

고속철도 전철변전소 피크전력 저감을 위한 기술개발 연구

A Study of Technology Development for Reduction of Peak Power using High Speed Railway Substation

임성수*, 편장식*[†], 권경민*

Sung-Soo Lim *, Jang-Sik Pyun *[†], Kyoung-Min Kwon *

Abstract These high-speed railways is increased the peak power due to load fluctuation occurrence in accordance with the operating status of the train, and it causes the energy costs increase. In addition, harmonic generated from the traction motor of high-speed railways, and it will have adverse effects such as communication induction failure of power equipment, over-current and malfunction. In this study, we introduce a research development results of active harmonic filter and peak power reduction device that has been developed for harmonic management and peak power reduction.

Keywords : Peak Power Reduction Device, Active Harmonic Filter

초 록 고속열차는 대용량 부하로서 열차 운영을 위한 필요한 전력을 각 구간에 설치된 고속철도 전철변전소에서 공급받고 있으나 운영환경 변화에 따라 고속철도 변전소의 피크전력이 점진적으로 증가하고 있는 추세이다. 피크전력의 증가는 변전소의 설비비용 증가 및 전력사용요금을 증가시키는 요인이 되고 있다. 또한 고속철도 등 전기철도에서는 견인전동기 구동으로 인해 부하의 변동이 심하고 고조파가 발생하여 통신유도장애, 과전류, 계전기, 변압기 오동작 및 소손 등과 같은 악영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 고조파 및 피크전력 관리를 목적으로 개발되고 있는 피크전력 저감장치와 능동형 고조파 필터에 대해 소개하고자 한다.

주요어 : 피크전력 저감장치, 능동형 고조파 필터

1. 서 론

2004년 개통한 고속철도는 빠른 속도와 정시성 등의 편리성, 접근성 제고를 위한 연계교통망 확충 등으로 매년 이용객이 증가함에 따라 매년 열차 운행횟수를 점차적으로 확대하고 있는 실정이다. 이러한 고속철도 운영의 핵심인 KTX 고속열차는 15MW 대용량의 부하로 열차의 출발과 제동시 급격한 부하변동을 유발시키고 있으며, 운행하는 구간에 전력을 공급하는 고속철도 전철변전소에서는 열차의 운행상태에 따라서 급격한 부하의 변동이 나타난다.

[†] 교신저자: (주)우진산전 중앙연구소(jspyun@wjis.co.kr)

* (주)우진산전 중앙연구소

이러한 운영환경 변화는 전철변전소의 피크전력이 상승하는 원인이 되며, 이로 인하여 변압기 등의 변전소 설비비용이 증가와 에너지 비용이 증가하게 발생하게 된다.

또한 고속철도 등 전기철도에서는 견인전동기 구동으로 인해 부하의 변동이 심하고 고조파가 발생하여 통신유도장애, 과전류, 계전기/변압기 오동작 및 소손 등과 같은 악영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 피크전력 관리 및 고조파 저감을 위해 개발되고 있는 피크전력 저감장치와 능동형 고조파 필터에 대해 소개하고자 한다.

2. 피크전력 저감장치

피크전력 저감장치는 PCS, 제어기반, 배터리로 구성되어 있으며, PCS의 멀티레벨 인버터는 배터리 DC전압과 계통 AC전압을 실시간으로 계산하여 검지하며, 동작레벨 검지시에 멀티레벨 인버터의 동작을 통하여 제한된 DC 입력전압으로 부터 출력전압을 크게하여 출력전류를 제한할 수 있으며, 출력전압에 대한 THD 저감에 따라 필터의 용량을 줄일 수 있다.

Fig. 1은 피크전력 저감장치의 시스템 전체의 Block Diagram을 나타낸 것이다.

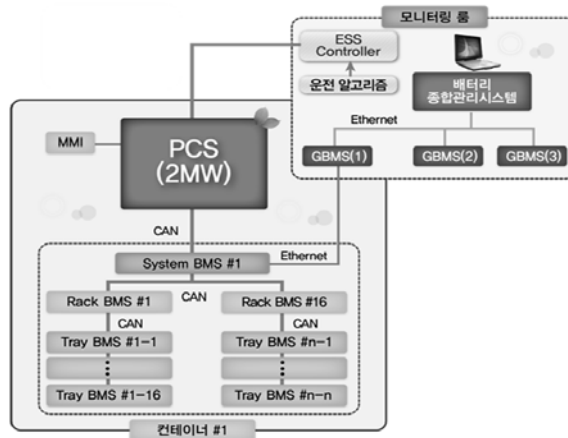


Fig. 1 Block Diagram of Peak Power Reduction Device

2.1 멀티레벨 인버터

피크전력 저감장치는 크게 PCS, 제어기반, 배터리로 구성되며, 피크전력 저감장치의 PCS는 전체 6MW용량으로 설계하였으며, 배터리는 4MWh용량에 2C 충/방전률을 가지도록 구성하였다. PCS의 단일 유닛 용량은 2MW로 3병렬로 접속할 수 있도록 구성하였다. 6MW PCS설계 구성으로 각 단일 용량 2MW 급의 PCS 설계시 배터리의 series string의 한계에 의해 인버터의 DC링크 전압은 배터리의 운용전압인 770~1,050[V]로 구성되어 진다. 멀티레벨 인버터 구성에 따른 장점으로서는 먼저 제한된 DC전압으로부터 출력전압을 크게 가져감으로서 출력전류를 제한할 수 있고, 이와 더불어 출력전압에 대한 THD저감에 따라 필터의 용량을

줄일 수 있다는 특징이 있다. 셀인버터는 기본적으로 단상 인버터로서 강제송풍식 냉각시스템을 적용하였으며, 메인 스위칭 소자로 1,200V급의 IGBT, 바이패스 회로를 구성하기 위해 싸이리스터를 사용하였다.

제어기반은 전련변환장치 좌측면에 위치하며, 이동 및 유지보수성을 고려하여 분리 제작되었으며, 전력변환장치와 케이블로 연결된다. 제어기반은 6개의 셀인버터로 구성된 전력변환장치를 제어하기 위한 제어보드, 릴레이 및 전원공급장치 등으로 구성하였다.

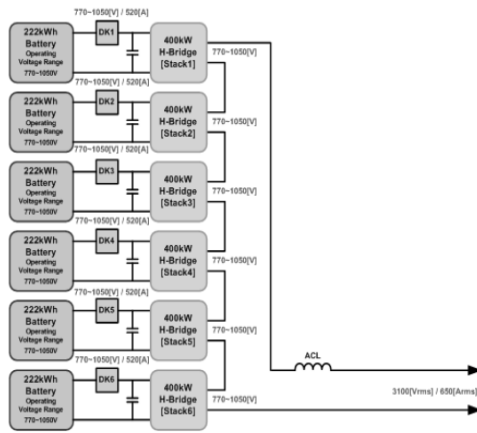


Fig. 2 6MW PCS Diagram

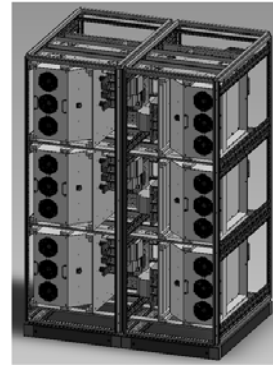


Fig. 3 3D Model of PCS

2.2 배터리 구성 및 보호기능

배터리시스템은 6개의 배터리 랙으로 구성되어 있으며, 16개의 트레이가 직렬로 연결되어 하나의 프레임에 256 직렬 배터리 1개가 연결된다. 전압범위는 770~1,050V(256 1P)로 구성되어 있으며, 배터리 보호를 위한 스위치소자와 제어감시를 위한 Rack BMS가 함께 설치되며, 전원 및 통신연결은 Rack 전면에 배치하여 유지보수가 용이하도록 하였다.

시스템의 보호동작 설비는 소프트웨어와 하드웨어로 보호동작을 수행할 수 있도록 설계되었으며 고장항목 발생 시 소프트웨어 보호동작 처리는 모든 컨택터를 차단함으로써 배터리 DC전압과 계통 AC전압, 양방향 컨버터간의 완전분리를 수행할 수 있도록 하고, 소프트웨어 보호동작이 제대로 수행되지 못할 경우를 대비하여 아래의 하드웨어적인 보호동작 처리를 수행하게 하였다.

3. 능동형 고조파 필터

고조파 저감 능동형 필터는 전체 2.88MVA용량으로 비선형 부하 특성에 따른 고조파에 대해 역고조파를 주입하여 제어함으로 전원단에서 발생하는 고조파 전류를 상쇄시키는 기능을 수행하게 된다. 제어알고리즘은 Lyapunov 안정도 이론을 적용하여 제어를 설계되었으며,

IGBT반은 단상 인버터 스택, 초퍼스택, 입력측 콘택터, 캐패시터 बैं크 등으로 구성되어 있다. Fig. 4는 능동형 고조파 필터 시스템 전체의 Block Diagram을 나타낸 것이다.

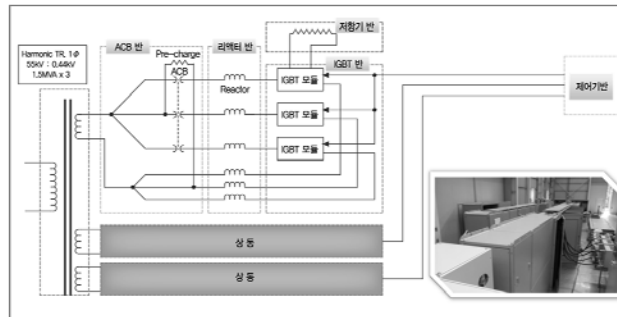


Fig. 4 Block Diagram of Active Harmonic Filter

3.1 IGBT반 구성

고조파 저감 능동형 필터의 IGBT반, 제어기반은 3D로 상세설계가 진행되었다. IGBT반은 단상 인버터스택(수냉각 모듈포함), 초퍼스택, 입력측 콘택터, 캐패시터 बैं크로 구성하였다. IGBT반의 특징은 강제냉각을 위해 인버터스택에 수냉각모듈을 사용하여 냉각의 효율성과 공간적인 활용성을 극대화 하였고, 냉각용 실외기는 실외 상부에 설치하여 공간적 분리가 가능하도록 하였다. 초퍼스택은 상시동작하지 않고, 간헐적으로 동작하는 유니트이므로 냉각팬을 부착한 공랭식으로 설계하였다.



Fig. 2 IGBT Device

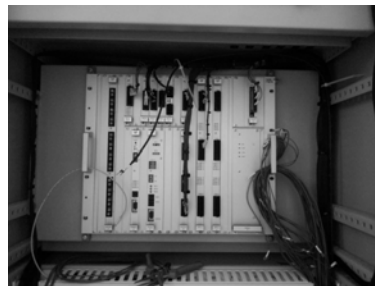


Fig. 3 Control Unit

3.2 제어기, 수냉각기, PLC반 구성

능동형 고조파 필터의 제어기반은 기존 설치되었던 능동형 고조파 필터의 단점을 보완한 것으로 32bit DSP를 사용하여 연산능력을 극대화하였으며, 능동형 고조파 필터를 제어하는 제어장치와 시퀀스를 담당하는 각종 릴레이 및 전원공급장치로 구성하였다. 제어기반과 IGBT반 간의 Gate pulse신호를 광케이블을 사용하여 Gate pulse가 IGBT반에 정확하게 전달되도록 하였다.

수냉각기는 능동형 고조파 필터의 IGBT반의 냉각을 위해 설치되는 장치로서 IGBT 스택당 1개의 수냉각기를 설치함으로써, 기존에 사용되고 있는 능동형 고조파 필터의 단점인 냉각기 열용량 부족으로 인한 동작정지 및 소손의 문제를 해결할 수 있을 것이다. 수냉각기의 내부에는 순환펌프, 냉각팬 등으로 구성되어 있다.

PLC반은 능동형 고조파 필터의 동작시퀀스를 제어하는 부분으로 변전소 감시반과 연결된 설비로서 PLC, 계기류, 모자이크반 및 램프 등으로 구성하였다.

4. 결 론

전기철도에서의 열차는 전차선으로부터 전력을 공급받아 주행하며, 전철변전소는 해당 구간에 열차가 진입하여 역행으로 주행할 때만 전차선에 전력을 공급하게 되므로 전철변전소의 부하는 시공간적으로 크게 변동하는 점이 일반 변전소와의 차이점이라고 할 수 있다. 따라서 피크전력 저감장치는 고속철도 교류급전시스템에서 부하가 작을 때에 전력을 저장해 두고, 부하가 증가했을 때에 공급함으로써 변전소의 부하 변동을 억제할 수 있으며, 피크전력의 절감에 의한 에너지 절감으로 환경 개선 등에 크게 기여할 것으로 기대된다.

차량에서 발생된 고조파 전류는 고속철도 급전시스템의 임피던스 특성에 의해 특정 조파에서 공진되어 고조파 전류 확대현상을 일으켜 각종 문제를 야기 시킨다. 즉, 고조파 전류는 인접 통신선에 유도장애를 일으키고 철도신호장애의 원인이 될 뿐만 아니라 전원계통에 유입되는 경우에는 전력용 콘덴서의 과열 및 진동을 유발시키고 보호 계전기를 오동작 시킬 우려가 있다. 따라서 능동형 고조파 필터는 고속열차 운행시 실시간으로 변하는 고조파를 억제 및 관리가 가능할 것으로 판단된다. 향후에 시제품의 신뢰성 확보를 위해 성능평가를 진행할 예정이며, 시운전 및 운영을 통해 최적화 운영방안을 마련할 계획이다.

후 기

본 연구는 2014년도 국토교통부의 지원에 의하여 이루어진 철도기술연구사업(14PRTD-C06 3745-03) 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] WooJin(2014), Development of peak-power reduction for high-speed railroad.
- [2] 이장무, “에너지저장시스템을 활용한 교류전기철도 피크전력 저감검토”, 한국철도학회 추계학술대회, 2009.
- [3] 이유경, 김재철, “25kV 전기철도 고조파 보상을 위한 고전력 능동 전력필터 시스템에 관한 연구”, 한국철도학회 논문집 제9권 제6호, pp 625-807.