

직류급전계통의 회생용 인버터 실용화 적용

한문섭*, 장동욱*, 신효범*, 김성태**, 김민수***
 한국철도기술연구원*, 광주도시철도공사**, 비츠로시스***

Application of regenerative inverter on DC feeding

Moon-Seob Han*, Dong-Uk Jang*, Hyo-Bum Shin*, Sung-Tae Kim**, Min-Soo Kim***

Korea Railroad Research Institute* Gwangju Metropolitan Rapid Transit Corporation** VITZROSYS***

Abstract - DC railway systems have been adopted in the urban rail train. When EMU decelerates using electric breaking, regenerative power occurs. extra power is forcibly wasted by resistor. If DC transit system has inverter for reusing regenerative power, energy efficiency in DC transit system will be increased. in this paper present developed regenerative power inverter and its field test result

1. 서 론

도시철도 직류 급전시스템에서 전동차의 운행 중 전기적 제동을 사용하면 회생전력이 발생한다. 발생한 회생 전력은 동일 선로의 인접한 타 전동차에 공급되어 소비된다. 그러나 소비되지 못한 회생 전력은 전차선 전압 상승을 발생하여 계통 운행에 어려움을 주고 전차선에서 열로 손실되어 에너지 효율성을 떨어뜨린다. 따라서 잉여 회생 전력을 회수하여 사용하면 에너지 효율성과 계통의 안정성을 높일 수 있다. 현재 국내 다이오드 정류기를 사용하는 직류 급전시스템의 경우, 거의 대부분 3상 22.9kV를 수전받아 6펄스 다이오드 정류기를 통하여 DC 1500V 변환시켜 전동차에 전력을 공급한다. 다이오드 정류시스템은 역방향 조류가 불가능하기 때문에, 이러한 잉여회생 에너지를 다시 사용할 수 있도록 해주는 장치가 회생인버터이다. 회생 전력 사용방법은 직류로 발생한 에너지를 교류로 변환하여 일반 전력계통으로 역송전 하거나 고압배전 계통에서 사용하는 것이다.

본 연구에서 사용하는 회생용 인버터는 2003년에 개발을 시작하여 2007년에 개발을 완료하였다. 성능을 확인하기 위하여 차량 기지에서 시험 차량운행을 통하여 그 성능을 확인하였으나 아직 실용화는 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 광주도시철도공사의 김대중컨벤션센터역 변전소에서 회생전력량을 측정 및 분석하여 이미 설치가 완료된 회생용 인버터에 대한 타당성을 제시하고 도시철도 시스템에 회생용 인버터 실용화 적용을 도입하는 것이 목적이다.

2. 본 론

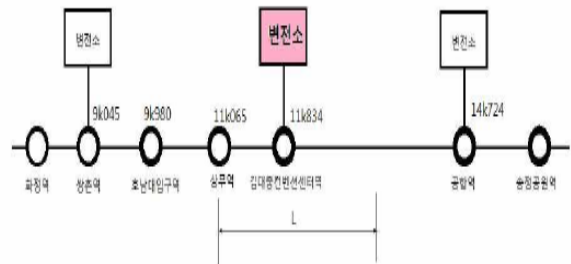
2.1 회생용 인버터 개요

회생용 인버터는 IGBT를 이용한 3상 PWM 인버터로서 직류 급전시스템의 정류기 출력측인 직류 정/부 급전부에 연결되어 직류 급전부에서 발생한 잉여 회생 에너지를 3상 교류 계통으로 전달하는 역할을 한다. 인버터의 개발 용량은 단일 모듈 기준 750kVA 이며, 1500V DC를 입력 전압기준으로 한다. 개발한 인버터의 사양은 표 1과 같다.

<표 1> 회생용 인버터 사양

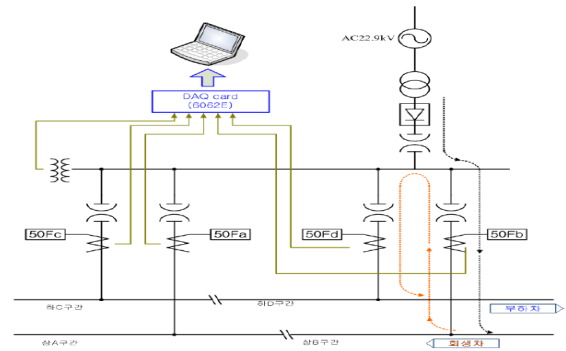
항 목	사 양
용량	750kVA
DC 허용 최고전압	2000V DC
회생제동전압 조정 범위	1650 ~ 1850V DC
AC 출력전압 조정 범위	3 800 ~ 1000V AC
AC 정격 전류	500A (250A /1대 x 2대)
AC 단시간 전류	800A (60초)
AC 정격 용량	1.5 MVA(750 kMA x 2)
효율	98 % (정격 출력시)
동작 온도	0 ~ 40 ℃
동작 방식	IGBT PWM 방식
냉각 방식	수냉식
병렬 연계 운전	가능
크기	W 1,600mm x H 2,200mm x D 600mm

2.2 변전소 회생전력량 측정 분석



<그림 1> 변전소 현황

광주도시철도공사 김대중컨벤션센터역 변전소를 기준으로 상무역과 공항역 사이에서 1일 동안 직류반의 전압, 전류, 전력을 측정 기록하였다. 차량의 운행은 첨두치에는 5분 시격, 비첨두시에는 10분 시격을 두고 운행하였다. 측정 방법은 그림 2에서 보듯이 직류반 4개의 피더에 설치된 보호계전기 DCCT 출력값과 전력기록장치의 DCPT 출력값을 DAQ카드와 PC에 연결하여 2시간 단위로 데이터를 저장하였다.

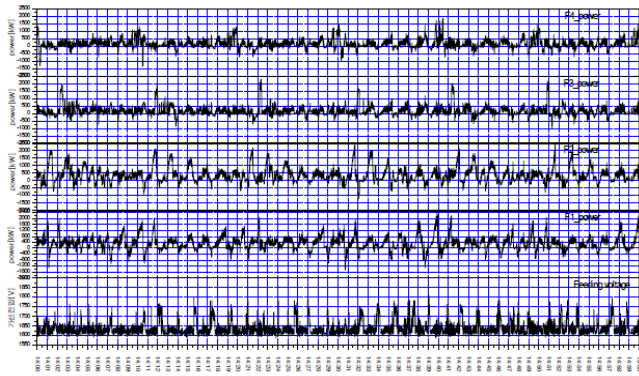


<그림 2> 변전소 측정 diagram

측정은 5:30부터 24:00까지 동안 실시하였고 2시간 단위로 전류, 전압을 기록하였다. 그림 3은 측정된 피더별 전력 및 가선전압의 예를 보여 주고 있다. 표 3은 시간대별로 측정된 각 피더의 역행전력, 회생전력 그리고 역행전력과 회생전력의 비율을 보여준다. 표 3에서 보듯이 직류급전시스템의 도시철도에서는 많은 회생전력이 발생함을 확인할 수 있다.

<표 2> 각 피더별 역행 및 회생전력량

	역행전력량 [kWh/day]	피더간 교류된 회생전력량 [kWh/day]	소비에너지 [kWh/day]
피더1	5,682	938	4,744
피더2	6,270	765	5,506
피더3	3,600	690	2,910
피더4	3,345	880	2,466
합계	18,898	3,272	15,626



〈그림 3〉 각 피더별 전력 및 회생전압 예

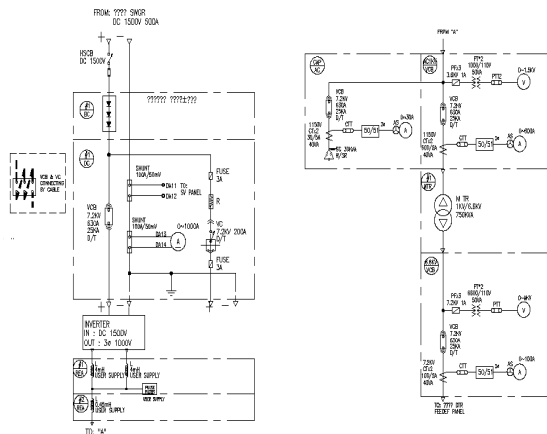
측정결과를 각 피더별로 역행 및 회생전력량을 구하면 표 2와 같이 일일 역행 전력량과 회생전력량을 계산할 수 있다. 각 피더의 역행전력량을 합한 값은 18,898 kWh/day 이고 각 피더의 회생전력량의 합은 3,272 kWh/day이다. 총 역행전력량과 총 회생전력량을 분석하면 일일 회생/역행 전력량 비율이 약 17%를 보인다. 이러한 약 17%의 잉여전력을 효율적으로 사용한다면 연간 약 9천만원 원가 절감을 할 수 있고 연간 114만 kWh 전력소비량의 절약으로 483톤 CO2의 온실가스를 감소할 수 있을 것으로 보인다.

〈표 3〉 시간대별 역행 및 회생 전력

시간	feeder 1			feeder 2			feeder 3			feeder 4		
	역행 전력 [kW]	회생 전력 [kW]	비율 [%]	역행 전력 [kW]	회생 전력 [kW]	비율 [%]	역행 전력 [kW]	회생 전력 [kW]	비율 [%]	역행 전력 [kW]	회생 전력 [kW]	비율 [%]
05:30 ~07:53	1,649	656	40%	2,071	616	30%	2,024	475	23%	1,287	691	54%
07:53 ~9:53	2,444	1,900	78%	2,372	1,416	60%	2,467	1,052	43%	1,695	1,959	116%
9:53 ~11:53	2,452	1,609	66%	2,563	1,290	50%	2,246	1,329	59%	1,666	1,775	107%
11:53 ~13:53	2,425	1,592	66%	2,410	1,178	49%	2,230	1,047	47%	1,548	1,471	95%
13:53 ~15:53	2,455	1,474	60%	2,442	1,229	50%	2,313	1,012	44%	1,862	1,363	73%
15:53 ~17:53	2,420	1,715	71%	2,490	1,285	52%	2,457	1,024	42%	1,726	1,471	85%
17:53 ~19:53	2,499	1,443	58%	2,489	1,303	52%	2,376	931	39%	1,584	1,996	126%
19:53 ~21:53	2,362	1,574	67%	2,405	1,362	57%	2,257	1,018	45%	1,506	1,808	120%
21:53 ~24:00	2,508	1,465	58%	2,426	1,061	44%	2,350	1,107	47%	1,776	1,459	82%

2.3 회생용 인버터 실용화 설치

변전소의 회생전력량을 측정한 결과 많은 잉여회생전력이 발생하는 것을 확인하였고 이러한 잉여회생전력을 효율적으로 사용할 수 있도록 해주는 회생용 인버터 실용화 적용을 위하여 김대중컨벤션센터역 변전소에 설치하였다.



〈그림 4〉 회생용 인버터 설치 계통

회생용 인버터 구성도는 크게 직류고속도 차단기, DC반 회생용 인버터, AC반 그리고 변압기로 구성되어 있다. 인버터에 입력되는 직류 1,500V 전력은 최대한 계통을 구별하여 사고시 피해가 최소화하기 위하여 전철변전소의 직류급전 모선에 고속도 차단기를 사용하여 DC반과의 입력부와 연결하였다. 이렇게 회생전력으로 들어온 전력은 인버터를 통하여 AC반 입력부로 들어가 변압기를 통하여 전력계통으로 보내진다.



〈그림 5〉 회생용 인버터 현장 설치

그림 5는 변전소 내부에 실계통 실용화 적용을 위하여 회생용 인버터 설치한 모습이다. 왼쪽부터 고속도 차단기, DC반, 인버터, AC반, 변압기 마지막으로 모니터링 시스템을 설치하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 변전소의 각 피더별 일일 역행 전력과 회생 전력을 측정하여 시간대별, 피더별로 계산하였다. 일일 최대 소비 및 회생전력을 비율을 비교한 결과 약 17%의 소비 전력을 절감할 수 있다는 계산을 산출하였고 이것은 연간 약 9천만원에 상당하는 원가 절감할 수 있다. 이러한 잉여 회생전력을 효율적으로 이용하기 위하여 광주도시철도공사의 김대중컨벤션센터역 변전소에 회생용 인버터를 설치하여 실용화 적용을 앞두고 있다. 광주도시철도공사의 회생용 인버터가 성공적으로 실용화 적용을 한다면 에너지 효율성과 직류급전시스템의 안정도를 높여 주고 직류급전방식을 사용하는 타 도시철도에서도 회생용 인버터를 설치함으로써 많은 원가 절감과 에너지 효율화에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국철도기술연구원, '차세대 전철시스템 에너지회생장치 개발' 4차년도 보고서, 국토해양부, 2007
- [2] 김주락, "직류급전시스템 회생용 인버터 및 시험 설비 개발", 대한전기학회 춘계학술대회, p91-p93, 2008
- [3] 김경원, 서영민, 홍순관, "회생전력 제어용 인버터 시스템의 구현에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, 제7권, 제2호, 2002
- [4] 김용기 외, "DC 전철구간의 에너지회생장치 개발방향", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 한국철도학회, 2007
- [5] 배창환 외, "직류 1500V 전철변전소의 회생전력량 측정 및 분석", 한국철도학회 논문집 제10권, 제6호, 한국철도학회, 2007