회생제동 인버터 시험설비의 제작 및 시험

Manufacture and operation of test facilities for energy regenerating system

양영철* 박종필** 한문섭*** 김주락**** 김용기*****

Yang, Young Chul Park, Jong Phil Han Moon Sub Kim, Ju Rak Kim, Yong Ki

ABSTRACT

For electric traction using a large power converter, harmonic problem in the p-ower quality and regenerating energy in side of efficiency are important.

Recently, by advance in power electronics technology, some countries are considering regenerative inverter from the points of view. when the electric tractions are stopped or driven through the falling slope way, it is very useful to supply surplus energy to the power source by regenerating system in the efficient side of energy and it is very economical. these regenerating energy are supported electrical equipment through DC line.

In this research, the purposes are suppressing extra DC-line voltage and saving energy generated while electric traction is been driving on the falling slope way or reducing speed for railway using a 1500V DC-voltage. Besides, the accompanied defects of current distortion, low power factor and the voltage unbalance will be solved by developing the algorism of inverter having ability to compensate current harmonic.

1. 서론

전동차 시스템에서 제동 시나 하강 경사로 주행 시에 회생되는 에너지를 급전시스템에 공급하도록 시스템을 구축하면 에너지의 효율적인 측면에서 매우 유익하다. 최근 전력전자기술의 진보로 직류 전기철도의 각 노선 구간에는 회생에너지를 활용하기 위하여 회생차량의 투입이 시도되고 있다. 즉, 제동 시나 하강 경사로 주행 시에 발생된 에너지를 가선을 통해 다른 전동차나 보조설비에 공급하거나 전원으로 회생하면 많은 양의 에너지를 절약하게 된다.

이러한 회생에너지는 전동차를 가속하기 위해 투입되는 에너지의 45~47%정도로서 약 20%정도는 타 전동차에서 소모되며, 에너지의 20~27%는 잉여 에너지가 남아, 이 전력은 직류 가선 전압을 일정 전압 이상으로 상승시킬 경우 변전소의 정류기 및 차량에 탑재된 전력 변환기의 장애를 일으킬 수 있기 때문에 전력을 강제로 소모시키는 전동차의 제동장치 장치가 필요하다. 이때 소모되는 전력이 전체 공급전력의 약 25% 정도가 된다. 회생 에너지를 이용하기 위해 PWM DC/AC 전력 변환장치를 설치하여 가선전압의 상승분을 교류 모선으로 회생시킬 경우 직류 가선전압의 상승을 억제할 수 있고, 회생에너지를 절약할 수 있다.

본 연구에서는 1500V 직류 전압을 사용하는 전동차 시스템에서 하강 경사로 주행이나 감속 운행 시 발생되는 잉여분의 전력을 회생 컨버터를 사용하여 교류모선으로 회생하여 직류 가선 전압의 상승을 억제하고 에너지를 절약하는데 있다. 또한 전동차 시스템에는 전력변환 장치의 사용으로 고조파 전류 발생, 역률저하, 전압의 외형이나 불평형이 발생하므로 능동 필터 기능을 가진 직류 전력 회생용 인버터를 개발/시험을 위한 시험설비 제작과 에너지회생장치의 시험에 있다.

* 시엔에이전기(주),연구소장,비회원
E-mail : yhstar@paran.com
TEL : (031)423-0135 FAX : (031)423-0136
** 시엔에이전기(주) 선임연구원, 비회원
*** 한국철도기술연구원,팀장, 정회원
**** 한국철도기술연구원,선임연구원, 정회원
**** 한국철도기술연구원,책임연구원, 정회원

2. 회생인버터 시험 설비 제작 및 시험

2.1 회생인버터의 필요성

근래 산업설비의 대용량화와 고성능화에 따라 전원품질에 대한 사회적 관심이 대두되고 있으며 최근 전력전자의 스위칭 소자기술의 진보로 전원품질개선장치는 중요한 역할을 하고 있다.
세계적으로 전기철도에서는 기존에 주로 사용하던 기계적인 제동방식을 보완하여 차량 제동 시 또는 하구배 운행 시 견인전동기를 이용한 전기적 제동을 병용하여 사용하고 있다. 전기제동 시에는 견인전동기를 발전기로 사용하게 되면 에너지의 효율을 높일 수 있다. 이러한 회생에너지양은 차량을 가속하기 위해 투입되는 에너지의 45~47%정도로서 약 20%정도는 타 전동차에서 소모되며, 에너지의 20~27%는 잉여 전력으로 남게 된다. 특히 직류철도에서는 변전소에서 수전받은 3상 교류를 직류로 변환하는데 있어 주로 정류기를 사용하고 있으며 잉여 전력에 의해 가선 전압을 상승시키므로 변전소의 정류기 및 차량에 탑재된 전력 변환기의 장애를 일으킬 수 있기 때문에 전력을 강제로 소모시키는 장치가 필요하다.[1~3]
일반적으로 차량에 저항기를 탑재하여 회생에너지를 소비하는 방법이 주로 사용되었으나 차량중량의 증가, 저항기 발열로 인한 온도상승, 기계제동 사용에 따른 브레이크의 마모 등의 문제를 갖고 있다. 그러므로 잉여에너지 손실을 막기 위해서 잉여전력을 PWM 인버터를 이용하여 회생제동에 발생하는 가선전압의 상승분을 3상 교류 모선으로 보낼 경우, 차량 저항기로 소비했던 회생에너지를 3상 교류측으로 보내어 철도 고압배전에서 소비할 수 있어 직류전기철도 에너지 절감을 기대할 수 있다. 더블어 차량 견인 시에는 능동전력필터 기능을 수행하여 변전소내 정류기 및 고압배전에 따른 수전측 전력품질에 대한 보상을 수행하여 기존ㅇ pvlfdy했던 고조파필터 등을 제거할 수 있다.
그림 1은 회생인버터 모드와 능동전력필터모드를 표시하였다.
회생인버터로 동작될 때는 잉여 회생전력을 고배단에서 소비하도록 하고, 능동전력필터로 동작될 때는 정류회로로부터 발생되는 계통상의 전류 고조파를 보상하게 된다. 따라서 잉여 회생전력을 흡수하여 고배단에서 재사용할 수 있을 뿐만 아니라 직류 급전시스템의 계통전류의 고조파를 저감시켜 고역률과 고효율을 기대할 수 있다. 회생인버터의 장점들을 표 1에 정리하였다.

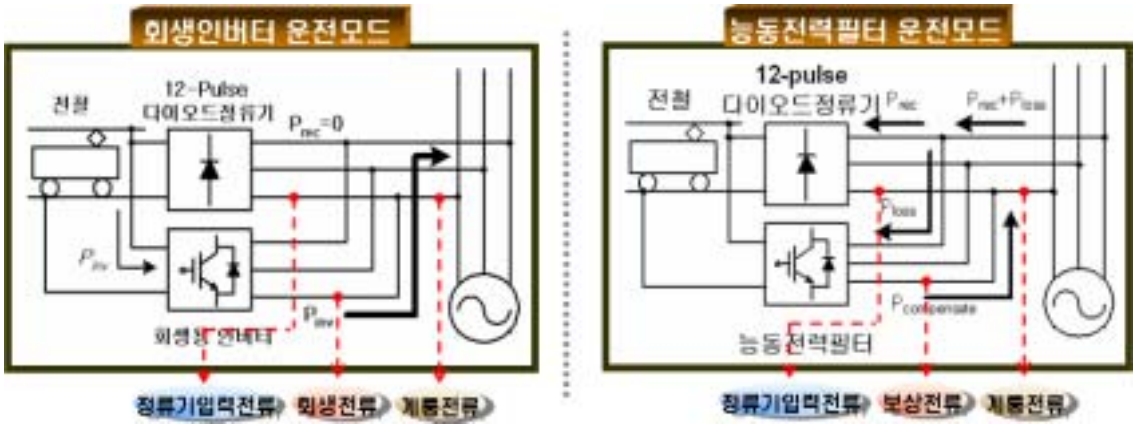


그림 1 회생인버터 동작모드

표 1 회생인버터의 장점

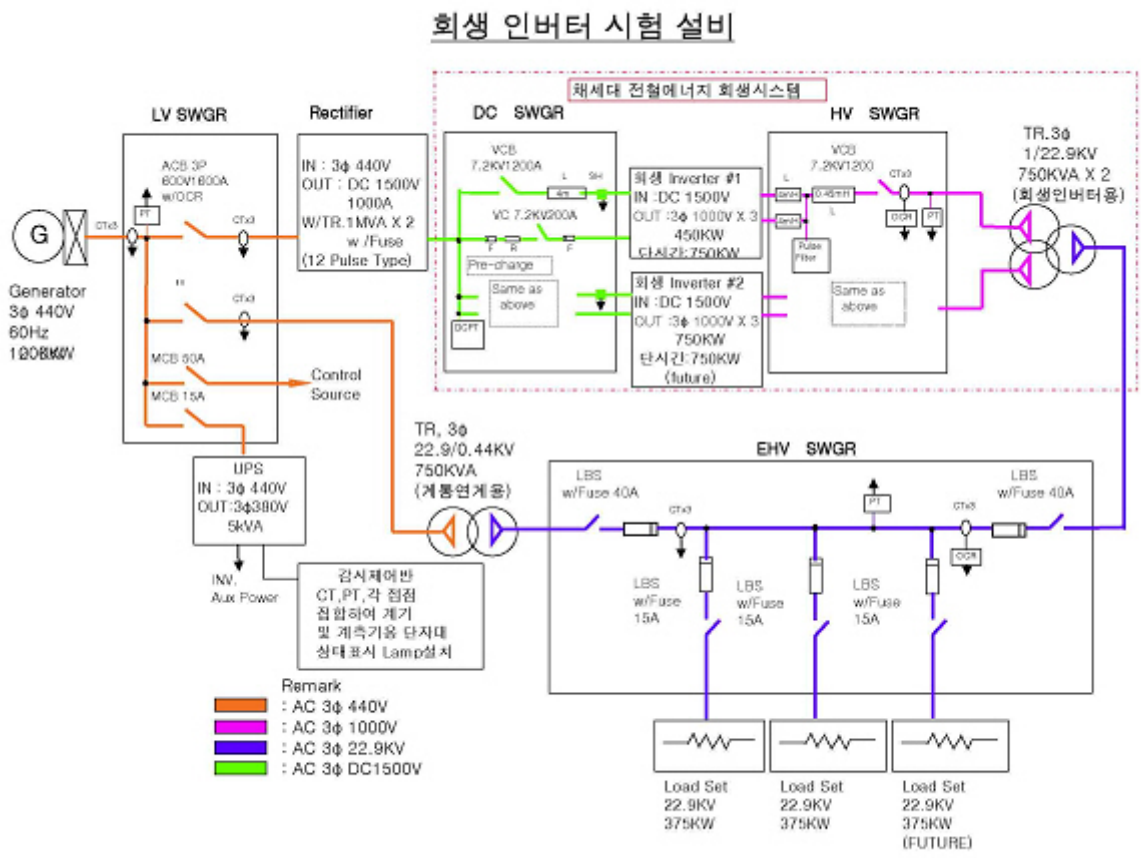
에너지 절약	고압배전계통에서 회생 전력을 재사용하고 차량 탑재 저항기용량을 줄일수 있어 차량의 경량화를 도모
회생실효감소	차량에 탑재된 저항기에서 소모되는 회생실효전력이 교류 모선으로 전달되어 고배단에서 소모되기 때문에 감소한다.
승객의 안전성	회생인버터를 사용함으로써 차량 정차 시에 전기제동이 기계제동으로 급격히 바뀌는 것을 방지할 수 있어 차량의 정위치정차

	가 가능해지고 스크린도어의 오동작을 막을수 있어 승객의 안전을 도모함.
전력품질개선	능동전력필터 기능에 의한 고조파 저감 및 역률개선 효과.
차량성능개선	장거리 구배구간의 안정된제동력 확보 정위치정차 회생전력흡수 저항기 용량 감소
비용절감	공기제동사용량이 경감되어 브레이크슈 보수에 필요한 비용이 경감
친환경적	회생차에 탑재된 정항기의 발생 열을 감소시켜 터널내의 혼도상승과 터널내의 분지 방지

2.2 회생인버터 세트 제작

회생인버터 시작품의 성능 시험을 위해 실 사용현장의 조건으로 시험설비를 제작하여 회생인버터의 성능시험을 실시하였다.
회생인버터 시험 설비의 구성은 그림 2와 같다.

그림 2 회생인버터 시험설비 구성도



◦ 부하 세트(Load Bank) : 회생 인버터 부하로 사용. 사양은 표 2와 같다.

표 2 부하 세트 사양

용량	375kW
정격 전압	AC 3상 22,900V
정격 전류	9.45A
저항값	1398.426Ω
수량	2
냉각 방식	강제 풍냉식

그림 3 저항기와 냉각 FAN 사진

a) 저항기

b) FAN

◦ 정류기 : 회생 인버터 DC입력 전원으로 사용

표 3 정류기 사양

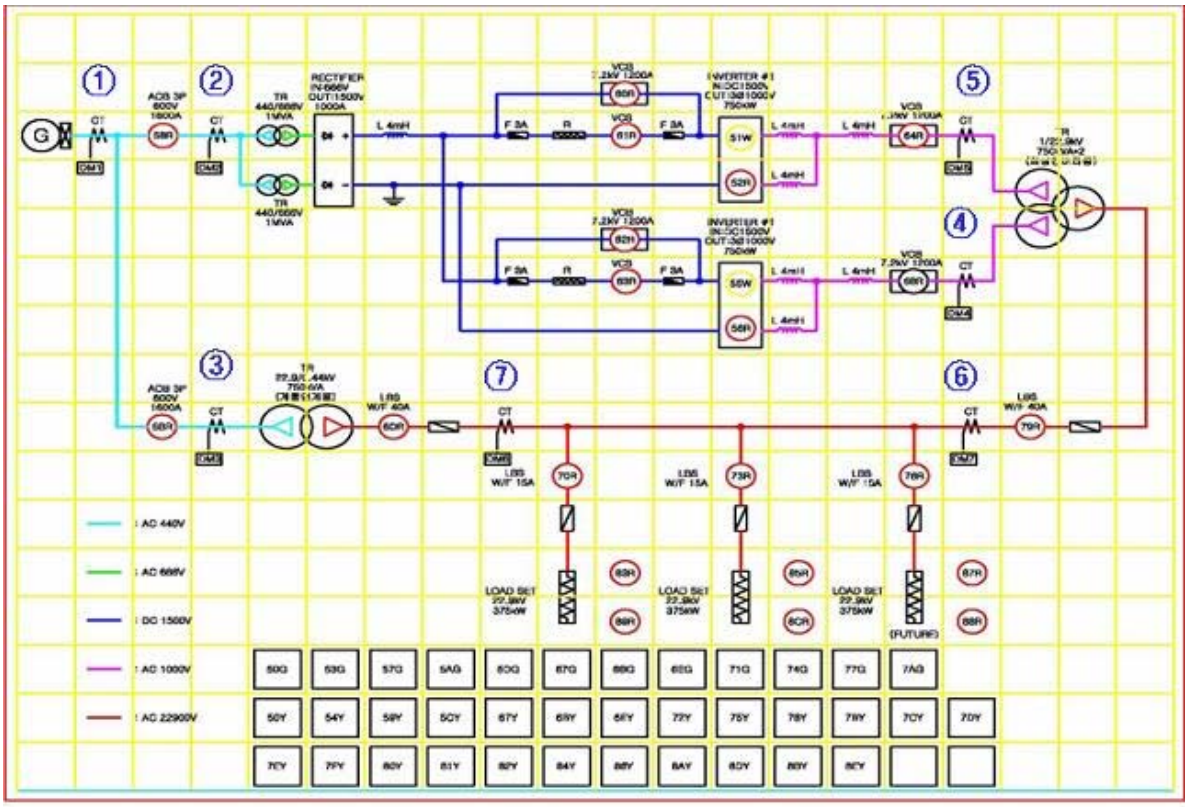
입력 전압	AC 3상 635V Y-D 60Hz
출력 전압	DC 1750V
출력 전류	1000A
정류 방식	Silicon Diode 전파정류방식
냉각 방식	강제 풍냉식

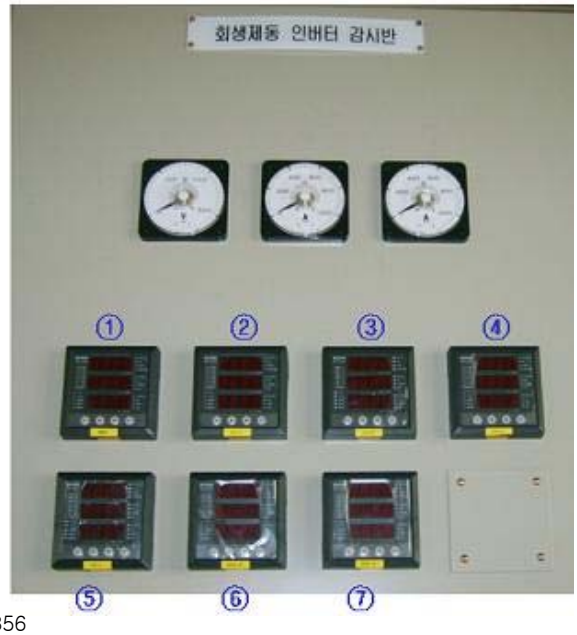
그림 4 정류기 사진

◦ TR : 회생 인버터 출력 계통 연계용
- 3ϕ 1000kVA, 440-666V, D-D, 1SET, 3ϕ 1000kVA, 440-666V, D-Y, 1SET, 3ϕ 1500kVA, 1000*2-22900V, D*2-D, 1SET, 3ϕ 750kVA, 22900-440V, D-D, 1SET

◦ 기타 주변회로
-감시반 : 계측 및 회생 인버터 조작용
-특고압 폐쇄 배전반 : 3면
- 고압 폐쇄 배전반 : 1면
- DC SWGR : 2면
- 저압 폐쇄 배전반 : 1면
- 리액터 반 : 1면

그림 5 감시반 구성





2.3 회생 인버터 성능 시험

시작품의 성능을 제작된 부하시험 세트를 통하여 시험

◦ 회생 기능 성능 시험

제작된 회생 인버터 시작품은 직류 가선 전압이 회생 시작 전압(Start voltage 세팅치) 이상에서 동작을 시작하고 회생 정지 전압(Stop voltage 세팅치) 이하에서 동작을 중지하도록 설계되어 있다. 회생 인버터 자체 성능 시험에서는 부하세트와 발전기 용량을 고려하여 회생 시작 전압은 1650VDC로 설정하였고 회생 정지 전압은 1500VDC로 설정하여 시험을 하였다.

발전기의 텝을 조정하여 발전기 전압을 조정 정류기에서의 직류 전압을 변동시켜 시험하였다

정류기 직류 전압이 회생 시작 전압보다 커지면 회생 인버터는 동작을 시작하여 계통으로 전력을 회생 시켜 정류기 직류 전압이 회생 정지 전압 이하가 될 때 까지 동작하여 전력을 회생 시키는 걸 볼 수 있었다.

◦ 무효전력 보상 기능

제작된 회생 인버터 시작품은 회생 인버터로 동작하지 않을 때에는 무효전력 보상설비로도 동작되어야 하므로 무효전력 보상기능에 대한 시험을 실시하였다.

◦ 고조파 저감 기능

제작된 회생 인버터 시작품은 회생 인버터로 동작하지 않을 때에는 고조파 저감 설비로도 동작되어야 하므로 무효전력 보상기능에 대한 시험을 실시하였다.

◎ 제어알고리즘 검증 및 보완 : 성능 시험 시 발생하는 문제점 및 성능 개선을 위하여 제어알고리즘 검증 및 보완

◎ 국가공인기관 인증시험 : 국가공인기관 인증시험 실시로 신뢰성 인증

3. 결론

직류 급전 시스템은 교류 전압을 직류 전압으로 변환하는 다이오드 정류기를 사용한다. 이러한 전력변환기는 교류 전원측에 많은 전류 고조파가 함유되며 역률이 떨어지게 된다.

본 과제는 기술적으로 능동필터 기능을 가진 회생용 인버터를 개발하여 차량에서 직류 전원단으로 회생되는 잉여 회생 에너지를 교류 전원 쪽으로 반환하여 그 에너지를 활용하고 고조파에 의한 장애 문제와 역률 저하에 따른 배전선 및 변압기 손실을 줄일 수 있다. 전력전자 기술은 산업계, 시민의 교통수단인 전동차 급전 시스템에 사용되어 편리성과 생산성에 중요한 역할을 하고 있다. 그러나, 지하철 전원 계통에 전력 품질 저하에 따라 Voltage sag, 순시 전압 강하 및 뇌서지의 전원 장치를 주고 있다. 본 연구로 각종전력 기기의 고조파 장애를 방지하여 설비의 수명 연장 효과를 얻는다. 현대사회의 모든 전기장비는 전력변환장치를 이용하여 전원을 공급하고 있다. 본 연구 성과는 공업단지, 일반주택 등 전기장치를 사용하는 곳의 배전단에 설치되면 비선형부하에 의한 전압, 전류의 고조파를 상쇄할 수 있어 고품질의 전력을 사용할 수 있고 또한 고조파와 무효전력에 의한 부가비용을 절감하는 효과를 가져 올 수 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래철도기술개발사업에서 지원된 차세대 전철시스템 에너지회생장치 개발 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] T. Suzuki, "DC power supply system with inverting substation for traction system using regenerative brakes. " IEE Proc. B, Vol.129, Pp.18-26, 1982.

[2] 전철직류급전 시스템 최적화 조사위원회, 회생차를 포함한 급전시스템의 현상과 앞으로의 방향, 일본전기학회기술보고(II부) 제296호, 1989.

[3] 전철직류급전 시스템 최적화 조사위원회, 회생차량에 대응한 직류변전소 용량설계법, 일본전기학회기술보고(II부) 제360호, 1991.