
	B상	32.02	369	1.47	1.32	0.63~0.77
	C상	21.32	232	1.37	1.24	0.61~0.76
옥천	A상	18.40	280	2.63	2.20	1.62~1.79
	B상	32.01	364	2.20	1.89	1.35~1.74
	C상	25.57	284	2.52	1.89	1.47~1.69
김천	A상	16.40	199	2.20	1.85	0.98~1.72
	B상	32.51	380	2.43	2.02	0.95~1.86
	C상	17.99	198	2.15	1.84	1.00~1.66

- 위의 표는 능동형 전력보상장치 동작시 154kV 수전계통의 고조파 왜곡율을 측정한 결과이다. 능동형 전력보상장치가 동작을 하고 있을 때 고조파 전압 왜곡율의 변압기별 순시 최대가 0.99~2.63%이지만 IEC 61000의 표준을 따르면 0.75~2.20%가 된다.
- 철도 계통 무부하시 한전 자체의 전압왜곡율을 제외한 발생원 측면에서의 전압왜곡율은 고조파 전압왜곡율 제한값 1.5% 이하를 만족한다.
- 한전 자체 전압왜곡율은 철도 무부하시 전철 변전소 수전측의 전압왜곡율을 측정한 것이며, 측정시간이 24시간 임으로 무부하 전압왜곡율을 최소~최대로 나타내었다.

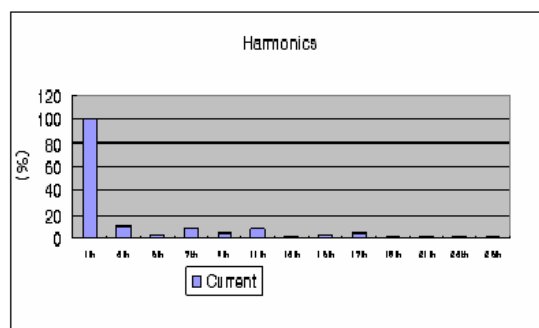
< 능동형 전력보상장치 투입 전/후 각 변전소별 전압왜곡율 측정결과 비교 >

변전소명	전압왜곡율 최대(IEC표준 10 분 95 %기준)		전압왜곡율 감소 (%) (C=A-B)	전압왜곡율 감소율 (%) (C/A)
	필터 설치 전(A)	필터 설치 후(B)		
안 산	1.13	0.94	0.19	17
평 택	2.11	0.95	1.16	55
신 청 주	1.87	1.32	0.55	29
옥 천	2.70	2.20	0.50	19
김 천	2.37	2.02	0.35	15

- 대부분의 변전소에서 고조파 저감설비인 능동형 전력보상장치 투입전의 전압왜곡율 순시 최대가 한국전력의 전압왜곡율 기준 1.5%를 초과하는 것으로 보이나 한전 자체 전압왜곡율을 제외한다면 한국전력의 기준을 초과하지 않는 값이 된다.
- 능동형 전력보상장치를 설치함으로써 전압왜곡율이 최대 1.16% 감소되었으며 변전소마다 전압왜곡율 감소폭이 차이가 나는 것은 한전계통의 임피던스의 차이, 급전구간 차량 운행패턴의 차이 등에 기인한 것으로 보인다.
- 또한 필터 투입으로 인한 고조파의 저감효과는 약 15~55%까지 나타나는 것을 알 수 있다.



보상 전

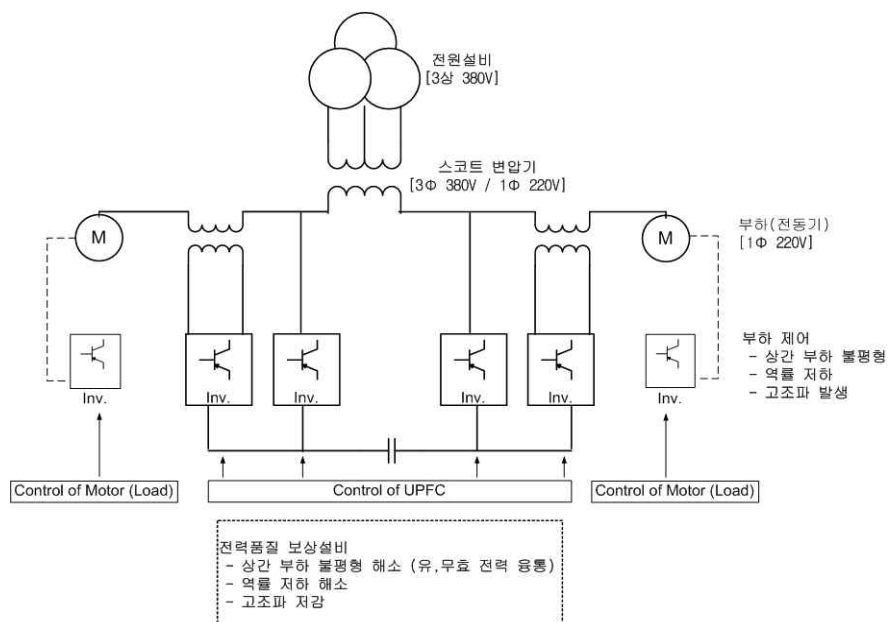


보상 후

< 각 차수별 고조파 전류 비교 >

○ 전기철도용 축소형 전력품질 보상장치 연구 (KRRI 수행)

- 사용된 전력품질 보상설비는 M상과 T상간의 DC-Link를 통한 서로간의 보상을 통하여 시스템의 성능 향상을 꾀하는 설비임. 다음 그림은 설비의 기본 개념을 나타내는 것으로서 그림에서 보듯이 철도 급전시스템을 모의하기 위한 부분과 상정된 조건하에서 전력품질을 향상시키기 위한 보상부로 이루어져 있음.
- 교류 전기철도의 급전시스템을 축소한 부분은 3상 수전측과 스코트 변압기 부만을 모의하도록 고안하였음. 실제 급전시스템에서 단권변압기를 제외한 부분만 포함하였으며 전원설비, 스코트 변압기, 양상의 부하전동기부가 급전시스템을 모의한 부분임. 전원부는 3상 380V를 사용해서 수전측으로 구성하였고, 스코트 변압기를 이용하여 단상 220V로 변환하였음. 이때 단상은 M상과 T상 두개로 분리 됨. 부하전동기의 경우 유도전동기를 사용하였으며, 전동기의 부하측은 servo motor를 이용하여 구현하였음.
- 그림에서 중앙부의 인버터 4개는 보상설비부를 나타내고 있음. 이 부분은 앞서 설명한바와 같이 상간 부하 불평형, 역률저하, 고조파 등을 해소시키는 역할을 하는 부분이고 2개의 단상에서 각각의 역할을 수행할 수 있도록 하였음.

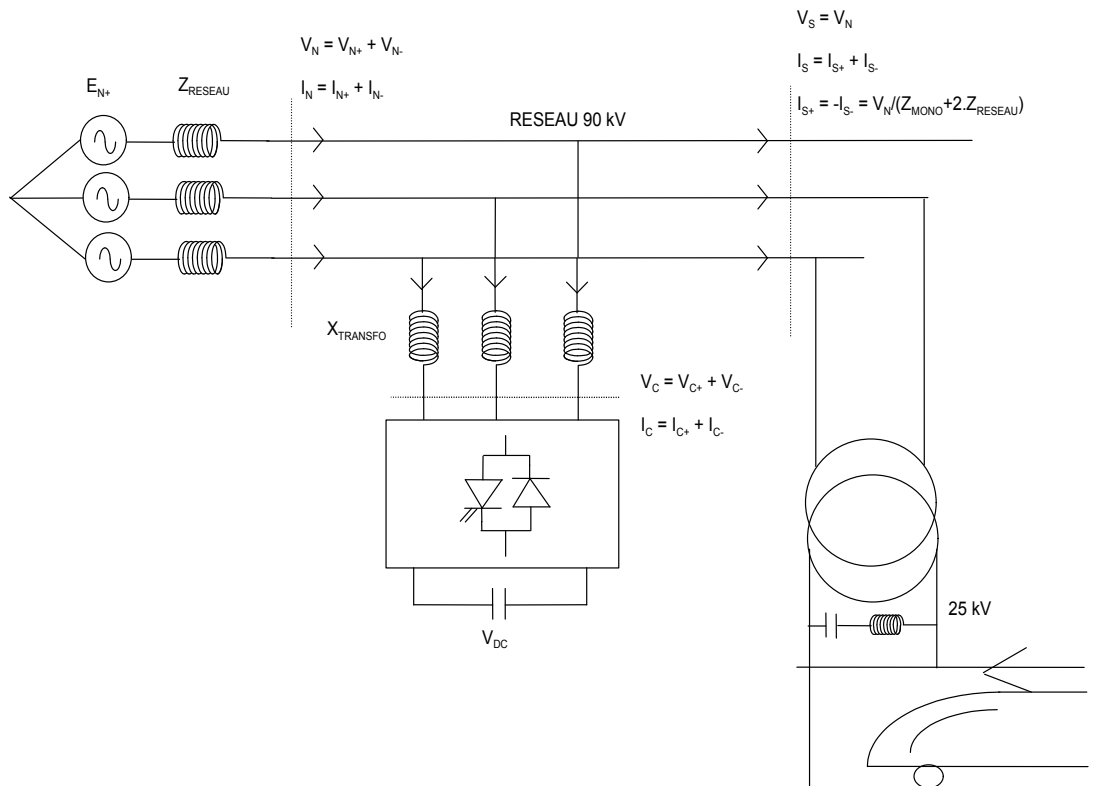


< 축소형 전력품질 보상장치 개념도 >

2. 국외 기술 및 산업 동향

○ 프랑스 철도의 역률보상설비

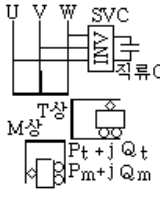
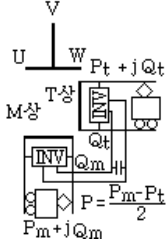
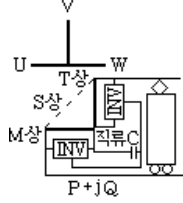
- 프랑스 SNCF에서는 Evron 교류변전소에 HVB (High Voltage Booster)를 설치하였음. 이 변전소는 원래 90kV를 E.D.F로부터 수전 받는 변전소로써, 불평형율이 2%가 넘어 불평형율을 해결하기 위해서는 200kV이상으로 수전을 받아야 하지만 SNCF에서는 수전전압을 높이는 대신 HVB를 설치하여 예산절감에 성공한 예임. HVB는 ABB가 제작한 삼상 SVC 장치로써 아래 그림과 같이 3상 수전단에 IGBT 컨버터와 콘덴서를 설치한 구조로 되어있음.



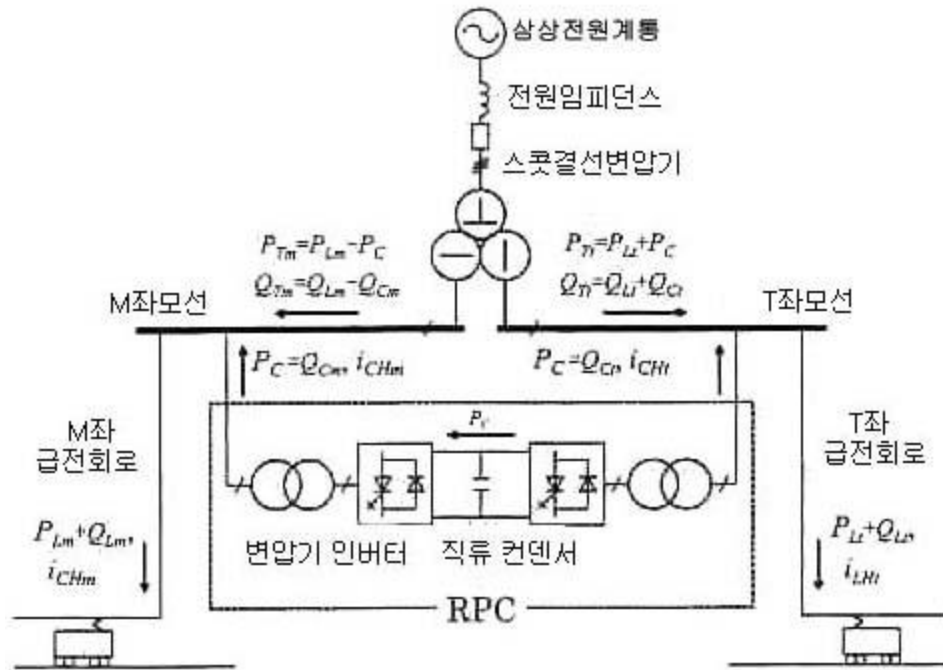
< HVB 설치 계통도 >

○ 일본 철도

< 자력식 전력변환장치의 구성과 특징 >

종류	3상 SVG	RPC	SFC
결선도			
원리	3상측에서 무효전력보상 유효전력 용통, 평형화	급전측에서 무효전력보상 유효전력 용통, 평형화	S상의 부하를 동등한 직각성분으로 변환
특징	여러가지 부하에 적용	급전변압기에도 효과적	단상급전
적용 사례	東海道 新幹線	東北 新幹線	北陸 新幹線

- 일본철도분야에 적용되고 있는 자력식 전력변환장치에는 3상 SVG, RPC, SFC가 있으며 이들 각각에 대한 구성과 특징을 표에 보임. 이중 일본의 신간선에서 최근 실용되고 있는 SFC는 종래의 방면별 급전방식과는 달리 양쪽 방면을 동일한 단상으로 공급하기 때문에 전차선로의 섹션개소를 줄일 수 있어 전력품질제어 효과 외에 섹션 유지보수성과 고속주행성에 유리하므로 주목할 만함.
- 동일본여객철도(주)에서는 교류 변전소에 RPC(Railway Static Power Conditioner)를 설치하였음. 이 변전소는 동북신간선을 96.6km 연장개통했을 때 초고압을 수전하려 했으나 변전소예정지와 송전선의 거리가 멀어 초고압 수전이 어려웠음. 그래서, 계통단락용량과 부하용량을 검토한 결과, 특별고압 154[kV]으로 수전하여 변전소에 RPC를 설치함으로 3상 전력계통에 큰 영향을 주지 않고 수전할 수 있게 되었음. RPC는 급전용 변압기 2차측(급전측)에 2조의 Inverter를 설치하여 급전측의 무효전력을 보상하는 것으로서, 유효전력을 용통하여 2조의 급전전력을 평형화하는 장치로 다음 그림과 같은 구조로 되어 있음.



< 변전소결선과 RPC의 기본구성 >

○ 능동형 전력보상장치 선진 기술 보유 각국의 동향

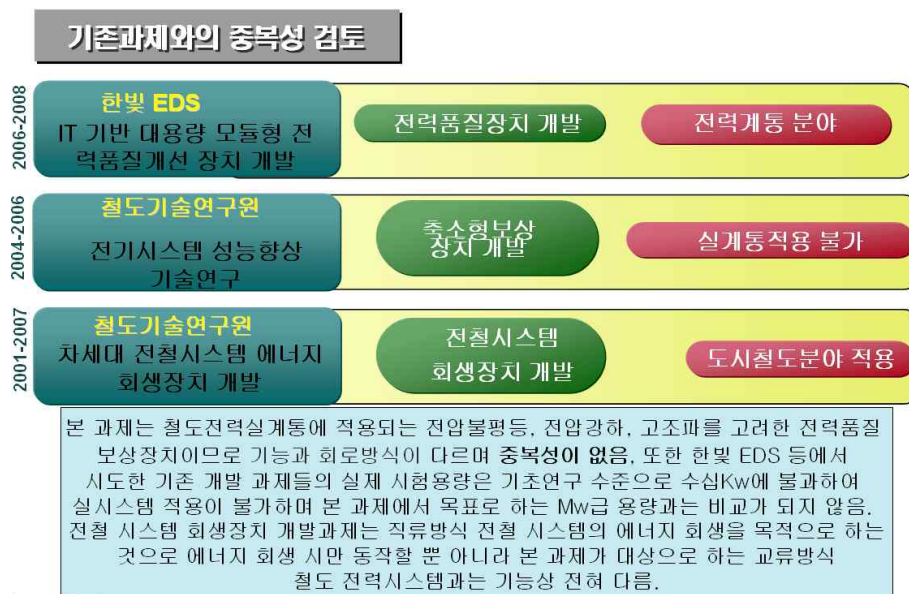
국 가 (기술성숙도)	보유 기술 및 정책 동향 (I)
미국 (80%)	- EPRI+GE : 500kV 송전계통용 TCSC 개발. (1992, BPA 계통) - EPRI+Westinghouse : 161kV 송전계통용 STATCOM 개발. (1996, TVA 계통) - ±320MVA급 UPFC 개발. (1997, AEP 계통) - NYPA : 345kV 송전계통용 UPFC 개발.
유럽 (70%)	- CIGRE : 연구개발 활동. - EdF/ENEL : 전력회사를 중심으로 한 타당성 연구. - ABB/Siemens : 엔지니어링 및 설비 기술개발 연구. * 설비의 compact화 기술 개발을 통해 미국과 경쟁.
일본 (50%)	- 자국내 전력계통에서 필요로 하는 기술 개발에 주력. - 전기철도 전압강하 보상장치 SP-SVC 개발.

○ 국내외 능동형 전력보상장치 기술수준 비교

구 분		선진국과 비교		대상 국가	기술 격차	비 고
		국 내	선진국			
기술 수준	설계	기본설계기술 개발단계	25MVA모듈설계 system integration 확립	미국	5년	EPRI
	소프트 웨어	시스템 엔지니어링 기술정립단계	상업용 소프트웨어 운용/개선	미국	3년	EPRI GE. Siemens
	소재/부품	IGBT : 2kV/수백A GTO : 2kV/1.5kA	IGCT : 4.5kV/1.4kA GTO : 6kV/4.5kA	유럽 일본	10년	ABB 미쓰비시
	하드웨어	주변장치 설계기술 확보 1MVA모듈 개발완료	실용화/경제성 획득단계	미국 유럽 일본	5년	EPRI/GE Siemens 미쓰비시
연구 기반	연구인력 개발능력	연구소 : 응용연구 산업계 : 기술도입	혁신기술 개발 개선능력 보유	미국 유럽	5년	
	연구설비	축소 모의장치 개발단계 컴퓨터 Emulator 개발	시험/평가시스템 보유 실증 시험 설비	미국 유럽	5년	

3. 기존과제와 본과제의 중복성 검토

급전시스템 전력품질향상을 위한 능동형 직병렬 보상기술개발



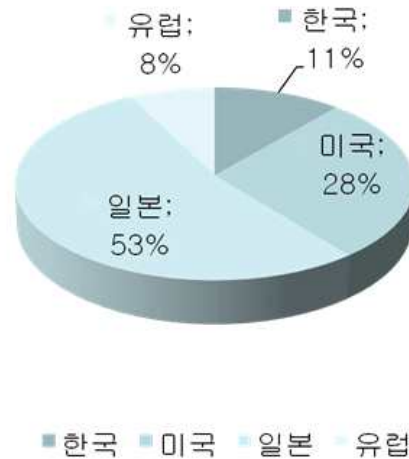
4. 관련 특허 조사

전력품질 보상장치 국내외 특허

전체 : 983건

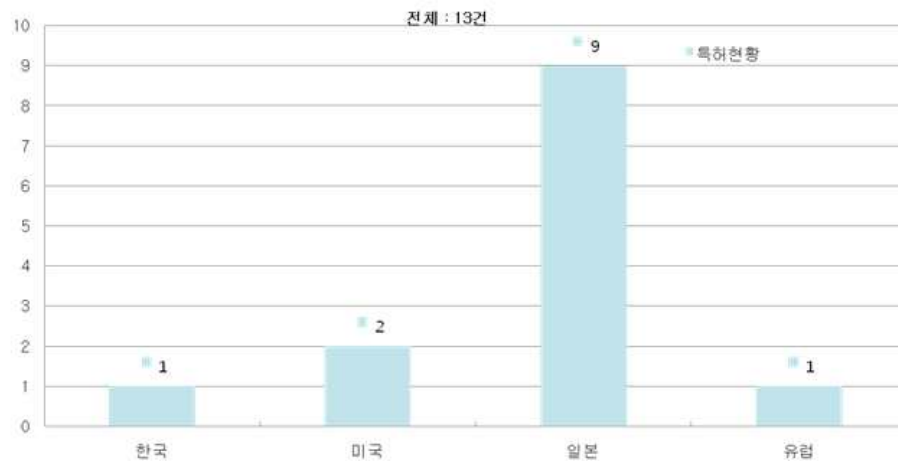


국가별특허분포



- 소자관련 특허로 일반전력계통사용품임

전력품질 보상장치 중 전기철도 적용 국내외 특허



- 국내 특허 1건 : 전기철도 급전시스템의 전력품질 보상장치-한국철도기술 연구원
- 본 연구에서 목표로 하는 특허와 유관사항 없음

5. 정부 지원정책 현황

- 주요 철도선진국은 철도분야의 경쟁력을 높이기 위하여 기술개발 계획을 수립하고 이에 의거하여 체계적인 연구개발을 수행하고 있어, 우리나라도 철도부문의 경쟁력 강화 및 기술수준의 제고를 위해 체계적인 연구개발계획의 수립을 통한 전략적 연구개발의 필요성이 커짐.
- 철도 기술개발 현황
 - 철도산업은 다양한 첨단기술이 복합된 고부가가치 기술 산업으로 최근 세계적으로 철도시장이 지속적으로 확대되는 추세임.
 - 우리나라의 고속철도 기술수준은 선진국 대비 65~73% 불과
 - ※ 고속전철 및 첨단기술 64.3%, SOC 건설기술 72.8%('03.12, 과기부)
 - 철도분야의 국가 R&D 투자부족으로 기술력 증강에 한계
- 정부 지원정책 현황
 - 철도기술 개발 중장기 기본계획 수립·시행
 - ※ 기술수요조사를 거쳐 로드맵(RTRM) 작성 및 재원확보를 통해 철도기술 개발 5개년 계획 수립('06)하여 시행하고 있음.
 - ※ R&D분야 신설, 예산확보, 연도별 시행계획 수립·추진 등을 통해 국가 R&D 사업을 확충하고 있음.(500억원('05) → 2,100억원('10))
 - 뿐만 아니라 기존선 속도향상 기술개발사업, 도시철도 기술개발사업, 철도종합안전기술개발사업 등을 통해 철도기술에 대한 신뢰성 및 안전성 확보하고자 함.
- 정부주도하에 체계적인 연구개발 계획에 의거하여 철도기술에 대한 집중적인 투자를 행할 경우 고속철도의 개발사례처럼 짧은 시간 내에 선진국 기술수준의 추격이 가능할 것으로 보임.
- 철도기술의 경쟁력 확보를 위한 핵심 원천기술의 개발, 철도기술과 신기술의 융합을 통한 첨단기술 확보에 노력할 필요가 있음.

- 또한 미래사회의 중요 가치는 친환경성, 에너지 효율성, 안전성 등 삶의 질을 중시하는 방향으로 나아가고 있어, 철도기술 분야의 연구개발과 관련하여 삶의 질과 연관된 주요 기술개발이 중요한 연구과제로 도출하고 있음.

제4절 사업내용 도출

1. 연구 목표

- 기술개발 목표
 - 전기부하 변화 속도에 적합한 능동형 직병렬 보상설비 개발(1.5 MW (750 kW×2))

2. 연구 내용

- 주요연구내용
 - 기술조사, 요구사항 분석, 현장 시험 결과 분석 및 기본설계 기술 개발
 - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작
 - 전기철도 급전시스템 실시간 시뮬레이터 구축, 실시간 모니터링 및 온라인 모니터링 기술개발
 - 성능 입증을 위한 현장 시험

세부목표 분류	내용 설명	요소기술
기술조사 및 요구사항 분석	자료 분석 및 과제 요구사항 도출	- 해외 규정 및 기술자료 수집 - 철도 환경에서의 전력공급 규정 검토 - 적용 가능한 보상설비 선정 방안 마련 - 보상설비의 효과 분석 - 전차선로의 조류해석 및 전력특성 예측 기법 확보
전기철도 급전시스템 능동형 전력 품질 보상장치 시제품 제작	전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치의 하드웨어, 구동회로 설계기술 도출 및 알고리즘 개발	- 보상기기 하드웨어 설계 및 제작 - 구동회로 설계 제작 - 보상설비 제어 알고리즘 개발 - 보상설비 적용방안 구축 - 모니터링 시스템 제작 - 시제품 제작
실시간 시뮬레이터 구축 및 시뮬레이션	보상설비 제어 알고리즘 개발 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 검증	- 실시간 시뮬레이터 구축 - 시뮬레이션 대상구간 선정 및 데이터 수집 - 시뮬레이션 프로그램 개발 - 실시간 모니터링 기술 및 온라인 모니터 링 기술 개발
시험 시설 구축 및 현장 시험	시제품 제작 및 실시간 시뮬레이터를 통한 검증	- 실시간 시뮬레이터를 이용한 전력품질보 상설비 제어 알고리즘 검증 - 최적 대안 제시 - 신뢰성향상을 위한 현장검증 및 보완

가. 기술조사, 요구사항 분석

○ 연구 필요성

- 기존 전기철도 급전시스템은 전력 계통과 매우 유사한 요소를 갖추고 있
고 따라서 전력 계통에서 발생할 수 있는 전력품질의 문제점이 전기 철도
에서도 나타날 수 있고 또한 전력변환장치를 사용하는 전기 철도 시스템
의 특성으로 인해 많은 문제점 발생.
- 한국 전력으로부터 3상 전력을 공급받아 스코트 변압기를 통해 단상전력
으로 변환한 전기에너지를 공급받기 때문에 3상 전압 불평형의 문제가 발
생할 수 있음.

- 교류전철화에서는 일반적으로 급전거리가 길고 특히 연장급전하여 운용할 때는 부하의 증대에 따라 전압강하가 크게 되어 변전소의 공급전압을 상승시켜야 하는 경우가 있다. 특히 전원계통이 작고 변전소의 임피던스가 작을 때는 이와 같은 문제가 발생.
- 전기 철도는 견인 전동기 구동으로 부하의 변동이 심하고 고조파가 발생하여 통신유도장해, 신호회로에 미치는 악영향, 보호계전기의 오동작, 병렬 커패시터로의 과전류, 고조파 공진현상 초래, 형광등 안정기의 소손, 과전류 계전기 코일의 소손, 배전용 차단기의 오동작 등 많은 악영향을 끼침.
- 이러한 문제점을 발생시킬 우려가 있는 부하의 경우 전력품질 보상설비의 시설을 요구하고 있으며, 전자파 및 전력품질의 규제강화 움직임이 있어 전기철도에서는 불평형 및 역율, 전압강하 및 고조파를 효율적으로 제어해야하며, 전력품질 향상 대책이 향후 강하게 요구됨
- 현재 사용되고 있는 전력품질 안정화 설비(능동형 전력필터)는 전량 외국의 기술로 설비되고 있어 외화의 지출이 크며, 복합적인 기능수행이 아닌 단일항목의 기능제공으로 국내 전기철도 증가추세 및 전력품질 향상추세를 고려할 때 전기철도의 특성을 고려한 복합적인 성능을 보유한 전력품질 안정화 설비 기술 개발이 요구됨
- 기존 국내의 전력품질 안정화 설비는 국내에서 연구되고 있으나 전기철도 급전시스템에 적용은 전기철도 부하의 특성이 반영되지 않아 본연구과제와의 연계가 필요함.
- 따라서 기술 개발 및 국내 전기철도 급전시스템에 적용하기 위한 전력품질 안정화 설비 기술의 면밀한 검토와 핵심기술의 분석을 통하여 최적의 시스템을 찾는 연구가 선행되어야 할 것임.

○ 연구 내용

- 해외 규정 및 기술자료 수집
- 철도 환경에서의 전력공급 규정 검토
- 적용 가능한 보상설비 선정 방안 마련
- 보상설비의 효과 분석
- 전차선로의 조류해석 및 전력특성 예측기법 확보

나. 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작

(1) 보상기기 하드웨어 설계 및 구동회로 설계

- 인버터는 입력전압의 변동, 출력전압 전류의 제어 및 출력단의 고조파를 제한 할 수 있도록 설계되어야 함.
- 인버터는 교류 모션 전력에 인버터 전력을 연계시키기 위하여 교류 모션 전력의 위상을 검출하여 항상 인버터의 출력이 추종하도록 설계되어야 함.
- 인버터는 변압기와 결합하여 사용되므로 변압기와 결합하여 사용할 때 규정한 정격 용량을 가져야 하고 인버터에서 발생하는 고조파로 인한 변압기 권선의 전력 손실 및 그로 인한 온도 상승에 대하여 특별한 고려를 하여야 함.
- 인버터 설계 시에는 변압기와 결합시의 전압변동, 최대 단락전류, 직류측 교류측고조파, 전압과 전류의 왜형률 등을 조정하기 위하여 변압기 제작자와 긴밀히 협조하여 제작하여야 함.
- 정격 연속 전부하 운전에 따른 온도상승 후, 150%의 정격 과부하를 1분 동안 공급할 수 있어야 함.(인버터 사양에 따름)
- 전력 변환 소자
 - 전력변환 소자는 소정의 부하전류, 단락 전류 및 외부로부터의 이상 전압 등에 의하여 충분한 내력을 가져야 함.
 - 전력 변환 소자는 반영구적으로 특성의 변화 없이 동작하도록 설계되어야 함.
- 전력 변환 소자의 연결
 - 전력 변환 소자는 전력변환 특성을 고려하여 단상 풀 브리지로 배열하여야 함.
 - 전력 변환 소자는 회로 단락 사고 시에 보호 장치가 동작하는 시간 동안의 최대 단락 전류에 최대한 견디어야 함.
 - 전력 변환 소자는 방열판에 전기적 기하학적으로 방열 특성을 고려하여 취부하여야 함.

○ 냉각 장치

- 최상의 냉각 효과를 얻을 수 있는 장치 및 방식을 적용해야 하며, 이로 인한 소음의 제한치를 벗어나서는 안 됨.

○ 전력 변환 소자의 보호

- 인버터의 전력 변환 소자는 직렬로 연결된 고차단 용량 FUSE에 의해서 보호되어야 한다. 또한 이들 FUSE는 전력용 반도체용으로 특별히 제작된 것을 사용해야 함.
- 사용중인 전력 변환소자가 고장이 생겨 통전회로가 단락이 되는 경우에 고장전류가 상승하기 전에 해당 FUSE가 용단되어야 함.
- 인버터함에 온도감지 센서에 의해 동작하는 보호장치를 설치하여야 하며 허용 온도 초과 시 원방제어(원제)용 경보, 인버터 보호를 위하여 트립 및 전기적으로 분리되어야 함.
- 인버터 고장은 전면판에 표시 및 확인이 가능해야 함.

○ 보호장치 : 인버터의 모든 보호장치는 오동작을 방지하기 위해 서로 보호 협조가 되도록 하여야 하며 인버터로 하여금 변전소 전체 기기의 동작에 지장을 초래해서는 안 됨.

- 켜지 흡수 장치 : 입력전압의 급변동 및 서지 등에 의한 과도 상태시에도 출력 제어의 안전성을 확보하기 위하여 켜지 보호회로를 가져야 하며 인버터 외함 내부에 설치해야 함.
- 전원측의 정전 대책 : 인버터가 동작 중에 출력측(교류측)에서 정전이 되었을 경우에도 전혀 이상이 발생하지 않도록 이에 대한 충분한 대책이 있어야 함.
- FUSE : 인버터는 전력 변환소자와 직렬로 연결된 반도체용으로 특수 설계된 고차단 용량의 한류 FUSE에 의해 보호되어야 한다. 또한 FUSE는 외부의 고장이나 부하 조건에서는 용단되지 말아야 하고

FUSE 용단시는 마이크로 스위치가 작동하여 표시 및 고장 확인이 용이하도록 하여야 하며 원제 계통에 정보를 보내야함.

- 온도감지 : 인버터는 전력변환 소자의 방열기에 온도 감지 센서에 의해 동작하는 보호장치를 설치하여 원제용 정보나 인버터를 트립 및 전기적으로 격리시키기 위하여 온도센서를 설치해야 함.
- 1차측과 2차측의 전압 및 전류를 확인할 수 있도록 해야 함.
- 인버터 접지 및 접지보호계통의 기술 검토서 및 도면을 반드시 제출하여야 함.
(바닥 절연 및 외함 Anchoring 포함)

○ 입력 및 출력 필터 장치

- 인버터의 정상 동작 및 출력 제어의 안정성을 확보하기 위한 입력측에 필터기능을 갖는 장치를 설치하여야 함.
- 인버터의 정상동작 및 출력제어의 안정성 및 최종 출력단에서 고조파의 규정치(전압 왜형율 3%)내에 만족할 수 있도록 출력측에 필터 기능을 갖는 장치를 설치하여야 함.

○ 제어 및 감시장치

- 인버터 외함에는 각종 보호장치 감시를 위한 판넬을 설치해야 하며, 원방 제어에 필요한 감시 및 경보를 위한 보조 릴레이와 접점 등을 설치해야 함.
- 입력 및 출력의 전압, 전류 및 전력량 등을 확인할 수 있도록 해야 함.
- 원제설비와 통신 기능이 구비되어 관련 데이터를 전송 가능해야 함.

○ 외함

- 인버터는 자립형 외함에 전력변환 소자, 보호장치, 입력 및 출력 필터 장치, 제어 및 감시장치, 경보장치 등을 내장하는 구조로 구성하여 운전과 보수에 편리하도록 제작되어야 함.

- 외함은 금속제 철판 및 보강 프레임을 사용 제작해야 하며 외함의 전면에는 문을 설치하고 문을 열었을 때 그 위치를 고정할 수 있도록 해야함.
- 각 문에는 인버터 내부를 볼 수 있는 투명창을 설치하여야 함.
- 인버터의 외함은 인버터를 통풍 냉각시킬 수 있는 구조이어야 함.
- 운반 설치시 발생하는 기계적 충격에 충분히 견디는 구조로 제작되어야 함.
- 케이블 결선시 작업을 용이하게 하기 위하여 케이블 지지대를 설치해야 함.
- 저온에서 습기가 응축되는 것을 방지하기 위한 결로 방지 스페이스 히터를 써머스타드와 함께 설치하여야 함. 동작 전원은AC 단상 220V로 설계되어야 함. 이 결로 방지 스페이스 히터는 연속적으로 동작했을 때에도 외함 내에 과열이 발생하지 않는 용량으로 결정되어야 함.

(2) 모니터링 시스템 제작

○ 연구 필요성

- 전기철도의 전력품질 향상을 위한 능동형 전력보상 시스템의 개발과 설치가 이루어지고 있음.
- 능동형 전력 보상기는 전력계통의 순간전압 강하 보상 및 전력 불평형 보상 기능을 가지고 있음.
- 능동형 전력보상시스템은 시스템 고장 시 또 하나의 부하로 작용할 수 있는 시스템 임.
- 능동형 전력보상 시스템의 신뢰성과 가용성 향상을 위한 기능 감시 시스템이 필요함.
- 능동형 보상시스템의 모니터링 기법은 인버터 시스템의 기능감시기법을 활용함으로 인버터를 사용하는 다양한 시스템의 모니터링에 적용 가능함.
- 인버터 감시 시스템을 위한 다양한 기법들의 연구를 통한 최적의 감시 기법 창출 및 시뮬레이션과 Prototype 시스템에 적용을 통한 시스템의 검증 필요.

- 본 과제에서는 가장 효과적인 모니터링 시스템의 모델 제시 및 능동형 전력보상 시스템을 비롯한 각종 인버터 시스템에 적용할 수 있는 모니터링 시스템 개발을 통하여 전기철도 전력품질의 안정화에 기여하고, 인버터를 활용한 시스템의 감시체계를 구축하고자 함.

○ 연구 내용

- 능동형 전력보상 시스템 해석
- 모니터링 시스템 최적 구성방안 및 제어알고리즘 도출
- 시뮬레이션을 통한 시스템의 검증
- Prototype시스템에 적용한 시스템의 검증
- 실 모델 적용을 위한 시스템 구축
- 현장설치를 통한 모니터링 시스템의 성능평가

(3) 보상설비 제어 알고리즘 개발

- 제어회로 및 인터페이스 부분은 실제 시스템과 동일한 회로를 사용하여 실제 시스템에 적용 시 문제가 없도록 함. 제어부는 전체 시스템을 제어하는 부분으로서 출력 전압 제어와 교류모션과의 위상 제어 등을 위해 각종 입력 데이터 및 출력 데이터를 바탕으로 연산을 수행하고 연산 결과에 따라 인버터에 제어 신호를 출력해야 함. 또한 제어에 필요한 내부적인 시간을 계산하거나 시스템의 제어상태를 외부로 입력하기도 함. 이와 같은 내부적인 연산처리는 대부분 소수점 연산을 필요하고 고속의 처리를 요구하므로 앞서 설명한 프로세서의 기능들이 다 들어 있는 것 이어야함.

- 급전 계통의 유무효 전력 제어
- 급전 계통의 전압 전류의 고조파 제거
- 인버터의 출력 전압 전류 제어

- 또한 제어 알고리즘은 보편적인 적용이 가능하도록 호환성을 유지한다

<표 보상기 동작시 계측항목>

항목	내용	수량	비 고
전압 측정	계통연계전압	2	단상 출력시 위상 측정 필요
	DC link 전압	1	인버터 제어용
전류 측정	계통연계전류 (인버터 출력 전류)	2	출력전력량 제어 및 출력 에러 보상에 필요
	계통 전류	1	고조파 유입전류 검출 및 보상전류 확인 필요
온도 측정	히트싱크, 트랜스 포머 판넬 내부온도	5	컨버터 동작시 소자 과열과 긴급상황을 사전 예측 보호하기 위한 측정

< 인버터 내부 회로의 구성>

구 분	내 용	비 고
IGBT	인버터 메인 스위치부	
CAPACITOR BANK	에너지 저장부	
SNUBBER	IGBT 과전압 보호부	과전압 억제 회로
IGBT DRIVE	IGBT 스위치 도통신호부	제어부에서 온 신호를 IGBT에 인가할 수 있는 신호로 변경
제어부	인버터 제어	전체 시스템 제어
SENSOR 부	각 신호 검출부	전압, 전류
I/O 부	내 외부 입 출력 신호 부	
통신 부	외부 통신용	RS232, CAN, TCP/IP

다. 급전시스템 실시간 시뮬레이터개발 및 실시간 모니터링 기술 개발

- 국내 교류철도에서는 전철화 노선 건설시 설계업체에서 수행하는 급전계통과 고조파 해석 시뮬레이션을 수행하여 설비의 용량설계를 비롯한 계통설계를 하여왔음. 최근에 이르기까지 비실시간 시뮬레이션 프로그램들을 이용한 계통 과도현상 해석이 보편화되었으나 EMTP, EMTDC, PSS/E등을 포함하는 여러 가지 비실시간 시뮬레이션 프로그램들은 1초 동안의 현상을 모의하는데 수분 내지 수 시간을 요구하게 되어 광범위하고 철저한 계통해석이 실질적으로 불가능하며 특히 여러 실제 제어기의 시험 및 보호 장치의 계통연계 실증시험은 불가능함.

- 그러므로 급전계통에서 발생하는 현상을 실시간으로 모의할 수 있는 시뮬레이터의 필요성이 대두되었고 그중 대표적인 RTDS(Real Time Digital Simulator)가 현재 전력회사에서 많이 이용되고 있음. RTDS(Real Time Digital Simulator)는 DSP를 내장한 Rack으로 구성된 하드웨어와 시뮬레이션 소프트웨어(PSCAD) 및 입출력 시스템(I/O System)등 세 부분으로 구성되어 있음.
- 급전계통을 운용 제어하는데 어려움으로 인한 파급사고가 우려되는 바, 실계통에 보다 근접한 포괄적이며 연속적인 정밀한 계통해석과 전력품질 보상 장치의 개발 검증 및 급전계통적용시험 대체 등을 수행할 수 있는 실시간 급전시스템 해석용 디지털 시뮬레이터를 개발·설치하고자 함.
- 본 과제에서는 실증적, 포괄적 급전시스템 해석기술이 확립됨과 동시에 향후 고부가가치의 체계적인 급전계통해석 기술이 개발될 수 있는 기반 조성이 마련되어짐. 또한 실계통과 근접한 계통해석/제어, 전력품질보상장치 검증 및 계통교육 등을 위한 급전계통 운영계획구축 전문 Tool로서 신뢰성 있는 급전시스템 계획, 운용, 제어의 기본 수단이 될 전망이다.

- 연구내용 및 범위

- 실시간 시뮬레이터 장치 사양 정립
- 급전계통 및 전기차운행 자료의 D/B화
- 실시간 시뮬레이터 장치 구축
- 급전계통 시뮬레이션 기본 모델 개발
- 모의대상노선의 급전계통 실시간 시뮬레이터 적용
- 급전계통 실측과의 비교를 통한 수정보완 및 신뢰성 검증

- 기술개발효과 및 활용방안

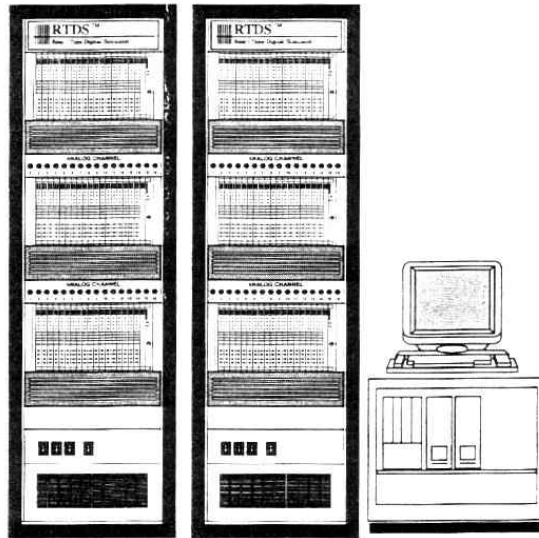
- 급전계통해석의 신기술 적용으로 한층 향상된 기술발전 도모
- 국내 교류급전계통의 기초자료 D/B화를 통한 일원화 추진
- 급전계통 전력공급의 안정화를 통한 전기차 운행의 신뢰성향상
- 전기차 운행계획변경 및 사고시 등, 국내 전체교류급전계통의 효과적인 운영계획 수립

- 능동형 장치 등과 같은 급전계통의 신기술 장치 적용 타당성 검토
- 실제 계통과 가장 근접한 보호계전기 인증시험으로 대체
- 급전계통 운영자를 위한 계통운영관련 기초지식 부여 및 전문 교육용 장치로 활용
- 국외철도의 실시간시뮬레이터 구축사업 수행

○ RTDS 하드웨어 구성

- Real-Time Digital Simulator(이하 RTDS)는 해석 계통의 계산 결과가 시간에 따라 연속적으로 출력되는 아날로그 시뮬레이터와는 달리 미리 정해진 이산적인 time step에 따라 계통의 상태를 계산하고 결과를 출력하는 디지털 실시간 시뮬레이터임. 실시간(Real Time)이라 함은 실제 시스템의 출력이 1초 동안에 얻어지는 것이라면 시뮬레이션의 계산 결과가 반드시 1초안에 출력되어야 함을 의미함. 비실시간 시뮬레이션의 경우에는 실제 시스템에서 1초안에 일어나는 현상이라도 이를 시뮬레이션하기 위해서는 몇 십 초, 몇 분의 계산 시간을 필요로 함. RTDS에서의 time step은 모의 대상 계통 구성에 따라 달라질 수 있으나, 50μsec를 기본으로 하며, 이 경우 매 50μsec마다 계통의 상태를 계산함. 실시간 고속 연산을 위하여 RTDS는 다수의 고속 DSP(Digital Signal Processor)를 사용한 병렬처리 기술을 이용함.
- 실시간 시뮬레이션이 가능하기 때문에 실제 계통에 사용되는 실제 장치들(보호장치, 제어기 등등)을 연결하여 장치들의 기능을 테스트할 수 있으며, 이를 위하여 RTDS는 아날로그 입출력 단자, 디지털 입출력 단자를 제공하고 있음. 또한 대규모의 계통을 해석하기 위해서 RTDS의 구조는 확장 가능하도록 설계되었음.
- RTDS 하드웨어의 기본 단위는 rack임. rack내부에는 계통의 모델들을 실제 시뮬레이션하기 위한 3PC(Triple Processor Card), TPC(Tandem Processor Card) 카드들과 대규모 계통 해석을 위하여 rack 간의 통신을 담당하는 IRC(Inter-Rack Communication Card) 카드, Workstation과의 통신과 rack에 설치된 각 카드들의 데이터 교환을 담당하는 WIF(Workstation Interface Card)카드가 설치되어 있음.

- KEPS 시스템 구성을 위해서는 총 26개의 rack이 사용되며, Simulation Case에 따라 각 rack을 분리 및 통합 구성이 가능함.

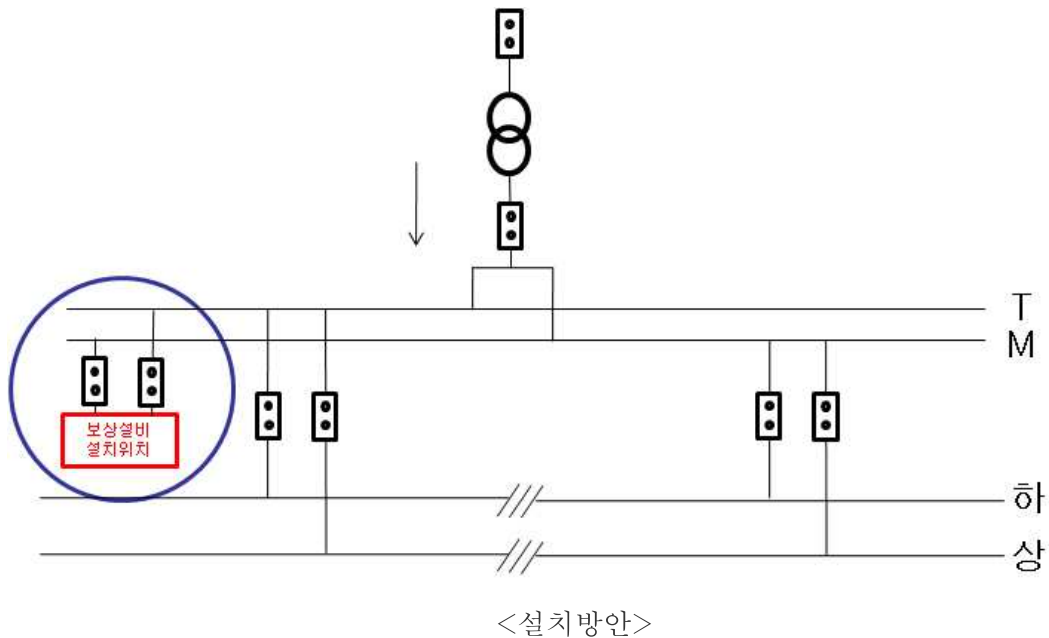


< RTDS 구성 >

- 전기사설 실시간 모니터링 기술 개발
 - 연구 목표
 - 상태모니터링 시스템 요소기술 개발
 - 상태모니터링 자동화 기술 개발
 - 시스템 시험/평가 및 시뮬레이션 연계 방안
 - 연구 내용 및 연구 범위
 - 상태 모니터링 요소기술 개발
 - 실시간 상태모니터링을 이용한 시스템 성능 향상 기술
 - 네트워크 기반 및 시스템 연계 기술
 - 단위 전기 설비 실시간 상태모니터링 시스템 성능 향상 및 감시 시스템 개발
 - 무선기반 실시간 모니터링 시스템 현장 시험 및 성능 평가
 - 기술 개발 효과 및 활용 방안
 - 실시간 감시시스템을 이용 및 원천기술을 이용한 제품 기술 이전
 - 자동화된 진단기술과 시스템 연계 기술 확보
 - 고장발생시 사회적 문제, 경제적 손실 및 전력설비 사고 방지

라. 시험시설 구축 및 현장시험

- 운영시스템에 설치시 안전성 확보를 최우선으로 고려하여 설치 수행을 목적으로 하며 설치방안은 아래 그림과 같다.



- 선행 연구자료에 의하면 고속선 또는 차량기지 변전소 모두 효과적일 것으로 판단된다. 특히 차량기지의 경우 불평형 부분을 검증하기에 매우 효과적일 것이다. 다만 현재의 차량기지 특성상 향후 증설계획이 있어 설치이후 성능 평가 곤란한 관계로(현재 한상으로 운전중) 고속선 변전소를 대상으로 설치한다. 개발제품은 고속선과 차량기지에 공히 활용이 가능하므로 향후 적용운영 한다.

제5절 소요인력 및 예산 분석

1. 소요예산 인력 추정

가. 연구내용별 투입 연구 인력

(단위: Man-Year)

과제 연구내용	합 계
○ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작	30
- 보상기기 하드웨어 설계, 제작 및 기초성능해석	18
- 구동회로 설계, 제작	4
- 모니터링 시스템 제작	2
- 제어 알고리즘 개발	6
○ 시스템 시험	10
- 시스템 현장 운영 시험/ 시스템 구축	8
- 시스템 현장 운영 시험	2
○ 시뮬레이터 개발	8
- 실시간 시뮬레이터 구축 및 실시간 모니터링 기술 개발	4
- 실시간 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 및 온라인 모니터링 기술개발	4
○ 기술조사, 요구사항 분석, 현장시험 결과 분석	6
○ 총괄	4
합계	58

나. 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Year)

과제 연구내용	1차 (‘09)	2차 (‘10)	3차 (‘11)	4차 (‘12)	합계
○ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상 장치 시제품 제작	10	12	5	3	30
- 보상기기 하드웨어 설계, 제작 및 기초성능해석	7	9	2		18
- 구동회로 설계, 제작	1	2	1		4
- 모니터링 시스템 제작			1	1	2
- 제어 알고리즘 개발	2	1	1	2	6
○ 시스템 시험	1	1	4	4	10
- 시스템 현장 운영 시험/ 시스템 구축	1	1	3	3	8
- 시스템 현장 운영 시험			1	1	2
○ 시뮬레이터 개발	2	4	2		8
- 실시간 시뮬레이터 구축 및 실시간 모니터링 기술 개발	2	2			4
- 실시간 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 및 온라인 모니터링 기술개발		2	2		4
○ 기술조사, 요구사항 분석, 현장시험 결과 분석	1	1	2	2	6
○ 총괄	1	1	1	1	4
합 계					58

2. 소요예산 예산 산출

가. 총 연구 예산

□ 과제별 및 연차별 총 소요 예산

		연도별 추정 예산 (단위 : 억원)				
세부목표 분류		'09	'10	'11	'12	계
전력품질 보상장치 시제품 제작	보상기기 하드웨어 설계, 제작 및 기초성능해석	6	7	4	2	19
	구동회로 설계, 제작 및 모니터링 시스템 제작	3	3	3	1	10
	제어 알고리즘 개발	2	2	2	1	7
	시스템 시험 및 평가	-	2	2	-	4
실시간 시뮬레이터 구축 및 시뮬레이션	시뮬레이터 구축 및 실시간 모니터링 기술	3	3	-	-	6
	시뮬레이션 및 온라인 모니터링 기술개발	-	-	2	2	4
기술조사, 요구사항 분석, 현장시험 및 결과분석		2	2	3	3	10
총괄		1	2	1	1	5
계		17	21	17	10	65

주요 소요예산 내용	소요예산 판단(백만원)	
	산출내역	금 액
시제품 재료비	1식	11.7
연구용 재료비/전자 소모품	1년 × 4년	4
연구 직접 활동비	58인 × 20/인	11.6
인건비	58인 × 50/인	29
간접 경비	인건비 × 30%	8.7
합 계		65

□ 과제별 및 연차별 정부 및 민간 분담금

- 정부출연금 : 52억원

- 민간분담금 : 13억원

(단위: 억원, %)

연구개발비 내역						
연 도		정부 출연금	기업부담금	정부외 출연금	상대국 부담금	합계
1차년도	금액	14	3	-	-	18
2차년도	금액	16	5	-	-	23
3차년도	금액	14	3	-	-	20
4차년도	금액	8	2	-	-	14
총계		52	13	-	-	65

나. 과제별 상세 소요예산

□ 연구내용별 소요예산

(단위: 억원)

과제 연구내용	합 계
○ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작	35
- 보상기기 하드웨어 설계, 제작	20
- 구동회로 설계, 제작	6
- 모니터링 시스템 제작	2
- 제어 알고리즘 개발	7
○ 시스템 시험	15
- 시스템 현장 운영 시험/ 시스템 구축	13
- 시스템 현장 운영 시험	2
○ 시뮬레이터개발	8
- 실시간 시뮬레이터 구축	5
- 실시간 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 및 온라인 모니터링 기술개발	3
○ 기술조사, 요구사항 분석, 현장시험 결과 분석	5
○ 총괄	2
합 계	65

□ 연차별 소요예산

(단위: 억원)

과제 연구내용	1차 ('09)	2차 ('10)	3차 ('11)	4차 ('12)	합 계
○ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작	10.5	11.5	8	5	35
- 보상기기 하드웨어 설계, 제작 및 기초성능해석	7	8	3	2	20
- 구동회로 설계, 제작	1.5	1.5	2	1	6
- 모니터링 시스템 제작	0.5	0.5	0.5	0.5	2
- 제어 알고리즘 개발	1.5	1.5	2.5	1.5	7
○ 시스템 시험	2	6	5	2	15
- 현장 시험 시스템 구축	2	6	4	1	13
- 시스템 현장 운영 시험			1	1	2
○ 시뮬레이터개발	3	2	2	1	8
- 실시간 시뮬레이터 구축 및 실시간 모니터링 기술 개발	3	2			5
- 실시간 시뮬레이터를 이용 한 시뮬레이션 및 온라인 모니터링 기술개발			2	1	3
○ 기술조사, 요구사항 분석, 현장시험 결과 분석	1	1	1.5	1.5	5
○ 총괄	0.5	0.5	0.5	0.5	2
합 계					65

제6절 사업성과물의 활용방안 및 기대성과

1. 사업성과물

세부목표 분류	요소기술	예상되는 결과물
기술조사 및 요구사항 분석	- 해외 규정 및 기술자료 수집 - 전기철도 환경에서의 전력공급 규정 검토 - 적용 가능한 보상설비 선정 방안 마련 - 보상설비의 효과 분석 - 전차선로의 조류해석 및 전력특성 예측기법 확보	전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 해외 조사 및 기술자료
전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작	- 보상기기 하드웨어 설계 및 제작 - 구동회로 설계 제작 - 보상설비 제어 알고리즘 개발 - 보상설비 적용방안 구축 - 모니터링 시스템 제작 - 시제품 제작	전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 및 보상설비 제어 알고리즘
실시간 시뮬레이터 구축 및 시뮬레이션	- 실시간 시뮬레이터 구축 - 시뮬레이션 대상구간 선정 및 데이터 수집 - 시뮬레이션 프로그램 개발 - 실시간 모니터링 기술 및 온라인 모니터링 기술 개발	보상설비 제어 기법 및 시뮬레이션
시험 시설 구축 및 현장 시험	- 실시간 시뮬레이터 구축 - 실시간 시뮬레이터를 이용한 전력품질보상 설비 제어 알고리즘 검증 - 최적 대안 제시 - 신뢰성향상을 위한 현장검증 및 보완	실시간 시뮬레이터 구축 및 현장시험 결과

2. 활용방안

○ 정책적 활용방안

- 전기철도 급전시스템의 기술혁신사업

- * 세부기술 분야 수준으로 작성된 로드맵을 활용하여 차후에 시행되는 전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 직병렬 능동형 보상기기 기술 연구개발 사업을 효율적이고 체계적으로 관리하는 것이 가능함.

- 정부정책 수립의 기초자료

- * 건설교통부의 기타 유사사업에 대한 국내 급전시스템 전력품질 향상을 위한 보상 기술 발전전략 수립의 기초자료 활용 및 관련 정부의 정책 수립의 기초자료로 활용 가능함.

- 세계 전력품질 보상 시스템 기술수준으로의 도약, 연구개발 방향 등의 주도

- * 뒤쳐진 국내 전력품질 보상 기술을 세계적인 수준으로 향상시키고 확고한 기술력을 충원하여 개발되는 시스템의 국내 적용 및 수출 할 수 있도록 기술 축적하고자 함.

○ 기술적 활용방안

- 전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 보상기술의 개발로 인한 국가 기술 경쟁력 확보

- * 기존 전기철도 급전시스템의 문제점을 해결할 수 있는 능동형 보상시스템을 개발함으로써 국가 기술 경쟁력을 확보하는 동시에 국외로 기술 수출의 방안이 기대됨.

- 전력품질 향상을 위한 보상기기 전문 생산업체를 중심으로 한 컨소시엄 협력 사업을 도출

- * 전력품질 향상을 위한 보상기기 생산업체를 선정하여 이를 중심으로 산학연 합동 연구시스템을 구축하고자 함.

- 전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 핵심 보상기술 확립과 부가 시스템의 생산업체에 기술 이전 및 전문 인력 양성이 기대됨.

* 확고한 전력품질 향상을 위한 핵심 보상기술 개발을 확립하여 국내외의 특허시장에 돌입할 예정이며, 관련 생산업체에 기술 이전 및 전문 인력을 양성하여 국가 제조 및 R&D 시장의 확대를 도모함.

3. 기대성과

○ 전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 능동형 보상기술개발은 한국 전기철도 급전시스템의 혁신적 발전을 기대할 수 있으며, 기술적, 경제적으로 큰 가치를 불러일으키는 산업원동력으로 자리 잡을 수 있음.

○ 기술적 측면

- 전력설비에서의 사고로 인한 영향을 극소화시킴으로써 안정적인 전력시스템 운용 실현
- 송전선로의 전력흐름을 자유롭게 제어함으로써 전력수송설비의 총체적인 설비이용률 향상 및 발전 예비율 저하 가능
- 송전용량을 제한하거나 기기고장을 일으킬 수 있는 전력시스템의 불안정 현상 억제
- 높은 신뢰도로 송전선로의 열용량 한계 근처까지 전송용량 증대 가능
- 전압변동억제 및 사고 긴급대처 등을 통한 전력품질 및 신뢰도 향상
- 기술개발과정에서 전기, 제어 분야의 고급 기술이 요구되므로 본 연구 분야의 인력양성 및 배출의 효과를 얻을 수 있음.
- 따라서, 국가 자체 기술력 확보와 국내 관련 산업체의 기술적 파급효과가 기대됨.

○ 경제적 측면

- 급전시스템 전력품질 향상을 위한 능동형 전력보상장치를 국산화 하게 되면 기술자립을 통하여 외국의 기술로 설치되어 온 전력품질 보상기기를 대체할 수 있고 설치된 시설의 유지 보수 또한 가능하여 외화의 지출을 줄일 수 있음.
 - 설치비용 : 27억원 * 7개소 = 189억원
 - 유지보수비 : 20백만원 * 100건 = 20억원/년
 - 전세계적 전기철도 시스템 구축 활성화로 사업영역 지속적 확대
(철도시장 규모 : 340억유로-2000년, 420억 유로 2006년)
- 계속적으로 발전되어가는 전기철도 시스템에 맞추어 전력품질 향상을 위한 보상 설비를 유기적으로 바꾸어 가야하므로 기술자립은 절대적임.
- 전기철도 관련 시장 확대의 추이를 살펴볼 때 경제적 잠재력이 상당할 것으로 보이며 국외의 더 큰 시장을 위한 초석이 됨.
 - 전력품질 저하로 인한 손실 방지 가능
국내 전력설비 기준 2700억원/년 이상 추정(05년기준)
해외(미국-1993년) 23.4조원/년(260억달러/년) 추정
- 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 기술은 전력시스템기술, 전력용 반도체 응용기술, 정보통신기술, 제어기술 등의 복합 시스템 기술로써 향후 전력시스템 구성 및 운용기술을 획기적으로 변화시킬 뿐만 아니라 관련 중전기 산업에 미칠 파급효과가 큼.
- 전력시스템 운용을 안정화시키게 되고, 결과적으로 전력수송설비의 송전용량을 크게 증가시킴으로써 송전선로를 추가로 건설하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있음.

【별첨 RFP】

과 제 명	전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 개발
1. 연구 개발 필요성	□ 기존 전기철도 급전시스템은 전력 계통과 매우 유사한 요소를 갖추고 있고 따라서 전력 계통에서 발생할 수 있는 전력품질의 문제점이 전기 철도에서도 나타날 수 있고 또한 전력변환장치를 사용하는 전기 철도 시스템의 특성으로 인해 많은 문제점 발생. □ 한국 전력으로부터 3상 전력을 공급받아 스코트 변압기를 통해 단상전력으로 변환한 전기에너지를 공급받기 때문에 3상 전압 불평형의 문제가 발생할 수 있음. □ 교류전철화에서는 일반적으로 급전거리가 길고 특히 연장급전하여 운용할 때는 부하의 증대에 따라 전압강하가 크게 되어 변전소의 공급전압을 상승시켜야 하는 경우가 있다. 특히 전원계통이 작고 변전소의 임피던스가 작을 때는 이와 같은 문제가 발생. □ 전기철도는 전인 전동기 구동으로 부하의 변동이 심하고 고조파가 발생하여 통신유도장해, 신호회로에 미치는 악영향, 보호계전기의 오동작, 병렬 커패시터로의 과전류, 고조파 공진현상 초래, 형광등 안정기의 소손, 과전류 계전기 코일의 소손, 배전용 차단기의 오동작 등 많은 악영향을 끼침. □ 현재 사용되고 있는 전력품질 안정화 설비(능동형 전력필터)는 전량 외국의 기술로 설비되고 있어 외화의 지출이 크며, 국내 전기철도 증가추세를 고려할 때 전기철도의 특성을 고려한 전력품질 안정화 설비 기술 개발은 당연한 과제임을 알 수 있음. □ 기존 국내의 전력품질 안정화 설비는 국내에서 연구되고 있으나 전기철도 급전시스템에 적용은 전기철도 부하의 특성이 반영되지 않아 본연구 과제와의 연계가 필요함.

2. 연구 개발 목표	
☐ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 기술 개발 ☐ 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 국산화 개발 ☐ 급전시스템 실시간 시뮬레이터 구축 및 시뮬레이션 ☐ 성능적 목표 - 1.5 MW (750 kW×2) 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상시스템 개발	

3. 추진 방법

- 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치를 국산화하여 국내 기술로 설치 및 유지 보수를 가능하게 하여 외화의 지출을 줄이고, 국외의 더 큰 시장을 위한 초석을 마련하기 위함이다.
- 1차 년도에는 기술조사, 요구사항 분석, 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 개발 및 적용방안 확립 할 수 있도록 상세설계를 진행하여 1차년 하반기에는 모의 시제품 제작에 착수하며, 2차 년도에는 본격적으로 보상설비 모의 시제품 제작 및 특성을 분석하여 전력보상 설비 모델 개발에 착수하며, 3차 년도에는 보상설비 제어 및 알고리즘 개발할 수 있도록 한다. 또한 관련문서는 상세 설계 시 검토되어 4차 년도에 실시간 시뮬레이터를 통한 시뮬레이션을 시험 및 시스템 현장 시험을 통하여 본 과제를 원만히 완료할 수 있도록 추진되어야 함.
- 국책 연구기관의 시스템 연구 역량을 중심으로 대학의 기초연구와 기업의 응용기술력을 집결함으로서 핵심 장치 기술개발의 시너지 효과를 활성화 하는 기술개발 추진체계 및 시스템을 구축, 추진하는 전략이 필요.
- 기초, 응용 기술의 역할 분담 체계 구축을 통한 위기상황 대처와 기술개발의 관련 산업계 파급효과 극대화.

4. 연구 개발 내용

□ 세부과제 1 : 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 시제품 제작

○ 개발 필요성

- 인버터는 입력전압의 변동, 출력전압 전류의 제어 및 출력단의 고조파를 제한 할 수 있도록 설계되어야 함.
- 인버터는 교류 모션 전력에 인버터 전력을 연계시키기 위하여 교류 모션 전력의 위상을 검출하여 항상 인버터의 출력이 추종하도록 설계되어야 함.
- 본 시스템에 비용과 속도측면에서 최적으로 적용가능한 마이크로 프로세서 제어 시스템 제어기 설계 및 최적 제안 제시
- 개발된 마크로 프로세서 제어 시스템에 적합하며 능동필터를 최적으로 제어 할 수 있는 알고리즘 개발,
- 신뢰성향상을 위한 시스템 안전기능을 포함한 소프트 웨어를 개발해야함
- 제어회로 및 인터페이스 부분은 실제 시스템과 동일한 회로를 사용하여 실제 시스템에 적용 시 문제가 없도록 함. 제어부는 전체 시스템을 제어 하는 부분으로서 출력 전압 제어와 교류모션과의 위상 제어 등을 위해 각종 입력 데이터 및 출력 데이터를 바탕으로 연산을 수행하고 연산 결과에 따라 인버터에 제어 신호를 출력해야 함. 또한 제어에 필요한 내부적인 시간을 계산하거나 시스템의 제어상태를 외부로 입력하기도 함. 이와 같은 내부적인 연산처리는 대부분 소수점 연산을 필요하고 고속의 처리를 요구하므로 앞서 설명한 프로세서의 기능들이 다 들어 있는 것 이어야함.
- 능동형 전력보상시스템은 시스템 고장 시 또 하나의 부하로 작용할 수 있는 시스템이기 때문에 능동형 전력보상 시스템의 신뢰성과 가용성 향상을 위한 기능 감시 시스템이 필요함.
- 능동형 보상시스템의 모니터링 기법은 인버터 시스템의 기능감시기법을 활용 함으로 인버터를 사용하는 다양한 시스템의 모니터링에 적용 가능함.
- 인버터 감시 시스템을 위한 다양한 기법들의 연구를 통한 최적의 감시 기법 창출 및 시뮬레이션과 Prototype 시스템에 적용을 통한 시스템의 검증 필요.

4. 연구 개발 내용

- 본 과제에서는 가장 효과적인 모니터링 시스템의 모델 제시 및 능동형 전력보상 시스템을 비롯한 각종 인버터 시스템에 적용할 수 있는 모니터링 시스템 개발을 통하여 전기철도 전력품질의 안정화에 기여하고, 인버터를 활용한 시스템의 감시체계를 구축하고자 함.

○ 연구 개발 내용

(1) 보상기기 하드웨어 설계, 제작

1) 750KVA 파워스테이지 설계

- 능동형 전력보상장치용 변압기와 검측용 CT/PT 설계
- Precharge DC Link 설계
- IGBT pulse filter 설계
- 전원측 과전압 보호장치(Grid Overvoltage Protection) 설계
- 하드웨어부 스택 설계
- 절연형 3상 변압기 설계

2) 병렬 운전용 파워스테이지 랙 설계

- 하드웨어부 스택 설계
- 병렬 운전 회로부 설계
- 전류 검출 회로부 설계
- 부대 설비 설계(리액터 및 냉각장치)

(2) 구동회로 설계, 제작

- IGBT구동회로 설계
- 프로세서 인터 페이스 설계

4. 연구 개발 내용

(3) 모니터링 시스템 제작

- 능동형 전력보상 시스템 해석
- 모니터링 시스템 최적 구성방안 및 제어알고리즘 도출
- 시뮬레이션을 통한 시스템의 검증
- Prototype시스템에 적용한 시스템의 검증
- 실 모델 적용을 위한 시스템 구축
- 현장설치를 통한 모니터링 시스템의 성능평가

(4) 제어알고리즘 개발 및 시스템 제어기 설계

- 보상설비 제어 기법 검토
- 급전 계통의 유무효 전력 제어 알고리즘
- 급전 계통의 전압 전류의 고조파 제거 알고리즘
- 시스템 제어기 설계
- 실시간 제어알고리즘 개발
- 신뢰성향상을 위한 실시스템 검증 및 보완
- 제어 프로그램 개발

4. 연구 개발 내용

□ 세부과제 2 : 개발 시스템 현장 시험 설비 구축 및 시험

○ 개발 필요성

- 개발된 시스템의 실 적용을 위해서 KORAIL의 변전소 등의 현장에 설치하여 시험을 행하여 운전성능을 평가하고 이를 보완하여야 한다.
- 기존의 운전 중인 시스템에 직접적인 영향을 주지 않는 독립적인 현장 시험설비를 구축하여야 한다.

○ 연구 개발 내용

- 현장 시험 시스템 구축
- 시스템 현장 운영 시험

4. 연구 개발 내용

□ 세부과제 3 : 시뮬레이터 개발

○ 개발 필요성

- 개발된 시스템의 실 적용을 위해서 KORAIL의 변전소 등의 현장에 설치하여 시험을 행하여 운전성능을 평가하고 이를 보완하여야 한다.
- 기존의 운전 중인 시스템에 직접적인 영향을 주지 않는 독립적인 현장 시험설비를 구축하여야 한다.
- 실시간 시뮬레이션이 가능하기 때문에 실계통에 사용되는 실제 장치들(보호장치, 제어기 등등)을 연결하여 장치들의 기능을 테스트할 수 있고 대규모의 계통을 해석하기 위해서 확장 가능함.
- 급전계통을 운용 제어하는데 어려움으로 인한 파급사고가 우려되는 바, 실 계통에 보다 근접한 포괄적이며 연속적인 정밀한 계통해석과 제어 및 급전계통적용시험 대체 등을 수행할 수 있는 실시간 급전시스템 해석용 디지털 시뮬레이터를 개발·설치하고자 함.
- 본 과제에서는 실증적, 포괄적 급전시스템 해석기술이 확립됨과 동시에 향후 고부가가치의 체계적인 급전계통해석 기술이 개발될 수 있는 기반 조성이 마련되어짐. 또한 실계통과 근접한 계통해석/제어, 등을 위한 급전계통 운영계획구축 전문 Tool 로서 신뢰성 있는 급전시스템 계획, 운용, 제어의 기본 수단이 될 전망이다.

○ 연구 개발 내용

(1) 실시간 시뮬레이터 구축

- 현장 시험설비를 구축
- 실시간 운전시험
- 성능 평가 및 보완

(2) 실시간 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 및 온라인 모니터링 기술개발

- 신뢰성향상을 위한 현장검증 및 보완
- 보상설비 제어 기법 검토
- 시뮬레이션 대상구간 선정 및 데이터 수집
- 시뮬레이션 프로그램 개발

4. 연구 개발 내용

□ 세부과제 4: 기술조사, 요구사항 분석, 현장시험 결과 분석 기본설계 기술 개발

○ 개발 필요성

- 현재 사용되고 있는 전력품질 안정화 설비(능동형 전력필터)는 전량 외국의 기술로 설비되고 있어 외화의 지출이 크며, 국내 전기철도 증가 추세를 고려할 때 전기철도의 특성을 고려한 전력품질 안정화 설비 기술 개발은 당연한 과제임을 알 수 있음.
- 기존 국내의 전력품질 안정화 설비는 국내에서 연구되고 있으나 전기철도 급전 시스템에 적용은 전기철도 부하의 특성이 반영되지 않아 본 연구과제와의 연계가 필요함.
- 따라서 기술 개발 및 국내 전기철도 급전시스템에 적용하기 위한 전력품질 안정화 설비 기술의 면밀한 검토와 핵심기술의 분석을 통하여 최적의 시스템을 찾는 연구가 선행되어야 할 것임.

○ 연구 개발 내용

- 해외 규정 및 기술자료 수집
- 철도 환경에서의 전력공급 규정 검토
- 적용 가능한 보상설비 선정 방안 마련
- 보상설비의 효과 분석
- 전차선로의 조류해석 및 전력특성 예측기법 확보

4. 연구 개발 내용

□ 세부과제 5 : 총괄

○ 개발 필요성

- 전기철도 전력품질 보상장치는 전량 외국의 기술로 설비되고 있어 외화의 지출이 크기 때문에, 전기철도 전력품질 보상장치 개발 사업은 국내 전기철도 증가추세와 전기철도의 특성을 고려한 독자기술로 개발하여 국내외 수요에 대비하기 위한, 산학연이 협동으로 추진하는 연구개발 사업이다.
- 총괄과제는 사업목표달성을 위해 각 핵심과제들을 기술적으로 총괄 조정하여 기술개발을 성공으로 이끌며 기술개발자료를 종합 하여야 한다.

○ 연구 개발 내용

- 전기철도 전력 보상장치 개발의 총괄적 조정 및 관리
- 전기철도 전력 보상장치 개발 세부과제의 상호 역할 및 업무 조정
- 전기철도 전력 보상장치 개발의 전반적인 일정관리
- 성능평가 결과 종합 및 관리

5. 사업기간 및 소요예산	□ 총 사업기간 : 2009. 7. ~ 2013. 6. (48개월) ○ 1차년도 사업기간 : 2009. 7. ~ 2010. 6. ○ 2차년도 사업기간 : 2010. 7. ~ 2011. 6. ○ 3차년도 사업기간 : 2011. 7. ~ 2012. 6. ○ 4차년도 사업기간 : 2012. 7. ~ 2013. 6. □ 사업예산 : 65억원 (정부 : 52억원, 민간 : 13억원) ○ 1차년도 : 17억원 ○ 2차년도 : 21억원 ○ 3차년도 : 17억원 ○ 4차년도 : 10억원 ※ 상기 예산은 정부예산 사정에 따라 조정될 수 있음.
6. 기대 효과	- 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상 기술은 전력시스템기술, 전력용 반도체 응용기술, 정보통신기술, 제어기술 등의 복합 시스템 기술로써 향후 전력시스템 구성 및 운용기술을 획기적으로 변화시킬 뿐만 아니라 관련 중전기기 산업에 미칠 파급효과가 엄청날 것으로 예상됨. - 전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치를 국산화 하게 되면 기술자립을 통하여 외국의 기술로 설치되어 온 전력품질 보상기기를 대체할 수 있고 설치된 시설의 유지 보수 또한 가능하여 외화의 지출을 줄일 수 있음. - 전기철도 관련 시장 확대의 추이를 살펴볼 때 경제적 잠재력이 상당할 것으로 보이며 국외의 더 큰 시장을 위한 초석이 됨.

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술 연구개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
한국철도공사 TEL 042)609-3796

R&D / 08 미래철도 기획A01-5

전기철도 급전시스템 능동형 전력품질 보상장치 개발
기획연구 최종보고서

■ 발행일 / 2008. 11. 7.

■ 발행처 / 한국철도공사

대전시 서구 둔산동 920 정부대전청사 2동 1606호

TEL : 042-609-3796(대)

■ 인쇄처 / 천호기획